

การพัฒนาเครื่องกวนสารเคมีด้วยแรงแม่เหล็ก สำหรับปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์

ปริญญานิพนธ์
ของ
สุวัฒน์ วงษ์จำปา

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา
กันยายน 2546
ลิขสิทธิ์เป็นของ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การพัฒนาเครื่องกวนสารเคมีด้วยแรงแม่เหล็ก สำหรับปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์

บทคัดย่อ
ของ
สุวัฒน์ วงษ์จำปา

11 00.0 2546

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา
กันยายน 2546

สุวรรณ วงษ์จำปา.(2546). *การพัฒนาเครื่องกวนสารเคมีด้วยแรงแม่เหล็ก สำหรับปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์*.

ปริญญาานิพนธ์ กศ.ม.(อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

คณะกรรมการควบคุม : อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร,อาจารย์โอภาส สุขหวาน.

การพัฒนาเครื่องกวนสารเคมีด้วยแรงแม่เหล็ก สำหรับปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ เป็นการพัฒนาเครื่องกวนสารเคมีจากแบบเดิมที่ใช้วิธีการกวนด้วยมือ มาใช้วิธีการกวนแบบอัตโนมัติ โดยใช้แรงแม่เหล็กถาวร 2 อัน แม่เหล็กตัวที่หนึ่งอยู่ด้านในตัวเครื่องเป็นตัวขับ ส่งแรงขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า แม่เหล็กตัวที่สองอยู่ในภาชนะที่ใส่สารเคมี เป็นแม่เหล็กตัวตาม เมื่อแม่เหล็กตัวขับหมุนตามแนวเส้นรอบวง ทำให้แม่เหล็กตัวกวนสารเคมีหมุนตาม ทำให้เนื้อสารเคมีที่อยู่ในภาชนะหมุนวนตามแรงแม่เหล็กที่ขับ ระบบการทำงานของเครื่องประกอบด้วย ระบบการควบคุมความเร็วรอบในการกวน ระบบควบคุมเวลาการทำงานและระบบควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งทั้ง 3 ระบบนี้ควบคุมการทำงานโดยชุดอิเล็กทรอนิกส์และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษาเบสิกสำหรับการสั่งการระบบการทำงานของเครื่อง การออกแบบโครงสร้างตัวเครื่องและวัสดุอุปกรณ์เน้นการใช้วัสดุที่มีจำหน่ายภายในประเทศ การวิจัยเพื่อพัฒนาเครื่องกวนสารเคมีด้วยแรงแม่เหล็กครั้งนี้ จะทำการประเมินใน 3 ด้าน คือ 1. ด้านความเที่ยงตรงของระบบการทำงานของเครื่องกวนสารเคมี 2. ด้านสมรรถนะของเครื่องกวนสารเคมี 3. ด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกวนสารเคมี ทำการประเมินผู้โดยเชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ผลของการประเมินด้านต่างๆ มีรายละเอียด ดังนี้

1. ด้านความเที่ยงตรงของระบบการทำงานของเครื่องกวนสารเคมี 3 ระบบ ประกอบด้วย ระบบความเร็วรอบในการกวน ผลการประเมิน พบว่า อยู่ในพิสัยความคลาดเคลื่อน ± 5 รอบ/นาที ระบบควบคุมเวลาทำงาน ผลการประเมิน พบว่า อยู่ในพิสัยความคลาดเคลื่อน ± 30 วินาที ระบบควบคุมอุณหภูมิ ผลการประเมิน พบว่า อยู่ในพิสัยความคลาดเคลื่อน ± 3 องศาเซลเซียส ความเที่ยงตรงของระบบการทำงานของเครื่องกวนสารเคมีทั้ง 3 ระบบ ผ่านเกณฑ์ และสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้

2. ด้านสมรรถนะของเครื่องกวนสารเคมี 3 ด้าน ประกอบด้วย สมรรถนะของระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวน ผลการประเมิน พบว่า อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.40$ ระบบควบคุมเวลาทำงาน ผลการประเมิน พบว่า อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.24$ ระบบควบคุมอุณหภูมิ ผลการประเมิน พบว่า อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.28$ โดยรวมด้านสมรรถนะของเครื่องกวนสารเคมี ทั้ง 3 ด้าน อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.32$ ผ่านเกณฑ์ และสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้

3. ด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกวนสารเคมีทั้ง 3 ด้าน ประกอบด้วย ด้านโครงสร้างของตัวเครื่องกวนสารเคมี ผลการประเมิน พบว่า อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.36$ ด้านความเหมาะสมในการใช้งาน ผลการประเมิน พบว่า อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.12$ และด้านการบำรุงรักษา ผลการประเมิน พบว่า อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.28$ โดยรวมด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกวนสารเคมีทั้ง 3 ด้าน อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.25$ ผ่านเกณฑ์ และสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้

Development of Chemical Magnetic Stirrer for Scientific Laboratory

AN ABSTRACT
BY
SUWAT VONGCHAMPA

Presented in partial fulfillment of the requirements
for the Master of Education degree in Industrial Education
at Srinakharinwirot University
September 2003

Suwat Vongchampa (2003). ***Development of Chemical Magnetic Stirrer for Scientific Laboratory.***
Master thesis, M.Ed. (Industrial Education) Bangkok : Graduate School, Srinakharinwirot
University, Advisor Committee : Dr Pairust Vongyuttakrai, Mr. Ophat Sukwan.

The purposes of this study was to Develop Chemical Magnetic Stirrer for Scientific Laboratory. The development of chemical stirring machine was developed from the traditional chemical stirring machine that was stirred by hand. The chemical stirring machine were used 2 permanent magnets as driving forces. The first magnet was inside the engine that was the driver by using motor. The second magnet was in the chemical-substance container and it will rotates according to the first steering magnet and it will makes the chemical substance inside the container rotate as well corresponding to driving force. The operating system of the Chemical Magnetic Stirrer consists of rotate-speed controlling system, timing running system and the system controlling temperature. These three systems were control by electronic set, which uses Biginer's All-purpose Symbolic Instruction Code (BASIC) language computer to command operation system. The structure design and material are emphasized on the usage of domestic material. The purposes of this developing chemicals stirring machine for scientific Laboratory were focus on. 1) Validity of the chemicals stirring operating system. 2) Performance of the chemicals stirring machine. 3) Physical of the chemicals stirring machine. These three areas were evaluated by 5 experts and the results as follow:

1. The Validity of the chemicals stirring operating system were measure in three areas. First is the speed and It is found that it was in the deviation range of ± 5 round per minute. Second is the timing and It is found that it was in deviation range of ± 30 seconds. Third is the temperature and It is found that it was in the deviation range of ± 3 degree Celsius. The validity systems of the chemicals stirring machine was corresponds to the research hypothesis.

2. The Performance of the chemicals stirring machine were examining in 3 areas. First is the speed control of rotating and it is found that it was in a good criteria $\bar{x} = 4.40$. Second is the timing system and it is found that it was in a good criteria $\bar{x} = 4.24$. Third is the temperature controlling system and it is found that it was in a good criteria $\bar{x} = 4.28$. The performance of the chemicals stirring machine were examining in 3 areas was corresponds to the research hypothesis.

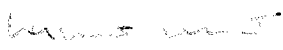
3. The Physical of the chemicals stirring machine were evaluated in three areas. First is the structure and it is found that it was in good criteria $\bar{x} = 4.36$. Second is the working performance and it was found that it was in good criteria $\bar{x} = 4.12$. Third is the maintenance and it was found that it was in good criteria $\bar{x} = 4.28$. The physical of the chemicals stirring machine in 3 areas were corresponds to the research hypothesis.

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง

การพัฒนาเครื่องกวนสารเคมีด้วยแรงแม่เหล็ก สำหรับปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์

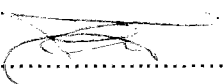
ของ
นายสุวัฒน์ วงษ์จำปา

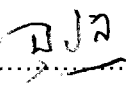
ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ


.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.นภาพร หะวานนท์)
วันที่ ๑๐ เดือน ธันวาคม พ.ศ. ๒๕๕๖

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์


.....ประธาน
(อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร)


.....กรรมการ
(อาจารย์ไอลาส สุขหวาน)


.....กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(อาจารย์ ดร.อุปวิทย์ สุคันธกุล)


.....กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ถนอมสิน ดิสถาพร)

ประกาศการได้รับทุน

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การพัฒนาเครื่องกวนสารเคมีด้วยแรงแม่เหล็ก สำหรับปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์
ฉบับนี้ ได้รับทุนสนับสนุนการศึกษาค้นคว้า จาก สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.)
กระทรวงศึกษาธิการ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ณ โอกาสนี้ด้วย

สุวัฒน์ วงษ์จำปา

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์เรื่องการพัฒนาเครื่องกวนสารเคมีด้วยแรงแม่เหล็ก สำหรับปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ ฉบับนี้ สำเร็จลงด้วยความอนุเคราะห์ ให้คำปรึกษา และข้อเสนอแนะต่างๆ จาก อาจารย์ ดร.อุปวิทย์ สุวคันทรกุล อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกรและอาจารย์โอภาส สุขหวาน ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้สอนประจำสาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ละเอียด รักษ์เผ่า ผู้ช่วยศาสตราจารย์ถนอมสิน ดิสถาพร และอาจารย์วิโรจน์ เอ็งสุโสภณ ที่เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจคุณภาพเครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับการวิจัย

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ชูเกียรติ ชัยชนะดารา ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวัฒน์ อัจฉริยะนนท์ อาจารย์ณรงค์ศิลป์ ฐูปพนม อาจารย์ภาณุธร เนตะวงศ์ และรองศาสตราจารย์ประเสริฐ ศรีไพโรจน์ ที่เป็นผู้เชี่ยวชาญในการวัดและประเมินผลเครื่องกวนสารเคมี

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่สาขาออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทุกๆท่านที่ให้การสนับสนุนจนทำให้การวิจัยประสบผลสำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณณรงค์ แสงแก้ว คุณสุริยา พรหมจิตร ที่ให้คำแนะนำ เป็นที่ปรึกษาการออกแบบ เขียนแบบระบบควบคุมด้วยชุดอิเล็กทรอนิกส์ เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษาเบสิกและตรวจสอบระบบควบคุมการทำงานของเครื่องกวนสารเคมีด้วยแรงแม่เหล็ก

ขอขอบพระคุณ อาจารย์สมพร วาสะศิริ อาจารย์รังสรรค์ พลสมัคร คุณประกอบ บัดถามังและนิสิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ รุ่นที่ 9 (ภาคพิเศษ) ที่สนับสนุน จนทำให้การวิจัยประสบผลสำเร็จได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณและน้อมรำลึกถึงพระคุณบิดา-มารดา พี่ น้องอันเป็นที่รักและเคารพยิ่ง พระคุณอันประเสริฐหาที่เปรียบมิได้

สุวัฒน์ วงษ์จำปา

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง.....	1
จุดมุ่งหมายของการวิจัย.....	3
ความสำคัญของการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
เครื่องกวนสารเคมีด้วยแรงแม่เหล็ก.....	3
ตัวแปรที่ศึกษา.....	4
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	4
กรอบแนวคิดการวิจัย.....	6
สมมติฐานการวิจัย.....	7
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
ทักษะปฏิบัติการกระบวนการทางวิทยาศาสตร์.....	8
ลักษณะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์พื้นฐาน.....	8
ลักษณะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูงหรือขั้นบูรณาการ.....	9
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเครื่องกวนสารเคมี.....	18
เครื่องกวนสารเคมีในกระบวนการเรียนการสอน.....	18
ชนิดของเครื่องกวนสารเคมี.....	21
เครื่องกวนแบบรอบต่ำ ทนงานหนักใช้เพื่อทอด.....	21
เครื่องกวนแบบรอบสูง.....	22
เครื่องกวนแบบปรับความเร็วรอบได้.....	23
เครื่องกวนในเส้นท่อแบบนิ่ง.....	23
เครื่องกวนแบบกวนข้างถัง.....	24
เครื่องกวนแบบติดกันถัง.....	25
เครื่องกวนแบบใช้ในห้องทดลอง.....	25
กระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์และพัฒนาเครื่องกวนสารเคมี.....	29
การออกแบบผลิตภัณฑ์.....	29
การพัฒนามีผลิตภัณฑ์.....	31
ระบบการพัฒนามีผลิตภัณฑ์.....	31
การจัดองค์ประกอบสำหรับพัฒนามีผลิตภัณฑ์.....	33
ขั้นตอนหลักในการพัฒนามีผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.....	33
การออกแบบทางวิศวกรรม.....	34
ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องกวนสารเคมี.....	34
ชุดอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมการเปิดมอเตอร์.....	35

สารบัญ(ต่อ)

บทที่		หน้า
2 (ต่อ)	ชุดทำความร้อนและอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ.....	39
	ชุดอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมเวลา.....	48
	ระบบควบคุมอัตโนมัติ.....	50
	ระบบพื้นฐานคอมพิวเตอร์.....	52
	ระบบภายในคอมพิวเตอร์.....	53
	ระบบเชื่อมโยงภายในคอมพิวเตอร์.....	54
	ไมโครโปรเซสเซอร์.....	56
	ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	57
	วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเครื่องกวนสารเคมี.....	61
	มอเตอร์ไฟฟ้า.....	62
	แม่เหล็ก.....	66
	เหล็กกล้า.....	75
	อะลูมิเนียม.....	76
	เหล็กกล้าไร้สนิม.....	77
	ชุดเฟืองทด.....	78
	เทอร์โมคัปเปิล.....	80
	ทฤษฎีเรื่องสมรรถนะและประสิทธิภาพ.....	87
	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	90
3	วิธีการดำเนินการวิจัย.....	97
	ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	97
	สถานที่และระยะเวลาในการวิจัย.....	107
	วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	107
	การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	107
	การเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	110
4	ผลการทดลอง.....	111
	ผลการวัดความเที่ยงตรงของระบบการทำงาน.....	112
	ผลการประเมินสมรรถนะเครื่องกวนสารเคมี.....	115
	ผลการประเมินผลด้านกายภาพทั่วไป.....	120
	ผลการวิเคราะห์ตามสมมติฐานที่ตั้งไว้.....	125

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	126
จุดมุ่งหมายการวิจัย.....	126
ความสำคัญของการวิจัย.....	126
สมมติฐานการวิจัย.....	126
การดำเนินการวิจัย.....	126
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	128
สรุปผลการวิจัย.....	128
อภิปรายผล.....	131
ข้อเสนอแนะ.....	135
บรรณานุกรม.....	136
ภาคผนวก.....	142
ก. หนังสือขอความอนุเคราะห์.....	143
ข. เครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูล	151
ค. ภาพเขียนแบบส่วนประกอบของเครื่องกวนสารเคมี.....	164
ง. รายการวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้าง.....	174
จ. รายการเครื่องมือที่ใช้สร้างเครื่องกวนสารเคมี.....	177
ฉ. ภาพส่วนประกอบและการทดสอบระบบการทำงานของเครื่อง.....	179
ช. ผลการประเมินเครื่องกวนสารเคมีของผู้เชี่ยวชาญ.....	183
ซ. คู่มือการใช้เครื่องกวนสารเคมี.....	190
ณ. คุณสมบัติของ Microcontroller Ship รุ่น PIC16F877.....	204
ประวัติย่อผู้เชี่ยวชาญ.....	210
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	213

บัญชีตาราง

	หน้า
ตาราง	
1 ประเภทและสถานะของสารละลาย.....	13
2 ความเข้มข้นและจุดเดือดของสารละลาย.....	16
3 จุดหลอมเหลวหรือจุดเยือกแข็งของสารละลาย.....	17
4 ความหนืดของของเหลวชนิดต่าง ๆ.....	22
5 แสดงการทนทานต่อการกัดกร่อนต่อสารเคมีชนิดต่าง ๆของวัสดุที่ใช้ทำถังและแกนเครื่องกวน.....	26
6 ข้อเปรียบเทียบคุณสมบัติของอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ.....	44
7 ค่าพิถีความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดอุณหภูมิยี่ห้อต่าง ๆ.....	46
8 ไมโครโปรเซสเซอร์เบอร์ต่าง ๆและความถี่สัญญาณนาฬิกา.....	57
9 ชนิดต่าง ๆของมอเตอร์แบ่งตามมาตรฐานของ NEMA.....	66
10 หน่วยวัดแรงแม่เหล็ก.....	73
11 แม่เหล็กที่ใช้ในงานวิศวกรรม	74
12 คุณสมบัติของอะลูมิเนียม.....	77
13 ค่าความไว (S) ของเทอร์โมคัปเปิลในช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ.....	83
14 เปรียบเทียบเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานต่าง ๆ กับย่านอุณหภูมิใช้งานและแรงเคลื่อนไฟฟ้า.....	84
15 เปรียบเทียบเงื่อนไขบรรยากาศการใช้งานของเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐานแบบต่าง ๆ.....	85
16 ค่าความคลาดเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิล.....	86
17 การใช้งานเครื่องกวนสารเคมีในกระบวนการทดลองทางวิทยาศาสตร์.....	94
18 เกณฑ์การวัดความเที่ยงตรงระบบการทำงานของเครื่องกวนสารเคมี.....	105
19 ความเที่ยงตรงของระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวน.....	112
20 ความเที่ยงตรงของระบบควบคุมเวลาทำงาน.....	113
21 ความเที่ยงตรงของระบบควบคุมอุณหภูมิ.....	114
22 สมรรถนะของเครื่องกวนสารเคมีของทุก ๆ หัวข้อ.....	115
23 สมรรถนะของระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวน.....	116
24 สมรรถนะของระบบควบคุมเวลาทำงาน.....	117
25 สมรรถนะของระบบควบคุมอุณหภูมิ.....	118
26 ข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญด้านการประเมินสมรรถนะ.....	119
27 ด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกวนสารเคมีของทุก ๆ หัวข้อ.....	120
28 ด้านโครงสร้างของตัวเครื่อง.....	121
29 ด้านความเหมาะสมในการใช้งาน.....	122
30 ด้านการบำรุงรักษา.....	123

บัญชีตาราง(ต่อ)

	หน้า
ตาราง	
31 ข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญในการประเมินด้านกายภาพทั่วไป.....	124
32 ผลการวัดระบบควบคุมความเร็วรอบในกวน.....	184
33 ผลการวัดระบบควบคุมเวลาทำงาน.....	184
34 ผลการวัดระบบควบคุมอุณหภูมิ.....	185
35 ผลการประเมินสมรรถนะของระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวน.....	186
36 ผลการประเมินด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกวนสารเคมี.....	187

บัญชีภาพประกอบ

	หน้า
ภาพประกอบ	
1 กรอบแนวคิดการวิจัย.....	6
2 ตรรกวิทยา ปรัชญาและคณิตศาสตร์.....	10
3 ความสัมพันธ์ระหว่างวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.....	11
4 ความสัมพันธ์ของวิชาเคมีกับวิชาฟิสิกส์ ชีววิทยาและธรณีวิทยา.....	12
5 วิธีหาจุดเดือดของของเหลว.....	15
6 อุปกรณ์ศึกษาความดันของของเหลว.....	19
7 การไทเทรตด้วยเครื่องวัด พีเอช.....	20
8 เครื่องกวนแบบความเร็วรอบสูง.....	23
9 แกนใบพัดเครื่องกวนในเส้นท่อแบบหนึ่ง.....	24
10 มุมการติดตั้งเครื่องกวนแบบเข้าข้างถึง.....	25
11 เครื่องกวนแบบมีหลายใบพัดและลักษณะการติดตั้ง.....	27
12 ขั้นตอนการพัฒนาผลิตภัณฑ์.....	32
13 การเปิดมอเตอร์โดยวิธีลดค่าแรงดันไฟฟ้า.....	36
14 การควบคุมแรงดันอาร์เมเจอร์.....	37
15 แผนภาพควบคุมตำแหน่ง.....	38
16 ลักษณะของลวดความร้อนแบบทิวบิวลาร์.....	41
17 ลักษณะการต่อลวดความร้อนเพื่อใช้งาน.....	41
18 การต่อลวดความร้อนแบบเส้นกับหลักเสียบข้อต่อ.....	42
19 การใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ควบคุมอุณหภูมิ.....	47
20 ลักษณะความสัมพันธ์ของระดับอุณหภูมิกับที่วัดได้กับอุณหภูมิที่ควบคุม.....	47
21 แผนผังโปรแกรมที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิ.....	48
22 การใช้ไอซีเป็นวงจรตั้งเวลา.....	49
23 วงจรเครื่องตั้งเวลาแบบดิจิตอล.....	49
24 แผนผังของวงจรตั้งเวลาแบบแอลเอสไอที่ตั้งโปรแกรมได้.....	50
25 โครงสร้างของระบบควบคุมอัตโนมัติ.....	51
26 โครงสร้างของระบบคอมพิวเตอร์.....	53
27 แบบจำลองคอมพิวเตอร์กับมนุษย์.....	54
28 การเชื่อมโยงส่วนต่างๆภายในเครื่องคอมพิวเตอร์.....	55
29 ระบบไมโครโปรเซสเซอร์.....	59
30 ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์.....	60
31 หลักการทำงานของมอเตอร์.....	63
32 (ก) การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในอะตอมก่อให้เกิดสนามแม่เหล็ก	67
(ข) อิเล็กตรอนสปินเป็นเหตุให้เกิดสนามแม่เหล็กได้อีกทางหนึ่ง.....	67

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

	หน้า
ภาพประกอบ	
33 ลักษณะอิเล็กทรอนิกส์สปินของอิเล็กทรอนิกส์หลายตัว.....	68
34 การดึงดูดกันของขั้วแม่เหล็กต่างขั้วกัน อธิบายด้วยกระแสไฟฟ้าไหลเป็นวงกลมในทิศเดียวกัน.....	68
35 การดึงดูดกันของขั้วแม่เหล็กเหมือนกันอธิบายด้วยกระแสไฟฟ้าไหลเป็นวงกลมในทิศตรงข้ามกัน...	69
36 (ก) ตะปูก่อนนำแท่งแม่เหล็กเข้ามาใกล้ การหมุนของอิเล็กทรอนิกส์รอบตัวเองจะมีทิศต่างกัน.....	69
(ข) เมื่อนำแม่เหล็กเข้ามาใกล้การหมุนจะไปในทิศทางเดียวกัน.....	69
37 แท่งสารรูปทรงกระบอกที่ทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็ก.....	70
38 ด้านหน้าของทรงกระบอกเพื่อให้เห็นลักษณะกระแสมูลฐานภายใน.....	70
39 ลักษณะของเครื่องวัดแรงแม่เหล็ก.....	72'
40 ตัวอย่างแม่เหล็กเซรามิกที่ใช้ในมอเตอร์ประเภทต่าง ๆ.....	74
41 ชุดเฟืองดอกจอก.....	79
42 หลักการทำงานของเทอร์โมคัปเปิล.....	80
43 หลักการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิล.....	81
44 การเพาะเลี้ยงเซลล์แขวนลอยแบบกวน.....	92
45 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย.....	98
46 ขั้นตอนการสร้างเครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูล.....	102
47 ขั้นตอนการวัดความเที่ยงตรงของระบบการทำงาน.....	104
48 ส่วนป้อนข้อมูลและหน้าจอแสดงผล.....	180
49 การตรวจสอบระบบควบคุมการทำงาน.....	180
50 ชุดวงจรควบคุมระบบการทำงานภายในตัวเครื่อง.....	181
51 ส่วนประกอบภายนอกตัวเครื่อง.....	181
52 วิธีการวัดความเร็วรอบในการกวน.....	182
53 วิธีการวัดอุณหภูมิ.....	182
54 เปรียบเทียบเวลา : ความเร็วรอบในการกวน.....	188
55 เปรียบเทียบเวลา : อุณหภูมิที่ผ่านความร้อน : อุณหภูมิที่น้ำ.....	199

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

ตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 9 (2545-2549) รัฐบาลมีนโยบายในการพัฒนาประเทศ ทั้งในด้านอุตสาหกรรม ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เช่น การปรับโครงสร้างการผลิตในภาคอุตสาหกรรม และการส่งเสริมการลงทุนให้สอดคล้องกับเป้าหมายและยุทธศาสตร์ในการพัฒนาประเทศ โดยคำนึงถึงทรัพยากรธรรมชาติ ทักษะฝีมือ ภูมิปัญญาไทย ศักยภาพในการผลิต การตลาด และการใช้วัตถุดิบภายในประเทศ ให้สอดคล้องกับการพึ่งพาจากต่างประเทศ มาตรการเพื่อเพิ่มมูลค่าสินค้าอุตสาหกรรม รวมทั้งส่งเสริมและพัฒนากระบวนการผลิตที่ได้มาตรฐาน การวิจัย พัฒนาผลิตภัณฑ์ พัฒนาเทคโนโลยีระหว่างภาครัฐกับเอกชน และสถาบันการศึกษา รวมทั้งผลักดันให้เกิดเครือข่ายสารสนเทศเกี่ยวกับปัจจัยการผลิต วิจัยการตลาด นโยบายวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี รัฐบาลตระหนักว่าการกอบกู้ภาวะเศรษฐกิจของประเทศให้กลับฟื้นตัวนั้น จำเป็นต้องพึ่งพาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่เหมาะสม (กระทรวงพลังงาน. 2545 : ออนไลน์) การกำหนดเป้าหมายทางด้านคุณภาพของแต่ละองค์กรมีรูปแบบที่แตกต่างกันตามลักษณะของผลิตภัณฑ์ หรือกระบวนการทางธุรกิจ รวมทั้งวิสัยทัศน์ หรือ แนวคิดของผู้บริหารองค์กรนั้นๆ เช่น การกำหนดลักษณะแห่งคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ และการกำหนดเป้าหมายคุณภาพ (ชูชาติ วิรเสณี. 2542 : 27) ทั้งนี้คุณภาพคือความอยู่รอดของสินค้าหรือการบริการ การยอมรับในผลิตภัณฑ์ทั้งในระดับประเทศจนถึงระดับนานาชาติ มาตรฐานด้านคุณภาพ (Quality standard) และคุณภาพ (Quality) เป็นลักษณะโดยรวมของผลิตภัณฑ์หรือการบริการ คุณลักษณะดังกล่าวสามารถทำให้เกิดความพอใจหรือตอบสนองความต้องการของลูกค้า การปรับปรุงคุณภาพจะช่วยให้สามารถเพิ่มส่วนแบ่งของตลาดและลดต้นทุนขององค์กร ซึ่งจะส่งผลโดยตรงให้กำไรขององค์กรเพิ่มขึ้น (ประสงค์ ปรานิตพลกรัง. 2543 : 59-60) ผลิตภัณฑ์ทางอุตสาหกรรม เครื่องมืออุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการทางด้านวิทยาศาสตร์หรือสื่อเทคโนโลยีทางการศึกษา ผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะต้องมีการพัฒนาให้ทันสมัยมีทั้งคุณภาพและมาตรฐาน เนื่องจากวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นเครื่องมือสำคัญที่สุดอย่างหนึ่งในการพัฒนาประเทศ สำหรับประเทศไทยแม้จะได้ชื่อว่าการพัฒนาอุตสาหกรรม ได้นำรายได้ส่วนใหญ่เข้าสู่ประเทศ แต่ก็เป็นที่ยอมรับกันว่า เทคโนโลยีที่ใช้อยู่เป็นเทคโนโลยีนำเข้าจากประเทศอุตสาหกรรมอื่น โดยยังไม่มีการพัฒนาหรือถ่ายทอดเทคโนโลยีเกิดขึ้นภายในประเทศเท่าที่ควร (แผนวิสาหกิจ สสวท. 2541-2544 : 26) จากผลงานการวิจัยของ ขวัญใจ จินดานุรักษ์ (2534 : 112) ที่ได้ศึกษาแนวโน้มของสื่อการสอนวิทยาศาสตร์ประเภทอุปกรณ์ ระดับมัธยมศึกษา ในปี พ.ศ. 2545 ถึงปี พ.ศ. 2555 นั้น พบว่าสื่อการสอนประเภทอุปกรณ์จะมีส่วนประกอบของอิเล็กทรอนิกส์มากกว่าเครื่องกลไก เนื่องจากการพัฒนาระบบอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้อุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในชีวิตประจำวันใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาควบคุมมากขึ้น เพราะมีประสิทธิภาพด้านการให้ผลที่แม่นยำ มีขนาดเล็ก ราคาถูกลง การใช้งานและการเก็บรักษากระทำได้ง่าย

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) เป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบเกี่ยวกับการออกแบบ พัฒนา ผลิตภัณฑ์การเรียนการสอน เครื่องมือและอุปกรณ์ทางการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ส่งเสริมการวิจัยและพัฒนากิจกรรม การจัดให้มีเกณฑ์มาตรฐานของห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์สื่อการเรียนการสอนและบุคลากรสำหรับการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ ในระดับต่างๆ (แผนวิสาหกิจ สสวท. 2541-2544 : 24) ส่งเสริมและดำเนินการค้นคว้า ปรับปรุง และจัดทำแบบเรียน

แบบฝึกหัด เอกสารทางวิชาการและสื่อการเรียนการสอนทุกประเภท ตลอดทั้งประดิษฐ์อุปกรณ์เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และเทคโนโลยี ส่งเสริมการประเมินมาตรฐานการจัดการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (แผนแม่บท สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2545-2549 : 10) เพื่อให้สอดคล้องกับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ที่เน้นถึงความสำคัญของการใช้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาประเทศ เนื่องจากวิทยาศาสตร์เป็นวิชาที่ประกอบด้วยความรู้และกระบวนการแสวงหาความรู้ ในกระบวนการแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ นักวิทยาศาสตร์ได้ใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ เช่น การค้นคว้าทดลองในขณะที่ทำการทดลอง ผู้ทดลองมีโอกาสฝึกฝนทั้งในด้านการปฏิบัติและพัฒนาด้านความคิดด้วย พฤติกรรมที่เกิดขึ้นในกระบวนการนี้เรียกว่าทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นกระบวนการทางปัญญา เช่น การฝึกสังเกต การบันทึกข้อมูล การตั้งสมมติฐาน และการทดลอง (ภพ เลหาไฟบูลย์. 2542 : 30) การที่จะทำให้ผู้เรียนประสบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้านวิทยาศาสตร์ได้นั้น องค์ประกอบของการเรียนที่สำคัญอย่างหนึ่งคือ ห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์และเครื่องมือทดลองทางวิทยาศาสตร์ที่ได้มาตรฐาน (เอกสารห้องปฏิบัติการและอุปกรณ์วิชาวิทยาศาสตร์ระดับโรงเรียน. 2543 : 8) การทดลองหรือการวิจัยทางวิทยาศาสตร์หลายอย่างที่จะต้องกระทำในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิคงที่เช่น การหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี การหาน้ำหนักโมเลกุล การหาปริมาณความร้อน มีเครื่องมือหลายชนิดที่จำเป็นต้องมีการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ ที่เที่ยงตรง เพื่อประสิทธิผลของการทดลองนั้นๆ (พจนารจ ลือเดชาวุฒิไกร. 2529 : 1) ผู้วิจัยมีความมุ่งหวังให้ภาระกิจหลักดังกล่าวของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท) บรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้ จึงเกิดแนวคิดที่จะศึกษาปัญหา คิดค้น ปรับปรุง พัฒนาเครื่องมือและอุปกรณ์ให้มีความทันสมัยได้มาตรฐานอยู่เสมอ ในกระบวนการเรียนการสอน งานวิจัย หรือปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีความพร้อมของเครื่องมืออุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพและคุณภาพที่ได้มาตรฐาน มีเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาช่วยในการทำงาน เพื่อลดข้อผิดพลาดในกระบวนการทำงาน เครื่องมือที่ใช้ในการผสมสารเคมีหรือสารละลายเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญ ที่สามารถช่วยให้ผู้สอน นักเรียนหรือนักวิจัย มีความสะดวกในการเตรียมสารเคมี หรือผสมสารเคมีต่างๆ ที่จะนำไปใช้ทดลองในลำดับต่อไป

เครื่องกวนสารเคมีด้วยแรงแม่เหล็ก ก็เป็นเครื่องมืออีกอย่างหนึ่งที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทางเคมีในสถาบันการศึกษาและห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ทั่วไป เครื่องที่มีอยู่ในปัจจุบันต้องนำเข้าจากต่างประเทศ เครื่องกวนสารเคมีที่มีจำหน่ายในประเทศโดยทั่วไปเป็นเครื่องที่มีขนาดเล็กและมีราคาค่อนข้างสูง ผู้วิจัยได้ศึกษาระบบการทำงานและทดลองใช้เครื่องดังกล่าวสำหรับปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์แล้วพบว่า เครื่องดังกล่าวมีคุณลักษณะไม่สอดคล้องกับความต้องการใช้งานที่จำเป็นบางประการ เช่น ใช้กวนสารเคมีในแต่ละครั้งได้ในปริมาณที่จำกัด ไม่มีระบบควบคุมการปิดเครื่องอัตโนมัติ ไม่มีระบบสัญญาณเตือนเมื่อเครื่องกวนสารเคมีเสร็จสมบูรณ์ ไม่มีระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติอยู่ภายในตัวเครื่องเดียวกัน ซึ่งระบบเหล่านี้มีความจำเป็นอย่างยิ่งในด้านการควบคุมมาตรฐานในการผสมสารเคมีแต่ละครั้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ การกวนสารเคมี สารละลายหรือของเหลวโดยใช้มือและใช้วัสดุ เช่น แท่งแก้ว สำหรับกวนสารให้เป็นเนื้อเดียวกันนั้น การทำงานในห้องปฏิบัติการอาจเกิดอุบัติเหตุได้หากไม่ระมัดระวัง สารเคมีหลายชนิดเป็นพิษและบางชนิดจัดเป็นวัตถุอันตราย สารกัมมันตรังสี เป็นอันตรายถึงชีวิตได้ทั้งระยะสั้นและระยะยาว กรดและด่างเข้มข้นมีฤทธิ์กัดกร่อน สารบางชนิดเป็นวัตถุที่อาจระเบิดได้ (ทิพาพร ลิ้มปเสนีย์. 2541 : 3) สารบางชนิดต้องใช้เวลานานในการกวน ใช้ความร้อนและต้องใช้อัตราความเร็วในการกวนที่คงที่ตามเวลาที่กำหนด เพราะสารเคมีมีทั้งสารไวไฟที่เป็นของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ในการปฏิบัติการทางเคมีนั้นอาจทำให้เกิดอันตรายต่อผิวหนังทั้งทางตรงและทางอ้อมหรืออาจเกิดอุบัติเหตุในขณะที่ทำการทดลองได้ เช่น บาดแผลที่เกิดจากเครื่องแก้วขาด การไหม้พองเนื่องจากการจับอุปกรณ์ที่ร้อนจัด ผิวหนังถูกกรดเข้มข้น (จักรพันธ์ุ์ ปัจจะสุวรรณ. 2542:3) จากรายงานการวิจัยของ อลิศรา ชูชาติ (2542 : 82) พบว่าครูวิทยาศาสตร์ยังมีข้อจำกัดในเรื่องทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ดังจะพบได้จากการที่ครูยังขาดความชำนาญในการใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์การทดลองบางชนิด ทั้งนี้ ยังไม่รวมถึงในเรื่องการผลิตสื่อ การจัดเก็บวัสดุอุปกรณ์ สารเคมี

การดูแลห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ด้วยเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องกวนสารเคมีจากระบบที่ปรับด้วยมือ (Manual) เป็นระบบอัตโนมัติ (Automatic system) ขึ้น ซึ่งประกอบด้วยระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวนแบบอัตโนมัติด้วยแรงแม่เหล็ก ระบบควบคุมเวลาการปิดเครื่องอัตโนมัติ ระบบสัญญาณเตือนเมื่อเครื่องกวนสารเสร็จสมบูรณ์ ระบบควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งระบบดังกล่าวควบคุมการทำงานโดยชุดอิเล็กทรอนิกส์ ระบบเหล่านี้จะช่วยควบคุมอัตราส่วนและมาตรฐานในการผสมสารแต่ละครั้งให้เท่าเทียมกัน เพื่ออำนวยความสะดวกและผสมสารเคมีได้ในปริมาณที่มากขึ้นในขั้นตอนการเตรียมสารผสมต่างๆที่จะนำมาใช้เพื่อการทดลองทางด้านวิทยาศาสตร์ เพื่อให้ครูผู้สอน นักเรียนหรือนักวิจัยที่ปฏิบัติการทดลองทางวิทยาศาสตร์ใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีความปลอดภัย ดำเนินการปฏิบัติการได้อย่างมีประสิทธิภาพ (สุวิมล เขียวแก้ว, 2527 : 4) หากเครื่องมือที่ใช้มีคุณภาพด้วยแล้ว ยังจะทำให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ข้อเท็จจริงจากการปฏิบัติการทดลองที่ได้ผลเที่ยงตรง แม่นยำ แต่การทดลองเพื่อให้ได้ข้อเท็จจริงนั้นต้องใช้วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือและมีห้องปฏิบัติเพื่อการนี้โดยเฉพาะ (วิมาน วรณคำ, 2539 : 108) เครื่องกวนสารเคมีด้วยแรงแม่เหล็กที่พัฒนาใหม่นี้ สามารถนำไปใช้ในห้องทดลองทางวิทยาศาสตร์ในสถาบันการศึกษา ห้องปฏิบัติการทางการแพทย์และห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ทั่วไปได้ ที่สำคัญเป็นการส่งเสริมกระบวนการคิดค้น พัฒนาเทคโนโลยีใหม่ พัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพและมาตรฐาน ทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ ตามนโยบายของรัฐบาลที่มุ่งเน้นการเพิ่มมูลค่าให้ผลิตภัณฑ์ การผลิตสินค้าให้ได้มาตรฐาน ใช้ทรัพยากรภายในประเทศอย่างคุ้มค่า โดยอาศัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

จุดมุ่งหมายของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตั้งจุดมุ่งหมายไว้ ดังนี้

1. เพื่อวัดความเที่ยงตรงของระบบการทำงานของเครื่องกวนสารเคมี
2. เพื่อประเมินสมรรถนะของเครื่องกวนสารเคมี
3. เพื่อประเมินด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกวนสารเคมี

ความสำคัญของการวิจัย

ได้เครื่องกวนสารเคมีด้วยแรงแม่เหล็กที่มีระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวน ระบบควบคุมเวลาทำงาน และระบบควบคุมอุณหภูมิอยู่ภายในเครื่องเดียวกัน สามารถนำไปใช้สำหรับกระบวนการเรียนการสอนและปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีความปลอดภัย

ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาค้นคว้าในครั้งนี้ ได้กำหนดขอบเขตไว้ ดังนี้

1. เครื่องกวนสารเคมีด้วยแรงแม่เหล็ก จำนวน 1 เครื่อง ชนิดของเครื่องกวนสารเคมีเป็นแบบตั้งโต๊ะ ตัวเครื่องทำจากแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม หนา 1 มม.ขนาดโครงสร้างตัวเครื่อง 500 × 500 × 200 มม. กวนสารเคมีได้สูงสุด 4000 ซีซี. มีรายละเอียดดังนี้

1.1 ชุดอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมความเร็วรอบในการกวน สามารถปรับความเร็วรอบในการกวนสารเคมีตั้งแต่ 30 - 800 รอบ/นาที ระบบตั้งเวลาปิดการทำงานอัตโนมัติ สามารถตั้งเวลาการทำงานได้ตั้งแต่ 1-90 นาที ระบบควบคุมอุณหภูมิสามารถปรับระดับความร้อนที่ชุดแผ่นความร้อนได้ตั้งแต่อุณหภูมิห้อง-400 องศาเซลเซียส ชุดแผ่นความร้อนแต่ละชุด แยกกระบวนการกวน ระบบการตั้งเวลาและระบบควบคุมอุณหภูมิเป็นอิสระจากกัน และสามารถตั้งให้ทั้ง 3 ระบบทำงานพร้อมกันได้

1.2 ชุดแผ่นความร้อน (Hot Plate) สำหรับวางภาชนะกวนสารเคมี ใช้อะลูมิเนียมและเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) ขนาด 200×200×30 มม. จำนวน 2 ชุด แต่ละชุดรองรับภาชนะใส่สารเคมีได้ทั้งหมด 3 ขนาด คือ ขนาด 200–400 ซีซี. ขนาด 500–1000 ซีซี. และขนาด 1000–2000 ซีซี. โดยแผ่นความร้อนแต่ละชุดรองรับภาชนะใส่สารเคมีดังกล่าวได้ ครั้งละ 1 ขนาดต่อการใช้งานแต่ละครั้ง

1.3 ชุดเสาดึงเอนกประสงค์ จำนวน 2 ชุด ใช้เหล็กกล้าไร้สนิมขนาด Ø 15 มม. ยาว 500 มม. มีชุดข้อต่อและมือจับงาน สำหรับจับหลอดแก้ว เทอร์โมมิเตอร์ หรือหัววัดค่าความเข้มข้นของสารเคมีต่างๆ ชุดที่ I เลื่อนขึ้นหรือเลื่อนลงได้แบบกึ่งอัตโนมัติ และ ชุดที่ II เป็นแบบปรับด้วยมือ

2.คู่มือการใช้เครื่องกวนสารเคมีด้วยแรงแม่เหล็ก คู่มือการใช้เครื่องกวนสารเคมี ประกอบด้วย ส่วนประกอบหลักของเครื่องกวนสารเคมี การใช้งานเครื่องกวนสารเคมี การจัดเก็บและบำรุงรักษาเครื่องกวนสารเคมี คุณลักษณะทางเทคนิคของเครื่องกวนสารเคมีและข้อควรระวังเกี่ยวกับการใช้เครื่องกวนสารเคมี

3.ตัวแปรที่ศึกษา การวิจัยเชิงทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปรที่จะศึกษา คือ ด้านความเที่ยงตรงของระบบการทำงานของเครื่องกวนสารเคมีจำนวน 3 ระบบ ด้านสมรรถนะของเครื่องกวนสารเคมีจำนวน 3 ด้าน และด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกวนสารเคมีจำนวน 3 ด้าน ดังนี้

3.1 ด้านความเที่ยงตรงของระบบการทำงาน

- 3.1.1 ความเที่ยงตรงของระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวน
- 3.1.2 ความเที่ยงตรงของระบบควบคุมเวลาทำงาน
- 3.1.3 ความเที่ยงตรงของระบบควบคุมอุณหภูมิ

3.2 สมรรถนะของเครื่องกวนสารเคมี

- 3.2.1 สมรรถนะของระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวน
- 3.2.2 สมรรถนะของระบบควบคุมเวลาทำงาน
- 3.2.3 สมรรถนะของระบบควบคุมอุณหภูมิ

3.3 ด้านกายภาพทั่วไป

- 3.3.1 ด้านโครงสร้างของเครื่อง
- 3.3.2 ด้านความเหมาะสมในการใช้งาน
- 3.3.3 ด้านการบำรุงรักษา

4. นิยามศัพท์เฉพาะ

4.1 เครื่องกวนสารเคมีด้วยแรงแม่เหล็ก หมายถึง เครื่องมือสำหรับกวนของเหลวที่ใช้ในกระบวนการทดลองทางวิทยาศาสตร์ ให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกันและ หรือให้ความร้อนแก่สารเคมีเพื่อปฏิบัติปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้น วิธีการกวนโดยอาศัยแรงของแม่เหล็กถาวรสองแท่งดูดและผลักกัน โดยแม่เหล็กตัวขับเคลื่อนล่างถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ทำการส่งแรงแม่เหล็กไปดูดและผลักแท่งแม่เหล็กตัวบนที่อยู่ในภาชนะใส่สารเคมี แท่งแม่เหล็กตัวบนจะพาเนื้อสารเคมีให้หมุนวนตามแรงหมุนของอำนาจแม่เหล็กจึงทำให้สารเคมีผสมกันโดยอัตโนมัติ ระบบการทำงานควบคุมด้วยตัวชุดอิเล็กทรอนิกส์ ประกอบด้วย ชุดควบคุมความเร็วรอบในการกวน ชุดควบคุมเวลาทำงาน ชุดควบคุมอุณหภูมิและชุดแผ่นโลหะสำหรับให้ความร้อนในระหว่างการกวนสารเคมีต่างๆ

4.2. ปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง กระบวนการทดลอง สาธิตต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้เครื่องกวนและให้ความร้อนแก่สารเคมี เพื่อดูปฏิกิริยาของสารเคมีที่เป็นของเหลว หรือของสารละลายชนิดต่างๆ และการเตรียมสารที่เป็นของเหลวเพื่อนำไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

4.3 ความเที่ยงตรงของระบบการทำงาน ประกอบด้วย 3 ระบบ ดังนี้

4.3.1 ระบบความเร็วรอบในการกวน หมายถึง ผลจากการวัดความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ใช้ขับแม่เหล็กตัวขับที่ติดอยู่แกนของมอเตอร์ ความเร็วรอบโดยเฉลี่ย อยู่ในพิสัยความคลาดเคลื่อน ± 5 รอบ/นาที

4.3.2 ระบบควบคุมเวลาทำงาน หมายถึง ผลจากการจับเวลาปิดเครื่องอัตโนมัติ ตามเวลาที่ตั้งไว้โดยเฉลี่ยอยู่ในพิสัยความคลาดเคลื่อน ± 30 วินาที

4.3.3 ระบบควบคุมอุณหภูมิ หมายถึง ผลจากการวัดอุณหภูมิที่ตั้งไว้โดยเฉลี่ย อยู่ในพิสัยความคลาดเคลื่อน ± 3 องศาเซลเซียส

4.4 สมรรถนะของเครื่องกวนสารเคมี หมายถึง ความสามารถในการทำงานของเครื่องกวนสารเคมีในแต่ละด้านซึ่งตรวจสอบและประเมินคุณสมบัติที่สำคัญต่างๆ โดยผู้เชี่ยวชาญ และใช้แบบประเมินสมรรถนะเครื่องกวนสารเคมีที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ได้จัดกลุ่มของสมรรถนะด้านต่างๆ ไว้ 3 ด้าน ดังนี้

4.4.1 สมรรถนะของระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวน หมายถึง ความสามารถของชุดอิเล็กทรอนิกส์ที่ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ สำหรับการปรับ และตั้งค่าความเร็วรอบในการกวนที่คงที่และปรับตั้งความเร็วรอบในการกวนได้ตามความต้องการ

4.4.2 สมรรถนะของระบบควบคุมเวลาทำงาน หมายถึง ความสามารถของของระบบตั้งเวลาที่ควบคุมด้วยชุดอิเล็กทรอนิกส์ในการปรับ ตั้งเวลาให้เครื่องทำงานและปิดการทำงานได้อย่างเที่ยงตรงตามเวลาที่กำหนดไว้

4.4.3 สมรรถนะของระบบควบคุมอุณหภูมิ หมายถึง ความสามารถของชุดอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่ควบคุมชุดลดความร้อนที่แผ่ให้ความร้อน ระบบดังกล่าวสามารถปรับ ตั้งอุณหภูมิให้เครื่องกำเนิดพลังงานความร้อนได้อย่างเที่ยงตรงตามอุณหภูมิที่ต้องการใช้งาน

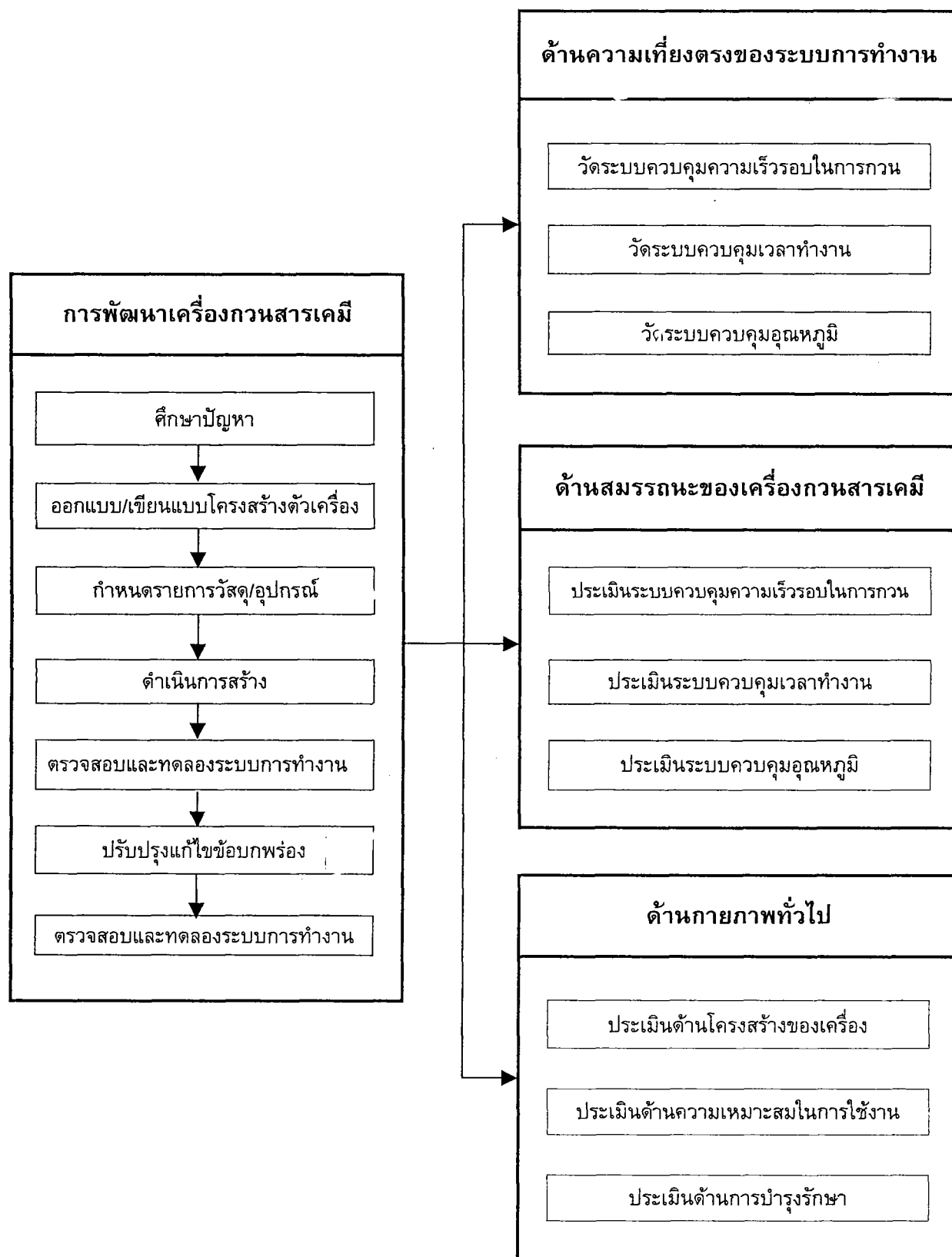
4.5 ด้านกายภาพทั่วไป ประกอบด้วยลักษณะต่างๆ รวม 3 ด้าน คือ

4.5.1 ด้านโครงสร้างของเครื่อง หมายถึง การออกแบบตัวเครื่อง การเลือกวัสดุสำหรับผลิตชิ้นส่วนต่างๆ อย่างเหมาะสม การป้องกันสารเคมีหรือของเหลวอื่นๆ เข้าไปทำความเสียหายให้กับชุดวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายในตัวเครื่อง

4.5.2 ด้านความเหมาะสมในการใช้งาน หมายถึง มีอุปกรณ์อำนวยความสะดวก ใช้งานง่าย เคลื่อนย้ายได้ง่าย มีความคล่องตัวในการใช้ในห้องปฏิบัติการทดลองทางวิทยาศาสตร์หรือในห้องเรียน

4.5.3 ด้านการบำรุงรักษา หมายถึง มีความสะดวกในการจัดเก็บ การทำความสะอาด เนื่องจากตัวเครื่องและชิ้นส่วนต่างๆ ได้เลือกวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี ไม่เป็นสนิม และวัสดุอุปกรณ์มีจำหน่ายภายในประเทศ

กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

สมมติฐานการวิจัย

1. ความเที่ยงตรงของระบบการทำงานของเครื่องกววนสารเคมี อยู่ในพิกัดความคลาดเคลื่อนตามเกณฑ์ที่กำหนด
2. ด้านสมรรถนะของเครื่องกววนสารเคมี อยู่ในเกณฑ์ ดี
3. ด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกววนสารเคมี อยู่ในเกณฑ์ ดี

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ตามหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้

1. ทักษะปฏิบัติการกระบวนการทางวิทยาศาสตร์
2. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเครื่องกลนสารเคมี
3. กระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์และพัฒนาเครื่องกลนสารเคมี
4. วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเครื่องกลนสารเคมี
5. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสมรรถนะและประสิทธิภาพ
6. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ทักษะปฏิบัติการกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

ลักษณะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เป็นกระบวนการทางปัญญา (Intellectual Skills) ที่นักวิทยาศาสตร์และผู้ที่เกี่ยวข้องกับการทางวิทยาศาสตร์มาแก้ไขปัญหา ใช้ในการศึกษาค้นคว้าสืบเสาะหาความรู้และแก้ปัญหาต่าง ๆ ซึ่งทักษะกระบวนการต่าง ๆ แบ่งออกได้ ดังนี้

1.1 ลักษณะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์พื้นฐาน

1.1.1 การสังเกต (Observing) หมายถึง การใช้ประสาทสัมผัสโดยตรงอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างรวมกันได้แก่ ตา หู จมูก ลิ้น ผิวกาย เข้าไปสัมผัสโดยตรงกับวัตถุหรือเหตุการณ์ เพื่อค้นหาข้อมูลซึ่งเป็นรายละเอียดของสิ่งนั้น โดยไม่ใส่อารมณ์ความคิดเห็นของผู้สังเกตเข้าไป

1.1.2 การลงความคิดเห็นจากข้อมูล (Inferring) การเพิ่มความคิดเห็นให้กับข้อมูลที่ได้สังเกตจากมีเหตุผลโดยอาศัยความรู้และประสบการณ์เดิมมาช่วย

1.1.3 การจำแนกประเภท (Classifying) หมายถึง การแบ่งพวกหรือเรียงลำดับวัตถุหรือสิ่งที่มีอยู่ในปรากฏการณ์ โดยมีเกณฑ์และเกณฑ์ดังกล่าวอาจใช้ความเหมือน ความแตกต่าง หรือความสัมพันธ์อย่างใดอย่างหนึ่ง

1.1.4 การวัด (Measuring) หมายถึง การเลือกใช้เครื่องมือทำการวัดหาปริมาณของสิ่งต่าง ๆ ออกมาเป็นตัวเลขที่แน่นอนได้อย่างเหมาะสมกับสิ่งที่วัด

1.1.5 การใช้ตัวเลข (Using Numbers) หมายถึง การนับจำนวนของวัตถุและการนำตัวเลขที่แสดงจำนวนที่นับได้ มาคิดคำนวณโดยการบวก ลบ คูณ หารหรือการหาค่าเฉลี่ย

1.1.6 การหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปซกับสเปซ และสเปซกับเวลา (Using Space/Time Relationships) สเปซของวัตถุ หมายถึง ที่ว่างที่วัตถุนั้นครองที่อยู่ ซึ่งมีรูปร่างลักษณะเช่นเดียวกับวัตถุนั้น โดยทั่วไปแล้วสเปซของวัตถุจะมี 3 มิติ คือ ความกว้าง ความยาว และความสูง

1.1.7 การสื่อความหมายข้อมูล (Communicating) หมายถึง การนำข้อมูลที่ได้จากการสังเกต การวัด การทดลองและจากแหล่งอื่น ๆ มาจัดกระทำใหม่ โดยการหาค่าความถี่ เรียงลำดับ จัดแยกประเภทหรือคำนวณหาค่าใหม่เพื่อให้ผู้อื่นเข้าใจความหมายได้ดีขึ้น

1.1.8 การพยากรณ์ (Predicting) หมายถึง การคาดคะเนคำตอบล่วงหน้าก่อนการทดลอง โดยอาศัยปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น หลักการ กฎ หรือทฤษฎีที่มีอยู่แล้วในเรื่องนั้นมาช่วยสรุป

1.2 ลักษณะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูงหรือขั้นบูรณาการ

1.2.1 การบ่งชี้และการควบคุมตัวแปร (Identifying and Controlling Variables) หมายถึง การบ่งชี้ตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรที่ต้องควบคุมให้คงที่ในสมมติฐานหนึ่งๆ

1.2.2 การตั้งสมมติฐาน (Formulating Hypotheses) หมายถึง การคิดหาคำตอบล่วงหน้าก่อนทำการทดลอง โดยอาศัยการสังเกต อาศัยความรู้หรือประสบการณ์เดิมเป็นพื้นฐาน

1.2.3 การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการของตัวแปร (Defining Variables Operationally) หมายถึง การกำหนดความหมายและขอบเขตของค่าต่างๆ ที่อยู่ในสมมติฐานที่ต้องการทดลองให้เข้าใจตรงกันและสามารถสังเกตหรือวัดได้โดยให้คำอธิบายเกี่ยวกับการทดลองและบอกวิธีวัดตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการทดลองนั้น ๆ

1.2.4 การทดลอง (Experimenting) หมายถึง กระบวนการปฏิบัติการเพื่อค้นหาคำตอบจากสมมติฐานที่ตั้งไว้ ในการทดลองจะประกอบด้วยกิจกรรม 3 ขั้นตอนคือ

1.2.4.1 การออกแบบการทดลอง หมายถึง การวางแผนการทดลองก่อนลงมือทดลองจริง

1.2.4.2 การปฏิบัติการทดลอง หมายถึง การลงมือปฏิบัติจริงและใช้อุปกรณ์ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม

1.2.4.3 การบันทึกผลการทดลอง หมายถึง การจดบันทึกข้อมูลที่ได้จากการทดลองซึ่งอาจเป็นผล การสังเกต การวัด และอื่นๆ ได้อย่างคล่องแคล่วและถูกต้อง

1.2.5 การตีความหมายข้อมูลและการลงข้อสรุป (Interpreting Data and Marking Conclusion)

1.2.5.1 การตีความหมายข้อมูล หมายถึง การแปลความหมาย หรือบรรยายลักษณะของข้อมูลที่มีอยู่ ในบางครั้งต้องใช้ทักษะอื่น ๆ ด้วย เช่น การสังเกต การคำนวณ

1.2.5.2 การลงข้อสรุป หมายถึง การสรุปความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งหมด ความสามารถแสดงให้เห็นว่าเกิดทักษะ การที่สามารถบอกความสัมพันธ์ของข้อมูลได้ (วรรณทิพา รอดแรงคำและจิต นวนแก้ว, 2542 : 3-6)

วิทยาศาสตร์เป็นวิชาที่เกิดจากการรวบรวมความรู้ที่มีระบบ เป็นวิธีที่ศึกษาเกี่ยวกับธรรมชาติ ปรากฏการณ์ในธรรมชาติจะเป็นไปตามแบบแผน กฎเกณฑ์ตามธรรมชาติซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เป็นกระบวนการแสวงหาความรู้ และส่วนที่เป็นผลิตผลตัวความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และส่วนที่เป็นผลิตผลหรือตัวความรู้ทางวิทยาศาสตร์ได้แก่ ข้อเท็จจริง มโนคติ หลักการ กฎ สมมติฐานและทฤษฎี (ภพ เลหาไพบุลย์, 2542 : 30) เพื่อความสะดวกในการศึกษาหาความรู้ วิทยาศาสตร์อาจแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

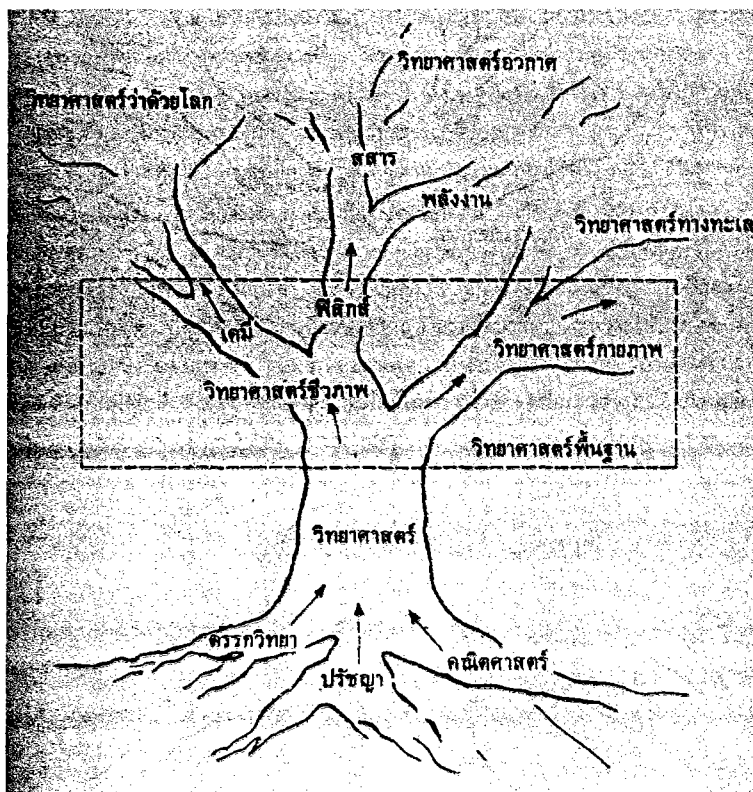
1) วิทยาศาสตร์บริสุทธิ์ (Pure Science) หรือวิทยาศาสตร์ธรรมชาติ (Natural Science) มุ่งศึกษาเฉพาะความเป็นไปของธรรมชาติซึ่งความรู้ขั้นพื้นฐาน สารานุกรมหนังสือโลก (The World Book Encyclopedia) ได้จัดแบ่งวิทยาศาสตร์ธรรมชาติออกเป็น 2 สาขาวิชาคือ

1.1) สาขาวิทยาศาสตร์กายภาพ (Physical Sciences) ได้แก่ วิชาเคมี ฟิสิกส์ วิชาธรณีวิทยา และวิชาดาราศาสตร์

1.2) สาขาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ (Biological Sciences) ได้แก่ วิชาพฤกษศาสตร์ วิชาสัตวศาสตร์ และวิชาสัตว์พืชศึกษาดำรงชีพ

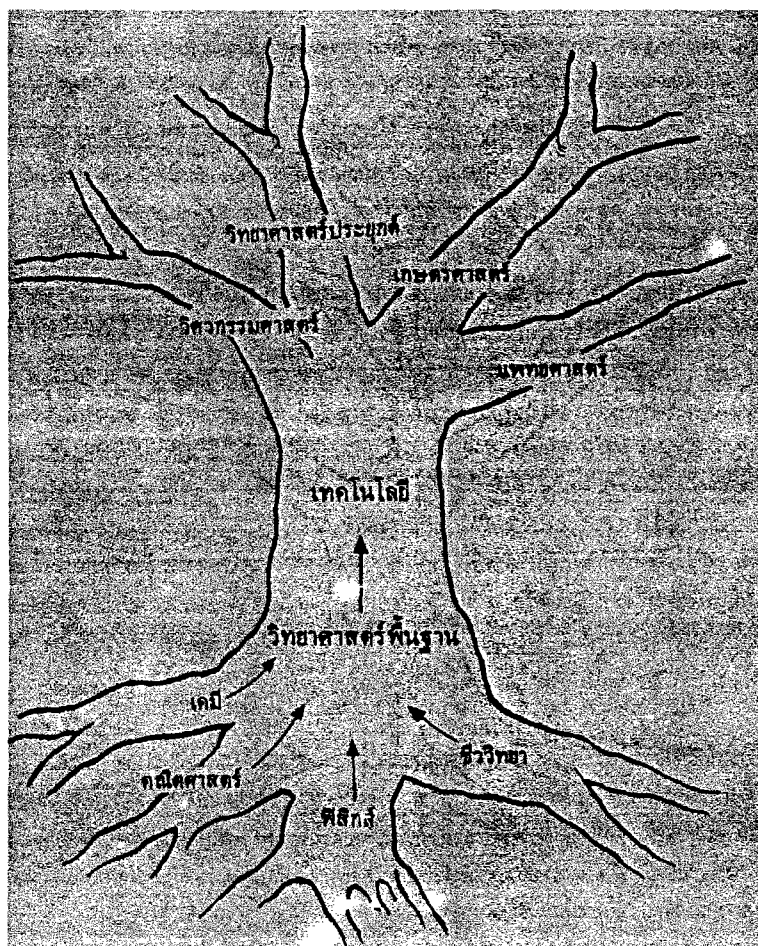
2) วิทยาศาสตร์ประยุกต์ (Applied Sciences) หมายถึง ความรู้ที่เกิดจากการศึกษาเรื่องราวความเป็นไปของธรรมชาติแล้วนำความรู้นั้นมาใช้ประโยชน์ หรือเน้นการประยุกต์จากวิทยาศาสตร์บริสุทธิ์ไปใช้ประโยชน์ในสาขาวิชาต่างๆ เช่น สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ แพทย์ศาสตร์ สถาปัตยกรรมศาสตร์ (ภาพ เลขาไพบูลย์. 2542 : 31-32)

วิทยาศาสตร์ คือความรู้เกี่ยวกับธรรมชาติที่มนุษย์สะสมมาแต่อดีตจวบจนปัจจุบันและต่อไปจนถึงอนาคตอย่างไม่รู้จักจบสิ้น สิ่งต่าง ๆ ในธรรมชาติมีความเป็นมาอย่างไร สัมพันธ์กันหรือไม่ อย่างไร ลำดับการพัฒนาเป็นอย่างไร มีระเบียบแบบแผนและหลักเกณฑ์หรือไม่ วิทยาศาสตร์เป็นความรู้เกี่ยวกับความจริงที่ทดสอบได้ การค้นคว้าหาความจริงจะต้องมุ่งความคิดเล็งไปในเรื่องเรื่องใดโดยเฉพาะ วิทยาศาสตร์จึงดูเหมือนว่าแยกออกเป็นแขนงเล็ก ๆ ที่จริงแล้ววิทยาศาสตร์ทั้งหมดหรือแต่ละแขนงเล็ก ๆ ซึ่งแยกตามความสนใจของผู้ค้นคว้านั้นอาศัยรากฐานเดียวกันทั้งสิ้น คือ การสังเกต การตั้งสมมติฐาน โดยใช้หลักปรัชญาและตรรกวิทยา พยายามสังเกตและวัดปริมาณเป็นตัวเลขออกมาเพื่อความแม่นยำ ซึ่งต้องอาศัยหลักทางคณิตศาสตร์ อาจเปรียบวิทยาศาสตร์เหมือนต้นไม้ใหญ่มีรากแก้วสำคัญ 3 ราก คือ ตรรกวิทยา ปรัชญาและคณิตศาสตร์ ดังภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 ตรรกวิทยา ปรัชญาและคณิตศาสตร์
ที่มา : ทบวงมหาวิทยาลัย. (2541). เคมี เล่ม 1. หน้า 2/1

ในอีกแง่หนึ่งเพื่อพิจารณาการนำวิทยาศาสตร์ไปประยุกต์ให้เป็นประโยชน์ต่อสังคมมักเรียกว่าเทคโนโลยี (Technology) ความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดระหว่างวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี แสดงให้เห็น ดังภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ที่มา : ทบวงมหาวิทยาลัย. (2541). เคมี เล่ม 1. หน้า 2/2

ส่วนวิชาเคมีเป็นวิชาวิทยาศาสตร์ที่กล่าวถึงเรื่องราวของสมบัติ ส่วนประกอบของโครงสร้างของสารและการเปลี่ยนแปลงภายในของสารซึ่งจะมีการให้และรับพลังงานเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย การศึกษาวิชาเคมีจะต้องศึกษากฎ ทฤษฎีและสมมติฐานต่าง ๆ ที่มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวข้างต้นด้วย ปัจจุบันวิชาเคมี มีความสำคัญ ยิ่งยวดต่อมนุษย์เพราะให้ประโยชน์อย่างมหาศาล เช่น การผลิตใยสังเคราะห์ ไนลอนและดาครอนเพื่อใช้ทำเครื่อง นุ่งห่ม การผลิตโลหะเจือพลาสติก ยางสังเคราะห์ ซีเมนต์ เชื้อเพลิงและสีชนิดต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้กับที่อยู่อาศัยและ การคมนาคม การสังเคราะห์ยาปฏิชีวนะและยารักษาโรคต่าง ๆ เป็นต้น โดยที่วิชาเคมีเป็นวิทยาศาสตร์แขนงใหญ่ มี ขอบเขตกว้างขวาง ฉะนั้นจึงแบ่งวิชาเคมีออกเป็นหลายสาขาย่อยกันตามลักษณะพื้นฐานของวิชาเคมีเป็นหลัก ดังนี้

ก. เคมีอินทรีย์ (Organic Chemistry) เป็นสาขาเคมีที่กล่าวถึงการศึกษาสมบัติและปฏิกิริยาเคมีของสารประกอบที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ส่วนพวกออกไซด์ของธาตุคาร์บอนและสารคาร์บอนนั้นจัดอยู่ในสาขาเคมีอนินทรีย์

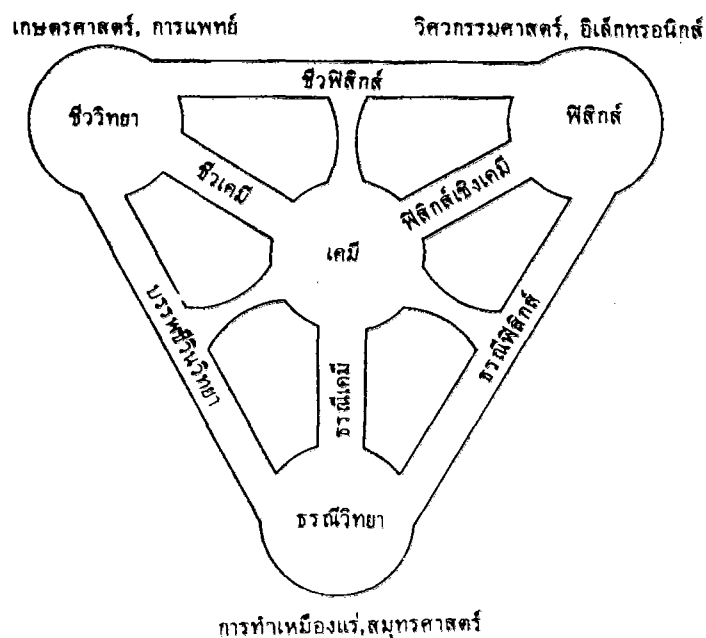
ข. เคมีอนินทรีย์ (Inorganic Chemistry) เป็นสาขาเคมีอนินทรีย์ที่ว่าด้วยการศึกษาสมบัติและปฏิกิริยาเคมีของธาตุทั้งหมด และสารประกอบของมัน ยกเว้นสารประกอบส่วนใหญ่ของคาร์บอน

ค. เคมีฟิสิกส์หรือเคมีเชิงฟิสิกส์ (Physical Chemistry) เป็นสาขาเคมีที่ว่าด้วยการศึกษาถึง กฎ ทฤษฎี และสมบัติต่างๆ ของเคมี เพื่อใช้อธิบายปฏิกิริยาต่างๆ ตลอดจนจนถึงการเปลี่ยนแปลงของสารและความสัมพันธ์ในทางพลังงาน

ง. เคมีวิเคราะห์ (Analytical Chemistry) จะกล่าวถึงการวิเคราะห์สารซึ่งมีได้สองแบบ คือ การวิเคราะห์คุณภาพ (Qualitative Analysis) และการวิเคราะห์ปริมาณ (Quantitative Analysis)

จ. ชีวเคมี (Biochemistry) เป็นสาขาเคมีที่ว่าด้วยการศึกษาถึงสัมพันธ์และปฏิกิริยาเคมีของสารประกอบที่มีอยู่ในสิ่งมีชีวิต

นอกจากนี้เคมียังแบ่งออกเป็นสาขาย่อยๆ อีกมากมายเช่น ไฟฟ้าเคมี เคมีนิวเคลียร์ ธรณีเคมี วิศวกรรมเคมี เคมีอุตสาหกรรม เคมีเภสัช เคมีเทคนิค เคมีอาหาร เคมีเกษตร เคมีดาราศาสตร์ เคมีนิเวศน์วิทยา ฯลฯ ความสัมพันธ์ของวิชาเคมีกับวิชาฟิสิกส์ ชีววิทยาและธรณีวิทยา จะเห็นได้จากภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 ความสัมพันธ์ของวิชาเคมีกับวิชาฟิสิกส์ ชีววิทยาและธรณีวิทยา

ที่มา : ทบวงมหาวิทยาลัย. (2541). เคมี เล่ม 1. หน้า 5

แนวความคิดทางเคมีต้องพึ่งพากฎเกณฑ์แนวคิดจากสาขาวิชาอื่นในทำนองเดียวกันกับที่สาขาอื่นต้องอาศัยข้อมูล แนวคิดและทฤษฎีทางเคมีเหมือนกัน บางทีวิชาเคมีก็ได้ชื่อว่าเป็น “วิทยาศาสตร์บริหาร” (Servant Science) เพราะเป็นวิชาที่ให้บริการและเอาใจใส่เกี่ยวกับสาขาต่างๆ ที่เป็นที่น่าสนใจและศึกษากันในวิทยาศาสตร์แขนงอื่นๆ (ทบทวนมหาวิทยาลัย. 2541 : 1-5)

เคมี (Chemistry) เป็นวิทยาศาสตร์แขนงหนึ่ง ซึ่งกล่าวถึงเรื่องราวและสมบัติของสารต่างๆ ว่าประกอบกันขึ้นเป็นสารนั้นๆ ได้อย่างไร และสารนั้นๆ เปลี่ยนแปลงเป็นสารอื่น ปฏิกริยาที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงนั้นเป็นอย่างไร ทั้งยังกล่าวถึงการสังเคราะห์สารต่างๆ เหล่านั้นได้อย่างไร วิชาเคมีมีความสำคัญต่อชีวิตประจำวันของมนุษย์มาก แม้บ้านและผู้ที่ทำงานเกี่ยวกับคหกรรมศาสตร์จำเป็นต้องเรียนรู้วิชานี้ เพื่อจะได้นำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในชีวิตประจำวันไม่ว่าจะเป็นเรื่องอาหาร เครื่องนุ่งห่ม ที่อยู่อาศัยและยารักษาโรค ล้วนแล้วแต่ต้องเกี่ยวข้องกับวิชาเคมีแทบทั้งสิ้น วิชาเคมีช่วยให้มนุษย์รู้จักทำเครื่องนุ่งห่มจากพืชหรือสัตว์ในธรรมชาติ เช่น ฝ้าย ขนสัตว์ หรือทำเส้นใยสังเคราะห์ขึ้น ทำเครื่องใช้ต่างๆ รวมถึงเรื่องยารักษาโรคด้วย สิ่งต่างๆ ที่ยกตัวอย่างมานี้ล้วนแล้วแต่ได้มาจากการทดลองทั้งสิ้น เมื่อทดลองได้ผลดีแล้วก็สามารถนำหลักการต่างๆ จากผลการทดลองมาประดิษฐ์สิ่งของเครื่องใช้หรือเครื่องอำนวยความสะดวกต่างๆ (จักรพันธ์ุ ปัจจะสุวรรณ. 2542 : 1-2) สำหรับสารเคมีที่อยู่ในกระบวนการทดลองต่างๆ ไปส่วนมากจะเป็นชนิดที่อยู่ในสถานะของเหลว จำพวกสารละลายต่างๆ สารละลายเกิดจากสารบริสุทธิ์สองชนิดหรือมากกว่าสองชนิดมาผสมเป็นเนื้อเดียวกัน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าเป็นของผสมเอกพันธ์ (Homogeneous Mixture) อัตราส่วนขององค์ประกอบของของผสมประเภทนี้เปลี่ยนแปลงได้แต่มีขอบเขตจำกัด ในของผสมโดยทั่วไป สารที่มีปริมาณมากกว่า ถือว่าเป็นตัวทำละลาย (Solvent) ส่วนสารที่มีปริมาณน้อยกว่าถือว่าเป็นตัวละลาย (Solute) ตัวละลายอาจมีมากกว่าหนึ่งชนิดก็ได้ เช่น น้ำเกลือแกลและน้ำตาลทรายไปละลายในน้ำจำนวนเดียวกัน สารละลายอาจจะอยู่ในสถานะ ของแข็ง ของเหลว หรือ แก๊สได้ ดังนั้น สามารถแบ่งสารละลายที่มี 2 องค์ประกอบ ออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ แต่ละประเภทยังแบ่งได้อีกเป็น 3 ชนิด ดังแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 ประเภทและสถานะของสารละลาย

ประเภทของสารละลาย	ตัวละลาย	ตัวทำละลาย	ตัวอย่าง
1. สารละลายแก๊ส (Gas solution)	แก๊ส ของเหลว ของแข็ง	แก๊ส แก๊ส แก๊ส	อากาศ แก๊สผสมต่างๆ ไอน้ำในอากาศ ไออีเทอร์ในอากาศ ไอการบูรหรือพิมเสนในอากาศ
2. สารละลายของเหลว (Liquid solution)	แก๊ส ของเหลว ของแข็ง	ของเหลว ของเหลว ของเหลว	อากาศในน้ำ น้ำโซดา แอลกอฮอล์ในน้ำ น้ำเกลือ น้ำเชื่อม
3. สารละลายของแข็ง (Solid solution)	แก๊ส ของเหลว ของแข็ง	ของแข็ง ของแข็ง ของแข็ง	ไฮโดรเจนในแพลเลเดียม (Pd) ปรอทในโซเดียม ปรอทในทอง โลหะผสมชนิดต่างๆ เช่น นาก ทองเหลือง

โดยทั่วไปจะพบว่าปฏิกิริยาหรือกระบวนการทางเคมีต่างๆ ที่มนุษย์ทำให้เกิดผลดี หรือที่เกิดเองตามธรรมชาติ เช่น การเกิดเมแทบอลิซึม (Metabolism) ในร่างกายมนุษย์และสัตว์ หรือกระบวนการดูดอาหารทางรากของต้นไม้ เป็นต้น สารเคมีล้วนแต่อยู่ในสภาวะที่เป็นสารละลายประเภทของเหลวแทบทั้งสิ้น ดังนั้นสารละลายประเภทของเหลว จึงมีความสำคัญกว่าประเภทอื่น สารละลาย = ตัวถูกละลาย+ตัวทำละลาย (ประเภทนี้ เกษมศรี ณ อยู่ธยาและคนอื่นๆ. 2535 : 123-125) ความเข้มข้นของสารละลาย (Concentration) การกำหนดปริมาณของตัวถูกละลายในสารละลายหนึ่งๆ ว่ามีปริมาณอยู่เท่าใดจะระบุในความเข้มข้นของสารละลาย ซึ่งมีวิธีระบุความเข้มข้นของสารละลายอยู่หลายวิธี ดังนี้

ร้อยละโดยมวล (Percentage Concentration by Mass) วิธีนี้จะระบุความเข้มข้นของสารละลายโดยบอกมวลเป็นกรัมของตัวถูกละลายต่อสารละลาย 100 กรัม

ร้อยละโดยปริมาตร (Percentage Concentration by Volume) วิธีนี้จะระบุปริมาตร (ลูกบาศก์เซนติเมตร) ของตัวถูกละลายต่อสารละลาย 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยส่วนใหญ่จะพบในสารละลายที่ทั้งตัวทำละลายและตัวถูกละลายอยู่ในสถานะของเหลว นักวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่นิยมระบุความเข้มข้นโดยวิธีนี้มากที่สุด โดยบอกจำนวนโมลของตัวถูกละลายต่อสารละลาย 1 ลิตร

$$\text{โมลาริตี} = \frac{\text{ความเข้มข้นของสารละลาย (กรัม/ลิตร)}}{\text{กรัมโมเลกุลของตัวถูกละลาย (กรัม/โมล)}}$$

$$\text{มวลโมเลกุล} = \text{มวล (กรัม) ของสาร 1 โมล}$$

โมลาริตีเป็นหน่วยวัดความเข้มข้นที่ใช้มากที่สุดในห้องปฏิบัติการ โมลาริตี หมายถึง จำนวนกรัมโมเลกุลหรือจำนวนโมลของตัวถูกละลายที่อยู่ในสารละลาย 1 ลิตร สารละลายที่มีความหนาแน่น (Density) และความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) เข้ามาเกี่ยวข้องส่วนใหญ่ตัวถูกละลายที่มีสถานะเป็นของเหลวพวกกรด เช่น กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) กรดไนตริก (HNO_3) ในการเตรียมนั้นมักใช้การปิเปตต์ (Pipette) มากกว่าการชั่ง ซึ่งจะต้องคำนวณหาปริมาตรของตัวถูกละลายก่อนว่าจะใช้เท่าใด ในการเตรียมหาความเข้มข้นแต่ละครั้ง

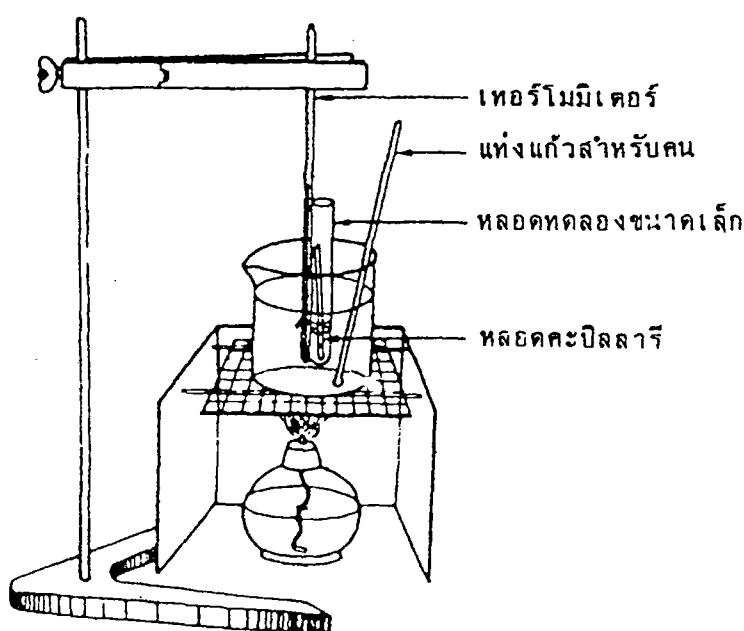
$$\text{ความหนาแน่นของสาร (g/mL)} = \frac{\text{มวลของสาร (g)}}{\text{ปริมาตรของสาร (mL)}}$$

$$\text{ความถ่วงจำเพาะของสาร} = \frac{\text{ความหนาแน่นของสาร}}{\text{ความหนาแน่นของน้ำที่ 4 องศาเซลเซียส}}$$

$$\text{ความหนาแน่นของน้ำที่ 4 องศาเซลเซียส} = 1000 \text{ กรัมต่อมิลลิลิตร}$$

(สันตต์ ศิริอนันต์ไพบูลย์และชนิษฐา ชัยรัตน์วรรณ. 2542 : 108 – 116)

จุดเดือดของสารละลาย จุดเดือด คือ อุณหภูมิที่ทำให้ความดันไอของของเหลวเท่ากับความดันบรรยากาศ สารละลายจะมีจุดเดือดหรืออุณหภูมิขณะเดือดต่างจากสารบริสุทธิ์ คือ สารบริสุทธิ์จะมีอุณหภูมิขณะเดือดคงที่แต่สารละลายจะมีอุณหภูมิขณะเดือดไม่คงที่ เพราะในขณะที่เดือดสัดส่วนของตัวทำละลายกับตัวถูกละลายเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา จุดเดือดของสารละลายจะสูงกว่าจุดเดือดของตัวทำละลายบริสุทธิ์ และจุดเดือดของสารละลายจะขึ้นอยู่กับปริมาณของตัวถูกละลาย คือ เมื่อมีตัวถูกละลายมากขึ้นจุดเดือดของสารละลายจะสูงขึ้น ในการทดลองหาจุดเดือดของสารละลายหรือจุดเดือดของสารบริสุทธิ์ ดังภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 วิธีหาจุดเดือดของของเหลว
ที่มา : สำราญ พฤษสุนทร. (2541). เคมี ม.5 เล่ม 3. หน้า 168

จากภาพประกอบ 5 ใส่สารละลายหรือสารบริสุทธิ์ที่จะหาจุดเดือดในหลอดทดลองขนาดเล็กประมาณ 5 หยด แล้วใส่หลอดตะกั่วที่หลอดมิดตรงส่วนที่ห่างจากปลายด้านล่างประมาณ 0.5 เซนติเมตร ผูกหลอดทดลองติดกับเทอร์โมมิเตอร์ให้กันหลอดและกระเปาะเทอร์โมมิเตอร์อยู่ในระดับเดียวกัน จากนั้นจัดเครื่องมือและให้พลังงานดังภาพประกอบ เมื่อให้พลังงานจนกระทั่งมีฟองก๊าซออกจากหลอดตะกั่วแล้วแสดงถึงความดันไอในหลอดตะกั่วมากกว่าความดันบรรยากาศ ให้เอาไฟออกจนกระทั่งไม่มีฟองก๊าซฟุ้งออกมาอีก แสดงว่าความดันไอในหลอดตะกั่วเท่ากับความดันบรรยากาศ ดังนั้นอุณหภูมิขณะที่ฟองก๊าซฟุ้งสุดท้ายปุดออกมาเป็น จุดเดือดของของเหลวนั้น ตัวอย่าง การหาจุดเดือดของสารบริสุทธิ์และจุดเดือดของสารละลายที่มีตัวถูกละลายในปริมาณต่างกัน เช่น การหาจุดเดือดของเอทานอลและจุดเดือดของสารละลายกลีเซอรอลในเอทานอล และสารละลายกรดโอเลอิกในเอทานอลได้ผล ดังแสดงในตาราง 2

ตาราง 2 ความเข้มข้นและจุดเดือดของสารละลาย

ชนิดของสารละลาย	ความเข้มข้นของ สารละลาย(mol/kg)	จุดเดือด (องศาเซลเซียส)	ผลต่างระหว่างจุดเดือดของ สารละลายกับ สารบริสุทธิ์(องศาเซลเซียส)
เอทานอล	-	78.5	-
สารละลายกรดโอเลอิกในเอทานอล	2	80.5	$80.5 - 78.5 = 2.0$
สารละลายกรดโอเลอิกในเอทานอล	4	82.9	$82.9 - 78.5 = 4.4$
สารละลายกลีเซอรอลในเอทานอล	2	80.5	$80.5 - 78.5 = 2.0$
สารละลายกลีเซอรอลในเอทานอล	4	83.0	$83.0 - 78.5 = 4.5$

ที่มา : สำราญ พงษ์สุนทร. (2541). เคมี ม.5 เล่ม 3. หน้า 169

จากข้อมูลในตาราง 2 จะเห็นได้ว่า สารละลายมีจุดเดือดสูงกว่าจุดเดือดของตัวทำละลายบริสุทธิ์และเมื่อสารละลายเข้มข้นมากขึ้น จุดเดือดจะสูงขึ้น นอกจากนั้นจุดเดือดของสารละลายยังไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวถูกละลาย ถ้าสารละลายเข้มข้นเท่ากัน สารละลายที่มีจุดเดือดสูงกว่าจุดเดือดของตัวทำละลายบริสุทธิ์ คือ สารละลายที่ประกอบด้วยตัวถูกละลายที่มีจุดเดือดสูงกว่าตัวทำละลาย หรือประกอบด้วยตัวถูกละลายที่ไม่ระเหยหรือระเหยยาก เช่น สารละลายกรดโอเลอิกในเอทานอล กรดโอเลอิกมีจุดเดือดสูงกว่าเอทานอล น้ำเชื่อม สารละลายของน้ำตาลทรายในน้ำ น้ำตาลทรายมีจุดเดือดสูงกว่าน้ำ เป็นต้น

จุดหลอมเหลวหรือจุดเยือกแข็งของสารละลาย จุดหลอมเหลว คือ อุณหภูมิที่ของแข็งเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว ส่วนจุดเยือกแข็ง คือ อุณหภูมิที่ของเหลวเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง สำหรับสารหนึ่งๆ จะมีจุดหลอมเหลวและจุดเยือกแข็งเท่ากัน เช่น จุดเยือกแข็งของน้ำ และจุดหลอมเหลวของน้ำแข็งเท่ากับ 0 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 บรรยากาศ สารบริสุทธิ์และสารละลายจะมีจุดเยือกแข็งหรือจุดหลอมเหลวต่างกัน คือ สารบริสุทธิ์จะมีจุดเยือกแข็ง หรือจุดหลอมเหลวคงที่หรือช่วงอุณหภูมิของการหลอมเหลวแคบ ส่วนสารละลายจะมีจุดเยือกแข็งหรือจุดหลอมเหลวไม่คงที่ และมีค่าต่ำกว่าของตัวทำละลายบริสุทธิ์หรือช่วงอุณหภูมิของการหลอมเหลวกว้าง ตัวอย่างจุดหลอมเหลวของสารบริสุทธิ์และสารละลายชนิดต่างๆ ที่มีความเข้มข้นค่าต่างๆ ดังแสดงในตาราง 3

ตาราง 3 จุดหลอมเหลวหรือจุดเยือกแข็งของสารละลาย

สาร	ความเข้มข้น (mol/kg)	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)		ช่วงอุณหภูมิ ของการหลอมเหลว	จุดหลอม เหลว	ΔT_m
		เริ่มหลอม	หลอม หมด			
แนพทาไลน์บริสุทธิ์	-	80.0	81.0	1.0	80.5	-
สารละลายกรดเบน โซอิกในแนพทาไลน์	0.5	73.5	81.0	7.5	77.25	3.25
สารละลายกรดเบน โซอิกในแนพทาไลน์	2.0	63.0	69.0	6.0	66.0	14.5
สารละลายฟีนิล เบนซีนในแนพทาไลน์	0.5	75.5	79.0	3.5	77.25	3.25
สารละลายฟีนิล เบนซีนในแนพทาไลน์	2.0	64.0	70.0	6.0	67.0	13.5

ที่มา : สำราญ พฤกษ์สุนทร. (2541). เคมี ม.5 เล่ม 3. หน้า 170

1) ช่วงอุณหภูมิของการหลอมเหลว หมายถึง ผลต่างของอุณหภูมิที่หลอมหมดกับเริ่มหลอม

ช่วงอุณหภูมิของการหลอมเหลว = อุณหภูมิที่หลอมหมด - อุณหภูมิที่เริ่มหลอม

เช่น ช่วงอุณหภูมิของการหลอมเหลวของแนพทาไลน์ = $81 - 80 = 1$ องศาเซลเซียส

2) จุดหลอมเหลวในตาราง คือ ค่าเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิเริ่มหลอมกับหลอมหมด เช่น

$$\text{จุดหลอมเหลวของแนพทาไลน์} = \frac{80+81}{2} = 80.5 \text{ องศาเซลเซียส}$$

3) ΔT_m คือ ผลต่างระหว่างจุดหลอมเหลวของตัวทำละลายบริสุทธิ์กับจุดหลอมเหลวของสารละลาย

เช่น ΔT_m ของ แนพทาไลน์บริสุทธิ์กับสารละลายกรดเบนโซอิกในแนพทาไลน์เข้มข้น 0.5 mol/kg = $80.5 - 77.25 = 3.25$

องศาเซลเซียส จากข้อมูลในตาราง 3 จะเห็นได้ว่าสารละลายทุกชนิดมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของแนพทาไลน์บริสุทธิ์ และเมื่อสารละลายเข้มข้นมากขึ้น จุดหลอมเหลวจะยิ่งต่ำลง นอกจากนั้นสารละลายต่างชนิดกันที่มีตัวทำละลายเหมือนกันและมีความเข้มข้นเท่ากันจะมีจุดหลอมเหลวเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน เช่น สารละลายกรดเบนโซอิกในแนพทาไลน์เข้มข้น 0.5 mol/kg และสารละลายฟีนิลเบนซีนในแนพทาไลน์ 0.5 mol/kg มีจุดหลอมเหลวเท่ากัน

(สำราญ พฤกษ์สุนทร. 2541 : 168-171)

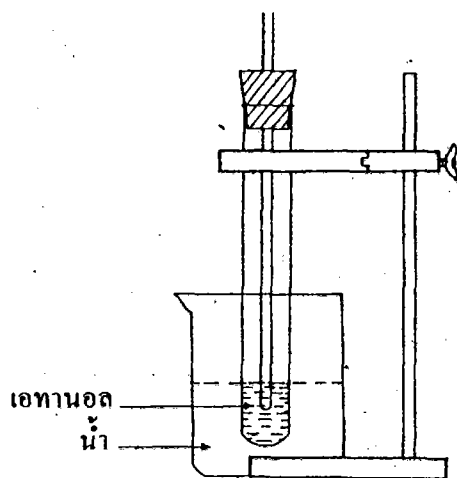
2. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเครื่องกวนสารเคมี

ถ้าแบ่งตามลักษณะโครงและหน้าที่การใช้งานของเครื่องกวนสารเคมี สามารถแบ่งออกเป็นเครื่องกวนที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์หรือสำหรับใช้ในกระบวนการเรียนการสอน ชนิดนี้จะเป็นเครื่องที่มีขนาดเล็ก ใช้กวนสารละลายหรือของเหลวที่มีค่าความหนืดต่ำ และเครื่องกวนสารเคมีที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม ชนิดนี้จะเป็นเครื่องที่มีขนาดใหญ่ ใช้กวนสารละลายหรือของเหลวที่มีค่าความหนืดสูง รายละเอียดของเครื่องกวนสารเคมีต่างๆ มีดังนี้

2.1 เครื่องกวนสารเคมีในกระบวนการเรียนการสอน

กระทรวงศึกษาธิการได้ประกาศใช้หลักสูตรมัธยมศึกษาตอนปลาย พุทธศักราช 2524 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2533) ตามโครงสร้างหลักสูตรประกอบด้วยกลุ่มวิชาบังคับและกลุ่มวิชาเลือก กลุ่มวิชาวิทยาศาสตร์เป็นหนึ่งกลุ่มวิชาเลือก มีจำนวน 6 หน่วยกิต (อมรา เล็กเริงสินธุ์. 2540 : 114, 120) กลุ่มวิชาวิทยาศาสตร์แยกเป็นรายวิชาต่างๆ เช่น วิชาฟิสิกส์ วิชาชีววิทยา และวิชาเคมี (ทพวงมหาวิทยาลัย. 2541 : 1-2) การเรียนการสอนประกอบด้วยภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ ในส่วนของภาคปฏิบัติที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทดลอง เครื่องกวนสารเคมีโดยอาศัยแรงแม่เหล็ก (Chemical Compound with Magnetic Stirring) ก็เป็นเครื่องมืออีกอย่างหนึ่งที่ใช้สำหรับปฏิบัติการทางเคมี เช่น การเรียนการสอน รายวิชา ว 053, ว 038, ว 031, ว 032 และวิชาชีววิทยาในระดับมัธยมศึกษา ในกระบวนการเรียนการสอนของรายวิชา ดังกล่าว ไม่ว่าจะเป็นการทดลองที่เกี่ยวข้องกับสารเคมี ของเหลว หรือกระบวนการที่ใช้ความร้อนความถี่กับการกวน หรือผสมสารเคมีในขณะทดลอง ตัวอย่าง เช่น การทดลองอัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารละลายกรดออกซาลิกกับ สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่อุณหภูมิต่างๆ ของรายวิชาเคมี 3 ว 032 วิธีการทดลองคือ 1) ใช้หลอดทดลองขนาดกลางบรรจุสารละลายกรดออกซาลิก 0.05 mol/dm^3 จำนวน 2 ซีซี และสารละลายกรดซัลฟิวริก 1.0 mol/dm^3 จำนวน 1 ซีซี แล้วเติมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตลงไปจนกระทั่งสารละลายไม่มีสี. 2) ทดลอง เช่นเดียวกันกับข้อ 1 แต่ก่อนที่จะเติมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ให้นำหลอดใส่สารละลายผสมระหว่างกรดออกซาลิกกับกรดซัลฟิวริกไปแช่ในน้ำอุ่นที่ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ประมาณ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที แล้วจึงเติมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต. 3) ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับข้อ 2 แต่เปลี่ยนอุณหภูมิของน้ำเป็น 40 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส การทดลองนี้เป็นการศึกษาว่าการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาอย่างไร (ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2543 : 105)

การทดลองเรื่อง ความดันไอกับจุดเดือดของของเหลว เพื่อเปรียบเทียบความดันไอของของเหลว ของรายวิชาเคมี 2 ว 031 วิธีการทดลอง คือ 1) ใส่ไอโกลีน เอทานอล และน้ำ 3 ซีซี ลงในหลอดทดลองขนาดกลางหลอดละชนิด , 2) ปิดหลอดทดลองด้วยจุกยางที่มีหลอดนำก๊าซจุ่มอยู่ในของเหลว ดังภาพประกอบ 6

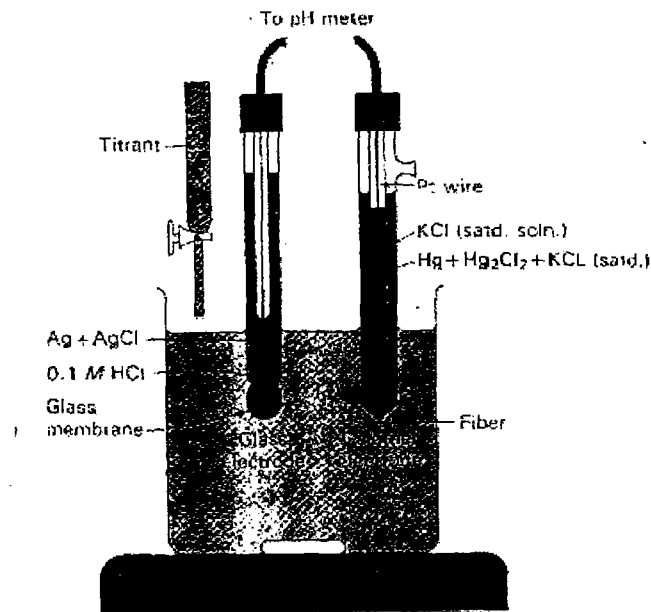


ภาพประกอบ 6 อุปกรณ์ศึกษาความดันของของเหลว

ที่มา : ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2542). วิชาเคมี เล่ม 2 ว 031. หน้า 13 – 14

3)เอียงหลอดทดลองให้ปลายหลอดน้ำก๊าซที่อยู่ในหลอดทดลองพ้นของเหลวแล้วเขย่าเบาๆและทำซ้ำหลายๆครั้งจนระดับของเหลวในหลอดน้ำก๊าซเท่ากับระดับของเหลวในหลอดทดลอง. 4) นำหลอดทั้ง 3 หลอดแช่ในบีกเกอร์ที่มีน้ำร้อนอุณหภูมิคงที่ประมาณ 40 องศาเซลเซียส สังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ตั้งแต่เริ่มต้นจนไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อไปอีก. 5) นำหลอดใส่ของเหลวตามข้อ 4 แช่ในบีกเกอร์ที่มีน้ำร้อนอุณหภูมิคงที่ประมาณ 60 องศาเซลเซียส การทดลองนี้เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงความดันของของเหลวเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และศึกษาเปรียบเทียบความดันของของเหลวทั้ง 3 ชนิด (ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2542 : 13 – 14)

การนำเครื่องกวนสารเคมีด้วยแรงแม่เหล็กสำหรับการทดลองเพื่อหาค่า K_a และความเข้มข้นของกรดอ่อน โดยเทคนิคการไทเทรตกรด-เบส เพื่อศึกษาการหาจุดยุติโดยใช้อินดิเคเตอร์และพีเอชมิเตอร์ และศึกษาสารละลายบัฟเฟอร์ ในขั้นตอนแรกจะหาค่าความเข้มข้นของกรดอ่อน ขั้นที่สอง หาค่า K_a โดยใช้พีเอชมิเตอร์ วิธีการคือ บรรจุสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์ ลงในบิวเรตขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 2-3 หยด แล้วคนสารละลายด้วยเครื่องกวนสารเคมีแบบแม่เหล็กไฟฟ้า จนสารละลายผสมกันดีแล้ว วัดค่าพีเอช เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในบีกเกอร์ตั้งละ 2 มิลลิลิตร คนสารละลายด้วยเครื่องกวนสารเคมีแบบแม่เหล็กไฟฟ้า และวัดค่าพีเอชเมื่อเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์แต่ละครั้ง ใกล้เคียงเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ครั้งละน้อยๆ ทำการไทเทรตต่อจนกระทั่งเลยจุดยุติไปเล็กน้อย หรือ ค่าพีเอชมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แล้วทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยนำไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชและปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ หาค่า K_a ของสารตัวอย่าง (นินนาท์ โชติบริบูรณ์. 2542 : 22-23) ดังภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 7 การไทเทรตด้วยเครื่องวัด พีเอช

ที่มา : พรพิมล ม่วงไทย. (2541).คู่มือปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์. หน้าปกด้านหน้า

ในโครงการพัฒนาและส่งเสริมผู้มีความรู้ความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (พสวท.)ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย รายวิชาเคมี ว 053 ใช้เครื่องกวนและอุณหสสารเคมีประกอบการทดลอง เรื่องเทคนิคการทดสอบและวิเคราะห์คุณภาพของน้ำนมดิบและผลิตภัณฑ์ การทดสอบหาเชื้อแบคทีเรียโดยดูการจางของสี เช่นการทดสอบโดยใช้เมทิลีนบลู หรือการทดสอบด้วยวิธีซาซูริน วิธีการทดสอบคือ 1) ใส่สารละลายเมทิลีนบลูหลอดละ 1 ซีซี แล้วปิดจุกไว้. 2) เติมนมตัวอย่าง 10 ซีซี ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอดแล้วปิดจุก. 3) นำหลอดทดลองไปแช่ในภาชนะอุณหสสาร ซึ่งทำให้สารละลายมีอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 5 นาที โดยใช้หลอดทดลองหลอดหนึ่งใส่แต่นมแล้วเอาเทอร์โมมิเตอร์ใส่ไว้เพื่อดูว่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามที่ต้องการหรือไม่. 4) เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 37 องศาเซลเซียส ปิดจุกให้แน่นค่อยๆกลับหลอดทดลองทั้งหมด 2-3 ครั้ง เพื่อให้ครีมากระจายทั่วถึง บันทึกเวลาไว้เป็นจุดเริ่มต้นของการจับเวลา. 5) ควบคุมอุณหภูมิในเครื่องอุณหสสารไว้ไม่ให้เกินหรือต่ำกว่า 37 + 0.5 องศาเซลเซียส บันทึกการเปลี่ยนแปลงที่ 30 นาทีแรกและทุกๆ 1 ชั่วโมง ถ้าพบว่าหลอดใดสีจางหายไปให้หยิบออก บันทึกเวลาและรายละเอียดของหลอดนั้นๆไว้ ส่วนหลอดที่เหลือซึ่งสียังไม่จางหมดให้กลับหลอดเบาๆ 2-3 ครั้ง แล้วแช่ไว้เหมือนเดิมเพื่อสังเกตสีและบันทึกผลตามเวลาครั้งต่อไป แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปหาค่าระดับคุณภาพของนมตามตารางเปรียบเทียบคุณภาพของนม ส่วนการแยกน้ำตาลแล็กโทสออกจากหางนม ในการทดลองนี้ได้ใช้เครื่องกวนและอุณหสสารเคมีสำหรับอุณหางนมซึ่งเป็นของเหลวที่ได้จากการกรองแยกเคซีน ให้มีอุณหภูมิประมาณ 90-100 องศาเซลเซียส โดยนำไปแช่ในอ่างน้ำร้อนที่ต้มให้เดือดเป็นเวลา 10-15 นาที แล้วปรับค่า พีเอช ของสารละลายให้เป็นกลางด้วยสารละลาย $\text{Ca}(\text{OH})_2$ กวนให้ทั่ว ตั้งไว้ 15 นาที ให้ตกตะกอนแล้วกรองตะกอน แบ่งของเหลวที่แยกตะกอนออกแล้วมาเล็กน้อย นำไปทดสอบด้วยสารละลายเบเนดิกต์ ถ้าได้ตะกอนสีน้ำตาลแสดงว่า สารละลายมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย ขั้นตอนต่อไปคืออุณหสสารละลายให้มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นใน

อ่างน้ำร้อน วางให้ตกพลิก แล้วจึงส่งดูลักษณะของผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์. (ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2538 : 106-109,115)

2.2 ชนิดของเครื่องกวนสารเคมี

เมื่อมีความจำเป็นที่จะต้องผสมน้ำยาเคมีหลายๆอย่างเข้าด้วยกัน จะต้องเลือกเครื่องกวนที่เหมาะสมเพื่อประสิทธิภาพในการกวน เพราะเครื่องกวนมีอยู่หลายชนิดทั้งที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม และในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ แบบของเครื่องกวนมีให้เลือกหลายๆ แบบตามความเหมาะสมของงานแต่ละประเภท เช่น แบบรอบหมุนช้า แบบหมุนเร็ว แบบตริงใบพัดไว้กลางถัง แบบปรับแกนกลางการกวนได้ แบบติดแกนใบพัดไว้ข้างๆ ถัง เครื่องกวนแบบใบพัดจะมีลักษณะของใบพัดหรือมอเตอร์ที่ใช้ขับ จะมีให้เลือกหลายแบบ การเลือกใช้ใบพัดหรือความเร็วรอบในการกวนที่ไม่เหมาะสมทำให้ต้องใช้เวลากวนนานกว่าของผสมจะเข้ากันได้ เมื่อเปลี่ยนใบพัดให้เหมาะสมต้องใช้เวลาที่ลดลง 2 ถึง 3 เท่า ซึ่งชนิดต่างๆ ของเครื่องกวนแบ่งตามลักษณะการใช้งานและการติดตั้ง แบ่งออกได้เป็น 7 แบบคือ

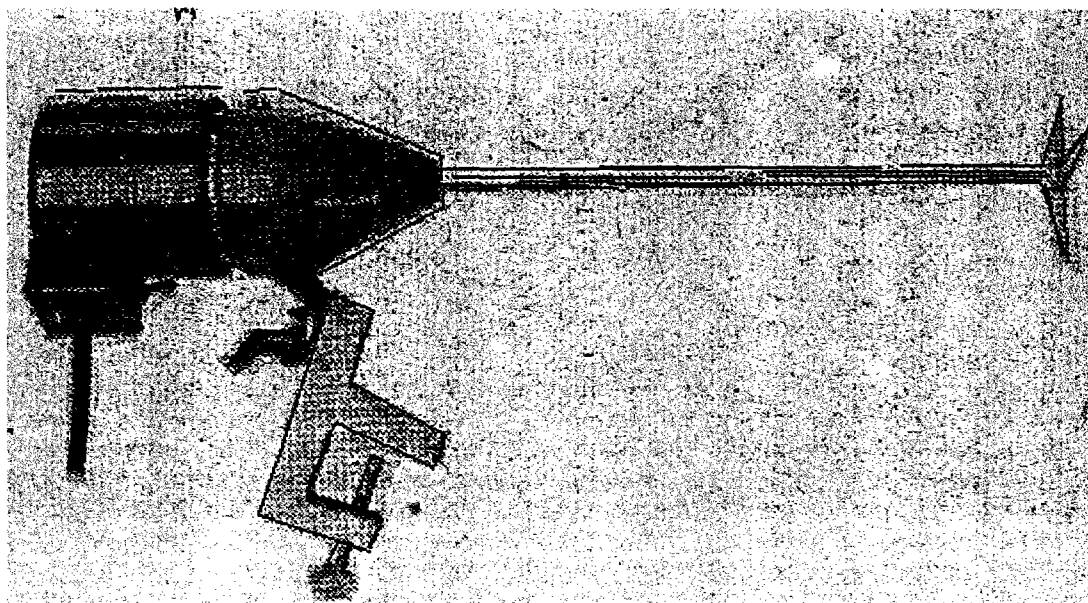
2.2.1 เครื่องกวนแบบรอบต่ำ ทนทานหนักใช้เฟืองทด (Clamp Mount Gear Drive) เป็นเครื่องกวนแบบรอบช้า โดยมีการทดรอบผ่านชุดเฟืองทด นำไปใช้ในการกวนของเหลวหนืด ๆ ตะกอนข้น หรือโลหะที่กำลังหลอมเหลวที่มีความหนืดไม่เกิน 25,000 เซนติพอยส์ [เซนติพอยส์เป็นหน่วยที่ใช้วัดความหนืด (สถิต) ของเหลว 1 เซนติพอยส์มีค่าเท่ากับ 1 ใน 1,000 กิโลกรัม/เมตร/วินาที] ใช้กับการกวนของเหลวที่ไม่หนืด แต่มีปริมาณมาก ขนาดของมอเตอร์ที่ใช้เทียบกับมวลของเหลวที่จะกวนประมาณ ครึ่งแรงม้าต่อของเหลว 2,200 กิโลกรัม ความหนืดของของเหลวชนิดต่างๆ ดังแสดงในตาราง 4

ตาราง 4 ความหนืดของของเหลวชนิดต่างๆ

ชนิดของของเหลว	ค่าความหนืด (เซนติพอยส์)	ชนิดของของเหลว	ค่าความหนืด (เซนติพอยส์)
กาว(Hot melt glue)	30,000,000	น้ำมัน – SAE 30	200
สลัด(Salad dressing)	250,000	น้ำมัน – SAE 20	125
มัสตาด(Mustard)	64,000	น้ำมัน – Corn	72
น้ำซอสชนิดข้น	45,000	น้ำมัน – SAE 10	65
น้ำหมึก	35,000	น้ำมันดิบ	15
น้ำเชื่อม	2,500	น้ำมันถั่วเหลือง	160
แลคเกอร์	250 -1,000	น้ำมัน	3
น้ำมัน – Castor	1,000	น้ำมันสน	1
น้ำมัน – SE 60	1,000	น้ำ	0.6
น้ำมัน – SAE 40	319	สีย้อมผ้า	0.6

ที่มา : เนตรทิพย์ คู่คงวิริยะพันธุ์. (2535). “การเลือกใช้เครื่องกวนที่เหมาะสม.” ใน 74เรื่องน่ารู้เทคนิคเครื่องกล.
หน้า 246

2.2.2 เครื่องกวนแบบรอบสูง (Clamp Mount Direct Drive) เป็นเครื่องกวนแบบรอบหมุนเร็ว เฟลาขับเคลื่อนโดยตรงกับมอเตอร์ใช้กวนของเหลวที่มีความหนืดสูง แต่มีปริมาณที่ไม่มากนักเช่น กวนกาวหรือ plast (หมายถึง สี ก่อนที่จะเติมตัวทำละลาย) ใช้กวนของเหลวที่มีความหนืดต่ำกว่า 2,000 เซนติพอยส์ ขนาดของมอเตอร์ที่ใช้ประมาณ 1 แรงม้า ค่าปริมาณของเหลว 200 ลิตร เครื่องกวนแบบรอบสูง ดังภาพประกอบ 8

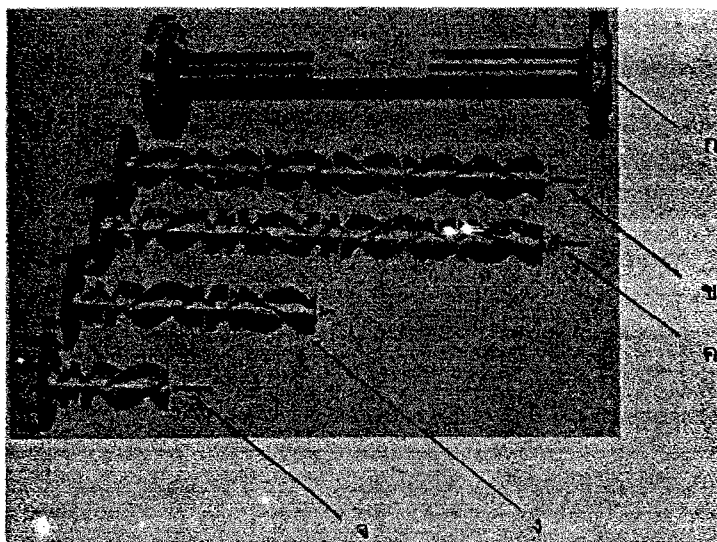


ภาพประกอบ 8 เครื่องกลแบบความเร็วรอบสูง

ที่มา : เนตรทิพย์ คู่คงวิริยะพันธ์. (2535). "การเลือกใช้เครื่องกลที่เหมาะสม." ใน 74 เรื่องน่ารู้เทคนิคเครื่องกล. หน้า 245

2.2.3 เครื่องกลแบบปรับความเร็วรอบได้ (Variable Speed Drive) เป็นเครื่องกลแบบปรับความเร็วรอบได้ตามต้องการ ใช้ในกระบวนการผลิตในงานอุตสาหกรรมหรือในห้องทดลองที่ต้องการผสมสารเคมีเองก่อนนำไปใช้ในกระบวนการผลิต ขนาดกำลังมอเตอร์ที่ใช้กับเครื่องกลนี้ไม่สามารถกำหนดตายตัวได้ แต่มีข้อสังเกตคือ การนำเครื่องกลมาใช้ในขนาดของถังที่ต่างกันมากจะให้ผลที่ต่างกัน ถ้าถังมีขนาดเล็ก การเฉือน (Shear) จะมีผลมากทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่สม่ำเสมอ จะต้องทำการกราฟมาตรฐานแสดงผลของการเฉือนของใบพัดกระทำต่อของเหลว แล้วเลือกใช้ความเร็วรอบของเครื่องกลให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเพื่อควบคุมคุณภาพด้วย

2.2.4 เครื่องกลในเส้นท่อแบบหนึ่ง (State Mixer or Liner Mixer) เป็นเครื่องกลในเส้นท่อ ใช้ติดตั้งเป็นส่วนหนึ่งของท่อเพื่อให้เกิดการผสมอย่างต่อเนื่องหรือผสมของเหลวกับของเหลว ของเหลวกับผง หรือของเหลวที่กำลังไหลเข้ามาในเส้นท่อเดียวกันได้ ทำให้ประหยัดเวลาและเนื้อที่ ลักษณะของแกนใบพัดของเครื่องกลในเส้นท่อแบบหนึ่ง ดังภาพประกอบ 9

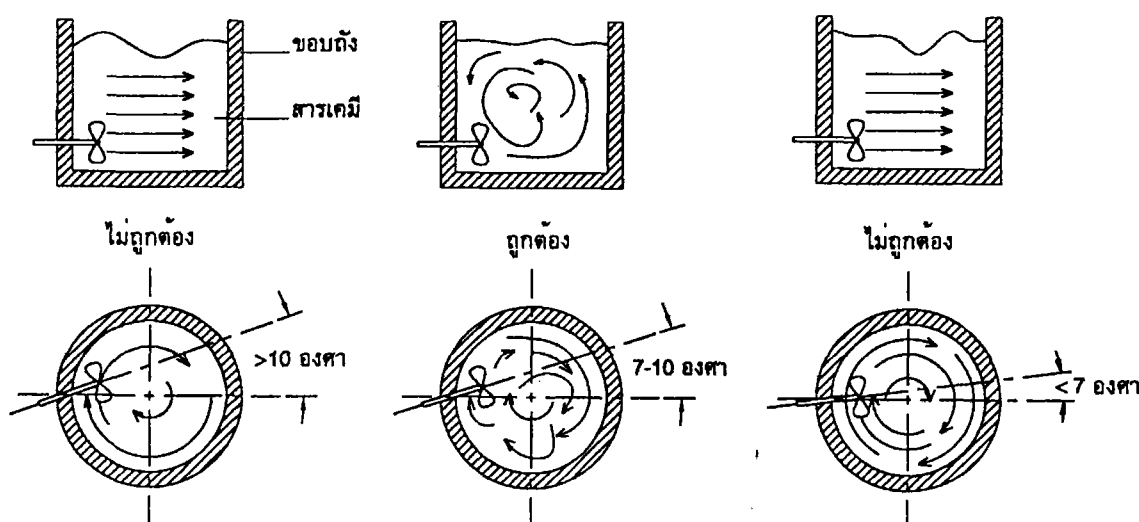


ภาพประกอบ 9 แกนใบพัดเครื่องกว่นในเส้นท่อแบบนิ่ง

ที่มา : เนตรทิพย์ คู่คงวิริยะพันธ์. (2535). "การเลือกใช้เครื่องกว่นที่เหมาะสม." ใน 74 เรื่องน่ารู้เทคนิคเครื่องกล.
หน้า 247

- ก. ฝาครอบแกนใบพัดแบบพิเศษ ขนาดมาตรฐาน เบอร์ 150
- ข. แกนใบพัดแบบเป็นชั้น เบอร์ 42
- ค. แกนใบพัดแบบเกลียววนรอบแกน เบอร์ 42
- ง. แกนใบพัดแบบเกลียววนรอบแกน เบอร์ 22
- จ. แกนใบพัดแบบเกลียววนรอบแกน เบอร์ 11

2.2.5 เครื่องกว่นแบบกว่นข้างถึง (Side-Entering) เป็นเครื่องกว่นแบบใช้ติดข้างถึง โดยผ่านหน้าแปลน
เหมาะสำหรับถังขนาดใหญ่มาก ๆ หรือใช้กว่นของเหลวในถังให้เย็นลง เครื่องชนิดนี้มีใบพัดโต ความเร็วรอบสูง
ขนาดของมอเตอร์ที่ใช้ขับประมาณ 10 แรงม้าต่อปริมาตรของ ๆ เหลวในถัง 15 ลูกบาศก์เมตร การติดตั้งข้างถึงต้องให้
แนวแกนของเครื่องกว่นอยู่ทางด้านล่างของถังเกือบถึงก้นถัง มุมที่แนวแกนใบพัดทำกับเส้นผ่านศูนย์กลางถัง ตรงจุดที่
เครื่องกว่นเข้าถังจะต้องทำมุมกันเกินกว่า 7 องศา แต่ไม่เกิน 10 องศา ดังภาพประกอบ 10



ภาพประกอบ 10 มุมการติดตั้งเครื่องกวนแบบเข้าข้างถัง

ที่มา : เนตรทิพย์ คู่คงวิริยะพันธุ์. (2535). "การเลือกใช้เครื่องกวนที่เหมาะสม." ใน 74 เรื่องน่ารู้เทคนิคเครื่องกล. หน้า 247

2.2.6 เครื่องกวนแบบติดกันถัง (Fixed Mount) เครื่องกวนแบบนี้เหมาะในการกวนเบาๆ เช่น กวนผสม กาวลาเท็กซ์ เพื่อป้องกันการเกิดครีมและฝ้าขาวบนผิวของของเหลว ใช้กับของเหลวที่มีความหนืดสูงเครื่องมีความเร็วรอบต่ำ มอเตอร์มีกำลังขับ 1/4 แรงม้า การที่มอเตอร์มีความเร็วรอบสูงถึง 1,450 รอบ/นาที ทำให้เกิดการเฉือนในเนื้อของเหลวกวนมากเกินไป เพื่อป้องกันการตกตะกอนควรปรับความเร็วรอบในการกวนประมาณ 350 รอบ/นาที สำหรับถังขนาดประมาณ 3,500 ลิตร ใช้กำลังมอเตอร์ 1/3 แรงม้า เช่น การกวนคลอรีนผงในน้ำ กวนปูนขาว กวนกาว กวนแป้ง เป็นต้น

2.2.7 เครื่องกวนแบบใช้ในห้องทดลอง (Laboratory Mixer) เป็นเครื่องกวนขนาดเล็ก เหมาะกับการกวนปริมาณน้อย ๆ เช่น ห้องปฏิบัติการที่ต้องผสมสารเคมีก่อน เพื่อเตรียมไว้ใช้ในโรงงานมีทั้งแบบติดตั้งถาวรกับตัวถังหรือแบบเคลื่อนย้ายได้ มีทั้งแบบความเร็วรอบคงที่หรือแบบเปลี่ยนความเร็วรอบได้ ใช้ในการละลายของน้ำแข็งในน้ำเพื่อเตรียมสารละลายไว้ใช้ในกระบวนการผลิต เช่น เตรียมสารละลายโซดาไฟเข้มข้น 1 โมลาร์ (หรือร้อยละ 3.8 โดยน้ำหนัก) สามารถใช้เครื่องกวนขนาด 1 ใน 30 แรงม้าต่อสารละลายที่ต้องการ 10 ลิตร โดยการเทผงโซดาไฟลงไปจนถึงกวนที่มีน้ำอยู่แล้ว เป็นต้น

การเลือกใช้เครื่องกวนสารเคมี จำเป็นจะต้องคำนึงถึงประโยชน์ใช้สอยหลายๆ อย่าง และแน่นอนที่สุดบางครั้งอาจต้องการความประหยัดโดยซื้อเครื่องกวนตัวเดียว แต่นำมาใช้งานได้หลากหลาย เช่น มีระบบควบคุมการกวน และระบบให้ความร้อนอยู่ภายในเครื่องเดียวกัน ตัวแปรที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึงการเลือกใช้เครื่องกวน คือ การติดตั้งเพลากับใบพัด ลักษณะของใบพัดมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการกวนในถัง การติดตั้งใบพัดตามแนวแกนเพลของเครื่องกวนที่ระดับความสูงต่างกันอาจให้ผลที่แตกต่างกัน ยังไม่อาจสรุปได้แน่ชัดว่าใบพัดควรอยู่สูงจากก้นถังเท่าไร เพราะขึ้นอยู่กับความเร็วยรอบและชนิดของใบพัดด้วย นอกจากนั้นจะต้องคำนึงถึงวัสดุที่ทำมาใช้ทำเพลและใบพัดด้วยว่าสามารถทนการกัดกร่อนของสารเคมีได้ดีเพียงใด

ซึ่งคุณสมบัติของวัสดุและความหมายของตัวความหมายของอักษรแทนคุณสมบัติของวัสดุที่แสดงการทนทานต่อการกัดกร่อนต่อสารเคมีชนิดต่างๆของวัสดุที่ใช้ทำถังและแกนเครื่องกวน ดังแสดงในตาราง 5

- A = ทนการกัดกร่อนได้ดี
B = ทนการกัดกร่อนปานกลาง
C = ไม่ทนการกัดกร่อน

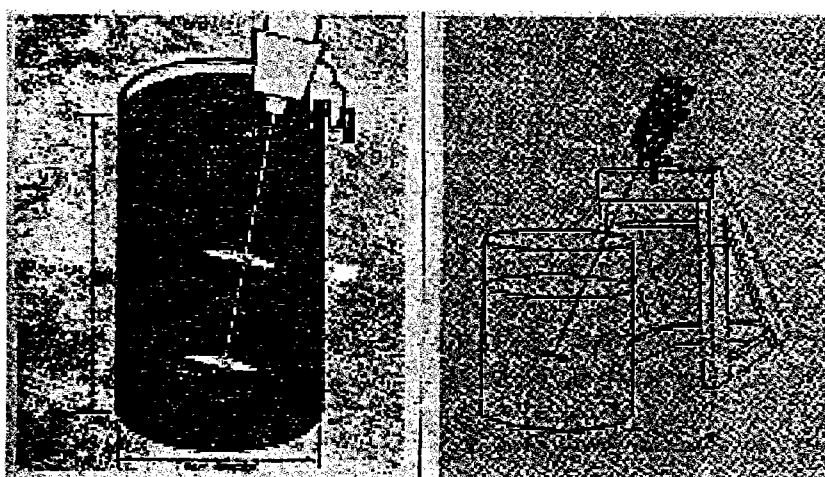
ตาราง 5 การทนทานต่อการกัดกร่อนต่อสารเคมีชนิดต่างๆของวัสดุที่ใช้ทำถังและแกนเครื่องกวน

สารเคมี \ วัสดุ	โพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์ชนิดแข็ง	โพลีไวนิลคลอไรด์ (Normally tubing)	โพลีโพรพิลีนความหนาแน่นปานกลางหรือสูง	โพลีโพรพิลีน ชนิดความหนาแน่นต่ำ (RCH 500)	โพลีโพรพิลีน	โพลีเอเทอร์ฟลูออไรด์	เหล็กเหนียว (304 หรือ 1.4305)	เหล็กเหนียว (316 หรือ 1.4571)	เหล็กอ่อน	ทองเหลือง	แผ่นนิกเกิล-ทองเหลือง
กรดอะซิติก	A	A	C	A	A	A	A	A	A	C	A
แอมโมเนียเหลว	B	B	A	A	A	A	A	A	A	C	B
น้ำทะเล	A	A	A	A	A	A	A	A	C	C	B
แคลเซียมคลอไรด์	A	A	A	A	A	A	C	B	C	C	A
แคลเซียมไฮดรอกไซด์	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
แคลเซียมไฮโปคลอไรต์	A	A	A	A	A	A	C	C	C	C	C
คลอรีน(moist)	A	C	B	C	C	A	C	B	C	C	B
คลอรีนเหลว	C	C	C	C	C	A	C	C	B	C	C
กรดซัลฟิวริก	A	A	A	A	A	A	A	A	C	C	B
ควาเพอร์ซัลเฟต	A	A	A	A	B	A	A	A	C	C	C
น้ำมันดีเซล	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A
ฟอร์มาดีไฮด์	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	A
น้ำมันเชื้อเพลิง	B	C	C	C	C	A	A	A	A	A	A
กรดไฮโดรคลอริก	A	A	A	A	A	A	C	C	C	C	C
กรดไนตริก	A	C	B	C	C	A	A	A	C	C	C
โปแทสเซียมคลอไรด์	A	A	A	A	A	A	B	C	C	C	C
โปแทสเซียมไนเตรท	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B

ที่มา : เนตรทิพย์ คู่คงวิริยะพันธ์. (2535). "การเลือกใช้เครื่องกวนที่เหมาะสม." ใน 74 เรื่องน่ารู้เทคนิคเครื่องกล.

การใช้เครื่องกวณสารเคมีที่ถูกวิธี จะต้องพิจารณาด้านต่างๆ คือ ตั้งเครื่องกวณไว้ทางด้านบนของตัวถัง ควรให้แกนเครื่องกวณเอียงทำมุมประมาณ 10-20 องศากับแนวดิ่ง หรือประมาณให้แนวแกนของเครื่องกวณพุ่งทะแยง มุมไปกับตัวถังเพื่อจะทำให้เกิดกระแสวนทั่วถึงตลอดทั้งถัง กรณีที่ต้องการละลายผงเบาๆ หรือแบ่งมันควรให้ด้ามของ แท่งแกนใบพัดอยู่ในแนวเดียวกันกับแกนของตัวถัง เพื่อที่จะทำให้เกิดกระแสวนเหมือนวังน้ำวนรอบๆ แกนเครื่องกวณ ความยาวของแกนเครื่องกวณอย่างน้อยควรจะเป็น 1 ใน 3 ของความสูงของตัวถัง ปกติจะใช้ใบพัดเดี่ยว แต่กรณีที่ขนาด ของถังมีความสูงมาก อาจเพิ่มเป็นหลายๆ ใบพัดได้ เครื่องกวณอาจติดตั้งบนฝาถังหรือบนคานที่ทำไว้อย่างแข็งแรงก็ได้ ถ้าเป็นของเหลวที่มีไอระเหยที่เป็นพิษเช่น คลอรีน มีการกัดกร่อนสูง เครื่องกวณควรมีแกนเพลลาที่ยาวและติดเครื่อง กวณให้ห่างจากถังมากพอสมควร โดยแห่แกนใบพัดลงในถังทางรูที่มีการป้องกันการรั่วอย่างมิดชิด

ดังภาพประกอบ 11



ภาพประกอบ 11 เครื่องกวณแบบมีหลายใบพัดและลักษณะการติดตั้ง

ที่มา : เนตรทิพย์ คู่คงวิริยะพันธ์. (2535). "การเลือกใช้เครื่องกวณที่เหมาะสม." ใน 74 เรื่องนำสู่เทคนิคเครื่องกล.
หน้า 252

ความหนืดของของเหลวมีผลต่อกำลังของมอเตอร์ที่ใช้มาก ถ้านำเครื่องกวณที่มีกำลังต่ำมาใช้กวณของเหลวที่มีความหนืดสูง หรือนำเครื่องกวณที่รอบสูงมาใช้กวณโดยไม่ทดสอบจะเกิดสภาวะการทำงานที่เกินอัตราที่กำหนด (Overload) มอเตอร์จะร้อนและระเบิดได้ ส่วนด้านความเร็วรอบ ส่วนใหญ่มักจะเข้าใจผิดว่าถ้าใช้ความเร็วรอบสูงเกินไปจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดการดูดอากาศลงถังหรือเกิดการหมุนเป็นเกลียว และหมุนวนอยู่ตรงกลางถัง ที่จริงไม่ใช่เช่นนั้น สาเหตุของการดูดอากาศลงถังของเครื่องกวณอยู่ที่แบบของใบพัดและแบบตัวถังและเกิดได้ทุกความเร็วรอบของเครื่องกวณ ในกรณีที่เป็นการกวณในถังปฏิกรณ์เคมีที่มีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้น การออกแบบเครื่องกวณและถังจะซับซ้อนมากขึ้น จะต้องคำนึงถึงการเกิดกระแสวน ผลของการเฉือนของใบพัด การแพร่กระจายระหว่างสารเคมีในถัง ในห้องทดลอง อาจจะทำการทดลองในบีกเกอร์หรือถังปฏิกรณ์เคมีขนาดเล็กไม่เกิน 10 ลิตร และได้ผลออกมาว่าอัตราการเกิดผลิตภัณฑ์สุดท้ายขึ้นอยู่กับอัตราเร็วในการทำปฏิกิริยาหรือขึ้นอยู่กับความไวของสารเคมีที่ใช้ทำปฏิกิริยากัน เมื่อมีการเติมสารเคมีเข้าไปทำปฏิกิริยาในถังสารเคมีเหล่านั้นจะต้องใช้เวลาในการแพร่กระจายเข้าหากันก่อน สารเคมีจึงจะทำ

ปฏิริยากันได้ การแพร่กระจายในถังจึงเป็นตัวกำหนดทั้งปริมาณและคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ซึ่งผลอาจจะไม่เป็นไปตามที่ได้ทดลองในห้องทดลองก็ได้ หากพบกับปัญหาทำนองนี้ ก็ควรทำความเข้าใจในเรื่องการกวนหรือในกรณีที่มีปฏิริยาเคมีที่ซับซ้อนเกิดขึ้น ควรจะต้องปรึกษาผู้เชี่ยวชาญ (เนตรทิพย์ คู่คงวิริยะพันธ์ุ. 2535 : 245 - 253) ในอุตสาหกรรมที่มีกระบวนการทางเคมีเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น การผสมน้ำยาเคมีหลายๆ อย่างเข้าด้วยกัน หรือผสมสารอื่นเข้ากันน้ำ มักจะมีถังผสมต่างๆ รวมอยู่ด้วยเสมอ พลังงานที่ต้องการในการผสมเหล่านี้ไม่นับว่าไม่ต้อยไปกว่าพลังงานที่ต้องการใช้กับการทำงานอื่นๆ เลย เช่น การต้ม กลั่น อบแห้ง การเลือกใช้วิธีผสมและรูปร่างของถัง ใบพัด ที่ถูกต้องจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานลงมากทีเดียว การออกแบบที่ดีจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผสมได้ แม้ว่าจะใช้ความเร็วรอบในการกวนต่ำ นอกจากจะเป็นการประหยัดพลังงานแล้วยังมีประโยชน์ทางด้านอื่นๆ คือ

- 1) ช่วยลดค่าใช้จ่ายเพราะใช้อุปกรณ์การขับและส่งกำลังขนาดเล็กลง
- 2) เกิดการสึกหรอของใบพัดน้อยกว่า ซึ่งการสึกหรอเป็นไปตามการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบที่ปลายใบพัด

ของถังผสม

- 3) ความเสียหายที่เกิดจากผลึกรวมตัวกันมีน้อยลง เนื่องจากเกิดการชนกันเองเมื่อใช้ความเร็วรอบของใบพัดที่ต่ำกว่า (วิฑูร รัตนศักดิ์. ม.ป.ป. : 183)

ผู้วิจัยได้ศึกษาถึงสมบัติของเครื่องกวนสารเคมีที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมและที่ใช้ในปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์จากกระบวนการทดลองต่างๆ พบว่าเครื่องดังกล่าวมีความจำเป็นที่จะต้องมีการจำอยู่ในห้องทดลองนั้นๆ เพราะในกระบวนการทำงานโดยเฉพาะกระบวนการทดลองแต่ละครั้งมีความแตกต่างและมีหลายวิธี การพัฒนาเครื่องกวนสารเคมีเพื่อให้มีคุณสมบัติที่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ ครอบคลุมถึงวิธีการทำงานมากที่สุดจึงเป็นสิ่งสำคัญเป็นอย่างยิ่ง นั่นคือการกำหนดช่วงของความเร็วรอบในการกวนที่สามารถเลือกความเร็วรอบได้ตามต้องการ เพิ่มระบบเวลาปิดเครื่องอัตโนมัติเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นเกี่ยวกับกระแสไฟฟ้า และระบบควบคุมอุณหภูมิที่สามารถปรับระดับความร้อนให้เหมาะสมตามสภาพการใช้งาน

3. กระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์และพัฒนาเครื่องกวนสารเคมี

วิวัฒนาการด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ต่างๆของมนุษย์ทั้งนักจิตวิทยา วิศวกร นักกายวิภาคได้พยายามหาวิธีการปรับปรุงกระบวนการผลิต ผลผลิต สินค้าและการบริการ เพื่อให้มนุษย์มีความพร้อมที่จะเข้าสู่สังคมด้านเทคโนโลยีสมัยใหม่ ความพยายามนี้ไม่ได้เจาะจงที่คนที่ประกอบอาชีพเพียงอาชีพเดียว แต่ต้องการความสามารถพิเศษจากอาชีพต่างๆ ในอีกจุดมุ่งหมายก็เพื่อที่จะให้มนุษย์ได้รับผลิตภัณฑ์ที่ดี สะดวกสบาย ปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์เป็นหน้าที่โดยตรงของนักออกแบบผลิตภัณฑ์รวมทั้งความพยายามในการคิดค้นผลิตภัณฑ์ใหม่ๆหลายชนิด เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค ถึงแม้ว่าบางครั้งการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ไม่ได้เกิดขึ้นเพื่อสนองความต้องการของผู้บริโภคโดยตรงก็ตาม แต่จะต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายๆประการในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ซึ่งแตกต่างกันไปตามลักษณะและความซับซ้อนของสิ่งนั้นๆ (สาคร คันทโชติ. 2528 : 3 - 5)

ผลิตภัณฑ์ใหม่ (New Product) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะริเริ่ม หรือเป็นเอกลักษณ์ (Innovated Product) กล่าวคือ เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะแตกต่างจากผลิตภัณฑ์เดิมที่มีอยู่ หรือความต้องการใหม่ของผู้นซื่อ สามารถทดแทนผลิตภัณฑ์เดิม การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ถือว่าสอดคล้องกับปรัชญาทางการตลาด (Marketing Concept) เป็นการค้นหาถึงแนวความคิดเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ที่สามารถตอบสนองความต้องการของเป้าหมายได้ กระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ มีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

3.1 การออกแบบผลิตภัณฑ์

3.1.1 ขั้นที่ 1 การสร้างความคิดเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ใหม่ (Idea Generation) เป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาการค้นหาคิดเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ใหม่ ซึ่งเป็นความคิดที่มองเห็นลู่ทางที่จะขายผลิตภัณฑ์นั้น

3.1.2 ขั้นที่ 2 การกลั่นกรองและการประเมินความคิด (Screen and Evaluation of Idea) เป็นการพิจารณาการกลั่นกรองความคิดเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ใหม่ที่สร้างขึ้นจากขั้นที่หนึ่งว่า ความคิดใดที่จะนำมาวิเคราะห์และพัฒนาในขั้นต่อไป

3.1.3 ขั้นที่ 3 การพัฒนาความคิดและการทดสอบความคิด (Concept Development and Testing) เป็นการนำความคิดเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ที่ผู้ผลิตสร้างขึ้นและการสร้างความคิดที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ให้เกิดกับผู้บริโภครวมทั้งภาพลักษณ์เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคมองผลิตภัณฑ์จริงๆ ส่วนการทดสอบความคิด (Concept testing) หมายถึงการนำความคิดไปทดสอบกับกลุ่มผู้บริโภคเพื่อดูความรู้สึกนึกคิด และการยอมรับความคิดเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ถ้าความคิดเห็นนั้นมีความเป็นไปได้ก็จะนำไปสู่ขั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์

3.1.4 ขั้นที่ 4 การพัฒนากลยุทธ์การตลาด (Marketing Strategy Development) เป็นการพัฒนาเครื่องมือการตลาดเพื่อตอบสนองความต้องการของตลาดเป้าหมาย ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ 1) ขนาดโครงสร้างและพฤติกรรมของตลาดเป้าหมาย (Target Market's Size, Structure and Behavior). 2) การพัฒนากลยุทธ์ทางการตลาด (Marketing Strategy). 3) ยอดขายและกำไรตามเป้าหมายในระยะยาว (Long-run Sale and Profit Good) และกลยุทธ์ทางการตลาด (Marketing Strategies)

3.1.5 ขั้นที่ 5 การวิเคราะห์ทางธุรกิจ (Business Analysis) เป็นการพัฒนาว่าความคิดเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ใหม่ที่คัดเลือกไว้จะมีความเป็นไปได้ในทางธุรกิจ งานในขั้นนี้ประกอบด้วย (1) กำหนดลักษณะผลิตภัณฑ์ (2) คาดคะเนความต้องการซื้อของตลาด (3) คาดคะเนต้นทุนและกำไร (4) กำหนดภาระความรับผิดชอบเพื่อศึกษาความเป็นไปได้สำหรับผลิตภัณฑ์

3.1.6 ขั้นที่ 6 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ (Product Development) เป็นการเปลี่ยนความคิดที่ผ่านการวิเคราะห์แล้วเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นรูปเป็นร่าง (Physical Product) ขึ้นมา ประกอบด้วย การพัฒนารูปลักษณ์ผลิตภัณฑ์ (Product Prototype) และการพัฒนาหน้าที่การทำงานของผลิตภัณฑ์

3.1.7 ขั้นที่ 7 การทดสอบตลาด (Market Testing) เป็นการนำผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาแล้วไปทดสอบการยอมรับของลูกค้าเป้าหมายในอาณาเขตที่จำกัด โดยมีการใช้โปรแกรมการตลาดที่กำหนดให้ ในขั้นนี้จะทำให้ทราบข้อบกพร่องต่างๆที่จะต้องนำมาปรับปรุง

3.1.8 ขั้นที่ 8 การดำเนินธุรกิจ (Commercialization) เป็นการนำผลิตภัณฑ์ใหม่ออกสู่ตลาดจริงตามแผนการที่กำหนดไว้ ขั้นนี้จึงถือว่าเป็นขั้นแนะนำผลิตภัณฑ์ใหม่ (Introduction Stage) ซึ่งเป็นขั้นแรกของวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ [Product Life Cycle (PLC)] (ศิริวรรณ เสรีรัตน์และคนอื่นๆ. 2543 : 117 - 119) ประสงค์ ปราณิตพลกรังและผู้อื่น (2543 : 121 - 124) ได้ให้ความหมายของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ คือ เป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่และปรับปรุงผลิตภัณฑ์เดิมสำหรับตลาดปัจจุบันด้วยการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่โดยการปรับปรุงให้ใหญ่ขึ้นหรือทำให้เล็กลง การรวมหรือแยกลักษณะต่างๆ การสร้างคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้แตกต่างจากคู่แข่ง

คำว่า ออกแบบ (Design) มาจากศัพท์ภาษาละติน คือ คำว่า Designare หมายถึง การกำหนดออกมากะหรือขีดเขียนไว้ เป้าหมายที่จะแสดงออก ซึ่งหมายถึงสิ่งที่อยู่ในอำนาจความคิด (Conscious) อาจเป็นโครงสร้างรูปแบบ หรือแผนผังที่ช่างหรือศิลปินกำหนดขึ้นด้วยการจัดทำทาง ถ้อยคำ เส้น สี เสียง รูปแบบโครงสร้างและวัสดุต่าง ๆ ตามความหมายของการออกแบบ จากแนวคิดของบุคคลหลายฝ่าย ซึ่งสรุปได้ว่า การออกแบบเป็นกิจกรรมสำคัญประการหนึ่งของมนุษย์ตลอดเวลาที่มีชีวิตอยู่ มนุษย์จะต้องใช้การออกแบบทุกระยะเพื่อกำหนดการดำรงชีวิต เพราะการวางแผนตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงขั้นสุดท้ายของชีวิตในทุก ๆ ด้าน ย่อมขึ้นอยู่กับชีวิตที่มีหลักปฏิบัติเกี่ยวกับการวิเคราะห์ (Analyzing) การสร้างสรรค์ (Creating) และการปรับปรุง (Developing) ผลิตภัณฑ์เพื่อการผลิตในปริมาณมาก ๆ (Mass Production) โดยให้มีรูปแบบที่ถูกต้องแน่นอนก่อนที่จะลงทุนจำนวนมาก เพื่อจัดอุปกรณ์เครื่องมือเครื่องจักรในการผลิตและสามารถผลิตได้ในราคาพอสมควร (มนตรี ยอดบางเตย. 2538 : 1,55) และได้มีผู้ให้คำนิยามของคำว่า “การออกแบบ” ต่างๆ กัน ดังนี้

การออกแบบ หมายถึง การใช้ความคิดในการเลือกใช้วัสดุ ด้วยการเลือกหรือการจัดการเพื่อสร้างสรรค์ งานศิลปะ ให้มีหน้าที่ใช้สอยตามความต้องการทั้งในด้านอัตถประโยชน์และความงามในรูปร่างลักษณะตลอดจนรูปทรง (ทำนอง จันทิมา. 2532 : 2)

การออกแบบ หมายถึง ผลงานที่มนุษย์สร้างสรรค์ขึ้นโดยที่ไม่ลอกเลียนแบบมาจากผู้ใด และเป็นการวางแผนงานอย่างรอบคอบเพื่อสร้างผลงานนั้นๆ ให้สอดคล้องกับความต้องการของมนุษย์และสังคม (ถาวร สารวิทย์. 2529 : 6)

การออกแบบ หมายถึง การรู้จักวางแผนจัดขั้นตอนและรู้จักเลือกใช้วัสดุวิธีการเพื่อทำตามที่ต้องการนั้น โดยให้สอดคล้องกับลักษณะรูปแบบคุณสมบัติของวัสดุแต่ละชนิดตามความคิดสร้างสรรค์

การออกแบบ หมายถึง การรู้จักวางแผนจัดตั้ง ขั้นตอนและรู้จักเลือกใช้วัสดุ วิธีการเพื่อทำตามที่ต้องการนั้น โดยให้สอดคล้องกับลักษณะรูปแบบและคุณสมบัติของวัสดุแต่ละชนิดตามความคิดสร้างสรรค์ การสร้างสรรค์สิ่งใหม่ขึ้นมาเช่น เราจะทำเก้าอี้หนึ่งสักตัวจะต้องวางแผนไว้เป็นขั้นตอนโดยเริ่มเลือกวัสดุที่จะใช้ทำเก้าอี้หนึ่งจะใช้วัสดุอะไรที่เหมาะสม วิธีการต่อยอดนั้นจะใช้กาว ตะปู นอต หรือใช้ข้อต่อแบบใด คำนวณสัดส่วนการใช้งานใช้งานให้เหมาะสม ความแข็งแรงของเก้าอี้หนึ่งมากน้อยแค่ไหน สีสนัที่จะใช้ ความสวยงามและความทนทาน

3.2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์

คำว่า “พัฒนา” (Improvement) หมายถึง การปรับปรุงเปลี่ยนแปลงให้ดีขึ้น การพัฒนาผลิตภัณฑ์ หมายถึง กระบวนการคิด ค้นคว้า ออกแบบ แก้ไข ปรับปรุงเพื่อให้ได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ดีขึ้น ฉะนั้น การออกแบบและพัฒนาอุตสาหกรรม จึงหมายถึง การออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นด้วยกรรมวิธีทางด้านอุตสาหกรรมและสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับอุตสาหกรรมโดยมีการวิเคราะห์หาข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับหน้าที่ใช้สอยของผลิตภัณฑ์ ซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับการตลาดแล้วนำมาปรับปรุงผลิตภัณฑ์เพื่อผลิตเป็นจำนวนมาก ให้อยู่ในความนิยมของตลาด ในราคาพอสมควร (สารคดี ๒๕๒๘ : ๖-๗) วรวิทย์ อึ้งภากรณ์และชาญ ฤณรงค์ (๒๕๒๒ : ๓-๔) ได้กล่าวถึงขั้นตอนในการออกแบบทั่วไปว่าการออกแบบเป็นกระบวนการที่น่าสนใจมากกว่าแนวความคิดที่ว่าควรจะเริ่มอย่างไร ต่อไปจะเกิดอะไรขึ้น มีอะไรบ้างที่เป็นตัวควบคุมหรือมีผลต่อการตัดสินใจ และสุดท้ายงานออกแบบจะสิ้นสุดลงเมื่อใด ซึ่งงานบางอย่างอาจไม่เป็นไปตามขั้นตอนก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ออกแบบและกรรมวิธีในการออกแบบ การออกแบบผลิตภัณฑ์จะต้องคำนึงถึงหลักการดังต่อไปนี้

3.2.1 หน้าที่ใช้สอย (Function) คือต้องออกแบบผลิตภัณฑ์ให้มีหน้าที่ใช้สอยถูกต้องตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค

3.2.2 ความปลอดภัย (Safety) การออกแบบต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้บริโภค อุบัติเหตุ เช่น เมื่อใช้ผลิตภัณฑ์แล้วจะไม่เกิดสารพิษที่ทำอันตรายแก่ชีวิต ไม่เกิดอันตรายได้ง่าย มีความปลอดภัยสูง

3.2.3 ความแข็งแรง (Construction) หมายถึงความแข็งแรงของตัวผลิตภัณฑ์ ควรจะเลือกใช้โครงสร้างให้เหมาะสม มีความแข็งแรง ทนทานและประหยัด

3.2.4 ความสะดวกสบายในการใช้ (Ergonomics) คือต้องคำนึงถึงขนาด สัดส่วนที่เหมาะสมกับการใช้งาน ขีดจำกัดของผู้บริโภคและบริโภค

3.2.5 ความสวยงามน่าใช้ (Aesthetics or sale Appeal) คือต้องออกแบบให้ผลิตภัณฑ์มีรูปร่าง ขนาด สี สัน สวยงามน่าใช้ ชวนให้ซื้อ

3.2.6 ราคาพอสมควร (Cost) เลือกกำหนดการใช้วัสดุให้ถูกต้อง รวมทั้งกรรมวิธีการผลิตที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์นั้นๆ

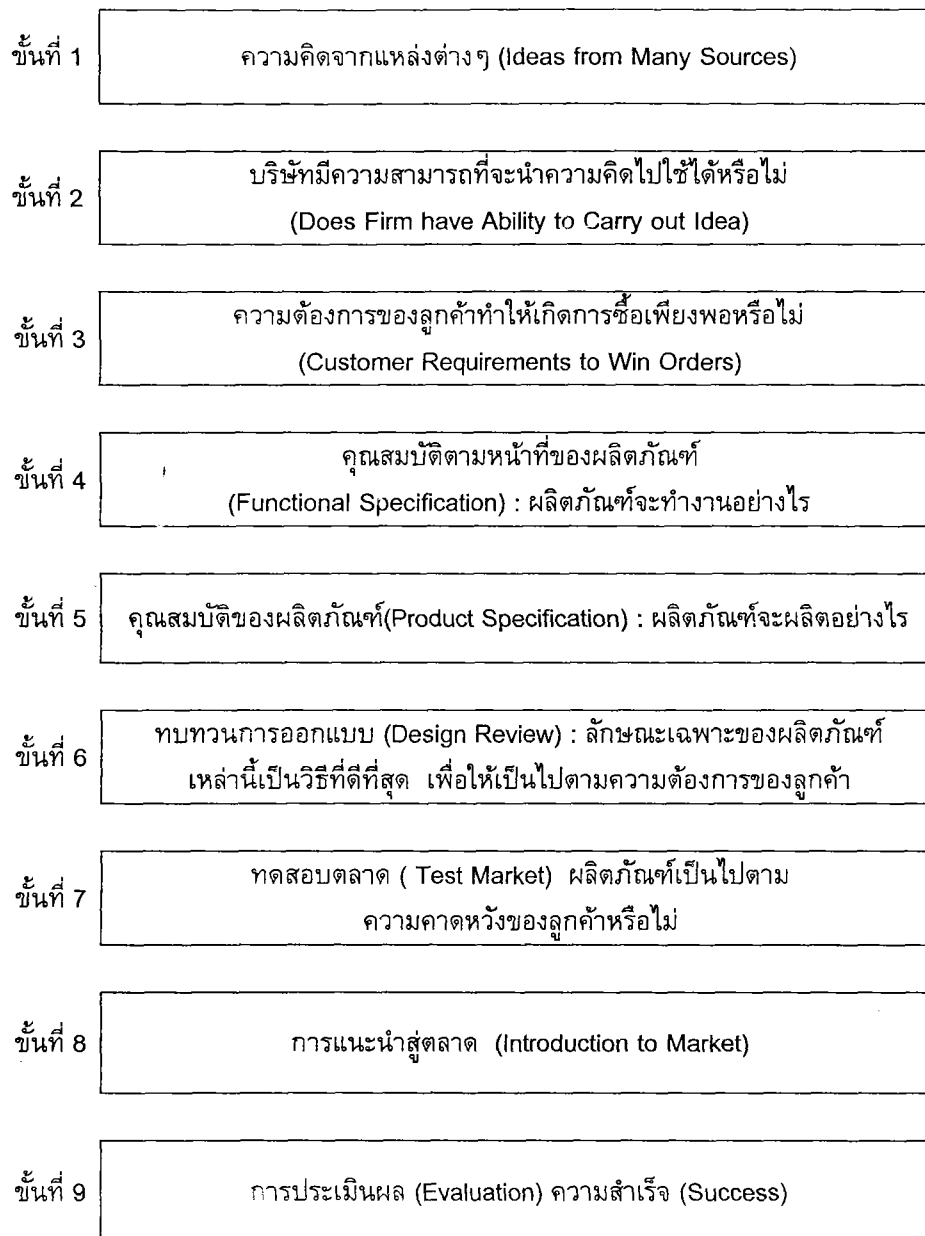
3.2.7 การซ่อมแซมง่าย (Easy of Maintenance) คือต้องทำการออกแบบให้สามารถแก้ไข ซ่อมแซมได้ง่าย และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ

3.2.8 วัสดุ (Materials) ควรเลือกใช้วัสดุให้ถูกต้องเหมาะสมกับงาน หาซื้อยากหรือไม่ ราคาเหมาะสมหรือไม่

3.2.9 กรรมวิธีการผลิต (Production) เมื่อทำการออกแบบแล้ว สามารถผลิตได้สะดวก รวดเร็ว ประหยัดวัสดุ ค่าแรงงานและค่าใช้จ่ายอื่นๆ

3.2.10. การขนส่ง (Transportation) นักออกแบบต้องคำนึงถึงการประหยัดค่าขนส่ง ความสะดวกในการขนส่ง ลักษณะของการขนส่งรวมถึงการบรรจุหีบห่อด้วย

3.3 ระบบการพัฒนาผลิตภัณฑ์ (Product Development System) ระบบการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาจได้รับการตัดสินใจอย่างดี ซึ่งไม่ใช่มุ่งเพียงสามารถที่จะผลิตผลิตภัณฑ์ได้เท่านั้น แต่ต้องคำนึงถึงอนาคตด้วย ระบบการพัฒนาผลิตภัณฑ์ซึ่งทางเลือกผลิตภัณฑ์จะเข้าสู่ขั้นตอนเป็นลำดับ เริ่มด้วยความคิดซึ่งอาจมาจากแหล่งภายในและภายนอก และสิ้นสุดระบบด้วยการประเมินผล ดังภาพประกอบ 12



ภาพประกอบ 12 ขั้นตอนการพัฒนาผลิตภัณฑ์

ที่มา : ประสงค์ ปรานีตพลกรัง. (2543). การบริหารการผลิตและการปฏิบัติการ. หน้า 122. อ้างอิงจาก Heizer and Render. (1999 : 201)

จากภาพขั้นตอนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ในขั้นตอนที่ 3 ถึงขั้นตอนที่ 9 เป็นขอบข่ายของทีมการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ส่วนขั้นตอนที่ 4 ถึงขั้นตอนที่ 7 เป็นขอบข่ายสำหรับทีมการออกแบบและทีมวิศวกรรม

3.4 การจัดองค์ประกอบสำหรับพัฒนาผลิตภัณฑ์ (Organization for Product Development)

มีวิธีปฏิบัติ ดังนี้

3.4.1 วิธีที่ 1 วิธีของสหรัฐอเมริกา โดยทำการพัฒนาที่แผนกและที่ความแตกต่างกันขององค์การ มีลำดับขั้นการพัฒนา คือ

3.4.1.1 แผนกวิจัยและพัฒนาทำงานวิจัยที่จำเป็น

3.4.1.2 วิศวกรของแผนกออกแบบผลิตภัณฑ์

3.4.1.3 วิศวกรฝ่ายผลิตออกแบบกระบวนการผลิต

3.4.1.4 แผนกผลิตทำการผลิต

3.4.2 วิธีที่ 2 ผู้จัดการฝ่ายผลิต ทำการผลิต ผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุดที่ผ่านระบบการพัฒนาผลิตภัณฑ์มาแล้ว และองค์การสามารถผลิตได้

3.4.3 วิธีที่ 3 ใช้ทีมหรือคณะทำงาน เช่นทีมพัฒนาผลิตภัณฑ์ (Product Development Teams) ทีมออกแบบสำหรับการผลิต (Design for Manufacturability Teams) ทีมวิศวกรรมคุณค่า (Value Engineering Teams) (ประสงค์ ปราณิตพลกรัง. 2543 : 121-122)

การพัฒนาเพื่อออกแบบผลิตภัณฑ์หรือบริการใหม่ โดยมีจุดเน้นในด้านการใช้งานให้ง่ายขึ้นและต้นทุนการผลิตลดลง มีวัตถุประสงค์ในแง่การใช้งานของผลิตภัณฑ์ เป็นการปรับปรุงการออกแบบผลิตภัณฑ์ซึ่งไม่ทำให้คุณภาพความเชื่อมั่นและหน้าที่ความสามารถในการใช้งานของผลิตภัณฑ์เสียหาย ในขณะเดียวกันสามารถลดต้นทุนการผลิตและต้นทุนด้านวัตถุดิบ กระบวนการผลิต วิธีการทำงาน เป็นต้น งานการวิจัยและพัฒนา คือ การค้นพบ การเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมทำให้ลดต้นทุนวัสดุโดยการใช้วัสดุทดแทนที่มีราคาถูกกว่า หรือการใช้วัสดุที่มีผลทำให้คุณค่าของผลิตภัณฑ์สูงขึ้น การค้นพบวิธีการผลิต หรือวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า จะลดเวลามาตรฐานการผลิตและเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้น (วันชัย ริจิวนิช. 2543 : 101,206) การออกแบบที่ดีในด้านผลิตภัณฑ์โลหะจะสำเร็จได้โดยการเตรียมและทำโครงการไว้ก่อน ซึ่งไม่เพียงแต่โครงการต้องได้ตามที่ต้องการเท่านั้น หากต้องคำนึงถึงความต้องการของตลาดด้วยการที่จะตัดสินใจว่าแบบไหนดีหรือไม่ ไม่ใช่สิ่งที่ง่าย ข้อเสนอแนะที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้จะช่วยตัดสินใจได้ คือ ศึกษาผลิตภัณฑ์โลหะที่มีลักษณะการออกแบบที่ดีจากหนังสือ นิตยสารต่างๆ ศึกษาตามร้านเครื่องเรือนและอุปกรณ์ดูว่ามีผลิตภัณฑ์โลหะใดบ้าง ศึกษาตามบริษัทที่มีลักษณะการออกแบบที่ดี และ ศึกษาจากงานวิจัยต่างๆ จากข้อเสนอแนะที่ได้กล่าวข้างต้น จะช่วยในการพิจารณาได้ว่าดีหรือไม่ และสามารถัดแบบที่ดีหรือแบบที่ไม่ดีออกมาได้ (สาคร คันธโชติ และวิศิษฐ์ ศิริสัมพันธ์. 2529 : 1 - 2)

3.5 ขั้นตอนหลักในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม การนำผลิตภัณฑ์ใหม่ต่างๆออกสู่ตลาดประกอบด้วยกิจกรรมหลักบางอย่างที่คล้ายคลึงกัน ตามปกติแล้วผลิตภัณฑ์แทบทุกชนิดจะมีจุดเริ่มต้นจากความต้องการของผู้ใช้ ก่อน จากนั้นผู้ผลิตจะปฏิบัติตามขั้นตอนหลักๆ ดังนี้

3.5.1 การกำหนดแนวคิดหลักและหน้าที่ในการใช้งานของผลิตภัณฑ์

3.5.2 ศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ

3.5.3 การออกแบบผลิตภัณฑ์ได้แก่ การออกแบบรูปร่างของผลิตภัณฑ์ การเลือกวัสดุและกรรมวิธีการผลิตที่เหมาะสมที่สุด

3.5.4 การวางแผนและจัดระยะเวลาสำหรับกิจกรรมการผลิต

3.5.5 การเตรียมต้นแบบ การผลิตนาร่อง และการทดสอบผลิตภัณฑ์ในตลาด

3.5.6 การผลิตในปริมาณมาก การขายผลิตภัณฑ์ และการบริการหลังการขาย

3.5.7 การปรับปรุงผลิตภัณฑ์และการพัฒนาระบบการผลิตอย่างต่อเนื่อง

3.5.8 การกำจัดและ/หรือการนำผลิตภัณฑ์กลับมาใช้ใหม่ (Recycle) เมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน

กิจกรรมทั้งหมดนี้มีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดและจะต้องดำเนินไปด้วยกันอย่างประสานกลมกลืน ผลิตภัณฑ์ที่จะประสบความสำเร็จได้นั้น ไม่เพียงแต่มีสมรรถนะการใช้งานตามข้อกำหนดทางด้านเทคนิคเท่านั้น แต่จะต้องสอดคล้องกับมาตรฐานด้านความปลอดภัยและข้อบัญญัติทางกฎหมายอีกทั้งยังต้องมีกรรมวิธีการผลิตที่เหมาะสมและขายสู่กับคู่แข่งในตลาดที่มีการแข่งขันอย่างเสรีได้ (บัญชา ธนบุญสมบัติ. 2542 : 2 อ้างอิงจาก Farag. 1997 : 1)

3.6 การออกแบบทางวิศวกรรม การออกแบบทางวิศวกรรม (Engineering Design) เป็นกระบวนการสรรค์สร้างขึ้นส่วน อุปกรณ์หรือระบบใหม่ สำหรับวิศวกรวัสดุ (Materials Engineering) จะตั้งคำถามว่า ชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์หรือระบบที่ต้องการจะสามารถสร้างด้วยวัสดุอะไรและด้วยวิธีใดบ้าง และแต่ละวิธีการเมื่อเปรียบเทียบกันแล้ว มีความเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร การที่จะตอบคำถามนี้ได้จะต้องตอบปัญหาที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

3.6.1 ข้อกำหนดด้านสมรรถนะการใช้งานของสิ่งที่ต้องการจะสร้างคืออะไร และสมบัติต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการใช้งาน เช่น สมบัติทางกล ทางกายภาพ ทางไฟฟ้าแม่เหล็ก และทางเคมีจะต้องเป็นอย่างไร

3.6.2 ข้อมูลสำหรับการออกแบบมีครบแล้วหรือไม่และครอบคลุมข้อกำหนดทั้งหมดแล้วหรือยัง

3.6.3 สิ่งที่จะสร้างใหม่สามารถเข้ากันได้กับชิ้นส่วนอุปกรณ์และระบบที่มีอยู่เดิมหรือไม่

3.6.4 วัสดุหาได้ง่ายหรือไม่ เชื่อถือได้แค่ไหนหรือจำเป็นจะต้องตรวจสอบสภาพการใช้งานบ่อยแค่ไหนและเสียค่าใช้จ่ายมากน้อยเพียงใด

3.6.5 ราคาของวัสดุและกระบวนการผลิตอยู่ในระดับที่ยอมรับได้เพียงใด การเลือกใช้วัสดุจะให้ผลคุ้มค่าทางเศรษฐกิจเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุและกระบวนการผลิตอื่นๆแล้วเป็นอย่างไร

3.6.6 วิธีใดบ้างที่สามารถใช้ในการผลิตชิ้นส่วน อุปกรณ์หรือระบบการผลิตแต่ละวิธีมีความยากหรือง่ายเพียงใด

3.6.7 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการเลือกใช้วัสดุเป็นอย่างไร เมื่อชิ้นส่วนหมดอายุแล้วจะมีวิธีการจัดการอย่างไร

3.6.8 ในกรณีที่ชิ้นส่วนหรือระบบการผลิตเกิดความเสียหายระหว่างการใช้งานจะมีผลกระทบโดยตรงและผลกระทบต่อเนื่องอย่างไรบ้าง (บัญชา ธนบุญสมบัติ. 2542 : 6 อ้างอิงจาก Schaffer. 1995 : 749)

นักออกแบบต้องคำนึงถึงมาตรฐานและข้อกำหนดทางการค้า (Trade Standard and Practices) ซึ่งแต่ละประเทศได้กำหนดไว้ เพื่อให้สอดคล้องกับชนิดของวัสดุ กรรมวิธีการผลิต ค่าใช้จ่ายในการประกอบ (Cost of Fabrication) นโยบายทางการค้า (Merchandising Policies) (มนตรี ยอดบางเตย. 2538 : 73-74) สิ่งต่างๆ เหล่านี้มีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับใช้เป็นแนวทางในการออกแบบทางวิศวกรรมและพัฒนาผลิตภัณฑ์

3.7 ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องกวสารถึง

เครื่องกวสารถึงโดยอาศัยแรงแม่เหล็ก ที่ควบคุมด้วยชุดอิเล็กทรอนิกส์ ควบคุมความเร็วรอบในการกวสารถึง ระบบตั้งเวลาปิดการทำงานและระบบให้ความร้อนเพื่อยืดหรืออุ่นสารละลายต่างๆ หลักการทำงานของเครื่องอาศัยแรงของแม่เหล็กถาวร 1 คู่ วางขนานกันในแนวราบและสลักขั้วเหนือ ขั้วใต้กัน แม่เหล็ก 2 แท่งจะดูดและผลักกันในขณะกำลังหมุนแม่เหล็กตัวขับเคลื่อนในแนวเส้นรอบวง โดยใช้มอเตอร์ที่สามารถปรับความเร็วรอบได้เป็นตัวช่วยพาทำให้แม่เหล็กตัวขับเคลื่อนเพื่อให้แม่เหล็กอีกตัวหนึ่งซึ่งอยู่ด้านบนหมุนตาม โดยแม่เหล็กตัวหมุนตามนี้จะเป็นตัวพาให้สารเคมีเกิดการหมุนวนและกวสารถึงให้เป็นเนื้อเดียวกัน ภายในภาชนะบรรจุสารหรือบีกเกอร์ที่วางอยู่บนชุดแผ่นให้

ความร้อน ส่วนประกอบหลักของเครื่องประกอบด้วยชุดอิเล็กทรอนิกส์จำนวน 3 ชุด คือ ชุดอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์สำหรับกวนสารเคมี ชุดอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมเวลาปิดการทำงาน ชุดอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมอุณหภูมิ และมีอุปกรณ์เสริม 1 ชุด ซึ่งเป็นชุดเสตจิงเอนกประสงค์ ผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีเบื้องต้นของระบบการทำงานด้านต่างๆ เพื่อนำมาเป็นแนวทางพัฒนาเครื่องกวนสารเคมี มีรายละเอียด ดังนี้

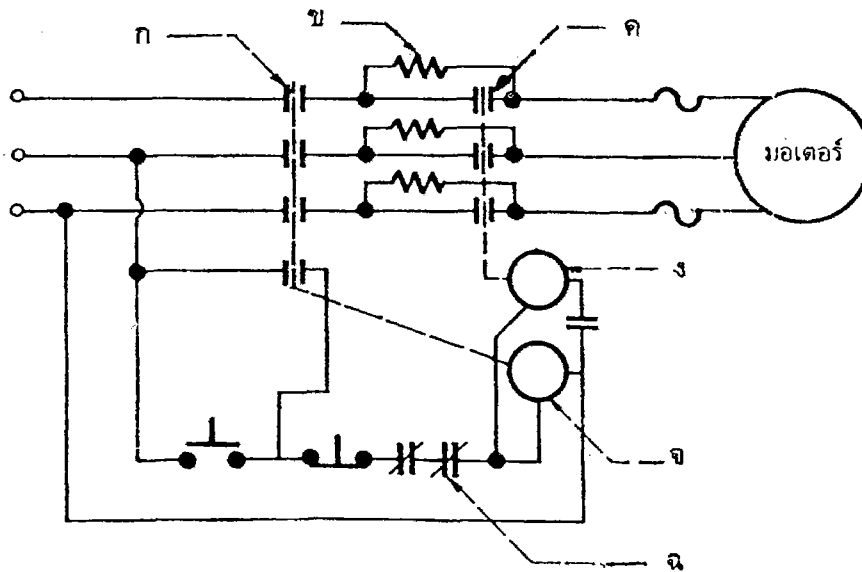
3.7.1 ชุดอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมการเปิดมอเตอร์ วงจรควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ ทำหน้าที่ควบคุมความเร็วรอบในการกวนสารเคมี โดยปรับระดับแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์ในช่วงประมาณ 130–220 V มอเตอร์จะหมุนเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับระดับแรงดันที่จ่ายให้วงจร สามารถปรับความเร็วรอบได้ตั้งแต่ 30–800 รอบ/นาที การควบคุมมอเตอร์ (Motor Control) เพื่อควบคุมระบบการกวน เช่น การเปิดมอเตอร์ (Motor Starter) การปิดมอเตอร์และการปรับความเร็วรอบมอเตอร์ การควบคุมมอเตอร์มีวิธีการต่างๆ ดังนี้

3.7.1.1 การเปิดโดยตรง เป็นการเริ่มเปิดมอเตอร์โดยต่อแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเข้ากับมอเตอร์ทันที ลักษณะการเริ่มเปิดมอเตอร์วิธีนี้มี 3 วิธี คือ บังคับด้วยมือโดยตรง ใช้รีเลย์บังคับ หรือใช้ทั้งสองชนิดข้างต้นผสมกัน

3.7.1.2 เปิดมอเตอร์บังคับด้วยมือ ประกอบด้วยสวิทช์ ปุ่มกด และรีเลย์ ป้องกันการทำงานเกินขีดจำกัดของมอเตอร์ ซึ่งบรรจุอยู่ในกล่องอันเดียวกัน ติดตั้งไว้ใกล้กับตัวมอเตอร์ สวิทช์นี้จะทำหน้าที่ต่อแรงดันไฟฟ้าจากสายส่งเข้ากับมอเตอร์โดยตรง ชุดเปิดมอเตอร์ด้วยรีเลย์ โดยการนำรีเลย์มาต่อแทนสวิทช์แบบกดเหมือนกันกับการเปิดโดยตรง วงจรที่ควบคุมการปิดและเปิดของรีเลย์จะใช้สวิทช์ เทอร์โมสตัทท์ หรือเครื่องมือตรวจสอบอื่นๆ บังคับให้รีเลย์ทำงานเพื่อเปิดมอเตอร์ การเปิดแบบนี้สามารถทำได้โดยอัตโนมัติ และสามารถควบคุมการสตาร์ทมอเตอร์จากระยะไกลก็ได้

3.7.1.3 การเปิดมอเตอร์โดยวิธีลดค่าแรงดันไฟฟ้า (Reduced-Voltage Starting) วิธีการเปิดมอเตอร์โดยวิธีลดค่าแรงดันไฟฟ้า ดังภาพประกอบ 13

- ก. จุดสัมผัสเพื่อเปิดมอเตอร์
- ข. ความต้านทานสำหรับเปิดมอเตอร์
- ค. จุดสัมผัสสำหรับตัดความต้านทาน ให้เปิดออก
- ง. ขดลวดสำหรับเปิดจุดสัมผัส เพื่อตัดตัวต้านทานที่ใช้สตาร์ทออก ซึ่งจะทำงานเมื่อวงจรหน่วงเวลาจ่ายไฟให้แก่ขดลวด
- จ. จุดสัมผัสสำหรับเปิดมอเตอร์
- ฉ. จุดสัมผัสสำหรับรีเลย์ป้องกันกระแสไฟฟ้าเกิน



ภาพประกอบ 13 การเปิดมอเตอร์โดยวิธีลดค่าแรงดันไฟฟ้า

ที่มา : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี ไทย-ญี่ปุ่น. (2536). *อุปกรณ์ไฟฟ้า*. หน้า 40

ในขั้นตอนการเปิดมอเตอร์ถ้าปล่อยให้แรงดันไฟฟ้าเข้าสู่มอเตอร์เต็มที่ จะทำให้กระแสเมื่อเริ่มหมุนมอเตอร์มีค่าสูงเกินกว่าขีดจำกัด ซึ่งจะทำให้มอเตอร์เสียหาย หรือทำให้มอเตอร์ไม่สามารถทนแรงบิดซึ่งมีค่าสูงมากในขณะเริ่มหมุนได้ จึงต้องใช้การสตาร์ทโดยวิธีค่อยๆ เพิ่มค่าแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ เมื่อมอเตอร์เร่งความเร็วรอบสูงขึ้นแล้วจึงต่อเข้ากับแรงดันไฟฟ้าสูงสุด การสตาร์ทวิธีนี้ทำได้หลายแบบคือ

2.3.1.3.1 การเปิดมอเตอร์โดยใช้ตัวต้านทาน (Resistance Starter) โดยนำตัวต้านทานต่ออนุกรมกับมอเตอร์ในแต่ละเฟส เริ่มสตาร์ทโดยลดค่าความต้านทานลงจนถูกตัดออกไป การสตาร์ทแบบนี้จะมีกำลังงานสูญเสียเนื่องจากตัวต้านทานแต่ถือว่าน้อยมาก เนื่องจากตัวต้านทานใช้ในวงจรในขณะเริ่มเปิดเท่านั้นและเปิดมอเตอร์ไม่ได้ทำบ่อยครั้ง เช่น เครื่องสูบลม เครื่องอัด เครื่องเป่าลม

2.3.1.3.2 การเปิดมอเตอร์โดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโต้ (Autotransformer Starter) ในขณะเริ่มเปิดต่อแรงดันต่ำจากหม้อแปลงจ่ายให้มอเตอร์ เมื่อมอเตอร์เร่งความเร็วสูงขึ้นแล้วจึงต่อแรงดันไฟฟ้าจากสายส่งเข้ามอเตอร์ การเปิดแบบนี้สามารถเลือกค่าแรงบิดเริ่มหมุนได้ โดยเลือกค่าแรงดันไฟฟ้าที่ต่อออกจากหม้อแปลง

2.3.1.3.4 การเปิดโดยใช้ขดลวด (Reactor Starter) วิธีนี้คล้ายกับการเปิดมอเตอร์โดยใช้ตัวต้านทานโดยนำขดลวดต่ออนุกรมกับสายส่งในแต่ละเฟส ซึ่งสามารถเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าเป็นค่าต่าง ๆ ได้ วิธีนี้มีกำลังสูญเสียน้อยกว่าใช้ตัวต้านทานแต่ทำให้ค่าเพาเชอร์แฟกเตอร์ลดลงด้วย

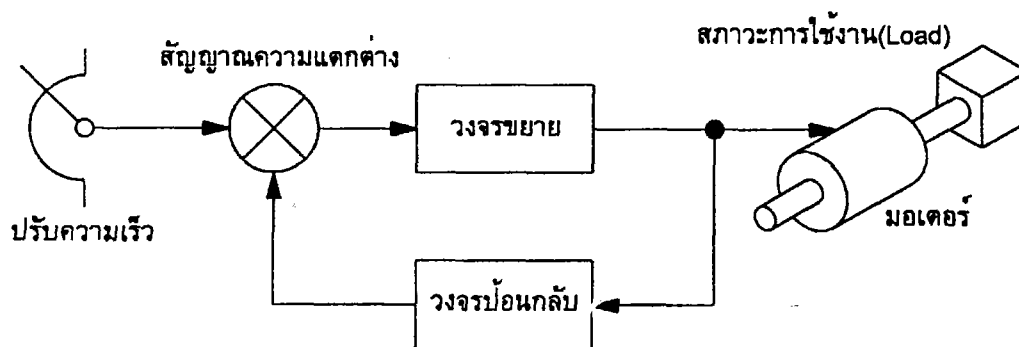
2.3.1.3.5 การเปิดมอเตอร์แบบมีขดลวดอาร์เมเจอร์สองชุด ซึ่งมีคุณสมบัติเหมือนกันทุกประการ วิธีนี้จะต่อขดลวดชุดแรกเข้ากับแรงดันไฟฟ้า มอเตอร์ก็จะเร่งความเร็วขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปช่วงหนึ่ง รีเลย์ที่สามารถตั้งเวลาได้จะต่อขดลวดชุดที่สองขนานเข้ากับขดลวดชุดแรก ซึ่งจะทำให้ได้ความเร็วมีค่าเต็มที่ ราคาต้นทุนต่ำกว่าการ

สตาร์ททั้ง 3 แบบ แต่จะให้ค่าแรงบิดเริ่มหมุนเพียงครึ่งหนึ่งของแรงบิดเริ่มหมุนเมื่อเปิดมอเตอร์โดยต่อขดลวดทั้งสองขานกันเข้ากับแรงดันไฟฟ้าเต็มทีพร้อมๆ กัน (สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี ไทย-ญี่ปุ่น. 2536 : 39-44)

3.7.2 วิธีการควบคุมความเร็วมอเตอร์

หลักการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ ที่ต้องการให้ได้ความเร็วรอบคงที่วิธีหนึ่งทำได้โดยการป้อนกลับจากเครื่องวัดความเร็ว ซึ่งมักจะใช้วิธีการของแทคโคเยเนอเรเตอร์ เป็นตัววัดความเร็ว ส่วนของแทคโคเยเนอเรเตอร์จะให้ค่าระดับแรงดันไฟฟ้า ซึ่งป้อนผ่านแรงดันป้อนกลับมาเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง วิธีการนี้สามารถปรับปรุงโดยใช้วิธีการทางดิจิตอลเข้ามาช่วย เพื่อเพิ่มความแม่นยำ ส่วนของแทคโคมิเตอร์จะให้ผลออกมาเป็นดิจิตอลแล้วเข้าสู่กระบวนการทางดิจิตอล อาจใช้ไมโครโปรเซสเซอร์แล้วส่งสัญญาณกลับเข้ามาเป็นสัญญาณอนาล็อกเพื่อเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง หลักการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ มีกรรมวิธีต่างๆ ดังนี้

3.7.2.1 การควบคุมแรงดันอาร์เมเจอร์ การควบคุมมอเตอร์อีกวิธีหนึ่ง คือ การควบคุมแรงดันอาร์เมเจอร์ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงอาจมีการสูญเสียประสิทธิภาพอันเนื่องมาจากความฝืดของแกนเหล็ก หรือสูญเสียแรงดันไฟฟ้า ดังนั้นเมื่อมอเตอร์มีสภาวะการใช้งาน (Load) ไม่คงที่จะเกิดแรงดันคร่อมอาร์เมเจอร์แปรเปลี่ยนไปได้มาก การเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานหรือความแม่นยำทางด้านความเร็วรอบจึงเป็นสิ่งที่ต้องควบคุมด้วย วิธีการควบคุมอาศัยเทคนิคการป้อนกลับและวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ซับซ้อน หลักการควบคุมมอเตอร์แสดงเป็นแผนภาพ (Diagram) ดังภาพประกอบ 14



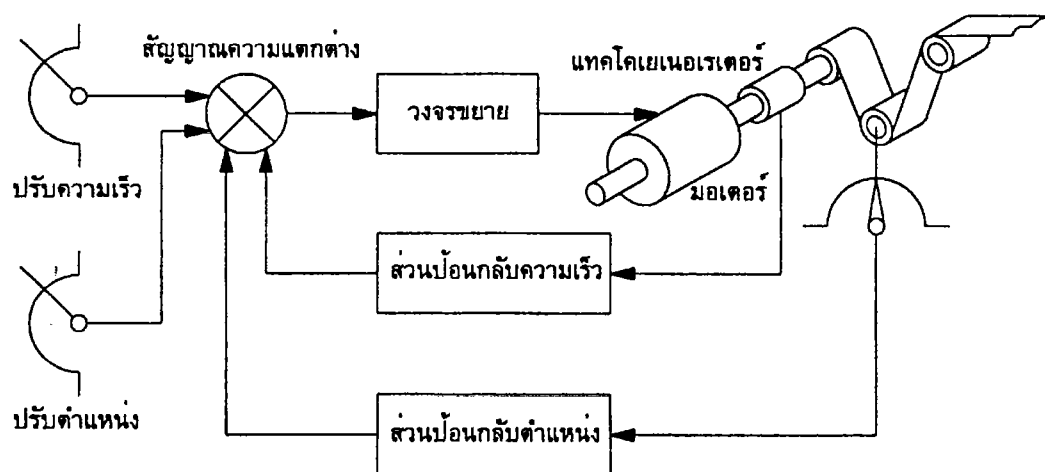
ภาพประกอบ 14 การควบคุมแรงดันอาร์เมเจอร์

ที่มา : ยืน ภู่วรรณ. (2525). อิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 2. หน้า 181

วิธีการควบคุมแรงดันอาร์เมเจอร์นี้เป็นวิธีการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ขั้นพื้นฐาน การควบคุมแรงดันอาศัยการป้อนกลับ โดยป้อนกลับจากแรงดันไฟฟ้าก่อนเข้าขั้วมอเตอร์ เพื่อรักษาแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามอเตอร์ให้คงที่ รักษาความเร็วรอบของมอเตอร์ให้คงที่ และสามารถปรับความเร็วรอบด้วยการปรับค่าอ้างอิง

3.7.2.2 การควบคุมตำแหน่ง วิธีการควบคุมตำแหน่งที่ได้ผลแม่นยำและมีความถูกต้องสูงมักจะให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เช่น การควบคุมการหมุนของเสารับสัญญาณทางอากาศของสถานีติดต่อสื่อสารดาวเทียม

การควบคุมการยิงปืนใหญ่ วิธีการในกรณีนี้จำเป็นต้องมีการป้อนกลับสองชั้น โดยป้อนกลับทางด้านความเร็ว และป้อนกลับทางด้านตำแหน่งไดอะแกรมของวงจร หลักการควบคุมตำแหน่ง ดังภาพประกอบ 15



ภาพประกอบ 15 แผนภาพควบคุมตำแหน่ง

ที่มา : ยืน ภู่วรรณ. (2525). อิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 2. หน้า 182

การควบคุมตำแหน่งต้องอาศัยเทคนิคและวิธีที่ซับซ้อนหลายอย่าง เช่น การลดการแกว่งหรือการส่ายไปมา และการลดความเร็วในการเคลื่อนที่เข้าสู่เป้าของเอาร์ทพุท การตีเทคตำแหน่งทางเอาร์ทพุทนั้น มีวิธีใช้ได้หลายอย่าง เช่น ใช้โปเทนชิโอมิเตอร์ ใช้แสง ใช้แรงดึงหรือแรงบิดของสปริง

3.7.2.3 การควบคุมแรงบิดของมอเตอร์ให้คงที่ ในการประยุกต์งานบางประเภท เช่น ในเครื่องทอผ้า เครื่องปั่นด้าย เครื่องรีดเหล็ก ที่มีความจำเป็นที่จะต้องให้แรงบิดของมอเตอร์คงที่ โดยไม่มีการกระตุก เพราะถ้ามีการกระตุกอาจทำให้เกิดความเสียหาย เช่น เส้นด้ายขาด การควบคุมในกรณีนี้จะอาศัยวิธีการควบคุมกระแสที่จ่ายให้มอเตอร์คงที่ หรือดีเทคกระแสอาร์เมเจอร์ ซึ่งอาจใช้ตัวต้านทาน หรือหม้อแปลงเป็นตัวดีเทคกระแสไฟฟ้า

3.7.2.4 การควบคุมซิงโครนสมอเตอร์ ซิงโครนสมอเตอร์เป็นมอเตอร์ที่มีคุณสมบัติในตัวเอง มีความเร็วรอบในการหมุนคงที่และมีความเที่ยงตรงสูง แต่มีข้อเสียเนื่องจากคุณสมบัติที่ต้องใช้ขดลวด ไฟฟ้าสลับสำหรับอาร์เมเจอร์ ขดฟิลด์ใช้ไฟฟ้ากระแสตรง และการเริ่มสตาร์ทด้วยตัวเองต้องอาศัยวิธีการอย่างอื่นเข้ามาช่วย ความเร็วรอบของมอเตอร์ชนิดนี้คำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$N = F/P \text{ (รอบ/วินาที)}$$

เมื่อ N = ความเร็วรอบของโรเตอร์มีหน่วยเป็น รอบ/วินาที
 F = ความถี่กระแสไฟฟ้ากระแสสลับ มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์
 P = จำนวนคู่ขั้วของมอเตอร์

จากการพิจารณาคุณสมบัติตามสมการดังกล่าวแล้ว การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ชนิดนี้ทำได้โดยการเปลี่ยนความถี่แรงดันไฟฟ้า การเปลี่ยนความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้โดยอาศัยอินพุตเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ เรียกว่า ไซโคลคอนเวอร์เตอร์ สำหรับวิธีการควบคุมมอเตอร์ชนิดนี้ค่อนข้างมีความยุ่งยากกว่าวิธีการใช้มอเตอร์อินดักชันและมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมากจึงไม่เป็นที่นิยมในการใช้งานในกรณีที่ต้องปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ (ยีน ภู่วรรณ. 2525 : 180-183)

สำหรับการเลือกวิธีการควบคุมความเร็วรอบของเครื่องกวนสารเคมี ผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์แบบควบคุมตำแหน่ง เพราะเป็นแบบที่ได้ผลแน่นอนและมีความถูกต้องสูง เหมาะสำหรับการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งมีการป้อนกลับสองชั้น คือป้อนกลับทางด้านความเร็วรอบ และป้อนกลับทางด้านตำแหน่ง

3.7.3 ชุดทำความร้อนและอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ

ชุดอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมอุณหภูมิทำหน้าที่ควบคุมความร้อนที่ใช้ในการต้มหรืออุ่นสารเคมี ความร้อนที่ใช้จะมากหรือน้อยสามารถปรับได้จากระดับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ชุดแผ่นความร้อน (Hot Plate หรือ Stirring Points) โดยอยู่ในช่วง 130–220 V. ให้ความร้อนที่แผ่นความร้อนสูงสุดประมาณ 400 องศาเซลเซียส ชุดแผ่นความร้อน สำหรับวางภาชนะใส่สารเคมี มีจำนวน 2 ชุดแต่ละชุดสามารถเลือกสภาวะการใช้งานเป็นอิสระจากกัน เช่น เลือกกวนอย่างเดียว เลือกอุ่นอย่างเดียว หรือเลือกกระบวนการกวนและอุ่นพร้อมๆกัน ที่แผ่นความร้อนประกอบด้วย กล้องเหล็กสแตนเลส ขนาด 200×200×30 มม. ครอบอยู่บนชุดเก็บความร้อนซึ่งเป็นแผ่นอะลูมิเนียมขนาด 186×186×10 มม. ชุดแผ่นความร้อนสามารถปรับความร้อนได้ตามต้องการ ลักษณะการปรับระดับความร้อนของชุดแผ่นให้ความร้อนนี้จะอาศัยหลักความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และความต้านทานไฟฟ้า โดยหาได้จากสูตร

$$\text{กำลังไฟฟ้า} = \frac{\text{แรงดันไฟฟ้า}^2}{\text{ความต้านทานไฟฟ้า}}$$

ดังนั้นถ้าสามารถปรับความต้านทานหรือแรงดันไฟฟ้าของวงจรได้ก็จะสามารถทำให้กำลังไฟฟ้าเปลี่ยนไปได้ จากหลักการดังกล่าว เมื่อนำลวดความร้อนซึ่งเป็นตัวความต้านทานอย่างหนึ่งนำมาต่อวงจรแบบอันดับ (Series) หรือต่อแบบขนาน (Paralleled) ซึ่งเป็นผลให้ความต้านทานและแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนไป ดังนั้น กำลังไฟฟ้าของลวดความร้อนในแต่ละตัวที่ต่อร่วมกันอยู่ในวงจรที่จะเปลี่ยนไปด้วย

3.7.3.1 ส่วนประกอบของชุดแผ่นความร้อน แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

3.7.3.1.1 อุปกรณ์สร้างความร้อน (Heating Element) อุปกรณ์สร้างความร้อนของชุดแผ่นความร้อน จะเป็นแบบปิด ซึ่งทำด้วยลวดนิโครม (Nichrom Wire) ลักษณะของลวดความร้อนหรือชุดให้ความร้อนมีรูปร่างที่แตกต่างกันออกไปตามลักษณะการใช้งาน ดังนี้

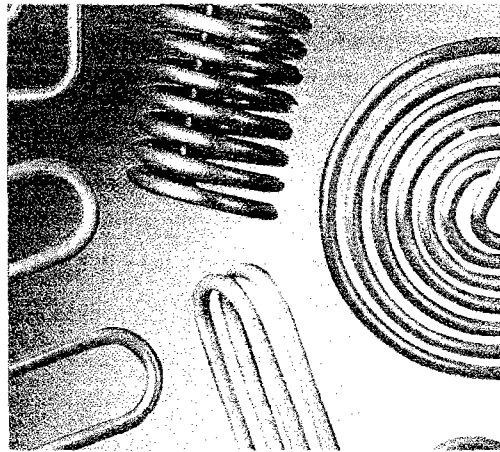
1) ลวดความร้อนแบบครีปและแบบท่อกลม (Finned Tubular Heater) ใช้สำหรับให้ความร้อนในเตาอบ ลักษณะของลวดสามารถดัดเป็นรูปทรงต่างๆ วัสดุที่ใช้ทำเป็นสแตนเลส 304 สำหรับงานทั่วไปและวัสดุอินโคลอย (Incoloy) สำหรับเตาอบปิดอากาศแบบไม่หมุนเวียน ให้ความร้อนในอากาศ งานอบแห้ง ไล่ความชื้น อบสี อบขนม สามารถใช้คู่กับพัดลมเพื่อกระจายความร้อนให้ทั่วพื้นที่

2) ลักษณะของลวดความร้อนแบบรัดท่อ (Band Heater) ใช้ให้ความร้อนกับท่อ หรือถึงรูปทรงกระบอก โดยการรัดจากภายนอก เช่นงานฉีดพลาสติก กระดิกต้มน้ำ วัสดุที่ใช้ทำลวดความร้อนมีทั้งสแตนเลสและซิงค์ (Sink)

3) ลักษณะของลวดความร้อนแบบแผ่น (Strip Heater) ลวดความร้อนแบบนี้ใช้ให้ความร้อนกับวัสดุผิวเรียบ ลวดความร้อนทำจากสแตนเลสและซิงค์

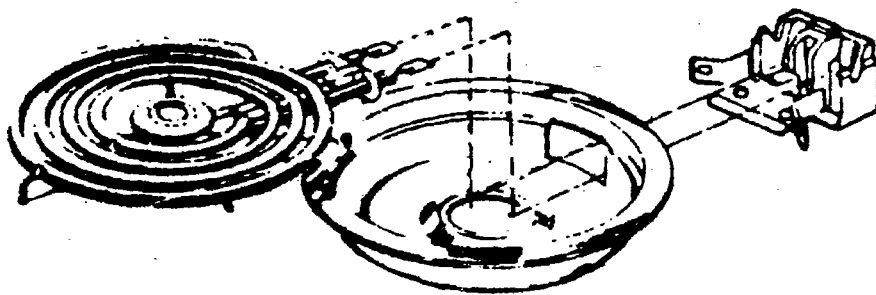
4) ลักษณะของลวดความร้อนในเตาเผา (Furnace Heater) ลวดความร้อนแบบนี้เหมาะสำหรับใช้ในเตาหลอมโลหะ เตาเผาพลอย เตาเผาละลายแก้ว ความร้อนในการชุบแข็ง เตาอบในงานทดลอง อบเซรามิก ในเตาเผาสามารถให้ความร้อนสูงถึง 1800 องศาเซลเซียส ลวดความร้อนสามารถดัดเป็นเส้นตรง รูปโค้งตัวยู (U) รูปโค้งตัวเอ็ม (M) หรือตามลักษณะการใช้งาน

5) ลักษณะของลวดความร้อนแบบทิวบิวลาร์ (Tubular Heater) ลวดความร้อนแบบนี้ใช้ให้ความร้อนกับวัสดุโลหะแข็งผิวเรียบ ใช้ได้ทั้งในอากาศ ในของเหลว ในของเหลวที่มีความหนืด ให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ ลูกกลิ้งขึ้นงานต่างๆ เส้นลวดความร้อนลวดทำจากสแตนเลส 304 สแตนเลส 316 อินโคลอย และซิงค์ ลักษณะลวดความร้อนเป็นทรงกระบอกเส้นตรงและสามารถดัดโค้งตามลักษณะการใช้ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ ลักษณะของลวดความร้อนแบบทิวบิวลาร์ ดังภาพประกอบ 16

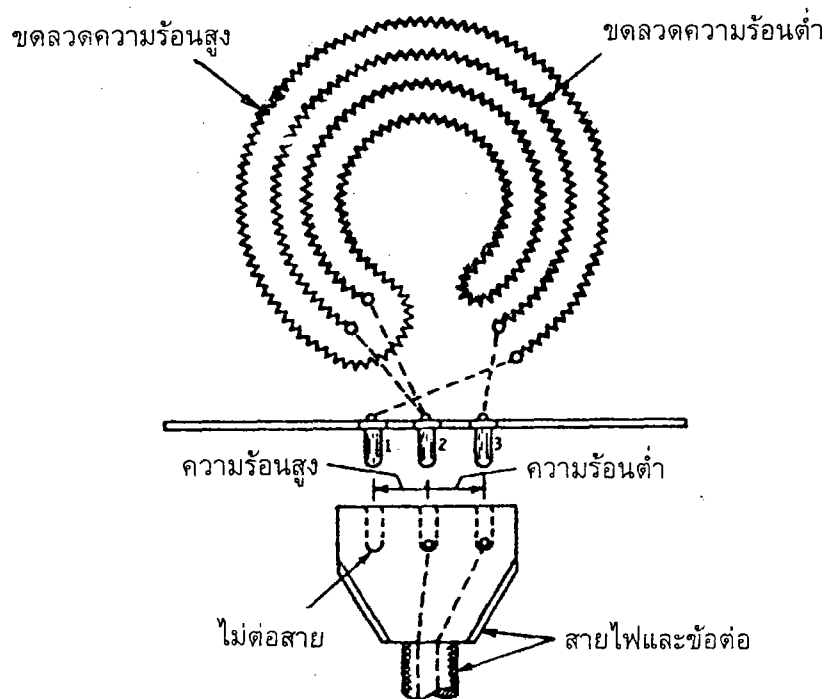


ภาพประกอบ 16 ลักษณะของลวดความร้อนแบบทิวบิวลาร์
ที่มา : Saun luang Engineering. (ม.ป.ป.). หน้า 2

นอกจากนี้ยังมีลวดความร้อนชนิดอื่นๆเช่น ลวดความร้อนแบบหน้าแปลน แบบแท่ง แบบลวด แบบอินฟราเรด แบบซิลิโคน แบบเซรามิก แบบแก้วควอทซ์ ลวดความร้อนแบบในท่อกลม แบบสำหรับของไหล(Circulation Heater) แบบสำหรับต้มน้ำ ต้มน้ำมันหรือสารเคมี (Immersion Heater) (เทคโนโลยี อินสตรูเมนต์. ม.ป.ป. : 1-4)(Saun luang Engineering. ม.ป.ป. : 2-4) การเลือกใช้สามารถเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสมกับงานและคุณสมบัติของลวดความร้อนชนิดนั้นๆ การนำลวดความร้อนมาใช้งานสามารถต่อเข้าโดยตรงกับกระแสไฟฟ้าขนาดต่างๆ ตัวอย่าง การต่อลวดความร้อนแบบเส้นกับหลักเสียบข้อต่อ ดังภาพประกอบ 17,18



ภาพประกอบ 17 ลักษณะการต่อลวดความร้อนเพื่อใช้งาน
ที่มา : ณรงค์ ขอนตะวันและคนอื่นๆ. (ม.ป.ป). *คู่มือซ่อมเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน*. หน้า 62



ภาพประกอบ 18 การต่อลวดความร้อนแบบเส้นกับหลักเสียบข้อต่อ
ที่มา : ณรงค์ ขอนตะวันและคนอื่นๆ. (ม.ป.ป). คู่มือซ่อมเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน. หน้า 62

3.7.3.1.2 สวิตช์ปรับระดับความร้อน (Heating Level Switch) สวิตช์นี้จะทำหน้าที่เป็นตัวปรับระดับความร้อนของลวดความร้อน โดยวิธีการตัดต่อวงจร ให่วงจรของลวดความร้อนเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งเป็นผลให้ความร้อนที่ได้รับจากลวดความร้อนเปลี่ยนแปลงไปด้วย

3.7.3.1.3 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Control) อุปกรณ์นี้จะต่ออันดับกับวงจรของลวดความร้อน โดยจะมีหน้าที่ตัดต่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านลวดความร้อน เมื่อลวดความร้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึงจุดที่กำหนด(ณรงค์ ขอนตะวันและคนอื่นๆ. ม.ป.ป : 60 - 64) การวัดอุณหภูมิเป็นสิ่งจำเป็นในอุตสาหกรรม การวัดอุณหภูมิแยกออกเป็นสองส่วนคือ การตรวจวัดอุณหภูมิ และการส่งผ่านข้อมูล ซึ่งการเลือกใช้อุปกรณ์วัดอุณหภูมิมีหลายชนิดเช่น เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ตัววัดด้วยความต้านทาน (Resistance Temperature Devices หรือ RTD), Filled Bulb Sensors, เทอร์มิสเตอร์ (Thermistors), ไดโอด, ตัววัดระบบอินฟราเรด ตัววัดแบบไอซี (Integrated Circuit หรือ IC) และตัววัดแบบหลอดแก้ว คุณสมบัติเครื่องมือตรวจวัดอุณหภูมิบางชนิดที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย (ไพโรจน์ สิงหนัดกิจ. 2543 : 106) ตัวอย่าง เช่น

- 1) อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และไอซี อุปกรณ์ตรวจวัดประเภทนี้สามารถแก้ปัญหาเชิงเส้น (linearity) ได้และให้ผลการวัดมีความแม่นยำสูง ให้ความเที่ยงตรงที่อุณหภูมิห้องและมีราคาไม่แพงมากนัก

2) Resistance Temperature Devices (RTD) เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิซึ่งอาศัยหลักการทำงานที่ว่า ค่าความต้านทานของโลหะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่ต้องการตรวจวัด ข้อเสียของ RTD คือ มีราคาสูง การใช้งานจำเป็นต้องจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ RTD จึงทำให้ตัวมันเองเกิดความร้อนและทำให้ค่าที่วัดผิดพลาดได้ ตัว RTD มีความต้านทานต่ำซึ่งมีผลกระทบกับต่อวิธีการวัดอุณหภูมิ ความต้านทานของสายที่ใช้ต่อเข้ากับ RTD ก็มีผลต่อการวัดเช่นกัน

3) เทอร์มิสเตอร์ (Thermistors) เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิซึ่งทำมาจากสารกึ่งตัวนำเซรามิก ทำให้ค่าความต้านทานสูงกว่า RTD ข้อผิดพลาดจากสายที่ต่อสำหรับการวัดจึงไม่มีผลเท่าใดนัก ทำให้การวัดมีความละเอียดสูงและลดผลจากค่าความต้านทานของสายลงไปด้วย นอกจากนั้นมวลความร้อนที่ต่ำมากของเทอร์มิสเตอร์ยังทำให้โหลดความร้อนของอุปกรณ์ที่ทำการวัดมีค่าน้อยที่สุดด้วย ความร้อนที่ต่ำก็มีข้อเสียคือ ทำให้มีแนวโน้มของการกำเนิดความร้อนสูงขึ้นจากแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ถูกใช้ในการวัด ข้อเสียอีกอย่างหนึ่งคือ เทอร์มิสเตอร์มีคุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องเลือกใช้งานในบางช่วงที่เป็นเชิงเส้นเพื่อให้ผลการวัดที่ใช้งานได้

4) เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิที่เป็นที่นิยมมากที่สุดชนิดหนึ่ง เนื่องจากให้ช่วงหรือย่านของอุณหภูมิของการวัดที่กว้าง มีโครงสร้างที่ทนทานกว่าชนิดอื่นๆ ราคาไม่แพงมากนัก ไม่ต้องอาศัยแหล่งจ่ายพลังงานจากภายนอก แต่มีข้อเสีย เช่น มีคุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้น ให้แรงดันไฟฟ้าที่ต่ำ มีความคงที่และมีความไวต่ำสุด จากตัวอย่างของอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ 4 ชนิดที่ได้กล่าวข้างต้นแสดงถึงองค์ประกอบคุณสมบัติเบื้องต้นที่ใช้ในการพิจารณาเลือกใช้งาน เช่น ประสิทธิภาพ การใช้งาน ความสะดวก และราคา การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ดังแสดงในตาราง 6

ตาราง 6 ข้อเปรียบเทียบคุณสมบัติของอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ

ข้อเปรียบเทียบคุณสมบัติของอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ		
ชนิด	ข้อดี	ข้อเสีย
อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และไอซี	1.เป็นเชิงเส้นที่สุด 2.ให้ผลการวัดสูงสุด 3.ราคาไม่แพง	1.วัดได้ต่ำกว่า 250 องศาเซลเซียส 2.ต้องใช้แหล่งจ่ายพลังงานจากภายนอก 3.กำเนิดความร้อนขึ้นมา 4.มีข้อจำกัดด้านโครงสร้างและการใช้งาน
RTD	1.คงที่ที่สุด 2.เที่ยงตรงที่สุด 3.เป็นเชิงเส้น	1.มีราคาแพง 2.ความไวต่ำ 3. ต้องใช้แหล่งจ่ายพลังงานจากภายนอก 4.ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงน้อย 5.กำเนิดความร้อนขึ้นมา
เทอร์มิสเตอร์	1.ให้ผลการวัดสูงสุด 2.ความไวสูง 3.เป็นการวัดแบบสองสาย	1.ไม่เป็นเชิงเส้น 2. มีช่วงวัดอุณหภูมิจำกัด 3.บอบบาง 4. ต้องใช้แหล่งจ่ายพลังงานจากภายนอก 5.กำเนิดความร้อนขึ้นมา
เทอร์โมคัปเปิล	1.ไม่ต้องการแหล่งจ่ายพลังงาน 2.ราคาไม่แพง 3.มีความทนทาน 4.มีช่วงวัดอุณหภูมิกว้าง	1.ไม่เป็นเชิงเส้น 2.ให้แรงดันต่ำ 3.ต้องการค่าอ้างอิง 4.มีความคงที่น้อยที่สุด 5.มีความไวต่ำที่สุด

ที่มา : พรจิต ประทุมสุวรรณ. (2541). เครื่องมือวัดอุตสาหกรรม เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์. หน้า 77-78

จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติบางประการของอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิทั้ง 4 ชนิดพบว่า เทอร์โมคัปเปิล เป็นอุปกรณ์ที่มีความเหมาะสมเช่นไม่ต้องการแหล่งจ่ายพลังงาน ราคาไม่แพงมากนัก ทนทาน มีช่วงวัดอุณหภูมิกว้าง ผู้วิจัยจึงนำมาใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับการตรวจวัดอุณหภูมิของเครื่องกวนสารเคมีที่พัฒนาขึ้นใหม่

3.7.4 ระบบการวัดอุณหภูมิ การวัดอุณหภูมิจะอาศัยตัวแปรสัญญาณเชิงกล โดยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางฟิสิกส์บางอย่าง ได้แก่การขยายตัวของของแข็ง การขยายตัวของเหลวและการขยายตัวของก๊าซ ส่วนการวัดอุณหภูมิอีกวิธีหนึ่งที่นิยมกันมากคือ การใช้ตัวแปรสัญญาณทางไฟฟ้า และเทอร์โมคัปเปิล นอกจากนี้การวัดอุณหภูมิที่สูงมาก ๆ อาจใช้หลักการทางการแผ่รังสีมาเปรียบเทียบกับระดับอุณหภูมิ หรือส่งสัญญาณทางไฟฟ้าออกไปสู่หน่วยแสดงผลเพื่อชี้ค่าหรือนำไปเข้าระบบควบคุม ระบบของเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบ่งออกตามลักษณะการทำงานได้ 3 ระบบ คือ

3.7.4.1 ระบบการวัดอุณหภูมิทางกล ประกอบด้วย แบบการขยายตัวของของแข็งและแบบการขยายตัวของของเหลว

3.7.4.2 ระบบการวัดอุณหภูมิทางไฟฟ้า ประกอบด้วย แบบความต้านทานไฟฟ้า แบบเทอร์มิสเตอร์แบบเทอร์โมคัปเปิล

3.7.4.3 ระบบการวัดอุณหภูมิทางการแผ่รังสีและทางแสง ได้แก่ เครื่องมือวัดอุณหภูมิโดยอาศัยหลักการแผ่รังสีของวัตถุร้อนเพื่อใช้ในการวัดอุณหภูมิ ได้แก่ เครื่อง ไพโรมิเตอร์แบบแผ่รังสี (Radiation pyrometer) แบบออปติคัล (Optical pyrometer) เครื่องมือวัดเหล่านี้ใช้ในการวัดค่าอุณหภูมิ 700-1800 องศาเซลเซียส

จากระบบการวัดอุณหภูมิทั้ง 3 ระบบ แต่ละระบบมีความสามารถในการวัดอุณหภูมิแตกต่างกันไปซึ่งตามปกติจะเกี่ยวข้องกับพิสัย การวัด ช่วงการวัดความเร็วในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความละเอียดแม่นยำ ความสะดวกในการใช้งานและการบำรุงรักษา สิ่งต่างๆเหล่านี้จะเป็นเงื่อนไขที่สำคัญที่มีความเกี่ยวข้องต่อการเลือกใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิที่เหมาะสมกับงานและสภาพแวดล้อมอื่นๆ (ภณิต วรณโณทัย. 2542 : 362)(ประยูร เขียววัฒนา. ม.ป.ป. : 26) ในงานอุตสาหกรรมต่างๆได้มีการผลิตเครื่องมือสำหรับการวัดอุณหภูมิ เครื่องวัดความชื้น เครื่องวัดความกดอากาศ หรือเครื่องควบคุมอุณหภูมิขึ้นมาใช้มากมายหลายชนิด มีทั้งแบบมือถือ แบบไม่ต้องสัมผัสกับวัตถุ แบบดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ แต่ละรุ่นของแต่ละยี่ห้อจะมีความสามารถในการวัดอุณหภูมิที่แตกต่างกันไปตามขนาด ความละเอียดและช่วงอุณหภูมิของการวัด ความคลาดเคลื่อนของการวัด ดังแสดงในตาราง 7

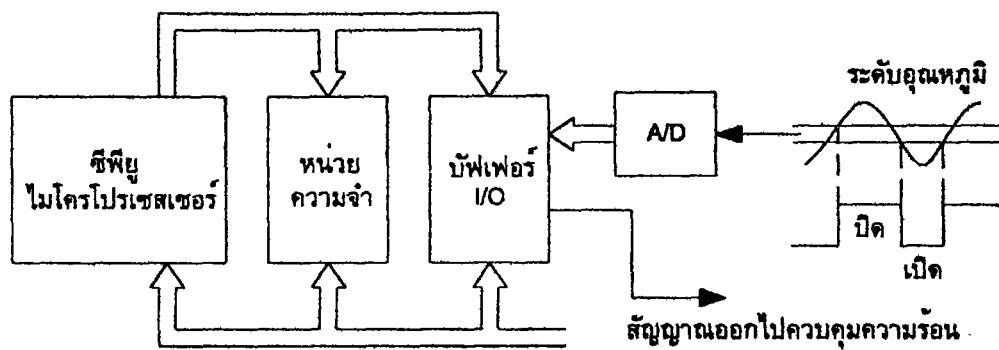
ตาราง 7 ค่าพิสัยความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดอุณหภูมิยี่ห้อต่างๆ

เครื่องวัดอุณหภูมิ		
ยี่ห้อ	รุ่น	ค่าความคลาดเคลื่อน
Carlo gavazzi	LDI35 CFX DOXXXX	± 5 องศาเซลเซียส
Hanyoung	HY800S, HY850(K)	± 3 องศาเซลเซียส
	AT3, AT6, DF40	± 2 องศาเซลเซียส
Isuzu	3-3XX6 Series	± 0.5 องศาเซลเซียส
Eddox	CM9 RR	± 1 องศาเซลเซียส
Eddox	CPS, CPM	± 2 องศาเซลเซียส
Tasco	THI-500L, THI-500N	± 5 องศาเซลเซียส
	THI-301	± 1 องศาเซลเซียส
Fluke	Fluke Series 50, 51, 52	± 1 องศาเซลเซียส
Denki	DK102 Series	± 2 องศาเซลเซียส
YEF	YF-1062	ช่วงการวัด -50-0 = ± 3 องศาเซลเซียส
		ช่วงการวัด 0-500 = ± 1 องศาเซลเซียส
		ช่วงการวัด 500-1200 = ± 1 องศาเซลเซียส

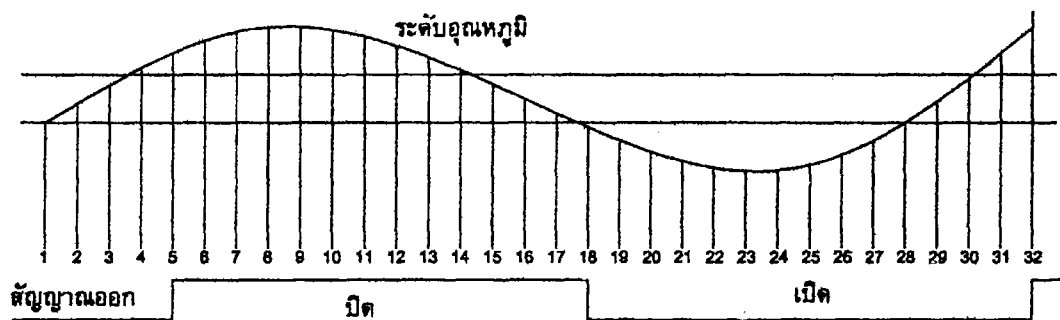
ที่มา : Technology Instruments. (2002). *Industrial Controls & measuring*. P. 45-47

: Technology Instruments. (1995). *Industrial Controls & measuring*. P. 172-187

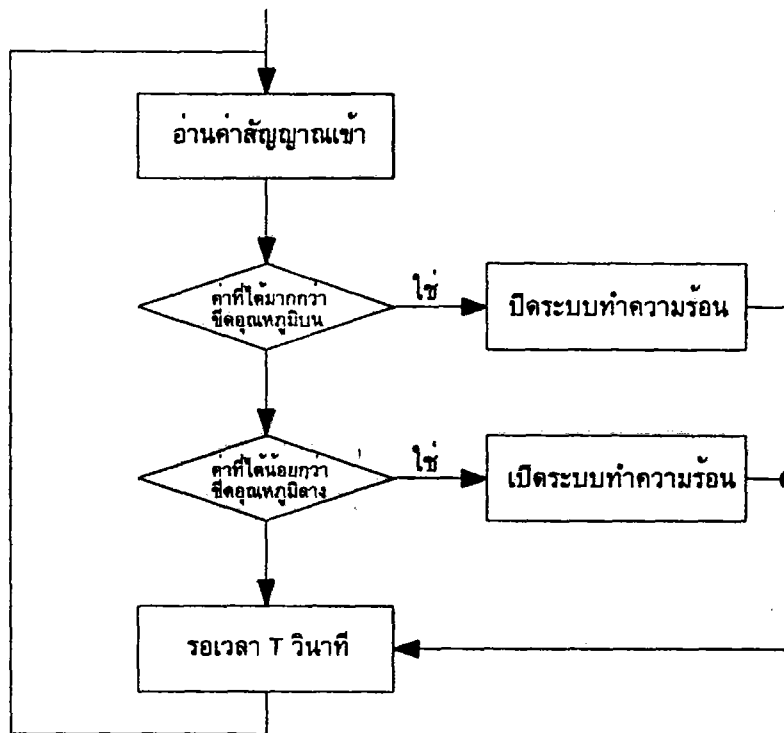
นอกจากนั้นแล้วการวัดและควบคุมอุณหภูมิยังมีการนำเอาระบบคอมพิวเตอร์และไมโครโปรเซสเซอร์มาใช้ควบคุมความร้อนต่างๆหรือควบคุมเตาเผาของโรงงานอุตสาหกรรม โดยใช้วิธีการเปิด ปิด กล่าวคือถ้าอุณหภูมิในเตาเผาสูงเกินกว่าค่าที่ตั้งไว้ก็ให้เครื่องปิดการทำงานอัตโนมัติ เมื่ออุณหภูมิในเตาเผาลดลง ถึงค่าๆหนึ่งซึ่งเป็นอุณหภูมิระดับร่างไมโครโปรเซสเซอร์ก็จะส่งสัญญาณไปยังระบบการทำความร้อนให้ทำงานเพื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้น ในการที่จะควบคุมการทำงานนี้ไมโครโปรเซสเซอร์จะตรวจสอบการอ่านข้อมูลทุกระยะเวลา (ΔT) การอ่านข้อมูลของไมโครโปรเซสเซอร์จะต้องอ่านข้อมูลในลักษณะดิจิตอล การที่จะตรวจสอบอุณหภูมิของเตาเผาจึงต้องมีทรานสดิวเซอร์เปลี่ยนเป็นอุณหภูมิ โดยทั่วไปจะเปลี่ยนออกมาเป็นแรงดัน มีวงจรเปลี่ยนสัญญาณอานาล็อกนี้เป็นสัญญาณดิจิตอลก่อนแล้วจึงให้ไมโครโปรเซสเซอร์อ่านข้อมูลนั้น แผนภาพแสดงการใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ควบคุมอุณหภูมิ ดังภาพประกอบ 19



ภาพประกอบ 19 การใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ควบคุมอุณหภูมิ
ที่มา : ยืน ภู่วรรณ. (2525). อิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 2. หน้า 266



ภาพประกอบ 20 ลักษณะความสัมพันธ์ของระดับอุณหภูมิกับที่วัดได้กับอุณหภูมิที่ควบคุม
ที่มา : ยืน ภู่วรรณ. (2525). อิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 2. หน้า 266

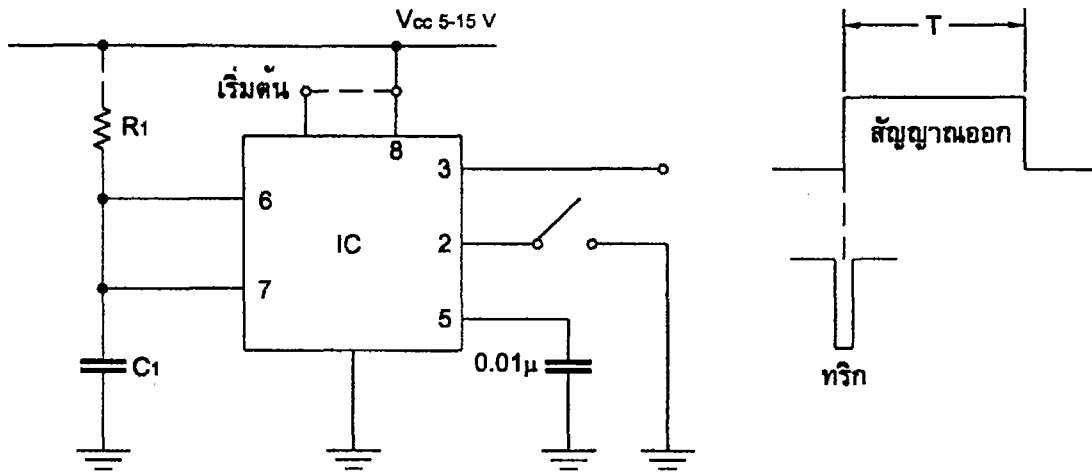


ภาพประกอบ 21 แผนผังโปรแกรมที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิ
ที่มา : ยืน ภู่วรรณ. (2525). อิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 2. หน้า 267

เพื่อให้ระบบควบคุมทำงานตามจุดมุ่งหมายที่ต้องการ สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานโดยโปรแกรมจะถูกเก็บไว้ในส่วนของหน่วยความจำของระบบคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ไมโครโปรเซสเซอร์กระทำตามตลอดไป (ยืน ภู่วรรณ. 2525 : 265-267)

3.7.5 ชุดอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมเวลา

3.7.5.1 เครื่องตั้งเวลาอิเล็กทรอนิกส์ หลักการของวงจรตั้งเวลาเครื่องตั้งเวลาอิเล็กทรอนิกส์ประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนรับสัญญาณควบคุม ส่วนตั้งเวลาและส่วนแสดงผล ซึ่งต้องอาศัยชุดวงจรอิเล็กทรอนิกส์มาควบคุมการทำงาน ชุดวงจรอิเล็กทรอนิกส์จะอาศัยหลักการกำหนดเวลาจากค่าคงตัวของ RC คือใช้กระแสประจุ ตัวเก็บประจุและค่าแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุค่อยๆสูงขึ้นเรื่อยๆจนถึงค่าๆหนึ่งที่ตั้งไว้จะมีกระแสไปทริกกรีเล่ย์ให้ทำงาน การกำหนดกระแสประจุให้ตัวเก็บประจุต้องใช้กระแสไฟตรง แต่อย่างไรก็ตามก็สามารถสร้างวงจรตั้งเวลาโดยใช้ไฟสลับ แต่ใช้ไดโอดเป็นตัวเรกติไฟให้เป็นกระแสตรงได้ หรือ ใช้วงจรตั้งเวลาแบบใช้ไฟสลับ นอกจากนี้ยังมีรูปแบบการตั้งเวลาโดยใช้เจียที่เป็นวงจรตั้งเวลา ใช้เครื่องตั้งเวลาแบบใช้มอเตอร์ขับเคลื่อน วงจรตั้งเวลาแบบใช้ไอซี ตัวอย่างวงจรตั้งเวลาแบบใช้ไอซีดังภาพประกอบ 22

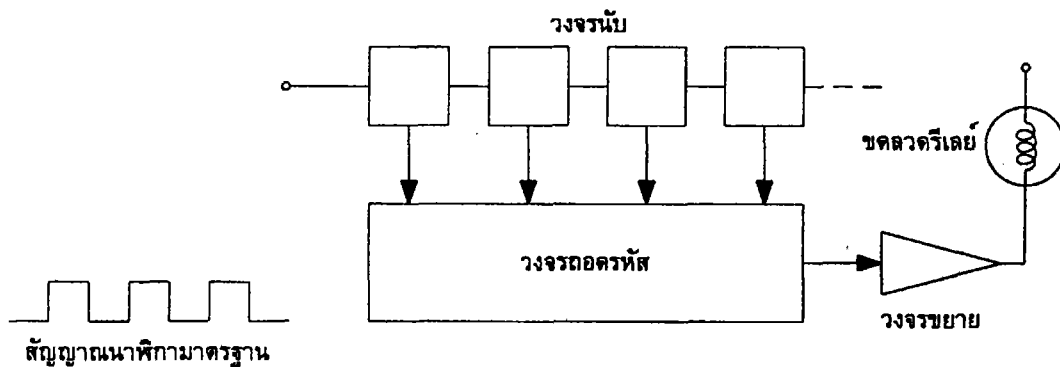


ภาพประกอบ 22 การใช้ไอซีเป็นวงจรตั้งเวลา

ที่มา : ยืน ภู่วรวรรณ. (2525). อิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 2. หน้า 223

สำหรับวงจรการตั้งเวลาแบบใช้ไอซี ก็มีลักษณะคล้ายกัน กล่าวคือ เมื่อทริกที่อินพุทให้วงจรเริ่มทำงานมันจะเก็บประจุให้กับตัวเก็บประจุ โดยผ่านทาง R_1 เมื่อค่าแรงดันคร่อม C มีค่ามากถึงค่าหนึ่งมันจะทำให้เอาต์พุตลดค่าระดับแรงดันลง แล้วนำค่าแรงดันเอาต์พุตนี้ไปใช้ในการควบคุมรีเลย์เอาต์พุตอีกต่อหนึ่ง (ยืน ภู่วรวรรณ. 2525 : 220-223)

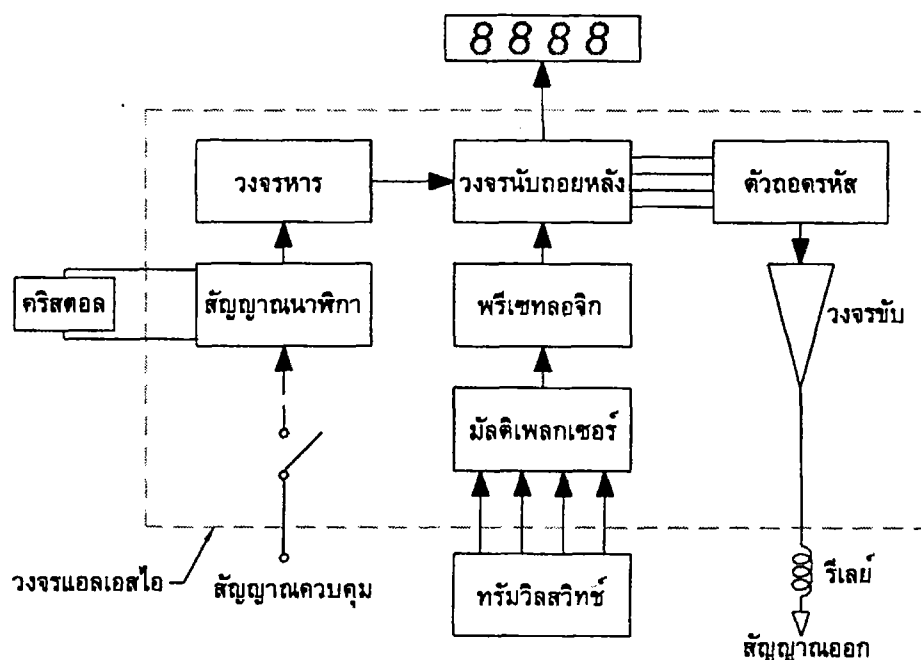
3.7.5.2 วงจรตั้งเวลาแบบดิจิตอล ถ้าต้องการให้วงจรตั้งเวลาทำงานตามโปรแกรมและให้ความเชื่อมั่นสูง วงจรที่ใช้มักจะเป็นวงจรดิจิตอล เครื่องตั้งเวลาในปัจจุบันมีทั้งแบบธรรมดาจนถึงแบบที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เข้าควบคุมระบบการทำงาน ลักษณะพื้นฐานของการตั้งเวลา ดังแสดงในภาพประกอบ 23



ภาพประกอบ 23 วงจรเครื่องตั้งเวลาแบบดิจิตอล

ที่มา : ยืน ภู่วรวรรณ. (2525). อิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 2. หน้า 224

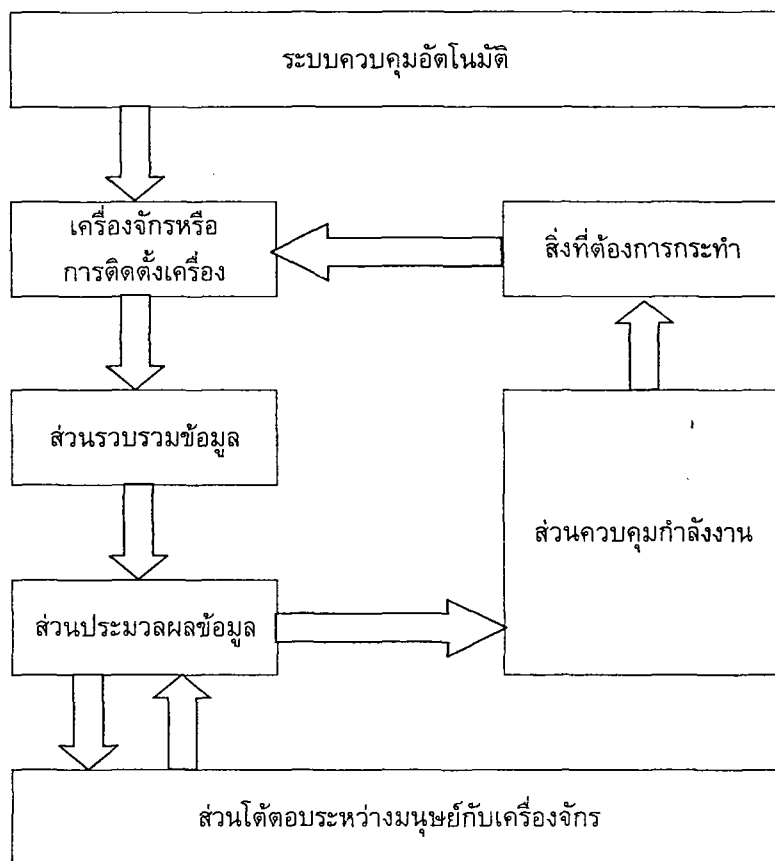
สัญญาณนาฬิกาที่ใช้เป็นมาตรฐานเวลาส่วนมากนำมาจากคริสตอล ซึ่งมีความถูกต้อง เทียบตรงสูง โดยนำความถี่ของคริสตอลที่ออสซิลเลทความถี่สูงให้เหลือความถี่มาตรฐาน อาจจะเป็น 1 เฮิรตซ์ ป้อนเข้าวงจรนับเวลาออกมา การโปรแกรมเวลา อาจโปรแกรมโดยใช้สวิทช์เป็นตัวเลือกค่าเวลา หรือ ใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวตั้งเวลา เมื่อวงจรนับ นับมาเปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งไว้ ก็จะส่งสัญญาณให้กับรีเลย์เพื่อทำงานต่อไป แผนผังของวงจรตั้งเวลาแบบแอลเอสไอที่ตั้งโปรแกรม ดังภาพประกอบ 24



ภาพประกอบ 24 แผนผังของวงจรตั้งเวลาแบบแอลเอสไอที่ตั้งโปรแกรมได้
ที่มา : ยืน ภู่วรวรรณ. (2525). อิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 2. หน้า 225

เครื่องตั้งเวลาเป็นส่วนหนึ่งของงานควบคุมการผลิตที่เป็นลำดับขั้นตอน อาจใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เข้าควบคุม โดยใช้หลักการทางซอฟต์แวร์ ที่อาศัยการสร้างโปรแกรมให้เครื่องตรวจสอบการทำงานของมันเองและตรวจสอบเวลาตลอดไปได้ วิธีการนี้จะทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพสูงขึ้น (ยืน ภู่วรวรรณ. 2525 : 224-225)

3.7.6 ระบบควบคุมอัตโนมัติ ระบบอัตโนมัติได้ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อสนองความต้องการของมนุษย์ ในการที่จะควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกลให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ และทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบควบคุมอัตโนมัติสามารถนำไปใช้ประโยชน์ เช่น ทำให้ผลผลิตดีขึ้น การทำงานของเครื่องจักรมีความคล่องตัวสูงขึ้น มีความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน โดยทั่วไปส่วนประกอบของระบบควบคุมที่สำคัญๆ คือ ส่วนรวบรวมข้อมูล ส่วนประมวลผลข้อมูล ส่วนควบคุมกำลังงาน และส่วนโต้ตอบระหว่างมนุษย์กับเครื่องจักร โครงสร้างของระบบควบคุมอัตโนมัติ ดังภาพประกอบ 25



ภาพประกอบ 25 โครงสร้างของระบบควบคุมอัตโนมัติ
ที่มา : ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. (2541). การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า. หน้า : 1

3.7.6.1 ส่วนรวบรวมข้อมูล (Data Acquisition) ส่วนรวบรวมข้อมูลทำหน้าที่จัดหาและส่งข้อมูลเกี่ยวกับสภาพหรือสถานะของระบบที่จำเป็นต้องใช้ในการควบคุมไปยังส่วนประมวลผลข้อมูล ข้อมูลดังกล่าวจะนำมาจากอุปกรณ์ตรวจจับ (Detection device) หรือเซนเซอร์ (Sensor) ของระบบควบคุม โดยทั่วไปการเลือกชนิดของอุปกรณ์ตรวจจับจะขึ้นอยู่กับสภาพงานของระบบควบคุม อุปกรณ์ดังกล่าวได้แก่

- 1) สวิตช์ปรับระยะ (Limit Switch) จะทำงานเมื่อมีวัตถุไปกระทบ
- 2) สวิตช์ความดัน (Vacuum and Pressure Switch) จะทำงานเมื่อความดันของสภาพแวดล้อมผิดปกติ เหมาะสำหรับระบบควบคุมที่มีการตรวจสอบหรือควบคุมความดัน
- 3) สวิตช์พรีอิกซิมิตีแบบโซลิดสเตต ชนิดเหนี่ยวนำ (Inductive or Capacitive Solid State Proximity Switch) หรือ ชนิดจุไฟฟ้า สามารถตรวจจับวัตถุ โดยที่อุปกรณ์ดังกล่าวไม่ต้องสัมผัสกับวัตถุ เหมาะสำหรับการทำงานที่มีอัตราเร็วสูงหรืออยู่ในบริเวณที่เข้าถึงได้ยาก

4) อุปกรณ์ตรวจจับชนิดไฟฟ้าพลังแสง (Photo-Electric Detector) ใช้ตรวจสอบวัตถุระยะไกลเกินกว่าจะใช้สวิทช์แบบเหนี่ยวนำควบคุม

5) อุปกรณ์ตรวจนับความเร็ว (Speed Detector) ใช้ควบคุมอัตราเร็วเชิงเส้นหรือความเร็วรอบ จากวิวัฒนาการของระบบควบคุม ได้ก่อให้เกิดการพัฒนาอุปกรณ์ชนิดใหม่ๆ ได้แก่ สวิทช์แบบโรตารี (Rotary Switch) หรือ วงจรใส่รหัส (Encoders) อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถแสดงค่าความยาวหรือน้ำหนักของวัตถุหรือข้อมูลทางดิจิทัลอื่น ๆ การส่งข้อมูลดังกล่าวไปยังหน่วยประมวลผลข้อมูลอาจใช้บัตรเจาะ (Punched Cards) การ์ดแม่เหล็ก (Magnetic Cards) หรือเทปแม่เหล็ก (Magnetic Tape)

3.7.6.2 ส่วนประมวลผลข้อมูล (Data Processing) ส่วนประมวลผลข้อมูล จะทำหน้าที่ในการรับข้อมูลจากหน่วยรวบรวมข้อมูล แล้วนำมาประมวลผล และตัดสินใจจะทำการอย่างไรต่อไปตามโปรแกรมการทำงานของระบบที่กำหนดไว้แล้ว

3.7.6.3 ส่วนควบคุมกำลังงาน (Power Control) ส่วนควบคุมกำลังงานจะทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายพลังงานให้กับอุปกรณ์ที่ต้องการควบคุมการทำงานของมัน ส่วนควบคุมการทำงานนี้จะรับเอาสัญญาณ ซึ่งสั่งการมาจากหน่วยประมวลผลข้อมูล เช่น ในกรณีที่ต้องควบคุมการทำงานของมอเตอร์ ส่วนควบคุมกำลังงาน คือ ขดลวดคอนแทกเตอร์

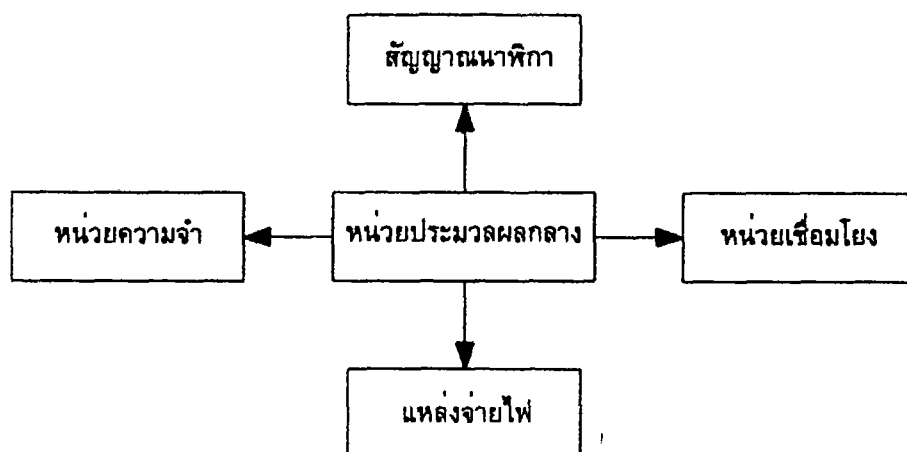
3.7.6.4 ส่วนโต้ตอบสื่อสารระหว่างมนุษย์กับเครื่องจักร (Man-Machine dialogue) ส่วนโต้ตอบสื่อสารระหว่างมนุษย์กับเครื่องจักร ผู้ควบคุมสามารถสั่งการและเฝ้าดูการทำงานของระบบควบคุมได้โดยผ่านทางส่วนนี้ การสั่งการไปยังส่วนดังกล่าวโดยผ่านอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ปุ่มกด (Push Button) สวิทช์เลือก (Selector Switch) สถานีควบคุม (Control Station) เป็นต้น ในกรณีที่ระบบควบคุมมีความซับซ้อนมาก อาจจะต้องมีการใช้อุปกรณ์อื่น ได้แก่ แผนภาพมิมิก (Mimic Diagram) คีย์บอร์ด (Key Boards) หรือปุ่มสัมผัส (Touch Button) เข้ามาช่วย (ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. 2541 : 1-3)

3.7.7 ระบบพื้นฐานคอมพิวเตอร์

ส่วนประกอบพื้นฐานของคอมพิวเตอร์ที่จะทำให้ระบบสามารถทำงานได้ตามความต้องการนั้นอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

3.7.7.1 ฮาร์ดแวร์ (Hardware) ประกอบด้วยส่วนกลางของคอมพิวเตอร์ (หรือหน่วยประมวลผล) เป็นส่วนที่มีลักษณะเป็นรูปธรรม สามารถจับต้องได้โดยตรง

3.7.7.2 ซอฟต์แวร์ (Software) เป็นข้อมูลหรือโปรแกรมที่ใช้เป็นตัวควบคุมการทำงานของฮาร์ดแวร์ มีลักษณะเป็นนามธรรม ไม่สามารถจับต้องหรือมองเห็นได้โดยตรง ประกอบด้วยโปรแกรมควบคุมระบบ (Operating System) โปรแกรมควบคุมการทำงาน (User Program)(ปาริฉัตร คำเหล็ก. 2544 : 34 อ้างอิงจาก ถวัลย์ ไกรโรจนานันท์. 2542) ระบบคอมพิวเตอร์จะทำงานได้นอกจากต้องใช้พลังงานไฟฟ้าแล้ว จะต้องใช้สัญญาณนาฬิกาอีกด้วย ระบบคอมพิวเตอร์เบื้องต้นประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังภาพประกอบ 26



ภาพประกอบ 26 โครงสร้างของระบบคอมพิวเตอร์

ที่มา : ชีรวัดน์ ประกอบผล.(2544). การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์. พิมพ์ครั้งที่ 5. หน้า 1

3.7.8 ระบบภายในคอมพิวเตอร์ หากพิจารณาถึงระบบคอมพิวเตอร์แล้ว จะไม่ได้หมายถึงคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะเท่านั้น เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์บางอย่างก็ถือเป็นระบบคอมพิวเตอร์ได้ ซึ่งโครงสร้างของระบบคอมพิวเตอร์ประกอบด้วย ส่วนต่างๆ คือ

3.7.8.1 หน่วยป้อนข้อมูล (Input Device Unit) ในระบบคอมพิวเตอร์หน่วยป้อนข้อมูลนี้หมายถึง คีย์บอร์ด (Key board) เป็นอุปกรณ์ที่นำข้อมูลผ่านเข้าไปสู่ระบบประมวลผลส่วนกลางของคอมพิวเตอร์ โดยจะมีจุดเชื่อมต่อ (I/O Port) เพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก

3.7.8.2 หน่วยความจำ (Memory Unit) ในระบบคอมพิวเตอร์จะมีหน่วยความจำ 2 ชนิดคือ หน่วยความจำแบบอ่านอย่างเดียว Read Only Memory (ROM) ซึ่งเป็นหน่วยที่ไม่มีการเขียนเกิดขึ้น และข้อมูลในหน่วยความจำจะไม่หายไปถึงแม้จะไม่มีไฟเลี้ยง หน่วยความจำชนิดนี้จะใช้เก็บโปรแกรมที่ทำให้เกิดการทำงานในระบบคอมพิวเตอร์ หน่วยความจำที่สามารถอ่านและเขียนข้อมูลได้ Random Access Memory (RAM) แต่ข้อมูลจะหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยง หน่วยความจำชนิดนี้จะใช้เก็บข้อมูลที่เกิดจากการประมวลผลจากหน่วยประมวลผลกลาง

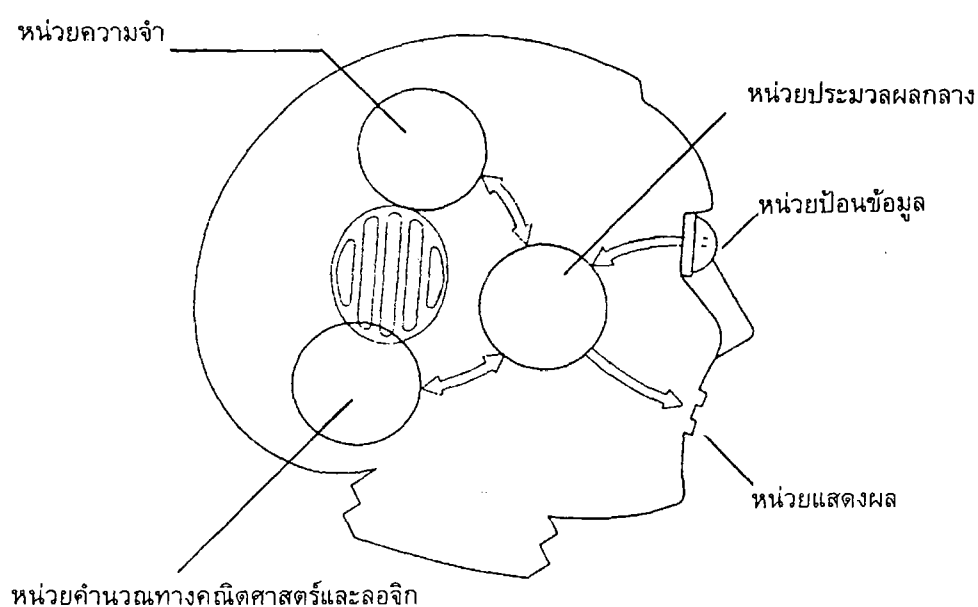
3.7.8.3 หน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit หรือ CPU) เป็นส่วนที่มีความสำคัญมากในระบบคอมพิวเตอร์หรือเรียกชื่ออีกอย่างหนึ่งว่าไมโครโปรเซสเซอร์ การทำงานของคอมพิวเตอร์จะเกิดขึ้นได้เมื่อหน่วยประมวลผลกลางแปลความหมายของคำสั่งที่อ่านจากหน่วยความจำและกระทำตามคำสั่งนั้น ๆ

3.7.8.4 หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก (Arithmetic and Logic Unit หรือALU) ในหน่วยประมวลผลกลางนั้นจะมีหน่วยที่ทำงานทางด้านการคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิกประกอบอยู่ภายใน ในส่วนนี้เปรียบได้กับสมองของมนุษย์ นั่นเอง

3.7.8.5 หน่วยแสดงผล (Display Unit) ในระบบคอมพิวเตอร์หน่วยแสดงผลนี้หมายถึงจอภาพ (Monitor) เป็นอุปกรณ์สำหรับเอาต์พุตเพื่อแสดงผลข้อมูลจากหน่วยประมวลผลกลาง หรือผลลัพท์จากหน่วยประมวลผลกลาง อาจถูกส่งไปยังรีเลย์เพื่อควบคุมเปิดปิดวงจรไฟฟ้าของอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับข้อมูลที่อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัลออกไป

แสดงผลหรือควบคุมเรียกว่าอุปกรณ์เอาต์พุต (Output Device) หรือเรียกรวมกันว่าอุปกรณ์บริวารของระบบคอมพิวเตอร์ (Peripheral Device)

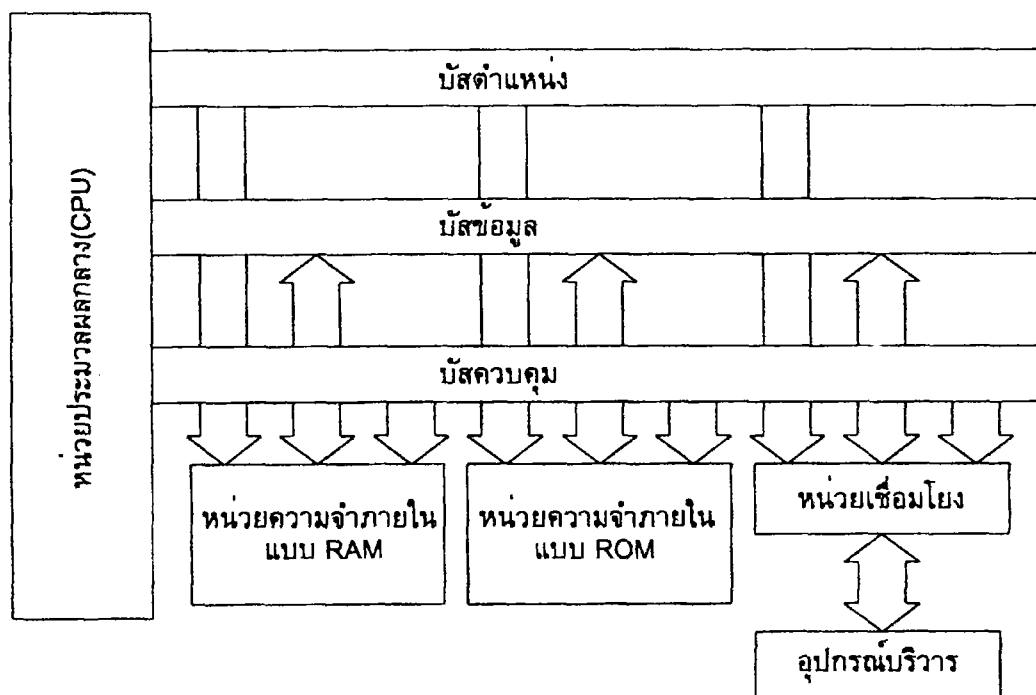
3.7.9 ระบบเชื่อมโยงภายในคอมพิวเตอร์ ระบบคอมพิวเตอร์จะทำงานเป็นระบบได้อย่างสมบูรณ์โดยมีไมโครโปรเซสเซอร์เป็นแกนกลางเพื่อประมวลผล ซึ่งอาจเปรียบเทียบกับระบบคอมพิวเตอร์กับมนุษย์ได้ ดังภาพประกอบ 27



ภาพประกอบ 27 แบบจำลองคอมพิวเตอร์กับมนุษย์

ที่มา : ธีรวัฒน์ ประกอบผล.(2544). การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์. พิมพ์ครั้งที่ 5. หน้า 4

จากภาพแบบจำลองคอมพิวเตอร์กับมนุษย์ แสดงให้เห็นว่ามนุษย์จะมีหน่วยความจำและหน่วยประมวลผลกลางคือสมอง ส่วนรับข้อมูลหรือดวงตา และส่วนแสดงผลข้อมูล คือ ปาก โดยปกติแล้วระบบคอมพิวเตอร์ส่วนที่ติดต่อกับหน่วยรับข้อมูลและส่วนแสดงผลข้อมูลจะเรียกว่า จุดเชื่อมต่อ (Port) ส่วนกลุ่มสัญญาณที่เชื่อมโยงต่อระหว่างหน่วยประมวลผลกลางกับส่วนต่างๆ เรียกว่าเส้นทางผ่านของข้อมูล (Bus) รายละเอียดการเชื่อมโยงส่วนต่างๆ ของระบบคอมพิวเตอร์ ดังภาพประกอบ 28



ภาพประกอบ 28 การเชื่อมโยงส่วนต่างๆภายในเครื่องคอมพิวเตอร์
ที่มา : ธีรวัฒน์ ประกอบผล.(2544). การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์. พิมพ์ครั้งที่ 5. หน้า 5

จากภาพการเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างหน่วยประมวลผลกลางกับส่วนต่างๆจะต้องมีกลุ่มสัญญาณที่เรียกว่า บัส (Bus) เป็นเส้นทางผ่านของข้อมูล โดยระบบบัสนี้มี 3 ชนิดคือ

3.7.9.1 บัสข้อมูล (Bus) เป็นกลุ่มสัญญาณที่ใช้รับและส่งข้อมูลทั้งไปและกลับ โดยจะเป็นระบบบัสแบบสองทาง (Bidirectional Bus) ใช้ในการส่งข้อมูลหรือรหัสคำสั่งต่างๆ ระหว่างหน่วยประมวลผลกลางกับอุปกรณ์ทุกๆ ตัวที่ต่อพ่วงอยู่กับระบบคอมพิวเตอร์

3.7.9.2 บัสแอดเดรส (Address Bus) หรือบัสตำแหน่ง เป็นกลุ่มสัญญาณที่ใช้อ้างตำแหน่งของจุดเชื่อมต่อ กับหน่วยความจำโดยจะเป็นระบบบัสแบบทางเดียว หรือเป็นกลุ่มสัญญาณที่ใช้อ้างตำแหน่งที่อยู่ของอุปกรณ์ภายนอกต่างๆ เพื่อระบุถึงตำแหน่งของอุปกรณ์ที่หน่วยประมวลผลกลางต้องการจะติดต่อด้วยเท่านั้น โดยที่อุปกรณ์อื่นไม่สามารถจะใช้บัสตำแหน่งส่งข้อมูลเข้าไปในส่วนประมวลผลกลาง

3.7.9.3 บัสควบคุม (Control Bus) เป็นกลุ่มของสัญญาณต่างๆที่ใช้ควบคุมจุดเชื่อมต่อของหน่วยความจำกับหน่วยประมวลผลกลาง รวมทั้งแสดงสถานะที่เกิดขึ้นจากการทำงานของไมโครโปรเซสเซอร์ สัญญาณควบคุมบางส่วนสามารถส่งมาจากอุปกรณ์อื่นเข้าไปสั่งงานระบบประมวลผลกลางได้

ถ้าหากคอมพิวเตอร์ต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยประมวลผลกลาง หน่วยประมวลผลกลางจะส่งค่าตำแหน่งออกไปทางบัสตำแหน่ง จากนั้นจะส่งสัญญาณควบคุมเพื่ออ่านข้อมูลและข้อมูลจะถูกส่งเข้าหน่วยประมวลผลกลางทางบัสข้อมูล แต่ถ้าหากคอมพิวเตอร์ต้องการส่งข้อมูลออกไปที่จุดเชื่อมต่อ หน่วยประมวลผลกลางจะส่งค่าตำแหน่งของจุด

เชื่อมต่อออกไปทางบัสตำแหน่ง จากนั้นข้อมูลจะส่งออกไปรอกทางบัสข้อมูล และเมื่อมีสัญญาณควบคุมส่งออกมาจากหน่วยประมวลผลกลางข้อมูลจะถูกส่งออกมาจากจุดเชื่อมต่อทันที ทั้งนี้หน้าที่การทำงานของบัสทั้งสามกลุ่มจะขึ้นอยู่กับคำสั่งที่ส่งมาจากหน่วยประมวลผลกลาง (ปาริฉัตร คำเหล็ก. 2544 : 33),(ธีรวัฒน์ ประกอบผล. 2544 : 1-6)

3.7.10 ไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor) ไมโครโปรเซสเซอร์หมายถึงหน่วยประมวลผลกลางของระบบคอมพิวเตอร์ (Central Processing Unit หรือ CPU)หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าหน่วยประมวลผลข้อมูล (Data Processing Unit) ไมโครโปรเซสเซอร์จะถูกสร้างเป็นไอซีแบบ LSI ซึ่งสามารถทำการคำนวณได้ภายใต้การควบคุมของโปรแกรม ดังนั้นหากจะสร้างระบบคอมพิวเตอร์ขึ้นมาจะต้องมีไอซีไมโครโปรเซสเซอร์เสมอ ตัวไมโครโปรเซสเซอร์บางรุ่น จะมีหน่วยความจำประกอบอยู่ภายในตัวของมันเอง และบางรุ่นจะมีระบบเชื่อมต่อข้อมูลจากภายนอกเข้าสู่ภายในและระบบเชื่อมต่อข้อมูลจากภายในออกสู่ภายนอก ซึ่งเรียกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับคอมพิวเตอร์ใช้งานโดยทั่วไปจะมีไมโครโปรเซสเซอร์เป็นตัวประกอบ ซึ่งจะเป็นตัวบอกประสิทธิภาพของเครื่องนั้นด้วย เช่น 8088 80286 80386 80486 ไมโครโปรเซสเซอร์จะเป็นเหมือนไอซีดิจิทัลตัวหนึ่งซึ่งจะทำงานได้ต้องมีสัญญาณนาฬิกา (Clock) ไปกระตุ้น เพื่อให้ไอซีตัวนี้ไปอ่านรหัสคำสั่ง (Fetch) และปฏิบัติตามคำสั่ง (Execute) เพื่อให้ได้เอาต์พุตตามรูปแบบที่ต้องการ ซึ่งคำสั่งจะเก็บอยู่ในรูปแบบของเลขฐานสอง สำหรับคำสั่งที่จะให้ไมโครโปรเซสเซอร์ทำงานนั้น จะเป็นชุดคำสั่ง (Instruction Set) ซึ่งออกแบบมาเฉพาะตัวไมโครโปรเซสเซอร์แต่ละเบอร์ ความสามารถของไมโครโปรเซสเซอร์แต่ละเบอร์นั้นจะพิจารณาจากความสามารถประมวลผลข้อมูล ซึ่งวัดได้ 3 วิธี คือ

3.7.10.1 วัดความยาวของเวิร์ดข้อมูล ความยาวของเวิร์ดข้อมูล มีหน่วยเป็นบิต (Bit) ที่ไมโครโปรเซสเซอร์ประมวลผลจะมีตั้งแต่ 4 บิต 16 บิต 32 บิต และ 64 บิต ถ้าเป็นการประมวลผลแบบ 16 บิต จะเรียกเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาด 16 บิต ถ้าเป็นเครื่องขนาด 8 บิต เวิร์ดข้อมูลจะมีขนาด 1 ไบต์ (1 ไบต์ เท่ากับ 8 บิต) โดยแบ่งออกเป็นไบต์บน (Upper Byte) มีขนาด 8-15 บิต และไบต์ล่าง (Lower Byte) มีขนาด 0-7 บิต ถ้าคอมพิวเตอร์มีการประมวลผลแบบมีความยาวเวิร์ดข้อมูลสูง จะทำให้การประมวลผลข้อมูลแต่ละครั้งอ้างตัวเลขได้มากกว่า

3.7.10.2 วัดขนาดของหน่วยความจำที่ไมโครโปรเซสเซอร์ ขนาดของหน่วยความจำจะเป็นตัวบอกว่าเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้อยู่สามารถติดต่อกับหน่วยความจำได้มากที่สุดเท่าใด โดยปกติแล้วการพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์ให้ดีขึ้นนอกจากจะพัฒนาให้ความยาวเวิร์ดข้อมูลสูงแล้ว จะพัฒนาให้สามารถอ้างหน่วยความจำให้มากขึ้นด้วย ขนาดของหน่วยความจำนี้จะเขียนแทนด้วยตัวอักษร K หมายความว่ามีความเท่ากับพัน ตัวอักษร M หมายความว่ามีความเท่ากับล้าน ตัวอักษร G หมายความว่ามีความเท่ากับพันล้าน

3.7.10.3 วัดความเร็วในการกระทำตามคำสั่ง หมายถึง ความเร็วในการปฏิบัติตามคำสั่งซึ่งจะวัดจากความเร็วของสัญญาณนาฬิกา (Clock Speed) มีหน่วยเป็นเมกะเฮิรตซ์ หรือวัดความเร็วจากจำนวนคำสั่งที่ไมโครโปรเซสเซอร์ปฏิบัติตามคำสั่งได้ใน 1 วินาที โดยทั่วไปจะใช้หน่วยล้านคำสั่งต่อหนึ่งวินาที (Million of Instructions Per Second หรือ MIPS) ความเร็วของไมโครโปรเซสเซอร์แต่ละเบอร์ ดังแสดงในตาราง 8

ตาราง 8 ไมโครโปรเซสเซอร์เบอร์ต่างๆและความถี่สัญญาณนาฬิกา

ไมโครโปรเซสเซอร์	ความถี่สัญญาณนาฬิกา	ความยาวของเวิร์ดข้อมูล	ค่าเฉลี่ยของ MIPS
8051	12 MHz	8-bit	0.58
Z80A	4 MHz	8-bit	0.3
Z80B	6 MHz	8-bit	0.45
286	12 MHz	16-bit	3.0
486DX2-66	66 MHz	32-bit	32
Pentium	66 MHz	32-bit	64

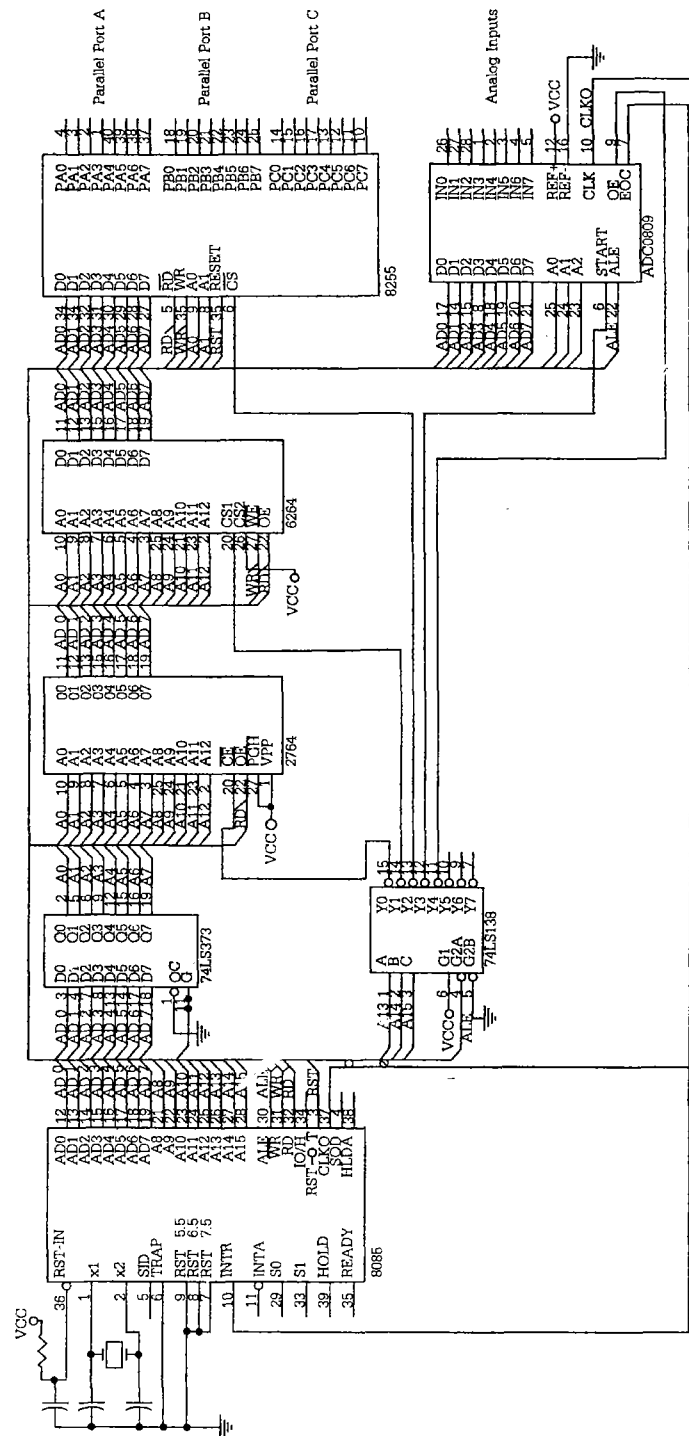
ที่มา : ชีรวัดน์ ประกอบผล. (2544). การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์. พิมพ์ครั้งที่ 5. หน้า 4

ถ้าให้สัญญาณนาฬิกากับไมโครโปรเซสเซอร์สูง จะทำให้เวลาทำงานแต่ละคำสั่งทำงานได้เร็วขึ้น เช่นไมโครโปรเซสเซอร์ตัวหนึ่ง ถ้าบอกเลขจะต้องใช้นาฬิกาสองลูก ถ้าให้ความถี่ของสัญญาณนาฬิกาสูงขึ้น จะทำให้เวลาในแต่ละลูกของสัญญาณนาฬิกาลดลง นั่นหมายถึงจะทำให้เวลาในการประมวลผลได้เร็วขึ้นนั่นเอง

3.7.11 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) คำว่า "ไมโครคอนโทรลเลอร์" มาจากรากศัพท์คำ 2 คำ คือ ไมโคร (Micro) หมายถึง ขนาดเล็ก และคำว่า คอนโทรลเลอร์ (Controller) หมายถึง ตัวควบคุมหรืออุปกรณ์ ดังนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์ จึงหมายถึง อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์พิเศษที่รวมเอา ไมโครโปรเซสเซอร์ หน่วยความจำ จุดเชื่อมต่อและหน่วยเชื่อมโยงข้อมูลบรรจุรวมกันภายใต้ตัวถังเดียวกัน (ภุชดา ใจเย็น และคนอื่นๆ. ม.ป.ป. : 7) ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือชิป (Chip หรือ Single-Chip Microcontroller) ของคอมพิวเตอร์รูปแบบหนึ่งซึ่งมีขนาดเล็กและเน้นการใช้งานในรูปแบบเชิงลึกภายใน (Embedded) คือ มีลักษณะเป็นชุดแผ่นวงจรรวมประกอบอยู่ภายในผลิตภัณฑ์ต่างๆ การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์มีความยืดหยุ่นสูง ง่ายต่อการพัฒนาและปรับปรุงแก้ไข ใช้ได้ดียิ่งกับงานที่มีความซับซ้อนมากๆ และที่สำคัญ คือ ทำให้แนวทางการพัฒนาที่เน้น Hardware เปลี่ยนมาเน้นในด้าน Software แทน จึงทำให้ตัวชิปไมโครคอนโทรลเลอร์มีบทบาทสูงมากในปัจจุบัน (Sila research. 2545 : 5)

ระบบไมโครโปรเซสเซอร์ได้ถูกนำเข้าสู่ท้องตลาดและเป็นที่รู้จักอย่างรวดเร็วโดยกลุ่มอุตสาหกรรมผู้ผลิตทำให้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ในต้นทุนที่ถูกลง เทคนิคสมัยใหม่นี้นำไปสู่ความเจริญก้าวหน้าทางวิทยาการ การพัฒนาด้านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นั้นวันจะมีความซับซ้อนขึ้นเรื่อยๆ และเป็นไปแบบต่อเนื่อง ไมโครคอนโทรลเลอร์จึงได้ถูกสร้างขึ้นและได้รับการพัฒนามาเรื่อยๆ ทำให้เป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวาง จึงทำให้ราคาต้นทุนลดลง การผลิตจากไมโครโปรเซสเซอร์เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถทำได้ง่ายขึ้นคือเพียงนำเอาไมโครโปรเซสเซอร์ร่วมกับระบบการทำงานของอุปกรณ์ภายนอกต่างๆเข้าด้วยกันนั่นเอง ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย เช่น ในโรงงานอุตสาหกรรมรถยนต์ โดยเฉพาะระบบควบคุมมอเตอร์ กลไกต่างๆ จะใช้อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมเกือบทั้งหมด หรือในงานการผสมสารเคมีซึ่งต้องการสัดส่วนของสารเคมีที่แน่นอน ในระบบควบคุมการจ่ายและจุดระเบิดของน้ำมันกับอากาศ ในเครื่องยนต์รุ่นใหม่ ๆ (รัชพงษ์ นิลอุบล. 2541 : 1-2) อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันจะถูกควบคุมด้วยระบบ

คอมพิวเตอร์เล็กๆ หรือที่เรียกว่าไมโครโปรเซสเซอร์ ในปัจจุบันจะเรียกเป็นศัพท์เทคนิคว่า Embedded System ระบบควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์จะต้องมีหน่วยประมวลผลกลางที่เรียกว่าไมโครโปรเซสเซอร์เป็นหัวใจหลักในการทำงาน อย่างเช่น บริษัทอินเทลได้สร้างไมโครโปรเซสเซอร์ เบอร์ 4004 ซึ่งประมวลผลแบบ 8 บิต ออกมาเป็นรุ่นแรก และได้พัฒนารุ่นใหม่ๆ ออกมาเช่นเบอร์ 8008 8080 และ 8085 ทำให้การประมวลผลทำได้อย่างรวดเร็ว การนำไมโครโปรเซสเซอร์มาใช้งานจะต้องมีการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงาน มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและข้อมูลที่ได้จากการประมวลผล มีจุดเชื่อมต่อ (พอร์ต I/O) สำหรับติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ตัวอย่าง เช่น ถ้านำไมโครโปรเซสเซอร์ เบอร์ 8085 มาออกแบบระบบควบคุมให้มันทำงานอย่างใดอย่างหนึ่ง จำเป็นต้องนำเอาไอซีต่างๆ มาต่อเพิ่มอีกด้วย ดังภาพประกอบ 29

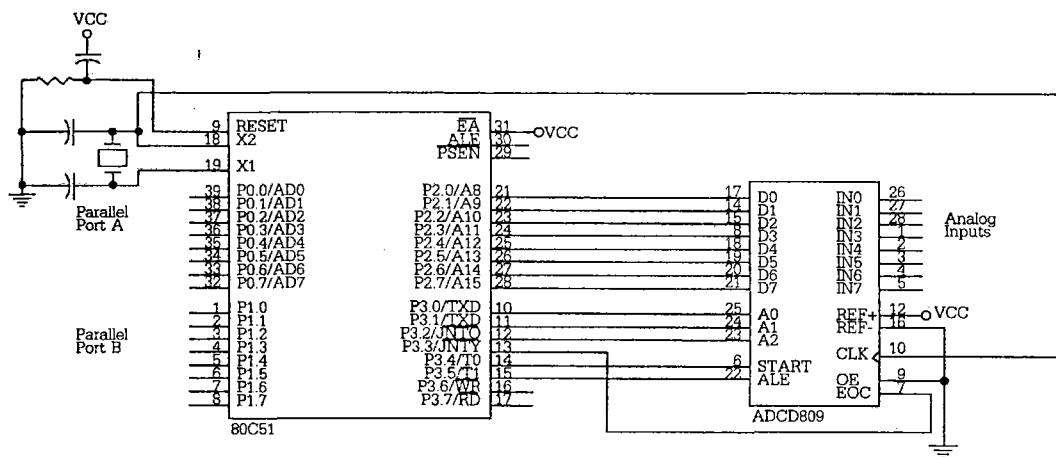


ภาพประกอบ 29 ระบบไมโครโปรเซสเซอร์

ที่มา : ชีววัฒน์ ประกอบผล.(2545). ไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยภาษาซี. หน้า 2

จากภาพประกอบของระบบไมโครโปรเซสเซอร์จะเห็นว่า ได้ออกแบบให้หน่วยความจำสองตัวคือเบอร์ 2764 เป็นหน่วยความจำ ROM สำหรับเก็บโปรแกรม และเบอร์ 6264 เป็นหน่วยความจำ RAM สำหรับเก็บข้อมูลขณะที่ไมโครโปรเซสเซอร์ประมวลผล ส่วน 8255 เป็นจุดเชื่อมต่อแบบขนานสำหรับต่อกับอุปกรณ์ภายนอกจำนวน 3 จุด และยังมี ไอซีเบอร์ ADC0809 สำหรับแปลงสัญญาณแอนะล็อกจากภายนอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอลให้ไมโครโปรเซสเซอร์ประมวลผล แต่ถ้าใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีหน่วยความจำและจุดเชื่อมต่อภายนอกอยู่ในชิป ทำให้การใช้งานทำได้เพียงแต่ต่ออุปกรณ์ที่จำเป็นภายนอกเท่านั้น บางครั้งไมโครคอนโทรลเลอร์จะถูกเรียกว่าคอมพิวเตอร์ชิปเดียว

ดังภาพประกอบ 30



ภาพประกอบ 30 ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

ที่มา : ธีรวัฒน์ ประกอบผล.(2545). ไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยภาษาซี. หน้า 3

การที่ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำงานได้จะต้องมีการป้อนชุดคำสั่ง สั่งการให้ระบบทำงาน การนำคำสั่งหลายๆคำสั่งมาต่อเรียงกันจะเรียกว่าการโปรแกรม โดยภาษาแอสเซมบลี (Essembly Language) ถือว่าเป็นภาษาขั้นพื้นฐานที่สุดที่จะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงาน ในปัจจุบันได้มีการนำเอาภาษาระดับสูงมาใช้ในการไมโครคอนโทรลเลอร์มากขึ้นเนื่องจากสามารถเขียนได้ง่ายคล้ายกับภาษามนุษย์ การเขียนภาษาระดับสูงนั้นจะต้องมีตัวแปลภาษา (Compiler) เพื่อแปลภาษาที่เขียนให้เป็นภาษาเครื่องของชิปตัวนั้นอีกทีหนึ่ง โดยจะอยู่ในรูปของ Hex file แล้วนำไปทำการในโปรแกรมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ชิปทำงาน ตัวอย่าง เช่น ภาษาระดับสูงที่ใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์

รุ่น MCS-51 มีหลายภาษา เช่น ภาษาเบสิก (Biginer's All-purpose Symbolic Instruction Code หรือ Basic) ภาษาซี (C Language) ภาษา PL/M เป็นต้น การพัฒนาโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ได้มีการใช้ภาษาระดับสูงในการเขียนโปรแกรมมากขึ้นและมีแนวโน้มมากขึ้นเรื่อยๆ อย่างเช่นงานเขียนด้วยภาษาแอสเซมบลีที่โปรแกรมมีความยาวประมาณ 10 หน้ากระดาษ เมื่อเขียนด้วยภาษาระดับสูงแล้วอาจทำให้ความยาวเหลือเพียง 2 หน้ากระดาษเท่านั้น โดยการเขียนโปรแกรมจะเริ่มเขียนบนเครื่องคอมพิวเตอร์ (PC) และแปลให้เป็นภาษาเครื่องในรูปแบบ Hex file จากนั้นนำไปโปรแกรมลงบนไมโครคอนโทรลเลอร์ให้ระบบทำงาน โดยภาษาระดับสูงที่นิยมใช้กันคือภาษาซี เนื่องจากมีข้อดีต่างๆ

หลายประการ การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาซีนี้สามารถเชื่อมต่อกับภาษาแอสเซมบลีได้เป็นอย่างดี เนื่องจากภาษาซีมีการทำงานใกล้เคียงกับภาษาแอสเซมบลีมากที่สุด ทำให้การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาซีสามารถเขียนภาษาแอสเซมบลีรวมไปได้ ที่เรียกว่า (In-Line Assembly) และเนื่องจากภาษาซีเป็นภาษาที่ใช้การเขียนโปรแกรมแบบโครงสร้าง (Structured Language) ทำให้สามารถสร้างรูปแบบ ขั้นตอน (Function) ต่างๆ เก็บไว้ และนำมาเรียกใช้ในภายหลังได้ ทำให้การพัฒนาโปรแกรมที่มีขนาดใหญ่ทำได้ง่ายขึ้น (ธีรวัฒน์ ประกอบผล. 2545 : 1-4)

จากหลักการและโครงสร้างต่างๆของระบบควบคุมอัตโนมัติที่ได้กล่าวข้างต้น ผู้วิจัยได้นำหลักการดังกล่าวมาเป็นแนวทางสำหรับออกแบบ เขียนแบบ ปรับปรุง พัฒนาระบบควบคุมการทำงานของเครื่องกวณสารเคมีจากระบบเมลนวลมาเป็นระบบอัตโนมัติ ประกอบด้วยระบบควบคุมการกวณสารเคมีซึ่งใช้วิธีการนับความเร็วรอบ ระบบตั้งเวลาปิดเครื่องอัตโนมัติ ตั้งเวลาเป็นนาที่และระบบควบคุมอุณหภูมิ วัดเป็นองศาเซลเซียส ทั้ง 3 ระบบวัดค่าและแสดงผลด้วยตัวเลขดิจิทัล เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยภาษาเบสิก สำหรับควบคุมและสั่งการระบบการทำงาน หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ชิป รุ่น PIC16F877 และหน่วยความจำภายใน (RAM) ขนาด 256 Kb.

4. วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเครื่องกวณสารเคมี

การเลือกใช้วัสดุ การเลือกใช้ชนิดของวัสดุและคุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุ จะต้องพิจารณาสำหรับนำมาใช้ในระบบการผลิตสินค้าต่างๆ คือ

คุณสมบัติของการขึ้นรูป (Formability) หมายถึง ความสามารถที่จะทำให้วัสดุสำหรับงานสำเร็จรูป ได้แก่ การขึ้นรูปแผ่นเหล็กชนิดต่าง ๆ เช่น ตัวถังรถ วัสดุที่ทำการขึ้นรูปจะต้องมีน้ำหนักเบา เหนียว การทำกันชน ซึ่งจะต้องมีความแข็งแรง สามารถทนต่อการกระแทก (Impact Load) ได้ดี หรือแม่พิมพ์ปั๊มพลาสติกกระสุนปืนที่ต้องใช้ทองเหลือง (Brass) เพราะสามารถทำได้ง่ายกว่าเหล็กและไม่เป็นสนิมด้วย

ความสามารถในเชิงกลของโลหะ (Machinability) หมายถึง ความสามารถที่จะทำให้วัสดุสำเร็จรูปได้ต้องอาศัยเครื่องจักรกล (Machine) เช่น การกลึง (Turning) การไส (Shaping) การเลื่อย (Sawing) เป็นต้น

คุณสมบัติทางเคมีที่ไม่เปลี่ยนแปลง (Chemical Stability) หมายถึง คุณสมบัติทางเคมีต้องไม่มีการเปลี่ยนแปลง เช่น ทนต่อกรดหรือสารเคมีอื่น ๆ

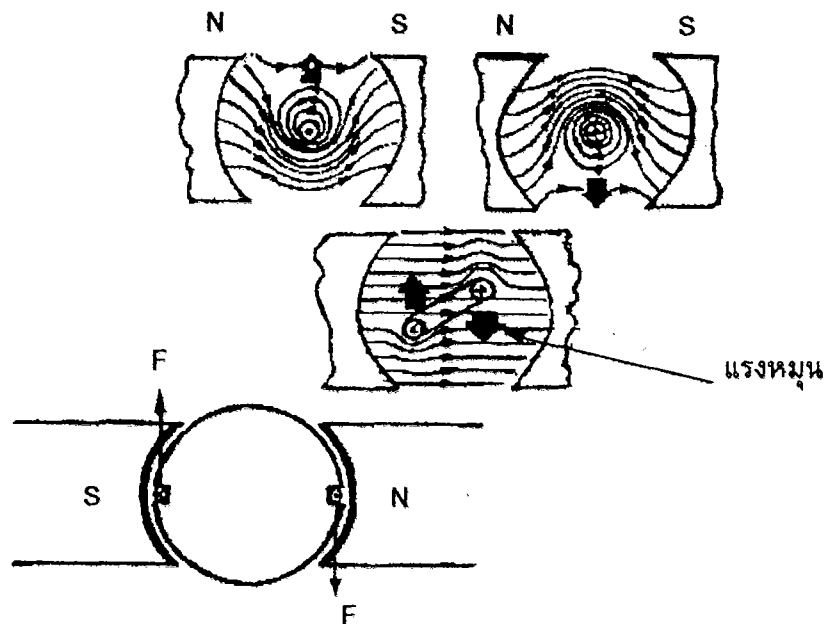
คุณสมบัติทางไฟฟ้า (Electrical Behaviours) การเลือกคุณสมบัติทางด้านไฟฟ้าของวัสดุจะต้องให้มีความเหมาะสมกับงานแต่ละชนิด เช่น เลือกใช้วัสดุที่มีความต้านทานสูงเป็นตัวกำหนดความร้อน เป็นต้น

ราคา (Cost) หมายถึง ราคาจะต้องมีเหมาะสมกับชนิดของวัสดุ เช่น งานบางอย่างใช้เหล็กเหนียวทำก็ได้ โดยที่ไม่จำเป็นต้องใช้เหล็กกล้าหรือวัสดุที่มีราคาแพง เช่น อะลูมิเนียม เพราะจะทำให้เสียค่าใช้จ่ายสูงและทำให้ผลิตภัณฑ์มีราคาแพง (สุรสิทธิ์ แก้วพระอินทร์. 2541 : 33-34) สำหรับการเลือกชนิดของวัสดุและอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในระบบการพัฒนาเครื่องกวณสารเคมีด้วยแรงแม่เหล็ก มีรายละเอียด ดังนี้

4.1 มอเตอร์ไฟฟ้า มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวสำคัญที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับความเป็นอยู่ในชีวิตประจำวัน ไม่ว่าจะเป็นทางตรงหรือทางอ้อม จะเห็นได้จากเครื่องมือหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ทางการศึกษา หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้อำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวันส่วนมากต้องอาศัยมอเตอร์ เช่น เครื่องฉายต่างๆ หรือมอเตอร์ที่ใช้ในการหมุนพัดลมระบายความร้อนในอุปกรณ์โสตทัศนศึกษา นอกจากนั้นเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านที่ใช้มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ประกอบที่สำคัญ เช่น ตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ พัดลม ล้วนแต่เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้มอเตอร์เป็นส่วนประกอบหลักๆ มอเตอร์มีความสำคัญและเข้ามาเกี่ยวข้องในชีวิตประจำวัน ฉะนั้น จึงควรทำความเข้าใจกับหลักการพื้นฐานของมอเตอร์เพื่อจะได้เข้าใจธรรมชาติและจะได้ใช้เครื่องมือต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อช่วยยืดอายุการทำงานของมอเตอร์ภายในอุปกรณ์ทางไฟฟ้าให้ยาวนาน มอเตอร์ไฟฟ้าแบ่งออกได้ 2 ชนิดคือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Motor) หรือเรียกว่า DC Motor และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Motor) หรือ AC Motor

4.1.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) มอเตอร์เป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า (Electrical Energy) ให้เป็นพลังงานกล (Mechanical Energy) ในรูปของการหมุน โดยมีหลักที่ว่าเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านในเส้นลวดตัวนำไฟฟ้า จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กรอบๆ เส้นลวดตัวนำ และถ้านำเส้นลวดตัวนำนี้ไปวางในสนามแม่เหล็กจะมีผลให้เกิดแรงผลักดันตัวนำ ลวดตัวนำจะมีแรงผลักให้ออกจากสนามแม่เหล็กจากตำแหน่งที่สนามแม่เหล็กแรงกว่าไปยังตำแหน่งที่สนามแม่เหล็กอ่อนกว่าจึงทำให้ลวดตัวนำเคลื่อนที่ ทิศทางการเคลื่อนที่จะขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าและทิศทางของเส้นของแม่เหล็ก มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะมีส่วนประกอบและมีลักษณะคล้ายกันมากกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

หลักการทำงาน เมื่อป้อนแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสตรงให้กับมอเตอร์ ก็จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าไปในขดลวดสนามแม่เหล็กและที่ขดลวดอาร์เมเจอร์แล้วทำให้ขั้วแม่เหล็กเกิดเป็นขั้วเหนือกับขั้วใต้ กระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าไปในขดลวดอาร์เมเจอร์ก็จะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นมาด้วย ซึ่งจะมีทิศทางของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบๆ ตัวนำ ทิศทางของสนามแม่เหล็กนี้หาได้โดยใช้กฎเกลียวขวาหรือกฎมือขวา เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลในตัวนำ ในที่นี้แสดงให้เห็นเพื่อความเข้าใจจึงได้แสดงเพียงตัวนำเดียว ดังภาพประกอบหลักการทำงานของมอเตอร์ จะเห็นได้ว่าเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็ก N และเส้นแรงแม่เหล็กจากตัวนำที่ขดลวดอาร์เมเจอร์จะมีปฏิสัมพันธ์กันตามหลักของแรงแม่เหล็กเมื่ออำนาจแม่เหล็กทั้งสองมีปฏิสัมพันธ์กันจะทำให้ขดลวดอาร์เมเจอร์เคลื่อนที่หมุนไปได้ ซึ่งสามารถหาทิศทางการหมุนได้โดยใช้กฎมือซ้ายของเฟรมมิ่ง (Fleming's Left Hand Rule) อำนาจแม่เหล็กและทิศทางการหมุนของขดลวดอาร์เมเจอร์ ดังภาพประกอบ 31



ภาพประกอบ 31 หลักการทำงานของมอเตอร์

ที่มา : เอกวิทย์ แก้วประดิษฐ์. (2542). ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์สำหรับสื่อการศึกษา. หน้า 373

4.1.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Motor) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับจะมีหลักการทำงานคล้ายกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แต่ว่าแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้แก่มอเตอร์เป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับ โครงสร้างของมอเตอร์จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่อยู่กับที่เรียกว่าสเตเตอร์ (Stator) และส่วนที่ต่ออยู่กับแกนหมุนเรียกว่าโรเตอร์ (Rotor) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับจะมีใช้ทั้งแบบ 1 เฟสและแบบ 3 เฟส มอเตอร์แบบ 1 เฟสใช้ร่วมกับเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านเรือนทั่วไป ส่วนมอเตอร์แบบ 3 เฟสจะใช้กับงานหนัก เช่นงานในอุตสาหกรรม เป็นต้น มอเตอร์หนึ่งเฟสจะแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้สองประเภทคืออินดักชันมอเตอร์ (Induction Motor) และซิงโครนัสมอเตอร์ (Synchronous Motor) (เอกวิทย์ แก้วประดิษฐ์. 2542 : 372 - 374,381)

4.2 ชนิดของมอเตอร์ แบ่งตามลักษณะการใช้งานทั่วไป ชนิดการทำงานของมอเตอร์ ลักษณะสมบัติการทำงานการทำงานของมอเตอร์ถูกแบ่งตามมาตรฐานของ National Electrical Manufacture Association (NEMA) ออกเป็น 5 ชนิด ซึ่งขึ้นอยู่กับความต้านทานและรีแอคแทนซ์ของโรเตอร์ที่ออกแบบไว้

4.2.1 ชนิด เอ เป็นมอเตอร์ใช้งานทั่วไป มีค่าแรงบิดเริ่มหมุนสูงพอสมควร มีค่ากระแสเริ่มหมุน ไม่สูงมาก แต่มีค่าแรงบิดวิกฤติสูงมาก คือประมาณร้อยละ 200 ของแรงบิดสูงสุด จึงสามารถใช้กับงานที่มีแรงบิดสูงเกินกว่าแรงบิดสูงสุดได้ชั่วขณะที่มอเตอร์ไม่เสียหาย

4.2.2 ชนิด บี ใช้แพร่หลายในงานอุตสาหกรรมทั่วไป มีลักษณะสมบัติคล้ายกับชนิด เอ แต่มีค่ากระแสเมื่อเริ่มหมุน ต่ำมาก จึงสามารถสตาร์ทโดยการต่อแรงดันไฟฟ้าเต็มเข้ากับมอเตอร์โดยตรงได้ แต่มอเตอร์ชนิด บี มีค่าแรงบิดวิกฤติไม่สูงเท่ากับชนิด เอ มอเตอร์ชนิด บี มีแรงบิดเริ่มหมุนค่อนข้างสูงจึงสามารถใช้กับงานที่มีความเฉื่อยค่อนข้างสูงได้

4.2.3 ชนิด ซี เป็นมอเตอร์ที่ออกแบบให้มีกระแสไฟฟ้าเมื่อเริ่มหมุนต่ำ และมีแรงบิดเริ่มหมุนมีค่าสูง มอเตอร์ชนิดนี้จะเหมาะสำหรับงานที่ต้องการแรงบิดเริ่มหมุนค่อนข้างสูง และต้องการอัตราเร่งค่อนข้างสูง เช่น เครื่องสายพานขนถ่ายของ(Conveyors) และขับเคลื่อนเพลาลูกเบี้ยวซึ่งต่อกับเพลาลูกเบี้ยวหลายชนิด (Loaded Line Shaft)

4.2.4 ชนิด ดี เป็นมอเตอร์ที่มีแรงบิดเริ่มหมุนสูงมาก แต่มีประสิทธิภาพในการหมุนต่ำ เหมาะสำหรับใช้กับเครื่องอัดแบบ (Punch Presses)

4.2.5 ชนิด เอฟ เป็นมอเตอร์มีแรงบิดเริ่มหมุนต่ำ แรงบิดวิกฤติต่ำ และกระแสไฟฟ้าเมื่อเริ่มหมุนต่ำ มอเตอร์ชนิดนี้มีใช้น้อย ตามปกติจะผลิตให้มีขนาดสูงกว่า 30 แรงม้า เนื่องจากมอเตอร์ชนิด F มีค่าแรงบิดวิกฤติต่ำ จึงต้องใช้มอเตอร์ขนาดใหญ่เพื่อให้เหมาะกับงาน ดังนั้นเพื่อให้ประหยัดจึงมักใช้มอเตอร์ชนิด เอ, บี หรือ ซี แทน เพราะใช้ขนาดเล็กกว่าได้โดยวิธี สตาร์ทด้วยการค่อยๆเพิ่มแรงดันไฟฟ้า แทนที่จะใช้มอเตอร์ชนิด เอฟ ซึ่งสามารถสตาร์ทโดยต่อแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเข้าโดยตรงได้ จะเห็นได้ว่ามอเตอร์มากกว่าหนึ่งชนิดสามารถใช้กับงานชนิดเดียวกันได้ แต่ต้องพิจารณาว่าควรเลือกใช้มอเตอร์ชนิดใดจึงจะทำให้เกิดการประหยัดได้มากกว่า

4.3 ชนิดของมอเตอร์ แบ่งตามลักษณะของตัวถังมอเตอร์

4.3.1 ตัวถังแบบเปิด (Open) ของมอเตอร์

4.3.1.1 ชนิดใช้งานทั่วไป (General Purpose) เป็นมอเตอร์ซึ่งให้อากาศถ่ายเทเข้าออกได้โดยรอบ ขดลวดเพื่อระบายความร้อน

4.3.1.2 ชนิดป้องกันการหยดของของเหลว (Drip Proof) เป็นมอเตอร์ซึ่งเปิดให้อากาศระบายถ่ายเทได้ แต่ป้องกันของเหลวหรือของแข็งซึ่งตกมาในแนวไม่เกิน 15 องศา จากแนวดิ่ง

4.3.1.3 ชนิดป้องกัน (Protected) ตัวถังออกแบบให้สามารถเข้าถึงชิ้นส่วนที่หมุน ยกเว้นเพลาลูกเบี้ยวภายในมอเตอร์ได้ง่าย เพื่อความสะดวกในการซ่อมแซม แต่มีแผ่นโลหะปิดไว้ เพื่อป้องกันอุบัติเหตุซึ่งเกิดจากการจับต้องชิ้นส่วนที่หมุนอยู่ภายในมอเตอร์โดยบังเอิญ

4.3.1.4 ชนิดป้องกันการฉีดขาด (Splash Proof) เป็นมอเตอร์ซึ่งเปิดให้อากาศระบายถ่ายเทได้ แต่ออกแบบให้ป้องกันการผ่านเข้าออกของของเหลวหรือของแข็งที่พุ่งมาในแนวไม่เกิน 100 องศา จากแนวดิ่งเข้าไปภายในมอเตอร์

4.3.1.5 ชนิดท่อระบายอากาศ (Pipe Ventilated) เป็นมอเตอร์ที่ออกแบบให้อากาศที่ดูดเข้ามาระบายความร้อนเข้าได้ทางที่กำหนดไว้เท่านั้น

4.3.1.6 ชนิดทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศ (Weather Protected) มีสองชนิดคือ ชนิดที่ 1 ช่องระบายอากาศถูกออกแบบให้ป้องกันไม่ให้ฝน หิมะ และฝุ่น เข้าไปถึงชิ้นส่วนทางไฟฟ้าภายในมอเตอร์ ชนิดที่ 2 ช่องระบายอากาศออกแบบให้อากาศถ่ายเทผ่านมอเตอร์ด้วยความเร็วสูง ทำให้ฝุ่นละอองไม่สามารถเข้าไปยังชิ้นส่วนไฟฟ้าภายในได้

4.3.2 ตัวถังแบบปิด (Totally Enclosed) มอเตอร์ชนิดนี้ ชิ้นส่วนทางไฟฟ้าถูกปิดไว้ตลอดภายในตัวถัง ซึ่งมอเตอร์ตัวถังแบบปิด แบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ ดังนี้

4.3.2.1. ชนิดไม่มีอากาศระบาย (Non Ventilated) เป็นมอเตอร์ที่ไม่มีเครื่องมือจากภายนอกตัวถังช่วยระบายความร้อน

4.3.2.2 ชนิดระบายความร้อนด้วยพัดลม (Fan cooled) เป็นมอเตอร์ที่ระบายความร้อนด้วยพัดลม ซึ่งอยู่ภายนอกตัวถังปิดของมอเตอร์

4.3.2.3 ชนิดที่ระบายความร้อน เป็นมอเตอร์ที่มีช่องเปิดให้ที่ระบายอากาศทั้งเข้าและออกต่อเข้ากับตัวถังได้

4.3.2.4 ชนิดเครื่องถ่ายเทความร้อน (Heat Exchanger type) เป็นมอเตอร์แบบปิดซึ่งถ่ายเทความร้อนโดยให้อากาศภายในตัวถัง ไหลหมุนเวียนผ่านเครื่องถ่ายเทความร้อน ซึ่งระบายความร้อนด้วยอากาศ หรือน้ำ อากาศเย็นซึ่งผ่านออกจากเครื่องถ่ายเทความร้อนจะไหลวนกลับเข้าไปแทนอากาศร้อนภายในมอเตอร์อีก

4.3.2.5 ชนิดป้องกันการระเบิด (Explosion Proof) เป็นมอเตอร์ซึ่งออกแบบให้ทนการระเบิดของก๊าซหรือไอน้ำมันในมอเตอร์ได้ และป้องกันไม่ให้ก๊าซหรือไอน้ำมันในมอเตอร์จุดระเบิดได้

4.3.2.6 ชนิดป้องกันการลุกไหม้ของฝุ่น (Dust-ignition Proof) เป็นมอเตอร์ซึ่งออกแบบให้กันฝุ่นที่ติดไฟได้ ไม่ให้เข้าไปในภายในมอเตอร์ เพื่อป้องกันการลุกไหม้หรือระเบิดในบริเวณรอบนอกของมอเตอร์

ตัวถังของเครื่องควบคุม (Controller Enclosures) แบ่งออกเป็นชนิดต่างๆตามมาตรฐานของ NEMA และแบ่งตามสภาพการใช้งาน ดังแสดงในตาราง 9

ตาราง 9 ชนิดต่างๆของมอเตอร์แบ่งตามมาตรฐานของ NEMA

ชนิดที่	แบบตัวถังของเครื่องควบคุม (Controller Enclosures)	ลักษณะสมบัติการใช้งาน
1	แบบทั่วไป	ใช้ภายในอาคารและที่ซึ่งมีสภาพดินฟ้าอากาศปกติ
2	แบบป้องกันการหยดของของเหลว	ป้องกันการซึมผ่านของของเหลว ซึ่งหยดลงบนเครื่องควบคุม
3	ทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศ	ใช้ในที่ซึ่งมีฝนหรือลูกเห็บ ใช้ในอุ้งต่อเรือ ประตูน้ำ หรือทางใต้ดิน
4	ป้องกันน้ำ	ใช้ภายในอาคารที่มีน้ำสาถึง
5	ป้องกันฝุ่น	ป้องกันฝุ่นละอองซึ่งไม่เป็นเชื้อเพลิง เช่น เครื่องบดปูนซีเมนต์ เครื่องรีดเหล็กและลานขนถ่ายถ่านหิน
6	ใช้ไดน้ำ	ใช้สำหรับงานซึ่งอาจแช่อยู่ในน้ำ เช่น ในเหมืองแร่
7	ใช้ในบริเวณอันตราย	ใช้ในบริเวณซึ่งมีก๊าซที่เป็นอันตราย
8	ใช้ในบริเวณอันตราย	เหมือนกับชนิดที่ 7 แต่ผิวสัมผัสของสวิตช์ถูกแช่อยู่ในน้ำมัน เพื่อใช้ในที่ที่มีก๊าซซึ่งมีคุณสมบัติกัดกร่อน
9	ใช้ในบริเวณซึ่งมีฝุ่นที่เป็นอันตราย	ใช้กับเครื่องไม่แบ่งและเครื่องลำเลียงหิน
10	ใช้ในงานเหมือง	ใช้ในงานถ่านหิน
11	ป้องกันการกัดกร่อน	ใช้ในบริเวณที่มีกรดหรือควัน ซึ่งมีคุณสมบัติในการกัดกร่อน เช่น ในอุตสาหกรรมเคมีหรือห้องทำแม่พิมพ์
12	ใช้ในงานอุตสาหกรรม	ใช้ในงานอุตสาหกรรมอื่นๆ ซึ่งป้องกันความสกปรกน้ำมัน เส้นใย ด้าย ซึ่งเป็นแบบที่พัฒนามาจากชนิดที่ 1

ที่มา : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี ไทย-ญี่ปุ่น. (2536). *อุปกรณ์ไฟฟ้า*. พิมพ์ครั้งที่ 9. หน้า 33-38

4.3.3 การเลือกใช้มอเตอร์ ในปัจจุบันนี้งานทางด้านอุตสาหกรรมมีมากมายหลายชนิด ดังนั้นการเลือกใช้มอเตอร์ให้เหมาะสมกับงานจึงมีความสำคัญ จึงจะทำให้งานมีประสิทธิภาพสูงและประหยัดค่าใช้จ่ายมากที่สุด หลักในการเลือกใช้มอเตอร์ต้องพิจารณา คือ

4.3.1 ชนิดของงานและกำลังงานซึ่งงานนั้นๆต้องการ

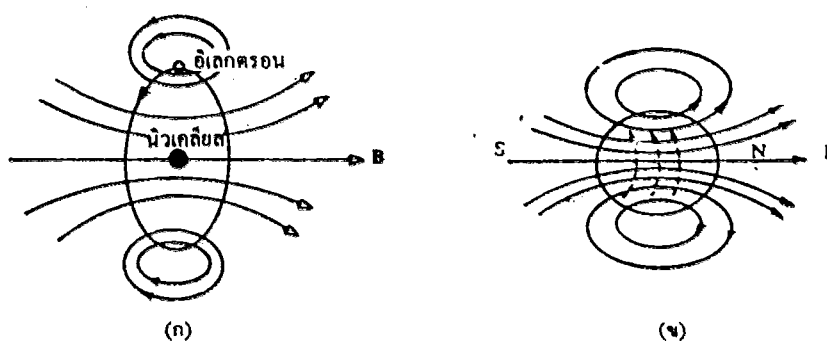
4.3.2 ลักษณะของพลังงานไฟฟ้าซึ่งจะต้องจ่ายให้มอเตอร์ให้เหมาะสมกัน

4.3.3 ราคาของมอเตอร์ ต้องเลือกมอเตอร์ที่ใช้งานได้ตรงตามจุดประสงค์ที่มีราคาเหมาะสมที่สุด

4.3.4 ลักษณะภายนอกของมอเตอร์ต้องเหมาะสมกับภาวะแวดล้อมของงาน

4.4 แม่เหล็ก สมบัติความเป็นแม่เหล็กของวัสดุเกิดจากอิเล็กตรอน การเกิดสนามแม่เหล็กเป็นไปได้อสองทาง ทางที่หนึ่งอิเล็กตรอนหมุนรอบนิวเคลียสในอะตอม การหมุนวนนั้นก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้ามีลักษณะคล้ายกระแสไฟฟ้าที่ไหลในตัวนำที่ขดเป็นวงกลม ทิศทางของกระแสไฟฟ้านั้นตรงกันข้ามกับทิศการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ทางที่สอง

เกิดจากสมบัติประจำตัวของอิเล็กตรอน กล่าวคือ อิเล็กตรอนประพัตติตัวคล้ายกับว่าเป็นแท่งแม่เหล็กแท่งเล็กๆ ส่งสนามแม่เหล็กออกโดยรอบ อาจถือเสมือนหนึ่งว่าอิเล็กตรอนมีลักษณะเป็นกลุ่มประจุไฟฟ้าลบที่หมุนรอบตัวเอง การหมุนของอิเล็กตรอนหรือที่เรียกว่า อิเล็กตรอนสปิน (Electron Spin) นี้ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กดังกล่าว ดังภาพประกอบ 32



ภาพประกอบ 32 (ก) การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในอะตอมก่อให้เกิดสนามแม่เหล็ก

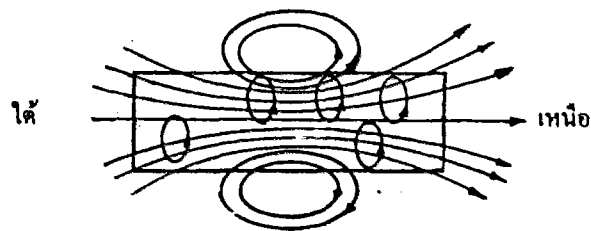
(ข) อิเล็กตรอนสปินเป็นเหตุให้เกิดสนามแม่เหล็กได้อีกทางหนึ่ง

ที่มา : อนันตสิน เตชะกำพูนและพิศิษฐ์ รัตนวรารักษ์. (2537). ฟิสิกส์ 2. พิมพ์ครั้งที่ 3. หน้า 96

แท่งแม่เหล็กจะวางตัวในแนวเหนือใต้ของสนามแม่เหล็กโลก ปลายข้างที่ชี้ทิศเหนือเรียกว่า ขั้วเหนือ ส่วนปลายที่ชี้ตรงข้ามเรียกว่า ขั้วใต้ การที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากโลกมีสนามแม่เหล็กห่อหุ้มล้อมอยู่ มีลักษณะของสนามแม่เหล็กโลกคล้ายกับโลกเป็นแท่งแม่เหล็กที่มีขั้วใต้อยู่ทางขั้วโลกเหนือ และมีขั้วเหนืออยู่ทางขั้วโลกใต้ แต่ถ้านำแท่งแม่เหล็ก 2 แท่งมาใกล้กัน ขั้วเหมือนกันจะผลักรัน ขั้วต่างกันจะดึงดูดกัน ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้อธิบายได้โดยอาศัยหลักการเกี่ยวกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลอยู่ในเนื้อสาร⁴ กำแม่เหล็กนั้น

การเกิดสนามแม่เหล็กจากสองทาง ดังกล่าว ถ้าเป็นแท่งแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กจะเกิดจากอิเล็กตรอนสปินมากกว่าที่จะเกิดจากการเคลื่อนที่หมุนวนเป็นวงกลมรอบนิวเคลียส

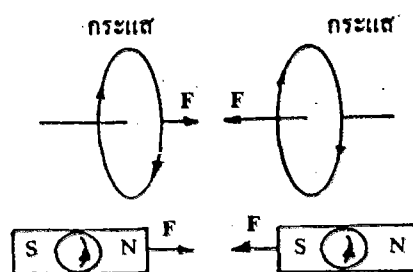
สารต่างๆ โดยทั่วไปนั้นไม่แสดงความเป็นแม่เหล็กออกมา การที่เป็นเช่นนี้เพราะว่า เมื่อมีการหมุนวนเป็นวงกลมรอบนิวเคลียสของอิเล็กตรอนตัวหนึ่ง ก็จะมีอิเล็กตรอนอีกตัวหนึ่งหมุนวนในทิศตรงกันข้าม สนามแม่เหล็กก็หักล้างกันไปหมด ในทำนองเดียวกันเมื่อมีอิเล็กตรอนมีสปินในทิศหนึ่ง ก็จะมีอิเล็กตรอนอีกตัวมีสปินในทิศตรงกันข้ามหักล้างกันไปอีก การหักล้างกันเช่นนี้ทำให้สารนั้นไม่เป็นแม่เหล็ก ในสารที่เป็นโลหะบางชนิด เช่น เหล็ก โคบอลต์ และนิกเกิล ซึ่งโลหะสามชนิดนี้มีชื่อเรียกว่า สารแม่เหล็กเฟอร์โร (Ferromagnetic Materials) และในสารอโลหะที่มีชื่อว่า แมกนีไทต์ (Magnetite) ซึ่งเรียกว่า สารแม่เหล็กเฟอร์รี (Ferri Magnetic Materials) สารดังกล่าวนี้มีการเรียงตัวของอิเล็กตรอน ซึ่งมีสปินในทิศทางหนึ่งมากกว่าในอีกทิศทางหนึ่ง ดังภาพประกอบ 33



ภาพประกอบ 33 ลักษณะอิเล็กตรอนสปินของอิเล็กตรอนหลายตัว

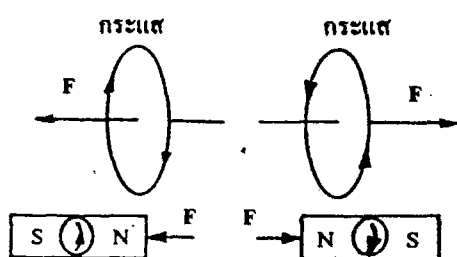
ที่มา : อนันตสิน เตชะกำพุชและพิศิษฐ์ รัตนวรารักษ์. (2537). ฟิสิกส์ 2. พิมพ์ครั้งที่ 3. หน้า 97

หากพิจารณาตามแนวเหนือ-ใต้ของแท่งแม่เหล็ก แนวแกนการหมุนของอิเล็กตรอนในเนื้อสารแม่เหล็ก ถ้าแม่เหล็กแท่งใดที่มีความเข้มสนามแม่เหล็กสูง ก็แสดงว่า มีจำนวนอิเล็กตรอนที่หมุนไปในทิศทางเดียวกันมาก ขดลวดวงกลม 2 ขดซึ่งมีกระแสไฟฟ้าไหลในทิศเดียวกันจะดึงดูดกัน หลักการนี้นำไปอธิบายการดึงดูดกันของแท่งแม่เหล็กต่างขั้วกันได้ จากภาพประกอบแสดงแท่งแม่เหล็ก 2 แท่งซึ่งมีขั้วต่างกันหันเข้าหากัน อิเล็กตรอนที่ขั้วทั้งสองที่หันเข้าหากันนั้นมีทิศการหมุนรอบตัวเองไปทางเดียวกันทำให้มีลักษณะเหมือนขดลวด 2 ขดที่มีกระแสไหลทางเดียวกัน ขั้วแม่เหล็กต่างกันจึงดึงดูดกัน แม่เหล็ก 2 แท่งที่วางขั้วเหมือนกันเข้าหากัน เกิดแรงผลักระหว่างกันนั้น อธิบายได้ว่าการหมุนรอบตัวเองของอิเล็กตรอนไปในทิศตรงกันข้ามกัน ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในลักษณะคล้ายขดลวดวงกลม 2 ขดที่มีทิศกระแสตรงกันข้ามกัน ทำให้เกิดแรงผลักระหว่างกัน ดังภาพประกอบ 34



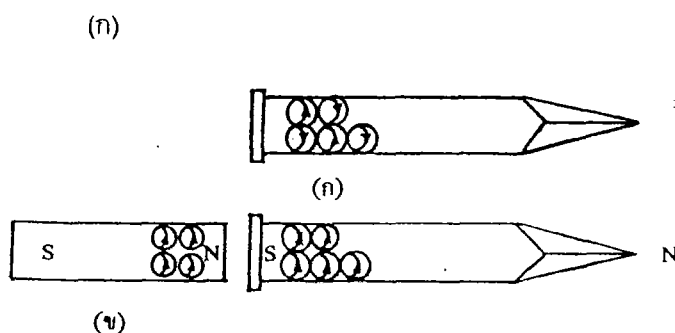
ภาพประกอบ 34 การดึงดูดกันของขั้วแม่เหล็กต่างขั้วกัน อธิบายด้วยกระแสไฟฟ้าไหลเป็นวงกลมในทิศเดียวกัน

ที่มา : อนันตสิน เตชะกำพุชและพิศิษฐ์ รัตนวรารักษ์. (2537). ฟิสิกส์ 2. พิมพ์ครั้งที่ 3. หน้า 98



ภาพประกอบ 35 การดึงดูดกันของขั้วแม่เหล็กเหมือนกันอธิบายด้วยกระแสไฟฟ้าไหลเป็นวงกลมในทิศตรงข้ามกัน
ที่มา : อนันตสิน เตชะกำพุชและพิศิษฐ์ รัตนวราภรณ์. (2537). ฟิสิกส์ 2. พิมพ์ครั้งที่ 3. หน้า 98

ปรากฏการณ์ที่แท่งแม่เหล็กดูดเหล็กได้นั้น ก็อธิบายในลักษณะคล้ายกับที่ผ่านมาแล้ว กล่าวคือ ในแท่งเหล็ก เช่น ในตะปูเหล็กนั้น การหมุนของอิเล็กตรอนรอบตัวเอง จะหมุนในทิศทางต่าง ๆ กัน แต่เมื่อนำแท่งแม่เหล็กมาใกล้ อิเล็กตรอนในตะปูจะจัดตัวเองหมุนไปในทิศทางเดียวกัน โดยด้านที่อยู่ใกล้ขั้วแม่เหล็กจะมีอิเล็กตรอนหมุนรอบตัวเองในทิศเดียวกับอิเล็กตรอนในขั้วแม่เหล็ก ฉะนั้น ตะปูจึงกลายเป็นแท่งแม่เหล็กอีกแท่งซึ่งมีขั้วตรงข้ามหันเข้าหาขั้วแม่เหล็กเดิม ก่อให้เกิดการดึงดูดกันได้ ดังภาพประกอบ 36

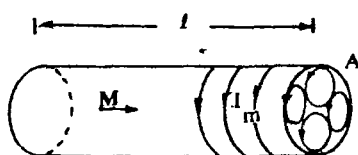


ภาพประกอบ 36 (ก) ตะปูก่อนนำแท่งแม่เหล็กเข้ามาใกล้ การหมุนของอิเล็กตรอนรอบตัวเองจะมีทิศต่างกัน
(ข) เมื่อนำแม่เหล็กเข้ามาใกล้ การหมุนจะไปในทิศเดียวกัน
ที่มา : อนันตสิน เตชะกำพุชและพิศิษฐ์ รัตนวราภรณ์. (2537). ฟิสิกส์ 2. พิมพ์ครั้งที่ 3. หน้า 98

4.4.1 ความเป็นแม่เหล็ก อะตอมจะแสดงสมบัติว่ามีโมเมนต์ขั้วคู่แม่เหล็กหรือไม่ก็ได้ ขึ้นอยู่กับลักษณะการจัดอิเล็กตรอนในวงโคจรต่าง ๆ ของอะตอมนั้น ๆ โมเลกุลนั้นส่วนมากมักไม่อยู่ในลักษณะก่อนกลม จึงมักจะมีโมเมนต์ขั้วคู่แสดงออก ตัวอย่างเช่น โมเลกุลประเภทที่สองอะตอมเกาะกัน เช่น พวกแก๊สต่าง ๆ จะมีโมเมนต์ขั้วคู่แม่เหล็กตามแนวแกนของโมเลกุลนั้น สารที่อยู่ในลักษณะจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ยกเว้นสารแม่เหล็ก

เฟอร์โร จะไม่แสดงโมเมนต์ขั้วคู่แม่เหล็ก เนื่องจากโมเลกุลของมันเรียงตัวมีทิศทางอย่างสุ่ม แต่ถ้าหากว่ามี สนามแม่เหล็กภายนอกมาอยู่ในบริเวณสารนั้น ทำให้การโคจรของอิเล็กตรอนมีทิศทางเปลี่ยนไป อำนาจแม่เหล็ก นั้นจะเกิดขึ้นมาในสารก่อนนั้นได้ ดังเช่นในเรื่องการนำแท่งแม่เหล็กมาใกล้แท่งตะปู การที่ทำให้สารหนึ่งสารใด แสดงความเป็นแม่เหล็กออกมาโดยใช้สนามแม่เหล็กจากภายนอกนี้ เรียกว่า การทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็ก และการที่อะตอมหรือโมเลกุลมีทิศโมเมนต์ขั้วคู่แม่เหล็กในทิศหนึ่งทิศใดมากกว่าทิศอื่นนั้น เรียกว่า โพลาริเซชัน ทางแม่เหล็ก (Magnetic Polarization)

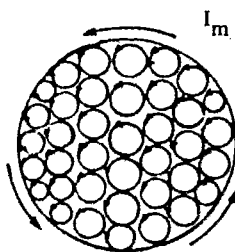
หากพิจารณาสารรูปทรงกระบอกที่ทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กอย่างสม่ำเสมอในแนวนานกับแกนของทรง กระบอก ซึ่งหมายความว่า โมเมนต์ขั้วคู่แม่เหล็กมีทิศทางตามแนวแกนของทรงกระบอกนั้น อาจถือได้ว่ามี กระแสอิเล็กตรอนไหลวนภายในรูปทรงกระบอกนี้และกระแสอิเล็กตรอนของแต่ละโมเลกุลจึงมีทิศทางตั้งฉากกับแกนของ ทรงกระบอก ดังภาพประกอบ 37



ภาพประกอบ 37 แท่งสารรูปทรงกระบอกที่ทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็ก

ที่มา : อนันตสิน เตชะกำพุชและพิศิษฐ์ รัตนวรารักษ์. (2537). ฟิสิกส์ 2. พิมพ์ครั้งที่ 3. หน้า 102

กระแสมูลฐานในเนื้อสารจะหักล้างกันไปหมด เนื่องจากกระแสที่อยู่ใกล้เคียงกันมีทิศตรงกันข้ามด้วยเหตุนี้ ในเนื้อสารจึงไม่มีกระแส แต่ที่ผิวของสารจะเสมือนมีกระแสเกิดขึ้น ทำให้มีลักษณะคล้ายโซลีนอยด์กระแสนี้เรียกว่า กระแสผิว (Surface Current) และกระแสผิวต่อความยาวจะแทนด้วย I_m ดังภาพประกอบ 38



ภาพประกอบ 38 ด้านหน้าของทรงกระบอกเพื่อให้เห็นลักษณะกระแสมูลฐานภายใน

ที่มา : อนันตสิน เตชะกำพุชและพิศิษฐ์ รัตนวรารักษ์. (2537). ฟิสิกส์ 2. พิมพ์ครั้งที่ 3. หน้า 102

เวกเตอร์แสดงความเป็นแม่เหล็กของสาร (Magnetization, M) หมายถึงโมเมนต์แม่เหล็กของตัวกลางต่อหน่วยปริมาตร ถ้ากำหนด m เป็นโมเมนต์ขั้วคู่แม่เหล็กของแต่ละอะตอมหรือแต่ละโมเลกุล n เป็นจำนวนอะตอมหรือโมเลกุลต่อหน่วยปริมาตร

$$M = nm$$

หน่วยของ M มีหน่วยเป็นแอมแปร์ต่อเมตร

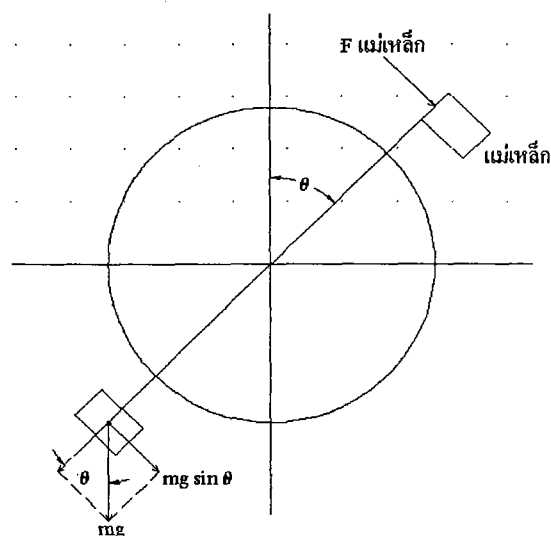
ถ้าทรงกระบอกนี้มีพื้นที่หน้าตัด A และความยาว l ปริมาตรทรงกระบอกคือ lA ตัวทรงกระบอกเองทำหน้าที่เป็นขั้วคู่แม่เหล็กขนาดใหญ่ ที่เป็นผลรวมของขั้วคู่ในแต่ละหน่วยปริมาตร ขั้วคู่แม่เหล็กรวมคือ $M(lA)$

$$\begin{aligned} \text{เปรียบเทียบสมการนี้กับ } m &= lA \text{ ซึ่งในที่นี้คือ } I_m \cdot lA \text{ จะได้ว่า} \\ I_m &= M \end{aligned}$$

สรุปได้ว่ากระแสต่อหน่วยความยาวบนผิวของสารที่ก่อให้เกิดอำนาจแม่เหล็ก มีค่าเท่ากับส่วนประกอบของเวกเตอร์แสดงความเป็นแม่เหล็ก M โดยที่กระแสนี้จะมีทิศทางกับผิววัตถุและมีทิศตั้งฉากกับ M

หากพิจารณาวัตถุรูปทรงกระบอกอีกครั้ง วัตถุนี้วางในโซลีนอยด์มีกระแส I ไหลผ่าน ดังภาพประกอบที่แสดงลักษณะอิเล็กตรอนสปินของอิเล็กตรอนหลายตัว เพื่อจะทำให้วัตถุนี้กลายเป็นแม่เหล็ก และทำให้เกิดกระแสเนื่องจากอำนาจแม่เหล็กไหลตามผิววัตถุซึ่งมีทิศทางเดียวกันกับ I กระแสผิวดังกล่าว คือ $I_m = M$ (อนันตสิน เตะกะกำพูชและพิศิษฐ์ รัตนวรารักษ์. 2537 : 96 –103)

4.4.2 การวัดแรงแม่เหล็ก



ภาพประกอบ 39 ลักษณะของเครื่องวัดแรงแม่เหล็ก

ที่มา : สาขาออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์. (2542). รายงานการพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์. 2542. หน้า 35

จากภาพลักษณะของเครื่องวัดแรงแม่เหล็ก ใช้สำหรับวัดแรงและสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กขนาดเล็ก วิธีการคือ นำแม่เหล็กที่ต้องการวัดไปแตะสารแม่เหล็กที่ติดด้านข้างเข็มชี้ แล้วเลื่อนแม่เหล็กลงมาตามขอบสเกล ขณะที่เข็มชี้และแม่เหล็กแยกจากกัน แสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{โมเมนต์ของแรงแม่เหล็ก} &= \text{โมเมนต์ของแรงกล} \\
 \text{เนื่องจากระยะจากจุดหมุนถึงแม่เหล็ก} &= \text{ระยะจากจุดหมุนถึงก้านน้ำหนัก} \\
 F_{\text{แม่เหล็ก}} &= mg \sin \theta
 \end{aligned}$$

สนามแม่เหล็ก B และแรงแม่เหล็ก มีความสัมพันธ์ ดังสมการ

$$B = \left(\frac{2 \mu_0 mg \sin \theta}{A} \right)^{1/2}$$

$$\begin{aligned}
 \mu_0 &= \text{ค่าคงตัวแม่เหล็ก (มีค่า } 1.257 \times 10^{-6} \text{ H m}^{-1} \text{ หรือ NA}^2\text{)} \\
 A &= \text{พื้นที่สัมผัสระหว่างแม่เหล็กกับสารแม่เหล็กที่ติดกับเข็มชี้ (มีหน่วย m}^2\text{)} \\
 B &= \text{ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (มีหน่วย T หรือ Wb m}^{-2} \text{ หรือ kg S}^{-2} \text{ A}^{-1}\text{)}
 \end{aligned}$$

(สาขาออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์. 2542 : 35)

หน่วยการวัดคุณสมบัติของแม่เหล็กซึ่งเป็นหน่วยพื้นฐานที่ใช้กันทั่วไป ดังแสดงในตาราง 10

ตาราง 10 หน่วยวัดแรงแม่เหล็ก

ปริมาณ	ชื่อหน่วย	หน่วยวัดเป็นหน่วยพื้นฐาน
ความเหนี่ยวนำ	เฮสรี (H)	$\text{m}^2 \text{kg s}^{-2} \text{A}^{-2}$
ความแรงสนามแม่เหล็ก	แอมป์/เมตร (A/M)	A m^{-1}
ฟลักซ์แม่เหล็ก	เวเบอร์ (Wb)	$\text{m}^2 \text{kg s}^{-2} \text{A}^{-1}$
ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก	เทสลา (T)	Wb m^{-2} หรือ $\text{kg s}^{-2} \text{A}^{-1}$

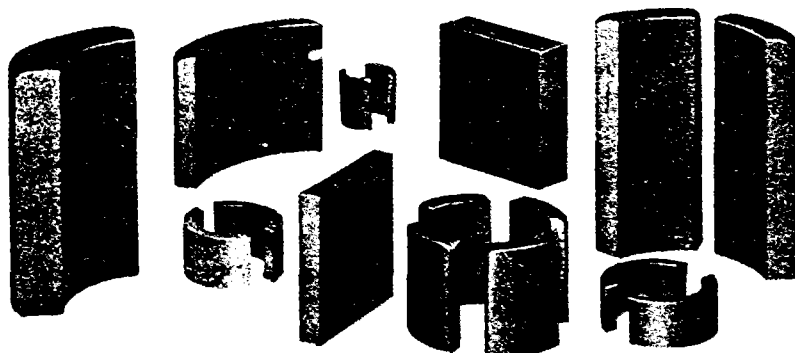
ที่มา : W.Bolton. (2543). *Electrical and Electronic Measurement and Testing*. P 89

4.4.3 สมบัติทางแม่เหล็กของวัสดุ สมบัติทางแม่เหล็กของวัสดุขึ้นอยู่กับโครงสร้างของอะตอมและลักษณะการจับตัวของอะตอม ของธาตุที่ประกอบกันขึ้นเป็นวัสดุ และวัดที่ผลการตอบสนองของวัสดุ เมื่อนำวัสดุเข้าไปอยู่ในสนามแม่เหล็กขนาด H เออร์สตัด (Oersted) วัสดุตอบสนองต่อสนามแม่เหล็กนี้ โดยก่อให้เกิดฟลักซ์เดนซิตี B เกาส์ (Gauss) ระดับความมากน้อยของการตอบสนองต่อสนามแม่เหล็กของวัสดุวัดด้วยค่า เพอร์มิบิลิตีแม่เหล็ก (Magnetic Permeability) ในสภาวะสุญญากาศจะมีค่าเพอร์มิบิลิตีของแม่เหล็กเท่ากับ $4\pi \times 10^{-3}$ เออร์สตัด อัตราส่วนระหว่างเพอร์มิบิลิตีแม่เหล็กของวัสดุชนิดหนึ่งๆ ต่อค่านี้ของสุญญากาศมีชื่อเรียกว่า เพอร์มิบิลิตีสัมพัทธ์ (Relative Permeability) ใช้สัญลักษณ์ μ_r วัสดุอาจถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ตามค่าเพอร์มิบิลิตีสัมพัทธ์ได้ดังนี้

- 1) กลุ่มไดอาแมกเนติก (Diamagnetic) ได้แก่ วัสดุที่มี μ_r น้อยกว่า 1
- 2) กลุ่มพาราแมกเนติก (Paramagnetic) ได้แก่ วัสดุที่มี μ_r มากกว่า 1 เล็กน้อย
- 3) กลุ่มเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic) ได้แก่ วัสดุที่มี μ_r มากกว่า 1 มากๆ

เมื่อถูกเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็ก เฟอร์โรแมกเนติกจะแสดงอำนาจแม่เหล็ก คือดูดสารแม่เหล็ก ดัดธาตุที่เป็นเฟอร์โรแมกเนติก ได้แก่ เหล็ก นิกเกิล โคบอลต์ และแกโดลิเนียม (Gadolinium)

4.4.4 แม่เหล็กถาวร (Permanent Magnets) แม่เหล็กถาวร คือ เฟอร์โรแมกเนติกที่สามารถรักษาสภาพความเป็นแม่เหล็กไว้ได้ภายหลังจากที่สนามแม่เหล็กที่มาเหนี่ยวนำได้หมดไปแล้ว ถ้าหากต้องการให้ความเป็นแม่เหล็กถาวรหมดไป ก็ต้องลบล้างอำนาจแม่เหล็กโดยอาศัยสนามแม่เหล็กที่เหมาะสมมาเหนี่ยวนำในทิศตรงกันข้ามกับที่วัสดุถูกเหนี่ยวนำครั้งแรกแม่เหล็กถาวรมีทั้งชนิดที่เป็นโลหะผสมและพวกชนิดที่เป็นเซรามิก ชนิดหลังนี้มีชื่อว่า แม่เหล็กเซรามิก (Ceramic Magnets) ตัวอย่างการนำแม่เหล็กถาวรใช้งานเช่น ทำเทปอัดเสียง เทปคอมพิวเตอร์ แม่เหล็กที่ติดประตูตู้เย็น แม่เหล็กในมอเตอร์ประเภทต่าง ๆ ภาพประกอบ 40



ภาพประกอบ 40 ตัวอย่างแม่เหล็กเซรามิกที่ใช้ในมอเตอร์ประเภทต่าง ๆ
ที่มา : ชาญวุฒิ ตั้งจิตวิทยาและสาโรช จูติเกียรติพงษ์. (2529). วัสดุในงานวิศวกรรม. หน้า 56

4.4.5 แม่เหล็กอ่อน (Soft magnets) แม่เหล็กอ่อน ได้แก่ เพอร์โรแมกเนติกที่ไม่สามารถรักษาสภาพความเป็นแม่เหล็กไว้ได้ภายหลังที่สนามแม่เหล็กที่มาเหนี่ยวนำหมดไป ตัวอย่างแม่เหล็กอ่อนที่สำคัญได้แก่ เหล็กกล้าผสมซิลิคอน เหล็กกล้าผสมนิเกิล หรือที่เรียกเป็นชื่อทางการค้าว่า เพอร์มาลลอย (Permalloy) ตัวอย่างการใช้งานของแม่เหล็กอ่อนได้แก่ ทำเป็นแกนของหม้อแปลงไฟฟ้าและของกระดิ่งไฟฟ้า และชิ้นส่วนในเครื่องวิทยุสื่อสาร ฯลฯ ตัวอย่างแม่เหล็กที่ใช้ในงานวิศวกรรม ดังแสดงในตาราง 11

ตาราง 11 แม่เหล็กที่ใช้ในงานวิศวกรรม

แม่เหล็กที่เป็นโลหะ	แม่เหล็กเซรามิก
Fe)	แมงกานีส – แมกนีเซียม – เหล็กออกไซด์
เหล็ก – โคบอล Sinter	โคบอล – เหล็กออกไซด์
MM ₇₅ Sm ₂₅ Co ₅	เฟอร์โรคิต (BaFe ₁₂ O ₁₉)
MM ₉ Sm ₁ Co ₅	แมกเนโต – พลาคินัม, Pb(Fe,Mn) ₁₂ O ₁₉
	เฟอร์ไรต์, Fe ₃ O ₄

(MM = Misch Metal)

ที่มา : ชาญวุฒิ ตั้งจิตวิทยาและสาโรช จูติเกียรติพงษ์. (2529). วัสดุในงานวิศวกรรม. หน้า 57

ในการออกแบบเครื่องจักร เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนความร้อน การนำความร้อน การถ่ายเทความร้อนและการพาความร้อน สิ่งที่จะต้องคำนึงถึงเป็นสิ่งแรกคือการเลือกใช้วัสดุ วัสดุที่เหมาะสมที่สุดสำหรับความดัน อุณหภูมิ ตลอดจนคุณสมบัติเชิงกายภาพ และคุณสมบัติเชิงเคมีของของไหลที่ใช้แลกเปลี่ยนความร้อน วัสดุที่ใช้สร้างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แบ่งออก เป็นวัสดุประเภทโลหะ วัสดุประเภทโลหะยังแบ่งออกเป็นวัสดุประเภทเหล็ก และวัสดุประเภทที่ไม่ใช่เหล็ก ปัจจุบันวิชาการทางด้านโลหะวิทยากำลังเป็นที่ต้องการและมีความจำเป็นมากสำหรับงานอุตสาหกรรมโลหะ เพราะในด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการผลิตโลหะกำลังพัฒนาและมีความเจริญอย่างยิ่ง โดยทั่วไปโลหะจะเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ได้แก่ แร่ธาตุต่างๆ ซึ่งถูกค้นพบในโลกนี้มากกว่า 2,000 ชนิด และสามารถจำแนกธาตุออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1) ประเภทโลหะ (Metallic) เป็นวัสดุที่อยู่กับในสภาพของโลหะผสม และโลหะที่รู้จักกันดี คือ ตะกั่ว ไทเทเนียม นิกเกิล ดีบุก สังกะสี แมกนีเซียม อะลูมิเนียม ทองแดง เหล็กกล้าชนิดต่าง ๆ และเหล็กหล่อ และโลหะที่ใช้กันในปริมาณน้อย ได้แก่ บิสมีท โบรอน แคดเมียม โคบอลต์ แมงกานีส โปรท โมลิบดีนัม ทองคำขาว เงิน ทังสแตน เป็นต้น

2) ประเภทโลหะ (Non-Metallic) ได้แก่ เพชร เซรามิก ไม้ ยาง คอนกรีต พลาสติก เป็นต้น

4.5 เหล็กกล้า (Steel Magnets) เหล็กกล้า คือเหล็กที่มีธาตุคาร์บอนเป็นส่วนผสมเช่นเดียวกับเหล็กดิบ (Pig Iron) แต่ปริมาณคาร์บอนไม่สูงมากนัก คือไม่เกินร้อยละ 2 นอกจากนี้ยังต้องมีแร่ธาตุอื่น ๆ ผสมในลักษณะของสารที่เจือปน เช่น แมงกานีส กำมะถัน ซิลิคอน ฟอสฟอรัสการแบ่งเหล็กกล้าตามส่วนผสมของคาร์บอนได้ ดังนี้

4.5.1 เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Steel) มีคาร์บอนผสมอยู่ประมาณร้อยละ 0.1–0.3 เป็นเหล็กที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในท้องตลาด บางครั้งเรียกว่า เหล็กละมุน (Mild Steel) มีคุณสมบัติอ่อน สามารถตีขึ้นรูป รีดเป็นแผ่นได้ง่าย เหล็กเส้นที่ใช้ในงานก่อสร้างชนิดนี้ไม่มีความแข็งมากนัก แต่มีความเหนียว ดึงออกเป็นเส้น ดียืดออกเป็นแผ่นได้ดีไม่สามารถทำให้แข็งได้ด้วยกรรมวิธีการอบชุบด้วยความร้อน (Heat Treatment) และสามารถเชื่อมได้ดีโดยการใช้ลวดเชื่อมเหล็กเหนียวธรรมดา ใช้ประกอบเป็นฐานเครื่องมือการเกษตรได้ดี ง่ายและราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับเหล็กชนิดอื่นๆ

4.5.2 เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium Carbon Steel) มีคาร์บอนผสมอยู่ประมาณร้อยละ 0.3–0.6 เป็นเหล็กที่มีความแข็งแรงสูงกว่าชนิดแรก ใช้ทำชิ้นส่วนเครื่องจักรกลต่าง ๆ เช่น เพลาข้อเหวี่ยง เฟือง และเครื่องมือกลที่ต้องการชุบแข็งหรืออบชุบด้วยความร้อน

4.5.3 เหล็กกล้าคาร์บอนผสมสูง (High Carbon Steel) มีคาร์บอนผสมอยู่ประมาณร้อยละ 0.6–1.2 จัดเป็นเหล็กประเภทที่มีความแข็งแรง (Strength) สูงมาก และมีความต้านทานต่อการสึกหรอดีมาก ใช้ทำเครื่องมือ (Tool Steel) เช่น ไขควง ค้อน ปลายตัด เหล็กสกัด เหล็กตัดเจาะ ตะไบ แผ่นเกจต่างๆ (สุทธิธีร์ แก้วพระอินทร์. 2541 : 15 – 33)

4.6 อะลูมิเนียม (Aluminium)

อะลูมิเนียมเป็นโลหะอีกชนิดหนึ่งที่ได้ถูกนำมาใช้งานมากที่สุดในกลุ่มโลหะที่มีน้ำหนักเบา (Light Metals) ทั้งนี้เพราะอะลูมิเนียมมีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ คือ

4.6.1 มีความหนาแน่นน้อย น้ำหนักเบา และมีกำลังวัสดุต่อหน่วยน้ำหนักสูง (Strength-to-Weight Ratio) จึงนิยมใช้ทำเป็นเครื่องใช้สอย ตลอดจนชิ้นส่วนในเครื่องบิน จรวด ขีปนาวุธ และอุปกรณ์ในรถยนต์ เพื่อลดน้ำหนักของรถยนต์ให้น้อยลง

4.6.2 มีความเหนียวมาก สามารถขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ ได้ง่ายและรุนแรงโดยไม่เสี่ยงต่อการแตกหัก จุดหลอมเหลวต่ำ หล่อหลอมง่าย

4.6.3 ค่าการนำไฟฟ้าคิดเป็น ร้อยละ 64.94 IACS (IACS = International Annealed Copper Standard) ซึ่งไม่สูงนัก แต่เนื่องจากมีน้ำหนักเบา ดังนั้นจึงใช้เป็นตัวนำไฟฟ้าในกรณีที่ต้องการถึงเรื่องน้ำหนักเบาเป็นส่วนสำคัญ

4.6.4 เป็นโลหะไม่เป็นพิษต่อร่างกายมนุษย์ และมีค่าการนำความร้อนสูง ใช้ทำภาชนะหุงต้มอาหาร และบรรจุอาหาร

4.6.5 ผิวหน้าของอะลูมิเนียมบริสุทธิ์มีดัชนีการสะท้อนกลับของแสงสูงมาก จึงใช้ทำแผ่นสะท้อนในแฟลชถ่ายรูป จานสะท้อนแสงในคอมพิวเตอร์ ไฟหน้ารถยนต์

4.6.6 ทนทานต่อการเกิดสนิมและการผุกร่อนในบรรยากาศได้ดี แต่ไม่ทนทานการกัดกร่อนของกรดแก่และด่าง

4.6.7 ซื้อมาได้ง่ายในท้องตลาดและราคาไม่แพงจนเกินไป คุณสมบัติด้านต่างๆของอะลูมิเนียม ดังแสดงในตาราง 12 (ชาญวุฒิ ตั้งตรงจิตวิทยาและสาโรช วุฒิเกียรติพงศ์. 2529 : 161-163)

ตาราง 12 คุณสมบัติของอะลูมิเนียม

คุณสมบัติของอะลูมิเนียม	มีค่า
เลขอะตอม (Atomic Number)	13
น้ำหนักอะตอม (Atomic Weight)	26.97
วาเลนซ์	3
โครงสร้างของผลึก	fcc
ความหนาแน่นที่ 20 องศาเซลเซียส (g/cm^3)	2.6989
จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	660.2
จุดเดือด (องศาเซลเซียส)	2450
การหดขณะแข็งตัว (Solidification Shrinkage)(ร้อยละ)	6.6
ความร้อนแฝงของการหลอมเหลว (Cal/g)	94.5
ความร้อนจำเพาะที่ 100 องศาเซลเซียส (Cal/g)	0.224
การนำความร้อนที่ 20 องศาเซลเซียส (Cal/sec cm^2 องศาเซลเซียส/cm)	0.57
การต้านทานไฟฟ้าที่ 20 องศาเซลเซียส $\mu\Omega - \text{cm}$	2.6548
การขยายตัวที่ 20 -100 องศาเซลเซียส / องศาเซลเซียส	0.00002386
20 -200 องศาเซลเซียส / องศาเซลเซียส	0.00002458
20 -300 องศาเซลเซียส / องศาเซลเซียส	0.00002545
20 -400 องศาเซลเซียส / องศาเซลเซียส	0.00002649
การนำไฟฟ้า (ร้อยละ IACS)	64.94

ที่มา : ชาญวุฒิ ตั้งตรงจิตวิทยาและสาโรช รุติเกียรติพงศ์. (2529). วัสดุในงานวิศวกรรม. หน้า 162-163

4.7 เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel)

ชนิดและคุณสมบัติต่างๆของเหล็กกล้าไร้สนิม ได้แก่

4.7.1 Martensitic Stainless Steel ตัวอย่างของ Martensitic Stainless Steel คือ เหล็กเหนียวร้อยละ 13 Cr เหล็กเหนียวชนิดนี้มีคุณสมบัติทนการกัดกร่อนของกำมะถัน Sulphurous Acid Gas ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และ Naphtenic Acid โครงสร้างแบบ Martensite มีคุณสมบัติแข็งตัวได้เอง (Self-Hardening) เนื่องจาก Heat Treatment ดังนั้นจึงเกิดแรงเค้นของการแปรสภาพ (Transformation Stress) และแตกหักได้ง่าย เนื่องจากผลกระทบจากความร้อนที่ได้รับในเวลาเชื่อม โดยทั่วไปต้องอุ่นให้ร้อน 200 – 400 องศาเซลเซียส และทำ Heat Treatment ที่ 700 – 800 องศาเซลเซียส ทันทีหลังจากการเชื่อม

4.7.2 Ferritic Stainless Steel เหล็กเหนียวชนิดนี้มี Cr มากกว่าร้อยละ 15 และมีคุณสมบัติทนการกัดกร่อนของกรดที่มีคุณสมบัติออกซิไดซ์ได้อย่างดีเลิศเนื่องจากโดยทั่วไปเป็นโครงสร้างแบบ Ferrite จึงไม่มีคุณสมบัติแข็ง

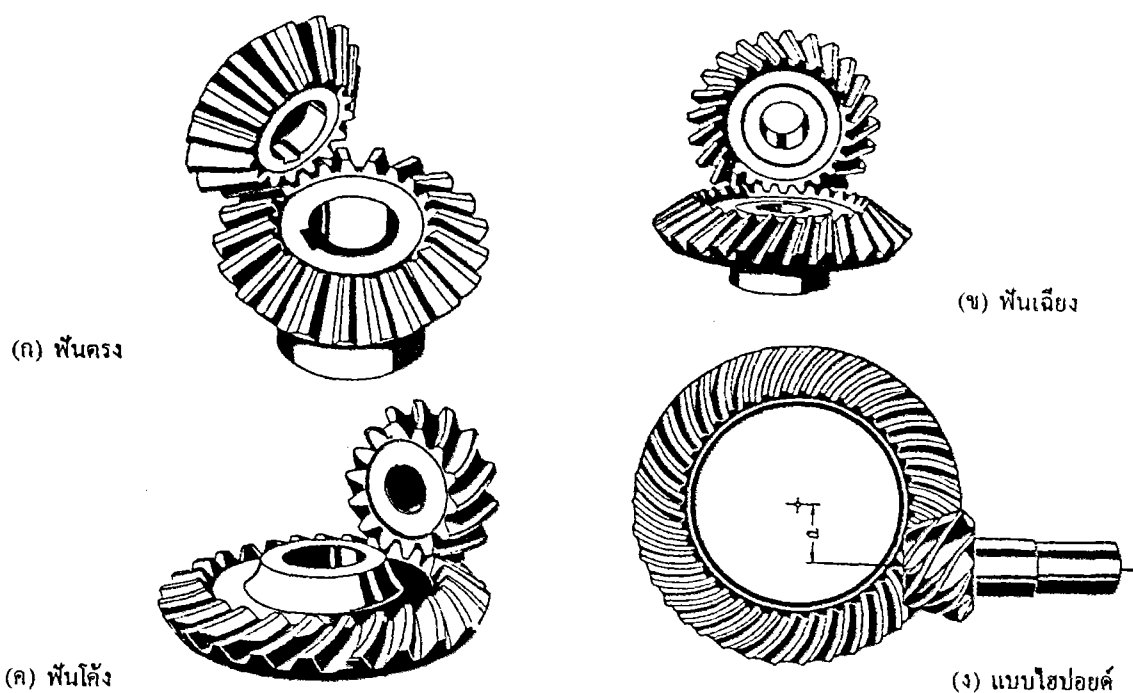
ตัวได้เอง (Self-Hardening) เนื่องจากการเชื่อมหรือ Quenching แต่ความเหนียวจะมีน้อยที่อุณหภูมิต่ำ และแข็งเปราะ และแตกร้าวได้ง่ายถ้าเชื่อมแผ่นหนา

4.7.3 Austenitic Stainless Steel เหล็กเหนียวไร้สนิมชนิดนี้มี 18 Cr – 8Ni เป็นตัวแทน และมีโครงสร้างแบบ Austenite ที่มีเสถียรภาพสูง เนื่องจากมีคุณสมบัติทนการกัดกร่อนได้ดี จึงนิยมใช้กันกว้างขวางมากที่สุด ตามมาตรฐาน JIS มีรายละเอียดระบุสำหรับแผ่นเหล็กเหนียว(Plate Steel), ท่อนเหล็กเหนียว(Rod Steel), แบนด์เหล็กเหนียว(Band Steel) และท่อเหล็กเหนียว โลหะผสมสำหรับหม้อไอน้ำและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูงเมื่อเทียบกับ Ferritic Stainless Austenitic Stainless Steel มี Creep Strength ดีกว่าตั้งแต่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ขึ้นไป อนึ่ง SUS 32 SUS 43 SUS 49 ที่มีการเติมธาตุจำพวก Mo (Molybdenum), Nb (Niobium) Ti (Titanium) จะมี Creep Strength ยิ่งมาก ที่อุณหภูมิประมาณ 650 องศาเซลเซียส Creep Strength ของ SUS32 SUS43 จะสูง ส่วนของ SUS 29 จะตกลงเล็กน้อย ที่อุณหภูมิสูงกว่า 800 องศาเซลเซียส Creep Strength ของ SUS42 จะสูง ส่วนของ SUS41 จะลดลงเล็กน้อย(วิวัฒน์ ตันหะพานิชกุล. 2526 : 122-124) เหล็กกล้าไร้สนิมหรือเหล็กสแตนเลส (Stainless Steel) เหล็กชนิดนี้จะถูกนำมาใช้งานต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมเครื่องครัว เรือ อุตสาหกรรมสิ่งทอ เซลล์โวลต์ อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมเคมี เป็นต้น เหล็กชนิดนี้จะทนต่อการเกิดสนิม ทนต่อสารเคมี อากาศชื้น น้ำ เหล็กชนิดนี้มีทั้งชนิดแบบปาดผิวได้และแบบปาดผิวไม่ได้ เชื่อมต่อได้ดีมาก และขัดเป็นเงาได้ดี โดยทั่วไปจะต้องมีปริมาณโครเมียมเจือไม่น้อยกว่าร้อยละ 12 ของน้ำหนัก การแบ่งเหล็กกล้าไร้สนิมตามโครงสร้างจุลภาคจะแบ่งเป็นโครงสร้างจุลภาคเหล็กกล้าเฟอร์ไรต์ ออสเทนไนต์ มาร์เทนไซต์ และจากการชุบแข็งตกตะกอน (Precipitation Hardening) (มานพ ตันตระกูล. 2536 : 102)

4.8 ชุดเฟืองทด

4.8.1 เฟืองดอกจอก เฟืองดอกจอกจะมีรูปร่างเป็นรียาวที่กลิ้งอยู่ด้วยกัน มีแกนทั้งสองตัดกัน พื้นของเฟืองจะเรียบไปในทิศทางกึ่งกลางของเพลลา ดังภาพเฟืองดอกจอกแบบฟันโค้ง โดยทั่วไปจะมีการผลิตเฟืองดอกจอกเป็นแบบฟันตรง ฟันตรงเอียงและฟันตรงโค้ง แรงที่เกิดจากฟันคู่ขบจะทำให้เกิดแรงตามแนวแกน จึงต้องมีรองเพลลาชนิดที่รับแรงในแนวแกนไว้ ที่อัตราทดเท่ากันเฟืองดอกจอกจะสั่นเปลี่ยนเนื้อที่น้อยกว่าชุดเฟืองตรง ชุดเฟืองดอกจอกจะให้ อัตราทดสูงสุด $i_{max} = 6$ รูปแบบพิเศษของเฟืองดอกจอกก็คือ แบบฟันโค้งที่สามารถให้เฟืองขับ (Pinion) เอียงแนวศูนย์ของเฟืองจานหรือเฟืองตาม $1/8$ ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมพิตซ์เฟืองจานได้ ดังภาพประกอบ 41



ภาพประกอบ 41 ชุดเฟืองดอกจอก

ที่มา : มานพ ดันตระกูล และคนอื่น ๆ. (2544). ชิ้นส่วนเครื่องจักรกล. หน้า 118)

การประกอบเฟืองดอกจอก จะต้องให้อยู่ในแนวแกนของเฟืองที่ถูกตอง เพื่อไม่ให้เกะระยะฟรีมากหรือเกิดการกัดของฟันเฟือง การเลือกใช้เฟืองดอกจอกไปใช้งานจะต้องเลือกให้เหมาะสมกับสมบัติของเฟืองแต่ละชนิด เช่น

เฟืองดอกจอกฟันตรง จะนำมาใช้ในงานที่มีความเร็วรอบต่ำ เช่น ชุดเฟืองของเครื่องยกหรือเคลื่อนย้ายวัสดุที่ใช้มือควบคุมหรือชุดเฟืองยูนิเวอร์แซลที่ส่งถ่ายกำลังงานต่ำ

เฟืองดอกจอกฟันตรงเอียง จะมีเสียงดังในขณะส่งถ่ายกำลังน้อยกว่าแบบฟันตรงธรรมดา จึงนำมาใช้ในงานที่มีความเร็วรอบและกำลังงานสูง เช่น ชุดเฟืองขับในเครื่องมือกล

เฟืองดอกจอกฟันเอียงโค้ง จะนำมาใช้งานในที่ที่ต้องการความเงียบ เช่น ชุดเฟืองทดกำลังงานสูงๆ ชุดเฟืองดีเฟอร์เรนเชียลของรถยนต์

4.8.2 การประกอบเฟืองดอกจอก การประกอบเฟืองดอกจอกให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกตองนั้น จะต้องประกอบให้แกนของเฟืองอยู่ในแนวระดับที่รูปร่างยอดเรียวทั้งสองมาประกบกัน ซึ่งการประกอบเฟืองดอกจอกมีขั้นตอนดังนี้

4.8.2.1 นำเฟืองดอกจอกประกอบในตำแหน่งแกนเพลลาที่ถูกตอง

4.8.2.2 ตรวจสอบชุดเฟืองดอกจอก ให้ถูกตอง

4.8.2.3 การประกอบเฟืองดอกจอกฟันตรง ต้องให้ฟันขบกันสนิทหรือตามระยะที่กำหนด

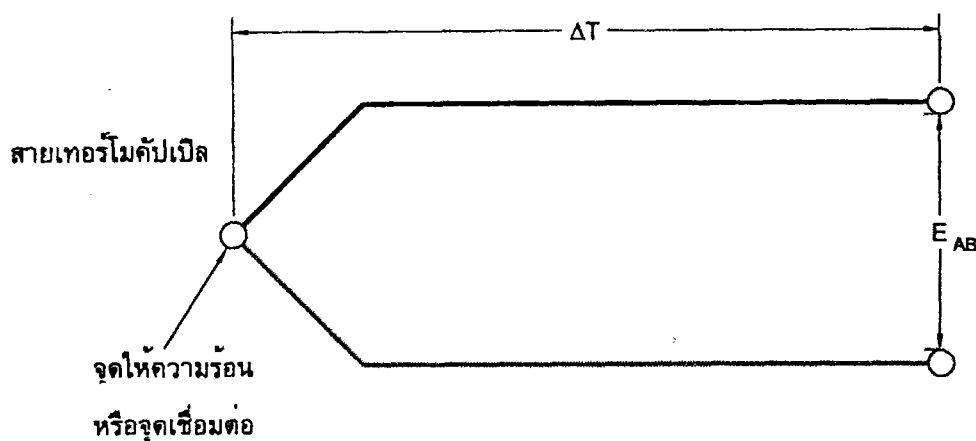
4.8.2.4 หลังจากประกอบแล้วให้ทำการปรับให้ฟันขบสัมผัสกันอย่างสม่ำเสมอ

4.8.2.5 เพื่อดอกจอกพันโค้งให้ประกอบและปรับให้พันขบสัมผัสกันสม่ำเสมอตามมาตรฐานที่ผู้ผลิตกำหนดมา (มานพ ตันตระกูลและคนอื่นๆ. 2544 : 117 – 118, 128)

4.9 เทอร์โมคัปเปิล

เทอร์โมคัปเปิลเป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่นิยมใช้งานกันมาก ทั้งนี้เนื่องมาจากการที่เทอร์โมคัปเปิลสามารถใช้วัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ค่าต่ำ ๆ ใกล้ศูนย์องศาสัมบูรณ์ จนถึงสูงกว่า 2,000 องศาเซลเซียส ด้วยคุณสมบัติที่ดีหลายประการของเทอร์โมคัปเปิล จึงทำให้โรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภทนำไปติดตั้งในโรงงานที่ต้องการวัดและควบคุมอุณหภูมิกันแพร่หลาย อีกทั้งยังสามารถใช้งานร่วมกับระบบควบคุมอัตโนมัติ ระบบควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ได้อีกด้วย

4.9.1 หลักการทำงานของเทอร์โมคัปเปิล เทอร์โมคัปเปิลเป็นเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่เกิดจากการนำเอาลวดโลหะสองชนิดที่ไม่เหมือนกันมาเชื่อมปลายด้านหนึ่งเข้าด้วยกัน เมื่อนำปลายด้านนี้ของเทอร์โมคัปเปิลไปวางในบริเวณที่ต้องการวัดอุณหภูมิ จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้น ณ ปลายที่เปิดอยู่ ดังภาพประกอบหลักการทำงานของเทอร์โมคัปเปิล ทั้งนี้ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้น (E_{AB}) จะแปรเป็นสัดส่วนกับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ (ΔT) ระหว่างปลายด้านที่เชื่อมต่อกันกับปลายด้านที่เปิดอยู่ ขึ้น อาจพิจารณาได้ดังภาพประกอบ 42

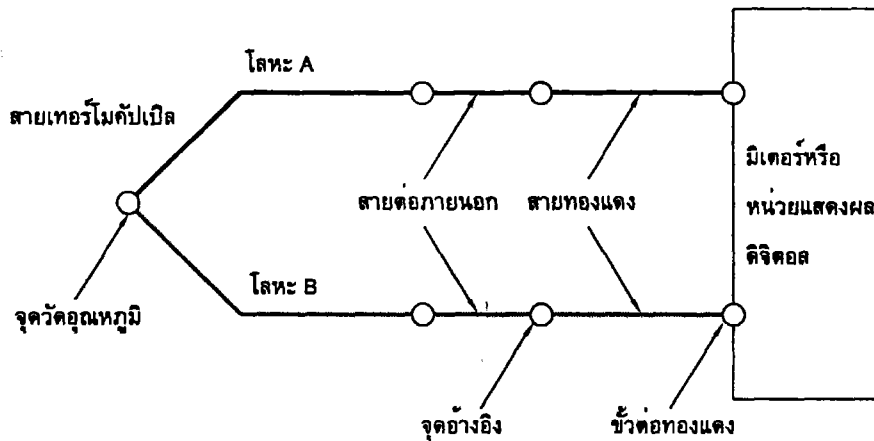


ภาพประกอบ 42 หลักการทำงานของเทอร์โมคัปเปิล

ที่มา : ประยูร เขียววัฒนา. (ม.ป.ป.). "อุปกรณ์วัดทางอุตสาหกรรม ตอน เซนเซอร์และการวัดอุณหภูมิ 1." ใน 65 เทคนิค เรื่องนำรู้เทคนิคเรื่องกล. หน้า 27.

นักฟิสิกส์ชื่อ โทมัส โจฮันน์ ซีเบ็ค (Thomas Johann Seebeck พ.ศ. 2313 – 2317) ได้ทำการทดลองและพบปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric effect) อันเป็นรากฐานการทำงานของเทอร์โมคัปเปิลในปี พ.ศ. 2364 ในการทดลองดังกล่าวซีเบ็คพบว่าเมื่อนำเอาลวดโลหะสองชนิดมาเชื่อมต่อกันที่ปลายทั้งสอง และทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิที่จุดเชื่อมทั้งสอง จะทำให้มีกระแสไหลขึ้นในขดลวด (ประยูร เขียววัฒนา. ม.ป.ป. : 27)

จากหลักการทำงานของเทอร์โมคัปเปิลดังกล่าว ข้างต้นอาจทำความเข้าใจได้ชัดเจนขึ้น เมื่อดูลักษณะการต่อสายเทอร์โมคัปเปิล การไหลของกระแสไฟฟ้าและการวัดอุณหภูมิ ดังภาพประกอบ 43



ภาพประกอบ 43 หลักการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิล

ที่มา : ภณิต วรรณโณทัย. (2542). "โลหะกับการวัดอุณหภูมิ." ใน 66 เรื่องน่ารู้เทคนิคเครื่องกล. หน้า 210.

4.9.2 ชนิดของเทอร์โมคัปเปิล แบ่งมาตรฐานของ NBS (National Bureau of Standard) ดังนี้

4.9.2.1 ชนิด B (Platinum – Rhodium) ส่วนผสม ประกอบด้วย 70.4 Pt+29.6 Rh-93.9 Pt+6.1 Rh เทอร์โมคัปเปิลชนิดนี้มีความแข็งแรงทนทานและสามารถใช้งานที่มีอุณหภูมิสูงสุดได้ ถึง 170 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่เป็น Oxidizing หรือ Inert แต่เทอร์โมคัปเปิลแบบนี้ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้งานที่มีไอของโลหะและอโลหะ ในสภาวะ Reducing หรือ Vacuum

4.9.2.2 ชนิด E (Chromel – Constantan) ส่วนผสม ประกอบด้วย 90 Ni+10 Cr-45 Ni+55 Cu เทอร์โมคัปเปิลแบบนี้สามารถใช้งานที่มีอุณหภูมิระหว่าง -100 องศาเซลเซียส ถึง 750 องศาเซลเซียส -1000 องศาเซลเซียส และเหมาะสำหรับงานที่เป็น Oxidizing

4.9.2.3 ชนิด J (Iron – Constantan) ส่วนผสม ประกอบด้วย 99.5 Fe+C, Mn,- 45 Ni+55 Cu เทอร์โมคัปเปิลชนิดนี้สามารถใช้งานที่มีอุณหภูมิระหว่าง -200 องศาเซลเซียส ถึง 750 องศาเซลเซียส และเหมาะสำหรับงานที่เป็น Vacuum Oxidizing หรือ Inert

4.9.2.4 ชนิด K (Chromel – Alumel) ส่วนผสม ประกอบด้วย 90 Ni+10 Cr-94 Ni+2 Mn+1 Si +3 Al เทอร์โมคัปเปิลชนิดนี้สามารถใช้งานที่มีอุณหภูมิระหว่าง -200 องศาเซลเซียส ถึง 1100 องศาเซลเซียสเหมาะสำหรับงานที่เป็น Oxidizing หรือ Inert นอกจากนี้หากนำไปใช้งานในสภาพที่เป็น Vacuum หรือที่มีไอของซัลเฟอร์ ซัลเฟอร์จะทำลายโลหะทั้งคู่ของเทอร์โมคัปเปิล

4.9.2.5 ชนิด R (Platinum – Platinum Rhodium) ส่วนผสม ประกอบด้วย 87 Pt+13 Rh-100 Pt เทอร์โมคัปเปิลชนิดนี้สามารถใช้งานที่มีอุณหภูมิระหว่าง 0 องศาเซลเซียส ถึง 1450 องศาเซลเซียส และอาจใช้งานได้สูงสุดถึง 1700 องศาเซลเซียส เหมาะสำหรับงานที่เป็น Oxidizing หรือ Inert แต่ไม่เหมาะกับงานในสภาพที่มีไอของโลหะหรืออโลหะ

4.9.2.6 ชนิด S (Platinum-Platinum Rhodium) ส่วนผสม ประกอบด้วย 90 Pt + 10 Rh-100 Pt เทอร์โมคัปเปิลชนิดนี้สามารถใช้งานที่มีอุณหภูมิระหว่าง 0 องศาเซลเซียส ถึง 1450 องศาเซลเซียส และอาจใช้งานได้สูงสุดถึง 1700 องศาเซลเซียส เหมาะสำหรับงานเช่นเดียวกับชนิด R

4.9.2.7 ชนิด T (Copper-Constantan) ส่วนผสม ประกอบด้วย 100 Cu-45 Ni+55Cu เป็นเทอร์โมคัปเปิลชนิดนี้สามารถวัดอุณหภูมิได้ระหว่าง -250 ถึง 350 องศาเซลเซียส และอาจวัดอุณหภูมิได้สูงสุดถึง 600 องศาเซลเซียส ในสภาวะการใช้งานที่เกินกว่า 370 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดออกไซด์ของโลหะเทอร์โมคัปเปิลมากขึ้น เทอร์โมคัปเปิลชนิดนี้เหมาะสำหรับการใช้งานที่เป็น Vacuum Oxidizing หรือ Inert ได้ดี (ภณิต วรรณโณทัย.2542 : 209-211)

4.9.3 การเลือกใช้เทอร์โมคัปเปิล ทางปฏิบัติ จะพบว่าเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้กันอยู่มีจำนวนประมาณ 10 ชนิด การเลือกใช้เทอร์โมคัปเปิลแต่ละชนิดจะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

4.9.3.1 มีความไวสูงสุด กล่าวคือความต่างศักย์เปลี่ยนแปลงสูงสุดเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปหนึ่งองศา

4.9.3.2 มีเสถียรภาพในการทำงานขณะทำการวัดอุณหภูมิค่าสูงๆ โดยที่วัสดุที่ใช้ประกอบเป็นเทอร์โมคัปเปิลจะยังไม่เปลี่ยนสภาพ หรือไม่เกิดเป็นออกไซด์

4.9.3.3 ให้ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้น (Linear) กับค่าอุณหภูมิที่วัด

4.9.3.4 ราคาต่อหน่วยต่ำ

สำหรับข้อพิจารณาทางด้านความเป็นเชิงเส้นนั้นมีความจำเป็นต้องคำนึงถึง ทั้งนี้เพราะความไวของเทอร์โมคัปเปิล (S) มีค่าไม่คงที่ แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงไปบ้างตามช่วงอุณหภูมิที่วัด ดังนั้นแรงเคลื่อนไฟฟ้า ของเทอร์โมคัปเปิล จึงไม่ได้มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับค่าอุณหภูมิอย่างสมบูรณ์ ดังแสดงในตาราง 13

ตาราง 13 ความไว (S) ของเทอร์โมคัปเปิลในช่วงอุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ	ความไวของเทอร์โมคัปเปิล (หน่วย : ไมโครโวลต์ / องศาเซลเซียส)					
	E	J	K	R	S	T
-200	25.1	21.9	15.3	—	—	15.7
-100	45.2	41.1	30.5	—	—	28.4
0	58.7	50.4	39.5	5.3	5.4	38.7
100	67.5	54.3	41.4	7.5	7.3	46.8
200	74.0	55.5	40.0	8.8	8.5	53.1
300	77.9	55.4	41.4	9.7	9.1	58.1
400	80.0	55.1	42.2	10.4	9.6	61.8
500	80.9	56.0	42.6	10.9	9.9	—

ที่มา : ประยูร เขียววัฒนา. (ม.ป.ป.). "อุปกรณ์วัดทางอุตสาหกรรม ตอน เซนเซอร์และการวัดอุณหภูมิ 1." ใน 65 เทคนิค
เรื่องน่ารู้เทคนิคเรื่องกล. หน้า 28

จากตาราง 18 จะเห็นได้ว่าความไวของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชนิดจะมีค่าคงที่เฉพาะในช่วงอุณหภูมิที่จำกัด
ดังนั้นการใช้งานจึงต้องพยายามเลือกใช้เทอร์โมคัปเปิลนั้น ๆ ในช่วงอุณหภูมิดังกล่าวด้วย ตัวอย่างเช่น เทอร์โมคัปเปิล
ชนิด E จะมีค่าความไวที่ค่อนข้างคงที่ คือ 77.9~80.9 ในช่วงอุณหภูมิ 300~800 องศาเซลเซียส ขณะที่เทอร์โมคัปเปิล
ชนิด K จะมีความไวที่ค่อนข้างคงที่ คือ 39.5~42.6 ในช่วงอุณหภูมิ 0~900 องศาเซลเซียส เป็นต้น แรงเคลื่อนไฟฟ้า
ได้จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดกับจุดเยือกแข็งของน้ำ ของเทอร์โมคัปเปิลชนิดต่างๆ ดังแสดงในตาราง 14

ตาราง 14 เปรียบเทียบเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานต่าง ๆ กับย่านอุณหภูมิใช้งานและแรงเคลื่อนไฟฟ้า

ชนิด	ส่วนผสม	ย่านอุณหภูมิใช้งาน		แรงเคลื่อนไฟฟ้า
		องศาเซลเซียส	ฟาเรนไฮต์	ที่ได้ mV
B	แพลทินัม – ร้อยละ 30 โรเดียม			
	แพลทินัม – ร้อยละ 6 โรเดียม	0 ~ 1820	32 ~ 3310	0 ~ 13.814
R	แพลทินัม – ร้อยละ 13 โรเดียม			
	แพลทินัม	-50 ~ 1768	-60 ~ 3210	-02.26 ~ 21.108
S	แพลทินัม – ร้อยละ 10 โรเดียม			
	แพลทินัม	-50 ~ 1768	-60 ~ 3210	-02.266 ~ 18.698
J	เหล็ก / คอนสแตนแตน	-210 ~ 760	-350 ~ 1400	-8.096 ~ 42.922
K	โครเมิล / อลูเมล	-270 ~ 1372	-450 ~ 2500	-6.458 ~ 54.875
T	ทองแดง / คอนสแตนแตน	-270 ~ 400	-450 ~ 750	-6.258 ~ 20.869
E	โครเมิล / คอนสแตนแตน	-270 ~ 1000	-450 ~ 1830	-9.835 ~ 76.358

ที่มา : ประยูร เขียววัฒนา. (ม.ป.ป.). "อุปกรณ์วัดทางอุตสาหกรรม ตอน เซนเซอร์และการวัดอุณหภูมิ 1." ใน 65 เทคนิค เรื่องนำรู้เทคนิคเรื่องกล. หน้า 28

ตาราง 15 เปรียบเทียบเงื่อนไขบรรยากาศการใช้งานของเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐานแบบต่าง ๆ

ความเหมาะสมในการใช้งาน							
TC ชนิด	บรรยากาศ Oxidizing	บรรยากาศ Reducing	บรรยากาศ Inert	Vacuum	บรรยากาศ Sulferous	อุณหภูมิ > 0 องศา เซลเซียส	มีไอของ โลหะ
B	✓	X	✓	✓ (ในช่วงสั้นๆ)	X	X	X
R	✓	X	✓	X	X	X	X
S	✓	X	✓	X	X	X	X
J	✓	✓	✓	✓	X (ถ้า > 500)	X	✓
K	✓*	X	✓	X	X	✓	✓
T	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
E	✓	X	✓	X	X	✓+	✓

หมายเหตุ * = ใช้งานได้ดีกว่าแบบ E, J, และ T เมื่ออุณหภูมิ > 500 องศาเซลเซียส

+ = โดยเฉพาะกับอุณหภูมิ < 0 องศาเซลเซียส

ที่มา : ประยูร เขียววัฒนา. (ม.ป.ป.). "อุปกรณ์วัดทางอุตสาหกรรม ตอน เซนเซอร์และการวัดอุณหภูมิ 1." ใน 65
เทคนิค เรือนำรู้เทคนิคเรื่องกล. หน้า 29

ค่าผิดพลาดหรือค่าความคลาดเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิลที่อยู่ในพิกัด ตามมาตรฐานของ ISA เมื่ออุณหภูมิตรง
จุดเชื่อมต่อ (Reference junctions) = 0 องศาเซลเซียส ดังในตาราง 16

ตาราง 16 ค่าความคลาดเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิล

ค่าความคลาดเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิล			
ชนิด	ย่านอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	แบบมาตรฐาน (ใช้ค่าที่สูงกว่า)	แบบพิเศษ (ใช้ค่าที่สูงกว่า)
T	0 - 350	± 1 องศาเซลเซียส หรือ $\pm 0.75\%$	± 0.5 องศาเซลเซียส หรือ $\pm 0.4\%$
	-200 - 0	± 1 องศาเซลเซียส หรือ $\pm 1.5\%$	-
J	0 - 750	± 2.2 องศาเซลเซียส หรือ $\pm 0.75\%$	± 1.1 องศาเซลเซียส หรือ $\pm 0.4\%$
E	0 - 900	± 1.7 องศาเซลเซียส หรือ $\pm 0.5\%$	± 1 องศาเซลเซียส หรือ $\pm 0.4\%$
	-200 - 0	± 1.7 องศาเซลเซียส หรือ $\pm 1\%$	-
K	0 - 1250	± 2.2 องศาเซลเซียส หรือ $\pm 1\%$	± 1.1 องศาเซลเซียส หรือ $\pm 0.4\%$
	-200 - 0	± 2.2 องศาเซลเซียส หรือ $\pm 2\%$	-
RหรือS	0 - 1450	± 1.5 องศาเซลเซียส หรือ $\pm 2.25\%$	± 0.6 องศาเซลเซียส หรือ $\pm 0.1\%$
B	800 - 1700	$\pm 0.5\%$	-

ที่มา : สมศักดิ์ กิตติวุฒิเศรษฐ์. (2528). หลักการและการใช้เครื่องมือวัดอุตสาหกรรม. หน้า 17

4.10 ชุดเสาดึงเอนกประสงค์ ชุดเสาดึงเอนกประสงค์ของเครื่องกวณสารเคมีมีจำนวน 2 ชุด ใช้วัสดุเป็นเหล็กกล้าไร้สนิม ขนาด $\varnothing$ 20 มม. สูง 500 มม. เป็นเสาดึง แบบกึ่งอัตโนมัติและใช้มือปรับ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.10.1 ชุดเสาดึงเอนกประสงค์ชุดที่ 1 โดยใช้มอเตอร์ขนาด 100 V. ส่งกำลังด้วยชุดเกสียวและเฟืองดอกจอกเป็นตัวขับเคลื่อนขึ้นลงตามแนวดิ่ง มีช่วงความยาวระหว่างที่เคลื่อนขึ้นสูงสุดและลงต่ำสุด 200 มม. สามารถถอดประกอบและเปลี่ยนขนาดของชุดขับเคลื่อนปากกา มือจับอุปกรณ์ได้ ชุดขับเคลื่อนปากกาจับงาน และมือจับอุปกรณ์สำหรับจับหลอดแก้วทดลอง จับเทอร์โมมิเตอร์และจับหัววัดค่าความเข้มข้นของสารเคมีต่างๆ ชุดเสาดึงเอนกประสงค์นี้ ควบคุมการเคลื่อนขึ้นหรือเคลื่อนลงโดยกดปุ่มสวิตช์ควบคุมแบบกึ่งอัตโนมัติ ที่หน้าปัดด้านหน้าตัวเครื่อง

4.10.2 ชุดเสาดึงเอนกประสงค์ชุดที่ 2 เป็นแบบใช้มือปรับ มีช่วงความยาวระหว่างที่เคลื่อนขึ้นสูงสุดและลงต่ำสุด 300 มม. ชุดเสาดึงเอนกประสงค์ชุดนี้ปรับระยะ เคลื่อนขึ้นลง โดยใช้มือในการถอดประกอบ เปลี่ยนขนาดของชุดขับเคลื่อนมือจับอุปกรณ์สำหรับจับหลอดแก้วทดลอง จับเทอร์โมมิเตอร์หรือหัววัดค่าความเข้มข้นของสารเคมีต่างๆ

5.ทฤษฎีเรื่องสมรรถนะและประสิทธิภาพ

ในการทำงานไม่ว่าจะเป็นของมนุษย์ เครื่องจักรกลต่างๆ สิ่งหนึ่งที่เป็นตัวชี้วัดว่า การทำงานนั้นประสบผลสำเร็จมากหรือมีคุณภาพมากน้อยเพียงใดนั้นคือการวัดประสิทธิภาพและสมรรถนะของการทำงานนั้นๆ ซึ่งความหมายของคำว่าประสิทธิภาพและสมรรถนะ ได้มีผู้ให้ความหมายไว้ดังนี้

สมรรถนะ (สะ-มัด-ตะ-นะ) หมายถึง กำลังความสามารถ ความเชี่ยวชาญ ส่วน ประสิทธิภาพ

(ประ-สิต-ทิ-ภาพ) หมายถึง ความคล่องแคล่วในการปฏิบัติงานให้เสร็จ (พจนานุกรมไทย.2538 : 15)

สมรรถนะ หมายถึง ความสามารถ เป็นคุณสมบัติของเครื่องจักรที่เหมาะสมแก่การกระทำสิ่งใดสิ่งหนึ่ง (พจนานุกรมไทย.2531 : 814)

ชาวลิต เขียวกุล (2538 : 6) ให้ความหมายของสมรรถนะของเตาหลอมละลายอะลูมิเนียมไว้ คือ การใช้ได้อย่างสะดวก คล่องตัว มีความทนทานต่อการใช้งาน ประหยัดเวลา มีความปลอดภัย บำรุงรักษาง่าย

5.1 สมรรถนะของเครื่องยนต์ หมายถึง ความสามารถในการทำงานของเครื่องยนต์ที่บอกให้ทราบถึงคุณสมบัติเฉพาะตัวของเครื่องยนต์นั้นๆ สามารถนำมาใช้ในการพิจารณาเลือกและการใช้เครื่องยนต์ได้อย่างถูกต้องตามวัตถุประสงค์ (ประณต กุลประสูตร. 2533 : 59) ในงานวิจัยเรื่องการพัฒนาเครื่องหยอดขนมทองหยอด ของ สกล นันทศรีวิวัฒน์ (2543 : 3 –4,17) ได้ให้ความหมายสมรรถนะของเครื่องหยอดขนมทองหยอด คือ ความสามารถในการทำงานของเครื่องหยอดขนมทองหยอด สมรรถนะบอกให้ทราบถึง คุณลักษณะเฉพาะตัวของเครื่องหยอดขนมทองหยอด สามารถนำมาใช้เพื่อพิจารณาในการเลือกและใช้เครื่องหยอดขนมทองหยอดได้อย่างถูกต้องตามวัตถุประสงค์ และได้จัดกลุ่มสมรรถนะไว้ 4 ด้าน คือ ลักษณะกายภาพ ลักษณะการใช้งาน ลักษณะการบำรุงรักษาและความสามารถในการนำไปใช้งาน ส่วนประสิทธิภาพ หมายถึง ตัวชี้วัดการลดขั้นตอนการผลิตขนมทองหยอด ต้นทุนการผลิตขนมทองหยอดและผลผลิตขนมทองหยอดจะมีการเสียน้อยลง ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องหยอดขนมทองหยอด ซึ่งจัดกลุ่มประสิทธิภาพไว้ 4 ด้าน คือ อัตราการผลิตขนมทองหยอด ลดขั้นตอนการผลิตขนมทองหยอด ต้นทุนการผลิตขนมทองหยอดและผลผลิตขนมทองหยอดจะมีการเสียน้อยลง

จากงานวิจัยของ อนุวัต สุเพียร (2544 : 7–8) สมรรถนะของเครื่องปั๊มแผ่นอะคริลิก หมายถึง ชีตความสามารถของเครื่อง ด้านเครื่องปั๊มแผ่นอะคริลิกและด้านรอยปั๊มแผ่นอะคริลิก ซึ่งประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ ได้ประเมินด้านโครงสร้างของเครื่อง ด้านความปลอดภัยในการใช้งาน ด้านการบำรุงรักษา ส่วนสมรรถนะด้านรอยปั๊มแผ่นอะคริลิก หมายถึง คุณภาพของชิ้นงานที่ผ่านการปั๊มแล้วได้ตรงตามมุมพับที่ต้องการ ความตรงของรอยพับและผิวของรอยพับ

5.2 ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หมายถึง อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายออกมา (Output Power) ต่อ กำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าไปในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Input Power) คำนวณได้จากสูตร

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายออกมา}}{\text{กำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าไปในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า}} \times 100$$

กำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายออกมามีค่าน้อยกว่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าไปในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเสมอ เพราะเมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าไปในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเกิดความสูญเสียต่างๆ ขึ้น ดังนั้นประสิทธิภาพจะต้องต่ำ

กว่าร้อยละ 100 ตัวอย่าง เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 1 กิโลวัตต์ 125 โวลต์ ต้องการกำลังขับ 2 แรงม้า ต้องการทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายค่าที่ระดับ (rated) ได้ จงหาประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องนี้

กำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายออกมา 1 กิโลวัตต์ = 1000 โวลต์

กำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าไปในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 แรงม้า = 2 แรงม้า (746 วัตต์/แรงม้า) = 1492 วัตต์

$$\begin{aligned}\text{ประสิทธิภาพ} &= \frac{1000}{1492} \times 100 \\ &= \text{ร้อยละ } 67\end{aligned}$$

5.3 ประสิทธิภาพของมอเตอร์ พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายเข้าไปในมอเตอร์และพลังงานที่มอเตอร์จ่ายออกมา นั้นเป็น พลังงานกล การเปลี่ยนแปลงพลังงานที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์คือ การเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าให้เป็น พลังงานกล ประสิทธิภาพของมอเตอร์ คำนวณได้จากสูตร

$$\text{ประสิทธิภาพของมอเตอร์} = \frac{\text{พลังงานที่มอเตอร์จ่ายออกมา}}{\text{พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายเข้าไปในมอเตอร์}} \times 100$$

เมื่อ พลังงานที่มอเตอร์จ่ายออกมา = พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายเข้าไปในมอเตอร์ – พลังงานที่สูญเสีย (losses)

$$\text{ประสิทธิภาพของมอเตอร์} = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายเข้าไปในมอเตอร์} - \text{พลังงานที่สูญเสีย}}{\text{พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายเข้าไปในมอเตอร์}} \times 100$$

ตัวอย่าง เช่น มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงตัวหนึ่งมีค่าพิกัด 2 กิโลวัตต์ 220 โวลต์ 12 แอมป์ จงหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ตัวนี้ (มงคล ทองสงคราม. 2533 : 3 - 23, 4 - 17)

พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายเข้าไปในมอเตอร์ = 220 โวลต์ x 12 แอมป์ = 2640 วัตต์

พลังงานที่มอเตอร์จ่ายออกมา = 2 กิโลวัตต์ = 2000 วัตต์

$$\begin{aligned}\text{ประสิทธิภาพของมอเตอร์} &= \frac{2000 \text{ วัตต์}}{2640 \text{ วัตต์}} \times 100 \\ &= \text{ร้อยละ } 75.8\end{aligned}$$

5.4 วิธีการวัดสมรรถนะของเครื่องจักรกล การวัดสมรรถนะของเครื่องจักรหรือเครื่องจักรกลต่าง ๆ นิยมใช้อัตราการทำงานและคุณภาพของผลงานเป็นเครื่องชี้วัด อัตราการทำงานเป็นเครื่องชี้ที่สำคัญต่อสมรรถนะของเครื่องจักรกลนั้นๆ สำหรับคุณภาพของผลงานนั้นจะต้องคำนึงถึงด้านการทำงาน โดยปราศจากการสูญเสียผลผลิตและด้านความเสียหายที่เกิดขึ้นกับผลผลิตทำให้คุณภาพของผลผลิตลดลง ในการประเมินสมรรถนะของเครื่องจักรจะต้องพิจารณาทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ เช่นการวัดความสามารถในการทำงานของเครื่องจักรกลการเกษตรมีอยู่ด้วยกัน 3 ชนิดคือความสามารถในการทำงานเชิงพื้นที่ ความสามารถในการทำงานเชิงวัสดุและความสามารถในการทำงานเชิงวัสดุที่ป้อนเข้าไปทั้งหมด การหาความสามารถในการทำงานชนิดต่างๆสามารถทำได้โดยการวัดพื้นที่ หาน้ำหนักและเวลา (วินิต ชินสุวรรณ, 2530 : 1 – 2 นอกจากการวัดสมรรถนะและประสิทธิภาพการทำงานของมนุษย์หรือเครื่องจักรแล้ว โยชิฮิโกะ ทาคามูระ (2525 : 57 – 60) ได้กล่าวไว้ว่า ยังมีการวัดหรือทดสอบประสิทธิภาพด้านอื่นๆเช่น ประสิทธิภาพของเตาให้ความร้อน ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไอน้ำ ตามปกติจะใช้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนในการประเมินสมรรถนะของอุปกรณ์ให้ความร้อน ประสิทธิภาพเชิงความร้อนคำนวณได้ถ้าทำสมดุลย์ความร้อน ประสิทธิภาพเชิงความร้อนคำนวณจากสูตร ต่อไปนี้

$$\text{ประสิทธิภาพเชิงความร้อน} = \frac{\text{ความร้อนที่เกิดขึ้น(ความร้อนยังผล)}}{\text{ความร้อนที่ป้อนเข้า}}$$

$$\text{ความร้อนสัมผัสของวัสดุรับความร้อน} = (\text{น้ำหนักของวัสดุรับความร้อน}) \times (\text{ความร้อนสัมผัสเฉลี่ยของวัสดุรับ} - \text{ความร้อน}) \times \{(\text{อุณหภูมิของวัสดุรับความร้อน})(\text{อุณหภูมิมาตรฐาน})\}$$

การคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนอย่างคร่าวๆ ทำได้โดยไม่ต้องทำสมดุลย์ความร้อน เนื่องจากความร้อนยังผลของหม้อไอน้ำเนื่องจากความร้อนยังผลของหม้อไอน้ำจะแปรผันกับปริมาณไอน้ำที่เกิดขึ้น และความร้อนยังผลของเตาให้ความร้อนจะแปรผันกับปริมาณการป้อนวัสดุรับความร้อน ส่วนความร้อนเข้าจะแปรผันกับปริมาณเชื้อเพลิงดังสมการ

$$\text{ประสิทธิภาพของเตาให้ความร้อน} = \frac{(\text{ปริมาณความร้อนของวัสดุรับความร้อนที่ทางออก}) - (\text{ปริมาณความร้อนของวัสดุรับความร้อนที่ทางเข้า})}{\text{พลังงานความร้อนที่จ่ายเข้าภายในเตาให้ความร้อน}}$$

$$\text{ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ของเตาให้ความร้อน} =$$

$$\frac{\text{ปริมาณวัสดุรับความร้อนที่ป้อน}}{\text{ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้}} = \frac{1}{\text{เชื้อเพลิงต่อหน่วยวัสดุ}}$$

สมรรถนะและประสิทธิภาพเป็นสิ่งที่บ่งชี้ว่าการพฤติกรรม การกระทำของมนุษย์หรือความสามารถของเครื่องจักรนั้นๆว่ามีคุณภาพหรือมาตรฐานเพียงใด ซึ่งมีลักษณะการวัดที่แตกต่างกันออกไป เช่น การวัดสมรรถนะและประสิทธิภาพในเชิงปริมาณ การวัดในเชิงคุณภาพ การวัดประสิทธิภาพในเชิงความร้อน การวัดประสิทธิภาพในเชิงเวลา หรือการวัดสมรรถนะของเครื่องยนต์ เป็นต้น สำหรับการวัดและทดสอบความเที่ยงตรงของระบบควบคุมการทำงาน การตรวจสอบสมรรถนะและการประเมินด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกลศาสตร์เคมีด้วยแรงแม่เหล็ก เพื่อศึกษาว่าเครื่องที่พัฒนาขึ้นใหม่มีคุณภาพ สามารถทำงานได้จริงตามคุณลักษณะที่ได้ออกแบบไว้หรือสามารถนำไปใช้ได้ตามวัตถุประสงค์หรือไม่ การประเมินผลดังกล่าวได้กำหนดกรอบการประเมิน คือ วัดความเที่ยงตรงของระบบการทำงาน 3 ระบบ ด้านสมรรถนะของเครื่องกลศาสตร์เคมี จำนวน 3 ด้าน และด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกลศาสตร์เคมีจำนวน 3 ด้าน ซึ่งประเมินผลโดยผู้เชี่ยวชาญและใช้เครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูลที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเป็นเครื่องมือสำหรับประเมิน

6. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาของผู้วิจัย ลักษณะการใช้งานต่างๆ ของเครื่องกลศาสตร์เคมีแต่ละชนิดพบว่า เครื่องกลและอนุสารเคมีขนาดเล็กชนิดที่อาศัยแรงแม่เหล็กในการกลศาสตร์เคมีได้นำไปใช้ในกระบวนการเรียนการสอน และการทดลองในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์มากที่สุด ส่วนเครื่องกลศาสตร์เคมีที่ใช้ระบบใบพัดจะนำไปใช้มากในงานอุตสาหกรรมหรือในงานที่ต้องใช้กลของเหลวที่มีความหนืดมากๆ สำหรับการนำเครื่องกลศาสตร์เคมีที่ใช้แรงแม่เหล็กช่วยในการกลนั้น แต่ละขั้นตอนก็มีความแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับกระบวนการทดลองนั้นๆ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

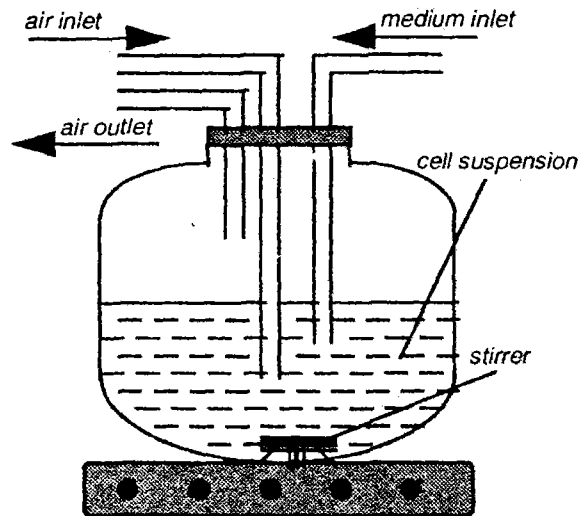
งานวิจัยเรื่องจลนพลศาสตร์ของการสังเคราะห์และการดูดซึม-การคายตัวทำละลายอินทรีย์ของบีตส์ไดรีน (Beads Styren) ที่ทำการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการเตรียมบีตส์ (Beads) โคพอลิเมอร์สไตรีน-ไดไวโนลเบนซีนเพื่อดูดซึมและคายตัวทำละลายอินทรีย์มีค่าพารามิเตอร์แห่งการละลายอยู่ในช่วง 18 –19 (เมกกะพาสคัล)² 1/2 ใช้เบนโซิลเพอร์ออกไซด์เป็นตัวเริ่มปฏิกิริยา ไทโรลูอินเป็นสารเจือจางและพอลิไวโนลแอลกอฮอล์เป็นสารแขวนลอย สไตรีนเป็นมอนอเมอร์ที่เชื่อมขวางด้วยไดไวโนลเบนซีน อัตราส่วนวฏภาคมอนอเมอร์ต่อวฏภาคน้ำโดยน้ำหนักคือ 1 ต่อ 7 อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกล 240 รอบ/นาที ได้ศึกษาการเกิดพอลิเมอร์เป็นแบบแขวนลอยในระดับห้องปฏิบัติการก่อน เพื่อนำข้อมูลที่เหมาะสมไปทำการสังเคราะห์บีตส์ (Beads) ในระดับขยายส่วน ตัวแปรที่ทำการศึกษาจลนพลศาสตร์ คือ ความเข้มข้นของตัวเริ่มปฏิกิริยา อุณหภูมิของปฏิกิริยา ความเร็วรอบในการกล ปริมาณสารเชื่อมขวางของไดไวโนลเบนซีน และความเข้มข้นของสารเจือจาง (พนมศักดิ์ เขียวเตชะกุล. 2541 : 128)

จิระนุช นิตยาธารีกุล (2540 : ไม่ปรากฏเลขหน้า) ได้ศึกษาสารประกอบเชิงซ้อนไฮเดียมในซีโอไลต์วายเพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไฮบริดสำหรับปฏิกิริยาไฮโดรฟอर्मิลเลชันของโอเลฟินส์ ได้สังเคราะห์ซีโอไลต์วายจากส่วนผสมไฮเดียมซิลิเกต ไฮเดียมอลูมิเนต ไฮเดียมไฮดรอกไซด์ อะลูมิเนียมซัลเฟตและน้ำ องค์ประกอบของเจลที่ได้ คือ $1.9 \text{ Na}_2\text{O} : \text{Al}_2\text{O}_3 : 6\text{SiO}_2 : 100\text{H}_2\text{O}$ เติมสารแขวนลอยของนิวคลีเอชั่นเซ็นเตอร์หรือสารหล่อลื่นประกอบด้วย $16.2\text{Na}_2\text{O} : 1.2 \text{ Al}_2\text{O}_3 : 15\text{SiO}_2 : 640\text{H}_2\text{O}$ ลงในเจลผสมให้เข้ากันและตกผลึกที่ 100 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 40 ถึง 60 ชั่วโมง ซีโอไลต์ที่ได้คือไฮเดียมวายที่มีความเป็นผลึกสูง มีซิลิกอน/อะลูมิเนียม = 2.3 เตรียมซีโอไลต์ไฮโดรเจนวายโดยนำซีโอไลต์ไฮเดียมวายไปแลกเปลี่ยนไอออนด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์และตามด้วยการเผาที่ 450 องศาเซลเซียส เพื่อกำจัดแอมโมเนีย อเซทิลออกซิโทนาโทไดคาร์บอนิลโรเดียมเป็นสารตั้งต้นที่ใช้เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งทำให้ยึดเกี่ยวอยู่บนผิวซีโอไลต์ไฮเดียมวายที่ผ่านการกำจัดน้ำแล้วโดยการผสมสารในนอร์มัล-เฮกเซนและกลั่นให้เข้ากันเป็นเวลา

10 ชั่วโมงภายใต้ไนโตรเจน จากข้อมูลอินฟราเรดพบว่ามีการแทนที่ลิแกนด์อะเซทิลอะซิโตน-เนตบนอะตอมโรเดียมด้วยออกซิเจนของซีโอไลต์ ซีโอไลต์ทั้งสองซึ่งใส่อะซิโตนไนโตรเจนคาร์บอนิลโรเดียมเข้าไปแล้วสามารถเร่งปฏิกิริยาไฮโดรฟอร์มิเลชันของโพรพิลีนและ 1-เฮกซีนได้

ดวงพร สามัตติยะ (2540 : บกคัดย่อ) ได้ศึกษาเรื่อง การใช้น้ำผลไม้ตระกูลส้มเป็นตัวตกตะกอนต่อคุณภาพของน้ำเต้าหู้แข็ง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเต้าหู้แข็งโดยใช้น้ำมะนาว (*Citrus Aurantifolium Swingle*) น้ำส้มจืด (*C. Mitis Blanco*) และน้ำส้มเขียวหวาน (*C. Reticulata Blanco*) เป็นตัวตกตะกอนและคุณภาพของเต้าหู้แข็งที่ได้ วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบคือเมล็ดถั่วเหลือง (*Glycine Max Merrill*) ซึ่งผ่าซีกและกระเพาะเปลือกออกแล้วพบว่ามีความชื้นร้อยละ 8.57 ไขมันร้อยละ 19.32 เส้นใยร้อยละ 0.9 เถ้าร้อยละ 5.5 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 31.96 โดยน้ำหนักแห้ง และวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดของน้ำผลไม้ พบว่าน้ำมะนาว น้ำส้มจืด และน้ำส้มเขียวหวานมีปริมาณกรดทั้งหมดคิดในรูปกรดซิตริก ร้อยละ 7.51, 5.22 และ 2.14 ตามลำดับ ในการวิเคราะห์อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่เหมาะสมในการเตรียมนมถั่วเหลืองขณะเติมตัวตกตะกอน น้ำหนักถั่วเพื่อขึ้นรูปก้อนน้ำเต้าหู้แข็งและปริมาณน้ำผลไม้ตระกูลส้มที่เหมาะสม พบว่าอุณหภูมิในการตกตะกอนคือ 90 องศาเซลเซียส อัตราเร็วในการกวนนมถั่วเหลืองขณะเติมตัวตกตะกอนที่เหมาะสมคือ 150 รอบ/นาที น้ำหนักถั่วเพื่อขึ้นรูปก้อนน้ำเต้าหู้แข็งที่เหมาะสมคือ 3 กิโลกรัม และปริมาณน้ำมะนาว น้ำส้มจืดและน้ำส้มเขียวหวานที่เหมาะสมคือร้อยละ 1, 2 และ 5 โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลืองตามลำดับ

การสร้างห้องปฏิบัติการเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประกอบด้วยห้องเก็บสารเคมี ห้องเตรียมอาหาร ห้องย้ายเนื้อเยื่อ ห้องพักนักวิจัย และอุปกรณ์ เครื่องมือสำหรับการใช้งานต่างๆ เช่นเตาอุ่นความร้อนและเครื่องกวน (Hot Plate and Magnetic Stirrer) เตาอบไมโครเวฟ ตู้เย็น เยื่อกรอง เครื่องแก้ว เครื่องปั่นเหวี่ยง กล้องจุลทรรศน์ เครื่องควบคุมเวลา โดยในขั้นตอนของกระบวนการทดลองนี้ได้ใช้เตาอุ่นความร้อนและเครื่องกวน สำหรับหลอมอาหารและสารเคมี ใช้เตาอบความร้อน สำหรับอบฆ่าเชื้อ ที่อาจติดมากับอุปกรณ์และเครื่องมือที่สามารถทนต่อความร้อนสูงๆ ได้ เช่น เครื่องแก้ว โลหะ โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมง และใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ เพื่อปรับอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชส่วนใหญ่ คือ ประมาณ 25 องศาเซลเซียส และในกระบวนการเพาะเลี้ยงเซลล์แขวนลอย (Cell Suspension Culture) หมายถึง การนำเซลล์เดี่ยวหรือกลุ่มเซลล์ขนาดเล็ก มาเลี้ยงในอาหารเหลว เพื่อศึกษาสมบัติของเซลล์ การสร้างเอนไซม์ ศึกษาการทำงานของเอนไซม์ การแสดงออกของยีน การผลิตเอมบริอยด์และโปรโตพลาส ได้ใช้รูปแบบการเพาะเลี้ยงเซลล์แขวนลอย เช่น แบบหมุนจุ่มในอาหารอย่างช้าๆ แบบหมุน แบบเขย่าตลอดเวลาที่ใช้ความเร็วประมาณ 80 – 120 รอบ/นาทีและแบบกวนด้วยเครื่องกวน (Stirring Culter) วิธีนี้จะติดตั้งภาชนะเพาะเลี้ยงบนแท่นของเครื่องกวนที่มีแท่งแม่เหล็ก จะมีระบบปั๊มอากาศเข้าผ่านตัวกรอง (Microfilter) ส่วนทางอากาศออก จะถูกดูดด้วยจุกล้าง มีระบบเดิมอาหารและวัสดุสภาพของสารละลายอาหาร ดังภาพประกอบ 44



ภาพประกอบ 44 การเพาะเลี้ยงเซลล์แขวนลอยแบบกวน

ที่มา : รังสฤษฎ์ กาวิต๊ะ. (2541). การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ:หลักการและเทคนิค. พิมพ์ครั้งที่ 2. หน้า 93

ตัวอย่างขั้นตอน (Protocol) การเลี้ยงเซลล์แขวนลอยโดยตรงจากเซลล์มีโซฟิลล์ของโอมะเชื้อเทศ วิธีการคือ 1) แยกเอาส่วนของเส้นใยออกจากไบโອน แล้วฟอกฆ่าเชื้อที่ผิวไบโອน 10 นาที โดยจุ่มในสารละลายร้อยละ 0.1 NaOCl ที่เติมร้อยละ 0.05 Teepol(v/v). 2) ล้างด้วยน้ำกลั่น และน้ำฆ่าเชื้อ 3 ครั้ง ๆ ละ 20 มล. 3) ตัดไบโອนเป็นแผ่นกว้าง 1 มม. แช่ในอาหาร Maceration Medium (a) เป็นเวลา 30 นาที เพื่อย่อยเนื้อเยื่อ. 4) เปลี่ยนอาหารใหม่แล้วกวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที เพื่อให้เซลล์แยกกระจายตัวออกจากกัน. 5) กรองด้วยผ้าขาวบางแยกเนื้อเยื่อที่ไม่ถูกย่อย และแยกเซลล์ที่ไม่ถูกย่อยผ่านตะแกรงในลอนขนาด 40 μm . 6) ล้างและกระจายเซลล์อีกครั้งด้วยสารละลายอาหาร (Suspension Medium (b)) (รังสฤษฎ์ กาวิต๊ะ. 2541 : 4-7,92-93,97)

อารีย์ วิเชียรฉาย ได้พัฒนาและสร้างเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูง (High-Intensity Separators for Mineral Separation) High-Intensity หรือ (High Gradient Magnetic Separation) จุดมุ่งหมายของงานวิจัย เพื่อช่วยในการพัฒนาอุตสาหกรรมการแยกแร่และการแต่งแร่ และการนำไปใช้ประโยชน์ในด้าน การกำจัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรม กระบวนการทำรงควัตถุ (Pigments)ด้านการแพทย์ ในการกรองเซลล์เม็ดเลือด การแยกแบคทีเรียและไวรัส เครื่องดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการแยกแร่และทำให้แร่บริสุทธิ์ด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูงในการแต่งแร่ หรือแยกแร่ให้มีคุณภาพดีขึ้น โดยใช้กับแร่ที่มีคุณสมบัติเป็นสารแม่เหล็ก ทั้ง Ferromagnetic Materials และ Paramagnetic Materials งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและสร้างเครื่องแยกแร่ด้วยสนามแม่เหล็กกำลังสูง 2 แบบคือ แบบเปียก (Wet Magnetic Separator) แล แบบแห้ง (Dry Magnetic Separator) โดยอาศัยต้นแบบจากต่างประเทศ ผลการวิจัยพบว่าเครื่องที่สร้างขึ้นมีความสามารถในการแยกแร่สูงกว่าเครื่องต้นแบบ โดยเครื่องแยกแร่แบบเปียกสามารถใช้ประโยชน์ในการแยก Hematite, Ferrosilicate, Ilmanite เป็นต้น หรือใช้ในการแต่งแร่เหล็ก ดีบุก Quartz, Clay, Limonite จาก Quartz (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2540 : 55)

ปาริฉัตร คำเหล็ก (2544 : บทคัดย่อ) ได้วิจัยเรื่องการออกแบบและสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา เครื่องที่ออกแบบและสร้างขึ้นสามารถใช้กับเตาเผาไฟฟ้าที่มีอุณหภูมิการเผาไม่เกิน 1,300 องศาเซลเซียส ปรับอุณหภูมิได้ 6 ตำแหน่ง แต่ละตำแหน่งตั้งอุณหภูมิไม่เกิน 1,300 องศาเซลเซียส ตั้งเวลาได้ 6 ตำแหน่ง ตั้งเวลาการเผาแต่ละโปรแกรมการเผาไม่เกิน 24 ชั่วโมง ผลการทดลองการเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส เผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส เผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส โดยการนำค่าการควบคุมในการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา มาทำการเปรียบเทียบกับค่าการควบคุมการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาของชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิเครื่องปั้นดินเผาเนเบอร์ รุ่น C19 ซึ่งผลการเปรียบเทียบการควบคุมอุณหภูมิในการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา จากชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาไม่แตกต่างกัน

สาริต บุญยรัตกลิน (2541 : 27-29) ได้ออกแบบและสร้างชุดทดลองเพื่อศึกษาคุณสมบัติบางประการของน้ำมันหล่อลื่นโดยวิธีอัลตราโซนิก ช่วงอุณหภูมิ 20 ถึง 70 องศาเซลเซียส ชุดทดลองประกอบด้วย อ่างควบคุมอุณหภูมิของเหลวโดยใช้ลวดความร้อนและเทอร์โมคัปเปิล กล้องสแตนเลส กล้องไม้ ซึ่งเชื่อมต่อกับสายเทอร์โมคัปเปิลและแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า และอุปกรณ์ควบคุมกระแสไฟฟ้าแล้วเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายในตู้ อุปกรณ์บนแผงหน้าปัดที่ควบคุมการทำงานอุณหภูมิ ชุดควบคุมอุณหภูมิประกอบด้วยลวดความร้อน เทอร์โมคัปเปิล และมอเตอร์กวนของเหลว ผลการวิจัยพบว่า สัมประสิทธิ์การลดลงของคลื่นในน้ำมันหล่อลื่น มีค่าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของตัวกลางด้วย เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสัมประสิทธิ์จะลดลง ทั้งนี้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นน้ำมันหล่อลื่นจะมีความหนืดลดลง ค่าสัมประสิทธิ์ที่ลดลงของคลื่นมีความสัมพันธ์กับค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นด้วย

พจนารจ ลือเดชาวุฒิไกร (2529 : ไม่ปรากฏเลขหน้า) ได้ศึกษาค้นคว้าเรื่อง การออกแบบและสร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิ เครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนและเครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศชนิดให้การควบคุมและการวัดอุณหภูมิมีความแม่นยำสูง ลักษณะของเครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนเป็นการควบคุมแบบอัตราส่วน อุณหภูมิของระบบวัดด้วยเทอร์โมมิเตอร์ ดิจิตอล และตรวจสอบด้วยเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน เครื่องควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำร้อนให้ความแม่นยำในการควบคุมอุณหภูมิทั้งในระยะสั้นและระยะยาวเท่ากับ ± 0.006 องศาเซลเซียส โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และความเป็นเชิงเส้นเท่ากับ 0.371 และ 0.0208 ตามลำดับ เครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศเป็นเครื่องควบคุมแบบกึ่งอัตราส่วนซึ่งติดตั้งในตู้ควบคุมอากาศ ความหนาแน่นในการควบคุมอุณหภูมิอากาศทั้งในระยะสั้นและระยะยาวของช่วงอุณหภูมิ 42-70 องศาเซลเซียสเท่ากับ ± 0.3 องศาเซลเซียส และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และความเป็นเชิงเส้นเท่ากับ 0.3181 และ 0.02087 ตามลำดับ

จากรายงานการวิจัยของ ศิริกานต์ ผาสุษ (2543 : 171-172) ได้ศึกษาเรื่อง การพัฒนาปฏิกิริยาเคมีผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ เรื่องการสกัดและแยกองค์ประกอบทางเคมีจากพืชสมุนไพรในท้องถิ่น สำหรับหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิตของสถาบันราชภัฏ ได้ใช้เครื่องกวนด้วยแม่เหล็กไฟฟ้าในการสกัดและแยกองค์ประกอบทางเคมีดอกกานพลู ซึ่งในขั้นตอนที่ 3 การการแยกและหาปริมาณน้ำหอมจากดอกกานพลูด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบก๊าซ มีขั้นตอนการทดลองคือ 1. สารสกัดเข้มข้น 0.03 กรัม 2. ละลายด้วยคลอโรฟอร์ม 3. แยกด้วย Preparative TLC ระบบที่แยกได้แก่ เฮกเซน : คลอโรฟอร์มอัตราส่วน 3 : 7 ชุดแถบที่แยกได้ 4. กวนด้วยเครื่องกวนด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า 5. กรองด้วยกรวยกรองบุชเนอร์ 6. สารที่กรองได้ ระเหยด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศแบบหมุน 7. ได้สารสกัดเข้มข้น 8. ทำการแยกด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีแบบก๊าซ

สรุป

จากการศึกษาค้นคว้าของผู้วิจัย ได้พบข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการนำเครื่องกวนสารเคมีด้วยแรงแม่เหล็ก มาใช้ในงานวิจัยและงานทดลอง ทำให้ทราบถึงวิธีการกวนสารเคมี เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทดลอง ซึ่งมีความสัมพันธ์หรือแตกต่างกัน ตามลักษณะ วิธีการทดลองแต่ละอย่าง ดังแสดงในตาราง 17

ตาราง 17 การใช้งานเครื่องกวนสารเคมีในกระบวนการทดลองทางวิทยาศาสตร์

รายงานการวิจัยและเครื่องกวนสารเคมี	ความเร็วรอบในการกวน (รอบ/นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)
1.การออกแบบและสร้างชุดทดลองเพื่อศึกษาคุณสมบัติบางประการของน้ำมันหล่อลื่นโดยวิธีอัลตราโซนิก ช่วงอุณหภูมิ 20 ถึง 70 องศาเซลเซียส. (สาริต บุญยรัตกลิน.2541 : บทคัดย่อ)	-	20-70	-
2.การออกแบบและสร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิ. (พจนารจ ลือเดชาวุฒิไกร. 2529: บทคัดย่อ)	-	42-70	-
3.เรื่องจลนพลศาสตร์ของการสังเคราะห์และการดูดซึม-การคลายตัวทำละลายอินทรีย์ของบีตสไตรีน. (พนมศักดิ์ เขียวเตชะกุล. 2541: บทคัดย่อ)	240	70	-
4.การใช้น้ำผลไม้ตระกูลส้มเป็นตัวตกตะกอนต่อคุณภาพของน้ำเต้าหู้แข็ง. (ดวงพร สามัตถียะ. 2540: บทคัดย่อ)	150	90	-
5.การผลิตมวลชีวภาพของยีสต์จากน้ำทิ้งที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ. (นภดล เบญจภัทรพงศ์. 2540 : บทคัดย่อ)	600	-	30
6.การสกัดอัลคาลอยด์จากพืชสมุนไพรโดยกระบวนการเยื่อแผ่นเหลวแบบอิมัลชัน. (ศิริกุล จันทรสว่าง. 2540 : บทคัดย่อ)	240	25	5,760
7.Model KS 010.(องค์การคำครุสภา. 2537)	ต่ำ-สูง	ต่ำ-สูง	-
8.Cole-Parmer Magnetic Stirrer Model P-84000-00,P-84000-05	100-2200	0-50	-
9.Cole-Parmer Magnetic Stirrer Model P-03402-40	100-1000	-	-
10.New Micro-V Compact Stirrer Model P-04805-60 (Cole-Parmer. 1999-2000 : 1000-1001,1003)	0-1200	-	-
11.Model HI180. (แกมมาโก้.2543 : 100)	100-1000	-	-
12.Model C2000 (C.E.combination.2543)	0-2400	-	-

ตาราง 17 (ต่อ)

รายงานการวิจัยและเครื่องกวนสารเคมี	ความเร็วรอบ ในการกวน (รอบ/นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)
13.การศึกษาสารประกอบเชิงซ้อนโซเดียมในซีโอไลต์วายเพื่อเป็น ตัวเร่งปฏิกิริยาไฮบริดสำหรับปฏิกิริยาไฮโดรฟอร์มมิเลชันของโอเล ฟินส์. (จิระนุช นิตยาธารกุล. 2540: บทคัดย่อ)	-	100	600
14.รายงานวิจัยเรื่องการหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตกรดไฮ ยาลูโรนิก. (จรรารัก ศรีวงษ์. 2540 : บทคัดย่อ)	-	100	20
15.Model H254240/9,54200/8. (Pilip Harris. 1996 : 151-152)	10-1250	-	-
16.Model HI 190M. (Pilip Harris. 1996 : 757)	100-1000	-	-
17.Model R94240/4. (Pilip Harris. 1996 : 757)	-	250	-
18.Model R94500/4,R94501/6. (Pilip Harris. 1996 : 639)	-	450	-

ข้อมูลจากงานวิจัยและตัวอย่างเครื่องกวนสารเคมีในตาราง 17 ทำให้ทราบถึงลักษณะการทดลองที่มีทั้งเรื่อง
ของเวลา อุณหภูมิและความเร็วรอบในการกวนเข้ามาเกี่ยวข้อง และระบบควบคุมสภาวะแวดล้อมของกระบวนการนั้นๆ
ให้คงที่เพื่อความเที่ยงตรงแม่นยำในการปฏิบัติการ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องนับเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องม
คุณภาพและมาตรฐานสูง จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยข้างต้นที่เกี่ยวข้องกับสารเคมีทำให้ทราบถึงข้อจำกัดบาง
ประการเกี่ยวกับคุณสมบัติของเครื่องกวนสารเคมีที่ใช้ในการปฏิบัติงาน ผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดและพัฒนาเครื่องกวนสาร
เคมีขึ้นมาใหม่ ซึ่งระบบการกวนสารเคมีอัตโนมัตินี้ อาศัยทฤษฎีและหลักการของแรงแม่เหล็กถาวรมาประยุกต์ใช้สำหรับ
พัฒนาเครื่องกวนสารเคมีจากเดิมที่ใช้ระบบแมลงนวล มาใช้ระบบอัตโนมัติ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่มาช่วยในการออก
แบบ เขียนแบบ และสร้างเครื่องกวนสารเคมีที่ควบคุมการทำงานด้วยชุดวงจรอิเล็กทรอนิกส์โดยรวมเอาระบบควบคุม
การกวน ระบบควบคุมเวลาและระบบควบคุมอุณหภูมิเข้ามาไว้ในเครื่องเดียวกัน ในเบื้องต้นผู้วิจัยได้ศึกษาหลักการ
ทำงานของเครื่องกวนสารเคมีชนิดต่างๆที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมและที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ รวมไปถึง
การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตในงานอุตสาหกรรม วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตเครื่องก
วนสารเคมี กระบวนการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม การนำเครื่องกวนสารเคมีไปใช้งาน ศึกษา ระบบ
ควบคุมการทำงานของเครื่องกวนสารเคมี ศึกษากระบวนการทักษะปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสาร
เคมีสำหรับปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ มาเป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องกวนสารเคมีโดยอาศัยแรงแม่เหล็ก ที่ควบคุม
ด้วยระบบอัตโนมัติสำหรับปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ เครื่องที่พัฒนาใหม่นี้ได้กำหนดขนาดโครงสร้างคือ ตัวเครื่อง
ขนาด 500×500×200 มม. สามารถกวนสารเคมีได้ครั้งละ 200–4000 ซีซี. ชุดวงจรอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมความเร็วรอบ
ในการกวนสารเคมีอยู่ในช่วง 30-800 รอบ/นาที ชุดวงจรอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมระบบตั้งเวลาปิดการทำงานระหว่าง 1–90
นาที และชุดวงจรอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมอุณหภูมิ ใช้เทอร์โมคัปเปิลวัดระดับความร้อน โดยมีชุดแผ่นความร้อนสำหรับ
วางภาชนะกวนสารเคมี ใช้อะลูมิเนียมขนาด 200×200×30 มม. จำนวน 2 ชุด แต่ละชุดให้ความร้อนระหว่าง อุณหภูมิ
ห้อง–400 องศาเซลเซียส ใช้กระแสไฟฟ้า 220 V. เพื่อนำไปใช้สำหรับกระบวนการทางเคมี กระบวนการทดลองทาง

วิทยาศาสตร์ในสถาบันทางการศึกษาหรือในห้องปฏิบัติการทั่วไป ซึ่งการควบคุมการทำงานของทั้ง 3 ระบบ ดังกล่าว ผู้วิจัยได้แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับแผนผังชุดควบคุมระบบการทำงานไว้ในภาคผนวก ค ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ภาษาเบสิกสำหรับสั่งการภายในระบบต่างๆ และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ชิป รุ่น PIC16F877 เป็นหน่วยประมวลผลกลาง รายละเอียดคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้แสดงไว้ใน ภาคผนวก ฉ

บทที่ 3

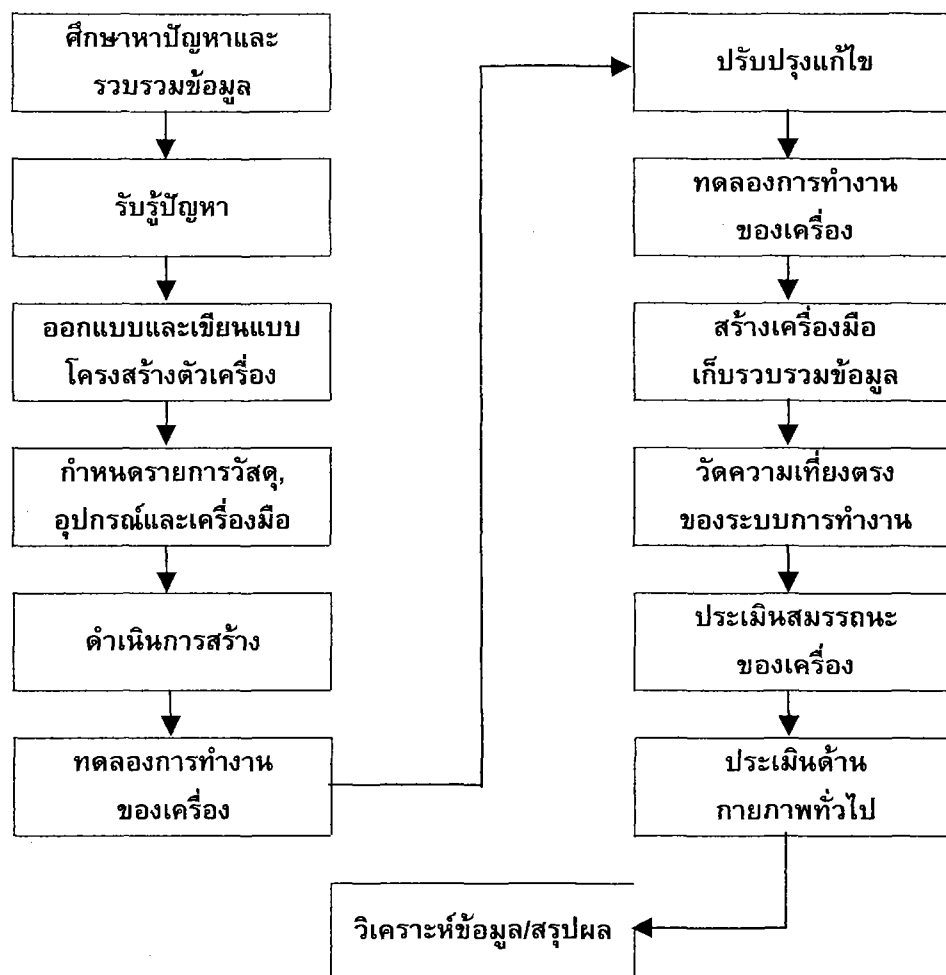
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาเครื่องกวนสารเคมีโดยอาศัยแรงแม่เหล็ก สำหรับปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ ได้ใช้รูปแบบการวิจัยเชิงทดลอง มีลำดับขั้นตอนการวิจัย ดังนี้

1. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย
2. สถานที่และระยะเวลาในการวิจัย
3. วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
4. การเก็บรวบรวมข้อมูล
5. การเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล

1. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

แผนปฏิบัติงานดำเนินการวิจัย เพื่อพัฒนาเครื่องกวนสารเคมี มีขั้นตอนดำเนินงาน ดังภาพประกอบ 45 ดังนี้



ภาพประกอบ 45 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1.1 ศึกษาปัญหาและรวบรวมข้อมูล

- 1.1.1 ศึกษาข้อมูลจากหนังสือเครื่องมืออุปกรณ์การทดลองต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการทดลองทางวิทยาศาสตร์
- 1.1.2 ศึกษาปัญหาต่างๆในกระบวนการเรียนการสอน การทดลองที่เกี่ยวข้องกับปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ เช่นการใช้เครื่องกวนสารเคมี อุปกรณ์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการใช้สารเคมี
- 1.1.3 ศึกษาทฤษฎี หลักการทำงานของเครื่อง และส่วนประกอบต่างๆที่จะนำมาดำเนินการสร้าง เช่น ทฤษฎีมอเตอร์ไฟฟ้า สารแม่เหล็ก วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และสารเคมี
- 1.1.4 ศึกษากระบวนการควบคุมการทำงานของเครื่องกวนสารเคมี เช่น ชุดอิเล็กทรอนิกส์สำหรับควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ ชุดควบคุมเวลาและชุดควบคุมอุณหภูมิ

1.2 ระบุปัญหา ผลจากการศึกษารายละเอียดและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับปัญหาที่เกิดจากการปฏิบัติงานในห้องเรียนและในห้องปฏิบัติการทดลองต่างๆ พบว่า เครื่องกลึงสารเคมีแบบเดิมยังขาดคุณสมบัติบางประการ เช่น ไม่มีระบบควบคุมเวลา ระบบควบคุมอุณหภูมิยังเป็นแบบปรับด้วยมือ โดยอาศัยความชำนาญของผู้ใช้เป็นหลัก ส่วนระบบการกลึงที่กำหนดความเร็วรอบของเครื่องกลึงสารเคมีส่วนใหญ่จะปรับความเร็วรอบในการกลึงจากต่ำสุด ไปถึงสูงสุดเท่านั้น และจากการสำรวจราคาเครื่องกลึงสารเคมี ที่นำเข้าจากต่างประเทศ พบว่า มีราคาค่อนข้างสูง

1.3 ออกแบบและเขียนแบบโครงสร้างตัวเครื่อง ผู้วิจัยได้ศึกษาปัญหา รวบรวมข้อมูลและระบุปัญหาต่างๆ เกี่ยวกับเครื่องกลึงสารเคมี จึงได้แนวคิดและหลักการเพื่อนำมาพัฒนา ตามขั้นตอน ดังนี้

1.3.1 ออกแบบโครงสร้าง เขียนแบบชิ้นส่วนต่างๆ และของเครื่องกลึงสารเคมี ผู้วิจัยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป โปรแกรม Auto Computer Aids Design Release14 (AutoCAD R14) โดยรูปแบบการเขียนแบบภาพฉาย ภาพประกอบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลตามมาตรฐานเยอรมัน (Deutsch Industrie Norms หรือ DIN) สัญลักษณ์ผิวงานตามมาตรฐาน DIN 140 ภาพฉายด้านต่างๆตามมาตรฐาน DIN 6 เส้นให้ขนาด ลูกศรบอกขนาด ตัวเลขบอกขนาดตามมาตรฐาน DIN 406 ค่าพิสัยความคลาดเคลื่อน (Tolerance) ตามมาตรฐาน DIN 7168 (แฮร์มัน ยุกท์และเอ็ดวาร์ด ชาร์คส.1964 : 131-143) สำหรับการเขียนแบบแยกชิ้นส่วนต่างๆใช้รูปแบบการเขียนระบบยุโรป ISO-Methode E (บรรเลง ศรีนิลและประเสริฐ กิวยสมบุรณ์.2524 : 82) การเลือกใช้วัสดุสำหรับผลิตชิ้นส่วนเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของประเทศไทย (มอก.) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนานาชาติ (International Organization for Standardization หรือ ISO), มาตรฐานของ American Iron and Steel Institute (AISI), มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของญี่ปุ่น (Japanese Industrial Standard หรือ JIS) และมาตรฐานของเยอรมัน

1.3.2 ส่งแบบให้อาจารย์ที่ควบคุมปริญญาานิพนธ์ตรวจสอบและนำมาปรับปรุงแก้ไขแบบต่างๆ

1.3.3 ออกแบบชุดควบคุมด้วยชุดอิเล็กทรอนิกส์

1.3.3.1 เขียนแบบ ออกแบบ จัดพิมพ์ และประกอบชุดอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมความเร็วในการกลึง

1.3.3.2 เขียนแบบ ออกแบบ จัดพิมพ์ และประกอบชุดอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมเวลา

1.3.3.3 เขียนแบบ ออกแบบ จัดพิมพ์ และประกอบชุดอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมอุณหภูมิ

1.3.3.4 ส่งแบบให้อาจารย์ที่ควบคุมปริญญาานิพนธ์ตรวจสอบและนำมาปรับปรุงแก้ไข

1.3.3.5 ประกอบชุดวงจรควบคุม แล้วส่งให้อาจารย์ที่ควบคุมปริญญาานิพนธ์ตรวจสอบและทดสอบ การทำงานของชุดวงจร รายละเอียดของชุดวงจรอิเล็กทรอนิกส์และรายการวัสดุที่ใช้ในการสร้างเครื่องกลึงสารเคมี แสดงไว้ในภาคผนวก ค และ ภาคผนวก ง

1.4 กำหนดรายการวัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือ การกำหนดรายการวัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือเพื่อใช้ในการสร้างเครื่องกลึงสารเคมี โดยใช้วัสดุที่มีคุณภาพและมีจำหน่ายภายในประเทศ วัสดุหลักๆ ที่ใช้สำหรับสร้างเครื่องกลึงสารเคมี เช่น เหล็กสแตนเลส เหล็กเหนียว อะลูมิเนียม ทองเหลือง ผู้วิจัยได้แสดงรายละเอียดไว้ในภาคผนวก ง รายการเครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในการสร้างเครื่องกลึงสารเคมี ได้แสดงไว้ในภาคผนวก จ

1.5 การดำเนินการสร้าง การดำเนินการสร้างเครื่องกลึงสารเคมี มีขั้นตอน ดังนี้

1.5.1 ผลิตชิ้นส่วนของเครื่องตามแบบที่กำหนด ชิ้นส่วนหลักๆ ประกอบด้วย

1.5.1.1 ตัวเครื่อง

1.5.1.2 ชุดแผ่นความร้อน

1.5.1.3 ชุดมอเตอร์หมุนแม่เหล็กตัวขับ

1.5.1.4 ชุดเฟืองส่งกำลังและเสาตั้งเอนกประสงค์

- 1.5.1.5 ชุดอิเล็กทรอนิกส์ความควบคุมระบบการทำงาน
- 1.5.2 ประกอบชุดแผ่นความร้อนเข้ากับตัวเครื่อง
- 1.5.3 ประกอบชุดเฟืองส่งกำลัง ชุดเสาดึงเอนกประสงค์
- 1.5.4 ประกอบมอเตอร์ และชุดแม่เหล็กตัวขับ
- 1.5.5 ประกอบชุดมอเตอร์เข้ากับฐานยึด
- 1.5.6 ประกอบชุดอิเล็กทรอนิกส์สำหรับควบคุมระบบการทำงาน
- 1.5.7 ประกอบชุดหม้อแปลงไฟฟ้า เต้าเสียบสายไฟและชุดฟิวส์
- 1.5.8 เดินสายไฟ บัดกรีสายไฟภายในวงจร
- 1.5.9 ประกอบชุดสวิทช์เปิด-ปิดที่หน้าบัดเครื่องสำหรับควบคุมระบบการทำงาน
- 1.5.10 ตรวจสอบความเรียบร้อย
- 1.5.11 จัดทำคู่มือการใช้เครื่องกวนสารเคมีและเอกสารงานวิจัย

1.6 ทดลองการทำงานของเครื่อง ผู้วิจัยทำการทดสอบการทำงานทุก ๆ ระบบของเครื่องกวนสารเคมีที่สร้างขึ้น ในเบื้องต้นก่อนนำเสนอผู้เชี่ยวชาญและอาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบ พร้อมข้อเสนอแนะ ตามขั้นตอนดังนี้

- 1.6.1 ตรวจสอบและทดลองการทำงานของเครื่อง เช่น ระบบการกวนสาร สังเกตดูลักษณะการกวน การหมุนของแม่เหล็ก การปรับระดับความเร็วในการกวน
- 1.6.2 ตรวจสอบและทดลองการทำงานของระบบควบคุมเวลา ทดสอบโดยการตั้งเวลาให้เครื่องปิดการทำงานอัตโนมัติ
- 1.6.3 ตรวจสอบและทดลองการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิ โดยวิธีการเพิ่มอุณหภูมิให้สูง แล้วค่อยๆปรับลดอุณหภูมิให้ต่ำลง ทำเช่นนี้สลับกัน เพื่อเป็นการทดสอบความถูกต้อง สมบูรณ์ของระบบควบคุมอุณหภูมิ
- 1.6.4 ตรวจสอบขนาดโครงสร้างและความเรียบร้อยของส่วนประกอบต่างๆ
- 1.6.5 ทดลองการทำงานทุกระบบ

1.7 ปรับปรุงแก้ไข เมื่อทำการทดลองการทำงานได้พบปัญหาและข้อบกพร่องเช่น เกิดการสันสะท้อนของตัวเครื่อง มีเสียงดังเนื่องจากการหมุนด้วยความเร็วรอบสูง เกิดเสียงดังของชุดเฟืองทด การให้ความร้อนของชุดแผ่นความร้อนใช้เวลานาน การหมุนตัวของแม่เหล็กตัวตามไม่ต่อเนื่องทำให้เกิดการกระเด็นของสารเคมี ผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆดังนี้

- 1.7.1 ปัญหาการสันสะท้อนของตัวเครื่อง ได้แก้ไขโดยการใช้แผ่นยางพีวีซีรองตามข้อต่อจับยึดระหว่างชุดเฟืองขับส่งกำลังกับผนังตัวเครื่อง และใช้แผ่นยางพีวีซีรองจุดต่อระหว่างชุดฐานมอเตอร์กับตัวเครื่อง
- 1.7.2 ปัญหาเสียงดังเนื่องจากการหมุนด้วยความเร็วรอบสูงๆ ได้แก้ไขโดยการแบ่งช่วงความเร็วรอบของระบบการกวนสารเคมีของทั้งสองชุดให้มีหน้าที่การทำงานที่แตกต่างกันคือชุดที่ 1 ใช้สำหรับความเร็วรอบต่ำในการกวนสารเคมี ชุดที่ 2 ใช้สำหรับความเร็วรอบสูงในการกวนสารเคมี
- 1.7.3 ปัญหาการให้ความร้อนของชุดแผ่นความร้อนใช้เวลานาน แก้ไขโดยการลดขนาดความหนาของแผ่นอะลูมิเนียมลง เนื่องจากแผ่นอะลูมิเนียมที่ใช้หุ้มลดความร้อนมีความหนามากทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานความร้อน ก่อนที่พลังงานความร้อนจะถ่ายเทไปยังภาชนะใส่สารเคมีที่ทำการผสม
- 1.7.4 การหมุนตัวของแม่เหล็กตัวตามไม่ต่อเนื่องทำให้เกิดการกระเด็นของสารเคมี แก้ไขโดยการทำให้แม่เหล็กตัวตามมีจุดหมุนระหว่างกลางของลำตัวแม่เหล็กเพื่อทำให้เกิดการหมุนได้คล่องตัว และใช้แม่เหล็กตัวตาม

เป็นแม่เหล็กทรงกระบอกเพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างผิวของแม่เหล็กกับสารเคมีที่ผสม เลือกขนาดที่เหมาะสมกับขนาดของภาชนะเพื่อป้องกันไม่ให้สารเคมีกระเด็นออกนอกภาชนะที่ใส่

1.8 ทดลองการทำงานของเครื่อง เมื่อทำการแก้ไขปัญหาดังกล่าวที่พบตามหัวข้อที่ 1.7 ผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงแก้ไขแล้วทำการทดลองการทำงานของเครื่องอีกครั้งตามขั้นตอนต่างๆตามหัวข้อที่ 1.6 แล้วทำการตรวจสอบระบบต่างๆครั้งสุดท้าย จนเครื่องกวนสารเคมีเสร็จสมบูรณ์ตามแบบที่กำหนด

1.9 สร้างเครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยได้สร้างเครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูล มีขั้นตอนดำเนินการดังนี้

1.9.1 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นข้อมูลในการสร้างแบบวัดความเที่ยงตรงของระบบการทำงานของเครื่องกวนสารเคมี จำนวน 3 ระบบ ประกอบด้วย แบบวัดความเที่ยงตรงของระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวน แบบวัดความเที่ยงตรงของระบบควบคุมเวลาการใช้งานแบบวัดความเที่ยงตรงของระบบควบคุมอุณหภูมิ โดยกำหนดค่าพิสัยความคลาดเคลื่อนเพื่อใช้เป็นเกณฑ์สำหรับวัดความแม่นยำของทั้ง 3 ระบบ

1.9.2 สร้างแบบประเมินสมรรถนะและแบบประเมินด้านกายภาพทั่วไป โดยดัดแปลง ปรับปรุงแบบสอบถามตามแนวคิดของ อุดมศักดิ์ ธัญญรักษ์. (2540 : 97 – 101), สุวรรณ ไตรศรี. (2540 : ภาคผนวก 1-4), สกล นันทศรีวิวัฒน์. (2543 : 117-120) เป็นแบบสอบถามความคิดเห็นแบบประเมินค่า (Rating Scale) กำหนดค่าคะแนนเป็น 5 ระดับตามวิธีของลิเคิร์ท (พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2534 : 114) คือ คะแนน 5 หมายถึง ผลการตรวจสอบอยู่ในระดับดีมาก คะแนน 4 หมายถึง ผลการตรวจสอบอยู่ในระดับดี คะแนน 3 หมายถึง ผลการตรวจสอบอยู่ในระดับพอใช้ คะแนน 2 หมายถึง ผลการตรวจสอบอยู่ในระดับต้องปรับปรุง คะแนน 1 หมายถึง ผลการตรวจสอบอยู่ในระดับใช้ไม่ได้

1.9.3 นำแบบสอบถามที่สร้างเสร็จแล้ว เสนอต่อประธานกรรมการควบคุมปริญญาโทเพื่อตรวจสอบและปรับปรุงแก้ไข

1.9.4 ขอหนังสือแต่งตั้งผู้เชี่ยวชาญในการตรวจสอบเครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับงานวิจัย จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ลงวันที่ 14 มีนาคม 2546 จำนวน 3 ท่าน

1.9.5 นำแบบสอบถามที่แก้ไขปรับปรุงเสร็จแล้ว ให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความเที่ยงตรงทางด้านเนื้อหา

1.9.6 นำแบบสอบถามมาหาค่าดัชนีความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (IOC) โดยวิธีของโรรินลลี และแฮมเบิลตัน (Rorinelli and Hambleton) (พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2540 : 102, 117)

1.9.7 จัดทำแบบสอบถามฉบับสมบูรณ์ แล้วนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบอีกครั้ง

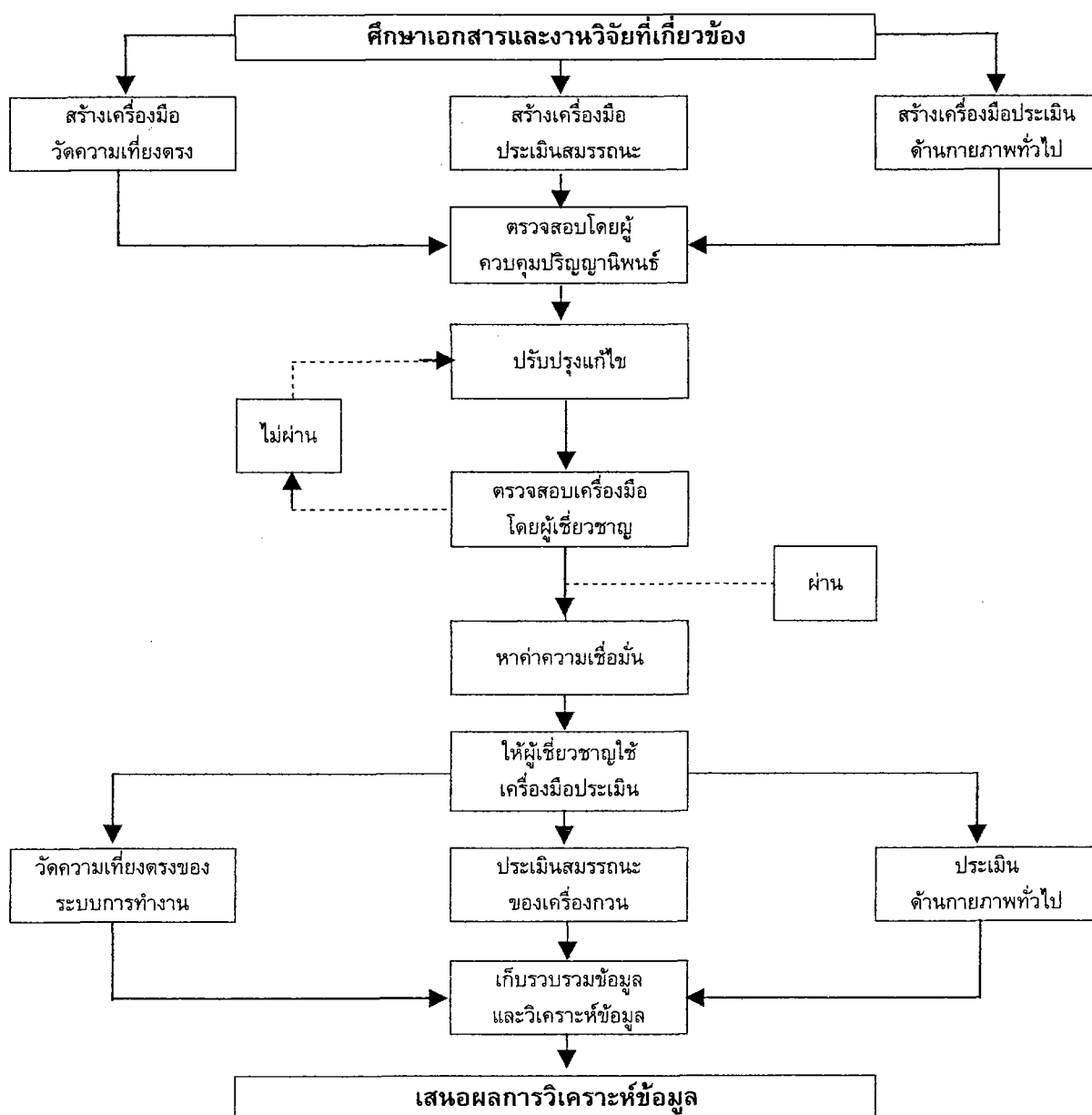
1.10 การตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูล การตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูลทั้ง 3 ชุด โดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน ประกอบด้วย ดร.ละเอียด รัชเฝ้า ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ถนอมสิน ดิสภาพรและอาจารย์วิโรจน์ เอ็งสุโสภณ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือสำหรับประเมินเครื่องกวนสารเคมี มีขั้นตอน ดังนี้

1.10.1 นำเครื่องมือที่สร้างขึ้นเสนอต่อกรรมการผู้ควบคุมปริญญาโท ตรวจสอบ

1.10.2 นำเครื่องมือไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างที่ไม่ใช่ กลุ่มตัวอย่างจริง เพื่อหาค่าความเชื่อมั่น (Reliability) ของเครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูล โดยใช้วิธีของครอนบาค (Cronbach) การหาค่าความเชื่อมั่นโดยหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา (α Coefficient) (พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2540 : 125-126) ผลจากการคำนวณได้ค่าความเชื่อมั่น 0.85 แสดงว่าแบบสอบถามความคิดเห็นมีความสอดคล้องภายใน

1.10.3 นำเครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับงานวิจัยที่หาค่าความเชื่อมั่นแล้ว ไปให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบอีกครั้ง ก่อนนำเครื่องมือไปใช้จริง เครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูล แสดงไว้ในภาคผนวก ข

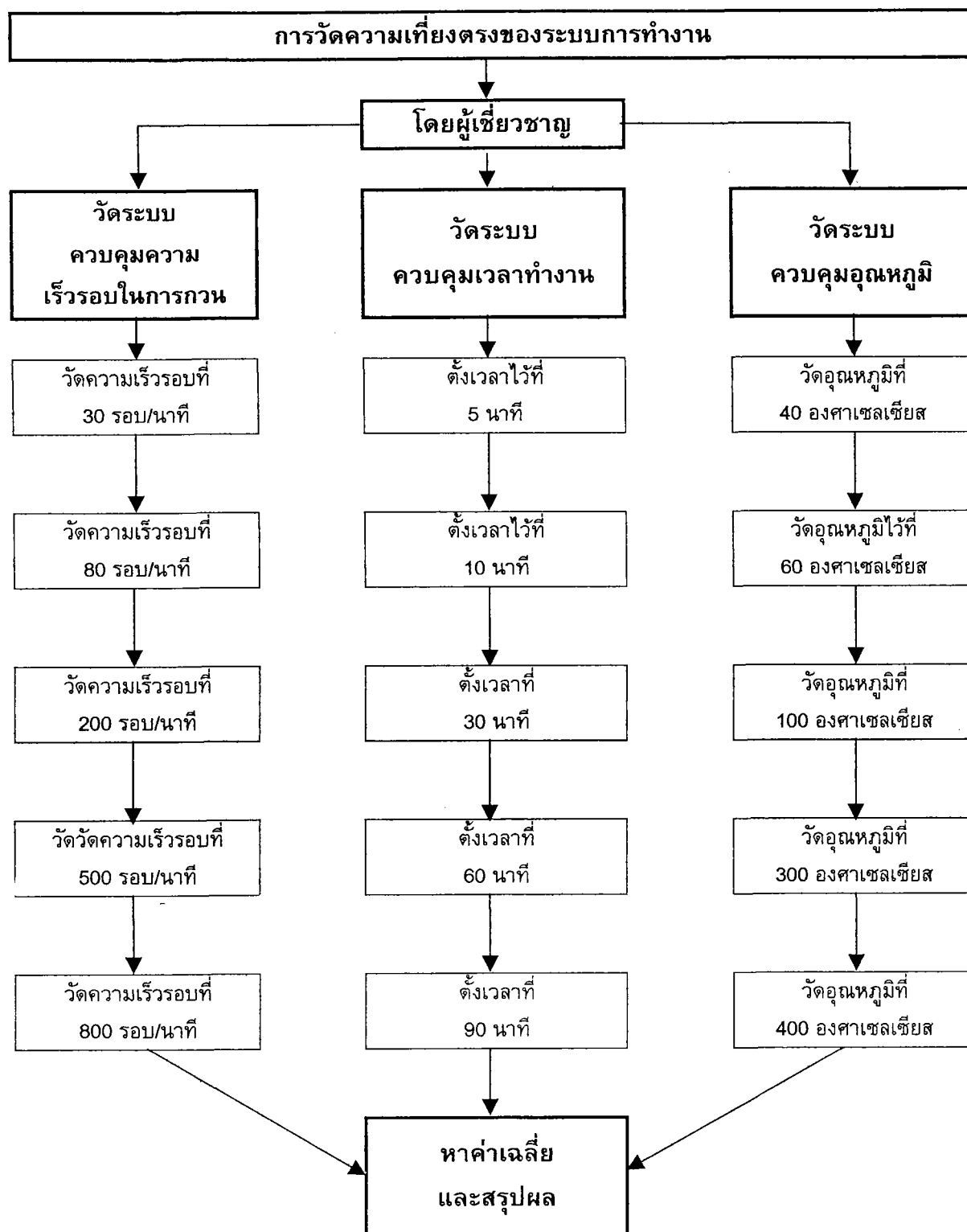
โดยสรุป การสร้างเครื่องมือรวบรวมข้อมูลสำหรับวัดความเที่ยงตรงของระบบการทำงาน การประเมินสมรรถนะและประเมินด้านกายภาพทั่วไปของระบบการทำงานของเครื่องกวณสารเคมี มีลำดับขั้นต่างๆ ดังภาพประกอบ 46



ภาพประกอบ 46 ขั้นตอนการสร้างเครื่องมือรวบรวมข้อมูล

1.11 วัดความเที่ยงตรงของระบบการทำงาน

การวัดความเที่ยงตรงของระบบการทำงานของเครื่องกวนสารเคมีโดยคณะผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน ใช้แบบวัดความเที่ยงตรงของเครื่องกวนสารเคมี ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น คุณสมบัติของผู้เชี่ยวชาญวัดความเที่ยงตรงของเครื่องกวนสารเคมีประกอบด้วย ผู้ที่มีวุฒิทางการศึกษาระดับปริญญาโทหรือสูงกว่า หรือผู้มีความรู้ความชำนาญด้านใดด้านหนึ่งทางด้านงานวิจัย เคมี ชีววิทยา ฟิสิกส์ เคมี วิศวกรรมศาสตร์ อุตสาหกรรมศาสตร์ และกำลังปฏิบัติงานที่อยู่ในหน่วยงานของรัฐหรือเอกชน มีประสบการณ์การทำงาน 5 ปีขึ้นไป รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ ดังแสดงไว้ในประวัติย่อของผู้เชี่ยวชาญ การวัดวัดความเที่ยงตรงของระบบการทำงานมีขั้นตอน ดังภาพประกอบ 47



ภาพประกอบ 47 ขั้นตอนการวัดความเที่ยงตรงของระบบการทำงาน

การวัดความเที่ยงตรงของระบบการทำงาน ทั้ง 3 ระบบ ใช้เกณฑ์การประเมิน ดังแสดงในตาราง 18
ตาราง 18 เกณฑ์การวัดความเที่ยงตรงระบบการทำงานของเครื่องกวนสารเคมี

จุดที่วัดความเที่ยงตรง	ค่าพิสัยความคลาดเคลื่อน	หน่วย
ระบบควบคุมเร็วรอบในการกวน	± 5	รอบ/นาที
ระบบควบคุมเวลา	± 30	วินาที
ระบบควบคุมอุณหภูมิ	± 3	องศาเซลเซียส

ที่มา : เทคโนโลยีอินสตรูเมนต์. (2538). หน้า 71,172-187,405
: สมศักดิ์ กิตติวุฒิสรรค์. (2528). หลักการและการใช้เครื่องมือวัดอุตสาหกรรม. หน้า 17
: พรจิต ประทุมสุวรรณ. (2541). เครื่องมือวัดอุตสาหกรรมและทรานสดิวเซอร์. หน้า 77-78
: Keyence. (2001-2002). เซนเซอร์วิชั่นและเครื่องมือวัด. P. 291
: Technology Instruments. (1995). *Industrial Controls & measuring*. P 205
: Technology Instruments. (2002). *Industrial Controls & measuring*. P 244

1.11.1 การวัดระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวน วิธีการการวัดและทดสอบความเร็วรอบ โดยใช้เครื่องวัดความเร็วรอบ วิธีการคือ วัดความเร็วรอบที่แกนของมอเตอร์ตัวขับเคลื่อนหลัก โดยให้หัวอ่านนับรอบอยู่ด้านข้าง อยู่ห่างจากแม่เหล็กตัวขับเคลื่อนประมาณ 10 มม. แล้วจับยึดหัวอ่านให้แน่นอยู่กับที่ ที่ขอบในแนวเส้นรอบวงตามทิศทางการหมุนของแม่เหล็กตัวขับเคลื่อน ทำการตั้งค่าความเร็วรอบที่ต้องการจะวัดที่เครื่องกวนสารเคมี แล้วเริ่มทำการวัด รอจนกว่าเครื่องกวนสารเคมีจะเร่งความเร็วรอบถึงระดับที่ตั้งไว้ โดยสังเกตที่หน้าจอแสดงผล ตัวเลขบอกความเร็วรอบ (Speed) จะหยุดนิ่ง แล้วจึงกดปุ่ม “เริ่ม/หยุด” ที่เครื่องนับรอบเพื่อให้เครื่องนับรอบ รอเวลา 1 นาที ตัวเลขบอกความเร็วรอบที่นับได้จะหยุดนิ่งแล้วอ่านค่าความเร็วที่หน้าจอแสดงผลของเครื่องวัดความเร็วรอบ จดบันทึกความเร็วรอบที่วัดได้ ลงในตารางของแบบวัดความเที่ยงตรงของระบบควบคุมความเร็วรอบ ความเร็วรอบที่วัด ดังนี้

- 1.11.1.1 ตั้งความเร็วรอบไว้ที่ 30 รอบ/นาที ทำการวัดความเร็วรอบด้วยเครื่องวัดความเร็วรอบ
- 1.11.1.2 ตั้งความเร็วรอบไว้ที่ 80 รอบ/นาที ทำการวัดความเร็วรอบด้วยเครื่องวัดความเร็วรอบ
- 1.11.1.3 ตั้งความเร็วรอบไว้ที่ 200 รอบ/นาที ทำการวัดความเร็วรอบด้วยเครื่องวัดความเร็วรอบ
- 1.11.1.4 ตั้งความเร็วรอบไว้ที่ 500 รอบ/นาที ทำการวัดความเร็วรอบด้วยเครื่องวัดความเร็วรอบ
- 1.11.1.5 ตั้งความเร็วรอบไว้ที่ 800 รอบ/นาที ทำการวัดความเร็วรอบด้วยเครื่องวัดความเร็วรอบ

โดยทำการวัดขั้นตอนละ 7 ครั้ง แล้วนำความเร็วรอบที่วัดได้ของแต่ละขั้นตอน มาหาค่าเฉลี่ย และประเมินเปรียบเทียบเกณฑ์การประเมินของระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวนที่ตั้งไว้ ผลการประเมินดังแสดงในตาราง 19

1.11.2 การวัดระบบควบคุมเวลาทำงาน มีขั้นตอนดังนี้

การวัดระบบควบคุมเวลา ใช้นาฬิกา จับเวลาการปิดเครื่องอัตโนมัติ ตามเวลาที่ตั้งไว้ วิธีการคือ ตั้งค่าเวลาที่ต้องการจะวัดที่เครื่องกวนสารเคมี แล้วใช้นาฬิกาจับเวลาเปรียบเทียบกับ เมื่อเครื่องกวน มีเสียงเตือนเมื่อครบเวลาปิดการทำงานที่ตั้งไว้ ในขณะเดียวกันให้ปิดนาฬิกาจับเวลาที่เตรียมไว้ แล้วบันทึกเวลาที่จับได้ ลงในตารางของแบบวัดระบบควบคุมเวลา เวลาที่ทำการวัดมีดังนี้

- 1.11.2.1 ตั้งเวลาไว้ที่ 5 นาที แล้วจับเวลาที่เครื่องปิดการทำงานอัตโนมัติ และบันทึกเวลา
- 1.11.2.2 ตั้งเวลาไว้ที่ 10 นาที แล้วจับเวลาที่เครื่องปิดการทำงานอัตโนมัติ และบันทึกเวลา
- 1.11.2.3 ตั้งเวลาไว้ที่ 30 นาที แล้วจับเวลาที่เครื่องปิดการทำงานอัตโนมัติ และบันทึกเวลา
- 1.11.2.4 ตั้งเวลาไว้ที่ 60 นาที แล้วจับเวลาที่เครื่องปิดการทำงานอัตโนมัติ และบันทึกเวลา
- 1.11.2.5 ตั้งเวลาไว้ที่ 90 นาที แล้วจับเวลาที่เครื่องปิดการทำงานอัตโนมัติ และบันทึกเวลา

โดยทำการจับเวลาขั้นตอนละ 7 ครั้ง แล้วนำเวลาแต่ละขั้นตอน มาหาค่าเฉลี่ย และประเมินผลเปรียบเทียบกับเกณฑ์การประเมินผลของระบบควบคุมเวลาที่ตั้งไว้ ผลการประเมินดังแสดงในตาราง 20

1.11.3 การวัดระบบควบคุมอุณหภูมิ มีขั้นตอนดังนี้

การวัดระบบควบคุมอุณหภูมิที่แผ่นความร้อน โดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ พร้อมด้วยสายวัดเทอร์โมคัปเปิล วิธีการวัดคือ ต่อสายวัดเทอร์โมคัปเปิลจากเครื่องวัดอุณหภูมิ วางปลายอีกด้านหนึ่งของหัววัดอุณหภูมิไว้ตรงจุดกึ่งกลางที่แผ่นให้ความร้อน แล้วตั้งค่าอุณหภูมิที่จะวัดที่เครื่องกวนสารเคมี เมื่อความร้อนถึงระดับอุณหภูมิที่ตั้งไว้ ดูที่จอแสดงผลอุณหภูมิ (Temperature) ตัวเลขบอกอุณหภูมิจะหยุดนิ่ง อ่านค่าอุณหภูมิที่หน้าจอแสดงผลของเครื่องวัดอุณหภูมิ แล้วนำค่าอุณหภูมิที่วัดได้จดบันทึกลงในตารางของแบบวัดความเที่ยงตรงของระบบควบคุมอุณหภูมิ การวัดอุณหภูมิมีขั้นตอนดังนี้

- 1.11.3.1 ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 40 องศาเซลเซียส แล้วบันทึกอุณหภูมิที่วัดได้
- 1.11.3.2 ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 60 องศาเซลเซียส แล้วบันทึกอุณหภูมิที่วัดได้
- 1.11.3.3 ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 100 องศาเซลเซียส แล้วบันทึกอุณหภูมิที่วัดได้
- 1.11.3.4 ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 300 องศาเซลเซียส แล้วบันทึกอุณหภูมิที่วัดได้
- 1.11.3.5 ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 400 องศาเซลเซียส แล้วบันทึกอุณหภูมิที่วัดได้

โดยทำการวัดขั้นตอนละ 7 ครั้ง แล้วนำผลการวัดอุณหภูมิมาหาค่าเฉลี่ย เปรียบเทียบเกณฑ์การประเมินของระบบควบคุมอุณหภูมิที่ตั้งไว้ ผลการประเมินดังแสดงในตาราง 21

1.12 ประเมินสมรรถนะของเครื่องกวนสารเคมี การประเมินสมรรถนะของเครื่องกวนสารเคมีโดยคณะผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ใช้แบบประเมินสมรรถนะของเครื่องกวนสารเคมี ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น คุณสมบัติของผู้เชี่ยวชาญ ประเมินสมรรถนะของเครื่องกวนสารเคมีประกอบด้วย ผู้ที่มีวุฒิทางการศึกษาระดับปริญญาโทหรือสูงกว่า หรือผู้มีความรู้ความชำนาญด้านใดด้านหนึ่งทางด้านงานวิจัย เคมี ชีววิทยา ฟิสิกส์ เคมี วิศวกรรมศาสตร์ อุทศาสตร์ และกำลังปฏิบัติหน้าที่อยู่ในหน่วยงานของรัฐหรือเอกชน มีประสบการณ์การทำงาน 5 ปีขึ้นไป ซึ่งคุณสมบัติของผู้เชี่ยวชาญได้แสดงรายละเอียดไว้ในประวัติย่อผู้เชี่ยวชาญ ผลการประเมินสมรรถนะดังแสดงในตาราง 22

1.13 ประเมินผลด้านกายภาพทั่วไป การประเมินผลด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกวนสารเคมีโดยคณะผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน โดยใช้แบบประเมินลักษณะด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกวนสารเคมี ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น คุณสมบัติของผู้เชี่ยวชาญประเมินประเมินผลด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกวนสารเคมี ประกอบด้วย ผู้ที่มีวุฒิทางการศึกษาระดับปริญญาโทหรือสูงกว่า หรือผู้มีความรู้ความชำนาญด้านใดด้านหนึ่งทางด้านงานวิจัย เคมี ชีววิทยา ฟิสิกส์

เคมี วิศวกรรมศาสตร์ อุตสาหกรรมศาสตร์ และกำลังปฏิบัติหน้าที่อยู่ในหน่วยงานของรัฐหรือเอกชน มีประสบการณ์การทำงาน 5 ปีขึ้นไป ซึ่งคุณสมบัติของผู้เชี่ยวชาญได้แสดงรายละเอียดไว้ในประวัติย่อผู้เชี่ยวชาญ ผลการประเมินด้านกายภาพทั่วไป ดังแสดงในตาราง 27

1.14 วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล การวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการพัฒนาเครื่องกวนสารเคมี ผู้วิจัยได้แสดงขั้นตอนต่างๆ ไว้ในหัวข้อที่ 4 การเก็บรวบรวมข้อมูลและหัวข้อที่ 5 การเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล

2. สถานที่และระยะเวลาในการวิจัย

1. สถานที่ที่ใช้ในการออกแบบ เขียนแบบ และดำเนินการสร้างเครื่องกวนสารเคมี คือสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ถนน สุขุมวิท คลองเตย กรุงเทพมหานคร
2. ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ 8 สัปดาห์ เริ่มดำเนินการ 19 เมษายน 2546 สิ้นสุดการดำเนินการ 19 มิถุนายน 2546

3. วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

รายการชิ้นส่วนของเครื่องกวนสารเคมี ภาพเขียนแบบชิ้นส่วน รายการวัสดุ อุปกรณ์และชุดวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับควบคุมระบบการทำงาน ผู้วิจัยได้แสดงรายละเอียดต่างๆไว้ในภาคผนวก ค และ ภาคผนวก ง รายการเครื่องมือที่ใช้สร้างเครื่องกวนสารเคมี ได้แสดงไว้ในภาคผนวก จ

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล

4.1 วิธีจัดกระทำข้อมูล

- 4.1.1 ขอแต่งตั้งผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบวัดความเที่ยงตรงของระบบการทำงาน แบบประเมินสมรรถนะของเครื่องกวนสารเคมีและแบบประเมินด้านกายภาพทั่วไป โดยขอหนังสือ ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ถึง ผู้เชี่ยวชาญ ลงวันที่ 2 เมษายน 2546 จำนวน 5 ท่าน
- 4.1.2 ผู้วิจัยได้นำหนังสือ ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ ตัวเครื่องกวนสารเคมี คู่มือการใช้งานเครื่องกวนสารเคมี ไปให้ผู้เชี่ยวชาญและแนะนำผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับการใช้เครื่องกวนสารเคมี การวัดความเที่ยงตรงของระบบการทำงานของเครื่องกวนสารเคมี การประเมินสมรรถนะของเครื่องกวนสารเคมีและการประเมินด้านกายภาพทั่วไป ก่อนที่ผู้เชี่ยวชาญจะทำการประเมินเครื่องกวนสารเคมี 15 วัน
- 4.1.3 ผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่านทำการออกแบบสอบถามเพื่อวัดความเที่ยงตรงของระบบการทำงานของเครื่องกวนสารเคมี ประเมินสมรรถนะของเครื่องกวนสารเคมี และประเมินด้านกายภาพทั่วไป ตามลำดับขั้นตอนของเครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูลที่กำหนดไว้
- 4.1.4 ผู้วิจัยรับเครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับงานวิจัยจากผู้เชี่ยวชาญมาตรวจสอบความถูกต้องของการออกแบบสอบถาม รวมแบบสอบถาม 5 ฉบับ เมื่อวันที่ 9 กรกฎาคม 2546 เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

4.2 วิธีวิเคราะห์ข้อมูล โดยนำข้อมูลที่รวบรวมได้มาดำเนินการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติ โดยใช้

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statistical Package for The Social Sciences (SPSS) (ศิริชัย พงษ์วิชัย, 2539 : 406-552) มาคำนวณหาค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

(ชูศรี วงศ์รัตนะ. 2541 : 35) การหาค่าความเชื่อมั่นของเครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูลและการทดสอบสมมติฐานงานวิจัย ใช้สูตรในการคำนวณ ดังนี้

4.3 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

4.3.1 หาค่าเฉลี่ยเลขคณิต

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n}$$

เมื่อ $\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยเลขคณิต
 $\sum X$ = ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด
 n = จำนวนประชากร

4.3.2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$SD = \sqrt{\frac{n\sum X^2 - (\sum X)^2}{n(n-1)}}$$

เมื่อ SD = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 X = ข้อมูลของแต่ละจำนวน
 n = จำนวนประชากร

4.3.3 การหาค่าดัชนีความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของเครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูล โดยวิธีของโรรินลลี และ แฮมเบิลตัน (Rorinelli and Hambleton) (พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2540 : 102,117)

$$\text{สูตร } IOC = \frac{\sum R}{n}$$

เมื่อ IOC หมายถึง ดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับลักษณะพฤติกรรม
 R หมายถึง ผลรวมของคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเนื้อหาทั้งหมด
 n หมายถึง จำนวนผู้เชี่ยวชาญ

4.3.4 การหาค่าความเชื่อมั่น (Reliability) ของเครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูล โดยใช้วิธีของครอนบัค (Cronbach) (พวงรัตน์ ทวีรัตน์.2540 : 125-126) เนื่องจากเครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูลที่สร้างขึ้นเป็นแบบสอบถามและเป็นมาตราส่วนประมาณค่า การหาค่าความเชื่อมั่นโดยหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา (α Coefficient) ใช้สูตรดังนี้

$$\text{สูตร} \quad \alpha = \frac{n}{n-1} \left\{ 1 - \frac{\sum s_i^2}{s_t^2} \right\}$$

เมื่อ α หมายถึง สัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น

n หมายถึง จำนวนข้อ

s_i^2 หมายถึง คะแนนความแปรปรวนแต่ละข้อ

s_t^2 หมายถึง คะแนนความแปรปรวนทั้งฉบับ

4.3.5 ใช้แบบประเมินผล โดยการกำหนดคะแนนและการแปลผลข้อมูลเกี่ยวกับความเหมาะสมของหัวข้อต่าง ๆ ซึ่งได้กำหนดเป็นมาตราส่วนแบบประเมินในแต่ละหัวข้อ (สกล นันทศรีวิวัฒน์. 2543 : 62) ดังนี้

ระดับคะแนน	ความคิดเห็น	เกณฑ์
5	ดีมาก	ผ่าน
4	ดี	ผ่าน
3	พอใช้	ไม่ผ่าน
2	ต้องปรับปรุง	ไม่ผ่าน
1	ใช้ไม่ได้	ไม่ผ่าน

4.3.6 เกณฑ์ในการแปลค่าเฉลี่ยของคะแนนที่ได้จากการคำนวณ สมมติให้การกระจายของคะแนนโดยดัดแปลงจากตารางของ ชูศรี วงศ์รัตน์ (2541 : 75) กำหนดความหมายของคะแนนไว้ตามลำดับ ดังนี้

ค่าเฉลี่ยระหว่าง	ความหมาย
4.51 – 5.00	ดีมาก
3.51 – 4.50	ดี
2.51 – 3.50	พอใช้
1.51 – 2.50	ต้องปรับปรุง
1.00 – 1.50	ใช้ไม่ได้

4.3.7 การทดสอบสมมติฐานงานวิจัย โดยทดสอบค่าที (t-test) แบบ One-tailed test กำหนด
 คำนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $\alpha = .05$ (ชูศรี วงศ์รัตนะ. 2541 : 155. อ้างอิงจาก Weiss. 1995 : 537)

$$\text{สูตร} \quad t = \frac{\bar{X} - \mu_o}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

เมื่อ X หมายถึง ค่าเฉลี่ยของคะแนน
 n หมายถึง จำนวนประชากร
 s หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 μ_o หมายถึง ค่าคงที่

5 การเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 ผู้วิจัยนำเสนอโดยการบรรยายเกี่ยวกับผลการวัดความเที่ยงตรงของระบบการทำงานและผลการประเมิน
 สมรรถนะของเครื่องกวณสารเคมี และผลการประเมินด้านกายภาพทั่วไป โดยจัดทำเป็นตารางแปลความหมายเกี่ยวกับ
 ข้อมูลแต่ละข้อที่ได้จากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ

5.2 ข้อมูลจากการตอบแบบสอบถามแบบปลายเปิดและนำข้อเสนอแนะ ที่แสดงความคิดเห็นโดยอิสระ ของ
 ผู้เชี่ยวชาญ ได้นำมารวบรวมและเรียงลำดับเสนอเป็นข้อ จากข้อที่มีความถี่ของผู้ตอบมากที่สุด ไปถึงน้อยที่สุด
 ตามลำดับ (สุวรรณ ไตรศมี. 2540 : 42) ผู้วิจัยนำเสนอโดยการบรรยาย

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การวิจัยเพื่อพัฒนาเครื่องกวนสารเคมีโดยอาศัยแรงแม่เหล็ก ที่ควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ สำหรับปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนทั้งหมด 12 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาหาปัญหาและรวบรวมข้อมูล ขั้นตอนที่ 2 ระบุปัญหา ขั้นตอนที่ 3 ออกแบบ เขียนแบบโครงสร้างตัวเครื่อง ขั้นตอนที่ 4 กำหนดรายการวัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือ ขั้นตอนที่ 5 ดำเนินการสร้าง ขั้นตอนที่ 6 ทดลองการทำงานของเครื่อง ขั้นตอนที่ 7 ปรับปรุงแก้ไข ขั้นตอนที่ 8 ทดลองการทำงานของเครื่อง ขั้นตอนที่ 9 สร้างเครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูล ขั้นตอนที่ 10 วัดความเที่ยงตรงของระบบการทำงาน ขั้นตอนที่ 11 ประเมินสมรรถนะเครื่องกวนสารเคมีโดยผู้เชี่ยวชาญ ขั้นตอนที่ 12 ประเมินด้านกายภาพทั่วไป เมื่อดำเนินการเสร็จทุกขั้นตอนแล้วผู้วิจัยได้นำข้อมูลในขั้นตอนที่ 10 11 และขั้นตอนที่ 12 จากผู้เชี่ยวชาญมาทำการวิเคราะห์ข้อมูลและนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

1. ผลการวัดความเที่ยงตรงของระบบการทำงาน

จากการวัดความเที่ยงตรงของระบบการทำงานด้านต่าง ๆ ของเครื่องกวนสารเคมีโดยผู้เชี่ยวชาญ ผลการวัดแสดงในตารางผลการวิเคราะห์ ดังนี้

1.1 ความเที่ยงตรงของระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวน

ตาราง 19 ความเที่ยงตรงของระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวน

ความเร็วรอบที่วัด (รอบ/นาที) N=5	$\bar{X}$	SD	ความคลาดเคลื่อน ของค่าที่วัด (ร้อยละ)	แปลความหมายตาม ค่าพิสัยความ คลาดเคลื่อน
30	29.80	0.84	0.66	ความเร็วรอบที่วัดได้ มีความคลาดเคลื่อน อยู่ในช่วงระหว่าง ± 5 รอบ/นาที
80	81.20	1.30	1.40	
200	199.80	1.48	0.10	
500	499.60	2.07	0.08	
800	801.00	1.58	0.12	

จากตาราง 19 สามารถวิเคราะห์ด้านความเที่ยงตรงของระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวน ตามรายละเอียด ดังนี้

ความเร็วรอบที่วัด 30 รอบ/นาที ได้ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 29.80$ มีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 0.66 ความเร็วรอบที่วัด 80 รอบ/นาที ได้ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 81.20$ มีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 1.40 ความเร็วรอบที่วัด 200 รอบ/นาที ได้ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 199.80$ มีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 0.10 ความเร็วรอบที่วัด 500 รอบ/นาที ได้ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 499.60$ มีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 0.08 ความเร็วรอบที่วัด 800 รอบ/นาที ได้ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 801.00$ มีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 0.12

เมื่อทราบค่าเฉลี่ยของแต่ละความเร็วรอบที่ทำการวัด แล้วนำค่าเฉลี่ยเหล่านั้นไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยรวม เพื่อเป็นตัวแทนลักษณะด้านความเที่ยงตรงของระบบควบคุมความเร็วในการกวน จึงสามารถสรุปได้ว่า ความเที่ยงตรงของระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวน อยู่ในพิสัยความคลาดเคลื่อน ± 5 รอบ/นาที ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้

1.2 ความเที่ยงตรงของระบบควบคุมเวลาทำงาน

ตาราง 20 ความเที่ยงตรงของระบบควบคุมเวลาทำงาน

เวลาที่วัด(นาทีก) N=5	$\bar{X}$		SD	ความคลาดเคลื่อน ของค่าที่วัดและทดสอบ (ร้อยละ)	แปลความหมายตาม ค่าพิสัยความ คลาดเคลื่อน
	นาทีก	วินาที			
5	4.922	295.32	0.17	1.56	เวลาที่วัดได้มี ความคลาดเคลื่อน อยู่ในช่วงระหว่าง ± 30 วินาที
10	9.840	590.40	0.21	1.60	
30	29.844	1790.64	0.21	0.52	
60	59.848	3590.88	0.22	0.25	
90	89.866	5391.96	0.32	0.14	

จากตาราง 20 สามารถวิเคราะห์ด้านความเที่ยงตรงของระบบควบคุมเวลา ตามรายละเอียด ดังนี้

เวลาที่วัด 5 นาที ได้ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.922$ มีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 1.56 เวลาที่วัด 10 นาที ได้ค่าเฉลี่ย 9.840 มีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 1.60 เวลาที่วัด 30 นาที ได้ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 29.844$ มีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 0.52 เวลาที่วัด 60 นาที ได้ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 59.848$ มีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 0.25 เวลาที่วัด 90 นาที ได้ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 89.866$ มีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 0.14

เมื่อทราบค่าเฉลี่ยของเวลาที่ทำการวัด แล้วนำค่าเฉลี่ยเหล่านั้นไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยรวม เพื่อเป็นตัวแทนลักษณะด้านความเที่ยงตรงของระบบควบคุมเวลา จึงสามารถสรุปได้ว่า ความเที่ยงตรงของระบบควบคุมเวลา อยู่ในพิสัยความคลาดเคลื่อน ± 30 วินาที ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้

1.3 ความเที่ยงตรงของระบบควบคุมอุณหภูมิ

ตาราง 21 ความเที่ยงตรงของระบบควบคุมอุณหภูมิ

อุณหภูมิที่วัด (องศาเซลเซียส) N=5	$\bar{X}$	SD	ความคลาดเคลื่อน ของค่าที่วัด (ร้อยละ)	แปลความหมายตาม ค่าพิสัยความ คลาดเคลื่อน
40	39.78	1.10	0.55	ระดับความร้อนมี ความคลาดเคลื่อน อยู่ในช่วงระหว่าง ± 3 องศาเซลเซียส
60	60.46	1.44	0.76	
100	100.16	1.94	0.16	
300	300.22	2.18	0.07	
400	400.62	1.80	0.15	

จากตาราง 21 สามารถวิเคราะห์ด้านความเที่ยงตรงของระบบควบคุมอุณหภูมิ ตามรายละเอียด ดังนี้

อุณหภูมิที่วัด 40 องศาเซลเซียส ได้ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 39.78$ มีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 0.55 อุณหภูมิที่วัด 60 องศาเซลเซียส ได้ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 60.46$ มีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 0.76 อุณหภูมิที่วัด 100 องศาเซลเซียส ได้ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 100.16$ มีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 0.16 อุณหภูมิที่วัด 300 มีค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 300.22$ ความคลาดเคลื่อนร้อยละ 0.07 อุณหภูมิที่วัด 400 องศาเซลเซียส ได้ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 400.62$ ความคลาดเคลื่อนร้อยละ 0.15

เมื่อทราบค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่วัด แล้วนำค่าเฉลี่ยเหล่านั้นไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยรวม เพื่อเป็นตัวแทนลักษณะด้านความเที่ยงตรงของระบบควบคุมอุณหภูมิ จึงสามารถสรุปได้ว่า ความเที่ยงตรงของระบบควบคุมอุณหภูมิ อยู่ในพิสัยความคลาดเคลื่อน ± 3 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้

2.ผลการประเมินสมรรถนะเครื่องกวนสารเคมี

จากการประเมินสมรรถนะของเครื่องกวนสารเคมีโดยผู้เชี่ยวชาญ โดยรวมผลการประเมินของทุกๆด้าน แสดงในตารางผลการวิเคราะห์ ดังนี้

ตาราง 22 สมรรถนะของเครื่องกวนสารเคมีของทุกๆ หัวข้อ

สมรรถนะของเครื่องกวนสารเคมี (N=5)	$\bar{X}$	SD	ความหมาย	t-test
ระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวน	4.40	0.51	ดี	1.754
ระบบควบคุมเวลาทำงาน	4.24	0.44	ดี	1.224
ระบบควบคุมอุณหภูมิ	4.28	0.51	ดี	1.161
รวม	4.32	0.50	ดี	1.431

$$t_{0.05, df = 4} = 2.132$$

จากตาราง 22 สามารถวิเคราะห์ผลรวมด้านสมรรถนะของเครื่องกวนสารเคมี ซึ่งนำเสนอเฉพาะด้านที่ดีที่สุดกับด้านที่ด้อย ตามรายละเอียด ดังนี้

ระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวน ผลการประเมิน พบว่า อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.40$ ระบบควบคุมเวลาทำงาน ผลการประเมิน พบว่า อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.24$ ระบบควบคุมอุณหภูมิ ผลการประเมิน พบว่า อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.28$

เมื่อทราบค่าเฉลี่ยสมรรถนะของเครื่องกวนสารเคมีแต่ละหัวข้อทุกๆด้าน แล้วนำค่าเฉลี่ยทั้งหมดไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยรวม เพื่อเป็นตัวแทนสมรรถนะของเครื่องกวนสารเคมี จึงสามารถสรุปได้ว่า สมรรถนะของเครื่องกวนสารเคมี อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.32$ และผลการทดสอบสมมติฐานงานวิจัย พบว่า ด้านสมรรถนะของเครื่องกวนสารเคมี อยู่ในเกณฑ์ ดี ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้

ผลการประเมินสมรรถนะเครื่องกวนสารเคมี แยกเป็นรายด้านต่างๆ ดังนี้

2.1 สมรรถนะของระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวน

ตาราง 23 สมรรถนะของระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวน

ระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวน (N=5)	$\bar{X}$	SD	ความหมาย	t-test
1. ปรับความเร็วรอบในการกวนได้ตามต้องการ	4.80	0.45	ดีมาก	
2. กำหนดช่วงความเร็วรอบมีความเหมาะสม	4.60	0.55	ดีมาก	
3. ลักษณะการกวนมีความสม่ำเสมอ	4.20	0.45	ดี	
4. ใช้อุปกรณ์เสริมประกอบการกวนได้สะดวก	4.40	0.55	ดี	
5. กวนสารเคมีได้เป็นอย่างดีและรวดเร็ว	4.20	0.45	ดี	
รวม	4.40	0.51	ดี	1.754

$$t_{0.05, df = 4} = 2.132$$

จากตาราง 23 สามารถวิเคราะห์สมรรถนะของระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวน ตามรายละเอียด ดังนี้

ปรับความเร็วรอบในการกวนได้ตามต้องการ อยู่ในเกณฑ์ ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.80$ กำหนดช่วงความเร็วรอบมีความเหมาะสม อยู่ในเกณฑ์ ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.60$ ใช้อุปกรณ์เสริมประกอบการกวนได้สะดวก อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.40$ ลักษณะการกวนมีความสม่ำเสมอ อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.20$ กวนสารเคมีได้เป็นอย่างดีและรวดเร็ว อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.20$

เมื่อทราบค่าเฉลี่ยสมรรถนะของระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวน แต่ละหัวข้อ แล้วนำค่าเฉลี่ยทั้งหมดไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยรวม เพื่อเป็นตัวแทนสมรรถนะของระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวน จึงสามารถสรุปได้ว่าสมรรถนะของระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวน อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.40$

2.2 สมรรถนะของระบบควบคุมเวลาทำงาน

ตาราง 24 สมรรถนะของระบบควบคุมเวลาทำงาน

ระบบควบคุมเวลาทำงาน (N=5)	$\bar{X}$	SD	ความหมาย	t-test
1. กำหนดช่วงการตั้งเวลามีความเหมาะสม	4.20	0.45	ดี	
2. การตั้งเวลากระทำได้ง่าย	4.60	0.55	ดีมาก	
3. ค่าพิกัดความคลาดเคลื่อนของเวลามีความเหมาะสม	4.20	0.45	ดี	
4. ติดตั้งระบบสัญญาณเตือน สภาวะการทำงาน	4.00	0.00	ดี	
5. ออกแบบชุดวงจรมีความเหมาะสม	4.20	0.45	ดี	
รวม	<u>4.24</u>	<u>0.44</u>	<u>ดี</u>	<u>1.224</u>

$$t_{0.05, df = 4} = 2.132$$

จากตาราง 24 สามารถวิเคราะห์สมรรถนะระบบควบคุมเวลาทำงาน ตามรายละเอียด ดังนี้

การตั้งเวลากระทำได้ง่าย อยู่ในเกณฑ์ ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.60$ กำหนดช่วงการตั้งเวลามีความเหมาะสม อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.20$ ค่าพิกัดความคลาดเคลื่อนของเวลามีความเหมาะสม อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.20$ ออกแบบชุดวงจรมีความเหมาะสม อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.20$ ติดตั้งระบบสัญญาณเตือน สภาวะการทำงาน อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.00$

เมื่อทราบค่าเฉลี่ยของสมรรถนะระบบควบคุมเวลาทำงานแต่ละหัวข้อ แล้วนำค่าเฉลี่ยทั้งหมดไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยรวม เพื่อเป็นตัวแทนสมรรถนะระบบควบคุมเวลาทำงาน จึงสามารถสรุปได้ว่า สมรรถนะระบบควบคุมเวลาทำงาน อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.24$

2.3 สมรรถนะของระบบควบคุมอุณหภูมิ

ตาราง 25 สมรรถนะของระบบควบคุมอุณหภูมิ

ระบบควบคุมอุณหภูมิ (N=5)	$\bar{X}$	SD	ความหมาย	t-test
1. ระบบการให้ความร้อนมีความเหมาะสมต่อการใช้งาน	4.20	0.45	ดี	
2. การตั้งอุณหภูมิกระทำได้ง่าย	4.80	0.45	ดีมาก	
3. ค่าพิกัดความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิมีความเหมาะสม	4.00	0.00	ดี	
4. ช่วงอุณหภูมิที่ใช้มีความเหมาะสมต่อการใช้งานทดลอง	4.40	0.55	ดี	
5. ปรับระบบให้ความร้อนได้อย่างรวดเร็ว	4.00	0.71	ดี	
รวม	4.28	0.54	ดี	1.161

$$t_{0.05, df = 4} = 2.132$$

จากตาราง 25 สามารถวิเคราะห์สมรรถนะของระบบควบคุมอุณหภูมิ ตามรายละเอียด ดังนี้

การตั้งอุณหภูมิกระทำได้ง่าย อยู่ในเกณฑ์ ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.80$ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้มีความเหมาะสมต่อการใช้งานทดลอง อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.40$ ระบบการให้ความร้อนมีความเหมาะสมต่อการใช้งาน อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.20$ ค่าพิกัดความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิมีความเหมาะสม อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.00$ ปรับระบบให้ความร้อนได้อย่างรวดเร็ว อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.00$

เมื่อทราบค่าเฉลี่ยสมรรถนะของระบบควบคุมอุณหภูมิ แต่ละหัวข้อ แล้วนำค่าเฉลี่ยทั้งหมดไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยรวม เพื่อเป็นตัวแทนสมรรถนะของระบบควบคุมอุณหภูมิ จึงสามารถสรุปได้ว่า สมรรถนะของระบบควบคุมอุณหภูมิ อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.28$

2.4 ข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญด้านการประเมินสมรรถนะ

ข้อเสนอแนะจากการตอบแบบสอบถามแบบปลายเปิด ที่เห็นความคิดเห็นโดยอิสระของผู้เชี่ยวชาญ ในการประเมินสมรรถนะระบบการทำงานด้านต่างๆ ของเครื่องกววนสารเคมี ดังแสดงในตาราง 26 ดังนี้

ตาราง 26 ข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญด้านการประเมินสมรรถนะ

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ	จำนวนผู้ให้ความคิดเห็น และข้อเสนอแนะ
1. ควรปรับปรุงระบบควบคุมอุณหภูมิ เพื่อรักษาระดับอุณหภูมิให้คงที่และเที่ยงตรงมากกว่านี้ และเพิ่มระบบวัดอุณหภูมิที่ของเหลวหรือสารเคมีที่นำมาผสม	1
2. ความร้อนที่แผ่ความร้อนกับอุณหภูมิที่ของเหลวในภาชนะที่ผสม มีความแตกต่างกันมาก ควรปรับปรุงให้ใกล้เคียงกันมากกว่านี้	1
3. ควรมีคำเตือนที่ชุดแผ่นความร้อนเกี่ยวกับสนามแม่เหล็ก เพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น บัตรเครดิต โทรศัพท์มือถือ นาฬิกาเกิดความเสียหาย	1
4. ในขณะที่ให้ความร้อน ควรมีหลอดไฟแสดงสภาวะการทำงานที่แผ่นความร้อน	1
5. เฉพาะผิวด้านบนของตัวเครื่อง ถ้าใช้วัสดุชนิดอื่นแทนการใช้สแตนเลส จะทำให้ลดต้นทุนลงได้	1

3. ผลการประเมินด้านกายภาพทั่วไป

จากการประเมินผลด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกวนสารเคมีโดยผู้เชี่ยวชาญ ผลการประเมินแสดงในตารางผลการวิเคราะห์ ดังนี้

ตาราง 27 ด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกวนสารเคมีของทุกๆ หัวข้อ

ด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกวนสารเคมี (N=5)	$\bar{X}$	SD	ความหมาย	t-test
ด้านโครงสร้างของตัวเครื่อง	4.36	0.50	ดี	1.614
ด้านความเหมาะสมในการใช้งาน	4.12	0.78	ดี	0.344
ด้านการบำรุงรักษา	4.28	0.54	ดี	1.161
รวม	4.25	0.64	ดี	0.889

$$t_{0.05, df = 4} = 2.132$$

จากตาราง 27 สามารถวิเคราะห์ผลรวมด้านกายภาพทั่วไปของตัวเครื่องกวนสารเคมีทุกด้าน ซึ่งนำเสนอเฉพาะด้านที่ดีที่สุดกับด้านที่ด้อย ตามรายละเอียด ดังนี้

ด้านโครงสร้างของตัวเครื่อง ผลการประเมิน พบว่า อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.36$

ด้านความเหมาะสมในการใช้งาน ผลการประเมิน พบว่า อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.12$ ด้านการบำรุงรักษา ผลการประเมิน พบว่า อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.28$

เมื่อทราบค่าเฉลี่ยของด้านกายภาพทั่วไปแต่ละหัวข้อ แล้วนำค่าเฉลี่ยทั้งหมดไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยรวม เพื่อเป็นตัวแทนด้านกายภาพทั่วไปของตัวเครื่องกวนสารเคมี จึงสามารถสรุปได้ว่า ด้านกายภาพทั่วไปของตัวเครื่องกวนสารเคมี อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.25$ และผลการทดสอบสมมติฐานงานวิจัย พบว่า ด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกวนสารเคมี อยู่ในเกณฑ์ ดี ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้

ผลการประเมินด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกววนสารเคมี แยกเป็นรายด้านต่างๆ ดังนี้

3.1 ด้านโครงสร้างของตัวเครื่อง

ตาราง 28 ด้านโครงสร้างของตัวเครื่อง

ด้านโครงสร้างของตัวเครื่อง (N=5)	$\bar{X}$	SD	ความหมาย	t-test
1. มีความปลอดภัยในการใช้งาน	4.00	0.00	ดี	
2. ขนาดกระทัดรัด สวยงาม	4.20	0.45	ดี	
3. โครงสร้างมั่นคง แข็งแรง	4.40	0.94	ดี	
4. วัสดุที่ใช้ป้องกันการกัดกร่อนของสารเคมี	4.40	0.55	ดี	
5. วัสดุป้องกันการเกิดสนิม	4.80	0.45	ดีมาก	
รวม	4.36	0.50	ดี	1.614

$$t_{.05, df = 4} = 2.132$$

จากตาราง 28 สามารถวิเคราะห์ลักษณะด้านโครงสร้างของตัวเครื่อง ของเครื่องกววนสารเคมี ตามรายละเอียด ดังนี้

วัสดุป้องกันการเกิดสนิม อยู่ในเกณฑ์ ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.80$ โครงสร้างมั่นคง แข็งแรงอยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.40$ วัสดุที่ใช้ป้องกันการกัดกร่อนของสารเคมี อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.40$ ขนาดกระทัดรัด สวยงามอยู่ในเกณฑ์ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.20$ มีความปลอดภัยในการใช้งาน อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.00$

เมื่อทราบค่าเฉลี่ยของด้านโครงสร้างตัวเครื่องแต่ละหัวข้อ แล้วนำค่าเฉลี่ยทั้งหมดไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยรวม เพื่อเป็นตัวแทนด้านโครงสร้างของตัวเครื่อง จึงสามารถสรุปได้ว่า ด้านโครงสร้างของตัวเครื่องกววนสารเคมี อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.36$

3.2 ด้านความเหมาะสมในการใช้งาน

ตาราง 29 ด้านความเหมาะสมในการใช้งาน

ด้านความเหมาะสมในการใช้งาน (N=5)	$\bar{X}$	SD	ความหมาย	t-test
1. ความคล่องตัวในการนำไปใช้ในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์	4.20	0.45	ดี	
2. ความคล่องตัวในการนำไปใช้เป็นเครื่องมือและสื่อการสอน	4.00	0.71	ดี	
3. สามารถใช้ปฏิบัติงานมากกว่า 1 ขั้นตอนในเวลาเดียวกัน	4.60	0.55	ดีมาก	
4. เคลื่อนย้ายได้สะดวก	3.40	1.14	พอใช้	
5. ทำการติดตั้งเพื่อใช้งานได้ง่าย	4.40	0.55	ดี	
รวม	4.12	0.78	ดี	0.344

$$t_{0.05, df = 4} = 2.132$$

จากตาราง 29 สามารถวิเคราะห์ด้านความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องกวนสารเคมี ตามรายละเอียด ดังนี้
 ความสามารถปฏิบัติงานมากกว่า 1 ขั้นตอนในเวลาเดียวกันอยู่ในเกณฑ์ ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.60$
 ทำการติดตั้งเพื่อใช้งานได้ง่าย อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.40$ ความคล่องตัวในการนำไปใช้ในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.20$ ความคล่องตัวในการนำไปใช้เป็นเครื่องมือและสื่อการสอน อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.00$ เคลื่อนย้ายได้สะดวก อยู่ในเกณฑ์ พอใช้ คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 3.40$

เมื่อทราบค่าเฉลี่ยของด้านความเหมาะสมในการใช้งานแต่ละหัวข้อ แล้วนำค่าเฉลี่ยทั้งหมดไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยรวม เพื่อเป็นตัวแทนด้านความเหมาะสมในการใช้งาน จึงสามารถสรุปได้ว่า ด้านความเหมาะสมในการใช้งาน อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X}$ ค่าเฉลี่ย = 4.12

3.3 ด้านการบำรุงรักษา

ตาราง 30 ด้านการบำรุงรักษา

ด้านการบำรุงรักษา (N=5)	$\bar{X}$	SD	ความหมาย	t-test
1. วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้หาได้ง่ายและมีจำหน่ายในประเทศ	4.40	0.55	ดี	
2. ถอด-ประกอบชิ้นส่วนเพื่อซ่อมแซมกระทำได้ง่าย	4.40	0.55	ดี	
3. ทำความสะอาดภาชนะที่ใส่สารเคมีได้ง่าย	4.40	0.55	ดี	
4. จัดหาเครื่องมือ อุปกรณ์สำหรับซ่อมแซมได้ง่าย	4.00	0.00	ดี	
5. ใช้พื้นที่ในการจัดเก็บน้อย	4.20	0.84	ดี	
รวม	4.28	0.54	ดี	1.161

$$t_{0.05, df = 4} = 2.132$$

จากตาราง 30 สามารถวิเคราะห์ด้านการบำรุงรักษาตามรายละเอียด ดังนี้

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้หาได้ง่ายและมีจำหน่ายในประเทศ อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.40$ ถอด-ประกอบชิ้นส่วนเพื่อซ่อมแซมกระทำได้ง่าย อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.40$ ทำความสะอาดภาชนะที่ใส่สารเคมีได้ง่าย อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.40$ ใช้พื้นที่ในการจัดเก็บน้อย อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.20$ จัดหาเครื่องมือ อุปกรณ์สำหรับซ่อมแซมได้ง่าย อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.00$

เมื่อทราบค่าเฉลี่ยของด้านด้านการบำรุงรักษาแต่ละหัวข้อ แล้วนำค่าเฉลี่ยทั้งหมดไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยรวมเพื่อเป็นตัวแทนด้านการบำรุงรักษา จึงสามารถสรุปได้ว่า ด้านการบำรุงรักษา อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.28$

3.4 ข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญในการประเมินลักษณะด้านกายภาพทั่วไป

ข้อเสนอแนะจากการตอบแบบสอบถามแบบปลายเปิดที่เป็นความคิดเห็นโดยอิสระ ของผู้เชี่ยวชาญ ในการประเมินด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกววนสารเคมี ดังแสดงในตาราง 31

ตาราง 31 ข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญในการประเมินด้านกายภาพทั่วไป

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ	จำนวนผู้ให้ความคิดเห็น และข้อเสนอแนะ
1. จุดที่ต้องปรับปรุง คือ ที่แผ่นความร้อนมีควรมีค่าเตือนหรือตะแกรงป้องกันมือของผู้ปฏิบัติงานสัมผัสแผ่นความร้อนในขณะทำงาน	2
2. ควรมีคู่มือซ่อมบำรุงรักษาเครื่องและชุดวงจรควบคุมระบบการทำงาน อย่างละเอียด	2
3. ควรเพิ่มความหนาแผ่นสแตนเลสของกล่องครอบชุดความร้อนเพื่อป้องกันการบิดตัว ควรเพิ่มขนาดเกลียวส่งกำลังของชุดเสาดึงเพื่อป้องกันการสั่นไหวขณะมือจับเคลื่อนที่ขึ้น-ลง และเพิ่มขนาดความกว้างของแป้นยึดเสาดึงเพื่อความแข็งแรง	1
4. มีข้อจำกัดเรื่องความหนักของของที่ใช้กววน ควรเพิ่มแรงของแม่เหล็กให้สามารถกววนสารที่มีความหนืดมากกว่านี้	1
5. ชุดเสาดึงทั้ง 2 ชุด ควรทำให้เป็นแบบปรับอิสระด้วยมือ เพราะชุดเสาดึงที่ปรับระดับมือจับอุปกรณ์ขึ้น-ลง แบบกึ่งอัตโนมัติมีโอกาสใช้น้อยกว่าการปรับด้วยมือ	1
6. ควรมีหูจับด้านข้างที่ตัวเครื่องสำหรับจับยก หรือสร้างโต๊ะแบบมีล้อเลื่อนเพื่อการเคลื่อนย้าย	1
7. โครงสร้างเครื่องมีขนาดใหญ่เหมาะสำหรับประจำห้องปฏิบัติการ แต่ไม่เหมาะสำหรับการเคลื่อนย้ายในห้องเรียนหรือนอกสถานที่	1
8. ผิวงานของชิ้นส่วนภายนอกตัวเครื่อง ควรมีค่าเตือน เพื่อป้องกันความเสียหายเมื่อถูกกับสารเคมีหรือความร้อนเพื่อยืดอายุการใช้งาน	1
9. ในกรณีไม่ได้ใช้งานควรมีผ้าปกคลุมตัวเครื่องเพื่อป้องกันฝุ่นละออง	1

4. ผลการวิเคราะห์ตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

สมมติฐานที่ตั้งไว้สำหรับงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาเครื่องกวนสารเคมีด้วยแรงแม่เหล็ก สำหรับปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ ผลการทดสอบตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ 3 ข้อ ดังนี้

1.ผลการวัดความเที่ยงตรงของระบบการทำงานทั้ง 3 ระบบ พบว่า อยู่ในพิกัดความคลาดเคลื่อนตามเกณฑ์ที่กำหนด คือ ระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวน มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง ± 5 รอบ/นาที โดยรวมค่าความคลาดเคลื่อนของความเร็วรอบในการกวนคิดเป็นร้อยละ 0.47 ระบบควบคุมเวลาทำงาน มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง ± 30 วินาที โดยรวมค่าความคลาดเคลื่อนของเวลาคิดเป็นร้อยละ 0.80 และระบบควบคุมอุณหภูมิ มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง ± 3 องศาเซลเซียส โดยรวมค่าความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิคิดเป็นร้อยละ 0.34 ซึ่งความเที่ยงตรงของระบบการทำงานทั้ง 3 ระบบ สอดคล้องตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

2.ผลการประเมินสมรรถนะของเครื่องกวนเคมีโดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่า มีสมรรถนะ อยู่ในเกณฑ์ ดี ซึ่งสอดคล้องตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

3.ผลการประเมินด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกวนสารเคมีโดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่า อยู่ในเกณฑ์ ดี ซึ่งสอดคล้องตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาเครื่องกวนสารเคมีด้วยแรงแม่เหล็ก สำหรับปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ ได้ใช้รูปแบบการวิจัยเชิงทดลอง สรุปผลการวิจัยมีรายละเอียด ดังนี้

จุดมุ่งหมายของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตั้งความมุ่งหมายไว้ ดังนี้

1. เพื่อวัดความเที่ยงตรงของระบบการทำงานของเครื่องกวนสารเคมี
2. เพื่อประเมินสมรรถนะของเครื่องกวนสารเคมี
3. เพื่อประเมินด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกวนสารเคมี

ความสำคัญของการวิจัย

ได้เครื่องกวนสารเคมีด้วยแรงแม่เหล็กที่มีระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวน ระบบควบคุมเวลาทำงานและระบบควบคุมอุณหภูมิอยู่ในเครื่องเดียวกัน สามารถนำไปใช้สำหรับกระบวนการทดลองในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีความปลอดภัย

สมมติฐานการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตั้งจุดมุ่งหมายไว้ ดังนี้

1. ความเที่ยงตรงของระบบการทำงานของเครื่องกวนสารเคมี อยู่ในพิสัยความคลาดเคลื่อนตามเกณฑ์ที่กำหนด
2. ด้านสมรรถนะของเครื่องกวนสารเคมี อยู่ในเกณฑ์ ดี
3. ด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกวนสารเคมี อยู่ในเกณฑ์ ดี

การดำเนินการวิจัย

1.ศึกษาปัญหาและรวบรวมข้อมูล ศึกษาข้อมูลจากหนังสือ เครื่องมือ อุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทดลองทางวิทยาศาสตร์ ศึกษาปัญหาต่างๆ ในกระบวนการเรียนการสอน เช่น การใช้เครื่องกวนสารเคมี อุปกรณ์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการใช้สารเคมี ศึกษาทฤษฎี หลักการทำงานของเครื่อง และส่วนประกอบต่างๆ ที่จะนำมาดำเนินการสร้าง เช่น ทฤษฎีมอเตอร์ไฟฟ้า สารแม่เหล็ก วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้าง ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และสารเคมี ศึกษากระบวนการควบคุมการทำงานของเครื่องกวนสารเคมี ประกอบด้วย ชุดอิเล็กทรอนิกส์สำหรับควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ ชุดควบคุมเวลาและวิธีการควบคุมอุณหภูมิ

2.รับรู้ปัญหา ผลจากการศึกษารายละเอียดและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับปัญหาที่เกิดจากการปฏิบัติงานในห้องเรียนและในห้องปฏิบัติการทดลองต่างๆพบว่า เครื่องกวนสารเคมีที่ระบบเดิมยังขาดคุณสมบัติบางประการเช่น ไม่มีระบบควบคุมเวลา ระบบควบคุมอุณหภูมิยังเป็นแบบปรับด้วยมือโดยอาศัยความชำนาญของผู้ใช้เป็นหลัก ส่วนระบบการกวนที่กำหนดความเร็วรอบในการกวนนั้นเครื่องกวนสารเคมีส่วนใหญ่จะใช้วิธีปรับความเร็วรอบจากต่ำสุดไปถึงสูงสุดเท่านั้นและจากการประเมินราคาการนำเข้าเครื่องจากต่างประเทศ พบว่า มีราคาที่สูงกว่าเครื่องที่พัฒนาขึ้นใหม่

3.ออกแบบและเขียนแบบโครงสร้างตัวเครื่อง ผู้วิจัยได้ศึกษาปัญหา รวบรวมข้อมูลและรับรู้ปัญหาต่างๆเกี่ยวกับเครื่องกวนสารเคมี จึงได้แนวคิดและหลักการเพื่อนำมาพัฒนา ตามขั้นตอน ดังนี้

3.1 ออกแบบโครงสร้าง เขียนแบบชิ้นส่วนต่างๆ และของเครื่องกวนสารเคมี ผู้วิจัยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

3.2 ส่งแบบให้อาจารย์ที่ควบคุมปริญญาโทตรวจสอบและนำมาปรับปรุงแก้ไขแบบต่างๆ

3.3 ออกแบบชุดควบคุมด้วยชุดอิเล็กทรอนิกส์ ประกอบด้วย ชุดอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมความเร็วรอบในการกวน ชุดอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมเวลา ชุดอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมอุณหภูมิ และ ส่งแบบให้อาจารย์ที่ควบคุมปริญญาโทตรวจสอบแล้วนำมาปรับปรุงแก้ไขแบบต่างๆ

4.การดำเนินการสร้าง การดำเนินการสร้างเครื่องกวนสารเคมี มีขั้นตอนดังนี้ คือผลิตชิ้นส่วนของเครื่องตามแบบที่กำหนด และประกอบอุปกรณ์ต่างๆ เข้ากับตัวเครื่อง ส่วนประกอบหลักๆ ประกอบด้วย ชุดแผ่นความร้อน ชุดอิเล็กทรอนิกส์สำหรับควบคุมระบบการทำงาน จนถึงขั้นตอนตรวจสอบความเรียบร้อย จัดทำเอกสารการวิจัยและทำคู่มือการใช้งาน

5.ทดลองการทำงานของเครื่อง ผู้วิจัยทำการทดสอบการทำงานทุกๆ ระบบของเครื่องกวนสารเคมีที่สร้างขึ้น ในเบื้องต้นก่อนนำเสนอผู้เชี่ยวชาญและอาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบ พร้อมข้อเสนอแนะ ตามขั้นตอน ดังนี้

5.1 ตรวจสอบและทดลองการทำงานของเครื่อง เช่น ระบบการกวน สังเกตดูลักษณะการกวน การหมุนของแม่เหล็กตัวตาม การปรับระดับความเร็วรอบในการกวน

5.2 ตรวจสอบและทดลองการทำงานของระบบควบคุมเวลา ทดสอบโดยการตั้งเวลาให้เครื่องปิดการทำงานอัตโนมัติ

5.3 ตรวจสอบและทดลองการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิ โดยวิธีการเพิ่มอุณหภูมิให้สูง แล้วค่อยๆ ปรับลดอุณหภูมิให้ต่ำลง ทำเช่นนั้นสลับกัน เพื่อเป็นการทดสอบความถูกต้อง สมบูรณ์ของระบบควบคุมอุณหภูมิ

5.4 ตรวจสอบขนาดโครงสร้างและความเรียบร้อยของส่วนประกอบภายในและภายนอกตัวเครื่อง

5.5 ทดลองการทำงานทุกระบบ

6.ปรับปรุงแก้ไข เมื่อทำการทดลองการทำงานได้พบปัญหาและข้อบกพร่องเช่น เกิดการสันสะท้อนของตัวเครื่อง มีเสียงดังเนื่องจากการหมุนด้วยความเร็วรอบสูง เกิดเสียงดังที่ชุดเฟืองทด การให้ความร้อนของชุดแผ่นความร้อนใช้เวลานาน การหมุนตัวของแม่เหล็กตัวตามไม่ต่อเนื่องทำให้เกิดการกระเด็นของสารเคมี ผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องแล้วทำการประเมินระบบต่างๆ อีกครั้ง จนเครื่องกวนสารเคมีเสร็จสมบูรณ์ตามแบบที่กำหนด

7.กำหนดระยะเวลาและสถานที่ สถานที่ที่ใช้ในการออกแบบ เขียนแบบ และดำเนินการสร้างเครื่องกวนสารเคมี คือสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ถนน สุขุมวิท คลองเตย กรุงเทพมหานคร ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ 8 สัปดาห์ เริ่มดำเนินการ วันที่ 19 เมษายน 2546 สิ้นสุดการดำเนินการ วันที่

19 มิถุนายน 2546

8.สร้างเครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูล การสร้างเครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูล ประกอบด้วย แบบวัดความเที่ยงตรงของระบบการทำงาน ทั้ง 3 ระบบ จำนวน 15 ข้อ และแบบประเมินสมรรถนะเครื่องกวนสารเคมี ทั้ง 3 ด้าน จำนวน 15 ข้อ และแบบประเมินด้านกายภาพทั่วไป จำนวน 15 ข้อ ขั้นตอนการสร้าง ดังแสดงในภาพประกอบ 48

9. ตรวจสอบและประเมินผล การวัดความเที่ยงตรงของระบบการทำงาน การประเมินสมรรถนะเครื่องกวนสารเคมี การประเมินผลด้านกายภาพทั่วไป โดยผู้เชี่ยวชาญที่ได้รับการแต่งตั้งจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร จำนวน 5 ท่าน ใช้เครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูลที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ประเมินผลเครื่องกวนสารเคมี ตามจุดมุ่งหมายที่กำหนดไว้ ขั้นตอนดำเนินการ ดังภาพประกอบ 47

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลจากแบบสอบถามที่รวบรวมได้จากผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน มาดำเนินการวิเคราะห์ผลการวัดความเที่ยงตรงของระบบการทำงานของเครื่องกวนสารเคมี วิเคราะห์ผลการประเมินสมรรถนะของเครื่องกวนสารเคมีและ วิเคราะห์ด้านกายภาพทั่วไป ด้วยวิธีการทางสถิติ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านต่าง ๆ มีดังนี้

นำผลการประเมินด้านความเที่ยงตรงของระบบควบคุมการทำงาน จากการตอบแบบสอบถามของผู้เชี่ยวชาญ มาคำนวณหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าร้อยละ นำผลจากการประเมินด้านสมรรถนะและด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกวนสารเคมี มาคำนวณหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน แล้วนำผลที่ได้ทั้งหมดไปวิเคราะห์ เปรียบเทียบกับเกณฑ์ค่าพิสัยความคลาดเคลื่อนที่ตั้งไว้

สรุปผลการวิจัย

การวิเคราะห์ข้อมูล จากการพัฒนาเครื่องกวนสารเคมีด้วยแรงแม่เหล็ก สำหรับปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ เป็นไปตามขอบเขตและจุดมุ่งหมายของการวิจัยซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1.ได้เครื่องกวนสารเคมีด้วยแรงแม่เหล็ก จำนวน 1 เครื่อง ชนิดของเครื่องกวนสารเคมีเป็นแบบตั้งโต๊ะ ตัวเครื่องทำจากแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม หนา 1 มม. ขนาดโครงสร้างตัวเครื่อง 500 × 500 × 200 มม. กวนสารเคมีได้สูงสุด 4000 ซีซี. มีรายละเอียดดังนี้

1.1 ชุดอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมความเร็วรอบในการกวน สามารถปรับความเร็วรอบในการกวนสารเคมี ตั้งแต่ 30 - 800 รอบ/นาที ระบบตั้งเวลาปิดการทำงานอัตโนมัติ สามารถตั้งเวลาการทำงานได้ตั้งแต่ 1-90 นาที และระบบควบคุมอุณหภูมิ สามารถปรับความร้อนที่ชุดแผ่นให้ความร้อนแต่ละชุด ตั้งแต่อุณหภูมิห้อง-400 องศาเซลเซียส ซึ่งชุดแผ่นความร้อนแต่ละชุด แยกระบบการกวน ระบบการตั้งเวลาและระบบควบคุมอุณหภูมิเป็นอิสระจากกัน และสามารถตั้งให้ทั้ง 3 ระบบทำงานพร้อมกันได้

1.2 ชุดแผ่นความร้อน (Hot Plate) สำหรับวางภาชนะกวนสารเคมี ใช้อะลูมิเนียมและเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) ขนาด 200×200×30 มม. จำนวน 2 ชุด แต่ละชุดรองรับภาชนะใส่สารเคมีได้ทั้งหมด 3 ขนาดคือ ขนาด 200-400 ซีซี. ขนาด 500-1000 ซีซี. และขนาด 1000-2000 ซีซี. โดยแผ่นความร้อนแต่ละชุดรองรับภาชนะใส่สารเคมีดังกล่าวได้ ครั้งละ 1 ขนาดต่อการใช้งานแต่ละครั้ง

1.3 ชุดเสาตั้งเอนกประสงค์ จำนวน 2 ชุด ใช้เหล็กกล้าไร้สนิมขนาด $\varnothing$ 15 มม. ยาว 500 มม. มีชุดข้อต่อและมือจับอุปกรณ์ สามารถเลื่อนขึ้นหรือเลื่อนลงได้แบบกึ่งอัตโนมัติ และแบบปรับด้วยมือ สำหรับจับหลอดแก้ว เทอร์โมมิเตอร์ หรือหัววัดค่าความเข้มข้นของสารเคมีต่าง ๆ

2.คู่มือการใช้เครื่องกวณसारเคมี คู่มือการใช้เครื่องกวณसारเคมี ประกอบด้วย ส่วนประกอบหลักของเครื่องกวณसारเคมี การใช้งานเครื่องกวณसारเคมี การจัดเก็บและบำรุงรักษาเครื่องกวณसारเคมี คุณลักษณะทางเทคนิค และข้อควรระวังเกี่ยวกับการใช้เครื่องกวณसारเคมี ซึ่งตรวจสอบคุณภาพคู่มือการใช้เครื่อง โดยผู้เชี่ยวชาญ

3.ตัวแปรที่ศึกษา การวิจัยเชิงทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปรที่จะศึกษา คือ ด้านความเที่ยงตรงของระบบการทำงานของเครื่องกวณसारเคมีจำนวน 3 ระบบ ด้านสมรรถนะของเครื่องกวณसारเคมีจำนวน 3 ด้าน และด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกวณसारเคมีจำนวน 3 ด้าน ผลการประเมินด้านต่างๆมีรายละเอียด ดังนี้

3.1 ผลการวัดความเที่ยงตรงของระบบการทำงาน

3.1.1 ความเที่ยงตรงของระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวณ พบว่า ตั้งความเร็วรอบในการกวณที่ 30 รอบ/นาทิจากการทดสอบ ได้ค่าเฉลี่ย 29.80 รอบ/นาทิจ มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 0.66 ตั้งความเร็วรอบในการกวณที่ 80 รอบ/นาทิจากการทดสอบ ได้ค่าเฉลี่ย 81.20 รอบ/นาทิจ มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 1.40 ตั้งความเร็วรอบในการกวณที่ 200 รอบ/นาทิจากการทดสอบ ได้ค่าเฉลี่ย 199.80 รอบ/นาทิจ มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 0.10 ตั้งความเร็วรอบในการกวณที่ 500 รอบ/นาทิจากการทดสอบ ได้ค่าเฉลี่ย 499.60 รอบ/นาทิจ มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 0.08 ตั้งความเร็วรอบในการกวณที่ 800 รอบ/นาทิจากการทดสอบ ได้ค่าเฉลี่ย 801.00 รอบ/นาทิจ มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 0.12 สรุปได้ว่าความเร็วรอบในการกวณ มีค่าความพิกัดคลาดเคลื่อน อยู่ในเกณฑ์ ± 5 รอบ/นาทิจ ผ่านเกณฑ์และสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้

3.1.2 ความเที่ยงตรงของระบบควบคุมเวลาทำงาน พบว่าเมื่อดังเวลาให้เครื่องทำงานที่ 5 นาทีจากการทดสอบได้ค่าเฉลี่ย 4.922 นาที มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 1.56 เมื่อดังเวลาให้เครื่องทำงานที่ 10 นาทีจากการทดสอบ ได้ค่าเฉลี่ย 9.840 นาที มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 1.60 เมื่อดังเวลาให้เครื่องทำงานที่ 30 นาทีจากการทดสอบ ได้ค่าเฉลี่ย 29.844 นาที มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 0.52 เมื่อดังเวลาให้เครื่องทำงานที่ 60 นาทีจากการทดสอบ ได้ค่าเฉลี่ย 59.848 นาที มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 0.25 เมื่อดังเวลาให้เครื่องทำงานที่ 90 นาทีจากการทดสอบ ได้ค่าเฉลี่ย 89.866 นาที มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 0.14 สรุปได้ว่า ความเที่ยงตรงของระบบควบคุมเวลา มีค่าพิกัดความคลาดเคลื่อน อยู่ในเกณฑ์ ± 30 วินาที ผ่านเกณฑ์และสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้

3.1.3 ความเที่ยงตรงของระบบควบคุมอุณหภูมิ พบว่า ตั้งอุณหภูมิความร้อนที่ 40 องศาเซลเซียสจากการทดสอบ ได้ค่าเฉลี่ย 39.78 องศาเซลเซียส มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 0.55 อุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส จากการทดสอบ ได้ค่าเฉลี่ย 60.46 องศาเซลเซียส มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 0.76 อุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส จากการทดสอบ ได้ค่าเฉลี่ย 100.16 องศาเซลเซียส มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 0.16 อุณหภูมิที่ 300 องศาเซลเซียส จากการทดสอบ ได้ค่าเฉลี่ย 300.22 องศาเซลเซียส มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 0.07 อุณหภูมิที่ 400 องศาเซลเซียส จากการทดสอบ ได้ค่าเฉลี่ย 400.62 องศาเซลเซียส มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ 0.15 สรุปได้ว่า ความเที่ยงตรงของระบบควบคุมอุณหภูมิ มีค่าความคลาดเคลื่อน อยู่ในเกณฑ์ ± 3 องศาเซลเซียส ผ่านเกณฑ์และสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้

3.2 ผลการประเมินสมรรถนะของเครื่องกวณसारเคมี

ผลการวิเคราะห์โดยรวมด้านสมรรถนะของเครื่องกวณसारเคมี ซึ่งนำเสนอเฉพาะด้านที่ดีที่สุดกับด้านที่ด้อย ตามรายละเอียดดังนี้ ปรับความเร็วในการกวณได้ตามต้องการ ผลการประเมินพบว่า อยู่ในเกณฑ์ ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.80$ การตั้งอุณหภูมิกระทำได้ง่าย ผลการ ประเมินพบว่า อยู่ในเกณฑ์ ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.80$

กำหนดช่วงความเร็วรอบมีความเหมาะสม ผลการประเมินพบว่า อยู่ในเกณฑ์ ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.60$ การตั้งเวลากระทำได้ง่าย ผลการประเมินพบว่า อยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.60$ ส่วนด้าน ติดตั้งระบบสัญญาณเตือน สภาวะการทำงาน ค่าพิสัยความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิมีความเหมาะสมและปรับระบบให้ความร้อนได้อย่างรวดเร็ว ผลการประเมินพบว่า อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.00$ เมื่อประเมินค่าเฉลี่ยสมรรถนะของเครื่องกวนสารเคมีแต่ละด้านในทุกๆข้อแล้ว นำค่าเฉลี่ยทั้งหมดไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยรวม พบว่า สมรรถนะของเครื่องกวนสารเคมี อยู่ในเกณฑ์ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.32$ ผลการประเมินสมรรถนะเครื่องกวนสารเคมี แยกเป็นรายด้านต่างๆ ดังนี้

3.2.1 สมรรถนะของระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวน พบว่า ปรับความเร็วในการกวนได้ตามต้องการ อยู่ในเกณฑ์ ดีมาก กำหนดช่วงความเร็วรอบมีความเหมาะสม อยู่ในเกณฑ์ ดีมาก ใช้อุปกรณ์เสริมประกอบ การกวนได้สะดวก อยู่ในเกณฑ์ ดี ลักษณะการกวนมีความสม่ำเสมอ อยู่ในเกณฑ์ ดี กวนสารเคมีได้เป็นอย่างดีและรวดเร็ว อยู่ในเกณฑ์ ดี เมื่อนำค่าเฉลี่ยทั้งหมดไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยรวม สามารถสรุปได้ว่า สมรรถนะของระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวน อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.40$ ผ่านเกณฑ์และสอดคล้องกับสมมติฐานที่ได้ตั้งไว้

3.2.2 สมรรถนะของระบบควบคุมเวลาทำงาน พบว่า การตั้งเวลากระทำได้ง่าย อยู่ในเกณฑ์ ดีมาก กำหนดช่วงการตั้งเวลามีความเหมาะสม อยู่ในเกณฑ์ ดี ค่าพิสัยความคลาดเคลื่อนของเวลามีความเหมาะสม อยู่ในเกณฑ์ ดี ออกแบบชุดวงจรมีความเหมาะสม อยู่ในเกณฑ์ ดี ติดตั้งระบบสัญญาณเตือน สภาวะการทำงาน อยู่ในเกณฑ์ ดี เมื่อนำค่าเฉลี่ยทั้งหมดไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยรวม สามารถสรุปได้ว่า สมรรถนะระบบควบคุมเวลาทำงาน อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.24$ ผ่านเกณฑ์และสอดคล้องกับสมมติฐานที่ได้ตั้งไว้

3.2.3 สมรรถนะของระบบควบคุมอุณหภูมิ พบว่า การตั้งอุณหภูมิกระทำได้ง่าย อยู่ในเกณฑ์ ดีมาก ช่วงอุณหภูมิที่ใช้มีความเหมาะสมต่อการใช้งานทดลอง อยู่ในเกณฑ์ ดี ระบบการให้ความร้อนมีความเหมาะสมต่อการใช้งาน อยู่ในเกณฑ์ ดี ค่าพิสัยความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิมีความเหมาะสม อยู่ในเกณฑ์ ดี ปรับระบบให้ความร้อนได้อย่างรวดเร็ว อยู่ในเกณฑ์ ดี เมื่อนำค่าเฉลี่ยทั้งหมดไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยรวมสามารถสรุปได้ว่า สมรรถนะของระบบควบคุมอุณหภูมิ อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.28$ ผ่านเกณฑ์และสอดคล้องกับสมมติฐานที่ได้ตั้งไว้

3.3 ผลการประเมินด้านกายภาพทั่วไป

ผลการวิเคราะห์โดยรวมด้านกายภาพทั่วไปของตัวเครื่องกวนสารเคมีทุกๆด้าน ซึ่งนำเสนอเฉพาะด้านที่ดีที่สุดกับด้านที่ด้อย ตามรายละเอียด ดังนี้ วัสดุป้องกันการเกิดสนิม ผลการประเมินพบว่า อยู่ในเกณฑ์ ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.80$ สามารถใช้ปฏิบัติงานมากกว่า 1 ขั้นตอนในเวลาเดียวกัน ผลการประเมินพบว่า อยู่ในเกณฑ์ ดีมาก คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.60$ ตามลำดับ ส่วนด้าน เคลื่อนย้ายได้สะดวก ผลการประเมินพบว่า อยู่ในเกณฑ์ พอใช้ คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 3.40$ เมื่อทราบค่าเฉลี่ยของด้านกายภาพทั่วไปแต่ละหัวข้อ แล้วนำค่าเฉลี่ยทั้งหมดไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยรวม เพื่อเป็นตัวแทนด้านกายภาพทั่วไปของตัวเครื่องกวนสารเคมี สามารถสรุปได้ว่า ด้านกายภาพทั่วไปของตัวเครื่องกวนสารเคมี อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.42$ ผลการประเมินด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกวนสารเคมี แยกเป็นรายด้านต่างๆ ดังนี้

3.3.1 ด้านโครงสร้างของเครื่อง พบว่า การเลือกใช้วัสดุป้องกันการเกิดสนิมอยู่ในเกณฑ์ ดีมาก ผลการวิเคราะห์โครงสร้างมั่นคง แข็งแรง อยู่ในเกณฑ์ ดี ผลการวิเคราะห์วัสดุที่ใช้ป้องกันการกัดกร่อนของสารเคมี อยู่ในเกณฑ์ ดี ผลการวิเคราะห์ขนาดกระทัดรัด สวยงาม อยู่ในเกณฑ์ ดี และผลการวิเคราะห์ด้านความปลอดภัยในการใช้งาน อยู่ในเกณฑ์ ดี เมื่อนำค่าเฉลี่ยทั้งหมดไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยรวม สามารถสรุปได้ว่า ผลการประเมินลักษณะด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกวนสารเคมี อยู่ในระดับ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.36$ ผ่านเกณฑ์และสอดคล้องกับสมมติฐานที่ได้ตั้งไว้

3.3.2 ด้านความเหมาะสมในการใช้งาน พบว่า ความสามารถใช้อย่างปฏิบัติงานมากกว่า 1 ขั้นตอนในเวลาเดียวกันอยู่ในเกณฑ์ ดีมาก ทำการติดตั้งเพื่อใช้งานได้ง่าย อยู่ในเกณฑ์ ดี ความคล่องตัวในการนำไปใช้ในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ อยู่ในเกณฑ์ ดี ความคล่องตัวในการนำไปใช้เป็นเครื่องมือและสื่อการสอน อยู่ในเกณฑ์ ดี เคลื่อนย้ายได้สะดวก อยู่ในเกณฑ์ พอใช้ เมื่อนำค่าเฉลี่ยทั้งหมดไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยรวม สามารถสรุปได้ว่า ผลการประเมินด้านความเหมาะสมในการใช้งาน อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.12$ ผ่านเกณฑ์และสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้

3.3.3 ด้านการบำรุงรักษา พบว่า วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้หาได้ง่ายและมีจำหน่ายในประเทศ อยู่ในเกณฑ์ ดี การถอด-ประกอบชิ้นส่วนเพื่อซ่อมแซมกระทำได้สะดวก อยู่ในเกณฑ์ ดี ทำความสะอาดภาชนะที่ใช้สารเคมีได้ง่าย อยู่ในเกณฑ์ ดี ใช้พื้นที่ในการจัดเก็บน้อย อยู่ในเกณฑ์ ดี จัดหาเครื่องมือ อุปกรณ์สำหรับซ่อมแซมได้สะดวก อยู่ในเกณฑ์ ดี เมื่อนำค่าเฉลี่ยทั้งหมดไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยรวม สามารถสรุปได้ว่า ผลการประเมินด้านการบำรุงรักษา อยู่ในเกณฑ์ ดี คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.28$ ผ่านเกณฑ์และสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้

อภิปรายผล

การพัฒนาระบบควบคุมการทำงานของอุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆจากระบบแมลงนวลมาเป็นแบบอัตโนมัติ เป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่เป็นที่นิยมกันอย่างกว้างขวางจากเดิมที่มีการใช้กันเฉพาะ ในภาคการผลิต คือ โรงงานอุตสาหกรรมเท่านั้น แต่ปัจจุบันเทคโนโลยีดังกล่าวได้ขยายเข้าสู่สำนักงาน หรือบ้านพักอาศัย ตลอดจนอุปกรณ์ที่ใช้ภายนอกอาคารสถานที่ (สมเกียรติ กาญจนพงศ์กุล.2546 : 109) ในภาคอุตสาหกรรมก็เช่นเดียวกัน ในระบบการผลิตอาจจะต้องประสบปัญหาด้านประสิทธิภาพที่ต่ำ เนื่องจากใช้เทคโนโลยีและเครื่องจักรที่ล้าสมัย ทำให้ผู้ประกอบการไม่สามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพเท่าที่ควร ฉะนั้น เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันสินค้าในตลาดโลกให้ได้ดียิ่งขึ้นเพื่อประโยชน์ต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศให้ก้าวทันกระแสการเปลี่ยนแปลงของเศรษฐกิจโลก จำเป็นต้องมีการปรับปรุง พัฒนาเครื่องมือ อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องให้มีความทันสมัย ใช้เทคโนโลยีให้เกิดประโยชน์และคุ้มค่ามากที่สุด แต่จะต้องไม่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม (กระทรวงอุตสาหกรรม.2545 : 47) รวมไปถึงเครื่องมือ อุปกรณ์ที่ใช้ในห้องเรียน สื่อการเรียนการสอน หรือ เครื่องมือที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์บางอย่างก็ได้นำระบบควบคุมการทำงานด้วยชุดวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบอัตโนมัติเข้ามาใช้ ด้วยเหตุผลข้างต้นผู้วิจัยจึงได้คิดค้นและพัฒนาเครื่องกวนสารเคมีด้วยแรงแม่เหล็ก สำหรับปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ การพัฒนาเครื่องกวนสารเคมีครั้งนี้ ได้เน้นถึงการเลือกวัสดุ อุปกรณ์ ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่มีจำหน่ายภายในประเทศ การใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม การกำหนดคุณสมบัติต่างๆของเครื่องสอดคล้องกับความต้องการใช้งานในทดลอง ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ทั่วไป ผลจากการพัฒนาเครื่องกวนสารเคมี เมื่อวิเคราะห์ผลตามจุดมุ่งหมายและกรอบแนวคิดของการวิจัย ผู้วิจัยได้นำเสนออภิปรายผลเฉพาะจุดเด่นและจุดด้อยของแต่ละด้าน ที่ผู้เชี่ยวชาญประเมิน มีรายละเอียด ดังนี้

1. ผลการวัดความเที่ยงตรงของระบบการทำงาน

1.1 ระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวน โดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่า การวัด ที่ความเร็วรอบต่างๆตั้งแต่ 30 รอบ/นาที ถึง 800 รอบ/นาที แต่ละความเร็วรอบที่ทำการวัดมีความสม่ำเสมอในช่วงของเหลวที่มีค่าความหนืดไม่เกิน 160 เซนติพอยส์ ณ อุณหภูมิห้อง แต่ทำให้ความร้อนในช่วงของเหลว ความเร็วรอบที่ทำงานวัดและทดสอบมีความสม่ำเสมอดีมาก จากการวัดความเร็วรอบในการกวนโดยวัดได้ค่าสูงสุดและต่ำสุดน้อยกว่า 5 รอบ/นาที ซึ่งความเร็วรอบเฉลี่ยอยู่ภายในเกณฑ์ที่กำหนด เนื่องจากระบบควบคุมการกวนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่อาศัยการเพิ่ม หรือ

การลดหรือเพิ่มแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดอิเล็กทรอนิกส์ให้มีแรงดันมากหรือแรงดันน้อย เพื่อปรับให้ได้ความเร็วรอบที่ต้องการ สัมพันธ์กับค่าความหนืดของของเหลวที่ทำการกวน จึงทำให้เกิดการกวนที่มีความสม่ำเสมอ สอดคล้องกับเอกสารของ ยืน ภู่วรรณ. (2525) วิธีการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ ที่ใช้ระบบดิจิตอลและไมโครโปรเซสเซอร์ ควบคุมแรงดันไฟฟ้าแบบป้อนกลับมาเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง จึงทำให้ได้ความเร็วรอบคงที่ การกำหนดค่าพิกัดความคลาดเคลื่อนของความเร็วรอบสอดคล้องกับเอกสารของ Technology instrument.(1995,2002) การวัดความเร็วรอบแบบใช้แสงสะท้อนหรือแบบจีทีแกนเพลลา ด้วยเครื่องวัดความเร็วรอบ พิกัดความคลาดเคลื่อน $\pm 1-5$ รอบ/นาที่ ที่ช่วงความเร็วรอบ 60-30000 รอบ/นาที่

1.2 ระบบควบคุมเวลาทำงาน พบว่า จากการทดสอบจับเวลาที่ 5 นาที่ ได้ค่าเฉลี่ย 4.92 นาที่ ที่ 10 นาที่ ได้ค่าเฉลี่ย 9.84 นาที่ ที่ 30 นาที่ ได้ค่าเฉลี่ย 29.84 นาที่ ที่ 60 นาที่ ได้ค่าเฉลี่ย 59.84 นาที่ ที่ 90 นาที่ ได้ค่าเฉลี่ย 89.86 นาที่ สรุปได้ว่า ระบบควบคุมเวลา มีค่าพิกัดความคลาดเคลื่อน อยู่ในเกณฑ์ ± 30 วินาที ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานที่ได้ตั้งไว้ การกำหนดค่าพิกัดความคลาดเคลื่อนของเวลาสอดคล้องกับเอกสารของ Keyence.(2001-2002) และ เทคโนโลยี่ อินสตรูเม้นท์.(2538) การจับเวลาด้วยเครื่อง Digital timer พิกัดความคลาดเคลื่อนร้อยละ $\pm 0.01-10.00$ จากค่าที่ตั้งไว้ ที่ช่วงเวลาที่ตั้งได้คือ 0.001-9999 ชั่วโมง

1.3 ระบบควบคุมอุณหภูมิของเครื่องกวนสารเคมี โดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่า การวัด ที่ระดับอุณหภูมิห้อง ถึง 400 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่เครื่องทำความร้อนเพียงอย่างเดียว ใช้เวลาโดยเฉลี่ย 13 นาที่ ซึ่งค่าความร้อนระดับต่างๆที่วัดได้เฉลี่ยอยู่ภายในเกณฑ์ที่กำหนด เนื่องจากการใช้ระบบรักษาระดับอุณหภูมิให้คงที่ด้วยชุดอิเล็กทรอนิกส์ สอดคล้องกับเอกสารของ สมศักดิ์ กิริตวิเศษศรี. (2528) และ ประยูร เขียววัฒนา.(ม.ป.ป.) ใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด เค (Chromel-Alumel) เป็นตัววัดอุณหภูมิ เทอร์โมคัปเปิลชนิดนี้ ที่มีคุณสมบัติสามารถวัดระดับความร้อนในช่วง -270 ถึง 1372 องศาเซลเซียส มีค่าพิกัดความคลาดเคลื่อน ± 2.2 องศาเซลเซียสหรือร้อยละ 1.0 จากการเปรียบเทียบเวลาอุณหภูมิที่แผ่นความร้อนและการวัดอุณหภูมิที่น้ำ พบว่า ถ้าใช้ภาชนะใส่น้ำที่มีลักษณะของพื้นที่ของภาชนะมีความแบนราบเรียบมากเท่าใด วางให้แนบสนิทบนแผ่นความร้อน จะยิ่งทำให้น้ำเดือดถึง 100 องศาเซลเซียส ได้เร็วขึ้น ทั้งนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆที่มีผลทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนจากการถ่ายเทความร้อนจากแผ่นความร้อนไปสู่สารเคมีหรือของเหลวที่นำมากวน เช่น ปริมาณของของเหลว การปรับตั้งระดับความร้อนที่แผ่นความร้อนและค่าความร้อนของอุณหภูมิห้องในขณะนั้น การกำหนดค่าพิกัดความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิ พัลส์การวัด ช่วงการวัดความเร็วในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความละเอียดแม่นยำ สอดคล้องกับเอกสารของ ภณิต วรรณโณทัย.(2542) และ Technology instrument.(2002) การวัดอุณหภูมิด้วยเครื่องวัดได้กำหนดพิกัดความคลาดเคลื่อน $\pm 0.5-5$ องศาเซลเซียส ช่วงอุณหภูมิที่วัดคือ -50 ถึง 1200 องศาเซลเซียส

2. ผลการประเมินสมรรถนะของเครื่องกวนสารเคมี

2.1 สมรรถนะของระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวน ในหัวข้อ ปรับความเร็วรอบในการกวนได้ตามต้องการและกำหนดช่วงความเร็วรอบมีความเหมาะสม ผลการประเมินอยู่ในเกณฑ์ ดีมาก เนื่องจากสามารถปรับระดับความเร็วรอบได้สะดวกและรวดเร็ว สามารถตั้งความเร็วรอบได้ตั้งแต่ 30 รอบ/นาที่ ถึง 800 รอบ/นาที่ สามารถปรับทิศทางการกวนตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกาได้ ส่วนในหัวข้อ ลักษณะการกวนมีความสม่ำเสมอ กวนสารเคมีได้เป็นอย่างดีและรวดเร็ว ผลการประเมินอยู่ในเกณฑ์ ดี แต่ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากลักษณะการกวนที่ใช้ความเร็วรอบต่ำหรือใช้ของเหลวที่มีความหนืดเกิน 160 เซนติพอยส์ ลักษณะการกวนไม่ค่อยสม่ำเสมอเท่าที่ควร สาเหตุเกิดจากความหนืดของเหลว ความร้อนที่ใช้ และความแรงของแรงแม่เหล็กระหว่างแม่เหล็กตัวขับกับแท่งแม่เหล็กตัวตาม การปรับเร่งระดับความเร็วจาก 0 รอบ/นาที่ จนถึงระดับความเร็วที่ต้องการใช้เวลาพอสมควร แต่เนื่องจากเครื่องกวนสารเคมีที่พัฒนาใหม่

สามารถเลือกความเร็วรอบในการกวนได้หลายระดับ เหมาะสำหรับการนำไปใช้งานการทดลอง เช่น รายงานการวิจัยที่ใช้เครื่องกวนสารเคมีด้วยแรงแม่เหล็กในการทดลอง ของ จิระนุช นิตยาธารกุล.(2540) และพนมศักดิ์ เขียวเตชากุล.(2541) ที่ได้ศึกษาอัตราส่วนวัฏภาคของอนุภาคน้ำโดยน้ำหนักคือ 1 ต่อ 7 อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวน 240 รอบ/นาที ตัวแปรที่ทำการศึกษาค้นพบศาสตร์ คือ ความเข้มข้นของตัวเริ่มปฏิกิริยา อุณหภูมิของปฏิกิริยา ความเร็วรอบในการกวน ปริมาณสารเชื่อมขวางของไดไวนิลเบนซีน และความเข้มข้นของสารเจือจาง

2.2 สมรรถนะของระบบควบคุมเวลาทำงาน ในหัวข้อ การตั้งเวลากระทำได้ง่าย ผลการประเมินอยู่ในเกณฑ์ ดีมาก เนื่องจากระบบนี้ให้ความเที่ยงตรงแม่นยำในการตั้งเวลาปิดระบบการทำงานอัตโนมัติเมื่อครบตามเวลาที่ตั้งไว้ ในขณะที่นับเวลาก่อนปิดจะมีเสียงสัญญาณเตือนทุกๆ 1 นาที และมีเสียงสัญญาณเตือนอีกครั้งเมื่อถึงเวลาปิดระบบอัตโนมัติ สามารถตั้งปิดได้ 1-90 นาที ส่วนในหัวข้อ ติดตั้งระบบสัญญาณเตือนสภาวะการทำงาน ผลการประเมินอยู่ในเกณฑ์ ดี แต่ค่อนข้างต่ำ เนื่องจาก ไม่มีสัญญาณลักษณะ เช่น หลอดไฟเรืองแสงหรือป้ายเตือนให้ผู้ทราบว่าเป็นสภาวะที่เครื่องกำลังทำความร้อนที่แผ่นความร้อนและสัญญาณเตือนเกี่ยวกับคลื่นสนามแม่เหล็กที่ทำให้วัสดุ อุปกรณ์อื่นๆเกิดความเสียหาย ระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวน ระบบควบคุมเวลา ระบบควบคุมอุณหภูมิมีความจำเป็นสำหรับการทดลองที่ต้องอาศัยความถูกต้องแม่นยำ การเลือกใช้ระบบดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองในรายงานการวิจัยของ ศิริกุล จันทรสว่าง.(2540) ได้ศึกษาเรื่องการสกัดอัลคาลอยด์จากพืชสมุนไพรโดยกระบวนการเยื่อแผ่นเหลวแบบอิมัลชัน เลือกใช้ความเร็วรอบในการกวน 240 รอบ/นาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และดวงพร สามัตถิยะ.(2540) ได้ศึกษาเรื่อง การใช้น้ำผลไม้ตระกูลส้มเป็นตัวตกตะกอนต่อคุณภาพของน้ำเต้าหู้แข็ง พบว่า อุณหภูมิในการตกตะกอนคือ 90 องศาเซลเซียส อัตราเร็วในการกวนนมถั่วเหลืองขณะเติมตัวตกตะกอนที่เหมาะสมคือ 150 รอบ/นาที

2.3 สมรรถนะของระบบควบคุมอุณหภูมิ ในหัวข้อ การตั้งเวลากระทำได้ง่าย ผลการประเมินอยู่ในเกณฑ์ ดีมาก เนื่องจากสามารถตั้งระดับความร้อนได้ตั้งแต่อุณหภูมิห้อง ถึง 400 องศาเซลเซียส มีชุดแสดงผลของอุณหภูมิที่ตัวเครื่อง สามารถปรับตั้งอุณหภูมิได้ตามต้องการ ส่วนในหัวข้อ ค่าพิกัดความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิมีความเหมาะสมและปรับระดับให้ความร้อนได้อย่างรวดเร็ว ผลการประเมินอยู่ในเกณฑ์ ดี แต่ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากบางจุดที่แผ่นความร้อนมีความร้อนไม่เท่ากัน บริเวณที่มีเส้นลวดความร้อนผ่านจะมีความร้อนมากกว่าบริเวณอื่นๆ และต้องใช้เวลานานพอสมควรในการให้ความร้อนแก่ของเหลวที่ใช้กวน เพราะวาระบบการให้ความร้อนเป็นระบบเปิดที่มีสภาวะแวดล้อมภายนอกอื่นๆ มาเกี่ยวข้อง เช่น ความหนาของแผ่นความร้อน วัสดุที่ใช้ทำแผ่นความร้อน ชนิดของภาชนะที่ใส่สารเคมีและอุณหภูมิห้องในขณะที่ใช้งาน ล้วนแล้วแต่ส่งผลต่อสมรรถนะของเครื่องในการปรับเร่งความร้อนที่แผ่นให้ความร้อน ลักษณะการถ่ายเทความร้อนของชุดแผ่นความร้อนสอดคล้องกับเอกสารของ วิวัฒน์ ดันตะพานิชกุล.(2526 : 19-21) ลักษณะการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ การไหลของความร้อน เรียกว่า การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) การถ่ายเทความร้อนแบ่งออกได้เป็น 3 รูปแบบใหญ่ๆ คือ การนำความร้อน (Heat Conductions) การพาความร้อน (Heat Convection) การแผ่รังสีความร้อน (Heat Radiation) ไม่ว่าการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบใด การถ่ายเทจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีผลต่างของอุณหภูมิเท่านั้น โดยความร้อนจะไหลจากที่มีอุณหภูมิสูงไปยังที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ปรากฏการณ์ของการนำความร้อนจะเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิภายในวัตถุชิ้นหนึ่งมีค่าไม่เท่ากันทุกจุดหรือเมื่อนำวัตถุสองชิ้นที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันมาสัมผัสกัน ปัจจัยสำคัญที่มีส่วนในการกำหนดอัตราการนำความร้อนก็คือผลต่างของอุณหภูมิ มิติและรูปร่างของวัตถุ และคุณสมบัติของวัตถุ ยิ่งผลต่างของอุณหภูมิมีค่าสูงขึ้นเท่าไร อัตราการนำความร้อนก็จะสูงขึ้นเท่านั้น ในกรณีของการนำความร้อน ถ้าอุณหภูมิที่ทุกๆ จุดของวัตถุที่นำความร้อนมีค่าคงที่ โดยจะไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา

3. ผลการประเมินด้านกายภาพทั่วไป

3.1 ด้านโครงสร้างของตัวเครื่อง ในหัวข้อการใช้วัสดุป้องกันการเกิดสนิม อยู่ในเกณฑ์ ดีมาก เนื่องจากได้ใช้สแตนเลสทนทานต่อการกัดกร่อน ทนทานต่อสารเคมี สำหรับผลิตเป็นตัวเครื่องและแผ่นให้ความร้อน ส่วนในหัวข้อ ด้านความปลอดภัยในการใช้งาน ผลการประเมินอยู่ในเกณฑ์ ดี เนื่องจากบริเวณรอบๆ ชุดแผ่นให้ความร้อนไม่มีคำเตือนหรือสิ่งป้องกันการสัมผัสของผู้ใช้งาน อาจทำให้เกิดอันตรายต่อผิวหนังได้ ส่วนในหัวข้อ โครงสร้างมั่นคงแข็งแรง ผลการประเมินอยู่ในเกณฑ์ ดี สอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ อนุวัตร สุเพียร (2544 : 92) อ้างอิงจาก งานวิจัยของ บรรเลง ศรีนิลและคณะ.(2532 : 82) ในส่วนโครงสร้างของเครื่องแข็งแรงอยู่ในเกณฑ์ดี ซึ่งเป็นระดับการประเมินสูงสุด เพราะผู้วิจัยได้ออกแบบโครงสร้างของเครื่อง โดยอาศัยข้อมูลการออกแบบเครื่องจักรกลของวิริยะ อึ้งภากรณ์และชาญ ถนัดงาน.(2541 : 117)

3.2 ด้านความเหมาะสมในการใช้งาน ในหัวข้อ สามารถปฏิบัติงานได้มากกว่า 1 ขั้นตอนในเวลาเดียวกัน ผลการประเมินอยู่ในเกณฑ์ ดีมาก เนื่องจากเครื่องกวนสารเคมี มีระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวน มีระบบควบคุมเวลาในการทำงานและมีระบบควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งทั้ง 3 ระบบ มีวิธีการใช้งานที่เป็นอิสระจากกัน หรือสามารถกำหนดให้ทั้ง 3 ระบบทำงานพร้อมกันได้ ส่วนในหัวข้อ ด้านการเคลื่อนย้ายได้สะดวก ผลการประเมินอยู่ในเกณฑ์ พอใช้ เนื่องจากลักษณะโครงสร้างของตัวเครื่องมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก เพราะวัสดุอุปกรณ์ส่วนใหญ่ทำมาจากโลหะ ส่วนในหัวข้อ มีความปลอดภัยในการใช้งาน ผลการประเมินอยู่ในเกณฑ์ ดี แต่ได้ค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด อาจเนื่องมาจาก ชิ้นส่วนของเครื่องกวนสารเคมี เช่น ชุดแผ่นความร้อน ไม่มี ป้ายหรือสัญลักษณ์เตือน ป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับผู้ปฏิบัติงาน ตามที่ชาญชัย บุญชู.(2545) อ้างอิงจาก เอกสารของ วิฑูรย์ สิมะโชคติ.(2536) วิศวกรรมความปลอดภัย คือเรื่องการป้องกันอันตรายจากเครื่องจักรกลที่ใช้อุปกรณ์ป้องกัน (Guard) เพื่อป้องกันไม่ใหร่างกายของผู้ปฏิบัติงานสัมผัสกับส่วนที่เป็นอันตรายของเครื่องจักร ในลักษณะทางกายภาพสอดคล้องกับเอกสารของ บรรเลง ศรีนิลและกิตติ นิงสานนท์. (2530)

3.3 ด้านการบำรุงรักษา ในหัวข้อ วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้หาได้ง่ายและมีจำหน่ายในประเทศ ถอดประกอบชิ้นส่วนเพื่อซ่อมแซมกระทำได้ง่ายและทำความสะอาดภาชนะที่ใส่สารเคมีได้ง่าย ผลการประเมินอยู่ในเกณฑ์ ดี เนื่องจากการได้ใช้แผ่นสแตนเลสทำเป็นตัวเครื่อง คุณสมบัติของสแตนเลสนอกจากจะทนทานต่อการเกิดสนิมแล้วยังมีความแวววาว ชัด เช็ดทำความสะอาดได้ง่าย ภาชนะที่ใส่สารเคมี หรือภาชนะอื่นๆ ที่ทำมาจากแก้วเช่น บีกเกอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ไม่ติดอยู่กับตัวเครื่อง ทำให้มีความสะดวกในการจัดเก็บและทำความสะอาด สอดคล้องกับงานวิจัยของ สกล นันทศรีวิวัฒน์.(2543) ที่ได้ศึกษาการพัฒนาเครื่องหยอดขนมทองหยอดและได้วิเคราะห์ลักษณะการบำรุงรักษา พบว่า อยู่ในเกณฑ์ดี และสอดคล้องกับเอกสารของ มานพ ต้นตระกูลบัณฑิตย.(2540) เกี่ยวกับเทคนิคการบำรุงรักษาเครื่องจักรกลในโรงงาน การออกแบบเครื่องจักรกลให้ใช้งานได้ดีนั้นจะต้องมีการรวบรวมวิธีแก้ปัญหาในการออกแบบได้หลายรูปแบบ ส่วนในหัวข้อ การจัดหาเครื่องมือ อุปกรณ์สำหรับซ่อมแซมได้สะดวก ผลการประเมินอยู่ในเกณฑ์ ดี แต่ค่อนข้างต่ำเนื่องจาก วัสดุ อุปกรณ์ที่เป็นชุดอิเล็กทรอนิกส์ หรือ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ มีความยุ่งยากซับซ้อน หากเครื่องเกิดการขัดข้อง ต้องให้ช่างผู้มีความชำนาญเฉพาะเป็นผู้ตรวจซ่อม แก้ไข

จากการพัฒนาเครื่องกวนสารเคมี การประเมินผล และข้อเสนอแนะโดยผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน จนสามารถสร้างเครื่องเสร็จสมบูรณ์ ซึ่งผู้วิจัยได้ปรับปรุงระบบควบคุมการทำงานให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นเหมาะสำหรับใช้ในห้องเรียนหรือห้องปฏิบัติการทั่วไปได้ จากเดิมที่เป็นระบบแมนวล มาเป็นระบบอัตโนมัติ กระบวนการวิจัยข้างต้นสอดคล้องกับแนวคิดของการพัฒนาสินค้าใหม่ๆ จากสภาวะของการแข่งขันที่ไม่หยุดนิ่ง การจัดการบริหารเทคโนโลยีจะมีผลทำให้

ผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตมีความแตกต่างไปจากเดิม เมื่อมีเทคโนโลยีใหม่เกิดขึ้นจากผลการประดิษฐ์ค้นคว้า วิจัย และพัฒนา ที่จะนำไปสู่ความเป็นนวัตกรรม (Innovation) เป็นความแปลกใหม่ที่จะต้องมีการพัฒนาต่อไปเรื่อยๆ สู่เป้าหมายของการยอมรับในตัวผลิตภัณฑ์นั้นๆ สามารถนำไปประยุกต์ใช้และเติบโตในตลาดได้ (Dominate Design) (Life cycle of technology. 2545 : 27) กระบวนการทางอุตสาหกรรมมีการพัฒนาระบบการผลิตสู่ระบบอัตโนมัติ เพื่อตอบสนองความต้องการของตลาดที่ใช้อุปกรณ์ควบคุมที่มีเทคโนโลยีที่สูงขึ้น ดังนั้นผู้ผลิตจะต้องนำเสนอผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบขึ้นมาใหม่เข้าสู่ตลาดอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ทันต่อความต้องการ (Keyence.2001-2002 : 3) ผู้วิจัยมีความคาดหวังเป็นอย่างยิ่งว่า การวิจัยเพื่อพัฒนาเครื่องกวณเคมี ครั้งนี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการนำไปใช้สำหรับกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หรือในโอกาสต่อไปสำหรับผู้มีความสนใจที่จะพัฒนาเครื่องดังกล่าวให้มีความทันสมัย ใช้เทคโนโลยีใหม่ๆ มาควบคุมระบบการทำงาน เพื่อให้เครื่องกวณสารเคมีแบบใช้แรงแม่เหล็กมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะจากการวิจัยในครั้งนี้

เครื่องกวณสารเคมีด้วยแรงแม่เหล็กที่พัฒนาใหม่ ควรมีมือจับด้านข้างสำหรับยก หรือเคลื่อนย้าย ควรมีตะแกรงป้องกันความร้อนที่แผ่นให้ความร้อนและมีสัญลักษณ์เตือนอันตรายที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการใช้งาน

2. ข้อเสนอแนะจากการวิจัยในครั้งต่อไป

ข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญสำหรับการทำงานวิจัยครั้งต่อไป คือ ที่ชุดแผ่นความร้อน ควรทำให้แผ่นความร้อนเป็นร่องบุนขนาดเท่ากับภาชนะที่ใช้ใส่ของเหลวสำหรับกวณ เพราะจะทำให้สูญเสียความร้อนน้อย ควรเพิ่มระบบวัดอุณหภูมิในภาชนะที่ใส่สารเคมีขณะทำการกวณ จะทำให้การทำงานมีความคล่องตัวมากยิ่งขึ้น ควรลดขนาดของตัวเครื่องให้เล็กลง เพื่อความสะดวกสำหรับการเคลื่อนย้าย การจัดเก็บและลดต้นทุนการผลิต

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- กระทรวงพลังงาน. (2545). นโยบายวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <http://www.eppo.go.th/doc/Gov-Policy/pt-7.htm>. วันที่สืบค้น 15 กุมภาพันธ์ 2545.
- กระทรวงอุตสาหกรรม. (2545, มกราคม-กุมภาพันธ์). สันเขื้อเพื่อการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต การย้ายโรงงานไปตั้งในนิคมอุตสาหกรรม."ใน *อุตสาหกรรมสาร*". 45 (1) :47
- กฤษฎา ใจเย็น และคนอื่นๆ. (ม.ป.ป.). *เรียนรู้ไมโครคอนโทรลเลอร์กับเบสิคแอสเอ็มบี2*. กรุงเทพฯ : อินโนเวทีฟ เอ็ดเพอริเม้นต์.
- . (2545,มกราคม-มีนาคม). "Life cycle of technology". "ใน *การพิมพ์ บรรจุภัณฑ์*". 14 (69) : 27
- . (2543). *แกมมาโก้ Catalogue 2543/2000*. กรุงเทพฯ : บริษัทแกมมาโก้ (ประเทศไทย).
- ขวัญใจ จินดานุรักษ์. (2534). แนวโน้มของสื่อการสอนวิทยาศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษาในปี 2555. วิทยานิพนธ์ ค.ม. (โสตทัศนศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ถ่ายเอกสาร
- จิระนุช นิตยารักษ์กุล (2540) *สารประกอบเชิงซ้อนไซโตเคมีในซีไอไลต์* วยเพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไฮบริดสำหรับ *ปฏิกิริยาไฮโดรฟอร์มมิเลชันของโอเลฟินส์*. วิทยานิพนธ์ ค.ม. (สาขาวิชาเคมี). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ถ่ายเอกสาร.
- จรรักษ์ ศรีวงศ์. (2540). *การหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตกรดไฮยาลูโรนิก*. วิทยานิพนธ์ ค.ม. (สาขาเคมี). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ถ่ายเอกสาร.
- จักรพันธ์ ปัญจะสุวรรณ. (2542). *เคมีประยุกต์*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.
- ชวลิต เชียงกุล.(2538). *การก่อสร้างเตาหลอมละลายอลูมิเนียมขนาด 1 กก*. ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. อัดสำเนา.
- ชูศรี วงศ์รัตนะ.(2541). *เทคนิคการใช้สถิติเพื่อการวิจัย*. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ : เทพเนรมิตการพิมพ์.
- ชูชาติ วีรเสณิ. (2542). *ISO 9000 สำหรับนักบริหารมืออาชีพ*. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- ชาญชัย บุญชู. (2545). *การออกแบบและสร้างเครื่องทำความสะอาดไส้กรองฝุ่นแบบคาร์ทริด*. ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา) กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- ชาญวุฒิ ตั้งตรงจิตวิทยา และสาโรช จิตติเกียรติพงศ์. (2529). *วัสดุในงานวิศวกรรม*. กรุงเทพฯ : เอช-เอ็น การพิมพ์.
- ดวงพร สามัตถิยะ (2540). *การใช้น้ำผลไม้ตระกูลส้มเป็นตัวตกตะกอนต่อคุณภาพของน้ำใต้ดินแข็ง*. วิทยานิพนธ์ คศ.ม.(เทคโนโลยีอาหาร). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ถ่ายเอกสาร.
- . (2524). *ตารางงานโลหะ = Tabellenbuch Metall*. บรรเลง *ครนิลและประเสริฐ* ก๊วยสมบุรณ์. แปลและเรียบเรียง. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ถาวร สารวิทย์. (2529). *การออกแบบอุตสาหกรรมศิลป์*. พิษณุโลก : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ทบวงมหาวิทยาลัย. (2541). *เคมี เล่ม 1*. พิมพ์ครั้งที่ 11. กรุงเทพฯ : อักษรเจริญทัศน์.
- ทิพาพร ลิ้มปเสนีย์. (2541). *ตำราปฏิบัติการชีวเคมีเบื้องต้น*. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ณรงค์ ขอนตะวัน และคนอื่นๆ. (ม.ป.ป.). *คู่มือซ่อมเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน*. กรุงเทพฯ : แผงหนังสือเบอร์ 22, สวนจตุจักร.
- นภดล เบญจภัทรพงศ์. (2540). *การผลิตมวลชีวภาพของยีสต์จากน้ำทิ้งที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ*. วิทยานิพนธ์ ค.ม. (ภาควิชาเคมี). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ถ่ายเอกสาร.

- เนตรทิพย์ คู่คงวิริยะพันธ์. (2535). "การเลือกใช้เครื่องกวนที่เหมาะสม." ใน 74 เรื่องน่ารู้เทคนิคเครื่องกล. เอ็มแอนด์อี. หน้า 245-253. กรุงเทพฯ : นานักวิชาการพิมพ์.
- นินนาท์ โชติบริบูรณ์. (2542). *ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์*. สงขลา : มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- ธีรวัฒน์ ประกอบผล. (2544). *การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์*. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- ธีรวัฒน์ ประกอบผล. (2545). *ไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยภาษาซี*. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- ธัชพงษ์ นิลอุบล. (2541). *ไมโครคอนโทรลเลอร์ เล่ม 1*. กรุงเทพฯ : ส.เอเซียเพรส (1989).
- ทำนอง จันทิมา. (2532). *การออกแบบ*. กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช.
- บรรเลง ตรนิลและคณะ. (2532). *โครงการศึกษาสถานภาพของเทคโนโลยีในอุตสาหกรรมพลาสติกในประเทศไทย*. กรุงเทพฯ : ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและการพลังงาน.
- บัญชา ธนบุญสมบัติ. (2542). *การออกแบบทางวิศวกรรม การใช้วัสดุและกรรมวิธีการผลิต*. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- ประยูร เขียววัฒนา. (ม.ป.ป.). "อุปกรณ์วัดทางอุตสาหกรรม ตอน เซนเซอร์และการวัดอุณหภูมิ 1." ใน 65 เทคนิคเรื่องน่ารู้เทคนิคเครื่องกล. เอ็มแอนด์อี. หน้า 24-33. กรุงเทพฯ : ส.เอเซียเพรส (1989).
- ประณต กุลประสูตร. (2533). *เครื่องยนต์เล็ก*. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- ปาริฉัตร คำเหล็ก. (2544). *การออกแบบและสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลาญภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา*. วิทยานิพนธ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา) กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- ประภาณี เกษมศรี ณ อยุธยาและคนอื่น ๆ. (2535). *เคมีทั่วไป เล่ม 1*. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. (2541). *การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า*. กรุงเทพฯ : สมสิริพรินต์.
- ประสงค์ ปราณิตพลกรังและคนอื่น ๆ. (2543). *การบริหารการผลิตและการปฏิบัติการ*. กรุงเทพฯ : ธนัชการพิมพ์.
- . (2531). *พจนานุกรมไทยราชบัณฑิตยสถาน*. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : อักษรเจริญทัศน์.
- . (2538). *พจนานุกรมไทยราชบัณฑิตยสถาน*. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ : อักษรเจริญทัศน์.
- พนมศักดิ์ เขียวเตชากุล. (2541). *จลนศาสตร์ของการสังเคราะห์และการดูดซึม การคายตัวทำลายอินทรีย์ของบีดสไควน*. วิทยานิพนธ์ ค.ม. (เคมีเทคนิค). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ถ่ายเอกสาร.
- พวงรัตน์ ทวีรัตน์. (2534). *วิธีวิจัยทางพฤกษศาสตร์และสังคมศาสตร์*. พิมพ์ครั้งที่ 4 กรุงเทพฯ : ฟิงเกอร์ปรีน แอนด์ มีเดีย.
- พจนารจ ลือเดชาวุฒิไกร. (2529). *การออกแบบและสร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิ*. วิทยานิพนธ์ กศ.ม. (เคมี) กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- พรจิต ประทุมสุวรรณ. (2541). *เครื่องมือวัดอุตสาหกรรม เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์*. กรุงเทพฯ : เรือนแก้วการพิมพ์.
- พรพิมล ม่วงไทย. (2541). *คู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์เคมี*. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.
- ไพโรจน์ สิงห์หนัดกิจ. (2543). "ระบบวัดอุณหภูมิระยะไกล" ใน 58 เรื่องน่ารู้เทคนิคเครื่องกลชุดที่ 8. เอ็มแอนด์อี. หน้า 106. กรุงเทพฯ : ธรรมรัตน์การพิมพ์.
- ภณิต วรรณโณทัย. (2542). "เทอร์โมคัปเปิล เลือกใช้อย่างไรดี." ใน 66 เรื่องน่ารู้เทคนิคเครื่องกล. ซีเอ็ดดูเคชั่น. หน้า 209-211. กรุงเทพฯ : นานักวิชาการพิมพ์.

ภณิต วรรณโณทัย. (2542). “โลหะกับการวัดอุณหภูมิ.” ใน 66 เรื่องน่ารู้เทคนิคเครื่องกล. หน้า 362. ซีเอ็ดยูเคชั่น.

กรุงเทพฯ : นำอักษรการพิมพ์.

ภพ เลหาไพบุลย์. (2542). แนวการสอนวิทยาศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช.

มงคล ทองสงคราม. (2533). เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง. กรุงเทพฯ : รามการพิมพ์.

มานพ ตันตระกูล. (2536). วัสดุวิศวกรรม. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น).

มานพ ตันตระกูล และคนอื่น ๆ. (2544) ชิ้นส่วนเครื่องจักรกล. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ :

สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น).

มนตรี ยอดบางเตย. (2538). ออกแบบผลิตภัณฑ์. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.

โยชิโกะ ทาคามูระ. (2525). เทคนิคการประหยัดพลังงานภาคความร้อน. กรุงเทพฯ :

สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี ไทย - ญี่ปุ่น.

ยีน ภู่วรรณ. (2525). อิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

รังสฤษฎ์ กาวีตะ. (2541). การเพราะเลี้ยงเนื้อเยื่อ:หลักการและเทคนิค. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ :

เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น.

วินิต ชินสุวรรณ. (2530). เครื่องกลการเกษตรและการจัดการเบื้องต้น. ขอนแก่น : คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วริทธิ์ อิงภากรณ์ และชาญ ฤกษ์งาน. (2522). การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ :

ซีเอ็ดยูเคชั่น.

วิฑูร รัตนศักดิ์. (ม.ป.ป.). “รูปร่างของกันดั้มสมที่ตีเป็นอย่างไร.” ใน 65 เรื่องน่ารู้เทคนิคเครื่องกล. เอ็มแอนด์อี.

หน้า 183. กรุงเทพฯ : ส.เอเซียเพรส.

วรรณทิพา รอดแรงคำ และจิต นวนแก้ว. (2542). การพัฒนากระบวนการคิดของนักเรียนด้วยทักษะกระบวนการ

ทางวิทยาศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : เดอะมาสเตอร์กรุ๊ป แมเนจเม้นท์.

วิมาน วรรณคำ. (2539). ความต้องการเพิ่มประสิทธิภาพการสอนของครูวิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น

สังกัด กรมสามัญศึกษา เขตการศึกษา 11. รายงานการวิจัย. สำนักพัฒนาการศึกษา ศาสนาและ

วัฒนธรรม เขตการศึกษา 11.

วันชัย ริจรรณ. (2543). การเพิ่มผลผลิตในงานอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิวัฒน์ ตันทะพานิชกุล. (2526). อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน. กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัดภาพพิมพ์.

สันต์ เตชะกัมพูช. (2535). เคมีทั่วไป เล่ม 1. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สกล นันทศรีวิวัฒน์. (2543). การพัฒนาเครื่องหยอดขนมทองหยอด. ปรินิพนธ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา).

กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร

สาธิต บุญยรัตกลิน. (2541). การออกแบบและสร้างชุดทดลองเพื่อศึกษาคุณสมบัติบางประการของน้ำมันหล่อลื่น

โดยวิธีอัลตราโซนิก ช่วงอุณหภูมิ 20 °C ถึง 70 °C. ปรินิพนธ์ กศ.ม. (ฟิสิกส์) กรุงเทพฯ :

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร. ถ่ายเอกสาร.

สำราญ พงษ์สุนทร. (2541). เคมี ม.5 เล่ม 3. กรุงเทพฯ : ไอ.คิว.บุ๊คเซ็นเตอร์.

สันต์ ศิริอนันต์ไพบุลย์ และชนิษฐา ชัยรัตนวรรณ. (2542) เคมีวิทยาศาสตร์. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

สาคร คันทโชติ และวิศิษฐ์ ศิริสัมพันธ์. (2529). ออกแบบผลิตภัณฑ์โลหะ. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.

สาคร คันทโชติ. (2528). การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.

สุลสิทธิ์ แก้วพระอินทร์. (2541). โลหะวิทยา. กรุงเทพฯ : เอช.เอ็น.กรุ๊ป จำกัด.

- สุวรรณ โตรัมย์. (2540). การพัฒนาเครื่องช่วยผ่อนแรงคลัทช์รถยนต์บรรทุกขนาดเล็ก ขนาดแรงกดแป้นคลัทช์ 20 ปอนด์. ปรินทิฟิกันท์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ ฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- สุวิมล เขียวแก้ว. (2527). การสอนวิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษา. ปัตตานี : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สมศักดิ์ กิตติวุฒเศรษฐ์. (2528). หลักการและการใช้เครื่องมือวัดอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ ฯ : เอช-เอ็น การพิมพ์.
- สมเกียรติ กาญจนพงศ์กุล. (2546, มีนาคม). "ระบบควบคุมอุปกรณ์เครื่องใช้ภายในบ้านแบบอัตโนมัติ".
 "ใน เทคนิคเครื่องกล ไฟฟ้า อุตสาหกรรม". 19 (220) :109
- สาขาออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์. (2542). รายงานการพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์. 2542. กรุงเทพฯ ฯ :
 ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สำนักงานฯ
- ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สถาบัน. (2542). วิชาเคมี เล่ม 2 ว 031. พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพฯ ฯ :
 อรุณลาดพร้าว.
- ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สถาบัน.. (2543). วิชาเคมี เล่ม 3 ว 032. พิมพ์ครั้งที่ 10.
 กรุงเทพฯ ฯ : อรุณลาดพร้าว.
- ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สถาบัน.. (2538). เอกสารสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
 วิชาเคมี ว 053. กรุงเทพฯ ฯ : อรุณลาดพร้าว.
- ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สถาบัน. (2543). ห้องปฏิบัติการและอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ระดับ
 โรงเรียน. กรุงเทพฯ ฯ : อัสสัมชัญ.
- ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สถาบัน. (2541). แผนวิสาทกิจ สสวท 2541-2544. กรุงเทพฯ ฯ : สำนัก-
 เทคโนโลยีทางการศึกษา สสวท,
- ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สถาบัน. (2544). แผนวิสาทกิจแม่บทสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศา-
 ศาสตร์และเทคโนโลยี 2545-2549. กรุงเทพฯ ฯ.
- ส่งเสริมเทคโนโลยีไทย – ญี่ปุ่น. (2536). อุปกรณ์ไฟฟ้า. พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพฯ ฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี
 (ไทย-ญี่ปุ่น).
- สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. (2540). ผลิตภัณฑ์และเทคโนโลยีใหม่. กรุงเทพฯ ฯ :
 วิเทศสัมพันธ์, สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
- ศิริกานต์ ผาสุก. (2543). การพัฒนาบทปฏิบัติการวิชาเคมีผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ เรื่อง การสกัดและแยกองค์ประกอบ
 ทาง เคมีจากพืชสมุนไพรในท้องถิ่น สำหรับหลักสูตรวิทยาศาสตร์ของสถาบันราชภัฏ.
 ปรินทิฟิกันท์ กศ.ด. (วิทยาศาสตร์ศึกษา) กรุงเทพฯ ฯ : บัณฑิตวิทยาลัย
 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร
- ศิริชัย พงษ์วิชัย. (2539). การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยคอมพิวเตอร์. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ ฯ :
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศิริวรรณ เสรีรัตน์ และคนอื่นๆ. (2543). หลักการตลาด. กรุงเทพฯ ฯ : วีระฟิล์มและไซเทกซ์.
- อนุวัต สุเพียร. (2544). การสร้างเครื่องพับแผ่นอะคริลิก. ปรินทิฟิกันท์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ ฯ :
 บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร
- อริศรา ชูชาติ. (2542). การประเมินและนำเสนอแนวทาง ในการพัฒนาครูวิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น
 โรงเรียนสังกัดกรมสามัญศึกษาและโรงเรียนขยายโอกาสทางการศึกษาชั้นพื้นฐานสังกัดสำนักงาน
 คณะกรรมการการประถมศึกษาแห่งชาติ. รายงานการวิจัย. กรุงเทพฯ ฯ : กระทรวงศึกษาธิการ.

- อุดมศักดิ์ วัฒนวิทย์. (2540). *การสร้างเครื่องฉีดพลาสติกในแนวตั้ง*. ปริญญาโท กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา).
 กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- เอกวิทย์ แก้วประดิษฐ์. (2542). *ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์สำหรับสื่อการศึกษา*. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- อนันตสิน เตชะกำพุชและพิศิษฐ์ รัตนวรารักษ์. (2537). *ฟิสิกส์ 2. พิมพ์ครั้งที่ 3* : กรุงเทพฯ :
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อมรา เล็กเริงสินธุ์. (2540). *หลักสูตรและการจัดการมัธยมศึกษา*. พิมพ์ครั้งที่ 3 . กรุงเทพฯ :
 สถาบันราชภัฏสวนดุสิต.
- . (2543). *เอกสารห้องปฏิบัติการและอุปกรณ์วิชาวิทยาศาสตร์ระดับโรงเรียน 2543*. กรุงเทพฯ :
 สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- . (2537). *คุณลักษณะเฉพาะอุปกรณ์การศึกษาอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น*.
 กรุงเทพฯ : องค์การค้าของคุรุสภา.
- แฮร์มัน ยุทซ์ และเอ็ดเวิร์ด ชาร์คส. (1971). *วัสดุ คณิตศาสตร์การขึ้นรูป*. เซาท์ คองกัลป์ แพลและเรียบเรียง.
 กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- . (ม.ป.ป.). *ฮีดเตอร์*. กรุงเทพฯ : บริษัทเทคโนโลยี อินสตรูเมนต์.
- C.E. Combination. (2545). *Magnetic Stirrer*. (ออนไลน์). แหล่งที่มา :
<http://www.Cecombination.com/Stirrer/stirrer.html>. วันที่สืบค้น 6 มกราคม 2545.
- Cole-Parmer. (1999). *Cole-Parmer World Headquarters*. Verton Hill. Bunker Court, IL 60061-1844.
- James P. Schaffer, Ashok Saxena Stephe D. Antolovich, Thomas H. Snaders, Jr., and
 Stephen B. Warner, (1995). *The Science Design of Engineering Materials*, Richard D Irwin, ISBN :
 0-256-17072 - X (International ed).
- Keyence. (2001-2001). *เซนเซอร์วีชันซีเอสดีเอ็มและเครื่องมือวัด*. กรุงเทพฯ : Keyence (Thailand) Co.,Ltd.
- Microchip Technology Inc. (1999). (Online) Available : <http://www.microchip.com>.
 Retrieved April 19, 2002.
- Mahmond M. Farag. (1997). *Materials Selection for Engineering Design*, Prentice Hall Europe, ISBN :
 0-113-575129-6.
- W.Bolton. (2543). *การวัด การทดสอบทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ = Electrical and Electronic Measurement and Testing*. พิมพ์ สุกัทรานนท์ แพลและเรียบเรียง. กรุงเทพฯ : เอช.เอ็น.เอ็น.กรุ๊ป.
- . (2002). *Industrial Controls & measuring*. Bangkok : Technology Instruments.Co.,Ltd.
- . (1995). *Industrial Controls & Technology*. Bangkok : Technology Instruments.Co.,Ltd.
- . Philip Harris. (1996). *A quality service to science education*. Philip Harris international,
 Lynn Lane, Shenstonr, Lichfield, Staffordshire WS14 OEE.
- . (ม.ป.ป.). *SL.Heatter*. Bangkok : Saun luang Engineering.,Ltd. Part.
- . (2545). *Sila 2002 Catalogue*. Bangkok : Sila research. Co.,Ltd.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก หนังสือขอความอนุเคราะห์

ภาคผนวก ข เครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูล

- 1) แบบวัดความเที่ยงตรงของระบบการทำงานของเครื่องกวนสารเคมี
- 2) แบบประเมินสมรรถนะของเครื่องกวนสารเคมี
- 3) แบบประเมินด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกวนสารเคมี

ภาคผนวก ค ภาพเขียนแบบส่วนประกอบของเครื่องกวนสารเคมี

ภาคผนวก ง รายการวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้าง

ภาคผนวก จ รายการเครื่องมือที่ใช้สร้างเครื่องกวนสารเคมี

ภาคผนวก ฉ ส่วนประกอบและการทดสอบระบบการทำงานของเครื่อง

ภาคผนวก ช ผลการประเมินเครื่องกวนสารเคมีโดยผู้เชี่ยวชาญ

ภาคผนวก ซ คู่มือการใช้เครื่องกวนสารเคมี

ภาคผนวก ฌ คุณสมบัติของ Microcontroller Ship รุ่น PIC16F877

ภาคผนวก ก
หนังสือขอความอนุเคราะห์



บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ บัณฑิตวิทยาลัย มศว โทร. 5731, 5618

ที่ ทม 1012/๒๕๓๖

วันที่ ๑๔ มีนาคม ๒๕๓๖

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน คณบดีคณะศึกษาศาสตร์

เนื่องด้วย นายสุวัฒน์ วงษ์จำปา นิติระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญานิพนธ์เรื่อง "การพัฒนาเครื่องกวนสารเคมีโดยอาศัยแรงแม่เหล็กที่ควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติสำหรับการทางวิทยาศาสตร์" โดยมี อาจารย์ไพรัช วงศ์ยุทธไกร และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ อาจารย์ละเอียด รักษ์เฒ่า และ อาจารย์วีโรจน์ เอ็งสุโสภณ เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบประเมินลักษณะด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกวนสารเคมี (ชุด ก.) แบบวัดและทดสอบความเที่ยงตรงของระบบการทำงานเครื่องกวนสารเคมี (ชุด ข.) และ แบบตรวจสอบสมรรถนะของเครื่องกวนสารเคมี (ชุด ค.)

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้ข้าราชการในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบประเมิน แบบวัดและทดสอบ และแบบตรวจสอบให้ นายสุวัฒน์ วงษ์จำปา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้ด้วย

(รองศาสตราจารย์นภาพร หะวานนท์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย



บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ บัณฑิตวิทยาลัย มศว โทร. 5731, 5618

ที่ ทม 1012/2537

วันที่ 14 มีนาคม 2546

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

เนื่องด้วย นายสุวัฒน์ วงษ์จำปา นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาเครื่องกวนสารเคมีโดยอาศัยแรงแม่เหล็กที่ควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติสำหรับปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์" โดยมี อาจารย์ไพรัช วงศ์ยุทธไกร และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ถนอมสิน คีตถาพร เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมินลักษณะด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกวนสารเคมี (ชุด ก.) แบบวัดและทดสอบความเที่ยงตรงของระบบการทำงานเครื่องกวนสารเคมี (ชุด ข.) และ แบบตรวจสอบสมรรถนะของเครื่องกวนสารเคมี (ชุด ค.)

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้ข้าราชการในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมิน แบบวัดและทดสอบ และแบบตรวจสอบ ให้ นายสุวัฒน์ วงษ์จำปา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้ด้วย

(รองศาสตราจารย์ถนอมสิน คีตถาพร)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย



บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ บัณฑิตวิทยาลัย มศว โทร. 5731, 5618

ที่ ทม 1012/ 3 583

วันที่ 2 เมษายน 2546

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

เนื่องด้วย นายสุวัฒน์ วงษ์จำปา นิติระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาเครื่องกวนสารเคมี โดยอาศัยแรงแม่เหล็กที่ควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ สำหรับปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์" โดยมี อาจารย์ไพรัช วงศ์ยุทธไกร และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ รองศาสตราจารย์ประเสริฐ ศรีไพโรจน์ เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบ สมรรถนะเครื่องกวนสารเคมี โดยใช้แบบประเมินลักษณะด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกวนสารเคมี แบบวัดและทดสอบความเที่ยงตรงของระบบการทำงานเครื่องกวนสารเคมี และแบบตรวจสอบสมรรถนะของเครื่องกวนสารเคมี เพื่อเป็นเอกสารประกอบการประเมินครั้งนี้

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้ข้าราชการในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญ ตรวจสอบสมรรถนะเครื่องกวนสารเคมี ให้ นายสุวัฒน์ วงษ์จำปา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้ด้วย

(รองศาสตราจารย์นภภรณ์ หะวานนท์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ที่ ทม 1012/3579



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

๒ เมษายน 2546

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน อธิการบดีสถาบันราชภัฏจันทรเกษม

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมิน แบบวัด และแบบตรวจสอบ

เนื่องด้วย นายสุวัฒน์ วงษ์จำปา นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาเครื่องกวนสารเคมี โดยอาศัยแรงแม่เหล็กที่ควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ สำหรับปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์" โดยมี อาจารย์ไพรัช วงศ์ยุทธไกร และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในครั้งนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวัฒน์ อัจฉริยนนท์ เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบ สมรรถนะเครื่องกวนสารเคมี โดยใช้แบบประเมินลักษณะด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกวนสารเคมี แบบวัดและทดสอบความเที่ยงตรงของระบบการทำงานเครื่องกวนสารเคมี และแบบตรวจสอบสมรรถนะ ของเครื่องกวนสารเคมี เพื่อเป็นเอกสารประกอบการประเมินครั้งนี้

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้ข้าราชการในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญ ตรวจสอบสมรรถนะเครื่องกวนสารเคมี ให้ นายสุวัฒน์ วงษ์จำปา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์นภาพร หะวานนท์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02-664-1000 ต่อ 5618, 5731

โทรสาร. 02-258-4119

หมายเหตุ : ต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 02-3924021

ที่ ทม 1012/3540



บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

๕ เมษายน 2546

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.)

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมิน แบบวัด และแบบตรวจสอบ

เนื่องด้วย นายสุวัฒน์ วงษ์จำปา นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาเครื่องกวนสารเคมี โดยอาศัยแรงแม่เหล็กที่ควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ สำหรับปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์" โดยมี อาจารย์ไพรัช วงศ์ยุทธไกร และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ อาจารย์ณรงค์ศิลป์ รูปพนม เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบสมรรถนะ เครื่องกวนสารเคมี โดยใช้แบบประเมินลักษณะด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกวนสารเคมี แบบวัดและ ทดสอบความเที่ยงตรงของระบบการทำงานเครื่องกวนสารเคมี และแบบตรวจสอบสมรรถนะของเครื่อง กวนสารเคมี เพื่อเป็นเอกสารประกอบการประเมินครั้งนี้

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ - ได้โปรดพิจารณาให้ข้าราชการในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญ ตรวจสอบสมรรถนะเครื่องกวนสารเคมี ให้ นายสุวัฒน์ วงษ์จำปา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์นภาพร หะวานนท์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02-664-1000 ต่อ 5618, 5731

โทรสาร. 02-258-4119

หมายเหตุ : ต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 02-3924021

ที่ ทม 1012/ 3 581



บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

๒ เมษายน 2546

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้อำนวยการโรงเรียนสตรีวิทยา

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมิน แบบวัด และแบบตรวจสอบ

เนื่องด้วย นายสุวัฒน์ วงษ์จำปา นิติระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาเครื่องกวนสารเคมี โดยอาศัยแรงแม่เหล็กที่ควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ สำหรับปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์" โดยมี อาจารย์ไพรัช วงศ์ยุทธไกร และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในกรณีนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ อาจารย์ชูเกียรติ ชัยชนะดารา เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบสมรรถนะ เครื่องกวนสารเคมี โดยใช้แบบประเมินลักษณะด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกวนสารเคมี แบบวัดและ ทดสอบความเที่ยงตรงของระบบการทำงานเครื่องกวนสารเคมี และแบบตรวจสอบสมรรถนะของเครื่อง กวนสารเคมี เพื่อเป็นเอกสารประกอบการประเมินครั้งนี้

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้ข้าราชการในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญ ตรวจสอบสมรรถนะเครื่องกวนสารเคมี ให้ นายสุวัฒน์ วงษ์จำปา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์นายแพทย์ หะวานนท์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02-664-1000 ต่อ 5618, 5731

โทรสาร. 02-258-4119

หมายเหตุ : ต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อนิสิต โทรศัพท์ 02-3924021

ที่ ทม 1012/3542



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

๕ เมษายน 2546

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้อำนวยการศูนย์วิทยาศาสตร์เพื่อการศึกษา

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมิน แบบวัด และแบบตรวจสอบ

เนื่องด้วย นายสุวัฒน์ วงษ์จำปา นิติระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาเครื่องกวนสารเคมี โดยอาศัยแรงแม่เหล็กที่ควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ สำหรับปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์" โดยมี อาจารย์ไพรัช วงศ์ยุทธไกร และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในกรณีนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ นายภาณุรุช เนตะวงศ์ เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบสมรรถนะ เครื่องกวนสารเคมี โดยใช้แบบประเมินลักษณะด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกวนสารเคมี แบบวัดและ ทดสอบความเที่ยงตรงของระบบการทำงานเครื่องกวนสารเคมี และแบบตรวจสอบสมรรถนะของเครื่อง กวนสารเคมี เพื่อเป็นเอกสารประกอบการประเมินครั้งนี้

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้ข้าราชการในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญ ตรวจสอบสมรรถนะเครื่องกวนสารเคมี ให้ นายสุวัฒน์ วงษ์จำปา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์นายภรณ์ หะวานนท์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02-664-1000 ต่อ 5618, 5731

โทรสาร. 02-258-4119

หมายเหตุ : ต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อนิติ โทรทัศน์ 02-3924021

ภาคผนวก ข
เครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูล

เครื่องมือรวบรวมข้อมูลในการวิจัย แบบวัดความเที่ยงตรงของระบบการทำงานของเครื่องกวนสารเคมี

คำชี้แจง แบบวัดความเที่ยงตรงของระบบการทำงานชุดนี้แบ่งออกเป็น 3 ตอน ประกอบด้วย

ตอนที่ 1 วัตถุประสงค์ของการวัด

ตอนที่ 2 แบบวัดความเที่ยงตรงของระบบการทำงานของเครื่องกวนสารเคมี

ตอนที่ 3 ข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

ตอนที่ 1 วัตถุประสงค์ของการวัด

แบบวัดความเที่ยงตรงของระบบการทำงานชุดนี้สร้างขึ้นเพื่อสำรวจความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ผู้เชี่ยวชาญด้านการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ผู้มีประสบการณ์ด้านการสอนหรือปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ เกี่ยวกับการวัดความเที่ยงตรงของระบบการทำงานของเครื่องกวนสารเคมี

ตอนที่ 2 แบบวัดความเที่ยงตรงของระบบการทำงานของเครื่องกวนสารเคมี

2.1 การวัดระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวน มีขั้นตอนการทดสอบ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ตั้งความเร็วรอบไว้ที่ 30 รอบ/นาที ทำการวัดความเร็วรอบด้วยเครื่องวัด

ความเร็วรอบ

ขั้นตอนที่ 2 ตั้งความเร็วรอบไว้ที่ 80 รอบ/นาที ทำการวัดความเร็วรอบด้วยเครื่องวัด

ความเร็วรอบ

ขั้นตอนที่ 3 ตั้งความเร็วรอบไว้ที่ 200 รอบ/นาที ทำการวัดความเร็วรอบด้วยเครื่องวัด

ความเร็วรอบ

ขั้นตอนที่ 4 ตั้งความเร็วรอบไว้ที่ 500 รอบ/นาที ทำการวัดความเร็วรอบด้วยเครื่องวัด

ความเร็วรอบ

ขั้นตอนที่ 5 ตั้งความเร็วรอบไว้ที่ 800 รอบ/นาที ทำการวัดความเร็วรอบด้วยเครื่องวัด

ความเร็วรอบ

โดยทำการวัดขั้นตอนละ 7 ครั้ง แล้วนำความเร็วรอบที่วัดได้ของแต่ละขั้นตอน มาหาค่าเฉลี่ย และวัด

ผลเปรียบเทียบเกณฑ์การวัดของระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวนที่ตั้งไว้

เกณฑ์การวัด

ค่าพิสัยความคลาดเคลื่อนของความเร็วรอบ แต่ละขั้นตอน ± 5 รอบ/นาที

แบบวัดระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวน

สถานที่ทดสอบ.....					วันที่.....	
ชื่อผู้วัด.....						
วัดครั้งที่	ขั้นตอนที่	ตั้งความเร็วรอบ ที่ 30 รอบ/นาที	ตั้งความเร็วรอบ ที่ 80 รอบ/นาที	ตั้งความเร็วรอบ ที่ 200 รอบ/นาที	ตั้งความเร็วรอบ ที่ 500 รอบ/นาที	ตั้งความเร็วรอบ ที่ 800 รอบ/นาที
	ความเร็วรอบที่วัดได้					
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
เฉลี่ย						

2.2 แบบวัดระบบควบคุมเวลาทำงานของเครื่องกวสารเคมี

การวัดระบบควบคุมเวลาทำงาน มีขั้นตอนการทดสอบ ดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1 ตั้งเวลาไว้ที่ 5 นาที แล้วจับเวลาที่เครื่องปิดการทำงานอัตโนมัติ และบันทึกเวลา
- ขั้นตอนที่ 2 ตั้งเวลาไว้ที่ 10 นาที แล้วจับเวลาที่เครื่องปิดการทำงานอัตโนมัติ และบันทึกเวลา
- ขั้นตอนที่ 3 ตั้งเวลาไว้ที่ 30 นาที แล้วจับเวลาที่เครื่องปิดการทำงานอัตโนมัติ และบันทึกเวลา
- ขั้นตอนที่ 4 ตั้งเวลาไว้ที่ 60 นาที แล้วจับเวลาที่เครื่องปิดการทำงานอัตโนมัติ และบันทึกเวลา
- ขั้นตอนที่ 5 ตั้งเวลาไว้ที่ 90 นาที แล้วจับเวลาที่เครื่องปิดการทำงานอัตโนมัติ และบันทึกเวลา

โดยทำการจับเวลาขั้นตอนละ 7 ครั้ง แล้วนำเวลาที่วัดได้ของแต่ละขั้นตอน มาหาค่าเฉลี่ย และวัดผลเปรียบเทียบเกณฑ์การวัดของระบบควบคุมเวลาทำงานที่ตั้งไว้

เกณฑ์การวัด

ค่าพิสัยความคลาดเคลื่อนของเวลา แต่ละขั้นตอน ± 30 วินาที

แบบวัดระบบควบคุมเวลาทำงานของเครื่องกวสารเคมี

สถานที่ทดสอบ.....		วันที่.....			
ชื่อผู้วัด.....					
ขั้นตอนที่	ตั้งเวลาไว้ ที่ 5 นาที	ตั้งเวลาไว้ ที่ 10 นาที	ตั้งเวลาไว้ ที่ 30 นาที	ตั้งเวลาไว้ ที่ 60 นาที	ตั้งเวลาไว้ ที่ 90 นาที
จับเวลาครั้งที่	เวลาที่ปิดการทำงานอัตโนมัติ				
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
เฉลี่ย					

2.3 แบบวัดระบบควบคุมอุณหภูมิของเครื่องกวนสารเคมี

การวัดระบบควบคุมอุณหภูมิ มีขั้นตอนการทดสอบ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 40 องศาเซลเซียส แล้วบันทึกอุณหภูมิที่วัดได้

ขั้นตอนที่ 2 ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 60 องศาเซลเซียส แล้วบันทึกอุณหภูมิที่วัดได้

ขั้นตอนที่ 3 ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 100 องศาเซลเซียส แล้วบันทึกอุณหภูมิที่วัดได้

ขั้นตอนที่ 4 ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 300 องศาเซลเซียส แล้วบันทึกอุณหภูมิที่วัดได้

ขั้นตอนที่ 5 ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 400 องศาเซลเซียส แล้วบันทึกอุณหภูมิที่วัดได้

โดยทำการวัดอุณหภูมิขั้นตอนละ 7 ครั้ง แล้วนำอุณหภูมิที่วัดได้ของแต่ละขั้นตอน มาหาค่าเฉลี่ย และวัดผลเปรียบเทียบเกณฑ์การวัดของระบบควบคุมอุณหภูมิที่ตั้งไว้

เกณฑ์การวัด

ค่าพิสัยความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิ แต่ละขั้นตอน ± 3 องศาเซลเซียส

แบบวัดระบบควบคุมอุณหภูมิของเครื่องกวนสารเคมี

สถานที่ทดสอบ.....		วันที่.....			
ชื่อผู้วัด.....					
ขั้นตอนที่ วัดครั้งที่	ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 40 องศาเซลเซียส	ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 60 องศาเซลเซียส	ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 100 องศาเซลเซียส	ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 300 องศาเซลเซียส	ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 400 องศาเซลเซียส
	อุณหภูมิที่วัดได้				
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
เฉลี่ย					

ตอนที่ 3 ข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

1.ด้านความเที่ยงตรงของระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวน.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2.ด้านความเที่ยงตรงของระบบควบคุมเวลาทำงาน.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3.ด้านความเที่ยงตรงของระบบควบคุมอุณหภูมิ.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4.อื่นๆ.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....

(.....)

ผู้เชี่ยวชาญ

วันที่...../...../.....

เครื่องมือรวบรวมข้อมูลในการวิจัย แบบประเมินสมรรถนะของเครื่องกวนสารเคมี

คำชี้แจง แบบประเมินสมรรถนะของเครื่องกวนสารเคมี ชุดนี้แบ่งออกเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 วัตถุประสงค์ของการประเมินสมรรถนะ

ตอนที่ 2 แบบประเมินสมรรถนะของเครื่องกวนสารเคมี ประกอบด้วยสมรรถนะ 3 ด้าน ด้านละ 5 ข้อ
รวมทั้งหมด 15 ข้อ ดังนี้

2.1 สมรรถนะของระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวน 5 ข้อ

2.2 สมรรถนะของระบบควบคุมเวลาทำงาน 5 ข้อ

2.3 สมรรถนะของระบบควบคุมอุณหภูมิ 5 ข้อ

ตอนที่ 3 ข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

ตอนที่ 1 วัตถุประสงค์ของการประเมินสมรรถนะ

แบบประเมินสมรรถนะชุดนี้สร้างขึ้นเพื่อเป็นเครื่องมือในการวิจัย มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ผู้เชี่ยวชาญด้านการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ผู้มีประสบการณ์ด้านการสอนหรือปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ เกี่ยวกับสมรรถนะของเครื่องกวนสารเคมี มีเนื้อหาครอบคลุมสมรรถนะด้านต่างๆ ของเครื่องกวนสารเคมี คือ สมรรถนะของระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวน สมรรถนะของระบบควบคุมเวลาทำงานและสมรรถนะของระบบควบคุมอุณหภูมิ วิธีประเมินสมรรถนะโดยใช้ตัวอย่างสารเคมีต่างๆหรือน้ำบริสุทธิ์ปริมาณ 1000 ซีซี เป็นตัวแทนของเหลวที่นำมาใช้ในการทดสอบ โดยใส่น้ำลงในบีกเกอร์ขนาด 2000 ซีซี ใช้แม่เหล็กตัวกวนสาร (Magnetic Bar) ขนาด $\varnothing$ 10 มม. ยาว 60 มม. เครื่องมือวัดอุณหภูมิและนาฬิกาจับเวลา สำหรับทดลองและใช้เครื่องกวนสารเคมีด้วยแรงแม่เหล็กที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น กวนหรือให้ความร้อนแล้วบันทึกผลการทดลอง โดยใช้แบบประเมินสมรรถนะ ตอนที่ 2

ตอนที่ 2 แบบประเมินสมรรถนะของเครื่องกววนเคมี

แบบประเมินสมรรถนะตอนที่ 2 มีทั้งหมด 15 ข้อ โปรดเขียนเครื่องหมาย ✓ ลงในช่อง
มาตราส่วนประเมินค่า 5 ระดับ ตามความคิดเห็นของท่าน หลังจากทดสอบใช้เครื่องกววนสารเคมี ค่าระดับคะแนน
กำหนดไว้ ดังนี้

คะแนน 5 หมายถึง การประเมินในระดับดีมาก

คะแนน 4 หมายถึง การประเมินในระดับดี

คะแนน 3 หมายถึง การประเมินในระดับพอใช้

คะแนน 2 หมายถึง การประเมินในระดับต้องปรับปรุง

คะแนน 1 หมายถึง การประเมินในระดับใช้ไม่ได้

แบบประเมินสมรรถนะของเครื่องกววนสารเคมี

รายละเอียด	ระดับการประเมิน				
	ดีมาก	ดี	พอใช้	ต้องปรับปรุง	ใช้ไม่ได้
	5	4	3	2	1
2.1 สมรรถนะของระบบควบคุมความเร็วรอบในการกววน					
2.1.1 ปรับความเร็วรอบในการกววนได้ตามต้องการ					
2.1.2 กำหนดช่วงความเร็วรอบมีความเหมาะสม					
2.1.3 ลักษณะการกววนมีความสม่ำเสมอ					
2.1.4 ใช้อุปกรณ์เสริมประกอบการกววนได้สะดวก					
2.1.5 กววนสารเคมีได้เป็นอย่างดีและรวดเร็ว					
2.2 สมรรถนะของระบบควบคุมเวลาทำงาน					
2.2.1 กำหนดช่วงการตั้งเวลามีความเหมาะสม					
2.2.2 การตั้งเวลากระทำได้ง่าย					
2.2.3 ค่าพิกัดความคลาดเคลื่อนของเวลามีความเหมาะสม					
3.2.4 ติดตั้งระบบสัญญาณเตือน สภาวะการทำงาน					
2.2.5 ออกแบบวงจรมีความเหมาะสม					
2.3 สมรรถนะของระบบควบคุมอุณหภูมิ					
2.3.1 ระบบการให้ความร้อนมีความเหมาะสมต่อการใช้งาน					
2.3.2 การตั้งอุณหภูมิกระทำได้ง่าย					
3.3.3 ค่าพิกัดความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิมีความเหมาะสม					
2.3.4 ช่วงอุณหภูมิที่ใช้มีความเหมาะสมต่อการใช้งานทดลอง					
2.3.5 ปรับระบบให้ความร้อนได้อย่างรวดเร็ว					

ตอนที่ 3 ข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

1.ด้านสมรรถนะของระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวาด.....

.....

.....

.....

.....

.....

2.ด้านสมรรถนะของระบบควบคุมเวลาทำงาน.....

.....

.....

.....

.....

.....

3.ด้านสมรรถนะของระบบควบคุมอุณหภูมิ.....

.....

.....

.....

.....

.....

4.อื่นๆ.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....

(.....)

ผู้เชี่ยวชาญ

วันที่...../...../.....

เครื่องมือรวบรวมข้อมูลในการวิจัย
แบบประเมินด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกวนสารเคมี

คำชี้แจง แบบประเมินด้านกายภาพทั่วไปชุดนี้แบ่งออกเป็น 4 ตอน ประกอบด้วย

ตอนที่ 1 วัตถุประสงค์ของการประเมิน

ตอนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับสถานะภาพของผู้เชี่ยวชาญ

ตอนที่ 3 แบบประเมินด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกวนสารเคมี ประกอบด้วย

3.1 แบบประเมินด้านโครงสร้างของเครื่อง จำนวน 5 ข้อ

3.2 แบบประเมินด้านความเหมาะสมในการใช้งาน จำนวน 5 ข้อ

3.3 ด้านการบำรุงรักษา จำนวน 5 ข้อ

ตอนที่ 4 ข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

ตอนที่ 1 วัตถุประสงค์ของการประเมิน

แบบประเมินชุดนี้สร้างขึ้นเพื่อสำรวจความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ผู้เชี่ยวชาญด้านการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ผู้มีประสบการณ์ด้านการสอนหรือปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ เกี่ยวกับคุณลักษณะด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกวนสารเคมี แบบประเมินมีเนื้อหาครอบคลุมลักษณะด้านต่าง ๆ ของเครื่องกวนสารเคมี คือ ความเที่ยงตรงของระบบการทำงาน ด้านโครงสร้างของเครื่อง ด้านความเหมาะสมในการใช้งาน และด้านการบำรุงรักษา

ตอนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับสถานะภาพของผู้เชี่ยวชาญ

กรุณาเขียนเครื่องหมาย ✓ ลงในกรอบ [] หน้าข้อความที่ตรงกับความเป็นจริง และ/หรือเติมคำหรือข้อความลงในช่องว่าง

1. เพศ

[] ชาย

[] หญิง

2. อายุ.....ปี

3. ระดับการศึกษา

[] ปริญญาตรีหรือเทียบเท่า

[] ปริญญาโทหรือเทียบเท่า

[] ปริญญาเอก

4. ประสบการณ์การทำงาน

4.1 ด้านการออกแบบ การผลิต ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปี

4.2 ด้านการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.....ปี

4.3 ด้านการสอนหรือปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์.....ปี

5. ตำแหน่งหน้าที่การทำงาน.....
.....
.....

6. อื่นๆ

(โปรดระบุ).....

ตอนที่ 3 แบบประเมินด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกวนสารเคมี

แบบประเมินด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกวนสารเคมี มีทั้งหมด 3 ด้าน ด้านละ 5 ข้อ โปรดเขียนเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องมาตราส่วนประเมินค่า 5 ระดับ ตามความคิดเห็นของท่าน หลังจากทดสอบใช้เครื่องกวนสารเคมี ค่าระดับคะแนนกำหนดไว้ดังนี้

คะแนน 5 หมายถึง การประเมินในระดับดีมาก

คะแนน 4 หมายถึง การประเมินในระดับดี

คะแนน 3 หมายถึง การประเมินในระดับพอใช้

คะแนน 2 หมายถึง การประเมินในระดับต้องปรับปรุง

คะแนน 1 หมายถึง การประเมินในระดับใช้ไม่ได้

แบบประเมินด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกวนสารเคมี

รายละเอียด	ระดับการประเมิน				
	ดีมาก	ดี	พอใช้	ต้องปรับปรุง	ใช้ไม่ได้
	5	4	3	2	1
3.1 ด้านโครงสร้างของตัวเครื่อง					
3.1.1 มีความปลอดภัยในการใช้งาน					
3.1.2 ขนาดกระทัดรัด สวยงาม					
3.1.3 ตัวเครื่องมั่นคง แข็งแรง					
3.1.4 วัสดุที่ใช้ป้องกันการกัดกร่อนของสารเคมี					
3.1.5 วัสดุที่ใช้ป้องกันการเกิดสนิม					
3.2 ด้านความเหมาะสมในการใช้งาน					
3.2.1 ความคล่องตัวในการนำไปใช้งานปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์					
3.2.2 ความคล่องตัวในการนำไปใช้เป็นเครื่องมือและสื่อการสอน					
3.2.3 สามารถใช้ปฏิบัติงานมากกว่า 1 ขั้นตอนในเวลาเดียวกัน					
3.2.4 เคลื่อนย้ายได้สะดวก					
3.2.5 ทำการติดตั้งเพื่อใช้งานได้ง่าย					
3.3 ด้านการบำรุงรักษา					
3.3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้หาได้ง่ายและมีจำหน่ายในประเทศ					
3.3.2 ถอด-ประกอบชิ้นส่วนเพื่อซ่อมแซมกระทำได้สะดวก					
3.3.3 ทำความสะอาดภาชนะที่ใส่สารเคมีได้ง่าย					
3.3.4 จัดหาเครื่องมือ อุปกรณ์สำหรับซ่อมแซมได้สะดวก					
3.3.5 ใช้พื้นที่ในการจัดเก็บน้อย					

ตอนที่ 4 ข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

1.ด้านโครงสร้างของตัวเครื่อง.....

.....

.....

.....

.....

.....

2.ด้านความเหมาะสมในการใช้งาน.....

.....

.....

.....

.....

.....

3.ด้านการบำรุงรักษา.....

.....

.....

.....

.....

.....

4.อื่นๆ.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....

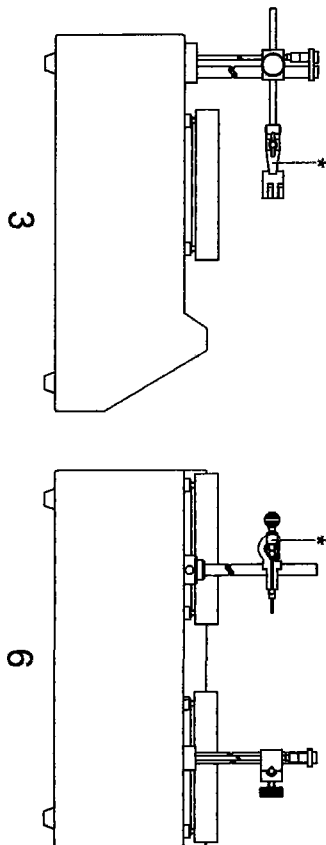
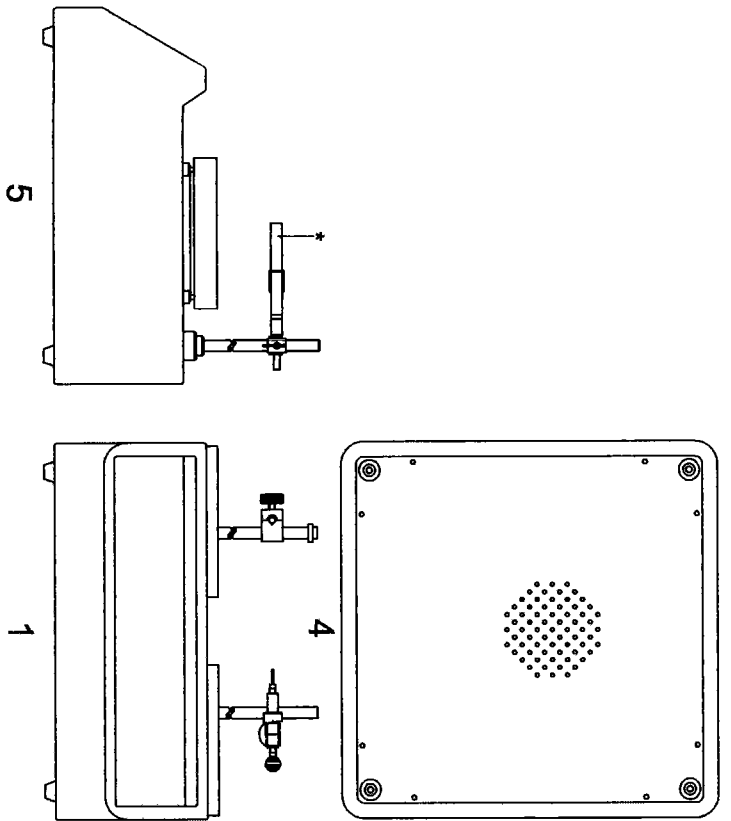
(.....)

ผู้เชี่ยวชาญ

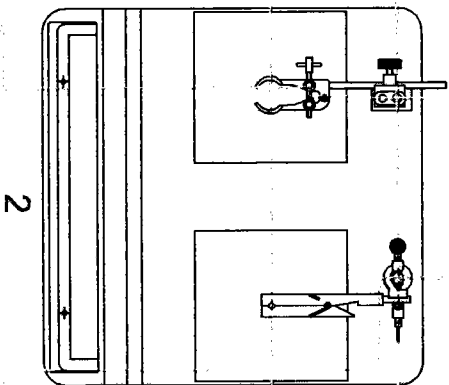
วันที่...../...../.....

ภาคผนวก ค

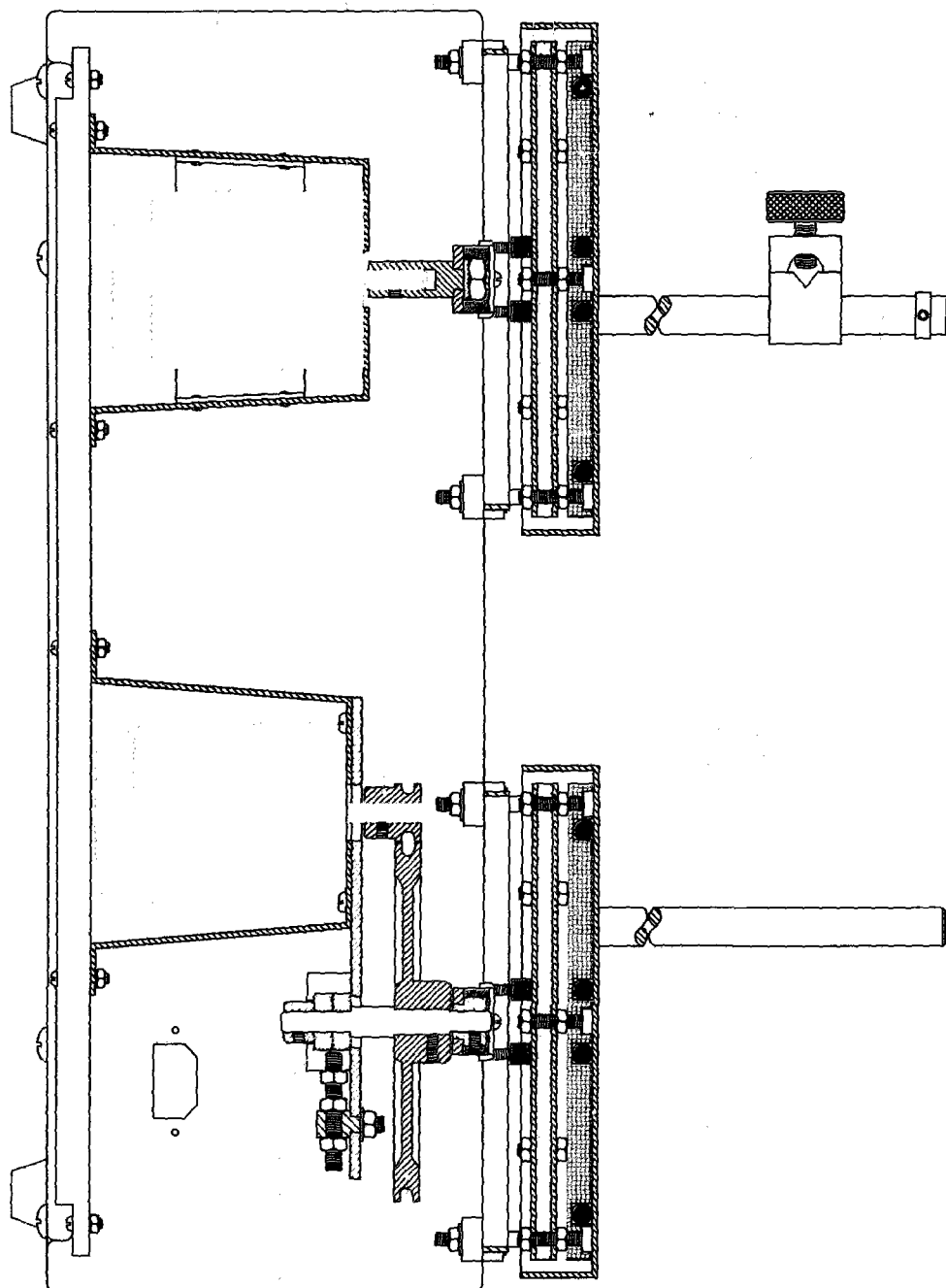
ภาพเขียนแบบส่วนประกอบของเครื่องกวณสารเคมี



* อุปกรณ์สำเร็จรูป (ไม่ได้แสดงในภาพตัดส่วน)



3	ด้านข้างซ้าย	6	ด้านหลัง	DIN 6, ISO-Methode E
2	ด้านบน	5	ด้านข้างขวา	
1	ด้านหน้า	4	ด้านล่าง	
ด้านที่	แนว	ด้านที่	แนว	มาตรฐาน
ผู้เขียนแบบ	ผู้พัฒนา : วงษ์จำปา			
ผู้ตรวจสอบ	พัฒนาเครื่องกลงานสารเคมี			
ภาควิชา	วิศวกรรม	ภาควิชา	001	สาขาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
มาตราส่วน 1:10 มิลลิเมตร	ตัวเครื่องกลงานสารเคมี	หมายเลขแบบ	001	



* ชิ้นส่วนสำเร็จรูป

มาตราส่วน

1:2.86

มิลลิเมตร

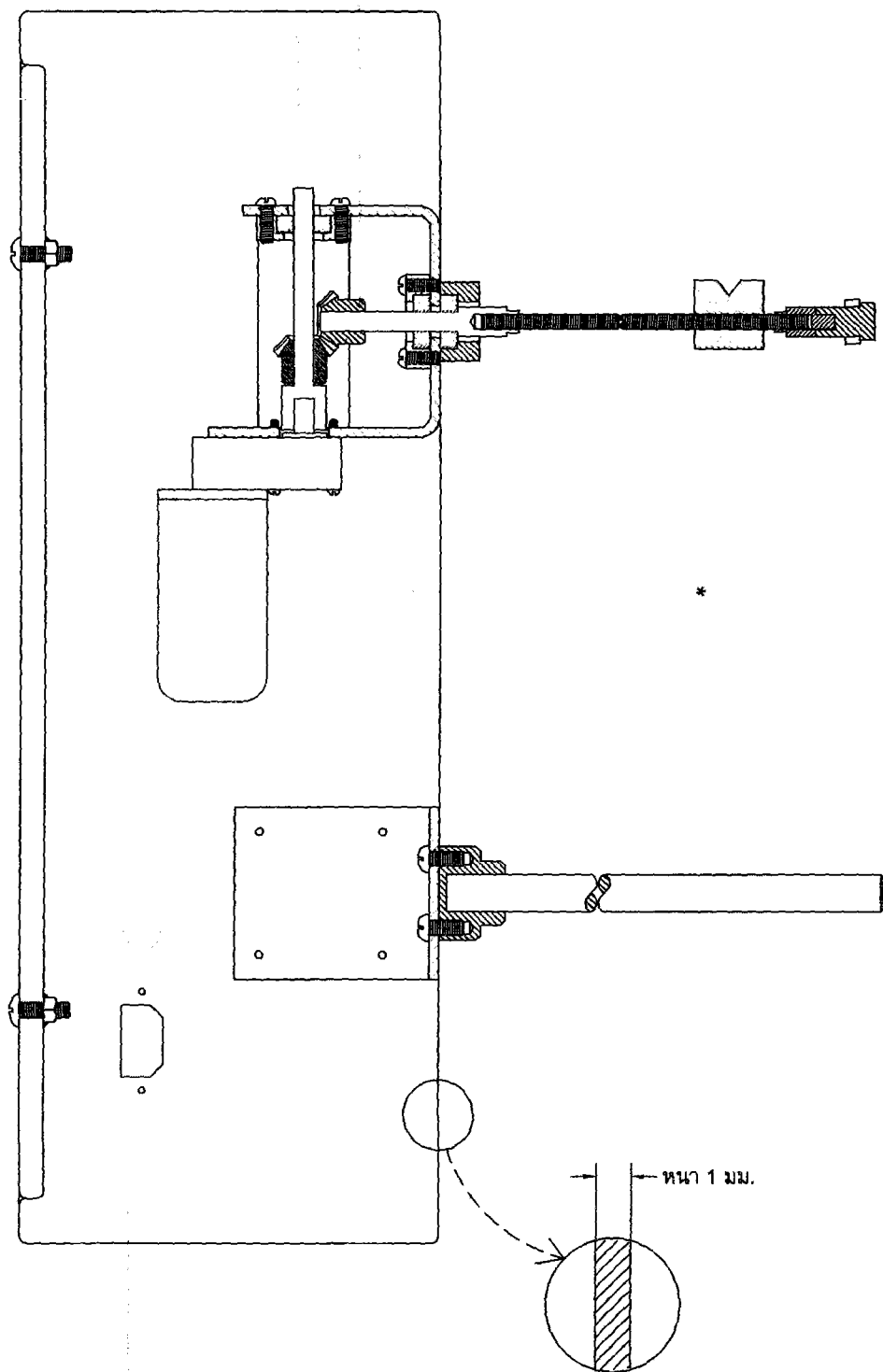
ชื่อแบบงาน

ภาพตัด A-A

หมายเลขแบบ

002





* ชิ้นส่วนสำเร็จรูป

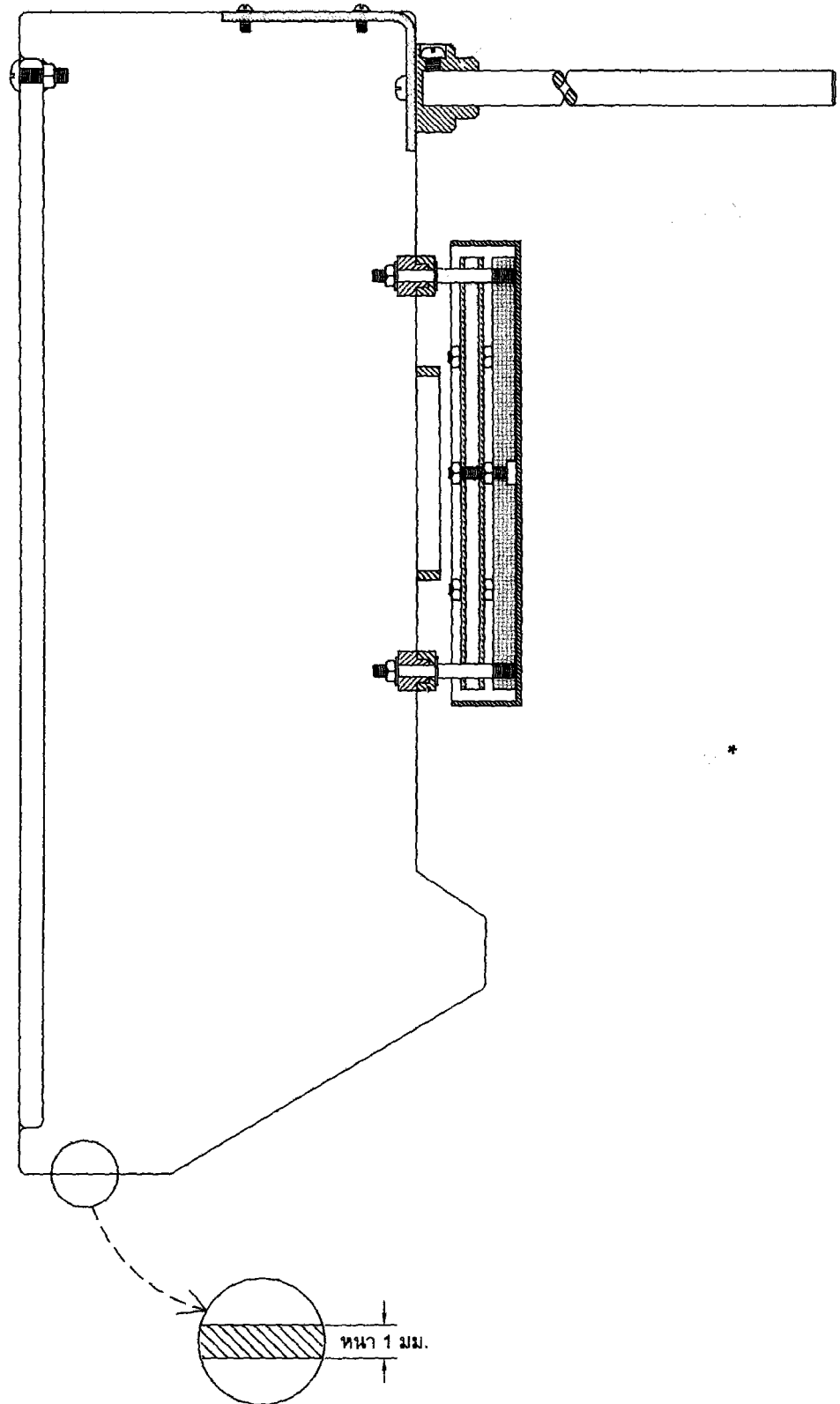
มาตรฐาน
1:2.86

มิลลิเมตร

ชิ้นงาน
ภาพตัด B-B

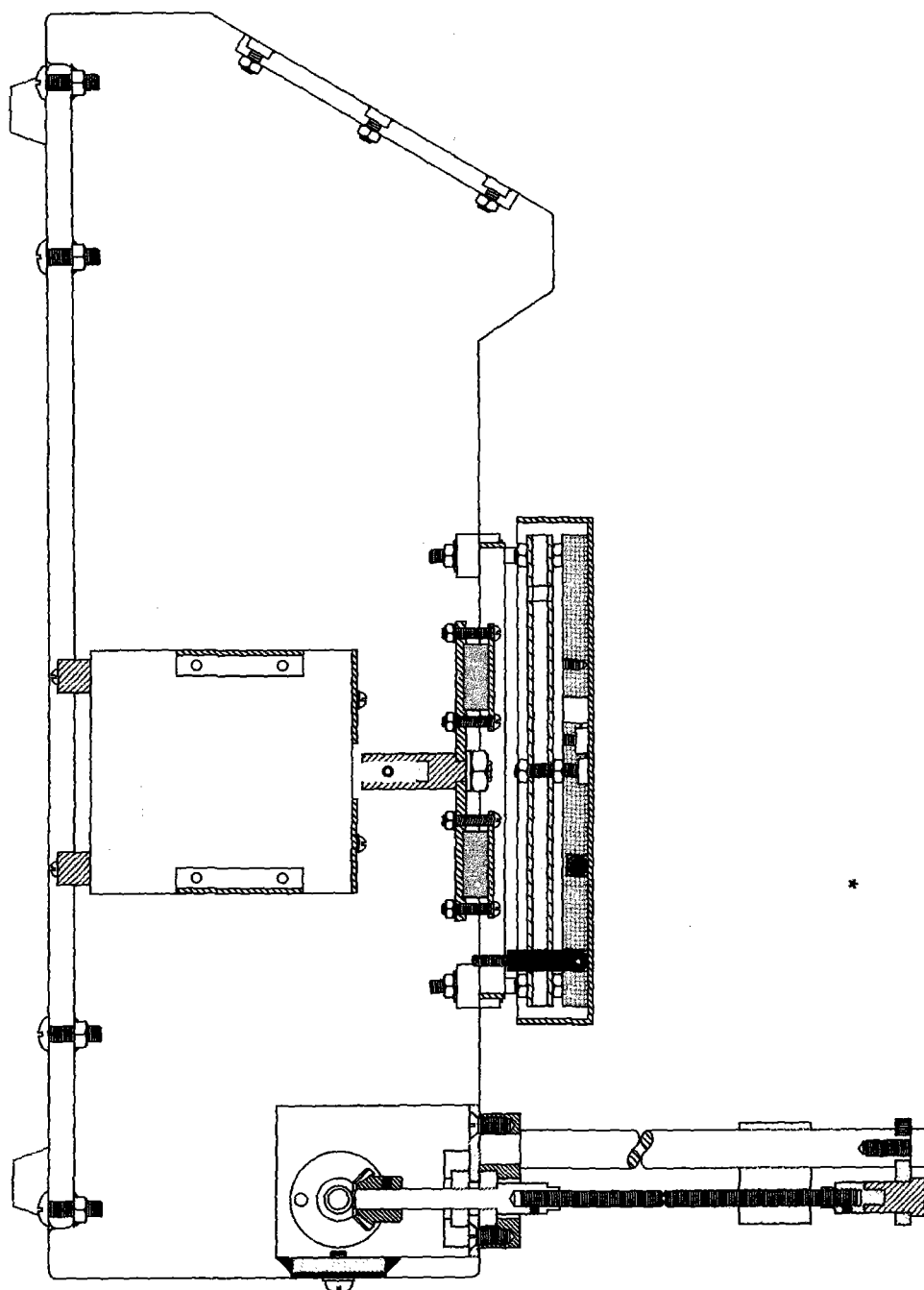
หมายเลข
003





* ชิ้นส่วนสำเร็จรูป

มาตรฐาน 1:2.86 มิลลิเมตร	ชื่อแบบงาน ภาพตัด C-C	หมายเลขแบบ 004	
---	----------------------------------	---------------------------	---



* ชิ้นส่วนสำเร็จรูป

มาตราส่วน

1:2.86

มิลลิเมตร

ชื่อแบบงาน

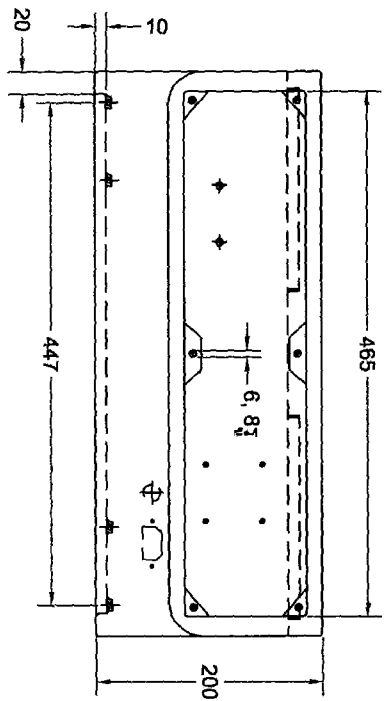
ภาพตัด D-D

หมายเลขแบบ

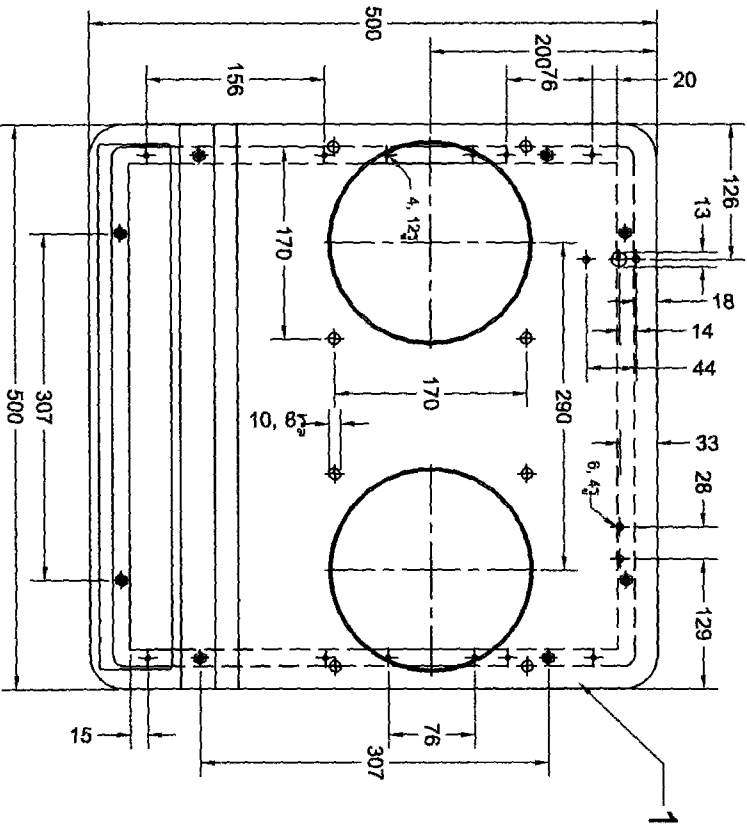
005



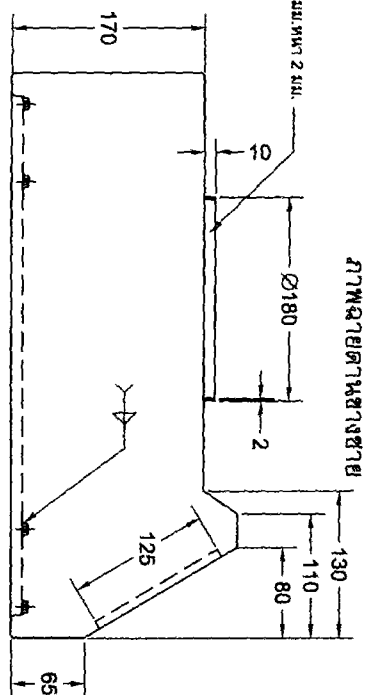
ภาพฉายด้านหน้า



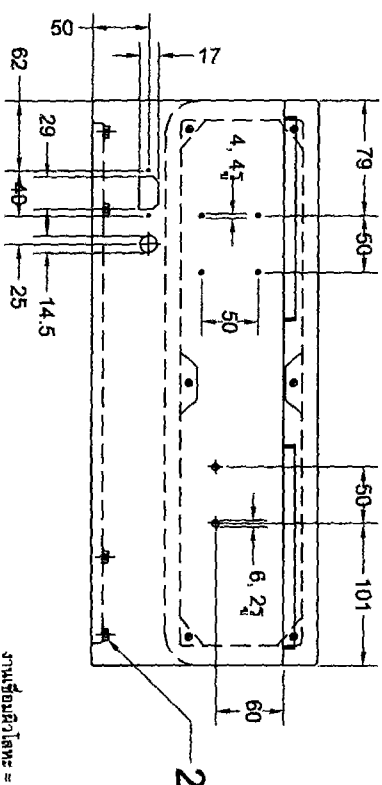
ภาพฉายด้านบน



ภาพฉายด้านข้างซ้าย



ภาพฉายด้านหลัง



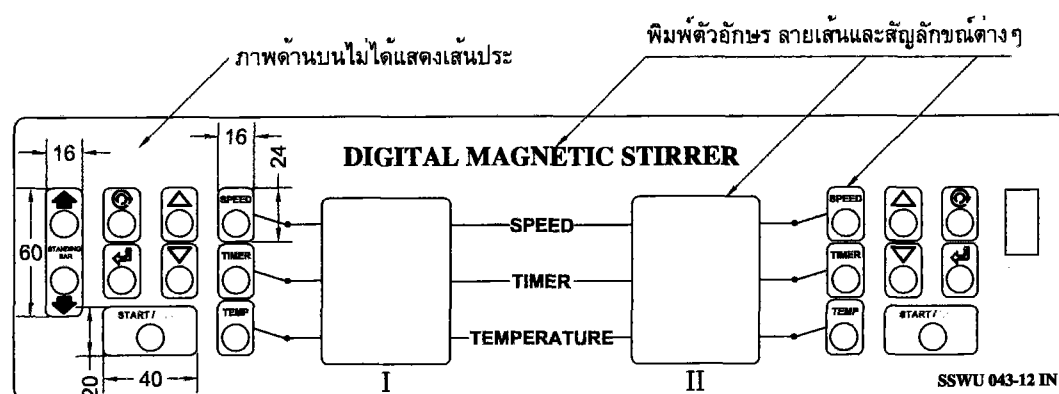
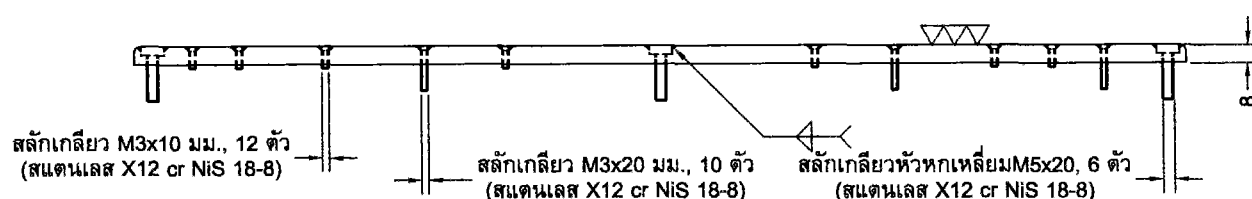
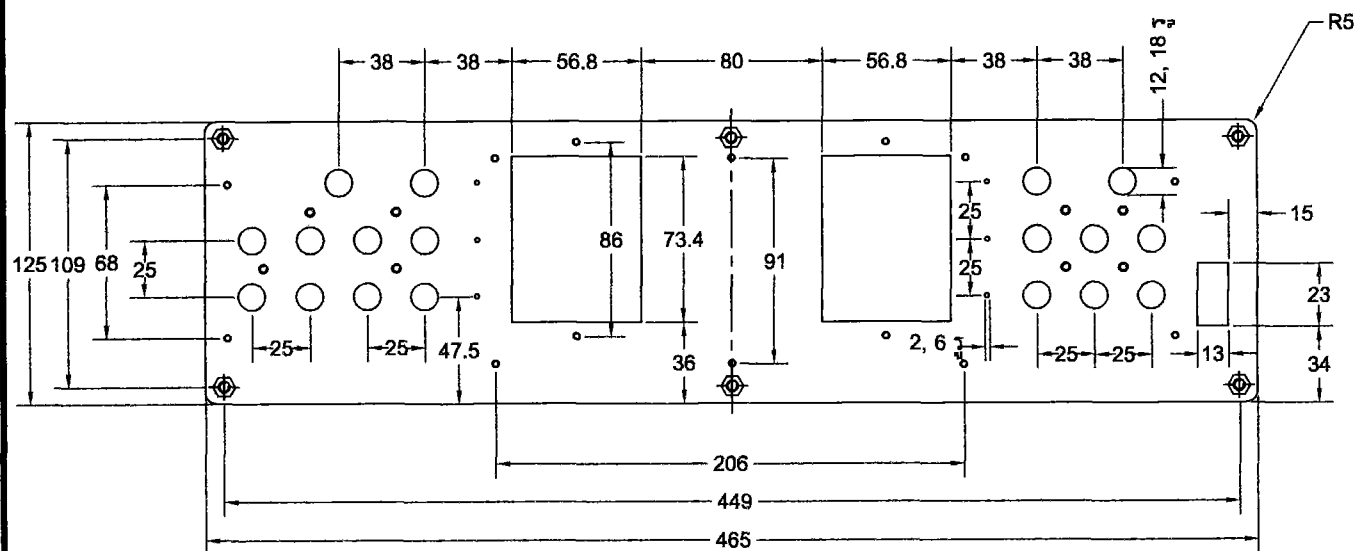
ลักษณะผิวงานด้านนอก = $\nabla \nabla \nabla$ รัศมีผิวมัน, ลักษณะผิวงานด้านใน = ผิวงานดิบ, ทัศนคติความคลาดเคลื่อน (Tolerance) = ± 0.8

งานเชื่อมผิวโลหะ = DIN 1812

2	แผ่นยึดตัวหมวกเหล็ก (นพ) พ8	DIN 934	สแตนเลส X12 or NIS 18-8	8
1	ตัวเครื่องวางเสาเคมี	DIN 1541	สแตนเลส (SUS32) ขนาด 1 มม.	1
ชนิด	รายการ	มาตรฐาน	วัสดุ	จำนวน
ผู้เขียนแบบ	สุวิวัฒน์ วงษ์จำปา			
ผู้ตรวจสอบ	พัฒนาเครื่องวางเสาเคมี			
มาตรฐาน	1:6.67	มิลลิเมตร		
บทสรุป	ตัวเครื่องวางเสาเคมี	006		



สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

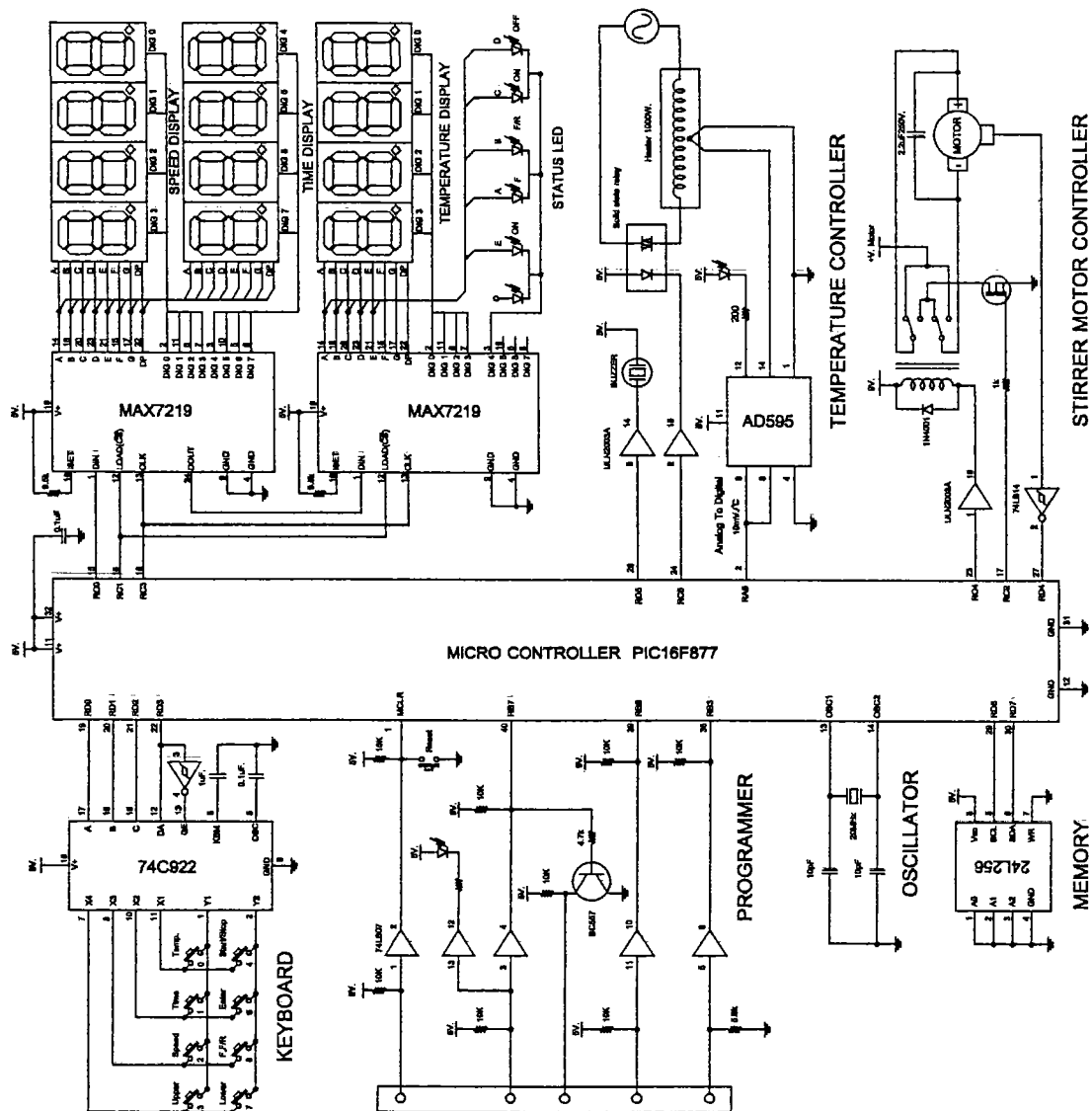


งานเชื่อมผิวโลหะ = DIN 1912

พิกัดความคลาดเคลื่อน (Tolerance) = 0.00
- 0.30

ลักษณะผิวงาน = ผิวติบ ()

3	แผ่นหน้าบัตรด้านหน้า	DIN 1541	สแตนเลส(SUS32) หน้า 1 มม.	1
ชิ้นที่	รายการ	มาตรฐาน	วัสดุ	จำนวน
ผู้เขียนแบบ	สุวัฒน์ วงษ์จำปา		 สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	
ชื่อโครงการ	พัฒนาเครื่องกววนสารเคมี			
มาตราส่วน	ชื่อแบบงาน	หมายเลขแบบ		
3:10 มิลลิเมตร	แผ่นหน้าบัตรด้านหน้า	007		



วัตถุประสงค์

พัฒนาเครื่องกววนสารเคมี

ชื่อแบบงาน

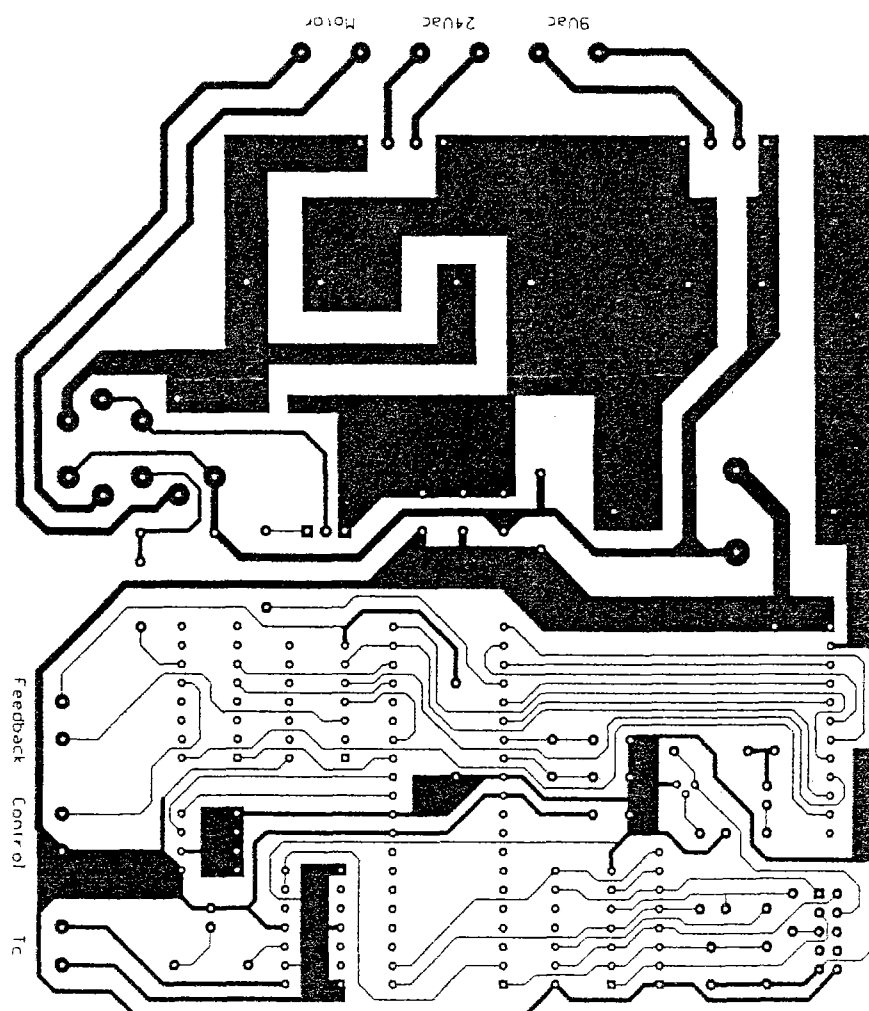
แผนผังชุดควบคุมระบบการทำงาน

หมายเลขแบบ

008



สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



ชื่อโครงการ	พัฒนาเครื่องกวนสารเคมี	 สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ชื่อแบบงาน วงจรชุดควบคุมระบบการทำงาน	หมายเลขแบบ 009	

ภาคผนวก ง
รายการวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้าง

26	ฉนวนข้อต่อ	-	เซรามิก	8
25	เต้าเสียบไฟฟ้า 220 V	มอก.11-2531	-	1
24	มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 100 V DC	IEC 34	-	1
23	มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 24 V DC	IEC 34	-	2
22	เฟืองคอกจอกแบบฟันตรง(Straight Bevel Gear) 1:1	AISI	เหล็กเหนียว(ST 50-1)	2
21	ฉนวนกันความร้อน(Rockwool)	DIN 7728	ใยแก้วเสริมเรซิน	2
20	พูลเลย์ตัวขับ	DIN 17660	ทองเหลือง (Cu 58)	1
19	พูลเลย์ตัวตาม	DIN 1712	อะลูมิเนียม (AL R Mg 0.5)	1
18	สลักเกลียวยึดชุดแผ่นความร้อน	AISI 304	สแตนเลส (X18 Cr17)	8
17	เพลารชุดเฟืองคอกจอก	DIN 1013	เหล็ก (ST 37)	1
16	ดัดบลูกปืน Ø ด้านใน 8 มม.	DIN 625	-	5
15	สตั๊ด(Stud) M6 ยาว 570 มม.	DIN 13	เหล็กเหนียว (ST 42)	1
14	ฐานยึดเสาตั้ง	AISI 304	สแตนเลส (18-8)	1
13	เสาตั้ง (Standing bar)1	AISI 304	สแตนเลส (18-8)	1
12	เสาตั้ง (Standing bar)2	AISI 304	สแตนเลส (18-8)	1
11	แม่เหล็ก(Ferromagnetic)ขนาด □W26 L26 H10 มม.	-	เซรามิก (Ceramic Magnets)	4
10	ฐานยึดมอเตอร์	DIN1712	อะลูมิเนียม (AL98) หน้า 2 มม.	2
9	แผ่นป้องกันความร้อน	DIN 1712	อะลูมิเนียม(AL98) หน้า 1 มม.	4
8	หลอดความร้อน(Tubular Heater)ขนาด 8 มม.	DIN 17440	สแตนเลส (SUS316) ยาว 76 มม.	2
7	แผ่นเก็บความร้อน	DIN 1712	อะลูมิเนียม(AL99) หน้า 10 มม.	2
6	คานยึดแม่เหล็ก1	DIN 1016	เหล็กเส้นแบน (ST 33) หน้า 4 มม.	1
5	กล่องครอบชุดแผ่นความร้อน	DIN 17440	สแตนเลส (SUS 32) หน้า 2 มม.	2
4	แผ่นปิดด้านล่างตัวเครื่อง	DIN 1541	สแตนเลส(SUS32) หน้า 1 มม.	1
3	แผ่นหน้าปิดด้านหน้า	DIN 1541	สแตนเลส(SUS32) หน้า 1 มม.	1
2	แป้นเกลียวหัวทกเหลี่ยม(Nut) M6	DIN 934	สแตนเลส X12 cr NiS 18-8	8
1	ตัวเครื่องกวนสารเคมี	DIN 1541	สแตนเลส(SUS32) หน้า 1 มม.	1

ชั้นที่	รายการ	มาตรฐาน	วัสดุ	จำนวน
---------	--------	---------	-------	-------

ชื่อโครงการ
พัฒนาเครื่องกวนสารเคมี



อุตสาหกรรมศึกษา
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

52	Solid State Relay 10 A/220V	-	-	2
51	Thermocouple type K	DIN EN 60584-2	Nickel-chromium vs Nickel-Aluminum	2
50	Resistor 3301/4W 5%	-	-	2
49	Resistor 9.5K 1/4W 5%	-	-	4
48	Resistor 220 1/4W 5%	-	-	2
47	Transistor BC 557 (PNP)	-	-	2
46	IC AD595AQ DIP14	-	-	2
45	IC-คีย์บอร์ด	-	-	2
44	IC-Invertor	-	-	2
43	IC-ขับแรงดัน ULN 2803	-	-	4
42	IC Regulator 7805 CK	-	-	2
41	IC-ภาคแสดงผล Max 7219	-	-	4
40	IC-ภาคสื่อสาร Max 232	-	-	2
39	IC-Memory 24C 16	-	-	2
38	IC-ฐานเวลา DS 1307	-	-	1
37	Microcontroller Ship PIC 16F877	-	-	2
36	SW Tack 10 มม.	-	-	17
35	SW On-Off	-	-	1
34	Buzzer	-	-	2
33	XTal 32 K	-	-	2
32	XTal 20.00 MHz.	-	-	2
31	7-Segment TOD-5261AE	-	-	6
30	ที่พิกสายไฟ 2 จุด	-	-	10
29	Heatsink - 220	-	-	2
28	Contacto 12 pin ตัวเมีย	-	-	12
27	Contacto 2 pin ตัวผู้	-	-	8

ชั้นที่	รายการ	มาตรฐาน	วัสดุ	จำนวน
---------	--------	---------	-------	-------

ชื่อโครงการ
พัฒนาเครื่องกวนสารเคมี



อุตสาหกรรมศึกษา
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

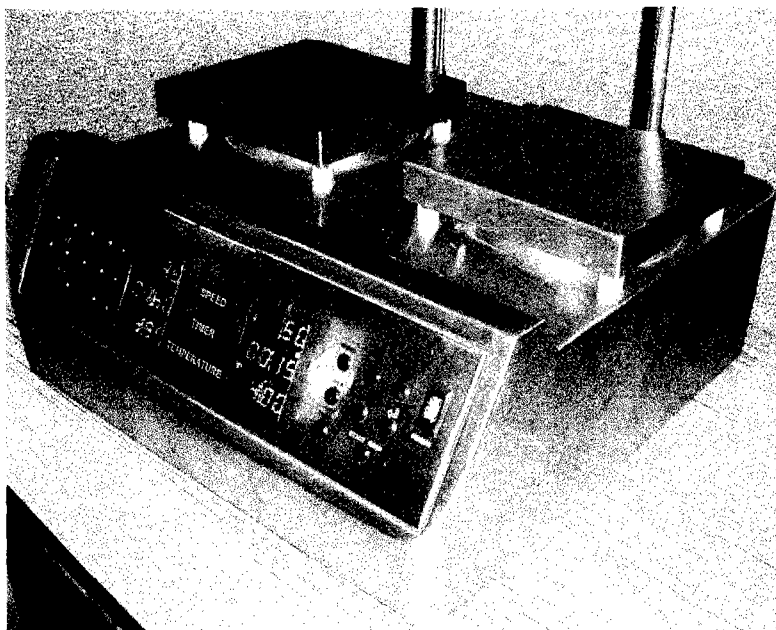
ภาคผนวก จ
รายการเครื่องมือที่ใช้สร้างเครื่องทวนสารเคมี

รายการเครื่องมือต่าง ๆที่ใช้สร้างเครื่องกวนสารเคมี

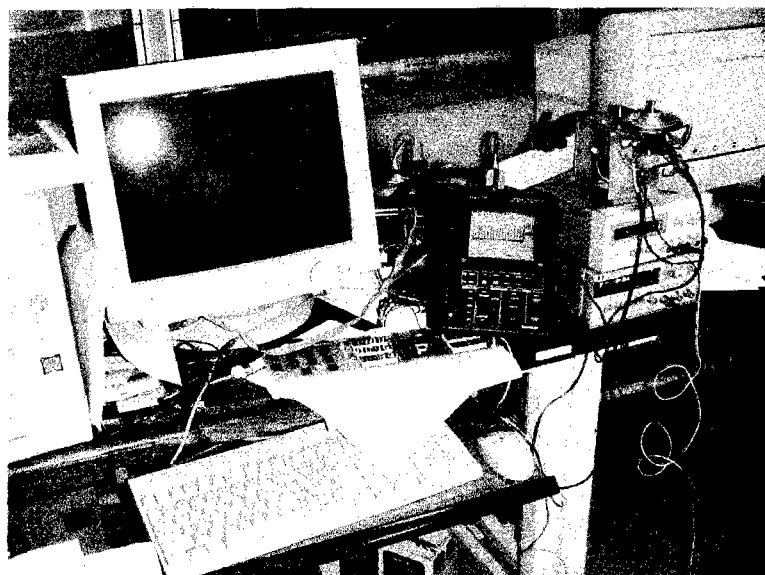
1. เครื่องกลึงโลหะพร้อมอุปกรณ์
2. เครื่องเจาะโลหะ แบบตั้งพื้น และเครื่องเจาะสว่านไฟฟ้า แบบใช้มือ
3. เลื่อยมือตัดโลหะ
4. เครื่องกัดโลหะ พร้อมอุปกรณ์
5. เครื่องเชื่อมโลหะ 1 เครื่อง
6. ชุดไขควง 1 ชุด
7. ชุดประแจปากตาย 1 ชุด
8. เหล็กฉากวัดมุม
9. บรรทัดเหล็ก
10. เหล็กตอกนำศูนย์
11. เหล็กขีดร่างแบบงาน
12. ปากกาจับงานโลหะแบบแท่นตั้งโต๊ะและปากกาจับงานแบบ C (C-Clamp)
13. ค้อนเหล็กขนาดเล็ก 1 อัน
14. ตะไบโลหะ 1 ชุด
15. กระดาษทรายขัดโลหะ เบอร์ 200 400 600 800 และเบอร์ 1000
16. น้ำมันขัดเงาโลหะ 1 กระป๋อง
17. เครื่องขัดเงาโลหะ 1 เครื่อง
18. หัวแร้งไฟฟ้าและตะกั่วบัดกรี 1 ชุด
19. เครื่องคอมพิวเตอรื เครื่องพิมพ์ 1 ชุด
20. มัลติมิเตอร์ เทอร์โมคัปเปิลและชุดวัดสอบอุณหภูมิ
21. คีมย้ำสายไฟ 1 อัน
22. เครื่อง Datataker via DeLogger ตรวจวัดอุณหภูมิและบันทึกข้อมูล 1 เครื่อง
23. เครื่องตรวจนับความเร็วรอบ 1 เครื่อง
24. เวอร์เนียคาลิเปอร์

ภาคผนวก จ

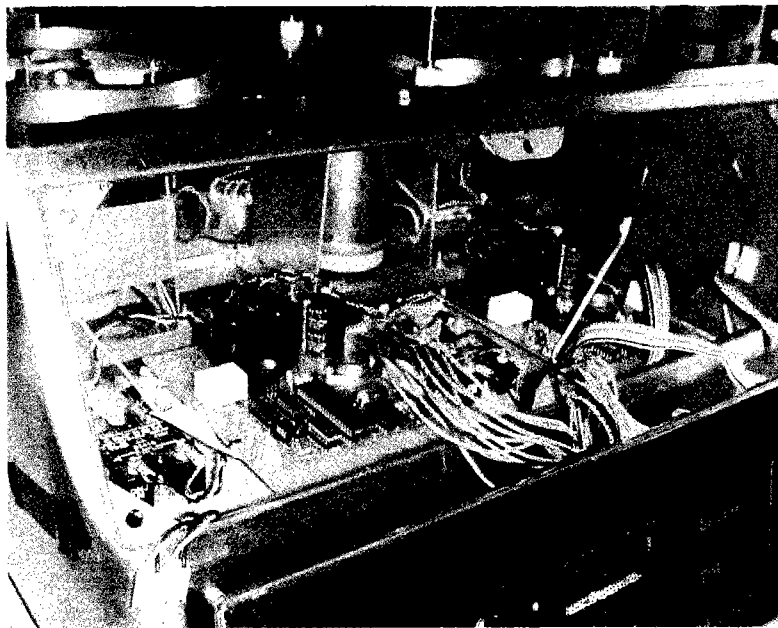
ส่วนประกอบและการทดสอบระบบการทำงานของเครื่อง



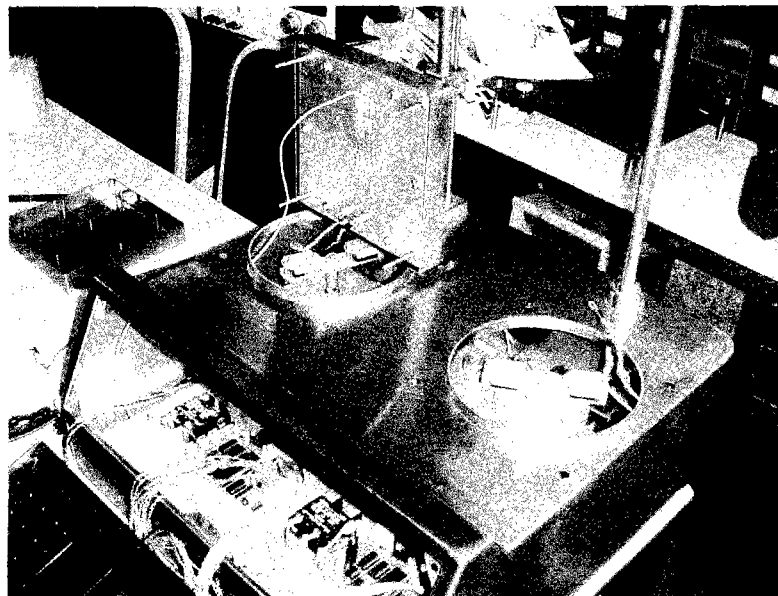
ภาพประกอบ 48 ส่วนป้อนข้อมูลและหน้าจอแสดงผล



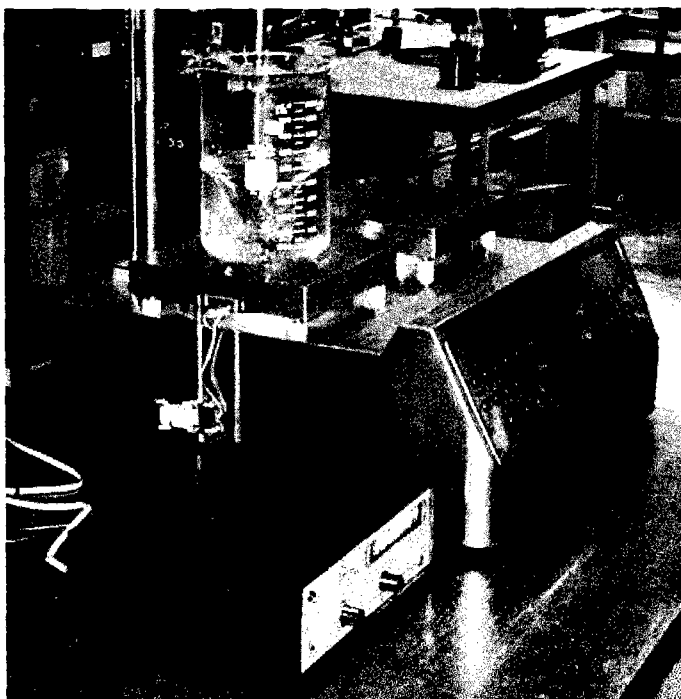
ภาพประกอบ 49 การตรวจสอบระบบควบคุมการทำงาน



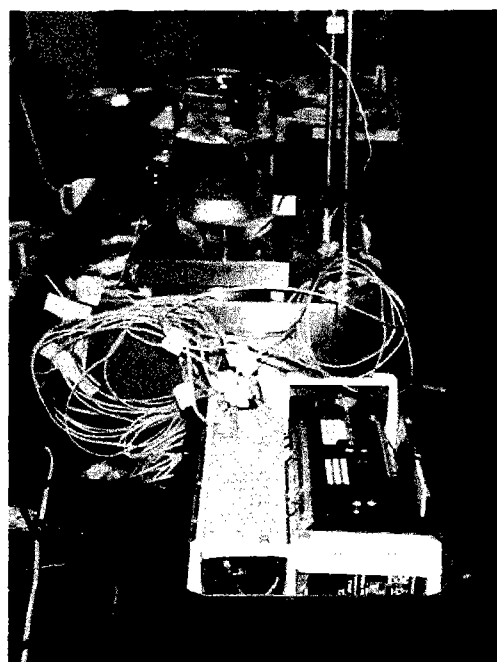
ภาพประกอบ 50 ชุดวงจรควบคุมระบบการทำงานภายในตัวเครื่อง



ภาพประกอบ 51 ส่วนประกอบภายนอกตัวเครื่อง



ภาพประกอบ 52 วิธีการวัดความเร็วรอบในการกวน



ภาพประกอบ 53 วิธีการวัดอุณหภูมิ

ภาคผนวก ข
ผลการประเมินเครื่องกวนสารเคมีโดยผู้เชี่ยวชาญ

ผลการวัดความเที่ยงตรงของระบบการทำงานโดยผู้เชี่ยวชาญ

ตาราง 32 ผลการวัดระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวาน

รายละเอียด	30 รอบ/นาที	80 รอบ/นาที	200 รอบ/นาที	500 รอบ/นาที	800 รอบ/นาที
ผู้เชี่ยวชาญคนที่1	29.00	82.00	200.00	497.00	799.00
ผู้เชี่ยวชาญคนที่2	30.00	81.00	199.00	501.00	800.00
ผู้เชี่ยวชาญคนที่3	30.00	80.00	202.00	500.00	803.00
ผู้เชี่ยวชาญคนที่4	31.00	80.00	198.00	498.00	802.00
ผู้เชี่ยวชาญคนที่5	29.00	83.00	200.00	502.00	801.00
$\bar{x}$	<u>29.80</u>	<u>81.20</u>	<u>199.80</u>	<u>499.60</u>	<u>801.00</u>
<u>SD</u>	<u>0.84</u>	<u>1.30</u>	<u>1.48</u>	<u>2.07</u>	<u>1.58</u>
ร้อยละ	<u>0.66</u>	<u>1.40</u>	<u>0.10</u>	<u>0.08</u>	<u>0.12</u>

ตาราง 33 ผลการวัดระบบควบคุมเวลาทำงาน

รายละเอียด	5 นาที	10 นาที	30 นาที	60 นาที	90 นาที
ผู้เชี่ยวชาญคนที่1	5.02	10.01	29.59	60.03	90.10
ผู้เชี่ยวชาญคนที่2	5.00	09.58	30.00	59.59	89.58
ผู้เชี่ยวชาญคนที่3	4.59	09.59	30.05	59.58	90.05
ผู้เชี่ยวชาญคนที่4	5.00	10.02	29.58	60.00	89.40
ผู้เชี่ยวชาญคนที่5	5.00	10.00	30.00	60.04	90.20
$\bar{x}$	<u>4.92</u>	<u>9.84</u>	<u>29.84</u>	<u>59.84</u>	<u>89.86</u>
<u>SD</u>	<u>0.17</u>	<u>0.21</u>	<u>0.21</u>	<u>0.22</u>	<u>0.32</u>
ร้อยละ	<u>1.56</u>	<u>1.60</u>	<u>0.52</u>	<u>0.25</u>	<u>0.14</u>

ตาราง 34 ผลการวัดระบบควบคุมอุณหภูมิ

รายละเอียด	40 องศาเซลเซียส	60 องศาเซลเซียส	100 องศาเซลเซียส	300 องศาเซลเซียส	400 องศาเซลเซียส
ผู้เชี่ยวชาญคนที่1	39.80	60.50	102.20	303.10	403.20
ผู้เชี่ยวชาญคนที่2	40.20	59.90	100.80	301.20	398.40
ผู้เชี่ยวชาญคนที่3	39.90	62.20	98.70	300.70	399.70
ผู้เชี่ยวชาญคนที่4	38.00	58.40	101.50	298.20	400.50
ผู้เชี่ยวชาญคนที่5	41.00	61.30	97.60	297.90	401.30
$\bar{x}$	<u>39.78</u>	<u>60.46</u>	<u>100.16</u>	<u>300.22</u>	<u>400.62</u>
SD	<u>1.10</u>	<u>1.44</u>	<u>1.94</u>	<u>2.18</u>	<u>1.80</u>
ร้อยละ	<u>0.55</u>	<u>0.76</u>	<u>0.16</u>	<u>0.07</u>	<u>0.15</u>

ผลการประเมินสมรรถนะของเครื่องกวนสารเคมีโดยผู้เชี่ยวชาญ

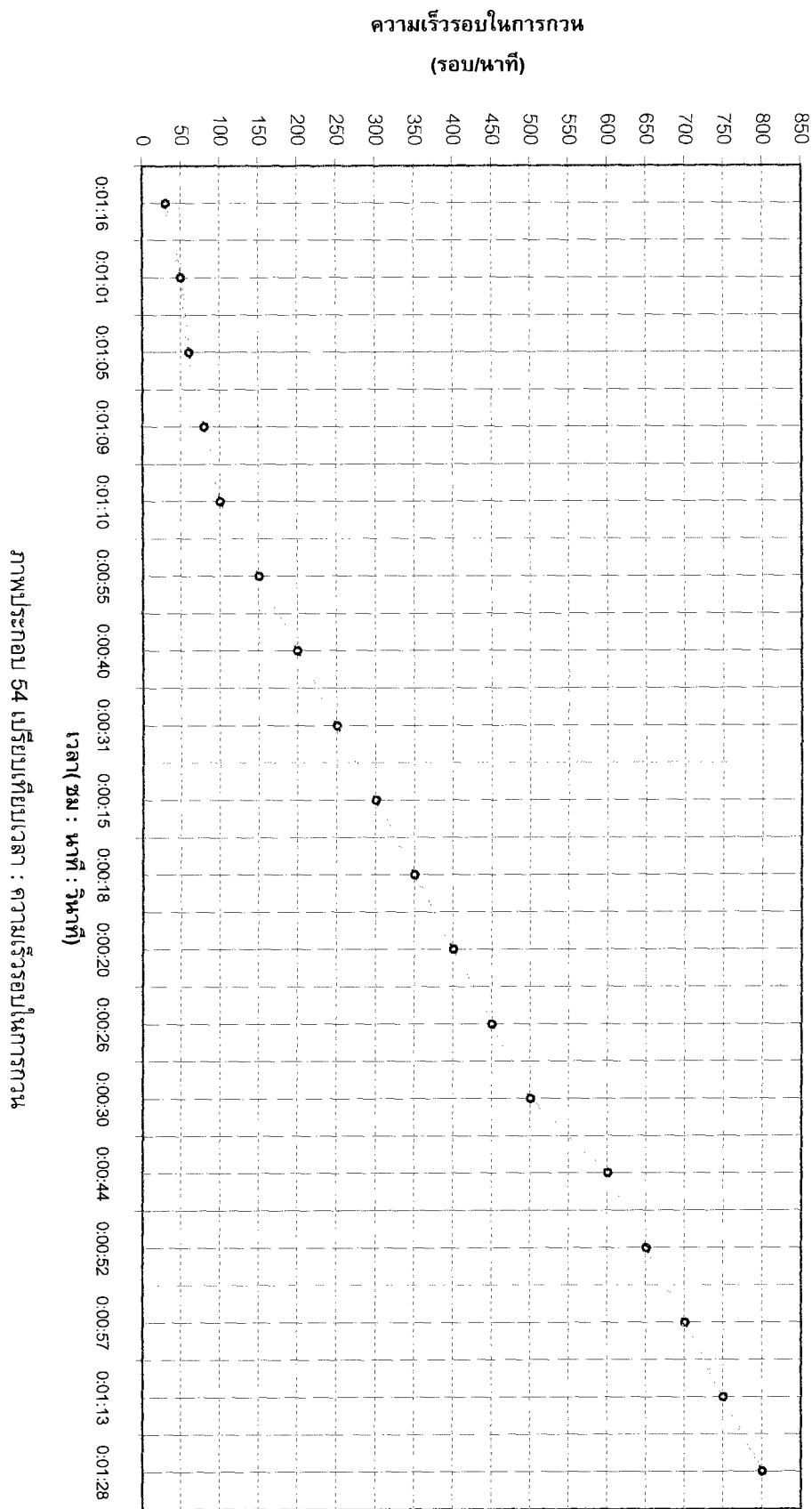
ตาราง 35 ผลการประเมินสมรรถนะของระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวน

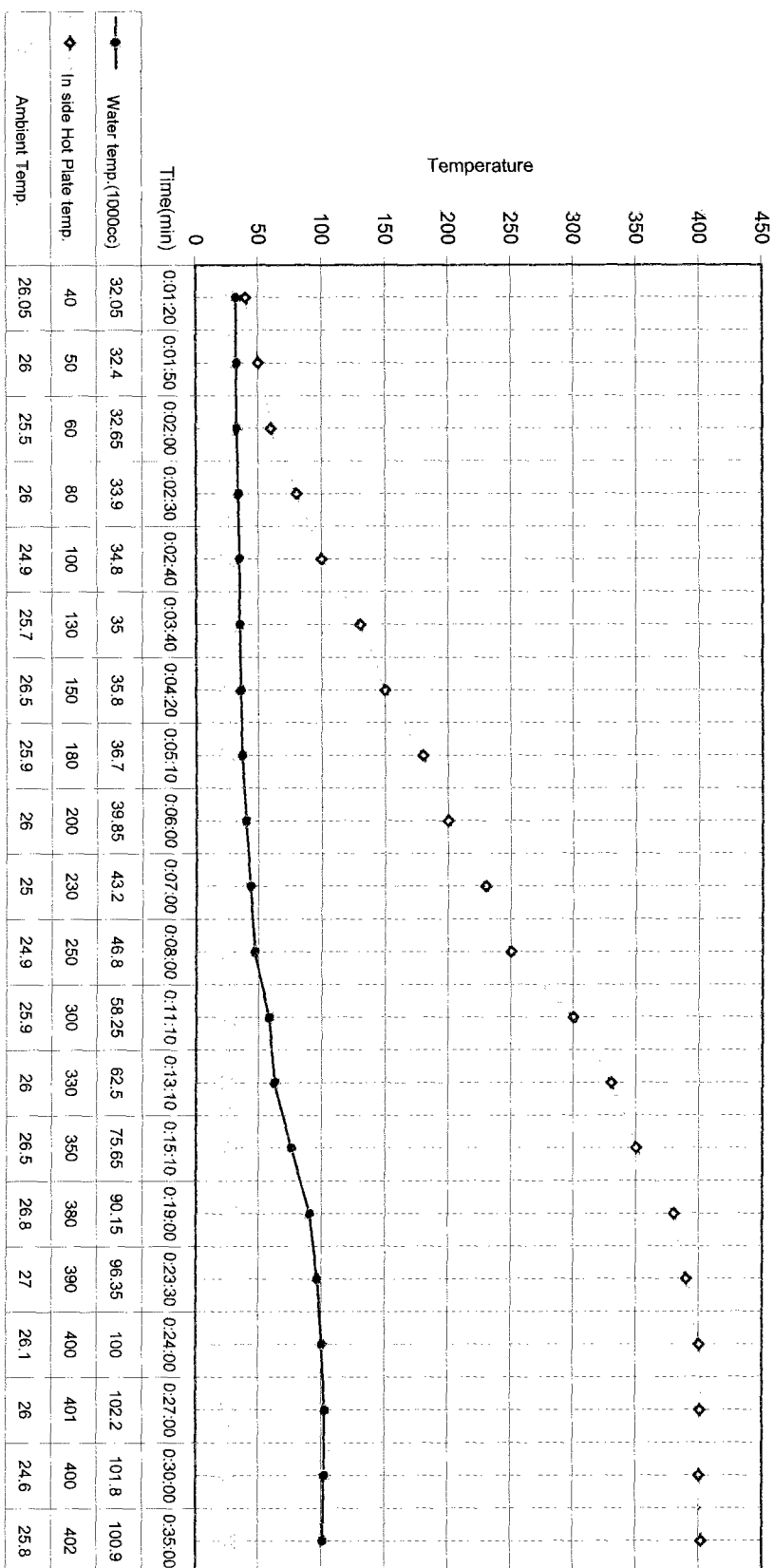
รายละเอียด	ผู้ เชี่ยวชาญ คนที่ 1	ผู้ เชี่ยวชาญ คนที่ 2	ผู้ เชี่ยวชาญ คนที่ 3	ผู้ เชี่ยวชาญ คนที่ 4	ผู้ เชี่ยวชาญ คนที่ 5	$\bar{X}$	SD
สมรรถนะของระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวน							
1 ปรับความเร็วรอบในการกวนได้ตามต้องการ	5	5	5	5	4	4.8	0.45 ✓
2 กำหนดช่วงความเร็วรอบมีความเหมาะสม	5	5	4	5	4	4.6	0.55 ✓
3 ลักษณะการกวนมีความสม่ำเสมอ	5	4	4	4	4	4.2	1.56
4 ใช้อุปกรณ์เสริมประกอบการกวนได้สะดวก	4	5	5	4	4	4.4	0.55 ✓
5 กวนสารเคมีได้เป็นอย่างดีและรวดเร็ว	4	4	5	4	4	4.2	1.56
สมรรถนะของระบบควบคุมเวลาทำงาน							
1 กำหนดช่วงการตั้งเวลามีความเหมาะสม	4	5	4	4	4	4.2	1.56
2 การตั้งเวลากระทำได้ง่าย	4	5	5	5	4	4.6	1.43
3 ค่าพิกัดความคลาดเคลื่อนของเวลามีความเหมาะสม	4	5	4	4	4	4.2	1.56
4 ติดตั้งระบบสัญญาณเตือน สภาวะการทำงาน	4	4	4	4	4	4.0	0.00
5 ออกแบบวงจรมีความเหมาะสม	5	4	4	4	4	4.2	1.56
สมรรถนะของระบบควบคุมอุณหภูมิ							
1 ระบบการให้ความร้อนมีความเหมาะสมต่อการใช้งาน	5	4	4	4	4	4.2	1.56
2 การตั้งอุณหภูมิกระทำได้ง่าย	5	5	5	5	4	4.8	0.45
3 ค่าพิกัดความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิมีความเหมาะสม	4	4	4	4	4	4.0	0.00
4 ช่วงอุณหภูมิที่ใช้มีความเหมาะสมต่อการใช้งานทดลอง	4	5	5	4	4	4.4	0.55
5 ปรับระบบให้ความร้อนได้อย่างรวดเร็ว	4	5	4	4	3	4.0	0.70
เฉลี่ย						4.32	0.50

ผลการประเมินด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกวนสารเคมีโดยผู้เชี่ยวชาญ

ตาราง 36 ผลการประเมินด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกวนสารเคมี

รายละเอียด	ผู้เชี่ยวชาญ คนที่ 1	ผู้เชี่ยวชาญ คนที่ 2	ผู้เชี่ยวชาญ คนที่ 3	ผู้เชี่ยวชาญ คนที่ 4	ผู้เชี่ยวชาญ คนที่ 5	$\bar{x}$	SD
ด้านโครงสร้างของตัวเครื่อง							
1 มีความปลอดภัยในการใช้งาน	4	4	4	4	4	4.0	0.00
2 ขนาดกระทัดรัด สวยงาม	5	4	4	4	4	4.2	0.45
3 ตัวเครื่องมั่นคง แข็งแรง	5	5	3	5	4	4.4	0.94
4 วัสดุที่ใช้ป้องกันการกัดกร่อนของสารเคมี	5	5	4	4	4	4.4	0.55
5 วัสดุป้องกันการเกิดสนิม	5	5	5	4	5	4.8	0.45
ความเหมาะสมในการใช้งาน							
1 ความคล่องตัวในการนำไปใช้งานปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์	4	5	4	4	4	4.2	0.45
2 ความคล่องตัวในการนำไปใช้เป็นเครื่องมือและสื่อการสอน	4	4	5	3	4	4.0	0.70
3 สามารถใช้ปฏิบัติงานมากกว่า 1 ขั้นตอนในเวลาเดียวกัน	5	4	5	4	5	4.6	0.55
4 เคลื่อนย้ายได้สะดวก	5	4	2	3	3	3.4	1.14
5 ทำการติดตั้งเพื่อการใช้งานได้ง่าย	5	5	4	4	4	4.4	0.55
ด้านการบำรุงรักษา							
1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้หาได้ง่ายและมีจำหน่ายในประเทศ	5	5	4	4	4	4.4	0.55
2 ถอด-ประกอบชิ้นส่วนเพื่อซ่อมแซมกระทำได้สะดวก	5	5	4	4	4	4.4	0.55
3 ทำความสะอาดภาชนะที่ใส่สารเคมีได้ง่าย	5	5	4	4	4	4.4	0.55
4 จัดหาเครื่องมือ อุปกรณ์สำหรับซ่อมแซมได้สะดวก	4	4	4	4	4	4.0	0.00
5 ใช้พื้นที่ในการจัดเก็บน้อย	5	4	5	3	4	4.2	0.84
เฉลี่ย						4.25	0.64





ภาพประกอบ 55 เปรียบเทียบเวลา : อุณหภูมิที่เปลี่ยนความร้อน : อุณหภูมิที่น้ำ

ภาคผนวก ข
คู่มือการใช้เครื่องทวนสารเคมี



คู่มือการใช้เครื่องกวนสารเคมีด้วยแรงแม่เหล็ก
สำหรับปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์

DIGITAL MAGNETIC STIRRER

SSWU 043-12 IN

สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

คำนำ

คู่มือการใช้เครื่องกวนสารเคมีด้วยแรงแม่เหล็ก ฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นแนวทางให้ผู้ใช้ได้ทำความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้าง ส่วนประกอบ อุปกรณ์ การใช้งาน การบำรุงรักษาและคุณลักษณะทางเทคนิค เพื่อให้การใช้งานเครื่องกวนสารเคมีด้วยแรงแม่เหล็ก สำหรับปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ เป็นไปอย่างถูกต้องเหมาะสม มีความปลอดภัยและเพื่อรักษาสภาพอายุการใช้งานของเครื่องให้ได้นาน

ผู้วิจัยหวังว่า คู่มือฉบับนี้จะช่วยให้ผู้ใช้งานเครื่องกวนสารเคมีในห้องเรียนหรือห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

สุวัฒน์ วงษ์จำปา

สารบัญ

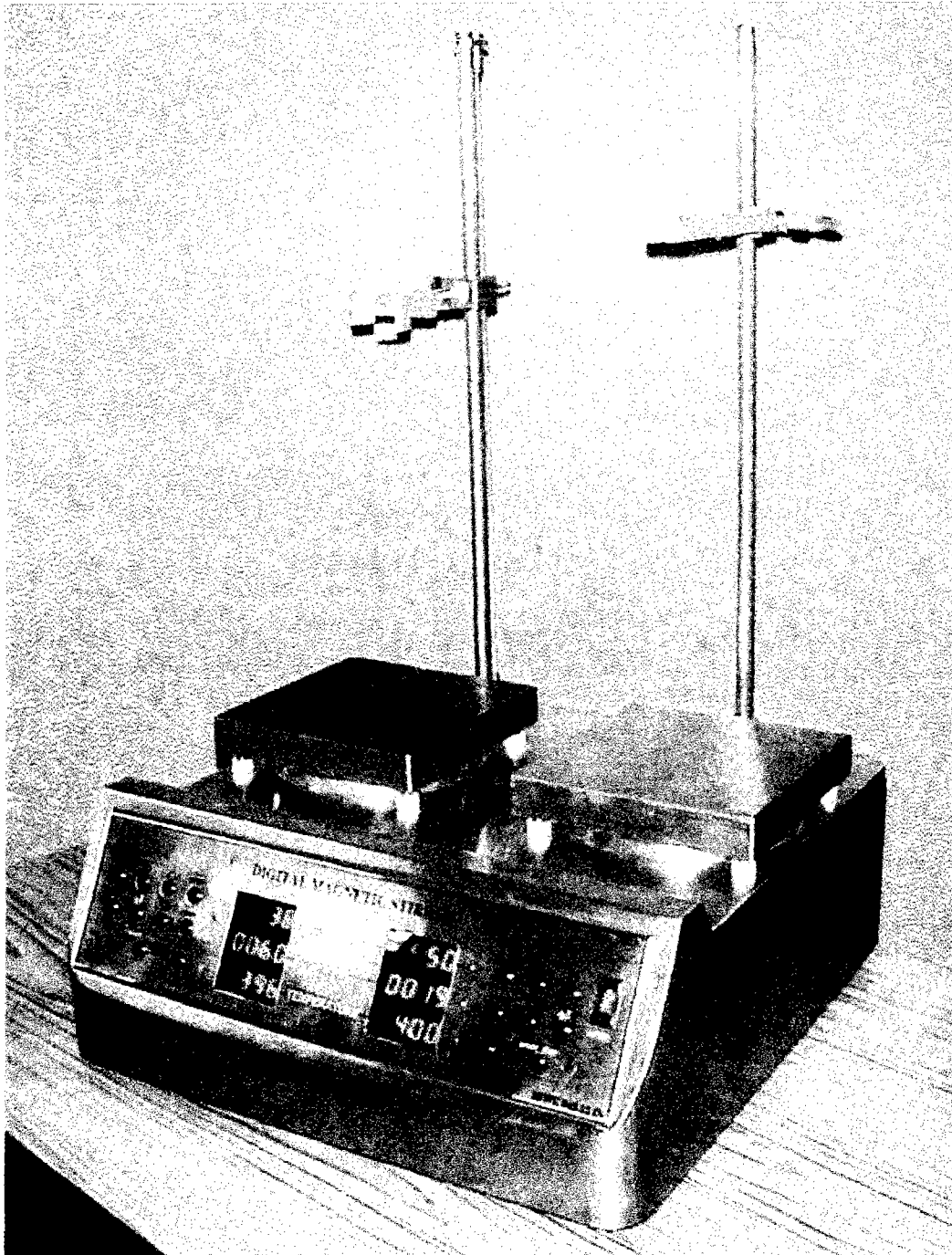
หน้า

ข้อควรระวัง.....	194
ลักษณะเครื่องกวนสารเคมีด้วยแรงแม่เหล็ก.....	195
ส่วนประกอบเครื่องกวนสารเคมี.....	198
การใช้งานเครื่องกวนสารเคมี.....	199
การกำหนดค่าต่างๆของระบบการใช้งานเครื่องกวนสารเคมี.....	200
ขั้นตอนการตั้งความเร็วรอบในการกวน.....	200
ขั้นตอนการตั้งเวลา.....	201
ขั้นตอนการตั้งอุณหภูมิ.....	202
การจัดเก็บและบำรุงรักษาเครื่องกวนสารเคมี.....	203
คุณลักษณะทางเทคนิคของเครื่องกวนสารเคมี.....	203

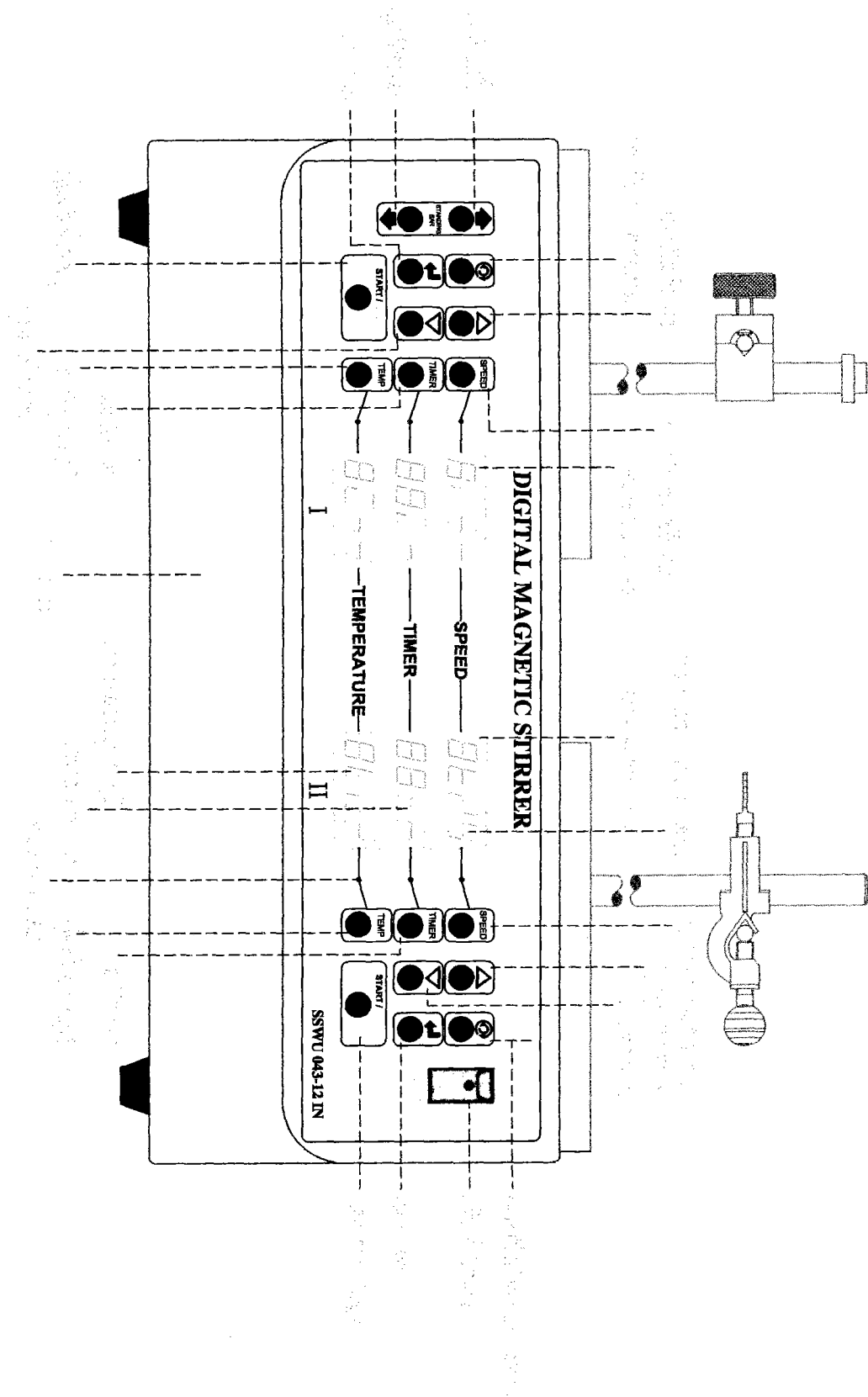
ข้อควรระวัง

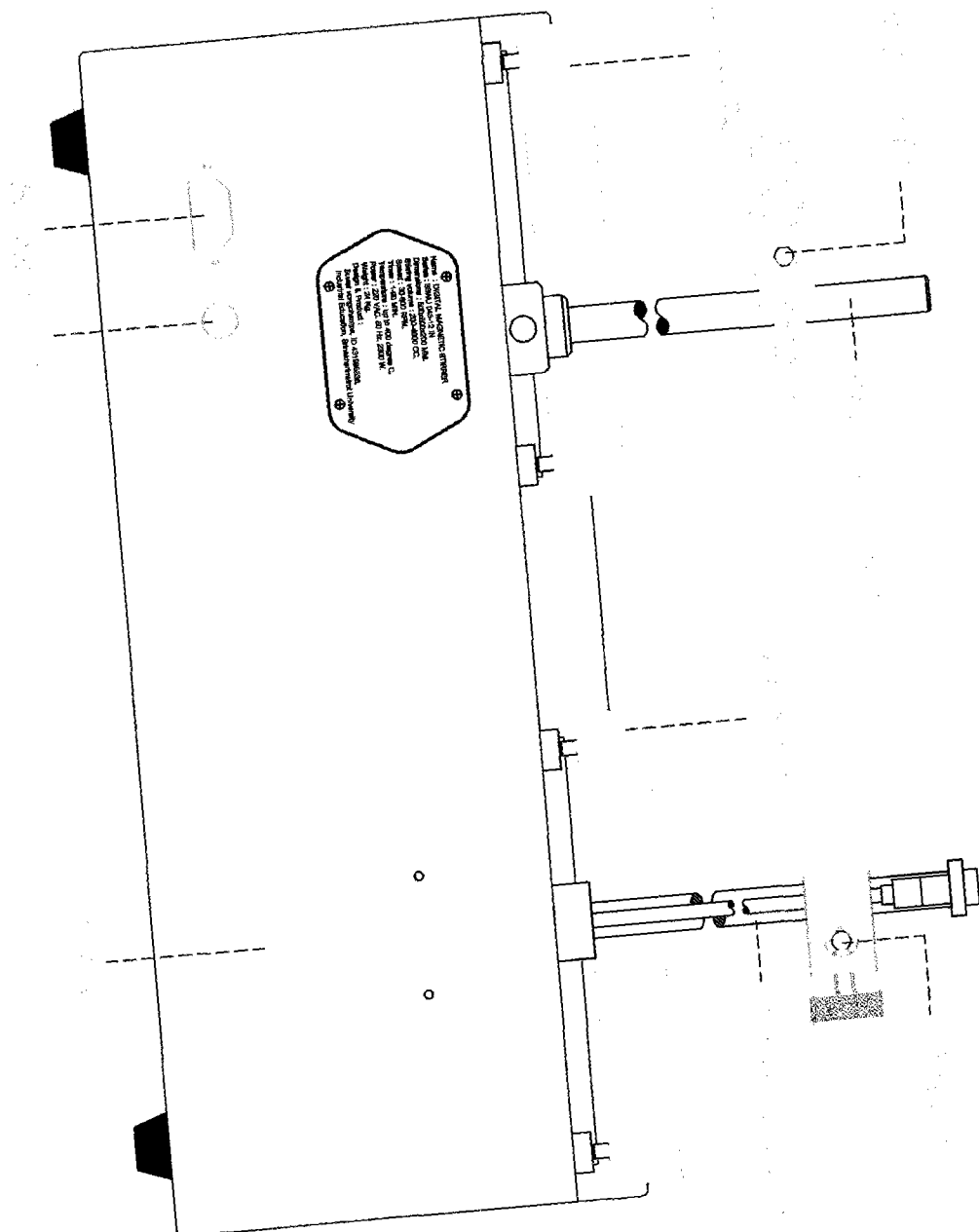
1. ขณะใช้งาน ควรเสียบเต้าเสียบสายไฟฟ้าให้แน่น
2. เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าลัดวงจร ควรหลีกเลี่ยงละอองความชื้นหรือของเหลวเข้าภายในตัวเครื่อง
3. ไม่ควรเสียบเต้าเสียบไว้เมื่อไม่ได้ใช้เครื่อง
4. ไม่ควรวางวัสดุ อุปกรณ์ เช่น นาฬิกา บัตรเครดิต วีดีโอเทปบนชุดแผ่นความร้อน เพราะสนามแม่เหล็ก จะทำให้เกิดความเสียหายได้
5. ไม่ควรถอดชุดแผ่นความร้อน ชุดอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมระบบการทำงาน หน้าจอแสดงผล หรือแผ่นปิด ด้านล่างตัวเครื่อง เพราะอาจถูกไฟฟ้าดูดได้
6. หากเครื่องชำรุด เสียหาย ควรให้ช่างผู้ชำนาญซ่อมแซม

1. ลักษณะเครื่องกวนสารเคมีด้วยแรงแม่เหล็ก

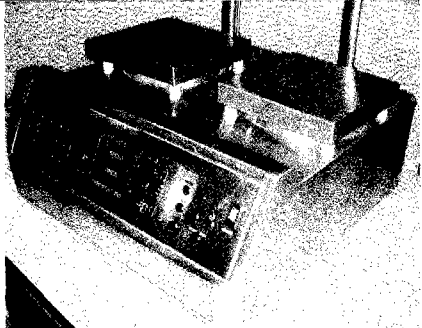
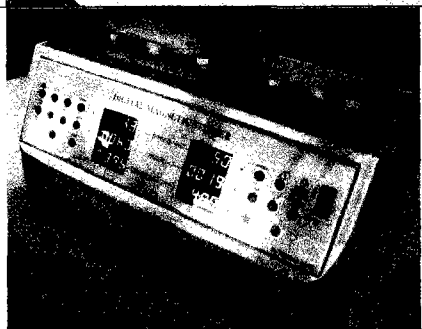
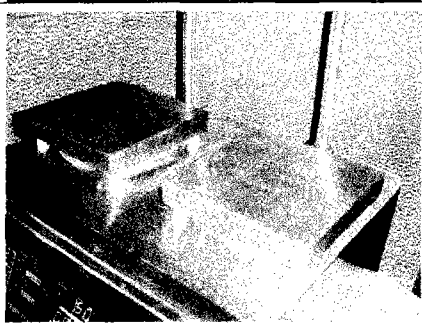
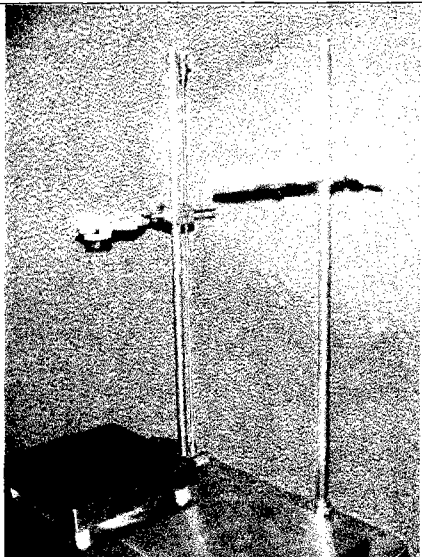


เครื่องกวนสารเคมีด้วยแรงแม่เหล็ก





2. ส่วนประกอบหลักเครื่องกวนสารเคมี

2.1 ตัวเครื่อง		ตัวเครื่องกวนสารเคมีทำจากแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม หนา 1 มิลลิเมตร รูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ขนาด 500×500×200 มิลลิเมตร มีช่องระบายอากาศที่แผ่นปิดด้านล่างและด้านบนตัวเครื่อง
2.2 ชุดควบคุมและหน้าจอแสดงผล		ชุดควบคุมการทำงานและหน้าจอแสดงผลประกอบด้วยปุ่มเลื่อนขึ้น ปุ่มเลื่อนลงเพื่อปรับระดับให้มือจับอุปกรณ์เลื่อนขึ้นลงตามแนวตั้ง ปุ่มตั้งความเร็วรอบ ปุ่มตั้งเวลา ปุ่มตั้งอุณหภูมิ หลอดไฟ LED หน้าจอแบบ LED และสวิตช์ ปิด-เปิด
2.3 ชุดแผ่นความร้อน		ชุดแผ่นความร้อนด้านนอกเป็นแผ่นเหล็กไร้สนิม ขนาด 200×200×30 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร ภายนอกประกอบด้วยเส้นลวดความร้อน แผ่นอลูมิเนียม แผ่นกันความร้อนและฉนวนกันความร้อน ชุดแผ่นความร้อนมี 2 ชุด แต่ละชุดให้ความร้อนตั้งแต่อุณหภูมิห้อง ถึง 400 องศาเซลเซียส
2.3 ชุดเสาตั้งเอนกประสงค์		ชุดเสาตั้งเอนกประสงค์สำหรับจับอุปกรณ์ มี 2 ชุด ชุดที่ I เป็นแบบปรับระดับขึ้น-ลงตามแนวตั้งกึ่งอัตโนมัติ ส่งกำลังขับเคลื่อนด้วยเกียร์และมอเตอร์ไฟฟ้า ชุดที่ II เป็นแบบตายตัว ปรับระดับมือจับอุปกรณ์ขึ้น-ลงตามแนวตั้งด้วยมือ สามารถเปลี่ยนชนิดของมือจับได้ตามต้องการ

3.การใช้งานเครื่องกวนสารเคมี

3.1 การใช้งานเครื่องกวนสารเคมีเบื้องต้น

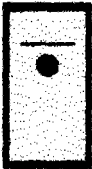
ศึกษาคู่มือการใช้เครื่องกวนสารเคมีให้เข้าใจก่อนการใช้งาน ปรับปุ่มสวิตช์ (Power ON-OFF) ของเครื่องให้อยู่ในตำแหน่ง OFF ก่อนการใช้งานเสมอ จัดเตรียมเครื่องมือ อุปกรณ์ต่างๆ ให้พร้อมใช้งาน แล้วปฏิบัติตามขั้นตอน ดังนี้

- 3.1.1 วางแท่งแม่เหล็ก (Magnetic bar) ที่เป็นตัวกวนสารเคมี ลงในภาชนะที่ใส่สารเคมี (เฉพาะในกรณีที่ต้องการกวนสารเคมี)
- 3.1.2 เทสารเคมีและส่วนผสมที่จะผสมใส่ในภาชนะที่เตรียมไว้ เช่น บีกเกอร์ แล้วยกภาชนะใส่สารเคมีวางลงบนชุดแผ่นให้ความร้อน
- 3.1.3 กดปุ่มสวิตช์ (Power ON-OFF) ให้อยู่ที่ตำแหน่ง ON
- 3.1.4 ปรับตั้งระบบควบคุมการทำงานของเครื่อง เช่น ระบบควบคุมความเร็วรอบในการกวน ระบบควบคุมเวลาและระบบควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งการตั้งระบบต่างๆ ดูรายละเอียดการตั้งระบบการใช้งานเครื่องกวนสารเคมีในหัวข้อ 3.2
- 3.1.5 รอให้เครื่องกวนสารเคมีทำงานจนเสร็จสมบูรณ์
- 3.1.6 ยกภาชนะใส่สารเคมีออกจากชุดแผ่นให้ความร้อน
- 3.1.7 นำแท่งแม่เหล็กตัวกวนสารเคมีออกจากภาชนะใส่สารเคมี
- 3.1.8 ทำความสะอาดและจัดเก็บแท่งแม่เหล็กตัวกวนสารเคมี
- 3.1.9 ปิดปุ่มสวิตช์ (Power ON-OFF) ให้อยู่ในตำแหน่ง OFF
- 3.1.10 ถอดปลั๊กสายไฟออกจากเต้าเสียบสายไฟฟ้า

3.2 การกำหนดค่าต่าง ๆ ของระบบการใช้งานเครื่องกวณสารเคมี

การกำหนดค่าต่าง ๆ ของระบบการใช้งานเครื่องกวณสารเคมี ประกอบด้วย การตั้งความเร็วรอบในการกวณ การตั้งเวลาและการตั้งอุณหภูมิ แต่ละระบบมีขั้นตอนการตั้งค่าต่าง ๆ ดังนี้

3.2.1 ขั้นตอนการตั้งความเร็วรอบในการกวณ

1. กดปุ่ม “สวิทช์ ปิด-เปิด” ให้อยู่ที่ตำแหน่ง “เปิด”	
2. กดปุ่ม “ตั้งความเร็วรอบ” ตัวเลขบอกความเร็วรอบจะสว่างและกระพริบ หลอดไฟ “LED” สีเขียวของระบบตั้งความเร็วรอบจะติด	
3. กดปุ่ม “เพิ่มหรือลดจำนวน” เพื่อตั้งความเร็วรอบในการกวณ (รอบ/นาที)	
4. กดปุ่ม “ตกลง” เมื่อได้ค่าความเร็วรอบตามที่ต้องการ ตัวเลขบอกความเร็วรอบจะสว่างและไม่กระพริบ	
5. หากต้องการกลับทิศทางการกวณ ให้กดปุ่ม “กลับทิศทางการกวณ” 1 ครั้ง เพื่อเลือกทิศทางการกวณตามหรือทวนเข็มนาฬิกา หลอดไฟ “LED” สีเขียวจะเปลี่ยนเป็นสีแดง ถ้าไม่ต้องการกลับทิศทางการกวณ กดปุ่ม “กลับทิศทางการกวณ” ซ้ำอีก 1 ครั้ง สัญญาณหลอดไฟ “LED” สีแดงจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวเหมือนเดิม ทิศทางการกวณจะหมุนตามเข็มนาฬิกาเพียงอย่างเดียว	

6. กดปุ่ม “เริ่มต้น/หยุด” 1 ครั้งเพื่อเริ่มกวนสารเคมี หลอดไฟ “LED” สีเขียวจะกระพริบในระหว่างการกวน หากต้องการให้เครื่องหยุดก่อนเวลาที่กำหนด ให้กดปุ่ม “เริ่มต้น/หยุด” ซ้ำอีก 1 ครั้ง เพื่อหยุดการกวนสารเคมี หลอดไฟ “LED” สีเขียวของระบบตั้งความเร็วรอบจะดับ



3.2.2 ขั้นตอนการตั้งเวลา

1. กดปุ่ม “ตั้งเวลา” เลขบอกเวลาจะสว่างและกระพริบ หลอดไฟ “LED” สีเขียวจะติด



TIMER

2. กดปุ่ม “เพิ่มหรือลดจำนวน” เพื่อตั้งเวลาในการหยุดการทำงานของเครื่อง (1-90 นาที)



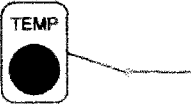
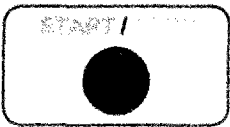
3. กดปุ่ม “ตกลง” เมื่อตั้งเวลาได้ตามที่ต้องการ เลขบอกเวลาจะสว่างและไม่กระพริบ เมื่อเริ่มตั้งเวลา ตัวเลขบอกเวลาจะลดลงเรื่อยๆ จนครบเวลาที่ตั้งไว้



4. กดปุ่ม “เริ่มต้น/หยุด” 1 ครั้งเพื่อเริ่มกวนสารเคมี หลอดไฟ “LED” สีเขียวของระบบตั้งเวลาจะกระพริบในระหว่างระบบตั้งเวลาทำงาน หากต้องการให้เครื่องหยุดก่อนเวลาที่กำหนดให้กดปุ่ม “เริ่มต้น/หยุด” ซ้ำอีก 1 ครั้งเพื่อปิดระบบตั้งเวลา หลอดไฟ “LED” สีเขียวของระบบตั้งเวลาจะดับ



3.2.3 ขั้นตอนการตั้งอุณหภูมิ

1. กดปุ่ม “ตั้งอุณหภูมิ” เลขบอกอุณหภูมิจะสว่างและกระพริบ หลอดไฟ “LED” สีเขียวของระบบตั้งอุณหภูมิจะติด	 TEMPERATURE
2. กดปุ่ม “เพิ่มหรือลดจำนวน” เพื่อตั้งอุณหภูมิ หน่วยวัดเป็น องศาเซลเซียส	
3. กดปุ่ม “ตกลง” เมื่อตั้งอุณหภูมิได้ตามที่ต้องการ เลขบอกอุณหภูมิจะสว่างและไม่กระพริบ	
4. กดปุ่ม “เริ่มต้น/หยุด” 1 ครั้งเพื่อให้ระบบควบคุมอุณหภูมิทำงาน หลอดไฟ “LED” สีเขียวของระบบตั้งอุณหภูมิจะกระพริบในระหว่างระบบควบคุมอุณหภูมิทำงาน หากต้องการให้เครื่องหยุดก่อนเวลาที่กำหนด ให้กดปุ่ม “เริ่มต้น/หยุด” ซ้ำอีก 1 ครั้งเพื่อปิดระบบควบคุมอุณหภูมิ หลอดไฟ “LED” สีเขียวของระบบควบคุมอุณหภูมิจะดับ	
5. ชุดควบคุมแผ่นความร้อนชุดที่ I และชุดที่ II ขั้นตอนการตั้งระบบการทำงานเหมือนกันทั้ง 3 ระบบ ส่วนการปรับระดับสูงต่ำของมือจับอุปกรณ์ที่ชุดเสาดึงเอนกประสงค์ของชุดแผ่นความร้อนของชุดที่ I ให้กด “ปุ่มเลื่อนขึ้น-ปุ่มเลื่อนลง” ที่ชุดควบคุมแผ่นความร้อนของชุดที่ I ส่วนการปรับระดับสูง-ต่ำของมือจับอุปกรณ์ที่ชุดเสาดึงเอนกประสงค์ของชุดแผ่นความร้อนของชุดที่ II โดยการปรับระดับสูง-ต่ำด้วยมือ	

4. การจัดเก็บและบำรุงรักษาเครื่องกวนสารเคมี

- 4.1 ควรถอดสายไฟฟ้าออกจากเต้าเสียบทุกครั้งหลังจากใช้เครื่อง
- 4.2 เช็ดทำความสะอาดผิวตัวเครื่องด้วยผ้าแห้ง
- 4.3 ไม่ควรวางสิ่งของหนักๆ ไว้บนชุดแผ่นความร้อน
- 4.4 ก่อนจัดเก็บเครื่อง ควรปล่อยให้ชุดแผ่นความร้อนเย็นตัวก่อน
- 4.5 ต้องทำความสะอาดตัวเครื่องหลังจากเสร็จสิ้นการใช้งาน ไม่ควรให้มีคราบสารเคมีหรือของเหลว

ติดอยู่บนผิวตัวเครื่อง ในกรณีที่ต้องการให้ความร้อนหรืออุ่นสารเคมีเพียงอย่างเดียว แต่ไม่มีการกวนในระหว่างการให้ความร้อน ควรเปิดหม้อเตอร์ซิปแม่เหล็กตัวขับเคลื่อนอยู่ตลอดเวลา เพื่อลดความร้อนที่จะเกิดกับแม่เหล็กตัวขับเคลื่อน โดยไม่ต้องใส่แท่งแม่เหล็กตัวกวน ลงในภาชนะใส่สารเคมี

5. คุณสมบัติทางเทคนิคของเครื่องกวนสารเคมี

Magnetic Stirrer Specifications Model : SSWU 043-12 IN	
Stirring points:	2 pcs.
Stirring volume:	200-4000 CC.
Heating plate:	200x200x30 mm.
Material:	Al Mg5,Stainless Steel
Speed range:	30 - 800 rpm.
Timer Control range:	1-90 min.
Control temperature range:	Ambient Temp. to 400 degrees C.
Dimensions (WxDxH):	500 x 500 x 200 mm.
Weight:	24 Kg.
Operating voltage (frequency):	220VAC/50 Hz.
Power:	2300 W.
Standing Bar (Stand Rod Support):	Ø15 x 50 mm. 2 pcs.
CPU-Microcontroller:	PIC16F877
RAM :	256 Kb.
Compiler Languages:	BASIC (PicBasic Pro Compiler)

ภาคผนวก ฅ

คุณสมบัติของ Microcontroller Ship รุ่น PIC16F877



PIC16F87X

28/40-pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

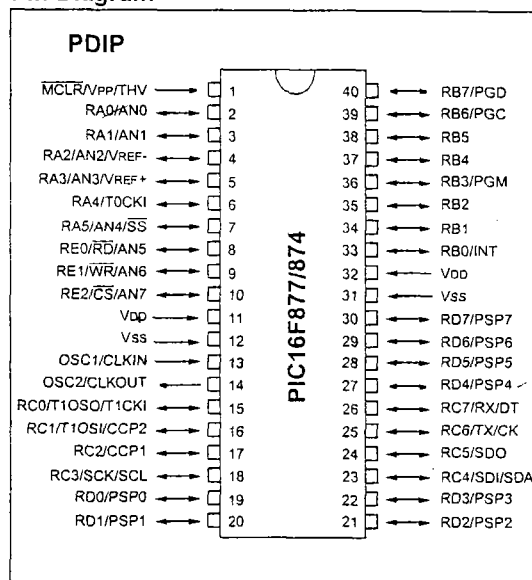
Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873 • PIC16F876
- PIC16F874 • PIC16F877

Microcontroller Core Features:

- High-performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory,
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM)
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM data memory
- Pinout compatible to the PIC16C73B/74B/76/77
- Interrupt capability (up to 14 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and
Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC
oscillator for reliable operation
- Programmable code-protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low-power, high-speed CMOS FLASH/EEPROM
technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP) via two
pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial and Industrial temperature ranges
- Low-power consumption:
 - < 2 mA typical @ 5V, 4 MHz
 - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
 - < 1 µA typical standby current

Pin Diagram

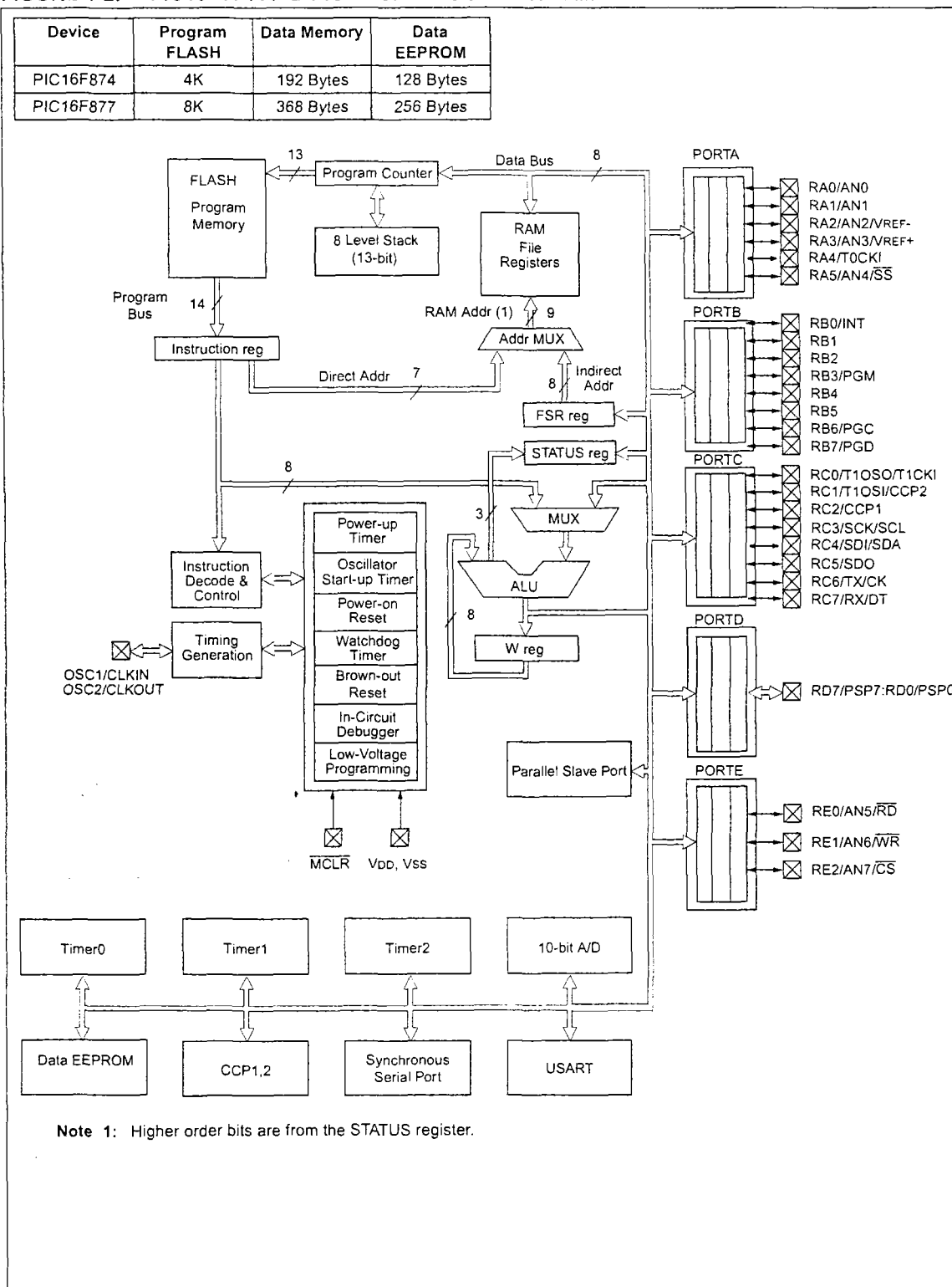


Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler,
can be incremented during sleep via external
crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period
register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master
Mode) and I²C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver
Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address
detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with
external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for
Brown-out Reset (BOR)

PIC16F87X

FIGURE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 BLOCK DIAGRAM



PIC16F87X

TABLE 1-1: PIC16F873 AND PIC16F876 PINOUT DESCRIPTION

Pin Name	DIP Pin#	SOIC Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKIN	9	9	I	ST/CMOS ⁽³⁾	Oscillator crystal input/external clock source input.
OSC2/CLKOUT	10	10	O	—	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in crystal oscillator mode. In RC mode, the OSC2 pin outputs CLKOUT which has 1/4 the frequency of OSC1, and denotes the instruction cycle rate.
MCLR/VPP/THV	1	1	I/P	ST	Master clear (reset) input or programming voltage input or high voltage test mode control. This pin is an active low reset to the device.
RA0/AN0	2	2	I/O	TTL	PORTA is a bi-directional I/O port. RA0 can also be analog input0 RA1 can also be analog input1 RA2 can also be analog input2 or negative analog reference voltage RA3 can also be analog input3 or positive analog reference voltage RA4 can also be the clock input to the Timer0 module. Output is open drain type. RA5 can also be analog input4 or the slave select for the synchronous serial port.
RA1/AN1	3	3	I/O	TTL	
RA2/AN2/VREF-	4	4	I/O	TTL	
RA3/AN3/VREF+	5	5	I/O	TTL	
RA4/T0CKI	6	6	I/O	ST	
RA5/SS/AN4	7	7	I/O	TTL	
RB0/INT	21	21	I/O	TTL/ST ⁽¹⁾	PORTB is a bi-directional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-up on all inputs. RB0 can also be the external interrupt pin. RB3 can also be the low voltage programming input Interrupt on change pin. Interrupt on change pin. Interrupt on change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming clock. Interrupt on change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming data.
RB1	22	22	I/O	TTL	
RB2	23	23	I/O	TTL	
RB3/PGM	24	24	I/O	TTL	
RB4	25	25	I/O	TTL	
RB5	26	26	I/O	TTL	
RB6/PGC	27	27	I/O	TTL/ST ⁽²⁾	
RB7/PGD	28	28	I/O	TTL/ST ⁽²⁾	
RC0/T1OSO/T1CKI	11	11	I/O	ST	PORTC is a bi-directional I/O port. RC0 can also be the Timer1 oscillator output or Timer1 clock input. RC1 can also be the Timer1 oscillator input or Capture2 input/Compare2 output/PWM2 output. RC2 can also be the Capture1 input/Compare1 output/PWM1 output. RC3 can also be the synchronous serial clock input/output for both SPI and I ² C modes. RC4 can also be the SPI Data In (SPI mode) or data I/O (I ² C mode). RC5 can also be the SPI Data Out (SPI mode). RC6 can also be the USART Asynchronous Transmit or Synchronous Clock. RC7 can also be the USART Asynchronous Receive or Synchronous Data.
RC1/T1OSI/CCP2	12	12	I/O	ST	
RC2/CCP1	13	13	I/O	ST	
RC3/SCK/SCL	14	14	I/O	ST	
RC4/SDI/SDA	15	15	I/O	ST	
RC5/SDO	16	16	I/O	ST	
RC6/TX/CK	17	17	I/O	ST	
RC7/RX/DT	18	18	I/O	ST	
Vss	8, 19	8, 19	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VDD	20	20	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.

Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power
 — = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.
 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in serial programming mode.
 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.

PIC16F87X

TABLE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 PINOUT DESCRIPTION

Pin Name	DIP Pin#	PLCC Pin#	QFP Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKIN	13	14	30	I	ST/CMOS ⁽⁴⁾	Oscillator crystal input/external clock source input.
OSC2/CLKOUT	14	15	31	O	—	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in crystal oscillator mode. In RC mode, OSC2 pin outputs CLKOUT which has 1/4 the frequency of OSC1, and denotes the instruction cycle rate.
MCLR/VPP/THV	1	2	18	I/P	ST	Master clear (reset) input or programming voltage input or high voltage test mode control. This pin is an active low reset to the device.
RA0/AN0	2	3	19	I/O	TTL	PORTA is a bi-directional I/O port. RA0 can also be analog input0 RA1 can also be analog input1 RA2 can also be analog input2 or negative analog reference voltage RA3 can also be analog input3 or positive analog reference voltage RA4 can also be the clock input to the Timer0 timer/counter. Output is open drain type. RA5 can also be analog input4 or the slave select for the synchronous serial port.
RA1/AN1	3	4	20	I/O	TTL	
RA2/AN2/VREF-	4	5	21	I/O	TTL	
RA3/AN3/VREF+	5	6	22	I/O	TTL	
RA4/T0CKI	6	7	23	I/O	ST	
RA5/SS/AN4	7	8	24	I/O	TTL	
RB0/INT	33	36	8	I/O	TTL/ST ⁽¹⁾	PORTB is a bi-directional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-up on all inputs. RB0 can also be the external interrupt pin. RB3 can also be the low voltage programming input Interrupt on change pin. Interrupt on change pin. Interrupt on change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming clock. Interrupt on change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming data.
RB1	34	37	9	I/O	TTL	
RB2	35	38	10	I/O	TTL	
RB3/PGM	36	39	11	I/O	TTL	
RB4	37	41	14	I/O	TTL	
RB5	38	42	15	I/O	TTL	
RB6/PGC	39	43	16	I/O	TTL/ST ⁽²⁾	
RB7/PGD	40	44	17	I/O	TTL/ST ⁽²⁾	
RC0/T1OSO/T1CKI	15	16	32	I/O	ST	PORTC is a bi-directional I/O port. RC0 can also be the Timer1 oscillator output or a Timer1 clock input. RC1 can also be the Timer1 oscillator input or Capture2 input/Compare2 output/PWM2 output. RC2 can also be the Capture1 input/Compare1 output/PWM1 output. RC3 can also be the synchronous serial clock input/output for both SPI and I ² C modes. RC4 can also be the SPI Data In (SPI mode) or data I/O (I ² C mode). RC5 can also be the SPI Data Out (SPI mode). RC6 can also be the USART Asynchronous Transmit or Synchronous Clock. RC7 can also be the USART Asynchronous Receive or Synchronous Data.
RC1/T1OSI/CCP2	16	18	35	I/O	ST	
RC2/CCP1	17	19	36	I/O	ST	
RC3/SCK/SCL	18	20	37	I/O	ST	
RC4/SDI/SDA	23	25	42	I/O	ST	
RC5/SDO	24	26	43	I/O	ST	
RC6/TX/CK	25	27	44	I/O	ST	
RC7/RX/DT	26	29	1	I/O	ST	

Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power
 — = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

- Note** 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as an external interrupt.
 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in serial programming mode.
 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as general purpose I/O and a TTL input when used in the Parallel Slave Port mode (for interfacing to a microprocessor bus).
 4: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.

PIC16F87X

TABLE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)

Pin Name	DIP Pin#	PLCC Pin#	QFP Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RD0/PSP0	19	21	38	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	PORTD is a bi-directional I/O port or parallel slave port when interfacing to a microprocessor bus.
RD1/PSP1	20	22	39	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RD2/PSP2	21	23	40	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RD3/PSP3	22	24	41	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RD4/PSP4	27	30	2	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RD5/PSP5	28	31	3	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RD6/PSP6	29	32	4	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RD7/PSP7	30	33	5	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RE0/ $\overline{RD}$ /AN5	8	9	25	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	PORTE is a bi-directional I/O port. RE0 can also be read control for the parallel slave port, or analog input5. RE1 can also be write control for the parallel slave port, or analog input6. RE2 can also be select control for the parallel slave port, or analog input7.
RE1/ $\overline{WR}$ /AN6	9	10	26	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RE2/ $\overline{CS}$ /AN7	10	11	27	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
Vss	12,31	13,34	6,29	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VDD	11,32	12,35	7,28	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.
NC	—	1,17,28,40	12,13,33,34		—	These pins are not internally connected. These pins should be left unconnected.

Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power
 — = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

- Note**
- 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as an external interrupt.
 - 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in serial programming mode.
 - 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as general purpose I/O and a TTL input when used in the Parallel Slave Port mode (for interfacing to a microprocessor bus).
 - 4: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.

ประวัติย่อผู้เขียนชาญ

ประวัติย่อผู้เชี่ยวชาญ

1. ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือเก็บข้อมูลการวิจัย

1.1 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ถนอมสิน ดิสภาพร

ตำแหน่งหน้าที่การงาน อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถานที่ทำงานปัจจุบัน มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

1.2 อาจารย์ ดร.ละอียด รักษเผ่า

ตำแหน่งหน้าที่การงาน อาจารย์ประจำภาควิชาวิจัยและพัฒนาหลักสูตร
สถานที่ทำงานปัจจุบัน มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

1.3 อาจารย์วิโรจน์ เอ็งสุโสภณ

ตำแหน่งหน้าที่การงาน รองคณบดีคณะศึกษาศาสตร์
สถานที่ทำงานปัจจุบัน มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์

2. ผู้เชี่ยวชาญวัดความเที่ยงตรงของระบบการทำงาน ประเมินสมรรถนะและประเมิน ด้านกายภาพทั่วไปของเครื่องกวนสารเคมี

2.1 รองศาสตราจารย์ประเสริฐ ศรีไพโรจน์

อายุ 58 ปี วุฒิการศึกษาระดับปริญญาเอก
ตำแหน่งหน้าที่การงาน อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถานที่ทำงานปัจจุบัน มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร
ประสบการณ์การทำงาน ด้านการสอนและปฏิบัติการด้านวิทยาศาสตร์ วิชาเคมี 28 ปี

2.2 ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวัฒน์ อัจฉริยะนนท์

อายุ 56 ปี วุฒิการศึกษาระดับปริญญาโท
ตำแหน่งหน้าที่การงาน ประธานโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการอุตสาหกรรม
สถานที่ทำงานปัจจุบัน สถาบันราชภัฏ จันทราเกษม
ประสบการณ์การทำงาน ด้านการออกแบบ การผลิต ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 16 ปี
ประสบการณ์ประสบการณ์ด้านการสอน 25 ปี และเป็นกรรมการที่ปรึกษาด้านการเชื่อมโยง
บริษัท เลควิลัยแอนด์ชั่น จำกัด

2.3 อาจารย์ณรงค์ศิลป์ รูปพนม

อายุ 49 ปี วุฒิการศึกษาระดับปริญญาโท
ตำแหน่งหน้าที่การงาน หัวหน้าสาขาวิชาเคมี
สถานที่ทำงานปัจจุบัน สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท)
ประสบการณ์การทำงาน ด้านการสอนและปฏิบัติการด้านวิทยาศาสตร์ วิชาเคมี 28 ปี

2.4 อาจารย์ชูเกียรติ ชัยชนะดารา

อายุ 47 ปี วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี

ตำแหน่งหน้าที่การงาน อาจารย์ 2 ระดับ 7

สถานที่ทำงานปัจจุบัน หมวดวิทยาศาสตร์ โรงเรียนสตรีวิทยาราชดำเนิน กรุงเทพมหานคร
และเป็นผู้ชำนาญประจำสาขาออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท)

ประสบการณ์การทำงาน ด้านการสอนและปฏิบัติการด้านวิทยาศาสตร์ วิชาฟิสิกส์ 24 ปี

2.5 อาจารย์ภาณุเดช เนตะวงศ์

อายุ 35 ปี วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี

ตำแหน่งหน้าที่การงาน หัวหน้าฝ่ายโรงงาน ส่วนเทคนิคการผลิต

สถานที่ทำงานปัจจุบัน ศูนย์วิทยาศาสตร์เพื่อการศึกษาแห่งชาติ ท้องฟ้าจำลอง
กรุงเทพมหานคร

ประสบการณ์การทำงาน ประสบการณ์ด้านการสอน ประสบการณ์ด้านการออกแบบ การผลิต
ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม และประสบการณ์ด้านการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 14 ปี

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ	นาย สุวัฒน์ วงษ์จำปา
วัน เดือน ปีเกิด	4 ตุลาคม 2510
สถานที่เกิด	อำเภอเกษตรวิสัย จังหวัดร้อยเอ็ด
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	1/1 ซ. จัตุรแก้ว ถ. สุทธิสาร สามเสนนอก ห้วยขวาง กรุงเทพมหานคร
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	เจ้าหน้าที่เทคนิค
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.)
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2527	มัธยมศึกษาปีที่ 3 จาก โรงเรียนจันทบุรุษอนุสรณ์
พ.ศ. 2529	ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.ช่างกลโรงงาน) จาก วิทยาลัยเทคนิคร้อยเอ็ด
พ.ศ. 2532	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.เทคนิคการผลิต) จาก วิทยาลัยช่างกลปทุมวัน
พ.ศ. 2539	ปริญญาตรี (วทบ.เทคโนโลยีการผลิต) จาก สถาบันราชภัฏพระนคร
พ.ศ. 2546	ปริญญาโท (กศ.ม. อดสาหกรรมศึกษา) จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร