การพัฒนาชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์

ปริญญานิพนธ์

ของ

ภาณุสฤษฏ์ บุญคำ

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา

ตุลาคม 2555

การพัฒนาชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์

ปริญญานิพนธ์

ของ

ภาณุสฤษฏ์ บุญคำ

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม หลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา

ตุลาคม 2555

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การพัฒนาชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์

บทคัดย่อ

ของ

ภาณุสฤษฏ์ บุญคำ

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา
ตุลาคม 2555

ภาณุสฤษฏ์ บุญคำ. (2555). *การพัฒนาชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์.* ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม: อาจารย์ ดร. ไพรัช วงศ์ยุทธไกร, อาจารย์ โอภาส สุขหวาน.

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการพัฒนาชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์ และประเมินแบบชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์ ผู้วิจัยออกแบบ จำนวน 3 แบบ คือ แบบ (ก) แบบ (ข) และแบบ (ค) การออกแบบกระบวนการชุบด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม ผู้วิจัยได้ออกแบบขั้นตอนการชุบจำนวน 9 ขั้นตอน ดังนี้ 1. ขั้นตอนล้างด้วยไฟฟ้า 2.ขั้นตอนล้างน้ำไหลล้น 3.ขั้นตอนกระตุ้นผิวด้วยกรด 4.ขั้นตอนล้างด้วยน้ำกลั่น 5.ขั้นตอนน้ำยาชุบเงิน 6.ขั้นตอนล้างเก็บกลับน้ำยาชุบเงิน 7.ขั้นตอนน้ำยาชุบโรเดียม 8. ขั้นตอนล้างเก็บกลับน้ำยาชุบโรเดียม 9.ขั้นตอนล้างน้ำไหลล้นและน้ำร้อน

ผลการวิจัยมีดังนี้

1) ผู้วิจัยได้ออกแบบชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ จำนวน 3 แบบ คือ แบบ (ก) แบบ (ข) และแบบ (ค) โดยได้ออกแบบโครงสร้างของเครื่องชุบให้สอดคล้องตามหลักของการยศาสตร์ของชาวเอเชีย มีรูปแบบโครงสร้างเป็นรูปตัวซี (C) ขนาดความกว้าง 1.60 เมตร ความยาว 1.80 เมตร ความสูง 1.40 เมตร

2) ผู้เชี่ยวชาญประเมินแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ แบบ(ค) มีค่าเฉลี่ยโดยภาพรวมสูงสุด อยู่ในระดับเกณฑ์ ดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.39 (SD=0.47,t=1.638,p<.05) ค่า โดยผลการประเมินรายด้าน ดังนี้ ด้านการออกแบบโครงสร้างอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33 (SD=0.46,t=1.617,p<.05) ด้านการออกแบบการใช้งานอยู่ในระดับเกณฑ์ ดีมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.60 (SD=0.46,t=2.901, p<.05) ด้านการออกแบบความปลอดภัยอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.28 (SD=0.38, t=1.767,p<.05) ด้านการออกแบบการซ่อมบำรุงอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33 (SD=0.58,t=1.414,p<.05)

3) การประเมินความล้าจากการทำงาน โดยใช้แบบประเมินท่าทางของร่างกาย-RULA ผลการประเมินอยู่ที่ระดับ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.00 (SD= 0.00) หมายความว่าชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์ แบบ (ค) ที่ได้ออกแบบ มีระดับความล้าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ แต่ทั้งนี้อาจมีปัญหาความล้าได้ถ้ามีการทำงานดังกล่าว ซ้ำๆ ต่อเนื่องเป็นเวลานาน

Panusarit Boonkum (2012). *Development of Electroplating Equipment for rhodium plating by Ergonomics technique*. Master of Education (Industrial Education). Bangkok: grade School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Dr. Pairust Vongyuttakrai, Ophat Sukwan.

The objectives of this research were to develop the electroplating equipment for rhodium plating by ergonomics technique and evaluated the fatigue of the worker using the electroplating equipment for rhodium plating by ergonomics technique. The researcher designed electroplating equipment for rhodium plating by ergonomics technique in 3 types. They were type (A), type (B) and type (C). The searcher designed the electroplating equipment for rhodium plating by ergonomics technique in 9 processes. They were 1) Electro Cleaning, 2) Water Overflow, 3) Acid Activation, 4) DI water, 5) Silver solution, 6) Drag out silver solution, 7) Rhodium solution, 8) Drag out rhodium solution, 9) Water overflow and hot water.

The research found that:

1) The researcher designed electroplating equipment for rhodium plating by ergonomics technique in 3 types. They were type (A), type (B) and type (C). The structure of these electroplating equipment for rhodium plating by ergonomics technique of Asia people. The structure was in C shape structure, with the dimension 1.6 (W) x 1.8 (L) x 1.4 (H) meters.

2) The experts evaluated the electroplating equipment for rhodium plating by ergonomics technique type (C) was the highest had the average of4.39 (SD=0.47,t=1.638,p<.05) and had the results in each areas as followed. Structure in good level had the average of 4.33 (SD=0.46,t=1.617,p<.05). Operation in very good level had the average of 4.60 (SD=0.46,t=2.901,p<.05). Safety in good level had the average of 4.28 (SD=0.38,t=1.767,p<.05). Maintenance in good level had the average of 4.33 (SD=0.58,t=1.414,p<.05).

3) The evaluated on the fatigue of the worker using the electroplating equipment for rhodium plating by ergonomics technique. The researcher used the Rapid Upper Limb

Assessment to evaluated the fatigue of the worker, the fatigue of the worker in first level had the average of 2.00 (SD= 0.00), that mean using the electroplating equipment for rhodium plating by ergonomics technique had. the fatigue in acceptable level but may have some problems if the worker working for a long time.

DEVELOPMENT OF ELECTROPLATING EQUIPMENT FOR RHODIUM PLATING BY ERGONOMICS TECHNIQUE

AN ABSTRACT

BY

PANUSARIT BOONKUM

Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the

Master of Education Degree in Industrial Education

at Srinakharinwirot University

October 2012

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง
การพัฒนาชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม
โดยใช้หลักของการยศาสตร์
ของ
ภาณุสฤษฎ์ บุญคำ

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. 25.....

คณะกรรมการควบคุมสอบปริญญานิพนธ์

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

.....กรรมการ
(อาจารย์ โอภาส สุขหวาน)

คณะกรรมการควบคุมสอบปากเปล่า

.....ประธาน
(อาจารย์ ดร.อัมพร กุญชรรัตน์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร)

.....กรรมการ
(อาจารย์ โอภาส สุขหวาน)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.อุปวิทย์ สุวคันธกุล)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยความกรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและแก้ไขข้อบกพร่องจาก อาจารย์ ดร. ไพรัช วงศ์ยุทธไกร ประธานกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ และอาจารย์ โอภาส สุขหวาน กรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำในการศึกษาค้นคว้า แนะนำแหล่งการศึกษาค้นคว้า ตลอดจนการปรับปรุแก้ไขข้อความและรูปแบบของปริญญานิพนธ์ ผู้วิจัยขอขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร. อัมพร กุญชรรัตน์ ประธานกรรมการควบคุมสอบปากเปล่า และอาจารย์ ดร.อุปวิทย์ สุวคันธกุล กรรมการควบคุมสอบปากเปล่า ที่กรุณาให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะในงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณสิทธิพันธ์ กล่ำประชา ผู้จัดการฝ่ายประกันคุณภาพ คุณไพรัช เจียมประเสริฐ รองผู้จัดการฝ่ายซ่อมบำรุง และคุณนิรัน เลิศสวัสดิ์วัฒนา ผู้จัดการฝ่ายวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ ทั้ง 3 ท่าน จากบริษัท รีกัล จิวเวลรี่ แมนูแฟคเจอร์ จำกัด ที่กรุณาเป็นผู้เชี่ยวชาญในการประเมินและช่วยทดสอบเครื่องต้นแบบในการทำวิจัย พร้อมให้ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในงานวิจัยครั้งนี้และครั้งต่อไป

ท้ายสุดผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่น้อง และคุณขันทิวา วรเลิศ ที่ให้การสนับสนุน เป็นกำลังใจตลอดมา จนบรรลุจุดมุ่งหมายในการศึกษาวิจัย และขอมอบความปรารถนาให้งานวิจัยในครั้งนี้เป็นประโยชน์แก่ผู้อ่าน ผู้ศึกษาหาความรู้ ได้นำไปเผยแพร่และประกอบสัมมาชีพสืบไป

ภาณุสฤษฏ์ บุญคำ

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ	1
	ภูมิหลัง	1
	ความมุ่งหมายของการวิจัย	4
	ความสำคัญของการวิจัย	4
	ขอบเขตของการวิจัย	4
	ตัวแปรที่ศึกษา	5
	นิยามศัพท์เฉพาะ	5
	กรอบแนวความคิด	7
	สมมุติฐานในการวิจัย	7
2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
	ชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า	8
	พื้นฐานของเคมีไฟฟ้าเกี่ยวกับการชุบ	8
	เครื่องชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า	16
	กระบวนการชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า	21
	ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการยศาสตร์	29
	ความหมายของการยศาสตร์	29
	บทบาทของการยศาสตร์ในการทำงาน	30
	องค์ประกอบของการยศาสตร์ในการทำงาน	31
	จิตวิทยา	31
	การยศาสตร์ในส่วนที่เกี่ยวกับมนุษย์	32
	การยศาสตร์ในส่วนที่เกี่ยวกับสภาพแวดล้อมในการทำงาน	44
	การออกแบบและพัฒนาเครื่องชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า	48
	ความสัมพันธ์เรื่องสัดส่วนของมนุษย์กับการออกแบบ	48
	การพัฒนาเครื่องชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า	62
	สมรรถนะการทำงานของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า	73
	ความสามารถในการชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า	73
	ความสามารถในการลดความล้าจากการทำงาน	74
	การประเมินการทำงานเพื่อวิเคราะห์งานทางการยศาสตร์เบื้องต้นด้วยตนเอง โดยใช้ RULA	75

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ **หน้า**

2 (ต่อ)

การประเมินท่าทางของร่างกาย (RULA) 75

ความสามารถในการเพิ่มประสิทธิภาพของสายงานผลิต..... 83

สมรรถนะทางกายภาพของเครื่องชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า
สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม..... 86

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 88

งานวิจัยในประเทศ..... 88

งานวิจัยต่างประเทศ..... 92

3 วิธีการดำเนินการวิจัย..... 94

เกณฑ์ข้อกำหนดของการออกแบบและสร้างชุดชุบในการวิจัย..... 94

การออกแบบและสร้างชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า
สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์ 94

การประเมินสมรรถนะการทำงานของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า..... 94

การประเมินสมรรถนะทางกายภาพของเครื่องชุบเคลือบผิวโลหะมีค่าด้วยไฟฟ้า..... 95

ลำดับขั้นตอนการวิจัย..... 96

ศึกษาและค้นคว้าหนังสือ ตำรา และรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 97

ศึกษาวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือในส่วนต่าง ๆที่ใช้ในการออกแบบ
และสร้างเครื่องชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าโดยใช้หลักการยศาสตร์ 99

ออกแบบและเขียนแบบ 100

ดำเนินการสร้างชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า โดยใช้หลักการยศาสตร์..... 105

กำหนดเวลาและสถานที่สร้าง..... 113

การทดสอบ ปรับปรุงและแก้ไข..... 113

การหาสมรรถนะของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า
โดยใช้หลักการยศาสตร์สำหรับกระบวนการชุบเคลือบเงินและโรเดียม..... 114

การวิเคราะห์ข้อมูล..... 116

การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาประสิทธิภาพกับค่าเกณฑ์ต่าง ๆ..... 116

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล..... 116

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	119
ผลการประเมินการออกแบบและการพัฒนา.....	119
ผลการประเมินหาสมรรถนะการทำงานของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า.....	124
5 สรุป อภิปรายและข้อเสนอแนะ.....	139
สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	139
อภิปรายผลการวิจัย.....	140
ข้อเสนอแนะในการวิจัย.....	143
บรรณานุกรม.....	145
ภาคผนวก	147
ภาคผนวก ก	148
ภาคผนวก ข	154
ภาคผนวก ค	160
ภาคผนวก ง	170
ภาคผนวก จ	182
ภาคผนวก ฉ	206
ประวัติย่อผู้วิจัย	211

บัญชีตาราง

ตาราง **หน้า**

1 แสดงขั้นตอน กระบวนการ และสภาวะการทำงานในการล้างผิว
ด้วยคลื่นอัลตราโซนิค..... 20
2 แสดงขั้นตอน กระบวนการ และสภาวะการทำงานในการล้างด้วยไฟฟ้า..... 21
3 แสดงขั้นตอน กระบวนการ และสภาวะการทำงานในการชุบเคลือบผิว..... 22
4 แสดงขั้นตอน กระบวนการ และสภาวะการทำงานในการล้างหลังชุบเคลือบผิว 22
5 แสดงอาการผิดปกติที่เกิดจากการใช้ทรวดทรงผิดสุขลักษณะขณะทำงาน 31
6 แสดงพลังงานที่ใช้ในแต่ละวันของงานลักษณะต่างๆ ของบุคคลอาชีพต่างกัน..... 35
7 แสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนเฉพาะจุดสำคัญของหญิงไทย..... 37
8 แสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนเฉพาะจุดสำคัญของชายไทย..... 37
9 แสดงความยาวคลื่นของสีต่างๆ..... 45
10 แสดงตัวอย่างปัญหาด้านสุขภาพและด้านการปฏิบัติงานที่เกิดจาก
สภาพแวดล้อมทางกายภาพไม่เหมาะสม..... 41
11 ค่าเฉลี่ยรูปร่างของคนไทย..... 49
12 ค่าเฉลี่ยแยกตามกลุ่มช่วงอายุผู้ชาย..... 49
13 ค่าเฉลี่ยแยกตามกลุ่มช่วงอายุผู้หญิง..... 49
14 ตารางเปรียบเทียบผลการสำรวจของ สมอ.กับ Size Thailand - ผู้ชาย..... 56
15 ตารางเปรียบเทียบผลการสำรวจของ สมอ. กับ Size Thailand - ผู้หญิง..... 57
16 สรุปการดำเนินงาน..... 100
17 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบนัยสำคัญของข้อมูล
โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะ
ด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของ
การยศาสตร์ (แบบ ค) ในภาพรวม..... 106
18 แสดงการคำนวณสมการ น้ำหนักที่เพิ่มตามทฤษฎี..... 124
19 แสดงผลประเมินความสามารถในการชุบเคลือบผิวโลหะ
มีค่าด้วยไฟฟ้าโรเดียม แบบ C..... 125
20 แสดงค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลองของ
ชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม
แบบเส้นตรงมาตรฐาน..... 126

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง **หน้า**

20 แสดงค่าเฉลี่ยจากการทดลองของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม แบบ C..... 127

21 ความสามารถในการลดความล้าจากการทำงานของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม แบบเส้นตรงมาตรฐาน..... 128

22 ความสามารถในการลดความล้าจากการทำงานของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์ แบบ C..... 129

23 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผู้เชี่ยวชาญในการประเมินสมรรถนะของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ด้านความเหมาะสมในด้านโครงสร้าง..... 133

24 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผู้เชี่ยวชาญในการประเมินสมรรถนะของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ด้านความเหมาะสมในด้านการออกแบบในการใช้งาน..... 134

25 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผู้เชี่ยวชาญในการประเมินสมรรถนะของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ด้านความเหมาะสมในด้านความปลอดภัย.... 135

26 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผู้เชี่ยวชาญในการประเมินสมรรถนะของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ด้านความเหมาะสมในด้านการซ่อมบำรุง..... 136

27 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบนัยสำคัญของข้อมูลการประเมินสมรรถนะของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ในภาพรวม..... 138

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ **หน้า**

1 กรอบแนวความคิดในการวิจัย..... 7
2 แสดงให้เห็นถึงหลักการชุบอย่างง่าย..... 11
3 ลักษณะการเข้าเกาะเคลือบผิวที่ขั้วลบของไอออนบวก(M^+)
ที่เป็นเกลือแบบธรรมดา..... 13
4 ลักษณะของการกระจายกระแสไฟฟ้าและความหนาที่เคลือบ
ในบริเวณต่างๆของชิ้นงาน..... 15
5 ถังชุบแบบ Plating Jig ของโครงการจรัส 16
6 แสดงถังชุบแบบหมุน 17
7 แสดงถังชุบแบบใช้การสั่น..... 17
8 แสดงถังชุบด้วยวิธีแบบใช้ชุบสร้อย..... 18
9 แสดงถังชุบด้วยวิธีแบบทาด้วยปากกา..... 19
10 แสดงขั้นตอนการชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า..... 27
11 แสดงการเปรียบเทียบแบบแผนการเจริญเติบโตของหญิงกับชาย..... 31
12 แสดงลักษณะรูปร่างของคนแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ อ้วน สันทัด และผอม..... 32
13 จำนวนพลังงานที่ต้องใช้เพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ในทรวดทรงต่างกัน
โดยเปรียบเทียบกับท่านอน (ลักษณะเดียวกันทั้งชายและหญิง)..... 37
14 แสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนเฉพาะจุดสำคัญของหญิงไทย..... 39
15 แสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนเฉพาะจุดสำคัญของชายไทย..... 39
16 ตำแหน่งอุปกรณ์ควบคุม สำหรับงานยืนทำงานที่ใช้มือเดียวจับอุปกรณ์..... 49
17 ตำแหน่งอุปกรณ์ควบคุม สำหรับงานยืนทำงานที่ใช้มือสองข้างจับอุปกรณ์..... 49
18 ฮีตเตอร์ครีบ (Finned Heater) 60
19 ฮีตเตอร์แบบรัดท่อ (Band Heater)..... 65
20 ฮีตเตอร์ท่อ (Tubular Heater)..... 61
21 ฮีตเตอร์จุ่ม (Immersion Heater)..... 62
22 แสดงถังชุบแบบบีกเกอร์อย่างง่าย ขนาด 3 ลิตร และ 5 ลิตร..... 64
23 แสดงถังชุบสแตนเลสสตีล บีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร..... 65
24 แสดงถังชุบ Polypropylene ขนาด 3 ลิตร..... 66
25 แสดงถังชุบ Polypropylene ขนาด 8 ลิตร..... 66
26 แสดงระบบ Modular ของเครื่องชุบด้วยกระแสไฟฟ้า..... 67
27 ระบบการชุบแลคเกอร์แบบ E-COATING..... 68

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

28 แสดงการประเมินตำแหน่งแขนส่วนบน (upper arm) 71
29 แสดงการประเมินตำแหน่งแขนส่วนล่าง (Lower arm หรือ forearm) 72
30 แสดงการประเมิน ตำแหน่งมือ และข้อมือ (Hand และ wrist)..... 73
31 แสดงตารางสรุปผลจากขั้นตอนที่ 1-4 โดยใช้ตาราง A..... 74
32 แสดงการวิเคราะห์ท่าทางของศีรษะและคอ..... 75
33 แสดงการวิเคราะห์ตำแหน่งของลำตัว (trunk) 76
34 แสดงตารางสรุปผลท่าทางการทำงานจากขั้นตอนที่ 9-11 โดยใช้ตาราง B..... 76
35 แสดงสรุปผลคะแนนการวิเคราะห์ของแขนและมือ..... 78
36 แสดงเวลาการผลิตเฉลี่ย ซึ่งเท่ากับรอบเวลากับเวลาที่สูญเปล่า..... 79
37 แสดงเวลาการผลิตเฉลี่ยเท่ากับผลบวกของเวลาที่สูญเสียกับรอบเวลา..... 80
38 แสดงขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย..... 92
38 แสดงถัง Pyrex ขนาด 2 ลิตร 4 ใบ แบบเดิม..... 100
39 แสดงถัง PP ขนาด 15 ลิตร แบบ Plating Jig..... 100
40 ผังแสดงออกแบบกระบวนการชุบด้วยไฟฟ้า
สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมแบบเดิม..... 101
41 ผังแสดงออกแบบกระบวนการชุบด้วยไฟฟ้า
สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมแบบใหม่ที่จะพัฒนา..... 102
42 ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบระบายอากาศเฉพาะที่..... 103
43 ชนิดของปากท่อดูดอากาศ..... 103
47 แสดงระบบอุปกรณ์ที่ใช้จ่ายกระแสไฟฟ้าที่จะพัฒนา..... 104
48 แสดงระบบอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิที่จะพัฒนา..... 104
49 โครงสร้างของเครื่องชุบโดยใช้หลักการยศาสตร์แบบตัว C (แบบ ก)..... 105
50 โครงสร้างของเครื่องชุบโดยใช้หลักการยศาสตร์แบบตัว C (แบบ ข)..... 106
51 โครงสร้างของเครื่องชุบโดยใช้หลักการยศาสตร์ แบบตัว C (แบบ ค) 107
52 แสดงการออกแบบระดับชุดควบคุมของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า
โดยใช้หลักการยศาสตร์ของผู้ชายที่จะพัฒนา..... 108
53 แสดงการออกแบบระดับชุดควบคุมของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า
โดยใช้หลักการยศาสตร์ของผู้หญิงที่จะพัฒนา..... 109
54 แสดงการยืนทำงานที่ใช้มือเดียวจับอุปกรณ์..... 110
55 แสดงการยืนทำงานที่ใช้มือสองข้างจับอุปกรณ์..... 110

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

56 แสดงส่วนประกอบชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับ
กระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์ แบบตัว C..... 122

บทที่ 1
บทนำ

ภูมิหลัง

อุตสาหกรรมเครื่องประดับเป็นอุตสาหกรรมส่งออกสำคัญอย่างหนึ่งของประเทศไทย ซึ่งมีการชุบเคลือบผิวเป็นส่วนหนึ่งของขั้นตอนการผลิต (สุรสิงห์ ไชยคุณและคณะ.2547: 39) อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องประดับไทยมีผู้ประกอบการทั้งรายใหญ่และรายย่อย ที่ต้องชุบเคลือบผิวตัวเรือนเครื่องประดับด้วยโลหะมีค่า เช่น ชุบเคลือบผิวทอง แพลทินัม โรเดียม พาลาเดียม เป็นต้น เพื่อความสวยงาม ความคงทนของสภาพผิว และเพิ่มมูลค่าในเชิงพาณิชย์ ถ้าผู้ประกอบการได้พิจารณาถึงประโยชน์ดังกล่าวแล้วต้องให้ความสำคัญเกี่ยวกับการจัดการความปลอดภัยในการทำงาน ซึ่งในวงการอุตสาหกรรมผลิตเครื่องประดับมีการออกแบบโรงชุบหรือห้องชุบต่างๆ ไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่ ลักษณะงาน และเทคนิคกรรมวิธีการผลิต จึงมีความจำเป็นที่มีการออกแบบสายการผลิตในขั้นตอนการชุบเคลือบผิวโลหะมีค่าด้วยไฟฟ้าที่แตกต่างกัน เพื่อเพิ่มวัสดุอุปกรณ์ที่เป็นประโยชน์ต่อการใช้งานให้มีความเสี่ยงต่อการทำงานให้ต่ำ และในกรณีความเมื่อยล้าจากการทำงานในห้องชุบนั้นต้องมีความเสียหายหรือได้รับอันตรายกับผู้ปฏิบัติงานน้อยที่สุด โดยปกติแล้วจะเป็นการผลิตสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ตามความต้องการของลูกค้า ปริมาณการสั่งทำแต่ละครั้งมักจะจำนวนไม่มากนัก แต่โดยทั่วไปจะมีประเภทของการผลิตอยู่หลากหลาย ด้วยเหตุผลดังกล่าวอุปกรณ์หรือเครื่องจักรที่นำมาใช้ในการผลิต จึงมักเป็นแบบอเนกประสงค์(multi-purpose machine) คือ สามารถปรับแต่งให้ใช้ได้กับทุกๆ ประเภทผลิตภัณฑ์ จุดสำคัญของการดำเนินงานชนิดแบบทำตามสั่ง ก็คือทรัพยากรต่างๆ จะต้องมีความอ่อนตัวหรือยืดหยุ่น(Flexible) สามารถปรับแต่งให้ใช้ได้ตามความแปรปรวนของอุปสงค์ที่ไม่อาจจะพยากรณ์ค่าได้แม่นยำ (ชุมพล ศฤงคารศิริ .2550 : 3) การปฏิบัติงานภายใต้สภาวะแวดล้อมที่มุ่งเน้นด้านคุณภาพ จะเป็นอีกกลยุทธ์หนึ่งที่นอกเหนือจากจะเป็นการสร้างพจน์ที่ดีขององค์กร และเผยแพร่ต่อสาธารณะชนผ่านทางโฆษณาประชาสัมพันธ์แล้ว ยังช่วยลดต้นทุนในการผลิต และช่วยเพิ่มคุณภาพในตัวสิ้นค้าและบริการที่จะถึงมือผู้บริโภคโดยตรงอีกด้วย กระบวนการทำงาน และการผลิตในยุคใหม่นี้ นอกจากจะแข่งขันกับตัวเองในการเพิ่มผลผลิตแล้ว ยังจำเป็นต้องคำนึงถึงความสามารถในการแข่งขันได้กับองค์กรอื่นๆ ที่เป็นคู่แข่งอีกด้วย (วีรวุธ มาฆะศิรานนท์.2542 : 28)

เครื่องชุบเคลือบผิวโลหะมีค่าด้วยไฟฟ้าใช้กันในอุตสาหกรรมผลิตเครื่องประดับนั้น ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการชุบนั้น ผู้วิจัยซึ่งอยู่ในโรงงานนี้มักพบปัญหาอาการปวดทางโครงร่างและกล้ามเนื้อจากการทำงาน ด้วยพนักงานใช้เวลาส่วนใหญ่ทำกิจกรรมอยู่ในสถานีชุบเป็นเวลานาน ทำให้เกิดปัญหาสุขภาพกับพนักงาน ทั้งยังต้องเสียเวลาเดินและล้าจากการทำงาน

เนื่องจากเครื่องชุบเคลือบผิวในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่มีความยาวของสายการผลิตประมาณ 5.0-12.0 เมตร เหมาะกับโรงงานที่มีกำลังผลิตมากกว่า 3,000 ชิ้น ขึ้นไปต่อวัน ในอุตสาหกรรมขนาดกลางหรือขนาดย่อม จะมีสถานีชุบมีความยาวของสายการผลิตประมาณ 2.0-5.0 เมตร จะเห็นว่าเครื่องชุบในอุตสาหกรรมทั้งขนาดใหญ่ ขนาดกลางและขนาดย่อม ดังกล่าวนี้มีขนาดใหญ่เกินกำลังผลิตที่จะใช้ในโรงงานผลิตเครื่องประดับที่ทำแบบครบวงจร ซึ่งเครื่องชุบต่างๆมีราคาแพงมากเมื่อต้องติดตั้งชิ้นส่วนหรือองค์ประกอบเสริมให้สมบูรณ์ที่สุด มีค่าซ่อมบำรุงที่สูง เครื่องชุบขนาดใหญ่และกลางจะมีรูปแบบเป็นสายการผลิตแบบเส้นตรงที่ต้องใช้พลังงานในการเคลื่อนไหวร่างกายมาก โดยเฉพาะการเดิน-ไปมาเพื่อชุบชิ้นงานตามกระบวนการชุบจนเสร็จสิ้น ส่วนปัญหาด้านการออกแบบ ในอุตสาหกรรมขนาดเล็ก(สถานประกอบการขนาดเล็ก ร้านขายทอง หรือคลินิกซ่อมทั่วไป) จะมีเครื่องชุบแบบสำเร็จรูปขนาดเล็ก หรือประกอบเองอย่างง่ายด้วยบีกเกอร์ มักมีความยาวของสายการผลิตประมาณ 1.0-2.0 เมตร มีความยาวไม่มากนัก จึงพบปัญหาด้านการยศาสตร์น้อย แต่เครื่องชุบดังกล่าวมีองค์ประกอบของสายการผลิตไม่สมบูรณ์ การถอดประกอบยาก จัดซื้อและหาอะไหล่ไม่มีตามท้องตลาด เพราะส่วนใหญ่เป็นชิ้นส่วนที่มีเฉพาะผู้ผลิตเท่านั้น อีกทั้งปัญหาอื่นๆของเครื่องชุบแบบถัง(Barrel) อาทิ ปัญหาการล้างบ่อ/ถังน้ำยา การจัดเก็บน้ำยา การบำรุงรักษา การถอดและการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ การเคลื่อนย้ายชุดควบคุม ขนาดของเครื่องและถังน้ำยาที่ไม่เหมาะสมและไม่สะดวกในการย้ายตำแหน่ง เป็นต้น นอกจากนั้นจะต้องสั่งทำเป็นพิเศษ ซึ่งต้องสั่งจากผู้ผลิตโดยตรง เมื่อเกิดการชำรุดเสียหายหรือขัดข้องต้องพึ่งผู้ผลิตโดยตลอดทำให้เสียเวลาและสิ้นเปลืองงบประมาณในการส่งซ่อม

การยศาสตร์ (Ergonomic) จึงมีบทบาทและความสำคัญในส่วนนี้ กล่าวคือ สามารถที่จะนำความรู้และประสบการณ์ทางด้านการยศาสตร์มาใช้สำหรับการออกแบบระบบคน – เครื่องจักร (man – machine systems) ให้มีความเหมาะสมมากขึ้น รวมทั้งสามารถใช้ในการออกแบบระบบคน – เครื่องจักร ดังกล่าวให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมอีกด้วย ซึ่งจากการออกแบบที่เหมาะสมนี้ จะทำให้สามารถแก้ไขผลเสียหรือปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นได้ หลักของการยศาสตร์มีส่วนสำคัญในการทำให้มีการปรับปรุงสุขภาพและความปลอดภัยในสถานที่ทำงาน เช่น การออกแบบระบบของกล้ามเนื้อและกระดูก (Musculoskeletal injuries) การออกแบบสถานีงานเกี่ยวกับVisual display unit (VDU) เพื่อลดความไม่สะดวกในการมอง และท่าของการทำงาน (Posture) การออกแบบเครื่องมือ(Hand tools) เพื่อลดความเมื่อยล้าในการทำงาน การออกแบบเครื่องมือและการวางตำแหน่งของจุดควบคุม เพื่อทำให้ข้อมูลเพียงพอที่จะทำงานได้อย่างรวดเร็วและลดความเสี่ยงที่จะเกิดจากความผิดพลาด การจัดให้มีสภาพแวดล้อมในการทำงานที่ดี เพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพสูงและหลีกเลี่ยงความเสี่ยงต่อสุขภาพ (อนุสารแรงงาน :13) เช่น สถานที่ยืนปฏิบัติงาน การทำงานที่ต้องยืนปฏิบัติงานนานๆ จะทำให้เกิดอาการปวดหลังขาบวมมีปัญหาเรื่องการไหลเวียนโลหิต เส้นเลือดขอดที่ขา และปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ หากมีความจำเป็นต้องยืนปฏิบัติงานนานๆ ควรปฏิบัติดังนี้ควรจัดหาเก้าอี้ไว้ในบริเวณปฏิบัติงาน เพื่อให้พนักงานได้พัก

เป็นระยะตามต้องการควรจัดวางเครื่องมือให้พนักงานหยิบได้สะดวกทั้งด้านหน้าและด้านหลังเพื่อป้องกันการบิดเอี้ยวตัวขณะปฏิบัติงานควรปรับความสูงของระดับงานให้เหมาะสมกับความสูงของพนักงาน หากปรับระดับงานไม่ได้ควรปรับระดับพื้น เช่น การจัดให้พนักงานที่ตัวเตี้ยยืนบนฐานที่ยกระดับขึ้นจากพื้นควรจัดให้มีที่พักเท้าและมีพื้นที่เพื่อให้คนงานวางเท้าและเปลี่ยนอิริยาบถเพื่อลดแรงกดที่หลังควรจัดแผ่นรองเท้าบริเวณที่คนงานยืนหรือให้พนักงานใส่รองเท้าที่สามารถกระจายแรงกดที่สันเท้าระยะของหน้างานควรอยู่ห่างประมาณ 8 - 12 นิ้ว เพื่อมิให้พนักงานต้องเมื่อยมากเกินไปขณะทำงาน เครื่องมือและอุปกรณ์ควบคุมการปฏิบัติงาน เครื่องมือควรออกแบบมาให้คนงานใช้กล้ามเนื้อมัดใหญ่ เช่นกล้ามเนื้อหัวไหล่, แขนและขา แทนกล้ามเนื้อมัดเล็ก เช่น ข้อมือและนิ้วมือ และไม่ควรออกแบบเครื่องมือให้พนักงานงอข้อมือหรือบิดข้อมือขณะจับด้ามจับควรสะดวกสบายต่อการจับและมีความยาวพอที่จะจับได้ถนัดมือ เป็นต้น

จะเห็นว่าความรู้ด้านการยศาสตร์ จึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาปัจจัยทางด้านการยศาสตร์ทั้งหมด เมื่อต้องการปรับปรุงคุณภาพ การละเลยความสะดวกสบายของบุคคลขณะทำงานจะทำให้ประสิทธิภาพของงานต่ำกว่ามาตรฐานโดยเฉลี่ย และจะนำมาซึ่งความเจ็บป่วยที่เกิดสะสมอย่างช้าๆ (Repetitive Stress Injuries) โดยที่เราไม่ทันสังเกต ซึ่งความเจ็บป่วยนี้บ่อยครั้งเกิดจากการเคลื่อนไหว และวางตำแหน่งสรีระในลักษณะที่ไม่ถูกต้อง (อนุสารแรงงาน :14) ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาการออกแบบชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์ ซึ่งการออกแบบและสร้างมีรูปแบบโครงสร้างเป็นรูปตัวซี (C) เพื่อช่วยลดการเคลื่อนไหวร่างกายจากการทำงานกับเครื่องชุบนั้น ซึ่งเน้นหลักการประหยัดพลังงานในการเคลื่อนไหวร่างกาย

ความมุ่งหมายการวิจัย

1.ออกแบบชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์

2.สร้างชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์

3.ประเมินความสามารถในลดความล้าจากการทำงานของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์

ความสำคัญการวิจัย

ได้ชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์ เพื่อช่วยลดเวลาทำงานต่อรอบ ช่วยลดการเคลื่อนไหวร่างกายจากการทำงานและลดความล้าจากการทำงาน

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์ที่สร้างขึ้น เพื่อให้การวิจัยในครั้งนี้ บรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ผู้วิจัยจึงได้กำหนดขอบเขตการวิจัย ดังต่อไปนี้

1. การออกแบบมีรูปแบบโครงสร้างเป็นรูปตัวซี (C) ทำด้วยสแตนเลสมีขนาดความกว้าง 1.60 เมตร ความยาว 1.80 เมตร ความสูง 1.40 เมตร จำนวน 3 แบบ

2. ปรับปรุงกระบวนการชุบ ประกอบด้วย ชุดถังล้างไฟฟ้าขนาด 25 ลิตร ชุดถังโพลีพรอพพิลีนบรรจุน้ำยาชุบขนาด 15 ลิตร ชุดหม้อแปลงจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 15V 0-30 A และชุดควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งกระบวนการชุบตามแบบที่พัฒนาเรียงลำดับ ดังนี้ 1.ล้างด้วยไฟฟ้า 2.ล้างน้ำไหลล้น 3.กระตุ้นผิวด้วยกรด 4.ล้างด้วยน้ำกลั่น 5.น้ำยาชุบเงิน 6.ล้างเก็บกลับน้ำยาชุบเงิน 7.น้ำยาชุบโรเดียม 8.ล้างเก็บกลับน้ำยาชุบโรเดียม 9.ล้างน้ำไหลล้นและน้ำร้อน

3. ประเมินหลักของการยศาสตร์ ของผู้ปฏิบัติงาน จำนวน 10 คน

ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรที่ศึกษา การพัฒนาชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์

นิยามศัพท์เฉพาะ

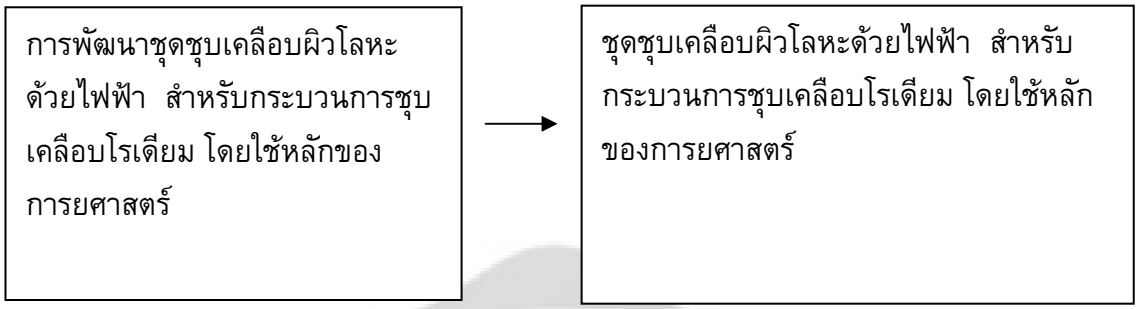
1.หลักของการยศาสตร์ หมายถึง วิทยาการที่ว่าด้วยความสัมพันธ์ระหว่างคนกับสิ่งแวดล้อมในการทำงาน หรือ วิทยาการที่ว่าด้วยการออกแบบงานให้เหมาะสมกับคนที่ทำงานนั้น

2.การออกแบบชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าโดยใช้หลักของการยศาสตร์ หมายถึง การกำหนดลักษณะของโครงสร้างเครื่องที่มีความสัมพันธ์กับการใช้วัสดุอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และพนักงานประจำเครื่องชุบ

3.การพัฒนาชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าโดยใช้หลักของการยศาสตร์ หมายถึง เครื่องมือที่สามารถชุบเคลือบผิวโลหะมีค่าด้วยไฟฟ้า ประกอบด้วย ชุดถังบรรจุน้ำยาชุบ ชุดจ่ายกระแสไฟฟ้า ชุดควบคุมอุณหภูมิ และชุดควบคุมเวลา ที่มีลักษณะที่เหมาะสมตามหลักวิทยาการที่ว่าด้วยความสัมพันธ์ระหว่างคนกับสิ่งแวดล้อมในการทำงาน

กรอบแนวคิดการวิจัย

การพัฒนาชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์



ภาพประกอบ 1 แสดงกรอบแนวคิดในการวิจัย

สมมุติฐานของการวิจัย

แบบชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์ที่สร้างขึ้น ผ่านการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญอยู่ในเกณฑ์ดี

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การจัดทำงานวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องและตรวจเอกสารที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบและสร้างชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ มีรายละเอียดนำเสนอตามหัวข้อดังต่อไปนี้

1. ชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า
2. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการยศาสตร์
3. การออกแบบและพัฒนาชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า

1.1พื้นฐานของเคมีไฟฟ้าเกี่ยวกับการชุบ

1.1.1 การแบ่งชนิดของตัวนำไฟฟ้า

ตัวนำไฟฟ้าโดยทั่วไป จำแนกออกได้เป็น 3 พวก คือก๊าซ อิเลคโทรไลท์ และโลหะ สำหรับก๊าซจะนำไฟฟ้าได้ไม่ดีนัก ซึ่งจะเกิดการนำไฟฟ้าได้ก็ต่อเมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์สูงๆ หรือเมื่อก๊าซเหล่านี้แตกตัวเป็นไอออน ส่วนอิเลคโทรไลท์จะนำไฟฟ้าได้ดีกว่าก๊าซโดยอิเลคโทรไลท์จะหมายถึงสารละลายที่มีการแตกตัวของโมเลกุลของตัวถูกละลายเป็นไอออนบวกและไอออนลบ และไอออนเหล่านี้ จะเป็นเหล่านี้ จะเป็นตัวนำไฟฟ้า เมื่อกระแสไฟฟ้าเข้าไปในสารละลายซึ่งอิเลคโทรไลท์สามารถแบ่งได้เป็น 2 พวก คือ อิเลคโทรไลท์แก่และอิเลคโทรไลท์อ่อน โดยอิเลคโทรไลท์แก่ หมายถึง สารละลายที่ตัวถูกละลายจะแตกตัวเป็นไอออนได้ดีกว่ามาก ทำให้มีปริมาณของไอออนในสารละลายสูง ส่วนอิเลคโทรไลท์อ่อนตัวถูกละลายจะแตกตัวเป็นไอออนได้น้อย ส่วนใหญ่จะเป็นโมเลกุลที่ไม่แตกตัว ซึ่งไม่สามารถนำไฟฟ้าได้ ดังนั้น พวกอิเลคโทรไลท์แก่จึงนำไฟฟ้าได้ดีกว่าอิเลคโทรไลท์อ่อน สำหรับตัวนำโลหะจะนำไฟฟ้าจะนำไฟฟ้าได้ดีที่สุด เพราะเป็นการนำไฟฟ้าไปโดยอิเลคตรอน ซึ่งมีขนาดและมวลสารน้อยกว่าไอออนลบ ตัวนำไฟฟ้าที่กล่าวมาทั้งหมดนี้พวกอิเลคโทรไลท์จะเกี่ยวข้องกับเรื่องของการชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้ามากที่สุด เพราะน้ำยาก็คืออิเลคโทรไลท์นั่นเอง

การชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า โดยปกติจะมีแผ่นโลหะซึ่งเป็นขั้วบวกและชิ้นงานเป็นขั้วลบจุ่มอยู่ในน้ำยาชุบหรืออิเลคโทรไลท์ เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปไอออนบวกของโลหะที่ละลายอยู่ในน้ำยาชุบ(ก็คือตัวถูกละลายที่แตกตัวในส่วนที่เป็นไอออนบวก) ก็บวกทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้า โดยวิ่งไปจับกับอิเลคตรอนที่ขั้วลบทำให้ไอออนบวกของโลหะถูกรีดิวซ์เคลือบที่ผิวขั้วของขั้วลบ ส่วนไอออนลบในน้ำยาชุบ ก็จะวิ่งไปยังขั้วบวก เพื่อไปจ่ายอิเลคตรอนให้กับขั้วบวก

หรือ อาจจะไปออกซิไดซ์ขั้วบวก ทำให้โลหะที่เป็นขั้วบวกในสภาพอะตอมถูกออกซิไดซ์กลายเป็นไอออนบวกละลายลงสู่น้ำยาชุบและจ่ายอิเลคตรอนให้ขั้วบวก ซึ่งจะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลครบวงจร

1.1.2 กฎของฟาราเดย์

กฎของฟาราเดย์ สรุปได้กฎ 2 ข้อ คือ

1.ปริมาณของสารที่แตกออกหรือเกิดขึ้นเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าลงไปในสารละลาย จะเป็นสัดส่วนกับปริมาณไฟฟ้า

2. ปริมาณไฟฟ้าเท่ากัน ย่อมทำให้สารแตกออก หรือเกิดขึ้นเป็นจำนวนสมมูลทางเคมีที่เท่ากัน แม้ว่าสารนั้น จะแตกต่างกันก็ตาม

กฎข้อที่1 ทดสอบได้โดยการผ่านกระแสไฟฟ้าคงที่ไปในสารละลายด้วยระยะเวลาต่างๆกัน แล้วหาปริมาณของสารที่มาเกาะที่ขั้วลบ ก็จะพบว่าน้ำหนักของสารที่ไปเกาะต่อเวลาจะเป็นอัตราส่วนที่คงที่

กฎข้อที่2 ทดสอบได้โดยผ่านปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่เท่ากัน (จำนวนคูลอมบ์เท่ากัน) ลงไป ในสารละลายต่างๆ ที่แตกต่างกัน เช่น ในสารละลายกรดกำมะถันเจือจาง ในสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต ในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต เป็นต้น สมมุติว่าทั้งสามสารละลายข้างผ่านกระแสไฟฟ้าลงไป 1 แอมแปร์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะพบว่า น้ำหนักของสารที่เกิดขึ้นที่ขั้วลบเป็น 0.0379 กรัม ของก๊าซไฮโดรเจน 4.0248 กรัมของโลหะเงิน และ 1.186 กรัมของโลหะทองแดง เมื่อเอาน้ำหนักสมมูลของสารเหล่านี้ คือ ไฮโดรเจน เท่ากับ 1.008 โลหะเงินเท่ากับ 107.88 และโลหะทองแดง เท่ากับ 31.78 ไปหารกับน้ำหนักของสารที่เกิดขึ้นที่ขั้วลบ ก็จะได้ค่าออกมา 3 ค่า ซึ่งเท่ากัน และก็คือจำนวนสมมูลของสารนั่นเอง ซึ่งโลหะแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการเข้าเคลือบหรือละลายออกมาเท่ากัน ขึ้นกับสมมูลปฏิริยาเคมี ซึ่งก็คืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักอะตอมต่อวาเลนซี่ของไอออนโลหะที่เกิดขึ้นในกระบวนการอิโตรไลซิสนั้น

จากกฎของฟาราเดย์ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการหาปริมาณสารที่ไปเกาะที่ขั้วลบได้ เพราะว่าปริมาณไฟฟ้าที่ทำให้สารไปเกาะที่ขั้วลบจำนวน 1 สมมูลจะต้องใช้ปริมาณไฟฟ้า 1 ฟาราเดย์(F) ซึ่ง เท่ากับ 96,500 คูลอมบ์ จากความสัมพันธ์นี้ สามารถสร้างเป็นสูตรได้ คือ

$$W = \frac{ItA}{nF}$$

W = IT e/96,500 หรือ อาจเขียนสมการดังนี้

เมื่อ I แทน กระแสไฟฟ้าที่ผ่านลงไปในสารละลาย มีหน่วยเป็นแอมแปร์

t แทน เวลาที่ผ่านกระแสฟ้าลงไป มีหน่วยเป็น วินาที

e แทน น้ำหนักสมมูลของสารที่จะไปเกาะที่ขั้วลบ (สำหรับนิเกิล=58.71 g/mole)

W แทน น้ำหนักของสารที่ไปเกาะที่ขั้วลบ มีหน่วยเป็นกรัม

n แทน วาเลนซี (สำหรับนิเกิล = 2)

F แทน ค่าคงที่ของฟาราเดย์(96,500 c หรือ A.sec/mole)

การคำนวณตามกฎของฟาราเดย์นี้จะถือว่า ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้า และขั้วลบเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือ ปริมาณไฟฟ้าทั้งหมดถูกใช้ไปในการเคลือบผิวอย่างเดียวไม่ได้ถูกใช้ไป เพื่อทำอย่างอื่นๆเลย แต่ในทางปฏิบัติ แล้วประสิทธิภาพมักไม่เป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ฉะนั้น จึงจำเป็นจะต้องนำ ค่าของประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าน้ำหนักสารที่ไปเกาะที่ขั้วลบจริงๆ เป็น 5.0 x (80/100) เท่ากับ 4.0 กรัม หรือในทำนองเดียวกัน ถ้าอยากทราบถึงประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบที่ไปเกาะจริงๆ อาจทำได้ โดยการชั่งน้ำหนัก จะได้ว่าน้ำหนักที่ไปเกาะจริงต่อน้ำหนักที่คำนวณได้ คูณด้วย 100 ก็จะได้ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าเป็นเปอร์เซ็นต์ออกมา

นอกจากนี้ยังสามารถจะคำนวณหาความหนาของโลหะที่ไปเกาะเคลือบบนชิ้นงานได้อีกด้วย โดย เมื่อหาน้ำหนักของสารที่ไปเกาะเคลือบอยู่ที่ขั้วลบหรือชิ้นงาจนได้แล้ว ให้เอาไปหารความหนาแน่นของโลหะที่ไปเกาะและพื้นที่ของชิ้นงานที่ไปเกาะ โดยต้องใช้หน่วยระบบเดียวกันโดยตลอด โดยสูตรนี้หามาจาก

$$D = m / V$$

เมื่อ D หรือ d แทน ความหนาแน่น ของโลหะที่ไปเกาะบนชิ้นงาน (สำหรับนิเกิล =8.90 g/cm^3)

M หรือ W แทนน้ำหนักของโลหะที่ไปเกาะบนชิ้นงาน (กรัม)

V แทน ปริมาตรของโลหะที่ไปเกาะชิ้นงาน

แต่เนื่องจาก $V = a \times l$

เมื่อ a แทน พื้นที่ผิวชิ้นงานโลหะที่จะเกาะ(cm^2)

l หรือ T แทน ความหนาของฟิล์มโลหะที่ไปเกาะ (cm)

ดังนั้น

$$D = \frac{m}{A \times l}$$

$$l = \frac{m}{A \times D}$$

หรืออาจเขียนเป็นสมการ ดังนี้ $T = W/ad$

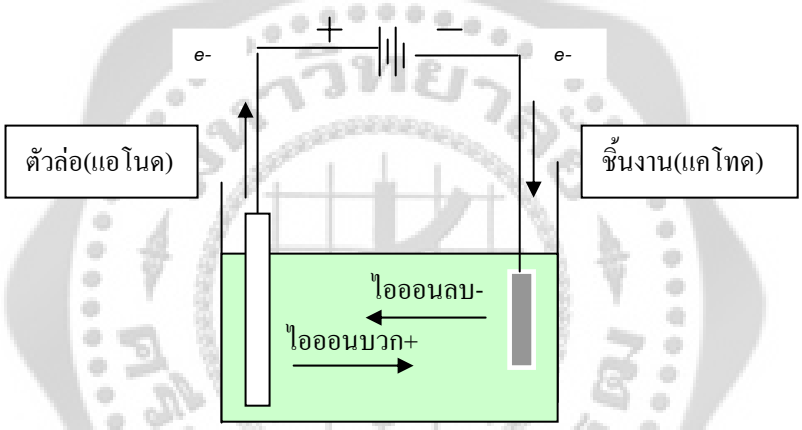
เวลาในการชุบเคลือบผิว : $t = WnF / IA$

1.1.3 ความรู้เบื้องต้นของการชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า

1.1.3.1 หลักการชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า

หลักการ

การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า หมายถึง การนำเอาชิ้นงานหรือวัสดุที่สามารถนำไฟฟ้ามากระทำเคลือบผิวด้วยโลหะ โดยอาศัยไฟฟ้ากระแสตรงเข้าช่วย ซึ่งหลักการง่ายๆ คือนำชิ้นงานที่จะทำการชุบต่อเข้ากับขั้วลบของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ส่วนโลหะที่จะไปเคลือบผิวบนชิ้นงาน ต่อเข้ากับขั้วบวก(แต่ขั้วบวกไม่จำเป็นต้องเป็นโลหะชนิดเดียวกันกับโลหะที่ไปเคลือบบนชิ้นงานเสมอไป) ซึ่งเรียกว่า ตัวล่อ นำชิ้นงานและตัวล่อจุ่มลงไปในน้ำยาชุบ แล้วปรับปริมาณทางไฟฟ้า คือ แรงเคลื่อน และกระแสไฟฟ้าให้เหมาะสม ก็จะทำให้ไอออนของโลหะที่จะเคลือบบนชิ้นงาน วิ่งไปยังขั้วลบซึ่งเป็นชิ้นงาน แล้วรับอิเลคตรอนที่ผิวของชิ้นงานกลายเป็นโลหะเคลือบบนชิ้นงาน ส่วนขั้วบวก ถ้าเป็นโลหะชนิดเดียวกับโลหะไปเคลือบที่ผิวได้ของชิ้นงานก็จะละลายสู่น้ำยาชุบในรูปแบบของไอออนบวก จากหลักการข้างต้นสามารถเขียนเป็นแผนภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 แสดงให้เห็นถึงหลักการชุบอย่างง่าย

จากภาพประกอบ 2 ไอออนบวก เรียกว่า แคทไอออน จะเคลื่อนที่ไปรับอิเลคตรอนและเกิดเป็นผิวเคลือบจับอยู่ที่แคโทด

$$M^{n+} + n^{e-} \longrightarrow M$$

ไอออนลบ เรียก แอนไอออนจะเคลื่อนที่ไปให้อิเลคตรอนที่แอโนดและรวมตัวโลหะไอออนละลายออกมาเป็นเกลือโลหะ

$$X^{n-} \longrightarrow X + n^{e-}$$

โลหะไอออนจากสารละลาย Migration ผิวแคโทด

โลหะไอออนจากสารละลาย Dehydration แอนไอออน

แอนไอออน + อิเลคตรอน จากแคโทด Discharges $\longrightarrow$ แอนอะตอม movement on the surface $\longrightarrow$ อะตอมของโลหะในผิวเคลือบ

พิจารณาจากภาพประกอบ 2 จะเห็นว่าน้ำยาชุบจะต้องนำไฟฟ้าได้จึงจะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลได้ครบวงจร ฉะนั้นในน้ำยาชุบ จึงมีสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบของน้ำยาชนิดที่

แตกตัวเป็นไอออนบวกและไอออนลบ เมื่อละลายน้ำได้ดี ซึ่งไอออนเหล่านั้นจะเป็นนำไฟฟ้าให้ไหลครบวงจรคือไอออนบวกจะนำกระแสไฟฟ้าบวกไปยังขั้วลบหรือเคลื่อนที่ไปยังขั้วลบ เพื่อรับอิเลคตรอนจากขั้วลบนั่นเอง ส่วนไอออนลบจะวิ่งไปขั้วบวก เพื่อจ่ายอิเลคตรอนให้ขั้วบวก ปรากฏการณ์เช่นนี้จะเกิดขึ้นตลอดเวลาในขณะชุบ ฉะนั้นโดยทั่วไปแล้วน้ำยาชุบโลหะด้วยไฟฟ้าจะประกอบด้วยสารเคมีที่สำคัญๆ ดังนี้

1) สารที่เป็นตัวกำเนิดโลหะ น้ำยาชุบแต่ละชนิดจะมีตัวกำเนิดโลหะไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับว่าต้องการชุบเคลือบผิวด้วยโลหะชนิดใด เช่น ถ้าต้องการชุบเคลือบผิวด้วยทองแดง ก็ต้องมีเกลือของโลหะทองแดงเป็นตัวกำเนิดโลหะ คือ คอปเปอร์ซัลเฟต($CuSO_4$) ละลายในน้ำชุบ หรือ ถ้าต้องการชุบเคลือบผิวด้วยนิเกิลก็ต้องมีนิเกิลซัลเฟต ($NiSO_4$) หรือนิเกิลคลอไรด์ ($NiCl_2$) ละลายในน้ำยาชุบ สารที่เป็นตัวกำเนิดโลหะนี้เป็นสารหลักที่สำคัญที่สุดในเรื่องการชุบ เพราะสารเหล่านี้จะแตกตัว เมื่ออยู่ในน้ำยาชุบเป็นไอออนบวกและไอออนลบ โดยไอออนบวก คือ Cu^{2+} หรือ Ni^{2+} จะเป็นตัวเคลื่อนที่ไปเคลือบเกาะบนชิ้นงานเป็นโลหะทองแดงหรือนิเกิล

2) สารช่วยเพิ่มการนำไฟฟ้า แม้ว่าตัวกำเนิดโลหะจะแตกตัวและนำไฟฟ้าได้ แต่ก็ยังนำไม่ดีนักจะต้องมีสารช่วยเพิ่มการนำไฟฟ้าลงไปในน้ำยาชุบด้วยสารพวกนี้ ส่วนใหญ่จะเป็นพวกกรดแก่หรือด่างแก่ชนิดต่างๆ เช่น กรดไฮโดรคลอริค กรดซัลฟิวริค หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น ซึ่งจะช่วยให้อัตราเร็วของการเกาะเคลือบผิวดีขึ้น

3) น้ำยาเงา ในงานชุบส่วนมากแต่ละชนิดจะอยู่ในสภาพการใช้งานได้ดี หรือไม่จะต้องมี PH อยู่ในช่วงที่เหมาะสมตามแต่ชนิดของน้ำยาชุบ ฉะนั้น ถ้าไม่ต้องการให้ PH ของน้ำยาชุบเปลี่ยนแปลงไปมากนัก ก็ควรจะต้องทำเติมน้ำยาเงาลงไปในน้ำยาชุบ เพื่อทำให้ผิวของชิ้นงานที่ได้มีลักษณะแวววาวสวยงาม ซึ่งน้ำยาเงา นี้มีมากมายหลายชนิดขึ้นอยู่กับสูตรที่ผู้ผลิตจะคิดค้นขึ้นมาฉะนั้นในการใช้ตามคำแนะนำของผู้ผลิต

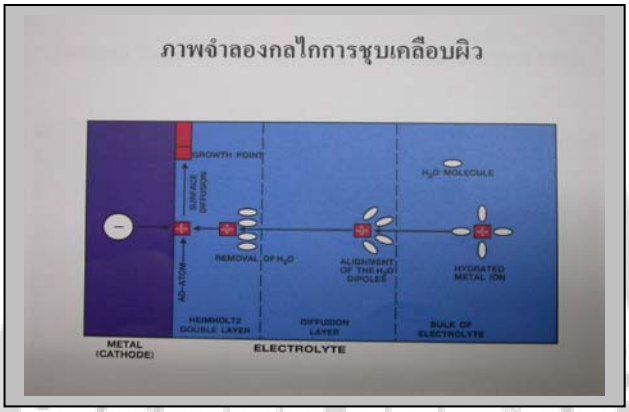
4) สารรักษาระดับการเคลือบผิวให้สม่ำเสมอ(Livelier) สารนี้ส่วนมากจะเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ไม่มีซัลเฟอร์รวมอยู่และที่รู้จักเป็นที่นิยมใช้มากได้แก่ คูมาริน (Coumarin) ซึ่งจะช่วยทำให้ผิวชิ้นงานลดความเป็นรูหรือหลุมให้น้อยลง เช่น ชิ้นงานก่อนจะชุบอาจจะมีหลุมเล็กๆ อยู่หลุมหนึ่ง แต่ เมื่อชุบแล้วชุบนี้ไปหรือตื้นขึ้นมาก ถ้าน้ำยาชุบมีสารรักษาระดับการเคลือบผิวให้สม่ำเสมออยู่ด้วย

5) สารเพิ่มความชื้น (Wetting agent) เป็นสารที่มีความสำคัญมากในการชุบโลหะเงา เพราะจะไปลดแรงตึงผิวของสารละลายชิ้นงานที่เป็นผลิตภัณฑ์จะไม่เกิดรอยด่างการใช้สารเพิ่มความชื้นจะต้องใช้ในอัตราส่วนที่เหมาะสม เพราะถ้าไม่เหมาะสมแล้วจะทำให้ความเงางามสูญเสียไปหรือทำให้การรักษาระดับการเคลือบผิวไม่ดี ฉะนั้น โดยปกติแล้วน้ำยาเงา สารรักษาระดับและสารเพิ่มความชื้น จึงต้องใช้ของผู้ผลิตแหล่งเดียวกันเสมอ และเรียกรวมๆว่า น้ำยาเงา

1.1.3.2 ลักษณะการเข้าเกาะเคลือบผิวที่ขั้วลบ

ลักษณะการเข้าเคลือบผิวของไอออนบวก(M^+) ซึ่งไอออนของโลหะจะแบ่งพิจารณาได้เป็น 2 กรณี คือ

ก.น้ำยาชุบที่เป็นเกลือแบบธรรมดานี้ ไอออนบวกจะรวมตัวอยู่กับโมเลกุลของน้ำเป็นตัวทำลาย เรียกว่า เกิดการไฮเดรท(Hydrate) โดยไอออนบวก ที่ถูกไฮเดรท หรือห่อหุ้มด้วยโมเลกุลของน้ำยังคงแสดงจำนวนประจุเท่าเดิม เช่น Cu^{2+} เมื่อถูกไฮเดรทจะเป็น $Cu(H_2O)_4^{2+}$ เมื่อไอออนบวกในรูปของไอเดรท เคลื่อนที่เข้าหาขั้วลบ เพื่อจะทำการเคลือบผิวที่ขั้วลบ จะเกิดตามลำดับขั้นตอนดังภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 ลักษณะการเข้าเกาะเคลือบผิวที่ขั้วลบของไอออนบวก(M^+) ที่เป็นเกลือแบบธรรมดา

ที่มา :โครงการ JARADคู่มือ เทคนิคการชุบเครื่องประดับ.ม.ม.ป.: 17.

ข. น้ำยาชุบที่เป็นเกลือเป็นเชิงซ้อน

น้ำยาชุบจำนวนมากที่ไอออนของโลหะที่จะไปเคลือบบนผิวของชิ้นงานอยู่ในรูปของเชิงซ้อน เช่น เกลือเชิงซ้อนไซยาไนด์ของทองแดง เงิน สังกะสี แคดเมี่ยม ทอง เกลือเชิงซ้อนไพโรฟอสเฟตของทองแดง ฟลูออบอเรตของตะกั่ว ทองแดง ดีบุก นิเกิล เป็นต้น ลักษณะการเข้าเกาะที่ขั้วลบของไอออนเชิงซ้อนค่อนข้างจะสลับซับซ้อน แต่พอสรุปได้ว่า ไอออนของโลหะ เมื่อเคลื่อนที่เข้าหาขั้วลบได้ระยะหนึ่งจะเปลี่ยนสภาพที่เป็นไอออนเชิงซ้อนไปเป็นไอออนอิสระแล้วจึงถูกไฮเดรทด้วยโมเลกุลของน้ำจากนั้นก็จะมีกลไกการเคลื่อนที่เข้าหาขั้วลบเหมือนกับน้ำยาชุบที่เป็นเกลือแบบธรรมดาตามข้อ ก.

1.1.3.3 ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบและขั้วบวก

ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบและขั้วบวก บางทีเรียกว่า ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้า หรือบางทีเรียกว่า ประสิทธิภาพของขั้วลบ หรือ ประสิทธิภาพของขั้วบวก ซึ่ง

ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบและขั้วบวกนี้ ส่วนใหญ่จะมีค่าแตกต่างกันโดยประสิทธิภาพนี้อาจจะนิยามได้ 2 ลักษณะ คือ ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้า เท่ากับอัตราส่วนระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในการชุบเคลือบผิวจริงๆ ต่อปริมาณโลหะของขั้วบวกที่ละลายจริงต่อปริมาณของโลหะของขั้วบวกที่ควรจะละลายตามกฎฟาราเดย์คูณด้วยหนึ่งร้อยหรืออาจจะนิยามว่าประสิทธิภาพของขั้วลบ คือ ปริมาณสารที่มาเกาะเคลือบผิวที่ขั้วลบต่อปริมาณที่ควรจะเกาะขั้วลบตามกฎฟาราเดย์คูณด้วยหนึ่งร้อย

โดยปกติแล้ว ประสิทธิภาพมักจะไม่ค่อยจะถึงร้อยเปอร์เซ็นต์ทั้งขั้วบวกและขั้วลบ ทั้งนี้ เพราะกระแสไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปยังน้ำยาชุบไม่ได้นำไปใช้ในการละลายขั้วบวก หรือทำให้ไอออนบวกของโลหะไปเกาะที่ขั้วลบเพียงอย่างเดียว แต่ยังถูกใช้ในการไปทำให้เกิดกลไกอื่นด้วย เช่นไปแยกสลายโมเลกุลของน้ำไปทำให้เกิดก๊าซขึ้นที่ขั้วบวกหรือขั้วลบ หรือถูกเปลี่ยนไปเป็นความร้อนเกิดขึ้นในสารละลาย เป็นต้น ตัวอย่างของการหาประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบ เช่น ในการชุบโครเมียม ถ้าใช้ไฟฟ้าผ่านลงไปในสารละลาย 1 ฟาราเดย์ ถ้าเป็นไปตามกฎของฟาราเดย์ควรจะมีโลหะไปเกาะที่ขั้วลบ 8.667 กรัม แต่จากการทดลองพบว่า มีโครเมียมไปเกาะจริงๆ เพียง 1.646 กรัม ฉะนั้น ประสิทธิภาพของขั้วลบเท่ากับ (1.646 x 8.667) x 100 = 19 เปอร์เซ็นต์ หรือในการหาประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วบวก ก็ทำได้ทำนองเดียวกัน ตัวอย่างเช่น ในการชุบเคลือบผิวโลหะอย่างหนึ่ง พบว่า เมื่อกระแสไฟฟ้าลงไปในสารละลายไป 100.0 กรัม ฉะนั้น ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วบวก เท่ากับ (80/100.0) x 100 = 80 เปอร์เซ็นต์

ในการชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าที่ดีที่สุดนั้น ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วบวกและขั้วลบ ควรจะมีเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ทั้งคู่ หรือถ้าไม่เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ทั้งสองขั้วก็อาจจะเป็นลักษณะว่าประสิทธิภาพขั้วบวกและขั้วลบที่จะต้องเท่ากัน เพราะทั้งสองกรณีนี้จะรักษาปริมาณไอออนที่เป็นแหล่งกำเนิดของโลหะคงที่และเท่าเดิมเสมอ เนื่องจากปริมาณของโลหะที่ไปเคลือบผิวที่ขั้วลบ จะเท่ากับปริมาณโลหะที่ละลายจากขั้วบวกลงสู่สารละลาย แต่ถ้าประสิทธิภาพของขั้วบวกและขั้วลบไม่เท่ากันจะทำให้ปริมาณของไอออนที่เป็นตัวกำเนิดโลหะ มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ซึ่งจะทำให้น้ำยาชุบเสื่อมสภาพเร็ว แต่ก็ยังมีวิธีการแก้ปัญหาเหล่านี้ได้ เช่น อาจจะใช้พื้นที่ผิวเป็นขั้วบวก และขั้วลบไม่เท่ากันเข้าช่วยหรืออาจจะใช้สารเคมีที่เติมลงไปเพื่อลดหรือเพิ่มการละลายของขั้วบวกเข้าช่วย เป็นต้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะช่วยปรับให้ประสิทธิภาพของขั้วบวกขั้วลบมีค่าใกล้เคียงกันหรือเท่าๆ กันได้ (พนม เสือสืบพันธุ์ : 16 อ้างอิง อนันต์ ทองมอญ.2545 : 2.1-2.6)

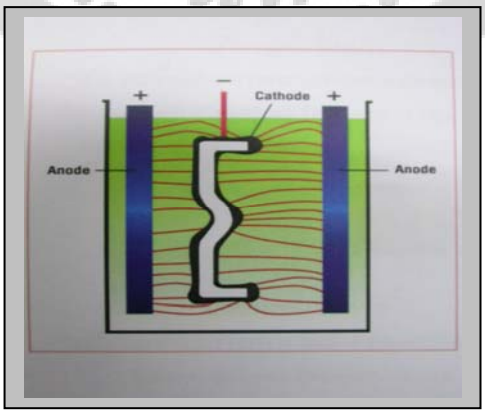
1.1.3.4 ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า

ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า คือ ปริมาณของกระแสไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ โดยปกติแล้วจะแสดงในหน่วยของแอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตรหรือแอมแปร์ต่อตารางฟุต และถ้าไม่ระบุเป็นความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วบวกหรือลบก็มักจะ หมายถึง ความหนาแน่นของ

กระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบในน้ำยาชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า แต่ละชนิดจะกำหนดสภาวะการทำงานไว้ชัดเจนว่าจะจะชุบที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเท่าใด ฉะนั้นก่อนจะทำการชุบจึงต้องคำนวณพื้นที่ผิวของชิ้นงาน หรือขั้วลบเสียก่อนแล้วนำค่าพื้นที่นี้ไปคำนวณดูว่าจะใช้กระแสไฟฟ้าเท่าใด จึงจะทำให้ได้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าตามที่กำหนด ตัวอย่างเช่น ในการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าชนิดหนึ่ง จะต้องทำการชุบที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 8 แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร และปรากฏว่าพื้นที่ผิวหน้าของชิ้นงานที่จะทำการชุบทั้งหมด เท่ากับ 5 ตารางเดซิเมตร ฉะนั้นในการชุบนี้จะต้องใช้กระแสไฟฟ้าเท่ากับ 8x5 = 40 แอมแปร์ จึงจะอยู่ในภาวะทำงานที่ดี โดยปกติแล้ว ถ้าชุบชนิดเดียวกันมีภาวการณ์ทำงานบางอย่างแตกต่างกัน ก็อาจจะใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าแตกต่างกันไป เช่น อุณหภูมิสูงและมีการกวนน้ำอย่างแรง ก็จะชุบที่หนาแน่นของกระแสไฟฟ้าต่ำจะเคลือบผิวได้เป็นระเบียบและสวยงามกว่าแต่เสียเวลาในการชุบมากขึ้น (พนม เสือสืบพันธุ์ : 17 อ้างอิง อนันต์ ทองมอญ.2545 : 2.1-2.6)

1.1.3.5 การกระจายของกระแสไฟฟ้า

เนื่องจากชิ้นงานที่จะทำการชุบมีรูปแตกต่างกันออกไป เช่น แบน กลม กลวง โค้ง แหลม ฯลฯ จะพบจุดต่างๆ บนชิ้นงานจะห่างจากขั้วลบไม่เท่ากันจุดใดที่อยู่ใกล้ขั้วลบกระแสไฟฟ้าจะเดินทางทำให้มีลักษณะการกระจายของกระแสไฟฟ้า บริเวณจุดที่อยู่ใกล้มากกว่าจุดที่อยู่ไกล และยิ่งตรงบริเวณใดที่ลักษณะเป็นมุมแหลมด้วยแล้วยิ่งมีการกระจายของกระแสไฟฟ้าในบริเวณนั้นหนาแน่นมากขึ้นไปอีก เนื่องจากการกระจายของกระแสไฟฟ้า คือ การกระจายหรือการเคลื่อนของไอออนของโลหะ ที่จะไปเกาะที่ขั้วลบ ดังนั้น จุดใดของขั้วลบที่อยู่ใกล้ขั้วบวก หรือจุดที่เป็นมุมแหลมจะมีการเกาะเคลือบของโลหะบริเวณนั้นมากกว่าบริเวณนั้นมากกว่าบริเวณอื่นๆ จึงทำให้ผิวที่เคลือบนั้นหนากว่าที่อื่นด้วย ซึ่งอาจจะแสดงลักษณะการกระจายของกระแสไฟฟ้าและความหนาแน่นที่เคลือบบนชิ้นงานได้ดังภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 ลักษณะของการกระจายกระแสไฟฟ้าและความหนาที่เคลือบในบริเวณต่างๆของชิ้นงาน

ที่มา :โครงการ JARADคู่มือ เทคนิคการชุบเครื่องประดับ.ม.ม.ป.: หน้า 17.

ภาพประกอบ 4 จะเห็นว่าบริเวณของชิ้นงานส่วนที่เป็นมุมแหลมหรืออยู่ใกล้ขั้วบวกจะมีกระจายของกระแสไฟฟ้าหนาแน่นมากที่สุดและมีการเกาะเคลือบผิวหนาที่สุด ซึ่งถ้าต้องการให้การชุบเคลือบออกมาในลักษณะเช่นนี้ ก็ไม่ต้องแก้ไขอะไร แต่ถ้าต้องการให้มีลักษณะของการชุบเคลือบผิวที่มีความหนาแน่นเท่าๆกันตลอดชิ้นงาน ก็อาจจะแก้ไขได้โดยหาแผ่นวัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำยามากั้น ระหว่างขั้วบวกกับขั้วลบตรงบริเวณที่อยู่ใกล้กัน เพื่อลดความหนาแน่นไฟฟ้าให้เหลือเท่าๆกัน ทุกบริเวณของขั้วลบ วัสดุที่ใช้ควรเป็นวัสดุที่ไม่นำไฟฟ้า เช่น โพลีเอทธิลีน พีวีซีหรือโพลีโปรปีลีน เป็นต้น แต่ถ้าหากว่าการเกาะเคลือบผิวที่ขั้วลบไม่ทั่วหรือไม่สม่ำเสมอ อันเนื่องมาจากสาเหตุที่น้ำยามีกำลังการเกาะเคลือบผิวไม่ดีก็จะต้องแก้ไข โดยวิธีออกแบบขั้วบวกให้เหมาะสมเข้าช่วย คือ ออกแบบให้มีการกระจายของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบให้เท่ากันและทั่วถึงในส่วนที่ต้องการให้มีการเกาะเคลือบผิวสำหรับกำลังการเคลือบผิว หมายถึง ความสามารถในการกระจายของไอออนบวกหรือไอออนของโลหะไปเคลือบผิวบนชิ้นงานได้ทั่วถึงมากหรือน้อยถึงใด ถ้าน้ำยาใดมีกำลังการเคลือบผิวไม่ดีจะสังเกต ได้จะสังเกตได้จากการชุบชิ้นงานที่มีลักษณะกลวงหรือโค้งงอ จะพบว่าส่วนที่อยู่ลึกๆ ลงไปจะไม่เกิดการเคลือบผิว (พนม เสือสืบพันธุ์ : 18 อ้างอิง อนันต์ ทอง มอญ.2545 : 2.1-2.6)

1.2 เครื่องชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า

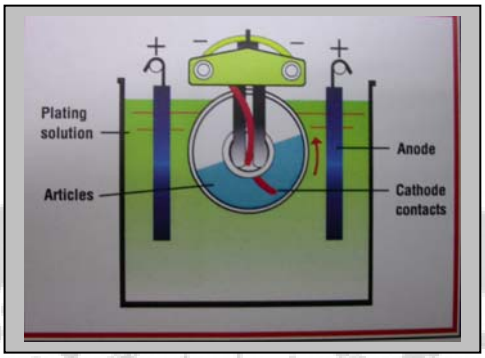
1.2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเครื่องชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า

เครื่องชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าในอุตสาหกรรมเครื่องประดับโดยทั่วไป สร้างขึ้นตามลักษณะของชิ้นงาน ซึ่งการเลือกวิธีที่เหมาะสมนี้จะทำให้การผลิตเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ เกิดความรวดเร็วในการทำงาน และลดของเสียที่จะเกิดจากการชุบ อย่างไรก็ตามนอกจากการเลือกวิธีชุบที่ถูกต้องแล้วการเอาใจใส่ในระหว่างการทำงานจะเป็นการลดความเสียหายได้อีกหลายทาง ดังนี้

1.2.1.1 เครื่องชุบด้วยวิธีแบบแขวน (Rack Application Plating) วิธีการชุบแบบแขวนเป็นวิธีหนึ่งที่พบได้โดยทั่วไปในกระบวนการชุบ ลักษณะของชิ้นงานจะต้องสามารถจับได้ด้วย Rack หรือสามารถผูกกับลวดได้ อุปกรณ์ชิ้นนี้เรียกว่า Plating Jig หรือ Plating Rack

ภาพประกอบ 5 ถังชุบแบบ Plating Jig ของโครงการจรัส

1.2.1.2 เครื่องชุบด้วยวิธีแบบถังกลิ้งหรือหมุน (Barrel Application Plating) การชุบแบบนี้มักพบในงานที่ทำการผูกด้วยลวดหรือแขวนบน Rack ได้ยาก หรือเป็นงานชิ้นเล็กๆ ซึ่งมีจำนวนมาก ในการชุบให้ชิ้นงานใส่ถังชุบพลาสติกในจำนวนพอเหมาะประมาณ 1/3-1/2 ของปริมาณถัง แล้วมีขั้วลบแตะอยู่กับชิ้นงาน และชิ้นงานสัมผัสกันและนำไฟฟ้ากันเอง ถังจะหมุนทำให้ชิ้นงานคละเคล้ากันในขณะที่ชุบ ข้อดีคือไม่ต้องเสียเวลาในการผูกชิ้นงานด้วยลวด หรือแขวนบน Rack ข้อเสีย คือชิ้นงานจะกระทบกันอาจมีรอยขูดขีด และเสียหายได้ ชิ้นงานแบนอาจผิวเคลือบออกมาไม่ดีนัก



ภาพประกอบ 6 แสดงถังชุบแบบหมุน

ที่มา: โครงการ JARADคู่มือ เทคนิคการชุบเครื่องประดับ.ม.ม.ป.: หน้า 17.

1.2.1.3 เครื่องชุบด้วยวิธีแบบใช้การสั่น (Vibration Plating) การชุบแบบใช้การสั่น ถูกพัฒนาขึ้น ซึ่งมีข้อดีกว่าแบบถังหมุนอยู่หลายประการ คือ ไม่ทำลายชิ้นงาน แม้ชิ้นงานที่บอบบาง ผิวเคลือบมีความหนาที่สม่ำเสมอสูง การสูญเสียของน้ำยาไปกับชิ้นงานต่ำ การชุบเข้าซอกมุมได้ดีและสามารถชุบชิ้นงานแบนราบที่อาจติดกันได้

ภาพประกอบ 7 แสดงถังชุบแบบใช้การสั่น

ที่มา: โครงการ JARADคู่มือ เทคนิคการชุบเครื่องประดับ.ม.ม.ป.: หน้า 17.

1.2.1.4. เครื่องชุบด้วยวิธีแบบใช้ชุบสร้อย (Chain Plating Equipment)

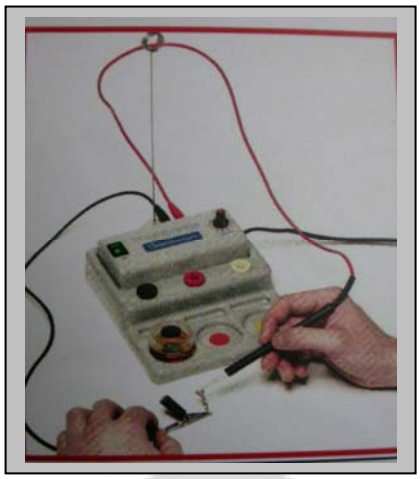
เครื่องชุบนี้ได้ออกแบบมาเพื่อชุบสร้อยโดยเฉพาะ เพื่อลดปัญหาการเคลื่อนตัวของสร้อยหลังจากการชุบ และยังให้ความหนาของผิวเคลือบสม่ำเสมอ กว่าการชุบแขวนธรรมดา ในภาพแสดงการทำงานของเครื่องชุบ โดยแขวนสร้อยบนล้อหมุนสแตนเลสที่ต่ออยู่ขั้วลบของอุปกรณ์จ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขณะล้อหมุน สร้อยบางส่วนจะจุ่มลงไปในน้ำยาชุบและขณะสร้อยจะหมุนตามล้อตลอดเวลา

ภาพประกอบ 8 แสดงถังชุบด้วยวิธีแบบใช้ชุบสร้อย

ที่มา: โครงการ JARADคู่มือ เทคนิคการชุบเครื่องประดับ.ม.ม.ป.: หน้า 18.

1.2.1.5.เครื่องชุบด้วยวิธีแบบทาด้วยปากกา (Pen Plating)

การชุบแบบทาด้วยปากกาเหมาะการชุบผิวเฉพาะที่หรือบริเวณพื้นที่ไม่มาก เช่น หนามเตยของแหวน ฯลฯ วิธีนี้ใช้งานง่ายและสะดวกกว่าการชุบแบบแขวน ซึ่งต้องทาปิดผิวบริเวณที่ไม่ต้องทาปิดบริเวณที่ไม่ต้องการเคลือบ ด้วย Marking lacquer การชุบแบบนี้มีข้อจำกัดคือไม่สามารถเคลือบผิวหนาได้ ส่วนขั้นตอนการทำงานของการชุบแบบนี้ ชิ้นงานจะผ่านกระบวนการล้างตามปกติ แต่ควรทำชิ้นงานควรให้แห้งก่อนทำการชุบ เพราะน้ำยาจะถูกน้ำที่ผิว ทำให้เจือจางและควบคุมบริเวณที่ต้องการชุบได้ยาก หลังจากชุบเสร็จให้ล้างด้วยน้ำให้สะอาด ก่อนนำไปทำให้แห้ง



ภาพประกอบ 9 แสดงถังชุบด้วยวิธีแบบทาด้วยปากกา

ที่มา: โครงการ JARADคู่มือ เทคนิคการชุบเครื่องประดับ.ม.ม.ป.: หน้า 18.

จากข้อมูลที่ได้กล่าวมาถึงความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับหลักการชุบด้วยไฟฟ้าและประเภทของเครื่องชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าต่างๆพอสรุปได้ว่า เครื่องชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าที่ใช้ในอุตสาหกรรมโดยมากแล้วจะชุบด้วยวิธีแบบแขวน (Rack Application Plating) เนื่องจากชิ้นงานที่ชุบส่วนใหญ่เป็นแหวน ต่างหู จี้ กำไล เข็มกลัด เป็นต้น ซึ่งชิ้นงานมักมีขนาดเล็กสามารถนำมาแขวนด้วย Rack หรือสามารถผูกกับลวดทองแดงได้ และสามารถชุบครั้งละจำนวนมากได้ ทั้งนี้ด้วยวิธีอื่นๆข้างต้นจะใช้เป็นกรณีเฉพาะไป สำหรับผู้วิจัยเห็นว่าในภาคอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมจะมีแผนกชุบเป็นส่วนหนึ่งของขั้นตอนการผลิต จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งที่ต้องมีชุดชุบขนาดที่เหมาะสมกับขนาดของสถานประกอบการและกำลังผลิต เพื่อประโยชน์ในการผลิตและประหยัดต้นทุน

1.2.2 องค์ประกอบพื้นฐานในกระบวนการชุบในเบื้องต้น มีองค์ประกอบ ดังนี้

1.2.2.1 แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง เป็นอุปกรณ์ที่ทำการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อนำมาใช้ในการชุบโดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์นี้ควรจะมีลักษณะดังต่อไปนี้

1.) สามารถปรับความต่างศักย์ไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง

2.) ความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการใช้งาน

3.) มีการแสดงผลทั้งความต่างศักย์ และกระแสไฟฟ้า

4.) ควรมีระบบป้องกันการจ่ายกระแสมากเกินไปและไฟฟ้าลัดวงจร

1.2.2.2 ชิ้นงานที่จะทำการชุบเคลือบ ชิ้นงานที่จะทำการชุบเคลือบนั้นจะต่อกับขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง และเรียกชิ้นงานว่า แคโทด (Cathode)

1.2.2.3 แอโนด (Anode, แผ่นล่อ) เพื่อให้กระแสไฟฟ้าในการชุบไหลได้ครบวงจร จึงมีวัสดุที่ต่อกับขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง เรียกวัสดุนี้ว่า แอโนดหรือแผ่นล่อ โดยที่แอโนด (แผ่นล่อ) ที่นำมาใช้งานมี 2 ประเภท คือ แอโนดที่สามารถละลายได้กับแอโนดที่ไม่สามารถละลายได้

1.2.2.3.1 แอโนดที่สามารถละลายได้ (Soluble Anode)

ตัวอย่างการใช้แอโนดประเภทนี้ได้แก่ การชุบทองแดง ซึ่งใช้โลหะทองแดงเป็นแอโนด การชุบนิเกิลใช้โลหะนิเกิลเป็นแอโนด การชุบเงินมักใช้โลหะเงินเป็นแอโนด เป็นต้น แอโนดจะเกิดการละลายโลหะจากแอโนดลงไปแทนที่โลหะที่เข้าไปชุบเคลือบน้ำยาชุบบางประเภท ในสภาวะการทำงานปกติ อัตราการละลายของแอโนดจะเท่ากับหรือใกล้เคียงกับอัตราการเคลือบผิว ทำให้ปริมาณความเข้มข้นของโลหะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

1.2.2.3.2 แอโนดที่ไม่สามารถละลายได้ (Insoluble Anode)

แอโนดประเภทนี้สามารถเลือกใช้วัสดุได้หลายชนิด เช่น สแตนเลสสตีล กราไฟท์ พลาติไนซ์-ไททาเนียม เป็นต้น ในการใช้งานจะต้องเติมเกลือของโลหะลงไปทดแทนกับโลหะที่ถูกใช้อย่างสม่ำเสมอ และข้อสำคัญอีกประการหนึ่ง คือ ต้องเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมกับน้ำยา มิฉะนั้นแอโนดจะกัดกร่อนและน้ำยาอาจถูกปนเปื้อนได้

1.2.2.4 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำยาชุบ

ความเข้าใจถึงองค์ประกอบทางเคมีและหน้าที่ขององค์ประกอบนั้นๆ ทำให้สามารถเข้าใจธรรมชาติของน้ำยาชุบได้มากขึ้น โดยทั่วไปแล้วอาจแบ่งองค์ประกอบเป็น สองกลุ่มใหญ่ๆคือส่วนที่เป็นสารเคมีพื้นฐานกับสารเคมีที่เป็นตัวเติม

1.2.2.4.1 ส่วนผสมเคมีพื้นฐาน การกำหนดให้ส่วนนี้เป็นสารเคมีพื้นฐาน เพราะผู้ใช้งานสามารถจัดหาสารเคมีนี้เองได้ แต่ในการใช้งานควรต้องคำนึงถึงความบริสุทธิ์และองค์ประกอบทางเคมีของสารเคมีด้วย นอกจากนี้ผู้ขายยังกำหนดความเข้มข้นที่เหมาะสม ซึ่งอาจแตกต่างกันบ้างสารเคมีในกลุ่มนี้ ได้แก่

1.) เกลือโลหะที่จะใช้ในการชุบเคลือบ(Metal Salt)

2.) สารเพิ่มสภาพการนำไฟฟ้าให้น้ำยาชุบ (Conducting Salts)

3.) สารควบคุมค่า พี.เอช. (Buffering Agent)

4.) สารที่เกิดรวมตัวกับโลหะบางตัวในสารละลาย (Complexing Agent)

1.2.2.4.2 ตัวเติม (Additives) สารเคมีในกลุ่มนี้จะมีการพัฒนาและแข่งขันในเชิงพาณิชย์ องค์ประกอบสำคัญจึงมักถูกปกปิดไว้เป็นความลับผลจากการพัฒนานี้ ทำให้มีผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน สารเคมีในกลุ่มนี้ได้แก่

1.) ไบร์เทนเนอร์ (ยาเงา) (Brightener, Brightener Agent) ประกอบขึ้นจากสารอินทรีย์หรือสารประกอบโลหะ หรือสารเคมีทั้งสองประเภท ไบร์เทนเนอร์(ยาเงา) จะทำหน้าที่ช่วยให้ผิวที่ได้จากการชุบเงางามและไบร์เทนเนอร์บางชนิด ยังช่วยทำให้ผิวชุบเรียบขึ้นด้วย

2.) สารลดแรงตึงผิว (Wetting Agents) ขณะที่ทำการชุบ ที่ผิวของชิ้นงานอาจเกิดก๊าซไฮโดรเจนขึ้น สารลดแรงตึงผิวนี้ช่วยทำให้ฟองกาวหลุดง่ายขึ้นป้องกันปัญหาเรื่องรูที่ผิว (จากฟองก๊าซ)

นอกจากองค์ประกอบทางเคมีที่กล่าวมาแล้ว น้ำยาบางชนิดยังมีองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆอีก เช่น น้ำยาชุบเติมสารเคมีที่ทำให้แอโนดละลายได้ดีขึ้น หรือผิวชุบบางประเภทต้องการโครงสร้างของผิวชุบที่มีลักษณะละเอียด จึงอาจเติม Grain Refiner ลงไป ฯลฯ
(โครงการ JARADคู่มือ เทคนิคการชุบเครื่องประดับ.ม.ม.ป.: 19)

1.3 กระบวนการชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า

1.3.1. ขั้นตอนการล้างขั้นแรก

ในกระบวนการผลิต ซึ่งมีหลายขั้นตอนนั้นก่อให้เกิดคราบไขมันบนชิ้นงาน ซึ่งไขมันเหล่านี้ส่งผลต่อกระบวนการชุบ ทำให้เกิดการปนเปื้อนในน้ำยาชุบ การชุบเคลือบไม่ดี เช่น การเกาะของผิวชุบไม่ดี หรือผิวเคลือบมีลักษณะขาวขุ่นไม่เงาใส เป็นต้น ขั้นตอนนี้เป็นการล้างผิวเบื้องต้นด้วยคลื่นอัลตราโซนิค เพื่อทำการล้างไขมันหรือน้ำมันที่มีปริมาณมากและโดยเฉพาะอย่างยิ่งสารขัดผิว โดยอาศัยแรงกระทำทางกายภาพจากคลื่นอัลตราโซนิค

1.3.1.1 การล้างผิวด้วยคลื่นอัลตราโซนิค (Ultrasonic Cleaning)

ในการที่จะทำความสะอาดผิวโลหะให้เพียงพอก่อนทำการชุบเคลือบ การล้างโดยการขัดถูบางครั้งก็หลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับเครื่องประดับที่ที่มีรูปร่างซับซ้อน การขัดถูทำให้สิ่งสกปรกหลุดออกจากผิวและสารทำความสะอาดสามารถแทรกซึมเข้าไปในผิวของสิ่งสกปรกได้ดีขึ้นและยังทำให้สิ่งสกปรกแตกออกเป็นอนุภาคเล็กๆ เกิดการแขวนลอยในตัวทำละลาย (น้ำ) ได้ การทำความสะอาดได้ในทุกบริเวณอย่างมีประสิทธิภาพ

1.3.1.2 การล้างด้วยน้ำระบบไหลล้น (Water Overflow Cleaning) ถังล้างด้วยน้ำควรมีระบบไหลล้น เพื่อน้ำจะได้ชะล้างเอาสิ่งสกปรกที่ลอยอยู่ออกไป และน้ำที่ปล่อยเข้ามาควรทำให้เกิดการหมุนเวียน เพื่อให้น้ำที่ดีผลักดันน้ำที่สกปรกออกไป น้ำที่ใช้ในขั้นตอนนี้อาจเป็นน้ำประปาหรือน้ำที่กำจัดความกระด้างก็ได้

การทำงานในขั้นตอนนี้อาจผสมผสานการล้างผิวด้วยคลื่นอัลตราโซนิคกับการล้างแบบจุ่มร้อน ทำได้โดยการนำชิ้นงานไปแช่ในน้ำยาล้างด้วยคลื่นอัลตราโซนิค ความเข้มข้น 10-50 ml/l อุณหภูมิ 60-90^{0}C เวลาการจุ่มแช่ประมาณ 1-10 นาที จากนั้นจึงทำการล้างด้วยคลื่นอัลตราโซนิค โดยมีสภาวะดังนี้ ความเข้มข้นของน้ำยาล้าง 20-30 ml/l อุณหภูมิ 60-70^{0}C เวลา 1-2 นาที

ตาราง 1 แสดงขั้นตอน กระบวนการ และสภาวะการทำงานในการล้างผิวด้วยคลื่นอัลตราโซนิค

ขั้นตอน	กระบวนการ	สภาวะการทำงาน
1	ล้างผิวแบบจุ่มร้อน	ความเข้มข้นของน้ำยาล้าง 10-50 ml/l อุณหภูมิ 60-90^{0}C เวลา 1-10 นาที
2	ล้างผิวด้วยคลื่นอัลตราโซนิค	ความเข้มข้นของน้ำยาล้าง 20-30 ml/l อุณหภูมิ 60-70^{0}C เวลา 1-2 นาที
3	ล้างน้ำ	น้ำควรมีการไหลล้นออก (Overflow)
4	ล้างน้ำ	น้ำควรมีการไหลล้นออก (Overflow)
5	ล้างน้ำกลั่นร้อน	อุณหภูมิ 60-90^{0}C เวลา 1-10 นาที

ที่มา :โครงการ JARAD คู่มือ เทคนิคการชุบเครื่องประดับ.ม.ม.ป. หน้า 19.

1.3.2 ขั้นตอนการล้างขั้นตอนสุดท้ายก่อนชุบ

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการล้างสิ่งปนเปื้อนที่เหลืออยู่ที่ผิวเพียงเล็กน้อย ที่สำคัญคือทำให้ผิวมีสมบัติที่สามารถเปียกน้ำได้ดี และผิวมีสภาพที่เหมาะสำหรับการชุบที่ปราศจากฟิล์มของออกไซด์ต่างๆ

1.3.2.1 การล้างด้วยไฟฟ้า(Electro Cleaning) ขั้นตอนนี้เป็นการล้างสิ่งสกปรกที่ติดค้างมาเพียงเล็กน้อยจากขั้นตอนการล้างด้วยคลื่นอัลตราโซนิค และที่สำคัญคือขั้นตอนนี้เป็นการทำให้ผิวมีคุณสมบัติเปียกน้ำได้ดี เหมาะกับการชุบ ขั้นตอนเริ่มจากการล้างด้วยไฟฟ้า ล้างน้ำให้สะอาด ทำการกระตุ้นผิวด้วยกรดเจือจาง ล้างด้วยน้ำและล้างอีกครั้งด้วยน้ำกลั่นก่อนทำการชุบเคลือบผิว การล้างด้วยไฟฟ้าเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการเตรียมผิวโลหะ ก่อนกระบวนการชุบเคลือบ การล้างแบบนี้เป็นกระบวนการทางไฟฟ้า โดยการใช้ไฟฟ้ากระแสตรงและน้ำยาที่มีสูตรเฉพาะโดยทั่วไปน้ำยาจะมีสภาพเป็นด่างแก่ และสารละลายมีการนำไฟฟ้าที่ดี ในการล้างชิ้นงานอาจต่อขั้วบวก(แอโนด) หรือขั้วลบ (แคโทด) หรือขั้วสลับไปมาขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งาน

ปฏิกิริยาอิเลคโทรไลซิสในกระบวนการล้างไฟฟ้า เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงไปยังน้ำยาไฟฟ้าทำให้เกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี สารเคมีจำพวกด่างทำหน้าที่เพิ่มการนำไฟฟ้าให้น้ำยา ที่ขั้วบวกเกิดก๊าซออกซิเจนและที่ขั้วลบเกิดก๊าซไฮโดรเจน ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนต่อก๊าซออกซิเจนเป็นสัดส่วน 2 : 1

ที่ขั้วบวก : $4(OH)^- \longrightarrow 2H_2O + O_2 + 4e^-$

ที่ขั้วลบ : $4H_2O + 4e^- \longrightarrow 4(OH)^- + 2H_2$

1.3.2.2 การล้างด้วยน้ำระบบไหลล้น (Water Overflow Cleaning) เพื่อน้ำจะได้ชะล้างเอาสิ่งสกปรกที่ลอยอยู่ออกไป และน้ำที่ปล่อยเข้ามาควรทำให้เกิดการหมุนเวียน เพื่อให้น้ำที่ดีผลักดันน้ำที่สกปรกออกไป น้ำที่ใช้ในขั้นตอนนี้อาจเป็นน้ำประปาหรือน้ำที่กำจัดความกระด้างก็ได้

1.3.2.3 กระตุ้นผิวด้วยกรด (Acid Activation) เพื่อเป็นการสะเทินผิวของโลหะหลังจาก การฉีดพ่นด้วยด่าง การแช่ หรือการล้างด้วยไฟฟ้า เป็นการสะเทินด่างส่วนเกินด้วยกรด รวมถึงรวมกำจัดออกไซด์ที่ไม่ต้องการและกระตุ้นผิวให้พร้อมรับการชุบเคลือบ ล้างกระตุ้นผิวด้วยกรด อาจแบ่งตาม ประเภทกรดได้ดังนี้

-กรดอินทรีย์ (Organic Acid) เช่น กรดมะนาว (Citric Acid)

-กรดแร่ (Mineral Acid) เช่น กรดกำมะถัน (Sulfuric Acid)

-เกลือของกรด (Acid Salts) เช่น เกลือซัลเฟต เกลือฟลูออไรด์ เป็นต้น

ขั้นตอนนี้นิยมใช้กรมกำมะถันที่มีความเข้มข้น 50 ml/l ซึ่งกรดกำมะถันเจือจางนี้จะทำการสะเทินความเป็นด่างที่ผิวของชิ้นงานและยังขจัดเอาฟิล์มออกไซด์ออกจากผิวโลหะอีกด้วย แต่ในกรณีที่ต้องกระตุ้นผิวโลหะที่กัดกร่อนได้ง่ายหรือต้องการการกระตุ้นผิวเป็นพิเศษ เช่น โลหะสังกะสี หรือทองเหลือง อาจใช้เกลือของกรดแทนได้เช่นกัน

ตาราง 2 แสดงขั้นตอน กระบวนการ และสภาวะการทำงานในการล้างด้วยไฟฟ้า

ขั้นตอน	กระบวนการ	สภาวะการทำงาน
1	ล้างผิวด้วยไฟฟ้า	ความเข้มข้นของน้ำยาล้าง 10-100 ml/l อุณหภูมิ 60-70^{0}C เวลา 1-2 นาที
2	ล้างน้ำ	น้ำควรมีการไหลล้นออก (Overflow)
3	ล้างน้ำ	น้ำควรมีการไหลล้นออก (Overflow)
4	กระตุ้นด้วยกรดเจือจาง	กรดกำมะถันเข้มข้น 50 ml/l อุณหภูมิห้อง เวลา 0.5-1นาที
5	ล้างน้ำ	น้ำควรมีการไหลล้นออก (Overflow)
6	ล้างน้ำ	น้ำควรมีการไหลล้นออก (Overflow)
7	ล้างน้ำกลั่นร้อน	อุณหภูมิ 60-90^{0}C เวลา 1-10นาที

ที่มา :โครงการ JARADคู่มือ เทคนิคการชุบเครื่องประดับ.ม.ม.ป. หน้า 19.

1.3.2.3. ขั้นตอนการชุบเคลือบผิว

การชุบเคลือบผิวในแต่ละประเภทอาจมีสภาวะการใช้งานที่แตกต่างกันไป จึงควรทำการศึกษาคู่มือการใช้อย่างละเอียด

ตาราง 3 แสดงขั้นตอน กระบวนการ และสภาวะการทำงานในการชุบเคลือบผิว

ขั้นตอน	กระบวนการ	สภาวะการทำงาน
1	การชุบเคลือบผิว	ตามคู่มือการทำงานของน้ำยาชุบ
2	ล้างน้ำ เก็บกลับ	-

ที่มา :โครงการ JARADคู่มือ เทคนิคการชุบเครื่องประดับ.ม.ม.ป. หน้า 20.

1.3.2.4. ขั้นตอนการล้างหลังชุบเคลือบผิว

จะต้องมั่นใจในขั้นตอนนี้สามารถล้างเคมีต่าง ๆที่ติดอยู่ที่ผิวของชิ้นงานเนื่องจากกระบวนการต่างๆ ก่อนหน้านี้ให้หมดไปได้ เพื่อเป็นการกัดกร่อนของสารเคมีที่ตกค้างอยู่ที่ผิว

ตาราง 4 แสดงขั้นตอน กระบวนการ และสภาวะการทำงานในการล้างหลังชุบเคลือบผิว

ขั้นตอน	กระบวนการ	สภาวะการทำงาน
1	ล้างน้ำ	น้ำควรมีการไหลล้นออก (Overflow)
2	ล้างน้ำ	น้ำควรมีการไหลล้นออก (Overflow)
3	ล้างน้ำกลั่นร้อน	อุณหภูมิ 60-90^{0}C เวลา 1-10นาที

ที่มา :โครงการ JARADคู่มือ เทคนิคการชุบเครื่องประดับ.ม.ม.ป.หน้า 20.

1.3.3.การชุบเคลือบผิวด้วยโลหะเงิน

น้ำยาชุบเงินที่ใช้เพื่อความสวยงามที่นิยมใช้ในปัจจุบันจะมีองค์ประกอบที่มีไซยาไนด์เป็นส่วนผสม ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมี ดังนี้

โปแทซเซียมซิลเวอร์ไซยาไนด์ 54.0% 74 กรัมต่อลิตร หรือ

โปแทซเซียมซิลเวอร์ไซยาไนด์ 80.5% 50 กรัมต่อลิตร

โปแทซเซียมไซยาไนด์	130 กรัมต่อลิตร
โปแทซเซียมคาร์บอเนต	40 กรัมต่อลิตร
น้ำยาเงา	ตามคู่มือกำหนด

<u>สภาวะการทำงาน</u>

1.3.3.1 น้ำยาชุบเงินแบบที่มียาเงาเป็นโลหะ

อุณหภูมิ	15-30 องศาเซลเซียส
ค่า พีเอช (PH)	มากกว่า 12
ความหนาแน่นของกระแส	0.5-2.0 แอมแปร์/ตารางเดซิเมตร
ความเร็วในการชุบ	0.65 ไมครอน/นาที
อัตราการเกาะติด	67 มิลลิกรัม/แอมแปร์-นาที
แอโนด	เงินบริสุทธิ์ (99.99%)

1.3.3.2 น้ำยาชุบเงินแบบที่มียาเงาเป็นสารอินทรีย์

อุณหภูมิ	20-45 องศาเซลเซียส
ค่า พีเอช (PH)	ไม่จำเป็นต้องควบคุม
ความหนาแน่นของกระแส	0.5-5.0 แอมแปร์/ตารางเดซิเมตร
ความเร็วในการชุบ	0.64 ไมครอน/นาที
อัตราการเกาะติด	67 มิลลิกรัม/แอมแปร์-นาที
แอโนด	เงินบริสุทธิ์ (99.99%)

<u>สมบัติของผิวชุบ</u>

ชนิดของผิวชุบ	เงินบริสุทธิ์ (99.99%)
สีของผิวชุบ	ขาวเป็นประกาย
ความหนาแน่นของผิวชุบ	10.5 กรัม/ลิตร
ความหนาสูงสุด	มากกว่า 100 ไมครอน
ความแข็ง	80-110 HV
แรงเคลื่อนไฟฟ้า	4-6 โวลต์

เวลา 30 วินาที ถึง 1 นาที

1.3.4. การชุบเคลือบผิวด้วยโลหะโรเดียม

น้ำยาชุบโรเดียมที่นำมาใช้งาน เพื่อความสวยงามนั้นนิยมใช้ทีมีความเข้มข้นของโรเดียม 2 กรัมต่อลิตร น้ำยาชุบโรเดียมสามารถแบ่งตามชนิดของสารประกอบโรเดียมในน้ำยาชุบได้ 2 ชนิด คือ โรเดียมซัลเฟตและโรเดียมฟอสเฟต ซึ่งโรเดียมทั้งสองชนิดมีสมบัติหลายประการที่แตกต่างกัน ดังนี้

1.3.4.1 น้ำยาชุบโรเดียมซัลเฟต

ค่าความขาว L*= 88.0-89.5

ความหนาสูงสุด 0.3 ไมครอน

ความสามารถการเข้าซอก 70% throwing power

อัตราการเคลือบปิดผิวช้า ประมาณ 200 วินาที

อัตราเร็วของการเคลือบผิวประมาณ 0.03 ไมครอนต่อนาที

<u>สภาวะการทำงาน</u>

อุณหภูมิ	20-40 องศาเซลเซียส
ค่า พีเอช (PH)	น้อยกว่า 1(ไม่จำเป็นต้องควบคุม)
ความหนาแน่นของกระแส	0.5-2.0 แอมแปร์/ตารางเดซิเมตร
ความเร็วในการชุบ	0.025ไมครอน/นาทีที่1แอมแปร์/ตารางเดซิเมตร
อัตราการเกาะติด	3.2 มิลลิกรัม/แอมแปร์-นาที
แรงเคลื่อนไฟฟ้า	2-3 โวลต์

เวลา 1นาที ถึง 1.5 นาที

1.3.4.2 น้ำยาชุบโรเดียมฟอสเฟต

ค่าความขาว L*= 89.5-90.0

ความหนาสูงสุด 0.5 ไมครอน

ความสามารถการเข้าซอก 77% throwing power

อัตราการเคลือบปิดผิวดี ประมาณ 90 วินาที

อัตราเร็วของการเคลือบผิวประมาณ 0.06 ไมครอนต่อนาที

<u>สภาวะการทำงาน</u>

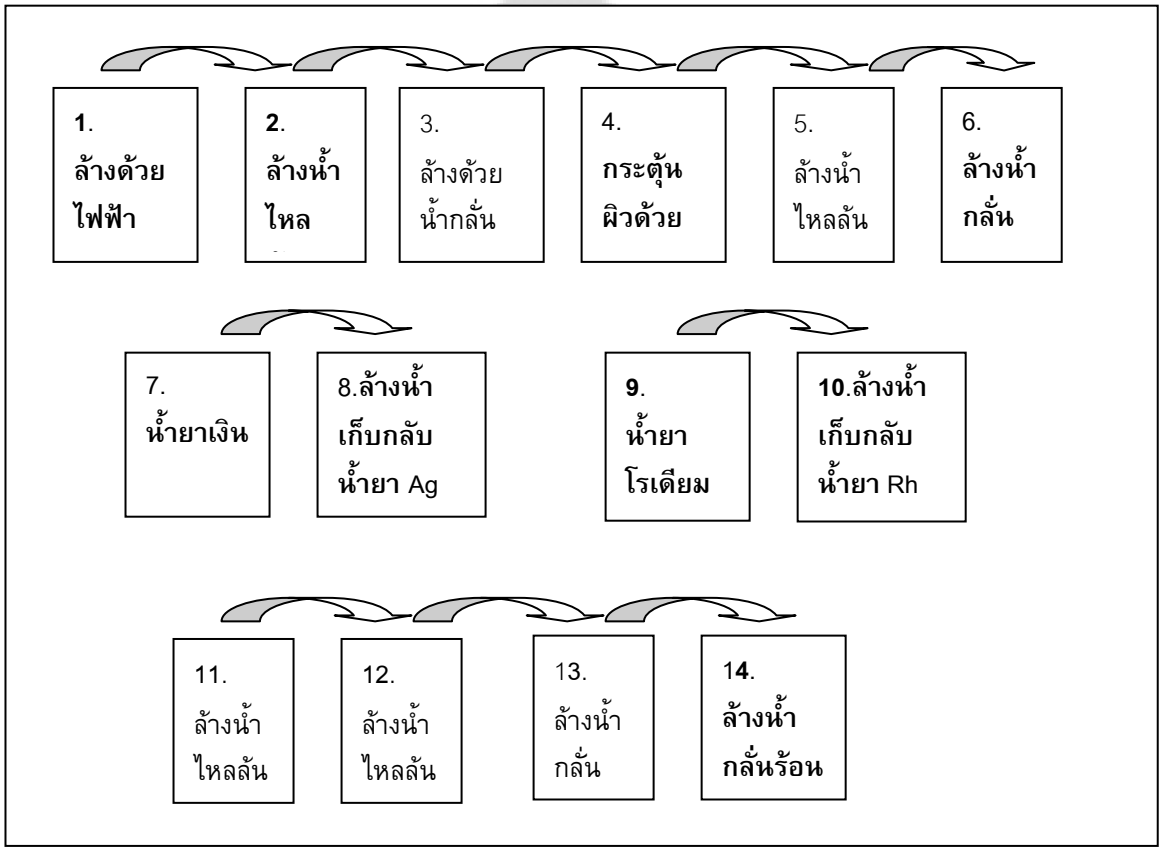
อุณหภูมิ	RT-65 องศาเซลเซียส
ค่า พีเอช (PH)	น้อยกว่า 1(ไม่จำเป็นต้องควบคุม)
ความหนาแน่นของกระแส	0.5-10.0 แอมแปร์/ตารางเดซิเมตร
ความเร็วในการชุบ	0.06ไมครอน/นาทีที่1แอมแปร์/ตารางเดซิเมตร
อัตราการเกาะติด	7.5 มิลลิกรัม/แอมแปร์-นาที

สมบัติของผิวชุบ

ชนิดของผิวชุบ	โรเดียมบริสุทธิ์
สีของผิวชุบ	ขาวเป็นประกาย
ความหนาแน่นของผิวชุบ	12 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
ความหนาสูงสุด	0.3-0.5 ไมครอน
ความแข็ง	800-900 HV

จากข้อมูลที่ได้กล่าวมาถึงความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเครื่องชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า พอสรุปได้ว่า กระบวนการชุบตามจริงมีหลายขั้นตอนและซ้ำขั้นตอนกัน โครงสร้างที่มีขนาดใหญ่ ดูแลรักษาความสะอาดและเคลื่อนย้ายได้ยาก ผู้วิจัยจึงเลือกขั้นตอนการชุบด้วยเงินและโรเดียมมาพัฒนาเป็นเครื่องชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับใช้ในอุตสาหกรรมขนาดย่อม เพราะส่วนใหญ่จะผลิตเครื่องประดับอัญมณีที่ตัวเรือนชุบเคลือบผิวด้วยโลหะเงินและโรเดียมเท่านั้น โดยพัฒนาให้สามารถเคลื่อนย้ายโดยล้อเลื่อน แยกส่วนอุปกรณ์ได้และลดขั้นตอนการชุบ เพื่อให้เหมาะสมกับขนาดพื้นที่ให้เหลือเพียงตำแหน่งหลักในตัวเครื่อง(1-2-4-6-7-8-9-10-14) ดังนี้

ขั้นตอนการชุบเงิน-โรเดียมโดยสรุป



ภาพประกอบ 10 แสดงขั้นตอนการชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า

ทั้งนี้โครงสร้างเครื่องชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าแบบเดิม ในการทำงานจริงขั้นตอนการทำงานเป็นเส้นตรง ไม่ย้อนไปมาเพราะอาจทำให้สับสนเวลาทำงาน อาจทำงานข้ามบางขั้นตอนไป ทำให้น้ำยาปนเปื้อนกันได้ ทำให้ต้องใช้เครื่องชุบที่มีความยาวและมีสัดส่วนสำหรับชาวตะวันตก ซึ่งไม่เหมาะสมสำหรับการทำงานในอุตสาหกรรมขนาดย่อมที่มีพื้นที่จำกัดและ

สัดส่วนของผู้ปฏิบัติงานของชาวเอเชีย ซึ่งไม่สะดวกสบายในการทำงาน ผู้วิจัยจึงเลือกพัฒนาโครงสร้างของเครื่องชุบให้สอดคล้องตามหลักของการยศาสตร์ของชาวเอเชีย

2. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการยศาสตร์

2.1 ความหมายของการยศาสตร์

เออร์กอนอมิคส์ (Ergonomics) หรือการยศาสตร์มาจากภาษากรีก ซึ่งประกอบด้วยคำ 2 คำ คือ “ergos” หมายถึง “การงานอาชีพ (work)” และ “nomos” หมายถึง “กฎธรรมชาติ (natural law)” หรือวิทยาศาสตร์นั่นเอง”

จึงอาจสรุปความหมายของเออร์กอนอมิคส์ ได้ว่า เป็นศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างคนกับสภาพแวดล้อมในการทำงาน เพื่อที่นำไปประยุกต์หรือปรับปรุงสภาพของงานให้เหมาะสมกับผู้ปฏิบัติงานและทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพ รวมทั้งทำให้ผู้ปฏิบัติงานมีความเป็นอยู่และสุขภาพอนามัยที่ดี คำว่าเออร์กอนอมิคส์ ได้ใช้เป็นครั้งแรกในประเทศอังกฤษ เมื่อมีการก่อตั้ง The ergonomic Research Society ขึ้นในปี ค.ศ. 1949

ในประเทศอเมริกา ได้ใช้คำอื่นๆแทนคำว่าการยศาสตร์ เช่น วิศวกรรมมนุษย์ (Human Engineering) และวิศวกรรมองค์ประกอบของมนุษย์ (Human Factors Engineering) นอกจากนี้ยังมีคำอื่นๆ อีก เช่น กลศาสตร์ชีวภาพ (Biomechanics) จิตวิทยาวิศวกรรม (Engineering Psychology) วิศวกรรมชีวภาพ (Bioengineering) หรือ วิศวกรรมชีววิทยาการแพทย์ (Biomedical Engineering) เป็นต้น (สราวุธ สุธรรมาสา, คณะ.2550: 6)

Ergonomics ซึ่งเป็นที่มาของคำว่า “วิทยาการจัดสภาพงาน” เป็นแนวความรู้ที่ศึกษาถึงกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ (Actives of Human Beings) ที่มีความสัมพันธ์กับงาน, สภาวะและสิ่งแวดล้อมในการทำงาน (Work Conditions and Environment) วิทยาการนี้ต้องอาศัยหลักการและข้อมูลจากศาสตร์สาขาต่างๆ เช่น คณิตศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ สรีรวิทยา กายวิภาคศาสตร์และพฤติกรรมศาสตร์

การดำเนินงานวิทยาการจัดการสภาพงานมีวัตถุประสงค์คือ เพื่อที่จะออกแบบและปรับปรุงสภาวะและสิ่งแวดล้อมในการทำงานให้เหมาะสมกับผู้ปฏิบัติงานโดยคำนึงถึงปัจจัยด้านสรีรวิทยา,พฤติกรรมและจิตวิทยา และสัดส่วนของผู้ปฏิบัติงานเป็นหลัก เมื่องานใดๆ มีความเหมาะสมกับผู้ที่จะปฏิบัติงานนั้น คุณภาพชีวิตในการทำงานที่ดี(Better Quality of Working life) ซึ่งเป็นเป้าหมายหลักของวิทยาการจัดสภาพงานก็จะเกิดขึ้น (วิฑูรย์ สิมะโชคดีและกฤษฎา ชัยกุล. 2537:4-5)

นักวิชาการหลายท่านได้นิยามคำว่า “เออร์โกโนมิกส์” ไว้ ซึ่งพอสรุปได้ว่า คือ

1. “วิทยาการที่ว่าด้วยความสัมพันธ์ระหว่างคนกับสิ่งแวดล้อมในการทำงาน”
2. “วิทยาการที่ว่าด้วยการออกแบบงานให้เหมาะสมกับคนที่ทำงานนั้น”

คำว่า “สิ่งแวดล้อม” ในที่นี้มิได้หมายถึงเฉพาะสภาพแวดล้อมเท่านั้น แต่จะรวมไปถึง เครื่องมือ วัสดุ วิธีการทำงานของบุคคล และขั้นตอนการทำงานของบุคคล ตลอดจน ความสัมพันธ์ภายในกลุ่มอีกด้วย ซึ่งมีสิ่งต่างๆเหล่านี้มีความสัมพันธ์และเกี่ยวข้องกับธรรมชาติของบุคคล ความสามรถ ขีดความสามารถและข้อจำกัดของบุคคลด้วย สำหรับการออกแบบงานให้เหมาะสมกับคนที่ทำงานนั้น จะมีความหมายถึงงานนั้นจะต้องเหมาะสมกับลักษณะทาง กายวิภาคของบุคคลและงานนั้นจะต้องเหมาะสมกับสรีรภาพของบุคคล ตลอดจนกระทั่งงานนั้นจะต้องเหมาะสมกับจิตวิทยาของบุคคลอีกด้วย ทั้งนี้เพื่อให้คนนั้นๆทำงานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดและมีความสุขสบายด้วย (ชมพูศักดิ์ พูลเกษ,ดร.ชัยยุทธ ชวลิตนิธิกุล.2536 : 413)

2.2 บทบาทของการยศาสตร์ในการทำงาน

การพัฒนาที่ไม่เหมาะสมทางเทคโนโลยีของเครื่องมือ ที่ใช้ในสถานประกอบการ โดยการออกแบบไม่เหมาะสมกับสภาพร่างกายของคนนั้น อาจก่อให้เกิดผลเสียที่สำคัญต่อผู้ปฏิบัติงาน 2 ประการ ประการแรก คือ การเกิดความเครียดต่อร่างกายของผู้ปฏิบัติงาน โดยเฉพาะการเกิดความเครียดเป็นระยะเวลานานๆ โดยที่ผู้ปฏิบัติงานไม่รู้สึกตัว ซึ่งความเครียดในลักษณะนี้ จะทำให้ผู้ปฏิบัติงานสูญเสียประสิทธิภาพและความสามารถของร่างกาย รวมทั้งอาจมีผลเสียต่อสุขภาพในบั้นปลายของชีวิตได้ ประการที่สอง คือ จะทำให้ผู้ปฏิบัติงานไม่สามารถทำงานได้ตามปริมาณและคุณภาพของงานที่กำหนดไว้ ซึ่งจะทำให้ผลผลิตลดลงและในกรณีที่ร้ายแรงก็อาจทำให้เกิดอุบัติเหตุขึ้นได้ การยศาสตร์จึงมีบทบาทและความสำคัญในส่วนนี้ กล่าวคือ สามารถที่จะนำความรู้และประสบการณ์ทางด้านการยศาสตร์มาใช้สำหรับการออกแบบระบบคน – เครื่องจักร (man – machine systems) ให้มีความเหมาะสมมากขึ้น รวมทั้งสามารถใช้ในการออกแบบระบบคน – เครื่องจักร ดังกล่าวให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมอีกด้วย ซึ่งจากการออกแบบที่เหมาะสมนี้ จะทำให้สามารถแก้ไขผลเสียหรือปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นได้

ความรู้ด้านการยศาสตร์ไม่เพียงแต่จะมีบทบาทเฉพาะการให้ข้อเสนอแนะ สำหรับการออกแบบโต๊ะหรือเก้าอี้สำหรับนั่งทำงานเท่านั้น แต่กำลังเพิ่มบทบาทอย่างสำคัญในการใช้สำหรับออกแบบหน้าปัทม์หรือปุ่มบังคับเครื่องมือเครื่องจักรมากขึ้น

ปัจจุบันประเทศพัฒนาได้มีการประยุกต์ใช้การยศาสตร์ในด้านต่างๆ อาจแบ่งออกเป็น 2 ด้าน ได้แก่ ด้านที่เกี่ยวกับการออกแบบและการผลิต และด้านที่เกี่ยวกับสุขภาพอนามัย ด้านที่เกี่ยวกับการออกแบบและการผลิตได้แก่เทคโนโลยีชีวภาพ วิศวกรรมมนุษย์ การออกแบบอุตสาหกรรม การวิจัยเชิงปฏิบัติการ เป็นต้น ส่วนด้านที่เกี่ยวกับสุขภาพอนามัย ได้แก่ สุขศาสตร์อุตสาหกรรม และวิศวกรรมความปลอดภัย เป็นต้น (สราวุธ สุธรรมาสา,คณะ.2550:9-10)

2.3 องค์ประกอบของการยศาสตร์ในการทำงาน

ซิงเกิลตัน (W.T.Singleton) ได้กล่าวไว้ว่า การยศาสตร์เป็นเทคโนโลยีของการออกแบบงานที่อยู่บนพื้นฐานของชีววิทยาของมนุษย์ (Human Biological Sciences) ซึ่งเป็นการศึกษาถึงองค์ประกอบหลัก 3 ประการ คือ กายวิภาคศาสตร์ (Anatomy) สรีรวิทยา (Physiology) และ

จิตวิทยา (Psychology) ทั้งนี้โดยทั่วไป กายวิภาคศาสตร์ จะเกี่ยวข้องกับโครงสร้างและขนาดของร่างกายมนุษย์ สรีรวิทยาจะเกี่ยวข้องกับหน้าที่ต่างๆของร่างกาย และจิตวิทยา จะเกี่ยวกับพฤติกรรมของมนุษย์ แต่การยศาสตร์จะเกี่ยวข้องสัมพันธ์กับบางส่วนของศาสตร์เหล่านี้เท่านั้น ตัวอย่างเช่น ในด้านกายวิภาคศาสตร์จะมีเฉพาะด้านขนาดของร่างกายมนุษย์และกลศาสตร์ชีวภาพเท่านั้น

รายละเอียดขององค์ประกอบต่างๆ มีดังต่อไปนี้

2.3.1 กายวิภาคศาสตร์

2.3.1.1 ขนาดของร่างกายมนุษย์ เป็นการศึกษาเกี่ยวกับขนาดร่างกายมนุษย์ซึ่งรวมถึงการวัดขนาดของส่วนต่างๆ ของร่างกาย ระยะการเคลื่อนไหวของร่างกาย และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ซึ่งจะเป็นการวัดทั้งในขณะที่ร่างกายอยู่นิ่ง และขณะที่ร่างกายเคลื่อนไหวหรือกำลังทำงาน

2.3.1.2 กลศาสตร์ชีวภาพ เป็นการศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างและหน้าที่ของร่างกายในส่วนที่เกี่ยวข้องกับจลศาสตร์ของระบบคน – เครื่องจักร ซึ่งได้แก่การศึกษาวิเคราะห์ด้านกลไกชีววิทยา เกี่ยวกับน้ำหนักของสิ่งของที่ต้องยก ดัน ลาก รวมทั้งแรงที่ใช้ แรงบิดของข้อต่อ ความเร็ว ความเร่ง และจลศาสตร์ด้านอื่นๆ ของร่างกาย เพื่อใช้ในการประเมินงานแต่ละชนิดโดยเฉพาะ รวมทั้งใช้ในการออกแบบสถานที่ทำงาน เพื่อให้งานนั้นๆ มีความเหมาะสมกับความสามารถและข้อจำกัดของผู้ปฏิบัติงาน

2.3.2 สรีรวิทยา

2.3.2.1 สรีรวิทยาการทำงาน เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินความสามารถและข้อจำกัดของผู้ปฏิบัติงานในการทำงานแต่ละชนิด

2.3.2.2 สรีรวิทยาสิ่งแวดล้อม เป็นการศึกษาถึงความทนทานของมนุษย์ที่มีต่อความเค้นที่เกิดจากสภาพแวดล้อมทางกายภาพ ได้แก่ ความร้อน ความเย็น ความสั่นสะเทือน ฯลฯ

2.4 จิตวิทยา

2.4.1 จิตวิทยาความชำนาญหรือการฝึกทักษะ เป็นการศึกษาถึงความสามารถของมนุษย์ในการรู้สึกรับรู้ต่อข้อมูล เก็บข้อมูล และประเมินข้อมูล และใช้ข้อมูลนั้นๆในการตัดสินใจสำหรับการควบคุมเครื่องมือเครื่องจักร ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะได้จากหน้าปัดของเครื่องมือเครื่องจักรและสภาพแวดล้อมทั่วไป ทั้งนี้เพื่อที่จะนำผลการศึกษามาใช้ในการออกแบบเครื่องมือเครื่องจักรโดยเฉพาะในส่วนของหน้าปัดและส่วนควบคุมเครื่องมือเครื่องจักรให้เหมาะสมต่อไป

2.4.2 จิตวิทยาเกี่ยวกับการประกอบอาชีพ เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการกระตุ้นผู้ปฏิบัติงานในลักษณะต่างๆ เช่น การให้สิ่งจูงใจ การฝึกอบรม ปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้ปฏิบัติงานช่วงระยะเวลาในการทำงาน และช่วงพักที่เหมาะสม เป็นต้น เพื่อทราบแนวทางแก้ไขปัญหาที่เหมาะสม(สราวุธ สุธรรมาสาและคณะ.2550:12-13)

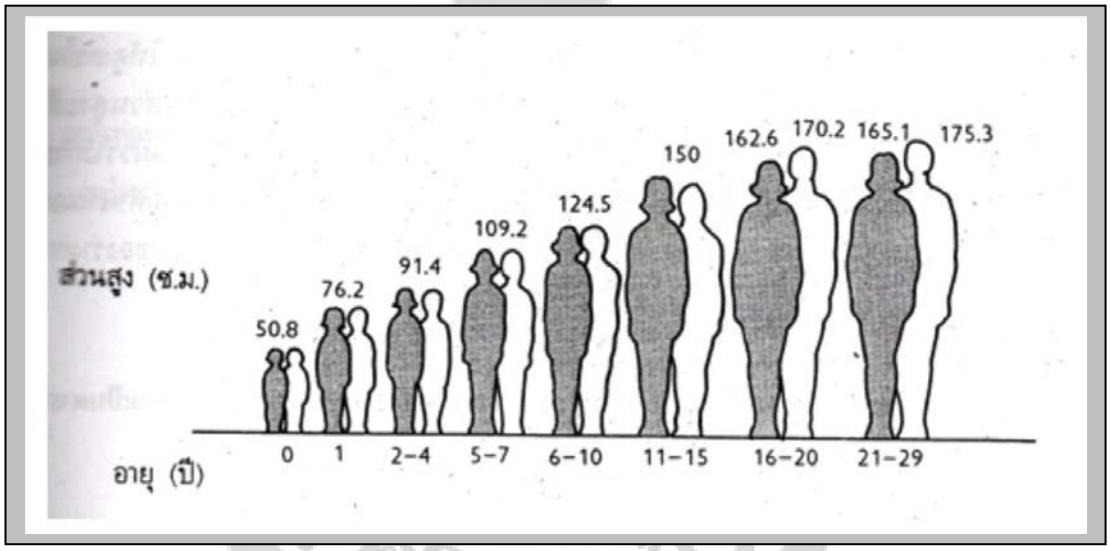
2.5 การยศาสตร์ในส่วนที่เกี่ยวกับมนุษย์

กายวิภาคศาสตร์ หมายถึง ความรู้เกี่ยวกับตำแหน่งที่ตั้ง ขนาดและลักษณะของส่วนประกอบต่างๆ ของร่างกายมนุษย์ ตั้งแต่ เซลล์ เนื้อเยื่อ อวัยวะ และระบบ

กายวิภาคศาสตร์เกี่ยวกับการทำงาน เป็นการศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับร่างกายของมนุษย์ เพื่อให้เข้าใจตำแหน่ง ขนาด ลักษณะต่างๆ ช่วยให้เข้าใจภายในร่างกายมนุษย์ทุกซอกทุกมุม เป็นการศึกษาแบบแยกส่วนประกอบ

2.5.1 ขนาดร่างกาย (Anthropometry)

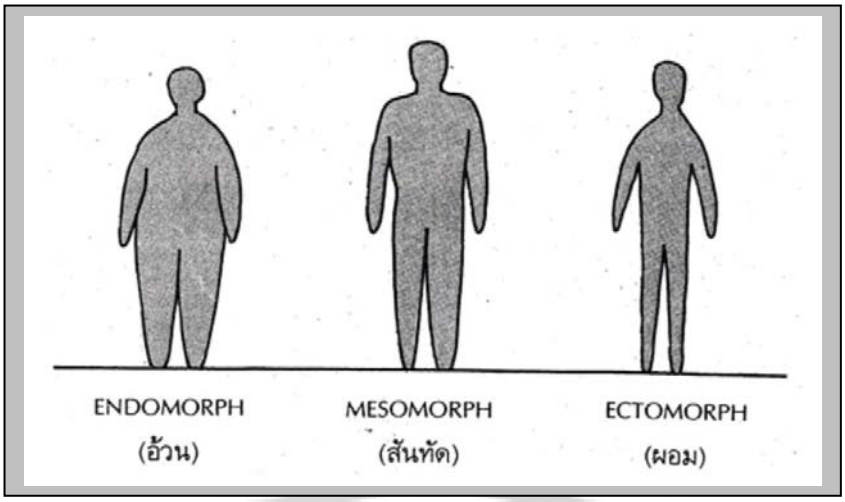
ร่างกายของคนจะเจริญเติบโตจากเด็กไปสู่ผู้ใหญ่ในด้านขนาดและแบบแผนของการพัฒนาในลักษณะที่ต่างกัน ดังภาพ



ภาพประกอบ 11 แสดงการเปรียบเทียบแบบแผนการเจริญเติบโตของหญิงกับชาย

ที่มา: สราวุธ สุธรรมาสาและคณะ.(2550).เออร์กอนอมิคส์และจิตวิทยาในการทำงาน. หน่วยที่ 1-7. หน้า 21.

จากภาพจะเห็นได้ว่า แบบแผนการเติบโตของหญิงกับชายต่างกัน หญิงจะเจริญอย่างรวดเร็วในช่วง 10 ปีแรก และจะเข้าสู่วุฒิภาวะหรือเป็นวัยรุ่นเร็งกว่าชาย คือเมื่ออายุ 12 – 13 ปี แต่ชายจะเติบโตเร็วและมากกว่าในช่วงอายุ 11 – 20 ปี และจะเข้าสู่วัยรุ่นเมื่ออายุ 14 – 15 ปี ในที่สุดเมื่อเป็นผู้ใหญ่แล้วชายจะสูงและใหญ่กว่าหญิงโดยทั่วๆ ไป



ภาพประกอบ 12 แสดงลักษณะรูปร่างของคนแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ อ้วน สันทัด และผอม

ที่มา: สราวุธ สุธรรมาสา,และคณะคนอื่นๆ. (2550). เออร์กอนอมิคส์และจิตวิทยาในการทำงาน.หน่วยที่ 1-7. หน้า 22.

พวกอ้วนจะมีเนื้อที่นิ่ม มีเนื้อเยื่อไขมันสะสมมาก กระดูกเล็ก ศีรษะกลมมีความหนาแน่นของร่างกายต่ำ ร่างกายอ่อนแอ ส่วนสูงโดยเฉลี่ยประมาณ 168 เซนติเมตร น้ำหนัก 81 กิโลกรัม (เฉพาะชาย) พวกสันทัด จะมีกล้ามเนื้อแน่น ศีรษะออกสี่เหลี่ยมเล็กน้อย กระดูกใหญ่ กล้ามเนื้อมีน้ำหนักมาก ส่วนสูง (ชาย) ประมาณ 173 เซนติเมตร น้ำหนัก 64 กิโลกรัม พวกผอม จะมีรูปร่างแขนขาเล็ก ศีรษะเล็ก หน้าเล็ก รูปร่างแบบบาง ส่วนสูง (ชาย) เฉลี่ย 175 เซนติเมตร น้ำหนัก 64 กิโลกรัม คนโดยทั่วไปจะแบ่งขนาดออกเป็น 3 ลักษณะ คือ ล่ำหรือสันทัด อ้วน และผอม ดังภาพ 12 ขนาดรูปร่างของคนจึงทำให้คนทำงานแตกต่างกันไป คนอ้วนงุ่มง่าม คนสันทัดแข็งแรงบึกบึน ในขณะที่คนผอมเก้งก้างคล่องตัว (สราวุธ สุธรรมาสา,คณะ.2550 : 22)

2.5.1.1 ขนาดกายกับการทำงานที่มีประสิทธิภาพ

ท่าทางการทำงานที่ถูกหลักการยศาสตร์ ขนาดกายและทรวดทรงจะมีการเปลี่ยนแปลงไปทีละน้อย ซึ่งเรียกว่าเป็นการปรับตัวและจะเกิดขึ้นหลังจากการออกแรงเคลื่อนไหวทำงานติดต่อกันในระยะเวลาหนึ่ง ดังนั้น ถ้าสามารถจัดให้มีขนาดกายและทรวดทรงที่เหมาะสม จะทำให้สามารถทำงานได้ยาวนาน ไม่ล้าหรือเหน็ดเหนื่อยง่าย ป้องกันความผิดพลาด และป้องกันอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างทำงานได้ ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงความผิดปกติของทรวดทรงและให้งานมีประสิทธิภาพสูงสุดควรมีหลักทั่วไป ดังนี้

ตาราง 5 แสดงอาการผิดปกติที่เกิดจากการใช้ทรวดทรงผิดสุขลักษณะขณะทำงาน

ท่าทำงานที่ไม่ถูกต้อง	**ตำแหน่งของความเจ็บปวด ที่เกิดจากท่าทำงานที่ไม่ถูกต้อง**
ยืน (ยืนโดยปลายเท้าไม่ชี้ไปด้านหน้า)	เท้า บริเวณกระดูกสันหลังส่วนอุ้งเชิงกราน
นั่งโดยไม่มีการรองรับกระดูกไขสันหลังส่วนอุ้งเชิงกราน	กระดูกไขสันหลังส่วนอุ้งเชิงกราน
นั่งโดยไม่มีการรองรับกล้ามเนื้อหลัง	กล้ามเนื้อที่ช่วยกระดูกไขสันหลังตั้งตรง
นั่งโดยไม่มีที่วางเท้าเหมาะกับความสูง	เข่า ขา อุ้งเชิงกราน
นั่ง ศอกวางสูงเกินไป	กล้ามเนื้อไหล่และหลัง
แขนส่วนบนห้อยโดยไม่มีการรองรับในแนวดิ่ง	ไหล่ แขนช่วงบน
เอื้อมสุดแขนขึ้นไปข้างบน	ไหล่ แขนช่วงบน
ศีรษะเงยไปด้านหลัง	บริเวณคอ
ลำตัวก้มไปด้านหน้า หลังโค้ง	กระดูกไขสันหลังช่วงอุ้งเชิงกราน และกล้ามเนื้อหลังส่วน Erector spinal
ยกของหนักโดยส่วนหลังต้องโค้งก้มมาข้างหน้า	บริเวณไขสันหลังส่วน Lumbar และ Erector spinal
การเกร็งของกล้ามเนื้อนานๆ	กล้ามเนื้อบริเวณนั้น (มักเกิดบริเวณน่องและท้อง)
ออกแรงตรงบริเวณข้อต่ออย่างรุนแรงหรือฉับพลัน	ข้อต่อที่ใช้งานในบริเวณนั้น

ที่มา: สราวุธ สุธรรมาสา,และคณะคนอื่นๆ. (2550). เออร์กอนอมิคส์และจิตวิทยาในการทำงาน.หน่วยที่ 1-7.หน้า 143.

1.)ระดับความสูงต่ำของงานที่เหมาะกับขนาดกายและทรวดทรง ในการทำงานควรเปิดโอกาสให้ผู้ทำงานเลือกได้ ว่าจะนั่งหรือยืนทำ ถ้านั่งทำงานควรนั่งบนเก้าอี้ซึ่งมีพนักพิงหลังโดยไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนวิธีเคลื่อนที่ร่างกายขณะทำงาน ผู้ทำงานควรได้เปลี่ยนอิริยาบถขณะทำงาน แต่จะต้องอยู่ในลักษณะทรวดทรงที่ปลอดภัย โดยไม่ลดประสิทธิภาพของงาน

2.)ระดับของสายตาที่เหมาะกับงาน ผู้ทำงานควรอยู่ในท่าที่ทรวดทรงตั้งตรงหันหน้าเข้าหาชิ้นงานที่กำลังทำ เมื่อต้องใช้สายตาในการทำงาน ควรให้บริเวณที่ทำงานนั้นมีแสงสว่างเพียงพอ โดยศีรษะและลำตัวอยู่ในท่าตรง หรือศีรษะเอนมาด้านหน้าเล็กน้อย ระดับสายตาที่

จับจ้องที่งานไม่ใกล้หรือไกลเกินไป งานที่ต้องใช้สายตาในการทำงาน ควรมีระยะหยุดพักเป็นช่วงๆ เพื่อช่วยมิให้เมื่อยล้าหรือปวดตา

3.)พื้นที่และระยะในการใช้มือหยิบฉวยและควบคุมการทำงาน การทำงานควรมีพื้นที่สามารถเอื้อมมือไปหยิบหรือจับที่เหมาะสมทั้งในแนวตั้งและแนวนอน โดยให้วาดแขนออกไปอยู่ในรัศมีครึ่งวงกลม เมื่อต้องทำงานในลักษณะเคลื่อนไหวอย่างเดียวกันซ้ำซาก เช่น การเลื่อนวัตถุมาบนรางสายพาน ควรออกแบบให้ใช้มือกด จับ กำหรือควบคุมได้ถนัด งานที่ต้องออกแรงมาก ควรใช้กล้ามเนื้อชิ้นใหญ่ที่เหมาะกับงาน เช่น ใช้แรงดึง ดัน หรือผลักจากแขนและขาช่วยกัน

4.)พื้นที่และระยะสำหรับการเคลื่อนที่ของขาในการทำงาน ขณะทำงานในท่ายืน ควรให้น้ำหนักตัวตกลงที่สองเท้าเท่าๆ กัน หากใช้เท้าหรือขาทำงานหรือควบคุมเครื่องจักร ต้องให้ขาได้เหยียดหรือเคลื่อนที่สะดวกสบายเหมาะสมกับงาน ท่าทำงานที่ไม่ถูกต้อง การออกแรงทำงานโดยมีทรวดทรงท่าทางที่ไม่เหมาะสม อาจทำให้เกิดอาการเจ็บปวดหรือผิดปกติ ดังตาราง

2.5.1.2 ความหมายและความสำคัญของการเคลื่อนไหวของร่างกาย

การเคลื่อนไหวของร่างกาย หมายถึง การออกแรงเคลื่อนที่ของบุคคล เพื่อทำงานชิ้นหนึ่งชิ้นใดให้สำเร็จ ในระยะเวลาที่อาจจะกำหนดไว้ (สราวุธ สุธรรมาสา,คณะ.2550 : 143)

ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า การเคลื่อนไหวของร่างกาย มีความสำคัญในการทำงาน เพราะถ้าตัวเคลื่อนไหวได้ถูกทิศทางจะประหยัดเวลา ประหยัดแรงงานและช่วยตัดการเคลื่อนไหวที่ไร้ประโยชน์หรือไม่มีประสิทธิภาพออกไป (สราวุธ สุธรรมาสา,คณะ.2550 : 143)

2.5.1.3 หลักการเคลื่อนไหวของร่างกายอย่างมีประสิทธิภาพ

ในการเคลื่อนไหวของร่างกายในขณะทำงานนั้น หากจะให้เคลื่อนไหวได้ประสิทธิภาพสูงสุด ทำงานได้เร็วขึ้นและถูกต้อง จะต้องเป็นไปตามหลักการดังนี้

1.)การเคลื่อนไหวส่วนต่างๆ ของร่างกายให้สอดคล้องและต่อเนื่องกัน การทำงานโดยใช้มือทั้งสองข้างช่วยกันทำหรือใช้มือกับเท้าช่วยกันทำ จะช่วยเพิ่มผลผลิตได้ดีกว่าการใช้มือเพียงข้างเดียวหรือการใช้มืออย่างเดียว การทำงานที่ต้องใช้มือทั้งสองข้างในเวลาเดียวกัน ควรปฏิบัติให้เสริมกัน คือการเริ่มต้นและสิ้นสุดพร้อมกัน แต่ควรเคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้าม เช่น นักพิมพ์ดีดใช้มือซ้ายจับกระดาษพิมพ์ มือขวาดึงกระดาษคาร์บอน แล้วใช้สองมือจับแยกออกจากกันข้างละทิศทาง การเคลื่อนไหวของมือและแขน ควรเป็นลักษณะโค้งหรือครึ่งวงกลมหลีกเลี่ยงการหักมุม การเคลื่อนไหวร่างกายควรให้เป็นไปตามลักษณะตามธรรมชาติและตามถนัดของบุคคล เช่น ให้เคลื่อนที่จากซ้ายไปขวา จากด้านหน้าไปด้านหลัง ไม่สลับไปมาสำหรับงานที่ต้องใช้สายตาเพ่งมองมาก ควรจัดให้ระดับสายตาที่มองดูชิ้นงานนั้น เป็นมุมประมาณ 45 องศา เช่น การนั่งพิมพ์ดีด การกดแป้นบนเครื่องคอมพิวเตอร์ ควรให้สายตาทำมุม 45 องศากับกระดาษ

2.)การเคลื่อนไหวส่วนของร่างกายให้สัมพันธ์กับงาน

2.1) การเคลื่อนไหวร่างกายขณะทำงาน ควรให้ระยะเคลื่อนไหวนั้นสั้นที่สุดเท่าที่จะทำได้

2.2) จัดวางงานที่กำลังทำ ให้อยู่ในรัศมีที่มือเอื้อมถึงทั้งในท่านั่งและยืน เพื่อจะได้หยิบจับได้สะดวกสบาย

2.3) จัดให้งานจะต้องทำนั้น หันเข้ามาหาตัวผู้ทำ และจัดเตรียมให้เรียบร้อย เมื่องานมาถึงตัว ก็พร้อมที่จะทำได้ทันที

2.4) การทำงานหากใช้ประสบการณ์ฝึกซ้อมอยู่เสมอ จะเกิดความคุ้นเคยและทำได้ชำนาญขึ้น

2.5) การเคลื่อนไหวร่างกายให้สอดคล้องกับสถานที่ทำงาน

2.6) จัดสถานที่ทำงานให้เหมาะสม เช่น จัดสิ่งแวดล้อมให้มีแสงสว่าง เสียง กลิ่นที่เอื้อต่อการทำงาน

2.7) ขจัดความรกรุงรังของสถานที่ให้หมดสิ้นไปเพื่อให้สบายตา และหยิบใช้อุปกรณ์ได้สะดวกและเป็นระเบียบ

2.8) จัดสถานที่สำหรับรับงานที่เสร็จแล้ว โดยสามารถเคลื่อนย้ายงานที่ทำเสร็จไปแล้ว ให้พ้นออกไปทันที

3.)การเคลื่อนไหวร่างกายให้สัมพันธ์กับอุปกรณ์เครื่องมือเครื่องใช้

3.1) จัดวางเครื่องมือ เครื่องใช้ให้เป็นระเบียบ และมีที่เก็บเป็นประจำเพื่อร่นเวลาค้นหา

3.2) จัดวางเครื่องมือ เครื่องใช้ตามลำดับของการเคลื่อนไหวของร่างกาย ให้เป็นวงจรและกลับมาตั้งต้นที่เดิม โดยหลีกเลี่ยงการเคลื่อนที่ไปมาในช่วงกึ่งกลางของกระบวนการทำงาน

3.3) จัดทำที่วางของในลักษณะที่เลื่อนได้ เพื่อช่วยออมแรงและลดการเคลื่อนที่ไปจับฉวยอุปกรณ์นั้น

3.4) จัดอุปกรณ์เครื่องใช้ที่เป็นชุดหรือลักษณะเดียวกันให้อยู่ด้วยกัน เพื่อสะดวกในการใช้ เช่น เครื่องเขียน เครื่องพิมพ์

3.5) ใช้เครื่องทุ่นแรง เช่น เครื่องยกของหนัก เพื่อช่วยให้กล้ามเนื้อไม่ต้องทำงานหนักเกินความจำเป็น และลดความปวดเมื่อย

3.6) ปรับปรุงเทคนิคในการทำงานให้สามารถทำงานได้ดีขึ้น สะดวกสบาย เช่น ปรับที่นั่งหรือที่ยืนให้ได้สมดุลกันทั้งความสูงและตำแหน่งของร่างกาย เพื่อให้สะดวกสบาย (สราวุธ สุธรรมา สา,คณะ.2550 : 145-146)

2.5.1.4 การใช้พลังงานในการทำงานของร่างกาย

ในการเคลื่อนไหวและทำงานของร่างกายต้องใช้พลังงาน ดังนั้นการศึกษาเรื่องการใช้พลังงานและการวัดพลังงานที่ใช้ไปจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อให้ทำงานได้ประสิทธิภาพสูงสุด

1.)การวัดพลังงานของร่างกาย

หน่วยที่ใช้วัดพลังงานของร่างกาย มี 2 ลักษณะ คือวัดจากความร้อนที่เพิ่มขึ้น หน่วยของพลังงาน 1 แคลอรี (Calorie) มีค่าเท่ากับความร้อนที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิของน้ำ 1 กรัม ให้สูงขึ้น 1 องศาเซลเซียสสำหรับหน่วยของพลังงานที่นิยมใช้กับคน ใช้กิโลแคลอรี ซึ่งเท่ากับ 1,000

แคลอรี เครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณความร้อนที่ถูกสร้างขึ้นในร่างกาย หรือความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมี เรียกว่า เครื่องมือวัดพลังงานความร้อน (Calorimeter) วัดจากการคำนวณเปรียบเทียบกับการใช้ออกซิเจน หน่วยที่วัดพลังงานลักษณะนี้ คือ กิโลจูลส์ (Kilojoules; KJ) ซึ่งหมายถึงออกซิเจน 1 ลิตร ที่ร่างกายใช้ในการทำงาน จะให้พลังงาน 20 กิโลจูลส์หากรู้ค่าของการใช้ออกซิเจนในร่างกาย แล้วคูณด้วย 20 ก็จะได้ค่าพลังงานออกมาเมื่อเปรียบเทียบหน่วยที่วัดพลังงานแล้ว 1 กิโลแคลอรีจะเท่ากับ 4.187 กิโลจูลส์

2.)การใช้พลังงานของร่างกาย ในแต่ละวันคนจะใช้พลังงานใน 3 รูปแบบ คือ

2.1) พลังงานในภาวะผักผ่อน

ช่วงร่างกายพักผ่อนจะใช้พลังงานขั้นต่ำสุดเพียงเพื่อความอยู่รอดของร่างกาย โดยให้ระบบอวัยวะต่างๆ สามารถทำงานได้และจะใช้มากน้อยเพียงใดขึ้นกับขนาดกาย น้ำหนักและเพศ ปกติร่างกายจำเป็นต้องใช้พลังงานเพื่อดำรงชีวิตในภาวะพักผ่อนประมาณ 210 – 295 ลูกบาศก์เซนติเมตรของออกซิเจนต่อนาที เพื่อใช้เผาผลาญและใช้ในกระบวนการสันดาปของพลังงาน สำหรับชายหนัก 70 กิโลกรัม จะใช้พลังงานในภาวะพักผ่อนประมาณ 7,000 กิโลแคลอรีต่อวัน ส่วนหญิงหนัก 60 กิโลกรัม จะใช้พลังงานพักผ่อน 5,900 กิโลแคลอรีต่อวัน ซึ่งพลังงานส่วนใหญ่นี้ใช้เพื่อเผาผลาญสารอาหารให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเพื่อเป็นพลังงานและความร้อนให้แก่ร่างกาย

2.2) พลังงานสำหรับภารกิจประจำวัน

ในแต่ละวัน คนต้องเคลื่อนไหวเพื่อปฏิบัติภารกิจต่างๆ เช่น เดิน นั่ง กิน สำหรับคนทั่วไปจะใช้พลังงานในกิจวัตรประจำวันประมาณ 2,400 กิโลแคลอรีต่อวัน และสำหรับหญิง 2,000 – 2,200 กิโลแคลอรีต่อวัน

2.3) พลังงานสำหรับการทำงาน

เมื่อต้องออกแรงมากขึ้นร่างกายจะใช้พลังงานมากขึ้น เช่น ขุดดิน ตักถ่าน การวัดพลังงานจากการทำงานบ่งบอกระดับความเครียดของร่างกาย ซึ่งการออกแรงทำงานหนักจะทำให้ร่างกายเหน็ดเหนื่อย ได้มีผู้ศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานประเภทนี้ ในบุคคลอาชีพต่างๆ ดังตาราง 6 จะเห็นได้ว่า ในแต่ละวันบุคคลจะใช้พลังงานทั้ง 3 รูปแบบ แต่จะมากน้อยขึ้นกับลักษณะงานอาชีพ และความแตกต่างของบุคคลในเรื่องอายุ เพศ และกิจกรรมในเวลาว่าง เช่น คนทำงานนั่งโต๊ะผู้ชายจะใช้พลังงานในภาวะพักผ่อน 7,000 กิโลแคลอรีต่อวัน พลังงานสำหรับภารกิจประจำวันอีก 2,400 กิโลแคลอรีต่อวัน และงานอาชีพอีก 9,600 กิโลแคลอรีต่อวัน รวมทั้งสิ้น 19,000 กิโลคลอรีต่อวัน

ตาราง 6 แสดงพลังงานที่ใช้ในแต่ละวันของงานลักษณะต่างๆ ของบุคคลอาชีพต่างกัน

ลักษณะงาน	ตัวอย่างอาชีพ	ชาย (กิโลแคลอรีต่อวัน)	หญิง (กิโลแคลอรีต่อวัน)
งานเบา ทำงานนั่งโต๊ะ	บรรณารักษ์	9,600	8,400
งานหนักทำด้วยเครื่องมือ	ขับรถแทร็กเตอร์	12,500	9,800
งานใช้แรงกายปานกลาง	คนขายหมู	15,000	12,000
งานใช้แรงกายค่อนข้างหนัก	คนขับรถไฟ	16,500	13,500
งานใช้แรงหนักมาก	คนงานเหมือง	19,000	-
	คนตัดฟืน		

ที่มา: จรวยพร ธรรินทร์, (2550). ขนาดกาย การเคลื่อนไหว และการทำงานของร่างกาย. หน้า 154.

3.)ทรวดทรงกับพลังงาน

ทรวดทรงหรือท่าทางในขณะทำงาน มีผลต่อการใช้พลังงานของร่างกายด้วยดังภาพ โดยคิดเปรียบเทียบจำนวนพลังงานที่ใช้เพิ่มขึ้นจากท่านอน ซึ่งกำหนดให้ท่านอนใช้พลังงานร้อยละ 100 เช่น ท่านั่ง ร้อยละ 3 – 5 หมายถึง ท่านั่งใช้พลังงานเพิ่มจากท่านอนอีกร้อยละ3 – 5

ภาพประกอบ 13 จำนวนพลังงานที่ต้องใช้เพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ในทรวดทรงต่างกัน โดยเปรียบเทียบกับท่านอน (ลักษณะเดียวกันทั้งชายและหญิง)

ที่มา: จรวยพร ธรรินทร์, (2550). ขนาดกาย การเคลื่อนไหว และการทำงานของร่างกาย. หน้า 154.

4.) พลังงานกับสุขภาพ

คนในปัจจุบันไม่ค่อยได้เคลื่อนไหวมากนักเพราะใช้เครื่องทุ่นแรง และมีเครื่องอำนวยความสะดวกมาก ทั้งยังทำงานแบบนั่งโต๊ะมากกว่าสมัยก่อน จึงทำให้เกิดภาวะน้ำหนักเกิน อวัยวะเสื่อมสภาพ และเป็นโรคหัวใจมากขึ้น

คนควรจะออกกำลังกาย ทำงานเคลื่อนไหว โดยใช้แรงทำงานให้ได้วันละ 12,000 – 15,000 กิโลจูลส์ สำหรับชาย และ 10,000 – 12,000 กิโลจูลส์ สำหรับหญิง สำหรับคนที่ทำงานนั่งโต๊ะ ควรออกแรงทำงานบ้านหรือออกกำลังกายในเวลาว่างด้วย

5.) งานซึ่งต้องใช้พลังงานหนัก

งานที่นับว่าใช้พลังงานหนักมาก ได้แก่ งานที่ใช้พลังงาน 19,000 กิโลจูลส์ต่อวัน เช่น คนทำงานเหมือง แต่ต้องระวังไม่ควรใช้พลังงานสำหรับงานอาชีพเกินวันละ 20,000 กิโลจูลส์ สำหรับคนทำงานหนักปานกลาง ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง จะใช้พลังงานชั่วโมงละ 1,300 กิโลจูลส์ ดังนั้น ในวันหนึ่งๆ จะใช้พลังงานสำหรับงานอาชีพ 10,400 กิโลจูลส์ต่อวัน (จรวยพร ธรรินทร์ 2550 : 153-155)

2.5.2 ส่วนประกอบของระบบโครงร่าง

ร่างกายของมนุษย์ประกอบด้วยโครงร่างที่เป็นกระดูก ทำให้คนทรงตัวเป็นรูปร่างอยู่ได้ น้ำหนักของกระดูกทั้งหมดของคน ผู้ชายประมาณ 3.6 กิโลกรัม และผู้หญิง 2.7 กิโลกรัม จากจำนวนน้ำหนักกระดูกทั้งหมดถ้าคิดเป็นร้อยละ 100 จะเป็นส่วนของกะโหลกศีรษะร้อยละ 20 ซี่โครงร้อยละ 18 แขน ร้อยละ 18 และขาร้อยละ 45

2.5.3 การเคลื่อนไหวของร่างกาย

ร่างกายจะทรงตัวอยู่ได้ด้วยกระดูก โดยมีข้อต่อเป็นจุดหมุนของการเคลื่อนที่ และกล้ามเนื้อหดตัวทำให้เคลื่อนที่ได้ นอกจากนี้ยังมีส่วนที่เป็นจุดศูนย์ถ่วงและจุดหมุน ในการเคลื่อนที่ส่วนต่างๆ ของร่างกาย ซึ่งจุดหมุนนี้เองเป็นจุดที่ต้องระมัดระวังการบาดเจ็บที่อาจเกิดจากการเคลื่อนไหวเร็วเกินไป บิดตัวเปลี่ยนทิศอย่างฉับพลัน กระแทก หรือล้ม การเคลื่อนที่ของร่างกายจะมีขีดจำกัด ตามลักษณะของข้อต่อ เช่น คอจะเคลื่อนไหวในลักษณะของการก้มแบบพับ – เงย หันซ้าย – ขวา และหมุนเป็นวงกลมรอบแกนคอได้ และหญิงจะมีความอ่อนตัวเคลื่อนไหวในมุมที่กว้างกว่าชาย

2.5.4 การวัดขนาดกายและทรวดทรง

รัตนาภรณ์ จึงสงวนสิทธิ์ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้ข้อมูลในปี 2524-2528 วัดจากคนไทยจำนวน 31,527 คน ตามมาตรฐานขององค์การกำหนดมาตรฐานระหว่างประเทศ คือ ISO No, 3635 – 1981 (Size designation cloth) พบว่า

1.) ขนาดโครงสร้างร่างกายของหญิงไทย รูปร่างของหญิงไทยในช่วงอายุต่างๆกัน จะเปลี่ยนแปลงๆ กล่าวได้คือ หญิงไทยโดยเฉลี่ย เมื่ออายุเพิ่มขึ้นจะมีแนวโน้มอ้วนขึ้น ซึ่งจะเห็นได้จากตัวเลขของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น รอบอก รอบเอว และรอบตะโพกที่ใหญ่ขึ้น จะเห็นว่า สำหรับหญิงไทยในแต่ละภาคไม่สามารถมองเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจน

ตาราง 7 แสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนเฉพาะจุดสำคัญของหญิงไทย

จุดสำคัญ	อายุ 17-19 ปี				อายุ 20-29 ปี				อายุ 30-39 ปี				อายุ 40-49 ปี			
ต่างๆ (CM)	C	N	NE	S	C	N	NE	S	C	N	NE	S	C	N	NE	S
ความสูง	154.0	154.5	153.3	153.7	153.7	153.0	153.4	153.1	153.1	152.3	152.8	152.0	153.3	152.7	152.1	152.9
รอบอก	80.4	79.0	79.6	80.0	80.8	80.5	80.3	80.2	84.6	82.8	83.8	84.3	88.3	85.3	87.9	87.1
รอบเอว	63.5	62.2	64.2	64.0	64.3	64.0	64.4	64.5	69.2	67.0	69.0	69.9	72.9	70.7	73.8	72.8
รอบตะโพก	86.9	87.1	87.5	87.6	87.9	89.0	87.9	88.1	91.2	89.0	90.4	91.8	93.5	90.4	93.0	93.4
ความสูงอก	109.5	110.2	109.4	109.5	108.8	108.5	109.0	108.6	107.5	107.3	107.7	107.4	107.0	107.7	106.0	106.3
ความสูงตะโพก	77.4	77.8	77.4	77.9	77.3	76.8	77.1	76.5	71.1	76.3	77.0	75.7	77.3	77.5	76.9	75.8
ความสูงใต้เป้า	71.1	70.9	71.0	70.6	70.6	69.8	70.2	69.6	69.1	69.6	68.8	69.8	69.8	69.8	69.1	68.9

C= ภาคกลาง N= ภาคเหนือ NE = ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ S = ภาคใต้

ที่มา: จรวยพร ธรรินทร์, (2550). ขนาดกาย การเคลื่อนไหว และการทำงานของร่างกาย. หน้า 129.

2.) ขนาดร่างกายของเด็กไทย เด็กไทยมีการเปลี่ยนแปลงขนาดรูปร่างมากในแต่ละอายุ ทั้งยังมีอัตราการเติบโตแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบเด็กหญิงกับเด็กชาย

ตาราง 8 แสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนเฉพาะจุดสำคัญของชายไทย

จุดสำคัญ	อายุ 17-19 ปี				อายุ 20-29 ปี				อายุ 30-39 ปี				อายุ 40-49 ปี			
ต่างๆ (CM)	C	N	NE	S	C	N	NE	S	C	N	NE	S	C	N	NE	S
ความสูง	165.6	163.0	162.7	163.8	164.9	162.0	162.8	163.6	164.7	161.5	162.0	161.8	163.2	160.1	161.4	161.6
รอบอกบน	83.3	83.0	82.6	82.2	86.1	85.0	85.4	85.4	89.1	86.9	87.4	88.1	90.8	88.0	89.1	88.3
รอบเอว	66.3	65.8	65.8	65.3	69.9	68.5	68.8	68.2	75.8	72.8	73.3	73.1	79.6	76.1	77.4	75.3
รอบหน้าท้อง	70.0	69.1	69.1	69.3	73.2	71.2	71.6	71.0	79.1	75.3	76.3	76.0	82.3	78.4	80.0	78.0
ความสูงตะโพก	84.0	83.5	83.3	83.0	85.0	83.3	84.5	84.2	87.6	85.3	85.8	85.5	88.8	86.5	87.9	86.2
น้ำหนัก(กก.)	53.6	52.6	52.8	51.3	55.9	53.9	55.1	53.9	60.0	56.6	57.3	56.2	61.8	57.5	59.7	56.8

C= ภาคกลาง N= ภาคเหนือ NE = ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ S = ภาคใต้

ที่มา: จรวยพร ธรรินทร์, (2550). ขนาดกาย การเคลื่อนไหว และการทำงานของร่างกาย. หน้า 130.

3.) ขนาดโครงสร้างร่างกายของชายไทย ชายไทยโดยเฉลี่ยยิ่งมีอายุมากขึ้นจะมีแนวโน้มอ้วนขึ้นโดยรอบบอก รอบเอว และรอบตะโพกจะใหญ่ขึ้น ความหนาหน้าท้องมากขึ้น นอกจากนี้ยังเห็นได้ว่า ชายไทยในช่วงอายุ 20-29 ปี และจะเห็นว่าสำหรับชายไทยในแต่ละภาคไม่สามารถมองเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจน

2.5.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนไหวของร่างกาย

ในการศึกษาถึงการเคลื่อนไหวในการทำงานนั้น ต้องเข้าใจปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการปฏิบัติงานของตน ซึ่งมีความสลับซับซ้อนทั้งทางด้านความรู้สึกนึกคิดและมีปฏิสัมพันธ์ทางสังคมอีกด้วย

การผลิตหรือการสร้างผลงานของคนจะสำเร็จลุล่วงด้วยดี หรือไม่ขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้

2.5.5.1.) ปัจจัยที่เกี่ยวกับคุณลักษณะ บุคลิกภาพของผู้ทำงาน เช่น ความแข็งแรง ความพึงพอใจ ประสบการณ์ และภาวะสุขภาพ เป็นต้น

2.5.5.2.) ปัจจัยที่เกี่ยวสิ่งแวดล้อมในการทำงาน เช่น แสง เสียง การถ่ายเทอากาศและอุณหภูมิ เป็นต้น

2.5.5.3.) ปัจจัยที่เกี่ยวการเคลื่อนไหวของบุคคล เช่น ความเร่งรีบ ความเฉื่อยชา การเคลื่อนไหวอย่างเต็มที่และการทำงานนั่งโต๊ะ เป็นต้น

ในการเคลื่อนไหวเพื่อทำงานนั้น คนจะต้องใช้ทักษะ 3 ทาง เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้งานนั้นได้ผลผลิตดีเพียงใด

1.)ทักษะด้านการเคลื่อนไหวร่างกายที่เกิดจากการรับรู้

1.1) การเคลื่อนไหวทางด้านตำแหน่ง เป็นการเคลื่อนไหวจากตำแหน่งหนึ่งไปยังตำแหน่งใหม่ เช่น การพลิกเปิดหนังสือทีละหน้า การเคลื่อนคานงัดจากตำแหน่งหนึ่งให้วัตถุไปอยู่อีกตำแหน่งหึ่ง ร่างกายต้องมีการรับรู้ตำแหน่งของการเคลื่อนไหว

1.2) การเคลื่อนไหวซ้ำอยู่ที่เดิม จะเคลื่อนไหวแบบเดียวกัน ซ้ำต่อไป เช่น การรับโทรศัพท์ การไขลานนาฬิกา การรับบัตรที่ช่องรับเงินผ่านทางด่วน ทำให้ร่างกายเกิดการเรียนรู้ในการทำงานแบบเดิมซ้ำซาก จนอาจจะไม่ต้องคิดเพราะสามารถเคลื่อนไหวเกือบเป็นอัตโนมัติ

1.3) การเคลื่อนไหวติดต่อกันอย่างต่อเนื่อง เป็นการเคลื่อนที่เกิดจากการควบคุมที่ต่อเนื่อง ตามปกติมักจะตอบสนองต่อสิ่งเร้าภายนอก เช่น ขับรถตามถนนต้องบังคับพวงมาลัย เลี้ยวหรือหันไปตามเส้นทางที่ต้องการ

1.4) การเคลื่อนไหวแบบอนุกรม เป็นการเคลื่อนไหวเป็นตอนๆ ตามลำดับขั้นอย่างสัมพันธ์ เช่น เล่นดนตรี เล่นกีฬา ทำกับข้าว ต้องมีขั้นตอนไปตามลำดับ

1.5) การเคลื่อนไหวอยู่กับที่ เป็นการรักษาตำแหน่งให้อยู่คงที่อยู่เป็นระยะเวลานาน แม้จะไม่มีการเปลี่ยนตำแหน่ง แต่ต้องใช้กำลังกล้ามเนื้อช่วยในการทรงตัว เช่น นั่งที่โต๊ะทำงาน

2.)ทักษะด้านการประมวลข้อมูลข่าวสาร

2.1) ความสามารถที่จะให้ได้มาซึ่งข้อมูลข้อเท็จจริง เช่น อาจใช้อวัยวะสัมผัสในการมอง การฟัง และการเคลื่อนไหว เพื่อให้ได้วิธีการทำงานที่ดีที่สุด

2.2) ความสามารถในการเก็บและปรับปรุงแก้ไขข้อมูลเท็จจริง เช่น จำไว้ให้มากที่สุด หรือเก็บด้วย การบันทึก เก็บเป็นแฟ้ม เก็บลงเครื่องบันทึกเสียง ดัดแปลงข้อมูลให้เป็นระบบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์

2.3) ความสามารถในการใช้ข้อเท็จจริง นำความรู้ที่ได้ไปใช้งานให้เกิดประโยชน์ เช่น การตัดสินใจว่าจะเคลื่อนไหวร่างกายอย่างไร จึงจะได้จังหวะถูกต้อง

3.)ทักษะในการตรวจสอบ

ทักษะในการตรวจสอบ หมายถึง ทักษะที่ใช้ในการตรวจสอบ เฝ้าดู หรือสังเกตการณ์ทำงานของเครื่องจักรหรือของพนักงาน เพื่อป้องกันความผิดพลาดในการทำงานหรือให้มีการเปลี่ยนแปลงตามการรายละเอียดที่ต้องการ (สราวุธ สุธรรมาสา,คณะ.2550 : 146-147)

2.6. การยศาสตร์ในส่วนที่เกี่ยวกับสภาพแวดล้อมในการทำงาน

ชนิดของสภาพแวดล้อมทางกายภาพที่สำคัญที่พบในการทำงาน

2.6.1 แสง

แสง คือพลังงานที่ส่องแสงออกไปที่สามารถรบเร้าเรตินาของตาและทำให้เกิดการมองเห็นขึ้น ช่วงสเปคตรัมของแสงที่มองเห็นจะอยู่ระหว่าง 380 – 780 นาโนมิเตอร์ แหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์อาจแบ่งกว้างๆ ออกเป็น 2 ชนิดคือ ชนิดฟิลาเมนท์ และชนิดฟลูออเรสเซนต์ ชนิดแรกจะให้แสงออกแดงและเหลือง นอกจากนี้ยังให้ความร้อนสูง ซึ่งถ้าอยู่ใกล้ศีรษะผู้ปฏิบัติงานจะทำให้ปวดศีรษะและไม่สุขสบายขึ้นได้ สำหรับชนิดฟลูออเรสเซนต์จะให้แสงที่สว่างมากกว่าชนิดแรกและเนื่องจากสามารถเคลือบสารเคมีที่เหมาะสมได้ จึงทำให้สามารถผลิตหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ที่ให้แสงสีต่างๆ ได้ การจัดให้สถานที่ทำงานมีแสงสว่างที่ไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดปัญหาการเมื่อยล้าของตา การแสบตา และตาพร่า เป็นต้น

2.6.2 เสียง เป็นพลังงานชนิดหนึ่งที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของความดันที่เกิดขึ้นในตัวกลางใดตัวกลางหนึ่ง และตรวจรับได้โดยหูของมนุษย์ และด้วยกลไกการได้ยินของหูมนุษย์จะทำให้สามารถได้ยินและรับรู้ว่าเสียงที่ได้ยินนั้นคือเสียงอะไร ปกติแล้วหูคนจะไวต่อเสียงที่ความถี่ต่างๆ กัน โดยจะมีความไวน้อยต่อเสียงที่ความถี่ต่ำกว่า 1,000 เฮิรตซ์ และไวต่อเสียงที่มีความถี่สูง ดังนั้นเสียงที่ความถี่ต่ำจะต้องมีความเข้มของเสียงมากจึงจะดังเท่ากับเสียงที่มีความถี่สูงกว่า

2.6.3 ความสั่นสะเทือน เป็นการเคลื่อนไหวในลักษณะที่เป็นคลื่นของวัตถุ ซึ่งอาจมีลักษณะที่เป็นจังหวะและทิศทางที่สม่ำเสมอ เช่น การแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกา หรือมีลักษณะที่ซับซ้อนไม่เป็นระเบียบ และมีหลายทิศทาง เช่น การเจาะพื้นถนน ความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากการทำงานแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ความสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย และความสั่นสะเทือนเฉพาะบางส่วนของร่างกาย (โดยเฉพาะมือและแขน)

2.6.4 สี

สี เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกันไปตามชนิดของสี ดังตาราง

ตาราง 9 แสดงความยาวคลื่นของสีต่างๆ

สี	ความยาวคลื่น(นาโนมิเตอร์)
เม็ดมะปราง	380 – 436
น้ำเงิน	436 – 495
เขียว	495 – 566
เหลือง	566 – 589
ส้ม	589 – 627
แดง	627 – 780

ที่มา: สราวุธ สุธรรมาสา,และคณะคนอื่นๆ. (2550). เออร์กอนอมิคส์และจิตวิทยาในการทำงาน.หน่วยที่ 1-7. หน้า 38.

2.6.5 อุณหภูมิ ในการทำงานต่างๆ อุณหภูมิในที่ทำงานอาจจะสูง ซึ่งเรียกกันโดยทั่วไปว่าที่ทำงานนั้น “ร้อน” แต่ในบางลักษณะงาน อุณหภูมิในที่ทำงานอาจจะต่ำมาก จนทำให้ผู้ปฏิบัติงานมีความรู้สึก “เย็น” โดยทั่วไปแล้วการยศาสตร์จะสนใจจัดให้อุณหภูมิในที่ทำงานอยู่ในระดับที่ทำให้ผู้ปฏิบัติงานรู้สึกสุขสบาย ซึ่งมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายปัจจัยด้วยกันในที่ทำงาน เช่น อุณหภูมิของอากาศ ความชื้นของอากาศ และความเร็วลม เป็นต้น

2.6.6 รังสี เป็นพลังงานที่แผ่ออกมาจากต้นกำเนิดในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น คลื่นวิทยุ ไมโครเวฟ อินฟราเรด และอุลตราไวโอเลต เป็นต้น และที่แผ่ออกมาในรูปอนุภาค เช่น แอลฟา เบตา และนิวตรอน เป็นต้น ซึ่งรังสีทั้ง 2 รูปนี้ยังแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ ได้แก่ รังสีชนิดที่ก่อให้เกิดการแตกตัว เช่น รังสีเบตา แกรมมา และรังสีเอกซ์ เป็นต้น และรังสีชนิดที่ไม่ก่อให้เกิดการแตกตัว เช่น ไมโครเวฟ เลเซอร์ อุลตราไวโอเลต เป็นต้น

2.6.7 อุปกรณ์ เครื่องมือ และเครื่องจักร ซึ่งรวมไปถึงโต๊ะ เก้าอี้ที่ใช้ในการทำงาน สิ่งต่างๆ เหล่านี้ต้องออกแบบมาให้เหมาะสมกับสรีรวิทยา กายวิภาค และจิตใจของผู้ปฏิบัติงาน อันจะทำให้การทำงานของผู้ปฏิบัติงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

2.6.8 ผู้ร่วมงาน โดยทั่วไปแล้วการทำงานในสถานประกอบการจะมีผู้ปฏิบัติงานตั้งแต่ 2 คนขึ้นไป และตัวผู้ร่วมงานซึ่งอาจจะเป็นหัวหน้า เพื่อนร่วมงาน หรือผู้ใต้บังคับบัญชา ที่ต้องมาทำงานด้วยกันเป็นเวลานานนั้น โอกาสที่จะกระทบกระทั่งกันและการแข่งขันชิงดีชิงเด่นกันย่อมจะเกิดขึ้น ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานและสุขภาพจิตของผู้ปฏิบัติงาน

ตาราง 10 แสดงตัวอย่างปัญหาด้านสุขภาพและด้านการปฏิบัติงานที่เกิดจากสภาพแวดล้อมทางกายภาพไม่เหมาะสม

สภาพแวดล้อมทางกายภาพ	**ปัญหาด้านสุขภาพ**	**ปัญหาด้านการปฏิบัติงาน**
แสง	- ปวดศีรษะ - ปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ - เมื่อยล้า - ลดความสามารถในการมอง - การบาดเจ็บของตา	- ทำให้เขวหรือความสนใจเบี่ยงเบน - แสงที่ไม่พึงปรารถนารบกวนการทำงาน - ลดความสามารถในการตรวจสิ่งผิดปกติ
สี	- ยังไม่มีข้อมูลแน่ชัด	- มีอิทธิพลต่อการปรากฏของวัตถุอื่นในพื้นที่หนึ่งๆ - มีอิทธิพลต่ออารมณ์
เสียงดัง	- การสูญเสียการได้ยิน - เมื่อยล้า	- รบกวนการติดต่อสื่อสาร - รบกวนการตรวจฟังสัญญาณต่างๆ
ความสั่นสะเทือน	- ปวดกล้ามเนื้อ ข้อต่ออวัยวะ - คลื่นไส้ คลื่นเหียน - การไหลเวียนของเลือดที่มือไม่ดี - สูญเสียความรู้สึกที่นิ้วมือ - ลดแรงบีบมือ	- การทำงานด้วยมือทำได้ลำบาก - รบกวนการทำงานที่ใช้สายตา
ความร้อน / ความชื้น	- การล้มเหลวของระบบไหลเวียนโลหิต - ตะคริวกล้ามเนื้อ - ไหม้ - ไม่สุขสบาย	- ทำให้ความสนใจเบี่ยงเบน - การทำงานด้วยมือทำได้ลำบาก

ตาราง 10 แสดงตัวอย่างปัญหาด้านสุขภาพและด้านการปฏิบัติงานที่เกิดจากสภาพแวดล้อมทางกายภาพไม่เหมาะสม (ต่อ)

สภาพแวดล้อมทางกายภาพ	**ปัญหาด้านสุขภาพ**	**ปัญหาด้านการปฏิบัติงาน**
ความเย็น	- อุณหภูมิร่างกายต่ำกว่าปกติ - หิมะกัด - สั่นหนาว - การเคลื่อนไหวของนิ้วมือเสียไป	- ทำให้ความสนใจเบี่ยงเบน - การทำงานด้วยมือทำได้ลำบาก
รังสี	- ผิวหนังไหม้ - มะเร็ง	- ยังไม่มีข้อมูล
อุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องจักร	- การบาดเจ็บของอวัยวะที่สัมผัสกับสิ่งเหล่านั้น - ปวดหลัง - ปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ	- เกิดความเครียดและความล้า - ออกแรงทำงานมากกว่าที่ควรเป็น
เพื่อนร่วมงาน	- วัณโรค - โรคตาแดง - ไข้หวัด	- รบกวนสมาธิ - เกิดความเครียด ความล้า - เกิดความรู้สึกไม่อยากทำงาน

ที่มา: สราวุธ สุธรรมาสา,และคณะคนอื่นๆ. (2550). เออร์กอนอมิคส์และจิตวิทยาในการทำงาน.หน่วยที่ 1-7. หน้า 40.

จากการศึกษาความรู้เกี่ยวข้องกับโครงสร้างและขนาดของร่างกายมนุษย์ สรีรวิทยาจะเกี่ยวข้องกับหน้าที่ต่างๆของร่างกาย จิตวิทยา และพฤติกรรมของมนุษย์ พบว่าปัญหาที่ทำให้ผู้ปฏิบัติงานมีปัญหาเกี่ยวกับสุขภาพ โดยมากเกิดจากการเคลื่อนไหว โครงสร้างและขนาดของร่างกายที่ไม่เหมาะสม ผู้วิจัยจึงเล็งถึงความสำคัญในการแก้ปัญหานี้ โดยใช้หลักของการยศาสตร์มาช่วยในการออกแบบและพัฒนาโครงสร้างของเครื่องชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าให้มีสัดส่วนเหมาะสมเพื่อลดความล้าจากการเคลื่อนไหวระหว่างทำงาน อย่างไรก็ตาม ความสามารถในการทำงานได้หนักและยังปลอดภัยต่อสุขภาพนี้ ขึ้นกับประสบการณ์ในการทำงาน อายุ เพศ และสำหรับตัวเลขข้อมูลนี้เป็นของชาวอเมริกัน หากใช้กับคนไทย ตัวเลขจะลดลงประมาณร้อยละ 10 – 15 เพราะขนาดกายที่เล็กกว่า

3. การออกแบบและพัฒนาเครื่องชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า

3.1 ความสัมพันธ์เรื่องสัดส่วนของมนุษย์กับการออกแบบ

ในปี ค.ศ. 1845 Le Modulor ได้วางแผนโครงการศึกษา เรื่องสัดส่วนมนุษย์ โดยเริ่มวัดความสูงทั้งหมดของมนุษย์เฉลี่ย 1.829 เมตร และวัดความสูงถึงสะดือ 1.130 เมตร เริ่มต้นจากแบ่งส่วนย่อยของร่างกายมนุษย์เหมือน Diirer และ Le Corbusier สถาปนิกชาวฝรั่งเศสได้พัฒนาเรื่องสัดส่วนต่างๆ นำไปใช้กับงาน การสร้างโดยศึกษาหาค่าเฉลี่ยความสูงทั้งหมดของผู้ชายชาวยุโรปสูง เท่ากับ 1.75 เมตร หรือขนาดความสูง 5 ฟุต 9 นิ้ว และต่อมาได้มีการเทียบวัดความยาวระบบเมตริกกับระบบอังกฤษโดยให้ 254 มิลิเมตร เท่ากับ 10 นิ้ว ด้วยเหตุนี้เพื่อให้มีความสัมพันธ์ในด้านการวัดที่เป็นมาตรฐานเหมือนกัน ดังนั้นในปี ค.ศ. 1947 Le Corbusier ได้กลับมาใช้ความสูงเฉลี่ยของคนมาตรฐานชาวอังกฤษที่ทำไว้คือ 1.829 เมตร และได้แบ่งส่วนย่อยต่างๆของสัดส่วนร่างกายมนุษย์ไว้เป็นข้อมูลสำหรับรุ่นหลังไว้ศึกษาและวิจัยต่อไปในปัจจุบัน (สาคร คันธโชติ ,คณะ.2529 :15)

3.1.1 การออกแบบกับโครงสร้างของร่างกาย: ขนาดของร่างกายและการเคลื่อนไหว

เพื่อเป็นการยืนยันสนับสนุนข้อมูลที่ได้รับและการแปลความที่ถูกต้องเป็นเพียงส่วนหนึ่งของปัญหาในการทำงาน ความสัมพันธ์ระหว่างคนกับเครื่องจักรจะจบลงเป็นช่วงๆ เมื่อข้อมูลได้รับการตอบสนองแล้ว วงจรความสัมพันธ์ เรียกว่า Man-machine loop ในการที่มนุษย์จะบรรลุข้อมูลเข้าไปในเครื่องจักร มนุษย์จะต้องมีการเคลื่อนไหว เช่น กดปุ่ม เปิดสวิทซ์ ยกคาน เป็นต้น และการที่มนุษย์จะทำให้ระบบการทำงานมีประสิทธิภาพก็ขึ้นอยู่กับความสามารถในการใช้กระดูกข้อต่อและกล้ามเนื้อในการควบคุมการเคลื่อนไหว

การเคลื่อนไหวของมนุษย์ขึ้นอยู่กับขนาดของร่างกายของบุคคล คนที่สูงและอยู่ในห้องคับแคบก็เคลื่อนไหวไม่สะดวก คนมีมือใหญ่ๆให้มาทำงานจับปุ่มๆเล็กๆ ก็ไม่สะดวก คนขาสั้นแต่ให้ควบคุม เครื่องจักรที่ใช้การควบคุมโดยใช้ฝ่าเท้าและระยะห่างออกไปก็ย่อมที่ควบคุมไม่ได้ดี ดังนั้น จะเห็นได้ว่า ขนาดของร่างกายของมนุษย์ เกี่ยวข้องกับศักยภาพในการทำงาน การศึกษาเกี่ยวกับขนาดของร่างกายของมนุษย์กับการทำงาน เป็นการศึกษาแบบมานุษยวิทยามิติ (Anthropometry) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของศึกษาการทำงาน (Ergonomic Study)

ขนาดของกระดูกและกล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อที่เชื่อมระหว่างกระดูกจะเป็นองค์ประกอบทำให้เกิดการเคลื่อนไหว แต่ระบบการเคลื่อนไหวที่สมบูรณ์แบบนั้นประกอบไปด้วยระบบข้อต่อ (Joint system) และระบบกล้ามเนื้อ ซึ่งเป็นตัวเชื่อมไปสู่แขนขา เช่น กล้ามเนื้อหลัง (back muscles) และข้อต่อจะทำงาน เมื่อเรายกของหรือ เมื่อนั่ง แต่แขนจะทำงาน เมื่อเราเอื้อมหยิบของ และขาจะทำงาน เมื่อเราเดิน ดังนั้นในการศึกษาการเคลื่อนไหวในการทำงานต้องอาศัยทั้งนักฟิสิกส์และนักคณิตศาสตร์ เพราะการศึกษาการทำงานของกระดูกและข้อต่อนั้นเป็นการศึกษาระบบคาน (Levers) และการเคลื่อนไหว โดยเฉพาะการเคลื่อนไหวของร่างกาย เรียกว่า ชีวกลศาสตร์ (Biomechanics) (อารี เพชรผุด. 2536: 74-75)

3.1.2 การออกแบบเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวทางร่างกาย : กระดูก ข้อต่อ และกล้ามเนื้อ

ระบบโครงกระดูกของร่างกายประกอบด้วยระบบคาน สองระบบ คือ ระบบแขนกับระบบขา และทั้งสองระบบเชื่อมต่อกันโดยกระดูกสันหลัง กระดูกส่วนใหญ่มีหน้าที่ช่วยในการเคลื่อนไหว ถ้าไม่มีกระดูกจะเคลื่อนไม่ได้ แต่การเคลื่อนไหวของร่างกายได้นั้นกระดูกแต่ละส่วนจะเชื่อมโยงกันโดยมีข้อต่อและระหว่างข้อต่อก็มีเนื้อเยื่อและมีกล้าเนื้อช่วยยึดให้ข้อต่อติดกันอย่างเหนียวแน่น(อารี เพชรผุด. 2536: 75)

กระดูกสันหลังจะเป็นตัวทำให้ร่างกายเคลื่อนไหวได้ ระดับความเคลื่อนไหวจะมีลักษณะแตกต่างกันคือ จะเคลื่อนที่ได้ 90 องศา กระดูกบั้นเอว (Lumbar) จะเคลื่อนไหวได้ 30 องศา Murrell เน้นความสำคัญในการเคลื่อนไหวของร่างกาย ซึ่งถ้าร่างกายเคลื่อนไหวได้รอบๆ ก็สามารถเข้าถึงพื้นที่รอบๆ ตัวบุคคลได้ ถ้าการผสมผสานการเคลื่อนไหวส่วนตัวบริเวณบั้นเอวและตาสามารถมองเห็นได้ 360 องศา (อารี เพชรผุด. 2536: 76)

3.1.3 การออกแบบเกี่ยวกับความเหนื่อยล้าของกล้ามเนื้อ

ความเหนื่อยล้ามีความสำคัญต่อการทำงานทั้งชนิดที่ต้องใช้การเคลื่อนไหวและชนิดอยู่กับที่ และขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของแต่ละคนที่เคยเหนื่อยล้ามา ความเหนื่อยล้านไปสู่ความไม่สบายและลดความพึงพอใจในการทำงาน และผลงานจะลดลงและยังทำให้เกิดอุบัติเหตุได้ ความเหนื่อยล้าของกล้ามเนื้อ เราอาจหลีกเลี่ยงได้ เราเข้าใจว่ามัน เกิดขึ้นได้อย่างไร การออกแบบงานให้เหมาะและหลีกเลี่ยงสิ่งที่จะทำให้เกิดความเหนื่อยล้าได้ (อารี เพชรผุด.2536: 82)

3.1.4 การออกแบบเกี่ยวกับสัดส่วนของร่างกายและการทำงาน

นักออกแบบจะต้องใช้ข้อมูลทางด้าน Anthropometric เพื่อนำมาใช้ในการออแบบเครื่องจักรและออกแบบสิ่งแวดล้อมให้เหมาะสมกับบุคคลที่ทำงานเครื่องจักร หรืออุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นมา หรือประกอบขึ้นมาต้องเหมาะสมกับอวัยวะของมนุษย์ผู้ใช้และเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการออกแบบโดยส่วนรวม เช่น ออกแบบขนาดของห้องทำงานก็ต้องรู้ว่าคนที่จะใช้มีขนาดรูปร่างขนาดไหน ห้องใช้ทำงานอะไร ความสูงของประตูห้องจะผ่านเข้าไป เช่น ห้องทำงานของคนยุโรป อเมริกา รูปร่าง จะต้องสูงใหญ่กว่าคนเอเชีย ขนาดของห้อง หมายถึง ความสูงของเพดาน ความกว้าง และประตูควรจะมีขนาดสัดส่วนมากว่าห้องสำหรับคนเอเชีย แต่ถ้าต้องออกแบบให้ใช้ทุกคนไม่ว่าตะวันตกหรือตะวันออกก็ต้องออกแบบให้มีขนาดใหญ่ไว้ ซึ่งอาจต้องสิ้นเปลืองโดยใช่เหตุ ดังนั้นห้องทำงานของแต่ละโซนของโลกควรจะมีขนาดแตกต่างกันออกไป (อารี เพชรผุด. 2536: 88)

ข้อมูล Anthropometric แบ่งได้เป็นสองประเภท คือ

1) ข้อมูลทางด้านโครงสร้าง (Structure Anthropometry) เป็นข้อมูลเกี่ยวกับขนาดของร่างกายในสภาพที่คงที่ (Static Anthropometry) ทั่วๆไป เช่น น้ำหนัก รูปร่าง ความสูง ความกว้าง ความลึก และส่วนต่างๆของอวัยวะของร่างกาย

2) ข้อมูลทางด้านหน้าที่ (Functional Anthropometry) เป็นข้อมูลที่เกี่ยวกับขนาดที่ใช้ประกอบในการเคลื่อนไหว (Dynamic Anthropometry) เช่น การเอื้อมหยิบหรือจับสิ่งของต่างๆ ในการทำงาน ข้อมูลทั้งสองประเภทนี้นำมาใช้ในการเปรียบเทียบในการคัดเลือกบุคคลเข้าทำงาน และการออกแบบอุปกรณ์การวัดและบันทึกข้อมูลอย่างง่ายๆ แล้วนำมาเฉลี่ยขนาดของร่างกายนำไปออกแบบเก้าอี้ทำงาน หรือการวางตำแหน่งเก้าอี้ที่ยึดกับที่ แต่ให้ผู้นั่งเอื้อมมือถึงปุ่มที่จะจับหรืองานที่จะทำ และข้อพับต่างๆเคลื่อนไหวได้อย่างเหมาะสม (อารี เพชรผุด. 2536: 89)

3.1.5 การออกแบบเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างขนาดและรูปร่างของร่างกาย

เนื่องจากประชากรมีความแตกต่างกันหลากหลาย ดังนั้น ข้อมูลทางด้าน Anthropometry จึงแตกต่างกันด้วย ดังนั้นข้อมูลที่ใช้ในรูปของสถิติเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 หมายถึง ส่วนสูง 95 เปอร์เซ็นต์ของประชากรทั้งหมด ถ้าจะใช้สถิติของประชากร แต่เมื่อนำไปออกแบบอุปกรณ์การทำงาน เช่น ออกแบบโต๊ะทำงาน ประชากร เพียง 50 เปอร์เซ็นต์ ที่เหมาะสมกับแบบที่ออกมา เมื่อความสูงมาเรียงกับคนที่อยู่เปอร์เซ็นต์ไทล์ต่ำกว่า 50 แสดงว่าขาสั้นกว่า เพราะฉะนั้น ถ้าออกแบบโดยใช้อัตราเฉลี่ยประชากร เพียงครึ่งเดียว ที่เหมาะสมจะใช้

ปัญหาที่เกิดขึ้นจากสัดส่วนของร่างกายของมนุษย์อีกอย่างคือ ความไม่คงที่ของสัดส่วนของร่างกาย เช่น คนที่มีส่วนสูงโดยเฉลี่ยหรือมีน้ำหนักโดยเฉลี่ย มิได้ หมายความว่าเขาจะมีแขนขายาวโดยเฉลี่ยด้วย แขนขาเขาอาจไม่อยู่ในระดับอัตราเฉลี่ยก็ได้ ดังนั้น เราไม่สามรถที่จะใช้อัตราเฉลี่ยของอวัยวะอย่างหนึ่งไปอ้างอิงกับอัตราเฉลี่ยของอวัยวะอย่างอื่น Daniel (1920) ได้ทำการทดลองเรื่องนี้ โดยใช้กลุ่มตัวอย่าง 1,055 คน ที่มีส่วนสูงอยู่ในอัตราเฉลี่ยเดียวกันทั้งหมด แต่เขาพบว่า 302 คน หรือ 20 เปอร์เซ็นต์มีขนาดรอบอกเท่ากับอัตราเฉลี่ย 143 คน หรือ 14 เปอร์เซ็นต์มีแขนยาวเท่ากับอัตราเฉลี่ย มีเพียง 6 คน หรือ 0.57 เปอร์เซ็นต์เท่านั้นที่มีอัตราเฉลี่ยของร่างกายเข้าตามเกณฑ์ที่วางไว้ 6 รายการ โดยอัตราเฉลี่ยตามความคิดของ Daniels นั้นเขาให้ความเบี่ยงเบนจากจุดศูนย์กลาง 25 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ศูนย์กลางเป็นศูนย์ (0) (อารี เพชรผุด. 2536: 90-91)

3.1.6 การออกแบบเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของร่างกายด้านชีวกลศาสตร์

ด้านชีวกลศาสตร์รวมเอาศาสตร์หลายๆ สาขามาประยุกต์ใช้ร่วมกันคือ ทางด้านการวัดขนาดและสัดส่วนของร่างกาย (Anthropometry) กลศาสตร์ (Mechanics) ด้านสรีรศาสตร์ (Physiology) และด้านวิศวกรรม (Engineering) การศึกษากลไกและพฤติกรรมทางด้านชีววิทยาซึ่งเกี่ยวข้องกับขนาด สัดส่วน และส่วนประกอบเฉพาะส่วนของร่างกาย การเคลื่อนไหว ของข้อต่อ ความสัมพันธ์ของกลไกของร่างกายในการเคลื่อนไหว การสั่นสะเทือนและผลกระทบ เป็นต้น การออกแบบที่ไม่เหมาะสมกับโครงสร้างมนุษย์จะนำไปสู่การเกิดอุบัติเหตุและสุขภาพเสื่อมและผลผลิตออกมาต่ำ ความสำคัญของชีวกลศาสตร์เกี่ยวข้องกับการเดินและการยกของเป็นสำคัญ

3.1.6.1 การเคลื่อนที่โดยการก้าวเดิน (Locomotion) ตามแนวคิดทางด้านการทำงาน กลไกของการเคลื่อนไหวมีความสำคัญ หลายประการ คือ

1) การเคลื่อนไหวจะนำไปสู่ความเมื่อยล้า

2) การเข้าใจการเดินของมนุษย์จะนำไปสู่การออกแบบรองเท้าหรือ เครื่องใช้สำหรับเท้าทุกอย่าง

3) อุบัติเหตุหลายอย่างเกิดขึ้นจากการลื่นไถล

4) การเข้าใจการทำงานของขาของคนปกติจะช่วยในการออกแบบอุปกรณ์ที่จะช่วยเหลือคนพิการได้ (อารี เพชรผุด. 2536: 95)

3.1.6.2 การลื่นและการสะดุด (Slipping and Tripping) การวิเคราะห์ การก้าวเดินในท่าปกติและการเคลื่อนไหว ซึ่งเป็นวงจรช่วงที่กำลังยกเท้าขึ้นข้างหนึ่ง ส่วนของร่างกายจะแตะพื้นน้อยที่สุด คือหัวแม่เท้าของขาอีกขางหนึ่ง ขณะที่ขาอีกข้างนึ่งกำลังแกว่งไปข้างหน้า ส่วนกระดูกเชิงกรานก็จะโอนไปข้างหน้าด้วย ระยะนี้เป็นระยะที่ก่อให้เกิดการลื่นไถลได้มากที่สุด

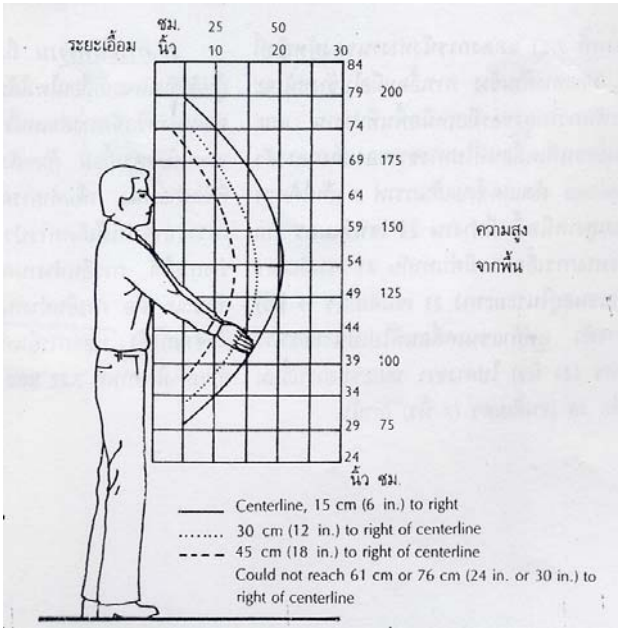
การลื่นไถลในขณะหมุนตัวหรือกลับตัวก็อาจเกิดขึ้นได้ และจะเกิดขึ้นได้มากกว่าถ้าบุคคลกำลังถือของหรือแบกของหนักๆ แล้วกลับตัว เพราะการแกว่งแขนกับการการเคลื่อนไหวของลำตัว เมื่อขาเคลื่อนไหวไม่สัมพันธ์กันหรือไม่สอดคล้องกับจังหวะการแกว่งของลำตัว แต่เมื่อบุคคลแบกของหนัก ความสอดคล้องจะไม่เกิดขึ้น ดังนั้น เวลาหมุนตัวจะต้องทำช้าๆ ให้เท้าสัมผัสพื้นมากกว่าให้มีการทรงตัวดีขึ้น(อารี เพชรผุด. 2536: 98)

3.1.7 การออกแบบเกี่ยวกับตำแหน่งอุปกรณ์ควบคุม

ในการติดตั้งหรือกำหนดตำแหน่งอุปกรณ์ควบคุมนั้นขึ้นอยู่กับสภาพการทำงานว่าจะอยู่ลักษณะใด ที่สำคัญ คือการนั่งปฏิบัติงานหรือยืนปฏิบัติงาน ดังรายละเอียด ดังนี้

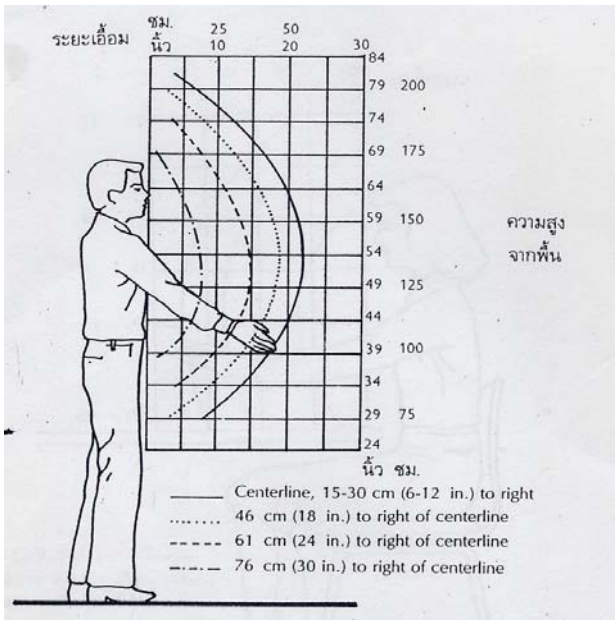
3.1.7.1 การนั่งปฏิบัติงาน ผู้ควบคุมที่นั่งปฏิบัติงานตามปกติจะนั่งอยู่หน้าอุปกรณ์ควบคุม อันเป็นตำแหน่งที่สามารถมองเห็นสภาพการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมและสื่อได้อย่างชัดเจนทั้ง 3 ด้าน คือ ด้านหน้า ด้านซ้ายและด้านขวา ทำให้ทราบได้ว่าอุปกรณ์ควบคุมนั้นทำงานได้ตามปกติหรือไม่ ในลักษณะนั่งทำงานนั้นตำแหน่งอุปกรณ์ควบคุมที่เหมาะสมสมควรอยู่ ณ ระยะทาง 15-26 เซนติเมตร (6-14 นิ้ว) จากผู้ควบคุม ระยะทางดังกล่าวนี้เหมาะสม ทำให้ผู้ควบคุมไม่ต้องโค้งหรือก้มตัวไปข้างหน้า เพื่อกด หมุน หรือบิดอุปกรณ์ควบคุม ลักษณะการทำงาน

3.1.7.2 การยืนปฏิบัติงาน ถึงแม้ว่าการทำงานในลักษณะนี้ผู้ปฏิบัติงานจะเคลื่อนไหวได้สะดวกก็ตาม แต่การกำหนดตำแหน่งหรือจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ควบคุม ไม่ควรจะทำให้การเอื้อม ก้มหลัง บิดตัวหรือการวางศีรษะที่ผิดตำแหน่ง เพื่อทำการควบคุมอุปกรณ์ควบคุมต่างๆ เพราะอาจทำให้เกิดการปวดเมื่อกล้ามเนื้อต่างๆในร่างกายได้ การยืนทำงานควบคุมอุปกรณ์แบ่งได้ 2 ลักษณะ คือ การยืนทำงานโดยใช้มือเดียว(มือขวาหรือมือซ้ายก็ได้) และการยืนทำงานโดยใช้สองมือพร้อมกัน



ภาพประกอบ 14 ตำแหน่งอุปกรณ์ควบคุม สำหรับงานยืนทำงานที่ใช้มือเดียวจับอุปกรณ์

ที่มา: ปีติ พูนไชยศรี,คณะคนอื่นๆ. (2550). เออร์กอนอมิคส์และจิตวิทยาในการทำงาน. หน่วยที่ 1-7.หน้า 338.



ภาพประกอบ 15 ตำแหน่งอุปกรณ์ควบคุม สำหรับงานยืนทำงานที่ใช้มือสองข้างจับอุปกรณ์

ที่มา: ปีติ พูนไชยศรี,คณะ. (2550).เออร์กอนอมิคส์และจิตวิทยาในการทำงาน.หน่วยที่ 1-7.หน้า 338.

จากภาพประกอบ 14 แสดงการยืนปฏิบัติโดยใช้ มือขวามือเดียว (โดยที่มือซ้ายก็มีระยะทางในการปฏิบัติงานเช่นเดียวกับมือขวา) ในลักษณะการปฏิบัติงานดังกล่าวผู้ปฏิบัติงานไม่เอื้อมมือหรือเอนตัวไปข้างหน้า ระยะทางของตำแหน่งอุปกรณ์ที่เหมาะสมจะมีค่า 46 เซนติเมตร (18 นิ้ว) และอุปกรณ์ควบคุมนั้นอยู่สูงจากพื้นประมาณ 110-165 เซนติเมตร (43-65 นิ้ว)

จากภาพประกอบ 15 เป็นการยืนทำงานที่ใช้มือสองข้างจับอุปกรณ์ควบคุมสองอัน ระยะทางของตำแหน่งอุปกรณ์ควบคุมที่อยู่ข้างหน้าของผู้ปฏิบัติงานนั้นจะมีระยะทางสั้นกว่าการใช้มือเดียวเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจาก การเคลื่อนไหวของแขนซ้ายและขวา มาทางขวาและซ้ายตามลำดับ ทำให้ระยะทางที่ถนัดลดลง ดังนั้นระยะห่างที่ เอื้อมมากที่สุดมาข้างหน้าถึงตำแหน่งของอุปกรณ์ควบคุม(ประมาณ 51 เซนติเมตร หรือ 20 นิ้ว) จะอยู่ในช่วง 15 เซนติเมตร (6 นิ้ว) แต่ละข้างของเส้นกลางตัว ระยะทางไกลสุดของตำแหน่งอุปกรณ์ทางด้านข้างที่ผู้ปฏิบัติงานต้องใช้สองมือเอื้อมจะมีค่าเพียง 46 เซนติเมตร (18 นิ้ว) จากเส้นกลางลำตัว และที่จุดนี้ ถ้าผู้ปฏิบัติงานจะควบคุม โดยไม่ต้องเอื้อม หรือโค้งตัวไปข้างหน้าเลยก็จะมีค่าเท่ากับ 36 เซนติเมตร (14 นิ้ว) เท่านั้น (ปีติ พูนไชยศรี,คณะ.2550 : 336-339)

เนคเทค (ผู้จัดการออนไลน์- http://www.sizethailand.org) เปิดตัวผลวิจัย “มาตรฐานไซส์ไทย” ครั้งแรกในประวัติศาสตร์ โชว์ล้ำนวัตกรรม 3D Scanner ถ่ายภาพ 3 มิติเก็บข้อมูลกว่า 13,000 ตัวอย่างหาค่าเฉลี่ยไซส์มาตรฐานของคนไทย ด้านดร.จุฬาลักษณ์ ตันประเสริฐ นักวิจัยผู้ริเริ่มโครงการดังกล่าวระบุว่า ได้สำรวจข้อมูลรูปร่างของอาสาสมัครจำนวน 13,442 ราย ด้วยเครื่อง 3D Scanner ที่จะยิงแสงขาวซึ่งไม่เป็นอันตราย มีลักษณะเหมือนแสงนีออน ไปบนร่างของอาสาสมัคร จากนั้นเซ็นเซอร์ 12 ตัวจะประมวลผลโครงสร้างของร่างกายและเชื่อมโยงให้เป็นภาพ 3 มิติด้วยซอฟต์แวร์ Swarm Intelligence เพื่อประมวลผลอย่างไรก็ตาม ดร.จุฬาลักษณ์กล่าวต่ออีกว่า ผลสรุปจากโครงการนี้พบว่า สัดส่วนจากค่าดัชนีมวลกาย BMI ของ ชายไทย ที่มีสัดส่วนปกติมีจำนวน 36.21% จากตัวอย่างอาสาสมัครทั้หมด ท้วมถึงอ้วนมากอยู่ที่ 58.43% และผอม 5.36% ส่วนหญิงไทยที่สัดส่วนปกติอยู่ที่ 42.26% ท้วมถึงอ้วนมากมีจำนวน 48.05% และผอม 9.69%

สัดส่วนผู้ชายโดยเฉลี่ย พบว่า น้ำหนักเท่ากับ 68.9 กก. สูง 169.4 ซม. รอบอก 39.1 นิ้ว รอบเอว 33.5 นิ้ว และสะโพก 37.4 นิ้ว ในขณะที่ ดร.พันธ์ศักดิ์ ศิริรัชตพงษ์ ผอ.เนคเทค สวทช. กล่าวเสริมว่า เมื่อเปรียบเทียบผลการสำรวจด้วยมือ โดยสำนักงานผลิตภัณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม เมื่อปี 2525 พบว่า โดยเฉลี่ยแล้วผู้หญิงไทยอายุไม่เกิน 50 ปี สูงขึ้น 5 ซม. และน้ำหนักขึ้น 5.4 ก.ก. เอวขยายเพิ่มถึง 3.7 นิ้ว สะโพกเพิ่ม 2 นิ้ว และอกเพิ่ม 2.2 นิ้ว

"ส่วนผู้ชายไม่เกิน 50 ปี สูงขึ้น 7.2 ซม. นักเพิ่ม 11.4 ก.ก. อกเพิ่ม 5.4 นิ้ว เอวเพิ่ม 4 นิ้ว และรอบสะโพกขึ้น 3.4 นิ้ว ค่าเฉลี่ยในผู้หญิงน้ำหนักเท่ากับ 57.4 กก. สูง 156.9 ซม. รอบอก 36 นิ้ว รอบเอว 31.5 นิ้ว และสะโพก 38 นิ้ว ซึ่งทำให้สรุปได้ว่า มาตรฐานรูปร่างคนไทยเพิ่มขึ้นทั้งความสูงและน้ำหนัก โดยชายไทยสูงขึ้น 7 ซม. อ้วนขึ้นเกือบ 12 ก.ก. และหญิงไทยสูงขึ้น 5 ซม. และหนักขึ้น 5.5 กก.หากเทียบกับ 25 ปีก่อน”

ตาราง 11 ค่าเฉลี่ยรูปร่างของคนไทย

เพศ	น้ำหนัก (กก.)	ส่วนสูง (ซม.)	รอบอก		รอบเอว		รอบสะโพก	
			นิ้ว	เซ็นติเมตร	นิ้ว	เซ็นติเมตร	นิ้ว	เซ็นติเมตร
ชาย	68.83	169.46	39.10	99.20	33.50	84.79	37.40	95.0
หญิง	57.40	157.00	36.00	91.09	31.50	79.83	38.50	97.8

ที่มา- ผู้จัดการออนไลน์- http://www.sizethailand.org.

ตาราง 12 ค่าเฉลี่ยแยกตามกลุ่มช่วงอายุผู้ชาย

กลุ่มอายุ	น้ำหนัก (กก.)	ส่วนสูง (ซม.)	รอบอก		รอบเอว		รอบสะโพก	
			นิ้ว	เซ็นติเมตร	นิ้ว	เซ็นติเมตร	นิ้ว	เซ็นติเมตร
16-25	64.24	171.36	37.60	95.03	30.60	77.16	36.40	92.08
26-35	70.22	170.98	39.30	99.82	33.00	83.75	37.60	95.51
36-45	71.01	169.49	39.80	100.90	34.10	86.46	37.80	96.00
46-59	71.07	168.17	39.80	101.10	35.00	88.89	37.90	96.17
60 ขึ้นไป	66.75	165.57	38.70	98.44	34.90	88.62	37.20	94.42

ที่มา- ผู้จัดการออนไลน์- http://www.sizethailand.org.

ตาราง 13 ค่าเฉลี่ยแยกตามกลุ่มช่วงอายุผู้หญิง

กลุ่มอายุ	น้ำหนัก (กก.)	ส่วนสูง (ซม.)	รอบอก		รอบเอว		รอบสะโพก	
			นิ้ว	เซ็นติเมตร	นิ้ว	เซ็นติเมตร	นิ้ว	เซ็นติเมตร
16-25	52.70	159.32	33.60	84.89	28.60	72.67	36.30	92.22
26-35	56.26	158.28	35.00	88.42	30.40	76.99	37.60	95.32
36-45	59.79	157.27	36.30	91.80	31.70	80.34	38.40	97.18
46-59	60.05	155.56	37.40	94.82	33.10	84.03	38.80	98.49
60 ขึ้นไป	58.58	153.49	37.60	95.51	33.80	85.81	38.70	98.22

ที่มา- ผู้จัดการออนไลน์- http://www.sizethailand.org.

ตาราง 14 ตารางเปรียบเทียบผลการสำรวจของ สมอ. กับ Size Thailand - ผู้ชาย

สัดส่วน	โครงการสำรวจปี พ.ศ.	อายุ 17-19 ปี	อายุ 20-29 ปี	อายุ 30-39 ปี	อายุ 40-49 ปี
ความสูง (เซ็นติเมตร)	2524-2525	164.4	164.2	163.4	162.4
	2529-2530	166.7	166.5	166.2	164.8
	2536-2537	167.0	167.0	166.0	165.0
	2543-2544	168.4	167.2	166.6	166.0
	Size Thailand	172.3	171.4	170.2	169.2
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	2524-2525	52.8	55.2	58.3	60.4
	2529-2530	55.2	57.4	61.4	64.1
	2536-2537	56.3	59.3	62.2	63.3
	2543-2544	59.2	60.1	64.3	66.4
	Size Thailand	63.3	67.1	71.0	71.1
รอบอก (เซ็นติเมตร)	2524-2525	80.0	83.1	85.3	87.8
	2529-2530	82.0	84.5	87.9	90.3
	2536-2537	82.3	85.2	88.0	89.5
	2543-2544	83.3	84.4	87.9	89.5
	Size Thailand	93.8	96.9	100.0	100.4
รอบเอว (เซ็นติเมตร)	2524-2525	66.0	69.3	74.5	78.5
	2529-2530	69.6	72.4	78.4	82.8
	2536-2537	69.7	73.0	78.0	81.4
	2543-2544	74.1	75.4	80.1	83.2
	Size Thailand	75.7	80.1	85.5	87.5
รอบสะโพก (เซ็นติเมตร)	2524-2525	83.6	84.6	86.8	88.2
	2529-2530	85.2	86.5	89.1	90.7
	2536-2537	85.6	87.4	89.6	90.4
	2543-2544	87.2	87.6	90.3	91.4
	Size Thailand	91.4	93.8	96.1	96.1

ที่มา- ผู้จัดการออนไลน์- http://www.sizethailand.org.

ตาราง 15 ตารางเปรียบเทียบผลการสำรวจของ สมอ. กับ Size Thailand – ผู้หญิง

สัดส่วน	โครงการสำรวจปี พ.ศ.	อายุ 17-19 ปี	อายุ 20-29 ปี	อายุ 30-39 ปี	อายุ 40-49 ปี
ความสูง (เซ็นติเมตร)	2524-2525	153.9	153.4	152.9	152.9
	2529-2530	154.6	154.2	153.8	153.3
	2536-2537	155.8	155.4	154.9	153.9
	2543-2544	155.9	155.7	154.7	153.8
	Size Thailand	159.5	159.0	157.8	157.0
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	2524-2525	47.1	47.7	51.5	54.8
	2529-2530	48.1	48.3	51.0	54.6
	2536-2537	48.7	49.1	52.5	55.1
	2543-2544	49.2	50.2	53.5	56.5
	Size Thailand	51.7	53.9	57.5	59.8
รอบอก (เซ็นติเมตร)	2524-2525	80.0	80.6	84.1	87.7
	2529-2530	81.8	81.6	84.3	87.6
	2536-2537	81.4	82.1	85.2	88.7
	2543-2544	81.9	82.7	86.2	89.5
	Size Thailand	84.6	86.3	90.2	93.4
รอบเอว (เซ็นติเมตร)	2524-2525	63.5	64.3	68.9	72.7
	2529-2530	62.5	62.5	66.4	70.7
	2536-2537	64.9	65.0	69.3	73.4
	2543-2544	64.3	65.5	68.9	72.6
	Size Thailand	71.7	74.1	78.8	81.9
รอบสะโพก (เซ็นติเมตร)	2524-2525	87.1	87.9	90.8	93.0
	2529-2530	87.6	87.8	90.2	92.4
	2536-2537	88.0	88.4	91.2	93.0
	2543-2544	88.5	89.1	91.5	93.6
	Size Thailand	91.3	93.3	96.4	98.0

ที่มา- ผู้จัดการออนไลน์- http://www.sizethailand.org.

3.1.8 การออกแบบเกี่ยวกับความเครียดและความล้าในการทำงาน

เมื่อเอ่ยถึงความเครียดและความล้าแล้ว คนทั่วไปนึกถึงเรื่องของความคิด ความรู้สึก หรืออารมณ์ที่ถูกบีบคั้น ความวิตกกังวล ความเครียดแค้น ความโศกเศร้าเหงาหงอย หรือความกดดันทางจิตใจแต่ความเป็นจริงแล้ว ความเครียดและความล้า มีความหมายกว้างขวางกว่านี้ เพราะครอบคลุมความเครียดและความล้าที่เกิดกับร่างกายและจิตใจ ทั้งที่เห็นได้ชัดเจนและซ่อนเร้น และเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นทุกวัน เนื่องจากเป็นธรรมชาติของคนที่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาทั้งภายในและภายนอกของตัวบุคคล เช่น การทำงานในชีวิตประจำวันสร้างแรงกดดันให้หัวใจ ปอด และอวัยวะต่าง ๆต้องทำงานต้องทำงานใช้ชีวิตดำรงอยู่ได้ ดังนั้นน้ำหนักที่ร่างกายต้องแบกโดยเฉพาะคนอ้วน จะทำให้ข้อต่อที่หัวเข่าถูกกดดันเพิ่มขึ้น สิ่งเหล่านี้เป็นแรงกดดันที่เกิดต่อร่างกายทั้งยังเกิดขึ้นตลอดชีวิตและอาจสั่งเกตได้ง่าย แต่ก็มีปัจจัยบางอย่างที่ทำให้เกิดความเครียดและความล้าอย่างค่อยเป็นค่อยไปหรือสังเกตได้ไม่ชัดเจน เช่น ความยากของการทำงาน การปรับตัวต่อสิ่งแวดล้อม การทำงานร่วมกับกลุ่ม และความไม่พอใจของผู้อื่น สิ่งเหล่านี้มีอิทธิพลต่อผู้ปฏิบัติงานตลอดเวลา หากเกิดที่บุคคลนั้นจะทนได้ก็จะเกิดเป็นความเครียดและความล้า แต่ถ้าไม่มีความเครียดและความล้าเสียบ้างเลย บุคคลนั้นก็อาจจะเป็นคนเฉื่อยชา และขาดแรงกระตุ้นในการดำรงชีวิตหรือในการทำงานไปก็ได้

ทำอย่างไรให้ผู้ปฏิบัติงานจึงจะเข้าใจสาเหตุและหาวิธีป้องกันหรือแก้ไขความเครียดและความล้าก่อนที่จะกลายเป็นความเครียดและความล้าที่เรื้อรังจนบั่นทอนสุขภาพกายและจิตหรือจะทำให้หย่อนประสิทธิภาพในการทำงานไปโดยเฉพาะในสังคมไทยซึ่งเปลี่ยนแปลงความก้าวหน้าและกำลังพัฒนาจากสังคมเกษตรกรรมไปสู่สังคมกึ่งอุตสาหกรรมหรือสังคมอุตสาหกรรมใหม่ ซึ่งทุกคนต้องทำงานหนักขึ้น ต้องพัฒนาตนเองให้ทันกับความเจริญทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จะต้องเผชิญกับความกดดันจากภาวะทางเศรษฐกิจ สังคม การเมือง การแข่งขันของหน่วยงานและกาแข่งขันภายในกลุ่ม จึงทำให้ผู้ปฏิบัติงานมีแนวโน้มที่จะเผชิญกับความเครียดและความล้าและภาวะสุขภาพจิตเสื่อมมากขึ้นในชีวิตทำงานสมัยใหม่

ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานจึงต้องศึกษาเพื่อความเข้าใจและนำความรู้ทางจิตวิทยาไปใช้ในการทำงาน เพื่อให้สามารถปรับตัวเข้ากับสิ่งแวดล้อมของงานและพัฒนาตนเองให้ทำงานอย่างเป็นสุขด้วย

ความล้า(Fatigue) (มนูญ ตนะวัฒนา อ้างใน วิฑูรย์ สิมะโชคดี,กฤษฎา ชัยกุล.2537:48-49)ได้อธิบายถึงความหมายและสาเหตุของความล้า จากงานวิจัยของแมคฟาร์แลนด์ พบว่า “เป็นสถานภาพทางจิตใจและทางกายที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ด้วยการปรับปรุงสมรรถภาพให้ดีขึ้นหรือให้เป็นปกติ” และจากความหมายของมัสซิโอ ว่า “สภาพที่มีสาเหตุจากการทำงานที่มีแนวโน้มทำให้ผลผลิตลดลง และระดับความเหนื่อยล้ามีแนวโน้มโดยตรงต่อผลผลิตที่ลดลงนี้” สำหรับสาเหตุที่ทำให้กล้ามเนื้ออ่อนล้ามาจาก ระยะเวลาของการทำงาน ความเร็วของงานการขยายตัวของกล้ามเนื้อที่ใช้งานและความตึงเครียดที่มีอยู่ในงาน นอกจากนี้ผู้ปฏิบัติงานอุตสาหกรรมความล้า

ไม่ได้เกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นกับสภาพร่างกายของบุคคลนั้นในด้านความแข็งแรง และความอดทน และการเตรียมพร้อม นอกจากนี้ความล้าที่เกิดขึ้นยังเกิดในอันตรายที่แตกต่างกัน

อย่างไรก็ตาม มักจะมีผู้นิยมเรียกความกดดันทางอารมณ์และจิตใจว่าเป็นความเครียด และเรียกความกดดันทางร่างกายว่าเป็นความล้า ความเครียดและความล้าควบคู่กันไปโดยจะรวมหมายถึง"สภาพความกดดัน ที่ทำให้บุคคลทุกกระตุ้นให้ทำงานจนตกอยู่ในสภาพซึ่งแสดงออกทางพฤติกรรมที่แสดงออกทางกาย ทางจิตใจ ทางสติปัญญาและทางสังคม จนร่างกายและจิตใจเกิดการเปลี่ยนแปลงไปในทางเสื่อมลง

ประเภทของความเครียดและความล้า

ความเครียดและความล้าแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1.)ความเครียดและความล้าทางกาย(Physiological stress and fatigue) เป็นความเครียดและความล้าที่เกิดจากตัวกระตุ้นที่กระทำต่อร่างกายไม่ว่าจะเป็นทางกายภาพ เช่น ความร้อน แสง เสียง สารเคมีและเชื้อโรค หรือเกิดจากความต้องการของร่างกายเอง เช่น ความหิว ความต้องการการขับถ่ายและความต้องการทางเพศ เป็นต้น สิ่งเหล่านี้ทำให้เกิดความเครียดและความล้าได้ทั้งสิ้น

2.)ความเครียดและความล้าทางจิตใจ(Psychological stress and fatigue) ได้แก่ ความเครียดและความล้าที่เกิดจากเรื่องราวที่มากระทบจิตใจ ทำให้เกิดความทุกข์ทรมานใจ เช่น การพลัดพรากจากสิ่งที่รัก การสูญเสียบุคคลอันเป็นที่รัก การพบปะหรืออยู่ร่วมกับบุคคลที่ตนเองเกลียด การที่ทำอะไรฝืนความรู้สึกของตนเอง การถูกกักขังหน่วงเหนี่ยว และการสูญเสียเงินทองหรือเกียรติยศเป็นต้น

โดยทั่วไปแล้วความเครียดและความล้ามักเกิดได้พร้อมกันทั้งกายและจิตใจจากตัวกระตุ้นเดียวกัน หรือเกิดจากตัวกระตุ้นที่ไม่ได้ทันมากระทบตัวบุคคลก็ได้ เพียงแต่คาดคะเนก็เครียดไปก่อนแล้ว ดังนั้นความเครียดและความล้าจึงเกิดจากตัวกระตุ้นทั้งที่เป็นรูปธรรมและนามธรรมและเกิดจากการกระตุ้นทั้งในอดีต ปัจจุบันและอนาคต

3.1.9 การตรวจวัดความเมื่อยล้า

นักวิทยาการจัดสภาพงานการทำการตรวจวัดความเมื่อยล้า โดยมีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1.)เพื่อที่จะศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเมื่อยล้ากับระดับความเค้นหรือระหว่างความเมื่อยล้ากับผลผลิตจากการปฏิบัติงาน

2.)เพื่อนำผลการตรวจวัดวิเคราะห์ เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงสภาวะและสิ่งแวดล้อมในการทำงาน

ในทางปฏิบัติ นักวิทยาการจัดสภาพงานหรือนักวิชาการที่เกี่ยวข้องไม่สามารถตรวจวัดความเมื่อยล้าได้โดยตรง ผลของการตรวจวัดจะได้มาเพียงตัวชี้ที่แสดงให้เห็นว่ามีความเมื่อยล้าเกิดเท่านั้น

วิธีการตรวจวัด เพื่อชี้ให้เห็นว่ามีความเมื่อยล้าเกิดขึ้น มีดังต่อไปนี้

1. การบันทึกผลจากการสอบถามถึงลักษณะอาการหรือความรู้สึก โดยใช้แบบสอบถามที่ออกแบบไว้ล่วงหน้า(Subjective Fatigue Feelings)

2. การใช้เครื่องมืออีเล็กทรอนิกส์ที่สามารถบันทึกเป็นกราฟ ตรวจวัดคลื่นกระแสไฟฟ้าผ่านระบบประสาทส่วนต่างๆ ของร่างกาย (Electroencephalography)

3. การทดสอบการสั่งงานของสมองผ่านทางการตอบสนองของร่างกาย (Psychomotor Tests)

4. การทดสอบการทำงานของสมองในการแก้ปัญหา (Mental Tests)

5. การตรวจวัด “Flicker-Fusion Frequency”

6. การตรวจวัดโดยประเมินผ่านทางคุณภาพและปริมาณของผลผลิต

ผลของการตรวจวัดความเมื่อยล้า 6 วิธีดังกล่าว จะชี้ให้เห็นว่ามีความเมื่อยล้าเกิดขึ้น 2 รูปแบบใหญ่ๆ คือ มีความรู้สึกหรืออาการ (Subjective Feelings) และการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้จากการตอบสนองทั้งภายในและภายนอกของร่างกาย (physical Factors) การประเมินความเมื่อยล้าที่จะให้ผลเป็นที่น่าเชื่อถือนั้น ต้องดำเนินการตรวจวัดให้ครอบคลุมทั้ง 2 รูปแบบคือ ต้องใช้วิธีการตรวจวัดแบบที่ 1 ประกอบกับการตรวจวัดฯแบบที่ 3, 4 เสริม เพื่อนำเอาผลมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์และใช้วิธีการตรวจวัดฯ แบบที่ 6 เพื่อสนับสนุนทางอ้อมในกรณีที่มีความสัมพันธ์กัน (วิฑูรย์ สิมะโชคดี, กฤษฎา ชัยกุล.2537:48-49)

ความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ (Muscular Fatigue) หมายถึง ความรู้สึกที่เกิดขึ้น โดยมีการลดประสิทธิภาพการทำงานของกล้ามเนื้อ เนื่องจากการทำงานเป็นระยะเวลานาน หรือทำงานหนักเกินไป แกรนจีน กล่าวว่า เมื่อร่างกายเรามีอาการเกิดความเมื่อล้าของกล้ามเนื้อ เราทราบได้จาก 1. อาการที่พบเห็นได้ด้วยตาเปล่า คือ ความสามารถในการกระทำกิจกรรมนั้นๆลดลง 2. การเปลี่ยนแปลงด้านชีวเคมี จะเกิดกรดแลกติคและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นในกล้ามเนื้อ ทำให้เกิดสภาพความเป็นกรดมากขึ้น 3.ปรากฏการณ์ทางสรีระไฟฟ้า เมื่อกล้ามเนื้อทำงานจนอ่อนล้าจะเกิดการกระตุ้นทางไฟฟ้าที่ผิวหนัง ซึ่งเป็นผลมาจากระบบประสาทส่วนกลาง 4.คลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อที่ล้า

การวัดความรู้สึกความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อทางใจโดยใช้แบบสอบถาม หรือการสอบถามนั้นเป็นเรื่องยากเพราะเป็นความรู้สึกที่ซับซ้อนมากและจะแตกต่างกันไปตามระดับและชนิดของกิจกรรม ซึ่งอาจเกิดจากความเหนื่อยอ่อนที่บริเวณกล้ามเนื้อที่ใช้งานหรือเกิดจากความง่วงนอนหรือความเบื่อหน่าย ซึ่งมีความแตกต่างกันแล้วแต่เฉพาะบุคคล แต่การการวัดความ

เมื่อยล้าของกล้ามเนื้อทางกายจะสามารถหาค่าที่ชัดเจนกว่าและได้ค่าที่กล้ามเนื้อได้ใช้งานไปโดยตรงถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือมากกว่า (ณัฐธิดา บังเมฆ.2547: 16).

การวัดความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อด้วยเครื่องมือวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ขณะที่กล้ามเนื้อมีการทำงานนั้นจะเกิดคลื่นไฟฟ้าบนกล้ามเนื้อ การหดตัวจะก่อให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้า และจะมากขึ้นถ้ากล้ามเนื้อมีการเกร็งตัวหรือหดตัวมาก ความต่างศักย์ที่วัดได้ที่ผิวหนังของกล้ามเนื้อนี้ จะเป็นผลรวมของการทำงานของหน่วยยนต์(Motor Unit) หลายๆหน่วย และใช้อธิบายถึงกิจกรรมที่กล้ามเนื้อนั้นๆทำงาน ความต่างศักย์นี้สามารถวัดได้ตั้งแต่ 1 มิวโวลต์ ถึง 5,000 มิวโวลต์ โดยเครื่องอีเอ็มจี (EMG) นี้จะวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อผ่านทางอิเลคโทรดและสายเคเบิล โดยสามารถวัดได้ทั้งข้อมูลดิบและข้อมูลเฉลี่ย ค่าที่วัดได้จะถูกบันทึกในหน่วยความจำที่สอดเข้าไปที่ส่วนล่างของตัวเครื่อง-ME3000 และข้อมูลจะถ่ายเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้สายออฟติคอล เพื่อทำการวิเคราะห์ผลต่อไป (ณัฐธิดา บังเมฆ. 20). จากหลักการทำงานของเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ(EMG) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ที่กำลังเป็นที่นิยมมาก และใช้เป็นค่ามาตรฐานวิธีหนึ่งในการศึกษาการเคลื่อนไหว การหดตัวของกล้ามเนื้อ ตลอดทั้งประยุกต์เพื่อใช้ศึกษาความล้าจากการเปลี่ยนแปลงของเมมเบรน ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อที่ห่อหุ้มเซลล์ในร่างกายทำให้เกิดค่าความต่างศักย์ในปลายประสาทหรือเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ (ณัฐธิดา บังเมฆ.2547: 21).

จากการศึกษาข้อมูลข้างต้น พบว่า คนกับเครื่องจักรจะต้องทำงานสัมพันธ์กัน ซึ่งการออกแบบที่ไม่เหมาะสม ทำให้การทำงานของร่างกาย ได้แก่ กระดูกข้อต่อและกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการทำงานเกิดความเมื่อยล้าได้ ซึ่งสามารถวัดได้ด้วยวิธีการตรวจวัดข้างต้น เพื่อชี้ให้เห็นว่ามีความเมื่อยล้าเกิดขึ้น ดังนั้น ผู้วิจัยจึงนำข้อมูลไปวิเคราะห์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า โดยพิจารณาคนกับเครื่องจักรจะต้องเหมาะสมกัน ไม่ว่าในระบบควบคุม ขนาด ระยะทาง และทิศทางในการควบคุม จึงจะทำให้การทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งคนและเครื่องจักร

3.2 การพัฒนาเครื่องชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า

ในการพัฒนาเครื่องชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการของชุบเบื้องต้นมาใช้ในการออกแบบและพัฒนา โดยศึกษาเกี่ยวกับเครื่องมือ อุปกรณ์ และเครื่องชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าชนิดต่างๆที่ผู้ผลิตได้พัฒนาเพื่อจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไป ดังนี้

3.2.1 เครื่องมือ อุปกรณ์

3.2.1.1 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Rectifier) เป็นอุปกรณ์สำคัญมาก เนื่องจากว่าการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าต้องใช้กระแสไฟฟ้าชนิดกระแสตรง ฉะนั้น Rectifier จึงต้องใช้เพื่อแปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับมาเป็นกระแสตรง ขนาดของ Rectifier ที่กำหนดในการชุบโลหะด้วยไฟฟ้านั้นใช้ขนาดแรงเคลื่อนไม่เกิน 12 โวลต์ สำหรับกระแสไฟฟ้าจำนวนมากน้อยแค่ไหน ก็ต้องขึ้นอยู่กับขนาดและจำนวนเนื้อที่ของชิ้นงานที่จะชุบแต่ละครั้ง ของกระแสไฟฟ้านั้น

จะต้องได้ระบุ ไว้ในเรื่องการชุบแต่ละประเภท ซึ่งน้ำยาชุบแต่ละชนิดใช้กระแสไฟฟ้าไม่เท่ากัน เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าขนาด 12 โวลต์ สามารถใช้กับถังชุบหลายๆ ถังก็ได้ ถ้าหากมีแอมแปร์สูงพอ แต่หากว่า Rectifier 1 ตัวใช้กับถังชุบ 1 ถัง ก็จะสะดวกในการควบคุมกระแสไฟฟ้าของแต่ละถัง แต่หากว่าจำเป็นต้องใช้กันหลายๆถังก็จะต้องตั้งแผงควบคุมกระแสไฟฟ้าแต่ละถัง

3.2.1.2 ทางเดินกระแสไฟฟ้า (Bus bars) หมายถึง ทางเดินของไฟฟ้าจาก Rectifier ไปยังถังชุบต่างๆ โดยทั่วไปแล้วใช้ทองแดงเส้นแบน และอลูมิเนียม

3.2.1.3 ถังบรรจุน้ำยาชุบ(Barrel) โดยทั่วไปไปใช้ถังด้วยเหล็กแล้วบุภายในด้วยวัสดุที่ทนสภาพน้ำยาชุบที่เป็นกรดหรือด่าง

ถังเหล็กธรรมดา ที่ไม่ได้บุภายใน จะต้องเชื่อมทั้งข้างในและข้างนอก ถังเหล็กนี้ใช้บรรจุน้ำยาที่มีฤทธิ์เป็นด่าง เช่น น้ำยาทำความสะอาด น้ำยาไซยาไนด์เจือจาง น้ำยาทองแดงไซยาไนด์

ถังโพลีทีน เหมาะในการใช้กับการกัดสนิมและน้ำยาชุบที่เป็นกรด

ถังไฟเบอร์กลาส ปัจจุบันมีการใช้กันอย่างกว้างขวาง เหมาะสำหรับน้ำล้าง กรดเจือจาง แต่ไม่ขอแนะนำให้ใช้กับสารเคมีฤทธิ์ด่าง

ถังสแตนเลส สามารถใช้บรรจุกรดดินประสิว และกรดที่มีออกซิเจนผสมอยู่ เช่น กรดโครมิค และกรดกำมะถัน ถังสแตนเลสไม่เหมาะที่จะใช้กับกรดเกลือ

ถังเหล็กบุภายในด้วย พี.วี.ซี. สามารถบรรจุน้ำยาชุบได้ทุกชนิดที่ทำงานในอุณหภูมิที่ไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส ถังเหล็กบุภายในด้วยตะกั่ว เหมาะกับน้ำยาชุบโครเมี่ยม

3.2.1.4 เครื่องทำความร้อนด้วยไฟฟ้า (Heater) เครื่องทำความร้อนด้วยไฟฟ้านี้หุ้มภายนอกด้วยโลหะ เช่น หุ้มด้วยสแตนเลส หุ้มด้วยติเตเนี่ยมและหุ้มด้วยซิลิก้า ปกติเวลาใช้จะแขวนไว้ในถังให้อยู่ในแนวดิ่ง การติดตั้งเครื่องทำความร้อนในถังชุบที่บุด้วยยางหรือพลาสติกต้องมีช่องว่างระหว่างข้างถังพอ เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้ผนังถังได้รับความร้อนมากเกินไป การที่จะทำให้เครื่องทำความร้อนด้วยไฟฟ้ามีประสิทธิภาพในการใช้งานดี ต้องหมั่นทำความสะอาดผิวให้สะอาดอยู่เสมอ

เครื่องทำความร้อนที่หุ้มด้วยโลหะ ชนิดต่างๆ ได้แก่

เครื่องทำความร้อนที่หุ้มด้วยเหล็กกล้า ใช้กับน้ำยาไซยาไนด์และด่างทุกชนิด

เครื่องทำความร้อนที่หุ้มด้วยสแตนเลส ใช้กับถังน้ำร้อนล้าง กรดฟอสฟอริคและกรดโครมิค

เครื่องทำความร้อนที่หุ้มด้วยติเตเนียม ใช้กับน้ำยาชุบนิเกิลและโครเมียม

3.2.1.5 ปั้มลม (Pump) ใช้กวนน้ำยาชุบด้วยลม ปกติใช้เครื่องอัดลมที่มีความดันต่ำ โดยนำท่อทางเดินของลมวางอยู่ก้นถัง ปกติวางอยู่ตรงกับราวที่แขวนชิ้นงานลมที่นำไปใช้เป่ากวนน้ำยาจำเป็นจะต้องเป็นลมที่ปราศจากน้ำมันหรือเศษผงปฏิกูล ถ้าสิ่งสกปรกเหล่านี้ตกลงไปปนอยู่ในน้ำยาชุบแล้ว จะเป็นเหตุทำให้การชุบไม่ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ ฉะนั้นจึงควรใช้เครื่องปั้มลมที่ใช้น้ำหล่อลื่น เพราะเครื่องปั้มลมชนิดนี้ ครึ่งล่าของท่อที่รับแรงอัดบรรจุด้วยน้ำ สิ่ง

สำคัญจะต้องทำการตรวจสอบระดับน้ำทุกวัน เพื่อรักษาระดับให้ถูกต้องเมื่อใช้เครื่องไปประมาณ 1 เดือน ควรเปลี่ยนน้ำ

3.2.1.6 เครื่องกรองน้ำยา (Filter) ใช้กรองน้ำยาชุบ น้ำยาที่เป่าด้วยลมหรือทำงานที่มีความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูง สิ่งสกปรกที่อยู่ในถังน้ำจะลอยตัววนเวียนกระจัดกระจายอยู่ทั่วไป แทนที่จะนอนอยู่ก้นถังเพราะฉะนั้นการกรองน้ำยาจึงจำเป็นสิ่งเป็นอย่างยิ่ง เพราะถ้าหากว่าปล่อยให้สิ่งสกปรกที่ลอยวนเวียนอยู่ในน้ำยามาเกาะที่ชิ้นงาน ทำให้ผิวงานหยาบ อันเนื่องมาจากสิ่งสกปรกที่อยู่ในน้ำยานั้นเอง ปกติเครื่องกรองน้ำยาชุบทุกชนิด เมื่อสั่งซื้อควรกำหนดด้วยว่าจะใช้กรองน้ำยาชนิดไหนและไม่ควรใช้เครื่องกรองเครื่องเดียวกันสำหรับกรองน้ำยาชุบทุกชนิด

สิ่งที่ช่วยในการกรอง คือ ไส้กรอง

-แผ่นกระดาษกรอง สามารถใช้แทนผ้ากรองทำหน้าที่กรองพร้อมกับถ่านคาร์บอนโดยทำงานในเวลาเดียวกัน

-โพลีพรอพพิลีน เหมาะสำหรับใช้กรองน้ำยาชุบทุกชนิด ยกเว้นน้ำยาโครเมี่ยม

-ผ้าฝ้าย เหมาะสำหรับน้ำยาที่มีค่า พี.เอช. อยู่ระหว่าง 3 ถึง 7

-ผ้าไนล่อน เหมาะสำหรับน้ำยาที่ด่างหรือไซยาไนด์

-ผ้าเทริลีน เหมาะสำหรับน้ำยาที่มีฤทธิ์เป็นกรดมากๆ เช่น น้ำยาชุบทองแดงชนิดกรด น้ำยาชุบดีบุก และน้ำยาที่มีฟลูโอบอเรท (อนันต์ ทองมอญ.2539:1-5)

3.2.1.7 ฮีทเตอร์ (Heater) เป็นอุปกรณ์ทำความร้อนในอุตสาหกรรม ที่มีหลักการพื้นฐานคือ เมื่อมีกระแสไหลผ่านลวดตัวนำที่มีค่าความต้านทานสูง ลวดตัวนำจะร้อน ดังนั้น ลวดที่ใช้ผลิตฮีทเตอร์จะต้องมีคุณสมบัติเหนียวและทนอุณหภูมิได้สูง สำหรับลวดฮีตเตอร์ของ NH เป็นลวด Khantal (นิกเกิ้ล: โครเมียม / 80: 20) ทนอุณหภูมิได้ถึง 1250 °C ส่วนประกอบอื่น ๆ ในการผลิตฮีทเตอร์มีดังนี้

ฉนวนแม็กนีเซียมออกไซด์ (MgO) มีค่าความนำไฟฟ้าต่ำแต่นำความร้อนดีมาก ทำหน้าที่กั้นกลางระหว่างลวดฮีตเตอร์กับปลอกโลหะ เพื่อป้องกันไม่ให้มีกระแสรั่ว (Leak Current) จากลวดฮีทเตอร์ออกไปยังผิวโลหะ จุดสำคัญคือห้ามมีความชื้นในฉนวนเด็ดขาดเพราะจะทำให้ค่าความนำไฟฟ้าสูงขึ้น หากมีความชื้นแก้ไขได้โดยการอบในเตาอบ

-ท่อสแตนเลส ที่มีความหนามากเป็นพิเศษ ทำให้ทนอุณหภูมิได้สูงกว่าปกติ

-Insulation Tester เป็นเครื่องทดสอบความเป็นฉนวนของฮีทเตอร์เพื่อให้แน่ใจว่าในการใช้งานจริงจะไม่มีกระแสรั่วจากลวดฮีทเตอร์สู่ผิวโลหะ ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อผู้ใช้ได้ มาตรฐานของ NH ได้กำหนดการทดสอบแรงดันที่ 1500 VAC และค่าความเป็นฉนวนต้องมากกว่า 500 MW

ภาพประกอบ 16 ฮีตเตอร์ครีบ (Finned Heater)

ที่มา : http://www.heaterthai.com

ฮีตเตอร์ครีบ ใช้ในตู้อบ เตาอบ สำหรับอบแห้งต่างๆ หรือใช้กับเครื่องปรับอากาศ สำหรับลักษณะการนำไปใช้งาน สามารถทำได้ 2 วิธีคือ ติดตั้งแบบให้ความร้อนโดยตรง หรือ แบบส่งผ่านความร้อนจากห้องเผาไปยังห้องอบโดยใช้พัดลมเป็นตัวเป่าลมร้อนไปใช้งาน ฮีตเตอร์ชนิดนี้เหมาะสำหรับใช้กับอากาศ ไม่ควรใช้กับของเหลว เนื่องจากจะเกิดตะกอนจับที่ครีบของฮีตเตอร์ ทำให้ความร้อนไม่สามารถถ่ายเทได้ ในกรณีที่ให้ความร้อนกับอากาศที่ไม่หมุนเวียน ควรเลือกวัสดุที่ใช้ทำฮีตเตอร์เป็นอินโคลอย เนื่องจากมีคุณสมบัติถ่ายเทความร้อนได้ดีและทนอุณหภูมิได้กว่าชนิดอื่น

ฮีตเตอร์ครีบ ที่ต้องการกำลังไฟฟ้าสูง ควรจะใช้ร่วมกับพัดลมเพื่อระบายความร้อน เพื่อให้ฮีทเตอร์ทำงานมีประสิทธิภาพ และยืดอายุการใช้งานของฮีทเตอร์

ฮีตเตอร์แบบรัดท่อ การนำไปใช้งานจะต้องได้รับการออกแบบ เพื่อให้มีขนาดที่เหมาะสมกับท่อหรือถังรูปทรงกระบอกที่จะนำไปยึด ฉนวนของฮีตเตอร์แบบรัดท่อนี้ทำจากแผ่น Mica และลวดฮีตเตอร์เป็นแบบแบน ตัวถังด้านนอกเป็นแผ่นเหล็กหรือสแตนเลส เหมาะสมสำหรับการให้ความร้อน หรืออุ่นของเหลวที่อยู่ในท่อ หรือถัง เช่น เครื่องฉีดพลาสติก

ฮีตเตอร์แบบรัดท่อ เป็นฮีตเตอร์ที่จะต้องนำไปติดตั้งเข้ากับท่อของ เครื่องจักรต่างๆ ดังนั้นจะต้องทำการยึดหรือขันน็อตให้แน่น และสนิท อีกทั้งระบบ การถ่ายเทความร้อนจากฮีตเตอร์มาสู่ท่อ หรือกระบอกเครื่องจักร จะต้องมีประสิทธิภาพ เพื่อจะทำให้ฮีตเตอร์มีอายุการใช้งานยาวนาน

ภาพประกอบ 17 ฮีตเตอร์แบบรัดท่อ (Band Heater)

ที่มา : http://www.heaterthai.com

ภาพประกอบ 18 ฮีตเตอร์ท่อ (Tubular Heater)

ที่มา : http://www.heaterthai.com

ฮีตเตอร์ท่อ เป็นฮีตเตอร์ที่ใช้สำหรับอากาศ และของเหลว โดยจะมีขดลวดความร้อนบรรจุอยู่ภายในท่อโลหะ ช่องว่างระหว่างขดลวดความร้อน และท่อโลหะ จะถูกอัดแน่นด้วยผงแมกนีเซียมออกไซด์ และถูกรีดลงให้มีความหนาแน่นตามมาตรฐานวัสดุที่ใช้ทำ ฮีตเตอร์ท่อ มีหลายชนิดต่างกันตามลักษณะการใช้งานชนิดท่อทองแดง เหมาะสำหรับการนำไปใช้ต้มน้ำ กับสารเคมีที่มีความเข้มข้นต่ำมาก และใช้ในถังพักน้ำร้อน สำหรับห้องอาบน้ำ รวมถึง ป้องกันการจับตัวเป็นน้ำแข็งในระบบ Cooling Tower และเหมาะสำหรับในเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน และโรงงานอุตสาหกรรม ชนิดท่อสแตนเลส เหมาะสำหรับการใช้กับสารเคมีอ่อน สามารถใช้ในงานลอยอากาศแก็สผสม และใช้ต้มน้ำแบบ Super-Heated Steam หรือสารเคมีอื่นๆ ที่ไม่มีปฏิกิริยาต่อท่อแสตนเลส ท่อชนิดนี้เหมาะสำหรับทำงานที่อุณหภูมิสูงสุด 649 ^{0}C

ภาพประกอบ 19 ฮีตเตอร์จุ่ม (Immersion Heater)

ที่มา : http://www.heaterthai.com

ฮีตเตอร์จุ่ม ทำจาก ฮีตเตอร์ท่อ ที่ดัดเป็นรูปตัวยู และเชื่อมติดกับเกลียว โดยขนาดของเกลียวจะขึ้นอยู่กับจำนวนเส้นของฮีทเตอร์ ตามความเหมาะสมของกำลังวัตต์ และความยาวของฮีทเตอร์ ฮีทเตอร์แบบจุ่มเหมาะสำหรับใช้กับของเหลว เช่น ใช้ในการต้มน้ำ หรืออุ่นน้ำมัน การติดตั้งสามารถทำได้โดยเชื่อมเกลียวตัวเมียติดกับถัง แล้วใส่ฮีทเตอร์แบบเกลียวเข้าไป การติดตั้ง ฮีตเตอร์จุ่ม ควรระวังไม่ให้ส่วนของฮีตเตอร์โผล่พ้นของเหลว เนื่องจากจะทำให้ส่วนที่อยู่เหนือของเหลวร้อนจัดเกินไป ทำให้อายุการใช้งานสั้น และเพื่อให้ความร้อนกระจายได้ทั่วถึง ควรติดตั้งใบพัดกวนของเหลวด้วย

3.2.2 วัสดุและโลหะต่างๆ

3.2.2.1 เหล็กกล้า (Steel Magnets) คือเหล็กที่มีธาตุคาร์บอนเป็นส่วนผสม เช่นเดียวกับเหล็กดิบ(Pig Iron) แต่ปริมาณคาร์บอนไม่สูงนัก คือไม่เกินร้อยละ 2 นอกจากนี้ยังต้องมีธาตุคาร์บอนเป็นส่วนในลักษณะของสารที่เจือปน เช่น แมงกานีส กำมะถัน ซิลิคอน การแบ่งเหล็กกล้าตามส่วนผสมคาร์บอน ดังนี้

1) เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low carbon Steel) มีคาร์บอนผสมร้อยละ 0.1-03 เป็นเหล็กที่ใช้กันอยู่ทั่วไปตามท้องตลาด บางครั้งเรียกว่า เหล็กละมุน มีคุณสมบัติอ่อน สามารถตีขึ้นรูป ดึงออกเป็นเส้น ตียืดออกเป็นแผ่น รีดเป็นแผ่นได้ง่าย

2) เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium carbon Steel) มีคาร์บอนผสมร้อยละ 0.3-0.6 เป็นเหล็กที่มีความแข็งแรงสูงกว่าชนิดแรก ใช้ทำชินส่วนเครื่องจักรกล ต่าง เช่น เพลา เฟือง เป็นต้น

3) เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High carbon Steel) มีคาร์บอนผสมร้อยละ 0.6-1.2 เป็นเหล็กที่มีความแข็งแรงสูงมาก และมีความต้านทานการสึกหร่อดีมาก ใช้ทำเครื่องมือ เช่น ใบตัดเหล็กสกัด ตะไบ (สุรสิทธิ์ แก้วพระอินทร์.2541: 15-33 อ้างใน สุวัฒน์ วงศ์จำปา.2546:75)

3.2.2.2 เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) ชนิดและคุณสมบัติต่าง ๆของเหล็กกล้าไร้สนิม ได้แก่

1) Mertensitic Stainless Steel ตัวอย่าง เหล็กเหนียว ร้อยละ 13 Cr เหล็กเหนียวชนิดนี้มีคุณสมบัติทนการกัดกร่อนของกำมะถัน Sumptuous Acid Gas ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และ Naphtenic Acid โครงสร้าง แบบ Martensite มีคุณสมบัติแข็งตัวได้เอง(Self-Hardening) เนื่องจากHeat treatment ดังนั้นจึงเกิดแรงเค้นของการแปรสภาพ (Transformation Stress) และแตกร้าวได้ง่าย เนื่องจากผลกระทบจากความร้อนที่ได้รับในเวลาเชื่อม โดยทั่วไปต้องอุ่นให้ร้อน 200-400 องศาเซลเซียส และทำ ที่ 700-800 องศาเซลเซียส ทันทีหลังเชื่อม

2) Ferritic Stainless Steel เหล็กเหนียวชนิดนี้มี Cr มากกว่าร้อยละ 15 และมีคุณสมบัติทนการกัดกร่อนของกรดที่มีคุณสมบัติออกซิไดซ์ ได้อย่างดีเลิศ เนื่องจากโดยทั่วไปเป็นโครงสร้างแบบ Ferrite จึงไม่มีคุณสมบัติแข็งตัวได้เอง (Self-Hardening) เนื่องจากการเชื่อมหรือ Quenching แต่ความเหนียวจะมีน้อยที่อุณหภูมิต่ำ และแข็งเปราะและแตกร้าวได้ง่าย ถ้าเชื่อมแผ่นหนา

3) Austenitic Stainless Steel เหล็กเหนียวชนิดนี้มี 18Cr –8Ni เนื่องจากโดยทั่วไปมีโครงสร้างแบบ Austenite ที่มีเสถียรภาพสูง และมีจึงคุณสมบัติทนการกัดกร่อนของกรดที่มีคุณสมบัติออกซิไดซ์ ได้ดี จึงนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางมากที่สุด ตามมาตรฐาน JIS มีรายละเอียดระบุสำหรับแผ่นเหล็กเหนียว(Plate Steel) ท่อนเหล็กเหนียว (Rod Steel) แบนคเหล็กเหนียว(Band Steel) และท่อเหล็กเหนียว โลหะผสมสำหรับหม้อไอน้ำและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดนี้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องครัวเรือน สิ่งทอ เซลลูโรส กระดาษ ทางเคมี เป็นต้น เหล็กชนิดนี้จะทนต่อการเกิดสนิม ทนต่อสารเคมี อากาศชื้น น้ำ เหล็กชนิดนี้มีทั้งชนิดแบบปาดผิวไม่ได้ เชื่อมต่อได้ดีมาก และขัดเป็นเงาได้ดี โดยทั่วไปมีปริมาณโครเมี่ยมเจือไม่น้อยกว่า ร้อยละ 12 ของน้ำหนัก การแบ่งเหล็กกล้าไร้สนิมตามโครงสร้างจุลภาคจะแบ่งเป็นโครงสร้างจุลภาคเหล็กกล้าเฟอร์ไรต์ ออสเตไนต์ มาร์เตนไซต์ และการชุบแข็งตกตะกอน(Precipitation Hardening) (มานพ ตันตระบัณฑิต.2536 : 102 อ้างใน สุวัฒน์ วงศ์จำปา.2546: 77-78)

3.2.2.2 อะลูมิเนียม (Aluminum) เป็นโลหะอีกชนิดหนึ่งที่ได้ถูกนำมาใช้งานมากที่สุดในกลุ่มโลหะที่มีน้ำหนักเบา ทั้งนี้เพราะอลูมิเนียมมีสมบัติที่ดีหลายประการ คือ มีความหนาแน่นน้อย น้ำหนักเบา และมีกำลังวัสดุต่อหน่วยน้ำหนักสูง มีความเหนียวมาก สามารถขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ ได้ง่าย และรุนแรงโดยไม่เสี่ยงต่อการแตกหัก มีค่าการนำไฟฟ้าไม่สูงมากนัก เป็นโลหะไม่เป็นพิษต่อร่างกายมนุษย์ และมีค่าการนำความร้อนสูงมาก ทนทานต่อการเกิดสนิม

และผุกร่อนในบรรยากาศได้ดี แต่ไม่ทนต่อการกัดกร่อนของกรดแก่และด่าง และซื้อหาได้ง่ายในท้องตลาดและราคาไม่แพงจนเกินไป (สุรสิทธิ์ แก้วพระอินทร์.2541 : 15-33 อ้างใน สุวัฒน์ วงศ์จำปา.2546 :76)

3.2.3. เครื่องชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า

3.2.3.1 การชุบด้วยบีกเกอร์อย่างง่าย ประกอบด้วย

- ถัง Pyrex ขนาด 3 ลิตร 5 ใบ และ ขนาด 5 ลิตร 4 ใบ
- เครื่องทำความร้อนของบีกเกอร์น้ำล้างด้วยไฟฟ้า 1 ชุด
- เครื่องทำความร้อนของบีกเกอร์โรเดียม 1 ชุด
- เครื่องทำความร้อนของบีกเกอร์น้ำกลั่นร้อน 1 ชุด
- Hot Plate Magnetic Stirrer 1 ชุด
- Magnetic Stirrer 1 ชุด
- เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Rectifier) 12V 30A แบบดิจิตอล 2 ชุด

ภาพประกอบ 20 แสดงถังชุบแบบบีกเกอร์อย่างง่าย ขนาด 3 ลิตร และ 5 ลิตร

3.2.3.2 ถังชุบสแตนเลสสตีล

บริษัท EURO Tecniche ได้กล่าวว่า ถังชุบสแตนเลสสตีลนี้ ทำการชุบได้ง่าย ถังนี้ถูกออกแบบขึ้นเพื่อการชุบโรเดียมโดยเฉพาะ การทำงานของถังไม่ซับซ้อน มีหลายขนาดให้เลือก 2L, 3L, 5L และ 8L สามารถควบคุมถังจากที่หน้าปัด เพื่อให้การทำงานเป็นไปอย่างถูกต้องและได้ผลการชุบที่ต้องการ

ถังชุบสแตนเลสสตีล ขนาด 2 ลิตร ประกอบด้วย

- ถัง Pyrex ขนาด 2 ลิตร 4 ใบ เครื่องทำความร้อนของโรเดียม
- เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Rectifier) 10V 30A 2 ชุด

ภาพประกอบ 21 แสดงถังชุบสแตนเลสสตีล บีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร

ที่มา : http://www.eurotecniche.com

3.2.3.3 ถังชุบ Polypropylene ขนาด 3 ลิตร

บริษัท EURO Tecniche ได้ระบุไว้ว่า ขบวนการทางกระแสไฟฟ้าเป็นขั้นตอนสุดท้ายที่มีความสำคัญขั้นตอนหนึ่งสำหรับช่างผู้ผลิตทองและเงิน การชุบเครื่องประดับด้วยเครื่องมือที่ใช้สอยง่ายจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ นอกจากนี้ยังรวมไปถึงการตั้งค่าที่ถูกต้องบนหน้าปัดควบคุมและการใช้น้ำยาที่มีประสิทธิภาพดีก็มีส่วนสำคัญต่อผลลัพธ์ที่ได้เช่นเดียวกัน และนี่คือผลจากการทดลองของบริษัท EURO Tecniche ทำด้วย Polypropylene ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความคงทน

ถังชุบ Polypropylene ขนาด 3 ลิตร ประกอบด้วย

- ถังมีความจุ 3 ลิตร
- ขนาด 700x400x400 h
- น้ำหนัก 25 กิโลกรัม

ภาพประกอบ 22 แสดงถังชุบ Polypropylene ขนาด 3 ลิตร

ที่มา : http://www.eurotecniche.com.

ถังชุบ Polypropylene ขนาด 8 ลิตร ประกอบด้วย

-ถังมีความจุ 8 ลิตร ขนาด 1000x450x450 h น้ำหนัก 37 กิโลกรัม

ภาพประกอบ 23 แสดงถังชุบ Polypropylene ขนาด 8 ลิตร

ที่มา : http://www.eurotecniche.com.

3.2.3.4 ระบบ Modular ของเครื่องชุบด้วยกระแสไฟฟ้า

บริษัท EURO Tecniche ได้ระบุไว้ว่า ทางออกใหม่ของการเพิ่มคุณภาพให้แก่ผลิตภัณฑ์ของลูกค้า ไปพร้อมๆกับการลดต้นทุนในการผลิต เพื่ออุตสาหกรรมการชุบเครื่องประดับด้วยประสบการณ์ที่พรั่งพร้อมกว่า 20 ปีจากประเทศอิตาลี และขณะนี้ได้แพร่กระจายสู่ประเทศอื่นๆทั่วโลก ไม่ว่าจะเป็น ยุโรป อเมริกาเหนือ อเมริกาใต้ เอเชียตะวันออกกลาง อินเดีย รัสเซีย และประเทศอื่นๆ ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ระบบ Modular จะสร้างโครงสร้างที่เหมาะสม

สำหรับ เครื่องจักรทุกขนาดทุกความต้องการและสามารถปรับปรุงเพื่อให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงของขบวนการต่างๆ ที่สามารถเกิดขึ้นได้ในงานอุตสาหกรรมทุกๆวัน และความสามารถของทางบริษัทที่รู้ลึกจริง พิสูจน์ได้จากการใช้งานจากทั่วโลก เป็นข้อยืนยันที่ดีที่สุดว่าทางบริษัทจะมอบแต่สิ่งที่มีคุณภาพต่อลูกค้าเท่านั้น เพื่อจะสามารถผลิตสิ่งที่ดีที่สุดเพื่อความต้องการของตลาดในปัจจุบัน เครื่องจักรระบบ Modular ที่เห็นในรูปเป็นระบบสำหรับถังของโรเดียม ถังที่เหมาะสมกันระบบนี้จะต้องมีความจุอย่างน้อย 20 ลิตร

ภาพประกอบ 24 แสดงระบบ Modular ของเครื่องชุบด้วยกระแสไฟฟ้า

ที่มา : http://www.eurotecniche.com.

3.2.3.5 ระบบการชุบแลคเกอร์แบบ E-COATING

ผลลัพธ์ที่ได้มีความชัดเจนและคงทน ขบวนการ Super White cataforetic ประกอบด้วยเครื่องเคลือบอคริลิคเรซิน ซึ่งให้ความใสบนตัวผลิตภัณฑ์ที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว เช่น เครื่องประดับ เครื่องแก้วนาฬิกา หรือวัตถุโลหะอื่นๆ เพื่อสร้างให้เกิดความคงทน Super white มีประสิทธิภาพที่คงทนแม้สัมผัสถูกกับสารละลายต่างๆ ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดภายในบ้านหรือแม้แต่แสงแดดในขณะทำการขนส่งหรือตั้งโชว์ ดังนั้นความสวยงามของผลิตภัณฑ์ที่เคลือบด้วยด้วย Super white ก็จะยังคงอยู่ดังเดิม EURO Tecniche ได้ผลิตเครื่องจักรที่มีขนาดกะทัดรัด ประกอบด้วย ถังทำความสะอาด และ electrode position ที่มีปั๊มเครื่องกรองและเตาอบแห้ง อุปกรณ์ง่ายๆเหล่านี้ควบคุมด้วยตัวคำนวณระบบคอมพิวเตอร์อุณหภูมิของเครื่องจะถูกควบคุมและปรับได้ที่ปรอทวัดความร้อน การเคลือบด้วย Super white ให้ผลดีดังนี้คือ

- มีความคงทนต่อสารละลายต่างๆ เหงื่อและผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดบ้าน
- คงทนต่อการขูดลอกที่อาจเกิดจากการขนส่ง เคลื่อนย้าย

- ซึมเข้าเนื้องานที่เสร็จแล้วได้ดี
- ช่วยคงรูปเดิมของผลิตภัณฑ์และรักษาความสะอาด

ภาพประกอบ 25 ระบบการชุบแลคเกอร์แบบ E-COATING

ที่มา : http://www.eurotecniche.com.

จากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องมือ อุปกรณ์ และเครื่องชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าชนิดต่างๆที่ผู้ผลิตได้พัฒนาเพื่อจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไป พบว่าเครื่องชุบประกอบด้วยชุดเครื่องมือ อุปกรณ์ที่มีความยุ่งยากในการประกอบ และจัดซื้อจัดหา โดยเฉพาะผู้ประกอบการรายใหม่ที่ต้องอาศัย Know how จากผู้จำหน่าย ส่วนการศึกษาถังชุบที่ทำจากวัสดุหลากหลายชนิดแต่ละชนิดเหมาะกับน้ำยาแต่ละประเภท จึงเป็นข้อจำกัดของการทำถังบรรจุน้ำยา ผู้วิจัยเห็นว่าถังประเภทแก้ว Pyrex ซึ่งชุดถังชุบแบบบีกเกอร์อย่างง่ายนี้ก็มีข้อดีคือ ประหยัด ง่าย สะดวกในการจัดเก็บและดูแลรักษา ข้อเสียคือควบคุมตัวแปรแทรกซ้อนระหว่างชุบได้ยาก และถ้าเลือกซื้อเครื่องที่มีขนาดใหญ่ก็มักมีราคาแพงและหาอะไหล่ยากต้องพึ่งตัวแทนจำหน่ายสั่งจากต่างประเทศ ในด้านเครื่องขนาดใหญ่ที่มีอุปกรณ์ครบและมีระบบ Modular ข้อดีคือควบคุมตัวแปรแทรกซ้อนระหว่างชุบได้ง่ายกว่า แต่ข้อเสียด้านขนาดที่มีขนาดโครงสร้างใหญ่ เคลื่อนย้ายได้ยาก ซ่อมบำรุงยาก และมีกำลังผลิตที่เกินความจำเป็นสำหรับอุตสาหกรรมขนาดย่อย ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมุ่งแก้ปัญหาข้างต้นโดยรวมข้อดี ของทั้งสองชุดนี้เข้าเป็นหนึ่งเดียวโดยยึดเฉพาะจุดสำคัญนำไปออกแบบและสร้างชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมที่มีสมรรถนะทางกายภาพให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

การประเมินการทำงานเพื่อวิเคราะห์งานทางการยศาสตร์เบื้องต้นด้วยตนเองโดยใช้ RULA (Rapid upper limb assessment)

ภาระงานแบ่งได้เป็น 3 ส่วน

1. ภาระงานทางกาย (Physical work load) คือ ท่าทางของร่างกาย แรงที่ใช้ในการทำงาน อาจเกิดจาก การยก วาง แบก ถือ ผลัก ดึง หมุน บิด กระแทก เป็นต้น
2. ภาระงานทางจิตใจ (Mental work load) คือ สิ่งที่ส่งผลต่อความคิดความรู้สึกทางอารมณ์
3. ภาระงานทางสิ่งแวดล้อม (Environmental work load) คือ อุณหภูมิ ความชื้น แสง เสียง เป็นต้น

ลักษณะงาน

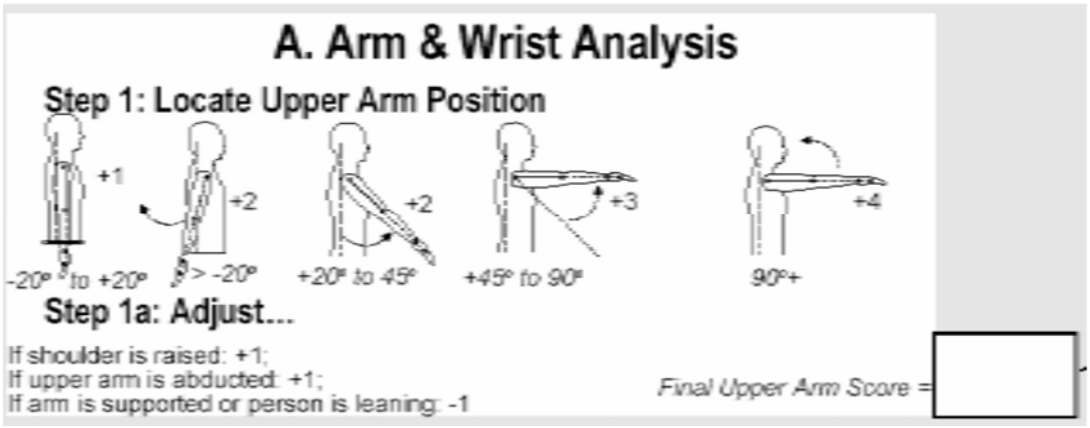
1. งานแบบสถิต (static work) คือ ท่าทางที่ทำให้เกิดการเกร็งของกล้ามเนื้อต่อเนื่องเป็นเวลานาน
2. งานแบบพลวัต (dynamic work) คือ ท่าทางการทำงานที่ร่างกายมีการเคลื่อนที่กล้ามเนื้อทำงานอยู่ในลักษณะทั้งบีบและคลายตัว

การประเมินท่าทางของร่างกาย (RULA)

1. ศีรษะและคอ (head and neck)
2. ลำตัว (trunk)
3. ไหล่ (shoulder)
4. แขนส่วนบน (upper arm)
5. แขนส่วนล่าง (lower arm : forearm)
6. มือและข้อมือ (hand and wrist)
7. ขาส่วนบน (upper leg : tight)
8. ขาส่วนล่าง (lower leg)
9. เท้า (foot)

<u>ขั้นตอนที่ 1</u> การประเมินตำแหน่งแขนส่วนบน (upper arm)

1.1 ระดับของแขน การยกที่สูงขึ้น ระดับคะแนนที่ให้มากขึ้น คะแนนอยู่ระหว่าง 1-4
1.2 ถ้ามีการยกของไหล่ ให้บวกคะแนนเพิ่มอีก +1
1.3 ถ้ามีการกางแขน ให้บวกคะแนนเพิ่มอีก +1
1.4 ถ้าแขนมีที่รองรับหรือวางพาดอยู่ ให้ลบคะแนน -1
1.5 คะแนนสูงสุดของขั้นตอนนี้จะมีค่าไม่เกิน 6 คะแนน
1.6 ให้แยกการประเมินแขนซ้ายและขวา



ภาพประกอบ 26 แสดงการประเมินตำแหน่งแขนส่วนบน (upper arm)

ที่มา :http://www.npc-se.co.th/news_safety/npcse_02health.asp?news_id=1557.

<u>ขั้นตอนที่ 2</u> การประเมินตำแหน่งแขนส่วนล่าง (Lower arm หรือ forearm)

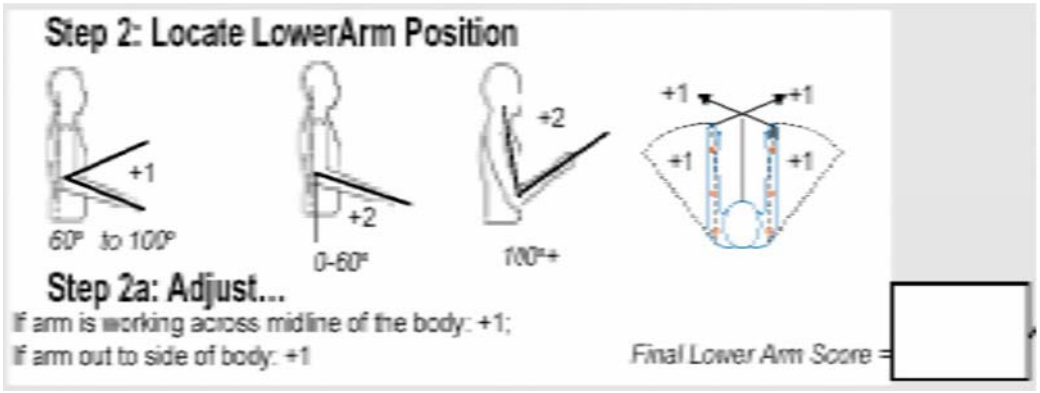
2.1 ระดับของแขนส่วนล่างควรอยู่ในแนวระดับขณะทำงาน หรืออยู่ในช่วงประมาณ 60-100องศาวัดจากแนวดิ่ง ถ้ามุมของแขนส่วนล่างอยู่นอกช่วงดังกล่าว ให้คะแนนตามรูปที่ 2 และ 3 จากซ้าย

2.2 ถ้ามีการทำงานไขว้แขนเลยแกนกลางลำตัว ให้บวกคะแนนเพิ่มอีก +1

2.3 ถ้ามีการทำงานในลักษณะกางแขนออกไปด้านข้างลำตัว ให้บวกคะแนนเพิ่มอีก +1

2.4 คะแนนสูงสุดในขั้นตอนนี้มีค่าไม่เกิน 4 คะแนน

2.5 ให้แยกประเมินระหว่างแขนซ้ายและขวา



ภาพประกอบ 27 แสดงการประเมินตำแหน่งแขนส่วนล่าง (Lower arm หรือ forearm)

ที่มา :http://www.npc-se.co.th/news_safety/npcse_02health.asp?news_id=1557.

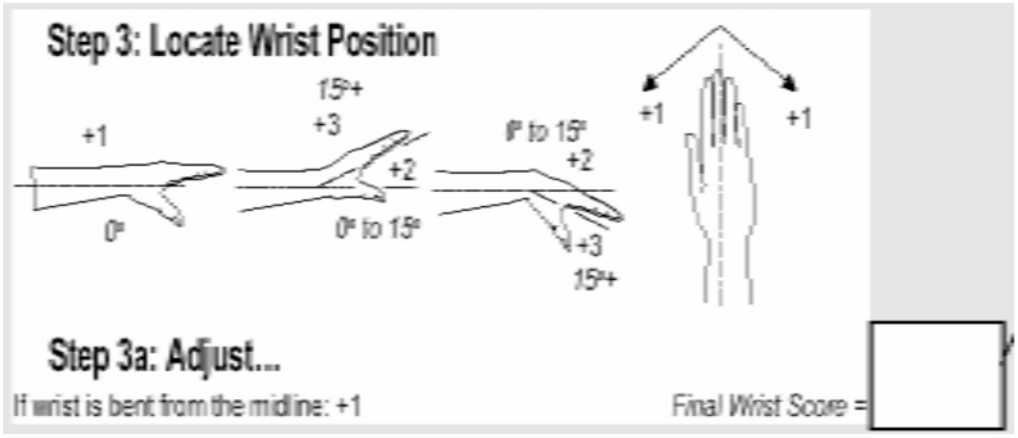
<u>ขั้นตอนที่ 3</u> การประเมิน ตำแหน่งมือ และข้อมือ (Hand และ wrist)

3.1 ขณะทำงานข้อมือไม่ควรอยู่ในลักษณะตรง ไม่บิดงอ ดังแสดงในรูปที่ 1 จากซ้ายถ้าข้อมือมีการบิดงอจะให้คะแนนตามรูปที่ 2 (flexion) และ 3 (extension) จากซ้าย

3.2 ถ้ามีการทำงานที่เกิดการเบี่ยงข้อมือออก (deviation) ดังแสดงในรูปที่ 4 จากซ้ายให้บวกคะแนนเพิ่มอีก +1

3.3 คะแนนสูงสุดในขั้นตอนนี้มีค่าไม่เกิน 4 คะแนน

3.4 ให้แยกประเมินระหว่างแขนซ้ายและขวา



ภาพประกอบ 28 แสดงการประเมิน ตำแหน่งมือ และข้อมือ (Hand และ wrist)

ที่มา :http://www.npc-se.co.th/news_safety/npcse_02health.asp?news_id=1557.

<u>ขั้นตอนที่ 4</u> การประเมินการบิดข้อมือ (wrist twist)

4.1 ขณะทำงานข้อมือไม่ควรหมุน ถ้ามีการหมุนข้อมือให้คะแนนเป็น +1

4.2 ถ้ามีการทำงานที่หมุนข้อมือมากเกือบสุด ให้คะแนนเป็น +2

4.3 คะแนนสูงสุดในขั้นตอนนี้มีค่าไม่เกิน 2 คะแนน

4.4 ให้แยกประเมินระหว่างแขนซ้ายและขวา

<u>ขั้นตอนที่ 5</u> สรุปผลจากขั้นตอนที่ 1-4 โดยใช้ตาราง A

นำข้อมูลจากขั้นตอนที่ 1-4 ซึ่งเป็นผลจากการวิเคราะห์ท่าทางของแขนและมือในขณะทำงานมาเปิดค่าคะแนนรวมในตาราง A

Table A : Arm & Wrist Analysis Scores

UPPER ARM	LOWER ARM	WRIST POSTURE SCORE 1		2		3		4	
		TWIST 1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	1	2	2	2	2	3	3	3
	2	2	2	2	2	3	3	3	3
	3	2	3	3	3	3	3	4	4
2	1	2	3	3	3	3	4	4	4
	2	3	3	3	3	4	4	4	4
	3	3	4	4	4	4	4	5	5
3	1	3	3	4	4	4	4	5	5
	2	3	4	4	4	4	5	5	5
	3	4	4	4	4	4	5	5	5
4	1	4	4	4	4	4	5	5	5
	2	4	4	4	5	5	5	5	6
	3	4	4	4	5	5	5	6	6
5	1	5	5	5	5	5	6	6	7
	2	5	6	6	6	6	6	7	7
	3	6	6	6	7	7	7	7	8
6	1	7	7	7	7	7	8	8	9
	2	8	8	8	8	8	9	9	9
	3	9	9	9	9	9	9	9	9

ภาพประกอบ 29 แสดงตารางสรุปผลจากขั้นตอนที่ 1-4 โดยใช้ตาราง A

ที่มา :http://www.npc-se.co.th/news_safety/npcse_02health.asp?news_id=1557.

<u>ขั้นตอนที่ 6</u> ประเมินระดับของการใช้แรงจากกล้ามเนื้อในการทำงาน

6.1 ถ้าการทำงานดังกล่าวมีลักษณะการใช้แรงจากกล้ามเนื้อแบบสถิต เช่น มีการใช้แรงโดยเกร็งกล้ามเนื้อต่อเนื่องนานกว่า 1 นาที ให้ใส่คะแนนเป็น 1

6.2 ถ้าการทำงานเป็นแบบซ้ำๆ โดยมีการเคลื่อนไหวกลับไปกลับมาเกินกว่า 4 ครั้งต่อนาทีหรือมากกว่า ให้บวกคะแนนเพิ่มอีก

6.3 คะแนนสูงสุดในขั้นตอนนี้มีค่าไม่เกิน 2 คะแนน

<u>ขั้นตอนที่ 7</u> ประเมินภาระงานที่ทำ

7.1 ภาระงานที่ทำได้แก่ แรงที่ใช้ หรือ น้ำหนักที่ถือ ถ้าน้อยกว่า 2 กิโลกรัม ให้คะแนนเป็น 0

7.2 ถ้าภาระงานอยู่ระหว่าง 2-10 กก. ถือหรือใช้แรงนานๆ ครั้ง ให้คะแนนเป็น 1

7.3 ถ้าภาระงานอยู่ระหว่าง 2-10 กก. ถือหรือใช้แรงตลอดเวลาหรือซ้ำไปมาบ่อยๆให้คะแนนเป็น 2

7.4 ถ้าภาระงานมากกว่า 10 กก. ถือหรือใช้แรงแบบสถิต หรือเคลื่อนที่ซ้ำไปมาบ่อยๆหรือ มีการใช้แรงทำงานดังกว่าอย่างรวมเร็ว ให้คะแนนเป็น 3

<u>ขั้นตอนที่ 8</u> สรุปผลคะแนนการวิเคราะห์ของแขนและมือ

รวมผลคะแนนจากขั้นตอนที่ 5 – 7 ไว้ในขั้นตอนนี้ เพื่อใช้เปิดตาราง C ในการประเมินผลร่วมกับร่างกายส่วนที่เหลือ

<u>ขั้นตอนที่ 9</u> การวิเคราะห์ท่าทางของศีรษะและคอ

9.1 ถ้ามุมก้มอยู่ระหว่าง 0-10 องศา ให้คะแนนเป็น 1

9.2 ถ้ามุมก้มอยู่ระหว่าง 10-20 องศา ให้คะแนนเป็น 2

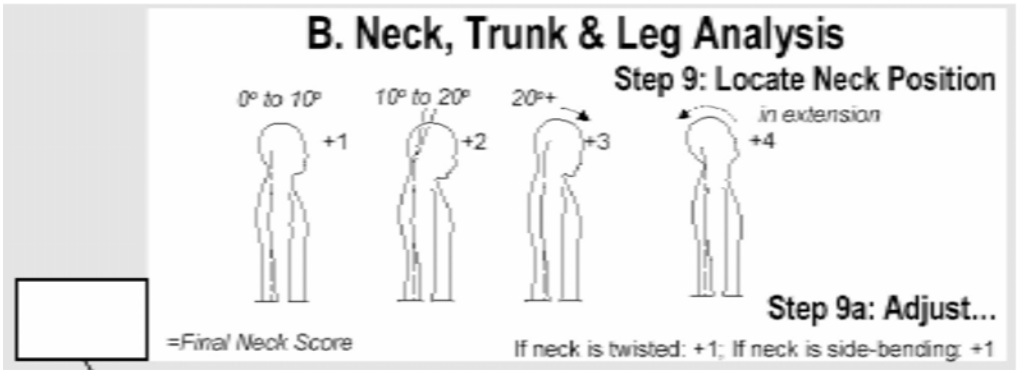
9.3 ถ้ามุมก้มมากกว่า 20 องศา ขึ้นไป ให้คะแนนเป็น 3

9.4 ถ้ามีการเงยศีรษะ ให้คะแนนเป็น 4

9.5 ถ้ามีการหมุน (twist) ศีรษะ ด้วย ให้คะแนนเพิ่มอีก +1

9.6 ถ้ามีการเอียงศีรษะไปด้านข้าง ให้คะแนนเพิ่มอีก +1

9.7 คะแนนสูงสุดในขั้นตอนนี้จะมีค่าไม่เกิน 6 คะแนน



ภาพประกอบ 30 แสดงการวิเคราะห์ท่าทางของศีรษะและคอ

ที่มา :http://www.npc-se.co.th/news_safety/npcse_02health.asp?news_id=1557.

<u>ขั้นตอนที่10</u> การวิเคราะห์ตำแหน่งของลำตัว (trunk)

10.1 ลำตัวควรอยู่ในลักษณะที่ตั้งตรงเมื่อยืน หรือ ในกรณีการนั่งมีพนักพิงรองรับอย่างดีที่มุมเอียงไม่เกิน -20 องศา ให้คะนนเป็น 1

10.2 ลำตัวโน้มไปด้านหน้าระหว่าง 1-20 องศา ให้คะแนนเป็น 2

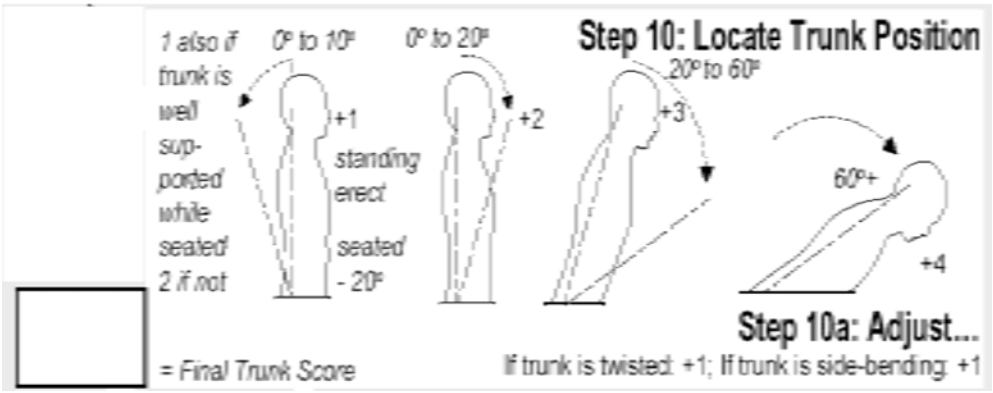
10.3 ลำตัวโน้มไปด้านหน้าระหว่าง 21-60 องศา ให้คะแนนเป็น 3

10.4 ลำตัวโน้มไปด้านหน้าระหว่างมากกว่า 60 องศา ให้คะแนนเป็น 4

10.5 ลำตัวมีการหมุน ให้คะแนนเพิ่มอีก +1

10.6 ลำตัวมีการเอียงไปด้านข้าง ให้คะแนนเพิ่มอีก +1

10.7 คะแนนสูงสุดในขั้นตอนนี้มีค่าไม่เกิน 6 คะแนน



ภาพประกอบ 31 แสดงการวิเคราะห์ตำแหน่งของลำตัว (trunk)

ที่มา :http://www.npc-se.co.th/news_safety/npcse_02health.asp?news_id=1557.

<u>ขั้นตอนที่11</u> การประเมินท่าทางของขาและเท้า

11.1 ขาอยู่ในลักษณะสมดุลซ้ายขวา โดยเท้าสามารถวางบนพื้นที่มีการรองรับดี ให้คะแนนเป็น 1

11.2 ถ้าไม่สมดุลหรือพื้นรองรับเท้าไม่ดี ให้คะแนนเป็น 2

11.3 คะแนนสูงสุดในขั้นตอนนี้ไม่เกิน 2 คะแนน

<u>ขั้นตอนที่12</u> สรุปผลท่าทางการทำงานจากขั้นตอนที่ 9-11 โดยใช้ตาราง B

ตาราง B เป็นการสรุปผลท่าทางของศีรษะลำตัว ขาและเท้า โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนที่ 9 10 และ 11 มาเปิดตาราง B

Table B: Neck, Trunk & Leg Analysis Scores

	Trunk Posture Score											
	1		2		3		4		5		6	
	Legs		Legs		Legs		Legs		Legs		Legs	
Neck	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	3	2	3	3	4	5	5	6	6	7	7
2	2	3	2	3	4	5	5	5	6	7	7	7
3	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	7
4	5	5	5	6	6	7	7	7	7	7	8	8
5	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8
6	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9

ภาพประกอบ 32 แสดงตารางสรุปผลท่าทางการทำงานจากขั้นตอนที่ 9-11 โดยใช้ตาราง B

ที่มา :http://www.npc-se.co.th/news_safety/npcse_02health.asp?news_id=1557.

<u>ขั้นตอนที่13</u> ประเมินระดับลักษณะการใช้แรงจากกล้ามเนื้อ

13.1 เป็นการประเมินลักษณะการใช้แรงจากกล้ามเนื้อว่าเป็นไปในลักษณะใด แบบสถิตหรือ แบบพลวัติด้วยความถี่มากน้อยขนาดไหน

13.2 ถ้ามีการใช้แรงจากกล้ามเนื้อในแบบสถิตเป็นเวลานาน หรือ การทำงานแบบใช้แรงซ้ำๆ ไปมาด้วยความถี่ 4 ครั้งต่อนาทีหรือสูงกว่า ให้คะแนนเพิ่มอีก +1

<u>ขั้นตอนที่14</u> ประเมินระดับภาระงาน จาก น้ำหนักของหรือแรงที่ใช้

14.1 ให้พิจารณาน้ำหนักของที่ยกหรือแรงที่ใช้ในการทำงาน เช่น แรงผลัก แรงกดแรงดึง เป็นต้น ว่ามีค่ามากน้อยเพียงใด

14.2 ถ้าภาระงานที่ใช้มีค่าน้อยกว่า 2 กก. ทำเป็นนานๆ ครั้ง ให้คะแนนเป็น 0

14.3 ถ้าภาระงานที่ใช้มีค่าระหว่าง 2-10 กก. ทำเป็นครั้งคราว ให้คะแนนเป็น 1

14.4 ถ้าภาระงานที่ใช้มีค่าระหว่าง 2-10 กก. ออกแรงแบบสถิตหรือเกิดขึ้นซ้ำไปมาให้คะแนนเป็น 2

14.5 ถ้าภาระงานที่ใช้มีค่ามากกว่า 10 กก. ออกแรงแบบสถิต หรือเกิดซ้ำไปมาบ่อยๆหรือมีการออกแรงอย่างรวดเร็ว ให้คะแนนเป็น 3

<u>ขั้นตอนที่15</u> สรุปผลการวิเคราะห์ ศีรษะ คอ ลำตัว ขา และเท้า

เป็นผลรวมคะแนนจากขั้นตอนที่ 12 ซึ่งได้จากการเปิดตาราง B รวมกับคะแนนในขั้นตอนที่ 13 และ 14 ซึ่งเป็นลักษณะการใช้งานกล้ามเนื้อและภาระงานที่ต้องทำ คะแนนรวมที่ได้ใส่ไว้ในขั้นตอนนี้ เพื่อนำไปเปิดตารางสรุปผลของ RULA ในตาราง C

<u>ขั้นตอนที่16</u> หรือขั้นสุดท้าย คือการสรุปผลระดับคะแนนของ RULA ในตาราง C

16.1 นำค่าที่ได้ในขั้นตอนที่ 8 และ คะแนนที่ได้ในขั้นตอนที่ 15 ไปใช้ในการเปิด ตาราง C

16.2 โดยคะแนนในขั้นตอนที่ 8 ใช้เลือกตำแหน่งของแถว ส่วนคะแนนในขั้นตอนที่ 15 ใช้เลือกตำแหน่งของคอลัมน์ ช่องที่ตัดกันระหว่างคะแนนทั้งสอง ในตาราง C เป็นระดับคะแนนสุดท้ายของ RULA

16.3 คะแนน RULA จะมีค่าอยู่ระหว่าง 1-7 คะแนนที่สูงกว่าหมายถึงความเสี่ยงต่อปัญหาทางด้านการยศาสตร์มีสูงด้วย

Table C : Final Scores

คะแนนสรุปจากขั้นตอนที่ 15

คะแนนสรุปจากขั้นตอนที่ 8	1	2	3	4	5	6	7+
1	1	2	3	3	4	5	5
2	2	2	3	4	4	5	5
3	3	3	3	4	4	5	6
4	3	3	3	4	5	6	6
5	4	4	4	5	6	7	7
6	4	4	5	6	6	7	7
7	5	5	6	6	7	7	7
8+	5	5	6	7	7	7	7

ภาพประกอบ 33 แสดงสรุปผลคะแนนการวิเคราะห์ของแขนและมือ

ที่มา :http://www.npc-se.co.th/news_safety/npcse_02health.asp?news_id=1557.

การสรุปผลการวิเคราะห์งานโดยใช้ RULA แบ่ง ออกเป็น 5 ระดับ

ระดับ 0 : คะแนนอยู่ที่ 0 คือ งานนั้นไม่พบปัญหาทางการยศาสตร์

ระดับ 1 : คะแนนอยู่ที่ 1-2 งานนั้นยอมรับได้ แต่อาจเป็นมีปัญหาทางการยศาสตร์ได้ถ้ามีการทำงานดังกล่าว ซ้ำๆ ต่อเนื่องเป็นเวลานานกว่าเดิม

ระดับ 2 : คะแนนอยู่ที่ 3-4 งานนั้นควรได้รับการพิจารณา การศึกษาละเอียดขึ้นและติดตามวัดผลอย่างต่อเนื่อง การออกแบบงานใหม่อาจมีความจำเป็น

ระดับ 3 : คะแนนอยู่ที่ 5-6 งานนั้นเริ่มเป็นปัญหา ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมและรีบดำเนินการปรับปรุงลักษณะงานดังกล่าว

ระดับ 4 : คะแนนตั้งแต่ 7 ขึ้นไป งานนั้นมีปัญหาด้านการยศาสตร์ ที่ต้องได้รับการปรับปรุงโดยทันที

ข้อจำกัดและข้อควรระวังในการใช้ RULA

1. ปัจจัยที่เกี่ยวข้องมีเพียง 3 ปัจจัยใหญ่เท่านั้น

- ท่าทางการทำงาน (posture)
- ปริมาณแรงที่ใช้ (Force)
- ลักษณะ และความถี่ในการใช้งาน (static or repetitive work)

2. คะแนนที่ได้รับหลักจากการประเมินเป็นเพียงความเสี่ยง
3. คะแนนต่ำไม่ได้ยืนยันเสมอไปว่างานนั้นจะปลอดภัย ในทางตรงกันข้ามคะแนนสูงมิใช่การยืนยันเสมอไปว่างานนั้นจะมีปัญหารุนแรง
4. การวิเคราะห์งานควรใช้ข้อมูลอื่นๆ ประกอบการพิจารณาด้วย

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยทำการประเมินการออกแบบเครื่องชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์ ทั้ง 4 ด้าน คือ

2.1 ด้านโครงสร้าง
2.2 ด้านการออกแบบในการใช้งาน
2.3 ด้านความปลอดภัย
2.4 ด้านการบำรุงรักษา

โดยประเมินความคิดเห็น แบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) ซึ่งกำหนดค่าคะแนน เป็น 5 ระดับ คือ

ระดับ 5 หมายถึง ผลการประเมินในระดับ ดีมาก
ระดับ 4 หมายถึง ผลการประเมินในระดับ ดี
ระดับ 3 หมายถึง ผลการประเมินในระดับ พอใช้
ระดับ 2 หมายถึง ผลการประเมินในระดับ ต้องปรับปรุง
ระดับ 1 หมายถึง ผลการประเมินในระดับ ใช้ไม่ได้

ซึ่งเป็นการการนำค่าคะแนนมาทำการหาค่าเฉลี่ย และหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นนำผลที่ได้มาพิจารณาเป็นเกณฑ์ค่าเฉลี่ยต่างๆ โดยกำหนดเกณฑ์ในการแปลความหมายข้อมูลที่ได้จากค่าเฉลี่ยต่างๆ ดังต่อไปนี้

ค่าคะแนนเฉลี่ย

คะแนน 4.51-5.00 หมายถึง ผลการประเมินในระดับ ดีมาก
คะแนน 3.51-4.50 หมายถึง ผลการประเมินในระดับ ดี
คะแนน 2.51-3.50 หมายถึง ผลการประเมินในระดับ พอใช้
คะแนน 1.51-2.50 หมายถึง ผลการประเมินในระดับ ต้องปรับปรุง
คะแนน 1.00-1.50 หมายถึง ผลการประเมินในระดับ ใช้ไม่ได้

5. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

5.1 งานวิจัยในประเทศ

จันทร์เพ็ญ อนุรัตนานนท์.(2550: บทคัดย่อ) ได้ทดลองและศึกษาเรื่อง "การศึกษาประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าในการชุบทองบนเครื่องประดับแหวนทองเหลือง" เป็นการทดลองโดยทำการทดลองบนแหวนทองเหลือง 4 แบบ และใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าในขั้นตอนการชุบทอง 5 ค่า คือ 1,2,3,4 และ 5 แอมแปร์/ตารางเดซิเมตร พบว่า ได้ผลเหมือนกัน คือ ที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์/ตารางเซนติเมตร มีประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าสูงที่สุด ที่ 2,3,4 และ 5 แอมแปร์/ตารางเดซิเมตร มีประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าลดลงตามลำดับ โดยเมื่อนำความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า และประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้ามาสร้างเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้ากับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า พบว่า แหวนแบบที่ 1 และแหวนแบบที่ 2 ได้กราฟที่เหมาะสม คือกราฟที่มีการแจกแจงแบบโพลีโมนเมียล แหวนแบบที่ 3 และแหวนแบบที่ 4 ได้กราฟที่เหมาะสมคือกราฟที่มีการแจกแจงแบบเอ็กซโปแนนเชียล และลอกกาลิทึม จากกราฟทั้ง 4 แบบ แสดงให้เห็นว่า การใช้ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าต่ำจะให้ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าสูงกว่าการใช้ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูง

พัชริน พรมอนันต์.และคณะ.(2549: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาเรื่อง "*ปัจจัยด้านการยศาสตร์และอัตราความชุกของกลุ่มอาการผิดปรกติ ทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อในพนักงานโรงงานเฟอร์นิเจอร์.* " โดยการสุ่มตามคุณสมบัติตามที่กำหนด รวบรวมข้อมูลโดยใช้ 1) แบบสังเกตท่าทางการทำงาน 2) แบบสัมภาษณ์การใช้เครื่องมือที่มีความสั่นสะเทือน และ 3) แบบสัมภาษณ์กลุ่มอาการผดปรกติทางระบบโครางร่างและกล้ามเนื้อ ผลวิจัยพบว่าปัจจัยด้านการยศาสตร์ ในส่วนของท่าทางการทำงานร้อยละ 56.96 มีปัญหาด้านการยศาสตร์ที่ต้องมีการติดตามวัดผลและอาจมีความจำเป็นในการออกแบบงานใหม่ ส่วนการใช้เครื่องมือที่มีความสั่นสะเทือน พบว่า พนักงานที่ใช้เลื่อยฉลุ ร้อยละ 69.23 และพนักงานที่ใช้สว่านไฟฟ้า ร้อยละ 98.80 มีความเสี่ยงต่อการได้รับอันตรายจากการสัมผัสความสั่นสะเทือนส่วนอัตราความชุกของกลุ่มอาการผิดปรกติ ทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อในช่วง 12 เดือนและ 7 วันที่ผ่านมาเท่ากับร้อยละ 85.21 และ 50.87 ตามลำดับ และปัจจัยด้านการยศาสตร์เฉพาะในส่วนของท่าทางการทำงานเท่านั้นที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดกลุ่มอาการผิดปรกติ ทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อในพนักงานโรงงานเฟอร์นิเจอร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$)

ณัฐธิดา บังเมฆ.(2547: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาเรื่อง "เปรียบเทียบผลของการวิ่งบนพื้นเรียบและพื้นลาดชัน ที่มีต่อความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขา "โดยทำการทดสอบค่าความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนด้านนอก กล้ามเนื้อน่องส่วนด้านใน กล้ามเนื้อโซเลียส และกล้ามเนื้อหน้าแข้ง นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนและสถิติที ผลการวิจัยพบว่า การ

เปลี่ยนแปลงของค่าความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขึ้นอยู่กับระยะเวลาและระดับความชันของการวิ่ง ดังนี้

การวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา ความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างทั้ง 4 มัด เกิดความเมื่อยล้าขึ้นจากระยะเวลาที่ใช้ในการวิ่งเท่านั้น

การวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา ค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างทั้ง 4 มัด เกิดความเมื่อยล้าขึ้นจากระยะเวลาและจากมัดกล้ามเนื้อเอง

ผลการระหว่างการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา และการวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา ทั้ง 30 นาที พบว่า ค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนนอก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในนาทีที่ 10 และ 13 ค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนใน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในนาที 17 ค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อโซเลียส ไม่มีความแตกต่าง ค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าหน้าแข้ง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในนาทีที่ 26

นิรุตติ์ กิจพจนี, อำนวย จำปาทอง, จิระศักดิ์ จีนเสวก (2548: บทคัดย่อ) ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการสร้างเครื่องชุบโลหะด้วยไฟฟ้า โดยใช้หลักการสวิตช์ ด้วยวงจรแปลงผันแบบฟูล - บริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ โดยใช้มอสเฟตกำลังเป็นอุปกรณ์สวิตช์ และประกอบด้วยวงจรพัลส์วิดมอดูเลชั่น ซึ่งจะทำหน้าที่สร้างสัญญาณควบคุมและส่งไปที่ ชุดขับนำเกตของมอสเฟตกำลัง ซึ่งมีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากเกิดกำลังงานสูญเสีย จากการสวิตช์ต่ำและไม่จำเป็นต้องใช้วงจรสนับเบอร์ โดยเครื่องชุบโลหะด้วยไฟฟ้านี้ สามารถใช้งานในการชุบโลหะได้หลายชนิด โดยขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำยาและตัวล่อที่จะนำมาชุบให้ติดกับชิ้นงาน (ที่มา: www//library.kmutnb.ac.th)

พงพันธุ์ ประสิทธิเมตต์.(2547: บทคัดย่อ) ได้พัฒนาและสร้างเรื่อง “การพัฒนาเครื่องมือทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนสำหรับระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ “ โดยกำหนดเกณฑ์ในการพัฒนาเป็นแบบเพิ่มขึ้นต่อพิกัดเวลา คืออุณหภูมิคงที่ 57 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น เกิน 7 องศาเซลเซียสต่อนาที(วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย.2535 : 26) การออกแบบส่วนควบคุมความร้อน ผู้วิจัยกำหนดระบบการป้องการ 2 ลำดับ คือ ระดับที่ 1 ป้องกันด้านอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 57 องศาเซลเซียส $\pm$ 5 องศาเซลเซียสลำดับที่ 2 ป้องกันโดยการหน่วงเวลาไม่ให้เกิน 1 นาที ผลการพัฒนาการทดสอบประสิทธิภาพและการประเมินทางด้านกายภาพ เครื่องมือทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนสำหรับระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้มีดังนี้ ผู้วิจัยได้พัฒนา โดยสร้างอุปกรณ์แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดัน 12 โวลท์ดีซี 500 มิลลิแอมป์และออกแบบเครื่องมือทดสอบลักษณะเป็นก้านที่มีชุดให้ความร้อน ขนาดกว้าง 15 เซนติเมตร อยู่ด้านบนโดยก้านมีความยาว 1.20 เมตร พร้อมทั้งได้ทดสอบประสิทธิภาพและประเมินทางด้านกายภาพ สรุปได้ว่าเครื่องมือทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนสำหรับระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพสามารถใช้งานได้ตามเกณฑ์ที่ระยะที่ 5 เซนติเมตร เครื่องมือทำงานที่เวลา 30 นาที โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่อยู่ที่ 58.78 องศาเซลเซียส

พนม เสือสืบพันธุ์. (2545 : บทคัดย่อ) ได้ออกแบบและสร้างเรื่อง “ออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุบเคลือบผิวกรอบขาไอซี “ โดยออกแบบวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงปรับค่าได้ตั้งแต่ 0-30 V 0-5 A แบบลิเนียร์ พร้อมทั้งวงจรกำเนิดความถี่ตั้งแต่ 1- 99 มิลลิวินาทีและวงจรขับกำลัง โดยให้สัญญาณไฟตรงจากวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าจ่ายเข้าวงจรกำเนิดและขับสัญญาณพัลส์ โดยนำไปใช้กับในการชุบกรอบขาไอซี โดยการทดสอบประสิทธิภาพของรูปคลื่นที่ได้เมื่อจ่ายภาระที่เป็นถังชุบกับการจ่ายภาระที่เป็นตัวต้านทาน เพื่อทดสอบสัญญาณพัลส์ที่ได้ ตามทฤษฎีของ Enrique Gutierrez Jr.

ผลการทดสอบสรุปได้ว่า ออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุบเคลือบผิวกรอบขาไอซี มีรายละเอียด ดังนี้

1. ชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์ สามารถปรับคลื่นคาบเวลาของรูปคลื่นได้ตั้งแต่ 1-99 มิลลิวินาที

2. ชุดจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 0-5 แอมป์ ปรับแรงดันได้ตั้งแต่ 0-30 โวลท์

3. ค่ากระเพื่อมของสัญญาณหรือค่าสัญญาณรบกวนต่ำกว่า 5 % ของค่าปรับตั้งสัญญาณพัลส์ในภาระแบบตัวต้านทนที่ปรับค่ากระแสขาออกที่ 5 แอมป์ แต่สูงกว่า 5 % เท่ากับ 6.25 % เมื่อปรับค่ากระแสด้านออกที่ 3.5 แอมป์ และกรณีเมื่อจ่ายเข้าถังชุบโดยปรับค่ากระแสที่ 3.4 แอมป์ จะมีค่าการกระเพื่อหรือค่าสัญญาณรบกวนมากขึ้น

4.ค่าการกระโดดของสัญญาณพัลส์ต่ำกว่า 5 % ของค่าปรับตั้งสัญญาณพัลส์ในภาระแบบตัวต้านทานและภาระที่ต่อเข้าช่องชุบเคลือบผิวกรอบขาไอซี ทั้งการเปลี่ยนตำแหน่งการวัดที่ขาออกของสัญญาณพัลส์และที่วัดคร่อมที่หน้าสัมผัสใกล้ช่องที่น้ำยาที่เกิดปฏิกิริยาอิเลคโทรไลท์

5.ค่าเวลาในการตั้งตัวรูปคลื่นน้อยกว่า 1 ใน 10 ของความกว้างพัลส์ทั้งภาระที่เป็นตัวต้านทานและช่องใกล้บริเวณการเกิดปฏิกิริยาเคมีโดยจะเห็นการหน่วงของเวลาชัดเจนเมื่อวัดคร่อมช่องใกล้บริเวณการเกิดปฏิกิริยาเคมี

6.เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์มีเปอร์เซ็นต์การผิดพลาดจากการปรับค่าเวลา On Time/Off Time ต่อค่าเวลาที่แสดงที่ออสซิลโลสโคป เท่ากับ 0.1 %

ไพรัช ยังวัฒนา และคณะ (2547: บทคัดย่อ) ได้สร้างและทดลองเรื่อง “ เครื่องชุบแข็งผิวโลหะด้วยวิธีเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแบบควบคุมความถี่ “ ได้นำเสนอแหล่งจ่ายกำลังความถี่สูงสำหรับการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ อินเวอร์เตอร์แบบเต็มคลื่น ซึ่งใช้มอสเฟตกำลังเป็นอุปกรณ์ในการสวิตซ์ใช้สร้างแรงดันไฟฟ้าความถี่สูงที่จะจ่ายให้กับโหลดเหนี่ยวนำ อินเวอร์เตอร์นี้จะถูกความคุมแบบเปิดด้วยไอวี Pulse Width Modulation (PWM) เบอร์ TL494 ผลลัพธ์ของแรงดันและกระแสทางด้านเอ้าท์พุทจะต่อเข้ากับวงจรภาระแบบอนุกรมรีโซแนนซ์ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในการให้ความร้อนได้หลายรูปแบบโดยขึ้นอยู่กับงานการใช้งาน และทำงานที่ความถี่ 50 kHz-200kHz โดยมีพิกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุด 1500 VA

วรพจน์ เสรีรัส และ ชนกานต์ วุฒิวรคุปต์.(2009:บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การปรับปรุงกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีด้วยไฟฟ้าบนที-นัต โดยใช้เทคนิควิศวกรรมคุณภาพ ดังนี้ กระบวนการชุบเคลือบสังกะสีด้วยไฟฟ้าเป็นกระบวนการทางปฏิกิริยาเคมีที่สำคัญต่อการผลิตที-นัต เป็นอย่างมาก ปัจจุบันนี้พบว่าในกระบวนการชุบยังขาดการควบคุมที่ดีเนื่องจากยังไม่มีการสร้างวิธีทำงานที่เป็นมาตรฐาน ซึ่งทำให้เกิดข้อบกพร่องของที-นัตเป็นจำนวนมาก โดยปัญหาข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น ได้แก่ ชิ้นงานเป็นรอย เป็นคราบมัว ชุบติดไม่ทั่ว ไหม้ ลอกง่าย เป็นผื่นเม็ดๆ และเกลียวดำ ซึ่งข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นทำให้นำกลับไปซ่อมใหม่ ทำให้เสียทรัพยากรโดยไม่จำเป็นเสียเวลา วัตถุดิบและแรงงาน จากปัญหาดังกล่าวข้างต้นผู้วิจัย จึงมุ่งเน้นศึกษาวิเคราะห์ถึงสาเหตุของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นและปรับปรุงกระบวนการชุบสังกะสี เพื่อให้มีการควบคุมที่ดีและมีการทำงานที่เป็นมาตรฐาน โดยมีการศึกษาวิจัยที่โรงงานชุบสังกะสีแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงใหม่ จากการศึกษาพบว่าปัญหาข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นมีสาเหตุมาจากขาดการตรวจสอบในกระบวนการผลิต วิธีการปฏิบัติการไม่เหมาะสม ไม่มีมาตรฐานในการทำงาน เป็นต้น จากนั้นผู้วิจัยจึงทำการปรับปรุงโดยกำหนดวิธีการปฏิบัติงานที่เหมาะสม สร้างระบบการทำงานใหม่ให้มีการควบคุมการปฏิบัติงาน โดยกำหนดเป็นมาตรฐานการทำงาน ในรูปแบบของเอกสารอย่างชัดเจน มีการจัดทำคูมือน้ำยาชุบโลหะ จัดทำใบตรวจสอบน้ำยา จัดทำแผนการบำรุงรักษาต่างๆ มาใช้ในโรงงาน พบว่ากระบวนการชุบมีวิธีการทำงานที่เป็นมาตรฐานขึ้นและมีควบคุมที่ดี ทำให้ปัญหาข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นมีจำนวนลดลงจาก 8.96% เป็น 3.19 %

วัฒนา เอียวสวัสดิ์.(2541: บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่อง คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อและความเมื่อยล้าของพนักงานจับเส้นขนมจีนที่นั่งปฏิบัติงานบนเก้าอี้เตี้ยและเก้าอี้นั่งกึ่งยืนของพนักงานโรงงานขนมจีนรัตน์พร นิคมขนมจีนฉะเชิงเทรา จำนวน 10 คน โดยใช้เครื่องมือวัดคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อหลัง กล้ามเนื้อขา ร่วมกับใช้แบบสอบถามความรู้สึกเมื่อยล้า ขณะทำงานเก้าอี้เตี้ยและเก้าอี้นั่งกึ่ง 90 นาที นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกัน พบว่ากล้ามเนื้อหลังส่วนล่าง ขณะที่นั่งทำงานบนเก้าอี้นั่งกึ่งยืนมีความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน้อยว่าการนั่งทำงานบนเก้าอี้เตี้ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่กล้ามเนื้อขาไม่พบความแตกต่างระหว่างการนั่งทำงานบนเก้าอี้เตี้ยและเก้าอี้นั่งกึ่ง อีกทั้งยังพบว่า ค่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่วัดได้ สามารถให้รายละเอียดการทำงานของกล้ามเนื้อได้ดีกว่าใช้แบบสอบถามความรู้สึกเมื่อยล้าอีกด้วย (อ้างอิงจาก ณัฐธิดา บังเมฆ.2547: 30)

วิลาวัลย์ ชัยแก่น และคณะ (2550: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาเรื่อง “ปัจจัยด้านการยศาสตร์และอัตราความชุกของอาการปวดทางโครงร่างและกล้ามเนื้อในคนงานโรงงานผลิตชิ้นส่วนสารกึ่งตัวนำในนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ “ วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยด้านการยศาสตร์ด้านท่าทางการทำงานไม่เหมาะสม ท่าทางการทำงานซ้ำซาก และการยกของ อัตราความชุกของอาการปวดทางโครงร่างและกล้ามเนื้อ และความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านการยศาสตร์และอัตราความชุกของอาการปวดทางโครงร่างและกล้ามเนื้อในคนงานโรงงานผลิตชิ้นส่วนสารกึ่งตัวนำในนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ กลุ่มตัวอย่าง 265 คน เลือกโดยวิธีสุ่มตามคุณสมบัติที่กำหนดรวบรวม

ข้อมูลระหว่างเดือนมีนาคม ถึงเมษายน พ.ศ. 2549 โดยใช้แบบสัมภาษณ์ประกอบด้วย 3 ส่วน 1) ข้อมูลส่วนบุคคล 2) ปัจจัยด้านการยศาสตร์ 3) อาการปวดทางโครงร่างและกล้ามเนื้อ แบบสัมภาษณ์ผ่านการตรวจสอบความตรงตามเนื้อหาโดยผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 5 คน ได้ค่าดัชนีความตรงตามเนื้อหา เท่ากับ 1.0 ทดสอบความเชื่อมั่นโดยค่าสัมประสิทธิ์คูเดอร์-ริชาร์ดสัน 20 เท่ากับ 0.87 วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติพรรณนา ฟิชเชอร์แอกแซก ผลการวิจัยว่า กลุ่มตัวอย่างมีความสัมผัสปัจจัยด้านการยศาสตร์ในระดับที่เสี่ยงต่อการเกิดอาการปวดทางโครงร่างและกล้ามเนื้อ ในด้านท่าทางการทำงานไม่เหมาะสมร้อยละ 68.3 ท่าทางการทำงานซ้ำซาก ร้อยละ 61.5 และการยกของ ร้อยละ 5.7 โดยพบอัตราการชุกของอาการปวดทางโครงร่างและกล้ามเนื้อในช่วง 12 เดือน และ 7 วันก่อนศึกษาเท่ากับร้อยละ 97.7 และร้อยละ 56.2 เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านการยศาสตร์และอาการปวดทางโครงร่างและกล้ามเนื้อ พบว่า การสัมผัสปัจจัยทางการยศาสตร์ด้านท่าทางการทำงานไม่เหมาะสมร่วมท่าทางการทำงานซ้ำซาก และท่าทางการทำงานไม่เหมาะสมร่วมการยกของ มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านการยศาสตร์และอัตราความชุกของอาการปวดทางโครงร่างและกล้ามเนื้อที่มีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

สมคิด ภิรมย์ภักดี.(2549: บทคัดย่อ) ได้ทดลองและพัฒนาเรื่อง “การพัฒนากระบวนการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน กรณีศึกษา บริษัท เอื้อวิทยาเครื่องอุปกรณ์ จำกัด “หลังจากการพัฒนากระบวนการชุบสังกะสีได้คุณภาพชิ้นงานชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อนที่มีผิวเคลือบที่ได้ความหนาสม่ำเสมอเป็นไปตามเกณฑ์ข้อยอมรับ คือ ชิ้นงานที่มีความหนาน้อยกว่า 6.0 มม.ความหนาผิวเคลือบเท่ากับ 91$\pm$5 ไมครอน ได้ค่าดัชนี 0.56 ส่วนชิ้นงานที่มีความหนามากกว่าหรือเท่ากับ 6.0 มม. ความหนาผิวเคลือบเท่ากับ 100$\pm$10 ไมครอน ค่าดัชนี 0.40 ซึ่งได้ค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อนที่สูงขึ้นกว่าก่อนการพัฒนา

5.2 งานวิจัยต่างประเทศ

Rosman, et al. 1984: 2 ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการกระจายตัวของอุณหภูมิบนพื้นผิวของครีบ กับท่อของเครื่องเปลี่ยนความร้อน แบบครีบและแบบท่อ สรุปได้ว่า กระจายแบบครีบจะดีกว่าแบบท่อ และจะมีประสิทธิภาพในการระบายดีกว่าเดิม โดยเพิ่มจำนวนครีบอีกหนึ่งชุด

John S , et al.1990 : 2586-2594 งานวิจัยนี้ใช้เตาอบไฟฟ้า ที่มีขนาด 715 วัตต์ ขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร โดยมีพัดลมดูดอากาศด้านบนของเตา อุณหภูมิขณะเปิดเต็มที่ 78 องศาเซลเซียส ใช้วิธีป้อนกำลังไฟฟ้า 100 เปอร์เซ็นต์ เป็น เวลา 27 นาที ควบคุมโดยใช้การป้อนกระแสสลับ ระบบสามารถติดตามสัญญาณอ้างอิงแบแรม ได้ทั้งขาขึ้นและขาลง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

Tony, et al.1998: 5 ทำการศึกษาเกี่ยวกับการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีบและแบบท่อ โดยใช้หลักการทาง 3 มิติ เพื่อเปรียบเทียบลักษณะของการไหลโดยการเปรียบเทียบความเร็วของการไหลในที่ต่างๆกัน ตามลักษณะของรูปทรง

จากที่ได้ศึกษางานวิจัยต่าง ๆ ทั้งงานวิจัยในประเทศและงานวิจัยต่างประเทศ ดังกล่าว

ข้างต้นพบว่า ไม่ว่าจะเป็นงานวิจัยที่เกี่ยวกับการสร้างเครื่องมือใดก็ตาม ยังไม่พบว่ามีผู้สร้างและทำวิจัยเครื่องมือที่จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องประดับอัญมณีขนาดกลางและขนาดย่อม ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาการออกแบบและสร้างชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์โดยการออกแบบและสร้างที่มีรูปแบบโครงสร้างเป็นรูปตัวซี (C) เพื่อช่วยลดการเคลื่อนไหวร่างกายจากการทำงานกับเครื่องชุบนั้น ช่วยลดการเคลื่อนไหวร่างกายจากการทำงานและลดความล้าจากการทำงาน ทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลมากยิ่งขึ้น และลดค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อจากต่างประเทศหรือผู้ผลิต เมื่อชำรุดเสียหายหรือขัดข้อง สามารถหาชิ้นส่วนหรืออะไหล่ได้ง่ายและราคาถูกได้ตามท้องตลาดในประเทศ นอกจากนั้นการออกแบบและสร้างชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์นี้ยังช่วยให้ผลผลิตในการทำงานเพิ่มขึ้นอีกด้วย ทั้งนี้ยังเป็นต้นแบบสามารถนำมาใช้ในสถานประกอบการขนาดย่อมที่มีสายการผลิตขนาดเล็กหรือใช้ในสถานศึกษาที่ต้องการพัฒนาทักษะความรู้ในการออกแบบและสร้างชุดชุบเคลือบผิวโลหะมีค่าด้วยไฟฟ้าโดยใช้หลักของการยศาสตร์ต่อไป

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการทดลอง การออกแบบและสร้างชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจะดำเนินการวิจัยตามหัวข้อดังต่อไปนี้

1. เกณฑ์ข้อกำหนดของการออกแบบและสร้างชุดชุบในการวิจัย
2. ลำดับขั้นตอนการวิจัย
3. การวิเคราะห์ข้อมูล

1. เกณฑ์ข้อกำหนดของการออกแบบและสร้างเครื่องชุบในการวิจัย

1.1 การออกแบบและสร้างชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์ ซึ่งมีคุณสมบัติและประสิทธิภาพตามมาตรฐานของเครื่อง มีส่วนประกอบดังนี้

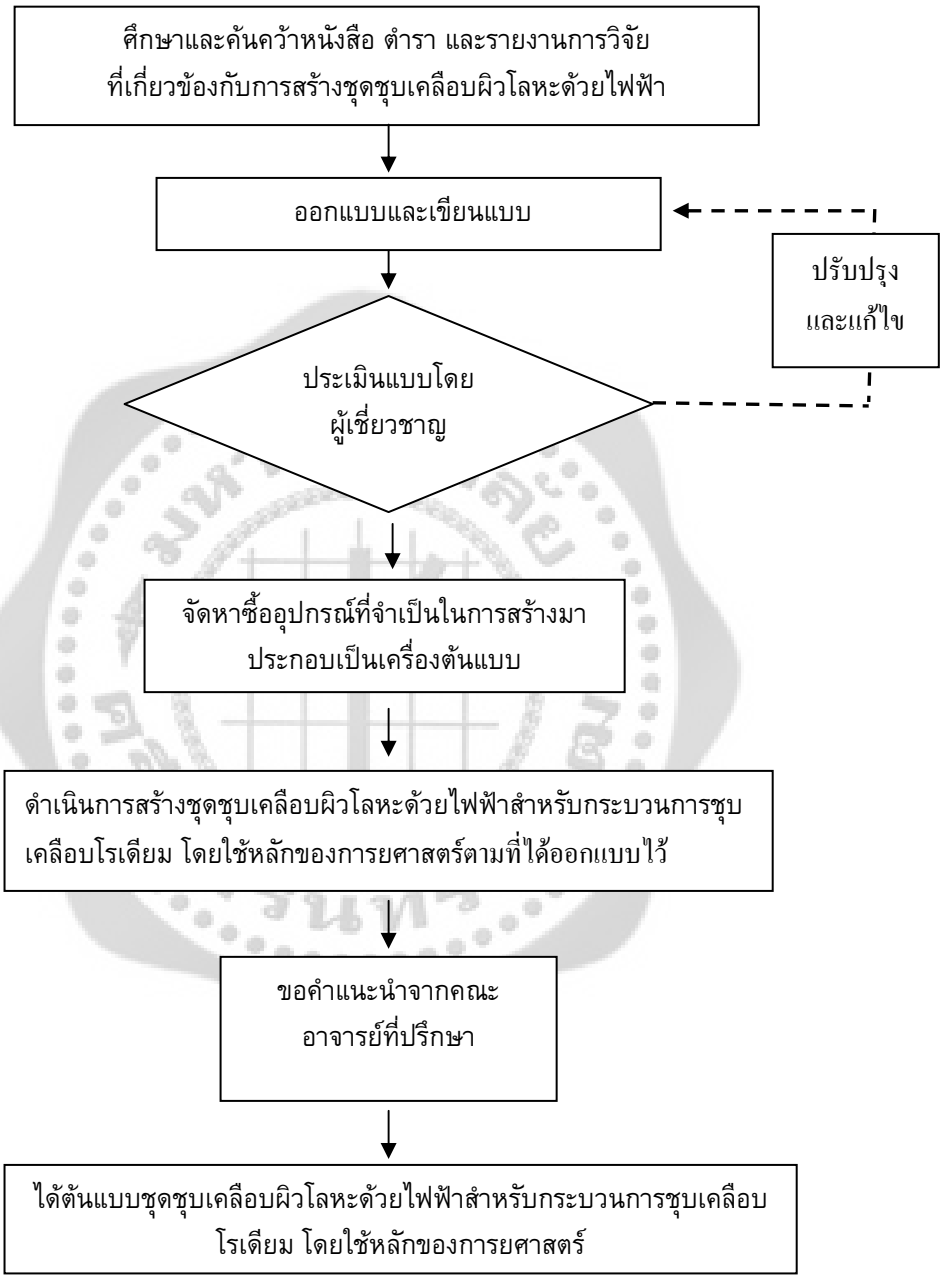
1.1.1 การออกแบบมีรูปแบบโครงสร้างเป็นรูปตัวซี (C) ทำด้วยสแตนเลสมีขนาดความกว้าง 1.60 เมตร ความยาว 1.80 เมตร ความสูง 1.40 เมตร ความสูงจากพื้นถึงปากถัง 1.10 เมตร

1.1.2 ปรับปรุงกระบวนการชุบ ประกอบด้วย ชุดถังล้างไฟฟ้าขนาด 25 ลิตร ชุดถังโพลีพรอพพิลีนบรรจุน้ำยาชุบขนาด 15 ลิตร ชุดหม้อแปลงจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 15V 0-30 A และชุดควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งกระบวนการชุบตามแบบที่พัฒนาเรียงลำดับ ดังนี้ 1.ล้างด้วยไฟฟ้า 2. ล้างน้ำไหลล้น 3.กระตุ้นผิวด้วยกรด 4.ล้างด้วยน้ำกลั่น 5.น้ำยาชุบเงิน 6.ล้างเก็บกลับน้ำยาชุบเงิน 7.น้ำยาชุบโรเดียม 8.ล้างเก็บกลับน้ำยาชุบโรเดียม 9.ล้างน้ำไหลล้นและน้ำร้อน

1.1.3 สร้างชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ตามที่ออกแบบและผ่านการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญไว้

2. ลำดับขั้นตอนการวิจัย

การวิจัยนี้เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ โดยปฏิบัติตามขั้นตอนการดำเนินจัดทำวิจัย ดังแผนภูมิต่อไปนี้



ภาพประกอบ 34 แสดงขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย

2.1 ศึกษาและค้นคว้าหนังสือ ตำรา และรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า

2.1.1 ค้นคว้าจากเอกสารตำราและงานวิจัยเชิงทดลอง ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและสร้างชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า และงานวิจัยเชิงพรรณนาทางด้านการยศาตร์ที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยการออกแบบและสร้างเครื่องเคลือบในสุญญากาศด้วยวิธีสปัตเตอริง สำหรับอุตสาหกรรมเครื่องประดับ ของ สุรสิงห์ ไชยคุณและคณะ. ได้ระบุไว้ว่าเครื่องเคลือบในสุญญากาศที่ออกแบบและสร้างขึ้นมีส่วน ประกอบ 7 ส่วน คือ ภาชนะสุญญากาศ ระบบเครื่องสูบสุญญากาศ แคโทด/เป้าสารเคลือบ ระบบน้ำหล่อเย็น ระบบจ่ายไฟฟ้า ระบบป้อนแก๊ส และชุดควบคุมการทำงานของเครื่องเคลือบ สำหรับชิ้นส่วนและอุปกรณ์ที่นำมาสร้างเครื่องเคลือบนี้ มีทั้งที่คณะผู้วิจัยออกแบบสร้างขึ้นใหม่ โดยใช้วัสดุภายในประเทศ บางส่วนเป็นอุปกรณ์ที่มีอยู่แล้ว ทั้งนี้อุปกรณ์ที่ออกแบบสร้างขึ้นมาใหม่ทั้งหมด ได้แก่ เครื่องเคลือบสูบสุญญากาศ แบบแพร่ไอ แคโทด และเป้าสารเคลือบ ภาชนะสุญญากาศ ระบบน้ำหล่อเย็น ระบบจ่ายไฟฟ้า และชุดควบคุมการทำงานของเครื่องเคลือบ ส่วนอุปกรณ์ที่มีอยู่แล้ว ได้แก่ เกจความดัน ระบบป้อนแก๊ส เครื่องสูบกลโรตารี (Lab today.2547 :43) โดยเครื่องเคลือบในสุญญากาศ ที่สร้างขึ้นสามารถทำความดันภายในภาชนะสุญญากาศได้ต่ำสุดถึง 6.0×10^{-6} mbar เมื่อใช้ไททาเนียมและทองแดงเป็นเป้าสารเคลือบ พบว่า มีอัตราการควบเท่ากับ 0.013 mm/min และ 0.067 mm/min ตามลำดับ โดยฟิล์ม ที่ได้เมื่อสังเกตด้วยสายตา พบว่า มีสีที่แวววาวของสารเคลือบ และไม่ปรากฏสภาพหมองคล้ำของฟิล์มโลหะเหล่านี้ เมื่อทดลองการยึดติดของฟิล์มโดยการเช็ดถูด้วยนิ้วมือและขูดด้วยเล็บ พบว่า ไม่สามารถทำให้ฟิล์มหลุดได้(Lab today.2547 :45)

จากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษา ปัจจัยด้านการยศาสตร์และอัตราความชุกของอาการปวดทางโครงร่างและกล้ามเนื้อในคนงานโรงงานผลิตชิ้นส่วนสารกึ่งตัวนำในนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือของวิลาวัลย์ ชัยแก่น และคณะ (2550:) ผลการศึกษา พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีการสัมผัสปัจจัยการยศาสตร์ ในระดับที่เสี่ยงต่อการเกิดอาการทางโครงร่างและกล้ามเนื้อด้านท่าทางการทำงานไม่เหมาะสม ร้อยละ 68.3 ด้านท่าทางการทำงานซ้ำซาก ร้อยละ 61.5 และด้านการยกของร้อยละ 5.7 เมื่อนำกลุ่มตัวอย่างที่มีการสัมผัสปัจจัยการยศาสตร์ในระดับที่เสี่ยงมาพิจารณา การสัมผัสปัจจัยการยศาสตร์ ร่วมกันมากกว่า 1 ด้าน พบว่ากลุ่มตัวอย่างมีการสัมผัสปัจจัยด้านท่าทางการทำงานไม่เหมาะสมร่วมกับท่าทางการทำงานซ้ำซากร้อยละ 90.2 ด้านท่าทางการทำงานไม่เหมาะสมร่วมกับการยกของร้อยละ 93.3 และด้านท่าทางการทำงาน ซ้ำซากร่วมกับการยกของร้อยละ 73.3 ซึ่งมีสัดส่วนเท่ากับกลุ่มตัวอย่างที่มีสัมผัสปัจจัยการยศาสตร์ทั้ง 3 ด้าน กลุ่มตัวอย่างมีอัตราความชุกของการปวดทางโครงร่างและกล้ามเนื้อในช่วง 12 เดือน ก่อนศึกษาร้อยละ 97.7 และในช่วง 7 วัน ก่อนการศึกษา ร้อยละ 56.2 มีอาการปวดหลังส่วนล่างใน

สัดส่วนสูงสุด (ร้อยละ 17.7) รองลงมา ได้แก่ ไหล่ (ร้อยละ 14.9) และข้อมือ (ร้อยละ 14.7) ตามลำดับ

ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการยศาสตร์จากการทำงานกับ อาการปวดทางโครงร่างและกล้ามเนื้อของกลุ่มตัวอย่าง พบว่า การสัมผัสปัจจัยด้านการยศาสตร์ด้านท่าทางการทำงานไม่เหมาะสม ร่วมกับท่าทางการทำงานซ้ำซาก และท่าทางการทำงานไม่เหมาะสม ร่วมกับด้านการยกของ มีความสัมพันธ์กับการเกิด อาการปวดทางโครงร่างและกล้ามเนื้อ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และพบว่า ท่าทางการทำงานมีความสัมพันธ์กับการเกิดปวดในส่วนของร่างกายที่มีการใช้ในท่าทางนั้นๆ ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เช่น การทำงานในลักษณะที่มีการก้มหรือเงยของศีรษะ การหมุนเอียงคอ และการยกของสูงกว่าระดับศีรษะทำให้เสี่ยงต่อการเกิดอาการปวดคอ (วารสารวิชาการสาธารณสุข.2550 : 229-230)

2.1.2 ศึกษาคุณสมบัติและส่วนประกอบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องต่างๆที่ใช้มาประกอบเป็นชุดที่สมบูรณ์

จากการศึกษางานวิจัยการศึกษาประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าในการชุบทองบนเครื่องประดับแหวนทองเหลือง ของ จันทร์เพ็ญ อนุรัตนานนท์.(บทคัดย่อ) ได้ระบุว่า งานชุบทองเป็นอุตสาหกรรมผลิตเครื่องประดับชนิดหนึ่ง ซึ่งปัจจุบันมีผู้สนใจหันมาใช้เครื่องประดับประเภทนี้กันมากขึ้น แต่เทคนิคและความรู้ความเข้าใจในงานชุบทองยังไม่เป็นที่เปิดเผย เป็นความลับของแต่ละโรงงาน ดังนั้น งานวิจัยนี้เป็นการริเริ่มนำงานชุบทองมาศึกษา คือการศึกษาประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าในการชุบทองบนเครื่องปกระดับแหวนทองเหลือง โดยทำการทดลองบนแหวนทองเหลือง 4 แบบ และใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าในขั้นตอนชุบทอง 5 ค่า คือ 1, 2, 3, 4 และ 5 แอมแปร์/ตารางเดซิเมตร พบว่า ได้ผลเหมือนกัน คือ ที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์/ตารางเดซิเมตร มีประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าสูงที่สุด ที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 2, 3, 4 และ 5 แอมแปร์/ตารางเดซิเมตร เดซิเมตร มีประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าลดลงตามลำดับ โดยเมื่อความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าและประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้ามาสร้างเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้ากับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า พบว่า แหวนแบบที่ 1 และแหวนแบบที่ 2 ได้กราฟที่เหมาะสม คือ กราฟที่มีการแจกแจงแบบโพลีโนเมียล แหวนแบบที่ 3 และแบบที่ 4 ได้กราฟ ที่เหมาะสม คือ กราฟที่มีการแจกแจงแบบเอ๊กซโปเนนเชียลและลอกกาลิทึม จากกราฟทั้ง 4 แบบ แสดงให้เห็นว่า การใช้ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าต่ำ จะให้ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าสูงกว่าการใช้ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูง(วาสารมหาวิทยาลัยศิลปากร. 2550.119-220)

2.2 ศึกษาวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือในส่วนต่าง ๆที่ใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าโดยใช้หลักการยศาสตร์

2.2.1 วัสดุ เป็นการศึกษาถึงวัสดุที่ใช้ในการสร้างชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า

2.2.1.1 ฮีตเตอร์ทำความร้อนชนิดต่าง ๆ

2.2.1.2 โลหะชนิดต่าง ๆ เช่น สแตนเลส PP

2.2.1.3 โคมไฟ ปลั๊ก สวิทซ์ สายไฟ มอเตอร์

2.2.1.4 สว่านมือ

2.2.1.5 สายยาง ท่อPVC และก๊อกน้ำ

2.2.2 อุปกรณ์ เป็นการศึกษาถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบและสร้างชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม

2.2.2.1 เป็นการศึกษาอุปกรณ์ที่ใช้หม้อแปลงสำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าตรง

2.2.2.2 เป็นการศึกษาอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิ

2.2.2.3 เป็นการศึกษาอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมเวลา

2.2.2.4 เป็นการศึกษาอุปกรณ์ที่ใช้บรรจุสารเคมีและน้ำยาชุบเงินและโรเดียม

2.2.2.5 เป็นการศึกษาอุปกรณ์ที่ใช้เป็นขั้วไฟฟ้าในกระบวนการชุบเคลือบผิวด้วยโลหะ

2.2.3 เครื่องมือ เป็นการศึกษาถึงเครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบและสร้างในส่วนของการใช้และการตรวจสอบคุณสมบัติของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม

2.2.3.1 ชุดเครื่องมือเชื่อมสแตนเลส

2.2.3.2 ชุดประแจใช้ขันน็อต ในการประกอบ

2.2.3.3 ไขควง ใช้ในการขันสกรูเข้าออกในการประกอบ

2.2.3.4 ค้อนปอนด์ ใช้ตอกหรือเคาะ

2.2.3.5 เครื่องหินเจียรและขัดเงา ใช้เจียรรอยเชื่อมโลหะ พร้อมทั้งขัดเงา

2.2.3.6 ไขควงไฟ ใช้จับกระแสไฟที่ขั้วไฟฟ้าเมื่อประกอบระบบไฟฟ้า

2.2.3.7 เครื่องตัดและเลื่อยฉลุ สำหรับตัดแผ่นกระดานและแผ่นโลหะ

2.2.3.8 กรรไกรตัดโลหะ คีมตัดลวด สำหรับตัดลวดและแผ่นโลหะ

2.3 ออกแบบและเขียนแบบ กำหนดวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือในส่วนต่าง ๆที่ใช้ในการออกแบบและสร้างชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า

2.3.1 ออกแบบชุดบรรจุสารเคมีและน้ำยาชุบด้วยไฟฟ้า

2.3.1.1 ออกแบบชุดบรรจุน้ำยาชุบโรเดียมด้วยไฟฟ้า

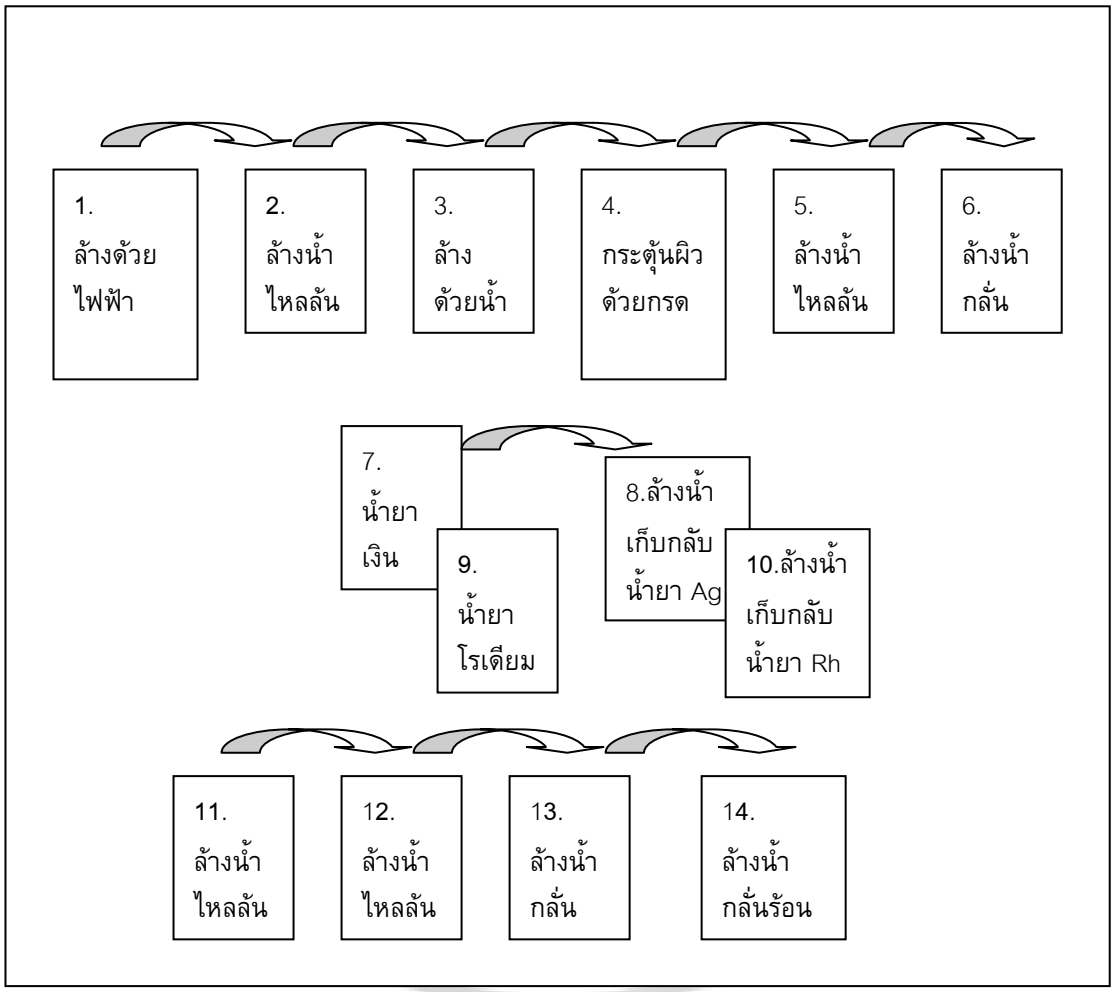
ภาพประกอบ 35 แสดงถัง Pyrex ขนาด 2 ลิตร 4 ใบ แบบเดิม

ที่มา : http://www.eurotecniche.

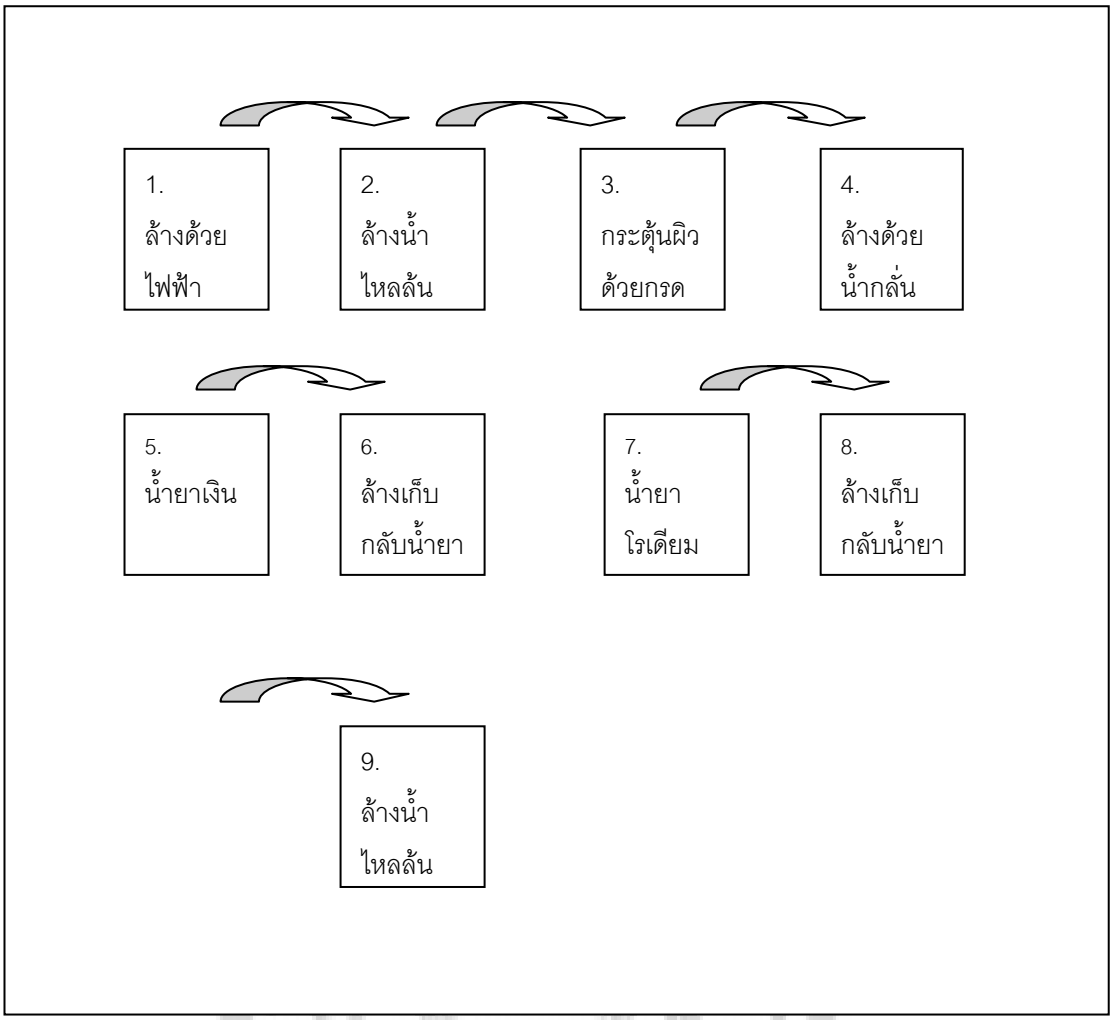
ภาพประกอบ 36 แสดงถัง PP ขนาด 15 ลิตร แบบ Plating Jig

ผู้วิจัยเลือกออกแบบชุดบรรจุสารเคมีและน้ำยาชุบด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม คือ ถัง PP ขนาด 15 ลิตร แบบ Plating Jig สำหรับน้ำยาชุบโรเดียม เนื่องจากมีความเหมาะสมในการกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมขนาดย่อม

2.3.1.2 ออกแบบกระบวนการชุบด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม



ภาพประกอบ 37 ผังแสดงออกแบบกระบวนการชุบด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมแบบเดิม

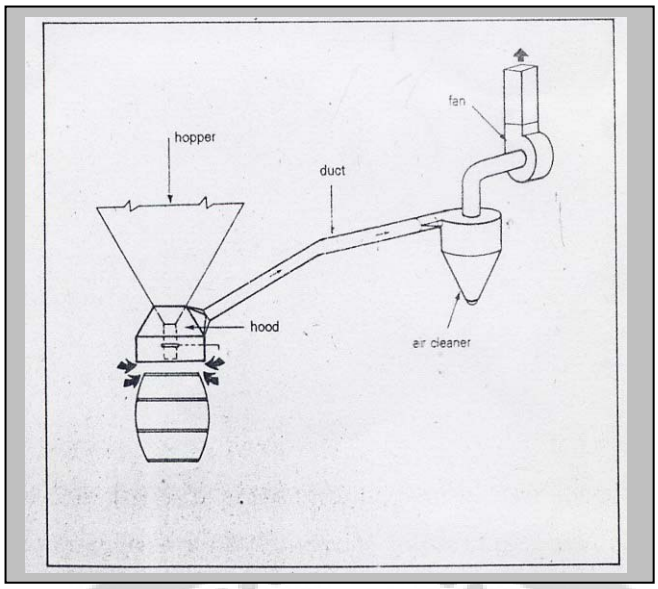


ภาพประกอบ 38 ผังแสดงออกแบบกระบวนการชุบด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมแบบใหม่ที่จะพัฒนา

2.3.1.3 ออกแบบชุดระบบระบายอากาศ

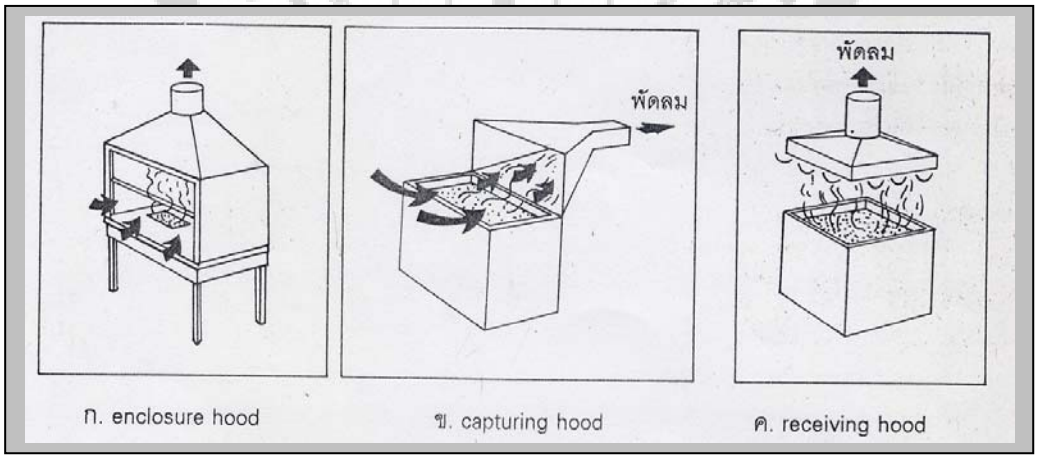
ผู้วิจัยเลือกออกแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่เป็นระบบระบายอากาศที่ดูดหรือรับสารพิษที่ฟุ้งกระจายไม่ว่าจะเป็นรูปแบบของก๊าซ หรืออนุภาคออกจากบริเวณที่เป็นแหล่งกำเนิดสารพิษเข้าสู่ตัวระบบผ่านการกำจัดสารมลพิษถูกปล่อยสู่บรรยากาศภายนอก ซึ่งส่วนประกอบของระบบระบายระบายอากาศประกอบด้วย 4 ส่วนคือ

1)ปากท่อดูดอากาศ 2)ท่อ 3)อุปกรณ์แยก/กำจัดสารพิษ 4)พัดลม ดังแสดงในภาพประกอบ 45 และ 46(ข)



ภาพประกอบ 39 ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบระบายอากาศเฉพาะที่

ที่มา : สราวุธ สุธรรมาสาและคณะ.(2550).เออร์กอนอมิคส์และจิตวิทยาในการทำงาน. หน่วยที่ 1-7.หน้า 298.



ภาพประกอบ 40 ชนิดของปากท่อดูดอากาศ

ที่มา : อ้างอิง สราวุธ สุธรรมาสาและคณะ.(2550).เออร์กอนอมิคส์และจิตวิทยาในการทำงาน.หน่วยที่ 1-7. หน้า 299.

2.3.2 ออกแบบระบบอุปกรณ์ที่ใช้จ่ายกระแสไฟฟ้า

2.3.2.1 หม้อแปลงไฟฟ้า

2.3.2.2 สายจ่ายกระแสไฟฟ้า

ผู้วิจัยเลือกออกแบบระบบอุปกรณ์ที่ใช้จ่ายกระแสไฟฟ้าคงใช้แบบเดิม คือ เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Rectifier) 15V จำนวน 3 ชุด แต่จะเลือกใช้ชนิดสำเร็จรูปที่เป็นระบบดิจิตอล 2 ชุด สำหรับถังชุบและระบบดิจิตอล 1 ชุด สำหรับถังล้างไฟฟ้ามาประกอบ

ภาพประกอบ 41 แสดงระบบอุปกรณ์ที่ใช้จ่ายกระแสไฟฟ้าที่จะพัฒนา

2.3.3 ออกแบบระบบอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิ

2.3.3.1 ชุดทำความร้อน

2.3.3.2 ชุดควบคุมความร้อน

ภาพประกอบ 42 แสดงระบบอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิที่จะพัฒนา

การศึกษาระบบอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งประกอบด้วยชุดทำความร้อนและชุดควบคุมความร้อน พบว่า ชุดทำความร้อนสำหรับถังขนาดกลาง มักเป็นชุดทำความร้อน(Heater) แบบหลอดแก้ว หรือ กระบอก ทำความร้อนโดยจุ่มลงในสารเคมี และใช้ชุดควบคุมความร้อนมีทั้งแบบดิจิตอลและแบบปรับหมุน

ผู้วิจัยจึงเลือกออกแบบระบบอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิโดยจะพัฒนาเฉพาะชุดทำความร้อน ซึ่งจะพัฒนาเป็นชุดทำความร้อนสำหรับถังขนาดกลาง มักเป็นชุดทำความร้อน(Heater) แบบหลอดแก้ว หรือ กระบอก หรือ ชนิดท่อสแตนเลส เหมาะสำหรับการใช้กับสารเคมีอ่อน ทำความร้อนโดยจุ่มลงในสารเคมี

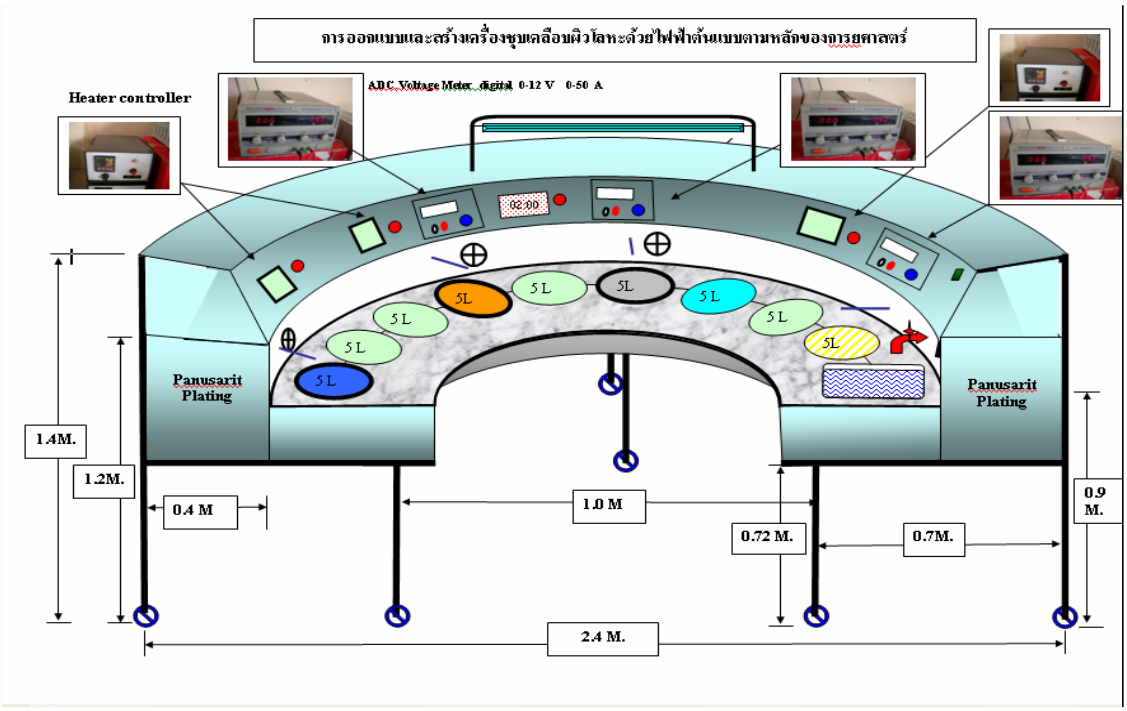
2.4 ดำเนินการสร้างชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า โดยใช้หลักการยศาสตร์

2.4.1 ออกแบบโครงสร้างของเครื่องชุบโดยใช้หลักการยศาสตร์(แบบ ก)

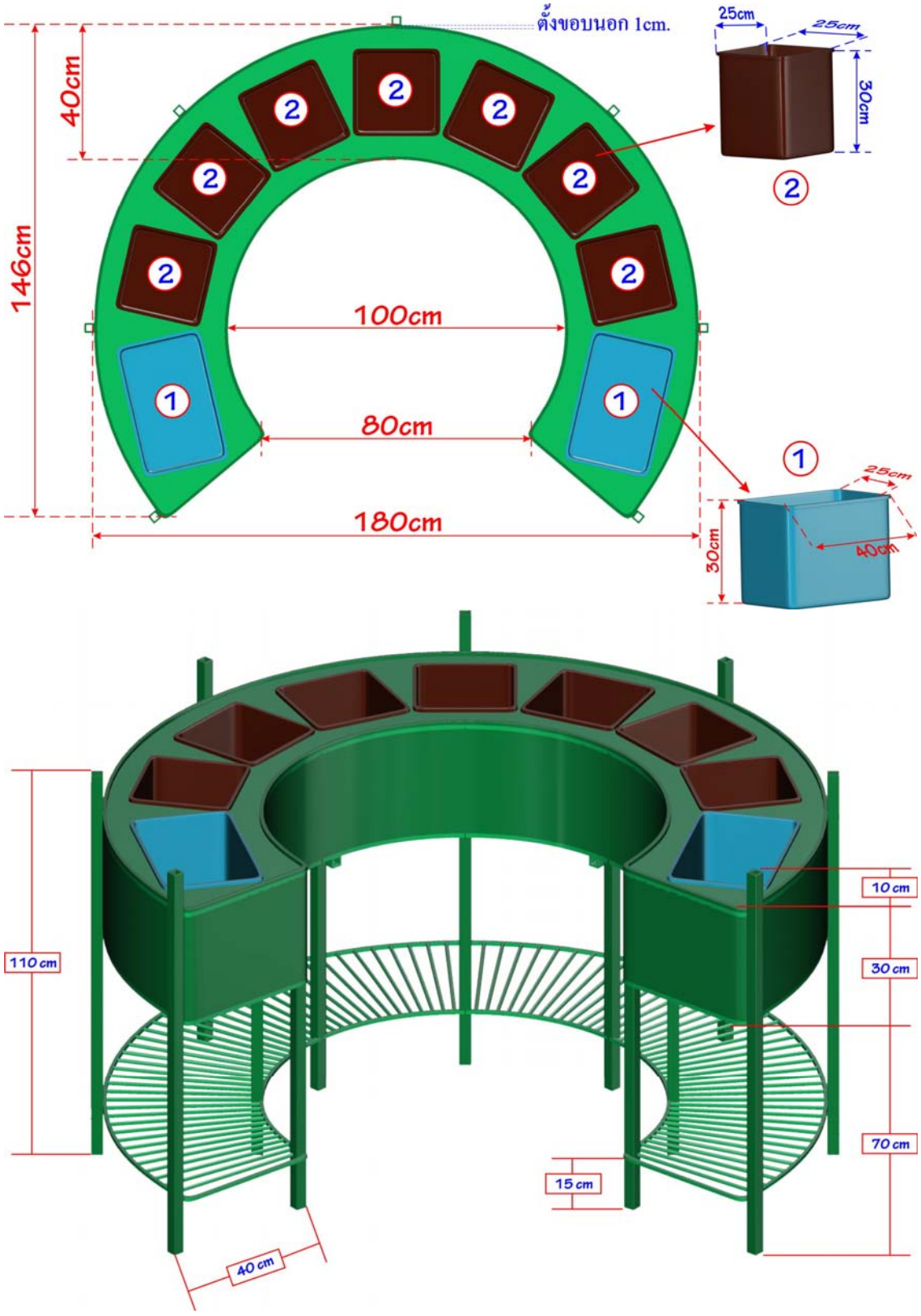
2.4.2 ออกแบบโครงสร้างของเครื่องชุบโดยใช้หลักการยศาสตร์(แบบ ข)

2.4.3 ออกแบบโครงสร้างของเครื่องชุบโดยใช้หลักการยศาสตร์(แบบ ค)

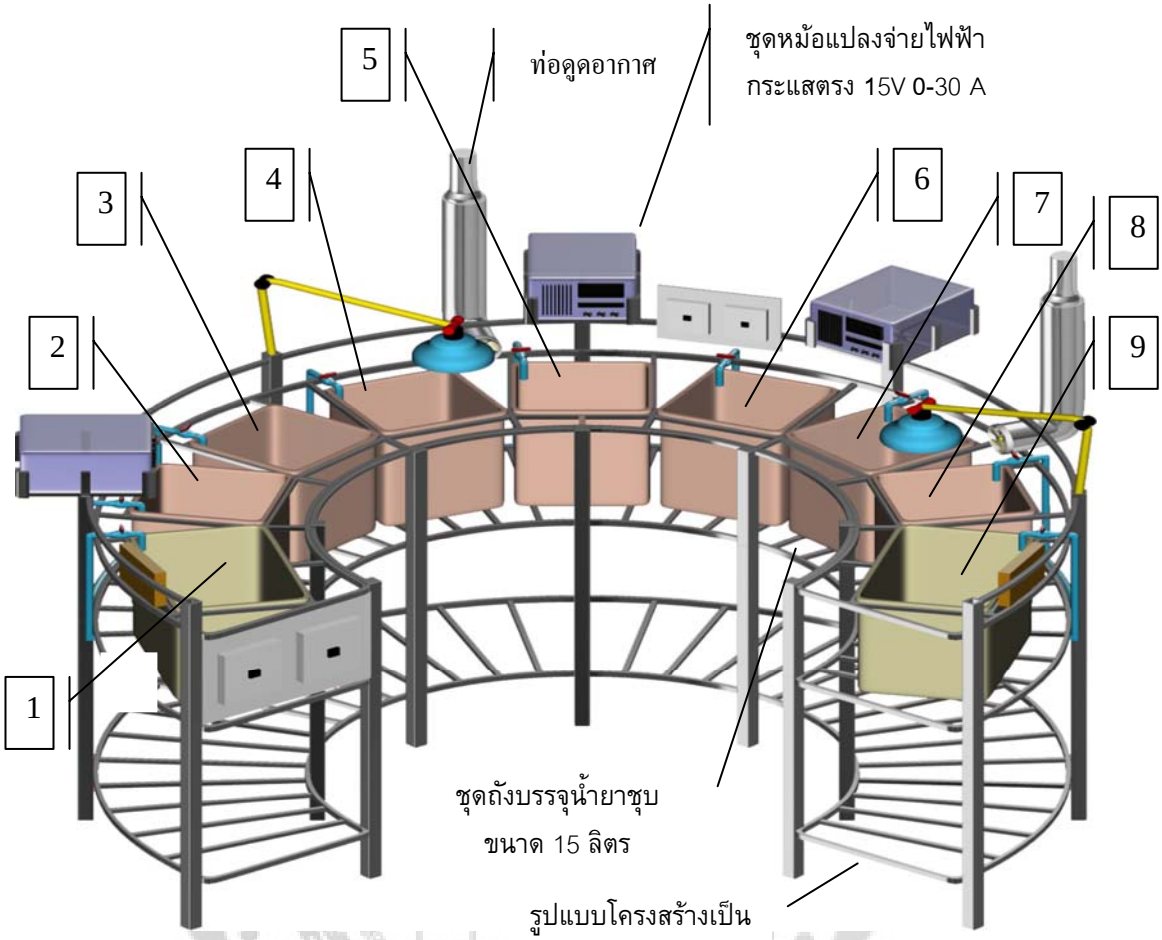
2.4.4 สร้างเครื่องชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าโดยใช้หลักการยศาสตร์

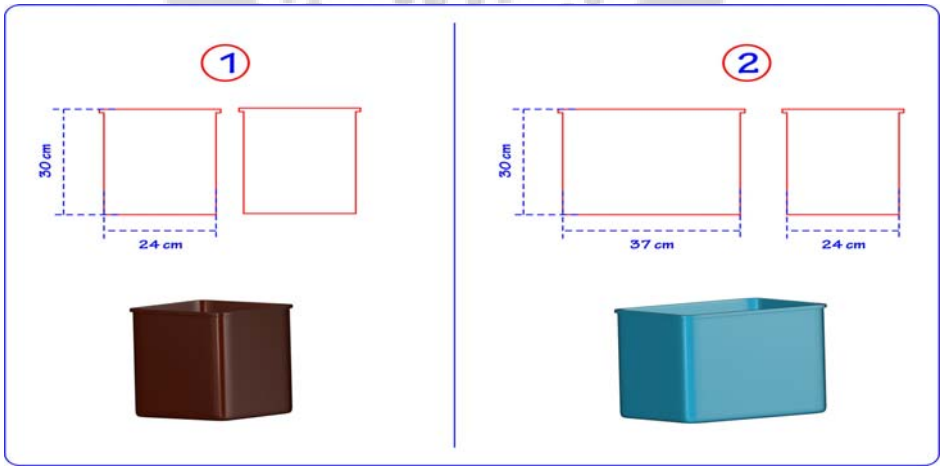


ภาพประกอบ 43 โครงสร้างของเครื่องชุบโดยใช้หลักการยศาสตร์แบบตัว C (แบบ ก)

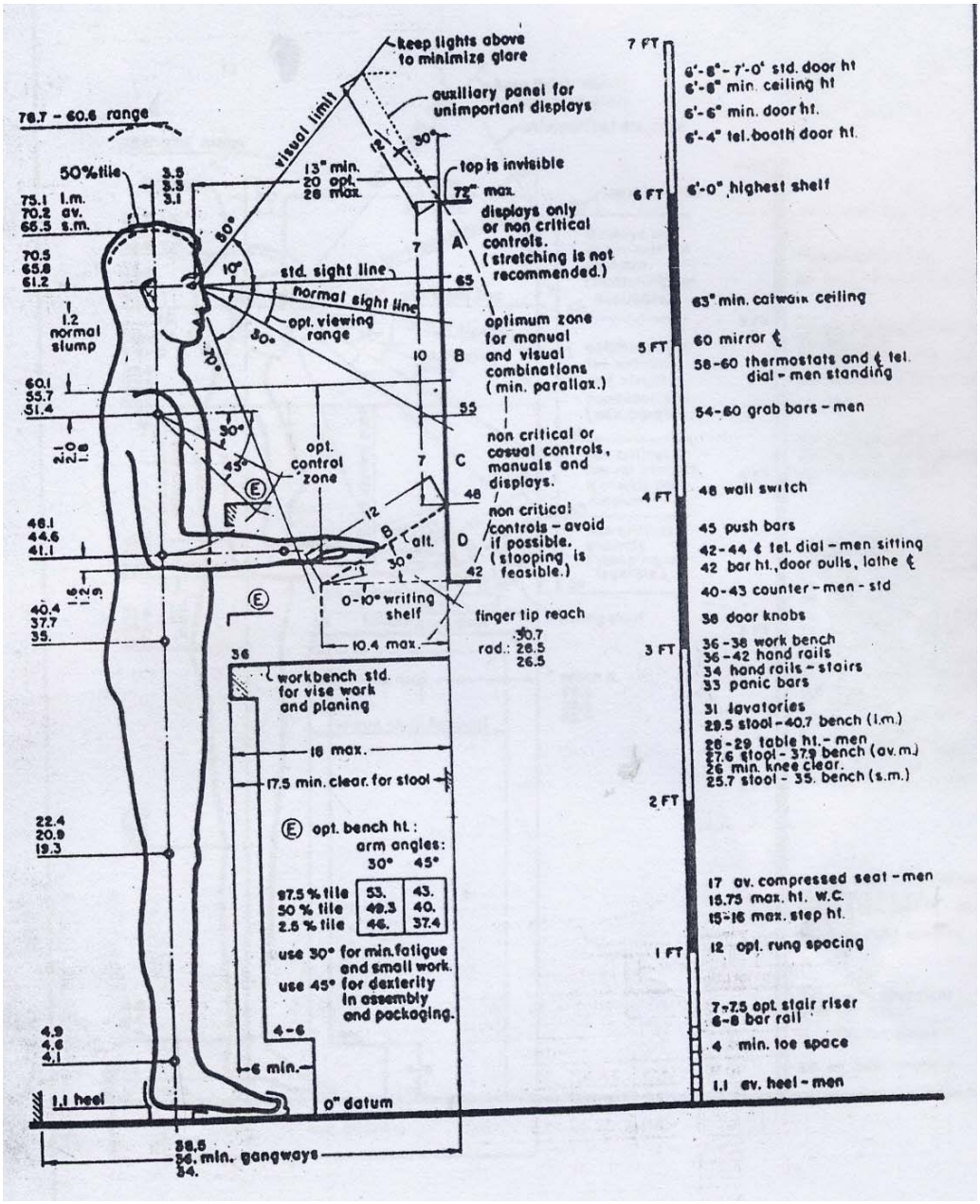


ภาพประกอบ 44 โครงสร้างของเครื่องชุบโดยใช้หลักการยศาสตร์แบบตัว C (แบบ ข)



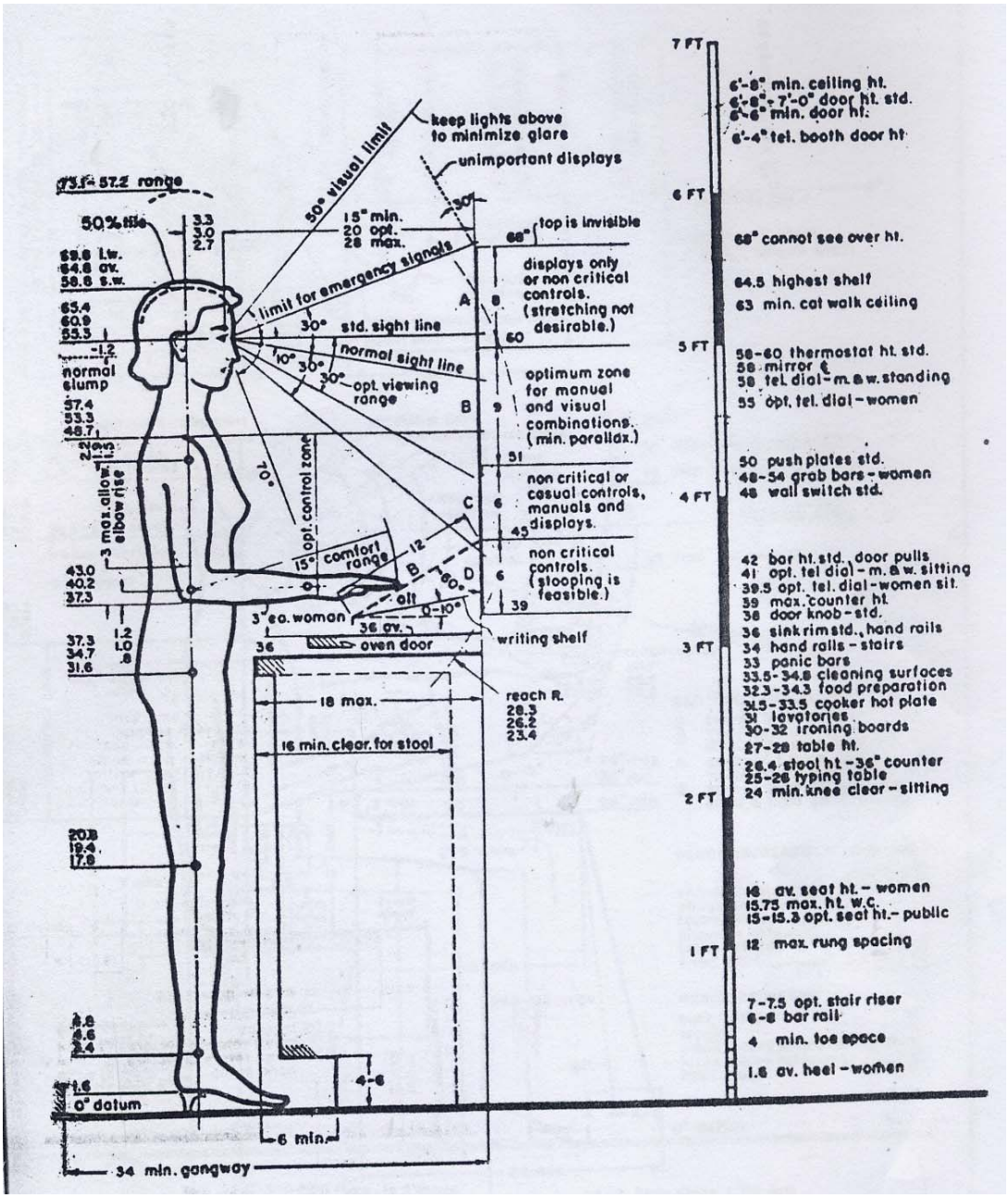


ภาพประกอบ 45 โครงสร้างของเครื่องชุบโดยใช้หลักการยศาสตร์ แบบตัว C(แบบ ค)



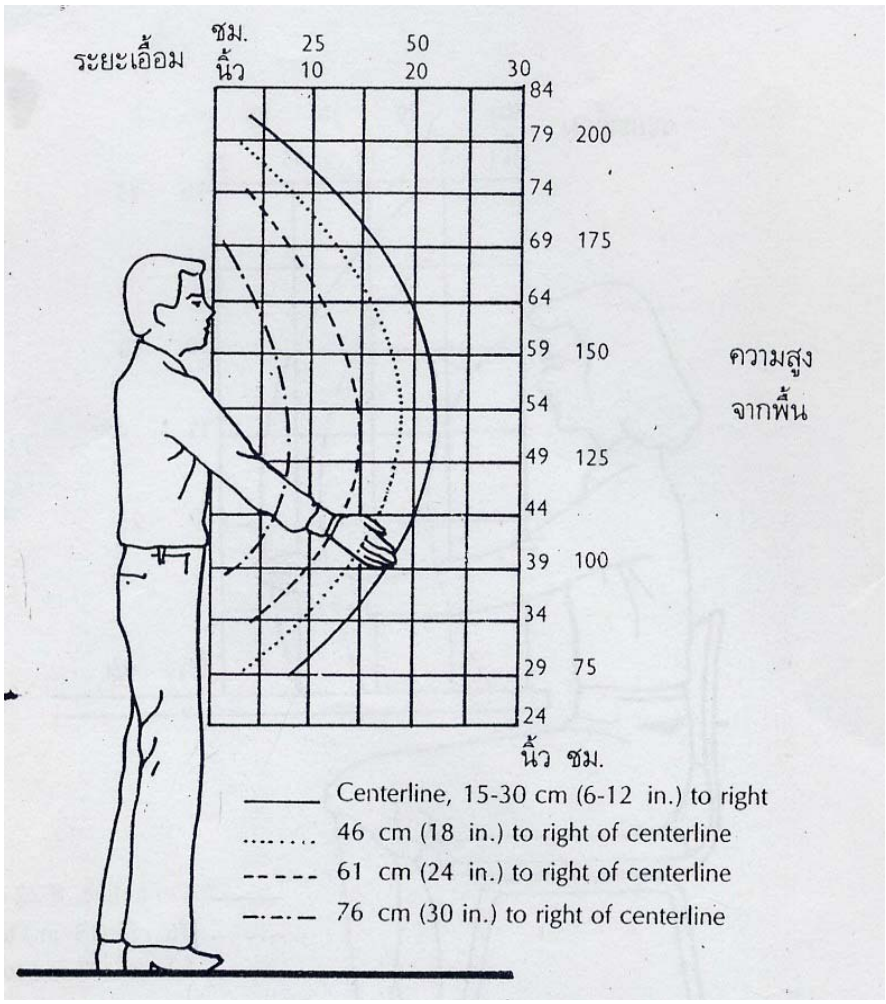
ภาพประกอบ 46 แสดงการออกแบบระดับชุดควบคุมของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า โดยใช้หลักการยศาสตร์ ของผู้ชายที่จะพัฒนา

ที่มา: สาคร คันธโชติและวิศิษฐ์ สิริสัมพันธ์ (2529). การออกแบบผลิตภัณฑ์โลหะ. หน้า 30.



ภาพประกอบ 47 แสดงการออกแบบระดับชุดควบคุมของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า โดยใช้หลักการยศาสตร์ของผู้หญิงที่จะพัฒนา

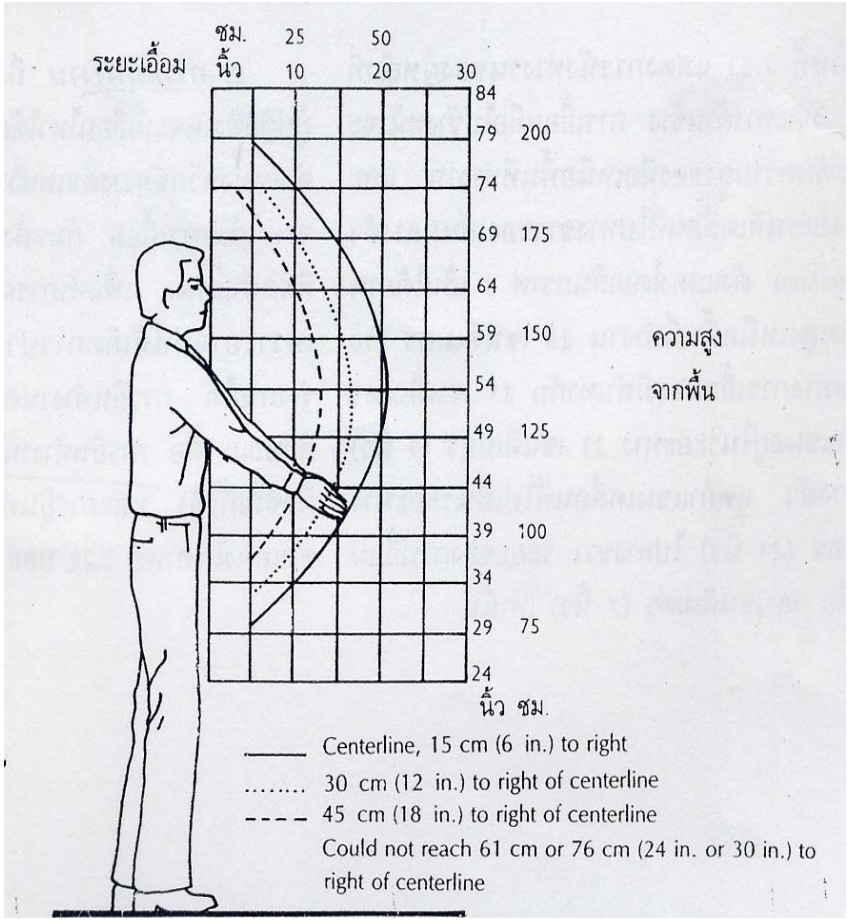
ที่มา:สาคร คันธโชติและวิศิษฐ์ สิริสัมพันธ์ (2529). การออกแบบผลิตภัณฑ์โลหะ. หน้า 31.



ภาพประกอบ 48 แสดงการยืนทำงานที่ใช้มือเดียวจับอุปกรณ์

ที่มา: ปีติ พูนไชยศรี,คณะ. (2550).เออร์กอนอมิคส์และจิตวิทยาในการทำงาน.หน่วยที่ 1-7.หน้า 338.

จากภาพประกอบ 48 แสดงการยืนปฏิบัติโดยใช้ มือขวามือเดียว (โดยที่มือซ้ายก็มีระยะทางในการปฏิบัติงานเช่นเดียวกับมือขวา) ในลักษณะการปฏิบัติงานดังกล่าวผู้ปฏิบัติงานไม่เอื้อมมือหรือเอนตัวไปข้างหน้า ระยะทางของตำแหน่งอุปกรณ์ที่เหมาะสมจะมีค่า 46 เซนติเมตร (18 นิ้ว) และอุปกรณ์ควบคุมนั้นอยู่สูงจากพื้นประมาณ 110-165 เซนติเมตร (43-65 นิ้ว)



ภาพประกอบ 49 แสดงการยืนทำงานที่ใช้มือสองข้างจับอุปกรณ์

ที่มา: ปีติ พูนไชยศรี,คณะ. (2550).เออร์กอนอมิคส์และจิตวิทยาในการทำงาน.หน่วยที่ 1-7.หน้า 338.

จากภาพประกอบ 56 เป็นการยืนทำงานที่ใช้มือสองข้างจับอุปกรณ์ควบคุมสองอัน ระยะทางของตำแหน่งอุปกรณ์ควบคุมที่อยู่ข้างหน้าของผู้ปฏิบัติงานนั้นจะมีระยะทางสั้นกว่าการใช้มือเดียวเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจาก การเคลื่อนไหวของแขนซ้ายและขวา มาทางขวาและซ้ายตามลำดับ ทำให้ระยะทางที่ถนัดลดลง ดังนั้นระยะห่างที่ เอื้อมมากที่สุดมาข้างหน้าถึงตำแหน่งของอุปกรณ์ควบคุม(ประมาณ 51 เซนติเมตร หรือ 20 นิ้ว) จะอยู่ในช่วง 15 เซนติเมตร (6 นิ้ว) แต่ละข้างของเส้นกลางตัว ระยะทางไกลสุดของตำแหน่งอุปกรณ์ทางด้านข้างที่ผู้ปฏิบัติงานต้องใช้สองมือเอื้อมจะมีค่าเพียง 46 เซนติเมตร (18 นิ้ว) จากเส้นกลางลำตัว และที่จุดนี้ ถ้าผู้ปฏิบัติงานจะควบคุม โดยไม่ต้องเอื้อม หรือโค้งตัวไปข้างหน้าเลยก็จะมีค่าเท่ากับ 36 เซนติเมตร (14 นิ้ว) เท่านั้น (ปีติ พูนไชยศรี,คณะ.2550 : 336-339)

นอกจากนี้การออกแบบเกจ หน้าปัด และแสงสว่าง จะให้อยู่ใกล้กับคนงานทำให้งานดำเนินได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ อาทิเช่น แม่แรงถูกออกแบบให้ง่ายต่อผู้ใช้ คือ ถ้าต้องใช้แรงมากๆ ก็จะใช้เครื่องจักรชนิดไฟฟ้า ไฮดรอลิก นิวแมติก หรือ เครื่องปั่นกำลังกล เป็นการลดอันตรายจากการทำงานไปในตัว การออกแบบให้คนและเครื่องจักรทำงานร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพจึงสำคัญมากในปัจจุบัน โดยคำนึงถึงสรีระทางร่างกาย สามารถของอวัยวะต่างๆด้วยในการที่จะออกแบบให้คนและเครื่องจักรทำงานาร่วมกันนั้น ผู้ออกแบบจำเป็นจะต้องมีข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับอวัยวะส่วนต่างๆ ของร่างกายคนและหน้าที่แต่ละส่วน ดังนั้นจึงได้มีการวิจัยที่จะกำหนดพิสัยของมิติต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของคน การเรียนรู้เกี่ยวกับแรงของคนก็มีความสำคัญต่อการออกแบบของเครื่องจักรในลักษณะนี้เช่นเดียวกัน นอกจากนี้เรายังต้องคำนึงถึงความเร็วที่เกิดขึ้น เพื่อนำไปสู่ระบบควบคุม ซึ่งจะก่อให้เกิดความแม่นยำขึ้น การวิจัยเหล่านี้ก็เกี่ยวข้องไปถึงการออกแบบให้เกจและเครื่องมือวัดต่างๆ มีความผิดพลาดในการวัดน้อยที่สุด (วิฑูรย์ สิมะโชคดีและ กฤษฎา ชัยกุล, 2537: 122)

ผู้วิจัยวิเคราะห์แบบชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า โดยใช้หลักการยศาสตร์ที่จะพัฒนาตามระยะทางของตำแหน่งอุปกรณ์ควบคุมที่อยู่ข้างหน้าของผู้ปฏิบัติงาน ทั้ง 2 กรณี คือ (1)การยืนปฏิบัติโดยใช้ มือขวามือเดียว (2)การยืนทำงานที่ใช้มือสองข้างจับอุปกรณ์ควบคุม ดังนั้นระยะห่างที่ เอื้อมมากที่สุดมาข้างหน้าถึงตำแหน่งของอุปกรณ์ควบคุม (ประมาณ 46-51 เซนติเมตร หรือ 18-20 นิ้ว) ถ้าผู้ปฏิบัติงานจะควบคุม โดยไม่ต้องเอื้อม หรือโค้งตัวไปข้างหน้า เท่ากับ 36 เซนติเมตร (14 นิ้ว) และอุปกรณ์ควบคุมนั้นอยู่สูงจากพื้นประมาณ 110-165 เซนติเมตร (43-65 นิ้ว) ผู้วิจัยจึงกำหนดระยะจากพื้นถึงข้อพับของข้อศอกอยู่ระหว่าง 110 เซนติเมตร (44 นิ้ว)

จากการนำแบบโครงสร้างของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า โดยใช้หลักการยศาสตร์แบบ (ก) (ข) และแบบ (ค) ได้ประเมินราคากับช่างชำนาญการ พบว่า แบบ (ก) ราคาประมาณ 240,000 บาท ด้วยมีวัสดุอุปกรณ์ที่ทีราคาสูง ทั้งมีโครงสร้างที่ขึ้นรูป ประกอบต้องใช้เครื่องมือช่างที่หายาก การติดตั้งระบบไฟฟ้าและระบบน้ำที่ระดับยาก และแบบ (ข) ราคาประมาณ 140,000 บาท ขนาดกะทัดรัด ดูโปร่ง ราคาไม่แพงมากนัก แต่โครงสร้างทึบไป มีความยากในการขึ้นรูป ส่วนแบบ (ค) ราคาประมาณ 80,000 บาท ผู้วิจัยจึงเลือกแบบ (ค) ที่มีราคาเหมาะสม ด้วยขนาดโครงสร้างเหมาะสม ขนาดกะทัดรัด ถอดประกอบได้ง่าย โครงสร้างดูโปร่ง การขึ้นรูปง่าย ไม่หนักเกินไป อุปกรณ์และวัสดุสามารถหาได้ง่ายในท้องตลาด การติดตั้งสะดวก จึงนำไปสร้างชุดชุบ ต้นแบบได้

2.5 กำหนดเวลาและสถานที่สร้าง

ระยะเวลาและสถานที่ในการสร้างชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์ พร้อมทั้งใช้เครื่องมือต่างๆ ที่ดำเนินการตั้งอยู่เลขที่ 50/291 หมู่บ้านปัญจทรัพย์ ถนนบรมราชชนนี ศาลายา อำเภอสามพราน นครปฐม และ

โรงฝึกงาน สาขาวัสดุศาสตร์(เครื่องประดับและอัญมณี) คณะวิทยาศาสตร์ทั่วไป มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร 114 ซอยสุขุมวิท 23 เขตวัฒนา กรุงเทพฯ ทั้งนี้ระยะเวลาในการออกแบบและสร้าง และปรับปรุงในการวิจัยตั้งแต่เดือน มกราคม 2553 ถึง มีนาคม 2555 ดังนี้

ตาราง 16 สรุปการดำเนินงาน

กิจกรรม	ระยะเวลา(เดือน) มิ.ย. 2553	ม.ค. 2554	ส.ค. 2554	ก.ย. 2554	มี.ค. 2555
ศึกษาค้นคว้าหาความรู้ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	←	→			
เก็บรวบรวมข้อมูลของงานวิจัย	←	→			
ออกแบบเครื่องชุบ	←	→			
สร้างเครื่องชุบ		←	→		
ทดสอบและใช้งานเครื่องชุบ			←	→	
ปรับปรุงแก้ไขและประเมินผล		←	→	→	→

2.6 การทดสอบ ปรับปรุงและแก้ไข

หลังจากได้สร้างต้นแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบเงินและโรเดียมขึ้นมาแล้ว ทำการทดสอบและแก้ไขข้อบกพร่องการทำงานของชุดบรรจุสารเคมีและน้ำยาชุบ ชุดจ่ายกระแสไฟฟ้า ชุดควบคุมอุณหภูมิ เพื่อให้ได้ตามข้อกำหนด ก่อนส่งให้คณะอาจารย์ที่ปรึกษาทั้ง 3 ท่าน ได้ทดลอง ตรวจสอบและให้ข้อเสนอแนะ

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล การดำเนินงานในการจัดเก็บและรวบรวมข้อมูลต่างๆ โดยใช้เครื่องมือ เช่น การใช้แบบประเมินการออกแบบประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ เพื่อใช้ประโยชน์ในการออกแบบและปรับปรุงงาน ให้มีประสิทธิภาพและความปลอดภัยที่ดีขึ้น

3.1.1 ค่าเฉลี่ยร้อยละ ร้อยละ นิยมใช้กับข้อมูลที่มีระดับการวัดนามบัญญัติ (Normal-scale) ซึ่งมีลักษณะการแจกแจงนับเป็นความถี่ โดยมีการคำนวณค่าร้อยละ คือ (ไพฑูร คำคอนสาร .2552: 95)

$$P = \frac{100 \times A}{N} \%$$

เมื่อ % แทน จำนวนเปอร์เซ็นต์

N แทน จำนวนทั้งหมดผลรวมของคะแนนทั้งหมดในกลุ่ม

A แทน จำนวนที่เห็นด้วย

3.2.1 ค่าเฉลี่ย (Arithmetic mean) โดยใช้สูตร (บุญชม ศรีสะอาด.2543:102)

$$\overline{X} = \frac{\sum X}{N}$$

กำหนดให้ $\overline{X}$ แทน ค่าเฉลี่ย

$\sum X$ แทน ผลรวมของคะแนนทั้งหมดในกลุ่ม

N แทน จำนวนคะแนนในกลุ่ม

3.1.2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) โดยใช้สูตร (บุญชม ศรีสะอาด.2543:103)

$$S = \sqrt{\frac{\sum \left(X - \overline{X}\right)^2}{N-1}}$$

กำหนดให้ S แทน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

X แทน คะแนนแต่ละตัว

$\overline{X}$ แทน ค่าเฉลี่ย

N แทน จำนวนคะแนนในกลุ่ม

$\sum$ แทน ผลรวม

3.1.3 หาค่า t - Test โดยใช้สูตร (ชูศรี วงศ์รัตนะ.2544:146)

$$t = \frac{\overline{X} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

โดยมี df = n – 1

กำหนดให้ $\overline{X}$ แทน ค่าเฉลี่ย

μ_o แทน ค่าเฉลี่ยของเกณฑ์ดี 4.00

S แทน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

n แทน จำนวนคะแนนในกลุ่ม

3.1.4 กำหนดเกณฑ์ในการแปลความหมายข้อมูล เป็นค่าเฉลี่ยต่างๆ ดังต่อไปนี้

จำนวนเฉลี่ย ร้อยละ	หมายถึง
90.00-100.00	ผ่าน
00.00-89.99	ไม่ผ่าน

3.1.5 กำหนดเกณฑ์ในการแปลความหมายข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ยต่างๆ ดังต่อไปนี้

คะแนนเฉลี่ย	หมายถึง
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

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การนำเสนอข้อมูลในการประเมินสมรรถนะชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอ โดยใช้แบบประเมินแบ่งเป็น 6 ขั้นตอน ดังนี้

ตอนที่1 ผลการประเมินการออกแบบและการพัฒนาชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์

ตอนที่ 2 ผลการประเมินความสามารถในการลดความล้าจากการทำงาน โดยใช้แบบประเมินท่าทางของร่างกาย-RULA

ตอนที่ 3 ข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ ในการออกแบบชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์

ตอนที่1 ผลการประเมินการออกแบบและการพัฒนา ชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์

ในการพัฒนาชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน เพื่อนำมาใช้ในอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs) ดังนี้

1.1การพัฒนาโครงสร้าง จากข้อมูลที่ได้กล่าวมาถึงความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า พอสรุปได้ว่า โครงสร้างที่มีขนาดใหญ่ ดูแลรักษาความสะอาดและเคลื่อนย้ายได้ยาก ผู้วิจัยจึงเลือกขั้นตอนการชุบด้วยเงินและโรเดียมมาพัฒนาเป็นเครื่องชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับใช้ในอุตสาหกรรมขนาดย่อม ผู้วิจัยจึงเลือกพัฒนาโครงสร้างของเครื่องชุบให้สอดคล้องตามหลักของการยศาสตร์ของชาวเอเชีย มีรูปแบบโครงสร้างเป็นรูปตัวซี (C) ขนาดความกว้าง 1.60 เมตร ความยาว 1.80 เมตร ความสูง 1.40 เมตร ประกอบด้วย ชุดถังบรรจุน้ำยาชุบขนาด 15 ลิตร ชุดหม้อแปลงจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 15V 0-30 A ชุดควบคุมเวลา และชุดควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งชุดชุบสามารถเคลื่อนย้ายโดยง่าย ปรับระดับ แยกส่วนได้และมีขนาดพอเหมาะใช้ได้ในพื้นที่จำกัดได้ ในพื้นที่อย่างน้อย 3x4 ตารางเมตร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของวิลาวัลย์ ชัยแก่น และคณะ (2550: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาเรื่อง “ปัจจัยด้านการยศาสตร์และอัตราความชุกของอาการปวดทางโครงร่างและกล้ามเนื้อในคนงานโรงงานผลิตชิ้นส่วนสารกึ่งตัวนำในนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ “ วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยด้านการยศาสตร์ด้านท่าทางการทำงานไม่เหมาะสม ท่าทางการทำงานซ้ำซาก และการยกของ อัตราความชุกของอาการปวดทางโครงร่างและกล้ามเนื้อและความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านการยศาสตร์และอัตราความชุกของอาการ

ปวดทางโครงร่างและกล้ามเนื้อ พบว่า การสัมผัสปัจจัยทางการยศาสตร์ด้านท่าทางการทำงานไม่เหมาะสมร่วมท่าทางการทำงานซ้ำซากและท่าทางการทำงานไม่เหมาะสมร่วมการยกของมีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านการยศาสตร์และอัตราความชุกของอาการปวดทางโครงร่างและกล้ามเนื้อที่มีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

ผู้วิจัยวิเคราะห์แบบชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าโดยใช้หลักการยศาสตร์ที่จะพัฒนาตามระยะทางของตำแหน่งอุปกรณ์ควบคุมที่อยู่ข้างหน้าของผู้ปฏิบัติงาน ทั้ง 2 กรณี คือ (1)การยืนปฏิบัติโดยใช้ มือขวามือเดียว (2)การยืนทำงานที่ใช้มือสองข้างจับอุปกรณ์ควบคุม ดังนั้น ระยะห่างที่ เอื้อมมากที่สุดมาข้างหน้าถึงตำแหน่งของอุปกรณ์ควบคุม (ประมาณ 46-51 เซนติเมตร หรือ 18-20 นิ้ว) ถ้าผู้ปฏิบัติงานจะควบคุม โดยไม่ต้องเอื้อม หรือโค้งตัวไปข้างหน้า เท่ากับ 36 เซนติเมตร (14 นิ้ว) และอุปกรณ์ควบคุมนั้นอยู่สูงจากพื้นประมาณ 110-165 เซนติเมตร (43-65 นิ้ว) ผู้วิจัยจึงกำหนดระยะจากพื้นถึงข้อพับของข้อศอกอยู่ระหว่าง 110 เซนติเมตร (44 นิ้ว)

ผู้วิจัยจึงเลือกแบบ (ค) ที่มีราคาเหมาะสม ด้วยขนาดโครงสร้างเหมาะสม ขนาดกะทัดรัด ถอดประกอบได้ง่าย โครงสร้างดูโปร่ง การขึ้นรูปง่าย ไม่หนักเกินไป อุปกรณ์และวัสดุสามารถหาได้ง่ายในท้องตลาด การติดตั้งสะดวก จึงนำไปสร้างชุดชุบต้นแบบขึ้นมา

1.2 การออกแบบกระบวนการชุบด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยผู้วิจัยพัฒนาให้สามารถลดขั้นตอนการชุบ เพื่อให้เหมาะสมกับขนาดพื้นที่ให้เหลือเพียงตำแหน่งหลักในตัวเครื่อง ทั้งนี้โครงสร้างเครื่องชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าแบบเดิม ในการทำงานจริงขั้นตอนการทำงานเป็นเส้นตรง ไม่ย้อนไปมาเพราะอาจทำให้สับสนเวลาทำงาน อาจทำงานข้ามบางขั้นตอนไป ทำให้น้ำยาปนเปื้อนกันได้ ทำให้ต้องใช้เครื่องชุบที่มีความยาวและมีสัดส่วนสำหรับชาวตะวันตก ซึ่งไม่เหมาะสมสำหรับการทำงานในอุตสาหกรรมขนาดย่อมที่มีพื้นที่จำกัดและสัดส่วนของผู้ปฏิบัติงานของชาวเอเชียและไม่สะดวกสบายในการทำงาน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ วรพจน์ เสรีรัส และ ชนกานต์ วุฒิวรคุปต์.(2009:บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การปรับปรุงกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีด้วยไฟฟ้าบนที-นัต โดยใช้เทคนิควิศวกรรมคุณภาพ ดังนี้ กระบวนการชุบเคลือบสังกะสีด้วยไฟฟ้าเป็นกระบวนการทางปฏิกิริยาเคมีที่สำคัญต่อการผลิตที-นัตเป็นอย่างมาก พบว่าในกระบวนการชุบยังขาดการควบคุมที่ดีเนื่องจากยังไม่มีการสร้างวิธีทำงานที่เป็นมาตรฐาน ซึ่งทำให้เกิดข้อบกพร่องของที-นัตเป็นจำนวนมาก โดยปัญหาข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นได้แก่ ชิ้นงานเป็นรอย เป็นคราบมัว ชุบติดไม่ทั่ว ไหม้ ลอกง่าย เป็นผื่นเม็ดๆ และเกลียวดำ ซึ่งข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นทำให้นำกลับไปซ่อมใหม่ ทำให้เสียทรัพยากรโดยไม่จำเป็นเสียเวลา วัตถุดิบและแรงงาน

กระบวนการชุบแบบเดิม เรียงลำดับ ดังนี้

1.ล้างด้วยไฟฟ้า

2.ล้างน้ำไหลล้น

3.ล้างด้วยน้ำกลั่น

4.กระตุ้นผิวด้วยกรด

5.ล้างน้ำไหลล้น

6.ล้างน้ำกลั่น

7.น้ำยาชุบเงิน

8.ล้างน้ำเก็บกลับน้ำยาชุบเงิน

9.น้ำยาชุบโรเดียม

10.ล้างน้ำเก็บกลับน้ำยาชุบโรเดียม

11.ล้างน้ำไหลล้น

12.ล้างน้ำไหลล้น

13.ล้างน้ำกลั่น

14.ล้างน้ำกลั่นร้อน

กระบวนการชุบแบบที่พัฒนา เรียงลำดับ ดังนี้

1.ล้างด้วยไฟฟ้า

2.ล้างน้ำไหลล้น

3.กระตุ้นผิวด้วยกรด

4.ล้างด้วยน้ำกลั่น

5.น้ำยาชุบเงิน

6.ล้างเก็บกลับน้ำยาชุบเงิน

7.น้ำยาชุบโรเดียม

8.ล้างเก็บกลับน้ำยาชุบโรเดียม

9.ล้างน้ำไหลล้นและน้ำร้อน

ผู้วิจัยแสดงผลในรูปแบบของตารางและอธิบายผลประกอบ การนำเสนอการประเมินในภาพรวมของการออกแบบชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์ ทั้งแบบ(ก) แบบ(ข) และแบบ(ค) ดังนี้

ตาราง 17 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผู้เชี่ยวชาญในการประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ตัว C (แบบ ก) ด้านความเหมาะสมใน ด้านโครงสร้าง (n=3)

1.ความคิดเห็นด้านการออกแบบโครงสร้าง	$\overline{X}$	**SD.**	**ระดับการประเมิน**
1.1 ความเหมาะสมของโครงสร้างตามทฤษฎีกระบวนการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า	4.33	0.58	ดี
1.2 ความแข็งแรงของโครงสร้าง	4.00	0.58	ดี
1.3 รูปทรงของเครื่องสวยงาม	4.67	0.00	ดีมาก
1.4 จัดวางตำแหน่งอุปกรณ์เหมาะสม	4.33	0.58	ดี
1.5 ความสูง ความกว้าง ความยาวเหมาะสมกับหลักการยศาสตร์	4.33	0.58	ดี
ผลเฉลี่ยการประเมิน	4.33	0.46	ดี

จากตาราง 17 แสดงให้เห็นว่า ผู้เชี่ยวชาญประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ด้านความเหมาะสมในด้านโครงสร้าง อยู่ในระดับค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33 (SD=0.46) และวิเคราะห์เป็นรายหัวข้อพบว่า ความเหมาะสมของโครงสร้างตามทฤษฎีกระบวนการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าด้านโครงสร้างอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.33,SD=0.58) ความแข็งแรงของโครงสร้างอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.00,SD=0.58) รูปทรงของเครื่องสวยงามอยู่ในระดับเกณฑ์ ดีมาก ($\overline{X}$ =4.67,SD=0.00) จัดวางตำแหน่งอุปกรณ์เหมาะสมอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี($\overline{X}$ =4.33,SD=0.58) ความสูง ความกว้าง ความยาวเหมาะสมกับหลักการยศาสตร์อยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.33,SD=0.58) สรุปการออกแบบโครงสร้างในทุกหัวข้ออยู่ในระดับเกณฑ์ ดีมาก

ตาราง 18 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผู้เชี่ยวชาญในการประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ตัว C (แบบ ก) ด้านความเหมาะสมในด้านการออกแบบในการใช้งาน (n=3)

2. ความคิดเห็นด้านการออกแบบในการใช้งาน	$\overline{X}$	**SD.**	**ระดับการประเมิน**
2.1 การออกแบบให้สะดวกในการใช้งาน	4.33	0.58	ดี
2.2 การออกแบบให้สะดวกในการเคลื่อนย้าย และเหมาะสมกับพื้นที่	4.00	0.00	ดี
2.3 การออกแบบให้ถอดประกอบได้ง่าย	3.33	0.58	พอใช้
2.4 การออกแบบระยะแผงควบคุมระบบเหมาะสมในการใช้งาน	4.00	0.00	ดี
2.5 การออกแบบขนาดและรูปแบบเหมาะสมสำหรับ SME's	4.00	0.00	ดี
ผลเฉลี่ยการประเมิน	3.93	0.23	ดี

จากตาราง 18 แสดงให้เห็นว่า ผู้เชี่ยวชาญประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ด้านความเหมาะสมในด้านการออกแบบในการใช้งานในระดับค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.93 (SD=0.23) และวิเคราะห์เป็นรายหัวข้อพบว่า การออกแบบให้สะดวกในการใช้งานอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.33,SD=0.58) การออกแบบให้สะดวกในการเคลื่อนย้าย และเหมาะสมกับพื้นที่อยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.00,SD=0.00) การออกแบบให้ถอดประกอบได้ง่ายอยู่ในระดับเกณฑ์ พอใช้ ($\overline{X}$ =3.33,SD=0.58) การออกแบบระยะแผงควบคุมระบบเหมาะสมในการใช้งานอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.00,SD=0.00) การออกแบบขนาดและรูปแบบเหมาะสมสำหรับ SME อยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.00,SD=0.00) สรุปการออกแบบด้านการออกแบบในการใช้งานในทุกหัวข้ออยู่ในระดับเกณฑ์ ดี

ตาราง 19 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผู้เชี่ยวชาญในการประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ตัว C (แบบ ก) ด้านความเหมาะสมในด้านความปลอดภัย (n=3)

3. ความคิดเห็นการออกแบบ ความปลอดภัย	$\overline{X}$	**SD.**	**ระดับการประเมิน**
3.1 ความปลอดภัยในการติดตั้งอุปกรณ์	4.33	0.58	ดี
3.2 ระบบป้องกันโดยการตัดไฟ	4.00	0.58	ดี
3.3 การป้องกันอันตรายจากการสัมผัสไฟฟ้า เช่น ปุ่ม ปลั๊ก สายไฟฟ้า สวิทซ์	4.33	0.58	ดี
3.4 ความปลอดภัยในขณะใช้งาน	4.00	0.00	ดี
3.5 ความปลอดภัยในการซ่อมบำรุง	4.67	0.58	ดีมาก
3.6 การถ่ายและจัดเก็บสารเคมีมีความปลอดภัย	4.67	0.58	ดีมาก
ผลเฉลี่ยการประเมิน	4.28	0.38	ดี

จากตาราง 19 แสดงให้เห็นว่า ผู้เชี่ยวชาญประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ด้านความเหมาะสมในด้านความปลอดภัยในระดับค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.28 (SD=0.38) และวิเคราะห์เป็นรายหัวข้อพบว่า ความปลอดภัยในการติดตั้งอุปกรณ์อยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.33,SD=0.58) ระบบป้องกันโดยการตัดไฟอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.00,SD=0.58) การป้องกันอันตรายจากการสัมผัสไฟฟ้า เช่น ปุ่ม ปลั๊ก สายไฟฟ้า สวิทซ์อยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.33,SD=0.58) ความปลอดภัยในขณะใช้งานอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.00,SD=0.00) ความปลอดภัยในการซ่อมบำรุงอยู่ในระดับเกณฑ์ ดีมาก ($\overline{X}$ =4.67,SD=0.58) การถ่ายและจัดเก็บสารเคมีมีความปลอดภัยอยู่ในระดับเกณฑ์ ดีมาก ($\overline{X}$ =4.67,SD=0.58) สรุปการออกแบบความปลอดภัยทุกหัวข้ออยู่ในระดับเกณฑ์ ดี

ตาราง 20 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผู้เชี่ยวชาญในการประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ตัว C (แบบ ก) ด้านความเหมาะสมในด้านการซ่อมบำรุง (n=3)

4. ความคิดเห็นการออกแบบ การซ่อมบำรุง	$\overline{X}$	**SD.**	**ระดับการประเมิน**
4.1 การใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงทนทาน	4.33	0.58	ดี
4.2 ความสะดวกในการซ่อมบำรุง	3.33	0.58	พอใช้
4.3 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการบำรุงรักษาที่ชำรุดสามารถซื้อได้ง่าย ราคาถูก	3.00	0.00	พอใช้
4.4 การตรวจสอบและบำรุงรักษาได้ง่าย	3.33	0.58	พอใช้
4.5 การทำความสะอาด ล้างถังได้ง่าย	3.67	0.58	ดี
4.6 การคัดแยกน้ำยาชุบและสารเคมี	4.33	0.58	ดี
ผลเฉลี่ยการประเมิน	3.67	0.48	ดี

จากตาราง 20 แสดงให้เห็นว่า ผู้เชี่ยวชาญประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ด้านความเหมาะสมในด้านการซ่อมบำรุงในระดับค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.67 (SD=0.48) และวิเคราะห์เป็นรายหัวข้อพบว่า การใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงทนทานอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.33,SD=0.58) ความสะดวกในการซ่อมบำรุงอยู่ในระดับเกณฑ์ พอใช้ ($\overline{X}$ =3.33,SD=0.58) วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการบำรุงรักษาที่ชำรุดสามารถซื้อได้ง่าย ราคาถูกอยู่ในระดับเกณฑ์ พอใช้ ($\overline{X}$ =3.00,SD=0.00) การตรวจสอบและบำรุงรักษาได้ง่ายอยู่ในระดับเกณฑ์ พอใช้ ($\overline{X}$ =3.33,SD=0.58) การทำความสะอาด ล้างถังได้ง่ายอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =3.67,SD=0.58) การคัดแยกน้ำยาชุบและสารเคมีอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.33,SD=0.58) สรุปการออกแบบด้านการซ่อมบำรุงทุกหัวข้ออยู่ในระดับเกณฑ์ ดี

ตาราง 21 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบนัยสำคัญของข้อมูล โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ (แบบ ก) ในภาพรวม

รายการประเมินการออกแบบ	$\overline{X}$	SD.	t-test	ระดับการประเมิน
1.ด้านการออกแบบโครงสร้าง	4.33	0.46	1.614	ดี
2.ด้านการออกแบบการใช้งาน	3.93	0.23	-0.681	ดี
3.ด้านการออกแบบความปลอดภัย	4.28	0.38	1.767	ดี
4. ด้านการออกแบบการซ่อมบำรุง	3.67	0.58	-1.400	ดี
การประเมินโดยรวม	4.05	0.41	0.255	ดี

n=4 μ=4.00 α= 0.05 t-Distribution= 2.3534

จากตาราง 21 แสดงให้เห็นว่า ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ (แบบ ก) ผลการประเมินโดยรวมในระดับค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.05 (SD=0.41) และวิเคราะห์เป็นรายหัวข้อ พบว่า ด้านการออกแบบโครงสร้างอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.33,SD=0.46,t=1.614,p<.05) ด้านการออกแบบการใช้งานอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =3.93,SD=0.23, t=-0.681,p<.05) ด้านการออกแบบความปลอดภัยอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.28,SD=0.38, t=1.767,p<.05) ด้านการออกแบบการซ่อมบำรุงอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =3.67,SD=0.58, t=-1.400,p<.05) แสดงให้เห็นว่าผู้เชี่ยวชาญประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ จากการประเมินในภาพรวม อยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.05,SD=0.41) ค่า t=0.255 สอดคล้องกับสมมุติฐานที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ .05

ตาราง 22 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผู้เชี่ยวชาญในการประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ตัว C (แบบ ข) ด้านความเหมาะสมใน ด้านโครงสร้าง (n=3)

1.ความคิดเห็นด้านการออกแบบโครงสร้าง	$\overline{X}$	**SD.**	**ระดับการประเมิน**
1.1 ความเหมาะสมของโครงสร้างตามทฤษฎีกระบวนการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า	4.67	0.58	ดีมาก
1.2 ความแข็งแรงของโครงสร้าง	4.67	0.58	ดีมาก
1.3 รูปทรงของเครื่องสวยงาม	5.00	0.00	ดีมาก
1.4 จัดวางตำแหน่งอุปกรณ์เหมาะสม	4.33	0.58	ดี
1.5 ความสูง ความกว้าง ความยาวเหมาะสมกับหลักการยศาสตร์	4.33	0.58	ดี
ผลเฉลี่ยการประเมิน	4.60	0.46	ดีมาก

จากตาราง 22 แสดงให้เห็นว่า ผู้เชี่ยวชาญประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ด้านความเหมาะสมในด้านโครงสร้าง อยู่ในระดับค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.60 (SD=0.46) และวิเคราะห์เป็นรายหัวข้อพบว่า ความเหมาะสมของโครงสร้างตามทฤษฎีกระบวนการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าด้านโครงสร้างอยู่ในระดับเกณฑ์ ดีมาก ($\overline{X}$ =4.67,SD=0.58) ความแข็งแรงของโครงสร้างอยู่ในระดับเกณฑ์ ดีมาก ($\overline{X}$ =4.67,SD=0.58) รูปทรงของเครื่องสวยงามอยู่ในระดับเกณฑ์ ดีมาก ($\overline{X}$ =5.00,SD=0.00) จัดวางตำแหน่งอุปกรณ์เหมาะสมอยู่ในระดับเกณฑ์ ดีมาก ($\overline{X}$ =4.33,SD=0.58) ความสูง ความกว้าง ความยาวเหมาะสมกับหลักการยศาสตร์อยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.33,SD=0.58) สรุปการออกแบบโครงสร้างในทุกหัวข้ออยู่ในระดับเกณฑ์ ดีมาก

ตาราง 23 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผู้เชี่ยวชาญในการประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ตัว C (แบบ ข) ด้านความเหมาะสมในด้านการออกแบบในการใช้งาน (n=3)

2. ความคิดเห็นด้านการออกแบบในการใช้งาน	$\overline{X}$	**SD.**	**ระดับการประเมิน**
2.1 การออกแบบให้สะดวกในการใช้งาน	4.67	0.58	ดีมาก
2.2 การออกแบบให้สะดวกในการเคลื่อนย้าย และเหมาะสมกับพื้นที่	4.67	0.58	ดีมาก
2.3 การออกแบบให้ถอดประกอบได้ง่าย	5.00	0.00	ดีมาก
2.4 การออกแบบระยะแผงควบคุมระบบเหมาะสมในการใช้งาน	4.33	0.58	ดี
2.5 การออกแบบขนาดและรูปแบบเหมาะสมสำหรับ SME's	4.67	0.58	ดีมาก
ผลเฉลี่ยการประเมิน	4.67	0.46	ดีมาก

จากตาราง 24 แสดงให้เห็นว่า ผู้เชี่ยวชาญประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ด้านความเหมาะสมในด้านการออกแบบในการใช้งานในระดับค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 (SD=0.46) และวิเคราะห์เป็นรายหัวข้อพบว่า การออกแบบให้สะดวกในการใช้งานอยู่ในระดับเกณฑ์ ดีมาก ($\overline{X}$ =4.67,SD=0.58) การออกแบบให้สะดวกในการเคลื่อนย้าย และเหมาะสมกับพื้นที่อยู่ในระดับเกณฑ์ ดีมาก ($\overline{X}$ =4.67,SD=0.58) การออกแบบให้ถอดประกอบได้ง่ายอยู่ในระดับเกณฑ์ ดีมาก ($\overline{X}$ =5.00,SD=0.00) การออกแบบระยะแผงควบคุมระบบเหมาะสมในการใช้งานอยู่ในระดับเกณฑ์ ดีมาก ($\overline{X}$ =4.33,SD=0.58) การออกแบบขนาดและรูปแบบเหมาะสมสำหรับ SME อยู่ในระดับเกณฑ์ ดีมาก ($\overline{X}$ =4.67,SD=0.58) สรุปการออกแบบด้านการออกแบบในการใช้งานในทุกหัวข้ออยู่ในระดับเกณฑ์ ดีมาก

ตาราง 24 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผู้เชี่ยวชาญในการประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ตัว C (แบบ ข) ด้านความเหมาะสมในด้านความปลอดภัย (n=3)

3. ความคิดเห็นการออกแบบ ความปลอดภัย	$\overline{X}$	**SD.**	**ระดับการประเมิน**
3.1 ความปลอดภัยในการติดตั้งอุปกรณ์	4.00	0.00	ดี
3.2 ระบบป้องกันโดยการตัดไฟ	4.00	0.00	ดี
3.3 การป้องกันอันตรายจากการสัมผัสไฟฟ้า เช่น ปุ่ม ปลั๊ก สายไฟฟ้า สวิทซ์	4.33	0.58	ดี
3.4 ความปลอดภัยในขณะใช้งาน	4.33	0.58	ดี
3.5 ความปลอดภัยในการซ่อมบำรุง	4.33	0.58	ดี
3.6 การถ่ายและจัดเก็บสารเคมีมีความปลอดภัย	4.67	0.58	ดีมาก
ผลเฉลี่ยการประเมิน	4.28	0.38	ดี

จากตาราง 24 แสดงให้เห็นว่า ผู้เชี่ยวชาญประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ด้านความเหมาะสมในด้านความปลอดภัยในระดับค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.28 (SD=0.38) และวิเคราะห์เป็นรายหัวข้อพบว่า ความปลอดภัยในการติดตั้งอุปกรณ์อยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.00,SD=0.00) ระบบป้องกันโดยการตัดไฟอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.00,SD=0.00) การป้องกันอันตรายจากการสัมผัสไฟฟ้า เช่น ปุ่ม ปลั๊ก สายไฟฟ้า สวิทซ์อยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.33,SD=0.58) ความปลอดภัยในขณะใช้งานอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.33,SD=0.58) ความปลอดภัยในการซ่อมบำรุงอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.33,SD=0.58) การถ่ายและจัดเก็บสารเคมีมีความปลอดภัยอยู่ในระดับเกณฑ์ ดีมาก ($\overline{X}$ =4.67,SD=0.58) สรุปการออกแบบความปลอดภัยทุกหัวข้ออยู่ในระดับเกณฑ์ ดี

ตาราง 25 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผู้เชี่ยวชาญในการประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ตัว C (แบบ ข) ด้านความเหมาะสมในด้านการซ่อมบำรุง (n=3)

4. ความคิดเห็นการออกแบบ การซ่อมบำรุง	$\overline{X}$	**SD.**	**ระดับการประเมิน**
4.1 การใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงทนทาน	3.67	0.58	ดี
4.2 ความสะดวกในการซ่อมบำรุง	4.33	0.58	ดี
4.3 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการบำรุงรักษาที่ชำรุดสามารถซื้อได้ง่าย ราคาถูก	4.33	0.58	ดี
4.4 การตรวจสอบและบำรุงรักษาได้ง่าย	4.67	0.58	ดีมาก
4.5 การทำความสะอาด ล้างถังได้ง่าย	4.33	0.58	ดี
4.6 การคัดแยกน้ำยาชุบและสารเคมี	4.67	0.58	ดีมาก
ผลเฉลี่ยการประเมิน	4.33	0.58	ดี

จากตาราง 25 แสดงให้เห็นว่า ผู้เชี่ยวชาญประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ด้านความเหมาะสมในด้านการซ่อมบำรุงในระดับค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33 (SD=0.58) และวิเคราะห์เป็นรายหัวข้อพบว่า การใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงทนทานอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =3.67,SD=0.58) ความสะดวกในการซ่อมบำรุงอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.33,SD=0.58) วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการบำรุงรักษาที่ชำรุดสามารถซื้อได้ง่าย ราคาถูกอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.33,SD=0.58) การตรวจสอบและบำรุงรักษาได้ง่ายอยู่ในระดับเกณฑ์ ดีมาก ($\overline{X}$ =4.67,SD=0.58) การทำความสะอาด ล้างถังได้ง่ายอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.33,SD=0.58) การคัดแยกน้ำยาชุบและสารเคมีอยู่ในระดับเกณฑ์ ดีมาก ($\overline{X}$ =4.67,SD=0.58) สรุปการออกแบบด้านการซ่อมบำรุงทุกหัวข้ออยู่ในระดับเกณฑ์ ดี

ตาราง 26 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบนัยสำคัญของข้อมูล โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ (แบบ ข) ในภาพรวม

รายการประเมินการออกแบบ	$\overline{X}$	SD.	t-test	ระดับการประเมิน
1.ด้านการออกแบบโครงสร้าง	4.00	0.23	0.000	ดี
2.ด้านการออกแบบการใช้งาน	4.40	0.46	1.936	ดี
3.ด้านการออกแบบความปลอดภัย	4.17	0.19	2.191	ดี
4. ด้านการออกแบบการซ่อมบำรุง	4.17	0.48	0.867	ดี
การประเมินโดยรวม	4.19	0.34	1.087	ดี

n=4 μ=4.00 α= 0.05 t-Distribution= 2.3534

จากตาราง 26 แสดงให้เห็นว่า ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ (แบบ ข) ผลการประเมินโดยรวมในระดับค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.19 (SD=0.34) และวิเคราะห์เป็นรายหัวข้อพบว่า ด้านการออกแบบโครงสร้างอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.00,SD=0.46,t=0.000,p<.05) ด้านการออกแบบการใช้งานอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.17,SD=0.19, t=2.191,p<.05) ด้านการออกแบบความปลอดภัยอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.17,SD=0.48, t=0.867,p<.05) ด้านการออกแบบการซ่อมบำรุงอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.17,SD=0.48, t=0.867,p<.05) แสดงให้เห็นว่า ผู้เชี่ยวชาญประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ จากการประเมินในภาพรวม อยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.19,SD=0.34) ค่า t=1.087 สอดคล้องกับสมมุติฐานที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ .05

ตาราง 27 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผู้เชี่ยวชาญในการประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ตัว C (แบบ ค) ด้านความเหมาะสมใน ด้านโครงสร้าง (n=3)

1.ความคิดเห็นด้านการออกแบบโครงสร้าง	$\overline{X}$	**SD.**	**ระดับการประเมิน**
1.1 ความเหมาะสมของโครงสร้างตามทฤษฎีกระบวนการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า	4.67	0.58	ดีมาก
1.2 ความแข็งแรงของโครงสร้าง	4.67	0.58	ดีมาก
1.3 รูปทรงของเครื่องสวยงาม	5.00	0.00	ดีมาก
1.4 จัดวางตำแหน่งอุปกรณ์เหมาะสม	4.33	0.58	ดี
1.5 ความสูง ความกว้าง ความยาวเหมาะสมกับหลักการยศาสตร์	4.33	0.58	ดี
ผลเฉลี่ยการประเมิน	4.60	0.46	ดีมาก

จากตาราง 27 แสดงให้เห็นว่า ผู้เชี่ยวชาญประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ด้านความเหมาะสมในด้านโครงสร้าง อยู่ในระดับค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.60 (SD=0.46) และวิเคราะห์เป็นรายหัวข้อพบว่า ความเหมาะสมของโครงสร้างตามทฤษฎีกระบวนการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าด้านโครงสร้างอยู่ในระดับเกณฑ์ ดีมาก ($\overline{X}$ =4.67,SD=0.58) ความแข็งแรงของโครงสร้างอยู่ในระดับเกณฑ์ ดีมาก ($\overline{X}$ =4.67,SD=0.58) รูปทรงของเครื่องสวยงามอยู่ในระดับเกณฑ์ ดีมาก ($\overline{X}$ =5.00,SD=0.00) จัดวางตำแหน่งอุปกรณ์เหมาะสมอยู่ในระดับเกณฑ์ ดีมาก ($\overline{X}$ =4.33,SD=0.58) ความสูง ความกว้าง ความยาวเหมาะสมกับหลักการยศาสตร์อยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.33,SD=0.58) สรุปการออกแบบโครงสร้างในทุกหัวข้ออยู่ในระดับเกณฑ์ ดีมาก

ตาราง 28 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผู้เชี่ยวชาญในการประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ตัว C (แบบ ค) ด้านความเหมาะสมใน ด้านการออกแบบในการใช้งาน (n=3)

2. ความคิดเห็นด้านการออกแบบในการใช้งาน	$\overline{X}$	**SD.**	**ระดับการประเมิน**
2.1 การออกแบบให้สะดวกในการใช้งาน	4.67	0.58	ดีมาก
2.2 การออกแบบให้สะดวกในการเคลื่อนย้าย และเหมาะสมกับพื้นที่	4.67	0.58	ดีมาก
2.3 การออกแบบให้ถอดประกอบได้ง่าย	5.00	0.00	ดีมาก
2.4 การออกแบบระยะแผงควบคุมระบบเหมาะสมในการใช้งาน	4.33	0.58	ดี
2.5 การออกแบบขนาดและรูปแบบเหมาะสมสำหรับ SME's	4.67	0.58	ดีมาก
ผลเฉลี่ยการประเมิน	4.67	0.46	ดีมาก

จากตาราง 28 แสดงให้เห็นว่า ผู้เชี่ยวชาญประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ด้านความเหมาะสมในด้านการออกแบบในการใช้งานในระดับค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 (SD=0.46) และวิเคราะห์เป็นรายหัวข้อพบว่า การออกแบบให้สะดวกในการใช้งานอยู่ในระดับเกณฑ์ ดีมาก ($\overline{X}$ =4.67,SD=0.58) การออกแบบให้สะดวกในการเคลื่อนย้าย และเหมาะสมกับพื้นที่อยู่ในระดับเกณฑ์ ดีมาก ($\overline{X}$ =4.67,SD=0.58) การออกแบบให้ถอดประกอบได้ง่ายอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ = 5.00,SD=0.00) การออกแบบระยะแผงควบคุมระบบเหมาะสมในการใช้งานอยู่ในระดับเกณฑ์ ดีมาก ($\overline{X}$ =4.67,SD=0.58) การออกแบบขนาดและรูปแบบเหมาะสมสำหรับ SME อยู่ในระดับเกณฑ์ ดีมาก ($\overline{X}$ =4.67,SD=0.58) สรุปการออกแบบด้านการออกแบบในการใช้งานในทุกหัวข้ออยู่ในระดับเกณฑ์ ดีมาก

ตาราง 29 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผู้เชี่ยวชาญในการประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ตัว C (แบบ ค) ด้านความเหมาะสมในด้านความปลอดภัย (n=3)

3. ความคิดเห็นการออกแบบ ความปลอดภัย	$\overline{X}$	**SD.**	**ระดับการประเมิน**
3.1 ความปลอดภัยในการติดตั้งอุปกรณ์	4.00	0.00	ดี
3.2 ระบบป้องกันโดยการตัดไฟ	4.00	0.00	ดี
3.3 การป้องกันอันตรายจากการสัมผัสไฟฟ้า เช่น ปุ่ม ปลั๊ก สายไฟฟ้า สวิทซ์	4.33	0.58	ดี
3.4 ความปลอดภัยในขณะใช้งาน	4.33	0.58	ดี
3.5 ความปลอดภัยในการซ่อมบำรุง	4.33	0.58	ดี
3.6 การถ่ายและจัดเก็บสารเคมีมีความปลอดภัย	4.67	0.58	ดีมาก
ผลเฉลี่ยการประเมิน	4.28	0.38	ดี

จากตาราง 29 แสดงให้เห็นว่า ผู้เชี่ยวชาญประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ด้านความเหมาะสมในด้านความปลอดภัยในระดับค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.28 (SD=0.38) และวิเคราะห์เป็นรายหัวข้อพบว่า ความปลอดภัยในการติดตั้งอุปกรณ์อยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.00,SD=0.00) ระบบป้องกันโดยการตัดไฟอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.00,SD=0.00) การป้องกันอันตรายจากการสัมผัสไฟฟ้า เช่น ปุ่ม ปลั๊ก สายไฟฟ้า สวิทซ์อยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.33,SD=0.58) ความปลอดภัยในขณะใช้งานอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.33,SD=0.58) ความปลอดภัยในการซ่อมบำรุงอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.33,SD=0.58) การถ่ายและจัดเก็บสารเคมีมีความปลอดภัยอยู่ในระดับเกณฑ์ ดีมาก ($\overline{X}$ =4.67,SD=0.58) สรุปการออกแบบความปลอดภัยทุกหัวข้ออยู่ในระดับเกณฑ์ ดี

ตาราง 30 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผู้เชี่ยวชาญในการประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ตัว C (แบบ ค) ด้านความเหมาะสมในด้านการซ่อมบำรุง(n=3)

4. ความคิดเห็นการออกแบบ การซ่อมบำรุง	$\overline{X}$	**SD.**	**ระดับการประเมิน**
4.1 การใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงทนทาน	3.67	0.58	ดี
4.2 ความสะดวกในการซ่อมบำรุง	4.33	0.58	ดี
4.3 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการบำรุงรักษาที่ชำรุดสามารถซื้อได้ง่าย ราคาถูก	4.33	0.58	ดี
4.4 การตรวจสอบและบำรุงรักษาได้ง่าย	4.67	0.58	ดีมาก
4.5 การทำความสะอาด ล้างถังได้ง่าย	4.33	0.58	ดี
4.6 การคัดแยกน้ำยาชุบและสารเคมี	4.67	0.58	ดีมาก
ผลเฉลี่ยการประเมิน	4.33	0.58	ดี

จากตาราง 30 แสดงให้เห็นว่า ผู้เชี่ยวชาญประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ด้านความเหมาะสมในด้านการซ่อมบำรุงในระดับค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33 (SD=0.58) และวิเคราะห์เป็นรายหัวข้อพบว่า การใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงทนทานอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =3.67,SD=0.58) ความสะดวกในการซ่อมบำรุงอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.33,SD=0.58) วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการบำรุงรักษาที่ชำรุดสามารถซื้อได้ง่าย ราคาถูกอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.33,SD=0.58) การตรวจสอบและบำรุงรักษาได้ง่ายอยู่ในระดับเกณฑ์ ดีมาก ($\overline{X}$ =4.67,SD=0.58) การทำความสะอาด ล้างถังได้ง่ายอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.33,SD=0.58) การคัดแยกน้ำยาชุบและสารเคมีอยู่ในระดับเกณฑ์ ดีมาก ($\overline{X}$ =4.67,SD=0.58) สรุปการออกแบบด้านการซ่อมบำรุงทุกหัวข้ออยู่ในระดับเกณฑ์ ดี

ตาราง 31 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบนัยสำคัญของข้อมูล โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ตัว C (แบบ ค) ในภาพรวม

รายการประเมินการออกแบบ (แบบ ค)	$\overline{X}$	SD.	t-test	ระดับการประเมิน
1.ด้านการออกแบบโครงสร้าง	4.33	0.46	1.617	ดี
2.ด้านการออกแบบการใช้งาน	4.60	0.46	2.901	ดีมาก
3.ด้านการออกแบบความปลอดภัย	4.28	0.38	1.767	ดี
4.ด้านการออกแบบการซ่อมบำรุง	4.33	0.58	1.414	ดี
การประเมินโดยรวม	4.39	0.47	1.638	ดี

n=4 μ=4.00 α= 0.05 t-Distribution= 2.3534

จากตาราง 31 แสดงให้เห็นว่า ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ (แบบ ค) ผลการประเมินโดยรวมในระดับค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.39 (SD=0.47) และวิเคราะห์เป็นรายหัวข้อพบว่า ด้านการออกแบบโครงสร้างอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.33,SD=0.46,t=1.617,p<.05) ด้านการออกแบบการใช้งานอยู่ในระดับเกณฑ์ ดีมาก ($\overline{X}$ =4.60,SD=0.46,t=2.901,p<.05) ด้านการออกแบบความปลอดภัยอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.28,SD=0.38,t=1.767,p<.05) ด้านการออกแบบการซ่อมบำรุงอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.33,SD=0.58,t=1.414,p<.05) แสดงให้เห็นว่าผู้เชี่ยวชาญประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ จากการประเมินในภาพรวม อยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.39,SD=0.47) ค่า t=1.64 สอดคล้องกับสมมุติฐานที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ .05

ผู้วิจัยได้นำผลการประเมินการออกแบบและสร้างชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ (แบบ ค) ที่มีความเหมาะสมในด้านต่างๆมาพัฒนาเป็นเครื่องต้นแบบในงานวิจัยนี้ ผลการประเมินการออกแบบและสร้างชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ตัว C(แบบ ค) ตามคุณสมบัติ 4 ด้าน คือ

- ด้านโครงสร้าง
- ด้านการใช้งาน
- ด้านความปลอดภัย
- ด้านการบำรุงรักษา

ตอนที่ 2 **ผลการประเมินความสามารถในการลดความล้าจากการทำงานของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ตัว C (แบบ ค) เปรียบเทียบกับแบบเส้นตรงมาตรฐาน โดยใช้แบบประเมินท่าทางของร่างกาย-RULA ซึ่งค่าที่ต้องการวัดโดยให้คะแนนมาตราส่วนประเมิน** 5 **ระดับ**

ตาราง 32 ความสามารถในการลดความล้าจากการทำงานของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม แบบเส้นตรงมาตรฐาน จำนวน10 คน

ความสามารถในการลดความล้าจากการทำงานของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม แบบเส้นตรงมาตรฐาน	$\overline{X}$	**ระดับการประเมิน**
ขั้นตอนที่ 1 การประเมินตำแหน่งแขนส่วนบน (upper arm)	3.00	ระดับ 2
ขั้นตอนที่ 2 การประเมินตำแหน่งแขนส่วนล่าง (Lower arm หรือ forearm)	1.00	ระดับ 1
ขั้นตอนที่ 3 การประเมิน ตำแหน่งมือ และข้อมือ (Hand และ wrist)	2.00	ระดับ 1
ขั้นตอนที่ 4 การประเมินการบิดข้อมือ (wrist twist)	1.00	ระดับ 1
ขั้นตอนที่ 5 สรุปผลจากขั้นตอนที่ 1-4 โดยใช้ตาราง A	3.00	ระดับ 2
ขั้นตอนที่ 6 ประเมินระดับของการใช้แรงจากกล้ามเนื้อในการทำงาน	0.00	ระดับ 0
ขั้นตอนที่ 7 ประเมินภาระงานที่ทำ	0.00	ระดับ 0
ขั้นตอนที่ 8 สรุปผลคะแนนการวิเคราะห์ของแขนและมือ(5+6+7)	3.00	ระดับ 2
ขั้นตอนที่ 9 การวิเคราะห์ท่าทางของศีรษะและคอ	3.00	ระดับ 2
ขั้นตอนที่10 การวิเคราะห์ตำแหน่งของลำตัว (trunk)	2.00	ระดับ 1
ขั้นตอนที่11 การประเมินท่าทางของขาและเท้า	1.00	ระดับ 1
ขั้นตอนที่12 สรุปผลท่าทางการทำงานจากขั้นตอนที่9-11 โดยใช้ตาราง B	3.00	ระดับ 2
ขั้นตอนที่13 ประเมินระดับลักษณะการใช้แรงจากกล้ามเนื้อ	1.00	ระดับ 1
ขั้นตอนที่14 ประเมินระดับภาระงาน จาก น้ำหนักของหรือแรงที่ใช้	0.00	ระดับ 0
ขั้นตอนที่15 สรุปผลการวิเคราะห์ ศีรษะ คอ ลำตัว ขา และเท้า	2.00	ระดับ 1
การสรุปผลระดับคะแนนของ RULA ในตาราง C (8+15)	2.00	ระดับ 1

จากตาราง 32 แสดงให้เห็นว่า การสรุปผลระดับคะแนนของ RULA ในตาราง C (8+15) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.00 ผลการประเมินความสามารถในการลดความล้าจากการทำงานของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าแบบเส้นตรงมาตรฐาน โดยใช้แบบประเมินท่าทางของร่างกาย-RULA อยู่ที่ระดับ 1 คืองานนั้นยอมรับได้ แต่อาจเป็นมีปัญหาทางการยศาสตร์ได้ถ้ามีการทำงานดังกล่าวซ้ำๆ ต่อเนื่องเป็นเวลานานกว่าเดิม

ผลการสังเกตระบบคนกับเครื่องจักร

1. เครื่องชุบแบบเส้นตรงมาตรฐาน มีความยาวประมาณ 12 เมตร ซึ่งผู้ปฏิบัติงานต้องขยับเท้าสไลด์จากซ้ายมือไปทางด้านขวามือ ไปตั้งแต่ขั้นตอนแรกจนสิ้นสุดกระบวนการชุบขั้นตอนสุดท้าย และวนกลับมาเริ่มต้นที่ขั้นตอนแรก ทำให้ระยะการชุบเพิ่มเป็น 2 เท่า

2. กระบวนการชุบในบางขั้นตอนควรรวมเป็นขั้นตอนเดียว จะช่วยลดเวลาต่อรอบการชุบลงได้ โดยเฉพาะขั้นตอนล้างน้ำไหลล้น รวมกับขั้นตอนล้างน้ำกลั่น

3. ขั้นตอนชุบโรเดียมมีขนาดเล็ก เพียง 5 ลิตร

4. พื้นที่ใช้สอยต้องมีความยาวและความกว้างไม่น้อยกว่า 5 x 15 เมตร

ผู้วิจัยได้นำผลการประเมินชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าแบบเส้นตรงมาตรฐาน ที่ไม่มีความเหมาะสมในด้านต่างๆจากผลการสังเกตระบบคนกับเครื่องจักร มาปรับปรุงและพัฒนาเป็นเครื่องต้นแบบสำหรับทดลองในงานวิจัยนี้

ตาราง 33 ความสามารถในการลดความล้าจากการทำงานของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ตัว C (แบบ ค) จำนวน10 คน

ความสามารถในการลดความล้าจากการทำงานของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ แบบ C	$\overline{X}$	**ระดับการประเมิน**
ขั้นตอนที่ 1 การประเมินตำแหน่งแขนส่วนบน (upper arm)	3.00	ระดับ 2
ขั้นตอนที่ 2 การประเมินตำแหน่งแขนส่วนล่าง (Lower arm หรือ forearm)	1.00	ระดับ 1
ขั้นตอนที่ 3 การประเมิน ตำแหน่งมือ และข้อมือ (Hand และ wrist)	2.00	ระดับ 1
ขั้นตอนที่ 4 การประเมินการบิดข้อมือ (wrist twist)	1.00	ระดับ 1
ขั้นตอนที่ 5 สรุปผลจากขั้นตอนที่ 1-4 โดยใช้ตาราง A	3.00	ระดับ 2
ขั้นตอนที่ 6 ประเมินระดับของการใช้แรงจากกล้ามเนื้อในการทำงาน	0.00	ระดับ 0

ตาราง 33 ความสามารถในการลดความล้าจากการทำงานของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ตัว C (แบบ ค) จำนวน10 คน (ต่อ)

ความสามารถในการลดความล้าจากการทำงานของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ แบบ C	$\overline{X}$	**ระดับการประเมิน**
ขั้นตอนที่ 7 ประเมินภาระงานที่ทำ	0.00	ระดับ 0
ขั้นตอนที่ 8 สรุปผลคะแนนการวิเคราะห์ของแขนและมือ(5+6+7)	3.00	ระดับ 2
ขั้นตอนที่ 9 การวิเคราะห์ท่าทางของศีรษะและคอ	3.00	ระดับ 2
ขั้นตอนที่10 การวิเคราะห์ตำแหน่งของลำตัว (trunk)	2.00	ระดับ 1
ขั้นตอนที่11 การประเมินท่าทางของขาและเท้า	1.00	ระดับ 1
ขั้นตอนที่12 สรุปผลท่าทางการทำงานจากขั้นตอนที่9-11 โดยใช้ตาราง B	3.00	ระดับ 2
ขั้นตอนที่13 ประเมินระดับลักษณะการใช้แรงจากกล้ามเนื้อ	1.00	ระดับ 1
ขั้นตอนที่14 ประเมินระดับภาระงาน จาก น้ำหนักของหรือแรงที่ใช้	0.00	ระดับ 0
ขั้นตอนที่15 สรุปผลการวิเคราะห์ ศีรษะ คอ ลำตัว ขา และเท้า	2.00	ระดับ 1
การสรุปผลระดับคะแนนของ RULA ในตาราง C (8+15)	2.00	ระดับ 1

จากตาราง 33 แสดงให้เห็นว่า ความสามารถในการลดความล้าจากการทำงานของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ตัว C (แบบ ค) จำนวน 10 คน สรุปผลระดับคะแนนของ RULA ในตาราง C (8+15) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.00 อยู่ที่ระดับ 1 เทียบเท่ากับแบบเส้นตรงมาตรฐาน

เมื่อวิเคราะห์รายหัวข้อ พบว่า

หัวข้อขั้นตอนที่ 1 การประเมินตำแหน่งแขนส่วนบน (upper arm) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.00 ผลการประเมินความสามารถในการลดความล้าจากการทำงาน โดยใช้แบบประเมินท่าทางของร่างกาย-RULA อยู่ที่ระดับ 2 คือ งานนั้นควรได้รับการพิจารณา การศึกษาละเอียดขึ้นและติดตามวัดผลอย่างต่อเนื่อง การออกแบบงานใหม่อาจมีความจำเป็น

หัวข้อขั้นตอนที่ 2 การประเมินตำแหน่งแขนส่วนล่าง (Lower arm หรือ forearm) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.00 ผลการประเมินความสามารถในการลดความล้าจากการทำงาน โดยใช้แบบประเมินท่าทางของร่างกาย-RULA อยู่ที่ระดับ 1 คืองานนั้นยอมรับได้ แต่อาจเป็นมีปัญหาทางการยศาสตร์ได้ถ้ามีการทำงานดังกล่าว ซ้ำๆ ต่อเนื่องเป็นเวลานานกว่าเดิม

หัวข้อขั้นตอนที่ 3 การประเมิน ตำแหน่งมือ และข้อมือ (Hand และ wrist)ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.00 ผลการประเมินความสามารถในการลดความล้าจากการทำงาน โดยใช้แบบประเมินท่าทางของร่างกาย-RULA อยู่ที่ระดับ 1 คือ งานนั้นยอมรับได้ แต่อาจเป็นมีปัญหาทางการยศาสตร์ได้ถ้ามีการทำงานดังกล่าว ซ้ำๆ ต่อเนื่องเป็นเวลานานกว่าเดิม

หัวข้อขั้นตอนที่ 4 การประเมินการบิดข้อมือ (wrist twist)ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.00 ผลการประเมินความสามารถในการลดความล้าจากการทำงาน โดยใช้แบบประเมินท่าทางของร่างกาย-RULA อยู่ที่ระดับ 1 คือ งานนั้นยอมรับได้ แต่อาจเป็นมีปัญหาทางการยศาสตร์ได้ถ้ามีการทำงานดังกล่าว ซ้ำๆ ต่อเนื่องเป็นเวลานานกว่าเดิม

หัวข้อขั้นตอนที่ 5 สรุปผลจากขั้นตอนที่ 1-4 โดยใช้ตาราง Aค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.00 ผลการประเมินความสามารถในการลดความล้าจากการทำงาน โดยใช้แบบประเมินท่าทางของร่างกาย-RULA อยู่ที่ระดับ 2 คือ งานนั้นควรได้รับการพิจารณา การศึกษาละเอียดขึ้นและติดตามวัดผลอย่างต่อเนื่อง การออกแบบงานใหม่อาจมีความจำเป็น

หัวข้อขั้นตอนที่ 6 ประเมินระดับของการใช้แรงจากกล้ามเนื้อในการทำงานค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.00 ผลการประเมินความสามารถในการลดความล้าจากการทำงาน โดยใช้แบบประเมินท่าทางของร่างกาย-RULA อยู่ที่ระดับ 0 คือ งานนั้นไม่พบปัญหาทางการยศาสตร์

หัวข้อขั้นตอนที่ 7 ประเมินภาระงานที่ทำ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.00 ผลการประเมินความสามารถในการลดความล้าจากการทำงาน โดยใช้แบบประเมินท่าทางของร่างกาย-RULA อยู่ที่ระดับ 0 คือ งานนั้นไม่พบปัญหาทางการยศาสตร์

หัวข้อขั้นตอนที่ 8 สรุปผลคะแนนการวิเคราะห์ของแขนและมือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.00 ผลการประเมินความสามารถในการลดความล้าจากการทำงาน โดยใช้แบบประเมินท่าทางของร่างกาย-RULA อยู่ที่ระดับ 2 คือ งานนั้นควรได้รับการพิจารณา การศึกษาละเอียดขึ้นและติดตามวัดผลอย่างต่อเนื่อง การออกแบบงานใหม่อาจมีความจำเป็น

หัวข้อขั้นตอนที่ 9 การวิเคราะห์ท่าทางของศีรษะและคอค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.00 ผลการประเมินความสามารถในการลดความล้าจากการทำงาน โดยใช้แบบประเมินท่าทางของร่างกาย-RULA อยู่ที่ระดับ 2 คือ งานนั้นควรได้รับการพิจารณา การศึกษาละเอียดขึ้นและติดตามวัดผลอย่างต่อเนื่อง การออกแบบงานใหม่อาจมีความจำเป็น

หัวข้อขั้นตอนที่ 10 การวิเคราะห์ตำแหน่งของลำตัว (trunk)ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.00 ผลการประเมินความสามารถในการลดความล้าจากการทำงาน โดยใช้แบบประเมินท่าทางของร่างกาย-RULA อยู่ที่ระดับ 1 คือ งานนั้นยอมรับได้ แต่อาจเป็นมีปัญหาทางการยศาสตร์ได้ถ้ามีการทำงานดังกล่าว ซ้ำๆ ต่อเนื่องเป็นเวลานานกว่าเดิม

หัวข้อขั้นตอนที่ 11 การประเมินท่าทางของขาและเท้า ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.00 ผลการประเมินความสามารถในการลดความล้าจากการทำงาน โดยใช้แบบประเมินท่าทางของร่างกาย-

RULA อยู่ที่ระดับ 1 คือ งานนั้นยอมรับได้ แต่อาจเป็นมีปัญหาทางการยศาสตร์ได้ถ้ามีการทำงานดังกล่าว ซ้ำๆ ต่อเนื่องเป็นเวลานานกว่าเดิม

หัวข้อขั้นตอนที่ 12 สรุปผลท่าทางการทำงานจากขั้นตอนที่ 9-11 โดยใช้ตาราง B ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.00 ผลการประเมินความสามารถในการลดความล้าจากการทำงาน โดยใช้แบบประเมินท่าทางของร่างกาย-RULA อยู่ที่ระดับ 2 คือ งานนั้นควรได้รับการพิจารณา การศึกษาละเอียดขึ้นและติดตามวัดผลอย่างต่อเนื่อง การออกแบบงานใหม่อาจมีความจำเป็น

หัวข้อขั้นตอนที่ 13 ประเมินระดับลักษณะการใช้แรงจากกล้ามเนื้อ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.00 ผลการประเมินความสามารถในการลดความล้าจากการทำงาน โดยใช้แบบประเมินท่าทางของร่างกาย-RULA อยู่ที่ระดับ 1 คือ งานนั้นยอมรับได้ แต่อาจเป็นมีปัญหาทางการยศาสตร์ได้ถ้ามีการทำงานดังกล่าว ซ้ำๆ ต่อเนื่องเป็นเวลานานกว่าเดิม

หัวข้อขั้นตอนที่ 14 ประเมินระดับภาระงาน จาก น้ำหนักของหรือแรงที่ใช้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.00 ผลการประเมินความสามารถในการลดความล้าจากการทำงาน โดยใช้แบบประเมินท่าทางของร่างกาย-RULA อยู่ที่ระดับ 0 คือ งานนั้นไม่พบปัญหาทางการยศาสตร์

หัวข้อขั้นตอนที่ 15 สรุปผลการวิเคราะห์ ศีรษะ คอ ลำตัว ขา และเท้าค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.00 ผลการประเมินความสามารถในการลดความล้าจากการทำงาน โดยใช้แบบประเมินท่าทางของร่างกาย-RULA อยู่ที่ระดับ 1 คือ งานนั้นยอมรับได้ แต่อาจเป็นมีปัญหาทางการยศาสตร์ได้ถ้ามีการทำงานดังกล่าว ซ้ำๆ ต่อเนื่องเป็นเวลานานกว่าเดิม

ผลการสังเกตระบบคนกับเครื่องจักร

1.เครื่องชุบแบบ C มีความยาวตามรัศมี ประมาณ 4 เมตร ซึ่งผู้ปฏิบัติงานต้องขยับเท้าสไลด์จากซ้ายมือไปทางด้านขวามือ ไปตั้งแต่ขั้นตอนแรกจนสิ้นสุดกระบวนการชุบขั้นตอนสุดท้ายและย่ำเท้าอยู่กับที่ ได้การกระจัดเท่ากับศูนย์ ไม่ต้องเดินวนกลับ ซึ่งเป็นระยะทาง 2 เท่า

2.พื้นที่ใช้สอยต้องมีความยาวและความกว้าง อย่างน้อย 3 x 4 เมตร

ผลการสัมภาษณ์ผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับระบบคนกับเครื่องจักรจำนวน 10 คน

1.สะดวกในการชุบ ด้วยขั้นตอนที่สั้นลง และไม่ต้องเดินวนกลับไปมาที่จุดเริ่มต้น

2.ไม่รู้สึกเมื่อย อุปกรณ์ใช้ง่าย จัดเก็บน้ำยาชุบได้ง่าย

3.ไม่ต้องเดิน ไม่เสี่ยงเกิดอุบัติเหตุ

4.ล้างถัง เติมน้ำ และปล่อยน้ำทิ้งได้ง่าย

ตอนที่ 3 ข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ ในการออกแบบชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์

สำหรับข้อมูลจากคำถามปลายเปิด เพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน แสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการออกแบบและพัฒนาชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์ ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อเสนอแนะต่างๆจากผู้เชี่ยวชาญ มีดังนี้

จากการนำแบบโครงสร้างของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า โดยใช้หลักการยศาสตร์ตัว C แบบ (ก) แบบ (ข) และแบบ (ค) ได้ประเมินกับช่างชำนาญการ พบว่า

1.การออกแบบโครงสร้างแบบ (ก)

1.1 ราคาแพง

1.2 มีวัสดุอุปกรณ์ที่ราคาสูง

1.3 มีโครงสร้างที่ขึ้นรูปประกอบต้องใช้เครื่องมือช่างที่หายาก

1.4 การติดตั้งระบบไฟฟ้าและระบบน้ำที่ระดับยาก

1.5 เคลื่อนย้ายไม่สะดวก

2.การออกแบบโครงสร้างแบบ (ข)

2.1 ราคาค่อนข้างแพง

2.2 โครงสร้างทึบไป

2.3 มีความยากในการขึ้นรูป

2.4 น้ำหนักอาจหนักเกินไป เคลื่อนย้ายไม่สะดวก

3.การออกแบบโครงสร้างแบบ (ค)

3.1 เพิ่มขนาดถังชุบให้ใหญ่กว่านี้อีกได้ เพื่อเพิ่มกำลังผลิตต่อรอบ

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการพัฒนาชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์

1. ติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิฮีตเตอร์ให้เป็นมาตรฐาน
2. ควรมีระบบควบคุมเวลาชุบ
3. ควรออกแบบจิ๊ก (jig) แขวนชิ้นงานให้เหมาะสม
4. หากจะเพิ่มความแข็งแรงของชั้นวางหม้อแปลงไฟควรเป็นสแตนเลสทั้งหมด
5. ควรปรับเพิ่มขั้วบวก(ตัวล่อ) เป็น 2 ขั้ว ช่วยให้อัตราการเกาะติดดีขึ้น
6. ควรทำแท่นยืนความหนาประมาณ 10 cm.กรณี พนักงานชุบมีความสูงไม่เกิน 150cm.
7. ราคาเหมาะสม ด้วยขนาดโครงสร้างเหมาะสม ขนาดกะทัดรัด ถอดประกอบได้ง่าย โครงสร้างดูโปร่งการขึ้นรูปง่าย ไม่หนักเกินไป อุปกรณ์และวัสดุสามารถหาได้ง่ายในท้องตลาด การติดตั้งสะดวก สามารถนำไปสร้างชุดชุบต้นแบบต่อยอดเพื่อทางธุรกิจได้

บทที่ 5
สรุป อภิปรายและข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการพัฒนาชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า โดยการออกแบบและสร้างชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์ เป็นการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ ที่มีประสบการณ์ทางด้านการผลิตเครื่องประดับและผู้ที่มีความสามารถด้านวิศวกรรมเป็นผู้ประเมิน ทั้งนี้ได้ดำเนินการ โดยการประเมินการออกแบบ ดังนี้

สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า ผู้วิจัยได้นำผลการวิจัยนำเสนอเป็นรายหัวข้อ เพื่อให้สอดคล้องกับสมมุติฐาน ดังนี้

1. ผลประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ตัว C (แบบ ก) ผลการประเมินโดยรวมในระดับค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.05 และวิเคราะห์เป็นรายหัวข้อพบว่า ด้านการออกแบบโครงสร้างมีค่าเฉลี่ย 4.33 ด้านการออกแบบการใช้งานมีค่าเฉลี่ย 3.93 ด้านการออกแบบความปลอดภัยมีค่าเฉลี่ย 4.28 ด้านการออกแบบการซ่อมบำรุงมีค่าเฉลี่ย 3.67 แสดงให้เห็นว่า ผู้เชี่ยวชาญประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์จากการประเมินในภาพรวม อยู่ในระดับเกณฑ์ ดี

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะการออกแบบโครงสร้างแบบ (ก)

-ราคาแพง
- มีวัสดุอุปกรณ์ที่ราคาสูง
- มีโครงสร้างที่ขึ้นรูปประกอบต้องใช้เครื่องมือช่างที่หายาก
- การติดตั้งระบบไฟฟ้าและระบบน้ำที่ระดับยาก
- เคลื่อนย้ายไม่สะดวก

2. ผลประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ตัว C (แบบ ข) ผลการประเมินโดยรวมในระดับค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.19 และวิเคราะห์เป็นรายหัวข้อพบว่า ด้านการออกแบบโครงสร้างมีค่าเฉลี่ย 4.00 ด้านการออกแบบการใช้งานมีค่าเฉลี่ย 4.17 ด้านการออกแบบความปลอดภัย มีค่าเฉลี่ย 4.17 ด้านการออกแบบการซ่อมบำรุงมีค่าเฉลี่ย 4.17 แสดงให้เห็นว่า ผู้เชี่ยวชาญประเมินการ

ออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ จากการประเมินในภาพรวม อยู่ในระดับเกณฑ์ ดี

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะการออกแบบโครงสร้างแบบ (ข)

- ราคาค่อนข้างแพง
- โครงสร้างทึบไป
- มีความยากในการขึ้นรูป
- น้ำหนักอาจหนักเกินไป เคลื่อนย้ายไม่สะดวก

3. ผลประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ตัว C (แบบ ค) ผลการประเมินโดยรวมในระดับค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.39 และวิเคราะห์เป็นรายหัวข้อพบว่า ด้านการออกแบบโครงสร้างมีค่าเฉลี่ย4.33 ด้านการออกแบบการใช้งานมีค่าเฉลี่ย 4.60 ด้านการออกแบบความปลอดภัยมีค่าเฉลี่ย 4.28 ด้านการออกแบบการซ่อมบำรุงมีค่าเฉลี่ย 4.33 แสดงให้เห็นว่า ผู้เชี่ยวชาญประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ จากการประเมินในภาพรวม อยู่ในระดับเกณฑ์ ดี

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะการออกแบบโครงสร้างแบบ (ค)

- เพิ่มขนาดถังชุบให้ใหญ่กว่านี้อีกได้ เพื่อเพิ่มกำลังผลิตต่อรอบ

จากผลการประเมินผู้วิจัยได้นำการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ (แบบ ค) นำมาสร้างเครื่องต้นแบบ เพราะมีค่าเฉลี่ยทั้งหมดในภาพรวมสูงที่สุด และผู้เชี่ยวชาญเสนอแนะให้สร้างแบที่มีต้นทุนถูกที่สุด

4. ผลประเมินความสามารถในการลดความล้าจากการทำงานของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ตัว C (แบบ ค) โดยใช้แบบประเมินท่าทางของร่างกาย-RULA มีค่าเฉลี่ย 2.00 ผลอยู่ที่ระดับ 1 คือ งานนั้นยอมรับได้ แต่อาจเป็นมีปัญหาทางการยศาสตร์ได้ถ้ามีการทำงานดังกล่าว ซ้ำๆ ต่อเนื่องเป็นเวลานานกว่าเดิม

อภิปรายผลการวิจัย

1. จากสมมุติฐานที่ตั้งขึ้นผลของการวิจัยได้อภิปรายผลของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ทั้ง 3 แบบ การออกแบบและสร้าง อภิปรายผลการประเมินเป็นค่าเฉลี่ยในภาพรวม ดังนี้

1.1 ผลประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ตัว C (แบบ ก) ผลการประเมินโดยรวมในระดับค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.05 จากการประเมินในภาพรวม อยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ค่า t=0.255 สอดคล้องกับสมมุติฐานที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 และสร้างต้นแบบได้แต่ต้นทุนสูง

1.2 ผลประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ตัว C (แบบ ข) ผลการประเมินโดยรวมในระดับค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.05 จากการประเมินในภาพรวม อยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ค่า t=0.255 สอดคล้องกับสมมุติฐานที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 และสร้างต้นแบบได้แต่ต้นทุนสูง

1.3 ผลประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ตัว C (แบบ ค) จากการประเมินในภาพรวม อยู่ในระดับเกณฑ์ ดี 4.39 ค่า t=1.638 สอดคล้องกับสมมุติฐานที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 และสร้างต้นแบบได้มีต้นทุนต่ำเหมาะสม

อภิปรายผลการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ตัว C (แบบ ค) ขนาดความกว้าง 1.60 เมตร ความยาว 1.80 เมตร ความสูง 1.40 เมตร การออกแบบกระบวนการชุบด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม ผู้วิจัยได้ออกแบบขั้นตอนการชุบจำนวน 9 ขั้นตอน ดังนี้ 1.ขั้นตอนล้างด้วยไฟฟ้า 2.ขั้นตอนล้างน้ำไหลล้น 3.ขั้นตอนกระตุ้นผิวด้วยกรด 4.ขั้นตอนล้างด้วยน้ำกลั่น 5.ขั้นตอนน้ำยาชุบเงิน 6.ขั้นตอนล้างเก็บกลับน้ำยาชุบเงิน 7.ขั้นตอนน้ำยาชุบโรเดียม 8.ขั้นตอนล้างเก็บกลับน้ำยาชุบโรเดียม 9.ขั้นตอนล้างน้ำไหลล้นและน้ำร้อน เนื่องจากการพัฒนาโครงสร้างจากข้อมูลที่ได้กล่าวมาถึงความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า ประกอบด้วย ชุดถังบรรจุน้ำยาชุบขนาด 15 ลิตร ชุดหม้อแปลงจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 15V 0-30 A ชุดควบคุมเวลา และชุดควบคุมอุณหภูมิ หลังจากการสร้างเครื่องต้นแบบซึ่งมีความสมบูรณ์ของกระบวนการชุบตามทฤษฎีสามารถชุบได้จริง และสอดคล้องกับงานวิจัยของ จันทร์เพ็ญ อนุรัตนานนท์.(2550: บทคัดย่อ) ได้ทดลองและศึกษาเรื่อง “การศึกษาประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าในการชุบทองบนเครื่องประดับแหวนทองเหลือง” เป็นการทดลองโดยทำการทดลองบนแหวนทองเหลือง 4 แบบ และใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าในขั้นตอนการชุบทอง 5 ค่า คือ 1,2,3,4 และ 5 แอมแปร์/ตารางเดซิเมตร พบว่า ได้ผลเหมือนกัน คือ ที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์/ตารางเซนติเมตร มีประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าสูงที่สุด ที่ 2,3,4 และ 5 แอมแปร์/ตารางเดซิเมตร มีประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าลดลงตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า การใช้ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าต่ำจะให้ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าสูงกว่าการใช้ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูง และสอดคล้องกับงานวิจัยของสมคิด ภิรมย์ภักดี.(2549: บทคัดย่อ) ได้ทดลองและพัฒนาเรื่อง “การพัฒนากระบวนการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน กรณีศึกษา บริษัท เอื้อวิทยาเครื่องอุปกรณ์ จำกัด “หลังจากการพัฒนากระบวนการชุบสังกะสีได้คุณภาพชิ้นงานชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อนที่มีผิวเคลือบที่ได้ความหนาสม่ำเสมอเป็นไปตามเกณฑ์ข้อยอมรับ คือ ชิ้นงานที่มีความหนาน้อยกว่า 6.0 มม.ความหนาผิวเคลือบเท่ากับ 91$\pm$5 ไมครอน ได้ค่าดัชนี 0.56 ส่วนชิ้นงานที่มีความหนามากกว่าหรือเท่ากับ 6.0 มม. ความหนาผิวเคลือบเท่ากับ 100$\pm$10 ไมครอน ค่าดัชนี 0.40 ซึ่งได้ค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อนที่สูงขึ้นกว่าก่อนการพัฒนา

2. จากสมมุติฐานที่ตั้งขึ้น ผลของการวิจัยได้อภิปรายผลของการออกแบบชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ตัว C (แบบ ค) อยู่ในระดับเกณฑ์ ดี และเป็นการประเมินการออกแบบ ทั้ง 4 ด้าน คือ

2.1 ด้านการออกแบบโครงสร้าง พบว่า การออกแบบอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.33,SD=0.46,t=1.617,p<.05) ทั้งนี้เพราะความเหมาะสมของโครงสร้างตามทฤษฎีกระบวนการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าด้านโครงสร้าง สอดคล้องกับงานวิจัยของ ไพรัช ยังวัฒนา และคณะ (2547: บทคัดย่อ) ได้สร้างและทดลองเรื่อง “ เครื่องชุบแข็งผิวโลหะด้วยวิธีเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแบบควบคุมความถี่ “ ได้นำเสนอแหล่งจ่ายกำลังความถี่สูงสำหรับการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ อินเวอร์เตอร์แบบเต็มคลื่น ซึ่งใช้มอสเฟตกำลังเป็นอุปกรณ์ในการสวิตซ์ใช้สร้างแรงดันไฟฟ้าความถี่สูงที่จะจ่ายให้กับโหลดเหนี่ยวนำ อินเวอร์เตอร์นี้จะถูกความคุมแบบเปิดด้วยไอวี Pulse Width Modulation (PWM) เบอร์ TL494 ผลลัพธ์ของแรงดันและกระแสทางด้านเอ้าท์พุทจะต่อเข้ากับวงจรภาระแบบอนุกรมรีโซแนนซ์ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในการให้ความร้อนได้หลายรูปแบบโดยขึ้นอยู่กับงานการใช้งาน และทำงานที่ความถี่ 50 kHz-200kHz โดยมีพิกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุด 1500 VA

ความแข็งแรงของโครงสร้าง รูปทรงของเครื่องสวยงาม จัดวางตำแหน่งอุปกรณ์เหมาะสม ความสูง ความกว้าง ความยาวเหมาะสมกับหลักการยศาสตร์ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ วรพจน์ เสรีรัส และ ชนกานต์ วุฒิวรคุปต์.(2009:บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การปรับปรุงกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีด้วยไฟฟ้าบนที-นัต โดยใช้เทคนิควิศวกรรมคุณภาพ ดังนี้ กระบวนการชุบเคลือบสังกะสีด้วยไฟฟ้าเป็นกระบวนการทางปฏิกิริยาเคมีที่สำคัญต่อการผลิตที-นัตเป็นอย่างมาก ปัจจุบันนี้พบว่าในกระบวนการชุบยังขาดการควบคุมที่ดีเนื่องจากยังไม่มีการสร้างวิธีทำงานที่เป็นมาตรฐาน ซึ่งทำให้เกิดข้อบกพร่องของที-นัตเป็นจำนวนมาก โดยปัญหาข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น ได้แก่ ชิ้นงานเป็นรอย เป็นคราบมัว ชุบติดไม่ทั่ว ไหม้ ลอกง่าย เป็นผื่นเม็ดๆ และเกลียวดำ ซึ่งข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นทำให้นำกลับไปซ่อมใหม่ ทำให้เสียทรัพยากรโดยไม่จำเป็นเสียเวลา วัตถุดิบและแรงงาน จากปัญหาดังกล่าวข้างต้นผู้วิจัย จึงมุ่งเน้นศึกษาวิเคราะห์ถึงสาเหตุของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นและปรับปรุงกระบวนการชุบสังกะสี เพื่อให้มีการควบคุมที่ดีและมีการทำงานที่เป็นมาตรฐาน โดยมีการศึกษาวิจัยที่โรงงานชุบสังกะสีแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงใหม่ จากการศึกษาพบว่าปัญหาข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นมีสาเหตุมาจากขาดการตรวจสอบในกระบวนการผลิต วิธีการปฏิบัติการไม่เหมาะสม ไม่มีมาตรฐานในการทำงาน เป็นต้น จากนั้นผู้วิจัยจึงทำการปรับปรุงโดยกำหนดวิธีการปฏิบัติงานที่เหมาะสม สร้างระบบการทำงานใหม่ให้มีการควบคุมการปฏิบัติงาน โดยกำหนดเป็นมาตรฐานการทำงาน ในรูปแบบของเอกสารอย่างชัดเจน มีการจัดทำคูมือน้ำยาชุบโลหะ จัดทำใบตรวจสอบน้ำยา จัดทำแผนการบำรุงรักษาต่างๆ มาใช้ในโรงงาน พบว่ากระบวนการชุบมีวิธีการทำงานที่เป็นมาตรฐานขึ้นและมีควบคุมที่ดี ทำให้ปัญหาข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นมีจำนวนลดลงจาก 8.96% เป็น 3.19 %

2.2 ด้านการออกแบบการใช้งาน พบว่า การออกแบบอยู่ในระดับเกณฑ์ ดีมาก ($\overline{X}$ =4.60,SD=0.46,t=2.901,p<.05) ทั้งนี้เพราะมีการออกแบบให้สะดวกในการใช้งาน การออกแบบให้สะดวกในการเคลื่อนย้ายและเหมาะสมกับพื้นที่ การออกแบบให้ถอดประกอบได้ง่าย การออกแบบระยะแผงควบคุมระบบเหมาะสมในการใช้งาน การออกแบบขนาดและรูปแบบเหมาะสมสำหรับ SMEและสอดคล้องกับงานวิจัยของ พนม เสือสืบพันธุ์. (2545 : บทคัดย่อ) ได้ออกแบบและสร้างเรื่อง “ออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุบเคลือบผิวกรอบขาไอซี “ โดยออกแบบวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงปรับค่าได้ตั้งแต่ 0-30 V 0-5 A แบบลิเนียร์ พร้อมทั้งวงจรกำเนิดความถี่ตั้งแต่ 1- 99 มิลลิวินาทีและวงจรขับกำลัง โดยให้สัญญาณไฟตรงจากวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าจ่ายเข้าวงจรกำเนิดและขับสัญญาณพัลส์ โดยนำไปใช้กับในการชุบกรอบขาไอซี โดยการทดสอบประสิทธิภาพของรูปคลื่นที่ได้เมื่อจ่ายภาระที่เป็นถังชุบกับการจ่ายภาระที่เป็นตัวต้านทาน เพื่อทดสอบสัญญาณพัลส์ที่ได้ ตามทฤษฎีของ Enrique Gutierrez Jr.

ผลการทดสอบสรุปได้ว่า ออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุบเคลือบผิวกรอบขาไอซี มีรายละเอียด ดังนี้

1. ชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์ สามารถปรับคลื่นคาบเวลาของรูปคลื่นได้ตั้งแต่ 1-99 มิลลิวินาที

2. ชุดจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 0-5 แอมป์ ปรับแรงดันได้ตั้งแต่ 0-30 โวลท์

3. ค่ากระเพื่อมของสัญญาณหรือค่าสัญญาณรบกวนต่ำกว่า 5 % ของค่าปรับตั้งสัญญาณพัลส์ในภาระแบบตัวต้านทนที่ปรับค่ากระแสขาออกที่ 5 แอมป์ แต่สูงกว่า 5 % เท่ากับ 6.25 % เมื่อปรับค่ากระแสด้านออกที่ 3.5 แอมป์ และกรณีเมื่อจ่ายเข้าถังชุบโดยปรับค่ากระแสที่ 3.4 แอมป์ จะมีค่าการกระเพื่อหรือค่าสัญญาณรบกวนมากขึ้น

4.ค่าการกระโดดของสัญญาณพัลส์ต่ำกว่า 5 % ของค่าปรับตั้งสัญญาณพัลส์ในภาระแบบตัวต้านทานและภาระที่ต่อเข้าช่องชุบเคลือบผิวกรอบขาไอซี ทั้งการเปลี่ยนตำแหน่งการวัดที่ขาออกของสัญญาณพัลส์และที่วัดคร่อมที่หน้าสัมผัสใกล้ช่องที่น้ำยาที่เกิดปฏิกิริยาอิเลคโทรไลท์

5.ค่าเวลาในการตั้งตัวรูปคลื่นน้อยกว่า 1 ใน 10 ของความกว้างพัลส์ทั้งภาระที่เป็นตัวต้านทานและช่องใกล้บริเวณการเกิดปฏิกิริยาเคมีโดยจะเห็นการหน่วงของเวลาชัดเจนเมื่อวัดคร่อมช่องใกล้บริเวณการเกิดปฏิกิริยาเคมี

6.เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์มีเปอร์เซ็นต์การผิดพลาดจากการปรับค่าเวลา On Time/Off Time ต่อค่าเวลาที่แสดงที่ออสซิลโลสโคป เท่ากับ 0.1 %

2.3 ด้านการออกแบบความปลอดภัย พบว่า การออกแบบอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.28,SD=0.38,t=1.767,p<.05) ทั้งนี้เพราะมีความปลอดภัยในการติดตั้งอุปกรณ์ ระบบป้องกันโดยการตัดไฟ การป้องกันอันตรายจากการสัมผัสไฟฟ้า เช่น ปุ่ม ปลั๊ก สายไฟฟ้า สวิทช์ ความปลอดภัยในขณะใช้งาน ความปลอดภัยในการซ่อมบำรุง การถ่ายและจัดเก็บสารเคมีมีความปลอดภัย และสอดคล้องกับงานวิจัยของ นิรุตติ์ กิจพจนี, อำนวย จำปาทอง, จิระศักดิ์ จีนเสวก

(2548: บทคัดย่อ) ปริญญานิพนธ์นี้ เป็นการสร้างเครื่องชุบโลหะด้วยไฟฟ้า โดยใช้หลักการสวิตช์ด้วยวงจรแปลงผันแบบฟูล - บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ โดยใช้มอสเฟตกำลังเป็นอุปกรณ์สวิตช์ และประกอบด้วยวงจรพัลส์วิดมอดูเลชั่น ซึ่งจะทำหน้าที่สร้างสัญญาณควบคุมและส่งไปที่ ชุดขับนำเกตของมอสเฟตกำลัง ซึ่งมีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากเกิดกำลังงานสูญเสีย จากการสวิตช์ต่ำและไม่จำเป็นต้องใช้วงจรสนับเบอร์ โดยเครื่องชุบโลหะด้วยไฟฟ้านี้ สามารถใช้งานในการชุบโลหะได้หลายชนิด โดยขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำยาและตัวล่อที่จะนำมาชุบให้ติดกับชิ้นงาน

2.4 ด้านการออกแบบการซ่อมบำรุง พบว่า การออกแบบอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.33,SD=0.58,t=1.414,p<.05) ทั้งนี้เพราะมีการใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงทนทาน สะดวกในการซ่อมบำรุง วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการบำรุงรักษาที่ชำรุดสามารถซื้อได้ง่าย การตรวจสอบและบำรุงรักษาได้ง่าย การทำความสะอาด ล้างถังได้ง่าย การคัดแยกน้ำยาชุบและสารเคมี และสอดคล้องกับงานวิจัยของ พงพันธุ์ ประสิทธิเมตต์.(2547: บทคัดย่อ) ได้พัฒนาและสร้างเรื่อง “การพัฒนาเครื่องมือทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนสำหรับระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ “ โดยกำหนดเกณฑ์ในการพัฒนาเป็นแบบเพิ่มขึ้นต่อพิกัดเวลา คืออุณหภูมิคงที่ 57 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น เกิน 7 องศาเซลเซียสต่อนาที(วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย.2535 : 26) การออกแบบส่วนควบคุมความร้อนผู้วิจัยกำหนดระบบการป้องการ 2 ลำดับ คือ ระดับที่ 1 ป้องกันด้านอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 57 องศาเซลเซียส $\pm$ 5 องศาเซลเซียสลำดับที่ 2 ป้องกันโดยการหน่วงเวลาไม่ให้เกิน 1 นาที ผลการพัฒนาการทดสอบประสิทธิภาพและการประเมินทางด้านกายภาพ เครื่องมือทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนสำหรับระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้มีดังนี้ ผู้วิจัยได้พัฒนา โดยสร้างอุปกรณ์แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดัน 12 โวลท์ดีซี 500 มิลลิแอมป์และออกแบบเครื่องมือทดสอบลักษณะเป็นก้านที่มีชุดให้ความร้อน ขนาดกว้าง 15 เซนติเมตร อยู่ด้านบนโดยก้านมีความยาว 1.20 เมตร พร้อมทั้งได้ทดสอบประสิทธิภาพและประเมินทางด้านกายภาพ สรุปได้ว่าเครื่องมือทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนสำหรับระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพสามารถใช้งานได้ตามเกณฑ์ที่ระยะที่ 5 เซนติเมตร เครื่องมือทำงานที่เวลา 30 นาที โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่อยู่ที่ 58.78 องศาเซลเซียส

3. จากสมมุติฐานที่ตั้งขึ้น ผลของการวิจัยได้อภิปรายผลของการออกแบบชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ตัว C (แบบ ค) ผลการประเมินอยู่ที่ระดับ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.00 (SD= 0.00) หมายความว่า ชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์ แบบ (ค) ที่ได้ออกแบบ มีระดับความล้าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ แต่ทั้งนี้อาจมีปัญหาความล้าได้ถ้ามีการทำงานดังกล่าว ซ้ำๆ ต่อเนื่องเป็นเวลานาน สามารถลดระยะทางในการเดินและลดเวลาในการทำงาน สอดคล้องทางทฤษฎีของการเคลื่อนไหวของร่างกาย (สราวุธ สุธรรมาสา,คณะ.2550) หมายถึง การออกแรงเคลื่อนที่ของบุคคล เพื่อทำงานชิ้นหนึ่งชิ้นใดให้สำเร็จ ในระยะเวลาที่อาจจะกำหนดไว้ ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า การเคลื่อนไหวของร่างกาย มีความสำคัญในการทำงาน เพราะถ้าตัว

เคลื่อนไหวได้ถูกทิศทางจะประหยัดเวลา ประหยัดแรงงานและช่วยตัดการเคลื่อนไหวที่ไร้ประโยชน์หรือไม่มีประสิทธิภาพออกไป สอดคล้องกับงานวิจัยของ ณัฐธิดา บังเมฆ.(2547: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาเรื่อง “เปรียบเทียบผลของการวิ่งบนพื้นเรียบและพื้นลาดชัน ที่มีต่อความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขา ผลการวิจัยพบว่า การเปลี่ยนแปลงของค่าความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขึ้นอยู่กับระยะเวลาและระดับความชันของการวิ่ง ดังนี้

การวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา ความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างทั้ง 4 มัด เกิดความเมื่อยล้าขึ้นจากระยะเวลาที่ใช้ในการวิ่งเท่านั้น

การวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา ค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างทั้ง 4 มัด เกิดความเมื่อยล้าขึ้นจากระยะเวลาและจากมัดกล้ามเนื้อเอง

ผลการระหว่างการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา และการวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา ทั้ง 30 นาที พบว่า ค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนนอก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในนาทีที่ 10 และ 13 ค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนใน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในนาที 17 ค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อโซเลียส ไม่มีความแตกต่าง ค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าหน้าแข้ง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในนาทีที่ 26 และได้ปรับปรุงอุปกรณ์ควบคุมให้สะดวก ทั้งนี้ชุดชุบสามารถเคลื่อนย้ายโดยง่าย ปรับระดับ แยกส่วนได้และมีขนาดพอเหมาะใช้ได้ในพื้นที่จำกัดได้ ติดตั้งในพื้นที่อย่างน้อย 3x4 ตารางเมตร ช่วยลดปัญหาด้านการยศาสตร์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ วิลาวัลย์ ชัยแก่น และคณะ (2550: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาเรื่อง “ปัจจัยด้านการยศาสตร์และอัตราความชุกของอาการปวดทางโครงร่างและกล้ามเนื้อในคนงานโรงงานผลิตชิ้นส่วนสารกึ่งตัวนำในนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ “ วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยด้านการยศาสตร์ด้านท่าทางการทำงานไม่เหมาะสม ท่าทางการทำงานซ้ำซาก และการยกของ อัตราความชุกของอาการปวดทางโครงร่างและกล้ามเนื้อ และความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านการยศาสตร์และอัตราความชุกของอาการปวดทางโครงร่างและกล้ามเนื้อ พบว่า การสัมผัสปัจจัยทางการยศาสตร์ด้านท่าทางการทำงานไม่เหมาะสมร่วมท่าทางการทำงานซ้ำซาก และท่าทางการทำงานไม่เหมาะสมร่วมการยกของ มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านการยศาสตร์และอัตราความชุกของอาการปวดทางโครงร่างและกล้ามเนื้อที่มีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 และสอดคล้องกับงานวิจัยของ วัฒนา เอียวสวัสดิ์. (2541: บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่อง คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อและความเมื่อยล้าของพนักงานจับเส้นขนมจีนที่นั่งปฏิบัติงานบนเก้าอี้เตี้ยและเก้าอี้นั่งกึ่งยืนของพนักงานโรงงานขนมจีนรัตน์พร นิคมขนมจีนฉะเชิงเทรา จำนวน 10 คน โดยใช้เครื่องมือวัดคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อหลัง กล้ามเนื้อขา ร่วมกับใช้แบบสอบถามความรู้สึกเมื่อยล้า ขณะทำงานเก้าอี้เตี้ยและเก้าอี้นั่งกึ่ง 90 นาที นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกัน พบว่ากล้ามเนื้อหลังส่วนล่าง ขณะที่นั่งทำงานบนเก้าอี้นั่งกึ่งยืนมีความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน้อยว่าการนั่งทำงานบนเก้าอี้เตี้ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่กล้ามเนื้อขาไม่พบความแตกต่างระหว่างการนั่งทำงานบนเก้าอี้เตี้ยและเก้าอี้นั่งกึ่ง อีกทั้งยังพบว่า ค่า

คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่วัดได้ สามารถให้รายละเอียดการทำงานของกล้ามเนื้อได้ดีกว่าใช้แบบสอบถามความรู้สึกเมื่อยล้าอีกด้วย

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการวิจัย

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการพัฒนาชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์

1. ติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิฮีตเตอร์ให้เป็นมาตรฐาน
2. ควรมีระบบควบคุมเวลาชุบ
3. ควรออกแบบจิ๊ก (jig) แขวนชิ้นงานให้เหมาะสม
4. ควรเพิ่มความแข็งแรงของชั้นวางหม้อแปลงไฟควรเป็นสแตนเลสทั้งหมด
5. ควรปรับเพิ่มขั้วบวก(ตัวล่อ) เป็น 2 ขั้ว ช่วยให้อัตราการเกาะติดดีขึ้น
6. เพิ่มขนาดถังชุบให้ใหญ่กว่านี้อีกได้ เพื่อเพิ่มกำลังผลิตต่อรอบ
7. ควรติดหลอดไฟส่องสว่างด้านบนตัวเครื่อง จะได้ทำงานได้อย่างสมบูรณ์
8. ควรมีกล่องปิดมอเตอร์ สำหรับป้องกันสารเคมี
9. แป้นควบคุมระบบไฟฟ้าสามารถเปลี่ยนจากกล่องไม้เป็นวัสดุ PP เหมือนถังจะช่วยเรื่องความทนทานและทนการกัดกร่อนจากสารเคมี

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

1. การออกแบบจิ๊ก (jig) แขวนชิ้นงานและออกแบบขั้วบวก(ตัวล่อ) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเคลือบเกาะผิว
2. ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเมื่อยล้ากับระดับความเค้นหรือระหว่างความเมื่อยล้ากับผลผลิตจากการปฏิบัติงาน

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

โครงการจรัส(JARAD) . (ม.ม.ป.). *เทคนิคการชุบเครื่องประดับ*. คู่มือ. คณะวิทยาศาสตร์ทั่วไป มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

โครงการจรัส(JARAD) . (ม.ม.ป.). *Advanced Plating หลักสูตรการชุบและเคลือบผิวขั้นสูง*. คู่มือ. คณะวิทยาศาสตร์ทั่วไป มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

จรวยพร ธรรินทร์. (2550). *ขนาดกาย การเคลื่อนไหว และการทำงานของร่างกาย*. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. กรุงเทพฯ.

จันทร์เพ็ญ อนุรัตนานนท์. (2550). มหาวิทยาลัยศิลปากร. วารสารวิชาการ. 27(1). กรุงเทพฯ.

ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. (2538). *นักอิเล็กทรอนิกส์* คู่มือ. กรุงเทพฯ. ซีเอ็ดบุ๊ค.

ชมพูศักดิ์ พูลเกษและชัยยุทธ ชวลิตนิธิกุล (2536). *อาชีวอนามัย*. เอกสารประกอบการสอนชุดวิชา 52305 หน่วยที่8-15 มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. กรุงเทพฯ. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

ชุมพล ศฤงคารศิริ. (2550). *การวางแผนและควบคุมการผลิต*. กรุงเทพฯ. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

ณัฐธิดา บังเมฆ. (2547). *เปรียบเทียบผลของการวิ่งบนพื้นเรียบและพื้นลาดชันที่มีต่อความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขา*. วิทยานิพนธ์ วทม. (วิทยาศาสตร์การกีฬา) กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

นริศ เจริญพร. *การประเมินการทำงานเพื่อวิเคราะห์งานทางการยศาสตร์เบื้องต้นด้วยตนเองโดยใช้ RULA*. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต). สืบค้นเมื่อ 8 ตุลาคม 2554, จาก http://www.se.co.th.เอกสารอบรม.

ปิติ พูนไชยศรี; คณะคนอื่นๆ. (2550). *เออร์กอนอมิคส์และจิตวิทยาในการทำงาน*. หน่วยที่ 1-7. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. กรุงเทพฯ.

ผู้จัดการออนไลน์. (2554). สืบค้นเมื่อ 8 ตุลาคม 2554, จาก http://www.sizethailand.org.

พนม เสือสืบพันธ์. (2545). *การออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุบเคลือบผิวกรอบขาไอซี.วิทยานิพินธ์ กศม. (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

พงพันธุ์ ประสิทธิเมตต์. (2547). *การพัฒนาเครื่องทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนสำหรับระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้*. วิทยานิพนธ์ กศม. (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

พัชริน พรมอนันต์. (2549). *ปัจจัยด้านการยศาสตร์และอัตราความชุกของกลุ่มอาการผิดปรกติทางระบบโครางแลกลามเนื้อในพนักงานโรงงานเฟอร์นิเจอร์*. วิชาการสาธารณสุข. 15(6): เชียงใหม่. สำเนาเอกสาร.

วรพจน์ เสรีรัฐ; และชนกานต์ วุฒิวรคุปต์. (2552). *การปรับปรุงกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีด้วยไฟฟ้าบนที-นัต โดยใช้เทคนิควิศวกรรมคุณภาพ*.วารสารวิศวกรรมสาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. สำเนาเอกสาร.

วัฒนา เอียวสวัสดิ์. (2541). *คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อและความเมื่อยล้าของพนักงานจับเส้นขนมจีนที่นั่งปฏิบัติงานบนเก้าอี้เตี้ยและเก้าอี้นั่งกึ่งยืน*. วิทยานิพนธ์ วทม. ปริญญานิพนธ์ วิทยาศาสาตร์มหาบัณฑิต. (สุขศาสาตร์อุตสาหกรรมและความปลอดภัย) กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย. สำเนาเอกสาร.
มหาวิทยาลัยมหิดล. ถ่ายเอกสาร.

วิฑูรย์ สิมะโชคดี; และกฤษฎา ชัยกุล. (2537). *เออร์กอนอมิคส์ วิทยาการจัดสภาพงานเพื่อการเพิ่มผลผลิตและความปลอดภัย*. กรุงเทพฯ. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

วิลาวัลย์ ชัยแก่น; และคณะคนอื่นๆ. (2550). ปัจจัยด้านการยศาสตร์และอัตราความชุกของอาการปวดทาง โครงร่างและกล้ามเนื้อในคนงานโรงงานผลิตชิ้นส่วนสารกึ่งตัวนำในนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ. วิชาการสาธารณสุข. 16(2): เชียงใหม่.

วีรวุธ มาฆะศิรานนท์ . (2542). *คัมภีร์บริหาร องค์กรเรียนรู้ สู่ TQM*. กรุงเทพฯ.

สมคิด ภิรมย์ภักดี. (2549). *การพัฒนากระบวนการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน กรณีศึกษา บริษัท เอื้อวิทยาเครื่องอุปกรณ์ จำกัด*. วิทยานิพนธ์ กศม. (อุตสาหกรรมศึกษา) กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

สาคร คันธโชติ; และวิศิษฐ์ สิริสัมพันธ์. (2529). *การออกแบบผลิตภัณฑ์โลหะ*. กรุงเทพฯ. โอเดียนสโตร์.

สุวัฒน์ วงศ์ จำปา. (2546). *การพัฒนาเครื่องกวนสารเคมีด้วยแม่เหล็ก สำหรับปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์*. วิทยานิพนธ์ กศม. (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

สุรสิงห์ ไชยคุณ; และคณะคนอื่นๆ. (2547). *Lab.today*. วารสาร. กรุงเทพฯ.

สราวุธ สุธรรมาสา; และคณะคนอื่นๆ. (2550). *เออร์กอนอมิคส์และจิตวิทยาในการทำงาน*. หน่วย ที่ 1-7. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. กรุงเทพฯ.

อาชัญ นักสอน. (2537). *การออกแบบอุตสาหกรรมจากอดีตถึงปัจจุบัน*. ศิลปกรรมสาร. 2 (1). กรุงเทพฯ. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

อารี เพชรผุด. (2536). *สภาพการทำงานและองค์ประกอบด้านบุคคล*. กรุงเทพฯ. โอเดียนสโตร์.

ฮีตเตอร์ไทย. (2554). สืบค้นเมื่อ 8 ตุลาคม 2554, จาก http://www.heaterthai.com

EURO Tecniche. (2546). สืบค้นเมื่อ 8 ตุลาคม 2554, จาก http://www.eurotecniche.com

Gesswein. (n.d.). *Gesswein The Right Tools*. Catalog # 49. เอกสารขาย.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

แบบประเมินการออกแบบชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์

แบบประเมิน
การออกแบบชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์

แบบประเมินชุดนี้ เป็นการประเมินการออกแบบและการพัฒนาชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ และสำรวจความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อความเหมาะสมของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์

คำชี้แจง แบบประเมินชุดนี้แบ่งออกเป็น 4 ตอน

ตอนที่ 1 ข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพของผู้เชี่ยวชาญ ประกอบด้วย คำถามจำนวน 4 ข้อ

ตอนที่ 2 แบบประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ เกี่ยวกับการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ จำนวน 22 ข้อ ประกอบด้วย คุณลักษณะสมบัติ 4 ด้าน คือ

2.1 ด้านการออกแบบโครงสร้าง

2.2 ด้านการออกแบบในการใช้งาน

2.3 ด้านการออกแบบความปลอดภัย

2.4 ด้านการออกแบบการบำรุงรักษา

ตอนที่ 3 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

วัตถุประสงค์การประเมิน

แบบประเมินชุดนี้สร้างขึ้นเพื่อเป็นเครื่องมือในการวิจัยโครงงาน โดยวัตถุประสงค์ เพื่อประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ และสำรวจความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อความเหมาะสมของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ในการสร้างความน่าเชื่อถือ

ตอนที่ 1 ข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพของผู้เชี่ยวชาญ

กรุณาทำเครื่องหมาย / ลงในกรอบ ☐ หน้าข้อความที่ตรงกับความเป็นจริง และ / หรือเติมคำหรือข้อความ ลงในช่องว่างที่กำหนดให้

1.1 เพศ ☐ ชาย ☐ หญิง

1.2 อายุ .....ปี

1.3 ระดับการศึกษา

☐ ต่ำกว่าปริญญาตรี

☐ ปริญญาตรีหรือเทียบเท่า

☐ ปริญญาโทหรือเทียบเท่า

☐ อื่นๆ โปรดระบุ .....

1.4 ตำแหน่งทางวิชาการ.....

1.5 ตำแหน่งบริหาร.....

1.6 ประสบการณ์ทำงาน .....ปี

ตอนที่ 2 แบบประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์

ข้อแนะนำในการตอบแบบประเมิน

3.1 แบบประเมินตอนที่2 นี้ มีทั้งหมด 22 ข้อ

3.2 กรุณาทำเครื่องหมาย / (ถูก) ลงในช่องว่างมาตราส่วนประเมิน 5 ระดับ ตามความคิดเห็นของท่าน เกี่ยวกับการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ โดยกำหนดค่าคะแนนเป็น 5 ระดับ คือ

คะแนน ระดับ 5 หมายถึง ผลการประเมินในระดับ ดีมาก

คะแนน ระดับ 4 หมายถึง ผลการประเมินในระดับ ดี

คะแนน ระดับ 3 หมายถึง ผลการประเมินในระดับ พอใช้

คะแนน ระดับ 2 หมายถึง ผลการประเมินในระดับ ต้องปรับปรุง

คะแนน ระดับ 1 หมายถึง ผลการประเมินในระดับ ใช้ไม่ได้

แบบประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ตามคุณลักษณะสมบัติ 4 ด้าน คือ

3.1 ด้านการออกแบบโครงสร้าง

3.2 ด้านการออกแบบในการใช้งาน

3.3 ด้านการออกแบบความปลอดภัย

3.4 ด้านการออกแบบการซ่อมบำรุง

รายละเอียดการประเมิน	**ระดับการประเมิน**				
	ดีมาก (5)	ดี (4)	พอใช้ (3)	ต้องปรับปรุง(2)	ใช้ไม่ได้ (1)
1.ความคิดเห็นด้านการออกแบบโครงสร้าง					
1.1 ความเหมาะสมของโครงสร้างตามกระบวนการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า					
1.2 ความแข็งแรงของโครงสร้าง					
1.3 รูปทรงของเครื่องสวยงาม					
1.4 จัดวางตำแหน่งอุปกรณ์เหมาะสม					
1.5 ความสูง ความกว้าง ความยาวเหมาะสมกับพื้นที่					
2. ความคิดเห็นด้านการออกแบบในการใช้งาน					
2.1 การออกแบบให้สะดวกในการใช้งาน					
2.2 การออกแบบให้สะดวกในการเคลื่อนย้ายและเหมาะสมกับพื้นที่					
2.3 การออกแบบให้ถอดประกอบได้ง่าย					
2.4 การออกแบบระยะแผงควบคุมระบบเหมาะสมในการใช้งาน					
2.5 การออกแบบขนาดและรูปแบบเหมาะสมสำหรับ SME					

แบบประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์(ต่อ)

รายละเอียดการประเมิน	**ระดับการประเมิน**				
	ดีมาก (5)	ดี (4)	พอใช้ (3)	ต้องปรับปรุง(2)	ใช้ไม่ได้ (1)
3. ความคิดเห็นด้านการออกแบบความปลอดภัย					
3.1 ความปลอดภัยในการติดตั้งอุปกรณ์					
3.2 ระบบป้องกันโดยการตัดไฟ					
3.3 การป้องกันอันตรายจากการสัมผัสไฟฟ้า เช่น ปุ่ม ปลั๊ก สายไฟฟ้า สวิทซ์					
3.4 ความปลอดภัยในขณะใช้งาน					
3.5 ความปลอดภัยในการซ่อมบำรุง					
3.6 การถ่ายและจัดเก็บสารเคมีมีความปลอดภัย					
4. ความคิดเห็นด้านการออกแบบการซ่อมบำรุง					
4.1 ใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงทนทาน					
4.2 ความสะดวกในการซ่อมบำรุง					
4.3 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการบำรุงรักษาที่ชำรุดสามารถซื้อได้ง่าย ราคาถูก					
4.4 การตรวจสอบและบำรุงรักษาได้ง่าย					
4.5 การทำความสะอาด ล้างถังได้ง่าย					
4.6 การคัดแยกน้ำยาชุบและสารเคมี					

ตอนที่ 3 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

3.1 ด้านการออกแบบโครงสร้าง

.....

.....

.....

.....

3.2 ด้านการออกแบบการใช้งาน

.....

.....

.....

3.3ด้านการออกแบบความปลอดภัย

.....

.....

.....

3.4 ด้านการออกแบบการซ่อมบำรุง

.....

.....

.....

ผู้เชี่ยวชาญ

.....

(.....)

ตำแหน่ง.....

ประเมินเมื่อวันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

ภาคผนวก ข

แบบประเมินท่าทางของร่างกาย-RULA

แบบประเมิน

แบบประเมินท่าทางของร่างกาย-RULA

แบบประเมินชุดนี้ เป็นการประเมินความสามารถในการลดความล้าจากการทำงานของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ตัว C เปรียบเทียบกับแบบเส้นตรงมาตรฐาน โดยใช้แบบประเมินท่าทางของร่างกาย-RULA ซึ่งค่าที่ต้องการวัดโดยให้คะแนนมาตราส่วนประเมิน 5 ระดับ

คำชี้แจง แบบประเมินชุดนี้แบ่งออกเป็น 4 ตอน

ตอนที่ 1 ข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพของผู้เชี่ยวชาญ ประกอบด้วย คำถามจำนวน 4 ข้อ

ตอนที่ 2 แบบประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ เกี่ยวกับการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ โดยใช้แบบประเมินท่าทางของร่างกาย-RULA จำนวน 16 ข้อ

ตอนที่ 3 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

วัตถุประสงค์การประเมิน

แบบประเมินชุดนี้สร้างขึ้นเพื่อเป็นเครื่องมือในการวิจัยโครงงาน โดยวัตถุประสงค์ เพื่อประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ และสำรวจความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อความเหมาะสมของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ในการสร้างความน่าเชื่อถือ

ตอนที่ 1 ข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพของผู้เชี่ยวชาญ

กรุณาทำเครื่องหมาย / ลงในกรอบ ☐ หน้าข้อความที่ตรงกับความเป็นจริง และ / หรือเติมคำหรือข้อความ ลงในช่องว่างที่กำหนดให้

1.1 เพศ ☐ ชาย ☐ หญิง

1.2 อายุ .....ปี

1.3 ระดับการศึกษา

☐ ต่ำกว่าปริญญาตรี

☐ ปริญญาตรีหรือเทียบเท่า

☐ ปริญญาโทหรือเทียบเท่า

☐ อื่นๆ โปรดระบุ .....

1.4 ตำแหน่งทางวิชาการ.....

1.5 ตำแหน่งบริหาร.....

1.6 ประสบการณ์ทำงาน .....ปี

ตอนที่ 2 แบบประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์

ข้อแนะนำในการตอบแบบประเมิน

2.1 แบบประเมินตอนที่2 นี้ มีทั้งหมด 16 ข้อ

2.2 กรุณาทำเติมเลขคะแนนลงในช่องว่างมาตราส่วนประเมิน 5 ระดับ ตามความคิดเห็นของท่าน เกี่ยวกับการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ โดยกำหนดค่าคะแนนเป็น 5 ระดับ คือ

ระดับ 0 : คะแนนอยู่ที่ 0 คือ งานนั้นไม่พบปัญหาทางการยศาสตร์

ระดับ 1 : คะแนนอยู่ที่ 1-2 งานนั้นยอมรับได้ แต่อาจเป็นมีปัญหาทางการยศาสตร์ได้ถ้ามีการทำงานดังกล่าว ซ้ำๆ ต่อเนื่องเป็นเวลานานกว่าเดิม

ระดับ 2 : คะแนนอยู่ที่ 3-4 งานนั้นควรได้รับการพิจารณา การศึกษาละเอียดขึ้นและติดตามวัดผลอย่างต่อเนื่อง การออกแบบงานใหม่อาจมีความจำเป็น

ระดับ 3 : คะแนนอยู่ที่ 5-6 งานนั้นเริ่มเป็นปัญหา ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมและรีบดำเนินการปรับปรุงลักษณะงานดังกล่าว

ระดับ 4 : คะแนนตั้งแต่ 7 ขึ้นไปงานนั้นมีปัญหาด้านการยศาสตร์ที่ต้องได้รับการปรับปรุงโดยทันที

แบบประเมินท่าทางของร่างกาย-RULA

ขั้นตอนที่ 1 การประเมินตำแหน่งแขนส่วนบน (upper arm)

1.1 ระดับของแขน การยกที่สูงขึ้น ระดับคะแนนที่ให้มากขึ้น คะแนนอยู่ระหว่าง 1-4

1.2 ถ้ามีการยกของไหล่ ให้บวกคะแนนเพิ่มอีก +1

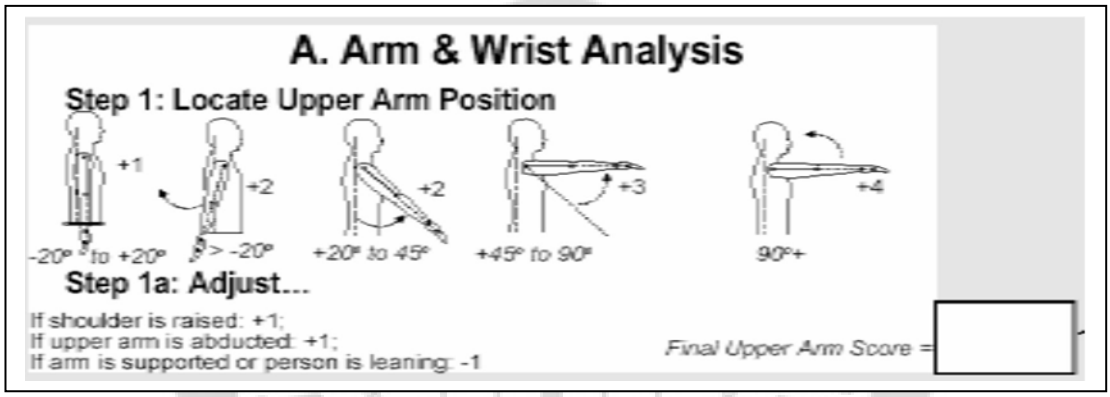
1.3 ถ้ามีการกางแขน ให้บวกคะแนนเพิ่มอีก +1

1.4 ถ้าแขนมีที่รองรับหรือวางพาดอยู่ ให้ลบคะแนน -1

1.5 คะแนนสูงสุดของขั้นตอนนี้จะมีค่าไม่เกิน 6 คะแนน

1.6 ให้แยกการประเมินแขนซ้ายและขวา

คะแนนประเมินตอนที่ 1 รวม.....คะแนน



ขั้นตอนที่ 2 การประเมินตำแหน่งแขนส่วนล่าง (Lower arm หรือ forearm)

2.1 ระดับของแขนส่วนล่างควรอยู่ในแนวระดับขณะทำงาน หรืออยู่ในช่วงประมาณ 60-100องศาวัดจากแนวดิ่ง ถ้ามุมของแขนส่วนล่างอยู่นอกช่วงดังกล่าว ให้คะแนนตามรูปที่ 2 และ 3 จากซ้าย

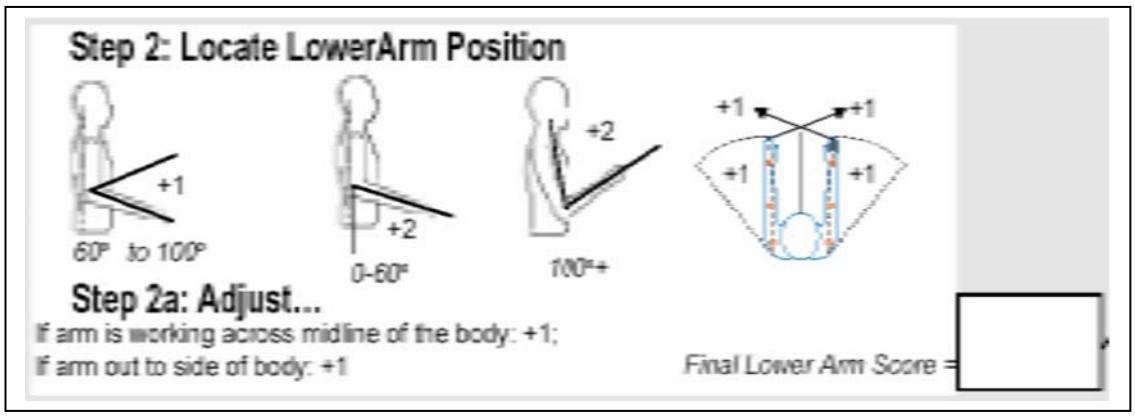
2.2 ถ้ามีการทำงานไขว้แขนเลยแกนกลางลำตัว ให้บวกคะแนนเพิ่มอีก +1

2.3 ถ้ามีการทำงานในลักษณะกางแขนออกไปด้านข้างลำตัว ให้บวกคะแนนเพิ่มอีก +1

2.4 คะแนนสูงสุดในขั้นตอนนี้มีค่าไม่เกิน 4 คะแนน

2.5 ให้แยกประเมินระหว่างแขนซ้ายและขวา

คะแนนประเมินตอนที่ 2 รวม.....คะแนน



ขั้นตอนที่ 3 การประเมิน ตำแหน่งมือ และข้อมือ (Hand และ wrist)

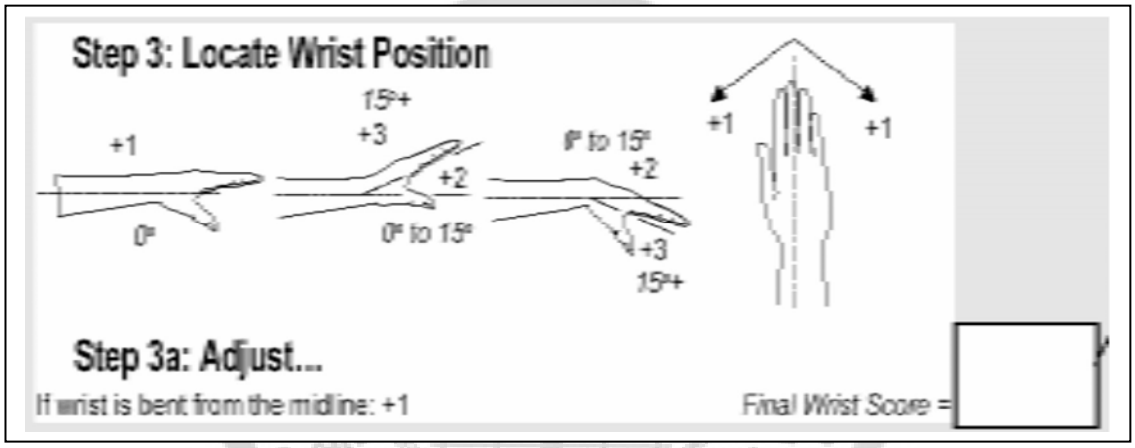
3.1 ขณะทำงานข้อมือไม่ควรอยู่ในลักษณะตรง ไม่บิดงอ ดังแสดงในรูปที่ 1 จากซ้ายถ้าข้อมือมีการบิดงอจะให้คะแนนตามรูปที่ 2 (flexion) และ 3 (extension) จากซ้าย

3.2 ถ้ามีการทำงานที่เกิดการเบี่ยงข้อมือออก (deviation) ดังแสดงในรูปที่ 4 จากซ้ายให้บวกคะแนนเพิ่มอีก +1

3.3 คะแนนสูงสุดในขั้นตอนนี้มีค่าไม่เกิน 4 คะแนน

3.4 ให้แยกประเมินระหว่างแขนซ้ายและขวา

คะแนนประเมินตอนที่ 3 รวม.....คะแนน



ขั้นตอนที่ 4 การประเมินการบิดข้อมือ (wrist twist)

4.1 ขณะทำงานข้อมือไม่ควรหมุน ถ้ามีการหมุนข้อมือให้คะแนนเป็น 1

4.2 ถ้ามีการทำงานที่หมุนข้อมือมากเกือบสุด ให้คะแนนเป็น 2

4.3 คะแนนสูงสุดในขั้นตอนนี้มีค่าไม่เกิน 2 คะแนน

4.4 ให้แยกประเมินระหว่างแขนซ้ายและขวา

คะแนนประเมินตอนที่ 4 รวม.....คะแนน

ขั้นตอนที่ 5 สรุปผลจากขั้นตอนที่ 1-4 โดยใช้ตาราง A

นำข้อมูลจากขั้นตอนที่ 1-4 ซึ่งเป็นผลจากการวิเคราะห์ท่าทางของแขนและมือในขณะทำงานมาเปิดค่าคะแนนรวมในตาราง A

สรุปคะแนนประเมิน ขั้นตอนที่ 1-4 รวม.....คะแนน

Table A : Arm & Wrist Analysis Scores

UPPER ARM	LOWER ARM	WRIST POSTURE SCORE 1		2		3		4	
		TWIST 1	2	TWIST 1	2	TWIST 1	2	TWIST 1	2
1	1	1	2	2	2	2	3	3	3
	2	2	2	2	2	3	3	3	3
	3	2	3	3	3	3	3	4	4
2	1	2	3	3	3	3	4	4	4
	2	3	3	3	3	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5	5
3	1	3	3	4	4	4	4	5	5
	2	3	4	4	4	4	5	5	5
	3	4	4	4	4	4	5	5	5
4	1	4	4	4	4	4	5	5	5
	2	4	4	4	4	5	5	5	6
	3	4	4	4	5	5	5	6	6
5	1	5	5	5	5	5	6	6	7
	2	5	6	6	6	6	6	7	7
	3	6	6	6	7	7	7	7	8
6	1	7	7	7	7	7	8	8	9
	2	8	8	8	8	8	9	9	9
	3	9	9	9	9	9	9	9	9

ขั้นตอนที่ 6 ประเมินระดับของการใช้แรงจากกล้ามเนื้อในการทำงาน

6.1 ถ้าการทำงานดังกล่าวมีลักษณะการใช้แรงจากกล้ามเนื้อแบบสถิต เช่น มีการใช้แรงโดยเกร็งกล้ามเนื้อต่อเนื่องนานกว่า 1 นาที ให้ใส่คะแนนเป็น 1

6.2 ถ้าการทำงานเป็นแบบซ้ำๆ โดยมีการเคลื่อนไหวกลับไปกลับมาเกินกว่า 4 ครั้งต่อนาทีหรือมากกว่า ให้บวกคะแนนเพิ่มอีก

6.3 คะแนนสูงสุดในขั้นตอนนี้มีค่าไม่เกิน 2 คะแนน

คะแนนประเมินตอนที่ 6 รวม.....คะแนน

ขั้นตอนที่ 7 ประเมินภาระงานที่ทำ

7.1 ภาระงานที่ทำได้แก่ แรงที่ใช้ หรือ น้ำหนักที่ถือ ถ้าน้อยกว่า 2 กิโลกรัม ให้คะแนนเป็น 0

7.2 ถ้าภาระงานอยู่ระหว่าง 2-10 กก. ถือหรือใช้แรงนานๆ ครั้ง ให้คะแนนเป็น 1

7.3 ถ้าภาระงานอยู่ระหว่าง 2-10 กก. ถือหรือใช้แรงตลอดเวลาหรือซ้ำไปมาให้คะแนนเป็น 2

7.4 ถ้าภาระงานมากกว่า 10 กก. ถือหรือใช้แรงแบบสถิต หรือเคลื่อนที่ซ้ำไปมาบ่อยๆหรือ มีการใช้แรงทำงานดังกว่าอย่างรวมเร็ว ให้คะแนนเป็น 3

คะแนนประเมินตอนที่ 7 รวม.....คะแนน

ขั้นตอนที่ 8 สรุปผลคะแนนการวิเคราะห์ของแขนและมือ

รวมผลคะแนนจากขั้นตอนที่ 5 – 7 ไว้ในขั้นตอนนี้ เพื่อใช้เปิดตาราง C ในการประเมินผลร่วมกับร่างกายส่วนที่เหลือ

คะแนนประเมินตอนที่ 8 รวมคะแนนตอนที่5+6+7 รวม.....คะแนน

ขั้นตอนที่ 9 การวิเคราะห์ท่าทางของศีรษะและคอ

9.1 ถ้ามุมก้มอยู่ระหว่าง 0-10 องศา ให้คะแนนเป็น 1

9.2 ถ้ามุมก้มอยู่ระหว่าง 10-20 องศา ให้คะแนนเป็น 2

9.3 ถ้ามุมก้มมากกว่า 20 องศา ขึ้นไป ให้คะแนนเป็น 3

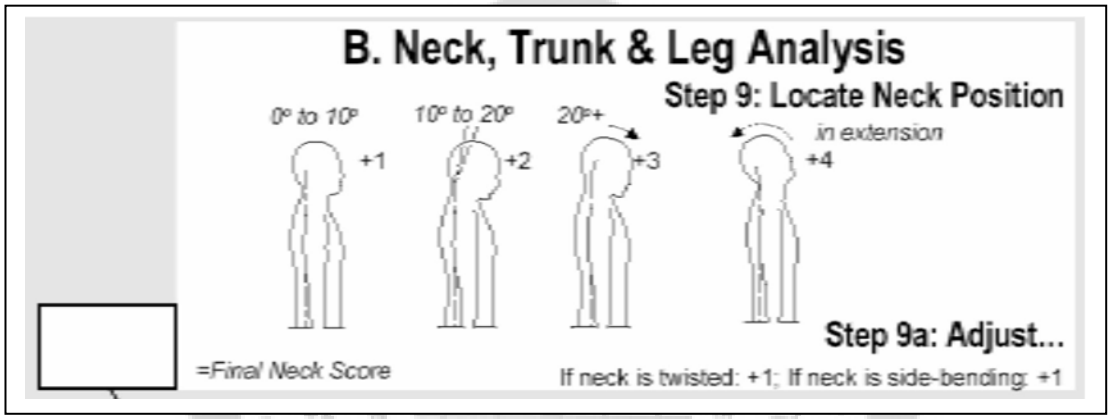
9.4 ถ้ามีการเงยศีรษะ ให้คะแนนเป็น 4

9.5 ถ้ามีการหมุน (twist) ศีรษะ ด้วย ให้คะแนนเพิ่มอีก +1

9.6 ถ้ามีการเอียงศีรษะไปด้านข้าง ให้คะแนนเพิ่มอีก +1

9.7 คะแนนสูงสุดในขั้นตอนนี้จะมีค่าไม่เกิน 6 คะแนน

คะแนนประเมินตอนที่ 9 รวม.....คะแนน



ขั้นตอนที่10 การวิเคราะห์ตำแหน่งของลำตัว (trunk)

10.1 ลำตัวควรอยู่ในลักษณะที่ตั้งตรงเมื่อยืน หรือ ในกรณีการนั่งมีพนักพิงรองรับอย่างดีที่มุมเอียงไม่เกิน -20 องศา ให้คะนนเป็น 1

10.2 ลำตัวโน้มไปด้านหน้าระหว่าง 1-20 องศา ให้คะแนนเป็น 2

10.3 ลำตัวโน้มไปด้านหน้าระหว่าง 21-60 องศา ให้คะแนนเป็น 3

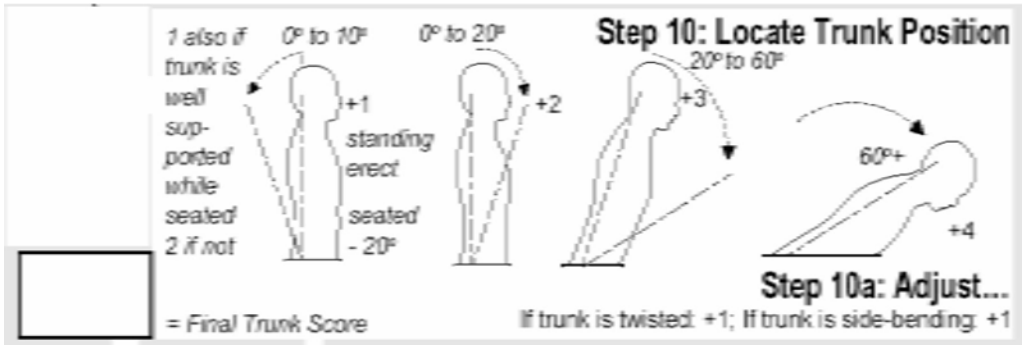
10.4 ลำตัวโน้มไปด้านหน้าระหว่างมากกว่า 60 องศา ให้คะแนนเป็น 4

10.5 ลำตัวมีการหมุน ให้คะแนนเพิ่มอีก +1

10.6 ลำตัวมีการเอียงไปด้านข้าง ให้คะแนนเพิ่มอีก +1

10.7 คะแนนสูงสุดในขั้นตอนนี้มีค่าไม่เกิน 6 คะแนน

คะแนนประเมินตอนที่ 10 รวม.....คะแนน



ขั้นตอนที่11 การประเมินท่าทางของขาและเท้า

11.1 ขาอยู่ในลักษณะสมดุลซ้ายขวา โดยเท้าสามารถวางบนพื้นที่มีการรองรับดี ให้คะแนนเป็น 1

11.2 ถ้าไม่สมดุลหรือพื้นรองรับเท้าไม่ดี ให้คะแนนเป็น 2

11.3 คะแนนสูงสุดในขั้นตอนนี้ไม่เกิน 2 คะแนน

คะแนนประเมินตอนที่ 11 รวม.....คะแนน

ขั้นตอนที่12 สรุปผลท่าทางการทำงานจากขั้นตอนที่ 9-11 โดยใช้ตาราง B

ตาราง B เป็นการสรุปผลท่าทางของศีรษะลำตัว ขาและเท้า โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนที่ 9 10 และ 11 มาเปิดตาราง B

คะแนนประเมินตอนที่ 12 รวมคะแนนตอนที่9+10+11 รวม.....คะแนน

Table B: Neck, Trunk & Leg Analysis Scores

	Trunk Posture Score											
	1		2		3		4		5		6	
	Legs		Legs		Legs		Legs		Legs		Legs	
Neck	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	3	2	3	3	4	5	5	6	6	7	7
2	2	3	2	3	4	5	5	5	6	7	7	7
3	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	7
4	5	5	5	6	6	7	7	7	7	7	8	8
5	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8
6	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9

ขั้นตอนที่13 ประเมินระดับลักษณะการใช้แรงจากกล้ามเนื้อ

13.1 เป็นการประเมินลักษณะการใช้แรงจากกล้ามเนื้อว่าเป็นไปในลักษณะใด แบบสถิตหรือ แบบพลวัติด้วยความถี่มากน้อยขนาดไหน

13.2 ถ้ามีการใช้แรงจากกล้ามเนื้อในแบบสถิตเป็นเวลานาน หรือ การทำงานแบบใช้แรงซ้ำๆ ไปมาด้วยความถี่ 4 ครั้งต่อนาทีหรือสูงกว่า ให้คะแนนเพิ่มอีก +1

คะแนนประเมินตอนที่ 13 รวม.....คะแนน

ขั้นตอนที่14 ประเมินระดับภาระงาน จาก น้ำหนักของหรือแรงที่ใช้

14.1 ให้พิจารณาน้ำหนักของที่ยกหรือแรงที่ใช้ในการทำงาน เช่น แรงผลัก แรงกดแรงดึง เป็นต้น ว่ามีค่ามากน้อยเพียงใด

14.2 ถ้าภาระงานที่ใช้มีค่าน้อยกว่า 2 กก. ทำเป็นนานๆ ครั้ง ให้คะแนนเป็น 0

14.3 ถ้าภาระงานที่ใช้มีค่าระหว่าง 2-10 กก. ทำเป็นครั้งคราว ให้คะแนนเป็น 1

14.4 ถ้าภาระงานที่ใช้มีค่าระหว่าง 2-10 กก. ออกแรงแบบสถิตหรือเกิดซ้ำไปมา ให้คะแนนเป็น 2

14.5 ถ้าภาระงานที่ใช้มีค่ามากกว่า 10 กก. ออกแรงแบบสถิต หรือเกิดซ้ำไปมาบ่อยๆหรือมีการออกแรงอย่างรวดเร็ว ให้คะแนนเป็น 3

คะแนนประเมินตอนที่ 14 รวม.....คะแนน

ขั้นตอนที่15 สรุปผลการวิเคราะห์ ศีรษะ คอ ลำตัว ขา และเท้า

เป็นผลรวมคะแนนจากขั้นตอนที่ 12 ซึ่งได้จากการเปิดตาราง B รวมกับคะแนนในขั้นตอนที่ 13 และ 14 ซึ่งเป็นลักษณะการใช้งานกล้ามเนื้อและภาระงานที่ต้องทำ คะแนนรวมที่ได้ใส่ไว้ในขั้นตอนนี้ เพื่อนำไปเปิดตารางสรุปผลของ RULA ในตาราง C

คะแนนประเมินตอนที่ 15 รวมคะแนนตอนที่12+13+14 รวม.....คะแนน

ขั้นตอนที่16 หรือขั้นสุดท้าย คือการสรุปผลระดับคะแนนของ RULA ในตาราง C

16.1 นำค่าที่ได้ในขั้นตอนที่ 8 และ คะแนนที่ได้ในขั้นตอนที่ 15 ไปใช้ในการเปิด ตาราง C

16.2 โดยคะแนนในขั้นตอนที่ 8 ใช้เลือกตำแหน่งของแถว ส่วนคะแนนในขั้นตอนที่15 ใช้เลือกตำแหน่งของคอลัมน์ ช่องที่ตัดกันระหว่างคะแนนทั้งสอง ในตาราง C เป็นระดับคะแนนสุดท้ายของRULA

16.3 คะแนน RULA จะมีค่าอยู่ระหว่าง 1-7 คะแนนที่สูงกว่าหมายถึงความเสี่ยงต่อปัญหาทางด้านการยศาสตร์มีสูงด้วย

สรุปผลระดับคะแนนของ RULA ในตาราง C ระดับ.....

การสรุปผลการวิเคราะห์งานโดยใช้ RULA แบ่ง ออกเป็น 5 ระดับ

Table C : Final Scores

คะแนนสรุปจากขั้นตอนที่ 8 \ คะแนนสรุปจากขั้นตอนที่ 15	1	2	3	4	5	6	7+
1	1	2	3	3	4	5	5
2	2	2	3	4	4	5	5
3	3	3	3	4	4	5	6
4	3	3	3	4	5	6	6
5	4	4	4	5	6	7	7
6	4	4	5	6	6	7	7
7	5	5	6	6	7	7	7
8+	5	5	6	7	7	7	7

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

……

……

……

ผู้เชี่ยวชาญ

.....

(.....)

ตำแหน่ง.....

ประเมินเมื่อวันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

เอกสารอ้างอิงที่มา : McAtamney, L and Corlett, E.N. (1993) RULA: a survey method for investigation of work-related upper limb disorders, Applied Ergonomics, 24(2) 91-99

อ้างอิงจาก : Professor Alan Hedge, Cornell University (2001)

ภาคผนวก ง
คู่มือการใช้งานชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์

คู่มือ
การใช้งานชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า
สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม
โดยใช้หลักของการยศาสตร์

แสดงขั้นตอนการดำเนินประกอบและใช้งานชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ดังนี้

1.ขั้นตอนการประกอบโครงสร้างชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์

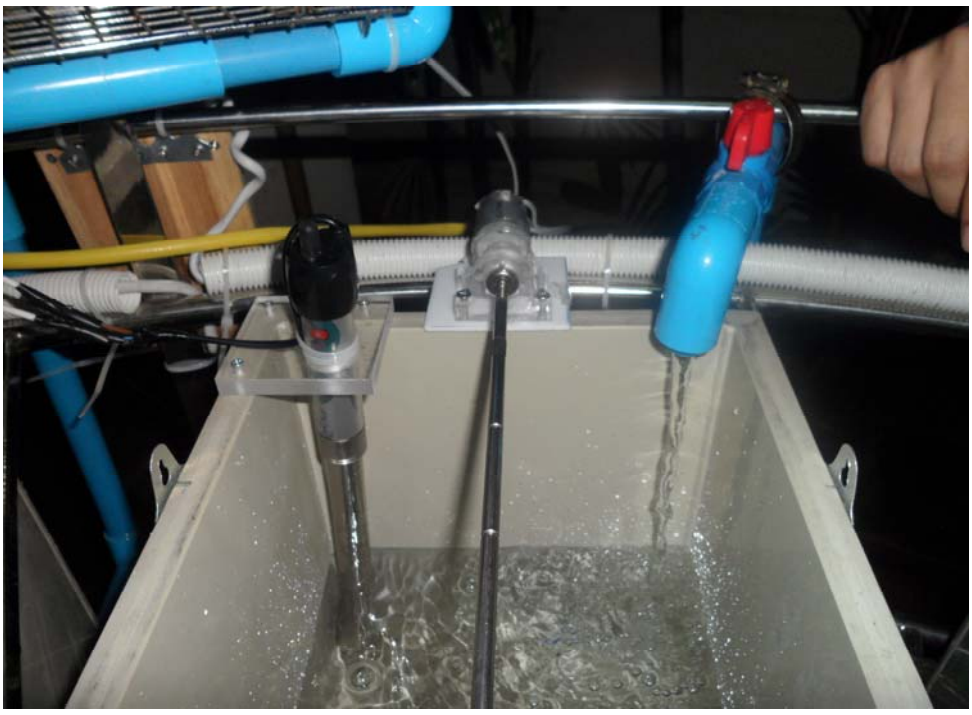
1.1 โครงสร้างชั้นส่วนบนและส่วนล่าง ใช้สำหรับวางถังชุบและสารเคมีต่าง ๆ

1.2 ขั้นตอนประกอบติดตั้ง ส่วนถังชุบกับตัวโครงสร้าง

1.2.1 การประกอบติดตั้ง ถังชุบกับอุปกรณ์มอเตอร์สำหรับโยกชิ้นงาน

1.2.2 การประกอบติดตั้งระบบไฟฟ้า ปลั๊กไฟ สวิทซ์ไฟ เบรกเกอร์ ของถังล้างด้วยไฟฟ้า ถังชุบเงิน ถังชุบโรเดียม ถังน้ำอุ่นในทุกขั้นตอน

1.2.3 การประกอบติดตั้ง ระบบน้ำไหลเข้าและไหลออก และระบบน้ำไหลลันเข้ากับ ถังชุบเงิน ถังน้ำไหล ถังน้ำกรดอ่อน ถังน้ำอุ่น ในทุกขั้นตอน



1.2.4 การประกอบติดตั้ง ถังล้างด้วยไฟฟ้า ถังชุบเงิน และชุบโรเดียม กับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

1.2.5 การประกอบติดตั้งฮีตเตอร์ ของถังล้างด้วยไฟฟ้า ถังชุบเงิน ถังชุบโรเดียม ถังน้ำอุ่นในทุกขั้นตอน

2.ขั้นตอนการใช้งานชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์

2.1 ขั้นตอนการใช้งานชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ในขั้นตอนนี้จะเป็นการล้างสิ่งปนเปื้อนที่เหลืออยู่ที่ผิวเพียงเล็กน้อย ที่สำคัญคือทำให้ผิวมีสมบัติที่สามารถเปียกน้ำได้ดี และผิวมีสภาพที่เหมาะสำหรับการชุบที่ปราศจากฟิล์มของออกไซด์ต่างๆ

2.2 การล้างด้วยไฟฟ้า(Electro Cleaning) ขั้นตอนนี้เป็นการล้างสิ่งสกปรกที่ติดค้างมาเพียงเล็กน้อยจากขั้นตอนการล้างด้วยคลื่นอัลตราโซนิค และที่สำคัญคือขั้นตอนนี้เป็นการทำให้ผิวมีคุณสมบัติเปียกน้ำได้ดี เหมาะกับการชุบ ขั้นตอนเริ่มจากการล้างด้วยไฟฟ้า ล้างน้ำให้สะอาด ทำการกระตุ้นผิวด้วยกรดเจือจาง ล้างด้วยน้ำและล้างอีกครั้งด้วยน้ำกลั่นก่อนทำการชุบเคลือบผิว การล้างด้วยไฟฟ้าเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการเตรียมผิวโลหะ ก่อนกระบวนการชุบเคลือบ การล้างแบบนี้เป็นกระบวนการทางไฟฟ้า โดยการใช้ไฟฟ้ากระแสตรงและน้ำยาที่มีสูตรเฉพาะโดยทั่วไปน้ำยาจะมีสภาพเป็นด่างแก่ และสารละลายมีการนำไฟฟ้าที่ดี ในการล้างชิ้นงานอาจต่อขั้วบวก(แอโนด) หรือขั้วลบ (แคโทด) หรือขั้วสลับไปมาขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งาน

ปฏิกิริยาอิเลคโทรไลซิสในกระบวนการล้างไฟฟ้า เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงไปยังน้ำยาไฟฟ้าทำให้เกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี สารเคมีจำพวกด่างทำหน้าที่เพิ่มการนำไฟฟ้าให้น้ำยา ที่ขั้วบวกเกิดก๊าซออกซิเจนและที่ขั้วลบเกิดก๊าซไฮโดรเจน ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนต่อก๊าซออกซิเจนเป็นสัดส่วน 2 : 1

ที่ขั้วบวก : $4(OH)^- \longrightarrow 2H_2O + O_2 + 4e^-$

ที่ขั้วลบ : $4H_2O + 4e^- \longrightarrow 4(OH)^- + 2H_2$

2.3 การล้างด้วยน้ำระบบไหลล้น (Water Overflow Cleaning) เพื่อน้ำจะได้ชะล้างเอาสิ่งสกปรกที่ลอยอยู่ออกไป และน้ำที่ปล่อยเข้ามาควรทำให้เกิดการหมุนเวียน เพื่อให้น้ำที่ดีผลักดันน้ำที่สกปรกออกไป น้ำที่ใช้ในขั้นตอนนี้อาจเป็นน้ำประปาหรือน้ำที่กำจัดความกระด้างก็ได้

2.4 กระตุ้นผิวด้วยกรด (Acid Activation) เพื่อเป็นการสะเทินผิวของโลหะหลังจากการฉีดพ่นด้วยด่าง การแช่ หรือการล้างด้วยไฟฟ้า เป็นการสะเทินด่างส่วนเกินด้วยกรดรวมถึงรวมกำจัดออกไซด์ที่ไม่ต้องการและกระตุ้นผิวให้พร้อมรับการชุบเคลือบ ล้างกระตุ้นผิวด้วยกรด

อาจแบ่งตาม ประเภทกรดได้ดังนี้

-กรดอินทรีย์ (Organic Acid) เช่น กรดมะนาว (Citric Acid)

-กรดแร่ (Mineral Acid) เช่น กรดกำมะถัน (Sulfuric Acid)

-เกลือของกรด (Acid Salts) เช่น เกลือซัลเฟต เกลือฟลูออไรด์ เป็นต้น

ขั้นตอนนี้นิยมใช้กรมกำมะถันที่มี ความเข้มข้น 50 ml/l ซึ่งกรดกำมะถันเจือจางนี้จะทำการสะเทินความเป็นด่างที่ผิวของชิ้นงานและยังขจัดเอาฟิล์มออกไซด์ออกจากผิวโลหะอีกด้วย

แต่ในกรณีที่ต้องกระตุ้นผิวโลหะที่กัดกร่อนได้ง่ายหรือต้องการการกระตุ้นผิวเป็นพิเศษ เช่น โลหะสังกะสี หรือทองเหลือง อาจใช้เกลือของกรดแทนได้เช่นกัน

ตาราง 1 แสดงขั้นตอน กระบวนการ และสภาวะการทำงานในการล้างด้วยไฟฟ้า

ขั้นตอน	กระบวนการ	สภาวะการทำงาน
1	ล้างผิวด้วยไฟฟ้า	ความเข้มข้นของน้ำยาล้าง 10-100 ml/l อุณหภูมิ 60-70^{0}C เวลา 1-2 นาที
2	ล้างน้ำ	น้ำควรมีการไหลล้นออก (Overflow)
3	กระตุ้นด้วยกรดเจือจาง	กรดกำมะถันเข้มข้น 50 ml/l อุณหภูมิห้อง เวลา 0.5-1นาที
4	ล้างน้ำ	น้ำควรมีการไหลล้นออก (Overflow)

2.5 ขั้นตอนการชุบเคลือบผิว

การชุบเคลือบผิวในแต่ละประเภทอาจมีสภาวะการใช้งานที่แตกต่างกันไป จึงควรทำการศึกษาคู่มือการใช้อย่างละเอียด

ตาราง 2 แสดงขั้นตอน กระบวนการ และสภาวะการทำงานในการชุบเคลือบผิว

ขั้นตอน	กระบวนการ	สภาวะการทำงาน
1	การชุบเคลือบผิว	ตามคู่มือการทำงานของน้ำยาชุบ
2	ล้างน้ำ เก็บกลับ	-

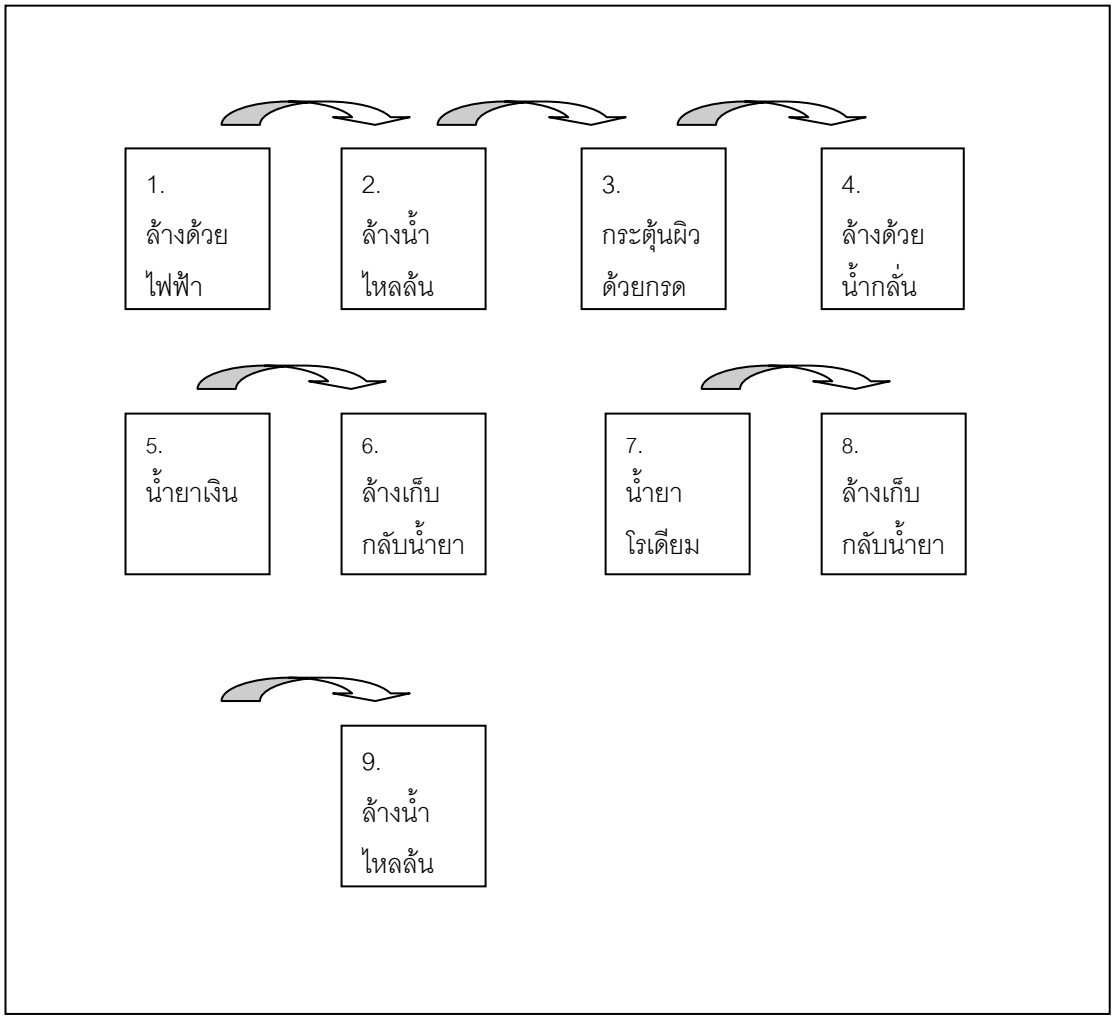
2.6 ขั้นตอนการล้างหลังชุบเคลือบผิว

จะต้องมั่นใจในขั้นตอนนี้สามารถล้างเคมีต่างๆที่ติดอยู่ที่ผิวของชิ้นงานเนื่องจากกระบวนการต่างๆ ก่อนหน้านี้ให้หมดไปได้ เพื่อเป็นการกัดกร่อนของสารเคมีที่ตกค้างอยู่ที่ผิว

ตาราง 3 แสดงขั้นตอน กระบวนการ และสภาวะการทำงานในการล้างหลังชุบเคลือบผิว

ขั้นตอน	กระบวนการ	สภาวะการทำงาน
1	ล้างน้ำ	น้ำควรมีการไหลล้นออก (Overflow)
2	ล้างน้ำไหลล้นและล้างน้ำกลั่นร้อน	อุณหภูมิ 60-90^{0}C เวลา 1-10นาที

2.7 ขั้นตอนการชุบเงิน-โรเดียมโดยสรุป



3.ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับน้ำยาชุบชนิดต่างๆ

3.1การชุบเคลือบผิวด้วยโลหะเงิน

น้ำยาชุบเงินที่ใช้เพื่อความสวยงามที่นิยมใช้ในปัจจุบันจะมีองค์ประกอบที่มีไซยาไนด์เป็นส่วนผสม ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมี ดังนี้

โปแทซเซียมซิลเวอร์ไซยาไนด์ 54.0% 74 กรัมต่อลิตร หรือ

โปแทซเซียมซิลเวอร์ไซยาไนด์ 80.5% 50 กรัมต่อลิตร

โปแทซเซียมไซยาไนด์	130 กรัมต่อลิตร
โปแทซเซียมคาร์บอเนต	40 กรัมต่อลิตร
น้ำยาเงา	ตามคู่มือกำหนด

<u>สภาวะการทำงาน</u>

3.1.1 น้ำยาชุบเงินแบบที่มียาเงาเป็นโลหะ

อุณหภูมิ	15-30 องศาเซลเซียส
ค่า พีเอช (PH)	มากกว่า 12
ความหนาแน่นของกระแส	0.5-2.0 แอมแปร์/ตารางเดซิเมตร
ความเร็วในการชุบ	0.65 ไมครอน/นาที
อัตราการเกาะติด	67 มิลลิกรัม/แอมแปร์-นาที
แอโนด	เงินบริสุทธิ์ (99.99%)

3.1.2 น้ำยาชุบเงินแบบที่มียาเงาเป็นสารอินทรีย์

อุณหภูมิ	20-45 องศาเซลเซียส
ค่า พีเอช (PH)	ไม่จำเป็นต้องควบคุม
ความหนาแน่นของกระแส	0.5-5.0 แอมแปร์/ตารางเดซิเมตร
ความเร็วในการชุบ	0.64 ไมครอน/นาที
อัตราการเกาะติด	67 มิลลิกรัม/แอมแปร์-นาที
แอโนด	เงินบริสุทธิ์ (99.99%)

<u>สมบัติของผิวชุบ</u>

ชนิดของผิวชุบ	เงินบริสุทธิ์ (99.99%)
สีของผิวชุบ	ขาวเป็นประกาย
ความหนาแน่นของผิวชุบ	10.5 กรัม/ลิตร
ความหนาสูงสุด	มากกว่า 100 ไมครอน

ความแข็ง 80-110 HV
แรงเคลื่อนไฟฟ้า 4-6 โวลต์
เวลา 30 วินาที ถึง 1 นาที

3.2. การชุบเคลือบผิวด้วยโลหะโรเดียม

น้ำยาชุบโรเดียมที่นำมาใช้งาน เพื่อความสวยงามนั้นนิยมใช้ทีมีความเข้มข้นของโรเดียม 2 กรัมต่อลิตร น้ำยาชุบโรเดียมสามารถแบ่งตามชนิดของสารประกอบโรเดียมในน้ำยาชุบได้ 2 ชนิด คือ โรเดียมซัลเฟตและโรเดียมฟอสเฟต ซึ่งโรเดียมทั้งสองชนิดมีสมบัติหลายประการที่แตกต่างกัน ดังนี้

3.2.1 น้ำยาชุบโรเดียมซัลเฟต

ค่าความขาว L*= 88.0-89.5
ความหนาสูงสุด 0.3 ไมครอน
ความสามารถการเข้าซอก 70% throwing power
อัตราการเคลือบปิดผิวช้า ประมาณ 200 วินาที
อัตราเร็วของการเคลือบผิวประมาณ 0.03 ไมครอนต่อนาที
<u>สภาวะการทำงาน</u>
อุณหภูมิ 20-40 องศาเซลเซียส
ค่า พีเอช (PH) น้อยกว่า 1(ไม่จำเป็นต้องควบคุม)
ความหนาแน่นของกระแส 0.5-2.0 แอมแปร์/ตารางเดซิเมตร
ความเร็วในการชุบ 0.025ไมครอน/นาทีที่1แอมแปร์/ตารางเดซิเมตร
อัตราการเกาะติด 3.2 มิลลิกรัม/แอมแปร์-นาที
แรงเคลื่อนไฟฟ้า 2-3 โวลต์
เวลา 1นาที ถึง 1.5 นาที

3.2.2 น้ำยาชุบโรเดียมฟอสเฟต

ค่าความขาว L*= 89.5-90.0
ความหนาสูงสุด 0.5 ไมครอน
ความสามารถการเข้าซอก 77% throwing power
อัตราการเคลือบปิดผิวดี ประมาณ 90 วินาที
อัตราเร็วของการเคลือบผิวประมาณ 0.06 ไมครอนต่อนาที

สภาวะการทำงาน

อุณหภูมิ	RT-65 องศาเซลเซียส
ค่า พีเอช (PH)	น้อยกว่า 1(ไม่จำเป็นต้องควบคุม)
ความหนาแน่นของกระแส	0.5-10.0 แอมแปร์/ตารางเดซิเมตร
ความเร็วในการชุบ	0.06ไมครอน/นาทีที่1แอมแปร์/ตารางเดซิเมตร
อัตราการเกาะติด	7.5 มิลลิกรัม/แอมแปร์-นาที
สมบัติของผิวชุบ	
ชนิดของผิวชุบ	โรเดียมบริสุทธิ์
สีของผิวชุบ	ขาวเป็นประกาย
ความหนาแน่นของผิวชุบ	12 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
ความหนาสูงสุด	0.3-0.5 ไมครอน
ความแข็ง	800-900 HV

3.3. วิธีการคำนวณการชุบเคลือบผิวด้วยโลหะโรเดียม

Rhodium plating

Bath characteristics(คุณสมบัติของน้ำยาชุบ)

Rhodium Content :	2 g/l (1-3 g/l)
Temperature:	25-40 'c
pH-value:	<1

Deposition Speed: approx 0.06 micron/min at 1 A/dm2

Deposition Speed: approx 0.1 micron/ 1.7 min at (at 40'c)

Deposition Speed: approx 7.5mg/min at 1 A/dm2

Operating Condition(สภาวะการใช้ชุบเคลือบผิวชิ้นงาน)

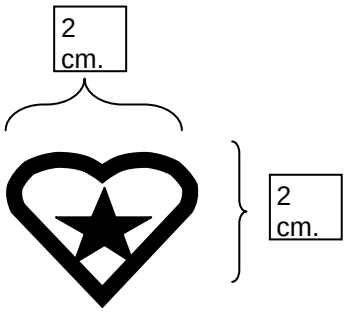
	sample test					
1.Seuface Area:	4.00	2	8.00	cm2	0.080	dm2
2.Weight before plate:			2.1346	g		
3.Weight after plate:			2.1304	g	0.0042	g
4.Time plating:			75	s	1.25	min

5.coating thickness in micron: $\frac{\text{Weight after plate - Weight before plate}}{\text{Surface in cm2 X 1.2}}$

= 0.0044/8.00*1.2

= 0.00066

= 0.066 µm



6.Plating Cost in baht : Precious metals price in Baht/gram X Deposition Rate in gram

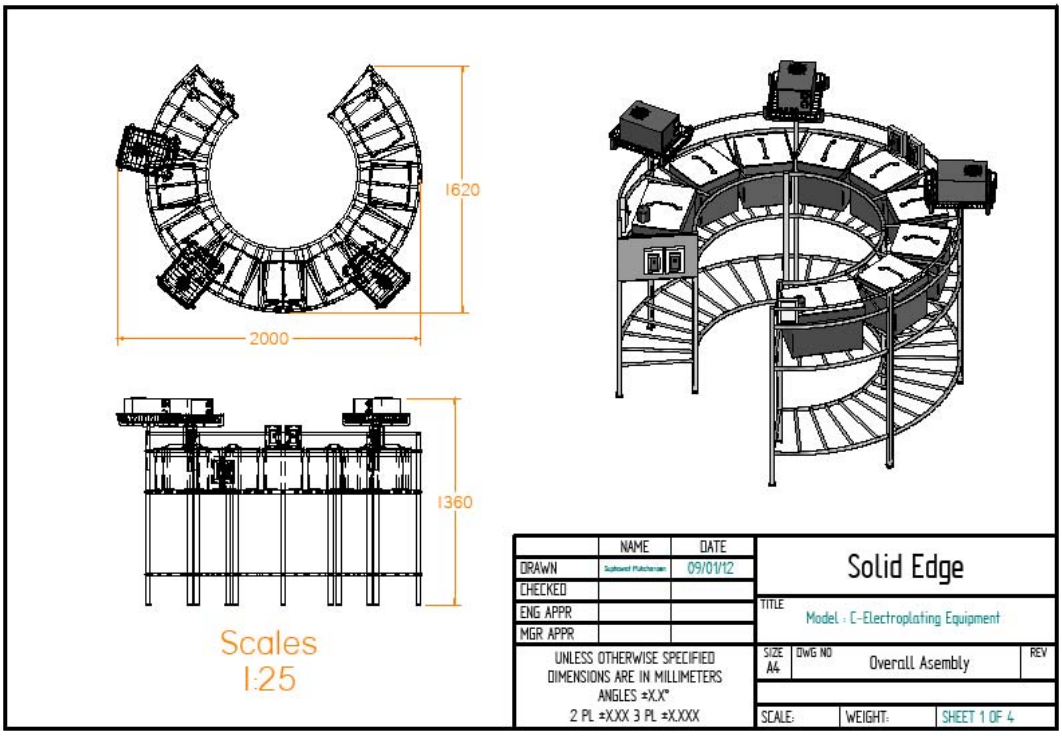
6.1 price baht / gram	**8000**	฿/g
6.2Plating Cost in baht:	34	฿
6.2Plating Cost in baht: flash RHO 0.5 minute		
	13.6	฿

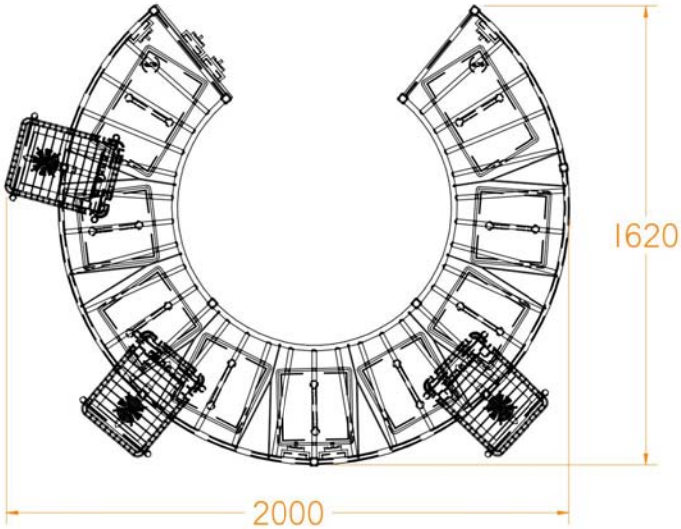
ภาคผนวก จ

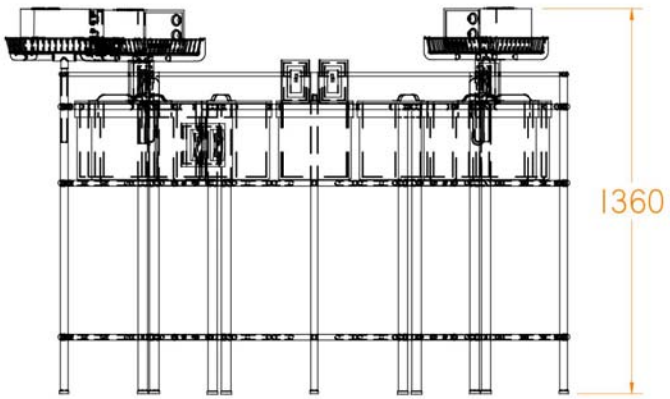
ภาพแสดงการดำเนินการวิจัย
ชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม
โดยใช้หลักของการยศาสตร์

แสดงขั้นตอนการดำเนินการออกแบบและชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ดังนี้

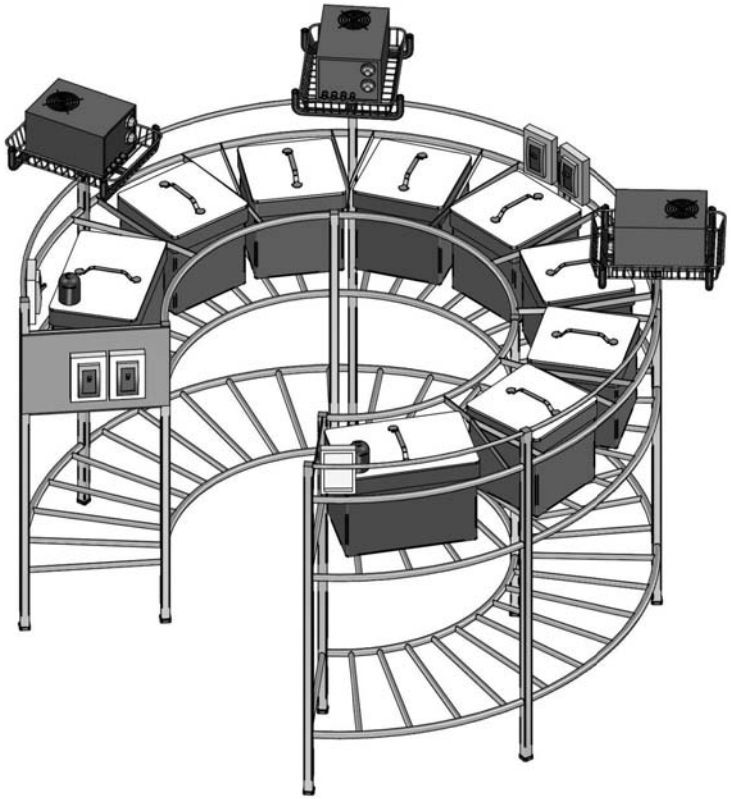
1. การออกแบบทางวิศวกรรมของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ โดยภาพรวม







Scales
1:25



	NAME	DATE
DRAWN	Suphawat Mukcharoen	09/01/12
CHECKED		
ENG APPR		
MGR APPR		

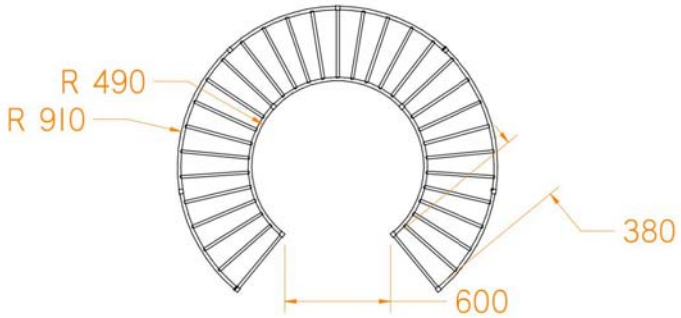
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
ANGLES ๓X.Xฐ
2 PL ๓X.XX 3 PL ๓X.XXX

Solid Edge

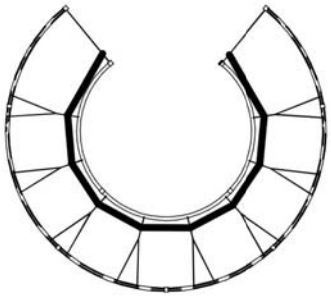
TITLE
Model : C-Electroplating Equipment

SIZE	DWG NO	REV
A4	Overall Asembly	

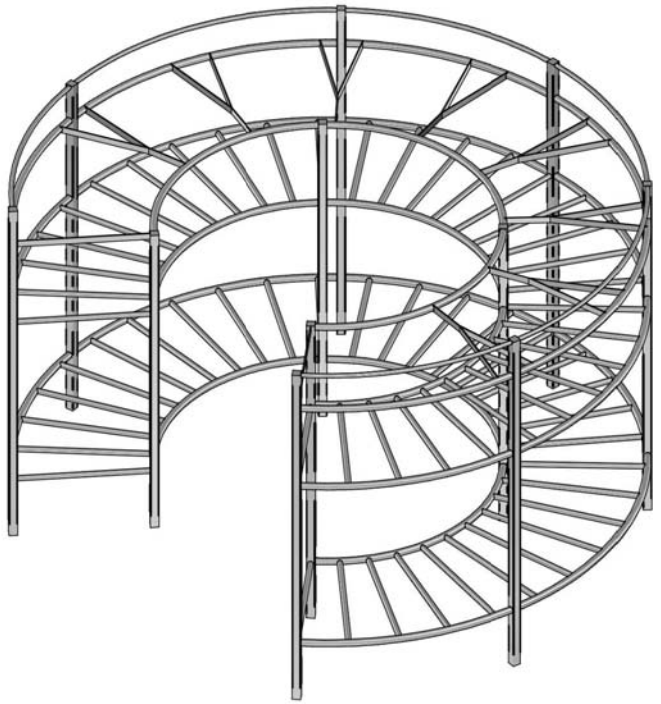
SCALE: | WEIGHT: | SHEET 1 OF 4

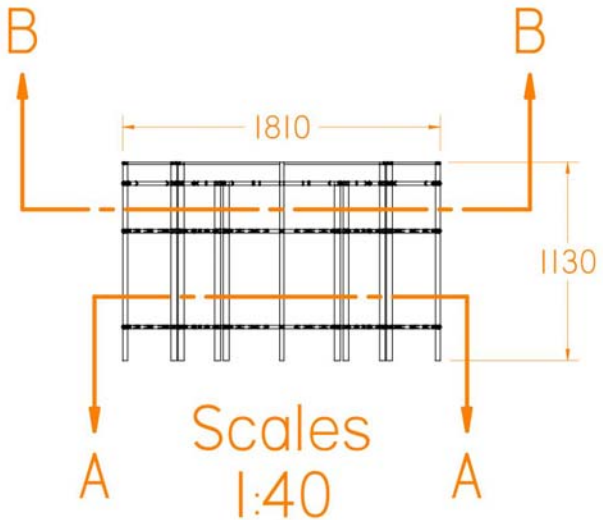


SECTION A-A



SECTION B-B





Scales
1:40

	NAME	DATE
DRAWN	Suphawat Mukcharoen	09/01/12
CHECKED		
ENG APPR		
MGR APPR		

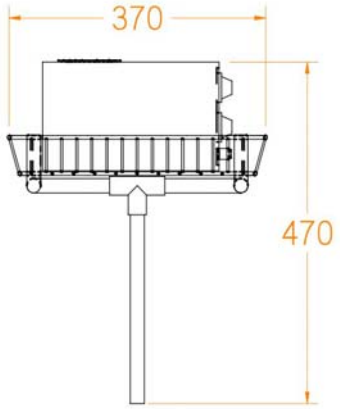
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
ANGLES ฑX.Xฐ
2 PL ฑX.XX 3 PL ฑX.XXX

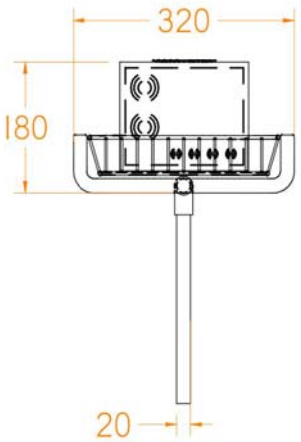
Solid Edge

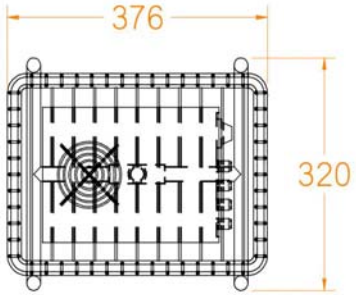
TITLE: Model : C-Electroplating Equipment

SIZE A4 | DWG NO: Stainless Strand | REV

SCALE: | WEIGHT: | SHEET 2 OF 4







Scales
1:10

	NAME	DATE
DRAWN	Suphawat Mukcharoen	09/01/12
CHECKED		
ENG APPR		
MGR APPR		

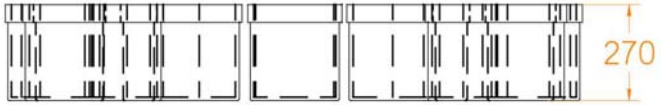
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
ANGLES ฑX.Xฐ
2 PL ฑX.XX 3 PL ฑX.XXX

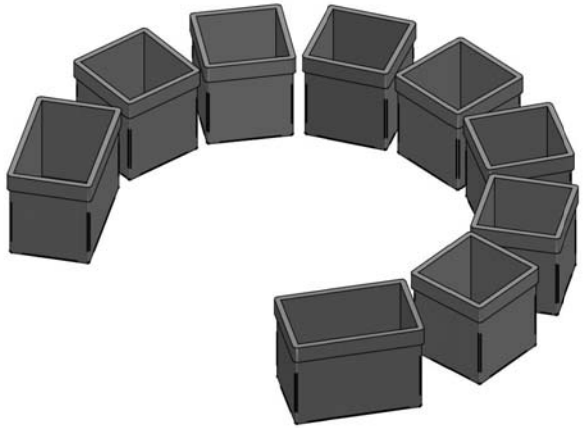
Solid Edge

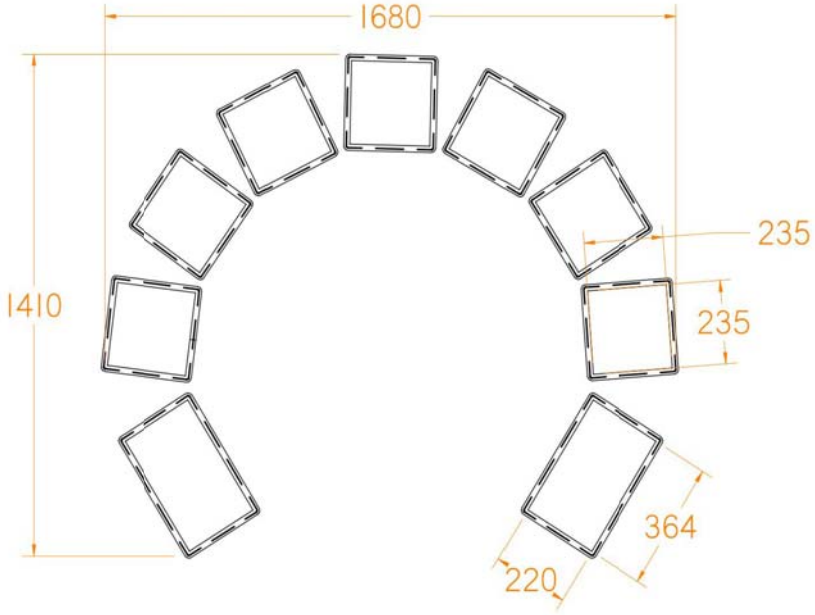
TITLE: Model : C-Electroplating Equipment

SIZE A4 | DWG NO: Power Supply Stand | REV

SCALE: | WEIGHT: | SHEET 3 OF 4







	NAME	DATE
DRAWN	Suphawat Mukcharoen	09/01/12
CHECKED		
ENG APPR		
MGR APPR		

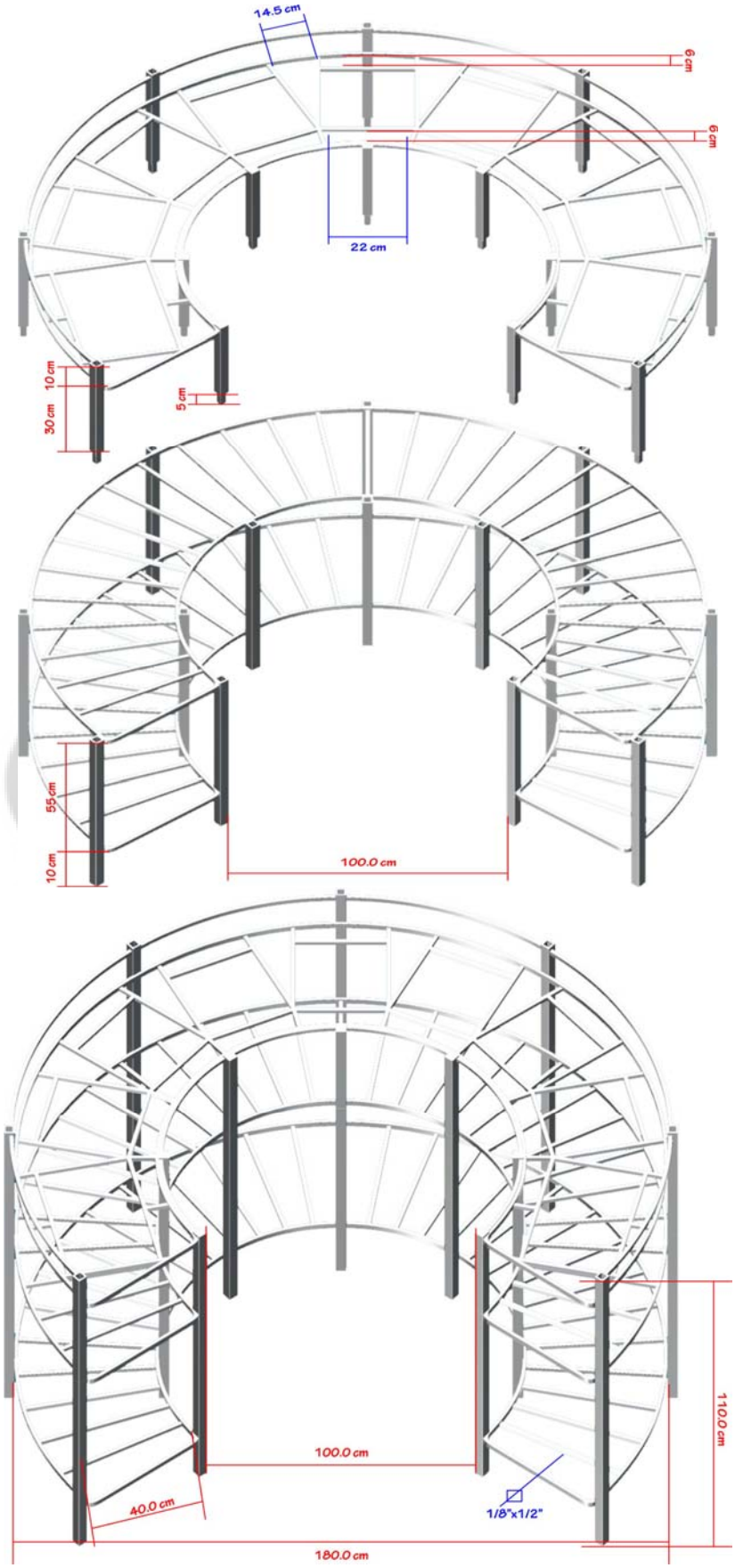
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
ANGLES ฑX.Xฐ
2 PL ฑX.XX 3 PL ฑX.XXX

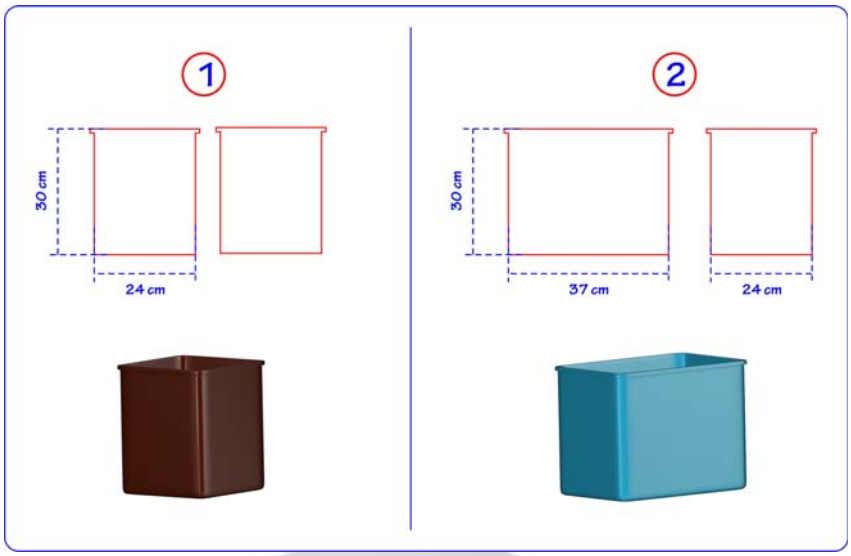
Solid Edge

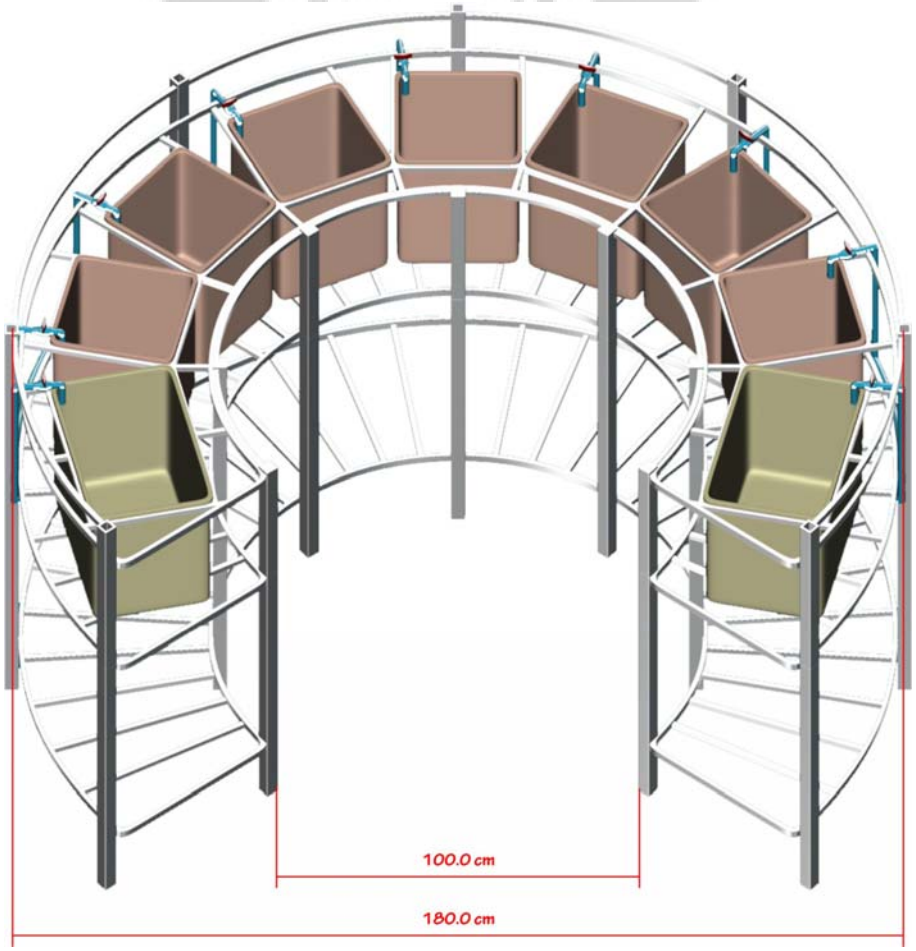
TITLE: Model : C-Electroplating Equipment

SIZE A4 | DWG NO: Tank Layout | REV

SCALE: | WEIGHT: | SHEET 4 OF 4


14.5 cm
6 cm
6 cm
22 cm
10 cm
30 cm
5 cm
55 cm
10 cm
100.0 cm
110.0 cm
100.0 cm
40.0 cm
1/8"x1/2"
180.0 cm


1
30 cm
24 cm
2
30 cm
37 cm
24 cm


100.0 cm
180.0 cm

2.ขั้นตอนการประกอบโครงสร้างชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์

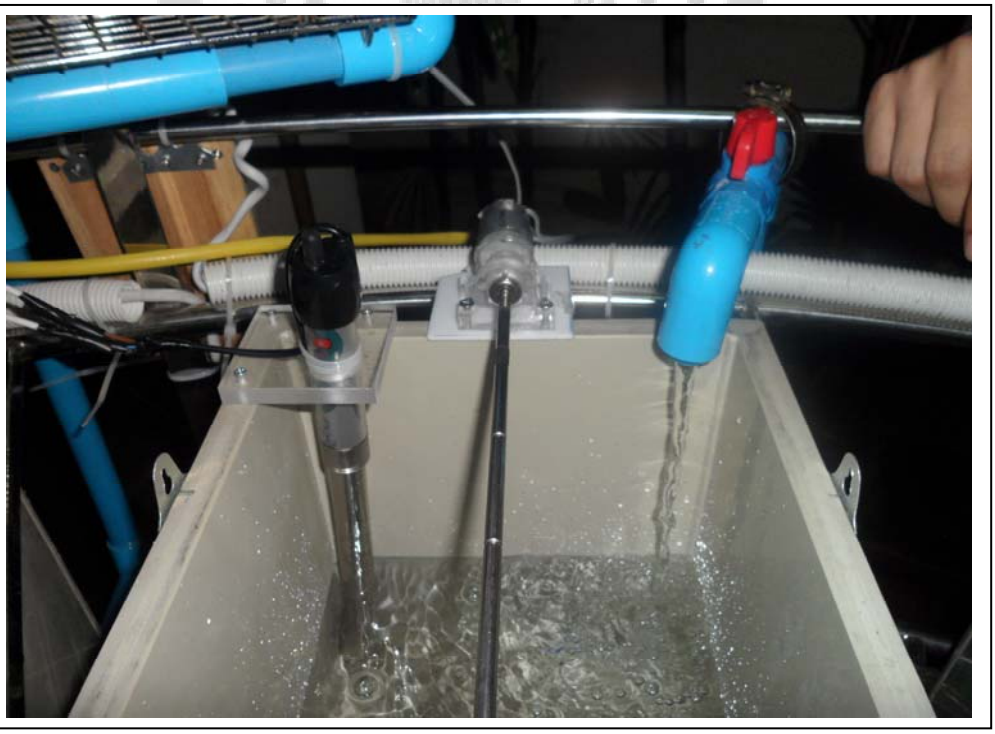
2.1 โครงสร้างชั้นส่วนบนและส่วนล่าง ใช้สำหรับวางถังชุบและสารเคมีต่างๆ

2.2 ขั้นตอนประกอบติดตั้ง ส่วนถังชุบกับตัวโครงสร้าง

2.2.1 การประกอบติดตั้ง ถังชุบกับอุปกรณ์มอเตอร์สำหรับโยกชิ้นงาน

2.2.2 การประกอบติดตั้งระบบไฟฟ้า ปลั๊กไฟ สวิทซ์ไฟ เบรกเกอร์ ของถังล้างด้วยไฟฟ้า ถังชุบเงิน ถังชุบโรเดียม ถังน้ำอุ่นในทุกขั้นตอน

2.2.3 การประกอบติดตั้ง ระบบน้ำไหลเข้าและไหลออก และระบบน้ำไหลล้นเข้ากับ ถังชุบเงิน ถังน้ำไหล ถังน้ำกรดอ่อน ถังน้ำอุ่น ในทุกขั้นตอน



2.2.4 การประกอบติดตั้ง ถังล้างด้วยไฟฟ้า ถังชุบเงิน และชุบโรเดียม กับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

2.2.5 การประกอบติดตั้งฮีตเตอร์ ของถังล้างด้วยไฟฟ้า ถังชุบเงิน ถังชุบโรเดียม ถังน้ำอุ่นในทุกขั้นตอน

3.ขั้นตอนทดลองและประเมินสมรรถนะของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์

3.1 ขั้นตอนทดลองชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์โดยพนักงาน บริษัท รีกัล จิวเวลรี่ แมนูแฟคเจอร์ จำกัด

1.คุณศุภวัฒน์ มัคเจริญ

ส่วนสูง 158 เซ็นติเมตร ความสูงถึงข้อศอก 108 เซนติเมตร

2.คุณอุทัย ศรแก้ว

ส่วนสูง 163 เซนติเมตร ความสูงถึงข้อศอก 110 เซนติเมตร

3.คุณสุภชัย จันทิมา ส่วนสูง 173 เซนติเมตร
ส่วนสูง 173 เซนติเมตร ความสูงถึงข้อศอก 114 เซนติเมตร

4.คุณมนพ บัวแดง ส่วนสูง 164 เซนติเมตร
ส่วนสูง 164 เซนติเมตร ความสูงถึงข้อศอก 104 เซนติเมตร

3.2 ขั้นตอนชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์

\

3.3 ขั้นตอนประเมินสมรรถนะชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ประเมินการออกแบบและประเมินสมรรถนะ

1.คุณสิทธิพันธ์ กล่ำประชา ผู้จัดการฝ่ายประกันคุณภาพ ประสบการณ์ทำงาน 12 ปี

2.คุณไพรัช เจียมประเสริฐ รองผู้จัดการฝ่ายซ่อมบำรุง ประสบการณ์ทำงาน 15 ปี

3.คุณนิรัน เลิศสวัสดิ์วัฒนา ผู้จัดการฝ่ายวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ ประสบการณ์ทำงาน 14 ปี

4.ขั้นตอนประเมินสมรรถนะทางกาพของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์ ประกอบด้วย คุณลักษณะสมบัติ 4 ด้าน คือ

4.1 ด้านโครงสร้าง

4.2 ด้านด้านการออกแบบในการใช้งาน

4.3 ด้านความปลอดภัย

4.4 ด้านการบำรุงรักษา

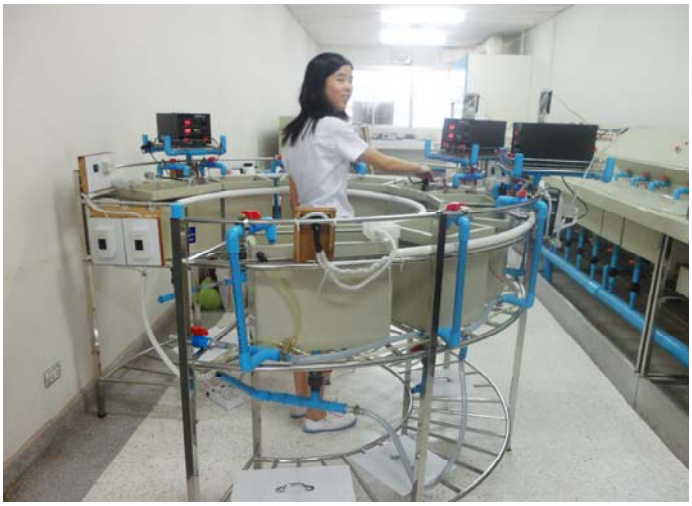
4.1 ขั้นตอนการประเมินความสามารถในการลดความล้าจากการทำงาน โดยใช้แบบประเมินท่าทางของร่างกาย-RULA ซึ่งค่าที่ต้องการวัดโดยให้คะแนนมาตราส่วนประเมิน 4 ระดับ

ผู้ทดลอง 1 . ส่วนสูง 158 เซ็นติเมตร ความสูงถึงข้อศอก 108 เซนติเมตร

ผู้ทดลอง 1 . ส่วนสูง 179 เซนติเมตร ความสูงถึงข้อศอก 114 เซนติเมตร

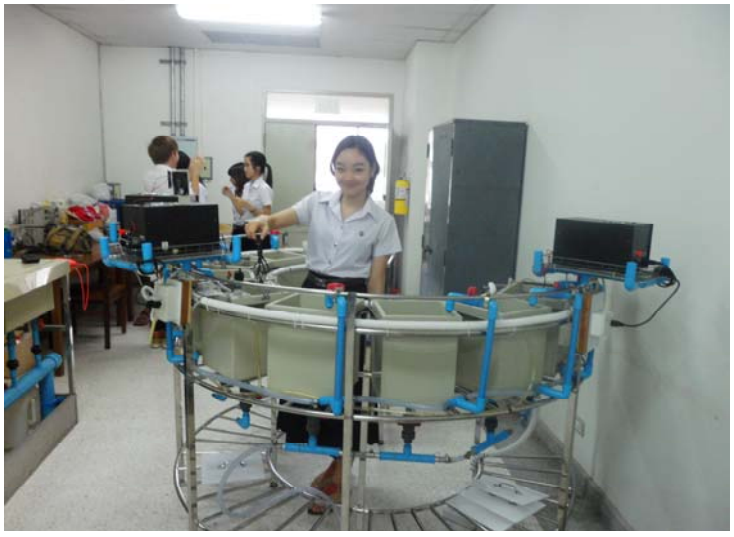
ผู้ทดลอง 2 . ส่วนสูง 166 เซนติเมตร ความสูงถึงข้อศอก 110 เซนติเมตร

ผู้ทดลอง 1 . ส่วนสูง 162 เซนติเมตร ความสูงถึงข้อศอก 110 เซนติเมตร



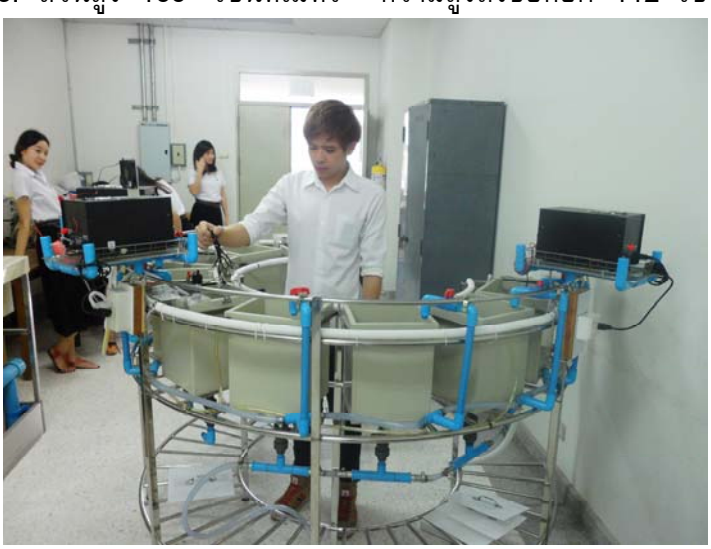
ผู้ทดลอง 1 . ส่วนสูง 162 เซนติเมตร ความสูงถึงข้อศอก 110 เซนติเมตร

ผู้ทดลอง 2 . ส่วนสูง 163 เซนติเมตร ความสูงถึงข้อศอก 110 เซนติเมตร



ผู้ทดลอง 2 . ส่วนสูง 163 เซนติเมตร ความสูงถึงข้อศอก 110 เซนติเมตร

ผู้ทดลอง 3. ส่วนสูง 166 เซนติเมตร ความสูงถึงข้อศอก 112 เซนติเมตร



ผู้ทดลอง 3. ส่วนสูง 166 เซนติเมตร ความสูงถึงข้อศอก 112 เซนติเมตร

ผู้ทดลอง 4 . ส่วนสูง 172 เซนติเมตร ความสูงถึงข้อศอก 114 เซนติเมตร

ผู้ทดลอง 4. ส่วนสูง 172 เซนติเมตร ความสูงถึงข้อศอก 114 เซนติเมตร

ผู้ทดลอง 5. ส่วนสูง 162 เซนติเมตร ความสูงถึงข้อศอก 107 เซนติเมตร

ผู้ทดลอง 5 . ส่วนสูง 162 เซนติเมตร ความสูงถึงข้อศอก 107 เซนติเมตร

ผู้ทดลอง 6. ส่วนสูง 159 เซนติเมตร ความสูงถึงข้อศอก 108 เซนติเมตร

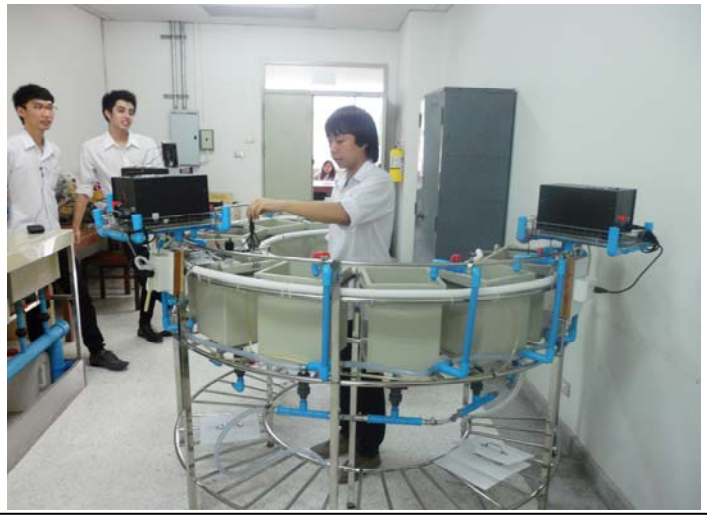
ผู้ทดลอง 6. ส่วนสูง 159 เซนติเมตร ความสูงถึงข้อศอก 108 เซนติเมตร

ผู้ทดลอง 7 . ส่วนสูง 152 เซนติเมตร ความสูงถึงข้อศอก 99 เซนติเมตร

ผู้ทดลอง 7. ส่วนสูง 152 เซนติเมตร ความสูงถึงข้อศอก 99 เซนติเมตร

ผู้ทดลอง 8. ส่วนสูง 165 เซนติเมตร ความสูงถึงข้อศอก 105 เซนติเมตร

ผู้ทดลอง 8 . ส่วนสูง 165 เซนติเมตร ความสูงถึงข้อศอก 105 เซนติเมตร

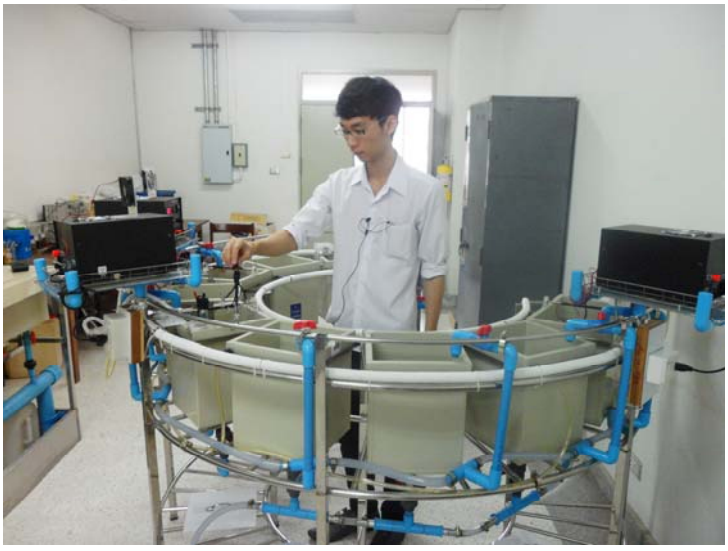


ผู้ทดลอง 9. ส่วนสูง 182 เซนติเมตร ความสูงถึงข้อศอก 115 เซนติเมตร

ผู้ทดลอง 9. ส่วนสูง 182 เซนติเมตร ความสูงถึงข้อศอก 115 เซนติเมตร

ผู้ทดลอง 10 . ส่วนสูง 180 เซนติเมตร ความสูงถึงข้อศอก 114 เซนติเมตร

ผู้ทดลอง 10. ส่วนสูง 180 เซนติเมตร ความสูงถึงข้อศอก 114 เซนติเมตร



ภาคผนวก ฉ
หนังสือขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ โทร. 5664

ที่ ศธ 0519.12/4443 **วันที่** 27 สิงหาคม 2555

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์เพื่อพัฒนาเครื่องมือการวิจัย

เรียน คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

เนื่องด้วย นายภาณุสฤษฎ์ บุญคำ นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักการยศาสตร์" โดยมี อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ในการนี้ นิสิตมีความจำเป็นต้องเก็บข้อมูลเพื่อพัฒนาเครื่องมือการวิจัย โดยขอใช้สถานที่ เพื่อใช้แบบทดสอบ และแบบสอบถาม กับนิสิตปริญญาตรี สาขาวิชาวัสดุศาสตร์และอัญมณี ในระหว่างเดือนกันยายน 2555

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ให้ นายภาณุสฤษฎ์ บุญคำ ได้เก็บข้อมูลเพื่อการวิจัย ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
โทร. 0-2649-5064
หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อนิสิต โทรศัพท์ 080-658-5885

ที่ ศธ 0519.12/๐๒๔๙

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

19 มกราคม 2555

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน อาจารย์นิรัน เลิศสวัสดิ์วัฒนา

เนื่องด้วย นายภาณุสฤษฎิ์ บุญคำ นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักการยศาสตร์" โดยมี อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขจีพร วงศ์ปรีดี อาจารย์ ดร.อมรมาศ กีรติสิน และ อาจารย์ ดร.อโนชา หมั่นภักดี เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมินชุดชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาเป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นายภาณุสฤษฎิ์ บุญคำ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
โทร. 0-2649-5064
หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อนิสิต โทรศัพท์ 080-658-5885

ที่ ศธ 0519.12/ ๐๐๕๑

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

19 มกราคม 2555

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน อาจารย์ไพรัช เจียมประเสริฐ

เนื่องด้วย นายภาณุสฤษฏิ์ บุญคำ นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักการยศาสตร์" โดยมี อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขจีพร วงศ์ปรีดี อาจารย์ ดร.อมรมาศ กีรติสิน และ อาจารย์ ดร.อโนชา หมั่นภักดี เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมินชุดชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาเป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นายภาณุสฤษฏิ์ บุญคำ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
โทร. 0-2649-5064
หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อนิสิต โทรศัพท์ 080-658-5885

ที่ ศธ 0519.12/๐๒๔๘

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

19 มกราคม 2555

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน อาจารย์สิทธิพันธ์ กล่ำประชา

เนื่องด้วย นายภาณุสฤษฎิ์ บุญคำ นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักการยศาสตร์" โดยมี อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขจีพร วงศ์ปรีดี อาจารย์ ดร.อมรมาศ กีรติสิน และ อาจารย์ ดร.อโนชา หมั่นภักดี เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมินชุดชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาเป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นายภาณุสฤษฎิ์ บุญคำ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
โทร. 0-2649-5064
หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อนิสิต โทรศัพท์ 080-658-5885

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ- ชื่อสกุล	ภาณุสฤษฎ์ บุญคำ
วันเดือนปีเกิด	9 มีนาคม 2522
สถานที่เกิด	20 หมู่ 6 ตำบลโดด อำเภอโพธิ์ศรีสุวรรณ จังหวัดศรีสะเกษ
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	200/73 ม.6 ตำบลอ้อมน้อย อำเภอกระทุ่มแบน จังหวัด สมุทรสาคร
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	รองผู้จัดการฝ่ายวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท รีกัล จิวเวลรี่ แมนูแฟคเจอร์ จำกัด จังหวัด สมุทรสาคร

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2533	ประถมศึกษา จาก โรงเรียนบ้านหนองเหล็กโนนหนองหว้า จังหวัดศรีสะเกษ
พ.ศ. 2537	มัธยมศึกษาตอนต้น จาก โรงเรียนกำแพง จังหวัดศรีสะเกษ
พ.ศ. 2540	มัธยมศึกษาตอนปลาย จาก โรงเรียนกำแพง จังหวัดศรีสะเกษ
พ.ศ. 2544	ปริญญาบัตรวิทยาศาสตรบัณฑิต(วท.บ.) สาขาวัสดุศาสตร์ จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพมหานคร
พ.ศ. 2555	การศึกษามหาบัณฑิต(กศ.ม.) วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพมหานคร