การออกแบบและสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก

ปริญญานิพนธ์

ของ

ไพทูล คำคอนสาร

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา

กันยายน 2552

การออกแบบและสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก

ปริญญานิพนธ์

ของ

ไพทูล คำคอนสาร

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา
กันยายน 2552

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การออกแบบและสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก

บทคัดย่อ

ของ

ไพทูล คำคอนสาร

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา
กันยายน 2552

ไพทูล คำคอนสาร. (2552). ***การออกแบบและสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก***. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม.(อุตสาหกรรมศึกษา).กรุงเทพฯ:บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม : อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร, อาจารย์โอภาส สุขหวาน.

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการส่งเสริมและพัฒนาการฝึกซ้อมนักกีฬาและผู้สนใจในกีฬากอล์ฟ โดยการออกแบบและสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก เพื่อใช้สำหรับฝึกซ้อมกีฬากอล์ฟ และหาสมรรถนะของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไกที่สร้างขึ้นผู้วิจัยทำการออกแบบสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก สำหรับฝึกซ้อมกอล์ฟ ขนาดกว้าง 24 ยาว 37 สูง 26 เซ็นติเมตร สามารถบรรจุลูกกอล์ฟในปริมาณมาตรฐานการฝึกซ้อมคือ ครั้งละ 40 ลูก หรือ 1 ถาด ต่อครั้ง โดยมีส่วนประกอบหลักที่สำคัญของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก มีดังนี้

1) โครงหน้ากาก เครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก เป็นส่วนประกอบที่ปกปิดระบบกลไกการทำงานของเครื่องที่ยึดกับฐาน ด้านหน้ามีช่องสำหรับปล่อยลูกมายังตัวป้อนลูกด้านบนมีช่องสำหรับให้ลูกไหลลงเป็นพื้นเรียบลาดเอียงเพื่อรองรับลูกกอล์ฟที่จะทำการฝึกซ้อม

2) ตัวป้อนลูก เป็นตัวป้อนลูกยึดติดกับฐานเมื่อแป้นกดถูกกดตัวป้อนลูกจะทำงาน

3) รางลำเลียงลูก เป็นตัวลำเลียงลูกไปยังกระเดื่อง

4) กระเดื่องวางลูก เป็นขั้นตอนสุดท้ายในกระบวนการทั้งหมดทำหน้าที่วางลูกกอล์ฟไว้บนทียางได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

5) ตัวส่งลูก เป็นตัวส่งลูกกอล์ฟไปยังกระเดื่องเชื่อมยึดติดกับฐานโครงสร้าง

6) ฐานโครงสร้าง เป็นตัวกำหนดขนาด ความกว้าง ความยาว ความสูง ของเครื่องเป็นตัวยึดชิ้นส่วนและระบบกลไกทั้งหมดของเครื่อง

7) แป้นกด เป็นตัวควบคุมการทำงานทั้งระบบ เชื่อมติดกับตัวป้อนลูกและตัวส่งลูก

ผู้วิจัยทำการประเมินเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไกโดยแบ่งการวิจัยออกเป็น 2 ตอน คือ

ตอนที่ 1 การประเมินการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไกทั้ง 3 แบบ การออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ก) มีค่าเฉลี่ยในภาพรวม $\bar{x}$ 2.33 อยู่ในระดับความเป็นไปได้ต่ำซึ่งไม่สามารถนำไปสร้างเป็นเครื่องต้นแบบได้ ส่วนการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ข) มีค่าเฉลี่ยในภาพรวม 2.57 สามารถนำไปสร้างเป็นเครื่องต้นแบบได้ และการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ค) มีค่าเฉลี่ยในภาพรวม $\bar{x}$ 2.85 สรุปว่า (แบบ ค) มีค่าเฉลี่ยสูงสุด ผู้วิจัยจึงนำเอาผลการประเมินการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ค) มาสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไกในครั้งนี้

ตอนที่ 2 การประเมินสมรรถนะเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก โดยการประเมินสมรรถนะ 4 ด้าน

ผลวิจัยพบว่า สมรรถนะโดยภาพรวม $\bar{x}$ = 4.59 อยู่ในระดับดีมาก และการวิเคราะห์สมรรถนะโดยใช้ค่า t-test พบว่า สมรรถนะของเครื่องส่งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ค) มีสมรรถนะอยู่ในเกณฑ์ดีมาก และมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และมีสมรรถนะด้านความสามารถในการใช้งาน $\bar{x}$ = 4.56 ค่า t 4.707* อยู่ในระดับดีมาก และมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.05 ด้านการติดตั้งสมรรถนะอยู่ในเกณฑ์ดีมาก $\bar{x}$ 4.70 ค่า t 6.139* และมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.05 ด้านความแข็งแรงสมรรถนะอยู่ในเกณฑ์ดีมาก $\bar{x}$ 4.54 ค่า t 4.630 และมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ด้านการบำรุงรักษาสมรรถนะอยู่ในเกณฑ์ดีมาก $\bar{x}$ 4.56 ค่า t 6.424* และมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

DESIGN AND CONSTRUCTION OF MECHANIC GOLF BALL TEEING DEVICE

AN ABSTRACT

BY

PAITOON KHAMKHONSAN

Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Master of Education Degree in Industrial Education
at Srinakharinwirot University
September 2009

Paitoon Khamkhonsan (2009). *Design and Construction of A Mechanic Golf Ball Teeing Device.* Master of Education (Industrial Education). Bangkok : Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee :Dr.Pairust Vongyuttakrai, Ophas Sukwan.

The objectives of this thesis were to design and construction of a mechanic golf ball teeing and to determine the device's performance. The researcher designed and constructed the device with the width x length x height of 24 x 37 x 26 cms.,respectively ,which could contain a maximum of 40 golf balls a tray at a time. The main parts of this golf ball teeing device ware as follows:

1) Body Frame. This is a four-sided iron wall to cover the inside machines. It's bottom is attached to the Base Frame. At the front, there is a hole to deliver a golf ball.

2) Ball Feeder. This is also attached to the Base Frame and it will work when the Pressing Pad is pressed.

3) An Assembly Rail. This will carry golf balls to the Ball Dispenser.

4) Ball Dispenser. This final part will put a golf ball onto a rubber tee pad accurately and properly.

5) Ball Pusher. This will push a golf ball to the Dispenser.

6) Base Frame. This Base Frame determines width, and height of the device and supports all parts of the device.

7) Pressing Pad. This part is attached between the Ball Feeder and the Ball Pusher, and it will contron the overall system of the device.

The researcher, evaluated the performance of the mechanic golf ball teeing device. The evaluation procedures consisted of 2 parts as shown below:

Part 1. The evaluated the three design of mechanic golf ball teeing device (design A, B and C). The average values ($\bar{x}$) of the evaluative opinions for design A, B and C were 2.33, 2.57 and 2.85 respectively. Then the researcher therefore constructed the device following design C which was evaluated as the most feasible design.

Part 2. Was assessing the device's performance in five categories. The following results were found. The overall performance of the mechanic golf ball teeing device (design C) was at excellent level with statistically significant level at.05. Its working performance was at excellent level ($\bar{x}$ =*4.58*,t=4.707*and p<0.05). The installment performance was at

excellent level ($\bar{x}$ =*4.70*,t=6.139* and p<0.05). The strength performance was at excellent level ($\bar{x}$ =*4.54*,t=4.630 and p<0.05). The maintenance performance was at excellent level ($\bar{x}$ =*4.56*,t=6.424* and p<0.05)

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง
การออกแบบและสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก
ของ
นายไพทูล คำคอนสาร

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)
วันที่ เดือน กันยายน พ.ศ. 2552

คณะกรรมการคุมสอบปริญญานิพนธ์

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

.....กรรมการ
(อาจารย์ โอภาส สุขหวาน)

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

.....ประธาน
(อาจารย์ ดร.อุปวิทย์ สุวคันธกุล)

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

.....กรรมการ
(อาจารย์ โอภาส สุขหวาน)

.....กรรมการ
(ผศ. สุวัฒน์ อัจฉริยนนท์)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเพราะได้รับความกรุณาให้ความช่วยเหลือแนะนำให้ข้อคิดเห็นและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ อย่างดียิ่งจาก อาจารย์ ดร. ไพรัช วงศ์ยุทธไกร อาจารย์ โอภาศ สุขหวาน ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ กรรมการแต่งตั้งเพิ่มเติม อาจารย์ ดร.อุปวิทย์ สุวคันธกุล ผศ. สุวัฒน์ อัจฉริยนนท์ และอาจารย์ ดร. อัมพร กุญชรรัตน์ ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะต่างๆ อันเป็นประโยชน์ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณเพื่อนๆ และพี่น้อง ภาควิชาอุตสาหกรรมศึกษา รุ่นที่ 16 (ภาคพิเศษ) ทุกคนที่ให้กำลังใจ ให้คำปรึกษา ช่วยเหลือซึ่งกันและกันด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณ พี่ น้อง และเพื่อนๆ อาจารย์โรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ศูนย์วิจัยและพัฒนาการศึกษา จังหวัดนครปฐม ที่ห่วงใยและเป็นกำลังใจให้เสมอมา ขอขอบคุณ คุณชูเดช อิสระวิสูตธิ์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการแปลข้อความต่างประเทศ

ขอขอบคุณ คุณธีรยุทธ์ เมืองแก้ว ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณศรินทร คำคอนสาร ตลอดจนญาติพี่น้องที่เป็นกำลังใจและสนับสนุนให้ผู้วิจัยสามารถศึกษาเล่าเรียนจนสำเร็จการศึกษา ความวิริยะ อุตสาหะในการศึกษาเล่าเรียนครั้งนี้ขอให้เป็นกรณีตัวอย่างแก่ เด็กหญิงผกางาม คำคอนสาร และเด็กชายศิวัฒม์ คำคอนสาร บุตร - ธิดา

ท้ายสุดนี้ ผู้วิจัยขอน้อมรำลึกถึงพระคุณของบิดา-มารดา ครู-อาจารย์ ที่ได้อบรมสั่งสอนประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้จนทำให้ประสบความสำเร็จในการศึกษาครั้งนี้

ไพทูล คำคอนสาร

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	**บทนำ**	1
	ภูมิหลัง	1
	ความมุ่งหมายของการวิจัย	2
	ความสำคัญของการวิจัย	2
	ขอบเขตของการวิจัย	2
	นิยามศัพท์เฉพาะ	3
	กรอบแนวความคิด	4
	สมมุติฐานในการวิจัย	4
2	**เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**	5
	เครื่องตั้งลูกกอล์ฟ	5
	เครื่องตั้งลูกกอล์ฟ ยี่ห้อ HONO รุ่น YP 905	5
	เครื่องตั้งลูกกอล์ฟ ยี่ห้อ EAGLE	6
	เครื่องตั้งลูกกอล์ฟ ยี่ห้อ COMPUTER CADDY	6
	เครื่องตั้งลูกกอล์ฟ ยี่ห้อ MGD	7
	เครื่องตั้งลูกกอล์ฟ ระบบ Manual ไม่ใช้ไฟฟ้าทำด้วยพลาสติกหล่อ	7
	เครื่องตั้งลูกกอล์ฟระบบ Manual ไม่ใช้ไฟฟ้าทำด้วยเลซิลผสมซิลิโคลน	8
	ออกแบบและสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก	9
	การออกแบบทางวิศวกรรมเครื่องกล	9
	การเขียนแบบวิศวกรรม	18
	วัสดุและคุณสมบัติของวัสดุ	31
	หลักการเชื่อมและประเภทลวดเชื่อมและอุปกรณ์ตามประเภทเชื่อมอาร์กอนGTAW	56
	โมเมนตัม	56
	สมรรถนะของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก	59
	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	67
	งานวิจัยในประเทศ	67
	งานวิจัยต่างประเทศ	70

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
3	**วิธีดำเนินการวิจัย**	72
	ศึกษารายละเอียด	73
	ออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก และประเมินการออกแบบ	74
	ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก	79
	ออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก	80
	การสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก	92
	การทดสอบสมรรถนะ	93
	การวิเคราะห์ข้อมูล	95
	สถิติที่ใช้ในการวิจัย	95
	กำหนดเกณฑ์ในการแปลความหมายข้อมูลที่เป็นค่าเฉลี่ยต่าง ๆ	96
	การนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลจัดทำเป็น 2 แบบ	96
4	**ผลการวิเคราะห์ข้อมูล**	97
5	**สรุปผล อภิปราย และข้อเสนอแนะ**	106
	สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล	106
	อภิปรายผล	107
	ข้อเสนอแนะ	110
	ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป	110
บรรณานุกรม		114
ภาคผนวก		115
	ภาคผนวก ก	116
	ภาคผนวก ข	126
	ภาคผนวก ค	132
	ภาคผนวก ง	140
	ภาคผนวก จ	142
ประวัติย่อผู้วิจัย		149

บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	ค่าความปลอดภัยในการออกแบบ.....	14
2	หน่วยมูลฐาน SI Units.....	17
3	เป็นระบบหน่วย SI และสัญลักษณ์ที่ใช้กันมากในงานออกแบบวิศวกรรม.....	17
4	แสดงค่าความแข็งแรงของเหล็กหล่อกราไฟท์ก้อนกลม.....	39
5	แสดงผลของโลหะที่ผสมในเหล็กหล่อ.....	40
6	แสดงธาตุผสมและความแข็งแรงของเหล็กกล้าผสมเกรดคาร์บูไรซิ่ง.....	43
7	แสดงธาตุผสมและความแข็งแรงของเหล็กกล้าผสมเกรดไนไตรดิง.....	44
8	แสดงธาตุผสมและความแข็งแรงของเหล็กชุบแข็ง.....	45
9	แสดงธาตุผสมและค่าความแข็งแรงของเหล็กไร้สนิมชนิดเฟอร์ริติค.....	46
10	แสดงธาตุผสมและค่าความแข็งแรงของเหล็กไร้สนิมชนิดออสเตนนิติค.....	47
11	ธาตุผสมและค่าความแข็งแรงของเหล็กกล้าไร้สนิม.....	48
12	ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดทั่วไป.....	53
13	วิธีทำความสะอาดสำหรับคราบสกปรกทั่วๆ ไป.....	54
14	ความรู้และเทคนิค.....	55
15	แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล โดยผู้เชี่ยวชาญประเมินการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ก).....	77
16	แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล โดยผู้เชี่ยวชาญประเมินการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ข).....	78
17	แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล โดยผู้เชี่ยวชาญประเมินการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ค).....	78
18	แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล โดยผู้เชี่ยวชาญประเมินการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ก).....	97
19	แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล โดยผู้เชี่ยวชาญประเมินการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ข).....	98
20	แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล โดยผู้เชี่ยวชาญประเมินการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ค).....	99

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง **หน้า**

21 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานข้อมูล ของผู้เชี่ยวชาญที่ทำการทดสอบสมรรถนะเครื่องตั้งลูกระบบกลไก ในภาพรวม..... 100

22 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและการทดสอบนัยสำคัญของข้อมูลประเมินสมรรถนะเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ในภาพรวม..... 100

23 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของผู้เชี่ยวชาญในการประเมินสมรรถนะของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ด้านความสามารถในการใช้งานกอล์ฟโดยระบบกลไก ด้านความแข็งแรง 101

24 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของผู้เชี่ยวชาญประเมินสมรรถนะของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ด้านการติดตั้ง..... 102

25 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของผู้เชี่ยวชาญประเมินสมรรถนะของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ด้านความแข็งแรง..... 103

26 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของผู้เชี่ยวชาญประเมินสมรรถนะ เครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ด้านการบำรุงรักษา..... 104

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ		หน้า
1	กรอบแนวความคิดในการวิจัย.....	4
2	เครื่องตั้งลูกกอล์ฟระบบออโตเมติกใช้ไฟฟ้า.....	5
3	เครื่องตั้งลูกกอล์ฟระบบไฟฟ้า.....	5
4	เครื่องตั้งลูกกอล์ฟออโตเมติกใช้ไฟฟ้า.....	6
5	เครื่องตั้งลูกกอล์ฟระบบManualไม่ใช้ไฟฟ้า.....	7
6	เครื่องตั้งลูกกอล์ฟระบบManualไม่ใช้ไฟฟ้า.....	7
7	เครื่องตั้งลูกกอล์ฟระบบManual ไม่ใช้ไฟฟ้า.....	8
8	ขั้นตอนการออกแบบ.....	10
9	การวางภาพฉายในงานเขียนแบบวิศวกรรม.....	18
10	ภาพฉายแอกโซโนเมตริก.....	19
11	ภาพวาดไอโซเมตริกเทียบกับภาพฉายไอโซเมตริก.....	20
12	ขั้นตอนการเขียนภาพไอโซเมตริกจากภาพฉายออร์โทกราฟิก.....	21
13	การเขียนเส้นที่ไม่ขนานกับแกนไอโซเมตริก.....	22
14	การเขียนเส้นที่ไม่ขนานกับแกนไอโซเมตริก.....	22
15	ภาพฉายออบลิค.....	23
16	ภาพฉายแบบออบลิค.....	24
17	ทิศทางการวางตัวของแกนเอียง.....	25
18	การเลือกระนาบรับภาพที่มีโค้งของวงกลมในด้านหน้าของภาพวาด.....	25
19	เลือกด้านวัตถุที่มีความยาวไว้ในด้านหน้าของภาพวาด.....	26
20	ชิ้นงานเชื่อม.....	27
21	การเขียนแบบชิ้นงานเชื่อม.....	27
22	การกำหนดขนาดมิติของชิ้นงาน.....	28
23	การกำหนดขนาดมิติตามขั้นตอนการทำงาน.....	29
24	การบอกขนาด แทนด้วยอักษร S.....	30
25	ขนาดของรูปร่างและตำแหน่ง.....	31
26	กราฟ Stress – Strain ที่ได้จากการทดสอบแรงถึงขั้นทดสอบที่วัสดุเป็นเหล็กเหนียว (Ductile – Material).....	32

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
27	กราฟแสดงความเหนียวของวัสดุ	35
28	แสดงความเค้นที่ทำให้เกิดความล้า	36
29	ชิ้นงานที่มีหน้าตัดขาวหล่อด้วยเหล็กหล่อเหนียว	38
30	ลำดับขั้นตอนในการวิจัย	72
31	เครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ก)	74
32	เครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ข)	75
33	เครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ค)	76
34	ภาพด้านบน ภาพด้านบน โครงหน้ากาก	80
35	ภาพด้านข้าง ภาพด้านข้าง โครงหน้ากาก	81
36	ภาพด้านหน้า ภาพด้านหน้า โครงหน้ากาก	82
37	ภาพด้านบน ตัวป้อนลูก	82
38	ภาพด้านข้าง ตัวป้อนลูก	83
39	ภาพด้านหน้า ตัวป้อนลูก	83
40	ภาพด้านหน้ารางลำเลียงลูก	84
41	ภาพด้านบน รางลำเลียงลูก	84
42	ภาพด้านข้าง รางลำเลียงลูก	85
43	ภาพด้านข้าง กระเดื่องวางลูก	85
44	ภาพด้านหน้า กระเดื่องวางลูก	86
45	ภาพด้านบน กระเดื่องวางลูก	86
46	ภาพด้านหน้าตัวส่งลูก	87
47	ภาพด้านบน ตัวส่งลูก	88
48	ภาพด้านข้าง ตัวส่งลูก	88
49	ภาพด้านหน้า ฐานโครงสร้าง	89
50	ภาพด้านข้าง ฐานโครงสร้าง	89
51	ภาพด้านบน ฐานโครงสร้าง	90
52	ภาพด้านบน แป้นกด	90
53	ภาพด้านหน้า แป้นกด	91
54	ภาพด้านข้าง แป้นกด	91
55	กระเดื่องวางลูก	131

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
56	ฐานโครงสร้างและรางลำเลียงลูก.....	132
57	ตัวส่งลูก.....	133
58	แป้นกด.....	134
59	ตัวป้อนลูก……....	135
60	คานกด.....	136
61	โครงหรือหน้ากาก.....	137

บทที่ 1
บทนำ

ภูมิหลัง

กีฬากอล์ฟเริ่มเป็นที่รู้จักกันในประเทศไทย ในคริสต์ศตวรรษที่ 20 โดยนักกอล์ฟชาวต่างประเทศในประเทศไทย และประชาชนคนไทยที่ได้รับการศึกษาจากประเทศตะวันตก โดยมีการสร้างสนามกอล์ฟขึ้นแห่งแรกที่ราชกรีฑาสโมสร ราชตฤณมัยสมาคมและที่พระราชวังจิตรลดา เมื่อปีพุทธศักราช 2463 สนามกอล์ฟที่เป็นสัดส่วนแห่งแรกของประเทศไทยได้จัดขึ้นตามราชกฤษฎีกาของพระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัวในระหว่างที่มีการก่อสร้างโรงแรมรถไฟพระบาทสมเด็จ พระเจ้าอยู่หัวรัชกาลที่ 7 ได้ทรงย้ำถึงสนามกอล์ฟซึ่งควรรวมอยู่ในการก่อสร้างสมัยนั้นด้วย พระองค์ทรงเริ่มสนพระทัยกีฬากอล์ฟในระหว่างที่พระองค์ทรงศึกษา ณ โรงเรียนทหารใน สก็อตแลนด์ และในประเทศอังกฤษ นอกจากนั้นแล้วท่านยังได้ทรงแนะแนวทางความสนพระทัยในทางกีฬานี้มายังสมเด็จพระนางเจ้ารำไพพรรณี พระบรมราชินีนาถด้วย ซึ่งเป็นแรงบันดาลใจให้นักกอล์ฟไทยปฏิบัติตามเบื้องพระยุคลบาทในกีฬากอล์ฟนี้ขึ้นอีกมาก (สัตยาพร ตันเต็มทรัพย์ . 2538 : 75)

กีฬากอล์ฟได้พัฒนาและสามารถใช้เป็นสื่อในการพัฒนาเยาวชนให้มีคุณสมบัติ ทั้งทางด้านร่างกาย จิตใจ อารมณ์ สังคม และสติปัญญา และเป็นกีฬาที่ไม่หนักจนเกินไป สามารถพัฒนาบุคลิกภาพได้ทั้งชายและหญิงทุกวัย ดังนั้นกีฬากอล์ฟจึงเป็นกีฬาที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพประเภทหนึ่ง ประเทศไทยและโลกปัจจุบันได้มีการพัฒนาในด้านเทคโนโลยีและอุปกรณ์ที่ทันสมัยมากมายในหลายๆ ด้าน เช่น ในด้านอุปกรณ์การสื่อสาร เพื่อการติดต่อคมนาคม รวมถึงอุปกรณ์และเทคโนโลยีในด้านการกีฬาที่ใช้สำหรับบุคคลทั่วไปในการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพและใช้ในการแข่งขันสำหรับนักกีฬาเพื่อนำไปสู่เป้าหมายที่แต่ละบุคคลตั้งใจไว้ กีฬากอล์ฟ ซึ่งสามารถเล่นได้ทุกเพศทุกวัย ไม่มีช่องว่างระหว่างวัย จึงทำให้สนามฝึกซ้อมกอล์ฟมีผู้ใช้บริการเพิ่มมากขึ้น และมีการเพิ่มจำนวนลูกกอล์ฟที่ใช้ในการฝึกซ้อมมากขึ้น เพื่อให้เพียงพอกับความต้องการของผู้ที่สนใจในการเริ่มฝึกซ้อมกีฬากอล์ฟและผู้ที่ต้องการอาศัยการฝึกซ้อมที่สม่ำเสมอ เพื่อให้เกิดความชำนาญและทักษะที่ดี (สมชาย บุญมี 2548 : 2) ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุให้ผู้จัดการสนามฝึกซ้อมกอล์ฟต้องใช้อุปกรณ์เสริมเพื่ออำนวยความสะดวกในการตั้งลูกกอล์ฟเพิ่มมากขึ้น แต่เนื่องจากสภาพปัญหาเงินทุนในการจัดซื้อเครื่องตั้งลูกกอล์ฟมีน้อยสำหรับสนามฝึกซ้อมขนาดเล็กและขนาดกลางจึงไม่สามารถให้บริการได้อย่างทั่วถึงเพราะเครื่องตั้งลูกกอล์ฟที่นำเข้าจากต่างประเทศยังมีราคาสูง

เครื่องตั้งลูกกอล์ฟ ระบบออโตเมติกใช้ไฟได้ 2 ระบบคือไฟ AC.220V. และไฟ DC.12 V. นำข้าจากประเทศเกาหลี เริ่มตั้งแต่ราคา 12,500 - 25,000 บาท คุณสมบัติของเครื่องระบบออโตเมติกสามารถเลือกใช้ได้ 2 ระบบคือ เมื่อตีลูกออกไปแล้วลูกกอล์ฟจะออกมาตั้งบนทียางหรือสามารถควบคุมการไหลของลูกกอล์ฟได้เองเมื่อต้องการตีในแต่ละครั้งตามต้องการ เครื่องตั้งลูกกอล์ฟระบบ Manual ไม่ใช้ไฟฟ้าหรือระบบอิเล็กทรอนิคส์ควบคุมการทำงาน ส่วนมากนำเข้าจากต่างประเทศ เริ่มตั้งแต่ราคา 4,900 – 6,500 บาท หลักการทำงานของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟที่ไม่ใช้ไฟฟ้าคือ ใช้ไม้กอล์ฟกดที่แป้นกดลูกกอล์ฟจะออกมาตั้งบนทียาง

ด้วยเหตุนี้เพื่อเป็นการลดการนำเข้าเครื่องตั้งลูกกอล์ฟจากต่างประเทศ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการออกแบบและสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไกที่มีสมรรถนะเทียบเคียงเครื่องที่นำเข้าจากต่างประเทศที่จะช่วยในการตั้งลูกกอล์ฟในสนามฝึกซ้อมที่ใช้ต้นทุนต่ำ แข็งแรง ทนทาน ดูแลรักษาง่าย สวยงาม สะดวกปลอดภัย และประหยัดเวลาในการวางลูกขณะทำการฝึกซ้อม

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก สำหรับการฝึกซ้อม
2. เพื่อประเมินสมรรถนะของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก สำหรับการฝึกซ้อม

ความสำคัญของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้เครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก สำหรับการฝึกซ้อม ที่มีสมรรถนะเทียบเคียงเครื่องตั้งลูกที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ใช้ต้นทุนต่ำเพื่ออำนวยความสะดวกและเพิ่มสมรรถนะของนักกีฬาในขณะทำการฝึกซ้อม

ขอบเขตของการวิจัย

การออกแบบและสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก สำหรับการฝึกซ้อม โดยกำหนดขอบเขตของการวิจัยไว้ดังนี้

1. สร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก สำหรับฝึกซ้อมกอล์ฟ ขนาดกว้าง 24 ยาว 37 สูง 26 เซ็นติเมตร
    - 1.1 สามารถบรรจุลูกกอล์ฟได้ครั้งละ 40 ลูก หรือ 1 ถาด ต่อครั้ง
    - 1.2 ระบบกลไกใช้หลักการทฤษฎีโมเมนตัมในการหาค่าแรงของลูกกอล์ฟ
    - 1.3 วัสดุที่ใช้สร้างทำด้วยสแตนเลส
    - 1.4 ประเมินสมรรถนะโดยผู้ทดสอบและผู้เชี่ยวชาญทำการประเมินสมรรถนะ
2. ตัวแปรที่ศึกษาของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ในการวิจัยครั้งนี้ประเมินสมรรถนะในด้านต่างๆ ดังนี้
    - 2.1 สมรรถนะ

2.1.1 ด้านความสามารถในการใช้งาน
2.1.2 ด้านความการติดตั้ง
2.1.3 ด้านความแข็งแรง
2.1.4 ด้านการบำรุงรักษา

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. **การออกแบบ** หมายถึง การกำหนดลักษณะของวัสดุอุปกรณ์ที่มีความสัมพันธ์ และเหมาะสมกับการใช้งานตามหลักการออกแบบเพื่อให้สามารถใช้ในการสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก

2. **เครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก** หมายถึง อุปกรณ์ที่ออกแบบและสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก โดยอาศัยการเคลื่อนที่ตาม หลักทฤษฎีโมเมนตัม ช่วยในการจัดวางลูกกอล์ฟ ที่ไม่ใช้ไฟฟ้าหรือระบบอิเล็กทรอนิคส์ควบคุมการทำงาน

3. **สมรรถนะของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก** หมายถึง ความสามารถในการใช้งาน การติดตั้ง ความแข็งแรง และการบำรุงรักษา ของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ในลักษณะแต่ละด้าน โดยทำการประเมินสมรรถนะด้านต่างๆ ดังนี้ คือ

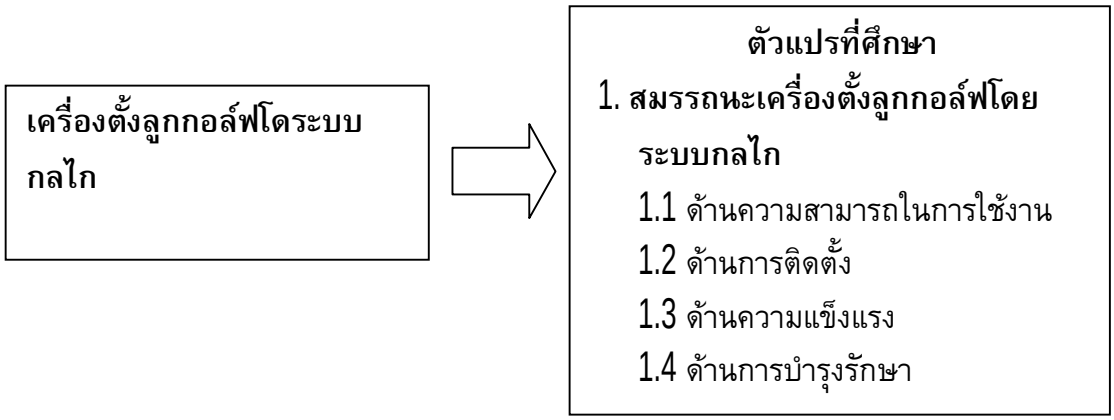
3.1 ความสามารถในการใช้งาน หมายถึง การควบคุมการทำงานทำได้ง่าย สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง การปรับระดับความสูงต่ำทำได้สะดวก สามารถตั้งลูกกอล์ฟได้อย่างแม่นยำ สามารถบรรจุลูกกอล์ฟได้เหมาะสมกับขนาด สามารถตั้งลูกกอล์ฟได้ภายในเวลาที่กำหนด คือ 3 วินาที/1ลูก ความเร็วในการตั้งลูกมีความเหมาะสม เครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไกมีความคล่องตัวในขณะใช้งาน มีความสะดวกในการใช้เครื่องตั้งลูกกอล์ฟด้วยตนเอง มีความสะดวก ประหยัด และความปลอดภัยสูง

3.2 ด้านการติดตั้ง หมายถึง การติดตั้งทำด้วยความสะดวก สามารถติดตั้งได้เองโดยการศึกษาจากคู่มือสำหรับผู้ใช้ การใช้พื้นที่ในการตั้งเครื่องลูกกอล์ฟโดยระบบกลไกไม่เปลืองเนื้อที่มาก การจัดวางเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไกสามารถทำได้ง่าย สามารถถอดแยกชิ้นส่วนประกอบของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไกเองได้ เครื่องมือที่ใช้ในการถอดแยกหาได้ง่าย เครื่องตั้งลูกกอล์ฟมีขนาดเหมาะสมกับการใช้งาน สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก การติดตั้งใช้เวลาไม่นาน สามารถติดตั้งได้โดยปลอดภัย

3.3 ด้านความแข็งแรง การออกแบบเครื่องฯมีความเหมาะสม การสร้างใช้วัสดุที่มีความเหมาะสม วัสดุที่ใช้มีความแข็งแรงทนทาน สามารถใช้ได้ทุกสภาพอากาศไม่เป็นสนิม ชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆมีความแข็งแรง มีความแข็งแรงของโครงสร้าง มีความแข็งแรงของรอยเชื่อม น้ำหนักของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไกเหมาะสมกับขนาด ชิ้นส่วนทุกชิ้นมีรูปร่างลักษณะแยกชิ้นส่วนประกอบได้ วัสดุในการสร้างมีภายในประเทศสามารถหาซื้อได้ง่าย

3.4 ด้านการบำรุงรักษา หมายถึง การทำความสะอาดชิ้นส่วนอุปกรณ์ทำได้ง่าย ประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา การเก็บรักษาทำได้สะดวก มีความสะดวกในการถอดแยกประกอบเครื่องมีจุดตรวจที่ต้องการบำรุงรักษาชิ้นส่วนต่าง ๆน้อย สามารถตรวจสอบสภาพและการทำงานของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไกได้ง่าย การซ่อมแซมส่วนประกอบที่ชำรุดหรือสึกหรอทำได้ง่ายสามารถตรวจสอบเมื่อเครื่องเกิดขัดข้องขณะใช้งานทำได้ง่าย สามารถหาซื้ออุปกรณ์ที่ต้องบำรุงรักษาได้ง่ายภายในประเทศ วัสดุที่ใช้ในการสร้างสามารถหาซื้อได้ง่าย ราคาไม่แพง

กรอบแนวคิดในการวิจัย



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวความคิดในการวิจัย

สมมติฐานในการวิจัย

เครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก สำหรับการฝึกซ้อมที่ออกแบบและสร้างขึ้นได้ประเมินสมรรถนะ ด้านความสามารถในการใช้งาน ด้านการติดตั้ง ด้านความแข็งแรง ด้านการบำรุงรักษาอยู่ในเกณฑ์ ดี

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องรวม 4 รายการ คือ

1. เครื่องตั้งลูกกอล์ฟ
2. การออกแบบและสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก
3. สมรรถนะของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก
4. เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. เครื่องตั้งลูกกอล์ฟ

เครื่องตั้งลูกกอล์ฟ หมายถึง อุปกรณ์ที่ช่วยในการจัดวางลูกกอล์ฟบนทียางในการฝึกซ้อมกอล์ฟ โดยใช้ไฟฟ้าหรือระบบอิเล็กทรอนิคส์ควบคุมการทำงานและไม่ใช้ไฟฟ้าหรือเรียกว่าระบบ Manual

จากการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับเครื่องตั้งลูกกอล์ฟที่มีอยู่ในปัจจุบันมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบระบบอัตโนมัติที่ใช้ไฟฟ้า และแบบระบบ Manual ที่ไม่ใช้ไฟฟ้า มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.1 เครื่องตั้งลูกกอล์ฟ ยี่ห้อ HONO รุ่น YP 905

เป็นเครื่องตั้งลูกกอล์ฟระบบออโตเมติกใช้ไฟได้ 2 ระบบ คือ AC 220V. และ DC 12V. บรรจุลูกได้ 200 ลูก รูปทรงแข็งแรง ทนทาน ราคา 25,000 บาท (ยังไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม)

ภาพประกอบ 2 เครื่องตั้งลูกกอล์ฟระบบออโตเมติกใช้ไฟฟ้า

ที่มา:(http://www.thaionlinemarket.com)

1.2 เครื่องตั้งลูกกอล์ฟ ยี่ห้อ EAGLE

เป็นระบบไฟฟ้า (Sensor type) AC 220 V. และ DC12 V.บรรจุลูกได้ 150 ลูก แข็งแรงทนทานราคา 12,500 บาท

ภาพประกอบ 3 เครื่องตั้งลูกกอล์ฟระบบไฟฟ้า

ที่มา :(http://www.feronline.co.th)

1.3 เครื่องตั้งลูกกอล์ฟ ยี่ห้อ COMPUTER CADDY

เครื่องตั้งลูกกอล์ฟ ยี่ห้อ COMPUTER CADDY ควบคุมการทำงานด้วยระบบไฟฟ้า AC. 220 V.และDC12 V. ทำงานได้ทั้งอัตโนมัติ เมื่อตีลูกกอล์ฟไปแล้วลูกกอล์ฟจะออกมาตั้งที่ทียางหรือจะใช้ไม้กอล์ฟแตะที่แป้นเพื่อให้ลูกออกมาตามจังหวะเวลาที่ต้องการก็ได้สามารถปรับระยะที่วางลูกสำหรับตีด้วย Driver หรือตีด้วยเหล็กก็ได้ ราคา 21,500 บาท

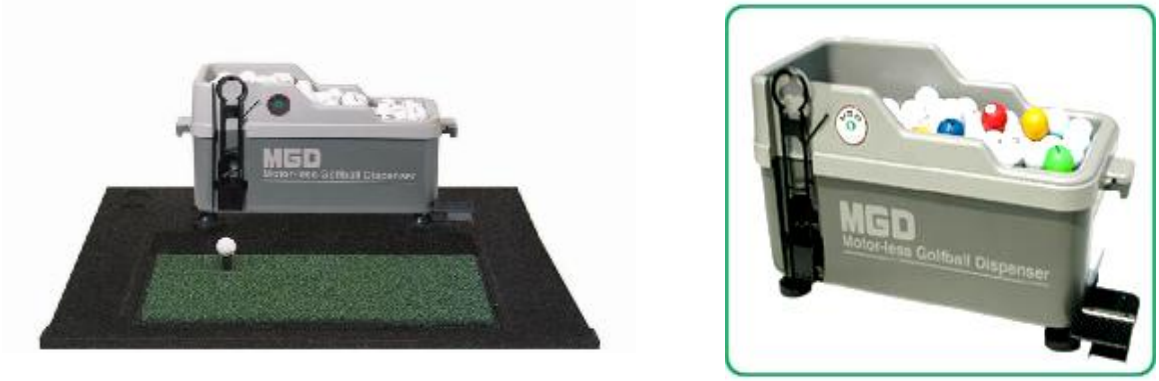
ภาพประกอบ 4 เครื่องตั้งลูกกอล์ฟออโตเมติกใช้ไฟฟ้า

ที่มา:(http://www. Weloveshopping.com)

หลักการทำงานของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟ ที่ใช้ไฟฟ้าโดยใช้มอเตอร์ 2 ตัวต่อเข้ากับวงจรอิเล็กทรอนิคส์เพื่อควบคุมการทำงาน มอเตอร์ตัวที่ 1 เป็นตัวกวาดลูกให้ลูกมาอยู่ในตำแหน่ง ที่พร้อมจ่ายลูก และมอเตอร์ตัวที่ 2 เป็นตัวสวิงหรือแขนทำหน้าที่นำเอาลูกกอล์ฟมาวางบนทียาง หลังจากตีลูกออกไปแล้วกดสวิทช์มอเตอร์ก็จะทำงานในลักษณะเดียวกัน โดยอัตโนมัติจนกว่าลูกหมด และมีความพิเศษในส่วนของวงจรอิเล็กทรอนิคส์ คือ สามารถตั้งโปรแกรมให้เครื่องทำงานเองโดยอัตโนมัติ เมื่อตีลูกออกไปแล้วลูกจะออกมาตั้งบนทียาง โดยไม่ต้องกดสวิทช์ทุกครั้งหลังตีลูกออกไป

1.4 เครื่องตั้งลูกกอล์ฟยี่ห้อ MGD

เครื่องตั้งลูกกอล์ฟยี่ห้อ MGD ระบบ Manual ไม่ใช้ไฟฟ้า ทนทานใช้งานง่ายการใช้งานเอาไม้กอล์ฟแตะที่แป้นแล้วปล่อย ลูกกอล์ฟจะออกมาตั้งบนทียางบรรจุลูกได้ 100 ลูก ราคา 5,900 บาท



ภาพประกอบ 5 เครื่องตั้งลูกกอล์ฟระบบManualไม่ใช้ไฟฟ้า

ที่มา:(http://www.plaza.212cafe.com)

1.5 เครื่องตั้งลูกกอล์ฟ ระบบ Manual ไม่ใช้ไฟฟ้า

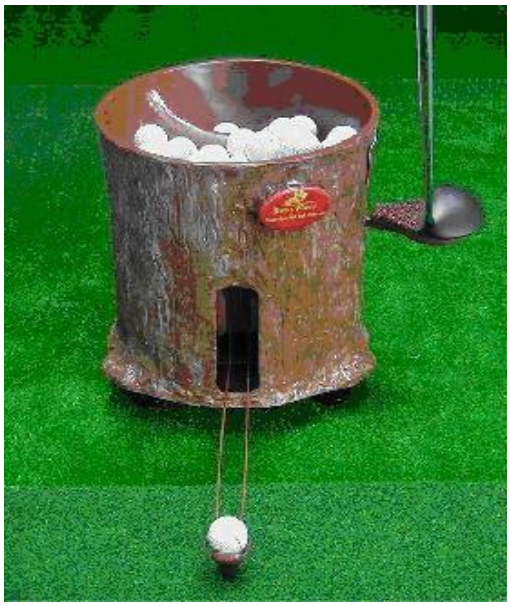
เครื่องตั้งลูกกอล์ฟ ไม่ใช้ไฟฟ้า ทนทาน ใช้งานได้ดี ไม่ต้องซ่อมบำรุง บรรจุลูกได้ 30 ลูก ราคา 6,500 บาท

ภาพประกอบ 6 เครื่องตั้งลูกกอล์ฟระบบManualไม่ใช้ไฟฟ้า

ที่มา:(http://www.citbank.com)

1.6 เครื่องตั้งลูกกอล์ฟระบบ Manual ไม่ใช้ไฟฟ้า

เครื่องตั้งลูกกอล์ฟระบบ Manual ไม่ใช้ไฟฟ้า ทำงานแม่นยำ ติดตั้งง่ายด้วยตัวเอง สะดวก ทนทาน บรรจุลูกได้ 20-30 ลูก ราคา 4,900 บาท



ภาพประกอบ 7 เครื่องตั้งลูกกอล์ฟระบบManual ไม่ใช้ไฟฟ้า

ที่มา:(http://www.revowave.com)

หลักการทำงานของเครื่องตั้งลูกที่ไม่ใช้ไฟฟ้าที่จำหน่ายในปัจจุบันมีหลักการทำงานคือในส่วนของคานกด หรือแป้นกดจะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานตัวส่งลูกเพียงอย่างเดียวโดยอาศัยแรงกดที่มากระทำกับแป้นกดและอาศัยหลักการเคลื่อนจากที่สูงลงที่ต่ำโดยใช้ท่อเป็นตัวลำเลียงเพื่อให้ลูกไหลลงมาตามท่อและแบบหลุมดักลูก โดยอาศัยความลาดเอียงเพียงอย่างเดียวเมื่อกดคานกดตัวส่งจะทำหน้าที่ดันลูกให้ตกลงมาที่กระเดื่องซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายในการตั้งลูกบนที่ยาง

เครื่องตั้งลูกกอล์ฟที่มีจำหน่ายมีมากมายหลายแบบหลายยี่ห้อหลายราคาขึ้นอยู่กับการออกแบบให้ใช้งานได้สะดวกสบาย ของผู้ใช้ในปัจจุบันมีให้เลือกใช้อยู่ 2 แบบ คือ เครื่องตั้งลูกกอล์ฟที่ใช้ไฟฟ้าหรือใช้ระบบอิเล็กทรอนิคส์ควบคุมการทำงาน ซึ่งสามารถอำนวยความสะดวกได้ดีและมีราคาแพงเป็นที่นิยมสำหรับสนามฝึกซ้อมกอล์ฟ ที่มีความพร้อมในเรื่องของการเงินการลงทุนเพราะมีค่าใช้จ่ายสูง จึงทำให้อัตราค่าบริการในการฝึกซ้อมแพงตามไปด้วย และเครื่องตั้งลูกกอล์ฟที่ไม่ใช้ไฟฟ้าก็เป็นอุปกรณ์อำนวยความสะดวก เหมาะสำหรับสนามฝึกซ้อมขนาดเล็ก และขนาดกลางที่มี

เงินในการลงทุนไม่มาก เพราะเครื่องตั้งลูกกอล์ฟที่ไม่ใช้ไฟฟ้าราคาไม่แพงมาก การบำรุงรักษาง่าย เครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ที่ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและสร้างขึ้นในครั้งนี้ เป็นอีกทางเลือกหนึ่งของผู้ประกอบการสนามฝึกซ้อมกอล์ฟ ที่มีความสนใจในเครื่องตั้งลูกกอล์ฟเพื่ออำนวยความสะดวกให้กับผู้ที่มาใช้บริการ สำหรับเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ที่ผู้วิจัยออกแบบและสร้างขึ้นมีสมรรถนะที่เทียบเคียงเครื่องตั้งลูกกอล์ฟที่นำเข้าจากต่างประเทศ รวมทั้งวัสดุที่ใช้ในการสร้างซึ่งมีความแข็งแรง ทนทาน ติดตั้งง่าย บำรุงรักษาง่าย ปลอดภัย และที่สำคัญราคาถูก

2. การออกแบบและสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก

2.1 การออกแบบทางวิศวกรรมเครื่องกล (Mechanical Engineering Design)

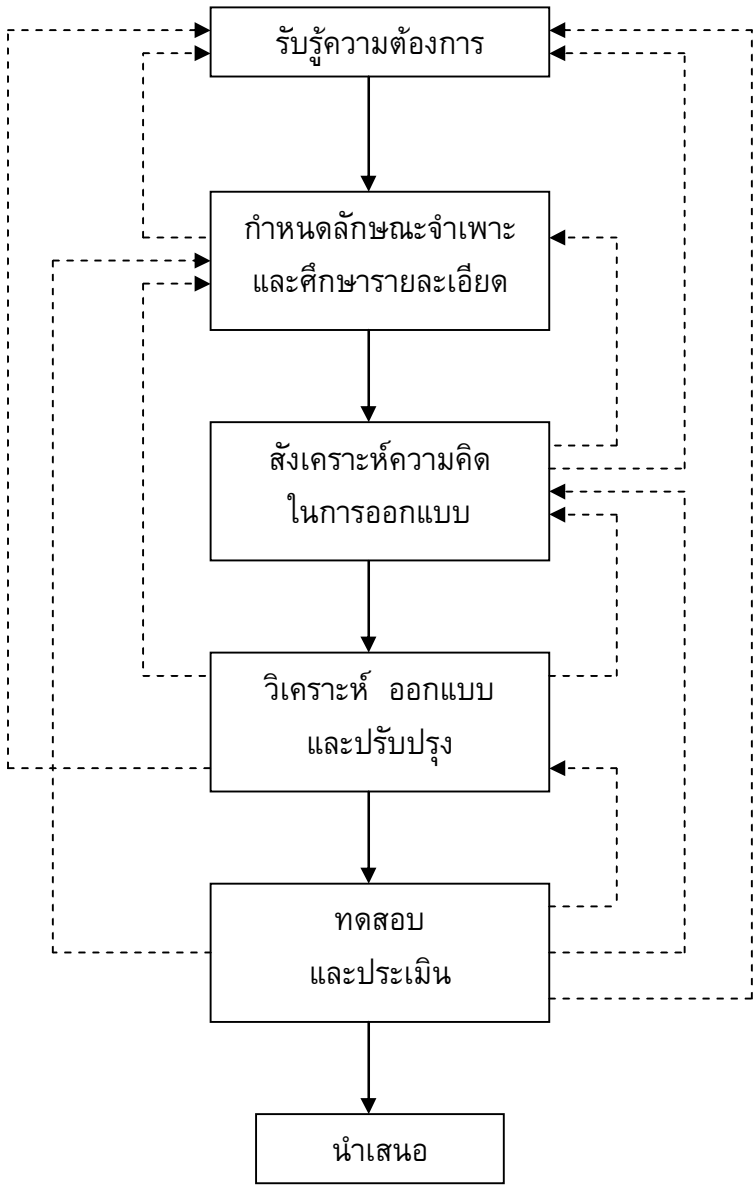
การออกแบบเครื่องกล หมายถึง การออกแบบสิ่งต่างๆ ระบบต่างๆ ของเครื่องจักรกล ผลิตภัณฑ์ โครงสร้าง อุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ สำหรับการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องกลส่วนใหญ่แล้วจะใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์วัสดุ (Materials Sciences) และ วิทยาศาสตร์ทางวิศวกรรมเครื่องกล (Engineering Mechanics Sciences)

การออกแบบเครื่องจักรกลจะต้องรู้ เข้าใจเกี่ยวกับการจัดจำแนกชิ้นส่วนเครื่องจักรกล (Machine Elements) ต่างๆ ตั้งแต่การคำนวณจากข้อมูลที่ทราบ เช่น งานที่ทำได้กำลังงานที่ใช้ แล้วคำนวณหาแรงในแต่ละส่วน ตามลำดับหน้าที่ของการทำงานของเครื่อง โดยใช้หลักการของกลศาสตร์ แล้วทำการออกแบบแต่ละชิ้นส่วนเพื่อให้สามารถทำงานได้ตามหน้าที่โดยไม่พังหรือเสียหาย

เราจำเป็นจะต้องใช้หลักการของความแข็งแรงของวัสดุนำมาช่วยแก้ปัญหาทางวิศวกรรม โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะให้ขนาดของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลมีความถูกต้องเหมาะสม ในวิธีการนั้นผู้ออกแบบจะต้องทำการวิเคราะห์ความเค้น (Stress) เพื่อตัดสินใจที่จะให้ชิ้นส่วนต่างๆ สามารถรับความเค้นสูงสุด (Maximum Stress) แต่ละชนิดได้

2.1.1 ลำดับขั้นในการออกแบบ

การออกแบบเป็นกระบวนการที่น่าสนใจมาก จะเริ่มต้นอย่างไร วิศวกรจะเริ่มต้นจากการแสดงความคิดลงไปในกระดาษเปล่าหรือ ต่อไปอะไรจะเกิดขึ้น มีองค์ประกอบหรือตัวควบคุมที่มีผลต่อการตัดสินใจในการทำอะไรบ้าง และสุดท้ายการออกแบบจะสิ้นสุดลงอย่างไร ดังลำดับขั้นตอนในภาพประกอบ 8



ภาพประกอบ 8 ขั้นตอนการออกแบบ

ที่มา: อนันต์ วงศ์กระจ่าง. (2533) ***ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล***. หน้า 2.

2.1.1.1 รับรู้ความต้องการ การออกแบบจะเริ่มจากวิศวกร ได้รับรู้ความต้องการของลูกค้าที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ในด้านการใช้งาน คุณภาพของผลิตภัณฑ์ ความแข็งแรง ทนทาน ที่สูงขึ้นจึงเป็นแรงผลักดันให้มีการออกแบบ พัฒนา ปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขึ้น บางครั้งการรับรู้อาจจะไม่ชัดแจ้ง คลุมเครือ บางสิ่งบางอย่างยังไม่ถูกต้อง ไม่ชัดเจนทั้งหมด และมีความขัดแย้งกันและมักจะเกิดขึ้นพร้อมๆ กันได้เสมอ วิศวกรจึงจำเป็นที่จะต้องใช้ประสบการณ์ความสามารถที่มีอยู่ทำความเข้าใจกับความต้องการ และปัญหานั้นๆ ให้ถูกต้อง

2.1.1.2 กำหนดลักษณะจำเพาะและศึกษารายละเอียดรวบรวมรายละเอียดของสิ่งที่ต้องการออกแบบให้มากที่สุด เช่น คุณลักษณะ ขนาด อายุการใช้งาน จำนวนที่ผลิต ราคาและสิ่งที่คาดว่าสามารถจะมีการเปลี่ยนแปลงได้บ้างอันเนื่องมาจากการออกแบบ เช่น กรรมวิธีการผลิตการเลือกใช้วัสดุ การแข่งขันทางด้านการตลาด

เมื่อได้ลักษณะจำเพาะของสิ่งที่จะออกแบบแล้ว ต่อไปก็ทำการศึกษารายละเอียดโดยวิศวกรที่มีประสบการณ์ ผ่านงานการออกแบบมามาก รู้วิธีการเลือกใช้วัสดุ วิธีการผลิต ความต้องการของฝ่ายขาย บ่อยครั้งที่ผลการศึกษา รายละเอียดออกมาแล้วทำให้ต้องมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะจำเพาะ เพื่อความสำเร็จของโครงการ

2.1.1.3 สังเคราะห์ความคิดในการออกแบบ หลังจากทำการศึกษา รายละเอียดของสิ่งจะออกแบบแล้ว ก็จะเป็นขั้นการสังเคราะห์ความคิดสร้างสรรค์สำหรับการออกแบบ คือ การวิเคราะห์และหล่อหลอมความคิดเก่าและใหม่เข้าด้วยกัน จนทำให้เกิดสิ่งใหม่ขึ้น มีคุณค่ากว่าและอำนวยประโยชน์ได้มากที่สุด

2.1.1.4 วิเคราะห์ ออกแบบ และปรับปรุงเมื่อ ผ่านขั้นตอน 3 ขั้นตอนแล้วก็ทำการวิเคราะห์รายละเอียดของสิ่งที่จะออกแบบ ส่วนประกอบ หน้าที่ของแต่ละชิ้นส่วน วิธีการผลิตที่ทำให้เป็นไปได้ในการทำการผลิตจำนวนมาก ความสะดวกรวดเร็ว ต้นทุนต่ำ แล้วจึงทำการออกแบบส่วนประกอบใหญ่ๆ และชิ้นส่วนแต่ละชิ้นส่วนให้มีความสัมพันธ์กันและสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ ขนาด ลักษณะรูปร่าง ที่เหมาะสม ซึ่งจะย่อนกลับไปพิจารณาให้เป็นไปตามลักษณะจำเพาะ และทำการปรับปรุงเป็นไปตามความต้องการและการใช้งานให้มากที่สุด

ขั้นการออกแบบจะแบ่งออกเป็น ออกแบบเบื้องต้น ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในย่อหน้าแรก และการออกแบบรายละเอียด การออกแบบรายละเอียด คือ การกำหนดรายละเอียด ขนาดจริงของชิ้นส่วน ส่วนประกอบต่างๆที่จะต้องผลิตขึ้นเอง หรือที่เป็นส่วนมาตรฐาน (Standard Part) ส่วนประกอบต่างๆ ของชิ้นส่วนด้วยแบบ (Drawing) ซึ่งมีทั้งแบบแยกชิ้น (Detail Drawing) และแบบประกอบ (Assembly Drawing) แสดงรายการวัสดุ จำนวนชิ้นส่วน ชื่อชิ้นส่วน วัสดุที่ใช้ ความละเอียดของผิว ค่าพิกัดความเผื่อ ความแข็งที่ต้องการ และอาจจะระบุกรรมวิธีทางความร้อนด้วย (ถ้ามี) หลังจากนั้นก็สร้างต้นแบบตามรายละเอียดที่ได้ออกแบบขึ้นทั้งหมด

2.1.1.5 ทดสอบและประเมิน เมื่อสร้างต้นแบบเสร็จก็ทำการทดลอง หรือทดสอบ ซึ่งจะต้องมีการบันทึกข้อมูลต่างๆ ระหว่างทดสอบและผลการทดสอบด้วย ผลจากการทดสอบอาจทำให้ต้องมีการเปลี่ยนแปลง หรือปรับปรุงการออกแบบเบื้องต้นหรือแบบรายละเอียดบางประการดังวงจรย้อนกลับในภาพประกอบ 8 เมื่อเปลี่ยนแปลง ปรับปรุงแล้วก็จะต้องทำการทดสอบใหม่จนกระทั่งสิ่งออกแบบนั้นมีคุณภาพ หรือมีสมรรถนะ สามารถทำงานได้ตามความต้องการ

2.1.1.6 นำเสนอ ขั้นตอนสุดท้ายของการออกแบบ คือ การนำเสนอผลงานการออกแบบ ซึ่งจะเป็นสิ่งประดิษฐ์หรือเป็นผลิตภัณฑ์ที่จัดเป็นสินค้าต่อลูกค้า หรือผู้ต้องการใช้ โดยอาศัยสื่อต่างๆ เช่น รายงาน (Report) การพูดประกาศที่ชุมนุมชน สิ่งพิมพ์และอื่นๆที่จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อผู้ออกแบบ

2.1.2 ข้อที่ต้องพิจารณาในการออกแบบ

สิ่งสำคัญที่สุดที่จะต้องคำนึงถึงในการออกแบบ คือ ความแข็งแรง (Strength) ซึ่งจัดว่าเป็นองค์ประกอบหลักในการกำหนดรูปร่างและขนาดของชิ้นส่วน จึงกล่าวได้ว่าความแข็งแรงจึงเป็นข้อพิจารณาในการออกแบบที่สำคัญอย่างหนึ่ง และสิ่งอื่นๆ อีกหลายอย่าง ที่จะต้องพิจารณาซึ่งอาจจะเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดกระทบกระเทือนต่อการออกแบบชิ้นส่วน หรือต่อทุกระบบ และในสภาพการออกแบบที่อยู่ภายใต้ข้อกำหนด ข้อพิจารณาบางอย่างในการออกแบบอาจจะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดวิกฤตขึ้นได้ ซึ่งนั้นก็หมายถึงชิ้นส่วน หรือเครื่องจักรกล หรือระบบที่ได้ออกแบบมีความเสียหายไม่สามารถใช้งานได้ หรือใช้งานได้ไม่ถึงขีดความสามารถตามที่ออกแบบ

ข้อพิจารณาในการออกแบบที่ใช้อยู่บ่อยๆ ได้แก่

1) ความแข็งแรง
2) ความเชื่อมั่น
3) การพิจารณาที่เกี่ยวกับความร้อน
4) การกัดกร่อน
5) การสึกหรอ
6) ความเสียดทาน
7) กระบวนการ
8) ประโยชน์
9) ราคา
10) ความปลอดภัย
11) น้ำหนัก
12) เสียง
13) รูปร่าง
14) รูปทรง
15) ขนาด
16) ความยืดหยุ่น
17) การควบคุม
18) ความแข็งตึง (Stiffness)
19) ผิวสำเร็จ
20) การหล่อลื่น
21) การบำรุงรักษา
22) จำนวน

ข้อพิจารณาในการออกแบบดังกล่าวนี้จะเป็นแนวทางในการกำหนดชนิดวัสดุ ขบวนการทำ และการประกอบชิ้นส่วนในระบบ

2.1.3 ตัวประกอบของความปลอดภัย (Factor of Safety)

กล่าวโดยทั่วไป Factor of Safety คือ ตัวเลขที่ใช้หารค่า Strength ของวัสดุที่จะให้ได้ค่า Design Stress ที่จะใช้ออกแบบ ในความหมายที่แท้จริงของคำว่า Factor of Safety หมายถึงตัวประกอบที่จะทำให้การออกแบบเกิดความปลอดภัย หรือเรียกอีกอย่างหนึ่ง Design Factor ซึ่งจะถูกต้องกว่าคำว่า Factor of Safety

ให้ค่า Design Factor เขียนแทนด้วย n Design Stress เขียนแทนด้วย σ_d สำหรับ Ultimate Strength เขียนแทนด้วย S_U และ Yield Strength เขียนแทนด้วย S_y จะได้ สมการ Design Stress คือ

$$s_d = \frac{S_u}{n_u} \qquad s_d = \frac{S_y}{n_y} \quad \text{.....1.1}$$

สำหรับค่า Shear ถ้าให้ค่า Design Stress เขียนแทนด้วย r_d Ultimate Shear Strength เขียนแทนด้วย S_{su} และ Yield Shear Strength เขียนแทนด้วย S_{sy} จะได้ สมการ Design Stress คือ

$$\tau_d = \frac{S_{su}}{n_u} \qquad \tau_d = \frac{S_{sy}}{n_y} \quad \text{.....1.2}$$

ค่า σ_d และ τ_d ที่ได้จากสมการ 1.1 และ 1.2 เป็นค่า Design Stress ที่จะนำไปใช้ในการออกแบบ เพื่อให้เกิดความปลอดภัย

เมื่อผู้ออกแบบได้ทำการออกแบบชิ้นส่วนเสร็จสิ้นแล้ว ซึ่งหมายถึงเราทราบ Strength ของวัสดุที่ทำชิ้นส่วน และขนาดของ Load ที่ชิ้นส่วนต้องรับแล้ว เราสามารถคำนวณหา Design Factor ที่จะระบุว่าชิ้นส่วนนั้นมีค่าความปลอดภัยเท่าใด โดยใช้สมการ 1.1 และ 1.2

$$n_d = \frac{S_u}{\sigma_d} \quad \text{หรือ} \quad n_y = \frac{S_y}{\sigma_d} \quad \text{.....1.3}$$

สำหรับค่า Shear

$$n_u = \frac{S_{su}}{\tau_d} \quad \text{หรือ} \quad n_y = \frac{S_{sy}}{\tau_d} \quad \text{.....1.4}$$

ในการใช้ Factor of Safety กับ Load หรือ Stresses ที่เกิดขึ้นจาก Load นั้น ถ้าให้ F_p เป็น Permissible หรือ Allowable Load และ σ_p เป็น Permissible หรือ Allowable Stress เมื่อ Stress ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับ Load แล้ สมการหาค่า F_p และ σ_p ก็จะเป็นดังนี้

$$F_p = nF \quad \text{และ} \quad \sigma_p = n\sigma \quad \text{.....} \quad 1.5$$

สมการ 1.5 นี้จะใช้สำหรับการออกแบบและคำนวณหาขนาด รูปร่างของชิ้นส่วน ซึ่งค่า σ_p นี้จะต้องมีค่าไม่เกิน Strength S_u หรือ S_y ของวัสดุ

Total Factor หรือ Overall Factor คือ ตัวประกอบของส่วนประกอบต่างๆ และเป็นการแยกตัวประกอบที่ใช้สำหรับ Strength และ Load หรือ Stresses ที่เกิดจาก Load ต่างๆ นั้น ถ้ามี Load กระทำอยู่ 2 Loads Total Factor of Safety ก็จะเป็นดังนี้

$$N = n_s n_1 n_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1.6$$

เมื่อ n_s คือ ตัวประกอบสำหรับค่าที่ไม่แน่นอนของ Strength n_1 และ n_2 คือ ตัวประกอบสำหรับค่าที่ไม่แน่นอนของ Load ที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

การเลือกใช้ค่าความปลอดภัยจะขึ้นอยู่กับตัวประกอบต่างๆ ดังต่อไปนี้

1) ชนิดของแรงที่กระทำต่อชิ้นส่วน ซึ่งจัดอยู่ในประเภทอยู่นิ่งหรือเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาขณะใช้งาน

2) ลักษณะการใช้งานที่จะก่อให้เกิดอันตรายถึงขั้นสูญเสียชีวิตหรือไม่

3) น้ำหนักของชิ้นงานมีความจำเป็นที่จะต้องเบาที่สุดหรือไม่

4) เนื้อวัสดุที่นำมาออกแบบชิ้นส่วนไม่สม่ำเสมอกัน ทำให้สามารถรับแรงได้ต่างกัน

ค่าความปลอดภัยที่จะยึดถือเป็นแนวทั่วๆ ไปในการออกแบบได้แสดงไว้ดังตาราง 1

ตาราง 1 ค่าความปลอดภัยในการออกแบบ

ชนิดของแข็ง	เหล็กกล้าและโลหะเหนียว		เหล็กหล่อและโลหะเปราะ	ไม้
	คิดจาก S_u	คิดจาก S_y	คิดจาก S_u	คิดจาก S_u
แรงอยู่นิ่ง	3 – 4	1.5 – 2	5 – 6	7
แรงซ้ำทิศทางเดียวหรือแรงกระแทกเล็กน้อย	6	3	7 – 8	10
แรงซ้ำสองทิศทางหรือแรงกระแทกเล็กน้อย	8	4	10 – 12	15
แรงกระแทกอย่างหนัก	10 – 15	5 – 7	15 – 20	20

2.1.4 มาตรฐานและรหัส (Standard and Code)

2.1.4.1 มาตรฐาน หมายถึง การจัดหรือกำหนดรายละเอียดของชิ้นส่วนวัสดุ หรือขบวนการต่างๆ ที่ให้เป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน ประสิทธิภาพและรายละเอียดทางด้านคุณภาพของ

ชิ้นส่วน ความมุ่งหมายที่สำคัญอันหนึ่งของมาตรฐานก็คือ การกำหนดรายละเอียดต่างๆ ของชิ้นส่วนเครื่องมือแต่ละอย่างขึ้นเพื่อประโยชน์ในการจัดของ เตรียม สำรอง ทำให้เกิดความสะดวกรวดเร็วในการทำงาน

2.1.4.1 รหัส หมายถึง การจัดรายละเอียดสำหรับการวิเคราะห์ การออกแบบ การผลิต และการสร้างสิ่งต่างๆ จุดมุ่งหมายของรหัสก็เพื่อให้ได้มาซึ่งระดับของความปลอดภัย ประสิทธิภาพ สมรรถนะหรือคุณภาพของสิ่งนั้นๆ

รายละเอียดของมาตรฐาน รหัสความปลอดภัยหรือรหัสการออกแบบ จัดตั้งขึ้นโดยองค์การหรือสมาคมต่างๆ และการตั้งชื่อขององค์การ สมาคมนั้นตั้งขึ้นตามลักษณะ ประเภท ชนิดของมาตรฐานและรหัสนั้นๆ องค์การและสมาคมต่างๆ ที่ควรทราบในทางวิศวกรรมเครื่องซึ่งเกี่ยวข้องกับการออกแบบ มีดังนี้

1) Aluminum Association (AA)
2) American Gear Manufacturer Association (AGMA)
3) American Institute of Steel Construction (AISO)
4) American Iron and Steel Institute (AISI)
5) American National Standard Institute (ANSI)
6) American Society of Mechanical Engineering (ASME)
7) American Society of Metal (ASM)
8) American Society of Testing and Materials (ASTM)
9) American Welding Society (AWS)
10) British Standard Institute (BSI)
11) International Standards Organization (ISO)
12) Society of Automotive Engineers (SAE)
13) Japanese Industrial Standards (JIS)
14) Deutoche Industries Norm (DIN)

2.1.5 หน่วย SI (SI UNITS)

จากกฎข้อที่สองของนิวตัน ซึ่งแสดงออกมาในรูปของสมการได้ คือ

$$F = MLT^{-2} \qquad \text{.....1.7}$$

เมื่อ F เป็นแรง
M เป็นมวล
L เป็นระยะทางหรือความยาว
T เป็นเวลา

สมการ 1.7 เป็นสมาการที่แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยของแรง มวลความยาว และเวลา การเลือกหน่วยสามหน่วยจะเลือกอย่างไรก็ได้ แต่หน่วยที่สี่จะขึ้นอยู่กับหน่วยสาม

หน่วย หน่วยสามหน่วยที่เลือกจะเรียกว่าหน่วยมูลฐาน (Dase Units) ส่วนหน่วยที่สี่จะเรียกว่าหน่วยอนุพันธ์ (Derived Unit)

ถ้าเลือกหน่วยแรง ความยาว และเวลาเป็นหน่วยมูลฐาน มวลก็จะเป็นหน่วยอนุพันธ์ ระบบของหน่วยที่ได้จากการเลือกเช่นนี้ เรียกว่า Gravitational System ถ้าเลือกหน่วยมวลความยาว และเวลาเป็นหน่วยมูลฐาน แรงก็จะเป็นหน่วยอนุพันธ์ ระบบของหน่วยที่ได้จากการเลือกเช่นนี้ เรียกว่า Absolute System of Units

หน่วย SI (SI Units) ซึ่งเป็นหน่วยที่นิยมอย่างกว้างขวางในปัจจุบันนี้ เป็นหน่วย Absolute System หน่วยมูลฐาน คือ ความยาวเป็นเมตร (m) มวล เป็นกิโลกรัม (kg) เวลาเป็นวินาที (S) หน่วยของแรงก็เป็นหน่วยอนุพันธ์ ตามกฎข้อที่สองของนิวตัน และใช้เรียกว่า Newton เขียนแทนด้วย N ซึ่งได้จากสมการ ดังนี้

$$F = \frac{ML}{T^2} = \frac{(kilogram)\ (meter)}{(second)^1} = kg.\ m/s^2 = N \quad \text{.....1.8}$$

น้ำหนัก (Weight) ของวัตถุคือ แรงที่ถูกกระทำด้วยความดึงดูดของโลก (Gravity) กำหนดให้เป็น W และอัตราเร่งที่เกิดจากความดึงดูดของโลก ให้เป็น g เราจะได้สมการ คือ

$$W = mg \quad \text{..... 1.9}$$

ในหน่วย SI ค่ามาตรฐานของ Gravity (g) คือ 9.806 หรือเราใช้ค่า $g = 9.81\ m/s^2$ ดังนั้น น้ำหนักของมวล 1 กิโลกรัมจะมีค่าเป็น

$$W = (1\ kg)\ (9.81\ m/s^2) = 9.81\ N$$

หน่วยมูลฐานของหน่วย SI ประกอบด้วย 6 หน่วยดังในตาราง

ตาราง 2 หน่วยมูลฐาน SI Units

ปริมาณการวัด	ชื่อหน่วย	สัญลักษณ์
ความยาว (Length)	เมตร (Meter)	M
มวลสาร (Mass)	กิโลกรัม (Kilogram)	Kg
เวลา (Time)	วินาที (Second)	S
กระแสไฟฟ้า (Electric Current)	แอมแปร์ (Ampere)	A
อุณหภูมิทางเทอร์โมไดนามิคส์	เคลิวิน (Kelvin)	K
ความเข้มข้นแห่งการส่องสว่าง	แคนเดลา (Candela)	Cd

ตาราง 3 เป็นระบบหน่วย SI และสัญลักษณ์ที่ใช้กันมากในงานออกแบบวิศวกรรม

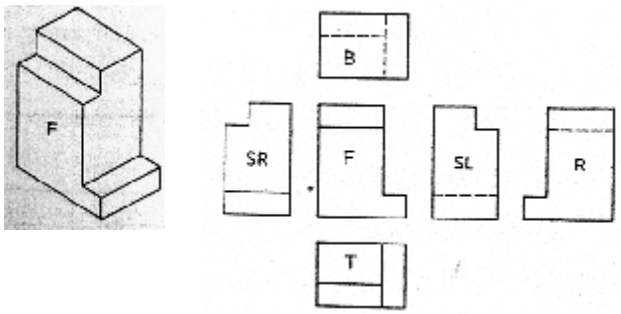
ปริมาณการวัด	ชื่อหน่วย	สัญลักษณ์	นิยาม
ความเร่ง	เมตรต่อวินาทีกำลังสอง	-	$m.s^{-2}$
ความเร่งเชิงมุม	เรเดียนต่อวินาทีกำลังสอง	-	$rad.s^{-2}$
ความเร็วเชิงมุม	เรเดียนต่อวินาที	-	$rad.s^{-1}$
พื้นที่	ตารางเมตร	-	m^2
ความหนาแน่น	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	-	$kg.m^{-3}$
พลังงาน	จูล	J	N.m.
แรง	นิวตัน	N	$kg.m.s^{-2}$
โมเมนต์	นิวตัน – เมตร	-	N.m
ความถี่	เฮร์ท	H_5	s^{-1}
กำลังงาน	วัตต์	W	$J.s^{-1}$
ความดัน	ปลาสคลา	Pa	$N.m^{-2}$
ปริมาณความร้อน	จูล	J	N.m
ความเร็ว	รอยต่อวินาที	-	s^{-1}
ความเค้น	ปาสคาล	Pa	$N.m^{-2}$
โมเมนต์บิด	นิวตัน – เมตร	-	N.m
ความเร็ว	เมตรต่อวินาที	-	$m.s^{-1}$
ปริมาตร	ลูกบาศก์เมตร	-	m^3
งาน	จูล	J	N.m

2.2 การเขียนแบบวิศวกรรม

ตาม DIN จะมีการนำวิธีการฉายภาพ 3 วิธี มาใช้ในงานเขียนแบบวิศวกรรมโดยมีการฉายภาพวิธีที่ 1 การฉายภาพวิธีที่ 3 และในกรณีที่มีเนื้อหาที่เขียนแบบไม่พอ จะใช้วิธีการภาพฉายตามวิธีศรชี้

การฉายภาพวิธีที่ 1 (First Angle Projection) DIN 6, ตอน 1 (12.86)

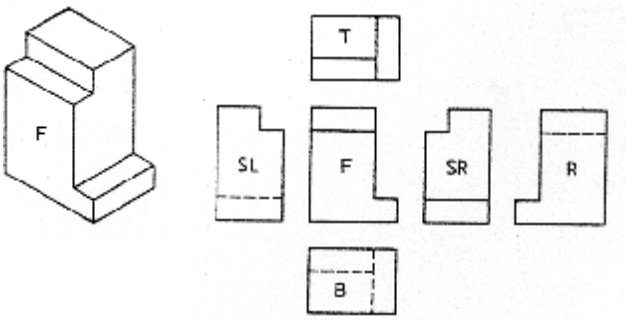
2 : 1



เมื่อใช้ภาพด้านหน้า (F) เป็นภาพอ้างอิง
ภาพด้านบน (T) จะอยู่ข้างล่าง
ภาพด้านข้างจากซ้าย (SL) จะอยู่ด้านขวา
ภาพด้านล่าง(B) จะอยู่ข้างบน
ภาพด้านหลัง (R) จะให้อยู่ซ้ายหรือขวาก็ได้
ภาพด้านข้างจากขวา (SR) จะอยู่ด้านซ้าย
ISO – E (E = Europe)

การฉายภาพวิธีที่ 3 (Third Angle Projection)

2 : 1

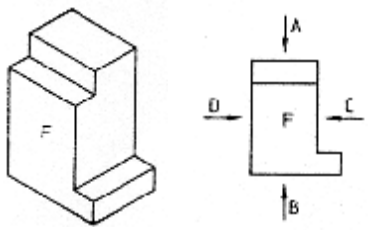


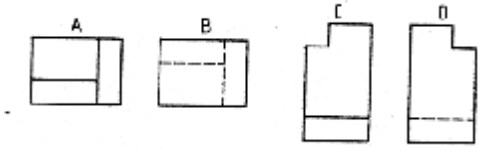
เมื่อใช้ภาพด้านหน้า (F) เป็นภาพอ้างอิง
ภาพด้านบน (T) จะอยู่ข้างบน
ภาพด้านข้างจากซ้าย (SL) จะอยู่ด้านซ้าย
ภาพด้านล่าง(B) จะอยู่ข้างล่าง
ภาพด้านหลัง (R) จะให้อยู่ซ้ายหรือขวาก็ได้
ภาพด้านข้างจากขวา (SR) จะอยู่ด้านขวา

ISO – A (A = America)

การฉายตามวิธีศรชี้

2 : 1





เมื่อให้ภาพด้านหน้า (F) เป็นภาพอ้างอิง ทิศทางการพิจารณามองภาพต่าง ๆจะใช้หัวลูกศรและมีอักษรตัวใหญ่ ส่วนภาพฉายที่เขียนก็ต้องมีอักษรกำกับเช่นกัน

ภาพประกอบ 9 การวางภาพฉายในงานเขียนแบบวิศวกรรม

ที่มา: มานพ ตันตระบัณฑิตย์. (2548). ***เขียนแบบวิศวกรรม (ระบบ ISO และเมตริก)***. หน้า 21

22.2.1 ภาพฉายสามมิติ

ภาพฉายสามมิติ (Pictorial Projection) ภาพที่แสดงให้เห็นส่วนกว้าง ส่วนยาว และส่วนสูงของชิ้นงาน โดยใช้ภาพเพียงภาพเดียว ทำให้ผู้อ่านแบบสามารถมองภาพได้ชัดเจน และง่ายต่อการเข้าใจ

ภาพฉายสามมิติแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ ดังนี้

1) ภาพฉายแอกโซโนเมตริก (Axonometric Projection)

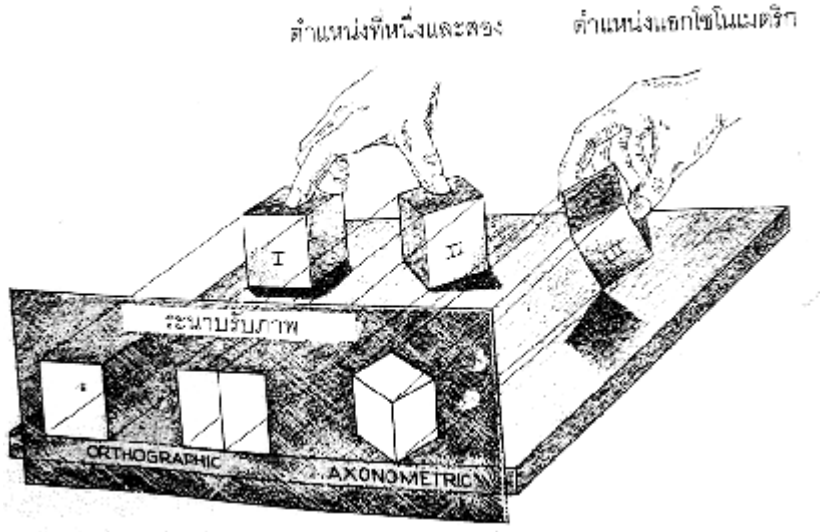
2) ภาพฉายออบลิค (Oblique Projection)

3) ภาพฉายเพอร์สเปกทีฟ (Perspective Projection)

ในเนื้อหาของภาพฉายสามมิติที่จะกล่าวต่อไปนี้ จะกล่าวถึงภาพฉายแอกโซโนเมตริก และภาพฉายออบลิค เท่านั้น เพราะเกี่ยวข้องกับการเขียนแบบเครื่องกล ส่วนภาพฉายเพอร์สเปกทีฟจะไม่กล่าวถึง เพราะส่วนใหญ่จะใช้งานทางด้านสถาปัตยกรรม

1) ภาพฉายแอกโซโนเมตริก

ภาพฉายออร์โทกราฟิกเกิดจากการมองที่เส้นสายตาตั้งฉากกับระนาบรับภาพ แต่ภาพฉายแอกโซโนเมตริกจะมองเห็นเป็นภาพสามมิติเนื่องจากวัตถุถูกจับเอียงดังแสดงในภาพประกอบ 10



ภาพประกอบ 10 ภาพฉายแอกโซโนเมตริก

ที่มา: ธีระยุทธ สุวรรณประทีป; และสันติ ลักษิตานนท์.(2538).***เขียนแบบวิศวกรรมเบื้องต้น.*** หน้า136

ภาพฉากแอกโซโนเมตริกที่นิยมกันมาก คือ ภาพฉายไอโซเมตริก เพราะว่าภาพฉายไอโซเมตริกเขียนภาพได้ง่ายกว่าแบบอื่นๆ เนื่องจากแกนหลักเอียงทำมุมเท่าๆ กันกับระนาบ

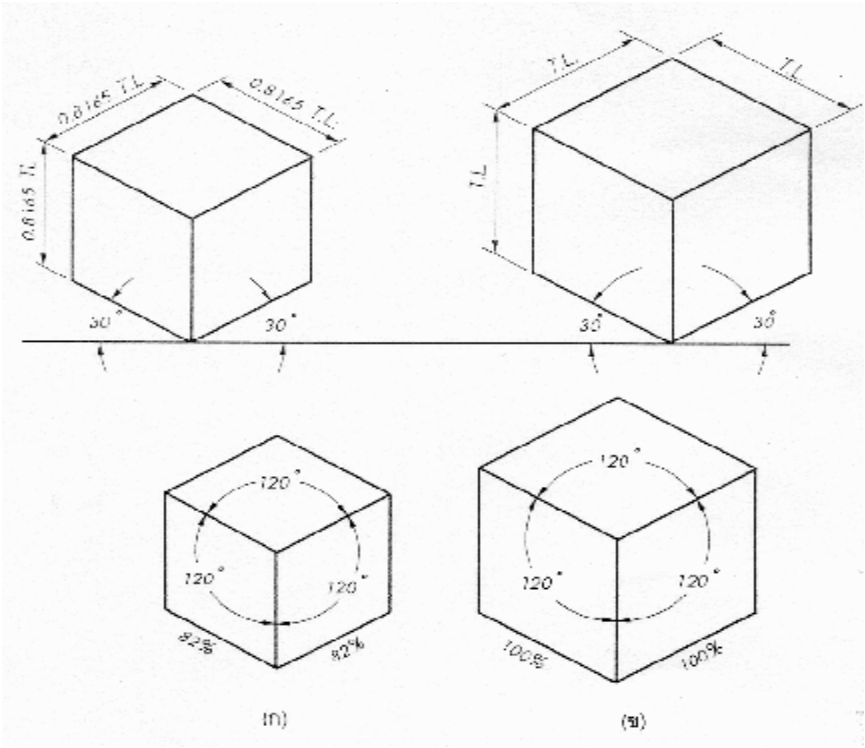
รับภาพ และระยะต่างๆ ในแนวแกนมีขนาดเท่ากับขนาดจริงของวัตถุภาพฉายไอโซเมตริก จึงหมายถึงภาพฉายที่มีระยะของด้านทั้งสามยาวเท่าๆกันและแกนทั้งสามทำมุมเท่ากัน คือ 120°

ขั้นตอนในการเขียนภาพฉายไอโซเมตริกมีขั้นตอน ดังนี้

1) เริ่มจากภาพฉายออร์โทกราฟิก ในภาพประกอบ 10

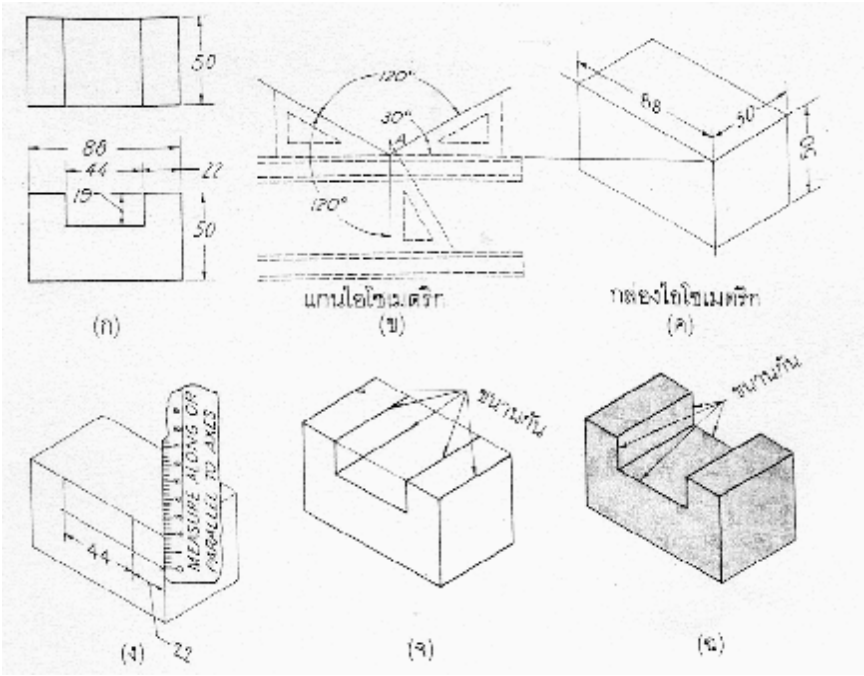
2) หมุนวัตถุให้ทำมุมกับฉากรูปภาพ 45°

หมุนภาพด้านข้างจนกระทั่งเส้นทแยงมุมของรูปสี่เหลี่ยมอยู่ในแนวตั้งฉากกับระนาบดิ่ง หรือเส้นทแยงมุมอยู่ในแนวระดับทำให้ได้มุมที่วัตถุทำกับระนาบดิ่งเป็นมุม 35°16′ภาพที่ปรากฏในภาพฉายด้านหน้าจะเป็นภาพฉายไอโซเมตริก ความยาวของด้านแต่ละด้านจะเป็น 0.8165 เท่าของความยาวจริงของภาพฉายออร์โทกราฟิก และแกน 2 แกนของภาพฉายไอโซเมตริกจะทำมุมกับแนวระดับ 30° เพื่อความสะดวกในการเขียนภาพไอโซนเมตริก โดยใช้ระยะจริงจากภาพฉายออร์โทกราฟิก จึงเขียนด้านละด้วยความยาวเท่ากับความยาวจริง ซึ่งเรียกว่าภาพวาดไอโซเมตริก (Isometric Drawing)



ภาพประกอบ 11 ภาพวาดไอโซเมตริกเทียบกับภาพฉายไอโซเมตริก

ที่มา: ธีระยุทธ สุวรรณประทีป;และสันติ ลักษิตานนท์.(2538).***เขียนแบบวิศวกรรมเบื้องต้น***.หน้า138



ภาพประกอบ 12 ขั้นตอนการเขียนภาพไอโซเมตริกจากภาพฉายออร์โทกราฟิก

ที่มา: ธีระยุทธ สุวรรณประทีป; และสันติ ลักษิตานนท์.(2538).***เขียนแบบวิศวกรรมเบื้องต้น.*** หน้า 139)

ดังนั้นในการเขียนภาพฉายแบบไอโซเมตริก ถ้าใช้มาตราส่วนไอโซเมตริกจะเรียกภาพนั้นว่า 4 ภาพฉายแบบไอโซเมตริก แต่ถ้าวาดโดยใช้มาตราส่วนเดิมหรือความยาวจริงจะเรียกภาพนั้นว่า ภาพวาดแบบไอโซเมตริก ซึ่งภาพที่ได้จะใหญ่ขึ้นประมาณ 22.5% ของภาพจริง โดยทั่วไปจะนิยมใช้ภาพวาดแบบไอโซเมตริกเพราะสะดวกในการเขียน และภาพที่ได้ก็ง่ายต่อความเข้าใจ

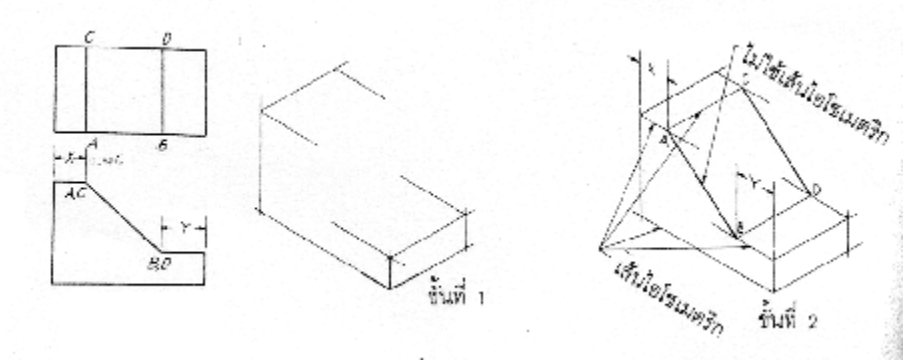
ขั้นตอนการเขียนภาพแบบไอโซเมตริก

เริ่มต้นจากภาพฉายออร์โทกราฟิกในภาพประกอบ 12 (ก)

1) ตั้งแกน 3 แกนผ่านจุด A ตามภาพประกอบ12 (ข) โดยให้แกนทั้งสามทำมุม 120° ซึ่งกันและกัน แกนหนึ่งอยู่ในแนวดิ่ง และอีกสองแกนกางไปทางซ้ายและขวาโดยเอียงทำมุม 30° กับแนวระดับ

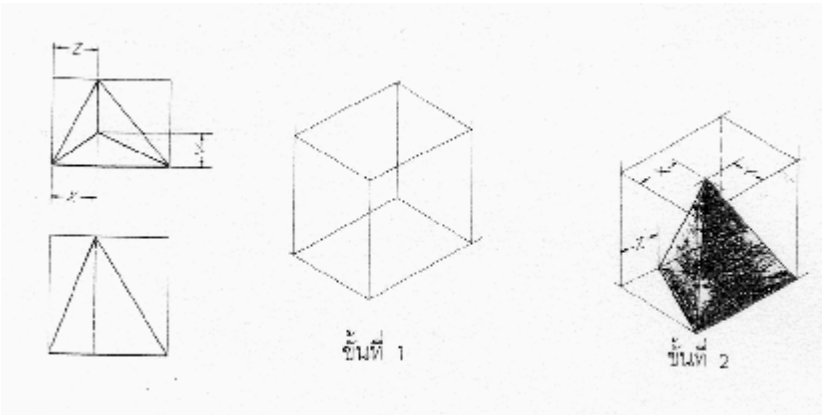
2) กำหนดขนาดลงตามแนวแกนด้วยความยาวเท่ากับความยาวที่กำหนดในภาพออร์โทกราฟิก ดังแสดงในภาพประกอบ 12 (ค) และ (ง)

3) เส้นที่เหลือก็ลากขนานกับแกนตามทิศทางที่ถูกต้อง ดังแสดงในภาพประกอบ12 (จ) และ (ฉ)



ภาพประกอบ 13 การเขียนเส้นที่ไม่ขนานกับแกนไอโซเมตริก

ที่มา: ธีระยุทธ สุวรรณประทีป; และสันติ ลักษิตานนท์.(2538).***เขียนแบบวิศวกรรมเบื้องต้น.*** หน้า 140

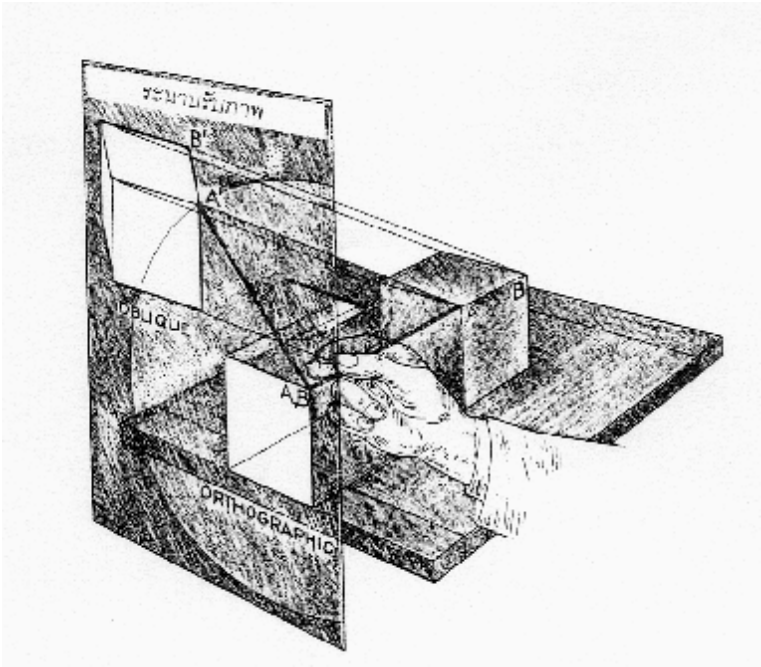


ภาพประกอบ 14 การเขียนเส้นที่ไม่ขนานกับแกนไอโซเมตริก

ที่มา: ธีระยุทธ สุวรรณประทีป; และสันติ ลักษิตานนท์.(2538).***เขียนแบบวิศวกรรมเบื้องต้น.*** หน้า 141

2) ภาพฉายออบลิค

ภาพฉายออบลิคเป็นแบบหนึ่งของภาพฉายสามมิติซึ่งแตกต่างจากภาพฉายไอโซเมตริก สำหรับภาพฉายออบลิคนั้นเป็นสายตาไม่ตั้งฉากกับระนาบรับภาพ วัตถุถูกจัดวางให้ระนาบด้านหน้าของวัตถุขนานกับระนาบรับภาพ ดังนั้นภาพฉายออบลิคจึงเห็นเป็นสามมิติและมีส่วนหน้าของภาพเป็นขนาดจริงเท่ากับส่วนหน้าของวัตถุ

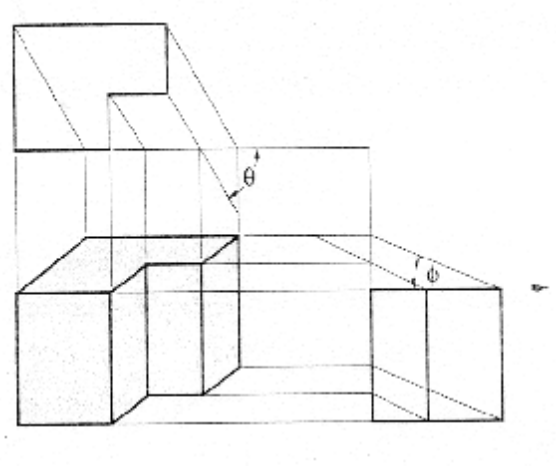


ภาพประกอบ 15 ภาพฉายออบลิค

ที่มา: ธีระยุทธ สุวรรณประทีป; และสันติ ลักษิตานนท์.(2538).***เขียนแบบวิศวกรรมเบื้องต้น.*** หน้า 148

2.1) การเขียนภาพฉายออบลิค

เมื่อพิจารณาเส้นสายตาในภาพฉายแบบออบลิค ซึ่งเอียงทำมุมกับฉากรับภาพในรูปของภาพฉายออร์โทกราฟิก ดังภาพประกอบ 15 จะเห็นว่าเส้นสายตาทำมุม θ กับฉากรับภาพในรูปด้านบน และทำมุม ϕ กับแนวระดับในรูปด้านข้าง เมื่อลากเส้นฉายจากวัตถุขนานกับเส้นสายตาดังกล่าวทั้ง 2 ฉากรับภาพจะได้ภาพฉายแบบออบลิค ซึ่งมีพื้นที่ผิวด้านหน้าซึ่งขนานกับฉากรับภาพเป็นขนาดจริงและมีขนาดตามความยาวเอียงสั้นกว่าความยาวจริงเมื่อมุม θ และ ϕ น้อยกว่า 45° และถ้ามุมใดมุมหนึ่งโตกว่า 45° ความยาวตามแกนเอียงจะยาวกว่าความยาวจริงซึ่งทำให้ภาพที่ได้ผิดความจริงไป



ภาพประกอบ 16 ภาพฉายแบบออบลิค

ที่มา: ธีระยุทธ สุวรรณประทีป; และสันติ ลักษิตานนท์.(2538).***เขียนแบบวิศวกรรมเบื้องต้น.*** หน้า 149)

2.2) การเขียนภาพวาดแบบออบลิค

จากหลักการของภาพฉายแบบออบลิค นำมาใช้ในภาพวาดแบบออบลิค (Oblique Drawing) มีหลักการเขียนคล้ายภาพวาดแบบไอโซเมตริก แต่มีด้านหน้าของภาพขนานกับฉากรับภาพซึ่งเป็นขนาดจริง และแกนเอียงจะทำมุมกับฉากรับภาพด้วยมุมใดๆ ก็ได้ ระหว่าง 0° - 90° โดยปกติจะใช้มุม 30° , 45° หรือ 60°

ภาพวาดแบบออบลิคแบ่งได้เป็น 3 แบบ คือ

1) ออบลิคแบบคาวาเลียร์ (Cavalier Oblique) มีระยะการวัดตามแกนเอียงเป็นความยาวจริง และเท่ากับขนาดความยาวตามภาพฉายออร์โทกราฟิก

2) ออบลิคแบบแคบิเนต (Cabinet Oblique) มีระยะการวัดตามแกนเอียงเป็นครึ่งหนึ่งของความยาวจริง ทำให้ภาพที่ได้ใกล้เคียงความเป็นจริง

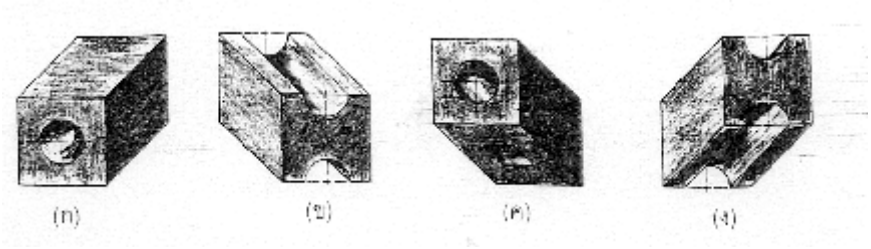
3) ออบลิคแบบทั่วไป (General Oblique) มีระยะการวัดตามแกนเอียงเป็นสัดส่วนใดก็ได้ระหว่าง ½ - 1 เท่าของความยาวจริง

จากการเปรียบเทียบภาพวาดของวัตถุแบบคาวาเลียร์และแบบแคบิเนต จะพบว่าวัตถุที่มีความยาวมาก การเขียนภาพแบบแคบิเนตจะให้ภาพที่ดีกว่า

2.3) ทิศทางของแกนเอียง

แกนเอียงของภาพวาดแบบออบลิคโดยทั่วไปนิยมใช้มุม 30° 45° หรือ 60° ดังนั้นแกนเอียงของภาพวาดแบบออบลิคจะทำมุมยกขึ้นไปทางซ้ายหรือทางขวา ดังภาพประกอบ 17 (ก) และ (ข) หรือถ้าเป็นแกนย้อนกลับ (Reversed Axis) แกนเอียงจะทำมุมลงไปทางซ้ายหรือ

ขวา ดังแสดงในภาพประกอบ17 (ค) และ (ง) การวางแกนเอียงในทิศทางต่าง ๆ จะทำให้สามารถแสดงรายละเอียดของผิดหน้าวัตถุที่มุมต่าง ๆ ได้ตามต้องการ



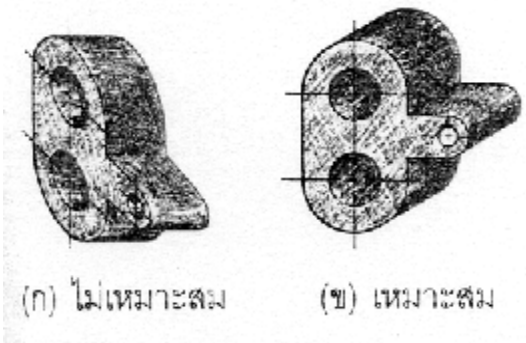
ภาพประกอบ 17 ทิศทางการวางตัวของแกนเอียง

ที่มา: ธีระยุทธ สุวรรณประทีป; และสันติ ลักษิตานนท์.(2538).***เขียนแบบวิศวกรรมเบื้องต้น.*** หน้า 151

2.4) หลักเกณฑ์ในการเขียนภาพวาดแบบออบลิค

การเขียนภาพแบบออบลิคที่ดีมีหลักเกณฑ์กว้าง ๆ ดังนี้

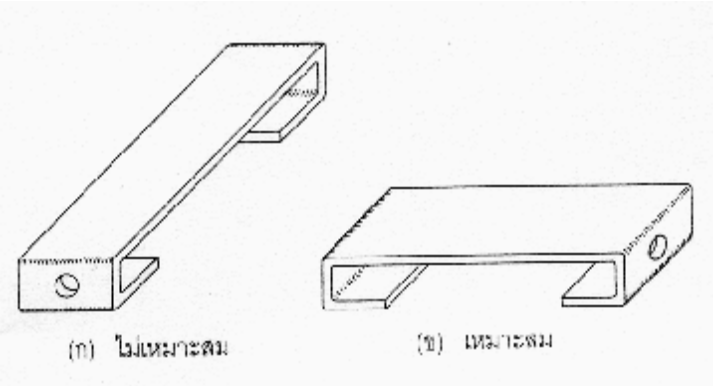
2.4.1) เลือกด้านของวัตถุที่ผิวหน้าเป็นผิวโค้งวงกลม หรือรูเจาะเป็นด้านซึ่งขนานกับฉากรับภาพ เพราะสามารถเขียนได้ด้วยขนาดจริงและรวดเร็วกว่าการวางด้านของวัตถุนั้นในแนวแกนเอียง เพราะจะต้องเขียนส่วนโค้งด้วยวิธีกำหนดจุดหรือเขียนรูปวงรี ดังแสดงในภาพประกอบ 18



ภาพประกอบ 18 การเลือกระนาบรับภาพที่มีโค้งของวงกลมในด้านหน้าของภาพวาด

ที่มา: ธีระยุทธ สุวรรณประทีป; และสันติ ลักษิตานนท์.(2538).***เขียนแบบวิศวกรรมเบื้องต้น.*** หน้า 151

2.4.2) การเลือกด้านของวัตถุที่มีความยาวมากเป็นด้านซึ่งขนานกับฉากรับภาพ เพราะจะให้ภาพที่ไม่ผิดความจริง ดังแสดงในภาพประกอบ 19



ภาพประกอบ 19 เลือกด้านวัตถุที่มีความยาวไว้ในด้านหน้าของภาพวาด

ที่มา: ธีระยุทธ สุวรรณประทีป; และสันติ ลักษิตานนท์.(2538).***เขียนแบบวิศวกรรมเบื้องต้น.*** หน้า 151)

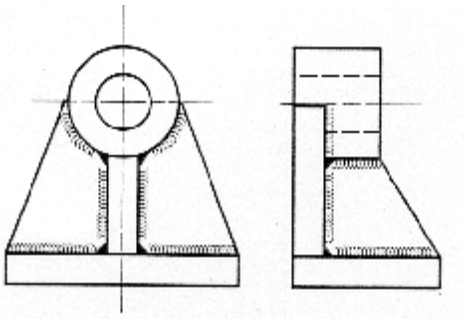
2.4.3) การเลือกแกนหลักให้เหมาะสมต่อการแสดงรายละเอียดของวัตถุ

การเขียนภาพออบลิคมีขั้นตอน เป็นภาพฉายออร์โทกราฟิกพร้อมแสดงขนาดต่าง ๆ แสดงการตั้งแกนทั้งสาม แกน A และ B ตั้งฉากกัน แกน C อาจเอียงทำมุม 30° 45° หรือ 60° กับแนวระดับ ในที่นี้เลือกใช้ 30° แสดงการเขียนภาพด้านหน้าของวัตถุลงบนระนาบของแกน A – B โดยใช้ขนาดเท่ากับภาพด้านหน้าของภาพฉายออร์โทกราฟิกที่กำหนดมาให้ แสดงการเขียนผิวหน้าด้านข้างซึ่งใช้ขนาดเท่ากับขนาดที่กำหนดในภาพฉายออร์โทกราฟิก แสดงการเขียนส่วนโค้งของวงกลมบนผิวหน้าด้านหลัง ซึ่งมีจุดศูนย์กลางอยู่ลึกเข้าไปตามแนวแกนที่ขนานกับแกน C แสดงภาพออบลิคที่ลงเส้นหนักซึ่งเสร็จสมบูรณ์แล้ว

2.2.2 ชิ้นงานเชื่อม

2.2.2.1 ชิ้นงานเชื่อม (ดูภาพประกอบ 20) มีลักษณะรายละเอียดและการระบุในการเขียนแบบ ดังนี้

1) แต่ละชิ้นประกอบและยึดติดกันด้วยรอยเชื่อม
2) แสดงแนวเชื่อมทั้งหมด
3) ไม่มีฟิลเล็ตหรือมุมมนยกเว้นความจำเป็นในการออกแบบ
4) ปรับแต่งบางผิวหลังจากการเชื่อม
5) กำหนดขนาดมิติสำหรับโรงงานเชื่อม และช่างปรับแต่งผิว



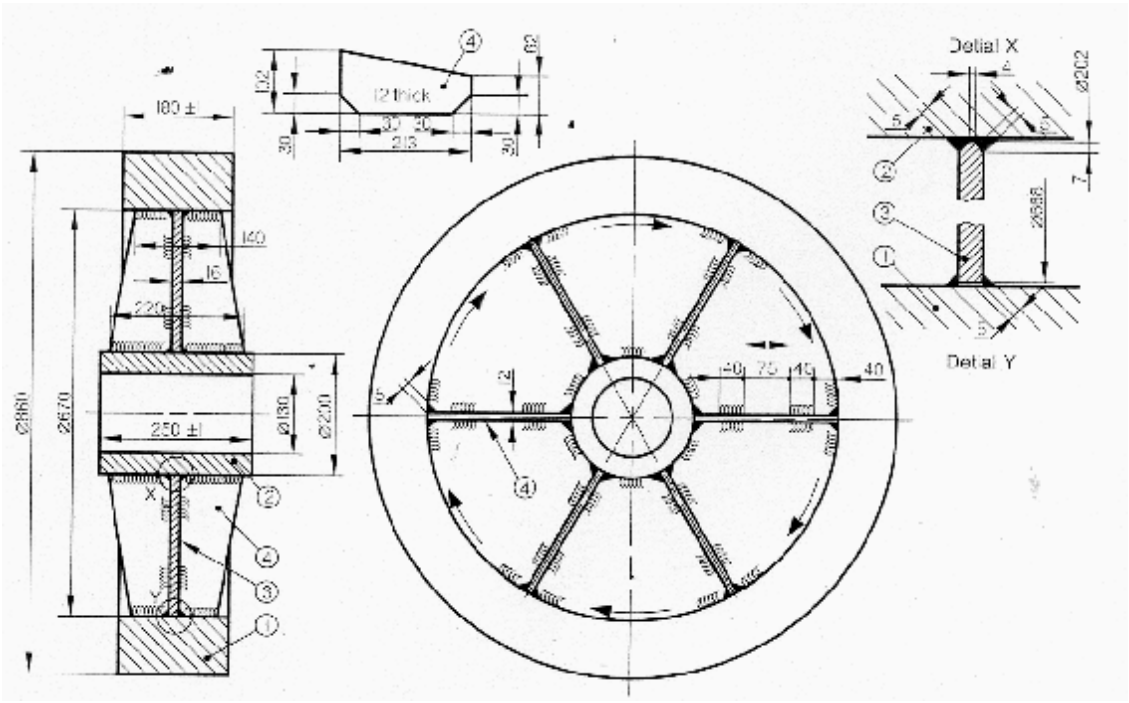
WELDED PART

ภาพประกอบ 20 ชิ้นงานเชื่อม

ที่มา: จำรูญ ตันติพิศาลกุล. (2550). ***เขียนแบบวิศวกรรม 2 (เขียนแบบเครื่องกล)***. หน้า 18

2.2.2.2การเขียนแบบชิ้นงานเชื่อม

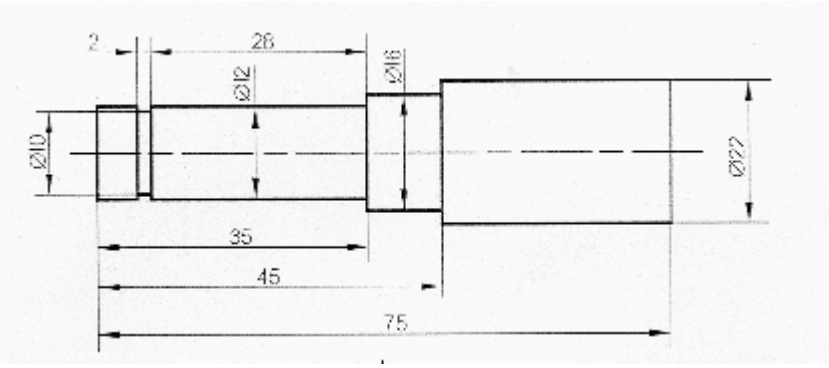
เขียนแบบรายละเอียดชุดเดียว ดังภาพประกอบ 21 ขนาดมิติของชิ้นงานทุกชิ้นที่ประกอบเป็นชิ้นงานเชื่อม ต้องกำหนดให้สามารถตัดได้ง่ายจากแผ่นโลหะมาตรฐาน



ภาพประกอบ 21 การเขียนแบบชิ้นงานเชื่อม

ที่มา: จำรูญ ตันติพิศาลกุล. (2550). ***เขียนแบบวิศวกรรม 2 (เขียนแบบเครื่องกล)***. หน้า 18

2.2.3 การกำหนดขนาดมิติตามขั้นตอนการทำงาน



ภาพประกอบ 22 การกำหนดขนาดมิติของชิ้นงาน

ที่มา: จำรูญ ตันติพิศาลกุล. (2550). ***เขียนแบบวิศวกรรม 2 (เขียนแบบเครื่องกล)***. หน้า 19

ในการกำหนดขนาดมิติของชิ้นงานจะเกี่ยวข้องกับความต้องการของกระบวนการผลิตและการประกอบ ตัวอย่างเช่น ชิ้นงานดังแสดงในภาพประกอบ 23 เป็นงานชิ้นเกี่ยวที่ผลิตจากโรงกลึง กำหนดขนาดมิติที่จำเป็นตามขั้นตอนการปรับแต่ง และมีลำดับการทำงาน ดังต่อไปนี้

1) ชิ้นงานของท่อนเหล็กกล้าที่มีภาคตัดขวางกลม ขนาด ∅22 mm. ถูกจับด้วยหัวจับแบบสามจับ ซึ่งมีระยะห่างจากปลายของท่องเหล็กประมาณ 55 mm.

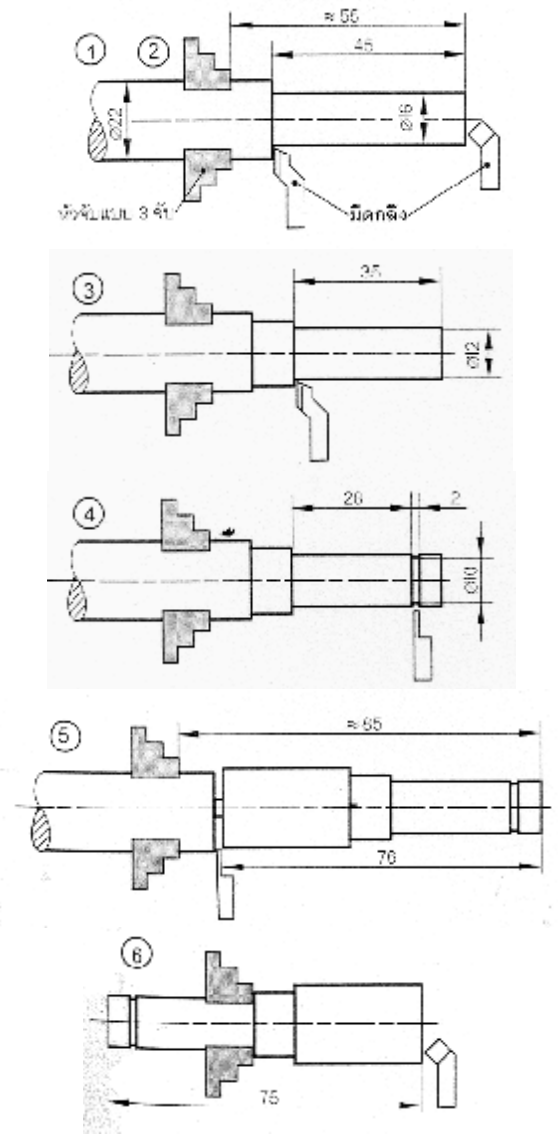
2) ปาดหน้าและกลึงปอกสลักขนาด ∅16 mm. ยาว 45 mm.

3) กลึงปอกสลักขนาด ∅12 mm. ยาว 35 mm.

4) ในช่วงระยะ 28 mm. จากบ่าด้านเล็ก กลึงร่องที่มีความกว้าง 2 mm. จนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm.

5) จับชิ้นงานด้วยวิธีเดิม โดยมีระยะห่างจากหัวจับประมาณ 85 mm. และตัดชิ้นงานให้มีความยาว 75 mm. (ขนาดมิติที่ต้องการ 75 mm.)

6) จับชิ้นงานใหม่ และปาดหน้าให้ได้ความยาว 75 mm.



ภาพประกอบ 23 การกำหนดขนาดมิติตามขั้นตอนการทำงาน

ที่มา: จำรูญ ตันติพิศาลกุล. (2550). ***เขียนแบบวิศวกรรม 2 (เขียนแบบเครื่องกล)***. หน้า 19

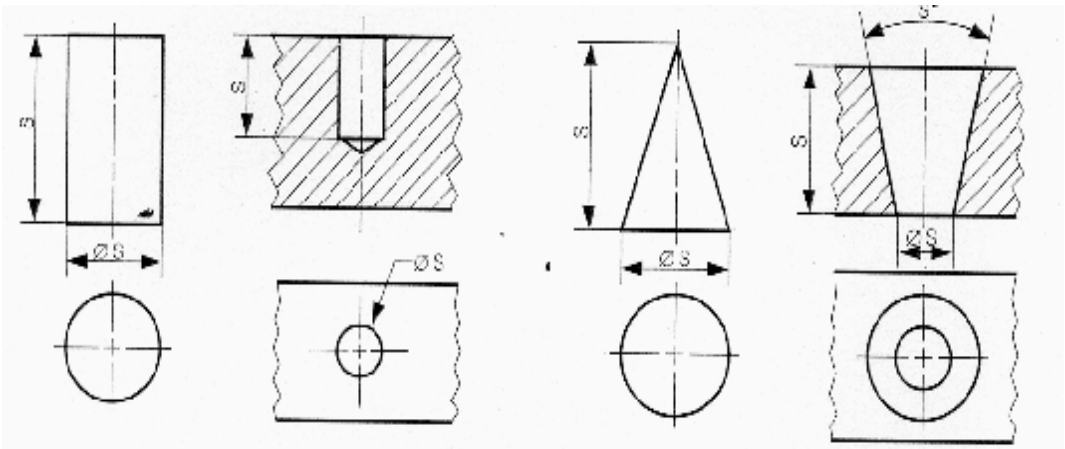
2.2.4 การบอกขนาดมิติ

ในงานเขียนแบบรายละเอียดของชิ้นงานแต่ละชิ้นนั้น ผู้เขียนแบบจะต้องอธิบายถึงขนาดและรูปร่างของชิ้นงานที่ต้องการผลิตให้ผู้อ่านแบบเข้าใจได้อย่างชัดเจนและสมบูรณ์โดยการบอกขนาดของมิติและโน้ตหรือหมายเหตุกำกับ ที่ระบุถึงกระบวนการทำและวัสดุของชิ้นงานในแบบนั้นๆ ด้วย ดังนั้นในการบอกขนาดของมิติผู้เขียนแบบจะต้องคำนึงถึงการบอกขนาดของรูปร่าง

(Size Dimension) และการบอกขนาดของตำแหน่ง (Position Pimension) เพื่อให้สามารถผลิตชิ้นงานได้ถูกต้องสมบูรณ์และใช้งานได้ดีตามจุดประสงค์ที่ต้องการ

2.2.4.1 การบอกขนาดของรูปร่าง

การบอกขนาดของรูปร่าง เป็นการบอกเพื่อให้รู้ถึงขนาด ความกว้าง ความสูง และความหนา ของส่วนต่างๆ ในชิ้นงานนั้นๆ ซึ่งแยกออกเป็นรูปทรงอย่างง่าย ดังภาพประกอบ 24 เป็นการบอกขนาดรูปทรงเรขาคณิตทั่วๆ ไป

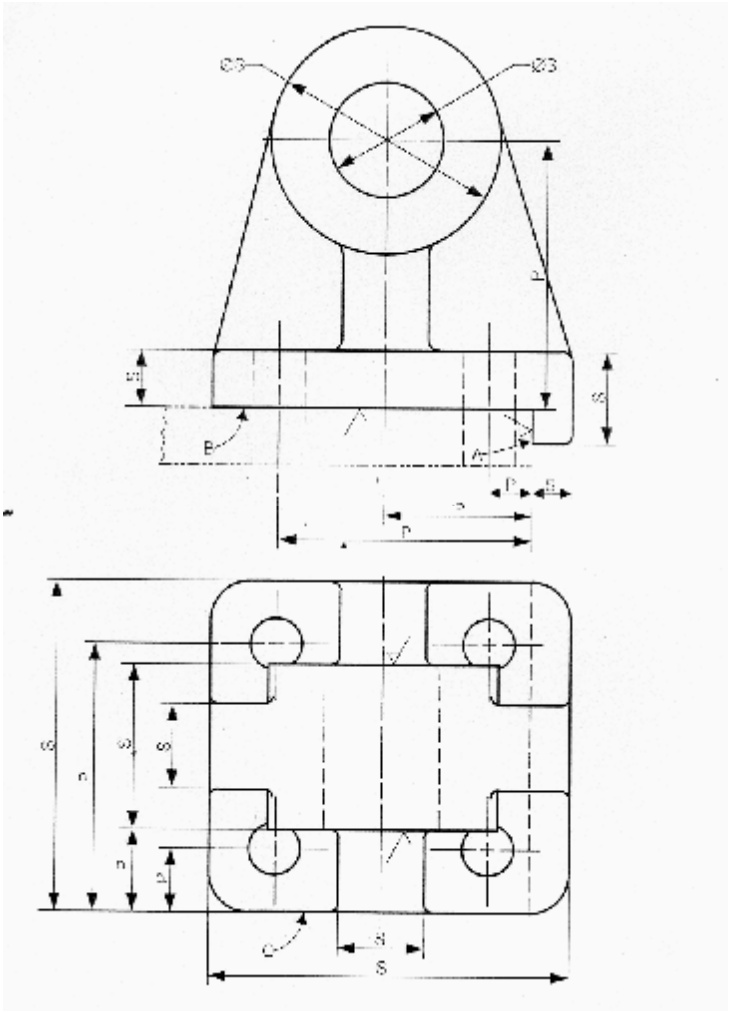


ภาพประกอบ 24 การบอกขนาด แทนด้วยอักษร S

ที่มา: จำรูญ ตันติพิศาลกุล. (2550). ***เขียนแบบวิศวกรรม 2 (เขียนแบบเครื่องกล)***. หน้า 21

2.2.4.2 ขนาดของรูปร่างและตำแหน่ง

พิจารณาแบร็กเก็ต (Bracket) อย่างง่าย ดังแสดงในภาพประกอบ 25 ซึ่งใช้สำหรับรองรับเพลาและวางบนผิวของชิ้นงานที่อยู่ในแนวระดับ โดยมีขอบ A เป็นแนวสำหรับยันกับขอบของฐานรองรับ ก่อนจะบอกขนาดของตำแหน่ง ควรเลือกผิวของชิ้นงานซึ่งสามารถใช้อ้างอิงได้ ผิวแรก ได้แก่ ผิว A และผิวที่สองได้แก่ผิว B ซึ่งเป็นผิวของชิ้นงานที่ถูกปรับแต่ง สำหรับผิวที่สามอาจเลือกผิว C ซึ่งเป็นผิวของชิ้นงานที่อยู่ในสภาพเดิม เช่น ผิวของชิ้นงานหล่อ เป็นต้น



ภาพประกอบ 25 ขนาดของรูปร่างและตำแหน่ง

ที่มา: จำรูญ ตันติพิศาลกุล. (2550). ***เขียนแบบวิศวกรรม 2 (เขียนแบบเครื่องกล)***. หน้า 23

2.3 วัสดุและคุณสมบัติของวัสดุ

ในที่นี้ จะกล่าวถึงชนิดของวัสดุที่จะใช้ในการออกแบบและคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ของวัสดุเหล่านั้น เพื่อให้ผู้ออกแบบสามารถตัดสินใจเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมกับสิ่งที่ออกแบบ ทั้งด้านความแข็งแรง น้ำหนัก ราคา และความคงทน ต่อการใช้งานในสภาวะต่าง ๆ

วัสดุที่ใช้ในการออกแบบทำเครื่องมืออุปกรณ์ ชิ้นส่วนต่าง ๆ มีมากมายหลายชนิดขึ้นอยู่กับลักษณะของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่จะทำเป็นการยากที่จะกำหนดถึงชนิดของวัสดุอย่างใดอย่างหนึ่งให้แน่นอนลงไปได้ ผู้ที่ทำงานเกี่ยวข้องในการออกแบบ การกำหนดวัสดุในการออกแบบควรจะต้องมีความเข้าใจพื้นฐานด้านต่าง ๆ ของวัสดุชนิดต่าง ๆ ตั้งแต่คุณสมบัติ ชนิดและมาตรฐานต่าง ๆ ขนาด

มาตรฐานที่ผลิตออกจำหน่าย ตลอดจนกรรมวิธีทางความร้อนที่จะใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุตามที่ต้องการของเครื่องมือ อุปกรณ์หรือชิ้นส่วนที่ได้ออกแบบขึ้น

2.3.1 คุณสมบัติทางกลของวัสดุ (Mechanical Properties of Materials)

คุณสมบัติทางกล หมายถึง คุณสมบัติของวัสดุในการตอบสนองต่อแรงทางกล (Mechanical Force) ที่มากระทำไม่ว่าจะเป็นลักษณะใดก็ตาม

คุณสมบัติทางกล ของวัสดุเป็นข้อมูลที่สำคัญที่สามารถช่วยให้เราตัดสินใจเลือกใช้ชนิดของวัสดุตามความต้องการในการออกแบบได้ถูกต้อง คุณสมบัติทางกลของวัสดุจะขอกล่าวเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ ดังนี้

2.3.1.1 ความแข็งแรง (strength) เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำต่อวัสดุ ก็จะเกิดแรงต้านภายในวัสดุขึ้น เพื่อต้านแรงที่มากระทำนั้น ถ้าแรงที่มากระทำมีค่าเกินค่าแรงภายในวัสดุที่จะต้านทานได้ วัสดุนั้นจะเสียรูป ขาด หรือแตกหักไป ความสามารถในการต้านทานแรงของวัสดุนี้คือความแข็งแรง ที่เรียกว่า Strength of Materials

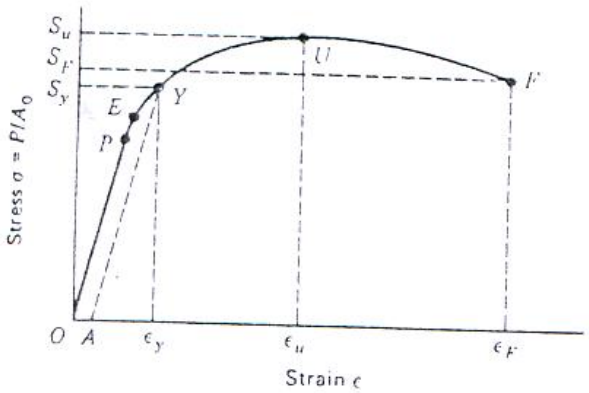
การทดสอบแรงดึงถือเป็นมาตรฐานในการทดสอบเพื่อกำหนดคุณลักษณะต่างๆ และความแข็งแรงของวัสดุที่จะใช้ในการออกแบบแสดงผลของการทดสอบการดึงชิ้นทดสอบอย่างช้าๆ ให้เห็นในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดึง (P) กับส่วนที่ยืดออก (δ) โดยแรงดึงแสดงแทนด้วย Stress = P/A_0 และ ส่วนที่ยืดออกแทนด้วย Strain $\varepsilon = \frac{1_1 - 1_1}{1_0} = \frac{d}{1_0}$

เมื่อ 1_0 = ความยาวเกจของชิ้นทดสอบ

1_i = ความยาวของชิ้นทดสอบเมื่ออยู่ภายใต้แรงดึง P_i

A_0 = ขนาด พ.ท. หน้าตัดจริงของชิ้นทดสอบ

A_i = ขนาด พ.ท. หน้าตัดที่เล็กที่สุดเมื่ออยู่ภายใต้แรงดึง P_i



ภาพประกอบ 26 กราฟ Stress – Strain ที่ได้จากการทดสอบแรงถึงขั้นทดสอบที่วัสดุเป็นเหล็กเหนียว (Ductile Material)

ที่มา: อนันต์ วงศ์กระจ่าง. (2533) ***ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล.*** หน้า 56

จุด P เรียกว่า Prooirtional Limit OP เป็นช่วงที่ Stress α Strain

จุด E เรียกว่า Elastic Limit เป็นขีดจำกัดความยืดหยุ่นของวัสดุ เมื่อเอาแรงออกขั้นทดสอบจะยาวเท่าเดิม ช่วง PE กราฟจะโค้งเล็กน้อย

จุด Y ระหว่างการทดสอบที่จุด strain จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วโดยที่ไม่สัมพันธ์กับการเพิ่มของ Stress เรียกว่าจุด Yield Point วัสดุไม่มีจุดนี้ทุกชนิด เช่น เหล็กหล่อ หรือวัสดุประเภทเปราะที่จุดที่จะถูกกำหนดเป็นค่าความแข็งแรงของวัสดุค่าหนึ่ง Yield Strength S_y สำหรับใช้ในการออกแบบ ส่วนวัสดุประเภทเปราะอาจหาค่านี้ได้โดยวิธี Offset Method ค่าที่ได้เรียกว่า Proof Stress โดยปกติค่า Offset จะใช้ 0.2 หรือ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ของความยาวของชิ้นทดสอบ (Original Gauge Length)

จุด U เรียกว่า Ultimate Point เป็นจุดที่ให้ค่าความเค้นสูงสุดในกราฟ เรียกว่า Ultimate Strength S_u หรือ S_{ut} หลังจากจุด U1 แล้วกราฟของวัสดุทั่วไปจะตกลง จนถึงจุด F เป็นจุดที่ชิ้นทดสอบขาด วัสดุเปราะเช่นเหล็กหล่อ หรือเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง หลังจุด U แล้วกราฟยังคงสูงขึ้นจนกระทั่งขาด

ความแข็งแรงของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบมีอยู่ 2 ชนิด คือ

1) ความต้านแรงดึงจุดคราก (Yield Strength S_y) การออกแบบจะนิยมเลือกใช้ค่านี้มาก เพราะเป็นค่าวัสดุยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เมื่อนำไปคำนวณหาขนาดในการออกแบบก็จะเกิดความเชื่อมั่นสูง

2) ความต้านแรงดึงสูงสุด (Ultimate Strength S_u) วัสดุส่วนมากจะกำหนดรายละเอียดของความแข็งแรงเป็นค่านี้แทนค่า S_y ซึ่งก็นำไปใช้ในการออกแบบได้แต่ต้องใช้ค่าความปลอดภัยที่สูงกว่า

ตารางแสดงคุณสมบัติของวัสดุแต่ละมาตรฐานจะแสดงค่าต่าง ๆ ไว้ไม่เหมือนกันบางมาตรฐานอาจจะแสดงเฉพาะค่า Ultimate Strength S_u ไว้ บางมาตรฐานอาจจะแสดงทั้ง Ultimate Strength และ Yield Strength S_y หรือบางมาตรฐานอาจจะแสดงค่า Shear Strength S_s ไว้ให้ด้วย

สำหรับหน่วยค่าความแข็งแรงจะเสนอไว้หลายหน่วยขึ้นอยู่กับมาตรฐาน ถ้าเป็นระบบหน่วยอังกฤษ จะให้ค่าเป็น $1b/_{in}2$ หรือ ksi ($kips/_{in}2$) ในการแปลงเป็นหน่วย SI ใช้วิธีแปลง ดังนี้

$$1 \text{ ksi} = 6.895 \ MN_{/m^2} \text{ หรือ } N_{/mm^2} \text{ หรือ MPa}$$

ถ้าเป็นระบบเมตริก หน่วยความแข็งแรงจะให้ค่าเป็น $kg_{/mm^2}$ แปลงให้เป็นหน่วย SI โดยใช้ 9.81 คูณจะได้หน่วยเป็น $N_{/mm^2}$

2.3.1.2 ความเค้น (Stress) เป็นผลมาจากแรงภายนอกมากระทำกับชิ้นส่วนโดยคิดกระจายสม่ำเสมอบนพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนที่รับแรง ค่าความเค้นนี้จะเป็นสิ่งชี้บอกว่า

ขณะนั้นชิ้นส่วนอยู่ภายใต้แรงเท่าใดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หน้าตัด เพื่อนไปเปรียบเทียบกับค่าความแข็งแรงของวัสดุที่ทำชิ้นส่วนนั้น ค่าความเค้นนี้จะเขียนแทนด้วย σ สำหรับความเค้นดึงและอัด และ τ สำหรับความเค้นเฉือน

ค่าความเค้นดึงและอัดจะหาได้จากสมการที่ 2.10 คือ $\sigma = \frac{F}{A}$ และค่าความเค้นเฉือนจะหาได้จากสมการที่ 2.11 คือ $\tau = \frac{F}{A}$ มีหน่วยเป็น MPa หรือ $MN_{/m^2}$

2.3.1.3 ความเครียด (Strain) คือ อัตราการยืดหรือหดตัวของวัสดุ เมื่ออยู่ภายใต้แรงกระทำต่อความยาวเดิม วัสดุที่มีความเหนียวสูงจะยืดตัวได้มากจะมีค่าความเครียดสูง วัสดุที่มีความแข็งแรงสูงและมีความแข็งจะมีความเครียดต่ำ

2.3.1.4 โมดูลลัสแห่งความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity or Young's Modulus) ในช่วงพิกัดระหว่างจุด 0 ถึง P ในกราฟที่เรียกว่า Proportional limit ความเค้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเครียด นั่นคือ

$$\sigma \alpha \in$$

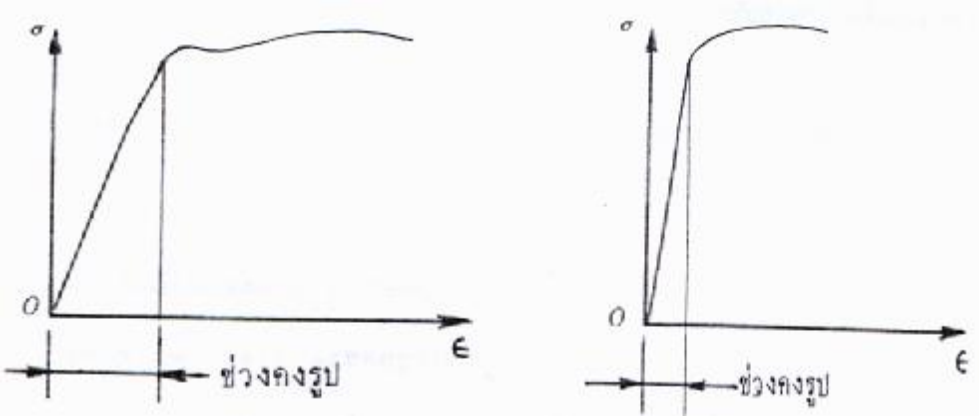
ดังนั้น $\alpha = E^{\in}$ E จะเป็นค่าคงที่

$$E = \frac{s}{\in}$$

ค่า E นี้ จะเรียกว่า Yong's Modulus หรือ Modulus of Elasticity หน่วยของค่านี้จะเหมือนกับหน่วยของความเค้น แต่มีค่าสูงกว่ามาก เช่น เหล็กกล้าคาร์บอนจะมีค่า E = 205 GPa

ค่าโมดูลลัสแห่งความยืดหยุ่นนี้ใช้เปรียบเทียบความแข็งตึง (Stiffness) ของวัสดุ วัสดุที่มีค่า E สูงจะสามารถรับแรงได้สูง วัสดุที่มีค่า E ต่ำจะรับแรงได้น้อย

2.3.1.5 ความเหนียวของวัสดุ (Ductility) ความเหนียวเป็นคุณสมบัติของวัสดุแต่ละชนิด เป็นค่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบความอยากง่ายในการแปรรูปโลหะ โลหะที่มีความเหนียวมากจะแปรรูปได้ง่าย และมีการเสียรูปได้มาก กราฟ Stress Strain ของวัสดุ ในช่วงคงรูปจะกว้างดูรูป (ก) โลหะที่มีความเหนียวน้อยจะแปรรูปได้ยาก และมีการเสียรูปเล็กน้อยก่อนแตกหัก กราฟ Stress Strain ของวัสดุในช่วงคงรูปจะแคบ ดังภาพประกอบที่ 27



ก) กราฟสำหรับวัสดุเหนียวมาก (ข) กราฟสำหรับวัสดุเหนียวน้อย

ภาพประกอบ 27 กราฟแสดงความเหนียวของวัสดุ

ที่มา: อนันต์ วงศ์กระจ่าง. (2533) ***ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล.*** หน้า 59

ความเหนียวของวัสดุวัดได้ด้วยเปอร์เซ็นต์การยืดตัว หรือใช้ค่าการลดลงของพื้นที่หน้าตัดเป็นค่าเปรียบเทียบความเหนียว

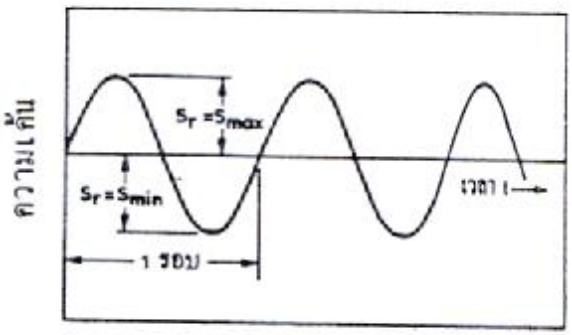
2.3.1.6 ความเหนียวนุ่ม (Toughness) หมายถึงคุณสมบัติในการสะสม พลังงานและเปลี่ยนรูปร่างได้ก่อนการแตกหัว วัสดุใดมีความเหนียวนุ่มมากจะสามารถรับแรงกระทำได้มากและเปลี่ยนรูปร่างได้มาก ก่อนที่จะแตกหักหรือขาด นั่นคือวัสดุประเภทนี้ทนทานไม่แตกหักขาดง่าย

2.3.1.7 ความแข็ง (Hardness) เป็นคุณสมบัติของวัสดุที่สามารถต้านการกดอัด การขูดขีด การสึกหรอ และยากต่อการแปรรูป การระบุค่าความแข็งของวัสดุจะได้จากการทดสอบ ซึ่งวัดออกมาเป็นหน่วย คือ ปริเนล (Brinell Hardness) HB ร็อคเวล (Rockwell Hardness) HR และวิกเกอร์ (Vicker Hardness) เช่น Die Cavity ของแม่พิมพ์จะมีความแข็งประมาณ 55 HRC (HRC หมายถึง หน่วย HR อ่านที่สเกล C)

2.3.1.8 ความแข็งตึง (Stiffness) คือ ความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนรูปร่างของวัสดุ ซึ่งวัดได้โดยค่าโมดูลลัสแห่งความยืดหยุ่น ถ้าวัสดุใดมีค่าโมดูลลัสแห่งความยืดหยุ่นสูง หรือ กราฟ Stress – Strain ช่วง OP ชันมากวัสดุนั้นจะมีความแข็งตึงมาก

2.3.1.9 ความล้าของวัสดุ (Fatigue) หมายถึงการที่วัสดุรับแรงกระทำที่มีขนาดสูงๆ ต่ำๆ เป็นจังหวะหรือรอบๆ และถ้าความเค้นที่เกิดมีค่าสูงมาก วัสดุจะสามารถทนแรงกระทำเช่นนี้ได้ระยะหนึ่งแล้วจึงแตกหัก แม้ว่าความเค้นที่เกิดขึ้นนั้นมีค่าต่ำกว่าความแข็งแรงสูงสุดของวัสดุก็ตาม เนื่องจากการทำงานเป็นจังหวะๆ เกินกว่าจำนวนรอบที่วัสดุนั้นจะทนทานอยู่ได้ หน่วยของความล้าจะวัดเป็นจำนวนรอบที่แรงกระทำ ดังภาพประกอบ 28

จากการทดสอบวัสดุ พบว่า จำนวนรอบในการทำงานของวัสดุจะแปรผันกับค่าความเค้นที่เกิดขึ้น ถ้าค่าความเค้นที่สูง จำนวนรอบที่สามารถทนทานได้จะต่ำ แต่ถ้าค่าความเค้นต่ำ จำนวนรอบก็จะสูง ความเค้นที่ทำวัสดุแตกหักซึ่งเป็นช่วงที่มีค่าคงที่ไม่ว่าแรงกระทำจะมีจำนวนรอบเป็นเท่าใดก็ตาม เรียกความเค้นช่วงนี้ว่า พิกัดความล้า (Fatigue Limit) หรือ พิกัดความทนทาน (Endurance Limit) ดังภาพประกอบ 28



ภาพประกอบ 28 แสดงความเค้นที่ทำให้เกิดความล้า

ที่มา: อนันต์ วงศ์กระจ่าง. (2533) ***ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล.*** หน้า 60

2.3.2 เหล็กเหนียว (Wrought Iron)

ลักษณะ เหล็กเหนียวเป็นเหล็กที่ผลิตโดยการหลอมละลายธาตุคาร์บอนออกจากเหล็กหลอมเหลว แล้วนำไปอัดรีด (Hamming and Rolling) เหล็กเหนียวจะประกอบด้วยเนื้อเหล็กกับมีคาร์บอนผสมอยู่น้อยกว่า 0.1%

คุณสมบัติ คุณสมบัติโดยทั่วไปของเหล็กเหนียวอ่อนและเหนียวมาก ง่ายต่อการตีขึ้นรูป และตีอัดให้ติดกัน เหล็กชนิดนี้ไม่สามารถจะชุบแข็งได้ แต่สามารถปรับปรุงความแข็งแรงเพิ่มขึ้นอีกได้โดยการผสมโลหะลงไปในเนื้อเหล็ก เช่นนิกเกิลระหว่าง 1.5 – 3.5%

ค่าความแข็งแรงของเหล็กเหนียวที่ผ่านกรรมวิธีการรีดจากการทดสอบ ได้ค่าดังนี้

Ultimate Strength S_u = 330 MPa

Ultimate Shear Strength S_{su} = 248 MPa

Tensile Yield Strength S_y = 172 MPa

อัตราการยืดตัว (จากชิ้นทดสอบยาว 50 mm) 35%

ความแข็งสูงสุดน้อยกว่า 60 HRB

คุณสมบัติอื่นๆ คือมีความเหนียวและต้านการกัดกร่อนได้ดีเท่าๆ กับเหล็กกล้า

การใช้งาน เหล็กเหนียว ใช้สำหรับทำหมุดย้ำ ท่อน้ำ และงานตีขึ้นรูปทั่วๆ ไป

2.3.3 เหล็กหล่อ (Cast Steel)

ลักษณะ เป็นเหล็กที่ได้จากการนำเอาเหล็กดิบ (Pig Iron) มาหลอมใหม่ในเตาคิวโปล่า แล้วเติมเศษเหล็กฟลักซ์ และวัสดุอื่นๆ ลงไปแล้วนำไปเทลงในแบบหล่อ

คุณสมบัติ คุณสมบัติโดยทั่วไปของเหล็กหล่อสามารถตัดกลึงได้ง่าย มีความต้านทานแรงดึงต่ำ แต่ต้านทานแรงกด (Compressive Strength) ได้สูงและสามารถทำการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติคุณสมบัติ ได้โดยผสมโลหะชนิดต่างๆ เข้าไปและผ่านกรรมวิธีทางความร้อนต่างๆ กัน

การใช้งาน ใช้ทำชิ้นส่วนทางกล ซึ่งจะเลือกตามลักษณะของงานจากชนิดต่างๆของเหล็กหล่อ

เหล็กหล่อแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ ได้ดังนี้

2.3.3.1 เหล็กหล่อสีเทา (Gray Cast Iron)

เป็นเหล็กหล่อที่ใช้งานกว้างขวาง เพราะสามารถผลิตได้ในราคาต่ำ ผลิตเป็นจำนวนมากได้ง่าย และง่ายต่อการแปรรูปด้วยการตัดกลึงอีกด้วย

ลักษณะ เป็นเหล็กหล่อที่มีส่วนผสมของคาร์บอนอยู่ระหว่าง 2.5 ถึง 4.0% และมีซิลิกอนสูงถึง 2% และยังมีส่วนผสมของซัลเฟอร์ แมงกานีส และฟอสฟอรัส ค่อนข้างต่ำผลของผสมด้วยธาตุเหล่านี้จะทำให้โครงสร้างเป็นเพิลไลท์ (Pearlite) เฟอร์ไรท์ (Ferrite) และ กราไฟท์ (Graphite)

คุณสมบัติ เหล็กหล่อสีเทาไม่สามารถเชื่อมได้ง่าย เพราะมันอาจจะแตกร้าว (Crack) ได้ก่อนเชื่อมจะต้องให้ความร้อนแก่ชิ้นส่วนเหล็กหล่อเสียก่อน การอบอ่อนจะช่วยให้ลดความเค้นที่เกิดจากการเย็นตัวลงได้และช่วยให้สามารถแปรรูปด้วยการตัดกลึงได้สูงขึ้น ค่าความแข็งแรงของเหล็กหล่อสีเท่าจะเป็นดังนี้

Tensite Strength อยู่ระหว่าง 100 – 400 MPa

Compressive Strength มีค่าเป็น 3 – 4 เท่าของ Tensile Strength

Modulus of Elasticity อยู่ระหว่าง 75 – 150 GPa

การใช้งาน เหล็กหล่อสีเทาเหมาะสำหรับทำฐานเครื่องจักรชิ้นส่วน หรือโครงสร้างที่ต้องการความต้านแรงกดให้สูง หรือมีการสั่นสะเทือนมาก เช่น เพลาข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์ เสื้อสูบ จานเบรก เฟือง ห้องเฟือง (Gear Box) รางแท่นใส เป็นต้น

2.3.3.2 เหล็กหล่อสีขาว (White Cast Iron)

ลักษณะ เป็นเหล็กหล่อที่โครงสร้างของเนื้อเหล็กเป็นสีขาว อันเนื่องมาจากคาร์บอนทั้งหมดในเนื้อเหล็ก รวมตัวกับเหล็ก กลายเป็นโครงสร้างซีเมนไตต์(Cementite) และเฟิลไลท์ ซึ่งไม่มีกราไฟท์ให้เห็น

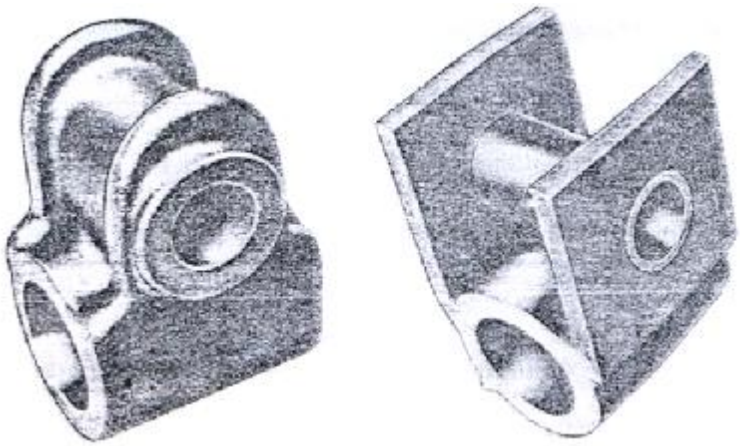
คุณสมบัติ เป็นเหล็กหล่อที่มีความเปราะสูงและแข็งมากไม่เหมาะที่จะนำไปแปรรูป โดยการตัดกลึง และคุณสมบัติด้านอื่นได้แก่ มีความทนทานต่อการสึกหรอได้ดีมาก และมีความสามารถในการต้นแรงได้สูงอีกด้วย สามารถทานแรงดึงได้สูงถึง 800 MPa

การใช้งาน ใช้สำหรับทำแม่พิมพ์อัดรีด(Extrusion Dies) ลูกรีด (Rolls) ล้อรถยนต์ (Car Wheels) เป็นต้น

2.3.3.3 เหล็กหล่อเหนียว (Malleable Cast Iron)

ลักษณะ เป็นเหล็กหล่อที่ได้จากการนำเอาเหล็กหล่อสีขาวนำไปอบ (Annealed) ที่อุณหภูมิประมาณ 880° C แล้วปล่อยให้เย็นลงช้าๆ จนทำให้กราไฟท์ในเนื้อเหล็กรวมตัวกันเกือบจะเป็นก้อนกลม ซึ่งเรียก Temper Carbon

คุณสมบัติ เหล็กล่อเหนี่ยวมีความแข็งแรงสูง มี Tensile Strength สูงว่า 350 MPa และอัตราการยืดตัว 18% มีความเหนียวง่ายต่อการแปรรูป โดยการตัดกลึง และง่ายต่อการหล่อหน้าตัดบางๆ ดังภาพประกอบ 29 ขนาดหน้าตัดที่เหล็กหล่อชนิดนี้หล่อได้ตั้งแต่ความหนา 3 – 50 mm. สามารถนำไปชุบผิวแข็งเช่นฟันเฟืองให้ความแข็งได้ถึง 55 HRC



ภาพประกอบ 29 ชิ้นงานที่มีหน้าตัดขาวหล่อด้วยเหล็กหล่อเหนียว

ที่มา: อนันต์ วงศ์กระจ่าง. (2533) ***ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล.*** หน้า 63

การใช้งาน เหล็กหล่อชนิดที่ใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น ทำชิ้นส่วนรถยนต์ รถไฟ และรถแทรคเตอร์ และยังใช้ทำชิ้นส่วนเครื่องจักรกล เช่น เฟืองภายในที่ต้องการชุบผิวแข็ง ห้องเฟือง เป็นต้น

2.3.3.4 เหล็กหล่อกราฟไฟท์ก้อนกลม (Spheroidal Graphite Iron)

เหล็กหล่อชนิดนี้มีชื่อเรียกเป็นภาษาอังกฤษอย่างอื่นได้อีก คือ Ductile Cast Iron หรือ Nodular Cast Iron

ลักษณะ เป็นหล่อที่ผสมแมกนีเซี่ยม (Magnesium) และซีเรี่ยม (Cerium) ลงไปในน้ำเหล็กเหลว ทำให้กราไฟท์ตกผลึกเป็นเม็ดกลมๆ กระจายทั่วไป

คุณสมบัติ เหล็กหล่อกราไฟท์ก้อนกลมนี้จะมีความเหนียว มีความแข็งแรงและต้านแรงกระแทกกะทันหัน (Shock Resistance) เมื่อผสมโลหะบางชนิดลงไปจะทำให้มีความเหนียวเป็นพิเศษ ต้านการกัดกร่อนได้ดี ถ้าเหล็กหล่อชนิดนี้มีกราไฟท์อยู่ในโครงสร้าง ที่เป็นเฟอร์ไรท์มาก

เหล็กหล่อจะมีความแข็งแรงต่ำ ยืดตัวได้มาก ถ้ามีกราไฟท์อยู่ในโครงสร้างที่เป็นเพิลไลท์มาก เหล็กหล่อจะมีความแข็งแรงสูงแต่ยืดตัวได้น้อย

ค่า E ของเหล็กหล่อกราไฟท์ก้อนกลมที่มีค่าสูงถึง 172 GPa

ความแข็งแรงของเหล็กหล่อชนิดนี้ แบ่งเป็นเกรดได้ดังในตาราง

ตาราง 4 แสดงค่าความแข็งแรงของเหล็กหล่อกราไฟท์ก้อนกลม

เกรดเหล็กหล่อ	Tensile Strength S_u Mpa	Yield Strength S_y Mpa	อัตราการยืดตัว	โครงสร้าง
GGG – 40	400	250	15	Ferrite
GGG 50	500	320	7	Ferrite, Pearlite
GGG 60	600	380	3	Pearlite, Ferrite
GGG 70	700	440	2	Pearlite
GGG 80	800	500	2	Pearlite

การใช้งาน สำหรับเหล็กหล่อกราไฟท์ก้อนกลมที่มีความเหนียวสูงความแข็งแรงปานกลาง จะนิยมใช้ทำเพลา ข้อเหวี่ยง ข้อต่อท่อ ชิ้นส่วนที่รับแรงกระแทก เหล็กหล่อกราไฟท์ ก้อนกลมที่มีความแข็งแรงสูง ความเหนียวต่ำ ใช้สำหรับทำเฟือง แบริ่ง ลูกสูบ ข้อเหวี่ยง ชิ้นส่วนของคลัทซ์ โซ่

2.3.3.5 เหล็กหล่อผสม (Alloy Cast Iron)

ลักษณะ เหล็กหล่อชนิดนี้ได้แก่ เหล็กหล่อที่มีโลหะอื่นผสมอยู่เพื่อเพิ่มคุณสมบัติทางกลขึ้น โลหะที่ใช้ผสมกับเหล็กหล่อนี้มีนิกเกิล โครเมียม ทองแดง โบลิบดินั่ม วาเนเดียม เป็นต้น ผลของโลหะที่ผสมในเหล็กหล่อจะดูได้จากตาราง

คุณสมบัติ คุณสมบัติของหล่อผสมนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะและปริมาณที่ผสม ซึ่งจะทำให้มีคุณสมบัติต้านการสึกหรอ ต้านการกัดกร่อน ทนความร้อน มีความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูง เช่น เหล็กหล่อผสมนิกเกิล (Ni) โดยปกติจะผสมลงไป 1–5% จะทำให้เพิ่มความแข็งแรง (Ctrength) ความแน่น มีคุณสมบัติทนต่อการสึกหรอสูงขึ้น และแปรรูปด้วยการตัดกลึงได้ง่ายขึ้น ถ้าปริมาณของนิกเกิลสูงขึ้นเป็น 10–18% จะทำให้มีคุณสมบัติต้านการกัดกร่อนได้ดี ถ้าผสมโครเมียม (Cr) เข้าไปจะทำให้เพิ่มความแข็งแรงและต้านทานการสึกหรอ และถ้าผสมโมลิบดินัม (Mo) เข้าไปถึง 1.25% จะทำให้คุณสมบัติ Stiffness ความแข็งแรงและ Tensile Strength เพิ่มขึ้น และต้านแรงกระแทกได้ดีขึ้นอีกด้วย

การใช้งาน เหล็กหล่อผสมจะใช้สำหรับทำชิ้นส่วนต่างๆ เหล็กหล่อผสมนิกเกิลใช้ทำปั๊ม วาล์ว แบริ่งปลอก คอมเพรสเซอร์ เหล็กหล่อผสมนิกเกิล โครเมียม ใช้ทำแบริ่งปลอกวาล์ว ท่อไอเสีย

ตาราง 5 แสดงผลของโลหะที่ผสมในเหล็กหล่อ

ชนิดของโลหะผสม	ปริมาณที่ผสม %	คุณสมบัติที่เพิ่มขึ้น
นิกเกิล (Ni)	1 – 5	เพิ่มความแข็งแรง มีความเหนียวดีขึ้น ต้านการกัดกร่อนได้ดี ลดการเกิดรอยร้าวได้ดี
โครเมียม (Cr)	-	เพิ่มความแข็งแรง ต้านการสึกหรอ
โมลิบดันัม (Mo)	1.25	เพิ่ม Stiffness, Tensile Strength ต้านแรงกระแทกได้ดี เพิ่มความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูง
วาเนเดียม (V)	-	ทนความร้อนได้ดี ความแข็งแรง เพิ่ม Tensile Strength
ทองแดง	(C_u)	เพิ่มคุณสมบัติต้านการกัดกร่อนมากขึ้น

2.3.4 เหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon Steel)

เหล็กกล้าคาร์บอน เป็นเหล็กที่มีธาตุคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง 0.1–1% นอกจากนี้ยังมีโลหะอื่นๆ ผสมอยู่บ้างเล็กน้อย ซึ่งเป็นโลหะที่หลงเหลืออยู่ในระหว่างการผลิต เช่น ซิลิกอน แมงกานีส ฟอสฟอรัส กำมะถัน ไบรอน และทองแดง

เหล็กกล้าคาร์บอนนี้จัดเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา(Plain Carbon Steel) มีคาร์บอนเป็นธาตุหลัก ความแข็งแรงและความแข็งแรงจะสูงขึ้นเมื่อปริมาณของคาร์บอนผสมอยู่มากขึ้นขณะเดียวกันความเหนียว (Ductility) และความสามารถในการเชื่อมได้ง่าย (Weld Ability) จะลดลง

วิธีการผลิตเหล็กกล้าคาร์บอนโดยสังเขป คือ เริ่มจากทำเหล็กดิบ (Pig Iron) ใส่ในเตานอน (Open – Hearth Process) แล้วเติมแร่เหล็กกับเศษเหล็กกล้า (Steel Scrap) และหินปูนเตานอนนี้จะเปลี่ยนเหล็กดิบให้เป็นเหล็กกล้า ธาตุคาร์บอนแมงกานีส และซิลิกอนจะค่อยๆ ถูกกำจัดออกไปกับขี้เหล็ก โดยมีแร่เหล็กเป็นตัวทำปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (Oxidation)

เมื่อผลวิเคราะห์ของเหล็กในเตานอนเป็นไปตามต้องการแล้ว เหล็กเหลวก็จะถูกกำจัดออกซิเจนส่วนเกินออกโดยการดีออกซิไดเซอร์ (Deoxidizer) เหล็กที่กำจัดออกซิเจนน้อย เรียกว่า Rimmed Steel เหล็กที่กำจัดออกซิเจนปานกลางเรียกว่า Semikilled Streel และเหล็กที่กำจัดออกซิเจนหมด เรียกว่า Killed Steel

หลังจากนั้นเหล็กกล้าจะถูกหล่อเป็นแท่ง (Ingot) หรือเป็นเส้น (Strand – Cast) หลังจากแข็งตัวแล้วจะถูกนำไปอบจนร้อน แดงแล้วรีดร้อน (Hot Rolled) หลายขั้นตอน จนได้ขนาดสุดท้ายตามต้องการ เหล็กที่ได้นี้จึงเรียกว่า เหล็กรีดร้อน

เหล็กที่ผ่านการรีดร้อนแล้วอาจจะทำไปดึงเย็น (Cold Drawn) เพื่อขจัดเกล็ด เพิ่มคุณสมบัติที่ผิวและเพิ่มความแข็งแรงขึ้นอีกด้วย นอกจากนี้ยังอาจจะถูกนำไปอบอ่อนอบคายความร้อน (Stress Relieved) หรือนำไปรีดใหม่เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกล และความสามารถในการแปรรูปโดยการตัดกลึงได้ดีขึ้นอีกด้วย

เหล็กกล้าคาร์บอนแบ่งออกได้ตามปริมาณส่วนผสมของธาตุคาร์บอนได้ 3 ชนิดคือ

2.3.4.1 เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Steel) เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนที่มีธาตุคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง 0.05 ถึง 0.30%

คุณสมบัติ มีความเหนียว มีความแข็งแรงปานกลาง คุณสมบัติทางด้านความแข็งแรงจะเป็นไปตามรหัส AISI 1010 1020 1030 เช่น รหัส AISI 1020 มีค่า Tensile Strength ถึง 379 MPa และ Yield Strength ถึง 207 MPa สำหรับเหล็กกล้ารีดร้อน (HR) มีค่า Tensile Strength ถึง 421 MPa และ Yield Strength ถึง 352 MPa สำหรับเหล็กกล้าดึงเย็น (CD)

หรือตามรหัสที่เทียบได้ของเหล็กโครงสร้าง St33 USt34 USt37 UST 42 USt50 ซึ่งรหัส USt50 มีค่า Tensile Strength ถึง 590 MPa และ Yield Strength ถึง 295 MPa ค่าความแข็งแรงของเหล็กกล้า

เหล็กกล้าชนิดนี้ไม่สามารถชุบให้แข็งได้ เพราะมี % คาร์บอนต่อแต่สามารถชุบผิวแข็งเพื่อให้มีคุณสมบัติทนต่อการสึกหรอได้

การใช้งาน ใช้ในงานโครงสร้างธรรมดา และงานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เช่น ใช้ทำท่อโครงสร้าง ถึง ตัวถังรถยนต์ สลักเกลียว แป้นเกลียว หมุดย้ำ งานตีขึ้นรูป เพลา สลัก เป็นต้น

2.3.4.2 เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium Carbon Steel) เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนที่มีธาตุคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง 0.30 ถึง 0.50%

คุณสมบัติ มีความเหนียวค่อนข้างต่ำ มีความแข็งแรงสูงกว่า เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ คุณสมบัติทางด้านความแข็งแรงจะเป็นไปตาม รหัส AISI 1040, 1050 เช่น รหัส AISI 1050 มีค่า Tensile Strength ถึง 621 MPa และ Yield Strength ถึง 338 Mpa สำหรับเหล็กกล้ารีดร้อน (HR) มีค่า Tensile Strength ถึง 690 Mpa และ Yield Strength ถึง 579 Mpa สำหรับเหล็กกล้าดึงเย็น (CD)

เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางนี้สามารถทำการปรับปรุงคุณสมบัติทางความร้อน คือ ชุบแข็งได้

การใช้งาน ใช้ในงานที่ต้องการต้านแรง ทนต่อการสึกหรอ เช่น ทำเพลา เฟือง แกนเพลาข้อเหวี่ยง ก้านสูบ เครื่องมือทั่วไป (Hand Tool)

2.3.4.3 เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High Carbon Steel) เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนที่มีธาตุคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง 0.50% ขึ้นไป

คุณสมบัติ มีความแข็งแรงสูง มีความเหนี่ยวต่ำ ทนต่อการสึกหรอได้ดี อัตราการยืดตัวต่ำ ค่าความแข็งจะสูงกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง ซึ่งจะเป็นไปตามรหัส AISI 1055 ถึง 1095

เหล็กกล้าชนิดนี้จะต้องผ่านกรรมวิธีทางความร้อนก่อนจึงจะมีคุณสมบัติตามต้องการ

การใช้งาน ใช้สำหรับทำชิ้นส่วนเครื่องจักรกล เครื่องมือการเกษตร เครื่องมือตัด เช่น ดอกสว่าน เครื่องมือตัดเกลียวแม่พิมพ์ตัด สปริง และเครื่องมือที่ต้องการความคม เช่น สกัด กรรไกร เป็นต้น

2.3.5 เหล็กกล้าผสม (Alloy Steel)

เหล็กกล้าผสม คือ เหล็กกล้าคาร์บอนที่เติมธาตุอื่นๆ ลงไปในเนื้อเหล็กเพื่อให้มีคุณสมบัติดีขึ้น เช่น เหล็กกล้าไร้สนิม เหล็กกล้าทำเครื่องมือ และเหล็กกล้าชนิดพิเศษ แท้จริงแล้วเหล็กกล้าผสมกับเหล็กกล้าคาร์บอนบางครั้งก็แยกกันไม่ออก เพราะต่างก็มีธาตุ คาร์บอน ซิลิกอน และแมงกานีสผสมอยู่

เหล็กกล้าที่จัดว่าเป็นเหล็กกล้าผสมจะมีส่วนผสมของธาตุแมงกานีสเกิน 1.65% ซิลิกอน 0.60% และทองแดงเกิน 0.60% และมีธาตุอื่นๆ ผสมอยู่ด้วย

ธาตุที่เติมลงไปในเหล็กกล้าจะเป็นโลหะ เช่น โครเมียม นิกเกิล วาเนเดียม โมลิบดินั่ม ทังสะเตน และโคบอลท์ ซึ่งธาตุเหล่านี้ผสมลงไปเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆ ของเหล็กกล้า คือ

1) ความแข็งแรง
2) ชุบแข็งได้ลึก (Hardenability)
3) แปรรูปโดยการตัดกลึงได้ดี (Machinability)
4) ต้านการกัดกร่อนได้ดี
5) ต้านการสึกหรอได้ดี
6) เพิ่มเสถียรภาพของคุณสมบัติต่างๆ เพื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป

เหล็กกล้าผสมแบ่งตามปริมาณของธาตุที่ผสมอยู่ได้ 2 ประเภทคือ

1) เหล็กกล้าผสมต่ำ (Low Alloy Steel)
2) เหล็กกล้าผสมสูง (High Alloy Steel)

2.3.5.1 เหล็กกล้าผสมต่ำ (Low Alloy Steel) เหล็กกล้าผสมชนิดนี้แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1) เหล็กกล้าผสมชนิดชุบแข็ง เป็นเหล็กกล้าที่ผลิตขึ้น เพื่อให้มีคุณสมบัติทางกลที่ต้องการ เช่น ความแข็งแรง ความแข็ง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับกรรมวิธีทางความร้อนที่เหล็กกล้านั้นได้รับ

เหล็กกล้าผสมชนิดชุบแข็งนี้ แยกเป็น 2 ชนิด

1.1) เหล็กกล้าสำหรับชุบแข็งเฉพาะผิว (Case Hardening Steel) ซึ่งแบ่งเป็นได้ 2 เกรด คือ คาร์บูไรซิ่งเกรด (Carburizing Grade) และไนไตรดิ่งเกรด (Nitriding Grade)

1.1.1) เหล็กเกรดคาร์บูไรซิ่ง หมายถึง เหล็กที่ชุบผิวแข็งโดยเพิ่มคาร์บอนเข้าไปที่ผิวโดยวิธี Carburizing ซึ่งเป็นเหล็กกล้าผสมก็ที่มีธาตุคาร์บอนผสมอยู่ไม่เกิน 0.2% และมีธาตุอื่นผสมอยู่ด้วย

ธาตุผสมและความแข็งแรงของเหล็กชนิดนี้ แสดงไว้ในตาราง

ตาราง 6 แสดงธาตุผสมและความแข็งแรงของเหล็กกล้าผสมเกรดคาร์บูไรซิ่ง

ชื่อย่อ	ชนิดของเหล็ก	C %	Mn %	Cr %	Ni %	Mo %	Tensile Strength MPa	Yield Strength MPa
15 Cr 3	Chrom Case Hardening Steel	0.15	0.5	0.6	-	-	680–880	440
16 Mn Cr 5	Charom Man-Ganese	0.16	1.2	1.0	-	-	780–1080	440
20 Mn Cr 5	Case Hard-Ening Steel	0.20	2.3	1.2	-	-	980–1270	540
20 Mo Cr 4	Chrom Moly-Bdenum Case	0.20	-	0.4	-	0.5	780–1080	390
25 Mo Cr 4	Handening Steel	0.25	-	0.5	-	0.5	980–1270	345
15 Cr Ni 6	Chrom Nick-	0.15	-	1.6	1.6	-	880–1170	540
18 Cr Ni 8	el Case	0.18	-	2.0	2.0	-	1170–1420	685
17Cr Ni Mo 6	Hardening	0.17	1.6	1.5	-	-	1080–1320	685

คุณสมบัติของเหล็กกล้าชุบผิวแข็งนี้ คือ มีความแข็งที่ผิวทนต่อการสึกหรอส่วนแถบกลาง มีความเหนียวทำให้ทนต่อแรงกระแทก การบิดอย่างรุนแรงได้

การใช้งาน เหล็กกล้าชุบผิวแข็งใช้สำหรับทำลูกเบี้ยว สลักลูกสูบ สลักเกลียว เฟือง เพลาเกียร์ ชิ้นงานที่รับภาระหนัก

1.1.2 เหล็กเกรดไนไตรดิง หมายถึง เหล็กกล้าที่ชุบผิวแข็งโดยใช้แก๊สไนโตรเจน แก๊สแอมโมเนีย เป็นตัวทำให้แข็งแทนคาร์บอนในเนื้อเหล็ก ณ อุณหภูมิระหว่าง 500– 590°C แล้วปล่อยให้เย็นตัว เหล็กกล้านี้จะต้องมีธาตุคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง 0.2 ถึง 0.4%

ธาตุผสมและความแข็งแรงของเหล็กชนิดนี้ แสดงไว้ในตาราง

ตาราง 7 แสดงธาตุผสมและความแข็งแรงของเหล็กกล้าผสมเกรดไนไตรดิง

ชื่อย่อ	ชนิดของเหล็ก	C %	Mn %	Cr %	Ni %	Mo %	Tensile Strength MPa	Tensile Strength MPa
31 Cr Mo 12	Chrom Molybdenum	0.31	3.0	0.4	-	-	1000–1200	800
39 Cr Mo V139		0.39	3.2	0.9	-	-	1300–1500	1100
34 Cr Al M.5	Chrom Nickel	0.34	1.2	0.2	-	1.0	800–1000	600
41 Cr Al Mo7		0.41	1.7	0.3	-	1.0	850–1150	700
34 Cr Al Ni 7		0.34	1.7	-	1.0	1.0	800–1000	600

คุณสมบัติของเหล็กเกรดไนไตรดิง มีความแข็งที่ผิว ไม่ผุกร่อน ไม่เป็นสนิม และไม่อ่อนตัวเมื่อถูกความร้อน

การใช้งาน ใช้สำหรับงานที่ต้องการความแข็งแรงสูง โดยเฉพาะแกนในแข็งและเหนียว เช่น ชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวด้วยความเร็วสูง เกิดความร้อน ก้านวาล์ว ข้อเหวี่ยง สลักเฟือง แกนของลูกสูบ อุปกรณ์เกี่ยวกับหม้อน้ำ ชิ้นส่วนที่ทนต่อการสึกหรอ

1.2) เหล็กกล้าผสมชนิดชุบแข็งได้ (Hardenable Alloy Steel) เหล็กชนิดนี้จะมีส่วนผสมของธาตุคาร์บอน ตั้งแต่ 0.25 ถึง 0.50% จัดเป็นประเภทเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางผสมมีธาตุอื่นๆ ผสมอยู่ด้วย

ธาตุผสมและความแข็งแรงของเหล็กชนิดนี้ แสดงไว้ในตาราง

ตาราง 8 แสดงธาตุผสมและความแข็งแรงของเหล็กชุบแข็ง

ชื่อย่อ	ชนิดของเหล็ก	C %	Mn %	Cr %	Ni %	Mo %	Tensile Strength MPa	Yield Strength Mpa
28 Mn 6	เหล็กชุบ	0.28	-	-	-	1.45	680–830	490
38 Cr 2	แข็งผสม Mn	0.38	0.7	-	-	-	680–830	490
41 Cr 4		0.31	1.0	-	-	-	880–1080	665
46 Cr 2		0.46	1.0	-	-	-	720–930	540
25 Cr Mo 4	เหล็กชุบ	0.25	1.0	-	0.25	-	720–930	590
34 Cr Mo 4	แข็งผสม Cr	0.34	1.0	-	0.25	-	880–1080	665
42 Cr Mo 4	และ Mo	0.42	1.0	-	0.25	-	980–1170	765
36 Cr Ni Mo 4	เหล็กชุบ	0.36	0.2	1.0	0.22	-	980–1170	785
34 Cr Ni Mo 4	แข็งผสม Cr-	0.34	1.6	1.6	0.22	-	1080–1270	885

คุณสมบัติของเหล็กชนิดนี้ มีความแข็งทั้งแท่ง คือทั้งผิวนอกและภายใน มีความเหนียวทนต่อการสึกหรอ และมีความแข็งแรงสูงขึ้น

การใช้งาน เหล็กกล้าผสมชนิดนี้ ใช้สำหรับทำชิ้นส่วนรถยนต์ที่รับภาระตั้งแต่ปกติถึงภาระหนัก ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลทั่วไป เช่น ก้านสูบ ชิ้นส่วนที่มีความแข็งแรงสูง มีพื้นที่ชุบแข็งใหญ่ เพลาข้อเหวี่ยง ชิ้นส่วนเครื่องบิน รถขนาดใหญ่

2) เหล็กกล้าผสมต่ำชนิดความแข็งแรงสูง เหล็กกล้าชนิดนี้เป็นเหล็กที่ใช้แทนเหล็ก กล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าผสมชนิดชุบแข็ง เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการอบชุบ และการเสี่ยงต่อการบิดงอหรือแตกร้าวระหว่างการชุบ

ชิ้นส่วนที่ทำจากเหล็กกล้าผสมต่ำชนิดความแข็งแรงสูงนี้ จะบางกว่าชิ้นส่วนที่ทำจากเหล็กกล้าธรรมดา เมื่อผิวถูกอ๊อกซิไดซ์เป็นสนิม ทำให้พื้นที่หน้าตัดที่รับแรงน้อยลง และรับแรงได้น้อยลงด้วย การผสมธาตุที่ช่วยให้กันสนิมลงไปในเหล็กกล้า จะทำให้ราคาสูงขึ้นเป็นอย่างมาก ในทางปฏิบัติจะป้องกันสนิมโดยการทาสีกันสนิม หรือชุบสังกะสีชิ้นส่วนที่ทำจากเหล็กกล้านี้

คุณสมบัติของเหล็กกล้าชนิดนี้ มีความแข็งแรงสูง ขึ้นรูปได้ง่าย ต้านแรงกระแทกได้ดีกันสนิมได้ดี สามารถออกแบบให้มีหน้าตัดบางได้

ความแข็งแรงของเหล็กกล้าชนิดนี้ เมื่อรีดเป็นแผ่นบาง แผ่นหนา และเป็นแท่งแล้วจะมีความแข็งแรงดังนี้

รีดเป็นแผ่นบาง

Tensile Strength 410 ถึง 647 MPa

Yield Strength 285 ถึง 549 MPa

รีดเป็นแผ่นหนาและเป็นแท่ง

Tensile Strength 422 ถึง 647 MPa

Yield Strength 274 ถึง 549 MPa

2.3.5.2 เหล็กกล้าผสมสูง (High Alloy Steels) เหล็กกล้าผสมสูงเป็นเหล็กกล้าที่มีธาตุอื่นๆ นอกเหนือจากธาตุคาร์บอนผสมอยู่เป็นปริมาณมาก ได้แก่ โครเมียม นิกเกิล แมงกานีส และโมลิบดินัม ทำให้เป็นเหล็กที่มีคุณสมบัติพิเศษเฉพาะตัว ใช้สำหรับงานเฉพาะอย่าง เช่น เหล็กกล้าทนความร้อน เหล็กกล้าทนการเสียดสี และเหล็กกล้าทนการกัดกร่อน เหล็กกล้าผสมสูงแบ่งเป็นชนิดต่างๆ ได้ดังนี้

1) เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steels) เหล็กชนิดนี้มีธาตุโครเมียมผสมอยู่ 11.5% หรือมากกว่านี้ มีคุณสมบัติทนต่อการกัดกร่อน (Corrosion - Resisting Steels) แบ่งออกได้เป็นสองชนิดคือ ชนิดที่ทนต่อการกัดกร่อนอย่างเดียว และอีกชนิดทนต่อการกัดกร่อนแล้วยังมีผิวสวยงามคงทนอีกด้วย

2) เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดเฟอร์ริติค (Ferritic Stainless Steels) เหล็กกล้าชนิดนี้มีธาตุโครเมียมผสมอยู่ตั้งแต่ 14% ถึง 27% มีธาตุคาร์บอนผสมอยู่น้อย

เหล็กกล้าชนิดนี้มีคุณสมบัติเหนียวนุ่ม (Toughness) มีความสามารถในการแปรรูปด้วยการตัดกลึงได้ดี เหล็กกล้าชนิดนี้ไม่สามารถทำให้แข็งได้ด้วยกรรมวิธีทางความร้อน แต่จะสามารถทำให้มีความแข็งและความแข็งแรงเพิ่มขึ้นได้บางด้วยวิธี Cold Work

ธาตุผสมและค่าความแข็งแรงของเหล็กชนิดนี้ได้แสงไว้ในตาราง

ตาราง 9 แสดงธาตุผสมและค่าความแข็งแรงของเหล็กไร้สนิมชนิดเฟอร์ริติค

ชื่อย่อ	C %	Cr %	Si %	Mn %	Mo %	Tensile Strength MPa	Yield Strength MPa
X 7 Cr 13	0.07	13.0	1.0	1.0	-	440-630	245
X 20 Cr 13	0.20	13.0	1.0	1.0	-	$\leq$ 730	-
X 40 Cr 13	0.40	13.0	1.0	1.0	-	$\leq$ 780	-
X 8 Cr 17	0.08	17.0	1.0	1.0	-	440--590	265
X12 Cr Mo S17	0.12	17.0	1.0	1.0	0.25	540-680	295

การใช้งาน ใช้ทำชิ้นส่วนวาล์ว ใบพัดกังหันไอน้ำ เพลา เครื่องมือแพทย์ เครื่องประดับ อุปกรณ์ทางด้านเคมีภัณฑ์

3) เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดออสเตนนิติค (Austenitic Stainless Steels) เหล็กกล้าชนิดนี้จะมีธาตุโครเมียมผสมอยู่ 18% และธาตุนิกเกิลผสมอยู่ 8–10% มีธาตุคาร์บอนผสมอยู่ไม่เกิน 0.15%

เหล็กกล้าชนิดนี้มีคุณสมบัติทนต่อการสึกกร่อนดีขึ้น คุณสมบัติในการนำความร้อนลด ลงทนแรงกระแทกได้ดีขึ้น การยืดตัวดี และทนต่อความล้าสูงขึ้น

ธาตุผสมและค่าความแข็งแรงของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดนี้ ได้แสดงไว้ดังตาราง

ตาราง 10 แสดงธาตุผสมและค่าความแข็งแรงของเหล็กไร้สนิมชนิดออสเตนนิติค

ชื่อย่อ	C %	Cr %	Ni %	Si %	Mn %	Mo %	Tensile Strength Mpa	Yield Strength Mpa
X 12 Cr Ni S 188	0.12	18.0	8.0	1.0	2.0	-	490-680	215
X 10 Cr Ni Ti 189	0.10	18.0	8.0	-	2.0	-	490-730	205
X 5 Cr Ni Mo 1810	0.05	18.0	10.0	-	2.0	2.0	490-680	205
X 10 Cr Ni Mo N 61810	0.10	18.0	10.0	-	2.0	2.0	490-680	225

การใช้งาน งานที่ต้องการความแข็งแรงสูงทั่วไป ตัวถังรถไฟ ตัวถังรถบรรทุก โครงเครื่องบิน เครื่องใช้ภาชนะสำหรับบรรจุอาหาร เครื่องใช้ในบ้าน อุปกรณ์ในอุตสาหกรรมเคมี และเครื่องมือแพทย์

4) เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดมาร์เทนซิติค (Martenstic Stainless Steels) เหล็กกล้าชนิดนี้มีธาตุโครเมียมผสมอยู่ตั้งแต่ 11.5 ถึง 18% และมีธาตุอื่นผสมอยู่ด้วยเป็นปริมาณน้อย

เหล็กกล้าชนิดนี้มีคุณสมบัติทางแม่เหล็ก สามารถทำให้มีความแข็ง ความแข็งแรงสูงขึ้น โดยกรรมวีทางความร้อน มีคุณสมบัติ ทนต่อการกัดกร่อนได้น้อยกว่าชนิดออสเตนนิติค และเฟอร์ริติค

ตาราง 11 ธาตุผสมและค่าความแข็งแรงของเหล็กกล้าไร้สนิม

ชนิดของเหล็ก	C %	Cr %	Ni %	Si %	Mn %	Mo %	Tensile Strength MPa	Yield Strength MPa
AISI 403	0.15	11.5	-	0.5	1.0	-	510-647	304
AISI 410	0.15	11.5	-	1.0	1.0	-	510	304
AISI 420	>0.15	12.0	-	1.0	1.0	-	647	343
AISI 420 F	0.15	12.0	-	1.0	1.25	0.75	647-686	372

การใช้งาน ใช้ทำชิ้นส่วนที่รับแรงเค้นมากๆ ทำอุปกรณ์เครื่องจักร เพลาปั๊ม วาล์วและเครื่องมือแพทย์

ผลของธาตุต่างๆ ในเหล็กกล้าผสม เหล็กกล้าผสมจะมีธาตุคาร์บอน เป็นธาตุหลัก ซึ่งให้ผลทางด้านความสามารถในการชุบแข็ง และความแข็ง ส่วนธาตุอื่นๆ ที่ผสมลงไปในเหล็กกล้านั้น เพื่อให้เหล็กกล้ามีคุณสมบัติพิเศษต่างๆ ซึ่งผลของธาตุแต่ละชนิดสามารถสรุปได้ดังนี้

1) นิกเกิล (Ni) ทำให้เหล็กกล้ามีเกรนละเอียดขึ้น เพิ่มคุณสมบัติในด้านการชุบแข็งให้กับเหล็ก ลดอุณหภูมิของการเปลี่ยนออสเตนไนท์ ให้เป็นมาร์เทนไซท์ต่อลงเหล็กที่ผสมนิกเกิลมากกว่า 3% จะสามารถสร้างโครงสร้างมาร์เทนโซท์ได้ โดยการทำ Normalizing เพิ่มความแข็งแรงและความแข็งโดยไม่ทำให้ความเหนียวลดลง เพิ่มคุณสมบัติทางด้านเชื่อม (Weld Ability) ให้กับเหล็ก ปรับปรุงคุณสมบัติด้านทนต่อแรงกระแทกที่อุณหภูมิต่ำ

2) แมงกานีส (Mn) ทำให้เหล็กมีเกรนละเอียดขึ้น คล้ายนิกเกิลเพิ่มคุณสมบัติทางด้านความสามารถในการชุบแข็งให้กับเหล็กมีผลรุนแรงกว่านิกเกิล 2 เท่า เพิ่มความแข็งแรงและความแข็ง มีความเหนียวลดลง

ข้อเสียของแมงกานีส ทำให้เหล็กมีคุณสมบัติเปราะ ไม่ทนต่อแรงกระแทก ขณะใช้งานทำให้เกิดการขยายตัวเล็กน้อยและจะแตกร้าวได้ง่าย ทำให้เหล็กมีคุณสมบัติไม่สม่ำเสมอ ขาดคุณสมบัติทางด้านความเหนียว

3) โครเมียม (Cr) เพิ่มคุณสมบัติทางด้านความสามารถในการชุบแข็งให้กับเหล็ก รักษาความแข็งไว้ได้ ณ อุณหภูมิสูงเมื่อผสมโครเมียมปริมาณสูงจะช่วยให้เกิดคุณสมบัติ Secondary Hardening และมีแนวโน้มที่จะเกิดการเปราะในขณะอบคืนตัว (Temper Drittleness) แต่ไม่รุนแรงเท่าแมงกานีส

4) โมลิบดินัม (Mo) มีผลเช่นเดียวกับโครเมียม คือ เพิ่มคุณสมบัติทางด้านความสามารถในการชุบแข็ง ถ้าผสมไม่เกิน 1% ทนความร้อนได้ดีโดยไม่สูญเสียความแข็ง มีคุณสมบัติ Secondary Hardening แต่ไม่มีผลทางด้าน Temper Brittleness สามารถรักษาความแข็งไว้ได้ดี ที่อุณหภูมิไม่เกิน 600°C เพิ่มคุณสมบัติด้านต้านการกัดกร่อน

5) วาเนเดียม (Va) ทำให้เหล็กมีเกรนละเอียดได้ดีมาก เนื่องมาจากวาเนเดียมคาร์โบด์มีเสถียรภาพสูง ไม่สลายตัวได้ง่าย รักษาความแข็งแรงไว้ได้ดี ณ อุณหภูมิสูง เพิ่มคุณสมบัติด้านความสามารถในการชุบแข็ง เพื่อผสมวาเนเดียมไม่เกิน 0.04% ให้คุณสมบัติทางด้าน Secondary Hardening ที่อุณหภูมิ 400 – 700°C โดยไม่มีผลด้วย Temper Brittleness

6) ทังสเตน (W) ทำให้เหล็กมีความแข็งแรงสูง มีคุณสมบัติทางด้านความสามารถในการชุบแข็ง แต่จะมีผลน้อยกว่า โมลิบดินัมประมาณครึ่งหนึ่ง รักษาความแข็งไว้ได้จนถึงสภาพร้อนแดง ให้ผลทางด้าน Secondary hardening โดยไม่มีแนวโน้มทำให้เกิด Temper Brittleness

7) ไทเทเนียม (Ti) เป็นธาตุที่รวมตัวกับคาร์บอนได้ดีมาก ถ้าผสมไทเทเนียมในปริมาณที่สูง จะทำให้การชุบแข็งด้วยวิธีธรรมดาไม่ได้ผล เพราะคาร์บอนจะถูกดึงไปรวมกับไทเทเนียมจนเกือบหมด เพิ่มคุณสมบัติทางด้านความสามารถในการชุบแข็ง ให้ผลทางด้าน Secondary Hardening น้อยมากและไม่มีแนวโน้มที่จะเกิด Temper Brittleness ไม่เปลี่ยนความแข็งแรงขณะทำการอบชุบคืนตัว

8) ซิลิกอน (Si) เพิ่มความแข็งแรงให้กับเฟอร์ไรท์ โดยเฉพาะเพิ่มค่าความแข็งแรงที่จุดครากของเหล็กให้สูงขึ้น ไม่มีบทบาทเพิ่มความสามารถในการชุบแข็ง คุณสมบัติทางด้านเชื่อมของเหล็กไม่ดี เมื่อผสมซิลิกอนสูง และไม่มีผลทั้ง Secondary Hardening และ Temper Brittleness

9) อลูมิเนียม (Al) เพิ่มความแข็งให้กับเฟอร์ไรท์ เพิ่มคุณสมบัติด้านความสามารถในการชุบแข็งได้เล็กน้อย และไม่มีบทบาททางด้าน Secondary Hardening และTemper Brittleness

10. โคบอลท์ (Co) เพิ่มความแข็งแรงให้กับเฟอร์ไรท์ มีบทบาทลดความสามารถด้านการชุบแข็ง มีคุณสมบัติรักษาความแข็งแรงได้ดีที่อุณหภูมิสูง ไม่มีผลด้าน Secondary Hardening และ Temper Brittleness

2.3.6 สแตนเลส

สแตนเลสหรือตามศัพท์บัญญัติเรียกว่า เหล็กกล้าไร้สนิม เป็นเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำ (น้อยกว่า 2%) ของน้ำหนัก มีส่วนผสมของโครเมียม อย่างน้อย 10.5% กำเนิดขึ้นในปี พ.ศ.1903 เมื่อนักวิทยาศาสตร์พบว่า การเติมนิกเกิล โมบิดินัม ไททาเนียม ไนโอเนียม หรือโลหะอื่นแตกต่างกันไปตามชนิด ของคุณสมบัติเชิงกล และการใช้ลงในเหล็กกล้าธรรมดา ทำให้เหล็กกล้ามีความต้านทานการเกิดสนิมได้

ประเภทของสแตนเลสแบ่งได้ 5 ชนิดหลัก

1) เกรด ออสเตนิติก (Austenitic) แม่เหล็ดดูดไม่ติด นอกจากส่วนผสมของโครเมียม 18%แล้ว ยังมีนิกเกิลที่ช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนอีกด้วย ชนิดออสเตนิติกเป็นที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางมากที่สุดในบรรดา สแตนเลสด้วยกัน ส่วนออสเตนิติกที่มีโครเมียมผสมอยู่สูง 20% ถึง 25% และนิกเกิล 1%ถึง 20% จะสามารถทนการเกิดออกซิไดซ์ได้ที่อุณหภูมิสูง ซึ่งใช้ในส่วนประกอบของเตาหลอม ท่อนำความร้อน และแผ่นกันความาร้อนในเครื่องยนต์ จะเรียกว่าเหล็กกล้าไร้สนิม ชนิดทนความร้อน (Heat Resisting Steel)

2) เกรดเฟอร์ริติก (Ferritic) แม่เหล็กดูดติด มีส่วนผสมของคาร์บอนต่ำ และมีโครเมียมเป็นส่วนผสมหลัก คือประมาณ 13% หรือ 17%

3) เกรดมาร์เทนซิติก (Martensitic) แม่เหล็กดูดติด โดยทั่วไปจะมีโครเมียมผสมอยู่ 12%และมีส่วนผสมของคาร์บอนในระดับปานกลาง มักนำไปใช้ทำส้อม มีด เครื่องมือตัดและเครื่องมือวิศวกรอื่นๆ ซึ่งต้องการคุณสมบัติเด่นในด้าน การต้านทานการสึกกร่อน และ ความแข็งแรงทนทาน

4) เกรดดูเพล็กซ์ (Duplex) แม่เหล็กดูดติด มีโครงสร้างผสมระหว่างเฟอร์ไรต์และออสเตไนต์ มีโครเมียมผสมอยู่ประมาณ 18-28% และนิกเกิล 4.5-8% เหล็กชนิดนี้มักถูกนำไปใช้งานที่มีคลอรีนสูงเพื่อป้องกันมิให้เกิดการกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting Corrosion) และช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน ที่เป็นรอยร้าวอันเนื่องมาจากแรงกดดัน (Stress Corrosion Cracking Resistance)

5) เหล็กกล้าชุบแข็งแบบตกผลึก (Precipitation Hardening Steel) มีโครเมียมผสมอยู่ 17 % และมีนิกเกิล ทองแดง และไนโอเบียมผสมอยู่ด้วย เนื่องจากเหล็กชนิดนี้สามารถชุบแข็งได้ในคราวเดียว จึงเหมาะสำหรับทำแกน ปั้ม หัววาล์ว และส่วนประกอบของอากาศยาน สแตนเลสสตีล ที่นิยมใช้ทั่วไปคือ ออสเตนิก และเฟอร์ริติก ซึ่งคิดเป็น 95%ของเหล็กกล้าไร้สนิมที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันแต่ถ้าแบ่งย่อยก็จะได้มากกว่า 50 ชนิด

สแตนเลสสตีลไม่ใช่อัลลอยล์เพียงอย่างเดียว แต่ถูกจัดอยู่ในชนิดของเหล็กอัลลอยล์จะมีส่วนประกอบเป็นโครเมี่ยมอย่างน้อย 10.5% ส่วนประกอบอื่นๆ ได้ถูกผสมเพิ่มขึ้นมาเพื่อเพิ่มการป้องกันการเกิดสนิมและการเกิดความร้อนได้ดีขึ้น เพิ่มคุณสมบัติทางกลไกและส่วนผสมใหม่ๆเข้าไป ดังนั้นสแตนเลสจึงมีมากกว่า 50 ชนิด โดยถูกกำหนดขึ้นโดยองค์กร The American Iron and Steel Institute(AISI) การแยกชนิดของสแตนเลสโดยทั่วไปแล้วมีอยู่ 3 ข้อคือ

1) ส่วนประกอบทางเทคนิคของโลหะ

2) ระบบเรียงลำดับของ AISI

3) การจัดกลุ่มเดียวกันของระบบเรียงลำดับ ได้ถูกพัฒนาโดยองค์กรของอเมริกาที่ทำหน้าที่ทดสอบแร่ธาตุ (ASTM) และองค์กรยานยนต์วิศวกรรม โดยจะกำหนดตัวเลขให้กับโลหะและอัลลอยล์ทุกชนิด

ประเภทของอัลลอยล์

เบอร์ 304 เป็นสแตนเลสสตีลพื้นฐานที่ใช้ในการตกแต่งเพื่อความสวยงาม ชนิดนี้ง่ายต่อการขึ้นรูปและป้องกันการเกิดสนิมได้เป็นอย่างดี

เบอร์ 304L เป็นสแตนเลสสตีลเบอร์ 304 ที่ใช้คาร์บอนเป็นส่วนประกอบน้อยลงมาใช้ในงานการเชื่อมอย่างกว้างขวาง

เบอร์ 316 ถูกออกแบบให้มาป้องกันการเกิดสนิมได้เป็นอย่างดี ถูกใช้ในงานอุตสาหกรรมหนักและสถานที่ใกล้ทะเล

เบอร์ 316L เป็นสแตนเลสสตีลเบอร์ 316 ที่มีส่วนประกอบของคาร์บอนน้อยลงมา

เบอร์ 430 เป็นสแตนเลสสตีลที่ใช้โครเมี่ยมเป็นส่วนประกอบ 100% และมีโอกาสเกิดสนิมน้อยกว่าเบอร์300 พวกนี้นิยมใช้ตกแต่งภายใน

ดูลักษณะภายนอกของสแตนเลสแล้วเกือบทุกเกรดล้วนคล้ายคลึงทั้งนี้แล้วยังมีสแตนเลสเกรดต่ำที่มีโอกาสของการขึ้นสนิมได้สูงอีกเช่นสแตนเลสเบอร์ 201 เป็นต้น ดังนั้นควรที่จะเลือกซื้อกับร้านค้าที่ไว้วางใจได้

คุณสมบัติทั่วไป และ คุณสมบัติทางกายภาพ

คุณสมบัติทางกายภาพของสแตนเลส เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุประเภทอื่น ค่าที่แสดงในตารางที่1 เป็นเพียงค่าประมาณ เนื่องจากการเปรียบเทียบทำได้ยาก ค่าความหนาแน่นสูงของสแตนเลสแตกต่างจากวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด ในส่วนของคุณสมบัติเกี่ยวกับความร้อนความสามารถ ทนความร้อนของสแตนเลส มีข้อสังเกต 3 ประการคือ

1) การที่มีจุดหลอมเหลวสูง ทำให้มีอัตราความยืดดี เมื่อเทียบกับเซรามิกที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1000 องศา C

2) การที่มีค่านำความร้อนระดับปานกลาง ทำให้สแตนเลสเหมาะที่จะใช้ในงานที่ต้องทนความร้อน (คอนเทนเนอร์) หรือต้องการคุณสมบัตินำความร้อนได้ดี (เครื่องถ่ายความร้อน)

3) การมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวระดับปานกลาง จึงสามารถใช้ความยาวมากๆ ได้โดยใช้ตัวเชื่อมน้อย (เช่น ในการทำหลังคา)

คุณสมบัติ เชิงกล

สแตนเลสโดยทั่วไปจะมีส่วนผสมของเหล็กประมาณ 70-80% จึงทำให้มีคุณสมบัติของเหล็กที่สำคัญ 2 ประการคือ ความแข็งและความแกร่ง เป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลกับวัสดุชนิดอื่น จะเห็นได้ว่าพลาสติกซึ่งเป็นวัสดุที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางมีความแข็งแรง และโมดูลัสความยืดหยุ่นต่ำ ส่วนเซรามิกมีความแข็งแรงและความเหนียวสูงแต่มีความแกร่งหรือความสามารถรับแรงกระแทกโดยไม่แตกหักต่ำ สแตนเลสให้ค่า ที่เป็นกลางของทั้งความแข็ง ความแกร่งและความเหนียว เนื่องจากมีส่วนผสมของธาตุเหล็กอยู่มาก และจะมีเพิ่มขึ้นอีกในชนิดออสเตนิติก แสดงให้เห็นค่าความแข็งแรงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) ของสแตนเลส ไม่ว่าจะชนิดที่อ่อนตัวง่าย ซึ่งสามารถทำให้ขึ้นรูปเย็นได้ดี เช่น การขึ้นรูปลึก (Deep Drawing) จนถึงชนิดความแข็งแรงสูงสุด ซึ่งได้จากการขึ้นรูปเย็นหรือการทำให้เย็นตัวโดยเร็ว (Quenching) หรือชนิดชุบแข็งแบบตกผลึก (Precipitation Hardening) ซึ่งเหมาะใช้ทำสปริง

คุณสมบัติของ สแตนเลส

สแตนเลสต่างชนิดกันที่มีโครงสร้างต่างกัน จะมีลักษณะค่าความแข็งแรงที่เปลี่ยนแปลงแตกต่างกันดังในรูปจะแสดงให้เห็น แนวโค้งของค่าความแข็งแรง โดยทั่วไปของเกรดสแตนเลส 4 ชนิด

1) เกรดมาร์เทนซิติก มีค่าความจำนนความแข็งแรง (Yield Strength : YS) และค่าความแข็งแรงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength : UTS) สูงมากในสภาพที่ผ่านกระบวนการอบชุบ แต่จะมีค่าการยืดตัว (Elongation : EL %) ต่ำ

2) เกรดเฟอร์ริติก มีค่าความจำนนความแข็งแรง และค่าความแข็งแรงสูงสุดปานกลาง เมื่อรวมกับค่าความยืดตัวสูง จึงทำให้สามารถขึ้นรูปได้ดี

3) เกรดออสเตนิติก มีค่าความจำนนความแข็งแรงใกล้เคียงกับชนิดเฟอร์ริติก แต่มีค่าความแข็งแรงสูงสุดและความยืดตัวสูง จึงสามารถขึ้นรูปได้ดีมาก

4) เกรดดูเพล็กซ์ (ออสเตไนท์ - เฟอร์ไรต์) มีค่าความจำนนความแข็งแรง และค่าความยืดตัวสูงจึงเรียกได้ว่า เหล็กชนิดนี้มีทั้งความแข็งแรง และความเหนียว (Ductility) ที่สูงเป็นเลิศ

ความต้านทานการกัดกร่อน

เหตุใดสแตนเลสจึงทนต่อการกัดกร่อนได้ โลหะทุกชนิดทั่วไปจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ เกิดเป็นฟิล์มออกไซต์บนผิวโลหะ หรือออกไซต์ ที่เกิดบนผิวเหล็กทั่วไปจะทำปฏิกิริยาออกซิไดซ์ และทำให้เกิดสภาพพื้นผิวเหล็กผุกร่อน ที่เรียกว่า เป็นสนิมแต่ สแตนเลสมีโครเมียมผสมอยู่ 10.5% ขึ้นไป ทำให้คุณสมบัติของฟิล์มออกไซต์บนพื้นผิวเปลี่ยนแปลงไปกลายเป็นฟิล์มปกป้อง หรือพลาสซิฟเลเยอร์ (Passive Layer) ที่เหมือนเกราะป้องกัน การกัดกร่อนซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่า พาสซิวิตี้ (Passivity) ฟิล์มปกป้องนี้จะมีขนาดบางมาก (สำหรับแผ่นสแตนเลสบางขนาด 1 มม. ฟิล์มหรือพาสซีฟ เลเยอร์นี้ จะมีความบางเทียบเท่ากับวางกระดาษ 1 แผ่น บนตึกสูง 20 ชั้น) และมองตาเปล่าไม่เห็นฟิล์มนี้จะเกาะติดแน่น และทำหน้าที่ปกป้อง สแตนเลส จากการกัดกร่อนทั้งมวล หากนำไปผลิตแปรรูปหรือใช้งานในสภาพเหมาะสม เมื่อเกิดมีการ ขีดข่วน ฟิล์มปกป้องนี้จะสร้างขึ้นใหม่ได้เองตลอดเวลา

ความคงทนของพาสซีสเลเยอร์ เป็นปัจจัยหลักของความต้านทานการกัดกร่อนของสแตนเลส นอกจากนี้ ยังขึ้นอยู่กับสภาพการกัดกร่อนอันได้แก่ ความรุนแรง ของปฏิกิริยาออกซิไดซ์ ความเป็นกรดปริมาณสารละลายคลอไรต์ และอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้วการเพิ่มปริมาณ โครเมียมจะช่วยเพิ่มความ ต้านทาน การกัดกร่อนของสแตนเลส การเติมนิกเกิลจะช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนโดยทั่วไป ให้ทนสภาวะกัดกร่อนรุนแรงได้ ส่วนโมลิบดินัมจะช่วยเพิ่ม ความต้านทานการกัดกร่อนเฉพาะที่ เช่น การกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting Corrosion)

ในทางปฏิบัติ สแตนเลสชนิดเฟอร์ริติก มีการใช้งานจำกัดในสภาพการกัดกร่อนปานกลางและในสภาพชนบท ทั้งชนิดเฟอร์ริติกและออสเตนิติก สามารถใช้ทำ อุปกรณ์เครื่องใช้ในครัวเรือนได้แต่เนื่องจากชนิดออสเตนิติกสามารถทนการกัดกร่อนได้ดี และทำความสะอาดง่ายจึงนิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร และเครื่องดื่ม นอกจากนี้ชนิดออสเตนิติกยังทนการกัดกร่อน

จากสารเคมีหลายประเภทได้แก่ กรด, อัลคาลายด์ เป็นต้น ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลาย ในอุตสาหกรรมเคมี และกระบวนการผลิตต่างๆ

ตาราง 12 ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดทั่วไป

ผลิตภัณฑ์	ตัวอย่าง	การใช้และข้อควรระวัง
ผงซักฟอก	ผงซักฟอก และสบู่ที่ใช้ในบ้าน	น้ำยาทำความสะอาดกระจก ใช้ล้างสแตนเลสได้เป็นครั้งคราว แต่ต้องล้างออกด้วยน้ำเย็นให้หมด
ยาฆ่าเชื้อ	ในบ้านและในอุตสาหกรรม	ต้องใช้ยาฆ่าเชื้อเจือจาง โดยจำกัดจำนวนครั้งที่ใช้ ต้องล้างออกด้วยน้ำให้สะอาด
สารละลาย	แอลกอฮอล์ และอะเซโทน	สำหรับคราบที่ล้างด้วยสบู่ไม่ออก เช่น สี และคราบมันจากสารอินทรีย์ จากนั้นล้างด้วยสารละลายแล้วเช็ดออกด้วยสบู่ และล้างออกด้วยน้ำสะอาด
กรดทำความสะอาด	สารละลายทำความสะอาดที่มีส่วนผสม ของฟอสฟอรัสและไนตริก	เป็นวิธีสุดท้ายที่ควรใช้ทำความสะอาดสแตนเลส ล้างออกด้วยน้ำร้อนหลายๆครั้ง โดยใช้ความระมัดระวัง ควรปรึกษาผู้เชี่ยวชาญสำหรับการใช้ที่ถูกต้องและปลอดภัย
ทำความสะอาดโดยใช้เครื่องมือ	การยิงผิวหน้า, การขัดผิวหน้า, การขัดด้วยลวด, การใช้ผงขัด	คราบที่ล้างออกยาก ต้องใช้ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดเชิงกล ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ต้องปลอดออกไซด์หลัก และระวังไม่ให้เกิดคราบขึ้นอีก การใช้ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้จะทำให้ พื้นผิวสแตนเลสมีการเปลี่ยนแปลง

ตาราง 13 วิธีทำความสะอาดสำหรับคราบสกปรกทั่วๆ ไป

คราบสกปรก	วิธีการทำความสะอาด
รอยนิ้วมือ	ล้างด้วยสบู่ ผงซักฟอก หรือสารละลาย เช่น แอลกอฮอล์ หรืออาเซโทน ล้างออกด้วยน้ำเย็น และเช็ดให้แห้ง
น้ำมัน คราบน้ำมัน	ล้างด้วยสารละลายไฮโดรคาร์บอน / ออร์กานิก (เช่น แอลกอฮอล์) แล้วล้างออกด้วยสบู่ /ผงซักฟอกอย่างอ่อน และน้ำ ล้างออกด้วยน้ำเย็น และเช็ดให้แห้ง แนะนำให้จุ่มชิ้นงานให้โชกก่อนล้างในน้ำสบู่อุ่นๆ
สี	ล้างออกด้วยสารละลายสี ใช้แปลงไนล่อนนุ่มๆ ขัดออก แล้วล้างออกด้วยน้ำเย็นและเช็คให้แห้ง
Carbob Deposit or Bked-on	จุ่มลงในน้ำ ใช้สารละลายที่มีแอมโมเนียเป็นส่วนประกอบ ล้างออกด้วยน้ำเย็นและเช็ดให้แห้ง
เปลี่ยนสีเนื่องจากความร้อน	ทาครีม (เช่น บรัสโซ) ลงบนแผ่นขัดที่ไม่ได้ทำจากเหล็ก แล้วขัดคราบที่ติดบนสแตนเลสออก ความร้อนขัดไปในทิศทางเดียวกันกับพื้นผิว ล้างออกด้วยน้ำเย็น และเช็ดให้แห้ง
ป้ายและ สติกเกอร์	จุ่มลงในน้ำอุ่นๆ ลอกเอาป้ายออกแล้วถูกาวออกด้วยเบนซิน ล้างออกด้วยสบู่และน้ำจากนั้นให้ล้างด้วยน้ำอุ่น เช็คให้แห้งด้วยผ้านุ่มๆ
รอยน้ำ / มะนาว	จุ่มลงในน้ำส้มสายชูเจือจาง (25%) หรือกรดไนตริก (15%) ล้างให้สะอาด ล้างออกด้วยสบู่และน้ำ จากนั้นล่างให้สะอาดด้วนน้ำอุ่น เช็คให้แห้งด้วยผ้านุ่มๆ
คราบชา – กาแฟ	ล้างด้วยโซดาไบคาร์บอเนต ในน้ำ ล้างออกด้วยสบู่และน้ำ จากนั้นล้างให้สะอาดด้วยน้ำอุ่น เช็คให้แห้งด้วยผ้านุ่มๆ
คราบสนิม	จุ่มในน้ำอุ่นที่มีส่วนผสมสารละลายกรดไนตริก ในอัตราส่วน 9 ต่อ 1 ประมาณครึ่งถึงหนึ่งชั่วโมง ล้างออกด้วยน้ำให้สะอาด หรือล้างผิวด้วยสารละลายกรดออกซาลิค ทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที ล้างออกด้วยน้ำเย็นและเช็คให้แห้งหรือต้องใช้เครื่องมือล้างหากคราบสนิมติดแน่น

ตาราง 14 ความรู้และเทคนิค

ควรทำ	ไม่ควรทำ
เมื่อไม่ได้มีการทำความสะอาดสแตนเลสอย่างสม่ำเสมอ เมื่อสังเกตเห็นคราบหรือฝุ่นละออง	ไม่ควรเคลือบผิวสแตนเลสด้วยแว็ก หรือวัสดุที่ผสมน้ำมัน เพราะจะทำให้คราบสกปรกหรือฝุ่นละอองติดบนพื้นผิวได้ง่ายขึ้น และล้างทำความสะอาดออกได้ยาก
ใดๆ ต้องรีบทำความสะอาดทันที	
การทำความสะอาดสแตนเลส ควรเริ่มจากผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด ที่อ่อนที่สุด โดยเริ่มใช้ในบริเวณเล็กๆ ก่อนเพื่อดูว่าเกิดผลกระทบอะไร กับผิวสแตนเลสหรือไม่	ไม่ควรใช้ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด ที่มีส่วนประกอบของคลอไรด์และฮาไลด์ เช่น โบรไมน์, ไอโอดีนและฟลูออรีน
ใช้น้ำอุ่นล้างคาบความมันออก	ไม่ควรใช้ยาฆ่าเชื้อในการทำความสะอาดชิ้นส่วนสแตนเลส
หมั่นล้างสแตนเลสด้วนน้ำสะอาด เป็นขั้นตอนสุดท้ายเช็ดให้แห้งด้วยผ้านุ่ม หรือกระดาษชำระ	ไม่ควรใช้กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ในการทำความสะอาด เพราะอาจก่อให้เกิดการกัดกร่อนแบบรูเข็ม และการแตกเนื่องจากความเครียด (Stress Corrosion Crocking)
เมื่อใช้กรดกัดทำความสะอาดสแตนเลสควรใช้ด้วยความระมัดระวัง	ไม่ควรใช้ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดที่เราไม่แน่ใจ
หลังจากใช้เครื่องครัวที่ทำด้วยสแตนเลสควรล้างให้สะอาดทุกครั้ง	ไม่ควรใช้ผลิตภัณฑ์ที่ทำความสะอาดเครื่องเงิน ในการทำความสะอาดสแตนเลส
หลีกเลี่ยงคราบ/สนิมเหล็ก ที่อาจติดมากับอุปกรณ์ทำความสะอาด ที่ทำมาจากเหล็ก หรือใช้ทำความสะอาดชิ้นส่วนเหล็กกล้าคาร์บอน	ไม่ควรใช้สบู่ หรือผงซักฟอกมากเกินไป เพราะจะทำให้ผิวสแตนเลสมัวและหมองลง
ในกรณีที่ประสบปัญหาในการทำความสะอาดสแตนเลสควรปรึกษาผู้เชี่ยวชาญ	ไม่ควรทำความสะอาด และทำพาสซิเวชั่นในขั้นตอนเดียวกัน ควรทำตามขั้นตอน คือ ล้างก่อนแล้วค่อยทำพาสซิเวชั่น

2.4 หลักการการเชื่อมและประเภทลวดเชื่อมและอุปกรณ์ตามประเภทเชื่อมอาร์กอน GTAW

การเชื่อมและลวดเชื่อมตามวัสดุเชื่อมอาร์กอน TIG หลักการ ชื่อทางการ : Gas Tungsten Are Welding (GTAW) หรือเรียกกันโดยทั่วไปว่าการเชื่อม TIG ทำงานโดยใช้ลวดทังสเตนที่ไม่หลอมละลายสร้างให้เกิดความร้อนสูงบนชิ้นงานในขณะเดียวกันก็ใช้ลวดเชื่อมเติมลงในแนวเชื่อมที่ต้องการโดยใช้แก๊สอาร์กอนที่ไหลผ่านออกมาทางแนวเชื่อมจะทำหน้าที่ปกคลุมบริเวณบ่อหลอมละลาย ส่วนประกอบ เครื่องเชื่อม TIG , หัวเชื่อม TIG, ลวดทังสเตน, ลวดเชื่อมTIG, แก๊สอาร์กอน, เกจแก๊สอาร์กอน

ข้อดี เป็นขบวนการที่ให้คุณภาพงานเชื่อมสูงแนวเชื่อมสวยงามและละเอียด สามารถเชื่อมได้โดยไม่ต้องใช้ลวดเชื่อม ไม่มีสะเก็ดเชื่อม การบิดตัวของชิ้นงานต่ำ

ข้อเสีย ต้องการทักษะของช่างเชื่อมสูง อัตราการเติมเนื้อเชื่อมต่ำ ไม่เหมาะกับการเชื่อมงานหนา อุปกรณ์มีราคาสูงกว่าระบบ MMA

ลวดเชื่อม เหล็ก WELDMAXX TIG 70S, KOBE TG S50
สแตนเลส WELDMAXX TIG 308L Si/309LSi / 316L Si / KOBE TGS 306L
อลูมิเนียม WELDMAXX TIG 4043 / 5356
ทองแดง / ทองเหลือง WELDMAXX BRONZE-59

เครื่อง Conventional พลัง PTM-300
Inverter hero F-20P, IMS TIG 160

ส่วนประกอบอื่น
เกจ์แก๊ส “ MORRIS” 101-FL
ทังสเตน WELDMAXX TG-WT20
สายแก๊สอาร์กอน , หน้ากากเชื่อม

2.5 โมเมนตัม (Momentum: $\bar{p}$)

โมเมนตัม คืออะไร ถ้ากำลังกล่าวถึงโครงการบางอย่าง เช่นโครงการก่อสร้างทางด่วนหรือทางยกระดับ และโครงการนั้นกำลังมีความคืบหน้าไปด้วยดี ในภาษาอังกฤษอาจพูดว่าโครงการนั้นกำลังมีโมเมนตัม ซึ่งหมายถึงโครงการกำลังมีพลังความสามารถที่จะดำเนินต่อไปด้วยดี ในทางวิชาฟิสิกส์ โมเมนตัมเป็นเฉพาะที่จะใช้กับปริมาณอย่างหนึ่งของการเคลื่อนที่ของวัตถุ ความหมายเหมือนจะเป็นปริมาณที่วัดความพยายามที่จะเคลื่อนไปข้างหน้าของวัตถุแต่อะไรคือปริมาณนั้น

ถ้าจะใช้ความรู้สึกของเราในการพยายามหยุดวัตถุที่เคลื่อนที่โดยใช้เวลาในการออกแรงทำให้หยุดเท่านั้น จินตนาการดูว่า (หรือทดลองทำดูจริง) ระหว่างการใช้มือรับลูกปิงปอง ลูกเทนนิส ลูกฟุตบอล และลูกเหล็ก (สำหรับทุ่มน้ำหนัก) ที่ปล่อยให้ตกจากที่สูงเท่ากัน จะบอกได้ว่า การรับลูกเหล็กต้องใช้แรงมากที่สุด รองลงมาเป็นลูกฟุตบอล แล้วลูกเทนนิส แล้วปิงปองตามลำดับ แสดงว่าแรงที่ใช้ในการรับเปลี่ยนตามมวลและอาจเป็นปฏิภาคกับมวล การตกจากที่สูงเท่ากัน แสดงว่า

ความเร็วก่อนถึงมือที่รับเท่ากัน ในขณะที่ถ้าใช้วัตถุเดียวกันปล่อยจากที่สูงต่างกัน จะพบว่า เมื่อตกจากที่สูงกว่า วัตถุตกถึงมือด้วยความเร็วสูงขึ้นก็ต้องใช้แรงที่รับมากขึ้น ปริมาณนี้อาจจะคล้ายพลังงานจลน์ แต่พลังงานจลน์วัดจากงานที่ทำให้หยุด หรือแรงที่ทำให้หยุดในระยะทางเท่ากัน แต่เมื่อเปลี่ยนเป็นแรงที่ทำให้หยุดในเวลาเท่ากันจะต่างกันอย่างไร

อย่างไรก็ตามทั้งมวลและความเร็วของวัตถุมีผลต่อการออกแรงเพื่อทำให้วัตถุที่กำลังเคลื่อนที่หยุดในเวลาเดียวกัน และด้วยเหตุผลที่จะได้เรียนต่อไป จะพบว่า ผลคูณระหว่างมวลและความเร็วของวัตถุที่เรียนกว่า โมเมนตัมของวัตถุ คือปริมาณที่วัดความพยายามที่จะเคลื่อนไปข้างหน้านั้น นั่นคือ เป็นการให้นิยามว่า

$$\bar{p} = m\bar{v} \qquad (6.1)$$

คือ $\bar{p}$ เป็นสัญลักษณ์แทนโมเมนตัมของวัตถุ
m แทนมวลของวัตถุ
$\bar{v}$ แทนความเร็วของวัตถุ

จากสมการ โมเมนตัมเป็นปริมาณเวกเตอร์มีทิศเดียวกับความเร็วและมีหน่วยเป็นกิโลเมตรต่อวินาที (kg m/s) ซึ่งเป็นหน่วยของมวลคูณความเร็ว ขนาดของโมเมนตัม p = mv เมื่อ v เป็นขนาดของความเร็ว

โมเมนตัมของวัตถุที่มีความเร็วสูง

การใช้กลศาสตร์นิวตันอธิบายในเชิงทฤษฎีกรณีที่วัตถุมีความเร็วใกล้เคียงกับความเร็วแสง จะไม่สอดคล้องกับผลการทดลอง จึงต้องใช้ทฤษฎีสัมพันธภาพพิเศษของไอน์สไตน์ ในกรณีนี้ยังคงใช้ $\bar{F} = \frac{\Delta \bar{p}}{\Delta t}$ เพียงแต่จะนิยามของ $\vec{p} = m\vec{v}$ เปลี่ยนเป็น

$$\vec{p} = \frac{m\vec{v}}{\sqrt{1-(v/c)^2}} \qquad (6.2)$$

เมื่อ c = ความเร็วแสงมีค่าเท่ากับ 3×10^8 m/s

จะเห็นได้ว่าในกรณีของวัตถุทั่วไปมีความเร็วน้อยกว่า c มากๆ เทอม v/c จะน้อยกว่าหนึ่งมากๆ ค่าที่ได้จากสมการ จะใกล้เคียงกับสมการ

แรงและการเปลี่ยนโมเมนตัม

จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตันที่นักเรียนได้เรียนแล้วจะได้ว่า ถ้า $\vec{F}$ เป็นแรงเดียวที่กระทำต่อมวล หรือแรงลัพธ์

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

ซึ่งหมายถึง $\vec{F}_{เฉลี่ย} = \frac{m(\Delta \vec{v})}{\Delta t}$ หรือ $\vec{F} = m\frac{d\vec{v}}{dt}$

โดยที่มวลของวัตถุมีค่าคงตัว (หากไม่คิดที่ความเร็วสูงตามทฤษฎีสัมพัทธภาพ) จึงอาจจะเขียนได้ว่า

$$\vec{F} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \frac{d\vec{p}}{dt} \qquad (6.3)$$

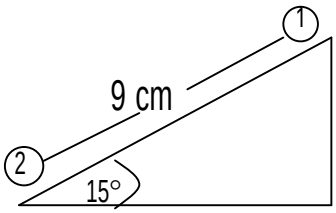
$\frac{d\vec{p}}{dt}$ คือ อัตราการเปลี่ยนโมเมนตัมของวัตถุต่อเวลา

สมการ (6.3) แปลความได้ว่า แรงลัพธ์กระทำกับวัตถุที่ขณะใดๆ เท่ากับอัตราการเปลี่ยนโมเมนตัมของวัตถุที่ขณะนั้นทั้งขนาดและทิศทาง

จากอุปกรณ์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น โมเมนตัมของลูกกอล์ฟก่อนถึงกระเดื่อง มีดังนี้

จากสูตรการหาค่าของโมเมนตัม $\vec{P} = m\vec{v}$

โดยรางมีความเอียงทำมุม 15 องศา กับพื้นระดับ และมวลของลูกกอล์ฟ 0.1 kg. ดังนั้นสามารถหาความเร็วของลูกกอล์ฟ



$$v^2 = n^2 + 29s$$

. โดยที่ลูกกอล์ฟมีความเร็ว gsime = $9.8 \times 0.25 = 2.45$ m/s^2

$$v^2 = 0 + 2(2.45)(\frac{9}{100})$$

$$v = 0.66 \quad m/s$$

ดังนั้น โมเมนตัมของลูกกอล์ฟ = 0.1×0.66

= 0.066 kg.m/s

ส่วนประกอบหลักที่สำคัญของการสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไกมีดังนี้

1) โครงหรือหน้ากากเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก เป็นส่วนประกอบที่ปกปิดระบบกลไกการทำงานของเครื่องที่ยึดติดกับฐานด้วย น็อตสกูร 4 ตัว ด้านหน้ามีช่องสำหรับปล่อยลูกมายังกระเดื่อง และด้านบนมีช่องสำหรับให้ลูกไหลลงเป็นพื้นเรียบลาดเอียงเพื่อรองรับจำนวนลูกกอล์ฟที่จะทำการฝึกซ้อมจำนวน 40 ลูก/ครั้ง

2) ตัวป้อนลูก เมื่อแป้นกดถูกกด ตัวป้อนลูกจะยกตัวขึ้นเพื่อป้อนลูกไปยังรางลำเลียงทีละลูก

3) รางลำเลียงลูก สามารถบรรจุลูกในรางลำเลียงได้ครั้งละ 7 ลูกเป็นอีกส่วนหนึ่งการใน ลำเลียงลูกไปยังกระเดื่อง

4) กระเดื่องวางลูกทำหน้าที่วางตำแหน่งลูกกอล์ฟไว้บนทียางได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

5) ตัวส่งลูกมีหน้าที่คอยส่งลูกจากรางลำเลียงไปยังกระเดื่องตั้งลูก

6) ฐานโครงสร้างเป็นส่วนสำคัญในการยึดชิ้นส่วนและระบบกลไกทั้งหมดข้าด้วยกันทำให้เครื่องเสร็จสมบูรณ์

7) คานกดหรือแป้นกดเป็นตัวควบคุมการทำงานทั้งระบบ คือกดที่แป้น 1 ครั้ง สามารถทำให้ตัวป้อนลูกส่งลูกไปยังรางลำเลียงพร้อมกับตัวดันลูกก็จะดันลูกให้ตกลงมาที่กระเดื่องลูกจะไหลลงมาตั้งบนทียาง

3. สมรรถนะของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก

ในทฤษฎีการสร้างแบบประเมินต่าง ๆ มีเป้าหมายในการประเมิน เช่น การกำหนดเป้าหมายของการประเมิน การกำหนดคุณค่า กำหนดเกณฑ์การประเมิน กำหนดรูปแบบการประเมิน เช่น ในการสร้างงานวิจัยเรื่อง การสร้างเครื่องพับแผ่นอะคริลิก (อนุวัติ สุเพียร.(2544:135) มีการประเมินสมรรถนะของเครื่อง 2 ด้านคือ ด้านเครื่องพับแผ่นอะคริลิคและมีการประเมินรายด้าน เช่น การปรับเครื่อง การตั้งมุมในการพับได้ตามองศาต่าง ๆ และด้านรอยพับแผ่นอะคริลิคมีการประเมินรายด้าน เช่น ได้องศาตามมุมพับที่ต้องการ ความตรงของรอยพับ ผิวของรอยพับ จากการประเมินสองด้านดังกล่าวจะเห็นว่าการประเมินจะแยกเป็นส่วนของตัวเครื่องตามรายด้านต่าง ๆและแยกประเมินด้านคุณภาพคือ ผลลัพธ์จากการใช้เครื่องฯในรายด้านต่าง ๆ จึงทำให้ผลการประเมินสมบูรณ์

ความสามารถในการใช้งาน ในปัจจุบันได้มีการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ มากมายกับเครื่องใช้เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้งาน ดังนั้นเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้ผิดวิธีของผู้ใช้ก็จะต้องศึกษาวิธีใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ เหล่านี้โดยละเอียด ซึ่งจะระบุไว้ในหนังสือคู่มือการใช้ของแต่ละรุ่นและต้องปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัด เพื่อให้เครื่องมือเครื่องใช้สามารถทำงานได้เต็มที่ และสามารถทำงานได้ตรงตามเป้าหมายอย่างมีประสิทธิภาพ (ประณีต กุลประสูติ.2535 : 102)

การติดตั้ง คือ การเตรียมความพร้อมของอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้องจัดเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอันหนึ่งที่มีผลต่อความปลอดภัยของผู้ใช้และประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องมือ ดังนั้นเพื่อที่จะให้บรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าว จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์อย่างถูกต้องก่อนการใช้งาน อย่างไรก็ตามเครื่องมือหรืออุปกรณ์ในปัจจุบันมีมากมายหลายชนิด ทั้งการออกแบบก็แตกต่างกันออกไประหว่างรุ่นและกลุ่มผู้ผลิต ดังนั้นการศึกษาข้อมูลโดยละเอียดจากหนังสือคู่มือสำหรับผู้ใช้ จึงเป็นสิ่งสำคัญอันจะเป็นผลทำให้เกิดความปลอดภัยในการทำงาน และเครื่องมือก็สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ประณีต กุลประสูติ.2535: 68)

ความแข็งแรง สิ่งสำคัญที่สุดที่จะต้องคำนึงถึงในการออกแบบคือ ความแข็งแรง (Strength) ซึ่งจัดว่าเป็นองค์ประกอบหลักในการกำหนดรูปร่างและขนาดของชิ้นส่วน จึงกล่าวได้ว่าความแข็งแรงจึงเป็นข้อพิจารณาในการออกแบบที่สำคัญอย่างหนึ่ง และสิ่งอื่นๆ อีกหลายอย่าง ที่ต้องพิจารณาซึ่งอาจจะเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดกระทบกระเทือนต่อการออกแบบชิ้นส่วน หรือต่อทุกระบบ และในสภาพการออกแบบที่อยู่ภายใต้ข้อกำหนด ข้อพิจารณาบางอย่างในการออกแบบอาจจะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดวิกฤตขึ้นได้ ซึ่งนั้นก็หมายถึงชิ้นส่วน หรือเครื่องจักรกล หรือระบบที่ได้ออกแบบมีความเสียหาย ไม่สามารถใช้งานได้ หรือใช้งานได้ไม่ถึงขีดความสามารถตามที่ออกแบบไว้ (อนันต์ วงศ์กระจ่าง.2533 : 4)

การบำรุงรักษา เทคโนโลยีที่ได้รับการพัฒนามาโดยลำดับ ในประวัติศาสตร์ของมนุษย์เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้มีความหลากหลายในรูปแบบของผลิตภัณฑ์ สิ่งของอุปโภค และบริโภค สืบเนื่องมาจากความต้องการที่ไม่สิ้นสุดของลูกค้าหรือมนุษย์ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ผลักดันให้องค์กรทุกๆ องค์กรไม่ว่าจะเป็นองค์กรด้านการผลิต องค์การด้านการบริการ ฯลฯ ต้องนำมาพิจารณาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์ (Demand) มีน้อยกว่าความสามารถในการผลิตขององค์กรต่างๆ (Supply) โดยมีแนวความคิดเปลี่ยนได้โดยสิ้นเชิงเมื่อเทียบกับยุคปี ค.ศ. 1900 ที่ความต้องการผลิตภัณฑ์มากกว่าความสามารถในการผลิต ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีรูปแบบของเครื่องจักรกลที่สลับซับซ้อน และมีความสามารถในการผลิตที่หลากหลาย ในความยุ่งยากและสลับซับซ้อนด้านเทคโนโลยีเครื่องจักรกล , หุ่นยนต์ หรือแม้กระทั่งยานยนต์รุ่นใหม่ๆ ก็มีผลทำให้ฝ่ายซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักรให้สอดคล้องกับความต้องการใช้เครื่องจักรในการผลิต ทั้งในแง่ของเวลาและความแม่นยำของผลที่ได้ที่เกิดขึ้นจากการใช้เครื่องอุปกรณ์นั้นๆ เป็นการสรุปแนวของการวิวัฒนาการที่เกิดขึ้นในช่วงปี ค.ศ. 1950 ถึงหลังช่วงปี ค.ศ. 2000 ว่ามีการพัฒนาวิธีการบำรุงรักษาไปในรูปแบบใด เพื่อให้คล้องกับแนวความคิดหรือเทคโนโลยีการผลิตที่เปลี่ยนไป

จะเห็นได้ว่าแนวความคิดในการเกิดวิวัฒนาการในการบำรุงรักษามีบ่อเกิดมาจากการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีในการผลิตและคอมพิวเตอร์ ซึ่งทำให้มีการผลักดันให้มีการเปลี่ยนแปลงไปของวิธีการบำรุงรักษา แสดงถึงความก้าวหน้าของวิธีการบำรุงรักษาแบบต่างๆ ดังต่อไปนี้

การบำรุงรักษาแบบซ่อมเมื่อเสีย (Breakdown Maintenance)

การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance)

การบำรุงรักษาทวีผล (Productive Maintenance)

การบำรุงรักษาเชิงปรับปรุงแก้ไข (Corrective Maintenance)
การป้องกันการบำรุงรักษา (Maintenance Prevention)
วิศวกรรมความน่าเชื่อถือ (Reliability Engineering)
ทีโรเทคโนโลยี (Terotechnology)
การบำรุงรักษาทวีผลที่ทุกคนมีส่วนร่วม (Total Productive Maintenance)
การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance)
การบำรุงรักษาเชิงรุก (Proactive Maintenance)

แนวความคิดในการบำรุงรักษาแผนใหม่ถูกเริ่มนำมาใช้ในงานการบำรุงรักษาเครื่องจักรในโรงงานอุสาหกรรมในต่างประเทศเป็นระยะเวลานานแล้ว เช่น ประเทศต่างๆ ในทวีปยุโรป ประเทศสหรัฐอเมริกา ประเทศญี่ปุ่น เป็นต้น อย่างไรก็ตามศาสตร์ดังกล่าวในบ้านเรายังไม่เป็นที่แพร่หลายมากนัก ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจาก

1) ขาดการสนับสนุนทางด้านเงินทุน
2) ขาดบุคลากรที่มีความรู้ในด้านนี้
3) เครื่องมือมีราคาแพง (ในปัจจุบันมีแนวโน้มว่าจะถูกลง)
4) ขาดแนวความคิดรวบยอดสำหรับงานบำรุงรักษา
5) มองไม่เห็นประโยชน์หรือความสำคัญของการบำรุงรักษา
6) ขาดรากฐานทางการศึกษาด้านวิศวกรรมการบำรุงรักษาของช่างเทคนิคและวิศวกร
7) มักมีการเชื่อกันว่าผู้ซ่อมแซมเครื่องจักรสำคัญมากกว่าผู้บำรุงรักษาเครื่องจักร

ก่อนที่เราจะทำความรู้จักกับวิวัฒนาการของการบำรุงรักษาแผนใหม่จะกล่าวทบทวนถึงศาสตร์การบำรุงรักษาที่ถูกนำมาใช้ในการดูแลรักษาเครื่องจักรกลในโรงงานและ/หรือเครื่องยนต์ต้นกำลังต่างๆ เช่น เครื่องยนต์สันดาปภายใน (ดีเซล หรือ เบนซิน) ในอดีตกาลครั้งที่มนุษย์เริ่มสร้างเครื่องกลผ่อนแรงขึ้นมาใช้งาน การดูแลรักษาเครื่องกลดังกล่าวให้ทำงานอย่างต่อเนื่อง และทำงานให้เต็มประสิทธิภาพเป็นสิ่งที่ต้องการของทุกๆ องค์การ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตยิ่งในระยะหลังสงครามโลกครั้งที่สองด้วยแล้ว เครื่องจักรกลประเภทที่มีความสลับซับซ้อนถูกนำมาใช้ทดแทนเครื่องมือกลผ่อนแรงแบบเก่า จะพบว่าในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางจนถึงขนาดใหญ่ได้นำเครื่องมือกลแบบดังกล่าวมาใช้ในงานการผลิตเป็นหลัก ดังนั้นเพื่อที่จะสามารถใช้งานเครื่องจักรเหล่านี้ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด จึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องทำให้เครื่องจักรเหล่านี้หยุดทำงานเนื่องจากการชำรุดให้น้อยที่สุด (อาจจะเกิดการชำรุดทางด้านกลไก (Mechanical Failures) หรือทางด้านนำไฟฟ้า (Electrical Failures) จะเห็นได้ว่าวัตถุประสงค์ของงานการบำรุงรักษาเครื่องจักรกล คือ การลดจำนวนครั้งของการชำรุดของเครื่องจักรให้น้อยที่สุดลดค่าใช้จ่ายงานซ่อม (ทั้งค่าใช้จ่ายทางตรง และทางอ้อม (Both Direct and Indirect Breakdown Maintenance Costs) เพิ่มช่วงเวลาความพร้อมใช้งานของเครื่องจักร (Machine Availability Period) เพิ่มระดับความปลอดภัยให้กับผู้ควบคุมเครื่องจักร (ในกรณีของโรงงานอุตสาหกรรม) หรือผู้โดยสาร

(ในกรณีของยานพาหนะโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับอากาศยาน) โดยหลักการแล้วงานการบำรุงรักษาสามารถแบ่งออกเป็นสี่ประเภท คือ ซ่อมเมื่อเสีย (Breakdown Maintenance: BM) การบำรุงรักษาตามแผน (Planned / Preventive Maintenance: PM) การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์หรือโดยการคาดคะเน (Predictive Maintenance: PM) และการบำรุงรักษาเชิงรุก (Proactive Maintenance)

การซ่อมเมื่อเสีย (Breakdown Maintenance: BM)

(Fix it When it Broke - ซ่อมเครื่องจักรเมื่อเสีย)

วิธีการบำรุงรักษาวิธีนี้ถือได้ว่า เป็นแนวความคิดในงานการบำรุงรักษาที่เก่าแก่ที่สุด ในตำราบางเล่มให้นิยามวิธีการบำรุงรักษาแบบนี้ว่า “ดำเนินการโดยไร้การบำรุงรักษา (Onmaintenance at all or Maintenance Less) ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะว่าโดยข้อเท็จจริงแล้วก็คือว่า บุคลากรในฝ่ายบำรุงรักษาจะไม่ออกไปปฏิบัติงานใดๆ เลยจนกว่าจะมีรายงานว่ามีเครื่องจักรชำรุดจนใช้งานต่อไปไม่ได้ อย่างไรก็ตามการบำรุงรักษาแบบนี้ยังคงมีใช้อยู่กับสถานการณ์บางลักษณะ เช่น ในเครื่องจักรที่ไม่สลับซับซ้อน และเมื่อมีชิ้นส่วนอะไหล่พร้อมอยู่เสมอ หรือสามารถสั่งซื้อได้อย่างทันทีทันใด โดยที่ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการบำรุงรักษาแบบนี้ ควรจะมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการประยุกต์ใช้วิธีการบำรุงรักษาวิธีอื่นๆ ตัวอย่างใดการบำรุงรักษาแบบนี้ ได้แก่ หลอดไฟฟ้าต่างๆ ซึ่งจะถูกปล่อยไว้จนกระทั่งหลอดขาด หรือในกรณีของแผ่นผ้าเบรกรถยนต์ หน้าสัมผัส สลิง เป็นต้น

ข้อเสียในการบำรุงรักษาชนิดนี้ ได้แก่

ไม่มีสัญญาณใดๆ บอกเป็นการเตือนล่วงหน้าเมื่อเครื่องจักรเริ่มชำรุด

ไม่สามารถยอมรับได้ ในระบบที่ต้องการความเชื่อมั่นสูง เช่น ในอากาศยาน

ต้องเก็บชิ้นส่วนอะไหล่ไว้เป็นจำนวนมาก ซึ่งหมายถึงว่าค่าใช้จ่ายในการเก็บของคงคลังสูง

ไม่สามารถบรรลุเป้าหมายในการปฏิบัติตามแผนการผลิตได้ตามประสงค์

ไม่สามารถวางแผนงานในแผนกการบำรุงรักษาได้

การบำรุงรักษาตามแผน (Planned Maintenance: PM)

(Fix it Before it Breaks – บำรุงรักษาเครื่องจักรก่อนที่จะเกิดการชำรุด)

เพื่อเป็นการลบล้างข้อบกพร่องของการบำรุงรักษาเมื่อชำรุด จึงได้มีการพัฒนางานทางด้านการบำรุงรักษาตามแผนขึ้นมา กล่าวโดยย่อก็คือ การบำรุงรักษาเครื่องจักรกลตามระยะเวลาที่กำหนดขึ้นโดยอาจจะได้มาจากประสบการณ์ หรือจากคู่มือการใช้งานของเครื่องจักรนั้นๆ อย่างไรก็ตามการชำรุดของเครื่องจักรโดยไม่คาดคิด ก็ไม่สามารถขจัดออกไปได้ ทั้งนี้เนื่องมาจากว่า รูปแบบการชำรุดของเครื่องจักร (ในแง่ของการกระจายทางสถิติ) ไม่ได้อยู่ในลักษณะของการกระจายแบบสม่ำเสมอ (Uniform Distribution) ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะเลือกช่วงการบำรุงรักษาตามแผนที่เหมาะสมและในบางกรณี ถึงแม้ว่าได้ปฏิบัติการบำรุงรักษาตามแผนแล้วก็ตามก็ยังคงมีโอกาสที่จะเกิดการชำรุดของเครื่องจักรโดยไม่คาดคิดอีกอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ สรุปได้ว่าการใช้การบำรุงรักษาแบบนี้จะทำให้เป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในการผลิตทั้งทางตรง และทางอ้อม ตัวอย่าง

ของการบำรุงรักษาแบบนี้ได้แก่ การตรวจเช็คระดับน้ำมันที่บริเวณช่องตรวจระดับน้ำมัน การเปลี่ยนถ่ายน้ำมันตามระยะเวลา การถอดเปลี่ยนชิ้นส่วนที่สำคัญบางชิ้นส่วนตามระยะเวลาฯลฯ ปัญหาหนึ่งที่พบเสมอเมื่อทำการบำรุงรักษาตามระยะเวลา คือ ทำการเปลี่ยนชิ้นส่วนบางชิ้นโดยไม่จำเป็น และในบางกรณีอาจจะเป็นการรบกวนชิ้นส่วนในระบบอื่นโดยไม่จำเป็น รวมไปถึงในกรณีที่มีการประกอบกลับของชิ้นส่วนเข้าที่ไม่ถูกต้อง ซึ่งนับว่าได้รับผลเสียมากกว่าผลดีเสียอีก ในช่วงศตวรรษที่ผ่านมาจึงมีวิธีการบำรุงรักษาแบบใหม่ที่เรียกกันว่า Reliability– Centred – Maintenance (RCM) โดยมีหลักการย่อๆ ดังนี้ คือ

การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์หรือโดยการคาดคะเน (Predictive Maintenance: PM)

(Fix it Before it Fails – บำรุงรักษาก่อนที่ เครื่องจักรจะเกิดการชำรุด)

โดยทั่วไปในปัจจุบันเป็นที่ทราบกันแล้วว่าเครื่องจักรจะมีกลไก และวิธีการทำงานที่สลับซับซ้อนมากกว่าในสมัยก่อนๆ รวมทั้งเป็นการยากที่จะทำการถอดเปลี่ยน หรือทำการตรวจเช็คตามจุดที่สำคัญของงานการบำรุงรักษาตามแผน (PM) วิธีการในงานการบำรุงรักษาโดยการคาดคะเนนับได้ว่าเป็นปรัชญาใหม่ในศาสตร์ของการบำรุงรักษาเครื่องจักร แนวความคิดโดยสรุปก็คือ การใช้วิธีการหรือเทคนิคใหม่ๆ ของเครื่องมือวัดชนิดต่างๆ เช่น อุปกรณ์ในการวัดความสั่นสะเทือน กล้องอินฟราเรด เทอร์โมกราฟฟี่ เป็นต้น โดยพื้นฐานแล้วพอที่จะจัดแบ่งการบำรุงรักษาแบบนี้ออกเป็นวิธีย่อยๆ คือ การวิเคราะห์สัญญาณความสั่นสะเทือน (Vibration Analysis) การวิเคราะห์สารหล่อลื่นใช้แล้ว (Oil / Wear Particle Analysis) การวิเคราะห์สมรรถนะเครื่องจักร (Performance Monitoring) การวิเคราะห์ภาพถ่ายความร้อน (Thermograph / Temperature Monitoring) ซึ่งมักจะเรียกวิธีการเหล่านี้ว่าการติดตามสภาพเครื่องจักร (Condition Monitoring) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า การติดตามสุขภาพเครื่องจักร (Machine Health Monitoring) ก็จัดได้ว่าเป็นส่วนหนึ่งของการบำรุงรักษาแบบคาดคะเน ความจริงแล้วการทำ CM : Condition Monitoring หรือ MHM : Machine Health Monitoring ไม่ใช่ของใหม่ เพราะโดยทั่วไปแล้ววิศวกรหรือผู้ควบคุมเครื่องก็ใช้สามัญสำนึกในการดูแลรักษาเครื่องจักรอยู่แล้ว เช่น การใช้สายตาตรวจดูลักษณะโดยทั่วไป การใช้จมูกดมกลิ่นไหม้ การใช้หูฟังเสียงที่ดังผิดปกติ และการใช้ฝ่ามือสัมผัส (ความร้อนและ/หรือความสั่นสะเทือน) เป็นต้น อย่างไรก็ตามวิธีการตรวจสอบ ดังกล่าวจะเป็นลักษณะการประเมินสภาพเครื่องจักรที่ไม่มีข้อยุติที่แน่นอน ทั้งนี้เนื่องมาจากความไม่เที่ยงตรงของประสาทสัมผัสของคนแต่ละคนที่ไม่เหมือนกัน ดังนั้นการใช้เครื่องมือตรวจวัดเชิงปริมาณสำรับการบำรุงรักษาแบบคาดคะเนจึงเป็นสิ่งสำคัญ ทั้งนี้เพราะทำให้ได้ข้อสรุปที่ไม่มีการ บิดพลิ้วในการประเมินสภาพของเครื่องจักร ดังนั้นจากความหมายของ “Predictive Maintenance” ก็พอที่จะสรุปได้ว่า เมื่อสามารถทราบถึงลักษณะของต้นเหตุของการชำรุดก็พอที่จะสามารถจัดเตรียมการล่วงหน้าสำหรับ แรงงาน ชิ้นส่วนอะไหล่ และกำหนดช่วงเวลาการทำงานที่ไม่ขัดกับแผนการผลิตหลักได้ ในกรณีที่มีการประยุกต์ใช้ “Predictive Maintenance” ที่เหมาะสม ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ คือ

ลดค่าใช่จ่ายในการบำรุงรักษา

ลดสถิติการชำรุดของเครื่องจักร

ลดเวลาในการซ่อมเมื่อเครื่องจักรเสีย

ลดปริมาณอะไหล่คงหลังในการบำรุงรักษา

เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต

วางแผนการบำรุงรักษาได้ประสิทธิภาพสูงขึ้น

ทำให้การหยุดชะงักในการผลิตน้อยลง

แนวทางในการติดตามสภาพเครื่องจักรมีสององค์ประกอบ คือ

1) หาแนวทาง/วิธีในการติดตามสภาพเครื่องจักร

2) วิเคราะห์หาจุดบกพร่องของชิ้นส่วนเครื่องจักร เช่น อาจจะเนื่องมาจาก การชำรุดของซีล ไส้กรอง เกียร์ และตลับลูกปืน เป็นต้น

เพื่อที่จะให้เกิดผลสำเร็จในงานการติดตามสภาพเครื่องจักรจะต้อง

จัดตั้งกลุ่มบุคลากรในการติดตามสภาพเครื่องจักร

เครื่องจักรใดควรถูกติดตามสภาพ และควรเป็นที่ชิ้นส่วนใด

จัดตั้งช่วง/ค่ากำหนดควบคุมของพารามิเตอร์ในการติดตามสภาพเครื่องจักร

บันทึก วิเคราะห์ และรายงานถึงลักษณะสภาวะการเริ่มชำรุดของเครื่องจักร

แปรผล และวิเคราะห์ถึงจุดชำรุดโดยผู้เชี่ยวชาญ หรือวิศวกร

ศึกษาถึงรากของสาเหตุ และเปรียบเทียบกับประวัติของเครื่องจักร

จัดตั้งแนวทางในการแก้ปัญหา เพื่อป้องกันมิให้เกิดการชำรุดซ้ำอีก

การบำรุงรักษาเชิงรุก (Proactive Maintence)

(Fix it Before it Starts to Fais – การบำรุงรักษาก่อนที่เครื่องจักรจะเริ่มที่จะชำรุด)

นับได้ว่าการใช้เทคนิคการบำรุงรักษาโดยวิธีนี้เป็นการบำรุงรักษาเครื่องจักรที่ค่อนข้างใหม่ต่อวงการอุตสาหกรรม ทั้งนี้เพราะแนวความคิดดังกล่าวนี้เพิ่งถูกตีพิมพ์เมื่อประมาณ ปี ค.ศ.1985 โดยย่อแล้ว งานการบำรุงรักษาแบบนี้จะมุ่งพิจารณาที่ “รากของปัญหา (Root Causes of Failure)” โดยที่ Root Causes สามารถแบ่งย่อยออกเป็นแปดอย่าง คือ ความไม่เสถียรทางเคมี (Chemical Stability) ความไม่เสถียรทางกายภาพ (Physical Stability) ความไม่เสถียรทางอุณหภูมิ (Temperature Stability) ความไม่เสถียรทางการสึกหรอ (Wear Stability) ความไม่เสถียรทางการรั่วไหล (Leakage Stability) การเกิดโพรงอากาศในระบบไฮดรอลิก (Cavitation) ความไม่เสถียรในระดับของสิ่งสกปรก (Contamination) และความไม่เสถียรจากการบิดตัวหรือการเยื้องศูนย์ (Distortion & Misalignment) เมื่อใดที่มีการไม่สมดุลในระบบของเครื่องจักร (อาจจะเกิดความไม่มี Stability ในหนึ่งใน Root Causes ที่กล่าวมา หรืออาจจะมีความไม่สมดุลในระบบมากกว่าหนึ่งสาเหตุก็เป็นได้) ตัวอย่างที่เห็นได้ง่ายๆ ในระบบไฮดรอลิก ก็คือการที่มีสิ่งสกปรก (Contaminants) หลุดรอดเข้าไปในระบบ ซึ่งอาจจะเกิดจากการเติมน้ำมันที่สกปรกเข้าไปในระบบ การเสื่อมสภาพของไส้กรองอากาศ การชำรุดฉีกขาดของซีล เป็นต้น และสิ่งสกปรกดังกล่าวก็จะเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ระบบขาดสมดุลไป เมื่อ

วิศวกรหรือผู้ชำนาญการทราบถึง Root Causes ก็จะทำการแก้ไขให้ระบบกลับคืนสู่สมดุล เช่น ใช้ไส้กรองที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เปลี่ยนซีลที่ขาด หรือทำการกรองน้ำมันที่สงสัยว่ามีสิ่งสกปรกผสมอยู่ เป็นต้น อย่างไรก็ตามเนื่องจากจำเป็นต้องใช้ทั้งเครื่องมือ และบุคลากรที่มีความชำนาญสูงในการค้นหา Root Causes แนวความคิดในการบำรุงรักษาแบบนี้จึงยังไม่แพร่หลายมากนัก โดยสรุปทั้งสี่แนวทางในการบำรุงรักษาสามารถสรุปได้สั้นๆ ว่า

Breakdown Maintenance ซ่อมเมื่อเสีย
Preventive Maintenance ซ่อมก่อนที่จะชำรุด
Predictive Maintenance ซ่อมเมื่อเริ่มที่จะชำรุด
Proactive Maintenance ซ่อมก่อนที่จะเริ่มชำรุด

ก่อนที่จะกล่าวถึงการบำรุงรักษาแบบต่างๆ ในรายละเอียด ผู้ที่สนใจในงานการบำรุงรักษาควรจะรู้จักกับวิธีการบำรุงรักษาเบื้องต้น ดังนี้

การซ่อมฉุกเฉิน – การซ่อมเมื่อเสีย (Breakdown Maintenance: BN)

บางครั้งถูกเรียกว่า Maintenance less, Run –to – Failure, Failure Maintenance, Panic Maintenance หรือ Reactive Maintenance เป็นการบำรุงรักษาหรือซ่อมหลังจากการเกิดการชำรุดของชิ้นส่วนเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ เป็นวิธีการที่ไม่มีการวางแผนล่วงหน้า และมักจะทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงที่สูง และสร้างความไม่พึงพอใจให้กับบุคลากรที่ต้องมาทำงานนอกเวลา เช่น พนักงานในฝ่ายผลิตหรือพนักงานในฝ่ายซ่อมบำรุง

การบำรุงรักษาเชิงปรับปรุงแก้ไข (Corrective Maintenance : CM)

วิธีการบำรุงรักษาแบบนี้โดยหลักการแล้วก็ใช้วิธีการที่เรียกกันว่า“การติดตามสมรรถนะเครื่องจักร” นั่นเองโดยที่เมื่อสมรรถนะเครื่องจักรลดลงก็จะต้องใช้วิธีการในการบำรุงรักษาหรือเพื่อทำการปรับตั้งให้สภาพเครื่องจักรกลับไปมีสภาพใกล้เคียงหรือเหมือนกับสภาพเดิน ให้มากที่สุด อาจจะต้องมีการคาดคะเน มีการวางแผนล่วงหน้า และอาจจะต้องทำการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงบางชิ้นส่วนของเครื่องจักรทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสบการณ์ และนอกจากนั้นวิธีการบำรุงรักษาแบบนี้ยังรวมไปถึงการซ่อม เมื่อเครื่องจักรชำรุดแต่จะต่างจาก BM ตรงที่ต้องทำการปรับปรุงแก้ไขในสิ่งที่คิดว่าเป็นส่วนที่ทำให้เครื่องจักรชำรุดด้วยอาทิการเปลี่ยนแปลงชนิดวัสดุ ขนาดของแบริ่ง ฯลฯ โดยสรุปอาจจะกล่าวได้ว่า CM เป็นวิธีการบำรุงรักษาที่ผสมผสานกันระหว่าง BM และการทำ Corrective Maintenance คือการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงหลังการชำรุดให้ถูกต้อง(สุรพล ราษฎร์นุ้ย.2545 : 9 -21)

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยทำการประเมินสมรรถนะในด้านต่างๆ 4 ด้าน คือ ด้านความสามารถในการใช้งาน ด้านการติดตั้ง ด้านความแข็งแรง และด้านการบำรุงรักษา โดยแยกออกเป็นรายละเอียดในแต่ละด้านดังต่อไปนี้

1) ด้านความสามารถในการใช้งาน
   1.1) การควบคุมการทำงานทำได้ง่าย
   1.2) สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง
   1.3) การปรับระดับความสูง ต่ำ ทำได้สะดวก

1.4) สามารถตั้งลูกกอล์ฟได้อย่างแม่นยำ
1.5) สามารถบรรจุลูกกอล์ฟได้เหมาะสมกับขนาด
1.6) สามารถตั้งลูกกอล์ฟได้ภายในเวลาที่กำหนด คือ 3 วินาที/ 1ลูก
1.7) ความเร็วในการตั้งลูกมีความเหมาะสม
1.8) เครื่องตั้งฯมีความคล่องตัวในขณะใช้งาน
1.9) มีความสะดวกในการใช้เครื่องตั้งลูกกอล์ฟด้วยตนเอง
1.10) มีความสะดวก ประหยัด และความปลอดภัยสูง

2) ด้านการติดตั้ง
2.1) การติดตั้งทำด้วยความสะดวก
2.2) สามารถติดตั้งได้เองโดยการศึกษาจากคู่มือสำหรับผู้ใช้
2.3) การใช้พื้นที่ในการตั้งเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ไม่เปลืองเนื้อที่มาก
2.4) การจัดวางเครื่องฯเป็นไปอย่างเหมาะสม
2.5) สามารถถอดแยกชิ้นส่วนประกอบของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟเองได้
2.6) เครื่องมือที่ใช้ในการถอดแยกหาได้ง่าย
2.7) เครื่องตั้งลูกกอล์ฟมีขนาดเหมาะสมกับการใช้งาน
2.8) สามรถเคลื่อนย้ายได้สะดวก
2.9) การติดตั้งใช้เวลาไม่นาน
2.10) สามารถติดตั้งได้โดยปลอดภัย

3) ด้านความแข็งแรง
3.1) การออกแบบเครื่องฯมีความเหมาะสม
3.2) การสร้างใช้วัสดุที่มีความเหมาะสม
3.3) วัสดุที่ใช้มีความแข็งแรงทนทาน
3.4) สามารถใช้ได้ทุกสภาพอากาศไม่เป็นสนิม
3.5) ชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่าง ๆมีความแข็งแรง
3.6) มีความแข็งแรงของโครงสร้าง
3.7) มีความแข็งแรงของรอยเชื่อม
3.8) น้ำหนักของเครื่องฯเหมาะสมกับขนาด
3.9) ชิ้นส่วนทุกชิ้นมีรูปร่างลักษณะแยกชิ้นส่วนประกอบได้
3.10) วัสดุในการผลิตสามารถหาซื้อได้ง่าย

4) ด้านการบำรุงรักษา
4.1) การทำความสะอาดชิ้นส่วนอุปกรณ์ทำได้ง่าย
4.2) ประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา
4.3) การเก็บรักษาทำได้สะดวก
4.4) มีความสะดวกในการถอดแยกประกอบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟ

4.5) มีจุดตรวจที่ต้องการบำรุงรักษาชิ้นส่วนต่างๆ น้อย
4.6) สามารถตรวจสอบสภาพและการทำงานของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟได้ง่าย
4.7) การซ่อมแซมส่วนประกอบที่ชำรุดหรือสึกหรอทำได้ง่าย
4.8) สามารถตรวจสอบเมื่อเครื่องเกิดขัดข้องขณะใช้งานทำได้ง่าย
4.9) สามารถหาซื้ออุปกรณ์ที่ต้องบำรุงรักษาได้ง่ายภายในประเทศ
4.10) วัสดุที่ใช้ในการผลิตสามารถหาซื้อได้ง่าย ราคาไม่แพง

4. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4.1 งานวิจัยในประเทศ

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องครั้งนี้มีส่วนสำคัญในการออกแบบและสร้างเครื่องมือ พบว่า มีการสร้างเครื่องมือสำหรับการฝึกสมรรถภาพทางกาย และการฝึกทักษะด้านกีฬา ทำให้ผู้วิจัยได้ใช้เป็นเหตุผลและแรงบันดาลใจทำให้เกิดแนวคิดและมีเหตุผลรองรับซึ่งทำให้เกิดงานวิจัยขึ้นมา

กฤษดา จุลชาด (2543: 60,63) ได้วิจัย เรื่องแรงจูงใจในการเล่นกีฬากอล์ฟนั้นได้วิจัยในส่วนของแรงจูงใจในการเล่นกอล์ฟแบ่งกลุ่มแยกตามลักษณะของเพศ อายุ โดยผลของงานวิจัยสรุปว่า เพศชายมีแรงจูงใจในการเล่นกีฬากอล์ฟและมีแรงจูงใจในระดับมาก ให้เหตุผลด้านความคิดเห็นส่วนตัวและบุคคลที่เกี่ยวข้องว่ากอล์ฟเป็นกีฬาที่สามารถกระตุ้นให้คนมีความมานะพยายามและเชื่อว่ากีฬากอล์ฟสามารถส่งเสริมความเป็นตัวของตัวเอง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเป็นแรงจูงใจเกี่ยวกับความคิดเห็นเกี่ยวกับตนเองและบุคคลที่เกี่ยวข้อง ที่ต้องเป็นอิสระและความเป็นตัวเองสูงส่งเสริมให้มีความพยายามที่จะเล่นอย่างเต็มความสามารถตามความพอใจของตนเอง ด้านความถนัดและความสนใจอาจเป็นเพราะผู้ที่เล่นกอล์ฟเป็นคนทำงาน ต้องการอิสระและพักผ่อนออกกำลังกาย มีความต้องการที่จะแสดงทักษะเฉพาะตนเองออกมาตามความสามารถ และในด้านของรายได้และผลประโยชน์ ถ้าเล่นจนถึงระดับอาชีพจะได้รับรางวัลตอบแทนอยู่ในเกณฑ์ดี จึงมีแรงจูงใจด้านนี้สูง

ตุลเดช วรวิกรม (2546).ได้วิจัยเรื่องการออกแบบที่ฝึกซ้อมการพัตต์กอล์ฟระยะใกล้แบบปรับระดับได้ ผู้วิจัยได้ทำการประเมินสมรรถนะของเครื่องพัตต์กอล์ฯ 4 ด้าน ได้แก่ ด้านการติดตั้ง ด้านกายภาพ ด้านการบำรุงรักษา และด้านความเหมาะสมในการใช้งาน ผลจากการวิจัยพบว่า จากการทดสอบสมรรถนะในแต่ละด้าน และในแต่ละหัวข้อที่ทำการประเมิน มีดังนี้ ค่าเฉลี่ยด้านการติดตั้ง เท่ากับ 4.44 ด้านกายภาพ เท่ากับ4.32 ด้านการบำรุงรักษา เท่ากับ4.46 และด้านความเหมาะสมในการใช้งาน เท่ากับ 4.37 จึงสามารถสรุปได้ว่า สมรรถนะของที่ฝึกซ้อมการพัตต์กอล์ฟระยะใกล้ แบบปรับระดับได้ ในครั้งนี้อยู่ในระดับดี ตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้

สมพร ฉ่ำเอี่ยม (2538: บทคัดย่อ) ได้วิจัยเรื่องการสร้างเครื่องยิงลูกเทเบิลเทนนิสที่ยิงได้ทั้งด้านซ้าย ตรงกลาง และด้านขวางของโต๊ะ ผู้วิจัยได้ศึกษาหาค่าความเที่ยงตรงเฉพาะหน้า

ของเครื่องยิงลูกเทเบิลเทนนิสที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น โดยผู้เชี่ยวชาญทางเทเบิลเทนนิสจำนวน 7 ท่าน และหาค่าความเที่ยงตรงตามสภาพ โดยหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันโพรดักส์โมเมนต์ ระหว่างเครื่องยิงลูกเทเบิลเทนนิสมาตรฐาน เครื่องหมายการค้า Neagy กับเครื่องยิงเทเบิลเทนนิสที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น และหาค่าความเชื่อมั่นด้วยการทดสอบซ้ำ ผลจากการวิจัยพบว่า เครื่องยิงลูกเทเบิลเทนนิสที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น สามารถยิงได้ไกล 5 – 9 ฟุต มีอัตราเฉลี่ยในการปล่อยลูกเทเบิลเทนนิสเท่ากับ 21 – 24 ลูก/นาที มีค่าความเที่ยงตรงในการยิงลูกด้านมุมซ้าย ตรงกลาง และมุมขวาของโต๊ะเทเบิลเทนนิสเท่ากับ .79 .80 และ .82 และมีค่าความเชื่อมั่นในการยิงลูกทั้ง 3 ด้านเท่ากับ .77 .88 และ .83 ตามลำดับ

สมชาย บุญมี (2548: บทคัดย่อ) ได้ศึกษางานวิจัยในเรื่องการสร้างเครื่องเก็บลูกกอล์ฟที่มีความเที่ยงตรงและเชื่อถือได้ผู้วิจัยได้หาความเที่ยงตรงตามเนื้อหา และหาค่าความเที่ยงตรงตามสภาพของเครื่องเก็บลูกกอล์ฟที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันโฟรดักส์โมเมนต์ ระหว่างเครื่องเก็บลูกกอล์ฟยี่ห้ออีเกิ้ล (Eagle) กับเครื่องเก็บลูกกอล์ฟที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีค่าเท่ากับ .94 และหาค่าความเชื่อถือได้ด้วยวิธีทดสอบซ้ำ (Test-Retest) มีค่าเท่ากับ .87 ผลการวิจัยพบว่า เครื่องเก็บลูกกอล์ฟมีความเที่ยงตรงตามเนื้อหามีความเที่ยงตรงตามสภาพและมีความเชื่อถือได้

สมชาย ศรีฉ่ำพันธ์ (2538: บทคัดย่อ) ได้ศึกษางานวิจัยในเรื่องการสร้างเครื่องมือทดสอบปฏิกิริยาตอบสนองของการชกหมัดแย็บ และหมัดตรงหลังในมวยสากลที่มีความเที่ยงตรงและความเชื่อถือได้ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยเป็นนิสิตชาย วิชาเอกพลศึกษา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปีการศึกษา 2536 – 2537 จำนวน 30 คน ผู้วิจัยได้ศึกษาหาความเที่ยงตรงเฉพาะหน้าของเครื่องมือโดยให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 7 ท่าน พิจารณาด้านเนื้อหาตรงตามวัตถุประสงค์ และหาค่าเที่ยงตรงตามสภาพโดยหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาปฏิกิริยาตอบสนองที่ได้จากเครื่องมือทดสอบที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นกับค่าเวลาปฏิกิริยาตอบสนองมาตรฐาน และหาค่าความเชื่อถือได้ของเครื่องมือโดยการทดสอบซ้ำกับเครื่องมือทดสอบเวลาปฏิกิริยาทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองของการชกหมัดแย็บและหมัดหลังในมวยสากล ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

ผลการวิจัยพบว่า เครื่องมือทดสอบเวลาปฏิกิริยาตอบสนองของการชกหมัดเย็บและหมัดตรงหลังในมวยสากล มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ความเชื่อถือได้ในการทดสอบหมัดแย็บและหมัดตรงหน้า เท่ากับ .89 และ .79 ตามลำดับ การทดสอบค่าความเชื่อถือได้ของเครื่องมือพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อถือได้ในการทดสอบหมัดแย็บและหมัดตรงหลัง เท่ากับ .91 และ .80 ตามลำดับ

นัทธมน วรรณศิริ (2545: บทคัดย่อ) ได้ศึกษางานวิจัยในเรื่องการสร้างเครื่องยิงลูกเทเบิลเทนนิสผู้วิจัยได้ศึกษาหาความเที่ยงตรงเฉพาะหน้าของเครื่องยิงลูกเทเบิลเทนนิสที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น โดยการทดสอบซ้ำ (Test-Retest) ผลการวิจัยพบว่า เครื่องยิงลูกเทเบิลเทนนิสที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีค่าความเชื่อถือได้จากการทดสอบครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2ตำแหน่งด้านซ้าย ตรงกลาง ด้านขวา

ในพื้นที่แดนหน้ามีค่าเท่ากับ .92 อยู่ในระดับดีมาก .91 อยู่ในระดับดีมาก .89 อยู่ในระดับดี และในพื้นที่แดนหลังมีค่าเท่ากับ .92 .94 และ .91 อยู่ในระดับดีมากตามลำดับ

อุทัย จงแพ (2546: บทคัดย่อ) การสร้างเครื่องยิงลูกเทเบิลเทนนิสระบบควบคุมการยิง ผู้วิจัยหาความเที่ยงตรงเฉพาะหน้าของเครื่องมือหาค่าเฉลี่ยในการยิงลูกเทเบิลเทนนิสสูงสุดต่อนาที และหาความเชื่อถือได้โดยการทดสอบซ้ำ (Test - Retest) ผลการวิจัยพบว่า เครื่องยิงลูกเทเบิลเทนนิสระบบควบคุมทิศทางสามารถควบคุมทิศทางการยิงลูกได้ไกลจากหัวยิงข้ามตาข่ายตั้งแต่ระยะ 5-9 ฟุต ตรงตามจุดประสงค์มีความเที่ยงตรงเฉพาะหน้า มีค่าเฉลี่ยในการปล่อยลูกขณะหัวยิงอยู่กับที่ 58.28 ลูก/นาที และขณะหัวยิงอยู่กับที่ต่อเนื่อง มีค่าเท่ากับ 55.10ลูก/นาที ในทุกทิศทางและทุกระดับความแรง โดยมีค่าความเชื่อถือได้ในการยิงลูก ขณะหัวยิงอยู่กับที่ 3 ทิศทางที่ระดับความแรง 3 ระดับ มีค่าr เท่ากับ 1.00 ในทุกทิศทางและทุกระดับความแรง และมีค่าความเชื่อถือได้ขณะหัวยิงเคลื่อนที่ต่อเนื่อง 3 ทิศทาง ที่ระดับความแรง 3 ระดับ มีค่า r ทางด้านซ้าย เท่ากับ 0.91, 0.91, 0.93 ตรงกลาง เท่ากับ 0.73, 0.70, 0.77 และด้านขวา เท่ากับ 0.96 ในทุกทิศทางและทุกระดับความแรง

พัฒพงศ์ พงษ์สกุล (2541:บทคัดย่อ) ได้สร้างเครื่องตั้งลูกตบ ลูกมือล่าง และลูกมือบนในกีฬาวอลเลย์บอล ผู้วิจัยได้ศึกษาค่าความเที่ยงตรงเฉพาะหน้าของเครื่องตั้งลูก วอลเลย์บอลที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น โดยผู้เชี่ยวชาญทางวอลเลย์บอล จำนวน 10 ท่าน และหาค่าความเชื่อถือได้ โดยการทดสอบซ้ำ (Test – Retest) ผลการวิจัยพบว่า เครื่องตั้งลูกวอลเลย์บอลที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น มีอัตราความเร็วเฉลี่ยในการตั้งลูกตบ ลูกมือล่าง และลูกมือบนในกีฬาวอลเลย์บอล เท่ากับ 5 วินาทีต่อลูก และมีความเชื่อถือได้ในการตั้งลูกตบ ลูกมือล่าง และลูกมือบนในกีฬาวอลเลย์บอล เท่ากับ 0.96 0.86 และ 0.91 ตามลำดับ

พิชัย ทองประยูร (2543 : บทคัดย่อ) ได้สร้างเครื่องส่งลูกวอลเลย์บอล ที่สามารถใช้ส่งลูกบอลให้เซท ส่งให้ตบ ส่งให้รับลูกเสิร์ฟ และส่งให้รับลูกตบ ผู้วิจัยได้ศึกษาหาความเที่ยงตรงเฉพาะหน้าของเครื่องส่งลูกวอลเลย์บอลที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น จากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 9 ท่าน โดยวิธีของ Rovinelli และ Hambleton และหาความเชื่อถือได้โดยการทดสอบวัดความคงที่ ตำแหน่งจุดตกและวิถีของลูกบอลที่ส่งออกจาเครื่องส่งลูกวอลเลย์บอล ผลการวิจัยพบว่า การส่งลูกบอลของเครื่องส่งลูกวอลเลย์บอลทั้ง 4 รายการ มีความเที่ยงตรงเฉพาะหน้า โดยมีค่าดัชนีความสอดคล้องเท่ากับ 1 และมีค่าความเชื่อถือได้ในตำแหน่งจุดตกและวิถีของลูกบอล คิดเป็นร้อยละของลูกที่จกลงในตำแหน่ง จุดตก ในการส่งให้เซท ส่งให้ตบ ส่งให้รับลูกเสิร์ฟ และส่งให้รับลูกตบเท่ากับร้อยละ 94 90 84 88 ตามลำดับ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่ผู้เชี่ยวชาญกำหนด ทุกรายการอยู่ในเกณฑ์ดี จากผลการศึกษาดังกล่าว แสดงว่าเครื่องส่งลูกวอลเลย์บอลที่ผู้วิจัยสร้างมีคุณสมบัติสามารถนำไปใช้เป็นอุปกรณ์ช่วยสอนกีฬาวอลเลย์บอลได้เป็นอย่างดี

4.2 งานวิจัยต่างประเทศ

ฟิลลิป บรูโน (Philip Bruno. 1975 : บทคัดย่อ; อ้างอิงจาก http://www.Automatic Golf Ball Teeing Apparatus.com) ได้ทำการศึกษาค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับ อุปกรณ์ตั้งลูกกอล์ฟอัตโนมัติ เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยอำนวยความสะดวกสำหรับสนามไดร์ฟกอล์ฟ โดยใช้หลักการคือลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้นและลงในกระบอกสูบใต้ระดับพื้นดิน ลูกกอล์ฟที่เรียงกันอยู่จะถูกนำออกมาทีละลูกจากตัวจ่ายลูก และถูกยกขึ้นด้วยลูกสูบถึงระดับพื้นหญ้า หรือระดับที่ตั้งลูกกอล์ฟด้วย การยกขึ้นประมาณเหนือระดับสนามหญ้า เมื่อลูกกอล์ฟถูกตีด้วยไม้กอล์ฟ ที่เหนือที่ลดลงที่สวิตซ์ที่ไวต่อแรงกดต่อลูกสูบ จะปิดสวิทซ์ เมื่อเริ่มการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าในรอบใหม่ มีระบบการปรับเพื่อให้ทราบว่าลูกกอล์ฟจะถูกยกขึ้นมาเพียงระดับสนามหญ้า หรือถูกยกขึ้นจนสุดถึงระดับที่วางบนที ลักษณะของการปรับอุปกรณ์จะประกอบด้วยกลไกการควบคุมซึ่งจะทำหน้าที่ทำให้สวิทซ์ปิดและทำให้มอเตอร์ทำงานในรอบการทำงานทั้งหมด แม้ว่าน้ำหนักของลูกกอล์ฟที่กำลังเคลื่อนขึ้นมาจากตำแหน่งบรรจุลูก มาถึงตำแหน่งที่จะถูกตีมีแนวโน้มที่จะปิดก็ตาม

มาร์ติน ไวท์ส (Martin Wyeth. 1993: บทคัดย่อ; อ้างอิงจาก http://www.Automatic Golf Ball Teeing Apparatus.com) ได้ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับ เครื่องตรวจจับลูกกอล์ฟเมื่อตีออกจากที (Tee) เครื่องนี้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับลูกกอล์ฟเมื่อถูกตีออกจากที (Tee) ที่เป็นเครื่องอัตโนมัติ เครื่องตรวจจับนี้ประกอบด้วย เรดาร์ที่ส่งสัญญาณแรกตอบสนองต่อการตรวจจับการเคลื่อนที่ของไม้กอล์ฟมายังที ไมโครโฟนที่มีทิศทางสำหรับส่งสัญญาณที่ 2 ที่ตอบสนองต่อการตรวจสอบเสียงไม้กอล์ฟเมื่อตีลูก และเครื่องเฝ้าติดตามเพื่อตรวจจับสัญญาณที่ 1 และ ที่ 2 เมื่อเกิดขึ้นพร้อมกัน นอกจากนี้ยังได้แสดงเครื่องตั้งลูกกอล์ฟที่มีที (Tee) แบบอัตโนมัติที่มีอุปกรณ์ตรวจจับลูกกอล์ฟด้วย

จอส์น อาร์ เดอร์ท (John R. Dermtt. 1976: บทคัดย่อ; อ้างอิงจาก http://www.Ball Detection Apparatus Detecting When A Golf Ball Is Hit A Golf Tee.com) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับ เครื่องตั้งลูกกอล์ฟบนที (Tee) ซึ่งประกอบด้วย จานรองที่มีพื้นผิวด้านบนรูบนจานรองที (Tee) ทีตั้งลูกกอล์ฟ ซึ่งถูกจัดวางตำแหน่งเพื่อการเคลื่อนที่ที่สอดรับกันกับรู/ที่ว่างระหว่างตำแหน่งล่างที่ที (Tee) ส่วนบนอยู่ในระดับทีต่ำกว่าพื้นผิวของจานรองกับตำแหน่งบนที่ส่วนบนของ Tee อยู่เหนือพื้นผิวบนของจานรอง และวิธีการจ่ายลูกกอล์ฟถูกกำหนดให้บรรจุลูกกอล์ฟที่ส่วนบนของ Tee ที่อยู่ในตำแหน่งล่าง ซึ่งลูกกอล์ฟอยู่ในระดับที่ตำกว่าพื้นผิวด้านบนของจานรอง เมื่อได้รับการบรรจุไปบน Tee ด้วยตัวจ่ายลูกกอล์ฟ

เดวิด ไวดส์ (David Wides.1995: บทคัดย่อ; อ้างอิงจาก http://www.Golf Ball Teeing Device.com) ได้ทำการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับ อุปกรณ์วางลูกกอล์ฟบนที (Tee) เพื่อจ่ายลูกกอล์ฟลงบน Tee ทีละลูก ประกอบด้วยกระบอกบรรจุลูกกอล์ฟ ซึ่งลูกกอล์ฟจะกลิ้งจากทางเข้าไปจนถึงทางออกด้วยแรงโน้มถ่วง ก้านทรงกระบอกที่หมุนได้ติดอยู่ที่ปลายทางออกของกระบอกบรรจุลูกกอล์ฟ และต่อไปยังปากทางจ่ายลูก แขน หรือก้านซึ่งถูกปรับให้หยุดปากทางจ่ายลูกที่ระดับที่สูงกว่าปลายทางออกของกระบอกบรรจุลูก จนกระทั่งเมื่อได้รับการหมุนด้วยมือลงสู่ตำแหน่งต่อลูกโดย

ปากทางเข้า อยู่ที่ระดับต่ำกว่าปลายทางออกกระบอกบรรจุ สกรูยึดที่ปรับได้เพื่อป้องกันมิให้ลูกกอล์ฟกลิ้งไปที่ปลายทางออกจนกว่าจะได้หมุนแขนหรือก้าน อุปกรณ์ที่เคลื่อนที่ลูกกอล์ฟทีละลูกจากการสัมผัสกับสกรูหยุดและปล่อยให้กลิ้งผ่านแขนหรือก้านที่หมุนได้จะถูกจ่ายผ่านปากทางออกไปยังตำแหน่งที (Tee)

สตีเวน บี วอง (Steven B. WONG: บทคัดย่อ; อ้างอิงจาก http://www.Golf Ball Teeing Apparatus.com) ได้ทำการศึกษาค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับ เครื่องจ่ายลูกกอล์ฟอัตโนมัติ ซึ่งประกอบด้วย สายพานบรรจุลูกกอล์ฟ ฐาน และสายพานส่งลูก สายพานบรรจุลูกประกอบด้วยถาดและกระบอกจ่ายลูก ปริมาตรของถาดถูกกำหนดโครงสร้างให้รองรับลูกกอล์ฟหลายๆ ลูก และให้ได้ขนาดพอดีกับกระบอกจ่ายลูก ฐานรองประกอบด้วย จานรองที (Tee) และตัวส่งลูกวิถีโค้ง (Projection) ส่วนรองรับลูกกอล์ฟ (Loading) สามารถถอกออกได้รวดเร็ว ที(Tee) จะถูกทำให้ยึดติดกับจานรองที่ปลายตรงกันข้าม สายพานที่ส่งลูกหรือจ่ายลูกประกอบด้วยกระบอกหรือท่อส่งลูก Interface บรรจุลูก ตัวหยุด และปลั๊ก Interface บรรจุลุก (Loading Interface) จะถูกทำให้ยึดติดกับปลายแรกของกระบอกหรือท่อส่งลูก ปลายแรกของสายพานส่งลูกจะเชื่อมต่อแบบหมุนได้กับสายพานบรรจุลูกที่ปลายอันที่ 2 ตัวหยุด (Stop) จะยึดต่อกับด้านล่างของท่อส่งลูก ที่ปลายอันแรกเมื่อท่อส่งลูกแกว่งลง ลูกกอล์ฟหล่นลงตามท่อส่งผ่านออกที่ Cut – Out ที่ 1 และผ่านออกที่ Cut – Out ตัวที่ 2 และ อยู่บน Tee ต่อจากนั้น สายพานจ่ายลูกจะตั้งตรงท่อส่งลูกอาจเป็นระบบกึ่งอัตโนมัติ หรืออัตโนมัติเต็มรูปก็ได้

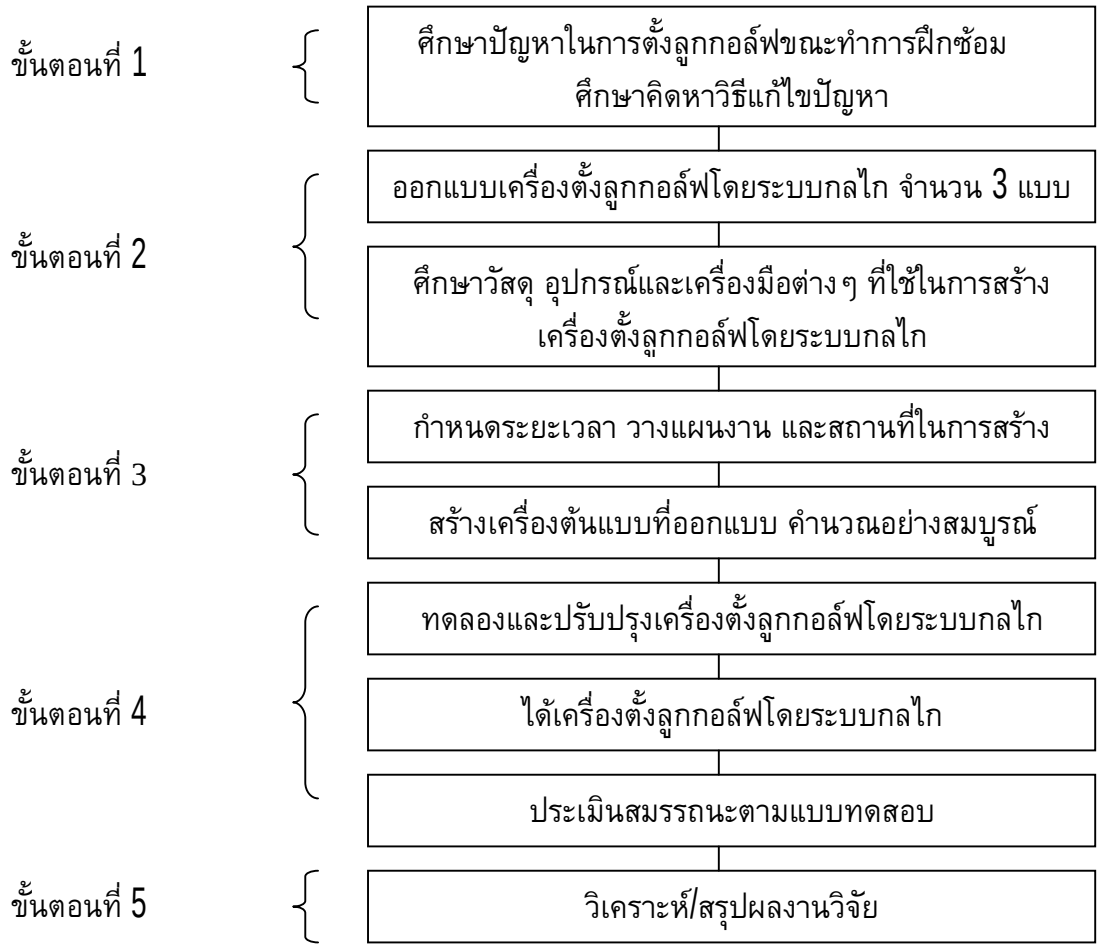
ในปัจจุบันเครื่องตั้งลูกกอล์ฟมีอยู่จำนวนมากมายหลายแบบหลายราคาแตกต่างกันไปขึ้นอยู่วัสดุที่ใช้ทำและหลักทำงานที่ต่างกันรวมทั้งการออกแบบเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานและส่วนใหญ่ยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งมีราคาแพง ทั้งนี้ผู้วิจัยยังได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก และทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ในด้านต่างๆดังนี้ ด้านความสามารถในการใช้งาน ด้านการติดตั้ง ด้านความแข็งแรง ด้านการบำรุงรักษา และด้านผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องผู้วิจัยได้นำหลักการทฤษฎีและวิธีการต่างๆ มาเป็นแนวทางในการปฏิบัติการสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก สิ่งที่คาดหวังจากการดำเนินการวิจัยด้วยเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงทำการออกแบบและสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก เพื่อทดแทนการนำเข้าเครื่องตั้งลูกจากต่างประเทศ ที่ใช้ต้นทุนต่ำและเป็นการอำนวยความสะดวกในการฝึกซ้อมและพัฒนาทักษะกีฬากอล์ฟต่อไป

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. ศึกษารายละเอียด
2. ออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก
3. การสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก
4. การทดสอบสมรรถนะ
5. การวิเคราะห์ข้อมูล

รายละเอียดขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย มี 5 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้



ภาพประกอบ 30 ลำดับขั้นตอนในการวิจัย

1. ศึกษารายละเอียด

ในส่วนของการรับรู้ปัญหาของการฝึกซ้อมกอล์ฟผู้วิจัยได้รับรู้ปัญหาด้วยการศึกษาเรียนรู้ด้วยตนเอง โดยการได้ไปฝึกซ้อมกอล์ฟรวมถึงการสอบถาม การสังเกตตามสถานที่ต่างๆ พบว่ายังมีสนามฝึกซ้อมกอล์ฟที่ยังขาดอุปกรณ์ในการตั้งลูกกอล์ฟอยู่จำนวนมาก โดยเฉพาะสนามฝึกซ้อมขนาดเล็ก และขนาดกลาง สาเหตุเพราะราคาของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟที่นำเข้าจากต่างประเทศที่มีราคาแพง กรอบกับเครื่องตั้งลูกกอล์ฟที่ผลิตในประเทศไทยยังมีตัวเลือกน้อยและยังมีราคาแพงอยู่เช่นเดียวกัน ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงนำปัญหามาออกแบบและสร้าง เพื่อแก้ไขปัญหา ดังกล่าวที่พบในปัจจุบันการออกแบบส่วนต่างๆ ในการสร้างผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลในการออกแบบคำนวณวัสดุ โดยการกำหนดขนาดที่เหมาะสม สำรวจหาวัสดุและอุปกรณ์ใดๆ ที่จะมารองรับการสร้างงานชิ้นนี้ให้เหมาะสมรวมถึงเทคนิคต่างๆ ได้ตามขอบเขตที่วางไว้จากการศึกษารายละเอียดในการออกแบบผู้วิจัยได้ค้นคว้าจากเอกสารตำราต่างๆ เพื่อนำมาออกแบบให้เหมาะสมสำหรับการสร้างต่อไป

ศึกษาด้านวัสดุอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ ของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก

1.1 ในการสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ครั้งนี้ผู้วิจัยจึงวางแผนในด้านการจัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อความเหมาะสมว่าจะใช้อุปกรณ์ใดมาอำนวยความสะดวกในการผลิตจึงจัดเตรียมอุปกรณ์ เช่น เครื่องตัดโลหะตู้เชื่อมสแตนเลส สว่าน ไขควง คีม ประแจ ฉากเหล็ก เครื่องเจียระไน เครื่องขัดเงา ค้อน เครื่องพับโลหะ ตลับเมตร เพื่อผลิตงานที่สมบูรณ์

1.2 จากการศึกษาในด้านของวัสดุที่นำมาใช้ในการสร้างผู้วิจัยได้ใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงทนทาน ได้แก่ สแตนเลส ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

สแตนเลสหรือตามศัพท์บัญญัติเรียกว่า เหล็กกล้าไร้สนิม เป็นเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำ (น้อยกว่า 2%) ของน้ำหนัก มีส่วนผสมของโครเมียม อย่างน้อย 10.5% กำเนิดขึ้นในปี พ.ศ.1903 เมื่อนักวิทยาศาสตร์พบว่า การเติมนิกเกิล โมบิดินัม ไททาเนียม ไนโอเนียม หรือโลหะอื่นแตกต่างกันไปตามชนิด ของคุณสมบัติเชิงกล และการใช้ลงในเหล็กกล้าธรรมดา ทำให้เหล็กกล้ามีความต้านทานการเกิดสนิมได้

คุณสมบัติของ สแตนเลส

สเแตนเลสต่างชนิดกันที่มีโครงสร้างต่างกัน จะมีลักษณะค่าความแข็งแรงที่เปลี่ยนแปลงแตกต่างกัน โดยทั่วไปของเกรดสแตนเลส 4 ชนิด

1) เกรดมาร์เทนซิติก มีค่าความจำนนความแข็งแรง (Yield Strength: YS) และค่าความแข็งแรงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength : UTS) สูงมากในสภาพที่ผ่านกระบวนการอบชุบแต่จะมีค่าการยืดตัว (Elongation : EL %) ต่ำ

2) เกรดเฟอร์ริติก มีค่าความจำนนความแข็งแรง และค่าความแข็งแรงสูงสุดปานกลาง เมื่อรวมกับค่าความยืดตัวสูง จึงทำให้สามารถขึ้นรูปได้ดี

3) เกรดออสเตนิติก มีค่าความจำนนความแข็งแรงใกล้เคียงกับชนิดเฟอร์ริติก แต่มีค่าความแข็งแรงสูงสุดและความยืดตัวสูง จึงสามารถขึ้นรูปได้ดีมาก

4) เกรดดูเพล็กซ์ (ออสเตไนท์ - เฟอร์ไรต์) มีค่าความจำนนความแข็งแรง และค่าความยืดตัวสูงจึงเรียกได้ว่า เหล็กชนิดนี้มีทั้งความแข็งแรง และความเหนียว (Ductility) ที่สูงเป็นเลิศ

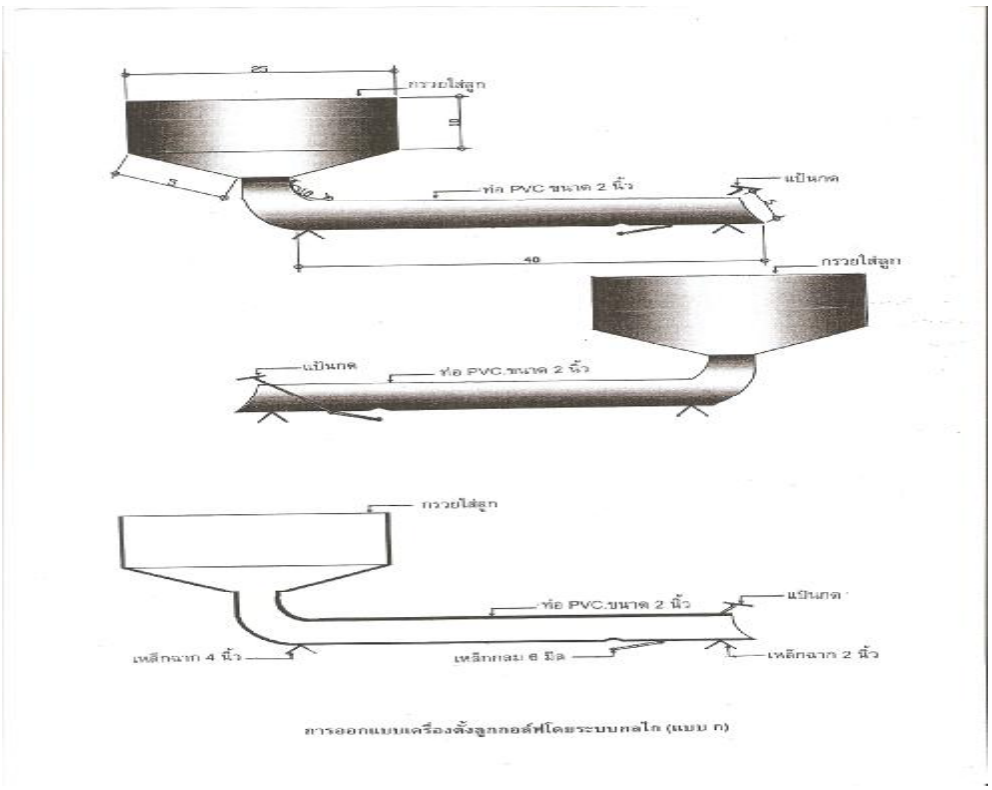
สแตนเลส ที่ใช้ในการสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไกมีขนาดต่าง ๆ ดังนี้

1) สแตนเลสแผ่น ขนาด 1 และ 1.5 มิลลิเมตร
2) สแตนเลสแบน ขนาด 3 x 10.3 มิลลิเมตร และ 3 x 10.9 มิลลิเมตร
3) สแตนเลสกลม ขนาด 3, 6 และ 8 มิลลิเมตร
4) น๊อตสแตนเลส ขนาด 6 มิลลิเมตร ยาว 4 นิ้ว

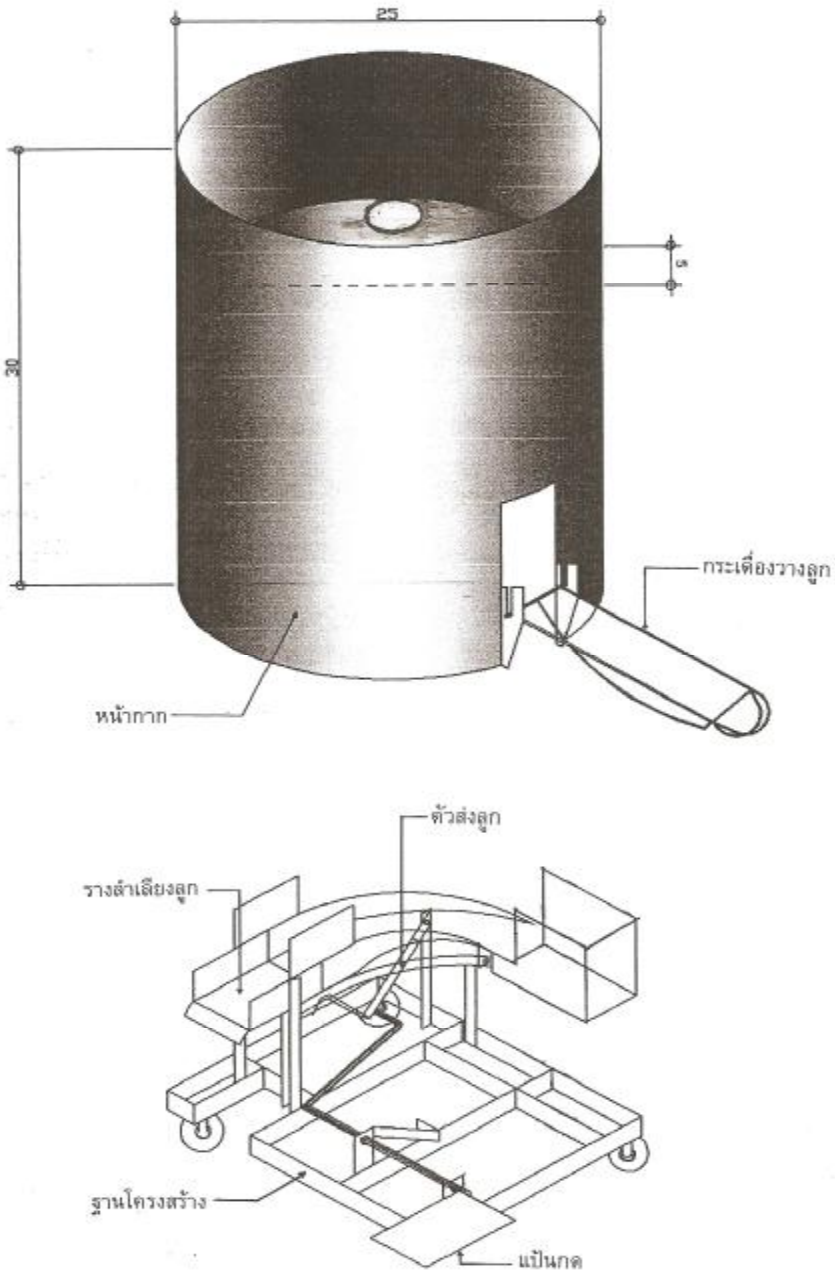
2. ออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก

การออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไกในการวิจัยครั้งนี้มี 3 แบบ ดังนี้ คือ

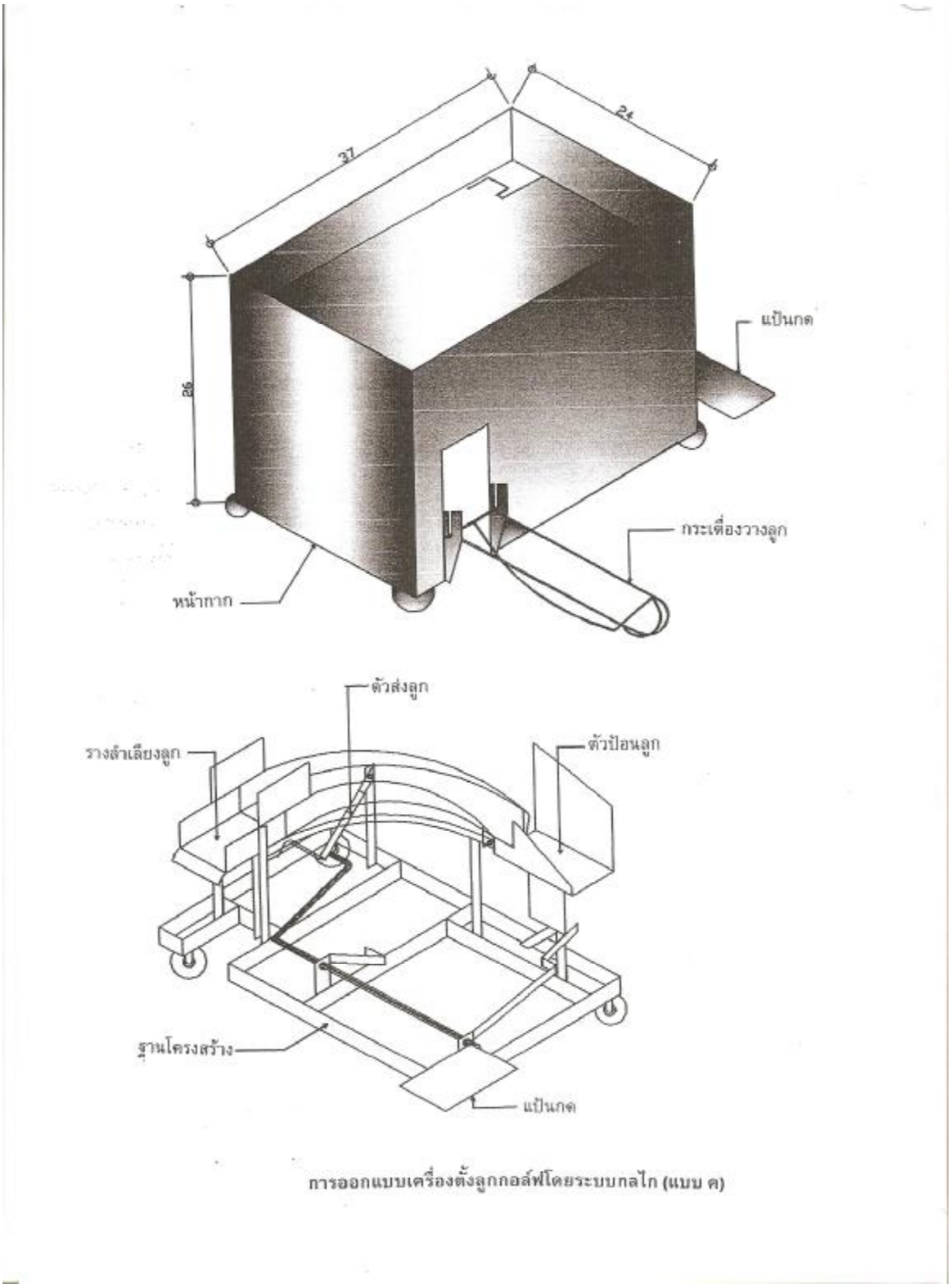
1. เครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ก)
2. เครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ข)
3. เครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ค)



ภาพประกอบ 31 เครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ก)



ภาพประกอบ 32 เครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ข)



ภาพประกอบ 33 เครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ค)

การประเมินความคิดเห็นความเป็นไปได้ เกี่ยวกับการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ทั้ง 3 แบบ โดยผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด จำนวน 3 ท่าน ที่มีความรู้ความสามารถด้านวิศวกรรมเครื่องกล ที่เป็นนักกอล์ฟสมัครเล่น

ผู้วิจัยแสดงผลในรูปแบบของตารางและอธิบายผลประกอบ การนำเสนอการประเมินในภาพรวมของการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ดังนี้

ตาราง 15 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล โดยผู้เชี่ยวชาญประเมินการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ก)

รายละเอียดสมรรถนะ	$\bar{x}$	SD.	**ระดับการประเมิน**
ด้านการออกแบบ	2.11	0.38	ไม่แน่ใจ
ด้านวัสดุ	2.57	0.19	เห็นด้วย
ด้านความสามารถในการใช้งาน	2.00	0.00	ไม่แน่ใจ
ด้านการติดตั้ง	2.44	0.58	ไม่แน่ใจ
ด้านความแข็งแรง	2.44	0.58	ไม่แน่ใจ
ด้านการบำรุงรักษา	2.44	0.58	ไม่แน่ใจ
ภาพรวม	2.33	0.35	ไม่แน่ใจ

จากตาราง 15 แสดงให้เห็นว่าผู้เชี่ยวชาญประเมินการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ก) ในด้านการออกแบบส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ก) โดยมีค่าเฉลี่ยดังนี้คือ ด้านการออกแบบมีค่าเฉลี่ย 2.11 ด้านวัสดุมีค่าเฉลี่ย 2.57 ด้านความสามารถในการใช้งานมีค่าเฉลี่ย 2.00 ด้านการติดตั้งมีค่าเฉลี่ย 2.44 ด้านความแข็งแรงมีค่าเฉลี่ย 2.44 ด้านการบำรุงรักษามีค่าเฉลี่ย 2.44 รวมค่าเฉลี่ยทั้งหมดในภาพรวมเท่ากับ 2.33 จึงสามารถสรุปได้ว่าการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ก) ในครั้งนี้อยู่ในระดับความเป็นไปได้ต่ำ และไม่สามารถสามารถนำไปสร้างเป็นเครื่องต้นแบบได้

ตาราง 16 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล โดยผู้เชี่ยวชาญประเมินการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ข)

รายละเอียดสมรรถนะ	$\bar{x}$	SD.	**ระดับการประเมิน**
ด้านการออกแบบ	2.78	0.38	เห็นด้วย
ด้านวัสดุ	3.00	0.00	เห็นด้วย
ด้านความสามารถในการใช้งาน	2.67	0.58	เห็นด้วย
ด้านการติดตั้ง	2.55	0.38	เห็นด้วย
ด้านความแข็งแรง	2.77	0.19	เห็นด้วย
ด้านการบำรุงรักษา	1.66	0.38	ไม่แน่ใจ
ภาพรวม	2.57	0.31	เห็นด้วย

จากตาราง 16 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล โดยผู้เชี่ยวชาญประเมินการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ข) ในด้านการออกแบบส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ข) โดยมีค่าเฉลี่ยดังนี้คือ ด้านการออกแบบมีค่าเฉลี่ย 2.78 ด้านวัสดุมีค่าเฉลี่ย 3.00 ด้านความสามารถในการใช้งานมีค่าเฉลี่ย 2.67 ด้านการติดตั้งมีค่าเฉลี่ย 2.55 ด้านความแข็งแรงมีค่าเฉลี่ย 2.77 ด้านการบำรุงรักษามีค่าเฉลี่ย 1.66 รวมค่าเฉลี่ยทั้งหมดในภาพรวมเท่ากับ 2.57 จึงสามารถสรุปได้ว่าการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ข) ในครั้งนี้สามารถนำไปสร้างเป็นเครื่องต้นแบบได้

ตาราง 17 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล โดยผู้เชี่ยวชาญประเมินการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ค)

รายละเอียดสมรรถนะ	$\bar{x}$	SD.	**ระดับการประเมิน**
ด้านการออกแบบ	3.00	0.00	เห็นด้วย
ด้านวัสดุ	3.00	0.00	เห็นด้วย
ด้านความสามารถในการใช้งาน	3.00	0.00	เห็นด้วย
ด้านการติดตั้ง	2.77	0.19	เห็นด้วย
ด้านความแข็งแรง	3.00	0.00	เห็นด้วย
ด้านการบำรุงรักษา	2.78	0.38	เห็นด้วย
ภาพรวม	2.92	0.09	เห็นด้วย

จากตาราง 17 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล โดยผู้เชี่ยวชาญประเมินการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ค) ในด้านการออกแบบส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ค) โดยมีค่าเฉลี่ยดังนี้คือ ด้านการออกแบบมีค่าเฉลี่ย 3.00 ด้านวัสดุมีค่าเฉลี่ย 3.00 ด้านความสามารถในการใช้งานมีค่าเฉลี่ย 3.00 ด้านการติดตั้งมีค่าเฉลี่ย 2.77 ด้านความแข็งแรงมีค่าเฉลี่ย 3.00 ด้านการบำรุงรักษามีค่าเฉลี่ย 2.78 รวมค่าเฉลี่ยทั้งหมดในภาพรวมเท่ากับ 2.92 จึงสามารถสรุปได้ว่าการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ค) ในครั้งนี้สามารถนำไปสร้างเป็นเครื่องต้นแบบได้

จากผลการประเมินผู้วิจัยได้นำการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก(แบบ ค) มาสร้างเป็นเครื่องต้นแบบเพราะมีค่าเฉลี่ยทั้งหมดในภาพรวมสูงที่สุด

2.1 ส่วนประกอบหลักที่สำคัญของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ค) มีดังนี้

1) โครงหน้ากาก เครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ทำด้วยสแตนเลสหนาแผ่นหนา 1 มิลลิเมตร เป็นส่วนประกอบที่ปกปิดระบบกลไกการทำงานของเครื่องที่ยึดกับฐานด้วยน๊อตสกรู 4 ตัวด้านหน้ามีช่องสำหรับปล่อยลูกมายังตัวป้อนลูกด้านบนมีช่องสำหรับให้ลูกไหลลงเป็นพื้นเรียบลาดเอียงเพื่อรองรับจำนวนลูกกอล์ฟที่จะทำการฝึกซ้อมได้ประมาณ 40 ลูก / ครั้ง

2) ตัวป้อนลูก ทำด้วยสแตนเลสแผ่นหนา 1.5 มิลลิเมตร เป็นตัวป้อนลูกยึดติดกับฐานเมื่อแป้นกดถูกกดตัวป้อนลูกจะทำงาน

3) รางลำเลียง ลูกทำด้วยสแตนเลสกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร สแตนเลสแบนขนาด 3 มิลลิเมตร สแตนเลสแผ่น ขนาด 1.5 มิลลิเมตร เป็นตัวลำเลียงลูกไปยังกระเดื่อง

4) กระเดื่องวาง ลูกทำด้วยสแตนเลสกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร เป็นขั้นตอนสุดท้ายในกระบวนการทั้งหมดทำหน้าที่วางลูกกอล์ฟไว้บนทียางได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

5) ตัวส่งลูก ทำด้วยสแตนเลสกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร และ สแตนเลสขนาด 3 มิลลิเมตร × 10.3 มิลลิเมตร ดัดงอเชื่อมยึดติดกับฐานโครงสร้าง

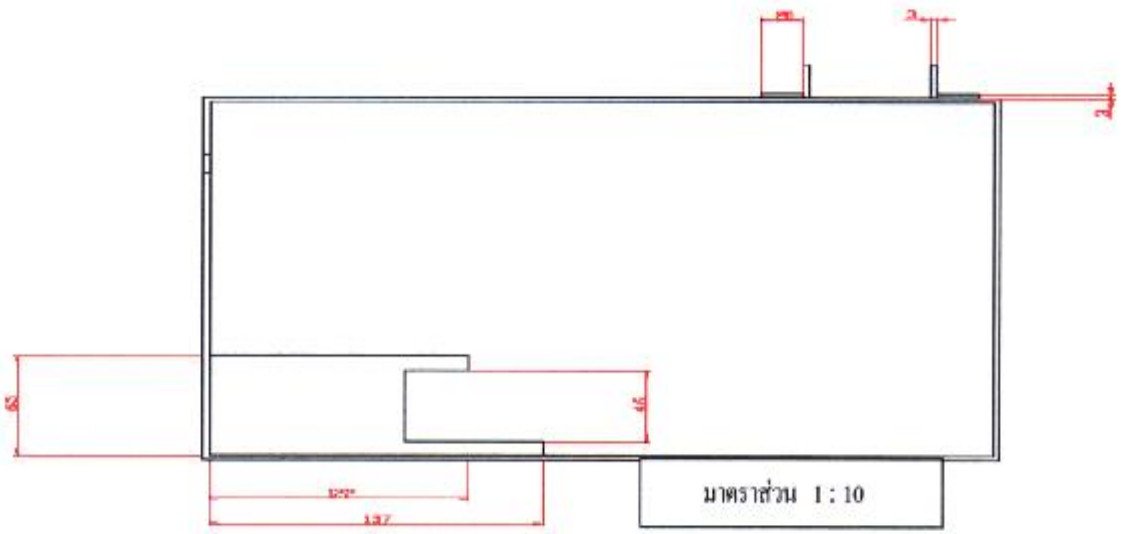
6) ฐานโครงสร้าง เป็นตัวกำหนดความกว้าง ความยาว ความสูง ของเครื่อง ทำด้วยสแตนเลสขนาด 3 มิลลิเมตร X 10.9 มิลลิเมตร และ สแตนเลส ขนาด 3 มิลลิเมตร × 10.3 มิลลิเมตร เป็นตัวยึดชิ้นส่วนและระบบกลไกทั้งหมดของเครื่อง

7) แป้นกด เป็นตัวควบคุมการทำงานทั้งระบบทำด้วยสแตนเลสแผ่นหนา 1.5 มิลลิเมตร เชื่อมติดกับสแตนเลสกลมขนาด 8 มิลลิเมตร และ สแตนเลส ขนาด 6 มิลลิเมตร เชื่อมติดกับ ตัวป้อนลูก และตัวส่งลูก

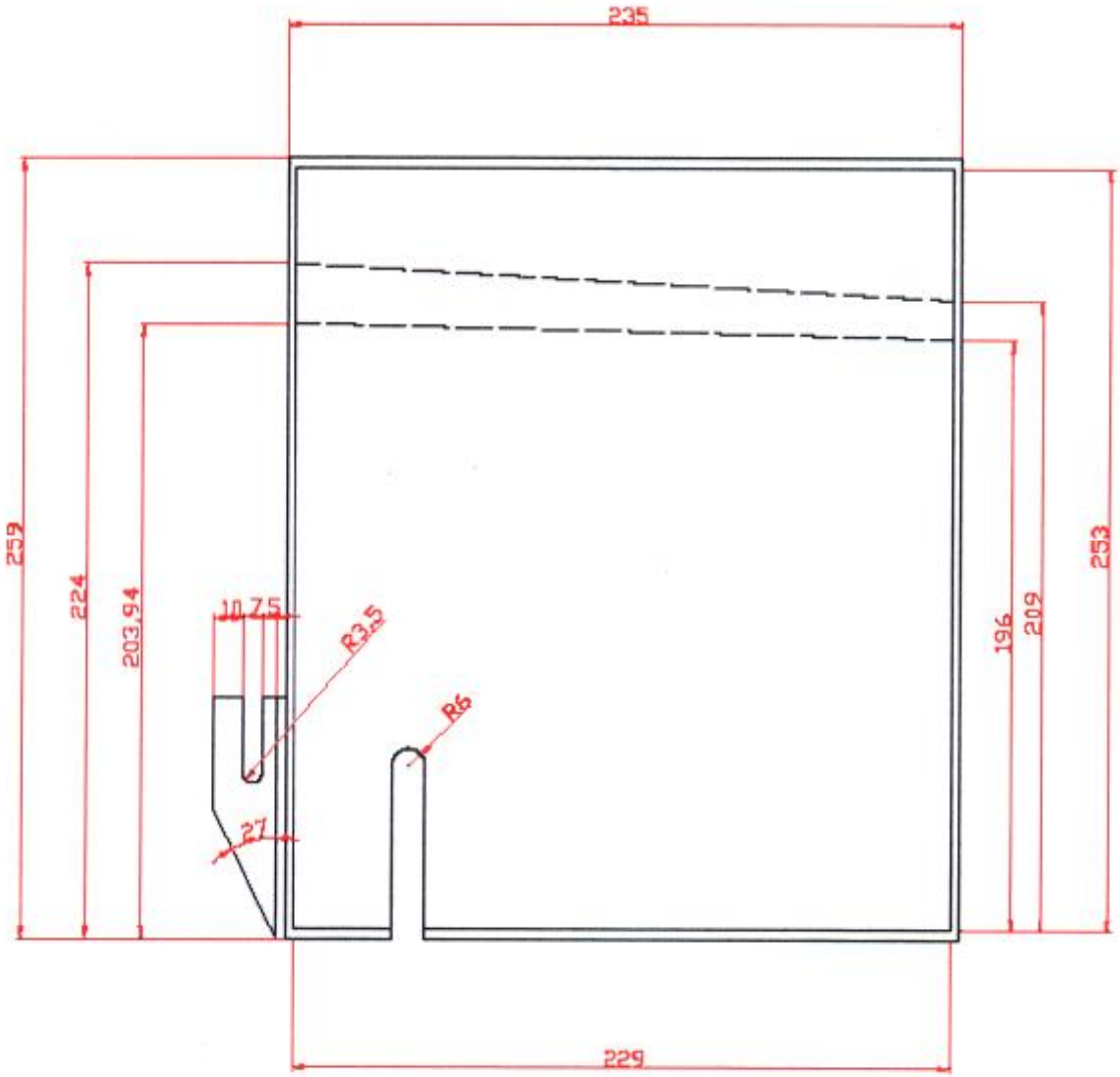
2.2 ออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก

โครงหน้ากากเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ประกอบด้วย

1) โครงหน้ากากเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก เป็นส่วนประกอบที่ปกปิดระบบกลไกการทำงานของเครื่องที่ยึดติดกับฐานด้วย น็อตสกูร 4 ตัว ด้านมีช่องสำหรับปล่อยลูกมายังกระเดื่อง หน้าด้านบนมีช่องสำหรับให้ลูกไหลลงเป็นพื้นลาดเอียงเพื่อรองรับจำนวนลูกกอล์ฟที่จะทำการฝึกซ้อมจำนวน 40 ลูก/ครั้ง

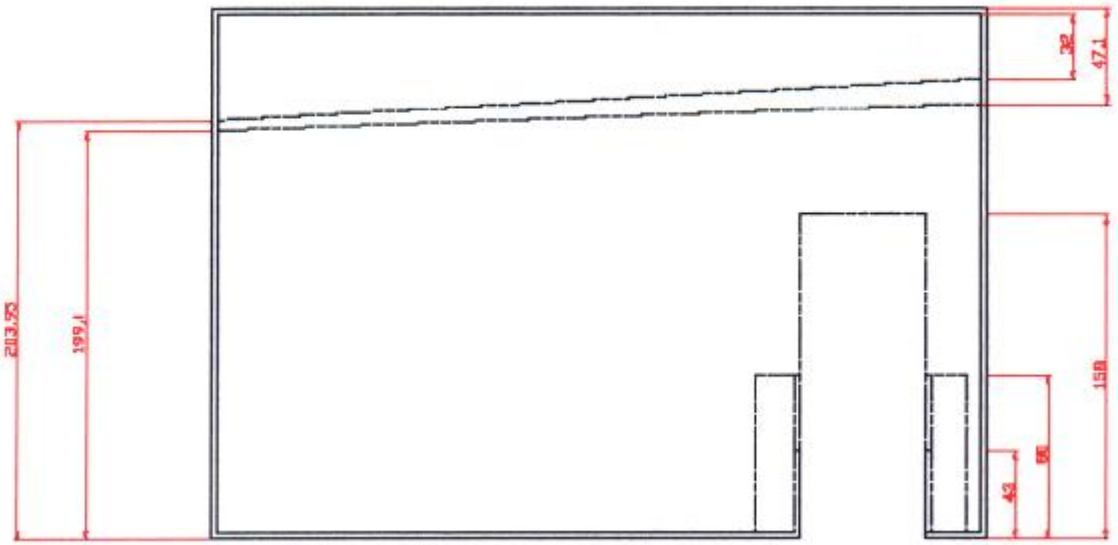


ภาพประกอบ 31 ภาพด้านบน โครงหน้ากาก



มาตราส่วน 1 : 10

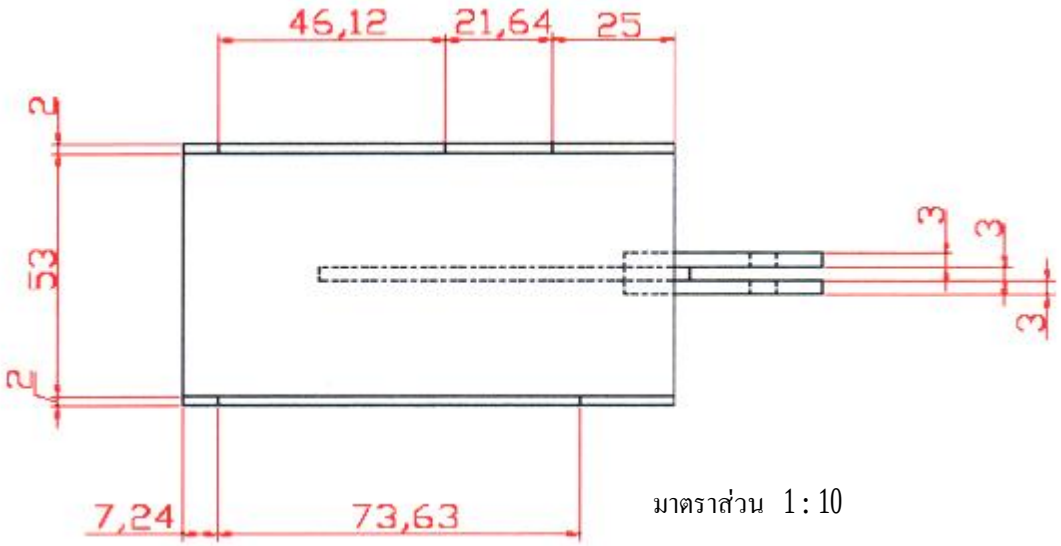
ภาพประกอบ 32 ภาพด้านข้าง โครงหน้ากาก



มาตราส่วน 1 : 10

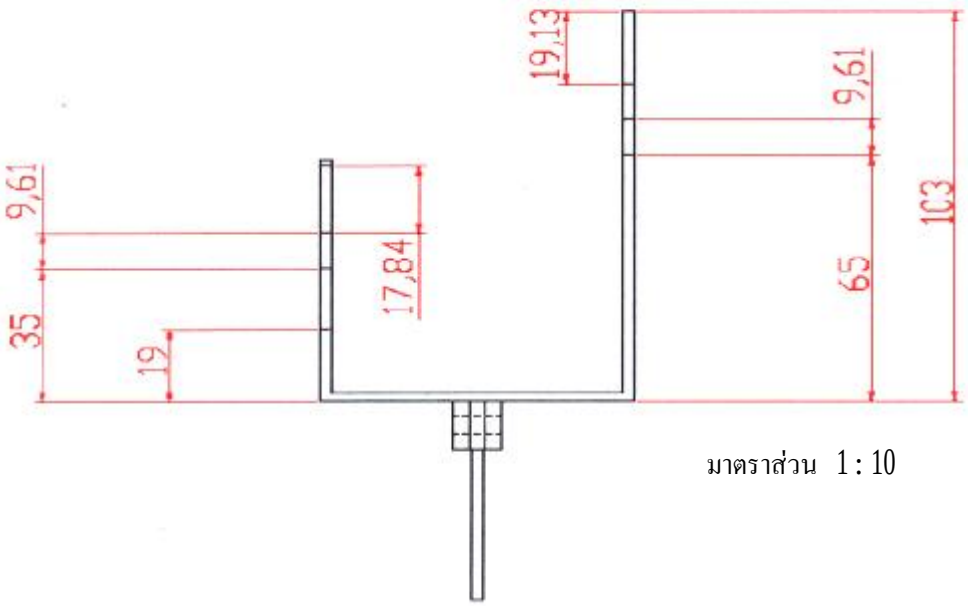
ภาพประกอบ 33 ภาพด้านหน้า โครงหน้ากาก

1. ตัวป้อนลูก เมื่อแป้นกดถูกกด ตัวป้อนลูกจะยกขึ้นเพื่อป้อนลูกไปยังรางลำเลียงทีละลูก



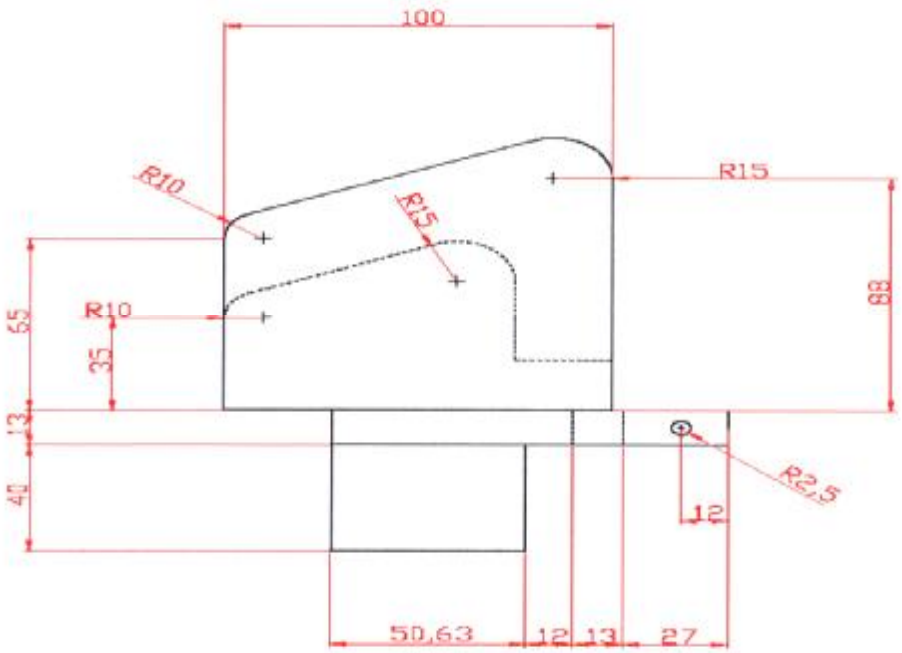
มาตราส่วน 1 : 10

ภาพประกอบ 34 ภาพด้านบน ตัวป้อนลูก



มาตราส่วน 1 : 10

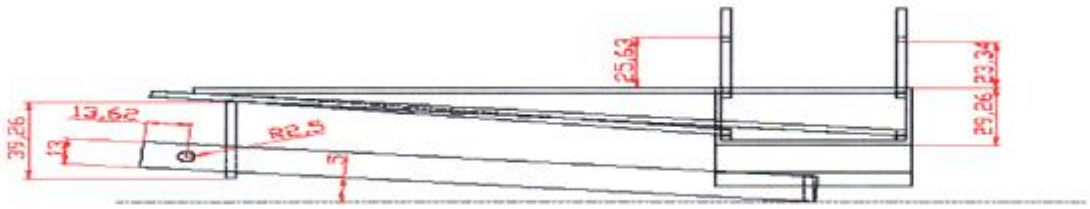
ภาพประกอบ 35 ภาพด้านข้าง ตัวป้อนลูก



มาตราส่วน 1 : 10

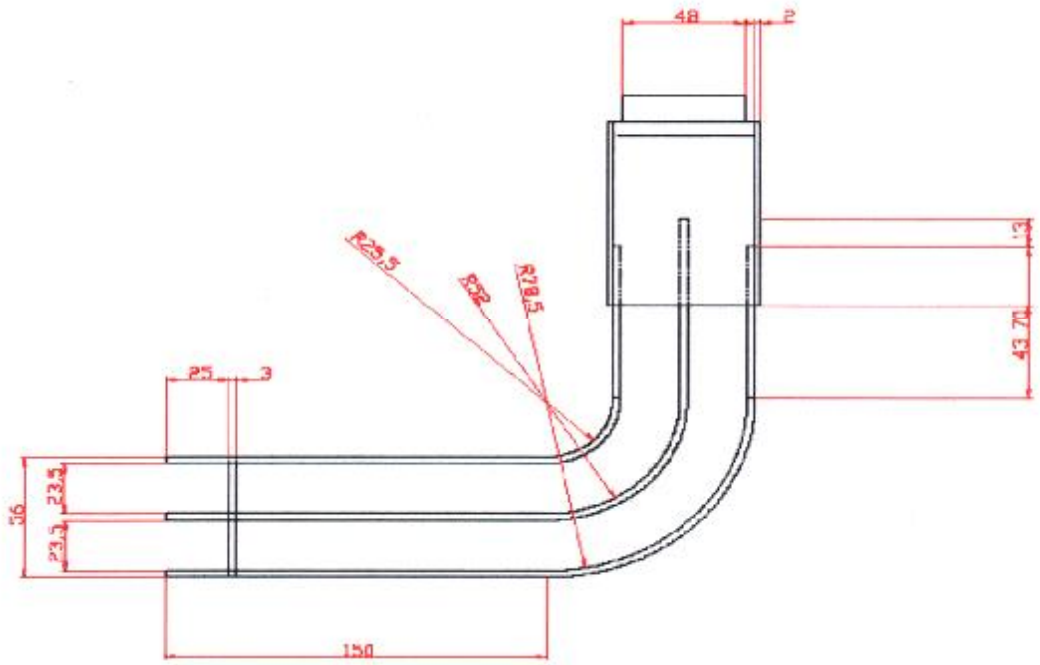
ภาพประกอบ 36 ภาพด้านหน้า ตัวป้อนลูก

2. รางลำเลียงลูกสามารถจุลูกในรางลำเลียงได้ครั้งละ 7 ลูกเป็นอีกส่วนหนึ่งการในลำเลียงลูกไปยังกระเดื่อง



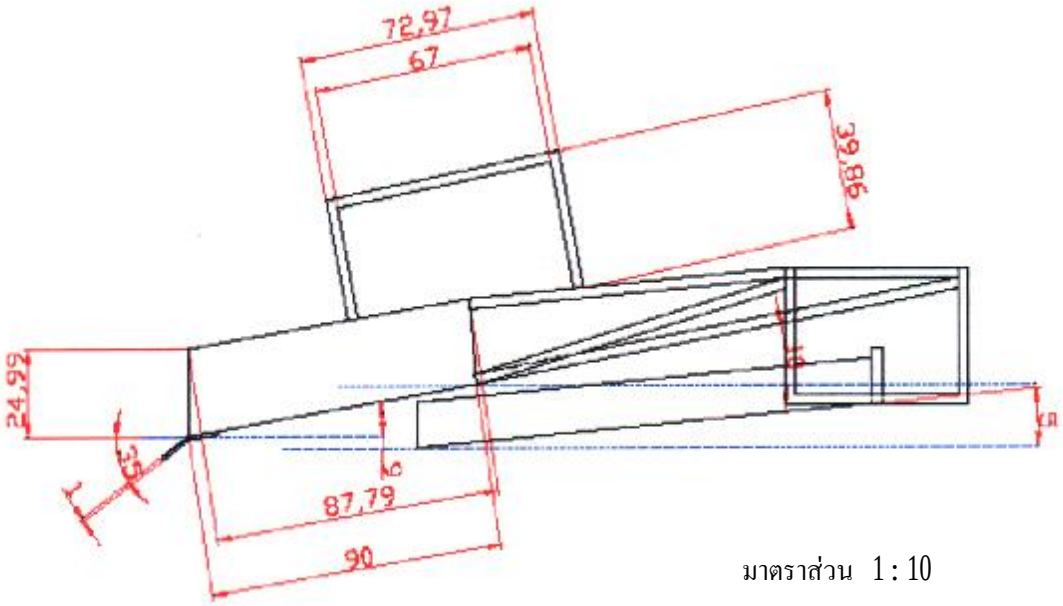
มาตราส่วน 1 : 10

ภาพประกอบ 37 ภาพด้านหน้ารางลำเลียงลูก



มาตราส่วน 1 : 10

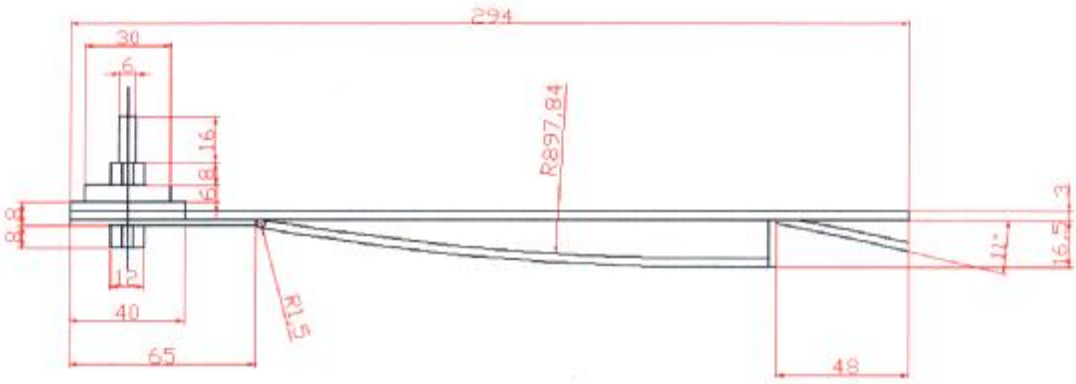
ภาพประกอบ 38 ภาพด้านบน รางลำเลียงลูก



มาตราส่วน 1 : 10

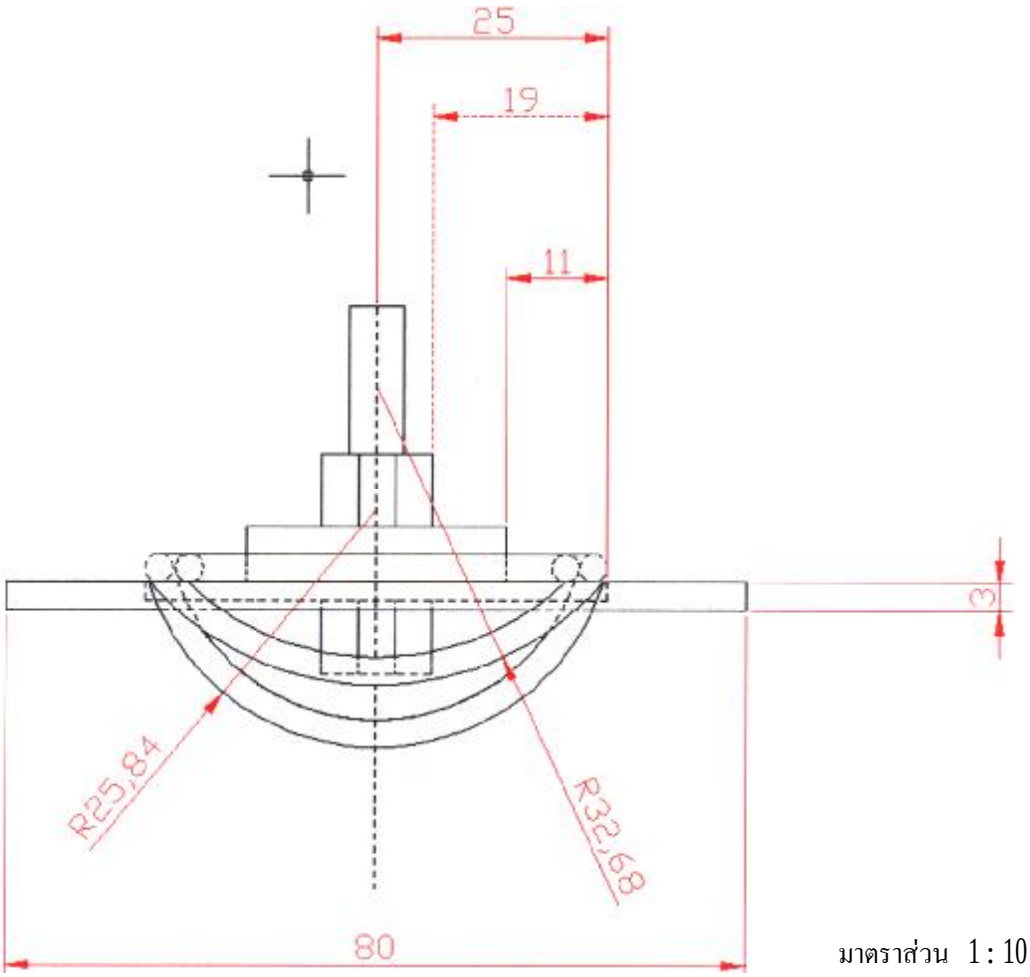
ภาพประกอบ 39 ภาพด้านข้าง รางลำเลียงลูก

1.4 กระเดื่องวางลูกทำหน้าที่วางตำแหน่งลูกกอล์ฟไว้บนทียางได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ



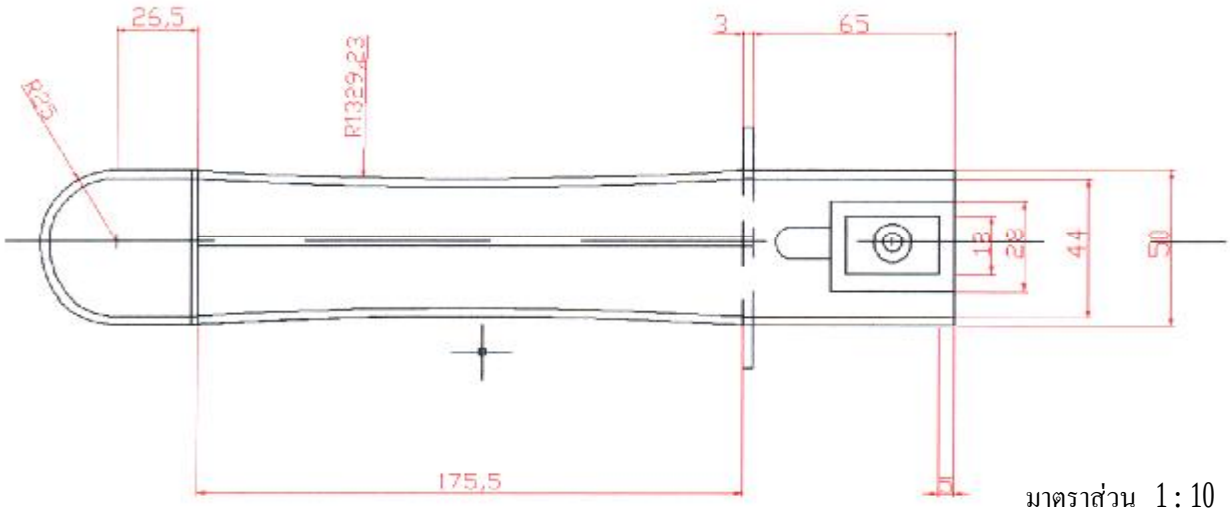
มาตราส่วน 1 : 10

ภาพประกอบ 40 ภาพด้านข้าง กระเดื่องวางลูก



มาตราส่วน 1 : 10

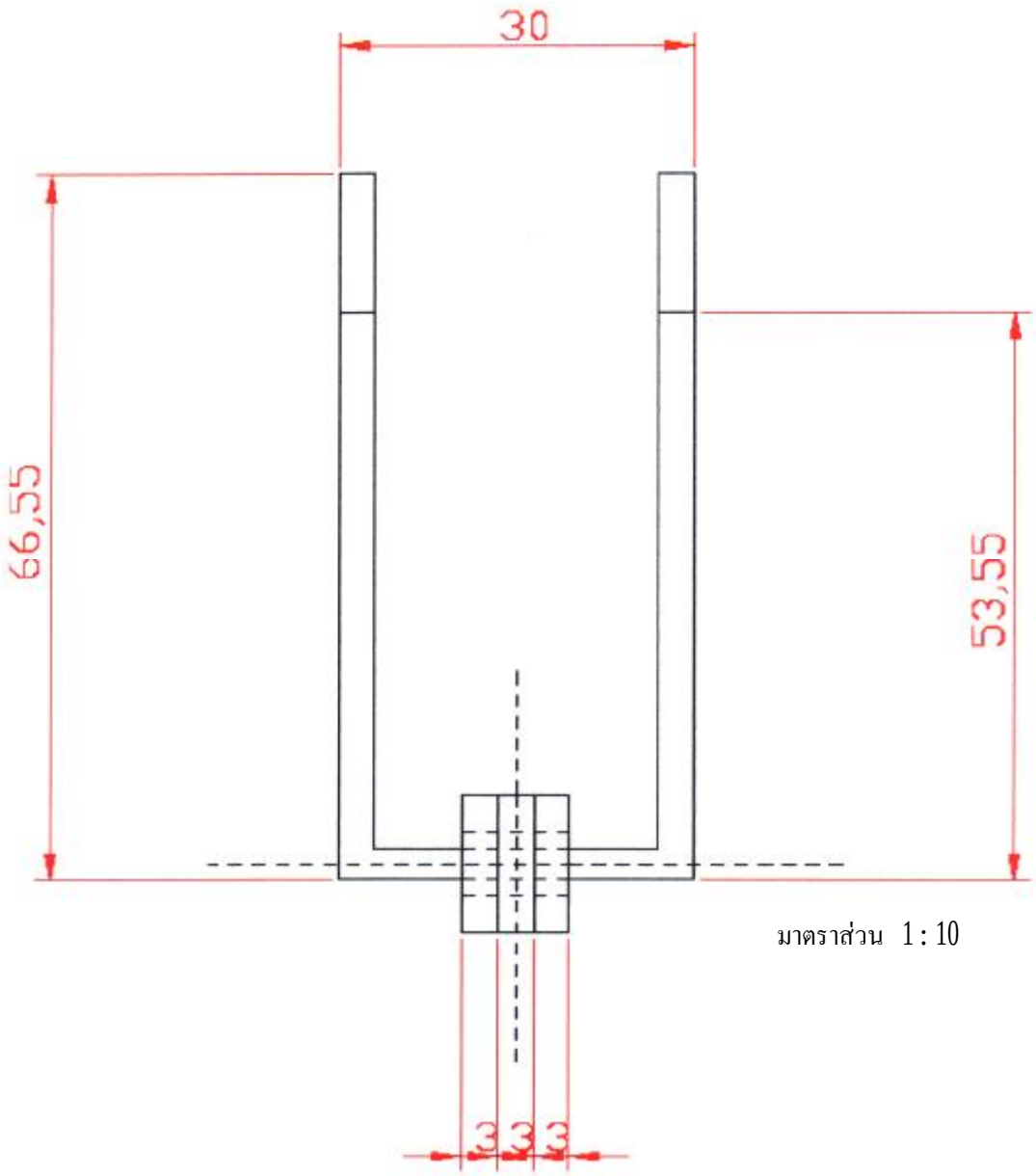
ภาพประกอบ 41 ภาพด้านหน้า กระเดื่องวางลูก



มาตราส่วน 1 : 10

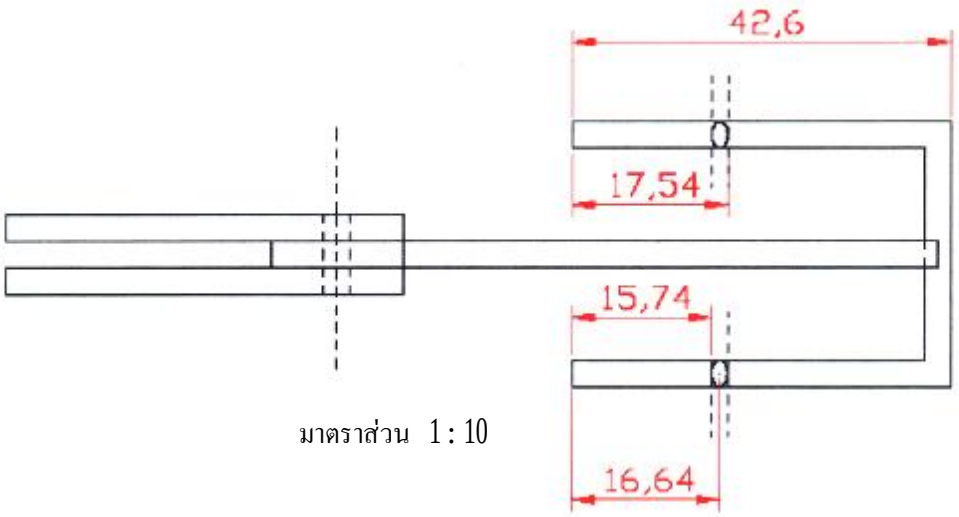
ภาพประกอบ 42 ภาพด้านบน กระเดื่องวางลูก

1.5 ตัวส่งลูกมีหน้าที่คอยส่งลูกจากรางลำเลียงไปยังกระเดื่องตั้งลูก



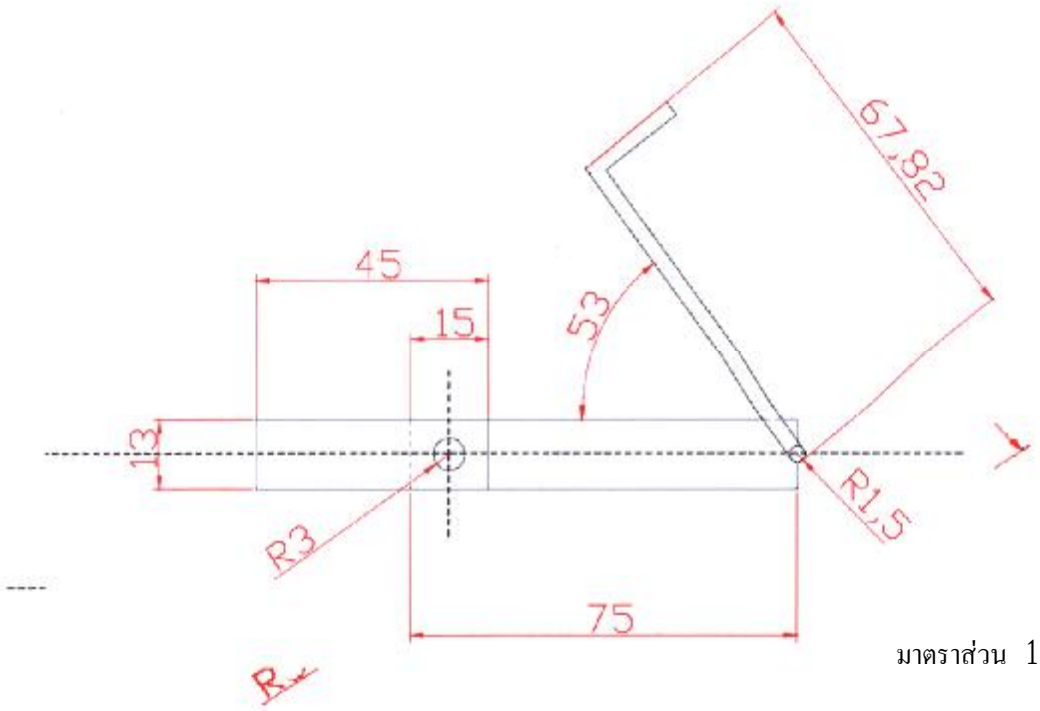
มาตราส่วน 1 : 10

ภาพประกอบ 43 ภาพด้านหน้าตัวส่งลูก



มาตราส่วน 1 : 10

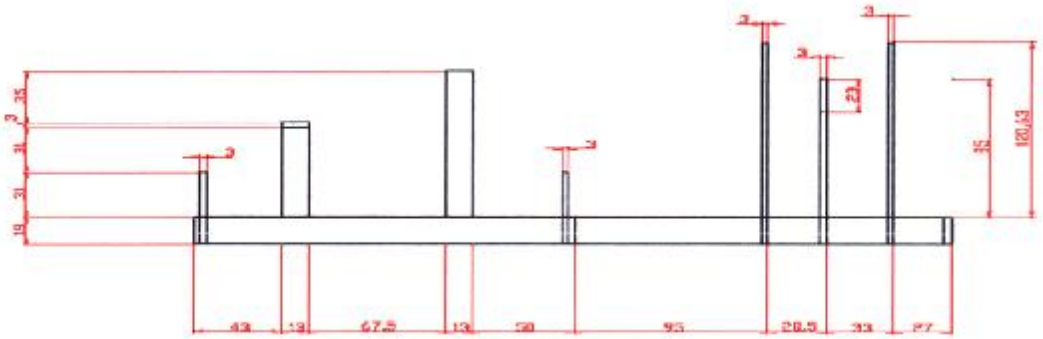
ภาพประกอบ 44 ภาพด้านบน ตัวส่งลูก



มาตราส่วน 1 : 10

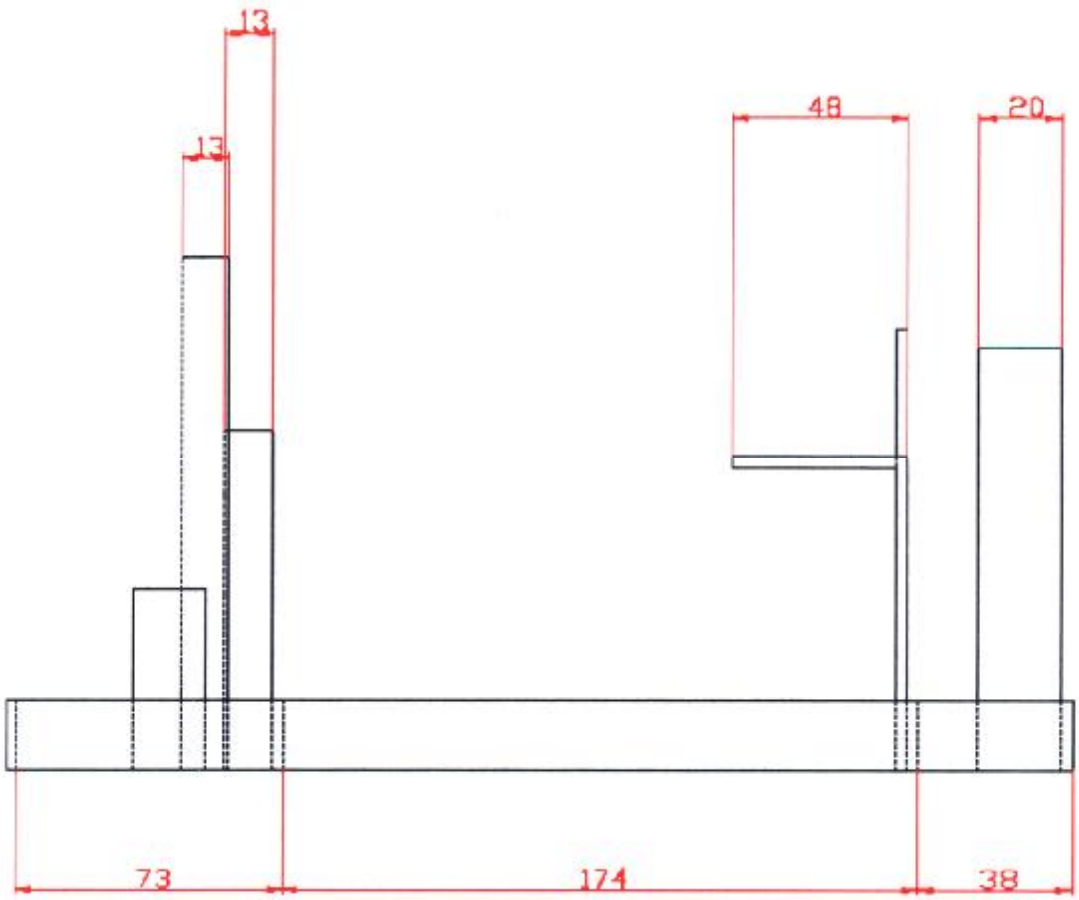
ภาพประกอบ 45 ภาพด้านข้าง ตัวส่งลูก

1.6 ฐานโครงสร้าง เป็นส่วนสำคัญในการยึดชิ้นส่วนและระบบกลไกทั้งหมดข้าด้วยกันทำให้เครื่องเสร็จสมบูรณ์



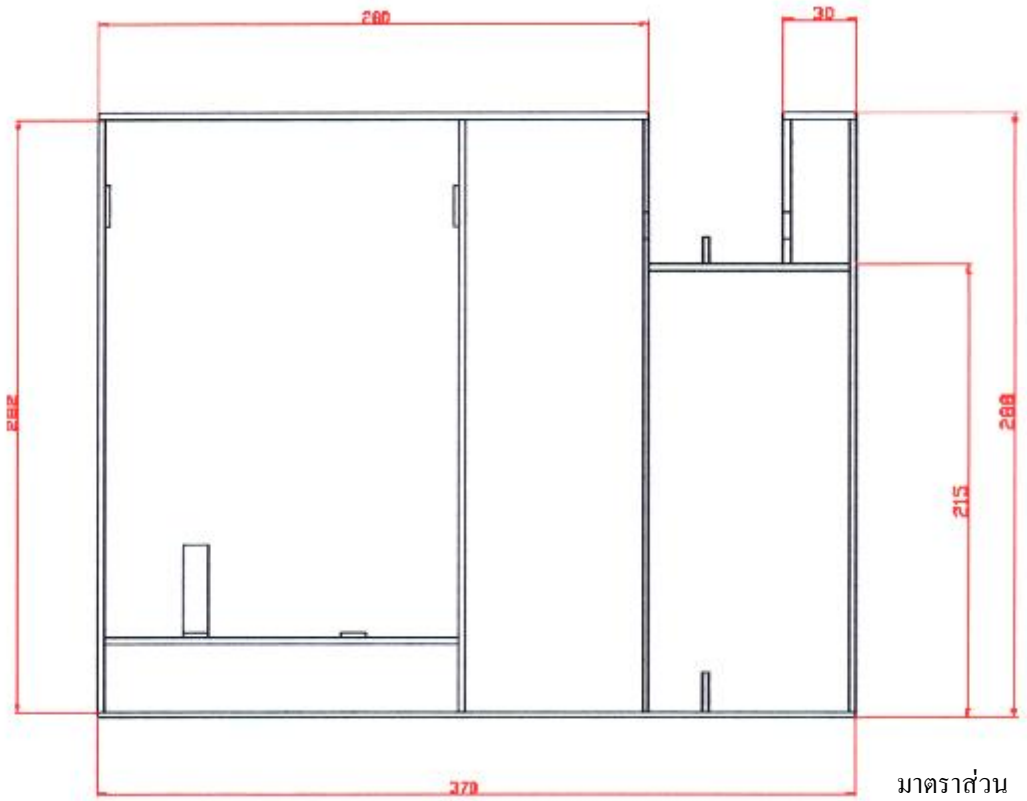
มาตราส่วน 1 : 10

ภาพประกอบ 46 ภาพด้านหน้า ฐานโครงสร้าง



มาตราส่วน 1 : 10

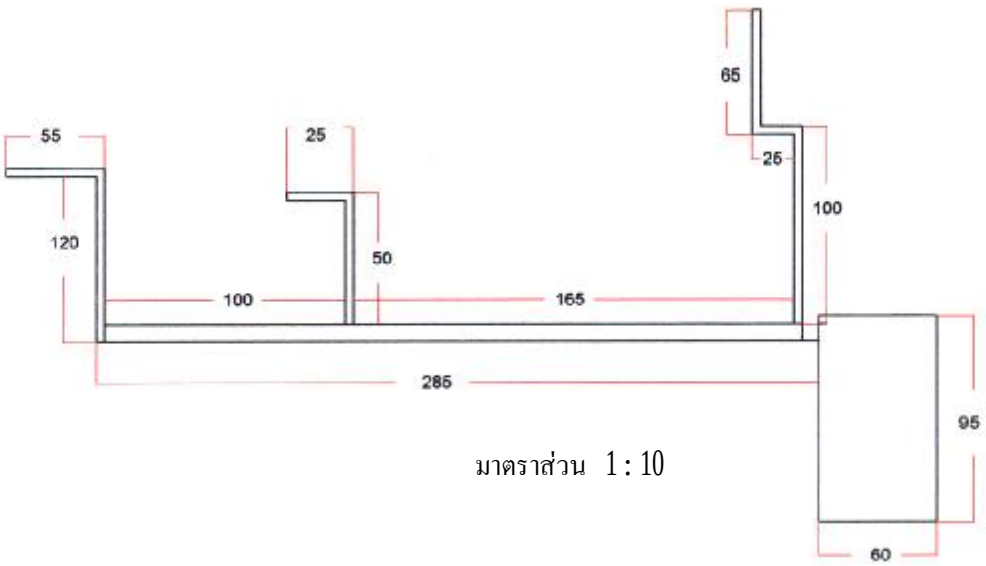
ภาพประกอบ 47 ภาพด้านข้าง ฐานโครงสร้าง



มาตราส่วน 1 : 10

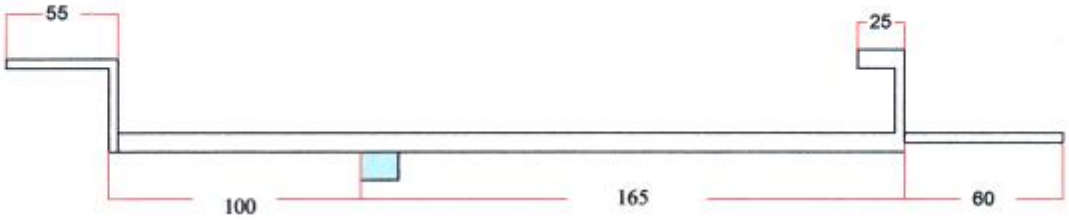
ภาพประกอบ 48 ภาพด้านบน ฐานโครงสร้าง

1.7 แป้นกด เป็นตัวควบคุมการทำงานทั้งระบบ คือกดที่แป้น 1 ครั้ง สามารถทำให้ตัวป้อนลูกส่งลูกไปยังรางลำเลียงพร้อมกับตัวดันลูกจะดันลูกให้ตกลงมาที่กระเดื่องลูกจะไหลลงมาตั้งบนที่ยาง



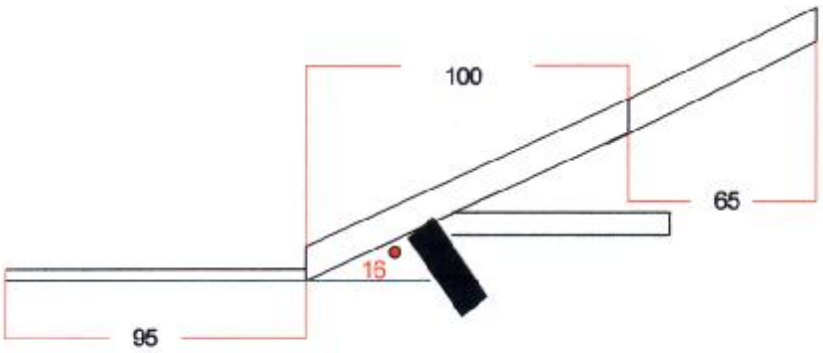
มาตราส่วน 1 : 10

ภาพประกอบ 49 ด้านบน แป้นกด



มาตราส่วน 1 : 10

ภาพประกอบ 50 ภาพด้านหน้า แป้นกด



มาตราส่วน 1 : 10

ภาพประกอบ 51 ภาพด้านข้าง แป้นกด

หลักการทำงานของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ซึ่งมีความแตกต่างจากเครื่องตั้งที่มีจำหน่ายอยู่ในปัจจุบันคือในส่วนของคานกดที่ทำหน้าที่ 2 อย่างพร้อมกันคือควบคุมการทำงานของตัวป้อนลูกและตัวดันลูกเมื่อกดที่คานกดเพียงครั้งเดียวตัวป้อนลูกจะทำหน้าป้อนลูกไปบนรางทีละลูกอย่างเป็นระบบพร้อมกับตัวดันลูกจะดันลูกให้ตกลงไปที่กระเดื่องซึ่งพร้อมที่จะนำลูกมาตั้งบนทียางได้อย่างถูกต้องแม่นยำซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายโดยอาศัยหลักของแรงกดที่มากระทำกับแป้นกดและหลักการเคลื่อนที่จากที่สูงลงที่ต่ำโดยอาศัยรางเป็นตัวลำเลียงลูกซึ่งมีความลาดเอียง ตามหลักทฤษฎีโมเมนตัม

3. การสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก

ขั้นตอนการสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก

1) นำแผ่นสแตนเลส ในส่วนของโครงหน้ากากที่วัดไว้เรียบร้อยนำมาเจาะตัด พับตามแบบที่เตรียมไว้ให้ได้ฉากแล้วเชื่อมด้วยตู้เชื่อมสแตนเลส

2) นำสแตนเลส ขนาดต่างๆ ที่วัดและตัดไว้นำมาเชื่อมประกอบตามแบบในส่วนของคานกดหรือแป้นกด

3) นำสแตนเลส ที่จะทำให้ฐานโครงสร้างมาวัดตัดให้ได้ขนาดตามแบบแล้วเชื่อมด้วยตู้เชื่อมสแตนเลส

4) นำสแตนเลส มาวัดตัด พับให้ได้ขนาดตามแบบ แล้วเชื่อมในส่วนของตัวป้อนลูก

5) นำสแตนเลส ที่วัดตัด ดัดให้ได้ขนาดตามแบบ แล้วเชื่อมในส่วนของรางลำเลียงลูก

6) นำสแตนเลส ที่วัดตัด ดัด ให้ได้ขนาดตามแบบ แล้วเชื่อมในส่วนของกระเดื่องตั้งลูก

7) นำสแตนเลส ที่วัด ตัด พาให้ได้ขนาดตามแบบ แล้วเชื่อมด้วยตู้เชื่อมสแตนเลสในส่วนของแป้นกด

8) นำชิ้นส่วนทั้งหมดมาประกอบเข้าด้วยกันจนเสร็จสมบูรณ์ตามแบบที่กำหนดเมื่อไม่มีข้อบกพร่องก็จะทำการตกแต่งและเก็บรายละเอียดต่อไป

สถานที่และเวลาในการวิจัย

สถานที่และระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย และสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ผู้วิจัยกำหนดสถานที่ดำเนินการตั้งอยู่เลขที่ 550/1 หมู่ 1 ตำบลกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ระยะเวลาในการสร้าง และปรับปรุงในการวิจัยตั้งแต่เดือนมีนาคม 2552 ถึงเดือนเมษายน 2552 เป็นเวลารวมทั้งสิ้น 2 เดือน และรายละเอียดในการกำหนดเวลา ดังนี้

เดือน มีนาคม 2552

สัปดาห์ที่ 1 จัดหาวัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้

สัปดาห์ที่ 2 ลงมือวัด วัสดุในการตัด พับ ดัด เจาะ แล้วเชื่อมด้วยตู้เชื่อมสแตนเลสให้ได้ขนาดตามแบบที่กำหนด

สัปดาห์ที่ 3 – 4 ประกอบโครงสร้างทั้งหมดเสร็จสมบูรณ์

เดือน เมษายน 2552

สัปดาห์ที่ 1 ทดสอบและปรับปรุง

สัปดาห์ที่ 2 ทดสอบและปรับปรุง, ประเมินผล

สัปดาห์ที่ 3 – 4 ทดสอบและปรับปรุง, ประเมินผล

4. **การทดสอบสมรรถนะ**

การทดสอบสมรรถนะนั้นเมื่อในส่วนของการสร้างเสร็จสมบูรณ์ ก็จะมีการตรวจสอบและทดสอบการทำงานโดยรวมอีกครั้ง ดังนี้ คือ

1. ด้านความสามารถในการใช้งาน
2. ด้านการติดตั้ง
3. ด้านความแข็งแรง
4. ด้านการบำรุงรักษา

สร้างแบบประเมินการออกแบบของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไกกำหนดคะแนนเป็น 3 ระดับ มีรายละเอียดประกอบด้วย 4 ตอน ดังนี้ คือ

ตอนที่ 1

เป็นคำชี้แจงวัตถุประสงค์ของการตอบในการประเมินการออกแบบของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก

ตอนที่ 2

เป็นข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพของผู้เชี่ยวชาญที่ทำการทดสอบ

ตอนที่ 3

แบบประเมินการออกแบบและคัดเลือกเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก การประเมินแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไกทั้ง 3 แบบ โดยมีผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้ความสามารถด้านวิศวกรรมเครื่องกล ที่เป็นนักกอล์ฟสมัครเล่น จำนวน 3 ท่าน

คะแนนเฉลี่ยระหว่าง			แปลความ
3	หมายถึง	ผลการประเมิน	เห็นด้วย
2	หมายถึง	ผลการประเมิน	ไม่แน่ใจ
1	หมายถึง	ผลการประเมิน	ไม่เห็นด้วย

กำหนดเกณฑ์ในการแปลความหมายข้อมูลที่เป็นค่าเฉลี่ยต่าง ๆ

คะแนนเฉลี่ยระหว่าง		แปลความ
2.51 – 3.00	หมายถึง	เห็นด้วย
1.51 – 2.50	หมายถึง	ไม่แน่ใจ
1.00 – 1.50	หมายถึง	ไม่เห็นด้วย

แบบประเมินสอบถามความคิดเห็นสมรรถนะของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก แบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) กำหนดคะแนนเป็น 5 ระดับ ตามวิธีของลิเคอร์ท (พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2535 : 114)

คะแนนเฉลี่ยระหว่าง			แปลความ
5	หมายถึง	ผลการประเมิน	ระดับดีมาก
4	หมายถึง	ผลการประเมิน	ระดับดี
3	หมายถึง	ผลการประเมิน	ระดับพอใช้
2	หมายถึง	ผลการประเมิน	ระดับปรับปรุง
1	หมายถึง	ผลการประเมิน	ระดับใช้ไม่ได้

ตอนที่ 4

เป็นคำถามแบบปลายเปิด สำหรับผู้ตอบแบบประเมินสมรรถนะแสดงความคิดเห็นและให้ข้อเสนอแนะต่างๆ การตรวจสอบแบบประเมิน ดำเนินการดังนี้

1) นำแบบประเมินสมรรถนะเสนอต่อกรรมการผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง

2) นำแบบประเมินสมรรถนะเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน

3) นำเครื่องตั้งลูกกอล์ฟที่สร้างขึ้นให้ผู้เชี่ยวชาญทำการทดสอบ และประเมินสมรรถนะตามแบบประเมิน โดยผู้เชี่ยวชาญทำการทดสอบ มีดังนี้คือ

3.1) ผู้ทดสอบที่เป็นนักกอล์ฟสมัครเล่น ประสบการณ์ในการเล่นกอล์ฟสมัครเล่นไม่ต่ำกว่า 5 ปี ในการแข่งขันของชมรมฯ และสมาคมต่างๆ

3.2 ผู้ทดสอบที่มีความรู้พื้นฐานทางวิศวกรรมเครื่องกล

การทดสอบประเมินสมรรถนะ มีวิธีการดังนี้

1) ทำหนังสือจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ถึงผู้เชี่ยวชาญและผู้ทดสอบ

2) แนะนำส่วนประกอบและการใช้งานก่อนทำการประเมินให้ผู้เชี่ยวชาญเพื่อทำการทดสอบทราบ

3) ทำการประเมินสมรรถนะโดยผู้เชี่ยวชาญทำการทดสอบ

4) นำผลการประเมินมาวิเคราะห์

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำแบบทดสอบและประเมินผลมาวิเคราะห์หาสมรรถนะของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก คือ

5.1สถิติที่ใช้ในการวิจัย

5.1.1 หาค่าเฉลี่ยเลขคณิตค่าเฉลี่ยหรือมัชฌิมเลขคณิต (Arithmetic Average) เป็นการวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางของการกระจายที่นิยมใช้และรู้จักกันมากที่สุด สำหรับการหาค่าเฉลี่ยทำได้โดยนำค่าของคะแนนชุดนั้นมาหาผลรวม แล้วหารด้วยจำนวนคะแนนทั้งหมด ซึ่งอาจจะเขียนเป็นสูตรได้ ดังนี้

$$\overline{x} = \frac{\Sigma X}{n}$$

$\overline{x}$ แทน ค่าเฉลี่ย
n แทน จำนวนข้อมูล
$\sum X$ แทน ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

5.1.2 หาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

การวัดโดยวิธีการแบบนี้ คือถ้ากล่าวว่าข้อมูลกระจายมาก หรือว่ากระจายน้อย ต้องพิจารณาจากคะแนนเฉลี่ยของข้อมูลชุดนั้นเสมอ คือ การเอาจุดศูนย์ถ่วงของน้ำหนักเป็นหลัก ได้แก่ ค่าเฉลี่ย จากนั้นจึงดูว่า คะแนนแต่ละตัวอยู่ห่างจากจุดหลักเป็นเท่าใด ก็จะได้คะแนนเบี่ยงเบนนั้นเอง (ผศ.สุวัฒน์ วัฒวงศ์. 2527: 112, 116)

$$S.D. = \sqrt{\frac{\Sigma(X-\overline{X})^2}{N-1}}$$

5.1.3 ค่าเฉลี่ยร้อยละ ร้อยละนิยม ใช้กับข้อมูลที่มีระดับการวัดแบบนามบัญญัติ (Nominal – Scale) ซึ่งมีลักษณะการแจกแจงนับเป็นความถี่ โดยมีการคำนวณค่าร้อยละ คือ (กนกทิพย์ พัฒนาพัวพันธ์. 2541: 2)

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

เมื่อN เท่ากับ จำนวนทั้งหมด
A เท่ากับ จำนวนที่เห็นด้วย

% ค่าที่ได้ เท่ากับ จำนวนเปอร์เซ็นต์

5.1.4 การทดสอบนัยสำคัญโดยอาศัยการแจกแจง (t–test) (อังคณา สายยศ 2540: 240)

$$t = \frac{\bar{x} - u}{s/\sqrt{n}}$$

เมื่อt กรณีใช้สูตร df = n – 1

n เท่ากับจำนวนทั้งหมด

s เท่ากับ SD

u เท่ากับค่าเฉลี่ยของเกณฑ์ดี 4.00

5.2 กำหนดเกณฑ์ในการแปลความหมายข้อมูลที่เป็นค่าเฉลี่ยต่าง ๆ

คะแนนเฉลี่ยระหว่าง	แปลความ
4.50 – 5.0	ดีมาก
3.50 – 4.49	ดี
2.50 – 3.49	พอใช้
1.50 – 2.49	ต้องปรับปรุง
1.00 – 1.49	ใช้ไม่ได้

5.3. การนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลจัดทำเป็น 2 แบบ

5.3.1 จะเสนอเป็นการบรรยายสมรรถนะ ด้านความสามารถในการใช้งาน ด้านการติดตั้ง ด้านความแข็งแรง ด้านการบำรุงรักษา

5.3.2 ข้อมูลจากคำถามปลายเปิด แสดงความคิดเห็น ผู้วิจัยจะนำข้อเสนอแนะมารวบรวม สรุปแจงเป็นจำนวนที่ผู้ทดสอบและผู้เชี่ยวชาญให้ความคิดเห็น

จากการศึกษาวิธีดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษารายละเอียดของปัญหาขั้นตอนในการแก้ปัญหา โดยการออกแบบและเขียนแบบส่วนต่าง ๆของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก และทำการศึกษาวัสดุอุปกรณ์เครื่องมือต่าง ๆที่ใช้ในการสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก กำหนดระยะเวลา วางแผนงาน และสถานที่ การสร้างเครื่องต้นแบบ ทดลองปรับปรุงหาสมรรถนะเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ตามแบบทดสอบ วิเคราะห์ และสรุปผลการวิจัย

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การนำเสนอข้อมูลในการประเมินสมรรถนะเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ครั้งนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอโดยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ

ตอนที่ 1 ผลการประเมินความคิดเห็นความเป็นไปได้ เกี่ยวกับการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ทั้ง 3 แบบ โดยผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด จำนวน 3 ท่าน ที่มีความรู้ความสามารถด้านวิศวกรรมเครื่องกล ที่เป็นนักกอล์ฟสมัครเล่น

ตอนที่ 2 การประเมินสมรรถนะเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ที่ผ่านการประเมินการออกแบบจากผู้เชี่ยวชาญ

ตอนที่ 3 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

ตอนที่ 1 ผลการประเมินความคิดเห็นความเป็นไปได้ เกี่ยวกับการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ทั้ง 3 แบบ โดยผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด จำนวน 3 ท่าน ที่มีความรู้ความสามารถด้านวิศวกรรมเครื่องกล ที่เป็นนักกอล์ฟสมัครเล่น

ผู้วิจัยแสดงผลในรูปแบบของตารางและอธิบายผลประกอบ การนำเสนอการประเมินในภาพรวมของการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ดังนี้

ตาราง18 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล โดยผู้เชี่ยวชาญประเมินการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ก)

รายละเอียดสมรรถนะ	$\bar{x}$	SD.	ระดับการประเมิน
ด้านการออกแบบ	2.11	0.38	ไม่แน่ใจ
ด้านวัสดุ	2.57	0.19	เห็นด้วย
ด้านความสามารถในการใช้งาน	2.00	0.00	ไม่แน่ใจ
ด้านการติดตั้ง	2.44	0.58	ไม่แน่ใจ
ด้านความแข็งแรง	2.44	0.58	ไม่แน่ใจ
ด้านการบำรุงรักษา	2.44	0.58	ไม่แน่ใจ
ภาพรวม	2.33	0.35	ไม่แน่ใจ

จากตาราง 18 แสดงให้เห็นว่าผู้เชี่ยวชาญประเมินการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ก) ในด้านการออกแบบส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ก) โดยมีค่าเฉลี่ยดังนี้คือ ด้านการออกแบบมีค่าเฉลี่ย 2.11 ด้านวัสดุมีค่าเฉลี่ย 2.57 ด้านความสามารถในการใช้งานมีค่าเฉลี่ย 2.00 ด้านการติดตั้งมีค่าเฉลี่ย 2.44 ด้านการบำรุงรักษามีค่าเฉลี่ย 2.44 รวมค่าเฉลี่ยทั้งหมดในภาพรวมเท่ากับ 2.33 จึงสามารถสรุปได้ว่าการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ก) ในครั้งนี้อยู่ในระดับความเป็นไปได้ต่ำ และไม่สามารถสามารถนำไปสร้างเป็นเครื่องต้นแบบได้

ตาราง 19 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล โดยผู้เชี่ยวชาญประเมินการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ข)

รายละเอียดสมรรถนะ	$\bar{x}$	SD.	**ระดับการประเมิน**
ด้านการออกแบบ	2.78	0.38	เห็นด้วย
ด้านวัสดุ	3.00	0.00	เห็นด้วย
ด้านความสามารถในการใช้งาน	2.67	0.58	เห็นด้วย
ด้านการติดตั้ง	2.55	0.38	เห็นด้วย
ด้านความแข็งแรง	2.77	0.19	เห็นด้วย
ด้านการบำรุงรักษา	1.66	0.38	ไม่แน่ใจ
ภาพรวม	2.57	0.31	เห็นด้วย

จากตาราง 19 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล โดยผู้เชี่ยวชาญประเมินการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ข) ในด้านการออกแบบส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ข) โดยมีค่าเฉลี่ยดังนี้คือ ด้านการออกแบบมีค่าเฉลี่ย 2.78 ด้านวัสดุมีค่าเฉลี่ย 3.00 ด้านความสามารถในการใช้งานมีค่าเฉลี่ย 2.67 ด้านการติดตั้งมีค่าเฉลี่ย 2.55 ด้านความแข็งแรงมีค่าเฉลี่ย 2.77 ด้านการบำรุงรักษามีค่าเฉลี่ย 1.66 รวมค่าเฉลี่ยทั้งหมดในภาพรวมเท่ากับ 2.57 จึงสามารถสรุปได้ว่าการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ข) ในครั้งนี้สามารถนำไปสร้างเป็นเครื่องต้นแบบได้

ตาราง 20 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล โดยผู้เชี่ยวชาญประเมินการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ค)

รายละเอียดสมรรถนะ	$\bar{x}$	SD.	**ระดับการประเมิน**
ด้านการออกแบบ	3.00	0.00	เห็นด้วย
ด้านวัสดุ	3.00	0.00	เห็นด้วย
ด้านความสามารถในการใช้งาน	2.55	0.19	เห็นด้วย
ด้านการติดตั้ง	2.77	0.19	เห็นด้วย
ด้านความแข็งแรง	3.00	0.00	เห็นด้วย
ด้านการบำรุงรักษา	2.78	0.38	เห็นด้วย
ภาพรวม	2.85	0.12	เห็นด้วย

จากตาราง 20 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล โดยผู้เชี่ยวชาญประเมินการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ค) ในด้านการออกแบบส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ค) โดยมีค่าเฉลี่ยดังนี้คือ ด้านการออกแบบมีค่าเฉลี่ย 3.00 ด้านวัสดุมีค่าเฉลี่ย 3.00 ด้านความสามารถในการใช้งานมีค่าเฉลี่ย 2.55 ด้านการติดตั้งมีค่าเฉลี่ย 2.77 ด้านความแข็งแรงมีค่าเฉลี่ย 3.00 ด้านการบำรุงรักษามีค่าเฉลี่ย 2.78 รวมค่าเฉลี่ยทั้งหมดในภาพรวมเท่ากับ 2.85 จึงสามารถสรุปได้ว่าการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ค) ในครั้งนี้สามารถนำไปสร้างเป็นเครื่องต้นแบบได้

ตอนที่ 2 การประเมินสมรรถนะเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ที่ผ่านการประเมินการออกแบบจากผู้เชี่ยวชาญ

ผู้วิจัยแสดงผลในรูปแบบของตารางและอธิบายผลประกอบ การนำเสนอการประเมินในภาพรวมของสมรรถนะเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ดังนี้

ตาราง 21 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานข้อมูล ของผู้เชี่ยวชาญที่ทำการทดสอบสมรรถนะเครื่องตั้งลูกระบบกลไก ในภาพรวม

รายละเอียดสมรรถนะ	$\bar{x}$	SD.	**ระดับกาประเมิน**
1. ด้านความสามารถในการใช้งาน	4.56	0.55	ดีมาก
2. ด้านการติดตั้ง	4.70	0.25	ดีมาก
3. ด้านความแข็งแรง	4.54	0.26	ดีมาก
4. ด้านการบำรุงรักษา	4.56	0.19	ดีมาก
ภาพรวม	4.59	0.31	ดีมาก

จากตาราง 21 แสดงให้เห็นว่าผู้เชี่ยวชาญประเมิน เครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไกในภาพรวม จากการประเมินสมรรถนะปรากฏว่าได้ผลดีมาก ดังนี้คือ ด้านความสามารถในการใช้งานมีค่าเฉลี่ย 4.56 ด้านการติดตั้งมีค่าเฉลี่ย 4.70 ด้านความแข็งแรงมีค่าเฉลี่ย 4.54 ด้านการบำรุงรักษามีค่าเฉลี่ย 4.56 รวมค่าเฉลี่ยทั้งหมดของภาพรวมเท่ากับ 4.57 จึงสามารถสรุปได้ว่าสมรรถนะของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไกในครั้งนี้อยู่ในระดับดีมากสอดคล้องกับสมมตติฐานที่ระดับนัยสำคัญ .05

ตาราง 22 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและการทดสอบนัยสำคัญของข้อมูล ประเมินสมรรถนะเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ในภาพรวม

รายละเอียดสมรรถนะ	$\bar{x}$	*SD.*	t	**ระดับการประเมิน**
1. ด้านความสามารถในการใช้งาน	4.56	0.55	4.707*	ดีมาก
2. ด้านการติดตั้ง	4.70	0.25	6.139*	ดีมาก
3. ด้านความแข็งแรง	4.54	0.26	4.630*	ดีมาก
4. ด้านการบำรุงรักษา	4.56	0.19	6.424*	ดีมาก
ภาพรวม	4.59	0.31	8.135*	ดีมาก

หมายเหตุ HO = 4.00 a = 0.05

จากตาราง 22 ค่าเฉลี่ยโดยรวม 4.59 ค่า t 8.135* สอดคล้องกับสมมติฐานที่ระดับนัยสำคัญที่ .05 คือค่าเฉลี่ยมากกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ที่ 4.00 หมายความว่าสมรรถนะของเครื่องตั้งลูก

กอล์ฟโดยระบบกลไกมีสมรรถนะอยู่ในระดับดีมาก ค่าเฉลี่ยรายด้านความสามารถในการใช้งาน 4.56 ค่า t 4.707* สอดคล้องกับสมมติฐานที่ระดับนัยสำคัญที่ .05 คือค่าเฉลี่ยมากกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ที่ 4.00 ค่าเฉลี่ยรายด้านการติดตั้ง 4.70 ค่า t 6.139* สอดคล้องกับสมมติฐานที่ระดับนัยสำคัญที่ .05 คือค่าเฉลี่ยมากกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ที่ 4.00 ค่าเฉลี่ยรายด้านความแข็งแรง 4.54 ค่า t 4.630* สอดคล้องกับสมมติฐานที่ระดับนัยสำคัญที่ .05 คือค่าเฉลี่ยมากกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ที่ 4.00 ค่าเฉลี่ยรายด้านการบำรุงรักษา 4.56 ค่า t 6.424* สอดคล้องกับสมมติฐานที่ระดับนัยสำคัญที่ .05 คือค่าเฉลี่ยมากกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ที่ 4.00 สอดคล้องกับสมมติฐานที่ระดับนัยสำคัญที่ .05 คือค่าเฉลี่ยมากกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ที่ 4.00 จริง หมายความว่าสมรรถนะของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก มีสมรรถนะอยู่ในเกณฑ์ดีมาก

ตาราง 23 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของผู้เชี่ยวชาญในการประเมินสมรรถนะของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ด้านความสามารถในการใช้งาน

รายการด้านความสามารถในการใช้งาน	$\bar{x}$	SD.	**ระดับการประเมิน**
1. การควบคุมการทำงานทำได้ง่าย	4.80	0.45	ดีมาก
2. สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง	4.40	0.89	ดี
3. การปรับระดับความสูง ต่ำ ทำได้สะดวก	3.80	0.45	ดี
4. สามารถตั้งลูกกอล์ฟได้อย่างแม่นยำ	4.60	0.55	ดีมาก
5. สามารถบรรจุลูกกอล์ฟได้เหมาะสมกับขนาด	4.60	0.55	ดีมาก
6. สามารถตั้งลูกกอล์ฟได้ภายในเวลาที่กำหนด คือ 3 วินาที/ 1ลูก	4.80	0.45	ดีมาก
7. ความเร็วในการตั้งลูกมีความ เหมาะสม	4.60	0.55	ดีมาก
8. เครื่องตั้งฯมีความคล่องตัวในขณะใช้งาน	4.60	0.55	ดีมาก
9. มีความสะดวกในการใช้เครื่องตั้งลูกกอล์ฟด้วยตนเอง	4.60	0.55	ดีมาก
10 มีความสะดวก ประหยัด และความปลอดภัยสูง	4.80	0.45	ดีมาก
ภาพรวม	4.56	0.55	ดีมาก

จากตาราง 23 แสดงให้เห็นว่า ผู้เชี่ยวชาญประเมินสมรรถนะของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ด้านความสามารถในการใช้งานอยู่ในระดับค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.56 และวิเคราะห์เป็นรายข้อพบว่า การควบคุมการทำงานทำได้ง่ายมีค่าเฉลี่ย 4.80 ระดับการประเมินอยู่ในระดับดีมาก หัวข้อสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องมีค่าเฉลี่ย 4.40 ระดับการประเมินอยู่ในระดับดี หัวข้อการปรับระดับความสูง ต่ำ ทำได้สะดวกมีค่าเฉลี่ย 3.80 ระดับการประเมินอยู่ในระดับดี หัวข้อสามารถตั้งลูกกอล์ฟได้อย่างแม่นยำมีค่าเฉลี่ย 4.60 ระดับการประเมินอยู่ในระดับดี หัวข้อสามารถบรรจุลูกกอล์ฟได้เหมาะสม

กับขนาดมีค่าเฉลี่ย 4.60 ระดับการประเมินอยู่ในระดับดีมาก หัวข้อสามารถตั้งลูกกอล์ฟได้ภายในเวลาที่กำหนด คือ 3 วินาที/1ลูกมีค่าเฉลี่ย 4.80 ระดับการประเมินอยู่ในระดับดีมาก หัวข้อความเร็วในการตั้งลูกมีความเหมาะสมมีค่าเฉลี่ย 4.60 ระดับการประเมินอยู่ในระดับดี หัวข้อเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก มีความคล่องตัวในขณะใช้งานมีค่าเฉลี่ย 4.60 ระดับการประเมินอยู่ในระดับดี หัวข้อมีความสะดวกในการใช้เครื่องตั้งลูกกอล์ฟด้วยตนเองมีค่าเฉลี่ย 4.60 ระดับการประเมินอยู่ในระดับดีมาก และหัวข้อมีความสะดวก ประหยัด และความปลอดภัยสูงมีค่าเฉลี่ย 4.80 ระดับการประเมินอยู่ในระดับดีมาก สรุปสมรรถนะด้านความสามารถในการใช้งานในทุกหัวข้ออยู่ในเกณฑ์ ดีมาก

ตาราง 24 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของผู้เชี่ยวชาญประเมินสมรรถนะของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ด้านการติดตั้ง

รายการด้านการติดตั้ง	$\bar{x}$	SD.	**ระดับการประเมิน**
1. การติดตั้งทำด้วยความสะดวก	4.60	0.55	ดีมาก
2. สามารถติดตั้งได้เองโดยการศึกษาจากคู่มือสำหรับผู้ใช้	4.80	0.45	ดีมาก
3. การใช้พื้นที่ในการตั้งเครื่อง ฯ ไม่เปลืองเนื้อที่มาก	4.60	0.55	ดีมาก
4. การจัดวางเครื่องฯเป็นไปอย่างเหมาะสม	4.60	0.55	ดีมาก
5. สามารถถอดแยกชิ้นส่วนประกอบของเครื่องฯเองได้	4.80	0.45	ดีมาก
6. เครื่องมือที่ใช้ในการถอดแยกหาได้ง่าย	4.20	0.45	ดี
7. เครื่องตั้งลูกกอล์ฟมีขนาดเหมาะสมกับการใช้งาน	4.80	0.45	ดีมาก
8. สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก	5.00	0.00	ดีมาก
9. การติดตั้งใช้เวลาไม่นาน	4.60	0.55	ดีมาก
10. สามารถติดตั้งได้โดยปลอดภัย	5.00	0.00	ดีมาก
ภาพรวม	4.70	0.40	ดีมาก

จากตาราง 24 แสดงให้เห็นว่าผู้เชี่ยวชาญประเมินสมรรถนะ เครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ด้านการติดตั้ง อยู่ในระดับค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.70 และวิเคราะห์รายข้อพบว่า การติดตั้งทำด้วยความสะดวกมีค่าเฉลี่ย 4.60 ระดับการประเมินอยู่ในระดับดีมาก หัวข้อสามารถติดตั้งได้เองโดยการศึกษาจากคู่มือสำหรับผู้ใช้มีค่าเฉลี่ย 4.80 ระดับการประเมินอยู่ในระดับดีมาก หัวข้อการใช้พื้นที่ในการตั้งเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ไม่เปลืองเนื้อที่มากมีค่าเฉลี่ย 4.60 ระดับการประเมินอยู่ในระดับดีมาก หัวข้อการจัดวางเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก เป็นไปอย่างเหมาะสมมีค่าเฉลี่ย.4.60 ระดับการประเมินอยู่ในระดับดีมาก หัวข้อสามารถถอดแยกชิ้นส่วนประกอบของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไกเองได้มีค่าเฉลี่ย 4.80 ระดับการประเมินอยู่ในระดับดีมาก หัวข้อเครื่องมือที่ใช้ในการถอดแยกหาได้ง่ายมีค่าเฉลี่ย4.20 ระดับการประเมินอยู่ในระดับดี หัวข้อเครื่องตั้งลูกกอล์ฟมีขนาด

เหมาะสมกับการใช้งานมีค่าเฉลี่ย 4.80ระดับการประเมินอยู่ในระดับดีมาก หัวข้อสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกมีค่าเฉลี่ย 5.00 ระดับการประเมินอยู่ในระดับดีมาก หัวข้อการติดตั้งใช้เวลาไม่นานมีค่าเฉลี่ย 4.60 ระดับการประเมินอยู่ในระดับดีมาก หัวข้อสามารถติดตั้งได้โดยปลอดภัยมีค่าเฉลี่ย 5.00 ระดับการประเมินอยู่ในระดับดีมาก สรุปสมรรถนะด้านการติดตั้งในทุกหัวข้ออยู่ในเกณฑ์ดีมาก

ตาราง 25 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของผู้เชี่ยวชาญประเมินสมรรถนะของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ด้านความแข็งแรง

รายการด้านความแข็งแรง	$\bar{x}$	SD.	ระดับการประเมิน
1. การออกแบบเครื่องฯมีความเหมาะสม	4.40	0.55	ดี
2. การสร้างใช้วัสดุที่มีความเหมาะสม	4.60	0.55	ดีมาก
3. วัสดุที่ใช้มีความแข็งแรงทนทาน	4.60	0.55	ดีมาก
4. สามารถใช้ได้ทุกสภาพอากาศไม่เป็นสนิม	5.00	0.00	ดีมาก
5. ชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆมีความแข็งแรง	4.20	0.45	ดี
6. มีความแข็งแรงของโครงสร้าง	4.60	0.55	ดีมาก
7. มีความแข็งแรงของรอยเชื่อม	4.60	0.55	ดีมาก
8. น้ำหนักของเครื่องฯเหมาะสมกับขนาด	4.40	0.55	ดี
9.ชิ้นส่วนทุกชิ้นมีรูปทรงลักษณะแยกชิ้นส่วนประกอบได้	4.20	0.45	ดี
10.วัสดุในการสร้างมีภายในประเทศสามารถหาซื้อได้ง่าย	4.80	0.45	ดีมาก
ภาพรวม	4.54	0.46	ดีมาก

จากตาราง 25 แสดงให้เห็นว่าผู้เชี่ยวชาญประเมินสมรรถนะเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ด้านความแข็งแรง อยู่ในระดับค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.54 และวิเคราะห์รายข้อพบว่าการออกแบบเครื่องฯมีความเหมาะสมมีค่าเฉลี่ย 4.40 ระดับการประเมินอยู่ในระดับดี หัวข้อการสร้างใช้วัสดุที่มีความเหมาะสมมีค่าเฉลี่ย 4.60 ระดับการประเมินอยู่ในระดับดีมาก หัวข้อวัสดุที่ใช้มีความแข็งแรงทนทานมีค่าเฉลี่ย 4.60 ระดับการประเมินอยู่ในระดับดีมาก หัวข้อสามารถใช้ได้ทุกสภาพอากาศไม่เป็นสนิมมีค่าเฉลี่ย 5.00 ระดับการประเมินอยู่ในระดับดีมาก หัวข้อชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆ มีความแข็งแรงมีค่าเฉลี่ย 4.20 ระดับการประเมินอยู่ในระดับดี หัวข้อมีความแข็งแรงของโครงสร้างมีค่าเฉลี่ย 4.60 ระดับการประเมินอยู่ในระดับดีมาก หัวข้อมีความแข็งแรงของรอยเชื่อมมีค่าเฉลี่ย 4.60 ระดับการประเมินอยู่ในระดับดีมาก หัวข้อน้ำหนักของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก เหมาะสมกับขนาดมีค่าเฉลี่ย4.40 ระดับการประเมินอยู่ในระดับดี หัวข้อชิ้นส่วนทุกชิ้นมีรูปทรงลักษณะแยกชิ้นส่วนประกอบได้มีค่าเฉลี่ย 4.20 ระดับการประเมินอยู่ในระดับดี หัวข้อวัสดุในการสร้างมีภายในประเทศ

สามารถหาซื้อได้ง่ายมีค่าเฉลี่ย 4.80 ระดับการประเมินอยู่ในระดับดีมาก สรุปสมรรถนะด้านความแข็งแรงในทุกหัวข้ออยู่ในเกณฑ์ดีมาก

ตาราง 26 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของผู้เชี่ยวชาญประเมินสมรรถนะ เครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ด้านการบำรุงรักษา

รายการด้านการบำรุงรักษา	$\bar{x}$	SD.	ระดับการประเมิน
1. การทำความสะอาดชิ้นส่วนอุปกรณ์ทำได้ง่าย	4.80	0.45	ดีมาก
2. ประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา	5.00	0.00	ดีมาก
3. การเก็บรักษาทำได้สะดวก	4.40	0.55	ดี
4. มีความสะดวกในการถอดแยกประกอบเครื่อง	4.20	0.45	ดี
5. มีจุดตรวจที่ต้องการบำรุงรักษาชิ้นส่วนต่างๆน้อย	4.20	0.45	ดี
6. สามารถตรวจสอบสภาพและการทำงานของเครื่อง ฯ ได้ง่าย	4.80	0.45	ดีมาก
7. การซ่อมแซมส่วนประกอบที่ชำรุดหรือสึกหรอทำได้ง่าย	4.60	0.55	ดีมาก
8. สามารถตรวจสอบเมื่อเครื่องเกิดขัดข้องขณะใช้งานทำได้ง่าย	4.60	0.55	ดีมาก
9. สามารถหาซื้ออุปกรณ์ที่ต้องบำรุงรักษาได้ง่ายภายในประเทศ	4.60	0.55	ดีมาก
10. วัสดุที่ใช้ในการสร้างสามารถหาซื้อได้ง่าย ราคาไม่แพง	4.40	0.55	ดี
ภาพรวม	4.56	0.45	ดีมาก

จากตาราง 26 แสดงให้เห็นว่าผู้เชี่ยวชาญประเมินสมรรถนะ เครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ด้านการบำรุงรักษา อยู่ในระดับค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.56 เมื่อวิเคราะห์รายข้อพบว่า หัวข้อการทำความสะอาดชิ้นส่วนอุปกรณ์ทำได้ง่ายมีค่าเฉลี่ย 4.80 ระดับการประเมินอยู่ในระดับดีมาก หัวข้อประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษามีค่าเฉลี่ย 5.00 ระดับการประเมินอยู่ในระดับดีมาก หัวข้อการเก็บรักษาทำได้สะดวกมีค่าเฉลี่ย 4.40 ระดับการประเมินอยู่ในระดับดี หัวข้อมีความสะดวกในการถอดแยกประกอบเครื่องมีค่าเฉลี่ย 4.20 ระดับการประเมินอยู่ในระดับดี หัวข้อมีจุดตรวจที่ต้องการบำรุงรักษาชิ้นส่วนต่างๆ น้อย มีค่าเฉลี่ย 4.20 ระดับการประเมินอยู่ในระดับดี หัวข้อสามารถตรวจสอบสภาพและการทำงานของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ได้ง่ายมีค่าเฉลี่ย 4.80ระดับการประเมินอยู่ในระดับดีมาก หัวข้อการซ่อมแซมส่วนประกอบที่ชำรุดหรือสึกหรอทำได้ง่ายมีค่าเฉลี่ย 4.60 ระดับการประเมินอยู่ในระดับดีมาก หัวข้อสามารถตรวจสอบเมื่อเครื่องเกิดขัดข้อง

ขณะใช้งานทำได้ง่ายมีค่าเฉลี่ย 4.60 ระดับการประเมินอยู่ในระดับดีมาก หัวข้อสามารถหาซื้ออุปกรณ์ที่ต้องบำรุงรักษาได้ง่ายภายในประเทศมีค่าเฉลี่ย 4.60 ระดับการประเมินอยู่ในระดับดีมาก หัวข้อวัสดุที่ใช้ในการสร้างสามารถหาซื้อได้ง่าย ราคาไม่แพงมีค่าเฉลี่ย 4.40 ระดับการประเมินอยู่ในระดับดี สรุปสมรรถนะด้านการบำรุงรักษาในทุกข้อหัวข้ออยู่ในเกณฑ์ดีมาก

ตอนที่ 3 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

สำหรับข้อมูลจากคำถามปลายเปิด เพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญแสดงความคิดเห็น อย่างอิสระเกี่ยวกับการออกแบบและสมรรถนะของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อเสนอแนะต่างๆ จากผู้เชี่ยวชาญ มีดังนี้

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการออกแบบ เครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก

1. การออกแบบ (แบบ ก)
    1.1 ลูกกอล์ฟไม่สัมผัสชิ้นงานต่อเนื่อง
    1.2 รูปร่างไม่เหมาะสมอาจเสียหายขณะใช้งานได้ง่าย
2. การออกแบบ (แบบ ข)
    2.1 การส่งลูกจากด้านบนอาจตกค้างได้
3. การออกแบบ (แบบ ค)
    3.1 เนื่องจากมีตัวป้อนลูกจึงสามารถขยายขนาดถาดใส่ลูกได้ โดยการเพิ่มความสูงของขอบถาด

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับสมรรถนะ ของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก

1. ควรเพิ่มขนาดของช่องเก็บลูกกอล์ฟให้มากขึ้น
2. ควรมีระบบนับจำนวนลูกกอล์ฟที่ตีไปแล้ว
3. ควรมีฝาปิดเพื่อให้เคลื่อนย้ายได้สะดวกลูกกอล์ฟไม่ตกหล่น
4. เป็นเครื่องที่ช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าเมื่อเทียบกับเครื่องที่สั่งจากต่างประเทศ สามารถใช้ได้ในทุกสภาพพื้นที่
5. ควรเพิ่มขนาดความจุของลูกกอล์ฟภายในเครื่องให้มากขึ้นจะสะดวกกับผู้ใช้
6. หากสามารถควบคุมเรื่องเสียงดังได้เครื่องจะมีความสมบูรณ์มาก
7. เครื่องตั้งลูกกอล์ฟเป็นเครื่องมือพัฒนาทักษะในการเล่นกอล์ฟและเป็นการต่อยอดเพื่อธุรกิจได้ เพราะเครื่องใช้ต้นทุนต่ำ ประหยัด สะดวกในการใช้
8. อุปกรณ์การออกแบบมีความเหมาะสม สามารถใช้งานได้ง่าย ประหยัดและทนทาน สามารถซ่อมแซมได้ง่าย เหมาะสมกับการใช้งาน
9. ควรตั้งอยู่ในชุดการฝึกซ้อมของสนามไดร์ทั่วไปเพราะจะต้องมีบล็อกยาง เพื่อไม่ให้เครื่องตั้งลูกขยับออกจากแท่นวางลูก

บทที่ 5
สรุปผลอภิปรายและข้อเสนอแนะ

การวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบและสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก เป็นการประเมินการออกแบบและการประเมินสมรรถนะโดยผู้เชี่ยวชาญ ที่มีประสบการณ์ทางด้านกีฬากอล์ฟและผู้ที่มีความรู้ความสามารถทางด้านวิศวกรรมเครื่องกลเป็นผู้ประเมินได้นำเนินการเป็นขั้นตอนดังนี้

สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล

1. ผลการประเมินการออกแบบ เครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ทั้ง 3 แบบ โดยผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้ความสามารถทางด้านวิศวเครื่องกล สรุปได้ดังนี้

1.1 ผลการประเมินการออกแบบ เครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ก) ในด้านการออกแบบส่วนประกอบต่าง ๆ โดยมีค่าเฉลี่ยดังนี้คือ ด้านการออกแบบมีค่าเฉลี่ย 2.11 ด้านวัสดุมีค่าเฉลี่ย 2.57 ด้านความสามารถในการใช้งานมีค่าเฉลี่ย 2.00 ด้านการติดตั้งมีค่าเฉลี่ย 2.44 ด้านการบำรุงรักษามีค่าเฉลี่ย 2.44 รวมค่าเฉลี่ยทั้งหมดในภาพรวมเท่ากับ 2.33 จึงสามารถสรุปได้ว่าการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ก) ในครั้งนี้อยู่ในระดับ ไม่แน่ใจ และไม่สามารถนำไปสร้างเป็นเครื่องต้นแบบได้

1.2 ผลการประเมินการออกแบบ เครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ข) ในด้านการออกแบบส่วนประกอบต่าง ๆ โดยมีค่าเฉลี่ยดังนี้คือ ด้านการออกแบบมีค่าเฉลี่ย 2.78 ด้านวัสดุมีค่าเฉลี่ย 3.00 ด้านความสามารถในการใช้งานมีค่าเฉลี่ย 2.67 ด้านการติดตั้งมีค่าเฉลี่ย 2.55 ด้านความแข็งแรงมีค่าเฉลี่ย 2.77 ด้านการบำรุงรักษามีค่าเฉลี่ย 1.66 รวมค่าเฉลี่ยทั้งหมดในภาพรวมเท่ากับ 2.57 จึงสามารถสรุปได้ว่าการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ข) ในครั้งนี้อยู่ในระดับ เห็นด้วย สามารถนำไปสร้างเป็นเครื่องต้นแบบได้

1.3 ผลการประเมินการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ค) ในด้านการออกแบบส่วนประกอบต่างๆ โดยมีค่าเฉลี่ยดังนี้คือ ด้านการออกแบบมีค่าเฉลี่ย 3.00 ด้านวัสดุมีค่าเฉลี่ย 3.00 ด้านความสามารถในการใช้งานมีค่าเฉลี่ย 2.55 ด้านการติดตั้งมีค่าเฉลี่ย 2.77 ด้านความแข็งแรงมีค่าเฉลี่ย 3.00 ด้านการบำรุงรักษามีค่าเฉลี่ย 2.87 รวมค่าเฉลี่ยทั้งหมดในภาพรวมเท่ากับ 2.85 จึงสามารถสรุปได้ว่าการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ค) ในครั้งนี้อยู่ในระดับ เห็นด้วยสามารถนำไปสร้างเป็นเครื่องต้นแบบได้

จากผลการประเมินผู้วิจัยได้นำการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ค) มาสร้างเป็นเครื่องต้นแบบเพราะมีค่าเฉลี่ยทั้งหมดในภาพรวมสูงที่สุด

ผู้วิจัยออกแบบและสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ค) ทดสอบการใช้งานและประเมินสมรรถนะเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก จากผลการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยได้นำผลการวิจัยนำเสนอเป็นรายด้านเพื่อให้สอดคล้องกับความมุ่งหมายของงานวิจัยดังนี้

2. ผลการประเมินสมรรถนะของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไกโดยผู้เชี่ยวชาญ ผลปรากฏดังนี้ การวิเคราะห์สมรรถนะโดยภาพรวมของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก พบว่าสมรรถนะอยู่ในเกณฑ์ดีมาก มีค่าเฉลี่ย 4.64 ค่า t 8.135** สอดคล้องกับสมมตติฐานที่ระดับนัยสำคัญที่ .05

2.1 ผลการวิเคราะห์สมรรถนะด้านความสามารถในการใช้งานของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก พบว่าสมรรถนะอยู่ในเกณฑ์ดี มีค่าเฉลี่ย 4.48 ค่า t 4.707* สอดคล้องกับสมมตติฐานที่ระดับนัยสำคัญที่ .05

2.2 ผลการวิเคราะห์สมรรถนะด้านการติดตั้งของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก พบว่าสมรรถนะอยู่ในเกณฑ์ดีมาก มีค่าเฉลี่ย 4.70 ค่า t 6.139* สอดคล้องกับสมมตติฐานที่ระดับนัยสำคัญที่ .05

2.3 ผลการวิเคราะห์สมรรถนะด้านความแข็งแรงของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก พบว่าสมรรถนะอยู่ในเกณฑ์ดี มีค่าเฉลี่ย 4.54 ค่า t 4.630* สอดคล้องกับสมมตติฐานที่ระดับนัยสำคัญที่ .05

2.4 ผลการวิเคราะห์สมรรถนะด้านการบำรุงรักษาของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก พบว่าสมรรถนะอยู่ในเกณฑ์ดีมาก มีค่าเฉลี่ย 4.56 ค่า t 6.424* สอดคล้องกับสมมตติฐานที่ระดับนัยสำคัญที่ .05

อภิปรายผล

1. จากการประเมินการออกแบบ เครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ทั้ง 3 แบบ โดยสรุปเป็นค่าเฉลี่ยในภาพรวมได้ดังนี้

1.1 การประเมินการออกแบบ เครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ก) ค่าเฉลี่ยในภาพรวมเท่ากับ 2.33 อยู่ในระดับ ไม่แน่ใจ และไม่สามารถนำไปสร้างเป็นเครื่องต้นแบบได้

1.2 การประเมินการออกแบบ เครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ข) ค่าเฉลี่ยในภาพรวมเท่ากับ 2.57 อยู่ในระดับ เห็นด้วย สามารถนำไปสร้างเป็นเครื่องต้นแบบได้

1.3 ผลการประเมินการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ค) ค่าเฉลี่ยในภาพรวมเท่ากับ 2.77 อยู่ในระดับ เห็นด้วยสามารถนำไปสร้างเป็นเครื่องต้นแบบได้

2. จากสมมติฐานที่ตั้งขึ้น ผลการวิจัยได้อภิปรายผลสมรรถนะของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก อยู่ในเกณฑ์ ดี เป็นการประเมินสมรรถนะทั้ง 4 ด้านคือ

2.1 ด้านความสามารถในการใช้งาน พบว่าสมรรถนะอยู่ในเกณฑ์ดีมาก มีค่าเฉลี่ย 4.56 ค่า t 4.707* สอดคล้องกับสมมตติฐานที่ระดับนัยสำคัญที่.05 ทั้งนี้เพราะการควบคุมการ

ทำงานทำ ได้ง่าย สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องการปรับระดับความสูง ต่ำ ทำได้สะดวก สามารถตั้งลูกกอล์ฟได้อย่างแม่นยำ สามารถบรรจุลูกกอล์ฟได้เหมาะสมกับขนาด สามารถตั้งลูกกอล์ฟได้ภายในเวลาที่กำหนด คือ 3 วินาที/ 1ลูก ความเร็วในการตั้งลูกมีความเหมาะสม เครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก มีความคล่องตัวในขณะใช้งาน มีความสะดวกในการใช้เครื่องตั้งลูกกอล์ฟด้วยตนเอง มีความสะดวก ประหยัด และความปลอดภัยสูง ซึ่งสอดคล้องกับ ประณีต กุลประสูติ (2535: 102)ที่กล่าวว่า ความสามารถในการใช้งาน ในปัจจุบันได้มีการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ มากมายกับเครื่องใช้เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้งาน ดังนั้นเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้ผิดวิธีของผู้ใช้ก็จะต้องศึกษาวิธีใช้อุปกรณ์ต่างๆ เหล่านี้โดยละเอียด ซึ่งจะระบุไว้ในหนังสือคู่มือการใช้ของแต่ละรุ่น และต้องปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัด เพื่อให้เครื่องมือเครื่องใช้สามารถทำงานได้เต็มที่ และสามารถทำงานได้ตรงตามเป้าหมายอย่างมีประสิทธิภาพและสอดคล้องงานวิจัยของ ตุลเดช วรวิกรม(2546 :) ได้ออกแบบที่ฝึกซ้อมการพัตต์กอล์ฟระยะใกล้ แบบปรับระดับได้ ได้กล่าวถึงด้านความสามารถในการใช้งานเกี่ยวกับความเหมาะสมในการเลือกโปรแกรม การควบคุม การปรับระดับ ในภาพรวมของที่ฝึกซ้อมการพัตต์กอล์ฟระยะใกล้ แบบปรับระดับได้

2.2 ด้านการติดตั้ง มีเกณฑ์โดยรวมอยู่ในเกณฑ์ดีมาก มีค่าเฉลี่ย 4.70 ค่า t 6.139* สอดคล้องกับสมมตติฐานที่ระดับนัยสำคัญที่ .05 ทั้งนี้เพราะ การติดตั้งทำด้วยความสะดวก สามารถติดตั้งได้เองโดยการศึกษาจากคู่มือสำหรับผู้ใช้ การใช้พื้นที่ในการตั้งเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ไม่เปลืองเนื้อที่มาก การจัดวางเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก เป็นไปอย่างเหมาะสม สามารถถอดแยกชิ้นส่วนประกอบของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก เองได้ เครื่องมือที่ใช้ในการถอดแยกหาได้ง่าย เครื่องตั้งลูกกอล์ฟมีขนาดเหมาะสมกับการใช้งาน สามรถเคลื่อนย้ายได้สะดวก การติดตั้งใช้เวลาไม่นาน สามารถติดตั้งได้โดยปลอดภัย สอดคล้องกับ ประณีต กุลประสูติ (2535: 68) กล่าวว่า การติดตั้ง คือ การเตรียม ความพร้อมของอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้องจัดเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอันหนึ่งที่มีผลต่อความปลอดภัยของผู้ใช้และประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องมือ ดังนั้นเพื่อที่จะให้บรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าวจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์อย่างถูกต้องก่อนการใช้งาน อย่างไรก็ตามเครื่องมือหรืออุปกรณ์ในปัจจุบันมีมากมายหลายชนิด ทั้งการออกแบบก็แตกต่างกันออกไประหว่างรุ่นและกลุ่มผู้ผลิต ดังนั้นการศึกษาข้อมูลโดยละเอียดจากหนังสือคู่มือสำหรับผู้ใช้ จึงเป็นสิ่งสำคัญอันจะเป็นผลทำให้เกิดความปลอดภัยในการทำงาน และเครื่องมือก็สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ตุลเดช วรวิกรม (2546) ได้ออกแบบที่ฝึกซ้อมการพัตต์กอล์ฟระยะใกล้ แบบปรับระดับได้ด้านการติดตั้ง และสอดคล้องกับงานวิจัยของ สมชาย บุญมี (2548: บทคัดย่อ) ได้ศึกษางานวิจัยในเรื่องการสร้างเครื่องเก็บลูกกอล์ฟที่มีความเที่ยงตรง

2.3 ด้านความแข็งแรง มีเกณฑ์โดยรวมอยู่ในเกณฑ์ดีมาก มีค่าเฉลี่ย 4.54 ค่า t 4.630* สอดคล้องกับสมมตติฐานที่ระดับนัยสำคัญที่ .05 ทั้งนี้เพราะ การออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก มีความเหมาะสม การสร้างใช้วัสดุที่มีความเหมาะสม วัสดุที่ใช้มีความแข็งแรงทนทาน สามารถใช้ได้ทุกสภาพอากาศไม่เป็นสนิม ชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆ มีความแข็งแรง

มีความแข็งแรงของโครงสร้าง มีความแข็งแรงของรอยเชื่อม น้ำหนักของเครื่องฯเหมาะสมกับขนาดชิ้นส่วนทุกชิ้นมีรูปร่างลักษณะแยกชิ้นส่วนประกอบได้ วัสดุในการผลิตสามารถหาซื้อได้ง่าย สอดคล้องกับอนันต์ วงศ์กระจ่าง (2533:4) ความแข็งแรง สิ่งสำคัญที่สุดที่จะต้องคำนึงถึงในการออกแบบคือ ความแข็งแรง (Strength) ซึ่งจัดว่าเป็นองค์ประกอบหลักในการกำหนดรูปร่างและขนาดของชิ้นส่วน จึงกล่าวได้ว่าความแข็งแรงจึงเป็นข้อพิจารณาในการออกแบบที่สำคัญอย่างหนึ่ง และสิ่งอื่นๆ อีกหลายอย่าง ที่ต้องพิจารณาซึ่งอาจจะเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดกระทบกระเทือน ต่อการออกแบบชิ้นส่วน หรือต่อทุกระบบ และในสภาพการออกแบบที่อยู่ภายใต้ข้อกำหนด ข้อพิจารณาบางอย่างในการออกแบบอาจจะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดวิกฤตขึ้นได้ ซึ่งนั้นก็หมายถึงชิ้นส่วน หรือเครื่องจักรกล หรือระบบที่ได้ออกแบบมีความเสียหาย ไม่สามารถใช้งานได้ หรือใช้งานได้ไม่ถึงขีดความสามารถตามที่ออกแบบไว้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ อุทัย จงแพ (2546 :บทคัดย่อ) การสร้างเครื่องยิงลูกเทเบิลเทนนิสระบบควบคุมการยิง และสอดคล้องกับงานวิจัยของ นัทธมน วรรณศิริ (2545 :บทคัดย่อ) ได้ศึกษางานวิจัยในเรื่องการสร้างเครื่องยิงลูก เทเบิลเทนนิส

2.4 ด้านการบำรุงรักษา มีเกณฑ์โดยรวมอยู่ในเกณฑ์ดีมาก มีค่าเฉลี่ย 4.56 ค่า t 6.424* สอดคล้องกับสมมตติฐานที่ระดับนัยสำคัญที่ .05 ทั้งนี้เพราะ การทำความสะอาดชิ้นส่วนอุปกรณ์ทำได้ง่าย ประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา การเก็บรักษาทำได้สะดวก มีความสะดวกในการถอดแยกประกอบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก มีจุดตรวจที่ต้องการบำรุงรักษาชิ้นส่วนต่างๆ น้อย สามารถตรวจสอบสภาพและการทำงานของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ได้ง่าย การซ่อมแซมส่วนประกอบที่ชำรุดหรือสึกหรอทำได้ง่าย สามารถตรวจสอบเมื่อเครื่องเกิดขัดข้องขณะใช้งานทำได้ง่าย สามารถหาซื้ออุปกรณ์ที่ต้องบำรุงรักษาได้ง่ายภายในประเทศ วัสดุที่ใช้ในการผลิตสามารถหาซื้อได้ง่าย ราคาไม่แพง สอดคล้องกับ สุรพล ราษฎร์นุ้ย (2545: 9) การบำรุงรักษาเทคโนโลยีที่ได้รับการพัฒนามาโดยลำดับ ในประวัติศาสตร์ของมนุษย์เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้มีความหลากหลายในรูปแบบของผลิตภัณฑ์ สิ่งของอุปโภค และบริโภค สืบเนื่องมาจากความต้องการที่ไม่สิ้นสุดของลูกค้าหรือมนุษย์ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ผลักดันให้องค์กรทุกๆ องค์กรไม่ว่าจะเป็นองค์กรด้านการผลิต องค์การด้านการบริการ ฯลฯ ต้องนำมาพิจารณาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์ (Demand) มีน้อยกว่าความสามารถในการผลิตขององค์กรต่างๆ (Supply) โดยมีแนวความคิดเปลี่ยนได้โดยสิ้นเชิงเมื่อเทียบกับยุคปี ค.ศ. 1900 ที่ความต้องการผลิตภัณฑ์มากกว่าความสามารถในการผลิต ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีรูปแบบของเครื่องจักรกลที่สลับซับซ้อน และมีความสามารถในการผลิตที่หลากหลาย ในความยุ่งยากและสลับซับซ้อนด้านเทคโนโลยีเครื่องจักรกล, หุ่นยนต์ หรือแม้กระทั่งยานยนต์รุ่นใหม่ๆ ก็มีผลทำให้ฝ่ายซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักรให้สอดคล้องกับความต้องการใช้เครื่องจักรในการผลิตทั้งในแง่ของเวลาและความแม่นยำของผลที่ได้ที่เกิดขึ้นจากการใช้เครื่องอุปกรณ์นั้นๆ เป็นการสรุปแนวของการวิวัฒนาการที่เกิดขึ้นในช่วงปี ค.ศ.1950 ถึงหลังช่วง ปี ค.ศ. 2000 ว่ามีการพัฒนาวิธีการบำรุงรักษาไปในรูปแบบใด เพื่อให้คล้องกับแนวความคิด หรือเทคโนโลยีการผลิตที่เปลี่ยนไป ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ตุลเดช วรวิกรม (2546: บทคัดย่อ) ได้ออกแบบที่ฝึกซ้อมการพัตต์กอล์ฟระยะใกล้ แบบปรับระดับได้ ในด้านการบำรุงรักษาเกี่ยวกับอุปกรณ์ การ

ตรวจสอบระบบไฟฟ้า การตรวจสอบระบบลม และอุปกรณ์ต่าง ๆสามารถทำได้ง่าย และสอดคล้องกับงานวิจัยของ พิชัย ทองประยูร (2543 : บทคัดย่อ) ได้สร้างเครื่องส่งลูกวอลเลย์บอล ที่สามารถใช้ส่งลูกบอลให้เซท ส่งให้ตบ ส่งให้รับลูกเสิร์ฟ และส่งให้รับลูกตบ

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการวิจัย

1. ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับสมรรถนะ ของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก

1.1 ควรเพิ่มขนาดของช่องเก็บลูกกอล์ฟให้มากขึ้น

1.2 ควรมีระบบนับจำนวนลูกกอล์ฟที่ตีไปแล้ว

1.3 ควรมีฝาปิดเพื่อให้เคลื่อนย้ายได้สะดวกลูกกอล์ฟไม่ตกหล่น

1.4 ควรเพิ่มขนาดความจุของลูกกอล์ฟภายในเครื่องให้มากขึ้นจะสะดวกกับผู้ใช้

1.5 หากสามารถควบคุมเรื่องเสียงดังได้จะมีความสมบูรณ์มาก

1.6 ควรตั้งอยู่ในชุดการฝึกซ้อมของสนามไดร์ทั่วไปเพราะจะต้องมีบล็อกยางเพื่อไม่ให้เครื่องตั้งลูกขยับออกจากแท่นวางลูก เพื่อการทำงานของเครื่องจะได้ทำงานอย่างสมบูรณ์และมีประสิทธิภาพ

1.7 แป้นปรับระดับควรมีเขี้ยวหรือแผ่นยางสำหรับยึดเพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ของตัวเครื่อง

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

1. การควบคุมเสียงที่ดัง ของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ในขณะการใช้งานควรมีการป้องกันโดยใช้พินโคทสเปร์พันด้านในของหน้ากากเพื่อลดการเกิดเสียงดัง

2. การขยายขนาดของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไกให้ใหญ่ขึ้นเพื่อรองรับจำนวนลูกกอล์ฟที่มากขึ้น ควรศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับปริมาณมาตรฐานของลูกกอล์ฟ จึงจะสามารถเพิ่มหรือขยายขนาดได้ตามความเหมาะสมในการใช้งาน

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กนกทิพย์พัฒนาพัวพันธ์. (2541). ***สถิติอ้างอิงเพื่อการวิจัยทางการศึกษา.*** กรุงเทพฯ : คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

จำรูญ ตันติพิศาลกุล. (2550). ***เขียนแบบวิศวกรรม 2 (เขียนแบบเครื่องกล).*** พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนสามลดา.

ชวลิต ดาบแก้ว. (2527*). **การเขียนภาพ** PERSPECTIVE*. กรุงเทพฯ : บริษัทโอเดียนสโตร์.

ไชยสิทธิ์ อุดรพิมพ์.(2545). ***การประดิษฐ์เครื่องส่งลูกตะกร้อ ในกีฬาเซปัคตะกร้อ.*** วิทยานิพนธ์ ศศ.ม.(พละศึกษา) กรุงเทพฯ : คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.

ตุลเดช วรวิกรม. (2546). *การ**ออกแบบและสร้างเครื่องที่ฝึกซ้อมกอล์ฟระยะใกล้ แบบปรับระดับได้.*** ปริญญานิพนธ์ กศ.ม.(อุตสาหกรรมศึกษา) กรุงเทพฯ : คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

ธีระยุทธ สุวรรณประทีป; และสันติ ลักษิตานนท์. (2538).***เขียนแบบวิศวกรรมเบื้องต้น.*** พิมพ์ครั้งที่ 2.กรุงเทพฯ : วิทยพัฒน์.

นัทธมน วรรณศิริ. (2545). ***การสร้างเครื่องยิงลูกเทเบิลเทนนิส.*** วิทยานิพนธ์ ศศ.ม. (พละศึกษา) กรุงเทพฯ : คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.

ประณีต กุลประสูติ. (2535). ***แทรกเตอร์เพื่อการเกษตร (การใช้ การบริการบำรุงรักษา และการปรับ)*** กรุงเทพฯ : เอเชียเพรส จำกัด.

ประสงค์ ท้วมยิ้ม. ***วิศวกรรมการเชื่อมประสาน.*** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ.

พวงรัตน์ ทวีรัตร์. (2535). ***สถิติเพื่อการวิจัย.*** กรุงเทพฯ : ถ่ายเอกสาร.

พิชัย ทองประยูร. (2543). ***การสร้างเครื่องส่งลูกวอลเลย์บอล.*** วิทยานิพนธ์ กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยรามคำแหง. ถ่ายเอกสาร.

พัฒพงศ์ พงษ์สกุล. (2541). ***การสร้างเครื่องตั้งลูกตบ ลูกมือล่าง และลูกมือบน.*** วิทยานิพนธ์ ศศ.ม.(พละศึกษา)กรุงเทพฯ :คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.ถ่ายเอกสาร.

มานพ ตันตระบัณฑิตย์.(2548). ***เขียนแบบวิศวกรรม (ระบบ ISO และเมตริก).*** พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

วันชัย ริจิรวนิช ; และ ชอุ่ม พลอยมีค่า.(2536). ***เศรษฐศาสตร์ วิศวกรรม.*** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สมชาย บุญมี. (2548). ***การสร้างเครื่องเก็บลูกกอล์ฟ.*** วิทยานิพนธ์ ศศ.ม. (พละศึกษา) กรุงเทพฯ : คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.

บรรณานุกรม (ต่อ)

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ.(2544). ***หนังสือเรียน สาระการเรียนรู้พื้นฐานและเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 1***. กรุงเทพฯ : พิมพ์ครั้งที่ 2 โรงพิมพ์คุรุสภา.

สมชาย ศรีฉ่ำพันธ์. (2538). ***การสร้างเครื่องมือทดสอบปฏิกิริยาตอบสนองของการชกหมัดแย็บ***. วิทยานิพนธ์ ศศ.ม. (พละศึกษา) กรุงเทพฯ : คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. อัดสำเนา.มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.

สมพร ฉ่ำเอี่ยม. (2538). ***การสร้างเครื่องยิงลูกเทเบิลเทนนิสที่ยิ่งได้ทั้งด้านว้าย ตรงกลาง และด้านขวาของโต๊ะ***. วิทยานิพนธ์ ศศ.ม. (พละศึกษา) กรุงเทพฯ : คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.

สัตยาพร ตันเต็มทรัพย์. (2538). ***ตำรากอล์ฟ*** *Golf Lesson illustrated*. กรุงเทพฯ : บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น.

สุวัฒน์ วัฒนวงศ์. (2524). ***หลักการวิจัยทางการศึกษา***. กรุงเทพฯ :บริษัท โอ เอช พริ้นติ้งเฮ้า จำกัด.

สุพร อัศวินนิมิต; และ ธีรพร พัดภู่. (2548). ***วิศวกรรมการบำรุงรักษา***. กรุงเทพฯ : บริษัทแอคทีฟ พริ้นท์

สุรพล ราษฎร์นุ้ย. (2545). ***วิศวกรรมการบำรุงรักษา***. กรุงเทพฯ : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น.

อนันต์ วงศ์กระจ่าง. (2533)*..**ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล***. กรุงเทพฯ : โอ. เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์.

อนุวัต สุเพรียร. (2544). ***การสร้างเครื่องพับแผ่นอะคริลิก***. วิทยานิพนธ์ กศ.ม. กรุงเทพฯ : บัณฑิตวทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

อังคณา สายยศ. (2540. ***สถิติวิทยาทางการวิจัย***. กรุงเทพฯ : สุวีริยาสาส์น.

อุทัย จงแพ. (2546). ***ยิงการสร้างเครื่องยิงลูกเทเบิลเทนนิสระบบควบคุมทิศทางการ***. วิทยานิพนธ์ ศศ.ม.(พละศึกษา)กรุงเทพฯ :คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.

เครื่องตั้งลูกกอล์ฟ. สืบค้นเมื่อ 15 กรฎาคม 2551, จาก http.//www.verypdf.com.,Demoversion,

เครื่องตั้งลูกกอล์ฟ. สืบค้นเมื่อ 11 สิงหาคม 2551, จาก http://www.feronline.co.th.

เครื่องตั้งลูกกอล์ฟ. สืบค้นเมื่อ 11 สิงหาคม 2551, จาก http://www.weloveshopping.com.

เครื่องตั้งลูกกอล์ฟ. สืบค้นเมื่อ 11 สิงหาคม 2551, จาก http://www.plaza.212cafe.com.

เครื่องตั้งลูกกอล์ฟ. สืบค้นเมื่อ 11 สิงหาคม 2551, จาก http://www.citbank.co.th

เครื่องตั้งลูกกอล์ฟ. สืบค้นเมื่อ 11 สิงหาคม 2551, จาก http://www.revowave.com.

เครื่องตั้งลูกกอล์ฟ. สืบค้นเมื่อ 20 กันยายน 2551, จาก http://www.bankokclasiccar.com.

บรรณานุกรม (ต่อ)

เครื่องตั้งลูกกอล์ฟ.สืบค้นเมื่อ 20กันยายน 2551,http://www.inventionserice.
net/teachnology2.html.

เครื่องตั้งลูกกอล์ฟ. สืบค้นเมื่อ 20 กุมภาพันธ์ 2552, จาก http://www.Automatic golf ball teeing
apparatus.com

เครื่องตั้งลูกกอล์ฟ. สืบค้นเมื่อ 20 กุมภาพันธ์ 2552, จาก http://www.Ball detection apparatus
detecting when a golf ball is hit a golf tee.com.

เครื่องตั้งลูกกอล์ฟ. สืบค้นเมื่อ 20 กุมภาพันธ์ 2552, จาก http://www.Golf ball teeing device.com.

เครื่องตั้งลูกกอล์ฟ. สืบค้นเมื่อ 20 กุมภาพันธ์ 2552, จาก http://www.Golf ball teeing apparatus.com.

เครื่องตั้งลูกกอล์ฟ. สืบค้นเมื่อ 20 กุมภาพันธ์ 2552, จาก http://www.Automatic golf ball dispenser.com.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

แบบประเมินการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก

แบบประเมิน การออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ของผู้เชี่ยวชาญ

แบบประเมินชุดนี้ เป็นแบบสอบถามความคิดเห็นความเป็นไปได้ ในการสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ของผู้เชี่ยวชาญ เพื่อประเมินเกี่ยวกับการออกแบบ ส่วนประกอบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไกในด้านต่าง ๆ

คำตอบจากการประเมินการออกแบบของผู้เชี่ยวชาญในครั้งนี้ จะมีส่วนสำคัญในการหาความเป็นไปได้ในการสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไกต่อไป

คำชี้แจงในการทำแบบประเมิน

แบบประเมินการออกแบบ ของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ชุดนี้มีรายละเอียดประกอบด้วย 3 ตอน คือ

ตอนที่ 1 เป็นข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพของผู้เชี่ยวชาญ

ตอนที่ 2 เป็นแบบประเมิน การออกแบบภาพรวมเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไกทั้ง 3 แบบ

ตอนที่ 3 เป็นคำถามแบบปลายเปิด สำหรับแสดงความคิดเห็นเพิ่มเติมและให้ข้อเสนอแนะต่าง ๆ

ตอนที่ 1 ข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพของผู้เชี่ยวชาญ

กรุณาขีดเครื่องหมาย / ลงใน ( ) หน้าข้อความหรือกรอกข้อมูลในช่องว่างที่ตรงกับสภาพ
ความเป็นจริง

1. **เพศ**

( ) ชาย ( ) หญิง

2. **ระดับการศึกษา**

( ) ปริญญาตรี ( ) ปริญญาโท ( ) ปริญญาเอก
( ) อื่นๆ(โปรดระบุ).....

3. **สาขาการศึกษา**

( ) วิศวกรรมศาสตร์.....
( ) อื่น (โปรดระบุ).....

4. **ประสบการณ์ในการเล่นกอล์ฟ**.....ปี

5. **แฮนดี้แค็ป (แต้มต่อปัจจุบัน)**

( ) 24-19 ( ) 18-10 ( ) 9-0 ( ) นักกอล์ฟอาชีพ

6. **โปรดระบุชื่อ สมาชิกภาพ ชมรมฯหรือสมาคมที่รับรอง**

ชื่อสมาคม/ชมรมฯ .....

7. **อาชีพปัจจุบัน** .....

ตอนที่ 2 แบบประเมินการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก

กรุณาขีดเครื่องหมาย / ลงในช่องว่างมาตราส่วนประเมินค่า 3 ระดับ ตามความคิดเห็นของท่าน

หลังจากประเมินความเป็นไปได้ ของการออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไกทั้ง 3 แบบ ค่าระดับ

คะแนนกำหนดไว้ดังนี้

แบบประเมิน การออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก กำหนดคะแนนเป็น 3 ระดับ

3 หมายถึง ผลการประเมินเห็นด้วย

2 หมายถึง ผลการประเมินไม่แน่ใจ

1 หมายถึง ผลการประเมินไม่เห็นด้วย

กำหนดเกณฑ์ในการแปลความหมายข้อมูลที่เป็นค่าเฉลี่ยต่าง ๆ

2.51 – 3.00 หมายถึง เห็นด้วย

1.51 – 2.50 หมายถึง ไม่แน่ใจ

1.00 – 1.50 หมายถึง ไม่เห็นด้วย

แบบประเมิน การออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ทั้ง 3 แบบ ตามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

1. **แบบประเมิน การออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ก)**

วัสดุและส่วนประกอบของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ก) มีดังนี้

1.1 ท่อส่งลูกทำด้วยท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว พร้อมข้องอ PVC 2 นิ้ว

1.2 ตัวดันลูกทำด้วยเหล็กกลมขนาด 6 มิลลิเมตร

1.3 แป้นกดทำด้วยเหล็กหนา 2 มิลลิเมตร

1.4 กรวยใส่ลูกทำด้วยสังกะสีเข้าตะเข็บพร้อมบัดกรีลอยต่อด้วยตะกั่ว

1.5 ขาตั้งเครื่องฯทำด้วยเหล็กฉากขนาด 4 นิ้ว และเหล็กฉากขนาด 2 นิ้ว

ข้อที่	รายละเอียดในการประเมิน	ระดับคะแนน		
		3	2	1
		เห็นด้วย	ไม่แน่ใจ	ไม่เห็นด้วย
ด้านการออกแบบ				
1	มีขนาด รูปทรงเหมาะสม			
2	สามารถถอดแยกประกอบได้สะดวก			
3	วัสดุในการสร้างมีภายในประเทศ สามารถหาซื้อได้ง่าย			
ด้านวัสดุ				
4	วัสดุที่ใช้ทำมีความแข็งแรง			
5	ทดการกัดกร่อน หรือการสึกหรอได้ดี			
6	วัสดุที่ใช้ทำมีความเหมาะสมกับชิ้นงาน			
ด้านความสามารถในการใช้งาน				
7	การควบคุมการทำงานทำได้ง่าย			
8	สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง			
9	สามารถตั้งลูกกอล์ฟได้อย่างแม่นยำ			
ด้านการติดตั้ง				
10	การติดตั้งทำด้วยความสะดวก			
11	สามารถติดตั้งได้เองโดยการศึกษาจากคู่มือสำหรับผู้ใช้งาน			
12	สามารถถอดแยกชิ้นส่วนประกอบของเครื่องฯเองได้			

ตอนที่ 2 (ต่อ)

ข้อที่	รายละเอียดในการประเมิน	ระดับคะแนน		
		3	2	1
		เห็นด้วย	ไม่แน่ใจ	ไม่เห็นด้วย
ด้านความแข็งแรง				
13	วัสดุที่ใช้มีความแข็งแรงทดทาน			
14	มีความแข็งแรงของโครงสร้าง			
15	ชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่าง ๆมีความแข็งแรง			
ด้านการบำรุงรักษา				
16	การทำความสะอาดชิ้นส่วนอุปกรณ์ทำได้ง่าย			
17	มีจุดตรวจที่ต้องการบำรุงรักษาชิ้นส่วนต่าง ๆน้อย			
18	สามารถตรวจสอบสภาพและการทำงานของเครื่องฯได้ง่าย			

ตอนที่ 3 กรุณาแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่น ๆ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงนาม.....

(.....)

ผู้เชี่ยวชาญ

2. แบบประเมิน การออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ข)

วัสดุและส่วนประกอบของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ข) มีดังนี้

2.1 หน้ากาก เป็นตัวบรรจุลูก ทำด้วยเหล็กแผ่นหนา 1 มิลลิเมตร

2.2 รางลำเลียงลูกทำด้วยเหล็ก กลมขนาด 3 มิลลิเมตร เหล็กแบนหนา 3 x 10.3 มิลลิเมตร และ เหล็กหนา 2 มิลลิเมตร

2.3 กระเดื่องวางลูกทำด้วยเหล็กกลมขนาด 3 มิลลิเมตร และเหล็ก แบนขนาด 3 x 10.3 มิลลิเมตร

2.4 ตัวส่งลูกทำด้วยด้วยเหล็กกลมขนาด 3 มิลลิเมตร และเหล็กแบนขนาด 3 x 10.3 มิลลิเมตร

2.5 ฐานโครงสร้างด้วยเล็ก แบนขนาด 3 x 10.9 มิลลิเมตร

2.6 แป้นกดใช้เหล็กแบนหนา 2 x 10.3 มิลลิเมตร เหล็กกลมขนาด 8 มิลลิเมตร และเหล็กกลมขนาด 6 มิลลิเมตร

ข้อที่	รายละเอียดในการประเมิน	ระดับคะแนน		
		3	2	1
		เห็นด้วย	ไม่แน่ใจ	ไม่เห็นด้วย
ด้านการออกแบบ				
1	มีขนาด รูปทรงเหมาะสม			
2	สามารถถอดแยกประกอบได้สะดวก			
3	วัสดุในการสร้างมีภายในประเทศ สามารถหาซื้อได้ง่าย			
ด้านวัสดุ				
4	วัสดุที่ใช้ทำมีความแข็งแรง			
5	ทดการกัดกร่อน หรือการสึกหรอได้ดี			
6	วัสดุที่ใช้ทำมีความเหมาะสมกับชิ้นงาน			
ด้านความสามารถในการใช้งาน				
7	การควบคุมการทำงานทำได้ง่าย			
8	สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง			
9	สามารถตั้งลูกกอล์ฟได้อย่างแม่นยำ			
ด้านการติดตั้ง				
10	การติดตั้งทำด้วยความสะดวก			
11	สามารถติดตั้งได้เองโดยการศึกษาจากคู่มือสำหรับผู้ใช้งาน			

ตอนที่ 2 (**ต่อ**)

ข้อที่	รายละเอียดในการประเมิน	ระดับคะแนน		
		3	2	1
		เห็นด้วย	ไม่แน่ใจ	ไม่เห็นด้วย
12	สามารถถอดแยกชิ้นส่วนประกอบของเครื่องฯเองได้			
ด้านความแข็งแรง				
13	วัสดุที่ใช้มีความแข็งแรงทดทาน			
14	มีความแข็งแรงของโครงสร้าง			
15	ชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่าง ๆมีความแข็งแรง			
ด้านการบำรุงรักษา				
16	การทำความสะอาดชิ้นส่วนอุปกรณ์ทำได้ง่าย			
17	มีจุดตรวจที่ต้องการบำรุงรักษาชิ้นส่วนต่าง ๆน้อย			
18	สามารถตรวจสอบสภาพและการทำงานของเครื่องฯได้ง่าย			

ตอนที่ 3 **กรุณาแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่น ๆ**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงนาม .....

(.....)

ผู้เชี่ยวชาญ

3. แบบประเมิน การออกแบบเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ค)

วัสดุและส่วนประกอบของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก (แบบ ค)มีดังนี้

3.1 หน้ากาก เป็นตัวบรรจุลูก ทำด้วยสแตนเลสหนา 1 มิลลิเมตร

3.2 ตัวป้อนลูกทำด้วยแสตนเลสหนา 1.6 มิลลิเมตร

3.3 รางลำเลียงลูกทำด้วยแสตนเลส กลมขนาด 3 มิลลิเมตร สแตนเลสแบนหนา 3 x10.3 มิลลิเมตร และสแตนเลสหนา 2 มิลลิเมตร

3.4 กระเดื่องวางลูกทำด้วยสแตนเลสกลมขนาด 3 มิลลิเมตร และสแตนเลส แบน ขนาด 3 x 10.3 มิลลิเมตร

3.5 ตัวส่งลูกทำด้วยด้วยสแตนเลสกลมขนาด 3 มิลลิเมตร และสแตนเลส แบนขนาด 3 x 10.3 มิลลิเมตร

3.6 ฐานโครงสร้างด้วยสแตนเลส แบนขนาด3 x 10.9 มิลลิเมตร

3.7 แป้นกดใช้เหล็กแบนหนา 2 มิลลิเมตร x 10.3 มิลลิเมตร สแตนเลสกลมขนาด 8 มิลลิเมตรและ และสแตนเลสกลมขนาด 6 มิลลิเมตร

ข้อที่	รายละเอียดในการประเมิน	ระดับคะแนน		
		3	2	1
		เห็นด้วย	ไม่แน่ใจ	ไม่เห็นด้วย
ด้านการออกแบบ				
1	มีขนาด รูปทรงเหมาะสม			
2	สามารถถอดแยกประกอบได้สะดวก			
3	วัสดุในการสร้างมีภายในประเทศ สามารถหาซื้อได้ง่าย			
ด้านวัสดุ				
4	วัสดุที่ใช้ทำมีความแข็งแรง			
5	ทดการกัดกร่อน หรือการสึกหรอได้ดี			
6	วัสดุที่ใช้ทำมีความเหมาะสมกับชิ้นงาน			
ด้านความสามารถในการใช้งาน				
7	การควบคุมการทำงานทำได้ง่าย			
8	สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง			
9	สามารถตั้งลูกกอล์ฟได้อย่างแม่นยำ			

ตอนที่ 2 (ต่อ)

ข้อที่	รายละเอียดในการประเมิน	ระดับคะแนน		
		3	2	1
		เห็นด้วย	ไม่แน่ใจ	ไม่เห็นด้วย
ด้านการติดตั้ง				
10	การติดตั้งทำด้วยความสะดวก			
11	สามารถติดตั้งได้เองโดยการศึกษาจากคู่มือสำหรับผู้ใช้งาน			
12	สามารถถอดแยกชิ้นส่วนประกอบของเครื่องฯเองได้			
ด้านความแข็งแรง				
13	วัสดุที่ใช้มีความแข็งแรงทดทาน			
14	มีความแข็งแรงของโครงสร้าง			
15	ชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่าง ๆมีความแข็งแรง			
ด้านการบำรุงรักษา				
16	การทำความสะอาดชิ้นส่วนอุปกรณ์ทำได้ง่าย			
17	มีจุดตรวจที่ต้องการบำรุงรักษาชิ้นส่วนต่าง ๆน้อย			
18	สามารถตรวจสอบสภาพและการทำงานของเครื่องฯได้ง่าย			

ตอนที่ 3 กรุณาแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่น ๆ

.....

.....

.....

.....

ลงนาม .....

(.....)

ผู้เชี่ยวชาญ

ภาคผนวก ข

แบบประเมินสมรรถนะเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก

แบบประเมินสมรรถนะเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ของผู้เชี่ยวชาญ

แบบประเมินชุดนี้ เป็นแบบสอบถามความคิดเห็น จากการทดสอบของผู้เชี่ยวชาญ เพื่อประเมิน
เกี่ยวกับเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ในด้านต่าง ๆ

โดยแบ่งสมรรถนะที่ประเมิน 4 ด้าน ดังนี้

1) ด้านความสามารถในการใช้งาน
2) ด้านการติดตั้ง
3) ด้านความแข็งแรง
4) ด้านการบำรุงรักษา

คำตอบจากการทดสอบและประเมินของผู้เชี่ยวชาญ จะมีส่วนสำคัญในการประเมิน เกี่ยวกับเครื่องตั้ง
ลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ในด้านต่าง ๆ

คำชี้แจงในการทำแบบประเมิน

แบบประเมินในการหาสมรรถนะ ของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ชุดนี้มีรายละเอียดประกอบ
ด้วย 3 ตอน คือ

ตอนที 1 เป็นข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพของผู้เชี่ยวชาญที่ทำการทดสอบ
ตอนที่ 2 เป็นแบบประเมิน เครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก 4 ด้าน
ตอนที่ 3 เป็นคำถามแบบปลายเปิด สำหรับข้อเสนอแนะต่าง ๆ

ตอนที่ 1 ข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพของผู้เชี่ยวชาญ

กรุณาขีดเครื่องหมาย / ลงใน ( ) หน้าข้อความหรือกรอกข้อมูลในช่องว่างที่ตรงกับสภาพความเป็นจริง

1. **เพศ**

( ) ชาย ( ) หญิง

2. **ระดับการศึกษา**

( ) ปริญญาตรี ( ) ปริญญาโท ( ) ปริญญาเอก

( ) อื่นๆ (โปรดระบุ).....

3. **สาขาการศึกษา**

( ) วิศวกรรมศาสตร์.

( ) อื่นๆ (โปรดระบุ).....

4. **ประสบการณ์ในการเล่นกอล์ฟ**.....ปี

5. **แฮนดี้แค็ป (แต้มต่อปัจจุบัน)**

( ) 24-19 ( ) 18-10 ( ) 9-0 ( ) นักกอล์ฟอาชีพ

6. **โปรดระบุชื่อ สมาชิกภาพ ชมรมฯหรือสมาคมที่รับรอง**

ชื่อสมาคม/ชมรมฯ .....

7. **อาชีพ ปัจจุบัน** .....

ตอนที่ 2 แบบประเมินเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก 4 ด้าน

แบบประเมินตามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่ทำการทดสอบ เครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก

กรุณาขีดเครื่องหมาย / ลงในช่องว่างมาตราส่วนประเมินค่า 5 ระดับ ตามความคิดเห็นของท่าน หลังจากทดสอบ เครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก ค่าระดับคะแนนกำหนดไว้ดังนี้

ระดับ 5 หมายถึง ผลประเมินระดับดีมาก, หรือสูงกว่าเกณฑ์มาก
ระดับ 4 หมายถึง ผลประเมินระดับดี, หรือสูงกว่าเกณฑ์
ระดับ 3 หมายถึง ผลประเมินระดับปานกลาง, เท่ากับเกณฑ์
ระดับ 2 หมายถึง ผลประเมินระดับปรับปรุง, ต่ำกว่าเกณฑ์
ระดับ 1 หมายถึง ผลประเมินระดับที่ใช้ไม่ได้, ต่ำกว่าเกณฑ์

ข้อที่	รายละเอียดในการประเมิน	ระดับคะแนน				
		5	4	3	2	1
ด้านความสามารถในการใช้งาน						
1	การควบคุมการทำงานทำได้ง่าย					
2	สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง					
3	การปรับระดับความสูง ต่ำ ทำได้สะดวก					
4	สามารถตั้งลูกกอล์ฟได้อย่างแม่นยำ					
5	สามารถบรรจุลูกกอล์ฟได้เหมาะสมกับขนาด					
6	สามารถตั้งลูกกอล์ฟได้ภายในเวลาที่กำหนด คือ 3 วินาที/ 1ลูก					
7	ความเร็วในการตั้งลูกมีความเหมาะสม					
8	เครื่องตั้งฯมีความคล่องตัวในขณะใช้งาน					
9	มีความสะดวกในการใช้เครื่องตั้งลูกกอล์ฟด้วยตนเอง					
10	มีความสะดวก ประหยัด และความปลอดภัยสูง					

ตอนที่ 2 (ต่อ)

ข้อที่	รายละเอียดในการประเมิน	ระดับคะแนน				
		5	4	3	2	1
ด้านการติดตั้ง						
11	การติดตั้งทำด้วยความสะดวก					
12	สามารถติดตั้งได้เองโดยการศึกษาจากคู่มือสำหรับผู้ใช้					
13	การใช้พื้นที่ในการตั้งเครื่อง ฯ ไม่เปลืองเนื้อที่มาก					
14	การจัดวางเครื่องฯสามารถทำได้ง่าย					
15	สามารถถอดแยกชิ้นส่วนประกอบของเครื่องฯเองได้					
16	เครื่องมือที่ใช้ในการถอดแยกหาได้ง่าย					
17	เครื่องตั้งลูกกอล์ฟมีขนาดเหมาะสมกับการใช้งาน					
18	สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก					
19	การติดตั้งใช้เวลาไม่นาน					
20	สามารถติดตั้งได้โดยปลอดภัย					
ด้านความแข็งแรง						
21	การออกแบบเครื่องฯมีความเหมาะสม					
22	การสร้างใช้วัสดุที่มีความเหมาะสม					
23	วัสดุที่ใช้มีความแข็งแรงทนทาน					
24	สามารถใช้ได้ทุกสภาพอากาศไม่เป็นสนิม					
25	ชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆมีความแข็งแรง					

ตอนที่ 2 (ต่อ)

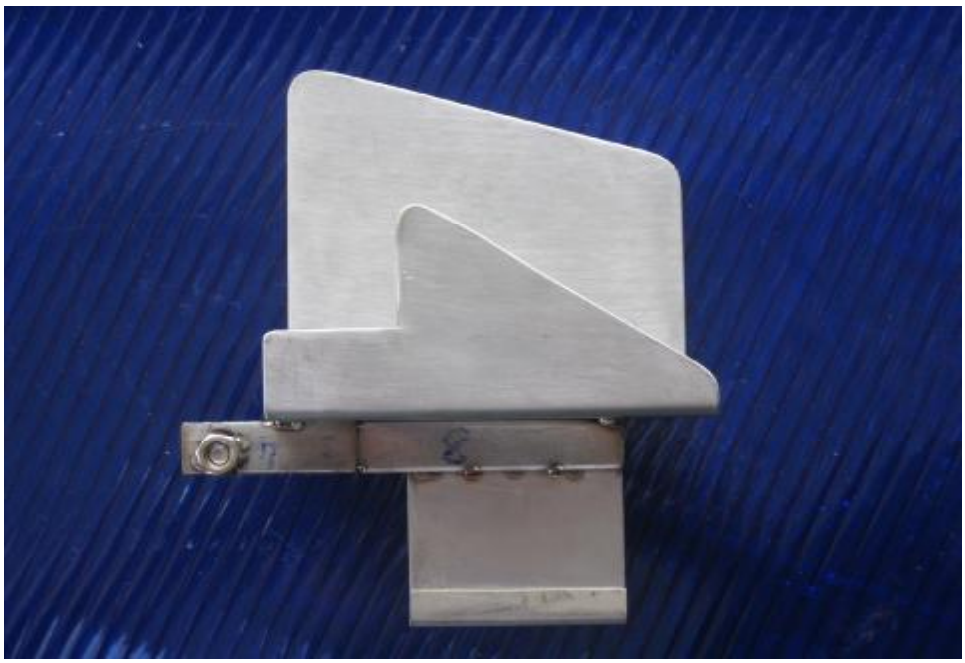
ข้อที่	รายละเอียดในการประเมิน	ระดับคะแนน				
		5	4	3	2	1
26	มีความแข็งแรงของโครงสร้าง					
27	มีความแข็งแรงของรอยเชื่อม					
28	น้ำหนักของเครื่องฯเหมาะสมกับขนาด					
29	ชิ้นส่วนทุกชิ้นมีรูปร่างลักษณะแยกชิ้นส่วนประกอบได้					
30	วัสดุในการสร้างมีภายในประเทศสามารถหาซื้อได้ง่าย					
ด้านการบำรุงรักษา						
31	การทำความสะอาดชิ้นส่วนอุปกรณ์ทำได้ง่าย					
32	ประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา					
33	การเก็บรักษาทำได้สะดวก					
34	มีความสะดวกในการถอดแยกประกอบเครื่อง					
35	มีจุดตรวจที่ต้องการบำรุงรักษาชิ้นส่วนต่าง ๆ น้อย					
36	สามารถตรวจสอบสภาพและการทำงานของเครื่อง ฯ ได้ง่าย					
37	การซ่อมแซมส่วนประกอบที่ชำรุดหรือสึกหรอทำได้ง่าย					
38	สามารถตรวจสอบเมื่อเครื่องเกิดขัดข้องขณะใช้งานทำได้ง่าย					
39	สามารถหาซื้ออุปกรณ์ที่ต้องบำรุงรักษาได้ง่ายภายในประเทศ					
40	วัสดุที่ใช้ในการสร้างสามารถหาซื้อได้ง่าย ราคาไม่แพง					

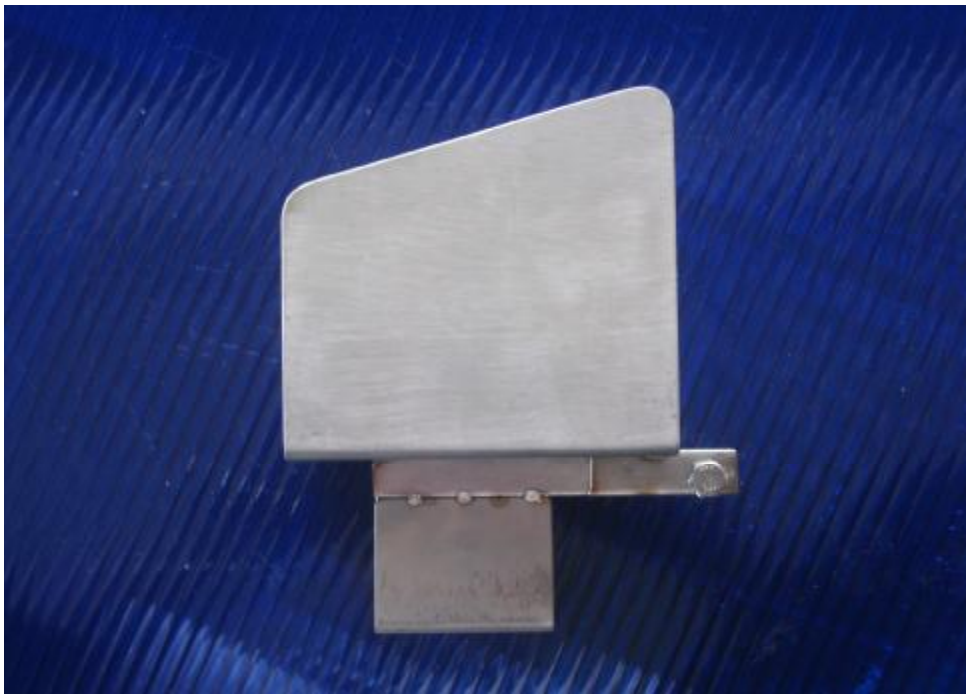
ภาคผนวก ค

ลำดับขั้นตอนในการสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก

ภาพประกอบ 55 กระเดื่องวางลูก

ภาพประกอบ 56 ฐานโครงสร้างและรางลำเลียงลูก

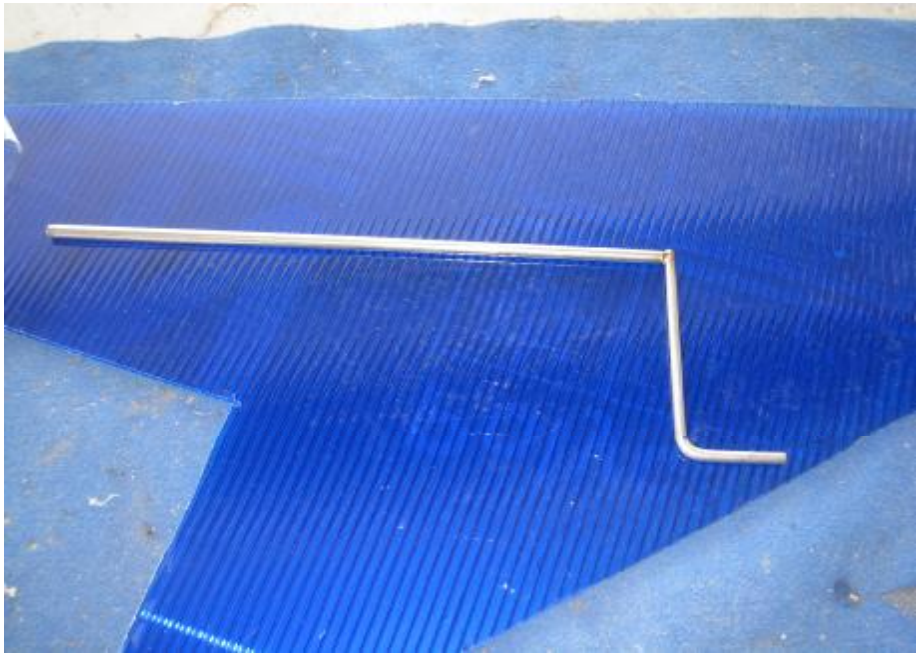


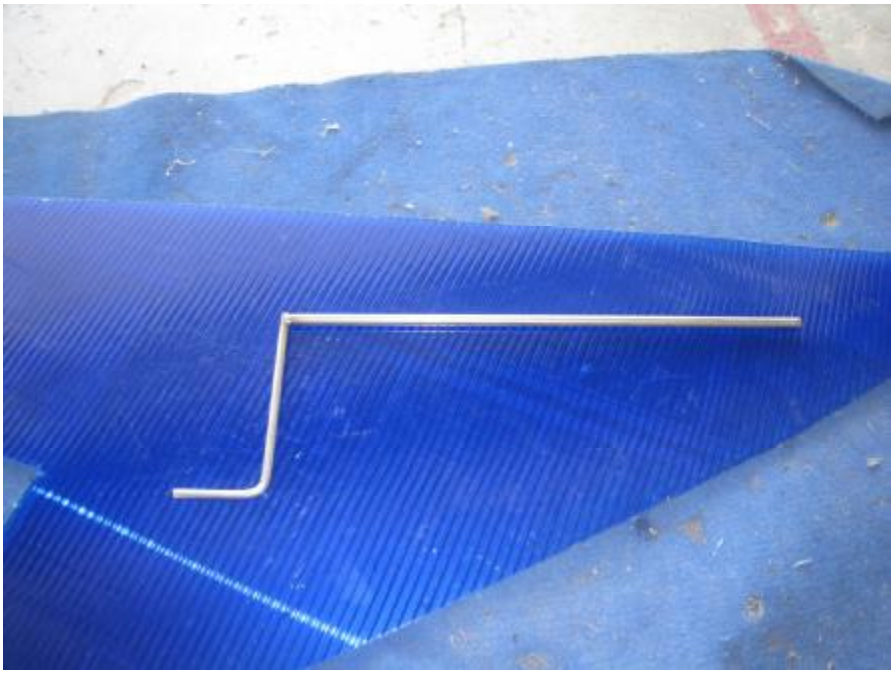


ภาพประกอบ 57 ตัวส่งลูก

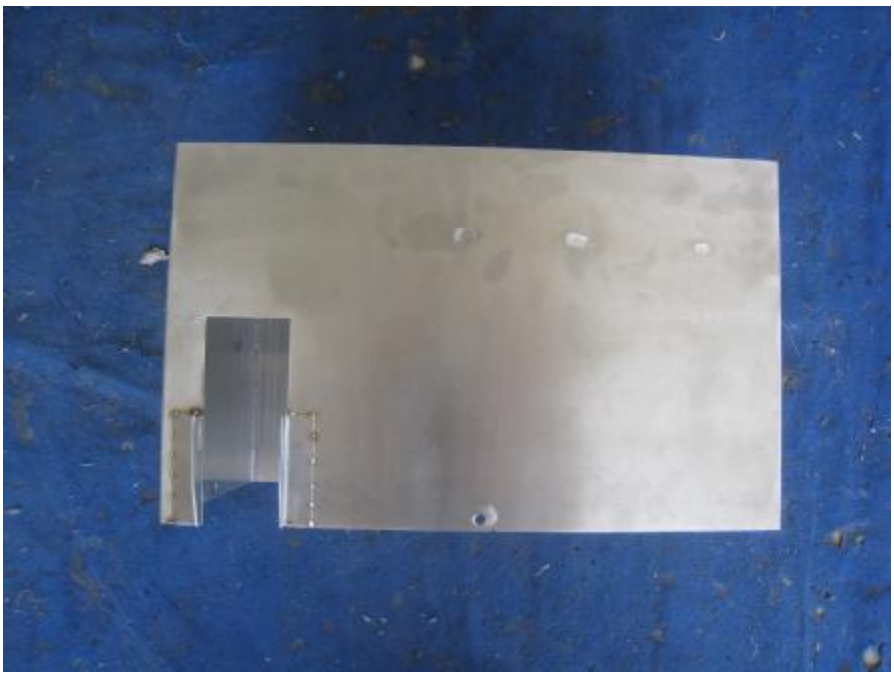
ภาพประกอบ 58 แป้นกด

ภาพประกอบ 59 ตัวป้อนลูก





ภาพประกอบ 60 คานกด



ภาพประกอบ 61 โครงหรือหน้ากาก

ภาคผนวก ง

คู่มือการใช้งานเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก

คู่มือการใช้เครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก

เครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก มีขั้นตอนการใช้งานดังนี้

1. ตรวจเช็คสภาพของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟก่อนใช้งาน

2. จัดวางเครื่องตั้งลูกกอล์ฟให้อยู่ในตำแหน่งระหว่างกระเดื่องวางลูกกับทีให้ตรงกันทุกครั้งก่อนใช้งาน เพื่อความแม่นยำของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก

3. ปรับความสูงต่ำให้เหมาะกับการใช้งานในแต่ละครั้งโดยปรับที่ฐานปรับระดับ

4. ใส่ลูกกอล์ฟลงในถาดด้านบนของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก

5. ใช้หัวไม้กอล์ฟหรือใช้เท้าเหยียบที่แป้นกดเพื่อให้เครื่องทำงาน

6. ควรตรวจสอบส่วนประกอบต่างๆของเครื่องและทำความสะอาดเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไกทุกครั้งหลังการใช้งาน เพื่อยืดอายุใช้งานของเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไกและให้สามารถใช้งานได้อย่างประสิทธิภาพในครั้งต่อไป

ภาคผนวก จ

หนังสือขอความอนุเคราะห์เป็นผู้เชี่ยวชาญ

ที่ ศธ 0519.12/ว594

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

17 มีนาคม 2552

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

เนื่องด้วย นายไพฑูล คำพอนสาร นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง "การออกแบบและสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก" โดยมี อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัย ขอเรียนเชิญ อาจารย์ ดร. ทศัณทพ วงศ์สุวรรณ เป็นเชี่ยวชาญตรวจเครื่องประเมินการออกแบบและสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ให้โปรดพิจารณาให้บุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นายไพฑูล คำพอนสาร และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ตันติวัฒนกุล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
โทร. 0-2649-5067
หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อนิสิต โทรศัพท์ 081-7127-050

ที่ ศธ 0519.12/ว 5456

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ถนนวิภาวดีรังสิต 23 กรุงเทพฯ 10110

19 มีนาคม 2552

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้อำนวยการศูนย์ฝึกอบรมตำรวจภูธร ภาค 7

เนื่องด้วย นายไพฑูรย์ ทำคนสาร นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาบริหารการศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง "การออกแบบและสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบคอมพิวเตอร์" โดยมี อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์อุทธไกร และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัย ขอเรียนเชิญ พ.ต.ท.อำนาจ อ่อนฤทธิ์ รองผู้กำกับศูนย์ฝึกอบรมตำรวจภูธร ภาค 7 เป็นเชี่ยวชาญตรวจแบบประเมินการออกแบบและสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบคอมพิวเตอร์

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้บุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นายไพฑูรย์ ทำคนสาร และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
โทร. 0-2649-5067
หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติม ๆ รุณาติดต่อนิสิต ไพรัชพัฒน์ 081-7127-050

ที่ ศธ 0519.12/ ๑๑๒๔

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ประสานมิตร 23 กรุงเทพฯ 10110

๑๙ มีนาคม 2552

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน อาจารย์ใหญ่โรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

เนื่องด้วย นายไพฑูลย์ คำคงสาร นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาคุณสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง "การออกแบบและสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก" โดยมี อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัย ขอเรียนเชิญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์สาธิต เพริญพิมล เป็นเชี่ยวชาญตรวจแบบประเมินการออกแบบและสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้บุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญให้นายไพฑูลย์ คำคงสาร และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
โทร. 0-2649-5067
หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อนิสิต โทรศัพท์ 081-7127-050

ที่ ศธ 0519.12/๔๑๔๙

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
อุชุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

๒๕ มีนาคม 2552

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน คณบดีคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

เนื่องด้วย นายไพฑูล คำคอนสาร นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิจัยและการประเมินผลการศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง "การออกแบบและสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก" โดยมี อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัย ขอเรียนเชิญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วินัย พูลศรี เป็นเชี่ยวชาญตรวจแบบประเมินการออกแบบและสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้บุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นายไพฑูล คำคอนสาร และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
โทร. 0-2649-5067
หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อนิสิต โทรศัพท์ 081-7127-050

ที่ ศธ 0519.12/ว893

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

7 พฤษภาคม 2552

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

เนื่องด้วย นายไพฑูลย์ คำคอนสาร นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับเอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง "การออกแบบและสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก" โดยมี อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัย ขอเรียนเชิญ อาจารย์วัชรมา โพธิ์ทอง อาจารย์สวัสดิ์ ภูมิสวัสดิ์ และ อาจารย์กฤษกร เขาทอง เป็นเชี่ยวชาญตรวจเครื่องประเมินการออกแบบและสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้บุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นายไพฑูลย์ คำคอนสาร และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
โทร. 0-2664-1000 ต่อ 5730
หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อนิสิต โทรศัพท์ 081-7127-050

ที่ ศธ 0519.12/ 2794

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

7 พฤษภาคม 2552

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน คณบดีคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตกำแพงแสน

เนื่องด้วย นายไพฑูล ค้าคอนสาร นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง "การออกแบบและสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก" โดยมี อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร และ อาจารย์ไอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัย ขอเรียนเชิญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คมกริช เชาว์พานิช เป็นเชี่ยวชาญตรวจแบบประเมินการออกแบบและสร้างเครื่องตั้งลูกกอล์ฟโดยระบบกลไก

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้บุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นายไพฑูล ค้าคอนสาร และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
โทร. 0-2664-1000 ต่อ 5730
หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อนิสิต โทรศัพท์ 081-7127-050

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ – ชื่อสกุล	ไพทูล คำคอนสาร
วันเดือนปีเกิด	10 มกราคม 2515
สถานที่เกิด	43 หมู่ 2 ตำบลคอนสาร อำเภอคอนสาร จังหวัดชัยภูมิ
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	26 หมู่ 6 ตำบลรางพิกุล อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	อาจารย์
สถานที่ทำงานในปัจจุบัน	โรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ศูนย์วิจัยและพัฒนาการศึกษา จังหวัดนครปฐม

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2531	มัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนคอนสารวิทยาคม จังหวัดชัยภูมิ
พ.ศ. 2534	มัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนคอนสารวิทยาคม จังหวัดชัยภูมิ
พ.ศ. 2538	ปริญญาบัตรครุศาสตรบัณฑิต (คบ.) สาขาอุตสาหกรรมศิลป์ จากสถาบันราชภัฏเพชรบูรณ์ จังหวัดเพชรบูรณ์
พ.ศ. 2552	การศึกษามหาบัณฑิต (กศ.ม.) วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพมหานครฯ