



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)

ปริญญา

วิศวกรรมเกษตร

วิศวกรรมเกษตร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ออกแบบและพัฒนาขาไถระเบิดดินดานแบบยกตัวอัตโนมัติโดยใช้แหนบสปริง

Design and Development of Subsoiler's Automatic Reset Shank by Using Leaf Spring

นามผู้วิจัย นายครองรัฐ รักเที่ยงธรรม

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( รองศาสตราจารย์ประเทือง อุษาบรินทร์, Ph.D. )

หัวหน้าภาควิชา

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภรต กุญชร ณ อยุธยา, M.Eng. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

สืบสินธุ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ออกแบบและพัฒนาขาไถระเบิดดินดานแบบยกตัวอัตโนมัติโดยใช้แหนบสปริง

Design and Development of Subsoiler's Automatic Reset Shank  
by Using Leaf Spring

โดย

นายครองรัฐ รักเที่ยงธรรม

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)  
พ.ศ.2556

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ครองรัฐ รักเที่ยงธรรม 2556: ออกแบบและพัฒนาขาไถระเบิดดินดานแบบยกตัวอัตโนมัติ โดยใช้แหนบสปริง ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร) สาขาวิศวกรรมเกษตร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ ประเทือง อุษาบริสุทธิ์, Ph.D. 117 หน้า

การอัดแน่นของดินนั้นสามารถบรรเทาได้ด้วยการใช้ไถระเบิดดินดาน แต่ข้อด้อยประการหนึ่งของไถระเบิดดินดานที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันคือเมื่อไถไปชนหินหรือตอไม้ในดินขาไถมักเกิดความเสียหาย ผู้วิจัยได้ศึกษาและออกแบบระบบกลไกยกตัวขาไถผ่านหินหรือตอไม้ในดินโดยใช้แหนบสปริง พบว่า ค่านิจของแหนบสปริงหนา 18 มิลลิเมตรอยู่ภายใต้แรงกดเช่นเดียวกับที่ใช้ในรถยนต์ มีค่า 3084.26 นิวตัน/มิลลิเมตร เมื่อให้แรงในแนวข้างพบว่าค่านิจสปริงมีค่า 1535.27 นิวตัน/มิลลิเมตร และการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เมื่อมีค่านิจสปริงสอดคล้องกับการทดสอบ พบว่าขาไถที่แรงกระทำ 16 kN ยกตัว 41.73 มิลลิเมตร และขาไถจะยกตัว 103.1 มิลลิเมตร ก่อนที่ขาไถจะเกิดการเสียหายที่ความเค้น 345 MPa

จากการออกแบบและผลการทดสอบพบว่าขาไถระเบิดดินดานแบบที่ 3 มุมวางแหนบสปริง 45 องศา มีความเหมาะสมในการไถผ่านสิ่งกีดขวางในดินมากกว่าแบบที่ 1 มุมวางแหนบสปริง 0 องศา และแบบที่ 2 มุมวางแหนบสปริง 15 องศา เนื่องจากขาไถและโครงไม่เกิดความเสียหายเมื่อไถผ่านสิ่งกีดขวาง

กำลังต่อพื้นที่การแตกตัวดินของขาไถระเบิดดินดานแบบที่ 3 ที่ซ้อนแหนบสปริง 2 แผ่น มีค่าต่ำที่สุดเมื่อไถในร่องไถซึ่งมีแท่งปูนขนาด 4 x 4 นิ้ว ยาว 50 เซนติเมตร ฝังอยู่ที่ความลึก 40 เซนติเมตร โดยการซ้อนแหนบสปริง 2 แผ่นใช้กำลังฉุดลากเฉลี่ยสูงสุดที่ 14.15 kW และการซ้อนแหนบสปริง 3 แผ่นใช้กำลังฉุดลากเฉลี่ยสูงสุดที่ 23.14 kW

ผลระยะการยกตัวขาไถเมื่อไถผ่านแท่งปูนที่ฝังอยู่ในดินพบว่า การซ้อนแหนบสปริง 2 แผ่นมีระยะการยกตัวขาไถสูงสุดที่ 79.34 มิลลิเมตร และการซ้อนแหนบสปริง 3 แผ่นมีระยะการยกตัวขาไถสูงสุดที่ 58.14 มิลลิเมตร

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Krongrat Rakthiangtam 2013: Design and Development of Subsoiler's Automatic Reset Shank by Using Leaf Spring. Master of Engineering (Agricultural Engineering), Major Field: Agricultural Engineering. Department of Agricultural Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Prathuang Usaborisut, Ph.D. 117 pages.

Soil compaction can be alleviate by subsoiler. However one of disadvantage of using subsoiler is damage when tilled in soil with a big rock or a huge stump. This research is to design and study on mechanism of an automatic reset subsoiler's shank by using leaf spring. The 18 millimeters thick leaf spring subjected to vertical load as using in car had spring constant 3084.26 N/mm and when it was under horizontal load, it had spring constant 1535.27 N/mm. The computer simulation showed similar value of spring constant with one getting from the test. Vertical displacement of the subsoiler's shank was 41.73 millimeters under 16 kN and 103.1 millimeters before being broken by stress of 345 MPa.

Test results showed that subsoiler type 3 with 45 degree leaf spring was best suitable to work under obstruction in soil more than type 1 with 0 degree leaf spring and type 2 with 15 degree leaf spring. Because there was no damage appear in subsoiler type 3.

Specific power to soil disturbance of subsoiler type 3 with 2 plates of leaf spring was the lowest when tilled through soil with 4 x 4 inch and 50 centimeters long cement block burrying in soil at 40 centimeters depth. The subsoiler with 2 plates overlap leaf spring required 14.5 kW and the one with 3 plates overlap leaf spring required 23.14 kW maximum of average drawbar power.

The results of a shank's lift displacement showed that the 2 plates overlap leaf spring was lift 79.34 millimeters maximum and the 3 plates overlap leaf spring was lift 58.14 millimeters.

\_\_\_\_\_  
Student's signature

\_\_\_\_\_  
Thesis Advisor's signature

\_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

## กิตติกรรมประกาศ

ในการวิจัยและจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ประเทือง อุษาบริสุทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักเป็นอย่างสูง ที่ได้ให้คำปรึกษาด้านการ เรียน การค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ห้างหุ้นส่วนจำกัด ศรีกำแพงแสมมอเตอร์ ที่ได้คำปรึกษาด้านการสร้างขาไถ ระเบิดดินดานแบบยกตัวอัตโนมัติโดยใช้แหวนสปริงในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และการให้ความ อนุเคราะห์ด้านชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ลุล่วง ขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณบุคลากรของภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสมทุกท่าน ที่ให้การช่วยเหลือและคำแนะนำต่างๆ

ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ คณาจารย์ทุกท่านและเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคนที่คอยให้ความ ช่วยเหลือให้กำลังใจชี้แนะและสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงได้

ครองรัฐ รักเที่ยงธรรม  
พฤษภาคม 2556

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(7)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	39
อุปกรณ์	39
วิธีการ	40
ผลและวิจารณ์	63
ผล	63
วิจารณ์	74
สรุปและข้อเสนอแนะ	76
สรุป	76
ข้อเสนอแนะ	76
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	78
ภาคผนวก	81
ภาคผนวก ก การ Calibration อุปกรณ์	82
ภาคผนวก ข แบบขึ้นส่วนต่างๆ	87
ภาคผนวก ค ภาพการทดสอบไถนแปลง	101
ภาคผนวก ง ข้อมูลและค่าสัญญาณจากการทดลอง	108
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	117

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	Classification of Pre-Compression Stress	5
2	แสดงค่าเฉลี่ยน้ำหนักบรรทุก	8
3	ความเร็วไถที่เหมาะสมในการไถแต่ละประเภท	18
4	ส่วนประกอบทางเคมีต่างๆของแผ่นเหล็กชนิดซิลิกอน-มังกานีส	29
5	ค่าระยะยกตัวขาไถและความเค้นค้ำนวนจากคอมพิวเตอร์	64
6	สมบัติทางฟิสิกส์ของดินที่ใช้ทดลอง	70
7	ค่าแรงฉุดลาก	72
8	กำลังฉุดลากเฉลี่ยรถแทรกเตอร์	72
9	ค่าแรงฉุดลากเฉลี่ย (Draft Force) กำลังฉุดลากเฉลี่ย (Drawbar Power) และพื้นที่การแตกตัวเฉลี่ย	73
10	ระยะยกตัวขาไถขณะไถผ่านสิ่งกีดขวางในดิน	74
<b>ตารางผนวกที่</b>		
ง1	ระยะยุบแทนสปริงต่อแรงกดจากการทดลองกดแทนสปริงด้วยแท่นกดไฮดรอลิกส์	109
ง2	ระยะยกตัวขาไถของไถระเบิดดินดานแบบที่ 1 จากการให้แรงฉุดลาก	110
ง3	ค่าความต้านทานการแทงทะลุของดิน	110
ง4	ค่าความชื้นตัวอย่างดิน	111
ง5	พื้นที่การแตกตัวของดิน	112
ง6	ความเร็วการเคลื่อนที่รถแทรกเตอร์	112
ง7	อัตราการสิ้นเปลืองที่ล้อ	113

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ผลของการทำลายและไม่ทำลายชั้นดินดาน	7
2	ขาไถระเบิดดินดานแบบโน้มเอียงไปด้านหน้า	12
3	ขาไถระเบิดดินดานแบบขาโค้ง	12
4	ขาไถระเบิดดินดานแบบตัว C	13
5	ขาไถระเบิดดินดานแบบขาตรง	13
6	ลักษณะการสั่นขาไถ (Basic Types of Oscillatory)	14
7	ขาไถระเบิดดินดานแบบสั่นทั้งโครง	14
8	ขาไถระเบิดดินดานแบบสั่นเฉพาะขาไถ	15
9	การแตกตัวของดินขณะไถระเบิดดินดาน	15
10	การไถระเบิดดินดานในแปลง	16
11	สภาพแปลงที่ผ่านการไถระเบิดดินดาน โดยไถตัดเป็นแนวตารางหมากรุก	17
12	ป้ายกำกับความเร็วและรอบเครื่องในแต่ละเกียร์ของรถแทรกเตอร์	18
13	การตัดดิน	19
14	พารามิเตอร์ที่ใช้ออกแบบเครื่องมือรูปร่างแบน มุมเอียง $\alpha$ อัตราส่วน $d/w$ เป็นความสัมพันธ์สำหรับการเพิ่มปริมาตรการตัดดิน การร่วนตัวของดิน และประสิทธิภาพการแตกตัวเป็นก้อนเล็กของดิน	20
15	ภาพหน้าตัดของดินที่ถูกไถ เพื่อใช้ทำนายพื้นที่ที่ถูกไถระหว่างขาไถ 2 อัน	20
16	พื้นที่การแตกตัวของดินจากไถดินดานแบบตัดปีก	21
17	พื้นที่การแตกตัวของไถดินดานแบบชนิดธรรมดา	21
18	แสดงความแตกต่างของการแตกตัวของก้อนดินซึ่งขึ้นอยู่กับการยึดเกาะตัวของเม็ดดิน และความเร็วในการทำงานแบ่งออกเป็น 4 กรณี คือ กรณีที่ 1 ถึง กรณีที่ 3 เมื่อใช้ความเร็วค่อนข้างต่ำกรณีที่ 4 เมื่อใช้ความเร็วค่อนข้างสูง	22
19	การเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว $1x$ (รูปบน) การเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว $0.5x$ (รูปกลาง) และการเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว $2x$ (รูปล่าง) ณ การสั่นที่เหมือนกัน	22
20	ขนาดของร่องดินที่อุปกรณ์ไถเคลื่อนที่ผ่านด้วยความเร็วสูงและต่ำ	22
21	การกระจายตัวของดินของการไถที่ระดับความลึกวิกฤติและการไถต่ำกว่าระดับความลึกวิกฤติ	23
22	การเคลื่อนที่ของดินผ่านขาไถที่ต่ำกว่าความลึกวิกฤติ	23
23	แนวแรงที่กระทำต่อขาไถที่การไถต่ำกว่าความลึกวิกฤติ	25
24	Compression Helical Springs (ซ้าย) และ Tension Helical Springs (ขวา)	25
25	Conical Springs (ซ้าย) และ Volute Springs (ขวา)	26
26	Helical Torsion Springs (ซ้าย) และ Flat Spiral Torsion Springs (ขวา)	26
27	Laminated or Leaf Springs	27

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
28	Disc or Belleville Springs	27
29	Air Springs	28
30	แผนผังกรรมวิธีผลิตแหนบสปริง	29
31	การซ้อนแหนบแผ่นแบบ Laminated	31
32	การซ้อนแหนบแบบ Semi-Elliptic	31
33	รายละเอียดชุดแหนบสปริง	32
34	Cantilever Beam	33
35	Simply Supported Beam	34
36	Free Body of Semi-Elliptic Springs	34
37	แหนบสปริงแบบปลายแหนบสามเหลี่ยม	35
38	ผังการทดลอง	43
39	แบบขาไถ ขาตรง มุมไถ 30 องศา	44
40	แรงที่กระทำต่อขาไถแบบขาตรง มุมไถ 30 องศา	45
41	ขาไถแบบขาตรง มุมไถ 30 องศา	46
42	โครงขาไถ	47
43	ก้านพนมและโครงยึดระหว่างคานขาไถ	48
44	ชุดหมุนขาไถ	48
45	ชุดทดสอบค่านิจสปริงของแหนบ	49
46	การหมุนขาไถ	49
47	แสดงการประกอบชุดขาไถระเบิดดินดาน	50
48	อุปกรณ์ Profile Meter	51
49	ตัวอย่างพื้นที่การแตกตัวของดินที่จาก Profile Meter	51
50	อุปกรณ์ Soil Penetrometer	52
51	การชุดหลุมเพื่อเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึกต่างๆ	52
52	อุปกรณ์ Displacement Transducer	53
53	Lower Link Pins Transducer	53
54	การติด Strain Gage รุ่น KFG-2-350-C1-11L1M2R ชนิดทางเดียวที่ Lower Link Pins Transducer	54
55	Top Link Transducer	54
56	การติด Strain Gage รุ่น KFG-5-120-D16-11L1M2S สองทางสองตัวในตำแหน่ง ตรงข้ามกันที่ Top Link Transducer	55
57	แท่งปูนขนาด 4 x 4 นิ้ว สูง 50 เซนติเมตร	55
58	การหาค่านิจแหนบสปริงด้วยคอมพิวเตอร์	56

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

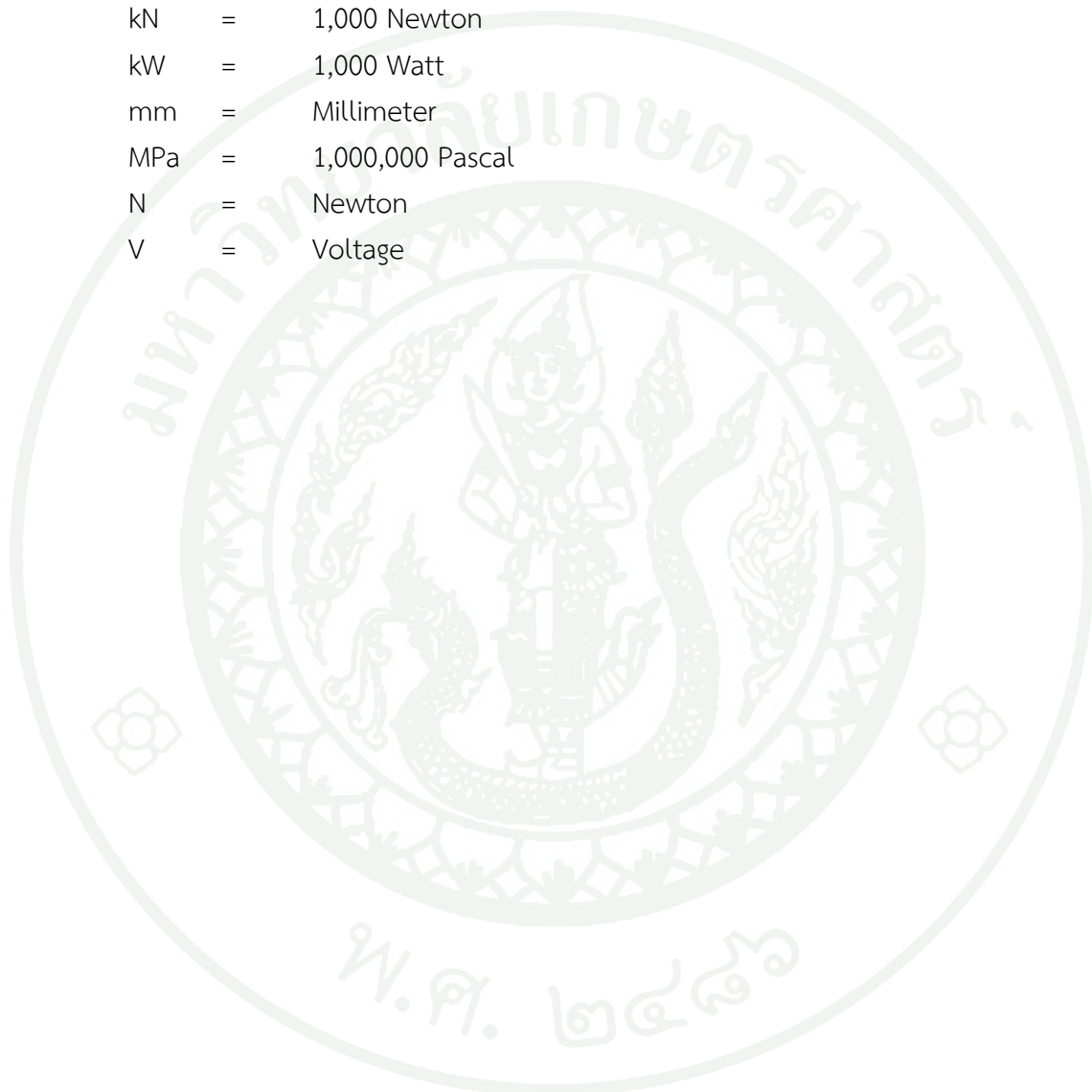
ภาพที่	หน้า
59 การหาระยะยกตัวปลายขาไถด้วยคอมพิวเตอร์	57
60 การทดแทนสปริงด้วยแท่งกดไฮดรอลิกส์	57
61 แสดงการต่อ Load Cell เข้ากับปลายขาไถ	58
62 รถแทรกเตอร์ที่ใช้ทดสอบไถในแปลง	59
63 การวัดระยะยกตัวขาไถด้วย Displacement Transducer	61
64 ผลการคำนวณค่าแรงสปริงจากคอมพิวเตอร์	63
65 ผลการคำนวณค่าแรงสปริงจากการทดลอง	64
66 การหาระยะยกตัวขาไถจากการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์	65
67 ขาไถระเบิดดินดานแบบที่ 1	65
68 ผลการทดสอบหาระยะยกตัวขาไถระเบิดดินดานแบบที่ 1	66
69 การยกตัวขาไถแบบที่ 1 ขณะไม่มีสิ่งกีดขวางในดิน	66
70 การทดสอบหาระยะยกตัวขาไถแบบที่ 1	67
71 ขาไถระเบิดดินดานแบบที่ 2	68
72 ขาไถระเบิดดินดานแบบที่ 3	69
73 การแตกตัวของดินหลังไถ	71
74 ค่า Specific Draft และ Specific Power	73
<b>ภาพผนวกที่</b>	
ก1 การ Calibration ชุด Lower Link Pins Transducer	84
ก2 การ Calibration ชุด Top Link Transducer	84
ก3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการ Calibration ชุด Transducers	85
ก4 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load (kN) ในแนวราบ กับ voltage (V) ของ Lower Link Pin Transducer	85
ก5 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load (kN) ในแนวตั้ง กับ Voltage (V) ของ Lower Link Pin Transducer	86
ข1 ขาไถระเบิดดินดานแบบที่ 3	88
ข2 โครงขาไถ	89
ข3 ชุดยึดขาไถกับโครง	90
ข4 ชุดหมุนขาไถ	91
ข5 แขนขาไถ	92
ข6 ขาไถ	93
ข7 แผ่นปรับมุมวางแหวน 45 องศา	94

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ข8 ปลอกยี่ดหูแหนบ	95
ข9 แหนบสปริงขนาดหนา 10 มิลลิเมตร	96
ข10 หูแหนบ	97
ข11 ขาไถระเบิดดินดานแบบที่ 2	98
ข12 แหนบสปริงขนาดหนา 18 มิลลิเมตร	99
ข13 แผ่นปรับมุมวางแหนบ (ขาไถระเบิดดินดานแบบที่ 2)	100
ค1 ขาไถระเบิดดินดานแบบที่ 3	102
ค2 ขาไถระเบิดดินดานแบบที่ 3 ขณะไถ	103
ค3 มุมวางแหนบสปริง 45 องศา	103
ค4 รอยฟูจากการไถ	104
ค5 แท่งปูนที่เสียหาย	105
ค6 แปลงทดสอบไถ	105
ค7 การวัดพื้นที่การแตกตัว	106
ค8 การไถดินออกจากร่องไถ	106
ค9 คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์เก็บข้อมูลบนรถแทรกเตอร์	107
ง1 แรงฉุดลากและระยะยกตัวขาไถ ร่องไถ 20L1	113
ง2 แรงฉุดลากและระยะยกตัวขาไถ ร่องไถ 20L2	114
ง3 แรงฉุดลากและระยะยกตัวขาไถ ร่องไถ 30L1	114
ง4 แรงฉุดลากและระยะยกตัวขาไถ ร่องไถ 30L2	115
ง5 แรงฉุดลากและระยะยกตัวขาไถ ร่องไถ 40L1	115
ง6 แรงฉุดลากและระยะยกตัวขาไถ ร่องไถ 40L2	116

### คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

cm	=	Centimeter
cm <sup>2</sup>	=	Square Centimeter
cm <sup>3</sup>	=	Cubic Centimeter
kN	=	1,000 Newton
kW	=	1,000 Watt
mm	=	Millimeter
MPa	=	1,000,000 Pascal
N	=	Newton
V	=	Voltage



## ออกแบบและพัฒนาขาไถระเบิดดินดานแบบยกตัวอัตโนมัติโดยใช้แหนบสปริง

### Design and Development of Subsoiler's Automatic Reset Shank by Using Leaf Spring

#### คำนำ

ขาไถระเบิดดินดานเป็นอุปกรณ์เตรียมดินที่ใช้สำหรับแก้ปัญหาชั้นดินอัดแน่นซึ่งมีลักษณะเป็นชั้นแน่นและแข็งมาก ดินมีช่องว่างสำหรับน้ำและอากาศน้อยมาก น้ำไม่สามารถซึมผ่านดินชั้นนี้ได้ สาเหตุเกิดโดยธรรมชาติและมีการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรกลการเกษตรผ่านผิวดินหลายครั้งเป็นเวลานาน มีรายงานการวิจัยยืนยันว่าปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดชั้นดินอัดแน่นในแปลงเพาะปลูกนั้นคือการใช้เครื่องจักรกลขนาดใหญ่และใช้มากครั้ง Jurajuria et al. (1997) พบว่ารถแทรกเตอร์ขนาดเล็กที่ปฏิบัติงานในแปลงเพาะปลูกหลายครั้งก็สามารถทำให้เกิดการอัดแน่นของดินเทียบเท่ากับรถแทรกเตอร์ขนาดใหญ่ที่ปฏิบัติการในแปลงหนึ่งครั้ง รายงานวิจัยหลายชิ้นยังยืนยันว่าการอัดแน่นของดินทำให้ผลผลิตของพืชลดลงด้วย เนื่องจากดินที่อัดแน่นทำให้การเจาะแทงของรากพืชเป็นไปได้ยาก พืชจะดูดน้ำและธาตุอาหารในดินได้ลำบาก นอกจากนี้การไถพรวนที่ระดับความลึกเดียวเป็นเวลานานก็มีส่วนทำให้เกิดชั้นดินอัดแน่นได้ชั้นไถพรวนนี้ด้วย การแก้ปัญหาชั้นดินอัดแน่นหรือชั้นดินดานนี้จะใช้ขาไถระเบิดดินดานไถให้ชั้นดินอัดแน่นนี้แตกออก การไถจะไถที่ระดับความลึกมากกว่าชั้นไถพรวน มีความลึกระหว่าง 40-70 เซนติเมตรหรือมากกว่า มีหลักการทำงานคือไถจิกลงไปดินและถูกลากไปตลอดแนว ทำให้ชั้นดินแตก่วนโดยไม่มีการพลิกดิน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2553) ขาไถระเบิดดินดานเป็นไถที่มีขนาดใหญ่ ทำด้วยเหล็กหนา มีความแข็งแรงสูงและต้องอาศัยรถแทรกเตอร์ที่มีกำลังสูงในการฉุดลากไถ โดยปกติจะมีกำลัง 60-85 แรงม้าขึ้นไป ระยะระหว่างไถแต่ละตัวไม่ควรเกิน 1.5 เท่าของความลึกที่จะไถ

ปัญหาของอุปกรณ์ที่พบบ่อยครั้งในการไถระเบิดดินดานคือขาไถมีการบิดเบี้ยว แตกหัก หรือเสียหายเมื่อไถไปชนกับหินหรือรากไม้ขนาดใหญ่ในดิน ทำให้มีการเสียเวลาการทำงานและค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมอุปกรณ์ ทั้งนี้เนื่องจากไถไม่มีความทนทานต่อการกระแทกกับหินหรือรากไม้ขนาดใหญ่ในดินที่เป็นอุปสรรคในการไถได้ดีพอจึงเกิดความเสียหายดังกล่าว

มีการศึกษาและออกแบบขาไถระเบิดดินดานที่มีความทนทานต่อการกระแทกกับหินและรากไม้ขนาดใหญ่ในดินในต่างประเทศมาบ้างแล้ว แต่ก็ไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้งานในแปลงปลูกในประเทศไทยเนื่องจากไถมีขนาดใหญ่มากเกินไป รถแทรกเตอร์ต้นกำลังมีขนาดใหญ่และราคาแพง รวมทั้งมีใช้น้อยมากในประเทศไทย อีกทั้งลักษณะของดินในต่างประเทศที่มีลักษณะแตกต่างจากดินในประเทศไทย จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งาน

การศึกษาค้นคว้าวิจัยมุ่งศึกษาและออกแบบขาไถระเบิดดินดานที่มีความทนทานต่อการกระแทกกับหินหรือรากไม้ขนาดใหญ่ในดิน ซึ่งมีขนาดที่เหมาะสมและใช้ถาดดินแปลงปลูกของประเทศไทย และใช้วัสดุที่ผลิตได้ภายในประเทศเพื่อลดต้นทุนการผลิตอุปกรณ์สำหรับไถระเบิดดินดาน



## วัตถุประสงค์

เพื่อออกแบบและพัฒนาขาไถระเบิดดินดานแบบยกตัวอัตโนมัติโดยใช้แขนสปริงรถยนต์ที่ผลิตได้ในประเทศไทย



## การตรวจเอกสาร

### ความหมายของดินดาน

ดินดานหรือดินอัดแน่นเป็นคำที่ใช้เรียกดินที่มีลักษณะแน่นและแข็งมาก ทับกับเป็นชั้นๆ เนื้อดินมีช่องว่างสำหรับน้ำและอากาศน้อยมาก น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ มักเกิดขึ้นใต้ชั้นไทรพอร์น ความลึกของดินที่จะเรียกว่าเป็นชั้นดินดานจะอยู่ในช่วง 40-70 เซนติเมตร (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2553) ทั้งนี้การที่จะระบุว่าดินนั้นเป็นดินดานหรือไม่จะต้องพิจารณาจากลักษณะของดินนั้นด้วย

ชั้นดินดานหรือดินดาน หมายถึง ชั้นดินที่อัดตัวกันแน่นทึบหรือชั้นที่มีสารเชื่อมอนุภาคของดินมาจับตัวกันแน่นทึบและแข็งจนเป็นอุปสรรคต่อการซอนไซของรากพืช การไหลซึมของน้ำและอากาศ (คณะกรรมการจัดทำพหุกรรมบัญญัติ, 2541)

ชั้นดินดานแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. ชั้นดินเปราะ (Fragipan) ชั้นดินเปราะพบในดินทั่วไป เป็นชั้นดินดานที่มีความหนาแน่นสูงกว่าชั้นดินบนและล่าง และมีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำ
2. ชั้นดินแข็ง (Duripan) เป็นชั้นดินที่มีการเชื่อมตัวกันแน่นทึบและแข็ง เกิดขึ้นโดยการยึดเกาะกันระหว่างอนุภาคของเม็ดดินกับสารเชื่อมต่างๆ ที่มีอยู่ในดิน

ในทางวิชาการมีการตรวจหาความหนาแน่นของดินโดยที่ระดับความลึกประมาณ 40-50 เซนติเมตร ถ้ามีความหนาแน่นเกินกว่า 1.6 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร แสดงว่ามีชั้นดินดาน แต่สำหรับเกษตรกรให้ตรวจสอบจากการสังเกตโดยวิธีง่ายๆ เช่น เวลาฝนตกลงมาพื้นที่ราบน้ำจะแช่ท่วมขังอยู่นาน เนื่องจากไม่สามารถซึมลงไปดินชั้นล่าง แต่จะไหลบ่าบนผิวดินทำให้เกิดการชะล้างพังทลายบนผิวดิน

Lebert and Schäfer (2005) ได้ศึกษาถึงความไวต่อการอัดแน่นของดินพบว่า ดินที่มีค่าความเค้นกดอัดในแนวตั้งน้อยกว่า 80 kPa จะมีความไวต่อการอัดแน่นของดินสูงมาก ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 Classification of Pre-Compression Stress and the Susceptibility to Compaction.

Pre-compression Stress kPa	Class	Name of Class	Susceptibility to Compaction
<80	5	very low	very high
80 - <120	4	low	high
120 - <160	3	medium	medium
160 - <200	2	high	low
≥200	1	very high	very low

ที่มา: Lebert and Schäfer (2005)

ดินดาน (Soil Pan) เป็นดินที่มีปัญหาของประเทศไทย ซึ่งเกิดจากการอัดตัวกันแน่นที่บริเวณชั้นดินดานที่เกิดจากการเจริญเติบโตและการซบเซาของรากพืชที่ปลูกในดินที่มีชั้นดานนั้นจะมีระบบรากตื้นๆ อยู่เหนือชั้นดาน ทำให้พืชดูดกินธาตุอาหารและน้ำได้น้อยเกิดการแคระแกรน เน่าเสียผลผลิตลดลงจึงต้องใช้ปุ๋ยมากกว่าปกติถ้าหากจะให้ได้ผลผลิตดี และเมื่อฝนทิ้งช่วงพืชก็จะเหี่ยว และตายเร็วกว่าปกติ เนื่องจากขาดแคลนน้ำ นอกจากนี้ชั้นดานยังขัดขวางการไหลซึมของน้ำและอากาศเพราะดินมีช่องว่างลดลง ในฤดูฝนจะทำให้เกิดชั้นน้ำใต้ดินชั่วคราวและเกิดการไหลบ่าบนผิวดินได้ง่ายเมื่อมีฝนตกหนัก

จากการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ของสำนักบริหารและพัฒนาการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2550) สามารถจำแนกพื้นที่ที่มีศักยภาพในการเกิดชั้นดานได้ ซึ่งพบว่า ประเทศไทยมีพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดชั้นดานจำนวน 27,995,738 ไร่ จำแนกตามภูมิภาคดังนี้

1. ภาคเหนือ 6,547,832 ไร่
2. ภาคกลาง 4,868,239 ไร่
3. ภาคตะวันออก 3,215,991 ไร่
4. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 13,363,676 ไร่

และจากการสำรวจของกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2550) สามารถจำแนกความรุนแรงของโอกาสในการเกิดชั้นดานออกเป็น 3 ระดับ ดังต่อไปนี้

1. พื้นที่ที่มีศักยภาพในการเกิดดินดานระดับ 1 หมายถึง พื้นที่ที่มีสมบัติทางกายภาพของดินเป็นดินเนื้อละเอียดโดยมีปริมาณทรายแบ่งในเนื้อดินน้อย โครงสร้างดินเป็นแบบก้อนเหลี่ยมและก้อนกลม มีความคงทนของโครงสร้างสูงสามารถทนต่อแรงกระทำจากการไถพรวน แรงกดทับจาก

เครื่องจักรกลขนาดใหญ่ได้ดี ค่าความหนาแน่นรวมของดินต่ำ (น้อยกว่า  $1.31 \text{ g/cm}^3$ ) และมีการใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนใหญ่ปลูกข้าวโพด ดังนั้นจึงมีโอกาสเกิดดินดานน้อย

2. พื้นที่ที่มีศักยภาพในการเกิดดินดานระดับ 2 หมายถึง พื้นที่ที่มีสมบัติทางกายภาพของดินเป็นดินเนื้อค่อนข้างละเอียดโดยมีปริมาณทรายแบ่งอยู่ในเนื้อดินปานกลางโครงสร้างดินเป็นแบบก้อนเหลี่ยมและมีความคงทนของโครงสร้างปานกลาง ค่าความหนาแน่นรวมของดินมีค่าประมาณ  $1.31-1.65 \text{ g/cm}^3$  และมีการใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนใหญ่ปลูกอ้อย ดังนั้นจึงมีโอกาสเกิดดินดานในระดับปานกลาง

3. พื้นที่ที่มีศักยภาพในการเกิดดินดานระดับ 3 หมายถึง พื้นที่ที่มีสมบัติทางกายภาพของดินเป็นดินเนื้อปานกลางและดินเนื้อค่อนข้างหยาบ โดยมีปริมาณทรายแบ่งในเนื้อดินสูง โครงสร้างดินเป็นแบบแน่นทึบและมีความคงทนของโครงสร้างน้อยง่ายต่อการถูกทำลาย ทนแรงกระทำจากการไถพรวน แรงกดทับจากเครื่องจักรกลขนาดใหญ่ได้น้อยจึงส่งผลให้ดินมีค่าความหนาแน่นรวมมาก (มากกว่า  $1.65 \text{ g/cm}^3$ ) และมีการใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนใหญ่ปลูกมันสำปะหลัง ดังนั้นจึงมีโอกาสเกิดดินดานสูง

### การเกิดชั้นดินดานและผลกระทบของดินดาน

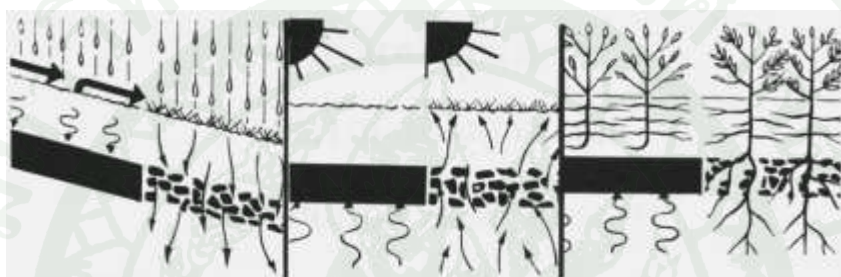
กรมวิชาการเกษตร (2523) รายงานว่าอ้อยที่ปลูกในดินที่มีการระเบิดดินดาน (Subsoiling) ก่อน จะมีระบบรากดีกว่าแบบที่ไม่ทำการไถระเบิดดินดาน ทั้งในด้านการแพร่กระจายของรากรวมทั้งจำนวนรากที่เจริญในดินนั้นด้วย และการไถระเบิดดินดานจะส่งผลดีต่อเมื่อกระทำในขณะที่ความชื้นของดินไม่มากเกินไป นอกจากนี้ยังชี้ให้เห็นผลเสียของการไถดินดานให้ลึกมากเกินไปโดยเฉพาะเมื่อดินมีความชื้นมากจนถึงเปียก ซึ่งจะส่งผลให้การกำลังในการไถมากรวมทั้งการแตกตัวของดินค่อนข้างน้อย

ในพื้นที่ปลูกพืช ถ้ามีดินดานจะเป็นปัญหาเกี่ยวกับการปลูกพืช คือ ในฤดูฝนเมื่อมีฝนตกลงมา น้ำจะซึมลงไปดินชั้นล่างไม่ได้ เนื่องจากมีดินดานมากั้นไม่ให้ น้ำไหลซึมลงไปเก็บกักในชั้นดินล่างได้ ขณะเดียวกันในฤดูแล้งดินดานจะกั้นมิให้ความชื้นที่อยู่ข้างล่างขึ้นมาถึงรากพืช ทำให้พืชขาดน้ำและตายได้ ถ้าดินโป่ง ร่วนซุย จุลินทรีย์ทุกชนิดที่มีอยู่ในดินจะเจริญเติบโตดี ที่เห็นได้ชัดคือ ปริมาณไส้เดือนเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก การทำงานของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในดินก็ดีขึ้นด้วย จุลินทรีย์ในดินหลายชนิดต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโต และที่สำคัญดินก็จะเก็บน้ำไว้ได้มาก และน้ำจะถูกนำมาใช้ในยามแล้ง พืชจะเจริญเติบโตมีชีวิตข้ามแล้งไปได้

ปัญหาของการไม่ทำลายชั้นดินดาน

กรมวิชาการเกษตร (2523) เปรียบเทียบให้เห็นผลของการทำลายและไม่ทำลายชั้นดินดาน

1. ทำให้น้ำที่อยู่ในดินบริเวณรากอ้อยไม่สามารถซึมลงไปดินส่วนลึกได้ จึงเป็นสาเหตุให้รากอ้อยเปียกชุ่มตลอดเวลาไม่สามารถหายใจได้ และยังเป็นสาเหตุให้เกิดโรครากเน่าด้วย
2. ในฤดูแล้ง ดินดานจะป้องกันไม่ให้ความชื้นในดินชั้นล่างระเหยขึ้นมาหล่อเลี้ยงให้รากพืชชุ่มชื้นได้ ทำให้อ้อยชะงักการเจริญเติบโต และมีปริมาณน้ำตาลน้อยลง เนื่องจากไม่สามารถดึงอาหารในดินมาใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่
3. ดินดานจะสกัดกั้นไม่ใ้รากอ้อยงอกลึกลงไปดินชั้นล่าง แต่จะแผ่ไปตามชั้นของดินด้านบนทำให้ได้รับอาหารไม่เต็มที่และลำต้นเติบโตไม่ดีเท่าที่ควร ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ผลของการทำลายและไม่ทำลายชั้นดินดาน

ที่มา: กิตติคุณ (2552)

เมื่อมีการใช้เครื่องจักรกลเกษตรหนักอย่างต่อเนื่องเป็นเวลหลายปี ทำให้เกิดการบดทับอัดแน่นทำให้เกิดชั้นดาน โดยเฉพาะดินที่อนุภาคทรายแบ่งเป็นส่วนประกอบอยู่มาก เช่น ดินชุดกำแพงแสน เมื่อมีการไถพรวน อนุภาคทรายแบ่งจะตกอยู่ในชั้นดินลึกประมาณ 40-50 เซนติเมตร และถูกบดอัดทำให้เกิดชั้นดาน ชั้นดานนี้จะหนาหรือบางแล้วแต่ชั้นดินนั้นจะมีอนุภาคทรายแบ่งมากหรือน้อยเพียงใดหรือเคยมีการไถระเบิดดินดานมาก่อนหรือไม่ Jurajuria et al. (1997) พบว่ารถแทรกเตอร์ขนาดเล็กที่ปฏิบัติการในแปลงเพาะปลูกหลายครั้งก็สามารถทำให้เกิดการอัดแน่นของดินเทียบเท่ากับรถแทรกเตอร์ขนาดใหญ่ที่ปฏิบัติการในแปลงหนึ่งครั้ง ประเทืองและธัญญา (2547) พบว่าอ้อยที่ปลูกในแปลงที่มีการอัดแน่นระดับ 15 เทียววิ่งซ้ำของรถแทรกเตอร์ ทำให้ผลผลิตของอ้อยลดลง 22.90 เปอร์เซ็นต์ Ngunjiri and Siemens (1995) รายงานว่าข้าวโพดปลูกในพื้นที่ที่ทำการอัดแน่นดินได้ผลผลิตประมาณ 9.8 ตัน/เฮกเตอร์ ในขณะที่ผลผลิตในพื้นที่ที่ไม่มีการอัดแน่นดินและการอัดแน่นระหว่างแถวได้ผลผลิต 12.5 และ 12.6 ตัน/เฮกเตอร์ตามลำดับ

วัชรชาญ (2555) ได้เก็บข้อมูลน้ำหนักเฉลี่ยของรถบรรทุกอ้อยและรถแทรกเตอร์ฟวงเทรลเลอร์บรรทุกอ้อยซึ่งทำงานในแปลงอ้อยพบว่า น้ำหนักของรถบรรทุกและเทรลเลอร์เมื่อรวมกับน้ำหนักอ้อยที่บรรทุกซึ่งกระทำต่อดินในแปลงปลูกอ้อยมีค่ามากถึง 40 ตัน ดังตารางที่ 2

## ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยน้ำหนักบรรทุก

โรงงาน	น้ำหนักเฉลี่ยในการบรรทุก (ตัน)		
	แทรกเตอร์ ลากเทรลเลอร์	รถบรรทุกสิบล้อ	รถบรรทุกสิบล้อพ่วง
โรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล ที.เอ็น	28.13	26.74	45.77
โรงงานน้ำตาลสระบุรี	27.49	27.23	47.60
เฉลี่ย	27.81	26.98	46.68

ที่มา: วัชรชาญ (2555)

หน้าที่และชนิดของเครื่องมือเขตกรรมไร่อ้อย ซึ่งมีผลกระทบต่อ การเกิดดินดาน

เครื่องมือเตรียมดินและย่อยดิน

1. ไถบุกเบิกชนิดไถจาน 3 ผาน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจาน 26 นิ้ว ถึง 28 นิ้ว ใช้ไถลึกไม่ต่ำกว่า 20 เซนติเมตร ใช้ไถได้ทุกสภาพพื้นที่ จัดเป็นเครื่องมือเตรียมดินขั้นต้น (Primary Tillage Equipment)
2. ไถหัวหมูชนิด 3 ผาน เป็นเครื่องมือเตรียมดินขั้นต้นใช้ไถในพื้นที่ที่ไม่มีสิ่งกีดขวางทั้งบนดินและใต้ดิน เช่น หิน รากไม้ และพื้นที่ค่อนข้างราบเรียบก็สามารถใช้แทนไถจานได้
3. จานพรวนชนิด Double Action Disk Harrow ใช้พรวนย่อยซี้ไถขณะทำงานต้องย่อยซี้ไถตามแนวการไถ
4. พรวนซี้สปริง ใช้ย่อยซี้ไถเหมาะสำหรับดินที่มีความชื้นต่ำและค่อนข้างร่วน และสามารถใช้ในการกำจัดวัชพืชได้ด้วย
5. ไถพรวน 7 จาน (Disk Tillage) สามารถใช้ในการย่อยซี้ไถและใช้แทนจานพรวนได้แต่คุณภาพงานจะไม่ดีเท่าจานพรวน
6. เครื่องยกทรงแบบผานคู่ หลังจากพรวนย่อยซี้ไถแล้วจึงใช้เครื่องยกทรง เพื่อยกทรงปลูก โดยการใช้แรงงานคนวางท่อนพันธุ์อ้อยลงในร่องตามแนวยาวแล้วกลบด้วยดิน แต่ถ้าปลูกโดยใช้เครื่องปลูกก็ไม่ต้องยกทรง
7. พรวนกำจัดวัชพืชระหว่างร่องอ้อยแบบพรวนเอนกประสงค์ 12 จาน สามารถพรวนได้ครั้งละ 2 ร่อง สามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วทั้งสับและคลุกเศษวัชพืชให้เข้ากับดิน การพรวนแต่ละ

ร่องจะมีงาน 6 ลูก โดย 3 ลูกในแถวหน้าเป็นงานขอบจักร (Cuttet Edge Disk) ส่วน 3 ลูกในแถวหลังเป็นงานขอบเรียบตลอดตั้งในลักษณะ Double Action

### เครื่องปลุกอ้อย

เครื่องมือปลุกอ้อยที่ใช้กันทั่วไป ใช้เป็นแบบฟ่งท้ายรถแทรกเตอร์ โดยมีกลไกซึ่งทำงานได้ โดยการส่งกำลังมาที่ล้อของเครื่องมือ ซึ่งหมุนไปตามทิศทางการเคลื่อนที่ขณะปฏิบัติงาน กลไกที่สำคัญในการปลุกของเครื่องประกอบด้วย

1. ส่วนรับท่อนพันธุ์อ้อย ป้อนเข้าเครื่อง
2. ส่วนตัดท่อนพันธุ์ให้ได้ความยาวเท่ากัน
3. ส่วนปลุกทำหน้าที่ส่งท่อนพันธุ์ลงในร่อง
4. ส่วนกลบทำหน้าที่ปาดดินบนร่องทั้งสองข้าง ให้กลบท่อนพันธุ์

### เครื่องมือใส่ปุ๋ย

การใส่ปุ๋ยอ้อยนิยมใส่ลึกลงไปใต้ดิน เพื่อให้ปุ๋ยถูกใช้เป็นอาหารอ้อยอย่างมีประสิทธิภาพที่สุด เครื่องมือใส่ปุ๋ยมีส่วนประกอบสำคัญดังนี้ คือ

1. กรวยรองรับปุ๋ยที่ใช้
2. กลไกในการปล่อยปุ๋ย ซึ่งติดอยู่กับฐานของกรวย ทำหน้าที่จัดจำนวนปุ๋ยให้ลงไปใต้ดินให้เป็นสัดส่วนที่พอเหมาะกับการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ที่ใช้ลาก
3. ท่อส่งปุ๋ยลงในดินบริเวณโคนตออ้อย

### เครื่องมือกำจัดวัชพืช

หลังจากการปลุกอ้อยแล้ว การกำจัดวัชพืชเป็นสิ่งควรที่จะรีบทำในขณะที่วัชพืชยังไม่เติบโตเต็มที่ หรือที่เรียกว่าลูกหญ้า เครื่องมือที่ใช้ในการกำจัดวัชพืชประกอบด้วยซีเหล็กเส้นกลมตัดให้โค้งงอเข้าหาทิศทางการเคลื่อนที่ เกิดการสั่นสะเทือนตลอดเวลาที่ใช้งาน ในขณะที่ปฏิบัติงาน โดยวิธีนี้อาศัยการสั่นสะเทือนของซีเหล็กตะกุกให้ต้นวัชพืชหลุดจากผิวดินและแห้งตายไปในที่สุด นอกจากนี้ยังทำให้หน้าดินร่วนซุยอีกด้วย

## เครื่องตัดอ้อย

สำหรับอ้อยที่เติบโตเต็มที่แล้วก็จะทำการตัด แต่ปัจจุบันมีปัญหาด้านค่าแรงงานสูงขึ้น และแรงงานคนตัดอ้อยขาดแคลนในฤดูตัดอ้อย จึงมีการนำเครื่องจักรตัดอ้อยมาใช้กันมากขึ้น เครื่องจักรที่ใช้ตัดอ้อยโดยทั่วไปจะปฏิบัติ งานได้ดังนี้

1. ตัดส่วนยอดซึ่งส่วนใหญ่เป็นใบและยอดอ่อน ซึ่งมีน้ำตาลน้อยทิ้ง
2. แยกใบและกาบอ้อยออกจากลำต้น
3. ตัดลำต้นอ้อยชิดกับพื้นได้มากที่สุด
4. จัดกองลำต้นอ้อยไว้ที่พื้นอย่างเป็นระเบียบ หรือตัดเป็นท่อนเล็กส่งไปยังรถพ่วงที่ตามหลังเครื่องตัดอ้อย

## เครื่องมือคราดใบและยอดอ้อย

หลังจากเก็บเกี่ยวอ้อยแล้วจะมีชิ้นส่วนของอ้อยตกอยู่ทั่วไปในบริเวณไร่อ้อย คือ ส่วนของใบ กาบอ้อย และยอดอ้อย โดยใช้เครื่องมือติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ที่เรียกว่า คราด ซึ่งประกอบด้วยแถวของซี่เหล็กที่โค้งงอเป็นครึ่งวงกลม เกี่ยวรวบรวมไปกองไว้ที่เดียวกัน เพื่อสะดวกในการใช้เครื่องมือสำหรับแต่งต่ออ้อยต่อไป

จากการสำรวจของกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2550) พบว่า มีปัจจัยแวดล้อมที่ทำให้เกิดชั้นดินดานดังนี้

1. การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Use) โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีการไถพรวนเพื่อปลูกพืชเป็นประจำทุกปีและต่อเนื่องที่ระดับความลึกเดียวกันนานเป็นเวลาหลายปี มีการไถพรวนบ่อยครั้งและไม่ถูกวิธี
2. โครงสร้างของดิน (Soil Structure) เป็นสมบัติทางกายภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงเสมอตามอิทธิพลที่ได้รับจากภายนอก เช่น การใส่อินทรีย์วัตถุ การใช้เครื่องจักรกลการเกษตร การจัดการดิน เป็นต้น ดินที่มีความคงทนของโครงสร้างสูงจะสามารถทนแรงกระทำจากการไถพรวน แรงกดทับจากเครื่องจักรกลได้ดี
3. ความหนาแน่นรวม (Bulk Density) เป็นสมบัติทางกายภาพของดินซึ่งเกี่ยวข้องกับโครงสร้างของดิน และมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชดินที่มีความหนาแน่นรวมสูงจะเป็นอุปสรรคต่อการงอกของรากพืชและการซาบซึมน้ำของดิน

4. เนื้อดิน (Soil Texture) เป็นสมบัติของดินที่แสดงถึงความหยาบหรือความละเอียดของดิน ซึ่งประกอบด้วยอนุภาคดินขนาดต่างๆ แตกต่างกันไป ดินที่มีโอกาสเกิดชั้นดานไภพรวนได้แก่ ดินที่มีอนุภาคทรายแป้ง หรือทรายละเอียดมาก

5. ความชื้นในดิน (Soil Moisture) เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ดินเกิดชั้นดาน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเขตรกรรม โดยพบว่าถ้าทำการเขตรกรรมในขณะที่ดินมีความชื้นสูงจะทำให้เกิดการอัดแน่นของดินได้ง่าย

6. เครื่องมือเขตรกรรม การไภพรวนหากทำอย่างไม่ถูกต้องและเหมาะสม เช่น การไภพรวนมากครั้งเกินไป การไภพรวนต่อเนื่องเป็นเวลานาน อาจก่อให้เกิดชั้นดานที่ชั้นล่างขึ้น

### การแก้ปัญหาเมื่อเกิดดินดาน

การป้องกันมิให้เกิดดินดาน จำเป็นต้องมีการไภรเปิดดินดานตามความจำเป็น เพื่อมิให้เกิดชั้นดานโดยการไภรเปิดดินดานด้วยไถลั่ว เช่น พื้นดินที่ปลูกมันสำปะหลังอาจจะไภรเปิดดินดานปีเว้นปี ส่วนไร่อ้อยควรไภรเปิดดินดานช่วงรื้อต่ออ้อยทุกครั้ง คือ ประมาณ 3-4 ปีต่อครั้ง ทั้งนี้ เพราะไร่อ้อยจะใช้เครื่องจักรกลหนักเข้าไปทำงาน ไม่ว่าจะเป็นรถแทรกเตอร์ รถบรรทุกอ้อย ซึ่งทำงานต่อเนื่องทุกปี ทำให้ดินเกิดการบดทับทุกปี โอกาสเกิดชั้นดินดานจึงมีสูง

การแก้ปัญหาชั้นดินอัดแน่นหรือชั้นดินดานนี้จะใช้ข่าไภรเปิดดินดานไถให้ชั้นดินอัดแน่นนี้แตกออก การไภรจะไถที่ระดับความลึกมากกว่าชั้นไภพรวน มีความลึกระหว่าง 40-70 เซนติเมตรหรือมากกว่า มีหลักการการทำงานคือไถจิกลงไปดิน และถูกลากไปตลอดแนว ทำให้ชั้นดินแตกกร่วนโดยไม่มีพลิกดิน(กรมส่งเสริมการเกษตร, 2553) ปัจจุบันชาวไร่ในประเทศไทยได้นำอุปกรณ์ไภรเปิดดินดานมาใช้มากขึ้น อุปกรณ์เหล่านี้สามารถใช้งานได้ดีในบางสภาพพื้นที่และสามารถช่วยแก้ไขปัญหารื้อชั้นดินดาน การระบายน้ำได้ดี (มงคล, 2530)

ข่าไภรเปิดดินดานเป็นข่าไถที่มีขนาดใหญ่ ทำด้วยเหล็กหนาเพื่อความแข็งแรงเพราะจะต้องไถลงไปลึกตั้งแต่ 40-70 เซนติเมตร หรือมากกว่า ข่าไถมีทั้งแบบตรง แบบโค้งปานกลาง และแบบโค้งมาก โดยที่หน้าข่าไถนั้นอาจจะมีเหล็กประกบที่มีความคมซึ่งถอดเปลี่ยนได้ติดอยู่ สำหรับปลายข่าไถนั้นก็จะมีหัวเจาะที่มีหลายแบบติดอยู่ บางแบบก็มีปีก บางแบบก็นูน ซึ่งแต่ละแบบทำให้ดินแตกกร่วนและพูนสูงขึ้นมาไม่เหมือนกัน ทั้งนี้มุมที่ติดตั้งหัวเจาะนี้ก็มีส่วนเกี่ยวข้องด้วย อย่างไรก็ตามเครื่องมือประเภทนี้ต้องอาศัยรถแทรกเตอร์ที่มีกำลังสูงถึง 60-85 แรงม้า ในการฉุดลาก โดยปกติจะลากได้ไม่เกิน 2 ตัว และระยะระหว่างไถทั้งสองก็ไม่ควรเกิน 1.5 เท่าของความลึกที่จะไถ ถ้าห่างมากเกินไปหน้าดินจะพูนขึ้นมาเป็นสัน ผิวแปลงจะเป็นลูกคลื่น จำแนกตามลักษณะการไถได้ 2 ประเภทดังนี้

1. ขาไถระเบิดดินดานแบบมาตรฐาน (Subsoiler) ขาไถและโครงยึดติดกัน ขณะไถชุดโครงและขาไถไม่มีการเคลื่อนที่ออกจากตำแหน่งที่ยึดติดกัน มีปลายขาไถหลายแบบ เช่น ขาตรง ขาโค้ง รูปตัวซี รูปพาราโบลา เป็นต้น ความเอียงของแขนไถและปลายไถมีผลต่อแรงฉุดลากและการแตกทลายของชั้นดิน โดยทั่วไปไถดินดานแบบมาตรฐานขาไถ จะออกแบบให้โน้มเอียงไปทางด้านหน้า ซึ่งจะทำให้ไถยกดินและดินแตกทลายได้ดีกว่าขาไถที่วางตำแหน่งในแนวตั้ง และสำหรับการออกขาไถให้มีลักษณะโค้ง จะเป็นชุดไถที่เหมาะสมสำหรับไถไถระดับชั้นดินดาน (ไถลึก) จะทำให้เกิดการยกและแตกทลายของชั้นดินดานบริเวณด้านบนไถ และบริเวณด้านหน้าไถได้ดี



ภาพที่ 2 ขาไถระเบิดดินดานแบบโน้มเอียงไปด้านหน้า



ภาพที่ 3 ขาไถระเบิดดินดานแบบขาโค้ง



ภาพที่ 4 ขาไถระเบิดดินดานแบบตัว C

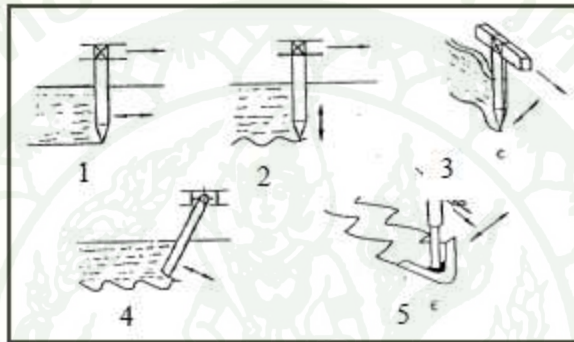


ภาพที่ 5 ขาไถระเบิดดินดานแบบขาตรง

2. ขาไถระเบิดดินดานแบบสั่นสะเทือนหรือเชคคาเรเตอร์ (Shakerator) ใช้กำลังจากเพลลาอำนาจกำลังทำให้เกิดการการสั่นสะเทือนขณะทำงาน มีทั้งแบบสั่นเฉพาะขาไถและสั่นทั้งโครง ขาไถแบบนี้มีการศึกษาแล้วพบว่าสามารถลดแรงฉุดลากลงได้ Niyamapa et al. (2000) รายงานว่า อัตราส่วนแรงฉุดลากของอุปกรณ์ไถแบบสั่นสะเทือนต่ออุปกรณ์ไถแบบไม่สั่นสะเทือนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.63 ถึง 0.93 ต่อ 1

Kofoed (1969) กล่าวว่าทิศทางการสั่นนั้นมีผลต่อแรงฉุดลาก โดยมีลักษณะการสั่นพื้นฐาน 5 แบบ (Basic Types of Oscillatory) ดังนี้

1. สั่นในทิศทางแกน X
2. สั่นในทิศทางแกน Y
3. สั่นในทิศทางแกน Z
4. สั่นในระนาบ X-Y (ระบบ Eggenmüller)
5. สั่นในระนาบ X-Z (ระบบ Vernyaev)



ภาพที่ 6 ลักษณะการสั่นขาไถ (Basic Types of Oscillatory)



ภาพที่ 7 ขาไถระเบิดดินดานแบบสั่นทั้งโครง

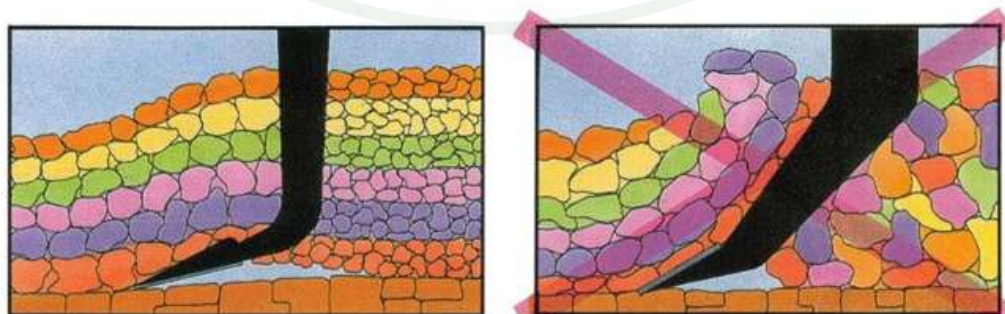


ภาพที่ 8 ขาไถระเบิดดินดานแบบสั่นเฉพาะขาไถ

ไถระเบิดดินดานทำให้ดินชั้นล่างที่ถูกอัดแน่น ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักของรถแทรกเตอร์ หรือเครื่องมือท่อนแรงที่มีน้ำหนักมากซึ่งเคลื่อนที่ผ่านบ่อๆนั้นแตกแยกออก ปล่อยให้ น้ำไหลลงไปสู่ดินชั้นล่าง และน้ำใต้ดินเคลื่อนที่ไปสู่ดินชั้นบน นอกจากนี้ยังช่วยให้รากพืชเจริญเติบโตลงไปหาอาหารในดินชั้นล่างอีกด้วย

เครื่องมือประเภทนี้ มีหลักการทำงานคือ ไถจิกลงไปดิน และถูกลากไปตลอดแนว ทำให้ดินแตก่วนโดยไม่มีกรพลิกดินเช่นไถหัวหมู หรือไถงาน คุณภาพของดินที่ต้องการขึ้นอยู่กับความลึก ระยะระหว่างซี่ มุมของซี่ และความชื้นในดิน

การใช้ไถระเบิดดินดานในการเตรียมดินเพื่อการเพาะปลูก จะทำให้ดินเกิดการแตกตัวโดยไม่มีกรพลิกดิน ลักษณะการแตกตัวของดินบริเวณผิวหน้าจะถูกยกตัวให้สูงขึ้นจากระดับผิวดินเดิม บริเวณที่ดินแตกตัวจะอยู่บริเวณส่วนบนของปลายขาไถ ส่วนดินที่อยู่ใกล้กับปลายขาไถจะมีการแตกตัวเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (อนุตร, 2547) ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 การแตกตัวของดินขณะไถระเบิดดินดาน

### กรมส่งเสริมการเกษตร (2553) แนะนำการการไถระเบิดดินดานไว้ดังนี้

1. ไถเปิดดินดาน โดยการไถ 2 แนว ตัดกันเป็นตารางหมากรุก เนื่องจากการไถระเบิดดินดานเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายขึ้นมาอีก จึงไม่จำเป็นต้องไถระเบิดทุกปี อาจไถ 3-5 ปีต่อครั้ง ขึ้นอยู่กับชนิดของดินและวิธีเขตกรรม
2. จากนั้นไถด้วยผาล 3 เพื่อพลิกดินให้กลับว้ซพีซ ทิ้งไว้ 5-7 วัน
3. ไถพรวนด้วยผาล 7 หรือผาลพวง เพื่อย่อยดินและกลบรอยเปิดดินดาน ป้องกันการสูญเสียความชื้นจากใต้ดิน หากปลุกยกร่องก็ให้ยกร่องหลังจากพรวนดิน ข้อควรระวังในการไถเปิดดินดาน จะต้องเป็นพื้นที่ที่สำรวจแล้วว่าเป็นดินดานที่แท้จริง เพราะถ้าพื้นที่ที่ไถเปิดไม่เป็นดินดาน จะทำให้น้ำซึมลงใต้ดินเร็วกว่าปกติ ดินชั้นบนจะแห้งเร็ว พืชจะขาดน้ำเร็วขึ้น ในดินที่มีชั้นเกลือใต้ดิน ไม่ควรไถเปิดดินดาน เพราะจะทำให้เกลือขึ้นมาพร้อมกับน้ำใต้ดิน จะเป็นปัญหากับพืชได้จากการทดลองไถเปิดดินดานในไร่ของเกษตรกรโดยกรมส่งเสริมการเกษตรพบว่าให้ผลผลิตมันสำปะหลังสูงขึ้น 30 - 50% และจากการทดลองของกรมวิชาการเกษตร พบว่า มันสำปะหลังมีคุณภาพสูงขึ้น คือ มีเปอร์เซ็นต์แป้งสูง 1-2 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 10 การไถระเบิดดินดานในแปลง



ภาพที่ 11 สภาพแปลงที่ผ่านการไถระเบิดดินดาน โดยไถตัดเป็นแนวตารางหมากรุก

การเลือกใช้เกียร์ (Transmission and Speed Selection) กรมส่งเสริมการเกษตร (2553) ได้แนะนำความเร็วที่เหมาะสมสำหรับการไถประเภทต่างๆว่า ควรจะใช้ความเร็วไถและเกียร์ที่เหมาะสมเพื่อประสิทธิภาพสูงสุดและป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นแก่รถแทรกเตอร์และอุปกรณ์ไถ

ปัญหา-การใช้เกียร์ไม่เหมาะสม

ใช้เกียร์ความเร็วต่ำเกินไป

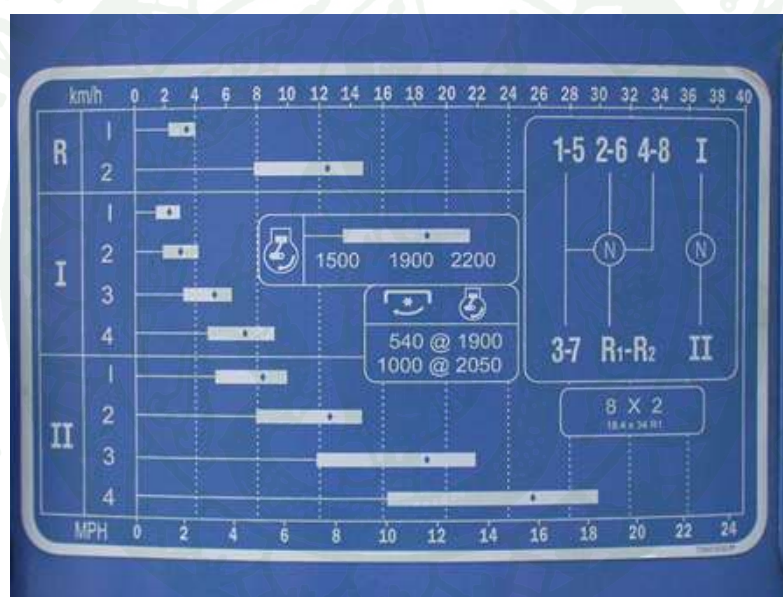
- สิ้นเปลือง
- เสียเวลา
- ใช้งานไม่เต็มประสิทธิภาพ
- รถเสียกำลัง ต้องเร่งเครื่องช่วย

ใช้เกียร์ความเร็วสูงเกินไป

- การสึกหรอสูง
- ยางสึกเร็ว
- เครื่องยนต์เดินไม่สม่ำเสมอ
- หากเจอต่อหรือหินใต้ดินทำให้รถเสียหายได้ง่าย เช่น แขนกลางคด, แขนข้างหัก, เพลาขาด
- รถไถส่งสัญญาณจังหวะอัตโนมัติไม่ทัน เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์

### ตารางที่ 3 ความเร็วไถที่เหมาะสมในการไถแต่ละประเภท

ประเภทไถ	ความลึก เซนติเมตร	ความเร็วทำงาน กิโลเมตร/ชม.
ไถบุกเบิก	20 – 30	6 – 8
ไถบุกเบิก	30 – 45	4 – 6
ไถระเบิดดินดาน	20 - 30	6 – 8
ไถระเบิดดินดาน	30 – 50	3 – 6
พรวนดิน	0 – 15	8 – 12
พรวนในร่อง	0 – 15	10 – 14
คราดในร่อง	0 - 15	10 - 14



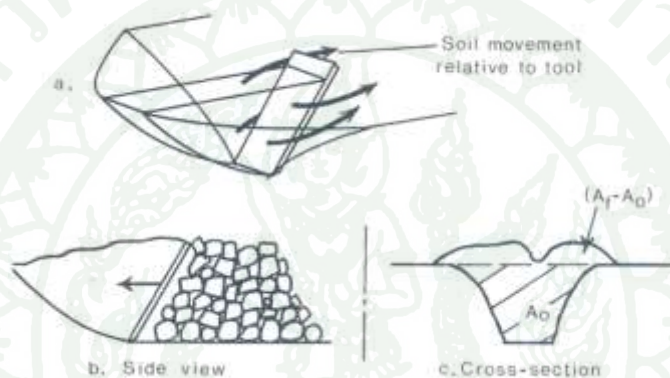
ภาพที่ 12 ป้ายกำกับความเร็วและรอบเครื่องในแต่ละเกียร์ของรถแทรกเตอร์

การกำจัดหรือบรรเทาการอัดแน่นของดินเพื่อให้มีโครงสร้างที่เหมาะสมในการเพาะปลูกนั้น จำเป็นต้องใช้ไถระเบิดดินดาน ไถระเบิดดินดานมีอยู่หลายแบบทั้งแบบที่สั้นได้เพื่อช่วยลดกำลังในการฉุดลากและแบบไม่สั้น อีกทั้งขาไถนั้นมีหลายประเภท โดยการใช้งานขึ้นอยู่กับสภาพของดินและลักษณะของพื้นที่ การใช้ไถระเบิดดินดานนั้นเกษตรกรมีการใช้การอยู่บ้างแต่ยังไม่มากเท่าที่ควรทั้งนี้สาเหตุเนื่องมาจากค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงและที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือปัญหาที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการปฏิบัติงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปฏิบัติงานในพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวาง ซึ่งมักเกิดการพังหรือเสียหายของขาไถ และบางครั้งส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อโครงไถทั้งชุดด้วย

## ทฤษฎีเกี่ยวกับการแตกตัวของดิน

### การร่วนของดิน (Soil Loosening)

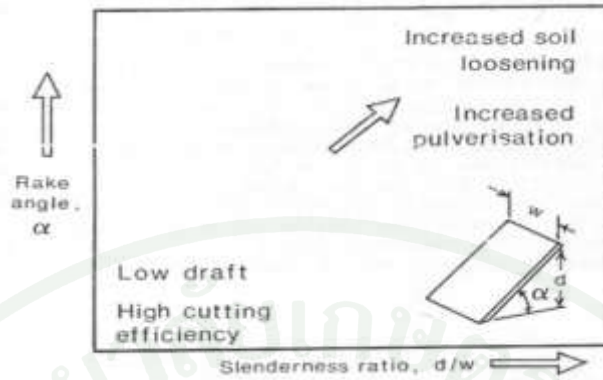
Mckyes (1985) ศึกษาพฤติกรรมค่าความเค้นและความเครียดของดินนั้น จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มค่าแรงดึงและแรงเฉือนของดิน เป็นสาเหตุที่ทำให้เปลี่ยนโครงสร้างและความหนาแน่นของดิน ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรช่องว่างของอากาศ ตามภาพที่ 13 แสดงให้เห็นว่าผลกระทบขนาดของเม็ดดินจะเปลี่ยนไปตามสถานการณ์และความเครียดเล็กน้อยที่เกิดขึ้น



### ภาพที่ 13 การตัดดิน

- การเคลื่อนที่ของดินรอบๆเครื่องมือ
- การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของดินหลังจากตัดดิน
- รูปหน้าตัดที่การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของดิน

เมื่อพิจารณาด้านการร่วนตัวของดิน จะต้องมีการพิจารณารูปร่างของเครื่องมือ โดยพิจารณา ค่าอัตราส่วนค่าความลึกต่อความกว้าง ( $d/w$ ) จากภาพที่ 14 แสดงให้เห็นถึงแนวทางในการออกแบบ ซึ่งจะทำให้ทราบขนาดรูปร่างของเครื่องมือในการตัดดินและสมรรถนะการทำงานที่ต้องการ (Mckyes, 1985)



ภาพที่ 14 พารามิเตอร์ที่ใช้ออกแบบเครื่องมือรูปร่างแบน มุมเอียง  $\alpha$  อัตราส่วน  $d/w$  เป็นความสัมพันธ์สำหรับการเพิ่มปริมาตรการตัดดิน การร่วนตัวของดิน และประสิทธิภาพการแตกตัวเป็นก้อนเล็กของดิน

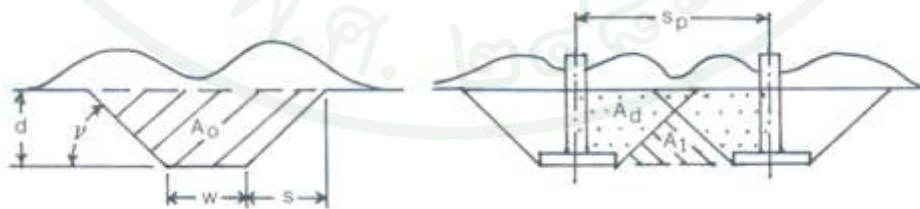
ระยะห่างของเครื่องมือที่ส่งผลต่อพื้นที่การแตกตัวของดิน

Mckyes (1985) กล่าวว่าพื้นที่หลังการไถจะมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมคางหมูโดยมีมุม  $v$  ดังแสดงในภาพที่ 15 เมื่อระยะของขาไถจากอันหนึ่งไปยังอีกอันหนึ่ง ( $S_p$ ) และความลึกในการไถ ( $d$ ) หลังจากการไถโดยปรกติแล้วจะมีพื้นที่ซึ่งไม่ถูกกระทำ ( $A_1$ ) ส่วนพื้นที่ที่ถูกกระทำ ( $A_d$ ) ซึ่งสามารถหาได้จากสูตร

เมื่อ

$$A_d = (d \times S_p) - A_1$$

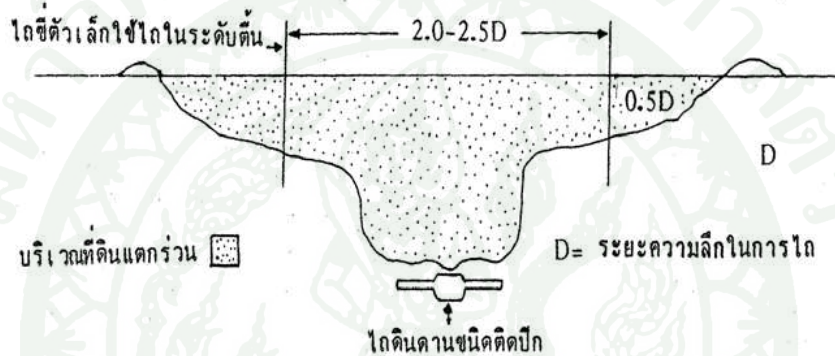
$$A_d = (d \times S_p) - \frac{1}{4} (S_p - w)^2 \tan v \quad \text{เมื่อ} \quad \tan v = d/s$$



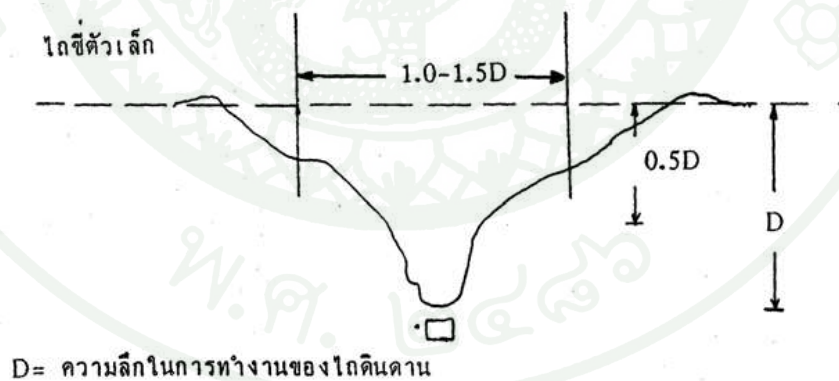
ภาพที่ 15 ภาพหน้าตัดของดินที่ถูกไถ เพื่อใช้ทำนายพื้นที่ที่ถูกไถระหว่างขาไถ 2 อัน

มงคล (2530) พบว่าอัตราส่วนระหว่างความลึกในการทำงานต่อระยะห่างระหว่างซี่จะมีลักษณะการแตกตัวต่างกันไป ดังนี้คือ

1. สำหรับไถดินดานแบบติดปีก หากต้องการให้ผิวหน้าดินพูนสม่ำเสมอในระยะห่างระหว่างซี่จะต้องไม่เกิน 2-2.5 เท่าของความลึกในการไถ ดังภาพที่ 16
2. สำหรับไถดินดานชนิดธรรมดา (หัวเจาะหน้าแคบ) หากต้องการให้ผิวหน้าดินพูนสม่ำเสมอระยะห่างระหว่างซี่จะต้องไม่เกิน 1.5 เท่าของความลึกในการไถดังภาพที่ 17 ซึ่งถ้าระยะระหว่างซี่มากเกินไปจะทำให้ดินพูนขึ้นมาเป็นสันคลื่นตามแนวการไถ
3. การไถที่ระดับลึกเกินไปจะทำให้การแตกตัวของดินเกิดขึ้นได้น้อยและสำหรับสภาพดินแห้งควรไถที่ระดับ 350-450 มิลลิเมตร ถ้าดินชื้นควรไถตื้นกว่าที่ระดับ 300-400 มิลลิเมตร



ภาพที่ 16 พื้นที่การแตกตัวของดินจากไถดินดานแบบติดปีก

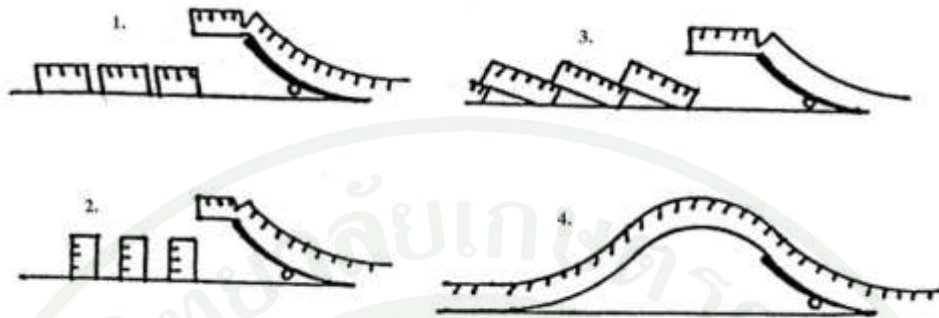


ภาพที่ 17 พื้นที่การแตกตัวของไถดินดานแบบชนิดธรรมดา

#### ผลกระทบจากความเร็ว (Effect of Speed)

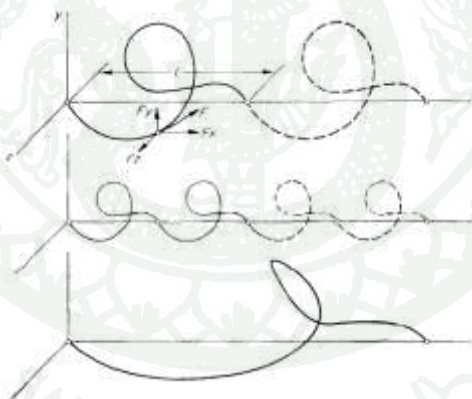
จากความโค้งงอของเครื่องมือไถที่ใช้ในการตัดดินและความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องมือซึ่งจะเป็นตัวกำหนดอัตราในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเชิงมุม (Rate of Angular Deformation) ของดินที่มีแรงยึดเหนี่ยวค่อนข้างสูงมาก ดังภาพที่ 18 กรณีที่ 1 ถึง กรณีที่ 3 เมื่อใช้ความเร็วค่อนข้างต่ำ ขนาด

ของมุมและตำแหน่งการตกของดินด้านหลังเครื่องมือไถซึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วของเม็ดดินด้วย  
กรณี 4 เมื่อใช้ความเร็วค่อนข้างสูง (Mckyes, 1985)

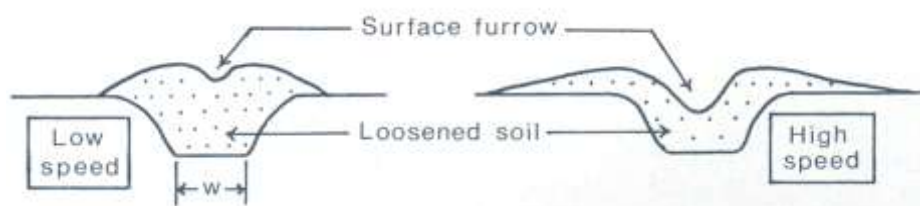


ภาพที่ 18 แสดงความแตกต่างของการแตกตัวของก้อนดินซึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วของเม็ดดิน  
และความเร็วในการทำงานแบ่งออกเป็น 4 กรณี คือ กรณีที่ 1 ถึง กรณีที่ 3 เมื่อใช้  
ความเร็วค่อนข้างต่ำกรณี 4 เมื่อใช้ความเร็วค่อนข้างสูง

Kofoed (1969) แสดงผลจากความเร็วในการเคลื่อนที่ที่ส่งผลต่อลักษณะการสั่น ที่ความเร็ว  
 $1x$ ,  $0.5x$  และ  $2x$  ( $x$  คือค่าของความเร็ว) โดยใช้ความกว้างและความถี่ในการสั่นที่เหมือนกัน



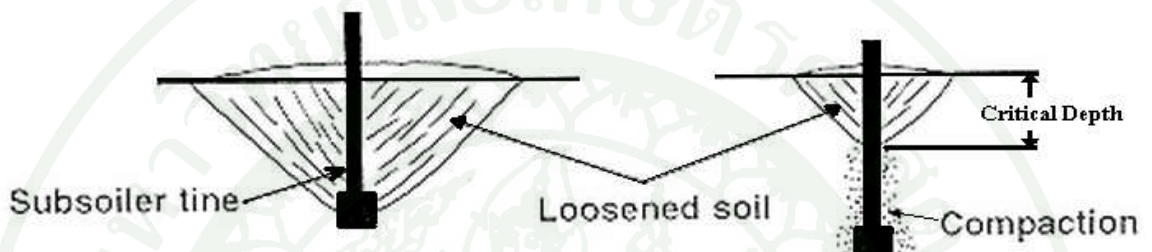
ภาพที่ 19 การเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว  $1x$  (รูปบน) การเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว  $0.5x$  (รูปกลาง) และ  
การเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว  $2x$  (รูปล่าง) ณ การสั่นที่เหมือนกัน



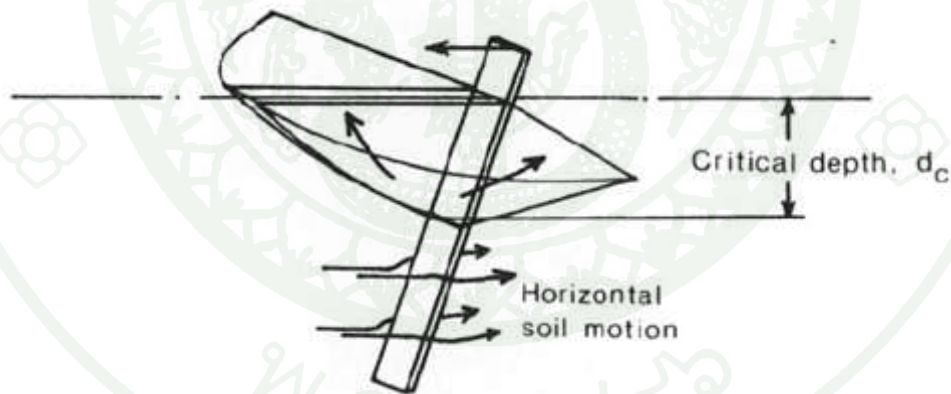
ภาพที่ 20 ขนาดของร่องดินที่อุปกรณ์ไถเคลื่อนที่ผ่านด้วยความเร็วสูงและต่ำ

### ความลึกวิกฤติ (Critical Depth)

ในการไถระเบิดดินดาน ถ้าไถตื้นกว่าระดับความลึกวิกฤติจะทำให้การร่วนตัวของดินน้อยและทำให้ดินที่ขุดเคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่ตื้นกว่าระดับความลึกวิกฤติก็สามารถเกิดการอัดแน่นทางด้านข้างของขาไถ และดินที่เคลื่อนที่ผ่านขาไถจะไม่ถูกยกตัวขึ้นมอดังภาพที่ 21 ส่วนการไถดินดานที่สัมฤทธิ์ผลนั้นการแตกกระจายตัวของดินจะมีลักษณะเป็นเสี้ยว ซึ่งสามารถวัดได้โดยการชูดเป็นหลุมดูหลังจากการไถ



ภาพที่ 21 การกระจายตัวของดินของการไถที่ระดับความลึกวิกฤติและการไถตื้นกว่าระดับความลึกวิกฤติ



ภาพที่ 22 การเคลื่อนที่ของดินผ่านขาไถที่ตื้นกว่าความลึกวิกฤติ

Mckyes (1989) กล่าวว่า แรงที่กระทำต่อขาไถที่ตื้นกว่าระดับความลึกวิกฤตินั้นจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ แรงที่กระทำต่อขาไถในระดับความลึกวิกฤติ (P) และแรงที่กระทำต่อขาไถที่ระดับตื้นกว่า ความลึกวิกฤติ (Q) ซึ่งสามารถคำนวณแรงฉุดลาก (H) ที่ต้องใช้ในการลากชุดไถได้จากสูตร

$$H = Q + H_1$$

เมื่อ  $Q$  = แรงที่ต้องใช้ไถต่ำกว่าระดับความลึกวิกฤติ (kN)

$H_1$  = แรงที่ต้องใช้ไถที่ระดับความลึกวิกฤติ (kN)

$P$  = แรงที่กระทำต่อखाไถในระดับความลึกวิกฤติ (kN)

$$Q = \left[ cN'_c (d-d_c) + \frac{\gamma}{2} K_0 N'_q (d^2 - d_c^2) \right] w$$

$$H_1 = P \sin(\alpha + \delta) + c_a d_c w \cot \alpha$$

$$N'_c = \cot \phi \left[ \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} e^{2 \left( \frac{\pi}{2} + \phi \right) \tan \phi} - 1 \right]$$

$$N'_q = \left[ \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \right] e^{2 \left( \frac{\pi}{2} + \phi \right) \tan \phi}$$

$d$  = ความลึกในการไถ (เมตร)

$d_c$  = ระยะความลึกวิกฤติ (เมตร)

$w$  = ความกว้างของखाไถ (เมตร)

$K_0$  = Coefficient of Passive Earth pressure

$\gamma$  = Dry Bulk Density (kN/m<sup>3</sup>)

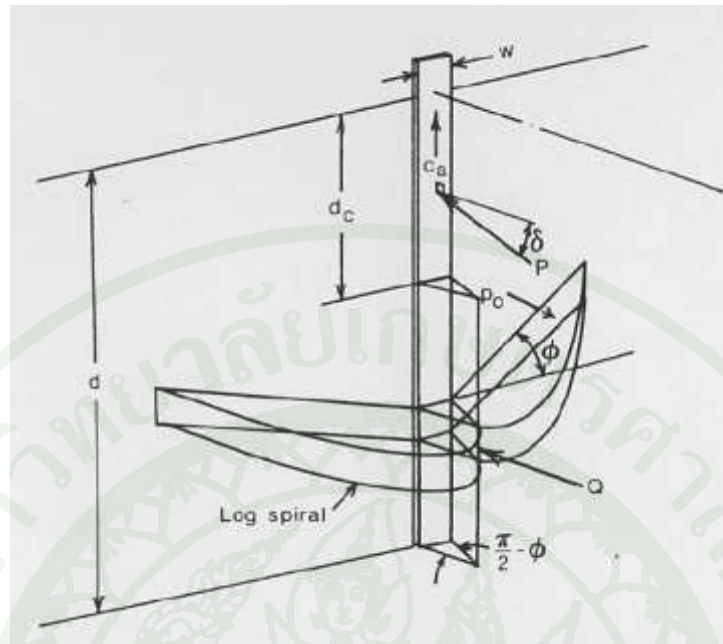
$\alpha$  = Rake Angle (Degree)

$\phi$  = Soil Internal Friction Angle (Degree)

$c_a$  = Adhesion (kPa)

$c$  = Soil Cohesion (kPa)

$\delta$  = Soil Metal Friction Angle (Degree)



ภาพที่ 23 แนวแรงที่กระทำต่อขดเกลียวที่การไถต่ำกว่าความลึกวิกฤติ

### ประเภทและคุณสมบัติของเหล็กสปริง

R.S. Khurmi and J.K. Gupta (2005) ให้ความหมายของคำว่าสปริงว่า สปริงเป็นวัสดุที่ยืดหยุ่น สามารถบิดเบี้ยวได้เมื่อมีแรงมากระทำและจะกลับสู่สภาวะเดิมเมื่อนำแรงที่กระทำออกไปและได้จำแนกประเภทของสปริงไว้ 6 ประเภทดังนี้

1. Helical Springs มีลักษณะเป็นขดเกลียวเอียง มีมุมเกลียวเอียงไม่เกิน 10 องศา มี 2 ประเภทคือ Compression Helical Springs หรือสปริงหดและ Tension Helical Springs หรือสปริงยืด ความเค้นหลักที่เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากระทำต่อสปริงคือ ความเค้นเฉือนที่กระทำต่อเกลียวสปริง



ภาพที่ 24 Compression Helical Springs (ซ้าย) และ Tension Helical Springs (ขวา)

ข้อดีของ Helical springs

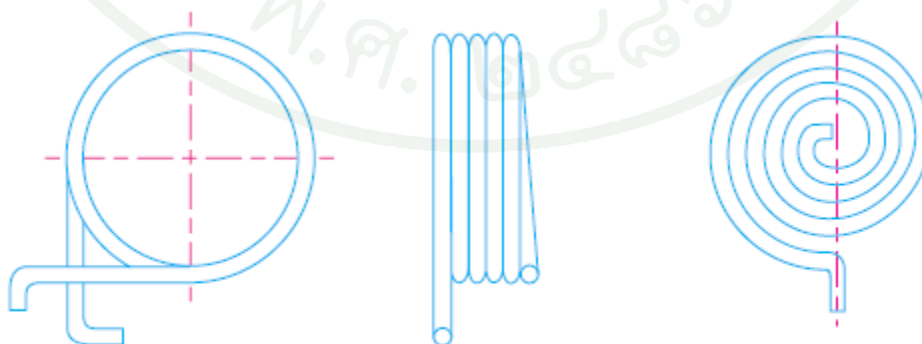
- ผลิตได้ง่าย
- มีระยะยืดหรือหดมาก
- เกลียวสปริงมีขนาดเท่ากันตลอดแนวสปริง
- มีค่านิจสปริงคงที่
- สามารถสร้างได้หลายขนาด

2. Conical and Volute Springs มีลักษณะขดสปริงเป็นรูปกรวยและก้นหอย ใช้ในงานที่ต้องการให้ค่านิจสปริงมีค่าเพิ่มขึ้นได้ตามแรงที่กระทำต่อสปริง มีความแตกต่างกันคือ Conical Springs จะมีลักษณะเกลียวสปริงเป็นรูปกรวย และ Volute Springs จะมีลักษณะเกลียวสปริงเป็นรูปพลาโบลา ความเค้นหลักที่เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากระทำต่อสปริงคือ ความเค้นเฉือนที่กระทำต่อเกลียวสปริง



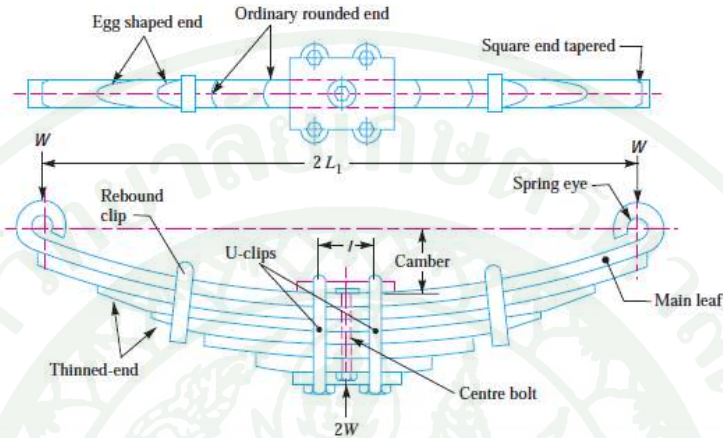
ภาพที่ 25 Conical Springs (ซ้าย) และ Volute Springs (ขวา)

3. Torsion Springs มีลักษณะเป็นขดตรง (Helical) หรือเป็นเกลียวก้นหอย (Spiral) มีการทำงานโดยการบิดเกลียวสปริง ทำให้เกลียวของสปริงมีจำนวนเพิ่มขึ้น ความเค้นหลักที่เกิดขึ้นต่อสปริงคือค่าแรงดึง (Tensile) และค่าแรงกด (Compression) ที่ตัดเกลียวสปริง



ภาพที่ 26 Helical Torsion Springs (ซ้าย) และ Flat Spiral Torsion Springs (ขวา)

4. Laminated or Leaf Springs หรือแหนบสปริง มีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ (Laminated) หรือแผ่นโค้ง (Laminated Semi-Elliptic Springs หรือ Leaf Springs) สามารถซ้อนกันเพื่อเพิ่มค่านิจสปริงได้ตามต้องการโดยใช้สลักหรือหุคคล้องแหนบให้ติดกัน ค่าความเค้นหลักที่เกิดขึ้นคือคือค่าแรงดึง (Tensile) และค่าแรงกด (Compression) ที่กระทำต่อแผ่นแหนบสปริง



ภาพที่ 27 Laminated or Leaf Springs

5. Disc or Belleville Springs มีลักษณะเป็นแผ่นซ้อนกัน ยึดติดกันด้วยสลักกลางแผ่นสปริง ใช้งานที่ต้องการค่านิจสปริงสูงเป็นพิเศษ เช่น งานโครงสร้าง สะพาน เป็นต้น ค่าความเค้นหลักที่เกิดขึ้นคือคือค่าแรงดึง (Tensile) และค่าแรงกด (Compression) ที่กระทำต่อแผ่นสปริง



ภาพที่ 28 Disc or Belleville Springs

6. Special Purpose Springs เป็นสปริงชนิดพิเศษ ใช้สำหรับงานเฉพาะทาง มีหลายชนิด เช่น Air or Liquid Springs, Rubber Springs, Ring Springs เป็นต้น



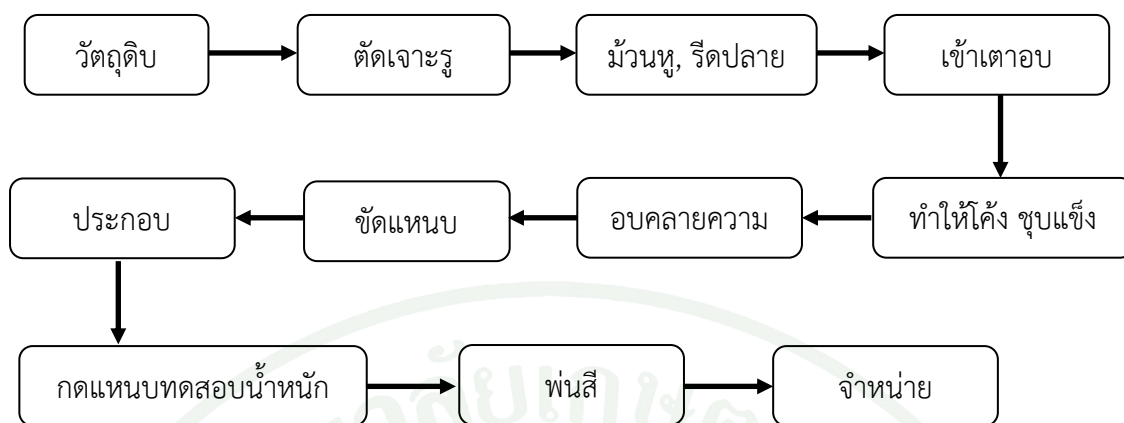
ภาพที่ 29 Air Springs

### ทฤษฎีและการออกแบบแหนบสปริง

แหนบดับ (Leaf Spring) เป็นส่วนประกอบและอุปกรณ์ส่วนหนึ่งของรถยนต์ที่เกี่ยวข้องกับระบบกันสะเทือนและการทรงตัวของรถยนต์ หากไม่ใช้แหนบดับก็จะต้องใช้ส่วนประกอบและอุปกรณ์อื่นที่ทำหน้าที่คล้ายคลึงกัน เช่น คอยล์สปริง เป็นต้น อย่างไรก็ตามแม้ว่าคอยล์สปริงจะเป็นส่วนประกอบและอุปกรณ์ที่สามารถนำมาใช้แทนแหนบดับและมีน้ำหนักเบากว่าแหนบดับ แต่ก็ยังไม่สามารถนำมาใช้กับรถบรรทุกที่ต้องการรับน้ำหนักมากได้ (สำนักงานปลัด กองเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, ม.ป.ป.)

อุตสาหกรรมผลิตแหนบดับในประเทศไทยมีลักษณะเป็นโรงงานขนาดกลาง ได้เริ่มดำเนินงานมาตั้งแต่ปี 2506 เริ่มแรกทำการผลิตเพื่อจำหน่ายในตลาดอะไหล่ โดยโรงงานประเภทนี้มักจะผลิตอะไหล่รถยนต์ประเภทอื่นควบคู่กันไปด้วย ต่อมาเมื่อกระทรวงอุตสาหกรรมได้มีประกาศนโยบายพัฒนาอุตสาหกรรมยานยนต์ปี 2514 ให้รถยนต์ที่ประกอบในประเทศไทยใช้ส่วนประกอบและอุปกรณ์ที่ผลิตได้ภายในประเทศ โรงงานประกอบรถยนต์ภายในประเทศได้เริ่มได้ใช้แหนบดับที่ผลิตได้ภายในประเทศตั้งแต่นั้นมา โรงงานผลิตแหนบดับในปัจจุบันนี้จึงผลิตแหนบดับเพื่อจำหน่ายให้ทั้งโรงงานประกอบรถยนต์และเพื่อจำหน่ายเป็นอะไหล่ควบคู่ไปด้วย (สำนักงานปลัด กองเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, ม.ป.ป.)

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแหนบดับคือเหล็กท่อนแบนซึ่งมีคุณสมบัติต่างกัน ตามแต่คุณภาพของแหนบดับที่ต้องการจะผลิต ส่วนใหญ่แล้วนำมาจากประเทศญี่ปุ่น ในกรรมวิธีการผลิตนั้นจะนำเข้าวัตถุดิบคือเหล็กท่อนแบนซึ่งนำเข้ามาจากต่างประเทศมาตัดและเจาะรูให้ได้ขนาดตามต้องการ นำเข้าเตาอบเพื่อชุบให้แข็งและตัดโค้ง เมื่อตรวจสอบและพ่นสีแล้วจึงนำออกจำหน่าย สำหรับในเรื่องคุณภาพสามารถผลิตได้ทัดเทียมกับของต่างประเทศ ทั้งนี้เพราะได้รับความร่วมมือจากบริษัทในต่างประเทศหรือโรงงานผู้ประกอบรถยนต์ (สำนักงานปลัด กองเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, ม.ป.ป.)



ภาพที่ 30 แผนผังกรรมวิธีผลิตແหนบสปริง

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2517) ระบุความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมແหนบแผ่นสำหรับรถยนต์และรถพ่วงว่าแผ่นແหนบ (Leaf) หมายถึง แผ่นเหล็กกล้าแบนยาวซึ่งได้ผ่านกระบวนการทางความร้อนมาแล้ว จนได้คุณสมบัติที่ต้องการห้วงແหนบ (Eyes) หมายถึง ห่วงที่ปลายของแผ่นແหนบอันยาว สำหรับใส่สลักยึดศูนย์แผ่นແหนบ (Center Holes) หมายถึง รูสำหรับใส่สลักยึดให้แผ่นແหนบแต่ละแผ่นเรียงซ้อนเข้าด้วยกัน สลักเกลียวยึดแผ่นແหนบ (Center Bolts) หมายถึง สลักเกลียวที่สวมเข้าไปในศูนย์แผ่นແหนบยึดให้แผ่นແหนบติดกันเข็มขัดແหนบ (Clips) หมายถึง เหล็กแผ่นงอรูปตัวอักษร U หรือรูปอื่นๆ เพื่อใช้รัดแผ่นແหนบที่เรียงซ้อนกัน เพื่อกันไม่ให้แผ่นແหนบทั้งหมดหลุดแยกจากกันวัสดุที่ใช้ทำแผ่นແหนบ ต้องเป็นเหล็กกล้าชนิดซิลิกอน-มังกานีส ที่มีเกณฑ์กำหนดส่วนประกอบทางเคมีดังในตารางที่ 2 และผ่านกระบวนการทางความร้อนจนถึงระดับความแข็ง 375 ถึง 444 บริเนล (Brinell) มีรูปหน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ด้านบนและด้านล่างอาจเว้าเข้าได้เล็กน้อย รัศมีความโค้งของผิวหน้าด้านบนและด้านล่างเท่ากัน การวัดความหนาต้องวัดที่จุดซึ่งอยู่ห่างจากขอบของแผ่นແหนบเข้าไปเป็นระยะ 10 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4 ส่วนประกอบทางเคมีต่างๆของแผ่นเหล็กชนิดซิลิกอน-มังกานีส

ธาตุ	แผ่นเหล็กชนิดชุบแข็งด้วยน้ำมัน		แผ่นเหล็กชนิดชุบแข็งด้วยน้ำ	
	ปริมาณร้อยละ		ปริมาณร้อยละ	
	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด
คาร์บอน	0.50	0.65	0.35	0.45
ซิลิกอน	1.50	2.00	1.50	2.00
มังกานีส	0.70	1.00	0.70	1.00
ซัลเฟอร์	-	0.05	-	0.05
ฟอสฟอรัส	-	0.05	-	0.05

อัตราการรับน้ำหนักของแหนบ (Spring Rating) ให้วัดเป็นกิโลกรัมต่อมิลลิเมตร การคำนวณแรงที่กดลงบนแหนบใช้สูตรคำนวณดังนี้

$$P = \frac{2b \sum t_i^3}{3L_w t_m} \cdot b$$

เมื่อ P ไม่ได้กำหนดไว้ ให้ใช้แรงซึ่งทำให้เกิดแรงเค้นที่ผิว (Surface Stress)  $70 \times 9.81$  นิวตันต่อตารางมิลลิเมตรสำหรับเหล็กคาร์บอน (Carbon Steel) และ  $90 \times 9.81$  นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร สำหรับเหล็กอัลลอย (Alloy Steel)

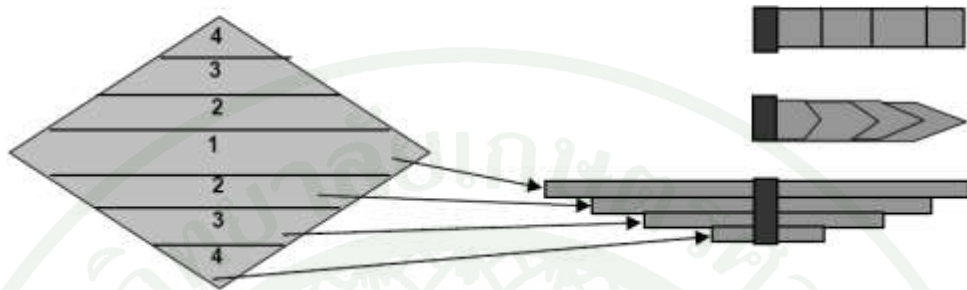
เมื่อ	P	คือ แรงที่กดลงบนแหนบ
	b	คือ ความเค้นที่ผิวของแหนบ เป็นนิวตันต่อตารางมิลลิเมตร
	$t_i$	คือ ความหนาของแหนบแผ่นแต่ละแผ่น เป็นมิลลิเมตร โดยนับเริ่มต้นจากแผ่นแหนบแผ่นบนสุด
	$t_m$	คือ ความหนาสูงสุดของแผ่นแหนบ เป็นมิลลิเมตร
	b	คือ ความกว้างของแผ่นแหนบ เป็นมิลลิเมตร
	$L_w$	คือ ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของท่วงแหนบภายใต้น้ำหนักใช้งานเป็นมิลลิเมตร

ราคาจำหน่ายแหนบตบขึ้นขึ้นอยู่กับชนิด ขนาด และคุณภาพของแหนบตบสำหรับรถยนต์ ยี่ห้ออื่นๆเป็นสำคัญ ราคาที่จำหน่ายในประเทศอาจกล่าวได้ว่ามี 2 ราคา คือหากจำหน่ายให้กับโรงงานประกอบรถยนต์โดยตรงเพื่อประกอบกับรถยนต์ใหม่ จะต่ำกว่าราคาที่จำหน่ายสำหรับใช้เป็นอะไหล่ในท้องตลาดประมาณร้อยละ 20-25 (สำนักงานปลัด กองเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, ม.ป.ป.)

ดังนั้นแหนบสปริง คือเหล็กสปริงหลายแผ่นซ้อนกัน โดยยึดติดกันที่จุดศูนย์กลางแหนบด้วยสลัก (Pin) หรือน็อต (Bolt) และแหวนล็อก (Nut) มีการนำมาใช้ประโยชน์ในการลดความสั่นสะเทือน โดยเฉพาะกับยานพาหนะชนิดต่างๆ เช่น รถยนต์ รถบรรทุก เป็นต้น

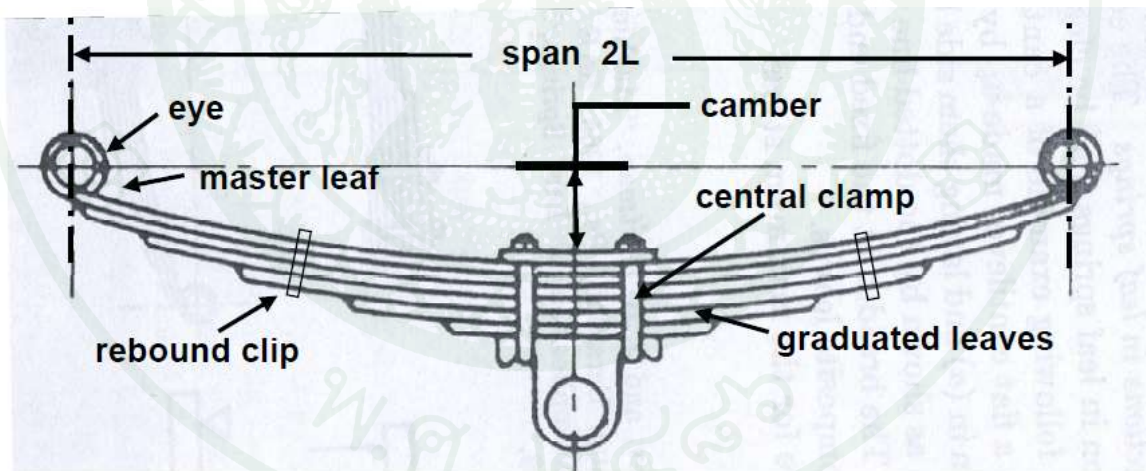
R.S. Khurmi and J.K. Gupta (2005) กล่าวว่าแหนบสปริงที่ใช้ในงานยานยนต์ปัจจุบันมีการซ้อนแหนบ 2 แบบหลัก ดังนี้

1. Laminated Springs ลักษณะแทนเป็นแทนแผ่นตรงซ้อนกัน มีระยะยุบตัวต่อแรงกดน้อย นิยมใช้เป็นแทนบรทุก หรืองานที่รับน้ำหนักมากๆ ดังภาพที่ 31



ภาพที่ 31 การซ้อนแทนแผ่นแบบ Laminated

2. Laminated Semi-Elliptic Springs หรือ Semi-Elliptic Springs มีลักษณะเป็นแทนแผ่นโค้งกึ่งวงรีซ้อนกัน มีระยะยุบตัวต่อแรงกดมากกว่าแบบแรก จึงให้ความนุ่มนวลมากกว่า นิยมใช้กับรถยนต์ รถกระบะ หรือเป็นแทนหัวรถบรทุก ดังภาพที่ 32



ภาพที่ 32 การซ้อนแทนแบบ Semi-Elliptic

ส่วนประกอบของชุดแทนสปริง แบบ Semi-Elliptic จากภาพที่ 33 ชุดแทนสปริงที่พร้อมใช้งานจะมีส่วนประกอบหลักดังนี้

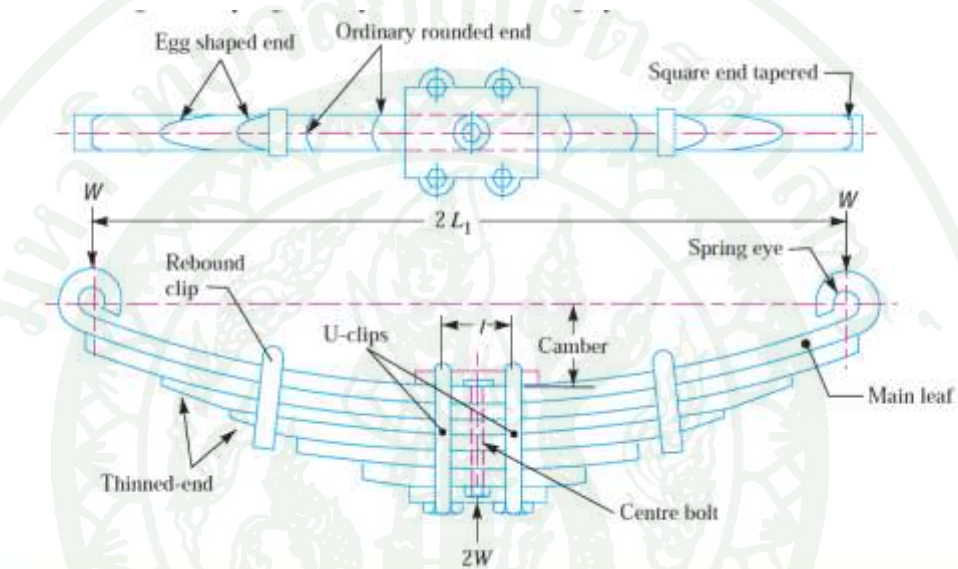
Rebound Clip คือ เข็มขัดรัดปลายแทนสปริง

U-Clips คือ เข็มขัดรัดกลางแทนสปริง ทำหน้าที่ยึดแทนกับเพลลา

Centre Bolt คือ น๊อตยึดแหนบทั้งดับให้ติดกัน ยึดที่ตำแหน่งศูนย์กลางของแหนบทุกแผ่น

Spring Eye คือ ตำแหน่งยึดหูแหนบกับตัวถังรถ

Camber คือ ระยะห่างของปลายแหนบและกลางแหนบในแนวระดับ



ภาพที่ 33 รายละเอียดชุดแหนบสปริง

การคำนวณอัตราการรับน้ำหนักของแหนบสปริง มีวิธีการคำนวณ 2 แบบ คือแบบ Cantilever Beam และ Simply Supported Beam

กรณีให้แหนบสปริงเป็นแบบ Cantilever Beam จะสามารถคำนวณหาค่า ความเค้นสูงสุด และระยะการให้ตัวสูงสุดได้ดังนี้

$$\sigma = \frac{6WL}{bt^2}$$

$$\delta = \frac{4WL^3}{Ebt^3} = \frac{2\sigma L^2}{3Et}$$

โดย  $\sigma$  คือค่าความเค้นสูงสุด

$\delta$  คือระยะการให้ตัวสูงสุด

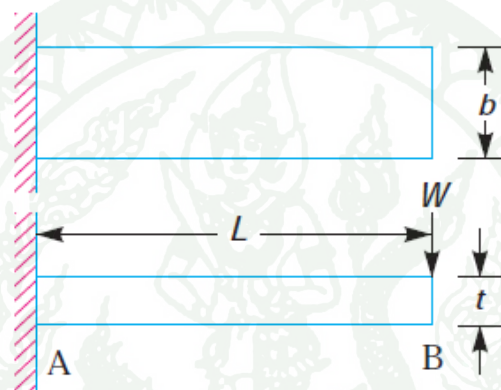
E คือค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของแหวนสปริง

b คือความกว้างแผ่นแหวนสปริง

t คือความหนาแหวนสปริง

L คือความยาวแหวนสปริง

W คือแรงที่กระทำต่อแหวนสปริง



ภาพที่ 34 Cantilever Beam

กรณีให้แหวนสปริงเป็นแบบ Simply Supported Beam จะสามารถคำนวณหาค่า ความเค้นสูงสุดและระยะการให้ตัวสูงสุดได้ดังนี้

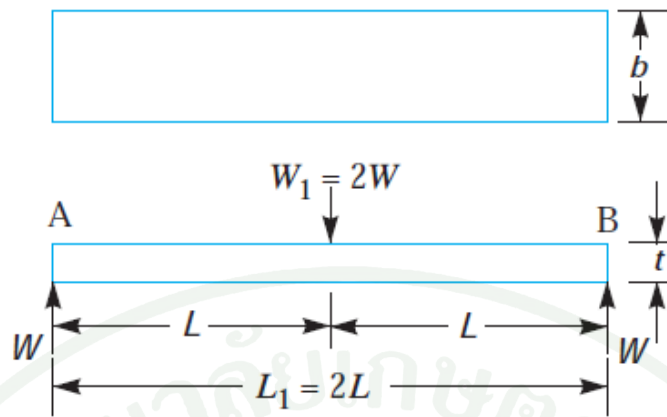
$$\sigma = \frac{6WL}{bt^2}$$

$$\delta = \frac{WL^3}{3EI}$$

เมื่อ

I

คือโมเมนต์ความเฉื่อย

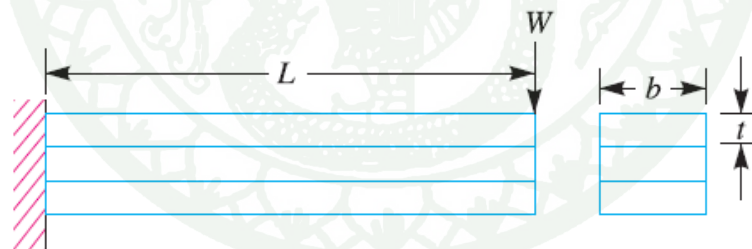


ภาพที่ 35 Simply Supported Beam

กรณีแผ่นรดยนต์ มีการซ้อนแบบ Semi-Elliptic Springs ให้คิดแบบ Cantilever Beam จำนวน 2 รอบโดยที่ความยาวแผ่นแทนคือ  $2L$  และจำนวนแผ่นแทนคือ  $n$

$$\sigma = \frac{6WL}{nbt^2}$$

$$\delta = \frac{4WL^3}{nbEt^3} = \frac{2\sigma L^2}{3Et}$$



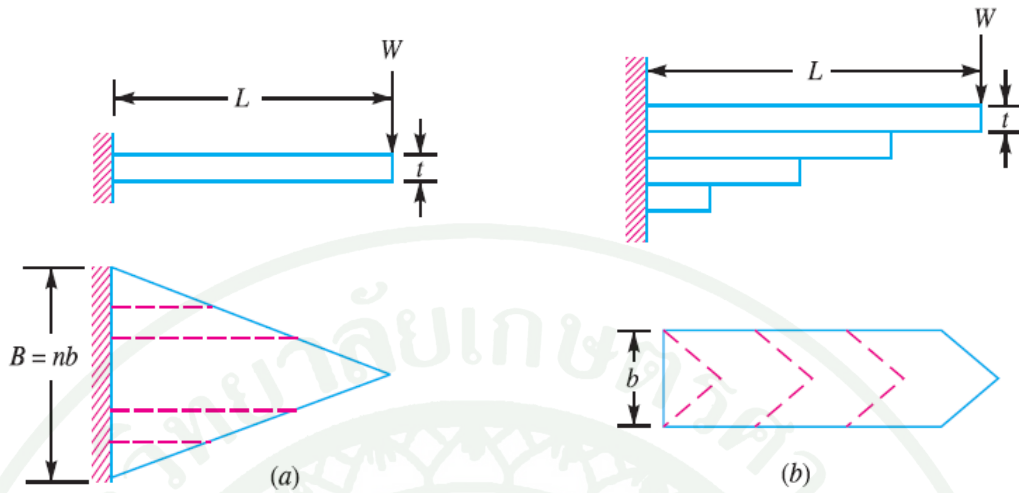
ภาพที่ 36 Free Body of Semi-Elliptic Springs

กรณีแผ่นสปริงมีความยาวไม่เท่ากัน มีปลายแทนเป็นมุมตัดรูปสามเหลี่ยม ดังภาพที่ 37 ค่าความเค้น (Stress) จะมีค่าสม่ำเสมอตลอด จะประยุกต์การคิดแบบ Cantilever Beam ได้คือ

$$\sigma = \frac{6WL}{nbt^2}$$

$$\delta = \frac{6WL^3}{nbEt^3} = \frac{\sigma L^2}{3Et}$$

$n$  คือจำนวนแผ่นแทนด้านบน



ภาพที่ 37 แหนบสปริงแบบปลายแหนบสามเหลี่ยม

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ราวุฒิ (2550) นำศึกษาการพัฒนาอุปกรณ์ลดการอัดแน่นของดินในไร้อ้อยพบว่า ผลผลิตของอ้อยลดลงเนื่องมาจากการอัดแน่นของดินเกิดทั้งในบริเวณชั้นไถพรวนและบริเวณใต้ชั้นไถพรวน การบรรเทาการอัดแน่นของดินสามารถทำได้โดยใช้ไถระเบิดดินดานหรือรีเปอร์กับรถแทรกเตอร์ที่มีขนาดใหญ่และกำลังจุดลากสูง การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้บรรเทาการอัดแน่นของดินในระหว่างการปลูกอ้อย โดยทำการศึกษาลักษณะของเครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ โดยได้ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสมบัติดิน เช่น การแตกตัวของดิน ความหนาแน่นดิน อัตราการซึมน้ำ ค่าความต้านทานการแทงทะลุ และแรงจุดลากที่ใช้ จากผลการทดลองพบว่า ไกล่แบบที่ 4 คือ ไกล่รูปตัว C มีมุมไถ 30 องศา นั้นให้ผลโดยรวมของสมบัติดินหลังไถดีที่สุด ทั้งความหนาแน่นที่ลดลง ความต้านทานการแทงทะลุของดิน การแตกตัวของดิน และอัตราการซึมน้ำ รองลงมาคือ ไกล่แบบที่ 3 แบบที่ 2 และแบบที่ 1 ตามลำดับ แต่ในส่วนของแรงจุดลากที่ต้องการพบว่า ไกล่แบบที่ 4 นั้นต้องการแรงจุดลากสูงสุด มีค่าเฉลี่ย 16.26 kN รองลงมาคือ ไกล่แบบที่ 2 ไกล่แบบที่ 3 และไกล่แบบที่ 1 ซึ่งต้องการแรงจุดลากต่ำสุดมีค่าเฉลี่ย 6.77 kN เมื่อทำการเปรียบเทียบแรงจุดลากต่อพื้นที่การแตกตัวของดินพบว่า ไกล่แบบที่ 3 ให้ค่าอัตราส่วนน้อยที่สุดมีค่าเฉลี่ย  $6.00 \text{ N/cm}^2$  ส่วนอิทธิพลของความชื้นนั้นพบว่า เมื่อค่าความชื้นของดินสูง ส่งผลให้การแตกตัวของดินน้อยลง และค่าแรงจุดลากที่ต้องการลดลง ดังนั้น ไกล่รูปตัว C มีมุมไถ 30 องศา และไกล่เอียง 60 องศา มีมุมไถ 30 องศา น่าจะมีความเหมาะสมในการใช้เป็นอุปกรณ์บรรเทาการอัดแน่นของดินในไร้อ้อย

กิตติคุณ (2552) นำเสนองานวิจัยเรื่องการศึกษาค่าปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะของไถดินดานชนิดสั้นทั้งโครงพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะของไถระเบิดดินดานชนิดสั้นทั้งโครง โดยใช้ชุดไถที่

ประกอบด้วยขาไถจำนวน 3 ขา ยึดติดกับโครงและชุดลูกตุ้มไม่สมดุลยึดติดกับเพลลา ซึ่งได้รับกำลังขับเคลื่อนจากเพลลาอำนาจกำลังของรถแทรกเตอร์ขนาด 87 แรงม้า การทดลองทำในพื้นที่ดินร่วนเหนียวปนทราย ความชื้นดิน 12.32 % (db) ความหนาแน่นดินสภาวะแห้งเฉลี่ย  $1.62 \text{ g/cm}^3$  และค่าความต้านทานการแทงทะลุของดินเฉลี่ย 2.5 MPa ที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ 3 ระดับ (1.39, 2.09 และ 3.43 กม./ชม.) ความถี่ในการสั่น 4 ระดับ (0, 9, 11 และ 13 Hz) และความกว้างในการสั่น 2 ระดับ ( $y=6.17, z=5.47$  มม.) และ ( $y=10.07, z=8.13$  มม.) การทดลองเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีเปิดดินดานแบบไม่สั่น พบว่า การสั่นสามารถลดแรงฉุดลากมากที่สุด 19.26% และเมื่อสั่นที่ความถี่ 13 Hz จะเพิ่มพื้นที่การแตกตัวของดิน 28.8% เมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้แรงฉุดลากและกำลังรวมเพิ่มขึ้น โดยสรุปพบว่าความเร็วรถแทรกเตอร์ส่งผลกระทบต่อแรงฉุดลากและกำลังรวม ส่วนความถี่และความกว้างในการสั่นนั้นส่งผลกระทบต่อแรงฉุดลากและพื้นที่การแตกตัวของดิน

วัชรชาญ (2555) นำเสนอการศึกษาศักยภาพการขนส่งอ้อยด้วยรถแทรกเตอร์ลากเทรลเลอร์ พบว่า การขนส่งมีต้นทุนค่อนข้างสูงในกระบวนการผลิตทางการเกษตร มีความซับซ้อนและมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องมาก การขนส่งอ้อยจากแหล่งเพาะปลูกไปยังโรงงาน ในปัจจุบันใช้รถบรรทุกซึ่งต้องเสียค่าลงทุนในการจัดการบรรทุกเพื่อนำมาใช้งาน อย่างไรก็ตามในการเพาะปลูกอ้อยมีการใช้รถแทรกเตอร์ เพื่อเตรียมแปลงเพาะปลูก การปลูก และการดูแลรักษา ซึ่งคิดเป็นช่วงเวลาในการทำงานประมาณ 4 เดือน ใน 1 ปี ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพของรถแทรกเตอร์ลากเทรลเลอร์ เมื่อนำมาใช้ในการขนส่งอ้อยไปยังโรงงาน เปรียบเทียบกับการใช้รถบรรทุกสลิปล้อในปัจจุบัน จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ปลูกอ้อย ผู้ขนส่งอ้อย ผู้บริหารโรงงานน้ำตาล พบว่า การใช้รถแทรกเตอร์ลากเทรลเลอร์มีน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ยต่อเที่ยววิ่งสูงกว่ารถบรรทุกสลิปล้อ การขนส่งอ้อยด้วยรถแทรกเตอร์ลากเทรลเลอร์มีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันน้อยกว่าการใช้รถบรรทุกสลิปล้อในระยะทางที่เท่ากัน ความแตกต่างของอัตราการสิ้นเปลืองนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางที่วิ่ง นอกจากนี้ยังพบว่าค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษารถแทรกเตอร์มีค่าต่ำกว่าค่าบำรุงรักษารถบรรทุก ในระยะทางที่เท่ากันรถแทรกเตอร์จะใช้เวลาในการทำงานน้อยกว่ารถบรรทุก และจากการวิเคราะห์แบบจำลองโดยโปรแกรม LINDO 6.1 พบว่าในพื้นที่กำหนดมีการเลือกใช้รถแทรกเตอร์ลากเทรลเลอร์ในการขนส่งสูงกว่ารถบรรทุกสลิปล้อ และเมื่อเพิ่มจำนวนเที่ยววิ่งเป็น 85 เที่ยววิ่งต่อวัน การขนส่งจะทำโดยใช้รถแทรกเตอร์ลากเทรลเลอร์ทั้งหมด ส่วนผลจากการใช้โปรแกรม CPLEX การใช้รถบรรทุกสลิปล้อในการขนส่งเทียบกับการใช้รถแทรกเตอร์ลากเทรลเลอร์ พบว่ารถแทรกเตอร์มีต้นทุนค่าใช้จ่ายต่ำกว่า แต่มีจำนวนรถในการขนส่งมากกว่า และเมื่อนำรถบรรทุกสลิปล้อใช้งานกับรถแทรกเตอร์ลากเทรลเลอร์พบว่าจะมีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดเมื่อเลือกใช้รถแทรกเตอร์ลากเทรลเลอร์ จำนวน 188 คันต่อวัน และรถบรรทุกสลิปล้อ 8 คันต่อวัน

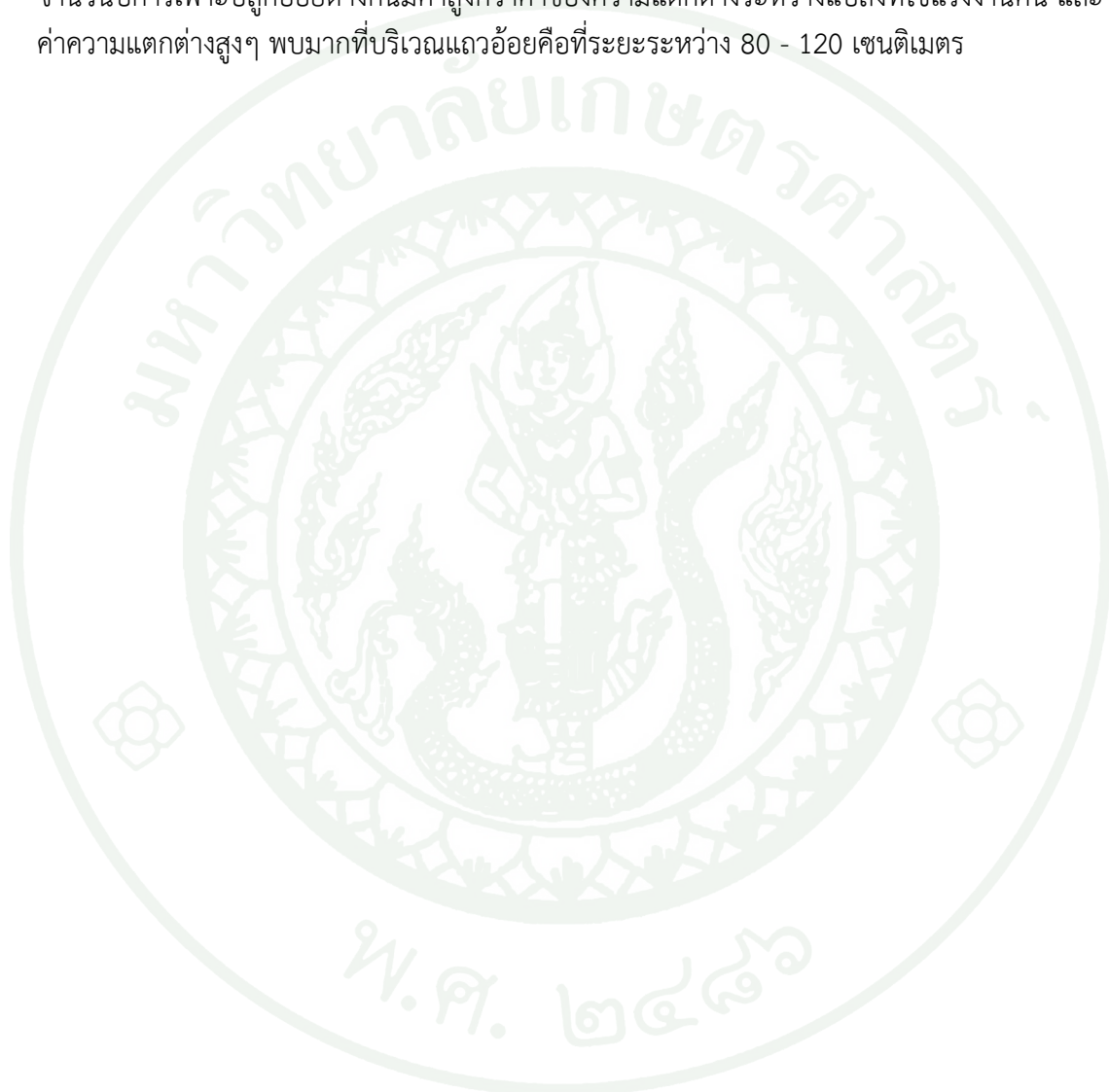
Niyamapa and Salokhe (2000) ศึกษาถึงพื้นที่การแตกตัวของดินและกำลังของอุปกรณ์ไถแบบสันสะเทือนในพื้นที่ดินร่วนปนทรายพบว่า แรงฉุดลากของอุปกรณ์ไถแบบสันสะเทือนมีการเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆเมื่อเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ หลังจากนั้นจึงค่อยๆลดลง แต่ในอุปกรณ์ไถแบบไม่สันสะเทือนนั้น แรงฉุดลากจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อเพิ่มความเร็วการเคลื่อนที่ โดยอัตราส่วนแรง

มูลค่าของอุปกรณ์ไถแบบสันสะเทือนต่ออุปกรณ์ไถแบบไม่สันสะเทือนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.63 ถึง 0.93 ต่อ 1 กำลังสุทธิสำหรับอุปกรณ์ไถแบบสันสะเทือน กำลังสุทธิที่ต้องการของอุปกรณ์ไถแบบสันสะเทือนมีค่ามากกว่าอุปกรณ์ไถแบบไม่สันสะเทือน 41 – 45 เปอร์เซ็นต์ การแตกตัวของดินมีการแตกตัว การฟูและการยกตัวตามลักษณะของการสันสะเทือนของอุปกรณ์ และความหนาแน่นโดยรวมของดินหลังจากผ่านการไถด้วยอุปกรณ์ไถแบบสันสะเทือนลดลงมากกว่าการไถแบบไม่สันสะเทือน 70 – 270 เปอร์เซ็นต์

ประเทืองและธัญญา (2547) ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างระดับการอัดแน่นของดินและการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยนั้นศึกษาโดยทำการทดลองเพาะปลูกอ้อยในแปลงทดลอง โดยออกแบบการทดลองเป็นแบบ RCBD 4 ระดับการอัดแน่นดินในแปลง 4 ซ้ำหรือบล็อกเพื่อกำจัดอิทธิพลของการให้น้ำแบบร่องคู ได้ทำการปลูกอ้อยในแปลงที่มีระดับการอัดแน่นดินต่างกัน 4 ระดับที่ได้จากการเตรียมดินบดอัดด้วยรถแทรกเตอร์ที่ 0, 5, 15 และ 20 เทียววิ่ง เพื่อให้ได้สภาพของแปลงใกล้เคียงกับแปลงที่ทำการเพาะปลูกอยู่จริง ผลจากการทดลองพบว่าระดับการอัดแน่นของดินมีอิทธิพลทางลบต่อทั้งการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อย แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความหวานของอ้อย โดยผลผลิตในแปลงที่มีการอัดบด 15 เทียววิ่งมีผลผลิตต่ำสุดมีค่าลดลงถึง 22.90% เมื่อเปรียบเทียบกับผลผลิตของแปลงที่ไม่ได้บดอัด แต่ในแปลงที่มีการบดอัด 20 เทียววิ่ง ชั้นอัดแน่นสูงสุดของดินค่อนข้างอยู่ใกล้ผิวดินทำให้ดินมีความชื้นสูงหลังการให้น้ำส่งผลให้ค่าความต้านทานการแทงทะลุของดินบริเวณดังกล่าวลดลง รากอ้อยซึ่งสามารถแทงทะลุได้ง่าย ทำให้การเจริญเติบโตหลังจากเดือนที่ 2 มีค่าใกล้เคียงกับแปลงที่ไม่ได้บดอัด แต่อย่างไรก็ตามผลผลิตของอ้อยในแปลงที่มีการบดอัดที่ 20 เทียววิ่งมีค่าต่ำกว่าแปลงที่ไม่ได้บดอัดมากโดยมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับแปลงที่มีการบดอัดที่ 15 เทียววิ่ง ทั้งคงเนื่องมาจากแปลงดังกล่าวมีอัตราการงอกต่ำ ส่วนอิทธิพลของบล็อกหรือการให้น้ำส่งผลอย่างมีนัยสำคัญยิ่งต่อทั้งการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อย และมีแนวโน้มในการช่วยลดอิทธิพลของการอัดแน่นของดินลงด้วย

ในการศึกษาถึงสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของดินในแปลงเพาะปลูกอ้อยนั้น ได้ทำการสำรวจเก็บข้อมูลความต้านทานการแทงทะลุของดิน ความหนาแน่นดิน และความชื้นในแปลงปลูกอ้อยทั้งหมด 16 แปลง แบ่งเป็นแปลงที่ทำการเพาะปลูกที่ใช้เครื่องจักรกลการเกษตรเป็นหลัก 10 แปลง และแปลงที่ใช้แรงงานคนเป็นหลัก 6 แปลง จากการสำรวจพบว่าความหนาแน่นของดินในแปลงที่ใช้เครื่องจักรกลการเกษตรที่มีค่าสูงกว่าแปลงที่ใช้แรงงานคนอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าเฉลี่ยมากกว่าแปลงที่ใช้แรงงานคนถึง 12.6% นอกจากนี้แปลงที่มีจำนวนปีเพาะปลูกของอ้อยสูงกว่ามีแนวโน้มของค่าความหนาแน่นของดินสูงกว่าด้วย ผลการวิเคราะห์เส้นระดับค่าความต้านทานการแทงทะลุของดินในแปลงทำให้ทราบว่า ทุกแปลงที่ทำการสำรวจพบการอัดแน่นของดินมีค่ามากที่ความลึกตั้งแต่ 50 เซนติเมตร ลงไปซึ่งเป็นระดับความลึกใต้ชั้นไถพรวน สะท้อนถึงปัญหาการเกิด Subsoil Compaction ส่วนในชั้นไถพรวนนั้นแปลงที่ใช้เครื่องจักรกลการเกษตรมีการอัดแน่นของดินมากกว่าและมีการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ โดยบางบริเวณมีค่าความต้านทานการแทงทะลุของดินมากกว่า 2 MPa โดยเฉพาะอย่างยิ่งแปลงที่มีจำนวนปีการเพาะปลูกของอ้อยสูง ส่วนแปลงที่ใช้แรงงานคนเป็นหลักพบว่ามีการกระจายตัวของดินค่อนข้างสม่ำเสมอและทุกแปลงมีค่าความต้านทาน

การแทงทะลุของดินต่ำกว่า 2 MPa นอกจากนี้จากการศึกษาค่าสหสัมพันธ์ยังพบว่าแปลงที่ใช้แรงงานคนเป็นหลักมีรูปแบบการอัดแน่นของดินที่คล้ายคลึงกันมากกว่าแปลงที่ใช้เครื่องจักรกลการเกษตร และลักษณะการอัดแน่นที่คล้ายคลึงกันนี้มีมากที่ระดับความลึกในช่วง 40 เซนติเมตร และจากการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของการแทงทะลุของดินในรูปแบบค่ามาตรฐานสามารถบ่งบอกได้ว่า การใช้เครื่องจักรการเกษตรทำให้มีค่าความแตกต่างของความหนาแน่นของดินระหว่างแปลงที่มีจำนวนปีการเพาะปลูกอ้อยต่างกันมีค่าสูงกว่าค่าของความแตกต่างระหว่างแปลงที่ใช้แรงงานคน และค่าความแตกต่างสูงๆ พบมากที่บริเวณแถวอ้อยคือที่ระยะระหว่าง 80 - 120 เซนติเมตร



## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

1. รอกโซ่แบบมีขาตั้งติดล้อ ขนาด 2 ตัน
2. Tractor (MASSEY-FERGUSON รุ่น 390 เกียร์ 12 speed ขับเคลื่อน 4 ล้อ)
3. กระบอกลึบตัวอย่างดิน (Core Sampling)
4. ครอบป้องกันดิน
5. ตลับเมตร
6. นาฬิกาจับเวลา
7. หลักปักวัดระยะ
8. ตาชั่ง (ความละเอียด 0.01 กรัม)
9. ตู้อบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้
10. กล้องถ่ายรูป
11. ปูนขาว
12. Profile Meter
13. Universal Testing Machine (Instron 5569)
14. Cone Penetrometer
15. กระดาษบันทึกข้อมูลขนาดมาตรฐาน (Units in MPa)
16. Multitester Meter
17. Strain Gage

- 17.1 ติดตั้งที่ Top Link
- 17.2 ติดตั้งที่ Lower Link Pins
18. Displacement Transducer
19. Magnetic Pick-Up
20. Electronics Data Recorder (KYOWA EDX-100A)
21. สายนำสัญญาณ
22. แบตเตอรี่ 12 V 50 Amp
23. Notebook
24. เชือกขึงแปลง
25. สว่านเจาะดินขนาด 6.5 นิ้ว
26. แท่งปูนขนาด 4 x 4 นิ้ว สูง 50 เซนติเมตร
27. โหลดเซลล์ KYOWA (Tension) ขนาด 5 ตัน
28. ระดับน้ำวัดระนาบ
29. แท่นกดไฮดรอลิกส์ขนาด 15 ตัน

#### วิธีการ

1. ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลความเสียหายของการไถระเบิดดินดานที่เกิดขึ้นจากแหล่งข้อมูลต่างๆ ได้แก่ เกษตรกร ผู้ประกอบการผลิตเครื่องจักรกลการเกษตร รายงานการวิจัย กรมส่งเสริมการเกษตร และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาข้อมูลของแหวนสปริงสำหรับการออกแบบ พิจารณาถึงขนาดและความเหมาะสมของราคาแหวนสปริงที่เลือกใช้

3. สรุปรูข้อมูลจากการศึกษาและการแก้ปัญหาเพื่อเป็นแนวทางการออกแบบไถระเบิดดินดานแบบยกตัวได้โดยใช้แหวนสปริงรถยนต์
4. ออกแบบอุปกรณ์ไถระเบิดดินดาน ทำการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อทดสอบแบบ
5. วิเคราะห์ผลการจำลองสถานการณ์จากคอมพิวเตอร์เพื่อปรับแก้แบบ แล้วทดสอบแบบด้วยคอมพิวเตอร์จนสำเร็จ
6. ทดสอบหาค่านิจของแหวนสปริงด้วยแท่นกดไฮดรอลิกส์และทำการทดลองเปรียบเทียบในคอมพิวเตอร์
7. สร้างอุปกรณ์แต่ละชนิดสำหรับประกอบเป็นไถระเบิดดินดานแบบยกตัวได้โดยใช้แหวนสปริง
8. ทดสอบหาระยะการยกตัวโดยการให้แรงฉุดลากด้วยรถแทรกเตอร์ที่ปลายขาไถ
9. ปรับแก้ระยะยึดหูแหวน เสริมแหวน ให้เหมาะสมกับการไถ โดยคำนึงถึงการยกปลายขาไถทั้งในสภาวะไถปกติและมีสิ่งกีดขวางในดิน
10. เตรียมแปลงสำหรับการทดสอบไถ กำหนดจุดและฝั่งแห่งปูนสิ่งกีดขวางในดิน โรยปูนขาวบนแนวการไถและจุดวัดพื้นที่การแตกตัว
11. เก็บข้อมูลดินในแปลงทดสอบก่อนไถ ได้แก่ ความต้านทานการแทงทะลุและความชื้นดิน
12. ทดสอบไถในแปลงทดสอบ
13. เก็บข้อมูลหลังการไถ ได้แก่ วัดพื้นที่การแตกตัวดิน ระยะเคลื่อนและความลึกของแห่งปูนที่ฝังอยู่ในดิน
14. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

## แผนการทดลอง

### การทดสอบหาค่านิจแหนบสปริง

1. กตแหนบสปริงในแนวตั้งด้วยแท่นกตไฮดรอลิกส์เพื่อหาระยะยุบตัวแหนบจากระดับปกติ นำค่าเฉลี่ยระยะยุบไปสร้างสมการเส้นตรงเพื่อหาค่านิจแหนบสปริง

### การทดสอบหาระยะยกตัวขาไถด้วยแรงฉุดลาก

1. ให้แรงฉุดลากที่ปลายขาไถ โดยพวงไถระเบิดดินดานกับรถแทรกเตอร์ ยึดปลายขาไถเข้ากับโพลดเซลล์ ใช้กำลังจากรถแทรกเตอร์เป็นแรงฉุดลากที่ปลายขาไถ 0.5, 1, 1.5 และ 2 ตัน บันทึกระยะเวลายกตัวขาไถ

### การทดสอบไถในแปลง

1. ฝังแท่งปูนสิ่งกีดขวางในดิน จำนวน 1 แท่งต่อหน่วยทดลอง โดยฝังในแนวตั้ง ที่ระดับความลึก 3 ระดับ ดังนี้

- ระดับความลึก 20 เซนติเมตร
- ระดับความลึก 30 เซนติเมตร
- ระดับความลึก 40 เซนติเมตร

2. เกียร์และการขับเคลื่อน

- เกียร์ Low Low 1
- ขับเคลื่อน 4 ล้อ
- ตั้งรอบเครื่องยนต์เท่ากันทุกการทดสอบ

3. การตั้งมุมแหนบสปริง

- ปลายแหนบสปริงแผ่นหุแหนบ ทำมุม 45 องศา กับแนวระดับ

4. รูปแบบการซ้อนแผ่นแหนบ 2 รูปแบบ

- รูปแบบที่ 1 ซ้อนแผ่นแหนบจำนวน 2 แผ่น (L1)
- รูปแบบที่ 1 ซ้อนแผ่นแหนบจำนวน 3 แผ่น (L2)

### 5. หาความชื้นดินก่อนไถ

เก็บตัวอย่างดินแบบสุ่มในแปลงทดสอบ 2 ระดับความลึก คือ 30 และ 50 เซนติเมตร โดยเก็บดิน 8 ตัวอย่างต่อความลึกเพื่อนำมาหาค่าความชื้นเฉลี่ย

### 6. หาค่าความต้านทานการแทงทะลุของดิน

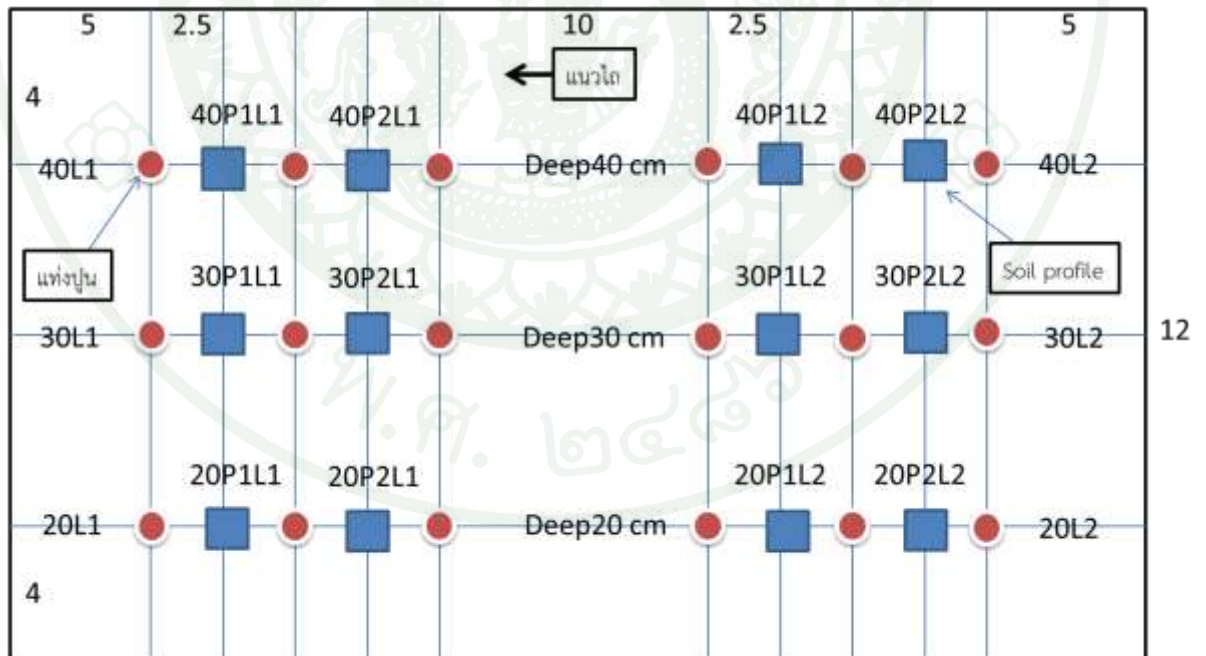
เก็บค่าความต้านทานการแทงทะลุของดิน ช่วงความลึกตั้งแต่ 5 - 50 เซนติเมตร โดยเก็บแบบสุ่ม 12 ตัวอย่าง เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย

### 7. ความลึกการไถ 55 เซนติเมตร

การทดสอบไถในแปลง มี 2 ปัจจัย 3 ทรีตเมนต์ ดังภาพที่ 38 ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

$$= 2 \times 3 \times 3$$

$$= 18 \text{ หน่วยทดลอง}$$



25

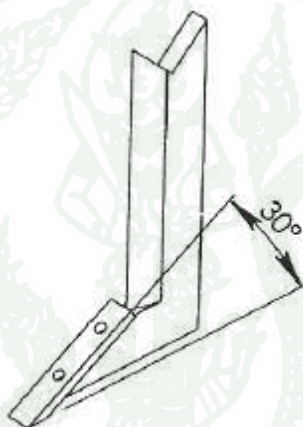
ภาพที่ 38 ผังการทดลอง

## รายละเอียดการทดลอง

### 1. ขั้นตอนการออกแบบและสร้าง

#### ตัวขาโลหะเปิดดินดาน

ราวุฒิ (2550) ได้ออกแบบขาโลหะเปิดดินดาน ทำการศึกษาและวิเคราะห์แรงที่กระทำต่อขาโลหะเปิดดินดานขณะใดที่สภาวะความขึ้นดินต่างๆ พบว่าขาโลหะแบบขาตรง มุมไถ 30 องศา มีค่าแรงฉุดลากเฉลี่ยสูงสุดที่ 16 kN ที่ความขึ้นดินเฉลี่ย 21.75% และมีค่าแรงฉุดลากเฉลี่ยต่ำสุดที่ 7.5 kN ที่ความขึ้นดินเฉลี่ย 15.71% ขาโลหะเปิดดินดานแบบขาตรง มุมไถ 30 องศา นี้มีขนาดความสูง 600 มิลลิเมตร หนา 32 มิลลิเมตร ปลายไถยาว 300 มิลลิเมตร ไถที่มีความลึก 500 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 39



ภาพที่ 39 แบบขาไถ ขาตรง มุมไถ 30 องศา

#### การคำนวณในการออกแบบขาไถ

ราวุฒิ (2550) ออกแบบขนาดของขาไถเพื่อความแข็งแรงของขาไถโดยใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด ที่นำเสนอโดย วริทธิ์และชาญ (2541) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

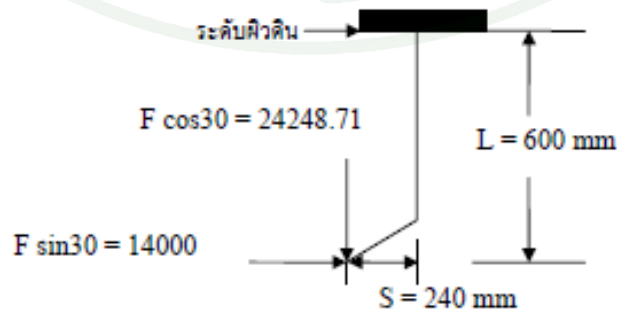
$$M = F \times L$$

$$\sigma = \frac{M_c}{I}$$

$$\frac{1}{N} = \sqrt{\left(\frac{z}{z_y}\right)^2 + \left(\frac{\sigma}{\sigma_y}\right)^2}$$

เมื่อ	$M$	=	โมเมนต์ดัด (N.m)
	$F$	=	แรงที่กระทำต่อขาไถ (N)
	$L$	=	ระยะทางจากจุดหมุนถึงแนวที่แรงกระทำ (m)
	$I$	=	โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัด ( $m^4$ )
	$c$	=	ระยะแกนสะเทิน (m)
	$N$	=	ค่าความปลอดภัย
	$\sigma$	=	ความเค้น ( $N/m^2$ )
	$h$	=	ความหนาของขาไถ (m)
	$b$	=	ความกว้างของขาไถ (m)
	$A$	=	พื้นที่หน้าตัดของขาไถ = $b \times h$ ( $m^2$ )
	$z$	=	ความเค้นเฉือน ( $N / m^2$ )

กำหนดให้ แรงที่กระทำต่อไถมีค่าเท่ากับแรงจุดลาก 14,000 N ตามที่แนะนำโดย ธรรมนูญ และชัยรัตน์ (2539) ความลึกในของไถ คือ 600 mm ความกว้าง 120 mm และให้ค่าความปลอดภัยมีค่า 1 และเหล็กที่ใช้สร้างเป็นเหล็กเหนียวมีค่าความเค้นคราก  $303.38 \text{ N/mm}^2$  ดังภาพที่ 40 สามารถคำนวณความหนาของขาไถได้ดังนี้



ภาพที่ 40 แรงที่กระทำต่อขาไถแบบขาตรง มุมไถ 30 องศา

$$M = 14000 \times L + 24248.71 \times S$$

$$= 14219690.40 \text{ N.m}$$

$$\sigma = Mc/I + F/A$$

$$= 14219690.4 \times 60 \times 12 / (h \times 120^3) + F \cos 30 / 120h$$

$$= 5924.87/h + 101.04/h$$

$$= 6025.91/h$$

$$\frac{1}{N} = \sqrt{(z/z_y)^2 + (\sigma/\sigma_y)^2}$$

$$1/1 = 6025.91/h \times 1/303.38$$

$$h = 6025.91/303.38 = 19.86 \text{ mm}$$

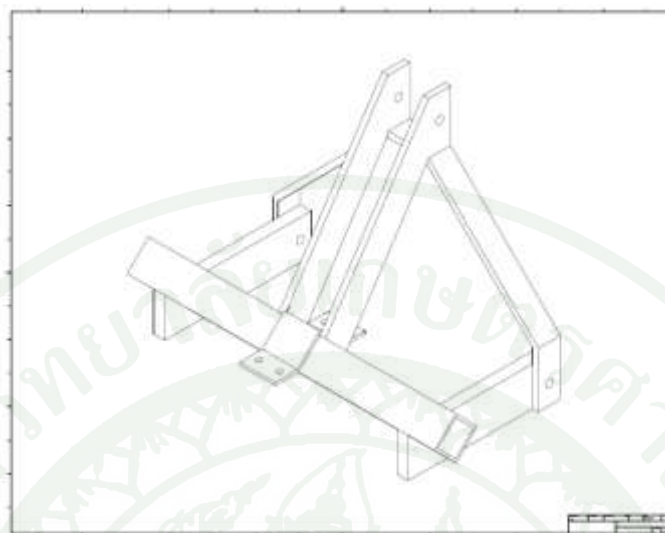


ภาพ 41 ขาโต๊ะแบบขาตรง มุม 30 องศา

โครงขาโต๊ะ

ออกแบบโครงยึดขาโต๊ะให้สามารถต่อพ่วงกับจุดต่อพ่วงสามจุดของรถแทรกเตอร์ Category II และสามารถต่อติดกับอุปกรณ์สำหรับวัดค่าแรงจุดลากได้ด้วย ลักษณะประกอบด้วยส่วนหลักคือจุดต่อ

พวงห้อย 3 จุดและคานยึดขาไถ ดังภาพที่ 42



ภาพที่ 42 โครงขาไถ

การสร้างโครงขาไถ

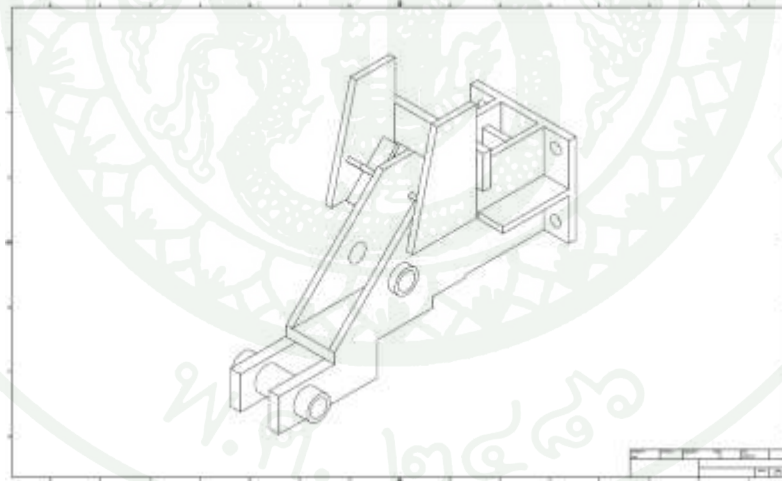
1. นำเหล็กมาเจาะรูขนาด 19 mm เพื่อการประกอบเป็นโครงไถ
2. ส่วนประกอบของโครงขาไถ
  - 2.1 เหล็กขนาด กว้าง x ยาว x หนา = 13 x 50 x 3.8 เซนติเมตร เป็นคานของโครงไถ สำหรับรองรับคานของขาไถ ก้านพนมและสลักยึดกับแกนกลางของรถแทรกเตอร์
  - 2.2 เหล็กฉากขนาด 10 x 100 x 0.6 เซนติเมตร 2 ชิ้น นำมาเชื่อมติดกันเพื่อเป็นคานสำหรับจับยึดขาไถ
  - 2.3 เหล็กขนาด 7.3 x 85 x 1.9 เซนติเมตร 2 ชิ้น นำมาเจาะรูและขึ้นรูปตามแบบเป็นก้านพนม
  - 2.4 เหล็กขนาด 7.3 x 82 x 1.9 เซนติเมตร 2 ชิ้น นำมาเชื่อมเป็นโครงยึดระหว่างคานของขาไถและก้านพนม ดังภาพที่ 43



ภาพที่ 43 ก้านพนมและโครงยึดระหว่างคานขาไถ

ออกแบบชุดหมุนขาไถ

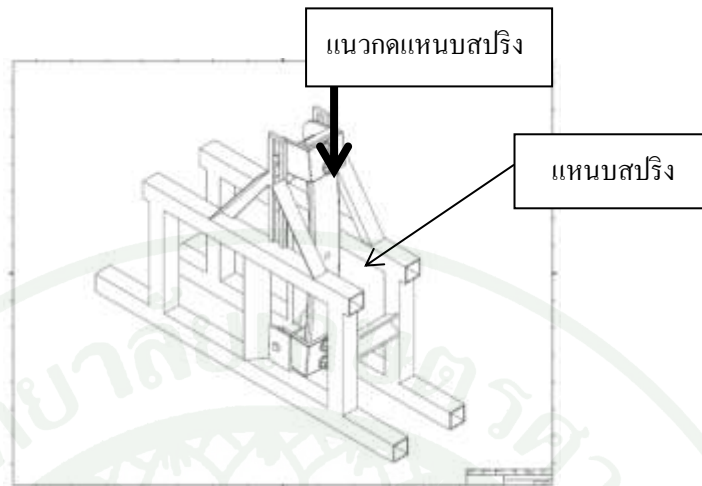
ชุดหมุนขาไถมีหน้าที่ยึดขาไถกับโครงไถ ประกอบด้วยบุชประกอบขาไถให้หมุนได้ ไม่ฝืดควบคุมระยะเริ่มต้นหมุนขาไถให้อยู่ในแนวตั้งฉากกับแนวไถ ดังภาพที่ 44



ภาพที่ 44 ชุดหมุนขาไถ

ออกแบบชุดทดสอบค่านิจแหวนสปริง

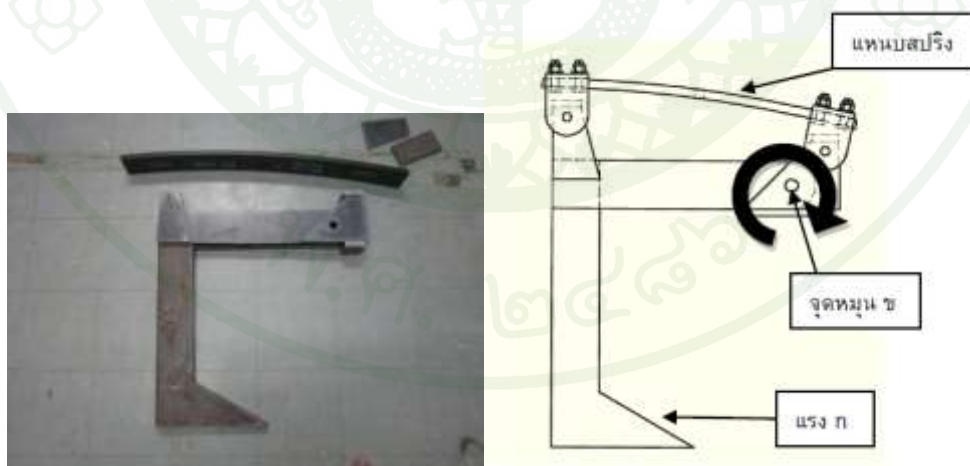
เพื่อหาขนาดของแหวนสปริงรถยนต์ที่เหมาะสมโดยคำนึงถึงระยะยกตัวผลัดไถ แรงที่กระทำต่อแหวนสปริง ทำการทดสอบหาค่านิจสปริงของแหวนสปริง ดังภาพที่ 45



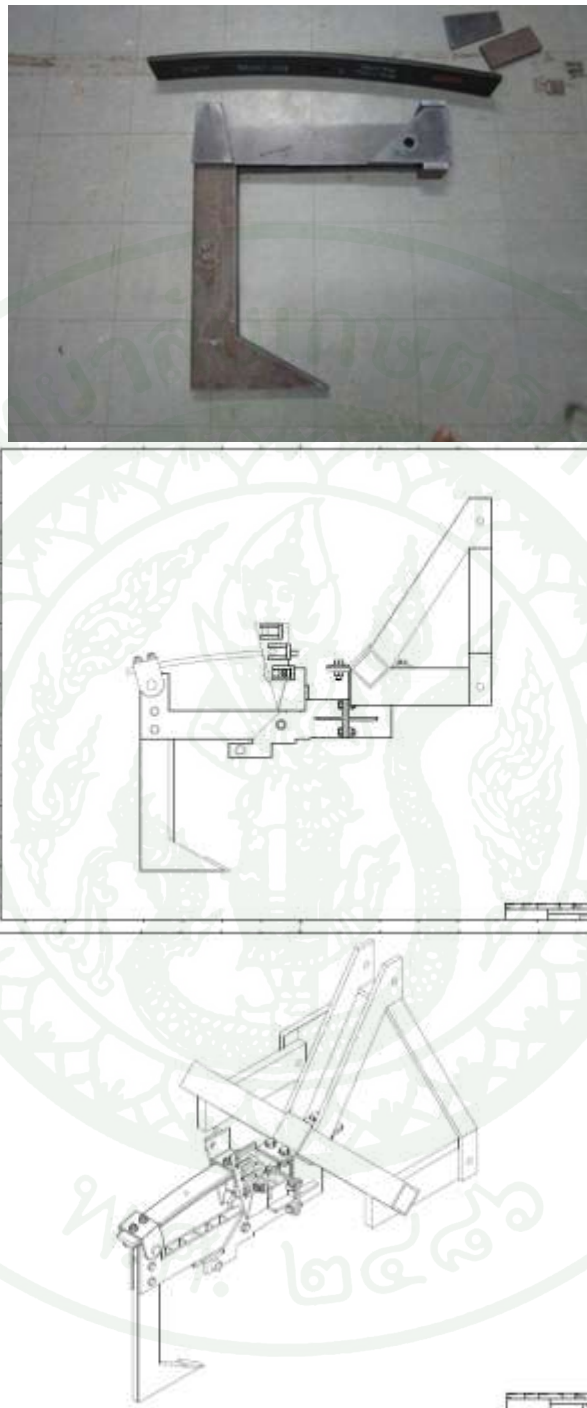
ภาพที่ 45 ชุดทดสอบค่านิจสปริงของแหวน

กลไกการหมุน

ขณะทำการไถปกติ เกิดแรง  $g$  ที่กระทำต่อขาไถซึ่งแหวนสปริงควรจะต้องยุบตัวน้อยที่สุดมีค่าไม่เกินแรงฉุดลากเฉลี่ยสูงสุด 16 กิโลนิวตัน เกิดโมเมนต์หมุนรอบจุด  $x$  แหวนสปริงจะรับแรงกระทำนี้ไว้ทำให้ขาไถยกตัวน้อยที่สุด เมื่อไถไปชนหินหรือตอไม้ในดิน แรงกระทำมากที่สุดก่อนที่ปลายขาไถจะเสียหายซึ่งคำนวณจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ มีค่าประมาณ 5.5 ตันหรือ 53.96 กิโลนิวตัน แหวนสปริงจะยุบตัวทำให้ขาไถยกตัวข้ามหินหรือตอไม้ไม่ได้ ดังภาพที่ 46



ภาพที่ 46 การหมุนขาไถ



ภาพที่ 47 แสดงการประกอบชุดขาไถระเบิดดินดาน

## 2. ตัวแปร การทดสอบและการเก็บข้อมูล

ตัวแปรหลักที่ต้องการศึกษา

2.1 พื้นที่การแตกตัวของดิน เก็บข้อมูลด้วยอุปกรณ์ Profile Meter (ภาพที่ 48) ก่อนไถ และหลังไถ เพื่อหาพื้นที่การแตกตัวของดิน การฟู และความลึกของการแตกตัว ดังภาพที่ 49



ภาพที่ 48 อุปกรณ์ Profile Meter

	R1	R2	R3	R4
T1				
	L=50 cm A=450 cm <sup>2</sup>	L=35 cm A=680 cm <sup>2</sup>	L=50 cm A=900 cm <sup>2</sup>	L=50 cm A=1200 cm <sup>2</sup>
T2				
	L=60 cm A=850 cm <sup>2</sup>	L=70 cm A=1900 cm <sup>2</sup>	L=70 cm A=1600 cm <sup>2</sup>	L=75 cm A=1900 cm <sup>2</sup>

ภาพที่ 49 ตัวอย่างพื้นที่การแตกตัวของดินที่จาก Profile Meter

ที่มา: ราวุฒิ (2550)

2.2 เก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 30 และ 50 เซนติเมตร ด้วยกระบอกเก็บตัวอย่างดิน และความต้านทานการแทงทะลุของดินในช่วงความลึก 5 - 50 เซนติเมตรด้วยอุปกรณ์ Soil Penetrometer ดังภาพที่ 50



ภาพที่ 50 อุปกรณ์ Soil Penetrometer



ภาพที่ 51 การขุดหลุมเพื่อเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึกต่างๆ

2.3 ทหาระยะการยกตัวของขาไถเมื่อไถผ่านสิ่งกีดขวางในดินที่ระดับความลึกต่างกันด้วยอุปกรณ์ Displacement Transducer (ภาพที่ 52) เพื่อหาค่าระยะการยกตัวในเวลาทำงานจริงและขีดจำกัดของขาไถที่จะสามารถยกตัวผ่านสิ่งกีดขวางในดิน เมื่อระดับความลึกของสิ่งกีดขวางในดินมีค่าแตกต่างกัน



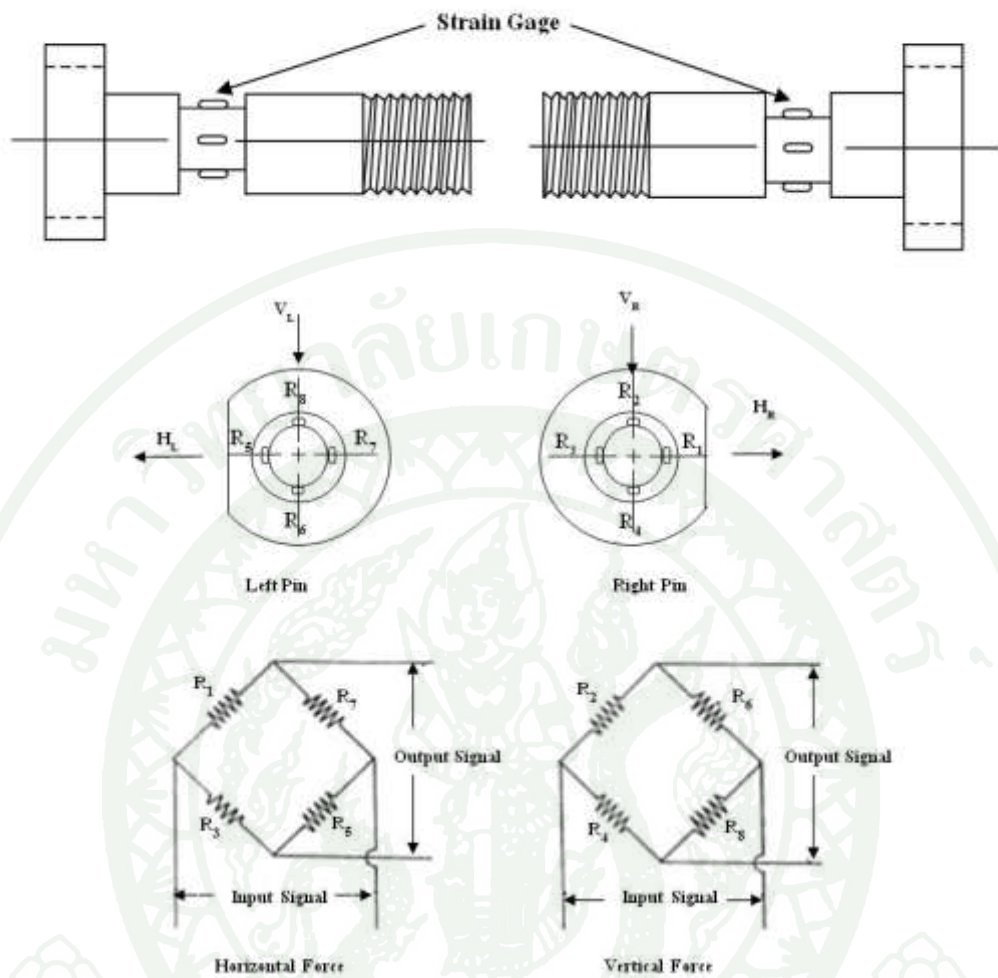
ภาพที่ 52 อุปกรณ์ Displacement Transducer

#### 2.4 หาค่าแรงจุดลากขณะทำงาน

ค่าแรงจุดลาก (Drawbar Pull) และแรงยกตัวในแนวตั้ง (Vertical Force) วัดได้จาก Lower Link Pins Transducer และ Top Link Transducer โดยส่งสัญญาณในรูปแบบแรงดันไฟฟ้า (Voltage) และเมื่อนำค่าที่ได้นี้มาเทียบกับสมการที่ได้จากการสอบเทียบจะได้เป็นแรงกระทำในหน่วยนิวตัน (kN) ซึ่งค่าสัญญาณที่ได้มาจาก Lower Link Pins Transducer จากการติด Strain Gage แบบทางเดียว 4 ตัวที่ Lower Link Pins Transducer ทั้งสองข้างดังภาพที่ 53 และแสดงวงจรการติดตั้งในภาพที่ 54 ขณะที่ Top Link Transducer ใช้วิธีการติด Strain Gage แบบสองทาง 2 ตัว ดังภาพที่ 55 และแสดงวงจรการติดตั้งดังภาพที่ 56



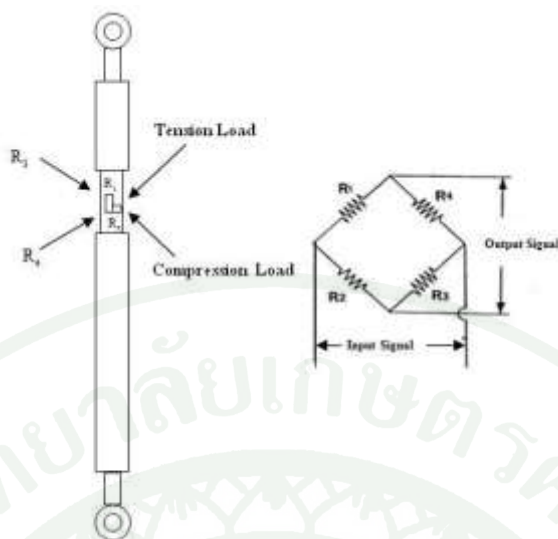
ภาพที่ 53 Lower Link Pins Transducer



ภาพที่ 54 การติด Strain Gage รุ่น KFG-2-350-C1-11L1M2R ชนิดทางเดียวที่ Lower Link Pins Transducer



ภาพที่ 55 Top Link Transducer



ภาพที่ 56 การติด Strain Gage รุ่น KFG-5-120-D16-11L1M2S สองทางสองตัวในตำแหน่งตรงข้ามกันที่ Top Link Transducer

2.5 จำลองสถานการณ์ให้มีสิ่งกีดขวางในดิน โดยการฝังแท่งปูนหล่อขนาด  $4 \times 4$  นิ้ว สูง 50 เซนติเมตร (ภาพที่ 57) ลงในแปลงดินทดลองที่ระดับความลึก 20, 30 และ 40 เซนติเมตร วิธีการฝังโดยขุดหลุมเปิดร่องเสา จากนั้นดันแท่งปูนลงในดินให้แน่นและกลบหน้าดินให้เรียบร้อย

#### ขั้นตอนการฝังแท่งปูน

1. เจาะดินด้วยสว่านเจาะดิน ตามจุดที่กำหนด ความลึกประมาณ 30 -40 เซนติเมตร



ภาพที่ 57 แท่งปูนขนาด  $4 \times 4$  นิ้ว สูง 50 เซนติเมตร

2. วางแท่งปูนขนาด  $4 \times 4$  นิ้ว สูง 50 เซนติเมตร ลงในหลุม จัดให้อยู่ในแนวระดับโดยใช้ระดับน้ำวัดระนาบ

3. ใช้ผานหน้ารถแทรกเตอร์ดันแท่งปูนให้จมลงในดิน เมื่อแท่งปูนจมลงในดินหมดแล้ว ให้ใช้แท่งปูนอีกแท่งต่อความสูงแท่งปูนเพิ่ม ดันแท่งปูนลงในดินตามจุดที่กำหนดที่ 3 ระดับความลึก คือ 20, 30 และ 40 เซนติเมตร วัดจากผิวดิน

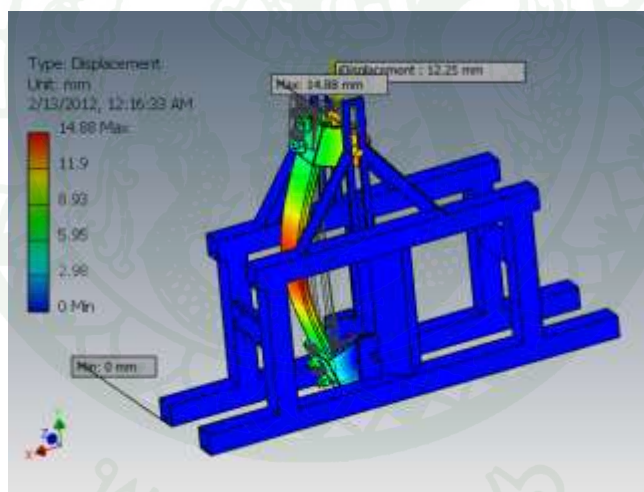
4. กลบหลุมแล้วใช้น้ำหนักรถแทรกเตอร์วิ่งทับร่องไถและหลุมฝังจำนวน 2 รอบ เพื่อให้ดินแน่น

5. เริ่มทำการเก็บข้อมูลดินหลังจากนี้ 1 อาทิตย์ โดยจะต้องไม่มีฝนตกลงมาในแปลง

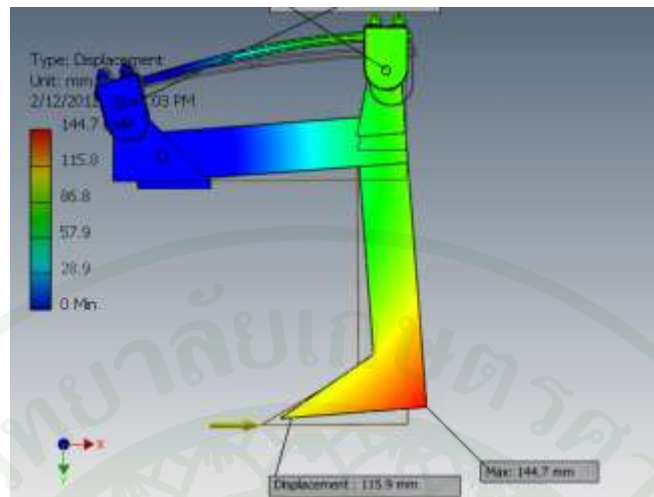
การเก็บข้อมูลในการทดลอง แบ่งเป็น 2 ส่วน

1. การทดลองและเก็บข้อมูลจากการทดสอบในขั้นตอนการออกแบบ หรือในห้องปฏิบัติการ

หาค่านิจแหนบสปริงและระยะการยกตัวปลายขาไถโดยการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ดังภาพที่ 58 และ ภาพที่ 59



ภาพที่ 58 การหาค่านิจแหนบสปริงด้วยคอมพิวเตอร์



ภาพที่ 59 การหาระยะยกตัวปลายขาไถด้วยคอมพิวเตอร์

หาค่า নিজของแหวนสปริงจากการทดลองกดแหวนด้วยแท่นกดไฮดรอลิกส์ ดังภาพที่ 60



ภาพที่ 60 การกดแหวนสปริงด้วยแท่นกดไฮดรอลิกส์

การหาระยะยกตัวปลายขาไถจากการการร้งน้ำหนักถ่วงที่ปลายขาไถ โดยใช้ Load Cell ขนาด 5 ตัน เป็นอุปกรณ์วัดค่าแรงจุดลาก บันทึกค่าแรงจุดลากขณะที่ดึง Load Cell ในแนวราบ ดังภาพที่ 61



ภาพที่ 61 แสดงการต่อ Load Cell เข้ากับปลายขาไถ

## 2. การเก็บข้อมูลในแปลง แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน

### 2.1 การเก็บข้อมูลก่อนการทดลอง

ตรวจหาคุณสมบัติของดินในแปลงทดลอง

2.1.1 การเก็บค่าความชื้นดิน (Moisture Content) เก็บตัวอย่างดินในแปลงทดลองเพื่อหาค่าความชื้นที่ระดับความลึก 3 ระดับ 20, 40 และ 60 เซนติเมตร จากผิวดินและนำดินที่ได้มาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศา เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ ซึ่งสามารถหาค่าความชื้นได้จากสูตร

$$MC = \frac{(W_w - W_d)}{W_d} \times 100\%$$

เมื่อ MC = Moisture Content % (db)

$W_w$  = น้ำหนักของดินเปียก (กรัม)

$W_d$  = น้ำหนักของดินแห้ง (กรัม)

2.1.2 ค่าความต้านทานการแทงทะลุของดิน (Cone Index, C.I.) ซึ่งการอัดแน่นของดินนั้นนิยมวัดออกมาในรูปของค่า Cone Penetrometer Resistance โดยใช้ Cone Penetrometer ซึ่งมีค่าตามมาตรฐานของ ASAE ขนาด Cone ที่ใช้ คือ Cone Apex Angle 30 Degree พื้นที่หน้าตัดของฐาน  $2 \text{ cm}^2$  ทำการสู่วัดค่า 3 ตำแหน่งต่อ 1 การทดลอง นำค่าที่ได้มาเฉลี่ยที่ระดับความลึก 3 ระดับ 0-20, 21-40 และ 41-60 ซม. จากผิวดินตามลำดับ

2.1.3 วัดพื้นที่การแตกตัวดินก่อนการไถโดยใช้ Profile Meter เพื่อใช้ในการแบ่งพื้นที่การแตกตัวของดินส่วนที่ยกตัวขึ้นและพื้นที่การแตกตัวของดินส่วนที่เป็นหลุม

## 2.2 การเก็บข้อมูลระหว่างทำการทดลอง

2.2.1 ความเร็วจริงในการเคลื่อนที่ (Actual Speed,  $V_t$ ) การหาความเร็วจริงในการทำงานโดยการกำหนดระยะในการไถ 20 เมตร โรยปูนขาวที่จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุด ควรให้รถแทรกเตอร์เริ่มเคลื่อนที่ก่อนจุดเริ่มต้นประมาณ 1 เมตร เพื่อให้ความเร็วคงที่ แล้วทำการจับเวลาเมื่อรถแทรกเตอร์เริ่มเข้าจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดการจับเวลาที่จุดสุดท้าย

รถแทรกเตอร์ที่ใช้ทดสอบยี่ห้อ MASSEY-FERGUSON รุ่น 390 เกียร์ 12 Speed ขับเคลื่อน 4 ล้อ ให้แรงม้าสูงสุด 86 แรงม้า ที่รอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบ/นาที และที่ความเร็วรอบเพลานำท้าย 540 รอบ/นาที เมื่อเครื่องยนต์หมุน 1,789 รอบ/นาที จะให้แรงม้าสูงสุดที่เพลานำท้าย 73 แรงม้า โดยในการทดลองได้ติดตั้งผานไถไว้ด้านหน้าดังแสดงในภาพที่ 62 เพื่อให้ขณะทำการทดลองจะไม่เกิดการยกล้อเนื่องจากแรงฉุดลากที่เกิดจากชุดไถระเบิดดินดาน



ภาพที่ 62 รถแทรกเตอร์ที่ใช้ทดสอบไถในแปลง

2.2.2 อัตราการลื่นไถล (Slip) ทำโดยการนับจำนวนรอบการหมุนที่ล้อหลังของรถแทรกเตอร์บนพื้นเรียบ ไม่ลื่น วัดระยะทางที่ล้อเคลื่อนที่เพื่อนำไปใช้เป็นระยะทางที่ล้อเคลื่อนที่ทางทฤษฎี ( $S_T$ ) นำมาคำนวณอัตราการลื่นไถลได้จากสูตร

$$\text{Slip}(\%) = \frac{(S_T - S_A)}{S_T} \times 100$$

เมื่อ Slip = อัตราการลื่นไถล (%)

$S_T$  = ระยะทางที่ล้อเคลื่อนที่ทางทฤษฎี (เมตร)

$S_A$  = ระยะในการเคลื่อนที่จริง (เมตร)

2.2.3 แรงฉุดลาก (Drawbar Pull) และกำลังฉุดลาก (Drawbar Power) นำค่าแรงฉุดลากในแนวราบที่ได้จากการ Lower Link Pins Transducer และ Top Link Transducer จะเอามาคำนวณหากำลังฉุดลาก (Drawbar Power) ซึ่งกำลังสามารถหาแรงฉุดลาก (Drawbar Power) ได้จากสูตร

$$\text{Drawbar power} = F \times V$$

เมื่อ Drawbar power = กำลังฉุดลาก (kW)

F = แรงฉุดลากในแนวราบ (kN)

V = ความเร็วในการเคลื่อนที่ (m/s)

2.2.4 มุมของ Top Link Transducer (Inclination of the Top Link Transducer) สามารถทำได้โดยการอ่านค่าจาก Voltmeter ซึ่งได้จากค่า VR-Slice เพื่อนำค่าที่ได้ไปแตกแรงคำนวณแรงฉุดลากในแนวระดับและแนวตั้งต่อไป

2.2.5 เก็บข้อมูลระยะยกตัวขาไถขณะไถด้วยอุปกรณ์ Displacement Transducer ดังภาพที่ 63



ภาพที่ 63 การวัดระยะยกตัวชาโถด้วย Displacement Transducer

### 2.3 การเก็บข้อมูลหลังการทดลอง

2.3.1 พื้นที่การแตกตัวของดิน (Soil Disturbance) สำหรับการแตกตัวของดินจะบันทึกค่าความยาวของการแตกตัวและขนาดของพื้นที่การแตกตัวของดิน ซึ่งการแตกตัวของดินหลังไถจะใช้ Profile Meter วัดก่อนไถดินออก เพื่อดูพื้นที่ที่ถูกยกตัวขึ้น แล้วทำการไถดินออกและใช้ Profile Meter วัดพื้นที่การแตกตัวของดิน

## 3. การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 คำนวณหาค่ากำลังฉุดลากของรถแทรกเตอร์ (Drawbar Power) จากค่าแรงฉุดลาก (Draft Force)

3.2 คำนวณหาพื้นที่การแตกตัวของดิน (Soil Disturbance)

3.3 คำนวณหาอัตราการลื่นไถล (Slip) แรงฉุดลากต่อพื้นที่การแตกตัวของดิน (Specific Draft) และกำลังต่อพื้นที่การแตกตัวของดิน (Specific power)

3.4 หาค่าระยะการยกตัวมากที่สุดของปลายชาโถที่สามารถผ่านสิ่งกีดขวางในดินที่ระดับความลึกต่างๆ

## 4. ลักษณะและรูปแบบของแปลงทดลอง

$$\text{จำนวนหน่วยทดลอง} = \text{ปัจจัย} \times \text{ทรีตเมนต์} \times \text{จำนวนซ้ำ}$$

$$\begin{aligned}
 &= \text{วิธีซ้อนแผ่นแทนบ} \times \text{ความลึกแห่งปูน} \times 3 \\
 &= 2 \times 3 \times 3 \\
 &= 18 \quad \text{หน่วยการทดลอง}
 \end{aligned}$$

### 5. สถานที่และเวลาในการทำวิจัย

สถานที่ทำวิจัย แปลงทดลองภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

เวลาในการทำวิจัย เริ่มดำเนินงานตั้งแต่เดือน มกราคม พ.ศ. 2555 ถึงเดือน เมษายน พ.ศ. 2556

## ผลและวิจารณ์

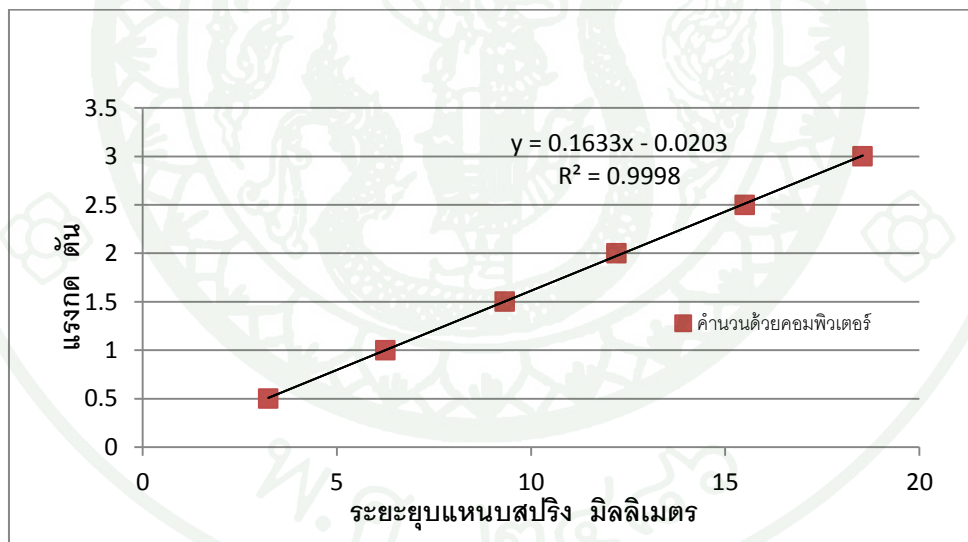
### ผล

#### 1. ผลเก็บข้อมูลในขั้นตอนการออกแบบและในห้องปฏิบัติการ

ค่านิจของแหวนสปริงจากการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การทดสอบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ทำการจำลองสถานการณ์การกดปลายแหวนสปริงขนาดหน้า 18 มิลลิเมตร เพื่อเปรียบเทียบระยะยุบตัวแหวนสปริงจากโปรแกรมกับค่าจริงจากการทดลอง ด้วยแรง 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 และ 3 ตัน แหวนสปริงยุบตัว 3.237, 6.251, 9.32, 12.2, 15.5 และ 18.54 มิลลิเมตร ตามลำดับ คำนวณค่านิจแหวนสปริงได้ 163.3 กิโลกรัม/มิลลิเมตร ดังภาพที่ 64 ได้ผลการแสดงระยะยุบตัวต่อแรงกดคือ

$$Y = 0.1633X - 0.0203$$

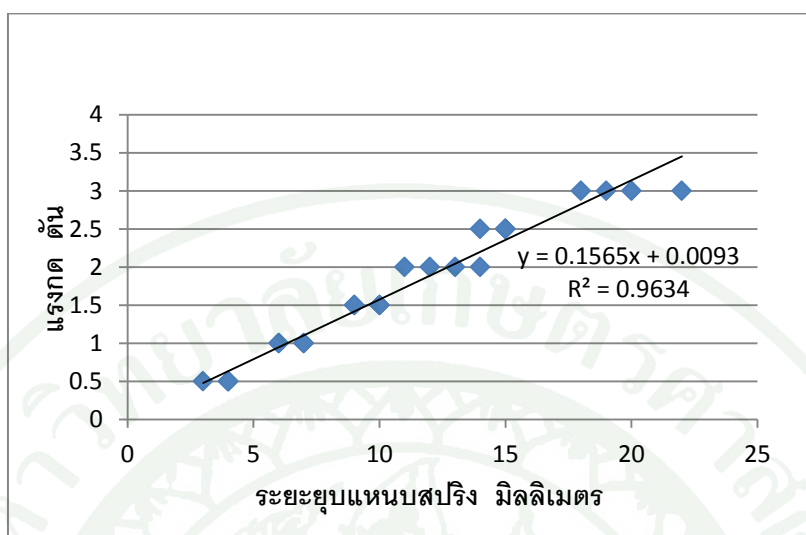


ภาพที่ 64 ผลการคำนวณค่านิจแหวนสปริงจากคอมพิวเตอร์

ค่านิจของแหวนสปริงจากการทดลอง

การกดปลายแหวนสปริงขนาดหน้า 18 มิลลิเมตร ที่แรงกดแทนไฮดรอลิกส์ 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 และ 3 ตัน แหวนสปริงยุบตัวเฉลี่ย 3.75, 6.5, 9.5, 12.5, 14.75 และ 19.75 มิลลิเมตร ตามลำดับ คำนวณค่านิจแหวนสปริงได้ 156.5 กิโลกรัม/มิลลิเมตร ดังภาพที่ 65 ได้ผลการแสดงระยะยุบตัวต่อแรงกดคือ

$$Y = 0.1565X + 0.0093$$



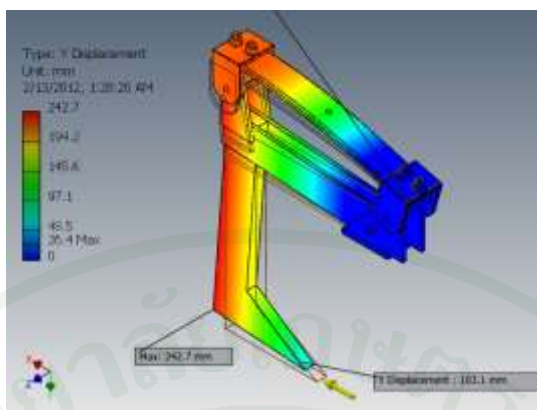
ภาพที่ 65 ผลการคำนวณค่านิจแหวนสปริงจากการทดลอง

ระยะยกตัวขาไถจากการการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์

ทดสอบหาระยะยกตัวของขาไถเมื่อประกอบกับแหวนสปริง โดยการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ ให้แรงกระทำที่ปลายขาไถ ได้ค่าต่างๆดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าระยะยกตัวขาไถและความเค้นคำนวณจากคอมพิวเตอร์

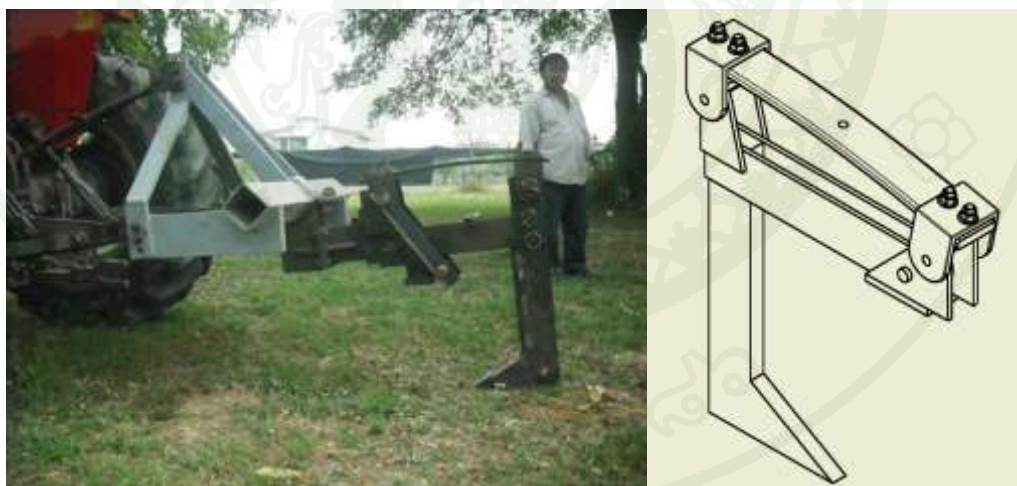
แรงกระทำปลายขาไถ kN	ระยะยกตัวขาไถ มิลลิเมตร	ความเค้นสูงสุด MPa
16	41.73	99
19.62	58.8	121
29.43	63.6	181
53.6	103.1	332



ภาพที่ 66 การหาระยะยกตัวขาไถจากการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์

การออกแบบขาไถระเบิดดินดานแบบที่ 1

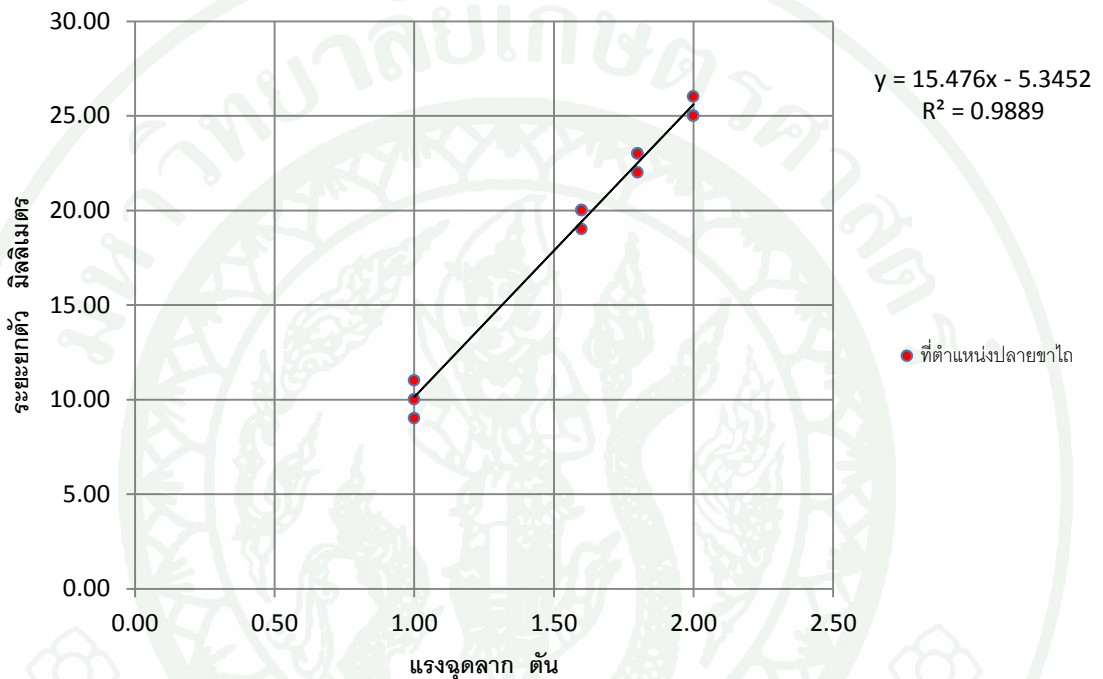
จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบผู้วิจัยจึงได้ออกแบบและสร้างขาไถระเบิดดินดานแบบที่ 1 มีลักษณะตรงตามแบบที่จำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ ใช้แหวนสปริงขนาดหนา 18 มิลลิเมตร แนวนวนสปริงทำมุม 0 องศา กับแนวราบ (ขนานพื้นดิน) ดังภาพที่ 67



ภาพที่ 67 ขาไถระเบิดดินดานแบบที่ 1

เมื่อนำขาไถระเบิดดินดานแบบที่ 1 ไปทดสอบไถพบว่า ตัวขาไถมีการยกตัวเริ่มต้นขณะไถในดินปกติที่ไม่มีสิ่งกีดขวางค่อนข้างมาก โดยหมุนไปประมาณ 30 องศา แต่กลับยกตัวได้ไม่ดีเท่าที่ควร เมื่อชนสิ่งกีดขวางในดิน แหวนสปริงที่ใช้มีขนาดหนา 18 มิลลิเมตร มีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก และเมื่อเพิ่มขนาดของแหวนสปริงแล้วขาไถก็มีความแข็งแรงมากเกินไป ไม่สามารถยกตัวพ้นสิ่งกีดขวางในดิน และเกิดความเสียหายเล็กน้อยต่อชุดโครงไถขณะข้ามสิ่งกีดขวาง

ผลการทดสอบให้แรงฉุดลากที่ปลายขาไถแบบที่ 1 ดังภาพที่ 70 เพื่อหาระยะยกตัวขาไถ ทดสอบโดยเจาะรูที่ปลายขาไถเพื่อยึดสลิงคล้องกับหลักแข็งไม่เคลื่อนที่ พ่วงขาไถระเบิดดินดานแบบ ที่ 1 เข้ากับรถแทรกเตอร์ ใช้กำลังฉุดลากจากรถแทรกเตอร์ลากขาไถด้วยแรงขนาดต่างๆ ใช้โหลด เซลล์ขนาด 5 ตัน วัดค่าแรงฉุดลาก บันทึกค่าระยะยกตัวที่ตำแหน่งปลายขาไถพบว่าขาไถมีการยกตัว เฉลี่ย 15.47 มิลลิเมตร/ตัน ดังภาพที่ 68 แรงฉุดลากสูงสุดสามารถลากได้คือ 2 ตัน และเมื่อเร่ง เครื่องยนต์รถแทรกเตอร์เพื่อให้ได้แรงฉุดลากมากกว่านี้ ล้อรถแทรกเตอร์จะเกิดการหมุนฟรีทั้ง 4 ล้อ



ภาพที่ 68 ผลการทดสอบหาระยะยกตัวขาไถระเบิดดินดานแบบที่ 1



ภาพที่ 69 การยกตัวขาไถแบบที่ 1 ขณะไม่มีสิ่งกีดขวางในดิน



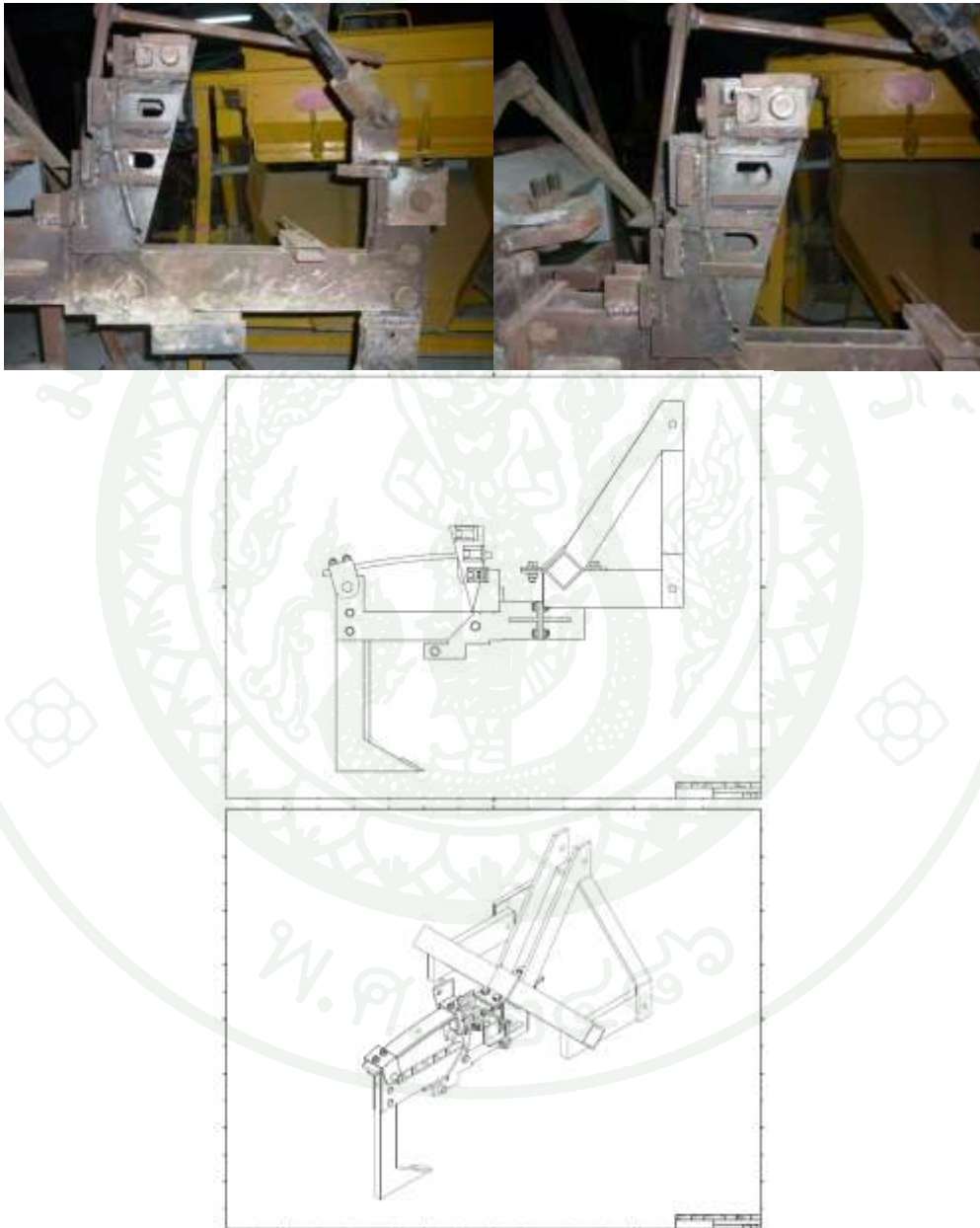
ภาพที่ 70 การทดสอบหาระยะยกตัวชาไถแบบที่ 1

การออกแบบชาไถระเบิดดินดานแบบที่ 2

จากผลการทดสอบชาไถระเบิดดินดานแบบที่ 1 พบว่ามีข้อสังเกตเกิดขึ้นหลายประการดังนี้

1. ชาไถมีการยกตัวค่อนข้างสูงขณะไถ โดยหมุนไปประมาณ 30 องศาจากแนวการไถปกติ ดังภาพที่ 69
2. แนววางแผนสปริงขนานกับแนวการไถ (0 องศา)
3. จุดหมุนชาไถและจุดยึดหูแหวนมีระยะใกล้เคียงกัน มีผลให้ต้องใช้แหวนสปริงที่มีขนาดใหญ่ซึ่งมีน้ำหนักมากในการรับแรงต้านจากดินขณะไถ
4. ระยะหุ้ตแหวนสปริงไม่สามารถปรับระยะได้ ทำให้ไม่สามารถปรับความตึงของแหวนสปริงที่ตำแหน่งเริ่มต้นได้ มีผลคือชาไถเกิดการขยับคลอน (ระยะฟรี) ได้เล็กน้อยเมื่อเริ่มไถ
5. แหวนสปริงที่นำมาใช้ต้องนำมาตัดให้ได้ระยะที่ต้องการก่อนการใช้งาน
6. การซ้อนแหวนสปริงทำได้ยาก ต้องออกแบบชุดจับแหวนสปริงแยกตามแผ่นที่ซ้อน

เมื่อพิจารณาข้อสังเกตดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้ปรับแก้แบบขาไถระเบิดดินดานแบบที่ 1 ให้สามารถปรับมุมวางแหวนสปริงได้ เพื่อช่วยลดแรงกระทำต่อแหวนสปริงโดยการออกแบบชุดปรับมุมวางแหวนสปริง สามารถปรับมุมวางแหวนสปริงได้ 3 ตำแหน่ง คือ 5, 15 และ 30 องศา ใช้สลักและเกลียวเลื่อนเป็นตัวปรับความตึงหูแหวน ทำให้ขาไถและแหวนสปริงเข้าสู่ตำแหน่งเริ่มต้นไถได้แม่นยำมากขึ้น ดังภาพที่ 71



ภาพที่ 71 ขาไถระเบิดดินดานแบบที่ 2

ผลการทดสอบขาไถระเบิดดินดานแบบที่ 2 พบว่าการปรับมุมองศาการวางแหวนมีผลต่อแรงที่กระทำต่อแหวนสปริง โดยที่มุมวางแหวนสปริง 15 องศา ขาไถหมุนประมาณ 22 องศา ขณะไถใน

ดินที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง ขณะที่มีมุมวางแหวนสปริง 30 องศา ขาไถหมุนประมาณ 10 องศา ภายใต้สภาวะการไถเดียวกัน แหวนสปริงชนิดเดียวกัน สลักและเกลียวเลื่อนช่วยให้ไม่เกิดปัญหาขาไถขยับคลอนหรือระยะฟรีขณะเริ่มไถ แต่ในการทดสอบได้เกิดความเสียหายต่อโครงไถขณะชนสิ่งกีดขวางในดินคือรอยเชื่อมหน้าแปลนยึดชุดขาไถกับโครงไถฉีกขาด

### การออกแบบขาไถระเบิดดินดานแบบที่ 3

จากการทดสอบขาไถระเบิดดินดานแบบที่ 2 พบว่าสามารถแก้ปัญหาจากขาไถระเบิดดินดานแบบที่ 1 ได้ มุมการวางแหวนสปริงมีผลต่อแรงกระทำต่อแหวนสปริง แต่แหวนสปริงที่ใช้ยังคงมีขนาดใหญ่อยู่และต้องนำมาตัดให้ได้ขนาดก่อนการใช้งาน ซึ่งอาจมีผลต่อค่าความเป็นสปริงของเหล็กเนื่องจากขณะที่ตัดแหวนนั้นจะมีความร้อนเกิดขึ้นและแหวนสปริงมีการชุบแข็งที่ผิวมาแล้ว ไม่เหมาะสมที่จะนำมาแก้ไขฝูงานอีก เครื่องมือและเครื่องจักรทำงานอาจเกิดความเสียหายได้ง่าย อีกทั้งระยะระหว่างหุ้ยัดแหวนมีขนาดใกล้เคียงกับระยะแขนหมุนขาไถ ผู้วิจัยจึงได้ปรับแก้และออกแบบขาไถระเบิดดินดานแบบที่ 3 ดังภาพที่ 72 ให้มีระยะหุ้ยัดแหวนที่ยาวขึ้น และสามารถนำแหวนสปริงที่นำมาใช้ได้ทันทีโดยไม่ต้องแก้ไขแหวนสปริง และสามารถซ้อนแหวนสปริงเพื่อเพิ่มความแข็งแรงได้ง่าย โดยแหวนสปริงที่ใช้ทดลองมี 3 ขนาด

1. แผ่นที่ 1 ขนาดความหนา 10 มิลลิเมตร กว้าง มิลลิเมตร และยาว 95 มิลลิเมตร เป็นแผ่นหลักใช้ยึดกับหุ้ยัดแหวน
2. แผ่นที่ 2 ขนาดความหนา 10 มิลลิเมตร กว้าง มิลลิเมตร และยาว 65 มิลลิเมตร
3. แผ่นที่ 3 ขนาดความหนา 10 มิลลิเมตร กว้าง มิลลิเมตร และยาว 15 มิลลิเมตร



ภาพที่ 72 ขาไถระเบิดดินดานแบบที่ 3

ขาไถระเบิดดินดานแบบที่ 3 นี้ใช้แทนสปริงหนาแผ่นละ 10 มิลลิเมตร ไม่ต้องทำการดัดแปลงแทนสปริงและสามารถซ้อนแผ่นได้ง่าย แนวแทนสปริงวางเอียง 45 องศากับแนวไถ ผลจากการทดสอบไถพบว่า ขาไถยกตัวน้อยมากหรือแทบไม่ยกตัวขณะไถในดินที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง และเมื่อไถผ่านสิ่งกีดขวางพบว่าขาไถสามารถยกตัวผ่านสิ่งกีดขวางได้โดยไม่เกิดความเสียหายทั้งปลายขาไถและโครงไถ ขาไถระเบิดดินดานแบบที่ 3 จึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้ทดสอบในแปลง

## 2. ผลเก็บข้อมูลในแปลง

สภาพดินในแปลงทดลอง

พื้นที่ทำการทดลองคือ แปลงทดลองภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม ดินที่ใช้ในการทดสอบเป็นดิน Clay Soil ประกอบด้วยอนุภาคของ Sand 8 %, Silt 13 % และ Clay 79 % มีส่วนประกอบและสมบัติทางฟิสิกส์ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 สมบัติทางฟิสิกส์ของดินที่ใช้ทดลอง

Particle size	Distribution mm.	Percent
Coarse sand	2 - 0.42	3.4
Fine sand	0.42 - 0.074	4.6
Silt	0.074 - 0.005	13
Clay	<0.005	79

Consistency limits	Percent
Plastic limit	26.3
Liquid limit	50.5
Plasticity index	24.2

ที่มา: ธัญญาและชัยรัตน์ (2539)

ค่าความชื้นดิน

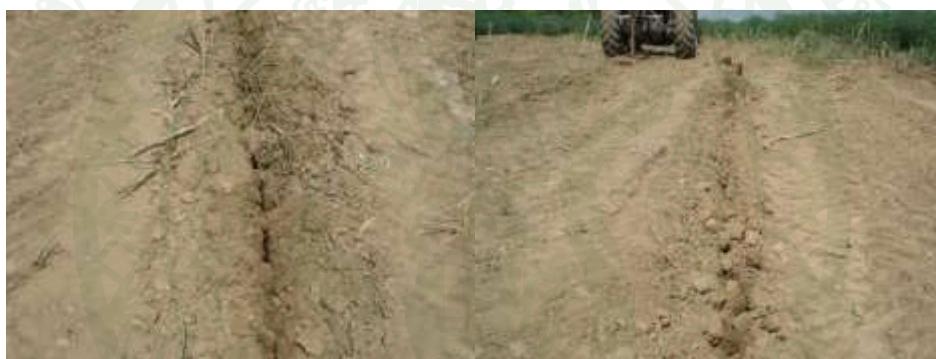
เก็บตัวอย่างดินก่อนไถในแปลง 2 ความลึกคือ 30 และ 50 เซนติเมตร ความลึกละ 12 ตัวอย่าง รวมเป็น 24 ตัวอย่าง แล้วนำไปหาค่าความชื้นดิน (Dry Basic) พบว่าที่ความลึก 30 เซนติเมตร ดินมีความชื้นเฉลี่ย 21.49 % และที่ความลึก 50 เซนติเมตร ดินมีความชื้นเฉลี่ย 23.36 %

### ค่าความต้านทานการแทงทะลุ (Cone Index)

จากการเก็บข้อมูลค่าความต้านทานการแทงทะลุของดินก่อนไถจำนวน 12 ตัวอย่าง ที่ระดับความลึก 5 -50 เซนติเมตร พบว่าค่าความต้านทานการแทงทะลุก่อนการไถของทั้ง 6 ร่องไถมีค่าเฉลี่ยประมาณ 1.93 MPa

### พื้นที่การแตกตัวจาก Profile Meter

วัดพื้นที่การแตกตัวจำนวน 12 จุด ก่อนการไถพบว่ามีร่องแฉกที่ไถใช้วัดมีลักษณะยกสูงขึ้นบริเวณกึ่งกลางรอยไถอันเนื่องมาจากการเคลื่อนตัวขึ้นสู่ด้านบนของดินภายหลังการไถทดสอบและการวัดภายหลังจากการไถดินแล้วพบว่าร่องแฉกมีลักษณะที่ลดต่ำลงตามแนวการแตกตัวของดิน ดังภาพที่ 73



ภาพที่ 73 การแตกตัวของดินหลังไถ

การแตกตัวของดินนั้นมีความแตกต่างกัน โดยการซ้อนแผ่นแทนสปริง 3 แผ่น (L2) มีการแตกตัวของดินมากที่สุด 266.2 cm<sup>2</sup> น้อยสุด 117.97 cm<sup>2</sup> เฉลี่ย 207.57 cm<sup>2</sup> และการซ้อนแผ่นแทนสปริง 2 แผ่น (L1) มีการแตกตัวของดินมากที่สุด 177 cm<sup>2</sup> น้อยสุด 136.18 cm<sup>2</sup> เฉลี่ย 152.26 cm<sup>2</sup>

### ค่าแรงฉุดลาก (Draft Force) ความเร็วการเคลื่อนที่ และอัตราการลื่นไถล (Slip)

จากข้อมูลแรงฉุดลากจากการไถ 6 ร่องไถ ร่องไถละ 3 การทดลอง รวมแรงทั้งหมดให้อยู่ในแนวตั้งและแนวราบ แรงรวมในแนวราบคือค่าแรงฉุดลากจะถูกนำไปใช้คิดกำลังรวมของการไถ (Total Power) และแรงในแนวตั้งจะแสดงให้เห็นถึงแรงกดท้ายรถแทรกเตอร์ ได้ข้อมูลดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าแรงฉุดลาก

รื่องไถ	แรงในแนวราบ			แรงในแนวตั้ง		
	kN			kN		
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย
20L1	26.16	5.57	17.61	2.18	-1.92	0.35
30L1	27.86	3.92	18.26	2.03	-2	0.25
40L1	25	0.82	10.63	2.54	-0.91	0.75
20L2	48.81	11.32	29.94	2.30	-1.78	0.45
30L2	40.21	10.16	22.31	2.61	-1.31	0.41
40L2	32.46	7.26	22.98	2.69	-0.44	1.09

ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ เก็บข้อมูลโดยกำหนดระยะทางการเคลื่อนที่ 20 เมตร จับเวลาที่รถวิ่งผ่านขณะไถ ได้ความเร็วรถแทรกเตอร์เฉลี่ยคือ 2.79 กิโลเมตร / ชั่วโมง

อัตราการสิ้นเปลืองที่ล้อ หาได้โดยการวัดระยะทางที่ล้อหมุนขณะไถกับระยะทางที่ล้อหมุนทางทฤษฎี ซึ่งหาจากระยะทางที่ล้อหมุนบนพื้นเรียบที่ไม่ลื่น ทำการทดลอง 3 ครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย การเปรียบเทียบจะต้องใช้จำนวนรอบการหมุนเท่ากัน ได้อัตราการสิ้นเปลืองที่ล้อเฉลี่ย 5.42 เปอร์เซ็นต์

หากำลังฉุดลากเฉลี่ย (Drawbar Power) ของรถแทรกเตอร์ ใช้ข้อมูลจากแรงฉุดลากแนวราบเฉลี่ยแต่ละรื่องไถและอัตราเร็วการเคลื่อนที่ได้ผลดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 กำลังฉุดลากเฉลี่ยรถแทรกเตอร์

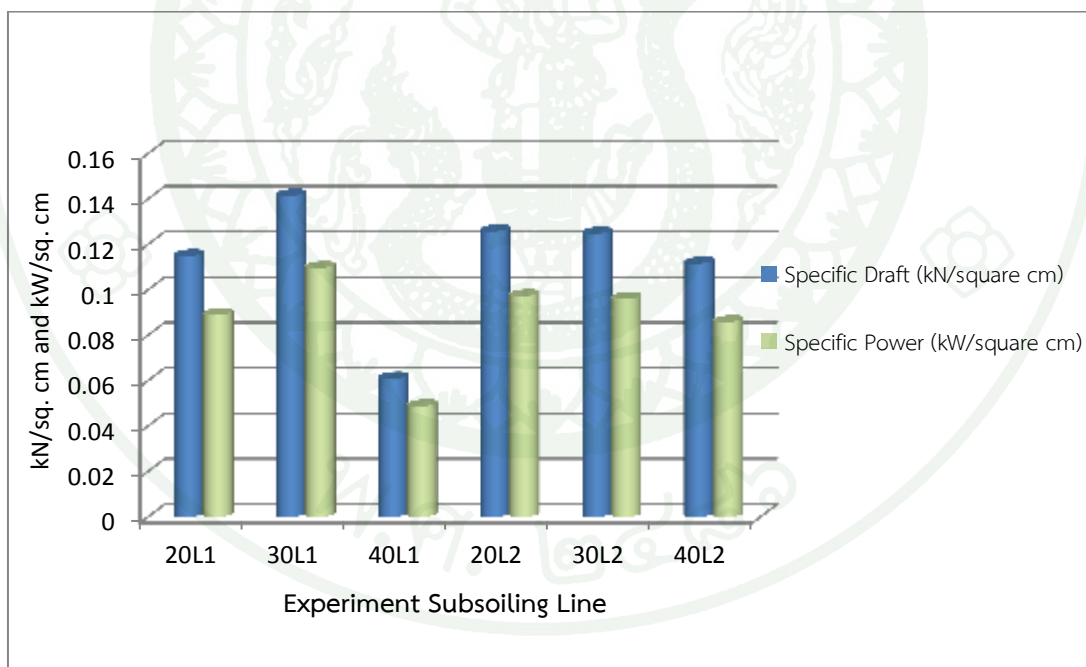
รื่องไถ	ความเร็ว		แรงฉุดลากเฉลี่ย kN	กำลังฉุดลากเฉลี่ย kW
	km / h	m / s		
20L1	2.7853	0.7737	17.61	13.62
30L1	2.7907	0.7752	18.26	14.15
40L1	2.8835	0.8010	10.63	8.51
20L2	2.7832	0.7731	29.94	23.14
30L2	2.7714	0.7698	22.31	17.17
40L2	2.7682	0.7689	22.98	17.67

จากค่าแรงฉุดลากเฉลี่ยและความเร็วการเคลื่อนที่รถแทรกเตอร์สามารถหากำลังฉุดลากเฉลี่ยได้ดังตารางที่ 9 ซึ่งนำไปหาค่าแรงฉุดลากต่อพื้นที่การแตกตัว (Specific Draft) และค่ากำลังต่อพื้นที่

การแตกตัว (Specific Power) เพื่อนำไปใช้พิจารณาเปรียบเทียบหาความเหมาะสมของจำนวนการ  
ซ้อนแผ่นแหวนสปริง ดังภาพที่ 74

**ตารางที่ 9** ค่าแรงฉุดลากเฉลี่ย (Draft force) กำลังฉุดลากเฉลี่ย (Drawbar power) และพื้นที่การ  
แตกตัวเฉลี่ย

ร่องไถ	แรงฉุดลากเฉลี่ย kN	กำลังฉุดลากเฉลี่ย kW	พื้นที่การแตกตัวเฉลี่ย cm <sup>2</sup>
20L1	17.61	13.62	153.13
30L1	18.26	14.15	129.11
40L1	10.63	8.51	174.57
20L2	29.94	23.14	238
30L2	22.31	17.17	178.82
40L2	22.98	17.67	205.89



**ภาพที่ 74** ค่า Specific Draft และ Specific Power

ระยะยกตัวขาไถระเบิดดินดานผ่านสิ่งกีดขวางในดิน

จากผลของสัญญาณข้อมูลวัดระยะยกตัวขาไถขณะไถจำนวน 6 ร่องไถ แต่ละร่องไถมีแท่งปูน  
ฝังอยู่ 3 จุด ที่ความลึก 3 ระดับคือ 20, 30 และ 40 เซนติเมตรจากผิวดิน ได้ผลดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ระยะยกตัวขาไถขณะไถผ่านสิ่งกีดขวางในดิน

ร่องไถ	ระยะยกตัวขาไถ มิลลิเมตร		การเกิดความเสียหาย	
	สูงสุด	เฉลี่ย	แท่งปูน	ขาไถ
20L1	57.05	24.98	หักกลาง 1 แท่ง	ไม่เสียหาย
30L1	61.15	25.39	ไม่เสียหาย	ไม่เสียหาย
40L1	79.34	32.72	ไม่เสียหาย	ไม่เสียหาย
20L2	58.02	25.95	หักกลาง 1 แท่ง	ไม่เสียหาย
30L2	58.14	22.18	ไม่เสียหาย	ไม่เสียหาย
40L2	62.21	23.31	ไม่เสียหาย	ไม่เสียหาย

### วิจารณ์

การกดปลายแขนสปริงขนาดความหนา 18 มิลลิเมตร ที่แรงกดแทนไฮดรอลิกส์ 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 และ 3 ตัน แนวโน้มของระยะยกตัวแขนสปริงต่อแรงกดมีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นตรงที่ค่า  $r^2$  เท่ากับ 0.96 เช่นเดียวกับการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ค่า  $r^2$  เท่ากับ 0.99 ที่แรงกด 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 และ 3 ตัน ค่าระยะยกตัวแขนสปริงจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีความแตกต่างจากผลการทดลองจริง 13.68, 3.83, 1.89, 2.4, 5.08 และ 6.12 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์สามารถแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มความน่าจะเป็นของตัวแบบจริงได้

ที่ความลึก 30 เซนติเมตร ดินมีความชื้นเฉลี่ย 21.49 % และที่ความลึก 50 เซนติเมตร ดินมีความชื้นเฉลี่ย 23.36 % จากการศึกษาของราวูดี (2550) กล่าวว่าที่ความชื้นระดับนี้ ขาไถจะต้องใช้แรงฉุดลากค่อนข้างมาก

ขาไถระเบิดดินดานแบบที่ 1 และแบบที่ 2 ยังคงสามารถที่จะใช้แขนสปริงแผ่นเดียวกันทำงานได้ แต่ไม่สามารถจะซ้อนแขนได้ จะต้องทำการตัดแปลงหุ้ยัดแขนเสียก่อน แขนสปริงที่จะนำมาใช้งานจะต้องผ่านการตัดแปลงก่อนจึงจะสามารถใช้ได้ ส่วนขาไถระเบิดดินดานแบบที่ 3 สามารถนำแขนสปริงมาประกอบใช้งานได้ทันทีโดยไม่ต้องตัดแปลง และการซ้อนแขนสปริงก็สามารถทำได้ง่ายเช่นเดียวกัน โดยผู้วิจัยได้ทดลองเปลี่ยนแผ่นแขนสปริงในแปลงทดสอบ พบว่าสามารถทำได้ แต่ขาไถระเบิดดินดานแบบที่ 1 และ 2 จะต้องใช้อุปกรณ์ช่วยกดแผ่นแขนเพื่อเปลี่ยนแขนสปริง

การยกตัวขาไถระเบิดดินดานแบบที่ 3 ในการทดสอบมีข้อสังเกตคือ ระบบ Precision Control ของรถแทรกเตอร์จะช่วยในการยกตัวประกอบกันไปแขนสปริง ถึงแม้ว่าจะปรับระบบ Sensitive Sensor ของรถแทรกเตอร์ไว้น้อยที่สุดแล้ว (Constant Pump Setting) ซึ่งการยกตัวของระบบ Sensitive Sensor นี้เป็นระบบป้องกันตัวรถและอุปกรณ์ไม่ให้เกิดความเสียหายขณะไถชนสิ่ง

กีดขวางในดิน และป้องกันของรถแทรกเตอร์มีไม่เพียงพอต่อแรงฉุดลากดังกล่าว ตัวอย่างเช่น ร่องไถ 20L2 มีแรงฉุดลากสูงสุดที่ 48.81 kN รถแทรกเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบไม่มีแรงฉุดลากที่เพียงพอที่จะไถผ่านสิ่งกีดขวางดังกล่าวได้ (น้ำหนักรถแทรกเตอร์ประมาณ 3.3 ตัน) ถ้าไม่มีระบบ Sensitive Sensor รถแทรกเตอร์อาจจะเครื่องดับทันทีที่ไถชนสิ่งกีดขวางในดิน หรืออาจส่งผลให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์และตัวเครื่องยนต์ได้ โดยแรงฉุดลากสูงสุดจะเกิดขึ้นช่วงที่กำลังข้ามสิ่งกีดขวางในดินเมื่อดูจากกราฟที่ตำแหน่งเวลาเดียวกันดังแสดงไว้ในภาพผนวกที่ ง1 – ง6

จากภาพที่ 74 เมื่อพิจารณาค่าแรงฉุดลากต่อพื้นที่การแตกตัว (Specific Draft) และค่ากำลังต่อพื้นที่การแตกตัว (Specific Power) เห็นได้ว่าการซ็อนแนบ 2 แผ่น (L1) มีความเหมาะสมต่อการใช้งานมากกว่าการซ็อนแนบ 3 แผ่น (L2) เพราะใช้กำลังต่อการแตกตัวของดินน้อยกว่า หรือแสดงให้เห็นว่ากำลังรวมของรถแทรกเตอร์ถูกนำไปใช้สำหรับทำให้ดินแตกมากกว่า

## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

ชาไถระเบิดดินดานแบบที่ 1 มุมวางแหวนสปริง 0 องศา สามารถสร้างได้ง่าย มีชิ้นส่วนไม่มาก แต่มีข้อสังเกตคือ ไม่สามารถปรับมุมวางแหวนสปริงและระยะยึดหูแหวนสปริงได้ ทำให้ชาไถคลอนได้ง่าย แหวนสปริงที่นำมาใช้จะต้องดัดแปลงก่อนประกอเข้ากับชุดชาไถ โดยแหวนสปริงที่ใช้ในการทดลองมีความหนา 18 มิลลิเมตร และยังคงเกิดความเสียหายต่อโครงไถเมื่อชนกับสิ่งกีดขวางในดิน

ชาไถระเบิดดินดานแบบที่ 2 เป็นการปรับแก้ข้อบกพร่องจากชาไถระเบิดดินดานแบบที่ 1 โดยเพิ่มชุดปรับมุมวางแหวนสปริงสามารถปรับได้ 3 ระดับคือ 5, 15 และ 30 องศา และสลักปรับระยะหูแหวน แหวนสปริงที่ใช้ในการทดลองมีความหนา 18 มิลลิเมตร การปรับมุมแหวนสปริงส่งผลโดยตรงต่อการทำงานของกลไกการยกตัวมาก แต่แหวนสปริงที่ใช้ยังมีขนาดใหญ่ รอยเชื่อมและขนาดของเหล็กที่ใช้จึงต้องมีขนาดและความแข็งแรงสูงตามไปด้วย และยังคงเกิดความเสียหายต่อโครงไถในขณะทำการทดลอง

ชาไถระเบิดดินดานแบบที่ 3 วางแหวนสปริงทำมุม 45 องศา ความหนาแหวนสปริง 10 มิลลิเมตร รูปแบบของการซ้อนแผ่นแหวนในการทดลองมี 2 รูปแบบ คือ ซ้อนแหวนสปริง 2 แผ่น (L1) และซ้อนแหวนสปริง 3 แผ่น (L2) มีข้อดีคือสามารถซ้อนแหวนสปริงได้ง่ายโดยไม่ต้องดัดแปลงหูแหวนและไม่ต้องดัดแปลงแหวนสปริงก่อนประกอเข้ากับชุดชาไถ ความยาวแหวนสปริงแผ่นหลักที่ยึดกับหูแหวนมีความยาว 95 เซนติเมตร หลังการทดลองพบว่า ไม่เกิดความเสียหายต่อโครงและชาไถเมื่อชนสิ่งกีดขวางในดิน โดยมีระยะการยกตัวชาไถสูงสุดในการทดลอง 79.34 มิลลิเมตร ใช้ค่ากำลังต่อพื้นที่การแตกตัว (Specific Power) น้อยที่สุดเมื่อใช้รูปแบบการซ้อนแหวนสปริง 2 แผ่น (L1) ชาไถระเบิดดินดานแบบที่ 3 ที่ใช้รูปแบบการซ้อนแหวนสปริง 2 แผ่น (L1) จึงมีความเหมาะสมที่สุดที่จะใช้งาน

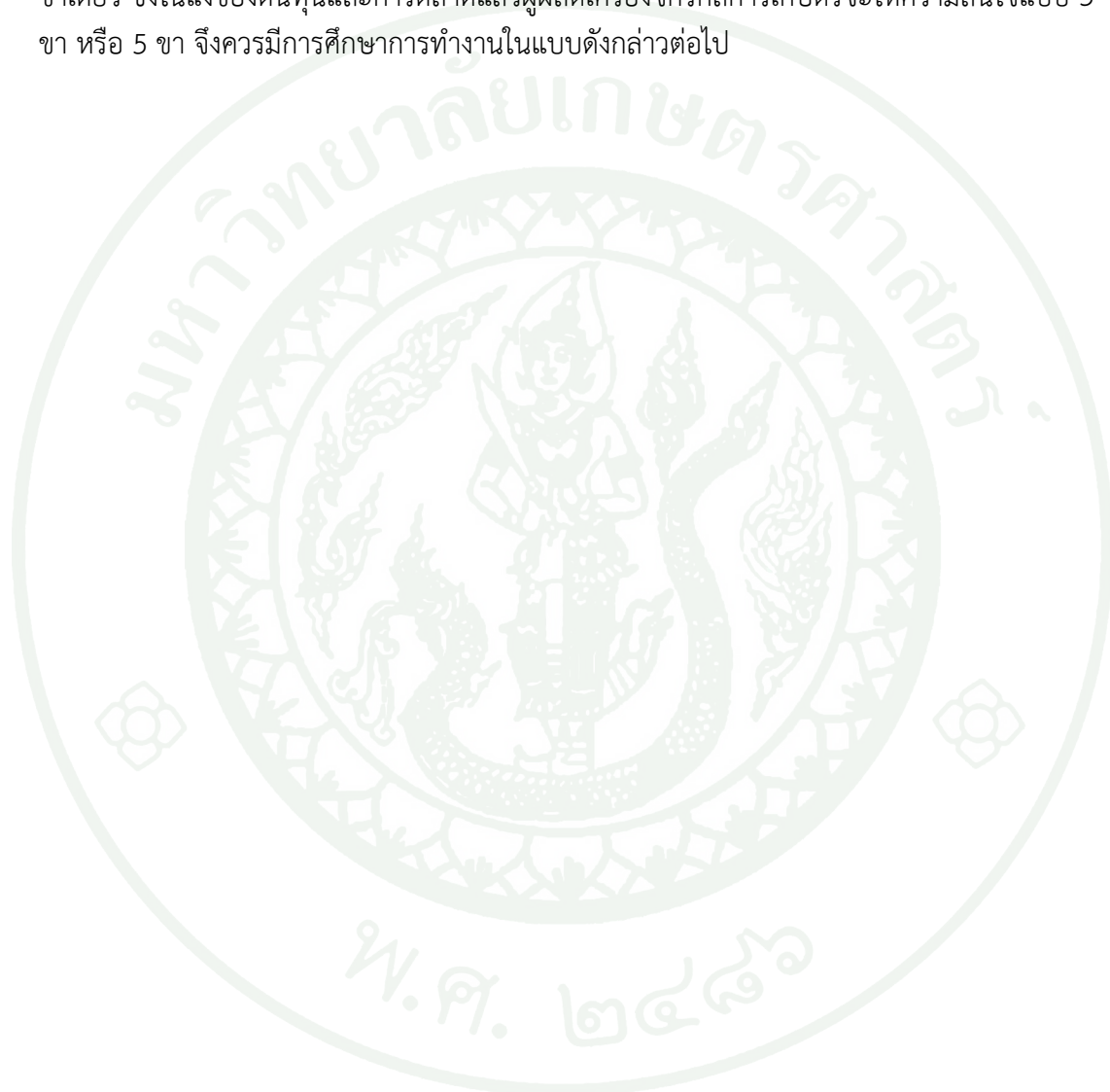
มุมการวางแหวนสปริงที่เหมาะสมจากการทดลองคือ 45 องศา เพราะไม่เกิดความเสียหายต่อตัวชาไถและโครงไถเมื่อเทียบกับแบบอื่น

### ข้อเสนอแนะ

ดินที่ใช้ในการทดสอบเป็นดินกำแพงแสน จ.นครปฐม อยู่ในภาคกลางของประเทศไทย ผู้วิจัยเห็นว่าควรจะมีการทดสอบเพิ่มเติมกับดินและสภาวะอากาศในภูมิภาคอื่น ๆ ในประเทศไทย เนื่องจากปัญหาดินดานจากการสำรวจของกรมพัฒนาที่ดินพบว่า เกิดขึ้นทั่วทุกภูมิภาคในประเทศไทย ทั้งนี้เพื่อหาความเหมาะสมของการซ้อนแผ่นแหวนสปริง หรือมุมการวางแหวนสปริงในดินแต่ละชนิดได้

ปัจจุบันหน่วยงานภาครัฐและผู้ผลิตเครื่องจักรการเกษตรมีความรู้เกี่ยวกับดินดานและไถ  
ระเบิดดินดานพอสมควรแล้ว ควรมีการถ่ายทอดความรู้นี้สู่เกษตรกรให้อย่างถูกต้อง เพื่อให้เกษตรกร  
ได้มีความเข้าใจเรื่องดินดานและการไถระเบิดดินดานอย่างแท้จริงและแก้ปัญหาได้ถูกต้อง

ขาไถระเบิดดินดานแบบยกตัวได้โดยใช้แหนบสปริงที่ผู้วิจัยได้ออกแบบและศึกษานี้เป็นแบบ  
ขาเดียว ซึ่งในแง่ของต้นทุนและการตลาดแล้วผู้ผลิตเครื่องจักรกลการเกษตรจะให้ความสนใจแบบ 3  
ขา หรือ 5 ขา จึงควรมีการศึกษาการทำงานในแบบดังกล่าวต่อไป



## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2523. **เอกสารวิชาการ อ้อย เล่ม 1**. สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 264 น.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2550. **คู่มือยวหมอดิน**. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 45 น.
- กิตติคุณ ประเสริฐกาญจน์. 2552. **การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะของไถดินดานชนิดสั้นทั้งไครง**. วิทยานิพนธ์, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- คณะกรรมการจัดทำปทานุกรมปฐพีวิทยา. 2541. **ปทานุกรมปฐพีวิทยา**. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 169 น.
- ัญญา นิยามา และ ชัยรัตน์ รามแดง. 2539. **รายงานการวิจัยและพัฒนาฉบับสมบูรณ์ ไถดินดานชนิดสั้น**. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.
- ประเทือง อุษาบริสุทธิ์ และ ัญญา นิยามา. 2547. **รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ ผลกระทบของการอัดแน่นของดินต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อย**. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สำนักนายกรัฐมนตรี.
- มงคล กวางวโรภาส. 2530. **เครื่องทุ่นแรงในฟาร์ม**. พิมพ์ครั้งที่ 1 บริษัท ประชาชน จำกัด (แผนกการพิมพ์), กรุงเทพฯ.
- ราวุฒิ น่วมปฐม. 2550. **การพัฒนาอุปกรณ์ปรับปรุงการอัดแน่นของดินในไร่อ้อย**. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.
- วัชรชาญ สุขเจริญวิภารัตน์. 2555. **การศึกษาศักยภาพการขนส่งอ้อยด้วยแทรกเตอร์ลากเทรลเลอร์**. วิทยานิพนธ์, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน. 2541. **การออกแบบเครื่องจักรกล**. พิมพ์ครั้งที่ 10 บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ.
- สำนักงานปลัด กองเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. ม.ป.ป. **อุตสาหกรรมแห่นบายานยนต์**.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม กรุงเทพฯ 4. 2517. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมແໜ່ວນແຜ່ນສຳລັບຮຍນັດແລະຣຸຟຳວງ.**

ศูนย์ส่งเสริมวิศวกรรมเกษตรที่ 2 จังหวัดพิษณุโลก กองส่งเสริมวิศวกรรมเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2553. **การไถระเบิดดินดาน (Subsoiler).**

อนุตร จำลองกุล. 2547. **การศึกษาลักษณะการแตกตัวของดิน เนื่องจากไถดินดานชนิดสั้นที่ปลายหัวเจาะ.** คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, ปทุมธานี. 23 น.

FSPA. 1998. German Federal Soil Protection Act (Gesetz zum Schutz des Bodens vom 17.03.1998). **BGBL. I.S. 502.**

German Soil Survey. 2005. **Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage.** Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

Jurajuria, D. Draghi, L. and Avagon, A. 1997. The effect of vehicle weight on the distribution of compaction with depth and the yield of Lolium/Trifolium grassland. **Soil and Tillage Resaerch.** 41(1-2): 1-12.

Kofoed, S.S. 1969. Kinematic and power requirement of oscillating tillage tools. **Journal of Agricultural Engineering Research.** 14(1): 54-73.

Lebert M. 2010. A method to assess the vulnerability of agricultural subsoils to compaction. **19th World Congress of Soil Science.** Soil Solutions for a Changing World.

Lebert M., H. Böken and F. Glante. 2007. Soil Compaction indicators for the assessment of harmful changes to the soil in the context of the German Federal Soil Protection Act. **Journal of Environmental Management.** 82: 388-397.

Mckyes, E. 1985. Soil Cutting and Tillage. **Elsevier Science,** New York.

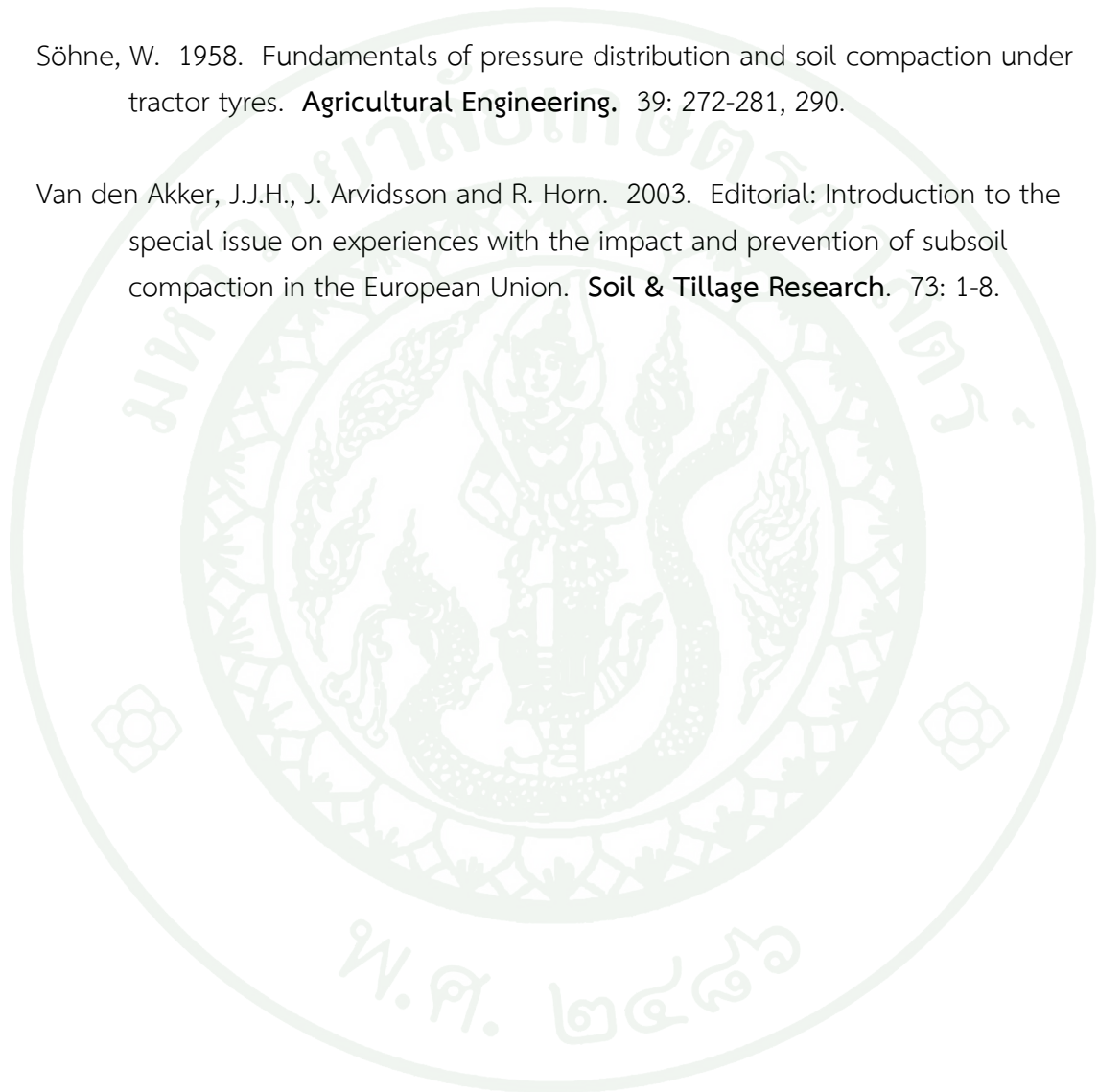
Ngunjiri, G., M.N. and Siemens, J.C. 1995. Wheel traffic effects on corn growth. **Transactions of the ASAE.** 38(3): 691-699.

Niyamapa, T and V.M. Salokhe. 2000. Soil disturbance and force mechanics of vibrating tillage tool. **Journal of Terramechanics**. 37(3): 151-166.

R.S. Khurmi, J.K. Gupta. 2005. **A Textbook of Machine Design**. Eurasia Publishing House (PVT.) Ltd., New Delhi.

Söhne, W. 1958. Fundamentals of pressure distribution and soil compaction under tractor tyres. **Agricultural Engineering**. 39: 272-281, 290.

Van den Akker, J.J.H., J. Arvidsson and R. Horn. 2003. Editorial: Introduction to the special issue on experiences with the impact and prevention of subsoil compaction in the European Union. **Soil & Tillage Research**. 73: 1-8.





ภาคผนวก



## การ Calibration Transducer

การ Calibration Transducer แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

1. Lower Link Pins Transducer การ Calibration Strain Gage ที่ติดตั้งที่ Lower Link Pins โดยทำการ Calibration เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง Load (kN) กับค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage) ทั้งหมด 4 ค่า คือ

1.1 Lower Link Pins Transducer ด้านซ้ายในแนว Horizontal

1.2 Lower Link pins Transducer ด้านซ้ายในแนว Vertical

1.3 Lower Link Pins Transducer ด้านขวาในแนว Horizontal

1.4 Lower Link Pins Transducer ด้านขวาในแนว Vertical

2. Top Link Transducer โดยการ Calibration Strain Gage ที่ติดตั้งที่ Top Link โดยทำการ Calibration เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง Load (kN) กับค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage)

3. VR-Slice โดยการ Calibration เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะห่าง (เซนติเมตร) กับค่าความต้านทานโอห์ม ( $\Omega$ )

ขั้นตอนการ Calibration Transducer

การ Calibration Transducer จะใช้เครื่อง Universal Testing Machine (Instron 5569) เป็นตัวให้ภาระกับตัว Transducer และใช้เครื่อง Strain Amplifier ในการขยายสัญญาณและส่งค่ามาบันทึกไว้ที่เครื่อง Analyzing Recorder แล้วส่งข้อมูลมายังคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม Qbasic เพื่อนำค่าที่ได้มาหาความสัมพันธ์ระหว่าง Load (kN) กับค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage) ก่อนทำการ Calibration ต้องปรับตั้งค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage) กับค่า Micro strain ( $\mu\epsilon$ ) ในช่วงที่เหมาะสม และเริ่มการ Calibration จากไม่มี Load ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ออกมาจากวงจรจะต้องเป็นศูนย์ และทำการเพิ่ม Load ขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งค่าสูงสุดที่ต้องการ และทำการ Reload จนกระทั่งเป็นศูนย์อีกครั้ง นำค่าที่ได้มาหาความสัมพันธ์ระหว่าง Load (kN) กับค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage) ดังแสดงในภาพผนวกที่ ก4 (ก), ก4 (ข), ก5 (ก) และ ก5 (ข) จากการ Calibration ค่า Lower Link Pins Transducer ในแนวราบและ Lower Link Pins Transducer ในแนวตั้ง



ภาพผนวกที่ ก1 การ Calibration ชุด Lower Link Pins Transducer



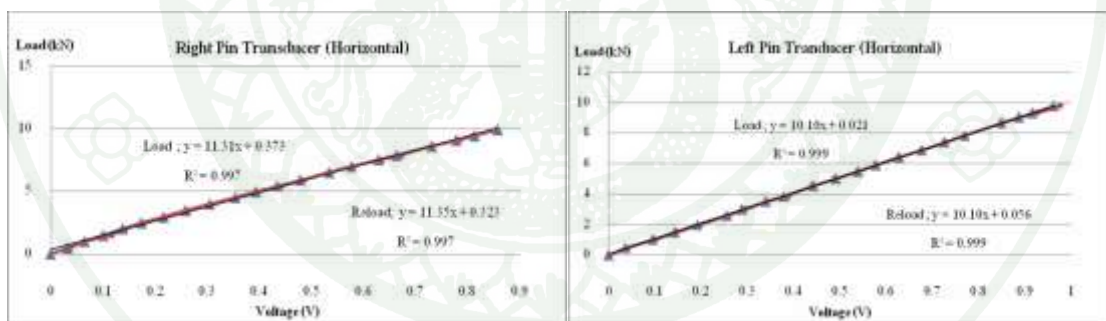
ภาพผนวกที่ ก2 การ Calibration ชุด Top Link Transducer



(ก)

(ข)

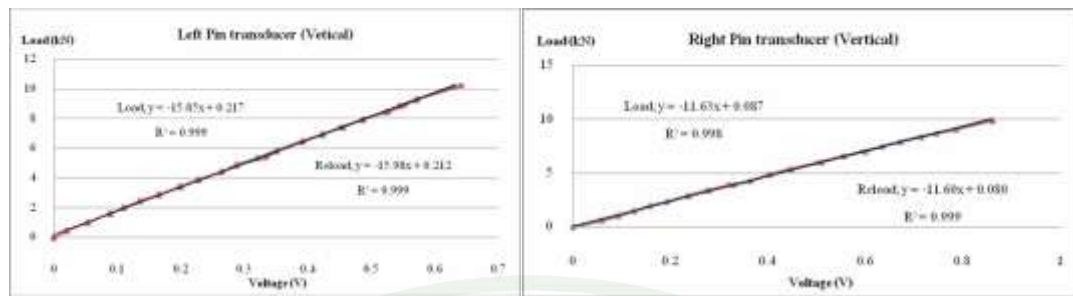
ภาพผนวกที่ 3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการ Calibration ชุด Transducers  
 (ก) เครื่อง Universal Testing Machine  
 (ข) เครื่อง Strain Amplifier, Analyzing Recorder และ Notebook จากการ  
 ปรับเทียบ Lower link pin transducer ทั้งด้านขวาและด้านซ้ายในแนวระดับ ดัง  
 ภาพผนวกที่ ก5 (ก) และ ก5 (ข) แสดงผลการปรับเทียบเป็นเชิงเส้น ระหว่าง  
 Load (kN) ในแนวระดับกับ Voltage (V)



(ก)

(ข)

ภาพผนวกที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load (kN) ในแนวราบ กับ voltage (V) ของ Lower Link Pin Transducer (ก) ด้านขวามือและ (ข) ด้านซ้ายมือ



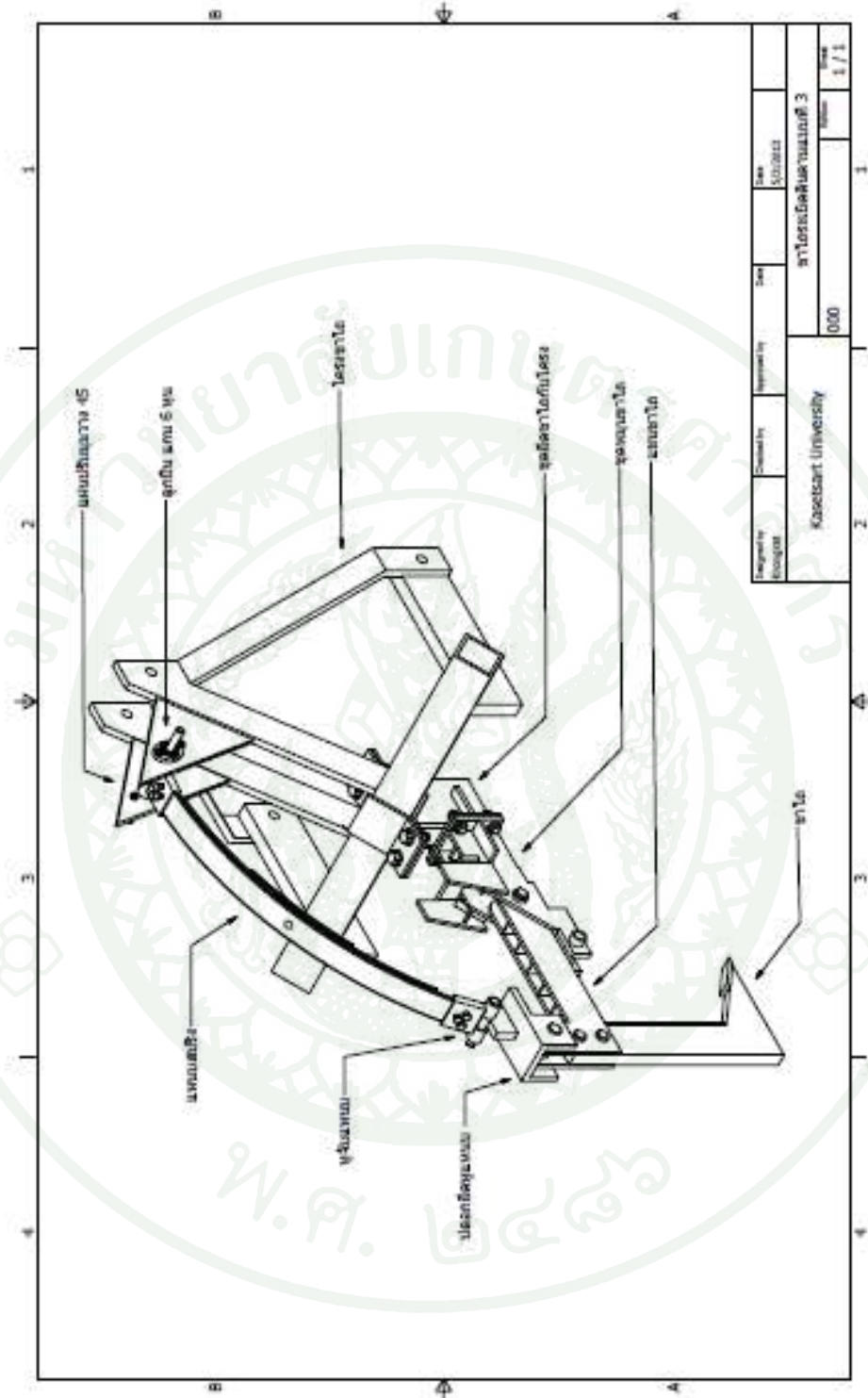
(ก)

(ข)

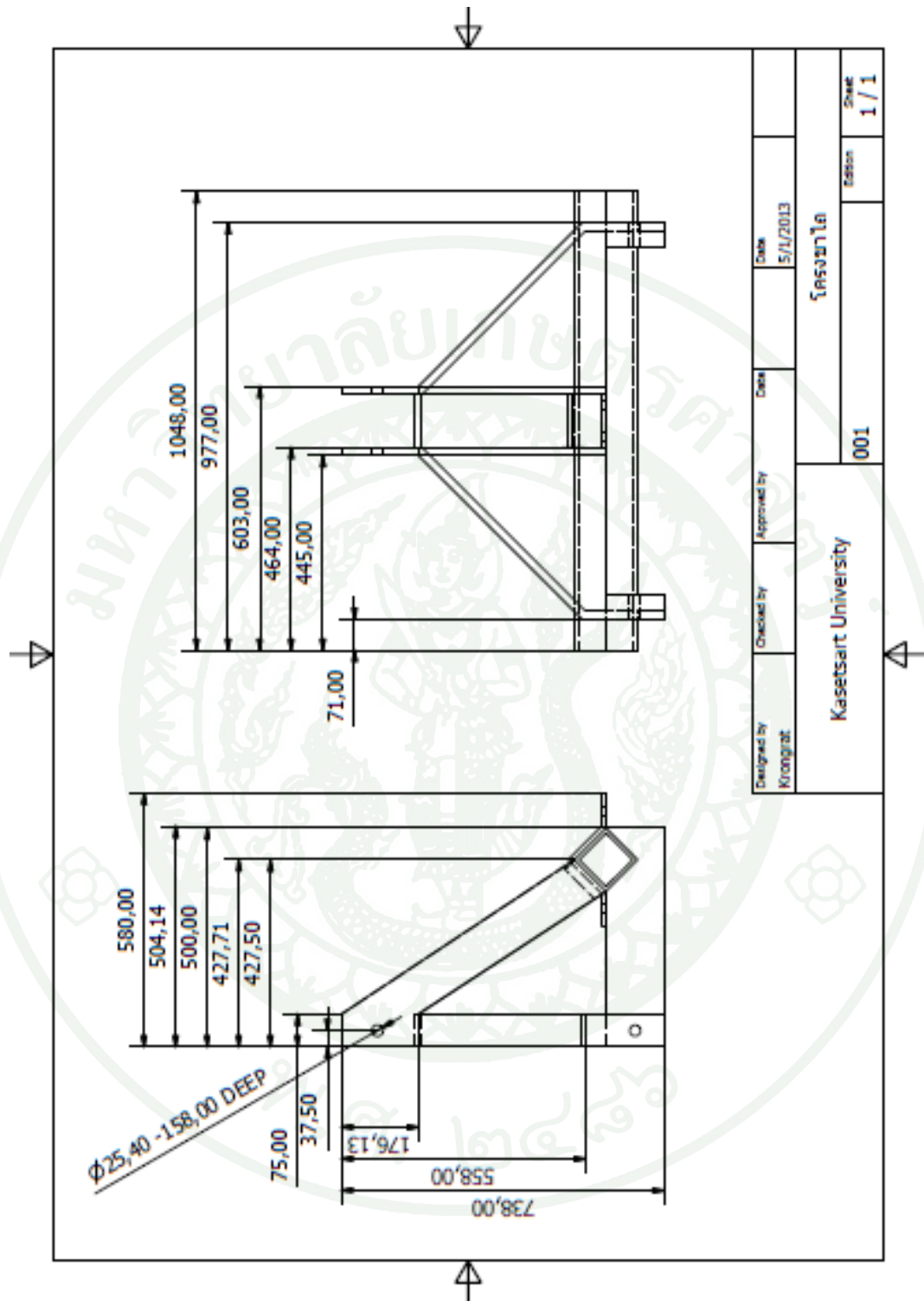
ภาพผนวกที่ ก5 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load (kN) ในแนวตั้ง กับ Voltage (V) ของ Lower Link Pin Transducer (ก) ด้านขวามือและ (ข) ด้านซ้ายมือ



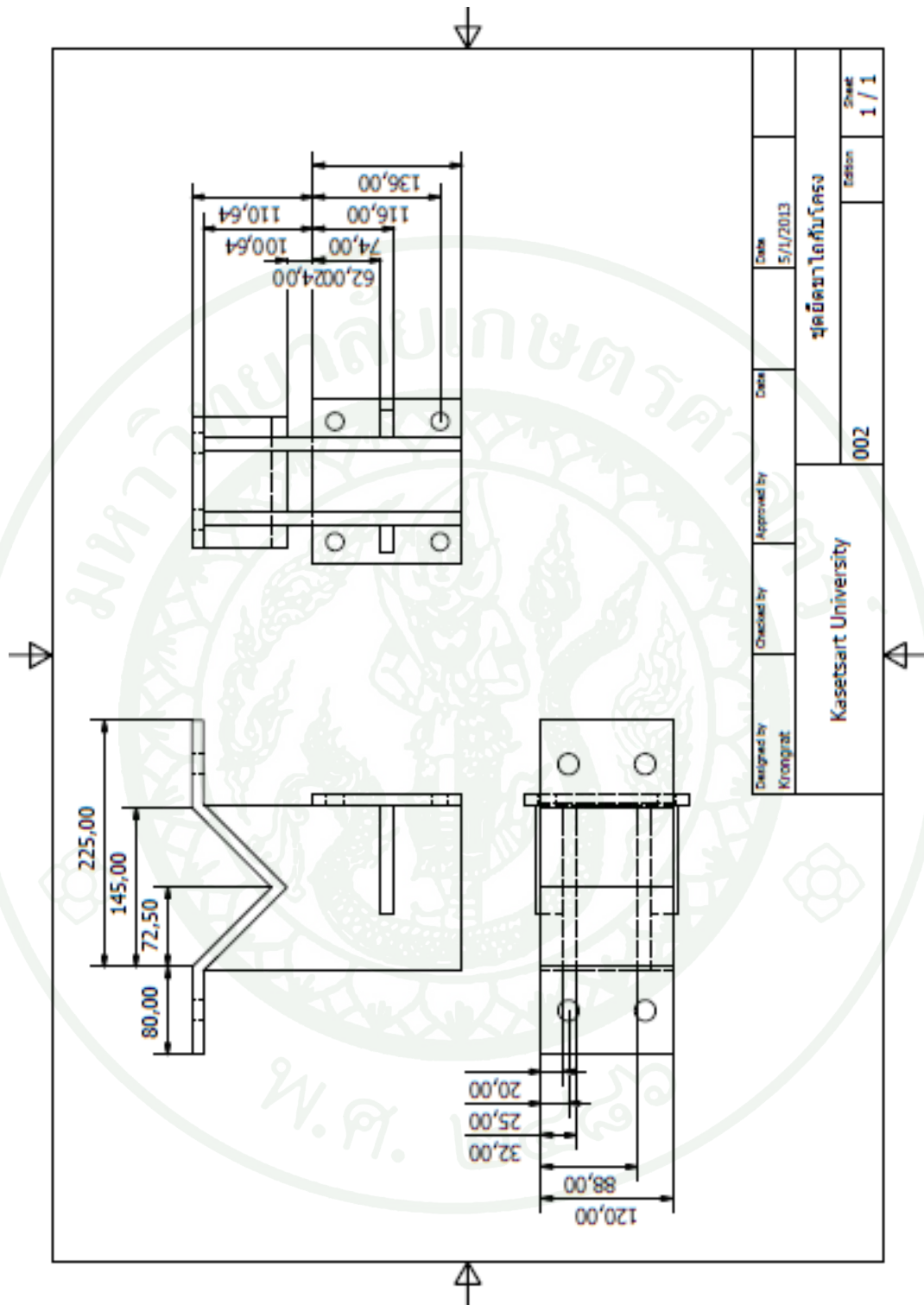
ภาคผนวก ข  
แบบขึ้นส่วนต่างๆ



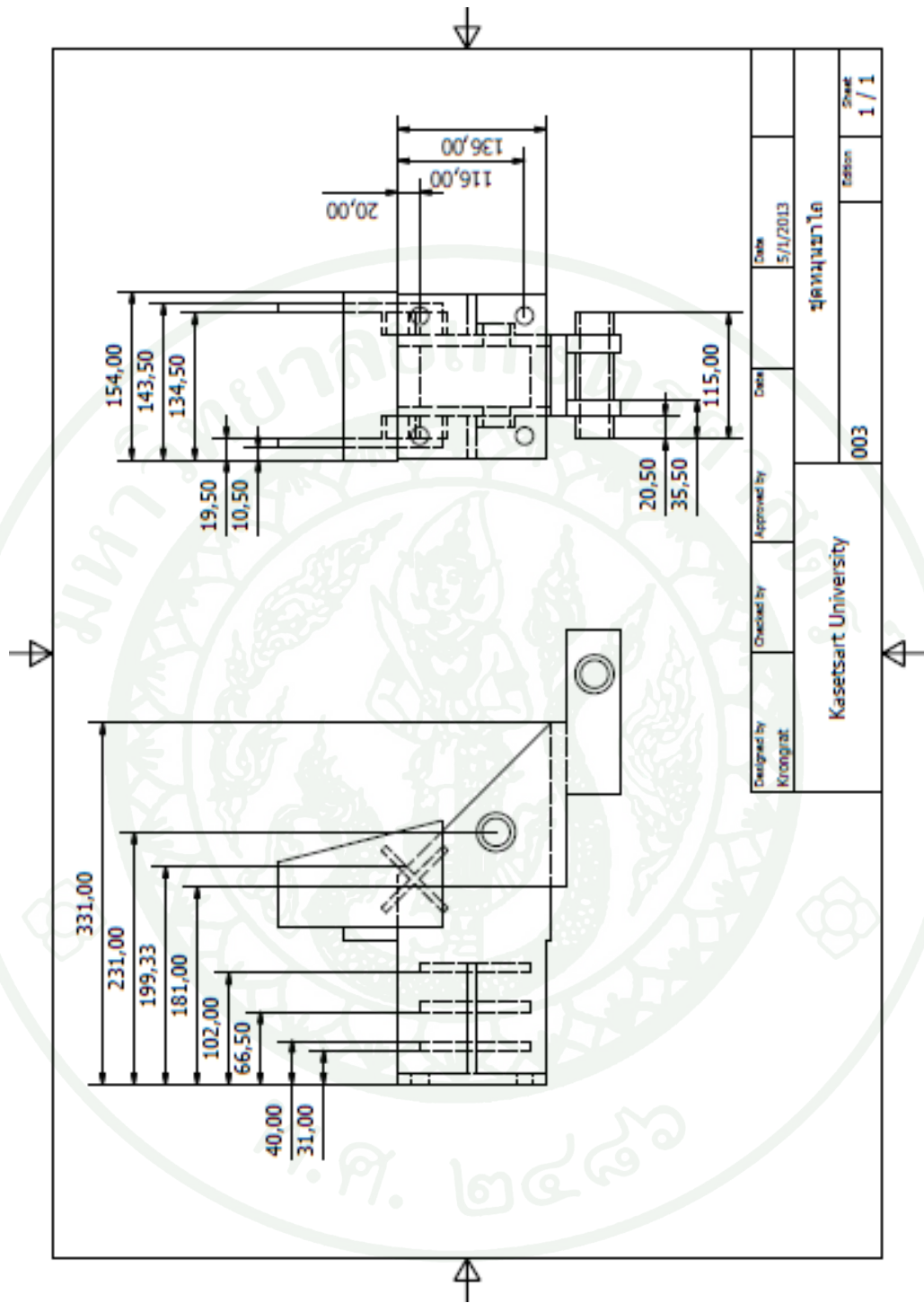
ภาพผนวกที่ ข1 ขาไถระเปิดดินดานแบบที่ 3



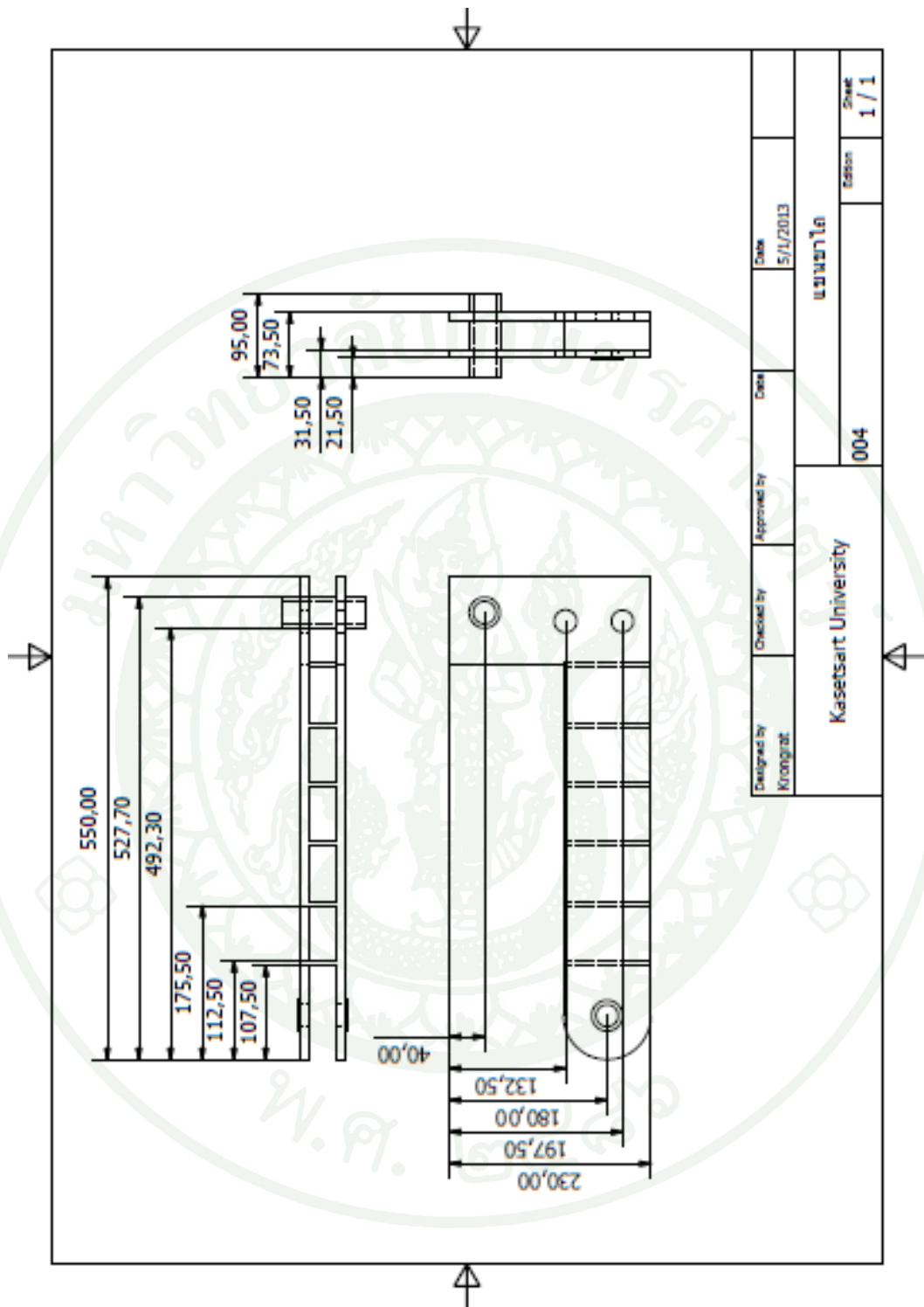
ภาพผนวกที่ ข2 โครงขาโต๊ะ



ภาพผนวกที่ ข3 ชุดยัดขาไถกับโครง



ภาพผนวกที่ ข4 ชุดหมุ่นชาโต้

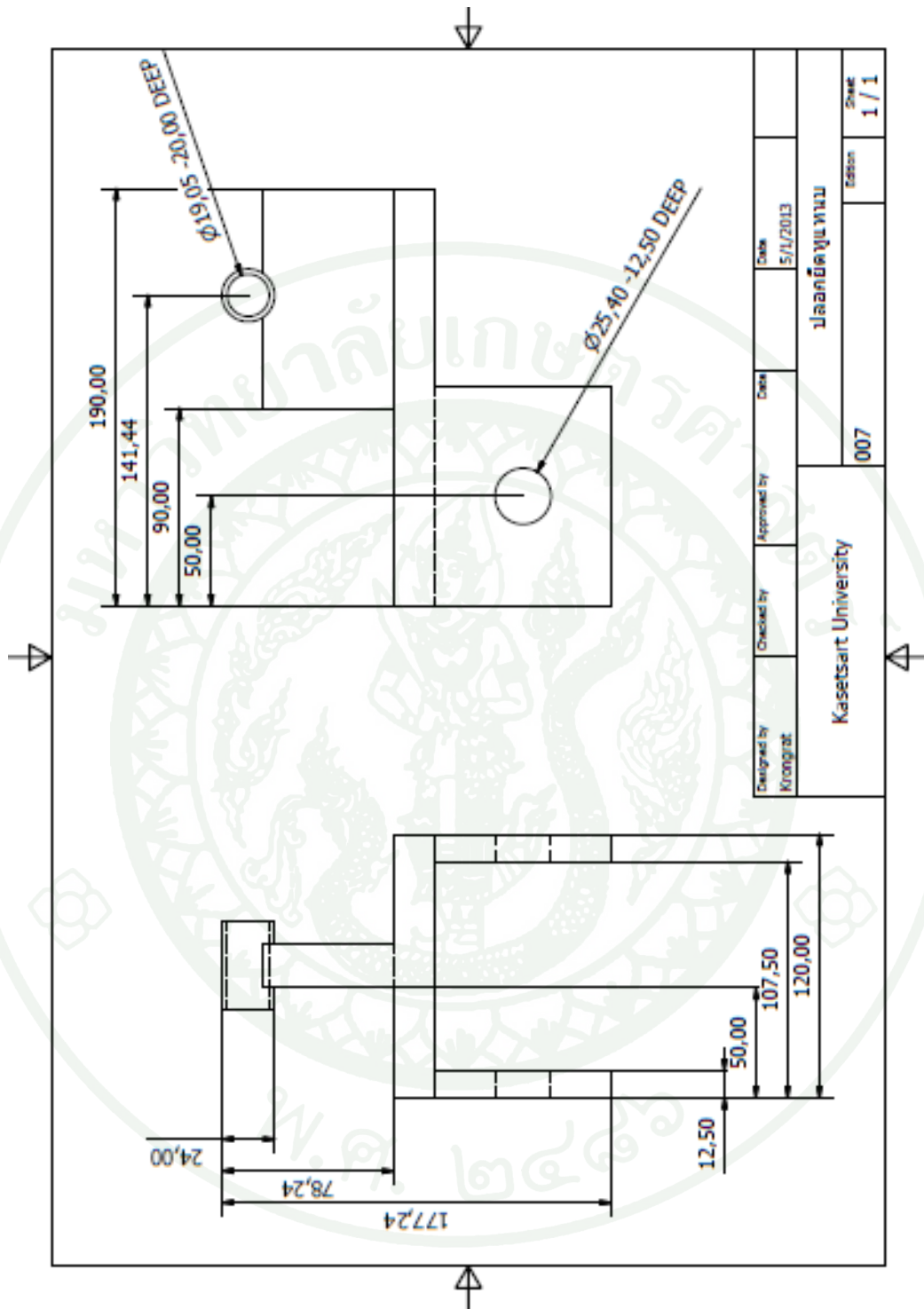


ภาพผนวกที่ ข5 แกนขาใต้

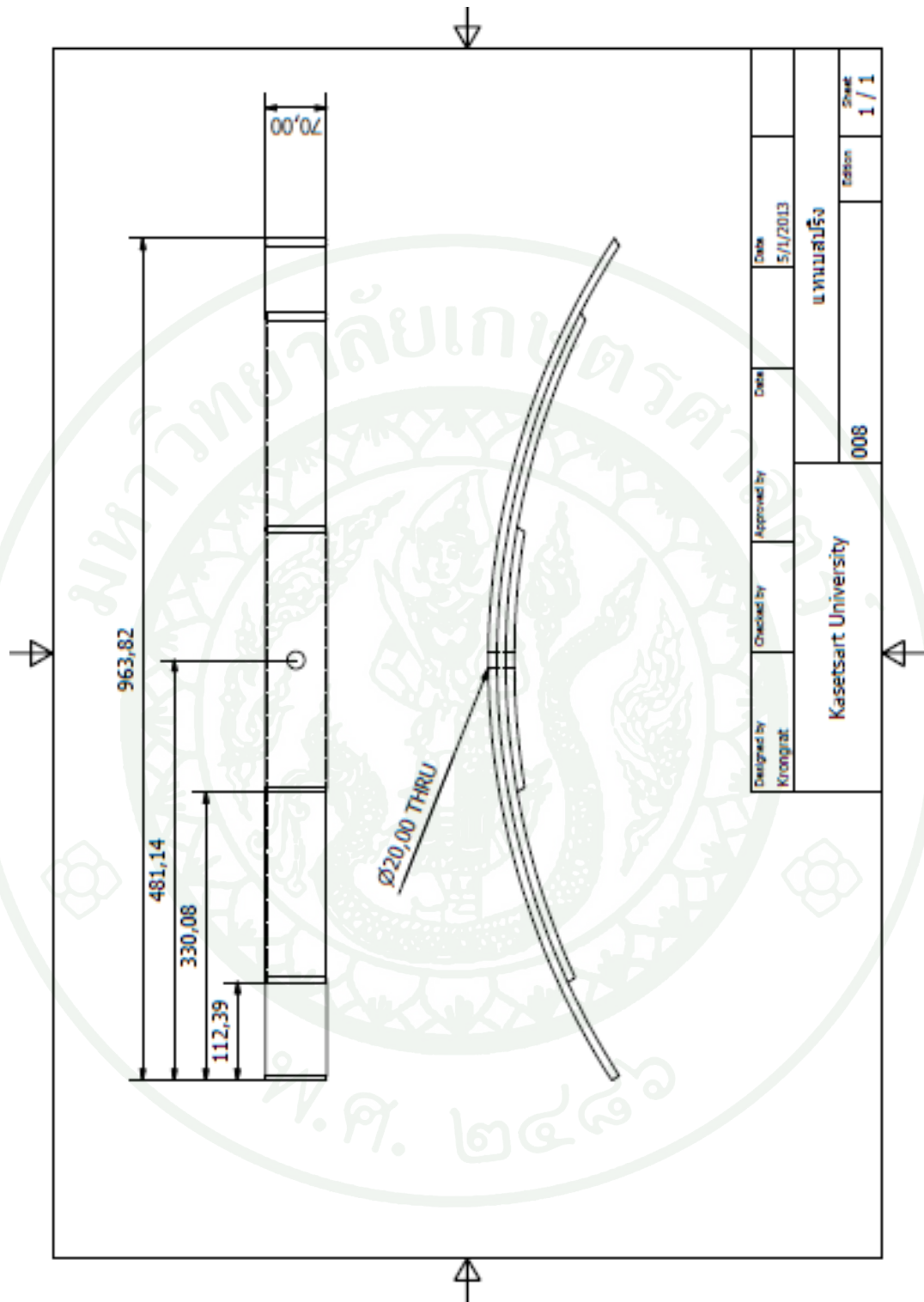




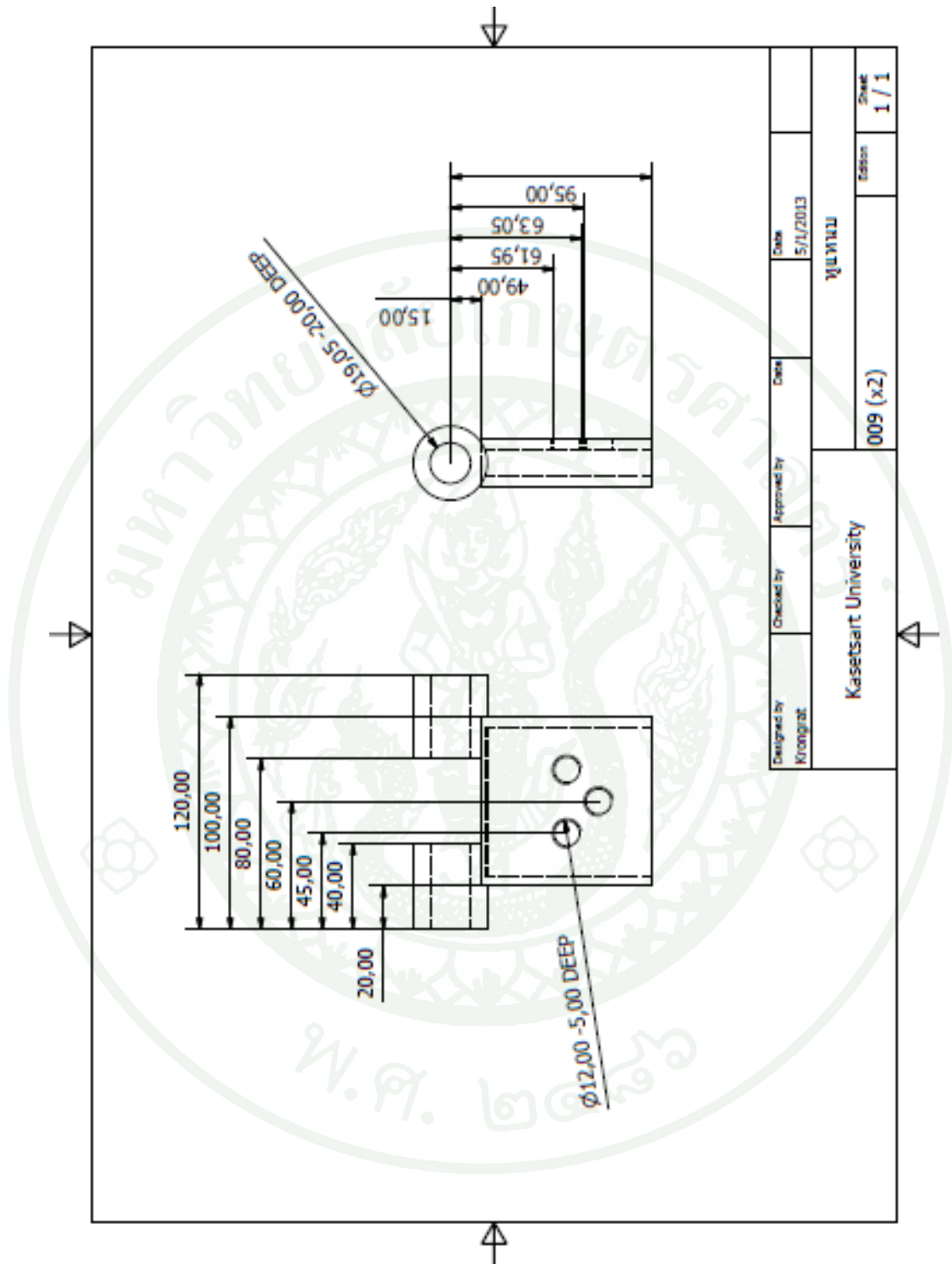
ภาพผนวกที่ ข7 แผ่นปรับมุมวางแหงนบ 45 องศา



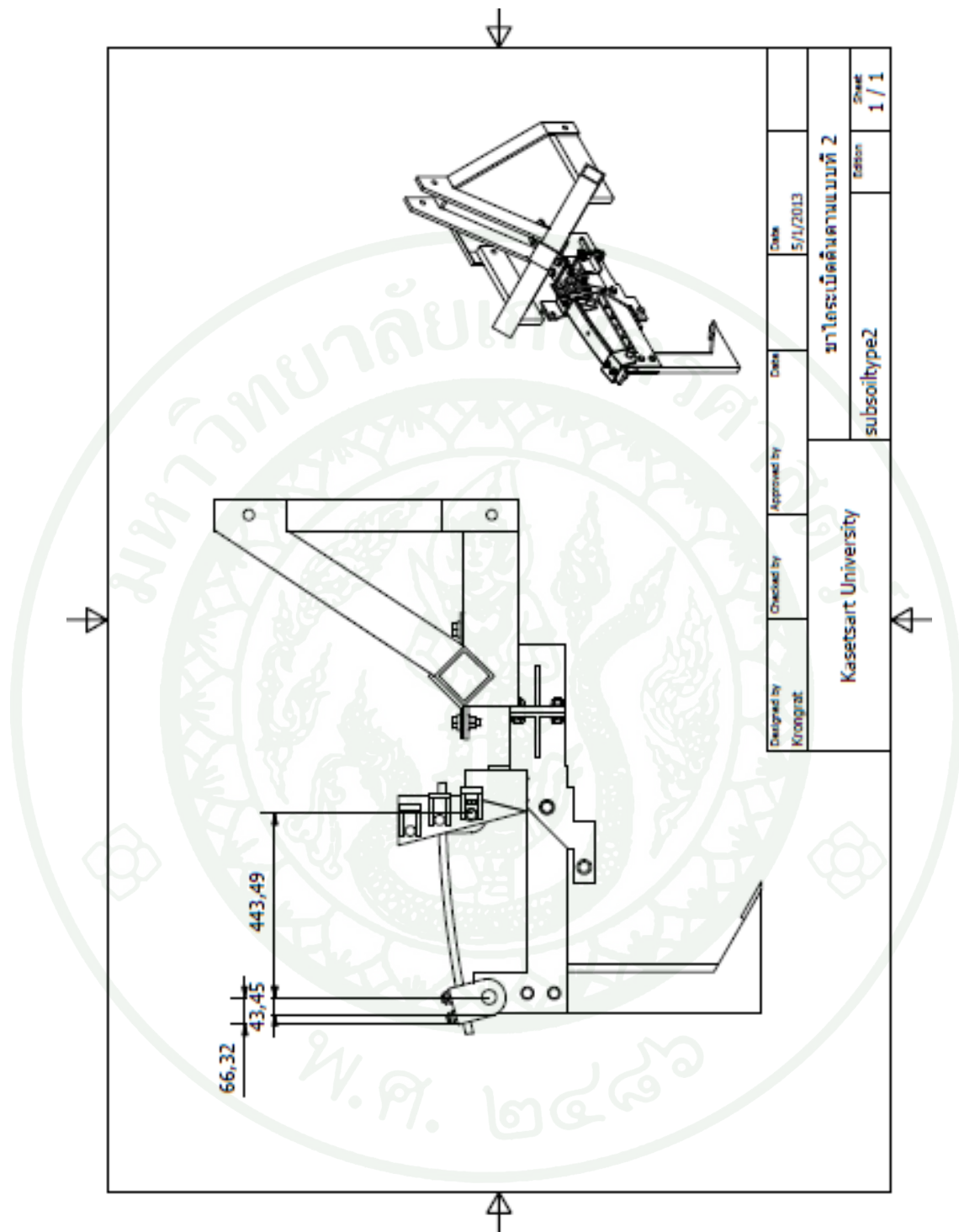
ภาพผนวกที่ ข8 ปลอกยึดหูแหวน



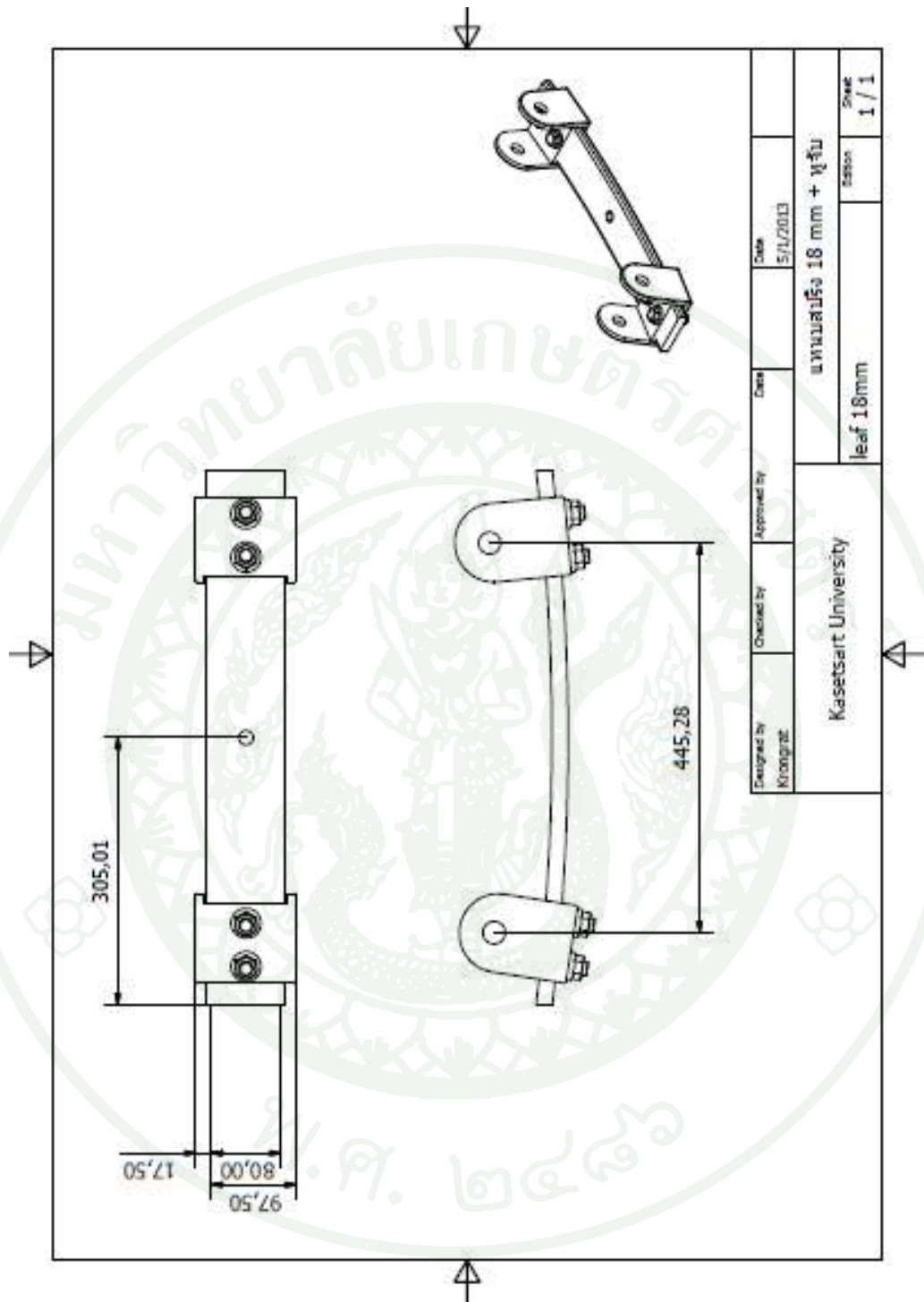
ภาพผนวกที่ ข9 แหนบสปริงขนาดหนา 10 มิลลิเมตร



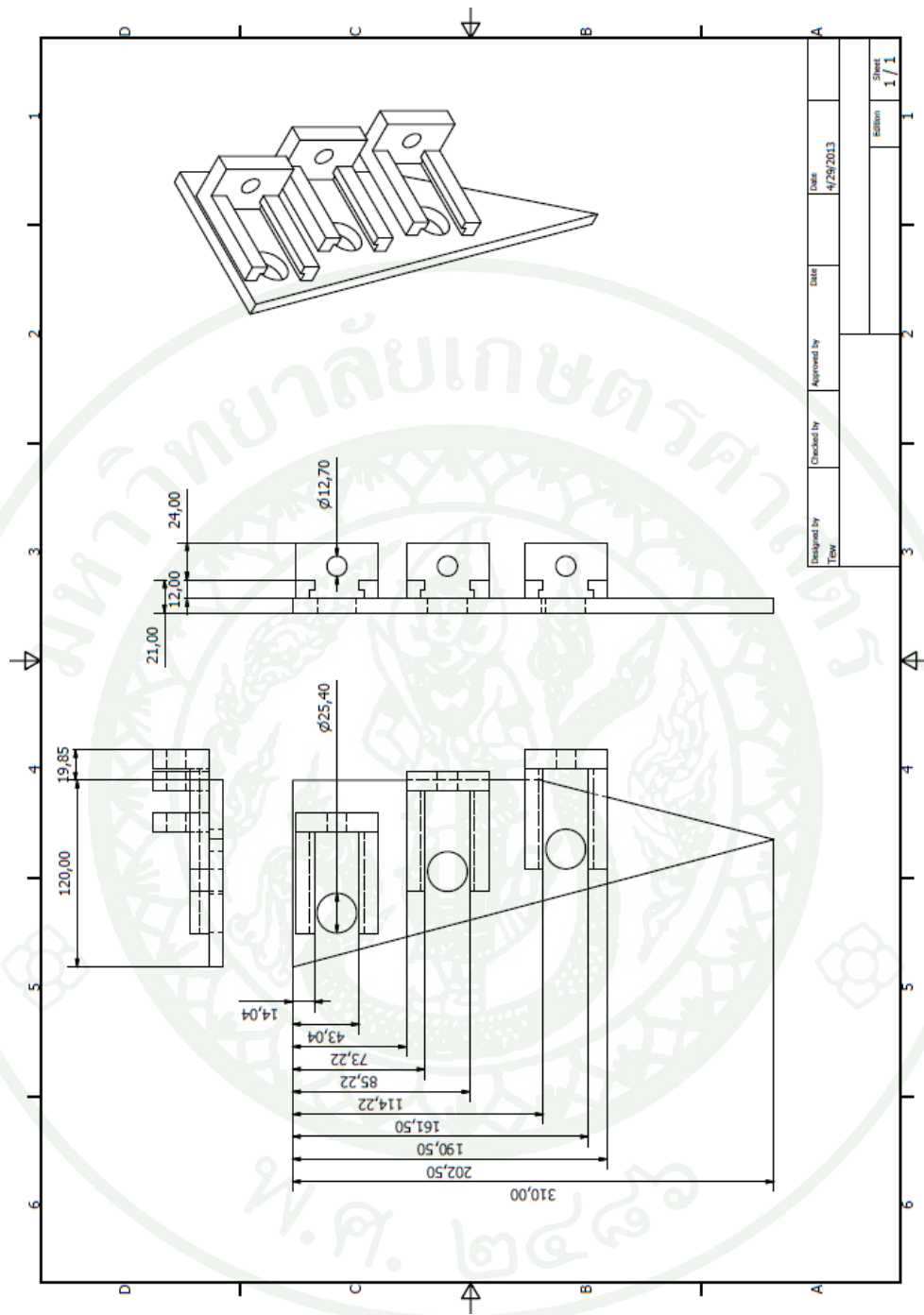
ภาพผนวกที่ ข10 หูแหวน



ภาพผนวกที่ ข11 ชาโระเปิดดินดานแบบที่ 2



ภาพผนวกที่ ข12 แหนนสปริงขนาดหนา 18 มิลลิเมตร



ภาพผนวกที่ ข13 แผ่นปรับมุมวางแหวนบ (ขาไถระเบิดดินดานแบบที่ 2)





ภาพผนวกที่ ค1 ชาไถระเบิดดินดานแบบที่ 3



ภาพผนวกที่ ค2 ขาไถระเบิดดินดานแบบที่ 3 ขณะไถ



ภาพผนวกที่ ค3 มุมวางแหวนสปริง 45 องศา



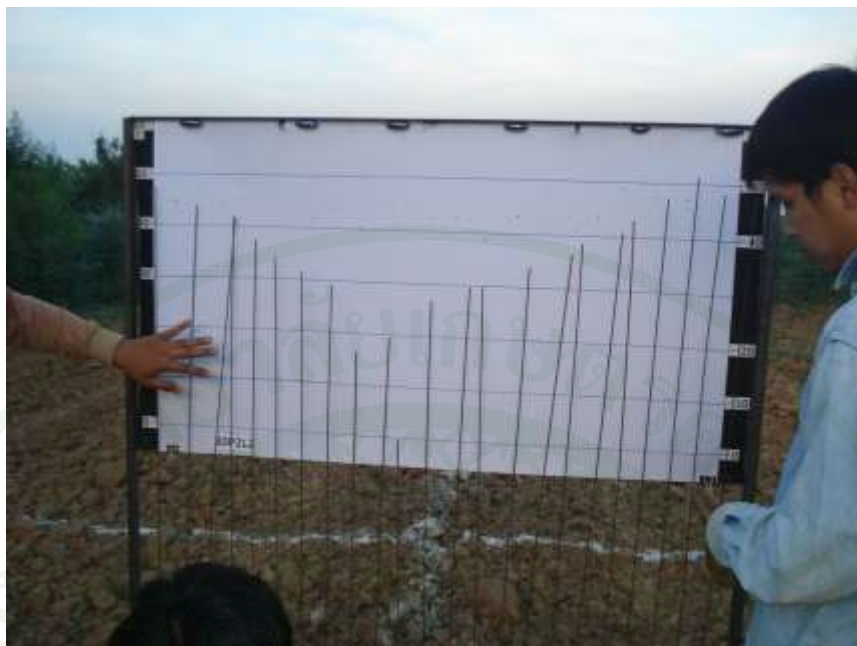
ภาพผนวกที่ ค4 รอยพุ่มจากการไถ



ภาพผนวกที่ ค5 แท่งปูนที่เสียหาย



ภาพผนวกที่ ค6 แปลงทดสอบไถ



ภาพผนวกที่ ค7 การวัดพื้นที่การแตกตัว



ภาพผนวกที่ ค8 การโยกดินออกจากร่องไถ



ภาพผนวกที่ ๙ คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์เก็บข้อมูลบนรถแทรกเตอร์



ตารางผนวกที่ ง1 ระยะเวลาขุ่นหนาสปริงต่อแรงกดจากการทดลองกดหนาสปริงด้วยแท่นกดไฮดรอลิกส์

แรงกดจากแท่นไฮดรอลิกส์ ตัน	ระยะเวลาขุ่นหนาสปริง มิลลิวินาที
0.5	4
1	6
1.5	9
2	11
2.5	15
3	22
0.5	4
1	7
1.5	10
2	13
2.5	15
3	18
0.5	3
1	6
1.5	10
2	12
2.5	14
3	20
0.5	4
1	7
1.5	9
2	14
2.5	15
3	19

ตารางผนวกที่ ง2 ระยะยกตัวขาไถของไถระเบิดดินดานแบบที่ 1 จากการให้แรงฉุดลาก

แรงฉุดลาก ตัน	ระยะยกตัวขาไถ มิลลิเมตร
1	11
1	9
1	10
1.6	20
1.6	19
1.6	20
1.8	22
1.8	23
1.8	23
2	25
2	25
2	26

ตารางผนวกที่ ง3 ค่าความต้านทานการแทงทะลุของดิน

ร่องไถ	ความลึก cm	ความต้านทานการแทงทะลุ ของดินเฉลี่ย MPa
20L1	5-50	1.99
30L1	5-50	1.85
40L1	5-50	1.95
20L2	5-50	1.8
30L2	5-50	2.11
40L2	5-50	1.85

ตารางผนวกที่ ๔ ค่าความชื้นตัวอย่างดิน

ความลึก ซม.	ก่อนเข้าตู้อบ กรัม	หลังเข้าตู้อบอบ กรัม	น้ำหนักน้ำ กรัม	ความชื้น %	ความชื้น เฉลี่ย %
30	186.43	158.32	28.11	17.76	21.49
30	195.55	159.5	36.05	22.60	
30	208.55	173.89	34.66	19.93	
30	203.09	167.48	35.61	21.26	
30	200.28	166.25	34.03	20.47	
30	204.38	167.28	37.1	22.18	
30	210.75	173.29	37.46	21.62	
30	207.85	172.75	35.1	20.32	
30	197.43	164.29	33.14	20.17	
30	198.3	160.29	38.01	23.71	
30	200.23	160.96	39.27	24.40	
30	191.3	154.92	36.38	23.48	
50	202.56	166.41	36.15	21.72	23.36
50	197.11	158.25	38.86	24.56	
50	202.92	164.64	38.28	23.25	
50	204.68	166.17	38.51	23.18	
50	204.47	168.44	36.03	21.39	
50	198.16	158.57	39.59	24.97	
50	206.89	166.93	39.96	23.94	
50	211.68	173.24	38.44	22.19	
50	190.86	153.68	37.18	24.19	
50	202.76	164.49	38.27	23.27	
50	210.76	170.31	40.45	23.75	
50	192.9	155.62	37.28	23.96	

ตารางผนวกที่ 5 พื้นที่การแตกตัวของดิน

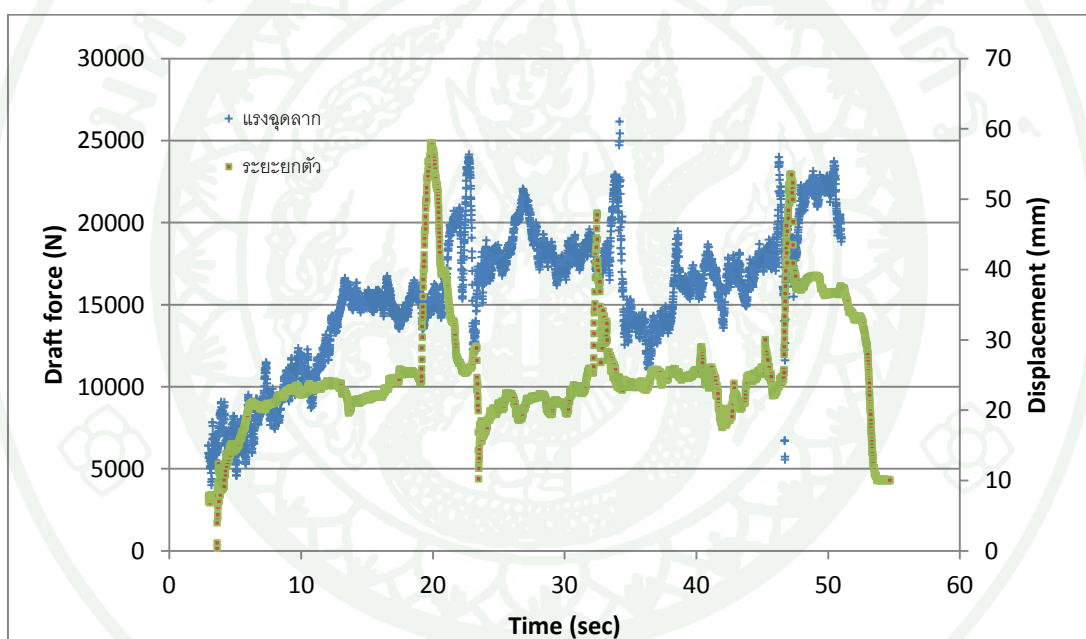
ตำแหน่งที่วัด	พื้นที่การแตกตัว cm <sup>2</sup>
40P1L1	161.58
40P2L1	187.56
30P1L1	136.18
30P2L1	122.03
20P1L1	177
20P2L1	129.26
40P1L2	207.51
40P2L2	204.28
30P1L2	239.66
30P2L2	117.97
20P1L2	266.2
20P2L2	209.8

ตารางผนวกที่ 6 ความเร็วการเคลื่อนที่รถแทรกเตอร์

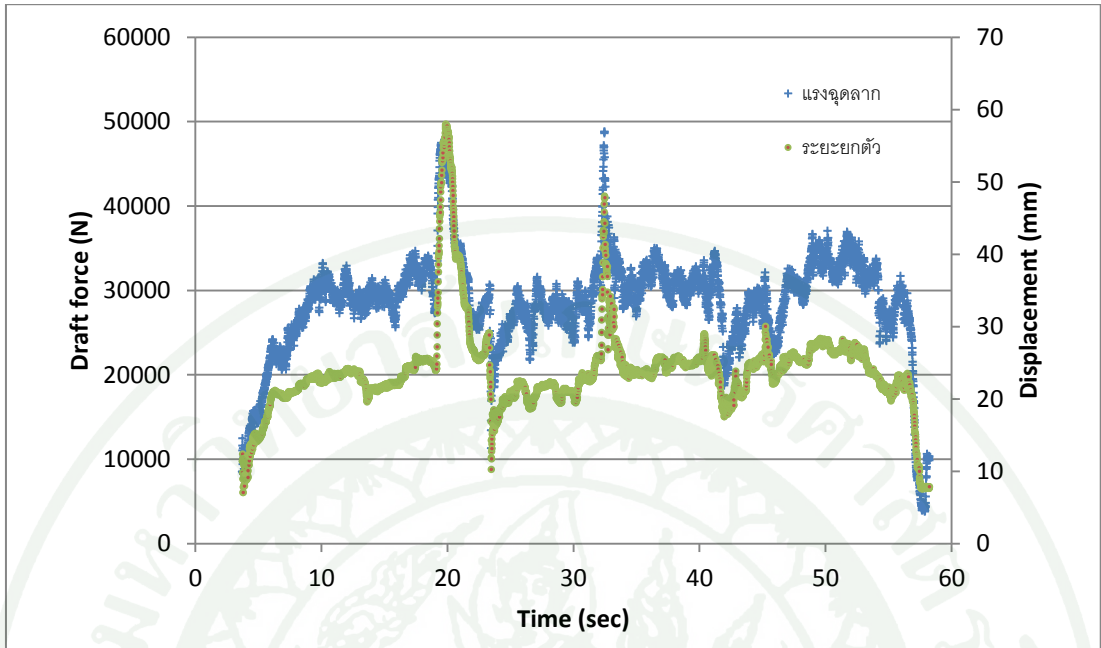
ร่องไถ	ระยะทาง เมตร	เวลา วินาที	ความเร็ว กิโลเมตร / ชั่วโมง
20L1	20	25.85	2.78
30L1	20	25.8	2.79
40L1	20	24.97	2.88
20L2	20	25.87	2.78
30L2	20	25.98	2.77
40L2	20	26.01	2.76

ตารางผนวกที่ ๗ อัตราการสิ้นเปลืองที่ล้อ

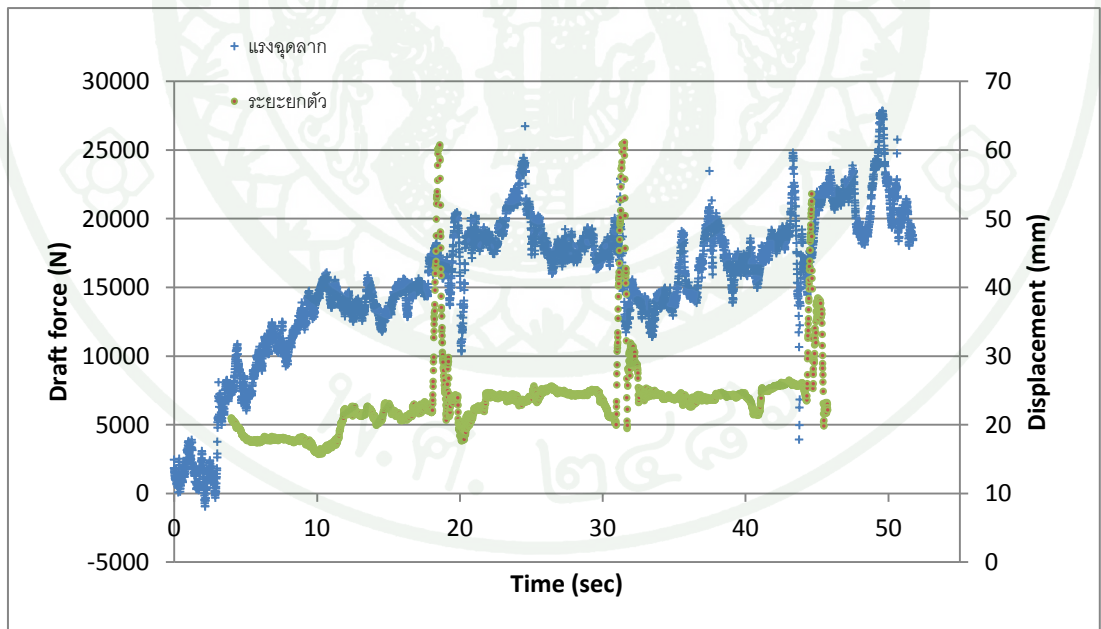
ร่องไถ	ระยะทางที่ล้อหมุน	ระยะทางล้อหมุนทาง	อัตราการสิ้นเปลือง
	ขณะไถ	ทางทฤษฎี	
	เมตร	เมตร	%
20L1	4.45	4.64	4.09
30L1	4.42	4.64	4.74
40L1	4.41	4.64	4.95
20L2	4.28	4.64	7.75
30L2	4.37	4.64	5.84
40L2	4.4	4.64	5.17



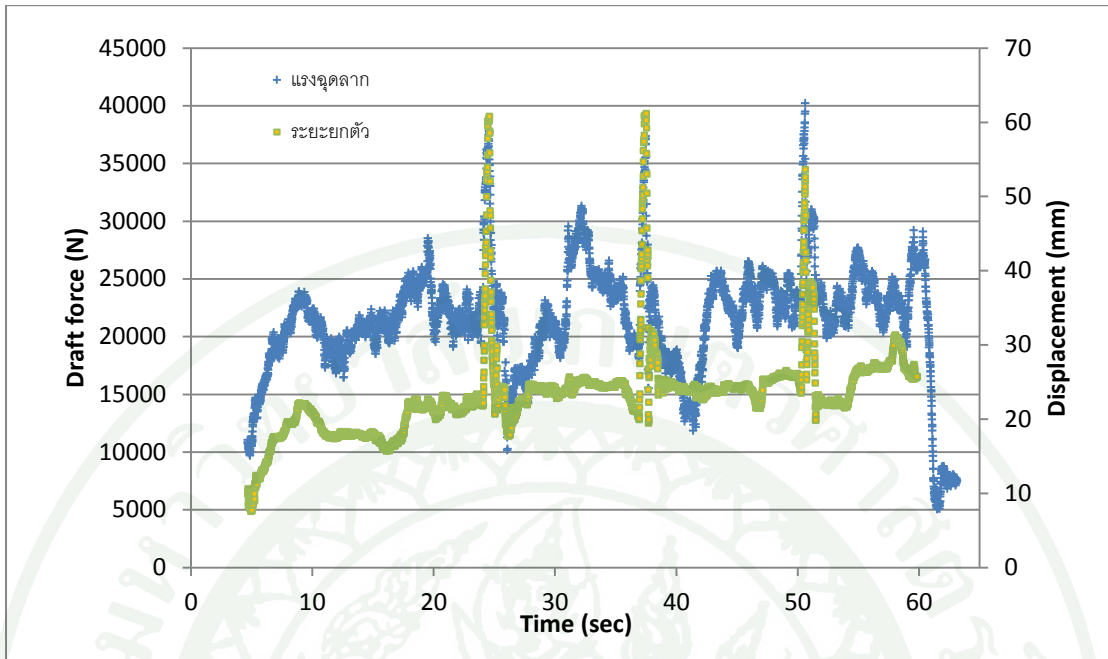
ภาพผนวกที่ ๑1 แรงฉุดลากและระยะยกตัวขาคี 20L1



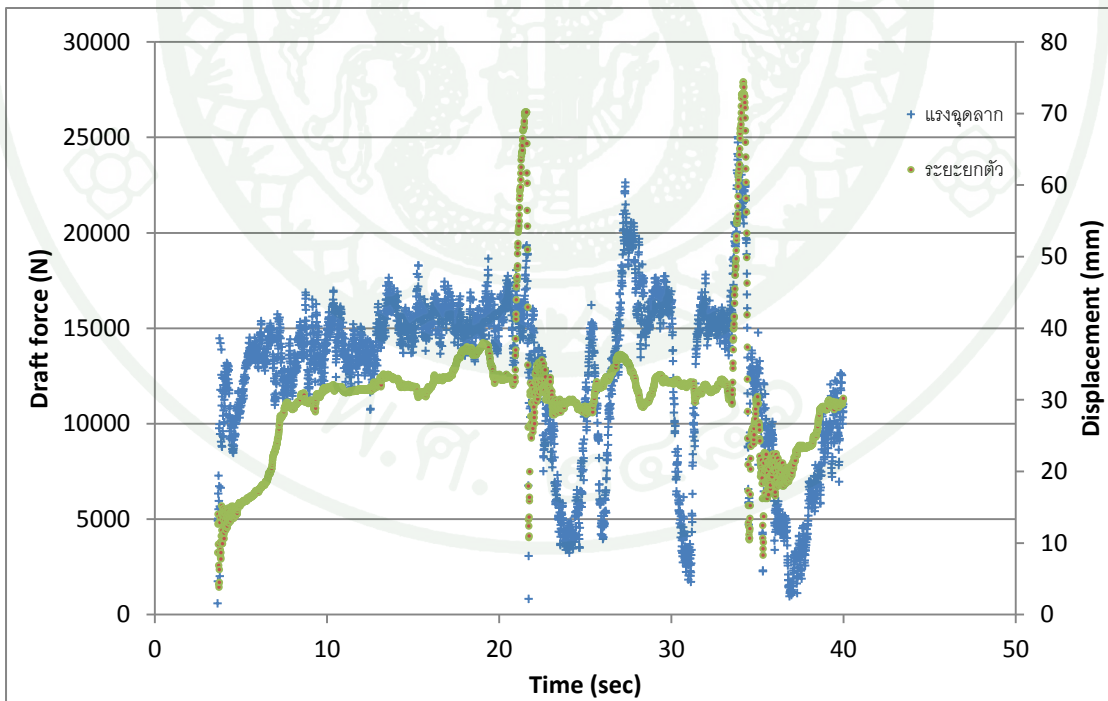
ภาพผนวกที่ ๒ แรงฉุดลากและระยะยกตัวขาไถ ร่องไถ 20L2



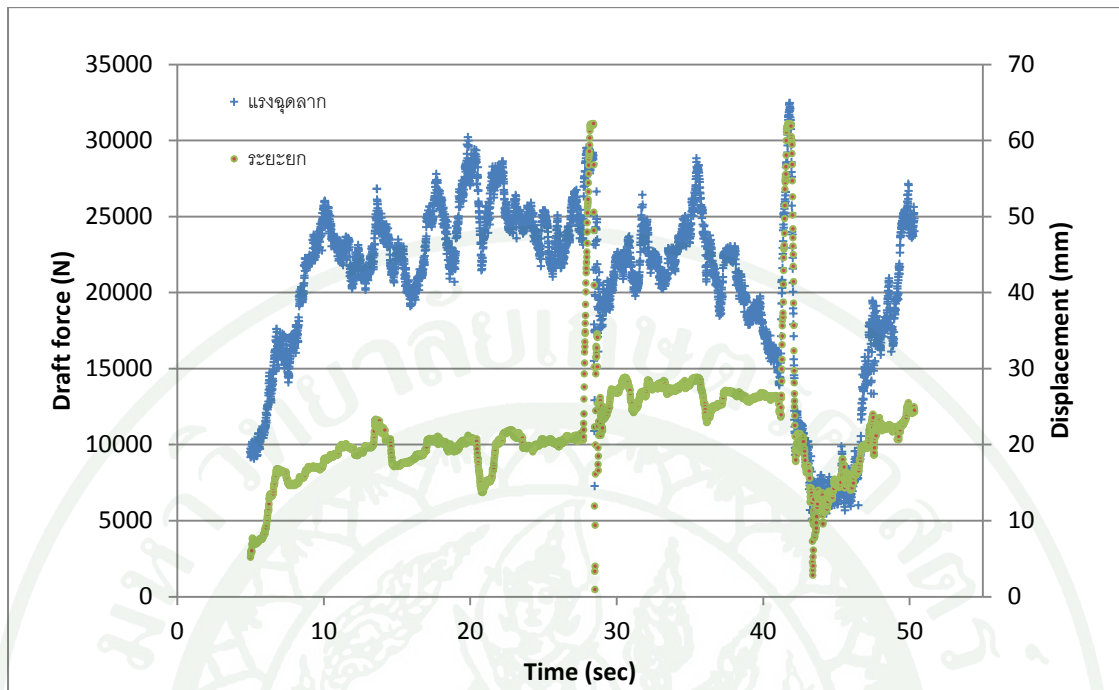
ภาพผนวกที่ ๓ แรงฉุดลากและระยะยกตัวขาไถ ร่องไถ 30L1



ภาพผนวกที่ ๔ แรงฉุดลากและระยะยกตัวขาไถ ร่องไถ 30L2



ภาพผนวกที่ ๕ แรงฉุดลากและระยะยกตัวขาไถ ร่องไถ 40L1



ภาพผนวกที่ ๖6 แรงฉุดลากและระยะยกตัวขาไถ ร่องไถ 40L2

## ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ - นามสกุล	นายครองรัฐ รักเที่ยงธรรม
วัน เดือน ปี ที่เกิด	30 ตุลาคม 2528
สถานที่เกิด	จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (เคมีสิ่งทอ) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	นิสิตปริญญาโท
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการวิจัยที่ได้รับ	ได้รับทุนผู้ช่วยสอนจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2553)