สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัย

การออกแบบและการสร้างชุดทดลอง Catapult สำหรับการศึกษาการออกแบบการทดลอง

Design and Construction of a Catapult Set for Studying Design of Experiments

นายสิทธิพร พิมพ์สกุล

RCH
TJ
1185
ส723ก
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....114489
วัน,เดือน,ปี.....20 ส.ค. 2554

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2553

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

b.1290865
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ การออกแบบและการสร้างชุดทดลอง Catapult สำหรับการศึกษาการออกแบบการทดลอง

Design and Construction of a Catapult Set for Studying Design of Experiments

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก เงินรายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประจำปีงบประมาณ 2553

จำนวนเงิน 47,200 บาท

ระยะเวลาทำวิจัย 1 ปี (1 ต.ค. 2552 – 30 ก.ย. 2553)

ผู้ดำเนินการวิจัย นายสิทธิพร พิมพ์สกุล

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

โทรศัพท์ 02-329-8339 โทรสาร 02-329-8340

บทคัดย่อ

เครื่องยิงลูกบอลหรือ Catapult สำหรับการศึกษาการออกแบบการทดลอง ถูกสร้างขึ้นเพื่อเป็นสื่อการเรียนการสอนในหัวข้อการออกแบบการทดลอง ผู้วิจัยนำเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment, QFD) มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบเครื่องยิงลูกบอล เทคนิคนี้ทำหน้าที่แปลงข้อมูลความต้องการของผู้ใช้งานให้เป็นรูปแบบหรือคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอลให้เหมาะสมกับการใช้งานมากที่สุด ผู้วิจัยได้จัดทำแบบสอบถามความคิดเห็นด้านคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอล เพื่อสำรวจความคิดเห็นจากกลุ่มตัวอย่างที่ผู้วิจัยกำหนดขึ้น ผู้วิจัยได้ประเมินความน่าเชื่อถือและความสอดคล้องกันของข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามความคิดเห็น โดยการประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process, AHP) ซึ่งได้อัตราส่วนความสอดคล้องกันของข้อมูลเท่ากับ 8.57 เปอร์เซ็นต์ จากนั้น ผู้วิจัยได้สร้างบ้านคุณภาพ (House of Quality) เพื่อออกแบบเครื่องยิงลูกบอล ในด้านการเลือกวัสดุ ขนาด กลไกการทำงาน และชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยิงลูกบอล วัสดุหลักที่นำมาใช้ในการสร้างเครื่องยิงลูกบอลได้แก่ อะคริลิก เครื่องยิงลูกบอลนี้สามารถใช้เป็นสื่อการสอนในการออกแบบการทดลองได้หลากหลายแผนการทดลอง การทดสอบความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอลทำได้โดยการยิงลูกบอลจากเครื่องยิงลูกบอลในทุกๆ ระดับของปัจจัย แล้วบันทึกค่าระยะห่างระหว่างเครื่องยิงลูกบอลและจุดที่ลูกบอลตก จากนั้นพิจารณาความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอลจากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและสัมประสิทธิ์การกระจายของค่าความแตกต่างของระยะห่างที่ยิงได้ในแต่ละครั้ง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.47 เซนติเมตร และ 4.26 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วนสุดท้าย ผู้วิจัยได้เลือกกลุ่มตัวอย่างที่เกี่ยวข้องเพื่อประเมินผลความพึงพอใจในด้านต่างๆ ที่มีต่อเครื่องยิงลูกบอล ผลการประเมินพบว่าระดับคะแนนความพึงพอใจโดยรวมเฉลี่ยเท่ากับ 84.10 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSTRACT

In this research, a catapult for studying a design of experiments was constructed as a teaching tool in design of experiments topic. Researcher applied a Quality Function Deployment (QFD) technique to design the catapult. This QFD technique was used to translate customer needs based on a product to the most desirable characteristics of the catapult. The researcher prepared a questionnaire set for surveying the catapult characteristics from predetermined users. The questionnaire set was evaluated on reliability and compatibility by applying Analytic Hierarchy Process (AHP), which the consistency ratio in the AHP was 8.57 percents. Moreover, the researcher built a House of Quality to design the catapult according to material type, size, mechanism, and various components. Main material used to build the catapult was an acrylic. This catapult can be used as a teaching demonstrator in various experimental design plans. The accuracy of the catapult was tested by shooting a ball from the catapult with every level of all factors. The distance between the catapult and dropping points was measured. Standard deviation and coefficient of variation were used to indicate the catapult accuracy and their average values were 2.47 centimeters and 4.26 percents, respectively. Finally, the researcher also measured a customer satisfaction of the catapult from relevant users. Average satisfaction score was 84.10 percents.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง การออกแบบและการสร้างชุดทดลอง Catapult สำหรับการศึกษาการออกแบบการทดลอง สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ของ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ 2553

ผู้วิจัยขอขอบคุณบุคคลต่างๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย ผู้ช่วยนักวิจัยจำนวน 3 ท่าน ได้แก่ นางสาวยินดี กี่กิจสุขสกุล นางสาววิไลพร ทองอร่าม และนางสาวอารีมาศ ทองแพ และนักศึกษาและอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ และความร่วมมือในการตอบแบบสอบถามในงานวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้โอกาสผู้วิจัยได้ทำงานด้านวิชาการที่เป็นประโยชน์ต่อนักศึกษารุ่นใหม่และสังคมตลอดมา

นายสิทธิพร พิมพ์สกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญรูป ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 1

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การสุ่มตัวอย่างสำหรับงานวิจัย 3

2.1.1 ขั้นตอนการสุ่มตัวอย่าง 3

2.1.2 การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่าง 4

2.1.3 วิธีการกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่าง 4

2.1.4 เทคนิคการสุ่มตัวอย่าง 7

2.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล 10

2.2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย 11

2.2.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการค้นคว้าจากเอกสาร 11

2.2.3 การเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสังเกต 12

2.2.4 การเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสัมภาษณ์ 12

2.2.5 การเก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้วิธีแบบทดสอบ 12

2.2.6 การเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการส่งแบบสอบถาม 12

2.2.7 การตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 15

2.3 การตัดสินใจโดยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ 21

2.3.1 ลักษณะของกระบวนการตัดสินใจที่ดี 21

2.3.2 ขั้นตอนของกระบวนการตัดสินใจที่มีเหตุผล 21

2.3.3 วิธีการพิจารณาองค์ประกอบในการตัดสินใจของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ 22

2.3.4 หลัก 3 ประการที่ใช้ในกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ 22

2.3.5 การวัดความสอดคล้องกันของเหตุผล 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4 การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ 26
2.4.1 พื้นฐานการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ 26
2.4.2 ความสำคัญของ QFD กับการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ 27
2.4.3 บ้านคุณภาพ 27
2.5 การออกแบบการทดลอง 32
2.5.1 ส่วนประกอบสำคัญของแผนการทดลอง 33
2.5.2 ประเภทของแผนการทดลอง 33
2.5.3 รายละเอียดของแต่ละแผนการทดลอง 34

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

3.1 การศึกษาลักษณะและหลักการทำงานของเครื่องยิงลูกบอล 39
3.2 การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง 39
3.3 การออกแบบเครื่องยิงลูกบอล 40
3.3.1 การสร้างแบบสอบถาม 40
3.3.2 การตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบถาม 41
3.3.3 การตรวจสอบข้อเท็จจริงของทัศนคติที่ได้จากแบบสอบถาม 41
3.3.4 วิธีการเก็บทัศนคติจากแบบสอบถาม 43
3.3.5 การวิเคราะห์ทัศนคติที่ได้จากแบบสอบถาม 43
3.3.6 การเลือกวัสดุและวิธีการออกแบบเครื่องยิงลูกบอล 44
3.4 การสร้างเครื่องยิงลูกบอล 44
3.5 การทดสอบความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล 44
3.6 การออกแบบตารางทดลองตามแผนการทดลองแบบต่างๆ 45
3.7 การประเมินความพึงพอใจที่มีต่อคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอล 45

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการศึกษาลักษณะและหลักการทำงานของเครื่องยิงลูกบอล 46
4.2 ผลการศึกษาและการนำทฤษฎีที่เกี่ยวข้องไปประยุกต์ใช้ 47
4.2.1 การประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ 47
4.2.2 การประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ 47
4.2.3 การประยุกต์ใช้หลักการออกแบบผลิตภัณฑ์ 48
4.2.4 การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 การออกแบบเครื่องยิงลูกบอล 48
4.3.1 การจัดทำแบบสอบถามเพื่อสำรวจความต้องการทางด้านคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอลจากผู้ใช้งาน 49
4.3.2 ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบถาม 49
4.3.3 ระดับความสำคัญของคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอลจากแบบสอบถามความคิดเห็น 54
4.3.4 การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ 55
4.3.5 วัสดุที่ใช้ทำเครื่องยิงลูกบอล 62
4.3.6 แบบจำลองเครื่องยิงลูกบอล 64
4.4 ผลการสร้างเครื่องยิงลูกบอลต้นแบบ 67
4.5 ผลการสร้างเครื่องยิงลูกบอลสำหรับการศึกษาการออกแบบการทดลอง 70
4.5.1 ส่วนประกอบของเครื่องยิงลูกบอล 70
4.5.2 วิธีการใช้งานเครื่องยิงลูกบอล 76
4.6 ผลการทดสอบความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล 78
4.6.1 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 78
4.6.2 ค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย 79
4.7 แผนการทดลองสำหรับการใช้เครื่องยิงลูกบอลเป็นสื่อการเรียนการสอน 80
4.8 ผลการประเมินความพึงพอใจที่มีต่อคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอล 89

บทที่ 5 สรุปผล วิจารณ์ผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน 91
5.2 การวิจารณ์ผลการดำเนินงาน 91
5.3 ปัญหาในการดำเนินงาน 92
5.4 ข้อเสนอแนะ 92

หนังสืออ้างอิง 93
ภาคผนวก ก ตัวอย่างแบบสอบถามที่ใช้ในการวิจัย ..... ผก 1
ภาคผนวก ข ขนาดของส่วนประกอบของเครื่องยิงลูกบอล ..... ผข 1
ภาคผนวก ค การประกอบเครื่องยิงลูกบอล ..... ผค 1
ภาคผนวก ง ตารางผลการทดสอบความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล ..... ผง 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 จำนวนประชากรและจำนวนกลุ่มตัวอย่างของ Krejcie and Morgan 6
ตารางที่ 2.2 เมตริกซ์ที่ใช้แสดงการเปรียบเทียบเป็นคู่ 23
ตารางที่ 2.3 ระดับความสำคัญสัมพัทธ์สำหรับการเปรียบเทียบรายคู่ 24
ตารางที่ 2.4 ค่าความสอดคล้องแบบสุ่มเฉลี่ย 25
ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างผลสรุปจำนวนผู้ตอบแบบสอบถามและคะแนนความสำคัญสัมพัทธ์ 50
ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบเป็นรายคู่ระหว่างคุณลักษณะ โดยวิธี AHP 51
ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบเป็นรายคู่แบบปกติระหว่างคุณลักษณะ โดยวิธี AHP 52
ตารางที่ 4.4 คะแนนความสำคัญสัมพัทธ์เฉลี่ยที่หารด้วยค่าปกติ 53
ตารางที่ 4.5 วิธีการคำนวณค่า λ_{max} 53
ตารางที่ 4.6 ระดับความสำคัญที่ได้จากการสรุปแบบสอบถาม 55
ตารางที่ 4.7 ข้อกำหนดทางเทคนิคต่างๆ ของคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอล 57
ตารางที่ 4.8 ค่าระดับความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอลกับข้อกำหนดทางเทคนิคต่างๆ 58
ตารางที่ 4.9 ค่าน้ำหนักความสำคัญสมบูรณ์และค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบ 60
ตารางที่ 4.10 การเปรียบเทียบข้อกำหนดทางเทคนิคกับการเลือกใช้วัสดุ 63
ตารางที่ 4.11 การออกแบบแผนการทดลองสุ่มสมบูรณ์ สำหรับศึกษาปัจจัยชนิดของลูกบอล 80
ตารางที่ 4.12 การออกแบบแผนการทดลองสุ่มสมบูรณ์ สำหรับศึกษาปัจจัยตำแหน่งเริ่มยิง 80
ตารางที่ 4.13 การออกแบบแผนการทดลองสุ่มสมบูรณ์ สำหรับศึกษาปัจจัยตำแหน่งวางถ้วยใส่ลูกบอล 81
ตารางที่ 4.14 การออกแบบแผนการทดลองสุ่มสมบูรณ์ สำหรับศึกษาปัจจัยลักษณะของสปริงดีด 81
ตารางที่ 4.15 การออกแบบแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ สำหรับการกำหนดตำแหน่งเริ่มยิงเป็นบล็อก 82
ตารางที่ 4.16 การออกแบบแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ สำหรับการกำหนดตำแหน่งหยุดแขนยิงเป็นบล็อก 82
ตารางที่ 4.17 การออกแบบแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ สำหรับการกำหนดตำแหน่งวางถ้วยใส่ลูกบอลเป็นบล็อก 83
ตารางที่ 4.18 การออกแบบแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ สำหรับการกำหนดลักษณะสปริงดีดเป็นบล็อก 83
ตารางที่ 4.19 การออกแบบแผนการทดลองแบบลาตินสแควร์ สำหรับการกำหนดตำแหน่งเริ่มยิงและผู้ขายสปริง เป็นบล็อก 84
ตารางที่ 4.20 การออกแบบแผนการทดลองแบบลาตินสแควร์ สำหรับการกำหนดตำแหน่งหยุดแขนยิงและผู้ขายสปริง เป็นบล็อก 85
ตารางที่ 4.21 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล สำหรับปัจจัยของเครื่องยิงลูกบอล 86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.22 การออกแบบการทดลองแบบสปลิทพอท สำหรับการกำหนดตำแหน่งวางถ้วย ใส่ลูกบอลเป็นตัวแปรหลัก 87
ตารางที่ 4.23 การออกแบบแผนการทดลองแบบสุ่มซ้อน แบบที่ 1 88
ตารางที่ 4.24 การออกแบบแผนการทดลองแบบสุ่มซ้อน แบบที่ 2 89
ตารางที่ 4.25 การออกแบบแผนการทดลองแบบบล็อกไม่บริบูรณ์แบบได้ดุล 89
ตารางที่ 4.26 คะแนนความพึงพอใจที่ได้จากแบบสอบถาม 90
ตารางที่ ผง 1 ผลการทดสอบความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล ..... ผง 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มตัวอย่างกับความผิดพลาด 4
รูปที่ 2.2 แผนภูมิลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ 23
รูปที่ 2.3 บ้านคุณภาพ 28
รูปที่ 2.4 ค่าต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณความสำคัญ HOQ 31
รูปที่ 2.5 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของลูกค้ากับคุณลักษณะเฉพาะทางคุณภาพ 31
รูปที่ 3.1 ตัวอย่างแบบสอบถามสำหรับการเก็บทัศนคติของผู้ที่เกี่ยวข้องที่มีต่อคุณลักษณะต่างๆ ของเครื่องยิงลูกบอล 42
รูปที่ 4.1 เครื่องยิงลูกบอลในสมัยโบราณ 46
รูปที่ 4.2 ตัวอย่างเครื่องยิงลูกบอลที่มีลักษณะเป็นพื้นเอียง 46
รูปที่ 4.3 ตัวอย่างเครื่องยิงลูกบอลทั่วไป 46
รูปที่ 4.4 ตัวอย่างเครื่องยิงลูกบอล 47
รูปที่ 4.5 แผนภูมิก้างปลาของคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอล 56
รูปที่ 4.6 ผลการสร้างบ้านคุณภาพ 61
รูปที่ 4.7 แบบจำลองเครื่องยิงลูกบอล 64
รูปที่ 4.8 แบบจำลองเสากำหนดตำแหน่งเริ่มยิง 65
รูปที่ 4.9 แบบจำลองเสากำหนดตำแหน่งหยุดแขนยิง 65
รูปที่ 4.10 แบบจำลองแขนยิง 66
รูปที่ 4.11 แบบจำลองแผ่นกำหนดตำแหน่งสปริงดีด 66
รูปที่ 4.12 แบบจำลองถ้วยใส่ลูกบอล 67
รูปที่ 4.13 เครื่องยิงลูกบอลต้นแบบ 67
รูปที่ 4.14 ต้นแบบเสากำหนดตำแหน่งเริ่มยิง 68
รูปที่ 4.15 แท่นกำหนดตำแหน่งหยุดแขนยิง 68
รูปที่ 4.16 ต้นแบบแขนยิง 69
รูปที่ 4.17 วิธีการประกอบถ้วยใส่ลูกบอลเข้ากับแขนยิง 69
รูปที่ 4.18 ต้นแบบถ้วยใส่ลูกบอล 70
รูปที่ 4.19 เครื่องยิงลูกบอลสำหรับการศึกษาการออกแบบการทดลอง 70
รูปที่ 4.20 เสากำหนดตำแหน่งเริ่มยิง 71
รูปที่ 4.21 แท่นกำหนดตำแหน่งหยุดแขนยิง 71
รูปที่ 4.22 แขนยิง วัสดุที่ใช้เป็นอะคริลิก 72
รูปที่ 4.23 แท่นกำหนดตำแหน่งสปริงดีด 72
รูปที่ 4.24 ถ้วยใส่ลูกบอล 73
รูปที่ 4.25 สปริงแบบเขียว 74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.26 สปริงแบบเหลือง 74
รูปที่ 4.27 สปริงแบบแดง 74
รูปที่ 4.28 ลูกบอลผ้า 75
รูปที่ 4.29 ลูกปิงปอง 75
รูปที่ 4.30 ลูกแก้ว 76
รูปที่ 4.31 การกำหนดตำแหน่งเริ่มยิงลูกบอล 76
รูปที่ 4.32 การหยุดแขนยิงที่ตำแหน่งหยุดแขนยิง 77
รูปที่ 4.33 การวัดระยะทางที่ยิงลูกบอลได้ 77
รูปที่ 4.34 กราฟส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะทางที่ยิงลูกบอลได้ 78
รูปที่ 4.35 ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของระยะทางที่ยิงลูกบอลได้ 79
รูปที่ ผค 1 การประกอบแท่งสเตนเลสเข้ากับรูกึ่งกลางของแท่นกำหนดตำแหน่งหยุดแขนยิง และรูของแขนยิง ..... ผค 2
รูปที่ ผค 2 การยึดติดน็อตเข้ากับแท่งสเตนเลส ..... ผค 2
รูปที่ ผค 3 การใส่แท่งสเตนเลสเข้าไปในแท่นกำหนดตำแหน่งหยุดแขนยิงและใส่เข้าไปในขดสปริง ..... ผค 3
รูปที่ ผค 4 การใส่แท่งสเตนเลสเข้ากับเสากำหนดตำแหน่งเริ่มยิง ..... ผค 3
รูปที่ ผค 5 การใส่แท่งสเตนเลสเข้ากับแท่นกำหนดตำแหน่งหยุดแขนยิง ..... ผค 4
รูปที่ ผค 6 ติดตั้งถ้วยใส่ลูกบอลเข้ากับช่องของแขนยิง ..... ผค 4
รูปที่ ผค 7 ลักษณะการยึดติดแขนยิงกับถ้วย ..... ผค 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

โรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มักต้องเผชิญกับปัญหาต่างๆในกระบวนการผลิต ทั้งในเรื่องของคุณภาพหรือปริมาณของสินค้าที่ผลิตไม่เป็นไปตามที่ต้องการ สาเหตุของปัญหาที่พบมักเกิดจากความผันแปรของกระบวนการผลิต ถ้าสามารถเข้าใจความผันแปร และวิเคราะห์ปัจจัยที่ทำให้เกิดความผันแปรของกระบวนการผลิตได้ ก็จะสามารถแก้ปัญหาของกระบวนการผลิตได้ตรงตามสาเหตุที่แท้จริง ซึ่งจะช่วยให้กระบวนการผลิตเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ สามารถลดต้นทุนในการผลิตได้ แต่ถ้าวิศวกรไม่เข้าใจความผันแปรที่เกิดขึ้น และไม่สามารถการวิเคราะห์ปัจจัยที่ทำให้การเกิดความผันแปรของกระบวนการผลิตได้ ก็จะไม่สามารถแก้ปัญหาได้ถูกจุด ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย เสียเวลา และขาดความไว้วางใจในการทำงานจากหัวหน้า ดังนั้นการเข้าใจความผันแปรเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งสำหรับผู้ที่จะทำงานเป็นวิศวกรในโรงงาน และผู้ศึกษาด้านวิศวกรรมอุตสาหการ เครื่องมือคุณภาพตัวหนึ่งที่สามารถช่วยให้วิศวกรทราบถึงความผันแปรที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตได้ คือ การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments, DOE) ซึ่งจะใช้วิธีการนำปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับผลลัพธ์ที่ต้องการ มาออกแบบการทดลองตามรูปแบบของแผนการทดลองตามความเหมาะสมของข้อมูลที่มี เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆที่มีผลลัพธ์ที่ต้องการ จากนั้นจึงสร้างเป็นสมการทางสถิติเพื่ออธิบายถึงความสัมพันธ์ที่มีต่อกันระหว่างปัจจัยต่างๆ อย่างไรก็ตาม ผู้ศึกษาส่วนใหญ่มักไม่ค่อยเข้าใจในเรื่องการออกแบบการทดลองมากนัก เนื่องจากตัวอย่างที่ใช้ในการเรียนการสอนนั้นมักเป็นตัวอย่างจากในหนังสือซึ่งเป็นเพียงตัวอักษรและรูปภาพเท่านั้น แนวทางหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มความเข้าใจในการศึกษาการออกแบบการทดลอง คือ การสร้างชุดการทดลองเพื่อใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนซึ่งผู้วิจัยจะอาศัยหลักการทำงานของเครื่องยิงลูกบอล โดยนำมาปรับปรุงให้สามารถวัดผลได้ในทางสถิต ทำให้ผู้เรียนได้ทดลอง วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างของผลตอบสนองในแต่ละปัจจัยและพิจารณาการนำแผนการทดลองต่างๆไปใช้งานจริง ทำให้ผู้เรียนสามารถเข้าใจการออกแบบการทดลองได้ง่ายขึ้น อันจะช่วยนำไปสู่การปรับปรุงกระบวนการเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ นอกจากนี้ การศึกษาการออกแบบการทดลองไม่ได้เป็นประโยชน์เฉพาะในวิชาสถิติ (Statistics) เท่านั้น แต่ยังเป็นพื้นฐานที่สำคัญในวิชาอื่นๆ อีกด้วย เช่น การควบคุมคุณภาพ (Quality Control) การวางแผนและควบคุมการผลิต (Production Planning and Control) เป็นต้น ซึ่งวิชาเหล่านี้เป็นเครื่องมือพื้นฐานสำคัญที่จะนำไปใช้ในการทำงานของวิศวกรอุตสาหการ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

การออกแบบเครื่องยิงลูกบอลสำหรับการศึกษาการออกแบบการทดลองนี้ มีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อศึกษาและประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment, QFD) สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องเครื่องยิงลูกบอลสำหรับใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนในหัวข้อการออกแบบการทดลอง (Design of Experiments, DOE)

3. เพื่อตรวจสอบความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอลสำหรับศึกษาการออกแบบการทดลองให้สามารถวัดผลได้ทางสถิติ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตของการออกแบบเครื่องยิงลูกบอลสำหรับศึกษาการออกแบบการทดลอง ดังนี้

1. สำรวจข้อมูลความต้องการด้านคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอลสำหรับการศึกษาการออกแบบการทดลองจากผู้ที่เกี่ยวข้อง 3 กลุ่มประชากร ได้แก่ กลุ่มที่ 1 อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จำนวน 8 ท่าน กลุ่มที่ 2 นักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาการวิเคราะห์และการออกแบบการทดลอง (Analysis and Design of Experiments) ภาคเรียนที่ 1 ประจำปีการศึกษา 2552 จำนวน 27 คน และกลุ่มที่ 3 นักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ ประจำปีการศึกษา 2552 จำนวน 48 คน รวมจำนวนประชากรที่ทำการเก็บข้อมูลทั้งสิ้น 83 คน โดยทำแบบสอบถามเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการออกแบบเครื่องยิงลูกบอล

2. ผู้วิจัยเลือกใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพมาประยุกต์ในการออกแบบเครื่องยิงลูกบอล เพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้มากที่สุด

3. เครื่องยิงลูกบอลที่ผู้วิจัยออกแบบขึ้น สามารถใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนในหัวข้อการออกแบบการทดลองได้ครอบคลุมเนื้อหา 7 แผนการทดลอง คือ แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ แผนการทดลองแบบลาตินสแควร์ การทดลองแบบแฟคทอเรียล แผนการทดลองแบบสปริทพลอท แผนการทดลองแบบสุ่มซ้อน และการทดลองแบบบล็อกไม่บริบูรณ์แบบได้ดุล

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่ผู้วิจัยคาดว่าจะได้รับจากการออกแบบและสร้างสื่อการเรียนการสอนเกี่ยวกับการออกแบบการทดลอง มีดังนี้

1. ทำให้เกิดความรู้ความเข้าใจในเรื่องเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์หรือปรับปรุงคุณภาพการบริการอื่นๆ ได้

2. ทำให้ได้เครื่องยิงลูกบอลสำหรับการศึกษาการออกแบบการทดลอง เพื่อใช้เป็นสื่อในการเรียนการสอนในหัวข้อการออกแบบการทดลอง

3. ทำให้ผู้ที่ศึกษาการออกแบบการทดลองด้วยเครื่องยิงลูกบอลสำหรับการศึกษาการออกแบบการทดลอง มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบการทดลองมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึง ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การสุ่มตัวอย่างสำหรับงานวิจัย
2. การเก็บรวบรวมข้อมูล
3. การตัดสินใจโดยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์
4. การแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ
5. การออกแบบการทดลอง

2.1 การสุ่มตัวอย่างสำหรับงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ก่อนการออกแบบเครื่องยิงลูกบอลนั้น ผู้วิจัยจะต้องทำการสำรวจทัศนคติด้านคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอลกับผู้ใช้งานเสียก่อน ซึ่งผู้ใช้งานสำหรับงานวิจัยนี้จะได้รับเลือกมาจากการสุ่มตัวอย่าง การสุ่มตัวอย่างสำหรับงานวิจัย (Selecting Sample for Research) นั้น เป็นการเลือกตัวแทนของประชากรมาศึกษา ผลการศึกษาที่ได้จะสามารถสรุปอ้างอิงไปยังประชากร ผู้วิจัยจึงต้องได้ตัวแทนที่ดีที่สุดมาวิเคราะห์เพื่อสรุปผลไปยังประชากรได้ถูกต้องที่สุด โดยทั่วไปยอมรับกันว่าการจะได้ตัวแทนที่ดีนั้น ควรได้มาจากการสุ่มตัวอย่าง (ยุทธ ไกยวรรณ์, 2545)

ประชากร หมายถึงเป้าหมายในการวิจัย เป็นหน่วยที่ผู้วิจัยใช้ในการเก็บข้อมูลต่างๆ ที่อาจเป็นคุณสมบัติของบุคคล เอกสาร หรือวัตถุสิ่งของ ซึ่งขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ประชากรเป้าหมายของงานวิจัยในแต่ละเรื่องจะมีกลุ่มเดียวหรือหลายกลุ่มก็ได้ และอาจเป็นหน่วยที่อยู่ระดับเดียวกันหรือหลายระดับก็ได้ (ธีรวุฒิ เอกะกุล, 2550) ผู้วิจัยจะต้องระบุคุณสมบัติต่างๆ ของประชากรให้เฉพาะเจาะจงและชัดเจน

ประเภทของประชากรที่ใช้ในงานวิจัยมี 2 ประเภท ดังนี้

1. ประชากรจำกัด (Finite Population) เป็นสิ่งที่คงที่ มีหน่วยการนับคงที่ และตรวจสอบได้
2. ประชากรไม่จำกัด (Infinite Population) เป็นสิ่งที่มีจำนวนไม่แน่นอน มีหน่วยการนับไม่คงที่ ตรวจสอบไม่ได้อย่างชัดเจน

กลุ่มตัวอย่าง หมายถึงกลุ่มของสิ่งต่างๆ ที่เป็นส่วนหนึ่งของประชากรที่ผู้วิจัยสนใจ เพื่อนำข้อมูลไปอ้างอิงกับประชากรทั้งหมด ผลการศึกษาสรุปได้อย่างไร ถือว่าเป็นข้อสรุปจากประชากรที่ใช้ในการวิจัยทั้งหมด

2.1.1 ขั้นตอนการสุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ดีเป็นกลุ่มตัวอย่างที่มีลักษณะต่างๆ ที่สำคัญเหมือนกับประชากรที่ใช้ในการวิจัย ขั้นตอนการสุ่มตัวอย่างที่สำคัญมีดังนี้

1. พิจารณาวัตถุประสงค์ของการวิจัย ซึ่งบ่งชี้ว่าประชากรที่ใช้ในการวิจัยนั้นๆ คืออะไร ตัวแปรที่ศึกษามีอะไรบ้าง
2. ให้คำจำกัดความของประชากร เพื่อระบุขอบเขตและลักษณะของประชากรที่จะศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กำหนดประชากรเป้าหมาย เพื่อให้ตัวแทนที่มาจากประชากรเป้าหมายเป็นตัวแทนที่ดี

4. บันทึกรวบรวมรายชื่อสมาชิกทั้งหมดในประชากร ซึ่งรายชื่อเหล่านี้ควรจะเป็นรายชื่อที่มีอยู่ในปัจจุบัน รายชื่อเหล่านี้เรียกว่า กรอบของการสุ่ม (Sampling Frame) ข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ เช่น กรอบที่ได้นั้นขาดความแม่นยำ ไม่ครอบคลุมสมาชิกทั้งหมด รายชื่อสมาชิกซ้ำซ้อน ข้อมูลไม่ทันสมัย เป็นต้น

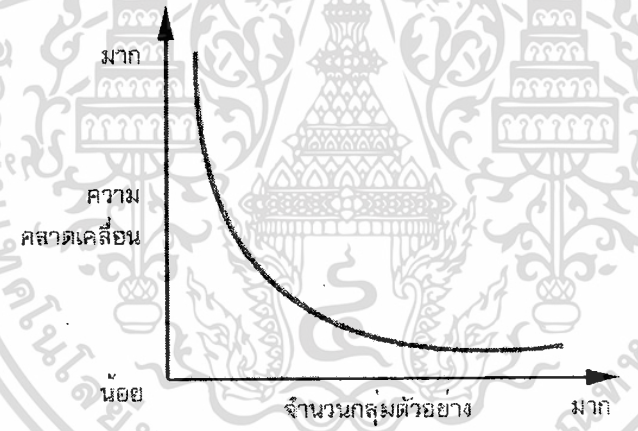
5. ประมาณขนาดของกลุ่มตัวอย่าง จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายด้าน เช่น ความจำกัดในเรื่องเวลา แรงงาน งบประมาณของผู้วิจัย ตลอดจนความถูกต้องในการปฏิบัติของผู้วิจัย เป็นต้น

6. กำหนดวิธีการสุ่มตัวอย่าง หลังจากได้กรอบการสุ่มมาแล้ว ผู้วิจัยสุ่มตัวอย่างโดยใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างที่เหมาะสมกับวัตถุประสงค์การวิจัย และสภาพการณ์นั้น

7. การได้ตัวอย่างที่มีขนาดเหมาะสม ถ้าหากประชากรเป้าหมายมีลักษณะคล้ายคลึงกัน กลุ่มตัวอย่างไม่จำเป็นต้องมีขนาดใหญ่

2.1.2 การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่าง (Sample Size) นั้น เคอร์ลิงเจอร์ (Kerlinger, 1973) ได้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มตัวอย่างกับความคลาดเคลื่อน (Error) หรือผิดพลาดของผลการวิจัย โดยแสดงเป็นกราฟไว้ดังนี้



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มตัวอย่างกับความผิดพลาด

จากรูปที่ 2.1 (ยุทธ ไกยวรรณ์, 2545) จะพบว่าการใช้กลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่จะดีกว่าใช้กลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างมีขนาดใหญ่ ความผิดพลาดจะมีน้อย ซึ่งกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก ความผิดพลาดจะมาก ดังนั้น ในการวิจัย ผู้วิจัยควรเลือกกลุ่มตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่ไว้ก่อน

2.1.3 วิธีการกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

ในการกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างมี 3 วิธี ดังนี้ (ยุทธ ไกยวรรณ์, 2545)

1. การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างโดยยึดถือเปอร์เซนต์ของประชากร เป็นวิธีการที่ง่ายวิธีหนึ่ง โดยผู้วิจัยจะต้องทราบจำนวนประชากรที่ค่อนข้างแน่นอนก่อน แล้วคำนวณหาจำนวนกลุ่มตัวอย่างจากเกณฑ์ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ประชากรมีจำนวนเป็นเลขหลักร้อย ใช้กลุ่มตัวอย่าง 15 – 30 %

2) ประชากรมีจำนวนเป็นเลขหลักพัน ใช้กลุ่มตัวอย่าง 10 – 15 %

3) ประชากรมีจำนวนเป็นเลขหลักหมื่น ใช้กลุ่มตัวอย่าง 5 – 10 %

2. การใช้ตารางสำเร็จรูปในการกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่าง การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ Robert V.Krejcie แห่งมหาวิทยาลัยมินิโซต้า และ Earyle W.Morgan แห่งมหาวิทยาลัยเท็กซัส ได้สร้างตารางขนาดประชากรและขนาดกลุ่มตัวอย่างขึ้น เพื่อให้ผู้วิจัยสามารถเลือกขนาดกลุ่มตัวอย่างของงานวิจัยได้โดยดูจากตารางที่กำหนดมานี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 จำนวนประชากรและจำนวนกลุ่มตัวอย่างของ Krejcie and Morgan

จำนวนประชากร	จำนวนกลุ่มตัวอย่าง	จำนวนประชากร	จำนวนกลุ่มตัวอย่าง	จำนวนประชากร	จำนวนกลุ่มตัวอย่าง	จำนวนประชากร	จำนวนกลุ่มตัวอย่าง
10	10	150	108	460	210	2,200	327
15	14	160	113	480	214	2,400	331
20	19	170	118	500	217	2,600	335
25	24	180	123	550	226	2,800	338
30	28	190	127	600	234	3,000	341
35	32	200	132	650	242	3,500	346
40	36	210	136	700	248	4,000	351
45	40	220	140	750	254	4,500	354
50	44	230	144	800	260	5,000	357
55	48	240	148	850	265	6,000	361
60	52	250	152	900	269	7,000	364
65	56	260	155	950	274	8,000	367
70	59	270	159	1,000	278	9,000	368
75	63	280	162	1,100	285	10,000	370
80	66	290	165	1,200	291	15,000	375
85	70	300	169	1,300	297	20,000	377
90	73	320	175	1,400	302	30,000	379
95	76	340	181	1,500	306	40,000	380
100	80	360	186	1,600	310	50,000	381
110	86	380	191	1,700	313	75,000	382
120	92	400	196	1,800	317	1,000,000	384
130	97	420	201	1,900	320		
140	103	440	205	2,000	322		

การใช้ตารางที่ 2.1 (ยุทธ ไกยวรรณ์, 2545) หากประชากรที่ผู้วิจัยต้องการใช้ ไม่ตรงกับเลขในตาราง ให้ผู้วิจัยคำนวณหา โดยวิธีเทียบบัญญัติไตรยางค์

3. การใช้สูตรคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่าง สมการที่นิยมใช้กันมากในงานวิจัย คือสมการของทาโร ยามาเน่ (Taro Tamane) เนื่องจากเป็นสูตรที่มีการพิจารณาระดับความคลาดเคลื่อนที่ยอบรับได้ ที่ระดับ 0.05 หรือ 0.01 ไว้ในสูตรการคำนวณด้วย และเป็นสูตรที่คำนวณง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อนเหมือนสูตรอื่นๆ สูตรของยามาเน่มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการทาโร ยามาเน

$$e = \sqrt{\frac{\frac{N}{n} - 1}{N}} \qquad (2.1)$$

เมื่อ e หมายถึง ความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่าง (0.05 หรือ 0.01)

n หมายถึง ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

N หมายถึง ขนาดของประชากร

2.1.4 เทคนิคการสุ่มตัวอย่าง

เทคนิคการสุ่มตัวอย่าง (Random Sampling Techniques) เพื่อใช้ในการวิจัยจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. การสุ่มตัวอย่างที่ไม่เป็นไปตามโอกาสทางสถิติหรือแบบไม่อาศัยความน่าจะเป็น (Non-probability Sampling)

2. การสุ่มตัวอย่างที่เป็นไปตามโอกาสทางสถิติหรือแบบอาศัยความน่าจะเป็น (Probability Sampling)

2.1.4.1 <u>การเลือกกลุ่มตัวอย่างที่ไม่เป็นไปตามโอกาสทางสถิติ</u>

การเลือกกลุ่มตัวอย่างที่ไม่เป็นไปตามโอกาสทางสถิติ (Non-probability Sampling) เป็นการสุ่มตัวอย่างมาศึกษาโดยไม่คำนึงว่ากลุ่มตัวอย่างที่ได้รับเลือกมานั้น จะมีความน่าจะเป็นหรือโอกาสที่จะได้รับเลือกเป็นเท่าใด ผู้วิจัยไม่เปิดโอกาสในการถูกเลือกให้แก่ประชากร และไม่อาจกำหนดลักษณะหรือขอบเขตอันพึงประสงค์ได้ การเลือกตัวอย่างจะขึ้นอยู่กับการควบคุม หรือการตัดสินใจของผู้วิจัยเป็นส่วนมาก การเลือกตัวอย่างแบบนี้ไม่สามารถทราบได้ว่าสมาชิกทุกหน่วยจากประชากรนั้น จะมีโอกาสได้รับเลือกมาเป็นสมาชิกในกลุ่มตัวอย่าง โอกาสของการถูกสุ่มมาเป็นตัวอย่างของประชากรจะไม่เท่ากัน การสุ่มไม่มีกฎเกณฑ์แน่นอน ทั้งนี้เพราะลักษณะของข้อมูลมีอยู่อย่างไม่เป็นระบบระเบียบและกระจัดกระจาย การเลือกกลุ่มตัวอย่างที่ไม่เป็นไปตามโอกาสทางสถิติ มีด้วยกัน 4 แบบ ดังนี้ (ธีรวุฒิ เอกะกุล, 2550)

1. การสุ่มตัวอย่างแบบบังเอิญ (Accidental Sampling) เป็นการได้กลุ่มตัวอย่างจากสมาชิกของประชากรเป้าหมายเท่าที่จะหาได้ ขึ้นอยู่กับความพึงพอใจและความสะดวกในการหากลุ่มตัวอย่างของผู้วิจัย จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ได้ส่วนใหญ่อยู่ตามแหล่งชุมชนที่มีคนมากๆ เช่น ตลาด สถานีรถไฟ เป็นต้น กลุ่มตัวอย่างที่ได้จึงไม่เป็นตัวแทนที่ดีของประชากร ผลที่ได้จึงไม่สามารถอ้างอิงได้อย่างเที่ยงตรง ดังนั้นการสุ่มตัวอย่างแบบบังเอิญมาวิเคราะห์นี้ เป็นการสุ่มที่ไม่สนใจในเรื่องการเป็นตัวแทนของประชากรมากนัก การเลือกแบบบังเอิญนิยมใช้กับงานวิจัยที่ศึกษาเรื่องราวปัจจุบันเรื่องที่อยู่ในความสนใจของสังคมที่คนทั่วไปสามารถให้คำตอบได้

2. การสุ่มตัวอย่างโดยการกำหนดสัดส่วน (Quota Sampling) เป็นการเลือกกลุ่มตัวอย่างโดยนำเอาสัดส่วนขององค์ประกอบของประชากรมาพิจารณาด้วย ในการเลือกตัวอย่างจะแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็นกลุ่มย่อยๆ ตามลักษณะของตัวแปรที่ต้องการศึกษาวิจัย โดยมีหลักการจำแนกว่าตัวแปรที่ใช้ในการจำแนกนั้น ควรจะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่จะรวบรวมหรือตัวแปรที่สนใจ และสมาชิกที่อยู่แต่ละส่วนมีลักษณะเป็นเอกพันธ์ แล้วกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างย่อยตามสัดส่วนของประชากร จากนั้นเลือกตัวอย่างโดยใช้การเลือกแบบบังเอิญในแต่ละกลุ่มตัวอย่างย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เป็นการเลือกตัวอย่างโดยใช้หลักเหตุผลและวิจารณญาณของผู้วิจัยเอง ตัดสินใจเลือกกลุ่มตัวอย่างมาศึกษา โดยเลือกให้สอดคล้อง เหมาะสม และตรงตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย เป็นการได้กลุ่มตัวอย่างมาโดยมีการกำหนดลักษณะเฉพาะของกลุ่มตัวอย่าง ว่าต้องการกลุ่มตัวอย่างที่มีลักษณะอย่างไร ประเภทไหน เพื่อให้ได้กลุ่มตัวอย่างที่มีลักษณะตรงตามความต้องการของผู้วิจัยมากที่สุด

4. การเลือกแบบลูกโซ่ (Snowball Sampling) เป็นการเลือกกลุ่มตัวอย่างโดยการรวบรวมข้อมูลจากตัวอย่างจำนวนน้อยๆ ก่อน ซึ่งอาจเป็นข้อมูลที่ผู้วิจัยสามารถหาได้ง่ายที่สุดก่อน หลังจากนั้นจึงใช้กลุ่มตัวอย่างดังกล่าวเป็นเครื่องชี้นำไปหากลุ่มตัวอย่างอื่นๆ การเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบนี้นิยมใช้กับกลุ่มตัวอย่างที่มีลักษณะเฉพาะพิเศษเท่านั้น และกลุ่มตัวอย่างมีความคุ้นเคย รู้จักกันภายในกลุ่มตัวอย่างด้วยกัน สามารถบอกต่อ หรือส่งต่อได้ว่าไปพบตัวอย่างคนต่อๆ ไปได้ที่ไหน

การเลือกกลุ่มตัวอย่างที่ไม่เป็นไปตามโอกาสทางสถิติดังกล่าว เหมาะกับกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการศึกษามีขนาดเล็ก และผู้วิจัยต้องการแนวความคิดเกี่ยวกับลักษณะต่างๆ ของประชากรในระยะเวลาอันจำกัด การเลือกตัวอย่างในลักษณะนี้มีข้อจำกัด (ธีรวุฒิ เอกะกุล, 2550) ดังนี้

1. ผลการวิจัยไม่สามารถสรุปอ้างอิงไปยังประชากรทั้งหมดได้ จะสรุปอยู่ในขอบเขตของกลุ่มตัวอย่างเท่านั้น ข้อสรุปนั้นจะสรุปไปหาประชากรได้ต่อเมื่อกลุ่มตัวอย่างมีลักษณะต่างๆ ที่สำคัญเหมือนกันกับลักษณะของประชากรเท่านั้น

2. กลุ่มตัวอย่างที่ได้นั้น ขึ้นอยู่กับการตัดสินของผู้วิจัยและองค์ประกอบบางตัวที่ไม่สามารถควบคุมได้ และไม่มีวิธีการทางสถิติที่จะมาคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการสุ่ม (Sampling Error) โดยวิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างนี้ได้

2.1.4.2 <u>การเลือกกลุ่มตัวอย่างที่เป็นไปตามโอกาสทางสถิติ</u>

การเลือกกลุ่มตัวอย่างที่เป็นไปตามโอกาสทางสถิติ (Probability Sampling) เป็นการสุ่มตัวอย่างที่คำนึงถึงความน่าจะเป็น หรือโอกาสของสมาชิกแต่ละหน่วยที่จะได้รับการเลือก ซึ่งสมาชิกทุกหน่วยของประชากรจะมีความน่าจะเป็น หรือโอกาสที่ได้รับเลือกคงที่ กลุ่มตัวอย่างที่ได้รับการสุ่มแบบนี้จะเป็นตัวแทนที่ดีของประชากรเป้าหมายได้ดีกว่ากลุ่มตัวอย่างที่ไม่เป็นไปตามโอกาสทางสถิติ การสุ่มตัวอย่างโดยอาศัยความน่าจะเป็น มี 5 แบบ ดังนี้

1. การสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (Simple Random Sampling) เป็นการกลุ่มตัวอย่างที่สมาชิกของประชากรทุกหน่วยมีโอกาสถูกเลือกเท่าๆ กัน และเป็นอิสระต่อกันในการที่จะได้รับเลือกมาเป็นสมาชิกของกลุ่มตัวอย่าง โดยไม่มีผลกระทบต่อการเลือกสมาชิกหน่วยอื่น วิธีนี้เหมาะกับประชากรที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน หรือเป็นเอกพันธ์กัน คือมีลักษณะไม่แตกต่างกันมากนัก (Heterogeneous) การสุ่มตัวอย่างแบบง่าย มี 2 วิธี ดังนี้

1.1 การจับฉลาก วิธีนี้เหมาะกับประชากรที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก โดยใช้การเขียนหมายเลขของประชากรทั้งหมดลงในสลาก ม้วนใส่ภาชนะคละกันให้ทั่วถึง แล้วหยิบขึ้นมาจนได้จำนวนตัวอย่างตามต้องการ

1.2 การใช้ตารางเลขสุ่ม (Table Random Number) วิธีการนี้เหมาะกับประชากรที่มีขนาดใหญ่ ผู้วิจัยต้องกำหนดหมายเลขแทนประชากรทั้งหมดที่จะใช้ในการวิจัย แล้วคัดเลือกตัวเลขจากตารางเลขสุ่ม ตารางใดตารางหนึ่งก็ได้ที่จะใช้ในการวิจัยครั้งนั้นๆ ซึ่งมีการเรียงตัวเลขไว้อย่างเป็นระเบียบแบบแผนแล้ว โดยมีวิธีการใช้ตารางเลขสุ่ม ดังนี้

<u>ขั้นที่ 1</u> กำหนดหมายเลขให้กับประชากรที่ใช้ในการวิจัย โดยใช้จำนวนหลักในตารางเลขสุ่ม ดังนี้

- ถ้าประชากรมีจำนวน 100 คน ให้หมายเลขตั้งแต่ 001 – 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ถ้าประชากรมีจำนวน 550 คน ให้หมายเลขตั้งแต่ 001 – 550

- ถ้าประชากรมีจำนวน 1,000 คน ให้หมายเลขตั้งแต่ 001 – 1,000

ขั้นที่ 2 การอ่านตารางเลขสุ่ม ให้ใช้จำนวนหลักเท่ากับจำนวนประชากรที่กำหนดหมายเลขไว้แล้ว โดยให้ตัวเลขจากหลักทางซ้ายมือไปทางขวามือเท่ากับจำนวนประชากรที่กำหนด

ขั้นที่ 3 กำหนดจำนวนตัวอย่างที่จะใช้ในการวิจัยว่าต้องการตัวอย่างจำนวนเท่าใด โดยต้องพิจารณาขนาดของกลุ่มตัวอย่าง (Sample Size) ให้เหมาะสมกับประชากรที่มีด้วย

ขั้นที่ 4 เลือกใช้ตารางเลขสุ่ม ตารางเลขสุ่มที่มีอยู่ในปัจจุบันมีทั้งของคนไทย และต่างประเทศ ผู้วิจัยเป็นผู้พิจารณาตัดสินใจเลือกเองว่าต้องการใช้ตารางเลขสุ่มใด

ขั้นที่ 5 เปิดตารางเลขสุ่มที่จะใช้ในการวิจัย แล้วกำหนดว่าจะเริ่มต้นที่จุดใด โดยอาจใช้การหลับตาชี้ให้ได้หมายเลขแรกในตารางสุ่ม

ขั้นที่ 6 ใช้ตารางเลขสุ่ม เพื่อให้ได้กลุ่มตัวอย่างตามจำนวนที่ต้องการ

2. การสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้น (Stratified Random Sampling) เป็นการสุ่มตัวอย่างที่แบ่งประชากรออกเป็นชั้นย่อยๆ (Strata) ก่อน โดยอยู่บนพื้นฐานของตัวแปรที่สำคัญที่จะส่งผลกระทบต่อตัวแปรตาม การสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้นมีขั้นตอนและหลักการ ดังนี้ (ธีรวุฒิ เอกะกุล, 2550)

2.1 แบ่งประชากรออกเป็นกลุ่มย่อยหรือเป็นชั้น โดยภายในชั้นเดียวกัน มีความคล้ายคลึงกันมากที่สุด แต่ระหว่างชั้นให้มีความแตกต่างกันมากที่สุดเท่าที่จะทำได้

2.2 สมาชิกแต่ละหน่วยของประชากรจะต้องอยู่ในชั้นใดชั้นหนึ่ง หรือกลุ่มใดกลุ่มหนึ่ง จะอยู่คาบเกี่ยวกันไม่ได้

2.3 การสุ่มตัวอย่างแต่ละชั้นจะต้องเป็นอิสระจากกัน (Independent Samples) กล่าวคือการสุ่มในชั้นใดชั้นหนึ่งจะไม่มีผลกระทบต่อการสุ่มในชั้นอื่นๆ

2.4 เมื่อประชากรถูกแบ่งเป็นชั้นๆ แล้ว ให้ทำการสุ่มกลุ่มตัวอย่างจากประชากรแต่ละกลุ่มย่อยด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย โดยใช้สัดส่วนในการสุ่มตัวอย่างลักษณะใดลักษณะหนึ่ง ดังต่อไปนี้

1) ถ้าประชากรแต่ละกลุ่มย่อยมีขนาดไม่แตกต่างกันมาก ให้สุ่มตามสัดส่วนของประชากรในแต่ละกลุ่มย่อย กล่าวคือ ถ้ากลุ่มใดมีจำนวนน้อยให้สุ่มมาเป็นตัวอย่างจำนวนน้อยด้วย ซึ่งมีวิธีการสุ่มตามระดับชั้นแบบนี้เรียกว่า (Proportional Stratified Random Sampling)

2) ถ้าประชากรแต่ละกลุ่มย่อยมีขนาดแตกต่างกันมาก กรณีเช่นนี้จะไม่ใช้สัดส่วนตามจำนวนประชากร แต่จะใช้หลักเหตุผลและความเหมาะสมบางประการ โดยให้กลุ่มตัวอย่างที่สุ่มจากแต่ละกลุ่มของประชากร มีจำนวนเหมาะสมที่จะครอบคลุมลักษณะของประชากรอย่างครบถ้วนมากที่สุด ซึ่งการสุ่มตามวิธีนี้เรียกว่า (Disproportional Stratified Random Sampling)

ลักษณะการสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้นนั้น คุณลักษณะที่ใช้ในการแบ่งชั้นเมื่อจำแนกเป็นลักษณะย่อยแล้ว ต้องมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน และในการแบ่งเป็นกลุ่มย่อยหรือเป็นระดับชั้นนั้น ไม่ควรให้มีจำนวนกลุ่มย่อยหรือจำนวนชั้นมากจนเกินไป จนเกิดความไม่สะดวกในการวิเคราะห์ทางสถิติ

3. การสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งกลุ่ม (Cluster Random Sampling) เป็นการสุ่มตัวอย่างที่ลักษณะของประชากรอยู่กระจัดกระจายกัน ภายในกลุ่มเดียวกันมีลักษณะแตกต่างกันมากที่สุด โดยรวมลักษณะต่างๆ ที่สำคัญของประชากรไว้ครบถ้วนภายในแต่ละกลุ่ม ถ้ารวมลักษณะสำคัญไว้ได้มากจะทำให้ความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าของประชากร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้อยลง แต่ระหว่างกลุ่มให้มีลักษณะเหมือนกัน หรือคล้ายคลึงกันให้มากที่สุดในทุกๆ กลุ่ม จากนั้นผู้วิจัยอาจสุ่มตัวอย่างโดยแบ่งประชากรออกเป็นกลุ่มย่อยๆ ก่อน แล้วจึงสุ่มบางกลุ่มมาศึกษาวิจัยต่อไป

4. การสุ่มตัวอย่างแบบเป็นระบบ (Systematic Random Sampling) เป็นวิธีการสุ่มที่สมาชิกทุกคนในประชากรจัดเรียงไว้เป็นระบบอย่างหนึ่งอย่างใดไว้แล้ว เช่น สมุดโทรศัพท์ เลขที่บ้าน เป็นต้น การสุ่มตัวอย่างแบบเป็นระบบ มีวิธีการดำเนินการดังนี้

1) ทราบกรอบของประชากร (Population Frame) ก่อนว่าจำนวนประชากรมีทั้งหมดเท่าไร แล้วให้หมายเลขแต่ละหน่วยของประชากรเรียงตามลำดับไป

2) กำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการจะศึกษาวิจัย

3) หาช่วงของการสุ่ม (Sampling Interval) ด้วยการใช้สูตร

$$K = \frac{N}{n} \qquad (2.2)$$

เมื่อ K หมายถึง ช่วงของการสุ่ม

N หมายถึง ขนาดของประชากร

n หมายถึง ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

4) ผู้วิจัยสุ่มหมายเลขระหว่าง 1 ถึง K ขึ้นมาหมายเลขหนึ่ง หมายเลขนั้นกำหนดให้เป็น R

5) สมาชิกหมายเลข R จะได้รับเลือกมาเป็นสมาชิกในกลุ่มตัวอย่าง สมาชิกที่ได้รับเลือกต่อไปคือสมาชิกหมายเลข R+K, R+2K, R+3K, ... ตามลำดับ จนครบตามจำนวนที่ต้องการ

การสุ่มตัวอย่างแบบเป็นระบบนี้ สมาชิกแต่ละหน่วยที่ได้รับเลือกไม่ได้เป็นอิสระต่อกันอย่างแท้จริงหลังจากสมาชิกคนแรกได้รับเลือกแล้ว คนต่อมาจะได้รับเลือกโดยอัตโนมัติ การสุ่มตัวอย่างแบบนี้จะใช้ได้ผลดีต่อเมื่อรายชื่อสมาชิกไม่ได้จัดอยู่ในลักษณะที่เป็นแนวโน้ม (Trend) เรียงจากมากไปหาน้อย หรือน้อยไปหามาก หรือจัดอยู่ในลักษณะที่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นวัฏจักร (Periodical Fluctuation) รายชื่อสมาชิกในประชากรนั้นจะต้องจัดเรียงลำดับโดยการสุ่ม

5. การสุ่มตัวอย่างแบบหลายขั้นตอน (Multi-stage Random Sampling) เป็นการสุ่มตัวอย่างที่กระทำเป็นตอนๆ หลายขั้น คือองค์ประกอบของประชากร หรือประชากรแต่ละหน่วยถูกจัดไว้เป็นกลุ่มๆ ตามระดับสูงต่ำของชั้น (Hierarchy) แล้วทำการสุ่มในแต่ละระดับเป็นขั้นๆ ลงมา การสุ่มตัวอย่างแบบหลายขั้นตอนบางครั้งเรียกว่า การสุ่มตัวอย่างผสม เนื่องจากมีการผสมกันระหว่างการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย แบบแบ่งชั้น หรือแบบกลุ่ม

2.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในงานวิจัยนี้ หลังจากเลือกกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งานแล้ว ผู้วิจัยจะต้องทำการเก็บรวบรวมข้อมูลผลสำรวจทัศนคติด้านคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอลกับผู้ใช้งาน การเก็บรวบรวมข้อมูลนั้น เป็นขั้นตอนรวบรวมบันทึกและวิเคราะห์ข้อมูลอย่างมีระเบียบแบบแผน ผู้ทำวิจัยจะต้องดำเนินการเก็บในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลมีหลายชนิด จะต้องใช้เครื่องมือหรือเทคนิคที่เหมาะสมเพื่อให้ข้อมูลที่ได้มานั้น ตรงตามความต้องการเที่ยงตรง และเชื่อถือได้ ผลงานวิจัยนั้นก็จะนำไปใช้ประโยชน์ได้มาก (ณรงค์ โพธิ์พฤษานันท์, 2550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

ข้อมูล หมายถึงข้อเท็จจริงหรือรายละเอียดของสิ่งต่างๆ ซึ่งอาจเป็นตัวเลขหรือข้อความเกี่ยวกับสิ่งใดสิ่งหนึ่งที่นำมาเป็นหลักฐาน เช่น เอกสาร หนังสือ ข่าวสาร เป็นต้น สามารถแบ่งข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) คือข้อมูลที่ผู้วิจัยเก็บขึ้นมาใหม่เพื่อให้ตรงประเด็นกับเรื่องที่ทำการศึกษาอยู่ เนื่องจากข้อมูลที่มีอยู่แล้วอาจมีรายละเอียดของข้อมูลไม่ตรงกับข้อมูลที่ต้องการนำมาวิเคราะห์ หรือเป็นข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างอื่นไม่อยู่ในประชากรเป้าหมาย

ข้อดีของข้อมูลปฐมภูมิ คือผู้วิจัยสามารถเก็บรายละเอียดของเนื้อหาข้อมูลได้ครบตามวัตถุประสงค์ และสามารถเลือกประชากรเป้าหมาย เลือกวิธีการเก็บข้อมูล เลือกวิธีวิเคราะห์ข้อมูลได้ตามความต้องการ นอกจากนั้นยังทราบข้อบกพร่องต่างๆ ในขั้นตอนการเก็บข้อมูล

ข้อเสียของข้อมูลปฐมภูมิ คือผู้วิจัยต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเก็บข้อมูล สิ้นเปลืองเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ดำเนินการกับข้อมูล และประมวลผลข้อมูล รวมถึงผู้วิจัยที่อาจขาดความละเอียดรอบคอบ ทำให้คุณภาพข้อมูลที่ได้ไม่น่าเชื่อถือ

2. ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) คือ ข้อมูลที่ผู้อื่นได้ทำการเก็บรวบรวมหรือประมวลผลข้อมูลไว้แล้ว และผู้วิจัยไปทำการรวบรวมข้อมูลเหล่านั้นเพื่อมาทำการวิเคราะห์ในประเด็นที่ต้องการศึกษา

ข้อดีของข้อมูลทุติยภูมิ คือ ผู้วิจัยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย ไม่เสียเวลาในการเก็บรวบรวมข้อมูล ดำเนินการกับข้อมูล และประมวลผลข้อมูล และใช้ในการศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงต่างๆ

ข้อเสียของข้อมูลทุติยภูมิ คือ ส่วนใหญ่จะไม่ทันสมัยเพราะใช้เวลาในการเก็บรวบรวมและพิมพ์เผยแพร่รายละเอียดของเนื้อหาข้อมูลอาจไม่ตรงกับที่ต้องการศึกษา และไม่ทราบว่าข้อมูลที่มีอยู่นั้นมีกระบวนการเก็บข้อมูลที่น่าเชื่อถือมากน้อยเพียงใด

การเก็บรวบรวมข้อมูลมีหลายวิธีด้วยกัน ที่นิยมใช้กันมากมี 5 วิธีดังนี้

1. การเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการค้นคว้าจากเอกสาร (Documentary or Library Method)
2. การเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสังเกต (Observation Method)
3. การเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสัมภาษณ์ (Interview Method)
4. การเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการใช้แบบทดสอบ (Test Method)
5. การเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการส่งแบบสอบถาม (Questionnaire Method)

ในการเลือกใช้เครื่องมือที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ข้อมูลตามความต้องการนั้น ควรเลือกให้สอดคล้องกับตัวแปรที่ต้องการวัด หรือเลือกให้ตรงกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย และกรอบแนวคิด ซึ่งเครื่องมือนั้นจะต้องมีความเชื่อถือ

2.2.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการค้นคว้าจากเอกสาร

การเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการค้นคว้าจากเอกสาร (Documentary or Library Method) เป็นการเก็บรวมรวบข้อมูลเมื่อแรกเริ่มทำการวิจัย โดยผู้วิจัยต้องศึกษาผลงานที่เกี่ยวข้องจากเอกสารสิ่งพิมพ์ หรือค้นคว้าจากห้องสมุด เพื่อนำมาประกอบการวิจัย การศึกษาเอกสารจะช่วยในการกำหนดประเด็น ตัวแปรที่ศึกษา และแนวคิด รวมทั้งนำมาใช้วิเคราะห์ข้อมูลได้ การเก็บรวบรวมข้อมูลจากเอกสาร จึงเป็นการค้นคว้าจากแหล่งที่มีปรากฏอยู่แล้ว หรือเป็นข้อมูลชนิดปฐมภูมิ (ธีรวุฒิ เอกะกุล, 2550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 การเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสังเกต

การสังเกตเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูล ซึ่งต้องใช้ตัวบุคคลมาทำหน้าที่สังเกตพฤติกรรมของกลุ่มที่ทำการวิจัย หรือสังเกตในสิ่งที่ทำการวิจัย ด้วยการใช้ตาและหูเป็นเครื่องมือสำคัญในการเฝ้าติดตามดูพฤติกรรมของบุคคลหรือกลุ่มคนที่ใช้ในการศึกษาวิจัย เมื่อได้พฤติกรรมที่สังเกตแล้วจึงใช้วิธีการจดบันทึกข้อมูลต่อไป

2.2.4 การเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสัมภาษณ์

การสัมภาษณ์เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลแบบเผชิญหน้า (Face to Face Contact) ระหว่างผู้ที่ต้องการทราบเรื่องราวเรียกว่า ผู้สัมภาษณ์ (Interviewer) กับผู้ที่ให้เรื่องราวเรียกว่า ผู้ให้สัมภาษณ์หรือผู้ถูกสัมภาษณ์ (Interviewee) ซึ่งอาจกระทำโดยใช้คำพูด ท่าทาง เครื่องหมาย และความรู้สึกที่แสดงออกทางสีหน้า และอื่นๆ การสัมภาษณ์เป็นวิธีการที่ได้ข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือและเจาะลึกข้อมูลได้ดีกว่าการใช้แบบสอบถาม

2.2.5 การเก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้วิธีแบบทดสอบ

แบบทดสอบเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยอีกประเภทหนึ่ง ที่ใช้รวบรวมข้อมูลเพื่อการวิจัยเชิงบรรยายและเชิงทดลอง เพื่ออธิบายการวัดกลุ่มตัวอย่าง และเปรียบเทียบพฤติกรรมของคน ซึ่งอาจวัดทางด้านสมอง (Cognitive Domain) ด้านอารมณ์ (Affective Domain) หรือด้านการเคลื่อนไหวทางร่างกาย (Psychomotor Domain) ของผู้ที่ถูกทดสอบ กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการศึกษาวิจัยเครื่องมือประเภทนี้คือนักเรียน นักศึกษา เท่านั้น ไม่นิยมใช้แบบทดสอบกับกลุ่มคนอาชีพอื่นๆ หรือผู้ไม่มีความรู้ (ธีรวุฒิ เอกะกุล, 2550)

2.2.6 การเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการส่งแบบสอบถาม

แบบสอบถามเป็นเครื่องมือวิจัยที่นิยมใช้กันมาก เนื่องจากสามารถเก็บรวบรวมข้อมูลได้จำนวนมากๆ ครอบคลุมพื้นที่ทำการวิจัยได้กว้างไกล (บุญธรรม กิจปรีดาบริสุทธิ์, 2524) แบบสอบถามจะเก็บข้อมูลจากบุคคลโดยเฉพาะความรู้สึก หรือความคิดเห็นและอารมณ์เป็นเครื่องมือที่เขียนข้อคำถามเป็นข้อความเพื่อให้ผู้ตอบคำถามได้พิจารณาตอบคำถาม โดยอาจกรอกหรือกาเครื่องหมายในช่องที่เตรียมไว้ให้ ถ้าต้องการสอบถามความคิดเห็นกว้างๆ อาจเปิดโอกาสให้ผู้ตอบได้อธิบายได้ตามต้องการในช่องที่เตรียมไว้ให้ ลักษณะสำคัญของแบบสอบถามคือไม่มีคำตอบที่ถือว่าผิด มักสร้างขึ้นเพื่อใช้เฉพาะกรณีหรือเฉพาะเรื่อง

2.2.6.1 <u>ประเภทของแบบสอบถาม</u>

ประเภทของแบบสอบถามที่นิยมใช้กันอยู่นั้นมีอยู่ 2 รูปแบบ คือ

1. แบบสอบถามปลายปิด (Closed Form) แบบสอบถามประเภทนี้ ผู้วิจัยถามคำถามโดยกำหนดคำตอบไว้เรียบร้อยแล้ว ให้ผู้ตอบแบบสอบถามเลือกคำตอบจากที่กำหนดเท่านั้น แบบสอบถามปลายเปิดนี้ใช้ได้กับข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับข้อเท็จจริง หรือเกี่ยวกับความคิดเห็นที่มีลักษณะเห็นได้ง่าย สามารถใช้ในกรณีที่ต้องการคำตอบของคนจำนวนมาก

2. แบบสอบถามปลายเปิด (Open Form) แบบสอบถามประเภทนี้จะเปิดโอกาสให้ผู้ตอบแบบสอบถามแสดงความคิดเห็นในการตอบอย่างอิสระ ไม่จำกัดคำตอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.6.2 ลักษณะของแบบสอบถาม

แบบสอบถามที่ใช้เป็นเครื่องมือในการวิจัย มีลักษณะของแบบสอบถามที่สำคัญๆ 3 ส่วน ดังนี้

1. ข้อมูลเกี่ยวกับรายละเอียดส่วนตัว (Personal data) เป็นข้อมูลที่ต้องการให้ผู้ตอบแบบสอบถามตอบปัญหาส่วนตัวที่ผู้วิจัยต้องการทราบ การถามรายละเอียดส่วนตัวในเรื่องใด ขึ้นอยู่กับตัวแปรที่วิจัยว่าต้องการศึกษาตัวแปรใดบ้าง

2. ข้อมูลที่เป็นความคิดเห็น (Opinionnaire Data) เป็นข้อมูลที่ต้องการให้ผู้ตอบแบบสอบถามตอบเกี่ยวกับความคิดเห็น ดังนั้นการแสดงความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามจึงอยู่ในลักษณะของการวัดเจตคติ (Attitude) การวัดเจตคติซึ่งเป็นส่วนที่ 2 ของแบบสอบถามมีลักษณะที่สำคัญๆ ดังนี้

2.1 เจตคติ หมายถึง พฤติกรรมหรือความรู้สึกทางด้านจิตใจที่มีต่อสิ่งเร้าหนึ่งในสังคม รวมทั้งเป็นความรู้สึกที่เกิดจากการเรียนรู้ เกี่ยวกับสิ่งเร้าหรือเกี่ยวกับประสบการณ์เรื่องใดเรื่องหนึ่ง (ธีรวุฒิ เอกะกุล, 2550)

2.2 วิธีเขียนข้อความวัดเจตคติ จะมีเครื่องมีที่ใช้วัดเจตคติ หรือที่เรียกว่ามาตรการวัดเจตคติ (Attitude Scale) ซึ่งจะประกอบด้วยข้อความหรือคำถาม ทำหน้าที่เป็นตัวเร้าให้บุคคลแสดงความคิดเห็นหรือความรู้สึกออกมา ดังนั้นการวัดเจตคติจะได้ผลถูกต้องน่าเชื่อถือมากน้อยเพียงใด การเขียนข้อความเพื่อวัดเจตคติของบุคคลจึงเป็นเรื่องสำคัญที่จะต้องพิจารณา โดยยึดหลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้

1) ใช้ข้อความที่กล่าวถึงเหตุการณ์ หรือเรื่องราวที่เป็นปัจจุบัน เพราะจะช่วยให้ทราบเจตคติของบุคคลนั้นในสภาวะปัจจุบัน

2) หลีกเลี่ยงข้อความที่ถามข้อเท็จจริงเกี่ยวกับเรื่องนั้น เพราะจะกลายเป็นการตอบสนองตามความเป็นจริง ทำให้ไม่ทราบความรู้สึก หรือความคิดเห็นของบุคคล

3) ข้อความที่ใช้ต้องสามารถบ่งบอกทิศทางและระดับความรู้สึกของบุคคลได้ ข้อความที่ดีจึงถามความคิดเห็นคุณค่าคุณลักษณะของสิ่งของเหล่านั้น

4) ข้อความมีความชัดเจน มีความหมายแน่นอน ไม่ใช้ภาษาคลุมเครือ

5) ข้อความหนึ่งๆ ควรถามความคิดเห็นเพียงอย่างเดียว ถ้ามีหลายความคิดเห็นในข้อความเดียวกันจะกลายเป็นข้อความที่กำกวม

6) ข้อความที่ใช้ควรมีลักษณะกลางๆ ไม่โน้มเอียงไปทางใดทางหนึ่ง เพื่อให้ผู้ตอบแบบสอบถามแสดงความคิดเห็นได้ทั้งทางบวกและทางลบ

7) หลีกเลี่ยงข้อความที่อาจแสดงความคิดเห็นได้ หรือไม่เกี่ยวข้องกับประเด็นที่พิจารณา

2.3 เครื่องมือที่ใช้งานวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์ที่สำคัญๆ ดังนี้

1) การวัดเจตคติตามวิธีลิเคิร์ท (Likert Scale) วิธีนี้ เจตคติมีลักษณะการกระจายแบบโค้งปกติ (Normal Curve) ด้วยการนำข้อความที่สร้างขึ้นไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่าง ไม่ต้องให้คณะผู้ตัดสินพิจารณาและกำหนดการให้คะแนนโดยใช้เกณฑ์เบี่ยงเบนมาตรฐานให้คะแนนช่วงความรู้สึกเท่าๆ กัน เป็น 5 ช่วงต่อเนื่อง เรียกว่า Arbitary Weighting Method ได้แก่ เห็นด้วยอย่างยิ่ง เห็นด้วย ไม่แน่ใจ หรือเฉยๆ ไม่เห็นด้วย และไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง ให้คะแนนเป็น 5, 4, 3, 2, 1 สำหรับข้อความทางบวก ส่วนข้อความทางลบในระดับความคิดเห็นเดียวกัน ให้คะแนนเป็น 1, 2, 3, 4, 5 ซึ่งได้ผลไม่ต่างกัน และพบว่ามีค่าสหสัมพันธ์สูงถึง 0.99 กับค่าคะแนนที่กำหนดเป็นจำนวนเต็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การวัดเจตคติตามวิธีของออสกูด (Osgood Scale) มีชื่อเรียกโดยทั่วไปว่า มาตรวัดเจตคติโดยใช้ความหมายทางภาษา วิธีนี้มีลักษณะคล้ายกับการหาความหมายของมโนทัศน์ (Concept) โดยอาศัยคำคุณศัพท์ที่ใช้อธิบายคุณลักษณะของสิ่งเร้าในลักษณะเป็นคำตรงกันข้ามอย่างมีเหตุผล (Logical Opposite) โดยทั่วไปสเกลแบบ Semantic Differential จะประกอบด้วยข้อให้เลือก 7 ข้อ โดยให้กลุ่มบุคคลที่ศึกษาประเมินค่า (Rate) เกี่ยวกับสิ่งใดสิ่งหนึ่ง ซึ่งอาจเป็นสถานที่ บุคคล เหตุการณ์ เป็นต้น การประเมินค่า นั้น ใช้คำคุณศัพท์ซึ่งตรงกันข้ามกันและมีลำดับของความมากน้อย (Degree) จากด้านหนึ่งไปสู้อีกด้านหนึ่งรวมทั้งหมด 7 อันดับ คำคุณศัพท์ที่ใช้ประกอบด้วยองค์ประกอบที่สำคัญ 3 องค์ประกอบ คือ องค์ประกอบด้านประเมินค่า องค์ประกอบด้านศักยภาพ องค์ประกอบด้านกิจกรรม

3. ข้อมูลเป็นคำถามปลายเปิด (Open Data) เป็นคำถามส่วนสุดท้ายของแบบสอบถาม ต้องการให้ผู้ตอบแบบสอบถามตอบข้อเสนอแนะและอื่นๆ ผู้ตอบมีอิสระในการเขียนตอบตามความคิดเห็นของตน การวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนนี้ ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลในภาพรวมเพื่อดูแนวโน้มของผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ ว่ามีความคิดเห็นเป็นไปแนวใด

2.2.6.3 <u>หลักการสร้างแบบสอบถาม</u>

การสร้างแบบสอบถาม มีหลักการสร้างที่สำคัญๆ ดังนี้

1. ข้อความที่ใช้เป็นคำถามในแต่ละข้อไม่ยาวจนเกินไป
2. แต่ละคำถามจะต้องเขียนให้ชัดเจนและเข้าใจง่าย
3. คำถามที่ใช้ต้องไม่ทำให้ผู้ตอบเกิดความรู้สึกอึดอัดใจ หรือเกิดความละอาย
4. คำถามที่ใช้ต้องยั่วยุให้ผู้ตอบอยากตอบแบบสอบถาม
5. การใช้ภาษาในตัวคำถามจะต้องถูกต้องตามหลักไวยากรณ์
6. ต้องถามแต่เรื่องสำคัญ และผู้ตอบแบบมองเห็นความสำคัญนั้น
7. คำตอบที่ได้จากแบบสอบถามเมื่อนำมารวมเข้าด้วยกันแล้ว ควรจะตอบปัญหาตามที่แบบสอบถามนั้นต้องการศึกษาอย่างแท้จริง
8. คำถามที่ใช้ ต้องไม่ทำให้ผู้ตอบรู้สึกสงสัย หรือกังวลใจว่าคำตอบของเขาจะมีผลกระทบต่อผู้ถาม
9. คำถามแต่ละข้อผู้ตอบอ่านแล้วเข้าใจได้ทันทีว่าจะต้องตอบอะไร
10. แบบสอบถามได้จัดเรียงลำดับแล้วว่า เรื่องอะไร ควรอยู่ช่วงไหนของแบบสอบถาม

2.2.6.4 <u>ข้อดีของการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยวิธีการส่งแบบสอบถาม</u>

1. ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย เมื่อมีประชากรจำนวนมากและอยู่กระจัดกระจาย
2. ผู้ตอบแบบสอบถามมีอิสระในการตอบ ทำให้ได้คำตอบที่จริงใจ
3. ช่วยให้ได้ข้อมูล (Primary Data) ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญมาก ทั้งยังใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล
4. ไม่มีความลำเอียง คำตอบเป็นของผู้ตอบที่ให้ข้อมูลเอง
5. ผู้ตอบมีเวลานานเพียงพอที่จะหาคำตอบที่แน่ใจจริงๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.6.5 ข้อเสียของการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยวิธีการส่งแบบสอบถาม

1. ไม่มีปฏิสัมพันธ์โดยตรงกับผู้ตอบแบบสอบถาม จึงไม่อาจแน่ใจว่าได้ข้อมูลที่มาจากความตั้งใจของผู้ตอบแบบสอบถามหรือไม่

2. อาจได้รับแบบสอบถามกลับคืนมาจำนวนน้อยเกินไป ทำให้ข้อสรุปที่ได้จากการวิจัยมีความเชื่อถือน้อยลง

3. ผู้ตอบอาจละเลยในการตอบ หรือขาดการพิจารณาในการตอบให้รอบคอบ หรือให้บุคคลอื่นตอบแบบสอบถามแทน

4. ไม่สามารถใช้กับคนที่ไม่มีการศึกษาได้ หรือผู้ที่มีการศึกษาแต่เป็นเรื่องที่เขาไม่สนใจแล้ว มักไม่ให้ความร่วมมือ

5. เสียเวลานานในการเก็บรวบรวมข้อมูล เนื่องจาก แบบสอบถามส่งกลับคืนมาช้า

2.2.7 การตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย จะนิยมตรวจสอบด้วยการหาค่าความเที่ยงตรง (Validity) ความเชื่อมั่น (Reliability) ความเป็นปรนัย (Objective) ค่าความยาก (Difficult) ค่าอำนาจจำแนก (Discrimination) และประสิทธิภาพ (Efficiency) เพื่อตรวจสอบว่า เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยนั้นๆ มีคุณภาพความน่าเชื่อถือมากน้อยเพียงใด มีสิ่งที่ควรพิจารณาดังต่อไปนี้ (ธีรวุฒิ เอกะกุล, 2550)

1. ความเที่ยงตรง (Validity) หมายถึง การวัดได้ตรงตามสิ่งที่ต้องการจะศึกษา ความเที่ยงตรงในการวิจัยทางสังคมศาสตร์มีดังนี้

1.1 ความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) เป็นการพิจารณาความสอดคล้องกันของข้อความในเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ว่าสร้างข้อคำถามได้ตรงตามตัวแปรที่ใช้ในการวิจัยหรือไม่ ผู้พิจารณาความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา นิยมใช้ผู้เชี่ยวชาญ (Expert) จำนวนไม่น้อยกว่า 3 คน เป็นผู้หาค่าความสอดคล้องของข้อคำถามกับตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย ผู้ที่เป็นผู้เชี่ยวชาญคือผู้ที่มีความรู้ความสามารถ หรือเชี่ยวชาญเรื่องที่ผู้วิจัยกำลังทำการวิจัยอยู่ การหาค่าความสอดคล้องของข้อคำถามกับตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย ใช้การหาค่าเฉลี่ย (Mean) ของค่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญข้อคำถามที่มีความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา ต้องมีค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 0.75 ขึ้นไป จึงจะถือว่าเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยนั้นมีความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา เป็นที่ยอมรับในทางวิจัยได้

1.2 ความเที่ยงตรงเชิงโครงสร้าง (Construct Validity) เป็นการพิจารณาว่าเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยนั้นๆ สร้างเครื่องมือได้ตรงตามทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยเรื่องนั้นๆ หรือไม่

1.3 ความเที่ยงตรงเชิงสภาพ (Concurrent Validity) เป็นการพิจารณาเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ด้วยการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของกลุ่มที่ใช้ในการศึกษาวิจัยกับเครื่องมือที่ใช้เก็บข้อมูล ว่ามีความสัมพันธ์กันระดับใด ถ้ามีความสัมพันธ์ต่อกันสูงจึงจะถือว่าเครื่องมือที่ใช้นั้นมีความเที่ยงตรงเชิงสภาพ

1.4 ความเที่ยงตรงเชิงพยากรณ์ (Predictive Validity) เป็นการทำนายลักษณะของกลุ่มที่ทำการศึกษาวิจัยในอนาคต ว่าเมื่อทดสอบด้วยเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยแล้ว ภายภาคหน้ากลุ่มที่ทำการศึกษาวิจัย จะเป็นไปตามการคาดคะเนที่ได้จากการใช้เครื่องมือในการวิจัยนั้นๆ หรือไม่ เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่ง ถ้าหากทำนายผลได้ถูกต้องจริงจึงจะถือว่าเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยนั้นๆ มีความเที่ยงตรงเชิงพยากรณ์จริง

การเลือกใช้ความเที่ยงตรงประเภทใดขึ้นอยู่กับลักษณะของข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูล ประเภทของเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย และวัตถุประสงค์ของเรื่องนั้นๆ เป็นสำคัญ ซึ่งเทคนิคและเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำเป็นต้องหาค่าความเที่ยงตรงอย่างน้อย 1 ประเภท เพื่อให้ทราบว่าเทคนิคและเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยเรื่องนั้นๆ มีคุณภาพเพียงพอที่จะเชื่อถือได้มากน้อยเพียงใด

2. ความเชื่อมั่น (Reliability) หมายถึง ความสามารถของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยฉบับนั้นเมื่อนำไปวัดหรือทดสอบสิ่งที่ทำการวิจัยกี่ครั้งก็ตาม ยังคงให้ผลลัพธ์หรือค่าคงที่เสมอ การหาค่าคุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยด้านความเชื่อมั่นนี้ มีวิธีการหาค่าความเชื่อมั่นได้หลายวิธี การจะเลือกใช้วิธีการหาค่าความเชื่อมั่นวิธีใดก็ตาม ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การวิจัยสภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย และลักษณะของข้อมูลว่าเป็นลักษณะอย่างไร วิธีหาค่าความเชื่อมั่นที่นิยมใช้มีด้วยกัน 5 วิธี ดังนี้

2.1 วิธีสอบซ้ำ (Test – Retest Method) เป็นวิธีการนำเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยไปทดสอบกับกลุ่มที่ศึกษาจำนวน 2 ครั้ง ด้วยเครื่องมือฉบับเดียวกันทั้งสองครั้งกับกลุ่มที่ศึกษากลุ่มเดิมทั้งสองครั้งในระยะเวลาห่างกันประมาณ 2 สัปดาห์ เพื่อให้กลุ่มที่ศึกษาจำข้อความในเครื่องมือที่ใช้วิจัยไม่ได้ การหาค่าความเชื่อมั่นด้วยวิธีการสอบซ้ำนี้ กลุ่มที่ศึกษาจะต้องได้รับการทดสอบทั้งสองครั้ง ถ้าหากคนใดคนหนึ่งในกลุ่มที่ศึกษาได้รับการทดสอบเพียงครั้งเดียว ก็ให้ตัดข้อมูลของคนที่ไม่ได้รับการทดสอบทั้งสองครั้งออกไป ไม่นำข้อมูลมาพิจารณา การหาค่าความเชื่อมั่นแบบสอบซ้ำ การหาค่าเชื่อมั่นแบบสอบซ้ำใช้วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson Product Moment Correlation Coefficient) มีสูตรดังนี้

$$r_{tt} = \frac{N\Sigma XY - \Sigma X\Sigma Y}{\sqrt{\left[N\Sigma X^2 - \left(\Sigma X^2\right)\right]\left[N\Sigma Y^2 - \left(\Sigma Y^2\right)\right]}} \qquad (2.3)$$

เมื่อ

r_{tt}	หมายถึง	ค่าความเชื่อมั่น (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์)
N	หมายถึง	จำนวนคนที่ใช้ในการเก็บข้อมูล
X	หมายถึง	คะแนนสอบจากการสอบครั้งแรก
Y	หมายถึง	คะแนนสอบจากการสอบครั้งหลัง
ΣX	หมายถึง	ผลรวมของคะแนนสอบจากการสอบครั้งแรก
ΣY	หมายถึง	ผลรวมของคะแนนสอบจากการสอบครั้งหลัง
ΣX^2	หมายถึง	ผลรวมกำลังสองของคะแนนสอบจากการสอบครั้งแรก
ΣY^2	หมายถึง	ผลรวมกำลังสองของคะแนนสอบจากการสอบครั้งหลัง
ΣXY	หมายถึง	ผลรวมของผลคูณระหว่างคะแนนสอบครั้งแรกกับครั้งหลัง

2.2 วิธีการทดสอบคู่ขนาน (Parallel Form Method) เป็นการหาค่าความเชื่อมั่นด้วยการใช้เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยที่เป็นแบบทดสอบจำนวน 2 ฉบับ ทดสอบกับกลุ่มที่ศึกษาในระยะเวลาที่ต่อเนื่องกัน แบบทดสอบจำนวน 2 ฉบับดังกล่าว จะต้องมีจำนวนข้อที่เท่ากัน วัดความรู้ความสามารถของผู้ถูกทดสอบในเรื่องเดียวกันเป็นคู่ๆ มีค่าสถิติทุกอย่างเท่ากัน และวัดในเนื้อหาเดียวกัน แต่ทั้งสองจะใช้เครื่องมือในการวิจัยที่ต่างกัน คำถามและตัวเลือกตอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ก็ต่างกัน การคำนวณหาค่าความเชื่อมั่นด้วยวิธีนี้ ใช้สูตรหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน เช่นเดียวกับวิธีการสอบซ้ำ

2.3 วิธีการแบ่งครึ่ง (Split Half Method) เป็นการหาค่าความเชื่อมั่นด้วยการใช้เครื่องมือในการวิจัยจำนวน 1 ฉบับ สอบครั้งเดียว แต่การตรวจให้คะแนนจะแบ่งการตรวจแบบข้อคู่กับข้อคี่ หรือการตรวจแบบครึ่งแรกครึ่งหลังก็ได้ ซึ่งการหาค่าความเชื่อมั่นโดยวิธีนี้นิยมใช้กับเครื่องมือในการวิจัยที่เป็นแบบทดสอบ โดยต้องใช้สูตรในการคำนวณ 2 สูตรที่ต่อเนื่องกัน สูตรแรกเป็นการหาค่าความเชื่อมั่นครึ่งฉบับใช้สูตรของเพียร์สัน แต่สัญลักษณ์ที่ใช้หน้าตัวสูตรจะใช้ว่า r_{hh} เมื่อได้ค่าคำนวณแล้วต้องใช้สูตรที่สองเพื่อปรับขยายให้เป็นความเชื่อมั่นเต็มฉบับ ซึ่งเป็นสูตรของสเปียร์แมน (Spearman Brown) เรียกว่าสูตรปรับขยายความเชื่อมั่นเต็มฉบับ มีสูตรดังนี้

$$r_{tt} = \frac{2r_{hh}}{1 + r_{hh}} \qquad (2.4)$$

เมื่อ r_{tt} หมายถึง ความเชื่อมั่นเต็มฉบับ

r_{hh} หมายถึง ความเชื่อมั่นครึ่งฉบับ

2.4 วิธีของคูเดอร์ (Kuder Richardson Method) เป็นการหาค่าความเชื่อมั่นด้วยการใช้เครื่องมือในการวิจัยจำนวน 1 ฉบับ สอบครั้งเดียวกับกลุ่มที่ศึกษา แต่การตรวจให้คะแนน ถ้าตอบได้จะให้ 0 คะแนน ตอบถูกจะให้ 1 คะแนน ซึ่งเป็นวิธีการหาค่าความเชื่อมั่นโดยวิธีนี้นิยมใช้กับเครื่องมือในการวิจัยที่เป็นแบบทดสอบ สูตรในการคำนวณหาค่าความเชื่อมั่นด้วยวิธีนี้มีจำนวน 2 สูตร คือสูตร 2.5 และสูตร 2.6

$$r_{tt} = \frac{k}{k-1}\left[1 - \frac{\sum pq}{S^2}\right] \qquad (2.5)$$

$$r_{tt} = \frac{k}{k-1}\left[1 - \frac{\bar{X}\left(k - \bar{X}\right)}{kS^2}\right] \qquad (2.6)$$

เมื่อ k หมายถึง จำนวนข้อสอบ

$\bar{X}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของคะแนนสอบ

$\sum pq$ หมายถึง ผลรวมสัดส่วนของคนที่ตอบถูกคูณกับคนที่ตอบผิด

S^2 หมายถึง ความแปรปรวนแบบทดสอบ

2.5 วิธีของครอนบาค (Cronbach Method) เป็นการหาค่าความเชื่อมั่นด้วยการใช้เครื่องมือในการวิจัยจำนวน 1 ฉบับ เก็บข้อมูลครั้งเดียวกับกลุ่มที่ศึกษา แต่การตรวจให้คะแนนใน 1 ข้อ จะมีคะแนนได้มากกว่า 1 คะแนน ซึ่งวิธีการหาค่าความเชื่อมั่นโดยวิธีนี้นิยมใช้กับเครื่องมือในการวิจัยที่เป็นแบบสอบถาม สูตรในการคำนวณหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

114489

ค่าความเชื่อมั่นโดยวิธีนี้ใช้สูตรการหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา (Alpha Coefficient) สัญลักษณ์ในการหาค่าเชื่อมั่นโดยวิธีนี้ใช้ว่า α มีสูตรดังนี้

$$\alpha = \frac{n}{n-1}\left[1 - \frac{\sum s_i^2}{s_t^2}\right] \qquad (2.7)$$

เมื่อ α หมายถึง ค่าความเชื่อมั่น

n หมายถึง จำนวนข้อในแบบสอบถาม

$\sum s_i^2$ หมายถึง ผลรวมความแปรปรวนแต่ละข้อ

s_t^2 หมายถึง ความแปรปรวนแบบสอบถามทั้งฉบับ

ค่าความเชื่อมั่นของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยที่มีค่าความน่าเชื่อถือ จะต้องมีค่าคำนวณได้ตั้งแต่ 0.80 ขึ้นไป จึงจะถือว่าเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยนั้นๆ มีความเชื่อมั่นสูงเพียงพอจะเชื่อถือได้จริง

การหาค่าความเชื่อมั่นของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ให้เลือกใช้วิธีการหาค่าความเชื่อมั่นเพียงวิธีเดียวเท่านั้น ไม่จำเป็นต้องหาค่าความเชื่อมั่นให้ครบทั้ง 5 วิธี การเลือกใช้วิธีการหาค่าความเชื่อมั่นวิธีใด ขึ้นอยู่กับลักษณะของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย และลักษณะของข้อมูลที่ทำการศึกษาวิจัย

3. ความเป็นปรนัย (Objective) หมายถึง คุณสมบัติสำคัญของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย มี 3 ลักษณะ ดังนี้

3.1 คำถามชัดเจน กลุ่มที่ศึกษาอ่านข้อความในเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยแล้ว มีความเข้าใจตรงกันทั้งหมดว่าต้องการถามอะไร ให้ตอบเครื่องมือด้วยวิธีใด

3.2 การตรวจให้คะแนนจากเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย มีความคงที่ในการให้คะแนน ไม่ว่าจะให้ใครตรวจให้คะแนน ก็ตรวจให้คะแนนได้ตรงกันเหมือนกันทุกคน

3.3 การแปลความหมายคะแนนเหมือนกัน ถ้าใช้แบบทดสอบเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ผู้ถูกทดสอบทำถูกก็ให้ 1 คะแนน ถ้าทำผิดก็ให้ 0 คะแนน

4. ความยาก (Difficulty) หมายถึง ค่าสถิติที่ได้จากการใช้แบบทดสอบในการวิจัย ที่มีจำนวนผู้ตอบถูกและตอบผิดมีจำนวนพอๆ กัน ถ้าคนส่วนมากตอบถูกก็จะเป็นข้อสอบที่ง่ายเกินไป และถ้าคนส่วนมากตอบผิดก็จะเป็นข้อสอบที่ยากเกินไป เกณฑ์ในการตัดสินข้อสอบที่เป็นแบบทดสอบ มีสูตรที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความยาก ดังนี้

$$p = \frac{R_H + R_L}{N_H + N_L} \qquad (2.8)$$

เมื่อ p หมายถึง ค่าความยากของข้อสอบ

R_H หมายถึง จำนวนคนที่ตอบข้อนั้นถูกในกลุ่มสูง

R_L หมายถึง จำนวนคนที่ตอบข้อนั้นถูกในกลุ่มต่ำ

N_H หมายถึง จำนวนคนในกลุ่มสูง

N_L หมายถึง จำนวนคนในกลุ่มต่ำ

ค่าความยากมีเกณฑ์ในการพิจารณาดังนี้ (ธีรวุฒิ เอกะกุล, 2550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 ค่าความยากที่พอเหมาะ ต้องมีค่าความยาก (p) อยู่ระหว่าง 0.20 - 0.30 จึงจะถือว่าข้อสอบนั้นๆ มีค่าความยากพอเหมาะในการวิจัย

4.2 ถ้าค่าความยากมีค่า p ยิ่งมากเท่าไร ถือว่าเป็นข้อสอบที่ง่ายเกินไป

4.3 ถ้าค่าความยากมีค่า p ยิ่งน้อยเท่าไร ถือว่าเป็นข้อสอบที่ยากเกินไป

4.4 ค่าความยากของข้อสอบที่ดีที่สุด ถือว่ามีความยากปานกลาง คือค่า p เท่ากับ 0.50

5. อำนาจจำแนก (Discrimination) หมายถึง ความสามารถในการแบ่งแยกคนเก่งและคนอ่อนที่ได้ใช้เครื่องมือในการวิจัย จากการที่ข้อสอบนั้นสามารถจำแนกได้ว่า คนไหนเป็นคนเก่งหรือไม่เก่ง นั่นคือ ข้อสอบข้อใดที่มีอำนาจจำแนก คนเก่งจะทำถูก คนไม่เก่งจะทำผิด มีสูตรที่ใช้ในการคำนวณหาค่าอำนาจจำแนก ดังนี้

5.1 กรณีเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเป็นแบบทดสอบ มีสูตรคำนวณหาค่าอำนาจจำแนก ดังนี้

5.1.1 กรณีคำตอบของข้อสอบเป็นตัวถูก ใช้สูตรดังนี้

$$r = \frac{R_H - R_L}{N_H} \qquad (2.9)$$

เมื่อ r หมายถึง ค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบ

R_H หมายถึง จำนวนคนที่ตอบข้อนั้นถูกในกลุ่มสูง

R_L หมายถึง จำนวนคนที่ตอบข้อนั้นถูกในกลุ่มต่ำ

N_H หมายถึง จำนวนคนในกลุ่มสูง

5.1.2 กรณีคำตอบของข้อสอบเป็นตัวลวง ใช้สูตรดังนี้

$$r = \frac{R_L - R_H}{N_H} \qquad (2.10)$$

เมื่อ r หมายถึง ค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบ

R_H หมายถึง จำนวนคนที่ตอบข้อนั้นถูกในกลุ่มสูง

R_L หมายถึง จำนวนคนที่ตอบข้อนั้นถูกในกลุ่มต่ำ

N_H หมายถึง จำนวนคนในกลุ่มสูง

ค่าอำนาจจำแนก (r) ของข้อสอบมีหลักเกณฑ์ในการพิจารณาดังนี้

1) ค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบมีค่า r อยู่ระหว่าง -1.00 ถึง 1.00

2) ถ้าค่าอำนาจจำแนกมากๆ (ค่า r เข้าใกล้ 1.00) ถือว่าข้อสอบข้อนั้นจำแนกคนเก่งและคนอ่อนได้จริง นั่นคือคนเก่งส่วนใหญ่ตอบข้อสอบข้อนั้นๆ ถูก ขณะที่คนอ่อนส่วนใหญ่ตอบข้อสอบข้อนั้นๆ ผิด

3) ถ้าค่าอำนาจจำแนกติดลบ (ค่า r เป็นลบ) ถือว่าข้อสอบข้อนั้นจำแนกคนกลับข้าง นั่นคือคนเก่งส่วนใหญ่ตอบข้อนั้นๆ ผิด ขณะที่คนอ่อนส่วนใหญ่ตอบข้อสอบข้อนั้นๆ ถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ถ้าค่าอำนาจจำแนกเป็นศูนย์ (ค่า r เป็น 0) ถือว่าข้อสอบข้อนั้นไม่มีอำนาจจำแนก นั่นคือ ไม่สามารถจำแนกได้ว่าใครเป็นคนเก่งหรือคนอ่อนได้

5) ตัวเลือกในแบบทดสอบที่เป็นตัวถูก ควรมีค่าอำนาจจำแนก ตั้งแต่ 0.20 ขึ้นไป จึงจะถือว่าเป็นข้อสอบที่ดี

6) ตัวเลือกในแบบทดสอบที่เป็นตัวลวง ควรมีค่าอำนาจจำแนก ตั้งแต่ 0.05 ขึ้นไป จึงจะถือว่าเป็นข้อสอบที่ดี

5.2 กรณีเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเป็นแบบสอบถาม การพิจารณาว่าข้อความที่สร้างขึ้นว่ามีอำนาจจำแนกหรือไม่ ให้พิจารณาจากค่าอำนาจจำแนก (D) โดยใช้วิธีของ Normal Deviate Rating ซึ่งหาจากผู้ตอบนั่นเอง โดยให้คะแนนตามน้ำหนักที่ให้ แล้วเรียงคะแนนของผู้ตอบทั้งหมดจากสูงไปหาต่ำ แล้วใช้ 25% สูง และ 25% ต่ำ มาเป็นตัวแทนของผู้ตอบทั้งหมดในการประเมินค่าที่แสดงค่าคิดเห็น หรือเจตคติในเรื่องที่ถามในแบบสอบถาม จากนั้นทำการวิเคราะห์คำถามทีละข้อ ด้วยการหาค่าเฉลี่ย และความแปรปรวน ด้วยสูตรดังนี้

$$t = \frac{\overline{X_H} - \overline{X_L}}{\sqrt{\frac{S_H^2}{N_H} + \frac{S_L^2}{N_L}}} \qquad (2.11)$$

เมื่อ

$\overline{X_H}$	หมายถึง	คะแนนเฉลี่ยของน้ำหนักกลุ่มสูง
$\overline{X_L}$	หมายถึง	คะแนนเฉลี่ยของน้ำหนักกลุ่มต่ำ
S_H^2	หมายถึง	ค่าความแปรปรวนของน้ำหนักกลุ่มสูง
S_L^2	หมายถึง	ค่าความแปรปรวนของน้ำหนักกลุ่มต่ำ
N_H	หมายถึง	จำนวนผู้ตอบจาก 25% กลุ่มสูง
N_L	หมายถึง	จำนวนผู้ตอบจาก 25% กลุ่มต่ำ

ค่า t ที่ได้เป็นค่าวัดหรือเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มสูงและกลุ่มต่ำ ของแต่ละข้อในแบบสอบถาม ถ้ามีค่า t ตั้งแต่ 1.75 ขึ้นไป เครื่องชี้ว่าคำตอบของกลุ่มสูงและกลุ่มต่ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หมายถึงคำถามข้อนั้นมีอำนาจจำแนกสูงเป็นที่เชื่อถือได้ และถือว่าข้อความในแบบสอบถามข้อนั้นๆ มีอำนาจจริง เมื่อวิเคราะห์ข้อคำถามแต่ละข้อแล้ว สามารถเลือกเฉพาะค่า t ที่มีค่าสูงๆ เพื่อจัดพิมพ์เป็นแบบสอบถามที่สามารถนำไปวัดหรือสำรวจเจตคติในเรื่องนั้นๆ ได้อย่างมั่นใจต่อไป

6. ประสิทธิภาพ (Efficiency) หมายถึง ประโยชน์ต่างๆ ที่มีจำนวนน้อย แต่มีคุณภาพเทียบเท่าจำนวนมากๆ ได้ มีหลักเกณฑ์ในการพิจารณาดังนี้

6.1 การใช้จำนวนข้อความน้อยๆ ที่สามารถวัดได้ครอบคลุมเนื้อหาเทียบเท่าข้อความที่มีมากข้อได้

6.2 การใช้เวลาน้อยๆ แต่สามารถได้ผลเทียบเท่าการใช้เวลาในการทดสอบมากๆ ได้

6.3 การลงทุนในการสร้างเครื่องมือในการวิจัยที่ลงทุนน้อยแต่ได้ผลคุ้มค่าเทียบเท่าการลงทุนมากๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การตัดสินใจโดยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

ในงานวิจัยนี้ หลังจากผู้วิจัยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลผลสำรวจทัศนคติด้านคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอลกับผู้ใช้งานแล้ว ผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลเหล่านั้นด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process, AHP) เพื่อออกแบบเครื่องยิงลูกบอลให้มีคุณลักษณะตรงตามความต้องการของผู้ใช้งานให้มากที่สุด กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ เป็นกระบวนการที่ช่วยการตัดสินใจในประเด็นของปัญหาที่มีความซับซ้อนให้มีความง่ายขึ้น โดยเลียนแบบกระบวนการตัดสินใจทางธรรมชาติของมนุษย์ (วิฑูรย์ ตันศิริคงคล, 2542) กระบวนการนี้ได้ถูกคิดค้นเมื่อปลายทศวรรษที่ 1970 โดยศาสตราจารย์ โทมัส ซาตตี้ (Thomas L.Saaty) กระบวนการนี้ได้มีการนำไปประยุกต์ใช้ในเรื่องที่เกี่ยวกับการตัดสินใจอย่างแพร่หลาย เช่น การตัดสินใจเกี่ยวกับการดำเนินงานทางธุรกิจ ได้แก่ การสั่งซื้อวัตถุดิบ การเลือกสถานที่ในการประกอบการ การกำหนดกลยุทธ์ทางการตลาด เป็นต้น

2.3.1 ลักษณะของกระบวนการตัดสินใจที่ดี

กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพ มีลักษณะดังนี้

1. ให้ผลการสำรวจน่าเชื่อถือ เนื่องจากใช้วิธีการเปรียบเทียบเชิงคู่ในการตัดสินใจ

2. มีโครงสร้างที่เป็นแผนภูมิลำดับชั้น เลียนแบบกระบวนความคิดของมนุษย์ ทำให้ง่ายต่อการใช้งานและง่ายต่อการทำความเข้าใจ

3. ผลลัพธ์ที่ได้เป็นปริมาณตัวเลข ทำให้ง่ายต่อการจัดลำดับความสำคัญ และสามารถนำผลลัพธ์ดังกล่าวไปเปรียบเทียบ (Benchmarking) กับหน่วยงานอื่นๆ ได้

4. มีความสอดคล้องกันของเหตุผล

5. สามารถขจัดการตัดสินใจแบบมีอคติหรือลำเอียงออกไปได้

6. ก่อให้เกิดการประนีประนอมและการสร้างประชามติ

7. ไม่จำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญพิเศษมาควบคุมชี้นำ

2.3.2 ขั้นตอนของกระบวนการตัดสินใจที่มีเหตุผล

กระบวนการตัดสินใจที่มีเหตุผล มีอยู่ 6 ขั้นตอน ดังนี้

1. ให้คำจำกัดความของประเด็นปัญหา ผู้วิจัยต้องเข้าใจประเด็นสำคัญหรือประเด็นหลักของปัญหาอย่างถ่องแท้ และพยายามหลีกเลี่ยงสมมติฐานที่ไม่ถูกต้อง หรือความลำเอียงในทางเลือกใดทางเลือกหนึ่ง

2. กำหนดเกณฑ์หรือปัจจัยในการตัดสินใจที่เป็นทั้งรูปธรรมและนามธรรม เนื่องจากแต่ละทางเลือกมีจุดเด่นและจุดด้อยแตกต่างกันและระดับความพึงพอใจในเกณฑ์ที่เป็นรูปธรรมและนามธรรมของแต่ละบุคคลไม่เท่ากัน ดังนั้นเกณฑ์ในการตัดสินใจจะเป็นเครื่องชี้นำว่าผู้ตัดสินใจมีความพอใจในทางเลือกใด

3. วินิจฉัยเปรียบเทียบเกณฑ์หรือปัจจัยในการตัดสินใจ เนื่องจากแต่ละบุคคลมีระดับความพึงพอใจไม่เท่ากัน จึงจำเป็นต้องทำการวินิจฉัยเปรียบเทียบหาลำดับความสำคัญของเกณฑ์หรือปัจจัยต่างๆ ที่ใช้ประกอบการตัดสินใจ โดยใช้เหตุผล

4. กำหนดทางเลือก ตัวแปรที่สำคัญที่สุดในการกำหนดทางเลือก คือ เวลา การตัดสินใจที่ดีจึงไม่ควรใช้เวลาแสวงหาทางเลือกเพื่อนำมาวินิจฉัยในกระบวนการตัดสินใจมากเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. วินิจฉัยเปรียบเทียบหรือจัดอันดับทางเลือกต่างๆ ภายใต้เกณฑ์ในการตัดสินใจแต่ละเกณฑ์ เนื่องจากเป็นการวินิจฉัยคาดการณ์สิ่งที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ดังนั้นผู้วิจัยจะต้องฝึกฝนความสามารถในการประมวนผลกระทบที่คาดว่าจะเกิดในอนาคตโดยปราศจากอคติ ทั้งนี้เพื่อให้การวินิจฉัยที่จะมีในอนาคตมีความถูกต้อง สมบูรณ์ และแม่นยำ

6. คำนวณหาทางเลือกที่ดีที่สุด โดยนำลำดับในแต่ละทางเลือกมาคูณกับลำดับความสำคัญในแต่ละเกณฑ์หรือปัจจัย แล้วนำผลคูณนั้นมารวมกันซึ่งจะเป็นค่าลำดับความสำคัญรวม ทางเลือกที่มีค่าลำดับความสำคัญรวมสูงที่สุด หรือน้ำหนักสูงที่สุด จะได้รับเลือก

2.3.3 วิธีการพิจารณาองค์ประกอบในการตัดสินใจของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

การพิจารณาองค์ประกอบนั้นเป็นสิ่งสำคัญอย่างมากในกระบวนการตัดสินใจ เพื่อการตัดสินใจที่มีเหตุผลที่ถูกต้อง ผู้วิจัยจึงต้องมีความระมัดระวังในการพิจารณาองค์ประกอบให้รอบคอบและอยู่ภายในกรอบที่ดี องค์ประกอบในการตัดสินใจมีอยู่ 4 ส่วน ดังนี้

1. ปัญหาหรือเป้าหมายในการตัดสินใจ
2. เกณฑ์ในการตัดสินใจ
3. ทางเลือก
4. ความเสี่ยงและความไม่แน่นอน

2.3.4 หลัก 3 ประการที่ใช้ในกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์เป็นกระบวนการตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพมาก เริ่มจากการเปรียบเทียบ "ความสำคัญ" ของเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจ เพื่อหา "น้ำหนัก" ของแต่ละเกณฑ์ก่อน หลังจากนั้นจึงนำ "ทางเลือก" ที่มีทั้งหมดมาประเมินผ่านเกณฑ์ดังกล่าว เพื่อจัดลำดับความสำคัญของแต่ละทางเลือก โดยมีขั้นตอนการปฏิบัติดังนี้

1. หลักการสร้างแผนภูมิลำดับชั้นหรือแบบจำลองของการตัดสินใจ (Hierarchical Structuring) จะช่วยให้ผู้วิจัยสามารถจัดรูปแบบความคิดที่เกี่ยวข้องกับเป้าหมายของการตัดสินใจที่มีความซับซ้อน ให้อยู่ในรูปขององค์ประกอบย่อยๆ ในแผนภูมิลำดับชั้นที่ง่ายแก่การเข้าใจ ดังในรูปที่ 2.2

รูปที่ 2.2 เป็นการแสดงแผนภูมิลำดับชั้นของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (สุธรรม อรุณ, 2552) โครงสร้างของแผนภูมินี้ประกอบไปด้วยองค์ประกอบ หรือปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจต่างๆ แผนภูมินี้มีลักษณะเป็นระดับชั้น จำนวนของระดับชั้นจะขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของการตัดสินใจ ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

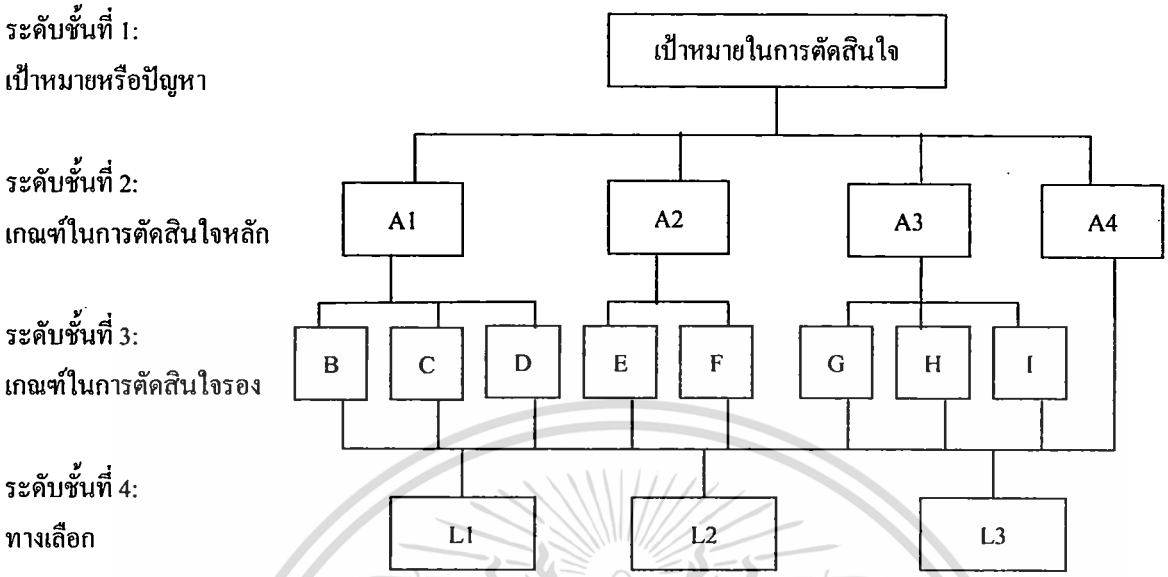
1) ระดับชั้นที่ 1 หรือระดับชั้นบนสุด แสดงเป้าหมายของการตัดสินใจ

2) ระดับชั้นที่ 2 แสดงถึงเกณฑ์การตัดสินใจหลัก ที่มีผลต่อเป้าหมายในการตัดสินใจนั้น

3) ระดับชั้นที่ 3 แสดงถึงเกณฑ์ย่อยของการตัดสินใจ ซึ่งจำนวนของเกณฑ์ย่อยจะขึ้นอยู่กับความชัดเจนของเกณฑ์หลัก (อาจไม่จำเป็นต้องมี ถ้าเกณฑ์หลักมีความชัดเจนเพียงพอ)

4) ระดับชั้นที่ 4 หรือระดับชั้นล่างสุด คือทางเลือกที่ผู้วิจัยนำมาพิจารณาผ่านเกณฑ์การตัดสินใจตามที่ได้กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แผนภูมิลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

2. การคำนวณหาลำดับความสำคัญ (Calculation of Relative Priority) เนื่องจากเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจแต่ละเกณฑ์นั้น มีความสำคัญต่อเป้าหมายในการตัดสินใจไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องหาน้ำหนัก "ความสำคัญ" ของแต่ละเกณฑ์ก่อนที่จะทำการประเมินทางเลือก โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) สร้างตารางเมตริกซ์เปรียบเทียบเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจเป็นรายคู่ ดังแสดงในตารางที่ 2.2 (สุธรรม อรุณ, 2552)

ตารางที่ 2.2 เมตริกซ์ที่ใช้แสดงการเปรียบเทียบเป็นคู่

เกณฑ์การตัดสินใจ		ปัจจัย			
		A1	**A2**	**A3**	**A4**
ปัจจัย	**A1**	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}
	A2	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}
	A3	a_{31}	a_{32}	a_{33}	a_{34}
	A4	a_{41}	a_{42}	a_{43}	a_{44}

โดยที่ a_{ij} คือ สมาชิกในแถวที่ i หลักที่ j ของเมตริกซ์ หมายถึง ผลการเปรียบเทียบความสำคัญระหว่างปัจจัย A_i และ A_j

2) กำหนดระดับความสำคัญสัมพัทธ์สำหรับการเปรียบเทียบรายคู่ เป็นการกำหนดตัวเลขหรือคะแนนของความสำคัญสัมพัทธ์ ตั้งแต่ 1 ถึง 9 เพื่อให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบ ดังแสดงในตารางที่ 2.3 (ชัยฤกษ์ ชัยสวัสดิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2552) ความสัมพันธ์จากการเปรียบเทียบรายคู่เหล่านี้แสดงให้เห็นถึงผลกระทบในเชิงเปรียบเทียบของปัจจัยต่างๆ ในแต่ละชั้นที่มีต่อปัจจัยที่อยู่ในลำดับที่สูงขึ้นไป

ตารางที่ 2.3 ระดับความสำคัญสัมพัทธ์สำหรับการเปรียบเทียบรายคู่

ระดับความสำคัญสัมพัทธ์	ค่าแสดงเป็นตัวเลข (Numerical Valve)
เท่ากัน (Equally Preferred)	1
เท่ากันถึงปานกลาง (Equally to Moderately Preferred)	2
ปานกลาง (Moderately Preferred)	3
ปานกลางถึงค่อนข้างมาก (Moderately to Strongly Preferred)	4
ค่อนข้างมาก (Strongly Preferred)	5
ค่อนข้างมากถึงมากกว่า (Strongly to Very Strongly Preferred)	6
มากกว่า (Very Strongly Preferred)	7
มากกว่าถึงมากกว่าที่สุด (Very Strongly to Extremely Preferred)	8
มากที่สุด (Extremely Preferred)	9

3) นำทางเลือกที่กำหนดไว้ในขั้นตอนที่ 1) มาทำการประเมินผ่านเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจ เมื่อผู้วิจัยเปรียบเทียบปัจจัยทั้งหมดแล้ว จะได้ค่าคะแนนความสำคัญเปรียบเทียบหรือคะแนนออกมา การเปรียบเทียบนี้จะทำกับปัจจัยต่างๆ ในทุกลำดับชั้นของแผนภูมิ เริ่มจากลำดับชั้นบนสุดไล่ลงมาจนชั้นล่างสุด เพื่อจัดลำดับความสำคัญของทางเลือก คะแนนความสำคัญรวมจะเป็นเกณฑ์ในการกำหนดทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด แต่ทั้งนี้ไม่ได้หมายความว่าทางเลือกอื่นๆ ที่มีคะแนนความสำคัญน้อยจะถูกตัดทิ้งไป เพราะในอนาคตเมื่อสถานการณ์เปลี่ยนไป ทางเลือกที่มีคะแนนความสำคัญรวมน้อยกว่าก็อาจจะมีลำดับความสำคัญสูงกว่าก็ได้

2.3.5 การวัดความสอดคล้องกันของเหตุผล

การวัดความสอดคล้องของเหตุผล (Logical Consistency) เป็นการยืนยันกระบวนการตัดสินใจอย่างมีเหตุผลว่าความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบต่างๆ จากการเปรียบเทียบรายคู่มีความสอดคล้องกันมากน้อยเพียงใด กลไกที่ AHP ใช้ในการตรวจสอบการเปรียบเทียบรายคู่ว่ามีเหตุผลหรือไม่นั้น ได้แก่ มาตรฐานความสอดคล้องของเหตุผลของการเปรียบเทียบ ถ้าการเปรียบเทียบเบี่ยงเบนไปจากค่ามาตรฐานจนเกินกว่าค่าที่ยอบรับได้ นั่นหมายถึงการเปรียบเทียบต้องมีการปรับปรุง หรือปรับโครงสร้างแผนภูมิตามลำดับชั้นใหม่ ความสอดคล้องนี้จะถือว่าสมบูรณ์เมื่อการเปรียบเทียบปัจจัยทุกๆ ปัจจัย มีการเชื่องโยงกันอย่างถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์ แต่เนื่องจากคนทั่วไปมักถูกบีบคั้นด้วยเวลาและความไม่เข้าใจในข้อมูลข่าวสารที่จะมาช่วยในการตัดสินใจ หรืออาจมีความรู้สึกอคติ ทำให้ไม่สามารถตัดสินใจได้อย่างมีเหตุผล 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น คนทั่วไปจึงตัดสินใจด้วยเหตุผลที่เพียงพอและยอมรับได้ภายใต้เงื่อนไขของข้อมูลและเวลาที่เกิดขึ้น ณ ขณะนั้น (วิฑูรย์ ตันศิริมงคล, 2542)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยเหตุนี้ AHP จึงจำเป็นต้องกำหนดมาตรฐานของความสอดคล้องกันของเหตุผล เพื่อกำหนดให้ความเบี่ยงเบนของเหตุผลนั้นอยู่ในระดับที่จะสามารถยอมรับได้ ซึ่งจำเป็นและสำคัญมากต่อการตัดสินใจที่เกี่ยวข้องกับเรื่องที่เป็นนามธรรม AHP วัดค่าความสอดคล้องกันของเหตุผลจากอัตราส่วนความสอดคล้อง (Consistency Ratio, CR) โดยทั่วไปการเปรียบเทียบรายคู่ควรมีค่า CR น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.10 หรือ 10 เปอร์เซ็นต์ ถ้า CR มีค่ามากกว่า 0.10 หรือ 10 เปอร์เซ็นต์ จะถือว่าการเปรียบเทียบไม่มีความสอดคล้องกัน และต้องปรับเปลี่ยนการเปรียบเทียบใหม่

การคำนวณหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (Consistency Index, CI) และอัตราส่วนความสอดคล้อง (Consistency Ratio, CR) สามารถหาได้จากสมการ

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \qquad (2.12)$$

$$CR = \frac{CI}{R} \qquad (2.13)$$

เมื่อ n หมายถึง จำนวนปัจจัยหรือองค์ประกอบที่ทำการเปรียบเทียบ ซึ่งอยู่ในระดับชั้นเดียวกัน

R หมายถึง ค่าความสอดคล้องแบบสุ่มเฉลี่ย (Average Random Consistency) ซึ่งหาค่าได้จากตารางที่ 2.4 (ณัฐรัตน์ บุญญาวินิชย์, 2543)

ตารางที่ 2.4 ค่าความสอดคล้องแบบสุ่มเฉลี่ย

ขนาดของตารางการเปรียบเทียบรายคู่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ค่า R	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

ขั้นตอนในการดำเนินการของวิธี AHP โดยใช้หลักการ 3 ประการ มีดังนี้

1. นิยามปัญหา และเป้าหมายในการตัดสินใจ

2. กำหนดลำดับชั้นในการตัดสินใจในแผนภูมิ โดยเริ่มจากลำดับชั้นบนสุด (เป้าหมายในการตัดสินใจ) ลงมาเรื่อยๆ ที่ลำดับชั้นกลาง (ปัจจัยหลักและปัจจัยรอง) และลงมาที่ลำดับชั้นล่างสุด (ทางเลือก)

3. สร้างตารางเมตริกซ์เปรียบเทียบเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจเป็นรายคู่ (ขนาด n x n) สำหรับองค์ประกอบต่างๆ ที่อยู่ในแต่ละลำดับชั้นในแผนภูมิ โดยคะแนนหรือตัวเลขที่ปรากฏในตารางเมตริกซ์เปรียบเทียบเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจเป็นรายคู่นี้ได้แก่ คะแนนความสำคัญสัมพัทธ์จากตารางที่ 2.3

4. จากขั้นตอนที่ 3 สามารถคำนวณจำนวนครั้งที่ต้องเปรียบเทียบเป็นรายคู่ ดังนี้

$$\text{จำนวนครั้งที่ต้องเปรียบเทียบ} = \frac{n(n-1)}{2} \qquad (2.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ n หมายถึง จำนวนปัจจัยหรือองค์ประกอบที่ทำการเปรียบเทียบ ซึ่งอยู่ในระดับชั้นเดียวกัน

5. ตรวจสอบความสอดคล้องของการเปรียบเทียบรายคู่ โดยเริ่มต้นจากการคำนวณค่าดัชนีความสอดคล้อง ส่วนขั้นตอนการคำนวณค่า λ_{max} จะนำเสนอตัวอย่างการคำนวณในบทที่ 4 และความสอดคล้องของการตัดสินใจจะวัดจากค่าอัตราส่วนความสอดคล้อง

6. ดำเนินการตามข้อ 3-5 ขององค์ประกอบในทุกๆ ลำดับชั้นในแผนภูมิ

7. กำหนดค่าคะแนนความสำคัญในแต่ละปัจจัย พร้อมทั้งคำนวณหาค่าคะแนนความสำคัญในแต่ละทางเลือก เพื่อกำหนดทางเลือกในการตัดสินใจที่ดีที่สุด

การคำนวณค่าต่างๆ เหล่านี้ ผู้วิจัยจะนำเสนอตัวอย่างของการคำนวณในบทที่ 4 ต่อไป

2.4 การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ

ในงานวิจัยนี้ หลังจากผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ข้อมูลผลสำรวจทัศนคติด้านคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอล โดยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แล้ว ผู้วิจัยจะทำการหาความต้องการทางเทคนิคของผลิตภัณฑ์ด้วยการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ เพื่อออกแบบเครื่องยิงลูกบอลให้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้งานให้มากที่สุด การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment, QFD) เป็นวิธีการหนึ่งที่ได้รับความนิยมอย่างมากในการรวบรวมความต้องการของลูกค้า (Customer Need) หรือเสียงเรียกร้องของลูกค้า (Voice of Customer, VOC) เพื่อนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ หรือปรับปรุงผลิตภัณฑ์เดิมให้ได้ตรงตามความต้องการของลูกค้า ทำให้การถ่ายทอดความต้องการระหว่างลูกค้ากับผู้วิจัยและระหว่างผู้วิจัยเอง เข้าใจตรงกันมากขึ้น ส่งผลให้การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์เป็นไปอย่างรวดเร็ว ผลิตภัณฑ์ที่ได้ตรงตามความต้องการของลูกค้า และมีต้นทุนในการดำเนินงานโดยรวมลดต่ำลงอีกด้วย

2.4.1 พื้นฐานการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ

วิธีการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพหรือ QFD นี้ ถูกพัฒนาขึ้นในประเทศญี่ปุ่น เมื่อช่วงประมาณทศวรรษ ที่ 60 โดย ดร.โยจิ เอโกะ จนกระทั่งประมาณปี ค.ศ.1972 ได้มีการนำเทคนิค QFD ไปใช้ ในการพัฒนาออกแบบเรือขนาดใหญ่ที่อู่ต่อเรือของบริษัทมิตซูบิชิเฮฟวี่อินดัสตรี (Mitsubishi Heavy Industries Co., Ltd.) ประเทศญี่ปุ่น แล้วประสบความสำเร็จ จึงเริ่มเป็นที่รู้จักมากขึ้น หลังจากนั้นประมาณปี ค.ศ.1980 บริษัทโตโยต้าประเทศญี่ปุ่นได้นำเทคนิคดังกล่าวนี้ มาประยุกต์ใช้กับผู้ผลิตชิ้นส่วนทั้งหมดที่ส่งให้ทางบริษัทเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ส่งมอบมีคุณภาพในทุกขั้นตอน ในแถบทวีปยุโรปและสหรัฐอเมริกา ได้นำเทคนิค QFD มาใช้ครั้งแรกประมาณ ค.ศ.1984 โดยบริษัท ฟอร์ด มอเตอร์ ซึ่งต่อมาได้พัฒนาเพิ่มขึ้นจนเป็นสถาบันที่ใช้ในการพัฒนาคุณภาพของผู้ผลิตชิ้นส่วนให้แก่ทางบริษัท หลังจากนั้นเทคนิคนี้ก็แพร่หลายอีกมากมายหลายบริษัท

ปัจจุบันเทคนิค QFD ยังมีหน่วยงานและองค์กรสำคัญที่เกี่ยวข้องตั้งขึ้นมากมายหลายองค์กร แต่ที่สำคัญๆนั้นมีอยู่ 2 องค์กรหลักๆ ได้แก่ สถาบัน American Supplier Institute (ASI) และ GOAL/QPC ที่ได้ตั้งขึ้นเพื่อให้การฝึกอบรม และให้คำปรึกษาทางด้านการใช้เทคนิค QFD ซึ่งทั้ง 2 สถาบันนี้มีรูปแบบการใช้โมเดล QFD ที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เล็กน้อย แต่โครงสร้างและวิธีการโดยรวมยังคงเหมือนกัน โดยทางสถาบัน ASI จะใช้ Basic four-Matrix ของสถาบัน Japan Reliability Engineering ส่วนทางด้าน GOAL/QPC นั้นใช้วิธีการ Multiple Matrix ที่พัฒนาโดย ดร. โยจิ เอโกะ สถาบันอเมริกันซัพพลายเออร์ (American Supplier Institute, ASI) ได้นิยามวิธีการ QFD ไว้ว่า QFD นั้นคือ "ระบบการถ่ายทอดความต้องการของลูกค้า ให้เป็นเป้าหมายที่เหมาะสมกับองค์กรในทุกๆ กระบวนการ ตั้งแต่ขั้นตอนของการเริ่มต้นวิจัยผลิตภัณฑ์ ออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ การผลิต การติดตั้ง การตลาด ไปจนถึงการขายและการบริการ" (อรรคเจตต์ อภิชจรศิลป์ และ ปริญญ์ บุญกนิษฐ, 2552)

จากคำนิยามนี้ ผู้วิจัยสามารถสรุปได้ว่าเทคนิคนี้ มีพื้นฐานมาจากการแปลงความต้องการของลูกค้า จากเสียงของลูกค้า ให้มาเป็นความต้องการทางด้านเทคนิคของผลิตภัณฑ์ และนำไปสู่คุณลักษณะทางด้านวิศวกรรม ต่อเนื่องไปเรื่อยๆ ทั้งกระบวนการ โดยอาศัยข้อมูลหลัก 2 ชนิดในการแปลง นั่นคือ วัตถุประสงค์ (Objective) ที่มักแทนด้วยคำถามว่าอะไร (WHATs) และคำตอบที่ต้องตอบให้ได้ว่าทำอย่างไรจึงจะสามารถตอบสนองได้ตามวัตถุประสงค์นั้น หรืออย่างไร (HOWs) นั่นเอง

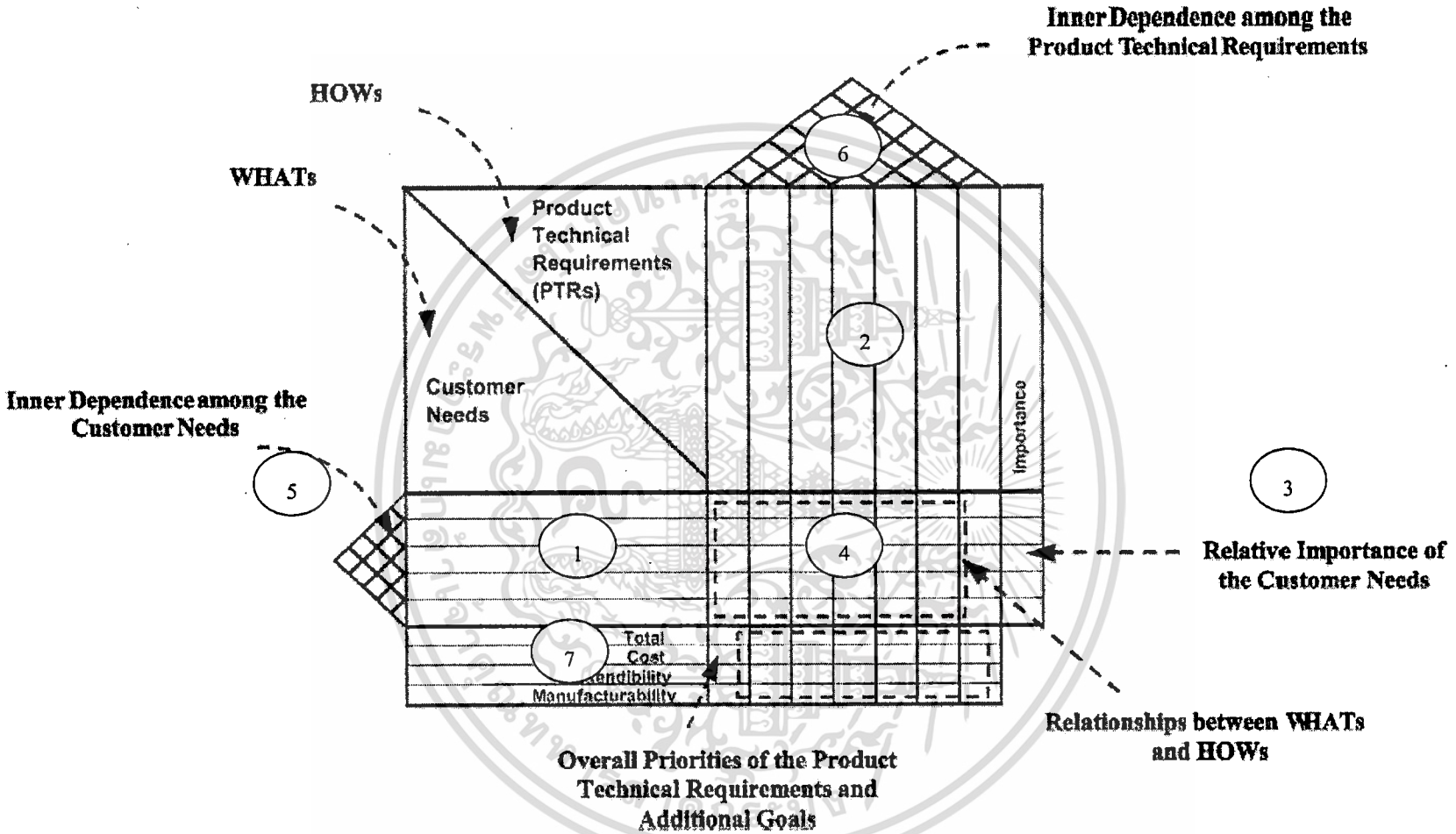
2.4.2 ความสำคัญของ QFD กับการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์

การนำเทคนิค QFD นี้ไปดำเนินการจนประสบความสำเร็จนั้น สิ่งสำคัญขึ้นอยู่กับการประสานงานที่ดีระหว่างผู้วิจัยด้วยกันเอง เพราะความเข้าใจผิดในการประสานงานเพียงเล็กน้อยก็อาจทำให้เกิดข้อผิดพลาดใหญ่หลวง QFD จะช่วยสื่อสารให้หน่วยงานอื่นทราบความต้องการของผู้วิจัย ซึ่งถือว่าเทคนิคนี้เป็นเครื่องมือที่ช่วยสื่อสารข้ามสายงานที่ดี นอกจากนี้เทคนิคนี้ยังช่วยในการรักษาระดับความใกล้ชิดที่มีกับลูกค้าให้มากขึ้น เนื่องจากผู้วิจัยจะสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้า ด้วยการถ่ายทอดความเข้าใจกับความต้องการลูกค้าได้อย่างละเอียดชัดเจน

2.4.3 บ้านคุณภาพ

บ้านคุณภาพ (House of Quality, HOQ) หมายถึงการวางแผนความสัมพันธ์ของหน้าที่และการติดต่อประสานข้อมูล หรือเป็นการส่งความต้องการของผู้บริโภคไปเป็นหน้าที่ต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์กันในเมตริก ดังในรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 บ้านคุณภาพ

รูปที่ 2.3 (อรรคเจตต์ อภิชจรศิลป์ และ ปริญญ์ บุญกนิษฐ, 2552) แสดงถึงส่วนประกอบของบ้านคุณภาพ ซึ่งสามารถแบ่งได้ทั้งหมด 7 ส่วนด้วยกัน ดังนี้

1. ความต้องการของลูกค้า (Customer Need)

ส่วนนำเข้าของ HOQ นี้ก็คือ ความต้องการของลูกค้าหรือที่เรียกกันว่า VOC ซึ่งข้อมูลจะมาจากวิธีการที่หลากหลาย เช่น การสัมภาษณ์แบบกลุ่ม การตอบแบบสอบถาม หรือการเชิญกลุ่มลูกค้ามาให้การแนะนำหรือการสำรวจของฝ่ายการตลาด เป็นต้น ซึ่งข้อมูลที่ได้มาส่วนใหญ่เป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ (Qualitative Data) ดังนั้นจำเป็นต้องมีการจัดข้อมูลที่ได้เพื่อให้เกิดความสะดวกในการวิเคราะห์ข้อมูล ด้วยเครื่องมือทางด้านการจัดการคุณภาพจากเทคนิค 7 New QC Tools ที่เรียกว่า แผนภาพกิจกรรมและแผนภาพต้นไม้ (Activity Diagram and Tree Diagram) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

วิธีการของแผนภาพกิจกรรม คือ การแบ่งข้อมูลออกเป็นกลุ่มย่อยหลายๆ กลุ่ม ตามรูปแบบความคล้ายคลึงของข้อมูล โดยการสร้างลำดับชั้นให้กับข้อมูล ด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

1) นำความต้องการของลูกค้าโดยรวมเขียนลงบนกระดาษที่เตรียมไว้

2) แยกความต้องการของลูกค้าออกเป็นข้อๆ แล้วเขียนลงบนกระดาษสีขนาดเล็กข้อละ 1 แผ่น

3) นำความต้องการหนึ่งวางไว้ แล้วเลือกความต้องการถัดไปขึ้นมาเปรียบเทียบ ถ้าเหมือนหรือคล้ายคลึงกันให้นำไปวางไว้ด้านล่างของความต้องการแรก แต่ถ้ามีความแตกต่างกันให้ทำการแยกไว้ต่างหากอีกกลุ่ม

4) ทำจนครบความต้องการที่มีทั้งหมด

5) ทำการตั้งชื่อความต้องการในแต่ละกลุ่ม โดยชื่อควรครอบคลุมความต้องการในกลุ่มนั้นทั้งหมด

6) ทำจนครบทุกกลุ่ม

หลังจากได้กลุ่มของข้อมูลความต้องการจากแผนภาพกิจกรรมแล้ว ผู้วิจัยจะนำข้อมูลมาสร้างแผนภาพต้นไม้ให้ข้อมูลแบ่งแยกออกมาเหมือนกิ่งของต้นไม้ เพื่อความชัดเจนและสะดวกในการให้ลำดับชั้นต่อไป ในการนำเข้าสู่โมเดล HOQ

2. ความต้องการทางเทคนิคของผลิตภัณฑ์ (Product Technical Requirement, PTRs)

ความต้องการทางเทคนิคของผลิตภัณฑ์ หรือความต้องการในการออกแบบ ลักษณะทางวิศวกรรม หรือคุณลักษณะเฉพาะทางคุณภาพ ซึ่งสามารถใช้แผนภาพกิจกรรมและแผนภาพต้นไม้ มาช่วยในการจัดกลุ่มข้อมูลได้เช่นกัน แต่ลักษณะของข้อมูลจะมีรูปแบบเป็นภาษาทางด้านวิศวกรรมหรือเรียกว่า เสียงของบริษัท โดยจะมีความสัมพันธ์กับ VOC ซึ่งส่วนนำเข้าเป็นส่วนที่ลูกค้าบอกว่าต้องการอะไร และ PTRs จะเป็นคำตอบว่าจะทำได้อย่างไร (สุธรรม อรุณ, 2552)

3. ความสำคัญของความต้องการของลูกค้า (Relative Importance of the Customer Needs)

ความสำคัญของความต้องการของลูกค้า คือการกำหนดลำดับความสำคัญของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้กับผู้วิจัย โดยการเปรียบเทียบสภาพปัจจุบันกับคู่แข่งรายอื่นๆ ของลูกค้า เพื่อช่วยในการมองเห็นจุดด้อยและเร่งปรับปรุงให้สามารถแข่งขันกับคู่แข่งได้ โดยเมตริกซ์ส่วนนี้จะแสดงให้เห็นถึงรายละเอียด ดังนี้

1) ความต้องการนั้นๆ มีความสำคัญอย่างไร

2) ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ของผู้วิจัยมีความสามารถในระดับใดของความต้องการนี้

3) ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ของคู่แข่งมีความสามารถในระดับใดของความต้องการนี้

4) เป้าหมายของความสามารถเหล่านี้มีค่าเท่าใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ถ้าสามารถดำเนินการได้ตามเป้าหมายแล้ว จะสามารถช่วยให้ผลิตภัณฑ์เพิ่มยอดขายได้มากขึ้นหรือไม่

สำหรับวิธีการในการคำนวณค่าความสำคัญของความต้องการของลูกค้านี้ จำเป็นต้องใช้ข้อมูลต่างๆ ทั้งหมด 7 ค่าในการคำนวณดังรูปที่ 2.4 ข้อมูลต่างๆ 7 ค่า มีดังนี้ (อรรคเจตต์ อภิชจรศิลป์ และ ปริญญ์ บุญกนิษฐ, 2552)

1) ความสำคัญของความต้องการ เป็นค่าแสดงความสำคัญของหน้าที่ต่างๆ จากความต้องการที่หลากหลาย โดยมีค่าตั้งแต่ 1 - 5 โดยค่า 1 มีความสำคัญต่ำสุด และค่า 5 มีความสำคัญมากสุด

2) ความพึงพอใจของลูกค้า เป็นค่าที่วัดว่าปัจจุบันลูกค้ามีความพอใจต่อหน้าที่หรือปัจจัยเหล่านั้นในระดับใด โดยแบ่งออกเป็น 5 ระดับ คือสูงมาก สูง ปานกลาง ต่ำ และต่ำมาก ตามลำดับ แล้วจึงแปลงเป็นตัวเลขเพื่อให้ค่าเชิงคุณภาพนี้เป็นเชิงปริมาณ

3) ความพึงพอใจในการแข่งขัน เป็นค่าที่ใช้วัดเปรียบเทียบระหว่างผลิตภัณฑ์ของผู้วิจัยที่นำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ของคู่แข่ง มีค่าของวิธีการพิจารณาเช่นเดียวกับการพิจารณาความพึงพอใจของลูกค้า

4) เป้าหมายในการปรับปรุง เป็นการแสดงค่าที่ใช้กำหนดการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากผลิตภัณฑ์ปัจจุบันไปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ โดยตั้งค่าเป้าหมายวางไว้ เพื่อให้เห็นความแตกต่างและใช้กำหนดอัตราการปรับปรุงที่จะต้องทำต่อไป

5) อัตราการปรับปรุง เป็นการเปรียบเทียบค่าระหว่างเป้าหมายในการปรับปรุงกับค่าความพึงพอใจของลูกค้าที่มีในปัจจุบัน สามารถหาอัตราการปรับปรุงได้ดังนี้

$$\text{อัตราการปรับปรุง} = \frac{\text{ค่าของเป้าหมายในการปรับปรุง}}{\text{ความพึงพอใจของลูกค้าที่มีในปัจจุบัน}} \quad (2.15)$$

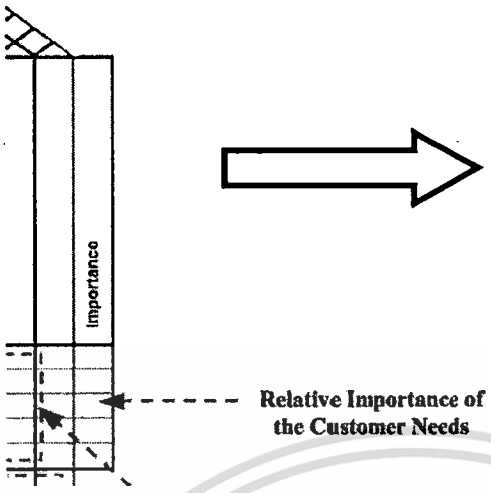
6) จุดขาย เป็นค่าที่ใช้เปรียบเทียบความสามารถของผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่ในปัจจุบัน กับความสามารถของผลิตภัณฑ์ที่ลูกค้าต้องการ

7) ลำดับที่ในการให้น้ำหนัก เป็นการคำนวณเพื่อแสดงลำดับความต้องการของลูกค้า โดยจะมีการคำนวณเป็นสองขั้นตอน คือขั้นตอนแรกเริ่มด้วยการหาค่าของลำดับในการให้น้ำหนักเริ่มต้น แล้วจึงหาค่าของลำดับการให้น้ำหนักมาตรฐาน ดังการคำนวณต่อไปนี้

$$\text{ลำดับที่ในการให้น้ำหนักเริ่มต้น} = \text{ความสำคัญของความต้องการ} \times \text{อัตราการปรับปรุง} \times \text{จุดขาย} \quad (2.16)$$

$$\text{น้ำหนักมาตรฐาน} = \frac{\text{ลำดับที่ในการให้น้ำหนักเริ่มต้น}}{\text{ผลรวมลำดับการให้น้ำหนักเริ่มต้น}} \quad (2.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



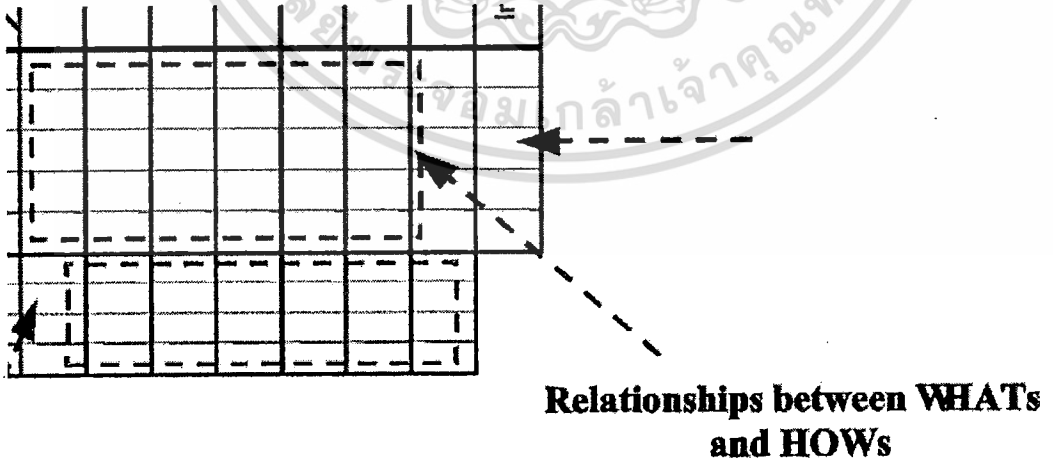
ความสำคัญของความต้องการ
ความพึงพอใจของลูกค้า
ความพึงพอใจในการแข่งขัน
เป้าหมายในการปรับปรุง
อัตราการปรับปรุง
จุดขาย
ลำดับที่ในการให้บริการ

รูปที่ 2.4 ค่าต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณความสำคัญ HOQ

4. <u>สัมพันธ์ระหว่างความต้องการของลูกค้ากับคุณลักษณะเฉพาะทางคุณภาพ</u>

ส่วนตรงกลางของ HOQ ใช้สำหรับแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของลูกค้ากับคุณลักษณะเฉพาะทางคุณภาพ (WHATs และ HOWs) ดังรูปที่ 2.5 (อรรคเจตต์ อภิชจรศิลป์ และ ปริญญ์ บุญกนิษฐ, 2552) โดยแบ่งออกเป็น 4 ระดับความสัมพันธ์ ดังนี้

ให้ระดับคะแนนเป็น	1	ถ้ามีระดับความสัมพันธ์น้อย
ให้ระดับคะแนนเป็น	3	ถ้ามีระดับความสัมพันธ์ปานกลาง
ให้ระดับคะแนนเป็น	9	ถ้ามีระดับความสัมพันธ์มาก
และ	ช่องว่าง	ถ้าไม่มีระดับความสัมพันธ์



รูปที่ 2.5 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของลูกค้ากับคุณลักษณะเฉพาะทางคุณภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ความสัมพันธ์ที่เกี่ยวเนื่องกันภายในระหว่างความต้องการของลูกค้า

โดยทั่วไป ความต้องการของลูกค้าจะมีความสัมพันธ์ภายในที่เกี่ยวเนื่องกันระหว่างความต้องการต่างๆ เหล่านั้น ซึ่งความสัมพันธ์ของความต้องการนี้มีส่วนสำคัญอย่างมากในเชิงของการระบุความต้องการเพื่อเชื่อมโยงว่า ความต้องการเหล่านั้นมีความสัมพันธ์กันเป็นพิเศษมากน้อยเพียงใดในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยแสดงระดับความสัมพันธ์เหมือนกับความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของลูกค้ากับคุณลักษณะเฉพาะทางคุณภาพ

6. ความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการทางเทคนิคของผลิตภัณฑ์ (Product Technical Requirement, PTRs)

ส่วนหลังคาบ้านแห่งคุณภาพใช้แสดงความสัมพันธ์ที่เกี่ยวของกันของความต้องการทางเทคนิคของผลิตภัณฑ์ (Product Technical Requirement, PTRs) ค่าความสัมพันธ์นี้ มีความสำคัญอย่างมากในการประสานงานและการติดต่อสื่อสารของผู้วิจัย โดยใช้กำหนดสัญลักษณ์ที่ค่าความสัมพันธ์ดังนี้

เป็น + เมื่อมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน

เป็น - เมื่อมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกัน

และ ช่องว่าง เมื่อไม่มีความสัมพันธ์

7. การวัดเปรียบเทียบสมรรถนะของความต้องการทางเทคนิคของผลิตภัณฑ์ (PTRs) และเป้าหมาย

ส่วนสุดท้ายของบ้านแห่งคุณภาพ คือการวัดเปรียบเทียบสมรรถนะของความต้องการทางเทคนิคของผลิตภัณฑ์และเป้าหมาย โดยจะเป็นการคำนวณผลลัพธ์ทั้งหมดที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้านี้ เพื่อเรียงลำดับความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิค ซึ่งในส่วนนี้จะประกอบด้วยการวัดผล 3 ส่วนด้วยกัน ได้แก่

1) ลำดับความสำคัญทางด้านคุณภาพ จะแสดงถึงความสำคัญของลักษณะทางคุณภาพนั้นๆ ต่อความพึงพอใจของลูกค้าโดยรวม ดังนั้นคุณลักษณะทางคุณภาพที่มีค่ามาก หมายถึงผู้วิจัยต้องให้ความสำคัญมากด้วย

2) การเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์กับคู่แข่ง เป็นส่วนที่แสดงการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ของผู้วิจัยกับผลิตภัณฑ์ของคู่แข่ง ว่าแต่ละลักษณะคุณภาพของผู้วิจัยและของคู่แข่งวัดได้ต่างกันมากน้อยเพียงใด

3) ค่าเป้าหมาย หมายถึงค่าที่กำหนดเชิงปริมาณเพื่อเป็นเป้าหมายให้กับผู้วิจัย พยายามพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ได้ตามจุดมุ่งหมายหรือดีกว่า โดยอาศัยขั้นตอนจากการศึกษาค่าความต้องการของลูกค้าที่ได้สูงสุดจากลำดับความสำคัญทางด้านคุณภาพ แล้วนำมาวิเคราะห์หาจุดแข็งของคู่แข่ง เพื่อปรับปรุงให้ดีกว่าคู่แข่ง

2.5 การออกแบบการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ หลังจากผู้วิจัยทำการหาความต้องการทางเทคนิคของผลิตภัณฑ์ด้วยการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพแล้ว ผู้วิจัยจะทำการศึกษาแผนการทดลองต่างๆ และออกแบบเครื่องยิงลูกบอลให้ครอบคลุมแผนการทดลองให้มากที่สุด เพื่อเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่ต้องการศึกษาหัวข้อการออกแบบการทดลอง (Design of Experiments, DOE) การออกแบบการทดลอง คือการทดสอบเพียงครั้งเดียวหรือต่อเนื่อง โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรนำเข้า (Input Variables) ในระบบหรือกระบวนการที่สนใจศึกษา เพื่อให้สามารถสังเกตและชี้ถึงสาเหตุต่างๆ อันจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ (Outputs or Responses) จากกระบวนการหรือระบบนั้น ตัวแปรนำเข้าจะถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่ควบคุมได้ เรียกว่า ตัวแปร (หรือปัจจัย) ที่ควบคุมได้ หรือออกแบบได้ และกลุ่มที่ไม่สามารถควบคุมได้ เรียกว่า ตัวแปร (หรือปัจจัย) ที่รบกวน การกำหนดตัวแปรที่ควบคุมได้และควบคุมไม่ได้ขึ้นอยู่กับระบบแต่ละระบบ ซึ่งโดยหลักแล้ว ตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้หรือตัวแปรรบกวน มักจะเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมในธรรมชาติ เช่น ลม ฝุ่น ส่วนของอุปกรณ์หรือระบบที่ยากแก่การควบคุม เป็นต้น เนื่องจากในการควบคุมต้องใช้ความระมัดระวังสูง เพราะเมื่อชำรุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาจส่งผลต่อต้นทุนค่าใช้จ่ายที่สูงมาก ส่วนตัวแปรที่ควบคุมได้ เช่น ที่มาวัตถุดิบ เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต เป็นต้น ในทุกกระบวนการสามารถระบุและบันทึกไว้เพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์ต่อไปได้ (ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, 2551)

2.5.1 ส่วนประกอบสำคัญของแผนการทดลอง

แผนการทดลองที่นำไปใช้ทดลองแล้วได้ข้อมูลที่มีคุณภาพ สามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์เพื่อผลสรุปที่ถูกต้องนั้น เรียกว่า Valid Experimental Design มีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน ดังนี้

1. การซ้ำ (Replicaton) หมายถึง การจัดทรีทเมนท์หนึ่งๆ ลงในหน่วยทดลองมากกว่าหนึ่งหน่วย ทั้งนี้ไม่จำกัดว่าทุกๆ ทรีทเมนต์จะต้องมีจำนวนซ้ำเท่ากัน แต่ส่วนใหญ่มักใช้จำนวนซ้ำเท่ากัน เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ผลทางสถิติ การทำซ้ำมีประโยชน์ดังนี้

1) สามารถประมาณค่าความคลาดเคลื่อนของการทดลองได้ (Experiment Error) ซึ่งนำไปสู่การวิเคราะห์ความแปรปรวน

2) เพิ่มความเที่ยงตรง (Accuracy) ของการทดลอง ค่าที่ได้จากการทดลองจะเป็นค่าของตัวอย่าง (Sample) ซึ่งจะใช้ประมาณค่าที่แท้จริงของประชากร เมื่อจำนวนซ้ำมากขึ้นจะทำให้จำนวนตัวอย่างที่นำมาใช้ในการคำนวณค่าสถิติมากขึ้น ค่าสถิติต่างๆ ที่ได้จากตัวอย่างจะใกล้เคียงกับค่าของประชากรมากยิ่งขึ้น ซึ่งถือว่าเป็นการเพิ่มความเที่ยงตรงของการทดลองหรือได้ค่าทางสถิติต่างๆ ที่ไม่ลำเอียงหรือมีอคติ เพิ่มความน่าเชื่อถือให้กับการทดลองนั้น

2. การสุ่ม (Randomization) เป็นการขจัดปัญหาความลำเอียง และได้ค่าประมาณความคลาดเคลื่อนที่เป็นไปตามข้อกำหนด

3. การควบคุมความคลาดเคลื่อน (Error Control or Local Control) ความสามารถในตรวจสอบพบความแตกต่างของทรีทเมนต์ได้อย่างแท้จริงนั้น เนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนของการทดลองต่ำนั่นเอง

ในการทดลองทุกครั้ง ผู้วิจัยต้องตรวจสอบให้มั่นใจว่าการทดลองที่กำลังดำเนินการอยู่ ประกอบด้วยส่วนประกอบครบทั้ง 3 ส่วนเพื่อหลีกเลี่ยงความยุ่งยากที่จะเกิดขึ้นภายหลังจากการดำเนินการทดลองที่เสร็จสิ้นแล้ว

2.5.2 ประเภทของแผนการทดลอง

แผนการทดลองแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. แผนการทดลองที่จัดทรีทเมนต์เป็นระบบ (Systematic Designs)

แผนการทดลองที่จัดทรีทเมนต์เป็นระบบนี้ เป็นแผนการทดลองที่จัดทรีทเมนต์ให้กับหน่วยทดลองโดยไม่คำนึงถึงหลักความน่าจะเป็น ทรีทเมนต์จะถูกจัดให้กับหน่วยทดลองเป็นระบบ เพื่อความสะดวกในการทดลอง ข้อเสียที่สำคัญของการทดลองประเภทนี้ คือผู้วิจัยไม่สามารถประมาณค่าความคลาดเคลื่อนของการทดลองที่ถูกต้องได้ และในบางกรณีอาจเกิดความเอนเอียงที่เป็นระบบ (Systematic Bias) ในการประเมินความแตกต่างระหว่างทรีทเมนต์

2. แผนการทดลองที่จัดทรีทเมนต์โดยการสุ่ม (Randomized Designs)

แผนการทดลองที่จัดทรีทเมนต์โดยการสุ่มนี้ เป็นการทดลองที่จัดทรีทเมนต์โดยคำนึงถึงกฎแห่งโอกาส (Law of Chance) กล่าวคือ ทุกทรีทเมนต์มีโอกาสเท่าเทียมกันที่จะกระทำกับหน่วยทดลองใดก็ได้ แผนการทดลองนี้จะทำให้ได้ข้อมูลที่สามารถนำเอาเทคนิคทางสถิติไปใช้วิเคราะห์ และนำไปใช้ในงานวิจัย แผนการทดลองที่จัดทรีทเมนต์โดยการสุ่มสามารถจำแนกออกได้หลายประเภทตามลักษณะต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) จำนวนปัจจัย (Factor) ที่ใช้เป็นทรีทเมนต์

2) ความจำเป็นในการจัดกลุ่มหน่วยทดลอง (Grouping) เพื่อขจัดความผันแปรในหน่วยทดลอง

3) จำนวนทรีทเมนต์ที่ใช้ทดลองเมื่อเทียบกับขนาดของกลุ่ม (Group Size) ของหน่วยทดลอง

จากลักษณะดังกล่าว ผู้วิจัยสามารถกำหนดแผนการทดลองที่จัดทรีทเมนต์โดยการสุ่มจะสามารถสรุปประเภทของแผนการทดลองและตัวอย่างชื่อแผนการทดลองในแต่ละประเภทได้ดังต่อไปนี้

1) ทรีทเมนต์มาจากปัจจัยเดียว

1.1) Completely Randomized Designs คือแผนการทดลองที่ไม่มีการจัดกลุ่มหน่วยทดลอง

1.2) Randomized Completely Block Designs คือแผนการทดลองที่มีการจัดกลุ่มหน่วยทดลองในทิศทางเดียว แต่ละกลุ่มสามารถใส่ได้ครบทุกทรีทเมนต์

1.3) Latin Square Design คือแผนการทดลองที่มีการจัดกลุ่มหน่วยทดลองในสองทิศทาง แต่ละกลุ่มสามารถใส่ได้ครบทุกทรีทเมนต์

1.4) Graeco-Latin Square Design คือแผนการทดลองที่มีการจัดกลุ่มหน่วยทดลองในสามทิศทาง แต่ละกลุ่มสามารถใส่ได้ครบทุกทรีทเมนต์

1.5) Balance and Partially Balance Incomplete Block Designs และ Balance and Partially Balance Lattice Designs คือแผนการทดลองที่มีการจัดกลุ่มหน่วยทดลองในทิศทางเดียว แต่ละกลุ่มไม่สามารถใส่ได้ครบทุกทรีทเมนต์

1.6) Youden Square Design และ Lattice Square Design คือแผนการทดลองที่มีการจัดกลุ่มหน่วยทดลองในสองทิศทาง แต่ละกลุ่มไม่สามารถใส่ได้ครบทุกทรีทเมนต์

2) ทรีทเมนต์มาจากหลายปัจจัย ปัจจัยถูกใช้ผสมกัน (Crossed) หน่วยทดลองมีขนาดเดียว

2.1) Factorial Experiment in any Designs คือการทดลองที่ไม่มีการจัดกลุ่มหน่วยทดลอง โดยแต่ละกลุ่มใส่ได้ครบทุกทรีทเมนต์

2.2) Confound Designs, Confound in Incomplete Blocks และ Confound in Latin Square คือแผนการทดลองที่มีการจัดกลุ่มหน่วยทดลอง โดยแต่ละกลุ่มใส่ได้ไม่ครบทุกทรีทเมนต์

3) แผนการทดลองประเภทอื่นๆ

3.1) Change-Over and Switchback Designs คือแผนการทดลองที่แต่ละหน่วยทดลองจะได้รับหลายทรีทเมนต์

3.2) Fractional Factorial Designs คือแผนการทดลองที่มีเฉพาะบางส่วนเท่านั้นที่ทำการซ้ำ

3.3) Response Surface Designs คือแผนการทดลองที่มีวัตถุประสงค์เฉพาะ

2.5.3 รายละเอียดของแต่ละแผนการทดลอง

แผนการทดลองที่ผู้วิจัยใช้ในการออกแบบเครื่องยิงลูกบอล มีด้วยกัน 7 แผนการทดลอง ดังนี้

1. แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD)

2. แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD)

3. แผนการทดลองแบบลาตินสแควร์ (Latin Square Design, LSD)

4. การทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Experiment)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. แผนการทดลองแบบสปลิทพอท (Split-plot Design)

6. แผนการทดลองแบบสุ่มซ้อน (Nested Square)

7. การออกแบบบล็อกไม่บริบูรณ์แบบได้ดุล

2.5.3.1 แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD)

แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์นี้เป็นแบบการทดลองที่ง่ายและสะดวกที่สุด การวางแผนการทดลองจะเริ่มจากนำทุกสิ่งทดลอง (Treatments) จัดลงในหน่วยทดลองโดยวิธีสุ่มแบบสมบูรณ์ กล่าวคือ การกำหนดสิ่งทดลองให้แก่หน่วยทดลองจะไม่มีข้อจำกัดหรือเงื่อนไขใดๆ ในการสุ่มทั้งสิ้น และความน่าจะเป็นที่หน่วยทดลองจะได้รับสิ่งทดลองใดๆ จะเท่ากัน เหมาะสำหรับใช้กับการทดลองที่หน่วยทดลองมีความสม่ำเสมอหรือเหมือนกันสามารถใช้กับการทดลองที่มีสิ่งทดลองจำนวนมากๆ และแต่ละสิ่งทดลองไม่จำเป็นจะต้องใช้หน่วยทดลองเท่ากัน หรือจำนวนซ้ำเท่ากัน

ข้อดีของแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ มี 5 ข้อ ดังนี้ (สิทธิชัย เจริญเศรษฐศิลป์, 2542)

1) ไม่จำกัดจำนวนสิ่งทดลองและหน่วยทดลอง

2) การสุ่มสิ่งทดลองให้แก่หน่วยทดลองจะทำได้ง่าย

3) ถ้ามีข้อมูลสูญหายจะไม่มีผลกระทบต่อการทดลอง

4) การวิเคราะห์ผลทางสถิติทำได้ง่าย

5) มีจำนวนองศาอิสระ (Degree of Freedom, df) ของความคลาดเคลื่อนมากกว่าแผนการทดลองแบบอื่น (จำนวนองศาอิสระยิ่งมากจะทำให้ค่าของความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนลดลง มีผลให้การทดลองมีความไวในการวัดความแตกต่างได้ดี มีความว่องไวในการเปรียบเทียบสูงขึ้น หรือสามารถวัดความแตกต่างเพียงเล็กน้อยระหว่างสิ่งทดลองได้ดีขึ้น)

ข้อเสียของแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ มี 2 ข้อดังนี้

1) หน่วยทดลองหรือวัตถุที่ใช้ในการทดลองจะต้องมีความสม่ำเสมอกัน ซึ่งหาได้ยากในการทดลองจริง

2) ความแม่นยำและความเที่ยงตรงของการทดลองไม่สูงนัก

2.5.3.2 แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD)

แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์นี้ เหมาะสมกับการทดลองที่หน่วยทดลองมีความผันแปรในหน่วยทดลองอยู่แล้วหนึ่งสาเหตุ (One-Directional) ก่อนจะกำหนดสิ่งทดลองให้ ดังนั้นเพื่อให้ความผันแปรที่เกิดขึ้นเป็นผลเนื่องจากสิ่งทดลองเพียงอย่างเดียว จึงต้องมีการควบคุมความผันแปรทางด้านหน่วยทดลอง โดยการจัดเป็นบล็อก หลักที่สำคัญที่สุดคือ การจัดให้หน่วยทดลองที่อยู่ในบล็อกเดียวกันมีความคล้ายคลึงกันมากที่สุด และหน่วยที่อยู่ต่างบล็อกกันมีความแตกต่างกันมากที่สุด ซึ่งแต่ละบล็อกจะต้องมีจำนวนสิ่งทดลองครบทุกสิ่งทดลอง (สิทธิชัย เจริญเศรษฐศิลป์, 2542) ลักษณะสำคัญของการวางแผนทดลองแบบ RCBD มี 4 ข้อ ดังนี้

1. หน่วยทดลองที่มีความสม่ำเสมอกัน จะถูกจัดรวมเข้าด้วยกันเป็นกลุ่มหรือบล็อก

2. จำนวนของหน่วยทดลองในแต่ละบล็อกจะเท่ากับจำนวนของสิ่งทดลองที่จะทำการทดลอง

3. แต่ละสิ่งทดลองจะเกิดขึ้นเพียงครั้งเดียวเท่านั้นในแต่ละบล็อก และควรมีหน่วยทดลองครบทุกสิ่งทดลอง

4. สิ่งทดลองจะถูกจัดลงในหน่วยทดลอง ในแต่ละบล็อกโดยวิธีการสุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ มี 2 ข้อ ดังนี้

1) การจัดบล็อกเป็นการเพิ่มความแม่นยำ เนื่องจากการนำแหล่งของความแปรปรวนหนึ่งอย่างออกจากความคลาดเคลื่อนของการทดลอง ทำให้สามารถวัดอิทธิพลของสิ่งทดลองได้ดีขึ้นหรือละเอียดขึ้น

2) ทำการวิเคราะห์เชิงสถิติได้ง่าย

ข้อเสียแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ มี 4 ข้อ ดังนี้

1) เมื่อมีข้อมูลสูญหาย จะทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลยุ่งยากขึ้น เพราะต้องทำการประมาณค่าของข้อมูลที่สูญหายเสียก่อน

2) หากกำหนดสิ่งทดลองให้แก่หน่วยทดลองไม่ถูกต้อง จะทำให้เกิดความยุ่งยากในการวิเคราะห์ได้

3) ประสิทธิภาพของแผนการทดลองจะลดลงเมื่อจำนวนสิ่งทดลองและขนาดของบล็อกใหญ่ขึ้น

4) ถ้าหน่วยทดลองมีความสม่ำเสมอกัน แผนการทดลองแบบ CRD จะมีประสิทธิภาพสูงกว่า RCBD

2.5.3.3 แผนการทดลองแบบลาตินสแควร์ (Latin Square Design, LSD)

แผนการทดลองแบบลาตินสแควร์ เป็นแผนการทดลองที่เหมาะสำหรับใช้ในกรณีที่หน่วยทดลองมีความแตกต่างกัน 2 ทิศทาง (การจัดสิ่งทดลองลงในบล็อกเป็นสองทางคือ บล็อกทั้งแถวแนวนอนและบล็อกทั้งแนวตั้ง) ลักษณะที่สำคัญของการวางแผนการทดลองแบบ LSD มีดังนี้ (วิทยา บัวเจริญ, 2536)

1. การจัดบล็อกของหน่วยทดลองจะทำทั้งในแนวนอน (Row) และในแนวตั้ง (Column) พร้อมกันในเวลาเดียวกัน

2. จำนวนสิ่งทดลอง = จำนวนซ้ำ = จำนวนแถว = จำนวนคอลัมน์

3. สิ่งทดลองแต่ละหน่วยจะถูกบรรจุลงในแต่ละแถวและแต่ละคอลัมน์เพียง 1 ครั้งเท่านั้น

ข้อดีแผนการทดลองแบบลาตินสแควร์ มีดังนี้

ผู้วิจัยสามารถนำความแตกต่างอันเนื่องมาจากปัจจัยทางแถวและทางคอลัมน์ ออกมาจากความคลาดเคลื่อนของการทดลองที่เกิดขึ้นได้ หรือสามารถควบคุมความผันแปรเนื่องจากหน่วยทดลองได้ 2 ทิศทาง คือทางแถวและทางคอลัมน์

ข้อเสียแผนการทดลองแบบลาตินสแควร์ มี 4 ข้อ ดังนี้

1. เนื่องจากในแผนการทดลองแบบลาตินสแควนี้ จำนวนหน่วยทดลองที่ผู้วิจัยต้องการจะเท่ากับ t^2 หน่วย ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงจำกัดจำนวนสิ่งทดลองให้เหลือไม่เกิน 10 สิ่งทดลอง เท่านั้น

2. เมื่อจำนวนสิ่งทดลองเพิ่มขึ้นจะทำให้ผังการทดลองมีขนาดใหญ่ ความคลาดเคลื่อนของการทดลองจะเพิ่มขึ้นด้วย

3. ถ้าจำนวนสิ่งทดลองมีน้อยเกินไป ค่า df ของความคลาดเคลื่อนของการทดลองน้อยตามไปด้วย

4. การวิเคราะห์จะยุ่งยาก ถ้ามีข้อมูลสูญหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3.4 การทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Experiment)

การทดลองแบบแฟคทอเรียล เป็นการทดลองที่นำเอาตัวแปรตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป มาทำการศึกษาพร้อมกันในการทดลองเดียวกัน แฟคทอเรียลไม่ได้ถูกเรียกว่าเป็นแผนการทดลอง (วิทยา บัวเจริญ, 2536) เนื่องจากในแผนการทดลองจะพิจารณาถึงแต่หน่วยทดลองไม่ได้พิจารณาถึงสิ่งทดลอง แต่ในแฟคทอเรียลจะพิจารณาถึงสิ่งทดลองที่ประกอบไปด้วยหลายๆ ปัจจัย แฟคทอเรียลจึงเป็นเพียงการทดลองเท่านั้น (สิทธิชัย เจริญเศรษฐศิลป์, 2542)

ข้อดีของการทดลองแบบแฟคทอเรียล มี 2 ข้อดังนี้

1) ในกรณีที่แต่ละปัจจัยเป็นอิสระต่อกัน (ไม่มีอิทธิพลร่วมกัน) ค่าของอิทธิพลเดี่ยวจะเท่ากับค่าของอิทธิพลหลัก (Main Effect) จึงสามารถใช้เฉพาะอิทธิพลหลักในการอธิบายบทบาทของปัจจัยนั้นได้ และมีความแม่นยำเท่ากันเสมือนผู้วิจัยใช้แต่ปัจจัยนั้นในการทดลองเท่านั้น

2) ในกรณีที่แต่ละปัจจัยมีอิทธิพลร่วมกัน สามารถศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ไปพร้อมๆ กัน และทราบปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ เหล่านั้นด้วย การสรุปผลจะถูกต้องมากยิ่งขึ้นและกว้างขวางขึ้น เพราะถ้าทำการทดลองทีละปัจจัยอาจไม่ทราบถึงอิทธิพลร่วม การสรุปผลอาจผิดพลาดได้

ข้อเสียของการทดลองแบบแฟคทอเรียล มี 2 ข้อดังนี้

1) เมื่อจำนวนปัจจัยหรือระดับของแต่ละปัจจัยมากขึ้น จะทำให้การทดลองมีขนาดใหญ่ ความแปรปรวนในการทดลองมีมากขึ้น ความแม่นยำน้อยลงและการหาวัสดุทดลองที่ใกล้เคียงกันยากขึ้น แม้จะมีการจัดบล็อกก็จะทำให้บล็อกมีขนาดใหญ่ขึ้น

2) การทดลองที่มีขนาดใหญ่ จะวิเคราะห์ผลการทดลองได้ยาก โดยเฉพาะเมื่อแต่ละปัจจัยมีอิทธิพลร่วมกัน

2.5.3.5 แผนการทดลองแบบสปลิทพอท (Split-plot Design)

แผนการทดลองแบบสปลิทพอทเป็นแผนการทดลองที่เกี่ยวข้องกันของ 2 ตัวแปร แต่การศึกษาจะเน้นหนักหรือให้ความสำคัญในตัวแปรหนึ่งมากกว่าอีกตัวแปรหนึ่ง ซึ่งแตกต่างจาก Two-Factor Factorial ที่จะเน้นหรือให้ความสำคัญกับทั้ง 2 ตัวแปรเท่าๆ กัน (วิทยา บัวเจริญ, 2536) การทดลองแบบ Split-Plot มีจุดมุ่งหมายดังนี้

1. ต้องการให้ความสำคัญ หรือให้ความสนใจในรายละเอียดของตัวแปรหนึ่ง มากกว่าอีกตัวแปรหนึ่ง เช่น ให้ความสนใจในตัวแปร A มากกว่าตัวแปร B ผู้วิจัยจะเรียกตัวแปร A ว่าเป็นตัวแปรหลัก (Whole plot) และเรียกตัวแปร B ว่าเป็นตัวแปรรอง (Split plot)

2. เพื่อความสะดวกในการปฏิบัติงาน

2.5.3.6 แผนการทดลองแบบสุ่มซ้อน (Nested Square)

แผนการทดลองแบบสุ่มซ้อน จะมีระดับของตัวแปรทดลองอย่างน้อย 1 ตัวแปรที่ซ้อนทับ (Nested) ในอีกตัวแปรหนึ่ง ลักษณะของแผนการทดลองแบบสุ่มซ้อน มีดังนี้

1. ตัวแปรทดลองมีอย่างน้อย 2 ตัวแปร

2. ตัวแปรทดลองอย่างน้อย 1 ตัว จะถูกซ้อนทับโดยตัวแปรที่เหลือ

3. ไม่มีปฏิสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างตัวแปรทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3.7 <u>การออกแบบบล็อกไม่บริบูรณ์แบบได้ดุล</u>

การออกแบบบล็อกไม่บริบูรณ์แบบได้ดุล คือ การทดลองบางประเภทที่ใช้การออกแบบบล็อกแบบสุ่ม แต่ไม่สามารถรันสิ่งทดลองรวมทั้งหมดในแต่ละบล็อกได้ สถานการณ์เช่นนี้ตามปกติจะเกิดขึ้นเนื่องจากการขาดเครื่องมือในการทดลอง หรือสิ่งอำนวยความสะดวก หรือขนาดทางกายภาพของบล็อก การออกแบบบล็อกแบบสุ่มไม่บริบูรณ์ได้ดุลเป็นการออกแบบบล็อกแบบไม่บริบูรณ์ ซึ่ง 2 สิ่งทดลองจะปรากฏพร้อมกันเป็นจำนวนครั้งเท่ากัน (ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, 2551)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

ในการสร้างและออกแบบผลิตภัณฑ์ใดๆ ต้องมีการศึกษาข้อมูลในการดำเนินการและวางแผนการดำเนินงานอย่างดี เพื่อให้ได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ตรงตามความต้องการของลูกค้า และบรรลุผลสำเร็จตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ โดยการออกแบบเครื่องยิงลูกบอลสำหรับการศึกษาการออกแบบการทดลอง มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1. การศึกษาลักษณะและหลักการทำงานของเครื่องยิงลูกบอล
2. การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment, QFD) กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analysis Hierarchy Process, AHP) หลักการออกแบบผลิตภัณฑ์ (Product Design) และการวิเคราะห์และการออกแบบการทดลอง (Analysis and Design of Experiments)
3. การออกแบบเครื่องยิงลูกบอล
   - การสร้างแบบสอบถาม
   - การตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบถาม
   - การตรวจสอบข้อเท็จจริงของทัศนคติที่ได้จากแบบสอบถาม
   - วิธีการเก็บข้อมูล
   - การวิเคราะห์ทัศนคติที่ได้จากแบบสอบถาม
   - การเลือกวัสดุและวิธีการออกแบบเครื่องยิงลูกบอล
4. การสร้างเครื่องยิงลูกบอล
5. การทดสอบความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล
6. การออกแบบตารางทดลองตามแผนการทดลองแบบต่างๆ
7. การประเมินความพึงพอใจที่มีต่อคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอล

3.1 การศึกษาลักษณะและหลักการทำงานของเครื่องยิงลูกบอล

ก่อนที่จะทำการออกแบบเครื่องยิงลูกบอลนั้น ผู้วิจัยต้องศึกษาลักษณะและหลักการทำงานของเครื่องยิงลูกบอลที่มีอยู่โดยทั่วไปทั้งในด้านของกลไกการทำงาน ขนาด วัสดุที่ใช้ ราคา ประโยชน์และข้อจำกัดในการใช้งาน เพื่อเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียของเครื่องยิงลูกบอลในแต่ละแบบและนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบเครื่องยิงลูกบอลสำหรับการศึกษาการออกแบบการทดลอง

3.2 การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

นอกจากการศึกษาลักษณะและหลักการทำงานของเครื่องยิงลูกบอลแล้ว ผู้วิจัยยังต้องศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่างๆ ได้แก่ การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment, QFD) กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analysis Hierarchy Process, AHP) หลักการออกแบบผลิตภัณฑ์ (Product Design) และการวิเคราะห์และการออกแบบการทดลอง (Analysis and Design of Experiments)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากผู้วิจัยต้องการออกแบบเครื่องยิงลูกบอลให้สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้มากที่สุด จึงต้องนำเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพมาประยุกต์ใช้ ผู้วิจัยได้จัดทำแบบสอบถามขึ้นเพื่อเก็บรวบรวมทัศนคติของผู้ที่เกี่ยวข้องในการใช้เครื่องยิงลูกบอลนี้ โดยให้ผู้ตอบแบบสอบถามให้คะแนนระดับความสำคัญของคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอลแบบเปรียบเทียบเป็นรายคู่เพื่อง่ายต่อการตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบถามและข้อเท็จจริงของทัศนคติ ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษากระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ทัศนคติด้านความสำคัญของคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอลที่ได้จากแบบสอบถาม นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังต้องทำการศึกษาหลักการออกแบบผลิตภัณฑ์ เพื่อช่วยในการวางแผนการทำงานให้เป็นไปตามขั้นตอนอย่างเหมาะสม ช่วยในการเลือกวัสดุและออกแบบเครื่องยิงลูกบอลให้มีความปลอดภัยและมีคุณภาพมากที่สุด

ประการสำคัญ ผู้วิจัยต้องมีความรู้ในเรื่องการวิเคราะห์และการออกแบบการทดลอง เพื่อให้สามารถออกแบบเครื่องยิงลูกบอลสำหรับการศึกษาการออกแบบการทดลองได้อย่างถูกต้อง ทำให้เครื่องยิงลูกบอลสามารถใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนในหัวข้อการออกแบบการทดลองได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.3 การออกแบบเครื่องยิงลูกบอล

ผู้วิจัยทำการออกแบบเครื่องยิงลูกบอลโดยนำเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพมาประยุกต์ใช้ ซึ่งต้องทำการเก็บรวบรวมทัศนคติของผู้ที่เกี่ยวข้องเพื่อนำไปวิเคราะห์และออกแบบเครื่องยิงลูกบอลให้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้งานมากที่สุด ผู้วิจัยได้เลือกวิธีการใช้แบบสอบถามในการเก็บรวบรวมทัศนคติ เนื่องจากเป็นวิธีที่ทำได้ง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อน ได้คำตอบที่ตรงกับปัญหาที่ต้องการวิจัย ข้อมูลที่ได้ไม่กระจัดกระจาย และมีความเชื่อถือสูง

3.3.1 การสร้างแบบสอบถาม

ผู้วิจัยได้ทำการสร้างแบบสอบถามโดยการสร้างคำถามแบบเปรียบเทียบเป็นรายคู่ เพื่อสอบถามความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามว่าคุณลักษณะใดของเครื่องยิงลูกบอลมีความสำคัญมากกว่ากัน และมากกว่ากันเท่าไร ข้อดีของการใช้วิธีการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ คือ ผู้ตัดสินใจหรือผู้ตอบแบบสอบถามสามารถแปลงปัญหาขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อนออกเป็นการเปรียบเทียบเป็นคู่ๆ ของแต่ละองค์ประกอบย่อย และอนุญาตให้ผู้ตัดสินใจหรือผู้ตอบแบบสอบถามได้พิจารณาให้คะแนนความสำคัญโดยการเปรียบเทียบทีละ 2 องค์ประกอบใดๆ เท่านั้น ซึ่งทำให้ง่ายแก่การตัดสินใจ ผู้วิจัยได้กำหนดคุณลักษณะเริ่มต้นของเครื่องยิงลูกบอล โดยวิธีการระดมสมอง (Brainstorming) และการสอบถามจากผู้ที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำคุณลักษณะต่างๆ เหล่านั้นมาใช้ในการสร้างแบบสอบถามสำหรับเก็บข้อมูลทัศนคติที่มีต่อคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอล คุณลักษณะที่กำหนดขึ้น มีดังนี้

- ความสวยงาม
- ความแข็งแรงทนทาน
- ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย
- ความสะดวกในการใช้งาน
- ความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล
- ความสะดวกในการจัดเก็บ
- พื้นที่ในการทดลองน้อย
- การดูแลรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบถาม

ก่อนการนำแบบสอบถามไปใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยจำเป็นต้องตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบถามเพื่อให้แน่ใจว่า แบบสอบถามมีคุณภาพสูงอยู่ในระดับที่จะนำไปใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยทั่วไปประกอบด้วย ความสมเหตุสมผล (Validity) และความเชื่อถือได้ (Reliability)

3.3.2.1 ความสมเหตุสมผล (Validity)

ความสมเหตุสมผล หมายถึง ความครบถ้วนของคำถามในแบบสอบถามที่จำเป็นต้องนำไปใช้ในการวิเคราะห์ โดยผู้สร้างแบบสอบถามได้ทำการตรวจสอบความสมเหตุสมเหตุสมผลด้วยตนเอง รวมทั้งได้ขอให้ผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้ในเรื่องการออกแบบการทดลองทำการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของแบบสอบถามอีกครั้ง

3.3.2.2 ความเชื่อถือได้ (Reliability)

ความเชื่อถือได้ หมายถึง ความคลาดเคลื่อนในการวัดค่าของข้อมูลโดยใช้แบบสอบถาม ซึ่งการวัดความเชื่อถือได้ของแบบสอบถามที่อยู่ในรูประดับความคิดเห็นที่สร้างจากหลักการตัดสินใจโดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ จะวัดด้วยค่าอัตราส่วนความสอดคล้อง (Consistency Ratio, CR) หากค่า CR มีค่ามากกว่า 0.1 หรือ 10 % จะถือว่าข้อมูลไม่มีความสอดคล้องกัน และต้องทำการเก็บข้อมูลใหม่

3.3.3 การตรวจสอบข้อเท็จจริงของทัศนคติที่ได้จากแบบสอบถาม

ในแบบสอบถามนี้ จะมีคำถามที่สามารถตรวจสอบได้ว่า ผู้ตอบแบบสอบถามนั้นให้ข้อมูลความคิดเห็นตามความจริงมากน้อยเพียงใด เพื่อให้ผลสำรวจตรงตามความเป็นความจริงมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อที่	คุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอลในหัวข้อใดที่มีความสำคัญมากกว่ากัน (เปรียบเทียบรายข้อ)		ถ้ามีความสำคัญมากกว่ากัน จะมีความสำคัญมากกว่ากันเท่าไร			มีความสำคัญเท่ากัน
			มาก	ปานกลาง	น้อย	
1	☐ความสวยงาม	☐ความแข็งแรงทนทาน	☐	☐	☐	☐
2	☐ความสวยงาม	☐ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย	☐	☐	☐	☐
3	☐ความสวยงาม	☐ความสะดวกในการใช้งาน	☐	☐	☐	☐
4	☐ความสวยงาม	☐พื้นที่ทำการทดลองน้อย	☐	☐	☐	☐
5	☐ความสวยงาม	☐ความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล	☐	☐	☐	☐
6	☐ความสวยงาม	☐การดูแลรักษา	☐	☐	☐	☐
7	☐ความสวยงาม	☐ความสะดวกในการจัดเก็บ	☐	☐	☐	☐
8	☐ความแข็งแรงทนทาน	☐ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย	☐	☐	☐	☐
9	☐ความแข็งแรงทนทาน	☐ความสะดวกในการใช้งาน	☐	☐	☐	☐
10	☐ความแข็งแรงทนทาน	☐พื้นที่ทำการทดลองน้อย	☐	☐	☐	☐
11	☐ความแข็งแรงทนทาน	☐ความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล	☐	☐	☐	☐
12	☐ความแข็งแรงทนทาน	☐การดูแลรักษา	☐	☐	☐	☐
13	☐ความแข็งแรงทนทาน	☐ความสะดวกในการจัดเก็บ	☐	☐	☐	☐
14	☐ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย	☐ความสะดวกในการใช้งาน	☐	☐	☐	☐
15	☐ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย	☐พื้นที่ทำการทดลองน้อย	☐	☐	☐	☐
16	☐ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย	☐ความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล	☐	☐	☐	☐
17	☐ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย	☐การดูแลรักษา	☐	☐	☐	☐
18	☐ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย	☐ความสะดวกในการจัดเก็บ	☐	☐	☐	☐
19	☐ความสะดวกในการใช้งาน	☐พื้นที่ทำการทดลองน้อย	☐	☐	☐	☐
20	☐ความสะดวกในการใช้งาน	☐ความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล	☐	☐	☐	☐
21	☐ความสะดวกในการใช้งาน	☐การดูแลรักษา	☐	☐	☐	☐
22	☐ความสะดวกในการใช้งาน	☐ความสะดวกในการจัดเก็บ	☐	☐	☐	☐
23	☐ความสะดวกในการใช้งาน	☐ความแข็งแรงทนทาน	☐	☐	☐	☐
24	☐พื้นที่ทำการทดลองน้อย	☐ความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล	☐	☐	☐	☐
25	☐พื้นที่ทำการทดลองน้อย	☐การดูแลรักษา	☐	☐	☐	☐
26	☐พื้นที่ทำการทดลองน้อย	☐ความสะดวกในการจัดเก็บ	☐	☐	☐	☐
27	☐พื้นที่ทำการทดลองน้อย	☐ความสวยงาม	☐	☐	☐	☐
28	☐ความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล	☐การดูแลรักษา	☐	☐	☐	☐
29	☐ความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล	☐ความสะดวกในการจัดเก็บ	☐	☐	☐	☐
30	☐การดูแลรักษา	☐ความสะดวกในการจัดเก็บ	☐	☐	☐	☐

รูปที่ 3.1 ตัวอย่างแบบสอบถามสำหรับการเก็บทัศนคติของผู้ที่เกี่ยวข้องที่มีต่อคุณลักษณะต่างๆ ของเครื่องยิงลูกบอล

จากรูปที่ 3.1 จะเห็นว่า มีคำถามที่มีเนื้อความเหมือนกันแต่สลับตำแหน่งกันอยู่ทั้งหมด 2 คู่ คือ ข้อ 9 เหมือนกับข้อ 23 และข้อ 17 เหมือนกับข้อ 29 หากผู้ตอบแบบสอบถามให้คะแนนระดับความสำคัญในแต่ละคู่คำถามต่างกันมากกว่า 1 ระดับ หมายถึง ให้ความสำคัญกับคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอลแตกต่างกัน และให้ระดับความสำคัญกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณลักษณะนั้นไม่เท่ากัน ก็จะถือว่าข้อมูลในแบบสอบถามนั้นไม่สามารถนำมาใช้พิจารณาในการออกแบบเครื่องยิงลูกบอลได้

3.3.4 วิธีการเก็บทัศนคติจากแบบสอบถาม

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลจากผู้ที่เกี่ยวข้องในการใช้เครื่องยิงลูกบอลสำหรับการศึกษาการออกแบบการทดลอง ซึ่งได้แก่ นักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาการวิเคราะห์และการออกแบบการทดลอง นักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ ภาคเรียนที่ 1 ประจำปีการศึกษา 2552 และอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จำนวนทั้งสิ้น 83 คน เพื่อเก็บรวบรวมทัศนคติด้านระดับความสำคัญของคุณลักษณะต่างๆ ของเครื่องยิงลูกบอล โดยการนำแบบสอบถามไปทำการเก็บข้อมูลแบบตัวต่อตัวเพื่อป้องกันปัญหาที่เกิดจากความไม่เข้าใจในคำถาม และผู้วิจัยได้กำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่าง โดยวิธีการใช้ตาราง Krejcie & Morgan (ตารางที่ 2.1)

สำหรับงานวิจัยนี้ มีจำนวนประชากรทั้งสิ้น 83 คน ซึ่งไม่ตรงกับตัวเลขในตาราง จึงให้คำนวณหาขนาดของกลุ่มตัวอย่าง โดยวิธีเทียบบัญญัติไตรยางศ์ ดังนี้

ประชากร 80 คน มีขนาดกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 66 คน

ประชากร 85 คน มีขนาดกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 70 คน

ดังนั้น ประชากรเพิ่มขึ้น 5 คน ขนาดกลุ่มตัวอย่างจะเพิ่มขึ้น 4 คน

ถ้า ประชากรเพิ่มขึ้น 1 คน ขนาดกลุ่มตัวอย่างจะเพิ่มขึ้น $\frac{4}{5}$ คน

ประชากรเพิ่มขึ้น 3 คน (จาก 80 เป็น 83) ขนาดกลุ่มตัวอย่างจะเพิ่มขึ้น

$$\frac{4 \times 3}{5} = 2.4 \text{ คน หรือ } 3 \text{ คน}$$

ประชากรเท่ากับ 83 คน จะมีขนาดกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 66 + 3 = 69 คน

ดังนั้น ต้องทำการเก็บข้อมูลจากผู้ที่เกี่ยวข้องอย่างน้อยจำนวน 69 คน ซึ่งจากการเก็บข้อมูลจากกลุ่มประชากรทั้งหมด เมื่อทำการคัดกรองแบบสอบถามที่มีคะแนนระดับความสำคัญในแต่ละคู่คำถามที่ใช้ตรวจสอบต่างกันมากกว่า 1 ระดับ ออกไป จะได้จำนวนข้อมูลทั้งสิ้น 72 ตัวอย่าง

3.3.5 การวิเคราะห์ทัศนคติที่ได้จากแบบสอบถาม

ผู้วิจัยนำทัศนคติที่ได้จากแบบสอบถามมาทำการหาค่าคะแนนระดับความสำคัญของคุณลักษณะต่างๆ ของเครื่องยิงลูกบอลโดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ และหาข้อกำหนดทางเทคนิคต่างๆ ของแต่ละคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอลโดยวิธีการระดมสมอง จากนั้น จึงนำค่าคะแนนระดับความสำคัญและข้อกำหนดทางเทคนิคมาคำนวณหาค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบของข้อกำหนดทางเทคนิคต่างๆ โดยใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ

ค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบของข้อกำหนดทางเทคนิคต่างๆ จะแสดงให้เห็นว่าข้อกำหนดทางเทคนิคใดที่เราควรจะให้ความสำคัญมากที่สุด ซึ่งช่วยให้เราสามารถออกแบบเครื่องยิงลูกบอลได้ง่ายและตรงตามความต้องการของผู้ใช้งานได้มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6 การเลือกวัสดุและวิธีการออกแบบเครื่องยิงลูกบอล

ผู้วิจัยจะนำค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบที่ได้จากเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพมาพิจารณาดูว่าค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบของข้อกำหนดทางเทคนิคใดมีน้ำหนักความสำคัญมากกว่ากัน เพื่อนำมาพิจารณาในการเลือกใช้วัสดุในการสร้างเครื่องยิงลูกบอล เช่น สมมติว่าข้อกำหนดทางเทคนิคในด้านของอายุการใช้งานมีค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบมากกว่าในด้านของน้ำหนัก ผู้วิจัยก็จะทำการเลือกวัสดุโดยพิจารณาจากอายุการใช้งานมากกว่าน้ำหนักของวัสดุ

นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังนำค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบมาพิจารณาดูว่า ควรมีการออกแบบเครื่องยิงลูกบอลให้มีรูปร่างลักษณะอย่างไร ขนาดเท่าใด เพื่อให้เครื่องยิงลูกบอลมีประสิทธิภาพและตรงตามความต้องการของผู้ใช้งานได้มากที่สุด สมมติว่าข้อกำหนดทางเทคนิคที่มีค่าน้ำหนักความสำคัญมากที่สุดคือ กลไกการทำงาน ผู้วิจัยก็จะออกแบบเครื่องยิงลูกบอลโดยพิจารณาจากกลไกการทำงานเป็นสำคัญ โดยออกแบบให้มีกลไกการทำงานที่ง่าย ไม่ซับซ้อน และมีความเที่ยงตรงสูง เพื่อความสะดวกในการใช้งานและความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล

3.4 การสร้างเครื่องยิงลูกบอล

เมื่อทำการออกแบบและเลือกวัสดุสำหรับการสร้างเครื่องยิงลูกบอลแล้ว ผู้วิจัยจะนำแบบของเครื่องยิงลูกบอลที่ได้มาทำการสร้างเครื่องยิงลูกบอลต้นแบบก่อนเพื่อทดสอบความเป็นไปได้ของกลไกการทำงานของเครื่องยิงลูกบอลว่าสามารถใช้งานได้จริงหรือไม่ โดยทำการสร้างเครื่องยิงลูกบอลต้นแบบเท่าขนาดจริง วัสดุที่นำมาใช้คือ ไม้อัด เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาได้ง่าย ราคาถูก ตัดและประกอบได้ง่าย รวมทั้งมีน้ำหนัก ขนาด และความหนาเทียบเท่ากับอะคริลิกที่ใช้เป็นวัสดุในการสร้างเครื่องยิงลูกบอลของจริง

เมื่อทำการสร้างเครื่องยิงลูกบอลต้นแบบและทดสอบความเป็นไปได้ของกลไกการทำงานจนได้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจแล้ว ผู้วิจัยจึงทำการสร้างเครื่องยิงลูกบอลของจริง

3.5 การทดสอบความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล

ผู้วิจัยทำการทดสอบความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล โดยการทดลองยิงลูกบอลแล้วหาระยะทางที่ลูกบอลตกกระทบในแต่ละครั้งของการทดลอง เมื่อไม่มีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่างๆ ว่ามีความคลาดเคลื่อนมากน้อยเพียงใด โดยใช้หลักการวิเคราะห์ทางสถิติ ดังนี้

1. ทดลองยิงลูกบอลที่ทุกระดับของทุกปัจจัย จะได้จำนวนการทดลองทั้งหมด

= จำนวนระดับของตำแหน่งเริ่มยิง * จำนวนระดับของตำแหน่งหยุดแขนยิง * จำนวนลักษณะของสปริง * จำนวนตำแหน่งถ้วยวางลูกบอล * จำนวนของขนาดถ้วยวางลูกบอล * จำนวนชนิดของลูกบอล

= 3 ระดับ * 3 ระดับ * 3 ลักษณะ * 2 ตำแหน่ง * 3 ขนาด * 3 ชนิด

= 486 จำนวนการทดลอง

แต่เนื่องจากลูกบอลขนาดใหญ่จะใส่ถ้วยขนาดเล็กไม่ได้ เช่น ถ้วยขนาดกลางจะใส่ได้เฉพาะลูกปิงปองและลูกแก้วเท่านั้น ส่วนถ้วยขนาดเล็กจะใส่ได้เฉพาะลูกแก้วเท่านั้น ดังนั้น จึงต้องลบจำนวนการทดลองออกไปอีก 162 จำนวนการทดลอง จึงเหลือจำนวนการทดลองทั้งสิ้น 486 – 162 = 324 จำนวนการทดลอง

2. แต่ละจำนวนการทดลอง จะทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง เพื่อทดสอบค่าเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำผลการทดลองทั้งหมดที่ได้มาคำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย แล้วนำไปสร้างกราฟเพื่อนำไปให้ผู้เกี่ยวข้องในการใช้เครื่องยิงลูกบอลพิจารณาค่าความผันแปรที่ได้ เพื่อใช้ในการประเมินผลความพึงพอใจ

3.6 การออกแบบตารางทดลองตามแผนการทดลองแบบต่างๆ

เครื่องยิงลูกบอลที่ผู้วิจัยออกแบบและสร้างขึ้นนั้น จุดประสงค์ก็เพื่อเป็นชุดทดลองสำหรับการศึกษาการออกแบบการทดลอง ดังนั้น ผู้วิจัยจึงต้องทำการออกแบบตารางทดลองตามแผนการทดลองในแบบต่างๆ ที่สามารถเรียนรู้ได้จากเครื่องยิงลูกบอลนี้ เพื่อเป็นแนวทางให้ผู้ศึกษามีความเข้าใจในหลักการทำงานของเครื่องยิงลูกบอล และวิธีการออกแบบการทดลอง

3.7 การประเมินความพึงพอใจที่มีต่อของคุณลักษณะเครื่องยิงลูกบอล

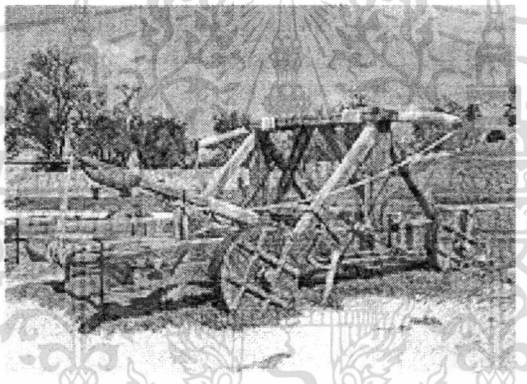
ผู้วิจัยทำการประเมินความพึงพอใจที่มีต่อคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอล โดยให้ผู้ที่เกี่ยวข้องในการใช้เครื่องยิงลูกบอลสำหรับศึกษาการออกแบบการทดลอง ซึ่งเป็นกลุ่มประชากรเดียวกันกับการเก็บรวบรวมทัศนะคติทางด้านระดับความสำคัญที่มีต่อคุณลักษณะต่างๆ ของเครื่องยิงลูกบอล แต่เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านเวลาในการทำการวิจัย จึงกำหนดให้มีผู้ประเมินผลความพึงพอใจได้แก่ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง ภาคเรียนที่ 1 ประจำปีการศึกษา 2552 จำนวนทั้งสิ้น 38 คน โดยผู้วิจัยได้นำเครื่องยิงลูกบอลและผลการทดสอบค่าความเที่ยงตรงของยิงลูกบอลไปให้ผู้ประเมินพิจารณาและทดลองใช้เครื่องยิงลูกบอลเพื่อประกอบการตัดสินใจ จากนั้นจะนำคะแนนที่ได้จากผลการประเมินความพึงพอใจมาหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต แล้วนำมาคูณกับคะแนนระดับความสำคัญที่ได้จากแบบสอบถามความคิดเห็น เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักและเปอร์เซ็นต์ความพึงพอใจที่มีต่อเครื่องยิงลูกบอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

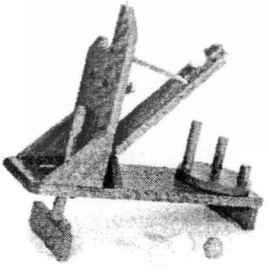
บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการศึกษาลักษณะและหลักการทำงานของเครื่องยิงลูกบอล

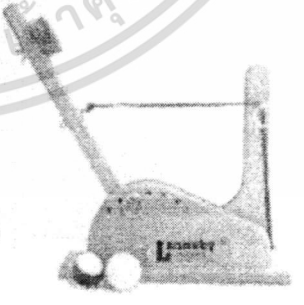
จากการศึกษาและค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเครื่องยิงลูกบอลตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันพบว่า ในสมัยโบราณเครื่องยิงลูกบอล (Catapult) ถูกนำมาใช้ในการทำสงคราม ซึ่งมีลักษณะดังตัวอย่างในรูปที่ 4.1 (www.wikipedia.com) ประสิทธิภาพและระยะยิงใกล้ไกล จะมีผลต่อชัยชนะในสงคราม แต่ในปัจจุบันเครื่องยิงลูกบอลได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้เพื่อการเรียนการสอนเกี่ยวกับวิชาทางสถิติในหัวข้อการออกแบบการทดลอง ซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างกันตามวัตถุประสงค์และประเภทของการใช้งาน จากการศึกษาค้นคว้าพบว่า เครื่องยิงลูกบอลที่มีอยู่ล้วนแต่เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่จำหน่ายในต่างประเทศ



รูปที่ 4.1 เครื่องยิงลูกบอลในสมัยโบราณ



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างเครื่องยิงลูกบอลที่มีลักษณะเป็นพื้นเอียง

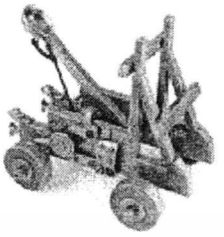


รูปที่ 4.3 ตัวอย่างเครื่องยิงลูกบอลทั่วไป

จากรูปที่ 4.2 (http://www.does.org/masterli/models.html) เป็นลักษณะของเครื่องยิงลูกบอลที่ทำจากไม้ โดยออกแบบให้เป็นพื้นเอียง สามารถเปลี่ยนปัจจัยในการทดลองได้ 4 ปัจจัย คือ ชนิดของลูกบอล ตำแหน่งวางลูกบอล มุมยิงลูกบอล และตำแหน่งเริ่มยิงลูกบอล รูปที่ 4.3 (http://www.launsby.com/statapult.html) เป็นตัวอย่างของเครื่องยิงลูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บอลทำจากไม้เช่นกัน แต่สามารถเปลี่ยนปัจจัยในการทดลองได้ 3 ปัจจัย คือ ขนาดของลูกบอล มุมยิงลูกบอล และความตึงของยางที่ใช้ยิง



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างเครื่องยิงลูกบอล

จากรูปที่ 4.4 (http://iprojectideas.blogspot.com/2008/09/how-to-build-catapult.html) เป็นตัวอย่างของเครื่องยิงลูกบอลที่ทำมาจากโลหะ โดยคงเอกลักษณ์รูปแบบของเครื่องยิงลูกบอลในสมัยก่อน

4.2 ผลการศึกษาและการนำทฤษฎีที่เกี่ยวข้องไปประยุกต์ใช้

จากการศึกษาและทำความเข้าใจทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยสามารถสรุปการนำทฤษฎีเหล่านี้ไปประยุกต์ใช้ในขั้นตอนต่างๆ ของการออกแบบและสร้างเครื่องยิงลูกบอล ได้ดังนี้

4.2.1 การประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ

การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพเป็นวิธีการหนึ่งที่ได้รับความนิยมอย่างมากในการรวบรวมความต้องการของลูกค้าหรือผู้ใช้งาน ผู้วิจัยจึงได้นำเทคนิคนี้มาประยุกต์ใช้ เพื่อให้สามารถออกแบบเครื่องยิงลูกบอลได้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้งานมากที่สุด

การนำเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพมาประยุกต์ใช้นั้น จะต้องมีการเก็บรวบรวมความต้องการของลูกค้า ผู้วิจัยจึงได้ทำการเก็บรวมรวมทัศนคติของผู้ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องยิงลูกบอลนี้โดยการใช้แบบสอบถาม จากนั้นจึงนำทัศนคติที่ได้จากแบบสอบถามมาเข้าสู่บ้านคุณภาพ ซึ่งบ้านคุณภาพเป็นเครื่องมือหนึ่งของเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างทัศนคติที่ได้จากแบบสอบถามกับข้อกำหนดทางเทคนิคของเครื่องยิงลูกบอล เพื่อให้สามารถแปลงทัศนคติของผู้ที่เกี่ยวข้อง มาเป็นข้อกำหนดทางเทคนิคของเครื่องยิงลูกบอลได้ หากข้อกำหนดทางเทคนิคใดมีน้ำหนักความสำคัญมากกว่า ผู้วิจัยก็จะเลือกใช้วัสดุและออกแบบเครื่องยิงลูกบอลโดยพิจารณาจากข้อกำหนดทางเทคนิคนั้นเป็นสำคัญ

4.2.2 การประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

เนื่องจากผู้วิจัยได้จัดทำแบบสอบถามขึ้นเพื่อเก็บรวบรวมทัศนคติของผู้ที่เกี่ยวข้องในการใช้เครื่องยิงลูกบอล โดยให้ผู้ตอบแบบสอบถามให้คะแนนระดับความสำคัญของคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอลแบบเปรียบเทียบเป็นรายคู่เพื่อง่ายต่อการตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบถามและข้อเท็จจริงของทัศนคติ ดังนั้นจึงต้องมีการประยุกต์ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ทัศนคติด้านความสำคัญของคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอล ว่าคุณลักษณะใดของเครื่องยิงลูกบอลที่ผู้ตอบแบบสอบถามคิดว่ามีความสำคัญมากที่สุด

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้นำทฤษฎีกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์มาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของการเก็บข้อมูลจากผู้ตอบแบบสอบถาม ว่าข้อมูลที่ได้จากผู้ตอบแบบสอบถามนั้นมีความน่าเชื่อถือหรือไม่ ซึ่งจะแสดงออกมาในรูปของค่าอัตราส่วนความสอดคล้อง หากข้อมูลที่ได้นั้นมีค่าอัตราส่วนความสอดคล้องน้อยกว่า 0.1 แสดงว่าข้อมูลนั้นมีความน่าเชื่อถือ สามารถนำไปใช้งานจริงได้

4.2.3 การประยุกต์ใช้หลักการออกแบบผลิตภัณฑ์

ในการออกแบบเครื่องยิงลูกบอล ผู้วิจัยได้นำหลักการออกแบบผลิตภัณฑ์มาประยุกต์ใช้เพื่อช่วยในการวางแผนการทำงาน ให้การทำงานเป็นไปตามขั้นตอนอย่างเหมาะสม ช่วยให้มีการกำหนดขั้นตอนการทำงานอย่างเป็นระบบ ตั้งแต่การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่างๆ การเลือกวัสดุและการออกแบบ ไปจนถึงการสร้างและทดสอบความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล ทำให้การดำเนินงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังนำหลักการออกแบบผลิตภัณฑ์มาประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ เพื่อใช้ในการเลือกวัสดุและการออกแบบเครื่องยิงลูกบอล โดยพิจารณาจากน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคที่ได้จากบ้านคุณภาพ ว่าข้อกำหนดทางเทคนิคใดมีน้ำหนักความสำคัญมากกว่ากัน และนำข้อกำหนดทางเทคนิคนั้นมาพิจารณาร่วมกับหลักการออกแบบผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างเช่น ข้อกำหนดทางเทคนิคที่มีค่าน้ำหนักความสำคัญมากที่สุดคือ กลไกการทำงาน ผู้วิจัยก็จะออกแบบเครื่องยิงลูกบอลโดยเน้นไปที่กลไกการทำงาน โดยออกแบบกลไกการทำงานให้สอดคล้องกับหลักการการออกแบบผลิตภัณฑ์ คือ มีความปลอดภัย ง่ายต่อการใช้งาน และมีประสิทธิภาพ เป็นต้น

4.2.4 การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง

ผู้วิจัยต้องการออกแบบเครื่องยิงลูกบอลเพื่อใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนในหัวข้อการออกแบบการทดลอง จึงต้องมีการศึกษาและออกแบบเครื่องยิงลูกบอลให้สามารถใช้ทดลองกับแผนการทดลองแบบต่างๆได้ ทั้งแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ แผนการทดลองแบบลาตินสแควร์ การทดลองแบบแฟคทอเรียล แผนการทดลองแบบสปริทพลอท แผนการทดลองแบบสุ่มซ้อน และการทดลองแบบบล็อกไม่บริบูรณ์แบบได้ดุล โดยแต่ละแผนการทดลองก็จะมีวิธีการทดลองโดยใช้เครื่องยิงลูกบอลที่แตกต่างกันออกไป เช่น การทดลองแบบแฟคทอเรียล จะมีการทดลองในทุกระดับของแต่ละปัจจัย แต่การทดลองแบบบล็อกไม่บริบูรณ์แบบได้ดุลนั้น จะไม่สามารถทดลองในทุกระดับของแต่ละปัจจัยได้ เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านขนาดของถ้วยวางลูกบอลและขนาดของลูกบอล เป็นต้น

4.3 การออกแบบเครื่องยิงลูกบอล

การออกแบบผลิตภัณฑ์มีวิธีการมากมายหลายวิธี ซึ่งในการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้ได้ตามความต้องการของลูกค้าที่ดี วิธีหนึ่งคือ QFD ซึ่งเป็นวิธีที่นำมาใช้ในการออกแบบเครื่องยิงลูกบอล โดยมีขั้นตอน ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 การจัดทำแบบสอบถามเพื่อสำรวจความต้องการทางด้านคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอลจากผู้ใช้งาน

หลังจากผู้วิจัยใช้วิธีการระดมสมอง (Brainstorming) และสอบถามจากผู้ที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานเครื่องยิงลูกบอล เพื่อกำหนดคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอลแล้ว จึงได้ทำการสร้างแบบสอบถามเพื่อสำรวจความต้องการและระดับความสำคัญของความต้องการด้านคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอล โดยเป็นการสร้างคำถามแบบเปรียบเทียบเป็นรายคู่ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้หลักการตามทฤษฎีของการตัดสินใจโดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 จากนั้นจึงทำการสำรวจความต้องการทางด้านคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอลจากกลุ่มประชากรที่กำหนดไว้ 83 คน

4.3.2 ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบถาม

ผู้วิจัยแบ่งการตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบถาม ออกเป็น 2 ส่วนคือ การตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบถามก่อนใช้เก็บข้อมูลจากกลุ่มประชากร และการตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบถามหลังเก็บข้อมูลจากกลุ่มประชากรซึ่งจะทำการตรวจสอบคุณภาพดังนี้

4.3.2.1 <u>การตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบถามก่อนใช้เก็บข้อมูลจากกลุ่มประชากร</u>

การตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบถามในส่วนนี้ เป็นการตรวจสอบคุณภาพในด้านของความสมเหตุสมผล โดยผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบความสมเหตุสมเหตุสมผลด้วยตนเอง รวมทั้งขอให้ผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้ในเรื่องการออกแบบการทดลองทำการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของแบบสอบถามที่จะใช้สำรวจความต้องการและลำดับความสำคัญของความต้องการทางด้านคุณลักษณะของเครื่องลูกบอล เมื่อแบบสอบถามผ่านการตรวจสอบคุณภาพแล้วจึงจะสามารถนำไปใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลในขั้นตอนต่อไปได้

4.3.2.2 <u>การตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบถามหลังเก็บข้อมูลจากกลุ่มประชากร</u>

ในการตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบถามหลังเก็บข้อมูลจากกลุ่มประชากร แบ่งออกเป็น 2 ส่วนย่อย คือ

1. การตรวจสอบข้อเท็จจริงของทัศนคติที่ได้จากแบบสอบถาม

แบบสอบถามที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น จะมีคำถามที่สามารถตรวจสอบได้ว่าผู้ตอบแบบสอบถามให้ข้อมูลตามความคิดเห็นจริงหรือไม่ ผลของการตรวจสอบพบว่า ในกลุ่มประชากรผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด 83 คน มีผู้ให้ข้อมูลตามความคิดเห็นจริง 72 คน ซึ่งเป็นกลุ่มตัวอย่างที่เพียงพอต่อการวิจัยในครั้งนี้ เนื่องจากมีจำนวนกลุ่มตัวอย่างมากกว่าที่คำนวณไว้โดยวิธีการใช้ตาราง Krejcie & Morgan ในหัวข้อที่ 3.3.4

2. การวัดความเชื่อถือได้ของแบบสอบถาม

เนื่องจากผู้วิจัยเลือกใช้แบบสอบถามแบบเปรียบเทียบรายคู่ ซึ่งเป็นวิธีในกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP) ผู้วิจัยจึงวัดความเชื่อถือได้ของแบบสอบถาม โดยใช้ค่าอัตราส่วนความสอดคล้อง (Consistency Ratio, CR) ซึ่งมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

2.1) สรุปคะแนนจากแบบสอบถาม ให้อยู่ในรูปของค่าคะแนนความสำคัญสัมพัทธ์

กำหนดคะแนนความสำคัญของแต่ละคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอลดังนี้

ถ้ามีความสำคัญมากกว่ากันในระดับ มาก	7 คะแนน
ถ้ามีความสำคัญมากกว่ากันในระดับ ปานกลาง	5 คะแนน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้ามีความสำคัญมากกว่ากันในระดับ น้อย 3 คะแนน

ถ้ามีความสำคัญ เท่ากัน 1 คะแนน

จากนั้น นำจำนวนผู้ตอบแบบสอบถามในแต่ละหัวข้อคูณกับคะแนนของระดับความสำคัญในหัวข้อนั้นๆ ดังสมการคะแนนความสำคัญสัมพัทธ์เฉลี่ย = (จำนวนคนที่ให้ความสำคัญในระดับมาก * 7 คะแนน) + (จำนวนคนที่ให้ความสำคัญในระดับมากปานกลาง * 5 คะแนน) + (จำนวนคนที่ให้ความสำคัญในระดับน้อย * 3 คะแนน) นำผลลัพธ์ที่ได้ หารด้วยจำนวนคนทั้งหมดที่ให้ความสำคัญในคุณลักษณะนั้น ตัวอย่างเช่น ความแข็งแรงทนทาน มีผู้ให้ความสำคัญ 65 คน อยู่ในระดับมาก 45 คน ระดับปานกลาง 20 คน ระดับน้อย 0 คน

คะแนนความสำคัญสัมพัทธ์เฉลี่ย = [(45 * 7) + (20 * 5) + (0 * 3)] / 65 = 6.385 หรือประมาณ 6.40

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างผลสรุปจำนวนผู้ตอบแบบสอบถามและคะแนนความสำคัญสัมพัทธ์

คุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอลในหัวข้อใดมีสำคัญมากกว่ากัน	จำนวนผู้ตอบแบบสอบถาม (จำนวนคน)	คุณลักษณะดังกล่าวมีความสำคัญมากกว่าในระดับใด			คะแนนความสำคัญสัมพัทธ์เฉลี่ย
		มาก (จำนวนคน)	ปานกลาง (จำนวนคน)	น้อย (จำนวนคน)	
ข้อที่ 1					
ความสวยงาม	4	0	3	1	4.50
ความแข็งแรงทนทาน	**65**	**45**	**20**	**0**	**6.40**
มีความสำคัญเท่ากัน	3	-	-	-	1.00
ข้อที่ 2					
ความสวยงาม	12	0	10	2	4.70
ความสะดวกในการใช้งาน	**49**	**0**	**36**	**13**	**4.50**
มีความสำคัญเท่ากัน	11	-	-	-	1.00

2.2) จากตารางที่ 4.1 นำคะแนนความสำคัญสัมพัทธ์เฉลี่ยของคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอลในแต่ละข้อที่มีผู้ให้ความสำคัญมากที่สุด มาใส่ในเมตริกซ์ดังตารางที่ 4.2 โดยคุณลักษณะทางด้านซ้ายมือของตารางจะมีค่าเป็นจำนวนเท่าของคุณลักษณะทางด้านบนของตาราง ตัวอย่างเช่น ในตารางที่ 4.1 ข้อที่ 1 ผู้ตอบแบบสอบถามให้ความสำคัญกับความแข็งแรงทนทานมากกว่าความสวยงาม ความแข็งแรงทนทานมีคะแนนความสำคัญสัมพัทธ์เฉลี่ยเท่ากับ 6.40 ก็ให้ใส่ค่า 6.40 ในเมตริกซ์แถวที่ 2 คอลัมน์ที่ 1 (ช่องที่แรเงา) ซึ่งแสดงว่า ความแข็งแรงทนทานมีความสำคัญเป็น 6.40 เท่าของความสวยงาม ส่วนค่าคะแนนความสำคัญสัมพัทธ์เฉลี่ยของช่องที่เหลือจะได้จากส่วนกลับของค่าคะแนนความสำคัญสัมพัทธ์ที่อยู่ในช่องที่แรเงา จากตัวอย่าง จะใส่ค่า 1/6.40 = 0.16 ในเมตริกซ์แถวที่ 1 คอลัมน์ที่ 2 (ตัวเลขที่ขีดเส้นใต้) ซึ่งแสดงว่า ความสวยงามมีความสำคัญเป็น 0.16 เท่าของความแข็งแรงทนทาน เป็นต้น จากนั้นรวมคะแนนในแต่ละคอลัมน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบเป็นรายคู่ระหว่างคุณลักษณะ โดยวิธี AHP

คุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอล	ความสวยงาม	ความแข็งแรงทนทาน	ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย	ความสะดวกในการใช้งาน	พื้นที่ทำการทดลองน้อย	ความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล	การดูแลรักษา	ความสะดวกในการจัดเก็บ
ความสวยงาม	-	0.16	0.33	0.22	0.29	0.14	0.32	0.25
ความแข็งแรงทนทาน	6.40	-	2.00	2.00	3.00	0.42	2.06	1.60
ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย	3.00	0.50	-	0.33	0.45	0.40	1.00	1.00
ความสะดวกในการใช้งาน	4.50	0.50	3.00	-	3.80	0.65	2.00	1.12
พื้นที่ทำการทดลองน้อย	3.50	2.20	2.20	0.26	-	0.50	1.14	0.67
ความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล	7.00	2.40	2.50	1.55	2.00	-	2.26	3.33
การดูแลรักษา	3.10	0.49	1.00	0.50	0.88	0.44	-	0.77
ความสะดวกในการจัดเก็บ	4.00	0.63	1.00	0.89	1.50	0.30	1.29	-
รวม	**32.50**	**7.87**	**13.03**	**6.76**	**12.92**	**3.85**	**11.07**	**9.94**

หมายเหตุ : ช่องว่างที่ใส่เครื่องหมาย - ไว้นั้น หมายถึง 1.00

2.3) จากตารางที่ 4.2 นำค่าคะแนนความสำคัญสัมพัทธ์จากการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ทั้งหมด มาแปลงเป็นค่าปกติ (Normalized) โดยคำนวณจากค่าคะแนนความสำคัญสัมพัทธ์ หารด้วยผลรวมของคะแนนความสำคัญสัมพัทธ์ในแต่ละคอลัมน์ซึ่งได้จากตัวเลขในแถวล่างสุดของตารางที่ 4.2 จะได้ค่าปกติดังแสดงในตารางที่ 4.3 ตัวอย่างเช่น คะแนนความสำคัญสัมพัทธ์ของความแข็งแรงทนทาน (ตัวเลขแถวที่ 2 คอลัมน์ที่ 1) เท่ากับ 6.40 ผลรวมของคอลัมน์ที่ 1 เท่ากับ 32.50 แปลงเป็นค่าปกติได้เท่ากับ 6.40/32.50 = 0.20 นำค่าที่ได้นี้ไปใส่ในเมตริกซ์แถวที่ 2 คอลัมน์ที่ 1ในตารางที่ 4.3 (ช่องที่แรเงา) เป็นต้น โดยผลรวมของแต่ละคอลัมน์ต้องเท่ากับ 1 เสมอ จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของแต่ละแถวดังแสดงในคอลัมน์ขวาสุดของตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบเป็นรายคู่แบบปกติระหว่างคุณลักษณะ โดยวิธี AHP

คุณลักษณะ	ความสวยงาม	ความแข็งแรงทนทาน	ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย	ความสะดวกในการใช้งาน	พื้นที่ทำการทดลองน้อย	ความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล	การดูแลรักษา	ความสะดวกในการจัดเก็บ	ค่าเฉลี่ยของแต่ละแถว
ความสวยงาม	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.04	0.03	0.03	**0.03**
ความแข็งแรงทนทาน	0.20	0.13	0.15	0.30	0.23	0.11	0.19	0.16	**0.18**
ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย	0.09	0.06	0.08	0.05	0.04	0.10	0.09	0.10	**0.08**
ความสะดวกในการใช้งาน	0.14	0.06	0.23	0.15	0.29	0.17	0.18	0.11	**0.17**
พื้นที่ทำการทดลองน้อย	0.11	0.28	0.17	0.04	0.08	0.13	0.10	0.07	**0.12**
ความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล	0.22	0.31	0.19	0.23	0.15	0.26	0.20	0.33	**0.24**
การดูแลรักษา	0.10	0.06	0.08	0.07	0.07	0.11	0.09	0.10	**0.09**
ความสะดวกในการจัดเก็บ	0.12	0.08	0.08	0.13	0.12	0.08	0.12	0.10	**0.10**
รวม	**1.00**	**1.00**	**1.00**	**1.00**	**1.00**	**1.00**	**1.00**	**1.00**	**1.00**

2.4) นำค่าคะแนนความสำคัญสัมพัทธ์เฉลี่ยที่ได้จากตารางที่ 4.2 มาคูณด้วยค่าเฉลี่ยในแต่ละแถวของตารางที่ 4.3 โดยที่ค่า คะแนนความสำคัญสัมพัทธ์เฉลี่ยในคอลัมน์ที่ 1 จะหารด้วยค่าเฉลี่ยในแถวที่ 1 และค่าคะแนนความสำคัญสัมพัทธ์เฉลี่ยในคอลัมน์ที่ 2 จะหารด้วยค่าเฉลี่ยในแถวที่ 2 ต่อไปเรื่อยๆตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.4 ตัวอย่างเช่น ในคอลัมน์ที่ 1 ของตารางที่ 4.2 มีคะแนนความสำคัญสัมพัทธ์เฉลี่ยเท่ากับ 1.00, 6.40, 3.00, 4.50, 3.50, 7.00, 3.10 และ 4.00 ตามลำดับ ค่าทั้งหมดนี้จะคูณด้วย ค่าเฉลี่ยของแถวที่ 1 ในตารางที่ 4.3 คือ 0.03 ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 0.03, 0.18, 0.08 0.13, 0.10, 0.19, 0.09 และ 0.11 ตามลำดับ บันทึกค่าดังกล่าวลงในคอลัมน์ที่ 1 ของตารางที่ 4.4 เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 คะแนนความสำคัญสัมพัทธ์เฉลี่ยที่หารด้วยค่าปกติ

คุณลักษณะ	ความสวยงาม	ความแข็งแรงทนทาน	ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย	ความสะดวกในการใช้งาน	พื้นที่ทำการทดลองน้อย	ความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล	การดูแลรักษา	ความสะดวกในการจัดเก็บ	ผลรวมของแต่ละแถว
ความสวยงาม	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	**0.24**
ความแข็งแรงทนทาน	0.18	0.18	0.15	0.33	0.36	0.10	0.18	0.16	**1.65**
ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย	0.08	0.09	0.08	0.06	0.06	0.09	0.09	0.10	**0.64**
ความสะดวกในการใช้งาน	0.13	0.09	0.23	0.17	0.46	0.15	0.17	0.12	**1.51**
พื้นที่ทำการทดลองน้อย	0.10	0.40	0.17	0.04	0.12	0.12	0.10	0.07	**1.12**
ความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล	0.19	0.44	0.19	0.26	0.24	0.24	0.19	0.34	**2.09**
การดูแลรักษา	0.09	0.09	0.08	0.08	0.11	0.10	0.09	0.10	**0.73**
ความสะดวกในการจัดเก็บ	0.11	0.11	0.08	0.15	0.18	0.07	0.11	0.10	**0.92**

2.5) นำผลรวมของแต่ละแถวในตารางที่ 4.4 หารด้วยค่าเฉลี่ยในแต่ละแถวในตารางที่ 4.3 เพื่อนำไปคำนวณค่า λ_{max}

ตารางที่ 4.5 วิธีการคำนวณค่า λ_{max}

ผลรวมของแต่ละแถว ตารางที่ 4.4		ค่าเฉลี่ยของแต่ละแถว ตารางที่ 4.3		ผลลัพธ์
0.24	÷	0.03	=	8.65
1.65	÷	0.18	=	9.04
0.64	÷	0.08	=	8.43
1.51	÷	0.17	=	9.07
1.12	÷	0.12	=	9.19
2.09	÷	0.24	=	8.86
0.73	÷	0.09	=	8.62
0.92	÷	0.10	=	8.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6) คำนวณหาค่า λ_{max} ได้จากค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์ในขั้นตอนที่ 4

$$\lambda_{max} = \frac{8.65 + 9.04 + 8.43 + 9.07 + 9.19 + 8.86 + 8.62 + 8.92}{8} = 8.85$$

2.7) คำนวณหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (Consistency Index, CI) และอัตราส่วนความสอดคล้อง (Consistency Ratio, CR) จากสมการที่ 2.12 และ 2.13 และในตารางที่ 2.4 จะได้ค่า R = 1.41 เมื่อ n = 8 ดังนั้น

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{8.85 - 8}{8 - 1} = 0.1208$$

$$CR = \frac{CI}{R} = \frac{0.1208}{1.41} = 0.0857$$

จะได้ค่าอัตราส่วนความสอดคล้องเท่ากับ 0.0857 หรือ 8.57% ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.10 หรือ 10% ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลความคิดเห็นด้านคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอลที่ได้จากแบบสอบถามนี้มีความสอดคล้องกัน แสดงว่า ทัศนคติที่ได้จากแบบสอบถามนั้นมีความน่าเชื่อถือ สามารถนำไปใช้วิเคราะห์ในบ้านคุณภาพ เพื่อหาน้ำหนักความสำคัญของแต่ละข้อกำหนดทางเทคนิคได้

4.3.3 ระดับความสำคัญของคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอลจากแบบสอบถามความคิดเห็น

จากค่าคะแนนความสำคัญสัมพัทธ์เฉลี่ยในตารางที่ 4.2 แปลงให้เป็นค่าปกติดังแสดงในตารางที่4.3 จากนั้นคำนวณผลรวมของแต่ละแถว และหารด้วยจำนวนคุณลักษณะ ซึ่งในที่นี้เท่ากับ 8 จะได้ระดับความสำคัญของแต่ละคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอลดังแสดงในตารางที่ 4.6 ตัวอย่างเช่น ระดับความสำคัญของความสวยงาม (แถวที่ 1) เท่ากับ [(0.03 + 0.02 + 0.03 + 0.03 + 0.02 + 0.04 + 0.03 + 0.03) / 8] * 100 = 2.78 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ระดับความสำคัญที่ได้จากการสรุปแบบสอบถาม

คุณลักษณะ	ความสวยงาม	ความแข็งแรงทนทาน	ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย	ความสะดวกในการใช้งาน	พื้นที่ทำการทดลองน้อย	ความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล	การดูแลรักษา	ความสะดวกในการจัดเก็บ	(ผลรวมแนวนอน / 8) * 100%
ความสวยงาม	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.04	0.03	0.03	**2.78**
ความแข็งแรงทนทาน	0.20	0.13	0.15	0.30	0.23	0.11	0.19	0.16	**18.26**
ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย	0.09	0.06	0.08	0.05	0.04	0.10	0.09	0.10	**7.65**
ความสะดวกในการใช้งาน	0.14	0.06	0.23	0.15	0.29	0.17	0.18	0.11	**16.69**
พื้นที่ทำการทดลองน้อย	0.11	0.28	0.17	0.04	0.08	0.13	0.10	0.07	**12.15**
ความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล	0.22	0.31	0.19	0.23	0.15	0.26	0.20	0.33	**23.65**
การดูแลรักษา	0.10	0.06	0.08	0.07	0.07	0.11	0.09	0.10	**8.52**
ความสะดวกในการจัดเก็บ	0.12	0.08	0.08	0.13	0.12	0.08	0.12	0.10	**10.29**
รวม	**1.00**	**1.00**	**1.00**	**1.00**	**1.00**	**1.00**	**1.00**	**1.00**	**100.00**

จากตารางที่ 4.6 จะเห็นว่าระดับความสำคัญในด้านความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอลมีคะแนนมากที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 23.65 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือความแข็งแรงทนทานและความสะดวกในการใช้งาน มีค่าเท่ากับ 18.26 เปอร์เซ็นต์ และ 16.69 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าผู้ใช้ให้ความสำคัญกับความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล ความแข็งแรงทนทาน และความสะดวกในการใช้งาน มากที่สุด ตามลำดับ ดังนั้น ผู้วิจัยต้องทำการออกแบบเครื่องยิงลูกบอลโดยให้ความสำคัญกับคุณลักษณะเหล่านี้เป็นหลัก คือ ต้องมีความเที่ยงตรงสูง มีความแข็งแรงทนทาน และมีความสะดวกในการใช้งาน ตามลำดับ

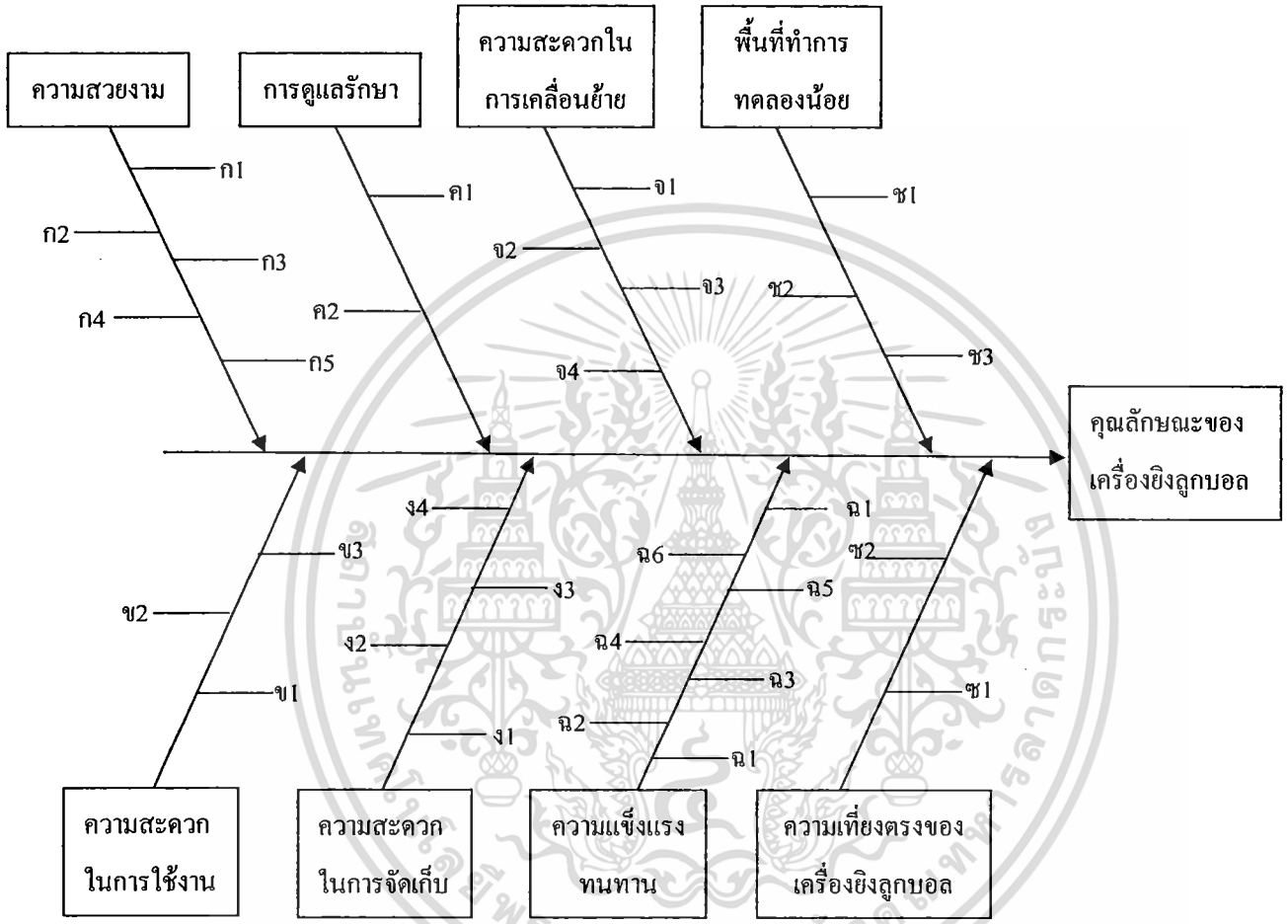
4.3.4 การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ

หลังจากที่ได้ระดับความสำคัญของคุณลักษณะต่างๆ ของเครื่องยิงลูกบอลที่วิเคราะห์มาจากแบบสอบถามแล้ว ผู้วิจัยจะนำคุณลักษณะดังกล่าวมาเข้าสู่กระบวนการของเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ หรือที่เรียกว่า QFD โดยมีขั้นตอนดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4.1 ข้อกำหนดทางเทคนิค

ขั้นตอนแรก ผู้วิจัยได้กำหนดคุณลักษณะทางวิศวกรรมหรือข้อกำหนดทางเทคนิคจากความต้องการทางด้านคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอลทั้ง 8 ข้อ โดยใช้เทคนิคการระดมสมอง เพื่อนำข้อกำหนดทางเทคนิคนั้นไปเข้าสู่บ้านคุณภาพ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิค



รูปที่ 4.5 แผนภูมิก้างปลาของคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอล

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าผู้วิจัยได้มีการนำแผนภูมิก้างปลาเข้ามาใช้ เพื่อศึกษารายละเอียดต่างๆ ของคุณลักษณะและข้อกำหนดทางเทคนิคให้มีความละเอียดมากที่สุด และทำให้สามารถสรุปได้ว่า คุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอลในแต่ละข้อนั้นประกอบด้วยข้อกำหนดทางเทคนิคใดบ้าง เช่น คุณลักษณะในด้านของความสวยงาม จะประกอบด้วยข้อกำหนดทางเทคนิค 5 ข้อ คือ ขนาด สี วัสดุเคลือบผิว ความโค้งมนของผลิตภัณฑ์ และบรรจุภัณฑ์ ดังตารางที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่า ในการออกแบบหากต้องการให้เครื่องยิงลูกบอลมีความสวยงามมาก เราต้องคำนึงถึงขนาด สี วัสดุเคลือบผิว ความโค้งมนของผลิตภัณฑ์ และบรรจุภัณฑ์ของเครื่องยิงลูกบอล จึงจะทำให้เครื่องยิงลูกบอลที่ออกแบบมามีความสวยงามเป็นที่ต้องการของผู้ใช้งาน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ข้อกำหนดทางเทคนิคต่างๆ ของคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอล

คุณลักษณะ	ข้อกำหนดทางเทคนิค
ความสวยงาม	ก1 ขนาด
	ก2 สี
	ก3 วัสดุเคลือบผิว
	ก4 ความโค้งมนของผลิตภัณฑ์
	ก5 บรรจุภัณฑ์
ความสะดวก ในการใช้งาน	ข1 กลไกการทำงาน
	ข2 ค่าความคลาดเคลื่อน
	ข3 คู่มือการใช้งาน
การดูแลรักษา	ค1 คุณภาพวัสดุ
	ค2 วัสดุเคลือบผิว
ความสะดวก ในการจัดเก็บ	ง1 ขนาด
	ง2 น้ำหนัก
	ง3 การถอดประกอบ
	ง4 บรรจุภัณฑ์
ความสะดวก ในการเคลื่อนย้าย	จ1 ขนาด
	จ2 น้ำหนัก
	จ3 ความสมดุล
	จ4 บรรจุภัณฑ์
ความแข็งแรงทนทาน	ฉ1 ขนาด
	ฉ2 น้ำหนัก
	ฉ3 คุณภาพวัสดุ
	ฉ4 การยึดติดของชิ้นส่วน
	ฉ5 การถอดประกอบ
	ฉ6 ความสมดุล
	ฉ7 อายุการใช้งาน
พื้นที่ทำการทดลองน้อย	ช1 ขนาด
	ช2 กลไกการทำงาน
	ช3 ค่าความคลาดเคลื่อน
ความเที่ยงตรง ของเครื่องยิงลูกบอล	ซ1 กลไกการทำงาน
	ซ2 ค่าความคลาดเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4.2 บ้านคุณภาพ (House of Quality)

หลังจากที่ได้ค่าคะแนนระดับความสำคัญและข้อกำหนดทางเทคนิคแล้ว นำข้อมูลที่ได้มาเข้าสู่บ้านคุณภาพ โดยมีวิธีการต่างๆ ดังนี้

1. ให้คะแนนค่าระดับความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอลกับข้อกำหนดทางเทคนิคโดยใช้วิธีระดมสมอง (Brainstorming) ของสมาชิกในกลุ่ม โดยกำหนดค่าระดับคะแนนดังนี้

ให้ระดับคะแนนเป็น	1	ถ้ามีระดับความสัมพันธ์น้อย
ให้ระดับคะแนนเป็น	3	ถ้ามีระดับความสัมพันธ์ปานกลาง
ให้ระดับคะแนนเป็น	9	ถ้ามีระดับความสัมพันธ์มาก
และ	ช่องว่าง	ถ้าไม่มีระดับความสัมพันธ์

ตารางที่ 4.8 ค่าระดับความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอลกับข้อกำหนดทางเทคนิคต่างๆ

ข้อ	คุณลักษณะ	ขนาด	น้ำหนัก	คุณภาพวัสดุ	ซีล	วัสดุเคลือบผิว	ความโค้งงานของผลิตภัณฑ์	การยึดติดของชิ้นส่วน	การถอดประกอบ	ความสมดุล	กลไกการทำงาน	ค่าความคลาดเคลื่อน	อายุการใช้งาน	บรรจุภัณฑ์	คู่มือการใช้งาน
1	ความสวยงาม	1			9	3	3							3	
2	ความแข็งแรงทนทาน	3	3	9				9	3	1			9		
3	ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย	9	9							3				3	
4	ความสะดวกในการใช้งาน										9	1			9
5	ความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล										9	9			
6	พื้นที่ทำการทดลองน้อย	9									3	1			
7	ความสะดวกในการจัดเก็บ	9	3						9					3	
8	การดูแลรักษา			3		9									

2. คำนวณหาค่าน้ำหนักความสำคัญสมบูรณ์ โดยที่

ค่าน้ำหนักความสำคัญสมบูรณ์ = ผลรวมของผลคูณระหว่างค่าระดับความสัมพันธ์ กับ คะแนนระดับความสำคัญ

ตัวอย่างเช่น

ค่าน้ำหนักความสำคัญสมบูรณ์ของน้ำหนัก = (3*18.26) + (9*7.65) + (3*10.29)

= 154.5

ค่าน้ำหนักความสำคัญสมบูรณ์ของกลไกการทำงาน = (9*16.69) + (9*23.65) + (3*12.15)

= 399.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าน้ำหนักความสำคัญสมบูรณ์จะแสดงให้เห็นว่า ข้อกำหนดทางเทคนิคใดมีความสำคัญมากกว่ากัน ถ้าข้อกำหนดทางเทคนิคใดมีค่าน้ำหนักความสำคัญสมบูรณ์มาก แสดงว่าข้อกำหนดทางเทคนิคนั้นมีความสำคัญมาก แต่ถ้าข้อกำหนดทางเทคนิคใดมีค่าน้ำหนักความสำคัญสมบูรณ์น้อย ก็แสดงว่าข้อกำหนดทางเทคนิคนั้นมีความสำคัญน้อย

3. คำนวณหาค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบ โดยที่

ค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบ = (ค่าน้ำหนักความสำคัญสมบูรณ์ของแต่ละข้อกำหนดทางเทคนิค หารด้วย ผลรวมของค่าน้ำหนักความสำคัญสมบูรณ์) คูณ 100

ตัวอย่างเช่น

ผลรวมของค่าน้ำหนักความสำคัญสมบูรณ์ = 328.4+154.5+189.9+...+62.2+150.2

= 2161.93

ดังนั้น

ค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบของน้ำหนัก $= \left(\frac{154.5}{2161.93}\right) * 100$

$= 7.1$

ค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบของกลไกการทำงาน $= \left(\frac{399.5}{2161.93}\right) * 100$

$= 18.5$

ค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบจะแสดงให้เห็นว่า ข้อกำหนดทางเทคนิคใดมีความสำคัญมากกว่ากัน ซึ่งจะคล้ายกับค่าน้ำหนักความสำคัญสมบูรณ์ แต่จะแตกต่างกันตรงที่ค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบจะแสดงออกมาในรูปของค่าร้อยละ ซึ่งจะมีคะแนนรวมทั้งสิ้น 100 % ทำให้เราสามารถเปรียบเทียบความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคแต่ละข้อได้อย่างชัดเจน ซึ่งหากข้อกำหนดทางเทคนิคใดมีค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบมาก แสดงว่าข้อกำหนดทางเทคนิคนั้นมีความสำคัญมาก แต่ถ้าข้อกำหนดทางเทคนิคใดมีค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบน้อย ก็แสดงว่าข้อกำหนดทางเทคนิคนั้นมีความสำคัญน้อย เช่น ค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบของน้ำหนัก มีค่าเท่ากับ 7.1 และค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบของกลไกการทำงาน มีค่าเท่ากับ 18.5 แสดงว่าข้อกำหนดทางเทคนิคในด้านของกลไกการทำงาน มีความสำคัญมากกว่าข้อกำหนดทางเทคนิคในด้านของน้ำหนัก เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ค่าน้ำหนักความสำคัญสมบูรณ์และค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบ

ข้อ	คุณลักษณะ	ขนาด	น้ำหนัก	คุณภาพวัสดุ	สี	วัสดุเคลือบผิว	ความโค้งบนของผลิตภัณฑ์	การยึดติดของชิ้นส่วน	การถอดประกอบ	ความสมดุล	กลไกการทำงาน	ค่าความคลาดเคลื่อน	อายุการใช้งาน	บรรจุภัณฑ์	คู่มือการใช้งาน	คะแนนระดับความสำคัญ
1	ความสวยงาม	1			9	3	3							3		2.78
2	ความแข็งแรงทนทาน	3	3	9				9	3	1			9			18.26
3	ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย	9	9							3				3		7.65
4	ความสะดวกในการใช้งาน										9	1			9	16.69
5	ความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล										9	9				23.65
6	พื้นที่ทำการทดลองน้อย	9									3	1				12.15
7	ความสะดวกในการจัดเก็บ	9	3						9					3		10.29
8	การดูแลรักษา			3		9										8.52
	ค่าน้ำหนักความสำคัญสมบูรณ์	328.4	154.5	189.9	25.0	85.0	8.3	164.3	147.4	41.2	399.5	241.7	164.3	62.2	150.2	
	ค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบ	15.2	7.1	8.8	1.2	3.9	0.4	7.6	6.8	1.9	18.5	11.2	7.6	2.9	6.9	

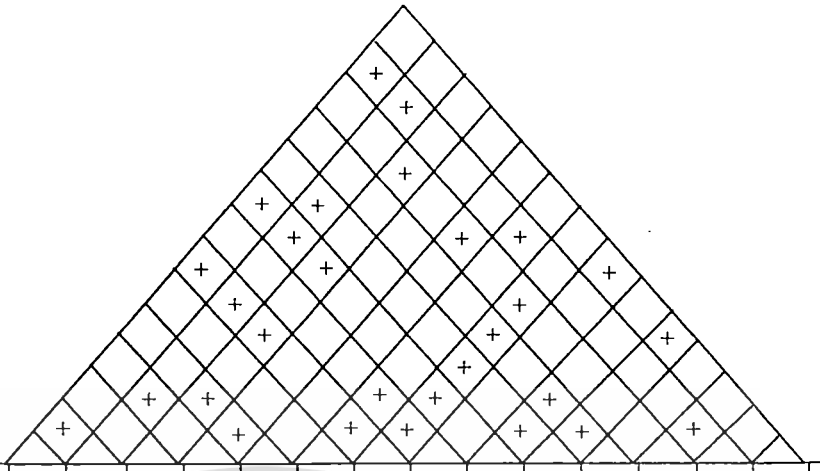
4. กำหนดความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดทางเทคนิคโดยใช้วิธีระดมสมองของสมาชิกในกลุ่ม โดยที่

เป็น + เมื่อมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน

เป็น - เมื่อมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกัน

และ ช่องว่าง เมื่อ ไม่มีความสัมพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ข้อ	คุณลักษณะ	ขนาด	น้ำหนัก	คุณภาพวัสดุ	สี	วัสดุเคลือบผิว	ความโค้งมนของผลิตภัณฑ์	การยึดติดของชิ้นส่วน	การถอดประกอบ	ความสมดุล	กลไกการทำงาน	ค่าความคลาดเคลื่อน	อายุการใช้งาน	บรรจุภัณฑ์	คู่มือการใช้งาน	คะแนนระดับความสำคัญ
1	ความสวยงาม	1			9	3	3							3		2.78
2	ความแข็งแรงทนทาน	3	3	9				9	3	1			9			18.26
3	ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย	9	9							3				3		7.65
4	ความสะดวกในการใช้งาน										9	1			9	16.69
5	ความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล										9	9				23.65
6	พื้นที่ทำการทดลองน้อย	9									3	1				12.15
7	ความสะดวกในการจัดเก็บ	9	3						9					3		10.29
8	การดูแลรักษา			3		9										8.52
	ค่าน้ำหนักความสำคัญสมบูรณ์	328.4	154.5	189.9	25.0	85.0	8.3	164.3	147.4	41.2	399.5	241.7	164.3	62.2	150.2	
	ค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบ	15.2	7.1	8.8	1.2	3.9	0.4	7.6	6.8	1.9	18.5	11.2	7.6	2.9	6.9	

รูปที่ 4.6 ผลการสร้างบ้านคุณภาพ

จากบ้านคุณภาพ จะเห็นได้ว่า กลไกการทำงานเป็นข้อกำหนดทางเทคนิคที่มีค่าน้ำหนักความสำคัญมากที่สุด คือ 18.5 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ขนาด และค่าความคลาดเคลื่อน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 15.2 เปอร์เซ็นต์ และ 11.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้น ในการออกแบบเครื่องยิงลูกบอล ผู้วิจัยต้องคำนึงถึงกลไกการทำงานเป็นสำคัญ รองลงมาคือเรื่องของขนาด และค่าความคลาดเคลื่อน ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5 วัสดุที่ใช้ทำเครื่องยิงลูกบอล

ผู้วิจัยใช้ข้อมูลระดับความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคของเครื่องยิงลูกบอล ที่ได้จากบ้านคุณภาพเป็นสิ่งพิจารณาในการเลือกใช้วัสดุ โดยเรียงระดับความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคจากมากไปหาน้อย ได้ดังนี้

กลไกการทำงาน	18.5	เปอร์เซ็นต์
ขนาด	15.2	เปอร์เซ็นต์
ค่าความคลาดเคลื่อน	11.2	เปอร์เซ็นต์
คุณภาพของวัสดุ	8.8	เปอร์เซ็นต์
การยึดติดของชิ้นส่วน	7.6	เปอร์เซ็นต์
อายุการใช้งาน	7.6	เปอร์เซ็นต์
น้ำหนัก	7.1	เปอร์เซ็นต์
คู่มือการใช้งาน	6.9	เปอร์เซ็นต์
การถอดประกอบ	6.8	เปอร์เซ็นต์
วัสดุเคลือบผิว	3.9	เปอร์เซ็นต์
บรรจุภัณฑ์	2.9	เปอร์เซ็นต์
ความสมดุล	1.9	เปอร์เซ็นต์
สี	1.2	เปอร์เซ็นต์
ความโค้งมนของผลิภัณฑ์	0.4	เปอร์เซ็นต์

ผู้วิจัยพิจารณาให้คะแนนวัสดุแต่ละประเภทเมื่อเทียบกับข้อกำหนดทางเทคนิค โดยเครื่องหมาย +1 หมายถึง คุณลักษณะข้อนั้นดีกว่าวัสดุชนิดที่เหลือ เครื่องหมาย -1 หมายถึง คุณลักษณะข้อนั้นด้อยกว่าวัสดุชนิดที่เหลือ และ 0 หมายถึง มีคุณลักษณะนั้นในระดับกลาง โดยผู้วิจัยใช้วิธีการระดมสมองในการให้คะแนน ดังแสดงในตารางที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 การเปรียบเทียบข้อกำหนดทางเทคนิคกับการเลือกใช้วัสดุ

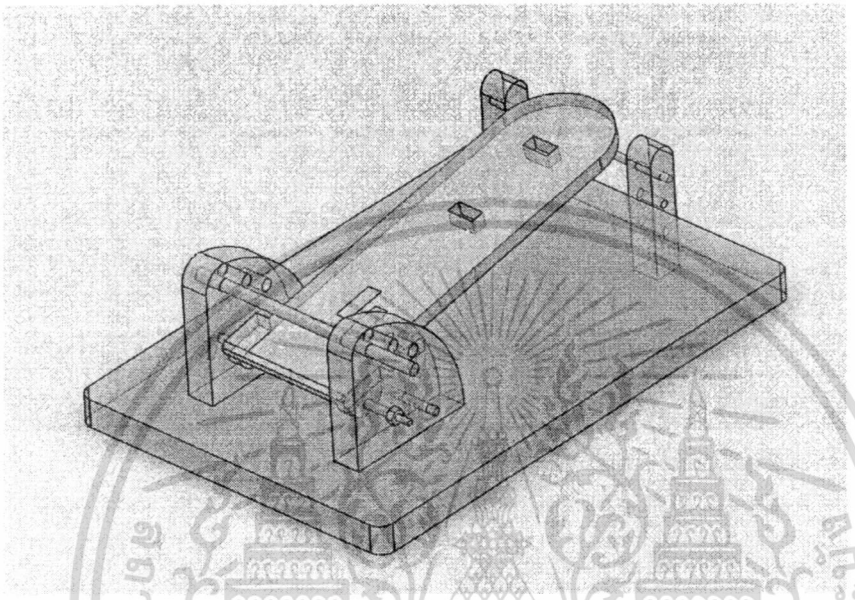
ข้อกำหนดทางเทคนิค	หลักในการพิจารณา	คะแนนระดับความสำคัญ	คะแนนการเปรียบเทียบ			คะแนนระดับความสำคัญ * คะแนนการเปรียบเทียบ		
			ไม้	อะคริลิก	โลหะ	ไม้	อะคริลิก	โลหะ
กลไกการทำงาน	ความง่ายในการใช้งาน	18.5	0	0	0	**0**	**0**	**0**
ขนาด	ขนาดกะทัดรัด สะดวกในการเคลื่อนย้ายและจัดเก็บ	15.2	0	0	0	**0**	**0**	**0**
ค่าความคลาดเคลื่อน	ค่าความคลาดเคลื่อนของผลการทดลองน้อย	11.2	-1	+1	+1	**-11.2**	**11.2**	**11.2**
คุณภาพของวัสดุ	เป็นวัสดุเกรดดี	8.8	0	0	0	**0**	**0**	**0**
อายุการใช้งาน	มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน	7.6	-1	+1	+1	**-7.6**	**7.6**	**7.6**
น้ำหนัก	น้ำหนักเบา สะดวกในการเคลื่อนย้าย	7.1	+1	+1	-1	**7.1**	**7.1**	**-7.1**
คู่มือการใช้งาน	มีคู่มือการใช้งาน	6.9	0	0	0	**0**	**0**	**0**
การถอดประกอบ	สามารถถอดแยกชิ้นได้บางส่วน เพื่อความสะดวกให้การเปลี่ยนชิ้นส่วนเมื่อเกิดความเสียหาย	6.8	+1	0	0	**6.8**	**0**	**0**
วัสดุเคลือบผิว	สามารถทาวัสดุเคลือบผิวเพื่อลดการเกิดรอยขูดขีดบนตัวผลิตภัณฑ์	3.9	+1	-1	0	**3.9**	**-3.9**	**0**
บรรจุภัณฑ์	สามารถเก็บใส่บรรจุภัณฑ์เพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้าย	2.9	+1	+1	-1	**2.9**	**2.9**	**-2.9**
ความสมดุล	ออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ ให้มีความสมดุลกัน	1.9	0	0	0	**0**	**0**	**0**
สี	สีสันของวัสดุ	1.2	0	+1	-1	**0**	**1.2**	**-1.2**
ความโค้งมนของผลิตภัณฑ์	ลบมุม ขอบ ของผลิตภัณฑ์เพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน	0.4	0	0	0	**0**	**0**	**0**
คะแนนรวม						**1.9**	**26.1**	**15.2**

จากตารางที่ 4.10 การสรุปคะแนนของวัสดุแต่ละชนิด จะนำผลการเปรียบเทียบในแต่ละข้อกำหนดทางเทคนิคคูณกับคะแนนความสำคัญของข้อกำหนดนั้น แล้วรวมคะแนนที่ได้ พบว่าอะคริลิกมีคะแนนมากที่สุด 26.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คะแนน รองลงมาคือ โลหะ 15.2 คะแนน และไม้ 1.9 คะแนน ตามลำดับ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้อะคริลิกเป็นวัสดุในการสร้างเครื่องยิงลูกบอล

4.3.6 แบบจำลองเครื่องยิงลูกบอล



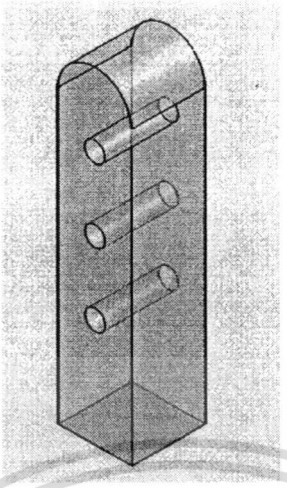
รูปที่ 4.7 แบบจำลองเครื่องยิงลูกบอล

เครื่องยิงลูกบอลที่ออกแบบขึ้น สามารถเปลี่ยนปัจจัยที่ทำการทดลองได้ทั้งหมด 5 ปัจจัย ได้แก่ ตำแหน่งเริ่มยิง ตำแหน่งหยุดแขนยิง ชนิดลูกบอล ตำแหน่งวางถ้วยใส่ลูกบอล และลักษณะสปริงที่ใช้ เครื่องยิงลูกบอลมีชิ้นส่วนประกอบที่สำคัญ ดังนี้

1. เสากำหนดตำแหน่งเริ่มยิง จำนวน 2 ชิ้น

เสากำหนดตำแหน่งเริ่มยิงทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดตำแหน่งเริ่มยิง โดยก่อนผู้วิจัยทำการปล่อยลูกบอล แขนยิงจะถูกกดจนสัมผัสกับแท่งสเตนเลสเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ที่เสียบเสา 2 ชิ้นนี้ เสากำหนดตำแหน่งเริ่มยิงจะมีตำแหน่งเริ่มยิงด้วยกัน 3 ระดับ ดังรูปที่ 4.8

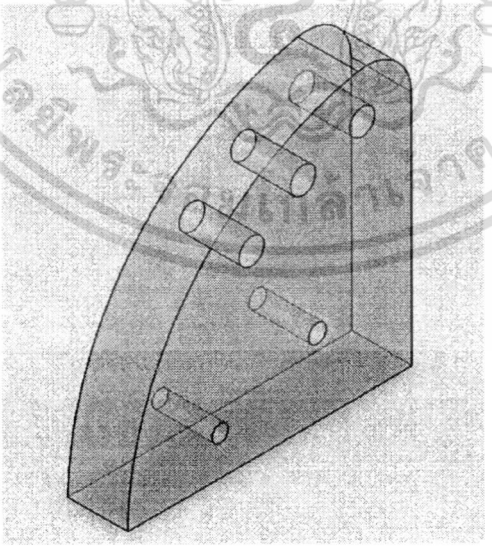
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แบบจำลองเสากำหนดตำแหน่งเริ่มยิง

2. แท่นกำหนดตำแหน่งหยุดแขนยิง จำนวน 2 ชิ้น

แท่นกำหนดตำแหน่งหยุดแขนยิงทำหน้าที่หยุดแขนยิง โดยหลังจากผู้วิจัยทำการปล่อยแขนยิงแล้ว แขนยิงจะกระทบกับแท่งสเตนเลสเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ที่เสียบแท่นกำหนดตำแหน่งหยุดแขนยิงทั้ง 2 ชิ้นนี้ ซึ่งทำให้แขนยิงเคลื่อนที่ต่อไปไม่ได้ และลูกบอลจะลอยออกไปจากแขนยิง แท่นกำหนดตำแหน่งหยุดแขนยิงมีตำแหน่งหยุดแขนยิงด้วยกัน 3 ระดับ ที่ด้านบน รูกึ่งกลางของแท่นกำหนดตำแหน่งหยุดแขนยิงมีขนาด 6 มิลลิเมตร ไว้สำหรับเสียบแท่งสเตนเลสที่ทำการยึดแขนยิงเข้ากับแท่นกำหนดตำแหน่งเริ่มยิง และรูล่างสุดของแท่นกำหนดตำแหน่งหยุดแขนยิงมีขนาด 5 มิลลิเมตร ไว้สำหรับเสียบแท่นสเตนเลสที่ทำการยึดสปริง ดังรูปที่ 4.9

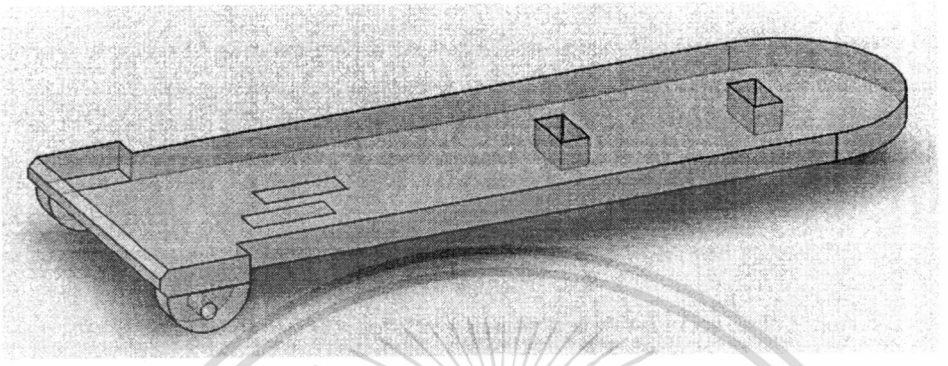


รูปที่ 4.9 แบบจำลองเสากำหนดตำแหน่งหยุดแขนยิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. แขนยิง จำนวน 1 ชิ้น

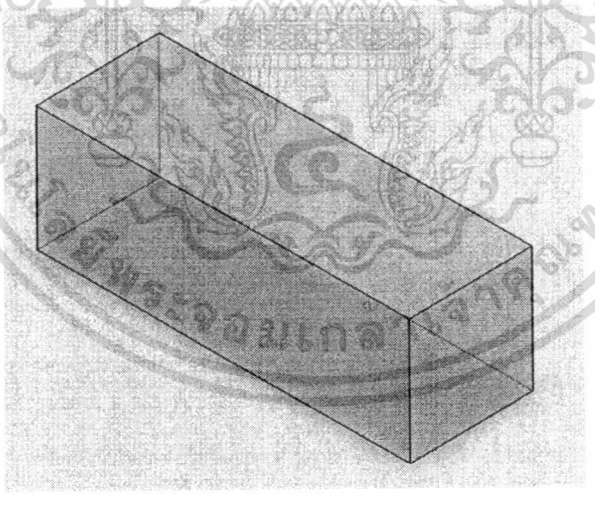
แขนยิงจะมีช่องไว้สำหรับใส่ถ้วย 2 ช่อง เพื่อกำหนดตำแหน่งให้กับลูกบอล และที่ด้านข้างของแขนยิงจะมีช่องเสียบแกนแขนยิงให้แขนยิงยึดติดกับแทนกำหนดตำแหน่งหยุดแขนยิง ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แบบจำลองแขนยิง

4. แผ่นกำหนดตำแหน่งสปริงดีด จำนวน 4 ชิ้น

แผ่นกำหนดตำแหน่งสปริงดีดทำหน้าที่กั้นไม่ให้สปริงเคลื่อนที่ก่อนผู้วิจัยปล่อยลูกบอล โดยแบ่งแผ่นกำหนดตำแหน่งสปริงดีดจากจำนวน 4 ชิ้นออกเป็น 2 ชิ้น ติดตั้งที่แขนยิง และอีก 2 ชิ้น ติดตั้งที่ฐาน ดังรูปที่ 4.11

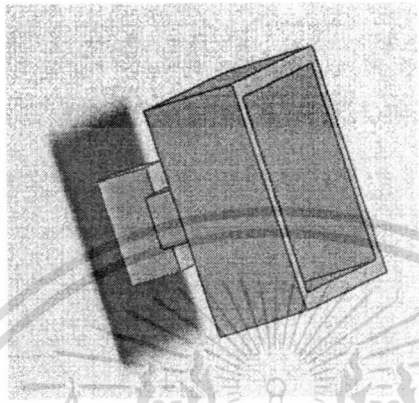


รูปที่ 4.11 แบบจำลองแผ่นกำหนดตำแหน่งสปริงดีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

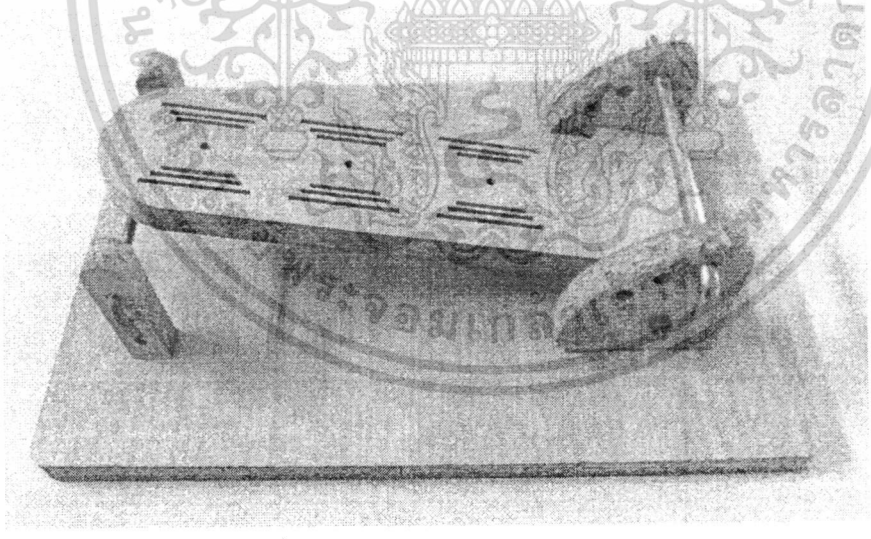
5. ถ้วยใส่ลูกบอลรูปทรงสี่เหลี่ยม จำนวน 3 ชิ้น

ถ้วยใส่ลูกบอลรูปทรงสี่เหลี่ยมจำนวน 3 ชิ้น แบ่งออกได้เป็น 3 ขนาดที่ต่างกัน ขาถ้วยใส่ลูกบอลจะถูกเสียบลงในช่องของแขนยิง และจะมีตัวล็อกเพื่อป้องกันถ้วยหลุดออกจากแขนยิง ในขณะที่ผู้วิจัยทำการยิงลูกบอลออกจากเครื่องยิงลูกบอล ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แบบจำลองถ้วยใส่ลูกบอล

4.4 ผลการสร้างเครื่องยิงลูกบอลต้นแบบ

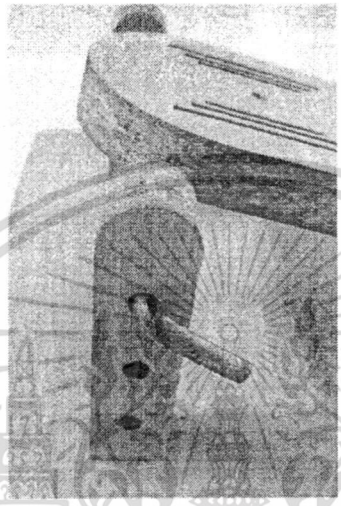


รูปที่ 4.13 เครื่องยิงลูกบอลต้นแบบ

หลังจากออกแบบเครื่องยิงลูกบอลแล้ว ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างเครื่องยิงลูกบอลต้นแบบเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงาน และการใช้งานว่าเป็นไปตามที่ออกแบบไว้หรือไม่ โดยเลือกใช้วัสดุประเภทไม้อัด เนื่องจากมีราคาค่อนข้างถูก และสามารถแปรรูปได้ง่าย โดยส่วนประกอบหลักของเครื่องยิงลูกบอลต้นแบบ ประกอบด้วย

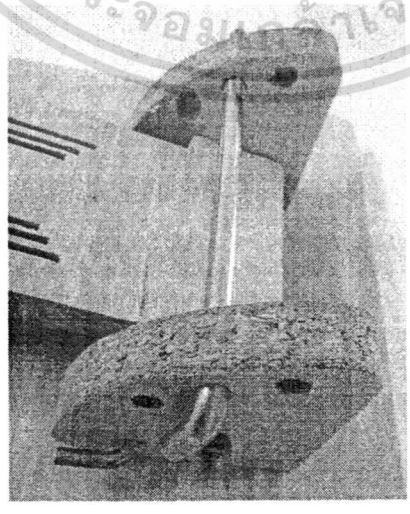
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เสากำหนดตำแหน่งเริ่มยิง ต้นแบบเสากำหนดตำแหน่งเริ่มยิงทำจากไม้อัด จำนวน 2 เสา วางอยู่ 2 ฝั่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.14 ที่ตัวเสาเจาะรูด้านข้างสำหรับเสียบแท่งสเตนเลส เพื่อวางส่วนปลายของแขนยิงสำหรับกำหนดตำแหน่งเริ่มยิง ปรับเปลี่ยนตำแหน่งได้ 3 ระดับ สามารถนำไปเป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้ทำการทดลองเพื่อวัดผลตอบสนองหรือระยะที่ยิงลูกบอลได้ ของตำแหน่งเริ่มยิงลูกบอลที่แตกต่างกัน ด้านบนหัวเสาออกแบบให้โค้งมนเพื่อความปลอดภัยและความสวยงาม



รูปที่ 4.14 ต้นแบบเสากำหนดตำแหน่งเริ่มยิง

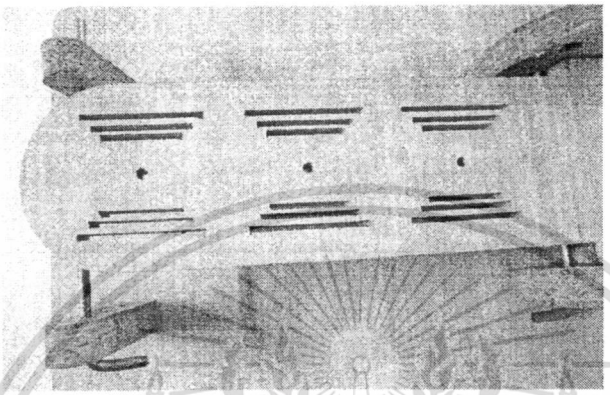
2. แท่นกำหนดตำแหน่งหยุดแขนยิง ต้นแบบแท่นกำหนดตำแหน่งหยุดแขนยิงทำจากไม้อัด มีจำนวน 2 แท่น วางอยู่คนละฝั่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.15 เจาะรูด้านข้างตัวแท่นสำหรับเสียบแท่งสเตนเลส เพื่อกั้นหยุดตำแหน่งแขนยิง ให้ลูกบอลลอยออกจากแขนยิง สามารถปรับได้ 3 ตำแหน่ง ซึ่งนำไปเป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้ทำการทดลองเพื่อวัดผลตอบสนองของตำแหน่งหยุดแขนยิง (หรือตำแหน่งที่ลูกบอลลอยออกจากถ้วยใส่ลูกบอล) ที่แตกต่างกัน



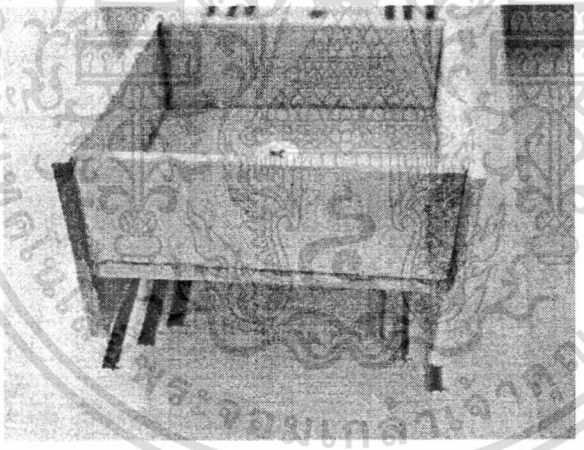
รูปที่ 4.15 แท่นกำหนดตำแหน่งหยุดแขนยิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. แขนยิง ต้นแบบแขนยิงสร้างขึ้นจากไม้อัด ด้านบนของแขนยิงเจาะช่องไว้สำหรับประกอบถ้วยใส่ลูกบอลขนาดต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.16 จะเห็นได้ว่าสามารถเปลี่ยนตำแหน่งการประกอบถ้วยใส่ลูกบอลข้เข้ากับแขนยิงได้ 3 ตำแหน่ง สามารถนำไปเป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้ทำการทดลองเพื่อวัดผลตอบสนองหรือระยะที่ยิงลูกบอลได้ ของตำแหน่งการวางถ้วยใส่ลูกบอลที่แตกต่างกัน วิธีการประกอบถ้วยกับแขนยิง คือ เสียบปีกด้านข้างของถ้วยใส่ลูกบอลเข้าในช่องแนวยาว เพื่อบังคับไม่ให้ถ้วยหมุน และขันน็อตด้านใต้แขนยิงให้แน่น ดังแสดงในรูปที่ 4.17



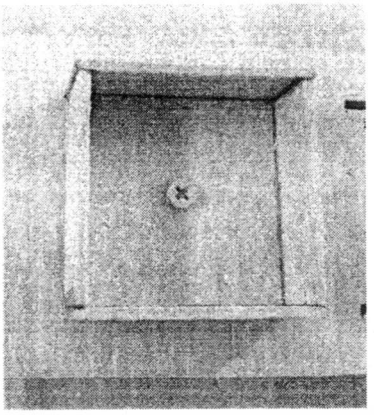
รูปที่ 4.16 ต้นแบบแขนยิง



รูปที่ 4.17 วิธีการประกอบถ้วยใส่ลูกบอลเข้ากับแขนยิง

4. ถ้วยใส่ลูกบอล ต้นแบบถ้วยใส่ลูกบอลทำจากกระดาษอัด ดังแสดงในรูปที่ 4.18 มีลักษณะเป็นถ้วยทรงสี่เหลี่ยม เพื่อความง่ายในการสร้างของวัสดุจริง เจาะรูด้านก้นถ้วยสำหรับใส่น็อตยึดกับแขนยิง ผนังด้านข้างถ้วย 2 ข้าง จะทำยาวลงเลยก้นถ้วยสำหรับเสียบติดกับแขนยิง เพื่อบังคับไม่ให้ถ้วยหมุนได้ ถ้วยใส่ลูกบอลมีทั้งหมด 3 ขนาด คือ เล็ก กลาง และใหญ่ ตามขนาดของชนิดของลูกบอล โดยลูกบอลที่เลือกใช้ประกอบด้วย ลูกบอลผ้า ลูกปิงปอง และลูกแก้ว

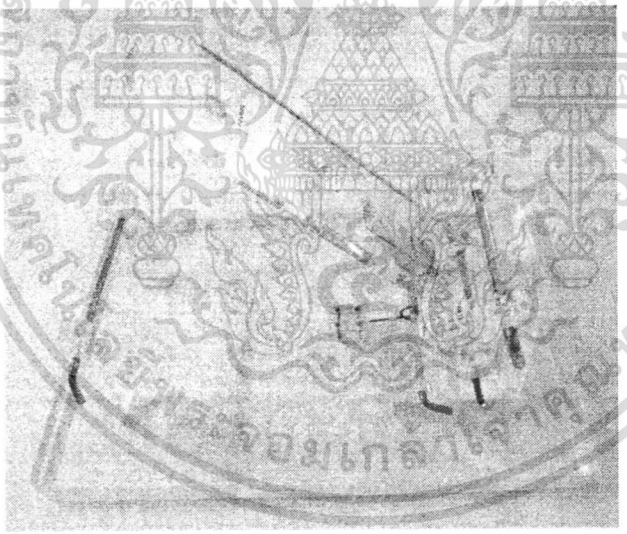
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 ต้นแบบถ้วยใส่ลูกบอล

4.5 ผลการสร้างเครื่องยิงลูกบอลสำหรับการศึกษาการออกแบบการทดลอง

หลังจากผู้วิจัยได้ทำการสร้างเครื่องยิงลูกบอลต้นแบบ แล้วทำการทดสอบปรับปรุงการทำงานจนได้รูปแบบที่ดีที่สุดแล้ว ผู้วิจัยจึงดำเนินการสร้างเครื่องยิงลูกบอลที่จะใช้เป็นเครื่องมือช่วยการเรียนการสอนในหัวข้อการออกแบบการทดลอง โดยใช้อะคริลิกเป็นวัสดุหลัก ตามเหตุผลที่ระบุไว้ในตารางที่ 4.10

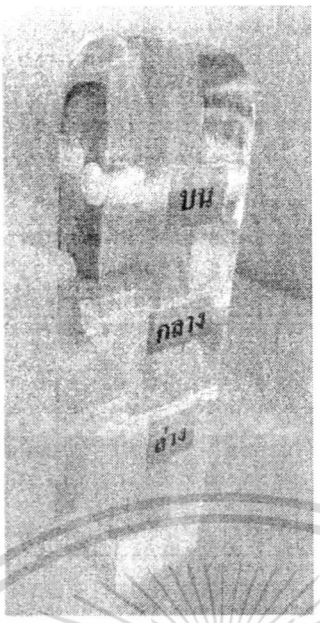


รูปที่ 4.19 เครื่องยิงลูกบอลสำหรับการศึกษาการออกแบบการทดลอง

4.5.1 ส่วนประกอบของเครื่องยิงลูกบอล

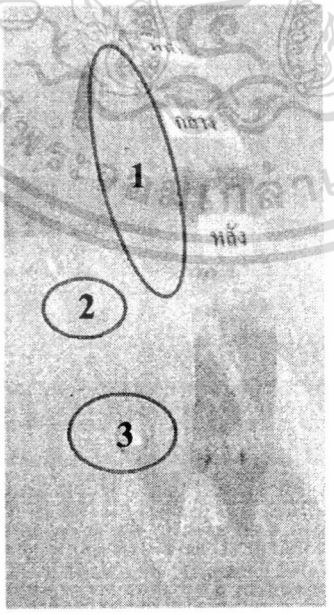
1. เสากำหนดตำแหน่งเริ่มยิง มี 2 เสา ทำจากอะคริลิก ลักษณะเหมือนกับต้นแบบ เจาะรูไว้สำหรับเสียบแท่งสเตนเลส เพื่อใช้บอกตำแหน่งเริ่มยิง สามารถปรับตำแหน่งเริ่มยิงได้ 3 ระดับ คือ บน กลาง และล่าง ดังแสดงในรูปที่ 4.20 ซึ่งจะนำไปใช้เป็นปัจจัยหนึ่งในออกแบบแผนการทดลองแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 เสากำหนดตำแหน่งเริ่มยิง

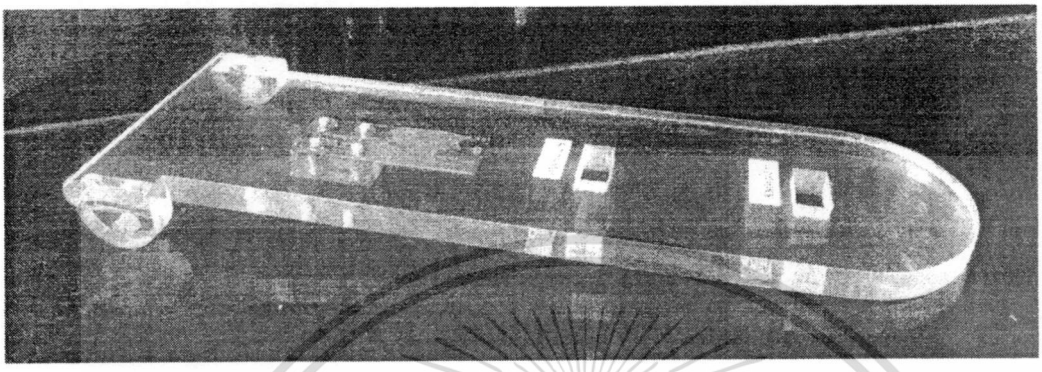
2. แท่นกำหนดตำแหน่งหยุดแขนยิง มี 2 แท่น ทำจากอะคริลิก ลักษณะเหมือนต้นแบบ ด้านข้างเจาะรูไว้ 3 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 4.21 ประกอบด้วย ส่วนที่ 1 มี 3 รู สำหรับเสียบแท่งสเตนเลสบอกตำแหน่งหยุดแขนยิง สามารถปรับเปลี่ยนตำแหน่งได้ 3 ระดับ คือ หน้า กลาง และหลัง ซึ่งจะนำไปใช้เป็นปัจจัยหนึ่งในออกแบบแผนการทดลองแบบต่างๆ ส่วนที่ 2 มี 1 รู สำหรับเสียบแท่งสเตนเลสยึดแขนยิงกับแท่นกำหนดตำแหน่งเริ่มยิง ส่วนที่ 3 มี 1 รู สำหรับเสียบแท่งสเตนเลสที่จะใช้เป็นแกนของสปริง



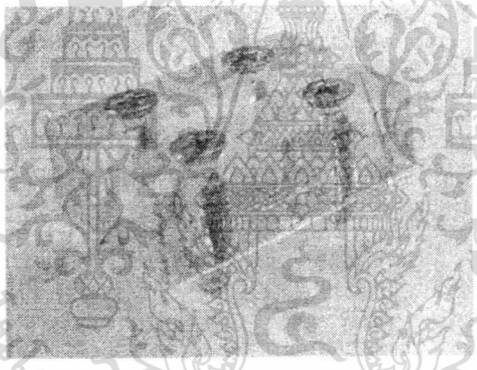
รูปที่ 4.21 แท่นกำหนดตำแหน่งหยุดแขนยิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. แขนยิง ทำจากอะคริลิก ลักษณะต่างจากต้นแบบตรงส่วนที่เจาะไว้สำหรับประกอบถ้วยใส่ลูกบอลเข้ากับแขนยิง และสามารถปรับเปลี่ยนตำแหน่งการประกอบถ้วยใส่ลูกบอลได้ 2 ระดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.22 ซึ่งจะนำไปใช้เป็นปัจจัยหนึ่งในออกแบบแผนการทดลองแบบต่างๆ ด้านใต้ของแขนยิงจะประกอบแท่นอะคริลิกสี่เหลี่ยมเล็กๆ 2 แท่น ดังแสดงในรูปที่ 4.23 เพื่อใช้เป็นตัวกำหนดตำแหน่งของสปริงดีด



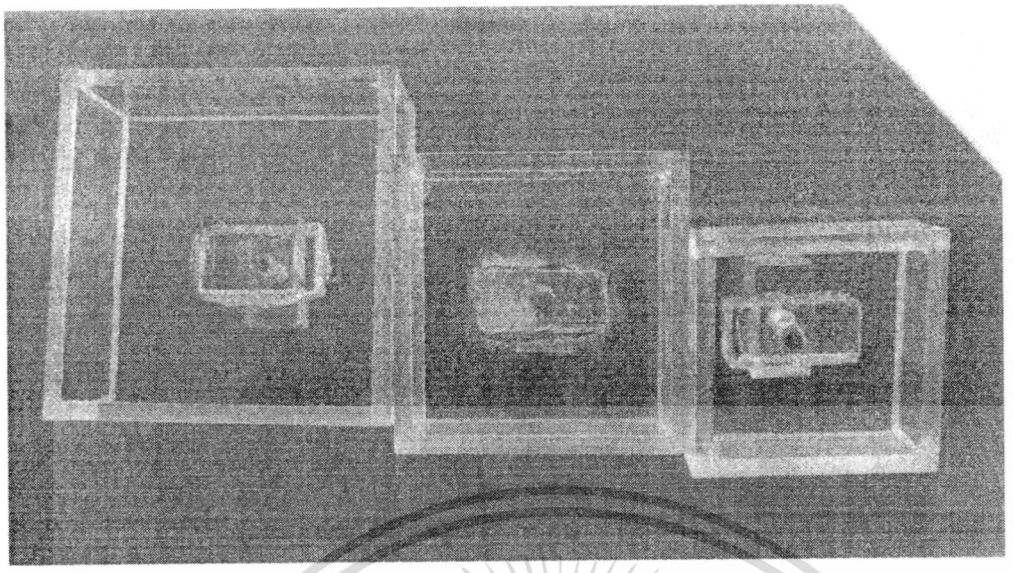
รูปที่ 4.22 แขนยิง วัสดุที่ใช้เป็นอะคริลิก



รูปที่ 4.23 แท่นกำหนดตำแหน่งสปริงดีด

4. ถ้วยใส่ลูกบอล ทำจากอะคริลิก ลักษณะคล้ายต้นแบบแต่กลไกการประกอบถ้วยกับแขนยิงแตกต่างจากเครื่องยิงลูกบอลต้นแบบ ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ค ถ้วยใส่ลูกบอลมี 3 ขนาด คือ เล็ก กลาง และใหญ่ ดังแสดงในรูปที่ 4.24 ซึ่งจะนำไปใช้เป็นปัจจัยหนึ่งในออกแบบแผนการทดลองแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 ถ้วยใส่ลูกบอล

5. สปริงดีด จำนวน 10 ตัว แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1) สปริงเขียว จำนวน 4 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 4.25

สปริงเขียว หมายถึง สปริงที่มีจำนวนขด 2 ขด ทำจากเส้นลวดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.42 มิลลิเมตร ขาของสปริงยาว 78.40 มิลลิเมตร

2) สปริงเหลือง จำนวน 3 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 4.26

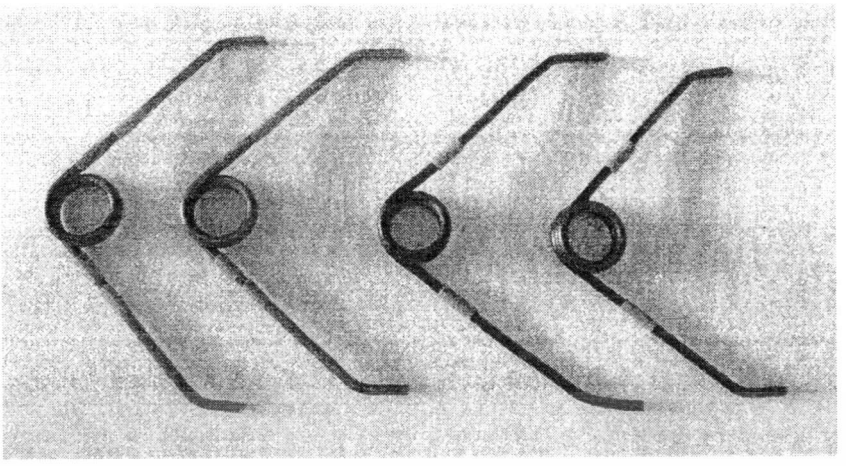
สปริงเหลือง หมายถึง สปริงที่มีจำนวนขด 1 ขด ทำจากเส้นลวดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.30 มิลลิเมตร ขาของสปริงยาว 51.78 มิลลิเมตร

3) สปริงแดง จำนวน 3 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 4.27

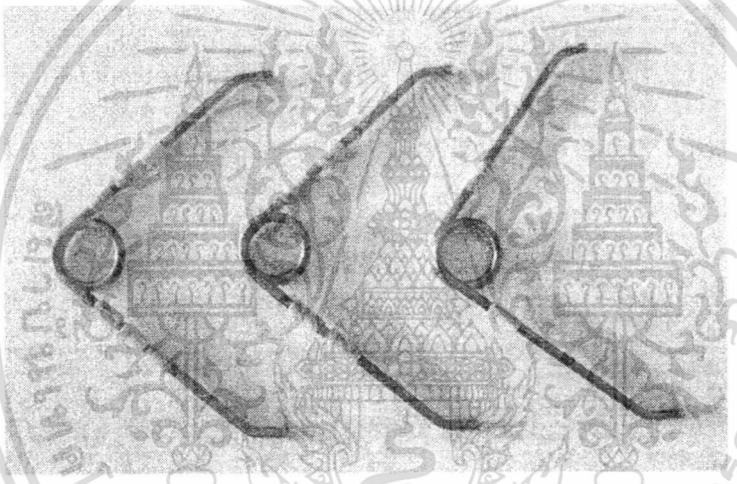
สปริงแดง หมายถึง สปริงที่มีจำนวนขด 2 ขด ทำจากเส้นลวดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.42 มิลลิเมตร ขาของสปริงยาว 91.66 มิลลิเมตร

<u>หมายเหตุ</u> : จำนวนขีดบนขาสปริง หมายถึง ร้านค้าที่จำหน่ายสปริงตัวนั้น ตัวอย่างเช่น มี 1 ขีด คือ ซื้อมาจากร้านค้าที่ 1 เป็นต้น

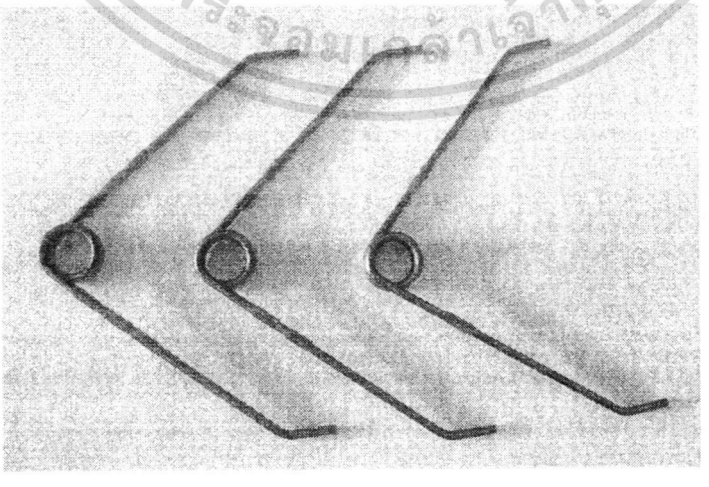
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 สปริงแบบเขียว



รูปที่ 4.26 สปริงแบบเหลือง



รูปที่ 4.27 สปริงแบบแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

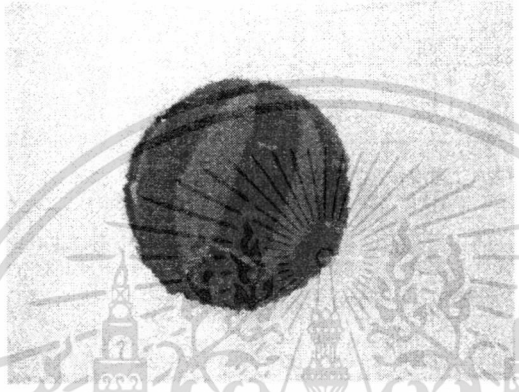
6. ลูกบอล จำนวน 6 ลูก แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้

1) ลูกบอลผ้า จำนวน 1 ลูก ดังแสดงในรูปที่ 4.28

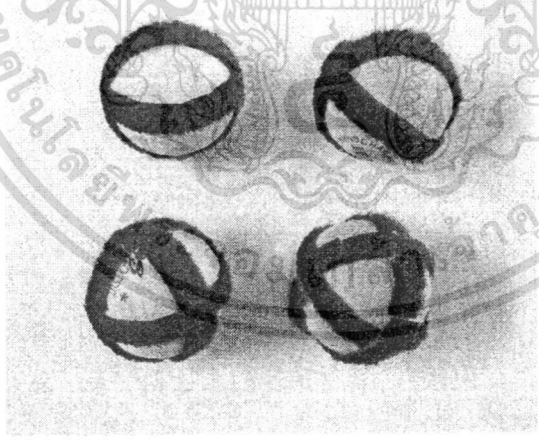
2) ลูกปิงปอง จำนวน 4 ลูก ดังแสดงในรูปที่ 4.29 มาจากร้านขาย 4 แห่ง เพื่อนำไปใช้เป็นปัจจัยหนึ่งในการออกแบบแผนการทดลอง

3) ลูกแก้ว จำนวน 1 ลูก ดังแสดงในรูปที่ 4.30

ลูกบอลทุกลูกจะถูกแปะด้วยตีนตุ๊กแกโดยรอบ เพื่อบังคับให้ลูกบอลอยู่กับที่ ณ ตำแหน่งที่ตกกระทบพื้น (จะติดตีนตุ๊กแกอีกส่วนหนึ่งไว้) ทำให้สะดวกและง่ายในการวัดระยะทางที่ยิงลูกบอลได้

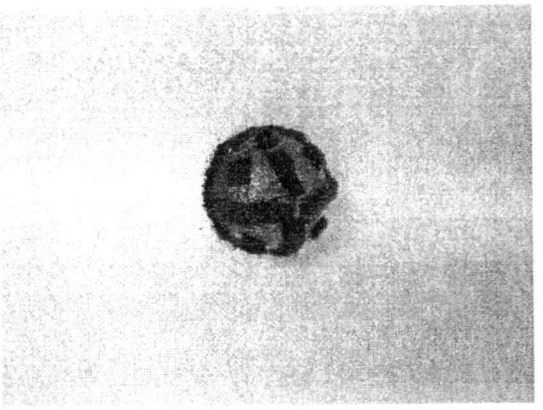


รูปที่ 4.28 ลูกบอลผ้า



รูปที่ 4.29 ลูกปิงปอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 ลูกแก้ว

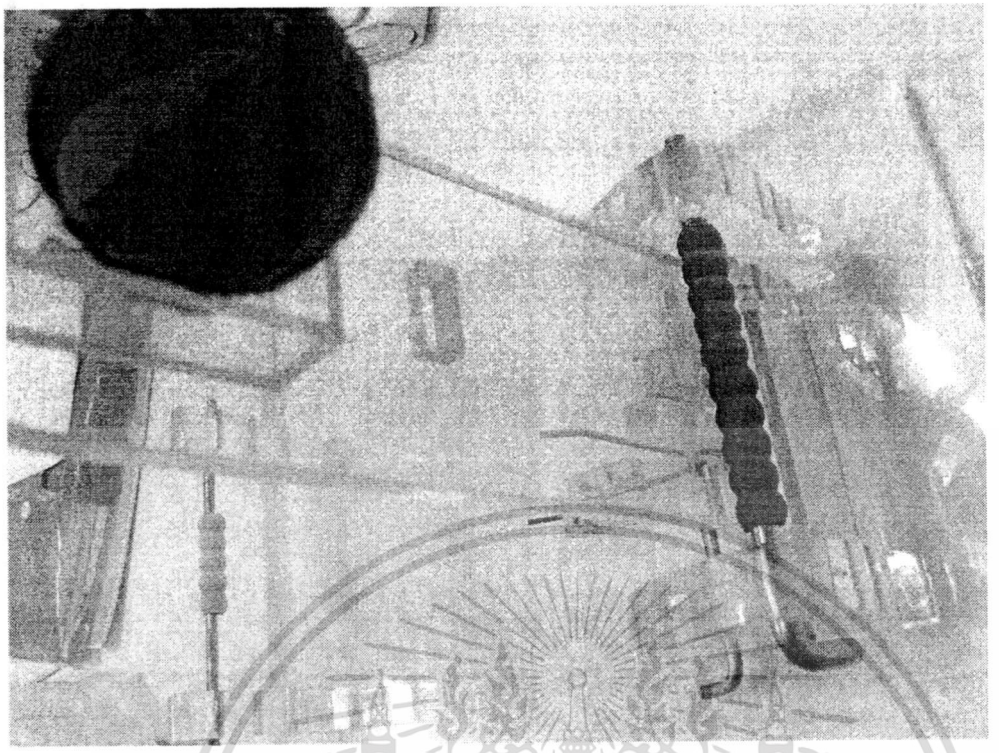
4.5.2 วิธีการใช้งานเครื่องยิงลูกบอล

1. กดแขนยิงลงมาวางพาดกับแท่งสเตนเลสเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ที่เสียบไว้กับเสากำหนดตำแหน่งเริ่มยิง ดังรูปที่ 4.31

รูปที่ 4.31 การกำหนดตำแหน่งเริ่มยิงลูกบอล

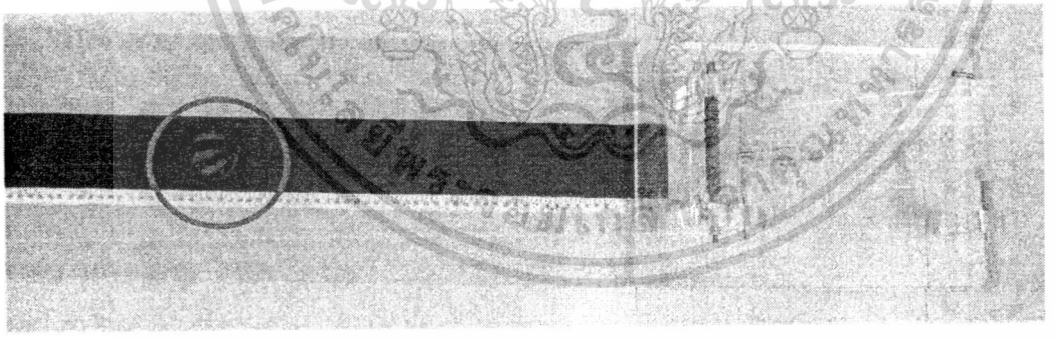
2. ปล่อยนิ้วออกจากแขนยิง แขนยิงจะเคลื่อนที่ไปพร้อมกับลูกบอล เนื่องจากได้รับแรงสปริง จนถูกกั้นด้วยแท่นสเตนเลสเส้นผ่าศูนย์กลาง 8.5 มิลลิเมตร ที่เสียบไว้กับแท่นกำหนดตำแหน่งหยุดแขนยิง ดังรูปที่ 4.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 การหยุดแขนยิงที่ตำแหน่งหยุดแขนยิง

3. วัดระยะทางที่ลูกบอลลอยออกจากแขนยิง จนตกพื้นที่มีตีนตุ๊กแกติดอยู่ (บริเวณพื้นสีดำ) อ่านค่าระยะทางจากสเกลด้านข้างตีนตุ๊กแก ดังรูปที่ 4.33



รูปที่ 4.33 การวัดระยะทางที่ยิงลูกบอลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ผลการทดสอบความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล

การทดสอบความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล กระทำโดยการวัดระยะทางที่ยิงลูกบอลได้ในแต่ละครั้งของการทดลองตามแผนการทดลองที่แสดงในภาคผนวก ง ซึ่งจะประกอบไปด้วยปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ตำแหน่งเริ่มยิง ตำแหน่งหยุดแขนยิง ตำแหน่งวางถ้วยใส่ลูกบอล ขนาดของถ้วยใส่ลูกบอล ลักษณะของสปริง และชนิดลูกบอล รวมการทดลองทั้งหมดมี 324 การทดลอง ทุกการทดลองทำซ้ำ 5 ครั้ง จากนั้นพิจารณาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และสัมประสิทธิ์การกระจาย (Coifficient Variation) ของระยะทางที่ยิงลูกบอลได้ (หน่วย เซนติเมตร)

4.6.1 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผู้วิจัยคำนวณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะทางที่ยิงลูกบอลได้ จากผลการทดลองทั้งหมด ดังสมการ

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

โดยที่ S = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

x_i = ระยะทางที่วัดได้ในแต่ละครั้ง (เซนติเมตร)

$\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง (เซนติเมตร)

n = จำนวนของการทดลองซ้ำ

รูปที่ 4.34 กราฟส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะทางที่ยิงลูกบอลได้

จากรูปที่ 4.34 จะได้ ค่าฐานนิยม (Mode) ของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานประมาณ 1.42 เซนติเมตร และมีค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Mean) ของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 2.47 เซนติเมตร แสดงว่า ระยะทางที่ยิงลูกบอลได้ในแต่ละครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของจำนวนซ้ำของทุกการทดลอง ส่วนมากมีความแตกต่างกัน 1.42 เซนติเมตร และโดยเฉลี่ยมีความแตกต่างกัน 2.47 เซนติเมตร

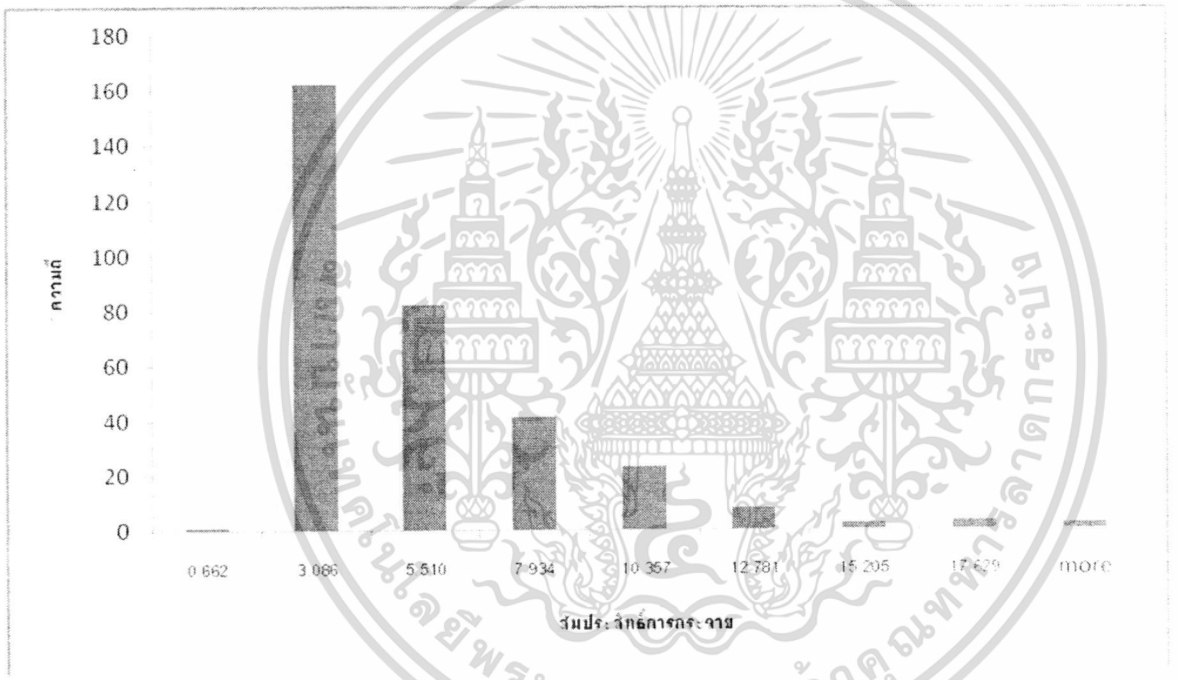
4.6.2 ค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย

คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การกระจายจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะทางที่ยิงลูกบอลได้ จากผลการทดลองทั้งหมด ดังสมการ

$$CV = \frac{S}{X} \times 100$$

โดยที่ CV = ค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย

S = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 4.35 ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของระยะทางที่ยิงลูกบอลได้

จากรูปที่ 4.35 จะได้ ค่าฐานนิยมของสัมประสิทธิ์การกระจาย ประมาณ 3.09 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเฉลี่ยเลขคณิตของสัมประสิทธิ์การกระจาย เท่ากับ 4.26 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า ระยะทางที่ยิงลูกบอลได้ในแต่ละครั้งของจำนวนซ้ำของทุกการทดลอง ส่วนมากมีความแตกต่างกัน 3.09 เปอร์เซ็นต์ และโดยเฉลี่ยมีความแตกต่างกัน 4.26 เปอร์เซ็นต์

สรุปได้ว่า ผลของการทดสอบความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล โดยการวัดจากระยะทางที่ยิงลูกบอลได้ในแต่ละครั้งของการทดลองที่มีปัจจัยเกี่ยวข้องตัวเดิม ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะทางโดยเฉลี่ยคือ 2.47 เซนติเมตร สัมประสิทธิ์การกระจายของระยะทางโดยเฉลี่ยคือ 4.26 เปอร์เซ็นต์ จากการสอบถามผู้เชี่ยวชาญ (อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ) ท่านให้ความเห็นว่า ค่าทางสถิติทั้งสองที่ได้จากการทดลอง อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ดังนั้น เครื่องยิงลูกบอลที่จัดทำขึ้น มีความเที่ยงตรงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 แผนการทดลองสำหรับการใช้เครื่องยิงลูกบอลเป็นสื่อการเรียนการสอน

เครื่องยิงลูกบอลที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้น สามารถปรับเปลี่ยนปัจจัยต่างๆ ในการทดลองได้ตามแผนการทดลองทั้งหมด 7 แผนการทดลอง ได้แก่ แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ แผนการทดบอลแบบลาตินสแควร์ การทดลองแบบแฟคทอเรียล แผนการทดลองแบบสปลิทพอท แผนการทดลองแบบสุ่มซ้อน และการออกแบบบล็อกไม่บริบูรณ์แบบได้ดุล โดยแต่ละแผนการทดลองจะกำหนดปัจจัยที่ใช้ทำการทดลองแตกต่างกันตามลักษณะของแผนการทดลองนั้นๆ

1. แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD)

แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จะกำหนดให้มีตัวแปรทดลองหรือปัจจัยที่ใช้ทดลอง ได้เพียง 1 ตัวแปร โดยที่หน่วยทดลองหรือปัจจัยอื่นๆ ที่เหลือ ต้องถูกกำหนดให้อยู่ในตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งคงที่ตลอดการทดลอง และลำดับของการทำการทดลองจะได้มาจากการสุ่มเท่านั้น คือ ก่อนทำการทดลองทุกครั้ง จะต้องสุ่มเลือกลำดับของตัวแปรทดลอง ว่าจะหาผลตอบสนองหรือระยะทางที่ยิงลูกบอลของตัวแปรทดลองใดก่อนหรือหลัง เช่น ครั้งที่ 1 อาจสุ่มได้ลูกแก้ว เมื่อทดลองหาผลตอบสนองได้แล้วก็ทำการสุ่มใหม่ ครั้งที่ 2 สุ่มได้ลูกปิงปอง ถ้ามี 3 ตัวแปรทดลอง ทำซ้ำ 3 ครั้ง ก็จะต้องทำการสุ่มทั้งหมด 3 * 3 = 9 ครั้ง เป็นต้น แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์สำหรับเครื่องยิงลูกบอลสามารถกำหนดตัวแปรทดลองได้ 4 ตัวแปร ดังแสดงในตารางที่ 4.11 – 4.14 สมมุติให้ทุกการทดลองทำซ้ำ 3 ครั้ง ข้อมูลที่บันทึกลงในตารางคือ ระยะทางที่ยิงลูกบอลได้

ตารางที่ 4.11 การออกแบบแผนการทดลองสุ่มสมบูรณ์ สำหรับศึกษาปัจจัยชนิดของลูกบอล

ชนิดลูกบอล	จำนวนซ้ำ			รวม	เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ลูกบอลผ้า					
ลูกปิงปอง					
ลูกแก้ว					

ตารางที่ 4.12 การออกแบบแผนการทดลองสุ่มสมบูรณ์ สำหรับศึกษาปัจจัยตำแหน่งเริ่มยิง

ตำแหน่งเริ่มยิง	จำนวนซ้ำ			รวม	เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
บน					
กลาง					
ล่าง					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 การออกแบบแผนการทดลองสุ่มสมบูรณ์ สำหรับศึกษาปัจจัยตำแหน่งวางถ้วยใส่ลูกบอล

ตำแหน่งวางถ้วยใส่ลูกบอล	จำนวนซ้ำ			รวม	เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ตำแหน่ง ก					
ตำแหน่ง ข					

ตารางที่ 4.14 การออกแบบแผนการทดลองสุ่มสมบูรณ์ สำหรับศึกษาปัจจัยลักษณะของสปริงดีด

สปริงดีด	จำนวนซ้ำ			รวม	เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
สปริงแดง					
สปริงเขียว					
สปริงเหลือง					

2. แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD)

แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ จะกำหนดให้มีตัวแปรทดลองหรือปัจจัยที่ใช้ทดลอง ได้เพียง 1 ตัวแปร แต่เนื่องจากหน่วยทดลอง (เครื่องยิงลูกบอล) มีความผันแปรในหน่วยทดลอง จึงต้องมีการควบคุมความผันแปรโดยการจัดเป็นบล็อก สำหรับแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์เหมาะกับการใช้งานในกรณีที่ ความผันแปรในหน่วยทดลองมีเพียง 1 ทิศทางเท่านั้น จึงต้องสมมติให้ปัจจัยอันใดอันหนึ่ง เป็นความผันแปรที่เกิดขึ้น (นอกเหนือจากปัจจัยที่จะทดลอง) ส่วนปัจจัยที่เหลือต้องถูกกำหนดให้อยู่ในตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งคงที่ตลอดการทดลอง และลำดับของการทำการทดลองจะได้มาจากการสุ่มเช่นเดียวกันแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ โดยจะทำการสุ่มเลือกบล็อกของการทดลองก่อน แล้วจึงสุ่มปัจจัยที่ใช้ทดลอง ทำเช่นนี้ไปจนครบทุกบล็อก ตัวอย่างเช่น สุ่มครั้งแรก ได้บล็อกที่ 2 สมมติให้เป็นตำแหน่งเริ่มยิงระดับกลาง สุ่มครั้งที่ 2 เลือกปัจจัยทดลองสมมุติให้เป็นชนิดของลูกบอล ได้ลูกบอลผ้า สุ่มครั้งที่ 3 ได้ลูกแก้ว สุ่มครั้งที่ 4 ได้ลูกปิงปอง จากนั้นจึงสุ่มบล็อกของการทดลองใหม่ เป็นต้น ทำเช่นนี้จนครบทุกระดับของปัจจัย แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์สำหรับเครื่องยิงลูกบอลสามารถกำหนดบล็อกในการทดลองได้ 4 แบบ ดังแสดงในตารางที่ 4.15 – 4.18 สมมุติให้ทุกการทดลองทำซ้ำ 2 ครั้ง ข้อมูลที่บันทึกลงในตารางคือ ระยะทางที่ยิงลูกบอลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 การออกแบบแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ สำหรับการกำหนดตำแหน่งเริ่มยิงเป็นบล็อก

ชนิดลูกบอล	ตำแหน่งเริ่มยิง (Block)						รวม	เฉลี่ย
	B1: บน		B2: กลาง		B3: ล่าง			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
ลูกบอลผ้า								
ลูกปิงปอง								
ลูกแก้ว								
รวม								

ตารางที่ 4.16 การออกแบบแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ สำหรับการกำหนดตำแหน่งหยุดแขนยิง เป็นบล็อก

ชนิดลูกบอล	ตำแหน่งหยุดแขนยิง (Block)						รวม	เฉลี่ย
	B1: หน้า		B2: กลาง		B3: หลัง			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
ลูกบอลผ้า								
ลูกปิงปอง								
ลูกแก้ว								
รวม								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 การออกแบบแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ สำหรับการกำหนดตำแหน่งวางถ้วยใส่ลูกบอลเป็นบล็อก

ชนิดลูกบอล	ตำแหน่งวางถ้วยใส่ลูกบอล (Block)				รวม	เฉลี่ย
	B1: ตำแหน่ง ก		B2: ตำแหน่ง ข			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
ลูกบอลผ้า						
ลูกปิงปอง						
ลูกแก้ว						
รวม						

ตารางที่ 4.18 การออกแบบแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ สำหรับการกำหนดลักษณะสปริงดีดเป็นบล็อก

ชนิดลูกบอล	ลักษณะสปริงดีด (Block)						รวม	เฉลี่ย
	B1: สปริงดีดแดง		B2: สปริงดีดเขียว		B3: สปริงดีดเหลือง			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
ลูกบอลผ้า								
ลูกปิงปอง								
ลูกแก้ว								
รวม								

3. แผนการทดลองแบบลาตินสแควร์ (Latin Square Design, LSD)

แผนการทดลองแบบลาตินสแควร์ จะกำหนดให้มีตัวแปรทดลองหรือปัจจัยที่ใช้ทดลอง ได้เพียง 1 ตัวแปรแต่เนื่องจากหน่วยทดลอง (เครื่องยิงลูกบอล) มีความผันแปรในหน่วยทดลอง จึงต้องมีการควบคุมความผันแปร โดยการจัดเป็นบล็อก คล้ายกับแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ แต่จะต่างกันที่แผนการทดลองแบบลาตินสแควร์ความผันแปรในหน่วยทดลองจะมี 2 ทิศทาง โดยต้องเป็นความผันแปรภายในของหน่วยทดลอง ส่วนปัจจัยอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องจะถูกกำหนดให้อยู่ในตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งคงที่ตลอดการทดลอง และลำดับของการทำการทดลองจะได้มาจากการสุ่มด้วยวิธีการเดียวกับแผนการสุ่มในบล็อกแบบสมบูรณ์ คือ ทำการสุ่มบล็อกของการทดลองก่อน แล้วจึงสุ่มเลือกปัจจัยที่จะทดลองลงในบล็อกนั้นๆ แผนการทดลองแบบลาตินสแควร์ สำหรับเครื่องยิงลูกบอลสามารถกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บล็อกในการทดลองได้ 2 แบบ ดังแสดงในตารางที่ 4.19 – 4.20 สมมุติให้ทุกการทดลองทำซ้ำ 2 ครั้ง ข้อมูลที่บันทึกลงในตารางคือ ระยะทางที่ยิงลูกบอลได้

ตารางที่ 4.19 การออกแบบแผนการทดลองแบบลาตินสแควร์ สำหรับการกำหนดตำแหน่งเริ่มยิงและผู้ขายสปริงเป็นบล็อก

ตำแหน่งเริ่มยิง (Block 1)	ผู้ขายสปริง (Block 2)	ชนิดลูกบอล						รวม
		ลูกบอลผ้า		ลูกปิงปอง		ลูกแก้ว		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
บน	ร้านที่ 1							
	ร้านที่ 2							
	ร้านที่ 3							
กลาง	ร้านที่ 1							
	ร้านที่ 2							
	ร้านที่ 3							
ล่าง	ร้านที่ 1							
	ร้านที่ 2							
	ร้านที่ 3							
รวม								
เฉลี่ย								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.20 การออกแบบแผนการทดลองแบบลาตินสแควร์ สำหรับการกำหนดตำแหน่งหยุดแขนยิงและผู้ขายสปริง เป็นบล็อก

ตำแหน่งหยุดแขนยิง (Block 1)	ผู้ขายสปริง (Block 2)	ชนิดลูกบอล						รวม
		ลูกบอลผ้า		ลูกปิงปอง		ลูกแก้ว		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
หน้า	ร้านที่ 1							
	ร้านที่ 2							
	ร้านที่ 3							
กลาง	ร้านที่ 1							
	ร้านที่ 2							
	ร้านที่ 3							
หลัง	ร้านที่ 1							
	ร้านที่ 2							
	ร้านที่ 3							
รวม								
เฉลี่ย								

4. การทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Experiment)

การทดลองแบบแฟคทอเรียล จะกำหนดให้มีตัวแปรทดลองหรือปัจจัยที่ใช้ทดลอง ได้มากกว่า 1 ตัวแปร ลำดับของการทำการทดลองจะได้มาจากการสุ่ม การทดลองแบบแฟคทอเรียล สำหรับเครื่องยิงลูกบอลมีตัวแปรทดลองทั้งหมด 5 ตัวแปร ประกอบด้วย ชนิดของลูกบอล 3 ชนิด ลักษณะของสปริง 3 ลักษณะ ตำแหน่งเริ่มยิง 3 ระดับ ตำแหน่งหยุดแขนยิง 3 ระดับ และตำแหน่งวางถ้วยใส่ลูกบอล 2 ระดับ จะได้การทดลองรวมทั้งหมด 3 * 3 * 3 * 3 * 2 = 162 การทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.21 สมมติให้ทุกการทดลองทำซ้ำ 2 ครั้ง ข้อมูลที่บันทึกลงในตารางคือ ระยะทางที่ยิงลูกบอลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.21 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล สำหรับปัจจัยของเครื่องยิงลูกบอล

ชนิดของลูกบอล		ลูกบอลผ้า						ลูกปิงปอง						ลูกแก้ว					
ลักษณะของสปริง		แดง		เขียว		เหลือง		แดง		เขียว		เหลือง		แดง		เขียว		เหลือง	
ตำแหน่งเริ่มยิง	ตำแหน่งหยุดแขนยิง	ครั้งที่		ครั้งที่		ครั้งที่		ครั้งที่		ครั้งที่		ครั้งที่		ครั้งที่		ครั้งที่		ครั้งที่	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
บน	หน้า																		
	กลาง																		
	หลัง																		
กลาง	หน้า																		
	กลาง																		
	หลัง																		
ล่าง	หน้า																		
	กลาง																		
	หลัง																		

5. แผนการทดลองแบบสปลิทพอท (Split-plot Design)

แผนการทดลองแบบสปลิทพอทจะเกี่ยวข้องกับการศึกษาความสัมพันธ์ของ 2 ตัวแปรหรือมากกว่า โดยเน้นหนักหรือให้ความสำคัญในตัวแปรหนึ่งมากกว่าตัวแปรที่เหลือ ซึ่งแตกต่างจากการทดลองแบบแฟคทอเรียล ที่จะเน้นหรือให้ความสำคัญกับทั้ง 2 ตัวแปรเท่าๆ กัน ตัวอย่างแผนการทดลองแบบสปลิทพอทสำหรับเครื่องยิงลูกบอลจะกำหนดให้ตัวแปรหลัก (Whole plot) คือ ตำแหน่งวางถ้วยใส่ลูกบอล และปัจจัยอื่นที่เหลือเป็นตัวแปรรอง (Split plot) ดังแสดงในตารางที่ 4.22 สมมุติให้ทุกการทดลองทำซ้ำ 2 ครั้ง ข้อมูลที่บันทึกลงในตารางคือ ระยะทางที่ยิงลูกบอลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.22 การออกแบบการทดลองแบบสปลิทพอท สำหรับการกำหนดตำแหน่งวางถ้วยใส่ลูกบอลเป็นตัวแปรหลัก

ตำแหน่งวางถ้วยใส่ลูกบอล			ตำแหน่งถ้วย ก						ตำแหน่งถ้วย ข					
ชนิดของลูกบอล			ลูกบอลผ้า		ลูกปิงปอง		ลูกบอลยาง		ลูกบอลผ้า		ลูกปิงปอง		ลูกบอลยาง	
ตำแหน่งเริ่มยิง	ตำแหน่งหยุดแขนยิง	ลักษณะของสปริง	ครั้งที่		ครั้งที่		ครั้งที่		ครั้งที่		ครั้งที่		ครั้งที่	
			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
บน	หน้า	แดง												
		เขียว												
		เหลือง												
	กลาง	แดง												
		เขียว												
		เหลือง												
	หลัง	แดง												
		เขียว												
		เหลือง												
กลาง	หน้า	แดง												
		เขียว												
		เหลือง												
	กลาง	แดง												
		เขียว												
		เหลือง												
	หลัง	แดง												
		เขียว												
		เหลือง												

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.22 การออกแบบการทดลองแบบสปลิทพอท สำหรับการกำหนดตำแหน่งวางถ้วยใส่ลูกบอลเป็นตัวแปรหลัก (ต่อ)

ตำแหน่งวางถ้วยใส่ลูกบอล			ตำแหน่งถ้วย ก						ตำแหน่งถ้วย ข					
ชนิดของลูกบอล			ลูกบอลผ้า		ลูกปิงปอง		ลูกบอลยาง		ลูกบอลผ้า		ลูกปิงปอง		ลูกบอลยาง	
ตำแหน่งเริ่มยิง	ตำแหน่งหยุดแขนยิง	ลักษณะของสปริง	ครั้งที่		ครั้งที่		ครั้งที่		ครั้งที่		ครั้งที่		ครั้งที่	
			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
ล่าง	หน้า	แดง												
		เขียว												
		เหลือง												
	กลาง	แดง												
		เขียว												
		เหลือง												
	หลัง	แดง												
		เขียว												
		เหลือง												

6. แผนการทดลองแบบสุ่มซ้อน (Nested Design)

แผนการทดลองแบบสุ่มซ้อน จะมีตัวแปรทดลองหรือปัจจัยที่ใช้ทดลองอย่างน้อย 2 ตัวแปร และมีระดับของตัวแปรทดลองอย่างน้อย 1 ตัวแปรที่ซ้อนทับ (Nested) ในอีกตัวแปรหนึ่ง แผนการทดลองแบบสุ่มซ้อนสำหรับเครื่องยิงลูกบอลมี 2 แบบ คือ แบบที่ 1 กำหนดให้ตัวแปรสปริง ถูกซ้อนทับอยู่ในตัวแปรของร้านขายสปริง ดังแสดงในตารางที่ 4.23 และแบบที่ 2 กำหนดให้ตัวแปรลูกปิงปอง ถูกซ้อนทับอยู่ในตัวแปรของร้านขายลูกปิงปอง ดังแสดงในตารางที่ 4.24 สมมุติให้ทุกการทดลองทำซ้ำ 3 ครั้ง ข้อมูลที่บันทึกลงในตารางคือ ระยะทางที่ยิงลูกบอลได้

ตารางที่ 4.23 การออกแบบแผนการทดลองแบบสุ่มซ้อน แบบที่ 1

จำนวนซ้ำ	ร้านขายที่ 1		ร้านขายที่ 2	
	สปริง 1	สปริง 2	สปริง 3	สปริง 4
1				
2				
3				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.24 การออกแบบแผนการทดลองแบบสุ่มซ้อน แบบที่ 2

จำนวนซ้ำ	ร้านขายที่ 1		ร้านขายที่ 2	
	ลูกปิงปอง 1	ลูกปิงปอง 2	ลูกปิงปอง 3	ลูกปิงปอง 4
1				
2				
3				

7. การออกแบบบล็อกไม่บริบูรณ์แบบได้ดุล

การออกแบบบล็อกไม่บริบูรณ์แบบได้ดุล เหมาะกับการทดลองที่ใช้การออกแบบบล็อกแบบสุ่ม แต่ไม่สามารถทดลองหาผลตอบสนองของตัวแปรทดลองรวมทั้งหมดในแต่ละบล็อกได้ เนื่องจากการขาดเครื่องมือในการทดลอง การออกแบบบล็อกไม่บริบูรณ์แบบได้ดุลสำหรับเครื่องยิงลูกบอลมี 1 แบบ ดังแสดงในตารางที่ 4.25 เนื่องจากลูกบอลผ้า ซึ่งมีขนาดใหญ่ไม่สามารถใส่ลงในถ้วยขนาดกลางและขนาดเล็กได้ ลูกปิงปอง ซึ่งมีขนาดกลางก็ไม่สามารถใส่ลงในถ้วยขนาดเล็กได้ ทำให้ผลการทดลองในส่วนนี้จะขาดหายไป จึงใช้การออกแบบการทดลองแบบบล็อกไม่บริบูรณ์แบบได้ดุล สมมุติให้ทุกการทดลองทำซ้ำ 2 ครั้ง ข้อมูลที่บันทึกลงในตารางคือ ระยะทางที่ยิงลูกบอลได้

ตารางที่ 4.25 การออกแบบแผนการทดลองแบบบล็อกไม่บริบูรณ์แบบได้ดุล

ชนิดลูกบอล	ขนาดของถ้วยใส่ลูกบอล						รวม	เฉลี่ย
	ใหญ่		กลาง		เล็ก			
	จำนวนซ้ำ		จำนวนซ้ำ		จำนวนซ้ำ			
	1	2	1	2	1	2		
ลูกบอลผ้า (ใหญ่)			-	-	-	-	-	-
ลูกปิงปอง (กลาง)					-	-	-	-
ลูกแก้ว (เล็ก)								
รวม								

4.8 ผลการประเมินความพึงพอใจที่มีต่อคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอล

จากแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอลสำหรับศึกษาการออกแบบการทดลอง ผู้วิจัยนำคะแนนที่ได้จากการตอบแบบสอบถามในแต่ละหัวข้อ (ระดับคะแนน 1-10) มาหาค่าเฉลี่ย แล้วคูณกับระดับความสำคัญของคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอลที่ได้ในขั้นตอนของการออกแบบ สรุปผลได้ตารางที่ 4.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.26 คะแนนความพึงพอใจที่ได้จากแบบสอบถาม

คุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอล	คะแนนดิบเฉลี่ย			ระดับคะแนนความสำคัญ	คะแนนดิบเฉลี่ย x ระดับคะแนนความสำคัญ		
	อาจารย์	นักศึกษา	ผลรวมเฉลี่ย		อาจารย์	นักศึกษา	ผลรวมเฉลี่ย
ความสวยงาม	8.50	8.41	8.59	2.78	23.63	23.37	23.88
ความแข็งแรงทนทาน	8.13	8.04	8.06	18.26	148.36	146.76	147.12
ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย	9.25	8.67	8.80	7.65	70.76	66.30	67.32
ความสะดวกในการใช้งาน	8.63	8.48	8.68	16.69	143.95	141.56	144.81
พื้นที่ทำการทดลองน้อย	8.75	8.41	8.49	12.15	106.31	102.15	103.10
ความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล	7.88	8.11	8.06	23.65	186.24	191.83	190.55
การดูแลรักษา	8.50	8.37	8.40	8.52	72.42	71.32	71.57
ความสะดวกในการจัดเก็บ	9.00	8.52	8.63	10.29	92.61	87.66	88.79
รวม					844.29	830.93	837.14
เปอร์เซ็นต์ความพึงพอใจ					**84.4%**	**83.1%**	**83.7%**

หมายเหตุ : ข้อมูลคะแนนความพึงพอใจที่สรุปดังตารางที่ ได้มาจากการตอบแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อเครื่องยิงลูกบอล ของกลุ่มตัวอย่าง 35 คน จากประชากรทั้งหมด 83 คน ซึ่งได้มาจากอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังจำนวน 8 ท่าน และนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาการวิเคราะห์และการออกแบบการทดลอง จำนวน 27 คน ทั้งนี้เนื่องมาจากระยะเวลาในการออกแบบและสร้างเครื่องยิงลูกบอลเกินจากที่วางแผนไว้ จึงส่งผลให้ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลความพึงพอใจของผู้ใช้ มีไม่เพียงพอ

จากตารางที่ 4.26 สามารถสรุปได้ดังนี้

1. อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีระดับคะแนนความพึงพอใจต่อเครื่องยิงลูกบอลสำหรับการศึกษาการออกแบบการทดลองเท่ากับ 84.4 เปอร์เซ็นต์

2. นักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาวิชาการวิเคราะห์และการออกแบบการทดลอง มีระดับคะแนนความพึงพอใจต่อเครื่องยิงลูกบอลสำหรับการศึกษาการออกแบบการทดลอง เท่ากับ 83.1เปอร์เซ็นต์

3. โดยภาพรวมกลุ่มตัวอย่าง ให้คะแนนความพึงพอใจต่อเครื่องยิงลูกบอลสำหรับการศึกษาการออกแบบการทดลอง เท่ากับ 83.7 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผล วิจารณ์ผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

เครื่องยิงลูกบอลสำหรับการศึกษาการออกแบบการทดลองนี้ได้อาศัยหลักการทำงานของเครื่องยิงลูกบอลแบบต่างๆที่มีอยู่ทั่วไป มาประยุกต์เข้ากับเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ ซึ่งใช้การเก็บข้อมูลทัศนคติด้านความต้องการเกี่ยวกับคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอล เพื่อวิเคราะห์ความต้องการของผู้ที่เกี่ยวข้องโดยใช้แบบสอบถามและใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ตรวจสอบข้อมูลดังกล่าว ก่อนนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการออกแบบเครื่องยิงลูกบอล

หน้าที่การทำงานของเครื่องยิงลูกบอลสร้างขึ้น มีปัจจัยที่สามารถปรับเปลี่ยนเพื่อทำการทดลองได้ 5 ปัจจัย คือ ตำแหน่งเริ่มต้นของแขนยิง ชนิดของลูกบอล ตำแหน่งของถ้วยใส่ลูกบอล ตำแหน่งหยุดแขนยิง และลักษณะของสปริง โดยผลตอบสนองหรือผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง คือ ระยะทางที่ยิงลูกบอลได้ วัดผลในหน่วยเซนติเมตร เครื่องยิงลูกบอลนี้สามารถใช้เป็นสื่อการเรียนรู้การออกแบบการทดลองได้ทั้งหมด 7 แผนการทดลอง คือ แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ แผนการทดลองแบบลาตินสแควร์ การทดลองแบบแฟคทอเรียล แผนการทดลองแบบสปริทพลอท แผนการทดลองแบบสุ่มซ้อน และการทดลองแบบบล็อกไม่บริบูรณ์แบบได้ดุล โดยแต่ละแผนการทดลองจะมีอุปกรณ์และวิธีการทดลองที่แตกต่างกันออกไป ผู้ใช้จะสามารถศึกษาถึงความแตกต่างของแต่ละแผนการทดลองได้โดยง่าย และสามารถทำการทดลองโดยการเปลี่ยนปัจจัยต่างๆในการยิงลูกบอลแต่ละครั้ง เพื่อนำไปศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบของแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อค่าตอบสนองหรือระยะที่ยิงลูกบอลได้ เครื่องยิงลูกบอลนี้มีค่าความคลาดเคลื่อนซึ่งวัดผลออกมาในรูปของฐานนิยมของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าสัมประสิทธิ์การกระจายเท่ากับ 1.42 เซนติเมตร และ 3.09 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยเครื่องยิงลูกบอลมีคะแนนความพึงพอใจของผู้ใช้งานทั้งหมดเท่ากับ 83.7 เปอร์เซ็นต์

5.2 การวิจารณ์ผลการดำเนินงาน

จากผลการดำเนินงานการสร้างเครื่องยิงลูกบอล ผู้วิจัยมีข้อวิจารณ์ ดังนี้

1. เครื่องยิงลูกบอลสำหรับการศึกษาการออกแบบการทดลองนี้สามารถใช้ทำการทดลองได้ทั้งหมด 7 แผนการทดลอง ซึ่งมากกว่าเครื่องยิงลูกบอลที่มีอยู่ทั่วไป ที่มักจะใช้ได้กับการทดลองแบบแฟคทอเรียลเท่านั้น

2. ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องยิงลูกบอลนี้ อาจมีสาเหตุมาจากจังหวะการปล่อยแขนยิงของผู้ทดลองในแต่ละครั้ง หากแขนยิงมากระทบโดนมือของผู้ทดลองในจังหวะที่แขนยิงถูกดีดออกไป อาจทำให้แรงดีดของแขนยิงลดลงไปได้

3. ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานมีคะแนนความพึงพอใจต่อเครื่องยิงลูกบอล เท่ากับ 83.7% ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่น่าพอใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ปัญหาในการดำเนินงาน

การดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่องยิงลูกบอลเพื่อเป็นสื่อการเรียนการสอนหัวข้อการออกแบบการทดลอง ผู้วิจัยได้พบปัญหาในการดำเนินการดังนี้

1. การสร้างเครื่องยิงลูกบอลสำหรับการศึกษาการออกแบบการทดลอง เสร็จช้ากว่าที่กำหนดไว้ เนื่องจากต้องทำการตรวจสอบและปรับแก้รูปแบบการใช้งานเพื่อให้ถูกต้องตามแผนการทดลองแบบต่างๆ ที่กำหนด

2. กลุ่มตัวอย่างในการประเมินผลความพึงพอใจที่มีต่อเครื่องยิงลูกบอล มีเพียง 35 คน เนื่องจากการสร้างเครื่องยิงลูกบอลช้ากว่าที่กำหนดไว้ จึงมีเวลาไม่เพียงพอในการประเมินผลความพึงพอใจจากประชากรทั้งหมด

5.4 ข้อเสนอแนะ

ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่ต้องการนำเครื่องยิงลูกบอลสำหรับการศึกษาการออกแบบการทดลองไปพัฒนาต่อ ดังนี้

1. ในการใช้เครื่องยิงลูกบอลเพื่อใช้ในการทดลองนั้น ระยะทางที่ได้ในแต่ละการทดลองของผู้ทดลองแต่ละคนนั้นอาจมีค่าที่แตกต่างกันเนื่องจากทักษะการใช้งาน ดังนั้น จึงควรเป็นผู้ทดลองคนเดียวกันในแต่ละครั้งของการทดลองเพื่อความถูกต้องในการวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อค่าตอบสนอง

2. หนึ่งในแนวทางในการพัฒนาเครื่องยิงลูกบอลนี้ให้มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยลงคือ ควรจะมีอุปกรณ์ที่ช่วยในการปล่อยแขนยิงเพื่อลดค่าความแปรปรวนที่เกิดจากทักษะการใช้งานของผู้ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

- ชัยฤกษ์ ชัยสวัสดิ์, 2552. http://kmcenter.rid.go.th/kmc17/datafile/dd20.ppt : การตัดสินใจโดยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นกับงานชลประทาน.
- ณรงค์ โพธิ์พฤกษานันท์, 2550. ระเบียบวิธีวิจัย. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์เอ็กซเปอร์เน็ท.
- ณัฐรัตน์ บุญญาวานิชย์, 2543. การออกแบบและพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการตัดสินใจโดยใช้เทคนิคกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์. กรุงเทพฯ : ปริญญานิพนธ์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ธีรวุฒิ เอกะกุล, 2550. ระเบียบวิธีวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์วิทยาออฟเซทการพิมพ์.
- บุญธรรม กิจปรีดาบริสุทธิ์, 2524. ระเบียบวิธีการวิจัยทางสังคมศาสตร์. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์การพิมพ์พระนคร.
- ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, 2551. การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง Design and Analysis of Experiment. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ท้อป.
- วิฑูรย์ ตันศิริคงคล, 2542. AHP กระบวนการตัดสินใจที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในโลก. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์กราฟฟิค แอนด์ ปริ้นติ้ง.
- วิทยา บัวเจริญ, 2536. สถิติหลักการวางแผนทดลอง. ภาควิชาเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- สิทธิชัย เจริญเศรษฐศิลป์, 2542. การวางแผนการทดลอง. ภาควิชาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- สุธรรม อรุณ, 2552. http://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:JOvgDSkDWX8J:202.183.190.2/FTPiWebAdmin/knw_pworld/image_content/64/process1.pdf+%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%95%E0%B8%B1%E0%B8%94%E0%B8%AA%E0%B8%B4%E0%B8%99%E0%B9%83%E0%B8%88%E0%B9%82%E0%B8%94%E0%B8%A2%E0%B9%83%E0%B8%8A%E0%B9%89%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%9A%E0%B8%A7%E0%B8%99%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%A5%E0%B8%B3%E0%B8%94%E0%B8%B1%E0%B8%9A+%E0%B8%AA%E0%B8%B8%E0%B8%98%E0%B8%A3%E0%B8%A3%E0%B8%A1&hl=th&gl=th&sig=AHIEtbRRktwVNAc_TGSitNO9KgQPKMGs7g : การตัดสินใจโดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analysis Hierarchy: AHP).
- อรรคเจตต์ อภิขจรศิลป์ และ ปริญญ์ บุญกนิษฐ, 2552. http://www.ecodesignconsult.com/Portals/38/mechanical/%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%81%E0%B8%9B%E0%B8%A5%E0%B8%87%E0%B8%AB%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88%E0%B8%97%E0%B8%B2%E0%B8%87%E0%B8%84%E0%B8%B8%E0%B8%93%E0%B8%A0%E0%B8%B2%E0%B8%9E.pdf : การแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ Quality Function Deployment, QFD.
- อภินันท์ จันตะนี, 2538. วิธีวิจัยทางธุรกิจ. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์วี.เจ.พริ้นติ้ง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
ตัวอย่างแบบสอบถามที่ใช้ในการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างแบบสอบถาม

แบบสอบถามเพื่อการวิจัย
เรื่อง
ทัศนคติด้านคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอล สำหรับการศึกษาการออกแบบการทดลอง

<u>คำชี้แจง</u>

แบบสอบถามฉบับนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเก็บรวมรวมข้อมูลในด้านทัศนคติที่มีต่อคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอล (Catapult) ประกอบการออกแบบเครื่องยิงลูกบอล เพื่อใช้เป็นสื่อการสอนในหัวข้อ การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงงานปริญญานิพนธ์ของนักศึกษาชั้นปีที่ 4 หลักสูตรปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จึงใคร่ขอความกรุณาช่วยพิจารณาตอบแบบสอบถามให้ครบทุกข้อตามความเป็นจริง

โปรดใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่องสี่เหลี่ยม ตามความคิดเห็นของท่าน

ตัวอย่าง

ท่านคิดว่าคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอลในหัวข้อใด มีความสำคัญมากกว่ากัน และมากกว่าในระดับใด

1) ความสวยงาม กับ ความแข็งแรงทนทาน

- ถ้าความสวยงาม มีความสำคัญมากกว่า ความแข็งแรงทนทาน และสำคัญมากกว่าในระดับปานกลาง
โปรดทำเครื่องหมายในแบบสอบถามดังนี้

☑**ความสวยงาม**	☐ความแข็งแรงทนทาน	☐มาก ☑**ปานกลาง** ☐น้อย	☐มีความสำคัญเท่ากัน

- ถ้าความสวยงาม มีความสำคัญเท่ากับ ความแข็งแรงทนทาน
โปรดทำเครื่องหมายในแบบสอบถามดังนี้

☐ความสวยงาม	☐ความแข็งแรงทนทาน	☐มาก ☐ปานกลาง ☐น้อย	☑**มีความสำคัญเท่ากัน**

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความร่วมมือจากทุกท่านด้วยดี และขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	คุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอลในหัวข้อใดที่มีความสำคัญมากกว่ากัน (เปรียบเทียบรายข้อ)		ถ้ามีความสำคัญมากกว่ากัน จะมีความสำคัญมากกว่ากันเท่าไร			มีความสำคัญเท่ากัน
			มาก	ปานกลาง	น้อย	
	☐ความสวยงาม	☐ความแข็งแรงทนทาน	☐	☐	☐	☐
	☐ความสวยงาม	☐ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย	☐	☐	☐	☐
	☐ความสวยงาม	☐ความสะดวกในการใช้งาน	☐	☐	☐	☐
	☐ความสวยงาม	☐พื้นที่ทำการทดลองน้อย	☐	☐	☐	☐
	☐ความสวยงาม	☐ความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล	☐	☐	☐	☐
	☐ความสวยงาม	☐การดูแลรักษา	☐	☐	☐	☐
	☐ความสวยงาม	☐ความสะดวกในการจัดเก็บ	☐	☐	☐	☐
	☐ความแข็งแรงทนทาน	☐ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย	☐	☐	☐	☐
	☐ความแข็งแรงทนทาน	☐ความสะดวกในการใช้งาน	☐	☐	☐	☐
	☐ความแข็งแรงทนทาน	☐พื้นที่ทำการทดลองน้อย	☐	☐	☐	☐
	☐ความแข็งแรงทนทาน	☐ความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล	☐	☐	☐	☐
	☐ความแข็งแรงทนทาน	☐การดูแลรักษา	☐	☐	☐	☐
	☐ความแข็งแรงทนทาน	☐ความสะดวกในการจัดเก็บ	☐	☐	☐	☐
4	☐ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย	☐ความสะดวกในการใช้งาน	☐	☐	☐	☐
5	☐ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย	☐พื้นที่ทำการทดลองน้อย	☐	☐	☐	☐
6	☐ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย	☐ความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล	☐	☐	☐	☐
7	☐ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย	☐การดูแลรักษา	☐	☐	☐	☐
8	☐ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย	☐ความสะดวกในการจัดเก็บ	☐	☐	☐	☐
9	☐ความสะดวกในการใช้งาน	☐พื้นที่ทำการทดลองน้อย	☐	☐	☐	☐
20	☐ความสะดวกในการใช้งาน	☐ความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล	☐	☐	☐	☐
21	☐ความสะดวกในการใช้งาน	☐การดูแลรักษา	☐	☐	☐	☐
22	☐ความสะดวกในการใช้งาน	☐ความสะดวกในการจัดเก็บ	☐	☐	☐	☐
23	☐ความสะดวกในการใช้งาน	☐ความแข็งแรงทนทาน	☐	☐	☐	☐
24	☐พื้นที่ทำการทดลองน้อย	☐ความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล	☐	☐	☐	☐
25	☐พื้นที่ทำการทดลองน้อย	☐การดูแลรักษา	☐	☐	☐	☐
26	☐พื้นที่ทำการทดลองน้อย	☐ความสะดวกในการจัดเก็บ	☐	☐	☐	☐
27	☐พื้นที่ทำการทดลองน้อย	☐ความสวยงาม	☐	☐	☐	☐
28	☐ความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล	☐การดูแลรักษา	☐	☐	☐	☐
29	☐ความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล	☐ความสะดวกในการจัดเก็บ	☐	☐	☐	☐
30	☐การดูแลรักษา	☐ความสะดวกในการจัดเก็บ	☐	☐	☐	☐

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างแบบสอบถาม

แบบสอบถามเพื่อการวิจัย
เรื่อง
ความพึงพอใจที่มีต่อคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอล
สำหรับการศึกษาการออกแบบการทดลอง

<u>คำชี้แจง</u>

แบบสอบถามฉบับนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเก็บรวมรวมข้อมูลความพึงพอใจที่มีต่อคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอล (Catapult) ที่ได้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นสื่อการสอนในหัวข้อ การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงงานปริญญานิพนธ์ของนักศึกษาชั้นปีที่ 4 หลักสูตรปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จึงใคร่ขอความกรุณาช่วยพิจารณาตอบแบบสอบถามให้ครบทุกข้อตามความเป็นจริง

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความร่วมมือจากทุกท่านด้วยดี และขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณ

ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับคะแนน ในการพิจารณาความพึงพอใจในคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอล

คะแนนระดับ **5** หมายถึง **มีความพึงพอใจมากที่สุด**

คะแนนระดับ **4** หมายถึง **มีความพึงพอใจค่อนข้างมาก**

คะแนนระดับ **3** หมายถึง **มีความพึงพอใจปานกลาง**

คะแนนระดับ **2** หมายถึง **มีความพึงพอใจค่อนข้างน้อย**

คะแนนระดับ **1** หมายถึง **มีความพึงพอใจน้อยที่สุด**

คะแนนระดับ **0** หมายถึง ไม่มีความพึงพอใจ

โปรดใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่องสี่เหลี่ยม ตามความคิดเห็นของท่าน

ส่วนที่ 1 : ระดับความพึงพอใจที่มีต่อคุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอล

ข้อที่	คุณลักษณะของเครื่องยิงลูกบอล	คะแนนความพึงพอใจ					
		5	4	3	2	1	0
1	ความสวยงาม						
2	ความแข็งแรงทนทาน						
3	ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย						
4	ความสะดวกในการใช้งาน						
5	พื้นที่ทำการทดลองน้อย						
6	ความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล						
7	การดูแลรักษา						
8	ความสะดวกในการจัดเก็บ						

ส่วนที่ 2 : รายละเอียดของผู้ตอบแบบสอบถาม

2.1 สถานภาพ

O อาจารย์ O นักศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

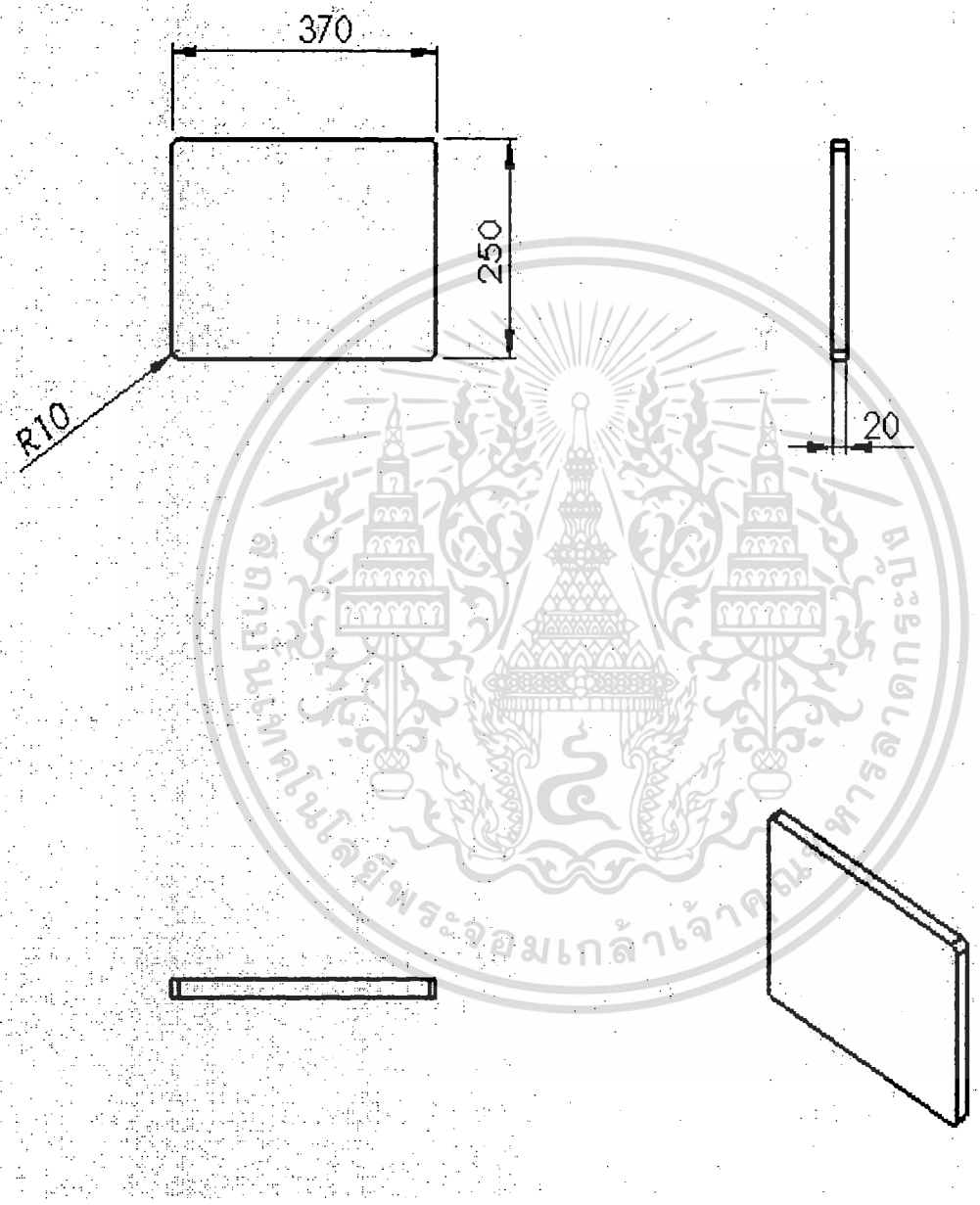
ภาคผนวก ข

ขนาดของส่วนประกอบของเครื่องยิงลูกบอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

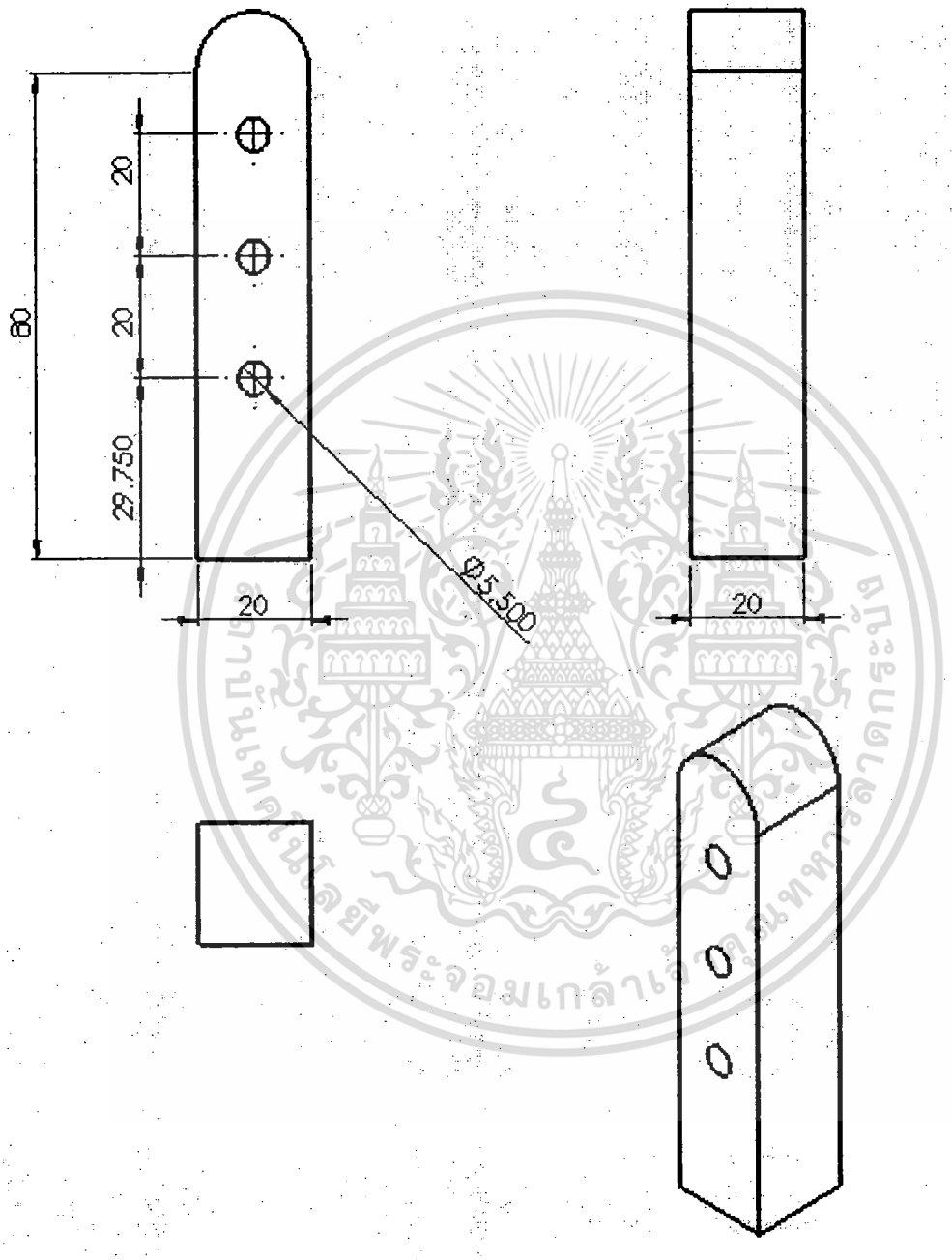
การกำหนดขนาดของส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องยิงลูกบอล

1. ขนาดฐาน



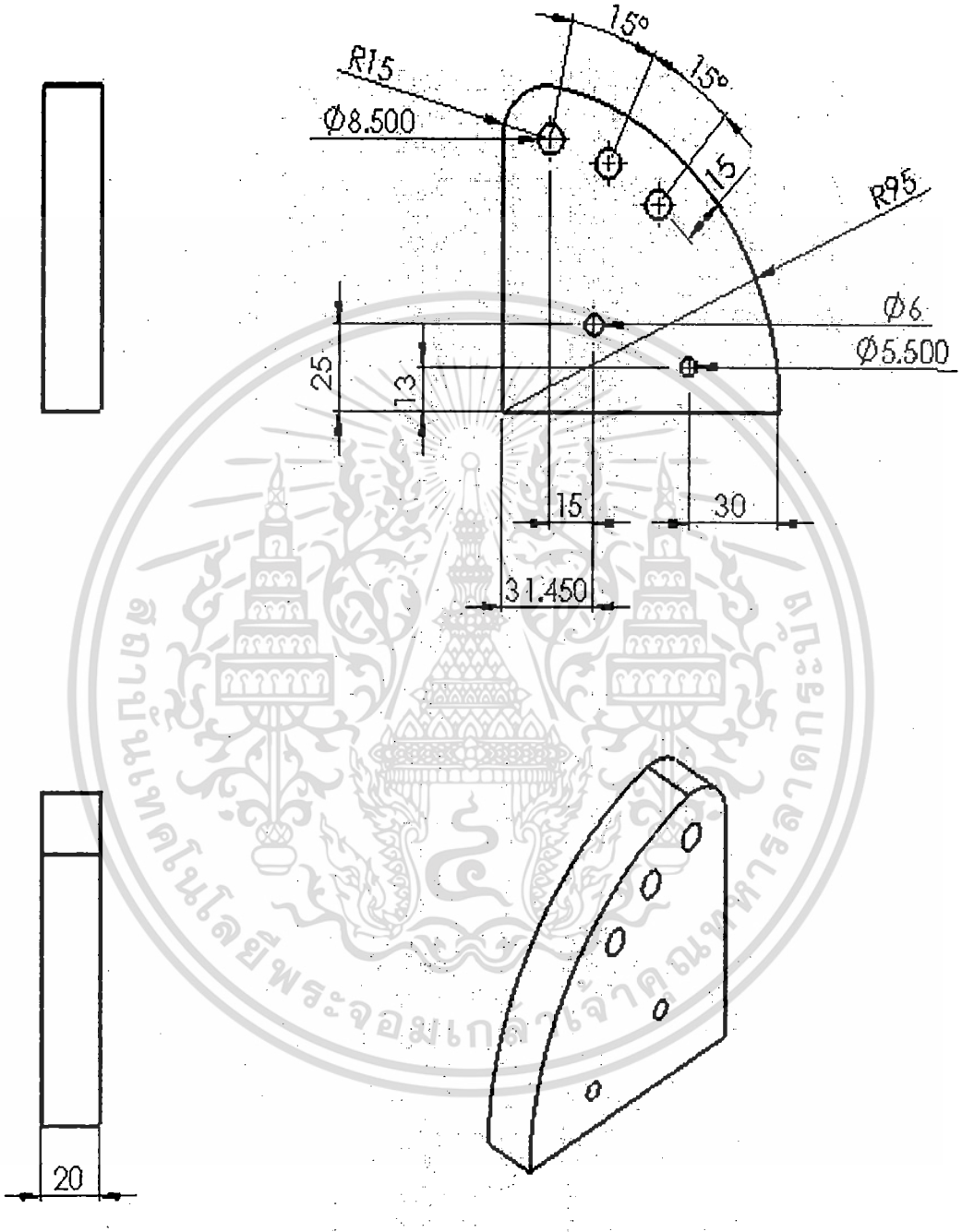
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ขนาดของเสากำหนดตำแหน่งเริ่มยิง



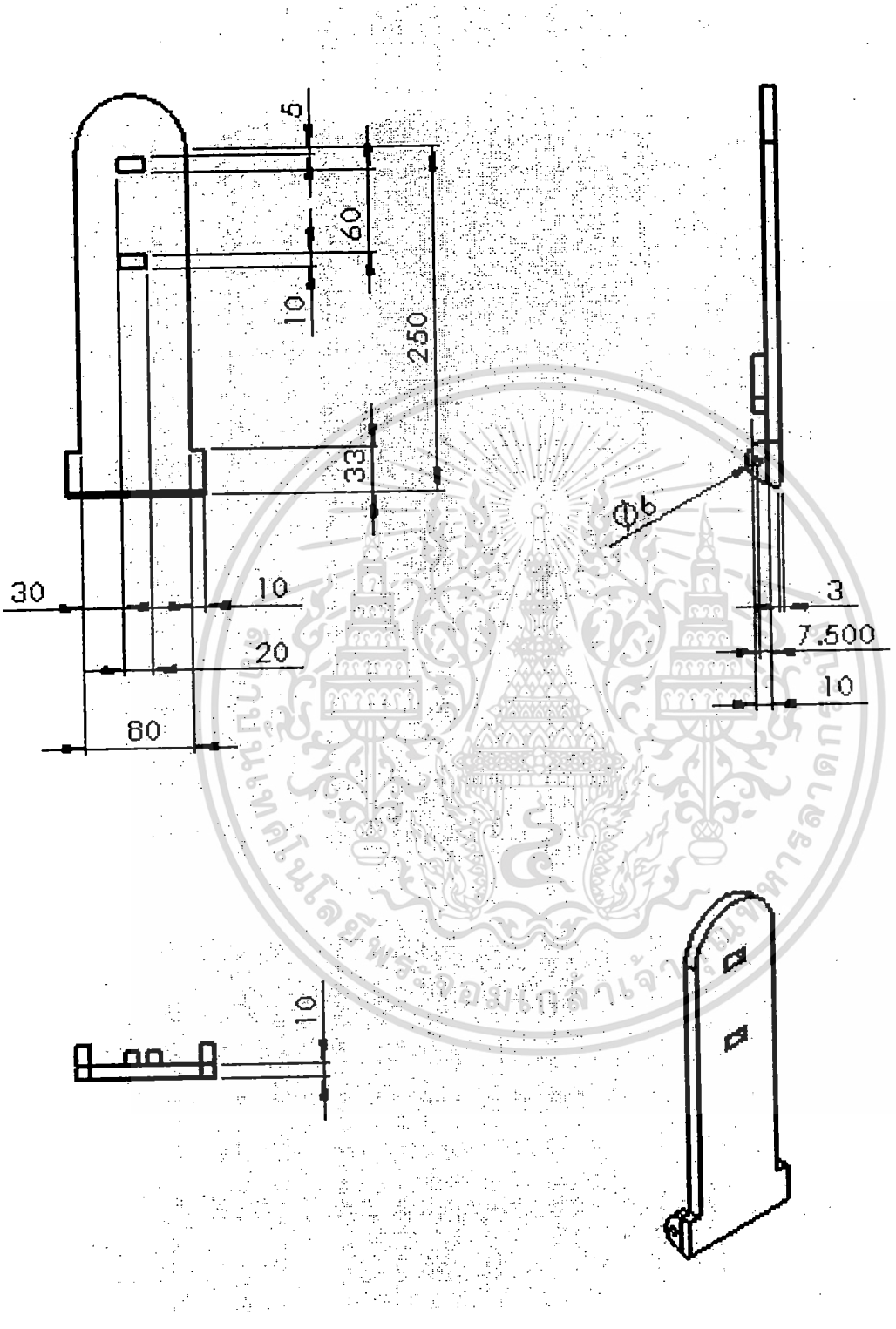
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ขนาดของแท่นกำหนดตำแหน่งเริ่มยิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ขนาดของแขนยิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

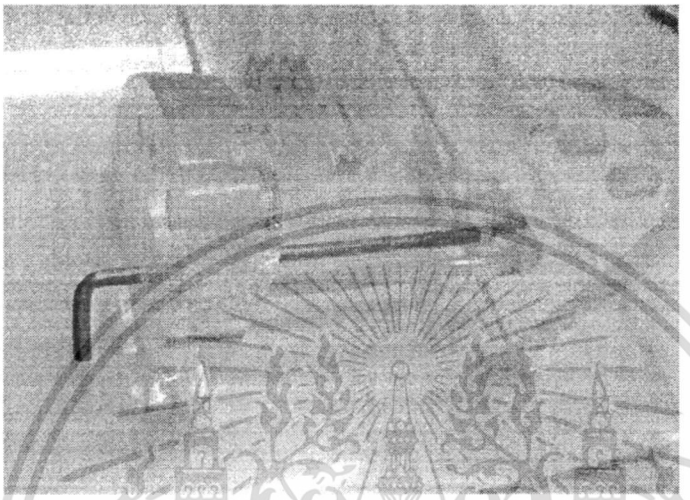
ภาคผนวก ค
การประกอบเครื่องยิงลูกบอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประกอบเครื่องยิงลูกบอล

ก่อนใช้งาน จะต้องทำการประกอบเครื่องยิงลูกบอล ให้พร้อมตามขั้นตอนดังนี้

1) เสียบแท่งสเตนเลสเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร เข้ากับตำแหน่งรูกึ่งกลางของแท่นกำหนดตำแหน่งหยุดแขนยิงทั้ง 2 ชิ้น และเข้ากับรูของแขนยิง ดังรูปที่ ผค 1 แล้วจึงทำการขันน็อตแท่งสเตนเลสเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ให้แน่น ดังรูปที่ ผค 2

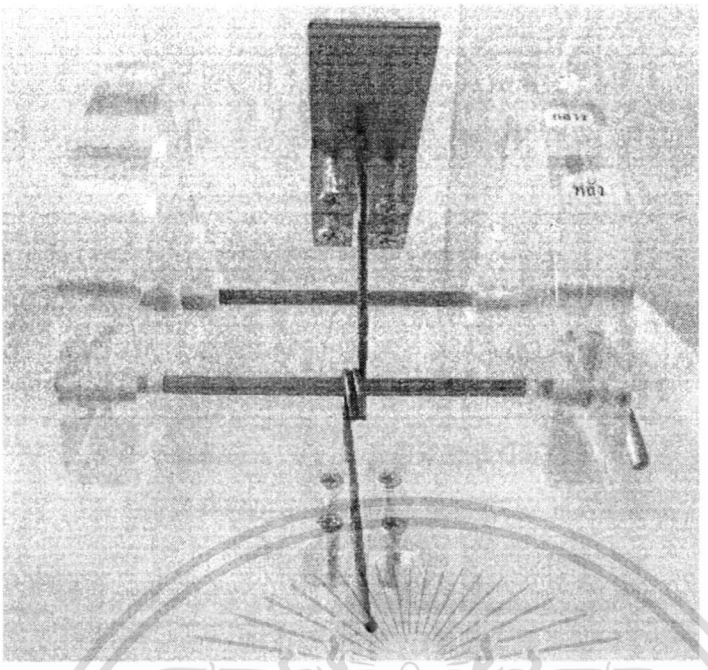


รูปที่ ผค 1 การประกอบแท่งสเตนเลสเข้ากับรูกึ่งกลางของแท่นกำหนดตำแหน่งหยุดแขนยิง และรูของแขนยิง

รูปที่ ผค 2 การยึดติดน็อตเข้ากับแท่งสเตนเลส

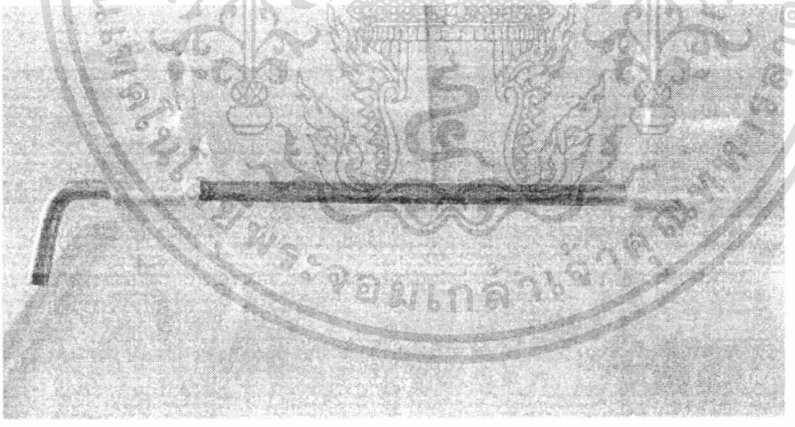
2) เสียบแท่งสเตนเลสเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ให้ตรงกับรูล่างสุดของแท่นกำหนดตำแหน่งหยุดแขนยิงทั้ง 2 ชิ้น พร้อมทั้งใส่สปริงที่เลือกมาจากการสุ่มตามแผนการทดลองเข้าไปในแท่งสเตนเลส ซึ่งสปริงจะอยู่ระหว่างแผ่นกำหนดตำแหน่งสปริงดังรูปที่ ผค 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผค 3 การใส่แท่งสเตนเลสเข้าไปในแท่นกำหนดตำแหน่งหยุดแขนยิงและใส่เข้าไปในขดสปริง

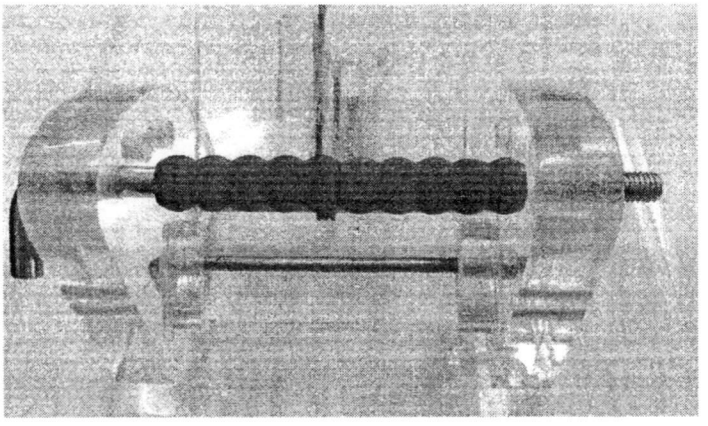
3) เสียบแท่งสเตนเลสเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร เข้ากับแท่นกำหนดตำแหน่งเริ่มยิงทั้ง 2 ชิ้น ดังรูปที่ ผค 4 ซึ่งตำแหน่งเริ่มยิงนี้ ได้มาจากการสุ่มตามแผนการทดลอง



รูปที่ ผค 4 การใส่แท่งสเตนเลสเข้ากับเสากำหนดตำแหน่งเริ่มยิง

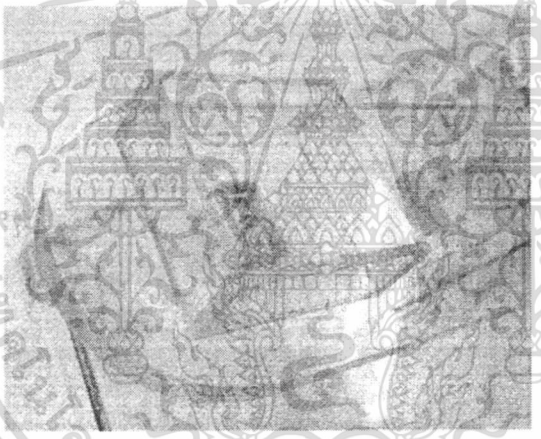
4) เสียบแท่งสเตนเลสเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร เข้ากับกับแท่นกำหนดตำแหน่งหยุดแขนยิง ดังรูปที่ ผค 5 ซึ่งตำแหน่งหยุดแขนยิงนี้ได้มาจากการสุ่มตามแผนการทดลอง และทำการหุ้มปอกให้กับแท่งสเตนเลส เส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

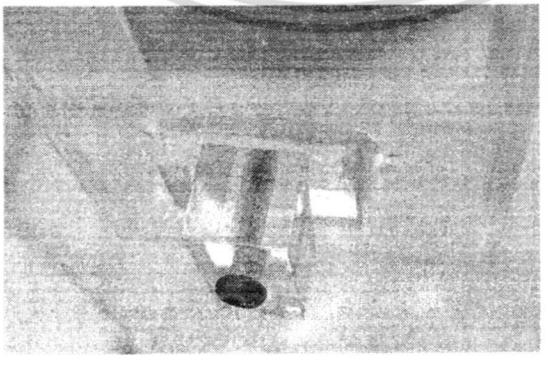


รูปที่ ผค 5 การใส่แท่งสเตนเลสเข้ากับแท่นกำหนดตำแหน่งหยุดแขนยิง

5) ติดตั้งถ้วยใส่ลูกบอลเข้ากับช่องของแขนยิง ดังรูปที่ ผค 6 แล้วทำการยึดติดแขนยิงกับถ้วย ดังรูปที่ ผค 7 ซึ่งขนาดถ้วยใส่ลูกบอล และตำแหน่งใส่ถ้วยของแขนยิง จะได้มาจากการสุ่มตามแผนการทดลอง



รูปที่ ผค 6 ติดตั้งถ้วยใส่ลูกบอลเข้ากับช่องของแขนยิง



รูปที่ ผค 7 ลักษณะการยึดติดแขนยิงกับถ้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
ตารางผลการทดสอบความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผง 1 ผลการทดสอบความเที่ยงตรงของเครื่องยิงลูกบอล

การทดลองที่	ตำแหน่งเริ่มยิง	ตำแหน่งหยุดแขนยิง	ตำแหน่งถ้วยวางลูกบอล	สปริง	ขนาดถ้วยใส่ลูกบอล	ชนิดของลูกบอล	ครั้งที่					SD	mean	CV
							1	2	3	4	5			
1	สูง	หน้า	ก	แดง	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	95	101	98	99.2	101	2.40	98.74	2.43
2						ลูกปิงปอง	109	101	107	105	105	2.99	105.30	2.84
3						ลูกแก้ว	54.5	63	65	66	60	4.63	61.70	7.51
4					กลาง	ลูกปิงปอง	122	119	116	119.5	120	2.14	119.20	1.79
5						ลูกแก้ว	89	95	89	102	98	5.68	94.60	6.01
6					เล็ก	ลูกแก้ว	110	112	108	112	118	3.81	111.90	3.41
7				เขียว	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	66.2	66	66	66.5	68	0.84	66.54	1.26
8						ลูกปิงปอง	78	79.5	78	77.7	79	0.77	78.44	0.98
9						ลูกแก้ว	57.5	60	62	69	55	5.33	60.70	8.79
10					กลาง	ลูกปิงปอง	76.7	78	77	76	78	0.86	77.18	1.12
11						ลูกแก้ว	70.5	75	65	73	72	3.78	71.10	5.32
12					เล็ก	ลูกแก้ว	88	77	78	82	78	4.56	80.60	5.66
13				เหลือง	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	74.3	77.5	70	69.7	70	3.48	72.30	4.81
14						ลูกปิงปอง	71.5	69	69	70	68.5	1.19	69.60	1.72
15						ลูกแก้ว	47	50.5	51	54	55	3.19	51.40	6.21
16					กลาง	ลูกปิงปอง	78	80	80	79	79	0.74	79.10	0.94
17						ลูกแก้ว	76	69.5	70	70.5	72	2.63	71.60	3.68
18					เล็ก	ลูกแก้ว	79	79	73	76.5	72.5	3.27	75.90	4.30

การทดลองที่	ตำแหน่งเริ่มยิง	ตำแหน่งหยุดแขนยิง	ตำแหน่งถ้วยวางลูกบอล	สปริง	ขนาดถ้วยใส่ลูกบอล	ชนิดของลูกบอล	ครั้งที่					SD	mean	CV
							1	2	3	4	5			
19	สูง	หน้า	ข	แดง	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	53	55	56	55	53.5	1.08	54.40	1.99
						ลูกปิงปอง	63	50	51	51	51.2	5.48	53.24	10.29
21						ลูกแก้ว	34.5	43.5	42	40	41.5	3.42	40.20	8.51
22				เขียว	กลาง	ลูกปิงปอง	61.5	61	62	59.5	60	1.04	60.80	1.71
23						ลูกแก้ว	53	52	53	50	54	1.52	52.40	2.89
24					เล็ก	ลูกแก้ว	56.5	55	51	45.5	53	4.28	52.20	8.20
25					ใหญ่	ลูกบอลผ้า	32	31	37	31	32	2.51	32.60	7.70
26						ลูกปิงปอง	38	46.5	42	44	52	5.28	44.40	11.90
27						ลูกแก้ว	37	31	39	37	38	3.13	36.40	8.60
28					กลาง	ลูกปิงปอง	41.5	42	41	42	40.5	0.65	41.40	1.57
29						ลูกแก้ว	40.5	38	41	46	46	3.62	42.20	8.57
30					เล็ก	ลูกแก้ว	35	38	46	33.5	37.5	4.65	37.91	12.26
31				เหลือง	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	33	36	36	32	35	1.82	34.40	5.28
32						ลูกปิงปอง	46.5	38	36	39	45	4.72	40.80	11.58
33						ลูกแก้ว	41	45	36	40	44	3.56	41.20	8.65
34					กลาง	ลูกปิงปอง	42	41.5	41	43	40	1.19	41.40	2.88
35						ลูกแก้ว	34	40	42	38	41	3.16	39.00	8.11
36					เล็ก	ลูกแก้ว	36	32	33	38	35	2.39	34.80	6.86
37		กลาง	ก	แดง	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	116	117	118	120	121	2.07	118.40	1.75
38						ลูกปิงปอง	76	80	75	79	77	2.07	77.40	2.68

การทดลองที่	ตำแหน่งเริ่มยิง	ตำแหน่งหยุดแขนยิง	ตำแหน่งถ้วยวางลูกบอล	สปริง	ขนาดถ้วยใส่ลูกบอล	ชนิดของลูกบอล	ครั้งที่ 1	2	3	4	5	SD	mean	CV
39	สูง	กลาง	ก	แดง	ใหญ่	ลูกแก้ว	94	95	86	93	86	4.44	90.80	4.89
40					กลาง	ลูกปิงปอง	104	102	94	99	101	3.68	99.90	3.68
41						ลูกแก้ว	100	93.5	94	98	92	3.35	95.50	3.51
42					เล็ก	ลูกแก้ว	100	103	110	108	101	4.24	104.30	4.06
43				เขียว	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	63	63	60	63	61	1.41	62.00	2.28
44						ลูกปิงปอง	67.5	69	64	67	61	3.19	65.70	4.86
45						ลูกแก้ว	53.5	52	51	56	60	3.61	54.50	6.62
46					กลาง	ลูกปิงปอง	76	75	76	75	73	1.22	75.00	1.63
47						ลูกแก้ว	78	76	70	77	76	3.13	75.40	4.15
48					เล็ก	ลูกแก้ว	70	72	69	74	76	2.86	72.20	3.97
49				เหลือง	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	55	58	59	58	62	2.51	58.40	4.30
50						ลูกปิงปอง	60	69	59	65	60.5	4.32	62.60	6.90
51						ลูกแก้ว	58.5	57	57	58	58.5	0.76	57.80	1.31
52					กลาง	ลูกปิงปอง	69	68.5	70	72	68	1.58	69.50	2.28
53						ลูกแก้ว	62	59	56	62	63	1.14	61.60	1.85
54					เล็ก	ลูกแก้ว	62	62	60	63	61	2.41	49.60	4.86
55			ข	แดง	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	51	49	47	53	48	2.41	49.60	4.86
56						ลูกปิงปอง	52	62	58	54.5	52	4.30	55.70	7.71
57						ลูกแก้ว	57	58	60	60	61	1.64	59.20	2.78
58					กลาง	ลูกปิงปอง	57	57	59	59	58	0.89	57.90	1.54

การทดลองที่	ตำแหน่งเริ่มยิง	ตำแหน่งหยุดแขนยิง	ตำแหน่งถ้วยวางลูกบอล	สปริง	ขนาดถ้วยใส่ลูกบอล	ชนิดของลูกบอล	ครั้งที่					SD	mean	CV
							1	2	3	4	5			
59	สูง	กลาง	ข	เขียว	กลาง	ลูกแก้ว	52	48	48	59	49	4.66	51.20	9.10
60					เล็ก	ลูกแก้ว	51	52.5	54	50	52	1.52	51.90	2.92
61					ใหญ่	ลูกบอลผ้า	36.5	38	36	39	37	1.20	37.30	3.23
62						ลูกปิงปอง	38.5	41	33	35.5	38	3.05	37.20	8.21
63						ลูกแก้ว	38	40	43	39.5	43	2.22	40.70	5.47
64					กลาง	ลูกปิงปอง	42	42.5	43	42.5	41	0.65	42.10	1.55
65						ลูกแก้ว	43	46	42	41.5	41.5	1.89	42.80	4.42
66					เล็ก	ลูกแก้ว	41	43.5	46	40	39.5	2.53	41.90	6.05
67				เหลือง	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	37	39	37	36	37	1.14	37.10	3.07
68						ลูกปิงปอง	39.5	48	38	42	36.5	4.51	40.80	11.05
69						ลูกแก้ว	31	30	35	33	34	1.94	32.50	5.96
70					กลาง	ลูกปิงปอง	43.5	40.5	40	42.5	42	1.60	41.60	3.84
71						ลูกแก้ว	37	37.5	34	35	38	1.72	36.30	4.73
72					เล็ก	ลูกแก้ว	32	30	33	34	36	2.24	33.00	6.78
73		หลัง	ก	แดง	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	90	92.5	97	93	95.5	2.72	93.60	2.91
74						ลูกปิงปอง	61	61	60	55.5	52	4.01	57.90	6.92
75						ลูกแก้ว	29.5	28	31	30	30	1.10	29.70	3.69
76					กลาง	ลูกปิงปอง	49	49	52	51.5	50.5	1.39	50.40	2.75
77						ลูกแก้ว	55	53	54	54	53	0.84	53.70	1.56
78					เล็ก	ลูกแก้ว	52	49	49	50	50.5	1.24	50.10	2.49

การทดลองที่	ตำแหน่งเริ่มยิง	ตำแหน่งหยุดแขนยิง	ตำแหน่งถ้วยวางลูกบอล	สปริง	ขนาดถ้วยใส่ลูกบอล	ชนิดของลูกบอล	ครั้งที่					SD	mean	CV
							1	2	3	4	5			
79	สูง	หลัง	ก	เขียว	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	45	50	52	49	54	3.39	50.00	6.78
80						ลูกปิงปอง	33	39	38	38.5	46	4.64	38.90	11.93
81						ลูกแก้ว	20	18.5	21	23.5	22	1.90	21.00	9.07
82					กลาง	ลูกปิงปอง	39	40.5	43	48	47	3.94	43.50	9.05
83						ลูกแก้ว	31.5	30	35	29.5	26.5	2.92	30.40	9.62
84					เล็ก	ลูกแก้ว	53	57.5	62	54	63.5	4.57	57.90	7.90
85				เหลือง	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	39.5	41	42	39	39	1.17	40.00	2.93
86						ลูกปิงปอง	40	44	44	47	50	3.74	45.00	8.31
87						ลูกแก้ว	15.5	15	14	16	17	1.12	15.50	7.21
88					กลาง	ลูกปิงปอง	41.5	47	43	41	44	2.39	43.30	5.51
89						ลูกแก้ว	20	23	20	21	24	1.82	21.60	8.41
90					เล็ก	ลูกแก้ว	38	35	37	38.5	35	1.64	36.70	4.48
91			ข	แดง	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	22	21	23	22	22	0.71	22.00	3.21
92						ลูกปิงปอง	30	29.5	33	24	25	3.73	28.30	13.20
93						ลูกแก้ว	12	10	13	10	11	1.30	11.20	11.64
94					กลาง	ลูกปิงปอง	24.5	24	23	23.5	20	1.77	23.00	7.69
95						ลูกแก้ว	27.5	30	27	26.5	30	1.78	28.10	6.34
96					เล็ก	ลูกแก้ว	22	21.5	22	23	24	1.00	22.50	4.44
97				เขียว	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	22.5	20	21	22	23.5	1.35	21.80	6.20
98						ลูกปิงปอง	30	25.5	28	30	22	3.40	27.10	12.54

การทดลองที่	ตำแหน่งเริ่มยิง	ตำแหน่งหยุดแขนยิง	ตำแหน่งถ้วยวางลูกบอล	สปริง	ขนาดถ้วยใส่ลูกบอล	ชนิดของลูกบอล	ครั้งที่					SD	mean	CV
							1	2	3	4	5			
99	สูง	หลัง	ข	เขียว	ใหญ่	ลูกแก้ว	8	5.5	9	6	9.5	1.78	7.60	23.45
100					กลาง	ลูกปิงปอง	23	24	17	23	16.5	3.63	20.70	17.55
101						ลูกแก้ว	18	27	27	27	24.5	3.83	24.60	15.57
102					เล็ก	ลูกแก้ว	18	25	29	27.5	27	4.32	25.30	17.09
103				เหลือง	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	23	22	23	18	20.5	2.11	21.30	9.90
104						ลูกปิงปอง	28.5	27.5	27	32	29.5	2.11	28.80	7.32
105						ลูกแก้ว	7.5	2	5	7	9	2.70	6.10	44.29
106					กลาง	ลูกปิงปอง	25	28	23	30	24	2.92	26.00	11.21
107						ลูกแก้ว	25	24	28	32	31.5	3.66	28.00	13.06
108					เล็ก	ลูกแก้ว	24.5	24	27	28	26	1.67	25.90	6.46
109	กลาง	หน้า	ก	แดง	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	110	118	115	107	114	4.32	112.80	3.83
110						ลูกปิงปอง	97	105	103	108	107	4.36	104.00	4.19
111						ลูกแก้ว	68	67	76	73	77	4.45	72.10	6.17
112					กลาง	ลูกปิงปอง	142	146	143	141	138	2.92	142.00	2.05
113						ลูกแก้ว	118	119	120	123	124	2.59	120.80	2.14
114					เล็ก	ลูกแก้ว	125	123	130	130	128	3.11	127.20	2.45
115				เขียว	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	89.5	77	81	77.5	78	5.21	80.60	6.47
116						ลูกปิงปอง	90	85	82	80	89	4.42	85.10	5.20
117						ลูกแก้ว	78	70	77	71	77	3.71	74.50	4.98
118					กลาง	ลูกปิงปอง	95	92	99	93	101	3.87	96.00	4.03

การทดลองที่	ตำแหน่งเริ่มยิง	ตำแหน่งหยุดแขนยิง	ตำแหน่งถ้วยวางลูกบอล	สปริง	ขนาดถ้วยใส่ลูกบอล	ชนิดของลูกบอล	ครั้งที่					SD	mean	CV
							1	2	3	4	5			
119	กลาง	หน้า	ก	เหลือง	กลาง	ลูกแก้ว	89	95	93	100	101	4.98	95.60	5.21
120					เล็ก	ลูกแก้ว	78	89	83	81	79.5	4.28	82.10	5.21
121					ใหญ่	ลูกบอลผ้า	67	63	65	59.5	70	3.97	64.90	6.12
122						ลูกปิงปอง	87	83	84	83	80	2.51	83.40	3.01
123						ลูกแก้ว	77	69.5	79	69.5	76	4.42	74.20	5.96
124					กลาง	ลูกปิงปอง	93	96	98	93	99	2.77	95.80	2.90
125						ลูกแก้ว	96	89	85	87	91	4.22	89.60	4.71
126					เล็ก	ลูกแก้ว	102	95	97	103	95	3.73	98.30	3.80
127			ข	แดง	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	56	54	60	59.5	58	2.50	57.50	4.35
128						ลูกปิงปอง	51	49	56	61	53	4.69	54.00	8.69
129						ลูกแก้ว	37	42	41	39	38	2.07	39.40	5.26
130					กลาง	ลูกปิงปอง	69	67.5	71	69	68	1.34	68.90	1.95
131						ลูกแก้ว	67	64	63	62	63.5	1.88	63.90	2.95
132					เล็ก	ลูกแก้ว	60	68	63	63	67	3.27	64.20	5.10
133				เขียว	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	39	42	43	48	45	3.36	43.40	7.75
134						ลูกปิงปอง	58	54	50	49	52	3.58	52.60	6.80
135						ลูกแก้ว	69.5	61	58	64	59	4.75	62.20	7.64
136					กลาง	ลูกปิงปอง	51.5	52	51	53	51.5	0.76	51.80	1.46
137						ลูกแก้ว	67.5	58	58	56.5	57	4.62	59.30	7.79
138					เล็ก	ลูกแก้ว	53.5	54	52	51	53	1.20	52.70	2.28

การทดลองที่	ตำแหน่งเริ่มยิง	ตำแหน่งหยุดแขนยิง	ตำแหน่งถ้วยวางลูกบอล	สปริง	ขนาดถ้วยใส่ลูกบอล	ชนิดของลูกบอล	ครั้งที่					SD	mean	CV
							1	2	3	4	5			
139	กลาง	หน้า	ข	เหลือง	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	52.5	49	48	40	50	4.72	47.90	9.86
140						ลูกปิงปอง	52.5	48	46	43	51	3.89	48.00	8.10
141						ลูกแก้ว	56	54	55	49	56.5	3.01	54.10	5.56
142					กลาง	ลูกปิงปอง	46	48	54	51	54	3.58	50.60	7.07
143						ลูกแก้ว	53	54	52	56	49	2.64	52.70	5.00
144					เล็ก	ลูกแก้ว	46.5	42	49	49.5	44	3.21	46.20	6.96
145		กลาง	ก	แดง	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	116	119	125	123	114	4.71	119.30	3.95
146						ลูกปิงปอง	113	113	105	105	104	4.45	107.90	4.12
147						ลูกแก้ว	107	109	112	105	104	3.21	107.40	2.99
148					กลาง	ลูกปิงปอง	129	123	129	123	129	3.29	126.60	2.60
149						ลูกแก้ว	127	120	119	126.5	129	4.42	124.20	3.56
150					เล็ก	ลูกแก้ว	144	148	147	147	145	1.64	146.20	1.12
151				เขียว	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	92.5	95	89	90.5	93	2.32	92.00	2.52
152						ลูกปิงปอง	91	102	89	92.5	94	4.99	93.70	5.33
153						ลูกแก้ว	110	112	116	117.5	114	3.01	113.80	2.65
154					กลาง	ลูกปิงปอง	118	124	119	120	119	2.35	120.00	1.95
155						ลูกแก้ว	118	120	117	117.5	119	1.20	118.30	1.02
156					เล็ก	ลูกแก้ว	121	119.5	122	120	120	0.91	120.30	0.76
157				เหลือง	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	92	94	95	95	93	1.20	93.70	1.29
158						ลูกปิงปอง	110	107.5	98	106	109	4.60	105.90	4.35

การทดลองที่	ตำแหน่งเริ่มยิง	ตำแหน่งหยุดแขนยิง	ตำแหน่งถ้วยวางลูกบอล	สปริง	ขนาดถ้วยใส่ลูกบอล	ชนิดของลูกบอล	ครั้งที่					SD	mean	CV
							1	2	3	4	5			
159	กลาง	กลาง	ก	เหลือง	ใหญ่	ลูกแก้ว	97	100	101	102.5	101	2.02	100.20	2.01
160					กลาง	ลูกปิงปอง	106	110	108	107	106	1.79	107.30	1.67
161						ลูกแก้ว	109	107	110	108.5	110	1.24	108.90	1.14
162					เล็ก	ลูกแก้ว	108	108	108	109.5	108	0.72	108.24	0.66
163			ข	แดง	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	66.5	69	69	68	67.3	1.10	67.95	1.61
164						ลูกปิงปอง	70	75	69	71	74	2.59	71.80	3.61
165						ลูกแก้ว	67	72	65	66.5	66	2.73	67.30	4.06
166					กลาง	ลูกปิงปอง	77	78	75	76.5	75.5	1.19	76.40	1.56
167						ลูกแก้ว	80	75	78	80	79.5	2.12	78.50	2.70
168					เล็ก	ลูกแก้ว	82	81	81	82.5	80.5	0.82	81.40	1.01
169				เขียว	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	61	58	58	59	60.5	1.40	59.30	2.35
170						ลูกปิงปอง	62.5	60	67	63	64.7	2.61	63.44	4.11
171						ลูกแก้ว	64	62	65	64	63	1.14	63.60	1.79
172					กลาง	ลูกปิงปอง	64	66	67	66.5	64.5	1.29	65.60	1.97
173						ลูกแก้ว	68	69	71	70	72	1.58	70.00	2.26
174					เล็ก	ลูกแก้ว	65	63	62	65	65.5	1.52	64.10	2.37
175				เหลือง	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	54.5	53	54	54	55.5	0.96	54.10	1.78
176						ลูกปิงปอง	52	51	56	54	57	2.55	54.00	4.72
177						ลูกแก้ว	60	63	60	62	61.5	1.30	61.30	2.13
178					กลาง	ลูกปิงปอง	56	56.5	58	57	58	0.79	57.00	1.39

การทดลองที่	ตำแหน่งเริ่มยิง	ตำแหน่งหยุดแขนยิง	ตำแหน่งถ้วยวางลูกบอล	สปริง	ขนาดถ้วยใส่ลูกบอล	ชนิดของลูกบอล	ครั้งที่					SD	mean	CV
							1	2	3	4	5			
179					กลาง	ลูกแก้ว	67	65.5	64	65	66	1.12	65.50	1.71
180					เล็ก	ลูกแก้ว	62.5	61.5	61	62	63	0.79	62.00	1.28
181	กลาง	หลัง	ก	แดง	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	87.5	86	89	88	90.5	1.68	88.20	1.91
182						ลูกปิงปอง	81	87	75	76	79	4.77	79.60	6.00
183						ลูกแก้ว	96	90	94	96	95	2.49	94.20	2.64
184					กลาง	ลูกปิงปอง	79	75	78	80	79	1.92	78.20	2.46
185						ลูกแก้ว	87	93	88	85	88.5	2.95	88.30	3.34
186					เล็ก	ลูกแก้ว	79	82	81	80.7	83	1.50	81.14	1.85
187				เขียว	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	78	77	78	79	78.5	0.79	78.00	1.01
188						ลูกปิงปอง	74.5	76	72	75	73	1.60	74.10	2.16
189						ลูกแก้ว	79	82	76	82	88	4.45	81.40	5.47
190					กลาง	ลูกปิงปอง	77	79	78	78	79	0.84	78.20	1.07
191						ลูกแก้ว	88	86	85	88	85.5	1.41	86.50	1.63
192					เล็ก	ลูกแก้ว	88	90	89	88	87.5	1.00	88.50	1.13
193				เหลือง	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	69	71.5	66	69	70	2.01	69.10	2.91
194						ลูกปิงปอง	64	69	74	69	69	3.54	69.00	5.12
195						ลูกแก้ว	82	85	92	86	85.5	3.65	86.10	4.24
196					กลาง	ลูกปิงปอง	70	67	73	68	69	2.30	69.40	3.32
197						ลูกแก้ว	73.5	75	72	73	71.5	1.37	73.00	1.88
198					เล็ก	ลูกแก้ว	62	65	61	63	64	1.58	63.00	2.51

การทดลองที่	ตำแหน่งเริ่มยิง	ตำแหน่งหยุดแขนยิง	ตำแหน่งถ้วยวางลูกบอล	สปริง	ขนาดถ้วยใส่ลูกบอล	ชนิดของลูกบอล	ครั้งที่					SD	mean	CV
							1	2	3	4	5			
199	กลาง	หลัง	ข	แดง	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	45.5	45.5	46	45	44.5	0.57	45.30	1.26
200						ลูกปิงปอง	46	55	50	56	50	4.10	51.40	7.97
201						ลูกแก้ว	53	44	44	50	42	4.67	46.60	10.02
202					กลาง	ลูกปิงปอง	46	44	45	44	45	0.84	44.70	1.87
203						ลูกแก้ว	42	44	45	43	43.5	1.12	43.50	2.57
204					เล็ก	ลูกแก้ว	46	41.5	42	41.5	42.5	1.95	42.60	4.58
205				เขียว	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	38	40	42	40.5	39.5	1.46	40.00	3.64
206						ลูกปิงปอง	45	42	50	43	42.5	3.28	44.50	7.37
207						ลูกแก้ว	44	36	39	44	38.5	3.56	40.30	8.84
208					กลาง	ลูกปิงปอง	42	39	42	41.5	41	1.24	41.10	3.03
209						ลูกแก้ว	44	52	51	53.5	50	3.62	50.00	7.25
210					เล็ก	ลูกแก้ว	42.5	44	42	43	44	0.89	43.10	2.08
211				เหลือง	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	36	35	34	36	35.5	0.84	35.30	2.37
212						ลูกปิงปอง	32	31	35	32	33	1.52	32.60	4.65
213						ลูกแก้ว	39	39.5	39	38	40	0.79	39.00	2.03
214					กลาง	ลูกปิงปอง	32	32	34	34	33	0.89	32.90	2.72
215						ลูกแก้ว	33.5	36	33	35	34.5	1.19	34.40	3.47
216					เล็ก	ลูกแก้ว	30.5	30.5	32	31	33	1.08	31.40	3.45
217	ต่ำ	หน้า	ก	แดง	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	157	163	151	157	161	4.60	157.80	2.92
218						ลูกปิงปอง	143	148	149	142	144	3.11	145.20	2.14

การทดลองที่	ตำแหน่งเริ่มยิง	ตำแหน่งหยุดแขนยิง	ตำแหน่งถ้วยวางลูกบอล	สปริง	ขนาดถ้วยใส่ลูกบอล	ชนิดของลูกบอล	ครั้งที่					SD	mean	CV
							1	2	3	4	5			
219	ต่ำ	หน้า	ก	แดง	ใหญ่	ลูกแก้ว	144	146	137	143	141	3.42	142.20	2.41
220					กลาง	ลูกปิงปอง	178	182	176	178.5	180	2.25	178.90	1.26
221						ลูกแก้ว	180	178	178	175	178	1.79	177.70	1.01
222					เล็ก	ลูกแก้ว	195	197	194	196	197	1.30	195.80	0.67
223				เขียว	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	146	143	143	145	146	1.52	144.60	1.05
224						ลูกปิงปอง	133	133	131	134	136	1.82	133.40	1.36
225						ลูกแก้ว	150	155	146	156	150	4.10	151.40	2.71
226					กลาง	ลูกปิงปอง	156	150	151	158	159	4.09	154.80	2.64
227						ลูกแก้ว	163	158	159	157	160	2.30	159.40	1.44
228					เล็ก	ลูกแก้ว	153	154	154	155	156	1.04	154.20	0.67
229				เหลือง	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	134	133	132	134.5	133	0.97	133.30	0.73
230						ลูกปิงปอง	135	135	131	130	132	2.30	132.60	1.74
231						ลูกแก้ว	134	141	141	133	138	3.78	137.40	2.75
232					กลาง	ลูกปิงปอง	134	135	137	136.5	136	1.20	135.70	0.89
233						ลูกแก้ว	139	134	133	139	136	2.79	136.10	2.05
234					เล็ก	ลูกแก้ว	138	142	139	140	141	1.52	139.90	1.08
235			ข	แดง	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	86	91	90	91	89	2.07	89.40	2.32
236						ลูกปิงปอง	81	71	74	78	75.5	3.81	75.90	5.03
237						ลูกแก้ว	104	99	97	93	100	4.04	98.60	4.09
238					กลาง	ลูกปิงปอง	98	103	103	100.5	99.5	2.20	100.80	2.18

การทดลองที่	ตำแหน่งเริ่มยิง	ตำแหน่งหยุดแขนยิง	ตำแหน่งถ้วยวางลูกบอล	สปริง	ขนาดถ้วยใส่ลูกบอล	ชนิดของลูกบอล	ครั้งที่					SD	mean	CV
							1	2	3	4	5			
239	ต่ำ	หน้า	ข	เขียว	กลาง	ลูกแก้ว	96	94	94	95.5	96	1.02	95.10	1.08
240					เล็ก	ลูกแก้ว	105	107	105	104	102	1.82	104.60	1.74
241					ใหญ่	ลูกบอลผ้า	75	78	78	79	74	2.17	76.80	2.82
242						ลูกปิงปอง	64	66	67	65	68	1.58	66.00	2.40
243						ลูกแก้ว	95	90	94	86	87	4.04	90.40	4.47
244					กลาง	ลูกปิงปอง	87	81	85	83	82	2.41	83.60	2.88
245						ลูกแก้ว	95	99	94	93.5	101	3.15	96.40	3.27
246					เล็ก	ลูกแก้ว	88	90	89	88	87.7	0.95	88.54	1.08
247				เหลือง	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	67	64	70	68	65	2.39	66.80	3.57
248						ลูกปิงปอง	71	67	63	63	65	3.35	65.80	5.09
249						ลูกแก้ว	75	77	73	76	74.5	1.52	75.10	2.02
250					กลาง	ลูกปิงปอง	75	72	71	73	74.5	1.67	73.10	2.29
251						ลูกแก้ว	80	81.5	77	78	79.5	1.75	79.20	2.21
252					เล็ก	ลูกแก้ว	76.5	72	74	76	75.5	1.82	74.80	2.44
253		กลาง	ก	แดง	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	160	154	157	158.5	161	2.81	158.00	1.78
254						ลูกปิงปอง	137	134	134	136	136	1.30	135.30	0.96
255						ลูกแก้ว	130	133	132	130.5	132	1.22	131.50	0.93
256					กลาง	ลูกปิงปอง	166	164.5	163	163.5	165	1.19	164.40	0.73
257						ลูกแก้ว	165	164	158	167	160	3.70	162.80	2.27
258					เล็ก	ลูกแก้ว	187	182.5	187	185	185	1.86	185.30	1.00

การทดลองที่	ตำแหน่งเริ่มยิง	ตำแหน่งหยุดแขนยิง	ตำแหน่งถ้วยวางลูกบอล	สปริง	ขนาดถ้วยใส่ลูกบอล	ชนิดของลูกบอล	ครั้งที่					SD	mean	CV
							1	2	3	4	5			
259	ต่ำ	กลาง	ก	เขียว	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	135	135	137	136	135	1.00	135.50	0.74
260						ลูกปิงปอง	127	128	125	124	126	1.52	125.90	1.20
261						ลูกแก้ว	119	121	128	120	125	3.78	122.60	3.08
262					กลาง	ลูกปิงปอง	147	152	141	145.5	148	3.99	146.70	2.72
263						ลูกแก้ว	149	152	151	153	149	1.92	150.70	1.28
264					เล็ก	ลูกแก้ว	146	147	146	149	147	1.24	146.90	0.85
265				เหลือง	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	118	118	120	119.5	119	0.89	118.90	0.75
266						ลูกปิงปอง	128	123	127	125	125	1.95	125.60	1.55
267						ลูกแก้ว	115	116	120	118	118	1.92	117.30	1.64
268					กลาง	ลูกปิงปอง	129	127	127	126.5	129	1.08	127.60	0.85
269						ลูกแก้ว	131	130	129	133	131	1.48	130.80	1.13
270					เล็ก	ลูกแก้ว	128	131	129	130	128	1.30	129.20	1.01
271			ข	แดง	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	81	82	80	83	82.5	1.20	81.70	1.47
272						ลูกปิงปอง	72	67	68	71	70.5	2.11	69.70	3.03
273						ลูกแก้ว	82	81	77	78.5	79.5	1.98	79.60	2.49
274					กลาง	ลูกปิงปอง	78	83	88	85.5	80	4.04	82.90	4.87
275						ลูกแก้ว	97	99.5	91	98	96	3.23	96.30	3.36
276					เล็ก	ลูกแก้ว	99	102	98	100	101	1.58	100.00	1.58
277				เขียว	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	74	77	73	75.5	76	1.60	75.10	2.13
278						ลูกปิงปอง	88	90	85	83	84.5	2.84	86.10	3.30

279						ลูกแก้ว	72	75	74	74	73.5	1.10	73.70	1.49
280					กลาง	ลูกปิงปอง	77	87	79	81.5	83	3.84	81.50	4.71
การทดลองที่	ตำแหน่งเริ่มยิง	ตำแหน่งหยุดแขนยิง	ตำแหน่งถ้วยวางลูกบอล	สปริง	ขนาดถ้วยใส่ลูกบอล	ชนิดของลูกบอล	ครั้งที่					SD	mean	CV
							1	2	3	4	5			
281	ต่ำ	กลาง	ข	เขียว	กลาง	ลูกแก้ว	79	77	80	81	78.5	1.52	79.10	1.92
282					เล็ก	ลูกแก้ว	86	86	85	85.5	87	0.74	85.90	0.86
283				เหลือง	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	71	67	67	70	71	2.05	69.20	2.96
284						ลูกปิงปอง	67	60	60	63	64.5	3.01	62.90	4.78
285						ลูกแก้ว	65	66	66	63	67	1.52	65.40	2.32
286					กลาง	ลูกปิงปอง	65	69	65	65	63	2.19	65.40	3.35
287						ลูกแก้ว	75	75	74	73	73.5	0.89	74.10	1.21
288					เล็ก	ลูกแก้ว	75	72	72	72.5	73	1.35	72.80	1.86
289		หลัง	ก	แดง	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	116	111	115	115	113	2.00	114.00	1.75
290						ลูกปิงปอง	105	111	107	110	108	2.39	108.20	2.21
291						ลูกแก้ว	121	120	115	117	119	2.39	118.30	2.02
292					กลาง	ลูกปิงปอง	111	109	104	109	106	2.86	107.70	2.66
293						ลูกแก้ว	126	124	125	126	126	0.84	125.30	0.67
294					เล็ก	ลูกแก้ว	129	120	125	123	128	3.61	124.94	2.89
295				เขียว	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	102	92	100	98	95	3.97	97.40	4.08
296						ลูกปิงปอง	87	87.5	88	86	87	0.74	87.10	0.85
297						ลูกแก้ว	110	105	104	107	109	2.55	107.00	2.38
298					กลาง	ลูกปิงปอง	97	89	94	89	92	3.42	92.20	3.71

การทดลองที่	ตำแหน่งเริ่มยิง	ตำแหน่งหยุดแขนยิง	ตำแหน่งถ้วยวางลูกบอล	สปริง	ขนาดถ้วยใส่ลูกบอล	ชนิดของลูกบอล	ครั้งที่					SD	mean	CV
							1	2	3	4	5			
299	ต่ำ	หลัง	ก	เหลือง	กลาง	ลูกแก้ว	97	105.5	103	105	103	3.38	102.60	3.29
300					เล็ก	ลูกแก้ว	104	109	107	108	106	1.99	106.70	1.86
301					ใหญ่	ลูกบอลผ้า	83.5	86.5	89	84	85.5	2.01	85.60	2.35
302						ลูกปิงปอง	82	85	82	81	89	3.27	83.80	3.90
303						ลูกแก้ว	90	85	83	87	88	2.70	86.60	3.12
304					กลาง	ลูกปิงปอง	83	81	86	79	84	2.70	82.60	3.27
305						ลูกแก้ว	90	86	80	90	83	4.38	85.80	5.11
306					เล็ก	ลูกแก้ว	85	81	83	83	84	1.48	83.20	1.78
307			ข	แดง	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	59	62	62	62	63.5	1.64	61.70	2.66
308						ลูกปิงปอง	70.5	73	71	68.5	69	1.78	70.40	2.53
309						ลูกแก้ว	65	64	70	69	72	3.39	68.00	4.99
310					กลาง	ลูกปิงปอง	55	47	54	53	54	3.21	52.60	6.10
311						ลูกแก้ว	64	68	67	66	66.5	1.48	66.30	2.24
312					เล็ก	ลูกแก้ว	60	59	60	61	62	1.14	60.40	1.89
313				เขียว	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	43	46	50	49	45	2.88	46.60	6.18
314						ลูกปิงปอง	58	62	53	55	56.5	3.40	56.90	5.97
315						ลูกแก้ว	68	69	63	65	66.5	2.39	66.30	3.60
316					กลาง	ลูกปิงปอง	48	41	43	50	42	3.96	44.80	8.84
317						ลูกแก้ว	59	56	53	53	54.7	2.50	55.14	4.53
318					เล็ก	ลูกแก้ว	45	50	47	49.5	48	2.01	47.90	4.20

การทดลองที่	ตำแหน่งเริ่มยิง	ตำแหน่งหยุดแขนยิง	ตำแหน่งถ้วยวางลูกบอล	สปริง	ขนาดถ้วยใส่ลูกบอล	ชนิดของลูกบอล	ครั้งที่					SD	mean	CV
							1	2	3	4	5			
319	ต่ำ	หลัง	ข	เหลือง	ใหญ่	ลูกบอลผ้า	43	44	41	42	41.5	1.20	42.30	2.85
320						ลูกปิงปอง	43	40	43	42.5	42	1.24	42.10	2.96
321						ลูกแก้ว	40	48.5	43	46	45	3.20	44.50	7.19
322					กลาง	ลูกปิงปอง	42	43	38	42	41	1.92	41.20	4.67
323						ลูกแก้ว	53.5	56	48	51	49	3.28	51.50	6.37
324					เล็ก	ลูกแก้ว	39	39	36	40	38	1.52	38.40	3.95