



## ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง การออกแบบและสร้างเครื่องชุปแข็งและอุปกรณ์เจียรระนาดันแบบสำหรับมิดตัดอ้อย  
โดย นายเจนณรงค์ จันทสร

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.มงคล หวังสถิตขันธ์)

18 พฤษภาคม 2552

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์สมนึก วัฒนศรีกุล)

กรรมการ

(ดร.ปรีชา พราหมณีย์)

กรรมการ

(ดร.นันทิยา วิริยบัณฑิต)

การออกแบบและสร้างเครื่องชั่งและอุปกรณ์เจียรไนสำหรับมีดตัดอ้อย

นายเจนณรงค์ จันทสร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ชื่อ : นายเจนณรงค์ จันทสร  
ชื่อวิทยานิพนธ์ : การออกแบบและสร้างเครื่องชุบแข็งและอุปกรณ์เจียรใน  
สำหรับมิดตัดอ้อย  
สาขาวิชา : วิศวกรรมการผลิต  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รองศาสตราจารย์สมนึก วัฒนศรียกูล  
ปีการศึกษา : 2551

### บทคัดย่อ

อ้อยนับเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย โดยปีหนึ่งมีการปลูกประมาณ 6 ล้านไร่ คิดเป็นน้ำหนักประมาณ 71 ล้านตัน การเก็บเกี่ยวอ้อยในประเทศไทยมีทั้งเครื่องจักรและใช้คนตัดด้วยมือ โดยการตัดอ้อยด้วยมือยังเป็นที่ยอมรับโดยจำนวนไร่อ้อยประมาณ 95% เป็นการตัดด้วยมือ มิดตัดอ้อยเป็นเครื่องมือสำคัญที่ใช้ในการตัด โดยมิดตัดที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีการพัฒนาจนมีลักษณะรูปร่างและขนาดเฉพาะที่ใช้ในการตัดอ้อย อายุการใช้งานมิด 1 เล่มต่อ 1 ฤดูตัด (ประมาณ 4-5 เดือน) โดยมีการประเมินว่าการใช้มิดตัดทั้งประเทศมีประมาณ 5 แสนเล่ม/ปี การผลิตมิดใช้วิธีการตีขึ้นรูปร้อนด้วยมือและมีการชุบแข็งตรงสันคมตัด จากการสำรวจพบว่า ความแข็งบริเวณที่ชุบแข็งไม่สูงมาก (<25HRC) มีความไม่สม่ำเสมอ และบริเวณที่ได้รับการชุบแข็งมีพื้นที่น้อย จุดนี้จึงน่าจะเป็นสาเหตุสำคัญที่จะทำให้อายุการใช้งานของมิดตัดสั้นกว่าที่ควร โครงการนี้เป็นการศึกษาเพื่อพัฒนาการชุบแข็งมิดตัดให้มีความแข็งสูงขึ้นและสม่ำเสมอ เพื่อจะทำให้อายุการใช้งานของมิดตัดมีอายุการใช้งานเพิ่มขึ้น ผู้ศึกษาได้ออกแบบและสร้างเครื่อง 3 เครื่อง การใช้เครื่องทั้งสามในการผลิตมิดตัดนั้น ทำให้ได้ความแข็งบริเวณสันคมเพิ่มขึ้น พื้นที่ชุบแข็งมากขึ้น และมีความสม่ำเสมอออกนอกนั้นยังทำให้มิดมีรูปร่างและขนาดที่แน่นอนและสามารถลดเวลาและต้นทุนในการผลิต โดยสามารถลดเวลาในการเจียรในจาก 10 นาทีเหลือ 4 นาที/เล่ม/คน และลดต้นทุนการผลิตจากการเจียรในและการชุบแข็งจาก 12.4 บาทเหลือ 4.5 บาท/เล่ม ในการชุบแข็งสามารถทำให้มีความแข็งสูงขึ้นเป็น 30-40HRC. พื้นที่ชุบแข็งจากสันคมมีขนาดมากกว่า 10 มิลลิเมตร และน่าจะทำให้มิดสามารถใช้งานได้ประมาณ 2 ฤดูตัดอ้อย

โครงการนี้ได้รับการสนับสนุนจากบริษัท มิตรผลวิชัย พัฒนาอ้อยและน้ำตาล จำกัด และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)

(วิทยานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 109 หน้า)

คำสำคัญ : มิดตัดอ้อย, เครื่องเจียรในมิด, เครื่องชุบแข็งมิด

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Name : Mr.Jennarong Jantasorn  
Thesis Title : Prototype Design and Construction of Hardening Machine and Grinding  
Equipment for Sugarcane Cutting Knife  
Major Field : Production Engineering  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
Thesis Advisor : Associate Professor Somnuk Watanasriyakul  
Academic Year : 2008

### **Abstract**

Sugarcane is one of major economic crops of Thailand. Annually there are about one million ha or about 71 million tons of sugarcane harvested. In Thailand, the sugarcane is harvested either by labor or machine. However more than 95% is still harvested manually, thus knife plays important role of the cutting tool. The present knife can last for one harvesting season (about 4-5 months). Demand of sugarcane harvesting knife is estimated to be approximately 500,000 knives /season. The knife has been produced by manually hot forming and hardening. From the study, it was found that strength at hardening was not very high (<25HRC.), fluctuated and the hard area was limited. This may result in short life cycle of the knife. The study was to develop hardening machine to produce evenly harder knives which should last longer. Three machines were designed and produced. Knife produced from the machines were uniformly harder at blade. Moreover shape and size are steady with less time and lower cost of production. Grinding time was reduced from 10 to 4 minutes/knife/person and grinding and hardening cost was reduced from 12.4 to 4.5 baht/knife. Hardening level was increased to 30-40HRC and hard area was more than 10 mm. from the edge. Therefore the knife should last for about two harvesting seasons.

The study was sponsored by Mitr Phol Sugarcane Research Centre, Co., Ltd. and National Science and Technology Development Agency (NSTDA)

(Total 109 pages)

Keywords : Sugarcane Cutting Knife, Knife Grinding Machine, Knife Hardening Machine

---

Advisor

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถดำเนินการสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์สมนึก วัฒนศรียกูล อย่างสูงที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือ คำปรึกษาคำแนะนำ และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มาโดยตลอด และช่วยให้คำแนะนำ แก้ไข วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณ ครูบาอาจารย์ ทุกๆ ท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาท วิชาความรู้ในแขนงต่างๆ จนกระทั่งทำให้มีความรู้ ความเข้าใจในการวางแผนทางและดำเนินงานวิจัย ขอขอบคุณ บริษัท มิตรผลวิจัย พัฒนาอ้อยและน้ำตาล และ สวทช. ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ด้านการทดลองตัดอ้อย ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมการผลิตที่ให้คำแนะนำต่าง รวมถึง พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจ คำปรึกษา ช่วยให้งานวิจัยสามารถดำเนินงานไปได้ เป็นอย่างดี และขอขอบคุณท่านที่ไม่ได้กล่าวชื่อนามทั้งหมดไว้ ณ ที่นี้

ท้ายสุดนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ แด่ บิดา มารดา ที่อบรมเลี้ยงดูมาตลอด และญาติพี่น้อง ทุกคนที่เอาใจใส่ดูแล เป็นกำลังใจที่ดีเยี่ยม และให้การสนับสนุนในทุกๆ ด้านมาโดยตลอด จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วง

เจนณรงค์ จันทสร

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฅ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 วิธีดำเนินงานของโครงการ	3
1.5 ประโยชน์ของงานวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ความรู้เบื้องต้นโลหะวิทยาของเหล็ก	5
2.2 การศึกษาโครงสร้างของโลหะ (Metallography)	5
2.3 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเหล็กในขณะได้รับความร้อน	8
2.4 การชุบแข็ง (Hardening)	14
2.5 อุณหภูมิสำหรับการชุบแข็ง (Hardening Temperature)	15
2.6 ของเหลวสำหรับการชุบแข็ง	16
2.7 การชุบแข็งพื้นผิวโดยเปลวไฟให้ความร้อน (Flame hardening)	18
2.8 การทดสอบความแข็ง (Hardness Test)	20
2.9 การออกแบบทางวิศวกรรม	24
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย	33
3.1 การออกแบบเครื่องชุบแข็งและอุปกรณ์เจียรไนของงานวิจัย	33
3.2 การทดสอบค่าความแข็งของมีด และ โครงสร้างจุลภาคในการทดลอง ให้ความร้อนและชุบแข็ง	57
3.3 ในการนำไปทดลองมีดไปใช้งานจริง เพื่อทดลองหาค่าความสึกหรอของมีด เพื่อหาช่วงค่าความแข็งที่เหมาะสมกับการใช้งาน	58

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง	61
4.1 วัดขนาดมิด	61
4.2 วัดขนาดและมุมลิ้มคมตัดมิดเปรียบเทียบระหว่างการเจียรระโนมือ กับเจียรด้วยเครื่อง	64
4.3 ตรวจสอบเครื่อง Micro Hardness และทดสอบค่าความแข็งมิด ที่ทดลองทั้ง 10 แบบ	68
4.4 ผลการทดลองมิดใช้งานจริง เพื่อเปรียบเทียบความสึกหรอ ในช่วงค่าความแข็งในแต่ละช่วงค่าความแข็ง	79
4.5 ผลของแบบสอบถามที่ผู้ใช้มีต่อลักษณะของมิดในช่วงค่าความแข็ง	82
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	87
5.1 เปรียบเทียบในเรื่องของขนาดมิดที่ปรับ โดยเครื่องเจียรระโนรูปร่าง	87
5.2 เปรียบเทียบในเรื่องของขนาดมิดที่ปรับ โดยเครื่องเจียรระโนคมตัด	88
5.3 การตรวจสอบมิดที่ผลิตจากเครื่องชุบแข็ง	88
5.4 เปรียบเทียบมิดที่ชุบแข็งในช่วงค่าความแข็งต่างๆ แล้วนำไปทดลองตัดจริง เพื่อดูความสึกหรอของมิดและน้ำหนักที่หายไปในช่วงค่าความแข็งต่างๆ	89
5.5 ข้อเสนอแนะ	90
เอกสารอ้างอิง	91
ภาคผนวก ก	93
แบบมิดมาตรฐานมิดตัดอ้อย	94
ภาคผนวก ข	95
แบบเครื่องเจียรระโนรูปร่างและคมตัดมิดตัดอ้อย	96
ประวัติผู้วิจัย	109

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2-1	ค่าความแข็งโดยประมาณของเกรนเหล็กกล้า	22
3-1	แสดงส่วนผสมทางเคมีของวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอน S45C.	34
3-2	ข้อพิจารณาเพื่อเลือกกระบวนการชุบแข็ง	45
3-3	ข้อพิจารณาเลือกพลังงานในการให้ความร้อน	46
3-4	ข้อพิจารณาในการเลือกสารชุบแข็ง	47
3-5	แสดงค่าความแข็งและขนาดของ Patter Hardness ของรหัสมีด	58
3-6	แสดงรายละเอียดการคลดมิดในแต่ละแก้มปี	59
4-1	ผลการวัดขนาดมิดที่เจียรด้วยเครื่อง	62
4-2	ผลการวัดขนาดมิดที่เจียรด้วยมือ	63
4-3	วัดขนาดคมตัดและมุมลิ้มของมิดตัดอ้อยที่เจียรด้วยเครื่อง	64
4-4	วัดขนาดคมตัดและมุมลิ้มของมิดตัดอ้อยที่เจียรด้วยมือ	66
4-5	แสดงผลการทดสอบเครื่องวัดความแข็ง	69
4-6	แสดงค่าความแข็งและขนาด Patter Harness ของรหัสมีด	69
4-7	แสดงผลการวัดค่าความแข็งในมิดแบบที่ 1	71
4-8	แสดงผลการวัดค่าความแข็งในมิดแบบที่ 2	71
4-9	แสดงผลการวัดค่าความแข็งในมิดแบบที่ 3	72
4-10	แสดงผลการวัดค่าความแข็งในมิดแบบที่ 4	73
4-11	แสดงผลการวัดค่าความแข็งในมิดแบบที่ 5	74
4-12	แสดงผลการวัดค่าความแข็งในมิดแบบที่ 6	75
4-13	แสดงผลการวัดค่าความแข็งในมิดแบบที่ 7	76
4-14	แสดงผลการวัดค่าความแข็งในมิดแบบที่ 8	77
4-15	แสดงผลการวัดค่าความแข็งในมิดแบบที่ 9	78
4-16	แสดงผลการวัดค่าความแข็งในมิดแบบที่ 10	79
4-17	แสดงผลการวัดความสึกหรอของมิด	80
4-18	แสดงผลการวัดน้ำหนักมิดที่หายไปหลังการใช้งาน	81
4-19	แสดงผลการลับของมิดในแต่ละแบบมิดกับการใช้งาน	82
4-20	แสดงผลความคงทนของมิดในแต่ละแบบมิดกับการใช้งาน	83
4-21	แสดงผลความเสียหาย (บิ่น) ของมิดในแต่ละแบบมิดกับการใช้งาน	84

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4-22 การเปรียบเทียบอัตราการผลิตขั้นตอนเจียรระไนรูปร่างและคมตัด ตัวแปรคนเจียร 1 คน ในการเจียรมีด 1 เล่ม	85
4-23 การเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตขั้นตอนเจียรระไนรูปร่างและคมตัด ตัวแปรคนเจียร 1 คน ในการเจียรมีด 1 เล่ม	85
4-24 การเปรียบเทียบอัตราการผลิตขั้นตอนการให้ความร้อนและชุบแข็ง ตัวแปร คนชุบ 1 คน ในการชุบมีด 1 เล่ม	86
4-25 การเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตขั้นตอนการให้ความร้อนและชุบแข็ง ตัวแปร คนชุบ 1 คน ในการชุบมีด 1 เล่ม	86

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า	
1-1	มีดตัดอ้อยที่เกษตรกรนิยมใช้	1
2-1	ภาพแสดงทิศทางของลำแสงและสะท้อนกลับผ่านเลนส์ทำให้เกิดภาพโครงสร้างของโลหะ	6
2-2	แสดงส่วนประกอบและหลักการทำงานของกล้องขยายโครงสร้างโลหะ	7
2-3	แผนภูมิสมมูลของเหล็กกับคาร์บอนที่ได้แก้ไขปริมาณของคาร์บอนและอุณหภูมิที่จุดต่างๆ	8
2-4	แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงจากออสเตนไนท์ไปเป็นเฟอร์ไรท์และซีเมนต์ไคต์ที่จะได้โครงสร้างเพิร์ไลต์หรือเซอร์ไบท์	9
2-5	แสดงขั้นตอนในการเปลี่ยนแปลงของออสเตนไนท์ไปเป็นเบนไนท์	10
2-6	แสดงระบบผลึกของออสเตนไนท์ (F C C) และเฟอร์ไรท์ (B C C)	11
2-7	แสดงการเปลี่ยนแปลงจากออสเตนไนท์ไปเป็นเฟอร์ไรท์	11
2-8	แสดงตำแหน่งของอะตอมคาร์บอนที่แทรกอยู่ในออสเตนไนท์ก่อนที่จะเปลี่ยนไปเป็นมาร์เทนไซต์	12
2-9	ออสเตนไนท์ที่อุณหภูมิสูง-ออสเตนไนท์ภายหลังทำให้เย็นอย่างรวดเร็วได้มาร์เทนไซต์	13
2-10	แสดงค่าพารามิเตอร์ a, b และ c ที่ต่างกันของเหล็กกล้าที่ปริมาณคาร์บอนต่างๆ กันภายหลังการชุบแข็ง	13
2-11	แสดงลักษณะการเกิดโครงสร้างมาร์เทนไซต์	14
2-12	แสดงช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการชุบแข็งของเหล็กกล้าคาร์บอน	16
2-13	แสดงหลักการทำการชุบแข็งผิวโดยการเคลื่อนหัวเผาไปข้างหน้าและมีน้ำฉีดตามหลัง	19
2-14	ความสัมพันธ์ของค่าความแข็งต่อคุณสมบัติด้านต่างๆ ของวัสดุและตัวแปรที่มีผลต่อความแข็งของโลหะ	20
2-15	รูปแบบของการทดสอบความแข็งลักษณะต่างๆ	20
2-16	หลักการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส	21
2-17	เปรียบเทียบค่าความแข็ง บรินเนลล์กับวิกเกอร์สและบรินเนลล์กับรอกเวลล์	23
2-18	ขั้นตอนในการออกแบบ	26
3-1	รูปมีดตัดอ้อย	33
3-2	ความสัมพันธ์ของการแจกแจงปัญหาที่จะแก้ไขข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง	34

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า	
3-3	ขั้นตอนการแจกแจงปัญหา	35
3-4	การแจกแจงปัญหาเครื่องชुบแข็งมีดตัดอ้อย	36
3-5	ผลของการหาข้อมูลมีดจากโรงงาน	37
3-6	ภาพการขึ้นรูปมีดจากโรงงาน	38
3-7	ภาพการเจียรระไนมีดจากโรงงาน	39
3-8	ภาพการชुบแข็งมีดจากโรงงาน	40
3-9	ภาพมีดหลังชुบแข็งจากโรงงาน	41
3-10	ภาพ Sketching กระบวนการให้ความร้อน	42
3-11	แบบเครื่องชुบฟันสองหัว	43
3-12	การทดลองหัวแก๊ส	43
3-13	ห้องควบคุมความร้อน	44
3-14	การทดลองห้องควบคุมความร้อน	44
3-15	เครื่องชुบแข็ง	47
3-16	ภาพแจกแจงปัญหาอุปกรณ์เจียรระไนรูปรางมีด	49
3-17	ภาพการหาข้อมูลจากโรงงาน	50
3-18	ภาพ Sketching อุปกรณ์เจียรระไนมีด	51
3-19	เครื่องเจียรระไนรูปราง	52
3-20	บริเวณการเจียรระไนกับและการใช้ไกด์ในการควบคุมขนาด	52
3-21	ภาพการแจกแจงปัญหาอุปกรณ์เจียรระไนคมตัด	53
3-22	ภาพการหาข้อมูลจากโรงงาน	54
3-23	ภาพ Sketching อุปกรณ์เจียรระไนคมตัด	55
3-24	เครื่องเจียรระไนคมตัด	56
3-25	บริเวณของโต๊ะจับยึดมีดเพื่อเจียรคมตัด	56
3-26	การตัดมีดเพื่อทำชิ้นงานทดสอบ	57
3-27	ชิ้นงานทดสอบ	57
3-28	Micro Hardness Testing	58
4-1	การสร้างแนวเส้นอ้างอิง	62
4-2	แสดงผลการวัดขนาดมีดที่เจียรด้วยเครื่อง	63

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-3	แสดงผลการวัดขนาดมิดที่เจียรด้วยมือ	64
4-4	แสดงผลการวัดขนาดคมตัดมิดที่เจียรด้วยเครื่องด้านซ้าย	65
4-5	แสดงผลการวัดมุมลิ้มรวมคมตัดมิดที่เจียรด้วยเครื่อง	65
4-6	แสดงผลการวัดขนาดคมตัดมิดที่เจียรด้วยเครื่องด้านขวา	66
4-7	แสดงผลการวัดขนาดคมตัดมิดที่เจียรด้วยมือด้านซ้าย	67
4-8	แสดงผลการวัดมุมลิ้มรวมคมตัดมิดที่เจียรด้วยมือ	67
4-9	แสดงผลการวัดขนาดคมตัดมิดที่เจียรด้วยมือด้านขวา	68
4-10	เครื่อง Micro Hardness	68
4-11	การทำชิ้นงานทดสอบ	70
4-12	แสดงผลค่าความแข็งในมิดแบบที่ 1	70
4-13	แสดงผลค่าความแข็งในมิดแบบที่ 2	71
4-14	แสดงผลค่าความแข็งในมิดแบบที่ 3	72
4-15	แสดงผลค่าความแข็งในมิดแบบที่ 4	73
4-16	แสดงผลค่าความแข็งในมิดแบบที่ 5	74
4-17	แสดงผลค่าความแข็งในมิดแบบที่ 6	75
4-18	แสดงผลค่าความแข็งในมิดแบบที่ 7	76
4-19	แสดงผลค่าความแข็งในมิดแบบที่ 8	77
4-20	แสดงผลค่าความแข็งในมิดแบบที่ 9	78
4-21	แสดงผลค่าความแข็งในมิดแบบที่ 10	79
4-22	แสดงผลความสึกหรอค่าเฉลี่ยในแต่ละแบบมิด	80
4-23	แสดงผลน้ำหนักเฉลี่ยมิดที่หายไปจากการใช้งาน	81
4-24	แสดงผลคะแนนเฉลี่ยของการลับของมิดในแต่ละแบบมิด	82
4-25	แสดงผลคะแนนเฉลี่ยของความคงทนของมิดในแต่ละแบบมิด	83
4-26	แสดงผลคะแนนเฉลี่ยของความเสียหาย (บิ่น) ของมิดในแต่ละแบบมิด	84
5-1	แสดงความสึกหรอที่มีผลกับช่วงค่าความแข็ง	87
ก-1	มิดตัดอ้อยมาตรฐาน	94
ข-1	ภาพเครื่องเจียรระโนรูปร่างมิดตัดอ้อย	96
ข-2	ภาพชุดน้ำหนักถ่วง	97

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ข-3	ภาพคันประคองตัวยึดมีด	98
ข-4	ภาพ Guide Post	99
ข-5	ภาพป้อนหินเจียรระไน	100
ข-6	ภาพคันตัวล่างหน้าหิน	101
ข-7	ภาพ Cover หิน	102
ข-8	ภาพเครื่องเจียรระไนคมตัดมีดตัดอ้อย	103
ข-9	ภาพโครงสร้างเครื่องเจียรระไนรูปร่างมีดตัดอ้อย	104
ข-10	ภาพ Guide Slide	105
ข-11	ภาพชุดยึด Motor	106
ข-12	ภาพเครื่องชบแข็งมีดตัดอ้อย	107

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

C	=	องศาเซลเซียส (หน่วยวัดอุณหภูมิ)
g	=	กรัม (หน่วยวัดน้ำหนัก)
mm	=	มิลลิเมตร (หน่วยวัดความยาว)
cm	=	เซนติเมตร (หน่วยวัดความยาว)
HRC	=	Hardness Rockwell Scale C (หน่วยวัดค่าความแข็ง)
S45c	=	เกรดเหล็ก คาร์บอนปานกลาง (เหล็กหัวแดง)
P.H.	=	Patter Hardness (ชั้นความแข็ง)
Min	=	ค่าที่น้อยสุด
Max	=	ค่าที่มากที่สุด
Mean	=	ค่าเฉลี่ย

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย ซึ่งโดยทั่วไปหมายถึงอ้อยโรงงานที่ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล ประเทศไทยบริโภคน้ำตาลปีละ 1.6-1.7 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่า 17,000-19,000 ล้านบาท และมีการส่งออกมากกว่าปีละ 3 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่า 20,000-30,000 ล้านบาท ทำให้ประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกน้ำตาลอันดับ 4 ของโลก [1] ปัจจุบันนี้การเก็บเกี่ยวอ้อยจากไร่เพื่อแปรรูปไปเป็นน้ำตาลในประเทศไทยยังจำเป็นต้องใช้แรงงานคนในการเก็บเกี่ยว เนื่องจากการใช้เครื่องจักรในการเก็บเกี่ยวจะทำให้ต้นอ้อยได้รับความเสียหายเป็นจำนวนมาก ซึ่งการใช้แรงงานคนในการเก็บเกี่ยวอ้อยสามารถลดความเสียหายดังกล่าวได้ นอกจากนี้แรงงานคนยังสามารถเลือกตัดอ้อยได้ใกล้เคียงโคนต้นอ้อยซึ่งเป็นการเก็บเกี่ยวอ้อยได้อย่างคุ้มค่าอีกด้วย

การเก็บเกี่ยวอ้อยด้วยแรงงานคนนั้น จำเป็นต้องใช้แรงงานชาวไร่อ้อยที่มีทักษะและความชำนาญ ประกอบกับอุปกรณ์และเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพ และมีการควบคุมให้ตัดอ้อยชิดดิน ซึ่งจะทำให้สูญเสียของน้ำหนักอ้อยที่เหลือค้างไร่ได้ 0.3-2 ตัน/ไร่ และทำให้สูญเสียรายได้ 186-1,240 บาท/ไร่ [2] ซึ่งหมายความว่าเครื่องมือที่สำคัญที่สุด สำหรับการเก็บเกี่ยวอ้อยจากไร่ คือมีดตัดอ้อยที่ได้รับการออกแบบเพื่อความเหมาะสมสำหรับงานตัดอ้อย ซึ่งมีรูปแบบดั้งเดิมสืบทอดมาเป็นเวลานาน ดังรูปที่ 1 และเกษตรกรก็มีความคุ้นเคยในการใช้งาน



ภาพที่ 1-1 มีดตัดอ้อยที่เกษตรกรนิยมใช้

ข้อมูลพื้นฐานเดิมก่อนดำเนินการศึกษา บริษัทมิตรผลเป็นบริษัทที่ผลิตน้ำตาลขนาดใหญ่ในประเทศไทย มีโรงงานน้ำตาล 5 แห่ง ได้แก่ โรงงานน้ำตาลมิตรผลด่านช้าง โรงงานน้ำตาลมิตรภูเขียว โรงงานน้ำตาลมิตรภูเวียง โรงงานน้ำตาลมิตรภาพสินธุ์และโรงงานน้ำตาลมิตรผลสิงห์บุรี โดยแต่ละโรงงาน มีความสามารถในการหีบอ้อยในระหว่าง 18,000 –30,000 ตันอ้อย/วัน หรือรวมทั้ง 5 โรงงาน ประมาณ 113,000 ตันอ้อย/วัน [2] กลุ่มน้ำตาลมิตรผลได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของงานด้านวิจัยและพัฒนา รวมถึงการถ่ายทอดเทคโนโลยี เพื่อนำผลที่ได้ไปพัฒนาอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลให้มีความยั่งยืน และมุ่งหวังที่จะสร้างมาตรฐานคุณภาพชีวิตให้เกษตรกรชาวไร่อ้อยโดย บริษัทมิตรผล ได้รับซื้ออ้อยจากสมาชิกชาวเกษตรกรตามภูมิภาคต่างๆ ทั่วประเทศไปแปรรูปเป็นน้ำตาล โดยสมาชิกเกษตรกรจะได้รับมิดตัดอ้อยจากบริษัทมิตรผล เพื่อนำไปใช้ในการเก็บเกี่ยวผลิตผลมิดตัดอ้อยที่บริษัทมิตรผล แจกให้กับกลุ่มเกษตรกรชาวไร่อ้อยมีจำนวนความต้องการใช้ต่อปี โดยมีข้อมูลเบื้องต้นดังนี้

1. บริษัทมิตรผล ใช้มิดตัดอ้อยต่อปีประมาณ 50,000 เล่ม
2. มูลค่ามิดตัดอ้อยมีราคาต่อเล่ม ประมาณ 100 บาท
3. บริษัทมิตรผล จ้างสถานประกอบการโรงต้มมิดดังนี้
  - 3.1 ร้านมิดอู่ทอง 1 อ.อู่ทอง จ.สุพรรณบุรี ราคาเล่มละ 90 บาท
  - 3.2 ร้านมิดอู่ทอง 2 อ.อู่ทอง จ.สุพรรณบุรี ราคาเล่มละ 90 บาท
  - 3.3 ร้านมิดอู่ทอง 2 ดีที่สุด เพราะได้ต้มมิดตามที่ บริษัท มิตรผล ต้องการ
4. การบริโภคมิดตัดอ้อยของเกษตรกรภายในประเทศประมาณ 500,000 เล่มต่อปี

บริษัท มิตรผล ได้ว่าจ้างโรงต้มมิดตัดอ้อย ยี่ห้อ เบอร์ 2 อ.อู่ทอง ในการผลิต ซึ่งทางบริษัท มิตรผลวิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญของเครื่องมือในการเก็บเกี่ยวของเกษตรกร จึงขอความช่วยเหลือมาทางสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) และได้นำมิดตัดอ้อยมาให้กับคณะผู้ทำวิจัยตรวจสอบ และผลที่ได้จากการตรวจสอบในขั้นต้น พบว่าค่าความแข็งของมิดตัดอ้อยที่บริเวณคมตัดมีค่าความแข็งที่ไม่สม่ำเสมอ หมายความว่าความแข็งในบริเวณคมตัด มีค่าที่แตกต่างกัน และมีในแต่ละเล่มก็มีความแข็งที่แตกต่างกันเช่นเดียวกัน

และมุล้มของคมตัดมิดตัดอ้อยมีขนาดของมุล้มที่ไม่เท่ากัน โดยตรวจสอบด้วยสายตาจะเห็นได้ชัด จึงสรุปในขั้นต้นว่าขอบนการอบหุบแข็งของสถานประกอบการโรงต้มมิดตัดอ้อย ยี่ห้อ เบอร์ 2 นั้น หุบแข็งมาแล้วมีค่าความแข็ง ที่ไม่สม่ำเสมอ ไม่สามารถควบคุมค่าความแข็งได้ และไม่สามารถควบคุมการขึ้นรูปมุล้มหรือคมตัดให้มีขนาดที่ใกล้เคียงกันได้ จึงทำให้ความสามารถในการหุบแข็งของมิดตัดอ้อยต่ำลง มิดตัดอ้อยจึงมีค่าความแข็งที่ไม่สม่ำเสมอทำให้อายุการใช้งานของมิดสั้นและ การรักษาคมตัดของมิดมีอายุสั้นด้วย ส่งผลต่อประสิทธิภาพการตัดของเกษตรกร อีกอย่างหนึ่งทางคณะผู้ทำวิจัยจึงคิดที่จะควบคุมขนาดของคมตัด และค่าความแข็งของมิดตัดอ้อยให้อยู่ในเกณฑ์ที่

เหมาะสมกับการใช้งานของเกษตรกร เพื่อเกษตรกรก็จะได้มีคัตค้อยที่มีประสิทธิภาพสูงส่งนำไปใช้งานเพื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตอีกต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ออกแบบและสร้างอุปกรณ์เจียรไนมีดเพื่อปรับปรุงกระบวนการเจียรปรับแต่งรูปร่างและคม คัตมีดคัตค้อย

1.2.2 ออกแบบและสร้างเครื่องชุบแข็งมีดคัตค้อย

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ได้อุปกรณ์เจียรไนปรับแต่งรูปร่างและคม คัตมีดคัตค้อย

1.3.2 ได้เครื่องชุบแข็งมีดคัตค้อย

1.3.3 ได้กระบวนการชุบแข็งของมีดคัตค้อยที่เหมาะสมการใช้งาน

1.3.4 มีดคัตค้อยที่ถูกชุบแข็งด้วยเครื่องชุบแข็งที่สร้างขึ้นมีความแข็งที่คมตัดสม่ำเสมอ

## 1.4 วิธีดำเนินงานของโครงการ

1.4.1 ศึกษาข้อมูลการคัตค้อยที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินการ โครงการ

1.4.2 ออกแบบอุปกรณ์เจียรไนและเครื่องชุบแข็งสำหรับมีดคัตค้อย

1.4.3 สร้างเครื่องชุบแข็งสำหรับมีดคัตค้อย

1.4.3.1 จัดหาอุปกรณ์

1.4.3.2 ดำเนินการสร้างเครื่องชุบแข็งสำหรับมีดคัตค้อย

1.4.4 ศึกษากระบวนการทางความร้อนที่เหมาะสมสำหรับมีดคัตค้อย

1.4.5 ทดลองชุบด้วยเครื่องชุบแข็งมีดคัตค้อย

1.4.6 วิเคราะห์สมบัติทางกลของมีดคัตค้อยที่ผ่านกระบวนการชุบแข็ง

1.4.7 วิเคราะห์และถ่ายทอดความรู้เทคโนโลยีให้กับผู้ประกอบการพร้อมสรุปผลการ

ดำเนินการ ของโครงการ

1.4.8 เขียนรายงานการดำเนินการของโครงการ

## 1.5 ประโยชน์ของงานวิจัย

1.5.1 ศึกษากระบวนการผลิตมีดคัตค้อยและหาปัญหาเพื่อพัฒนาให้มีความมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

1.5.2 จากการพัฒนาได้ออกแบบและสร้างเครื่องเจียรไนรูปร่างและคมตัดสำหรับมีดคัตค้อย

1.5.3 ออกแบบและสร้างเครื่องชุบแข็งที่เหมาะสมกับมีดคัตค้อย

1.5.4 เครื่องจักรกลช่วยในการผลิตมีด โดยคนผลิตไม่จำเป็นต้องมีความชำนาญอีกทั้งเป็นการเพิ่มผลผลิตอีกทางหนึ่ง

1.5.5 ได้นำมีดที่ผลิตไปทดลองตัดจริง รับทราบถึงปัญหาจากเกษตรกรเพื่อมาปรับปรุงการผลิต

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ความรู้เบื้องต้นโลหะวิทยาของเหล็ก

การศึกษาเรื่องเทคนิคของการอบชุบความร้อน [3] จำเป็นต้องมีความเข้าใจโลหะวิทยาศัพท์เทคนิค ตลอดจนแผนภูมิต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ผู้ศึกษาสามารถทำความเข้าใจ และนำไปใช้ได้ถูกต้อง โลหะวิทยาเป็นศาสตร์แขนงหนึ่ง ซึ่งเน้นถึงคุณสมบัติทางกายภาพของโลหะเป็นส่วนใหญ่ การศึกษาต้องทำความเข้าใจเป็นขั้นเป็นตอนเพื่อผู้ศึกษาสามารถจินตนาการ มองเห็นภาพ เริ่มตั้งแต่โครงสร้างอะตอม จนถึงโครงสร้างที่โลหะอยู่รวมกันเป็นผลึกหรือเกรน และสุดท้ายสามารถจินตนาการมองเห็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเหล็กขณะถูกความร้อน และขณะถูกทำให้เย็นในอัตราต่างๆ กัน ซึ่งบางกรณีอาจจะต้องจินตนาการต่อไปถึงขั้นที่ถูกใช้งาน หรือได้รับแรงกระทำจากภายนอกจะเกิดการเคลื่อนไหวของอะตอม หรือของแต่ละเกรนในลักษณะอย่างไรซึ่งจะได้กล่าวในรายละเอียดพอสังเขปดังต่อไปนี้

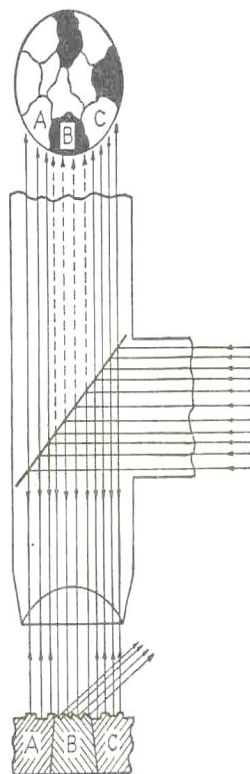
โครงสร้างระบบผลึกของโลหะ (Metallic Crystal) จากที่ทราบกันแล้วว่า โลหะทุกชนิดจะประกอบด้วยอนุภาคที่เล็กที่สุดคืออะตอม ซึ่งจะมีการเรียงตัวกันอย่างมีระเบียบภายในเกรน และบริเวณขอบเกรนหรือผลึกนี้จะเรียกว่า Space Lattice ซึ่งภายใน Space Lattice นี้ถ้านำกลุ่มอะตอมหน่วยเล็กๆ หน่วยหนึ่งมาขยายเพื่อศึกษาดำเนินการวางตัวของกลุ่มอะตอมในหน่วยเล็กนี้ (Unit Cell) จะพบว่าการวางตัวของกลุ่มอะตอมจะมีระบบที่แน่นอนและมีอยู่หลายระบบเรียกว่า ระบบผลึก (Crystallographic System)

#### 2.2 การศึกษาโครงสร้างของโลหะ (Metallography)

การศึกษาโครงสร้างของโลหะภายใต้กล้องขยาย (Microscope) เริ่มมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2303 โดยศาสตราจารย์ Henry C. Sorby แห่งเซฟฟิลด์ ประเทศอังกฤษ จัดได้ว่าเป็นผู้บุกเบิกแนวทางในการศึกษาโครงสร้างของโลหะ โดยจัดเป็นแขนงหนึ่งของโลหะวิทยาภายใต้ชื่อ Metallography หลักการของการศึกษาจะเริ่มต้น โดยการเตรียมผิวตัวอย่างของโลหะก่อน โดยการปรับระดับผิวให้เรียบด้วยหินไฟและตามด้วยการขัดผิวให้เรียบด้วยกระดาษทราย-น้ำ, เริ่มตั้งแต่กระดาษทรายหยาบไปจนถึงกระดาษทรายละเอียดในการปฏิบัติจะเริ่มที่กระดาษทรายเบอร์ 240 หรือ 220 ซึ่งเป็นขนาดของเม็ดทราย หรือเมฆนมเบอร์ และข้อต่อบนกระดาษทรายเบอร์ 320, 400 และ 600\* ตามลำดับ

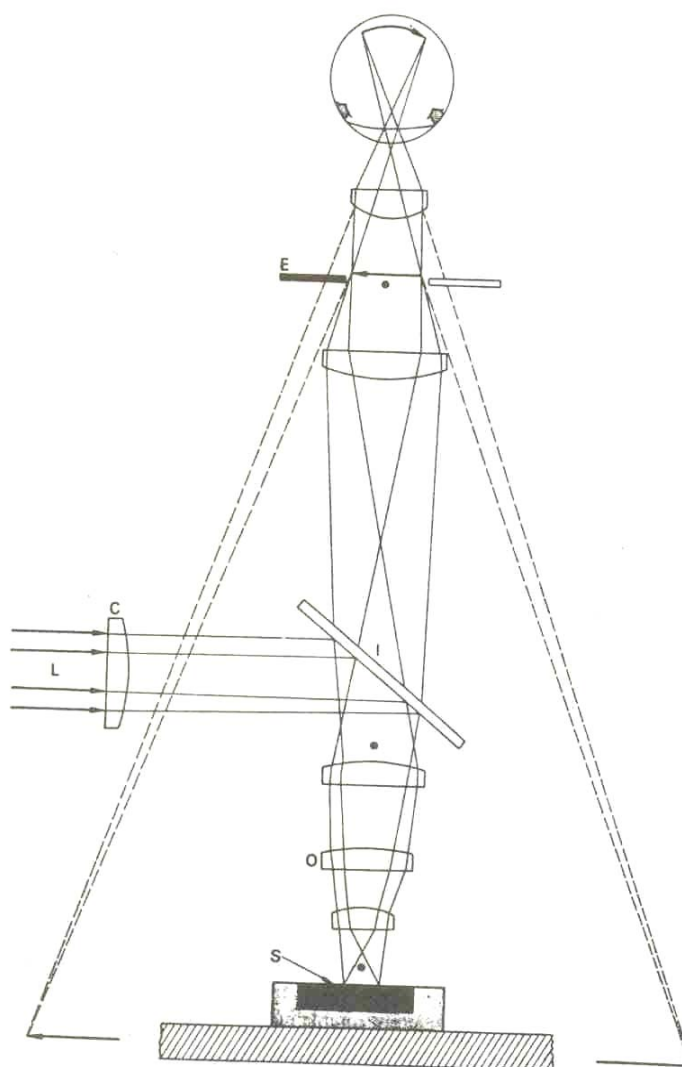
ในขณะที่จะใช้น้ำจืดระบายความร้อน และล้างเศษโลหะที่ติดกระดาษทรายออกไป ขั้นต่อไปจะนำไปขัดละเอียดขั้นสุดท้าย บนจานหมุนหุ้มผ้าสักหลาด โดยมีน้ำผสมผงขัดที่ละเอียดมาก (0.3-0.05 ไมครอน) ฉีดลงบนผ้าสักหลาด อาจใช้ผงขัดที่เป็นอลูมินาหรือโครเมียมออกไซด์ (ทรายโครไมท์) ขัดจนผิวโลหะเรียบเท่ากระจกเงา จากนั้นจึงนำไปผ่านการกัดผิว (Etching) บางๆ ด้วยสารละลายกรดเจือจางซึ่งเรียกว่า Etchants ซึ่งมีหลายสูตรขึ้นอยู่กับโลหะที่จะศึกษาโครงสร้าง โดยทั่วไปถ้าเป็นเหล็กจะใช้กรดไนตริกประมาณ 2% ถึง 4% ผสมเอทิลแอลกอฮอล์ซึ่งเรียกกันว่า Nital หรือใช้กรดเกลือผสมเฟอร์ริกคลอไรด์ หรืออื่นๆ

การกัดผิวหน้าของโลหะด้วยสารละลายกรด เพื่อความมุ่งหมายให้สารละลายกรดกัดโลหะซึ่งโลหะจะมีความต้านทานต่อการกัดของกรดต่างกัน โดยเฉพาะบริเวณขอบเกรนจะถูกกัดด้วยสารละลายกรดได้มาก เพราะเป็นบริเวณที่การเรียงตัวของอะตอมขาดความเป็นระเบียบและมีอะตอมของสารมลทินรวมตัวอยู่หนาแน่น จัดเป็นบริเวณที่ไม่มีเสถียรภาพภายหลังการกัดผิวด้วยสารละลายกรดแล้วผิวของโลหะจะมีลักษณะสูงต่ำแตกต่างกัน ทำให้เกิดเป็นลักษณะโครงสร้างเมื่อนำไปศึกษาภายใต้กล้องขยาย



ภาพที่ 2-1 ภาพแสดงทิศทางของลำแสงและสะท้อนกลับผ่านเลนส์ทำให้เกิดภาพ  
โครงสร้างของโลหะ

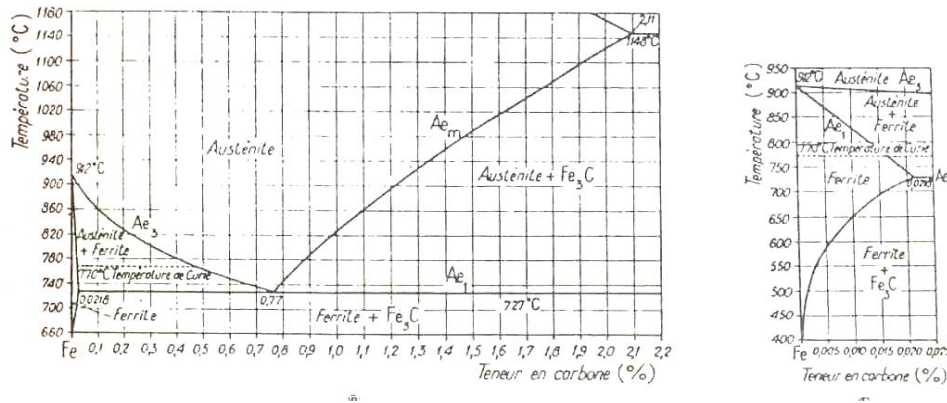
เป็นภาพแสดงทิศทางของลำแสงและสะท้อนกลับผ่านเลนส์ ทำให้เกิดภาพโครงสร้างของโลหะ การขัดและกัดผิวโลหะปัจจุบันใช้เทคนิคการขัด หลักการทำงานของกล้องขยาย Metallurgical Microscope ซึ่งจะประกอบด้วยจุดกำเนิดแสง (Light Source) ส่งลำแสงผ่านเลนส์รวมแสง (Condensing Lens) ไปตกกระทบบนแผ่นแก้วสะท้อนแสง (Glass Reflector) ทำให้แสงที่สะท้อนตกลงบนผิวของตัวอย่างโลหะ ในลักษณะตั้งฉากผิวของโลหะที่ขัดเรียบจะสะท้อนแสงกลับขึ้นมาผ่านเลนส์ขยายชุดแรก (Objective Lens) และลำแสงที่ขยายครั้งแรกจะส่งผ่านไปยังเลนส์ขยายอีกชุดหนึ่ง (Eye Piece) ก่อนผ่านเข้าตาผู้ที่กำลังศึกษา ซึ่งจะเห็นภาพขยายของโครงสร้างโดยจะต้องปรับโฟกัส ด้วยการเลื่อนตำแหน่งของตัวอย่างโลหะขึ้นลงให้เห็นภาพชัดเจน ดังภาพแสดง



ภาพที่ 2-2 แสดงส่วนประกอบและหลักการทำงานของกล้องขยายโครงสร้างโลหะ

## 2.3 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเหล็กในขณะที่ได้รับความร้อน

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเฟอร์ไรท์ไปเป็นออสเทนไนท์ ในการอบชุบความร้อนทุกๆ กรรมวิธี ไม่ว่าจะเป็นชุบแข็งหรืออบอ่อน เหล็กจะต้องถูกเผาให้ความร้อนจากอุณหภูมิปกติจนถึงอุณหภูมิสูงในช่วงของออสเทนไนท์ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในขณะที่เหล็กถูกความร้อนเป็นเรื่องที่ต้องเข้าใจกลไกของการเปลี่ยนแปลงโดยเฉพาะจากโครงสร้างเดิม ซึ่งประกอบด้วยเฟอร์ไรท์ และซีเมนต์ไคต์ จนกระทั่งการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ได้โครงสร้างออสเทนไนท์ การศึกษาโครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงนี้จะช่วยให้เกิดความเข้าใจ และสามารถควบคุมคุณภาพของเหล็กภายหลังการอบชุบได้ดีในการศึกษา จำเป็นต้องอาศัยแผนภูมิสมดุลของเหล็ก-ซีเมนต์ไคต์ ซึ่งในที่นี้จะขอนำเอาแผนภูมิสมดุลของเหล็ก-คาร์บอนที่ได้ปรับปรุงแก้ไขทั้งอุณหภูมิและเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนที่ปฏิกิริยาต่างๆ ดังแสดง



ภาพที่ 2-3 แผนภูมิสมดุลของเหล็กกับคาร์บอนที่ได้แก้ไขปริมาณของคาร์บอน และอุณหภูมิที่จุดต่างๆ

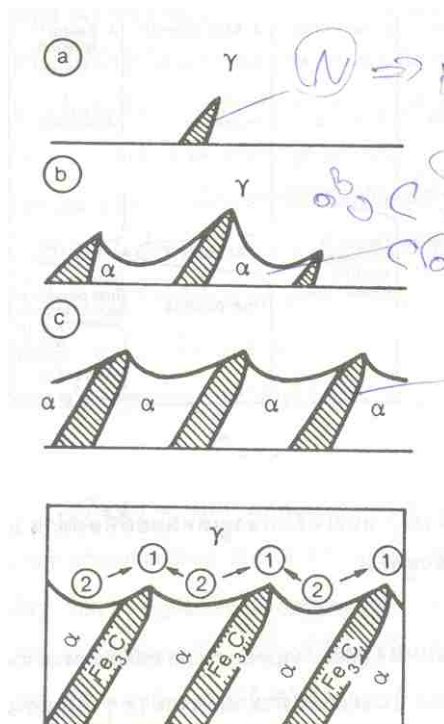
จากแผนภูมิสมดุลในระบบ Metastable จะเป็น Fe-Fe<sub>3</sub>C พบว่า อุณหภูมิยูเทคตอยด์จะเป็น 727°C ที่เปอร์เซ็นต์คาร์บอน 0.77

1. ปริมาณคาร์บอนที่ละลายได้ในเหล็กแอลฟาหรือเฟอร์ไรท์สูงสุดที่อุณหภูมิ 727°C คือ 0.0218%
2. ปริมาณคาร์บอนที่ละลายได้สูงสุดในเหล็กแกมมาหรือออสเทนไนท์ที่อุณหภูมิ 1140°C คือ 2.11%

ซอร์ไบท์ (Sorbite)

ผู้ที่ทำการศึกษาและใช้ชื่อโครงสร้างนี้คือ Clifton Sorby ได้พบว่าซอร์ไบท์ก็คือโครงสร้างที่เกิดจากออสเทนไนท์แตกตัวให้เฟอร์ไรท์ และซีเมนต์ไคต์ เช่นเดียวกับเพิร์ไลต์ โดยการให้กำเนิดนิวเคลียส ของซีเมนต์ไคต์ขึ้นมาก่อนตามบริเวณรอบๆ เกรน เมื่อขยายตัวก็ดึงเอาอะตอมของคาร์บอน

บริเวณรอบๆ เข้ามารวมตัวเพื่อขยายตัวทำให้บริเวณข้างเคียงกลายเป็นบริเวณที่มีอะตอมคาร์บอน ตกกลายเป็นจุดที่เกิดเฟอไรท์ขึ้นมาจากทั้งสองด้าน ดังภาพแสดง



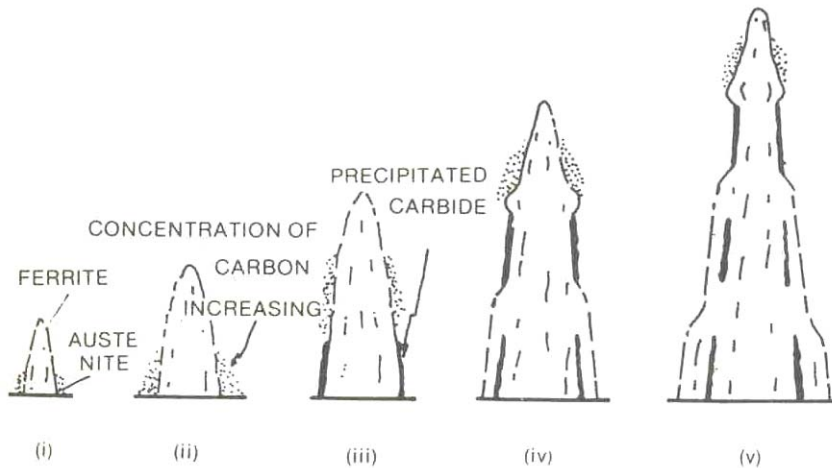
ภาพที่ 2-4 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงจากออสเทนไนต์ไปเป็นเฟอไรท์และซีเมนต์ไคต์ที่จะได้โครงสร้างเพิร์ไลต์หรือเซอร์ไบท์

และเมื่อเกิดเฟอไรท์ขึ้นแล้ว จะเกิดมีการขยายตัวทำให้มีปริมาณคาร์บอนถูกผลักออกไป ทำให้เกิดสภาพพร้อมที่จะเกิดซีเมนต์ไคต์ขึ้นได้ทั้งในบริเวณข้างเคียงจะสลับกันไปดังนี้ แต่เนื่องจากอัตราการเย็นตัวสูงการเคลื่อนไหวของอะตอมคาร์บอนเป็นไปได้ยาก แถบของเฟอไรท์กับซีเมนต์ไคต์จะเกิดได้เล็กมาก จนเราไม่สามารถจะดูได้จากกล้องไมโครสโคปธรรมดาจะศึกษา โครงสร้างได้ จะต้องอาศัยกล้องไมโครสโคปอิเล็กตรอน ซึ่งมีกำลังขยายได้สูงมาก คุณสมบัติของ Sorbite จะมีความแข็งประมาณ  $350 H_B$  เมื่อเทียบกับเพิร์ไลต์มีความแข็งประมาณ  $180 H_B$

เบนไนท์ หรือ ทรูสไตต์ (Bainite or Troostite)

เป็นโครงสร้างที่ได้จากออสเทนไนต์แตกตัวภายใต้อัตราการเย็นตัวที่สูงกว่า Sorbite การเกิดยังคงมีกลไกคล้ายคลึงกัน คือมีการให้กำเนิดนิวเคลียสและมีการขยายตัวแต่เบนไนท์จะทำให้กำเนิดเฟอไรท์ก่อน โดยมีลักษณะคล้ายเข็มน้ำเข้าสู่ใจกลางของเกรนออสเทนไนท์ เมื่อเฟอไรท์ขยายตัวก็จะผลักอะตอมของคาร์บอนออกไปทางด้านข้างทำให้เกิดบริเวณที่มีคาร์บอนหนาแน่นตามบริเวณ

ข้างของเฟอร์ไรท์และเมื่อปริมาณคาร์บอนสูงจนถึงประมาณ 6.67% ก็จะเกิดเป็นแถบบางๆ ของซีเมนต์ไตต์เกิดขึ้นจำนวนหนึ่ง และเมื่อเฟอร์ไรท์ขยายตัวมากขึ้นก็จะไปเกิดซีเมนต์ไตต์บริเวณที่ห่างออกไปเป็นระยะๆ ดังภาพแสดง

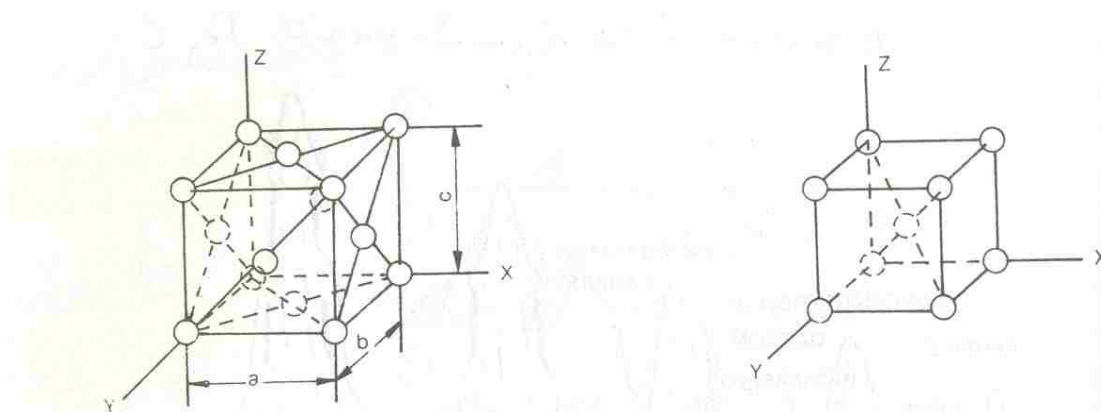


ภาพที่ 2-5 แสดงขั้นตอนในการเปลี่ยนแปลงของออสเตนไนท์ไปเป็นเบนไนท์

การเกิดเช่นนี้จะเกิดได้ทั้งตามบริเวณรอบๆ เกรนและเกิดทั่วไปหมด เรียกโครงสร้างนี้ว่า เบนไนท์ ตามชื่อของ E.C. Bain (อเมริกัน) แต่อาจจะเกิดได้เป็นแห่งๆ และเป็นกลุ่มๆ แทรกอยู่กับโครงสร้างมาร์เทนไซต์ และเรียกโครงสร้างนี้ว่าทรุสไตต์ตามชื่อของ Troost (ฝรั่งเศส) หนังสือบางเล่มจะเรียกรวมไม่ว่าจะเป็นโครงสร้างเบนไนต์หรือทรุสไตต์ จะใช้เรียกเพียงอย่างเดียวว่า ทรุสไตต์ คุณสมบัติความแข็งของเบนไนต์และทรุสไตต์ จะมีความแข็งอยู่ระหว่าง 400-450 H<sub>B</sub> ขึ้นอยู่กับอัตราการเย็นตัวจะสูงมากหรือน้อย

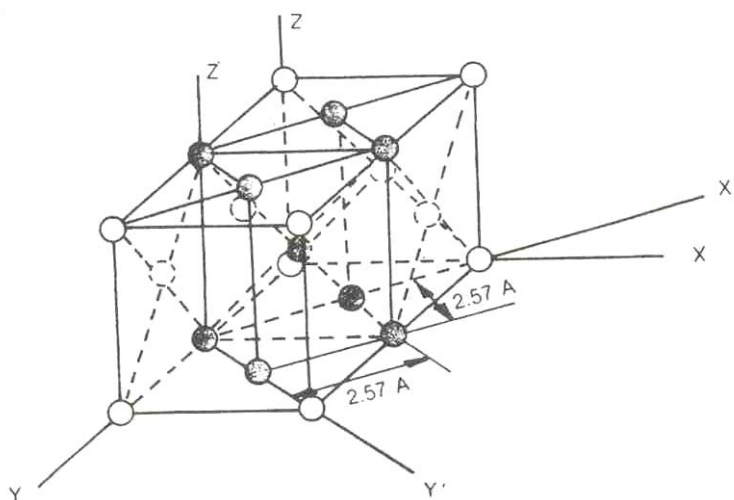
#### มาร์เทนไซต์ (Martensite)

เป็นโครงสร้างที่ได้จากการทำให้ออสเตนไนท์เย็นตัวอย่างรวดเร็ว ด้วยการชุบน้ำหรือชุบน้ำเกลือ (10% NaCl) เรียกโครงสร้างนี้ตามชื่อของผู้ค้นคว้าเรื่องนี้ คือ A. Marten เนื่องจากการทำให้ออสเตนไนท์เย็นตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้อะตอมคาร์บอนไม่มีโอกาสเคลื่อนไหวจะอยู่กับที่ ซึ่งเป็นสาเหตุให้การเรียงตัวของอะตอมของเหล็กเกิดลักษณะบิดเบี้ยว (Deformation) อันเป็นสาเหตุที่ทำให้มาร์เทนไซต์มีความแข็งสูง ปริมาณของคาร์บอนจะเป็นแฟคเตอร์ที่สำคัญที่มีผลต่อความแข็งของมาร์เทนไซต์ (เราอาจเรียกมาร์เทนไซต์ได้ว่าเป็นโครงสร้างไม่สมดุล Non Equilibrium หรือ Supersaturated Ferrite เพราะมีปริมาณคาร์บอนสูงกว่าที่เฟอร์ไรท์จะมีได้) เพื่อความเข้าใจในเรื่องนี้ จะต้องอาศัยภาพแสดงตำแหน่งของคาร์บอนในยูนิทเซลล์ ของเหล็กออสเตนไนท์และในเฟอร์ไรท์ ดังภาพแสดง



ภาพที่ 2-6 แสดงระบบผลึกของออสเตนไนท์ (FCC) และเฟอร์ไรท์ (BCC)

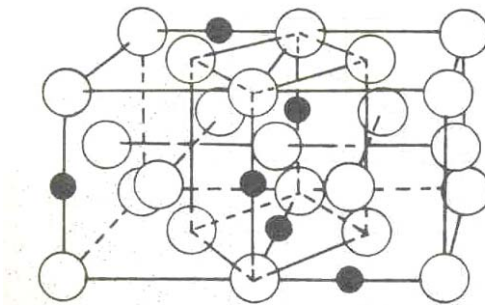
การเปลี่ยนระบบผลึกจากออสเตนไนท์ (FCC) ไปเป็นเฟอร์ไรท์ (BCC) นั้น จะพบว่า อะตอมของเหล็กไม่ได้มีการเคลื่อนไหวในระยะทางมากมายอะไร เพียงแต่เคลื่อนที่ให้ระยะตามแกน X และ Y ให้ยาวเพิ่มขึ้นจาก  $2.57\text{Å}$  ไปเป็น  $2.88\text{Å}$  และเปลี่ยนแกน X และ Y ไปเป็น  $X'$  และ  $Y'$  ส่วนระยะห่างระหว่างอะตอมตามแกน Z จะมีการเคลื่อนไหวมาก กล่าวคือต้องหดระยะให้น้อยลงจาก  $3.64\text{Å}$  มาเป็น  $2.86\text{Å}$  ดังภาพแสดงโดยการนำเอา 2 หน่วย เซลล์ของเหล็กออสเตนไนท์ มาแสดงและกลุ่มอะตอมตรงกลางจะเป็นหน่วยเซลล์ที่จะเปลี่ยนไปเป็นเหล็กเฟอร์ไรท์ (ดูภาพประกอบ)



ภาพที่ 2-7 แสดงการเปลี่ยนแปลงจากออสเตนไนท์ไปเป็นเฟอร์ไรท์

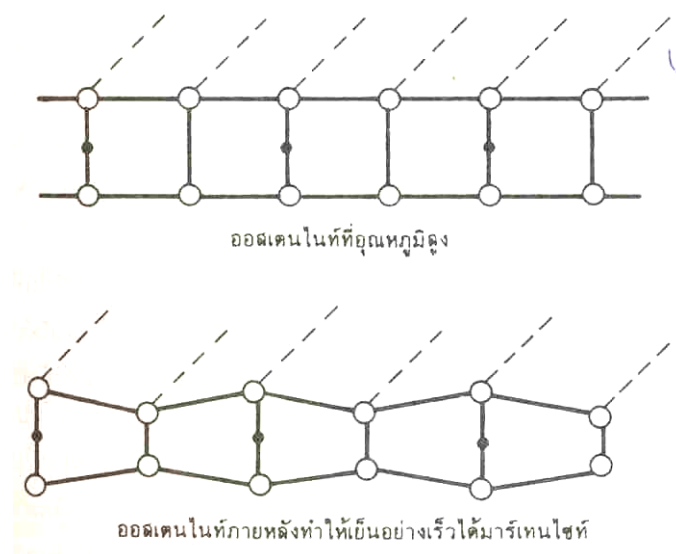
จากภาพอะตอมที่เขียนสีแดงจะมีลักษณะที่จะเปลี่ยนไปเป็น BCC เพียงแต่ว่าอะตอมตามแกน  $X'$  และ  $Y'$  ขยายตัวให้ได้  $2.86\text{Å}$  และอะตอมตามแกน Z หดตัวให้ลงมาเหลือ  $2.86\text{Å}$  ตาม

ความเป็นจริงในเหล็กอสเทนไนท์จะยอมให้อะตอมคาร์บอน ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กมาก เมื่อเทียบกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอะตอมของเหล็ก (เหล็ก =  $2.52 \text{ \AA}$  คาร์บอน =  $1.54 \text{ \AA}$ ) ดังนั้น อะตอมของคาร์บอนจะละลายได้ในเหล็กอสเทนไนท์ในแบบแทรกตามที่ว่าง (Interstitial Solid Solution) ซึ่งในระบบ FCC ที่ว่างที่อะตอมของคาร์บอนแทรกอยู่ได้จะเป็นบริเวณตามขอบของ ยูนิทเซลล์ ดังภาพแสดง



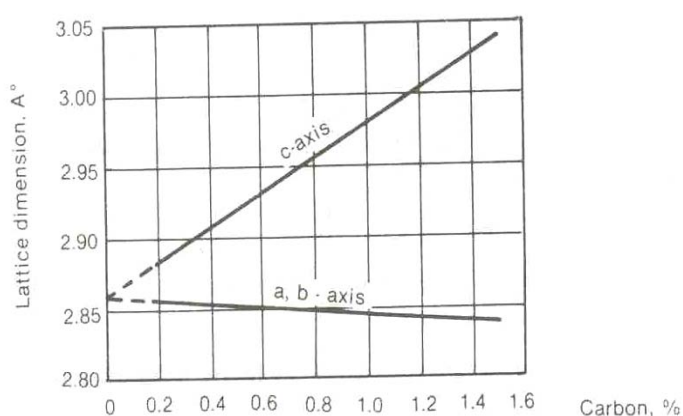
**ภาพที่ 2-8** แสดงตำแหน่งของอะตอมคาร์บอนที่แทรกอยู่ในอสเทนไนท์ ก่อนที่จะเปลี่ยนไปเป็นมาร์เทนไซต์

ในขณะที่ทำให้ออสเทนไนท์ให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว จนอะตอมของคาร์บอนไม่มีเวลาที่จะแยกตัวออกมาได้ทันจึงเป็นสาเหตุให้อะตอมของเหล็กตามแกน  $Z$  ที่มีอะตอมคาร์บอนแทรกตัวอยู่ หดตัวลงมาไม่ได้ ทำให้เกิดการบิดเบี้ยวของกลุ่มอะตอมที่ประกอบกันเป็น Plane (Crystallographic Plane) ซึ่งเป็นเหตุหนึ่งที่ทำให้เฟลนที่บิดเบี้ยวนี้เคลื่อนไหว (Slip) ได้ยากขึ้นเมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ จึงทำให้โครงสร้างลักษณะเช่นนี้มีความแข็งแรงการบิดเบี้ยวของ Plane นี้จะมีมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับปริมาณของคาร์บอนเป็นสำคัญ สมมติเรามองภาพของ Plane จากภาพด้านหน้า (Side View) เราจะเห็นลักษณะโค้งไปมาตามตำแหน่งของคาร์บอนที่แทรกอยู่ (ดูภาพประกอบ)



ภาพที่ 2-9 ออสเตนไนท์ที่อุณหภูมิสูง-ออสเตนไนท์ภายหลังทำให้เย็นอย่างรวดเร็วได้มาร์เทนไซต์

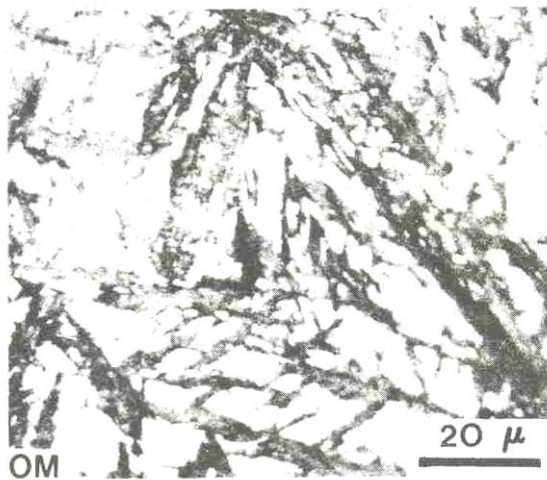
จากลักษณะดังกล่าวจะได้ระบบผลึกของมาร์เทนไซต์เป็น Tetragonal ( $a+b \neq c$ ) เพื่อเป็นการยืนยันในเรื่องนี้ได้มีการศึกษาโดยการวัด Parameter ของ  $a$ ,  $b$  และ  $c$  ของมาร์เทนไซต์ที่ปริมาณคาร์บอนต่างๆ กัน โดยหลักของ X-Ray Diffraction จะได้ค่า  $a$ ,  $b$  เท่ากัน แต่จะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ส่วนค่า  $c$  นั้น จะเปลี่ยนแปลงมากตามปริมาณของคาร์บอนในเหล็กดังภาพแสดง



ภาพที่ 2-10 แสดงค่าพารามิเตอร์  $a$ ,  $b$  และ  $c$  ที่ต่างกันของเหล็กกล้าที่ปริมาณคาร์บอนต่างๆ กันภายหลังการชุบแข็ง

จะเห็นว่าความแข็งของมาร์เทนไซต์นั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณของคาร์บอน ซึ่งเป็นตัวที่ทำให้ค่า Parameter ( $c$ ) เปลี่ยนแปลงไปกล่าวคือ ค่า % C เปลี่ยนไปมากเท่าใด การบิดเบี้ยวของกลุ่มอะตอม

ที่ประกอบกันเป็น Plane ก็จะบิดไปมากเท่านั้น ความต้านทานต่อแรงภายนอกก็จะสูงขึ้นจุดโครงสร้างของมาร์เทนไซต์ที่ปรากฏจากการขยายด้วยกล้องไมโครสโคป จะพบว่ามีลักษณะเป็นรูปเข็มแหลม (Needle-Like Pattern) และมีส่วนแยกแขนงเล็กๆ ออกไปจนเต็มเนื้อที่ยกเว้นในกรณีที่มีออสเตนไนท์ บางส่วนไม่มีโอกาสเปลี่ยนแปลง (Retained austenite) จะเห็นเป็นสีขาวจากการส่องดูภาพขยายการเกิดลักษณะของมาร์เทนไซต์ที่มีรูปเป็นเข็มนี้ ส่วนใหญ่จากคำอธิบายจะกล่าวถึงลักษณะของเพลท (Plates) ที่วิ่งในทิศทางของเพลน (111) (ดังภาพแสดง) เข้าสู่ภายในของเกรนออสเตนไนท์ และมีการแตกแขนงออกไป แต่ยังคงรักษาทิศทางเดิมคือตามเพลน (111) การเกิดของมาร์เทนไซต์ยังไม่มีการศึกษายืนยันได้ว่า เป็นการเกิดโดยการให้กำเนิดนิวเคลียสและขยายตัว เช่นเดียวกับเฟอร์ไรท์, ซอร์ไบท์, หรือเบนไนท์ เพราะอัตราความเร็วของการเปลี่ยนแปลงจากออสเตนไนท์ไปเป็นมาร์เทนไซต์สูงมากมาร์เทนไซต์นอกจากจะมีลักษณะเป็นเพลทแล้ว ยังมีอีกประเภทหนึ่งที่เกิดในเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำมาร์เทนไซต์ จะมีลักษณะเป็นแผ่นบางซึ่งเรียกว่า Lath Martensite เป็นลักษณะของโครงสร้างที่เกิดจากการรวมตัวอย่างหนาแน่นของดิสโลเคชัน (High Dislocation Density) จะสามารถศึกษารายละเอียดได้เฉพาะกับกล้องกำลังขยายสูงๆ โดยการศึกษาผ่านกล้องอิเล็กตรอนไมโครสโคปชนิดลำแสงอิเล็กตรอนผ่าน



Micrograph of martensite and retained austenite (white background.)

ภาพที่ 2-11 แสดงลักษณะการเกิดโครงสร้างมาร์เทนไซต์

#### 2.4 การชุบแข็ง (Hardening)

คือ การอบชุบความร้อนเพื่อต้องการให้เหล็กภายหลังการชุบมีความแข็งเพิ่มขึ้น เพื่อทนต่อการเสียดสีในขณะใช้งาน การชุบแข็งเป็นวิธีที่จะให้ได้โครงสร้างของเหล็กสุดท้ายเป็นมาร์เทนไซต์ หรือเบนไนท์ ขึ้นอยู่กับความแข็งสุดท้ายที่ต้องการ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากออสเตนไนท์

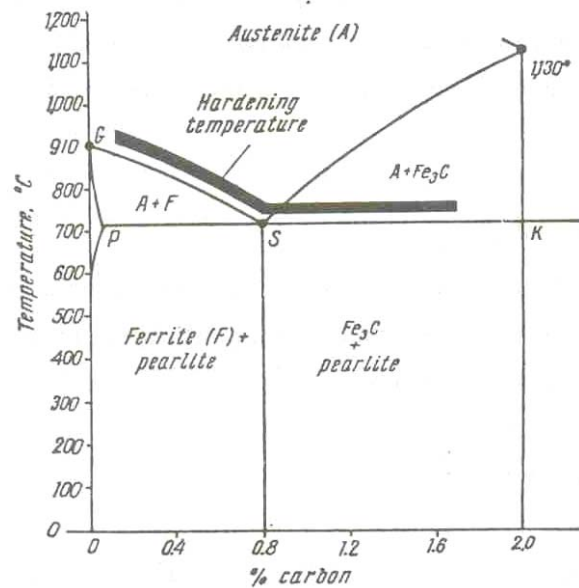
ไปเป็นมาร์เทนไซต์ หรือเบนไนท์ ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้นซึ่งจะได้เหล็กที่มีความแข็งสูงจะต้องมีองค์ประกอบที่สำคัญอย่างน้อย 3 ประการ คือปริมาณคาร์บอนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญเพราะการที่ออสเทนไนท์ จะเปลี่ยนไปเป็นมาร์เทนไซต์ในลักษณะการชุบแข็งธรรมดาด้วยน้ำเหล็กควรจะ มีคาร์บอนมากกว่า 0.3% ส่วนธาตุที่ผสมในเหล็กอื่นๆ เช่น นิกเกิล โครเมียม และ โมลิบดีนัมจะเพียง ทำหน้าที่ช่วยให้การชุบแข็ง ได้ผลดีขึ้นเท่านั้น ความแข็งของมาร์เทนไซต์จะขึ้นอยู่กับปริมาณของ คาร์บอนดังตัวอย่างเช่น เหล็กคาร์บอน 0.35% สามารถชุบแข็งได้ความแข็งประมาณ 50 H<sub>RC</sub> ตรงกันข้ามเหล็ก 0.02%C, 10% Cr ได้ความแข็งภายหลังการชุบแข็งเพียง 35 H<sub>RC</sub>

อุณหภูมิก่อนการชุบ คือ อุณหภูมิที่เหล็กจะต้องเปลี่ยนเป็นออสเทนไนท์ ก่อนการชุบน้ำหรือน้ำมันอุณหภูมิของเหล็กไม่สูงพอ จนโครงสร้างเปลี่ยนเป็นออสเทนไนท์หมด เราจะชุบในน้ำหรือน้ำเกลือ น้ำด่าง ความแข็งที่ได้จะไม่สูงเท่าที่ควร เพราะมาร์เทนไซต์ที่ได้จะต้องมาจากออสเทนไนท์เท่านั้น และเป็นการเปลี่ยนโครงสร้างโดยปราศจากการกำเนิดนิวเคลียส ไม่เหมือนอย่างเช่น เฟอร์ไรท์หรือซีเมนต์ไคต์

อัตราการเย็นตัวเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่ออสเทนไนท์ จะเปลี่ยนไปเป็นมาร์เทนไซต์หรือเบนไนท์ จะต้องเป็นอัตราการเย็นตัวที่สูงพอ ซึ่งจะปรากฏค่าอัตราการเย็นตัววิกฤติ (Critical cooling Rate) หมายถึง อัตราการเย็นตัวที่ออสเทนไนท์เปลี่ยนไปเป็นมาร์เทนไซต์หรือเบนไนท์ ถ้าอัตราการเย็นตัวช้ากว่านี้ ออสเทนไนท์จะไม่มีโอกาสเปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซต์หรือเบนไนท์ แต่จะได้เฟอไรท์หรือซอร์ไบท์แทน

## 2.5 อุณหภูมิสำหรับการชุบแข็ง (Hardening Temperature)

ในที่นี้จะขอแยกกล่าวถึง อุณหภูมิที่ใช้สำหรับการชุบแข็งเหล็กออกเป็น 2 กรณี คือ เหล็กไฮโปยูเทคตอยด์ จะใช้อุณหภูมิสูงเหนือเส้น AC<sub>3</sub> 30°-50°C ซึ่งอุณหภูมินี้จะได้โครงสร้างเป็นออสเทนไนท์ทั้งหมด ถ้าพิจารณาในกรณีที่อุณหภูมิต่ำกว่านี้และอยู่ในช่วง AC<sub>1</sub>-AC<sub>3</sub> จะปรากฏมีเฟอร์ไรท์เหลืออยู่บางส่วน ถ้าทำการชุบที่อุณหภูมิก่อนออสเทนไนท์จะเปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซต์ แต่เฟอร์ไรท์จะไม่มีเปลี่ยนแปลงคงสภาพอยู่อย่างเดิม เหล็กภายหลังการชุบจะไม่ได้ความแข็งสูงเท่าที่ควร และบริเวณโครงสร้างที่เป็นเฟอร์ไรท์จะเป็นบริเวณที่อ่อน (Soft Spots) ขาดคุณสมบัติต้านทานต่อการเสียดสีในกรณีถ้าเผาที่อุณหภูมิสูงเหนือเส้น AC<sub>3</sub> ไปมาก (Overheating) จะได้โครงสร้างของออสเทนไนท์ที่มีเกรนโตภายหลังการชุบน้ำ จะได้มาร์เทนไซต์ที่หยาบ (Coarse Martensite) ซึ่งจะทนแรงกระแทกได้น้อยลง อีกประการหนึ่งซึ่งงานในขณะชุบน้ำจะเกิดการบิดงอหรือแตกร้าวได้ง่าย



ภาพที่ 2-12 แสดงช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการชุบแข็งของเหล็กกล้าคาร์บอน

เหล็กไฮเปอร์ยูเทคตอยด์ จะใช้อุณหภูมิสูงเหนือเส้น  $AC_1$  ประมาณ  $30^\circ-50^\circ\text{C}$  เท่านั้น จะเห็นว่าในช่วงของอุณหภูมินี้ จะปรากฏโครงสร้างของโปรยูเทคตอยด์ซีเมนต์ไคต์ เหลืออยู่เพียงบางส่วนเท่านั้น ที่กลายหรือสลายตัวไปเป็นออสเทนไนท์ และซีเมนต์ไคต์ที่เหลืออยู่นี้จะกระจุกกระจายอยู่ทั่วไปในโครงสร้างของออสเทนไนท์ เมื่อทำการชุบน้ำจะได้อัตราการเย็นตัวที่เร็วกว่ามาร์เทนไซต์ โดยมีโปรยูเทคตอยด์ซีเมนต์ไคต์แทรกอยู่ ซึ่งจะปรากฏเป็นผลดีในส่วนที่เหล็กจะมีความแข็งแรงสูง และทนการเสียดสีในขณะใช้งานได้ดี ทั้งนี้เพราะ โปรยูเทคตอยด์ซีเมนต์ไคต์มีความแข็งแรง ประมาณ  $700-800\text{ H}_B$  ซึ่งแข็งกว่ามาร์เทนไซต์ ( $650-700\text{ H}_B$ ) ประเด็นที่สำคัญคือ จะต้องเลือกอุณหภูมิที่จะไม่เกิดโปรยูเทคตอยด์ซีเมนต์ไคต์ในลักษณะต่อเนื่องเป็นลูกโซ่ตามขอบเกรน ในกรณีที่เผาอุณหภูมิเหนือเส้น  $AC_m$  จะไม่เกิดผลดี นอกจากต้องใช้พลังงานมากขึ้นแล้วออสเทนไนท์จะขยายตัวให้เกรนโตเร็วมาก จะทำให้ผลที่ได้ภายหลังการชุบไม่ดี เพราะจะได้มาร์เทนไซต์เกรนหยาบทนแรงกระแทกได้ไม่ดี และยังอาจเกิดการบิดงอและแตกร้าวได้โดยง่าย

## 2.6 ของเหลวสำหรับการชุบแข็ง

ของเหลวที่ใช้สำหรับการชุบแข็งที่ดี โดยหลักเกณฑ์ทั่วไปจะต้องให้อัตราการเย็นตัวที่สูงกว่าอัตราการเย็นตัววิกฤติ (Critical Cooling Rate) ทั้งนี้ก็เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้ออสเทนไนท์แตกตัวไปเป็นเฟอไรต์ หรือโครงสร้างอื่นที่ไม่ใช่มาร์เทนไซต์ (Intermediate Structure) และที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือควรจะให้อัตราการเย็นตัวที่ช้าลงในช่วงอุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงจากออสเทนไนท์ไปเป็นมาร์เทนไซต์ ซึ่งจะเป็นช่วงอุณหภูมิระหว่าง  $200^\circ-400^\circ\text{C}$  ทั้งนี้ก็เพื่อป้องกันไม่ให้เกิด

ความเครียดภายในกับชั้นเหล็กมากนั้ก มิฉะนั้นจะทำให้เกิดการบิดงอ หรือแตกร้าวขึ้นได้ ของเหลว สำหรับการชุบแข็งที่ใช้กันทั่วๆ ไป ได้แก่ น้ำ, น้ำเกลือ, น้ำด่าง, น้ำมัน, เกลือละลาย และอากาศ การถ่ายเทความร้อนที่ของเหลวชนิดมีจุดเดือดกลายเป็นไอ สามารถแยกออกเป็น 3 ลักษณะ ที่ต่างกัน เมื่อสัมผัสกับแท่งเหล็กร้อน

ขั้นแรก เมื่อจุ่มแท่งเหล็กลงไป ของเหลวจะสัมผัสกับแท่งเหล็กที่ร้อนจัด ของเหลวรอบๆ จะรับความร้อนสูงจนกลายเป็นไอหุ้มแท่งเหล็กไว้ในลักษณะเป็นฟิล์มบางๆ การถ่ายเทความร้อน ในช่วงนี้จะช้า เพราะความร้อนต้องผ่านฟิล์มบางๆ ซึ่งมีสภาพเป็นตัวนำความร้อนต่ำ แต่จะเป็นอยู่ในระยะสั้นๆ เมื่อไอของของเหลวรวมตัวกันมากก็จะลอยขึ้นหรืออาจจะแตกออก

ขั้นที่สอง เมื่อฟิล์มบางๆ ของไอที่หุ้มแท่งเหล็กแตกออก ของเหลวที่อยู่รอบนอกจะเข้าสัมผัสแท่งเหล็กในช่วงนี้ของเหลวรอบๆ ซึ่งได้รับความร้อนอยู่แล้วในขั้นแรก เมื่อเข้าสัมผัสก็จะรับความร้อนจำนวนมากจะเกิดการเดือด และกลายเป็นไอ แต่ไม่มีโอกาสหุ้มแท่งเหล็กเหมือนในครั้งแรก ทั้งนี้เพราะของเหลวอยู่ในสภาพเกิดการเดือด และกลายเป็นไอทำให้มีลักษณะเหมือนกับการกวน ของเหลวมีโอกาสสัมผัสกับแท่งเหล็กอยู่ตลอดเวลา และถ่ายเทความร้อนได้ปริมาณมากยิ่งการเป็นไอ เกิดขึ้นได้มาก ความร้อนจากแท่งเหล็กยิ่งถูกถ่ายเทออกมาได้มากเพราะของเหลวทั่วๆ ไปมีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูง ในขั้นนี้อัตราการเย็นตัวจะสูงมาก

ขั้นที่สาม เป็นขั้นที่มีอัตราการเย็นตัวช้าลง เมื่อความร้อนจากแท่งเหล็กน้อยลง อุณหภูมิของของเหลวเริ่มต่ำลงกว่าจุดเดือด ความร้อนจะถูกถ่ายเทออกไปโดยการพาตัวของเหลวเพียงอย่างเดียว จึงทำให้อัตราการเย็นตัวลดต่ำลง จนถึงจุดที่อุณหภูมิเท่ากันทั้งแท่งเหล็ก และของเหลวเมื่อพิจารณาคุณสมบัติในการถ่ายเทความร้อนของน้ำ โดยการทดลองวัดอัตราการเย็นตัวของลูกบอลดำด้วยโลหะเงินเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 mm เผาที่อุณหภูมิ 800°C ชุบในของเหลวหลายชนิด ทำการวัดอัตราการเย็นตัวผลที่ปรากฏว่าน้ำให้อัตราการเย็นตัวค่อนข้างต่ำในตอนต้น แต่จะให้ค่าอัตราการเย็นตัวสูงมาก ในช่วงอุณหภูมิ 400°C-200°C นี้จะเป็นลักษณะที่ไม่ดีเพราะเป็นช่วงอุณหภูมิที่ออสเตนไนท์ เปลี่ยนไปเป็นมาร์เทนไซต์ และจะมีการขยายตัวเล็กน้อย จะทำให้เกิดความเครียดได้มาก อันจะเป็นสาเหตุให้ชิ้นงานเกิดการบิดงอ และแตกร้าวได้ง่าย ยิ่งเป็นเหล็กที่มีคาร์บอนสูง การชุบแข็งโดยการชุบน้ำจะทำไม่ได้ดังเหตุผลที่กล่าวมาในกรณีของน้ำผสมเกลือ 10% จะให้คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนที่ดีมาก จะเห็นว่าอัตราการเย็นตัวสูงถึงประมาณ 2300 °C ต่อวินาที ซึ่งสูงมากเพราะมีจุดเดือดสูงกว่าน้ำธรรมดา ช่วงอุณหภูมิที่ให้อัตราการเย็นตัวสูงสุดจะอยู่ประมาณ 600 °-400 °C ซึ่งไม่อยู่ในช่วงการเปลี่ยนออสเตนไนท์ไปเป็นมาร์เทนไซต์ อันตรายที่จะเกิดจากความเครียดภายในจะน้อยลง แต่ก็ยังไม่เหมาะสำหรับการชุบแข็งเหล็กคาร์บอนสูง เพราะในช่วงอุณหภูมิ 400 °-200 °C อัตราการเย็นตัวยังอยู่ในเกณฑ์สูงน้ำผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50% ให้คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนต่ำกว่าน้ำเกลือ จากภาพจะได้ค่าอัตราการเย็นตัวสูงสุดประมาณ 1600 °C ต่อวินาที อยู่ในช่วง

อุณหภูมิ 700 °-600 °C และลดลงจนถึงอุณหภูมิ 400 °C จะสูงประมาณ 1000 °C ต่อวินาที จากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว เป็นลักษณะการเย็นตัวที่ดีสำหรับการชุบแข็ง เพราะอัตราการเย็นตัวสูงไม่อยู่ในช่วงของการเปลี่ยนแปลงออสเตนไนท์ไปเป็นมาร์เทนไซต์ ทำให้เกิดความเครียดภายในน้อยลง และอีกประการหนึ่งผิวขอเหล็กเหล็กจะสะอาด เพราะสารละลายของไฮดรอกไซด์ จะทำหน้าที่กัดเหล็กออกไซด์จากอากาศ ทำให้เสื่อมคุณภาพการใช้งานภายในระยะเวลา 20-30 ชั่วโมง ควรใช้น้ำมันเครื่องเทปิดคลุมผิวของน้ำไว้ให้หนาประมาณ 10-20 มม. จะช่วยยืดอายุได้ถึง 6-12 เดือน และป้องกันการระเหยของไฮดรอกไซด์ ซึ่งจะเป็อันตรายต่อคนงานได้ด้วยน้ำมันจัดว่าเป็นของเหลวที่ให้คุณสมบัติในการถ่ายเทความร้อนต่ำให้อัตราการเย็นตัวสูงสุดประมาณ 200 °C ต่อวินาที ซึ่งไม่สูงพอสำหรับการชุบ เพื่อให้ได้มาร์เทนไซต์ สำหรับเหล็กคาร์บอน หรือเหล็กผสมต่ำยังเป็นงานขึ้น โตโอกาสได้โครงสร้างมาร์เทนไซต์จะเป็นไปได้ยาก น้ำมันจึงเหมาะสำหรับการชุบแข็งเหล็กที่มีส่วนผสมอยู่ออสเตนไนท์ที่มีเสถียรภาพสูง และมีอัตราการเย็นตัววิกฤติช้ากว่าเกณฑ์ปกติ น้ำมันมีข้อคืออยู่ตรงที่ให้อัตราการเย็นตัวสม่ำเสมอ ไม่ทำให้เกิดความเครียดมากนัก การที่จะเพิ่มคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำมัน สามารถทำได้โดยการเผาให้ร้อนประมาณ 50°-80°C น้ำมันจะใสทำให้การถ่ายเทความร้อนดีขึ้น น้ำมันที่ใช้สำหรับการชุบแข็งจะต้องเป็นน้ำมันที่ได้จากปิโตรเลียม (Mineral Oil) และมีจุดติดไฟสูงประมาณ 160°-170 °C น้ำมันผสมน้ำมันชนิดที่ละลายในน้ำได้ (Water-Soluble Oil) จัดเป็นของเหลวที่ใช้สำหรับการชุบแข็งที่ดีอีกชนิดหนึ่ง เพราะสามารถผสมให้มีคุณสมบัติในการถ่ายเทความร้อนได้หลายๆ ลักษณะขึ้นอยู่กับส่วนผสมของน้ำมันถ้าน้ำมันมากคุณสมบัติในการถ่ายเทความร้อนจะคล้ายคลึงกับน้ำมัน และถ้าน้ำมันมากกว่าน้ำมันคุณสมบัติในการถ่ายเทความร้อนจะให้ผลใกล้เคียงกับน้ำ แต่ประการสำคัญต้องระวังก่อนที่จะใช้ต้องผสมน้ำกับน้ำมันให้เข้ากันจะเป็นลักษณะอิมัลชันเสียก่อน มิฉะนั้นน้ำจะแยกตัวไปอยู่ก้นอ่าง น้ำจะกลายเป็นไอและเกิดการระเบิดขึ้นมาได้จะเป็นอันตรายเป็นอันขาดอย่างเหลือหลอมละลาย นับว่าเป็นของเหลวที่ดีสำหรับการชุบแข็งเพราะให้อัตราการเย็นตัวที่สม่ำเสมอที่สุด แต่คุณสมบัติในการถ่ายเทความร้อนจะต่ำเช่นเดียวกับน้ำมัน เหมาะสำหรับการชุบแข็งพิเศษ (Mar Tempering) ซึ่งจะกล่าวภายหลัง

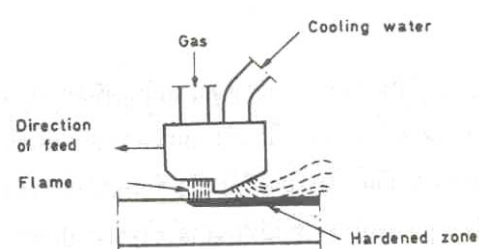
## 2.7 การชุบแข็งพื้นผิวโดยเปลวไฟให้ความร้อน (Flame hardening)

การชุบแข็งพื้นผิวด้วยวิธีโดยเปลวไฟให้ความร้อนนี้ เป็นวิธีที่คล้ายคลึงในหลักการเช่นเดียวกับการชุบแข็งพื้นผิวโดยกระแสเหนี่ยวนำความถี่สูงผลที่ได้รับใกล้เคียงกัน เหล็กที่จะชุบแข็งพื้นผิวได้จะต้องมีส่วนผสมโดยเฉพาะคาร์บอนอยู่ในช่วงเดียวกัน (0.4-0.8%C) และอาจจะมีโครเมียมหรือนิกเกิลผสมในเหล็ก ผลที่ได้ก็จะยิ่งดีขึ้นที่ว่าหลักการคล้ายคลึงกันก็คือใช้วิธีทำให้ผิวเหล็กร้อนที่อุณหภูมิสูงจนโครงสร้างเดิมเปลี่ยนเป็นออสเตนไนท์ ภายในระยะเวลาสั้นเพื่อเนื้อเหล็กที่อยู่ลึกลงไปใต้ผิวไม่เปลี่ยนแปลง จากนั้นจะทำให้เหล็กเย็นอย่างรวดเร็วโดยการชุบน้ำ, น้ำมันหรือไออากาศเย็น

เป่าจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากออสเตนไนท์ไปเป็นมาร์เทนไซต์ หรือเบนไนท์เป็นเปลวไฟ (Flame) ที่ได้จากการเผาไหม้ของแก๊สออกซิเจนกับอะเซทิลีน หรือออกซิเจนกับแก๊สไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ เช่น บิวเทนหรือโพรเพน เมื่อพิจารณาข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับการชุบแข็งพื้นผิวโดยกระแสเหนี่ยวนำจะเห็นว่าข้อดีมีอยู่บ้าง เช่น การลงทุนเกี่ยวกับอุปกรณ์ต่างๆ จะต่ำกว่าวิธีการทำงานง่ายกว่ามาก ยิ่งชิ้นงานมีขนาดโตมากๆ สามารถทำการชุบแข็งได้ภายนอกโรงงาน เพียงแต่มีถังแก๊สและท่อฉีดน้ำ ส่วนข้อดีไม่มีอยู่บ้าง คือการควบคุมอุณหภูมิให้สม่ำเสมอกระทำได้ยาก, ยิ่งพื้นที่ที่จะชุบแข็งผิวกว้างมาก การทำงานจะมีความยุ่งยากมากจะต้องออกแบบหัวเผา (Torch) ให้การเผามีความแน่นอนข้อเสีย ประการที่สำคัญก็คืออุณหภูมิของเหล็กบริเวณผิวนอกสุดมักจะสูงมากอาจจะถึง  $1000^{\circ}\text{C}$  ซึ่งจะทำให้ออสเตนไนท์เกรนโตภายหลังเมื่อนำเอาเหล็กไปชุบน้ำจะได้มาร์เทนไซต์ที่มีลักษณะหยาบซึ่งมักจะเปราะแตกง่าย

#### วิธีการชุบแข็ง (Method of Hardening)

จากที่ได้กล่าวมาแล้ว จะต้องใช้เปลวไฟที่ให้ความร้อนสูง ที่ใช้กันมากในงานเชื่อมจะเป็นแก๊สออกซิเจนกับอะเซทิลีน ซึ่งเมื่อเผาไหม้จะให้ความร้อนสูงถึงอุณหภูมิ  $3,000^{\circ}\text{C}$  -  $3,200^{\circ}\text{C}$  ดังนั้นเมื่อใช้เปลวไฟนี้ความร้อนที่เหล็กได้รับบริเวณผิวจะเร็วมาก โดยที่เนื้อเหล็กภายในผิวจะยังไม่ร้อน เพราะเหล็กมีสมบัติการถ่ายเทความร้อนอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง (ต่ำกว่าทองแดง) หลักการชุบแข็งผิวที่สำคัญจึงอยู่ที่การเผา และการออกแบบหัวเผากับเวลาที่ใช้ในการเผาจะต้องได้รับการควบคุมโดยผู้มีความชำนาญพอสมควรนั้นแล้วอาจจะร้อนจัดเกินไป หรือร้อนไม่ทั่วถึงทุกๆ จุดที่ต้องการชุบแข็งผิว

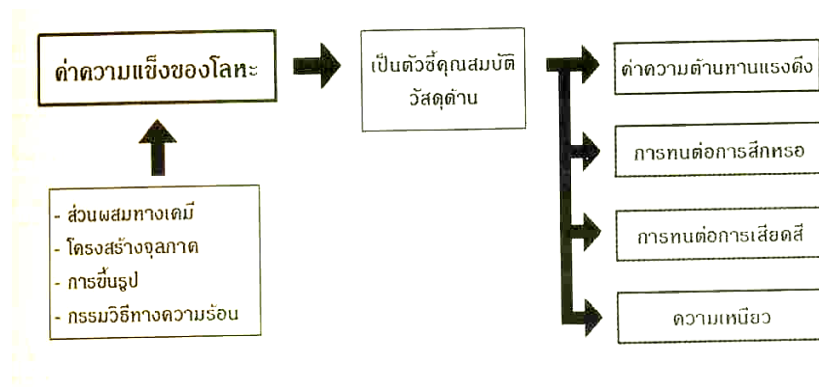


ภาพที่ 2-13 แสดงหลักการทำงานการชุบแข็งผิวโดยการเคลื่อนหัวเผาไปข้างหน้า และมีน้ำฉีดตามหลัง

การชุบแข็งผิวแบบนี้ใช้งานได้ผลดีกับงานชุบแข็งประเภททางเลื่อน (Guide Ways) ของเครื่องจักรต่างๆ เช่น เครื่องกลึง เครื่องไส และเครื่องจักร เป็นต้น

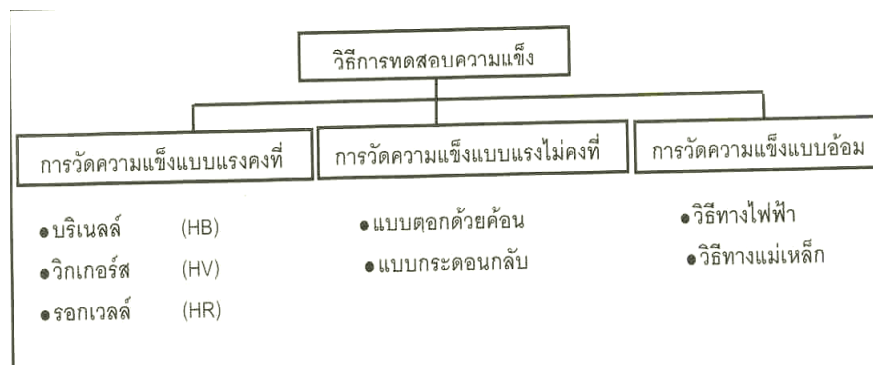
### 2.8 การทดสอบความแข็ง (Hardness Test)

ค่าความแข็งของวัสดุนับว่าเป็นคุณสมบัติทางกลที่สำคัญค่าหนึ่ง เพราะสามารถใช้เป็นตัวชี้ให้เห็นถึงคุณสมบัติด้านอื่นๆ ของวัสดุ เช่น การทนต่อการสึกหรอ ความแข็งแรงและเป็นวิธีการทดสอบที่ไม่ยุ่งยาก โดยใช้หลักการวัดความสามารถต้านทานการกดขี่ของตัวกดที่แข็งกว่าวัสดุที่ทดสอบ ทั้งนี้ค่าความแข็งของวัสดุขึ้นกับส่วนผสมทางเคมี โครงสร้างจุลภาค การขึ้นรูป และกรรมวิธีทางความร้อน เป็นต้น (ดูภาพที่ 3-1) การทดสอบความแข็งเป็นการทดสอบแบบกึ่งไม่ทำลาย



ภาพที่ 2-14 ความสัมพันธ์ของค่าความแข็งต่อคุณสมบัติด้านต่างๆ ของวัสดุและตัวแปรที่มีผลต่อความแข็งของโลหะ

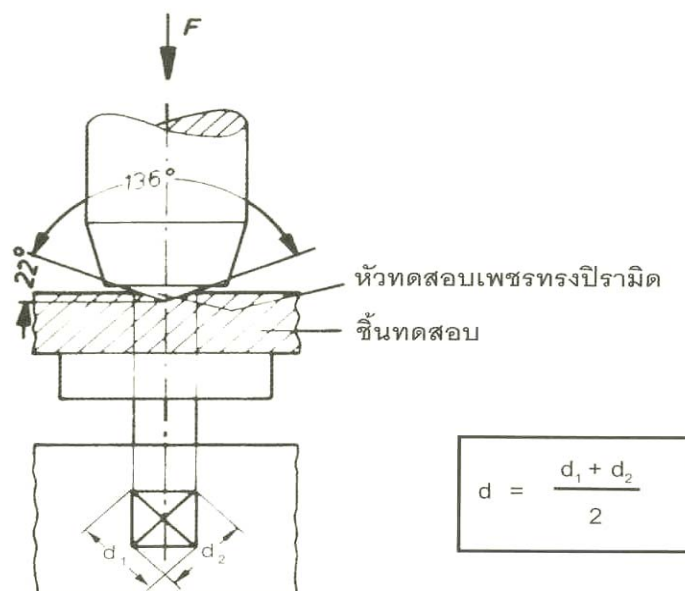
วิธีการวัดความแข็งมีหลายวิธีทั้งแบบแรงคงที่และไม่คงที่ รวมถึงการวัดความแข็งแบบอ้อม (ดูภาพที่ 3-2) วิธีที่เป็นที่ยอมรับในระดับนานาชาติ รวมถึงประเทศไทยซึ่งได้มีการกำหนดไว้เป็นมาตรฐานของแต่ละประเทศ ได้แก่ การทดสอบความแข็งเป็นแบบบริเนลล์ (Brinell) แบบวิกเกอร์ส (Vickers) และแบบรอกเวลล์ (Rockwell) นอกจากนั้นยังมีการทดสอบโดยการวัดการกระดอนกลับของตัวตกกระทบและการวัดทางอ้อม จากคุณสมบัติทางไฟฟ้าและแม่เหล็กของวัสดุ



ภาพที่ 2-15 รูปแบบของการทดสอบความแข็งลักษณะต่างๆ

### การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส (Vickers Hardness Test)

ในการทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์ ที่ค่าความแข็งสูงกว่า 450 HB จะส่งผลให้ลูกบอลเหล็กกล้ายุบตัวและได้ค่าความแข็งต่ำกว่าที่เป็นจริง ในปี ค.ศ. 1925 สมิทและแซนเลนส์ชาวอังกฤษ ซึ่งทำงานที่บริษัทวิกเกอร์ส ได้พัฒนาวิธีทดสอบความแข็งวิธีใหม่ซึ่งใช้ตัวกดทำด้วยเพชรเจียรไนเป็นทรงพีรามิดมุม  $136^\circ$  การทดสอบแบบวิกเกอร์สใช้หลักการเดียวกันกับการทดสอบแบบ บริเนลล์ ตัวกดเพชรทรงพีรามิดจะถูกกดด้วยแรงกด  $F$  ตั้งฉากกับผิวชิ้นทดสอบ รอยกดจะถูกวัดเส้นทแยงมุม  $d$  ทั้งสองข้างด้วยความละเอียด 0.002 mm (ดูภาพที่ 3-6) ค่าเฉลี่ยของเส้นทแยงมุมจะถูกนำไปคำนวณค่าความแข็งดังนี้



ภาพที่ 2-16 หลักการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส

ในทางปฏิบัติค่าความแข็งวิกเกอร์ส จะถูกคำนวณไว้แล้วสำหรับขนาดรอยกดและแรงกดขนาดต่างๆ ในรูปของตาราง รอยกดขนาดต่างๆ จะมีมุมของผิวพีรามิดกับผิวชิ้นทดสอบคงที่ทำให้สามารถเห็นขอบของรอยกดคมชัดเสมอแม้รอยกดมีขนาดเล็ก ซึ่งทำให้ได้รูปร่างรอยกดคล้ายกันตลอดแม้แรงกดแตกต่างกันซึ่งต่างจากตัวกดแบบลูกบอล ทั้งนี้พบว่าถ้าเพิ่มแรงกดขึ้นเท่าตัวก็จะได้พื้นที่รอยกดเท่าตัวเช่นกัน ทำให้ได้ค่าความแข็งเท่ากันจึงสามารถกล่าวได้ว่าค่าความแข็งวิกเกอร์สไม่ขึ้นกับแรงกดทดสอบ แต่พบว่าจะเป็นอย่างนี้จนถึงแรงกดไม่ต่ำกว่า 50 N แรงกดที่น้อยลงกว่านี้ จะเกิดความคลาดเคลื่อนดังนี้

1. การเบี่ยงเบนของผลทดสอบของแต่ละครั้งจะเห็นได้อย่างชัดเจน แรงกดระหว่าง 20...2...0.2 N พบการเบี่ยงเบนระหว่างที่ 4...8...16% ซึ่งถือว่าปกติ

2. สัดส่วนระหว่างรอยกดถาวร (รอยกดที่ทำการวัด) กับรอยกดรวม (พลาสติก+ยืดหยุ่น) จะมีขนาดเล็กลง ค่าความแข็งที่ได้ (จากการคำนวณ) จะเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งจากแรงกด 100 N กับแรงกด 20...2...0.2 N พบว่าค่าความแข็งที่ได้สูงกว่าประมาณ 6...12...24%

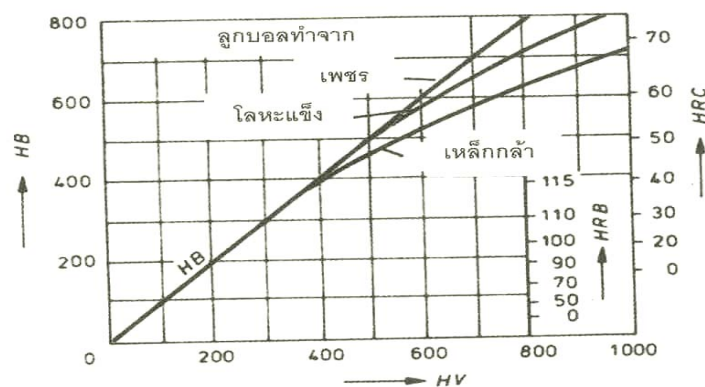
3. แรงกดที่ใช้ช่วง 3 N ลงไปถึง 0.1 N จะพบความสัมพันธ์ที่น่าสนใจระหว่างเส้นทแยงรอยกดกับขนาดเกรน ทำให้เป็นการวัดความแข็งจากเกรนหลายเกรน ซึ่งเกรนแต่ละเกรนจะเคลื่อนที่ขัดขวางกันตรงข้ามกับเส้นทแยงมุมรอยกดขนาดเล็ก ซึ่งอยู่บนเกรนเพียงเกรนเดียว ค่าความแข็งที่วัดได้อาจต่ำลงไปกว่า 50%

ข้อดีของการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส โดยใช้หัวเพชรทรงปิรามิด คือสามารถทดสอบได้ทั้งวัสดุอ่อนและวัสดุแข็ง (เช่น โลหะแข็ง) รอยกดที่ได้มีขนาดเล็กกว่าแบบบริเนลล์ทำให้ผิวชิ้นทดสอบเสียหายน้อยกว่า และถ้าใช้แรงกดต่ำทำให้สามารถทดสอบโลหะแผ่นบาง หรือชิ้นแข็งลึก (Case Depth) ซึ่งเกิดจากการชุบผิวแข็งได้ ในมาตรฐาน DIN 50133 การวัดความแข็งแบบวิกเกอร์ส แบ่งช่วงของแรงกดเป็นสองช่วง ได้แก่ 49 N ถึง 980 (5 kgf ถึง 100 kgf) และช่วงแรงกดต่ำ 1.96 N ถึง 49 N (0.2 kgf ถึง 5 kgf) ในทางปฏิบัติมักเรียกช่วงแรงกดต่ำกว่าการวัดความแข็งแบบวิกเกอร์ส จุลภาค (Micro Vickers Hardness Test) เนื่องจากว่าอุปกรณ์ต่างๆ ที่จำเป็นในการวัดจะถูกติดตั้งไว้กับกล้องจุลทรรศน์ เนื่องจากรอยกดที่ได้มีขนาดเล็กจำเป็นต้องขยายรอยกดใหญ่ประมาณ 100-1000 เท่า ในกรณีที่ใช้แรงกดต่ำกว่า 1.96 N รอยกดที่ได้อาจเล็กกว่าเกรนของโลหะ ทำให้สามารถวัดความแข็งของเกรนแต่ละชนิดของโลหะได้ ตารางที่ 3-5 เป็นค่าความแข็งโดยประมาณของเกรนแต่ละชนิดของเหล็กกล้า

ตารางที่ 2-1 ค่าความแข็งโดยประมาณของเกรนเหล็กกล้า

ชนิดของเกรน	ความแข็งโดยประมาณ (HV)
เฟอร์ไรต์ (Ferrite)	80
ออสเตไนต์ (Austenite)	250
เฟอร์ไรต์, กลม (Pearlite, Granular)	200
เฟอร์ไรต์, แฉก (Pearlite, Lamellar)	300
ซอร์ไบต์ (Sorbite)	350
ทรูสไตต์ (Troostite)	400
ซีเมนไตต์ (Cementite)	600-650
มาร์เตนไซต์ (Martensite)	400-900

โดยหลักการแล้วถ้าวัดความแข็งโลหะขึ้นหนึ่งด้วยวิธีวิกเกอร์ส จะได้ค่าใกล้เคียงกับแบบบริเนลล์จนถึงประมาณ 300 HV (ดูภาพที่ 3-7) แต่ถ้าความแข็งสูงขึ้นจะพบว่าถ้าวัดด้วยบริเนลล์ค่าจะต่ำกว่าวิกเกอร์สมากขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะถ้าใช้ลูกบอลเหล็กกล้าชุบแข็งเป็นตัวกดทั้งนี้ก็เป็นเพราะลูกบอลเหล็กกล้าจะเสียรูปเป็นวงรี ทำให้ได้รอยกดที่มีขนาดใหญ่กว่าที่ควรจะเป็นในทางปฏิบัติ พบว่าการวัดความแข็งแบบบริเนลล์มักให้ค่าต่ำกว่าแบบวิกเกอร์ ประมาณ 5% เสมอ (ดูตารางที่ 3-11)



ภาพที่ 2-17 เปรียบเทียบค่าความแข็ง บริเนลล์กับวิกเกอร์สและบริเนลล์กับรอกเวลล์

เวลาที่ใช้ในการกดสั้นกว่า 15 วินาที จะต้องระบุไว้ที่ผลการทดสอบด้วย เช่น

220 HV 10/60      แรงกด 98.1 N (10 kgf)

เวลากด 60 sec

650 HV 5      แรงกด 49.03 N (5 kgf)

เวลากด 10-15 sec

ความลึกของรอยกดมีค่าประมาณ 1/7 ของเส้นทแยงมุม โดยหลักการทั่วไปควรเลือกใช้แรงกดให้สูง เพื่อให้ได้ขนาดรอยกดใหญ่ทำให้ความผิดพลาดในการวัดน้อยและยังครอบคลุมจำนวนเกรนได้มากได้ค่าเฉลี่ยที่ดี ในขณะที่เดียวกันมีข้อแม้ว่าผิวด้านหลังของชิ้นทดสอบต้องไม่มีรอยนูนอย่างชัดเจนหรือรอยกดต้องไม่ทะลุผ่านชั้นแข็งลึก (Case Depth) ของชิ้นทดสอบ ดังนั้น ขนาดของเส้นทแยงมุมไม่ควรมากกว่า 2/3 ของความหนาหรือชั้นแข็งลึกของชิ้นทดสอบ นอกจากนี้รอยกดที่ผิวชิ้นทดสอบลักษณะโค้งควรมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับรัศมีผิวโค้งใน DIN 50133 กำหนดแฟกเตอร์สำหรับปรับค่าความแข็งตามสัดส่วนระหว่างขนาดเส้นทแยงมุม  $d$  กับเส้นผ่านศูนย์กลาง  $D$  ของชิ้นทดสอบ การปรับค่าความแข็งทำได้โดยการนำแฟกเตอร์ไปคูณกับค่าความแข็งที่วัดได้

## 2.9 การออกแบบทางวิศวกรรม

ในการออกแบบ [4] ไม่ว่าจะเป็นการคิดวางแผนเพื่อให้ได้สิ่งที่มีคุณลักษณะตามความต้องการ หรือเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น ถ้าส่งผลให้เกิดการผลิตบางสิ่งขึ้นมา ผลิตภัณฑ์นั้นจะต้องมีฟังก์ชันการทำงานอย่างถูกต้องสามารถใช้งานได้ มีความปลอดภัยในการใช้งาน มีความน่าเชื่อถือ สามารถผลิตได้จริง มีความสามารถในการแข่งขันในตลาด และมีตลาดสำหรับการจำหน่าย

คุณลักษณะเฉพาะสำหรับงานในการออกแบบก็คือ ปัญหาในการออกแบบจะเป็นตัวชี้แนะการนำแนวคิดมาแก้ไขปัญหา ปัญหาบางอย่างก็อาจจะไม่มีผลลัพธ์เลยก็เป็นไปได้ ดังนั้นในบางสถานการณ์อาจจำเป็นต้องใช้ความอดทนในการหาผลลัพธ์ การที่จะผ่อนคลายนสถานการณ์เช่นนี้นักออกแบบอาจจะต้องลดขีดจำกัดบางอย่างในความต้องการลงมาบ้าง และถึงแม้ว่าจะมีผลลัพธ์แต่นักออกแบบบางคนอาจจะมีความคิดสร้างสรรค์ หรือจินตนาการไม่เพียงพอ ที่จะหาผลลัพธ์นั้น ดังนั้นปัญหาในการออกแบบแต่ละอย่าง จึงขึ้นอยู่กับพรสวรรค์หรือความสามารถพิเศษเฉพาะบุคคลของนักออกแบบด้วย นอกจากนั้นยังเป็นที่แน่นอนว่า ผลลัพธ์ที่ได้มักจะมีมากกว่า 1 หนทาง และผู้ที่รู้ถึงข้อแตกต่างของผลลัพธ์แต่ละอย่างจะเป็นผู้เลือกหนทางที่ดีที่สุด ซึ่งบุคคลผู้นี้จะต้องมีความสามารถในการวิเคราะห์ผลลัพธ์ได้ทุกหนทาง โดยมากบุคคลเหล่านี้มักจะเลือกผลลัพธ์ที่มีคุณลักษณะเฉพาะเป็นไปตามความพึงพอใจ หรือมีคุณลักษณะบางอย่างดีกว่าหรือเลือกผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเท่าที่จะมีความรู้เพียงพอ อย่างไรก็ตามเมื่อเวลาผ่านไป ผลลัพธ์ที่เลือกนี้อาจจะไม่ใช้สิ่งที่ต้องการอีกต่อไป ดังนั้นผลลัพธ์นี้จึงมีการแปรเปลี่ยนไปตามกาลเวลา

การออกแบบเป็นกระบวนการที่ต้องใช้ความคิดสร้างสรรค์ และมีขั้นตอนที่ต้องทำซ้ำจนกว่าจะได้สิ่งที่ต้องการ นอกจากนั้นยังเป็นกระบวนการที่ต้องการให้มีการตกลงใจ บางครั้งการตัดสินใจบางอย่างจำเป็นต้องทำทั้งๆ ที่ยังมีข้อมูลประกอบการตัดสินใจน้อยมาก และบ่อยครั้งที่ต้องตัดสินใจตามข้อมูลที่มีอยู่ซึ่งอาจจะมีเฉพาะข้อมูลที่ไม่ต้องการมากจนเกินไป อาทิเช่น คนที่ใส่หน้ากากอนามัยเดือนเดียวจะรู้ว่าขณะนี้เวลาเท่าไร ในขณะที่คนที่ใส่หน้ากากอนามัย 2 เดือน จะไม่มีทางแน่ใจได้เลยว่าขณะนี้เวลาเท่าไรแล้ว ดังนั้นในบางครั้งจึงต้องมีการทดลองตัดสินใจตามข้อมูลที่มี และปรับแต่งจนกว่าจะได้สิ่งที่ต้องการ แต่สิ่งสำคัญที่สุดในการตัดสินใจก็คือวิศวกรผู้ออกแบบจะต้องมีความรู้ลึกพอเกี่ยวกับสิ่งที่ตนเองตัดสินใจ มิฉะนั้นอาจก่อให้เกิดความเครียดและรบกวนจิตใจจนกระทั่งก่อให้เกิดปัญหาทางด้านสุขภาพตามมา

การออกแบบ คือการสื่อสารที่มีความละเอียดอ่อนทั้งคำอธิบายที่ใช้และรูปภาพจะถูกนำมาใช้ในการผลิตชิ้นงานจริง ดังนั้นทักษะการเขียนและการใช้คำอธิบายด้วยวิธีต่างๆ จึงถูกนำมาใช้ในการออกแบบ วิศวกรผู้ออกแบบจึงจำเป็นต้องมีความสามารถในการสื่อสารอย่างมีประสิทธิภาพและสามารถทำงานร่วมกับผู้อื่นที่มีความรอบรู้ในเรื่องต่างๆ ที่ตนเองไม่มี หรือมีน้อยกว่าบุคคลต่างๆ

เหล่านั้น ดังนั้นการมีมนุษย์สัมพันธ์ที่ดีก็คือ ความสามารถพิเศษอีกอย่างหนึ่งที่นักออกแบบควรมี เพื่อที่จะทำให้ประสบผลสำเร็จในการออกแบบ

การมีความคิดสร้างสรรค์ การมีความสามารถในการสื่อสาร และความสามารถในการแก้ไข ปัญหาของนักออกแบบ จึงถูกนำมาใช้ในการออกแบบประกอบกับความรอบรู้ทางด้านเทคโนโลยี นอกจากนี้ เครื่องมือทางวิศวกรรมศาสตร์ อาทิเช่น วิชาคณิตศาสตร์ สถิติ คอมพิวเตอร์ การวาดภาพ และภาษา ยังมีส่วนร่วมในการทำให้ได้ผลลัพธ์การออกแบบที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ ที่ได้จากการออกแบบนั้นๆ มีฟังก์ชันการทำงานอย่างถูกต้อง สามารถใช้งานได้ มีความปลอดภัย ในการใช้งาน มีความน่าเชื่อถือสามารถผลิตได้จริง มีความสามารถในการแข่งขันในตลาด และมีตลาด สำหรับการจำหน่าย โดยไม่ต้องคำนึงถึงว่าใครจะเป็นผู้ผลิต และใครจะเป็นผู้ใช้งาน

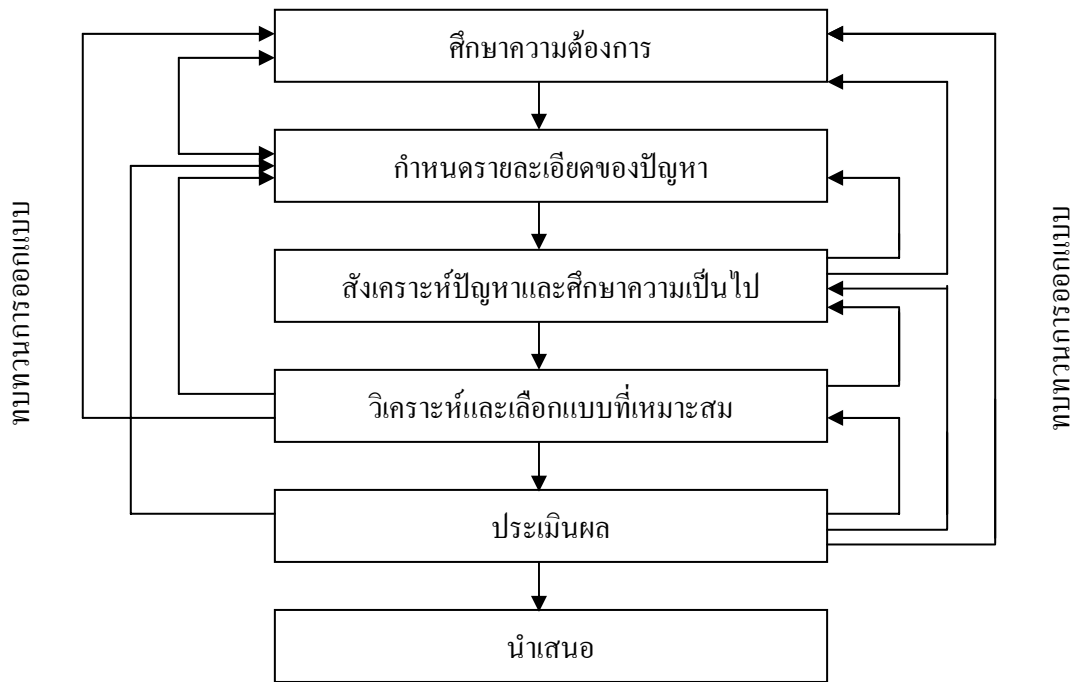
#### การออกแบบทางวิศวกรรมเครื่องกล

วิศวกรรมเครื่องกล เป็นวิศวกรรมศาสตร์ในสาขาที่มีความเกี่ยวข้องกับการผลิตชิ้นส่วน เครื่องจักรกลกระบวนการทางด้านพลังงาน การจัดการให้เกิดผลผลิต เครื่องมือในการขนส่ง และ เทคโนโลยีทางด้านระบบควบคุมอัตโนมัติ ความรอบรู้และความเชี่ยวชาญขั้นพื้นฐานจึงครอบคลุม ไปในวงกว้าง ความรู้พื้นฐานเหล่านี้ ได้แก่ วิชาที่เกี่ยวข้องกับกลศาสตร์ของแข็ง กลศาสตร์ของไหล มวลโมเมนต์ กระบวนการผลิต ทฤษฎีทางไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ และเทคโนโลยีข้อมูลข่าวสาร ดังนั้น การออกแบบทางวิศวกรรมเครื่องกลจึงมีส่วนเกี่ยวข้องกับสาขาวิชาต่างๆ เหล่านี้

ปัญหาต่างๆ มักจะไม่แบ่งแยกเข้าไปเกี่ยวข้องกับเรื่องหนึ่งเรื่องใดโดยเฉพาะ ตัวอย่างเช่น การออกแบบเบร็อย่างง่ายจะต้องเกี่ยวข้องกับหลักการของกลศาสตร์ของไหล การถ่ายเทความร้อน แรงเสียดทาน การส่งผ่านพลังงาน การเลือกวัสดุที่จะใช้ หลักการทางอุณหภูมิมศาสตร์ คุณสมบัติทาง สถิติศาสตร์ และอื่นๆ นอกจากนี้การออกแบบอาคารจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับการควบคุมสภาวะ แวดล้อมภายนอก เช่น อุณหภูมิ การถ่ายเทอากาศ ดังนั้น ในการออกแบบระบบเครื่องปรับอากาศ ในอาคารจึงจำเป็นต้องมีความรู้เฉพาะเรื่องดังกล่าวอย่างเพียงพอ เรื่องต่างๆ เหล่านี้จึงถูกแยกออก จากเรื่องของการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลอย่างชัดเจน และในทำนองเดียวกัน การออกแบบ เครื่องยนต์สันดาปภายในเครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์ และเครื่องยนต์เจ็ท ก็จะถูกแยกออกจากเนื้อหา ของการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ด้วยเช่นกัน

#### กระบวนการในการออกแบบ

กระบวนการในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่จะอธิบายในบทนี้ มีคำถามเป็นจำนวนมากที่วิศวกรผู้ออกแบบจะต้องหาคำตอบ อาทิเช่น จะเริ่มต้นออกแบบอย่างไร จะต้องมีการจดบันทึก แนวคิดในการออกแบบอย่างไร มีปัจจัยอะไรบ้างที่มีอิทธิพลหรือมีส่วนในการควบคุมการตัดสินใจ และมีขั้นตอนในการออกแบบอย่างไรจนกระทั่งสิ้นสุดกระบวนการ



ภาพที่ 2-18 ขั้นตอนในการออกแบบ

กระบวนการในการออกแบบตั้งแต่เริ่มต้นจนจบ โดยทั่วไปมักจะมีขั้นตอนดังแสดงตามรูป โดยจะเริ่มตั้งแต่การศึกษาความต้องการ และตกลงใจว่าจะทำอย่างไร และหลังจากที่ทำการออกแบบเข้าไปซ้ำมาหลายๆ ครั้ง กระบวนการจะสิ้นสุดลงที่การมีแผนดำเนินงานซึ่งตรงกับความต้องการอย่างเป็นที่น่าพอใจ ขั้นตอนการออกแบบหลายๆ ขั้นตอนอาจจะจำเป็นต้องมีการพิจารณาทบทวนใหม่อยู่ตลอดเวลา ขั้นตอนในการออกแบบที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้เป็นหลักเกณฑ์อย่างกว้างๆ ซึ่งในการออกแบบจริงอาจจะมีขั้นตอนที่แตกต่างไปบ้าง แต่สำหรับผู้เริ่มเป็นนักออกแบบก็สามารถใช้เป็นแนวทางในการเริ่มต้นได้ สำหรับขั้นตอนในการออกแบบตามภาพที่ 1-1 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การศึกษาความต้องการ

ในบางครั้งการออกแบบจะเริ่มขึ้น เมื่อมีผู้ใดผู้หนึ่งมีแสดงให้เห็นว่ามีความต้องการ ดังนั้นก่อนที่จะเริ่มทำการออกแบบ วิศวกรจะต้องทำการศึกษาถึงความต้องการของสังคมว่ามีความต้องการใช้ผลิตภัณฑ์ในลักษณะใดบ้าง ในขั้นตอนนี้มีความจำเป็นที่จะต้องใช้ความคิดสร้างสรรค์เป็นอย่างสูง เนื่องจากบางครั้งความต้องการที่ว่ามีนี้อาจเป็นเพียงความรู้สึกที่คลุมเครือ หรือลางสังหรณ์ที่ไม่ค่อยจะถูกต้อง โดยมากแล้วความต้องการในเบื้องต้นมักจะไม่มีความชัดเจน ดังนั้นวิศวกรผู้ออกแบบจึงจำเป็นต้องศึกษาความต้องการให้เข้าใจอย่างลึกซึ้ง ตัวอย่างเช่น หากมีความต้องการที่จะได้เครื่องจักรสำหรับเปิดผนึกอาหารแช่แข็ง วิศวกรผู้ออกแบบจะต้องศึกษาถึงสภาวะแวดล้อมในการนำไปใช้งานด้วย อาทิเช่น มีข้อจำกัดในเรื่องของระดับความดังของเสียงหรือไม่ ต้องการที่จะนำไปใช้ในการปิดผนึกสำหรับภาชนะในรูปแบบต่างๆ หรือไม่ จากนั้นจึงกำหนดปัญหาที่จะทำการออกแบบ

## 2. การกำหนดรายละเอียดของปัญหา

หลังจากที่ทราบความต้องการ และสามารถกำหนดเรื่องที่จะทำการออกแบบได้แล้ว วิศวกรจะต้องกำหนดหลักเกณฑ์ที่จะใช้ในการออกแบบของสิ่งนั้น และกำหนดรายละเอียดคุณลักษณะเฉพาะต่างๆ ของชิ้นงานที่จะทำการออกแบบไม่ว่าจะเป็นขนาดเนื้อที่ที่ต้องการ และข้อจำกัดต่างๆ โดยทั่วไปการกำหนดรายละเอียดมักจะกำหนดคุณลักษณะเฉพาะตามมาตรฐานอุตสาหกรรม หรือข้อกำหนดของสมาคมผู้ผลิตในขั้นตอนนี้ วิศวกรผู้ออกแบบอาจจะเริ่มต้นจากการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะในเบื้องต้นของชิ้นงานโดยใช้รูปแบบที่ง่ายที่สุด และกำหนดว่ามีอินพุตและเอาต์พุตอย่างไร มีข้อจำกัดอะไรบ้างและต้องการให้มีคุณภาพในการทำงานอย่างไร จากนั้นก็ค่อยๆ เพิ่มเติมองค์ประกอบต่างๆ ตามที่ได้ศึกษามาจากความต้องการ จนในที่สุดก็จะได้รายละเอียดคุณลักษณะทั้งหมดของชิ้นงานที่จะทำการออกแบบ คุณลักษณะเหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดว่าจะมีราคาเท่าไร ต้องการผลิตจำนวนมากเท่าไร อุณหภูมิในการใช้งานเป็นเท่าไร และมีความน่าเชื่อถือเพียงใด

## 3. การสังเคราะห์ปัญหาและศึกษาความเป็นไปได้

เมื่อกำหนดหลักเกณฑ์และรายละเอียดที่จะใช้ในการออกแบบแล้ว ก็ต้องนำรายละเอียดของปัญหาเหล่านั้นมาศึกษาความเป็นไปได้ของสิ่งที่จะทำการออกแบบ ทั้งในด้านเทคนิคและด้านเศรษฐศาสตร์โดยแยกการกระทำของเครื่องจักรกลตามกลุ่มการทำงาน และเขียนวิธีการแก้ปัญหาทุกวิธีที่เป็นไปได้ในรูปแบบทั่วไป และแยกพิจารณาในทุกวิธี ทำการสังเคราะห์และศึกษาความเป็นไปได้โดยหาข้อดี-ข้อเสียสำหรับการแก้ปัญหาแต่ละวิธี ด้วยการสังเกตเป็นรูปแบบอย่างง่าย หากผลของการศึกษาพบว่า ไม่สามารถที่จะออกแบบชิ้นงานตามความต้องการได้ก็จำเป็นที่จะต้องทบทวนหลักเกณฑ์และรายละเอียดของปัญหาที่ใช้ในการออกแบบเสียใหม่

## 4. การวิเคราะห์และเลือกแบบที่เหมาะสม

เมื่อทราบว่ามีความเป็นไปได้ในการที่จะสร้างชิ้นงานให้เป็นไปตามแบบ ก็จะต้องวิเคราะห์ว่าจะสามารถใช้งานได้ดีเพียงใด อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพึงพอใจแค่ไหน หรือมีประสิทธิภาพเป็นไปตามความต้องการมากน้อยเพียงใด นอกจากนั้นวิศวกรผู้ออกแบบยังต้องเปิดใจให้กว้างในการยอมรับแนวความคิดแบบใหม่ๆ ของผู้อื่นมาประกอบการวิเคราะห์แนวทางการออกแบบ โดยทั่วไปมักจะมีหนทางเลือกในการออกแบบหลายหนทาง ในขั้นตอนนี้วิศวกรผู้ออกแบบจะต้องตกลงใจเลือกวิธีการในการออกแบบที่เหมาะสมที่สุดและสามารถใช้ชิ้นงานนั้นอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อใช้ในการออกแบบในเบื้องต้น

## 5. การประเมินผล

เมื่อทำการออกแบบในเบื้องต้นแล้ว ขั้นตอนนี้ที่น่าจะมีความสำคัญในกระบวนการออกแบบก็คือการประเมินผล ขั้นตอนนี้เป็นการสร้างต้นแบบตามรายละเอียด แล้วจึงทำการประเมินผลด้วยการทดสอบสมรรถนะ และการทำงานของชิ้นงานที่ได้ออกแบบสร้างขึ้น ถ้าต้นแบบนั้นไม่สามารถ

ทำงานได้ตามที่ต้องการ ก็ต้องทำการปรับปรุงแก้ไข โดยพิจารณารายละเอียดต่างๆ ที่ได้ออกแบบไว้ว่าเหมาะสมเพียงใด และปรับปรุงแก้ไขแล้วทำการทดสอบใหม่ ทำอยู่เช่นนี้จนวิศวกรผู้ออกแบบพึงพอใจต่อชิ้นงานนั้นๆ ภายใต้งบจำกัดในด้านราคา ขนาด และอื่นๆ

#### 6. การนำเสนอแบบ

ขั้นตอนสุดท้ายในการออกแบบ คือการสื่อสารที่จะสามารถนำไปสู่วิธีการออกแบบเพื่อการผลิต นั่นคือ การนำเสนอไม่ว่าจะเป็นการนำเสนอด้วยการพูด การเขียน การวาดภาพ โดยแบบที่นำเสนอจะต้องมีความสมบูรณ์และชัดเจน จากนั้นจึงเริ่มทำการออกแบบเพื่อการผลิตต่อไป

#### ข้อควรพิจารณาในการออกแบบ

ในบางครั้งความทนทานของชิ้นงานที่ส่วนประกอบในระบบ จะเป็นปัจจัยสำคัญในการพิจารณา รูปทรงทางเรขาคณิตและขนาดของชิ้นงาน ในกรณีเช่นนี้ความแข็งแรงของชิ้นงานจึงเป็นข้อพิจารณาหลักในการออกแบบ นอกจากนั้นยังมีคุณลักษณะเฉพาะที่จะต้องนำมาพิจารณาในการออกแบบอีกหลายประการ ดังต่อไปนี้

ฟังก์ชันในการทำงาน	เสียง
ความเค้น/ความเครียด	รูปลักษณะ
การบิดรูป/ความยืดหยุ่น/ความแข็งแรง	รูปทรง
การสึก	ขนาด
การกัดกร่อน	การควบคุม
ความปลอดภัย	อุณหภูมิการใช้งาน
ความน่าเชื่อถือ	พื้นผิว
สามารถผลิตได้	การหล่อขึ้น
มีความเป็นเอกลักษณ์	มีตลาด
ราคา	การบำรุงรักษา
แรงเสียดทาน	ปริมาณการผลิต
น้ำหนัก	มีแหล่งทรัพยากรในการผลิต

ข้อพิจารณาทางด้านราคาของชิ้นงาน นับว่ามีบทบาทสำคัญในกระบวนการตัดสินใจในการออกแบบการศึกษาปัจจัยในด้านราคา ไม่ว่าจะเป็นต้นทุนหรือราคาขาย โดยมากมักจะใช้เวลาเท่ากับการศึกษาความต้องการทั้งหมดในการออกแบบชิ้นงาน ในหัวข้อนี้จะแนะนำในเบื้องต้นเกี่ยวกับปัจจัยบางประการที่ต้องนำมาพิจารณาในการออกแบบ

งบประมาณในการลงทุนมักจะขึ้นอยู่กับค่าแรงและค่าวัสดุ ซึ่งมักจะสูงขึ้นทุกๆ ปี แต่ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตก็ดูเหมือนว่าจะลดลงได้เช่นกัน เป็นต้นว่า มีการใช้เครื่องมืออัตโนมัติ และหุ่นยนต์ประเภทต่างๆ มาใช้แทนแรงงานคน นอกจากนั้นราคาต้นทุนในการผลิตยังผันแปรไปตาม

พื้นที่ที่ตั้งโรงงาน ไม่ว่าจะเป็นค่าแรง ค่าขนส่ง และภาษี สิ่งต่างๆ เหล่านี้จึงนับว่าเป็นจุดเริ่มต้นที่วิศวกรผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงเป็นอันดับแรก

เครื่องมือช่วยเหลือและทรัพยากรในการออกแบบ

ในปัจจุบัน มีเครื่องมือและทรัพยากรที่ช่วยเหลือวิศวกรผู้ออกแบบในการแก้ปัญหาการออกแบบอยู่เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะการออกแบบด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้ซอฟต์แวร์โปรแกรมที่สามารถจำลองชิ้นงานที่ออกแบบให้โดยอัตโนมัติ นอกเหนือจากเครื่องมือต่างๆ เหล่านี้แล้ว วิศวกรผู้ออกแบบยังต้องการข้อมูลทางด้านเทคนิค ตั้งแต่ระดับพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ จนกระทั่งถึงคุณลักษณะเฉพาะของชิ้นส่วนต่างๆ ข้อมูลเหล่านี้มีอยู่ในรูปแบบต่างๆ ตั้งแต่หนังสือ แค็ตตาล็อก แผ่นพับโฆษณา หรือแม้กระทั่งข้อมูลทางอินเทอร์เน็ต

โปรแกรมประเภท CAD (Computer-Aided Design) เป็นซอฟต์แวร์ช่วยเหลือในการออกแบบด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีความสามารถในการแสดงผลรูปแบบ 2 มิติ ที่วิศวกรออกแบบ ให้เป็นรูปแบบ 3 มิติ โดยอัตโนมัติ และสามารถส่งผลลัพธ์ที่ได้ไปยังเครื่องมือช่วยในการผลิตเพื่อสร้างชิ้นงานต้นแบบได้โดยตรง การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในลักษณะนี้ จะมีข้อดีคือ สามารถคำนวณค่าต่างๆ ได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ จึงช่วยให้กระบวนการในการออกแบบจนถึงขั้นตอนการผลิตเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว ในปัจจุบันมีซอฟต์แวร์โปรแกรมประเภท CAD ให้วิศวกรผู้ออกแบบเลือกใช้เป็นจำนวนมาก ตัวอย่างเช่น AutoCAD, Aries, CadKey, I-Deas/Unigraphics และ ProEngineer เป็นต้น นอกจากนี้วิศวกรผู้ออกแบบยังอาจจะจำเป็นต้องใช้เครื่องมือการคำนวณทางวิศวกรรมอย่างอื่นประกอบในการออกแบบ อาทิเช่น โปรแกรมความเค้น ค่าความเบี่ยงเบน การสันสะท้อน หรือโปรแกรมประเภท CFD (Computational Fluid Dynamics) เช่น DFD ++, FIDAP และ Fluent ในการวิเคราะห์การไหลของของไหล หรือโปรแกรมจำลองแรงทางพลศาสตร์ และการเคลื่อนไหวทางกล เช่น ADAMS, DADS และ Working Model เป็นต้น

ความปลอดภัยของวิศวกรผู้ออกแบบและความรับผิดชอบต่อชิ้นงาน

แนวคิดเกี่ยวกับความเข้มงวดในการรับผิดชอบต่อชิ้นงานมีอยู่ โดยทั่วไปในประเทศสหรัฐอเมริกา แนวคิดนี้ระบุว่า บริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนอะไรก็ตามจะต้องรับผิดชอบต่อความเสียหายหรืออันตรายที่เกิดจากข้อบกพร่องของชิ้นงานนั้น โดยไม่คำนึงว่าบริษัทผู้ผลิตนั้นจะรู้ว่าชิ้นงานนั้นมีข้อบกพร่องหรือไม่ก็ตาม ตัวอย่างเช่น สมมติว่ามีชิ้นงานที่ผลิตขึ้นเมื่อ 10 ปีที่แล้ว และเท่าที่ทราบจากพื้นฐานของเทคโนโลยีที่มีในขณะนั้น ชิ้นงานนั้นไม่มีข้อบกพร่องใดๆ แต่หลังจากนั้น 10 ปีตามแนวคิดเกี่ยวกับความเข้มงวดในการรับผิดชอบต่อชิ้นงาน หากมีผู้ร้องทุกข์และสามารถพิสูจน์ได้ว่า ความเสียหายหรืออันตรายที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากข้อบกพร่องของชิ้นงาน บริษัทผู้ผลิตนั้นจะยังคงต้องรับผิดชอบต่อชิ้นงานนั้นอยู่ ดังนั้นเมื่อวิศวกรผู้ออกแบบรู้สึกว่ชิ้นงานที่ออกแบบมีความเสี่ยง

ที่จะเกิดความบกพร่องได้ ก็จำเป็นที่จะต้องพยายามหาทางแก้ไข หรือทำการทดลองซ้ำแล้วซ้ำเล่า จนกว่าความรู้สึกเหล่านั้นจะหมดไป กลายเป็นความมั่นใจ

วิธีการที่ดีที่สุดที่จะทำให้วิศวกรผู้ออกแบบปลอดภัย ก็คือการป้องกันไม่ให้เกิดข้อบกพร่อง ในชิ้นงานนับตั้งแต่การวิเคราะห์ ออกแบบ ควบคุมคุณภาพในการผลิต และมีการสุ่มชิ้นงานมา ทดสอบอยู่เป็นประจำ เงื่อนไขการรับประกันเป็นกลยุทธ์ในการขายอย่างหนึ่ง ที่ผู้ผลิตนำมาใช้ ในการตีพิมพ์เพื่อโฆษณาผลิตภัณฑ์ ดังนั้นวิศวกรผู้ออกแบบจึงควรที่จะต้องอ่านเงื่อนไขต่างๆ โดยละเอียดอย่างรอบคอบ เพื่อที่จะแก้ไขคำโฆษณาที่เกินจริง และเพิ่มคำเตือนในการใช้งานเข้าไป

### ความไม่แน่นอน

ความไม่แน่นอน (Uncertainty) ที่วิศวกรผู้ออกแบบไม่คาดคิดนับว่าเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่นับว่า มีความสำคัญในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ความไม่แน่นอนเหล่านี้มีอยู่เป็นจำนวนมาก ตัวอย่างของความไม่แน่นอนที่เกี่ยวข้องกับการพิจารณาความเค้นและความต้านแรง ประกอบด้วย

1. ส่วนประกอบของวัสดุและผลกระทบต่อคุณสมบัติของวัสดุที่เกิดจากการสั่นสะเทือน
2. การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของวัสดุเมื่อเกิดการกระแทกระหว่างการขนส่ง
3. ผลกระทบหรือผลข้างเคียงที่เกิดจากกระบวนการผลิต
4. ผลกระทบที่เกิดจากกระบวนการทางความร้อน
5. ความหนาแน่นและการกระจายของโหลดการใช้งาน
6. ความหนาแน่นของความเค้นเข้มข้น
7. อิทธิพลของระยะเวลาในการใช้งาน
8. ผลกระทบที่เกิดจากการกัดกร่อน
9. ผลกระทบที่เกิดจากการสึกหรอ

วิศวกรผู้ออกแบบจำเป็นต้องคำนึงถึงความไม่แน่นอนต่างๆ เหล่านี้ เนื่องจากความไม่แน่นอน เหล่านี้มักจะเกิดควบคู่ไปกับการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของวัสดุ ดังนั้นการออกแบบชิ้นส่วนเครื่อง จักรกลให้สามารถรองรับโหลดการใช้งานได้อย่างหลากหลาย สามารถผลิตได้โดยง่ายและมีแบบจำลอง ทางคณิตศาสตร์ที่ถูกนำมาใช้ในการแสดงผลตามความเป็นจริง จึงเป็นสิ่งที่วิศวกรผู้ออกแบบจำเป็นต้องนำมาพิจารณา เทคนิคพื้นฐานในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ในการระบุถึง ความไม่แน่นอนที่อาจเกิดขึ้น

## 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธนาภรณ์ [5] โครงการพัฒนาต้นแบบมีดตัดอ้อยด้วยการปรับเปลี่ยนชนิดวัสดุ ดำเนินการ ภายใต้นโยบายการเลือกใช้วัสดุในการขึ้นรูปมีดตัดอ้อย (มีดอ้อย 2 จังหวัดสุพรรณบุรี) ด้วยการ ทบร้อนและชุบแข็ง ซึ่งเดิมผู้ผลิตเลือกใช้เหล็กเหน็บ นั่นคือเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางที่ไม่มี

การระบุแหล่งที่มาที่ชัดเจน อาจมีผลให้การมีดตัดอ้อยที่ผลิตมีข้อจำกัดด้วยคุณสมบัติการนำไปใช้งาน และความแน่นอนของคุณภาพวัตถุดิบที่ตามมา โดยในปัจจุบันผู้ที่มีดผลิตด้วยเหล็กเหนือบพบปัญหาการสึกหรอที่รวดเร็ว การรับคมบ่อยครั้ง ความสิ้นเปลืองที่เกิดจากการใช้งานที่ประเมินเป็นต้นทุนจำนวนมากต่อการบริหารงานเกี่ยวเกี่ยวผลผลิตอ้อย

คณะผู้วิจัยจึงเสนอเหล็กกล้าเพื่อเป็นทางเลือก 3 ชนิด ได้แก่ หัวแดง ซึ่งเป็นเหล็กกล้าชนิดที่ใกล้เคียงเหล็กเหนือบมากที่สุด เหล็กหัวเหลือง และเหล็กหัวฟ้า ซึ่งเป็นเหล็กกล้าผสมต่ำ อ้างอิงตามมาตรฐานจากต่างประเทศว่าเหมาะสำหรับการนำไปใช้งานที่เหนือกว่าเหล็กหัวแดง โดยเหล็กหัวแดง และเหล็กหัวฟ้ามีรูปทรงคล้ายเหนือบ สามารถทุบขึ้นรูปได้ในลักษณะเดียวกับเหล็กเหนือบได้ทันที ต่างจากเหล็กหัวเหลือง ซึ่งสามารถจัดหาได้เป็นเพลากลม ต้องใช้เวลาในการเผาและทุบให้แบบคล้ายเหนือบก่อน แล้วจึงเริ่มทุบขึ้นรูปขึ้นตอนปกติ เหล็กอีกชนิดหนึ่งซึ่งคาดว่าจะได้ผลดีในการนำมาทุบและชุบแข็งคือกล้าคาร์บอนสูง แต่ข้อจำกัดคือเหล็กรูปพรรณที่จัดหาได้ คือลวดเหล็กซึ่งทางโรงงานทุบขึ้นรูปปฏิเสธการนำไปขึ้นรูป เนื่องจากรูปทรงไม่เหมาะสม

ภายหลังการทุบขึ้นรูปมีดชุดละ 10 ด้าม นำตัวอย่างเข้าสู่การวิเคราะห์ด้วยขั้นตอนต่างๆ ได้แก่ ส่วนผสมทางเคมี ความแข็งที่ผิว ความแข็งบนภาคตัดขวาง ความต้านทานแรงกระแทกเพื่ออ้างอิงความเหนียว และโครงสร้างจุลภาค พบว่าเหล็กที่มีสมบัติเหมาะสำหรับการนำไปใช้ทดแทนเหล็กเหนือบคือเหล็กหัวฟ้าซึ่งให้ผลดีที่สุด เหล็กหัวแดงให้ผลที่ดึรลงลงมา ในขณะที่ข้อมูลจากการตรวจสอบพบว่ามิดที่ผลิตด้วยการทุบร้อนจากผู้ผลิตในปัจจุบัน ขาดการควบคุมคุณภาพที่เพียงพอรายละเอียดในการผลิต มีส่วนทำให้มิดที่ผลิตมีความแตกต่างในเชิงสมบัติที่มีผลต่อการนำไปใช้งาน เป็นข้อมูลเพิ่มเติมถึงความจำเป็นที่นอกจากการพัฒนาวัสดุในการผลิตแล้ว การดำเนินงานที่สามารถควบคุมมาตรฐานของมิดแต่ละด้าม ได้แก่ การควบคุมความหนาของมิดให้มีความแตกต่างในแต่ละด้ามลดลง การเผามีด ระดับความร้อน ระยะเวลาที่สม่ำเสมอ และเงื่อนไขการชุบแข็งที่ไม่เกิดผลที่แปรปรวนมากเกินไป มีความจำเป็นเช่นเดียวกัน

อย่างไรก็ตาม มิดจำนวนหนึ่งที่ผลิตขึ้นเพื่อทดสอบการเปลี่ยนชนิดวัสดุเหล็กกล้า ได้นำไปใช้ทดลองในการทำงานจริง ซึ่งเป็นข้อมูลที่ตัวแทนบริษัทมิตรผลวิจัย จะดำเนินการศึกษาและติดตามและนำมาอ้างอิงเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการวิเคราะห์ทดสอบต่อไป

## บทที่ 3

### การดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเรื่อง ค่าความแข็งของมิดตัดอ้อยของ (มิดอุทอง 2) โดยเหล็กที่ใช้ทำมิดเป็นเหล็กเกรด S45C โดยผ่านกระบวนการให้ความร้อนโดยถ่านไม้เพื่อนำไปออกแบบสร้างเครื่องชุบแข็งเลือกขบวนการในการให้ความร้อนและขบวนการชุบแข็งที่เหมาะสมการทำงานและการผลิต อีกทั้งต้องออกแบบอุปกรณ์เจียรระไนในรูปร่างและคมตัดดังนั้นในการดำเนินการวิจัยได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ คือ

3.1 การออกแบบเครื่องชุบแข็งและอุปกรณ์เจียรระไนและทำการทดลองมีขั้นตอนอย่างไร

3.2 การทดสอบค่าความแข็งของมิด และ โครงสร้างจุลภาคในการทดลองให้ความร้อนและชุบแข็ง

3.3 ในการนำไปทดลองมิดไปใช้งานจริง เพื่อทดลองหาค่าความสึกหรอของมิดเพื่อหาช่วงค่าความแข็งที่เหมาะสมกับการใช้งาน

#### 3.1 การออกแบบเครื่องชุบแข็งและอุปกรณ์เจียรระไนของงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ใช้วัสดุเป็นเหล็กกล้าคาร์บอน S45C โดยมีส่วนผสมทางเคมีตามมาตรฐาน JIS และส่วนผสมเคมีของชิ้นงานที่นำไปทดแทน ดังแสดงในตารางที่ 3-1 ลักษณะของชิ้นงานเป็นเหล็กตีขึ้นรูปร้อนมาเป็นรูปมิดตัดอ้อย



ภาพที่ 3-1 รูปมิดตัดอ้อย

ตารางที่ 3-1 แสดงส่วนผสมทางเคมีของวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอน S45C

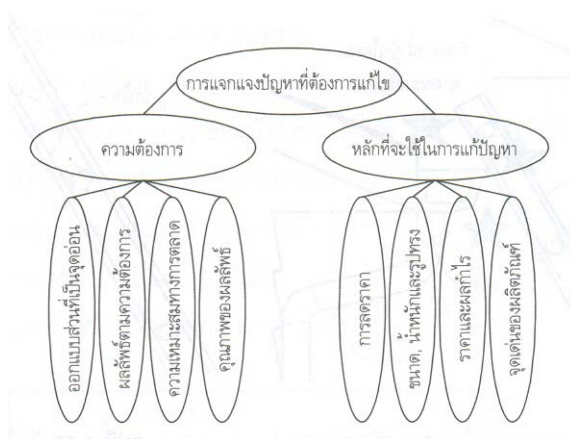
ส่วนผสมทางเคมี	% C	% Si	% Mn	% P <sub>≤</sub>	% S <sub>≤</sub>
มาตรฐาน JIS	0.42-0.43	0.15-0.35	0.60-0.90	0.030	0.035
มิดที่ทดลอง	0.43	0.235	0.671	0.010	0.010

เทียบจากหนังสือ International Comparison of Standard-Materials เหล็กเกรดนี้เหมาะสำหรับการเพิ่มความแข็งแกร่งขบวนการ Flame and Induction Hardening Steels โดยใช้ข้อพิจารณาในการออกแบบทางวิศวกรรม ในงานวิจัยนี้ ได้ใช้หลักการออกแบบ

1. ฟังก์ชันในการทำงาน
2. อุณหภูมิการใช้งาน
3. ปริมาณการผลิต
4. การสึก
5. แรงเสียดทาน
6. การจัดรูป/ความยืดหยุ่น/ความแข็งแรง
7. การควบคุม
8. การบำรุงรักษา
9. มีแหล่งทรัพยากรในการผลิต
10. ความปลอดภัย
11. ราคา



ภาพที่ 3-2 ความสัมพันธ์ของการแจกแจงปัญหาที่จะแก้ไขข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง



ภาพที่ 3-3 ขั้นตอนการแจกแจงปัญหา

ขั้นตอนในการออกแบบของผู้ออกแบบ

1. เขียนรายการของปัญหาที่เกิดขึ้น (Problem Statement) ในลักษณะการบรรยายปัญหาที่เกิดขึ้น
2. เขียนรายการความต้องการตามวัตถุประสงค์ (Requirement) เขียนความต้องการเป็นประโยคคำถามที่ตั้งขึ้นจะตอบเมื่อทราบข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
3. เขียนข้อจำกัดในการออกแบบ (Limitation) เช่น น้ำหนักสูงสุดหรือขนาด
4. ร่างแบบ (Sketches) ประกอบคำอธิบายบ่งบอกขนาดและรูปทรงพร้อมกับคุณลักษณะทางกายภาพ
5. การเขียนแบบ สร้างภาพหรือ Model ในการทดลองในการทดลองหาข้อดีข้อเสียในแต่ละแบบเพื่อการตัดสินใจในการเลือก

การแจกแจงปัญหาที่ต้องการแก้ไข			
1.	ชื่อชิ้นงาน “เครื่องชุบแข็งมีดตัดอ้อย”		
2.	รายละเอียดของปัญหาที่เกิดขึ้น ขบวนการชุบแข็งมีดตัดอ้อยของโรงตีมีดเบอร์ 2 ใช้ถ่านไม้ลวก เป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนแก่มีด ใช้คนที่มีความชำนาญในการชุบแข็ง เฝามีด พอคนชุบมองสีมีดว่าได้อุณหภูมิที่จะชุบหรือเห็นว่ามีดแดงได้ที่ก็จะนำมาชุบกับน้ำมันที่เตรียมไว้ ผลปรากฏว่าอุณหภูมิที่ได้ (ก่อนชุบ) สัมผัสจากสีของมีดที่ถูกเฝามีดสีที่ไม่เท่ากัน และเวลาที่ใช้ชุบในแต่ละเล่มก็ไม่เท่ากัน ภายหลังที่ได้นำมีดดังกล่าวมาตรวจสอบค่าความแข็งของมีดแล้วมีความแข็งในช่วงคมตัด ที่ไม่สม่ำเสมอจึงมีความต้องการจะทำให้มีดมีความแข็งของ Pater Hardness อยู่ในช่วงความแข็งที่เท่าๆ กัน จึงทำการออกแบบเครื่องชุบแข็งมีดตัดอ้อย เพื่อไปช่วยในการผลิตมีดในเรื่องของการชุบแข็ง สร้าง Patter Hardness ที่เหมาะสมให้กับมีดตัดอ้อย		
3.	ความต้องการและข้อจำกัด ก. สร้างเครื่องไปใช้ในการชุบแข็ง ทดแทนกันที่มีความชำนาญในเรื่องชุบแข็ง ข. หาเชื้อเพลิงที่มาทดแทน เชื้อเพลิงแบบเดิมคือถ่าน ไม้ลวก ค. เครื่องที่ออกแบบมาต้องสร้าง Patter Hardness ให้กับมีดตัดอ้อยเท่ากัน ง. ทดลองกับสารชุบต่างๆ เพื่อหาสารชุบที่เหมาะสมกับมีดตัดอ้อย จ. การสร้างและซ่อมบำรุงควรหาได้ตามแหล่งทรัพยากรในการผลิต		
4.	ข้อมูลที่ต้องการ ก. ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการชุบแข็งต่อมีดเท่าไร (สัมภาษณ์จาก โรงตีมีดเบอร์ 2) ข. ในขบวนการเดิมสามารถชุบแข็งมีดได้วันละกี่เล่ม (สัมภาษณ์จาก โรงตีมีดเบอร์ 2) ค. ต้นทุนค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ให้ความร้อน (ถ่าน ไม้ลวก) เท่าไร(สัมภาษณ์จาก โรงตีมีดเบอร์ 2) ง. ใช้งานชุบอะไรในการชุบแข็ง (สัมภาษณ์จาก โรงตีมีดเบอร์ 2) จ. ต้นทุนของสารชุบ ที่ใช้เท่าไร (สัมภาษณ์จาก โรงตีมีดเบอร์ 2) ฉ. ค่าไฟที่ใช้ Blower ในการเป่าถ่านไม้เท่าไร (สัมภาษณ์จาก โรงตีมีดเบอร์ 2)		
5.	การพิจารณาเรื่องของการตลาด ก. ราคาขายปลีก ของมีดตัดอ้อย เล่มละเท่าไร ข. จุดเด่นของมีดเบอร์ 2 ที่ดึงดูดผู้ซื้อ (สัมภาษณ์มีดเบอร์ 2) ค. ยอดการขายมีดให้กับบริษัทมิตรผลเท่าไร ง. ยอดขายทั้งหมดต่อปีกี่เล่ม		
การแจกแจงปัญหา	ชื่อเอกสาร ส่วนที่ วันที่	ลำดับที่	1

ภาพที่ 3-4 การแจกแจงปัญหาเครื่องชุบแข็งมีดตัดอ้อย

ผลจากการหาข้อมูลได้ข้อมูลดังนี้

ก. ตรวจสอบเช็คข้อมูลจากโรงต้มมีดเบอร์ 2

ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการชุบแข็งมีด 2-3 บาท/เล่ม

ในขบวนการเดิมสามารถชุบแข็งมีดได้ วันละ 200-300 เล่ม

ใช้เวลาในการชุบ 6 ชั่วโมง/ วัน

ใช้ถ่าน ไม้ลวก(ไม้ไผ่)เป็นพลังงานให้ความร้อน

ใช้ blower เป่าถ่านไม้ 1 ตัว

ใช้น้ำมันเครื่องเป็นสารชุบ

ใช้น้ำมันเครื่องทั้งหมด 8-10 ถังๆละ 300-400 บาท ระยะเวลาที่ใช้ 1 ปี

ใช้คนชุบแข็ง 1-2 คน ค่าจ้างคนละ 200-300 บาท/ วัน

ข. อัตราส่วนของผู้ผลิต

การบริโภคมีดตัดอ้อยของเกษตรกรภายในประเทศประมาณ 500,000 เล่ม/ปี[1]

โรงต้มมีด (เบอร์ 2) ได้ผลิตมีดให้กับเกษตรกรที่ส่งอ้อยให้กับ บ.มิตรผลประมาณ 25,000- 50,000 เล่ม/ปี [1] คิดเป็นอัตราส่วน 5-10 % ของการบริโภคมีดทั้งประเทศ[1]

ค. ผลการสำรวจราคามีดดังนี้

ราคามีดที่ขายอยู่ที่(หน้าร้านมีดเบอร์ 2) 110-120 บาท/เล่ม(ทั้งปลีกและส่ง)

ราคาที่เกษตรกรซื้อที่ จ.ชัยภูมิประมาณ 150-180 บาท/เล่ม

ง. ชื่อเครื่อง

เครื่องชุบแข็งมีดตัดอ้อย

ในขบวนการผลิตแบบเดิม



แผ่นเหล็กที่ตัดรอตีขึ้นรูปรีออน



ตีขึ้นรูปรีออนด้วยค้อนกลม




ได้รูปร่างมิดที่จะส่งไปเจียรระโน


การแจกแจงปัญหา	ชื่อเอกสาร ส่วนที่ วันที่	ลำดับที่	3
----------------	---------------------------	----------	---

ภาพที่ 3-6 ภาพการขึ้นรูปมิดจากโรงงาน


ในขบวนการผลิตแบบเดิม



ใช้คนเจียรระไนรูปร่างมีด



มีดที่รอการเจียรระไน




ใช้ตะไบแต่งคมตัดของมีดตัดอ้อย

การแจกแจงปัญหา	ชื่อเอกสาร ส่วนที่ วันที่	ลำดับที่	4
----------------	---------------------------	----------	---

ภาพที่ 3-7 ภาพการเจียรระไนมีดจากโรงงาน

ในขบวนการผลิตแบบเดิม



กองถ่านไม้ ลวก ที่เอาไว้ให้ความร้อนในการชุบแข็ง

ภาพขณะให้ความร้อนแก่มีดบนเตาใช้ถ่านไม้และ Blower เป่า

การชุบแข็งโดยใช้มิดที่ได้ความร้อนแล้วจุ่มน้ำมัน

การแจกแจงปัญหา	ชื่อเอกสาร ส่วนที่ วันที่	ลำดับที่	5
----------------	---------------------------	----------	---

ภาพที่ 3-8 ภาพการชุบแข็งมิดจากโรงงาน

ในขบวนการผลิตแบบเดิม



ได้มีดที่ผ่านกระบวนการชุบแข็ง

นำมีดไปทำการขัดขาวคมตัด

ลูกแปรงขัดขาวคมตัด

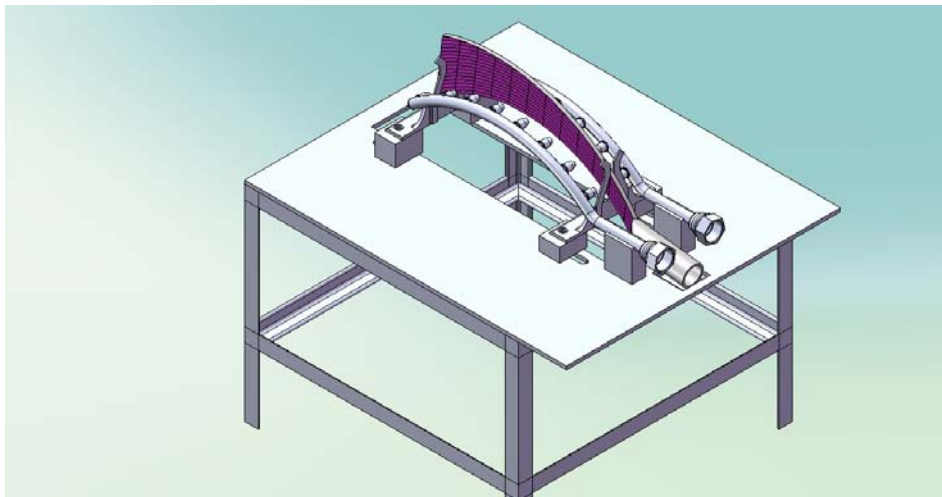
การแจกแจงปัญหา	ชื่อเอกสาร ส่วนที่ วันที่	ลำดับที่ 6
----------------	---------------------------	------------

ภาพที่ 3-9 ภาพมีดหลังชุบแข็งจากโรงงาน

การร่างแบบ Sketching and Note เครื่องหุบแข็งมีคัตต์อ้อย			
<p>ผลที่ได้คือ มีคัตต์ได้รับความร้อนเท่าๆ กัน</p> <p>ความต้องการ คือ เครื่องให้ความร้อนที่ควบคุมเปลวไฟ</p> <p>ตัวเลือกในการออกแบบ</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Heater</li> <li>2. Flame</li> <li>3. Induction</li> </ol> <p>สรุป ออกแบบเครื่องหุบแข็งมีคัตต์อ้อย</p>			
การแจกแจงปัญหา	ชื่อเอกสาร ส่วนที่ วันที่	ลำดับที่	5

ภาพที่ 3-10 ภาพ Sketching กระบวนการให้ความร้อน

แบบเครื่องชุบแข็งและขบวนการให้ความร้อนและชุบแข็ง



ภาพที่ 3-11 แบบเครื่องชุบพ่นสองหัว

แบบเครื่องแบบที่ 1 เป็นเครื่องแบบ Flame Hardening ให้ความร้อน  
การทดลองให้ความร้อน



ภาพที่ 3-12 การทดลองหัวแก๊ส

การให้ความร้อนต้องใช้เวลานานเพราะเสียพลังงานความร้อนไปกับบรรยากาศภายนอก จึงมีการออกแบบ ห้องชุบเพื่อควบคุมความร้อน



ภาพที่ 3-13 ห้องควบคุมความร้อน

ลักษณะการวางมิดเพื่อที่จะชุบแข็ง  
ทดลองให้ความร้อนคูสีของมิด



ภาพที่ 3-14 การทดลองห้องควบคุมความร้อน

จากการแจกแจงผลในการออกแบบ และเลือกขบวนการในการให้ความร้อน เนื่องจากเหล็กที่ใช้เป็นเหล็กเกรด S45c เทียบจากหนังสือ International Comparison of Standard-Material เหล็กเกรดนี้เหมาะสำหรับการเพิ่มความแข็งจากขบวนการ Flame and Induction Hardening Steels

### ตารางที่ 3-2 ข้อพิจารณาเพื่อเลือกกระบวนการชุบแข็ง

ข้อกำหนดพิจารณาเพื่อเปรียบเทียบ	Flame Hardening	Induction Hardening
Temp ที่ใช้ 850-950°C	ได้อุณหภูมิ	ได้อุณหภูมิ
มีแหล่งทรัพยากรในการผลิต	ได้เปรียบมากกว่า เพราะหาอุปกรณ์ได้จากท้องถิ่น	ต้องใช้อุปกรณ์ที่ส่งมาทำ
ความยากง่ายในการสร้างการใช้และซ่อมบำรุง	สร้างง่ายกว่า	สร้างยากกว่าต้องหาบริษัทที่มีความชำนาญด้าน Control และ อุปกรณ์
ราคาค่าต้นทุนในการสร้างเครื่อง		สูงกว่า Flame
ขนาดของมิดที่ไม่เท่ากัน	จะมีปัญหาในการนำมิดที่ดีขึ้นรูปร้อนเสร็จเข้าเครื่องชุบในทีเดียว (ควรปรับแต่งมิดก่อนเข้าขบวนการชุบแข็ง)	

จะเห็นได้ว่าการเปรียบเทียบทั้ง 2 ขบวนการ ในการให้ความร้อน คะแนนและข้อดีของ Flame จะได้เปรียบกว่า Induction แต่มีปัญหาของการนำมิดเข้าเครื่องชุบเนื่องจากขบวนการขึ้นรูปไม่สามารถทำให้มิดมีขนาดที่เท่ากันได้ จึงมีข้อเสนอแนะในการสร้างอุปกรณ์เจาะรูปร่างและคมตัดก่อนนำมิดเข้าเครื่องชุบแข็ง

ภายหลังที่ได้เลือกขบวนการในการให้ความร้อน คือ Flame Hardening ก็ต้องเลือกพลังงานความร้อน โดยมีเงื่อนไขทางเลือกคือ

1. อะเซทิลีน+ออกซิเจน
2. LPG
3. LPG + ออกซิเจน

### ตารางที่ 3-3 ข้อพิจารณาเลือกพลังงานในการให้ความร้อน

ข้อกำหนดเงื่อนไข	อะเซซีลีน+ออกซิเจน	LPG	LPG+ออกซิเจน
1. TEM ที่ได้	3,000 - 3,200 องศา	1100 องศา	1500 องศา
2. ราคาต้นทุนให้ความร้อน		ต่ำที่สุด	
3. จำนวนที่ผลิต			
4. ขนาดของมิดที่ไม่เท่ากัน		จะต้องมีอุปกรณ์เจียร ปรับแต่งมิดก่อนเข้า เครื่อง	
5. ต้นทุนในการผลิต		ต่ำกว่า	
6. ความยากง่ายในการ สร้างและใช้ซ่อมบำรุง		ง่ายกว่าเพราะมีตัว แปรเดียว	
7. คุณภาพและความง่ายใน การใช้หลัง Set		น่าจะเท่ากันเพราะ ต้องทำการทดลองใช้	

ผลคะแนนที่ได้ LPG มีข้อเปรียบเทียบดีกว่าเพราะอุณหภูมิที่ใช้ไม่เกิน 1000 องศาและ  
หาง่ายในท้องถิ่น อีกทั้งยังมีตัวแปรเดียวในการทำการทดลอง

การเลือกการชุบคือ อีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้มิดมีชั้นแบบความแข็งตามที่ต้องการ ยึด (อุทอง 2)  
มีค่าความแข็งอยู่ระหว่าง 25-55 HRC โดยใช้เหล็ก S45c ปกติเหล็กขนาดนี้มีความสามารถในการ  
ชุบแข็งได้ถึง 60 HRC แต่ไม่ทราบว่าช่วงค่าความแข็งเท่าไร ที่จะเหมาะสมกับมิดเชื่อมการใช้  
ไม่เกี่ยวเกี่ยวข้องอ้อยได้ดีที่สุด จึงต้องทำการแยกหัวข้อของค่าความแข็งเป็น 2 ข้อ

1. สร้างความแข็งให้มีความแข็งในช่วงต่างๆ ให้มีความสม่ำเสมอก่อน
2. ทำการสร้างความแข็งในช่วงต่างแล้วนำมาใช้งานจริง เพื่อเอาข้อมูลดังกล่าวมาเสนอช่วง

ค่าความแข็งที่เหมาะสมกับการใช้งานของคนตัดอ้อย

สารชุบเป็นตัวแปรหนึ่งที่สามารถทำให้เหล็ก S45c นั้น มีความแข็งที่แตกต่างกันออกไป ชนิด  
ของสารชุบ

1. น้ำ
2. น้ำมันชุบ
3. ลม

ตารางที่ 3-4 ข้อพิจารณาในการเลือกสารชุบแข็ง

ลำดับ	น้ำ	น้ำมันชุบ	ลม
มิดที่ทดลองชุบ	60 HRC มิดแตกร้าว เนื่องจากอัตราการเย็นตัวที่รวดเร็วไป ประกอบกับพื้นที่ผิวบางขนาดคมมิด	50-60 HRC ค่าความแข็งดังกล่าวไม่เหมาะกับมิดตัดอ้อยเพราะลักษณะการทำงานมีแรง Impact จะทำให้มิดมีความเสียหายเพราะแข็งมากจะเปราะหรืออาจจะต้องเพิ่มขึ้นตอนในการอบ Tempering เพื่อลดค่าความแข็งลง	30-40 HRC ค่าความแข็งดังกล่าวไม่ปกติไม่น่าจะเกิดขึ้นกับ S45c ชุบลมแต่อาจจะเกิดจากอัตราการเย็นตัวที่เร็วของพื้นที่หน้าตัดที่บางของคมตัดมิดตัดอ้อย

ผลการทดสอบความเป็นไปได้ของการเลือกช่วงของความแข็งของสารชุบ คือ ลม แต่ต้องมีการทดลองเพื่อตัวแปรอัตราความเร็วของลม เพื่อให้ได้ค่าความแข็งที่ต่างกันและเลือกนำไปทดลองใช้งานจริง



ภาพที่ 3-15 เครื่องชุบแข็ง

สืบเนื่องจากการเลือกเครื่องชုပ် การพัฒนาเม็ดตัดอ้อย เนื่องจากมีดขึ้นรูปแบบดีขึ้นรูปร้อน ด้วยก้อน มีดจึงมีขนาดและความหนา ความโค้งไม่เท่ากัน การทำเครื่องชုပ်มีดควรนำการจัดมีดให้มีขนาดความโค้ง และคมตัดก่อนที่จะนำไปให้ความร้อนและชုပ် อีกทั้งผลจากการสำรวจข้อมูลการผลิตมีดจากโรงตีมีดเบอร์ 2 ในขั้นตอนการเจียรระไนมีดมีมีดจำนวนมากที่รอการเจียรอีกทั้งมีดที่ผ่านการเจียรมีขนาดรูปร่างที่ไม่เท่ากันเพราะการเจียรใช้คนในการเจียรระไน และภายหลังจากที่เจียรเสร็จต้องนำมีดมาตะไบคมตัดแล้วนำมีดไปชုပ်แข็ง (แนวคมตัดสร้างเพื่อไว้ให้คนตัดอ้อยกลับเพื่อนำไปใช้งานตัดอ้อย) จึงมีความจำเป็นในการทำให้มีดมีขนาดความโค้งให้เท่ากันก่อน ผู้วิจัยจึงมีความคิดที่จะสร้างอุปกรณ์เจียรระไนขึ้นมา

จากรูปร่างมีดตัดอ้อยที่ไม่สามารถหาแนวเป็นอ้างอิงได้ จึงเป็นเงื่อนไขในการออกแบบอุปกรณ์เจียรระไน

1. สร้างอุปกรณ์ที่ทำให้รูปร่างหัว โค้งส่วนที่เป็นคมตัดและ โค้งด้านสันมีด เพื่อให้มีดในแต่ละเล่มเท่ากันจะ ทำให้ง่ายต่อการนำมีดไปชုပ်ด้วยเครื่องที่จะออกแบบ
2. สร้างอุปกรณ์ทำคมตัดเพื่อเป็นแนวในการลับมีด หลังนำไปใช้งานและง่ายต่อการชုပ် เนื่องจากมีดที่มีคมตัดจะบาง ทำให้ได้รับความร้อนจะรวดเร็วทำให้ลดการใช้พลังงานในการให้ความร้อนเพื่อชုပ်แข็ง

ในการออกแบบอุปกรณ์ที่ทำให้มีดมีความ โค้งทั้งด้านในและนอกเท่ากัน มีเงื่อนไขในการขึ้นรูปขนาดความหนาของคมมีดอยู่ประมาณ 1-2 mm

การแจกแจงปัญหาที่ต้องการแก้ไข			
<p>1. ชื่อชิ้นงาน</p> <p>“อุปกรณ์เจียรระไนรูปร่างมิดตัดอ้อย”</p> <p>2. รายละเอียดของปัญหาที่เกิดขึ้น</p> <p>มิดตัดอ้อยได้ผ่านขบวนการตีขึ้นรูปร้อนมาเป็นรูปร่างมิดตัดอ้อย ดังนั้นมิดจะมีรูปร่างใกล้เคียงกันเท่านั้น จากนั้นจะใช้คนเจียรมิด ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวใช้เวลาในการเจียรนานมากและชื่อในแต่ละเล่มก็มีขนาดไม่เท่ากัน ถ้าต้องการนำมิดตัดอ้อยมาเข้าเครื่องขุบจะทำให้ยากในเรื่องของอุปกรณ์จำยึดและการให้ความร้อน จึงมีการออกแบบสร้างอุปกรณ์เจียรระไนรูปร่างขึ้นมาเพื่อให้มิดมีรูปร่างเท่ากันและเป็นการเพิ่มอัตราการผลิตอีกอย่างหนึ่ง จึงออกแบบอุปกรณ์เจียรระไนรูปร่างมิดตัดอ้อยขึ้น</p> <p>3. ความต้องการและข้อจำกัด</p> <p>ก. มิดมีขนาดและความหนาที่ไม่เท่ากัน (จากขบวนการตีขึ้นรูปร้อน)</p> <p>ข. สร้างแนวเส้นอ้างอิงในรูปร่างมิดตัดอ้อยทั้งคมตัดและสันด้านนอก</p> <p>ค. สร้างอุปกรณ์เจียรระไนทดแทนคนเจียร</p> <p>ง. อุปกรณ์เจียรระไนที่ออกแบบมาต้องสร้างขนาดของมิดตัดอ้อยเท่ากันทุกเล่ม</p> <p>จ. อุปกรณ์เจียรระไนสามารถช่วยเพิ่มการผลิตในเรื่องของการเจียรรูปร่าง</p> <p>4. ข้อมูลที่ต้องการ</p> <p>ก. ค่าใช้จ่ายที่ใช้การเจียรระไนรูปร่างต่อมิดเล่มเท่าไร (สัมภาษณ์จากโรงตีมิดเบอร์ 2)</p> <p>ข. ในขบวนการเดิมสามารถเจียรระไนรูปร่างมิดวันละกี่เล่ม (สัมภาษณ์จากโรงตีมิดเบอร์ 2)</p> <p>ค. ต้นทุนค่าพลังงานในเรื่องค่าไฟในการเจียรระไนรูปร่างเท่าไร (สัมภาษณ์จากโรงตีมิดเบอร์ 2)</p> <p>ง. ใช้เครื่องเจียรระไนกี่เครื่อง (สัมภาษณ์จากโรงตีมิดเบอร์ 2)</p> <p>จ. ใช้คนเจียรระไนรูปร่างกี่คนๆ ละกี่เล่ม (สัมภาษณ์จากโรงตีมิดเบอร์ 2)</p> <p>ฉ. ค่าจ้างคนเจียรระไนวันละกี่บาท (สัมภาษณ์จากโรงตีมิดเบอร์ 2)</p> <p>5. การพิจารณาเรื่องของการตลาด</p> <p>ก. ราคาขายปลีก ของมิดตัดอ้อย เล่มละเท่าไร (สัมภาษณ์จากโรงตีมิดเบอร์ 2)</p> <p>ข. จุดเด่นของมิดเบอร์ 2 ที่ดึงดูดผู้ซื้อ (สัมภาษณ์จากโรงตีมิดเบอร์ 2)</p>			
การแจกแจงปัญหา	ชื่อเอกสาร	ส่วนที่	วันที่
		ลำดับที่	1

ภาพที่ 3-16 ภาพแจกแจงปัญหาอุปกรณ์เจียรระไนรูปร่างมิด

ผลจากการหาข้อมูลได้ดังนี้			
ก.	<p>ตรวจเช็คข้อมูลจากโรงต้มมีดเบอร์ 2</p> <p>ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการเจียรมีด 5-7 บาท/เล่ม</p> <p>ความสามารถของคนเจียรจากเดิมสามารถเจียรระโนมีดได้ วันละ 60-80 เล่ม</p> <p>ใช้เวลาในการเจียร 6 ชั่วโมง/ วัน</p> <p>ใช้ล้อยินเจียรระโนขนาด 10 นิ้ว</p> <p>ล้อยินเจียรระโนล้อยละ 450 บาท</p> <p>ล้อยิน 1 ล้อยสามารถเจียรระโนมีดได้ประมาณ 600 เล่ม</p> <p>เวลารวมโดยประมาณที่มีดเจียรระโนใช้เวลา 5 นาที</p> <p>ใช้คนเจียร 4-7 คน ค่าจ้างคนละ 200-300 บาท/ วัน</p>		
ข.	<p>อัตราของส่วนผู้ผลิต</p> <p>การบริโภคมีดตัดอ้อยของเกษตรกรภายในประเทศประมาณ 500,000 เล่ม/ปี [1] โรงต้มมีด (เบอร์ 2) ได้ผลิตมีดให้กับเกษตรกรที่ส่งอ้อยให้กับ บ.มิตรผลประมาณ 25,000-50,000 เล่ม/ปี [1] คิดเป็นอัตราส่วน 5-10 % ของการบริโภคมีดทั้งประเทศ [1]</p>		
ค.	<p>ผลการสำรวจราคามีดดังนี้</p> <p>ราคามีดที่ขายอยู่ที่(หน้าร้านมีดเบอร์ 2) 110-120 บาท/เล่ม (ทั้งปลี๊กและส่ง)</p> <p>ราคาที่เกษตรกรซื้อที่ จ.ชัยภูมิประมาณ 150-180 บาท/เล่ม</p>		
ง.	<p>ชื่อเครื่อง</p> <p>เครื่องเจียรระโนรูปร่างมีดตัดอ้อย</p>		
การแจกแจงปัญหา	ชื่อเอกสาร ส่วนที่ วันที่	ลำดับที่	2

การร่างแบบ Sketching and Note  
อุปกรณ์เขียนในรูปร่างมิดตัดข้อ

ผลที่ได้คือ  
มิดตัดข้อมีขนาดเท่าๆ กัน

ความต้องการ คือ  
อุปกรณ์เขียนที่สามารถ  
เขียนรูปร่างภายนอกของมิดได้

ตัวเลือกในการออกแบบ

1. ส้อมหินเขียนเดี่ยว
2. ส้อมหินเขียนแบบคู่
3. ส้อมหินเขียนแบบคู่  
แบบลอกแบบ (Copy)

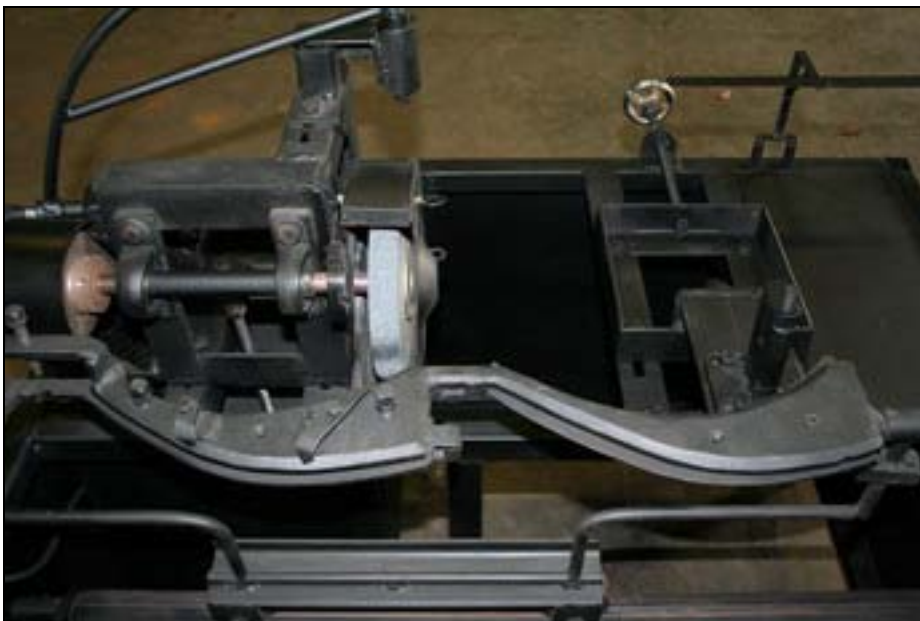
สรุป  
ออกแบบอุปกรณ์เขียนใน  
รูปร่างมิดตัดข้อ

การแจกแจงปัญหา	ชื่อเอกสาร ส่วนที่ วันที่	ลำดับที่	4
----------------	---------------------------	----------	---

ภาพที่ 3-18 ภาพ Sketching อุปกรณ์เขียนในมิด



ภาพที่ 3-19 เครื่องเจียรระไนรูปร่าง



ภาพที่ 3-20 บริเวณการเจียรระไนกับและการใช้ไกด์ในการควบคุมขนาด

### การแจกแจงปัญหาที่ต้องการแก้ไข

1. ชื่อชิ้นงาน  
“อุปกรณ์เจียรระโนคมตัดมีดตัดอ้อย”
2. รายละเอียดของปัญหาที่เกิดขึ้น  
มีดตัดอ้อยได้ผ่านขบวนการเจียรระโนคมตัดเสร็จแล้ว ต้องทำการสร้างแนวของความตัดเพื่อเป็นแนวทางในการลับคมก่อนคนตัดอ้อยนำไปใช้งาน ในขบวนการเดิมใช้คนตะไบๆ ทีละเล่มก่อนนำมีดตัดอ้อยไปชุบแข็ง ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวใช้เวลาในการตะไบนานมาก จึงมีการออกแบบสร้างอุปกรณ์เจียรระโนคมตัดขึ้นมา เพื่อให้มีดมีรูปร่างเท่ากัน
3. ความต้องการและข้อจำกัด
  - ก. คมตัดของมีดตัดออกมีรัศมีโค้งและมีด้านเจียรระโนทั้ง 2 ด้าน
  - ข. สร้างแนวคมตัดอ้างอิงเพื่อเป็นแนวทางในการลับเพื่อนำมีดไปใช้งานของคนตัดอ้อย
  - ง. สร้างอุปกรณ์เจียรระโนคมตัดทดแทนคนตะไบ
4. ข้อมูลที่ต้องการ
  - ก. ค่าใช้จ่ายในการตะไบคมตัดของเดิมต่อเล่มเท่าไร (สัมภาษณ์จากโรงตีมีดเบอร์ 2)
  - ข. ใช้คนตะไบสามารถตะไบคมตัดของมีดตัดอ้อยได้วันละกี่เล่ม (สัมภาษณ์จากโรงตีมีดเบอร์ 2)
  - ค. ค่าจ้างคนตะไบวันละเท่าไร (สัมภาษณ์จากโรงตีมีดเบอร์ 2)
  - ง. ใช้คนตะไบมีด 1 เล่มใช้เวลานานเท่าไร (สัมภาษณ์จากโรงตีมีดเบอร์ 2)
5. การพิจารณาเรื่องของการตลาด
  - ก. ราคาขายปลีก ของมีดตัดอ้อย เล่มละเท่าไร (สัมภาษณ์จาก โรงตีมีดเบอร์ 2)
  - ข. จุดเด่นของมีดเบอร์ 2 ที่ดึงดูดผู้ซื้อ (สัมภาษณ์จากโรงตีมีดเบอร์ 2)

ผลการหาข้อมูลได้ดังนี้			
<p>ก. ตรวจสอบข้อมูลจากโรงต้มมีดเบอร์ 2</p> <p>ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการเจียรมีด 5-7 บาท/เล่ม</p> <p>ความสามารถของคนเจียรจากเดิมสามารถเจียรระโนมีดได้ วันละ 60-80 เล่ม</p> <p>ใช้เวลาในการเจียร 6 ชั่วโมง/วัน</p> <p>ใช้ลื้อหินเจียรระโนขนาด 10 นิ้ว</p> <p>ลื้อหินเจียรระโนลื้อละ 450 บาท</p> <p>ลื้อหิน 1 ลื้อสามารถเจียรระโนมีดได้ประมาณ 600 เล่ม</p> <p>เวลารวมโดยประมาณที่มีดเจียรระโนใช้เวลา 5 นาที</p> <p>ใช้คนเจียร 4-7 คน ค่าจ้างคนละ 200-300 บาท/วัน</p>			
<p>ข. อัตราของส่วนผู้ผลิต</p> <p>การบริโภคมีดตัดอ้อยของเกษตรกรภายในประเทศประมาณ 500,000 เล่ม/ปี [1]</p> <p>โรงต้มมีด (เบอร์ 2) ได้ผลิตมีดให้กับเกษตรกรที่ส่งอ้อยให้กับ บ.มิตรผลประมาณ 25,000-50,000 เล่ม/ปี [1]</p> <p>คิดเป็นอัตราส่วน 5-10 % ของการบริโภคมีดทั้งประเทศ[1]</p>			
<p>ค. ผลการสำรวจราคามีดดังนี้</p> <p>ราคามีดที่ขายอยู่ที่ (หน้าร้านมีดเบอร์ 2) 110-120 บาท/เล่ม (ทั้งปลีกและส่ง)</p> <p>ราคาที่เกษตรกรซื้อที่ จ.ชัยภูมิประมาณ 150-180 บาท/เล่ม</p>			
<p>ง. ชื่อเครื่อง</p>			
การแจกแจงปัญหา	ชื่อเอกสาร ส่วนที่ วันที่	ลำดับที่	2

ภาพที่ 3-22 ภาพการหาข้อมูลจากโรงงาน

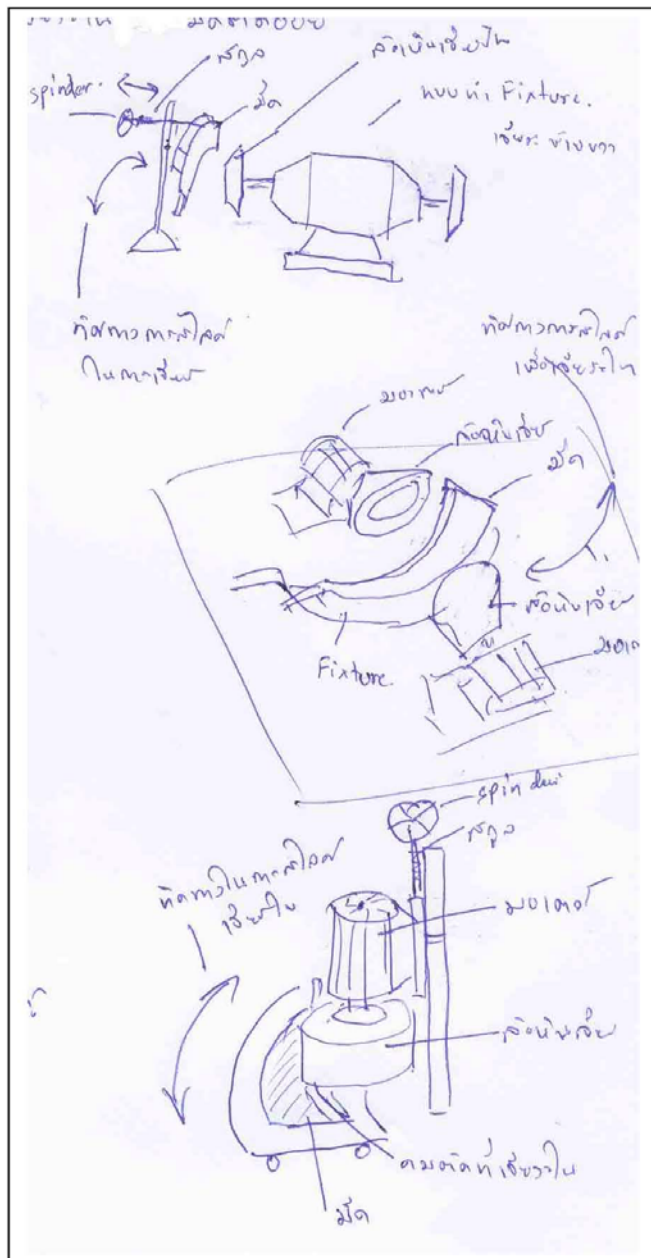
การร่างแบบ Sketching and Note  
 อุปกรณ์เจียรระโนคมตัดมีดตัดข้อ

ผลที่ได้คือ  
 มีดมีคมตัดที่เป็นแนวทาง  
 การลับคม

ความต้องการ คือ  
 อุปกรณ์เจียรระโนที่สามารถ  
 เจียรคมตัดของมีดได้ทั้ง 2 ฝั่ง

- ตัวเลือกในการออกแบบ
1. ทำ Fixture เจียรกับหินเจียรเดิม
  2. ทำเจียรระโนทั้ง 2 ฝั่งพร้อมกัน
  3. ทำเจียรระโนที่ละฝั่งแบบแนวตั้ง

สรุป  
 ออกแบบอุปกรณ์เจียรระโน  
 คมตัดมีดตัดข้อ



การแจกแจงปัญหา	ชื่อเอกสาร ส่วนที่ วันที่	ลำดับที่	4
----------------	---------------------------	----------	---

ภาพที่ 3-23 ภาพ Sketching อุปกรณ์เจียรระโนคมตัด



ภาพที่ 3-24 เครื่องเจียรระไนคมตัด



ภาพที่ 3-25 บริเวณของโต๊ะจับยึดมีดเพื่อเจียรคมตัด

### 3.2 การทดสอบค่าความแข็งของมิดและโครงสร้างจุลภาคในการทดลองให้ความร้อนและชุบแข็ง

การจัดทำชิ้นทดสอบในงานวิจัยได้นำมิดมาชุบทั้งหมด 10 bat ละ 11 เล่ม แล้วทำการส้อมมิด 1 เล่มต่อ 1 bat มาทำการตรวจสอบค่าความแข็งและโครงสร้างจุลภาค เพื่อยืนยันช่วงค่าความแข็งในแต่ละ bat ว่ามีความแข็งเท่าใด ซึ่งจะมีรายละเอียดดังนี้

1. นำมิดมาตัดให้มีความกว้าง 15 mm ทั้งหมด 8 ชิ้น ดังภาพ



ภาพที่ 3-26 การตัดมิดเพื่อทำชิ้นงานทดสอบ

2. นำชิ้นงานทั้งหมด 8 ชิ้นมาทำ (Cool Mounew) ด้วยเรซิน ดังภาพ



ภาพที่ 3-27 ชิ้นงานทดสอบ

3. นำชิ้นงานทั้งหมดไปขัดกระดาษทราย เบอร์ 120-550 นำชิ้นงานไปทดสอบความแข็งแบบจุลภาค (Micro Hardness Testing)



ภาพที่ 3-28 Micro Hardness Testing

4. นำชิ้นงานไปขัดกระดาษทรายตั้งแต่ 450-2000 และขัดมัน
5. นำชิ้นงานไปกัดกรดไนตริกเข้มข้น 1% ใช้เวลาในการกัดกรด 1 วินาที
6. นำชิ้นงานไปส่องกล้องจุลภาคพร้อมถ่ายภาพ โครงสร้างจุลภาค

### 3.3 ในการนำไปทดสอบมิติไปใช้งานจริง เพื่อทดสอบหาค่าความลึกหรือของมิติเพื่อหาช่วงค่าความแข็งที่เหมาะสมกับการใช้งาน

การทดลองนำมิติตัดอ้อยทั้ง 10 แบบมีปริมาณมิติ 100 เล่ม แบ่งเป็น

#### ตารางที่ 3-5 แสดงค่าความแข็งและขนาดของ Patter Hardness ของรหัสมิติ

การออกแบบ	HRC.	P. H.	รหัสมิติ
แบบมิติ 1	30	1	1-1, 1-10
แบบมิติ 2	30	>1	2-1, 2-10
แบบมิติ 3	40	1	3-1, 3-10
แบบมิติ 4	40	>1	4-1, 4-10
แบบมิติ 5	<30	1	5-1, 5-10
แบบมิติ 6	<30	>1	6-1, 6-10
แบบมิติ 7	60	1	7-1, 7-10
แบบมิติ 8	60	>1	8-1, 8-10
แบบมิติ 9	อู่ทอง2	1	9-1, 9-10
แบบมิติ 10	อู่ทอง2	1	10-1, 10-10

นำมิดดังกล่าวไปให้คนตัดอ้อยในแคมป์ของชาวไร่ (1 เล่ม/คน)

1. กรณีที่คนตัดรับไปแล้วไม่นำไปใช้
  - 1.1 ปรับเป็นข้อมูลสูญหาย
  - 1.2 เปลี่ยนตัวคนตัด
2. กรณีที่คนตัดอ้อยได้จำนวนวันหรือจำนวนวัดไม่เท่ากัน
  - 2.1 ให้คนนักมัดช่วยบันทึก โดยให้ค่าป่วยการ
3. กรณีที่มีมิดสูญหาย
  - 3.1 ติดตามผลอาทิตย์ละครั้ง
  - 3.2 ทำเครื่องหมายให้เห็นชัดเจน
4. กรณีนำมิดไปใช้งานอย่างอื่น
  - 4.1 ชี้แจงตอนแรกและทุกครั้งที่จะเข้าไปรวบรวมข้อมูล
5. กรณีจำนวนครั้งของการลับมิดไม่เท่ากัน
  - 5.1 ชี้แจงก่อนใช้มิด
  - 5.2 ให้บันทึกจำนวนครั้งของการลับมิด ในแบบสอบถาม
  - 5.3 อาจมีการนำไปหาค่าความคลาดเคลื่อนของการสึก
6. กรณีมิดตัดอ้อยชำรุด แตก หัก เปราะ
  - 6.1 ให้คนงานคืนมิดเล่มนั้นทันที และส่งมิดเดิมคืนให้
7. บันทึกรหัสของมิดให้ตรงกับชื่อคนที่ใช้งานพร้อมระบุเพศ โดยไม่มีการสับเปลี่ยนมิดกัน
8. ตรวจสอบการสึกหรอของมิดหลังทำการตัด 1 เดือน
9. หลังสิ้นสุดการทดสอบ ควรสุ่มสัมภาษณ์ผู้ใช้งาน หาผลความพึงพอใจ

แบ่งตามช่วงของความแข็งไปทำการใช้งานตัดอ้อยจริง โดยอาศัยบริษัทมิตรผลวิจัย ช่วยหาชาวไร่อ้อยที่ให้ความร่วมมือทั้งหมด 3 แคมป์ โดยมีการละมิดโดยให้มิดแต่ละช่วงของความแข็งทั้ง 10 แบบ ไปอยู่ในแต่ละแคมป์เพื่อทดสอบในการตัดอ้อยจริง

รายละเอียดการละมิดเพื่อให้แต่ละแคมป์ได้มิดทุกช่วงค่าความแข็ง

ตารางที่ 3-6 แสดงรายละเอียดการละมิดในแต่ละแคมป์

รหัส/on. แคมป์	แคมป์ 1 (เจริญสารมณี)	แคมป์ 2 (พ่ออภัย)	แคมป์ 3 (นิรันดร์)
1	1-1, 1-4, 1-7, 1-9, 1-10	1-2, 1-5	1-3, 1-6, 1-8
2	2-1, 2-4, 2-7, 2-9, 2-10	2-2, 2-5	2-3, 2-6, 2-8
3	3-1, 3-4, 3-7, 3-9, 3-10	3-2, 3-5	3-3, 3-6, 3-8

## ตารางที่ 3-6 (ต่อ)

รหัส/on. แคมป์	แคมป์ 1 (เจริญสารมณี)	แคมป์ 2 (พ้ออภัย)	แคมป์ 3(นิรันดร์)
4	4-1, 4-4, 4-7, 4-9, 4-10	4-2, 4-5	4-3, 4-6, 4-8
5	5-1, 5-4, 5-7, 5-9, 5-10	5-2, 5-5	5-3, 5-6, 5-8
6	6-1, 6-4, 6-7, 6-9, 6-10	6-2, 6-5	6-3, 6-6, 6-8
7	7-1, 7-4, 7-7, 7-9, 7-10	7-2, 7-5	7-3, 7-6, 7-8
8	8-1, 8-4, 8-7, 8-9, 8-10	8-2, 8-5	8-3, 8-6, 8-8
9	9-1, 9-4, 9-7, 9-9, 9-10	9-2, 9-5	9-3, 9-6, 9-8
10	10-1, 10-4, 10-7, 10-9, 10-10	10-2, 10-5	10-3, 10-6, 10-8

โดยมีข้อตกลงกับคนที่เช็คยอดการตัดในแต่ละแคมป์ ให้ช่วยเก็บข้อมูลในการตัดในแต่ละวัน เพื่อต้องการหาความลึกหรือที่จะแปรผันกับช่วงค่าความแข็งในแต่ละช่วง

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

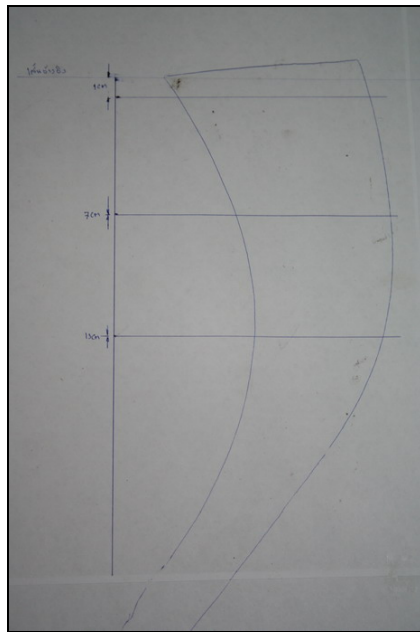
การเปรียบเทียบผลของมีดตัดอ้อยในเรื่องขนาด คมตัด มุมลิ้ม ค่าความแข็ง การสึกหรอ การทดลองของงานวิจัยนี้ ได้แบ่งเป็น 6 ส่วน

- 4.1 การวัดขนาดมีดเปรียบเทียบระหว่างการเจียรระโนมือกับเจียรด้วยเครื่อง
- 4.2 การวัดขนาดและมุมลิ้มคมตัดมีดเปรียบเทียบระหว่างการเจียรระโนมือกับเจียรด้วยเครื่อง
- 4.3 การตรวจสอบเครื่อง Micro Hardness และทดสอบค่าความแข็งมีดที่ทดลองทั้ง 10 แบบ
- 4.4 ผลการทดลองมีดใช้งานจริง เพื่อเปรียบเทียบความสึกหรอในช่วงค่าความแข็ง
- 4.5 ผลของแบบสอบถามที่ผู้ใช้มีต่อลักษณะของมีดในช่วงค่าความแข็ง

#### 4.1 วัดขนาดมีด

ในงานวิจัยได้ทำการวัดขนาดเปรียบเทียบ ระหว่างการเจียรระโนรูปร่างมีดด้วยมือกับเครื่องเจียรระโนรูปร่าง โดยทำการสร้างแนวเส้นอ้างอิงเพื่อใช้วัดเปรียบเทียบเป็นช่วงแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

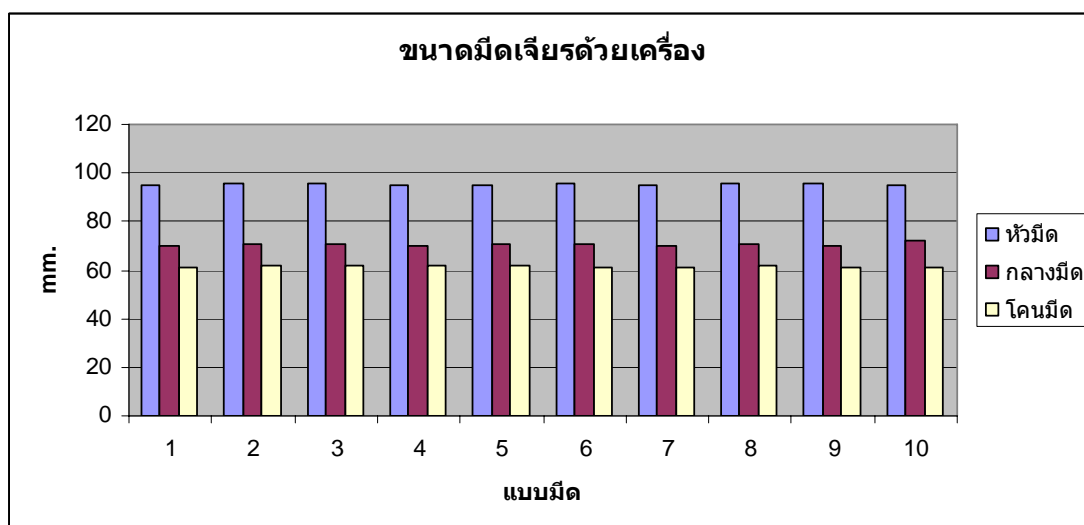
1. ส่วนหัวมีด โดยวัดจากเส้นอ้างอิงลงมา 1 cm
2. ส่วนกลางมีด โดยวัดจากเส้นอ้างอิงลงมา 7 cm
3. ส่วนโคนมีด โดยวัดจากเส้นอ้างอิงลงมา 13 cm (ตามภาพ)



ภาพที่ 4-1 การสร้างแนวเส้นอ้างอิง

ตารางที่ 4-1 ผลการวัดขนาดมิดที่เจียรด้วยเครื่อง

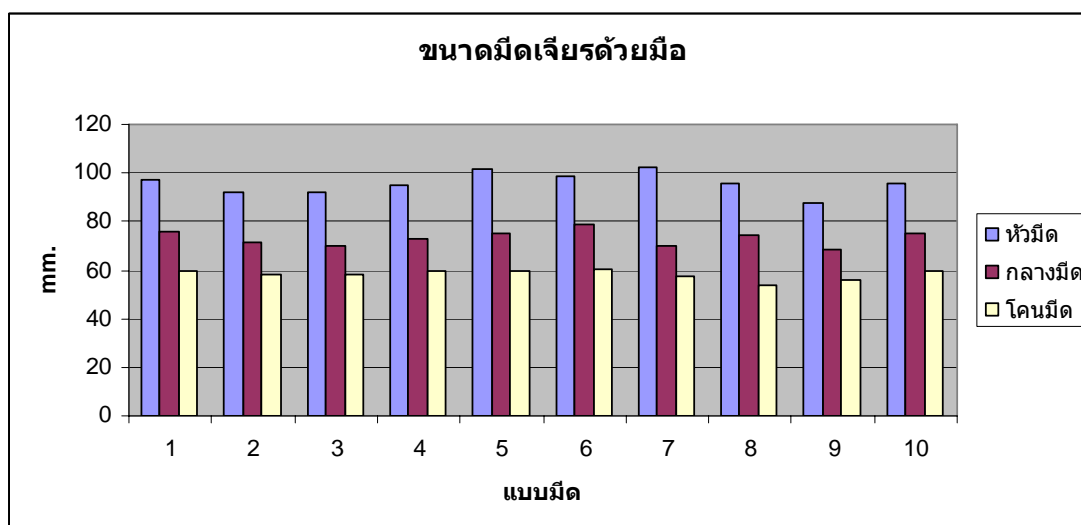
ลำดับที่	หัวมิด	กลางมิด	โคนมิด
1	95.3	70.2	61.1
2	96	70.8	62.2
3	95.8	70.4	61.9
4	95.1	70.2	61.7
5	95.3	70.4	62.1
6	95.8	70.5	61.3
7	95.2	70	61.3
8	95.8	70.4	61.9
9	95.4	70.2	61.3
10	95	72	61.4
Mean	95.47	70.51	61.62
Min	95	70	61.1
Max	96	72	62.2
ค่าต่างกัน	1	2	1.1



ภาพที่ 4-2 แสดงผลการวัดขนาดมิดที่เจียรด้วยเครื่อง

ตารางที่ 4-2 ผลการวัดขนาดมิดที่เจียรด้วยมือ

ลำดับที่	หัวมิด	กลางมิด	โคนมิด
1	97.4	75.5	60
2	92.3	71.7	58.2
3	91.9	69.9	57.9
4	95.2	73	59.4
5	101.8	75.3	59.6
6	98.3	78.6	60.2
7	102.1	69.9	57.5
8	95.9	74	53.7
9	87.5	68.2	55.9
10	95.5	75.3	59.5
Mean	95.79	73.14	58.19
Min	87.5	68.2	53.7
Max	102.1	78.6	60.2
ค่าต่างกัน	14.6	10.4	6.5

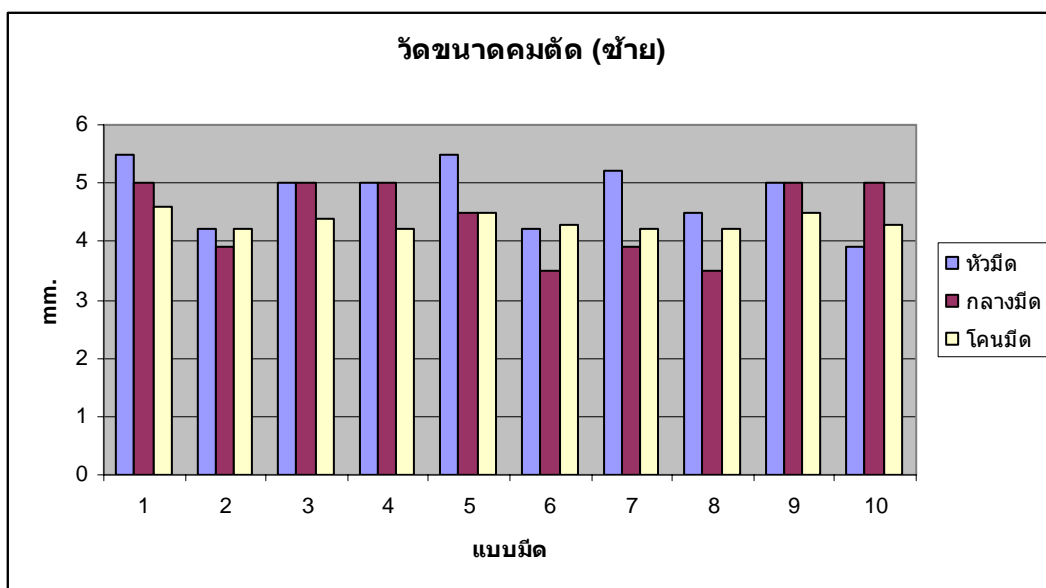


ภาพที่ 4-3 แสดงผลการวัดขนาดมิดที่เจียรด้วยมือ

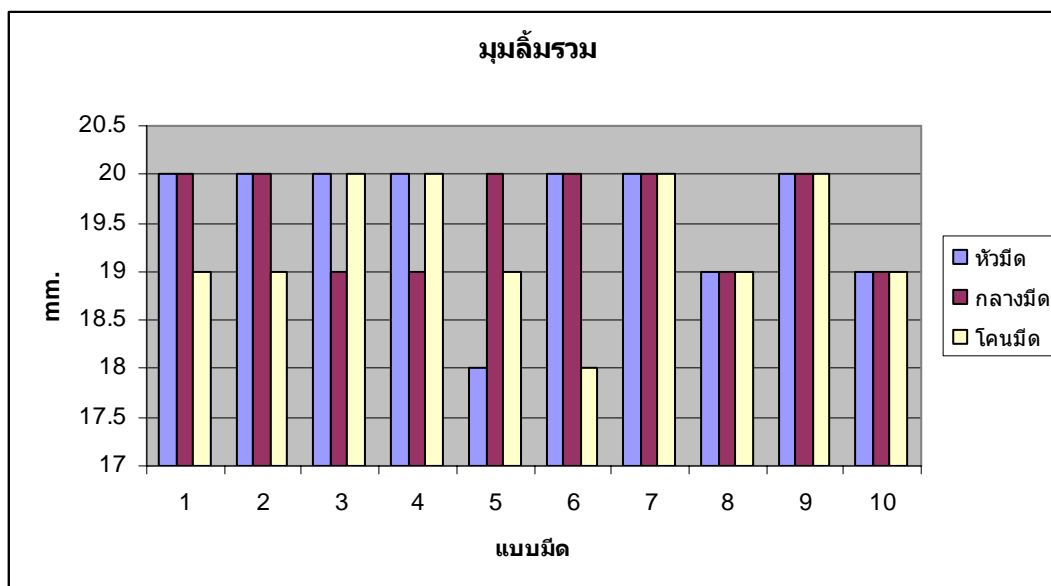
#### 4.2 วัดขนาดและมุมลิ้มคมตัดมิดเปรียบเทียบระหว่างการเจียรระโนมือกับเจียรด้วยเครื่อง

ตารางที่ 4-3 วัดขนาดคมตัดและมุมลิ้มของมิดตัดอ้อยที่เจียรด้วยเครื่อง

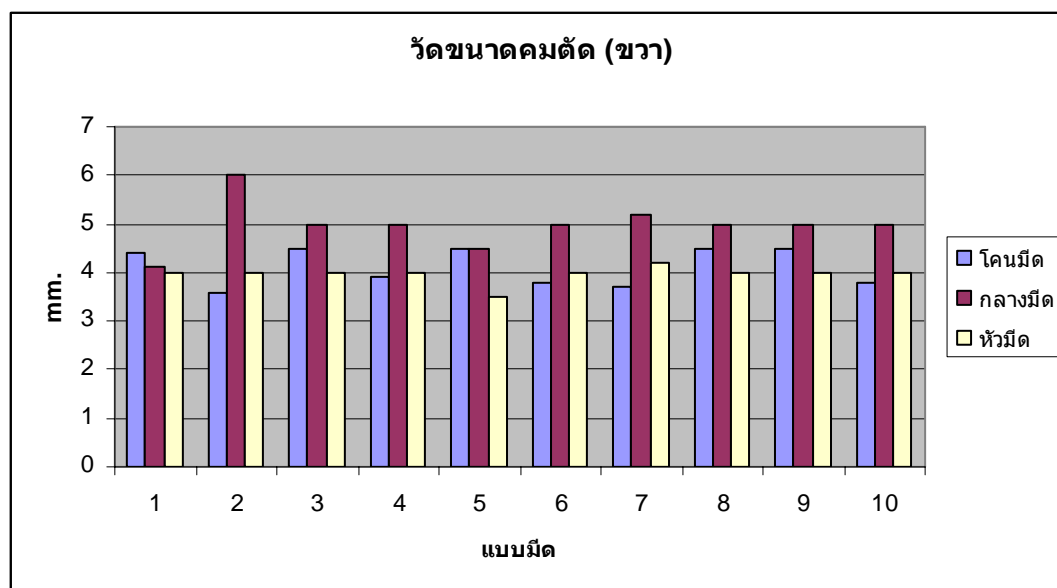
ลำดับ	ซ้าย			มุมลิ้มร่วม				ขวา	
	หัวมิด	กลางมิด	โคนมิด	หัวมิด	กลางมิด	โคนมิด	โคนมิด	กลางมิด	หัวมิด
1	5.5	5	4.6	20	20	19	4.4	4.1	4
2	4.2	3.9	4.2	20	20	19	3.6	6	4
3	5	5	4.4	20	19	20	4.5	5	4
4	5	5	4.2	20	19	20	3.9	5	4
5	5.5	4.5	4.5	18	20	19	4.5	4.5	3.5
6	4.2	3.5	4.3	20	20	18	3.8	5	4
7	5.2	3.9	4.2	20	20	20	3.7	5.2	4.2
8	4.5	3.5	4.2	19	19	19	4.5	5	4
9	5	5	4.5	20	20	20	4.5	5	4
10	3.9	5	4.3	19	19	19	3.8	5	4
Mean	4.8	4.43	4.34	19.6	19.6	19.3	4.12	4.98	3.97
Min	3.9	3.5	4.2	18	19	18	3.6	4.1	3.5
Max	5.5	5	4.6	20	20	20	4.5	6	4.2
ค่าต่างกัน	1.6	1.5	0.4	2	1	2	0.9	1.9	0.7



ภาพที่ 4-4 แสดงผลการวัดขนาดคมตัดมีดที่เจียรด้วยเครื่องด้านซ้าย



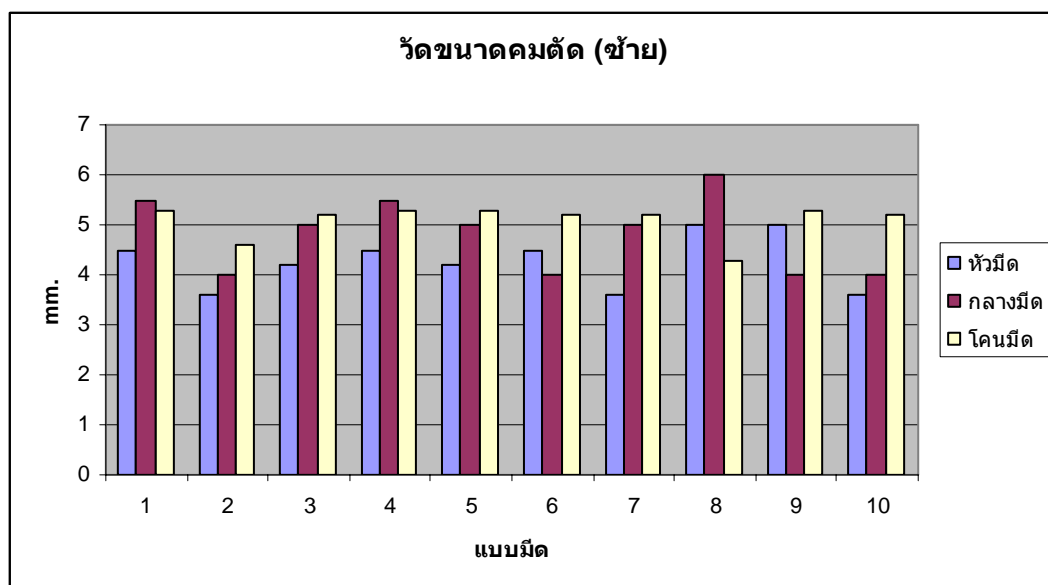
ภาพที่ 4-5 แสดงผลการวัดมุมลิ้มรวมคมตัดมีดที่เจียรด้วยเครื่อง



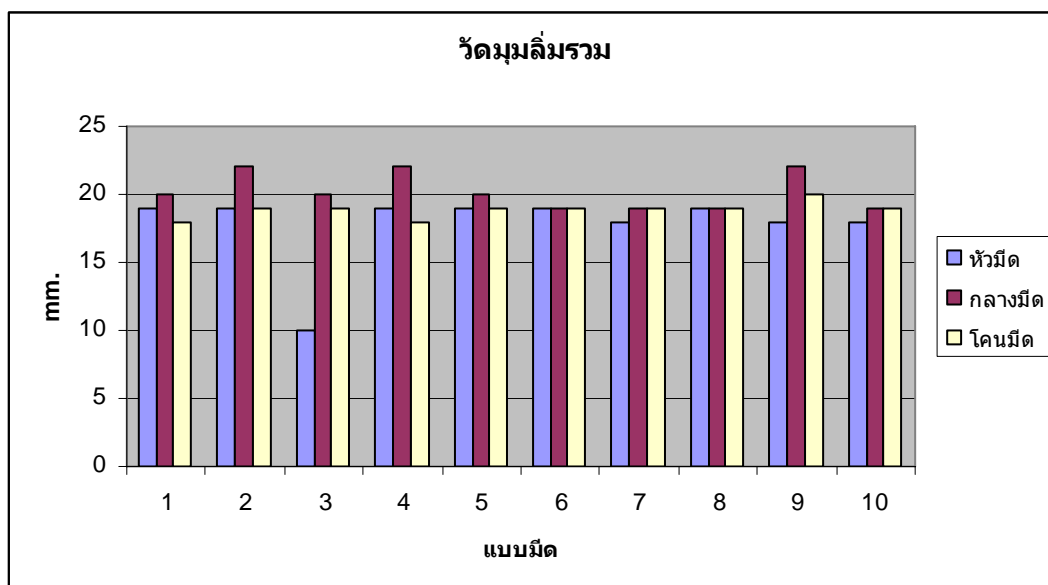
ภาพที่ 4-6 แสดงผลการวัดขนาดคมตัดมีดที่เจียรด้วยเครื่องด้านขวา

ตารางที่ 4-4 วัดขนาดคมตัดและมุมลิ้มของมีดตัดอ้อยที่เจียรด้วยมือ

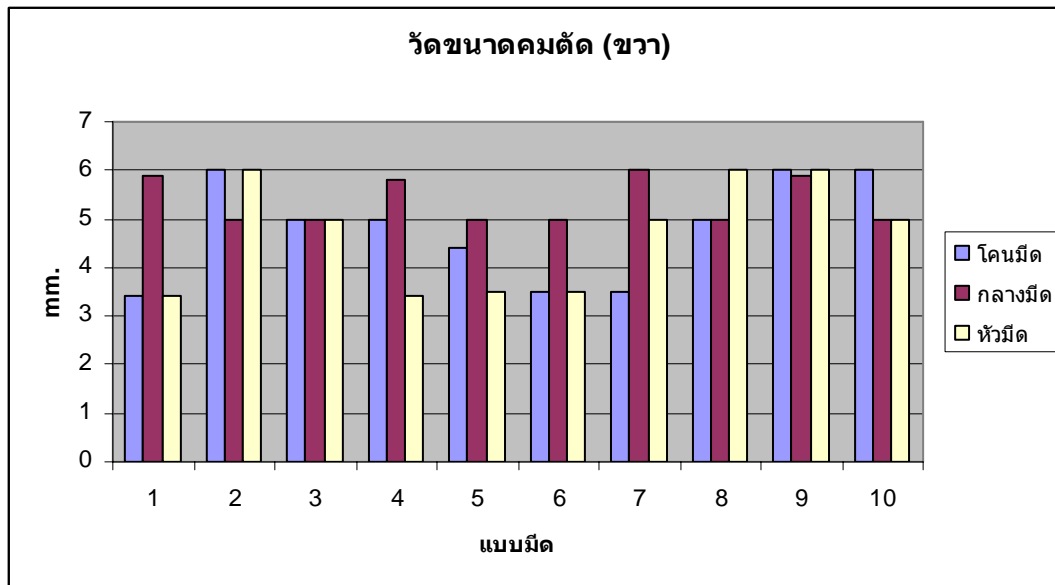
ลำดับที่	ซ้าย			มุมลิ้มรวม			ขวา		
	หัวมีด	กลางมีด	โคนมีด	หัวมีด	กลางมีด	โคนมีด	โคนมีด	กลางมีด	หัวมีด
1	4.5	5.5	5.3	19	20	18	3.4	5.9	3.4
2	3.6	4	4.6	19	22	19	6	5	6
3	4.2	5	5.2	10	20	19	5	5	5
4	4.5	5.5	5.3	19	22	18	5	5.8	3.4
5	4.2	5	5.3	19	20	19	4.4	5	3.5
6	4.5	4	5.2	19	19	19	3.5	5	3.5
7	3.6	5	5.2	18	19	19	3.5	6	5
8	5	6	4.3	19	19	19	5	5	6
9	5	4	5.3	18	22	20	6	5.9	6
10	3.6	4	5.2	18	19	19	6	5	5
Mean	4.27	4.8	5.09	17.8	20.2	18.9	4.78	5.36	4.68
Min	3.6	4	4.3	10	19	18	3.4	5	3.4
Max	5	6	5.3	19	22	20	6	6	6
ค่าต่างกัน	1.4	2	1	9	3	2	2.6	1	2.6



ภาพที่ 4-7 แสดงผลการวัดขนาดคมตัดมีดที่เจียรด้วยมือด้านซ้าย



ภาพที่ 4-8 แสดงผลการวัดมุมลิ้มรวมคมตัดมีดที่เจียรด้วยมือ



ภาพที่ 4-9 แสดงผลการวัดขนาดคมตัดมีดที่เจียรด้วยมือด้านขวา

#### 4.3 ตรวจสอบเครื่อง Micro Hardness และทดสอบค่าความแข็งมีดที่ทดลองทั้ง 10 แบบ

ได้ทำการทดสอบเครื่อง Micro Hardness โดยใช้ Calibrate Box ที่มีค่าความแข็ง 54.42 HRC ผลจากการทดสอบเครื่องได้ดังนี้



ภาพที่ 4-10 เครื่อง Micro Hardness

ตารางที่ 4-5 แสดงผลการทดสอบเครื่องวัดความแข็ง

ครั้งที่ 1	ทดสอบความแข็ง	
	ค่าที่ได้	Mean
1	54.0	54.29 Error = 0.13
2	54.2	
3	54.1	
4	54.2	
5	54.3	
6	54.9	
7	54.5	
8	54.1	
9	54.5	
10	54.1	

เครื่องที่ใช้ในการทดสอบ 0-Error 0.13 HRC คือว่าอยู่ในช่วงของการทดสอบ  
ค่าความแข็งมีทั้งหมด 10 ค่า 10 ตัวแปร  
มีปริมาณมีด 100 เล่ม แบ่งเป็น

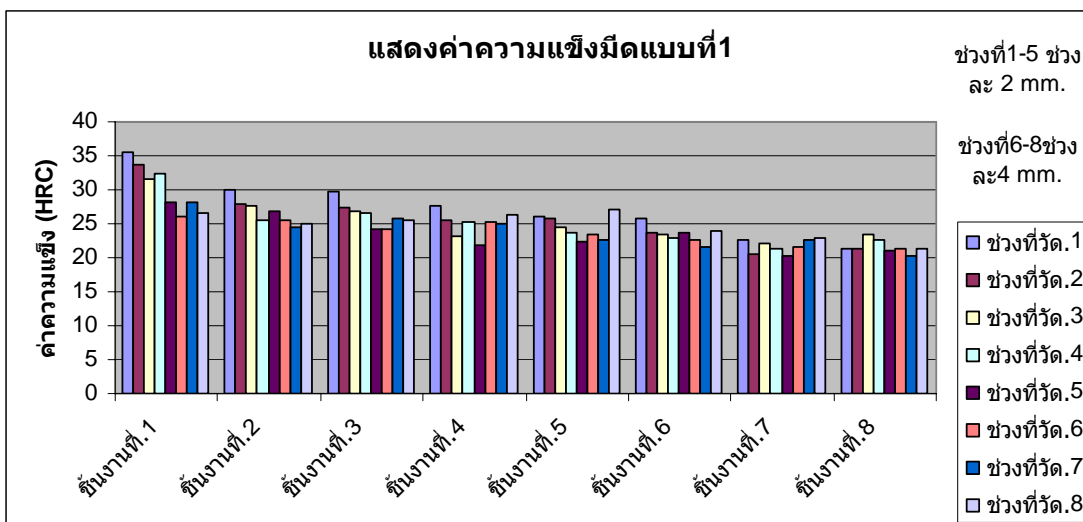
ตารางที่ 4-6 แสดงค่าความแข็งและขนาด Patter Harness ของรหัสมีด

การออกแบบ	HRC.	P. H.	รหัสมีด
แบบมีด 1	30	1	1-1,1-10
แบบมีด 2	30	>1	2-1,2-10
แบบมีด 3	40	1	3-1,3-10
แบบมีด 4	40	>1	4-1,4-10
แบบมีด 5	<30	1	5-1,5-10
แบบมีด 6	<30	>1	6-1,6-10
แบบมีด 7	60	1	7-1,7-10
แบบมีด 8	60	>1	8-1,8-10
แบบมีด 9	อู่ทอง2	1	9-1,9-10
แบบมีด 10	อู่ทอง2	1	10-1,10-10

ได้ทำการชุบแข็งตามแบบมีดทั้ง 10 แบบ โดยในแต่ละแบบมีมีดทั้งหมด 11 เล่ม  
 ได้ทำการสุ่มตรวจมีด โดยหยิบมีดออกมา แบบละ 1 เล่ม เพื่อทำการทดสอบค่าความแข็ง  
 เพื่อเก็บข้อมูลว่ามีดใน แบบมีดต่างๆ มีความแข็งประมาณเท่าไร โดยได้ทำ ชิ้นงานทดสอบ  
 ดังภาพที่แสดง โดยทำการตัดมีดออกเป็น ช่วงๆ ละ 15 mm. ทั้งหมด 8 ชิ้น แล้วหันหน้าตัด  
 ชิ้นทำการเทรซึ้นเพื่อยัดชิ้นงาน แล้วนำชิ้นงานไปขัดเพื่อความระนาบ



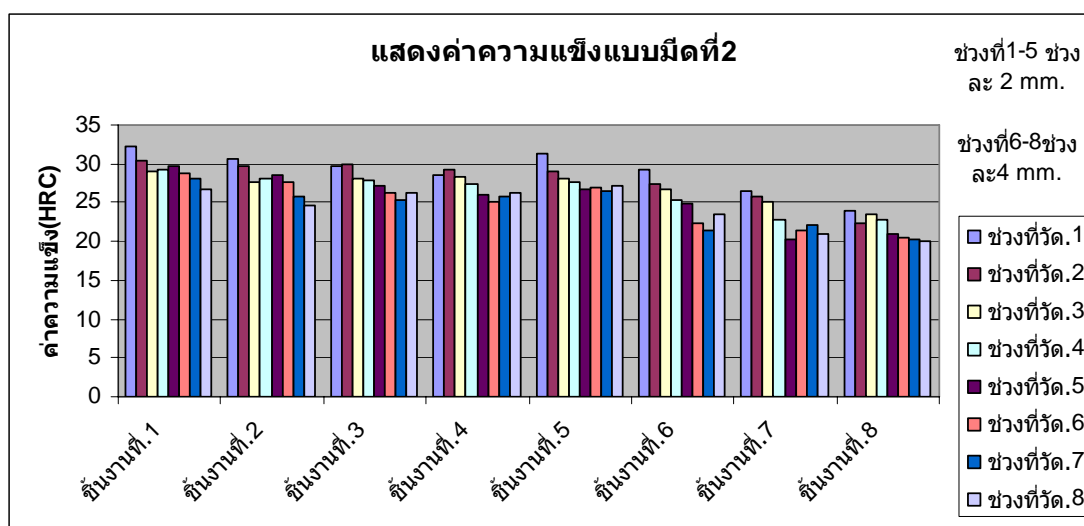
ภาพที่ 4-11 การทำชิ้นงานทดสอบ



ภาพที่ 4-12 แสดงผลค่าความแข็งในมีดแบบที่ 1

ตารางที่ 4-7 แสดงผลการวัดค่าความแข็งในมิดแบบที่ 1

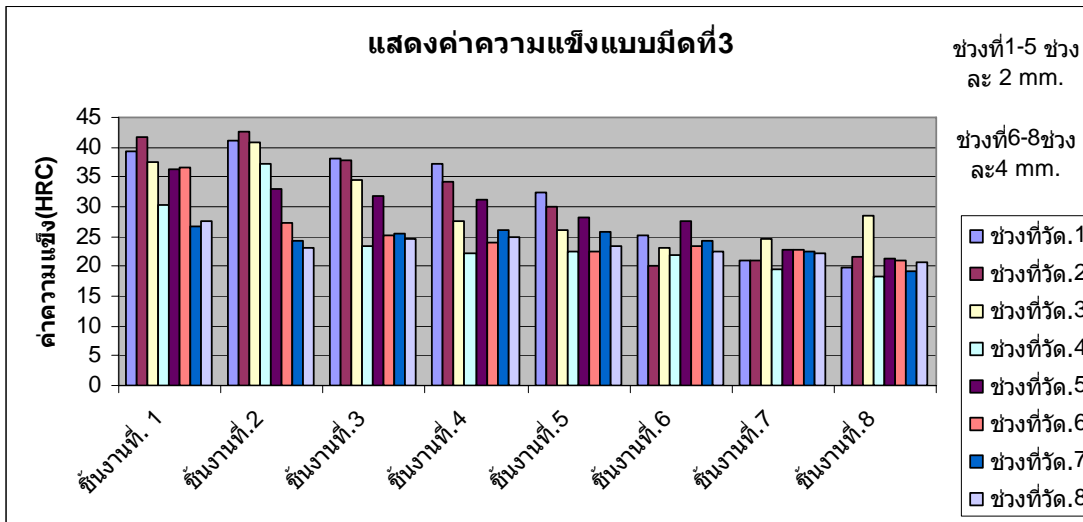
ช่วงวัด ชั้นงานที่	ชั้นงานที่.1	ชั้นงานที่.2	ชั้นงานที่.3	ชั้นงานที่.4	ชั้นงานที่.5	ชั้นงานที่.6	ชั้นงานที่.7	ชั้นงานที่.8
ช่วงที่วัด.1	35.5	29.9	29.8	27.6	26.1	25.7	22.6	21.4
ช่วงที่วัด.2	33.7	27.9	27.4	25.6	25.8	23.7	20.5	21.3
ช่วงที่วัด.3	31.6	27.6	26.8	23.2	24.5	23.5	22.1	23.5
ช่วงที่วัด.4	32.4	25.5	26.5	25.2	23.8	22.9	21.3	22.7
ช่วงที่วัด.5	28.1	26.9	24.1	21.9	22.4	23.6	20.2	21.1
ช่วงที่วัด.6	26.1	25.6	24.3	25.2	23.3	22.7	21.6	21.3
ช่วงที่วัด.7	28.2	24.6	25.8	24.9	22.7	21.5	22.6	20.3
ช่วงที่วัด.8	26.6	25.1	25.6	26.2	27.1	23.9	22.8	21.2



ภาพที่ 4-13 แสดงผลค่าความแข็งในมิดแบบที่ 2

ตารางที่ 4-8 แสดงผลการวัดค่าความแข็งในมิดแบบที่ 2

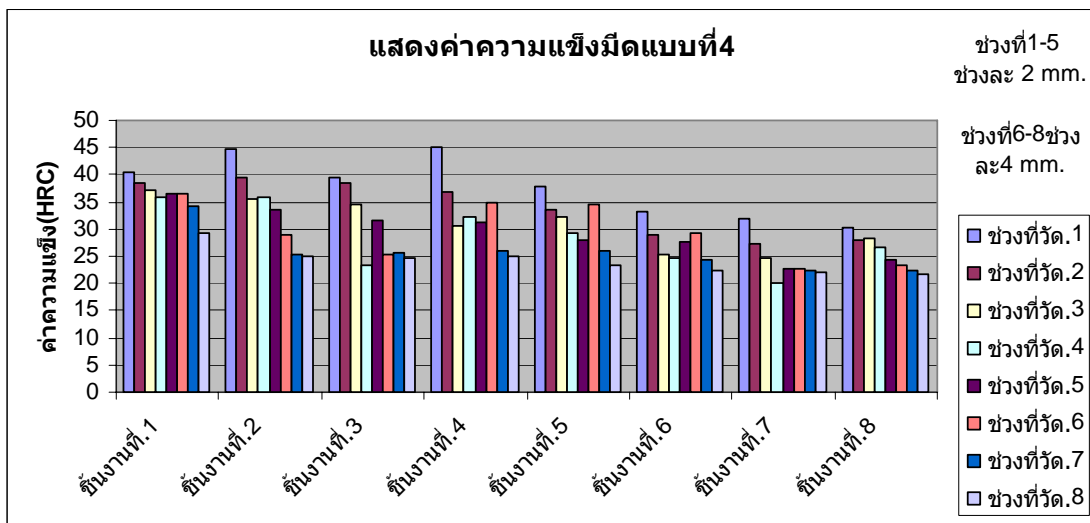
ช่วงวัด ชั้นงานที่	ชั้นงานที่.1	ชั้นงานที่.2	ชั้นงานที่.3	ชั้นงานที่.4	ชั้นงานที่.5	ชั้นงานที่.6	ชั้นงานที่.7	ชั้นงานที่.8
ช่วงที่วัด.1	32.3	30.7	29.7	28.6	31.4	29.2	26.5	24
ช่วงที่วัด.2	30.5	29.8	29.9	29.2	28.9	27.4	25.8	22.4
ช่วงที่วัด.3	28.9	27.6	28	28.4	28.1	26.6	25	23.5
ช่วงที่วัด.4	29.3	28.1	27.9	27.5	27.6	25.4	22.7	22.7
ช่วงที่วัด.5	29.7	28.5	27.1	26.1	26.8	24.8	20.2	21
ช่วงที่วัด.6	28.8	27.7	26.3	25.2	27	22.4	21.3	20.5
ช่วงที่วัด.7	28.2	25.7	25.4	25.8	26.4	21.5	22.2	20.3
ช่วงที่วัด.8	26.6	24.6	26.2	26.2	27.1	23.4	21	20



ภาพที่ 4-14 แสดงผลค่าความแข็งในมิดแบบที่ 3

ตารางที่ 4-9 แสดงผลการวัดค่าความแข็งในมิดแบบที่ 3

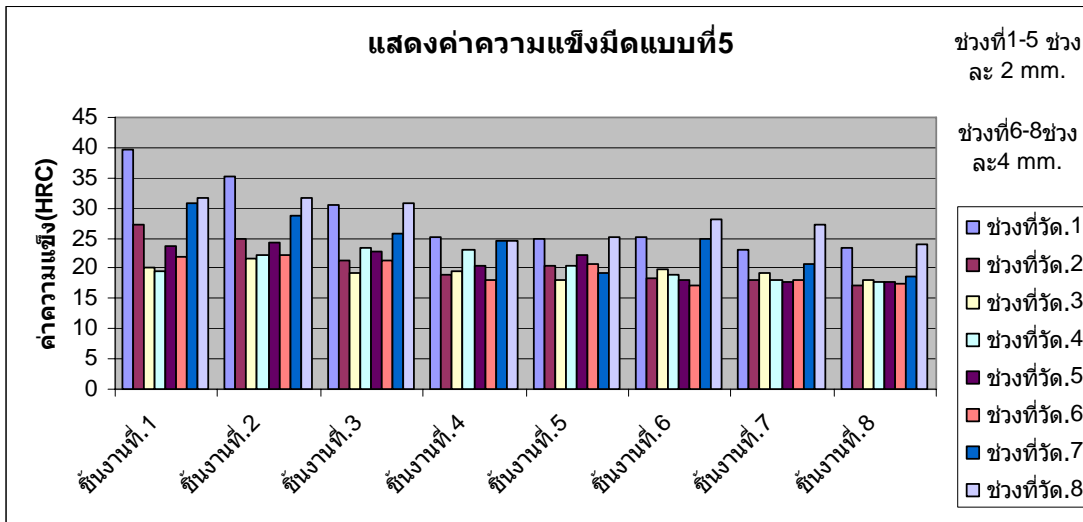
ช่วงที่ ชั้นงานที่	ชั้นงานที่.1	ชั้นงานที่.2	ชั้นงานที่.3	ชั้นงานที่.4	ชั้นงานที่.5	ชั้นงานที่.6	ชั้นงานที่.7	ชั้นงานที่.8
ช่วงที่วัด.1	39.2	41.1	38.2	37.3	32.4	25.2	21.1	19.9
ช่วงที่วัด.2	41.8	42.6	37.9	34.1	30	20.1	21	21.7
ช่วงที่วัด.3	37.5	40.9	34.4	27.6	26.2	23.2	24.6	28.4
ช่วงที่วัด.4	30.4	37.3	23.4	22.2	22.6	21.9	19.6	18.3
ช่วงที่วัด.5	36.2	33	31.7	31.2	28.1	27.5	22.8	21.3
ช่วงที่วัด.6	36.6	27.3	25.2	24	22.4	23.3	22.8	21
ช่วงที่วัด.7	26.6	24.4	25.5	26	25.9	24.3	22.4	19.2
ช่วงที่วัด.8	27.6	23	24.6	25	23.3	22.5	22.1	20.8



ภาพที่ 4-15 แสดงผลค่าความแข็งในมิดแบบที่ 4

ตารางที่ 4-10 แสดงผลการวัดค่าความแข็งในมิดแบบที่ 4

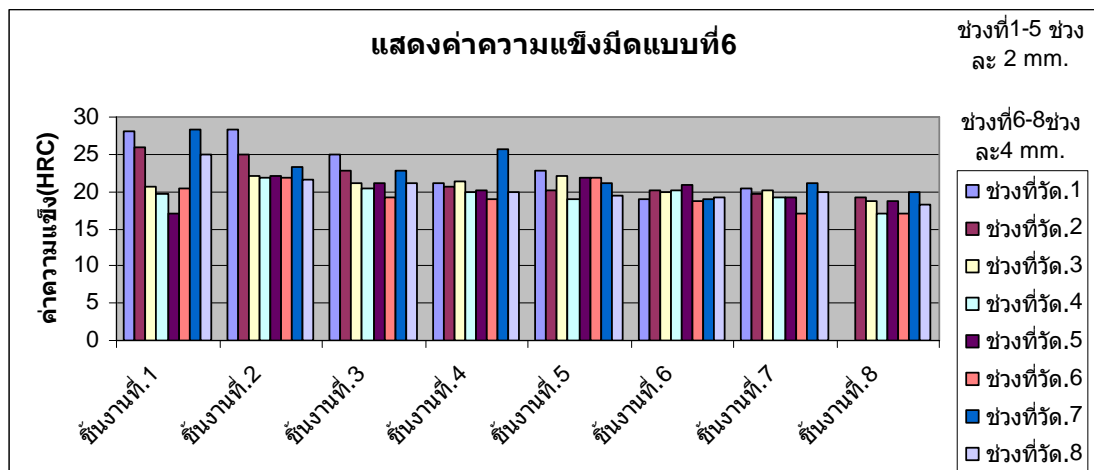
ช่วงที่ ชิ้นงานที่	ชิ้นงานที่.1	ชิ้นงานที่.2	ชิ้นงานที่.3	ชิ้นงานที่.4	ชิ้นงานที่.5	ชิ้นงานที่.6	ชิ้นงานที่.7	ชิ้นงานที่.8
ช่วงที่วัด.1	40.3	44.6	39.6	45.2	37.8	33.3	31.9	30.3
ช่วงที่วัด.2	38.4	39.4	38.4	36.8	33.7	29.1	27.4	28.1
ช่วงที่วัด.3	37.2	35.4	34.4	30.5	32.1	25.2	24.6	28.4
ช่วงที่วัด.4	35.9	36	23.4	32.1	29.4	24.6	20	26.8
ช่วงที่วัด.5	36.6	33.5	31.7	31.2	28.1	27.5	22.8	24.4
ช่วงที่วัด.6	36.4	28.8	25.2	35	34.4	29.3	22.8	23.2
ช่วงที่วัด.7	34.1	25.4	25.5	26	25.9	24.3	22.4	22.5
ช่วงที่วัด.8	29.4	25	24.6	25	23.3	22.5	22.1	21.7



ภาพที่ 4-16 แสดงผลค่าความแข็งในมดแบบที่ 5

ตารางที่ 4-11 แสดงผลการวัดค่าความแข็งในมดแบบที่ 5

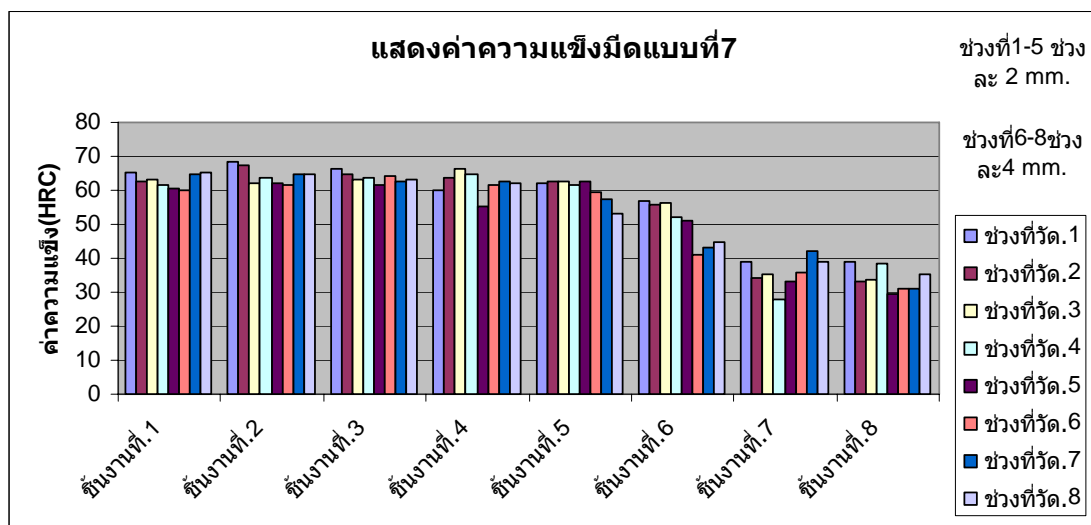
ช่วงที่ ชั้นงานที่	ชั้นงานที่.1	ชั้นงานที่.2	ชั้นงานที่.3	ชั้นงานที่.4	ชั้นงานที่.5	ชั้นงานที่.6	ชั้นงานที่.7	ชั้นงานที่.8
ช่วงที่วัด.1	39.6	35.3	30.4	25.1	24.8	25.2	23.1	23.4
ช่วงที่วัด.2	27.3	24.9	21.4	19	20.3	18.5	18	17.3
ช่วงที่วัด.3	20	21.6	19.2	19.4	18.2	19.8	19.2	18
ช่วงที่วัด.4	19.5	22.2	23.4	23.1	20.3	19	18	17.7
ช่วงที่วัด.5	23.7	24.4	22.9	20.5	22.2	18.2	17.8	17.9
ช่วงที่วัด.6	22	22.1	21.2	18.2	20.7	17.3	18.2	17.4
ช่วงที่วัด.7	30.7	28.6	25.7	24.5	19.2	24.9	20.8	18.7
ช่วงที่วัด.8	31.8	31.8	30.7	24.5	25.2	28	27.2	24



ภาพที่ 4-17 แสดงผลค่าความแข็งในมิดแบบที่ 6

ตารางที่ 4-12 แสดงผลการวัดค่าความแข็งในมิดแบบที่ 6

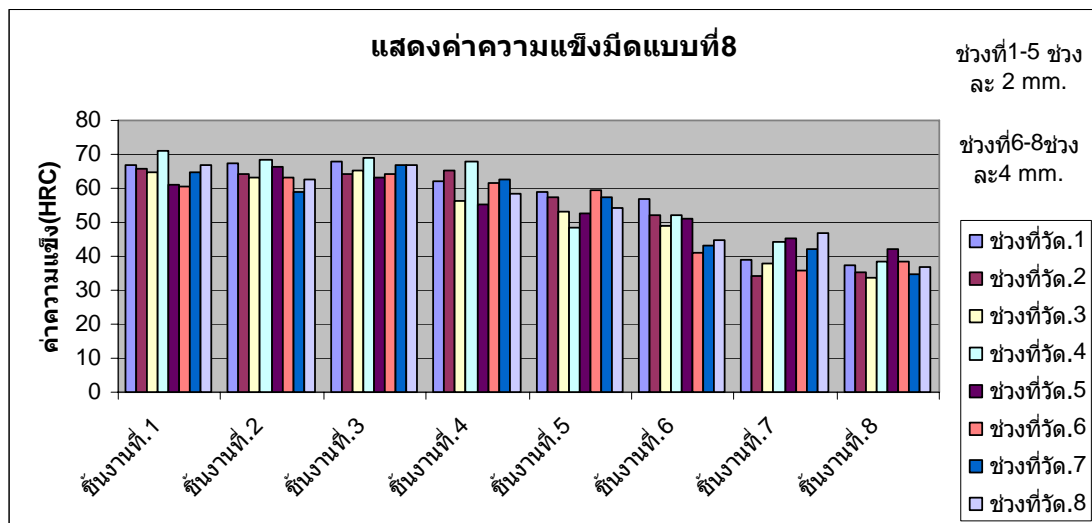
ช่วงที่ ชิ้นงานที่	ชิ้นงานที่.1	ชิ้นงานที่.2	ชิ้นงานที่.3	ชิ้นงานที่.4	ชิ้นงานที่.5	ชิ้นงานที่.6	ชิ้นงานที่.7	ชิ้นงานที่.8
ช่วงที่วัด.1	28.1	28.3	25	21.1	22.7	19	20.4	20.1
ช่วงที่วัด.2	25.8	25	22.7	20.7	20.1	20.1	19.7	19.2
ช่วงที่วัด.3	20.7	22.2	21.1	21.4	22	19.8	20.1	18.8
ช่วงที่วัด.4	19.7	21.8	20.3	20	19	20.2	19.3	17
ช่วงที่วัด.5	17	22.2	21.2	20.2	21.8	21	19.1	18.6
ช่วงที่วัด.6	20.4	21.9	19.2	19	21.8	18.8	17	17
ช่วงที่วัด.7	28.4	23.3	22.7	25.6	21.2	19	21.2	20
ช่วงที่วัด.8	24.9	21.7	21.1	20	19.5	19.3	19.8	18.2



ภาพที่ 4-18 แสดงผลค่าความแข็งในมดแบบที่ 7

ตารางที่ 4-13 แสดงผลการวัดค่าความแข็งในมดแบบที่ 7

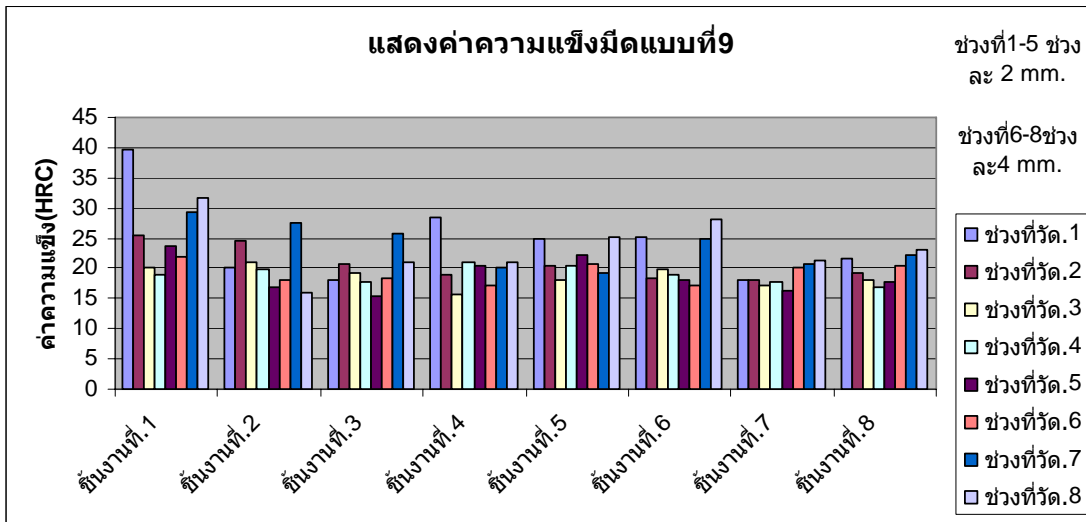
ช่วงที่ ชิ้นงานที่	ชิ้นงานที่.1	ชิ้นงานที่.2	ชิ้นงานที่.3	ชิ้นงานที่.4	ชิ้นงานที่.5	ชิ้นงานที่.6	ชิ้นงานที่.7	ชิ้นงานที่.8
ช่วงที่วัด.1	65.2	68.4	66.3	60.2	62.3	56.7	39	39
ช่วงที่วัด.2	62.7	67.3	64.6	63.8	62.7	55.6	34.4	33
ช่วงที่วัด.3	62.9	62.2	63.4	66.2	62.8	56.2	35.2	33.9
ช่วงที่วัด.4	61.8	63.6	63.9	64.9	61.4	52	28.1	38.2
ช่วงที่วัด.5	60.4	62.3	61.6	55.3	62.6	51.2	33.2	29.5
ช่วงที่วัด.6	60	61.8	64	61.7	59.4	40.9	35.9	31.1
ช่วงที่วัด.7	64.5	64.6	62.8	62.5	57.4	43.2	42.1	31.1
ช่วงที่วัด.8	65.2	64.8	63	61.9	53	44.9	39	35.3



ภาพที่ 4-19 แสดงผลค่าความแข็งในมดแบบที่ 8

ตารางที่ 4-14 แสดงผลการวัดค่าความแข็งในมดแบบที่ 8

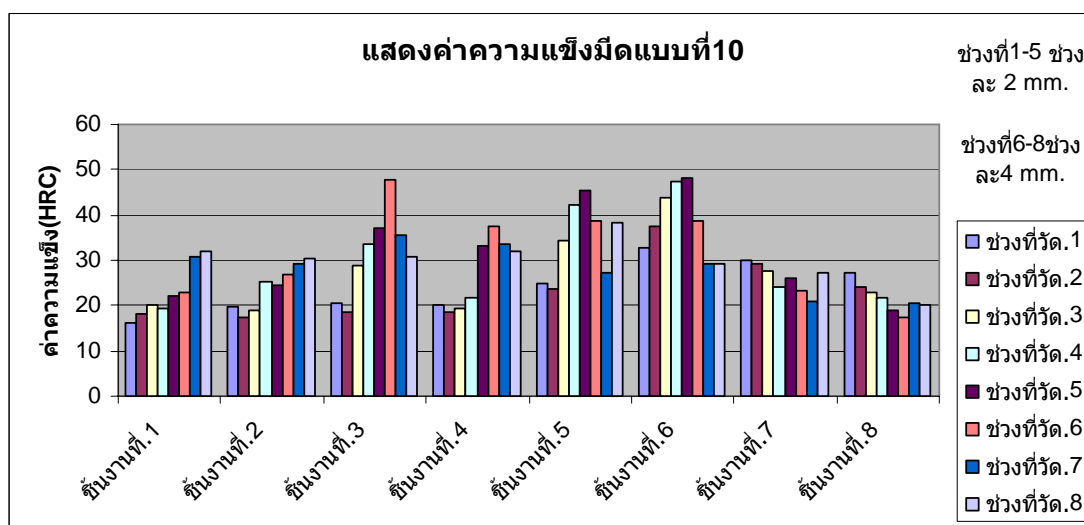
ช่วงที่ ชั้นงานที่	ชั้นงานที่.1	ชั้นงานที่.2	ชั้นงานที่.3	ชั้นงานที่.4	ชั้นงานที่.5	ชั้นงานที่.6	ชั้นงานที่.7	ชั้นงานที่.8
ช่วงที่วัด.1	66.8	67.2	67.9	61.9	58.9	56.7	39	37.6
ช่วงที่วัด.2	65.9	64.3	64.2	65.4	57.2	52.2	34.3	35.3
ช่วงที่วัด.3	64.9	62.9	65.3	56.2	52.9	49.1	38	33.9
ช่วงที่วัด.4	71.2	68.2	69.2	67.8	48.6	52	44.1	38.2
ช่วงที่วัด.5	61.1	66.1	63.2	55.2	52.8	51.2	45.5	41.9
ช่วงที่วัด.6	60.3	63.2	64.2	61.7	59.4	40.9	35.9	38.2
ช่วงที่วัด.7	64.5	59.1	66.6	62.5	57.4	43.2	42.1	34.9
ช่วงที่วัด.8	66.9	62.7	67.1	58.4	54.4	44.9	46.6	36.7



ภาพที่ 4-20 แสดงผลค่าความแข็งในมดแบบที่ 9

ตารางที่ 4-15 แสดงผลการวัดค่าความแข็งในมดแบบที่ 9

ช่วงที่ ชิ้นงานที่	ชิ้นงานที่.1	ชิ้นงานที่.2	ชิ้นงานที่.3	ชิ้นงานที่.4	ชิ้นงานที่.5	ชิ้นงานที่.6	ชิ้นงานที่.7	ชิ้นงานที่.8
ช่วงที่วัด.1	39.6	20	18	28.5	24.8	25.2	18.2	21.5
ช่วงที่วัด.2	25.6	24.6	20.6	19	20.3	18.5	18	19.2
ช่วงที่วัด.3	20	21	19.2	15.8	18.2	19.8	17.3	18
ช่วงที่วัด.4	18.9	19.7	17.8	21	20.3	19	17.9	16.9
ช่วงที่วัด.5	23.7	17	15.3	20.3	22.2	18.2	16.2	17.8
ช่วงที่วัด.6	22	18.2	18.5	17.3	20.7	17.3	20	20.4
ช่วงที่วัด.7	29.2	27.6	25.7	20.1	19.2	24.9	20.8	22.1
ช่วงที่วัด.8	31.8	16	21	21	25.2	28	21.3	23



ภาพที่ 4-21 แสดงผลค่าความแข็งในมิตแบบที่ 10

ตารางที่ 4-16 แสดงผลการวัดค่าความแข็งในมิตแบบที่ 10

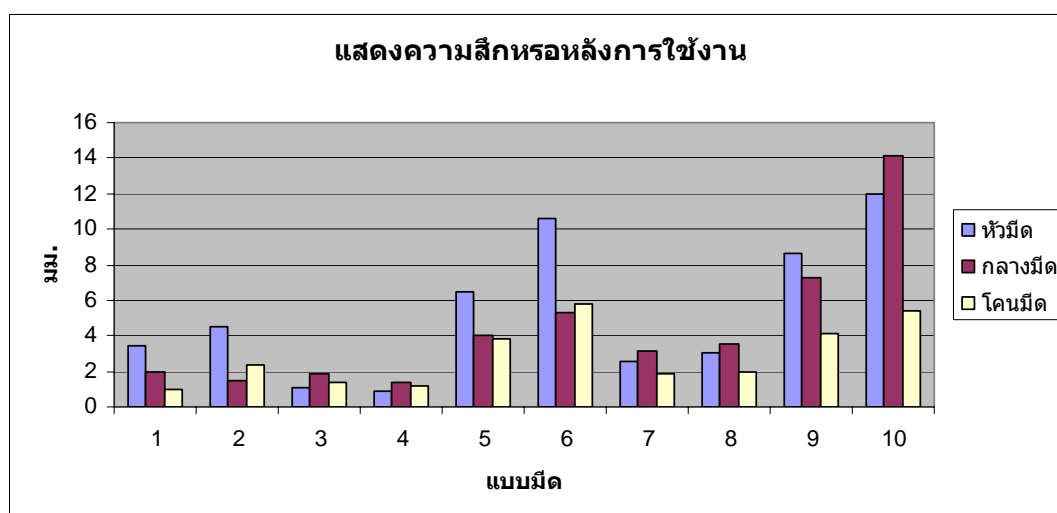
ช่วงที่ ชั้นงานที่	ชั้นงานที่.1	ชั้นงานที่.2	ชั้นงานที่.3	ชั้นงานที่.4	ชั้นงานที่.5	ชั้นงานที่.6	ชั้นงานที่.7	ชั้นงานที่.8
ช่วงที่วัด.1	16.2	19.8	20.6	20.2	24.8	32.6	30	27.1
ช่วงที่วัด.2	18.1	17.2	18.5	18.4	23.8	37.4	29.4	24
ช่วงที่วัด.3	20	19	28.9	19.4	34.5	44	27.8	22.9
ช่วงที่วัด.4	19.5	25.2	33.7	21.9	42.4	47.2	23.9	21.6
ช่วงที่วัด.5	22.3	24.4	37.2	33.2	45.3	48.3	26	18.9
ช่วงที่วัด.6	23	27	47.8	37.4	38.7	38.5	23.4	17.4
ช่วงที่วัด.7	30.9	29.1	35.6	33.6	27.3	29.3	20.8	20.6
ช่วงที่วัด.8	32	30.4	30.7	32	38.1	29.4	27.2	20.1

#### 4.4 ผลการทดลองมิตใช้งานจริง เพื่อเปรียบเทียบความสึกหรอในช่วงค่าความแข็งใน แต่ช่วงค่าความแข็ง

ความสึกหรอของมิตก่อนใช้งานและหลังใช้งาน โดยแบ่งการวัดมิตออกเป็น 3 ส่วน คือ หัวมิต กลางมิตและ โคนมิต ในการวัดจะใช้หน่วยวัดเป็น มิลลิเมตร (ใช้เวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ในการวัดค่า ความละเอียด 0.02 mm)

ตารางที่ 4-17 แสดงผลการวัดความสึกหรอของมิด

มิดแบบที่	หัวมิด	กลางมิด	โคนมิด
1	3.4	2	1
2	4.5	1.45	2.4
3	1.1	1.83	1.33
4	0.93	1.33	1.2
5	6.5	4	3.8
6	10.6	5.3	5.8
7	2.6	3.1	1.9
8	3	3.5	2
9	8.6	7.3	4.1
10	12	14.1	5.4



ภาพที่ 4-22 แสดงผลความสึกหรอค่าเฉลี่ยในแต่ละแบบมิด

ความสึกหรอของมิดวัดโดยการวัดส่วนต่างของน้ำหนักมิดก่อน และหลังการใช้งานจริงในเรื่องการสึกหรอของมิดตัดอ้อยได้ทำการตรวจวัดแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ปลายมิด กลางมิด โคนมิด

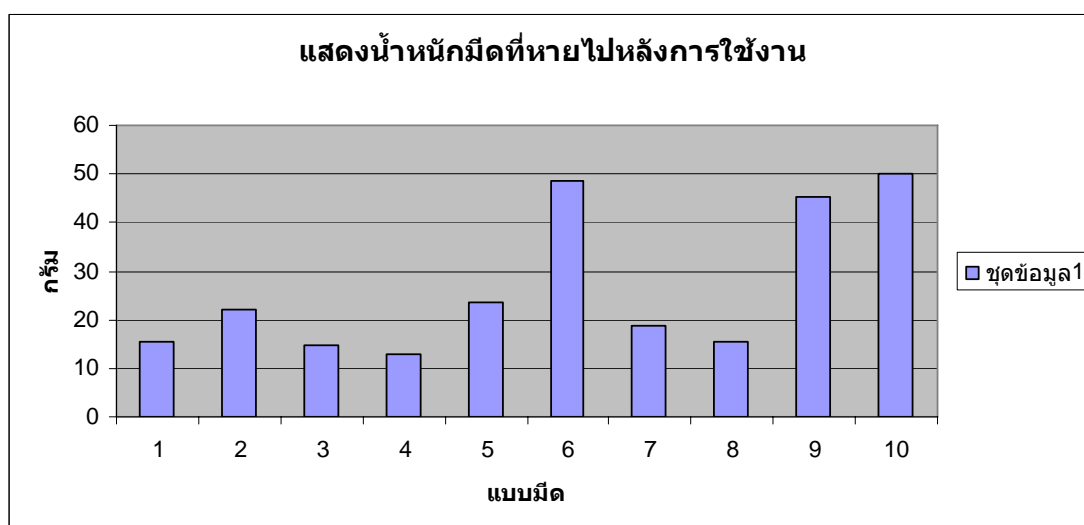
ผลจากกราฟที่แสดง มิดแบบที่ 10 สึกหโรมากสุดซึ่งเป็นมิดอุทงเบอร์ 2

มิดแบบที่ 4 ซึ่งเป็นมิดที่มีค่าแข็งอยู่ที่ 40 HRC มีการสึกหรอน้อยสุด

แผนภูมิแสดงความสึกหรอของมิดโดยวัดน้ำหนักของมิด ก่อนใช้งาน และหลังใช้งาน (หน่วยวัดกรัม)

ตารางที่ 4-18 แสดงผลการวัดน้ำหนักมิดที่หายไปหลังการใช้งาน

มิดแบบที่	น้ำหนักที่หายไป
1	15.4
2	22
3	14.7
4	12.8
5	23.7
6	48.55
7	18.8
8	15.6
9	45.4
10	49.9



ภาพที่ 4-23 แสดงผลน้ำหนักเฉลี่ยมิดที่หายไปจากการใช้งาน

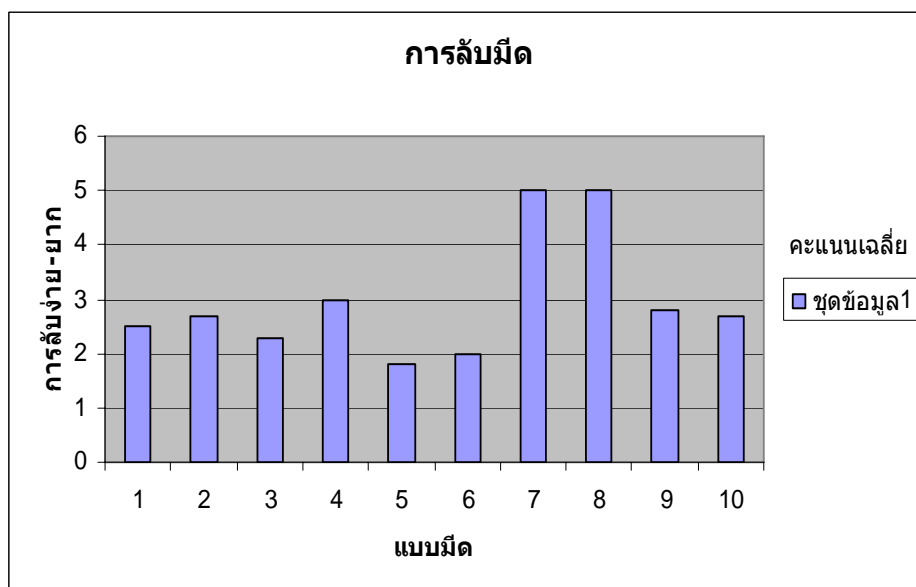
ในเรื่องการสึกหรอของมิดตัดอ้อยได้ทำการตรวจวัดส่วนต่างของน้ำหนักมิด ก่อนและหลังการใช้งาน

งานผลจากกราฟที่แสดง มิดแบบที่ 10 น้ำหนักหายมากที่สุดซึ่งเป็น มิดอุทงเบอร์ 2  
 มิดแบบที่ 4 ซึ่งเป็นมิดที่มีค่าแข็งอยู่ที่ 40 HRC มีน้ำหนักหาย  
 น้อยสุด

#### 4.5 ผลของแบบสอบถามที่ผู้ใช้มีต่อลักษณะของมิดในช่วงค่าความแข็ง

ตารางที่ 4-19 แสดงผลการลับของมิดในแต่ละแบบมิดกับการใช้งาน

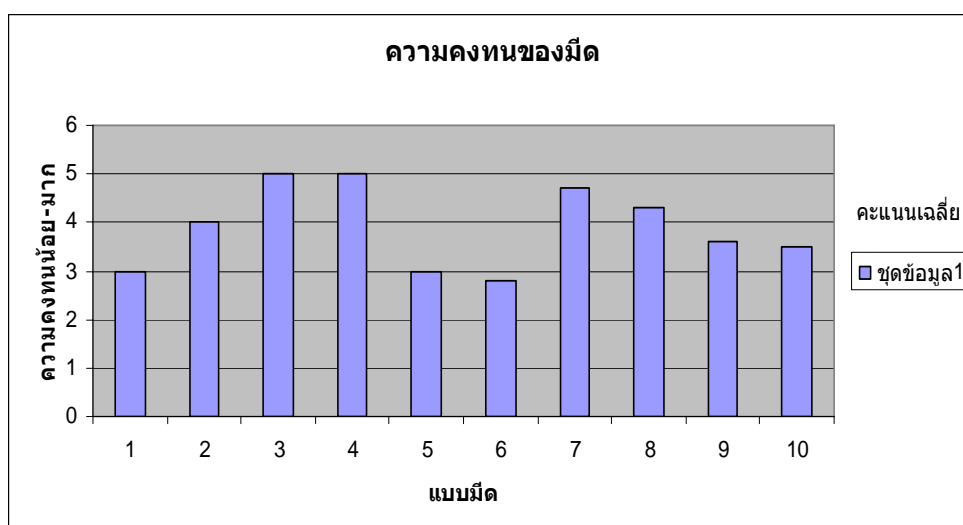
แบบมิด	ในการลับมิด
1	2.5
2	2.7
3	2.3
4	3
5	1.8
6	2
7	5
8	5
9	2.8
10	2.7



ภาพที่ 4-24 แสดงผลคะแนนเฉลี่ยของการลับของมิดในแต่ละแบบมิด

ตารางที่ 4-20 แสดงผลความคงทนของมิดในแต่ละแบบมิดกับการใช้งาน

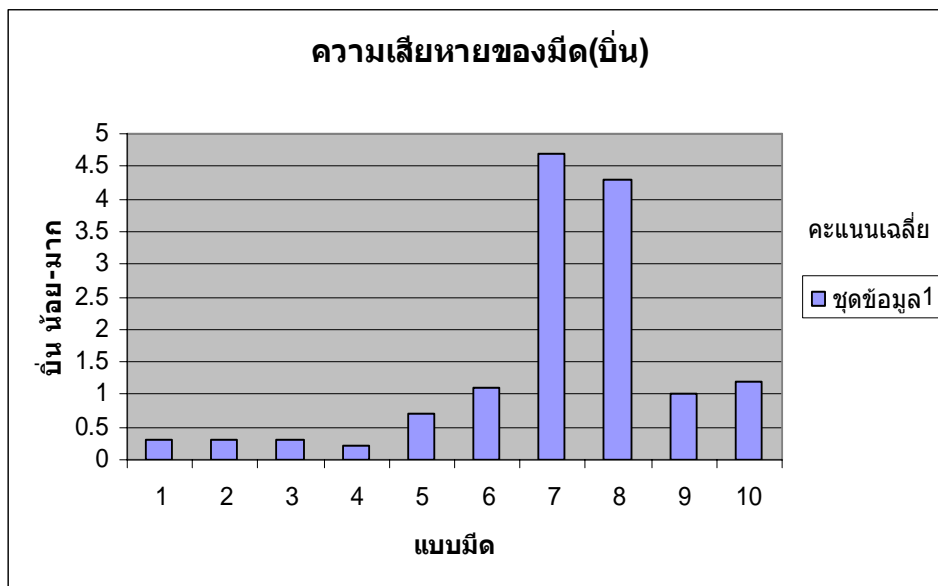
แบบมิด	ความคงทนของมิด
1	3
2	4
3	5
4	5
5	3
6	2.8
7	4.7
8	4.3
9	3.6
10	3.5



ภาพที่ 4-25 แสดงผลคะแนนเฉลี่ยของความคงทนของมิดในแต่ละแบบมิด

ตารางที่ 4-21 แสดงผลความเสียหาย (บิ่น) ของมิดในแต่ละแบบมิดกับการใช้งาน

แบบมิดที่มีความคงทน	ความเสียหายของมิด (บิ่น)
1	0.3
2	0.3
3	0.3
4	0.2
5	0.7
6	1.1
7	4.7
8	4.3
9	1
10	1.2



ภาพที่ 4-26 แสดงผลคะแนนเฉลี่ยของความเสียหาย (บิ่น) ของมิดในแต่ละแบบมิด

ตารางที่ 4-22 การเปรียบเทียบอัตราการผลิตขั้นตอนเจียรระไนรูปร่างและคมตัดตัวแปร  
คนเจียร 1 คน ในการเจียรมีด 1 เล่ม

เงื่อนไขในการผลิต	แบบเก่า (เจียรมือ)	แบบใหม่ (เจียรเครื่อง)
เจียร 1 วัน (8 ชม.)	60 เล่ม	240 เล่ม
มีด 1 เล่ม ใช้เวลาในการเจียร	8 นาที	1.30-2 นาที
เวลาในการเจียรคมตัด (ตะไบ) ต่อมีด 1 เล่ม	ไม่แน่นอน (ให้เท่ากับเครื่อง)	2 นาที
รวมเวลาในการเจียรระไน รูปร่างและคมตัด	10 นาที	4 นาที

จากการเปรียบเทียบ มีดที่เจียรด้วยเครื่องจะเร็วกว่าเจียรด้วยมือประมาณ 6 นาที/เล่ม

ตารางที่ 4-23 การเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตขั้นตอนเจียรระไนรูปร่างและคมตัดตัวแปร  
คนเจียร 1 คน ในการเจียรมีด 1 เล่ม

เรื่องต้นทุน	แบบเก่า (เจียรมือ)	แบบใหม่ (เจียรเครื่อง)
เครื่อง (Fix Coat)	11,00 บาท	35,580 บาท
ค่าไฟในการเจียรมีด 1 เล่ม (หน่วยละ 3 บ.)	0.293 บาท	0.096 บาท
ค่าจ้างเจียรต่อมีด 1 เล่ม (ค่าจ้างวันละ 300 บ)	5 บาท	1.25 บาท
ค่าลื้อหินเจียรต่อการเจียรมีด 1 เล่ม	0.66 บาท	1.458 บาท
รวมต้นทุนในการเจียรมีด 1 เล่ม	5.893 บาท	2.804 บาท

จากการเปรียบเทียบต้นทุนจะเห็นค่าใช้จ่ายการเจียรมีดด้วยมือ สูงกว่าเจียรด้วยเครื่องประมาณ 3.089 บาท/เล่ม

**ตารางที่ 4-24** การเปรียบเทียบอัตราการผลิตขั้นตอนการให้ความร้อนและชุบแข็ง

ตัวแปร คนชุบ 1 คน ในการชุบมีด 1 เล่ม

ขั้นตอนการชุบ	แบบเก่า (เผาด้วยถ่านชุบด้วยน้ำมัน)	แบบใหม่ (เผาด้วยแก๊สชุบด้วยลม)
ชุบมีดได้วันละ (8ชม.)	250 เล่ม	208 เล่ม
ใช้เวลาในการให้ความร้อนต่อ มีด 1 เล่ม	1.92 นาที	2.30 นาที
ใช้เวลาในการชุบต่อมีด 1 เล่ม	ไม่จำกัด (ให้เท่ากับเครื่อง)	20 วินาที
รวม	2.12 วินาที	2.50 วินาที

จากการเปรียบเทียบจะเห็นเวลาในการชุบแข็งแบบเก่าใช้เวลาในการผลิต น้อยกว่าการชุบแบบใหม่ (เครื่อง) ประมาณ 38 วินาที/เล่ม

**ตารางที่ 4-25** การเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตขั้นตอนการให้ความร้อนและชุบแข็ง

ตัวแปร คนชุบ 1 คน ในการชุบมีด 1 เล่ม

ต้นทุนเรื่อง	แบบเก่า	แบบใหม่
เตา (Fix Coat)	15,000 บาท	20,960 บาท
ค่าไฟ (หน่วยละ 3 บ.)	4.32 บาท	0.0037 บาท
ค่าถ่าน, ค่าแก๊ส	0.944 บาท	0.237 บาท
ค่าจ้างคนชุบ (300บ.)	1.2 บาท	1.44 บาท
สารชุบ (น้ำมัน)	0.0044 บาท	ไม่มี
รวม	6.46 บาท	1.68 บาท

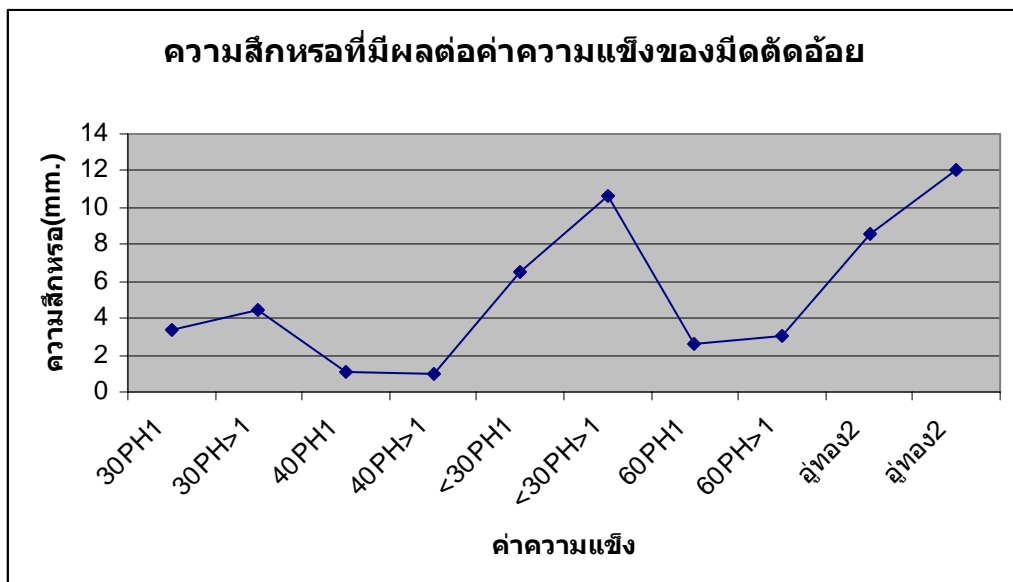
จากการเปรียบเทียบต้นทุนจะเห็นว่าค่าใช้จ่ายการชุบแบบเก่า (ให้ความร้อนด้วยถ่านชุบด้วยน้ำมัน) สูงกว่าแบบใหม่ (ให้ความร้อนด้วยแก๊สชุบด้วยลม) ประมาณ 4.78 บาท/เล่ม

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 เปรียบเทียบในเรื่องของขนาดมิดที่ปรับโดยเครื่องเจียรในรูปร่าง

เนื่องจากการผลิตมิดประกอบไปด้วยกระบวนการตีขึ้นรูปร้อน โดยใช้คนที่มีความชำนาญในการตีขึ้นรูปร้อนปั่นมิดออกมา แต่อย่างไรก็ตามมิดมีขนาดที่ไม่เท่ากัน ทั้งส่วนโค้งด้านคมตัดและสันมิด จึงทำให้มิดในแต่ละเล่มมีขนาดไม่เท่ากัน ในงานวิจัยได้ออกแบบและสร้างเครื่องเจียรในรูปร่างมิดเป็นแบบลอกแบบตามความต้องการและได้มีการวัดผลขนาดเปรียบเทียบ ระหว่างขนาดมิดที่เจียรในด้วยมือกับขนาดมิดที่เจียรในด้วยเครื่อง ผลที่ออกมาขนาดของมิดที่เจียรในด้วยเครื่อง จากค่าเฉลี่ยมิดมีขนาดที่ต่างกันน้อยกว่า อีกทั้งความเร็วในการผลิตเร็วกว่า และมิดตัดอ้อยมีคุณภาพดีขึ้นในเรื่องของขนาดที่เท่ากัน เครื่องยังสามารถปรับแบบมิดให้มีส่วนโค้งด้านคมตัดและสันมิดให้มีลักษณะแคบกว่าเดิมหรือกว้างกว่าเดิมก็ได้ ผลการเปรียบเทียบ



ภาพที่ 5-1 แสดงความสึกหรอที่มีผลกับช่วงค่าความแข็ง

ข้อเสนอแนะ ควรมีการจัดการรูปร่างของมิดให้มีขนาดใกล้เคียงกับขนาดจริง ก่อนนำมิดเข้าเครื่อง จะทำให้การผลิตมิดเร็วขึ้นอีกทั้งลดเวลาในการเจียรและลดขนาดในการใช้วัตถุดิบด้วย

## 5.2 เปรียบเทียบในเรื่องของขนาดมิดที่ปรับโดยเครื่องเจียรระไนคมตัด

จากกระบวนการขึ้นคมตัดด้วยตะไบ จากเดิมโดยใช้คนตะไบ ทำให้มิดที่รอตะไบคมตัดเป็นจำนวนมากจึงทำให้งานในขั้นตอนนี้ล่าช้า อีกทั้งขั้นตอนในการผลิตต้องเตรียมคมตัดก่อนชุบแข็งเพื่อจำหน่ายให้เกษตรกรนำไปใช้งานในการเก็บเกี่ยวอ้อย ดังนั้น

จึงมีการออกแบบและสร้างเครื่องเจียรคมตัดด้วยเครื่อง ผลที่ออกมาขนาดของคมตัดและมุมลิ้มเปรียบเทียบระหว่างคนกับเครื่องมีผลไม่แตกต่างกันมาก แต่การทำงานด้วยเครื่องไม่จำเป็นต้องใช้ความชำนาญมากนัก และความเร็วในการสร้างคมตัดไววกว่าเดิม

ข้อเสนอแนะ ควรมีการจัดขนาดเรื่องความหนา ก่อนเข้าเครื่อง เพื่อง่ายต่อการสร้างคมตัดและเป็นการเพิ่มความสามารถในการผลิตได้ไวขึ้น

## 5.3 การตรวจสอบมิดที่ผลิตจากเครื่องชุบแข็ง

ผลการทดสอบเครื่อง Micro Hardness และทดสอบค่าความแข็งมิดที่ทดลองทั้ง 10 แบบ ได้ทำการทดสอบเครื่อง Micro Hardness โดยใช้ Calibrate Box ที่มีค่าความแข็ง 54.42 HRC ผลจากค่าเฉลี่ยทั้ง 10 ค่าการทดสอบเครื่องมีค่า 54.29 HRC ผลต่าง เท่ากับ 0.13

ผลการทดสอบค่าความแข็ง ของมิดทั้ง 10 แบบ

แบบที่ 1 และ 2 ค่าความแข็งประมาณ 30 HRC

มิดมีความแข็งที่อยู่ในช่วง Patter Hardness ที่สม่ำเสมอ

แบบที่ 3 และ 4 ค่าความแข็งประมาณ 40 HRC

มิดมีความแข็งที่อยู่ในช่วง Patter Hardness ที่สม่ำเสมอ

แบบที่ 5 และ 6 ค่าความแข็งประมาณ 25 HRC

มิดมีความแข็งต่ำ เนื่องจากอุณหภูมิในการให้ความร้อนสูงเกินไป และความสามารถของ Blower ไม่สามารถทำให้เหล็กเย็นตัวอย่างรวดเร็วได้ในการชุบแข็ง ค่าความแข็งจึงออกมาไม่มากนัก ช่วงความแข็งในแบบที่ 5-6 ไม่ควรนำไปใช้งาน

แบบที่ 7 และ 8 ค่าความแข็งประมาณ 60 HRC

มิดมีความแข็งที่อยู่ในช่วง Patter Hardness ที่สม่ำเสมอ

มิดในแบบนี้มีค่าความแข็งสูง มิดที่นำไปใช้จะมีความแข็งสูง แต่เพราะถ้าจะนำไปใช้งานควรนำมิดไปอบ Tempering เพื่อลดค่าความแข็งก่อนนำไปใช้งานจริงแต่ เป็นการเพิ่มขั้นตอนการทำงาน และเพิ่มต้นทุนในการผลิตอีก ช่วงความแข็งนี้จึงไม่แนะนำ

แบบที่ 9 และ 10 ค่าความแข็งประมาณ 30 HRC มีความไม่สม่ำเสมอของค่าความแข็ง

#### 5.4 เปรียบเทียบมัดที่หุบแข็งในช่วงค่าความแข็งต่างๆแล้วนำไปทดลองตัดจริงเพื่อดูความสึกหรอของมัดและน้ำหนักที่หายไปในช่วงค่าความแข็งต่างๆ

ผลจากการตรวจวัดมัดโดยทำการวัดแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

1. ส่วนหัวมัด โดยวัดจากเส้นอ้างอิงลงมา 1 cm
2. ส่วนกลางมัด โดยวัดจากเส้นอ้างอิงลงมา 7 cm
3. ส่วนโคนมัด โดยวัดจากเส้นอ้างอิงลงมา 13 cm

ผลจากค่าเฉลี่ยคือ

1. มัดที่มีความสึกหรอมากที่สุดคือ มัดแบบที่ 10 (อุ้ทอง2)
2. ส่วนมัดที่มีการสึกหรอน้อยที่สุด คือมัดแบบที่ 4 มีค่าความแข็ง 40 HRC

ผลจากการเทียบ จากตัวแปรที่ใกล้เคียงกัน

โดยเทียบจากมัดที่มีผลสึกหรอน้อยสุดกับมากที่สุดที่มีปริมาณการใช้เท่าๆ กัน

แบบมัด 10-3 นางลำไย โพธิ์ศรี อายุ 27 ประสบการณ์ 3 ปี ตัดอ้อยไปประมาณ 3,690 มัด

ลับมีดวันละ 1 ครั้งๆ ละประมาณ 5 นาที

แบบมัด 4-6 นางมะลิวรรณ วรภา อายุ 29 ประสบการณ์ 3 ปี ตัดอ้อยไปประมาณ 3,637 มัด

ลับมีดวันละ 3 ครั้งๆ ละประมาณ 6 นาที

จากคนตัด ที่เป็นผู้หญิงเหมือนกัน อายุเท่าๆ กันแค้มป์ (นิรันดร์) ที่ตัดเดียวกัน

วัดความต่างของมัด	หัวมัด	กลางมัด	โคนมัด หน่วยเป็น (mm)
มัดแบบที่ 10-3 (อุ้ทอง2)	9.8	2.8	2.7
มัดแบบที่ 4-6 (40 HRC)	3.5	2.4	3
ผลต่าง	6.3	0.4	-0.3

ส่วนผลของน้ำหนักในเรื่องการสึกหรอของมัดตัดอ้อยได้ทำการตรวจวัดส่วนต่างของน้ำหนักมัด ก่อนและหลังการใช้งานผลจากการซึ่ง

1. มัดแบบที่ 10 น้ำหนักหายมากที่สุดซึ่งเป็น มัดอุ้ทองเบอร์ 2
2. มัดแบบที่ 4 ซึ่งเป็นมัดที่มีค่าแข็งอยู่ที่ 40 HRC มีน้ำหนักหายน้อยสุด

ผลจากการเทียบ จากตัวแปรที่ใกล้เคียงกัน (เหมือนกับการวัดความสึกหรอ)

โดยเทียบจากมัดที่มีผลน้ำหนักที่หายน้อยกับมากที่สุดที่มีปริมาณการใช้เท่าๆ กันมัดใช้ตัดอ้อย

ชั่งน้ำหนักของมัด	ก่อนใช้	หลังใช้	ผลต่าง
มัดแบบที่ 10-3 (อุ้ทอง2)	359.6	334.4	25.2 กรัม
มัดแบบที่ 4-6 (40 HRC)	351.7	341.92	9.78 กรัม

ผลต่างของน้ำหนักมัดของแบบมัด 10-3 กับ 4-6 คือ 15.42 กรัม

งานวิจัยนี้ ได้ดำเนินการวิจัยโดย ขอบเขตของงานวิจัย เป็นหลัก คือ

1. ได้อุปกรณ์เจียรระไนปรับแต่งรูปร่างและคมตัดมีดตัดอ้อย
2. ได้เครื่องชุบแข็งมีดตัดอ้อย
3. ได้กระบวนการชุบแข็งของมีดตัดอ้อยที่เหมาะสมการใช้งาน
4. มีดตัดอ้อยที่ถูกชุบแข็งด้วยเครื่องชุบแข็งที่สร้างขึ้นมีความแข็งที่คมตัดสม่ำเสมอ

ซึ่งงานวิจัย ได้ออกแบบและสร้างเครื่องชุบแข็ง และอุปกรณ์เจียรระไนต้นแบบสำหรับมีดตัดอ้อย และได้ผลิตมีด ได้สร้าง Patter Hardness ให้กับมีดในช่วงความแข็งต่างๆ แล้วนำมาทำการตรวจสอบในห้องทดลองทางกลผลจากการทดสอบค่าความแข็งของมีดในช่วงความแข็งต่างๆ ของมีด Patter Hardness มีความแข็งที่สม่ำเสมอกัน เสร็จแล้วนำมีดไปทดลองการใช้งานจริง โดยทำการบันทึกข้อมูลมีด ทั้งรหัสมีด ขนาด และน้ำหนัก ก่อนนำไปใช้งานจริง ใช้เวลาในการทดลองประมาณ 2 เดือน แล้วนำมีดมาทำการตรวจสอบ ทั้งขนาด และน้ำหนัก หาผลที่หายไป เพื่อจะหาแบบมีดที่เหมาะสมกับการใช้งาน จากผลในข้างต้น

มีดในแบบที่ 4 มีการสึกหรอทั้ง ขนาด และน้ำหนักน้อยที่สุด ซึ่งแบบมีดที่ 4 มีค่าความแข็งประมาณ 40 HRC Pater Hardness มากกว่า 1 cm จึงเป็นแบบมีดที่แนะนำในการใช้งาน

## 5.5 ข้อเสนอแนะ

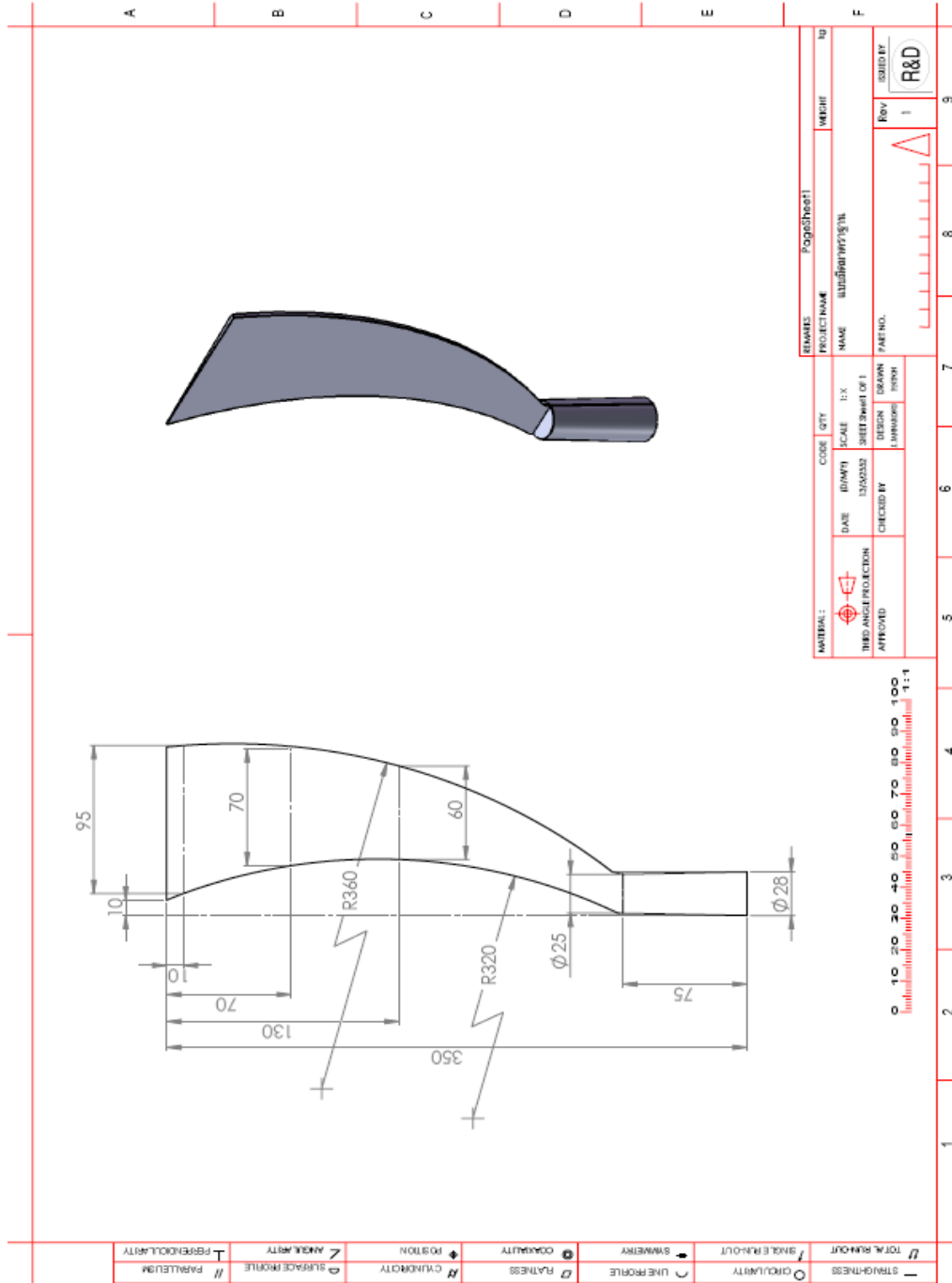
ผลต่างแสดงให้เห็นหมายถึงการสึกหรอที่ต่างกัน ซึ่งจะหมายถึงอายุการใช้งานที่มากกว่า แต่อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้ยังคงต้องทดสอบเพื่อหาตัวแปรที่ต่างกัน เช่น ภูมิภาคที่ต่างกัน พันธุ์อ้อย และขนาดต้นอ้อย ประเภทของคอกอ้อยและอื่นๆ ที่ต่างกันและจำนวนในการทดลองที่ต้องมากกว่านี้ เวลาที่มากกว่านี้ ซึ่งในงานวิจัยนี้คิดเงื่อนไขเรื่องระยะเวลาเพราะต้องทำการทดลองเครื่องอีกทั้งฤดูกาลตัดอ้อยมีอยู่จำกัดคิดปัญหาในการทดลองและการทดสอบที่เพียงพอ เพื่อจะหาความเหมาะสมของมีดที่มีความแข็งที่เหมาะสมกับการใช้งานในการเก็บเกี่ยวอ้อย

## เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาล. ข้อมูลพื้นที่ปลูกอ้อย และโรงงานน้ำตาล.  
[ออนไลน์] 2551. [สืบค้นวันที่ 3 มกราคม 2552]. จาก  
[http://www.ocsb.go.th/show\\_list.asp?id=40](http://www.ocsb.go.th/show_list.asp?id=40)
2. สมนึก วัฒนศรียกุล. การทดสอบวัสดุ **Material Testing**. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชา  
วิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,  
2549.
3. มนัส สติธิจินดา. วิศวกรรมการอบชุบเหล็ก **Iron & Steel Heat-Treatment Engineering**.  
กรุงเทพมหานคร : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2535.
4. ภาณุฤทธิ์ ยุกตะทัต. การออกแบบเครื่องจักรกล **Mechanical Engineering Design**.  
กรุงเทพมหานคร : ท้อป, 2548.
5. ธนาภรณ์ โกรษภูริ. โครงการพัฒนาต้นแบบมิดตัดอ้อยด้วยการปรับเปลี่ยนวัสดุ.  
กรุงเทพมหานคร : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์  
และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2549.

ภาคผนวก ก

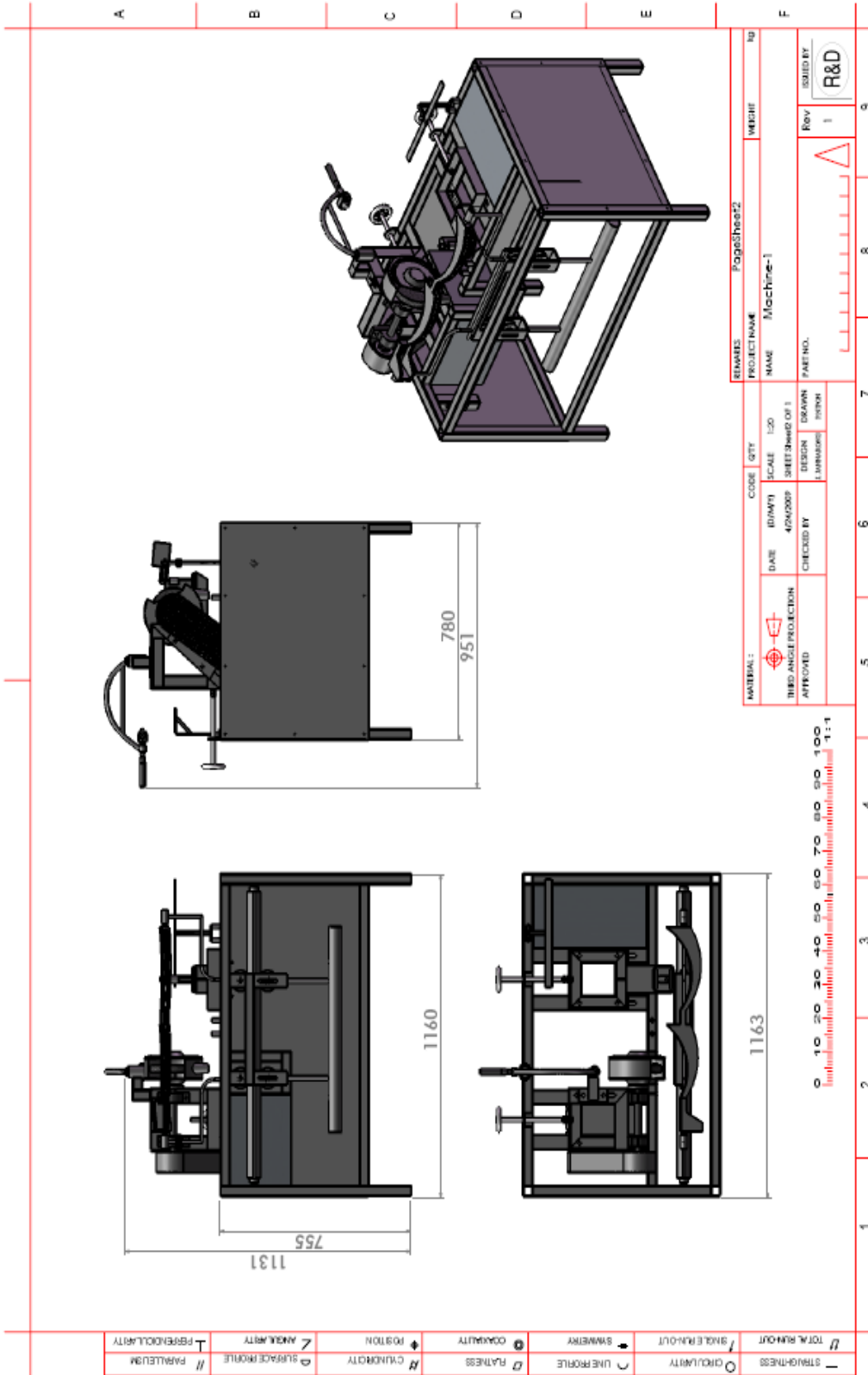
แบบมีมาตรฐานมีตัดอ้อย



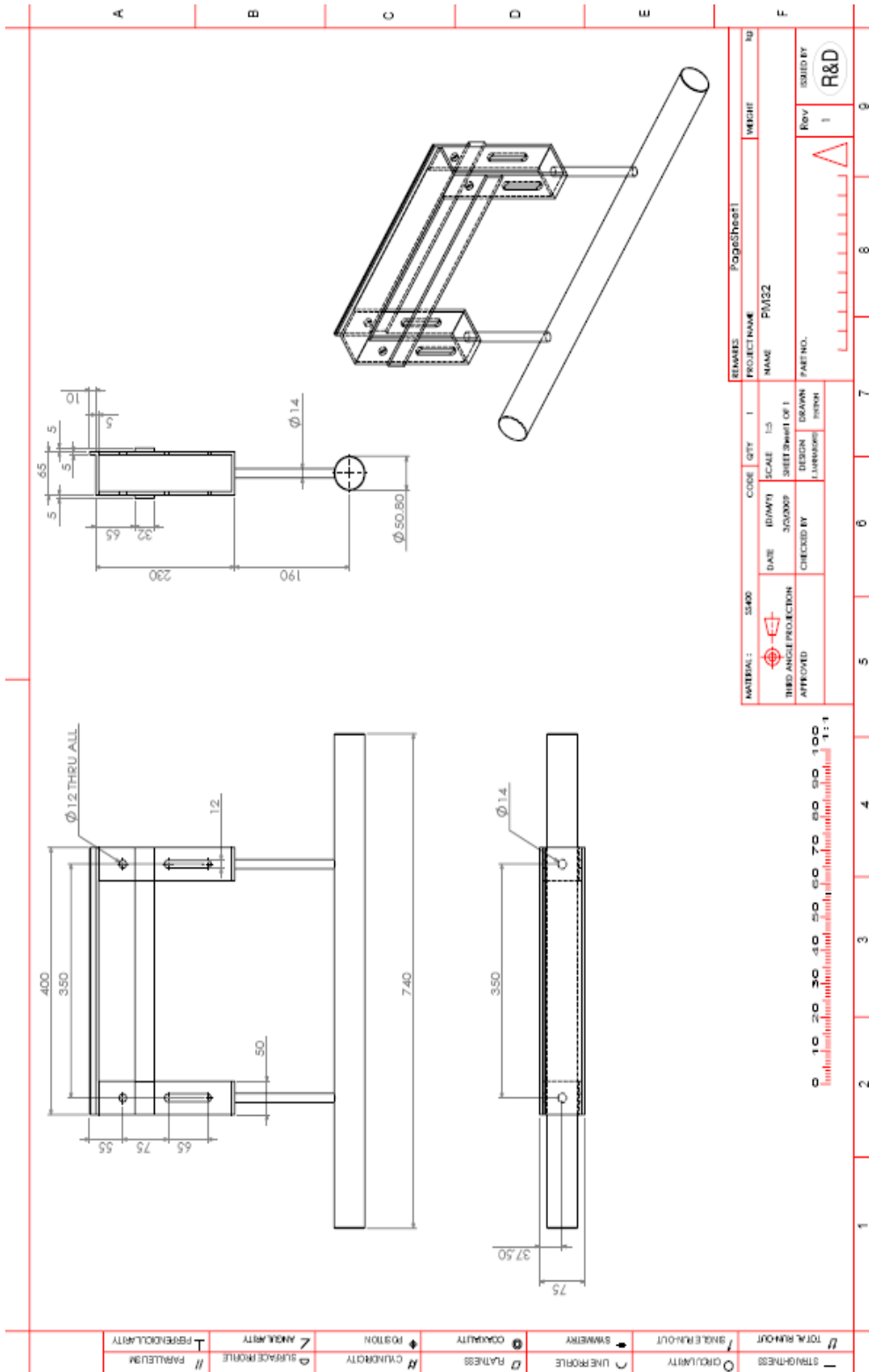
ภาพที่ ก-1 มีดตัดอ้อยมาตรฐาน

ภาคผนวก ข

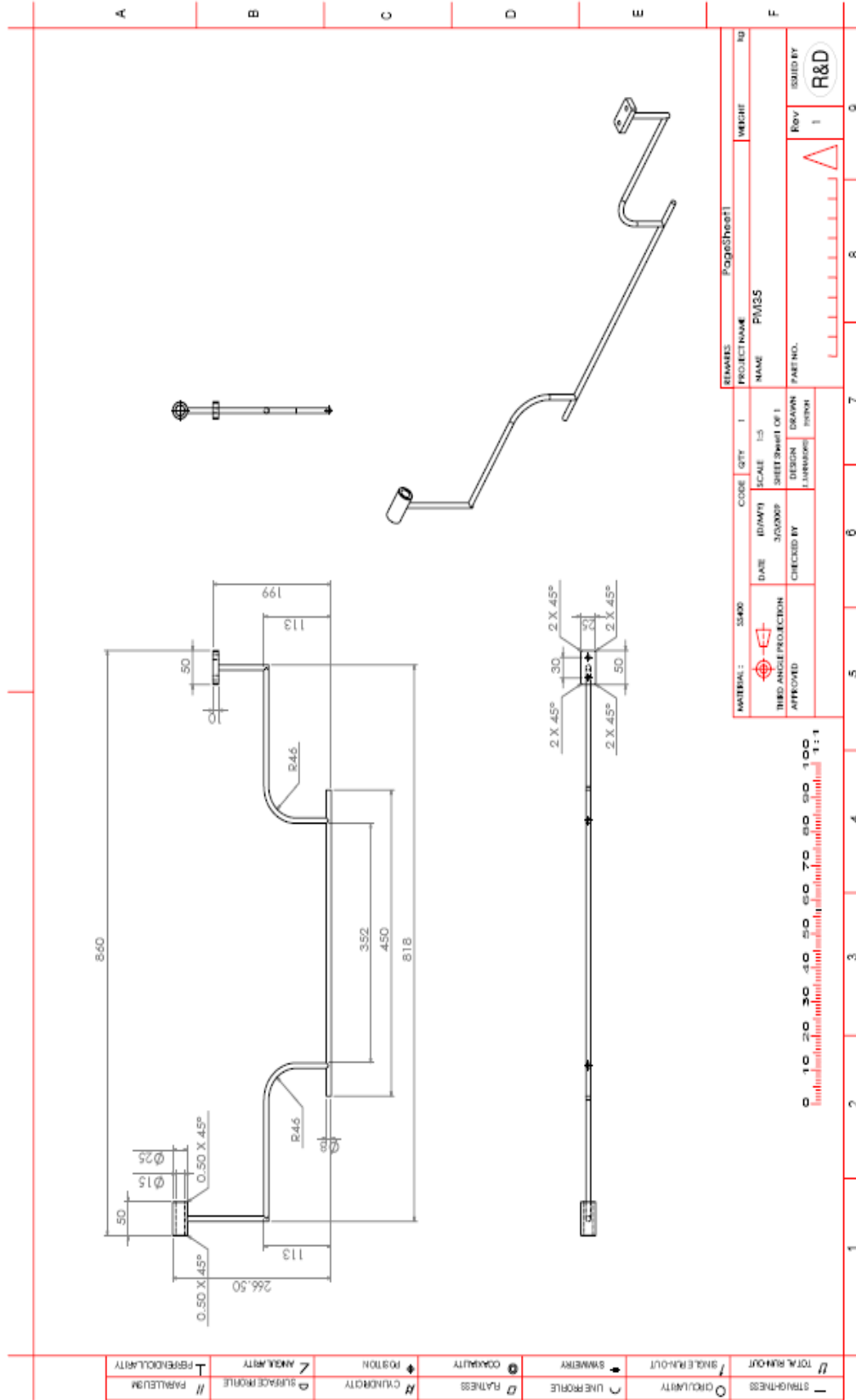
แบบเครื่องเจียรไนรูปร่างและคมตัดมีตัดอ้อย



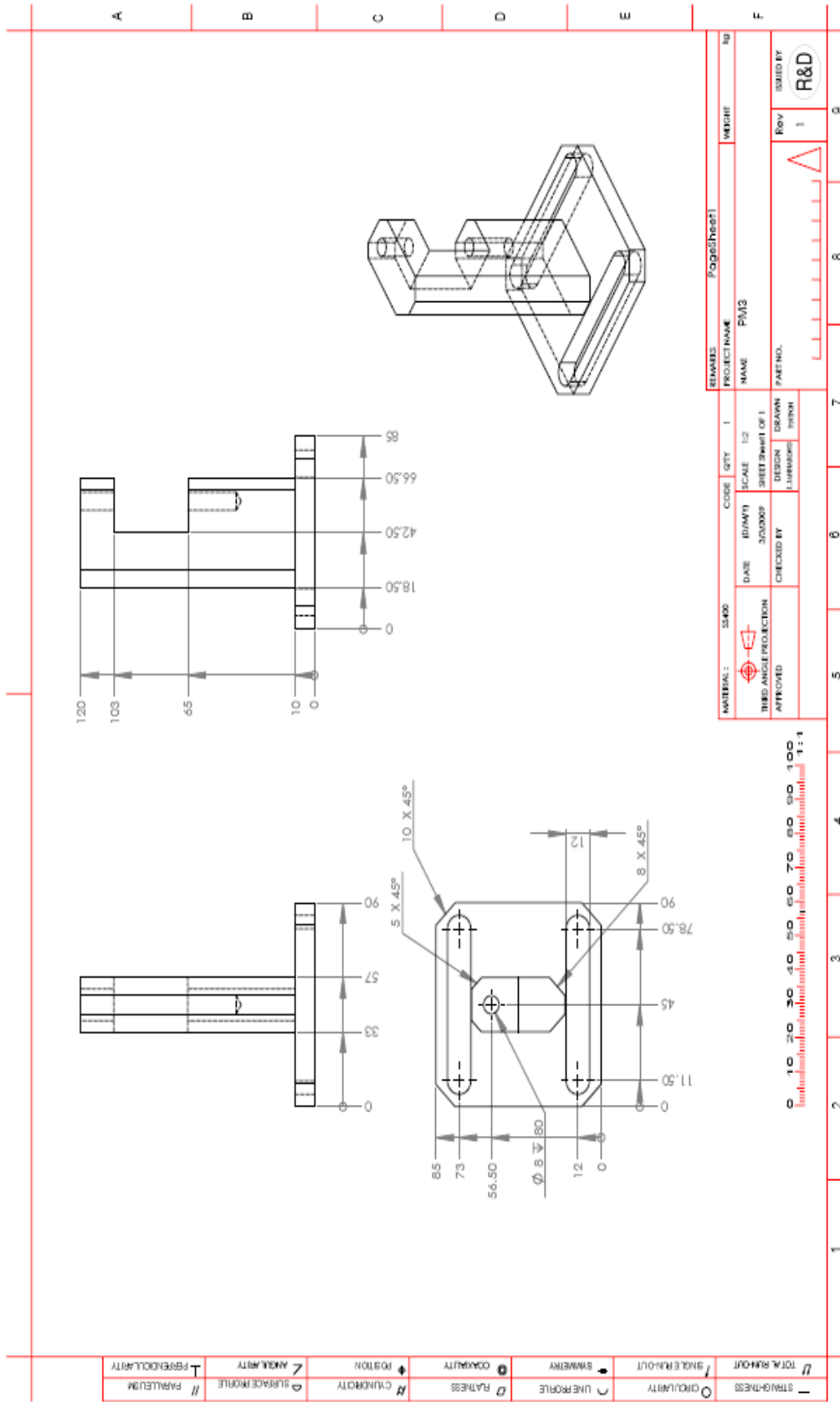
ภาพที่ ข-1 ภาพเครื่องเย็บกระดาษมีดตัดอ้อย



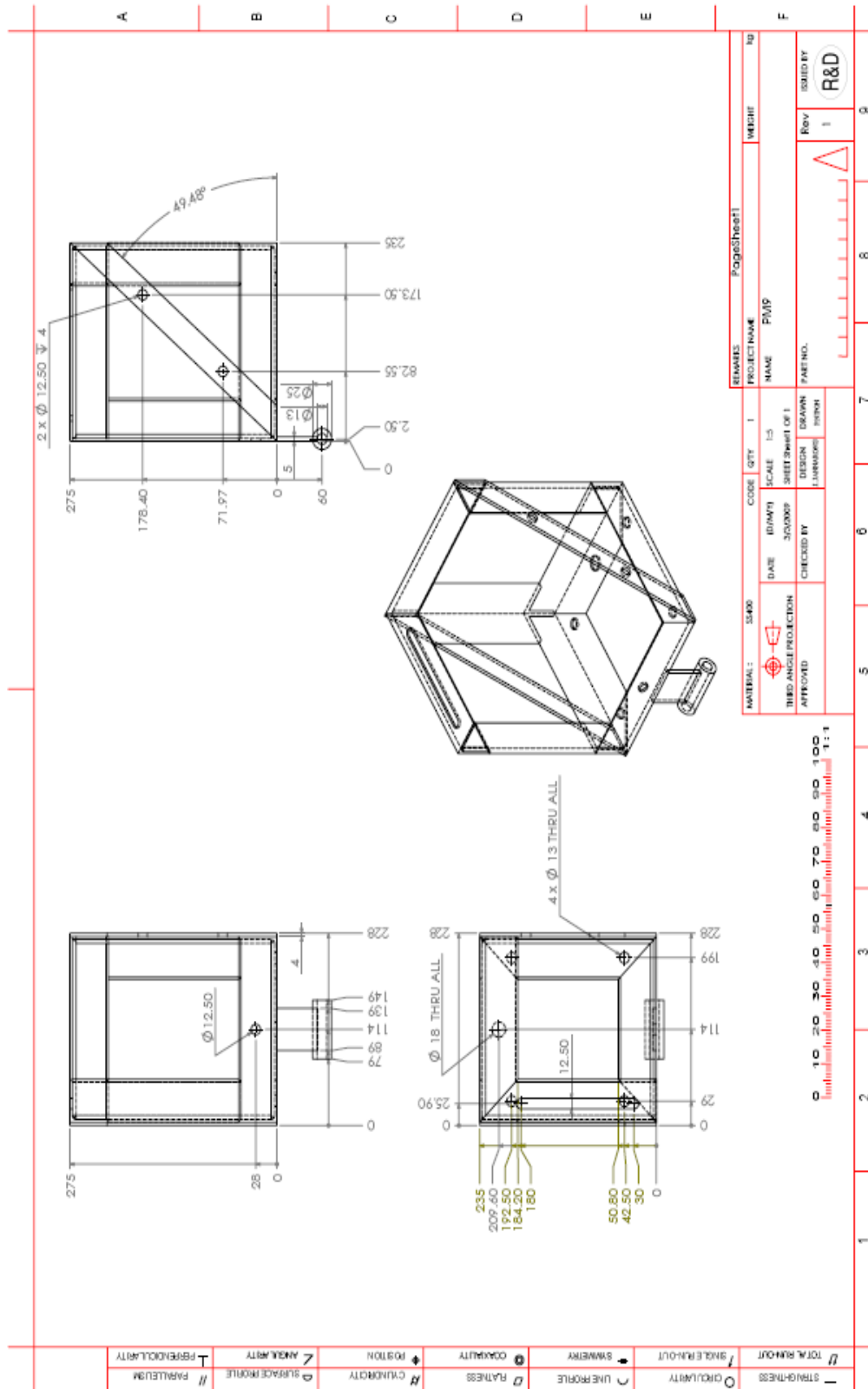
ภาพที่ ข-2 ภาพชุดนำหน้ากล่อง



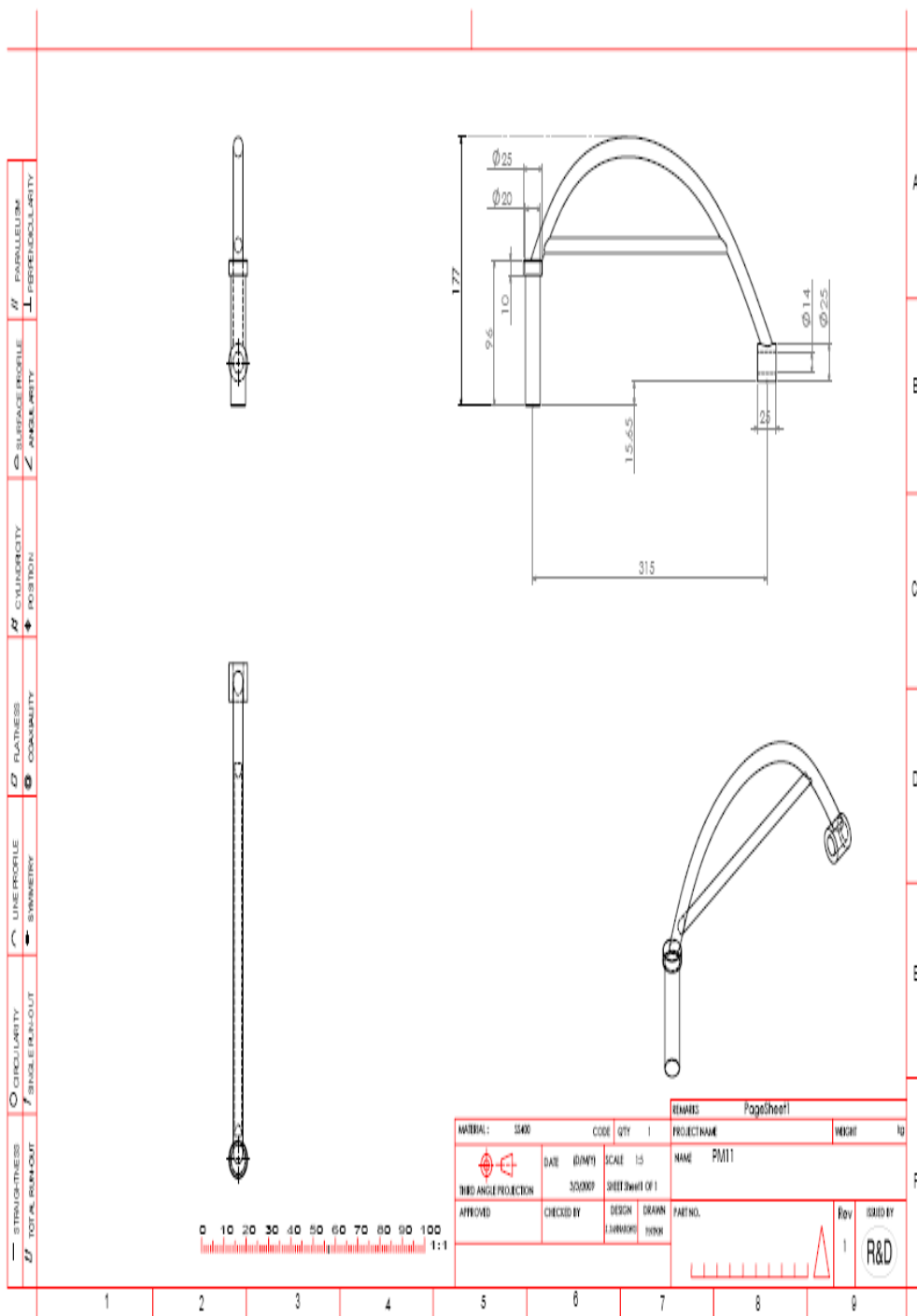
ภาพที่ ข-3 ภาพต้นประกอบตัวชนิด



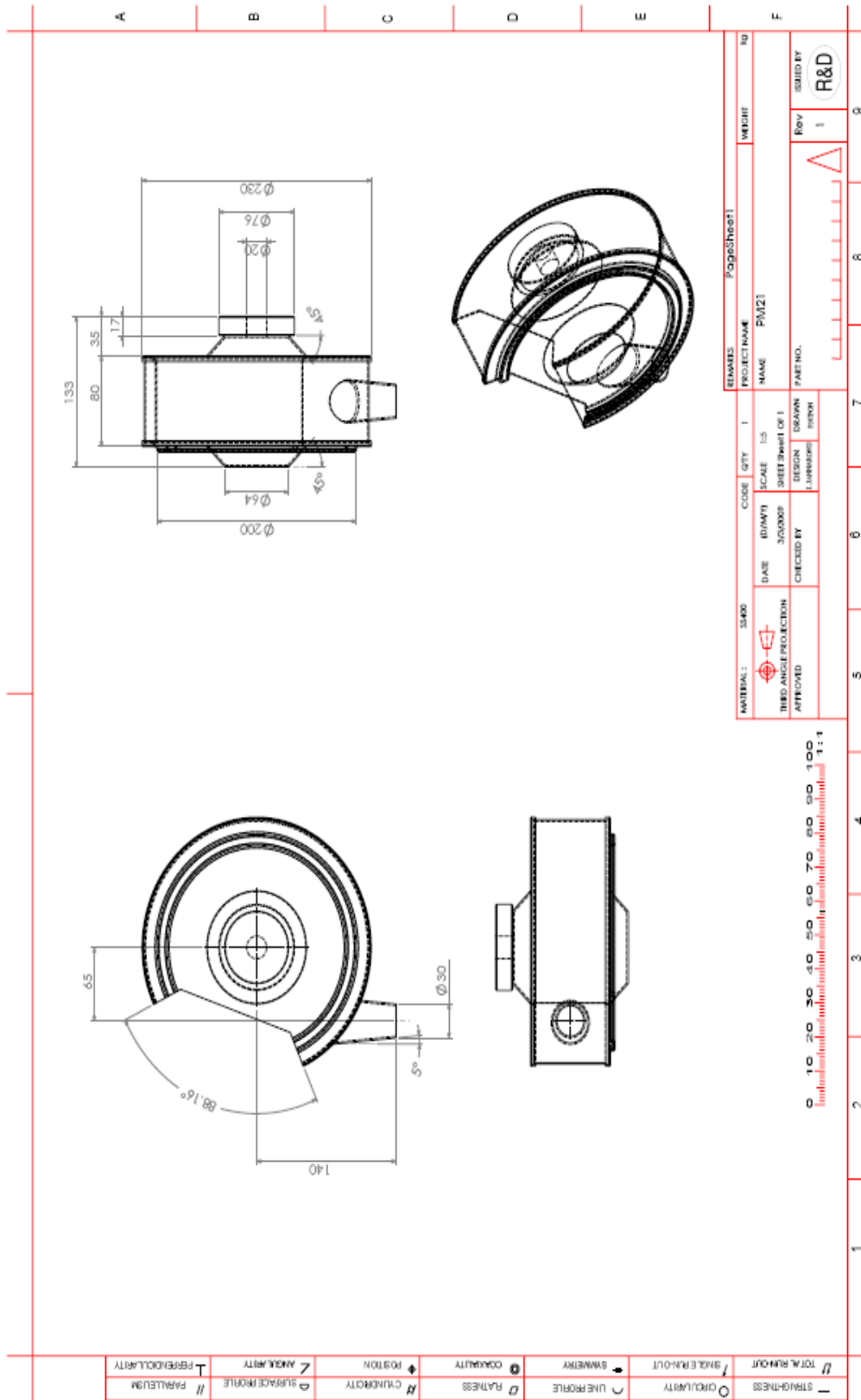
ภาพที่ ๗-4 กาว Guide Post



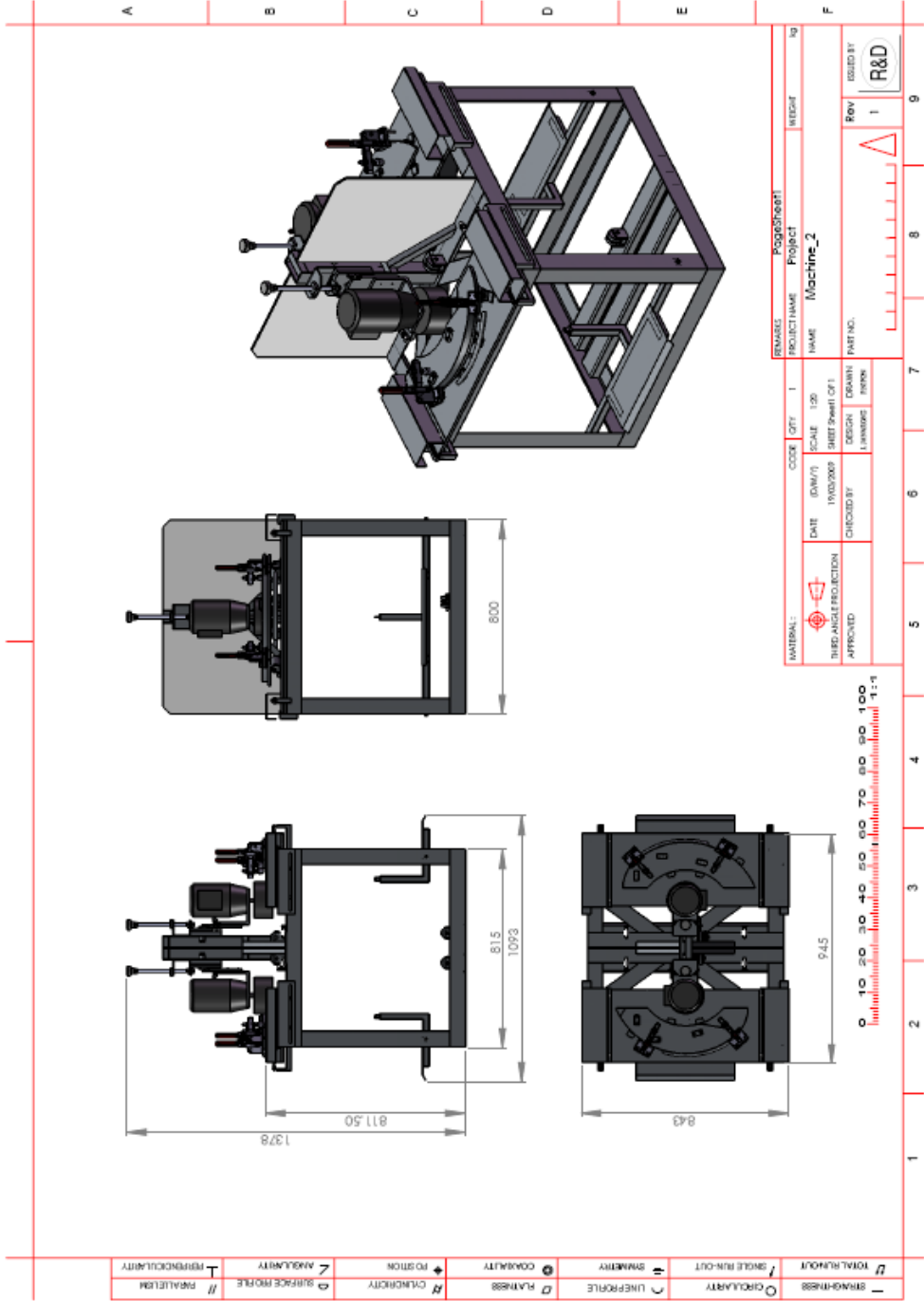
ภาพที่ ข-5 ภาพพร้อมหินเจาะใน



ภาพที่ ข-6 ภาพคั่นตัวถังหน้าหิน



ภาพที่ ๗-7 ภาพ Cover หิน



ภาพที่ ข-8 ภาพเครื่องเจาะในคอมพิวเตอร์ตัดด้วย









### ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ : นายเจนณรงค์ จันทสร  
ชื่อวิทยานิพนธ์ : การออกแบบและสร้างเครื่องชุบแข็งและอุปกรณ์เจียระไนสำหรับมีดตัดอ้อย  
สาขาวิชา : วิศวกรรมการผลิต

### ประวัติ

ประวัติส่วนตัว เกิดเมื่อวันที่ 29 กรกฎาคม 2518 ปัจจุบันอาศัยอยู่บ้านเลขที่ 68/22 หมู่ที่ 16 เขตมีนบุรี กรุงเทพมหานคร รหัสไปรษณีย์ 10510

ประวัติการศึกษา ปี พ.ศ. 2538 สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาวิชาช่างกลโรงงาน วิทยาลัยเทคนิคเชียงราย ปี พ.ศ. 2540 สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างกลโรงงาน สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคพายัพ และ ปี พ.ศ. 2548 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ