

การศึกษาแรงกระทำบนใบมีดจอบหมุนที่พรวนในกระบะทราย



นายไพศาล มานิตยโชติพิสิฐ

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-2785-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

STUDY OF FORCES FOR ROTARY BLADE TILLED IN SAND BIN



Mr. Pisan Manitchotipisit

สถาบันวิทยบริการ

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-2785-2

ไพศาล มานิตย์โชติพิสิฐ : การศึกษาแรงกระทำบนใบมีดจอบหมุนที่พรวนในกระบะทราย

(STUDY OF FORCES FOR ROTARY BLADE TILLED IN SAND BIN)

อ. ที่ปรึกษา : ศ. ดร. สุรินทร์ พงศ์ศุภสมิทธิ, 306หน้า. ISBN 974-17-2785-2.

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์แรงต้านทานกระทำที่ใบมีดจอบหมุนแบบตัวซี ที่พรวนในกระบะทราย โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นการสร้างและพัฒนาชุดทดลอง ส่วนที่สองเป็นการศึกษาคุณสมบัติของ Extended Octagonal Ring (EOR) ที่ใช้ในการวัดแรง โดยการสอบเทียบ และส่วนที่สามเป็นการทดลองหาแรงต้านทานที่กระทำกับใบมีด โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 กรณี คือ ใช้ใบมีดทดลองใบเดียวแต่มีระยะการตัดทรายและความเร็วรอบหมุนของเพลลาใบมีดขนาดต่างๆ กันและการทดลองในกรณีที่มีใบมีดข้างเคียงด้านซ้ายและขวาของใบมีดทดลอง

ชุดทดลองที่สร้างและพัฒนาขึ้นแบ่งเป็น 2 ระบบ ได้แก่ ระบบควบคุมพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ของกระบะทราย ความเร็วรอบหมุนของเพลลาใบมีด และความลึกในการพรวน และระบบเก็บข้อมูลแบบใช้ร่วมกับคอมพิวเตอร์ จากผลการสอบเทียบในส่วนที่สองทำให้ได้สมการทางคณิตศาสตร์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับแรงกระทำที่ EOR ซึ่งนำไปใช้ในการหาค่าแรงต้านทานที่กระทำกับใบมีดจอบหมุนในการทดลองส่วนที่สาม และจากผลการทดลองในส่วนที่สามพบว่าแรงที่กระทำกับใบมีด กรณีใบมีดใบเดียว แรงต้านทานลัพธ์ค่ามากที่สุดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะตัดทรายมีค่าเพิ่มขึ้น และแรงต้านทานลัพธ์ค่ามากที่สุดมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อความเร็วรอบหมุนเพลลาใบมีดมีค่าเพิ่มขึ้น และในกรณีที่ใบมีดทดลองมีใบมีดข้างเคียงด้านซ้ายใบเดียว พบว่าแรงต้านทานลัพธ์ค่ามากที่สุดจะมากกว่ากรณีใบมีดใบเดียว ส่วนในกรณีมีใบมีดข้างเคียงทั้งด้านซ้ายและขวาของใบมีดทดลอง พบว่าแรงต้านทานลัพธ์ค่ามากที่สุดจะมีค่าน้อยกว่ากรณีใบมีดใบเดียว

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2545

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

4270470021 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEY WORD: ROTARY BLADE / EXTENDED OCTAGONAL RING

PISAN MANITCHOTIPISIT : STUDY OF FORCES FOR ROTARY BLADE TILLED IN SAND BIN. THESIS ADVISOR : PROF. SURIN PHONGSUPASAMIT, D.Agr. 306 pp. ISBN 974-17-2785-2.

The objective of this thesis is to study and analysis forces for the C-type rotary blade tilled in sand bin. The content of the thesis is divided into 3 parts; Part 1 is the experimental set construction and development. Part 2 is the study of Extended Octagonal Ring's characteristics by calibration. And part 3 is the measuring forces acting on the testing blade. In the part three, the experiment has been operated by two cases. First case, focus on a testing blade with different pitch and different rotational speed. Second case, at same pitch and rotational speed with installation of one left and two aside blades.

The constructed and developed experiment set in the part one can be classified into 2 systems. First one is parameter control system which control traveling speed of sand bin, rotational speed of rotary blade shaft and depth of cut. Second one is the data acquisition system using with personal computer. The calibration in the part two generates mathematical equations which indicate the relationship between voltage and acting forces at EOR. The relationship can be applied to find out the resistance force in the part three. The experiment results in the part three show that for single testing blade using, the pitch increases, the maximum resultant force increases and the maximum resultant force decreases little when the rotational speed increases. The apply of one left aside blade with the testing blade causes more maximum resultant force than using only a testing blade. The apply of left and right aside blades cause less maximum resultant force than using just only a testing blade.

DepartmentMechanical Engineering.....

Student's signature.....

Field of studyMechanical Engineering.....

Advisor's signature

Academic year ...2002.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ศาสตราจารย์ ดร. สุรินทร์ พงศ์สุภสมิทธิ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ Prof. Jun Sakai ที่กรุณาให้คำแนะนำ และถ่ายทอดความรู้ในด้านต่างๆ ด้วยดีมาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ ประธานกรรมการ ศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ เดชะอำไพ และ อาจารย์ ชินเทพ เพ็ญชาติ กรรมการ ที่ได้ให้ความรู้ และข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์อย่างมากต่อการวิจัย

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชัยโรจน์ คุณพนิชกิจ รศ.ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ รศ.ดร.อติ บุญจิตราดุลย์ อาจารย์ ดร.จิรพงศ์ กสิวิทย์อำนวย อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล อาจารย์ ดร. สมบูรณ์ แสงวงศ์วานิชย์ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า รศ.ดร.ธัญญา นิยมภา อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และคุณอัศคพล เสนาณรงค์ กองเกษตร วิศวกรรม คุณณรงค์ สันต์การ และคุณเจริญ เพชรมณี บริษัท National Instrument ที่กรุณา ให้ยืมอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ ในการทดลอง

ขอขอบคุณ คุณสุบิน ชันดี และคุณโกวิท โภพล ห้องปฏิบัติการเครื่องกล นายชนัดต์ รัตนสุข มาวงศ์ นายเอกอุ ธรรมกรบัญญัติ นายธนวัช ศรีเจริญชัย นายสรารุณ เหล่าพงศ์สวัสดิ์ นายกวี ศรีทองกุล นายยอดยิ่ง หมวกงาม นิสิตปริญญาโทวิศวกรรมเครื่องกล นายยุวพันธ์ ธีรพจน์ นิสิต ปริญญาโทวิศวกรรมไฟฟ้า นายทวีสินธุ์ อภิวัฒน์ชัย นายธีมนัส เกียรติเดชปัญญา นายอรธวัฒน์ วิริโยภาศ นายนิยม สีทะนีย์ นายชินนทร์ สิงขรวัดณ์ นายชัยรัตน์ นฤพนธ์จิรกุล นายกฤดา พิธิษฐ์ ไพบูลย์ นายสุเมธ จันทร์แจ่มรัศมี นายวาทัญญู สันตินิยม นายธาริน วณิชยางกูรานนท์ นายสิริวุฒิ หาสจิตโต นิสิตปริญญาตรีวิศวกรรมเครื่องกล ที่คอยช่วยเหลือตลอดเวลาทำการวิจัยเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา พี่น้อง และนางสาวปิยวรรณ อัครพงศ์ที่ คอยให้กำลังใจและให้ความสนับสนุนการศึกษาของผู้วิจัยเสมอมา ประโยชน์และคุณค่าอันใดที่ ได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเป็นกตัญญูตราบูชาแต่บิดามารดา ครูอาจารย์ ตลอดจนผู้มี พระคุณทุกท่าน

ไพศาล มานิตย์โชติพิสิฐ

สารบัญ

บทที่	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญภาพ	ณ
คำอธิบายสัญลักษณ์	ม
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์	2
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิทยานิพนธ์	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์	3
1.6 ปรัชศน์วรรณกรรม	3
บทที่ 2 ทฤษฎีการออกแบบใบมีดจอบหมุน	6
2.1 ชนิดของใบมีดจอบหมุน	6
2.2 รูปร่างของใบมีดจอบหมุนแบบตัวซีของญี่ปุ่น	7
2.3 แนววิถีการตัดของใบมีดจอบหมุน (Cutting Trajectory of Blade)	9
2.4 ระยะตัดดิน(Tillage Pitch, P)	10
2.5 ส่วนปลายใบมีด	13
2.6 ใบมีดส่วนตรง	18
2.7 หน้าตัดของใบมีด	22
บทที่ 3 การประยุกต์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ออกแบบใบมีดจอบหมุน ..	25
3.1 กระบวนการในการวางแผนออกแบบใบมีดจอบหมุน	25
3.2 แผนผังการวางแผนออกแบบใบมีดจอบหมุน	26

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.3	CAD สำหรับการออกแบบใบมีดจอบหมุน 36
3.4	โครงการพัฒนาโปรแกรมสำหรับออกแบบใบมีดจอบหมุน 3 มิติ 41
3.5	การออกแบบใบมีดจอบหมุนลักษณะ 2 มิติ 41
3.6	การออกแบบใบมีดจอบหมุนลักษณะ 3 มิติ 60
บทที่ 4	เทคนิคและวิธีการวิเคราะห์แรงต้านทานที่ใบมีด 66
4.1	คุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในการวัดแรงที่กระทำบนใบมีด 66
4.2	Extended Octagonal Ring (EOR) 67
4.3	ระบบการเก็บข้อมูลโดยใช้คอมพิวเตอร์ (PC Based DAQ System) 75
4.4	The Analog Input Subsystem 80
4.5	Making Quality Measurements 85
4.6	How fast should be a signal sampled? 86
บทที่ 5	การสร้างอุปกรณ์และระบบสำหรับการทดลอง 88
5.1	แนวคิดเกี่ยวกับชุดทดลอง 88
5.2	ระบบสำหรับการทดลอง 89
5.3	การพัฒนาชุดการทดลองปี 2543 89
5.4	การพัฒนาชุดการทดลองปี 2544 94
5.5	การพัฒนาชุดการทดลองปี 2545 101
5.6	ข้อผิดพลาดและข้อจำกัดของชุดอุปกรณ์ปี 2545 108
บทที่ 6	การทดลองหาแรงต้านทานที่ใบมีดจอบหมุน 110
6.1	การทดลองเกี่ยวกับ EOR 110
6.2	ตำแหน่งอ้างอิงศูนย์กลางของ EOR 111
6.3	กรณีสอบเทียบ EOR 112
6.4	การทดลองเพื่อวัดแรงกระทำที่ใบมีด 123
6.5	การทดลองเพื่อวัดแรงต้านทานที่กระทำกับใบมีดกรณีใบมีดใบเดียว 126
6.6	การทดลองเพื่อวัดแรงที่กระทำกับใบมีดกรณีมีใบมีดข้างเคียง 128

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
บทที่ 7 ผลการทดลอง	133
7.1 ผลการสอบเทียบ EOR	133
7.2 ผลการทดลองโบบิตพรวนในกระบะทราย	148
7.3 ผลการทดลองเพื่อวัดแรงต้านทานที่กระทำกับโบบิตกรณีโบบิตโบบิตเดี่ยว ..	153
7.4 ผลการทดลองเพื่อวัดแรงที่กระทำกับโบบิตกรณีมีโบบิตข้างเคียง	158
บทที่ 8 วิเคราะห์และอภิปรายผลการสอบเทียบ EOR	163
8.1 การสอบเทียบแรงที่มากกระทำกับ EOR ในทิศทางต่างๆ	165
8.2 การสอบเทียบแรงกดและแรงเฉือนกับ EOR	173
8.3 การสอบเทียบกับการเปลี่ยนมุม EOR ร่วมกับการเปลี่ยนมุมของแรงที่มากระทำ	188
8.4 การสอบเทียบเมื่อติดโบบิตบน EOR โดยมีแรงกระทำในทิศทางตั้งฉากและทิศทางที่ขนานกับ EOR	188
8.5 การสอบเทียบเมื่อติดโบบิตโดยเปลี่ยนตำแหน่งมุม EOR ในทิศทางต่างๆ	191
บทที่ 9 บทสรุป ปัญหาที่พบ และข้อเสนอแนะ	193
9.1 ผลการทดลองโบบิตพรวนในกระบะทราย	193
9.2 แรงต้านทานที่เกิดขึ้นที่โบบิตขณะพรวนในกระบะทราย	195
9.3 แรงต้านทานในกรณีการทดลองใช้โบบิตโบบิตเดี่ยว	196
9.4 แรงต้านทานในกรณีการทดลองที่มีโบบิตข้างเคียง	209
บทที่ 10 บทสรุป ปัญหาที่พบ และข้อเสนอแนะ	231
10.1 บทสรุป	231
10.2 ปัญหาที่พบในการทำวิทยานิพนธ์	232
10.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต	232
รายการอ้างอิง	233
ภาคผนวก	235
ภาคผนวก ก ข้อมูลความแน่นทราย	236

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ภาคผนวก ข สมการความถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผล สอบเทียบ EOR	242
ภาคผนวก ค Extended Octagonal Ring (EOR)	256
ภาคผนวก ง ชุดทดลองสำหรับลากกระบะ	268
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	274



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 8.1	แสดงค่า V_f กับ V_p ที่ได้จากการใช้ V_m คำนวณตามสมการ (8.21) และ (8.22)	181
ตารางที่ 8.2	แสดงค่า V_f กับ V_p ที่ได้จากการใช้ V_m คำนวณตามสมการ (8.25) และ (8.26)	182
ตารางที่ 8.3	แสดงค่า V_f กับ V_p ที่ได้จากการใช้ V_m คำนวณตามสมการ (8.25) และ (8.26) จากข้อมูลใน ข.3	183
ตารางที่ 8.4	แสดงค่า V_f กับ V_p ที่ได้จากการใช้ V_m คำนวณตามสมการ (8.27) และ (8.28) จากข้อมูลใน ข.3	184
ตารางที่ 8.5	แสดงค่า V_f กับ V_p ที่ได้จากการใช้ V_m คำนวณตามสมการ (8.29) และ (8.30) จากข้อมูลใน ข.3	186
ตารางที่ 8.6	แสดงค่า V_f กับ V_p ที่ได้จากการใช้ V_m คำนวณตามสมการ (8.25) และ (8.26) ในกรณีแรงกด F	190
ตารางที่ 8.7	แสดงค่า V_f กับ V_p ที่ได้จากการใช้ V_m คำนวณตามสมการ (8.25) และ (8.26) ในกรณีแรงเฉือน P	190
ตารางที่ 8.8	แสดงค่า V_f กับ V_p ที่ได้จากการใช้ V_m คำนวณตามสมการ (8.12) และ (8.13) ในกรณีแรงเฉือน P	191
ตารางที่ 9.1	แสดงความเร็วหมุนที่เกิดขึ้นจริงในการทดลอง	195
ตารางที่ 9.2	แสดงรูปของรอยตัดในแต่ละรอบและพื้นที่ของรอยตัดทรายที่ระยะตัดทรายต่างๆ	196
ตารางที่ 9.3	ค่าแรง มุมแรง และระยะของแรงที่ได้จากสมการ (9.1) – (9.3) ในกรณีใบมีดใบเดียวที่ตำแหน่งแรงต้านทานลัพท์ $ F $ มีค่ามากที่สุด	198
ตารางที่ 9.4	แสดงรอยตัดทรายที่ได้จากการจัดเรียงใบมีดข้างเคียงรูปแบบต่างๆ	209
ตารางที่ 9.5	เปรียบเทียบรูปแบบการตัดทรายแบบที่ 1	211
ตารางที่ 9.6	เปรียบเทียบรูปแบบการตัดทรายแบบที่ 2	212
ตารางที่ 9.7	เปรียบเทียบรูปแบบการตัดทรายแบบที่ 3	213
ตารางที่ 9.8	เปรียบเทียบรูปแบบการตัดทรายแบบที่ 4	214
ตารางที่ 9.9	เปรียบเทียบรูปแบบการตัดทรายแบบที่ 5	215
ตารางที่ 9.10	เปรียบเทียบรูปแบบการตัดทรายแบบที่ 6	216
ตารางที่ 9.11	เปรียบเทียบรูปแบบการตัดทรายแบบที่ 7	217

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 9.12	เปรียบเทียบรูปแบบการตัดทลายแบบที่ 8 218
ตารางที่ 9.13	เปรียบเทียบรูปแบบการตัดทลายแบบที่ 9 219
ตารางที่ 9.14	ค่าแรง มุมแรง และระยะของแรงที่ได้จากสมการ (9.1) – (9.3) ในกรณีมี ใบมีดข้างเคียงที่มีแรงต้านทานลัพท์ $ F $ มากที่สุด 220
ตารางที่ ก.1.1	ระยะการตัด 3 เซนติเมตรความเร็ว 25 รอบต่อนาที 236
ตารางที่ ก.1.2	ระยะการตัด 3 เซนติเมตรความเร็ว 50 รอบต่อนาที 236
ตารางที่ ก.1.3	ระยะการตัด 3 เซนติเมตรความเร็ว 75 รอบต่อนาที 236
ตารางที่ ก.1.4	ระยะการตัด 6 เซนติเมตรความเร็ว 25 รอบต่อนาที 237
ตารางที่ ก.1.5	ระยะการตัด 6 เซนติเมตรความเร็ว 50 รอบต่อนาที 237
ตารางที่ ก.1.6	ระยะการตัด 6 เซนติเมตรความเร็ว 75 รอบต่อนาที 237
ตารางที่ ก.1.7	ระยะการตัด 9 เซนติเมตรความเร็ว 25 รอบต่อนาที 238
ตารางที่ ก.1.8	ระยะการตัด 9 เซนติเมตรความเร็ว 50 รอบต่อนาที 238
ตารางที่ ก.1.9	ระยะการตัด 9 เซนติเมตรความเร็ว 75 รอบต่อนาที 238
ตารางที่ ก.2.1	ระยะการตัด 9 เซนติเมตรความเร็ว 75 รอบต่อนาที รูปแบบที่ 1 239
ตารางที่ ก.2.2	ระยะการตัด 9 เซนติเมตรความเร็ว 75 รอบต่อนาที รูปแบบที่ 2 239
ตารางที่ ก.2.3	ระยะการตัด 9 เซนติเมตรความเร็ว 75 รอบต่อนาที รูปแบบที่ 3 239
ตารางที่ ก.2.4	ระยะการตัด 9 เซนติเมตรความเร็ว 75 รอบต่อนาที รูปแบบที่ 4 240
ตารางที่ ก.2.5	ระยะการตัด 9 เซนติเมตรความเร็ว 75 รอบต่อนาที รูปแบบที่ 5 240
ตารางที่ ก.2.6	ระยะการตัด 9 เซนติเมตรความเร็ว 75 รอบต่อนาที รูปแบบที่ 6 240
ตารางที่ ก.2.7	ระยะการตัด 9 เซนติเมตรความเร็ว 75 รอบต่อนาที รูปแบบที่ 7 241
ตารางที่ ก.2.8	ระยะการตัด 9 เซนติเมตรความเร็ว 75 รอบต่อนาที รูปแบบที่ 8 241
ตารางที่ ก.2.9	ระยะการตัด 9 เซนติเมตรความเร็ว 75 รอบต่อนาที รูปแบบที่ 9 241
ตารางที่ ข.1.1	สมการความถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลการสอบ เทียบกับแรงกด F ที่ระยะห่างต่างๆ จากจุดศูนย์กลางตามความยาวของ EOR ของวงจรวจร F 242
ตารางที่ ข.1.2	สมการความถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลการสอบ เทียบกับแรงกด F ที่ระยะห่างต่างๆ จากจุดศูนย์กลางตามความยาวของ EOR ของวงจรวจร P 242

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ ข.6.2	สมการความถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลการสอบ เทียบกับแรงโน้มถ่วง EOR ต่างๆ กับใบมีดของวงจร P	254
ตารางที่ ข.6.3	สมการความถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลการสอบ เทียบกับแรงโน้มถ่วง EOR ต่างๆ กับใบมีดของวงจร M	255



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

		หน้า
รูปที่ 1.1	ลักษณะของรถไถพรวนดิน	1
รูปที่ 2.1	รูปร่างใบมีดจอบหมุนชนิดต่างๆ	6
รูปที่ 2.2	ส่วนต่างๆ ของใบมีดจอบหมุนแบบตัวซีของญี่ปุ่น	7
รูปที่ 2.3	แนววิถีตัดดินจากบนลงล่างของใบมีดจอบหมุน	9
รูปที่ 2.4	แนววิถีของการเคลื่อนที่ของใบมีดจอบหมุนในกรณีการหมุนไปข้างหน้าโดย รัศมีของใบมีด 20 เซนติเมตร ระยะตัดดิน 9 เซนติเมตร และความเร็วหมุน 25, 50 และ 75 รอบต่อนาที	11
รูปที่ 2.5	ระยะการตัดดินที่เกิดขึ้นเนื่องจากมีใบมีดข้างเคียง	12
รูปที่ 2.6	ตัวอย่างรอยการตัดดิน 6 แบบที่ระยะตัดดิน 90 มิลลิเมตร	12
รูปที่ 2.7	ส่วนประกอบของปลายใบมีดจอบหมุน	13
รูปที่ 2.8	ความสัมพันธ์ระหว่างมุม β กับค่าพารามิเตอร์ v, R, H	14
รูปที่ 2.9	ลักษณะก่อนดินที่ถูกตัดโดยใบมีดจอบหมุน	15
รูปที่ 2.10	ทิศทางการเคลื่อนที่ของก้อนดินในลักษณะกลับหน้าดิน	16
รูปที่ 2.11	ผิวโค้งที่ปลายใบมีดจอบหมุน	16
รูปที่ 2.12	แบบจำลองของการเหวี่ยงก้อนดินของผิวโค้งที่สอง	17
รูปที่ 2.13	ลักษณะก่อนดินที่ใบมีดตัด และ l_{min}	17
รูปที่ 2.14	ผิวโค้งที่มีระยะการเหวี่ยงก้อนดิน 30 เซนติเมตร	18
รูปที่ 2.15	มุมขอบโค้งและแรงที่กระทำที่ขอบโค้ง	18
รูปที่ 2.16	การเคลื่อนที่ของวัชพืชและเศษฟางข้าวที่ไม่ถูกตัดขาดโดยใบมีด	19
รูปที่ 2.17	เส้นขอบโค้งอุดมคติของใบมีดจอบหมุน	20
รูปที่ 2.18	ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของขอบโค้งในการตัดดินและมุมขอบโค้ง	20
รูปที่ 2.19	ลักษณะเปรียบเทียบใบมีดจอบหมุนที่มีมุมขอบโค้งต่างกัน	21
รูปที่ 2.20	มุมคมเสมือน กับมุมคมจริงของใบมีดจอบหมุนที่ตัดดิน	21
รูปที่ 2.21	ความสัมพันธ์ระหว่างมุมคมจริงและมุมขอบโค้ง	21
รูปที่ 2.22	มุมคมจริงที่มุมขอบโค้งองศาต่างๆ	22
รูปที่ 2.23	หน้าตัดชนิดต่างๆ ของใบมีดจอบหมุน	22
รูปที่ 2.24	รูปแบบการตัดดินของใบมีดจอบหมุนแบบญี่ปุ่น	23
รูปที่ 2.25	การเปรียบเทียบหน้าตัดของใบมีดส่วนตรง	23
รูปที่ 2.26	หน้าตัดของปลายใบมีด	24

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 3.1	ตัวอย่างรูปด้านต่างๆ ของใบมีดจอบหมุนแบบตัวซี	25
รูปที่ 3.2	แผนผังการวางแผนออกแบบใบมีดจอบหมุน	26
รูปที่ 3.3	ความสัมพันธ์ของความลึก รัศมีของห้องโซ่ และรัศมีใบมีดจอบหมุน	28
รูปที่ 3.4	ขั้นตอนการวาดรูปใบมีดจอบหมุนเพื่อการผลิต	29
รูปที่ 3.5	ตัวยึดใบมีดแบบตัวซีที่มีด้ามมีดตรง	30
รูปที่ 3.6	ลักษณะตัวยึดด้ามมีดแบบตัวซี	30
รูปที่ 3.7	ขอบโค้งอุดมคติเมื่อ $r_0 = 300$ มิลลิเมตร $\alpha_0 = 55^\circ$ และ $k = 1/18$	31
รูปที่ 3.8	แผนผังสำหรับการวางแผนออกแบบหน้าตัดผิวโค้ง	34
รูปที่ 3.9	การกระจายความแข็งแรงบนใบมีดจอบหมุน	36
รูปที่ 3.10	แผนผังสำหรับการออกแบบและวาดรูปใบมีดจอบหมุนแบบญี่ปุ่นด้วย ไมโครคอมพิวเตอร์	39
รูปที่ 3.11	ตัวอย่างการวาดรูปใบมีดจอบหมุนแบบญี่ปุ่นด้วยคอมพิวเตอร์	40
รูปที่ 3.12	รับค่าพารามิเตอร์สำหรับวาดรูปเส้นโค้งของขอบตัดดิน	43
รูปที่ 3.13	แสดงผลของการเขียนเส้นโค้งของขอบตัดดิน	43
รูปที่ 3.14	รับค่าพารามิเตอร์สำหรับออกแบบ Edge curve sidelong	44
รูปที่ 3.15	แสดงผลการเขียน Edge curve sidelong	44
รูปที่ 3.16	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบส่วนจับยึด	45
รูปที่ 3.17	การออกแบบส่วนจับยึดของใบมีดจอบหมุน	46
รูปที่ 3.18	การใช้ตาราง Variable เพื่อเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ให้มีค่าที่เหมาะสม	46
รูปที่ 3.19	วงกลมรัศมีของใบมีดจอบหมุน	47
รูปที่ 3.20	ออกแบบและเขียนเส้นโค้งเชื่อมด้ามมีดกับเส้นโค้งของขอบตัดดิน	47
รูปที่ 3.21	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบผิวโค้ง	48
รูปที่ 3.22	แสดงโปรแกรมทำการคำนวณค่ามุม ϕ	49
รูปที่ 3.23	กำหนดแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของผิวโค้ง	49
รูปที่ 3.24	คำนวณค่ารัศมีของผิวโค้งที่สอง	50
รูปที่ 3.25	เขียนวงกลมด้วยรัศมีของผิวโค้งที่สอง	51
รูปที่ 3.26	เส้นโค้งของผิวโค้งที่สอง	51
รูปที่ 3.27	การออกแบบส่วน Back edge curve	52
รูปที่ 3.28	แสดงโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ L_{10}	53

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.29	เส้นโค้งส่วนแรกของเส้นโค้งแสดงการตัดของใบมีด 53
รูปที่ 3.30	แสดงพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเส้นโค้งการตัด 54
รูปที่ 3.31	เส้นโค้งที่ 2 ของเส้นโค้งแสดงการตัดของใบมีด 54
รูปที่ 3.32	โครงร่างของใบมีดจอบหมุน 55
รูปที่ 3.33	รูปแสดงการออกแบบและเขียนแบบในส่วนของคมของใบมีดจอบหมุน 55
รูปที่ 3.34	การออกแบบใบมีดก่อนถูกตัด 56
รูปที่ 3.35	การเขียนรูปส่วนโค้งด้านนอกของใบมีดจอบหมุนที่ยังไม่ได้ตัด 56
รูปที่ 3.36	แบบใบมีดจอบหมุนที่ยังไม่ได้ตัด 57
รูปที่ 3.37	ความหนาของใบมีดในแต่ละหน้าตัด 57
รูปที่ 3.38	ภาพด้านข้างของใบมีดจอบหมุน 58
รูปที่ 3.39	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบส่วนด้านบนของใบมีดจอบหมุน 58
รูปที่ 3.40	เขียนแบบของส่วนด้านบนของใบมีดจอบหมุน 59
รูปที่ 3.41	ใบมีดจอบหมุนที่ออกแบบในลักษณะ 2 มิติ 60
รูปที่ 3.42	การทำการสร้างรูปทรงพื้นฐาน 3 มิติ 61
รูปที่ 3.43	การออกแบบและเขียนแบบส่วนด้านบนของใบมีดจอบหมุน 61
รูปที่ 3.44	การแบ่งชั้นของใบมีดจอบหมุนในแต่ละส่วน 62
รูปที่ 3.45	Profile ที่เขียนในแต่ละชั้นของ Reference plane 63
รูปที่ 3.46	การเขียน Profile ในแต่ละชั้นโดยเลื่อนไปตามเส้นแสดงการตัดของใบมีด 63
รูปที่ 3.47	การเขียนแบบในแต่ละชั้นของใบมีดจอบหมุน 64
รูปที่ 3.48	ใบมีดจอบหมุนที่ได้ทำการตัดจากรูปทรงพื้นฐานแล้ว 64
รูปที่ 3.49	ใบมีดจอบหมุนที่ออกแบบและเขียนในลักษณะ 3 มิติ 65
รูปที่ 4.1	ลักษณะของ EOR 67
รูปที่ 4.2	ลักษณะของ Circular ring กับ Octagonal ring 68
รูปที่ 4.3	ลักษณะของ ECR 68
รูปที่ 4.4	ขณะทำการวัดมีแรงกดที่ตำแหน่ง A 69
รูปที่ 4.5	การสอดแผ่นเหล็กบางที่ด้านบนและด้านล่างของ EOR 69
รูปที่ 4.6	ลักษณะของ EOR ที่ปรับปรุงแล้ว 70
รูปที่ 4.7	ลักษณะการเสียรูปของ ECR เนื่องจากแรงและโมเมนต์ 73
รูปที่ 4.8	การติดสเตรนเกจที่ตำแหน่งต่างๆ บน EOR 74

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.9 ตำแหน่งของแรงกระทำบนไบนีมิด	74
รูปที่ 4.10 วงจร Data Acquisition System	76
รูปที่ 4.11 Multifunction boards	77
รูปที่ 4.12 วงจร Sampling and hold (S/H)	80
รูปที่ 4.13 Channel skew ในการ Sampling	81
รูปที่ 4.14 การ Sampling โดยใช้วงจร Simultaneous sample and hold (SST)	81
รูปที่ 4.15 ตัวอย่างการแปลงคลื่นรูปซายน์ที่มีความถี่ 1 Hz โดยใช้ 3 bit A/D converter	82
รูปที่ 4.16 แสดง quantization error เนื่องจากการแปลงข้อมูลที quantize แล้วให้แปลง กลับเป็นไซน์เวฟ	82
รูปที่ 4.17 แสดง Polarity	83
รูปที่ 4.18 แสดงการต่อแบบ Differential input	84
รูปที่ 4.19 แสดงการต่อแบบ Single – ended input	84
รูปที่ 4.20 ความหมายของ Accuracy กับ Precision	85
รูปที่ 4.21 ตัวอย่างการใช้ความถี่ 4 Hz เก็บข้อมูลคลื่นรูปซายน์ความถี่ 1 Hz	87
รูปที่ 5.1 ห้องปฏิบัติการที่ใช้สำหรับทำการทดลองปี 2543	90
รูปที่ 5.2 ชุดทดลองสำหรับขับเพลลาไบนีมิดที่ปรับสูงต่ำและเปลี่ยนเฟืองไซได้	90
รูปที่ 5.3 การสอบเทียบ EOR	91
รูปที่ 5.4 ชุดทดลองเมื่อทำการเชื่อมยึดด้วยเหล็กข้ออ้อยเพื่อแก้ปัญหาการสั่นเนื่องจาก แรงต้านทาน	91
รูปที่ 5.5 ไบนีมิดและตัวยึดในการทดลองปี 2543	92
รูปที่ 5.6 ชุดขับเคลื่อนกระบะทราย	93
รูปที่ 5.7 กระบะทรายที่ทำการลดขนาดลง	93
รูปที่ 5.8 ระบบการเก็บข้อมูลโดยใช้ข้อสซิลิสโคป	94
รูปที่ 5.9 ชุดการทดลองสำหรับหมุนเพลลาไบนีมิดที่ปรับปรุงการเชื่อมยึดเพื่อแก้ปัญหา การสั่น	95
รูปที่ 5.10 ไบนีมิดและการจับยึดที่ใช้ในการทดลองปี 2544	95
รูปที่ 5.11 การจัดเรียงไบนีมิดบนกระบะกววนของรถไถพรวนดิน Honda FA500 ด้านซ้าย	96
รูปที่ 5.12 การจัดเรียงไบนีมิดตามรูปแบบการใช้งานของรถไถพรวนดิน Honda FA500 ..	96

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.13 ล้อและสวิตช์แสงที่ใช้เป็นตัวตรวจวัดมุม	97
รูปที่ 5.14 สวิตช์แสงใช้สำหรับวัดความเร็วในการเคลื่อนที่ของกระบะทราย	98
รูปที่ 5.15 ตัวอย่างของสัญญาณที่เก็บค่าได้ไม่สมบูรณ์ของออสซิลอสโคป	98
รูปที่ 5.16 ตัวอย่างเปรียบเทียบสัญญาณที่ได้จากออสซิลอสโคป	100
รูปที่ 5.17 Slip ring 12 ช่องที่พัฒนาขึ้น	100
รูปที่ 5.18 ห้องปฏิบัติการที่ใช้สำหรับทำการทดลองปี 2545	101
รูปที่ 5.19 ชุดการทดลองที่ใช้ขับเพลลาโบมีดสามารถขึ้นลงได้	102
รูปที่ 5.20 ชุดมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเพลลาโบมีด	102
รูปที่ 5.21 สลักเกลียวสำหรับตั้งความลึกในการพรวน	103
รูปที่ 5.22 ลักษณะของเพลลาโบมีด 3 ชนิด	103
รูปที่ 5.23 เพลลาโบมีดเมื่อติดตั้งกับชุดทดลอง	104
รูปที่ 5.24 ชุดขับเคลื่อน	105
รูปที่ 5.25 ระบบควบคุมความเร็วที่ใช้อินเวอร์เตอร์	105
รูปที่ 5.26 กระบะทรายและลิมิตสวิตช์	106
รูปที่ 5.27 ระบบการเก็บข้อมูลโดยใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC Based DAQ System)	107
รูปที่ 5.28 ชุดพรวนทรายสำหรับการเตรียมทรายในการทดลอง	108
รูปที่ 5.29 ใช้ชุดทดลองทำการสอบเทียบกับแรงที่มากกระทำกับ EOR ในทิศทางต่างๆ ...	108
รูปที่ 6.1 ตำแหน่งมุมศูนย์องศาของ EOR	111
รูปที่ 6.2 การตั้งมุม 30, 0 และ -30 องศาของ EOR	112
รูปที่ 6.3 การสอบเทียบกับแรงในทิศทางตั้งฉากกับ EOR	112
รูปที่ 6.4 การสอบเทียบกับแรงกด F ที่มีระยะห่าง 17 และ 27 เซนติเมตรจากศูนย์กลางตามความยาว EOR	113
รูปที่ 6.5 การสอบเทียบกับแรงเฉือน P ที่ระยะห่าง 4.88 เซนติเมตรจากศูนย์กลางวงกลมของ EOR	114
รูปที่ 6.6 การสอบเทียบกับแรงเฉือน P เมื่อมีระยะห่าง 27.08 และ 37.08 เซนติเมตรจากศูนย์กลางวงกลมของ EOR	115
รูปที่ 6.7 การสอบเทียบกับแรงที่กระทำกับแกนที่มุมต่างๆ	117
รูปที่ 6.8 การสอบเทียบเมื่อมุมของ EOR เท่ากับ 30 องศากับแรงกระทำที่มุมต่างๆ	118

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 6.9 การสอบเทียบเมื่อมุมของ EOR เท่ากับ -30 องศาที่กระทำกับที่มุมต่างๆ	119
รูปที่ 6.10 ทำเครื่องหมายบอกตำแหน่งบนขอบโค้งของใบมีด	119
รูปที่ 6.11 การสอบเทียบใบมีดกับแรงกด F ตรงตำแหน่งแนวศูนย์กลางตามความยาวของ EOR	120
รูปที่ 6.12 การสอบเทียบใบมีดกับแรงเฉือน P ที่มีระยะห่าง 7.08 เซนติเมตรจากศูนย์กลางวงกลมของ EOR	120
รูปที่ 6.13 การสอบเทียบกับใบมีดเมื่อ EOR ทำมุม 20 องศาที่ตำแหน่งระยะห่างจากศูนย์กลางตามความยาวของ EOR 2 เซนติเมตร	122
รูปที่ 6.14 การสอบเทียบกับใบมีดเมื่อ EOR ทำมุม 30 องศาที่ตำแหน่งระยะห่างจากศูนย์กลางตามความยาวของ EOR 3 เซนติเมตร	122
รูปที่ 6.15 การวัดความลึกในการพรุนทราย	124
รูปที่ 6.16 การวัดความแน่นของทราย	125
รูปที่ 6.17 ภาพถ่ายผิวของใบมีดที่ด้านหน้า ด้านข้าง และด้านหลัง	126
รูปที่ 6.18 รูปแบบการตัดทรายของใบมีดใบเดียวที่ความเร็วรอบ 25, 50, 75 รอบต่อนาที ระยะการตัดทราย 3 เซนติเมตร	127
รูปที่ 6.19 รูปแบบการตัดทรายของใบมีดใบเดียวที่ความเร็วรอบ 25, 50, 75 รอบต่อนาที ระยะการตัดทราย 6 เซนติเมตร	127
รูปที่ 6.20 รูปแบบการตัดทรายของใบมีดใบเดียวที่ความเร็วรอบ 25, 50, 75 รอบต่อนาที ระยะการตัดทราย 9 เซนติเมตร	128
รูปที่ 6.21 รูปแบบการจัดเรียงใบมีดและรอยการตัดทราย รูปแบบที่ 1	129
รูปที่ 6.22 รูปแบบการจัดเรียงใบมีดและรอยการตัดทราย รูปแบบที่ 2	129
รูปที่ 6.23 รูปแบบการจัดเรียงใบมีดและรอยการตัดทราย รูปแบบที่ 3	130
รูปที่ 6.24 รูปแบบการจัดเรียงใบมีดและรอยการตัดทราย รูปแบบที่ 4	130
รูปที่ 6.25 รูปแบบการจัดเรียงใบมีดและรอยการตัดทราย รูปแบบที่ 5	131
รูปที่ 6.26 รูปแบบการจัดเรียงใบมีดและรอยการตัดทราย รูปแบบที่ 6	131
รูปที่ 6.27 รูปแบบการจัดเรียงใบมีดและรอยการตัดทราย รูปแบบที่ 7	132
รูปที่ 6.28 รูปแบบการจัดเรียงใบมีดและรอยการตัดทราย รูปแบบที่ 8	132
รูปที่ 6.29 รูปแบบการจัดเรียงใบมีดและรอยการตัดทราย รูปแบบที่ 9	132

สารบัญญภาพ (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 7.1	ผลการสอบเทียบกับแรงกด F ที่ระยะห่างต่างๆ จากจุดศูนย์กลางตามความยาวของ EOR ของวงจร F	133
รูปที่ 7.2	ผลการสอบเทียบกับแรงกด F ที่ระยะห่างต่างๆ จากจุดศูนย์กลางตามความยาวของ EOR ของวงจร P	134
รูปที่ 7.3	ผลการสอบเทียบกับแรงกด F ที่ระยะห่างต่างๆ จากจุดศูนย์กลางตามความยาวของ EOR ของวงจร M	134
รูปที่ 7.4	ผลการสอบเทียบกับแรงเฉือน P ที่ระยะห่างต่างๆ จากศูนย์กลางวงกลมของ EOR ของวงจร F	135
รูปที่ 7.5	ผลการสอบเทียบกับแรงเฉือน P ที่ระยะห่างต่างๆ จากศูนย์กลางวงกลมของ EOR ของวงจร P	135
รูปที่ 7.6	ผลการสอบเทียบกับแรงเฉือน P ที่ระยะห่างต่างๆ จากศูนย์กลางวงกลมของ EOR ของวงจร M	136
รูปที่ 7.7	ผลการสอบเทียบกับแรงที่มากกระทำกับ EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจร F	136
รูปที่ 7.8	ผลการสอบเทียบกับแรงที่มากกระทำกับ EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจร P	137
รูปที่ 7.9	ผลการสอบเทียบกับแรงที่มากกระทำกับ EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจร M ...	137
รูปที่ 7.10	ผลการสอบเทียบกับแรงในมุม 0 องศา กับมุม EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจร F	138
รูปที่ 7.11	ผลการสอบเทียบกับแรงในมุม 0 องศา กับมุม EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจร P	138
รูปที่ 7.12	ผลการสอบเทียบกับแรงในมุม 0 องศา กับมุม EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจร M	139
รูปที่ 7.13	ผลการสอบเทียบกับแรงในมุม -30 องศา กับมุม EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจร F	139
รูปที่ 7.14	ผลการสอบเทียบกับแรงในมุม -30 องศา กับมุม EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจร P	140
รูปที่ 7.15	ผลการสอบเทียบกับแรงในมุม -30 องศา กับมุม EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจร M	140
รูปที่ 7.16	ผลการสอบเทียบกับแรงในมุม -60 องศา กับมุม EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจร F	141

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 7.17 ผลการสอบเทียบกับแรงโน้มถ่วง -60 องศาโน้มถ่วง EOR ในทิศทางต่างๆ ของ วงจร P	141
รูปที่ 7.18 ผลการสอบเทียบกับแรงโน้มถ่วง -60 องศาโน้มถ่วง EOR ในทิศทางต่างๆ ของ วงจร M	142
รูปที่ 7.19 ผลการสอบเทียบกับแรงโน้มถ่วง -90 องศาโน้มถ่วง EOR ในทิศทางต่างๆ ของ วงจร F	142
รูปที่ 7.20 ผลการสอบเทียบกับแรงโน้มถ่วง -90 องศาโน้มถ่วง EOR ในทิศทางต่างๆ ของ วงจร P	143
รูปที่ 7.21 ผลการสอบเทียบกับแรงโน้มถ่วง -90 องศาโน้มถ่วง EOR ในทิศทางต่างๆ ของ วงจร M	143
รูปที่ 7.22 ผลการสอบเทียบกับแรงกด F ที่กระทำกับใบมีดของวงจร F	144
รูปที่ 7.23 ผลการสอบเทียบกับแรงกด F ที่กระทำกับใบมีดของวงจร P	144
รูปที่ 7.24 ผลการสอบเทียบกับแรงกด F ที่กระทำกับใบมีดของวงจร M	145
รูปที่ 7.25 ผลการสอบเทียบกับแรงเฉือน P ที่กระทำกับใบมีดของวงจร F	145
รูปที่ 7.26 ผลการสอบเทียบกับแรงเฉือน P ที่กระทำกับใบมีดของวงจร P	146
รูปที่ 7.27 ผลการสอบเทียบกับแรงเฉือน P ที่กระทำกับใบมีดของวงจร M	146
รูปที่ 7.28 ผลการสอบเทียบกับแรงโน้มถ่วง EOR องศาต่างๆ กับใบมีดของวงจร F	147
รูปที่ 7.29 ผลการสอบเทียบกับแรงโน้มถ่วง EOR องศาต่างๆ กับใบมีดของวงจร P	147
รูปที่ 7.30 ผลการสอบเทียบกับแรงโน้มถ่วง EOR องศาต่างๆ กับใบมีดของวงจร M	148
รูปที่ 7.31 ด้านหลังของใบมีดก่อนการพรวน	148
รูปที่ 7.32 ด้านหลังของใบมีดหลังการพรวน ในการทดลองใบมีดใบเดียวที่ความเร็ว 75 รอบต่อนาที ระยะการตัดทราย 9 เซนติเมตร	149
รูปที่ 7.33 ด้านหลังของใบมีดหลังการพรวน ในการทดลองที่มีใบมีดข้างเคียงในรูปแบบ การตัดทรายแบบที่ 2	149
รูปที่ 7.34 ด้านหลังของใบมีดหลังการพรวน ในการทดลองที่มีใบมีดข้างเคียงในรูปแบบ การตัดทรายแบบที่ 8	150
รูปที่ 7.35 ทรายในกระบะหลังจากถูกพรวนด้วยใบมีดใบเดียว	150
รูปที่ 7.36 รูปสัญญาณที่ได้จากการทดลองใบมีดพรวนในกระบะทรายที่ความเร็ว 75 รอบต่อนาทีและระยะการตัดทราย 9 เซนติเมตร	152

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 7.53 สัญญาณที่ได้จากการพรวนด้วยใบมีดที่มีใบมีดข้างเคียง รูปแบบที่ 4, 5 และ 6 ที่ความเร็ว 75 รอบต่อนาที ระยะการตัดทราย 9 เซนติเมตร ของวงจร P	160
รูปที่ 7.54 สัญญาณที่ได้จากการพรวนด้วยใบมีดที่มีใบมีดข้างเคียง รูปแบบที่ 4, 5 และ 6 ที่ความเร็ว 75 รอบต่อนาที ระยะการตัดทราย 9 เซนติเมตร ของวงจร M	161
รูปที่ 7.55 สัญญาณที่ได้จากการพรวนด้วยใบมีดที่มีใบมีดข้างเคียง รูปแบบที่ 7, 8 และ 9 ที่ความเร็ว 75 รอบต่อนาที ระยะการตัดทราย 9 เซนติเมตร ของวงจร F	161
รูปที่ 7.56 สัญญาณที่ได้จากการพรวนด้วยใบมีดที่มีใบมีดข้างเคียง รูปแบบที่ 7, 8 และ 9 ที่ความเร็ว 75 รอบต่อนาที ระยะการตัดทราย 9 เซนติเมตร ของวงจร P	162
รูปที่ 7.57 สัญญาณที่ได้จากการพรวนด้วยใบมีดที่มีใบมีดข้างเคียง รูปแบบที่ 7, 8 และ 9 ที่ความเร็ว 75 รอบต่อนาที ระยะการตัดทราย 9 เซนติเมตร ของวงจร M ...	162
รูปที่ 8.1 แรงกระทำที่ EOR	164
รูปที่ 8.2 ตัวแปรของแรงกระทำที่ตำแหน่ง A เทียบกับ EOR	164
รูปที่ 8.3 การเปลี่ยนแปลงอัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ต่อแรงกระทำต่อ EOR ในทิศทางต่างๆ ต่อมุมแรงที่มากระทำกับ EOR ของวงจร F	165
รูปที่ 8.4 การเปลี่ยนแปลงอัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ต่อแรงกระทำต่อ EOR ในทิศทางต่างๆ ต่อมุมแรงที่มากระทำกับ EOR ของวงจร P	166
รูปที่ 8.5 การเปลี่ยนแปลงอัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ต่อแรงกระทำต่อ EOR ในทิศทางต่างๆ ต่อมุมแรงที่มากระทำกับ EOR ของวงจร M	166
รูปที่ 8.6 การเปลี่ยนแปลงอัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ต่อแรงกระทำต่อ EOR ในทิศทางต่างๆ ต่อค่ามุม sin ของแรงที่มากระทำกับ EOR ของวงจร F	167
รูปที่ 8.7 การเปลี่ยนแปลงอัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ต่อแรงกระทำต่อ EOR ในทิศทางต่างๆ ต่อค่ามุม cos ของแรงที่มากระทำกับ EOR ของวงจร P	167
รูปที่ 8.8 การเปลี่ยนแปลงอัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ต่อแรงกระทำต่อ EOR ในทิศทางต่างๆ ต่อค่ามุม sin ของแรงที่มากระทำกับ EOR ของวงจร M	168
รูปที่ 8.9 การเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ของวงจร F ต่อความต่างศักย์ของวงจร P ในกรณีแรงกระทำต่อ EOR ในทิศทางต่างๆ	169
รูปที่ 8.10 แสดงระยะและมุมของตำแหน่งที่แรงกระทำในการสอบเทียบ	170
รูปที่ 8.11 ผลการสอบเทียบกับแรงที่มากระทำกับ EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจร F เมื่ออยู่ในรูปของสมการ (8.5)	171

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 8.12 ผลการสอบเทียบกับแรงที่มากกระทำกับ EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจร P เมื่ออยู่ในรูปของสมการ (8.6)	171
รูปที่ 8.13 ผลการสอบเทียบกับแรงที่มากกระทำกับ EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจร M เมื่ออยู่ในรูปของสมการ (8.7)	173
รูปที่ 8.14 แสดงระยะและมุมของตำแหน่งที่แรงกระทำในการสอบเทียบในกรณีแรงกด F และแรงเฉือน P	174
รูปที่ 8.15 ผลการสอบเทียบโมเมนต์จากแรงกด F และแรงเฉือน P กับ EOR ที่ระยะต่างๆ	175
รูปที่ 8.16 ผลการสอบเทียบโมเมนต์กับ EOR	175
รูปที่ 8.17 การเปลี่ยนแปลงอัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ต่อแรงกด F ต่อระยะห่างจากจุดศูนย์กลางตามความยาวของ EOR ของวงจร F, P และ M ...	176
รูปที่ 8.18 การเปลี่ยนแปลงอัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ต่อแรงเฉือน P ต่อระยะห่างจากศูนย์กลางวงกลมของ EOR ของวงจร F, P และ M	177
รูปที่ 8.19 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า V_f , V_p เทียบกับ V_m	180
รูปที่ 8.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความผิดพลาดกับมุมหลังการเพิ่มมุมด้วยค่าคงที่	185
รูปที่ 8.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความผิดพลาดกับมุมก่อนการเพิ่มมุมด้วยค่าคงที่	185
รูปที่ 8.22 แสดงตำแหน่งที่แรงกระทำบนโม่มีด	188
รูปที่ 8.23 การเปลี่ยนแปลงอัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ต่อแรงกด F ต่อระยะห่างจากจุดศูนย์กลางตามความยาวของ EOR ของวงจร F, P และ M ในกรณีที่แรงกระทำต่อโม่มีด	189
รูปที่ 8.24 การเปลี่ยนแปลงอัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ต่อแรงเฉือน P ต่อระยะห่างจากศูนย์กลางวงกลมของ EOR ของวงจร F, P และ M ในกรณีที่แรงกระทำต่อโม่มีด	189
รูปที่ 8.25 การเปลี่ยนแปลงอัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ต่อแรงในมุม 90 องศาต่อตำแหน่งบนขอบโม่มีดของวงจร F, P และ M	191
รูปที่ 9.1 อธิบายความหมายของรูปที่แสดงขนาด ทิศทาง และแนวของแรงในขณะโม่มีดพรวน	197
รูปที่ 9.2 แสดงการเปรียบเทียบแรงต้านทานลัฟท์มากที่สุดในกรณีโม่มีดโม่เดียว	199
รูปที่ 9.3 แสดงขนาด ทิศทาง และแนวของแรงลัฟท์ในขณะโม่มีดพรวนในกรณีโม่มีดโม่เดียวที่ระยะการตัดทราย 3 เซนติเมตร ความเร็ว 25 รอบต่อนาที	200

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 9.18	เปรียบเทียบแรงแลัพท์ระหว่างรูปแบบการตัดทรายแบบที่ 1 กับรูปแบบการตัด ทรายแบบที่ 7 217
รูปที่ 9.19	เปรียบเทียบแรงแลัพท์ระหว่างรูปแบบการตัดทรายแบบที่ 1 กับรูปแบบการตัด ทรายแบบที่ 8 218
รูปที่ 9.20	เปรียบเทียบแรงแลัพท์ระหว่างรูปแบบการตัดทรายแบบที่ 1 กับรูปแบบการตัด ทรายแบบที่ 9 219
รูปที่ 9.21	แสดงการเปรียบเทียบแรงแลัพท์ด้านทานลัพท์มากที่สุดของรูปแบบการตัดทราย แบบต่างๆ 221
รูปที่ 9.22	แสดงขนาด ทิศทาง และแนวของแรงแลัพท์ในขณะที่ไบริมิดพรวนในกรณีมี ไบริมิดข้างเคียงรูปแบบที่ 1 222
รูปที่ 9.23	แสดงขนาด ทิศทาง และแนวของแรงแลัพท์ในขณะที่ไบริมิดพรวนในกรณีมี ไบริมิดข้างเคียงรูปแบบที่ 2 223
รูปที่ 9.24	แสดงขนาด ทิศทาง และแนวของแรงแลัพท์ในขณะที่ไบริมิดพรวนในกรณีมี ไบริมิดข้างเคียงรูปแบบที่ 3 224
รูปที่ 9.25	แสดงขนาด ทิศทาง และแนวของแรงแลัพท์ในขณะที่ไบริมิดพรวนในกรณีมี ไบริมิดข้างเคียงรูปแบบที่ 4 225
รูปที่ 9.26	แสดงขนาด ทิศทาง และแนวของแรงแลัพท์ในขณะที่ไบริมิดพรวนในกรณีมี ไบริมิดข้างเคียงรูปแบบที่ 5 226
รูปที่ 9.27	แสดงขนาด ทิศทาง และแนวของแรงแลัพท์ในขณะที่ไบริมิดพรวนในกรณีมี ไบริมิดข้างเคียงรูปแบบที่ 6 227
รูปที่ 9.28	แสดงขนาด ทิศทาง และแนวของแรงแลัพท์ในขณะที่ไบริมิดพรวนในกรณีมี ไบริมิดข้างเคียงรูปแบบที่ 7 228
รูปที่ 9.29	แสดงขนาด ทิศทาง และแนวของแรงแลัพท์ในขณะที่ไบริมิดพรวนในกรณีมี ไบริมิดข้างเคียงรูปแบบที่ 8 229
รูปที่ 9.30	แสดงขนาด ทิศทาง และแนวของแรงแลัพท์ในขณะที่ไบริมิดพรวนในกรณีมี ไบริมิดข้างเคียงรูปแบบที่ 9 230
รูปที่ ค.1	ลักษณะของ EOR ที่ใช้ในการทดลอง 256
รูปที่ ค.2	มิติของ EOR ที่ใช้ในการทดลอง 257
รูปที่ ค.3	ลักษณะของสเตรนเกจ 258

สารบัญญภาพ (ต่อ)

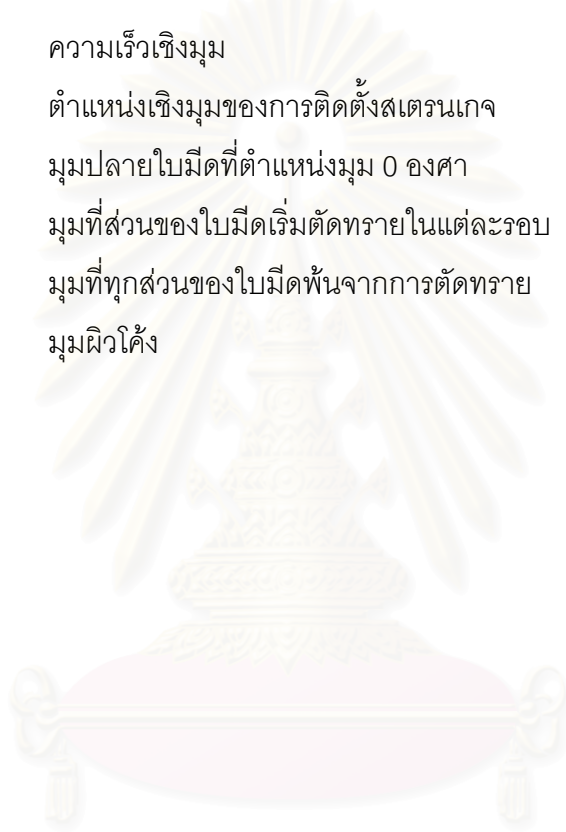
		หน้า
รูปที่ ค.4	วงจรวัดกระแสใช้สเตรนเกจ 4 ตัว	259
รูปที่ ค.5	ตำแหน่งอ้างอิงมุม θ ในการติดสเตรนเกจบน EOR	259
รูปที่ ค.6	ตำแหน่ง และวงจรวัดกระแสของสเตรนเกจบน EOR	260
รูปที่ ค.7	ภาพสเกตช์การวางสายของสเตรนเกจทั้งหมดที่จะติดตั้งบน EOR (ภาพโดย นายกฤดา)	261
รูปที่ ค.8	วิธีการขัด EOR ด้วยกระดาษทรายน้ำบรณะก	262
รูปที่ ค.9	เช็ด EOR ด้วยน้ำยา Acetone	262
รูปที่ ค.10	การขีดเส้นทำกาบาทตำแหน่งที่จะติดตั้งสเตรนเกจบน EOR	263
รูปที่ ค.11	การติดเทปกาวแบบใสบนสเตรนเกจ	263
รูปที่ ค.12	ใช้สำลีแบบก้านชุบน้ำยา Acetone เช็ดสเตรนเกจ	264
รูปที่ ค.13	การติดสเตรนเกจด้วยเทปกาวแบบใสบน EOR	264
รูปที่ ค.14	การติดกาวบนสเตรนเกจ	265
รูปที่ ค.15	การใช้นิ้วมือกดแผ่นพลาสติก เพื่อป้องกันกาวติดมือ	265
รูปที่ ค.16	สเตรนเกจที่ติดเทปกาวแบบใสเรียบร้อยแล้ว	265
รูปที่ ค.17	การเคลือบสเตรนเกจด้วยแผ่นแวกซ์	266
รูปที่ ค.18	EOR ที่ทำการติดตั้งสเตรนเกจเรียบร้อยแล้ว	267
รูปที่ ง.1	อุปกรณ์ควบคุมกระเบะ ประกอบด้วย 1) มอเตอร์ 2) ชุดเฟืองโซ่สำหรับลาก กระเบะ 3) ชุดเฟืองโซ่สำหรับทอรอบกระเบะ 4) ห้องเกียร์	268
รูปที่ ง.2	กล่องควบคุม (Control Box) และ อินเวอร์เตอร์ ประกอบด้วย 1) อินเวอร์เตอร์ ควบคุมความเร็วกระเบะ 2) กล่องควบคุมการเคลื่อนกระเบะ 3) อินเวอร์เตอร์ ควบคุมความเร็วเพลลาไบมีด	269
รูปที่ ง.3	วงจรรวมควบคุมการเคลื่อนที่ของกระเบะ	270
รูปที่ ง.4	ชุดเฟืองโซ่ขับเคลื่อน	271

คำอธิบายสัญลักษณ์

A	ความกว้างของด้ามใบมีด
a	ระยะสันดินที่เหลือจากการพรวน
B	ความหนาของใบมีด
D	เส้นผ่านศูนย์กลางของรูของที่จับยึด
E	ค่าโมดูลัสของยังส์
F	ระยะจากจุดศูนย์กลางจอบหมุนถึงศูนย์กลางรูที่ด้ามใบมีด
F	ระยะจากศูนย์กลางรูที่ด้ามใบมีดถึงปลายของด้ามใบมีด
f	ความถี่ของมอเตอร์
G	ระยะจากศูนย์กลางรูที่ด้ามใบมีดถึงปลายของที่ยึดจับ
g	แรงโน้มถ่วงของโลก
H	ความลึกในการพรวนดิน
H _{max}	ความลึกในการพรวนดินมากที่สุด
I	ระยะเหวี่ยงก่อนดิน
I _{min}	โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกนสะเทิน ช่วงที่ดินยังไม่ได้ตัด
K	อัตราการเปลี่ยนแปลงของมุมขอบโค้ง
L1	ความยาวของใบมีดก่อนผ่านกระบวนการตัด
L _{max}	ระยะในการเหวี่ยงก่อนดินมากที่สุด
M	ความสูงของโค้งใบมีด
M _x	โมเมนต์ตัดที่กระทำกับคานตรง
M _θ	โมเมนต์ตัดที่กระทำกับวงแหวน
m	อัตราทดเฟืองของชุดเฟืองทด
N	ความเร็วของเพลาจอบหมุน
n	ความเร็วรอบของมอเตอร์
n	จำนวนรอบหมุนของเพลาด้ามใบมีด

P	ซั้ว (โพล) ของมอเตอร์ ระยะตัดดิน แรงเฉือน
P_a	ระยะตัดดินจริง
P'_a	ระยะตัดดินข้างเคียง
R	รัศมีการหมุนของใบมีด รัศมีส่วนล่างของใบมีด
R_{10}	รัศมีตัดของส่วนปลายมีด
R^2	สัมประสิทธิ์การตัดดินในใจ
r	รัศมีของใบมีดที่มุม θ
r_0	รัศมีของใบมีด
SD	ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย
T1	ความหนาส่วนคอ
T2	ความหนาของปลายใบมีด
U	พลังงานความเครียด
V	ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องจักร แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายให้วงจรรบริดจ์
ΔV	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเมื่อมีโมเมนต์ตัดมากกระทำต่อสเตรนเกจ
v	ความเร็วการเคลื่อนที่ของกระบะ
W_3	ความหนาของปลายใบมีด
x	ตำแหน่งบนคานตรง
Z	จำนวนใบมีดบนหน้าแปลน
α	มุมขอบโค้ง
α_0	มุมขอบโค้งที่รัศมีของใบมีด
β	Cutting-in angle
β_1	Scoop angle หรือ Rake angle
δ	มุมตัด
ϵ	มุมคมของใบมีด
ϵ_0	มุมที่ส่วนตัด
ϵ_1, ϵ_2	ความเครียด

γ	มุมคมจริง มุมตัดปลายใบมีด
γ'	มุมของการตัดของส่วน Scoop
λ	อัตราส่วนระหว่าง จำนวนรอบหมุนของใบมีด กับความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องจักร
σ	ความเค้นดัดที่เกิดขึ้นในวงแหวน
τ	แรงจากการตัดดินของใบมีด
ω	ความเร็วเชิงมุม
θ	ตำแหน่งเชิงมุมของการติดตั้งสเตรนเกจ
θ_a	มุมปลายใบมีดที่ตำแหน่งมุม 0 องศา
θ_b	มุมที่ส่วนของใบมีดเริ่มตัดทรายในแต่ละรอบ
θ_c	มุมที่ทุกส่วนของใบมีดพ้นจากการตัดทราย
ξ	มุมผิวโค้ง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

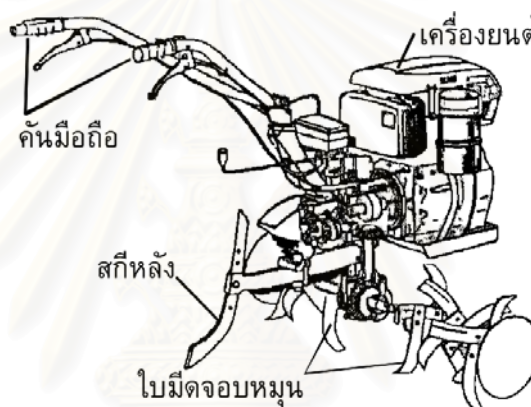
1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์

เครื่องพรวนจอบหมุนเป็นเครื่องจักรกลการเกษตรที่ใช้ในการเตรียมดิน ซึ่งถ่ายทอดกำลังผ่านเพลลาอำนาจกำลังของแทรกเตอร์หรือรถไถเดินตามหมุนขับเพลลาใบมีดที่มีใบมีดจำนวนหลายใบถูกยึดติดอยู่ ซึ่งเพลลาอาจจะหมุนในแนวตั้งหรือแนวราบก็ได้ (โดยทั่วไปแนวราบ) ใบมีดหมุนตัดดินเพื่อย่อยดินให้แตกเป็นก้อนเล็กๆ และคลุกเคล้าเศษหญ้าให้ผสมกับดิน (ปานมนัสและชวนพิศ, 2537: 118-119) ความสิ้นเปลืองอย่างมากในการใช้เครื่องพรวนจอบหมุนก็คือ ใบมีดจอบหมุน เพราะว่าใบมีดจอบหมุนจะสึกหรอเร็วมากจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนบ่อย และการเปลี่ยนใบมีดแต่ละครั้งจะต้องเปลี่ยนทั้งหมด ดังนั้นใบมีดจอบหมุนจึงเป็นชิ้นส่วนที่สะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องพรวนจอบหมุน

การศึกษาประสิทธิภาพของใบมีดจอบหมุนมีหลายวิธี วิธีหนึ่งคือดูลักษณะของงานที่ได้จากการพรวนดิน เช่น ขนาดของก้อนดินที่ได้ การสึกหรอของใบมีดในการใช้งาน เป็นต้น หรืออาศัยการวัดแรงที่ใช้ในการพรวนดิน โดยแยกออกเป็นการวัดแรงรวมที่เกิดขึ้นจากชุดใบมีดบนเพลลาจอบหมุนแล้วนำผลที่ได้ไปใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับระบบโดยรวมของเครื่องพรวนจอบหมุนกับการวัดแรงที่กระทำบนใบมีดโดยตรงเพื่อนำผลวิเคราะห์ไปใช้สำหรับการออกแบบรูปร่างใบมีดซึ่งเกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์อันประกอบด้วย ขนาด ส่วนโค้งของขอบตัดดิน ผิวโค้งของส่วนตัดปลายใบมีด การจัดเรียงใบมีด เป็นต้น

วิธีหนึ่งในการศึกษาโดยการวัดแรงที่กระทำบนใบมีดโดยตรงใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Extended Octagonal Ring (EOR) ทำหน้าที่เป็นทรานสดิวเซอร์ในการเปลี่ยนแรงที่กระทำบนใบมีดจอบหมุนให้มาอยู่ในรูปของความต่างศักย์ไฟฟ้าโดยอาศัยวงจรบริดจ์ของสเตรนเกจที่ติดอยู่ โดย EOR สามารถวัดแรงกด แรงเฉือน และโมเมนต์ในระนาบของแรงกดและแรงเฉือน ทำให้ทราบถึงแรงลัพธ์ที่กระทำ ซึ่งจะนำไปวิเคราะห์โดยพิจารณาพร้อมกับพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับแรงที่กระทำบนไ้มีดจอบหมุนในประเทศไทยยังมีน้อย เนื่องจากการออกแบบวิจัยและพัฒนาารถไถเดินตามชนิดติดเครื่องพรวนจอบหมุนเชิงอุตสาหกรรมยังไม่มีในประเทศ เพราะจะต้องอาศัยความรู้และเทคโนโลยีสูงกว่ารถไถเดินตามชนิดติดอุปกรณ์ไถ แม้ว่าเกษตรกรไทยมีความต้องการรถไถชนิดแรกมากขึ้น แต่ปัจจุบันก็มีกลุ่มบริษัทเอกชนพยายามวิจัยและพัฒนาารถไถเดินตามชนิดติดเครื่องพรวนจอบหมุนกันมาเป็นเวลานานหลายปีมาแล้ว ซึ่งคาดว่าภายในปี พ.ศ. 2546 ก็จะทำให้สำเร็จ ดังนั้นการศึกษานี้ก็จะได้ข้อมูลอันเป็นประโยชน์เพื่อออกแบบรูปร่างไ้มีดจอบหมุนให้มีประสิทธิภาพ และเหมาะสมกับสภาพพื้นที่ในประเทศไทยยิ่งขึ้น โดยงานวิจัยนี้ศึกษาโดยการเน้นที่ไ้มีดจอบหมุนแบบตัวที่ใช้กับรถไถพรวนดิน (motor tiller) สำหรับการพรวนดินในการทำการเกษตรแบบผสมไร่และสวน



รูปที่ 1.1 ลักษณะของรถไถพรวนดิน

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1. สร้างชุดทดลองสำหรับควบคุมพารามิเตอร์ของไ้มีดจอบหมุน และชุดทดลองสำหรับการเก็บข้อมูลแรงต้านทานที่กระทำบนไ้มีดจอบหมุน
2. ศึกษาคุณสมบัติของทรานสดิวเซอร์ EOR เมื่อมีแรงมากกระทำ เพื่อนำไปใช้วัดแรงต้านทานที่กระทำบนไ้มีดจอบหมุน
3. เปรียบเทียบแรงต้านทานที่เกิดขึ้นที่ไ้มีดจอบหมุนใบเดี่ยวในกรณีที่ระยะตัดทรายเท่ากัน ความเร็วรอบหมุนของเพลลาไ้มีดต่างกัน
4. เปรียบเทียบแรงต้านทานที่เกิดขึ้นที่ไ้มีดจอบหมุนใบเดี่ยวในกรณีที่ระยะตัดทรายต่างกัน ความเร็วรอบหมุนของเพลลาไ้มีดเท่ากัน
5. เปรียบเทียบแรงต้านทานที่เกิดขึ้นที่ไ้มีดจอบหมุนในกรณีที่มีไ้มีดข้างเคียง รูปแบบการตัดทรายต่างกัน ระยะตัดทรายและความเร็วรอบหมุนของเพลลาจอบหมุนเท่ากัน

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. ทดลองหาแรงต้านทานที่ใบมีดจอบหมุนแบบตัวซี โดยใบมีดจอบหมุนตัดทรายในลักษณะ down cut และทำการทดลองในกระเบทราย
2. ใบมีดจอบหมุนที่ใช้ทดลองเป็นใบมีดขวา โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองคือ ความเร็วรอบหมุนของเพลลาใบมีด 25, 50 และ 75 รอบต่อนาที ระยะตัดทราย 3, 6 และ 9 เซนติเมตร และความลึกในการพรวน 12 เซนติเมตร
3. ระยะระหว่างใบมีดแต่ละใบในการทดลองกรณีมีใบมีดข้างเคียง คือ 4.5 เซนติเมตร โดยทุกกรณีที่ทดลองใช้ระยะตัดทราย 9 เซนติเมตรที่ความเร็วรอบหมุนของเพลลาใบมีด 75 รอบต่อนาที

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์นี้สามารถแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานได้ดังนี้

1.4.1 ขั้นตอนเตรียมการทดลอง

1. ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับใบมีดจอบหมุนเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ และมีผลต่อแรงต้านทานในการพรวนของใบมีด
2. ศึกษาทฤษฎีตัววัดแรง EOR เพื่อมาประยุกต์ใช้ในการวัดแรงที่ใบมีดจอบหมุน
3. ศึกษาทฤษฎีการเก็บข้อมูลและวิธีการใช้งานอุปกรณ์เครื่องมือวัด
4. วางแผนกรณีทดลองสำหรับหาแรงต้านทานกระทำที่ใบมีด
5. ออกแบบ สร้างและพัฒนาชุดทดลองสำหรับวัดแรงต้านทานที่ใบมีด
6. สอบเทียบ EOR และทดสอบระบบเก็บข้อมูล

1.4.2 ขั้นตอนทดลองเพื่อเก็บข้อมูลแรงต้านทานที่เกิดขึ้น

1. ทำการรวมระบบเก็บข้อมูลเข้ากับระบบควบคุมพารามิเตอร์ และทำการปรับค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองตามกรณีทดลอง
2. ทดลองกรณีใบมีดใบเดียว 9 กรณี ที่ระยะการตัดทรายและความเร็วรอบหมุนต่างๆ

3. ทดลองกรณีมีใบมีดข้างเดียว 9 กรณี ที่ระยะการตัดทอยและความเร็วรอบหมุนเท่ากัน

1.4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง สรุปผลที่เกิดขึ้น รวมทั้งข้อเสนอแนะ

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์

1. ก่อให้เกิดความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแรงต้านทานกระทำที่ใบมีดจอบหมุนในกรณีเปรียบเทียบ
2. สามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาชุดทดลองเพื่อทดลองหาแรงต้านทานโดยประยุกต์ใช้ EOR
3. สามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบการเก็บข้อมูลที่ใช้ร่วมกับคอมพิวเตอร์
4. ใช้เป็นข้อมูลสำหรับการออกแบบรูปร่างใบมีดจอบหมุนแบบตัวซี

1.6 ทัศนวิจารณ์วรรณกรรม

Hendrick, J. G. และ Gill, W. R. (1971, 1974) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ในการออกแบบใบมีดจอบหมุน 4 ตัว คือ ทิศทางหมุน ความลึกในการพรวน อัตราส่วนระหว่างความเร็วในการเคลื่อนที่กับความเร็วหมุนของเพลลาจอบหมุน และความสัมพันธ์ของมุมคมตัดกับการเคลื่อนที่ของใบมีด

Hoag, D. L. และ Yoerger, R. R. (1974, 1975) วิเคราะห์และออกแบบ EOR สำหรับวัดแรงกด แรงเฉือน และโมเมนต์ที่มากกระทำ โดยใช้สเตรนเกจต่อเป็นวงจรวัดจติติดบน EOR ตรงตำแหน่งที่สามารถวัดแรงกดอิสระกับแรงเฉือน โดยการวิเคราะห์ตามหลักของกลศาสตร์วัสดุ

Godwin, R. J. (1975) ประยุกต์ใช้ EOR ในการวัดแรงที่เกิดขึ้นในการทดลองไถ ทำให้พบปัญหาเกี่ยวกับรูปร่างของ EOR ที่ต้องมีการปรับปรุงเพื่อการวัดที่ถูกต้อง โดยผลลัพธ์ที่ได้จาก EOR มีลักษณะเป็นเชิงเส้นกับแรงกระทำ อิสระกับตำแหน่งของแรงกระทำซึ่งเหมาะสำหรับใช้วัดแรงในการศึกษาแรงต้านทานในการไถที่มีลักษณะของแรงเป็นสองมิติ

Sakai, J. และ Shibata, (1975) เสนอทฤษฎีมุม β สัมพันธ์กับค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถไถพรวน ความเร็วรอบหมุนของเพลลาใบมีด รัศมีของใบมีด และความลึกในการพรวน นำไปใช้ในการออกแบบโมเดลทางคณิตศาสตร์ของผิวโค้งของใบมีด

Sakai, J. (1975) วิเคราะห์หลักการที่สำคัญ 3 อย่างสำหรับการออกแบบใบมีด จอบหมุนแบบตัวซี คือ มุม β_1 มุมขอบโค้ง α และภาพหน้าตัดของใบมีด โดยการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของใบมีด ปัจจัยเกี่ยวกับรูปร่างของใบมีดที่สัมพันธ์กับประสิทธิภาพ และลักษณะความต้านทานของใบมีด

Sakai, J. และ Shibata, Y. (1976) เสนอว่าบริเวณของดินที่ไม่ได้ถูกพรวนมีผลต่อแรงต้านทานที่กระทำกับใบมีดโดยพิจารณาจากคมตัดของใบมีด เนื่องจากคมมีดแบบสองคมจะเกิดแรงต้านทานกับดินบริเวณที่ไม่ได้ถูกพรวน

Sakai, J. (1977) พบว่าขอบตัดดินโค้งของใบมีดจอบหมุนแบบตัวซีสามารถแสดงให้อยู่ในรูปของสมการเส้นโค้งเวียนก้นหอย (Spiral) โดยค่ามุมขอบโค้งมีการเปลี่ยนแปลงคงที่ คือ $1/18$ จากที่รัศมีของด้ามมีด คือ 67.5° ถึงรัศมีที่ปลายใบมีดส่วนตรง คือ 57.5° จะไม่มีวัชพืชหรือฟางข้าวพันที่ใบมีด

Sakai, J. (1978) เสนอกระบวนการการออกแบบใบมีดจอบหมุนพร้อมกับทฤษฎีการออกแบบใบมีดอย่างย่อสำหรับแต่ละส่วนของใบมีด โดยแสดงเป็นแผนผังการออกแบบสำหรับการวางแผนออกแบบใบมีด

Fujiura, T., Kawamura, N. และ Si Gia, P. (1979) เสนอแนวคิดในการหาตำแหน่งของแรงต้านทานที่เกิดขึ้นบนใบมีดจอบหมุนแบบตัวซีจากการวัดแรงต้านทานด้วย EOR

Sakai, J. และ Hai, L. V. (1980) แสดงกระบวนการผลิตใบมีดจอบหมุนแบบตัวซีซึ่งสัมพันธ์กับการออกแบบใบมีดจอบหมุน

Thakur, T. C. (1988) นำ EOR มาประยุกต์ใช้วัดแรงต้านทานที่กระทำกับใบมีดจอบหมุนแบบตัวแอล

Gu, Y., Kushwaha, R. L. และ Zoerb, G. C. (1993) ได้เสนอโมเดลของ EOR เกี่ยวกับ cross sensitivity ว่าความต่างศักย์ที่อ่านได้จากวงจรที่วัดแรงในแนวตั้งเป็นผลรวมของค่าคงที่ แรงในแนวตั้งและแรงในแนวนอน เช่นเดียวกับความต่างศักย์ที่อ่านได้จากวงจรที่วัดแรงในแนวนอน โดยหาได้จากสมการถดถอยเชิงเส้น และผลของการติดอุปกรณ์และวิธีการติดบน EOR จะให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน

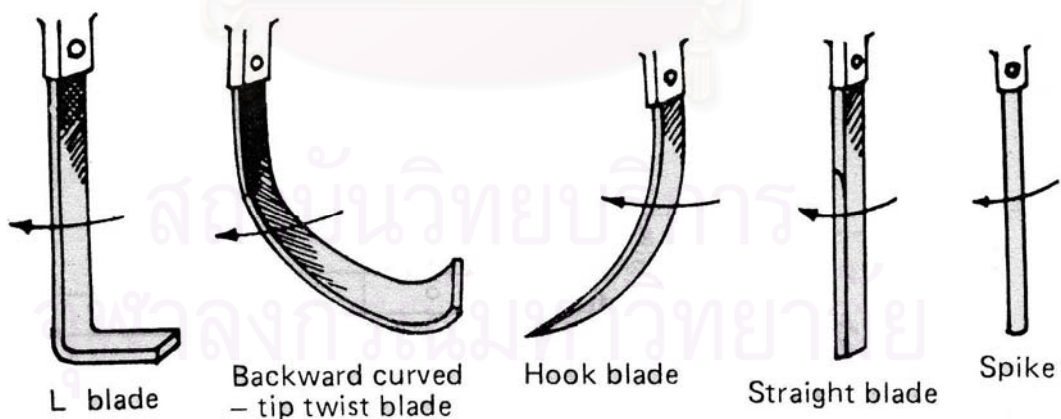
บทที่ 2

ทฤษฎีการออกแบบใบมีดจอบหมุน

การศึกษารายละเอียดด้านทานที่ใบมีดจอบหมุนมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องอยู่สองกลุ่มใหญ่ๆ คือ พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับดิน (ชนิด ความชื้น ความแข็ง ฯลฯ) กับพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของรูปร่างใบมีด โดยค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับดินสามารถนำมาใช้ในการเปรียบเทียบขนาดและลักษณะของแรงที่เกิดขึ้นได้ แต่ไม่สามารถที่จะใช้เป็นหลักในการออกแบบตัวใบมีดจอบหมุนได้ ส่วนค่าพารามิเตอร์ลักษณะของรูปร่างใบมีดที่สัมพันธ์กับแรงสามารถนำมาใช้ในการออกแบบใบมีดจอบหมุนได้ ดังนั้น การออกแบบใบมีดจอบหมุนจึงต้องคำนึงถึงพารามิเตอร์ลักษณะของรูปร่างใบมีดเป็นหลัก

2.1 ชนิดของใบมีดจอบหมุน

ใบมีดจอบหมุนที่ใช้กับเครื่องพรวนจอบหมุนมีหลายประเภทตามการใช้งานสามารถแบ่งตามรูปร่างได้ 5 ชนิด (ดังแสดงในรูปที่ 2.1) ดังนี้คือ 1. L blade, 2. Backward curved tip twist blade, 3. Hook blade, 4. Straight blade และ 5. Spike (RNAM, 1995: 50)

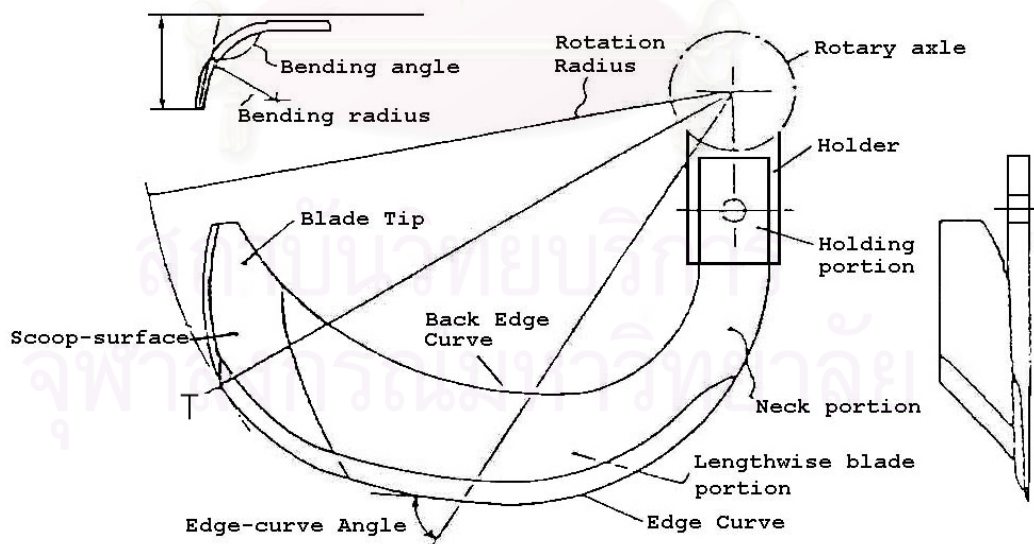


รูปที่ 2.1 รูปร่างใบมีดจอบหมุนชนิดต่างๆ

ใบมีดจอบหมุนที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันมีอยู่สองแบบ ซึ่งมีรูปร่างคล้ายกับใบมีดจอบหมุนชนิดที่ 1 และ 2 คือ ใบมีดที่มีขอบตัดดินมีลักษณะเหมือนตัวแอล ซึ่งนิยมเรียกกันทั่วไปว่า ใบมีดแบบตัวแอล (*L-shaped blade*) และใบมีดที่มีขอบตัดดินเหมือนตัวซี ซึ่งนิยมเรียกกันทั่วไปว่า ใบมีดแบบตัวซี (*C-shaped blade*) ใบมีดแบบตัวแอล หรือเรียกอีกอย่างว่า ใบมีดแบบยุโรป เป็นใบมีดที่นิยมใช้กันในยุโรปสำหรับการพรวนดินในการทำไร่ ส่วนใบมีดแบบตัวซีหรือเรียกอีกอย่างว่า ใบมีดแบบญี่ปุ่น เป็นใบมีดที่ออกแบบใช้ครั้งแรกในประเทศญี่ปุ่น เนื่องจากญี่ปุ่นได้นำใบมีดแบบตัวแอลไปใช้ในการพรวนดินสำหรับการทำนา พบว่ามีปัญหาการพันของวัชพืชและเศษฟางข้าวที่ตัวใบมีดและเพลลาใบมีดจอบหมุนจนทำให้เกิดแรงต้านทานมาก เครื่องพรวนจอบหมุนไม่สามารถทำงานต่อไปได้ เพื่อขจัดปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการออกแบบใบมีดให้ขอบตัดดินโค้งเพื่อลดการพันของวัชพืชและเศษฟางข้าว (สุรินทร์, 2539: 325)

เนื่องจากการศึกษานี้เป็นการศึกษาแรงต้านทานที่ใบมีดจอบหมุนแบบตัวซี ดังนั้น ทฤษฎีในการออกแบบจะยึดเอาการออกแบบใบมีดแบบตัวซีเป็นหลัก และหากทฤษฎีเกี่ยวข้องกับใบมีดแบบตัวแอลก็จะนำเอาหลักการบางส่วนของ การออกแบบใบมีดแบบตัวแอลใช้ในการอธิบายควบคู่กัน

2.2 รูปร่างของใบมีดจอบหมุนแบบตัวซีของญี่ปุ่น

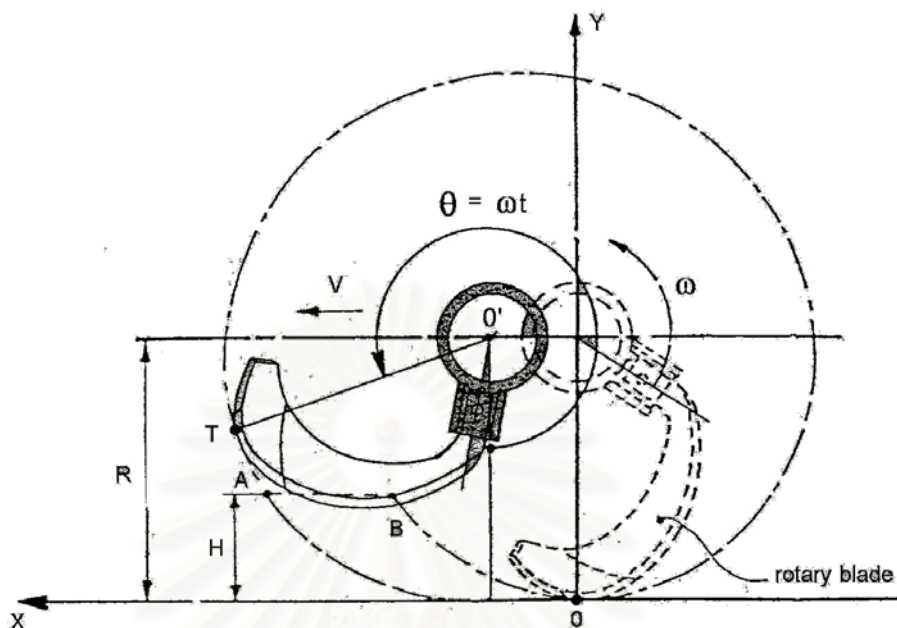


รูปที่ 2.2 ส่วนต่างๆ ของใบมีดจอบหมุนแบบตัวซีของญี่ปุ่น

ใบมีดจอบหมุน (Rotary blade) จะติดกับตัวจับยึด (Holder) ที่ตำแหน่งมุมต่างๆ บนเพลลาใบมีดจอบหมุน (Rotary axle) โดยมีรัศมีการหมุน (Rotation Radius) หรือรัศมีของใบมีดจอบหมุน R (คือระยะจากจุดศูนย์กลางเพลลาใบมีดจอบหมุนมาที่ปลายใบมีดจอบหมุน) รูปร่างของใบมีดจอบหมุนแบ่งตามหน้าที่การทำงานได้เป็น 4 ส่วน (ดังแสดงในรูปที่ 2.2) คือ

1. ส่วนด้ามมีด (Holding portion) ส่วนนี้จะมีรูไว้ร้อยสกรูเกลียวกับตัวจับยึด จำนวนรูบนส่วนด้ามมีดมีรูเดียวสำหรับใบมีดจอบหมุนแบบตัวซี และสองรูสำหรับใบมีดจอบหมุนแบบตัวแอล
2. ส่วนคอใบมีด (Neck portion หรือ Shank portion) เป็นส่วนที่ต่อระหว่างส่วนด้ามมีดกับส่วนใบมีดตามยาว ใบมีดจะเริ่มตัดโค้งที่ส่วนนี้ และเป็นส่วนที่ไม่มีขอบตัดดิน
3. ส่วนใบมีดตามยาว (Lengthwise blade portion) สำหรับใบมีดแบบตัวแอลส่วนนี้จะมีรูปร่างตรง สำหรับใบมีดแบบตัวซีส่วนนี้จะโค้งโดยมีขอบโค้ง (Edge curve) สำหรับตัดดิน และขอบโค้งหลัง (Back edge curve)
4. ส่วนปลายใบมีด (Tip blade portion หรือ Sidelong portion) เป็นส่วนใบมีดตามยาวที่ถูกตัดด้วยรัศมีการตัด (Bending radius) เป็นมุมด้วยมุมตัด (Bending angle) ใบมีดจอบหมุนแบบตัวแอลมีมุมตัดประมาณ 90° ส่วนใบมีดจอบหมุนแบบตัวซีของญี่ปุ่นมีมุมตัดประมาณ 130° และการตัดทำให้เกิดผิวโค้ง (Scoop surface) หนึ่งการตัดที่ปลายใบมีดทำให้จำแนกใบมีดออกได้เป็นใบมีดซ้ายกับใบมีดขวา สำหรับใบมีดแบบตัวซีกำหนดใบมีดซ้ายกับใบมีดขวาโดยดูจากด้ามใบมีดไปหาปลายใบมีด เมื่อหันขอบคมใบมีดลงล่าง ปลายตัดของใบมีดขวาจะชี้ไปทางซ้ายมือ ปกติการออกแบบใบมีดจะวาดใบมีดขวา ดังนั้น ทฤษฎีในการออกแบบจึงใช้ลักษณะของใบมีดขวาเป็นหลัก

2.3 แนววิถีการตัดของใบมีดจอบหมุน (Cutting Trajectory of Blade)



รูปที่ 2.3 แนววิถีตัดดินจากบนลงล่างของใบมีดจอบหมุน

เพลลาใบมีดจอบหมุนจะหมุนพร้อมกับเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ทิศทางการหมุนของเพลลาใบมีดจอบหมุนมีสองทิศทางคือ ทิศทางการหมุนไปข้างหน้า (Forward rotation) ทำให้ใบมีดจอบหมุนตัดดินจากบนลงล่าง (Down cut) (ดังแสดงในรูปที่ 2.3) และทิศทางการหมุนย้อนกลับ (Reverse rotation) ทำให้ใบมีดจอบหมุนตัดดินจากล่างขึ้นบน (Up cut) สำหรับรถไถพรวนดิน ใบมีดจอบหมุนนอกจากจะมีหน้าที่ในการพรวนดินแล้ว ยังมีหน้าที่เสมือนล้อของรถไถพรวนดิน ซึ่งการเคลื่อนที่ของรถไถพรวนดินจะอาศัยแรงที่เกิดจากการตัดดินของใบมีดจอบหมุน ดังนั้น ทิศทางการหมุนของเพลลาใบมีดจอบหมุนของรถไถพรวนดินจึงมีลักษณะหมุนไปข้างหน้า เพื่อทำให้เกิดแรงในการส่งให้ตัวรถเคลื่อนที่ไปข้างหน้า

การวิเคราะห์แนววิถีตัดดินจากบนลงล่างของใบมีดจอบหมุนโดยการตั้งแกน X-Y ให้แกน X เป็นบวกชี้ไปทางซ้าย และแกน Y เป็นบวกชี้ขึ้น โดยมีจุดกำเนิด (origin) ที่ จุด O (ดังแสดงในรูปที่ 2.3) จุดศูนย์กลางของเพลลาใบมีดจอบหมุนอยู่ที่ตำแหน่ง O' ห่างจากแกน X เป็นระยะรัศมีใบมีด R หมุนในทิศทางไปข้างหน้า (ทวนเข็มนาฬิกา) ด้วยความเร็วเชิงมุม ω และเคลื่อนที่ไปข้างหน้าตามทิศบวกของแกน X ด้วยความเร็ว v ความลึกการพรวนดิน H โดยจุด T เป็นจุดที่ปลายใบมีด

ตำแหน่งของจุด T ที่เวลา t ใดๆ ตามแกน X และ Y ดังสมการ (2.1) และ (2.2)

$$X = vt - R\sin(\omega t) \quad (2.1)$$

$$Y = R - R\cos(\omega t) \quad (2.2)$$

โดย $\omega t = \theta$ คือค่ามุมที่หมุนจากแกน Y ในช่วงเวลา t

สมการ (2.1) และสมการ (2.2) เป็นสมการแสดงเส้นโค้งโลคัส (Locus curve) หรือแนววิถีของจุด T สมการ (2.1) และสมการ (2.2) รวมเรียกว่า สมการเส้นโค้งโทรคอยด์ (Trochoid curve equation) เส้นโค้งโลคัสจะแสดงแนวตัดดินของใบมีดในแต่ละรอบด้วยความยาวตัดดิน (Bite length) คือ ระยะ \overline{AB} ส่วนช่วงมุมการตัดดินของใบมีดจอบหมุนส่วนใหญ่อยู่ในช่วง $\frac{3}{2}\pi < \theta < 2\pi$ (เริ่ม 0 องศา ที่ตำแหน่ง 0) โดยทั่วไปความเร็วของเพลาจอบหมุนแสดงในรูปของรอบต่อนาที (rpm) ดังนั้น จะได้ความเร็วเชิงมุมของเพลาจอบหมุนจาก

$$\omega = \frac{n\pi}{30} \quad (2.3)$$

เมื่อ n คือ จำนวนรอบหมุนของเพล่าใบมีด (รอบต่อนาที)

2.4 ระยะตัดดิน (Tillage Pitch, P)

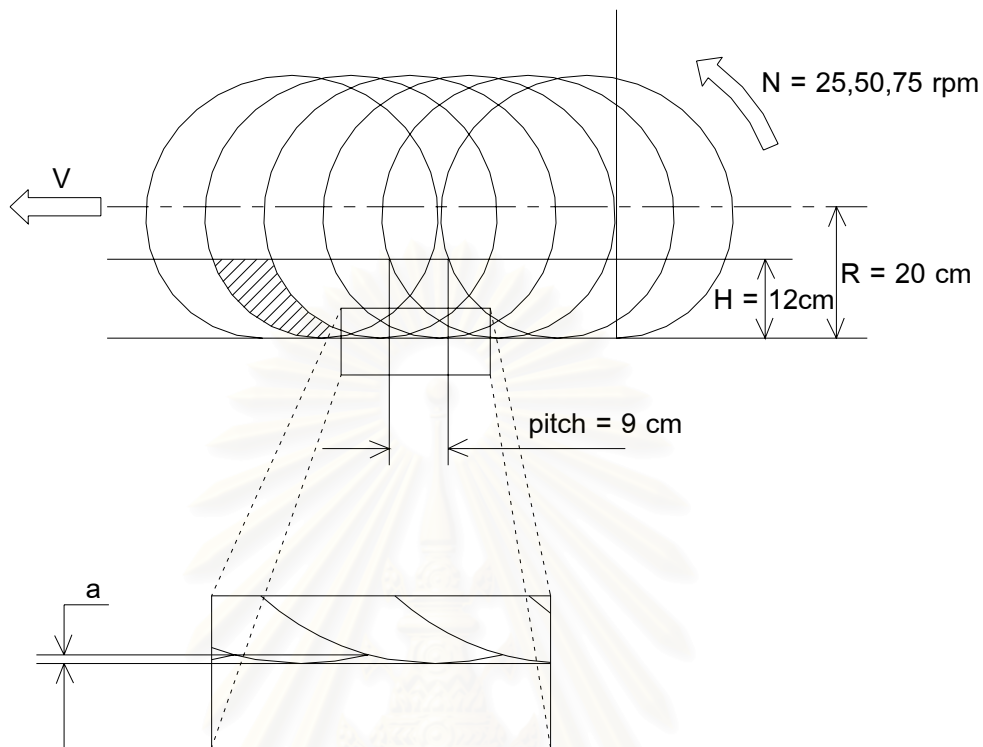
ระยะตัดดินหรือความยาวตัดดินในกรณีของใบมีดตัวแอลที่มีใบมีดหลายใบยึดบนหน้าแปลน (ระนาบ, drum) เดียวกัน คำนวณได้จากสมการ (2.4)

$$P = \frac{60v}{zn} \quad (2.4)$$

เมื่อ z คือ จำนวนใบมีดบนหน้าแปลน

ในกรณีของใบมีดตัวซีที่มีใบมีดเพียงใบเดียวบนระนาบดังนั้น ค่า $z=1$ เมื่อความเร็วรอบหมุนของเพล่าใบมีดจอบหมุนมีค่าต่างกันแต่มีค่าระยะการตัดดินเท่ากัน (ความเร็วในการเคลื่อนที่เปลี่ยนตามสมการ (2.4)) รูปแบบการตัดดินจะเหมือนกัน (พื้นที่แรงงาในรูปที่ 2.4) ดินส่วนที่เหลือจากการตัดในแต่ละรอบตามแนวยาวของการพรวนดิน เรียกว่า *สันดิน* ความสูงของสันดิน, a (รูปขยายในรูปที่ 2.4) ควรมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.2H (Sineokov, 1978: 367) เพื่อ

การเจริญเติบโตที่ดีของรากพืช และเพื่อที่ผิวดินด้านล่างจะได้มีความราบเรียบสะดวกต่อการใช้เครื่องไถดำนานในการปลูกข้าว



รูปที่ 2.4 แนววิถีของการเคลื่อนที่ของใบมีดจอบหมุนในกรณีการหมุนไปข้างหน้าโดย รัศมีของใบมีด 20 เซนติเมตร ระยะตัดดิน 9 เซนติเมตร และความเร็วหมุน 25, 50 และ 75 รอบต่อนาที

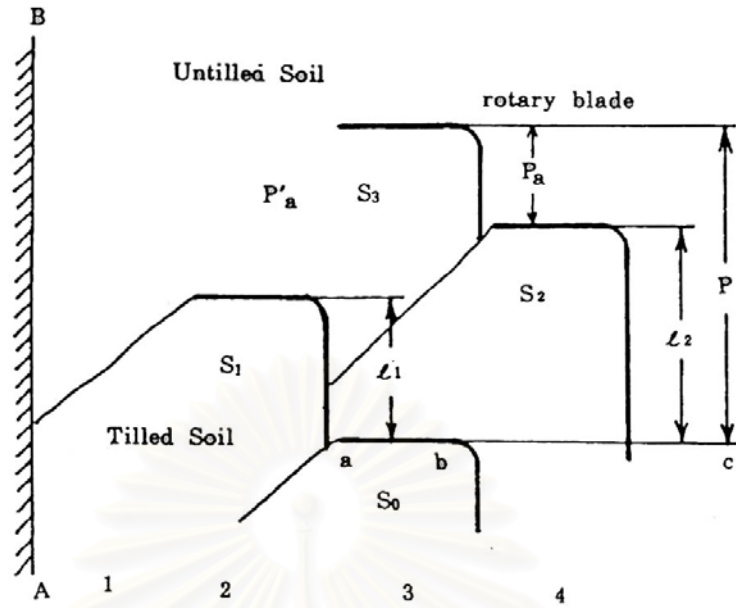
รูปแบบการพรวนดินของใบมีดตัวชี้ที่ประกอบด้วยใบมีดข้างเคียง ข้างซ้ายและขวา S_1 และ S_2 ตามลำดับจะทำให้เกิดระยะตัดดินของใบมีดใบกลาง 3 อย่าง (ดังแสดงในรูปที่ 2.5) คือ

P คือ ระยะตัดดินที่ได้จากการคำนวณตามสมการ (2.4)

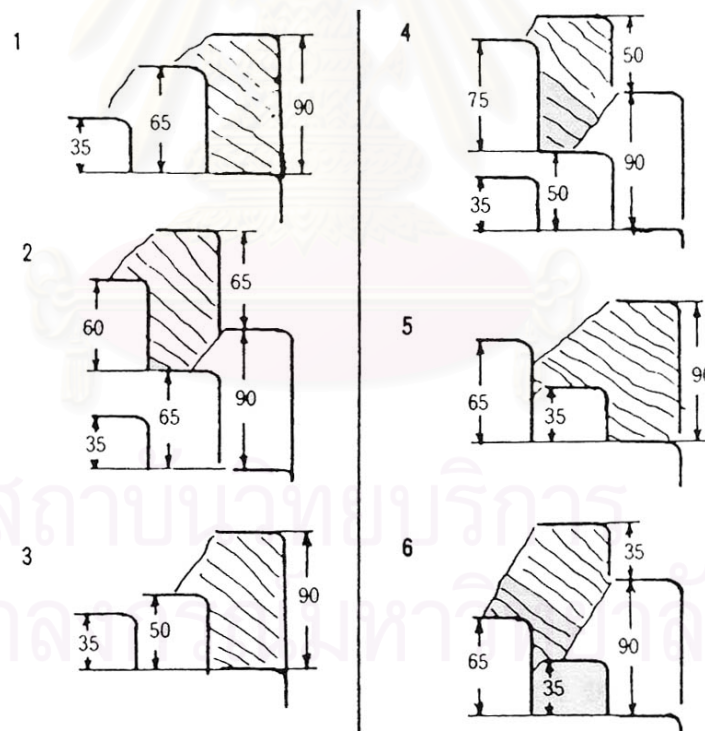
P_a คือ ระยะตัดดินจริง

$P'a$ คือ ระยะตัดดินข้างเคียง

ค่า P_a กับ $P'a$ มีขนาดเปลี่ยนแปลงตามการจัดเรียงใบมีดข้างเคียงที่อยู่บนเพลลาใบมีดจอบหมุน ทำให้รอยตัดดิน (พื้นที่แรเงาในรูปที่ 2.6) แตกต่างกันแม้ว่ามีระยะการตัดดินเดียวกันทำให้ขนาดก้อนดินจากการตัดของใบมีดไม่เท่ากัน อันเป็นผลให้เกิดแรงต้านทานไม่เท่ากันด้วย



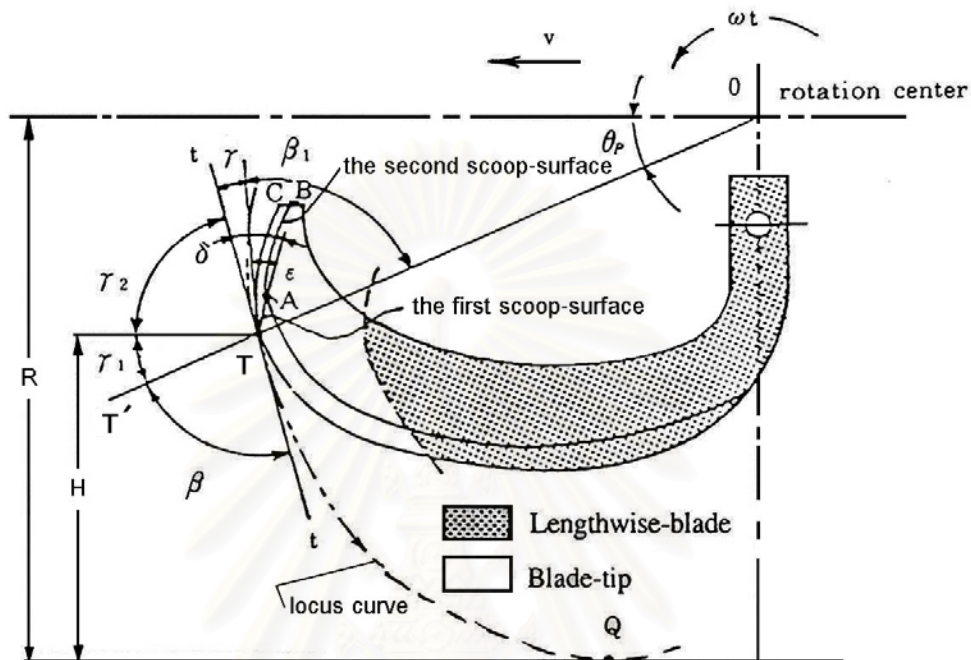
รูปที่ 2.5 ระยะเวลาการตัดดินที่เกิดขึ้นเนื่องจากมีใบมีดข้างเคียง



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างรอยการตัดดิน 6 แบบที่ระยะตัดดิน 90 มิลลิเมตร

2.5 ส่วนปลายใบมีด

2.5.1 ส่วนประกอบของปลายใบมีดจอบหมุน



รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบของปลายใบมีดจอบหมุน

ส่วนปลายของใบมีดจอบหมุนเป็นส่วนสำคัญในการตัดดินและพลิกเหวี่ยงก้อนดินไปข้างหลังประกอบด้วยส่วนต่างๆ (ดังแสดงในรูปที่ 2.7) ดังนี้

1. ผิวโค้งที่หนึ่ง (First scoop surface) คือ เส้น \overline{TA} มีผลต่อแรงต้านทานในการตัดดิน
2. ผิวโค้งที่สอง (Second scoop surface) คือ เส้น \overline{AB} มีผลต่อการย่อยเหวี่ยงก้อนดินและการผสมดิน
3. ผิวโค้งหลัง (Back scoop surface) คือ เส้น \overline{TC} โดยทั่วไปเส้น \overline{TC} จะขนานกับเส้น \overline{AB} เนื่องจากใบมีดมีความหนาเท่ากันตลอดหน้าตัด
4. มุมคมของใบมีด ϵ (Blade sharpening angle หรือ Lip angle) คือ มุมที่ผิวโค้งที่หนึ่งทำกับผิวโค้งที่สองหรือมุมที่เส้น \overline{TA} ทำกับเส้น \overline{TC}
5. มุมช่องห่าง γ (Clearance angle) คือ มุมระหว่างเส้นสัมผัสกับเส้นโค้งโลคัสที่จุด T (ตำแหน่งของปลายใบมีด) กับเส้นสัมผัสผิวโค้งหลังที่จุด T มุม γ มีค่าเปลี่ยนแปลงตลอดในขณะที่ใบมีดหมุน

6. มุมตัด δ (Cutting angle) เป็นมุมผลรวมของมุมคมของใบมีดกับมุมช่องห่างเขียนในรูปสมการ จะได้

$$\delta = \varepsilon + \gamma \quad (2.5)$$

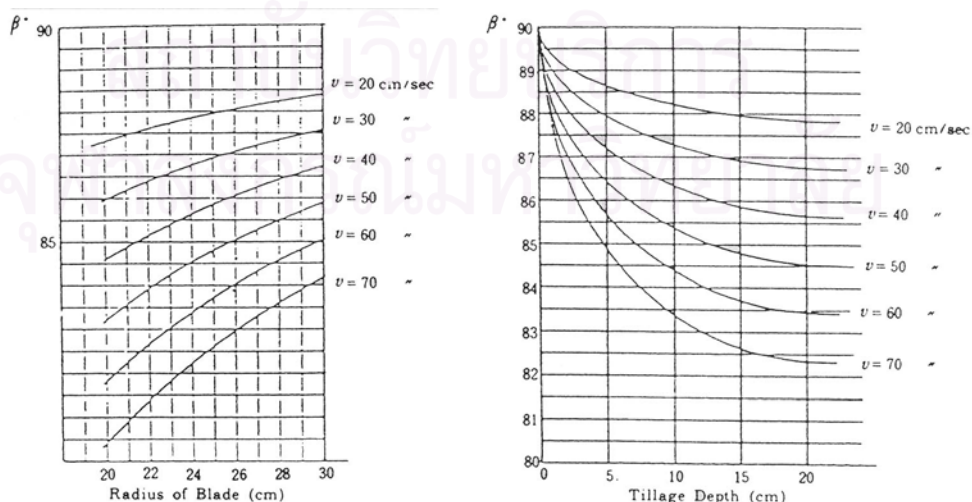
เนื่องจากค่ามุม γ มีค่าเปลี่ยนแปลงตลอดทำให้ค่ามุม δ มีค่าเปลี่ยนแปลงตลอดตามไปด้วย

7. มุมโค้ง β_1 (Scoop angle หรือ Rake angle (Sakai, 1975: 43)) คือ มุมระหว่างเส้นในแนวรัศมีกับเส้นสัมผัสผิวโค้งหลังที่จุด T มีค่าคงที่
8. มุม β (Cutting-in angle (Sakai, 1999: 170)) คือ มุมระหว่างเส้นในแนวรัศมีกับเส้นสัมผัสเส้นโค้งโลคัส มีค่าเปลี่ยนไปตามมุมที่ใบมีดหมุน มีชื่อว่า มุมในการตัดเข้า เพราะว่าการหาค่าของมุมจะอาศัยตำแหน่งที่ปลายใบมีดตัดดินเริ่มตัดดินที่ตำแหน่งบนผิวดิน

เมื่อ $\lambda = \frac{n}{v}$ ค่ามุม β อยู่ในรูปของความสัมพันธ์กับค่า λ , R, H คือ

$$\beta = \cos^{-1} \left\{ \frac{30}{R} \sqrt{\frac{H(2R-H)}{900 - 60\pi\lambda(R-H) + (Rn\lambda)^2}} \right\} \quad (2.6)$$

แสดงความสัมพันธ์ในรูปของกราฟได้ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างมุม β กับค่าพารามิเตอร์ v , R, H

จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างมุม β กับค่าพารามิเตอร์ λ , R , H พบว่า

1. เมื่อค่า λ ลดลง มุม β ก็มีค่าลดลงด้วย ดังนั้นถ้า λ มีค่าน้อย มุม β ก็จะมีค่าน้อยด้วย ค่ามุม γ (ดังแสดงในรูปที่ 2.11) สามารถคำนวณได้จาก

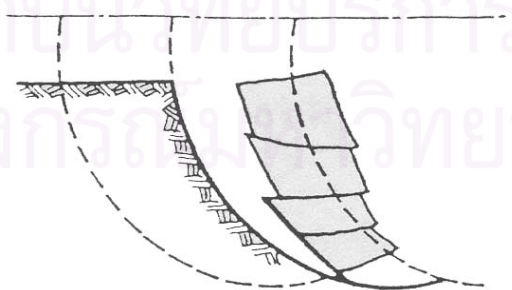
$$\gamma = \beta - \beta_1 \quad (2.7)$$

ซึ่งถ้ามุม β มีค่าน้อยกว่ามุม β_1 มุม γ จะมีค่าเป็นลบทำให้ผิวโค้งหลังกุดกับดินที่ยังไม่ได้ตัดเป็นสาเหตุทำให้สูญเสียพลังงานในการตัดดิน จึงควรระวังการทำงานของใบมีดที่ค่า λ น้อยๆ

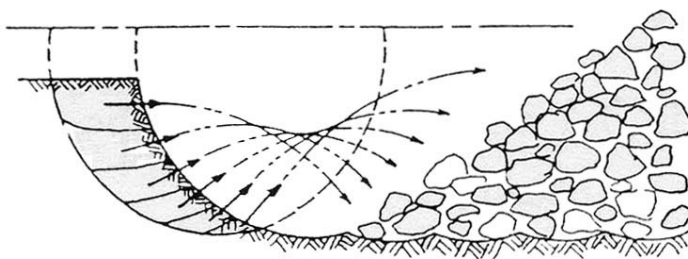
2. เมื่อค่าความลึกในการพรวน (H) เพิ่มขึ้น ค่ามุม β จะมีค่าลดลง แสดงให้เห็นว่าเมื่อใบมีดสัมผัสกับผิวดิน ค่ามุม β จะมีค่าน้อยสุด และค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อใบมีดตัดเข้าไปในดิน
3. เมื่อค่าความลึกในการพรวน (H) มีค่าเป็นศูนย์ ค่ามุม β จะมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 90° ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ใบมีดจอบหมุนผ่านจุดต่ำสุด เส้นสัมผัสกับเส้นโค้งโลคัสจะขนานกับผิวดินและค่ามุม γ จะมีค่ามากที่สุดด้วย

2.5.2 ทฤษฎีการออกแบบผิวโค้ง (The Design Theory of Scoop-surface)

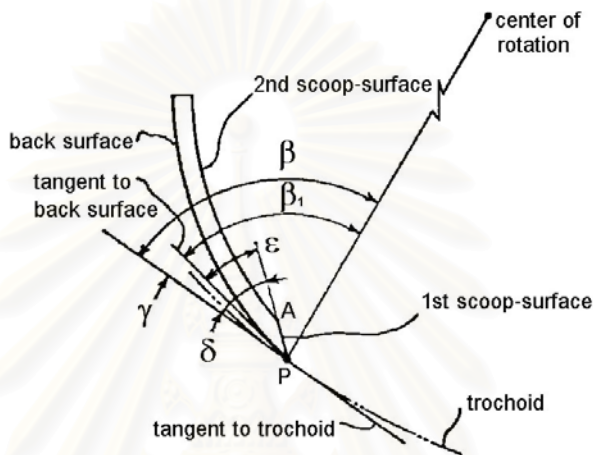
เมื่อใบมีดจอบหมุนตัดผ่านดิน ดินจะถูกตัดเป็นก้อนๆ (ดูรูปที่ 2.9) แล้วถูกผิวโค้งของใบมีดเหวี่ยงไปข้างหลังในลักษณะที่พลิกหน้าดิน (ดูรูปที่ 2.10) เพื่อที่จะทำให้วัชพืชที่อยู่บนผิวดินถูกฝังอยู่ด้านล่างกลายเป็นปุ๋ยไป



รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะก้อนดินที่ถูกตัดโดยใบมีดจอบหมุน



รูปที่ 2.10 ทิศทางการเคลื่อนที่ของก้อนดินในลักษณะกลับหน้าดิน



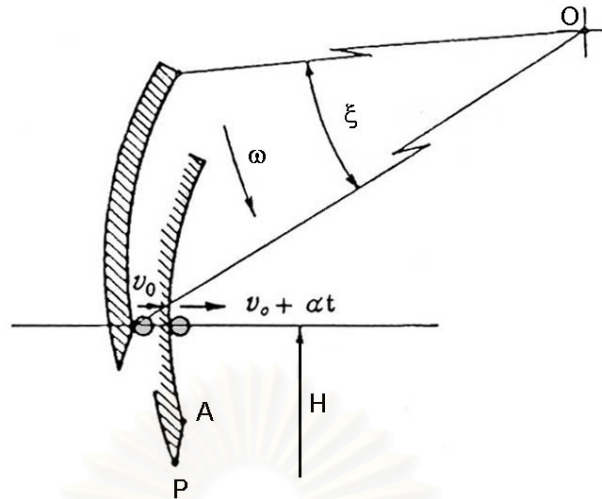
รูปที่ 2.11 ผิวโค้งที่ปลายใบมีดจอบหมุน

การเหวี่ยงก้อนดินโดยใบมีดจอบหมุนมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังต่อไปนี้ ผิวโค้งของใบมีดหรือมุม β_1 (ดังแสดงในรูปที่ 2.11) ความเร็วในการเคลื่อนที่ (v) ความลึกในการพรวน (H) และรัศมี (R) โดยค่ามุม β_1 น้อยจะมีความต้านทานมาก แต่ให้ผลในการเหวี่ยงก้อนดินได้ดี

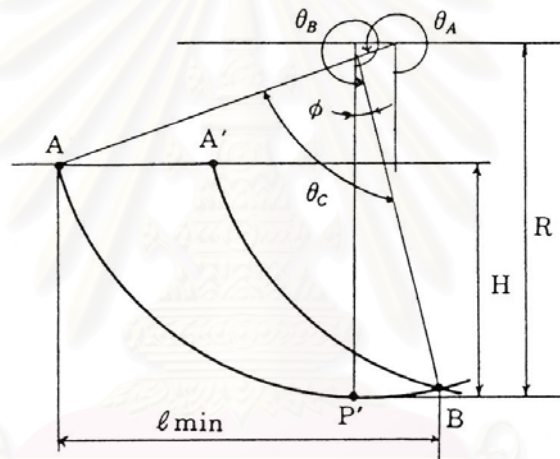
2.5.3 ผิวโค้งที่สองของส่วนปลายใบมีด

จากการทดลองของ Sakai พบว่าผิวโค้งที่หนึ่งแทบไม่มีผลต่อการเหวี่ยงก้อนดิน แต่ผิวโค้งที่สองมีผลโดยตรงกับการเหวี่ยงก้อนดิน ดังนั้น แบบจำลองวิเคราะห์ของการเหวี่ยงก้อนดินโดยผิวโค้งจึงวิเคราะห์ที่ผิวโค้งที่สอง (ดังแสดงในรูปที่ 2.12)

ดินจะถูกตัดโดยผิวโค้งที่หนึ่งจนถึงผิวโค้งที่สอง ที่ผิวโค้งที่สองดินจะเริ่มขาดเป็นก้อนและมีความเร็วเริ่มต้นเท่ากับความเร็วรอบสัมผัสที่ผิวโค้งที่สอง ก้อนดินจะถูกเร่งความเร็วบนผิวโค้งที่สองเป็นระยะมุม ζ ก่อนที่จะถูกเหวี่ยงออกไป



รูปที่ 2.12 แบบจำลองของการเหวี่ยงก้อนดินของผิวโค้งที่สอง



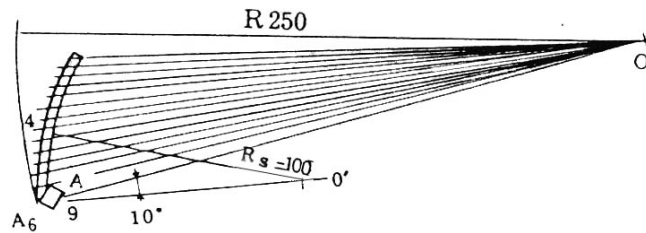
รูปที่ 2.13 ลักษณะก้อนดินที่ไถมีดตัด และ l_{min}

ก้อนดินที่ถูกตัดด้วยไถมีดจะถูกเหวี่ยงให้พ้นช่วงที่ดินยังไม่ได้ตัด คือ l_{min} (คือ ระยะ \overline{AB} ในรูปที่ 2.13) เพื่อที่ก้อนดินจะได้ไม่ถูกตัดซ้ำทำให้เสียพลังงานในการตัดดินโดยเปล่าประโยชน์ ระยะ l_{min} หาได้จากเส้นโค้งโลคัสของไถมีด คือ

$$l_{min} = \sqrt{H(2R-H)} + \frac{30}{\lambda\pi} \left\{ \pi - \cos^{-1} \left(1 - \frac{H}{R} \right) \right\} \quad (2.8)$$

รูปที่ 2.14 เป็นตัวอย่างของผิวโค้งที่สองที่ออกแบบให้มีระยะการเหวี่ยงก้อนดิน

30 เซนติเมตร

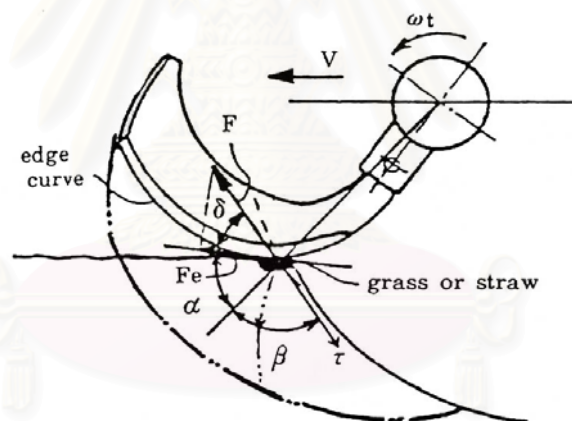


รูปที่ 2.14 ผิวโค้งที่มีระยะการเหวี่ยงก่อนดิน 30 เซนติเมตร

2.6 ใบมีดส่วนตรง

2.6.1 มุมขอบโค้ง

มุมขอบโค้ง α (Edge-curve angle) เป็นมุมระหว่างเส้นตรงในแนวรัศมีกับเส้นสัมผัสขอบโค้ง มุมนี้เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการออกแบบรูปร่างขอบตัดดิน (Edge-curve) ของใบมีดจอบหมุนแบบญี่ปุ่น ขอบตัดดินมีผลต่อการพันของวัชพืชและเศษฟางข้าวที่ใบมีดและเพลลาใบมีดจอบหมุน และแรงต้านทานการตัดดินเนื่องจากความเสียดทานระหว่างผิวด้านข้างของใบมีดกับดิน



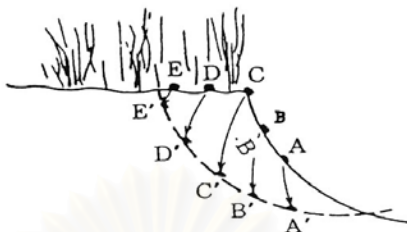
รูปที่ 2.15 มุมขอบโค้งและแรงที่กระทำที่ขอบโค้ง

ถ้าค่ามุมขอบโค้งน้อย ส่วนใบมีดตามยาวจะกลายเป็นเส้นตรงซึ่งทำให้วัชพืชและเศษฟางข้าวพันได้ง่าย ส่วนค่ามุมขอบโค้งที่มาก วัชพืชและเศษฟางข้าวก็จะลื่นไถลออกจากใบมีดได้ง่ายและถูกผลักให้จมอยู่ในดิน

เมื่อแรงจากการตัดดินของใบมีดคือ τ พกวัชพืชและเศษฟางข้าวที่ติดกับใบมีดจะถูกแรงผลัก F จากใบมีดด้วยแรงเท่ากับ τ (ดังแสดงในรูปที่ 2.15) ถ้าพิจารณามุมระหว่างแรงกับเส้นขอบโค้ง มุมของแรงในการผลักวัชพืชและเศษฟางข้าวคือ

$$\delta = 180^\circ - (\alpha + \beta) \quad (2.9)$$

เมื่อมุม α มีค่าน้อย มุม δ จะมีค่ามาก แรงในการผลักก็จะน้อย ในทางตรงข้าม ถ้ามุม α มีค่ามาก แรงในการผลักก็มีค่ามาก นั่นคือวัชพืชและเศษฟางข้าวจะลื่นไถลออกจากไถมีดได้ง่ายเมื่อออกแบบค่ามุม α ให้มีค่ามาก



รูปที่ 2.16 การเคลื่อนที่ของวัชพืชและเศษฟางข้าวที่ไม่ถูกตัดขาดโดยไถมีด

ตำแหน่งของวัชพืชและเศษฟางข้าวที่ไม่ถูกตัดขาดด้วยไถมีดที่ จุด A, B, C, D, E (ดังแสดงในรูปที่ 2.16) จะถูกแรงผลักจากขอบโค้งของไถมีด ทำให้เคลื่อนที่ลงตามโค้งและลื่นไถลกับขอบโค้งไปที่จุด A', B', C', D', E' ตามลำดับ ไม่เช่นนั้นนั้นก็ถูกเหวี่ยงไปข้างหลังพร้อมกับก้อนดินที่ถูกตัด

2.6.2 ทฤษฎีขอบโค้ง

Sakai ได้พิสูจน์ความคิดของแรงลื่นไถลของวัชพืชและเศษฟางข้าวบนขอบโค้ง โดยทำการทดลองใช้ขอบโค้งลักษณะเส้นเวียนก้นหอย (Spiral) ของพิกัดเชิงขั้ว โดยมุมขอบโค้ง แสดงในรูปของสมการเชิงขั้ว คือ

$$r = r_0 (\sin \alpha_0)^k \{ \sin(\alpha_0 + k\theta) \}^{\frac{1}{k}} \quad (2.10)$$

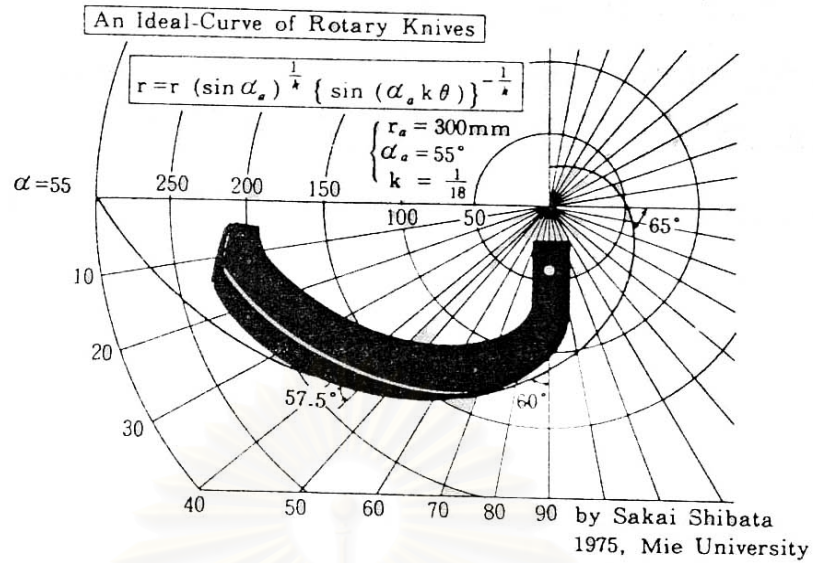
เมื่อ r คือ รัศมีของไถมีดที่มุม θ

r_0 คือ รัศมีของไถมีด

α_0 คือ มุมขอบโค้งที่รัศมีของไถมีด

k คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของมุมขอบโค้ง

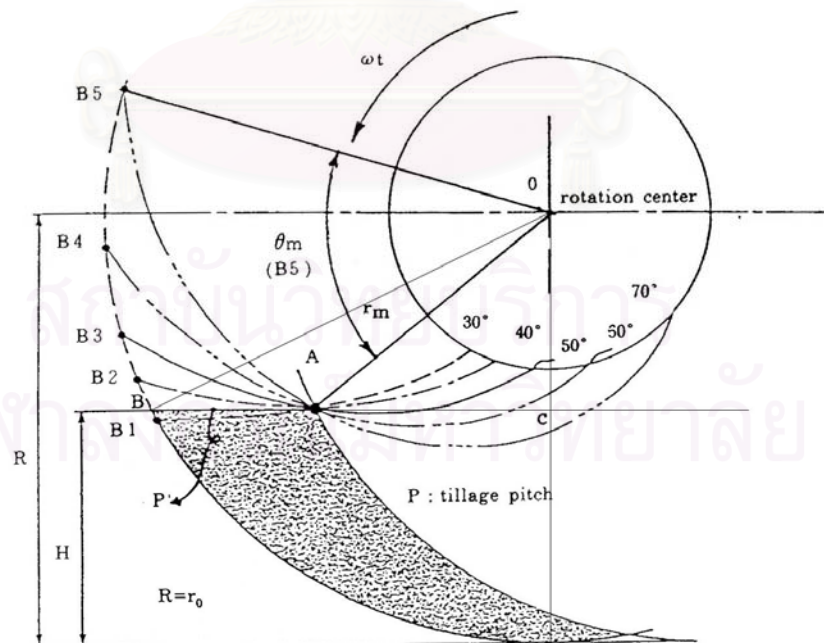
รูปที่ 2.17 แสดงการเปรียบเทียบขอบโค้งของไถมีดจอบหมุนกับสมการขอบโค้งอุดมคติที่แทนค่าตัวแปรที่ได้จากการทดลอง



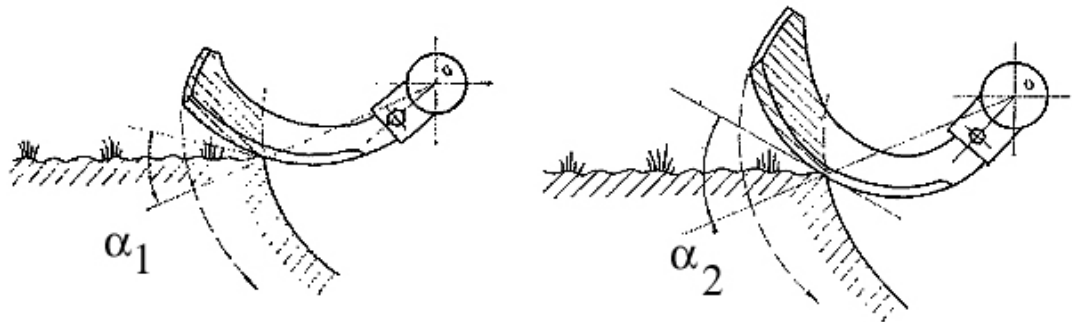
รูปที่ 2.17 เส้นขอบโค้งอุดมคติของใบมีดจอบหมุน

2.6.3 ความต้านทานของขอบโค้ง

ความต้านทานในการตัดดินของใบมีดเพิ่มขึ้นตามความยาวและพื้นที่แรงเสียดทานที่เพิ่มขึ้น ความยาวของขอบโค้งของใบมีดในการตัดดิน คือ $\overline{AB_5}$, $\overline{AB_4}$, $\overline{AB_3}$, $\overline{AB_2}$, และ $\overline{AB_1}$ เมื่อมุมขอบโค้งของใบมีดมีค่า 70° , 60° , 50° , 40° และ 30° ตามลำดับ (ดังแสดงในรูปที่ 2.18)

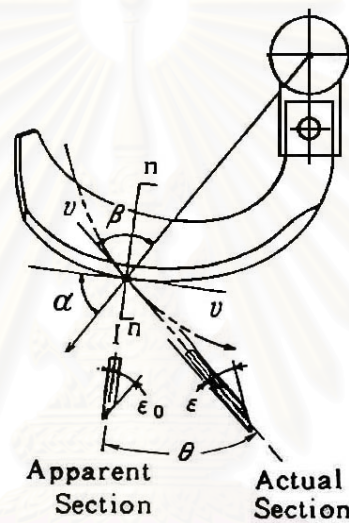


รูปที่ 2.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของขอบโค้งในการตัดดินและมุมขอบโค้ง



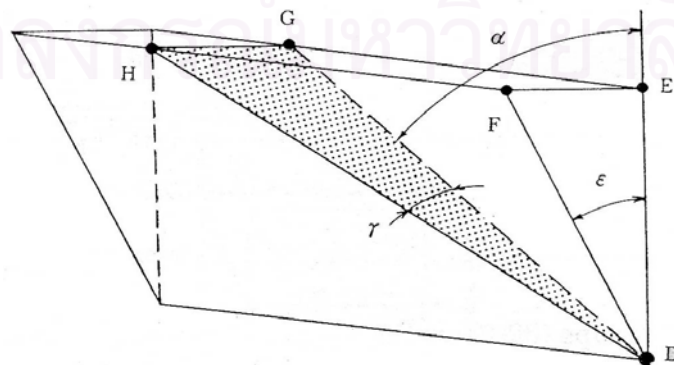
รูปที่ 2.19 ลักษณะเปรียบเทียบโบริมิดจอบหมุนที่มีมุมขอบโค้งต่างกัน

2.6.4 มุมคมของขอบโค้ง



รูปที่ 2.20 มุมคมเสมือน กับมุมคมจริงของโบริมิดจอบหมุนที่ตัดดิน

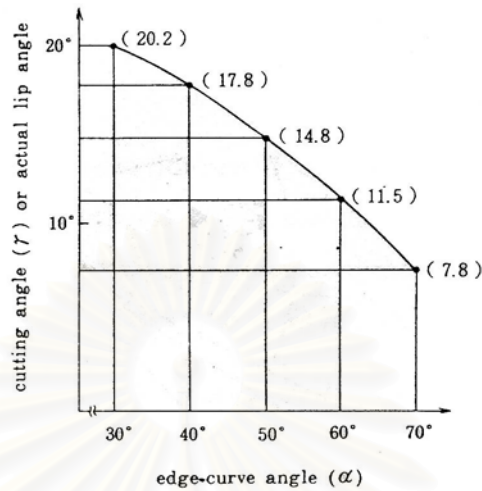
มุมคมเสมือนของโบริมิดเป็นมุมคมที่วัดจากแนวตั้งฉากกับขอบโค้งของโบริมิดซึ่งมีความหนาเท่ากัน ส่วนมุมคมจริง γ เป็นมุมที่ใช้ในการตัดดินตามแนวเส้นโค้งทรอคอยด์ (ดังแสดงในรูปที่ 2.20) เมื่อมุมขอบโค้งเพิ่มขึ้นทำให้มุมคมจริงและความต้านทานในการตัดดินลดลง (ดังแสดงในรูปที่ 2.21)



รูปที่ 2.21 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมคมจริงและมุมขอบโค้ง

ความสัมพันธ์ระหว่างมุมคมจริงและมุมขอบโค้งคือ

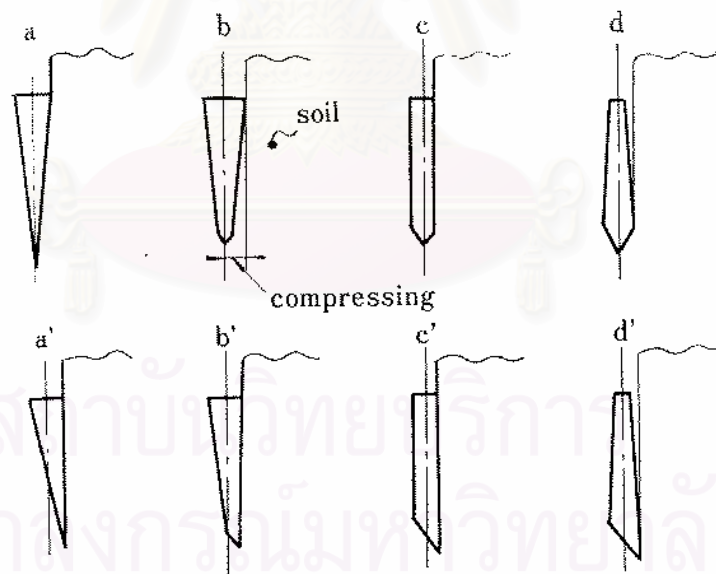
$$\gamma = \sin^{-1}(\cos(\alpha) \cdot \tan(\epsilon)) \quad (2.11)$$



รูปที่ 2.22 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมขอบโค้งและมุมคมจริง

2.7 หน้าตัดของไบมีด

2.7.1 รูปร่างและหน้าตัดของไบมีด

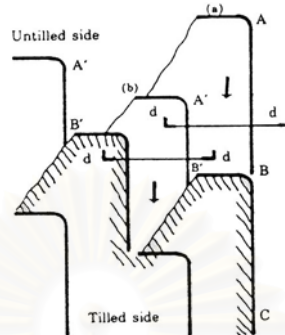


รูปที่ 2.23 หน้าตัดชนิดต่างๆ ของไบมีดจอบหมุน

ตัวอย่างของรูปร่างและหน้าตัดของไบมีด (ดังแสดงในรูปที่ 2.23) แต่ละแบบจะให้ผลต่อแรงต้านทานระหว่างไบมีดกับดินแตกต่างกัน

2.7.2 กลไกในการตัดดินของใบมีดขอบตัดดินคมเดียวกับขอบตัดดินสองคม

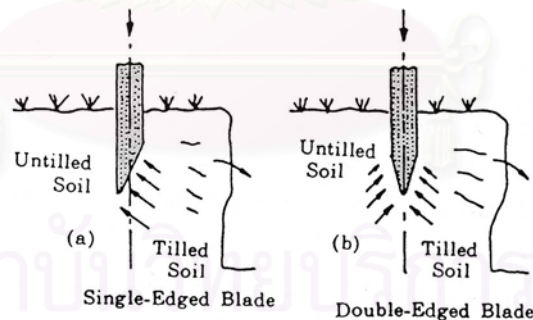
แรงต้านทานที่เกิดขึ้นระหว่างรูปร่างหน้าตัดของใบมีดกับดิน พิจารณาจากการทำงานของใบมีดตามแนวหน้าตัด dd ในรูปที่ 2.24 โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ



รูปที่ 2.24 รูปแบบการตัดดินของใบมีดขอบหมุนแบบญี่ปุ่น

2.7.2.1 ส่วนตรงของใบมีด

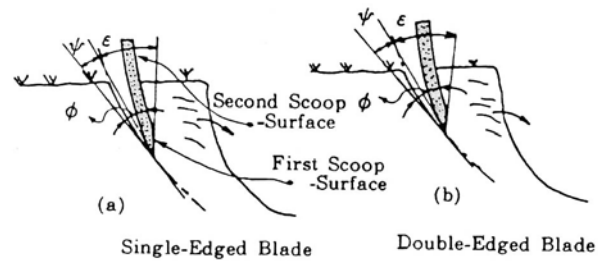
ความเสียดทานระหว่างดินที่ถูกพรวนกับใบมีดขอบคมเดียว (Single-edged) มีค่าไม่มาก เพราะว่าก่อนดินและอนุภาคที่ถูกพรวน (Tilled soil) จะไม่ถูกยึดจึงเคลื่อนที่อย่างอิสระ (ดังแสดงในรูปที่ 2.25) ในทางตรงข้ามแรงเสียดทานจะเกิดระหว่างดินที่ไม่ถูกพรวน (Untilled soil) กับขอบสองคมมากกว่าขอบคมเดียว ซึ่งความเสียดทานอันเกิดจากดินที่ไม่ถูกพรวนนี้เป็นสาเหตุของการสูญเสียพลังงานในการตัดดิน



รูปที่ 2.25 การเปรียบเทียบหน้าตัดของใบมีดส่วนตรง

2.7.2.2 ส่วนปลายใบมีด

แม้ว่ามุมคมของขอบมีดทั้งสองชนิดมีค่าเดียวกัน มุมการตัดที่ผิวโค้งที่สองของมีดขอบคมเดียวมีค่าน้อยกว่าของมีดสองขอบคม (ดังแสดงในรูปที่ 2.26) นั่นคือผิวโค้งกับใบมีดขอบคมเดียวลดความต้านทานในการตัดดินและการกดดินที่ยังไม่ได้พรวน



รูปที่ 2.26 หน้าตัดของปลายใบมีด



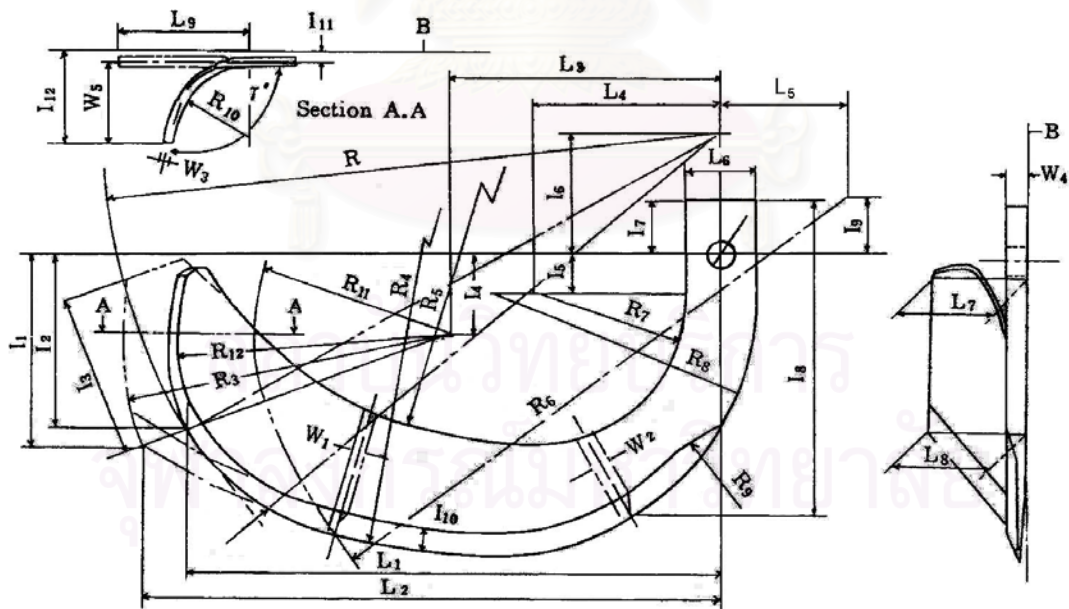
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การประยุกต์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ออกแบบใบมีดจอบหมุน

การประยุกต์ความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีการออกแบบใบมีดจอบหมุนในบทที่ 2 เพื่อให้ใบมีดที่ออกแบบเป็นใบมีดที่ประสิทธิภาพในการทำงาน มีกระบวนการออกแบบที่ประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญ 2 อย่าง คือ การวางแผนการออกแบบ และการออกแบบใบมีดจอบหมุน ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์หลายตัวที่เกี่ยวข้องกัน ทำให้กรณีการออกแบบในลักษณะทำซ้ำทำได้ลำบากและใช้เวลามาก จึงมีการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบใบมีดจอบหมุน

3.1 กระบวนการในการวางแผนออกแบบใบมีดจอบหมุน

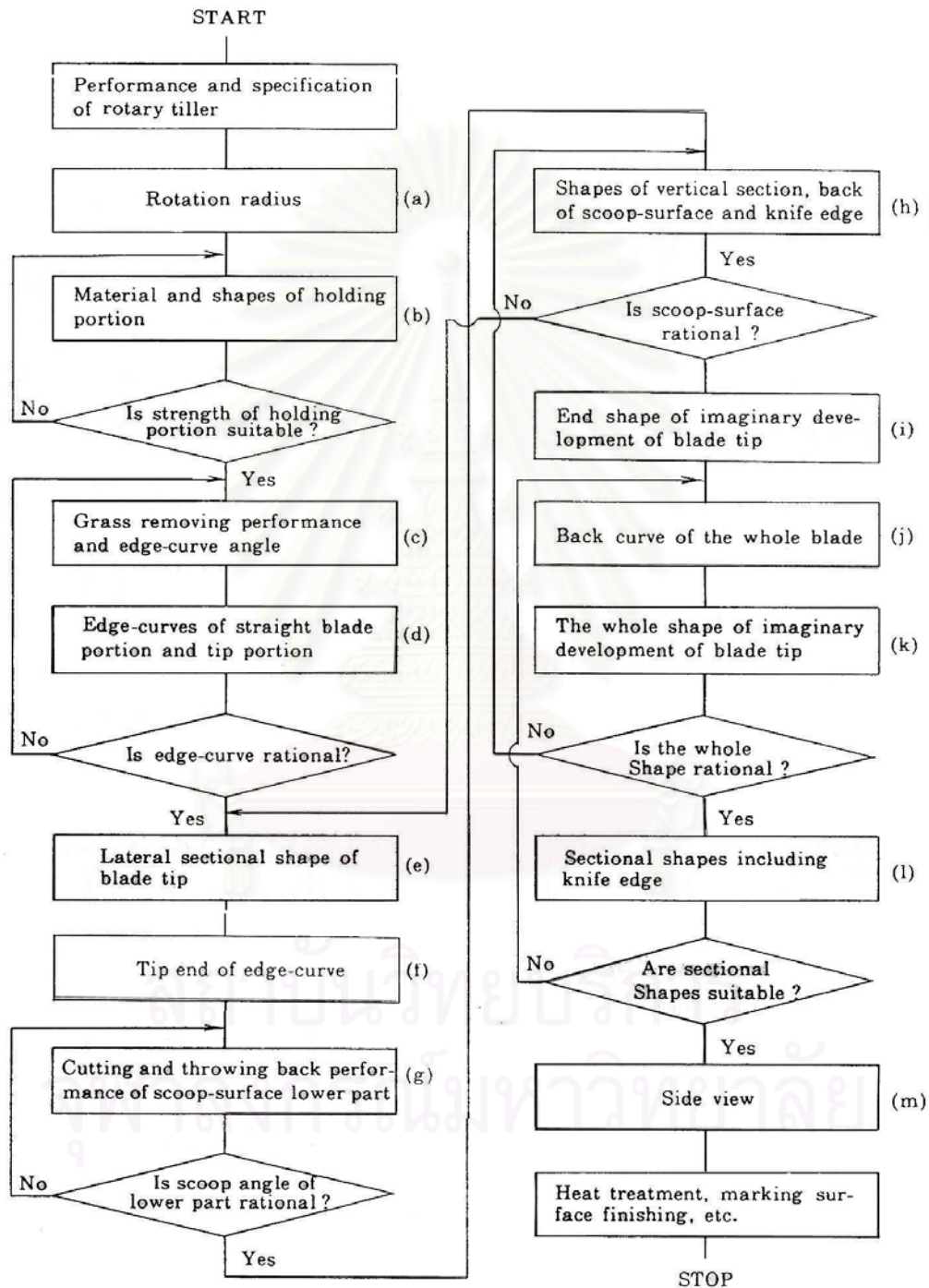
การออกแบบใบมีดจอบหมุนมีหลายวิธี วิธีหนึ่งก็คือ การวาดรูปใบมีดจอบหมุนแสดงมิติและมุมมองของส่วนประกอบต่างๆ ของใบมีด รูปที่ 3.1 เป็นตัวอย่างการออกแบบใบมีดจอบหมุนแบบตัวซี ที่แสดงมิติในรูปของค่าตัวแปรของส่วนประกอบต่างๆ ในรูปด้านหน้า ด้านข้าง และหน้าตัดของใบมีด



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างรูปด้านต่างๆ ของใบมีดจอบหมุนแบบตัวซี

3.2 แผนผังการวางแผนออกแบบใบมีดจอบหมุน

Sakai (1978) ได้เสนอขั้นตอนการออกแบบใบมีดจอบหมุนประกอบด้วย 2 ส่วน คือ การวางแผนออกแบบ (Planning design) และการวาดรูปชิ้นส่วน (Part drawing)



รูปที่ 3.2 แผนผังการวางแผนออกแบบใบมีดจอบหมุน

แผนผังการวางแผนออกแบบใบมีดจอบหมุน (ดังแสดงในรูปที่ 3.2) แสดงขั้นตอนการวางแผนออกแบบใบมีดจอบหมุนในการเลือกค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบส่วนประกอบต่างๆ ของใบมีดจอบหมุน โดยลำดับขั้นตอนในแผนผังที่มี (a) – (m) เป็นขั้นตอนในการวาดรูปชิ้นส่วน (ดังแสดงในรูปที่ 3.4) ขั้นตอนในแผนผังมีลำดับดังนี้

3.2.1 พิจารณารายละเอียดประสิทธิภาพในการพรวน

ประสิทธิภาพในการพรวนสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์ 3 ตัวที่ไม่เกี่ยวข้องกับมิติของใบมีด คือ

1. ความเร็วการเคลื่อนที่ (v) เซนติเมตรต่อวินาที

ความเร็วการเคลื่อนที่ที่เลือกจากเสถียรภาพในการเคลื่อนที่และกำลังของเครื่องยนต์ของรถไถพรวนดิน ช่วงค่าความเร็ว 25 – 70 เซนติเมตรต่อวินาที เป็นช่วงค่าความเร็วการเคลื่อนที่ที่ใช้ทั่วไปของเครื่องพรวนเพื่อให้เหมาะกับการทำงาน คือ

25 - 40 เซนติเมตรต่อวินาที เป็นความเร็วที่เหมาะสมแก่การทำเทือก

40 - 50 เซนติเมตรต่อวินาที เป็นความเร็วที่เหมาะสมแก่การพรวนในดินแข็ง

50 - 70 เซนติเมตรต่อวินาที เป็นความเร็วที่เหมาะสมแก่การพรวนในดินอ่อน

นอกจากนี้ความเร็วการเคลื่อนที่ที่ยังมีความสัมพันธ์กับความกว้างในการพรวน โดยความกว้างในการพรวนควรมีค่าน้อยเท่ากับ ความกว้างในระหว่างล้อ 2 ข้างของรถไถพรวนดินในการทำงานจริง

2. ความเร็วของเพลาจอบหมุน (n) รอบต่อนาที

ความเร็วของเพลาจอบหมุนสัมพันธ์กับแรงต้านทานในการพรวน เมื่อค่าความเร็วรอบในการพรวนต่ำจะเป็นการพรวนหยาบ ขนาดก้อนดินใหญ่ ทำให้แรงดันในการเคลื่อนที่ไปข้างหน้ากับแรงยกตัวมีค่ามากส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของรถไถพรวนดิน ดังนั้นการทำงานที่ความเร็วรอบต่ำต้องเลือกให้อยู่ในช่วงที่รถไถมีเสถียรภาพ

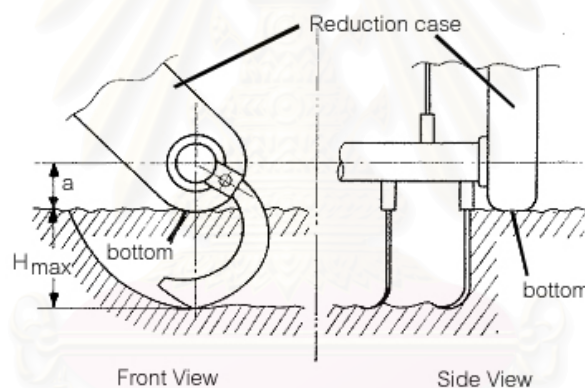
เมื่อค่าความเร็วรอบในการพรวนสูงมีแรงต้านทานน้อย ขนาดของก้อนดินเล็ก แต่ใช้กำลังจากเครื่องยนต์มากและอาจมีปัญหาเรื่องการสั่นสะเทือน (Vibration) จากการขาดความสมดุลของแรงที่เกิดจากชิ้นส่วนหมุน อนึ่งความเร็วของเพลาจอบหมุนควรเลือกให้สัมพันธ์กับระยะตัดดินเพื่อให้ได้ขนาดก้อนดินเหมาะสมกับพืชที่ปลูก

3. ความลึกการพรวน (H) เซนติเมตร

ความลึกการพรวนขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่ใช้การเกษตรกรรม ดังนี้
 มากกว่า 20 เซนติเมตร สำหรับการทำไร่
 น้อยกว่า 18 เซนติเมตร สำหรับการทำนาในเอเชีย
 13 เซนติเมตร สำหรับการทำนาในญี่ปุ่น
 ความลึกการพรวนสำหรับการปลูกพืชไร่จะลึกกว่าการปลูกข้าว
 เพราะว่ารากของพืชไร่จะสามารถเจริญเติบโตดูดน้ำและอาหารจากชั้น
 ดินลึก ส่วนในการทำน่าน้ำและอาหารจะอยู่ชั้นดินบน

3.2.2 รัศมีใบมีดจอบหมุน R

รัศมีใบมีดจอบหมุนสัมพันธ์กับความลึกการพรวนมากที่สุด (H_{max}) ความลึกที่เหมาะสมในการปลูกพืชขึ้นอยู่กับรัศมีใบมีด (R) และค่ารัศมีห้องโซ่ (a) (ดังแสดงในรูปที่ 3.3) ซึ่งเป็นส่วนล่างของห้องโซ่ที่ใช้ขับเคลื่อนจอบหมุนซึ่งจะต้องไม่จมดิน



รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ของความลึก รัศมีของห้องโซ่ และรัศมีใบมีดจอบหมุน

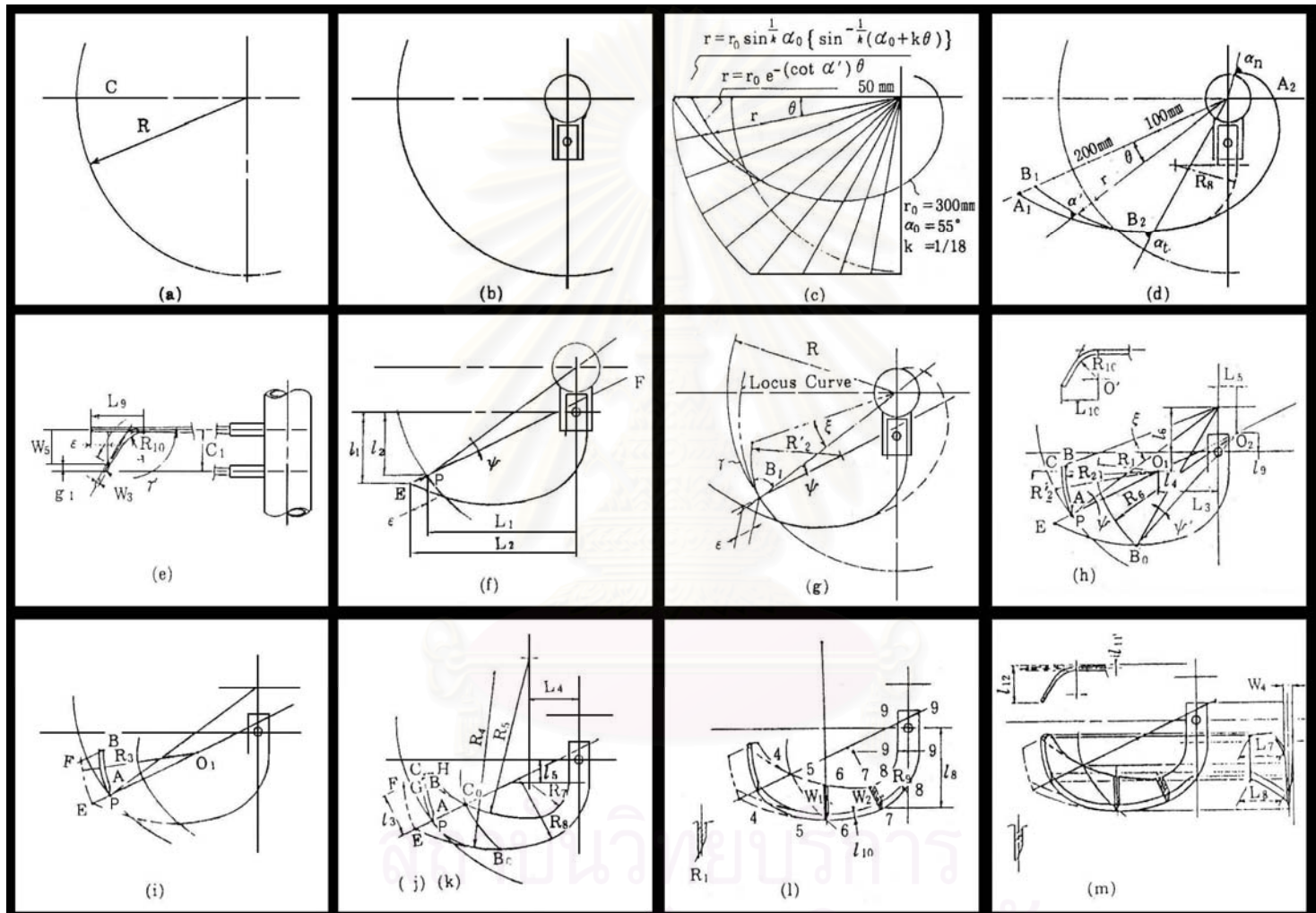
ความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถเขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$R = H_{max} + a \quad (3.1)$$

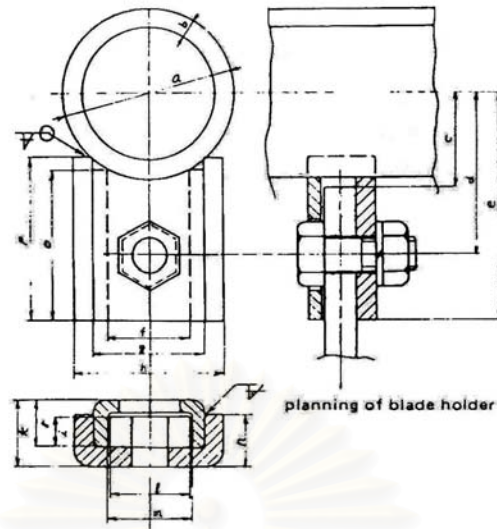
เมื่อดำเนินสมการ (3.1) จะนำค่ารัศมี R ไปวาดรูปใบมีดในขั้นตอน (a) ของรูปที่ 3.4 โดยรัศมีของใบมีดแบบตัวซีที่ใช้งานมีค่าอยู่ในช่วง 200 ถึง 255 มิลลิเมตร

3.2.3 กลไกการยัดใบมีดและวัสดุที่ใช้ทำด้ามมีด

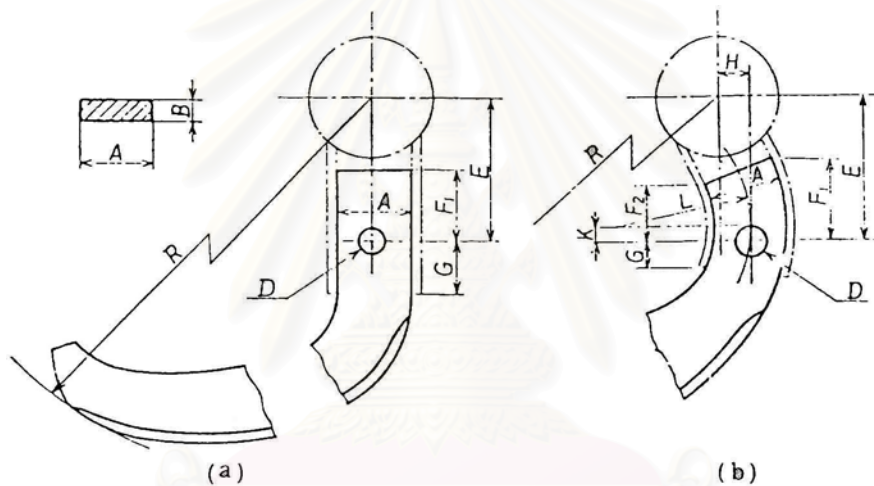
การยัดใบมีดแบบตัวแอลบนหน้าแปลนใช้สลักเกลียว 2 ตัว ส่วนการยัดใบมีดแบบตัวซีใช้ตัวยึดลักษณะเป็นปลอกสวมด้ามมีดโดยใช้สลักเกลียวตัวเดียว (ดังแสดงในรูปที่ 3.5)



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการวาดรูปใบมีดจอบหมุนเพื่อการผลิต



รูปที่ 3.5 ตัวยึดใบมีดแบบตัวยึดที่มีด้ามมีดตรง



รูปที่ 3.6 ลักษณะตัวยึดด้ามมีดแบบตัวยึด

ลักษณะของตัวยึดใบมีดแบบตัวยึดจะแบ่งตามลักษณะของด้ามมีดซึ่งมีอยู่ 2 แบบ คือ ตัวยึดด้ามมีดตรง (ดังแสดงในรูปที่ 3.6a) และตัวยึดด้ามมีดโค้ง (ดังแสดงในรูปที่ 3.6b) ซึ่งใบมีดที่มีด้ามโค้งก็เพื่อลดการพันของวัชพืชที่ด้ามมีด

ขนาดของด้ามมีดควรมีความแข็งแรงพอที่จะรับโมเมนต์อันเกิดจากแรงต้านทานที่กระทำที่ใบมีด ซึ่งสามารถกำหนดโดยใช้การคำนวณจากความเค้นมากที่สุดที่จะเกิดขึ้นสำหรับกรณีของคานโค้งหน้าตัดสี่เหลี่ยมขนาดเท่ากับด้ามมีด สำหรับใบมีดตัวยึดแบบญี่ปุ่นใช้วัสดุตามมาตรฐาน JIS คือ SUP-6 ขนาดที่คำนวณได้จะมีการเพิ่มค่าความปลอดภัย (Safety factor) ประมาณ 4 เท่าหรือมากกว่า

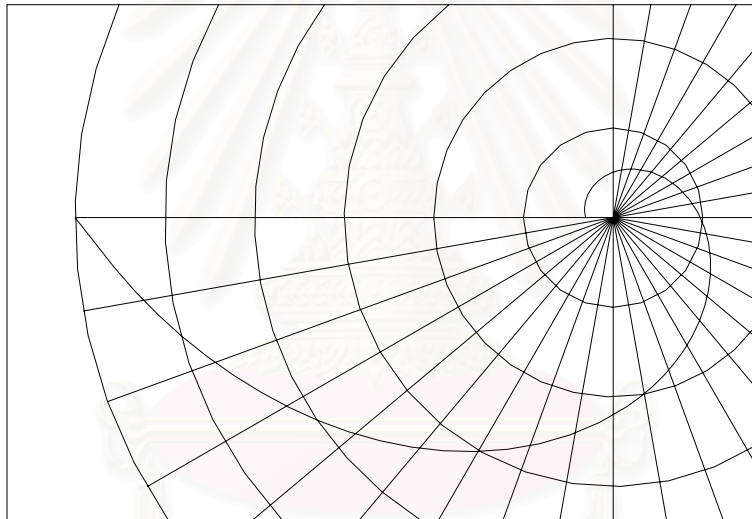
สำหรับการออกแบบกลไกการยึดใบมีดเป็นขั้นตอน (b) ในการวาดรูปใบมีด (ดังแสดงในรูปที่ 3.4)

3.2.4 ขอบตัดดินโค้งสำหรับลดการพันของวัชพืช

ปัญหาวัชพืชและฟางข้าวพันที่ตัวไอบีมีดและรอบเพลลาไอบีมีดจอบหมุนเกิดในดินอ่อนสำหรับการทำนามากกว่าดินแข็งที่ใช้ในการทำไร่ เนื่องจากวัชพืชไม่สามารถถูกตัดขาดได้ด้วยขอบตัดดินในดินอ่อน

ขอบตัดดินโค้งของไอบีมีดสัมพันธ์กับมุมขอบโค้ง α (Edge-curve angle) จากการทดลองที่ทำในญี่ปุ่นและฟิลิปปินส์ของ Sakai พบว่า รัศมีปลายไอบีมีดส่วนตรงมุม α มีค่า 57.5° รัศมีเพลลาไอบีมีดมุม α มีค่า 67.5° และอัตราการเปลี่ยนมุมขอบโค้งเชิงเส้น คือ $k = 1/18$ จะทำให้ไม่เกิดการพันของวัชพืชบนไอบีมีด

การวาดรูปขอบตัดดินของไอบีมีดส่วนตรง (ดังแสดงในรูปที่ 3.7) ใช้การแทนค่าพารามิเตอร์ในสมการ (2.10) ซึ่งเป็นขั้นตอน (c) ในการวาดรูปไอบีมีด (ดังแสดงในรูปที่ 3.4)



รูปที่ 3.7 ขอบโค้งอุดมคติเมื่อ $r_0 = 300$ มิลลิเมตร $\alpha_0 = 55^\circ$ และ $k = 1/18$

3.2.5 การเชื่อมต่อส่วนด้ามมีดกับขอบตัดดิน

เส้นเชื่อมต่อระหว่างด้ามมีดกับขอบตัดดินโค้งโดยการพิจารณาถึงระบบการผลิตและความแข็งแรงวัสดุ เป็นขั้นตอน (d) ในการวาดรูปไอบีมีด (ดังแสดงในรูปที่ 3.4)

3.2.6 พิจารณาลักษณะโดยรวมของไอบีมีดส่วนตรงที่มีขอบโค้ง

ขั้นตอนนี้จะพิจารณาลักษณะโดยรวมว่าไอบีมีดส่วนตรงที่มีขอบโค้งมีมิติที่เหมาะสมหรือไม่ ถ้ามีมิติที่ไม่เหมาะสมให้ทำการปรับโดยย้อนกลับไปทำซ้ำในขั้นตอน 3.2.4 - 3.2.5

3.2.7 ส่วนตัดปลายของใบมีด

ส่วนตัดปลายใบมีดมีความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ 3 ตัว คือ รัศมีตัดปลายใบมีด มุมตัดที่ทำให้เกิดผิวโค้ง และความกว้างในการตัดดินของใบมีด

เมื่อรัศมีตัดมีค่าน้อยและมุมตัดมีค่าเข้าใกล้ 90° แรงต้านทานในการพรวนจะมีค่ามากและเป็นปัญหาในการผลิต แต่ผิวที่สันดินหลังการพรวนมีความเรียบมาก และถ้าค่ารัศมีและมุมตัดมีค่ามากขึ้น แรงต้านทานในการพรวนจะมีค่าน้อยลง ก้อนดินจะถูกเหวี่ยงไปด้านข้างมากขึ้นและง่ายในการผลิต การเลือกค่ารัศมีตัดและมุมตัดขึ้นกับลักษณะการพรวนที่ต้องการ สำหรับใบมีดตัวซีรัศมีตัดมีค่าอยู่ในช่วง 25 – 50 มิลลิเมตร และมุมตัดมีค่าอยู่ในช่วง $100^\circ - 130^\circ$

ความกว้างในการตัดดินของใบมีด คือ ระยะห่างของตัวยึดใบมีดบนเพลลา ซึ่งเป็นผลรวมของช่องห่างระหว่างใบมีด (ค่าจากปลายใบมีดไปถึงแนวศูนย์กลางของใบมีดข้างเคียง) กับระยะจากแนวศูนย์กลางใบมีดถึงปลายใบมีด ความกว้างในการตัดดินแคบจะทำให้ความกว้างในการพรวนทั้งหมดแคบและมีค่าแรงต้านทานน้อย เนื่องจากระยะจากแนวศูนย์กลางใบมีดถึงปลายใบมีดมีค่าคงที่ ดังนั้น ประสิทธิภาพในการพรวนจึงขึ้นอยู่กับค่าของช่องห่างระหว่างใบมีด ปกติช่องห่างระหว่างใบมีดมีค่า 5 – 10 มิลลิเมตร ก็น่าจะเพียงพอไม่ทำให้สันดินที่ไม่พรวนเหลือ และความกว้างในการตัดดินของใบมีดมีค่าอยู่ระหว่าง 40 – 60 มิลลิเมตร ค่าพารามิเตอร์ที่เลือกจะนำไปวาดรูปใบมีดในขั้นตอน (e) (ดังแสดงในรูปที่ 3.4)

3.2.8 กำหนดจุดตัดบนขอบตัดโค้งของใบมีดส่วนตรง

จุดตัด คือ จุดบนใบมีดส่วนตรงที่ใช้ขึ้นรูปด้วยการตัดในการผลิต ซึ่งจะได้มาจากขั้นตอนที่ 3.2.7 ขั้นตอนนี้เป็นการวาดรูปใบมีดในขั้นตอน (f) (ดังแสดงในรูปที่ 3.4)

3.2.9 การเหวี่ยงก้อนดินโดยผิวโค้งของใบมีด

ผิวโค้งของใบมีดทำหน้าที่ในการเหวี่ยงก้อนดินที่ถูกตัด โดยที่ผิวโค้งหลังจะต้องไม่ดันดินในส่วนที่ไม่ถูกตัด การเหวี่ยงก้อนดินขึ้นอยู่กับมุม β_1 เมื่อมุม β_1 มีค่าน้อยกว่าค่ามุม β (ความสัมพันธ์ระหว่างมุม β_1 กับมุม β แสดงใน 2.5.1) ทำให้ก้อนดินถูกเหวี่ยงได้ดีแต่ค่าแรงต้านทานในการพรวนดินจะมีค่ามาก

ค่ามุม β_1 คำนวณได้จากสมการ (2.7) โดยที่ค่า β คำนวณจากสมการ (2.6) และมุม γ มีค่า

$3^\circ - 4^\circ$ สำหรับดินแข็ง

$20^\circ - 30^\circ$ สำหรับการเหวี่ยงและพลิกก่อนดินได้ดี

$10^\circ - 20^\circ$ เป็นค่าที่ใช้โดยทั่วไป

ค่ามุม β_1 ที่ใช้สำหรับดินลักษณะต่างๆ ถูกออกแบบไว้ ดังนี้

$40^\circ - 55^\circ$ สำหรับดินอ่อน เช่น ดินทรายหรือดินโคลน

$55^\circ - 75^\circ$ สำหรับดินทั่วไป เช่น ดินร่วนปนทราย ดินร่วน

$75^\circ - 85^\circ$ สำหรับดินแข็ง เช่น ดินเหนียวที่แห้ง

ค่าพารามิเตอร์ที่เลือกนำไปใช้ในการวาดรูปใบมีดชั้นตอน (g) (ดังแสดงในรูปที่

3.4)

3.2.10 กำหนดหน้าตัดของผิวโค้ง

ผิวโค้งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ผิวโค้งที่หนึ่งและผิวโค้งที่สอง โดยผิวโค้งที่สอง เป็นส่วนที่มีผลต่อการเหวี่ยงก่อนดิน ในการออกแบบเลือกให้ผิวโค้งที่สองมีความหนาเท่ากันตลอดหน้าตัดเพื่อให้ง่ายในการออกแบบ

กระบวนการออกแบบของผิวโค้ง (ดังแสดงในรูปที่ 3.8) เลือกค่าพารามิเตอร์ซึ่งประกอบด้วย

R: รัศมีของใบมีด (เซนติเมตร)

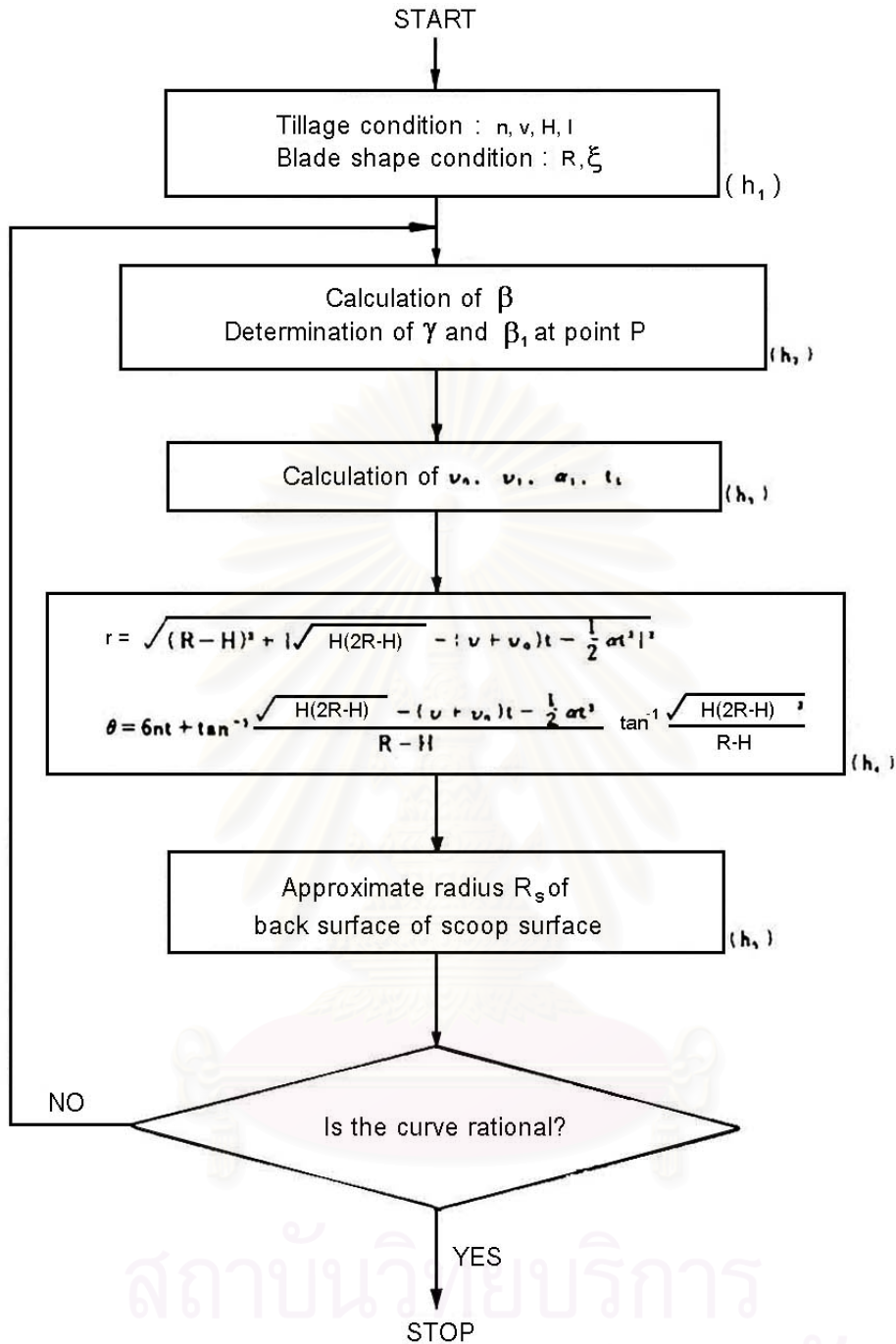
H: ความลึกในการพรวน (เซนติเมตร)

n: ความเร็วรอบเพลลาจอบหมุน (รอบต่อนาที)

v: ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถไถพรวนดิน (เซนติเมตรต่อวินาที)

ξ : มุมผิวโค้ง (องศา)

l: ระยะเหวี่ยงก่อนดิน (เซนติเมตร)



รูปที่ 3.8 แผนผังสำหรับการวางแผนออกแบบหน้าตัดผิวโค้ง

ขั้นตอนนี้เป็น การวาดรูปใบมีดในขั้นตอน (h) (ดังแสดงในรูปที่ 3.4)

3.2.11 รูปร่างของปลายใบมีดก่อนตัด

รูปร่างของใบมีดก่อนตัดปรับเปลี่ยนโดยผู้ผลิตโดยใช้มิติในมุมก่อนตัดของใบมีด โดยขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการผลิต ขั้นตอนนี้เป็น การวาดรูปใบมีดในขั้นตอน (i) (ดังแสดงในรูปที่ 3.4)

3.2.12 รูปร่างทั้งหมดของใบมีดรวมทั้งเส้นโค้งหลัง

กำหนดผิวโค้งหลังของใบมีดให้เหมาะสมกับลักษณะการสึกหรอ เส้นโค้งหลังประกอบด้วยเส้นโค้ง 2 เส้นเนื่องจากเส้นโค้งเส้นเดียวไม่สามารถที่จะครอบคลุมเส้นโค้งหลังทั้งเส้นได้ ขั้นตอนนี้เป็น การวาดรูปใบมีดในขั้นตอน (j, k) (ดังแสดงในรูปที่ 3.4)

3.2.13 รูปร่างหน้าตัดรวมทั้งคมมีด

ใบมีดจอบหมุนแบบญี่ปุ่นมีลักษณะเป็นเอกลักษณ์ คือ มีการเปลี่ยนแปลงความหนา จากด้ามมีดที่หนาจะค่อยๆ ลดไปหาปลายมีดที่บาง ลักษณะเช่นนี้แสดงโดยใช้ 2 – 3 รูปหน้าตัดของใบมีด

คมมีดมี 2 ชนิด คือ คมเดียวกับสองคม ใบมีดแบบยุโรปมีคมเดียวและใบมีดแบบญี่ปุ่นมีสองคม เมื่อพรวนในดินแข็งใบมีดคมเดียวจะมีความต้านทานในการพรวนน้อยกว่าใบมีดสองคมประมาณ 20 % ขั้นตอนนี้เป็น การวาดรูปใบมีดในขั้นตอน (l) (ดังแสดงในรูปที่ 3.4)

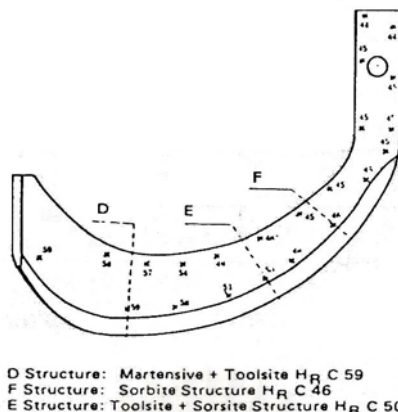
3.2.14 รูปใบมีดด้านข้าง

รูปด้านข้างของใบมีดถูกวาดเพื่อแสดงรูปร่างทั้งหมดของใบมีด ขั้นตอนนี้เป็น การวาดรูปใบมีดในขั้นตอน (m) (ดังแสดงในรูปที่ 3.4)

3.2.15 การวาดรูปใบมีดหลังจากวางแผนออกแบบ

เมื่อการวางแผนออกแบบใบมีดใหม่เสร็จสมบูรณ์ มิติของใบมีดดังแสดงในรูปที่ 3.1 จะถูกวาดขึ้นพร้อมกับข้อสังเกตที่จำเป็น ดังนี้

1. วัสดุ ทั่วไปเป็นเหล็กสปริง (Spring steel) ตามมาตรฐาน JIS คือ SUP-6
2. ความแข็ง (Hardness) หลังจากผ่านกระบวนการทางความร้อน ใบมีดทั้งใบมีค่าความแข็งโดยรวมคือ 50 ± 3 HRC แต่ในภายหลังจากปี 1965 ด้วยความก้าวหน้าในกระบวนการทางความร้อน ความแข็งมีการกระจายเป็นส่วนๆ (ดังแสดงในรูปที่ 3.9) คือ



รูปที่ 3.9 การกระจายความแข็งบนใบมีดจอบหมุน

50 – 55 HRC สำหรับใบมีดจากตรงกลางถึงส่วนปลาย

40 – 45 HRC สำหรับส่วนด้ามมีด

ลักษณะความแข็งเช่นนี้เป็นที่นิยมในญี่ปุ่น เนื่องจากทำให้ใบมีดมีอายุใช้งานได้นาน และส่วนด้ามมีดก็มีความแข็งแรง

3. ทำเครื่องหมายบนใบมีด เครื่องหมายเหล่านี้ได้แก่ เครื่องหมายทางการค้า ชื่อ สัญลักษณ์ หมายเลขชิ้นส่วน รวมทั้งเครื่องหมายบอกว่าเป็นใบมีดซ้ายหรือใบมีดขวาตามทิศทางปลายใบมีดที่ตัด ขนาดและตำแหน่งที่ทำเครื่องหมายจะถูกเลือกเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการแตกหักหรือการงอของใบมีด ทั่วไปความลึกในการทำเครื่องหมายมีค่าอยู่ในช่วง 0.2 – 0.3 มิลลิเมตร

เวลาที่ใช้สำหรับการวางแผนออกแบบใบมีดจอบหมุนประมาณ 1 สัปดาห์และใช้เวลาประมาณ 1 ถึง 2 วันสำหรับการวาดรูปใบมีดสำหรับการผลิตหลังจากการวางแผนออกแบบ

3.3 CAD สำหรับการออกแบบใบมีดจอบหมุน

ตามมาตรฐาน JIS (Japanese Industrial Standard) ในกรณีรัศมีใบมีดมีค่า 250 มิลลิเมตร โมเดลทางคณิตศาสตร์สำหรับ CAD (Computer Aided Design) จะเลือกค่าพารามิเตอร์ 29 ตัวเพื่อออกแบบใบมีดจอบหมุนแบบญี่ปุ่น ดังนี้

3.3.1 ส่วนด้ามมีดและที่จับยึด

- E: ระยะจากศูนย์กลางเพลาจอบหมุนถึงศูนย์กลางรูที่ด้ามมีดของใบมีด จากมาตรฐาน JIS ระยะ E มีค่าประมาณ 45 - 50 มิลลิเมตร
- F: ระยะจากศูนย์กลางรูที่ด้ามมีดของใบมีดถึงปลายของด้ามมีด จากมาตรฐาน JIS ระยะ F มีค่าประมาณ 20 มิลลิเมตร
- G: ระยะจากศูนย์กลางรูที่ด้ามมีดของใบมีดถึงปลายของที่ยึดจับ จากมาตรฐาน JIS ระยะ G มีค่าประมาณ 20 มิลลิเมตร และเมื่อพิจารณาความแข็งแรงของที่จับยึดใบมีด ค่าระยะ F จะมีค่าเท่ากับ ค่าระยะ G
- BI: ระยะค่าเพื่อสำหรับใส่ด้ามมีดเข้ากับที่จับยึด โดยทั่วไป BI มีค่าประมาณ 0 - 5 มิลลิเมตร
- A: ความกว้างของด้ามใบมีด มีค่าคงที่จากปลายด้ามมีดไปถึงตำแหน่ง BI จากมาตรฐาน JIS ความกว้าง A มีค่าประมาณ 25 ± 0.5 มิลลิเมตร
- B: ความหนาของด้ามมีด จากมาตรฐาน JIS ความหนา B มีค่าประมาณ 8 - 9 มิลลิเมตร
- D: เส้นผ่านศูนย์กลางของรูของที่จับยึด จากมาตรฐาน JIS D มีค่า 10.5 มิลลิเมตร
- Rs: รัศมีตัดของส่วนคอใบมีดด้านใน
- RI: รัศมีตัดของส่วนคอใบมีดด้านนอก ทั้ง Rs และ RI เลือกลงจากกระบวนการทางวิศวกรรมและการผลิต

3.3.2 ส่วนปลายใบมีด

- v: ความเร็วในการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของเครื่องจักร มีค่าประมาณ 0.3 - 0.7 เมตรต่อวินาที
- n: ความเร็วรอบของเพลาจอบหมุน (รอบต่อนาที) มีค่าประมาณ 150 - 400 รอบต่อนาที สำหรับการพรวนทั่วไป
- H_{max} : ความลึกในการพรวนมากที่สุด (มิลลิเมตร)

- L_{max} : ระยะในการเหวี่ยงก้อนดินมากที่สุด (จากทฤษฎีของ Sakai เมื่อรัศมีการหมุน $R = 250$ มิลลิเมตร ระยะ L_{max} มีค่าประมาณ 400 มิลลิเมตร)
- g : แรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง)
- BD: (β_1) มุมโค้ง (Scoop angle)
- KU: (ξ) มุมระหว่างส่วนบนกับส่วนล่างของปลายใบมีด
- R10: รัศมีตัดของส่วนปลายมีด จากการทดลองของ Sohne มีค่าประมาณ 30 - 50 มิลลิเมตร
- GA: (γ) มุมตัดปลายใบมีด จากการทดลองของ Sohne มีค่าประมาณ $110^\circ - 120^\circ$
- CH: ระยะระหว่างที่จับยึดใบมีดบนเพลลาจอบหมุน มีค่าประมาณ 45 - 50 ± 0.5 มิลลิเมตร
- t_2 : ความหนาที่ส่วนบนของปลายใบมีด จากมาตรฐาน JIS ความหนาจะมีค่าประมาณ 4 - 5 มิลลิเมตร

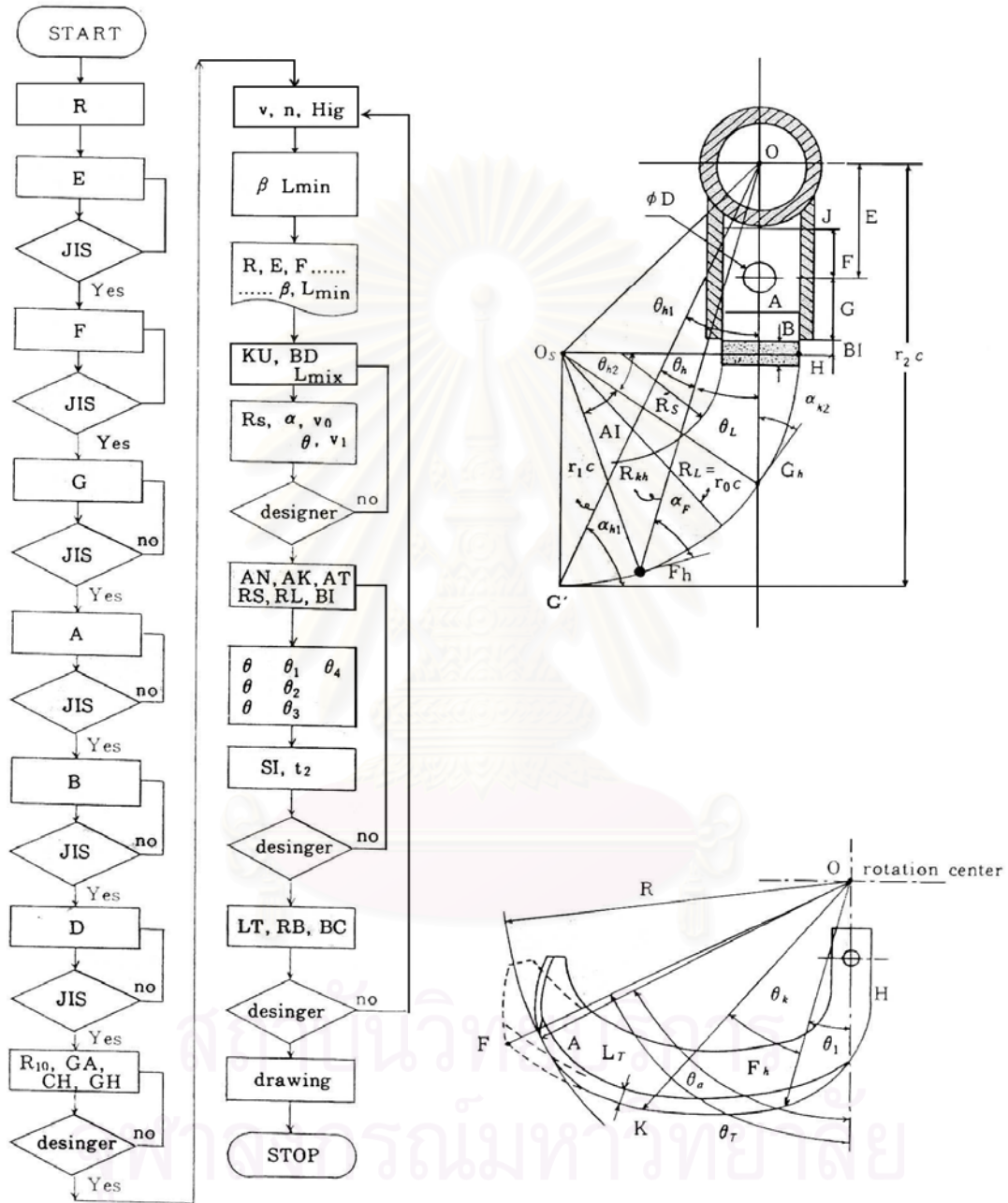
3.3.3 ส่วนขอบตัดดินโค้ง

- AN: มุมขอบตัดดินโค้งที่ส่วนคอของใบมีด จากการวิจัยของ Sakurai มุมมีค่าประมาณ 65° สำหรับแปลงนา
- AK: มุมขอบขอบตัดดินโค้งที่ส่วนปลายของส่วนตามยาวของใบมีด จากการวิจัยของ Sakurai มีค่าประมาณ 57.5° สำหรับแปลงนา
- AT: มุมขอบโค้งที่ส่วนปลายของใบมีด มุมนี้มีค่ามากกว่ามุม AK ประมาณ 4°

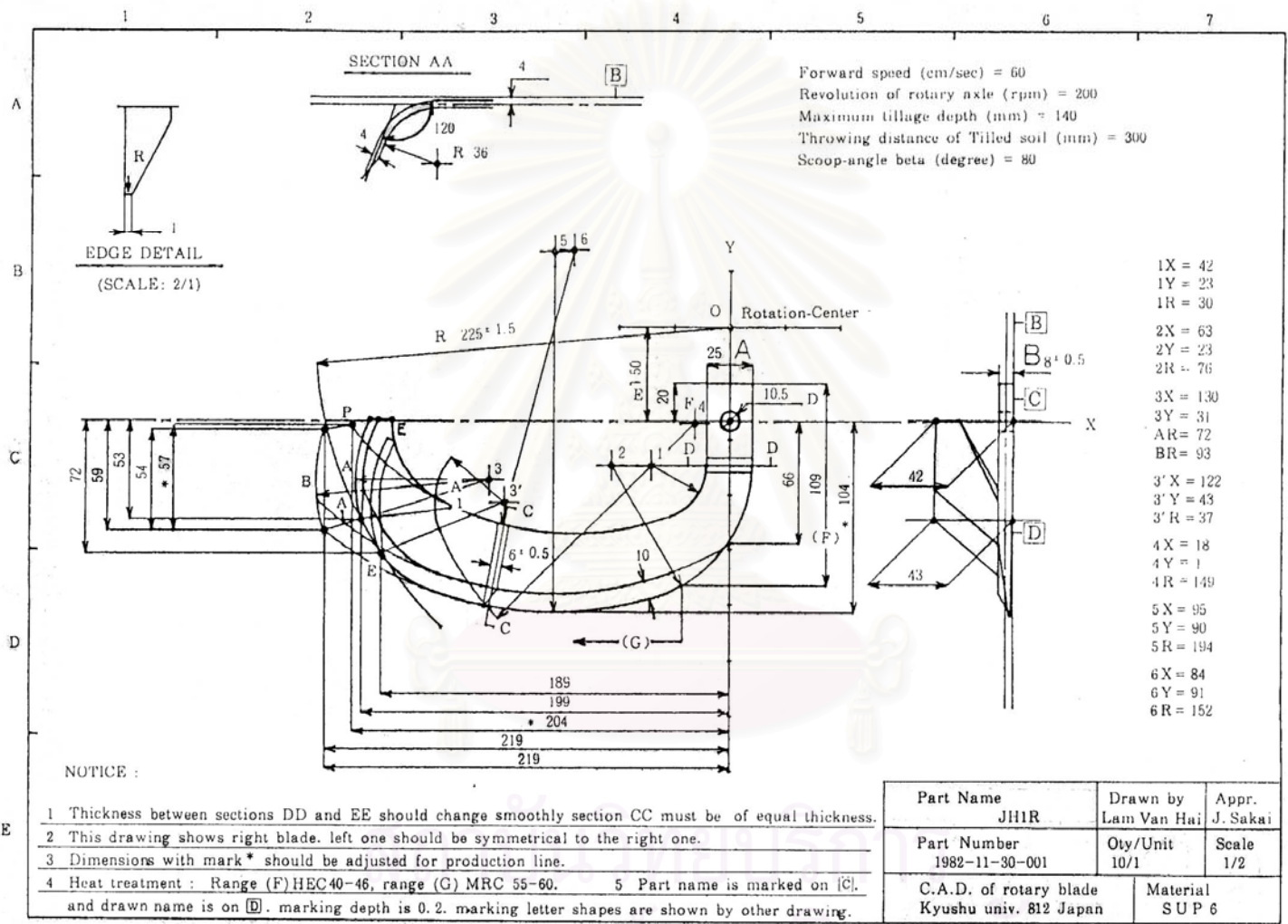
3.3.4 อายุการใช้งานและความสวยงาม

- LT: ความสูงของคมตัดใบมีด LT มีค่าประมาณ 9 - 10 มิลลิเมตร
- RB: มิติของส่วนล่างของคมตัดใบมีด
- GH: ระยะจากปลายใบมีดถึงที่จับยึดถัดไป
- SI: อัตราส่วนพื้นที่ใบมีดสำหรับการเลือกขอบโค้งหลัง
- BC: มุมสำหรับส่วนตัดของส่วนบนของปลายใบมีด
- R: รัศมีของใบมีด R มีค่าเท่ากับ 250 มิลลิเมตร

พารามิเตอร์ในการออกแบบเหล่านี้ถูกนำไปใช้ตามกระบวนการที่แสดงในแผนผังการออกแบบและวาดรูปใบมีดจอบหมุนแบบญี่ปุ่นด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ (ดังแสดงในรูปที่ 3.10) จะได้รูปวาดของใบมีดดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.10 แผนผังสำหรับการออกแบบและวาดรูปใบมีดจอบหมุนแบบญี่ปุ่นด้วยไมโครคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างการวาดรูปใบมีดจอบหมุนแบบญี่ปุ่นด้วยคอมพิวเตอร์

3.4 โครงการพัฒนาโปรแกรมสำหรับออกแบบใบมีดจอบหมุน 3 มิติ

โครงการนี้พัฒนาร่วมกับ นายอรรถวัฒน์ วิริโยภาส นิสิตปริญญาตรีในโครงการทางวิศวกรรมเครื่องกลหัวเรื่อง “การใช้โปรแกรม Solid Edge ช่วยในการออกแบบใบมีด” เพื่อช่วยในการออกแบบและเขียนแบบใบมีดจอบหมุน โดยเลือกโปรแกรม Solid Edge version 8 เพื่อทำโครงการนี้เนื่องจากเหตุผล ดังนี้

1. เป็นโปรแกรมที่มี User interface ที่ค่อนข้างง่ายต่อการใช้งาน
2. สามารถนำโปรแกรม Visual Basic มาทำการสร้าง User interface ในการควบคุมโปรแกรม Solid Edge
3. นิสิตปริญญาตรีมีโอกาสศึกษาในการใช้งานในวิชา CAD/CAM ทำให้ลดเวลาศึกษาในการใช้งานลง
4. สามารถเชื่อมต่อกับโปรแกรมทางด้าน CAM เพื่อสร้าง Prototype ได้ โดยการเชื่อมต่อกับเครื่อง CNC ซึ่งจะเห็นได้ว่าจะทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในขั้นตอนในการทำ Model ลงได้

การพัฒนาใช้โปรแกรม Visual Basic version 6 ซึ่งสามารถเชื่อมต่อกับโปรแกรม Solid Edge เพื่อที่สร้าง User interface สำหรับควบคุมการวาดรูปในโปรแกรม Solid Edge โดยแบ่งการพัฒนาออกเป็น 2 ส่วน คือ ออกแบบในลักษณะ 2 มิติและ 3 มิติ

3.5 การออกแบบใบมีดจอบหมุนลักษณะ 2 มิติ

จากการศึกษาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและเขียนแบบใบมีดจอบหมุน สามารถใช้โปรแกรม Solid Edge ช่วยในการออกแบบและเขียนแบบโดยใช้โปรแกรม Visual Basic ช่วยควบคุมการวาดรูปในโปรแกรม Solid Edge โดยมีขั้นตอนดังนี้

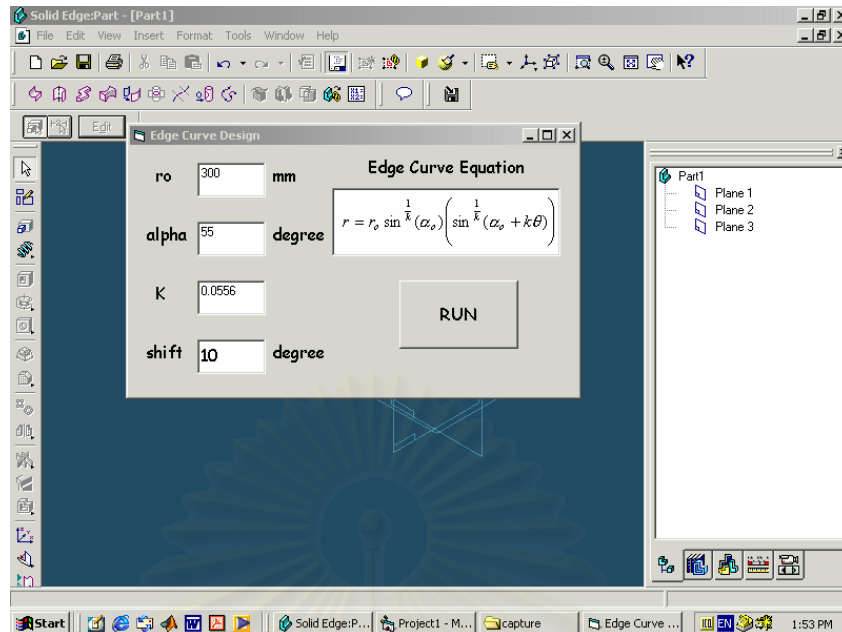
3.5.1 กำหนดพารามิเตอร์ที่จำเป็นต่อการออกแบบและเขียนแบบใบมีดจอบหมุน ดังนี้

1. ค่ารัศมีที่ปลายของ Edge Curve (R_0)300 มิลลิเมตร
2. มุมของ Edge Curve ที่รัศมีเท่ากับ R_0 (α_0)55 องศา
3. ค่าคงที่ที่กำหนดการเปลี่ยนแปลงจาก α_t ถึง α_n (K) $\frac{1}{18}$
4. ค่ามุมที่เบี่ยงเบนของ Edge Curve จากแกน X10 องศา

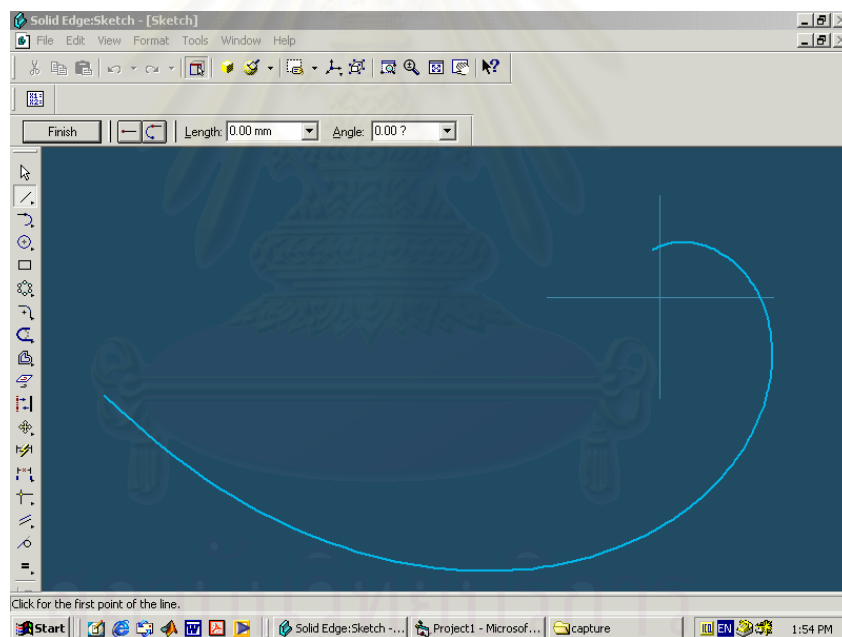
5. ความเร็วรอบของการหมุน (n)265 รอบต่อนาที
6. ความลึกในการขุด (H)14 เซนติเมตร
7. ความเร็วเดินหน้าของรถไถเดินตาม (V)32.5 เซนติเมตรต่อวินาที
8. รัศมีของ Tiller Blade (R)20 เซนติเมตร
9. มุมของ Edge curve ที่ส่วนปลายของใบส่วนตรง (α_1)57.5 องศา
10. ความกว้างของส่วน Holder (A)25 มิลลิเมตร
11. ความหนาของส่วน Holder (B)9 มิลลิเมตร
12. เส้นผ่านศูนย์กลางของรูน็อตในส่วนของ Holder (D)10.5 มิลลิเมตร
13. ระยะทางระหว่างแกนหมุนกับน็อต (E)45 มิลลิเมตร
14. ระยะทางระหว่างส่วนของปลายใบมีดของ Holder กับตัวน็อต (F1)
.....15 มิลลิเมตร
15. ระยะทางระหว่างส่วนของปลาย Holder กับตัวน็อต (G) ...15 มิลลิเมตร
16. ระยะทางระหว่าง Holder ของใบมีดจอบหมุนแต่ละตัว (C_1)
.....50 มิลลิเมตร
17. มุมทั้งหมดของตัว Scoop ถึงเส้นผ่านศูนย์กลาง (ξ)15 องศา
18. รัศมีของเส้นโค้งด้านข้าง (R_{10})37.5 มิลลิเมตร
19. ความกว้างของการตัด(W_5)42.5 มิลลิเมตร
20. มุมของการตัดของส่วน Scoop (γ')115 องศา
21. ความหนาของปลายใบมีด (W_3)7 มิลลิเมตร

3.5.2 เขียนเส้นโค้งของขอบตัดดิน (Edge Curve)

จากสมการ (2.10) ใช้โปรแกรม Visual Basic รับค่า r_0, k, α_0 (ดังแสดงในรูปที่ 3.12) เพื่อเขียนรูปเส้นโค้งในโปรแกรม Solid Edge เมื่อใส่ค่าพารามิเตอร์ตาม 3.5.1 โปรแกรมก็จะทำการวาดรูป profile ของเส้นโค้งของขอบตัดดิน (ดังแสดงในรูปที่ 3.13)



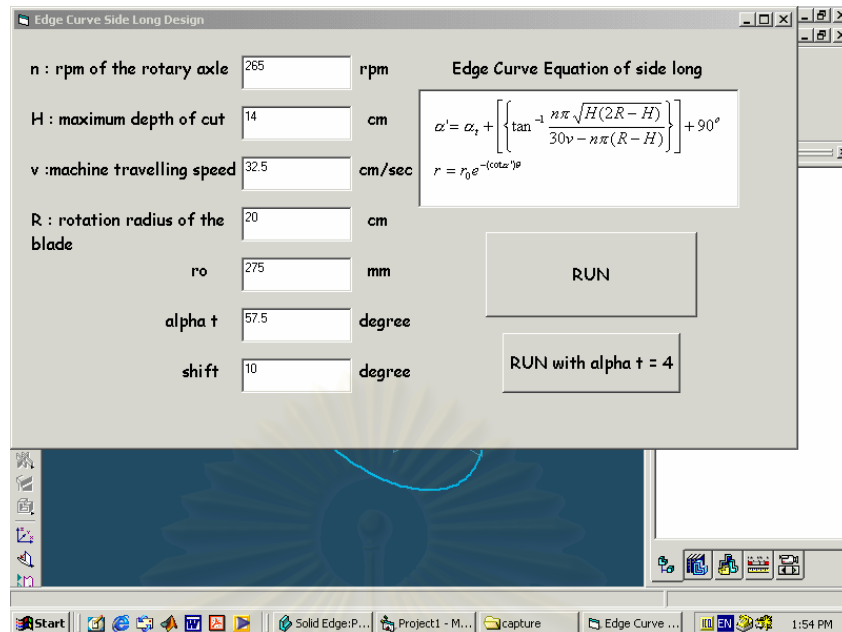
รูปที่ 3.12 รับค่าพารามิเตอร์สำหรับวาดรูปเส้นโค้งของขอบตัดดิน



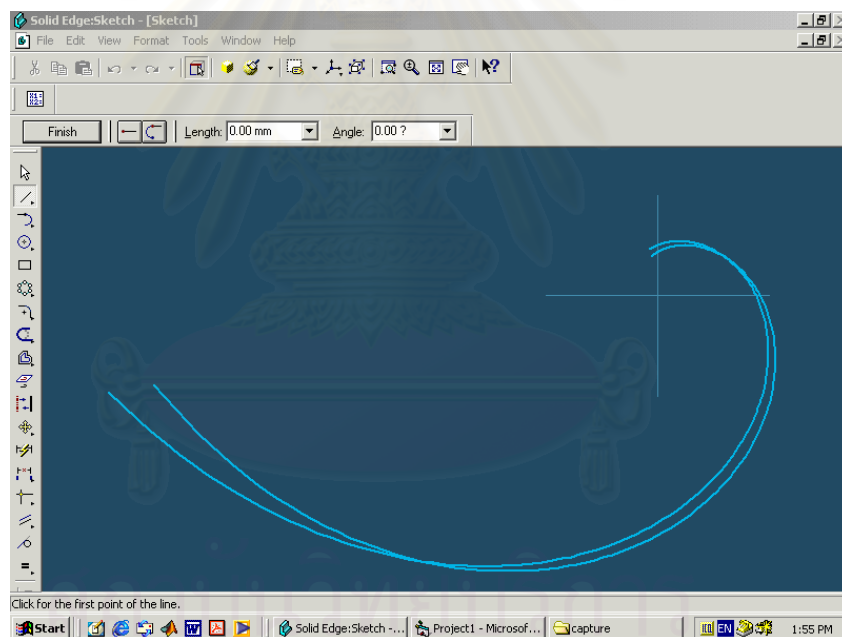
รูปที่ 3.13 แสดงผลของการเขียนเส้นโค้งของขอบตัดดิน

3.5.3 ออกแบบส่วนของ Profile Edge curve sidelong

ใช้โปรแกรม Visual Basic รับค่าพารามิเตอร์ (ดังแสดงในรูปที่ 3.14) เพื่อเขียนรูป Profile Edge curve sidelong ในโปรแกรม Solid Edge เมื่อใส่ค่าพารามิเตอร์ตาม 3.5.1 โปรแกรมก็จะทำการวาดรูป Profile Edge curve sidelong (ดังแสดงในรูปที่ 3.15)



รูปที่ 3.14 รับค่าพารามิเตอร์สำหรับออกแบบ Edge curve sidelong



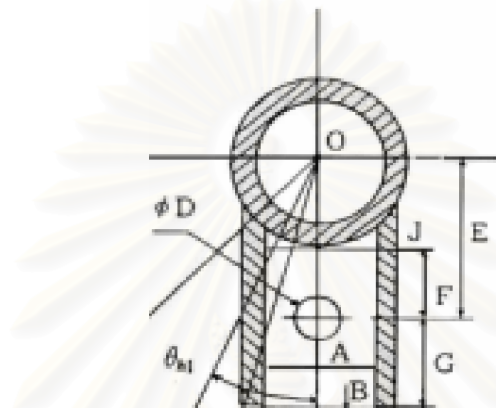
รูปที่ 3.15 แสดงผลการเขียน Edge curve sidelong

3.5.4 ออกแบบส่วนจับยึดใบมีดและด้ามมีด

ส่วนจับยึดใบมีดและด้ามมีดจะประกอบด้วยพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบ (ดังแสดงในรูปที่ 3.16) ดังนี้

1. ความกว้างของส่วน Holder (A)25 มิลลิเมตร

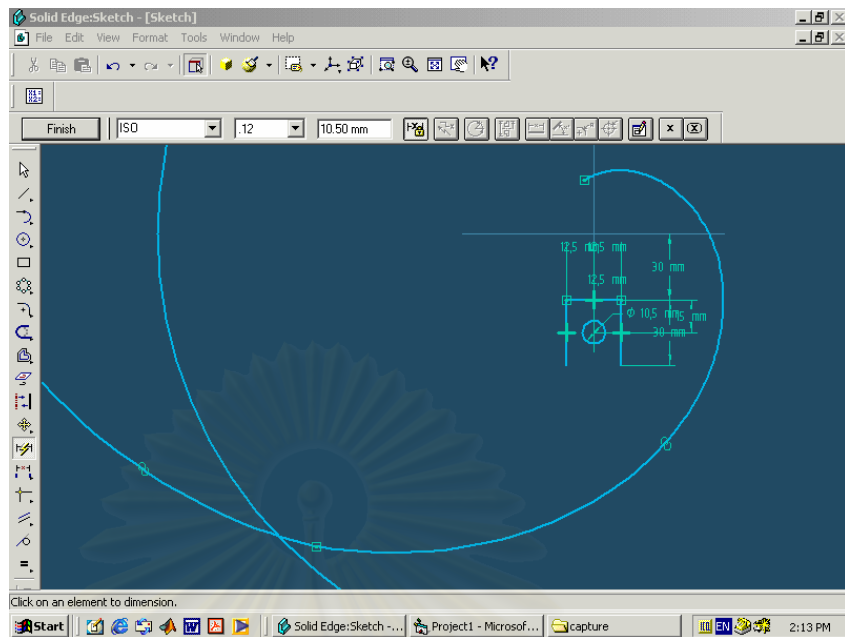
2. ความหนาของส่วน Holder (B)9 มิลลิเมตร
3. เส้นผ่านศูนย์กลางของรูน็อตในส่วนของ Holder (D)10.5 มิลลิเมตร
4. ระยะทางระหว่างแกนหมุนกับน็อต (E)45 มิลลิเมตร
5. ระยะทางระหว่างส่วนของปลายใบมีดของ Holder กับตัวน็อต (F1)
.....15 มิลลิเมตร
6. ระยะทางระหว่างส่วนของปลาย Holder กับตัวน็อต (G) ..15 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.16 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบส่วนจับยึด

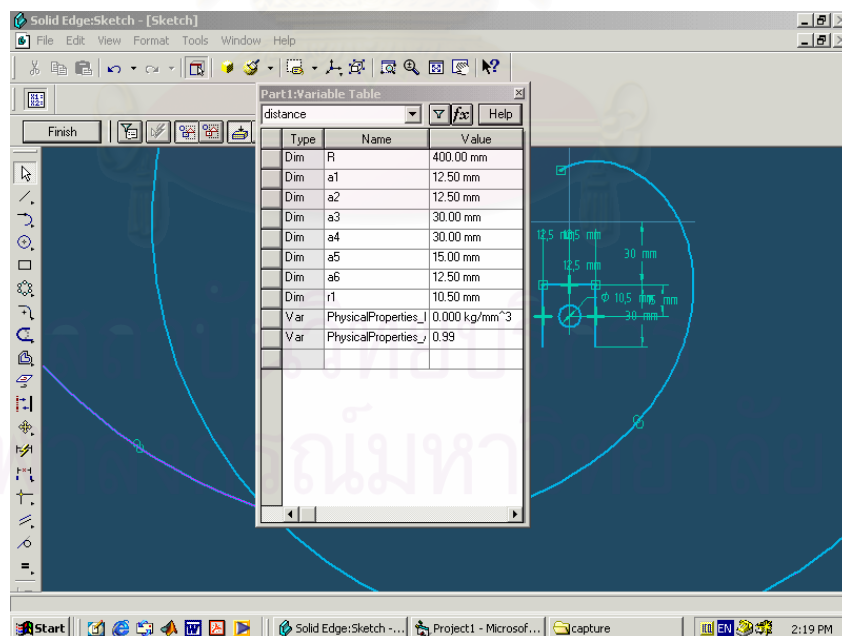
เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ส่วนจับยึดใบมีดและด้ามมีดไปวาดในโปรแกรม Solid Edge ก็จะได้ด้ามมีดของใบมีดจอบหมุนดังแสดงในรูปที่ 3.17

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



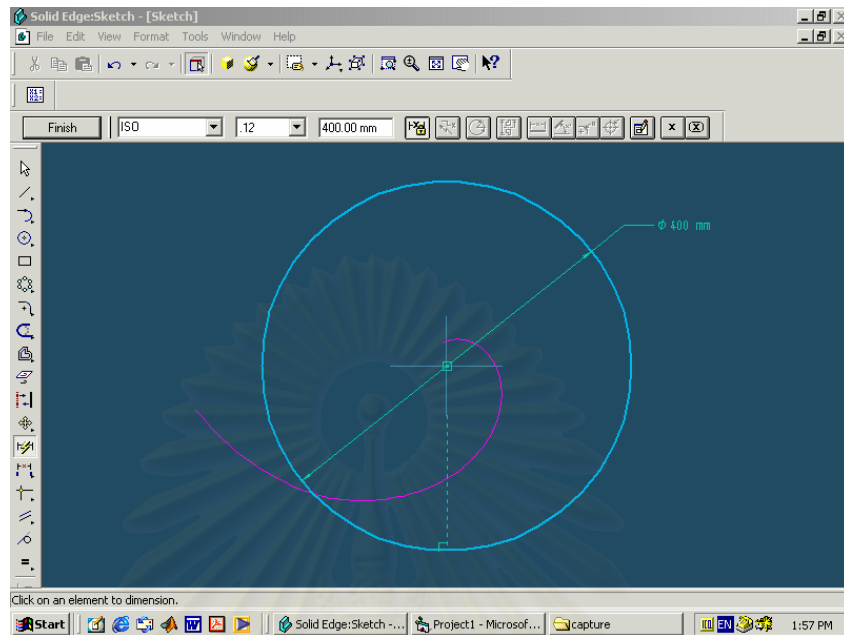
รูปที่ 3.17 การออกแบบส่วนจับยึดของโม่มีดจบหมุน

ในการออกแบบต้องมีการตรวจสอบว่าด้ามมีดนั้นมีความเหมาะสมหรือไม่ ในโปรแกรม Solid Edge สามารถใช้ตาราง Variable เปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของด้ามมีดให้เหมาะสมตามความต้องการของผู้ออกแบบได้มากที่สุด (ดังแสดงในรูปที่ 3.18)



รูปที่ 3.18 การใช้ตาราง Variable เพื่อเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ให้มีค่าที่เหมาะสม

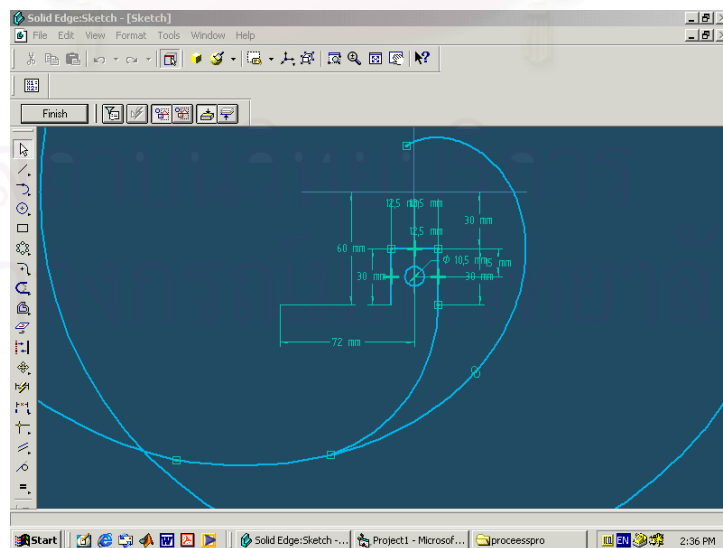
3.5.5 เขียนวงกลมรัศมีของใบมีดจอบหมุน



รูปที่ 3.19 วงกลมรัศมีของใบมีดจอบหมุน

3.5.6 ออกแบบเส้นโค้งเชื่อมระหว่างด้ามมีดกับเส้นโค้งของขอบตัดดิน

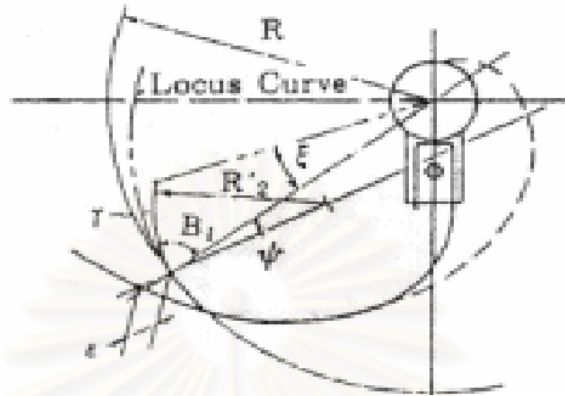
เส้นโค้งที่เชื่อมต่อกันมีลักษณะอย่างไรขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบ โดยสามารถใช้ตาราง Variable เพื่อเปลี่ยนค่ารัศมีของเส้นโค้งทำให้ได้เส้นโค้งที่เหมาะสมตามความต้องการของผู้ออกแบบ (ดังแสดงในรูปที่ 3.20)



รูปที่ 3.20 ออกแบบและเขียนเส้นโค้งเชื่อมด้ามมีดกับเส้นโค้งของขอบตัดดิน

3.5.7 ออกแบบและเขียนแบบผิวโค้งของใบมีดจอบหมุน

การหาค่าของตำแหน่งเส้นผ่านศูนย์กลางของผิวโค้ง (Scoop surface curvature) ได้จากการหาค่ามุม Φ (ดังแสดงในรูปที่ 3.21)



รูปที่ 3.21 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบผิวโค้ง

ค่ามุม Φ หาได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

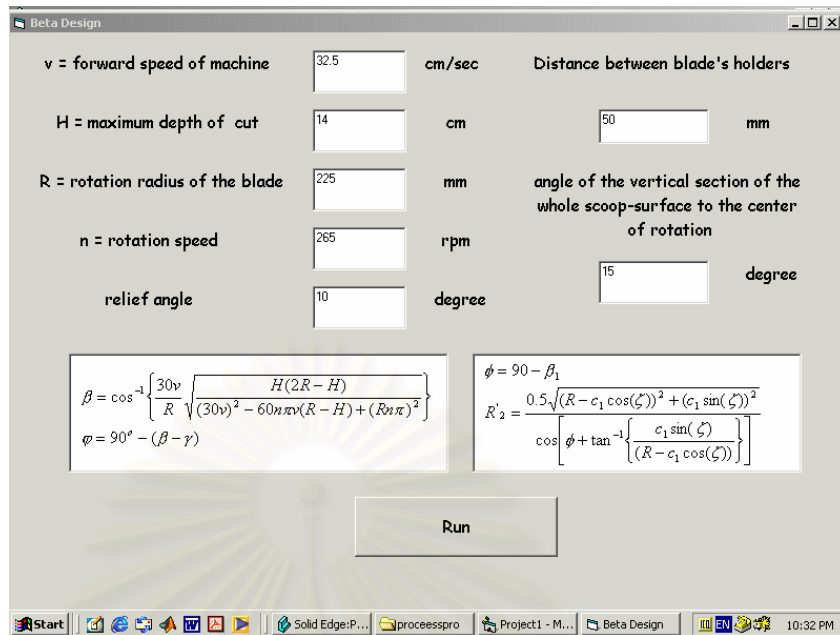
$$\Phi = 90^\circ - (\beta - \gamma) \quad (3.2)$$

เมื่อ β หาได้จากสมการ (2.6)

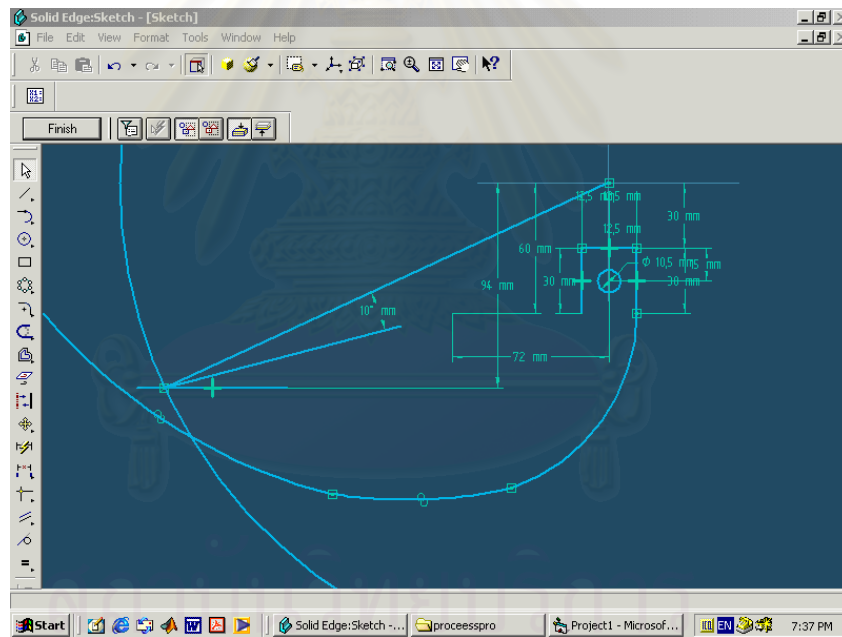
ค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ในการออกแบบมีค่าดังนี้ (จาก 3.5.1)

1. ความเร็วรอบของการหมุน (n)265 รอบต่อนาที
2. ความลึกในการขุด (H)14 เซนติเมตร
3. ความเร็วเดินทางของรถไถเดินตาม (V)32.5 เซนติเมตรต่อวินาที
4. รัศมีของ Tiller Blade (R)20 เซนติเมตร
5. มุม Relief (γ) ขึ้นอยู่กับการออกแบบซึ่งมีค่าระหว่าง $10^\circ - 30^\circ$

เมื่อแทนค่าพารามิเตอร์ลงในสมการที่ 2.6 และ 3.2 โดยใช้โปรแกรม Visual Basic ทำการรับค่าพารามิเตอร์แต่ละตัวเพื่อคำนวณค่ามุม Φ (ดังแสดงในรูปที่ 3.22) ทำให้สามารถกำหนดแนวของเส้นผ่านศูนย์กลางของผิวโค้งได้ (ดังแสดงในรูปที่ 3.23)



รูปที่ 3.22 แสดงโปรแกรมทำการคำนวณค่ามุม ϕ



รูปที่ 3.23 กำหนดแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของผิวโค้ง

3.5.8 หาค่ารัศมีของผิวโค้งที่สอง

หาค่ารัศมีได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$R'_2 = \frac{0.5\sqrt{(R - C_1 \cos(\xi))^2 + (C_1 \sin(\xi))^2}}{\cos\left[\phi + \tan^{-1}\left\{\frac{C_1 \sin(\xi)}{(R - C_1 \cos(\xi))}\right\}\right]} \quad (3.3)$$

โดยเมื่อเราทำการแทนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ลงไปในสมการ (3.3) โดยค่า ϕ ได้จาก 3.5.7 และค่าต่างๆ ในสมการมีค่าดังนี้

1. ระยะระหว่างที่จับยึดใบมีดแต่ละตัว (C_1)50 มิลลิเมตร
2. มุมผิวโค้ง (ζ)15 องศา
3. รัศมีใบมีด (R)20 เซนติเมตร

นำโปรแกรม Visual Basic มาคำนวณค่ารัศมี (ดังแสดงในรูปที่ 3.24) ทำการเขียนวงกลมด้วยรัศมีของผิวโค้งที่สอง (ดังแสดงในรูปที่ 3.25) ลงในโปรแกรม Solid Edge ให้เส้นโค้งที่ได้มีมุมผิวโค้งตามกำหนด (ดังแสดงในรูปที่ 3.26)

The screenshot shows the 'Beta Design' software window with the following input fields and values:

- v = forward speed of machine: 32.5 cm/sec
- H = maximum depth of cut: 14 cm
- R = rotation radius of the blade: 225 mm
- n = rotation speed: 265 rpm
- relief angle: 10 degree
- Distance between blade's holders: 50 mm
- angle of the vertical section of the whole scoop-surface to the center of rotation: 15 degree

Below the input fields, there are two mathematical formulas:

$$\beta = \cos^{-1} \left\{ \frac{30v}{R} \sqrt{\frac{H(2R-H)}{(30v)^2 - 60n\pi v(R-H) + (Rn\pi)^2}} \right\}$$

$$\phi = 90^\circ - (\beta - \gamma)$$

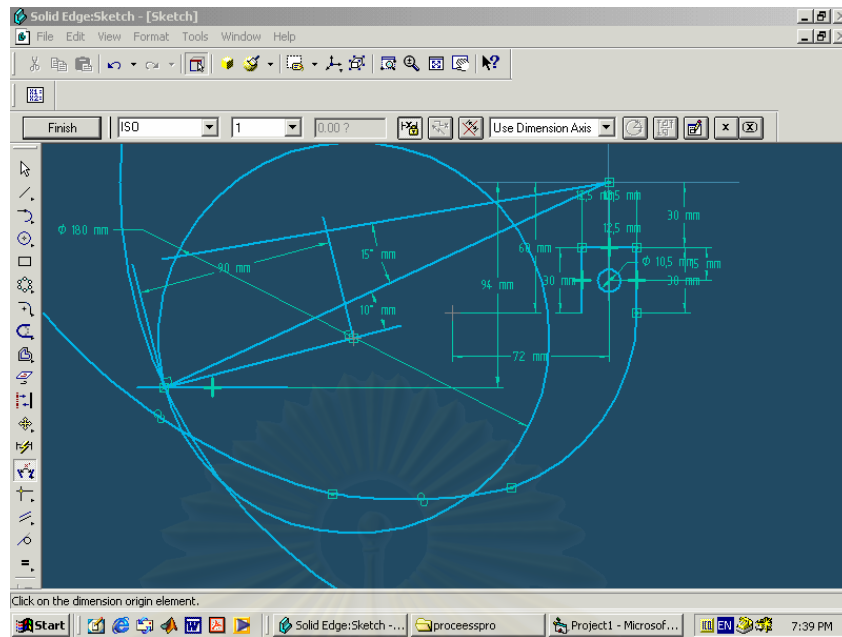
$$\phi = 90 - \beta_1$$

$$R'_2 = \frac{0.5\sqrt{(R - c_1 \cos(\zeta))^2 + (c_1 \sin(\zeta))^2}}{\cos \left[\phi + \tan^{-1} \left\{ \frac{c_1 \sin(\zeta)}{(R - c_1 \cos(\zeta))} \right\} \right]}$$

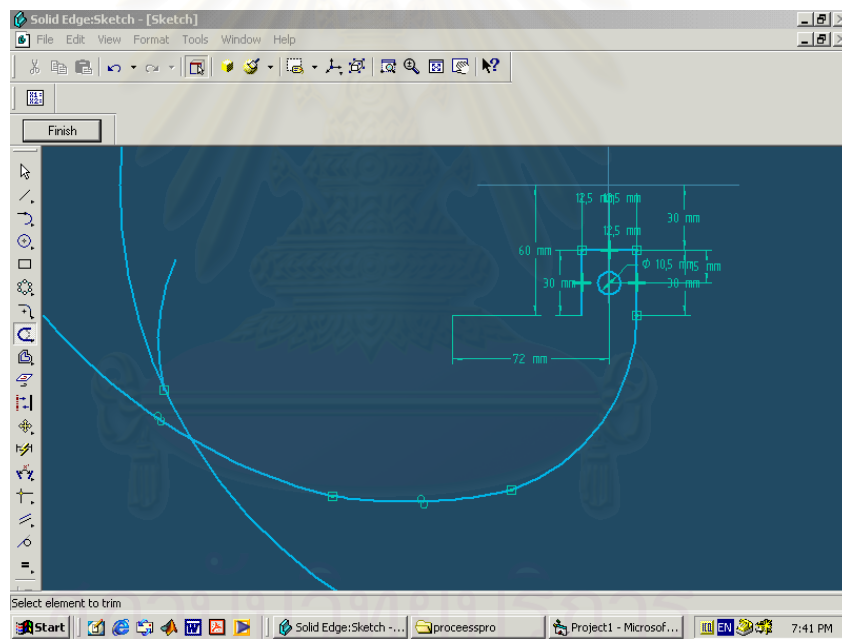
A 'Run' button is located at the bottom center of the window.

รูปที่ 3.24 คำนวณค่ารัศมีของผิวโค้งที่สอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



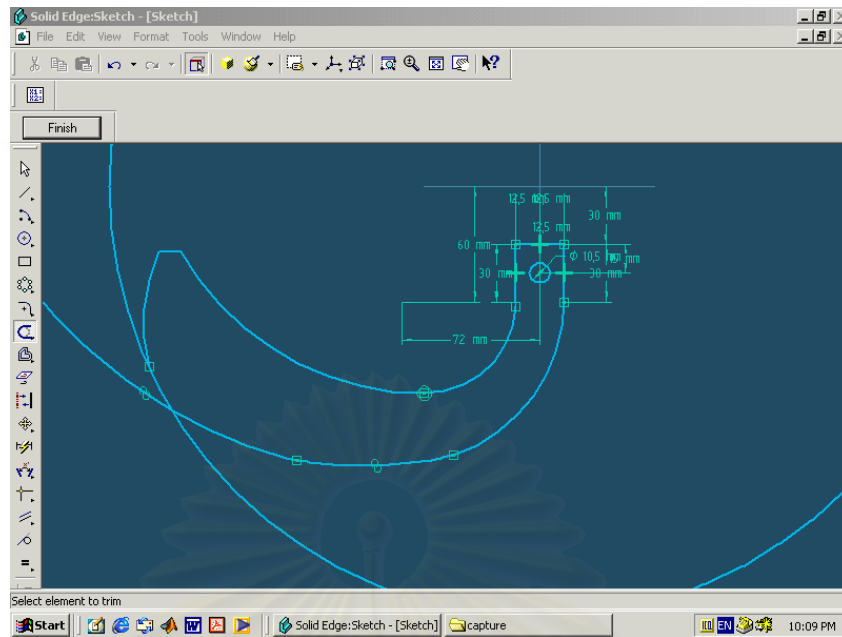
รูปที่ 3.25 เขียนวงกลมด้วยวิธีศมีของผิวโค้งที่สอง



รูปที่ 3.26 เส้นโค้งของผิวโค้งที่สอง

3.5.9 การออกแบบและเขียนแบบในส่วนของ Back edge curve

ในการออกแบบนั้นจะขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบเอง เมื่อทำการออกแบบและเขียนแบบในส่วนนี้แล้วนั้น จะทำให้ได้ลักษณะของใบมีดดังแสดงในรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 การออกแบบส่วน Back edge curve

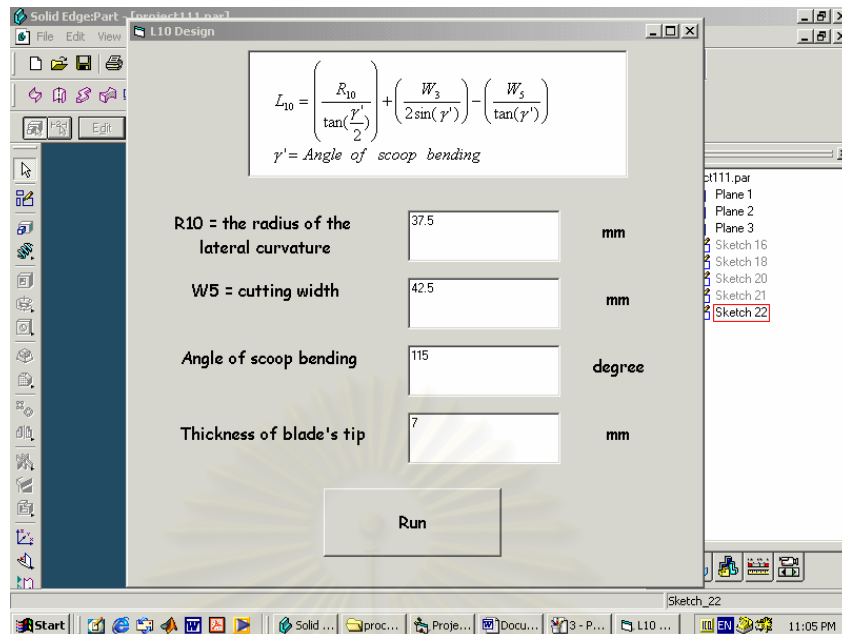
3.5.10 ออกแบบและเขียนแบบในส่วนของเส้นโค้งแสดงการตัดของใบมีดขอบหมุน

เส้นโค้งแสดงการตัดเป็นเส้นที่เชื่อมระหว่างสองเส้น คือ เส้นที่มีจุดศูนย์กลางในแนวเดียวกันกับจุดศูนย์กลางของผิวโค้ง สามารถหารัศมีของเส้นโค้งได้จากสมการดังนี้

$$L_{10} = \left[\frac{R_{10}}{\tan\left(\frac{\gamma'}{2}\right)} \right] + \left[\frac{W_3}{2 \sin(\gamma')} \right] - \left[\frac{W_5}{\tan(\gamma')} \right] \quad (3.4)$$

โดยแทนค่าพารามิเตอร์ลงในสมการ (3.4) ดังนี้

1. รัศมีของเส้นโค้งด้านข้าง (R_{10})37.5 มิลลิเมตร
2. ความกว้างของการตัด(W_5)42.5 มิลลิเมตร
3. มุมของการตัดของส่วน Scoop (γ')115 องศา
4. ความหนาของปลายใบมีด (W_3)7 มิลลิเมตร

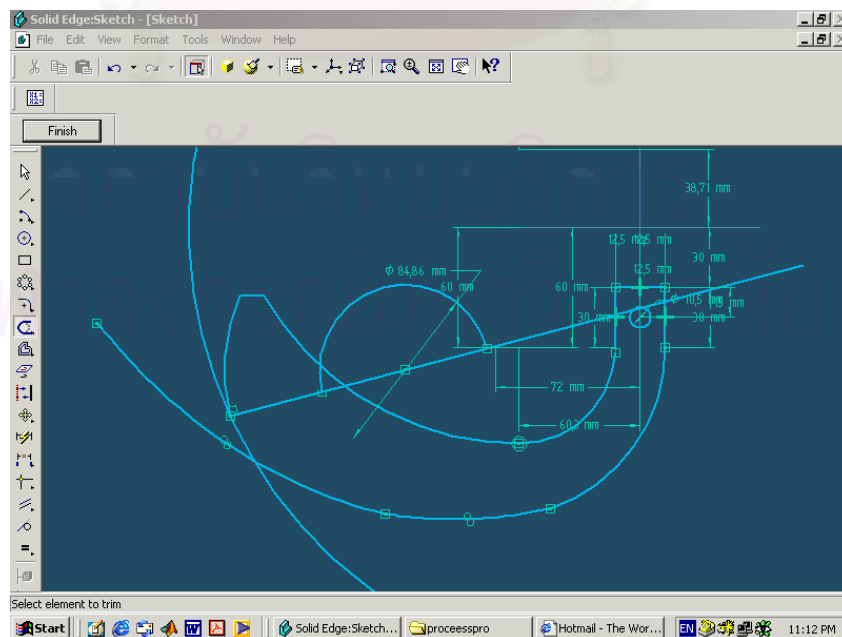


รูปที่ 3.28 แสดงโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ L_{10}

ใช้โปรแกรม Visual Basic มาช่วยในการคำนวณค่า L_{10} (ดังแสดงในรูปที่ 3.28) เมื่อได้ค่า L_{10} ทำให้สามารถหารัศมีของเส้นโค้งแสดงการตัดได้จากสมการ

$$R' = R'_2 - L_{10} \quad (3.5)$$

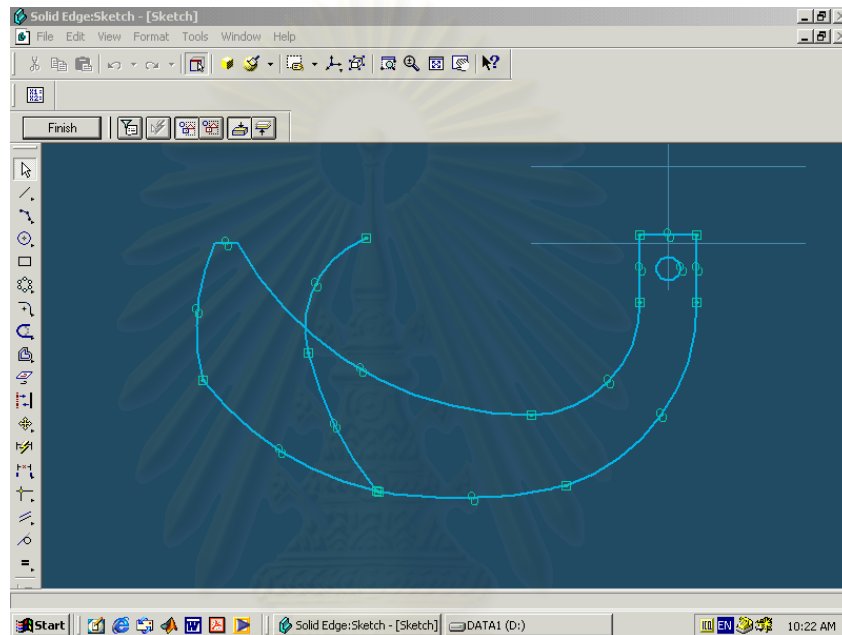
โดยแทนค่าของ R'_2 ในสมการ (3.5) จะได้ค่า R' ทำการเขียนส่วนโค้งแรก (ดังแสดงในรูปที่ 3.29)



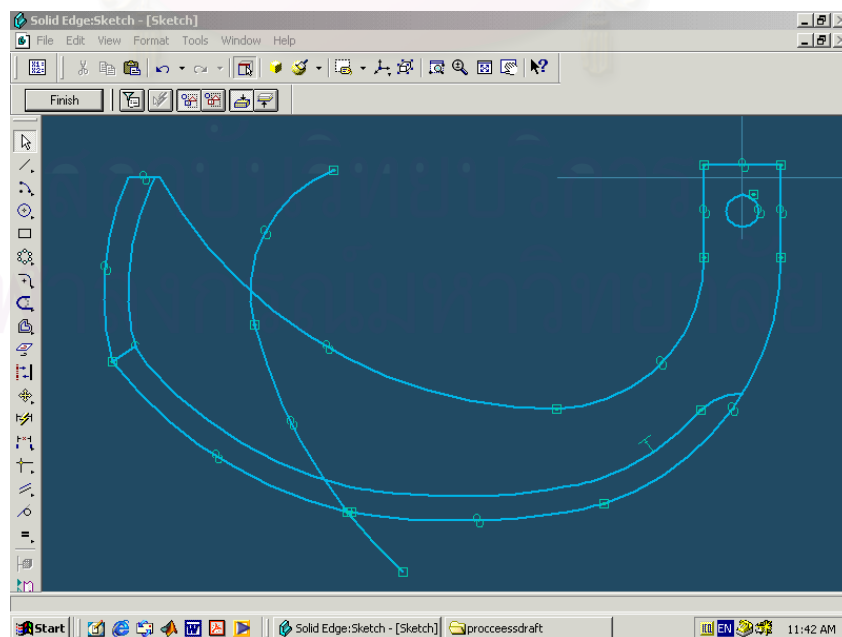
รูปที่ 3.29 รูปแสดงส่วนโค้งส่วนแรกของเส้นโค้งแสดงการตัดของใบมีด

3.5.12 ออกแบบและเขียนแบบในส่วนคมตัดของใบมีดจอบหมุน

หลังจากทำการออกแบบในส่วนต่างๆ แล้วจะได้แบบโครงร่างของใบมีดจอบหมุน (ดังแสดงในรูปที่ 3.32) ในส่วนความหนาของคมตัดของใบมีดจอบหมุนขึ้นอยู่กับารออกแบบของผู้ออกแบบเอง ดังนั้น หลังจากทำการออกแบบแล้วก็ได้ใบมีดจอบหมุนที่มีคมตัด (ดังแสดงในรูปที่ 3.33)

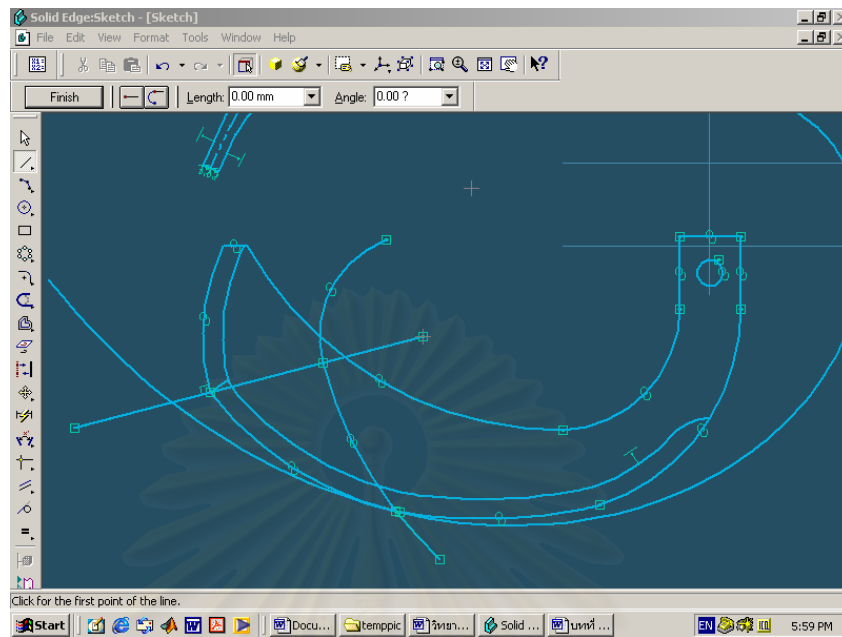


รูปที่ 3.32 โครงร่างของใบมีดจอบหมุน



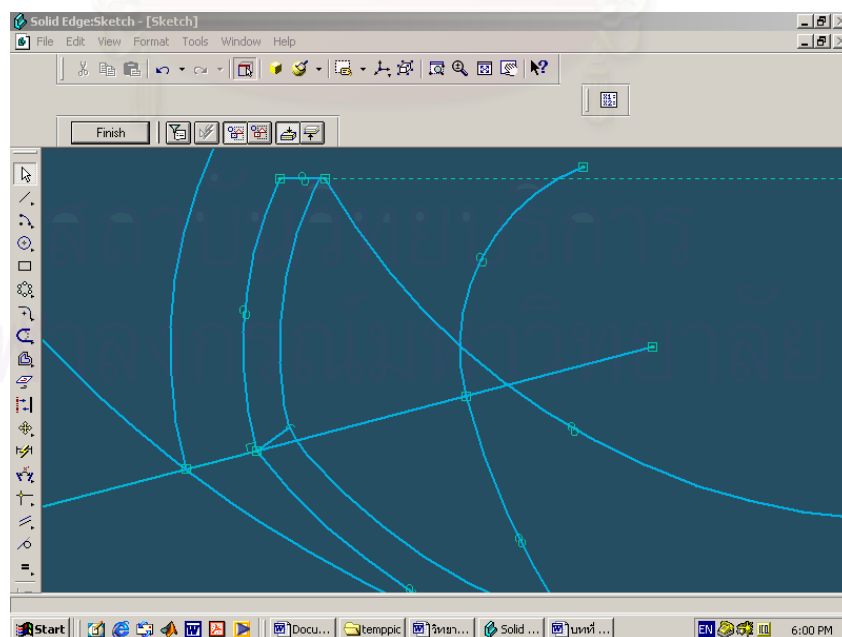
รูปที่ 3.33 รูปแสดงการออกแบบและเขียนแบบในส่วนคมของใบมีดจอบหมุน

3.5.13 ออกแบบใบมีดก่อนถูกตัด

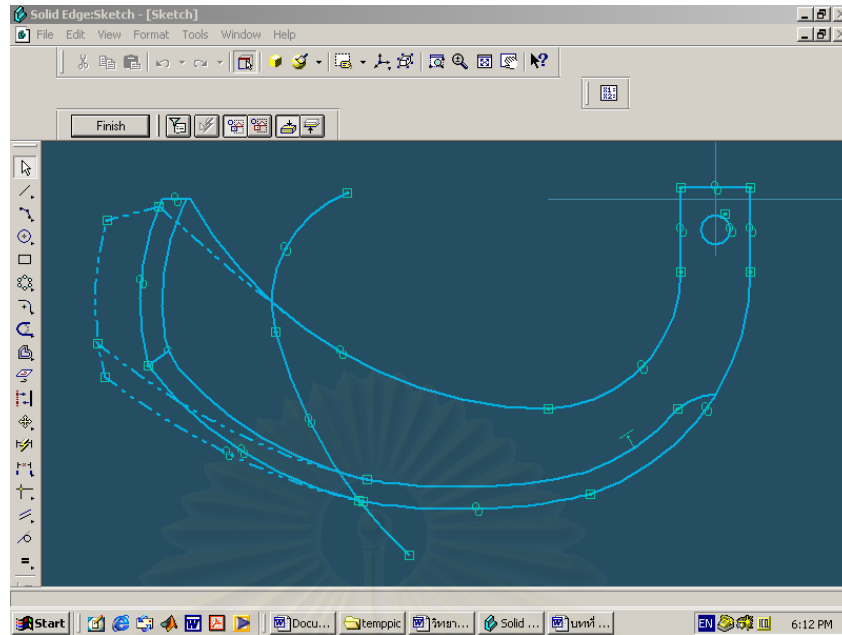


รูปที่ 3.34 การออกแบบใบมีดก่อนถูกตัด

ออกแบบและเขียนใบมีดจอบหมุนก่อนถูกตัด โดยต่อเส้นแนวจุดศูนย์กลางของผิวโค้งไปตัดกับเส้น Edge curve sidelong (ดังแสดงในรูปที่ 3.34) หลังจากนั้นก็ทำการสร้างเส้นโค้งจากจุดตัดนั้นโดยมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่จุดเดียวกันกับผิวโค้ง ก็จะได้เส้นส่วนโค้งด้านนอกของใบมีดจอบหมุนในส่วนที่ยังไม่ได้ตัด (ดังแสดงในรูปที่ 3.35 และรูปที่ 3.36)



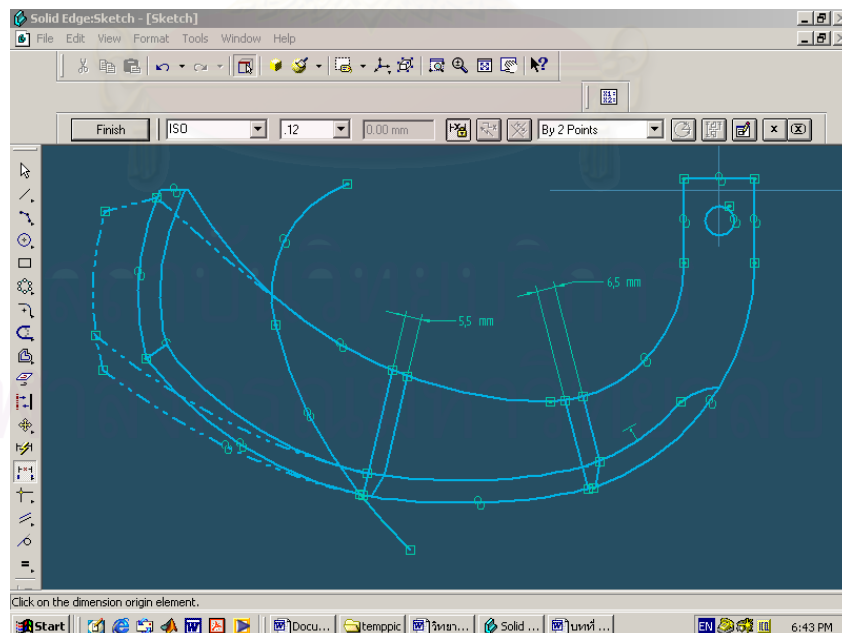
รูปที่ 3.35 การเขียนรูปส่วนโค้งด้านนอกของใบมีดจอบหมุนที่ยังไม่ได้ตัด



รูปที่ 3.36 แบบใบมีดจอบหมุนที่ยังไม่ได้ตัด

3.5.14 ออกแบบและเขียนแบบการเปลี่ยนแปลงความหนาของใบมีดจอบหมุน

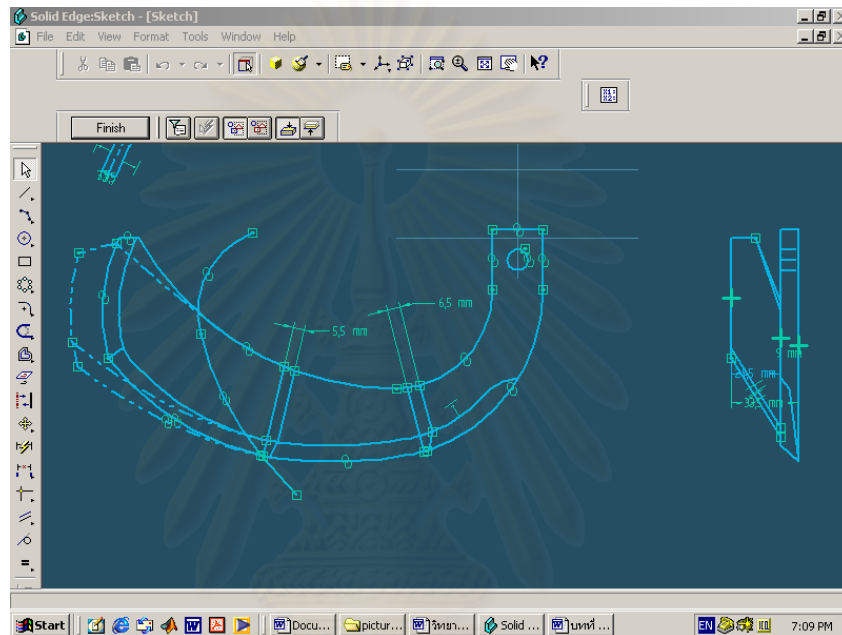
การออกแบบและเขียนแบบการเปลี่ยนแปลงความหนาของใบมีดจอบหมุนระหว่างส่วนของด้ามมีดถึงส่วนปลายของใบมีดจอบหมุนสามารถแสดงโดย ภาพตัดขวาง 2 – 3 หน้าตัด (ดังแสดงในรูปที่ 3.37)



รูปที่ 3.37 ความหนาของใบมีดในแต่ละหน้าตัด

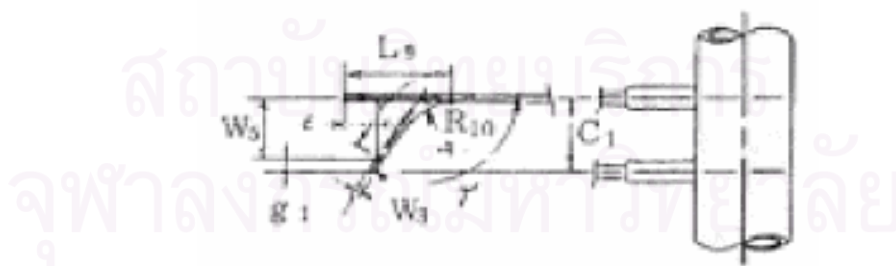
3.5.15 การออกแบบในส่วนด้านข้าง

หลังจากทำการออกแบบและเขียนแบบใบมีดจบมุมในส่วนด้านหน้าแล้ว ทำการออกแบบในส่วนด้านข้าง โดยมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบคือ L_7 และ L_8 โดยกำหนดให้ค่า L_7 และ L_8 เท่ากับ 33.5 มิลลิเมตร จะได้ภาพด้านข้างของใบมีด (ดังแสดงในรูปที่ 3.38)



รูปที่ 3.38 ภาพด้านข้างของใบมีดจบมุม

3.5.16 ออกแบบและเขียนแบบส่วนด้านบนของใบมีดจบมุม



(e)

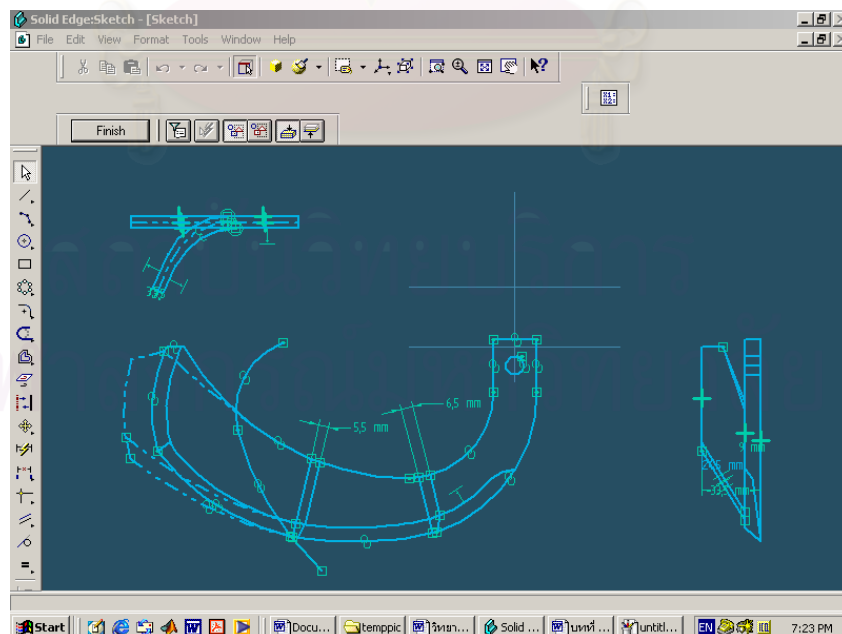
รูปที่ 3.39 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบส่วนด้านบนของใบมีดจบมุม

เมื่อทำการออกแบบและเขียนแบบในส่วนด้านข้างของใบมีดจบหมุนแล้ว ทำการออกแบบและเขียนแบบในส่วนของด้านบนของใบมีดจบหมุนซึ่งเป็นส่วนที่ทำการตัดขวาง จากด้านหน้าของใบมีดจบหมุน โดยออกแบบจากพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ (ดังแสดงในรูปที่ 3.39)

ค่าพารามิเตอร์สำหรับการออกแบบส่วนด้านบนของใบมีด คือ

1. ระยะทางระหว่างที่จับยึดของใบมีดจบหมุนแต่ละตัว (C_1)
.....50 มิลลิเมตร
2. มุมผิวโค้ง (ζ)15 องศา
3. รัศมีตัด (R_{10})37.5 มิลลิเมตร
4. ความกว้างของการตัด (W_5)42.5 มิลลิเมตร
5. มุมตัด (γ')115 องศา
6. ความหนาของปลายใบมีด (W_3)7 มิลลิเมตร
7. ระยะระหว่างปลายของใบมีดกับศูนย์กลางของใบมีดจบหมุนใบที่ติดกัน (g_1)7.5 มิลลิเมตร

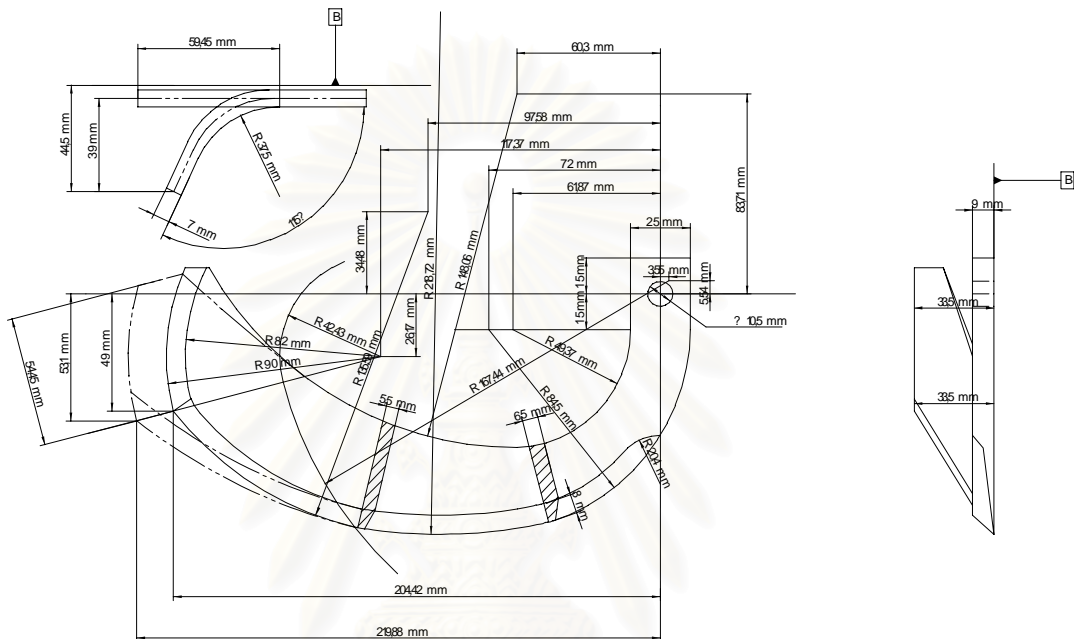
เมื่อทำการออกแบบและเขียนตามพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้ข้างต้น จะสามารถเขียนแบบของใบมีดจบหมุนด้านบนได้ (ดังแสดงในรูปที่ 3.40)



รูปที่ 3.40 เขียนแบบของส่วนด้านบนของใบมีดจบหมุน

3.5.17 ให้มิติกับใบมีดจอบหมุน

เมื่อทำการออกแบบในทุกๆ ส่วนของใบมีดจอบหมุนแล้ว ทำการถ่ายโอนข้อมูลลงในส่วนของ Solid Edge/Draft เพื่อให้มิติใบมีดจอบหมุน จะทำให้ได้แบบสมบูรณ์ของใบมีดจอบหมุนที่ได้รับการออกแบบโดยพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบตัวใบมีดจอบหมุน (ดังแสดงในรูปที่ 3.41)



รูปที่ 3.41 ใบมีดจอบหมุนที่ออกแบบในลักษณะ 2 มิติ

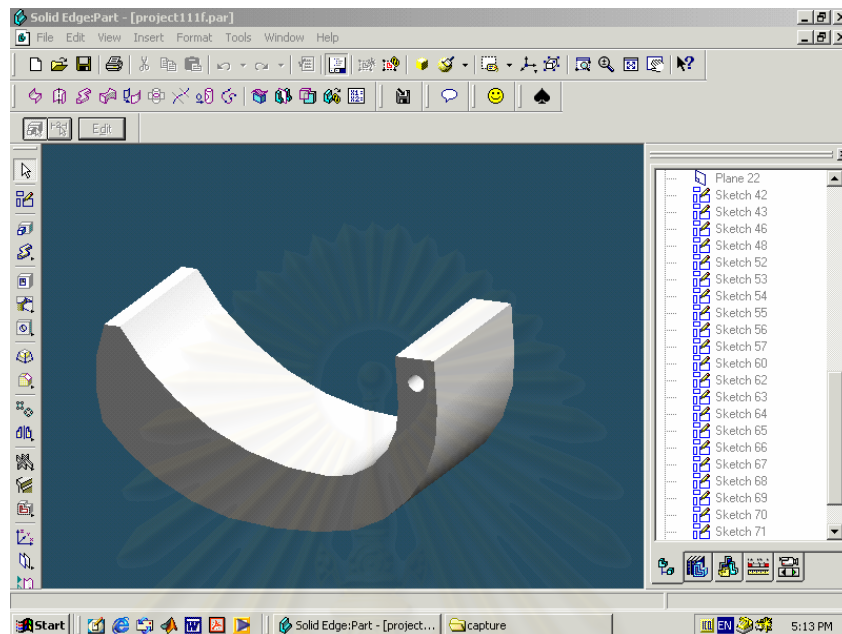
3.6 การออกแบบใบมีดจอบหมุนลักษณะ 3 มิติ

การออกแบบและเขียนแบบใบมีดจอบหมุนลักษณะ 3 มิติ ประยุกต์จากการออกแบบแบบ 2 มิติ ที่ได้ทำการออกแบบไปแล้วใน 3.5 ขั้นตอนการออกแบบและเขียนแบบลักษณะ 3 มิติในขั้นตอนแรก จะเป็นขั้นตอนที่เหมือนกันกับแบบ 2 มิติตั้งแต่ขั้นตอน 3.5.1 – 3.5.11 จนได้โครงร่างของใบมีดจอบหมุน (ดังแสดงในรูปที่ 3.32) ซึ่งจะไม่กล่าวซ้ำอีก วิธีการออกแบบและเขียนแบบในลักษณะ 3 มิติหลังจากได้โครงร่างของใบมีดจอบหมุนแล้ว มีดังนี้

3.6.1 ขยายลักษณะโครงร่างเป็น 3 มิติ

หลังจากที่ได้โครงร่างของใบมีดจอบหมุน (ดังแสดงในรูปที่ 3.32) แล้วทำการใช้คำสั่ง Protrusion จาก Profile ในรูปที่ 3.32 ซึ่งเป็นการขยายจาก Profile ที่เป็นรูปลักษณะ 2 มิติ

ให้เป็น 3 มิติโดยทำการขยายขนาดของ Profile ให้ออกไปในด้านข้างเพื่อที่จะทำให้ได้รูปทรงในลักษณะของ 3 มิติ (ดังแสดงในรูปที่ 3.42)



รูปที่ 3.42 การทำการสร้างรูปทรงพื้นฐาน 3 มิติ

3.6.2 ออกแบบและเขียนส่วนด้านบนของโบริดจอบนมุนสำหรับการ section

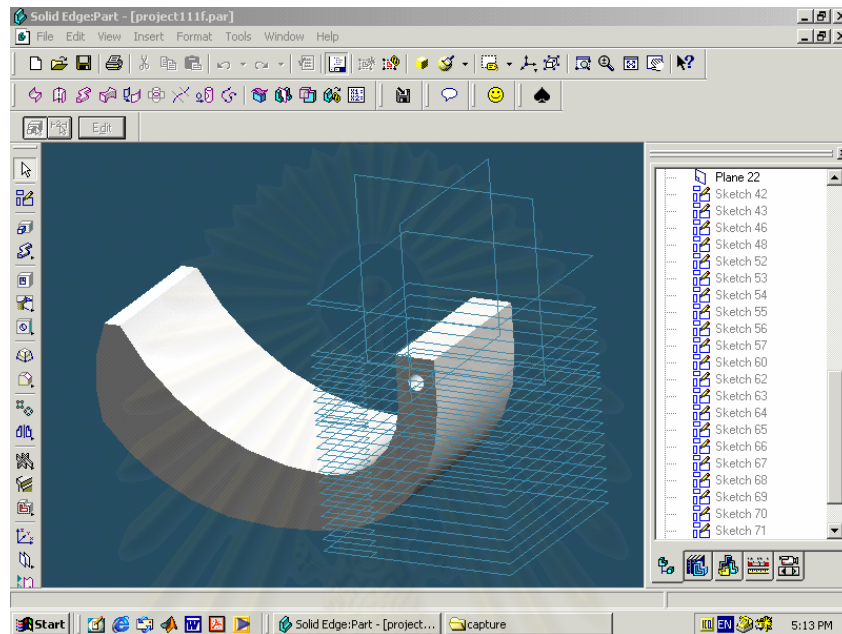
เมื่อสร้างรูปทรง 3 มิติแล้ว ทำการออกแบบและเขียนแบบในส่วนด้านบนของโบริดจอบนมุน (เหมือนในขั้นตอน 3.5.16) สามารถเขียนแบบด้านบนของโบริดจอบนมุนได้ดังรูปที่ 3.43



รูปที่ 3.43 การออกแบบและเขียนแบบส่วนด้านบนของโบริดจอบนมุน

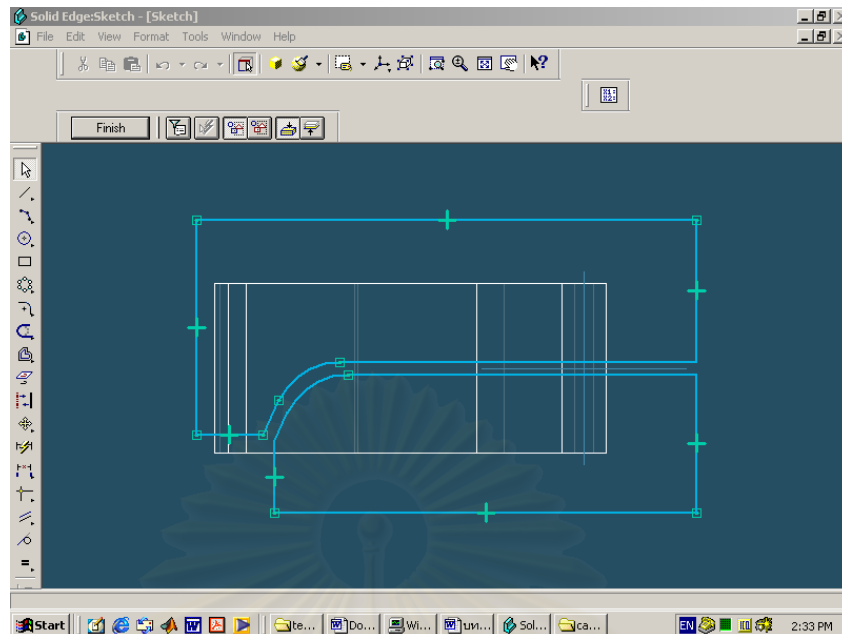
3.6.3 แบ่งชั้นโบริดออกเป็นส่วนๆ

จากการทำการออกแบบและเขียนแบบในส่วนด้านบนของโบริดจบหมุนแล้ว จากนั้นทำการแบ่งชั้นของโบริดจบหมุนออกเป็นหลายๆ ส่วน (ดังแสดงในรูปที่ 3.44)

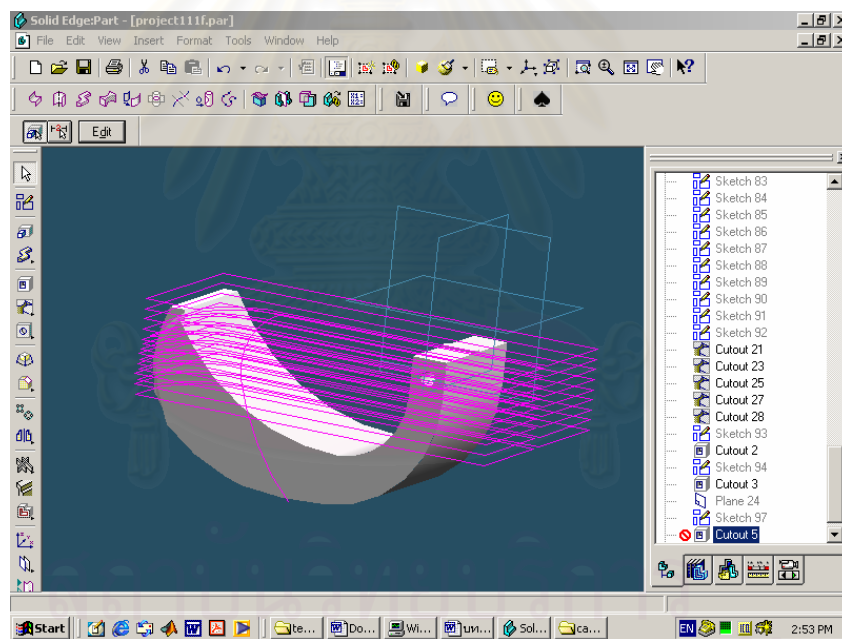


รูปที่ 3.44 การแบ่งชั้นของโบริดจบหมุนในแต่ละส่วน

หลังจากทำการแบ่งชั้นของโบริดจบหมุนโดยการสร้าง Reference plane ขึ้นมาตามระยะที่ทำการแบ่ง ทำการสร้าง Profile ขึ้นในแต่ละชั้นของ Reference plane โดยเขียน Profile เพื่อทำการตัดรูปทรงพื้นฐานเพื่อให้ได้รูปทรงที่มีส่วนผิวโค้ง การเขียน Profile จะอ้างอิงถึง Profile ที่ออกแบบด้านบนของโบริดจบหมุน โดยทำการเลื่อนระยะไปตามแนวของเส้นแสดงการตัดของโบริดจบหมุน โดยในส่วนนี้ต้องทำการออกแบบความหนาที่เปลี่ยนแปลงระหว่างส่วนที่จับยึดกับส่วนปลายของโบริด ในการออกแบบความหนาจะขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบเลือกเองว่า ต้องการความหนาเปลี่ยนแปลงในระหว่างสองส่วนนี้อย่างไร ในการออกแบบกำหนดให้มีความหนาเท่ากันตลอด (ดังแสดงในรูปที่ 3.45)



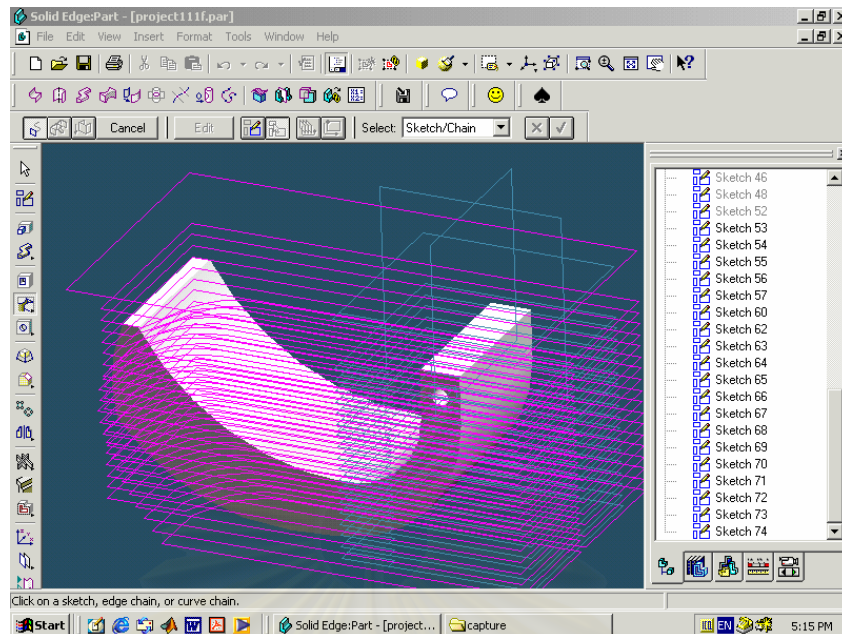
รูปที่ 3.45 Profile ที่เขียนในแต่ละชั้นของ Reference plane



รูปที่ 3.46 การเขียน Profile ในแต่ละชั้นโดยเลื่อนไปตามเส้นแสดงการตัดของใบมีด

3.6.4 ทำการเขียน Profile ในแต่ละชั้นของใบมีด

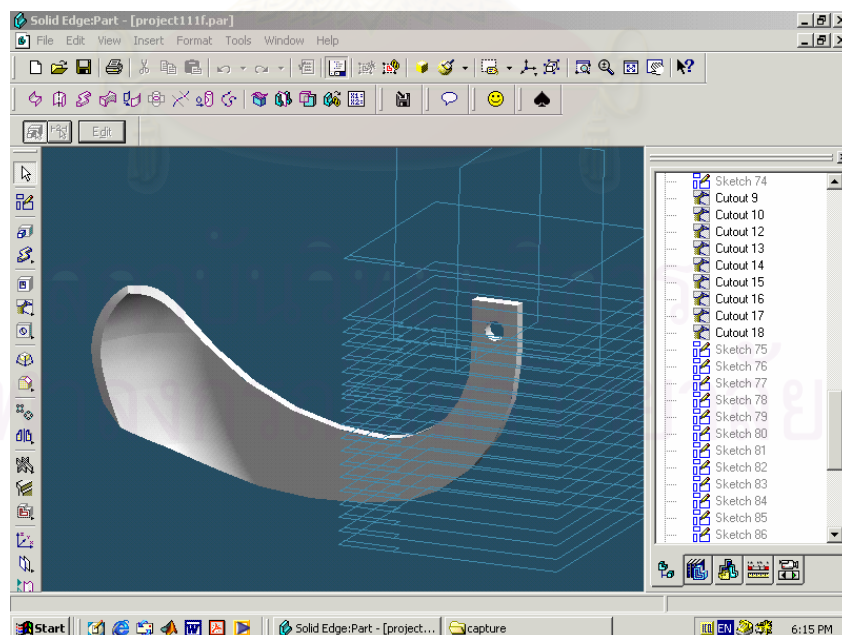
ทำการเขียน Profile ในแต่ละชั้นของใบมีดจอบหมุน (ดังแสดงในรูปที่ 3.46 และรูปที่ 3.47)



รูปที่ 3.47 การเขียนแบบในแต่ละชั้นของโม่มีดจอบหมุน

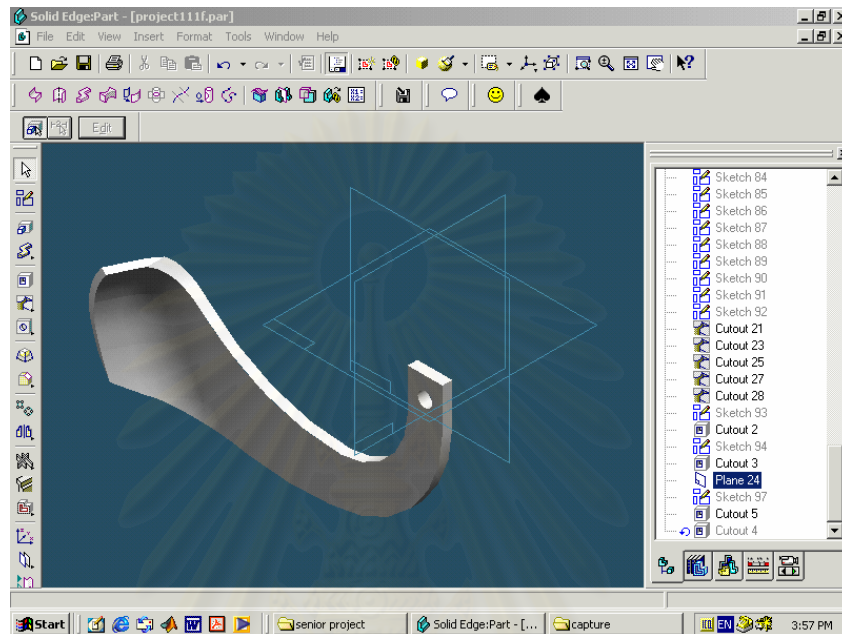
3.6.5 ทำการตัดโดยการเชื่อมระหว่าง Profile

ทำการตัดรูปทรงพื้นฐานโดยทำการใช้คำสั่ง cutout แบบ Lofted ซึ่งจะเป็นตัดโดยการเชื่อมระหว่าง Profile ของแต่ละชั้น Reference จะได้โม่มีดจอบหมุนที่มีส่วนผิวโค้ง (ดังแสดงในรูปที่ 3.48)



รูปที่ 3.48 โม่มีดจอบหมุนที่ได้ทำการตัดจากรูปทรงพื้นฐานแล้ว

ใบมีดลักษณะ 3 มิติที่ได้สามารถทำการหมุนเพื่อดูในส่วนต่างๆ ทำให้ผู้ออกแบบสามารถเห็นรูปทรงที่ชัดเจนขึ้น เพื่อนำมาพิจารณาในการออกแบบว่ามีความเหมาะสมแล้วหรือไม่ โดยผู้ออกแบบสามารถแก้ไขส่วนที่เห็นว่าไม่เหมาะสมได้โดยง่าย เมื่อทำการแก้ไขส่วนต่างๆ เสร็จสมบูรณ์แล้วจะได้รูปใบมีดในลักษณะ 3 มิติ ดังแสดงในรูปที่ 3.49



รูปที่ 3.49 ใบมีดจอบหมุนที่ออกแบบและเขียนในลักษณะ 3 มิติ

เทคนิคและวิธีการวิเคราะห์แรงต้านทานที่ไบริด

แรงต้านทานกระทำที่ไบริดจอบหมุนในขณะที่พรวนในกระบะทราย เกิดขึ้น ในขณะที่ไบริดหมุนตัดทราย ลักษณะของแรงที่เกิดขึ้นมีอยู่ 3 ทิศทาง คือ แรงในทิศทางตามการเคลื่อนที่ของเครื่องพรวนจอบหมุน แรงในทิศทางที่ตั้งฉากกับพื้นที่พรวน และแรงในทิศทางตามแนวเพลไบริดจอบหมุน แรงในทิศทางตามแนวเพลไบริดจอบหมุนมีความสำคัญน้อย เนื่องจากการทำงานของเครื่องพรวนจอบหมุน แรงในแนวนั้นจะถูกหักล้างกันจากการจัดเรียงไบริดซ้ายและขวาด้วยจำนวนเท่ากัน

การศึกษาแรงต้านทานกระทำที่ไบริดที่ผ่านมามีทั้งวิธีการวัดแรงที่เกิดขึ้นโดยอ้อมและโดยตรง การวัดแรงต้านทานโดยอ้อมใช้วัดแรงบิดที่เกิดขึ้นที่เพลไบริดจอบหมุน ส่วนการวัดแรงต้านทานโดยตรงเป็นการวัดแรงต้านทานที่กระทำที่ไบริดโดยตรง สำหรับการศึกษานี้เป็นการวัดแรงต้านทานกระทำที่ไบริดโดยตรง วิธีนี้แรงต้านทานที่กระทำกับไบริดจะผ่านตัวทรานสดิวเซอร์หรือตัววัดแรง ซึ่งการศึกษานี้ใช้ Extended Octagonal Ring (EOR) ที่มีสเตรนเกจติดอยู่ โดยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเครียดของสเตรนเกจให้เป็นสัญญาณในรูปของความต่างศักย์ไฟฟ้า สัญญาณที่เกิดขึ้นจะมีการปรับสภาพให้เหมาะสมก่อนที่จะนำไปประมวลผลโดยคอมพิวเตอร์

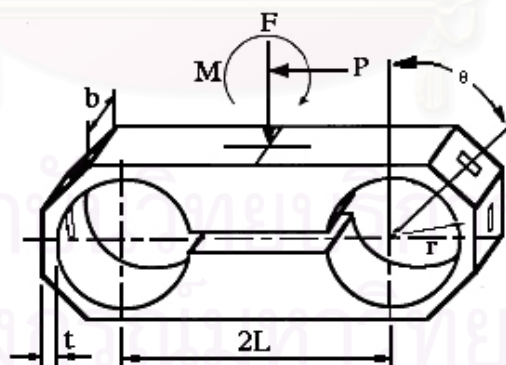
4.1 คุณสมบัติของทรานสดิวเซอร์ที่ใช้ในการวัดแรงที่กระทำบนไบริด

1. Rigidity เมื่อไบริดจอบหมุนตัดทราย แรงต้านทานจากทรายจะกระทำผ่านไบริดส่งผ่านมายังตัววัดแรง ขนาดของแรงที่มากระทำบนตัววัดแรงนี้ต้องไม่ทำให้ตัววัดแรงเกิดการเสียรูปเกินไป นั่นคือช่วงของแรงที่กระทำต่อตัววัดแรงต้องเป็นช่วงยืดหยุ่น (Elastic) ของวัสดุของตัววัดแรง ดังนั้นการออกแบบตัววัดแรงควรที่จะประมาณช่วงของแรงที่เกิดขึ้น (Range) และควรคำนึงถึงความถี่ของตัววัดแรงว่าควรมีค่าความถี่ธรรมชาติมากกว่า 4 เท่าของความถี่ที่มากระทำ (ความเร็วรอบของเพลจอบหมุน)

2. Sensitivity ขนาดของแรงที่น้อยที่สุดที่ต้องการอ่านค่าได้ ควรมีค่าประมาณ 1 % ของค่าที่อ่านได้
3. Linearity ความสัมพันธ์ของแรงที่วัดกับค่าที่อ่านได้มีลักษณะเชิงเส้นเพื่อความง่ายแก่การวัดและความเข้าใจ
4. Stability ความเสถียรภาพต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมที่ทำให้การวัด เช่น อุณหภูมิ ความชื้น
5. Hysteresis ในตัววัดแรงไม่ควรที่จะมีความเสียหายเกิดขึ้น เพราะจะทำให้การวัดมีความผิดพลาด
6. Size และ Adaptivity การนำตัววัดแรงมาติดไปมีด ควรมีขนาดที่สามารถจำลองการใช้งานจริงและสามารถเปลี่ยนใบมีดต่างชนิดกันได้
7. Cross sensitivity ในการวัดแรงที่เกิดขึ้นพร้อมกัน ค่าของแรงหนึ่งที่เกิดได้นั้นไม่ควรจะมีผลเนื่องจากแรงอื่น เพื่อเป็นการวัดแรงแต่ละแรงที่เกิดขึ้นได้อย่างอิสระ ทำให้ง่ายแก่การอ่านค่าและความแม่นยำในการวัด

4.2 Extended Octagonal Ring (EOR)

Extended Octagonal Ring หรือ EOR เป็นทรานดิวเซอร์ที่ใช้ในการวัดแรงสองแรงที่ตั้งฉากกัน (แรงกด F และแรงเฉือน P ที่กระทำกับ EOR) และโมเมนต์ที่กระทำบนระนาบของแรงคู่ นั้น รูปร่างของ EOR มีลักษณะเป็นรูปแปดเหลี่ยมสองด้านขยาย (ดังแสดงในรูปที่ 4.1)



รูปที่ 4.1 ลักษณะของ EOR

โดย F คือ แรงกดตั้งฉากกับ EOR

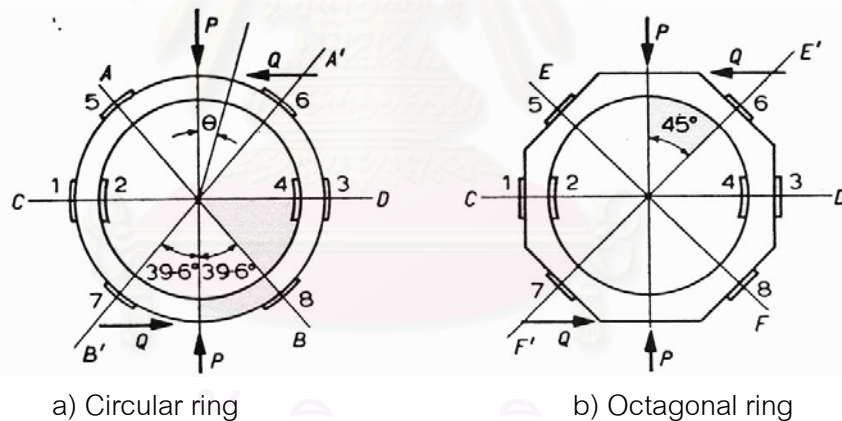
P คือ แรงเฉือนขนานกับ EOR

M คือ โมเมนต์ที่กระทำบนระนาบเดียวกับ แรง F และแรง P

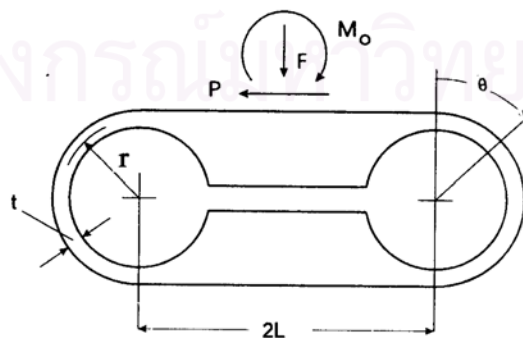
- r คือ รัศมีของกึ่งกลางความหนาวงแหวน
- t คือ ความหนาของวงแหวน
- b คือ ความหนาของ EOR
- 2L คือ ระยะระหว่างจุดศูนย์กลางของวงแหวนทั้งสอง
- θ คือ ตำแหน่งเชิงมุมของการติดตั้งเซนเซอร์ (Strain gauge)

4.2.1 ความเป็นมาของ EOR

ตามทฤษฎี Circular ring (ดังแสดงในรูปที่ 4.2a) สามารถวัดแรงกดกับแรงเฉือนได้อิสระ แต่ยากในการนำไปประยุกต์ใช้ในการวัดแรงเนื่องจากรูปร่างของวงแหวน (Hoag, D. L. และ Yoerger, R. R., 1974) จึงมีการพัฒนามาเป็น Octagonal ring (ดังแสดงในรูปที่ 4.2b) และ Extended circular ring หรือ ECR (ดังแสดงในรูปที่ 4.3) ในอัตราส่วน $\frac{r}{t}$ เดียวกัน ECR จะสามารถนำอุปกรณ์มาติดเพื่อวัดแรงได้ง่ายกว่า Octagonal ring แต่เนื่องจาก ECR ผลิตได้ยาก จึงได้มีการพัฒนามาเป็น EOR โดยรวมข้อดีของทั้ง ECR และ Octagonal ring คือ สามารถนำอุปกรณ์มาติดเพื่อวัดแรงได้ง่าย และผลิตได้ง่าย

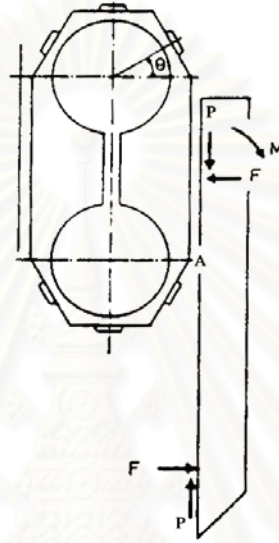


รูปที่ 4.2 ลักษณะของ Circular ring กับ Octagonal ring

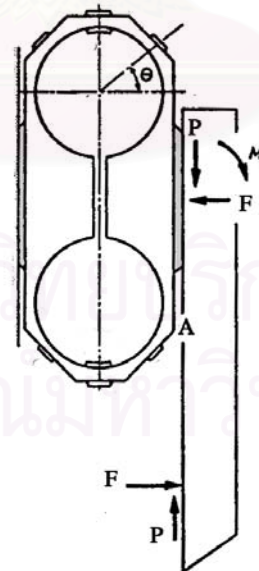


รูปที่ 4.3 ลักษณะของ ECR

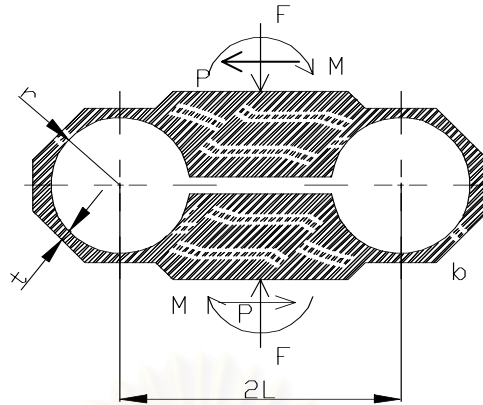
แต่เดิม EOR มีลักษณะดังรูปที่ 4.1 แต่จากการศึกษาของ Godwin (1975) พบว่าในการวัดแรงที่กระทำตั้งฉากกับ EOR (แรงกด F) มีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากมีแรงมากระทำที่ตำแหน่ง A (ดังแสดงในรูปที่ 4.4) ดังนั้น เพื่อแก้ปัญหาจึงมีการสอดแผ่นเหล็กที่มีความยาวน้อยกว่าระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของวงกลมทั้งสอง ไว้ด้านบนและด้านล่างของ EOR (ดังแสดงในรูปที่ 4.5) ต่อมาจึงรวมแผ่นเหล็กที่เสริมเข้ามาให้เป็นชิ้นส่วนเดียวกันกับ EOR (ดังแสดงในรูปที่ 4.6)



รูปที่ 4.4 ขณะทำการวัดมีแรงกดที่ตำแหน่ง A



รูปที่ 4.5 การสอดแผ่นเหล็กบางที่ด้านบนและด้านล่างของ EOR



รูปที่ 4.6 ลักษณะของ EOR ที่ปรับปรุงแล้ว

4.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการโก่งเสียรูป (Deflection)

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการโก่งเสียรูปของ ECR และ EOR สามารถวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีของ คาสติเกลียโน (Castigliano's theorem) ซึ่งกล่าวไว้ว่า “เมื่อมีแรงภายนอกกระทำบนชิ้นส่วนใดๆ จะเกิดการเสียรูปขึ้น โดยถ้าการเสียรูปนั้นไม่เกินขอบเขตยืดหยุ่นแล้ว การเสียรูปในทิศทางที่แรงกระทำจะเท่ากับ อนุพันธ์ของพลังงานความเครียดรวม (Total strain energy) เทียบกับแรงที่กระทำในทิศทางนั้นๆ” ทฤษฎีนี้ยังสามารถใช้กับโมเมนต์ที่กระทำได้ โดยเปลี่ยนจากแรงเป็นโมเมนต์และการโก่งเสียรูปเป็นการบิดหมุน

พลังงานความเครียด (Strain energy) ที่เกิดขึ้นจากการดัด (Bending) จะมากกว่าพลังงานความเครียด ที่เกิดจากสาเหตุอื่นมาก จึงสามารถละทิ้งพลังงานความเครียดที่เกิดจากสาเหตุอื่นๆ ได้

พลังงานความเครียดจากการดัดสามารถหาได้จากสมการ

$$U = \frac{1}{2} \int \frac{M_x^2}{EI} dx \quad (4.1)$$

- เมื่อ U คือ พลังงานความเครียด
 M_x คือ โมเมนต์ดัดที่กระทำกับคานตรง
 x คือ ตำแหน่งบนคานตรง
 E คือ ค่าโมดูลัสของยังส์
 I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกนสะเทิน (Neutral axis)

สำหรับการพิจารณาพลังงานความเครียดบนคานโค้งหรือวงแหวนจะใช้พิกัดเชิงขั้ว คือ

$$U = \frac{1}{2} \int \frac{M_\theta^2 r}{EI} d\theta \quad (4.2)$$

เมื่อ M_θ คือ โมเมนต์ดัดที่กระทำกับวงแหวน
 R คือ รัศมีตามแกนรัศมี
 θ คือ ตำแหน่งเชิงมุมบนวงแหวน

สมการ (4.2) มีความคลาดเคลื่อนน้อยเมื่อเป็นวงแหวนบางหรืออัตราส่วน $\frac{r}{t} > 2$

เราสามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการโก่งเสียรูป โดยการแบ่ง ECR เป็นส่วนคานตรงและวงแหวน โดยใช้เงื่อนไขที่ว่า คานตรงของ ECR มีความหนามาก จะเกิดการเสียรูปน้อยมากเมื่อเทียบกับส่วนที่เป็นวงแหวนจึงถือว่า ไม่เกิดการโก่งเสียรูปที่คานตรง แล้วใช้ทฤษฎีของ คาสติเกลียโน ร่วมกับสมการสมดุลแรงและสมดุลโมเมนต์ จะสามารถหาความสัมพันธ์ของโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งต่างๆ กับแรงและโมเมนต์ที่มากระทำได้ ตามสมการ

$$M_\theta = \frac{Fr}{2} \left(\frac{2}{\pi} - \sin\theta \right) + \frac{Pr}{2} \cos\theta + \frac{M \left[\left(2 + \frac{r\pi}{2L} \right) - \left(\frac{2r}{L} + \pi \right) \sin\theta \right]}{\left(8 + \frac{r\pi}{L} + \frac{2L\pi}{r} \right)}; \quad 0 \leq \theta \leq \pi \quad (4.3a)$$

$$M_\theta = \frac{Fr}{2} \left(\frac{2}{\pi} + \sin\theta \right) - \frac{Pr}{2} \cos\theta - \frac{M \left[\left(2 + \frac{r\pi}{2L} \right) + \left(\frac{2r}{L} + \pi \right) \sin\theta \right]}{\left(8 + \frac{r\pi}{L} + \frac{2L\pi}{r} \right)}; \quad \pi \leq \theta \leq 2\pi \quad (4.3b)$$

4.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัด ความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain)

เนื่องจากพลังงานความเครียดเกิดจากโมเมนต์ดัดเป็นหลัก ดังนั้น การโก่งเสียรูปที่เกิดขึ้นจะมีผลจากโมเมนต์ดัดเป็นหลักเช่นกัน เมื่อส่วนวงแหวนของ EOR มีโมเมนต์ดัดมา

กระทำ วงแหวนจะเกิดความเค้นดัดขึ้น โดยความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความเค้นดัดที่เกิดขึ้นเป็นตามสมการ

$$\sigma = \frac{M_{\theta} c}{I} \quad (4.4)$$

โดย σ คือ ความเค้นดัดที่เกิดขึ้นในวงแหวน (N/m^2)

M_{θ} คือ โมเมนต์ดัดที่กระทำกับวงแหวน ($\text{N}\cdot\text{m}$)

c คือ ระยะห่างจากนิวทรอล (m)

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกนนิวทรอล (m^4)

และจากความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดในช่วงยืดหยุ่น (Elastic) ตามกฎของฮุก (Hook's law)

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (4.5)$$

โดย ϵ คือ ความเครียด

สำหรับกรณีนี้ จะตัดสเตรนเกจที่ผิวของวงแหวนซึ่งมีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด $t \times b$ จะได้

$$c = 0.5t \quad (4.6)$$

$$I = \frac{1}{12}bt^3 \quad (4.7)$$

โดย t คือ ความหนาของวงแหวน ณ ตำแหน่งที่ติดสเตรนเกจ

b คือ ความกว้างของวงแหวน ณ ตำแหน่งที่ติดสเตรนเกจ

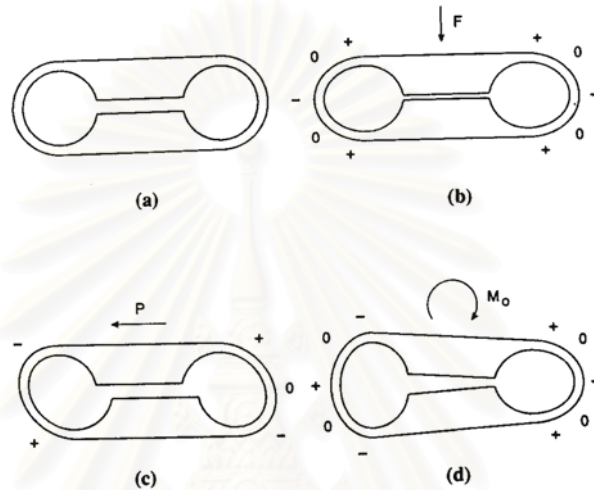
เมื่อแทนค่า c และ I ในสมการ (4.4) จะได้

$$\epsilon = \frac{6M_{\theta}}{bt^2E} \quad (4.8)$$

4.2.4 การใช้ EOR วัดแรงและโมเมนต์

การใช้ EOR วัดแรงและโมเมนต์จำเป็นต้องใช้ร่วมกับ สเตรนเกจ (Strain gauge) และวงจรบริดจ์ (Bridge Circuit) เพื่อวัดความเครียดที่เกิดขึ้น ดูรายละเอียดในภาคผนวก ค

การเสียรูปของ ECR จากแรงและโมเมนต์สามารถแสดงดังรูปที่ 4.7



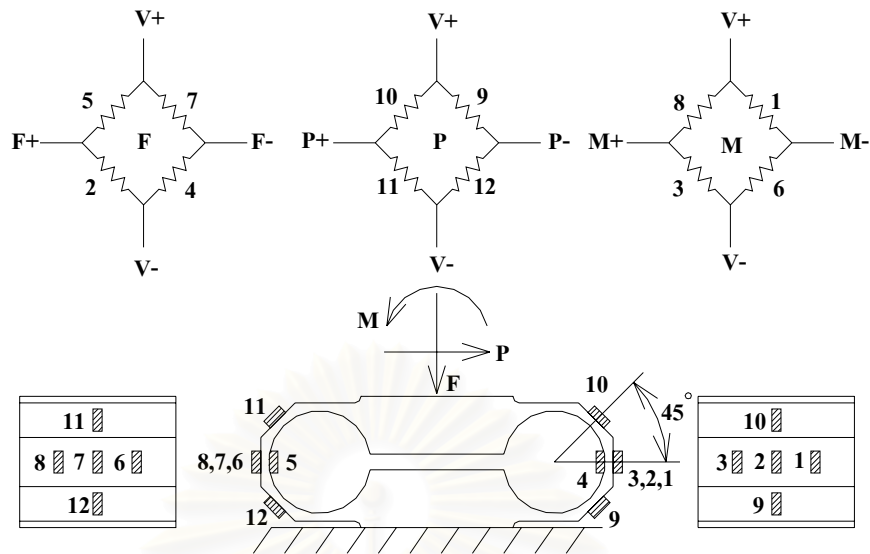
รูปที่ 4.7 ลักษณะการเสียรูปของ ECR เนื่องจากแรงและโมเมนต์

โดย 0 หมายถึง ตำแหน่งที่ไม่เกิดการยืดหรือหดตัว

+ หมายถึง ตำแหน่งที่ความเครียดเป็น บวก (เกิดการยืดตัว)

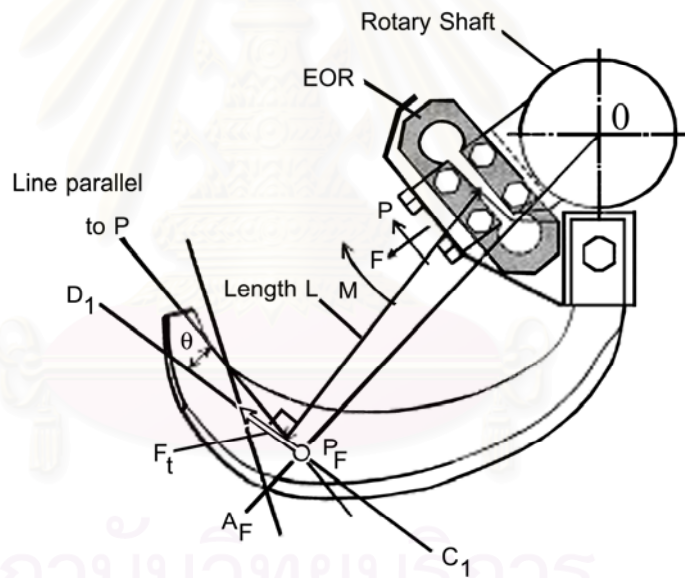
- หมายถึง ตำแหน่งที่ความเครียดเป็น ลบ (เกิดการหดตัว)

เนื่องจาก EOR มีรูปร่างซับซ้อนกว่า ECR ทำให้ไม่สามารถหาผลเฉลยแม่นยำ (ตามสมการ 4.3a และ 4.3b) ของความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นบนวงแหวนของ EOR กับแรงและโมเมนต์ที่กระทำได้ ดังนั้น ในทางปฏิบัติจะใช้วิธี Photoelastic เพื่อหาตำแหน่ง Strain node โดยตำแหน่งของ Strain node จะขึ้นกับมิติของ EOR แต่ในการทดลองจะติดสเตรนเกจ สำหรับวัดแรง P ที่มุม $\theta = \pm 45^\circ, \pm 135^\circ$ แทนตำแหน่งของ Strain node เนื่องจากความสะดวกในการติดสเตรนเกจ การติดสเตรนเกจที่ตำแหน่งนี้ก่อให้เกิดความไวข้ามไม่สูงมากนัก การติดสเตรนเกจบน EOR จะติดที่ตำแหน่งต่างๆ เพื่อหาค่าแรงกด F แรงเฉือน P และโมเมนต์ M ที่กระทำดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 การติดสเตรนเกจที่ตำแหน่งต่างๆ บน EOR

4.2.5 การหาตำแหน่งของแรงกระทำที่ใบมีด



รูปที่ 4.9 ตำแหน่งของแรงกระทำบนใบมีด

การใช้ EOR วัดแรงที่กระทำกับใบมีด สามารถวัดแรง 2 แรงที่ตั้งฉากกัน คือ แรงกด F และ แรงเฉือน P นอกจากนั้นยังสามารถวัดโมเมนต์ M ที่เกิดขึ้นบนระนาบของแรงคู่กันได้จากความสัมพันธ์ของสองแรงกับหนึ่งโมเมนต์ทำให้สามารถหาแนวแรงที่กระทำกับใบมีดได้ แต่ไม่สามารถที่จะหาจุดที่แรงกระทำได้นั่นเอง โดย Fujiura (1979: 5) ได้เสนอว่าจุดที่แรงกระทำ (P_F) นั้นเป็นจุดตัดของเส้นแนวแรงที่ได้จากสมการโมเมนต์ (เส้น C_1, D_1 ดังแสดงในรูปที่ 4.9) กับเส้นที่ลากจากศูนย์กลางเพลลาผ่านจุดที่ใบมีดเริ่มโค้ง (เส้น OA_F ดังแสดงในรูปที่ 4.9) ดังนั้น หากทราบ

ค่าของแรงกด F และแรงเฉือน P แล้ว ก็จะทำให้สามารถคำนวณหาขนาด ($|F|$) และทิศทางของแรงลัพธ์ (θ) ซึ่งเป็นผลรวมของแรงปฏิกิริยาทั้งหมดที่กระทำกับโม่มีด ณ เวลาใดๆ ได้ จากสมการ

$$|F| = \sqrt{F^2 + P^2} \quad (4.9)$$

และหาทิศทางแรงลัพธ์จากสมการ

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{F}{P}\right) \quad (4.10)$$

จากสมการ (4.9) และโมเมนต์กระทำที่ EOR ที่จุดศูนย์กลางของ EOR (แนวตัดกันของเส้นที่ผ่านจุดศูนย์กลางตามความยาวและศูนย์กลางวงกลมของ EOR) สร้างวงกลมรัศมี L โดย

$$L = \frac{M}{|F|} \quad (4.11)$$

สร้างเส้นตรงทำมุม θ สัมผัสวงกลมรัศมี L จะได้เส้น C_1D_1 เส้นตรงเส้นนี้ตัดกับเส้น OA_F จะได้จุดตัดของแรงลัพธ์ F_t

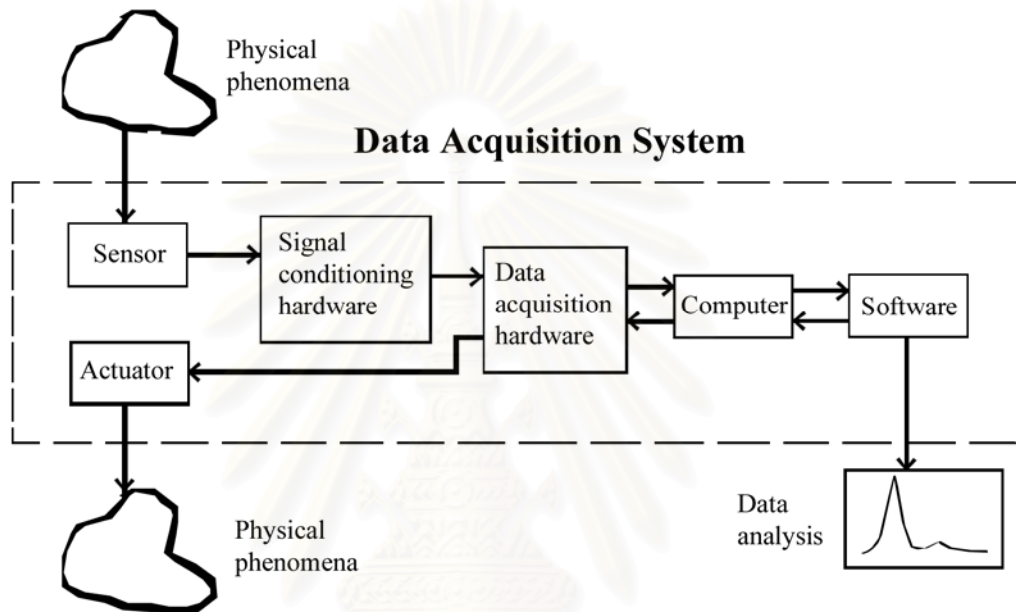
4.3 ระบบการเก็บข้อมูลโดยใช้คอมพิวเตอร์ (PC Based DAQ System)

ระบบของการเก็บข้อมูลโดยใช้คอมพิวเตอร์ (ดังแสดงในรูปที่ 4.10) มีองค์ประกอบที่สำคัญดังนี้

1. Data acquisition hardware ถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของระบบ ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณ Analog เป็นสัญญาณ Digital หรือจาก Digital เป็น Analog
2. Sensors, actuator (transducers) เป็นองค์ประกอบที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานขาเข้า ออกเป็นพลังงานอีกรูปแบบหนึ่ง เช่น อุปกรณ์รับสัญญาณในไมโครโฟนที่แปลงพลังงานเสียงเป็นพลังงานไฟฟ้า
3. Signal conditioning hardware บ่อยครั้งที่สัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจจับ (Transducer) ไม่เข้ากันกับ Acquisition hardware เพื่อกำจัดอุปสรรคเหล่านี้จึงต้องมีการปรับสภาพสัญญาณ (Conditioned) เช่น

ขยายขนาดสัญญาณ (Amplify) หรือตัดองค์ประกอบความถี่ที่ไม่ต้องการทิ้งไป (Filter) เป็นต้น

4. คอมพิวเตอร์ ทำหน้าที่ประมวลผล ให้สัญญาณนาฬิกาของระบบและหน่วยความจำในการเก็บข้อมูล
5. Software เป็นตัวกลางในการสื่อสารระหว่างผู้ใช้กับ hardware เช่น การอ่าน Sampling rate เป็นต้น



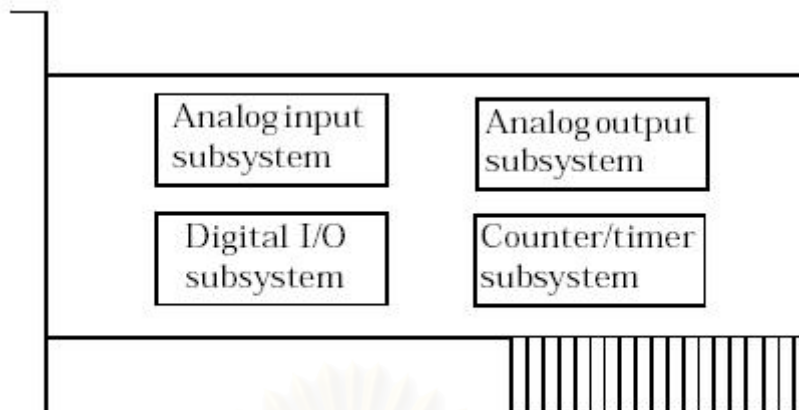
รูปที่ 4.10 วงจร Data Acquisition System

4.3.1 Data acquisition hardware

อาจจะติดตั้งอยู่ในเครื่องคอมพิวเตอร์ หรือภายนอกก็ได้ ในระดับที่ง่ายที่สุด Data acquisition hardware โดยทั่วไปจะประกอบขึ้นจาก subsystem ได้แก่

1. Analog input subsystem
2. Analog output subsystem
3. Digital input / output subsystem
4. Counter / timer subsystem

ถ้า hardware ประกอบด้วย subsystem หลายๆ ตัว จะเรียกว่า “Multi function boards” (ดังแสดงในรูปที่ 4.11)



รูปที่ 4.11 Multifunction boards

4.3.1.1 Analog input subsystem ทำหน้าที่แปลงสัญญาณเข้า Analog จาก อุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณ (sensor) ให้เป็น bits ซึ่ง คอมพิวเตอร์ สามารถอ่านได้ โดยปกติ อุปกรณ์แบบหลายๆ ช่องสัญญาณ (Multi-channel devices) จะมีความละเอียดในการแปลงสัญญาณที่ 12 หรือ 16 bits ในบางครั้ง subsystem นี้จะมีชื่อว่า AI subsystem, A/D converters หรือ ADCs

4.3.1.2 Analog output subsystem ทำหน้าที่แปลงข้อมูลแบบ Digital ที่ถูกเก็บไว้ใน คอมพิวเตอร์ ให้เป็นสัญญาณ Analog กล่าวคือการทำงานกลับกันกับ Analog input system บางครั้งจะถูกเรียกว่า AO subsystem, D/A converter หรือ DACs

4.3.1.3 Digital input / output subsystem ถูกออกแบบมาเพื่อรับและส่ง ค่า Digital (logic levels) ที่มาหรือออกจาก hardware โดยทั่วไปค่านี้จะทำงานในลักษณะของ single bits (line) หรือ port (8 lines)

4.3.1.4 Counter/timer subsystem (C/T) ใช้สำหรับการนับ ให้ความถี่ การวัดในช่วงเวลา และการสร้างขบวนคลื่นสัญญาณ (pulse train)

4.3.2 Sensors

อุปกรณ์นี้ทำหน้าที่เปลี่ยนปรากฏการณ์ทางกายภาพ ที่ต้องการศึกษาให้เป็นสัญญาณ ซึ่งจะถูกส่งไปยัง Data acquisition hardware สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. Digital sensors ให้สัญญาณขาออกอยู่ในรูปแบบ Digital มีค่าของขนาดและเวลาเป็นแบบ discrete ต้องทำงานร่วมกับ Digital receiver ในระดับ logic เช่น ทำงานร่วมกับ transistor – transistor logic (TTL) หรือ emitter – coupled logic (ECL)
2. Analog sensors ให้สัญญาณขาออกเป็นสัดส่วนโดยตรงกับสัญญาณขาเข้า เนื่องจากสัญญาณที่ได้มีความต่อเนื่อง จึงใช้ในการวัดอุณหภูมิ ความดัน ความเร่ง ฯลฯ

การเลือกใช้งาน Sensors ต้องให้สอดคล้องกับคุณสมบัติของตัวแปรที่จะวัด ซึ่งมีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ

4.3.2.1 Sensor output โดยมากจะเป็นค่าความต่างศักย์ แต่มีบางชนิดที่ให้สัญญาณขาออกเป็นกระแส สัญญาณทั้ง 2 แบบต่างกัันดังนี้

Current signals: มักใช้ถ่ายถอดสัญญาณในสถานะที่มีคลื่นรบกวนจำนวนมาก เนื่องจากคลื่นรบกวนจะมีผลน้อยมาก ก่อนเข้า analog input subsystem สัญญาณกระแสจะถูกเปลี่ยนเป็นความต่างศักย์ โดย current –sensing resistor ที่มีความแม่นยำสูง ทั้งนี้ขึ้นกับความละเอียดในการอ่านข้อมูลของ hardware

Voltage signals: เป็นรูปแบบที่ใช้กันแพร่หลายมากที่สุด มีสิ่งที่ต้องพิจารณา 3 ประการ คือ

1. Amplitude ถ้าสัญญาณเล็กกว่าระดับ mV ต้องมีการขยายสัญญาณ และถ้าค่าเกินกว่าขอบเขตของ hardware จะต้องลดลงด้วยเครือข่ายตัวต้านทาน
2. Frequency พิจารณาที่ค่าความถี่สูงสุดที่ต้องการ เพื่อเลือกความถี่ในการเก็บข้อมูลอย่างไรก็ดี ความถี่ที่สูงกว่านั้น ความถี่ที่ได้เลือกจะปรากฏในรูปของสัญญาณรบกวน (noise) ซึ่งจะต้องกรองความถี่เหล่านั้นออกไป อนึ่งสำหรับสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงเร็วมากๆ อาจต้องใช้ความถี่ในการเก็บข้อมูลที่มากกว่าความถี่นั้นๆ ประมาณ 10 – 20 เท่า
3. Duration มีผลต่อขนาดของ memory และพื้นที่การเก็บข้อมูลภายในคอมพิวเตอร์

4.3.2.2 Sensor bandwidth ต้องรองรับ measurement bandwidth ได้ คือ รับได้ทุกความถี่ที่ปรากฏในสัญญาณ ยิ่งสัญญาณมีอัตราการเปลี่ยนแปลงมาก bandwidth ก็จะต้องยิ่งมาก

4.3.3 Signal conditioning hardware

เป็นอุปกรณ์สำหรับปรับสภาพของสัญญาณที่ได้จากการวัด โดยพิจารณาจากลักษณะของสัญญาณที่วัดว่าเป็นอย่างไร เพื่อที่จะจัดรูปแบบการวัดได้ถูกต้อง อุปกรณ์ปรับสภาพสัญญาณมีหน้าที่ (โดยอาจมีเพียงบางส่วน) ดังนี้

1. Amplification การขยายสัญญาณ การปรับสภาพสัญญาณส่วนใหญ่ คือ การขยายสัญญาณเพื่อเพิ่มความละเอียดในการวัด (resolution) และลดสัญญาณรบกวน
2. Attenuation ลดขนาดของสัญญาณ
3. Filtering กำจัดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณที่ต้องการ โดยทั่วไป จะใช้กับสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ เช่น อุณหภูมิ ถ้าสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เช่น vibration จำเป็นต้องใช้ filter แบบพิเศษ คือ antialiasing filter
4. Electrical isolation เพื่อป้องกันความเสียหายของอุปกรณ์ เนื่องจากระบบที่วัดอาจมีส่วนประกอบความต่างศักย์สูง (dangerous voltage หรือ voltage spikes) ซึ่งอาจทำความเสียหายแก่เครื่องคอมพิวเตอร์ และอีกหน้าที่หนึ่งคือ เพื่อให้ค่าที่อ่านได้ไม่มีผลจากความต่างศักย์ของ ground หรือ common-mode voltages ซึ่งรู้จักในชื่อของ ground loop ทำให้ค่าที่อ่านได้ไม่ถูกต้อง หรือถ้ามีความต่างศักย์แตกต่างกันมากก็อาจทำความเสียหายแก่ระบบวัด
5. Multiplexing เป็นเทคนิคที่ใช้กันโดยทั่วไปในกรณีที่ต้องการวัดหลายช่องสัญญาณโดยใช้อุปกรณ์เพียงชุดเดียว โดยการสลับเก็บข้อมูลในแต่ละช่องสัญญาณ อัตราการเก็บข้อมูล (sampling rate) แต่ละช่องจะแปรผันกับจำนวนช่องสัญญาณ
6. Excitation source สร้างไฟเลี้ยงสำหรับทรานสดิวเซอร์บางชนิด เช่น สเตรนเกจที่ต้องการความต่างศักย์ภายนอกหรือกระแสมากระตุ้น

7. Linearization เนื่องจากทรานสดิวเซอร์บางชนิดให้ผลตอบสนองไม่เป็นเชิงเส้น เช่น เทอร์โมคัปเปิล

4.3.4 คอมพิวเตอร์

ความเร็ว processor ของคอมพิวเตอร์ จะเป็นตัวกำหนดความเร็วในการจัดการข้อมูลในคอมพิวเตอร์

4.3.5 Software

Software สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

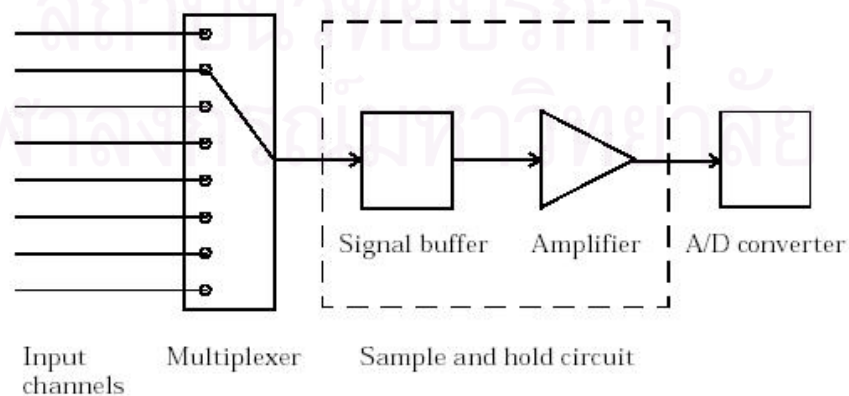
1. driver software ทำให้โปรแกรมสามารถควบคุมการทำงานของการ์ดได้
2. application software เป็นส่วนที่นำข้อมูลมาแสดง จัดเก็บและบันทึกข้อมูลในไฟล์โดยจัดเก็บใน hard disc

4.4 The Analog Input Subsystem

ทำหน้าที่แปลงสัญญาณเข้า Analog จากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณให้เป็น Digital โดยมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องดังนี้

4.4.1 Sampling

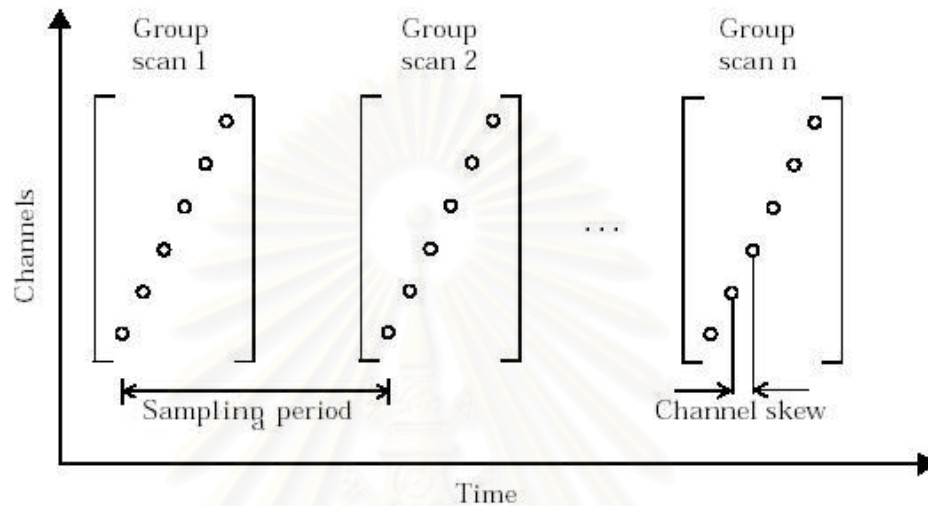
Sampling คือ การตรวจจับข้อมูลในช่วงเวลาหนึ่ง โดยตัวแปลงเป็น Digital บวกอัตราการเปลี่ยน Conversion Speed ส่วนใหญ่ใช้การ Sampling โดยใช้วงจร Sampling and hold (S/H) (ดังแสดงในรูปที่ 4.12)



รูปที่ 4.12 วงจร Sampling and hold (S/H)

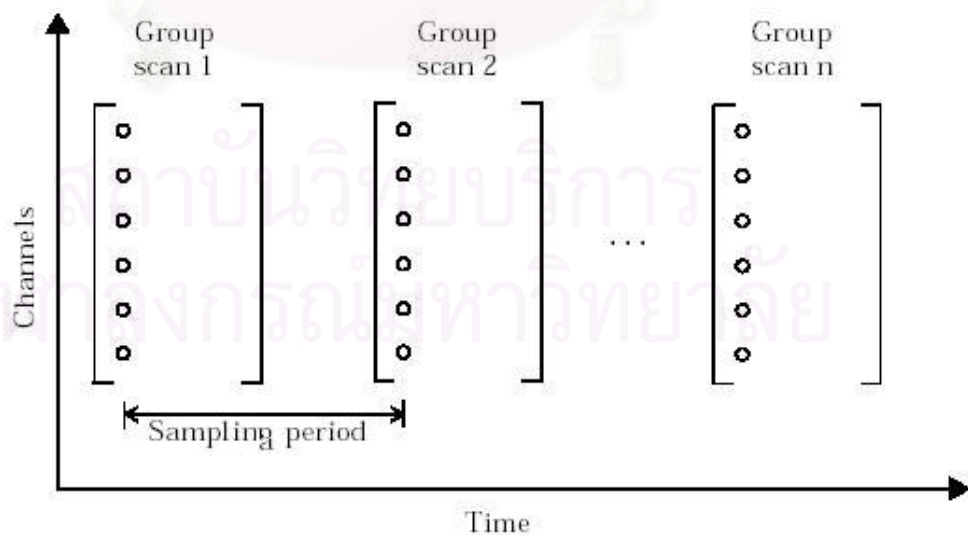
ค่า sampling สูงสุดของแต่ละ channel = ค่า sampling สูงสุดของ board / จำนวน channel ที่ scan สัญญาณ

เมื่อมี input หลาย channel แต่มี A/D ตัวเดียวจะทำให้การสแกนสัญญาณเกิดการหน่วงขึ้น ซึ่งระยะหน่วงนี้เรียกว่า channel skew (ดังแสดงในรูปที่ 4.13)



รูปที่ 4.13 Channel skew ในการ Sampling

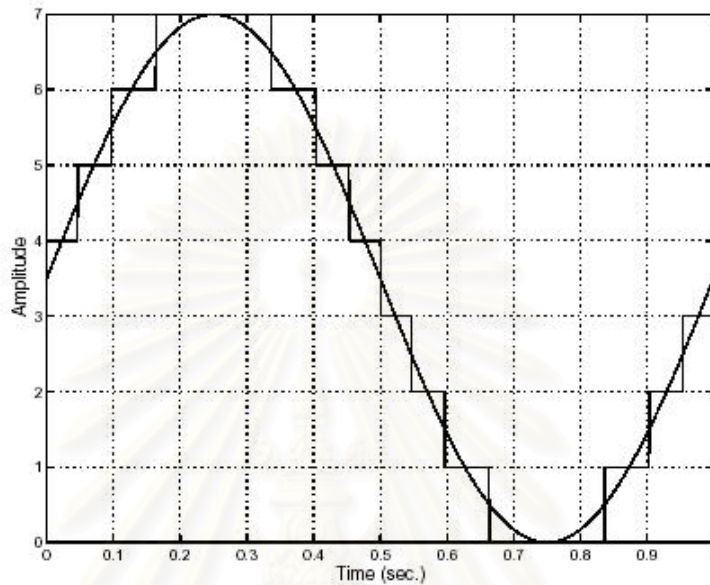
Simultaneous sample and hold (SST) hardware คือการรับข้อมูลทุกช่องสัญญาณในเวลาเดียวกัน และรอจนกว่าจะแปลงเป็น digital หมดทุกช่องสัญญาณ แล้วจึงทำการ sampling ต่อไป



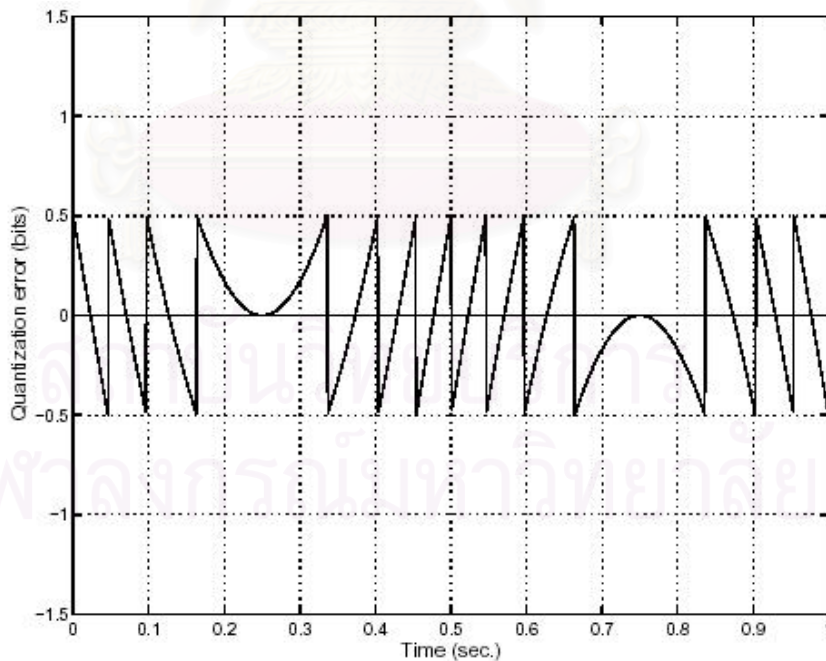
รูปที่ 4.14 การ Sampling โดยใช้วงจร Simultaneous sample and hold (SST)

4.4.2 Quantization

Quantization คือ การแปลงข้อมูลจาก Analog มาเป็นข้อมูลที่เป็นตัวเลขฐานสอง โดยข้อมูลที่ได้จะเก็บแบบ 12 bits หรือ 16 bits



รูปที่ 4.15 ตัวอย่างการแปลงคลื่นรูปไซน์ที่มีความถี่ 1 Hz โดยใช้ 3 bit A/D converter



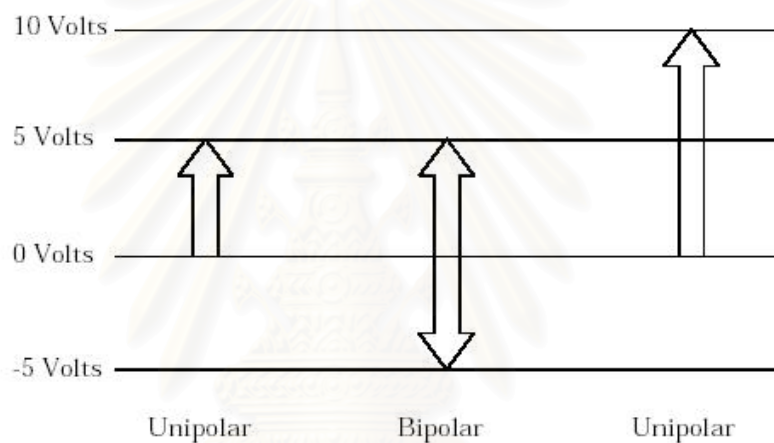
รูปที่ 4.16 แสดง quantization error เนื่องจากการแปลงข้อมูลที่ quantize แล้วให้แปลงกลับเป็นไซน์เวฟ

quantization error เป็นการเกิดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการแปลงข้อมูลจาก Analog มาเป็นข้อมูลที่เป็นตัวเลขฐานสอง โดยค่า Maximum quantizer error จะอยู่ที่ ± 0.5 ของเลขนัยสำคัญตัวสุดท้ายของเลขบิท

4.4.3 Input range and Polarity

Input range คือ ขอบเขตสัญญาณเข้าที่ converter เพื่อให้สามารถแปลงเป็นเลขฐานสองได้อย่างถูกต้อง

Polarity คือ การบอกว่าสัญญาณเข้าเป็นบวกหรือลบเพียงอย่างเดียว (Unipolar) หรือเป็นไปได้ทั้งบวกและลบ (Bipolar)



รูปที่ 4.17 แสดง Polarity

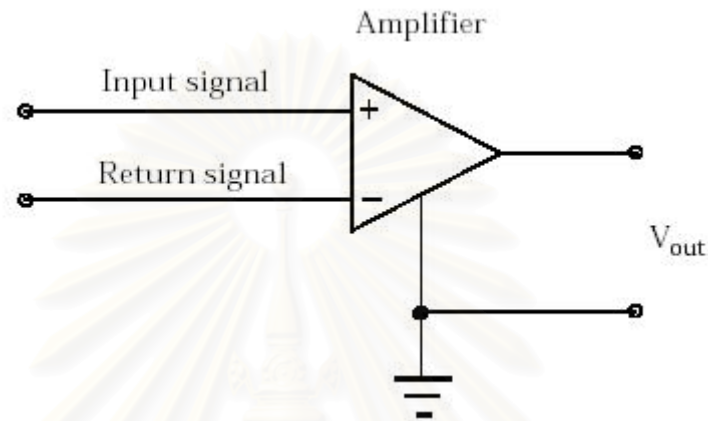
4.4.4 Channel configuration

Channel configuration เป็นการปรับช่องสัญญาณเข้า ซึ่งสามารถปรับได้ 2 แบบ คือ

1. Differential input
2. Single – ended input

4.4.4.1 Differential input

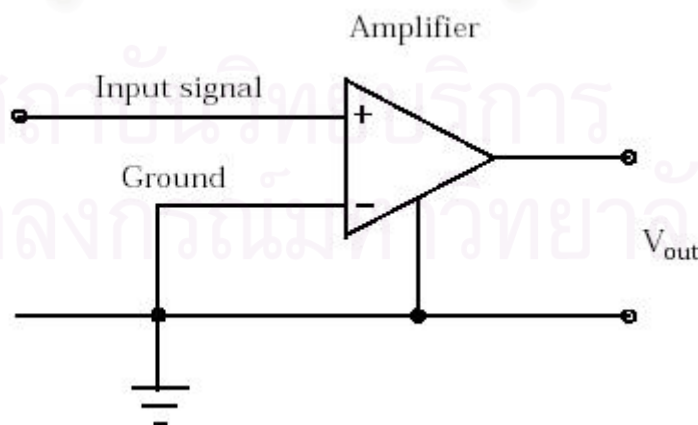
จะมีสายสัญญาณเข้า 2 เส้น ต่อกับช่องรับสัญญาณ โดยเส้นหนึ่งเป็น signal input อีกเส้นหนึ่งเป็นเส้นอ้างอิง การวัดจะเทียบความต่างศักย์ของทั้ง 2 เส้น ช่วยในการลด noise ในสาย differential แต่ละคู่ของสัญญาณจะมี ground ของตัวเอง เป็นการลดสัญญาณรบกวนเพราะ common-mode noise จะหักล้างกันหมดไป



รูปที่ 4.18 แสดงการต่อแบบ Differential input

4.4.4.2 Single – ended input

ใช้สายสัญญาณเข้า 1 เส้น ต่อกับช่องรับสัญญาณ ส่วนอีกเส้นต่อลง ground การต่อแบบนี้จะเกิด noise ได้มากกว่าแบบ differential input single-ended คือทุกค่าที่อ่านเข้ามาจะถูกอ้างอิงกับ common ground reference โดยปกติแล้วใช้เมื่อสัญญาณมีค่าสูง คือมากกว่า 1 V และสายนำสัญญาณสั้น คือน้อยกว่า 15 ฟุต และใช้ common ground ร่วมกัน



รูปที่ 4.19 แสดงการต่อแบบ Single – ended input

4.4.5 Transferring data from hardware to system memory

การโอนข้อมูลจาก hardware มายังหน่วยความจำของระบบ ทำตามขั้นตอนดังนี้

1. ข้อมูลที่ได้มาจะเก็บใน Hardware 's first – in first – out (FIFO) buffer
2. ข้อมูลโอนจาก FIFO buffer ไปยัง system memory โดยใช้ interrupts หรือ DMA

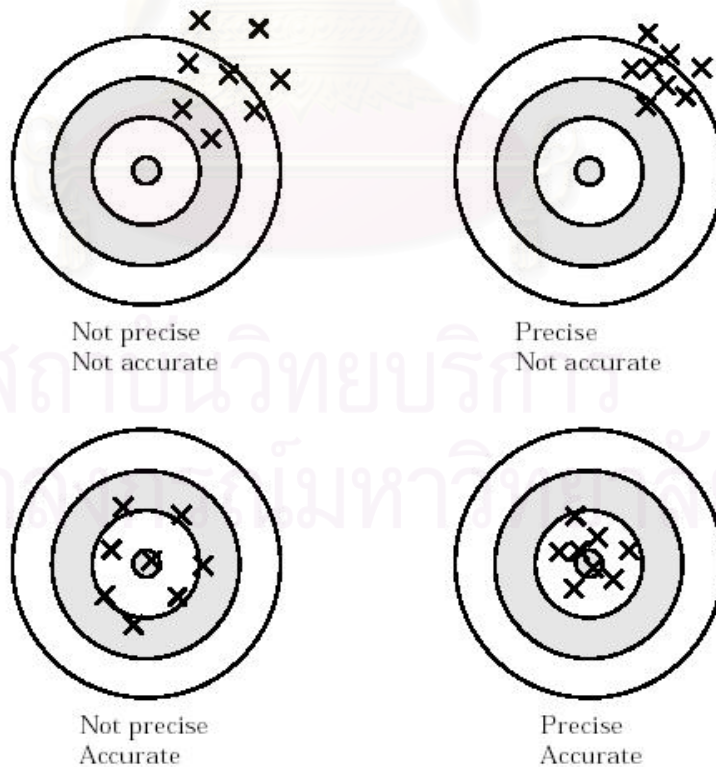
4.5 Making Quality Measurements

การวัดข้อมูลให้มีคุณภาพ ต้องทำตามกฎดังนี้

1. Maximize the precision and accuracy
2. Minimize the noise
3. Match the sensor range to A/D range

4.5.1 Accuracy and Precision

ในการวัดข้อมูลเราต้องการข้อมูลที่มีคุณภาพ กล่าวคือเป็นข้อมูลที่มีความถูกต้อง (Accuracy) และความแม่นยำ (Precision) มากที่สุด



รูปที่ 4.20 ความหมายของ Accuracy กับ Precision

ความถูกต้อง คือ ผลที่วัดได้ใกล้เคียงกับค่าจริง

ความแม่นยำ คือ ผลที่วัดค่าเดิมในแต่ละครั้งใกล้เคียงกัน ยิ่ง board ที่มี bits มากก็ยิ่งมีความแม่นยำ

4.5.2 Noise

Noise เป็นสิ่งที่เราได้จากการวัด ซึ่งไม่ใช่ส่วนหนึ่งของการทดลองที่เราต้องการ ดังนั้นจึงต้องมีการลดผลกระทบจาก noise โดยวิธีการดังนี้

4.5.2.1 Removing internal noise

Internal noise เกิดจากผลของความร้อนใน amplifier ปริมาณ noise จะเพิ่มขึ้นตาม bandwidth ของ input range เราลด internal noise ได้โดยการเลือก amplifier ให้มี bandwidth ใกล้เคียงกับ bandwidth ของ input signal

4.5.2.2 Removing external noise

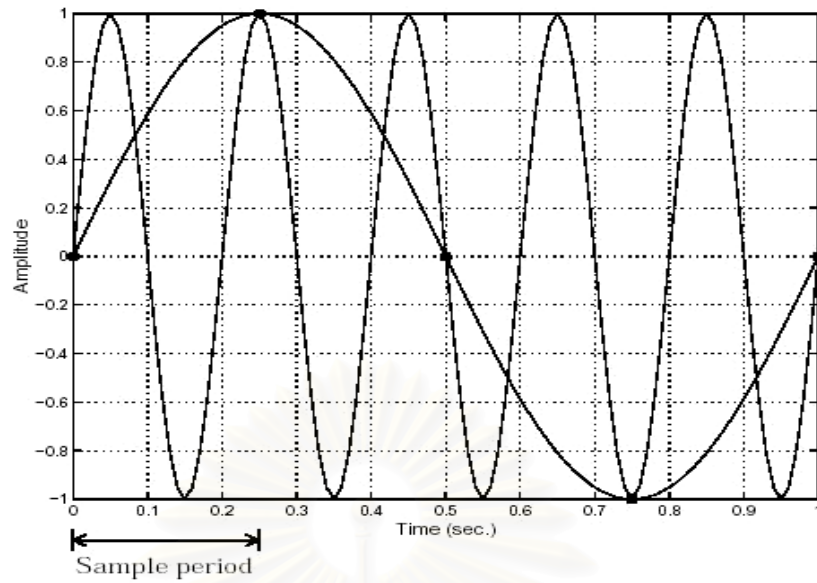
1. เลือกใช้ input แบบ differential mode
2. ใช้สายแบบบิดเกลียว (twisted)
3. ใช้สายสัญญาณสั้นที่สุดเท่าที่จะสั้นได้
4. ให้สายสัญญาณอยู่ห่างจากสิ่งทำให้เกิดสัญญาณรบกวน

4.5.3 filter

โดยการใช้ low pass filter

4.6 How fast should be a signal sampled?

ในขณะที่มีการสุ่มเก็บข้อมูลการทดลอง พบว่าจะมีข้อมูลบางส่วนที่หายไป เราจึงต้องใช้ความถี่ในการเก็บข้อมูลอย่างน้อยเป็น 2 เท่าของความถี่สูงสุดของข้อมูลที่ต้องการเก็บ เพื่อที่จะให้มีการสูญเสียข้อมูลน้อยที่สุด



รูปที่ 4.21 ตัวอย่างการใช้ความถี่ 4 Hz เก็บข้อมูลคลื่นรูปไซน์ความถี่ 1 Hz

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

การสร้างอุปกรณ์และระบบสำหรับการทดลอง

การวัดแรงต้านทานที่กระทำกับใบมีดจอบหมุนในขณะพรวน จำเป็นต้องมีการสร้างชุดทดลองและจำลองสภาพการทำงานของใบมีด เพื่อควบคุมพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการวัดแรง คือ ความเร็วในการหมุนของใบมีด ความเร็วในการเคลื่อนที่ของกระบะ และความลึกในการพรวน

การพัฒนาชุดทดลองนี้ทำในห้องปฏิบัติการออกแบบเครื่องจักรกลเพื่อการผลิต โดยมีอุปกรณ์ที่เข้าร่วมกับนิสิตของห้องปฏิบัติการที่ทำวิจัยในหัวข้ออื่นที่เกี่ยวข้องกัน ดังนั้น ชุดทดลองจึงมีการออกแบบเพื่อสามารถปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมสำหรับการใช้งานทดลองร่วมกัน

5.1 แนวคิดเกี่ยวกับชุดทดลอง

สภาพการทำงานของเครื่องพรวนจอบหมุนในพื้นที่จริงนั้น มีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อแรงต้านทานที่กระทำกับใบมีดจอบหมุน เช่น การกระจายขององค์ประกอบภายในดิน วัชพืชที่ปกคลุม (ทั้งชนิด ความยาว สภาพ) ความราบเรียบของพื้นที่ (ส่งผลทำให้ความลึกในการพรวนไม่สม่ำเสมอ) น้ำหนักที่เครื่องพรวนจอบหมุนกดลงบนใบมีดจอบหมุน แรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากเครื่องยนต์ และแรงที่เกิดจากการพรวนของชุดใบมีด (ความกว้างในการพรวนของชุดใบมีดมีสภาพของดินที่แข็งแตกต่างกัน เมื่อใบมีดแต่ละใบพาดดิน ทำให้แรงต้านทานเกิดขึ้นไม่เท่ากัน หรือชุดใบมีดมีการเรียงตัวบนเพลานี้ไม่เหมาะสม แรงต้านทานที่เกิดขึ้นที่ใบมีดแต่ละใบก็จะมีขนาดต่างกัน ส่งผลให้ความเร็วรอบในการพรวนไม่สม่ำเสมอ) ความเร็วในการเคลื่อนที่ (เครื่องพรวนจอบหมุนสร้างแรงต้านทานในแนวระดับซึ่งช่วยในการเคลื่อนที่ไปข้างหน้ามีขนาดไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากแรงดังกล่าวถูกสร้างขึ้นมาจากการหมุนของใบมีด) ฯลฯ ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ทำให้การวิเคราะห์หาค่าแรงต้านทานที่เกิดขึ้นโดยตรงที่ใบมีดจอบหมุนขณะพรวนดินในพื้นที่จริงได้ยาก

ชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อลดปัจจัยที่มีผลต่อแรงต้านทานที่จะเกิดขึ้นที่ใบมีด โดยการจำลองสภาพการทำงานเพื่อควบคุมพารามิเตอร์ 3 ตัวที่สนใจ คือ ความเร็วในการหมุนของใบมีด ความเร็วในการเคลื่อนที่ของกระบะทราย และความลึกในการพรวน

ดินมีความแตกต่างในปัจจัยหลายด้านทำให้ไม่เหมาะสมที่จะใช้ในการทำการทดลองที่เน้นการพัฒนาอุปกรณ์การทดลองครั้งนี้ แต่เมื่อได้พัฒนาอุปกรณ์และเทคนิคการวัดเพื่อวิเคราะห์ผลได้แล้วก็จะพิจารณาเลือกใช้ดินสำหรับการทดลองต่อไป ด้วยเหตุผลดังกล่าวการทดลองครั้งนี้จึงได้เลือกใช้ทรายละเอียดแทนการใช้ดิน ทั้งนี้ด้วยเหตุผลที่ว่าในการเตรียมสภาพทรายให้ใกล้เคียงกันสำหรับการทดลองที่มีการทำซ้ำ คือ การอัดทรายให้มีความแน่นใกล้เคียงกันในระดับความลึกเดียวกัน และการปรับความเรียบของผิวทำได้ง่ายกว่าดิน อีกทั้งไม่ต้องกังวลเรื่องวัชพืชและแมลงที่ปะปนมากับทราย

การจำลองสภาพการทำงานของใบมีดจอบหมุนโดยการให้ใบมีดหมุนพร้อมกับเคลื่อนที่เป็นเรื่องที่ทำได้ยาก เพราะว่าการเก็บข้อมูลของแรงต้านทานที่กระทำต่อใบมีดจอบหมุนอาศัยเครื่องมือวัดที่ประกอบด้วยอุปกรณ์หลายชิ้น ทำให้เป็นปัญหาในการเคลื่อนย้ายชุดอุปกรณ์ตามการเคลื่อนที่ของใบมีดจอบหมุน ดังนั้น จึงเลือกจำลองสภาพการทำงานของใบมีดจอบหมุนในลักษณะให้กระบะทรายเคลื่อนที่ส่วนใบมีดหมุนอยู่กับที่

5.2 ระบบงานสำหรับการทดลอง

ระบบงานสำหรับการทดลองสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ระบบควบคุมพารามิเตอร์ในการทดลอง กับระบบเก็บข้อมูล

1. ระบบควบคุมพารามิเตอร์ เป็นส่วนที่เน้นเกี่ยวกับอุปกรณ์ทางด้านฮาร์ดแวร์ โดยใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วมอเตอร์และชุดทดรอบเฟืองใช้สำหรับขับเคลื่อนกระบะทรายและหมุนเพลลาใบมีด
2. ระบบเก็บข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่สั้นตามความเร็วของการหมุนของใบมีด การศึกษาแรงต้านทานที่เกิดขึ้นในขณะที่ใบมีดพรวนทรายต้องทำการเก็บข้อมูลให้ได้เร็วและมากพอเพื่อที่จะสามารถนำข้อมูลจากการทดลองที่มีจำนวนมากเพียงพอไปวิเคราะห์ให้ได้

5.3 การพัฒนาชุดการทดลองปี 2543

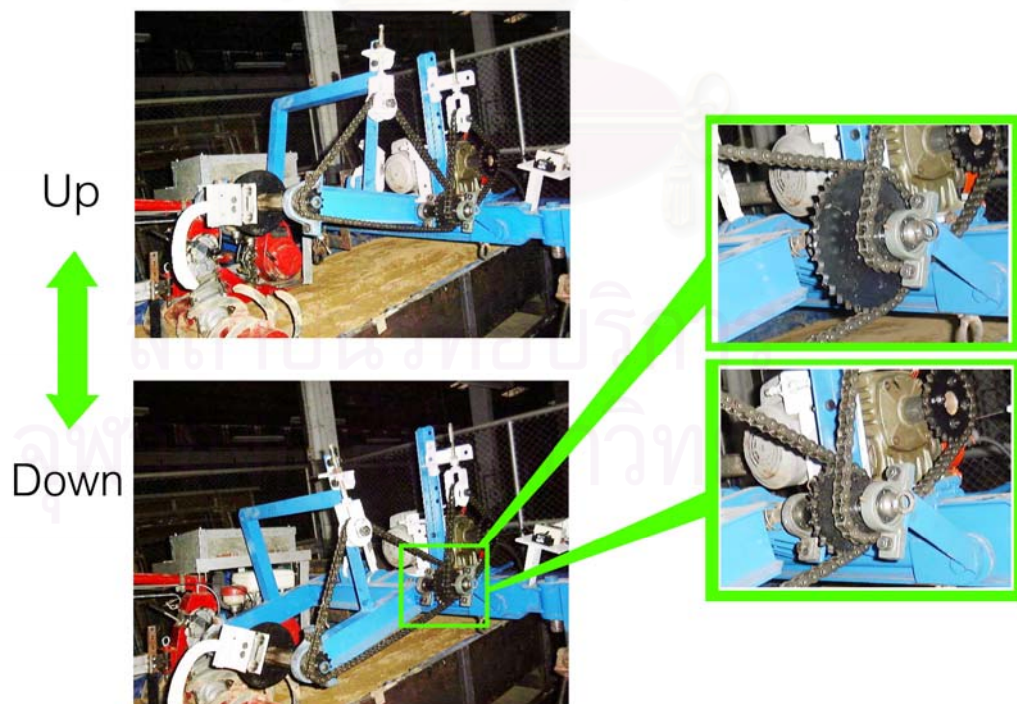
จากการทำวิจัยร่วมกับนายทวิสินธุ์ อภิวณิชชัย และนายฉิมมันัส เกียรติเดชปัญญา นิสิตปริญญาตรีในโครงการทางวิศวกรรมเครื่องกลหัวเรื่อง “การวัดแรงในใบมีดจอบหมุนโดยใช้ Extended Octagonal Ring” โดยอุปกรณ์และสถานที่ห้องปฏิบัติการ (ดังแสดงในรูปที่ 5.1) ใช้

ร่วมกับนายชนัดต์ รัตนสุมาวงศ์ นิสิตปริญญาโทที่ทำการวิจัยในหัวข้อ “การศึกษาแรงต้านทานที่กระทำต่อใบมีดของรถไถพรวนดินขนาดเล็ก” โดยนายชนัดต์ สร้างชุดกระบะทรายและชุดขับเคลื่อน



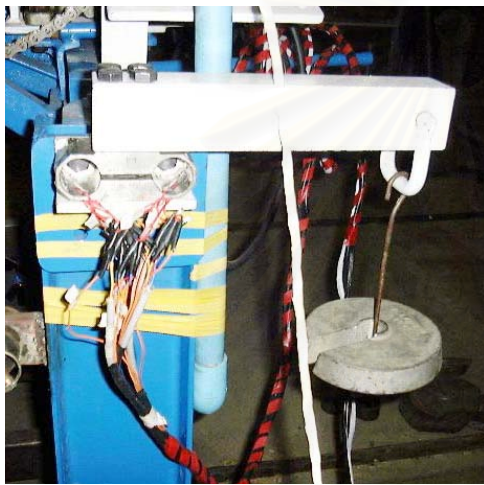
รูปที่ 5.1 ห้องปฏิบัติการที่ใช้สำหรับทำการทดลองปี 2543

5.3.1 ระบบควบคุมพารามิเตอร์ปี 2543



รูปที่ 5.2 ชุดทดลองสำหรับขับเคลื่อนใบมีดที่ปรับสูงต่ำและเปลี่ยนเฟืองใช้ได้

5.3.1.1 ชุดทดลองสำหรับหมุนเพลลาโบมีด (ดังแสดงในรูปที่ 5.2) ประกอบด้วยขาตั้งทำจากเหล็กรูปตัวไอ (I-beam) สำหรับเป็นรางให้ชุดหมุนเพลลาโบมีดวิ่งไปซ้ายขวาได้ ชุดหมุนเพลลาโบมีดโดยอาศัยมอเตอร์หมุนส่งกำลังทางเกียร์ทดเพื่อลดความเร็ว ผ่านจุดหมุนสำหรับปรับเพลลาโบมีดขึ้นลง (และเป็นจุดที่สามารถเปลี่ยนเฟืองโซ่สำหรับการปรับความเร็วรอบ) ไปยังปลายเพลลาโบมีดที่มีลักษณะเป็นร่องฟันสำหรับเปลี่ยนเฟืองโซ่ได้



a) การสอบเทียบกับแรงกด F



b) การสอบเทียบกับแรงเฉือน P

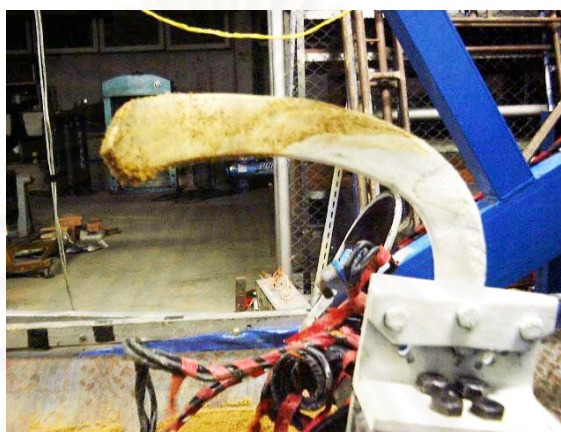
รูปที่ 5.3 การสอบเทียบ EOR



รูปที่ 5.4 ชุดทดลองเมื่อทำการเชื่อมยึดด้วยเหล็กข้ออ้อยเพื่อแก้ปัญหาการสั่นเนื่องจากแรงต้านทาน

ชุดทดลองด้านข้างมีแผ่นเหล็กเจาะรู 4 รูยึดอยู่กับเสาโครงสร้างชุดทดลองสำหรับใช้ในการสอบเทียบ EOR (ดังแสดงในรูปที่ 5.3) รายละเอียดเกี่ยวกับ EOR ที่ใช้ในการทดลองแสดงไว้ในภาคผนวก ค

ในการทดลองพบว่าแรงที่เกิดจากใบมีดตัดทรายทำให้ชุดขับเพลลาใบมีดเกิดการสั่นขึ้นลงจึงจำเป็นต้องปรับปรุงโดยทำการเชื่อมเหล็กข้ออ้อยเพื่อยึดให้เพลลาใบมีดอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ (ดังแสดงในรูปที่ 5.4)

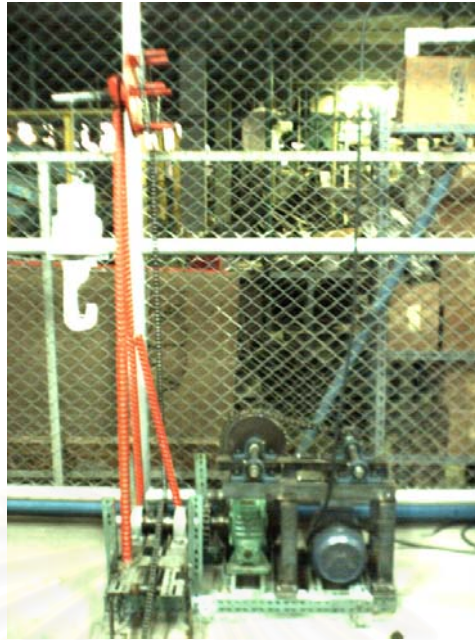


รูปที่ 5.5 ใบมีดและตัวยึดในการทดลองปี 2543

5.3.1.2 ใบมีดที่ใช้ในการทดลองเป็นใบมีดซ้ายที่ใช้กับรถไถพรวนดิน Honda FA500 (ดังแสดงในรูปที่ 5.5) การจับยึดใบมีดอาศัยตัวยึดที่มีลักษณะเป็นรูปตัวแอล ด้านหนึ่งของที่จับยึดเจาะรู 4 รูสำหรับยึดกับ EOR อีกด้านหนึ่งของที่จับยึดเจาะรูสำหรับยึดใบมีดด้วยสกรูเกลียวและ EOR ยึดอยู่บนหน้าแปลนวงกลมที่ติดอยู่บนเพลลาเหล็กเหลี่ยม

5.3.1.3 ชุดขับกระบะ (ดังแสดงในรูปที่ 5.6) ได้พัฒนาต่อจากงานวิจัยของนายชนัดต์ ทำให้ความเร็วของการลากกระบะลดลงเพื่อที่จะสามารถจำลองสภาพในการทดลองได้โดยอาศัยชุดเฟืองใช้ในการทดรอบ และพัฒนาในส่วนของการเก็บไซ้

5.3.1.4 กระบะทราย (ดังแสดงในรูปที่ 5.7) ได้พัฒนาต่อจากงานวิจัยของนายชนัดต์ โดยการลดขนาดความกว้างลงโดยการเชื่อมแผ่นเหล็กกัน ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณที่ใบมีดตัดทรายมีความกว้างไม่มากนัก การลดขนาดความกว้างทำให้สามารถที่จะเตรียมทรายสำหรับการทดลองได้เร็วขึ้น



รูปที่ 5.6 ชุดขับเคลื่อนกระบะทราย

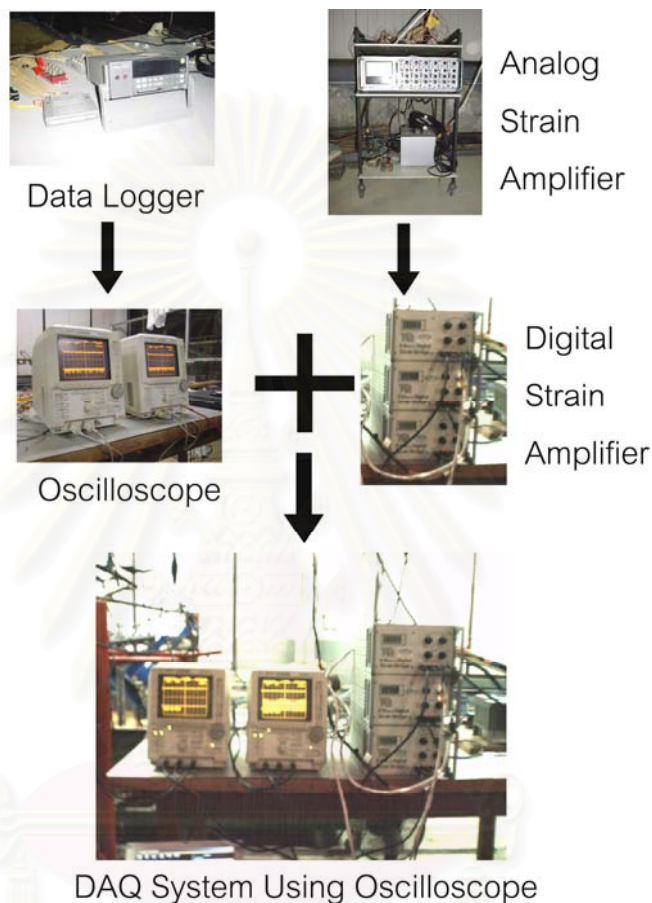


รูปที่ 5.7 กระบะทรายที่ทำการลดขนาดลง

5.3.2 ระบบเก็บข้อมูลปี 2543

ในการทดลองใช้ data logger กับ analog strain amplifier 6 ช่องในการเก็บข้อมูล (ดังแสดงในรูปที่ 5.8 ส่วนบน) เพื่อตรวจสอบว่า EOR สามารถวัดแรงที่กระทำกับโบริมที่ เกิดขึ้นจากการพรวนทรายหรือไม่ โดยข้อมูลที่ได้ไม่สามารถนำไปใช้วิเคราะห์ผลได้ เนื่องจาก data logger เก็บข้อมูลได้ทุกๆ 1 วินาทีเท่านั้น ทำให้ไม่สามารถที่จะเก็บข้อมูลในช่วงที่โบริมตัดทรายใน แต่ละรอบได้ละเอียด แต่สามารถใช้ในการสอบเทียบเพื่อดูการอัตราการเปลี่ยนแปลงต่อแรงที่เกิดขึ้นเพื่อปรับปรุงมิติของ EOR ให้เหมาะสมได้

ในการทดลองหาค่าแรงต้านทานในการพรวน ใช้ฮอสซิลอสโคป (Oscilloscope) แบบ 2 ช่องจำนวน 2 ตัวในการเก็บค่าร่วมกับ digital strain amplifier แบบ 1 ช่องจำนวน 3 ตัว (ดังแสดงในรูปที่ 5.8 ด้านล่าง) โดยใช้ฮอสซิลอสโคปในการเก็บบันทึกค่าแล้วถ่ายข้อมูลผ่านแผ่นดิสก์ เพื่อนำไปประมวลผลที่คอมพิวเตอร์



รูปที่ 5.8 ระบบการเก็บข้อมูลโดยใช้ฮอสซิลอสโคป

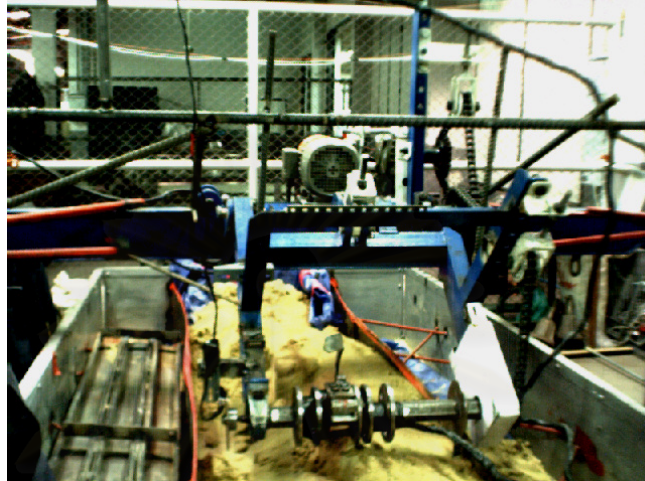
ค่าสัญญาณเกิดขึ้นในขณะที่ไบบีมืดหมุนตัดทรางส่งผ่านมาทางสายสัญญาณที่หมุนพันบนเพลาไบบีมืดพร้อมกับการหมุนของไบบีมืด (ดังแสดงในรูปที่ 5.7)

5.4 การพัฒนาชุดการทดลองปี 2544

ในการทำวิจัยร่วมกับนายชัยรัตน์ นฤพนธ์จิรกุล และนายชนินทร์ สิงชาววัฒน์ นิสิตปริญญาตรีในโครงการทางวิศวกรรมเครื่องกลหัวเรื่อง “การศึกษาแรงที่กระทำต่อไบบีมืดพรวนขอบหมุนในกระบะทราย”

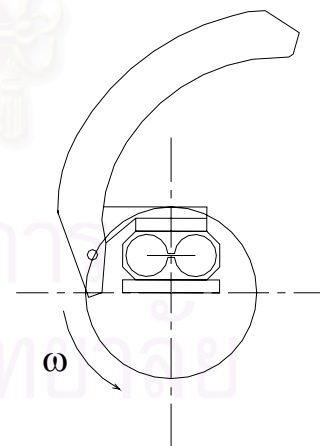
โดยที่การศึกษาในปี 2543 นั้นเป็นการสร้างชุดทดลองเพื่อทดสอบระบบเบื้องต้น และปรับปรุงชุดทดลอง ทำการทดลองได้น้อยแต่ก็พบปัญหาที่ต้องนำมาปรับปรุงการทดลอง

5.4.1 ระบบควบคุมพารามิเตอร์ปี 2544



รูปที่ 5.9 ชุดการทดลองสำหรับหมุนเพลลาไบมีดที่ปรับปรุงการเชื่อมยึดเพื่อแก้ปัญหการสั่น

5.4.1.1 ชุดทดลองสำหรับหมุนเพลลาไบมีด (ดังแสดงในรูปที่ 5.9) ทำการปรับปรุงในเรื่องการสั่นจากแรงในการตัดทรายโดยการเชื่อมยึดเพิ่มขึ้น และทำตัวครอบไซ้สำหรับป้องกันสายสัญญาณเข้าไปพัน

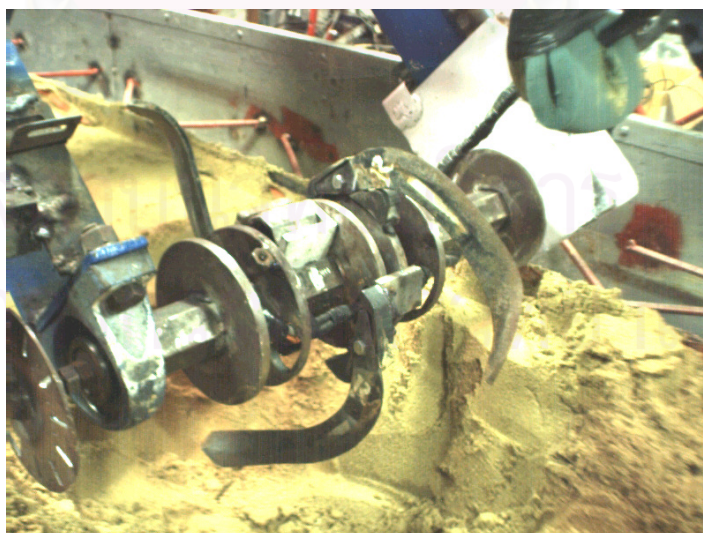


รูปที่ 5.10 ไบมีดและการจับยึดที่ใช้ในการทดลองปี 2544

5.4.1.2 ไบมีดที่ใช้ในการทดลองเป็นไบมีดขวาของรถไถพรวนดิน Honda FA500 (ดังแสดงในรูปที่ 5.10) การจับยึดไบมีดเป็นการจำลองการติดไบมีดที่ใช้งานจริงบนกระบะบอกพรวน (ดังแสดงในรูปที่ 5.11) โดยการกักร่องบนเพล่าไบมีดเพื่อวาง EOR การวัดแรงที่เกิดขึ้นแบ่งเป็น 2 กรณีคือ ไบมีดไบเดียว กับมีไบมีดข้างเคียง (ดังแสดงในรูปที่ 5.12) ในการจำลองลักษณะของ ไบมีดข้างเคียงใช้การเชื่อมตัวยึดไบมีดตามตำแหน่งบนกระบะบอกพรวน โดยอาศัยอุปกรณ์ช่วยจับ ขึ้นงานที่ทำเป็นเฉพาะตำแหน่งไบมีดแต่ละใบ แต่เนื่องจากการติดไบมีดข้างเคียงต้องอาศัยการ เชื่อมด้วยลวดไฟฟ้า บางครั้งการป้องกันสะเก็ดไฟไม่ดีทำให้สะเก็ดกระเด็นไปโดนสายสัญญาณ ของส텐เกจ ทำให้ต้องมีการติดส텐เกจใหม่



รูปที่ 5.11 การจัดเรียงไบมีดบนกระบะบอกพรวนของรถไถพรวนดิน Honda FA500 ด้านซ้าย

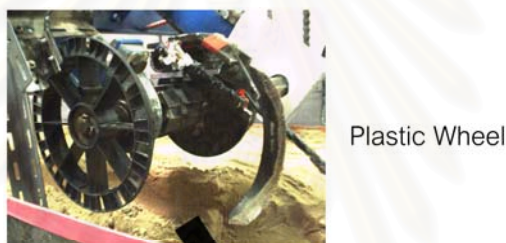


รูปที่ 5.12 การจัดเรียงไบมีดตามรูปแบบการใช้งานของรถไถพรวนดิน Honda FA500

5.4.1.3 ตัวดึงกระบะทรายเพื่อให้เคลื่อนที่สม่ำเสมอ เนื่องจากกระบะเคลื่อนที่โดยใช้โซ่ดึง ในขณะที่กระบะเคลื่อนที่จะเกิดการกระตุก เนื่องจากโซ่ที่ดึงเกิดการดึงหรือหย่อนขึ้น จึงได้ทำการใช้เชือกโยงกับน้ำหนักถ่วงในการดึงเพื่อช่วยให้กระบะเคลื่อนที่ได้สม่ำเสมอขึ้น

5.4.2 ระบบเก็บข้อมูลปี 2544

5.4.2.1 การวัดมุมองศาของใบมีดที่หมุน ใช้สวิตซ์แสงให้สัญญาณเปิด-ปิดที่ตำแหน่งมุมที่กำหนด (ดังแสดงในรูปที่ 5.13) โดยต่อสายสัญญาณเข้ากับช่องของออสซิลอสโคป ตอนแรกใช้ล้อที่เป็นพลาสติกสำหรับพันลวดเชื่อมมาประยุกต์ สัญญาณที่ได้จากล้อนี้ลักษณะที่ค่อนข้างยากในการวิเคราะห์เนื่องจากล้อนี้มีสันเป็นช่วงๆ จึงทำการพัฒนาเป็นล้อเหล็กเจาะร่องทุก 30 องศา โดยมีร่องพิเศษซึ่งกว้าง 30 องศาสำหรับเป็นตำแหน่งอ้างอิง สัญญาณที่ได้นอกจากจะบอกตำแหน่งมุมแล้วยังใช้ในการคำนวณความเร็วรอบของเพล่าใบมีด



Plastic Wheel



Steel Wheel

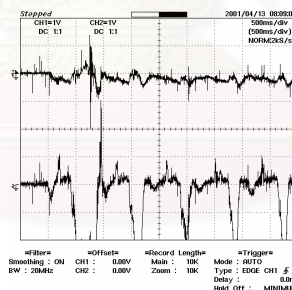
รูปที่ 5.13 ล้อและสวิตซ์แสงที่ใช้เป็นตัวตรวจวัดมุม

5.4.2.2 การวัดความเร็วกระบะ ใช้สวิตซ์แสงให้สัญญาณเปิด-ปิดที่ตำแหน่งที่ใช้ในการตัดทราย 2 ตำแหน่ง (ดังแสดงในรูปที่ 5.14) คือช่วง 1 เมตรในบริเวณกลางของทรายที่เตรียมไว้ สัญญาณนี้มีหน้าที่ 2 อย่างคือ ใช้วัดความเร็วโดยการต่อเข้ากับช่องรับสัญญาณของออสซิลอสโคปในการวัดความเร็วโดยดูค่าสัญญาณที่เกิดขึ้นในการเคลื่อนกระบะเพื่อตั้งความเร็วในการทดลอง และสัญญาณนี้ใช้เป็นสัญญาณทริก (Trig) เพื่อกำหนดให้ออสซิลอสโคปทั้งสองตัวทำการหยุดเก็บข้อมูลพร้อมกัน



รูปที่ 5.14 สวิตช์แสงใช้สำหรับวัดความเร็วในการเคลื่อนที่ของกระบะทราย

5.4.2.3 ข้อเสียของระบบการเก็บข้อมูลแบบใช้ออสซิลอสโคป คือ การตั้งค่าในการเก็บข้อมูล ต้องมีการตั้งช่วงค่าที่ใช้ในการเก็บข้อมูลเพื่อให้ได้ค่าที่ละเอียด หากไม่รู้ว่าค่าของแรงที่เกิดขึ้นมีค่าเท่าใด การตั้งช่วงที่แคบเกินไปจะทำให้การเก็บข้อมูลไม่สมบูรณ์ดังแสดงในรูปที่ 5.15 สัญญาณด้านล่างในรูปจะมีค่าไม่ครบ ค่าที่เลยออกจากหน้าจอจะถูกตัดออก



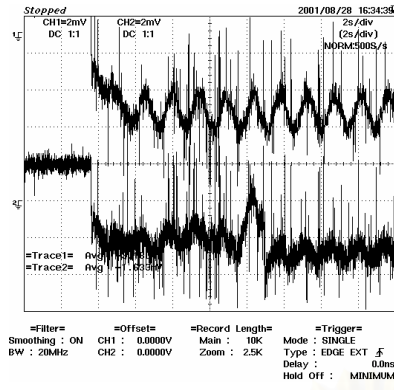
รูปที่ 5.15 ตัวอย่างของสัญญาณที่เก็บค่าได้ไม่สมบูรณ์ของออสซิลอสโคป

5.4.2.4 ข้อเสียของการใช้สายสัญญาณพันรอบเพลลาโบมิด

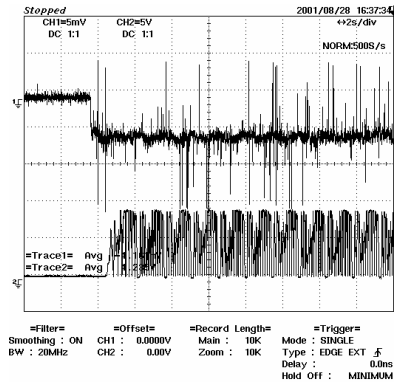
1. โบมิดไม่สามารถหมุนติดต่อกันได้หลายรอบ เนื่องจากข้อจำกัดของความยาวของสายสัญญาณ ช่องห่างระหว่างเพลลาโบมิดทรายในกระบะ และช่องห่างที่อยู่บนเพลลาเพื่อให้สายสัญญาณพัน ในการทดลองจึงถูกจำกัดให้โบมิดสามารถหมุนได้ประมาณ 13 รอบ ทำให้ต้องแยกการทดลองระหว่างการหาค่าความต่างศักย์ทางจลน์อย่างอิสระและการหาแรงต้านทานในการพรวน ปัญหาล้วน

ใหญ่จะอยู่ในการทดลองเพื่อหาแรงต้านทานในการพรวน ที่ต้องอาศัยจังหวะในการเริ่มหมุนเพลลาเพื่อให้ใบมีดมีความเร็วคงที่ก่อนตัดทรายและสามารถตัดทรายได้จำนวนรอบมากที่สุดเท่าที่ทำได้ ก่อนที่จะหยุด

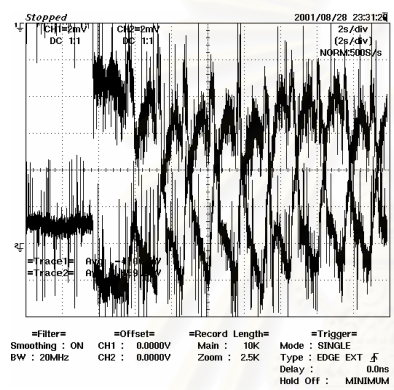
2. การระมัดระวังสายสัญญาณในขณะที่หมุน ต้องให้คน 1 คนคอยตรวจสอบสายสัญญาณให้สามารถหมุนรอบเพลลาได้โดยไม่เกิดความผิดพลาด เช่น สายบางส่วนเกิดพันบนเพลลา ก่อนที่ควรทำให้จำนวนรอบของการหมุนใบมีดลดลง สายบางส่วนเกิดติดกับขอบของกระบะเกิดการดึงระหว่างเพลลาที่หมุนกับกระบะที่เคลื่อนที่ ทำให้สายเกิดการยืดและขาดได้ เป็นต้น
3. ในการทดลองต้องเสียเวลากับการจัดสาย ก่อนการทดลองต้องวางเรียงสายให้เรียบร้อย สายส่วนที่ต้องพันก่อนจะอยู่ข้างบน (การวางเรียงสายเป็นม้วนดีกว่าการวางสายแนวยาวเนื่องจาก ระวังได้ยากและมีโอกาสทำให้สายอยู่ในแนวของการพรวนของใบมีด) เมื่อทดลองเสร็จในแต่ละรอบต้องมีการหมุนเพื่อนำสายออกจากเพลลา ซึ่งการหมุนของเพลลาไม่สามารถหยุดได้ในทันทีที่กดปุ่มหยุดที่อินเวอร์เตอร์ ทำให้การกะจังหวะผิดพลาดมีผลให้สายหมุนพันในอีกทิศหนึ่งหรือสายยังหลุดออกจากเพลลาไม่หมด
4. เมื่อทำการทดลองหลายๆ ครั้ง ค่าของสัญญาณเริ่มมีความคลาดเคลื่อนจากที่ควร รูปที่ 5.16 a และ b แสดงค่าสัญญาณที่ได้จากวงจร F, P, M และ R (ตัววัดมุม) เมื่อสายยังอยู่ในสภาพที่ดี ส่วนรูปที่ 5.16 c และ d แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจร F, P, M และ R เมื่อสายเริ่มเกิดการยืด ทำให้ค่าสัญญาณยากแก่การวิเคราะห์
5. เมื่อเกิดปัญหาเรื่องของสัญญาณคลาดเคลื่อน ในการทดลองครั้งต่อไปการทดลองจะพบกับปัญหาสัญญาณเกิดหายเนื่องจากสายขาด (สายไฟเส้นหนึ่งในสิบสองเส้น) ทำให้ต้องหยุดเพื่อตรวจหาตำแหน่งเพื่อซ่อมแซมซึ่งต้องใช้เวลาพอสมควร และตำแหน่งของการขาดจะเปลี่ยนไปเรื่อยๆ



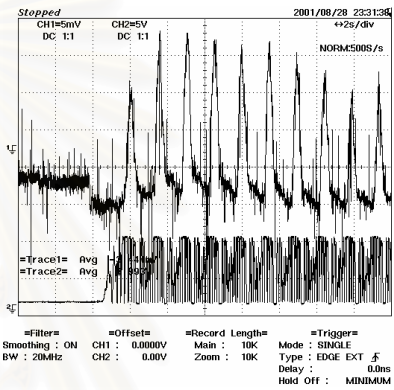
a) F, P



b) M, R

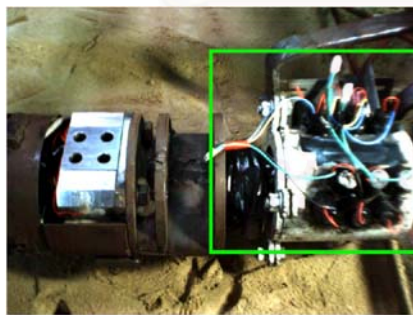


c) F, P



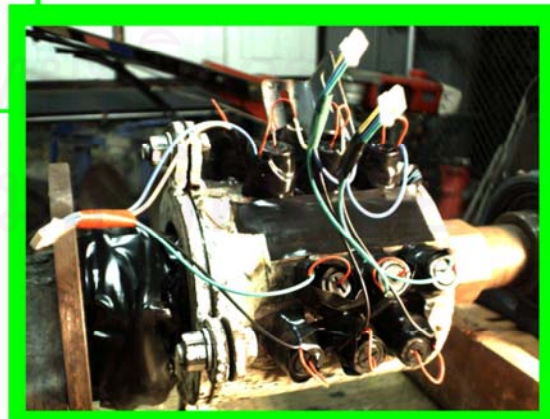
d) M, R

รูปที่ 5.16 ตัวอย่างเปรียบเทียบสัญญาณที่ได้จากฮอสซิลอสโคป



Slip Ring on Shaft

Slip Ring



รูปที่ 5.17 Slip ring 12 ช่องที่พัฒนาขึ้น

5.2.4.5 แนวคิดในการแก้ปัญหาเรื่องของการพันของสายสัญญาณ จึงทำการพัฒนา Slip ring ขึ้นเองโดยมีช่องสำหรับสัญญาณ 12 ช่อง (ดังแสดงในรูปที่ 5.17) จากข้อจำกัดของเพลอาไบเม็ต ที่ด้านหนึ่งเป็นที่สำหรับใส่เฟืองโซ่เพื่อขับเพลลา อีกด้านหนึ่งติดล้อสำหรับวัดมุม จึงเหลือเพียงบริเวณบนเพลลาที่ใช้สำหรับให้สาย

เนื่องจากขาดความเชี่ยวชาญในการทำ Slip ring ค่าสัญญาณมีค่าคงที่เพียง 2 รอบแรกจากนั้นค่าสัญญาณเริ่มมีการเปลี่ยนแปลง การที่สัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นจากถ่านที่ใช้ในการต่อสัญญาณเกิดการสึกหรออย่างรวดเร็ว

5.5 การพัฒนาชุดการทดลองปี 2545

ทำวิจัยร่วมกับนายวาทัญญู สันตินิยม นายธาริน วนิชยางกูรานนท์ และนายสิริวุฒิ หาสจิตโต นิสิตปริญญาตรีในโครงการทางวิศวกรรมเครื่องกลหัวเรื่อง “การพัฒนาเทคนิคการวัดและวิเคราะห์แรงต้านทานที่กระทำกับไบเม็ตจอบหมุน” นายกฤษดา พิธิษฐ์ไพบูลย์ และนายสุเมธ จันทร์แจ่มรัศมี นิสิตปริญญาตรีในโครงการทางวิศวกรรมเครื่องกลหัวเรื่อง “ประยุกต์ใช้เทคนิคเพื่อวัดและวิเคราะห์แรงต้านทานที่กระทำกับไบเม็ตจอบหมุนรูปตัวซี” โดยนิสิตปริญญาตรีทั้ง 5 คนได้ทุนอุดหนุนวิจัยจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรมโครงการโครงการงานอุตสาหกรรมสนับสนุนสำหรับปริญญาตรี ประจำปี 2545 ใช้อุปกรณ์ สถานที่ห้องปฏิบัติการ (ดังแสดงในรูปที่ 5.18) และการวิจัยร่วมกับนายสรารุท เหล่าพงศ์สวัสดิ์ นิสิตปริญญาโทที่ทำการวิจัยในหัวข้อ “การศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมของแรงที่กระทำกับไบเม็ตจอบหมุน 3 ชนิด”

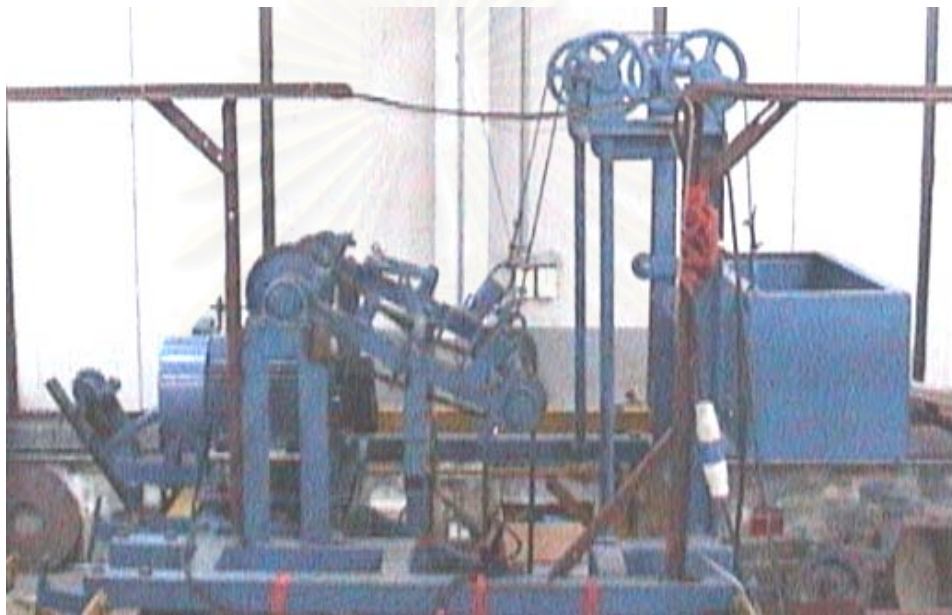


รูปที่ 5.18 ห้องปฏิบัติการที่ใช้สำหรับทำการทดลองปี 2545

5.5.1 ระบบควบคุมพารามิเตอร์ปี 2545

5.5.1.1 ชุดทดลองสำหรับหมูนเพลลาไม่มีด

ในการเตรียมทรายเพื่อทดลองในแต่ละครั้งจะต้องมีการเคลื่อนกระบะไปมา ระหว่างชุดทดลอง ชุดทดลองจึงต้องมีการปรับระดับสูงต่ำได้โดยอาศัยกลไกคือ แบบขึ้นต่อโยง 4 ชั้น (four bar linkage) โยงสลิงกับถังวางด้านหลังของชุดทดลองสำหรับการปรับขึ้นลง (ดังแสดง ในรูปที่ 5.19)



รูปที่ 5.19 ชุดการทดลองที่ใช้ขับเพลลาไม่มีดสามารถขึ้นลงได้



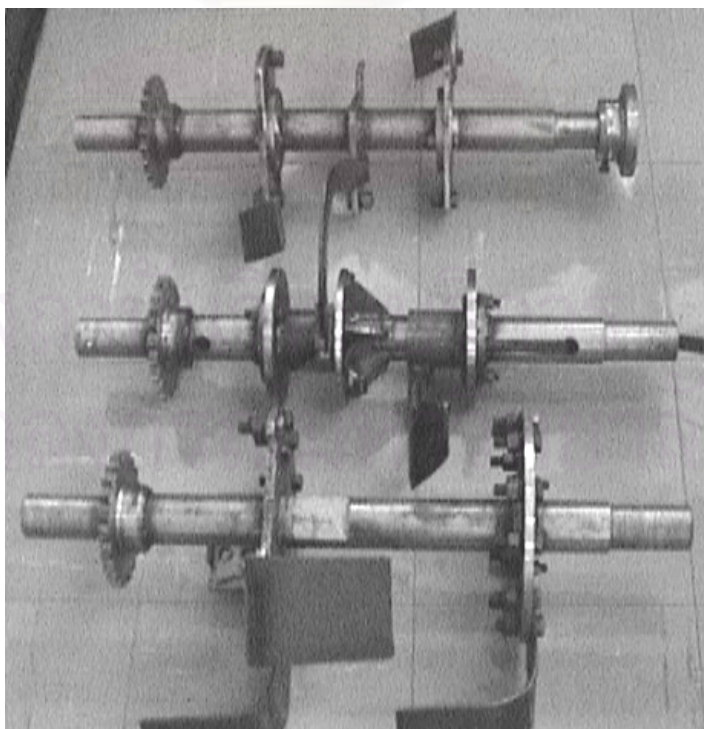
รูปที่ 5.20 ชุดมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเพลลาไม่มีด

การหมุนเพลลาไบมีดจอบหมุนอาศัยแรงจากมอเตอร์ขับผ่านเกียร์ทดรอบ ชุดเฟืองโซ่บนกลไกแบบขั้นต่อโยง 4 ชั้น และการตั้งระดับความลึกในการพรวนทำได้โดยปรับความยาวของสลักเกลียว (ดังแสดงในรูปที่ 5.20 และรูปที่ 5.21 ตามลำดับ)



รูปที่ 5.21 สลักเกลียวสำหรับตั้งความลึกในการพรวน

5.5.1.2 เพลลาไบมีด



รูปที่ 5.22 ลักษณะของเพลลาไบมีด 3 ชนิด



รูปที่ 5.23 เผลาใบมีดเมื่อติดตั้งกับชุดทดลอง

ทำการสร้างเพลลาใบมีดใหม่ขึ้น 3 ชุด (ดังแสดงในรูปที่ 5.22) สำหรับการติดตั้งใบมีดทดสอบ 3 ชนิด ลักษณะโดยรวมของใบมีดทั้ง 3 ชนิดจะเหมือนกันคือ

1. ระยะความกว้างระหว่างปลายสองข้างสำหรับใส่ลูกปืนมีขนาดเท่ากัน
2. มีการเจาะรูที่บริเวณปลายสองข้างให้สายไฟร้อยผ่านได้
3. เฟืองโซ่ติดตั้งอยู่ด้านในมีขนาดเดียวกัน
4. ในการทดลองใช้ EOR ตัวเดียวกัน
5. ระยะการติดตั้งใบมีดข้างเคียงมีค่าคงที่ แต่สามารถปรับมุมการติดตั้งได้

ในการวิจัยนี้ใช้เพลลาใบมีดตัวซีสำหรับการทดลอง (ดังแสดงในรูปที่ 5.23) โดยติดตั้ง Slip ring แบบที่ใช้กับ 1 วงจรบริดจ์ที่ปลายทั้งสองข้างแทนการใช้สายสัญญาณพันรอบเพลลา ใบมีดที่ใช้ในการทดลองกับใบมีดของคูโบต้า

5.5.1.3 ชุดขับเคลื่อน ประสิทธิภาพของโซ่ที่ใช้ในการขับเคลื่อนให้เป็นวงกลม โดยให้กระบอกเป็นส่วนหนึ่งของวงกลม ที่ด้านหน้ามีมอเตอร์ขับเคลื่อนเฟือง (ดังแสดงในรูปที่ 5.24a) ด้านหลังจะมีชุดเฟืองโซ่สำหรับช่วยให้โซ่ครบวง ที่ปลายทั้งสองข้างใกล้กับชุดขับเคลื่อนมีกันชนสำหรับหยุดกระบอก มีการพัฒนาโดยใช้วงจรลิมิตสวิตช์สำหรับการหยุดกระบอกโดยอัตโนมัติเมื่อถึงตำแหน่งที่กำหนดเพื่อป้องกันอุบัติเหตุ



a) ชุดขับเคลื่อนด้านหน้า



b) ชุดขับเคลื่อนด้านหลัง

รูปที่ 5.24 ชุดขับเคลื่อน



รูปที่ 5.25 ระบบควบคุมความเร็วที่ใช้อินเวอร์เตอร์

5.5.1.4 กระจะบะทราย (ดังแสดงในรูปที่ 5.26) สร้างและพัฒนาโดยนายสรารุท ให้มีความกว้างในการพรวนที่เหมาะสมสำหรับการทดลอง ด้านหน้าเปิดได้ ด้านข้างมีการติดตั้งตัวกำหนดระยะทางของกระจะบะในการเคลื่อนที่ กระจะบะเคลื่อนที่อยู่ในรางเหล็กรูปตัวยูหงายแทนการใช้เหล็กฉากรองรับ เนื่องจากน้ำหนักของทรายที่ตกลงบนเหล็กฉากทำให้เหล็กฉากเกิดการแอ่นตัวสูงต่ำไม่เท่ากัน การเคลื่อนที่ของกระจะบะจึงควบคุมความเร็วได้ยาก

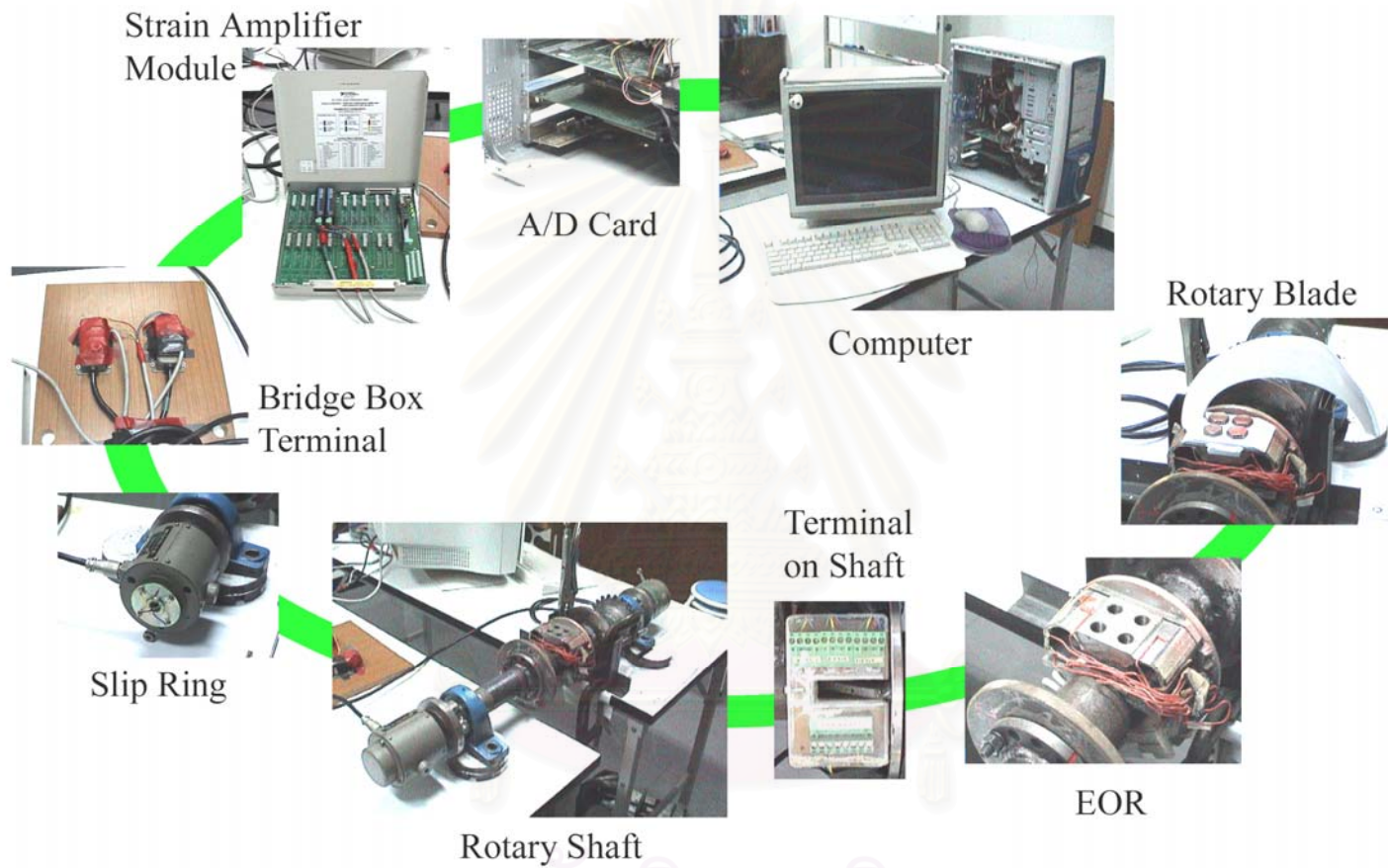


รูปที่ 5.26 กระบะทรายและลิมิตสวิตช์

5.5.2 ระบบเก็บข้อมูลปี 2545

ระบบการเก็บข้อมูลเปลี่ยนจากฮาร์ดดิสก์โคปมาเป็นระบบการเก็บข้อมูลโดยใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC Based DAQ System) (ดังแสดงในรูปที่ 5.27) มีขั้นตอนในการทำงาน คือ

1. การ์ด NI PCI 6013 (A/D card) ที่อยู่ในคอมพิวเตอร์จะส่งไฟไปเลี้ยง Strain Amplifier Module (SC 2345)
2. Module (SCC-SG04) ที่อยู่ใน Strain Amplifier Module จะส่งไฟเลี้ยงวงจรบริดจ์บน EOR โดยผ่าน Bridge Box Terminal -> Slip Ring -> เฟลาไทมิต (Rotary Shaft) ->Terminal บนเฟลา ->EOR
3. เมื่อไทมิตตัดทรายจะส่งสัญญาณผ่าน EOR แล้วย้อนกลับไปที่ Module เพื่อขยายสัญญาณ
4. สัญญาณจะผ่านเข้าการ์ด NI PCI 6013 เพื่อแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นดิจิตอลสำหรับเก็บและประมวลผลโดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในคอมพิวเตอร์



รูปที่ 5.27 ระบบการเก็บข้อมูลโดยใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC Based DAQ System)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.6 ข้อผิดพลาดและข้อจำกัดของชุดอุปกรณ์ปี 2545

แนวคิดในการทำชุดทดลองเพื่อช่วยให้สามารถทำการทดลองได้สะดวกขึ้น และสามารถทำการทดลองได้โดยใช้คนเพียงคนเดียว ซึ่งเป็นเรื่องที่ต้องใช้เวลา เงินทุน ทักษะและประสบการณ์สำหรับสร้างชุดอุปกรณ์ในการทดลอง และขั้นตอนทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองซึ่งไม่สามารถทำได้ในการทำวิทยานิพนธ์นี้

ข้อผิดพลาดและข้อจำกัดของชุดอุปกรณ์ที่ได้พบเพื่อเป็นข้อมูลให้กับผู้ที่ทำการวิจัยที่จะต้องใช้อุปกรณ์ชุดนี้ นำไปพิจารณาปรับปรุงและพัฒนา โดยสามารถสรุปได้ดังนี้



รูปที่ 5.28 ชุดพรวนทรายสำหรับการเตรียมทรายในการทดลอง



รูปที่ 5.29 ใช้ชุดทดลองทำการสอบเทียบกับแรงที่มากกระทำกับ EOR ในทิศทางต่างๆ

1. ชุดทดลองนี้มีการออกแบบชุดพรวนทราย (ดังแสดงในรูปที่ 5.28) เพื่อใช้ในการเตรียมทรายในแต่ละรอบการทดลอง เพื่อให้ระดับความลึกของทรายที่ถูกพรวนมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งน่าจะช่วยในเรื่องของการเตรียมทรายให้ความแน่นทรายในแต่ละครั้งมีค่าใกล้เคียงกันและช่วยผ่อนแรงในการพรวนทราย การทำงานของชุดพรวนใช้การยกขึ้นลงและใช้ระบบเฟืองโซ่ในการขับเคลื่อนชุดพรวน การขับเคลื่อนชุดพรวนต้องมีการเร่งโซ่ก่อนแล้วจึงใช้อินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อนมอเตอร์ ความผิดพลาดที่ไม่ได้เร่งโซ่ก่อนทำให้มอเตอร์ขับเคลื่อนโซ่ติดกับเฟืองโซ่ ทำให้ขาเร่งโซ่เสียหาย ในความเห็นของผู้วิจัยจึงเลิกใช้ชุดพรวนเนื่องจากว่าการออกแบบไม่สามารถป้องกันความเสียหายในการทำงานซึ่งเป็นอันตรายได้
2. ชุดทดลองนี้ไม่ได้ออกแบบมาเพื่อการสอบเทียบ EOR บนเพลลาในขณะที่ติดตั้งเพื่อเตรียมทำการทดลอง การสอบเทียบจึงไม่สามารถทำได้สะดวกและไม่สามารถทำได้ทุกมุมที่ต้องการเนื่องจากข้อจำกัดของสถานที่ในบริเวณที่ติดตั้งเพลลาใบมีด
3. การเก็บข้อมูลไม่มีตัวบอกตำแหน่งมุม ตัววัดความเร็วในการเคลื่อนที่ของกระเบทรายในขณะที่ทำการทดลอง
4. การยกเพลลาใบมีดขึ้นลงในกรณีการทดลองใช้หลักการถ่วงน้ำหนัก ถ้าน้ำหนักที่ถ่วงชุดเพลลาใบมีดไม่พอ ในการทดลองตัดทรายเพลลาใบมีดจะมีการขึ้นลง ซึ่งในการแก้ปัญหาในปีนี้ใช้คนไปยืนบนท่อนบนของแบบขึ้นต่อโยง 4 ชั้น

บทที่ 6

การทดลองหาแรงต้านทานที่โม่มีดจอบหมุน

วิทยานิพนธ์นี้แบ่งการทดลองออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกเป็นการทดลองเกี่ยวกับ EOR ส่วนที่สองเป็นการทดลองเกี่ยวกับแรงต้านทานกระทำที่โม่มีดจอบหมุน การทดลองเกี่ยวกับ EOR เป็นการทดลองเพื่อศึกษาคุณสมบัติและการตอบสนองของ EOR กับแรงที่มากระทำในลักษณะต่างๆ ส่วนการทดลองเกี่ยวกับแรงต้านทานกระทำที่โม่มีดจอบหมุนมี 2 กรณี คือ กรณีโม่มีดโม่เดี่ยวโดยเปลี่ยนความเร็วรอบการหมุนที่ระยะการตัดทรายต่างๆ กับกรณีโม่มีดข้างเคียงที่มีระยะการตัดทรายและความเร็วรอบการหมุนเท่ากัน นอกจากนี้กรณีของโม่มีดข้างเคียงยังมีรูปแบบการจัดเรียงโม่มีดแตกต่างกัน การทดลองทั้งสองกรณีมีความลึกในการตัดทรายเท่ากันคือ 12 เซนติเมตร

6.1 การทดลองเกี่ยวกับ EOR

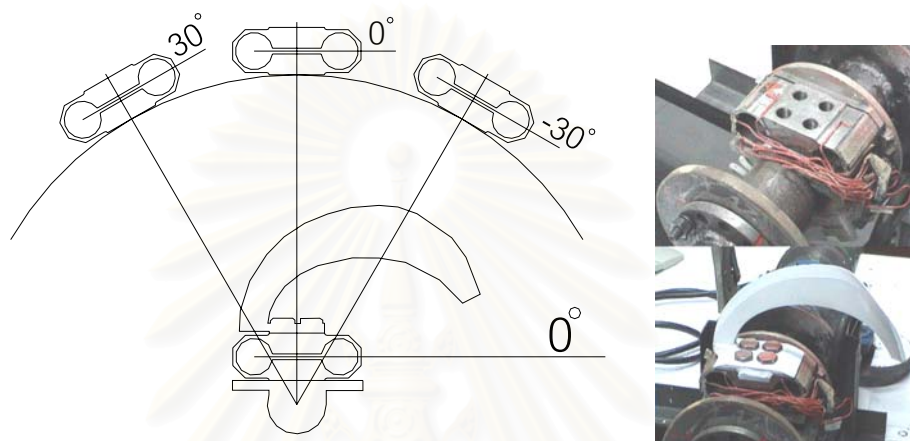
เนื่องจากโม่มีดตัดทรายโดยการหมุน EOR ซึ่งติดอยู่กับเพลลาโม่มีดและยึดด้ามโม่มีดจึงมีการเปลี่ยนตำแหน่งและทำให้ทิศทางของแรงที่มากระทำก็มีการเปลี่ยนด้วย จึงจำเป็นต้องทำการทดลองเพื่อตรวจสอบว่า EOR มีการตอบสนองอย่างไรกับลักษณะของแรงในกรณีต่างๆ

การใช้อุปกรณ์ต่างกันติดกับ EOR ผลการตอบสนองของ EOR มีค่าที่ต่างกัน การใช้เซนในการสอบเทียบแรงในกรณีรูปแบบต่างๆ ทำได้ง่ายกว่าการสอบเทียบโดยใช้โม่มีดโดยตรง เนื่องจากความโค้งของโม่มีดส่วนตรง และลักษณะการตัดปลายของโม่มีด การศึกษาจึงอาศัยอุปกรณ์อื่นเพื่อช่วยวิเคราะห์ลักษณะการตอบสนองโดยทั่วไปแล้วจึงนำผลมาเปรียบเทียบกับโม่มีด โดยแบ่งการทดลองเป็น

1. การสอบเทียบกับแรงในทิศทางตั้งฉากกับ EOR (แรงกด F)
2. การสอบเทียบกับแรงในทิศทางที่ขนานกับ EOR (แรงเฉือน P)
3. การสอบเทียบกับแรงที่มากระทำกับ EOR ในทิศทางต่างๆ
4. การสอบเทียบกับการเปลี่ยนมุม EOR ตามการหมุนของเพลลาโม่มีด ร่วมกับการเปลี่ยนมุมของแรงที่มากระทำ

5. การสอบเทียบเมื่อติดไบนีตบน EOR โดยมีแรงกระทำในทิศทางตั้งฉากและทิศทางขนานกับ EOR
6. การสอบเทียบเมื่อติดไบนีตและมีการเปลี่ยนตำแหน่งมุม EOR ในทิศทางต่างๆ

6.2 ตำแหน่งอ้างอิงศูนย์กลางของ EOR



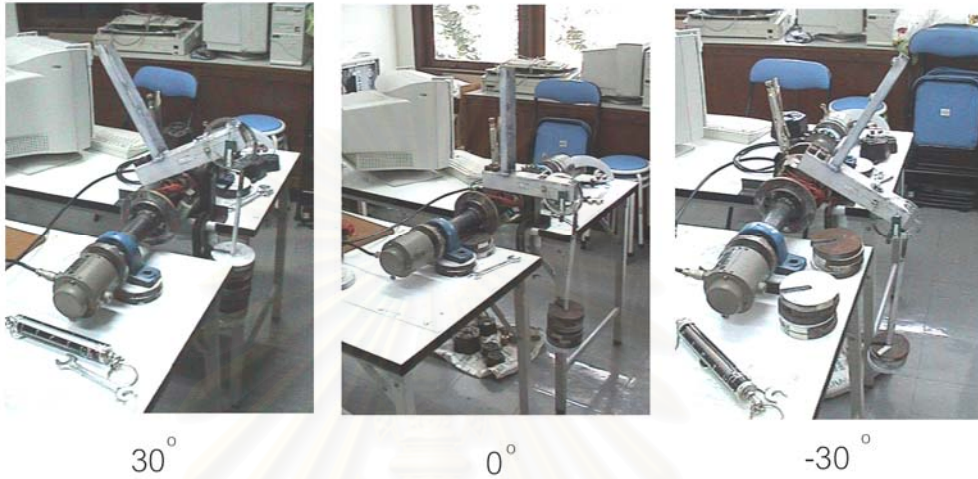
- a) ลักษณะมุมอ้างอิง 30, 0 และ -30 องศาของ EOR b) EOR เมื่อติดตั้งบนเพลลา (บน) และเมื่อติดไบนีตบน EOR (ล่าง)

รูปที่ 6.1 ตำแหน่งมุมศูนย์กลางของ EOR

EOR ประกอบด้วยวงกลม 2 วง ใช้วัดแรงที่กระทำโดยอาศัยการเปลี่ยนความต้านทานที่สแตนเกจ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากมิติของวงกลมและตำแหน่งของการติดสแตนเกจทำให้ EOR ขาดคุณสมบัติสมมาตร สายสัญญาณของสแตนเกจที่ติดบน EOR จะอยู่รวมกันด้านเดียว การประกอบ EOR เข้ากับเพลลาจะหันด้านที่ไม่มีสายสัญญาณเข้าหาแผ่นเหล็ก (ดังแสดงในรูปที่ 6.1b (บน)) ดังนั้นด้านที่มีสายสัญญาณจะใช้เป็นด้านอ้างอิงตลอดการทดลอง ไบนีตที่ติดบน EOR สำหรับการทดลองจะติดได้ด้านเดียวเนื่องจากตัวบังคับบนแผ่นเหล็ก 4 รูที่ยึดด้ามไบนีต (ดังแสดงในรูปที่ 6.1b (ล่าง)) การสอบเทียบจึงเน้นการสอบเทียบตามลักษณะของแรงที่น่าจะเกิดบนไบนีตเป็นหลัก (ด้านซ้ายของ EOR ที่ใช้เป็นด้านอ้างอิงหรือด้านปลายของไบนีต)

ในการทดลองใช้การอ้างอิงมุมของ EOR โดยมุม 0 องศา คือมุมที่เส้นลากผ่านจุดศูนย์กลางกลางของวงกลม 2 วงของ EOR (ดังแสดงในรูปที่ 6.1a) เมื่อเพลลาหมุนไป 30 องศา มุม EOR ก็จะมีค่า 30 องศาด้วย

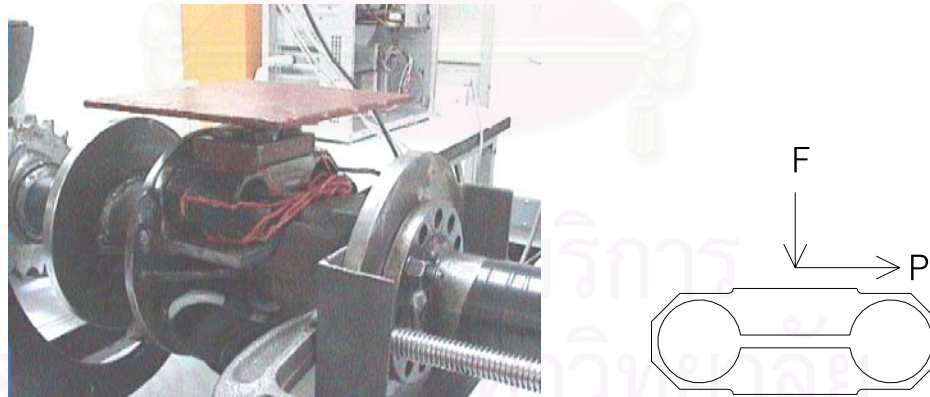
ก่อนการสอบเทียบในแต่ละกรณีต้องตั้งมุมของ EOR เพื่อให้เป็นอ้างอิง โดยอาศัย แขนที่มีหัวหมุนได้อยู่ที่ปลาย บนหัวมีจานบอกมุมติดอยู่ การตั้งมุมใช้น้ำหนักถ่วงที่หัวแล้วดู ตำแหน่งมุมที่จานบอกมุม (ดังแสดงในรูปที่ 6.2) น้ำหนักถ่วงที่หัวต้องหนักพอที่หัวสามารถหมุน ได้อย่างอิสระ



รูปที่ 6.2 การตั้งมุม 30, 0 และ -30 องศาของ EOR

6.3 กรณีสอบเทียบ EOR

6.3.1 การสอบเทียบกับแรงในทิศทางตั้งฉากกับ EOR (แรงกด F)



รูปที่ 6.3 การสอบเทียบกับแรงในทิศทางตั้งฉากกับ EOR

การสอบเทียบกับแรงกด F เพื่อศึกษาว่า EOR มีการตอบสนองอย่างไรกับ ตำแหน่งของแรงที่กระทำในทิศทางตั้งฉากและแรงที่กระทำผ่านแขนไปกระทำที่ EOR มีการ ลดทอนหรือถูกดูดซับโดยแขนเป็นอย่างไร

การสอบเทียบกับแรงกด F จะทดลองที่ 3 ระยะด้วยกันคือ

1. แรงกด F ผ่านจุดศูนย์กลางตามความยาวของ EOR
2. แรงกด F ห่างจากจุดศูนย์กลางตามความยาวของ EOR เป็นระยะ 17 เซนติเมตร
3. แรงกด F ห่างจากจุดศูนย์กลางตามความยาวของ EOR เป็นระยะ 27 เซนติเมตร



a) ระยะ 17 เซนติเมตรจากจุดศูนย์กลางตามความยาวของ EOR b) ระยะ 27 เซนติเมตรจากจุดศูนย์กลางตามความยาวของ EOR

รูปที่ 6.4 การสอบเทียบกับแรงกด F ที่มีระยะห่าง 17 และ 27 เซนติเมตรจากศูนย์กลางตามความยาว EOR

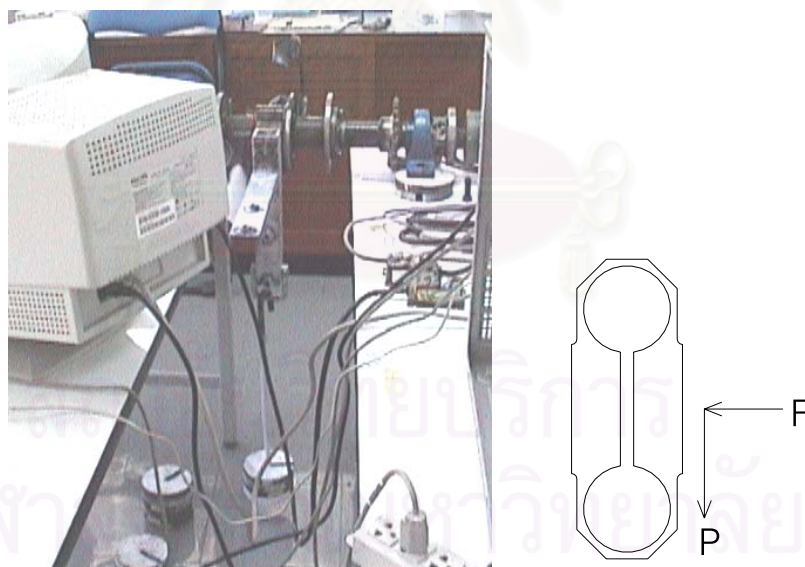
ขั้นตอนการสอบเทียบกับแรงในแนวกด F มีดังนี้

1. ติดตั้ง EOR เข้ากับเพลาใบมีด
2. ปรับตำแหน่งของ EOR ไปที่ 0 องศา
3. ติดตั้งแผ่นสำหรับวางตุ้มน้ำหนักบน EOR โดยให้น้ำหนักผ่านจุดศูนย์กลางตามความยาวของ EOR (ดังแสดงในรูปที่ 6.3)
4. ทำการปรับศูนย์ (Nulling) ให้ค่าสัญญาณที่ได้จากวงจรถบรีดจ์ทั้ง 3 มีค่าเฉลี่ยเป็น 0
5. บันทึกค่าน้ำหนักและสัญญาณความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น
6. เพิ่มน้ำหนักโดยการวางตุ้มน้ำหนักครั้งละ 1 ก้อนบนแผ่นสำหรับวางตุ้มน้ำหนัก
7. ทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 5 - 6 จนกระทั่งน้ำหนักรวมมีค่าประมาณ 20 กิโลกรัม เพื่อให้ครอบคลุมช่วงแรงที่น่าจะเกิดขึ้นในการทดลองตัดทรายของใบมีด

8. เปลี่ยนระยะที่แรงกระทำโดยการเปลี่ยนแผ่นสำหรับวางตุ้มน้ำหนักเป็น
แผ่นที่สามารถติดตั้งแผ่นสำหรับวางตุ้มน้ำหนักได้ โดยการปรับให้
น้ำหนักกระทำที่ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางตามความยาวของ EOR
เท่ากับ 17 เซนติเมตร (ดังแสดงในรูปที่ 6.4a)
9. ทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 5 - 6 จนกระทั่งน้ำหนักรวมมีค่าประมาณ 20
กิโลกรัม
10. เปลี่ยนระยะที่แรงกระทำ โดยให้น้ำหนักกระทำที่ระยะห่างจากจุด
ศูนย์กลางตามความยาวของ EOR เท่ากับ 27 เซนติเมตร (ดังแสดงในรูป
ที่ 6.4b)
11. ทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 5 - 6 จนกระทั่งน้ำหนักรวมมีค่าประมาณ 20
กิโลกรัม

6.3.2 การสอบเทียบกับแรงในทิศทางที่ขนานกับ EOR (แรงเฉือน P)

การทดลองเพื่อศึกษาว่า EOR มีการตอบสนองอย่างไรกับตำแหน่งของแรงเฉือน
ที่มากระทำ



รูปที่ 6.5 การสอบเทียบกับแรงเฉือน P ที่ระยะห่าง 4.88 เซนติเมตรจากศูนย์กลางวงกลมของ
EOR

การสอบเทียบกับแรงเฉือน P จะทดลองที่ 3 ระยะคือ

1. แรงเฉือน P กระทำห่างจากศูนย์กลางวงกลมของ EOR เท่ากับ 4.88
เซนติเมตร (ดังแสดงในรูปที่ 6.5)

2. แรงเฉือน P กระทำห่างจากศูนย์กลางวงกลมของ EOR เท่ากับ 27.08 เซนติเมตร (ดังแสดงในรูปที่ 6.6a)
3. แรงเฉือน P กระทำห่างจากศูนย์กลางวงกลมของ EOR เท่ากับ 37.08 เซนติเมตร (ดังแสดงในรูปที่ 6.6b)



a) ระยะ 27.08 เซนติเมตรจากศูนย์กลางวงกลมของ EOR



b) ระยะ 37.08 เซนติเมตรจากศูนย์กลางวงกลมของ EOR

รูปที่ 6.6 การสอบเทียบกับแรงเฉือน P เมื่อมีระยะห่าง 27.08 และ 37.08 เซนติเมตรจากศูนย์กลางวงกลมของ EOR

ขั้นตอนการสอบเทียบกับแรงในแนวเฉือน P มีดังนี้

1. ติดตั้ง EOR เข้ากับเพลลาไบמיד
2. ติดตั้งแขนสำหรับสอบเทียบบน EOR ปรับตำแหน่งของ EOR ไปที่ 90 องศา (ดังแสดงในรูปที่ 6.5)
3. ทำการปรับศูนย์ (Nulling) ให้ค่าสัญญาณที่ได้จากวงจรบริดจ์ทั้ง 3 มีค่าเฉลี่ยเป็น 0
4. บันทึกค่าน้ำหนักและสัญญาณความตึงเครียดที่เกิดขึ้น
5. เพิ่มน้ำหนักโดยแขวนตุ้มน้ำหนักครั้งละ 1 ก้อน
6. ทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 4 - 5 จนกระทั่งน้ำหนักรวมมีค่าประมาณ 20 กิโลกรัม
7. เปลี่ยนระยะที่แรงกระทำ โดยให้น้ำหนักกระทำที่ระยะห่างจากศูนย์กลางวงกลมของ EOR เท่ากับ 27.08 เซนติเมตร (ดังแสดงในรูปที่ 6.6a)
8. ทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 4 - 5 จนกระทั่งน้ำหนักรวมมีค่าประมาณ 20 กิโลกรัม

9. เปลี่ยนระยะที่แรงกระทำ โดยให้น้ำหนักกระทำที่ระยะห่างจากศูนย์กลางวงกลมของ EOR เท่ากับ 37.08 เซนติเมตร (ดังแสดงในรูปที่ 6.6b)
10. ทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 4 – 5 จนกระทั่งน้ำหนักรวมมีค่าประมาณ 20 กิโลกรัม

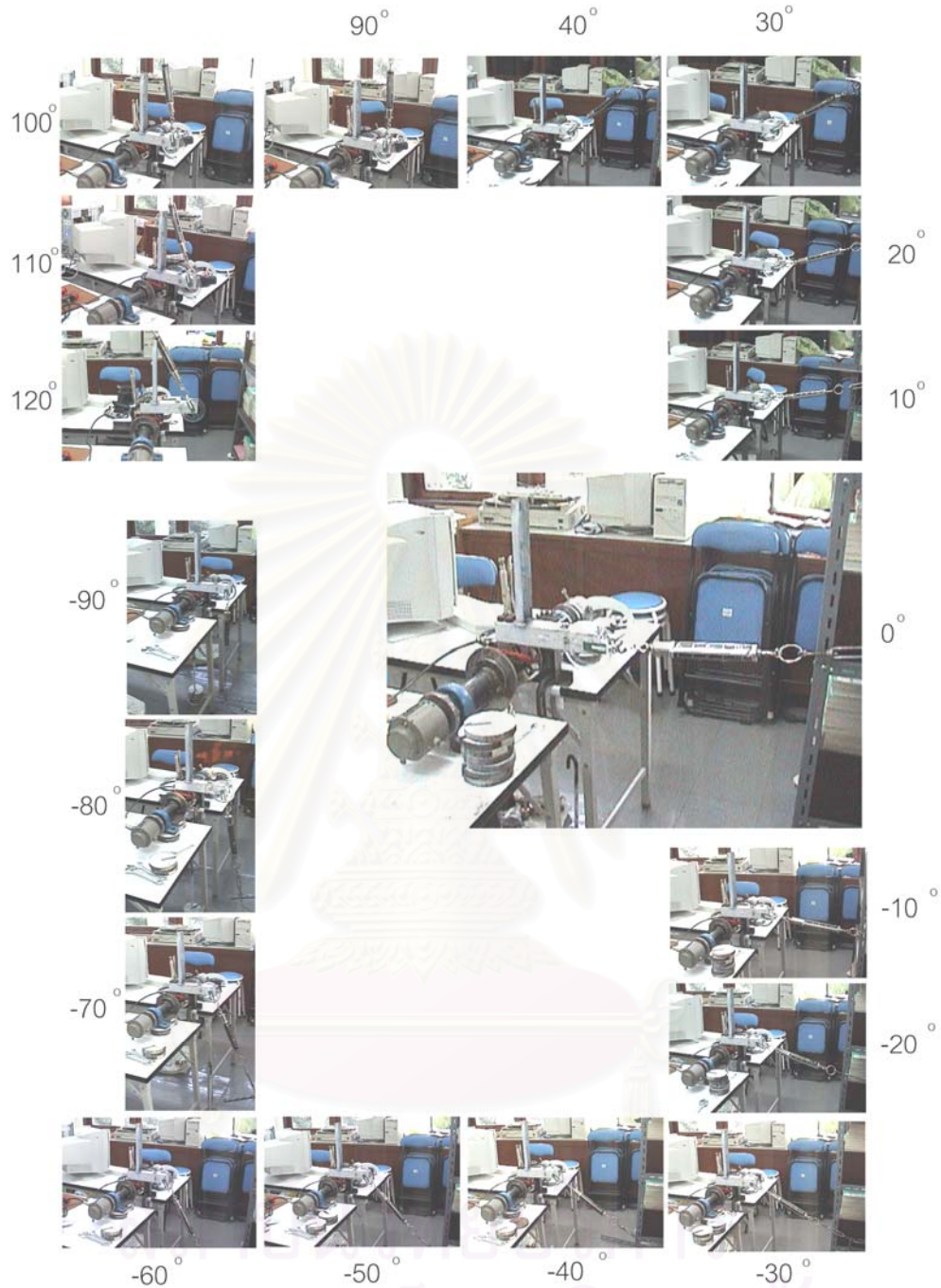
6.3.3 การสอบเทียบกับแรงที่มากระทำกับ EOR ในทิศทางต่างๆ

การสอบเทียบกับลักษณะมุมที่เปลี่ยนไปของแรงที่กระทำ เป็นการจำลองแรงกระทำกับแขนที่มุมต่างๆ (ดังแสดงในรูปที่ 6.7) เพื่อศึกษาว่า EOR มีการตอบสนองอย่างไรกับแรงที่มากระทำในทิศทางต่างๆ

ขั้นตอนการสอบเทียบมีดังนี้

1. ติดตั้ง EOR เข้ากับเพลลาไบמיד
2. ติดตั้งแขนสำหรับสอบเทียบ ปรับตำแหน่งของ EOR ไปที่ 0 องศา
3. ติดตั้งตาชั่งสปริงให้ปลายข้างหนึ่งคล้องกับเกลียวซ้ายขวา ปลายอีกข้างหนึ่งคล้องกับหัวของแขน ปรับตำแหน่งมุมของหัวที่เป็น 0 องศา (ดังแสดงในรูปที่ 6.7)
4. ทำการปรับศูนย์ (Nulling) ให้ค่าสัญญาณที่ได้จากวงจรบริดจ์ทั้ง 3 มีค่าเฉลี่ยเป็น 0
5. เพิ่มแรงดึงของตาชั่งสปริงครั้งละ 1 กิโลกรัมโดยอาศัยการขันเกลียว เริ่มตั้งแต่ 5 กิโลกรัม จนถึง 17 กิโลกรัม
6. บันทึกค่าน้ำหนักและสัญญาณความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น
7. ทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 5 – 6 โดยทำมุมของหัว -90 – 40 องศา และ 90 - 120 องศา

เนื่องจากตาชั่งสปริงสามารถชั่งได้ 0 – 20 กิโลกรัม การทดลองเลือกแรงเริ่มต้นที่ 5 กิโลกรัม เนื่องจากหัวต้องมีแรงมากกระทำให้สมดุลกับน้ำหนักของตัวหัวและน้ำหนักของตาชั่งสปริงรวมกับน้ำหนักของเกลียวซ้ายขวาบางส่วนเพื่อให้ได้มุมตามที่ต้องการ ตาชั่งสปริงต้องอาศัยความยาวในการบอกค่าแรงและอาศัยความยาวของระยะเกลียวในการเพิ่มแรง การปรับแรงและมุมเพื่อให้ได้ตามต้องการทำให้เกิดข้อจำกัดเรื่องความยาวที่เปลี่ยนของตาชั่งสปริงในการทดลอง น้ำหนัก 17 กิโลกรัมจึงเป็นน้ำหนักที่เหมาะสมสำหรับการทดลองเพื่อให้ได้ค่าแนวโน้มของการตอบสนองของ EOR



รูปที่ 6.7 การสอบเทียบกับแรงที่กระทำกับแกนที่มุมต่างๆ

6.3.4 การสอบเทียบกับการเปลี่ยนมุม EOR ร่วมกับการเปลี่ยนมุมของแรงที่มากระทำ

การสอบเทียบกับการเปลี่ยนมุม EOR ตามการหมุนของเพลาใบมีด เนื่องจากข้อจำกัดในอุปกรณ์และสถานที่จึงเลือกการทำการทดลองเมื่อ EOR ทำมุม 30 องศาและ -30 องศา และใช้แรงกระทำที่มุม 0, 30, 60 และ 90 องศา (ดังแสดงในรูปที่ 6.8 และ รูปที่ 6.9)

การทดลองเพื่อศึกษาว่า EOR มีการตอบสนองอย่างไรกับการเปลี่ยนมุม EOR ร่วมกับการเปลี่ยนมุมของแรงที่มากระทำโดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. ติดตั้ง EOR เข้ากับเพลลาไบมีด
2. ติดตั้งแกนสำหรับสอบเทียบ ปรับตำแหน่งของ EOR ไปที่ 30 องศา
3. คล้องตาชั่งสปริงเพื่อวัดแรง โดยเริ่มต้นที่มุม 0 องศา (ดังแสดงในรูปที่ 6.8)
4. ทำการปรับศูนย์ (Nulling) ให้ค่าสัญญาณที่ได้จากวงจรบริดจ์ทั้ง 3 มีค่าเฉลี่ยเป็น 0
5. เพิ่มแรงดึงของตาชั่งสปริงครั้งละ 1 กิโลกรัมโดยการชันเกลียว เริ่มตั้งแต่ 5 กิโลกรัม จนถึง 17 กิโลกรัม
6. บันทึกค่าน้ำหนักและสัญญาณความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น
7. ทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 4 - 7 โดยการเปลี่ยนมุมของแรงเป็น -30, -60 และ -90 องศาตามลำดับ
8. ปรับตำแหน่งของ EOR เพื่อให้ได้ตำแหน่งที่ -30 องศา (ดังแสดงในรูปที่ 6.9) แล้วทำตามขั้นตอนที่ 7 อีกครั้ง

0°



-30

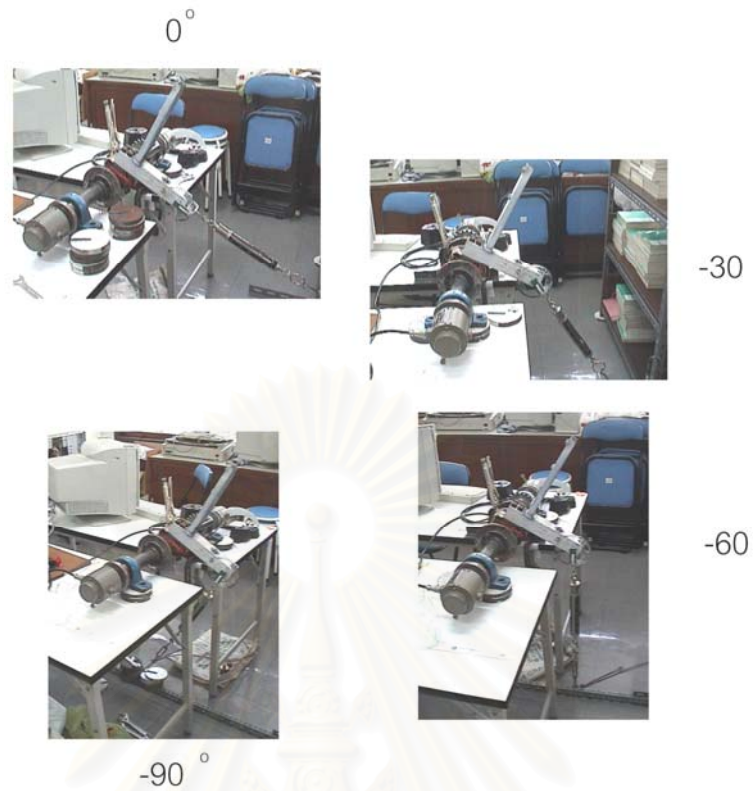


-90 °



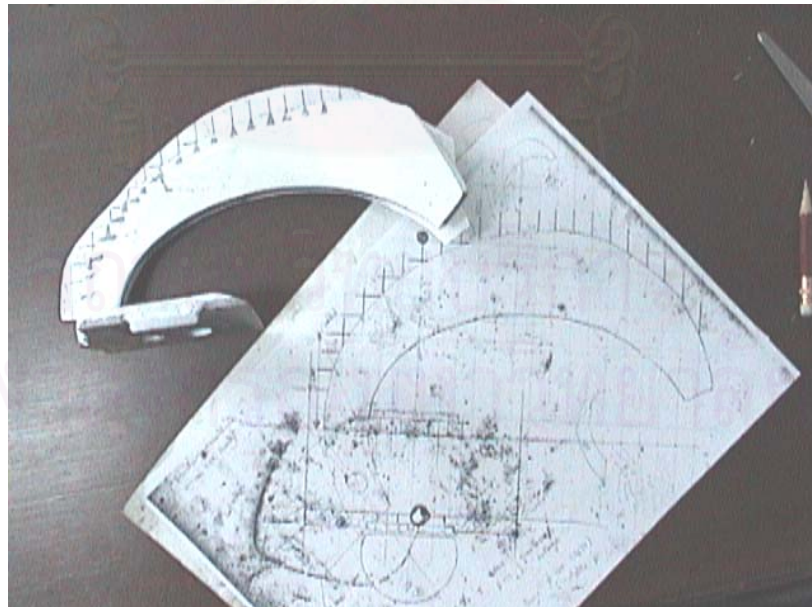
-60

รูปที่ 6.8 การสอบเทียบเมื่อมุมของ EOR เท่ากับ 30 องศา กับแรงกระทำที่มุมต่างๆ



รูปที่ 6.9 การสอบเทียบเมื่อมุมของ EOR เท่ากับ -30 องศา กับแรงกระทำกับที่มุมต่างๆ

6.3.5 การสอบเทียบเมื่อติดไบบีมิตบน EOR โดยมีแรงกระทำในทิศทางตั้งฉากและทิศทางที่ขนานกับ EOR

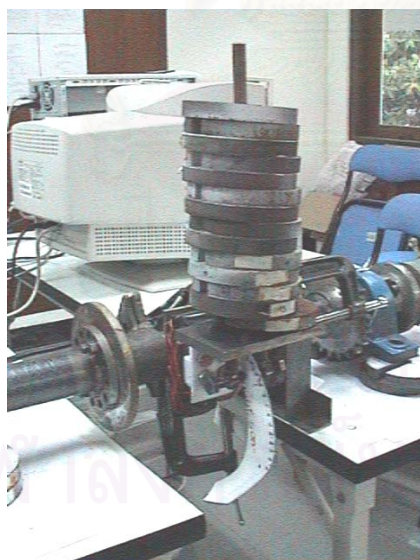


รูปที่ 6.10 ทำเครื่องหมายบอกตำแหน่งบนขอบโค้งของไบบีมิต

การสอบเทียบกับใบมีดที่ทำการทดลองกับแรงในทิศทาง F และ P (ดังแสดงในรูปที่ 6.11 และรูปที่ 6.12) เป็นการสอบเทียบโดยใช้ใบมีดที่ใช้ในการทดลองตัดทราย ก่อนการสอบเทียบต้องทำเครื่องหมายบอกตำแหน่งบนใบมีด (ดังแสดงในรูปที่ 6.10) ในทิศทาง F และทิศทาง P ที่ขอบโค้งของใบมีดที่ระยะต่างๆ โดยห่างกัน 1 เซนติเมตรเพื่อให้สามารถทำได้มากที่สุดและให้มีความแตกต่างในแต่ละตำแหน่ง



รูปที่ 6.11 การสอบเทียบใบมีดกับแรงกด F ตรงตำแหน่งแนวศูนย์กลางตามความยาวของ EOR



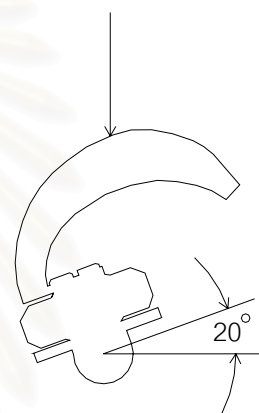
รูปที่ 6.12 การสอบเทียบใบมีดกับแรงเฉือน P ที่มีระยะห่าง 7.08 เซนติเมตรจากศูนย์กลางวงกลมของ EOR

การทดลองเพื่อศึกษาว่า EOR มีการตอบสนองอย่างไรกับใบมีด เมื่อมีแรงกด F และแรงเฉือน P และนำผลไปใช้ในการเปรียบเทียบการสอบเทียบโดยอุปกรณ์อื่นติดกับ EOR ในกรณีคล้ายกัน โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

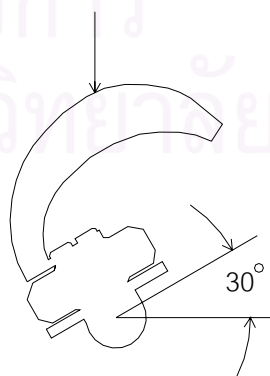
1. ติดตั้ง EOR เข้ากับเพลลาไบมีด
2. ปรับตำแหน่งของ EOR ไปที่ 0 องศา
3. ติดตั้ง ไบมีดบน EOR ซึ่งยึดติดอยู่บนเพลลาไบมีด
4. ติดตั้งแผ่นรองน้ำหนักลงบนไบมีดที่ตำแหน่งตรงกับแนวศูนย์กลางตามความยาวของ EOR (ดังแสดงในรูปที่ 6.11)
5. ทำการปรับศูนย์ (Nulling) ให้ค่าสัญญาณที่ได้จากวงจรบริดจ์ทั้ง 3 มีค่าเฉลี่ยเป็น 0
6. วางตุ้มน้ำหนักที่ละก้อนบนแผ่นรองน้ำหนัก บันทึกค่าน้ำหนักและสัญญาณความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น
7. ทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 6 จนกระทั่งน้ำหนักรวมมีค่าประมาณ 15 กิโลกรัม (เนื่องจากข้อจำกัดในด้านสมดุลของแผ่นรองน้ำหนักบนส่วนโค้งไบมีด)
8. ย้ายตำแหน่งแผ่นรองน้ำหนักไปด้านโคนไบมีดห่างจากแนวศูนย์กลางตามความยาวของ EOR 1 เซนติเมตรทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 6 – 7 (ตำแหน่งคือ แนวศูนย์กลาง - 1)
9. ย้ายตำแหน่งแผ่นรองน้ำหนักไปด้านปลายไบมีดห่างจากแนวศูนย์กลางตามความยาวของ EOR 1 เซนติเมตรทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 6 – 7 (ตำแหน่งคือ แนวศูนย์กลาง + 1)
10. ย้ายตำแหน่งแผ่นรองน้ำหนักไปด้านปลายไบมีดห่างจากแนวศูนย์กลางตามความยาวของ EOR เพิ่มทีละ 1 เซนติเมตรจนครบ 8 เซนติเมตร (ตำแหน่งคือ แนวศูนย์กลาง +8) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ปลายไบมีดเริ่มตัดโค้ง ทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 6 – 7
11. ปรับตำแหน่งของ EOR ไปที่ -90 องศา
12. ติดตั้งแผ่นรองน้ำหนักลงบนไบมีดที่ระยะ 5.08 เซนติเมตรห่างจากศูนย์กลางวงกลมของ EOR ทำซ้ำขั้นตอนที่ 5 – 7
13. ย้ายตำแหน่งแผ่นรองน้ำหนักไปด้านปลายไบมีดห่างจากแนวศูนย์กลางวงกลมของ EOR เพิ่มทีละ 1 เซนติเมตรคือ 6.08, 7.08 (ดังแสดงในรูปที่ 6.12), 8.08 และ 9.08 เซนติเมตร (ถูกจำกัดด้วยส่วนโค้งของไบมีด) ทำซ้ำขั้นตอนที่ 5 – 7

6.3.6 การสอบเทียบเมื่อติดไวมิดโดยเปลี่ยนตำแหน่งมุม EOR ในทิศทางต่างๆ

การสอบเทียบกับไวมิดเมื่อเปลี่ยนมุม EOR ทำที่มุม 20 และ 30 องศา (จากข้อจำกัดของส่วนโค้งไวมิดและลักษณะของแผ่นรองน้ำหนัก) โดยมีแรงในมุม 90 องศากระทำ (ดังแสดงในรูปที่ 6.13 และ รูปที่ 6.14) ตำแหน่งที่แรงกระทำคือ บนขอบโค้งของไวมิดที่ใช้ในการสอบเทียบแรงในแนว F (เครื่องหมายบอกระยะห่างจากศูนย์กลางตามความยาวของ EOR)



รูปที่ 6.13 การสอบเทียบกับไวมิดเมื่อ EOR ทำมุม 20 องศาที่ตำแหน่งระยะห่างจากศูนย์กลางตามความยาวของ EOR 2 เซนติเมตร



รูปที่ 6.14 การสอบเทียบกับไวมิดเมื่อ EOR ทำมุม 30 องศาที่ตำแหน่งระยะห่างจากศูนย์กลางตามความยาวของ EOR 3 เซนติเมตร

การทดลองเพื่อศึกษาว่า EOR มีการตอบสนองอย่างไรกับใบมีดเมื่อเปลี่ยนมุม EOR ในทิศทางต่างๆ และนำผลไปใช้ในการเปรียบเทียบการสอบเทียบโดยอุปกรณ์อื่นติดกับ EOR ในกรณีคล้ายกัน โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. ติดตั้ง EOR เข้ากับเพลลาใบมีด
2. ปรับตำแหน่งของ EOR ไปที่ 20 องศา
3. ติดตั้งใบมีดบน EOR ซึ่งยึดติดอยู่บนเพลลาใบมีด
4. ติดตั้งแผ่นรองน้ำหนักลงบนใบมีดที่ตำแหน่งระยะห่างจากแนวศูนย์กลางตามความยาวของ EOR 2 เซนติเมตร (ดังแสดงในรูปที่ 6.13)
5. ทำการปรับศูนย์ (Nulling) ให้ค่าสัญญาณที่ได้จากวงจรถบรีดจ์ทั้ง 3 มีค่าเฉลี่ยเป็น 0
6. วางตุ้มน้ำหนักที่ละก้อนบนแผ่นรองน้ำหนัก บันทึกค่าน้ำหนักและสัญญาณความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น
7. ทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 6 จนกระทั่งน้ำหนักรวมมีค่าประมาณ 15 กิโลกรัม
8. ย้ายตำแหน่งแผ่นรองน้ำหนักไปด้านปลายใบมีดตามตำแหน่งห่างจากแนวศูนย์กลางตามความยาวของ EOR 3, 4, 5, 6 และ 7 เซนติเมตร ทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 6 – 7
9. ปรับตำแหน่งของ EOR ไปที่ 30 องศา (ดังแสดงในรูปที่ 6.14)
10. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 4 – 8 โดยใช้ตำแหน่งห่างจากแนวศูนย์กลางตามความยาวของ EOR 7 และ 8 เซนติเมตรตามลำดับ

6.4 การทดลองเพื่อวัดแรงกระทำที่ใบมีด

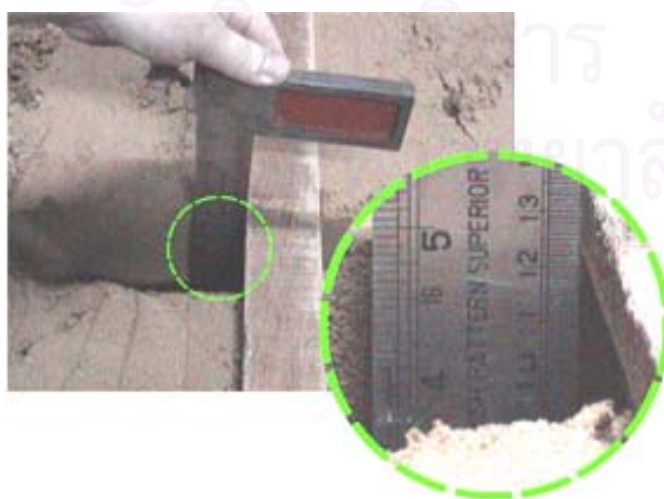
ขั้นตอนในการทดลองเพื่อวัดแรงต้านทานที่ใบมีดจอบหมุน แบ่งเป็น

6.4.1 ขั้นตอนการเตรียมทราย

1. ตั้งระดับความลึกในการพรวน ในการทดลองจะตั้งระดับความลึกในการพรวนเพียงครั้งเดียว เนื่องจากเป็นการทดลองโดยใช้ใบมีดชนิดตัวซื่ออย่างเดียวและที่ความลึกในการพรวนเดียว คือ 12 เซนติเมตร การตั้งระดับความลึกทำโดยการเตรียมผิวของทรายให้ได้ระดับโดยใบมีดปาดระดับของชุดอุปกรณ์ทดลอง จากนั้นทำการทดลองให้ใบมีดตัดทรายให้ได้ระยะพอประมาณ ทำการวัดความลึก (ดังแสดงในรูปที่ 6.15) ถ้าความ

ลึกไม่พอดี ทำการปรับสกรูในการตั้งระดับความลึกในการพรวนของชุดอุปกรณ์ทดลอง ทำซ้ำจนได้ระดับความลึก 12 เซนติเมตร

2. เตรียมทรายในกระบะ ต้องให้ทรายมีความชื้นที่พอเหมาะเพื่อที่สามารถอัดทรายให้มีความแน่น ซึ่งสามารถเพิ่มความชื้นให้ทรายโดยการพรมน้ำ
3. ย่อยทรายให้ร่วนในบริเวณที่ทำการทดลอง ความกว้างประมาณขนาดหน้าตัดของรถอัดโดยให้แนวของการตัดทรายของใบมีดอยู่ประมาณตรงกลาง ปาดให้ทรายมีความเรียบพอประมาณโดยที่มีความสูงมากกว่าขอบกระบะเล็กน้อย ใช้รถอัดทรายไปมาประมาณ 10 เที่ยว จากนั้นวัดความแน่นของทราย (ดังแสดงในรูปที่ 6.16) ที่ความลึกประมาณ 12 เซนติเมตร ดูว่าได้ค่าประมาณ 20-22 kgf หรือไม่ (เป็นการตรวจสอบก่อนว่าความแน่นของทรายหลังการปาดระดับแล้วน่าจะมีค่าใกล้เคียงกัน)
4. ถ้าความแน่นที่ได้น้อยเกินไปให้อัดทรายเพิ่มและทำการวัดความแน่นใหม่หรือถ้าความแน่นมากไปให้ทำการย่อยทรายใหม่
5. ทำการปาดผิวทรายตามระดับที่กำหนดไว้ ทำการวัดความแน่นของทราย 4 ตำแหน่งที่ระดับความลึก 5, 10 และ 15 เซนติเมตร (เพื่อให้ครอบคลุมถึงความลึกในการพรวนและผลการวัดความแน่นของทรายแสดงในภาคผนวก ก) เพื่อดูความแน่นของทรายให้มีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกันที่ระดับความลึกเดียวกัน เพื่อให้สามารถตัดผลเนื่องจากความแน่นของทรายที่มีต่อแรงที่เกิดขึ้นที่ใบมีด ถ้าความแน่นของทรายไม่ใกล้เคียงกัน ทำซ้ำในขั้นตอน 3 - 4



รูปที่ 6.15 การวัดความลึกในการพรวนทราย



รูปที่ 6.16 การวัดความแน่นของทราย

6.4.2 ขั้นตอนการทดลองพรวนทรายโดยใช้ไบริมิตไบเดียว

1. ติดตั้งไบริมิตบน EOR ซึ่งยึดติดอยู่บนเพลลาไบริมิต
2. ปรับ EOR ให้อยู่ตำแหน่ง 0 ทำการปรับศูนย์ (Nulling) ให้ค่าสัญญาณที่ได้จากวงจรบริดจ์ทั้ง 3 มีค่าเฉลี่ยเป็น 0
3. หลังจากเตรียมทรายเรียบร้อยแล้วจึงเริ่มทดลองโดยเก็บสัญญาณทั่วไปประมาณ 5 วินาทีแล้วจึงเริ่มให้ไบริมิตหมุนตัดอากาศประมาณ 10 รอบเพื่อให้ไบริมิตหมุนด้วยความเร็วคงที่ และเพื่อเก็บค่าความต่างศักย์ทางจลน์อย่างอิสระแล้วจึงเริ่มเคลื่อนกระบะ
4. เมื่อกระบะเคลื่อนที่จนสุดกระบะจะหยุดอัตโนมัติแล้วจึงหยุดเพลลาไบริมิตเคลื่อนกระบะเข้าสู่ที่เดิมเพื่อเตรียมทรายสำหรับการทดลองครั้งต่อไป
5. ถ่ายภาพไบริมิตหลังจากพรวนเสร็จเพื่อตรวจสอบการขีดสีที่เกิดขึ้นที่ผิวของไบริมิตด้านหน้า ด้านข้าง และด้านหลัง (ดังแสดงในรูปที่ 6.17)
6. เปลี่ยนความเร็วรอบหมุนของเพลลาไบริมิตหรือเปลี่ยนระยะเวลาการตัดแล้วทำการทดลองเช่นเดิม



front

a) ฝิวด้านหน้าของไบนีต



side

b) ฝิวด้านข้างของไบนีต



back

c) ฝิวด้านหลังของไบนีต

รูปที่ 6.17 ภาพถ่ายฝิวของไบนีตที่ด้านหน้า ด้านข้าง และด้านหลัง

6.4.3 ขั้นตอนการทดลองพรนทรายโดยมีไบนีตข้างเคียง

1. ติดตั้งไบนีตบน EOR และติดไบนีตข้างเคียงให้อยู่ในรูปแบบต่างๆ ที่ต้องการทดสอบ
2. ทำซ้ำขั้นตอน 2 – 5 ของการทดลองพรนทรายโดยใช้ไบนีตใบเดียว
3. เปลี่ยนรูปแบบการจัดเรียงไบนีต แล้วทำการทดลองซ้ำ

6.5 การทดลองเพื่อวัดแรงต้านทานที่กระทำกับไบนีตกรณีไบนีตใบเดียว

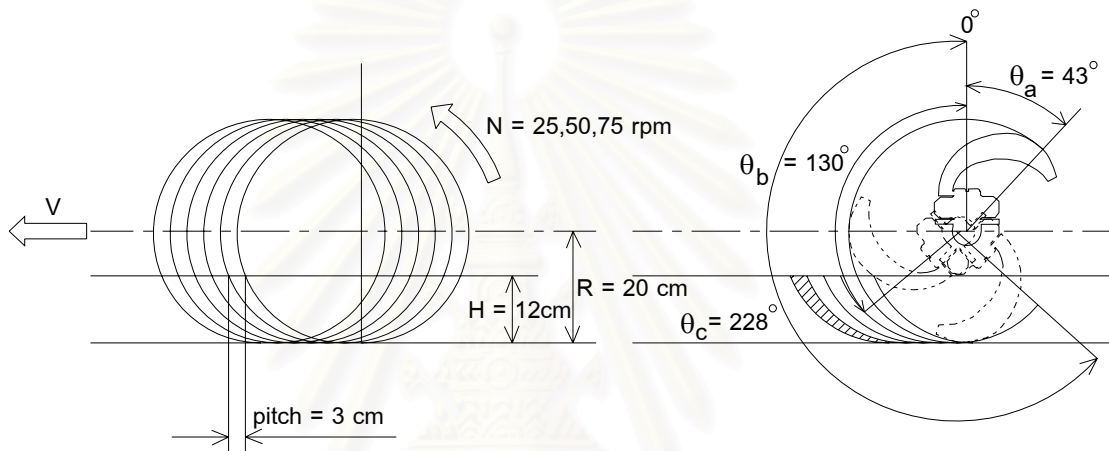
การทำงานของเครื่องพรนจอบหมุนขึ้นอยู่กับพื้นที่และพืชที่ต้องการปลูก ในพื้นที่ที่ดินมีความแข็งมากจะใช้ระยะการตัดดินสั้นเพื่อลดแรงต้านทานที่เกิดขึ้น ส่วนพื้นที่ที่ดินอ่อนสามารถใช้ระยะการตัดดินที่ยาวขึ้นเพื่อให้สามารถทำงานได้เร็วขึ้น และสำหรับการปลูกพืชบางชนิด เช่น ผักต่างๆ ต้องการก่อนดินที่เล็ก ระยะการตัดดินจะสั้น

การทดลองเพื่อศึกษาว่ามีลักษณะแรงต้านทานอย่างไรกับระยะการตัดทราย (Tillage pitch) 3, 6 และ 9 เซนติเมตร ที่ความเร็วรอบหมุน คือ 25, 50 และ 75 รอบต่อนาที (ดังแสดงในรูปที่ 6.18 – รูปที่ 6.20) รวมการทดลองทั้งสิ้น 9 การทดลอง โดยทำการเปรียบเทียบ

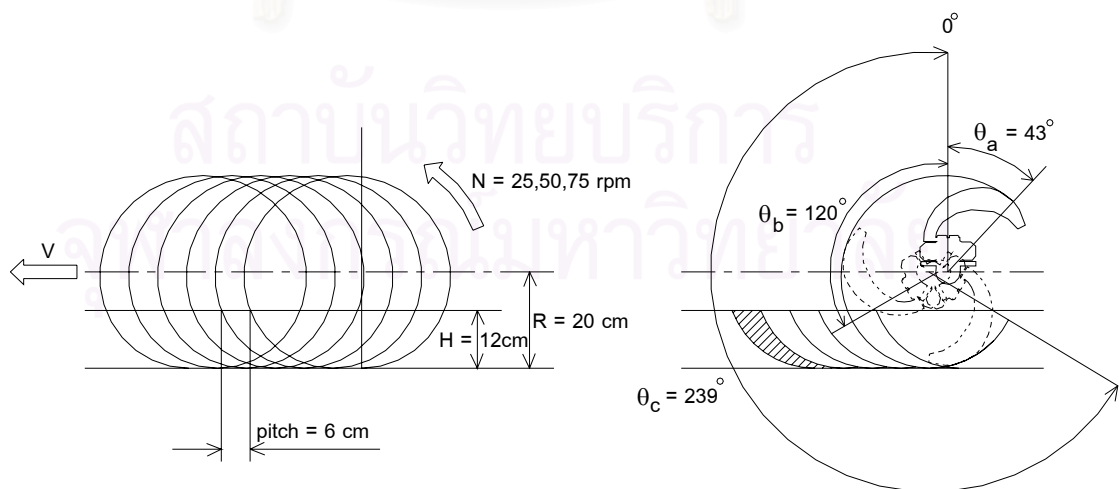
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ที่ระยะการตัดทแยงเท่ากัน ความเร็วในการหมุนต่างกัน มีรูปแบบของการตัดทแยงเหมือนกันดังแสดงในรูปที่ 6.18 (รูปซ้าย) เป็นรูปแบบที่มีระยะการตัดทแยง 3 เซนติเมตรที่ความเร็วรอบ 25, 50 และ 75 รอบต่อนาทีโดยที่ความเร็วกระะทแยง (V) มีค่าเปลี่ยนตามความเร็วรอบ ส่วนพื้นที่ตัดทแยงในแต่ละรอบคือพื้นที่แรงแกา (รูปขวา) มุมปลายใบมีดที่ตำแหน่งมุม 0 องศา (θ_a) มุมที่ส่วนของใบมีดเริ่มตัดทแยงในแต่ละรอบ (θ_b) มุมที่ทุกส่วนของใบมีดพ้นจากการตัดทแยง (θ_c) และสันดินที่เหลือจากการพรวน (ระยะ a ในรูปที่ 6.20) มีค่าเท่ากัน

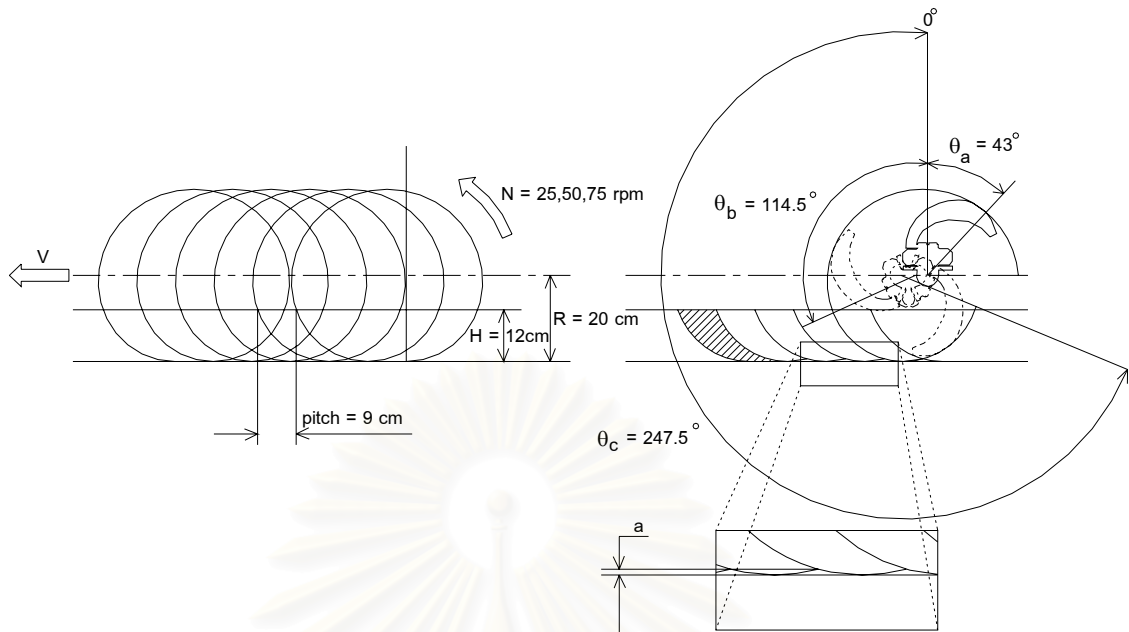
2. ที่ระยะการตัดทแยงต่างกัน ความเร็วรอบหมุนเท่ากัน



รูปที่ 6.18 รูปแบบการตัดทแยงของใบมีดใบเดียวที่ความเร็วรอบ 25,50,75 รอบต่อนาที ระยะการตัดทแยง 3 เซนติเมตร



รูปที่ 6.19 รูปแบบการตัดทแยงของใบมีดใบเดียวที่ความเร็วรอบ 25,50,75 รอบต่อนาที ระยะการตัดทแยง 6 เซนติเมตร



รูปที่ 6.20 รูปแบบการตัดทรายของใบมีดใบเดียวที่ความเร็วรอบ 25,50,75 รอบต่อนาที ระยะการตัดทราย 9 เซนติเมตร

6.6 การทดลองเพื่อวัดแรงที่กระทำกับใบมีดกรณีมีใบมีดข้างเคียง

การใช้งานของเครื่องพรวนจอบหมุนมีใบมีดติดอยู่บนเพลาลอยหลายใบ สำหรับใบมีดแบบตัวซี่ส่วนใหญ่จะติดใบมีดเพียงใบเดียวในหนึ่งระนาบ ส่วนใบมีดข้างเคียงจะติดทำมุมต่างกันไปเพื่อให้กระจายแรงที่ต้องใช้ในการพรวน ลักษณะของก้อนดิน ความราบเรียบของพื้นที่หลังการพรวน และสมดุลของเครื่องพรวนในการทำงาน

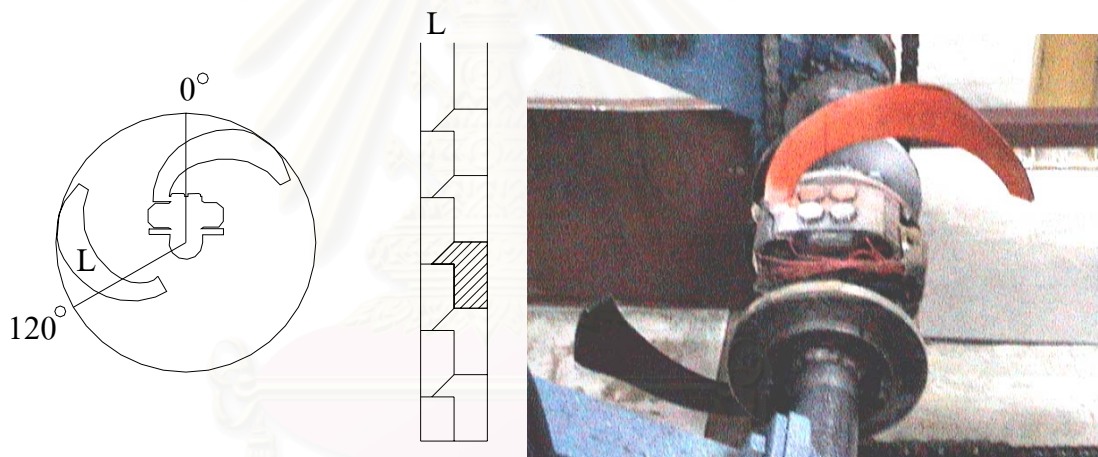
เนื่องจากใบมีดที่วัดแรงมีรูปแบบการตัดทรายเท่ากันเหมือนกับกรณีใบมีดใบเดียวกรณีที่ความเร็วรอบและระยะการตัดทรายเท่ากัน แต่มีรอยการตัดทรายต่างกันเนื่องจากการจัดเรียงใบมีดข้างเคียงด้านซ้ายและขวา

การทดลองเพื่อศึกษาว่าที่ความเร็วรอบหมุน 75 รอบต่อนาที ระยะการตัดทราย 9 เซนติเมตรเท่ากัน แรงต้านทานที่เกิดขึ้นจากการจัดเรียงใบมีดข้างเคียงที่ทำมุมต่างกันมีลักษณะอย่างไร โดยทำการทดลองเปรียบเทียบ

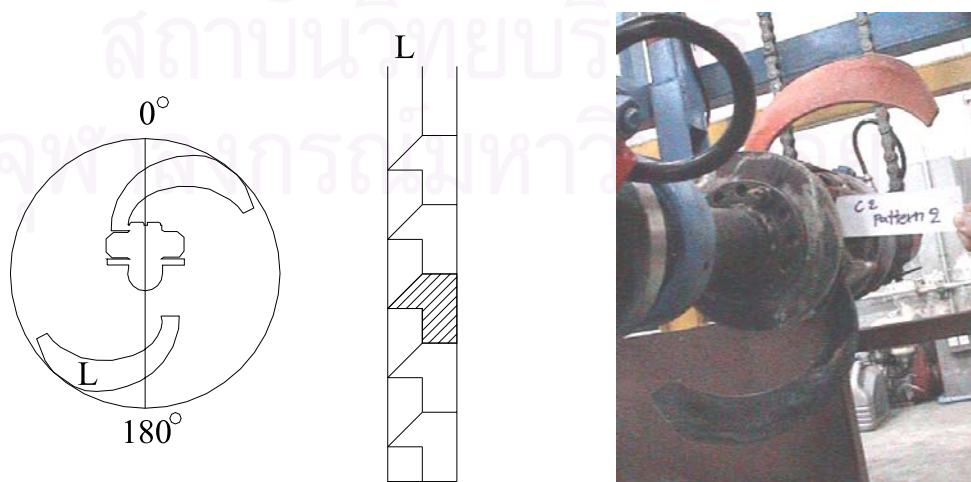
6.6.1 กรณีมีใบมีดข้างเคียงด้านซ้ายอย่างเดียว เมื่อค่า P'a เปลี่ยน

เลือกรอยการตัดทรายคือ เมื่อ

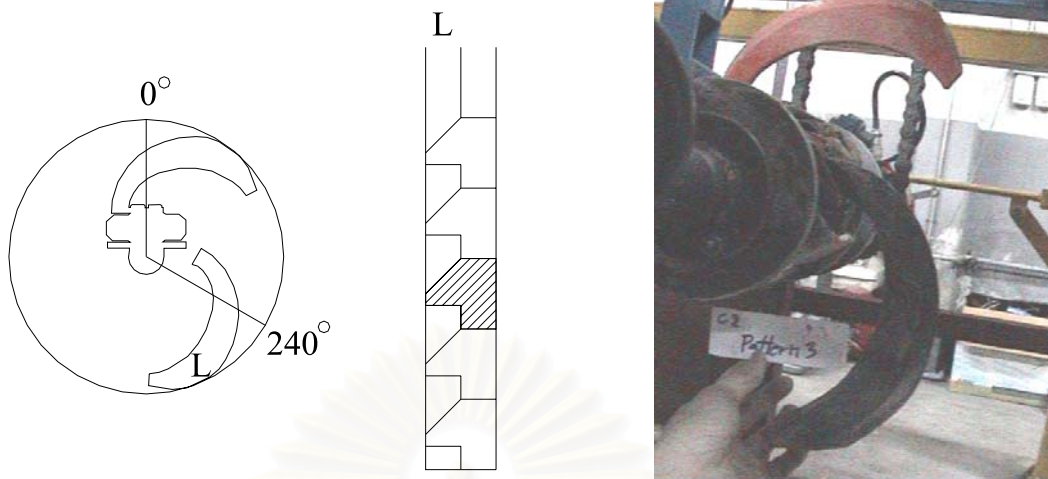
1. P'a น้อยกว่าครึ่งของระยะการตัดทราย รูปแบบที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 6.21 ใบมีดด้านซ้าย คือใบมีดที่อยู่ข้างซ้ายทำมุม 120 องศา กับใบมีดที่วัดแรง (รูปใบมีดที่มีอักษร L ในรูปซ้าย) รอยการตัดทรายที่เกิดขึ้นจากใบมีดที่วัดแรงคือพื้นที่ที่แรง (รูปกลาง) และการจัดเรียงใบมีดที่ทดลองจริง (รูปขวา)
2. P'a เท่ากับครึ่งหนึ่งของระยะการตัดทราย รูปแบบที่ 2 (ดังแสดงในรูปที่ 6.22)
3. P'a มากกว่าครึ่งหนึ่งของระยะการตัดทราย รูปแบบที่ 3 (ดังแสดงในรูปที่ 6.23)



รูปที่ 6.21 รูปแบบการจัดเรียงใบมีดและรอยการตัดทราย รูปแบบที่ 1



รูปที่ 6.22 รูปแบบการจัดเรียงใบมีดและรอยการตัดทราย รูปแบบที่ 2

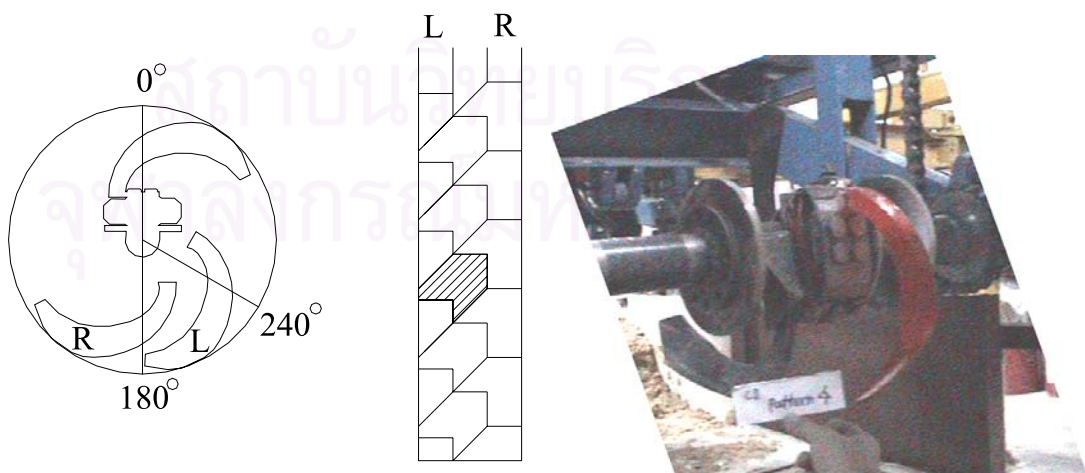


รูปที่ 6.23 รูปแบบการจัดเรียงใบมีดและรอยการตัดทลาย รูปแบบที่ 3

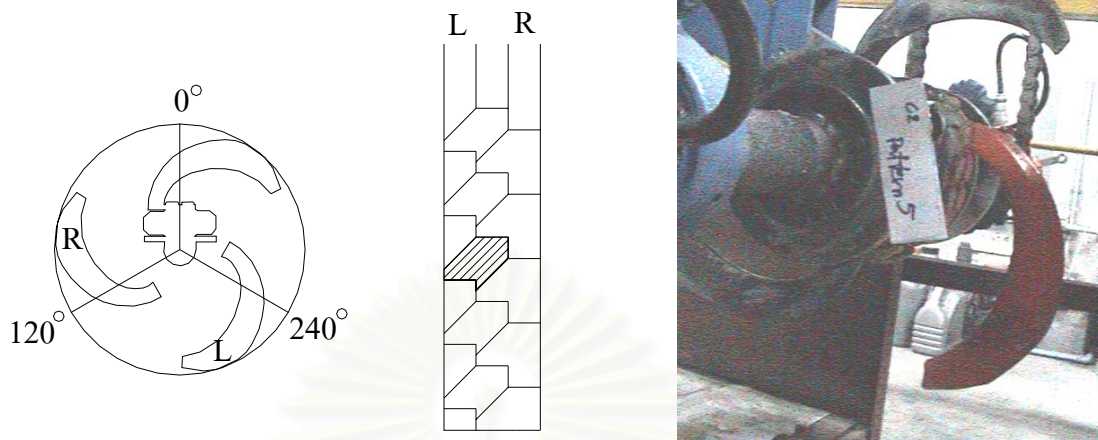
6.6.2 กรณีมีใบมีดข้างเคียงด้านซ้ายและด้านขวา เมื่อค่า $P'a$ คงที่และค่า P_a เปลี่ยน โดยค่า $P'a$ มีค่ามากกว่าครึ่งหนึ่งของระยะการตัดทลาย

เลือกรอยการตัดทลายคือ เมื่อ

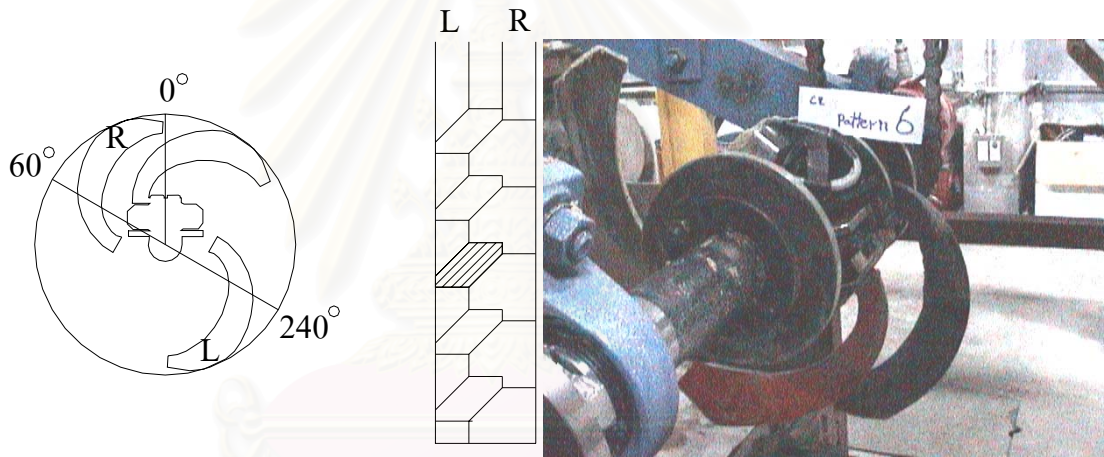
1. P_a เท่ากับครึ่งหนึ่งของระยะการตัดทลาย (รูปแบบที่ 4 ดังแสดงในรูปที่ 6.24)
2. P_a น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของระยะการตัดทลาย และองศาของใบมีดขวาห่างจากใบมีดที่วัดแรง 120 องศา (รูปแบบที่ 5 ดังแสดงในรูปที่ 6.25)
3. P_a น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของระยะการตัดทลาย และองศาของใบมีดขวาห่างจากใบมีดที่วัดแรง 60 องศา (รูปแบบที่ 6 ดังแสดงในรูปที่ 6.26)



รูปที่ 6.24 รูปแบบการจัดเรียงใบมีดและรอยการตัดทลาย รูปแบบที่ 4



รูปที่ 6.25 รูปแบบการจัดเรียงใบมีดและรอยการตัดทราย รูปแบบที่ 5

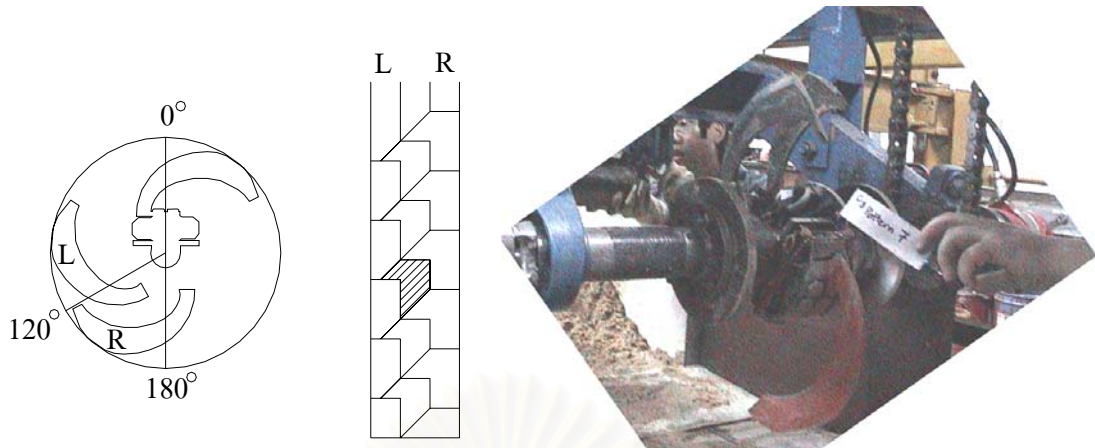


รูปที่ 6.26 รูปแบบการจัดเรียงใบมีดและรอยการตัดทราย รูปแบบที่ 6

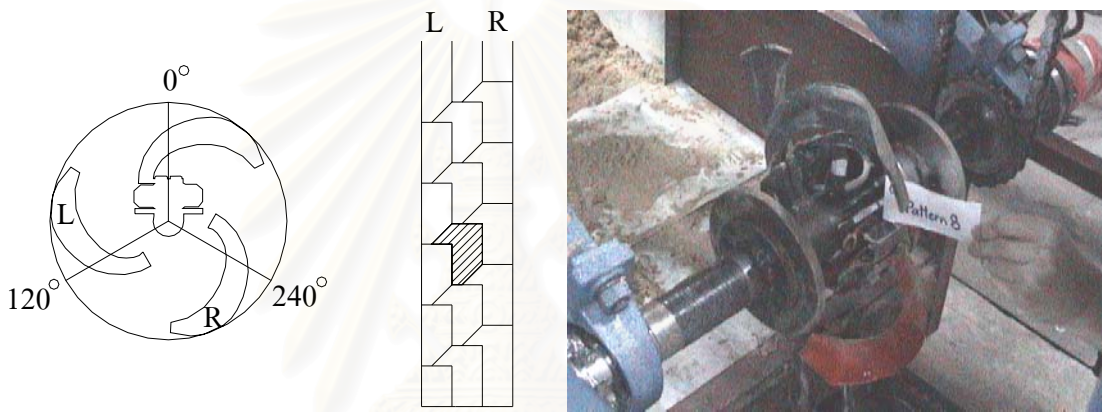
6.6.3 กรณีมีใบมีดข้างเคียงด้านซ้ายและด้านขวา เมื่อค่า $P'a$ คงที่และค่า P_a เปลี่ยน โดยค่า $P'a$ มีค่าน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของระยะการตัดทราย

เลือกรอยการตัดทรายคือ เมื่อ

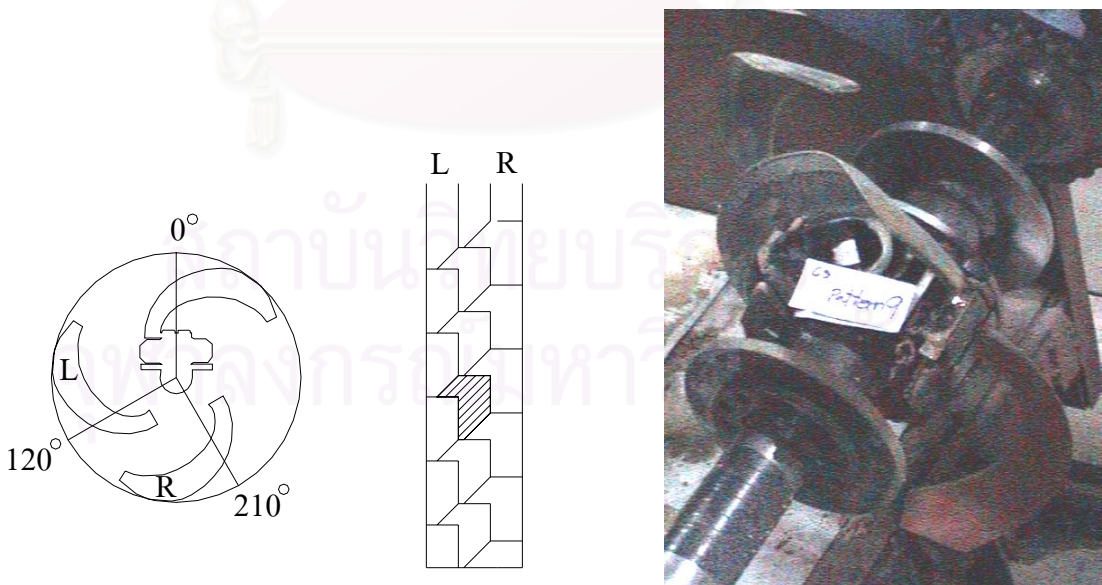
1. P_a เท่ากับครึ่งหนึ่งของระยะการตัดทราย (รูปแบบที่ 7 ดังแสดงในรูปที่ 6.27)
2. P_a มากกว่าครึ่งหนึ่งของระยะการตัดทราย และองศาของใบมีดขวาห่างจากใบมีดที่วัดแรง 240 องศา (รูปแบบที่ 8 ดังแสดงในรูปที่ 6.28)
3. P_a มากกว่าครึ่งหนึ่งของระยะการตัดทราย และองศาของใบมีดขวาห่างจากใบมีดที่วัดแรง 210 องศา (รูปแบบที่ 9 ดังแสดงในรูปที่ 6.29)



รูปที่ 6.27 รูปแบบการจัดเรียงใบมีดและรอยการตัดทราย รูปแบบที่ 7



รูปที่ 6.28 รูปแบบการจัดเรียงใบมีดและรอยการตัดทราย รูปแบบที่ 8



รูปที่ 6.29 รูปแบบการจัดเรียงใบมีดและรอยการตัดทราย รูปแบบที่ 9

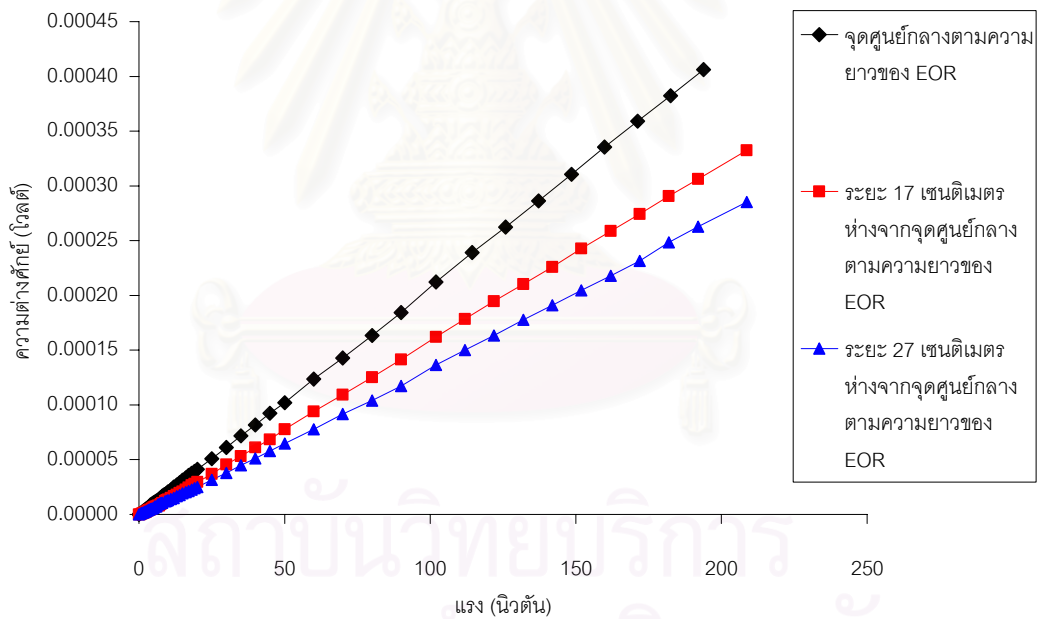
บทที่ 7

ผลการทดลอง

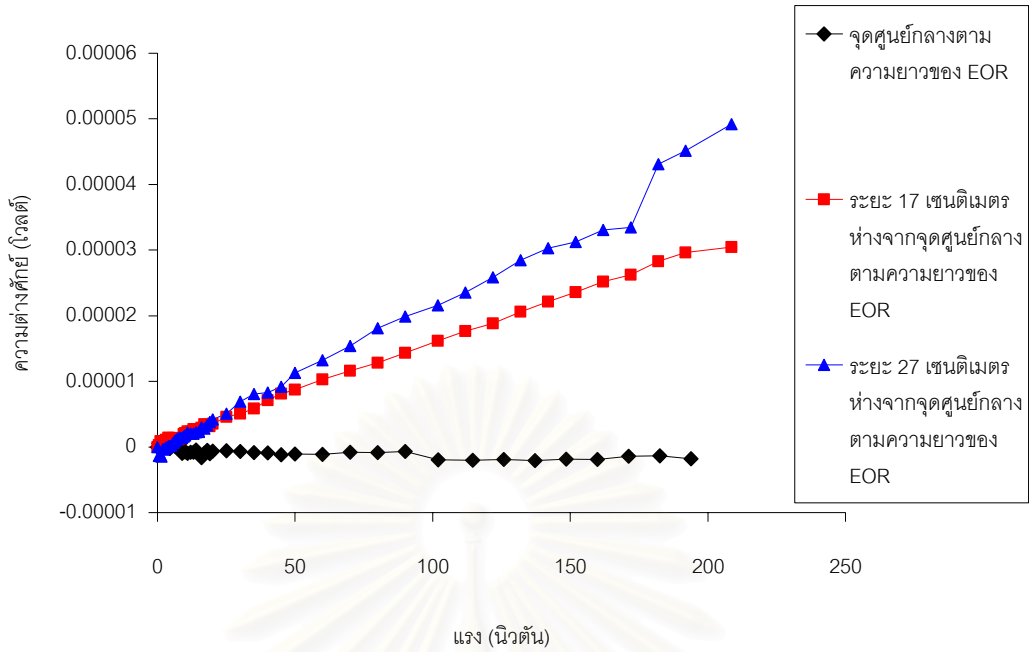
ข้อมูลที่ได้จากการทดลองแสดงอยู่ในรูปกราฟความสัมพันธ์ของความต่างศักย์กับแรงในการสอบเทียบ และความสัมพันธ์ของความต่างศักย์กับเวลาในการทดลองตัดทราย โดยสมการความถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลการสอบเทียบ EOR แสดงประกอบไว้ในภาคผนวก ข

7.1 ผลการสอบเทียบ EOR

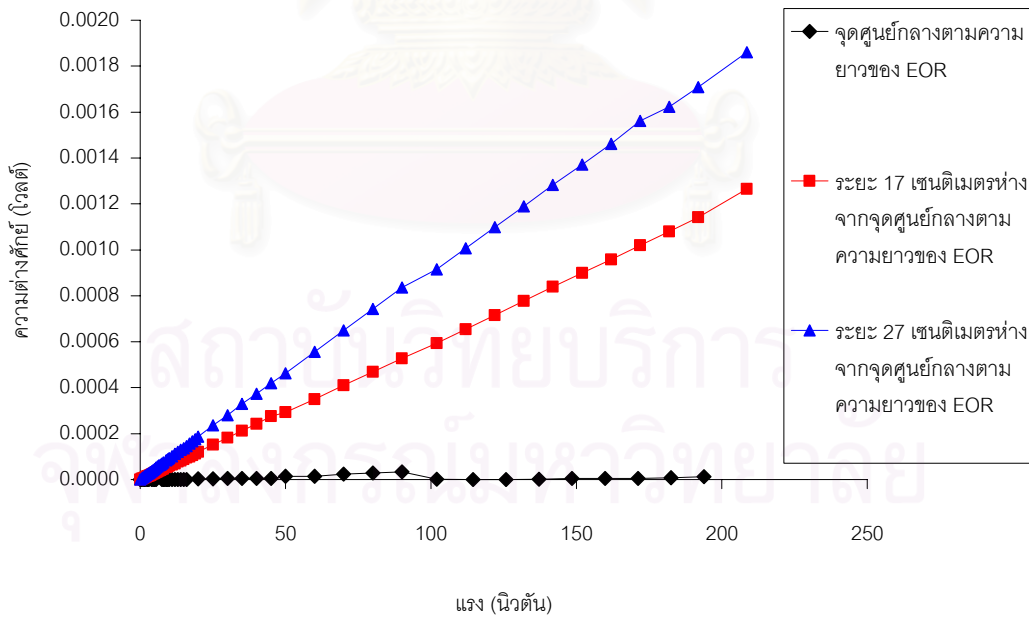
7.1.1 การสอบเทียบกับแรงในทิศทางตั้งฉากกับ EOR (แรงกด F)



รูปที่ 7.1 ผลการสอบเทียบกับแรงกด F ที่ระยะห่างต่างๆ จากจุดศูนย์กลางตามความยาวของ EOR ของวงจร F

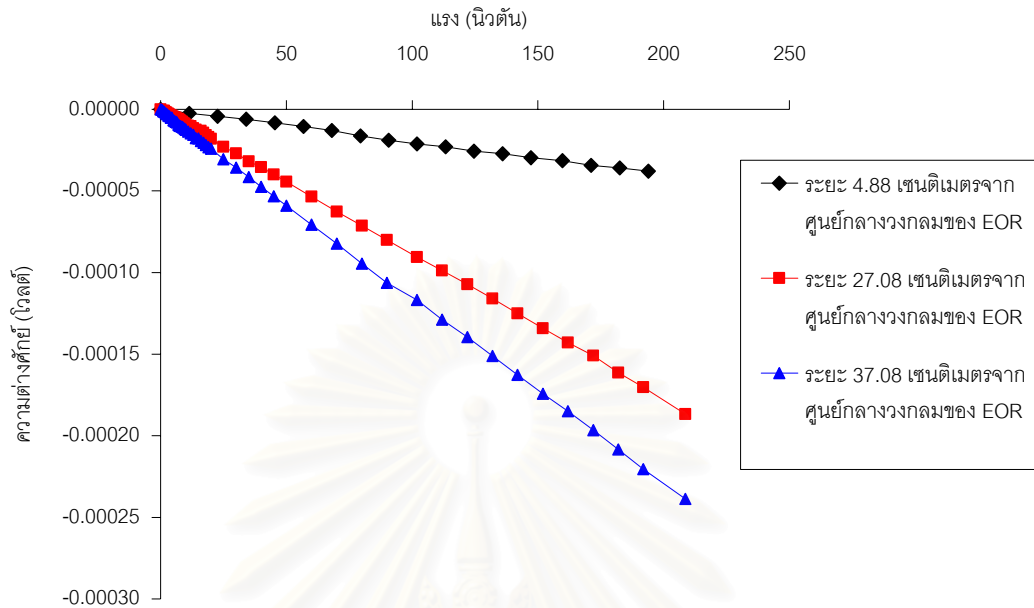


รูปที่ 7.2 ผลการสอบเทียบกับแรงกด F ที่ระยะห่างต่างๆ จากจุดศูนย์กลางตามความยาวของ EOR ของวงจร P

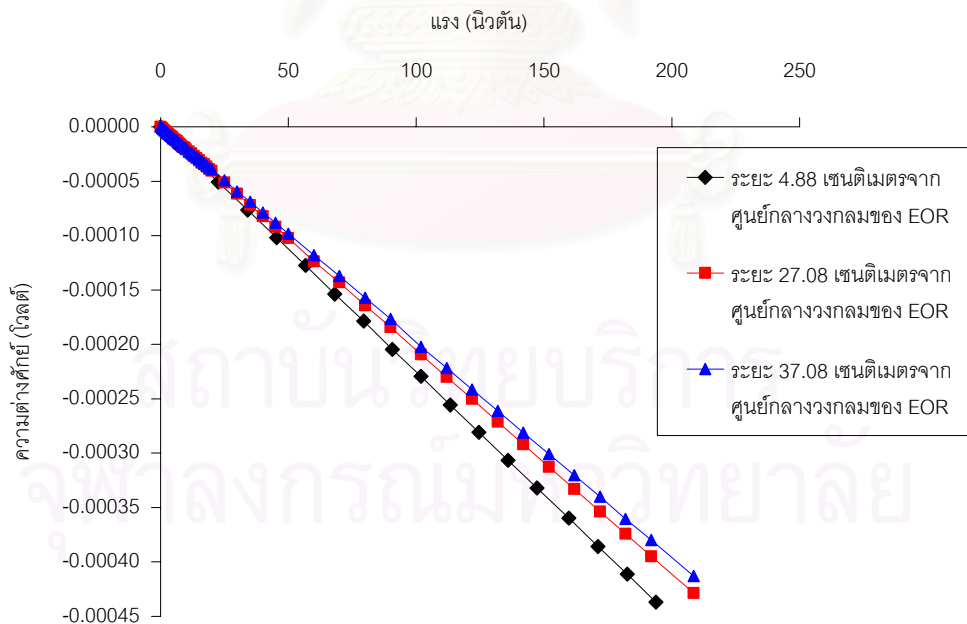


รูปที่ 7.3 ผลการสอบเทียบกับแรงกด F ที่ระยะห่างต่างๆ จากจุดศูนย์กลางตามความยาวของ EOR ของวงจร M

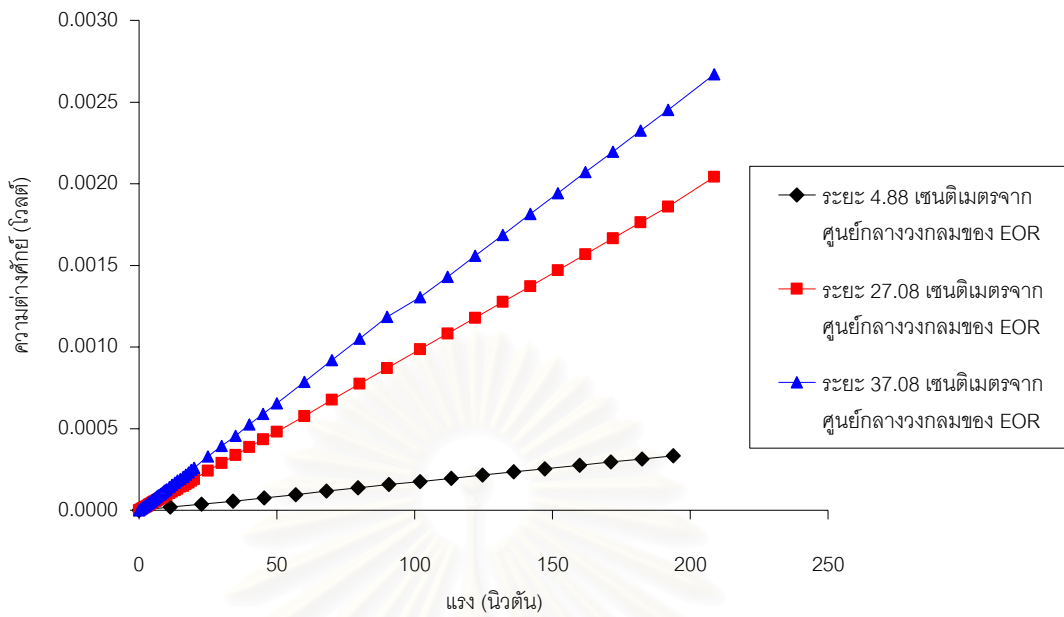
7.1.2 การสอบเทียบกับแรงในทิศทางขนานกับ EOR (แรงเฉือน P)



รูปที่ 7.4 ผลการสอบเทียบกับแรงเฉือน P ที่ระยะห่างต่างๆ จากศูนย์กลางวงกลมของ EOR ของ วงจร F

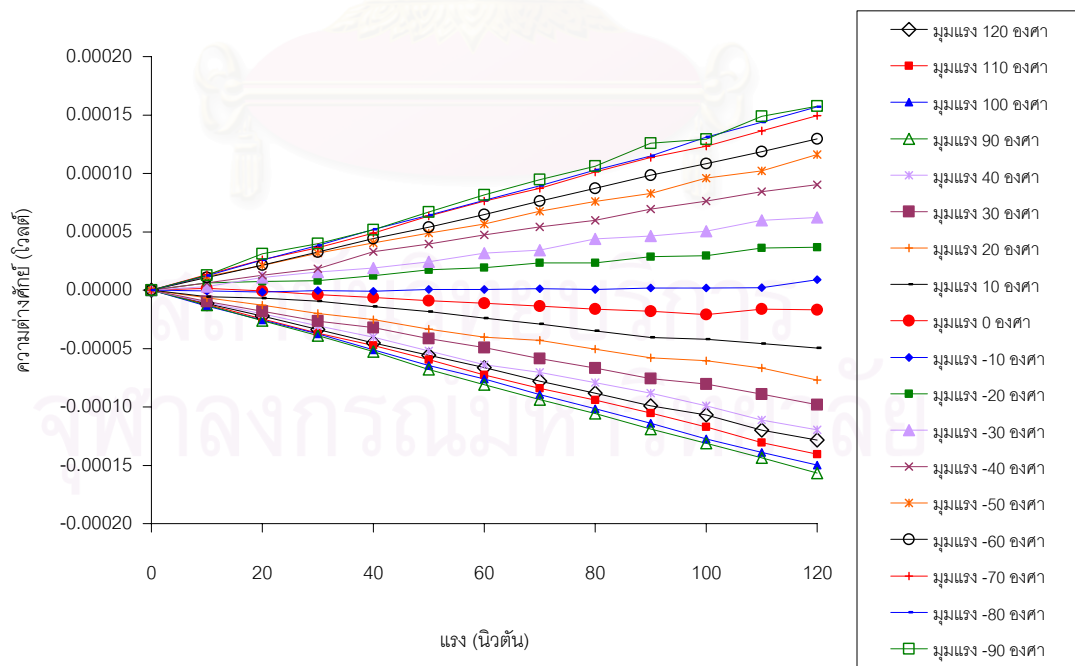


รูปที่ 7.5 ผลการสอบเทียบกับแรงเฉือน P ที่ระยะห่างต่างๆ จากศูนย์กลางวงกลมของ EOR ของ วงจร P

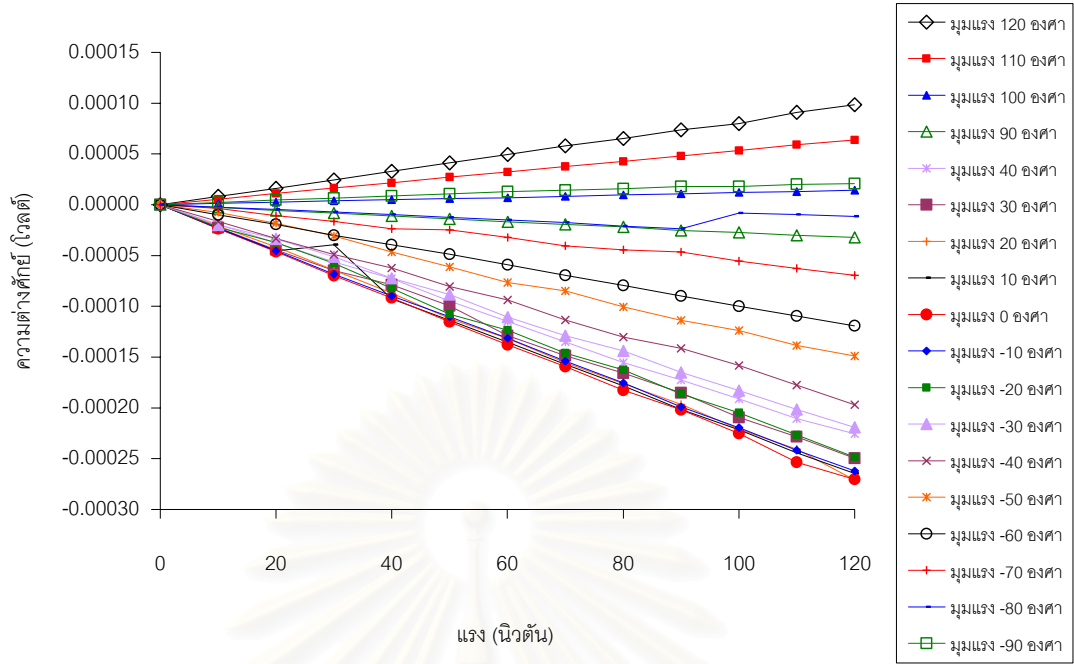


รูปที่ 7.6 ผลการสอบเทียบกับแรงเฉือน P ที่ระยะห่างต่างๆ จากศูนย์กลางวงกลมของ EOR ของ วงจร M

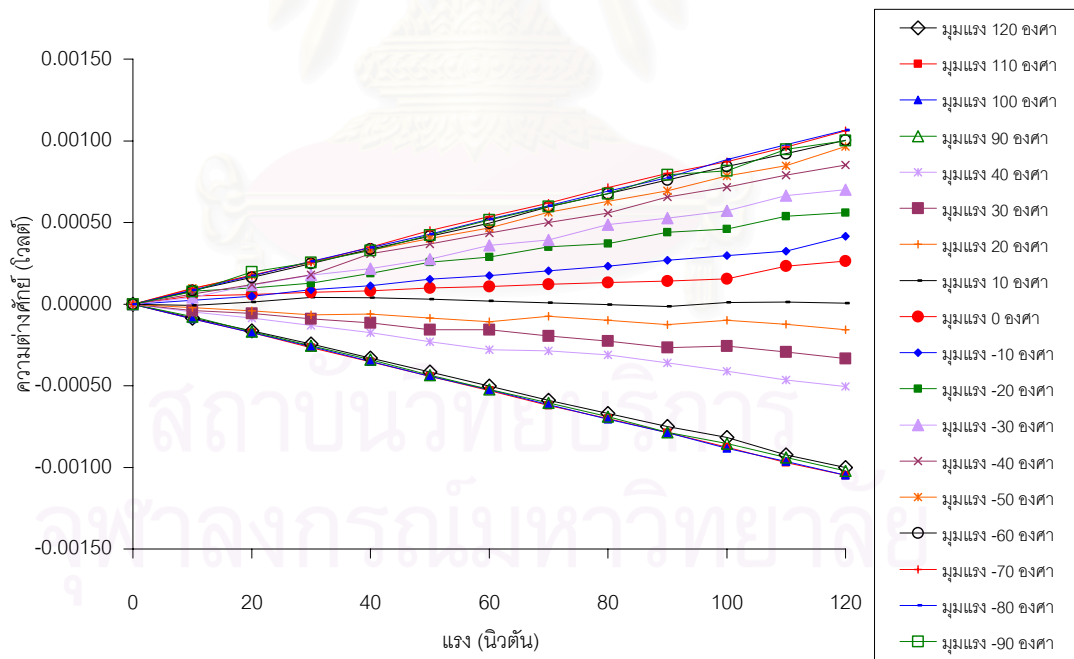
7.1.3 การสอบเทียบกับแรงที่มากกระทำกับ EOR ในทิศทางต่างๆ



รูปที่ 7.7 ผลการสอบเทียบกับแรงที่มากกระทำกับ EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจร F

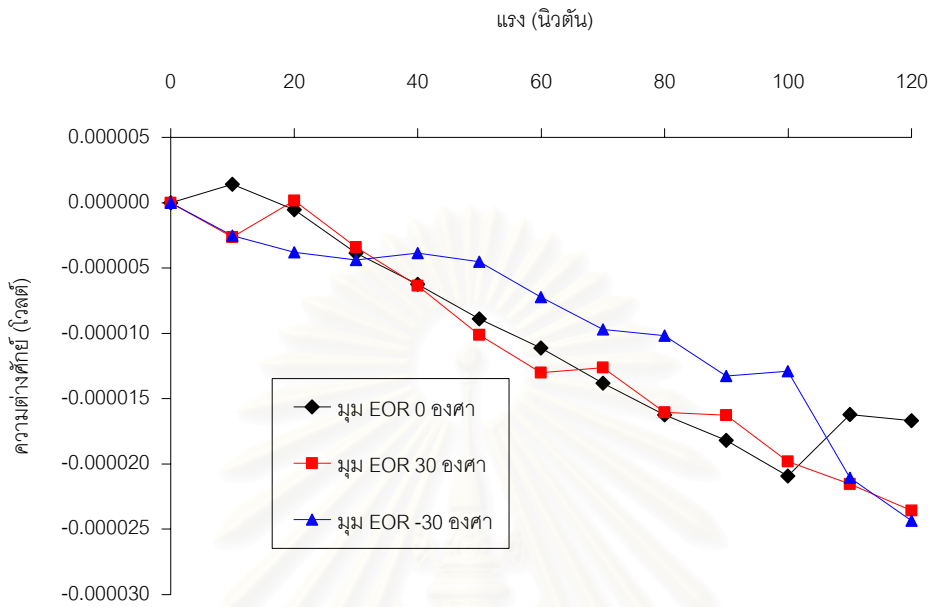


รูปที่ 7.8 ผลการสอบเทียบกับแรงที่มากกระทำกับ EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจรถ P

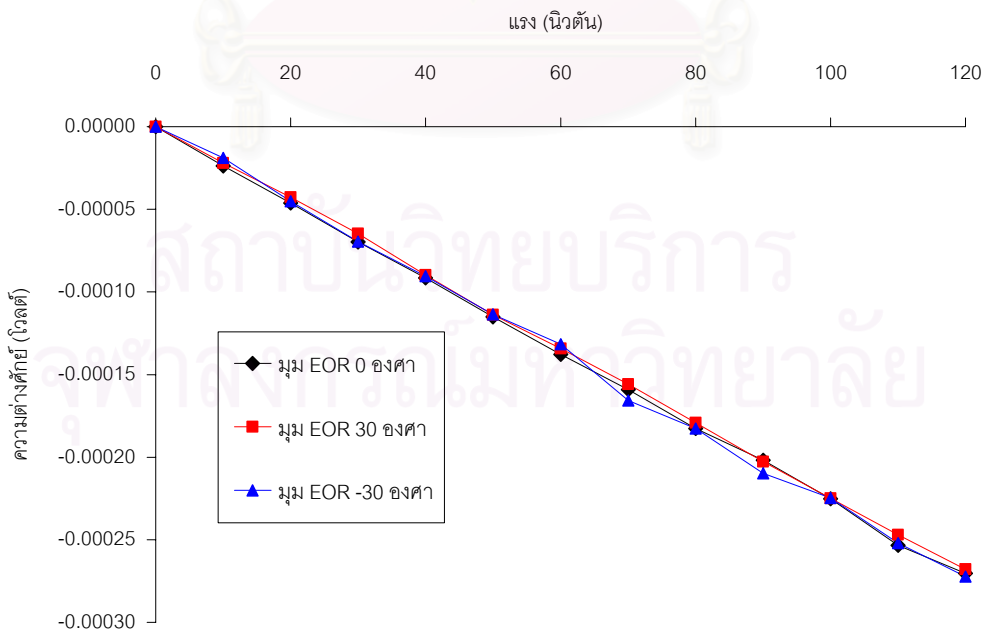


รูปที่ 7.9 ผลการสอบเทียบกับแรงที่มากกระทำกับ EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจรถ M

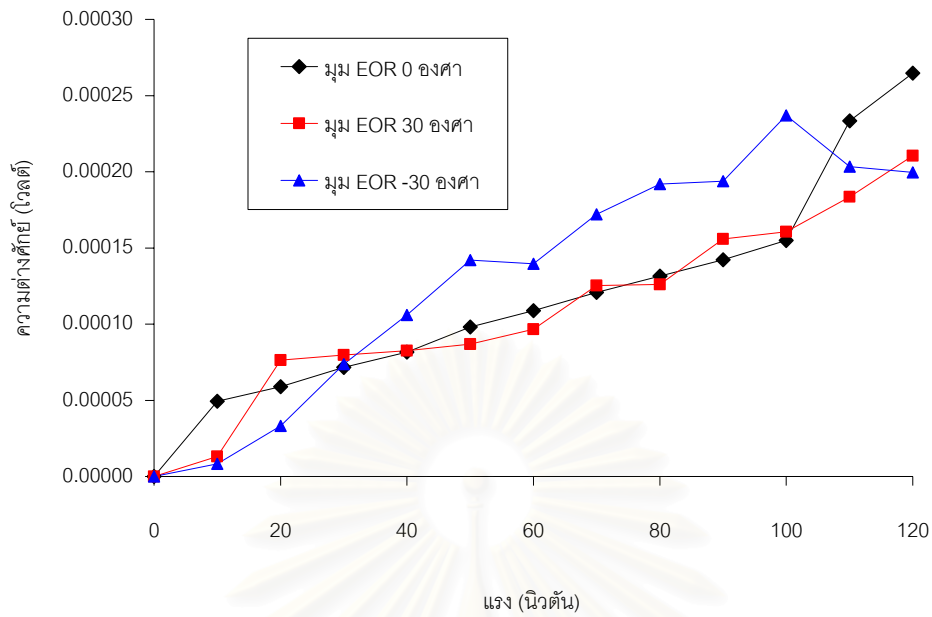
7.1.4 การสอบเทียบกับการเปลี่ยนมุม EOR ร่วมกับการเปลี่ยนมุมของแรงที่มากระทำ



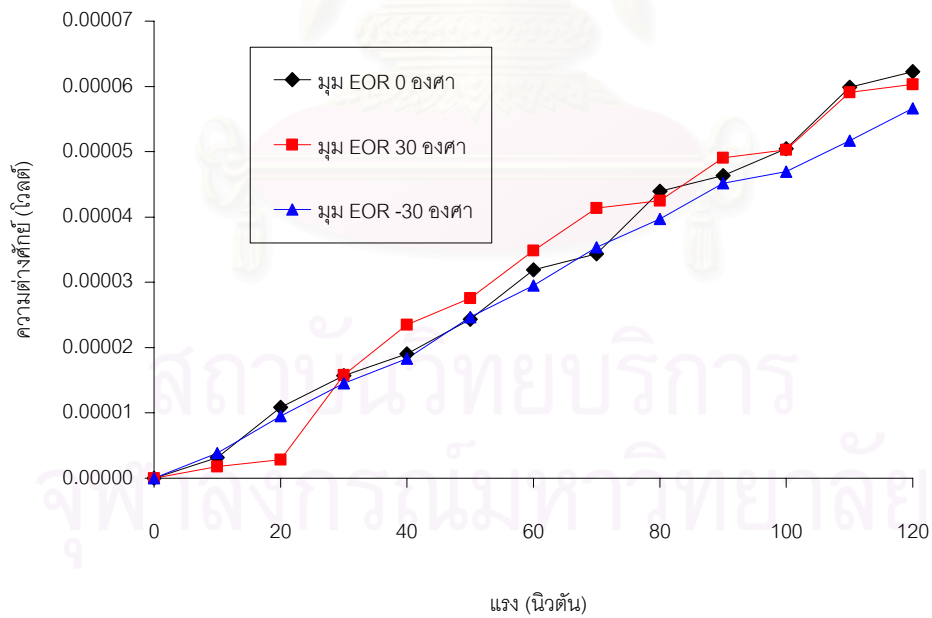
รูปที่ 7.10 ผลการสอบเทียบกับแรงในมุม 0 องศา กับมุม EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจร F



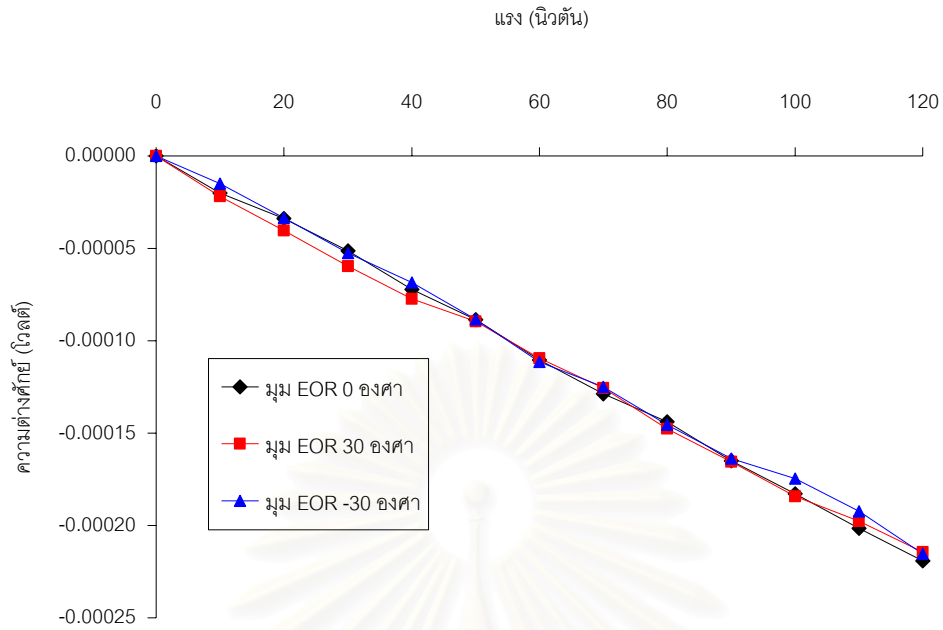
รูปที่ 7.11 ผลการสอบเทียบกับแรงในมุม 0 องศา กับมุม EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจร P



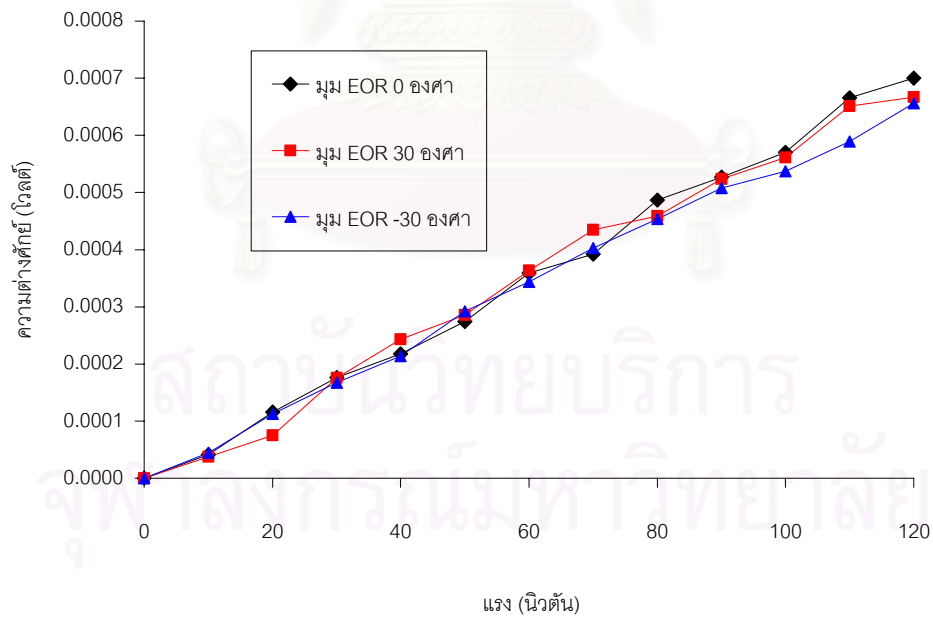
รูปที่ 7.12 ผลการสอบเทียบกับแรงในมุม 0 องศา กับมุม EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจรม



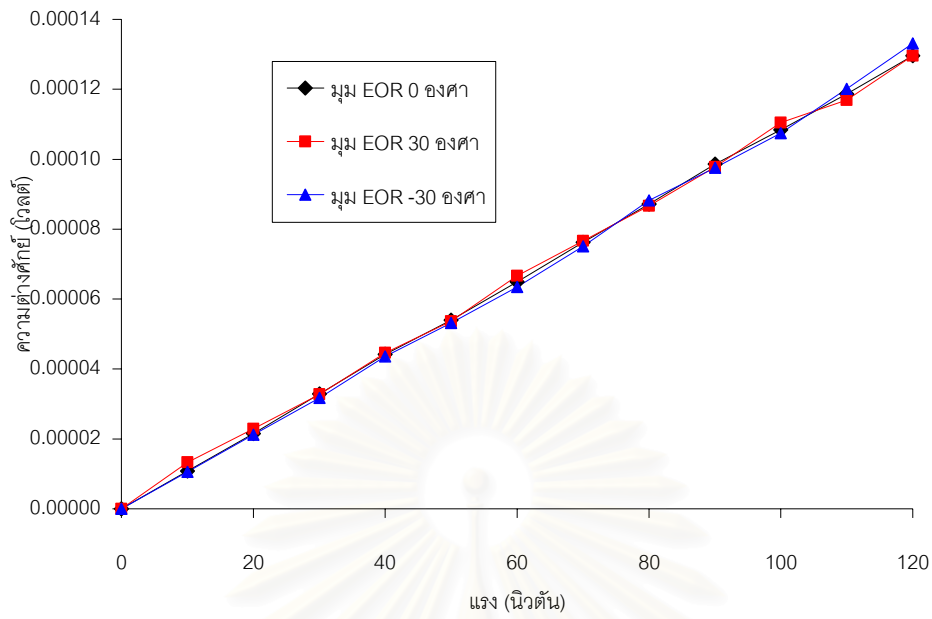
รูปที่ 7.13 ผลการสอบเทียบกับแรงในมุม -30 องศา กับมุม EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจรม



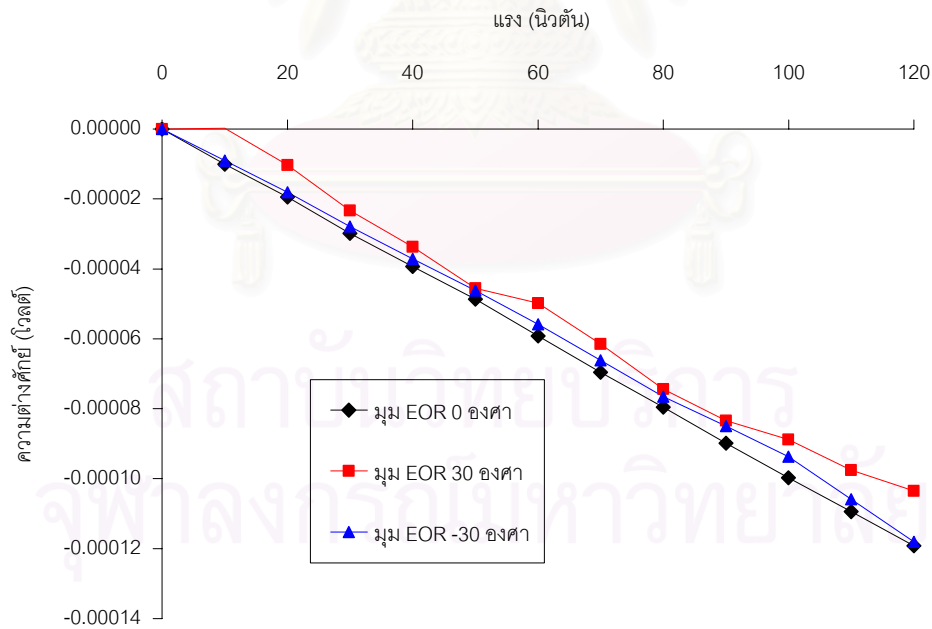
รูปที่ 7.14 ผลการสอบเทียบกับแรงในมุม -30 องศา กับมุม EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจรถ P



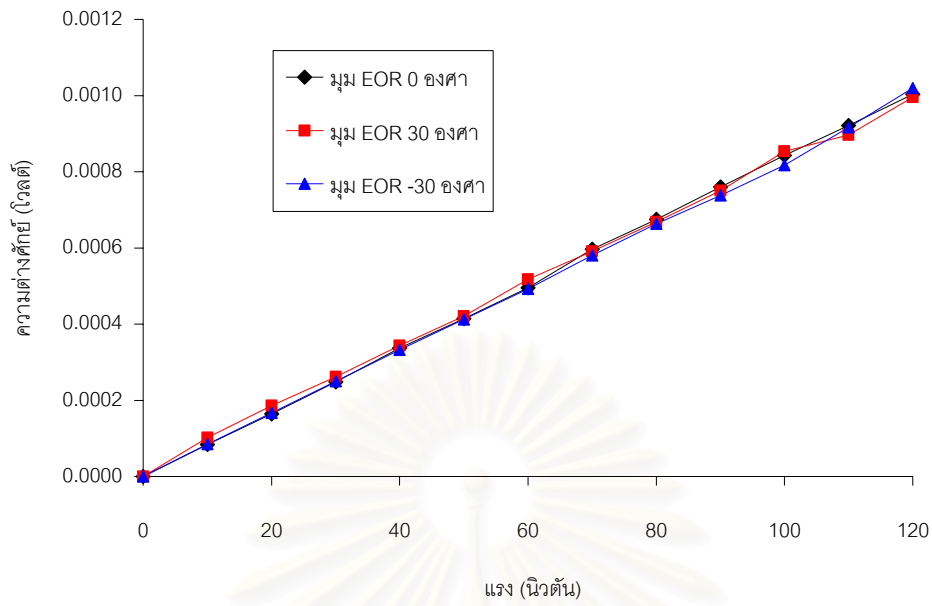
รูปที่ 7.15 ผลการสอบเทียบกับแรงในมุม -30 องศา กับมุม EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจรถ M



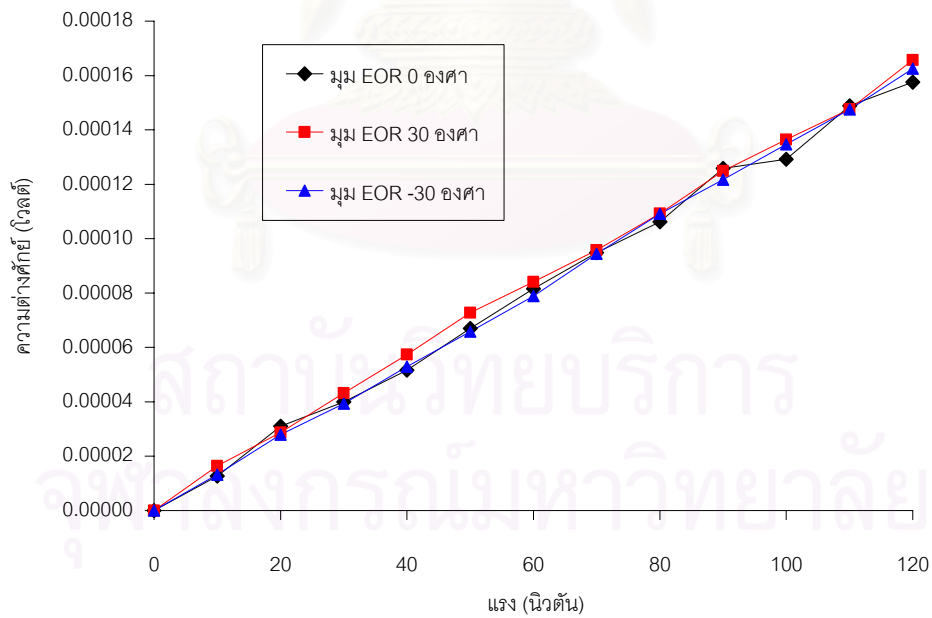
รูปที่ 7.16 ผลการสอบเทียบกับแรงในมุม -60 องศา กับมุม EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจร F



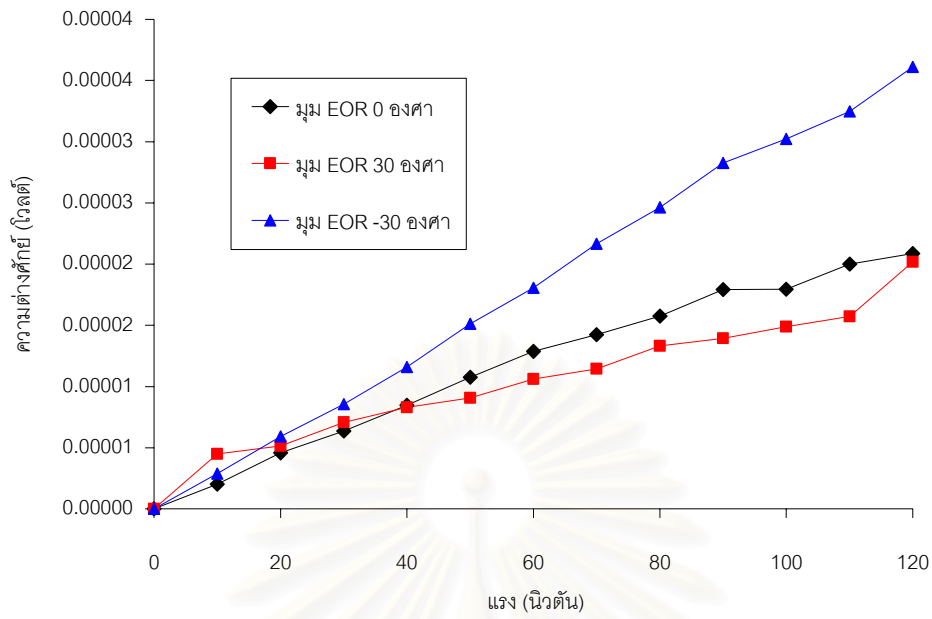
รูปที่ 7.17 ผลการสอบเทียบกับแรงในมุม -60 องศา กับมุม EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจร P



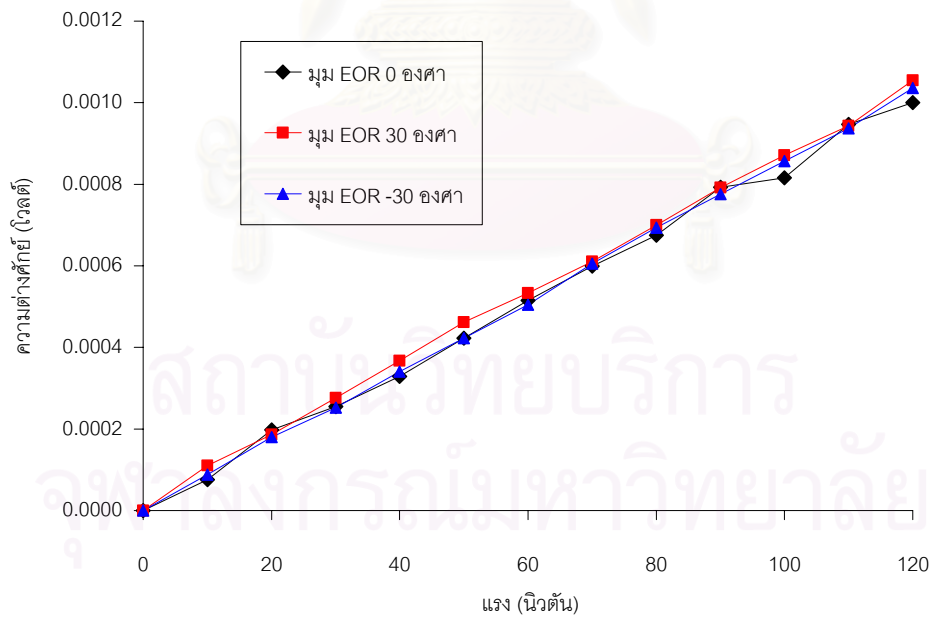
รูปที่ 7.18 ผลการสอบเทียบกับแรงในมุม -60 องศา กับมุม EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจรม



รูปที่ 7.19 ผลการสอบเทียบกับแรงในมุม -90 องศา กับมุม EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจรม

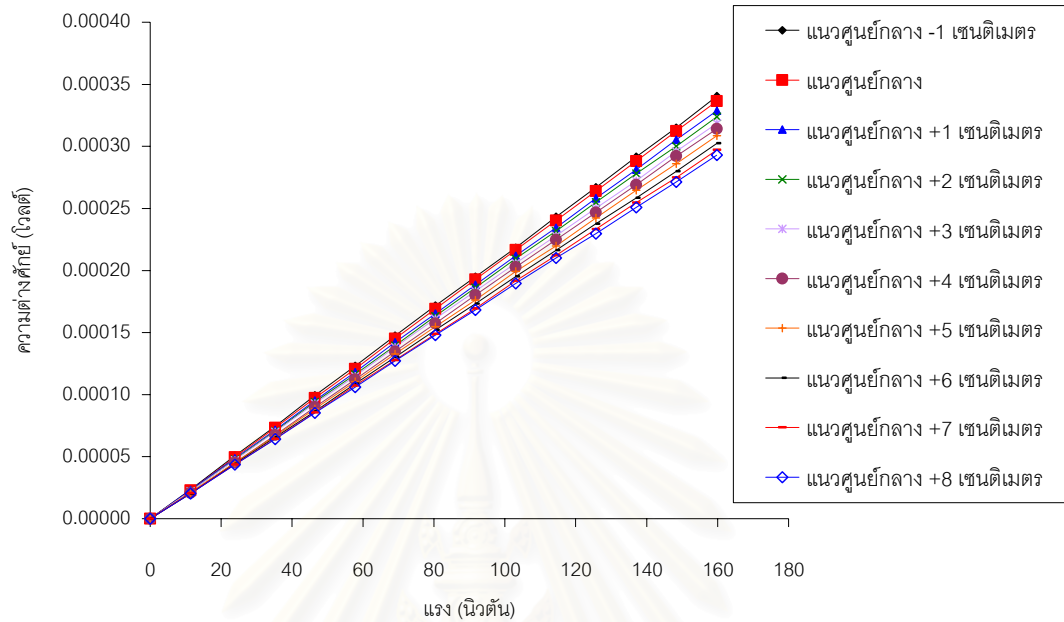


รูปที่ 7.20 ผลการสอบเทียบกับแรงในมุมมอง -90 องศา กับมุมมอง EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจรถ P

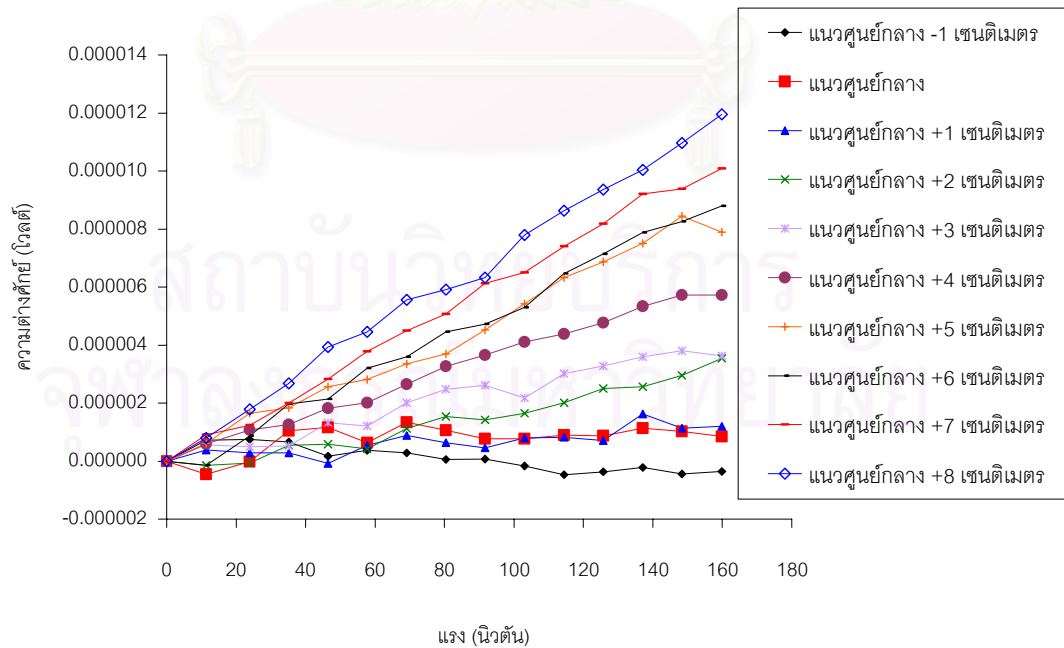


รูปที่ 7.21 ผลการสอบเทียบกับแรงในมุมมอง -90 องศา กับมุมมอง EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจรถ M

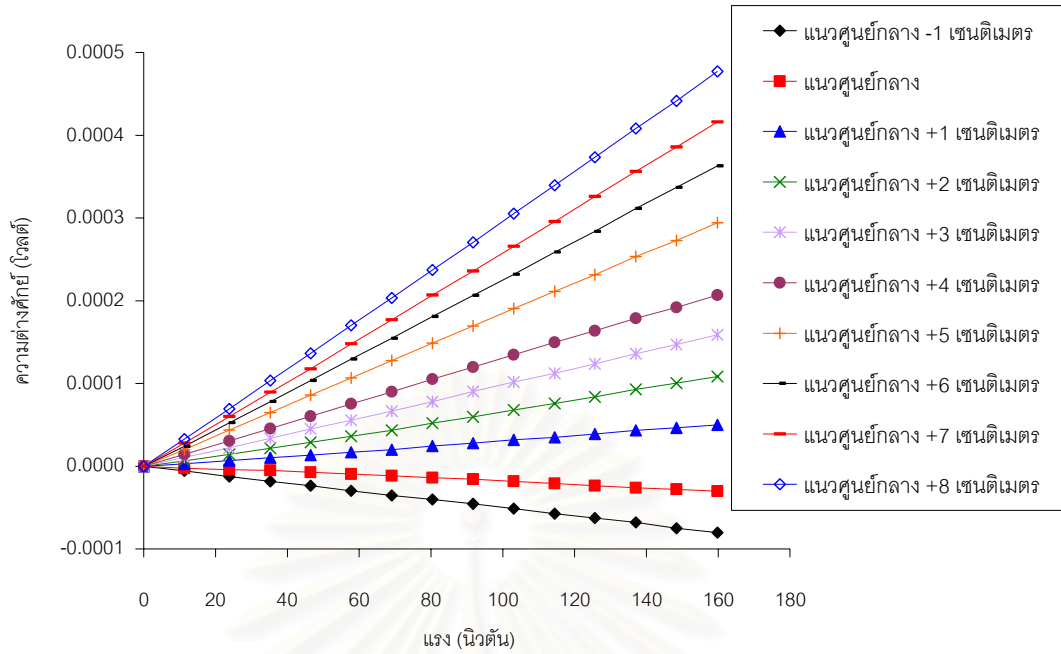
7.1.5 การสอบเทียบเมื่อติดไบนีตบน EOR โดยมีแรงกระทำในทิศทางตั้งฉากและทิศทางที่ขนานกับ EOR



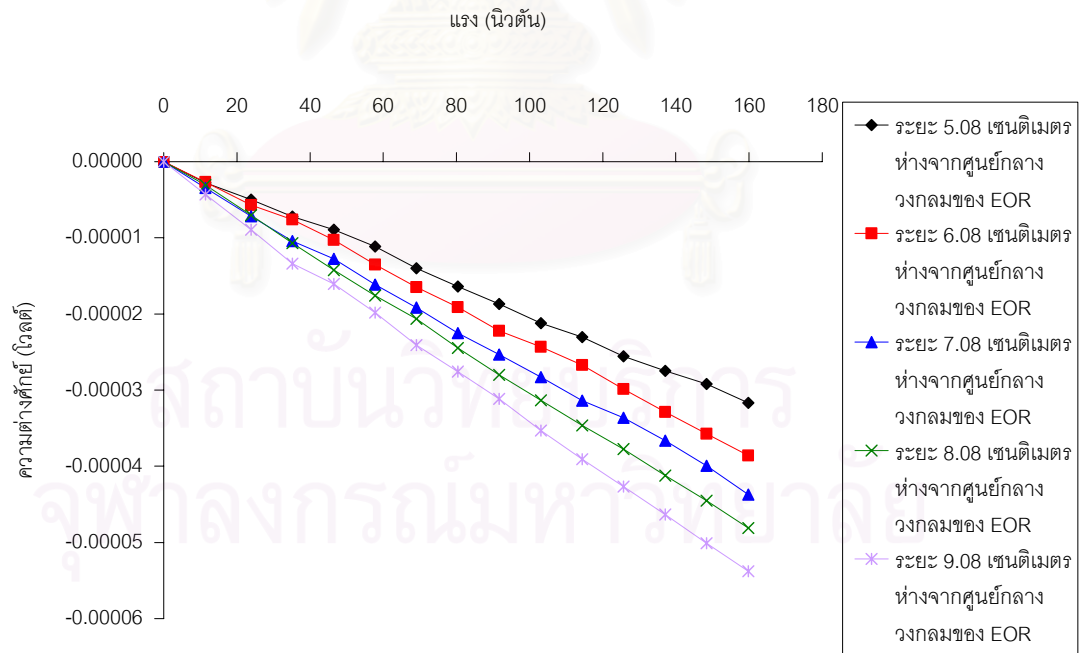
รูปที่ 7.22 ผลการสอบเทียบกับแรงกด F ที่กระทำกับไบนีตของวงจรถ F



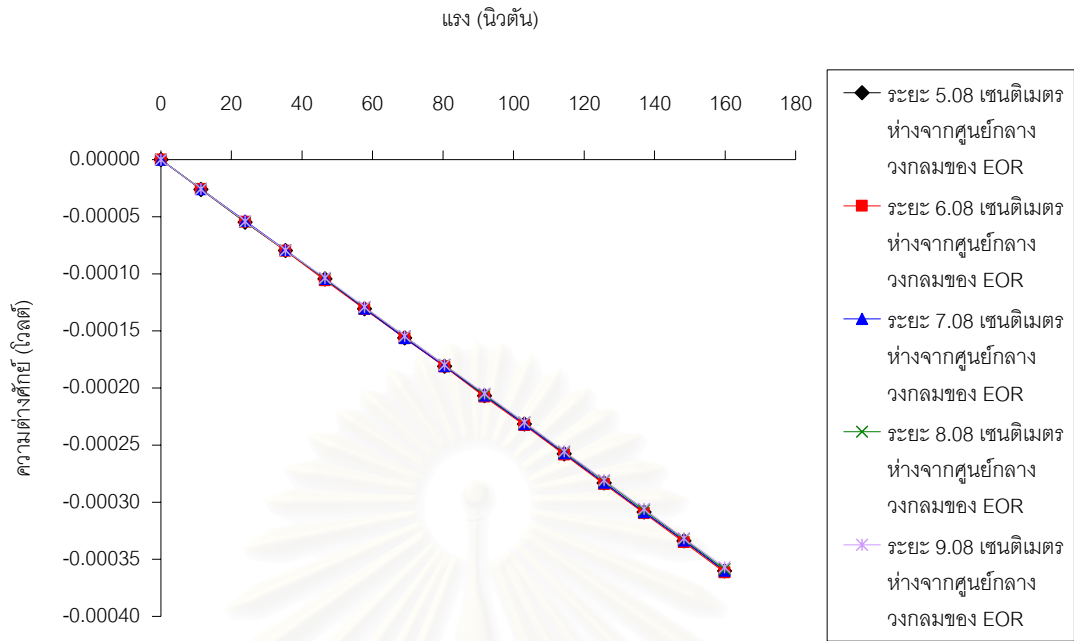
รูปที่ 7.23 ผลการสอบเทียบกับแรงกด F ที่กระทำกับไบนีตของวงจรถ P



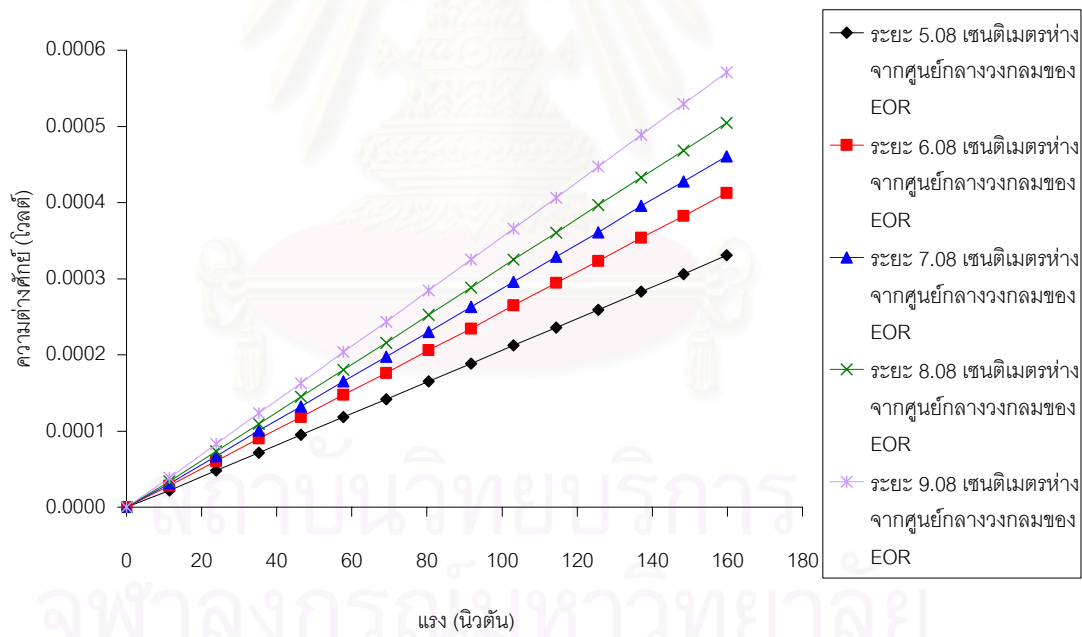
รูปที่ 7.24 ผลการสอบเทียบกับแรงกด F ที่กระทำกับใบมีดของวงจรม



รูปที่ 7.25 ผลการสอบเทียบกับแรงเฉือน P ที่กระทำกับใบมีดของวงจรม

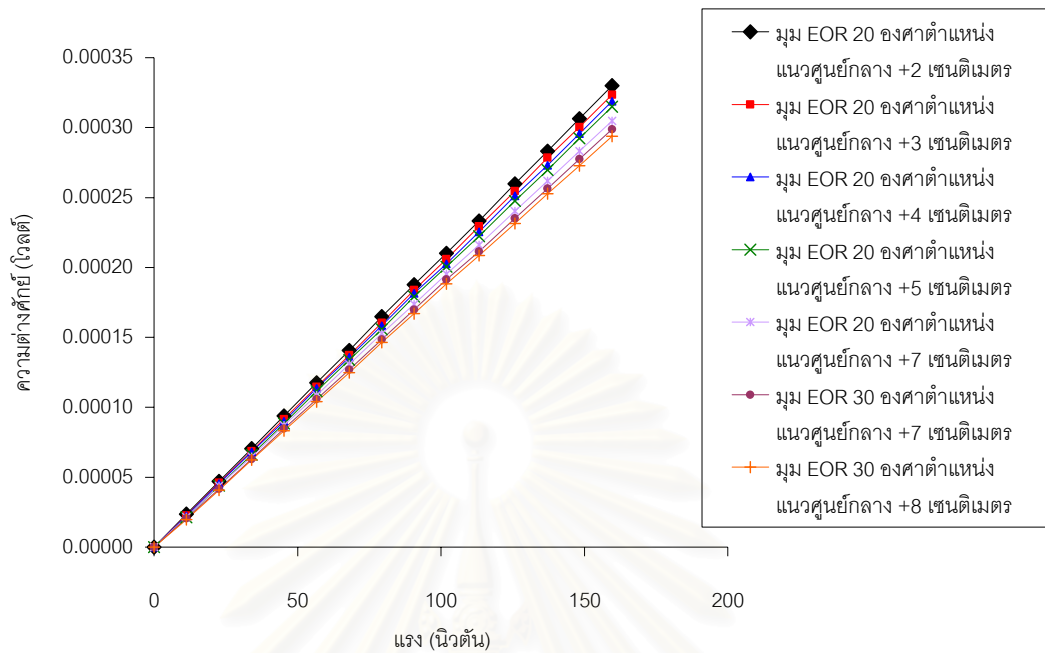


รูปที่ 7.26 ผลการสอบเทียบกับแรงเฉือน P ที่กระทำกับใบมีดของวงจร P

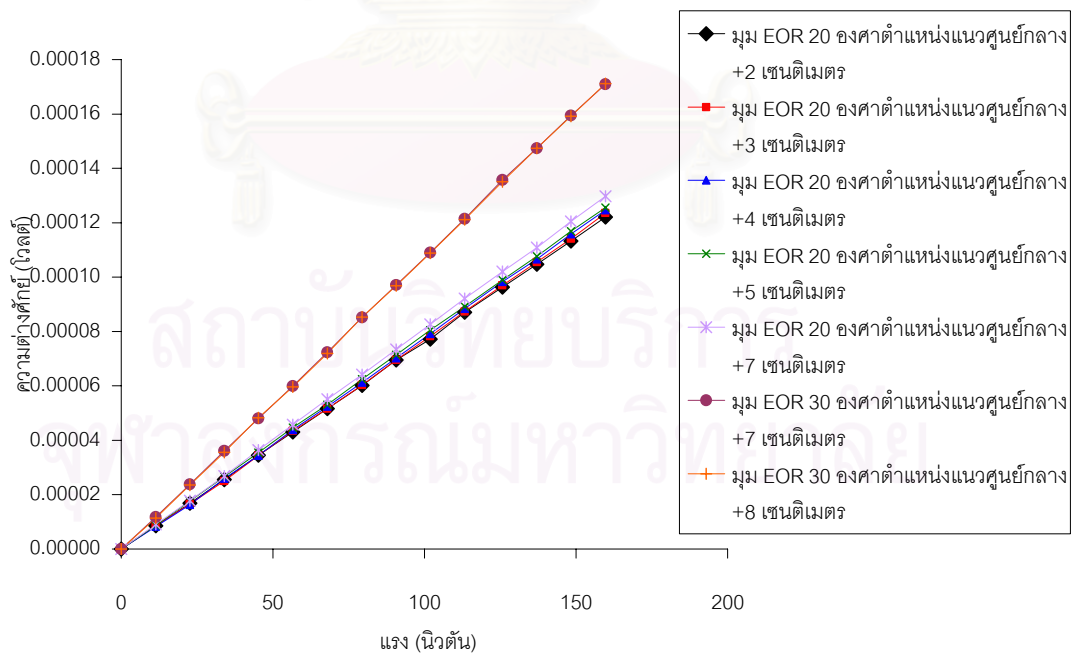


รูปที่ 7.27 ผลการสอบเทียบกับแรงเฉือน P ที่กระทำกับใบมีดของวงจร M

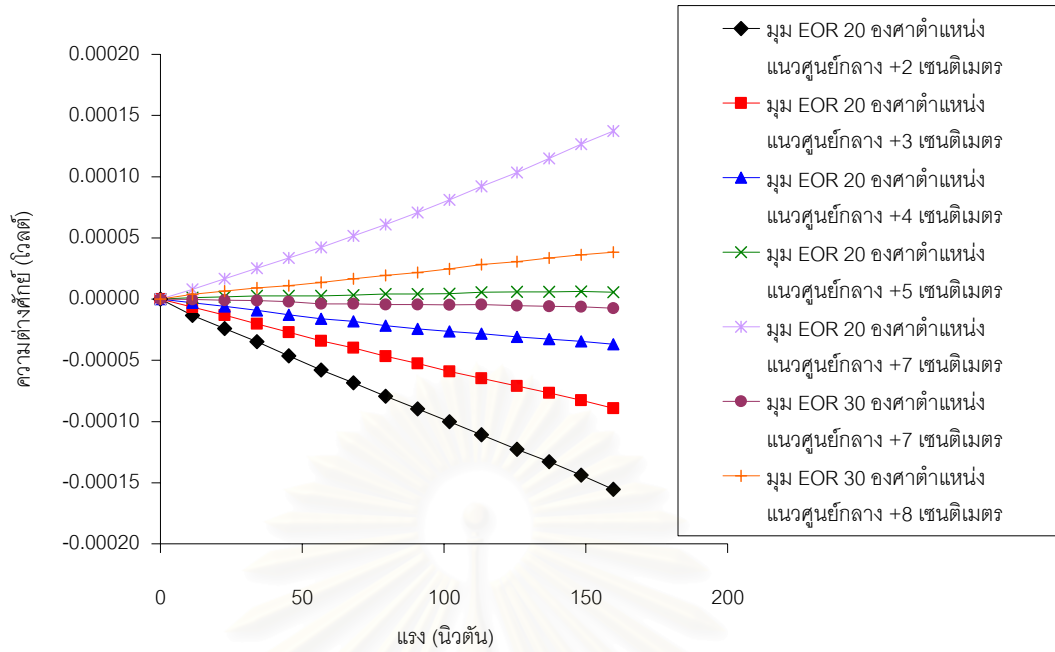
7.1.6 การสอบเทียบเมื่อติดใบมิดโดยเปลี่ยนตำแหน่งมุม EOR ในทิศทางต่างๆ



รูปที่ 7.28 ผลการสอบเทียบกับแรงในมุม EOR องศาต่างๆ กับใบมีดของวงจรถ F



รูปที่ 7.29 ผลการสอบเทียบกับแรงในมุม EOR องศาต่างๆ กับใบมีดของวงจรถ P



รูปที่ 7.30 ผลการสอบเทียบกับแรงในมุม EOR องศาต่างๆ กับไบมีตของวงจรม

7.2 ผลการทดลองไบมีตพรวนในกระษะทราย

7.2.1 ลักษณะของไบมีตก่อนและหลังการพรวน

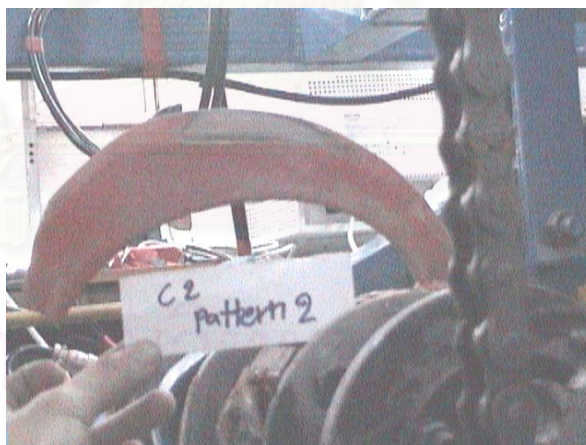


รูปที่ 7.31 ด้านหลังของไบมีตก่อนการพรวน



รูปที่ 7.32 ด้านหลังของไวมัดหลังการพรวน ในการทดลองไวมัดใบเดี่ยวที่ความเร็ว 75 รอบต่อนาที ระยะเวลาตัดทอย 9 เซนติเมตร

ในการพรวนของไวมัดในกระบะทราย มีการพันที่ไวมัดเพื่อดูลักษณะการขดตัวของไวมัด (ดังแสดงในรูปที่ 7.31) โดยที่ไวมัดด้านหน้าและด้านข้างไม่มีลักษณะเด่นชัดของสีที่แตกต่างของก่อนและหลังการพรวน แต่ในไวมัดด้านหลังสามารถเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจน รูปที่ 7.32 –รูปที่ 7.34 เป็นตัวอย่างของด้านหลังของไวมัดหลังจากการพรวนใน 3 กรณี คือ ไวมัดใบเดี่ยว ไวมัดมีไวมัดข้างเคียงแต่มีเฉพาะไวมัดด้านซ้าย (มีไวมัดเพียง 2 ใบในการพรวน) และไวมัดมีไวมัดข้างเคียงที่มีทั้งไวมัดซ้ายและขวา (มีไวมัด 3 ใบในการพรวน) ตามลำดับ



รูปที่ 7.33 ด้านหลังของไวมัดหลังการพรวน ในการทดลองที่มีไวมัดข้างเคียงในรูปแบบการตัดทอยแบบที่ 2



รูปที่ 7.34 ด้านหลังของใบมีดหลังการพรวน ในการทดลองที่มีใบมีดข้างเคียงในรูปแบบการตัด
ทรายแบบที่ 8

7.2.2 ลักษณะของทรายหลังการพรวน

ลักษณะของทรายในกระบะหลังจากการพรวน ทรายส่วนหนึ่งจะถูกเหวี่ยงไปกอง
อยู่บนผิวฝั่งซ้ายของแนวการพรวน (ดังแสดงในรูปที่ 7.35)

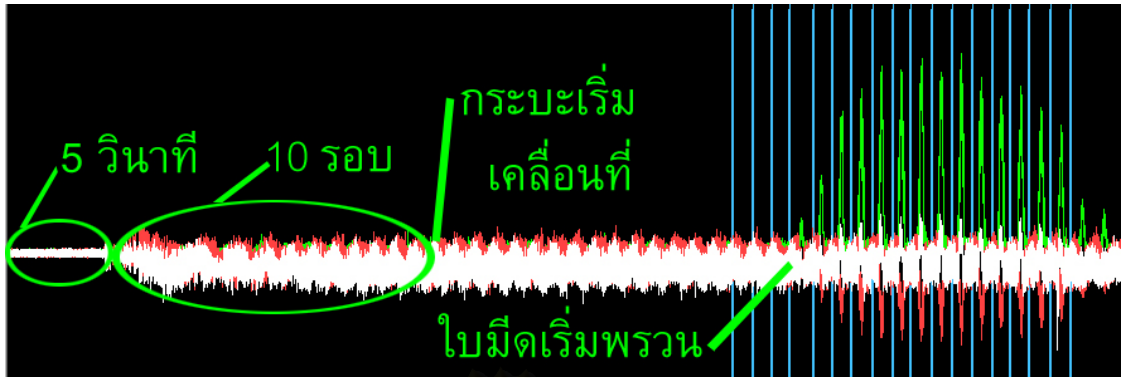


รูปที่ 7.35 ทรายในกระบะหลังจากถูกพรวนด้วยใบมีดใบเดียว

7.2.3 สัญญาณความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นในการทดลอง

สัญญาณที่เกิดขึ้นในการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 7.36 ประกอบด้วย สัญญาณของวงจร F แสดงด้วยสีเขียว วงจร P แสดงด้วยสีแดง วงจร M แสดงด้วยสีเขียวย และสัญญาณทริก แสดงด้วยเส้นสีฟ้า สัญญาณทั้งหมดเริ่มต้นค่าอ้างอิงที่ศูนย์โดยแสดงซ้อนทับกันมีสัญญาณของวงจร F อยู่บน รูปแบบของลักษณะสัญญาณที่เกิดขึ้นตลอดการทดลองสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ช่วง คือ

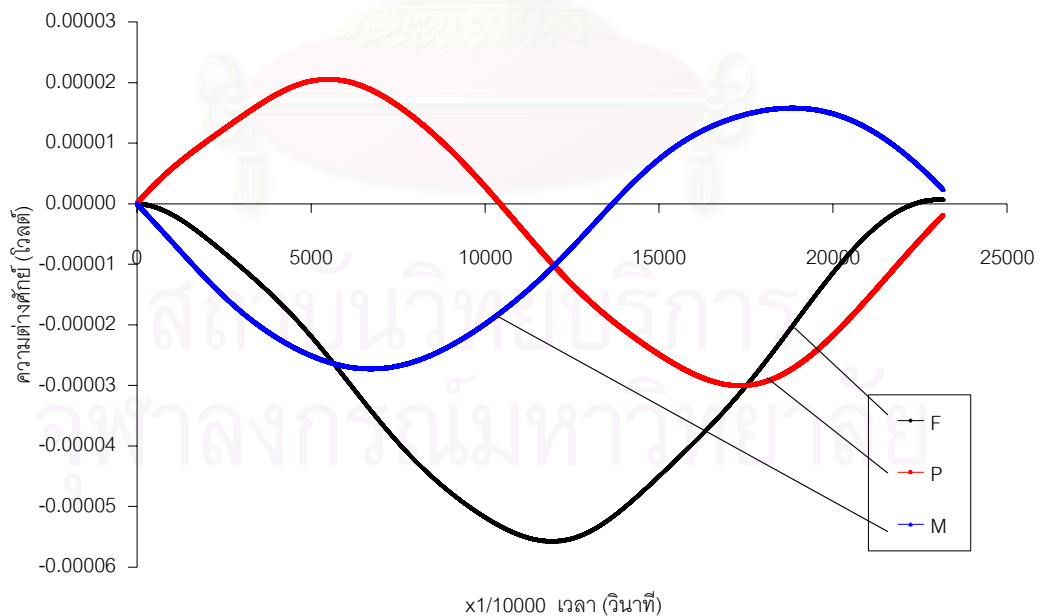
1. ช่วง 0 - 5 วินาที (หลังจากทำการปรับค่าความต่างศักย์ให้เป็นศูนย์) ใช้สำหรับการตรวจสอบสัญญาณทั้ง 3 วงจรว่ามีสิ่งผิดปกติอะไรบ้างก่อนที่จะทำการทดลองต่อไป มีลักษณะโดยเฉลี่ยเป็นเส้นตรง
2. ช่วง 10 รอบการหมุนเพลลาโบมีด สัญญาณมีค่าเฉลี่ยเป็นลบเมื่อเทียบกับค่าสัญญาณในช่วง 0 - 5 วินาที มีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นจากการหมุนของมอเตอร์ที่ใช้ในการหมุนเพลลาโบมีด การเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณในช่วง 4 รอบแรกไม่สม่ำเสมอ หลังจากนั้นค่าสัญญาณเริ่มมีค่าสม่ำเสมอ
3. ช่วงกระบะเริ่มเคลื่อนที่ สัญญาณในช่วงนี้มีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นจากการหมุนของมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อน แต่ไม่มีความแตกต่างกับสัญญาณของช่วงที่ 2 ตอนท้ายของช่วงนี้มีเส้นสัญญาณในแนวตั้งซึ่งเกิดขึ้นจากการกดปุ่มทำเครื่องหมายเมื่อมองเห็น EOR หมุนมาอยู่ที่ตำแหน่ง 0 องศา
4. ช่วงโบมีดพรวนทวาย ค่าสัญญาณเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงตามแรงต้านทานที่กระทำกับโบมีด ใน 2 รอบแรกเป็นช่วงที่สัญญาณมีค่าน้อยเนื่องจากโบมีดเริ่มตัดทวาย จากนั้นสัญญาณจะมีค่าใกล้เคียงกันระยะหนึ่ง จนเมื่อโบมีดตัดทวายไปถึงช่วงท้ายของกระบะสัญญาณจะมีค่าลดลง



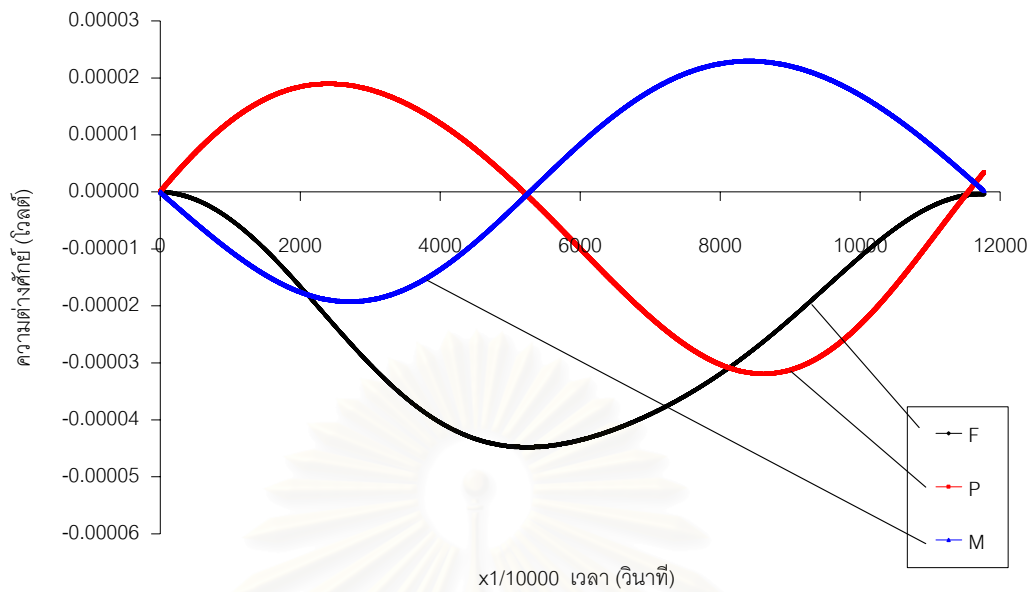
รูปที่ 7.36 รูปสัญญาณที่ได้จากการทดลองไบบีมิดพรวนในกระบะทรายที่ความเร็ว 75 รอบต่อวินาทีและระยะเวลาตัดทราย 9 เซนติเมตร

7.2.4 สัญญาณความต่างศักย์ทางจลน์อย่างอิสระ

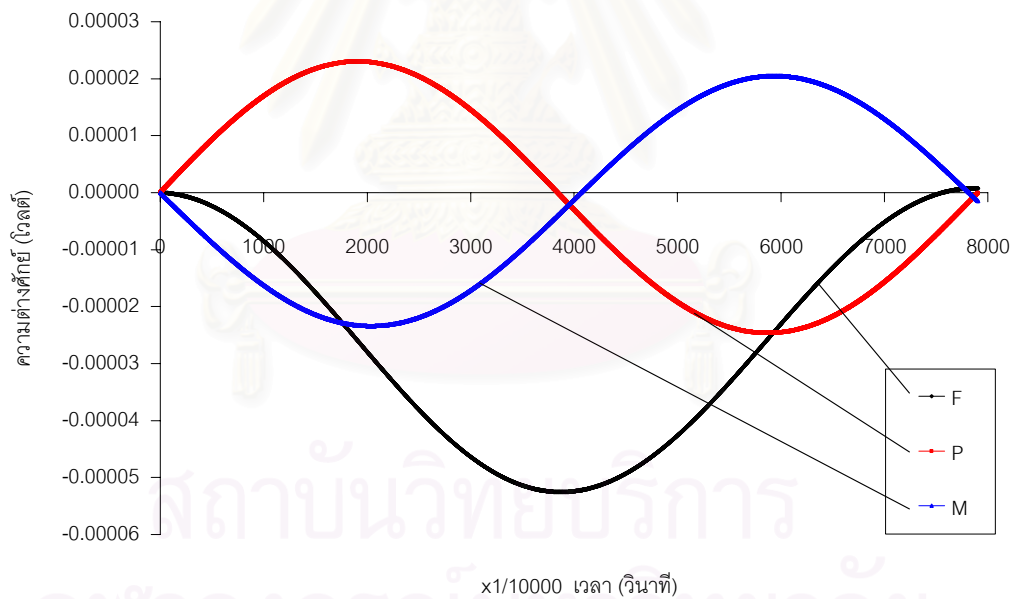
ความต่างศักย์ทางจลน์อย่างอิสระเป็นค่าสัญญาณในช่วงกระบะเคลื่อนที่ก่อนที่ไบบีมิดจะเริ่มตัดทราย สัญญาณที่ได้จากการทดลองจะถูกกรองเพื่อเอาสัญญาณรบกวนออกแล้วเลือกสัญญาณในหนึ่งรอบการหมุนของเพลลาไบบีมิดมาเฉลี่ย จากนั้นปรับค่าเริ่มต้นเป็นศูนย์ ค่าสัญญาณนี้เป็นค่าที่เกิดจากการหมุนไบบีมิดที่ความเร็วรอบต่างๆ เพื่อหักออกจากค่าสัญญาณที่เกิดในช่วงการตัดทรายของไบบีมิด ก็จะได้ค่าสัญญาณที่เกิดจากแรงต้านทานที่เกิดจากการตัดทรายอย่างเดียว



รูปที่ 7.37 สัญญาณความต่างศักย์ทางจลน์อย่างอิสระที่ความเร็ว 25 รอบต่อวินาที



รูปที่ 7.38 สัญญาณความต่างศักย์ทางจลน์อย่างอิสระที่ความเร็ว 50 รอบต่อนาที

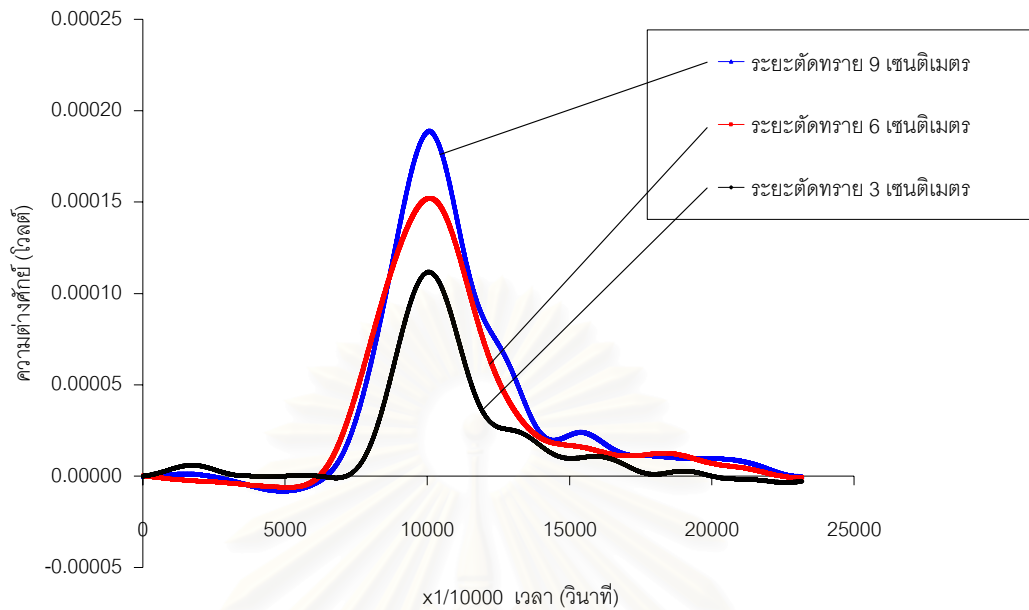


รูปที่ 7.39 สัญญาณความต่างศักย์ทางจลน์อย่างอิสระที่ความเร็ว 75 รอบต่อนาที

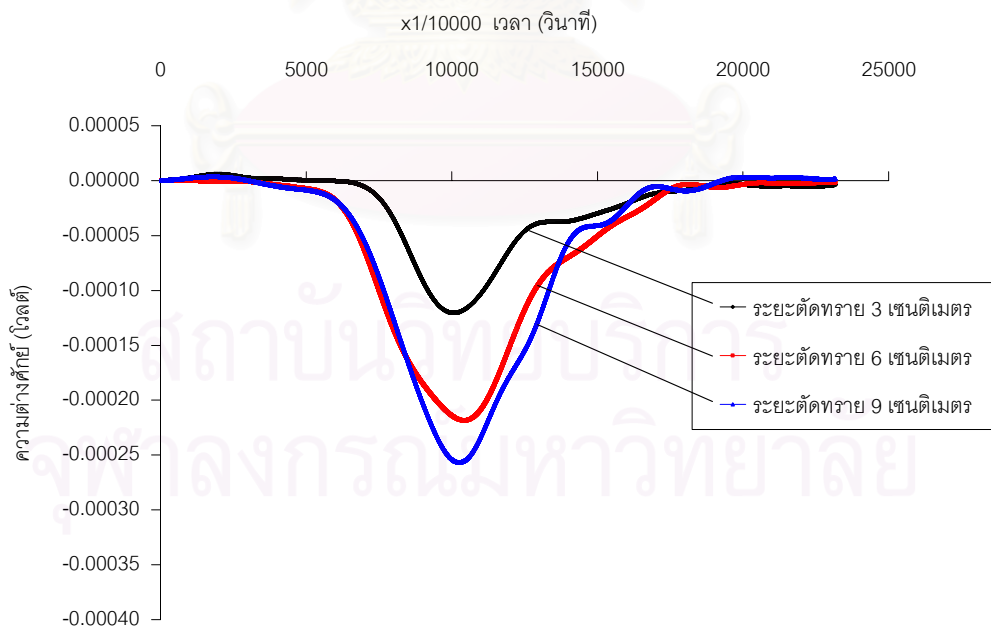
7.3 ผลการทดลองเพื่อวัดแรงต้านทานที่กระทำกับใบมีดกรณีใบมีดใบเดียว

สัญญาณของแรงต้านทานที่ได้จากการทดลองในช่วงการตัดทราย ถูกนำไปกรองสัญญาณรบกวนออกแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย จากนั้นทำการปรับตำแหน่งเริ่มต้นเป็นศูนย์แล้วจึงหาค่าสัญญาณความต่างศักย์ทางจลน์อย่างอิสระออก

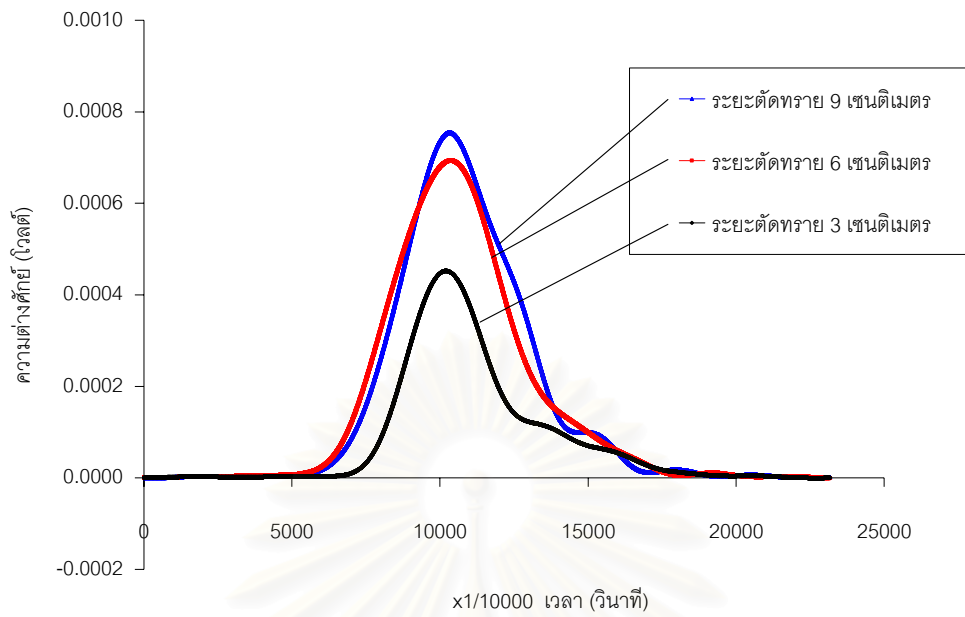
7.3.1 ความเร็ว 25 รอบต่อนาที



รูปที่ 7.40 สัญญาณที่ได้จากการพรวนด้วยใบมีดใบเดียวที่ความเร็ว 25 รอบต่อนาที ที่ระยะการตัดทวาย 3, 6 และ 9 เซนติเมตร ของวงจรถ F

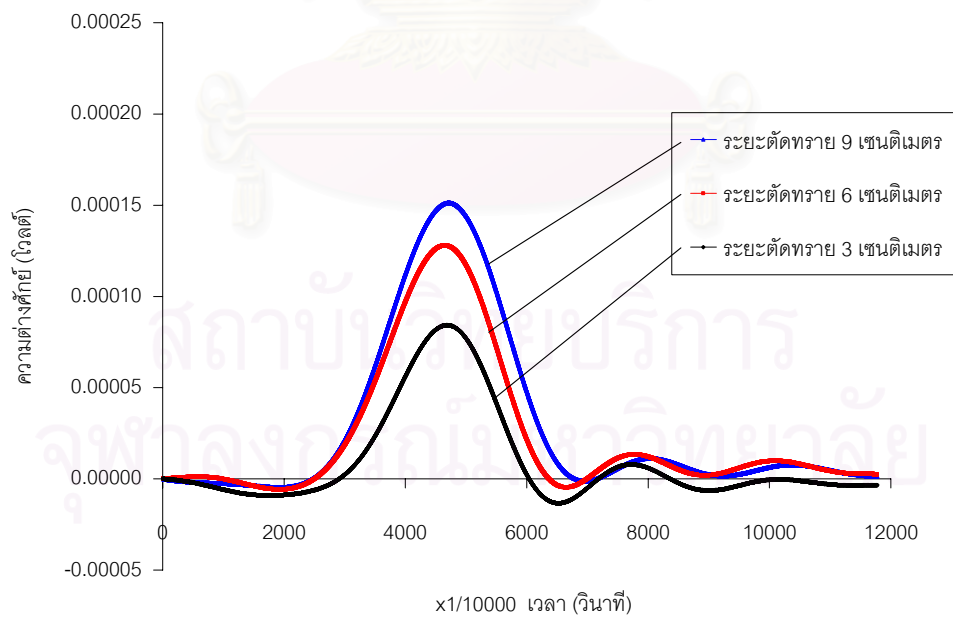


รูปที่ 7.41 สัญญาณที่ได้จากการพรวนด้วยใบมีดใบเดียวที่ความเร็ว 25 รอบต่อนาที ที่ระยะการตัดทวาย 3, 6 และ 9 เซนติเมตร ของวงจรถ P

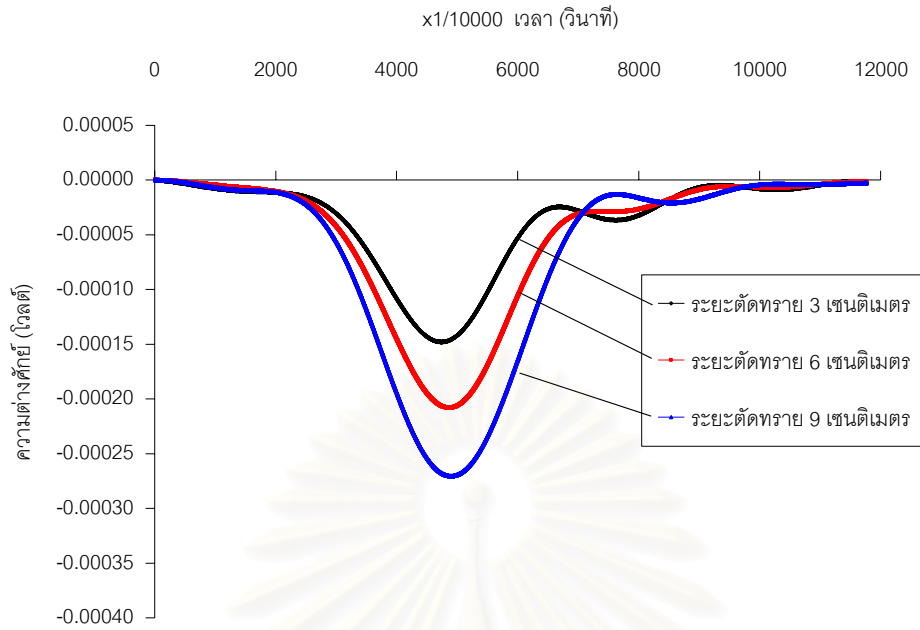


รูปที่ 7.42 สัญญาณที่ได้จากการพรวนด้วยใบมีดใบเดียวที่ความเร็ว 25 รอบต่อนาที ที่ระยะการตัดทราย 3, 6 และ 9 เซนติเมตร ของวงจรม

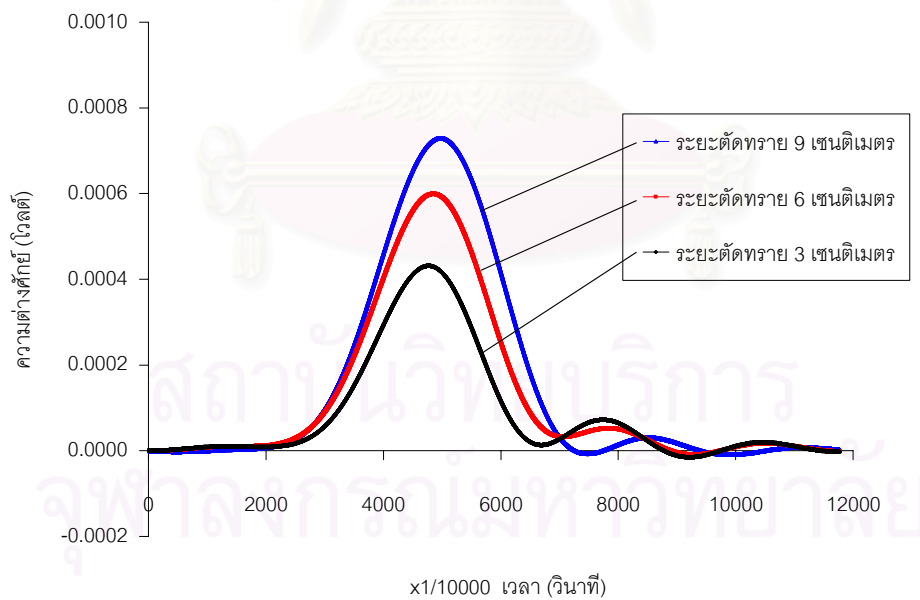
7.3.2 ความเร็ว 50 รอบต่อนาที



รูปที่ 7.43 สัญญาณที่ได้จากการพรวนด้วยใบมีดใบเดียวที่ความเร็ว 50 รอบต่อนาที ที่ระยะการตัดทราย 3, 6 และ 9 เซนติเมตร ของวงจรม

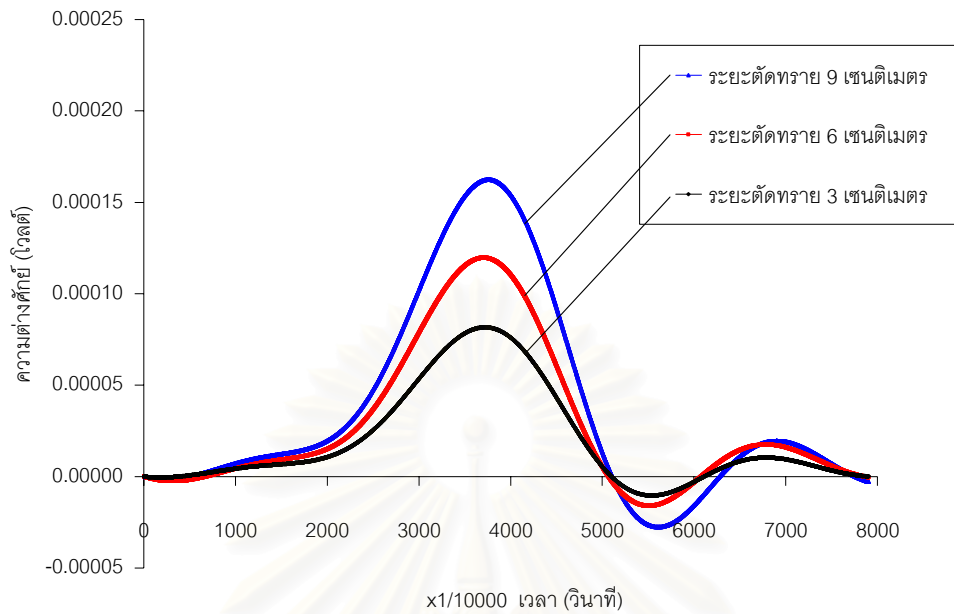


รูปที่ 7.44 สัญญาณที่ได้จากการพรวนด้วยโม่มีดใบเดียวที่ความเร็ว 50 รอบต่อนาที ที่ระยะการตัดทราย 3, 6 และ 9 เซนติเมตร ของวงจรถ P

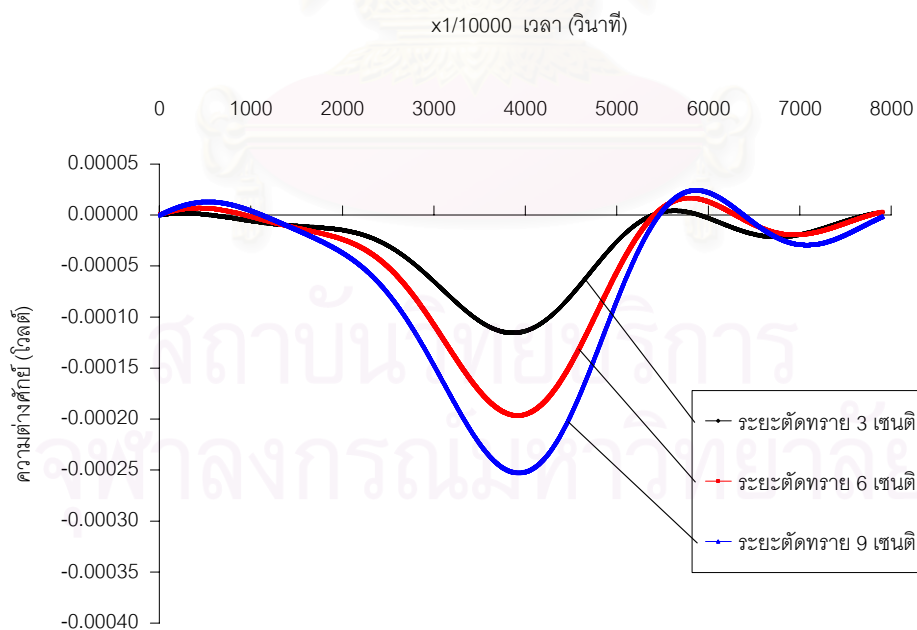


รูปที่ 7.45 สัญญาณที่ได้จากการพรวนโม่มีดด้วยโม่มีดใบเดียวที่ความเร็ว 50 รอบต่อนาที ที่ระยะการตัดทราย 3, 6 และ 9 เซนติเมตร ของวงจรถ M

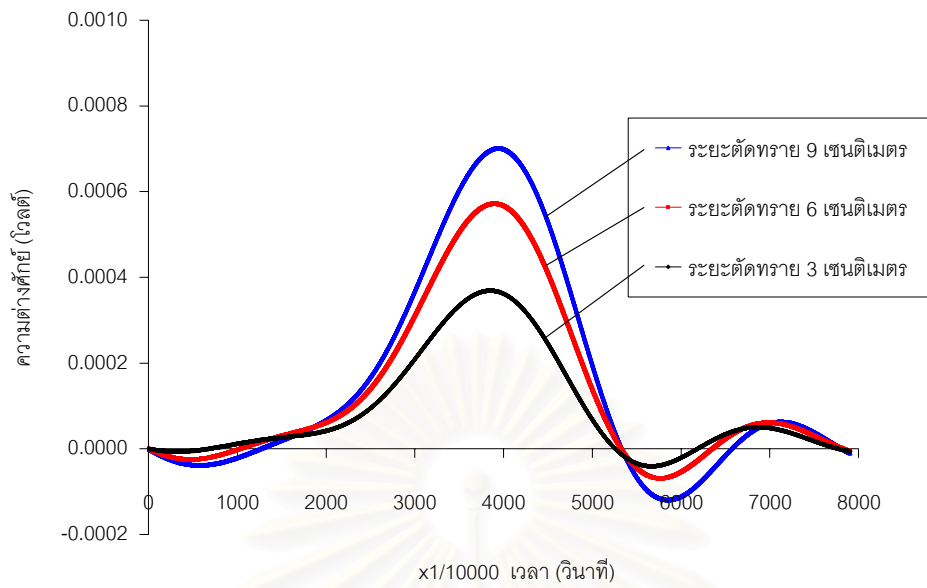
7.3.3 ความเร็ว 75 รอบต่อนาที



รูปที่ 7.46 สัญญาณที่ได้จากการพรวนโบมีดด้วยโบเดี่ยวที่ความเร็ว 75 รอบต่อนาที ที่ระยะการตัดทวาย 3, 6 และ 9 เซนติเมตร ของวงจรถ F



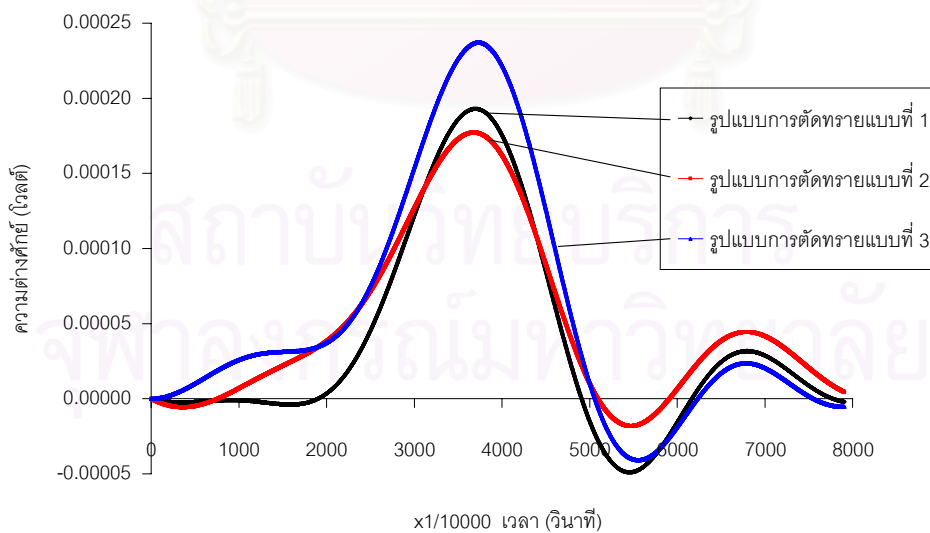
รูปที่ 7.47 สัญญาณที่ได้จากการพรวนโบมีดด้วยโบเดี่ยวที่ความเร็ว 75 รอบต่อนาที ที่ระยะการตัดทวาย 3, 6 และ 9 เซนติเมตร ของวงจรถ P



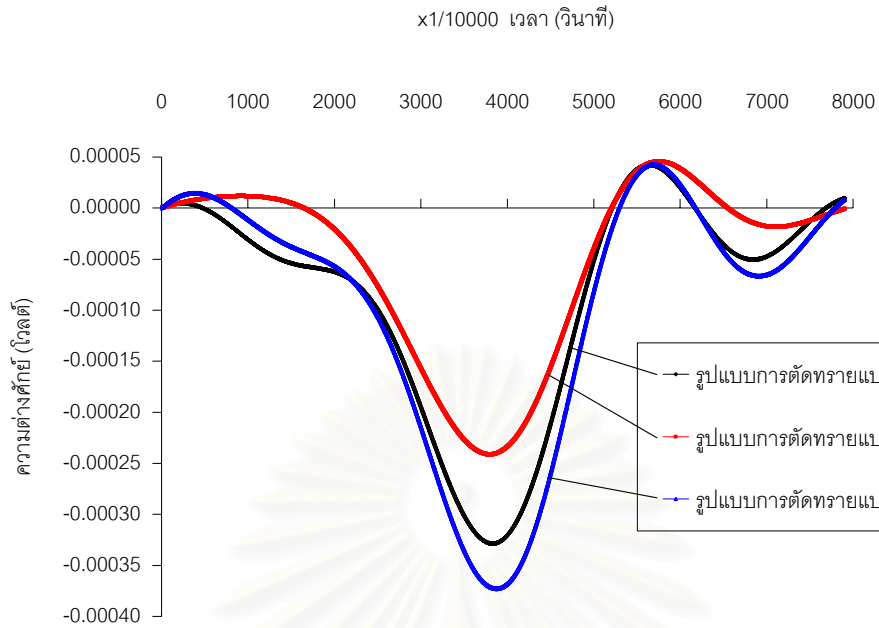
รูปที่ 7.48 สัญญาณที่ได้จากการพรวนไบนิดด้วยไบนิดเดียวที่ความเร็ว 75 รอบต่อนาที ที่ระยะการตัดทลาย 3, 6 และ 9 เซนติเมตร ของวงจร M

7.4 ผลการทดลองเพื่อวัดแรงที่กระทำกับไบนิดกรณีมีไบนิดข้างเคียง

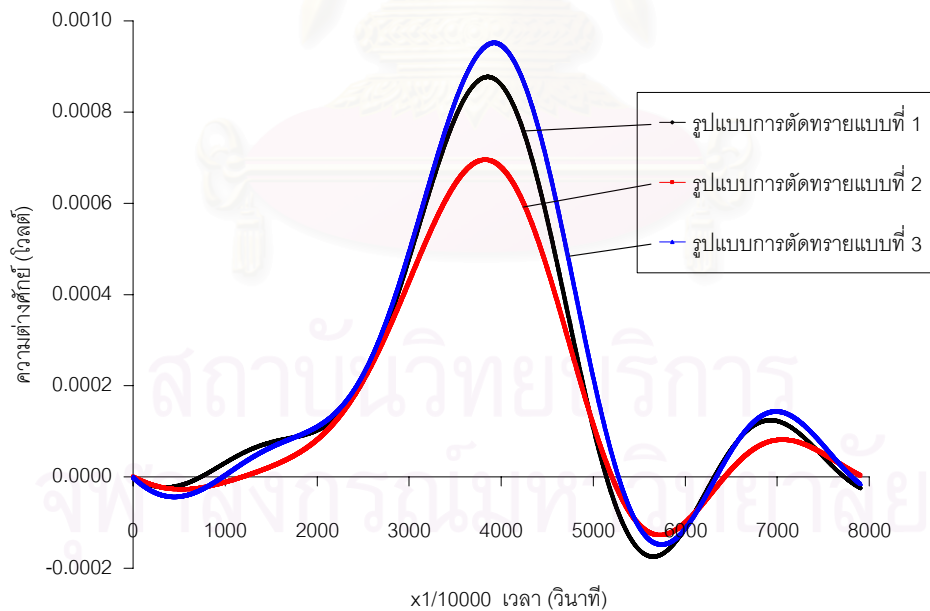
7.4.1 รูปแบบการตัดทลายแบบที่ 1, 2 และ 3



รูปที่ 7.49 สัญญาณที่ได้จากการพรวนด้วยไบนิดที่มีไบนิดข้างเคียง รูปแบบที่ 1, 2 และ 3 ที่ความเร็ว 75 รอบต่อนาที ระยะการตัดทลาย 9 เซนติเมตร ของวงจร F

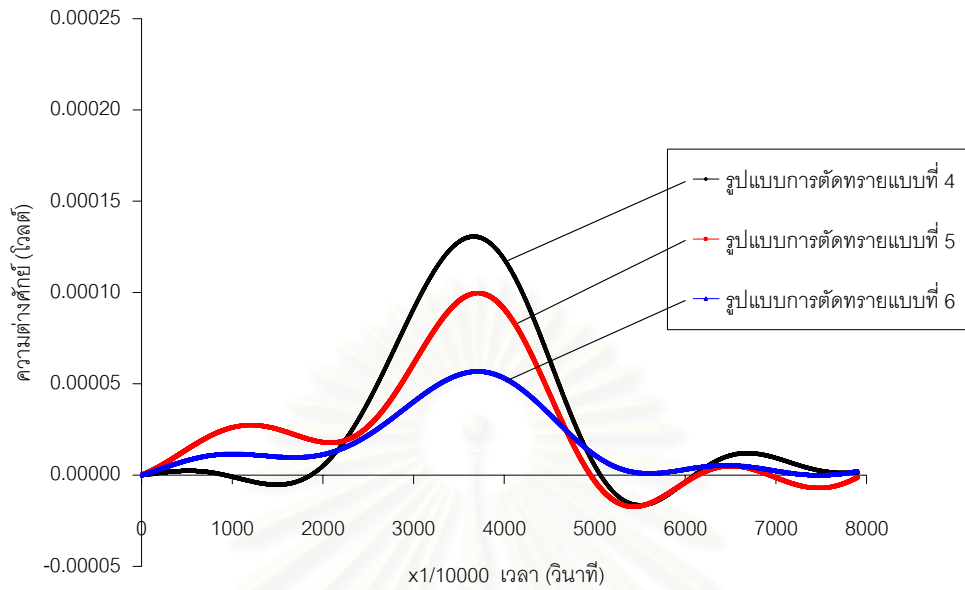


รูปที่ 7.50 สัญญาณที่ได้จากการพรวนด้วยโหมมิตที่มีโหมมิตข้างเคียง รูปแบบที่ 1, 2 และ 3 ที่ความเร็ว 75 รอบต่อนาที ระยะการตัดทลาย 9 เซนติเมตร ของวงจรถ P

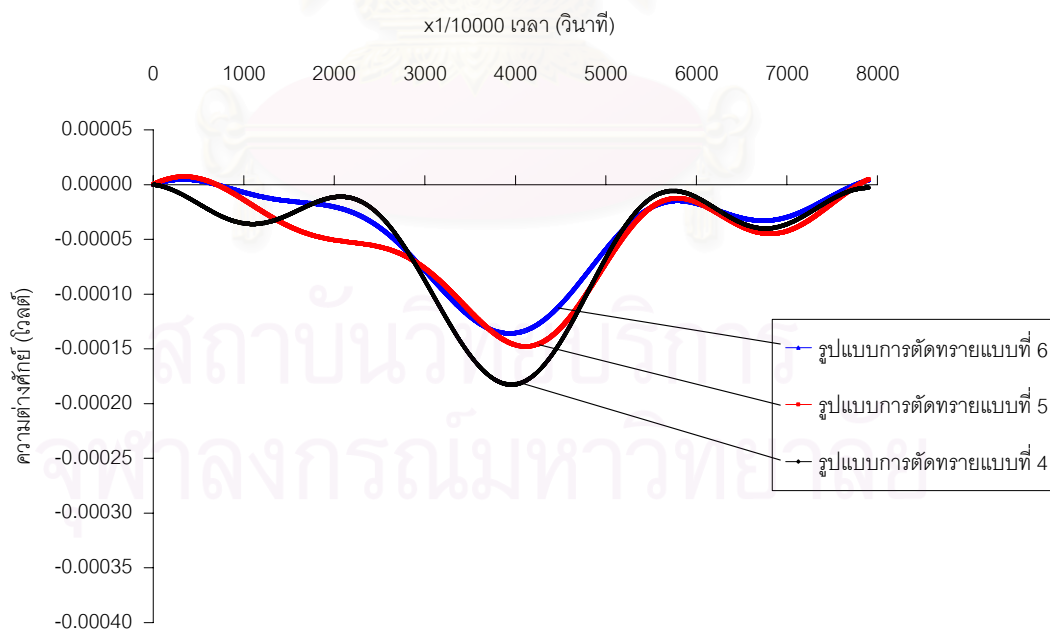


รูปที่ 7.51 สัญญาณที่ได้จากการพรวนด้วยโหมมิตที่มีโหมมิตข้างเคียง รูปแบบที่ 1, 2 และ 3 ที่ความเร็ว 75 รอบต่อนาที ระยะการตัดทลาย 9 เซนติเมตร ของวงจรถ M

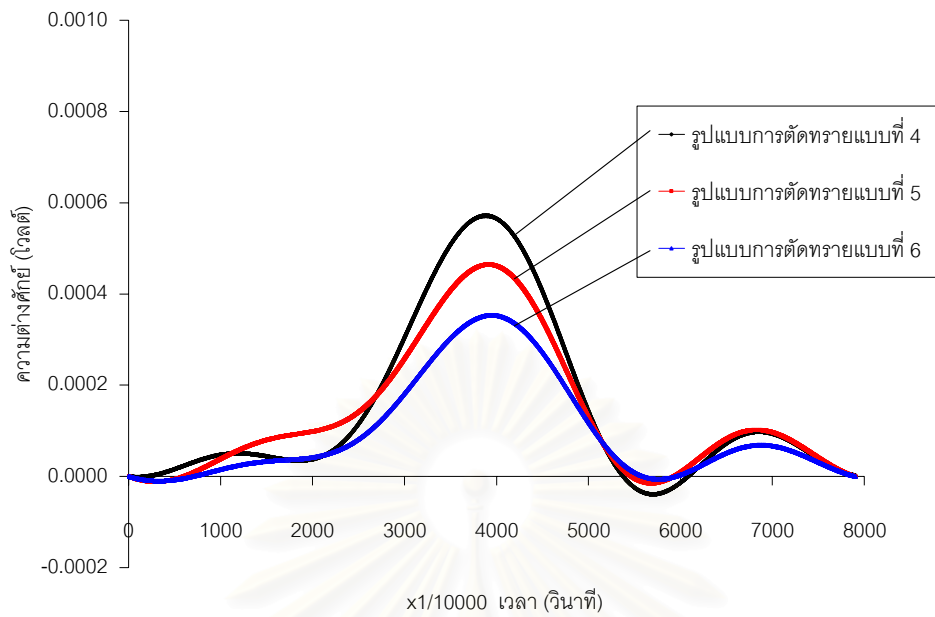
7.4.2 รูปแบบการตัดทลายแบบที่ 4, 5 และ 6



รูปที่ 7.52 สัญญาณที่ได้จากการพรวนด้วยไบนีตที่มีไบนีตข้างเคียง รูปแบบที่ 4, 5 และ 6 ที่ความเร็ว 75 รอบต่อนาที ระยะการตัดทลาย 9 เซนติเมตร ของวงจรถ F

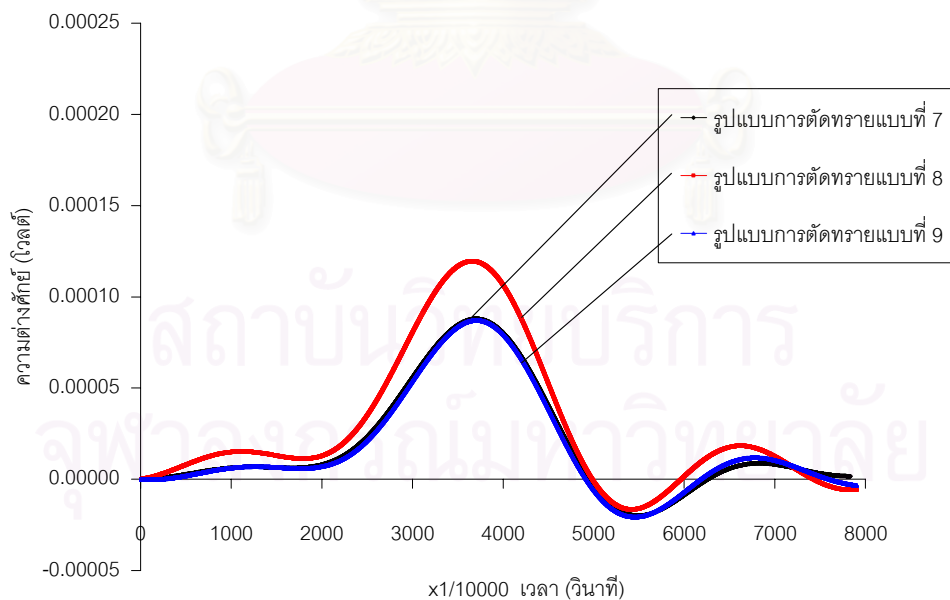


รูปที่ 7.53 สัญญาณที่ได้จากการพรวนด้วยไบนีตที่มีไบนีตข้างเคียง รูปแบบที่ 4, 5 และ 6 ที่ความเร็ว 75 รอบต่อนาที ระยะการตัดทลาย 9 เซนติเมตร ของวงจรถ P

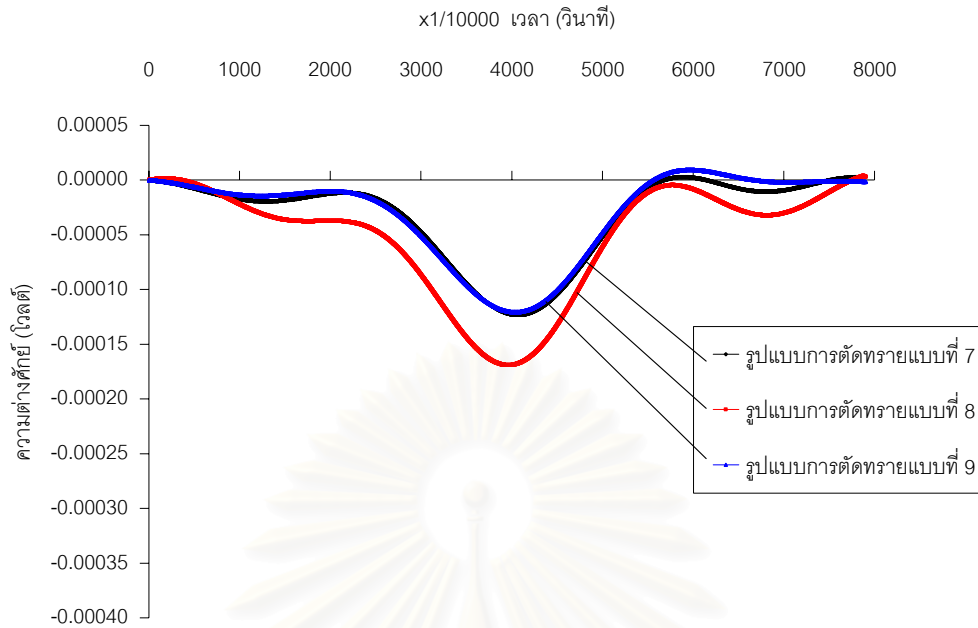


รูปที่ 7.54 สัญญาณที่ได้จากการพรวนด้วยโม่มีดที่มีโม่มีดข้างเคียง รูปแบบที่ 4, 5 และ 6 ที่ความเร็ว 75 รอบต่อนาที ระยะการตัดทลาย 9 เซนติเมตร ของวงจรม

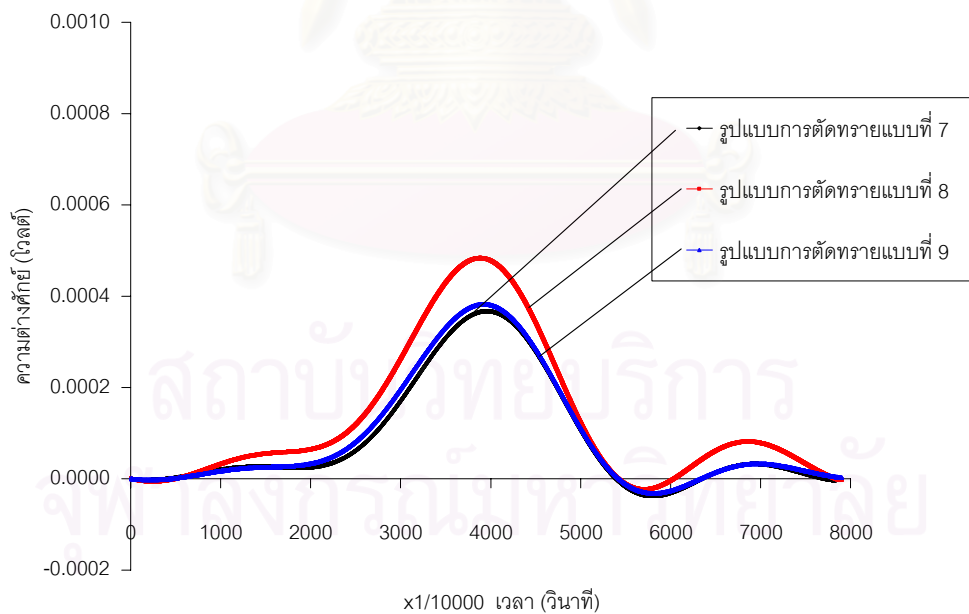
7.4.3 รูปแบบการตัดทลายแบบที่ 7, 8 และ 9



รูปที่ 7.55 สัญญาณที่ได้จากการพรวนด้วยโม่มีดที่มีโม่มีดข้างเคียง รูปแบบที่ 7, 8 และ 9 ที่ความเร็ว 75 รอบต่อนาที ระยะการตัดทลาย 9 เซนติเมตร ของวงจรม F



รูปที่ 7.56 สัญญาณที่ได้จากการพรวนด้วยไบนีตที่มีไบนีตข้างเคียง รูปแบบที่ 7, 8 และ 9 ที่ความเร็ว 75 รอบต่อนาที ระยะการตัดทอย 9 เซนติเมตร ของวงจ P



รูปที่ 7.57 สัญญาณที่ได้จากการพรวนด้วยไบนีตที่มีไบนีตข้างเคียง รูปแบบที่ 7, 8 และ 9 ที่ความเร็ว 75 รอบต่อนาที ระยะการตัดทอย 9 เซนติเมตร ของวงจ M

บทที่ 8

วิเคราะห์และอภิปรายผลการสอบเทียบ EOR

การสอบเทียบ Extended Octagonal Ring หรือ EOR เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับแรงกระทำที่ EOR โดยแสดงอยู่ในรูปกราฟที่เรียกว่า *เส้นโค้งสอบเทียบ* (Calibration curve) ในการศึกษาที่ผ่านมาจะถือว่า EOR สามารถที่จะวัดแรงกด F และแรงเฉือน P ได้อย่างอิสระจากตำแหน่งของแรงกระทำ (Godwin, 1975: 352) ทำให้ได้ความสัมพันธ์อยู่ในรูปของสมการดังนี้

$$V_f = a |F| \sin(\theta) \quad (8.1)$$

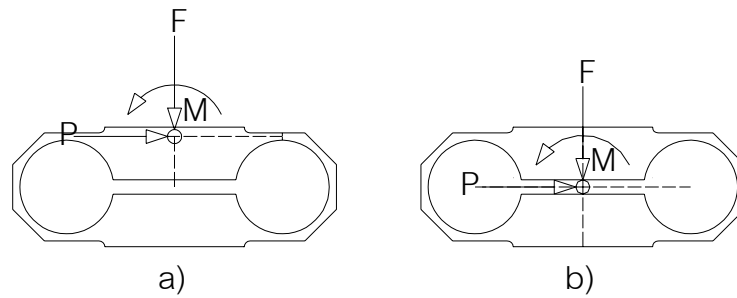
$$V_p = c |F| \cos(\theta) \quad (8.2)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{cV_f}{aV_p} \right) \quad (8.3)$$

$$V_m = k|F|L = kM \quad (8.4)$$

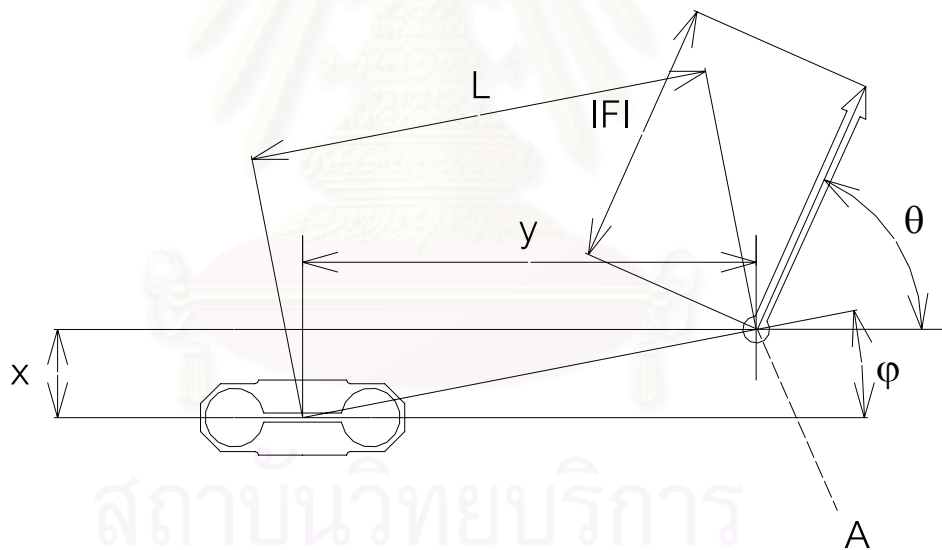
และถือว่า cross sensitivity มีค่าน้อยทำให้สามารถตัดทิ้งได้ โดยที่ cross sensitivity ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของการติดตั้งเตรนเกจ บน EOR ทำให้การศึกษาต่อๆ มาเน้นในการวิเคราะห์หาตำแหน่งของ strain node เพื่อที่จะให้ค่าของ cross sensitivity มีค่าน้อยที่สุด

จากผลการทดลองในบทที่ 7 พบว่าความสัมพันธ์ของความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้กับแรงที่กระทำนั้นแสดงถึงผลของโมเมนต์ว่ามีนัยสำคัญ ดังนั้น การวิเคราะห์การสอบเทียบ EOR ในบทนี้จะเปลี่ยนแนวคิดเริ่มต้นเกี่ยวกับ EOR จากเดิมที่ EOR นั้นมีการพัฒนามาจากวงแหวนการวิเคราะห์แรงกระทำที่จุดศูนย์กลางตามความยาวของ EOR (ดังแสดงในรูป a) ในรูปที่ 8.1) จะแยกแรงไปกระทำที่วงแหวนแต่ละข้าง (Hoag และ Yoerger, 1975: 996) ส่วนแนวคิดใหม่ที่จะใช้ในการวิเคราะห์ในบทนี้จะเริ่มต้นจากการตั้งจุดอ้างอิงสำหรับวิเคราะห์ คือ ที่จุดศูนย์กลาง (centroid) ของ EOR (ดังแสดงในรูป b) ในรูปที่ 8.1)



รูปที่ 8.1 แรงกระทำที่ EOR

เมื่อมีแรงกระทำที่ตำแหน่ง A ซึ่งมีระยะห่างจากจุดศูนย์กลางตามความยาวของ EOR เท่ากับ y และระยะห่างจากศูนย์กลางวงกลมของ EOR เท่ากับ x (ดังแสดงในรูปที่ 8.2) ในการสอบเทียบ EOR ความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นเป็นความสัมพันธ์ของตัวแปร 4 ตัว คือ เวกเตอร์ตำแหน่งของแรงกระทำ (ระยะ L (เมตร) และองศาของระยะกระทำ ϕ (องศา)) และเวกเตอร์แรงกระทำ (ขนาดของแรง $|F|$ (นิวตัน) และมุมของแรงกระทำ θ (องศา)) ความสัมพันธ์นี้จะถูกนำไปใช้ในการวิเคราะห์แรงต้านทานที่กระทำกับใบมีดจอบหมุนในหนึ่งรอบที่มุมต่างๆ



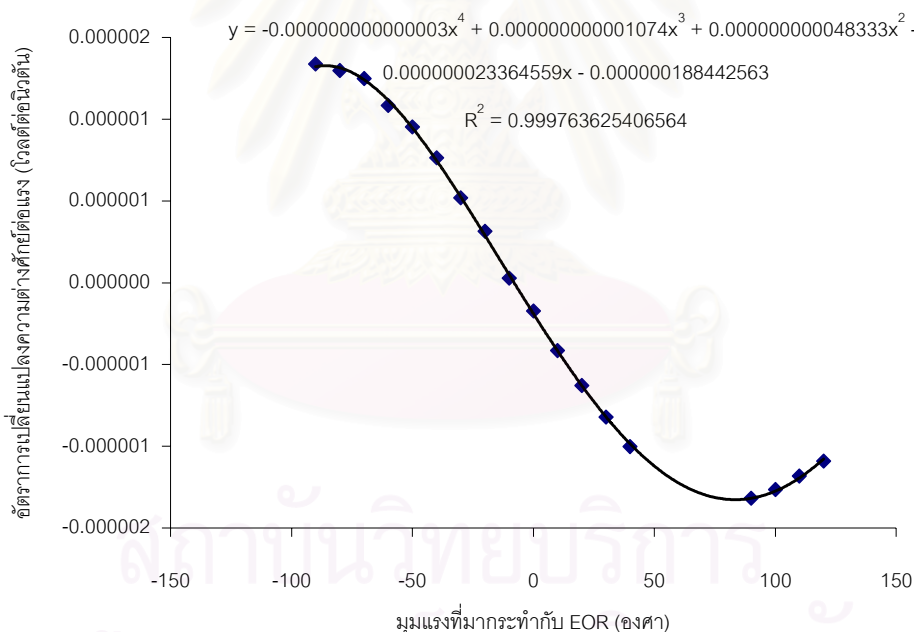
รูปที่ 8.2 ตัวแปรของแรงกระทำที่ตำแหน่ง A เทียบกับ EOR

ผลการสอบเทียบในบทที่ 7 ได้แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความต่างศักย์กับแรงกระทำ แต่ไม่ได้แสดงความสัมพันธ์ที่ชัดเจนกับตัวแปรที่เหลือ (คือ ระยะ L องศาของระยะกระทำ ϕ และมุมของแรงกระทำ θ) ซึ่งความสัมพันธ์กับตัวแปรเหล่านี้ควรเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้น เพื่อที่จะทำให้สร้างโมเดลเชิงเส้นได้

การวิเคราะห์เริ่มจากกรณีเมื่อมีแรงกระทำกับ EOR ในทิศทางต่างๆ ซึ่งเป็นกรณีเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรเพียงตัวเดียว คือ มุมของแรงที่กระทำ (การทดลองในหัวข้อ 6.3.3) เมื่อเทียบที่แรงกระทำที่เท่ากัน โดยในการวิเคราะห์เลือกใช้เลขนัยสำคัญ คือ 10 ตำแหน่งสำหรับแสดงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้จาก EOR และ 5 ตำแหน่งสำหรับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างในการวิเคราะห์

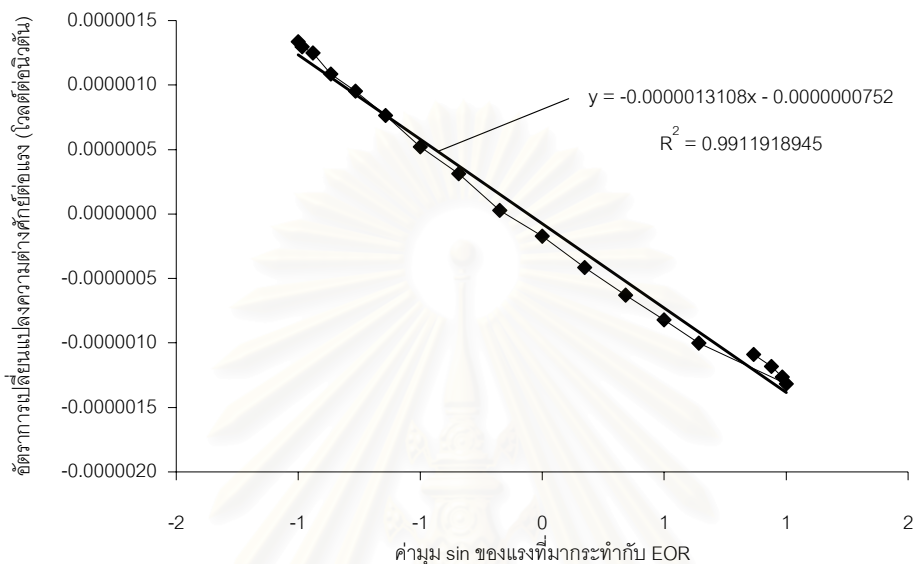
8.1 การสอบเทียบแรงที่มากกระทำกับ EOR ในทิศทางต่างๆ

การเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ของทั้ง 3 วงจรมีความสัมพันธ์ในลักษณะเป็นเชิงเส้นกับแรงที่มากกระทำ โดยที่มุมต่างกันจะมีความชันต่างกัน (ดังแสดงในรูปที่ 7.7 – รูปที่ 7.9) เมื่อนำความชัน หรืออัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ต่อแรงที่มากกระทำกับ EOR ในทิศทางต่างๆ มาแสดงผลในรูปกราฟเทียบกับมุมที่กระทำ จะพบว่าความสัมพันธ์ของทั้ง 3 วงจรไม่เป็นเชิงเส้น (ดังแสดงในรูปที่ 8.3 - รูปที่ 8.5)

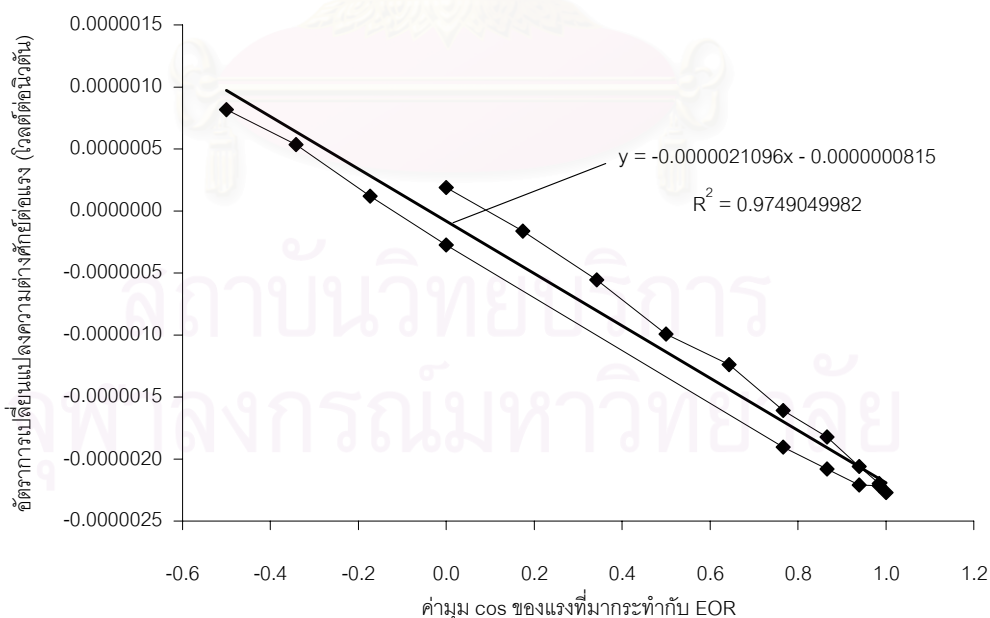


รูปที่ 8.3 การเปลี่ยนแปลงอัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ต่อแรงกระทำต่อ EOR ในทิศทางต่างๆ ต่อมุมแรงที่มากกระทำกับ EOR ของวงจร F

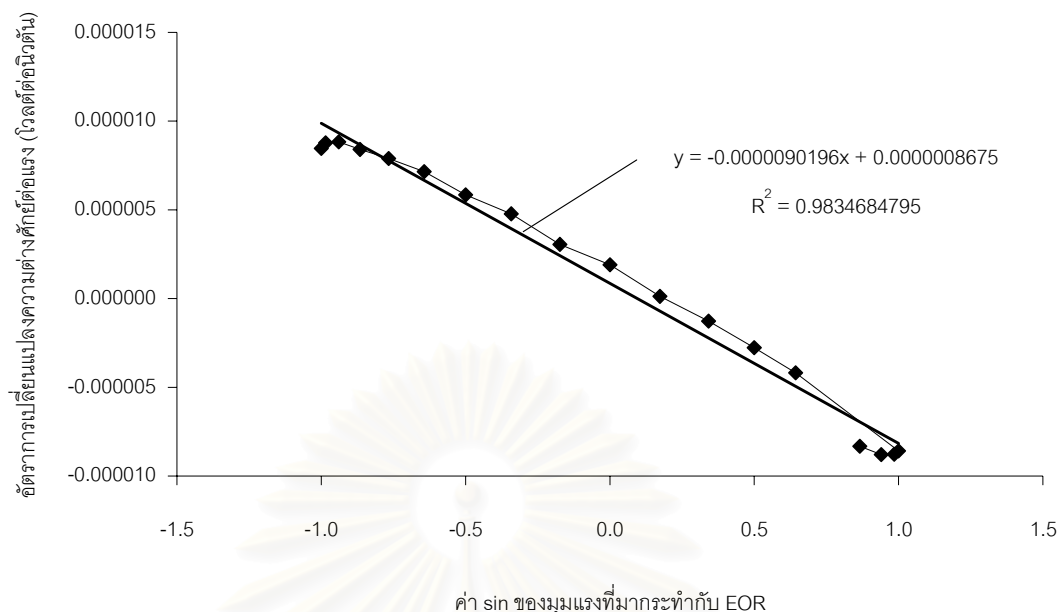
กราฟในรูปที่ 8.3 - รูปที่ 8.5 มีลักษณะคล้ายกับกราฟ sin, cos และ sin ตามลำดับ เมื่อเปลี่ยนการแสดงผลในแกน x เป็นการเทียบกับค่ามุม sin, cos และ sin (ดังแสดงในรูปที่ 8.6 - รูปที่ 8.8 ตามลำดับ) เห็นได้ว่าความสัมพันธ์มีลักษณะแนวโน้มเป็นเชิงเส้นมากขึ้น



รูปที่ 8.6 การเปลี่ยนแปลงอัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ต่อแรงกระทำต่อ EOR ในทิศทางต่างๆ ต่อค่ามุม sin ของแรงที่มากระทำกับ EOR ของวงจร F



รูปที่ 8.7 การเปลี่ยนแปลงอัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ต่อแรงกระทำต่อ EOR ในทิศทางต่างๆ ต่อค่ามุม cos ของแรงที่มากระทำกับ EOR ของวงจร P

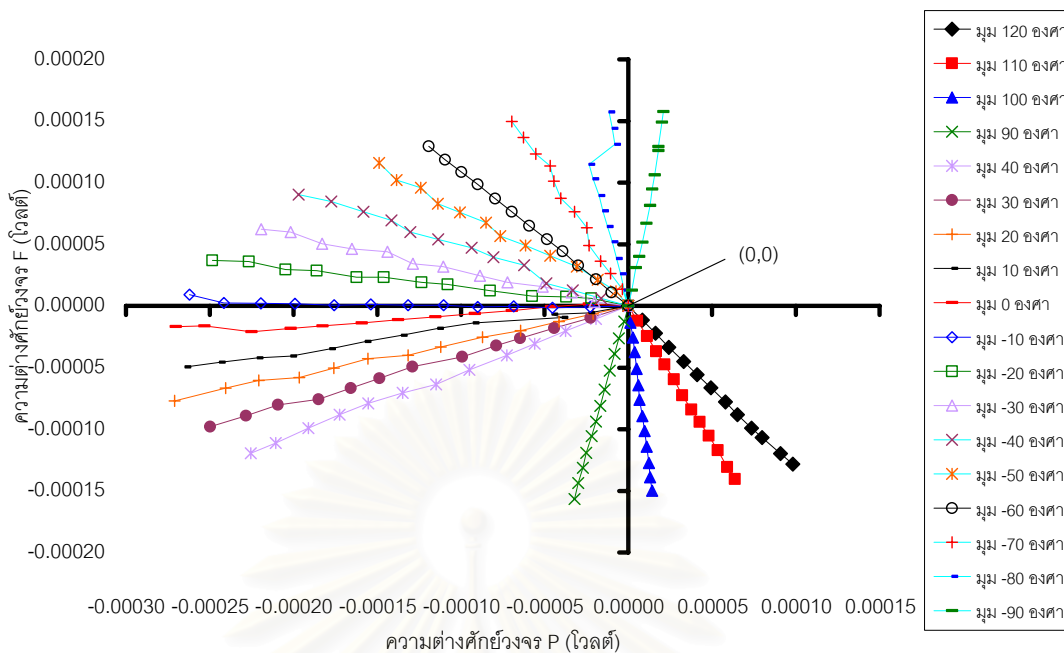


รูปที่ 8.8 การเปลี่ยนแปลงอัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ต่อแรงกระทำต่อ EOR ในทิศทางต่างๆ ต่อค่ามุม sin ของแรงที่มากกระทำกับ EOR ของวงจร M

ในกรณีนี้ความสัมพันธ์ของตัวแปรคือ มุมของแรงกระทำ θ หาได้โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลการสอบเทียบ พบว่ากราฟในรูปที่ 8.6 รูปที่ 8.7 และ รูปที่ 8.8 มีลักษณะที่เป็นเชิงเส้นเมื่อ θ อยู่ในรูปของ sin หรือ cos (แม้ว่าไม่เชิงเส้นสมบูรณ์) ในรูปที่ 8.6 แกน y คือ $\frac{V_f}{|F|}$ ความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นจะเขียนความสัมพันธ์ได้คือ $\frac{V_f}{|F|} = a \sin \theta$ หรือ $V_f = |F| a \sin \theta$ ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ตามสมการ (8.1) และในทำนองเดียวกันถ้าความสัมพันธ์ใน รูปที่ 8.7 และ รูปที่ 8.8 เป็นเชิงเส้น จะสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ตามสมการ (8.2) และ (8.4) ตามลำดับ

8.1.1 พิจารณาวงจร F และวงจร P ในกรณีแรงกระทำต่อ EOR ในทิศทางต่างๆ

เมื่อนำความต่างศักย์ไฟฟ้าของวงจร F และวงจร P มาหาความสัมพันธ์เพื่อแสดงในรูปแบบของกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 8.9



รูปที่ 8.9 การเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ของวงจร F ต่อความต่างศักย์ของวงจร P ในกรณีแรงกระทำต่อ EOR ในทิศทางต่างๆ

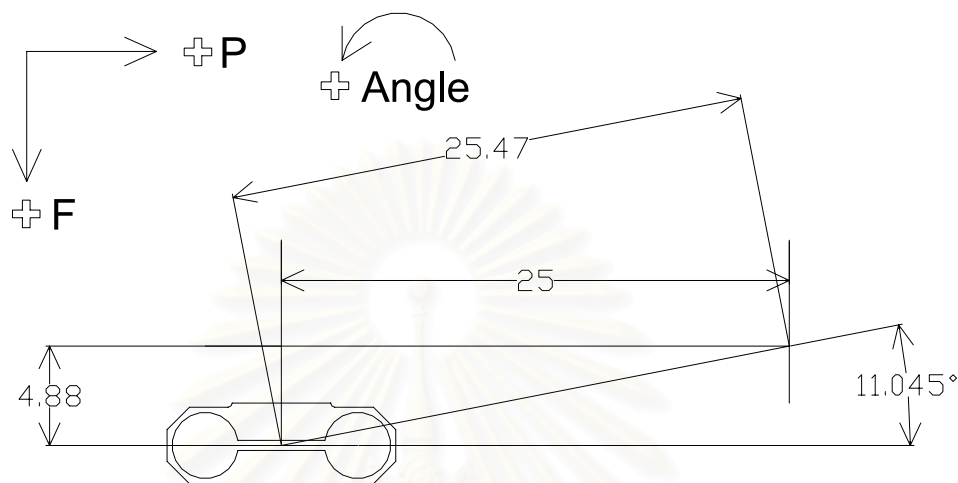
จากกราฟในรูปที่ 8.9 พบว่า

1. ความสัมพันธ์ของวงจร F กับวงจร P มีลักษณะเป็นเชิงเส้น
2. ตามทฤษฎีที่มุม 0 องศา ความต่างศักย์ของวงจร F ควรจะมีค่าเป็น 0 และที่มุม 90 องศา ความต่างศักย์ของวงจร P ควรจะมีค่าเป็น 0 แต่ในกราฟเห็นได้ว่าที่มุมประมาณ -10 องศา วงจร F มีค่าความต่างศักย์เกือบเป็นศูนย์
3. ที่มุมต่างกัน 180 องศาจะอยู่ตรงข้ามกัน เช่น ที่มุม 90 องศา มีค่าความชันใกล้เคียงกับที่มุม -90 องศา
4. เส้นความชันของมุม 90 องศากับเส้นความชันของมุม 0 องศาไม่ตั้งฉากกัน

ความสัมพันธ์ที่แสดงในรูปที่ 8.9 แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ตามทฤษฎีที่ตั้งแสดงในสมการ (8.1) - (8.2) สำหรับกรณีนี้ไม่ถูกต้องนัก ทั้งนี้อาจมีผลเนื่องมาจากปัจจัยภายนอกทำให้องศาของแรงกระทำมีค่าเปลี่ยนไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเพิ่มมุม δ_1 สำหรับวงจร F และมุม δ_2 สำหรับวงจร P เมื่อนำความสัมพันธ์จากสมการ (8.1) และ (8.2) มาเขียนใหม่ให้อยู่ในรูปสมการที่มีค่ามุม δ_1 และ δ_2 รวมอยู่ด้วย ก็จะได้ดังนี้

$$V_f = |F| \sin(\theta + \delta_1) \quad (8.5)$$

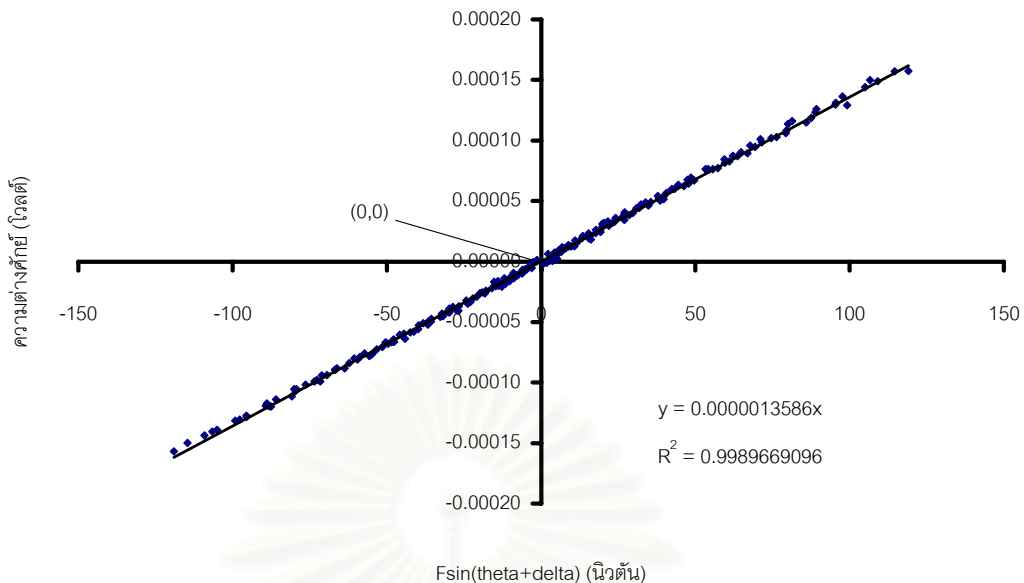
$$V_p = |F| \cos(\theta + \delta_2) \quad (8.6)$$



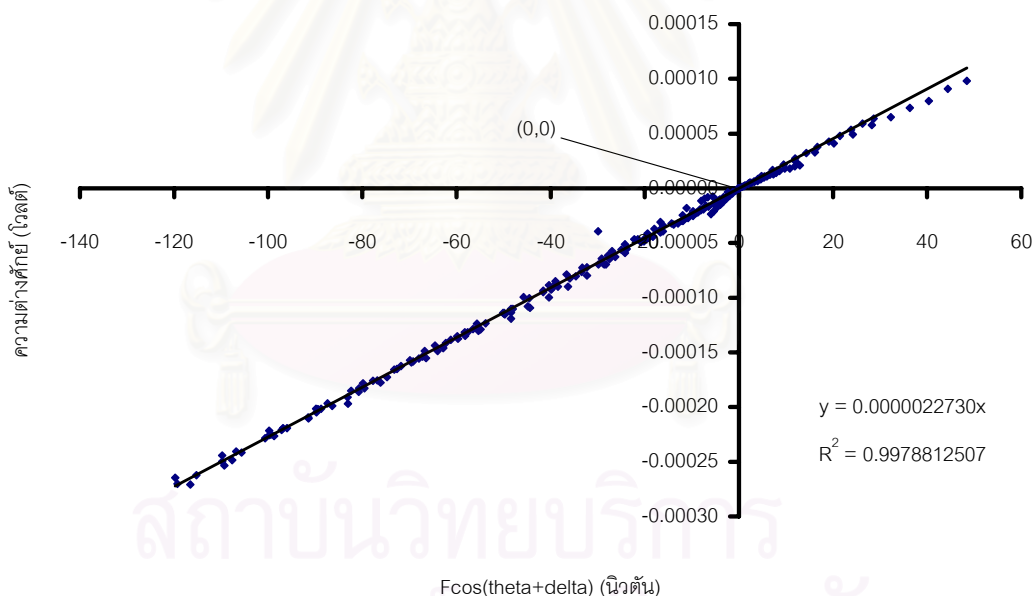
รูปที่ 8.10 แสดงระยะและมุมของตำแหน่งที่แรงกระทำในการสอบเทียบ

ในการทดลองสอบเทียบกำหนดให้ระยะ L เท่ากับ 25.472 เซนติเมตร และมุม ϕ มีค่าเท่ากับ 11.045 องศา (ดังแสดงในรูปที่ 8.10) กำหนดให้ทิศของแรงกด F ที่กดลงบน EOR (\downarrow) มีค่าเป็นบวก ทิศของแรงเจือน P ไปทางขวาของ EOR (\rightarrow) มีค่าเป็นบวก และค่ามุมเป็นบวก เมื่อหมุนทวนเข็มนาฬิกา (\curvearrowright)

เมื่อนำผลการสอบเทียบของวงจร F ในรูปที่ 7.7 และวงจร P ในรูปที่ 7.8 มาเขียนใหม่ตามสมการ (8.5) และ (8.6) โดยมีทิศทางแรงที่ได้กำหนดตามรูปที่ 8.10 ตามลำดับ จากนั้นโดยวิธีการลองแทนค่า δ_1 เพิ่ม ครั้งละ 1 องศาแล้วพบว่าเมื่อ δ_1 มีค่าประมาณ 7.3 องศา ความสัมพันธ์ของสมการ (8.5) มีลักษณะเป็นเชิงเส้น ทำให้ผลการสอบเทียบในรูปที่ 7.7 สามารถแสดงในรูปกราฟใหม่ได้ดังแสดงในรูปที่ 8.11 และในทำนองเดียวกันพบว่า δ_2 มีค่าประมาณ -6.2 องศา ความสัมพันธ์ของสมการ (8.6) มีลักษณะเป็นเชิงเส้น ทำให้ผลการสอบเทียบในรูปที่ 7.8 สามารถแสดงในรูปกราฟใหม่ได้ดังแสดงในรูปที่ 8.12



รูปที่ 8.11 ผลการสอบเทียบกับแรงที่มากกระทำกับ EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจร F เมื่ออยู่ในรูปของสมการ (8.5)



รูปที่ 8.12 ผลการสอบเทียบกับแรงที่มากกระทำกับ EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจร P เมื่ออยู่ในรูปของสมการ (8.6)

เมื่อพิจารณา $|F\sin(\theta)$ ในสมการ (8.1) เทียบกับ $|F\sin(\theta + \delta_1)$ ในสมการ (8.5) ด้วยค่ามุม $\delta_1 = 7.3$ องศา มีขนาดต่างกัน คือ ประมาณ $\cos(7.3) = 0.992$ หรือประมาณ 0.8% ดังนั้น ความสัมพันธ์ของความต่างศักย์กับแรงกระทำสำหรับวงจร F สามารถแทนได้ด้วยสมการ (8.1) และพิจารณาสมการความถดถอยเชิงเส้นของรูปที่ 8.11 คือ $y = 0.0000013586x$

เทียบกับสมการความถดถอยเชิงเส้นของมุมแรง -90 ในตารางที่ ข.3.1 คือ $y = 0.0000013369x$ มีค่าต่างกัน $\frac{0.000013586 - 0.0000013369}{0.000013586} \times 100 = 1.6\%$ ดังนั้น สมการความถดถอยเชิงเส้น

ของวงจร F สามารถแทนได้ด้วยสมการความถดถอยเชิงเส้นที่สอบเทียบด้วยแรงทำมุม -90 องศา

ในการทำงานเดียวกันเมื่อพิจารณา $|F|\cos(\theta)$ ในสมการ (8.2) เทียบกับ $|F|\cos(\theta + \delta_2)$ ในสมการ (8.6) ด้วยค่ามุม $\delta_2 = -6.2$ องศา มีขนาดต่างกัน คือ ประมาณ $\cos(6.2) = 0.994$ หรือประมาณ 0.6% ดังนั้น ความสัมพันธ์ของความต่างศักย์กับแรงกระทำ สำหรับวงจร P สามารถแทนได้ด้วยสมการ (8.2) และพิจารณาสมการความถดถอยเชิงเส้นของรูปที่ 8.12 คือ $y = 0.0000022730x$ เทียบกับสมการความถดถอยเชิงเส้นของมุมแรง 0 ในตารางที่ ข.3.2 คือ $y = -0.0000022717x$ ซึ่งเป็นสมการที่ได้จากกราฟสอบเทียบที่ไม่ได้กำหนดทิศทางบวกลบของมุมแรง เมื่อกำหนดค่าทิศทางจะได้ $y = 0.0000022717x$ มีค่าต่างกัน $\frac{0.000022730 - 0.0000022717}{0.000022730} \times 100 = 0.06\%$ ดังนั้น สมการความถดถอยเชิงเส้นของวงจร P

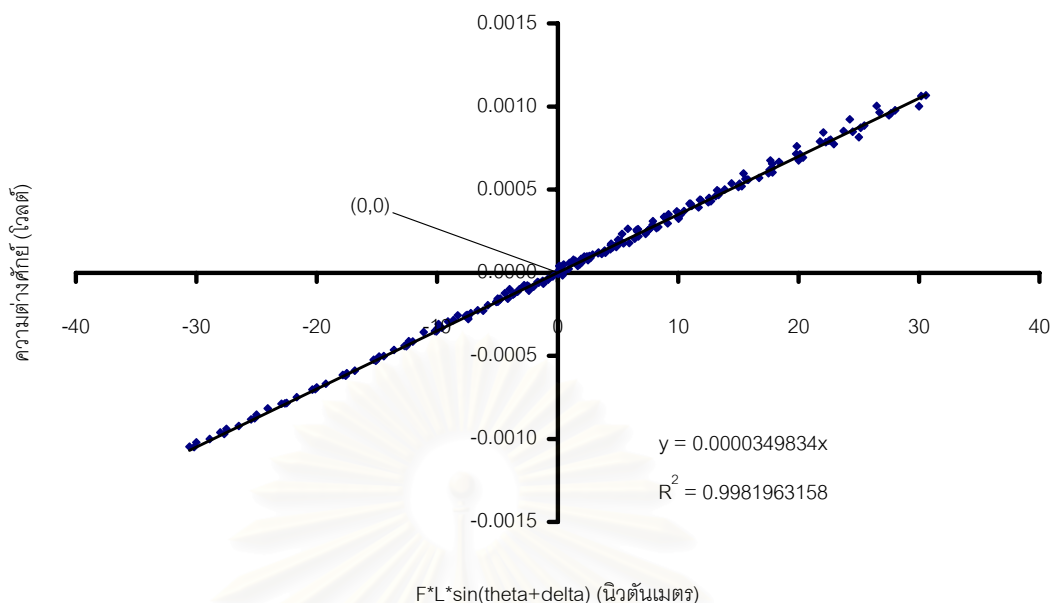
สามารถแทนได้ด้วยสมการความถดถอยเชิงเส้นที่สอบเทียบด้วยแรงทำมุม 0 องศา

8.1.2 พิจารณาวงจร M ในกรณีแรงกระทำต่อ EOR ในทิศทางต่างๆ

เมื่อพิจารณากรณีของวงจร M ที่วัดโมเมนต์เช่นเดียวกับของแรงกด F และ แรงเฉือน P โดยกำหนดมุมเพิ่ม δ_3 จะได้ว่า

$$V_m = |F|L\sin(\theta + \delta_3) \quad (8.7)$$

ในการทำงานเดียวกัน เมื่อนำผลการสอบเทียบของวงจร M ในรูปที่ 7.9 มาเขียนใหม่ตามสมการ (8.7) แล้วลองแทนค่า δ_3 สุดท้ายพบว่าเมื่อ δ_3 มีค่าประมาณ -11.8 องศา ความสัมพันธ์ของสมการ (8.7) มีลักษณะเป็นเชิงเส้นโดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.99827 ซึ่งมุม ϕ มีค่าเท่ากับ 11.045 องศาสำหรับการทดลอง ซึ่งเมื่อแทนค่า $\delta_3 = -\phi \approx -11$ องศา ความสัมพันธ์ของสมการ (8.7) ยังคงมีลักษณะเป็นเชิงเส้นโดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.99820 (ดังแสดงในรูปที่ 8.13)



รูปที่ 8.13 ผลการสอบเทียบกับแรงที่มากกระทำกับ EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจรม เมื่ออยู่ในรูปของสมการ (8.7)

ดังนั้นสมการ (8.7) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของมุม ϕ ได้ดังนี้

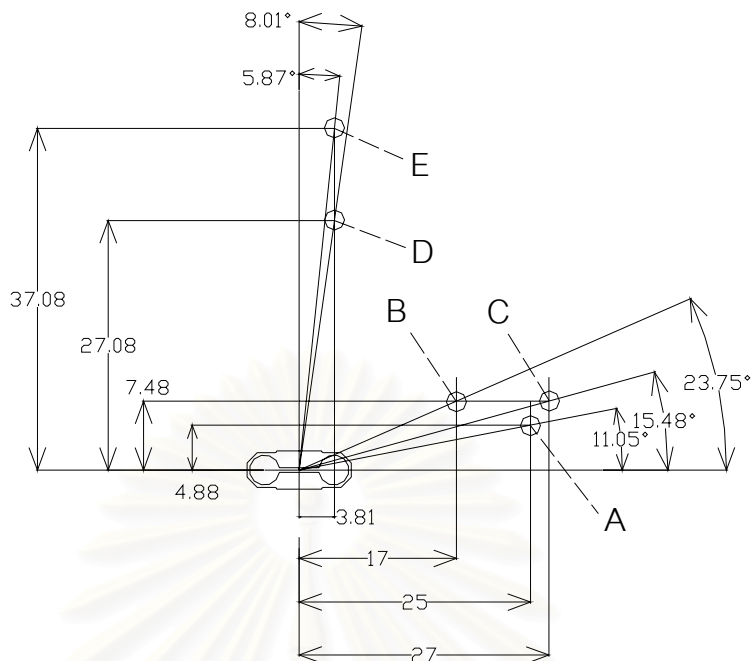
$$V_m = |F|L \sin(\theta - \phi) \quad (8.8)$$

สมการ (8.8) แสดงให้เห็นว่าความต่างศักราชที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์กับโมเมนต์ที่เกิดจากองค์ประกอบของแรงที่อยู่ในทิศทางตั้งฉากกับระยะ L ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ตามทฤษฎีของ EOR

ดังนั้นผลการสอบเทียบในกรณีนี้จะได้ความสัมพันธ์ของความต่างศักราชกับแรงกระทำบน EOR ตามสมการ (8.1) (8.2) และ (8.8) สำหรับวงจรม F , P และ M ตามลำดับ ซึ่งจะต้องนำไปตรวจสอบกับการสอบเทียบในกรณีอื่นๆ เพื่อหาความสัมพันธ์ของความต่างศักราชกับตัวแปรสำหรับสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์

8.2 การสอบเทียบแรงกดและแรงเฉือนกับ EOR

ในรูปที่ 8.14 ตำแหน่งและมุมของแรงกระทำในกรณีของแรงกด F คือ ที่ตำแหน่ง B, C และ ตำแหน่งที่จุดศูนย์กลางตามความยาวของ EOR ส่วนตำแหน่งและมุมของแรงกระทำในกรณีของแรงเฉือน P คือ ที่ตำแหน่ง A, D และ E



รูปที่ 8.14 แสดงระยะและมุมของตำแหน่งที่แรงกระทำในการสอบเทียบในกรณีแรงกด F และแรงเคียน P

8.2.1 พิจารณาวงจร M ในกรณีสอบเทียบแรงกดและแรงเคียนกับ EOR

จากหัวข้อ 8.1 ความต่างศักย์ของวงจร M มีความสัมพันธ์กับโมเมนต์ที่กระทำดังแสดงในสมการ (8.8) เพื่อเปรียบเทียบผลการสอบเทียบที่ได้จากกรณีของแรงกด F และแรงเคียน P ทำการเปลี่ยนค่าแกน x ในรูปที่ 7.3 และรูปที่ 7.6 ให้อยู่ในรูปของโมเมนต์ตามสมการ (8.8) โดย

ในกรณีแรง F ที่ระยะ 27 เซนติเมตร $L = 28.02$ เซนติเมตร $\phi = 15.48$ องศา

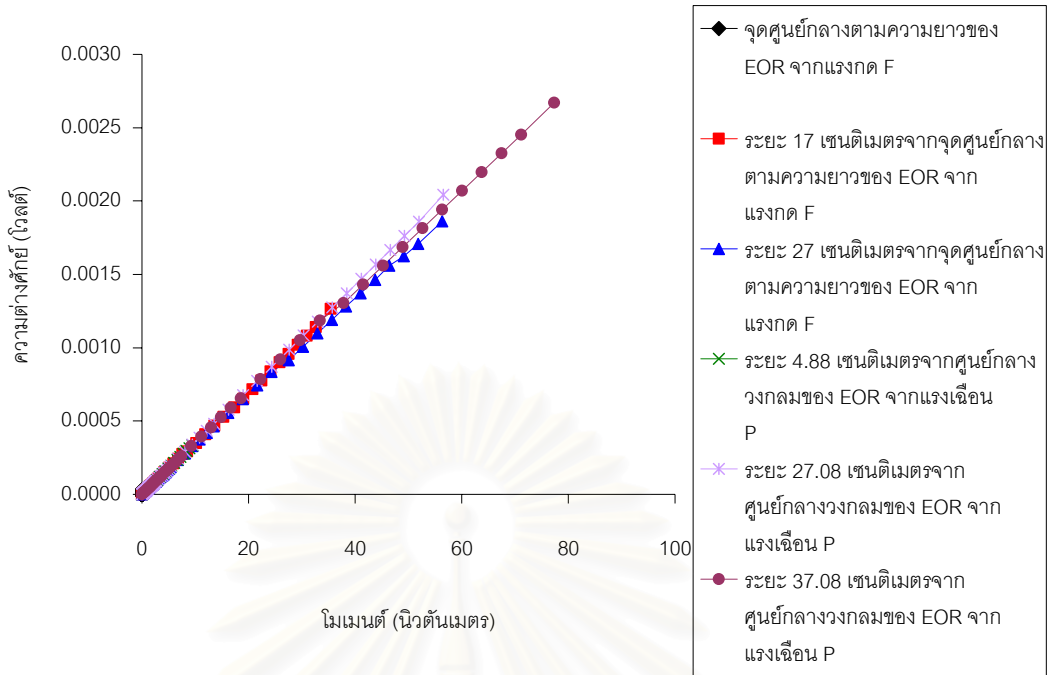
ที่ระยะ 17 เซนติเมตร $L = 18.57$ เซนติเมตร $\phi = 23.75$ องศา

ในกรณีแรง P ที่ระยะ 35 เซนติเมตร $L = 37.28$ เซนติเมตร $\phi = 5.87$ องศา

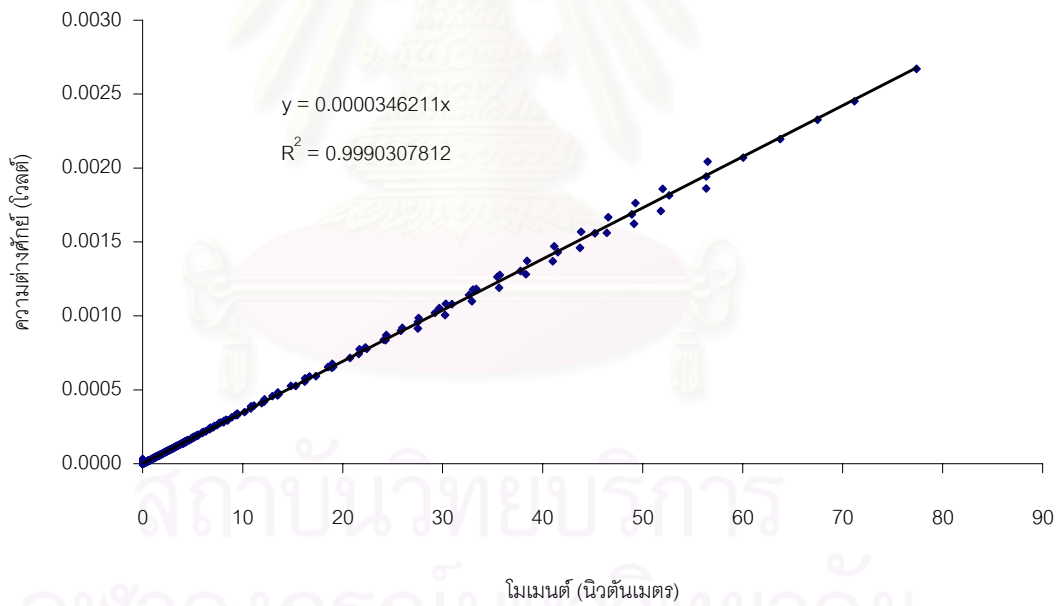
ที่ระยะ 25 เซนติเมตร $L = 27.35$ เซนติเมตร $\phi = 8.01$ องศา

โดยกำหนดให้ทิศทางของโมเมนต์มีค่าเป็นบวกเมื่อหมุนตามเข็มนาฬิกา (U)

และทุกกรณี $\theta = -90$ องศา จะได้ความสัมพันธ์ในรูปของความต่างศักย์กับโมเมนต์ (ดังแสดงในรูปที่ 8.15) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ในลักษณะเชิงเส้น (ดังแสดงในรูปที่ 8.16)



รูปที่ 8.15 ผลการสอบเทียบโมเมนต์จากแรงกด F และแรงเฉือน P กับ EOR ที่ระยะต่างๆ



รูปที่ 8.16 ผลการสอบเทียบโมเมนต์กับ EOR

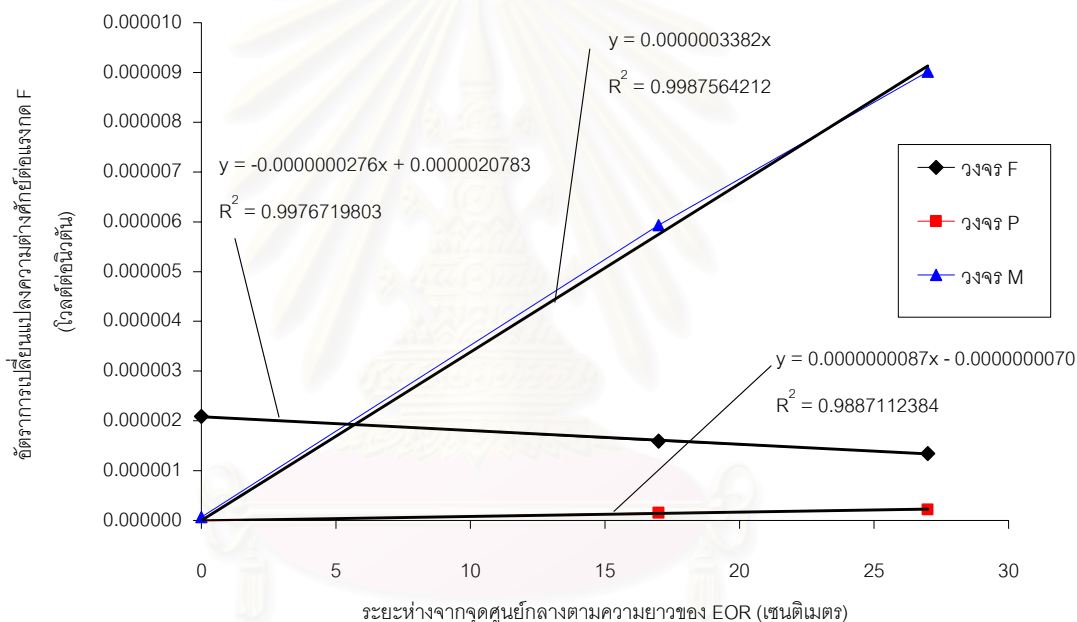
สมการความถดถอยเชิงเส้นของวงจรม ในหัวข้อ 8.1 (ดูในรูปที่ 8.13) ต่างกับในหัวข้อ 8.2 (ดูในรูปที่ 8.16) คือ

$$\frac{0.0000349834 - 0.00000346211}{0.0000349834} \times 100 = 1.04\%$$

แสดงว่าในการสอบเทียบแรงในกรณีต่างๆ กับคานที่ติดบน EOR วงจร M ไม่ขึ้นกับระยะ L ของโมเมนต์ที่กระทำ แต่ขึ้นกับโมเมนต์ที่กระทำซึ่งเป็นความสัมพันธ์ในรูปของสมการ (8.8)

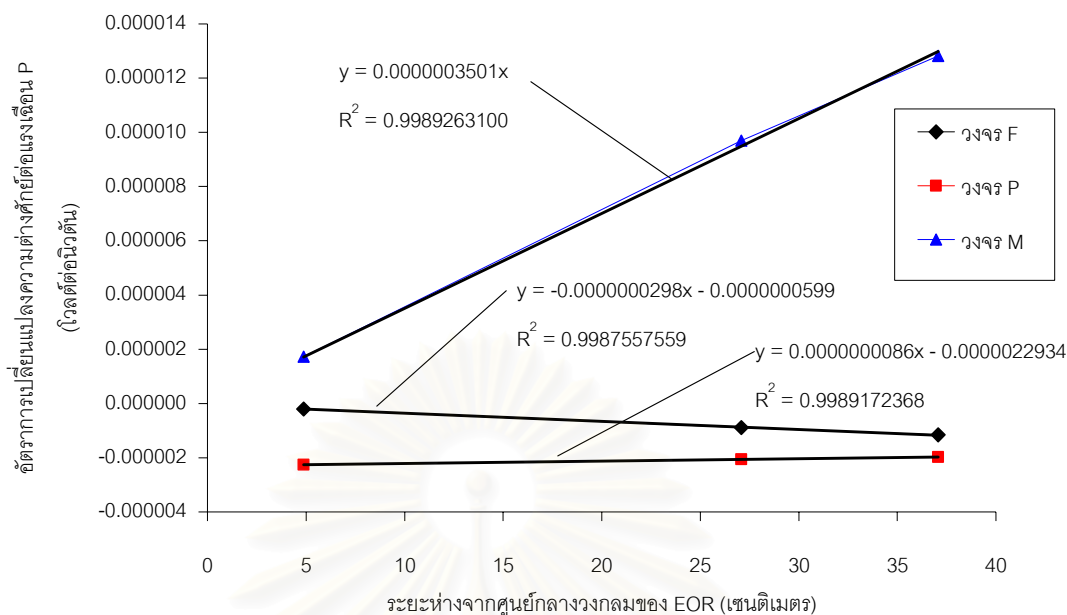
8.2.2 พิจารณาวงจร F และวงจร P ในกรณีสอบเทียบแรงกดและแรงเฉือนกับ EOR

ผลการทดลองในหัวข้อ 7.1.1 เมื่อพิจารณารูปที่ 7.1 และรูปที่ 7.2 นำความชันที่ระยะต่างๆ ของการสอบเทียบกับระยะห่างจากจุดศูนย์กลางตามความยาวของ EOR มาแสดงผลในรูปกราฟดังแสดงในรูปที่ 8.17



รูปที่ 8.17 การเปลี่ยนแปลงอัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ต่อแรงกด F ต่อระยะห่างจากจุดศูนย์กลางตามความยาวของ EOR ของวงจร F, P และ M

ในทำนองเดียวกันผลการทดลองในหัวข้อ 7.1.2 เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 7.4 และรูปที่ 7.5 นำความชันที่ระยะต่างๆ ของการสอบเทียบกับระยะห่างจากศูนย์กลางวงกลมของ EOR มาแสดงผลในรูปกราฟดังแสดงในรูปที่ 8.18



รูปที่ 8.18 การเปลี่ยนแปลงอัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ต่อแรงเฉือน P ต่อระยะห่างจากศูนย์กลางวงกลมของ EOR ของวงจร F, P และ M

ตามทฤษฎีการทำงานของ EOR แล้ว EOR ควรวัดแรงกด F และแรงเฉือน P ได้อย่างอิสระต่อกัน แต่จากผลการทดลองในรูปที่ 7.2 และรูปที่ 7.4 แสดงให้เห็นว่าเกิดความต่างศักย์ขึ้นในวงจร P ในกรณีเพิ่มแรงกด F และเกิดความต่างศักย์ขึ้นในวงจร F ในกรณีเพิ่มแรงเฉือน P ซึ่งในการศึกษาที่ผ่านมาถือว่าเป็นความไวข้าม (cross sensitivity)

ดังนั้น จากการวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นดังกล่าวในรูปที่ 8.17 และ รูปที่ 8.18 พบว่าการเปลี่ยนแปลงของวงจร F ในกรณีของแรง P ต่อแรง F มีค่า

$$\frac{-0.0000000276 - (-0.0000000298)}{-0.0000000276} \times 100 = -8\%$$

ค่า และในทำนองเดียวกันการเปลี่ยนแปลงของวงจร P ในกรณีของแรง P ต่อแรง F มี

$$\frac{0.0000000087 - 0.0000000086}{0.0000000087} \times 100 = 1.15\%$$

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของทั้งวงจร F และวงจร P มีค่าใกล้เคียงและมีแนวโน้มเป็นเชิงเส้น ดังนั้น จึงเลือกผลการทดลองในรูปที่ 8.17 และ รูปที่ 8.18 มาทำการวิเคราะห์

หาความสัมพันธ์ของตัวแปรซึ่งก็คือ L และ φ โดยกราฟในรูปที่ 8.17 และ รูปที่ 8.18 สามารถแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปร L และ φ ในรูปของสมการได้ดังนี้

$$\frac{V_f}{|F|\sin\theta} = a + bL\cos\varphi \quad (8.9)$$

$$\frac{V_p}{|F|\cos\theta} = c + dL\sin\varphi \quad (8.10)$$

พิจารณาจัดรูปสมการ (8.9) และสมการ (8.10) ใหม่ จะได้ว่า

$$\frac{V_f}{b} = \frac{a}{b}|F|\sin\theta + |F|L\sin\theta\cos\varphi \quad (8.11)$$

$$\frac{V_p}{d} = \frac{c}{d}|F|\cos\theta + |F|L\cos\theta\sin\varphi \quad (8.12)$$

นำสมการ (8.11) ลบด้วยสมการ (8.12)

$$\frac{V_f}{b} - \frac{V_p}{d} = |F|\left(\frac{a}{b}\sin\theta - \frac{c}{d}\cos\theta\right) + |F|L\sin(\theta - \varphi) \quad (8.13)$$

แทนค่าสมการ (8.8) ลงในสมการ (8.13) จะได้

$$\frac{V_f}{b} - \frac{V_p}{d} = |F|\left(\frac{a}{b}\sin\theta - \frac{c}{d}\cos\theta\right) + V_m \quad (8.14)$$

จัดรูปของสมการ (8.14) ใหม่ในรูปของ V_f กับ V_p ดังนี้

$$V_f = a|F|\left(\sin\theta - \frac{bc}{ad}\cos\theta\right) + bV_m + \frac{b}{d}V_p \quad (8.15)$$

$$V_p = -c|F|\left(\frac{ad}{bc}\sin\theta - \cos\theta\right) - dV_m + \frac{d}{b}V_f \quad (8.16)$$

พจน์ $a|F|\left(\sin\theta - \frac{bc}{ad}\cos\theta\right)$ ในสมการ (8.15) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของ $|F|\sin(\theta - \delta)$ และพจน์ $-c|F|\left(\frac{ad}{bc}\sin\theta - \cos\theta\right)$ ในสมการ (8.16) สามารถเขียนให้อยู่ในรูป

ของ หรือ $|F|\cos(\theta - \delta)$ ซึ่งจะสอดคล้องกับสมการ (8.5) และสมการ (8.6) ดังนั้นสมการ (8.15) และสมการ (8.16) สามารถจัดรูปใหม่ได้ดังนี้

$$V_f = \frac{b}{d}V_p + a|F|\sin(\theta - \delta) + bV_m \quad (8.17)$$

$$V_p = \frac{d}{b}V_f + c|F|\cos(\theta - \delta) - dV_m \quad (8.18)$$

จัดความสัมพันธ์ของสมการ (8.17) ให้ในรูปอย่างง่าย โดยการตั้งสมมติฐาน สำหรับการวิเคราะห์ คือ

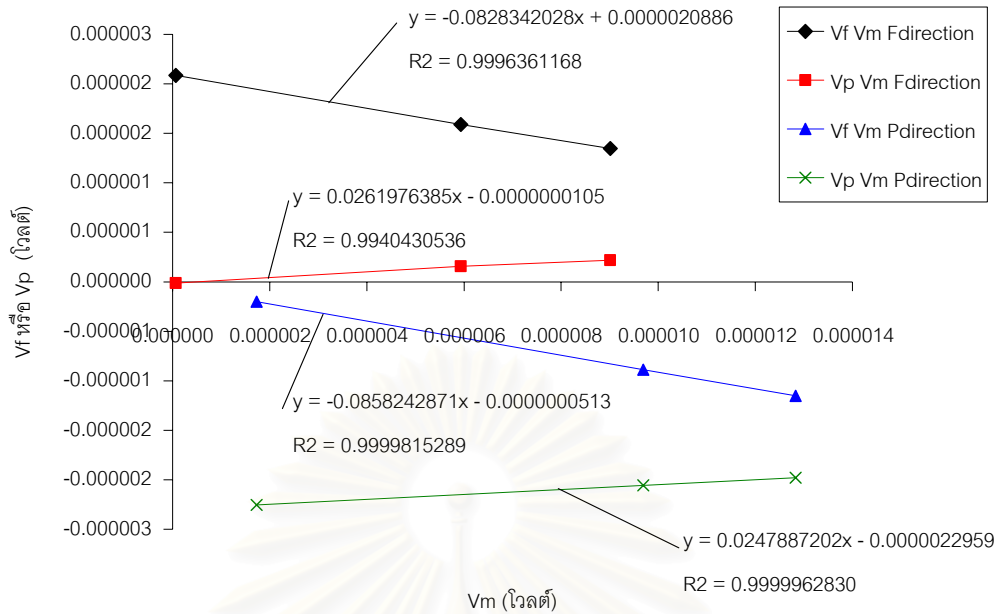
1. ที่ตำแหน่งหนึ่ง เมื่อมีแรงกระทำกับวงจร F ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นกับแรงเกิดจากองค์ประกอบของแรงนั้นในทิศทางแรงกด F เพียงอย่างเดียว และไม่เกี่ยวข้องกับมุมเพิ่ม ($\delta = 0$)
2. การเปลี่ยนตำแหน่งของแรงกระทำกับวงจร F ทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นกับแรงเปลี่ยนไป โดยตัวที่เป็นปัจจัย คือ โมเมนต์เพียงอย่างเดียวซึ่งสามารถแทนได้ด้วย V_m นั่นคือ V_p ส่งผลต่อวงจร F น้อยมาก (ตัดค่า cross sensitivity)

ดังนั้น ความสัมพันธ์ของวงจร F อยู่ในรูปของสมการอย่างง่ายของสมการ (8.17) ดังนี้

$$V_f = a|F|\sin\theta + bV_m \quad (8.19)$$

เมื่อพิจารณาพบว่าพจน์แรกคือสมการ (8.1) และพจน์ที่สองได้มาจากการปรับเข้ากับผลการทดลองในกราฟรูปที่ 8.17 และ รูปที่ 8.18 คือ มีการเปลี่ยนแปลงตามระยะทางลักษณะเป็นเชิงเส้นให้แสดงอยู่ในรูปของ V_m ทำนองเดียวกันความสัมพันธ์ของวงจร P ในสมการ (8.18) จะสามารถเขียนอยู่ในรูปใหม่ได้ดังนี้

$$V_p = c|F|\cos\theta - dV_m \quad (8.20)$$



รูปที่ 8.19 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า V_f , V_p เทียบกับ V_m

สำหรับวงจร F จากรูปที่ 8.19 เลือก $a = 0.0000020886$ และ $b = -0.08582$ ดังนั้นสมการ (8.19) เขียนได้ว่า

$$V_f = 0.0000020886|F|\sin\theta - 0.08582V_m \quad (8.21)$$

และสำหรับวงจร P จากรูปที่ 8.19 เลือก $c = -0.0000022959$ และ $d = 0.02479$ ดังนั้นสมการ (8.20) เขียนได้ว่า

$$V_p = -0.0000022959|F|\cos\theta + 0.02479V_m \quad (8.22)$$

ตรวจสอบโมเดลในรูปสมการ (8.21) และ (8.22) โดยใช้ค่า V_m ที่วัดได้ในข้อมูลของ ข.1 และ ข.2 ในภาคผนวก ข เรื่องของการสอบเทียบแรงกด และแรงเฉือน ให้ค่า $|F|\sin\theta = 1$ และ $|F|\cos\theta = 0$ ในกรณี ข.1 $\theta = -90$ องศา และให้ค่า $|F|\sin\theta = 0$ และ $|F|\cos\theta = 1$ กรณี ข.2 $\theta = 0$ องศา โดยทิศทางของ θ ที่แทนในสมการของโมเดล คือ มุมของแรง $\theta = -90$ จะถูกแทนด้วย $\theta = 90$ ในโมเดล และมุมของแรง $\theta = 0$ จะถูกแทนด้วย $\theta = 0$ ในโมเดล นั่นคือ θ ในโมเดลมีค่าเป็นบวกเมื่อหมุนทวนเข็มนาฬิกา (\curvearrowright) ตรงข้ามกับทิศทางของมุมแรงที่กำหนดไว้

ตารางที่ 8.1 แสดงค่า V_f กับ V_p ที่ได้จากการใช้ V_m คำนวณตามสมการ (8.21) และ (8.22)

ชุดข้อมูล (ภาคผนวก ข.1 และ ข.2)	V_m ที่วัดได้จาก การทดลอง	V_f		V_p	
		คำนวณได้จาก สมการ (8.21)	ผิดพลาด จากค่าที่วัด ได้(%)	คำนวณได้จาก สมการ (8.22)	ผิดพลาด จากค่าที่วัด ได้(%)
ข.1 ระยะ 0	0.0000000653	0.0000020830	0.14	0.0000000016	113.05
ข.1 ระยะ 17	0.0000059327	0.0000015795	0.60	0.0000001471	5.36
ข.1 ระยะ 27	0.0000090150	0.0000013149	2.40	0.0000002235	-2.14
ข.2 ระยะ 4.88	0.0000017297	-0.0000001484	25.44	-0.0000022530	0.00
ข.2 ระยะ 27.08	0.0000096933	-0.0000008319	6.07	-0.0000020556	-0.01
ข.2 ระยะ 37.08	0.0000128248	-0.0000011006	4.32	-0.0000019780	0.01

จากการแทนค่า V_m ที่วัดได้จากการทดลองในภาคผนวก ข.1 และ ข.2 ลงในโมเดลสมการ (8.21) และ (8.22) ดังแสดงในตารางที่ 8.1 พบว่า มีค่าผิดพลาดมากบริเวณที่ค่าความต่างศักย์อีกวงจรหนึ่งมีค่ามาก คือ ที่ระยะ 0 เซนติเมตร V_f มีค่ามากที่สุดและ V_p มีค่าผิดพลาดมากสุด ในทำนองเดียวกัน ที่ระยะ 4.88 เซนติเมตร V_p มีค่ามากที่สุดและ V_f มีค่าผิดพลาดมากสุด หมายความว่า cross sensitivity มีผลต่อโมเดล แสดงว่าโมเดลตามสมการ (8.21) และ (8.22) ยังไม่สามารถที่จะใช้ในการทำนายค่าได้ถูกต้องนักในบริเวณที่มีค่าความต่างศักย์ของอีกวงจรหนึ่งมาก ดังนั้นข้อสมมุติฐานที่เกี่ยวกับการตัดค่า cross sensitivity ออกเพื่อให้โมเดลอยู่ในรูปของสมการ (8.21) และ (8.22) จึงไม่ถูกต้อง

จากโมเดลสมการ (8.21) และ (8.22) เมื่อรวมผลของ cross sensitivity เข้าไปคือ สมการ (8.17) และสมการ (8.18) เมื่อตั้งสมมุติฐานให้ $\delta = 0$ ดังนั้น จะได้โมเดลสมการใหม่ดังนี้

$$V_f = eV_p + 0.0000020886|F|\sin\theta - 0.08582V_m \text{ เมื่อ } e = \frac{b}{d} \quad (8.23)$$

$$V_p = fV_f - 0.0000022959|F|\cos\theta + 0.02479V_m \text{ เมื่อ } f = \frac{d}{b} \quad (8.24)$$

จากการ trial and error กับชุดข้อมูลในภาคผนวก ข.2 ในข้อมูลของตาราง 8.1 เลือกร $e = 0.0225$ และจากการ trial and error กับชุดข้อมูลในภาคผนวก ข.1 ในข้อมูลของตาราง 8.1 เลือกร $f = 0.00250$ ดังนั้นสมการ (8.23) และสมการ (8.24) เขียนใหม่ได้ว่า

$$V_f = 0.0225V_p + 0.0000020886|F|\sin\theta - 0.08582V_m \quad (8.25)$$

$$V_p = 0.0025V_f - 0.0000022959|F|\cos\theta + 0.02479V_m \quad (8.26)$$

ตรวจสอบโมเดลในรูปสมการ (8.25) และ (8.26) โดยใช้ค่าของ V_m ที่ได้จากการทดลองในข้อมูลของ ข.1 และ ข.2 ในภาคผนวก ข เรื่องของการสอบเทียบแรงกด และแรงเฉือน ให้ค่า $|F|\sin\theta = 1$ และ $|F|\cos\theta = 0$ ในกรณี ข.1 $\theta = -90$ องศา และให้ค่า $|F|\sin\theta = 0$ และ $|F|\cos\theta = 1$ กรณี ข.2 $\theta = 0$ องศา

ตารางที่ 8.2 แสดงค่า V_f กับ V_p ที่ได้จากการใช้ V_m คำนวณตามสมการ (8.25) และ (8.26)

ชุดข้อมูล (ภาคผนวก ข.1 และ ข.2)	V_m ที่วัดได้จาก การทดลอง	V_f		V_p	
		คำนวณได้จาก สมการ (8.25)	ผิดพลาด จากค่าที่ วัดได้(%)	คำนวณได้จาก สมการ (8.26)	ผิดพลาด จากค่าที่ วัดได้(%)
ข.1 ระยะ 0	0.0000000653	0.0000020827	0.16	0.0000000068	155.11
ข.1 ระยะ 17	0.0000059327	0.0000015830	0.38	0.0000001510	2.80
ข.1 ระยะ 27	0.0000090150	0.0000013199	2.03	0.0000002268	-3.68
ข.2 ระยะ 4.88	0.0000017297	-0.0000001991	-0.02	-0.0000022535	-0.02
ข.2 ระยะ 27.08	0.0000096933	-0.0000008781	0.84	-0.0000020578	-0.12
ข.2 ระยะ 37.08	0.0000128248	-0.0000011451	0.45	-0.0000019808	-0.13

จากตาราง 8.2 พบว่าหลังจากการรวมผลของความไวข้ามเข้าไปในโมเดล โมเดลตามสมการ (8.25) และ (8.26) มีความถูกต้องมากกว่าโมเดลสมการ (8.21) และ (8.22) โดยที่ค่าผิดพลาดมากในวงจร P ที่ระยะ 0 มีค่าผิดพลาดที่น้อยมาก คือ ค่าจริงที่วัดได้ คือ -0.0000000124

นำโมเดลสมการ (8.25) และ (8.26) ไปตรวจสอบกับกรณีของ ข.3 เพื่อดูว่าเมื่อมีการเปลี่ยนมุมมีผลอย่างไร โดยค่าที่ตรวจสอบแสดงในตารางที่ 8.3 (ค่ามุมที่ใส่ในโมเดลคือค่าในวงเล็บ)

ตารางที่ 8.3 แสดงค่า V_f กับ V_p ที่ได้จากการใช้ V_m คำนวณตามสมการ (8.25) และ (8.26) จากข้อมูลใน ข.3

ชุดข้อมูล (ภาคผนวก ข.3)	V_m ที่วัดได้จาก การทดลอง	V_f		V_p	
		คำนวณได้จาก สมการ (8.25)	ผิดพลาด จากค่าที่ วัดได้(%)	คำนวณได้จาก สมการ (8.26)	ผิดพลาด จากค่าที่ วัดได้(%)
120 (-120)	-0.0000083224	-0.0000010762	8.92	0.0000009387	-14.88
110 (-110)	-0.0000087826	-0.0000011969	-1.30	0.0000005646	-5.57
100 (-100)	-0.0000087670	-0.0000013018	-2.88	0.0000001782	-49.11
90 (-90)	-0.0000085869	-0.0000013578	-3.02	-0.0000002162	20.93
40 (-40)	-0.0000041729	-0.0000010273	-2.48	-0.0000018647	2.17
30 (-30)	-0.0000027679	-0.0000008536	-3.94	-0.0000020590	1.03
20 (-20)	-0.0000012761	-0.0000006546	-4.05	-0.0000021906	0.88
10 (-10)	0.0000001154	-0.0000004224	-1.59	-0.0000022592	-1.98
0 (0)	0.0000018961	-0.0000002138	-23.46	-0.0000022493	0.98
-10 (10)	0.0000030575	0.0000000508	-80.89	-0.0000021852	0.59
-20 (20)	0.0000047757	0.0000002581	17.69	-0.0000020383	1.10
-30 (30)	0.0000058485	0.0000005014	3.60	-0.0000018420	-1.03
-40 (40)	0.0000071471	0.0000006930	9.16	-0.0000015797	1.76
-50 (50)	0.0000078965	0.0000008944	6.19	-0.0000012776	-3.06
-60 (60)	0.0000083964	0.0000010658	1.76	-0.0000009371	5.69
-70 (70)	0.0000088250	0.0000011927	4.53	-0.0000005633	-1.14
-80 (80)	0.0000087701	0.0000013006	-0.27	-0.0000001780	-10.03
-90 (90)	0.0000084713	0.0000013659	-2.17	0.0000002133	-12.58

ในตารางที่ 8.3 แสดงให้เห็นว่าโมเดลมีความถูกต้องบริเวณที่ไม่มีการเปลี่ยนเครื่องหมายของค่า \cos และ ค่า \sin ดังนั้นเป็นไปได้ว่าค่า $\delta \neq 0$ จะทำให้โมเดลมีความถูกต้องมากขึ้น เนื่องจากไม่ทราบความสัมพันธ์ของค่า δ ที่ตำแหน่งต่างๆ ดังนั้น สมมุติให้มีค่าคงที่ตามที่ได้จากหัวข้อ 8.1.1 สมการ (8.25) และ (8.26) สามารถเขียนใหม่ได้ว่า

$$V_f = 0.0225V_p + 0.0000020886|F|\sin(\theta + 7.3) - 0.08582V_m \quad (8.27)$$

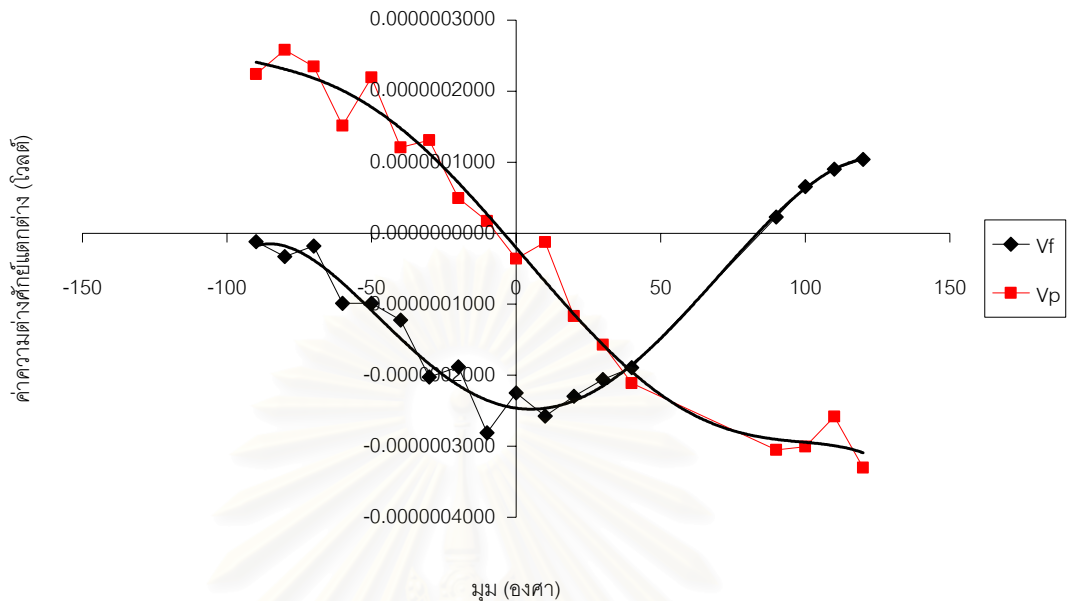
$$V_p = 0.00250V_f - 0.0000022959|F|\cos(\theta - 6.2) + 0.02479V_m \quad (8.28)$$

ตารางที่ 8.4 แสดงค่า V_f กับ V_p ที่ได้จากการใช้ V_m คำนวณตามสมการ (8.27) และ (8.28) จากข้อมูลใน ข.3

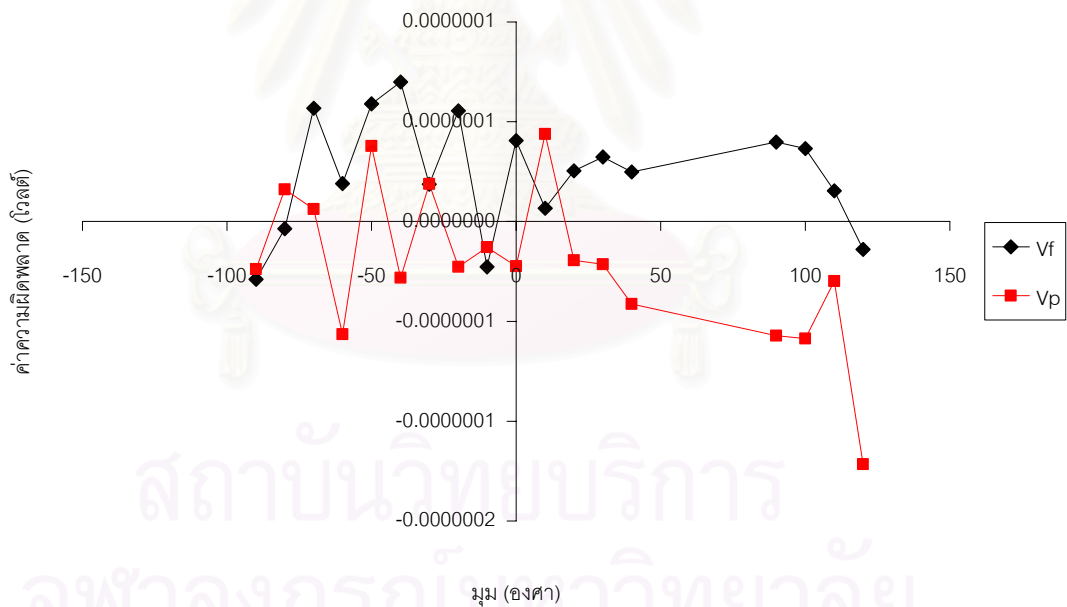
ชุดข้อมูล (ภาคผนวก ข.3)	V_m ที่วัดได้จาก การทดลอง	V_f		V_p	
		คำนวณได้จาก สมการ (8.27)	ผิดพลาดจาก ค่าที่วัดได้(%)	คำนวณได้จาก สมการ (8.28)	ผิดพลาดจาก ค่าที่วัดได้(%)
120 (-120)	-0.0000083224	-0.0000011942	-9.55	0.0000011469	-40.36
110 (-110)	-0.0000087826	-0.0000012717	-7.64	0.0000007930	-48.27
100 (-100)	-0.0000087670	-0.0000013312	-5.21	0.0000004200	-251.5
90 (-90)	-0.0000085869	-0.0000013409	-1.74	0.0000000318	111.6
40 (-40)	-0.0000041729	-0.0000008131	18.88	-0.0000016951	11.07
30 (-30)	-0.0000027679	-0.0000006153	25.07	-0.0000019234	7.55
20 (-20)	-0.0000012761	-0.0000003994	36.51	-0.0000020932	5.28
10 (-10)	0.0000001154	-0.0000001582	61.96	-0.0000022029	0.56
0 (0)	0.0000018961	0.0000000515	129.75	-0.0000022359	1.58
-10 (10)	0.0000030575	0.0000003092	-1000.50	-0.0000022150	-0.77
-20 (20)	0.0000047757	0.0000005017	-59.98	-0.0000021104	-2.40
-30 (30)	0.0000058485	0.0000007227	-38.96	-0.0000019544	-7.19
-40 (40)	0.0000071471	0.0000008854	-16.06	-0.0000017288	-7.52
-50 (50)	0.0000078965	0.0000010520	-10.34	-0.0000014589	-17.68
-60 (60)	0.0000083964	0.0000011839	-9.12	-0.0000011451	-15.25
-70 (70)	0.0000088250	0.0000012676	-1.46	-0.0000007917	-42.14
-80 (80)	0.0000087701	0.0000013300	-2.54	-0.0000004199	-159.50
-90 (90)	0.0000084713	0.0000013489	-0.90	-0.0000000346	118.25

เมื่อนำข้อมูลมาคำนวณตามสมการ (8.27) และสมการ (8.28) แสดงผลในตารางที่ 8.4 พบว่ามีค่าผิดพลาด โดยเมื่อนำค่าผิดพลาดไปแสดงความสัมพันธ์กับมุมในรูปของกราฟดังแสดงในรูปที่ 8.20 พร้อมทั้งแสดงเส้นแนวโน้ม ค่าความผิดพลาดที่คำนวณได้แตกต่างจากค่าที่วัดได้ถูก

ปรับให้มีลักษณะแนวโน้มเป็นค่า \cos และ \sin ดังนั้นโมเดลที่ถูกตั้งน่าจะจะมีพจน์ที่เป็นผลคูณของค่าคงที่กับฟังก์ชันของ \cos และ \sin



รูปที่ 8.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความผิดพลาดกับมุมหลังการเพิ่มมุมด้วยค่าคงที่



รูปที่ 8.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความผิดพลาดกับมุวก่อนการเพิ่มมุมด้วยค่าคงที่

ดังนั้นโมเดลสมการ (8.27) และ (8.28) จะเขียนใหม่โดยเพิ่มพจน์ ดังนี้

$$V_f = 0.0225V_p + 0.0000020886|F|\sin(\theta + 7.3) - 0.08582V_m + g\cos\theta \quad (8.29)$$

$$V_p = 0.00250V_f - 0.0000022959|F|\cos(\theta - 6.2) + 0.02479V_m + h\sin\theta \quad (8.30)$$

จากรูปที่ 8.20 เลือก $g = -0.0000003000$ และ $h = 0.0000003000$

ตารางที่ 8.5 แสดงค่า V_f กับ V_p ที่ได้จากการใช้ V_m คำนวณตามสมการ (8.29) และ (8.30) จากข้อมูลใน ข.3

ชุดข้อมูล (ภาคผนวก ข.3)	V_m ที่วัดได้จาก การทดลอง	V_f		V_p	
		คำนวณได้จาก สมการ (8.29)	ผิดพลาด จากค่าที่ วัดได้(%)	คำนวณได้จาก สมการ (8.30)	ผิดพลาด จากค่าที่ วัดได้(%)
120 (-120)	-0.0000083224	-0.0000010442	4.21	0.0000008871	-8.57
110 (-110)	-0.0000087826	-0.0000011691	1.05	0.0000005110	4.44
100 (-100)	-0.0000087670	-0.0000012791	-1.09	0.0000001246	-4.25
90 (-90)	-0.0000085869	-0.0000013409	-1.74	-0.0000002682	1.89
40 (-40)	-0.0000041729	-0.0000010429	-4.04	-0.0000018879	0.95
30 (-30)	-0.0000027679	-0.0000008751	-6.56	-0.0000020734	0.34
20 (-20)	-0.0000012761	-0.0000006813	-8.30	-0.0000021958	0.64
10 (-10)	0.0000001154	-0.0000004536	-9.09	-0.0000022550	-1.79
0 (0)	0.0000018961	-0.0000002485	-43.46	-0.0000022359	1.58
-10 (10)	0.0000030575	0.0000000138	50.94	-0.0000021629	1.60
-20 (20)	0.0000047757	0.0000002198	29.91	-0.0000020078	2.58
-30 (30)	0.0000058485	0.0000004629	11.00	-0.0000018044	1.03
-40 (40)	0.0000071471	0.0000006556	14.07	-0.0000015359	4.48
-50 (50)	0.0000078965	0.0000008592	9.88	-0.0000012291	0.85
-60 (60)	0.0000083964	0.0000010339	4.70	-0.0000008853	10.90
-70 (70)	0.0000088250	0.0000011650	6.76	-0.0000005098	8.47
-80 (80)	0.0000087701	0.0000012779	1.48	-0.0000001244	23.10
-90 (90)	0.0000084713	0.0000013489	-0.90	0.0000002654	-40.06

จากผลที่แสดงในตาราง 8.5 แสดงว่าการเลือกพจน์ที่มีองค์ประกอบของ \sin และ \cos เข้ามาช่วยด้วยช่วยให้ค่าที่คำนวณได้จากโมเดลมีค่าที่ดีขึ้น ซึ่งโมเดลนี้สามารถพัฒนาให้มีค่าที่ถูกต้องมากกว่านี้ได้ จากรูปที่ 8.20 เห็นได้ว่าจริงๆ แล้วเป็นกราฟที่มีการเลือนในแนวแกน y อยู่ ดังนั้นหากปรับค่าโดยการบวกค่าคงที่ก็สามารถที่จะทำให้โมเดลที่ดีขึ้น ดังนั้นจะได้สมการ (8.29) และ (8.30) ในรูปแบบใหม่ คือ

$$V_f = 0.0225V_p + 0.0000020886|F|\sin(\theta + 7.3) - 0.08582V_m - 0.0000003\cos\theta + i \quad (8.31)$$

$$V_p = 0.00250V_f - 0.0000022959|F|\cos(\theta - 6.2) + 0.02479V_m + 0.0000003\sin\theta + j \quad (8.32)$$

เมื่อ i, j เป็นค่าคงที่สำหรับให้โมเดลมีความถูกต้องมากขึ้นมีค่าในหน่วย 10^{-7}

จัดสมการ (8.31) และ (8.32) ใหม่ให้อยู่ในรูปของแรงได้ดังนี้

$$|F|\sin(\theta + 7.3) = 478789.62V_f - 10772.77V_p + 41089.73V_m + 0.14\cos\theta - 0.05i \quad (8.33)$$

$$|F|\cos(\theta - 6.2) = 1088.90V_f - 435559.04V_p + 10797.51V_m + 0.13\sin\theta + 0.045j \quad (8.34)$$

รูปแบบของสมการ (8.33) และ (8.34) เป็นสมการที่อยู่ในรูปที่ใช้สำหรับการทำนายแรงที่กระทำจากค่าของความต่างศักย์ที่วัดได้ เมื่อพิจารณาสมการ (8.33) และ (8.34) พบว่าค่าของแรงที่ได้จากผลรวมของพจน์ทางด้านขวานั้นมีผลจากพจน์ $\cos\theta$ หรือ $\sin\theta$ และค่าคงที่ i, j น้อยมากเนื่องจากผลคูณของสัมประสิทธิ์และค่าของพจน์มีค่าน้อยมาก ดังนั้นสามารถตัดสองพจน์นี้ออก และค่ามุม δ ส่งผลให้ค่าผิดพลาดน้อยตามที่อธิบายในหัวข้อ 8.1.1 ดังนั้นโมเดลสำหรับนำไปใช้งานในการวิเคราะห์ค่าแรงที่เกิดขึ้น คือ

$$|F|\sin(\theta) = 478789.62V_f - 10772.77V_p + 41089.73V_m \quad (8.35)$$

$$|F|\cos(\theta) = 1088.90V_f - 435559.04V_p + 10797.51V_m \quad (8.36)$$

โดยสมการ (8.35) และ (8.36) คือ การจัดรูปใหม่ของสมการ (8.25) และ (8.26) โมเดลนี้จะให้ค่าที่ผิดพลาดในกรณีที่ค่าความต่างศักย์ที่วัดได้มีค่าน้อย ทำให้ค่าของพจน์ที่ตัดออกไปมีนัยสำคัญ โดยโมเดลนี้เป็นโมเดลที่ได้มาจากการติดอุปกรณ์คานบน EOR ซึ่งจะต้องนำไปเปรียบเทียบกับกรณีการติดใบมีดบน EOR ในหัวข้อ 8.4 ว่าสามารถใช้โมเดลเดียวกันได้หรือไม่

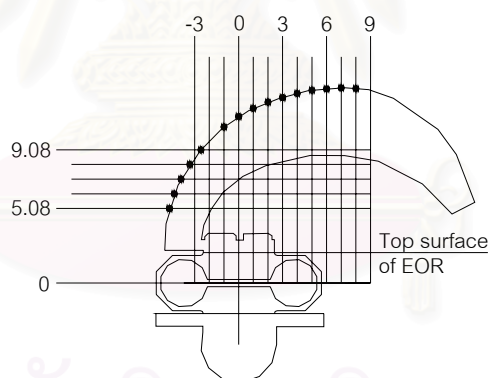
8.3 การสอบเทียบกับการเปลี่ยนมุม EOR ร่วมกับการเปลี่ยนมุมของแรงที่มากกระทำ

ผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 7.10 – รูปที่ 7.21 หาความสัมพันธ์ของความต่างศักย์กับแรงที่กระทำต่อ EOR ในรูปของสมการถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (ดังแสดงในตาราง ข.10 - ตาราง ข.21) พบว่าการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ของวงจร F, P และ M กับแรงที่กระทำเมื่อมุม EOR เปลี่ยนมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้น

ชุดข้อมูลผลการทดลองในแต่ละกรณีทั้งหมดหาความสัมพันธ์ในรูปของสมการถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (ดังแสดงที่ด้านล่างของตาราง ข.10 - ตาราง ข.21 ในแต่ละกรณี) พบว่าที่มุมของแรงที่มากกระทำกับ EOR ค่าหนึ่งความต่างศักย์ของวงจร F, P และ M กับแรงที่กระทำมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้น

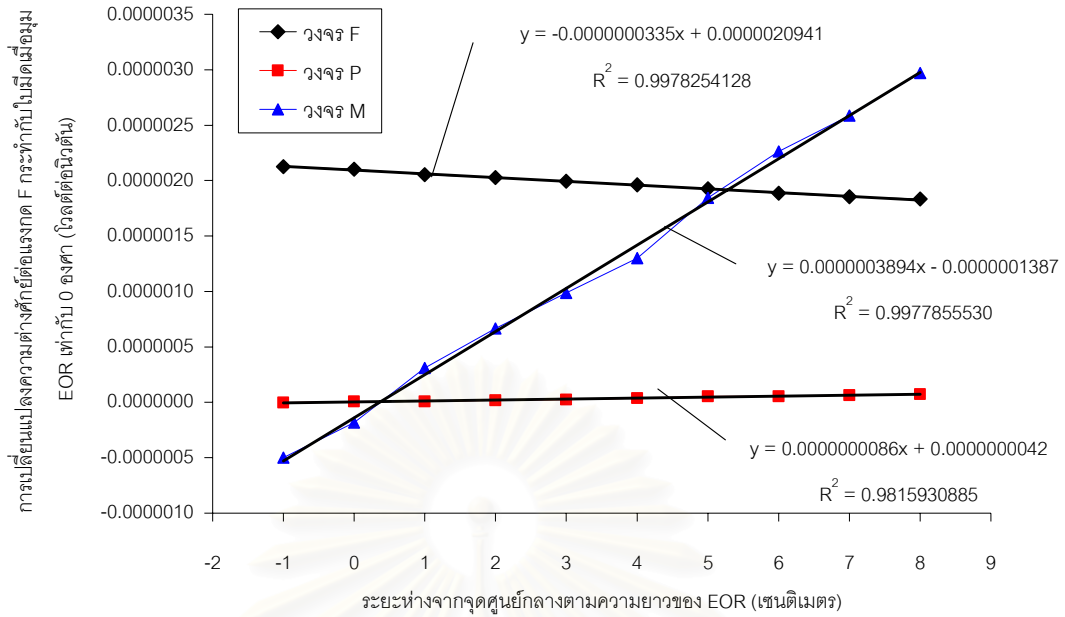
ดังนั้น การเปลี่ยนมุม EOR ไม่มีผลต่อการตอบสนองของ EOR กับแรงที่มากกระทำในมุมต่างๆ

8.4 การสอบเทียบเมื่อติดไบมิดบน EOR โดยมีแรงกระทำในทิศทางตั้งฉากและทิศทางที่ขนานกับ EOR

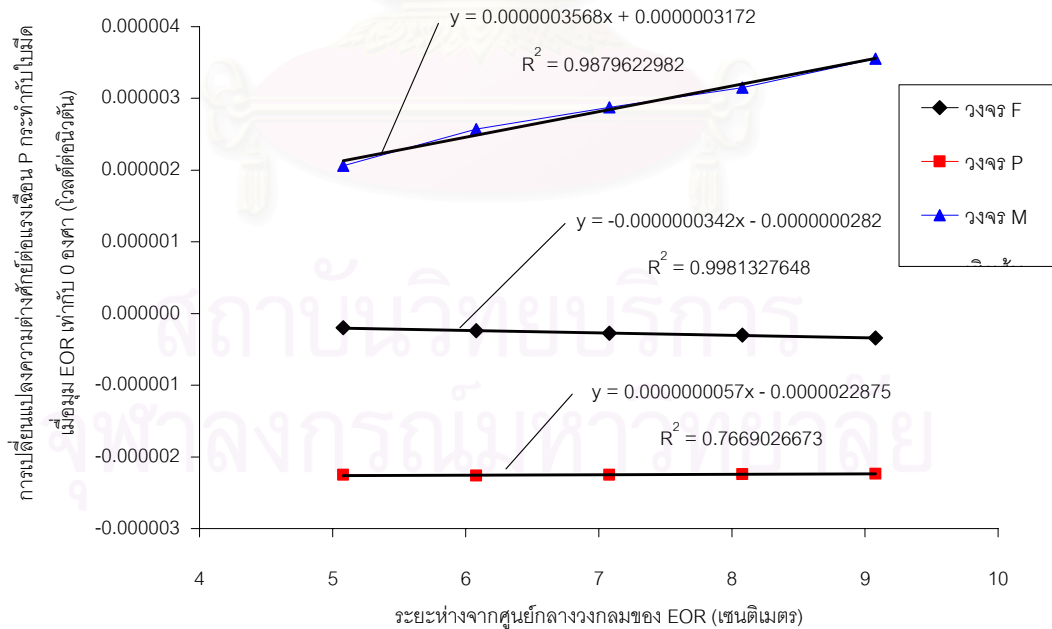


รูปที่ 8.22 แสดงตำแหน่งที่แรงกระทำบนไบมิด

ในการทดลองเพื่อหาแรงต้านทานที่กระทำกับไบมิดจะติดไบมิดบน EOR เพื่อหาความสัมพันธ์ของแรงที่กระทำที่ไบมิดใช้การสอบเทียบโดยใช้แรงกดและแรงเฉือนกระทำที่ขอบไบมิดที่ระยะต่างๆ กัน โดยจุดที่แรงกระทำแสดงเป็นจุดดำในรูปที่ 8.22 โดยผลการทดลองแสดงในรูปที่ 8.23 และ รูปที่ 8.24 พบว่ามีลักษณะการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับกรณีของคาน



รูปที่ 8.23 การเปลี่ยนแปลงอัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ต่อแรงกด F ต่อระยะห่างจากจุดศูนย์กลางตามความยาวของ EOR ของวงจร F, P และ M ในกรณีที่แรงกระทำต่อไม้ดี



รูปที่ 8.24 การเปลี่ยนแปลงอัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ต่อแรงเค้น P ต่อระยะห่างจากศูนย์กลางวงกลมของ EOR ของวงจร F, P และ M ในกรณีที่แรงกระทำต่อไม้ดี

ดังนั้นนำโมเดลที่ได้จากคานมาทดสอบเพื่อดูว่ามีผลแตกต่างกับการตีโดบมืด หรือไม่ โดยแสดงผลในตารางที่ 8.6 และ 8.7

ตารางที่ 8.6 แสดงค่า V_f กับ V_p ที่ได้จากการใช้ V_m คำนวณตามสมการ (8.25) และ (8.26) ในกรณีแรงกด F

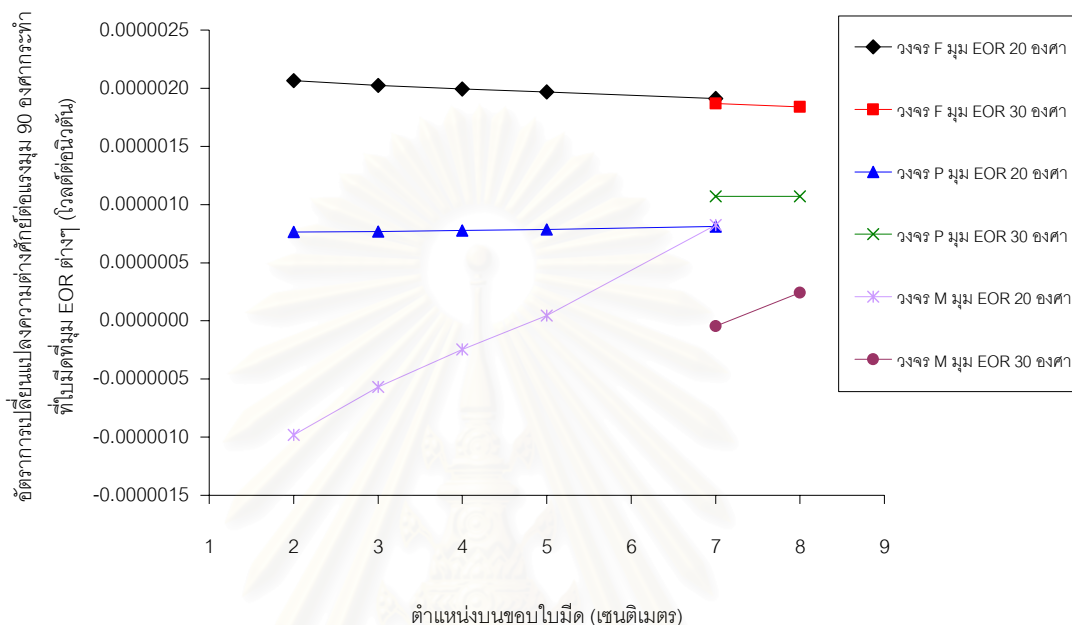
ชุดข้อมูล (ภาคผนวก ข.5)	V_m ที่วัดได้จาก การทดลอง	V_f		V_p	
		คำนวณได้จาก สมการ (8.25)	ผิดพลาด จากค่าที่ วัดได้(%)	คำนวณได้จาก สมการ (8.26)	ผิดพลาด จากค่าที่ วัดได้(%)
ข.5 ระยะ -1	-0.0000005008	0.0000021316	-0.22	-0.0000000071	-491.47
ข.5 ระยะ 0	-0.0000001827	0.0000021045	-0.14	0.0000000007	91.27
ข.5 ระยะ 1	0.0000003087	0.0000020623	-0.40	0.0000000128	-61.88
ข.5 ระยะ 2	0.0000006652	0.0000020319	-0.30	0.0000000216	-15.89
ข.5 ระยะ 3	0.0000009859	0.0000020046	-0.54	0.0000000294	-16.30
ข.5 ระยะ 4	0.0000013014	0.0000019778	-0.76	0.0000000372	2.70
ข.5 ระยะ 5	0.0000018442	0.0000019315	-0.26	0.0000000505	4.29
ข.5 ระยะ 6	0.0000022613	0.0000018958	-0.41	0.0000000608	-10.50
ข.5 ระยะ 7	0.0000025882	0.0000018679	-0.69	0.0000000688	-7.00
ข.5 ระยะ 8	0.0000029699	0.0000018354	-0.13	0.0000000782	-4.98

ตารางที่ 8.7 แสดงค่า V_f กับ V_p ที่ได้จากการใช้ V_m คำนวณตามสมการ (8.25) และ (8.26) ในกรณีแรงเค้น P

ชุดข้อมูล (ภาคผนวก ข.5)	V_m ที่วัดได้จาก การทดลอง	V_f		V_p	
		คำนวณได้จาก สมการ (8.25)	ผิดพลาด จากค่าที่ วัดได้(%)	คำนวณได้จาก สมการ (8.26)	ผิดพลาด จากค่าที่ วัดได้(%)
ข.5 ระยะ 5.08	0.0000020617	-0.0000002276	-13.52	-0.0000022453	0.32
ข.5 ระยะ 6.08	0.0000025726	-0.0000002716	-13.94	-0.0000022327	1.20
ข.5 ระยะ 7.08	0.0000028753	-0.0000002974	-9.13	-0.0000022253	1.08
ข.5 ระยะ 8.08	0.0000031506	-0.0000003208	-6.36	-0.0000022186	0.94
ข.5 ระยะ 9.08	0.0000035567	-0.0000003555	-4.53	-0.0000022086	1.13

จากผลที่แสดงในตารางที่ 8.6 และตารางที่ 8.7 แสดงให้เห็นว่าการใช้โมเดลของ
 คานสามารถใช้กับโม่ได้ โดยมีค่าผิดพลาดตรงบริเวณที่ค่าความต่างศักย์มีค่าน้อย

8.5 การสอบเทียบเมื่อติดโม่โดยเปลี่ยนตำแหน่งมุม EOR ในทิศทางต่างๆ



รูปที่ 8.25 การเปลี่ยนแปลงอัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ต่อแรงในมุม 90 องศาต่อ
 ตำแหน่งบนขอบโม่ของวงจร F, P และ M

ตารางที่ 8.8 แสดงค่า V_f กับ V_p ที่ได้จากการใช้ V_m คำนวณตามสมการ (8.12) และ (8.13)
 ในกรณีแรงเฉือน P

ชุดข้อมูล (ภาคผนวก ข.6)	V_m ที่วัดได้จาก การทดลอง	V_f		V_p	
		คำนวณได้จาก สมการ (8.25)	ผิดพลาดจาก ค่าที่วัดได้(%)	คำนวณได้จาก สมการ (8.26)	ผิดพลาดจาก ค่าที่วัดได้(%)
ข.6 มุม20ระยะ2	-0.0000009801	0.0000020639	0.11	0.0000007661	-0.37
ข.6 มุม20ระยะ3	-0.0000005680	0.00000020287	-0.16	0.0000007762	-0.98
ข.6 มุม20ระยะ4	-0.0000002464	0.0000020013	-0.35	-0.0000007841	-0.80
ข.6 มุม20ระยะ5	0.0000000445	0.0000019765	-0.42	0.0000007913	-0.59
ข.6 มุม20ระยะ7	0.0000008222	0.0000019103	0.06	0.0000008104	0.04
ข.6 มุม30ระยะ7	-0.0000000455	0.0000018368	1.76	0.0000011515	-7.40
ข.6 มุม30ระยะ8	0.0000002433	0.0000018120	1.57	0.0000011586	-8.22

ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 8.25 พบว่ามีลักษณะการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับกรณีของคาน และกรณีในหัวข้อ 8.4 ตรวจสอบโมเดลโดยใช้ค่ามุม 110 องศาสำหรับข้อมูลมุม 20 องศาและค่ามุม 120 องศาสำหรับข้อมูลมุม 30 องศาเห็นได้ว่าโมเดลให้ค่าถูกต้อง แสดงว่าโมเดลที่ใช้กับคานสามารถนำมาใช้กับใบมีดได้

จากการตรวจสอบโดยสมมติค่าแรงมีขนาด 1 นิวตันและใช้สมการ (8.25) และ (8.26) เพื่อคำนวณหาค่า V_f และ V_p มีค่าผิดพลาดเฉพาะที่ค่าความต่างศักย์ที่วัดได้มีค่าน้อย ดังนั้น การทำนายค่าแรงโดยใช้สมการ (8.25) และ (8.26) ที่เขียนใหม่อยู่ในรูปสมการ (8.35) และ (8.36) สามารถใช้ได้และมีความถูกต้องเมื่อค่าความต่างศักย์ที่วัดได้มีค่าไม่น้อยมาก



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 9

วิเคราะห์และอภิปรายผลการทดลองหาแรงต้านทาน ที่กระทำกับใบมีดจอบหมุน

9.1 ผลการทดลองใบมีดพรวนในกระบะทราย

9.1.1 ลักษณะของใบมีดก่อนและหลังการพรวน

แบ่งเป็น 3 กรณี คือ

9.1.1.1 กรณีใบมีดใบเดียว

ใบมีดแบบตัวซีที่ใช้ทดลองเป็นใบมีดด้านขวาชนิดที่มีขอบตัดดินสองคม ทุกกรณีของการทดลองลักษณะของใบมีดด้านหลังจะเห็นการขีดสีชัดเจนตรงบริเวณคมตัดของใบมีดส่วนตรง เมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่ของใบมีดในขณะตัดทราย บริเวณของใบมีดส่วนนี้จะเกิดการขีดสีกับทรายที่ไม่ถูกพรวนทางขวาซึ่งมีความหนาแน่นส่งผลต่อแรงต้านทานในการพรวนของใบมีด (ดูอ้างอิงกับ 2.7)

9.1.1.2 กรณีใบมีดทดลองมีใบมีดข้างเคียงแต่มีเฉพาะใบมีดด้านซ้าย (มีใบมีด 2 ใบในการพรวน)

ลักษณะของการขีดสีจากทรายคล้ายกับกรณีการทดลองของใบมีดใบเดียวที่เกิดจากชั้นทรายที่ยังไม่ถูกพรวนทางขวา

9.1.1.3 กรณีใบมีดทดลองอยู่ตรงกลางโดยมีใบมีดข้างเคียงที่มีทั้งใบมีดซ้ายและขวา (มีใบมีด 3 ใบในการพรวน)

กรณีนี้ เนื่องจากชั้นทรายอัดแน่นที่อยู่ด้านขวาถูกทำให้แตกจากใบมีดที่อยู่ด้านขวา ทำให้ลักษณะของการขีดสีที่เกิดขึ้นบนใบมีดทดลองไม่ชัดเจนเท่ากับ 2 กรณีแรก กล่าวคือ เกิดการขีดสีจากทรายน้อย

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ในการทำงานพรวนดินของเครื่องพรวนจอบหมุนที่เคลื่อนที่ไปและกลับอย่างต่อเนื่องในพื้นที่การเกษตร ใบมีดที่ติดอยู่ที่ปลายเพลลาใบมีดทั้ง

ข้างซ้ายและขวาซึ่งจะขัดสีกับพื้นดินอัดแน่นสลับกัันจะเกิดการสึกหรอมากที่สุด โดยลักษณะการสึกหรอของใบมีดจะสึกเป็นรอยเว้าในบริเวณของปลายใบมีดส่วนตรงก่อนถูกตัดโค้ง เนื่องจากเป็นบริเวณดังกล่าวเกิดการขัดสีมากที่สุด

9.1.2 ลักษณะของทรายหลังการพรวน

ใบมีดข้างขวาจะเหวี่ยงก้อนดินออกทางซ้ายเนื่องจากลักษณะตัดปลายของใบมีดถูกตัดด้วยมุมมากกว่า 90° (ดูอ้างอิงกับ 3.2.7) แสดงว่าจะมีแรงตามแนวแกนเพลลาใบมีดเกิดขึ้น (ทิศทางตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของเครื่องพรวนจอบหมุน) ในการใช้งานเครื่องพรวนจอบหมุนจึงต้องมีการใช้ใบมีดซ้ายคู่กับใบมีดขวาโดยติดที่ตำแหน่งมุมเดียวกันบนเพลลาใบมีดสำหรับหักล้างแรงตามแนวแกนเพลลาที่เกิดขึ้น เพื่อเสถียรภาพในการเคลื่อนที่ในแนวตรง

ลักษณะของทรายที่กระจายอยู่ด้านซ้ายเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับการออกแบบการจัดเรียงใบมีดจอบหมุนบนเพลลา เพื่อให้ผิวทรายหลังจากการพรวนมีความราบเรียบ ไม่เป็นเนินในบริเวณใดมากเกินไป

9.1.3 สัญญาณความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นในการทดลอง

สัญญาณความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นแบ่งเป็น 4 ช่วงจะเห็นได้ว่าสัญญาณรบกวนที่เด่นชัดเกิดขึ้นหลังจาก 5 วินาทีแรก และมีลักษณะเดียวกันตลอดการทดลองแสดงว่าแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนในการทดลองมาจากอินเวอร์เตอร์และมอเตอร์ที่ใช้ขับเพลลาใบมีดเป็นส่วนใหญ่

9.1.4 สัญญาณความต่างศักย์ทางจลน์อย่างอิสระ

สัญญาณความต่างศักย์ทางจลน์อย่างอิสระที่เกิดขึ้นจากความเร็วรอบหมุนที่ต่างกัน 3 กรณีมีขนาดและลักษณะที่คล้ายกันแสดงว่าความแตกต่างความเร็วรอบหมุนที่ทดลองนี้ไม่สามารถแสดงความแตกต่างของความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น

ลักษณะของความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นในวงจร F แสดงว่ามีแรงเหนี่ยวนำเกิดขึ้น ในขณะที่ความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นในวงจร P เป็นผลมาจากน้ำหนักของใบมีดที่ตำแหน่งมุมหมุนต่างๆ

ความเร็วหมุนที่เท่ากันจะมีจำนวนของข้อมูลเท่ากัน โดยที่แต่ละข้อมูลเกิดในเวลา $1/10000$ วินาที ทำให้สามารถที่จะคำนวณหาความเร็วในแต่ละรอบได้ ดังแสดงในตารางที่ 9.1

ความเร็วที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าที่ต้องการสูงสุดประมาณ 3.56% แสดงว่าการควบคุมความเร็วในการทดลองยังไม่ได้พอ

ตารางที่ 9.1 แสดงความเร็วหมุนที่เกิดขึ้นจริงในการทดลอง

ความเร็วเพลลาโบมีด (รอบต่อนาที)	จำนวนข้อมูล	เวลา (วินาที)	ความเร็วเพลลาโบมีด จริง (รอบต่อนาที)	ผิดพลาดจากค่าที่ ต้องการ (%)
25	23172	2.3172	25.89	3.56
50	11775	1.1775	50.96	1.92
75	7906	0.7906	75.89	1.19

9.2 แรงต้านทานที่เกิดขึ้นที่โบมีดขณะพรวนในกระบะทราย

นำโมเดลจากข้อสรุปของการสอบเทียบตามสมการ (8.35) และ (8.36) มาใช้สำหรับการวิเคราะห์แรงต้านทาน ดังนี้

$$|F|\sin\theta = 478789.62V_f - 10772.77V_p + 41089.73V_m \quad (9.1)$$

$$|F|\cos\theta = 1088.90V_f - 435559.04V_p + 10797.51V_m \quad (9.2)$$

เมื่อสมการ (9.1) และ (9.2) คือ สมการ (8.35) และ (8.36) ตามลำดับ จากสมการ (9.1) และ (9.2) สามารถหาค่า θ ได้ โดยการหารสมการ (9.1) ด้วยสมการ (9.2) จากนั้นนำค่า θ มาแทนในสมการ (9.1) หรือ (9.2) หรือใช้รากที่สองของผลรวมกำลังสองของสมการ (9.1) กับ (9.2) จะได้ $|F|$ ซึ่งเป็นขนาดของแรงต้านทานลัพท์

และจากรูปที่ 8.16 ได้ความสัมพันธ์ของความต่างศักย์ของวงจร M กับโมเมนต์คือ

$$V_m = 0.0000346211|F|L \quad (9.3)$$

เมื่อ $|F|L = M$ หรือ โมเมนต์

ดังนั้นจากสมการ (9.3) จะได้ค่า L

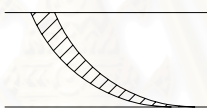
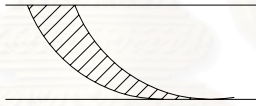
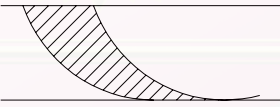
เมื่อได้ค่า $|F|$, θ และ L สามารถที่จะหาค่าตำแหน่งของแรงต้านทานลัพท์กระทำที่โบมีดได้โดยใช้ข้อเสนอของ Fujiura (1979:5) ที่กล่าวไว้ในบทที่ 4

9.3 แรงต้านทานในกรณีการทดลองใช้ไบริมเดียว

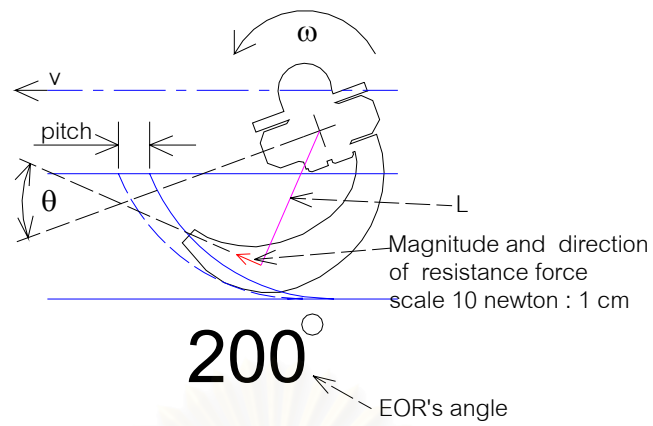
เมื่อนำโมเดลดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 9.2 มาคำนวณหาแรงต้านทานลัพธ์ในการทดลองทั้ง 9 กรณีสำหรับการทดลองกรณีไบริมเดียวแสดงให้เห็นผลดังนี้

1. เมื่อคำนวณหาแรงต้านทานลัพธ์มากที่สุด ที่ระยะตัดทอยและความเร็วรอบหมุนของเพล่าไบริมขนาดต่างๆ (ดังแสดงในตารางที่ 9.3) เปรียบเทียบกับระยะตัดทอยซึ่งมีพื้นที่รอยตัดทอยต่างๆ กัน (ดังแสดงในตารางที่ 9.2) พบว่า เมื่อค่าของระยะตัดทอยเพิ่ม ค่าของแรงต้านทานลัพธ์ค่ามากที่สุดเพิ่มขึ้นด้วย และเมื่อค่าความเร็วรอบหมุนของเพล่าไบริมเพิ่มขึ้น ค่าของแรงต้านทานลัพธ์ค่ามากที่สุดลดลงเล็กน้อย (ดังแสดงในรูปที่ 9.2)

ตารางที่ 9.2 แสดงรูปของรอยตัดในแต่ละรอบและพื้นที่ของรอยตัดทอยที่ระยะตัดทอยต่างๆ

ระยะตัดทอย (เซนติเมตร)	รูปแสดงรอยตัด (มาตราส่วน 1:10)	พื้นที่แรงเงา (ตารางเซนติเมตร)
3		35.96
6		72.02
9		107.94

2. เมื่อคำนวณหาแรงต้านทานลัพธ์แล้วแสดงในรูปของไบริมที่ติดบน EOR หมุนตัดทอย (ดังแสดงในรูปที่ 9.1) โดยเพล่าไบริมหมุนด้วยความเร็ว ω พร้อมกับเคลื่อนที่ในแนวระนาบด้วยความเร็ว v ทำให้ไบริมตัดทอยตามระยะตัดทอย (pitch) ที่ตำแหน่งมุม EOR ค่าหนึ่งคำนวณค่าแรงต้านทานลัพธ์ ทิศทาง และระยะ L จากความต่างศักย์วัดได้ ในทำนองเดียวกันเมื่อทำการคำนวณหาแรงต้านทานลัพธ์ที่ตำแหน่งมุมตั้งแต่ 130 องศา - 220 องศา โดยเพิ่มทีละ 10 องศา โดยแสดงในรูปของไบริมที่ติดบน EOR หมุนตัดทอยจะทำให้เห็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงของแรงต้านทานลัพธ์ที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 9.3 - รูปที่ 9.11 สำหรับการทดลองในกรณีไบริมเดียว

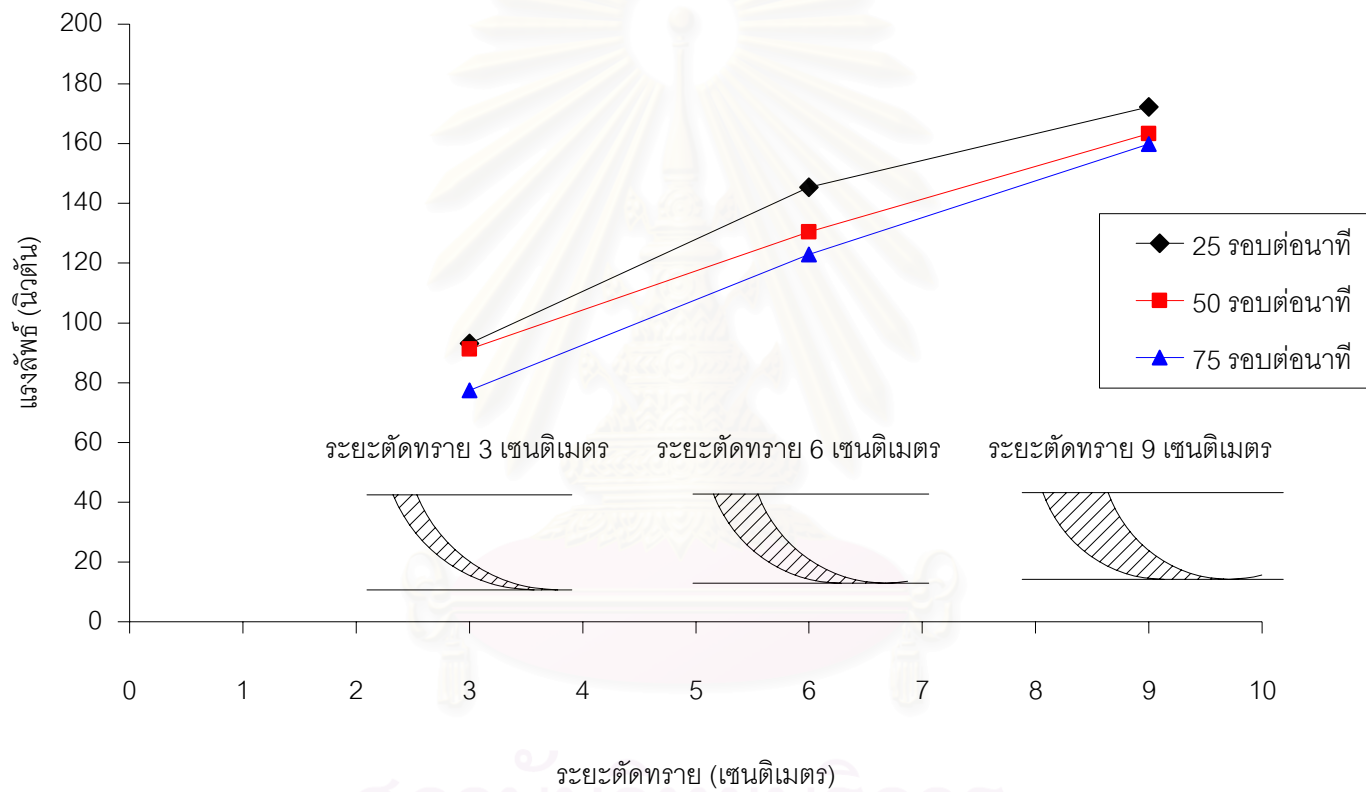


รูปที่ 9.1 อธิบายความหมายของรูปที่แสดงขนาด ทิศทาง และแนวของแรงในขณะที่ใบมีดพรวน

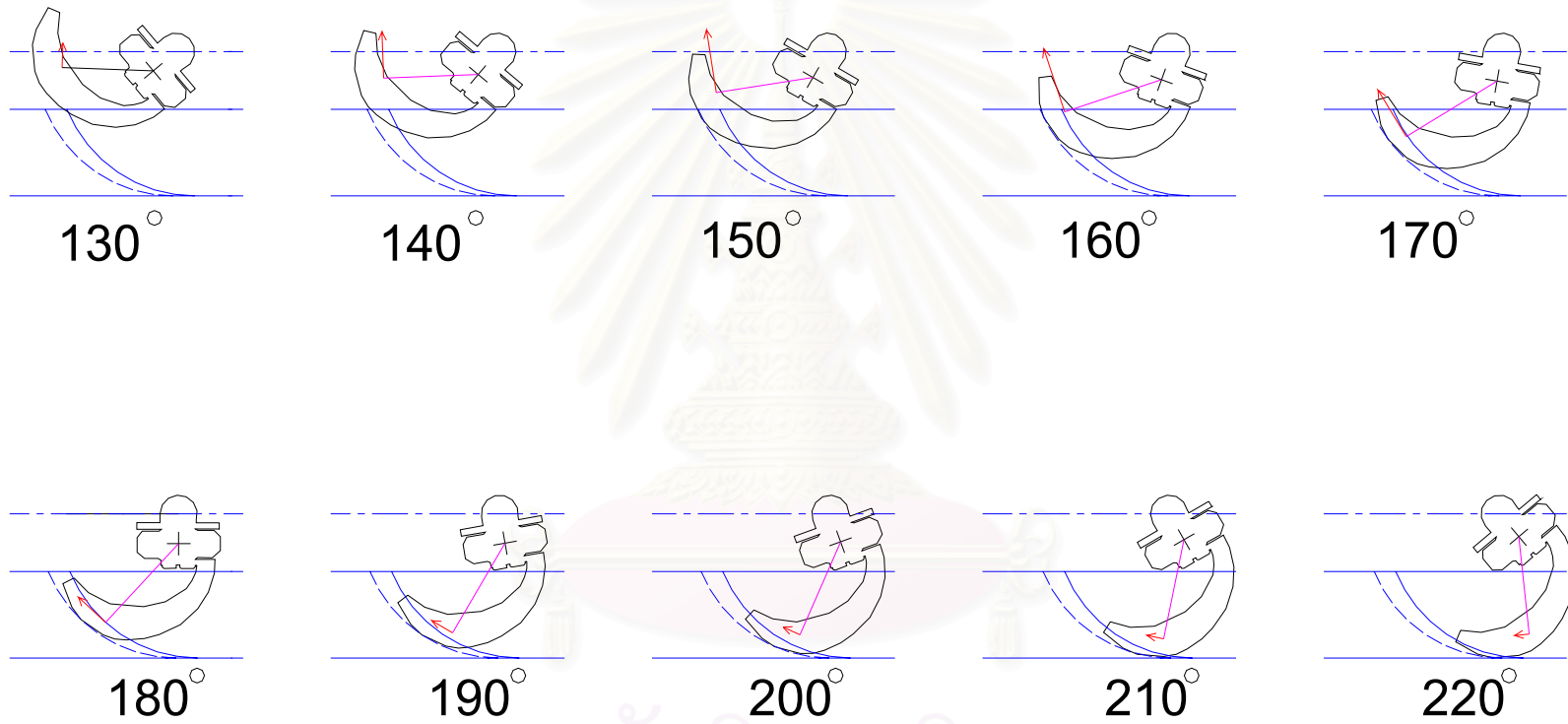
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 9.3 ค่าแรง มุมแรง และระยะของแรงที่ได้จากสมการ (9.1) – (9.3) ในกรณีใบมีดใบเดี่ยวที่ตำแหน่งแรงต้านทานลัพธ์ $|F|$ มีค่ามากที่สุด

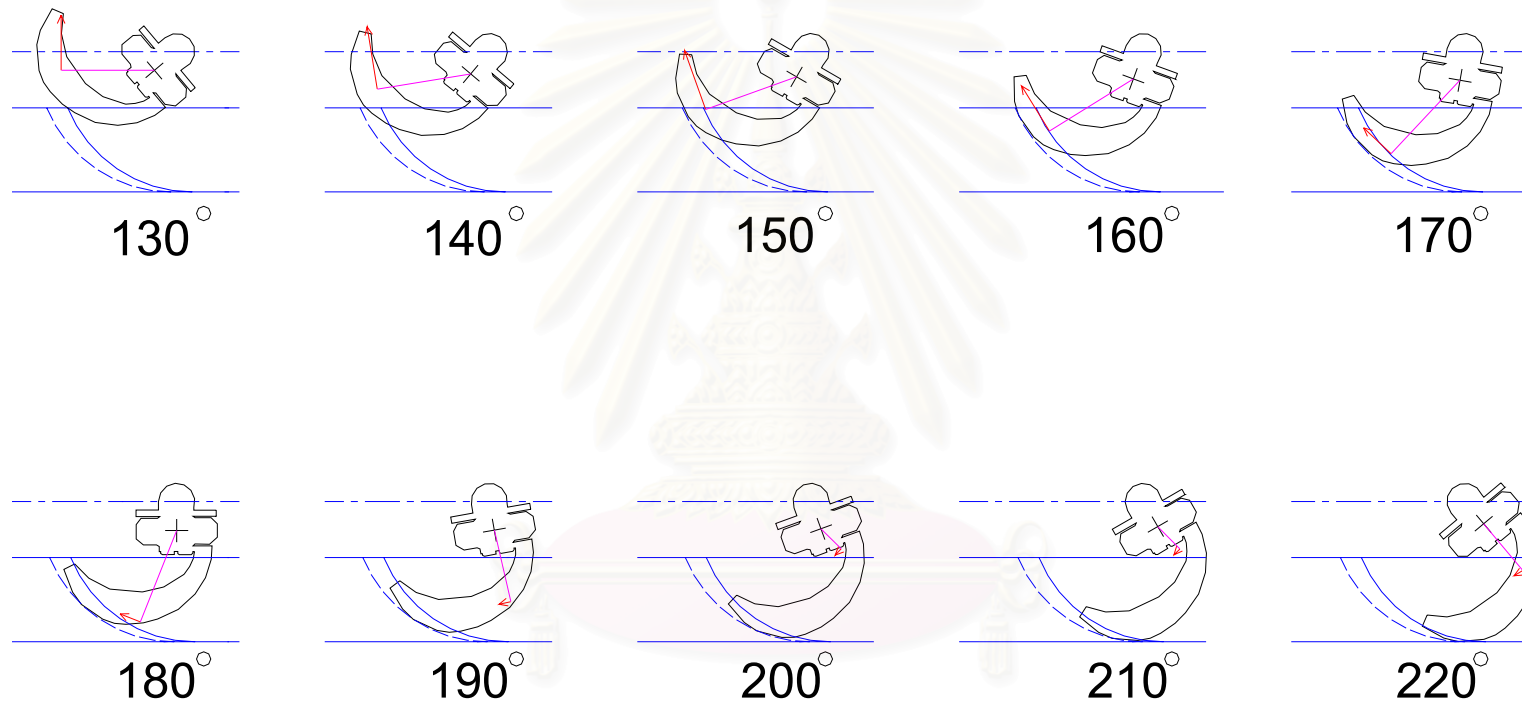
ระยะตัดทราย (เซนติเมตร)	ความเร็วรอบหมุน (รอบต่อนาที)	ตำแหน่ง ของข้อมูล	มุม EOR (องศา)	V_f (โวลต์)	V_p (โวลต์)	V_m (โวลต์)	มุมแรง θ (องศา)	$ F $ (นิวตัน)	L (เมตร)
3	25	10083	156.65	0.0001116051	-0.0001204750	0.0004503957	51.88	93.09	0.1398
6	25	10260	159.40	0.0001511538	-0.0002177500	0.0006916714	45.18	145.39	0.1374
9	25	10174	158.06	0.0001882530	-0.0002563241	0.0007504504	45.89	172.33	0.1258
3	50	4726	144.49	0.0000841499	-0.0001479028	0.0004308853	40.75	91.29	0.1363
6	50	4783	146.23	0.0001264012	-0.0002072228	0.0005976137	42.03	130.39	0.1324
9	50	4847	148.19	0.0001497769	-0.0002700978	0.0007234507	39.72	163.31	0.1280
3	75	3809	173.44	0.0000811034	-0.0001152601	0.0003683299	45.49	77.41	0.1374
6	75	3844	175.04	0.0001176552	-0.0001959050	0.0005700808	41.78	122.86	0.1340
9	75	3868	176.13	0.0001608209	-0.0002520507	0.0006979792	42.69	159.86	0.1261



รูปที่ 9.2 แสดงการเปรียบเทียบแรงต้านทานลัฟฟร์มากที่สุดในกรณีโม่มีดโม่เดียว

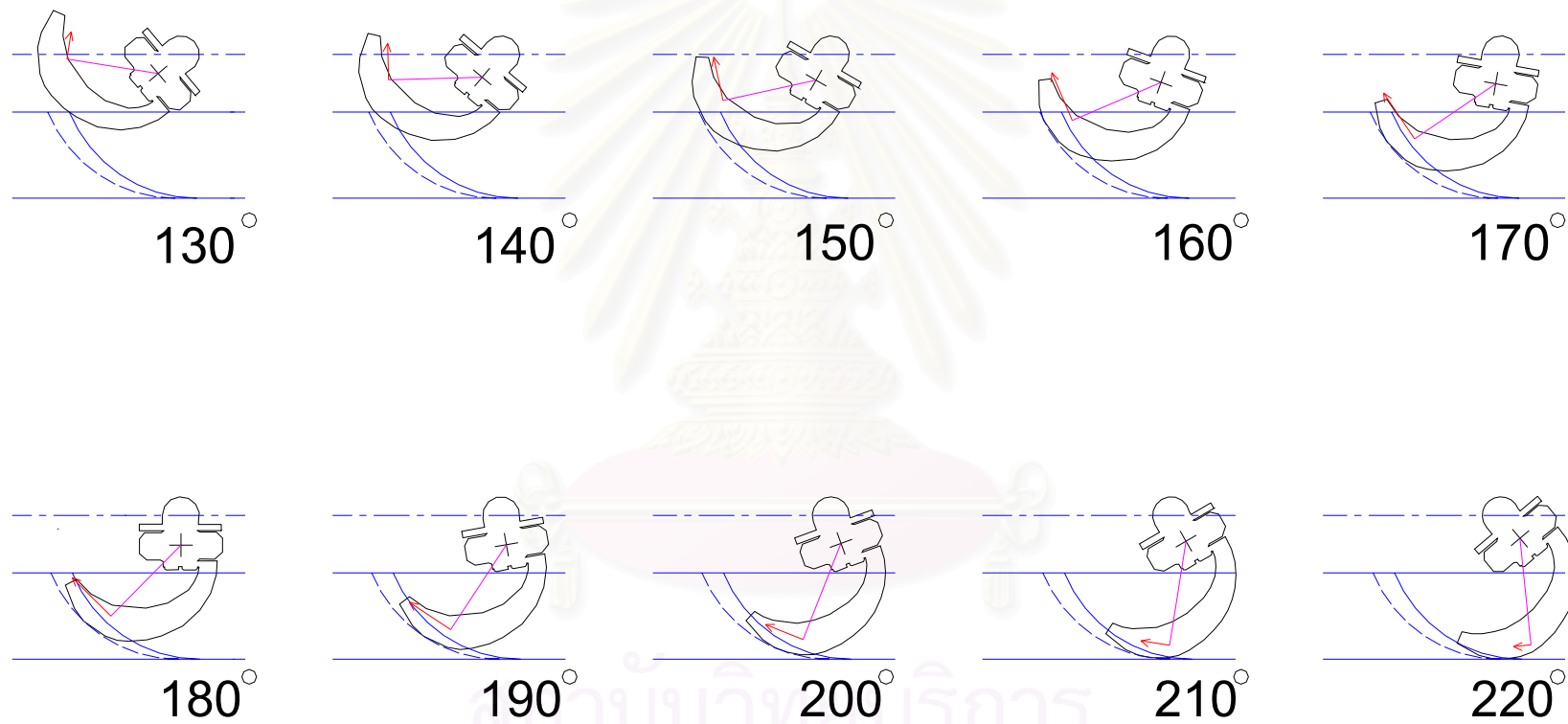


รูปที่ 9.3 แสดงขนาด ทิศทาง และแนวของแรงลัพธ์ในขณะที่ไม่มีความพัวพันในกรณีไม่มีความพัวพันที่ระยะการตัดทอน 3 เซนติเมตร ความเร็ว 25 รอบต่อวินาที

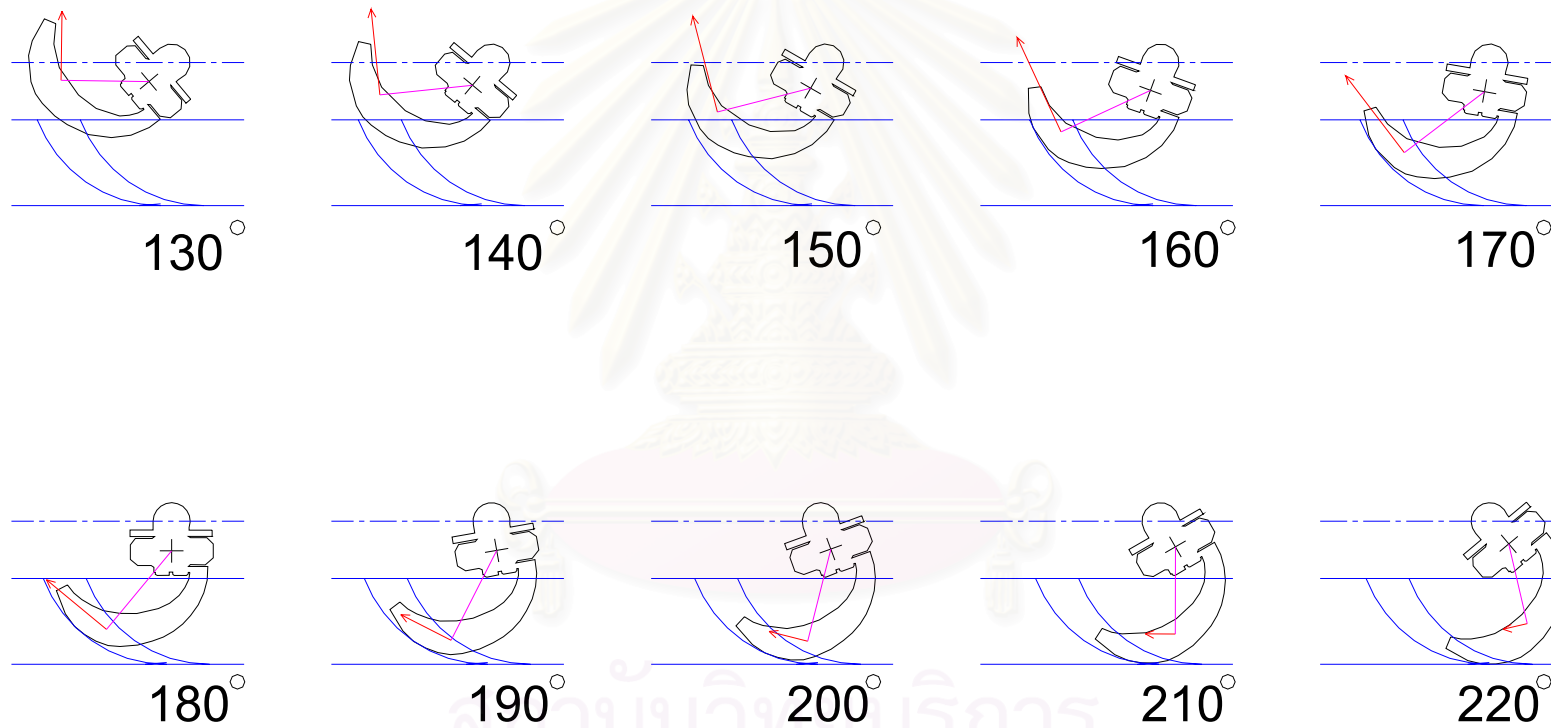


รูปที่ 9.4 แสดงขนาด ทิศทาง และแนวของแรงลัพท์ในกรณีที่โม่มีดพรวนในกรณีโม่มีดโม่เดียวที่ระยะการตัดทราย 3 เซนติเมตร ความเร็ว 50 รอบต่อนาที

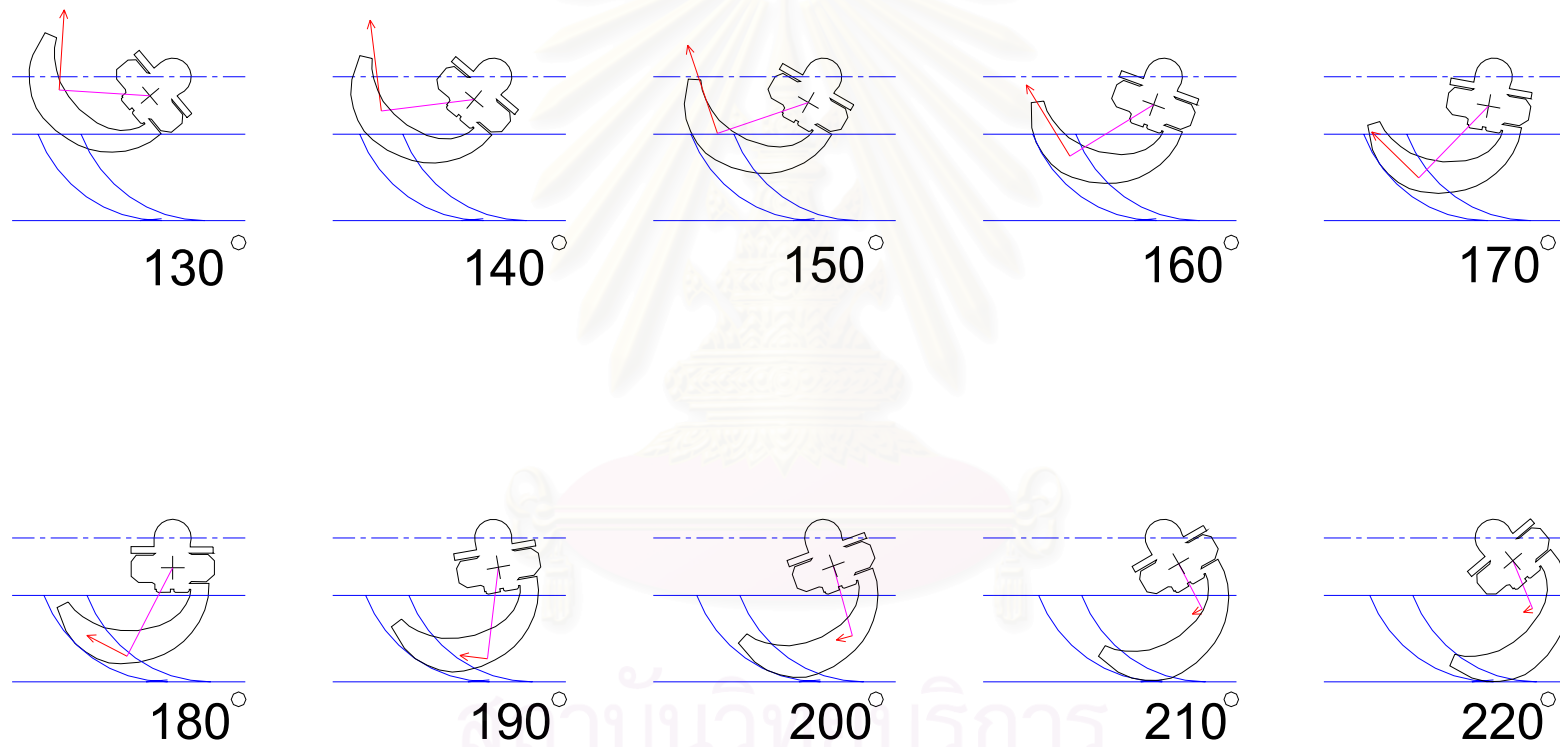
สถาบันวิจัยปฏิบัติการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 9.5 แสดงขนาด ทิศทาง และแนวของแรงลัพธ์ในขณะที่ไม่มิตพรวนในกรณีไม่มิตไอบเดียวที่ระยะการตัดทราย 3 เซนติเมตร ความเร็ว 75 รอบต่อนาที



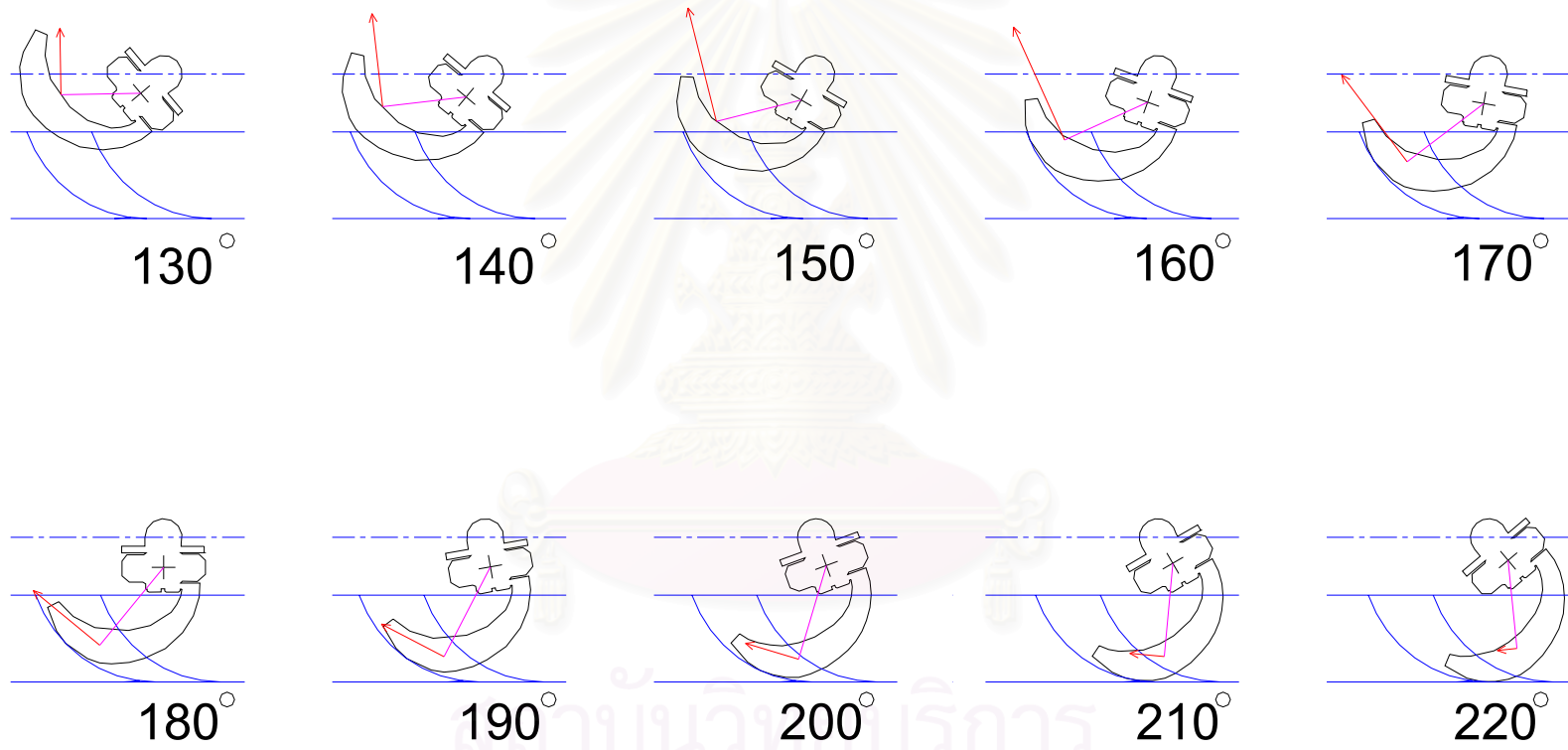
รูปที่ 9.6 แสดงขนาด ทิศทาง และแนวของแรงลัพธ์ในขณะที่โบมีดพรวนในกรณีโบมีดโบเดี่ยวที่ระยะการตัดทราย 6 เซนติเมตร ความเร็ว 25 รอบต่อนาที



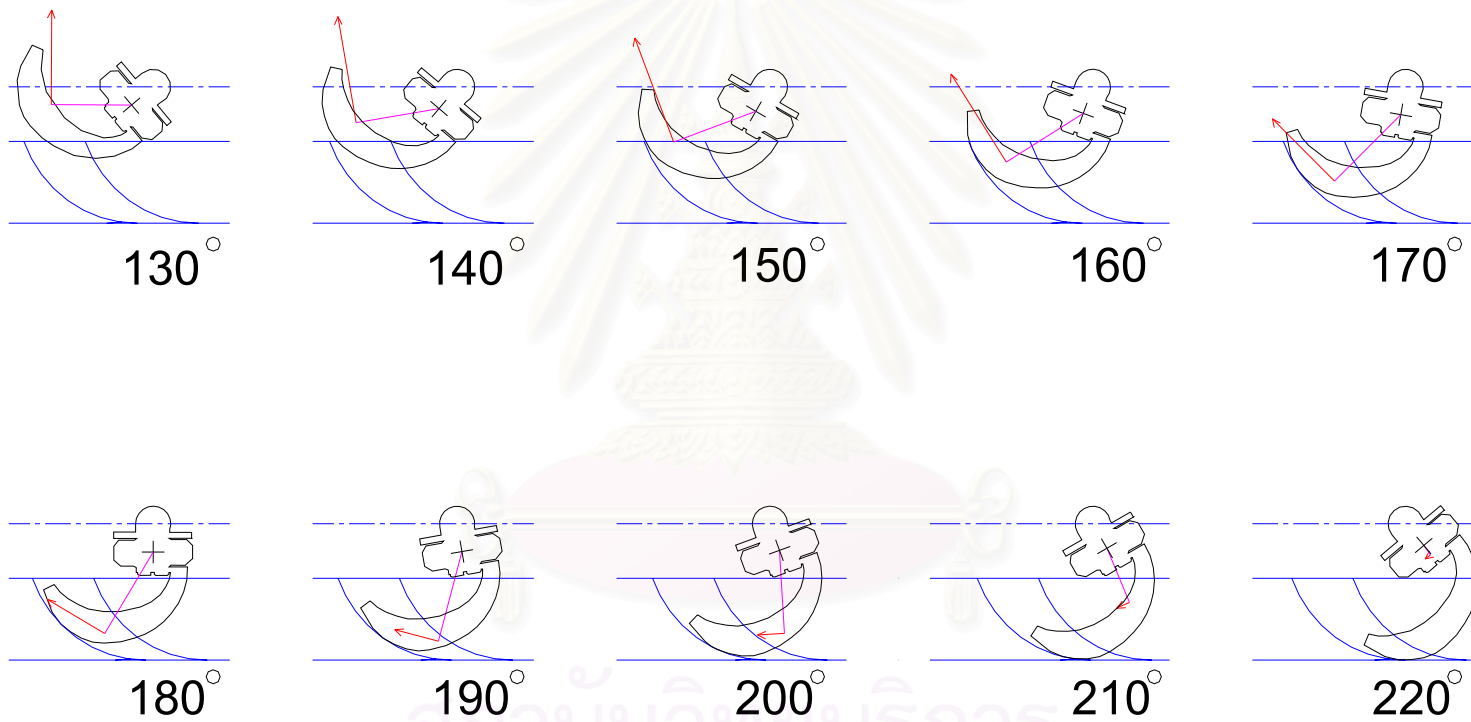
รูปที่ 9.7 แสดงขนาด ทิศทาง และแนวของแรงลัพธ์ในขณะที่ไม่มิตพรวนในกรณีไม่มิตไปเดี่ยวที่ระยะการตัดทราย 6 เซนติเมตร ความเร็ว 50 รอบต่อนาที



รูปที่ 9.8 แสดงขนาด ทิศทาง และแนวของแรงลัทธิในขณะที่ใบมีดพรวนในกรณีใบมีดใบเดียวที่ระยะการตัดทราย 6 เซนติเมตร ความเร็ว 75 รอบต่อนาที

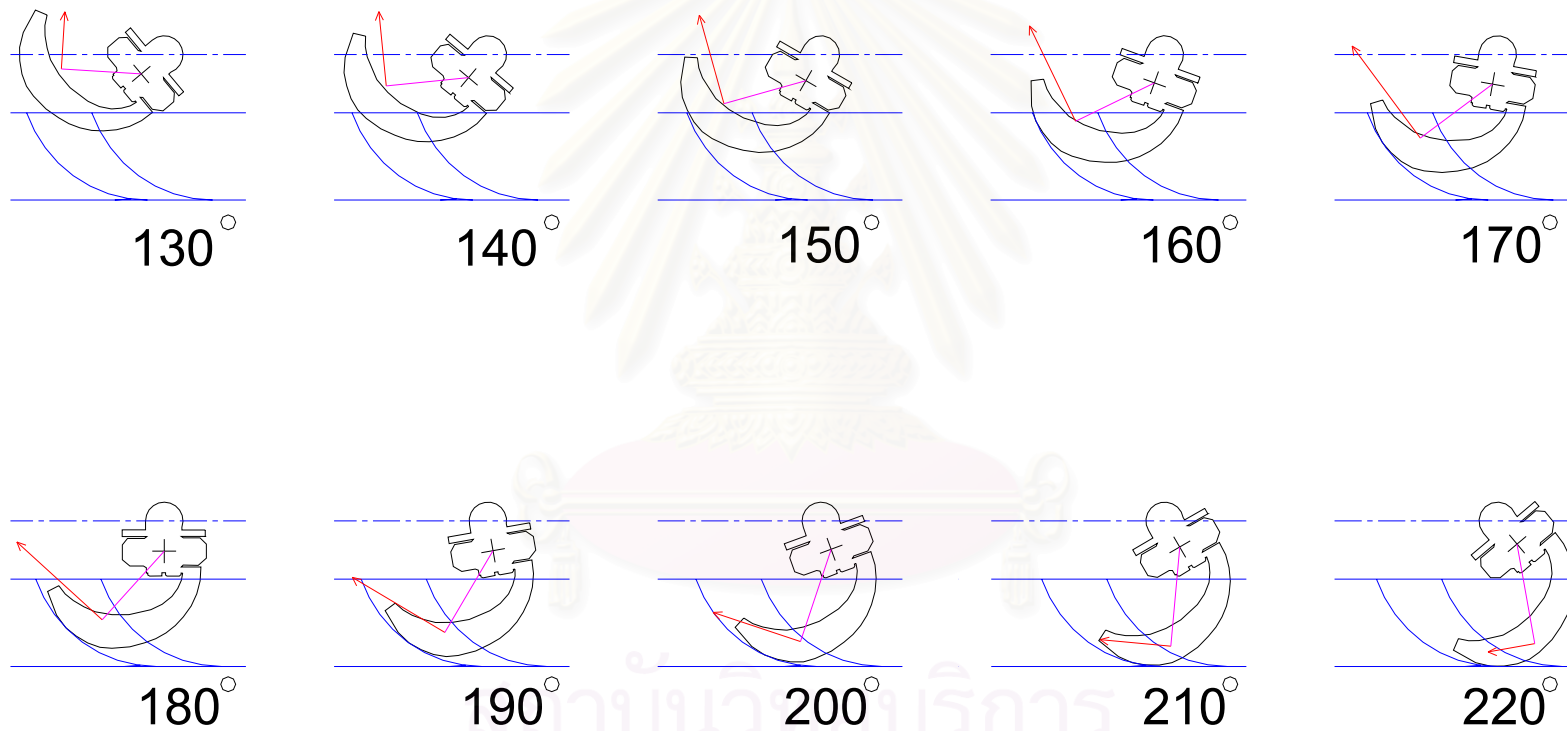


รูปที่ 9.9 แสดงขนาด ทิศทาง และแนวของแรงลัพท์ในขณะทีโม่มีดพรวนในกรณีโม่มีดโม่เดียวทีระยะการตัดทราย 9 เซนติเมตร ความเร็ว 25 รอบต่อนาที



รูปที่ 9.10 แสดงขนาด ทิศทาง และแนวของแรงลัพธ์ในกรณีที่โม่มีดพรวนในกรณีโม่มีดโม่เดียวที่ระยะการตัดทราย 9 เซนติเมตร ความเร็ว 50 รอบต่อนาที

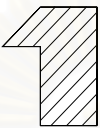
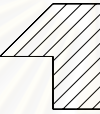
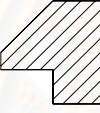
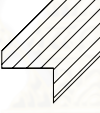

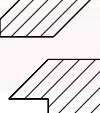
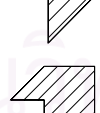


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 9.11 แสดงขนาด ทิศทาง และแนวของแรงลัพธ์ในขณะที่ใบมีดพรวนในกรณีใบมีดใบเดียวที่ระยะการตัดทราย 9 เซนติเมตร ความเร็ว 75 รอบต่อนาที

9.4 แรงต้านทานในกรณีการทดลองที่มีใบมีดข้างเดียว

เมื่อนำโมเดลดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 9.2 มาคำนวณหาแรงต้านทานลัพธ์ในการทดลองทั้ง 9 กรณีสำหรับการทดลองกรณีที่มีใบมีดข้างเดียวแสดงให้เห็นผลดังนี้ ตารางที่ 9.4 แสดงรอยตัดทรายที่ได้จากการจัดเรียงใบมีดข้างเดียวรูปแบบต่างๆ

รูปแบบการตัดทราย	รูปแสดงรอยตัดทราย	พื้นที่แรงเงา (ตารางเซนติเมตร)
แบบที่ 1		45.00
แบบที่ 2		50.63
แบบที่ 3		57.38
แบบที่ 4		47.26
แบบที่ 5		40.50
แบบที่ 6		33.75
แบบที่ 7		34.88
แบบที่ 8		40.50
แบบที่ 9		37.97

1. เมื่อคำนวณหาแรงต้านทานลัพธ์มากที่สุด ที่รูปแบบการตัดทรายแบบต่างๆ (ดังแสดงในตารางที่ 9.14) เปรียบเทียบกับพื้นที่รอยตัดทรายต่างๆ กัน (ดังแสดงในตารางที่ 9.4) พบว่า เมื่อพื้นที่รอยตัดทรายมีค่ามากที่สุด (รูปแบบที่ 3) ค่าของแรงต้านทานลัพธ์ค่ามากที่สุดมีค่ามากที่สุด และเมื่อพื้นที่รอยตัดทรายมีค่าน้อยที่สุด (รูปแบบที่ 6) ค่าของแรงต้านทานลัพธ์ค่ามาก

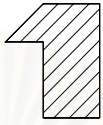
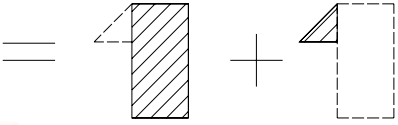
ที่สุดมีค่าน้อยที่สุด (ดังแสดงในรูปที่ 9.21) โดยค่าแรงต้านทานลัพท์ไม่ได้แปรผันโดยตรงกับขนาดของพื้นที่ แต่ขึ้นกับบริเวณของพื้นที่ โดยพื้นที่บริเวณด้านขวาของโบริมมีผลของโบริมมีดข้างเคียงมากกว่าพื้นที่บริเวณด้านซ้าย ดูเปรียบเทียบอัตราส่วนโมเมนต์ต่อพื้นที่ในตารางที่ 9.5 - ตารางที่ 9.13 โดยอัตราส่วนโมเมนต์ต่อพื้นที่ของบริเวณด้านซ้ายและขวาได้มาจากการเปรียบเทียบแรงลัพท์กับรูปแบบของโบริมมีดแบบต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 9.12 - รูปที่ 9.20

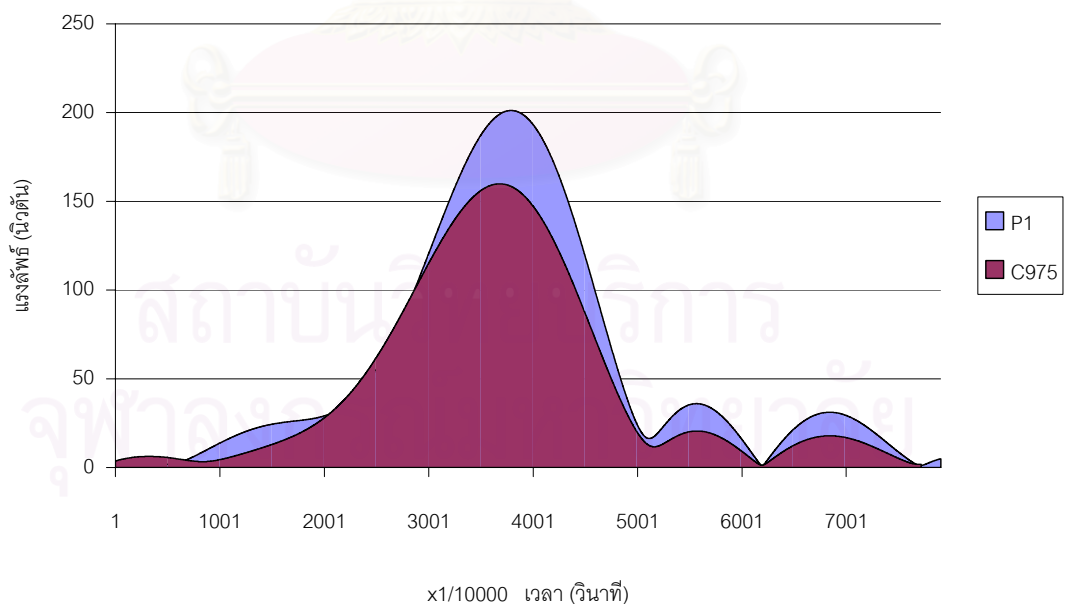
2. เมื่อทำการคำนวณแรงต้านทานลัพท์ที่ตำแหน่งมุมตั้งแต่ 130 องศา - 220 องศา โดยเพิ่มทีละ 10 องศา โดยแสดงในรูปของโบริมมีดที่ติดบน EOR หมุนตัดทนายจะทำให้เห็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงของแรงต้านทานลัพท์ที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 9.22 - รูปที่ 9.30 สำหรับการทดลองในกรณีมีโบริมมีดข้างเคียง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

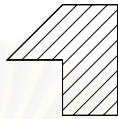
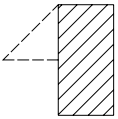
ตารางที่ 9.5 เปรียบเทียบรูปแบบการตัดทลายแบบที่ 1

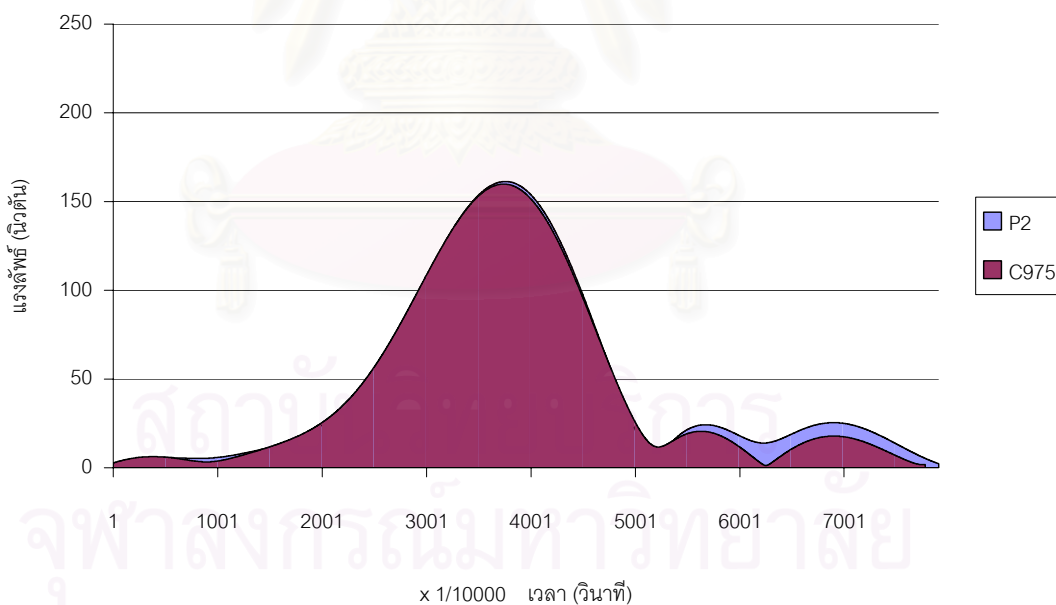
รูปแบบการตัดทลาย	แบบที่ 1	โม่เม็ดโม่เดี่ยวที่ ระยะตัดทลาย 9 เซนติเมตร 75 รอบ ต่อนาที	
			
	A=45.00	A=40.50 A=4.50	
พื้นที่แรงแง (ตารางเซนติเมตร)	45.00	40.50	4.50
โมเมนต์ม หรือ ผลรวมของพื้นที่ใต้ กราฟในรูปที่ 9.12 โดยประมาณ (นิวตันวินาที)	44.00	35.17	8.83
อัตราส่วนโมเมนต์มต่อพื้นที่ (นิวตันวินาทีต่อตารางเซนติเมตร)	0.98	0.87	1.96



รูปที่ 9.12 เปรียบเทียบแรงแลัพท์ระหว่างโม่เม็ดโม่เดี่ยวที่ระยะตัดทลาย 9 เซนติเมตร ความเร็ว 75 รอบต่อนาที กับรูปแบบการตัดทลายแบบที่ 1


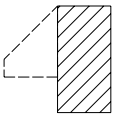
ตารางที่ 9.6 เปรียบเทียบรูปแบบการตัดทลายแบบที่ 2

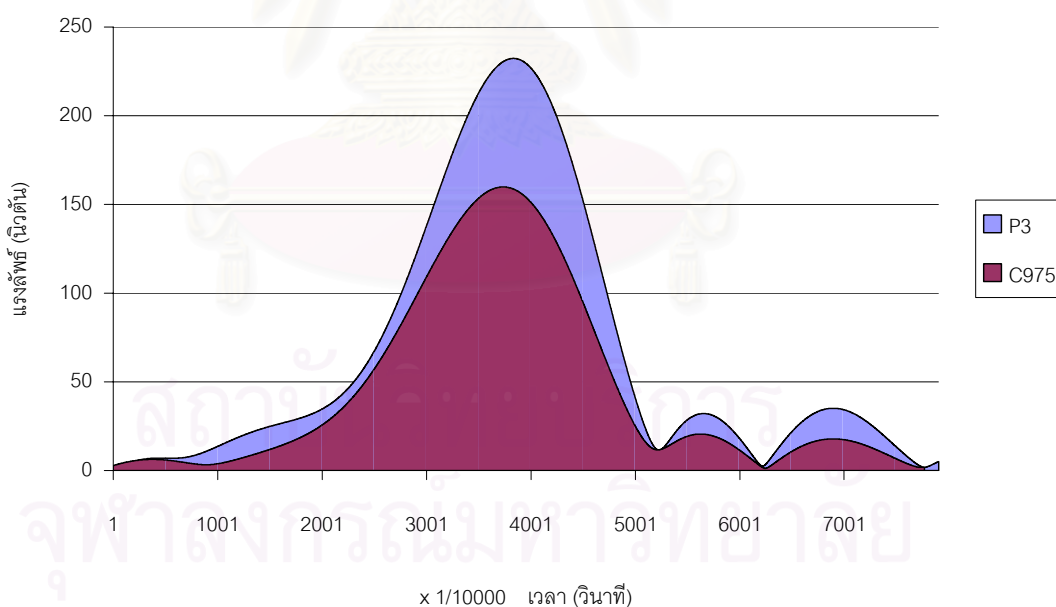
รูปแบบการตัดทลาย	แบบที่ 2	โม่มีดโม่เดี่ยวที่ ระยะตัดทลาย 9 เซนติเมตร 75 รอบ ต่อนาที
		
	A=50.63	A=40.50
พื้นที่แรงแผ (ตารางเซนติเมตร)	50.63	40.50
โมเมนต์ม หรือ ผลรวมของพื้นที่ใต้ กราฟในรูปที่ 9.13 โดยประมาณ (นิวตันวินาที)	36.67	35.17
อัตราส่วนโมเมนต์มต่อพื้นที่ (นิวตันวินาทีต่อตารางเซนติเมตร)	0.72	0.87



รูปที่ 9.13 เปรียบเทียบแรงลัพธ์ระหว่างโม่มีดโม่เดี่ยวที่ระยะตัดทลาย 9 เซนติเมตร ความเร็ว 75 รอบต่อนาที กับรูปแบบการตัดทลายแบบที่ 2

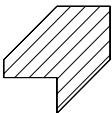
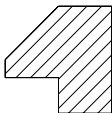
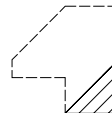
ตารางที่ 9.7 เปรียบเทียบรูปแบบการตัดทรายแบบที่ 3

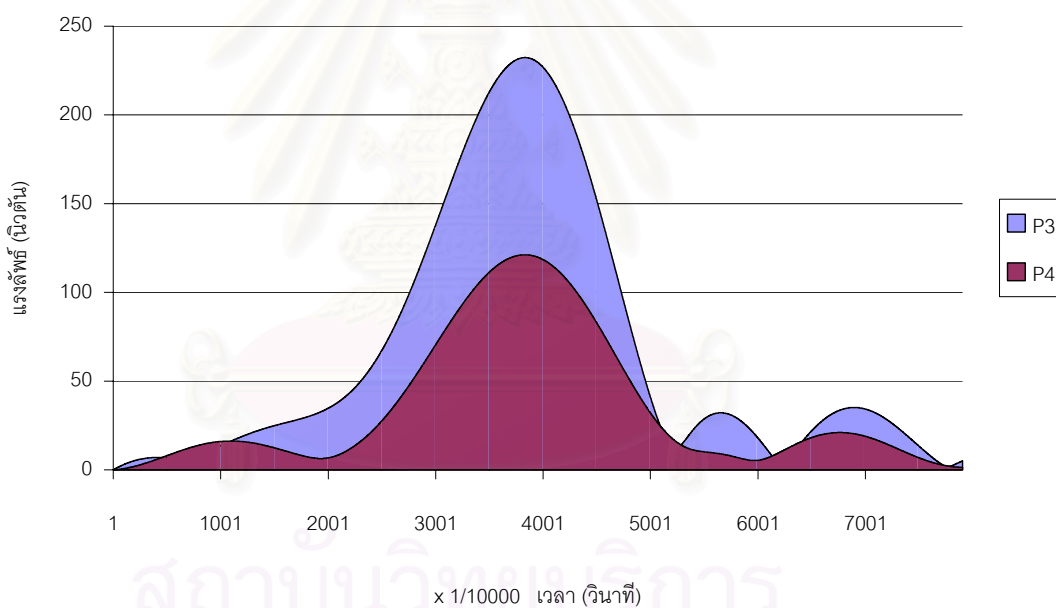
รูปแบบการตัดทราย	แบบที่ 3	โม่เม็ดโม่เดี่ยวที่ ระยะตัดทราย 9 เซนติเมตร รอบ ต่อนาที	
			
	A=57.38	A=16.88	
พื้นที่แรงงา (ตารางเซนติเมตร)	57.38	40.50	16.88
โมเมนต์มัม หรือ ผลรวมของพื้นที่ใต้ กราฟในรูปที่ 9.14 โดยประมาณ (นิวตันวินาที)	51.45	35.17	16.28
อัตราส่วนโมเมนต์มัมต่อพื้นที่ (นิวตันวินาทีต่อตารางเซนติเมตร)	0.90	0.87	0.96



รูปที่ 9.14 เปรียบเทียบแรงลัพธ์ระหว่างโม่เม็ดโม่เดี่ยวที่ระยะตัดทราย 9 เซนติเมตร ความเร็ว 75 รอบต่อนาที กับรูปแบบการตัดทรายแบบที่ 3

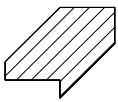
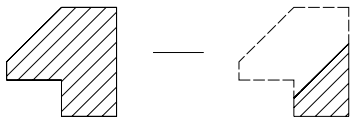
ตารางที่ 9.8 เปรียบเทียบรูปแบบการตัดทลายแบบที่ 4

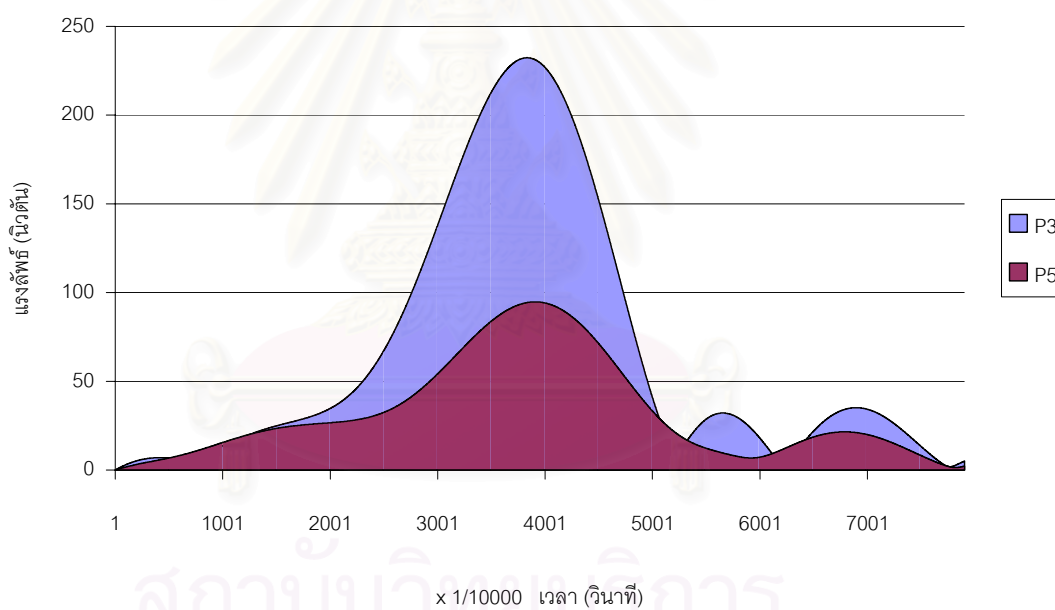
รูปแบบการตัดทลาย	แบบที่ 4	แบบที่ 3	
			
	A=47.26	A=57.38	A=10.12
พื้นที่แรงแง (ตารางเซนติเมตร)	47.26	57.38	10.12
โมเมนต์ หรือ ผลรวมของพื้นที่ใต้กราฟในรูปที่ 9.15 โดยประมาณ (นิวตันวินาที)	27.31	51.45	24.14
อัตราส่วนโมเมนต์ต่อพื้นที่ (นิวตันวินาทีต่อตารางเซนติเมตร)	0.58	0.90	2.39



รูปที่ 9.15 เปรียบเทียบแรงลัพธ์ระหว่างรูปแบบการตัดทลายแบบที่ 3 กับรูปแบบการตัดทลายแบบที่ 4

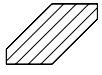

ตารางที่ 9.9 เปรียบเทียบรูปแบบการตัดทลายแบบที่ 5

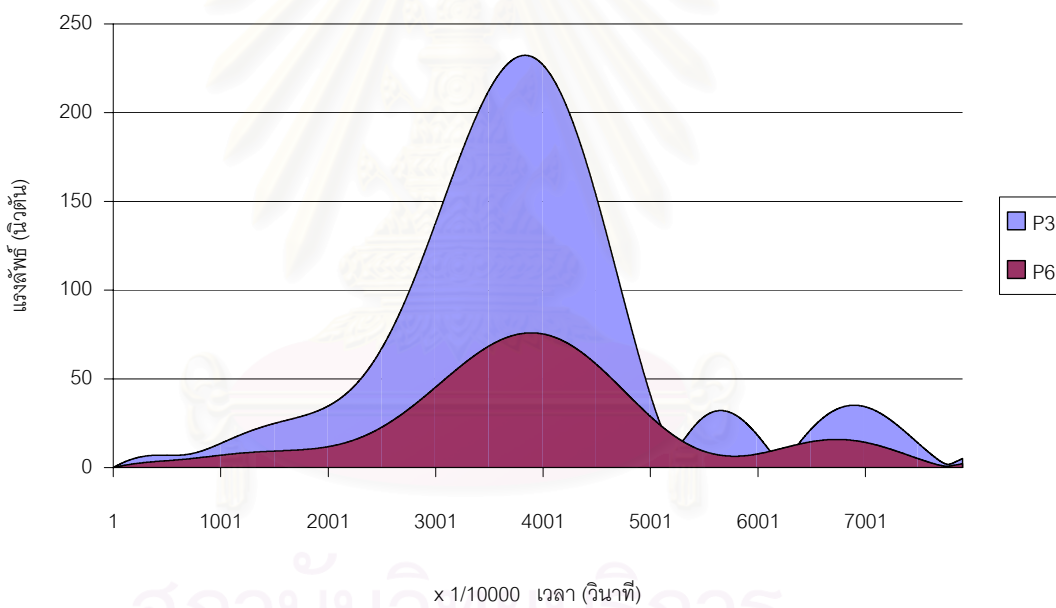
รูปแบบการตัดทลาย	แบบที่ 5	แบบที่ 3
		
	A=40.50	A=57.38
พื้นที่แรงเงา (ตารางเซนติเมตร)	40.50	57.38
โมเมนต์เต็ม หรือ ผลรวมของพื้นที่ใต้กราฟในรูปแบบที่ 9.16 โดยประมาณ (นิวตันวินาที)	25.45	51.45
อัตราส่วนโมเมนต์เต็มต่อพื้นที่ (นิวตันวินาทีต่อตารางเซนติเมตร)	0.63	0.90



รูปที่ 9.16 เปรียบเทียบแรงแลพัทธ์ระหว่างรูปแบบการตัดทลายแบบที่ 3 กับรูปแบบการตัดทลายแบบที่ 5

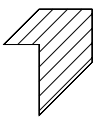

ตารางที่ 9.10 เปรียบเทียบรูปแบบการตัดทลายแบบที่ 6

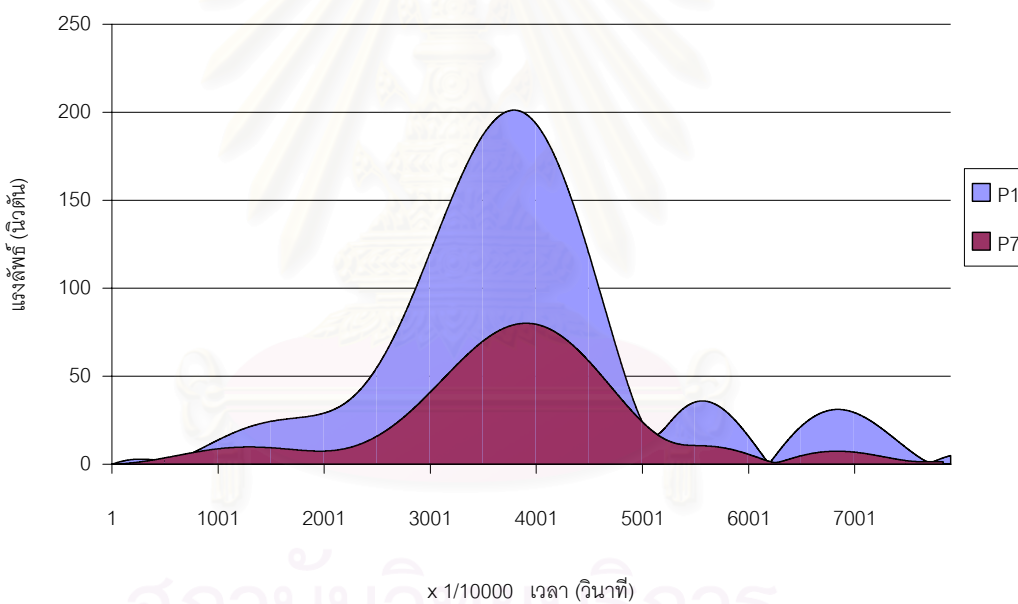
รูปแบบการตัดทลาย	แบบที่ 6	แบบที่ 3	
			
	A=33.75	A=57.38 A=23.63	
พื้นที่แรเงา (ตารางเซนติเมตร)	33.75	57.38	23.63
โมเมนต์ตัม หรือ ผลรวมของพื้นที่ใต้กราฟในรูปที่ 9.17 โดยประมาณ (นิวตันวินาที)	19.10	51.45	32.35
อัตราส่วนโมเมนต์ตัมต่อพื้นที่ (นิวตันวินาทีต่อตารางเซนติเมตร)	0.57	0.90	1.37



รูปที่ 9.17 เปรียบเทียบแรงสั่นระหว่างรูปแบบการตัดทลายแบบที่ 3 กับรูปแบบการตัดทลายแบบที่ 6

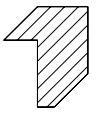
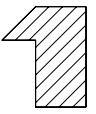
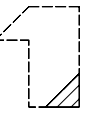
ตารางที่ 9.11 เปรียบเทียบรูปแบบการตัดทลายแบบที่ 7

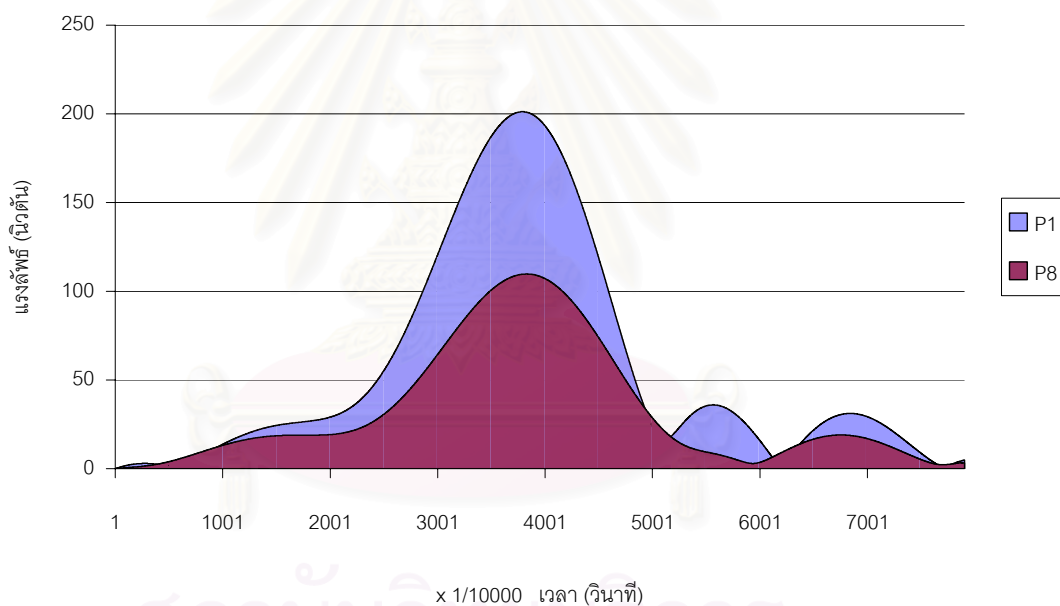
รูปแบบการตัดทลาย	แบบที่ 7	แบบที่ 1
		
พื้นที่แรงงา (ตารางเซนติเมตร)	34.88	45.00
โมเมนต์ หรือ ผลรวมของพื้นที่ใต้กราฟในรูปที่ 9.18 โดยประมาณ (นิวตันวินาที)	17.39	44.00
อัตราส่วนโมเมนต์ต่อพื้นที่ (นิวตันวินาทีต่อตารางเซนติเมตร)	0.50	0.98



รูปที่ 9.18 เปรียบเทียบแรงลัพธ์ระหว่างรูปแบบการตัดทลายแบบที่ 1 กับรูปแบบการตัดทลายแบบที่ 7

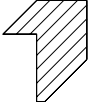
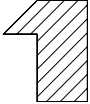
ตารางที่ 9.12 เปรียบเทียบรูปแบบการตัดทลายแบบที่ 8

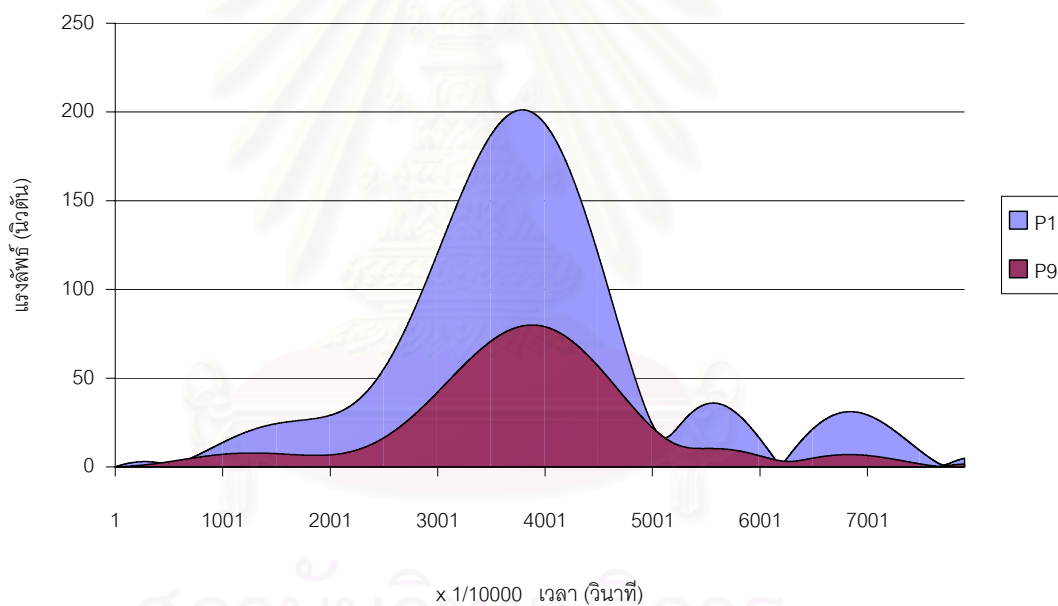
รูปแบบการตัดทลาย	แบบที่ 8	แบบที่ 1	
			
พื้นที่แรงแท (ตารางเซนติเมตร)	40.50	45.00	4.50
โมเมนต์ม หรือ ผลรวมของพื้นที่ใต้กราฟในรูปที่ 9.19 โดยประมาณ (นิวตันวินาที)	25.70	44.00	18.30
อัตราส่วนโมเมนต์มต่อพื้นที่ (นิวตันวินาทีต่อตารางเซนติเมตร)	0.63	0.98	4.07



รูปที่ 9.19 เปรียบเทียบแรงแลัพท์ระหว่างรูปแบบการตัดทลายแบบที่ 1 กับรูปแบบการตัดทลายแบบที่ 8

ตารางที่ 9.13 เปรียบเทียบรูปแบบการตัดทลายแบบที่ 9

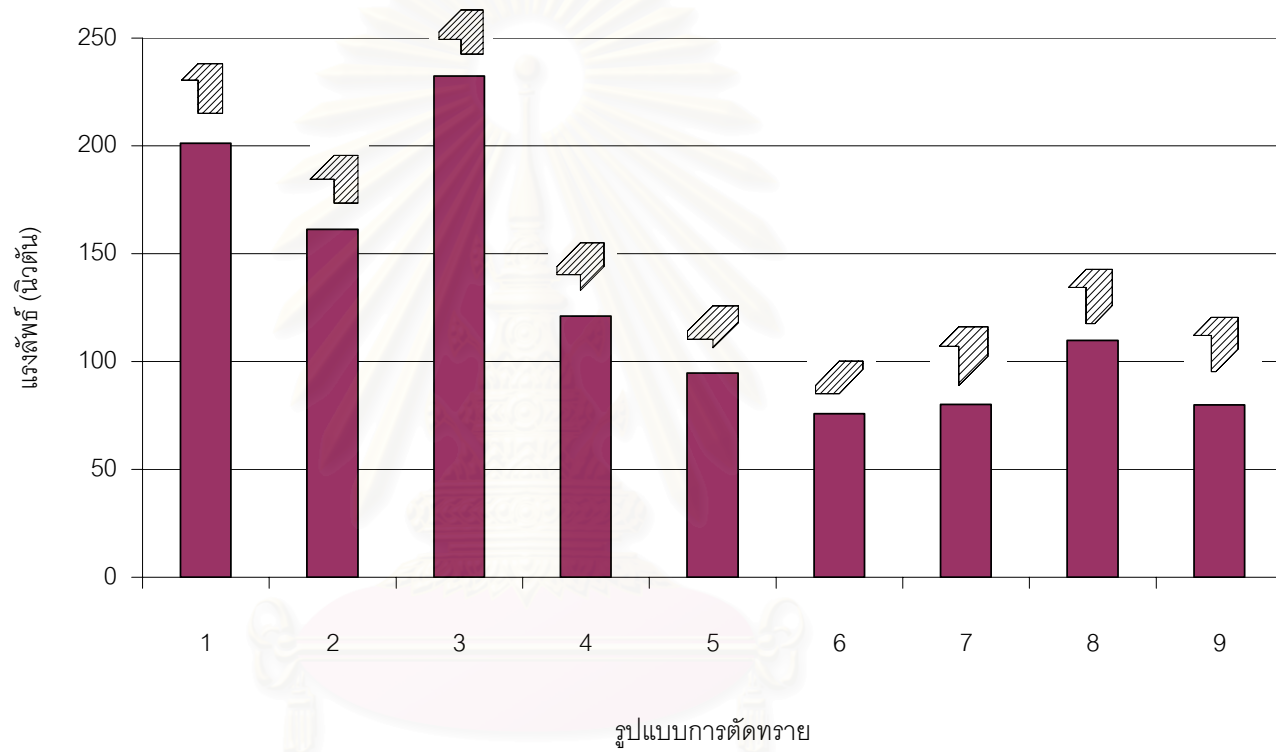
รูปแบบการตัดทลาย	แบบที่ 9	แบบที่ 1
		
	A=37.97	A=45.00
พื้นที่แรงเงา (ตารางเซนติเมตร)	37.97	45.00
โมเมนต์ หรือ ผลรวมของพื้นที่ใต้กราฟในรูปที่ 9.20 โดยประมาณ (นิวตันวินาที)	17.05	44.00
อัตราส่วนโมเมนต์ต่อพื้นที่ (นิวตันวินาทีต่อตารางเซนติเมตร)	0.45	0.98



รูปที่ 9.20 เปรียบเทียบแรงแลพัทธ์ระหว่างรูปแบบการตัดทลายแบบที่ 1 กับรูปแบบการตัดทลายแบบที่ 9

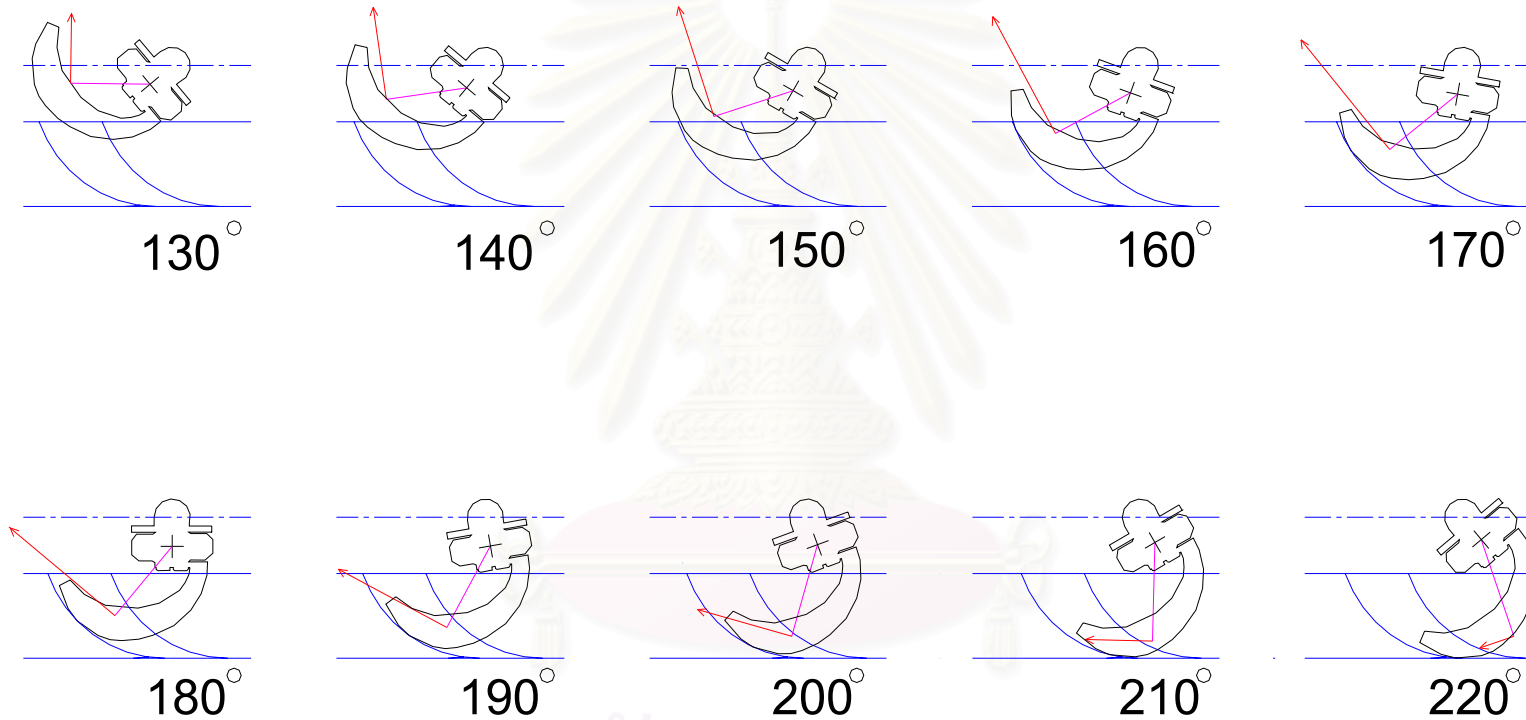
ตารางที่ 9.14 ค่าแรง มุมแรง และระยะของแรงที่ได้จากสมการ (9.1) – (9.3) ในกรณีมีใบมีดข้างเคียงที่มีแรงต้านทานลัพธ์ $|F|$ มากที่สุด

รูปแบบการตัด ทราย	ตำแหน่ง ของข้อมูล	มุม EOR (องศา)	V_f (โวลต์)	V_p (โวลต์)	V_m (โวลต์)	มุมแรง θ (องศา)	$ F $ (นิวตัน)	L (เมตร)
1	3791	172.62	0.0001914249	-0.0003282470	0.0008736784	40.66	201.18	0.1254
2	3754	170.94	0.0001764288	-0.0002408823	0.0006921624	45.73	161.30	0.1239
3	3833	174.54	0.0002351750	-0.0003722199	0.0009455574	42.01	232.28	0.1176
4	3832	174.49	0.0001275917	-0.0001804430	0.0005701426	45.53	121.17	0.1359
5	3909	178.00	0.0000956284	-0.0001434322	0.0004639410	44.49	94.74	0.1414
6	3891	177.18	0.0000554348	-0.0001355717	0.0003523546	34.03	75.91	0.1341
7	3905	177.81	0.0000845270	-0.0001204229	0.0003662634	45.16	80.13	0.1320
8	3830	174.40	0.0001162531	-0.0001666837	0.0004820530	44.75	109.74	0.1269
9	3880	176.68	0.0000844744	-0.0001181211	0.0003818301	45.88	79.96	0.1379



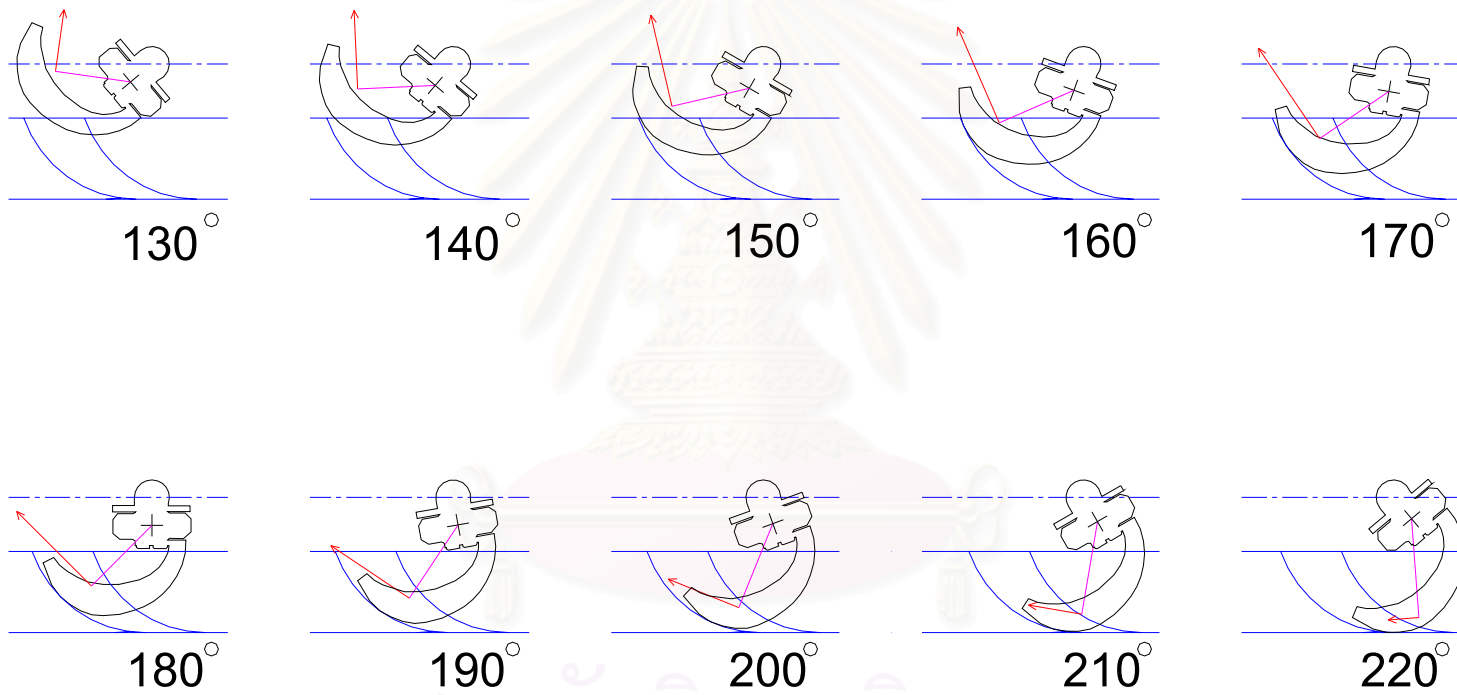
รูปที่ 9.21 แสดงการเปรียบเทียบแรงด้านทานลัพท์มากที่สุดของรูปแบบการตัดทรายแบบต่างๆ

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



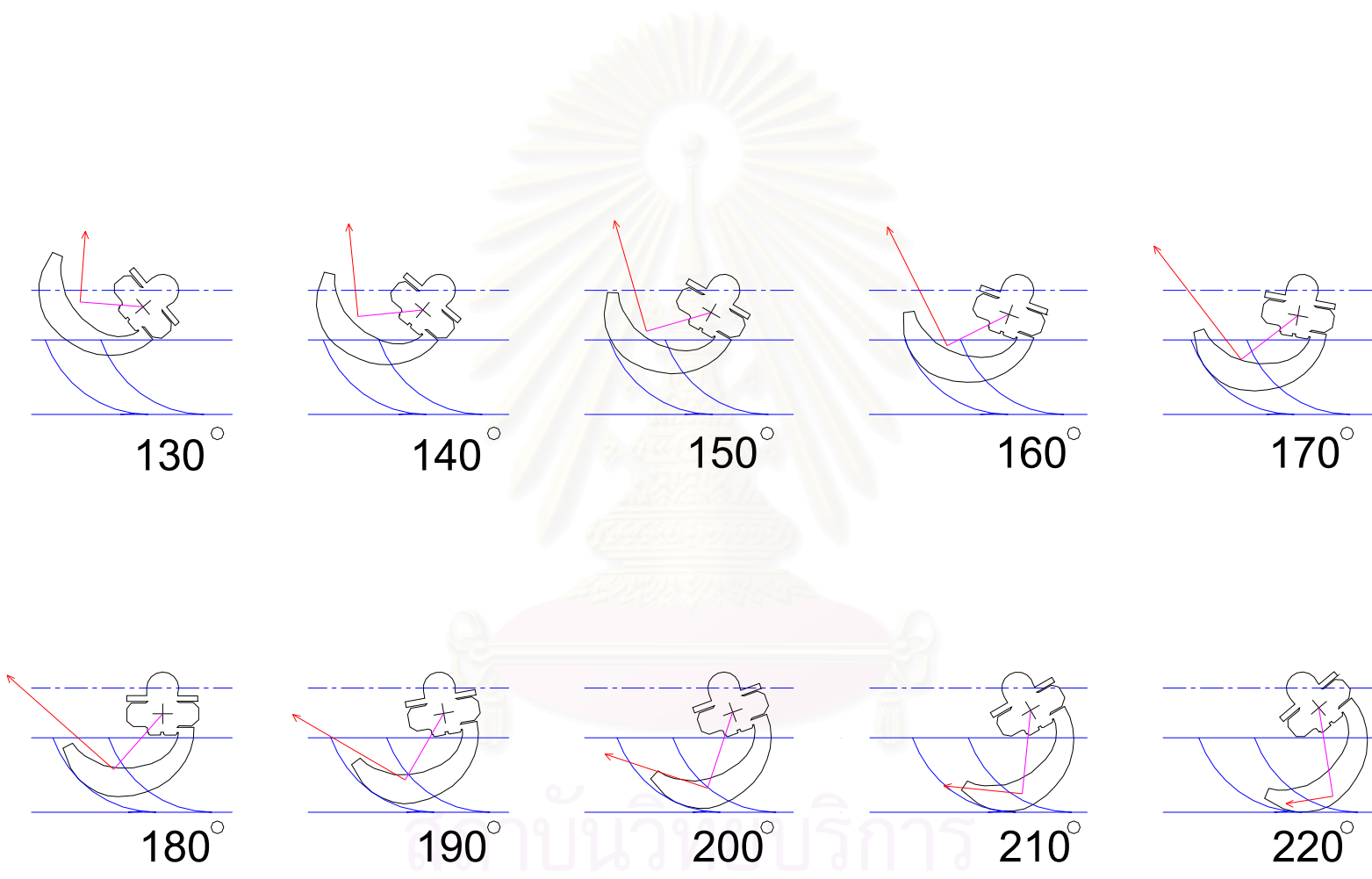
รูปที่ 9.22 แสดงขนาด ทิศทาง และแนวของแรงดลัทธิในขณะที่ใบมีดพรวนในกรณีมีใบมีดข้างเคียงรูปแบบที่ 1

สงวนลิขสิทธิ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

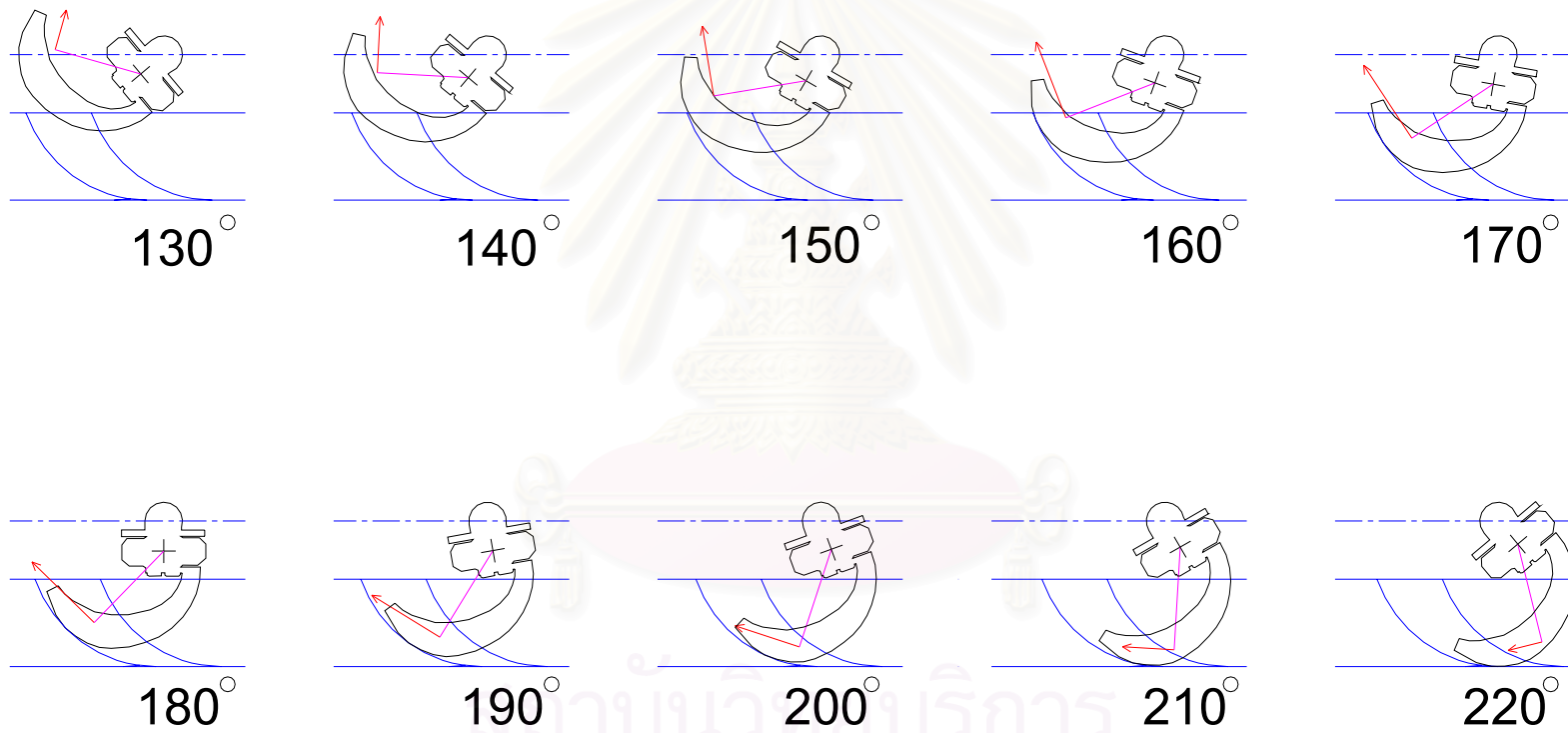


รูปที่ 9.23 แสดงขนาด ทิศทาง และแนวของแรงลัทธิในขณะที่มีไวมืดพราวในกรณีที่มีไวมืดข้างเคียงรูปแบบที่ 2

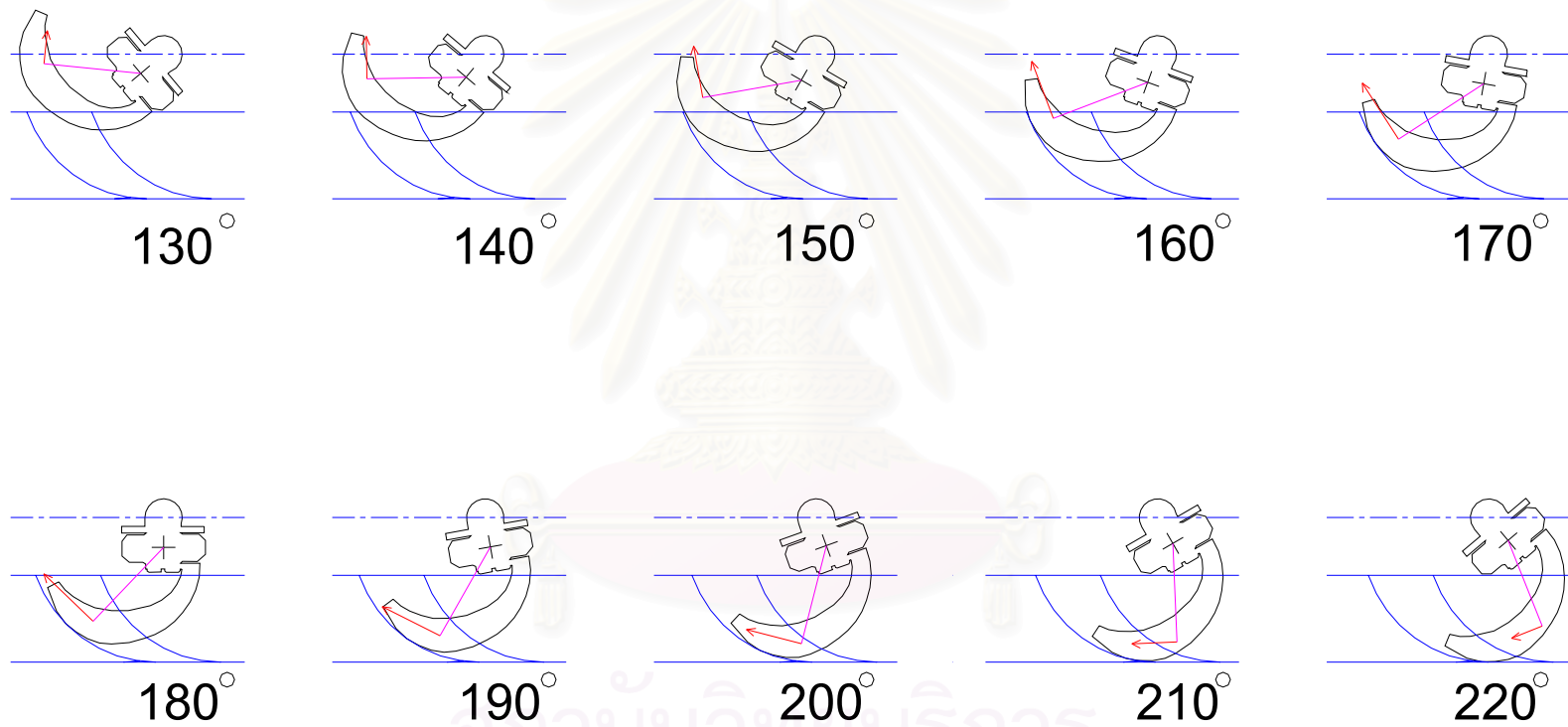
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 9.24 แสดงขนาด ทิศทาง และแนวของแรงลัพธ์ในขณะที่โม่มีดพรอนในกรณีมีโม่มีดข้างเคียงรูปแบบที่ 3

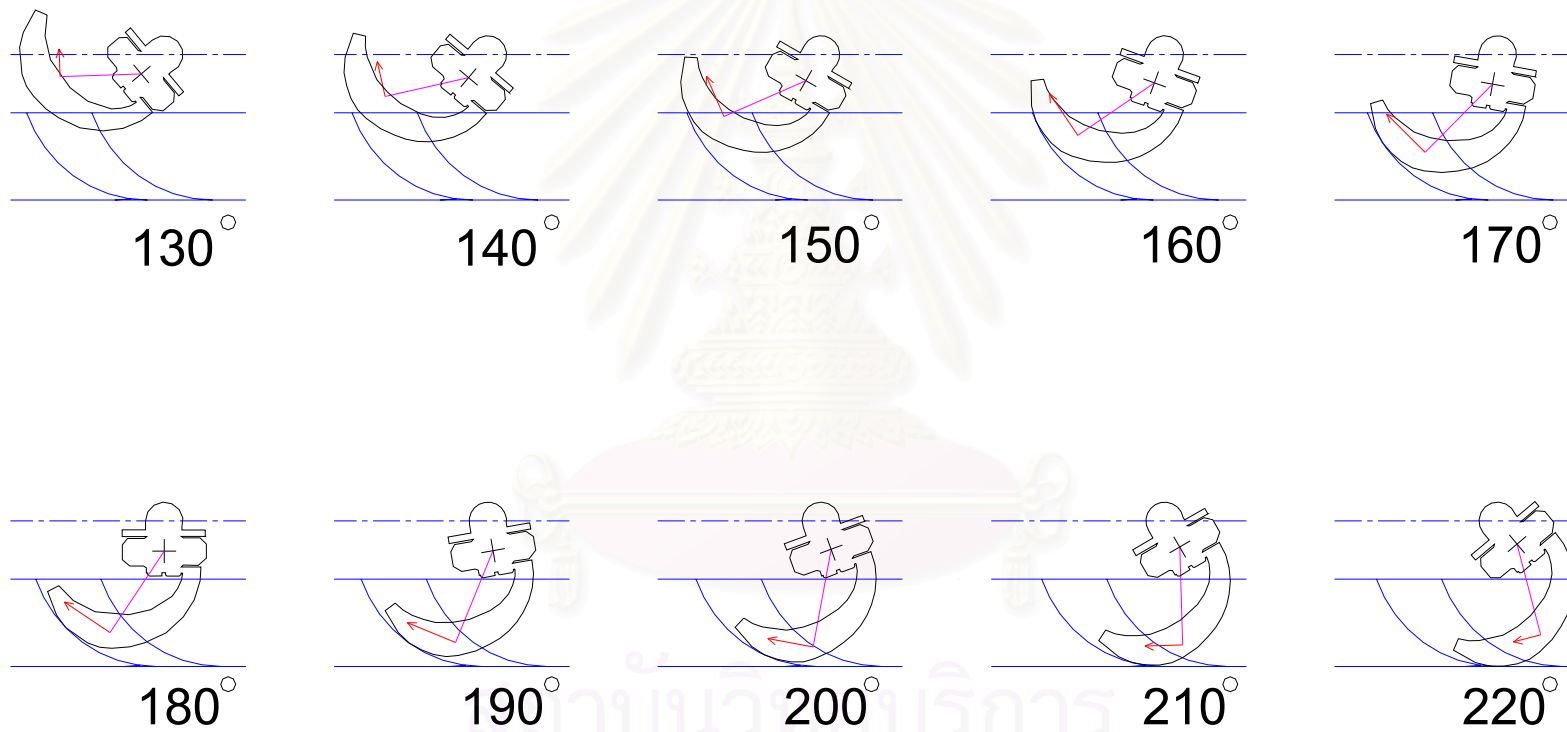


รูปที่ 9.25 แสดงขนาด ทิศทาง และแนวของแรงลัพธ์ในกรณีที่โม่มีดพรวนในกรณีมีโม่มีดข้างเคียงรูปแบบที่ 4

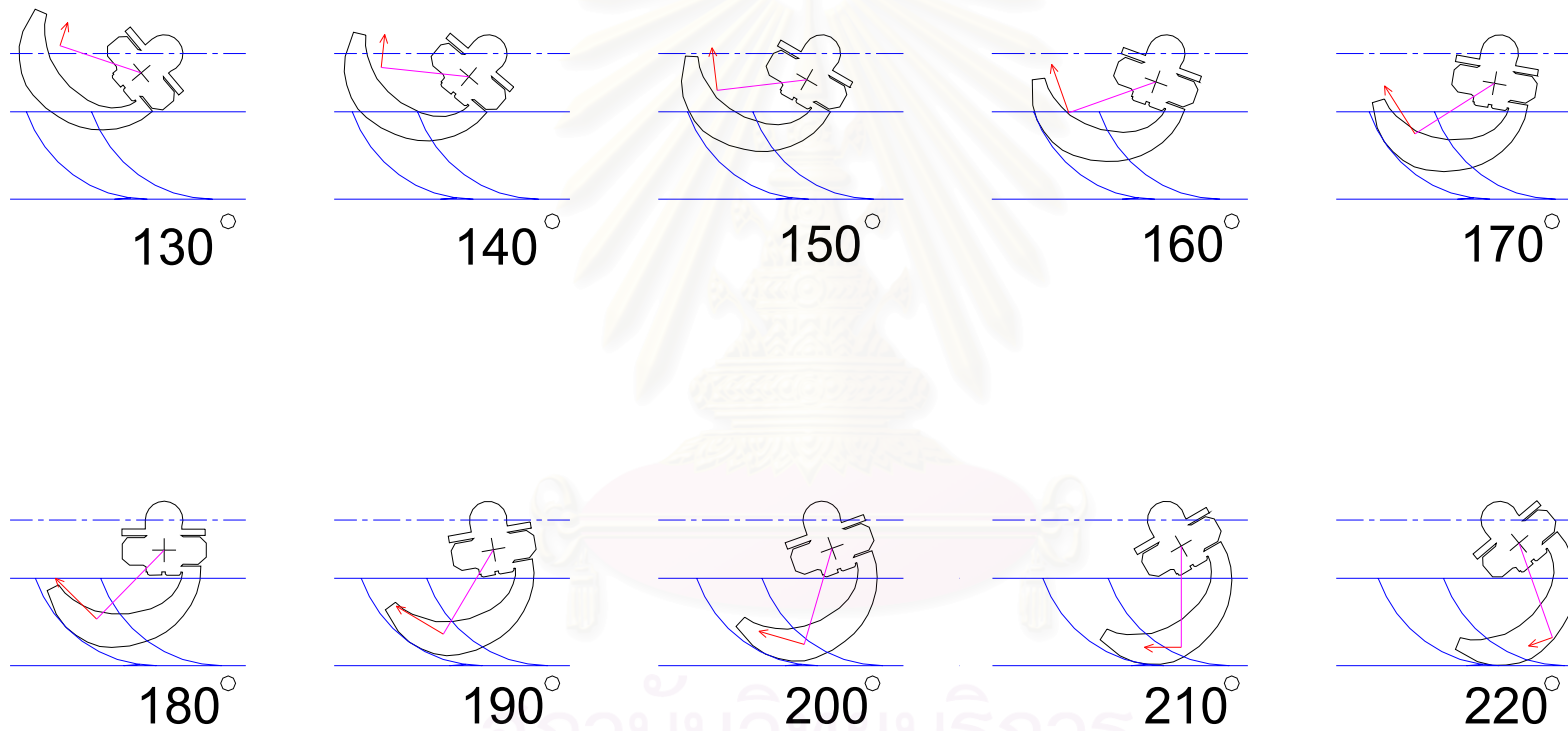


รูปที่ 9.26 แสดงขนาด ทิศทาง และแนวของแรงลัพท์ในขณะที่โม่มีดพรวนในกรณีมีโม่มีดข้างเคียงรูปแบบที่ 5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

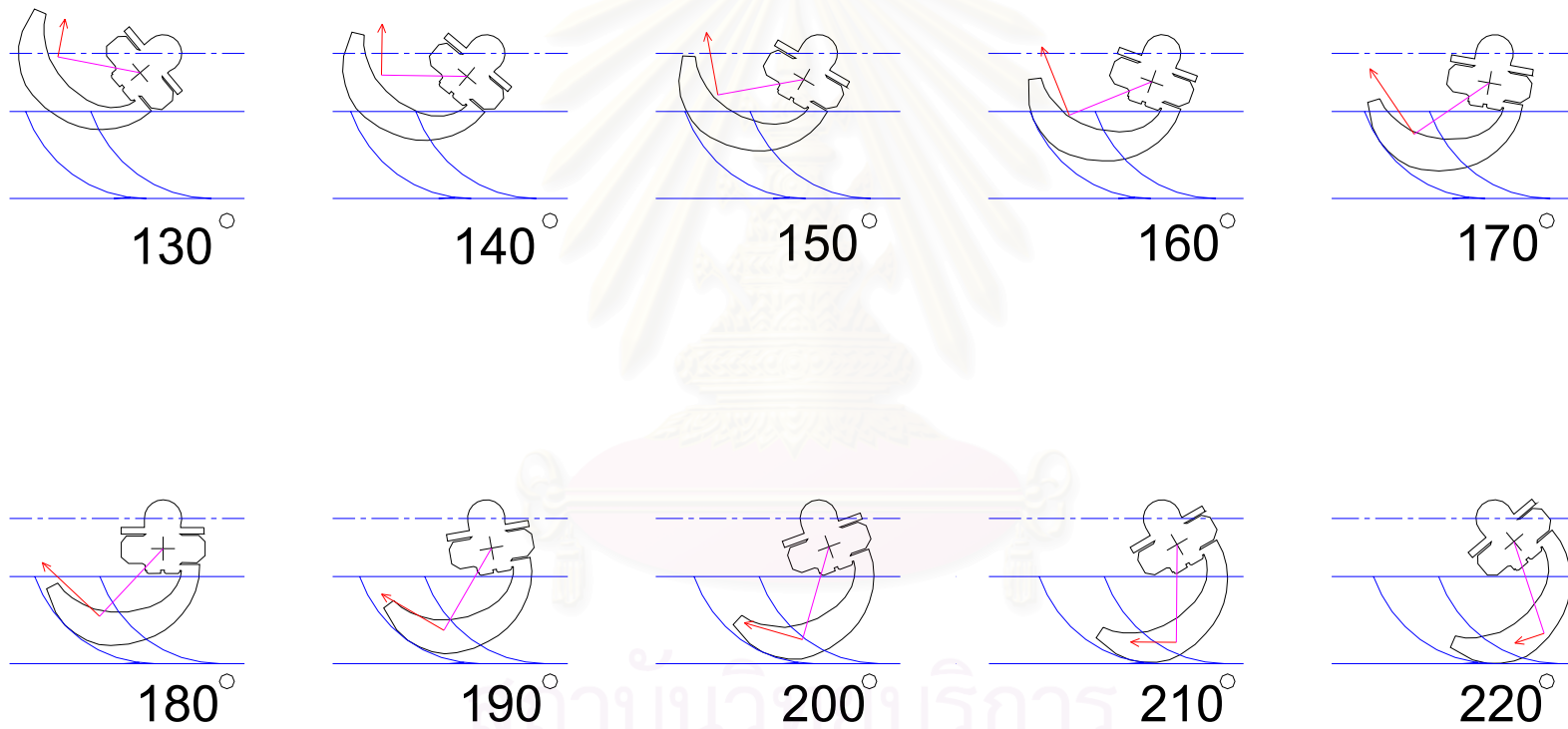


รูปที่ 9.27 แสดงขนาด ทิศทาง และแนวของแรงลัพธ์ในขณะที่โม่มีดพรวนในกรณีมีโม่มีดข้างเคียงรูปแบบที่ 6

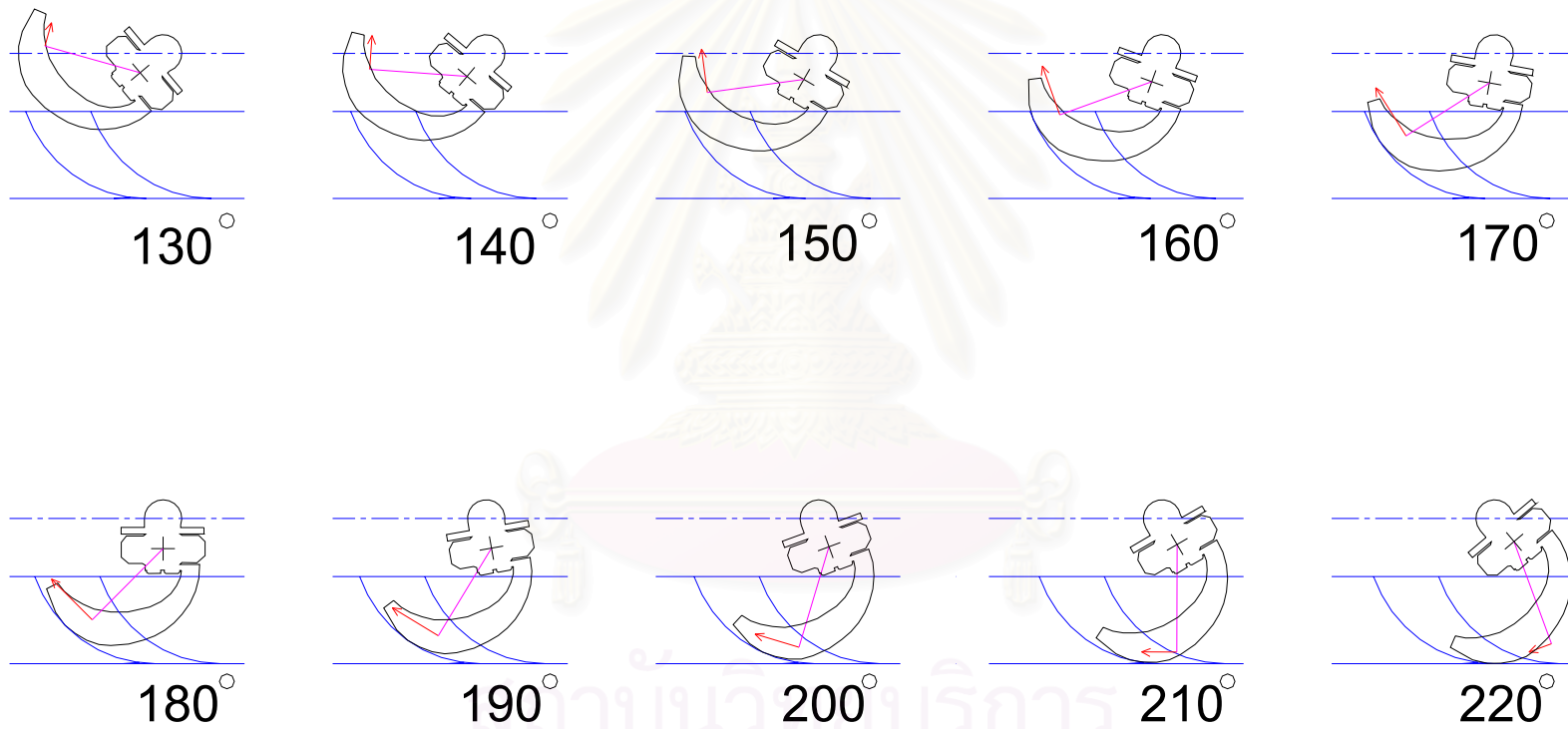


รูปที่ 9.28 แสดงขนาด ทิศทาง และแนวของแรงลัทธิในขณะที่ไวมืดพรวนในกรณีมีไวมืดข้างเคียงรูปแบบที่ 7

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 9.29 แสดงขนาด ทิศทาง และแนวของแรงลัพธ์ในขณะไ้บ่มีดพรวนในกรณีมีไ้บ่มีดข้างเคียงรูปแบบที่ 8



รูปที่ 9.30 แสดงขนาด ทิศทาง และแนวของแรงลัพท์ในขณะที่มีมุมพรวนในกรณีที่มีมุมข้างเคียงรูปแบบที่ 9

บทสรุป ปัญหาที่พบ และข้อเสนอแนะ

10.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการพัฒนาชุดทดลองและหาแรงต้านทานกระทำที่โม่มีดจอบหมุ่นที่พรวนในกระบะทรายโดยใช้โม่มีดโม่เดียว และแรงต้านทานเนื่องจากการติดโม่มีดข้างเคียง โดยใช้ EOR เป็นทรานสดิวเซอร์ในการวัดแรงควบคุมกับระบบเก็บข้อมูลที่ใช้ร่วมกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล โดยบทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีการออกแบบโม่มีดจอบหมุ่นโดยคำนึงถึงค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบรูปร่างส่วนต่างๆ ของโม่มีดจอบหมุ่น ความรู้ในบทนี้จะนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบรูปร่างโม่มีดจอบหมุ่นด้วยคอมพิวเตอร์ตามแผนผังวางแผนออกแบบโม่มีดจอบหมุ่นซึ่งอยู่ในบทที่ 3 สำหรับในบทที่ 4 จะกล่าวถึงเทคนิคที่จำเป็นสำหรับการวัดแรงกระทำที่โม่มีดประกอบด้วยส่วนของทฤษฎี EOR และระบบการเก็บข้อมูล

ภายหลังจากทำความเข้าใจในทฤษฎีและเทคนิคที่เกี่ยวข้องสำหรับการทดลองสามารถนำมาพัฒนาชุดทดลองที่ประกอบด้วยระบบควบคุมพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการพรวนดินของโม่มีดจอบหมุ่นกับระบบเก็บข้อมูล ดังมีรายละเอียดในบทที่ 5 ส่วนบทที่ 6 อธิบายขั้นตอนและวิธีการทดลอง เริ่มจากการทดลองสอบเทียบ EOR การทดลองหาแรงต้านทานในกรณีโม่มีดโม่เดียว และกรณีโม่มีดข้างเคียง

ในบทที่ 7 แสดงผลการทดลองที่ได้จากการสอบเทียบ EOR และแรงต้านทานที่ได้จากพรวนของโม่มีดในกรณีต่างๆ ในรูปของกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับแรง จากการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้ในบทที่ 8 ทำให้ได้สมการทางคณิตศาสตร์ในรูปของแรงกับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ ซึ่งสามารถใช้วิเคราะห์แรงต้านทานลัพท์ที่ได้จากการใช้ EOR สมการที่ได้จากบทที่ 8 จะนำมาคำนวณหาค่าแรงต้านทานลัพท์ที่เกิดขึ้นในบทที่ 9 ทำให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านทานลัพท์สูงสุด โดยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะการตัดทรายที่เพิ่มขึ้นในกรณีการทดลองโม่มีดโม่เดียว และอัตราส่วนแรงต่อพื้นที่เพื่อเปรียบเทียบผลของแรงต้านทานของโม่มีดข้างเคียง โดยแสดงการเปลี่ยนแปลงของแรงต้านทานลัพท์ที่ตำแหน่งมุมอ้างอิงกับ EOR ในช่วงโม่มีดหมุ่นตัดทราย 130 องศา – 220 องศา

ส่วนรายละเอียดที่เกี่ยวข้องในการทดลองมีเพิ่มเติมอยู่ในภาคผนวก

10.2 ปัญหาที่พบในการทำวิทยานิพนธ์

การทดลองเพื่อหาแรงต้านทานลัทธิกระทำต่อใบมีดจอบหมุนโดยตรงค่อนข้างมีความซับซ้อน เพราะว่าขณะทำงานใบมีดหมุนและเคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วย ดังนั้นแรงต้านทานลัทธิที่กระทำต่อใบมีดจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาตามตำแหน่งมุมตัดทราย จึงได้พัฒนาชุดอุปกรณ์ทดลองพร้อมระบบจัดเก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ผลการทดลอง ตลอดระยะเวลาได้มีการดัดแปลงและปรับปรุงอยู่หลายครั้ง ดังมีรายละเอียดไว้ในบทที่ 5

10.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

ในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นพื้นฐานที่สำคัญในการศึกษาแรงต้านทานกระทำที่ใบมีดจอบหมุน โดยใช้ EOR ควบคู่กับระบบเก็บข้อมูลที่ใช้ร่วมกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ซึ่งสามารถนำไปสู่งานวิจัยที่ต่อเนื่องได้หลายแนวทางด้วยกัน อันได้แก่

1. การศึกษาแรงต้านทานกระทำที่ใบมีดเมื่อมีการเปลี่ยนพารามิเตอร์ เพื่อนำไปสู่ทฤษฎีการออกแบบใบมีดจอบหมุนสำหรับใช้งาน
2. พัฒนาวิธีสำหรับการวัดแรงต้านทานลัทธิที่เกิดขึ้นเพื่อให้ทราบตำแหน่งที่แรงกระทำ
3. การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับระบบเก็บข้อมูล เพื่อเก็บวิเคราะห์ และแสดงผลของข้อมูลโดยอัตโนมัติสำหรับแรงต้านทานที่เกิดขึ้น
4. การพัฒนาโปรแกรมสำหรับออกแบบและวาดรูปใบมีดจอบหมุนเพื่อนำไปผลิตเชิงพาณิชย์
5. การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการออกแบบการจัดเรียงใบมีดจอบหมุนโดยอาศัยฐานข้อมูลที่ได้จากการทดลองการจัดเรียงใบมีด
6. การพัฒนาการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยนำระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาประยุกต์ใช้เพื่อหาความเค้นที่เกิดขึ้นที่ใบมีดสำหรับแรงที่มากกระทำในลักษณะพลศาสตร์
7. การพัฒนาชุดทดลองเพื่อให้สามารถทำการทดลองได้ง่ายโดยใช้คนเพียงคนเดียว เพื่อที่จะทำการทดลองเปรียบเทียบได้หลายกรณีในเวลาอันสั้น

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ปานมนัส ศิริสมบุญ และ ชวนพิศ ผลวัฒน์. พจนานุกรมศัพท์เกษตรอังกฤษ-ไทย สาขาเครื่องจักรกลทางการเกษตร. จำนวน 2000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์, 2537.

สุรินทร์ พงศ์ศุภสมิทธิ. วิศวกรรมรถไถเดินตาม. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

ภาษาอังกฤษ

Cook, N.H. and E. Rabinowicz. Physical Measurement and Analysis. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley, 1963.

Fujiura, T., Kawamura, N., and Si Gia, P. Automatic Control of Rotary Tilling Tractor (Part 2) Tilling Reaction Force Detector and Investigation of Control System. Research Report in Agricultural Machinery. N0.9 1979: 1-14.

Godwin, R. J. An Extended Octagonal Ring Transducer for Use in Tillage Studies. J. Agric. Engag. Res. Vol.20 1975: 347-352.

Gu, Y., Kushwaha, R. L. and Zoerb, G. C. Cross-Sensitivity Analysis of Extended Octagonal Ring Transducer. American Society of Agricultural Engineers. Vol.36 1993: 1967-1972

Hendrick, J. G. and Gill, W. R. Rotary-Tiller Design Parameters Part I – Direction of Rotation. Transactions of the ASAE. 1971: 669-674.

Hendrick, J. G. and Gill, W. R. Rotary-Tiller Design Parameters Part II – Depth of Tillage. Transactions of the ASAE. 1971: 675-678.

Hendrick, J. G. and Gill, W. R. Rotary-Tiller Design Parameters Part III – Ratio of Peripheral and Forward Velocities. Transactions of the ASAE. 1971: 679-683.

Hendrick, J. G. and Gill, W. R. Rotary-Tiller Design Parameters Part IV – Blade Clearance Angle. Transactions of the ASAE. 1974: 4-7.

Hoag, D. L. and Yoerger, R. R. Design Load Rings for Measurement. Transactions of the ASAE. 1974: 251-253,261.

- Hoag, D. L. and Yoerger, R. R. Analysis and Design of Load Rings. Transactions of the ASAE. 1975: 995-1000.
- RNAM. RNAM Test Codes & Procedures for Farm Machinery. Second edition. RNAM, 1995.
- Sakai, J. Theoretical Approach to the Hand Tractor of Rotary Tillage (2). JARQ 9(1) 1975: 40-47.
- Sakai, J. and Shibata, Y. Studies on the Design Engineering of Rotary Blades for the Rotary Tillage of Tractors (Part2). The Bullentin of the Faculty of Agriculture, Mie University. December, 1975: 211-223.
- Sakai, J. and Shibata, Y. Studies on the Design Engineering of Rotary Blades for the Rotary Tillage of Tractors (Part 3). The Bullentin of the Faculty of Agriculture, Mie University. March, 1976: 145-155.
- Sakai, J. Some Design Know-hows of Edge-curve Angle of Rotary Blades for Paddy Rice Cultivation. AMA Spring 1977: 49-57.
- Sakai, J. Designing Process and Theories of Rotary Blades for Better Rotary Tillage (Part 1). JARQ 12(2) 1978: 85-93.
- Sakai, J. Designing Process and Theories of Rotary Blades for Better Rotary Tillage (Part 2). JARQ 12(4) 1978: 197-204.
- Sakai, J. and Hai, L. V. Production Technology of Japanese Rotary Blades for Rotary Tillage. AMA. Summer, 1980: 17-23.
- Sakai, J. Two-Wheel Tractor Engineering for Asian Wet Land Farming (English-Japanese Version). ISBN 4-88028-054-2: Shin-norinsha, 1999.
- Sakurai, H. Design-Theories and Production Technology of Japanese Rotary Tillage Blades. JICA, 1993.
- Shaw, M. C. Metal Cutting Principles. Cambridge, Massachusetts: M. I. T., 1968.
- Sineokov, G. N. Design of Soil Tilling Machines. New Delhi: Indian National Scientific Documentation Centre, 1978.
- Thakur, T. C. Design of Extended Octagonal Ring Dynamometer for Rotary Tillage Studies. AMA No.3 Vol.19 1988: 23-28.
- Travis, J. LabVIEW for Everyone. Second Edition. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 2002.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ข้อมูลความแน่นทราย

ก.1 ความแน่นทรายของการทดลองพรุนทรายด้วยใบมีดใบเดียว

ตาราง ก.1.1 ระยะการตัด 3 เซนติเมตรความเร็ว 25 รอบต่อนาที

ความลึก (cm)	ค่าความแน่นทราย ณ ตำแหน่ง (kgf/cm ²)				ค่าเฉลี่ย (kgf/cm ²)	ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย (SD)
	1	2	3	4		
5	10	10	15	14	12	3
10	18	26	26	22	23	4
15	27	38	38	34	34	5

ตาราง ก.1.2 ระยะการตัด 3 เซนติเมตรความเร็ว 50 รอบต่อนาที

ความลึก (cm)	ค่าความแน่นทราย ณ ตำแหน่ง (kgf/cm ²)				ค่าเฉลี่ย (kgf/cm ²)	ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย (SD)
	1	2	3	4		
5	8	14	8	8	10	3
10	16	24	22	12	19	6
15	24	42	38	36	35	8

ตาราง ก.1.3 ระยะการตัด 3 เซนติเมตรความเร็ว 75 รอบต่อนาที

ความลึก (cm)	ค่าความแน่นทราย ณ ตำแหน่ง (kgf/cm ²)				ค่าเฉลี่ย (kgf/cm ²)	ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย (SD)
	1	2	3	4		
5	9	9	12	8	10	2
10	12	21	24	21	20	5
15	25	28	36	36	31	6

ตาราง ก.1.4 ระยะการตัด 6 เซนติเมตรความเร็ว 25 รอบต่อนาที

ความลึก (cm)	ค่าความแน่นทราย ณ ตำแหน่ง (kgf/cm ²)				ค่าเฉลี่ย (kgf/cm ²)	ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย (SD)
	1	2	3	4		
5	8	10	12	12	11	2
10	13	22	28	24	22	6
15	23	38	44	46	38	10

ตาราง ก.1.5 ระยะการตัด 6 เซนติเมตรความเร็ว 50 รอบต่อนาที

ความลึก (cm)	ค่าความแน่นทราย ณ ตำแหน่ง (kgf/cm ²)				ค่าเฉลี่ย (kgf/cm ²)	ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย (SD)
	1	2	3	4		
5	4	6	12	12	9	4
10	12	16	22	20	18	4
15	14	24	38	37	29	11

ตาราง ก.1.6 ระยะการตัด 6 เซนติเมตรความเร็ว 75 รอบต่อนาที

ความลึก (cm)	ค่าความแน่นทราย ณ ตำแหน่ง (kgf/cm ²)				ค่าเฉลี่ย (kgf/cm ²)	ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย (SD)
	1	2	3	4		
5	10	2	14	14	10	6
10	12	26	22	22	21	6
15	24	36	42	40	36	8

ตาราง ก.1.7 ระยะการตัด 9 เซนติเมตรความเร็ว 25 รอบต่อนาที

ความลึก (cm)	ค่าความแน่นทราย ณ ตำแหน่ง (kgf/cm ²)				ค่าเฉลี่ย (kgf/cm ²)	ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย (SD)
	1	2	3	4		
5	10	12	10	10	11	1
10	17	17	22	20	19	2
15	22	32	36	32	31	6

ตาราง ก.1.8 ระยะการตัด 9 เซนติเมตรความเร็ว 50 รอบต่อนาที

ความลึก (cm)	ค่าความแน่นทราย ณ ตำแหน่ง (kgf/cm ²)				ค่าเฉลี่ย (kgf/cm ²)	ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย (SD)
	1	2	3	4		
5	10	12	12	8	11	2
10	18	20	22	16	19	3
15	24	34	40	36	34	7

ตาราง ก.1.9 ระยะการตัด 9 เซนติเมตรความเร็ว 75 รอบต่อนาที

ความลึก (cm)	ค่าความแน่นทราย ณ ตำแหน่ง (kgf/cm ²)				ค่าเฉลี่ย (kgf/cm ²)	ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย (SD)
	1	2	3	4		
5	8	10	12	8	10	2
10	14	24	22	16	19	5
15	22	40	40	30	33	9

ก.2 ความแน่นทรายของการทดลองพรวนทรายโดยมีใบมีดข้างเคียง

ตาราง ก.2.1 ระยะการตัด 9 เซนติเมตรความเร็ว 75 รอบต่อนาที รูปแบบที่ 1

ความลึก (cm)	ค่าความแน่นทราย ณ ตำแหน่ง (kgf/cm ²)				ค่าเฉลี่ย (kgf/cm ²)	ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย (SD)
	1	2	3	4		
5	6	12	12	10	10	3
10	16	22	22	22	21	3
15	20	32	42	40	34	10

ตาราง ก.2.2 ระยะการตัด 9 เซนติเมตรความเร็ว 75 รอบต่อนาที รูปแบบที่ 2

ความลึก (cm)	ค่าความแน่นทราย ณ ตำแหน่ง (kgf/cm ²)				ค่าเฉลี่ย (kgf/cm ²)	ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย (SD)
	1	2	3	4		
5	7	14	13	12	12	3
10	10	21	24	28	21	8
15	19	34	38	40	33	10

ตาราง ก.2.3 ระยะการตัด 9 เซนติเมตรความเร็ว 75 รอบต่อนาที รูปแบบที่ 3

ความลึก (cm)	ค่าความแน่นทราย ณ ตำแหน่ง (kgf/cm ²)				ค่าเฉลี่ย (kgf/cm ²)	ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย (SD)
	1	2	3	4		
5	12	15	12	11	13	2
10	14	20	22	19	19	3
15	22	30	37	40	33	8

ตาราง ก.2.4 ระยะการตัด 9 เซนติเมตรความเร็ว 75 รอบต่อนาที รูปแบบที่ 4

ความลึก (cm)	ค่าความแน่นทราย ณ ตำแหน่ง (kgf/cm ²)				ค่าเฉลี่ย (kgf/cm ²)	ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย (SD)
	1	2	3	4		
5	16	16	18	16	17	1
10	21	26	26	22	24	3
15	22	32	40	42	34	9

ตาราง ก.2.5 ระยะการตัด 9 เซนติเมตรความเร็ว 75 รอบต่อนาที รูปแบบที่ 5

ความลึก (cm)	ค่าความแน่นทราย ณ ตำแหน่ง (kgf/cm ²)				ค่าเฉลี่ย (kgf/cm ²)	ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย (SD)
	1	2	3	4		
5	10	16	14	12	13	3
10	18	24	22	21	21	3
15	22	34	38	41	34	8

ตาราง ก.2.6 ระยะการตัด 9 เซนติเมตรความเร็ว 75 รอบต่อนาที รูปแบบที่ 6

ความลึก (cm)	ค่าความแน่นทราย ณ ตำแหน่ง (kgf/cm ²)				ค่าเฉลี่ย (kgf/cm ²)	ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย (SD)
	1	2	3	4		
5	12	13	14	12	13	1
10	17	23	24	24	22	3
15	24	35	43	42	36	9

ตาราง ก.2.7 ระยะการตัด 9 เซนติเมตรความเร็ว 75 รอบต่อนาที รูปแบบที่ 7

ความลึก (cm)	ค่าความแน่นทราย ณ ตำแหน่ง (kgf/cm ²)				ค่าเฉลี่ย (kgf/cm ²)	ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย (SD)
	1	2	3	4		
5	6	8	9	12	9	3
10	9	15	24	23	18	7
15	22	35	43	45	36	10

ตาราง ก.2.8 ระยะการตัด 9 เซนติเมตรความเร็ว 75 รอบต่อนาที รูปแบบที่ 8

ความลึก (cm)	ค่าความแน่นทราย ณ ตำแหน่ง (kgf/cm ²)				ค่าเฉลี่ย (kgf/cm ²)	ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย (SD)
	1	2	3	4		
5	7	11	13	12	11	3
10	10	20	22	22	19	6
15	20	38	44	44	37	11

ตาราง ก.2.9 ระยะการตัด 9 เซนติเมตรความเร็ว 75 รอบต่อนาที รูปแบบที่ 9

ความลึก (cm)	ค่าความแน่นทราย ณ ตำแหน่ง (kgf/cm ²)				ค่าเฉลี่ย (kgf/cm ²)	ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย (SD)
	1	2	3	4		
5	8	12	12	10	11	2
10	15	24	24	20	21	4
15	22	40	42	40	36	9

ภาคผนวก ข

สมการความถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ของผลการสอบเทียบ EOR

ข.1 การสอบเทียบกับแรงในทิศทางตั้งฉากกับ EOR (แรงกด F)

ตารางที่ ข.1.1 สมการความถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลการสอบเทียบกับแรงกด F ที่ระยะห่างต่างๆ จากจุดศูนย์กลางตามความยาวของ EOR ของวงจร F

ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางตามความยาวของ EOR (เซนติเมตร)	สมการความถดถอยเชิงเส้น	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)
0	$y = 0.0000020860x$	0.99989
17	$y = 0.0000015890x$	0.99958
27	$y = 0.0000013472x$	0.99954

ตารางที่ ข.1.2 สมการความถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลการสอบเทียบกับแรงกด F ที่ระยะห่างต่างๆ จากจุดศูนย์กลางตามความยาวของ EOR ของวงจร P

ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางตามความยาวของ EOR (เซนติเมตร)	สมการความถดถอยเชิงเส้น	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)
0	$y = -0.0000000124x$	0.54761
17	$y = 0.0000001554x$	0.99624
27	$y = 0.0000002188x$	0.99110

ตารางที่ ข.1.3 สมการความถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลการสอบเทียบกับแรงกด F ที่ระยะห่างต่างๆ จากจุดศูนย์กลางตามความยาวของ EOR ของวงจร M

ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางตามความยาวของ EOR (เซนติเมตร)	สมการความถดถอยเชิงเส้น	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)
0	$y = 0.0000000653x$	0.17872
17	$y = 0.0000059327x$	0.99977
27	$y = 0.0000090150x$	0.99973

ข.2 การสอบเทียบกับแรงในทิศทางขนานกับ EOR (แรงเฉือน P)

ตารางที่ ข.2.1 สมการความถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลการสอบเทียบกับแรงเฉือน P ที่ระยะห่างต่างๆ จากศูนย์กลางวงกลมของ EOR ของวงจรร F

ระยะห่างจากศูนย์กลางวงกลมของ EOR (เซนติเมตร)	สมการความถดถอยเชิงเส้น	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)
4.88	$y = -0.0000001991x$	0.99749
27.08	$y = -0.0000008856x$	0.99991
37.08	$y = -0.0000011503x$	0.99975

ตารางที่ ข.2.2 สมการความถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลการสอบเทียบกับแรงเฉือน P ที่ระยะห่างต่างๆ จากศูนย์กลางวงกลมของ EOR ของวงจรร P

ระยะห่างจากศูนย์กลางวงกลมของ EOR (เซนติเมตร)	สมการความถดถอยเชิงเส้น	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)
4.88	$y = -0.0000022531x$	0.99999
27.08	$y = -0.0000020553x$	0.99999
37.08	$y = -0.0000019782x$	0.99998

ตารางที่ ข.2.3 สมการความถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลการสอบเทียบกับแรงเฉือน P ที่ระยะห่างต่างๆ จากศูนย์กลางวงกลมของ EOR ของวงจรร M

ระยะห่างจากศูนย์กลางวงกลมของ EOR (เซนติเมตร)	สมการความถดถอยเชิงเส้น	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)
4.88	$y = 0.0000017297x$	0.99988
27.08	$y = 0.0000096933x$	0.99996
37.08	$y = 0.0000128248x$	0.99988

ข.3 การสอบเทียบกับแรงที่มากกระทำกับ EOR ในทิศทางต่างๆ

ตารางที่ ข.3.1 สมการความถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลการสอบเทียบกับแรงที่มากกระทำกับ EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจร F

มุมแรง (องศา)	สมการความถดถอยเชิงเส้น	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)
120	$y = -0.0000010901x$	0.99895
110	$y = -0.0000011815x$	0.99954
100	$y = -0.0000012653x$	0.99970
90	$y = -0.0000013180x$	0.99953
40	$y = -0.0000010024x$	0.99863
30	$y = -0.0000008212x$	0.99838
20	$y = -0.0000006291x$	0.99613
10	$y = -0.0000004158x$	0.98803
0	$y = -0.0000001732x$	0.89349
-10	$y = 0.0000000281x$	0.40318
-20	$y = 0.0000003136x$	0.98428
-30	$y = 0.0000005201x$	0.99415
-40	$y = 0.0000007629x$	0.99590
-50	$y = 0.0000009534x$	0.99692
-60	$y = 0.0000010849x$	0.99987
-70	$y = 0.0000012494x$	0.99948
-80	$y = 0.0000012971x$	0.99956
-90	$y = 0.0000013369x$	0.99722

ตารางที่ ข.3.2 สมการความถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลการสอบเทียบกับ
แรงที่มากกระทำกับ EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจร P

มุมแรง (องศา)	สมการความถดถอยเชิงเส้น	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)
120	$y = 0.0000008171x$	0.99956
110	$y = 0.0000005348x$	0.99975
100	$y = 0.0000001195x$	0.99690
90	$y = -0.0000002734x$	0.99897
40	$y = -0.0000019060x$	0.99944
30	$y = -0.0000020804x$	0.99886
20	$y = -0.0000022100x$	0.99929
10	$y = -0.0000022153x$	0.99165
0	$y = -0.0000022717x$	0.99959
-10	$y = -0.0000021981x$	0.99979
-20	$y = -0.0000020610x$	0.99904
-30	$y = -0.0000018232x$	0.99938
-40	$y = -0.0000016079x$	0.99892
-50	$y = -0.0000012397x$	0.99553
-60	$y = -0.0000009936x$	0.99989
-70	$y = -0.0000005570x$	0.99308
-80	$y = -0.0000001618x$	0.24280
-90	$y = 0.0000001895x$	0.97728

ตารางที่ ข.3.3 สมการความถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลการสอบเทียบกับ
แรงที่มากกระทำกับ EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจรม

มุมแรง (องศา)	สมการความถดถอยเชิงเส้น	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)
120	$y = -0.0000083224x$	0.99965
110	$y = -0.0000087826x$	0.99990
100	$y = -0.0000087670x$	0.99992
90	$y = -0.0000085869x$	0.99965
40	$y = -0.0000041729x$	0.99228
30	$y = -0.0000027679x$	0.98936
20	$y = -0.0000012761x$	0.82276
10	$y = 0.0000001154x$	-0.24412
0	$y = 0.0000018961x$	0.90143
-10	$y = 0.0000030575x$	0.98341
-20	$y = 0.0000047757x$	0.99334
-30	$y = 0.0000058485x$	0.99640
-40	$y = 0.0000071471x$	0.99682
-50	$y = 0.0000078965x$	0.99752
-60	$y = 0.0000083964x$	0.99979
-70	$y = 0.0000088250x$	0.99960
-80	$y = 0.0000087701x$	0.99930
-90	$y = 0.0000084713x$	0.99733

ข.4 การสอบเทียบกับการเปลี่ยนมุมมอง EOR ร่วมกับการเปลี่ยนมุมมองของแรงที่มากกระทำ

ตารางที่ ข.4.1 สมการความถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลการสอบเทียบกับแรงโน้มถ่วง 0 องศา กับมุมมอง EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจรร F

มุมมอง EOR (องศา)	สมการความถดถอยเชิงเส้น	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)
0	$y = -0.0000001732x$	0.89349
30	$y = -0.0000001920x$	0.96353
-30	$y = -0.0000001579x$	0.86841

สมการความถดถอยเชิงเส้น ของชุดข้อมูล คือ $y = -0.0000001744x$
สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของชุดข้อมูล คือ 0.89601

ตารางที่ ข.4.2 สมการความถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลการสอบเทียบกับแรงโน้มถ่วง 0 องศา กับมุมมอง EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจรร P

มุมมอง EOR (องศา)	สมการความถดถอยเชิงเส้น	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)
0	$y = -0.0000022717x$	0.99959
30	$y = -0.0000022406x$	0.99980
-30	$y = -0.0000022820x$	0.99881

สมการความถดถอยเชิงเส้น ของชุดข้อมูล คือ $y = -0.0000022648x$
สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของชุดข้อมูล คือ 0.99918

ตารางที่ ข.4.3 สมการความถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลการสอบเทียบกับแรงโน้มถ่วง 0 องศา กับมุมมอง EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจรร M

มุมมอง EOR (องศา)	สมการความถดถอยเชิงเส้น	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)
0	$y = 0.0000018961x$	0.90143
30	$y = 0.0000017212x$	0.93132
-30	$y = 0.0000021162x$	0.89749

สมการความถดถอยเชิงเส้น ของชุดข้อมูล คือ $y = 0.0000019112x$
สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของชุดข้อมูล คือ 0.88194

ตารางที่ ข.4.4 สมการความถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลการสอบเทียบกับ
แรงโน้มถ่วง -30 องศา กับมุม EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจร F

มุม EOR (องศา)	สมการความถดถอยเชิงเส้น	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)
0	$y = 0.0000005201x$	0.99415
30	$y = 0.0000005298x$	0.97690
-30	$y = 0.0000004815x$	0.99660

สมการความถดถอยเชิงเส้น ของชุดข้อมูล คือ $y = 0.0000005105x$

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของชุดข้อมูล คือ 0.98282

ตารางที่ ข.4.5 สมการความถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลการสอบเทียบกับ
แรงโน้มถ่วง -30 องศา กับมุม EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจร P

มุม EOR (องศา)	สมการความถดถอยเชิงเส้น	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)
0	$y = -0.0000018232x$	0.99938
30	$y = -0.0000018208x$	0.99799
-30	$y = -0.0000017822x$	0.99845

สมการความถดถอยเชิงเส้น ของชุดข้อมูล คือ $y = -0.0000018087x$

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของชุดข้อมูล คือ 0.99823

ตารางที่ ข.4.6 สมการความถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลการสอบเทียบกับ
แรงโน้มถ่วง -30 องศา กับมุม EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจร M

มุม EOR (องศา)	สมการความถดถอยเชิงเส้น	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)
0	$y = 0.0000058485x$	0.99640
30	$y = 0.0000057701x$	0.99256
-30	$y = 0.0000055237x$	0.99685

สมการความถดถอยเชิงเส้น ของชุดข้อมูล คือ $y = 0.0000057141x$

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของชุดข้อมูล คือ 0.99317

ตารางที่ ข.4.7 สมการความถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลการสอบเทียบกับ
แรงโน้มถ่วง -60 องศา กับมุม EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจร F

มุม EOR (องศา)	สมการความถดถอยเชิงเส้น	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)
0	$y = 0.0000010849x$	0.99987
30	$y = 0.0000010860x$	0.99893
-30	$y = 0.0000010881x$	0.99922

สมการความถดถอยเชิงเส้น ของชุดข้อมูล คือ $y = 0.0000010863x$

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของชุดข้อมูล คือ 0.99934

ตารางที่ ข.4.8 สมการความถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลการสอบเทียบกับ
แรงโน้มถ่วง -60 องศา กับมุม EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจร P

มุม EOR (องศา)	สมการความถดถอยเชิงเส้น	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)
0	$y = -0.0000009936x$	0.99989
30	$y = -0.0000008817x$	0.98772
-30	$y = -0.0000009541x$	0.99855

สมการความถดถอยเชิงเส้น ของชุดข้อมูล คือ $y = -0.0000009431x$

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของชุดข้อมูล คือ 0.98758

ตารางที่ ข.4.9 สมการความถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลการสอบเทียบกับ
แรงโน้มถ่วง -60 องศา กับมุม EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจร M

มุม EOR (องศา)	สมการความถดถอยเชิงเส้น	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)
0	$y = 0.0000083964x$	0.99979
30	$y = 0.0000083744x$	0.99829
-30	$y = 0.0000083101x$	0.99934

สมการความถดถอยเชิงเส้น ของชุดข้อมูล คือ $y = 0.0000083603x$

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของชุดข้อมูล คือ 0.99909

ตารางที่ ข.4.10 สมการความถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลการสอบเทียบกับแรงโน้มถ่วง -90 องศา กับมุม EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจร F

มุม EOR (องศา)	สมการความถดถอยเชิงเส้น	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)
0	$y = 0.0000013369x$	0.99722
30	$y = 0.0000013763x$	0.99839
-30	$y = 0.0000013460x$	0.99963

สมการความถดถอยเชิงเส้น ของชุดข้อมูล คือ $y = 0.0000013531x$
 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของชุดข้อมูล คือ 0.99787

ตารางที่ ข.4.11 สมการความถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลการสอบเทียบกับแรงโน้มถ่วง -90 องศา กับมุม EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจร P

มุม EOR (องศา)	สมการความถดถอยเชิงเส้น	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)
0	$y = 0.0000001895x$	0.97728
30	$y = 0.0000001622x$	0.91794
-30	$y = 0.0000003026x$	0.99838

สมการความถดถอยเชิงเส้น ของชุดข้อมูล คือ $y = 0.0000002181x$
 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของชุดข้อมูล คือ 0.75059

ตารางที่ ข.4.12 สมการความถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลการสอบเทียบกับแรงโน้มถ่วง -90 องศา กับมุม EOR ในทิศทางต่างๆ ของวงจร M

มุม EOR (องศา)	สมการความถดถอยเชิงเส้น	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)
0	$y = 0.0000084713x$	0.99733
30	$y = 0.0000087746x$	0.99838
-30	$y = 0.0000085825x$	0.99967

สมการความถดถอยเชิงเส้น ของชุดข้อมูล คือ $y = 0.0000086095x$
 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของชุดข้อมูล คือ 0.99770

ข.5 การสอบเทียบเมื่อติดไบนีตบน EOR โดยมีแรงกระทำในทิศทางตั้งฉากและทิศทางที่ขนานกับ EOR

ตารางที่ ข.5.1 สมการความถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลการสอบเทียบกับแรงกด F ที่กระทำกับไบนีตของวงจร F

ระยะห่างจากแนวศูนย์กลาง (เซนติเมตร)	สมการความถดถอยเชิงเส้น	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R ²)
-1	$y = 0.0000021269x$	0.99998
0	$y = 0.0000021016x$	0.99998
1	$y = 0.0000020542x$	0.99998
2	$y = 0.0000020258x$	0.99998
3	$y = 0.0000019938x$	0.99998
4	$y = 0.0000019628x$	0.99990
5	$y = 0.0000019265x$	0.99995
6	$y = 0.0000018880x$	0.99996
7	$y = 0.0000018551x$	0.99997
8	$y = 0.0000018331x$	0.99998

ตารางที่ ข.5.2 สมการความถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลการสอบเทียบกับแรงกด F ที่กระทำกับไบนีตของวงจร P

ระยะห่างจากแนวศูนย์กลาง (เซนติเมตร)	สมการความถดถอยเชิงเส้น	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R ²)
-1	$y = -0.000000012x$	0.05197
0	$y = 0.0000000083x$	0.27540
1	$y = 0.0000000079x$	0.69941
2	$y = 0.0000000186x$	0.92140
3	$y = 0.0000000253x$	0.95512
4	$y = 0.0000000382x$	0.99315
5	$y = 0.0000000528x$	0.98482
6	$y = 0.0000000550x$	0.98815
7	$y = 0.0000000643x$	0.99652
8	$y = 0.0000000745x$	0.99621

ตารางที่ ข.5.3 สมการความถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลการสอบเทียบกับ
แรงกด F ที่กระทำกับใบมีดของวงจร M

ระยะห่างจากแนวศูนย์กลาง (เซนติเมตร)	สมการความถดถอยเชิงเส้น	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R ²)
-1	$y = -0.0000005008x$	0.99964
0	$y = -0.0000001827x$	0.99234
1	$y = 0.0000003087x$	0.99810
2	$y = 0.0000006652x$	0.99773
3	$y = 0.0000009859x$	0.99963
4	$y = 0.0000013014x$	0.99991
5	$y = 0.0000018442x$	0.99998
6	$y = 0.0000022613x$	0.99988
7	$y = 0.0000025882x$	0.99984
8	$y = 0.0000029699x$	0.99992

ตารางที่ ข.5.4 สมการความถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลการสอบเทียบกับ
แรงเฉือน P ที่กระทำกับใบมีดของวงจร F

ระยะห่างจากศูนย์กลางวงกลม ของ EOR (เซนติเมตร)	สมการความถดถอยเชิงเส้น	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R ²)
5.08	$y = -0.0000002005x$	0.99880
6.08	$y = -0.0000002384x$	0.99893
7.08	$y = -0.0000002725x$	0.99876
8.08	$y = -0.0000003016x$	0.99981
9.08	$y = -0.0000003401x$	0.99902

ตารางที่ ข.5.5 สมการความถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลการสอบเทียบกับ
แรงเฉือน P ที่กระทำกับใบมีดของวงจร P

ระยะห่างจากศูนย์กลางวงกลม ของ EOR (เซนติเมตร)	สมการความถดถอยเชิงเส้น	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R ²)
5.08	$y = -0.0000022524x$	0.99999
6.08	$y = -0.0000022598x$	0.99999
7.08	$y = -0.0000022497x$	0.99999
8.08	$y = -0.0000022397x$	0.99999
9.08	$y = -0.0000022339x$	0.99999

ตารางที่ ข.5.6 สมการความถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลการสอบเทียบกับ
แรงเฉือน P ที่กระทำกับใบมีดของวงจร M

ระยะห่างจากศูนย์กลางวงกลม ของ EOR (เซนติเมตร)	สมการความถดถอยเชิงเส้น	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R ²)
5.08	$y = 0.0000020617x$	0.99995
6.08	$y = 0.0000025726x$	0.99995
7.08	$y = 0.0000028753x$	0.99995
8.08	$y = 0.0000031506x$	0.99994
9.08	$y = 0.0000035567x$	0.99991

ข.6 การสอบเทียบเมื่อติดใบมีดโดยเปลี่ยนตำแหน่งมุม EOR ในทิศทางต่างๆ

ตารางที่ ข.6.1 สมการความถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลการสอบเทียบกับแรงในมุม EOR ต่างๆ กับใบมีดของวงจร F

มุม EOR (องศา)	ตำแหน่งแนวศูนย์กลาง (เซนติเมตร)	สมการความถดถอยเชิงเส้น	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R ²)
20	2	$y = 0.0000020662x$	0.99998
20	3	$y = 0.0000020255x$	0.99999
20	4	$y = 0.0000019943x$	0.99999
20	5	$y = 0.0000019682x$	0.99999
20	7	$y = 0.0000019114x$	0.99997
30	7	$y = 0.0000018698x$	0.99998
30	8	$y = 0.0000018408x$	0.99998

ตารางที่ ข.6.2 สมการความถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลการสอบเทียบกับแรงในมุม EOR ต่างๆ กับใบมีดของวงจร P

มุม EOR (องศา)	ตำแหน่งแนวศูนย์กลาง (เซนติเมตร)	สมการความถดถอยเชิงเส้น	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R ²)
20	2	$y = 0.0000007633x$	0.99992
20	3	$y = 0.0000007687x$	0.99983
20	4	$y = 0.0000007779x$	0.99982
20	5	$y = 0.0000007866x$	0.99998
20	7	$y = 0.0000008107x$	0.99995
30	7	$y = 0.0000010722x$	0.99993
30	8	$y = 0.0000010706x$	0.99990

ตารางที่ ข.6.3 สมการความถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลการสอบเทียบกับ
แรงโน้มถ่วง EOR ต่างๆ กับใบมีดของวงจร M

มุม EOR (องศา)	ตำแหน่งแนวศูนย์กลาง (เซนติเมตร)	สมการความถดถอยเชิงเส้น	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R ²)
20	2	$y = -0.0000009801x$	0.99904
20	3	$y = -0.0000005680x$	0.99829
20	4	$y = -0.0000002464x$	0.98359
20	5	$y = 0.0000000445x$	0.87082
20	7	$y = 0.0000008222x$	0.99383
30	7	$y = -0.0000000455x$	0.94808
30	8	$y = 0.0000002433x$	0.99798

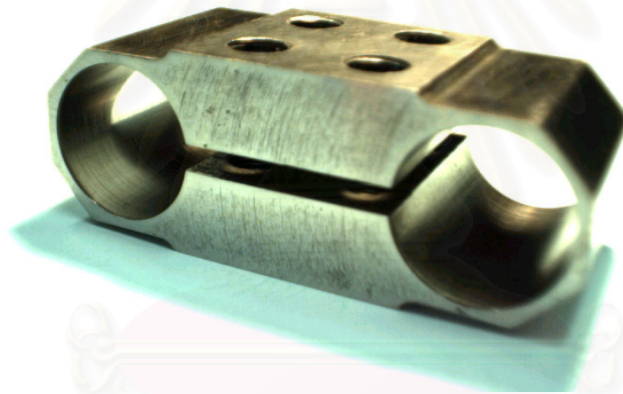
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

Extended Octagonal Ring (EOR)

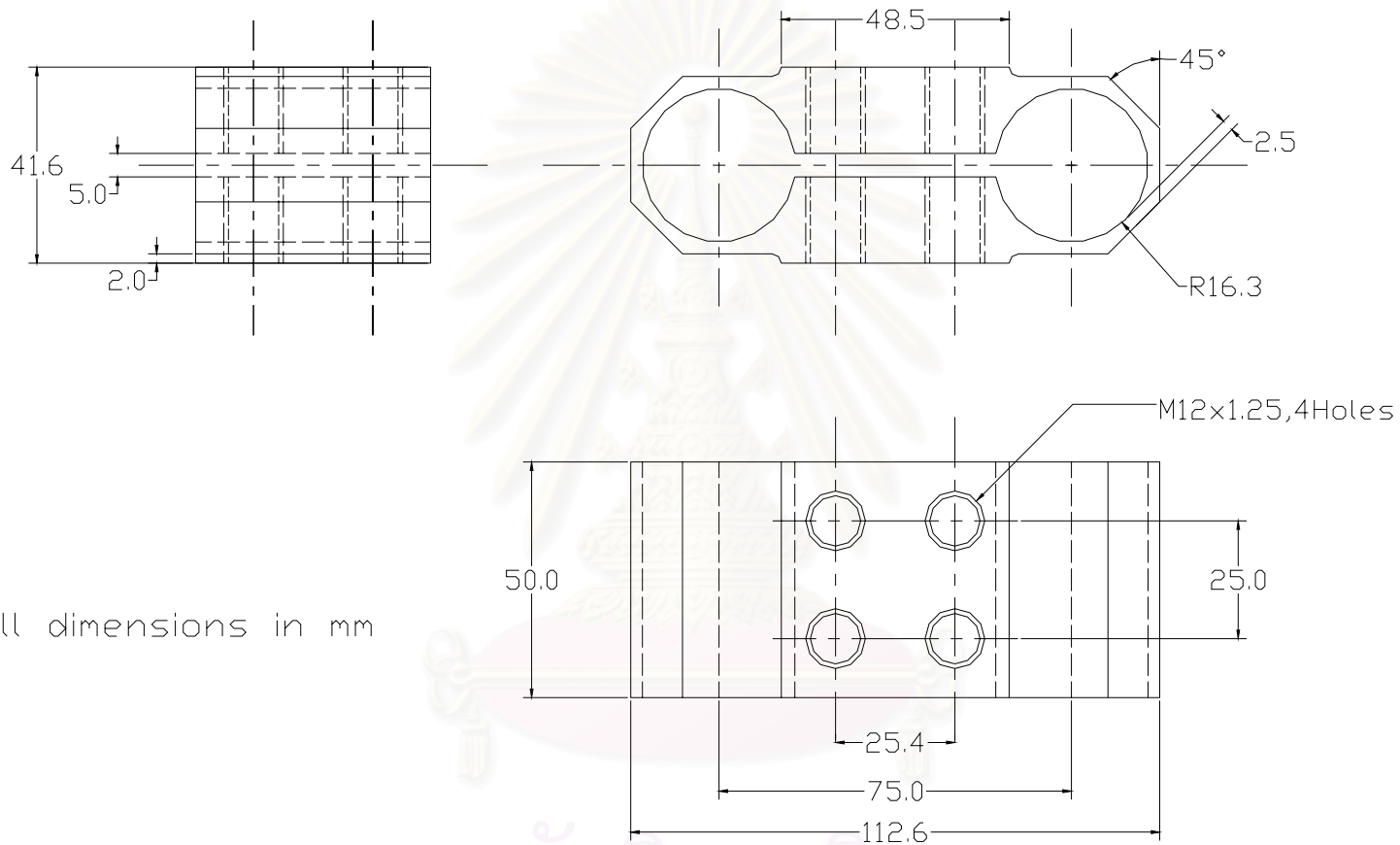
ค.1 ลักษณะของ EOR

EOR เป็นอุปกรณ์ที่สามารถวัดแรงได้ 2 แรง ซึ่งตั้งฉากกัน (แรงกด F และแรงเฉือน P ที่กระทำกับ EOR) และวัดโมเมนต์ที่กระทำบนระนาบของแรงทั้งสองได้ รูปร่างของ EOR มีลักษณะเป็นรูปแปดเหลี่ยมสองด้านขยาย โดยทั่วไปมักทำจากเหล็กหรืออลูมิเนียม (ดังแสดงในรูปที่ ค.1)



รูปที่ ค.1 ลักษณะของ EOR ที่ใช้ในการทดลอง

EOR ที่ใช้ในการทดลองเพื่อเป็นตัววัดแรงด้านทานที่กระทำกับใบมีด มีมิติดังแสดงในรูปที่ ค.2 โดยมีการดัดแปลงจาก Thakur (1988: 25) เพื่อให้สามารถวัดแรงที่เกิดขึ้นจากใบมีดตัวชี้ที่ใช้ในการพรุนทราย



All dimensions in mm

รูปที่ ค.2 มิติของ EOR ที่ใช้ในการทดลอง

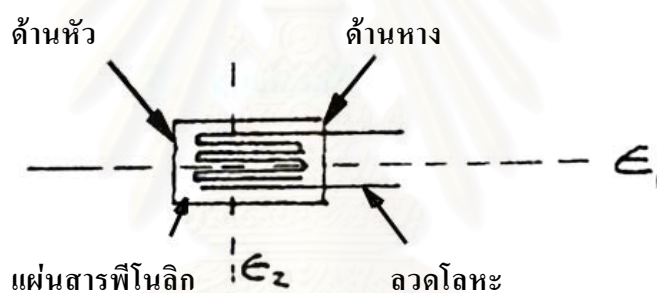
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค.2 การติดตั้งสเตรนเกจบน EOR และการตรวจสอบ

EOE ใช้ร่วมกับสเตรนเกจ (Strain gage) และวงจรวัด (Bridge circuit) เพื่อวัดความเครียดที่เกิดจากแรงและโมเมนต์

ค.2.1 สเตรนเกจ

สเตรนเกจมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ ค.3 ซึ่งอาจจะเป็นลวดโลหะ แผ่นโลหะ หรือแผ่นที่ทำจากสารตัวนำ วางติดอยู่บนกระดาษหรือสารฟีนอลิก (Phenolic) สเตรนเกจเป็นอุปกรณ์วัดการเปลี่ยนแปลงความเครียด โดยอาศัยหลักการที่ว่า เมื่อลวดโลหะมีการเปลี่ยนรูปร่างหรือเกิดความเครียดขึ้น ความต้านทานไฟฟ้าของลวดโลหะจะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ดังนั้น เมื่อต้องการวัดความเครียดที่จุดใดบนชิ้นส่วนของโครงสร้าง ก็นำสเตรนเกจมาทาากาวแล้วติดที่จุดนั้น โดยพยายามให้แกนของสเตรนเกจอยู่ในทิศทางของความเครียดหลัก (Principle strain) ซึ่งเป็นทิศทางที่ทำให้เกิดความเครียดสูงสุด



รูปที่ ค.3 ลักษณะของสเตรนเกจ

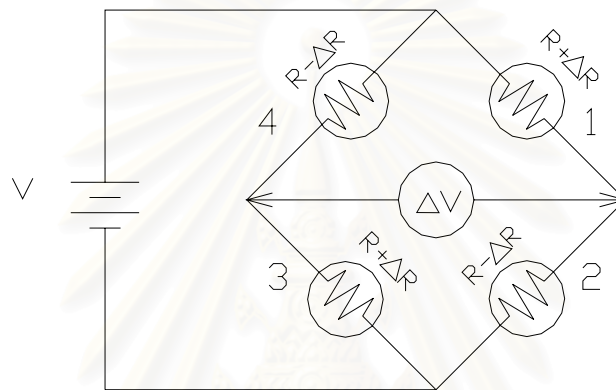
ค.2.2 ข้อมูลจำเพาะของสเตรนเกจที่ใช้ในการทดลอง

ยี่ห้อ	KYOWA
TYPE	KFG-2-120-C1-11L1M2R
TEMPERATURE COMPENSATION FOR	STEEL
GAGE LENGTH	2 mm
GAGE RESISTANCE(24 °C,50%RH)	119.6 ± 0.4 Ω
GAGE FACTOR(24 °C,50%RH)	2.09 ± 1.0%
ADOPTABLE THERMAL EXPANSION	11.7 PPM/ °C
TRANSVERSE SENSITIVITY(24 °C,50%RH)	0.70 %
APPLICABLE GAGE CEMENT	CC-33A, EP-34

ค.2.3 วงจรบริดจ์แบบที่ใช้กับสเตรนเกจ 4 ตัว (Full Bridge)

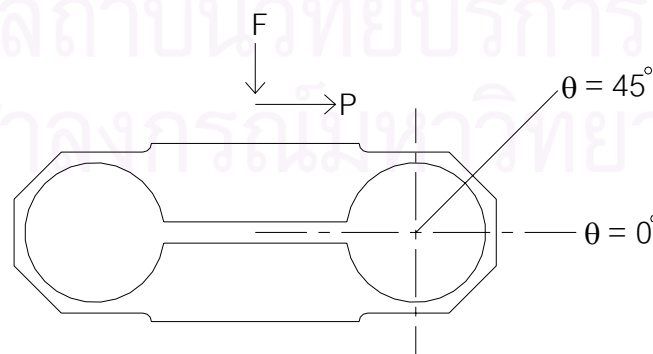
การวัดแรงหรือโมเมนต์จะนำสเตรนเกจมาต่อเป็นวงจรบริดจ์ เพื่อวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า (ΔV) ที่เกิดขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนรูปร่างของลวดโลหะสเตรนเกจขณะมีแรงหรือโมเมนต์มากระทำ

สำหรับการหาความเครียดหรือการเสียรูปของ EOR จะใช้วงจรบริดจ์แบบที่ใช้สเตรนเกจ 4 ตัว (Full Bridge) ต่อหนึ่งแรง หรือต่อหนึ่งโมเมนต์ (ดังแสดงในรูปที่ ค.4) เพื่อให้มีความไวสูง และมีเสถียรภาพในการวัด

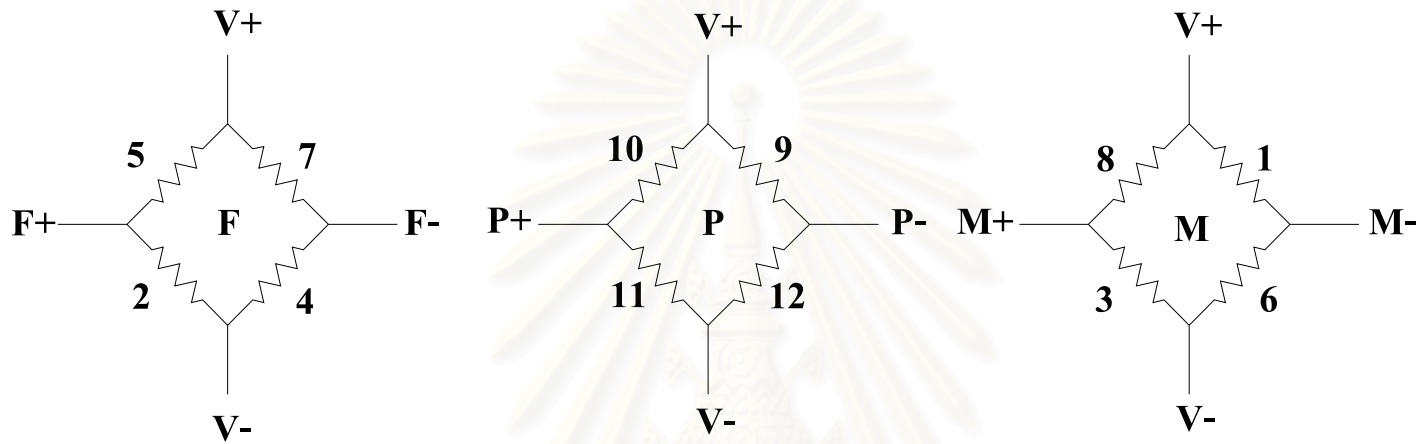


รูปที่ ค.4 วงจรบริดจ์แบบใช้สเตรนเกจ 4 ตัว

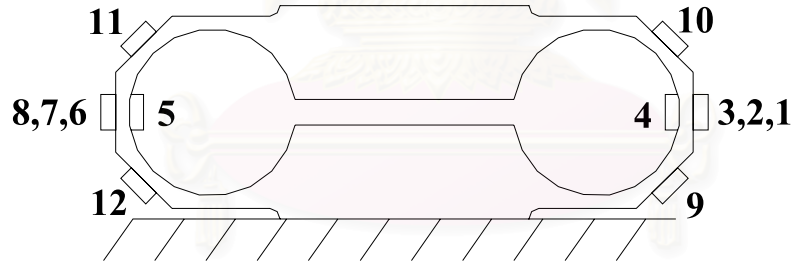
- โดย
- $\text{R} + \Delta\text{R}$ = สเตรนเกจที่ติดในส่วนที่มีความเครียดเป็นบวก (ยืด)
 - $\text{R} - \Delta\text{R}$ = สเตรนเกจที่ติดในส่วนที่มีความเครียดเป็นลบ (หด)
 - V = แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายให้วงจรบริดจ์
 - ΔV = แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเมื่อมีโมเมนต์ดัดมากระทำต่อสเตรนเกจ



รูปที่ ค.5 ตำแหน่งอ้างอิงมุม θ ในการติดสเตรนเกจบน EOR



11 □
8 □ 7 □ 6 □
12 □



10 □
3 □ 2 □ 1 □
9 □

รูปที่ ค.6 ตำแหน่ง และวงจรวัดของสเตรนเกจบน EOR

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

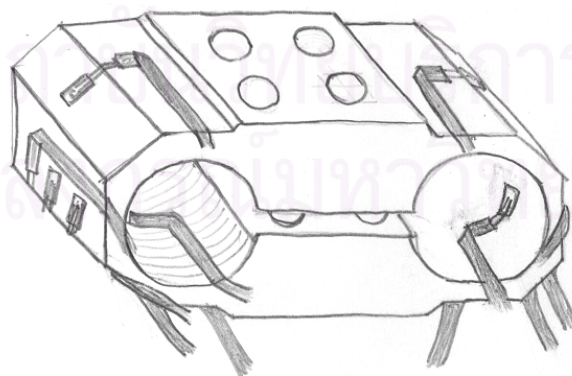
การติดสเตรนเกจเพื่อวัดแรงต้องติดสเตรนเกจที่ตำแหน่ง Strain node ซึ่งก็คือตำแหน่งที่ความเครียดเกิดจากแรงมากที่สุด ตามทฤษฎีของ EOR จะสามารถวัดแรงกด F และแรงเฉือน P ที่มากระทำกับ EOR แยกกันได้อย่างอิสระ (ดังแสดงในรูปที่ ค.5) เมื่อแรงกด F มากระทำกับ EOR ที่มุม $\theta \approx 0^\circ$ จะเกิดความเครียดมากที่สุดขึ้นและที่มุม $\theta \approx 45^\circ$ จะไม่เกิดความเครียดขึ้น และเมื่อมีแรงเฉือน P มากระทำกับ EOR ที่มุม $\theta \approx 45^\circ$ จะเกิดความเครียดขึ้นมากที่สุดและที่มุม $\theta \approx 0^\circ$ จะไม่เกิดความเครียดขึ้น ดังนั้น การวัดความเครียดที่เกิดขึ้นจากแรงกด F ได้อย่างอิสระจากแรงเฉือน P จะต้องติดสเตรนเกจที่ตำแหน่งมุม $\theta = 0^\circ$ และถ้าต้องการวัดแรงเฉือน P ได้อย่างอิสระ จะต้องติดสเตรนเกจที่ตำแหน่งมุม $\theta = 45^\circ$ ส่วนการวัดโมเมนต์ M จะต้องติดสเตรนเกจที่ตำแหน่งซึ่งเกิดการโก่งตัวมากที่สุด ซึ่งก็คือตำแหน่งที่ $\theta = 0^\circ$

ตำแหน่งในการติดสเตรนเกจทั้งหมดบน EOR และการต่อวงจรบริดจ์สำหรับวัดแรงกด F แรงเฉือน P และโมเมนต์ M ดังแสดงไว้ในรูปที่ ค.6 (อ้างอิงจาก Hoag, D.L. และ Yoerger, R.R. (1975: 997)) โดย V+ และ V- คือ ขั้วของไฟเลี้ยงกระแสตรงที่ใช้ในการเลี้ยงวงจรบริดจ์

ค.2.4 การติดตั้งสเตรนเกจบน EOR

การติดตั้งสเตรนเกจดำเนินตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. ออกแบบลำดับการติดตั้งสเตรนเกจเพื่อให้สเตรนเกจตัวที่ถูกติดตั้งไปก่อนได้รับการกระทบกระเทือนน้อยที่สุด โดยติดสเตรนเกจตัวที่ 5, 4, 11, 10, 12, 9, 1, 2, 3, 6, 7 และ 8 ตามลำดับ จากรูปที่ ค.6 ประกอบ



รูปที่ ค.7 ภาพสเกตช์การวางสายของสเตรนเกจทั้งหมดที่จะติดตั้งบน EOR (ภาพโดยนายกฤดา)

2. ออกแบบการวางสายของสเตรนเกจทั้งหมดที่จะติดตั้งบน EOR ให้สะดวกต่อการติดตั้งและเชื่อมต่อสายสัญญาณ (ดังแสดงในรูปที่ ค.7)
3. ชัดบริเวณที่จะติดสเตรนเกจด้วยกระดาษทรายน้ำแบบหยาบจนถึงแบบละเอียด จนกระทั่งผิวของ EOR บริเวณที่จะติดตั้งค่อนข้างเรียบ ขณะที่ขัดจะทำการขัดโดยวางกระดาษทรายวางบนกระจกเรียบเพื่อให้กระดาษทรายสัมผัสกับผิวของ EOR อย่างสม่ำเสมอ และขัดให้มีทิศทางตั้งฉากกับด้านยาวของ EOR (ดังแสดงในรูปที่ ค.8)



รูปที่ ค.8 วิธีการขัด EOR ด้วยกระดาษทรายน้ำบนกระจก

4. ทำความสะอาด EOR และเช็ดด้วยน้ำยา Acetone เพื่อขจัดความชื้นและคราบไขมัน (ดังแสดงในรูปที่ ค.9)



รูปที่ ค.9 เช็ด EOR ด้วยน้ำยา Acetone

5. ใช้เหล็กแหลมขีดเส้นทำกากบาทตำแหน่งที่จะติดตั้งสเตรนเกจบน EOR โดยกากบาทควรมีความยาวมากกว่าสเตรนเกจเล็กน้อย และไม่ควรขีดลึกมากเพราะอาจจะส่งผลต่อสัญญาณที่ได้ (ดังแสดงในรูปที่ ค.10)



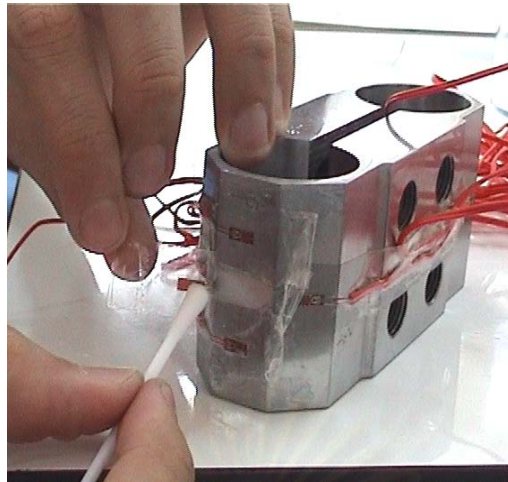
รูปที่ ค.10 การขีดเส้นทำกากบาทตำแหน่งที่จะติดตั้งสเตรนเกจบน EOR

6. ใช้เทปกาวแบบใสติดลงบนสเตรนเกจ เพื่อช่วยกำหนดตำแหน่งในการติดสเตรนเกจให้แม่นยำมากขึ้น โดยให้สเตรนเกจด้านที่มีลายติดอยู่กับด้านเหนือของเทปกาวแบบใส ระวังระวังไม่ให้สเตรนเกจงอ (ดังแสดงในรูปที่ ค.11)



รูปที่ ค.11 การติดเทปกาวแบบใสบนสเตรนเกจ

7. ใช้สำลีแบบก้านชุบน้ำยา Acetone เช็ดสิ่งสกปรกและคราบไขมันบนสเตรนเกจ ระวังอย่าให้มีใยสำลีเหลือติดอยู่บนสเตรนเกจ จากนั้นนำเทปกาวแบบใสที่มีสเตรนเกจติดอยู่ไปติดบน EOR โดยให้แกนของสเตรนเกจตรงกับแนวกากบาทที่ได้ขีดไว้ (ดังแสดงในรูปที่ ค.12 และรูปที่ ค.13)

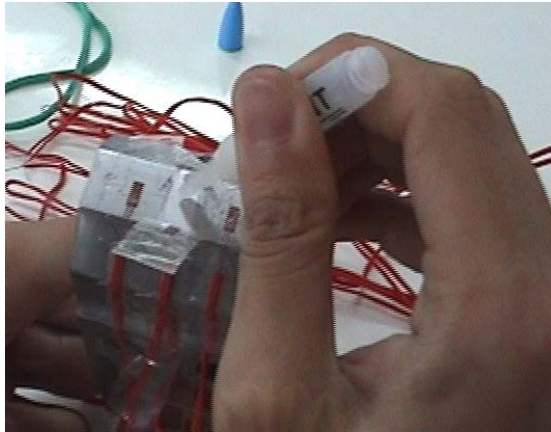


รูปที่ ค.12 ใช้สำลีแบบก้านชุบน้ำยา Acetone เช็ดสเตรนเกจ



รูปที่ ค.13 การติดสเตรนเกจด้วยเทปกาวแบบใสบน EOR

8. ลอกเทปกาวแบบใสออกโดยเริ่มจากบริเวณด้านหางของสเตรนเกจ หยดกาว CC-33A หนึ่งหยดลงบน EOR บริเวณด้านหัวของสเตรนเกจ ค่อยๆ กดสเตรนเกจลงบน EOR โดยใช้นิ้วมือกดไล่จากด้านหัวไปด้านหลัง เพื่อให้กาวแผ่ขยายสม่ำเสมอทั่วสเตรนเกจ จากนั้นใช้นิ้วมือกดด้วยแรงพอประมาณบนสเตรนเกจ 1 นาที เพื่อให้สเตรนเกจติดชิ้นงาน การกดด้วยนิ้วมือควรใช้แผ่นพลาสติกที่มาพร้อมกับสเตรนเกจ ช่วยกดเพื่อป้องกันกาวติดมือ (ดังแสดงในรูปที่ ค.14 และ รูปที่ ค.15)

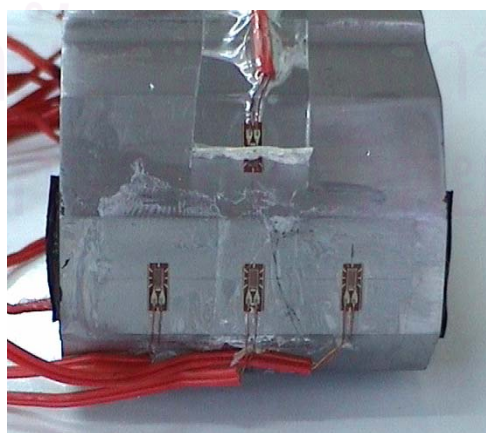


รูปที่ ค.14 การติดกาวบนสเตรนเกจ



รูปที่ ค.15 การใช้ฉนวนกีดกันพลาสติก เพื่อป้องกันกาวติดมือ

9. ลอกเทปกาวแบบใสออกจากสเตรนเกจ ที่ทิ้งไว้ประมาณอย่างน้อย 24 ชั่วโมง เพื่อให้กาวที่ติดสเตรนเกจกับ EOR แห้งสนิท ติดสเตรนเกจบน EOR จนครบ 12 ตัว (ดังแสดงในรูปที่ ค.16)

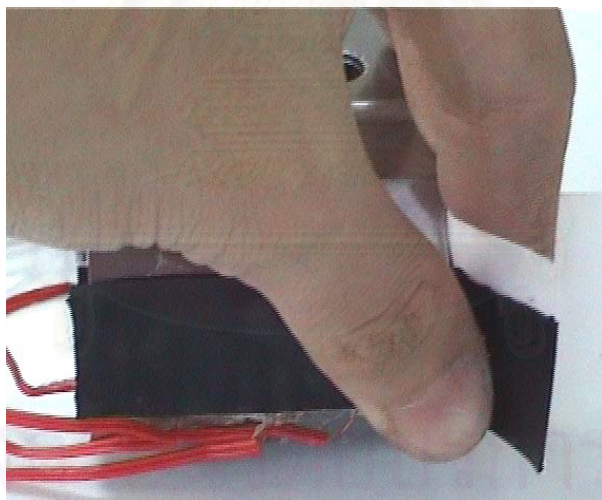


รูปที่ ค.16 สเตรนเกจที่ติดเทปกาวแบบใสเรียบร้อยแล้ว

10. ตรวจสอบค่าความต้านทานฉนวนของสเตรนเกจ ด้วยมัลติมิเตอร์ ดังนี้
นำสายขั้วบวกของมัลติมิเตอร์ต่อกับขาข้างใดข้างหนึ่งของ
สเตรนเกจ นำสายขั้วลบของมัลติมิเตอร์ต่อกับส่วนใดส่วนหนึ่งของEOR
ค่าความต้านทานฉนวนที่อ่านได้ต้องมากกว่า 100 M Ω เพื่อให้แน่ใจว่าไม่
มีความชื้นหลงเหลืออยู่ในสเตรนเกจ

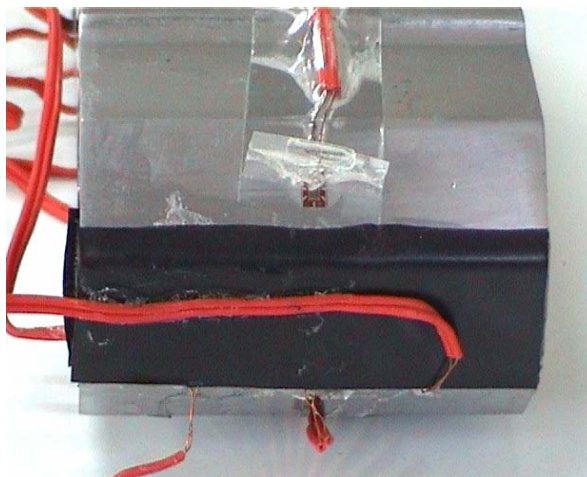
ตรวจสอบค่าความต้านทานของสเตรนเกจด้วยมัลติมิเตอร์ โดย
ต่อสายขั้วลบและขั้วบวกของมัลติมิเตอร์ไปที่ขาทั้งสองของสเตรนเกจ
เพื่อตรวจสอบให้แน่ใจว่าค่าความต้านทานที่ได้ใกล้เคียงกับที่ระบุมาข้าง
กล่อง ซึ่งถ้าอ่านค่าความต้านทานได้นั้นต์ แสดงว่าสเตรนเกจชำรุด
และถ้าอ่านค่าความต้านทานได้เท่ากับศูนย์ แสดงว่าสเตรนเกจลัดวงจร
ซึ่งจะต้องติดตั้งสเตรนเกจใหม่

11. เคลือบสเตรนเกจด้วยแผ่นแวกซ์ ตลอดแนวเพื่อป้องกันความชื้น การติด
แผ่นแวกซ์จะต้องระมัดระวังเพื่อให้มีการกระทบกระเทือนต่อขาทั้งสอง
ของสเตรนเกจน้อยที่สุด (ดังแสดงในรูปที่ ค.17)



รูปที่ ค.17 การเคลือบสเตรนเกจด้วยแผ่นแวกซ์

12. ติดกาวตราขั้วที่สายของสเตรนเกจตามที่ออกแบบไว้ในขั้นตอนที่ 2 เพื่อ
ป้องกันการแรงจุดสายซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้ในขณะที่นำ EOR ไปใช้ในการ
ทดลอง (ดังแสดงไว้ในรูปที่ ค.18)



รูปที่ ค.18 EOR ที่ทำการติดตั้งสเตรนเกจเรียบร้อยแล้ว

ค.2.5 ตรวจสอบวงจรบริดจ์ของสเตรนเกจ

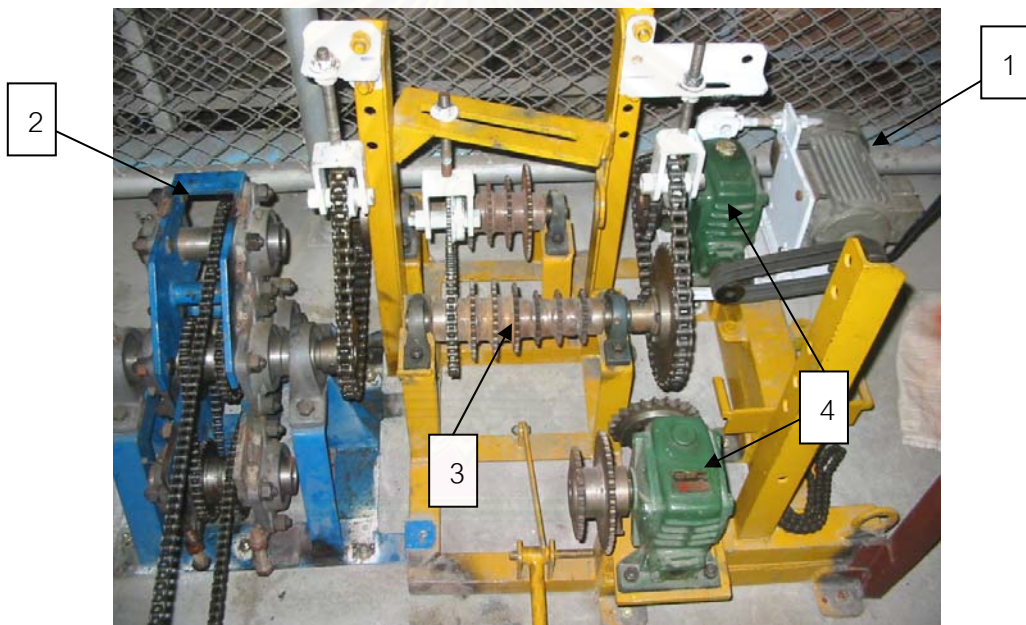
หลังจากติดตั้งสเตรนเกจที่ผิวของ EOR เสร็จแล้ว นำปลายสายสัญญาณของสเตรนเกจมาต่อวงจรบริดจ์ F, P และ M (ดังแสดงในรูปที่ ค.6) สำหรับนำไปวัดแรงและโมเมนต์ ซึ่งต้องตรวจสอบความสมบูรณ์ของวงจรบริดจ์ โดยการวัดความต้านทานของคู่สายสัญญาณ ค่าความต้านทานระหว่างขาคู่สายสัญญาณที่ติดกัน และระหว่างขาคู่สายสัญญาณคู่ตรงข้ามกันของวงจรบริดจ์ ถ้ามีลิตมิเตอร์ แสดงค่าความต้านทานเป็น 90 โอห์ม และ 120 โอห์ม ตามลำดับ แสดงว่าไม่มีสเตรนเกจตัวใดในวงจรบริดจ์เกิดการขาดขึ้น แต่ถ้ามีลิตมิเตอร์มีค่าเป็นอย่างอื่นแสดงว่าในวงจรบริดจ์นั้นมีการขาดของสายสัญญาณ ซึ่งต้องทำการตรวจสอบและซ่อมแซม

ภาคผนวก ง

ชุดทดลองสำหรับลากกระบะ

ง.1 อุปกรณ์ควบคุมกระบะ

อุปกรณ์ควบคุมกระบะ (ดังแสดงในรูปที่ ง.1 และ ง.2) ทำหน้าที่ควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ของกระบะ อุปกรณ์ควบคุมกระบะประกอบด้วย ชุดควบคุมความเร็วกระบะ วงจรควบคุมการเคลื่อนที่ของกระบะ เช่น การเดินหน้า ถอยหลัง และหยุด รวมทั้งมีวงจรที่สามารถทำให้กระบะสามารถหยุดได้เองโดยอัตโนมัติเมื่อกระบะถึงตำแหน่งที่ต้องการให้หยุด



รูปที่ ง.1 อุปกรณ์ควบคุมกระบะ ประกอบด้วย 1) มอเตอร์ 2) ชุดเฟืองใช้สำหรับลากกระบะ 3) ชุดเฟืองใช้สำหรับทดรอบกระบะ 4) ห้องเกียร์

อนึ่ง เพื่อให้การควบคุมระยะการตัดได้ตามต้องการแม้ว่าความเร็วรอบหมุนของเพลาใบมีดจะต่างกัน จะต้องเลือกความเร็วการเคลื่อนที่ของกระบะได้หลายค่าความเร็วจึงจำเป็นจะต้องอาศัยทั้งอินเวอร์เตอร์และชุดเฟืองใช้สำหรับทดรอบทำงานร่วมกัน โดยอินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่ปรับความเร็วให้ได้ค่าใกล้เคียงตามต้องการ (ดูตัวอย่างการคำนวณสมการ ง.4)

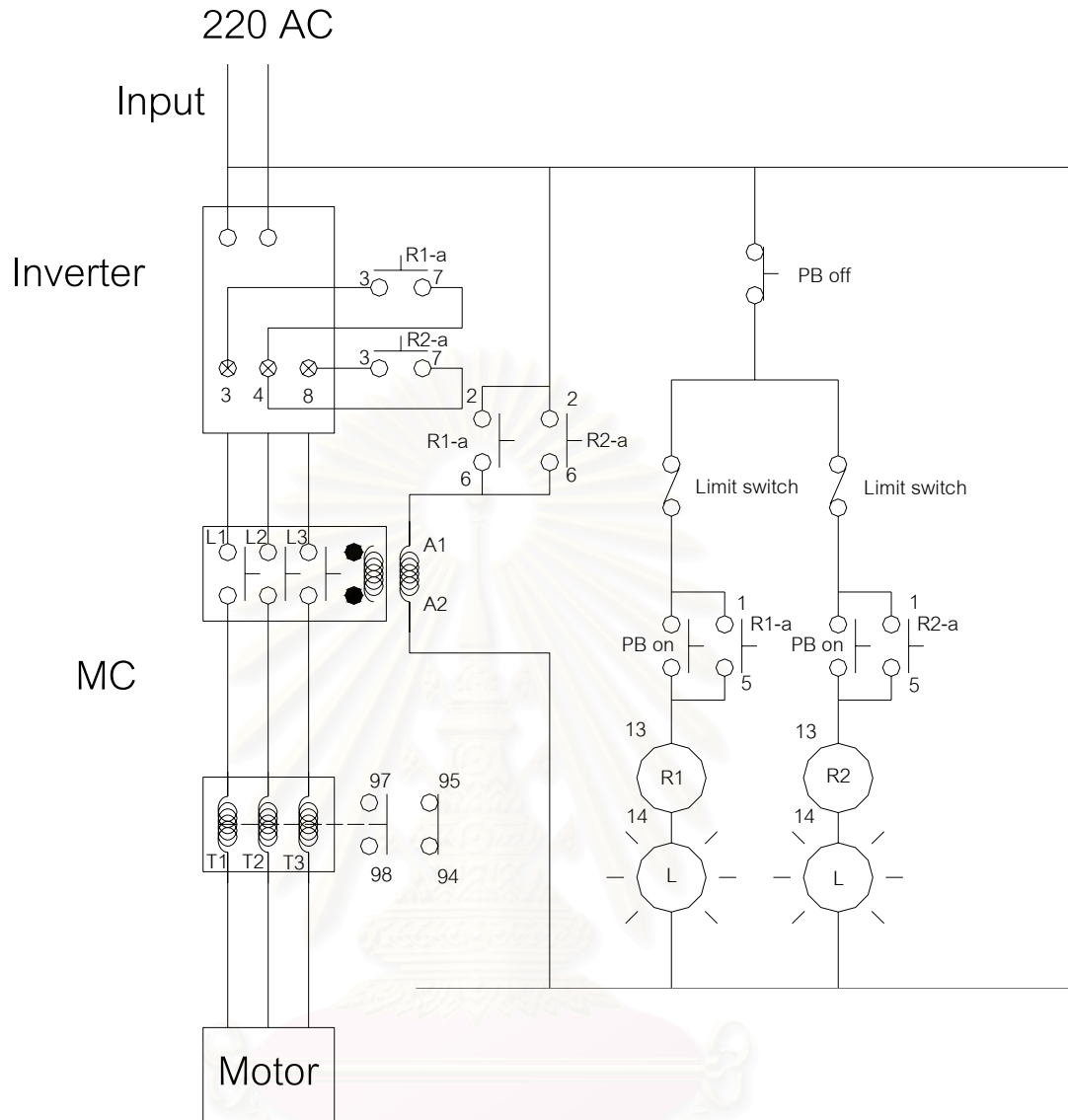


รูปที่ ง.2 กล่องควบคุม (Control Box) และ อินเวอร์เตอร์ ประกอบด้วย 1) อินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วกระบะ 2) กล่องควบคุมการเคลื่อนที่กระบะ 3) อินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วเพลลาใบมีด

เพื่อให้อุปกรณ์ควบคุมสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ อุปกรณ์ควบคุมกระบะจะต้องประกอบไปด้วย

1. มอเตอร์ ขนาด 2 แรงม้า 220 โวลต์ ทำหน้าที่ส่งกำลังผ่านชุดเฟืองทดเพื่อขับเพลลาใบมีด
2. เฟืองทดรอบ และ ห่วงเกียร์ ทดรอบมอเตอร์ให้ได้ความเร็วอยู่ในช่วงที่ใช้งาน
3. อินเวอร์เตอร์ ต่ออยู่กับมอเตอร์เพื่อควบคุมความเร็วเพลลาใบมีด
4. กล่องควบคุม (Control Box) ประกอบด้วย สวิตช์ปุ่มกด รีเลย์ ตัวเชื่อมต่อด้วยสนามแม่เหล็ก ต่อดวงจรรกันภายในกล่อง ทำหน้าที่ควบคุมการเดินหน้า ถอยหลังและหยุดกระบะ
5. ลิมิตสวิตช์ ต่ออยู่กับกล่องควบคุม ทำหน้าที่ตัดวงจรถูกให้กระบะสามารถหยุดเองได้ เมื่อกระบะเคลื่อนที่มาชนกับลิมิตสวิตช์ในตำแหน่งที่ต้องการให้หยุด

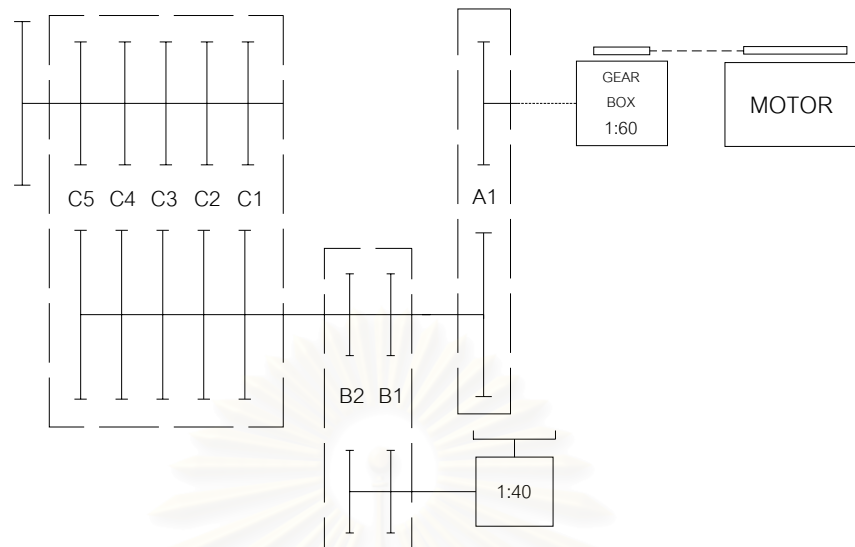
สำหรับวงจรควบคุมการเคลื่อนที่ของกระบะแสดงในรูปที่ ง.3 และแผนผังของชุดเฟืองขับกระบะแสดงในรูปที่ ง.4



รูปที่ ง.3 วงจรควบคุมการเคลื่อนที่ของกระบะ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Chain Circuit for Drive Sand Bin



รูปที่ ง.4 ชุดเฟืองโซ่ขับเคลื่อน

ง.2 หลักการทำงานของชุดควบคุมการเคลื่อนที่ของกระบะ

ง.2.1 วงจรเดินหน้า

เมื่อกดสวิตช์แบบปุ่มกด PB on ของวงจรแบบเดินหน้าทำงาน จะทำให้รีเลย์ R1 เปลี่ยนสภาพจากปกติเปิดวงจร (Normally open) เป็นปิดวงจร (Normally close) เพื่อให้กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านวงจรได้ ทำให้รีเลย์ R1 แบบ Self hold (อยู่ในอินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่ควบคุมการเดินหน้าของกระบะ) ดำเนินการทำงาน ส่วนรีเลย์ R1 ที่ต่ออยู่กับวงจร Magnetic contactor จะทำให้สวิตช์ของ Magnetic contactor ปิดวงจรเพื่อให้มอเตอร์สามารถทำงานได้ จนกว่ากระบะจะเคลื่อนที่จนกระทั่งไปชนกับลิมิตสวิตช์ของวงจรแบบเดินหน้า ทำให้เกิดการเปิดวงจรขึ้น ส่งผลให้รีเลย์ R1 เปลี่ยนสภาพจากปิดวงจรเป็นปกติเปิดวงจรเหมือนเดิม หรือในกรณีที่ต้องการหยุดการทำงานก็สามารถกดปุ่ม PB off ได้ ซึ่งจะให้ผลเหมือนกับการที่กระบะไปชนกับลิมิตสวิตช์

ง.2.2 วงจรถอยหลัง

หลักการการทำงานเหมือนกับวงจรเดินหน้าเพียงแต่เมื่อกดสวิตช์แบบปุ่มกด PB on ของวงจรแบบถอยหลังทำงาน รีเลย์ R1 ที่อยู่ในอินเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่ควบคุมการถอยหลังของกระบะ

ง.2.3 วงจรควบคุมความเร็วกระบะ

ใช้การปรับความถี่ของมอเตอร์ในการควบคุมความเร็วรอบ ซึ่งจะส่งผลให้ความเร็วรอบของชุดเฟืองขับกระบะที่ต่อกับมอเตอร์มีค่าเปลี่ยนแปลงตามกับความเร็วรอบของมอเตอร์ตามสมการดังนี้

$$N = \frac{120f}{P} \quad (\text{ง.1})$$

เมื่อ N คือ กับความเร็วรอบของมอเตอร์

f คือ ความถี่ของมอเตอร์ มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 50 Hz

P คือ ขั้ว (โพล) ของมอเตอร์ เท่ากับ 4 สำหรับมอเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

ง.3 การปรับความถี่ของมอเตอร์เพื่อให้ได้ความเร็วกระบะตามที่ต้องการ

เลือกความเร็วการเคลื่อนที่ของกระบะที่ต้องการ แล้วเปลี่ยนให้เป็นความเร็วรอบของเฟืองโดยใช้สมการ

$$\omega = \frac{V}{r} \quad (\text{ง.2})$$

เมื่อ ω คือ ความเร็วเชิงมุมของเฟืองที่ใช้ลากจูงกระบะ

V คือ ความเร็วการเคลื่อนที่ของกระบะที่ต้องการ

r คือ รัศมีของเฟืองที่ใช้ลากจูงกระบะ เท่ากับ 0.06 เมตร

คำนวณหาความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยเลือกชุดเฟืองทดให้มีอัตราทดรอบในช่วงที่ต้องการ

$$N = \frac{\omega}{m(2\pi)} \quad (\text{ง.3})$$

เมื่อ m คือ อัตราทดเฟืองของชุดทดเฟือง เท่ากับ $\frac{1}{80}$ ในการทดลอง

ค่าความถี่ที่ใช้กับอินเวอร์เตอร์ได้จากการสลับข้างสมการ (ง.1) คือ

$$f = \frac{NP}{120} \quad (\text{ง.4})$$

ค่าความถี่ที่คำนวณได้นำไปใช้ในการปรับค่าที่อินเวอร์เตอร์ก็จะได้ความเร็วการเคลื่อนที่ของกระบะตามต้องการ

ง.4 ตัวอย่างการคำนวณความถี่ของอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เลือกความเร็วการเคลื่อนที่ของกระบะเท่ากับ 5 เมตรต่อนาที

(สมการ ง.2)

$$\text{ดังนั้น } \omega = \frac{5}{0.06} = 83.33 \text{ เรเดียนต่อนาที}$$

2. คำนวณหาความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยมีอัตราทด (m) เท่ากับ $\frac{1}{80}$

(สมการ ง.3)

$$\text{ดังนั้น } N = \frac{\omega}{m(2\pi)} = \frac{83.33}{\frac{1}{80}(2\pi)} = 1061.03 \text{ รอบต่อนาที}$$

3. คำนวณค่าความถี่ที่ต้องการเพื่อนำไปใช้กับอินเวอร์เตอร์ (สมการ ง.4)

$$f = \frac{NP}{120} = \frac{1061.03 \times 4}{120} = 35.37 \text{ Hz}$$

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายไพศาล มานิตยโชติพิสิฐ เกิดเมื่อวันที่ 25 กรกฎาคม 2515 ที่อำเภอ บ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2538 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2542



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย