



วิทยานิพนธ์

การพัฒนาอุปกรณ์ปรับปรุงการอัดแน่นของดินในไร่อ้อย

**DEVELOPMENT OF EQUIPMENT FOR ALLEVIATING SOIL
COMPACTION IN SUGARCANE FIELD**

นายราวุธ น่วมปลั่ง

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต(วิศวกรรมเกษตร)

ปริญญา

วิศวกรรมเกษตร

วิศวกรรมเกษตร

สาขา

ภาควิชา

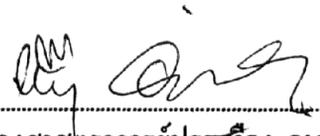
เรื่อง การพัฒนาอุปกรณ์ปรับปรุงการอัดแน่นของดินในไร่อ้อย

Development of Equipment for Alleviating Soil Compaction in Sugarcane Field

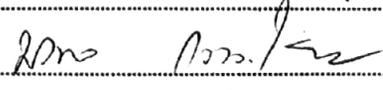
นามผู้วิจัย นายราวุธ น่วมปฐม

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

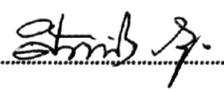
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก


(รองศาสตราจารย์ประเทือง อูษาบริสุทธิ์, Ph.D.)

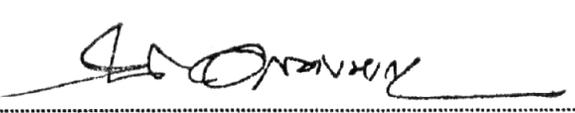
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม


(รองศาสตราจารย์มงคล กวางวโรภาส, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวลักษณ์ ปจูวิรัตน์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว


(รองศาสตราจารย์วินัย อางคหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 1 เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2550

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาอุปกรณ์ปรับปรุงการอัดแน่นของดินในไร่อ้อย

Development of Equipment for Alleviating Soil Compaction in Sugarcane Field

โดย

นายราวุธ น่วมปฐม

เสนอ

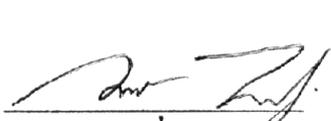
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

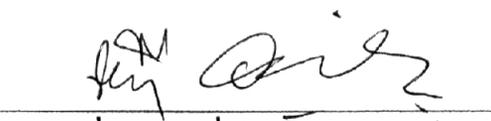
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)

พ.ศ. 2550

ราวุฒิ น่วมปฐม 2550: การพัฒนาอุปกรณ์ปรับปรุงการอัดแน่นของดินในไร้อ้อย
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร) สาขาวิศวกรรมเกษตร ภาควิชา
วิศวกรรมเกษตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ประเทือง อุษา
บริสุทธิ์, Ph.D. 106 หน้า

ผลผลิตของอ้อยลดลงเนื่องมาจากการอัดแน่นของดินซึ่งการอัดแน่นของดินเกิดทั้งในบริเวณชั้นไถพรวนและบริเวณใต้ชั้นไถพรวน การบรรเทาการอัดแน่นของดินสามารถทำได้โดยใช้ไถระเบิดดินดานหรือรีเปอร์กับรถแทรกเตอร์ที่มีขนาดใหญ่และกำลังจุกดากสูง การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้บรรเทาการอัดแน่นของดินในระหว่างการปลูกอ้อย โดยทำการศึกษาหาไถที่มีรูปทรงแตกต่างกัน 4 แบบ คือ ขาไถตรง ขาไถตรงมีมุมไถ 30 องศา ขาไถเอียง 60 องศา มีมุมไถ 30 องศา และ ขาไถรูปตัว C มีมุมไถ 30 องศา ทำการทดสอบในชุดดินเหนียวที่กะบะดินของศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ โดยได้ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสมบัติของดิน เช่น การแตกตัวของดิน ความหนาแน่นดิน อัตราการซึมน้ำ ค่าความต้านทานการแทงทะลุ และแรงจุกดากที่ใช้ จากผลการทดลองพบว่าขาไถแบบที่ 4 ขาไถรูปตัว C มีมุมไถ 30 องศา นั้นให้ผลโดยรวมของสมบัติดินหลังไถดีที่สุด ทั้งความหนาแน่นที่ลดลง ความต้านทานการแทงทะลุของดิน การแตกตัวของดิน และอัตราการซึมน้ำ รองลงมาคือขาไถแบบที่ 3 แบบที่ 2 และแบบที่ 1 ตามลำดับ แต่ในส่วนของแรงจุกดากที่ต้องการพบว่าขาไถแบบที่ 4 นั้นต้องการแรงจุกดากสูงสุดมีค่าเฉลี่ย 16.26 kN รองลงมาคือ ขาไถแบบที่ 2 ขาไถแบบที่ 3 และขาไถแบบที่ 1 ซึ่งต้องการแรงจุกดากต่ำสุดมีค่าเฉลี่ย 6.77 kN เมื่อทำการเปรียบเทียบแรงจุกดากต่อพื้นที่การแตกตัวของดินพบว่า ขาไถแบบที่ 3 ให้ค่าอัตราส่วนน้อยที่สุดมีค่าเฉลี่ย 6.00 N/cm² ส่วนอิทธิพลของความชื้นนั้นพบว่าเมื่อค่าความชื้นของดินสูง ส่งผลให้การแตกตัวของดินน้อยลง และค่าแรงจุกดากที่ต้องการลดลง ดังนั้นขาไถรูปตัว C มีมุมไถ 30 องศาและขาไถเอียง 60 องศา มีมุมไถ 30 องศา น่าจะมีความเหมาะสมในการใช้เป็นอุปกรณ์บรรเทาการอัดแน่นของดินในไร้อ้อย

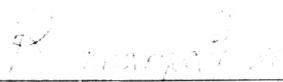

ลายมือชื่อนิติศ


ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

26 / 10 / 2550

Rawut Nuampathom 2007: Development of Equipment for Alleviating Soil
Compaction in Sugarcane Field. Master of Engineering (Agricultural Engineering),
Major Field: Agricultural Engineering, Department of Agricultural Engineering.
Thesis Advisor: Associate Professor Prathuang Usaborisut, Ph.D. 106 pages.

Yield of sugarcane was decreased with soil compaction. Soil compaction in sugarcane field are exist in both plowed and subsoil layers. To alleviate such soil compaction, subsoiler or ripper, which was pulled by a big tractor, were used. This study was aimed to investigate the equipments that are appropriated for soil compaction alleviation in sugarcane field. The tested equipments have four different shank types; straight shank, straight shank with 30° rake angle, 60° inclined shank with 30° rake angle and C-like shape shank with 30° rake angle. The experiments were conducted in clayed soil under consideration of factor concerning soil properties ;bulk density, penetration resistance, soil disturbance and infiltration rate and required draft force. The results of fourth type were best, followed by those of the third type, the second type and the first type, respectively. On the other hand, the fourth type of shank required the highest average draft force of 16.26 kN. However, when comparison of draft force and area of soil disturbance was taken into account, it was found that the third type of shank resulted in the lowest ratio of 6.00 N/cm^2 . For influence of soil moisture content, soil disturbance and draft forces were decreased at higher soil moisture content. Therefore when all factors were taken in to consideration, equipments with 60° inclined shank with 30° rake angle and C-like shape shank with 30° rake angle may be appropriated to use for alleviating soil compaction in sugarcane field.



Student's signature



Thesis Advisor's signature



กิตติกรรมประกาศ

ขอมอบบุญกุศลใดๆที่เกิดจากการทำวิจัยนี้แด่มารดาและบิดาของข้าพเจ้าซึ่งท่านทั้งสองได้เสียชีวิตลงขณะที่ข้าพเจ้ากำลังศึกษาอยู่ ขอกราบขอบพระคุณหลวงปู่แก้ว ปวโร ที่ได้ช่วยแนะนำและสนับสนุนให้กำลังใจข้าพเจ้าได้ศึกษาในระดับที่สูงขึ้น ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ประเทือง อุษาบริสุทธิ์ ที่เป็นที่ปรึกษาและให้คำชี้แนะในการทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งเป็นทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2549

คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน ที่ได้สนับสนุนเครื่องมือและบุคลากรในการทำงานวิจัย

ศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติที่ได้อำนวยความสะดวกในการใช้สถานที่ในการทดลองและเครื่องมือวัดค่าต่างๆ รวมถึงบุคลากรที่คอยให้คำแนะนำต่างๆ

ศูนย์พลังงาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือวัดในการทดสอบ

ทุกๆท่านที่มีส่วนช่วยเหลือในการวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ราวุฒิ น่วมปฐม
ตุลาคม 2550

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	29
ผลและวิจารณ์	53
ผล	53
วิจารณ์	72
สรุปและข้อเสนอแนะ	74
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	75
ภาคผนวก	78
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	93

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างแรงจุดลากต่อพื้นที่หน้าตัด	12
2	ค่าต่างๆของดินที่วัดและแสดงเงื่อนไขของกระบะดินใน 2 ชุดดินที่ National Soil Dynamic Laboratory	21
3	แรงต่างๆที่ได้จากการวัดการทดสอบขาไถในกระบะดินที่ National Soil Dynamic Laboratory	22
4	ผลการทดสอบสมรรถนะไถดินดานชนิดสั้น 1 ขา	25
5	การทดสอบสมรรถนะไถดินดานชนิดสั้น 2 ขา	26
6	ลักษณะของขาไถที่ออกแบบ	29
7	คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดินที่ใช้ในการทดลอง	45
8	การสุ่มเลือกขาไถเพื่อทำการทดสอบในแปลงย่อยของกระบะดินใน แต่ละการทดลอง	50
9	ค่าความชื้นดินเฉลี่ยก่อนการไถ	55
10	ค่าความชื้นดินเฉลี่ยหลังการไถ	57
11	ค่าความหนาแน่นดินเฉลี่ยก่อนไถ	59
12	ค่าความหนาแน่นดินเฉลี่ยหลังไถ	61
13	ขนาดความยาวและพื้นที่การแตกตัวของดิน	70
14	แรงจุดลากต่อพื้นที่การแตกตัวของดิน	71

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของรากอ้อย	5
2	เครื่องจักรกลหนักที่ทำงานในแปลงปลูกอ้อย สาเหตุหลักที่ทำให้เกิดชั้นดินอัดแน่น	8
3	ไถดินดานชนิดธรรมดา	10
4	พื้นที่หน้าตัดของดินที่แตก่วนขณะไถดินดานชนิดธรรมดาถูกลากผ่าน	10
5	ไถดินดานชนิดตีคูปัก	11
6	พื้นที่หน้าตัดของดินที่แตก่วนเมื่อใช้ไถดินดานชนิดตีคูปัก	12
7	Rake angle ของไถลื้อ	13
8	ระดับความลึกต่างๆของการไถ	14
9	การจัดระยะระหว่างไถลื้อตัวเล็กในการประกอบเข้ากับไถดินดาน	16
10	การเปรียบเทียบพื้นที่หน้าตัดของเนื้อดินบริเวณที่แตก่วนอันเนื่องมาจากการจัดเรียงซี่พรวนในลักษณะต่างๆ	17
11	การแตก่วนที่เกิดด้านหน้าของซี่	18
12	พารามิเตอร์ที่ใช้ออกแบบเครื่องมือรูปร่างแบน	19
13	ลักษณะของขาไถแบบขาโค้งที่ใช้ในการทดสอบ	20
14	ลักษณะของขาไถแบบขาเป็นมุมที่ใช้ในการทดสอบ	21
15	อุปกรณ์ทดสอบหาแรงเสียดทานของไถระเบิดดินดาน	26
16	ขาไถที่ได้ออกแบบทั้ง 4 แบบ	30
17	แรงที่กระทำต่อขาไถแบบที่ 1	32
18	แรงที่กระทำต่อขาไถแบบที่ 2	33
19	แรงที่กระทำต่อขาไถแบบที่ 3	34
20	แรงที่กระทำต่อขาไถแบบที่ 4	35
21	โครงยึดขาไถ	36
22	โครงไถประกอบขาไถทั้ง 4 แบบ	37

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่		หน้า
23	ก้านพนมและโครงสำหรับยึดติดกับขาไถ	38
24	แป้นสำหรับยึดติดขาไถกับโครงไถ	39
25	การประกอบและการติดตั้งขาไถเข้ากับโครงไถ	39
26	ลักษณะของกะบะดินที่ใช้ในการทดสอบ	41
27	รถแทรกเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ	42
28	การติดตั้งเครื่องมือบันทึกค่าแรงฉุดลาก	43
29	Load cell ที่ใช้ในการวัดแรงฉุดลากและการ Calibration	44
30	การตัดดินออกจากกะบะดิน	46
31	การย่อยดิน โดยใช้พรวนจอบหมุนตีดิน	46
32	การบดอัดดินโดยใช้รถตีนตะขาบ	47
33	ใช้ลูกกลิ้งในการบดอัด โดยมีน้ำหนักถ่วงบนลูกกลิ้ง 350 กิโลกรัม	47
34	การเก็บตัวอย่างดิน โดยใช้กระบะบดเก็บตัวอย่างดิน	47
35	Cone Penetrometer ใช้หาค่าความต้านทานการแทงทะลุของดิน	47
36	การคลุมดินด้วยผ้าใบ	48
37	ถังวัดอัตราการซึมน้ำแบบทรงกระบอกสองถังและ Hook Gauge ที่ใช้ในการวัดระดับของน้ำ	48
38	การวัดการแตกตัวที่ผิวหน้าของดิน	49
39	Profile meter ที่สร้างขึ้นเพื่อวัดขนาดพื้นที่การแตกตัวของดิน	49
40	ลักษณะของกะบะดินที่ใช้และตำแหน่งในการทดสอบ	50
41	การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ก่อนการทดสอบ	51
42	ค่าเฉลี่ยความต้านทานการแทงทะลุหลังไถของขาไถทั้ง 4 แบบ	62
43	ค่าความต้านทานการแทงทะลุตัดขวางแนวไถของขาไถที่ 1, 2, 3 และ 4	63
44	ค่าอัตราการซึมน้ำของขาไถที่ 1, 2, 3 และ 4 ของการทดสอบที่ 2	64
45	ค่าแรงฉุดลากเฉลี่ยของขาไถทั้ง 4 ขาในแต่ละการทดสอบ	66
46	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงฉุดลากกับความชื้นของดิน	67

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่		หน้า
47	การแตกตัวของดินหลังไถ	67
48	ตัวอย่างการวัดการแตกตัวของดินโดยใช้ Profile meter	68
49	พื้นที่ในการแตกตัวและความยาวในการแตกตัว	69
ภาพผนวกที่		
1	ขาไถแบบที่ 1	79
2	ขาไถแบบที่ 2	80
3	ขาไถแบบที่ 3	81
4	ขาไถแบบที่ 4	82
5ก	ค่าแรงจุดลากที่วัดออกมาเป็นค่าสัญญาณทางไฟฟ้าของขาไถแบบที่ 1	83
5ข	ค่าแรงจุดลากที่วัดออกมาเป็นค่าสัญญาณทางไฟฟ้าของขาไถแบบที่ 1	83
5ค	ค่าแรงจุดลากที่วัดออกมาเป็นค่าสัญญาณทางไฟฟ้าของขาไถแบบที่ 1	84
5ง	ค่าแรงจุดลากที่วัดออกมาเป็นค่าสัญญาณทางไฟฟ้าของขาไถแบบที่ 1	84
6	แสดงการใช้ Profile Meter วัดการแตกตัวของดินภายหลังการไถของ ไถแบบต่างๆ	85
7	แสดงการแตกตัวที่ผิวดินของขาไถทั้ง 4 ขา	91

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

M	=	โมเมนต์ค้ำ(Nxm)
F	=	แรงที่กระทำต่อขาไถ(N)
L	=	ระยะทางจากจุดหมุนถึงแนวที่แรงกระทำ(m)
I	=	โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัด(m ⁴)
c	=	ระยะแกนสะเทิน(m)
N	=	ค่าความปลอดภัย
σ	=	ความเค้น(N/m ²)
h	=	ความหนาของขาไถ(m)
b	=	ความกว้างของขาไถ(m)
A	=	พื้นที่หน้าตัดของขาไถ(m ²)
z	=	ความเค้นเฉือน(N / m ²)
T1	=	ขาไถแบบที่ 1
T2	=	ขาไถแบบที่ 2
T3	=	ขาไถแบบที่ 3
T4	=	ขาไถแบบที่ 4

การพัฒนาอุปกรณ์ปรับปรุงการอัดแน่นของดินในไร่อ้อย

Development of Equipment for Alleviating Soil Compaction in Sugarcane Field

คำนำ

อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจหลักของประเทศไทยมีผลผลิตต่อปีประมาณ 600 ล้านตัน การปลูกอ้อยโดยทั่วไปเมื่อปลูกหนึ่งครั้งจะเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ 3-4 ฤดู ก่อนจะทำการไถปลูกใหม่เนื่องจากผลผลิตที่ลดต่ำลงซึ่งปัจจัยหลักอย่างหนึ่งที่มีผลต่อการลดลงของผลผลิตคือสภาพดินเพาะปลูกที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละปี โดยสาเหตุสำคัญเนื่องจากการไถปรับปรุงสภาพดิน ดินจึงถูกอัดแน่นเพิ่มขึ้นทุกปีทั้งโดยธรรมชาติและที่รุนแรงมากคือ โดยเครื่องจักรกลการเกษตรที่ปฏิบัติงานในแปลงมีรายงานวิจัยยืนยันว่าปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการอัดแน่นของดินในแปลงเพาะปลูกนั้นคือ การใช้เครื่องจักรกลการเกษตรขนาดใหญ่และใช้มากครั้ง Jurajuria และคณะ (1997) พบว่ารถแทรกเตอร์ขนาดเล็กแต่ปฏิบัติการในแปลงหลายครั้งสามารถทำให้เกิดการอัดแน่นของดินเทียบเท่ากับรถแทรกเตอร์ขนาดใหญ่ที่ปฏิบัติการหนึ่งครั้ง การอัดแน่นของดินนี้ทำให้โครงสร้างสภาพดินที่เปลี่ยนแปลงไปไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของอ้อย รายงานวิจัยหลายชิ้นยังยืนยันว่าการอัดแน่นของดินทำให้ผลผลิตพืชลดลง เนื่องจากดินที่อัดแน่นทำให้การเจาะแทงของรากพืชเป็นไปได้ยาก ขอบเขตของรากพืชจึงอยู่ในบริเวณที่จำกัดการดูดน้ำและธาตุอาหารพืชยากลำบากขึ้นในที่สุด จึงนำมาซึ่งการลดลงของผลผลิต Arvidsson และ Hahansson (1996) ประเทืองและธัญญา (2547) พบว่าอ้อยที่ปลูกในแปลงที่มีการอัดแน่นในระดับ 15 เทียววิ่งซ้ำของรถแทรกเตอร์ ทำให้ผลผลิตของอ้อยลดลง 22.90 เปอร์เซ็นต์ Ngunjiri และ Siemens (1995) รายงานคล้ายคลึงกันว่าข้าวโพดปลูกในพื้นที่ที่ทำการอัดแน่นดินได้ผลผลิตประมาณ 9.8 ตัน/เฮกเตอร์ ในขณะที่ผลผลิตในพื้นที่ที่ไม่มีการอัดแน่นและอัดแน่นระหว่างแถวเป็น 12.5 และ 12.6 ตัน/เฮกเตอร์ตามลำดับ การอัดแน่นของดินนั้นมีผลกระทบเริ่มตั้งแต่การงอกของรากพืช Nasr และ Selles (1995) พบว่าจำนวนในการงอกและความเร็วในการงอกได้รับผลกระทบจากความหนาแน่นและขนาดของก้อนดิน โดยทั้งสองตัวแปรนี้จะทำให้อัตราการงอกลดลง รายงานของ Montemayor (1995) ยืนยันผลการทดลองนี้และยังพบอีกว่าดินอัดแน่นนั้นยังมีผลกระทบด้านลบของอุณหภูมิต่อการเจริญเติบโตของรากพืช จากรายงานของ Weaich และคณะ (1996) เมื่อดินในแปลงปลูกมีความแข็งมากความร้อนจะสูงขึ้นจึงมีผลต่อการยืดของรากพืช Gemtos และ Lellis (1997) กล่าวว่าในการพิจารณาผลของความหนาแน่นต่อการผลิตพืชนั้น ชนิดของพืชก็นับเป็นปัจจัยหลักอีกอันหนึ่ง นอกจากปัญหาด้านผลผลิตตกต่ำแล้ว

การอัดแน่นของดินยังทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมเพราะทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจกหลุดลอยสู่ชั้นบรรยากาศและปัญหาเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในดิน Soane และ Van-Ouwerkerk (1995) การอัดแน่นของดินนั้นเกิดได้ทั้งชั้นไถพรวน และชั้นที่ลึกกว่าชั้นไถพรวน ในชั้นไถพรวนนั้นการอัดแน่นของดินจะถูกบรรเทาโดยการไถพรวนในฤดูการเพาะปลูกถัดไปแต่การอัดแน่นของดินในชั้นที่ลึกกว่าที่เรียกว่าชั้นดินดานนั้นจะต้องใช้ไถระเบิดดินดานเพื่อปรับสภาพโครงสร้างของดินที่อัดแน่นให้หลวมขึ้น Adawi และ Reeder (1996) ในการวัดการอัดแน่นของดินนั้นดัชนีที่บ่งชี้ที่นิยมใช้กันบ่อยมากคือ ความหนาแน่นของดิน นอกจากนี้การอัดแน่นของดินในระดับความลึกต่างๆดูได้จากค่าความต้านทานการแทงทะลุของดินซึ่งบ่งบอกถึงความแข็งของดิน

ในการเพาะปลูกอ้อยในเมืองไทยนั้น ปัญหาการอัดแน่นของดินมีไม่มากนักในอดีต แต่ในปัจจุบันเมื่อมีการนำเครื่องจักรกลทุนแรงเข้ามาช่วยในการผลิตอ้อย จึงเลี่ยงไม่ได้ที่จะมีปัญหาการอัดแน่นของดินตามมา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้เครื่องจักรกลการเกษตรขนาดใหญ่ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศซึ่งไม่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ในเมืองไทย จากการสำรวจของประเทือง และ ชาญญา (2547) พบว่าการอัดแน่นของดินในแปลงเพาะปลูกอ้อยได้ชั้นไถพรวนนั้นมีค่ามากกว่า 2 MPa ซึ่งเป็นค่าที่ส่งผลกระทบต่อ การแทงทะลุของรากพืช การดูดน้ำและสารอาหารของรากพืช สิ่งนี้สะท้อนถึงปัญหาการเกิด Subsoil compaction ส่วนในชั้นไถพรวนนั้นแปลงที่ใช้เครื่องจักรกลการเกษตรมีการอัดแน่นของดินมากกว่าและมีค่าไม่สม่ำเสมอ บางบริเวณมีค่าความต้านทานการแทงทะลุของดินมากกว่า 2 MPa โดยเฉพาะอย่างยิ่งแปลงที่จำนวนปีการเพาะปลูกของอ้อยสูง ส่วนแปลงที่ใช้แรงงานคนพบว่ามีการอัดแน่นค่อนข้างสม่ำเสมอและทุกแปลงมีค่าความต้านทานการแทงทะลุต่ำกว่า 2 MPa

ในการขจัดดินดานนั้นถ้าการอัดแน่นของดินเกิดบริเวณความลึกไม่เกิน 20 cm สามารถใช้ไถลั่วหรือไถหัวหมู แต่ถ้าลึกกว่านั้นจำเป็นต้องใช้ไถระเบิดดินดาน(subsoiler) หรือ ริปเปอร์ (ripper) แต่การไถระเบิดดินดานนั้นเป็นงานหนัก ต้องใช้ต้นทุนกำลังคนและเสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง นานๆเกษตรกรจึงจะทำสักครั้งในช่วงที่จะปลูกอ้อยใหม่ โดยทั่วไปเกษตรกรส่วนใหญ่ไม่นิยมทำการไถระเบิดดินดาน 4-5 ปีต่อครั้งและในระหว่างการเพาะปลูกนั้นก็บรรเทาการอัดแน่นของดินในชั้นไถพรวนด้วยริปเปอร์ที่ใช้กำลังคนมากกว่า แต่อย่างไรก็ตามต้องใช้ต้นทุนกำลังที่สูงกว่า 80 แรงม้า ซึ่งมีขนาดสูงกว่าต้นทุนกำลังที่เกษตรกรทั่วไปมีอยู่ อีกทั้งยังมีราคาแพง เกษตรกรส่วนใหญ่ทราบถึงผลกระทบของการอัดแน่นดินนี้แต่เนื่องจากข้อจำกัดด้านเครื่องมือและเงินทุนจึงไม่สามารถที่จะทำอย่างไรได้ ผู้วิจัยจึงมีความคิดว่าถ้าเราสามารถที่จะสร้างอุปกรณ์ที่ใช้

บรรเทาผลของการอัดแน่นของดินในระหว่างเพาะปลูกอ้อยได้ โดยที่อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นราคาไม่แพงนักและใช้ได้กับขนาดต้นกำลังที่เกษตรกรทั่วไปใช้คือประมาณ 50-60 แรงม้า ซึ่งน่าจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ทั้งนี้ในการสร้างอุปกรณ์ดังกล่าวนี้ควรพิจารณาถึงการแตกตัวของดินที่พอเพียงสำหรับการไหลซึมของน้ำและการแทงทะลุของรากพืช และการไถกระทำต่อดินนั้นก็ควรมีเฉพาะในบริเวณที่ดินน่าจะมีการอัดแน่นเท่านั้น

วัตถุประสงค์

1. ออกแบบและสร้างขาไถระเบิดดินดานที่มีรูปทรงแตกต่างกัน
2. ทดสอบเพื่อหาขาไถที่ให้สมบัติของดินหลังไถดีที่สุด

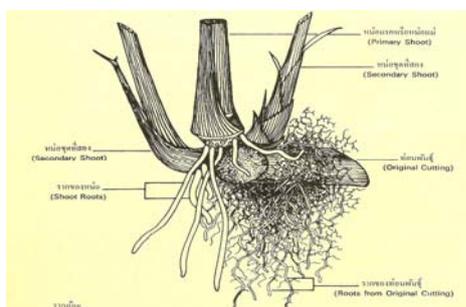
การตรวจเอกสาร

อ้อยพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ

ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2542) นิยามว่าอ้อยเป็นพืชอุตสาหกรรมที่ใช้ผลิตน้ำตาล ผลผลิตอ้อยที่ได้จากเกษตรกรเป็นวัตถุดิบที่นำเข้าโรงงานเพื่อใช้ในการแปรรูปเป็นน้ำตาล ถือได้ว่าเป็นการเชื่อมโยงระหว่างภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดประโยชน์มากมายทั้งระบบการผลิต นอกจากจะให้น้ำตาลที่ใช้บริโภคเป็นอาหารประจำวันแล้วยังสามารถใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น ผลิตแอลกอฮอล์ และเป็นเชื้อเพลิง นอกจากนี้น้ำตาลยังใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตสารเคมีหลายชนิด

อ้อยเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจัดอยู่ในวงศ์หญ้า การจำแนกทางซีพจักรจัดเป็นพืชที่มีอายุหลายฤดู พันธุ์อ้อยที่ใช้ปลูกในปัจจุบันเกิดจากการผสมข้ามระหว่างพันธุ์ปลูกกับพันธุ์ที่เป็นเครือญาติกัน

ราก มีระบบรากฝอย (fibrous root system) ในระยะที่ลำต้นอ้อยงอกจะได้รับน้ำและอาหารส่วนใหญ่จากท่อนพันธุ์ รากชุดแรกของท่อนพันธุ์ (set root) เกิดขึ้นจากปุ่มรากในบริเวณเกตราก ซึ่งจะช่วยดูดน้ำและธาตุอาหารจากดินให้แก่ต้นอ่อน เมื่อต้นอ่อนเจริญขึ้นจะเกิดข้อและปล้องสั้นๆ เป็นจำนวนมากใต้ดิน บริเวณข้อของลำต้นใต้ดินจะปรากฏปุ่มรากที่จะเกิดเป็นรากของต้นอ้อย (shoot root) ส่วนตาของลำต้นใต้ดินจะเจริญเติบโตแทงโผล่พ้นเหนือดินเป็นหน่อชุดที่ 2 และหน่อชุดที่ 3 ซึ่งเกิดจากตาของหน่อชุดที่ 2 ตามลำดับ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของรากอ้อย
ที่มา: Suksatan(1969)

รากอ้อยแบ่งตามหน้าที่ได้ 3 ชนิด ได้แก่

1. Superficial root ทำหน้าที่ดูดน้ำและธาตุอาหารให้แก่ต้นอ้อยเป็นส่วนใหญ่
2. Buttress root ทำหน้าที่ดูดน้ำ ธาตุอาหาร และพยุงลำต้น แข็งแรงมากกว่า Superficial root
3. Deep root หรือ rope system มีหน้าที่หลักในการช่วยพยุงลำต้น

ลำต้น อ้อยสามารถขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศโดยใช้ส่วนของลำต้น ลำต้นอ้อยมีอยู่ 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่อยู่ใต้ดินและเหนือดิน ส่วนที่อยู่ใต้ดินเรียกว่า ตอหรือเหง้า ส่วนที่อยู่เหนือดินเป็นส่วนที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เป็นส่วนที่รองรับใบและช่อดอก

ใบ เกิดเรียงสลับกันบนลำต้น บางพันธุ์อาจเกิดเวียนรอบลำต้น ใบติดกับข้อของลำต้นตรงส่วนฐานของใบ โครงสร้างของใบประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ กาบใบ และแผ่นใบ

ดอก ช่อดอกอ้อยเรียกว่า arrow หรือ tassel เป็นแบบ panicle เกิดที่ปลายยอดของลำต้น ลักษณะช่อมีแกนกลาง ก้านแขนงแรกแตกออกจากแกนกลาง และก้านแขนงที่สองแตกออกจากก้านแขนงแรก ก้านแขนงที่สองนี้เป็นตำแหน่งของกลุ่มดอกย่อย (spikelet) ที่เกิดเป็นคู่

ระยะการเจริญเติบโต ระยะการเจริญเติบโตของอ้อยแบ่งได้เป็น 4 ระยะดังนี้

1. ระยะงอก (germination phase) เริ่มตั้งแต่ปลูกลงถึงหน่อโผล่พ้นดิน ใช้เวลา 2-3 สัปดาห์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ สภาพของท่อนพันธุ์ และสภาพแวดล้อม
2. ระยะแตกกอ (tillering phase) เป็นลักษณะพิเศษของอ้อย เริ่มตั้งแต่อายุ 2-4 เดือน การแตกกอเกิดจากตาอ้อยที่อยู่บริเวณลำต้นใต้ดิน
3. ระยะย่างปล้อง (elongation phase) เป็นระยะที่ต่อเนื่องมาจากระยะแตกกอ

เริ่มตั้งแต่อายุ 3-4 เดือนเป็นต้นไป อ้อยเจริญเติบโตได้เร็วที่สุดเมื่ออายุ 6-7 เดือน การเจริญเติบโตในช่วงนี้จะมีมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับพันธุ์และสภาพแวดล้อม

4. ระยะแก่และสุก (maturity and ripening phase) ระยะแก่คือ ระยะที่อ้อยมีการเจริญเติบโตช้ามาก สังเกตได้จากใบที่อยู่ส่วนยอดจะอยู่ชิดกันมากขึ้น ปล้องที่อยู่ส่วนยอดของลำต้นจะสั้นลง ใบมีสีเหลืองอมเขียว เป็นระยะที่อ้อยมีการสะสมน้ำตาลสูงสุด

การบำรุงตออ้อย อ้อยเป็นพืชที่มีลักษณะพิเศษแตกต่างจากพืชชนิดอื่นๆ เพราะปลูกครั้งเดียวแต่สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตจากการไว้ตอได้หลายครั้ง ผลกำไรจากการปลูกอ้อยจึงอยู่ที่อ้อยต่อหลังๆ เนื่องจากไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเตรียมดิน ค่าทอนพันธุ์ และการปลูก เกษตรกรจึงควรตระหนักถึงวิธีการบำรุงตออ้อยให้มากขึ้นเพื่อให้ได้ผลผลิตอ้อยสูง ทำให้ได้ผลกำไรจากการไว้ตออ้อยมากขึ้น การบำรุงตอประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1. เกษตรกรไม่ควรเผาเศษเหลือของอ้อยภายหลังการเก็บเกี่ยว ยกเว้นเมื่อเกิดการระบาดของโรคและแมลงอย่างรุนแรง หรือเมื่อต้องการใช้เครื่องมือบำรุงตอ
2. ถากตอที่อยู่เหนือพื้นดินออกให้หมด เพื่อบังคับให้หน่ออ้อยที่เกิดใหม่มาจากตออ้อยที่อยู่ใต้ดินซึ่งมักจะแข็งแรงและมีขนาดใหญ่กว่าหน่อที่เกิดจากตอที่อยู่เหนือพื้นดิน การถากตออ้อยอาจใช้จอบหรือเครื่องตัดหญ้าขนาดใหญ่ก็ได้
3. การใช้เครื่องตัดตอนอกจากจะตัดตอได้ดีแล้วยังช่วยตีใบอ้อยให้แหลกอีกด้วย ซึ่งจะช่วยให้จอบหมุนทำงานได้สะดวกขึ้น
4. การใช้จอบหมุนหรือเครื่องพรวนเอนกประสงค์สับใบอ้อยให้ขาดและคลุกเคล้าผสมกับดินจะช่วยเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้กับดินและสลายตัวเป็นปุ๋ยได้เร็วขึ้น
5. หากไม่มีจอบหมุนหรือเครื่องพรวนอาจใช้วิธีการดัดใบจากสามแถวรวมไว้หนึ่งแถว เพื่อให้มีที่ว่างพอที่จะไถพรวนได้สะดวก หรืออาจจะใช้คราดลากใบอ้อยมารวมกันเพื่อใช้ทำปุ๋ยหมัก

6. กรณีที่ทราบว่าดินบริเวณรากอัดตัวแน่นจนเกิดเป็นชั้นดินดาน เนื่องจากน้ำหนักของรถไถหรือรถบรรทุก ดังภาพที่ 2 ควรใช้รีเปอร์หรือไถสั้วลงระหว่างแถวอ้อยเพื่อระเบิดดินที่อัดกันแน่น การใช้รีเปอร์จะช่วยให้ดินโปร่งและดินเก็บน้ำไว้เป็นประโยชน์ต่ออ้อยได้มากขึ้น



ภาพที่ 2 เครื่องจักรกลหนักที่ทำงานในแปลงปลูกอ้อย สาเหตุหลักที่ทำให้เกิดชั้นดินอัดแน่น
ที่มา: Suksatan (1969)

7. ใช้จอมหมุนตีดินระหว่างแถวให้ละเอียดเพื่ออุกรอยแยกที่เกิดจากรีเปอร์ จะช่วยลดการสูญเสียน้ำจากดิน

8. ถ้ามีเครื่องพรวนเอนกประสงค์อาจใช้พรวนดินระหว่างแถวอ้อยกลบตออ้อยที่ถูกตัดแล้ว ซึ่งจะช่วยรักษาความชื้น ลดความร้อนจากแสงแดด และป้องกันโรคและแมลงที่อาจเข้าทำลายตออ้อยในระยะที่หน่อยังไม่เจริญเติบโตขึ้นมา

9. การใส่ปุ๋ยจะช่วยให้ผลผลิตอ้อยสูงขึ้น ปุ๋ยที่ใช้สำหรับอ้อยตอควรใส่ลึกลงไปในดิน ควรเป็นปุ๋ยสูตรสมบูรณ์ คือ มีทั้งไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม

10. การบำรุงตอควรกระทำทันทีภายหลังการเก็บเกี่ยว ไม่ควรปล่อยทิ้งไว้นาน เนื่องจากดินมีความชื้นน้อยทำให้ไถลำบาก และอาจทำให้ตอตายได้ง่าย

การเตรียมดินโดยใช้ไถดินดาน (SUB SOILER)

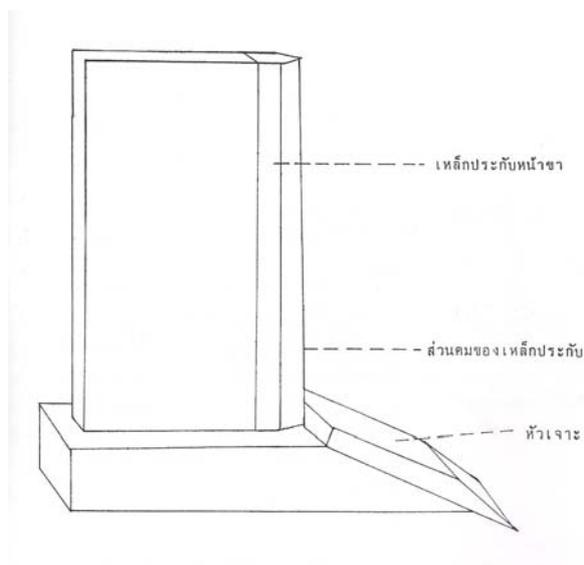
มงคล (2530) ปัจจุบันชาวไร่ได้หันมาใช้อุปกรณ์การเตรียมดินประเภทซี่ (tines) เช่น ไถลิ้ว (chisel plow), ไถดินดาน (sub soiler) กันมากขึ้น อุปกรณ์เหล่านี้สามารถใช้งานได้ดีในบางสภาพพื้นที่และสามารถช่วยแก้ไขปัญหาร่องชั้นดาน การระบายน้ำได้ดี นอกจากนี้ยังสามารถใช้เตรียมดินในสภาพปกติได้อีกด้วย ได้มีการวิจัยค้นคว้าต่อเนื่องมาเป็นเวลาช้านาน

อุปกรณ์ที่ใช้เตรียมดินประเภทซี่ เช่น ไถลิ้ว ไถดินดาน เป็นอุปกรณ์ที่จะทำให้ดินแตก่วน โดยไม่มีการพลิกดิน คุณภาพของงานเตรียมดินขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญคือความลึกในการไถ ระยะห่างระหว่างซี่ที่ทำกับแนวราบในลักษณะที่แฉงไปข้างหน้าและความชื้นในดิน การเพิ่มมุมของซี่ที่ทำกับแนวราบหรือที่เรียกว่ามุมในการคราดนั้นจะทำให้แรงจลุลากที่ใช้เพิ่มมากขึ้น การประกอบซี่ขนาดเล็กใช้ทำงานประสานกับซี่ขนาดใหญ่เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน มุมก้มของหัวเจาะมีความสำคัญในการทำให้ชั้นดินที่อยู่เหนือขึ้นไปเกิดการแตกและแยกตัว ความชื้นในดินที่พอเหมาะจะทำให้การทำงานของอุปกรณ์ได้ผลดีที่สุด การไถลึกเกินไปมักไม่ได้ผลและใช้แรงจลุลากสูง ระดับของหัวเจาะของไถดินดานไม่ควรอยู่ลึกกว่าระดับชั้นดานเกิน 50 mm. การแตก่วนของดินจะเกิดขึ้นรอบซี่บริเวณเหนือหัวเจาะขึ้นไป

ชนิดของอุปกรณ์เตรียมดินประเภทซี่ (Tine)

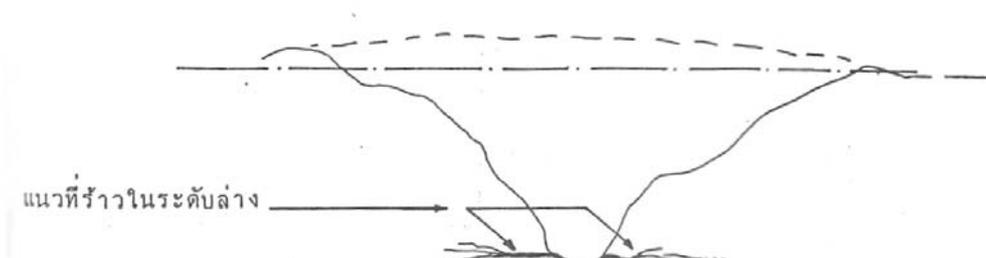
1. ไถดินดานชนิดธรรมดา (subsoiler)

ใช้ลากไปข้างหน้าให้เจาะลึกลงไปในดินด้วยรถแทรกเตอร์ที่มีกำลังสูง ซึ่งจะทำให้ชั้นดินล่างตั้งแต่ส่วนหัวเจาะขึ้นมาเกิดการแตกแยกและร่วนซุยขึ้น ระยะการแตกจะมีรัศมีที่จำกัดส่วนใหญ่ใช้ทำลายชั้นดานที่มักอยู่ใต้ชั้นที่ไถพรวนตามปกติลงไป ชั้นดานนี้จะสังเกตได้ง่ายๆ โดยมีสีซีดจางกว่า เนื่องจากมีอินทรีย์วัตถุน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณอื่นของดินหรือในขณะที่ขุด-เจาะ จะรู้สึกที่ดินส่วนนี้แข็งผิดปกติ วัตถุประสงค์หลักของไถดินดานก็เพื่อแก้ปัญหาร่องดังกล่าวเมื่อชั้นดานถูกทำให้แตกแยกระเบิดออกไป น้ำก็จะซึมผ่านลงได้สะดวก การถ่ายเทอากาศจะดีขึ้น และรากของพืชจะหยั่งลงได้ลึกและแผ่ไปได้ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ไถดินดานชนิดธรรมดา
ที่มา: มงคล (2530)

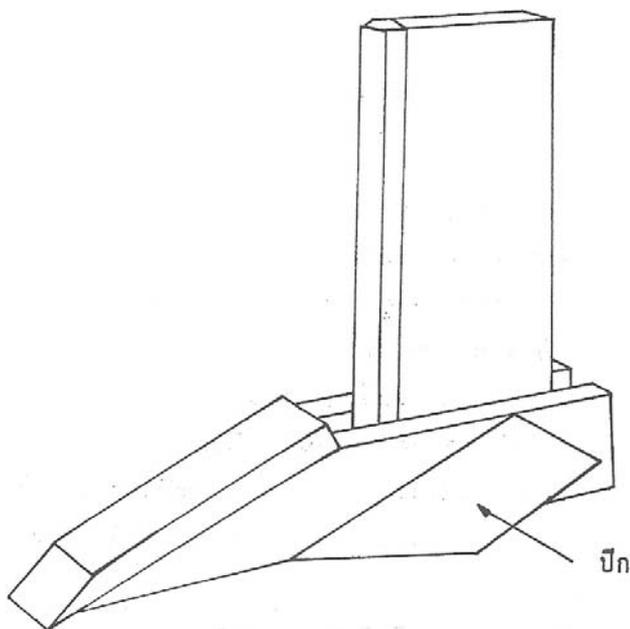
ขาของไถดินดานชนิดนี้ทำด้วยเหล็กหนาประมาณ 25 mm และกว้าง 180 mm ด้านหน้าของขาเป็นชั้นเหล็กประกบตลอดตามยาว ซึ่งถอดเปลี่ยนได้เมื่อสึกหรอที่ปลายด้านล่างของขาจะมีหัวเจาะยึดติดอยู่ หัวเจาะนี้มีขนาดกว้าง 50-120 mm และยาวประมาณ 300-400 mm มีมุมกดประมาณ 25-30 องศา มุมนี้มีความสำคัญยิ่งในการที่จะทำให้ชั้นดินที่อยู่เหนือขึ้นไปถูกงัดและแตกร่วน ในขณะที่ไถถูกลากให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าลักษณะของพื้นที่หน้าตัดของดินบริเวณที่แตกและร่วนนั้น ซึ่งดินที่แตกร่วนนี้จะพูนสูงขึ้นกว่าระดับผิวดินที่ยังไม่ถูกไถ บริเวณที่ดินแตกร่วนจะอยู่บริเวณใกล้กับหน้าดินส่วนบริเวณที่อยู่ชิดกับหัวเจาะจะแตกร่วนเพียงเล็กน้อย ดังภาพที่ 4 ดังนั้นประสิทธิภาพของไถดินดานชนิดนี้จึงค่อนข้างต่ำ



ภาพที่ 4 พื้นที่หน้าตัดของดินที่แตกร่วนขณะไถดินดานชนิดธรรมดาถูกลากผ่าน
ที่มา: มงคล (2530)

2. ไถดินดานชนิดติดปีก (winged subsoiler)

ไถดินดานที่ติดปีกดังภาพที่ 5 จะช่วยให้การแตกร่วนของดินดีขึ้นมาก และมีบริเวณที่แตกร่วนมากขึ้น โดยใช้แรงฉุดลากเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างแรงฉุดลากต่อพื้นที่หน้าตัดของดินที่แตกร่วนเป็นบริเวณกว้างกว่า อีกทั้งแรงฉุดลากที่เพิ่มขึ้นเมื่อไถลึกขึ้น ก็จะเพิ่มในอัตราที่น้อยกว่าไถดินดานชนิดธรรมดา ปีกที่กว้างและมีความชันมากขึ้นจะทำให้การแตกร่วนของดินเพิ่มมากขึ้น ดังภาพที่ 6 ซึ่งจะมีผลทำให้ผิวหน้าดินพูนและไม่สม่ำเสมอมากขึ้นอีกด้วย แต่ความชันของปีกจะต้องไม่มากเกินไป



ภาพที่ 5 ไถดินดานชนิดติดปีก

ที่มา: มงคล (2530)



ภาพที่ 6 พื้นที่หน้าตัดของดินที่แตก่วนเมื่อใช้ไถดินดานชนิดตีดปีก
ที่มา: มงคล (2530)

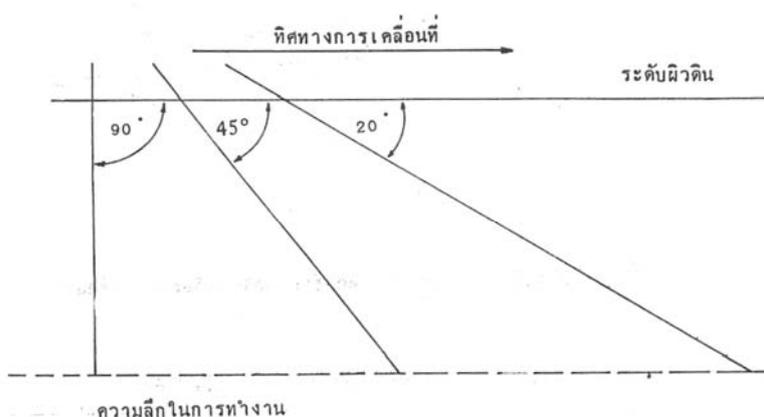
ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างแรงจุลลาคต่อพื้นที่หน้าตัด

ชนิดของไถดิน ดานที่ใช้	แรงจุลลาคที่ใช้		พื้นที่หน้าตัดของดินส่วนที่ แตก่วน		อัตราส่วนระหว่างแรงจุล ลาคต่อพื้นที่ที่แตก่วน	
	เมื่อไถลึก 350 mm	เมื่อไถลึก 420 mm	เมื่อไถลึก 350 mm	เมื่อไถลึก 420 mm	เมื่อไถลึก 350 mm	เมื่อไถลึก 420 mm
ชนิดธรรมดา	21 kN	40 kN	97000 mm ²	87000 mm ²	210 kN/m ²	460 kN/m ²
ชนิดตีดปีกกว้าง	27 kN	44 kN	187000mm ²	251500mm ²	140 kN/m ²	170 kN/m ²

ที่มา: มงคล (2530)

3. ไถลั่ว (Chisel plow)

ไถลั่วมีขนาดเล็กและเบาและใช้ทำงานในระดับความลึกน้อยกว่าไถดินดาน วัตถุประสงค์หลักของไถลั่วคือการไถเตรียมดินปกติ เพื่อให้ดินร่วนซุยโดยที่ไม่มีการพลิกดิน ขาของไถลั่วมักทำมุมไปข้างหน้าทำมุมกับแนวระนาบในลักษณะเดียวกับอุปกรณ์อื่นๆ และมุมนี้เรียกว่า มุมในการคราด (rake angle) มักมีขนาดตั้งแต่ 20 องศา ถึง 90 องศา ซึ่งแสดงในภาพที่ 7



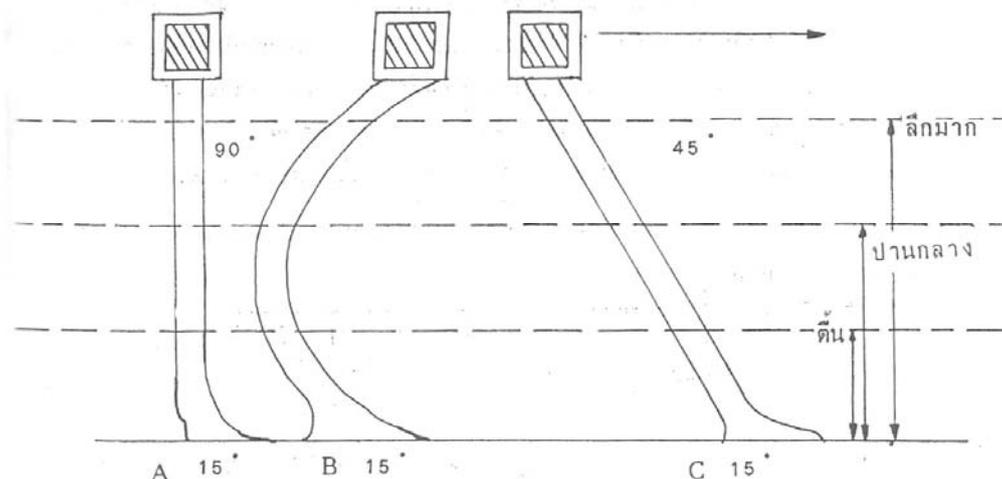
ภาพที่ 7 Rake angle ของไถลั่ว

ที่มา: มงคล (2530)

ไถลั่วหรือบางครั้งเรียกว่า “ซี่” (tine) ที่มีมุมในการคราดน้อยกว่า 45 องศา ขณะที่ลากไปในดิน จะทำให้เกิดแรงยกขึ้นกับดิน มุมการคราดยิ่งน้อยก็ยิ่งทำให้แรงจุดลากน้อย ไถที่มีมุมการคราด 20 องศา จะทำให้เกิดแรงยกสูงสุดโดยที่ใช้แรงจุดลากต่ำสุด อย่างไรก็ตามไถที่มีมุมการคราดต่ำมักจะใช้กับงานเตรียมดินในระดับตื้นๆ เนื่องจากถ้าจะใช้ไถดินในระดับลึกๆ แล้วจะต้องมีขायาวมากกว่า ปกติจะมีจุดอ่อนทำให้บิดงอได้ง่าย มุมการคราดที่เหมาะสมที่สุดประมาณ 45 องศา ทั้งนี้เนื่องจากแรงจุดลากจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับแรงจุดลากขณะเมื่อมีมุมการคราด 15 องศา

ในการไถที่ระดับตื้นไถทั้ง 3 ชนิด จะให้ผลงานและมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ใกล้เคียงกันที่ระดับความลึกปานกลางชนิด C และ B จะใช้แรงจุดลากน้อยกว่าชนิด A ในการไถที่ระดับความลึกมาก ไถชนิด C จะใช้แรงในการจุดลากน้อยที่สุด รองลงมาคือไถชนิด A ส่วนไถ

ชนิด B จะใช้แรงจลลามากที่สุดเนื่องจากเมื่อไถลึกๆ ส่วนบนของขาไถชนิด B จะทำให้เกิดแรง downward surcharging ต่อดิน ซึ่งมีผลทำให้เพิ่ม shear strength ดังนั้นแรงจลลาก็เพิ่มมากขึ้น



ภาพที่ 8 ระดับความลึกต่างๆในการไถ
ที่มา: มงคล (2530)

การจัดระยะระหว่างซี่และความลึกในการทำงาน

อัตราส่วนระหว่างความลึกในการทำงานต่อระยะห่างระหว่างซี่สูงถึง 6 ต่อ 1 การแตก่วนของดินจะเกิดขึ้นน้อยมาก จากการวิจัยได้พบว่า ที่อัตราส่วนระหว่างความลึกในการทำงานต่อระยะห่างซี่ต่างๆกัน จะทำให้ได้ลักษณะการแตก่วนของดินแตกต่างกันไป ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้คือ

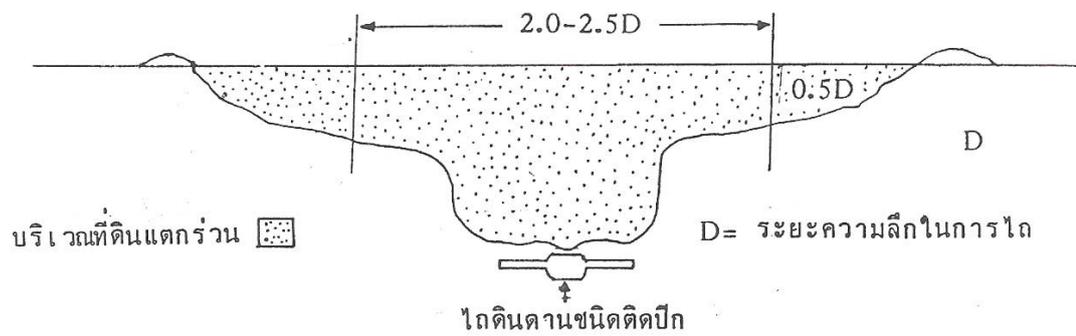
ก. สำหรับไถดินดานชนิดตึกปิด หากต้องการให้ผิวหน้าดินพูนขึ้นสม่ำเสมอกัน ระยะห่างระหว่างซี่จะต้องไม่เกิน 2 เท่าของความลึกในการไถ ดังภาพที่ 9 (a) และ 10 (a) และ (b)

ข. สำหรับไถดินดานชนิดธรรมดา (หัวเจาะหน้าแฉบ) หากต้องการให้ผิวหน้าดิน

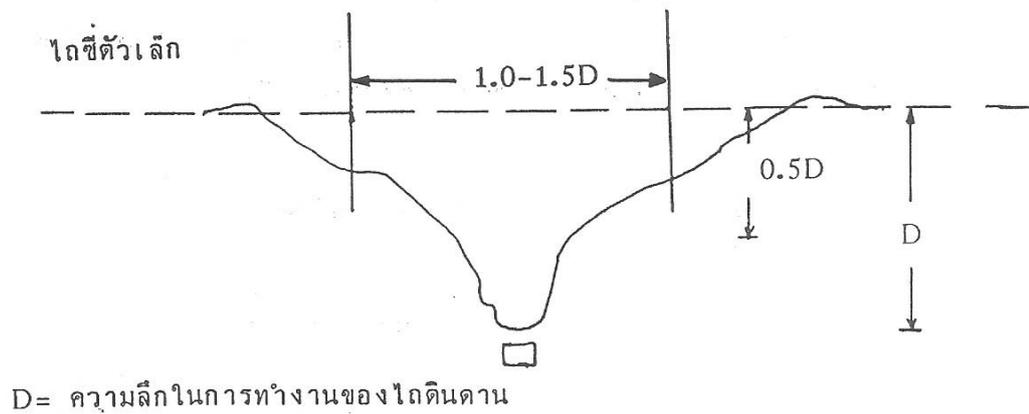
พูนขึ้นสม่ำเสมอ ระยะเวลาห่างระหว่างซี่ต้องไม่เกิน 1.5 เท่าของความลึกในการทำงานดังแสดงในภาพที่ 9(b) ทั้งนี้เนื่องจากว่าระยะระหว่างซี่ถ้าห่างมากเกินไปจะทำให้ผิวหน้าดินพูนขึ้นเป็นสันตามแนวการลากผ่านคล้ายลูกคลื่นบนผิวแปลง

ค. ถ้าไถดินลึกเกินไปจะทำให้การแตกร่วนของดินเกิดขึ้นได้น้อยและไม่ได้ผล สำหรับสภาพดินที่แห้งควรรไถในระดับ 350-450 mm ถ้าดินชื้นควรรไถตื้นกว่านั้นประมาณ 300-400 mm

ง. เพื่อที่จะได้ผลดีและมีประสิทธิภาพในการทำงานที่สุด ควรใช้ไถดินดานชนิดติดปีกควบคู่กับการไถลั่วขนาดเล็ก ไถลั่วประกอบอยู่ในโครงเดียวกันกับไถดินดานและอยู่ล้าไปข้างหน้าห่างจากหัวเจาะของไถดินดานเป็นระยะอย่างน้อยเท่ากับความลึกในการทำงานของไถดินดาน แรงฉุดลากที่ใช้แทบจะไม่เพิ่มขึ้นจากการใช้ไถดินดานธรรมดาตามลำพังเลย แต่บริเวณที่ดินแตกร่วนจะเพิ่มขึ้นมาก การติดตั้งงานตัดดินให้ตัดดินเป็นรอยนำหน้าไปก่อน จะช่วยลดแรงฉุดลากลงไถซี่ตัวเล็กใช้ในระดับตื้น



(a)



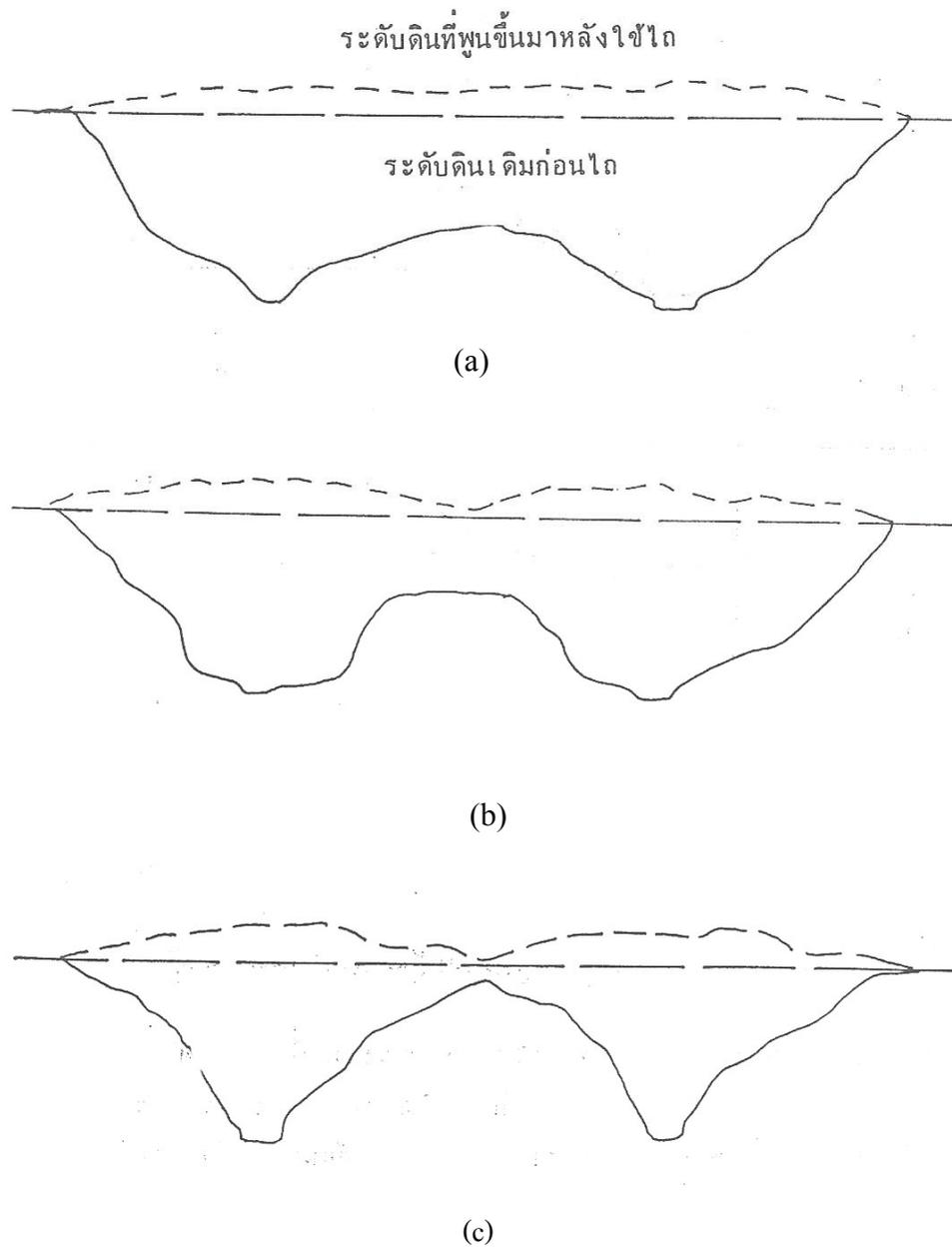
(b)

ภาพที่ ๑ การจัดระยะระหว่างไถสี่ตัวเล็กในการประกอบเข้ากับไถดินดาน

(a) ไถดินดานชนิดตติปิ๊ง

(b) ไถดินดานชนิดธรรมดา

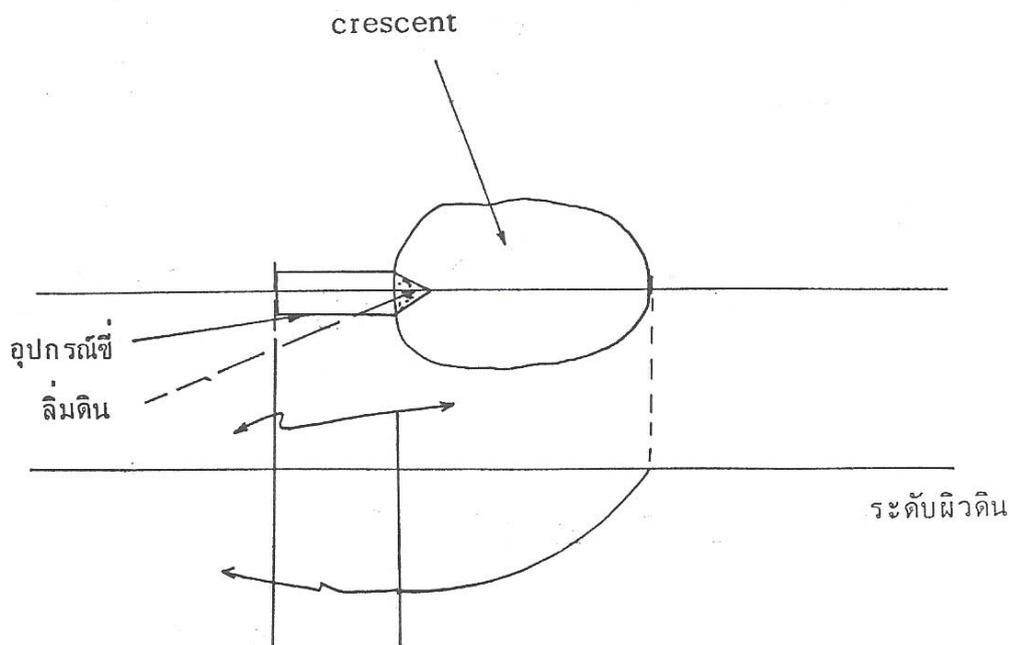
ที่มา: มงคล (2530)



ภาพที่ 10 การเปรียบเทียบพื้นที่หน้าตัดของเนื้อดินบริเวณที่แตก่วนอันเนื่องมาจากการจัดเรียงซี่พรวนในลักษณะต่างๆ

- (a) ไถดินดานชนิดตึกและม็ไถซี่สั้นประกอบนำ
- (b) ไถดินดานตึกตามลำพัง
- (c) ไถดินดานชนิดหัวเจาะธรรมดาตามลำพัง

ที่มา: มงคล (2530)



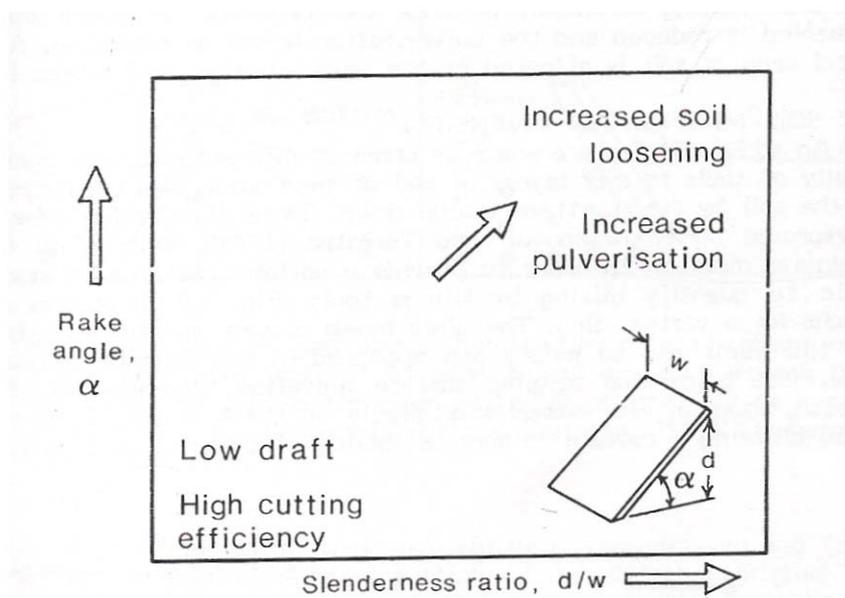
ภาพที่ 11 แสดงการแตกร่วนที่เกิดด้านหน้าของซี
ที่มา: มงคล(2530)

การหาแนวการแตกร่วนของดินภายหลังการใช้อุปกรณ์ประเภทซี

การแตกร่วนของดินที่เกิดจากการใช้อุปกรณ์ประเภทซีจะเกิดขึ้นรอบด้าน ขณะอุปกรณ์ถูกลากไปในดิน การแตกร่วนจะไม่เกิดขึ้นภายใต้หัวเจาะ แต่จะเกิดขึ้นเหนือบริเวณรอบๆหัวเจาะขึ้นไป ลักษณะของการแตกร่วนทางด้านข้างได้กล่าวมาข้างต้นแล้ว การแตกร่วนทางด้านหน้าจะมีลักษณะโค้งเป็นเสี้ยว เรียกว่า crescent zone ดังภาพที่ 11 การหาแนวการแตกร่วนเหล่านี้สามารถทำได้ง่ายๆในแปลงปฏิบัติการโดยใช้แทรกเตอร์พ่วงลากอุปกรณ์ไปในดินจนถึงระดับความลึกที่ต้องการและหยุดรถทิ้งอุปกรณ์ประเภทซีให้คงอยู่ในดินเช่นนั้น ค่อยๆใช้มือพุดินที่แตกร่วนให้ออกไปกองข้างนอก พยายามไม่ให้กระทบกระเทือนดินส่วนที่ไม่แตกร่วน พุดินที่แตกร่วนบริเวณทั้งข้างหน้าและข้างๆอุปกรณ์ออกไปจนหมด จะได้บ่อหรือร่องเป็นรูปตัววี ใช้ไม้บรรทัดยาววัดความกว้างของปากร่อง profile meter วัดพื้นที่หน้าตัดของร่อง จากนั้นจึงนำมาย่อส่วนเขียนลงในกระดาษกราฟ (มงคล, 2530)

McKYES (1985) เมื่อพิจารณาด้านการร่วนตัวของดิน จะต้องมีการพิจารณารูปร่างของเครื่องมือ โดยพิจารณาค่าอัตราส่วนค่าความลึกต่อความกว้าง (d/w) จากภาพที่ 12 แสดงให้เห็นถึงแนวทางในการออกแบบ ซึ่งจะช่วยให้ทราบขนาดรูปร่างของเครื่องมือในการตัดดินและสมรรถนะการทำงานที่ต้องการ

ค่าความชื้นในดินมีผลอย่างยิ่งต่อการอัดแน่นตัวของดินและเป็นตัวแปรสำคัญที่จะควบคุมระดับการอัดตัวของดินที่เกิดขึ้น ซึ่งค่าความชื้นดินที่เหมาะสมสำหรับการบดอัดดินจะมีค่าประมาณ 15% โดยน้ำหนัก

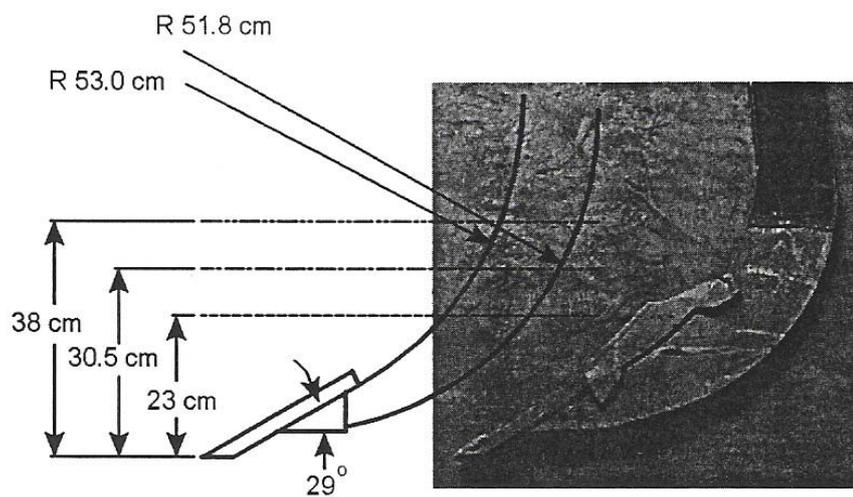


ภาพที่ 12 พารามิเตอร์ที่ใช้ออกแบบเครื่องมือรูปร่างแบน มุมเอียง α อัตราส่วน d/w เป็นความสัมพันธ์สำหรับการเพิ่มปริมาณการตัดดิน การร่วนตัวของดิน และประสิทธิภาพการแตกตัวเป็นก้อนเล็กของดิน

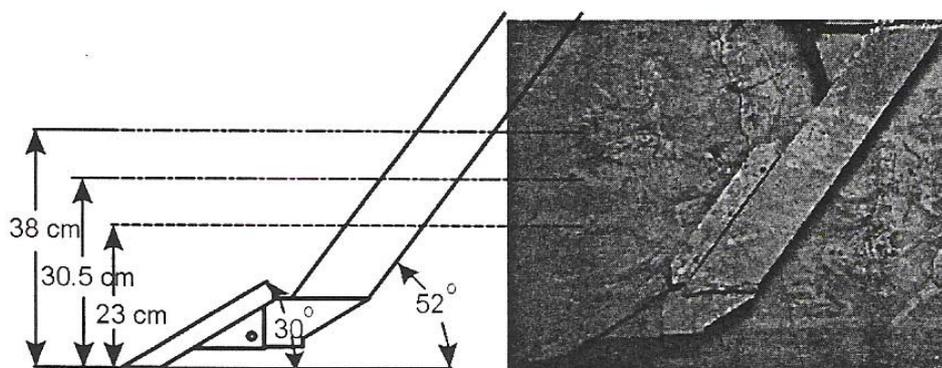
ที่มา: McKYES (1985)

Raper (2005) อธิบายว่าขาของไถถูกออกแบบโดยเฉพาะเพื่อให้ชั้นดินดานเกิดการแตกตัว โดยออกแบบเพื่อให้ความต้องการแรงฉุดลากน้อยที่สุด ทำการเปรียบเทียบระหว่างแบบที่เป็นแบบโค้ง Curved shank ดังภาพที่ 13 ทำจากเหล็กหนา 1 นิ้ว (2.5cm) ปลายแหลมกว้าง 2 นิ้ว (5.1 cm) กับแบบมุม Angled shank ดังภาพที่ 14 ทำจากเหล็กหนา 1.25 นิ้ว (3.2 cm) ปลายแหลมกว้าง 1.75 นิ้ว (4.4 cm) กับ ในดิน 2 ชุด ทำการทดลองในกระบะดิน จากการทดลองพบว่าขาแบบ

มุมในชุดดิน Sandy loam และ Clay loam จะสามารถลดความต้องการแรงจุดลากลงได้มากกว่าขาแบบโค้งซึ่งข้อมูลได้ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 2 และ 3



ภาพที่ 13 ลักษณะของขาไถแบบขาโค้งที่ใช้ในการทดสอบ
ที่มา: Raper (2005)



ภาพที่ 14 ลักษณะของขาไถแบบขาเป็นมุมที่ใช้ในการทดสอบ
ที่มา: Raper (2005)

ตารางที่ 2. ค่าต่างๆของดินที่วัดและแสดงตามเงื่อนไขของกระบะดินใน 2 ชุดดินที่ National Soil
Dynamic Laboratory ที่ใช้ในการทดสอบ

Depth (cm)	Bulk density (Mg/m ³)	Moisture Content (%d.b.)	Cone Index (Mpa)
Norfolk sandy loam soil (Sand 72%, Silt 17%, Clay 11 %)			
0-15		9.04(0.4)	
15-30		10.0(0.4)	
5-10	1.24(0.08)		0.15(0.05)
20-25	1.60(0.21)		1.96(0.35)
30-35	1.95(0.13)		1.94(0.56)
Decatur clay loam soil (Sand 27%, Silt 43%, Clay 30%)			
0-15		12.3(0.5)	
15-30		13.8(1.2)	
5-10	1.08(0.05)		0.30(0.13)
20-25	1.24(0.19)		2.45(0.65)
30-35	1.74(0.17)		2.15(0.50)

ที่มา: Raper (2005)

ตารางที่ 3 แรงต่างๆที่ได้จากการวัดการทดสอบขุดในกระบะดินที่ National Soil Dynamic Laboratory.

Shank Type	Depth (cm)	Draft (N)[a]	Vertical Force (N)	Side Force (N)
Norfolk sandy loam soil				
Angled	23	727b	249b	76a
Curved	23	810a	262a	89a
Angled	30.5	1610b	680a	71a
Curved	30.5	1924a	604a	58a
Angled	38	3678b	1810a	-27a
Curved	38	3971a	1726a	76a
Decatur clay loam soil				
Angled	23	876a	222b	76a
Curved	23	943a	285a	67a
Angled	30.5	2135a	427a	31a
Curved	30.5	2469a	516a	4a
Angled	38	5067a	1398a	8.5a
Curved	38	5671a	1615a	0a

[a] Within each soil type, depth, and column, means followed by the same letter are not statistically different at the 0.1 level

ที่มา: Raper (2005)

ข้อควรพิจารณาเพื่อการออกแบบเครื่องมือไถดินดานชนิดสั้น

สัญญาและชัชรต้น (2539) ลักษณะจำเพาะของเครื่องมือ

1. เครื่องมือควรถูกพัฒนาเพื่อติดต่อบนเบบจุดพ่วง 3 จุดกับรถแทรกเตอร์ชนิด category I
2. ลักษณะการสั้นของปลายขาไถเป็นไปตามทิศทางในระนาบ X-Y
3. กลไกการสั้นถูกออกแบบมีลักษณะเป็น Rotating flywheel เจะเยื้องศูนย์และใช้ connecting rod เป็นแขนชัก
4. การถ่ายทอคกำลังจากเพลลาอำนาจกำลังของรถแทรกเตอร์ไปยังชุดกลไกการสั้นทำโดยผ่านชุด bevel gear
5. ส่วนของปลายขาไถควรจะถูกออกแบบเพื่อให้เจะไถดินได้ดี และไถได้ลึกประมาณ 40-45 cm ทั้งนี้ความลึกของระนาบรากอ้อยที่เจริญเติบโตปกคอยู่ในช่วง 45-60 cm
6. ส่วนคมของขาไถที่เป็นส่วนตัดดินควรจะถูกออกแบบเพื่อลดความต้านทานในการตัดดิน
7. ใช้วัสดุที่หาง่ายในท้องตลาด
8. ลักษณะการออกแบบค่อนข้างง่ายและธรรมดา

ศึกษารายละเอียดพร้อมออกแบบเบื้องต้นและปรับปรุง เครื่องมือไถดินดานชนิดสั้น

โครงสร้างของเครื่องมือประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 4 ส่วนคือ โครงสำหรับติดต่อกับรถแทรกเตอร์แบบจุดพ่วง 3 จุดอิสระ โครงเครื่องมือ ขาไถ และชุดกลไกการสั้นของเครื่องมือ

- 1) โครงสำหรับติดต่อกับรถแทรกเตอร์แบบจุดพ่วง 3 จุดอิสระ เป็นชนิด category I ทั้งนี้โครงสร้างของระบบติดต่อเชื่อมกับ โครงเครื่องมือ โลหะที่ใช้เป็นหลักเหนียว

2) ขาไถดินดานทำด้วยเหล็กเหนียว ขนาดพื้นที่หน้าตัด 25 x 125 mm สูง 860 mm ส่วนของ share ทำด้วยเหล็กเหนียวชนิดเดียวกัน ทำมุมกับแนวระดับ 13 องศา ชิ้นส่วนของ share สามารถถอดเปลี่ยนได้เมื่อสึกหรือใช้งานไปนานๆ ด้านหน้าของขาไถปราดเป็นมุมแหลมรูปตัววีขนาดมุม 40 องศา ขณะทำงานขาไถสั่นไปมาในแนวระนาบ X – Y รอบแกนหมุนที่ติดอยู่บนโครงของเครื่องมือ

โครงของเครื่องมือส่วนแรกเป็นคานาในแนวตามขวางทำด้วยเหล็กประกบเชื่อมต่อกันเป็นรูปพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม ขนาด 100 x 120 mm ส่วนที่สองเป็นคานาในแนวตามยาวทำด้วยเหล็กทรงขนาด 65 x 160 mm ประกบลักษณะหันหลังชนกัน 2 อัน เพื่อรองรับแกนหมุนของขาไถดินดาน นอกจากนี้โครงของเครื่องมือยังทำหน้าที่ติดตั้งชุดเฟืองคอกจอก (bevel gear) อัตราทด 1 : 4.7 และชุดกลไกการสั่นของขาไถ (oscillating mechanism) ชุดกลไกการสั่นมีลักษณะเป็น rotating flywheel ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 mm หนา 38 mm เจาะเยื้องศูนย์กลาง 25 mm โดยมี Connecting rod เป็นแขนชักซึ่งติดอยู่ตำแหน่งส่วนบนของขาไถดินดาน

3) จากการทดสอบเครื่องมือในแปลงทดลอง ขณะทดลองทำที่ช่วงกว้างของการสั่น 105 mm. ความถี่ของการสั่น 7.14 Hz และ 10.7 Hz ผลการทดลองสรุปได้ว่าช่วงกว้างการสั่นสูงมากเกินไป ทั้งนี้สังเกตเห็นได้เมื่อขาไถดินดานสั่นเคลื่อนที่ไปข้างหลัง ส่วนปลายขาไถดินดานจะยันพื้นดินด้านล่างมีผลทำให้อายุการใช้งานของเครื่องมือไม่คงทน โดยเฉพาะชิ้นส่วนแบริง และที่สำคัญกลไกการสั่นที่ออกแบบยังมีประสิทธิภาพไม่ดี เนื่องจากลักษณะการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนกลไกการสั่นไม่เรียบสม่ำเสมอ นั่นคือจุดสำคัญที่จะต้องคำนึงถึงคือการปรับปรุงชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบเครื่องมือ โดยต้องปรับปรุงส่วนช่วงกว้างของการสั่นให้เหมาะสม และพิจารณาออกแบบกลไกการสั่นใหม่ ดินที่ใช้ทำการทดลองการทำงานของเครื่องมือใน Soil bin เป็นดินที่จัดอยู่ในประเภท Clay soil ประกอบด้วยอนุภาคของ Sand 8%, Silt 13% และ Clay 79% ค่า Plastic limit 26.3%

พิพัฒน์ (2542) อธิบายไว้ว่าไถดินดานชนิดสั้น 1 ขา พบว่า draft ratio จะมีค่าลดลงเมื่อ Velocity Ratio เพิ่มสูงขึ้นเมื่อ Velocity ratio 4.33 (ที่ความเร็วรถแทรกเตอร์ 1.79 km/hr) แรงจูลดลงในแนวระดับลดลงสูงสุด 47 % พบว่า Power Ratio จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อ velocity ratio เพิ่มสูงขึ้นเมื่อ Velocity ratio 4.33 กำลังรวมทั้งหมดเพิ่มสูงสุดเท่ากับ 41 % ดังผลที่แสดงในตารางที่ 4 และ 5

ลักษณะดินในแปลงทดสอบมี Texture เป็น Loam คือมีอนุภาค Clay 17.28%, Silt 33.32% และ Sand 49.40%

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบสมรรถนะไถดินคานชนิดสั้น 1 ขา

Velocity(km/hr)	Torque (N-m)	Draft (kN)	Oscillating Power (kW)	Drawbar Power (kW)	Total Power (kw)
สั้นที่ความเร็ว1.79(Low1)	108.21	7.12	5.97	3.55	9.52
ไม่สั้นที่ความเร็ว1.79(Low1)	-	13.51	-	6.73	6.73
สั้นที่ความเร็ว2.62(Low1)	111.97	8.15	6.18	5.97	12.15
ไม่สั้นที่ความเร็ว2.62(Low1)	-	12.43	-	9.1	9.1
สั้นที่ความเร็ว4.64(Low1)	119.55	10.51	6.59	13.66	20.25
ไม่สั้นที่ความเร็ว4.64(Low1)	-	12.92	-	16.8	16.8

ที่มา: พิพัฒน์ (2542)

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบสมรรถนะไถดินดานชนิดสัน 2 ขา

Velocity (km/hr)	Draft Force (kN)	Drawbar Power (kW)	ความลึกในการ ไถ (cm)
สันที่ความเร็ว 1.65(Low1)	14.24	6.54	40
ไม่สันที่ความเร็ว 1.81(Low1)	13.21	6.66	33
สันที่ความเร็ว 2.27(Low2)	13.41	8.45	40
ไม่สันที่ความเร็ว 2.80(Low2)	13.97	10.86	33
สันที่ความเร็ว 3.51(Low3)	16.07	15.66	40
ไม่สันที่ความเร็ว 5.10(Low3)	12.33	17.48	25

ที่มา: พิพัฒน์ (2542)

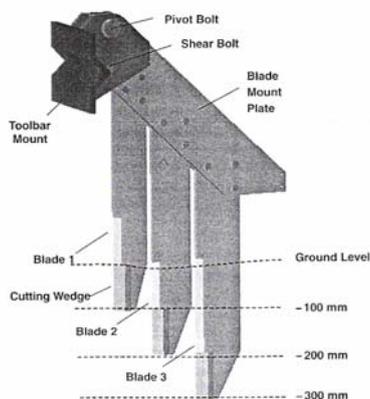


Figure 1. Multiple blade soil mechanical resistance mapping system (SMRMS).

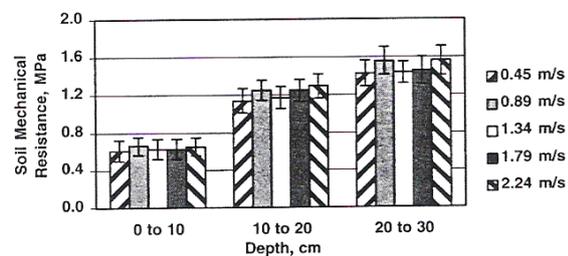


Figure 6. Comparison of SMRMS measurements, obtained at different travel speeds with the SMRMS (error bars indicate standard error intervals within plots).

ภาพที่ 15 อุปกรณ์ทดสอบการหาแรงเสียดทานของไถระเบิดดินดาน

ที่มา: Siefken et al.(2005)

Siefken et al. (2005) การออกแบบขาไถในการทดสอบเพื่อหาค่าความต้านทานของดินที่ 3 ระดับความลึก คือ 10 cm, 20 cm และ 30 cm. พบว่าค่าความเร็วที่เพิ่มขึ้นและความลึกในการไถที่เพิ่มขึ้นเป็นผลทำให้ค่าของแรงต้านทานเพิ่มขึ้นด้วย ดังภาพที่ 15

วิบูลย์ (2526) การวัดอัตราการซึมผ่านผิวดิน วิธีที่ดีที่สุดนั้นทำได้โดยการวัดอัตราที่ให้น้ำแก่แปลงและที่ไหลออกจากแปลง แต่ถ้าหากวิธีดังกล่าวไม่สะดวกก็อาจจะใช้วิธีวัดจากถังหรือบางครั้งเรียกว่าถังวัดอัตราการซึม (Infiltrometer) ถังที่ใช้วัดส่วนมากเป็นถังกลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 ถึง 40 เซนติเมตร หนาประมาณ 2 มิลลิเมตร และยาวไม่ต่ำกว่า 30 เซนติเมตร เปิดหัวและท้ายทั้งสองด้าน การติดตั้งก็โดยกดถังให้จมลงในดินในแนวตั้งลึกประมาณ 15 ถึง 20 เซนติเมตร ตรงจุดที่คิดว่ามีลักษณะคล้ายคลึงกับสภาพทั่วไปของที่ดินทั้งผืน เหน้าลงไปจนถึงโดยให้ความลึกประมาณเท่ากับที่จะเกิดขึ้นจริงในขณะที่จะให้น้ำ แล้วจดบันทึกของน้ำที่ลดลงที่ระยะเวลาต่างๆ หลังจากเหน้าลงไปจนถึงเป็นระยะๆ

หลังจากที่น้ำซึมลงไปถึงปลายของถังที่กดลงไปดินแล้ว น้ำจะพยายามไหลซึมออกทางด้านข้างซึ่งจะทำให้อัตราการซึมผ่านผิวดินที่วัดได้สูงกว่าที่ควร การไหลซึมออกทางด้านข้างนี้อาจจะป้องกันได้โดยการใช้ถังอีกใบหนึ่งที่มีขนาดใหญ่กว่ากดลงไปดินโดยให้ถังใบเล็กอยู่ตรงกลาง เติมน้ำลงไปในช่วงระหว่างถังสองใบนั้น โดยให้ระดับน้ำทั้งสองมีขนาดเท่ากัน โดยวิธีนี้ความกดดันของน้ำระหว่างถังทั้งสองใบจะป้องกันไม่ให้น้ำในถังเล็กซึ่งใช้วัดอัตราการซึมผ่านผิวดินไหลซึมออกทางด้านข้างซึ่งจะเป็นผลให้ได้ค่าที่ถูกต้องดีขึ้น ในกรณีที่มีถังเพียงลูกเดียวก็อาจจะใช้ดินกั้นเป็นคันล้อมรอบถังไว้แล้วเติมน้ำในคันดินแบบเดียวกันกับที่มีถังสองลูกก็ได้

Hunsigi (1993) กล่าวว่าไว้ว่าอัตราการซึมน้ำที่เหมาะสมของอ้อยอยู่ในช่วงประมาณ 7.5 – 8.5 cm/h สำหรับโครงสร้างดินที่เหมาะสม

Bhardwaj and Singh (1993) ได้กล่าวถึงวิธีการวัดอัตราการซึมของน้ำที่ให้ค่าความถูกต้องสูงคือ การใช้วิธีการวัดแบบถังทรงกระบอกสองใบซ้อนกัน (Double ring)

Bakker (1999) ได้กล่าวไว้ว่าความหนาแน่นของดินที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้อัตราการเจริญเติบโตของรากอ้อยต่อวันลดลงโดยพบว่าที่ความหนาแน่นดินที่ 1.04 g/cm^3 รากอ้อยมีอัตราการ

เจริญเติบโตอยู่ที่ 2.00 เซนติเมตรต่อวัน และความหนาแน่นของดินที่ 1.44 g/cm^3 รากอ้อยมีอัตราการเจริญเติบโตอยู่ที่ 0.17 เซนติเมตรต่อวัน

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

การออกแบบ

เพื่อศึกษาถึงอุปกรณ์กระทำต่อดินที่เหมาะสมจึงได้ออกแบบขาไถ 4 แบบ โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการตรวจเอกสารประกอบ ซึ่งได้ลักษณะของขาไถดังแสดงในตารางที่ 6 และ ภาพที่ 16

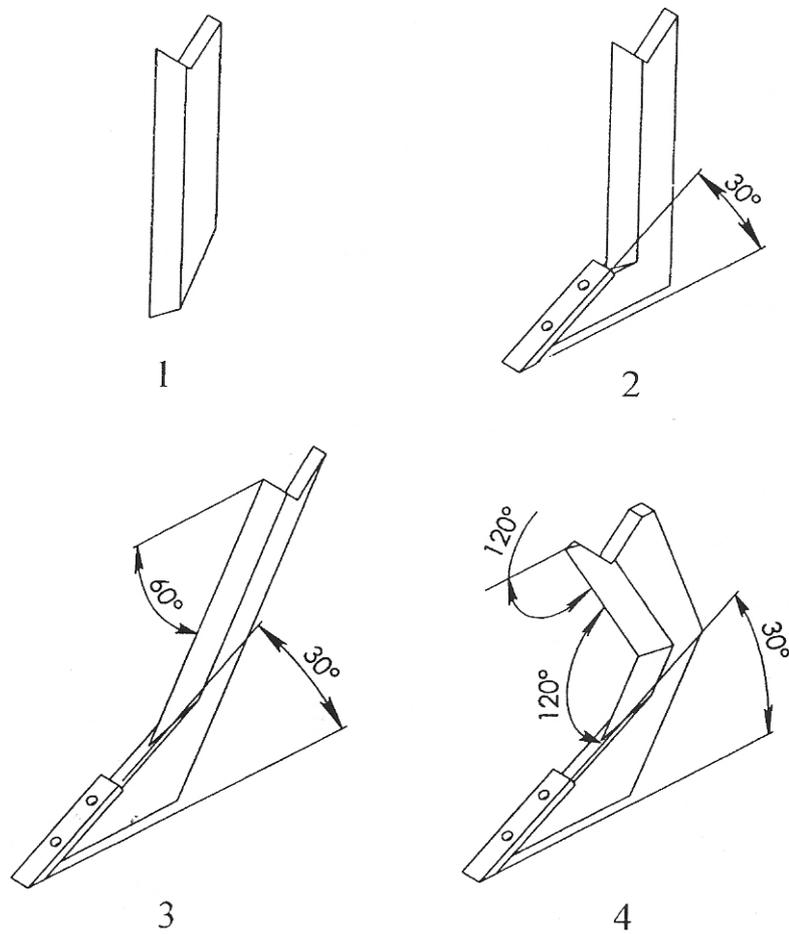
ตารางที่ 6 ลักษณะของขาไถที่ออกแบบ

แบบที่	ลักษณะขาไถ	ข้อดี	ข้อเสีย
1	ขาตรง	แรงฉุดลากต่ำ ^{*1}	ไถได้ความลึกน้อย ^{*1}
2	ขาตรง มุมไถ 30 องศา	ลักษณะของดินแตก่วนดี ที่ความชื้นต่ำ ^{*2}	-
3	ขาเอียง 60 องศา มุมไถ 30 องศา	แรงฉุดลากต่ำและดินแตก ตัวไถดี ^{*3}	-
4	ขาค้ำรูปตัว C มุมไถ 30 องศา	-	-

หมายเหตุ *1. จากข้อมูลของ Siefken et al.(2005)

*2. จากข้อมูลของ รัชญาและชัยรัตน์ (2539)

*3 จากข้อมูลของ Raper (2005)



ภาพที่ 16 ขาโต๊ะที่ได้ออกแบบทั้ง 4 ขา

การคำนวณในการออกแบบขาไถ

จากรูปแบบของขาไถที่กำหนดได้ออกแบบขนาดของขาไถเพื่อความแข็งแรงของขาไถโดยใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด ที่นำเสนอโดย วริทธิ์และชาญ (2541) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

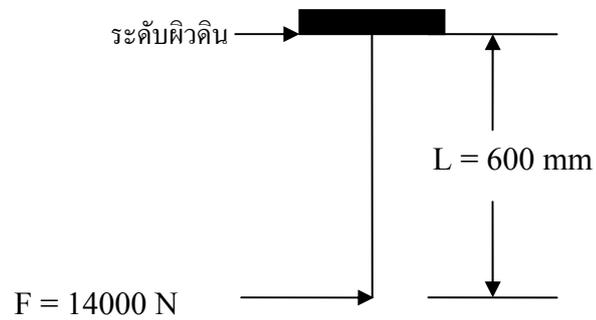
$$M = F \cdot L \dots\dots\dots (1)$$

$$\sigma = Mc/I \dots\dots\dots (2)$$

$$1/N = \sqrt{(z/z_y)^2 + (\sigma/\sigma_y)^2} \dots\dots\dots (3)$$

เมื่อ	M	=	โมเมนต์คัต(Nxm)
	F	=	แรงที่กระทำต่อขาไถ(N)
	L	=	ระยะทางจากจุดหมุนถึงแนวที่แรงกระทำ(m)
	I	=	โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัด(m ⁴)
	c	=	ระยะแกนสะเทิน(m)
	N	=	ค่าความปลอดภัย
	σ	=	ความเค้น(N/m ²)
	h	=	ความหนาของขาไถ(m)
	b	=	ความกว้างของขาไถ(m)
	A	=	พื้นที่หน้าตัดของขาไถ = b×h (m ²)
	z	=	ความเค้นเฉือน(N/m ²)

กำหนดให้ แรงที่กระทำต่อไถมีค่าเท่ากับแรงจตุลาค 14,000 N ตามที่แนะนำโดย ชาญญา และชัยรัตน์ (2539) ความลึกในของไถ คือ 600 mm ความกว้าง 120 mm และ ให้ค่าความปลอดภัย มีค่า 1 และเหล็กที่ใช้สร้างเป็นเหล็กเหนียวมีค่าความเค้นคราก 303.38 N/mm² โดยใช้สมการที่ (1), (2) และ (3) สามารถคำนวณความหนาของขาไถได้ดังนี้



ภาพที่ 17 แรงที่กระทำต่อขาไถแบบที่ 1

แบบที่ 1 สามารถคำนวณความหนาของขาไถได้ดังภาพที่ 17

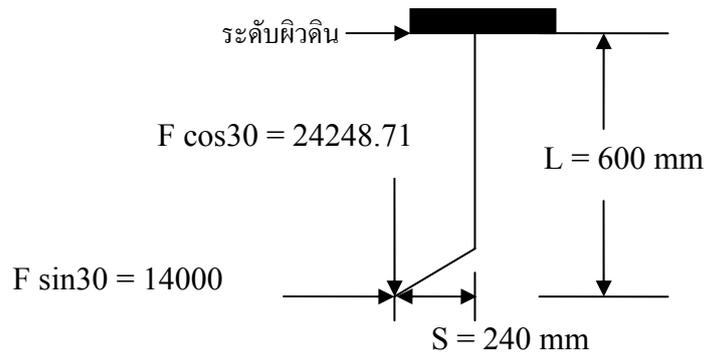
$$M = F \times L = 14000 \times 600 = 8400000$$

$$\sigma = \frac{Mc}{I} = \frac{8400000 \times 60 \times 12}{(h \times 120^3)} = 3500/h$$

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

$$1/1 = 3500/h \times 1/303.38$$

$$h = 3500/303.38 = 11.54 \text{ mm}$$



ภาพที่ 18 แรงที่กระทำต่อขาไถแบบที่ 2

แบบที่ 2 สามารถคำนวณความหนาของขาไถได้ดังภาพที่ 18

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

$$= 14219690.40$$

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

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

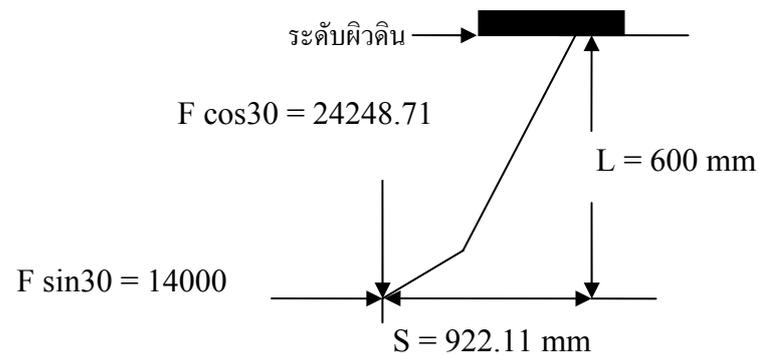
$$= 5924.87/h + 101.04/h$$

$$= 6025.91/h$$

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

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

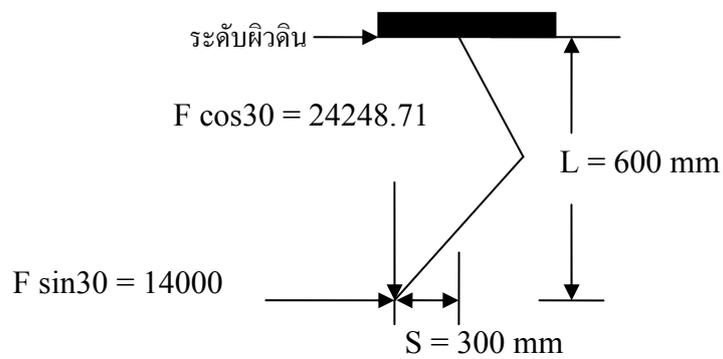
$$h = 6025.91/303.38 = 19.86 \text{ mm}$$



ภาพที่ 19 แรงที่กระทำต่อขาไถแบบที่ 3

แบบที่ 3 สามารถคำนวณความหนาของขาไถได้ดังภาพที่ 19

$$\begin{aligned}
 M &= 14000 \times L + 24248.71 \times S \\
 &= 30759977.97 \\
 \sigma &= \frac{Mc}{I} + \frac{F}{A} \\
 &= \frac{30759977.97 \times 60 \times 12}{(h \times (120/\cos 30)^3)} + \\
 &\quad \frac{F \cos 30}{(120h/\cos 30)} \\
 &= 8325.40/h + 175.01/h \\
 &= 8500.41/h \\
 1/N &= \sqrt{(z/z_y)^2 + (\sigma/\sigma_y)^2} \\
 1/1 &= 8500.41/h \times 1/303.38 \\
 h &= 8500.41/303.38 = 28.02 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



ภาพที่ 20 แรงที่กระทำต่อขาไถแบบที่ 4

แบบที่ 4 สามารถคำนวณความหนาของขาไถได้ดังภาพที่ 20

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

$$= 15674613.00$$

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

$$= \frac{15674613.00 \times 60 \times 12}{(h \times (120/\cos 30)^3)} + \frac{F \cos 30}{(120h/\cos 30)}$$

$$= 15674613.00/h + 175.01/h$$

$$= 4417.45/h$$

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

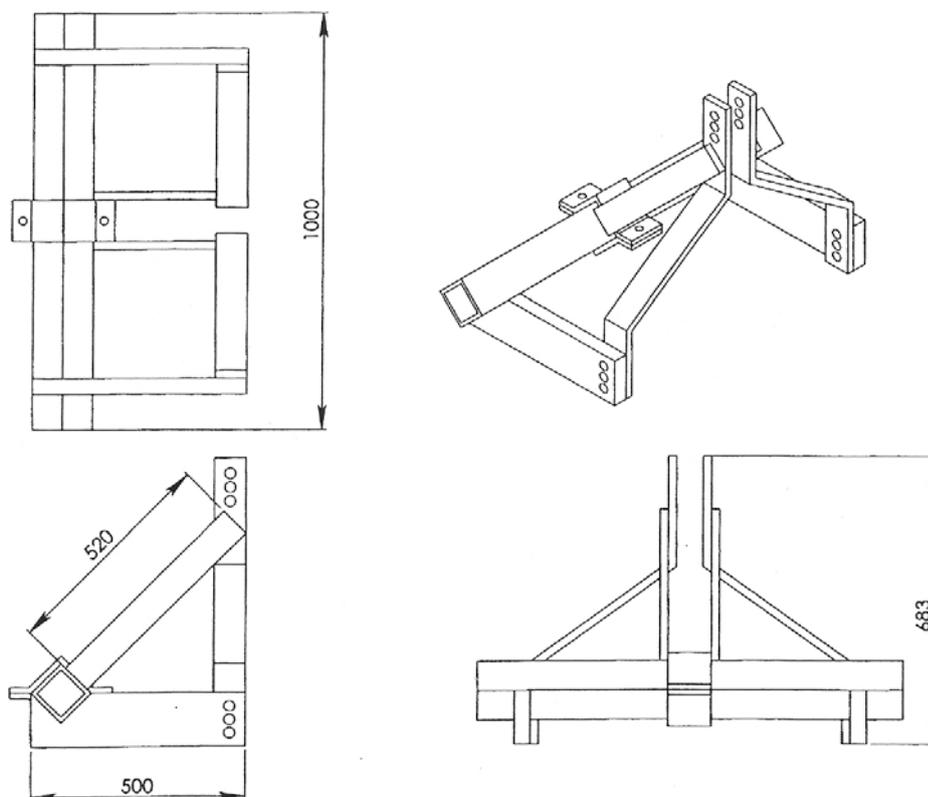
$$1/1 = 4417.45/h \times 1/303.38$$

$$h = 4417.45/303.38 = 14.56 \text{ mm}$$

เพื่อความสะดวกในการสร้างขาไถจึงได้เลือกขนาดของเหล็กหนา 32 mm ที่มีอยู่ตามท้องตลาด ในการสร้างขาไถซึ่งครอบคลุมความหนาของขาไถทุกแบบที่คำนวณได้ในการสร้างขาไถทั้งหมด

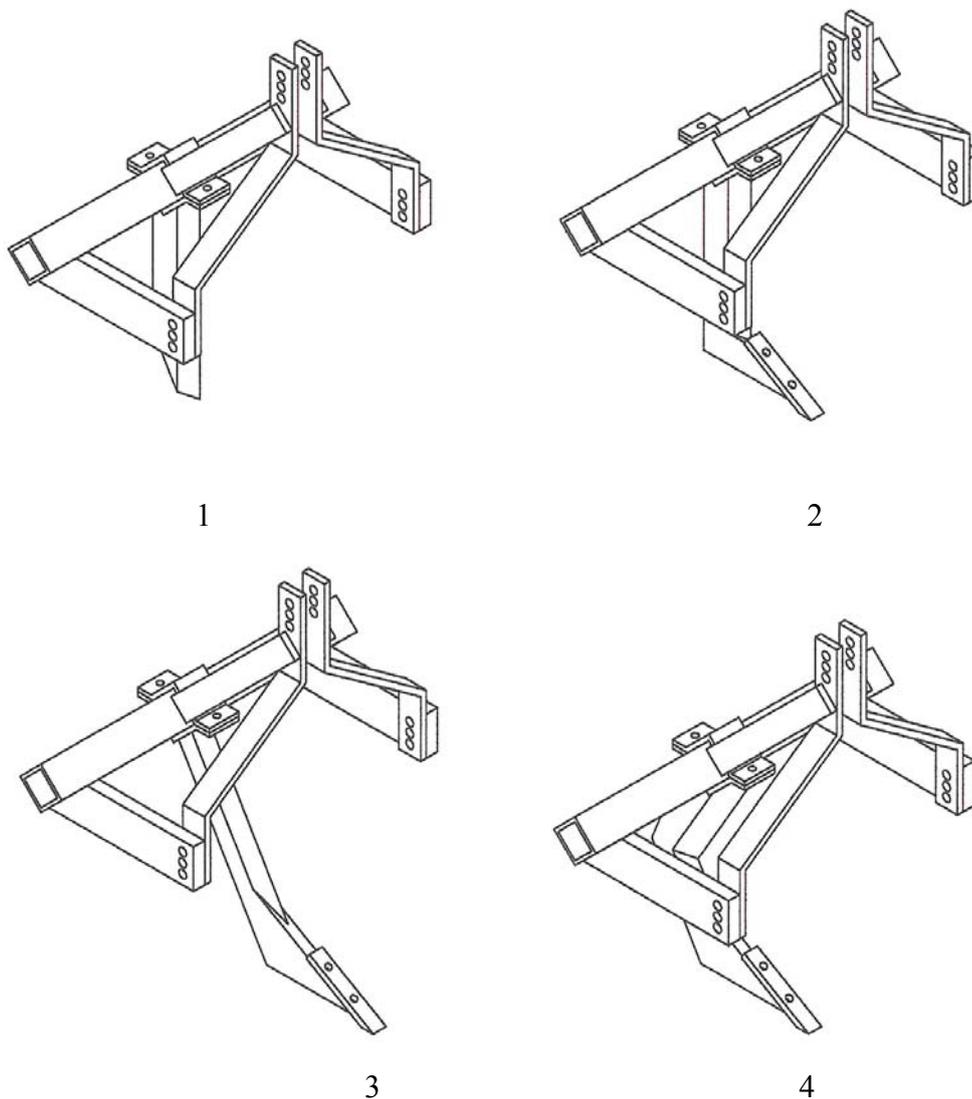
ออกแบบโครงยึดขาโต๊ะ

ได้ออกแบบโครงยึดขาโต๊ะให้สามารถต่อพ่วงกับจุดต่อพ่วงสามจุดของรถแทรกเตอร์ Category II และสามารถต่อติดกับอุปกรณ์สำหรับวัดค่าแรงจุดลากได้ด้วย ลักษณะรายละเอียดดังแสดงในภาพที่ 21 ซึ่งประกอบด้วยส่วนหลักคือจุดต่อพ่วงทั้ง 3 จุดและกานยึดขาโต๊ะ



ภาพที่ 21 โครงยึดขาโต๊ะ

เมื่อนำขาโต๊ะและ โครงโต๊ะประกอบเป็นขาโต๊ะทั้ง 4 แบบแล้วได้ลักษณะของโต๊ะทั้ง 4 แบบดังภาพที่ 22



ภาพที่ 22 โครงขาโต๊ะประกอบขาโต๊ะทั้ง 4 แบบ

การสร้างขาโต๊ะ

1. ตัดเหล็กให้ได้ความหนาและรูปทรงตามขนาดที่ออกแบบ
2. นำเหล็กที่ตัดได้ตามแบบที่กำหนดมาไสให้เรียบและได้มุมตามที่ออกแบบไว้
3. เหล็กขนาด 10 x 30 x 1.3 cm 5 ชิ้น นำมาเจาะรูและขึ้นรูปตามแบบเพื่อจับยึดระหว่างคานของขาโต๊ะและตัวขาโต๊ะ

4. เหล็กขนาด 4.4 x 25 x 2 cm 3 ชิ้น นำมาไสและเจาะรูเพื่อเป็นใบมีดยึดติดกับ ส่วนปลายของขาไถ

การสร้างโครงไถ

1. นำเหล็กมาเจาะรูขนาด 19 mm เพื่อการประกอบเป็น โครงไถ

2. ส่วนประกอบของโครงไถดังภาพที่ 23 มีดังนี้

2.1 เหล็กขนาด กว้าง x ยาว x หนา 13 x 50 x 3.8 cm เป็นคานของโครงไถสำหรับ รองรับคานของขาไถ ก้านพนมและสลักยึดกับแขนล่างของรถแทรกเตอร์

2.2 เหล็กฉากขนาด 10 x 100 x 0.6 cm 2 ชิ้น นำมาเชื่อมติดกันเพื่อเป็นคานสำหรับจับ ยึดขาไถ

2.3 เหล็กขนาด 7.3 x 85 x 1.9 cm 2 ชิ้น นำมาเจาะรูและขึ้นรูปตามแบบเป็นก้านพนม

2.4 เหล็กขนาด 7.3 x 82 x 1.9 cm 2 ชิ้น นำมาเชื่อมเป็นโครงยึดระหว่างคานของขาไถ และก้านพนม



ภาพที่ 23 ก้านพนมและโครงสำหรับยึดติดกับขาไถ

ขาไถทั้ง 4 แบบนำมาใส่และเจาะรูเพื่อติดกับใบมีดและตัวจับยึดขาไถรวมทั้งการทำเกลียวเพื่อขันสกรูยึดติดกับใบมีด โดยชิ้นส่วนของขาไถตามที่ได้ออกแบบดังแสดงในภาพที่ 24 และ 25



ภาพที่ 24 เป็นสำหรับยึดติดกับขาไถกับโครงของไถ



ภาพที่ 25 การประกอบและการติดตั้งขาไถเข้ากับโครงไถ

ขั้นตอนต่างๆของการออกแบบ สร้าง และประกอบขาไถและอุปกรณ์ คือ การคำนวณและออกแบบ การวาดแบบที่ได้ลงบนกระดาษ นำแบบที่ได้จากการตัดกระดาษไปตัดเหล็กให้ได้ตามแบบและความหนาที่ต้องการ นำเหล็กที่ได้มาทำการไสด้วยเครื่องไสเหล็กที่มุมเอียง 15 องศา ประกอบขาไถ ทำสลักยึดขาไถ ติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงมุดลาก และประกอบขาไถเข้ากับอุปกรณ์วัดแรงมุดลากตามลำดับ

การทดสอบ

การทดสอบกระทำในกระบะดินของศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน โดยมีรายละเอียดของอุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ดังนี้

ลักษณะของกระบะดินที่ใช้ในการทดสอบ



ภาพที่ 26 ลักษณะของกระบะดินที่ใช้ในการทดสอบ

เป็นกระบะดินในร่มของศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติขนาด กว้าง 3.3 เมตร ยาว 45 เมตร ลึก 0.6 เมตร และมีคูน้ำอยู่ทางด้านข้างทางทิศตะวันตกมีความลึกมากกว่ากระบะดิน กระบะดินแบ่งออกเป็นสองส่วนคือกระบะดินที่อยู่ในร่มและกลางแจ้ง มีรางเหล็กที่เป็นพื้นเฟืองสำหรับรถแทรกเตอร์วิ่งในการทดสอบ มีลวดสลิงซึ่งสายไฟฟ้ายาวตลอดกระบะดินเพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับเครื่องมือที่ติดตั้งบนรถแทรกเตอร์ดังภาพที่ 26

รถแทรกเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ

เป็นรถแทรกเตอร์ของศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ เครื่องยนต์ดีเซล ระบายความร้อนด้วยหม้อน้ำ KUBOTA รุ่น L 3001 ขนาด 30 แรงม้า มีจุดต่อพ่วงแบบต่อพ่วง 3 จุด ใช้สำหรับการทดสอบในกะบะดิน โดยขณะทำการทดสอบนั้นรถจะวิ่งไปบนรางเหล็กที่เป็นพื้นเพื่อทำให้ขณะทำการทดสอบไม่เกิดการลื่นไถล ดังภาพที่ 27



ภาพที่ 27 รถแทรกเตอร์ที่ใช้ทดสอบ

อุปกรณ์วัดแรงจุดลาก

ตรวจสอบเครื่องมือสำหรับบันทึกค่าสัญญาณ โดยการหาค่าสัญญาณความต่างศักย์ทางไฟฟ้าที่ได้กับการเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนักที่กระทำกับเครื่องมือ Analyzing Recorder Model 3655E และ Strain Amplifier เพื่อขยายค่าสัญญาณ ดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 การติดตั้งเครื่องมือบันทึกค่าแรงจุดลาก

การวัดค่าแรงจุดลากทำการวัดโดยใช้ Load cell Model SBA-1 rated load 1000 kg, rated output 2.9998 mV/V ผลิตโดย CAS corporation NEW JERSEY, USA จำนวน 3 ตัว ซึ่งใช้วัดค่าแรงดึงทั้ง 3 แขนของรถแทรกเตอร์ จากนั้นทำการสอบเทียบโดยใช้ตาชั่งสปริงและเกลียวเร่งในการทดสอบซึ่งได้ผลการทดสอบที่ 283.2583 kg/V ดังภาพที่ 29



(a)

(b)

ภาพที่ 29 (a) Load cell ที่ใช้ในการวัดแรงจุดลาก

(b) การสอบเทียบ Load cell

ดินที่ใช้ในการทดสอบ

ดินที่ใช้ในการทดสอบเป็นดิน Clay soil ประกอบด้วยอนุภาคของ Sand 8 %, Silt 13 % และ Clay 79 % มีส่วนประกอบและสมบัติทางฟิสิกส์ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 สมบัติทางฟิสิกส์ของดินที่ใช้ทดลอง

Particle Size	Distribution	Percent
Coarse Sand	(2-0.42 mm)	3.4
Fine Sand	(0.42-0.074 mm)	4.6
Silt	(0.074-0.005 mm)	13
Clay	(<0.005 mm)	79
Consistency limits	Percent	
Plastic limit	26.3	
Liquid limit	50.5	
Plasticity index	24.2	

ที่มา: ชาญญา และชัยรัตน์ (2539)

การเตรียมดินและขั้นตอนการทดสอบ

ขั้นตอนในการเตรียมการทดสอบมีรายละเอียดดังนี้

1. การขนย้ายดินกระทำโดยใช้รถตีนตะขาบที่มีบั้งก็ตักดินออกจากกะบะดินและใช้แรงงานคนขนย้ายดินในบางจุดที่รถไม่สามารถทำงานได้ ในขั้นตอนของการเตรียมดินในกะบะก็ใช้รถและแรงงานคนในการขนย้ายดินลงในกะบะดินแต่ละชั้นของการบดอัดดังภาพที่ 30



ภาพที่ 30 การตักดินออกจากกะบะดิน

ภาพที่ 31 การย่อยดินโดยใช้พรวนจอบหมุนตีดิน

2. ภายหลังจากการขนย้ายดินลงในกะบะดินแต่ละชั้นนั้นทำการย่อยดินให้มีขนาดเล็กกลงโดยใช้พรวนจอบหมุนย่อยดินจำนวน 2 ครั้งก่อนทำการบดอัด ดังภาพที่ 31

3. หลังจากการเติมดินและย่อยดินในแต่ละชั้นเสร็จแล้ว ทำการบดอัดด้วยรถตีนตะขาบจำนวน 4 ครั้ง ดังภาพที่ 32 หลังจากนั้นบดอัดด้วยลูกกลิ้งที่มีน้ำหนักถ่วงบนลูกกลิ้งจำนวน 350 กิโลกรัม ดังภาพที่ 33



ภาพที่ 32 การบดอัดดินโดยใช้รถดินตะขาบ



ภาพที่ 33 ใช้ตุ๊กกลิ้งในการบดอัด

4. หลังจากบดอัดดินในแต่ละชั้นเสร็จแล้วทำการเก็บตัวอย่างดินในแต่ละชั้นดินโดยใช้กระบอกลูกเต๋าดังภาพที่ 34 จำนวน 12 ตัวอย่าง เพื่อนำไปอบหาค่าความชื้นดินและความหนาแน่น โดยการชั่งหาค่าน้ำหนักของดินก่อนการอบ และนำเข้าสู่อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการชั่งหาค่าน้ำหนักภายหลังการอบแล้วนำค่าต่างๆที่ได้ไปคำนวณหาค่าความชื้นและความหนาแน่น ดังสูตร

$$\% \text{ ความชื้น} = (\text{น้ำหนักดินก่อนอบ} - \text{น้ำหนักดินหลังอบ}) / \text{น้ำหนักดินหลังอบ} \times 100 \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{ความหนาแน่น} = \text{น้ำหนักดินก่อนอบ} / \text{ปริมาตรดิน} \dots\dots\dots(5)$$



ภาพที่ 34 การเก็บตัวอย่างดินโดยใช้กระบอกลูกเต๋าดังภาพ

5. ใช้ Cone Penetrometer วัดค่าความต้านทานการแทงทะลุของดินบันทึกลงบนกระดาษกราฟดังภาพที่ 35 โดยทำการวัดค่าจำนวน 20 จุดแล้วนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ผล



ภาพที่ 35 Cone Penetrometer ใช้หาค่าความต้านทานการแทงทะลุของดิน

6. หลังจากเตรียมดินแล้วเสร็จทั้งสามชั้นทำการคลุมผ้าใบปิดหน้าดินทิ้งไว้เวลานาน 2 วัน เพื่อให้ดินเข้าสู่สภาวะสมดุลและพร้อมต่อการทดสอบขาไถทั้ง 4 แบบ ดังภาพที่ 36

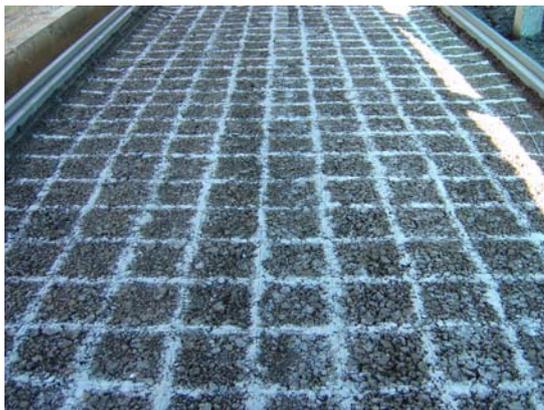


ภาพที่ 36 การคลุมดินด้วยผ้าใบ



ภาพที่ 37 ถังวัดอัตราการซึมน้ำ

7. ทำการวัดอัตราการซึมน้ำทุกครั้งก่อน ไลและหลัง ไลทดสอบเพื่อดูค่าความแตกต่างของอัตราการซึมน้ำของขาไลทั้ง 4 แบบ โดยใช้ถังวัดอัตราการซึมที่เป็นถังทรงกระบอกสองถัง ดังภาพที่ 37 และใช้ Hook Gauge วัดระดับของน้ำที่อยู่ในถังให้ปลายตะขอแตะที่ระดับผิวหน้าแล้วอ่านค่าระดับน้ำที่ได้ในทุกๆ 5 นาทีแล้วนำไปคำนวณหาค่าอัตราการซึม



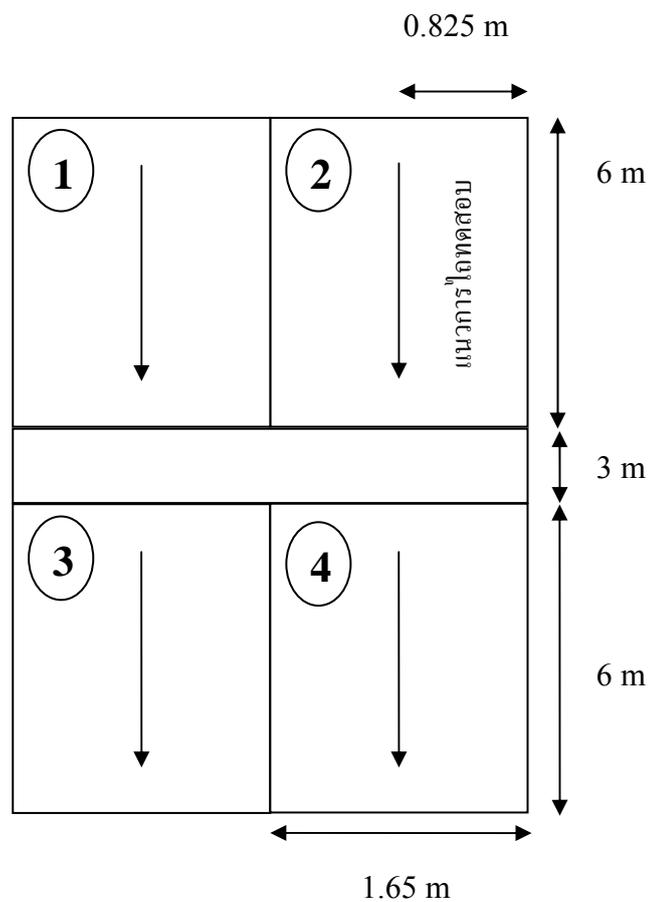
ภาพที่ 38 การวัดแตกตัวที่ผิวหน้าของดิน

ภาพที่ 39 Profile meter สำหรับวัดพื้นที่การแตกตัว

8. ทำการโรยเส้นด้วยปูนขาว ระยะ 30 x 30 เซนติเมตร เพื่อดูการแตกตัวในระดับผิวดินที่เกิดจากการทดสอบขาไลต่างๆ ดังภาพที่ 38 และใช้ Profile meter วัดระดับผิวดินก่อนการไลเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับระดับผิวดินหลังการไลทั้งก่อนการโกยดินและหลังการโกยดินเพื่อหาค่าพื้นที่การแตกตัวหลังไล ดังภาพที่ 39

การวางแผนและติดตั้งเครื่องมือในการทดสอบ

ทำการวางแผนการทดลองโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าแรงจุดลากที่ใช้และสมบัติของดินหลังไลของขาไลทั้ง 4 แบบ โดยการเตรียมดินให้มีความชื้นต่าง ๆ กัน การกำหนดระดับความชื้นนั้นพิจารณาจากค่า Plastic limit และค่าความต้านทานการແຫຼះລູຂອງดิน โดยทำการทดสอบที่ระดับความชื้น 6 ระดับ โดยการสุ่มเลือกขาไลลงทำการทดสอบในกะบะดินที่ได้เตรียมดินไว้ดังภาพที่ 40 และ ตารางที่ 8 และเก็บข้อมูลทั้งก่อน ไลและหลัง ไล เพื่อให้เกิดความผิดพลาดจากผู้ทำการทดลองน้อยที่สุดจึงได้มีการบันทึกข้อมูลของการทดลองในครั้งต่างๆ ให้มีความเหมือนและใกล้เคียงกันมากที่สุด การเก็บข้อมูลได้ใช้ผู้ทดสอบชุดเดียวกันตลอดในการเก็บข้อมูลในแต่ละผลการทดลอง



ภาพที่ 40 ลักษณะของกะบะดินที่ใช้และตำแหน่งในการทดสอบ

ตารางที่ 8 การสุ่มเลือกขาไถเพื่อทำการทดสอบในแปลงย่อยกะบะดินในแต่ละการทดสอบ

การทดสอบที่	กะบะดินที่			
	1	2	3	4
1	T4	T3	T1	T2
2	T3	T2	T1	T4
3	T2	T1	T4	T3
4	T1	T4	T2	T3
5	T4	T2	T1	T3
6	T3	T2	T1	T4

การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดแรงกดลากเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำจึงต้องให้เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบอยู่ในแนวระดับ ดังภาพที่ 41



ภาพที่ 41 การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ก่อนการทดสอบ

การเก็บข้อมูล

ทำการเก็บข้อมูลต่างๆก่อนและหลังการทดลอง

ก่อนไรทดสอบ

1. เก็บตัวอย่างดินเพื่อหาค่าความชื้นและค่าความหนาแน่นที่แปลงย่อยต่างๆทั้ง 4 แปลง ที่ความลึก 3 ระดับๆละ 3 ตัวอย่าง
2. วัดค่าความต้านทานการแทงทะลุของดินที่แปลงย่อยต่างๆทั้ง 4 แปลงๆละ 5 ตัวอย่าง
3. วัดค่าอัตราการซึมน้ำที่แปลงย่อยต่างๆทั้ง 4 แปลงๆละ 1 ตัวอย่าง

หลังไรทดสอบ

1. เก็บตัวอย่างดินเพื่อหาค่าความชื้นและค่าความหนาแน่นที่แปลงย่อยต่างๆทั้ง 4 แปลงที่ความลึก 3 ระดับๆละ 3 ตัวอย่าง

2. วัดค่าความต้านทานการแทงทะลุของดิน ที่แปลงย่อยต่างๆ ทั้ง 4 แปลงๆ ละ 5 ตัวอย่าง และตามแนวขบวนการไถอีกแปลงละ 7 ตัวอย่าง
3. วัดค่าอัตราการซึมน้ำที่แปลงย่อยต่างๆ ทั้ง 4 แปลงๆ ละ 1 ตัวอย่าง
4. วัดค่าการแตกตัวที่ระดับผิวดินที่แปลงย่อยต่างๆ ทั้ง 4 แปลงๆ ละ 1 ตัวอย่าง
5. วัดค่าการแตกตัวของดิน โดยใช้ Profile Meter วัดทั้งก่อนและหลังการไถดินที่แนวการไถ
6. วัดค่าแรงจุดลากของการไถ
7. วัดความเร็วที่ใช้ในการทดสอบ

การทดสอบการไถทำการทดสอบที่เกี่ยวข้อง 3 LOW ความเร็วรอบเครื่องที่ 2000 รอบ ความเร็วการเคลื่อนที่ 1.67 km/hr โดยใช้ค่าต่างๆ นี้ในทุกการทดสอบและใช้คนขับรถคนเดียวกัน

ผลและวิจารณ์

ผลการทดสอบ

สมบัติของดินก่อนการไถและหลังการไถที่ระดับความลึกต่างๆ

1. ค่าความชื้นของดิน

จากผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินก่อนไถของแปลงย่อย T1, T2, T3 และ T4 ซึ่งเป็นสัญลักษณ์แทนแปลงย่อยที่ไถด้วยขาไถแบบที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ พบว่ามีความชื้นดินเฉลี่ยในแปลงแสดงในตารางที่ 9 โดยในการเตรียมดินของการทดลองที่ 1 ได้ค่าความชื้นเฉลี่ย 15.71% การทดลองที่ 2 ได้ค่าความชื้นดินเฉลี่ย 16.44% การทดลองที่ 3 ได้ค่าความชื้นดินเฉลี่ย 18.67% การทดลองที่ 4 ได้ค่าความชื้นดินเฉลี่ย 18.85% การทดลองที่ 5 ได้ค่าความชื้นดินเฉลี่ย 19.78% และการทดลองที่ 6 ได้ค่าความชื้นดินเฉลี่ย 21.75% ซึ่งค่าความชื้นดินของการทดลองทั้ง 6 ครั้งนั้นมีค่าต่ำกว่าค่า Plastic limit ที่มีค่าเท่ากับ 26.30% ซึ่งเป็นช่วงความชื้นที่ทำการไถปกติ สภาพดินที่เตรียมทั้งหมดนั้นอยู่ในสภาพที่ร่วนไม่เกาะติดกันเป็นก้อน แต่ถ้าให้ความชื้นมากกว่านี้ดินจะเริ่มเหนียวและเกาะติดกันเป็นก้อน จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าความชื้นดินแตกต่างกันตามระดับความลึกและค่าความชื้นของแต่ละการทดลองนั้นมีความแตกต่างกันยกเว้นการทดลองที่ 3 และ 4 ที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนความชื้นเฉลี่ยของดินในแปลงย่อยทั้ง 4 แปลงนั้นพบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

หลังจากทำการทดลองไถแล้วได้เก็บค่าความชื้นของดินในแนวไถห่างจากกึ่งกลางแนว 5 cm พบว่าดินมีความชื้นเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากการปรับโครงสร้างของดินที่หลวมขึ้นค่าที่ได้แสดงในตารางที่ 10 โดยค่าความชื้นดินเฉลี่ยของการทดลองที่ 1 มีค่า 14.90% การทดลองที่ 2 มีค่า 16.65% การทดลองที่ 3 มีค่า 17.98% การทดลองที่ 4 มีค่า 16.02% การทดลองที่ 5 มีค่า 18.87% และการทดลองที่ 6 มีค่า 20.556% ผลของการทดลองที่ 6 นั้นมีข้อมูลบางส่วนที่ไม่สมบูรณ์ทั้งนี้เป็นเพราะว่าในการทดลองขาไถที่ 3 นั้นเกิดอุบัติเหตุขาไถเกิดการฉีกขาดตามแนวรอยเชื่อมจึงไม่สามารถเก็บข้อมูลได้ จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่าความชื้นของดินหลังไถในแปลงย่อยมีค่าแตกต่างกัน โดยแปลงย่อยที่ 3 มีค่าความชื้นดินหลังไถน้อยที่สุด และค่าความชื้นดินของแต่ละ

การทดลองและแต่ละความลึกนั้นมีค่าแตกต่างกันเช่นกัน โดยระดับความลึก 0 – 20 cm มีค่าความชื้นต่ำกว่าชั้น 20 – 40 cm ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการเคลื่อนตัวของดินจากด้านล่างสู่ด้านบน

ตารางที่ 9 ค่าความชื้นดินเฉลี่ยก่อนไถ

การทดสอบที่	ความลึก (cm)	ความชื้นเฉลี่ย (% db) ของดินก่อนไถตามความลึกและแปลงย่อย					
		T1	T2	T3	T4	เฉลี่ย	เฉลี่ย
1	0-20	15.85	15.26	15.2	16.17		
	20-40	13.43	13.77	14.09	14.2		
	40-60	18.02	18.16	17.29	17.13		15.71a
2	0-20	15.98	16.3	18.39	18.28		
	20-40	15.79	15.01	13.85	14.13		
	40-60	17.34	17.34	17.25	17.64		16.44b
3	0-20	19.61	18.45	19.99	19.56		
	20-40	17.47	17.75	18	18.43		
	40-60	18.76	18.73	18.4	18.92		18.67c
4	0-20	18.89	19.24	19.01	18.96		
	20-40	17.27	18.12	18.3	17.41		
	40-60	20.4	19.49	20.5	18.54		18.85c
5	0-20	19.25	20.17	19.57	20.38		
	20-40	20.33	21.36	20.97	20.82		
	40-60	16.91	21.52	17.81	18.22		19.77d
6	0-20	18.79	18.73	18.21	17.64		
	20-40	24.07	24.41	23.71	22.37		
	40-60	25.39	24.45	21.91	21.37		21.75e
เฉลี่ย	0-20						18.25a
	20-40						18.13a
	40-60						19.23b
เฉลี่ย		18.79a	18.53a	18.46a	18.34a		

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแถวหรือคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรเหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี DMRT (Duncan's Multiple Range Test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 10 ค่าความชื้นดินเฉลี่ยหลังไถ

การทดสอบที่	ความลึก (cm)	ความชื้นเฉลี่ย (% db) ของดินหลังไถตามความลึกและแปลง					
		ย่อย				เฉลี่ย	เฉลี่ย
		T1	T2	T3	T4		
1	0-20	13.7	14.63	14.78	13.6		
	20-40	14.98	16.53	14.19	13.66		
	40-60	15.42	15.84	14.83	16.63		14.9a
2	0-20	16.3	16.74	16.46	16.7		
	20-40	15.29	15.49	17.49	14.82		
	40-60	16.59	17.67	17.61	18.6		16.65c
3	0-20	18.44	17.72	17.54	16.26		
	20-40	15.33	14.22	16.5	15.66		
	40-60	22.11	19.82	21.05	21.15		17.98d
4	0-20	16	14.14	14.61	15.75		
	20-40	17.28	16.7	15.78	14.26		
	40-60	17.34	17.99	16.46	15.87		16.02b
5	0-20	20.25	21.43	21.17	21.47		
	20-40	16.89	17.49	17.05	17.84		
	40-60	19.27	18.3	16.54	18.69		18.87e
6	0-20	19.55	18.69	-	19.28		
	20-40	23.04	22.14	-	21.31		
	40-60	20.71	20.85	-	19.45		20.56f
เฉลี่ย	0-20						17.18b
	20-40						16.69a
	40-60						18.21c
เฉลี่ย		17.69c	17.58bc	16.80a	17.28b		

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแถวหรือคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรเหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี DMRT (Duncan's Multiple Range Test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. ความหนาแน่นของดิน

ค่าความหนาแน่นดินที่ได้จากการเตรียมดินนั้นมีค่าดังแสดงในตารางที่ 11 โดยค่าความหนาแน่นของดินก่อนไถของการทดลองที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 มีค่าความหนาแน่นดินเฉลี่ยอยู่ที่ 1.96, 1.94, 1.95, 1.99, 2.02 และ 2.00 g/cm^3 ตามลำดับ ซึ่งค่าความหนาแน่นเหล่านี้เป็นค่าที่สูงจัดว่ามีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของรากพืชอย่างยิ่ง จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่าความหนาแน่นของดินที่เตรียมได้ในแต่ละการทดลองนั้นมีค่าใกล้เคียงกันแตกต่างกันบ้างเล็กน้อยโดยการทดลองที่ 5 มีค่าสูงสุด ในส่วนของแปลงย่อยต่างๆพบว่ามีค่าความหนาแน่นแตกต่างกันเล็กน้อยเช่นกัน โดยแปลงย่อยที่ใช้ทดสอบขาไถแบบที่ 4 มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยสูงสุด 2.00 g/cm^3 นอกจากนี้ยังพบว่าความหนาแน่นของดินในระดับความลึก 0- 40 cm มีค่าน้อยกว่าที่ความลึก 40-60 cm

ตารางที่ 11 ค่าความหนาแน่นดินเฉลี่ยก่อนไถ

การทดสอบที่	ความลึก (cm)	ความหนาแน่นดินเฉลี่ย (g/cm ³) ของดินก่อนไถตามความลึกและแปลงย่อย					
		T1	T2	T3	T4	เฉลี่ย	เฉลี่ย
1	0-20	1.9	1.89	1.97	2.02		
	20-40	1.99	1.95	1.87	1.88		
	40-60	2.01	2.06	1.97	2.02		1.96a
2	0-20	1.91	1.88	1.94	2.03		
	20-40	1.69	1.91	1.88	1.92		
	40-60	2.04	1.94	2.06	2.12		1.94a
3	0-20	1.96	2.01	2.01	2.02		
	20-40	1.95	1.93	1.97	1.98		
	40-60	1.86	1.9	1.93	1.92		1.95a
4	0-20	1.83	1.9	2.02	1.95		
	20-40	1.96	2	1.95	2.05		
	40-60	2.08	2.08	1.99	2.07		1.99b
5	0-20	2.04	1.98	2.01	1.92		
	20-40	1.99	1.95	1.95	1.9		
	40-60	2.19	2.02	2.17	2.13		2.02c
6	0-20	1.94	2.03	1.96	1.96		
	20-40	1.98	2.01	2.05	2.04		
	40-60	1.97	1.99	2.02	2.01		2.00bc
	0-20						1.96a
	20-40						1.95a
	40-60						2.02b
เฉลี่ย		1.96a	1.97ab	1.98bc	2.00c		

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแถวหรือคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรเหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี DMRT (Duncan's Multiple Range Test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

หลังจากทดลองไถด้วยขาไถทั้ง 4 แบบ และวัดค่าความหนาแน่นของดินห่างจากแนวไถ 5 cm พบว่าความหนาแน่นของดินลดลงในทุกการทดลองโดยค่าที่ได้อยู่ระหว่าง 1.52 – 1.80 g/cm³ ดังแสดงในตารางที่ 12 และจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่าความหนาแน่นของดินในการทดลองต่างๆมีค่าแตกต่างกัน โดยการทดลองที่ 3, 5 และ 6 นั้นมีค่าความหนาแน่นหลังไถค่อนข้างสูง ซึ่งเมื่อดูข้อมูลค่าความชื้นของดินก่อนการไถนั้นการทดลองที่ 5 และ 6 มีค่าสูงกว่าการทดลองอื่นๆซึ่งสิ่งนี้อาจช่วยอธิบายถึงค่าความหนาแน่นที่ลดลงได้น้อยกว่า ว่าอาจเนื่องมาจากการแตกตัวของดินมีค่าต่ำที่ความชื้นสูงนอกจากนี้ยังพบว่าค่าความหนาแน่นของดินมีค่าน้อยที่ระดับความลึกต่ำ ส่วนความหนาแน่นของดินที่ได้จากการไถด้วยขาไถแบบต่างๆนั้นพบว่าขาไถแบบที่ 4 ทำให้ความหนาแน่นเฉลี่ยของดินหลังไถมีค่าน้อยที่สุด 1.66 g/cm³ ส่วนขาไถแบบที่ 2 และ 3 นั้นได้ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของดินมากที่สุด

ตารางที่ 12 ค่าความหนาแน่นดินเฉลี่ยหลังไถ

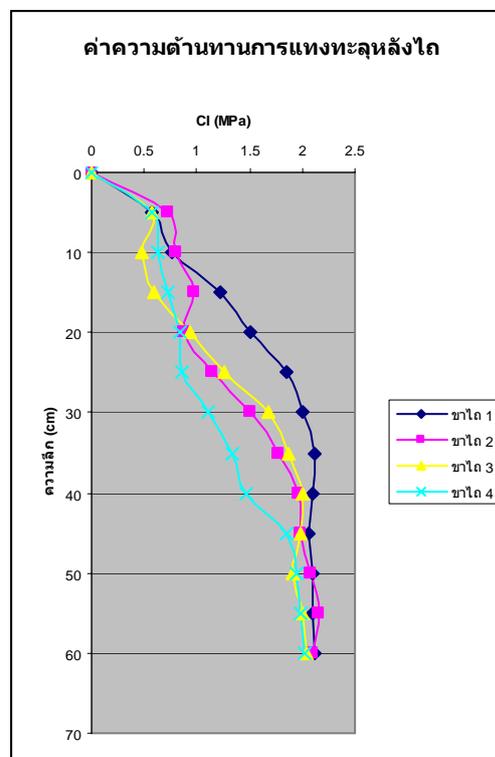
การ ทดสอบที่	ความลึก (cm)	ความหนาแน่นดินเฉลี่ย (g/cm ³) ของดินหลังไถตามความลึกและ แปลงย่อย					
		แปลงย่อย				เฉลี่ย	เฉลี่ย
		T1	T2	T3	T4		
1	0-20	1.67	1.52	1.49	1.4		
	20-40	1.78	1.61	1.66	1.49		
	40-60	1.9	1.9	1.81	1.79		1.67b
2	0-20	1.42	1.47	1.4	1.43		
	20-40	1.67	1.68	1.96	1.5		
	40-60	1.61	2.01	1.98	1.89		1.67b
3	0-20	1.82	1.72	1.81	1.51		
	20-40	1.64	1.54	1.84	1.62		
	40-60	1.95	1.89	1.82	1.95		1.76c
4	0-20	1.5	1.48	1.36	1.4		
	20-40	1.53	1.68	1.5	1.53		
	40-60	1.47	1.59	1.51	1.69		1.52a
5	0-20	1.59	1.93	1.81	1.95		
	20-40	1.88	1.73	1.75	1.57		
	40-60	1.97	1.72	1.87	1.84		1.80c
6	0-20	1.61	1.79	-	1.52		
	20-40	1.7	1.98	-	1.99		
	40-60	1.72	1.83	-	1.79		1.77c
เฉลี่ย	0-20						1.59a
	20-40						1.69b
	40-60						1.80c
เฉลี่ย		1.69ab	1.73b	1.70b	1.66a		

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแถวหรือคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรเหมือนกันแสดงว่าไม่

แตกต่างกันทางสถิติเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี DMRT (Duncan's Multiple Range Test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ค่าความต้านทานการแทงทะลุ (Cone Index)

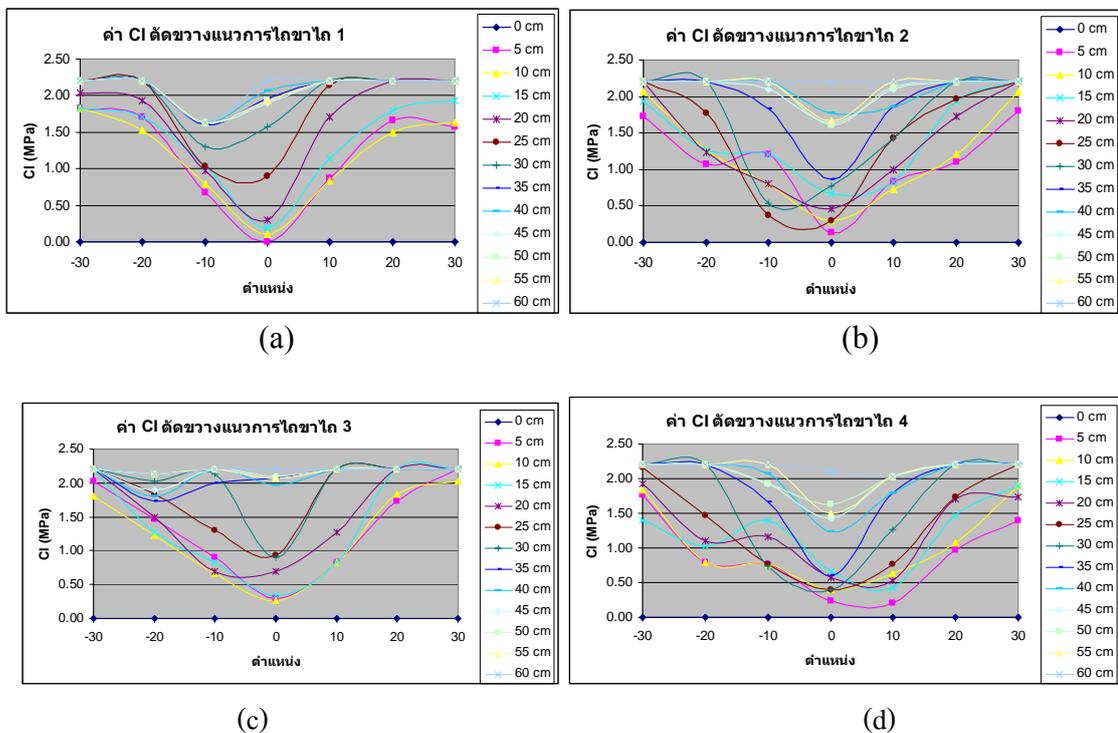
จากการเก็บข้อมูลค่าความต้านทานการแทงทะลุของดินทั้งก่อนและหลังการทดลองได้ พบว่าค่าความต้านทานการแทงทะลุก่อนการไถของทั้ง 6 การทดลองมีค่าเฉลี่ยประมาณ 2.10 MPa ตั้งแต่ความลึกที่ประมาณ 5 cm ลงไป ส่วนหลังทดลองได้พบว่าค่าความต้านทานการแทงทะลุของดินที่วัดห่างจากรอยไถ 5 cm มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด ดังแสดงในภาพที่ 42 ซึ่งพบว่าดินหลังไถด้วยขาไถแบบที่ 4 นั้นให้ค่าความต้านทานการแทงทะลุของดินที่ต่ำกว่า ส่วนการไถด้วยขาไถแบบที่ 1 นั้นให้ค่าการแทงทะลุของดินที่ค่อนข้างสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ระดับความลึกตั้งแต่ 40 cm นั้น ขาไถที่ 1, 2 และ 3 ไม่มีความแตกต่างกันและมีค่าความต้านทานการแทงทะลุเฉลี่ย 2 MPa ส่วนขาไถที่ 4 มีค่าความต้านทานการแทงทะลุน้อยกว่าและมีค่าความต้านทานการแทงทะลุเฉลี่ยประมาณ 1.5 MPa



ภาพที่ 42 ค่าเฉลี่ยความต้านทานการแทงทะลุหลังไถของขาไถทั้ง 4 แบบ

4. ค่าความต้านทานการแทงทะลุ (Cone Index) ตัดขวางแนวการไหล

ค่าความต้านทานการแทงทะลุตัดขวางแนวการไหลทำการเก็บข้อมูลโดยวัดค่าจำนวน 7 จุดห่างจากแนวกึ่งกลางรอยไหลเป็นระยะทุกๆ 10 เซนติเมตร ทั้งด้านซ้ายและขวาเพื่อคุณลักษณะการแตกตัวของดินหลังไหล พบว่าที่แนวกึ่งกลางรอยไหลจะมีค่าความต้านทานการแทงทะลุที่น้อยที่สุดที่ระดับความลึกเดียวกัน และมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะห่างจากแนวกึ่งกลางรอยไหล และเมื่อระดับความลึกของดินมากขึ้นค่าความแตกต่างของค่าความต้านทานการแทงทะลุของดินด้านข้างมีค่าลดลงซึ่งลักษณะการแตกตัวของดินของขาไหลที่ 1, 2 และ 3 มีลักษณะคล้ายรูปตัว V แต่ลักษณะการแตกตัวของดินของขาไหลที่ 4 มีลักษณะคล้ายรูปตัว U ดังภาพที่ 43

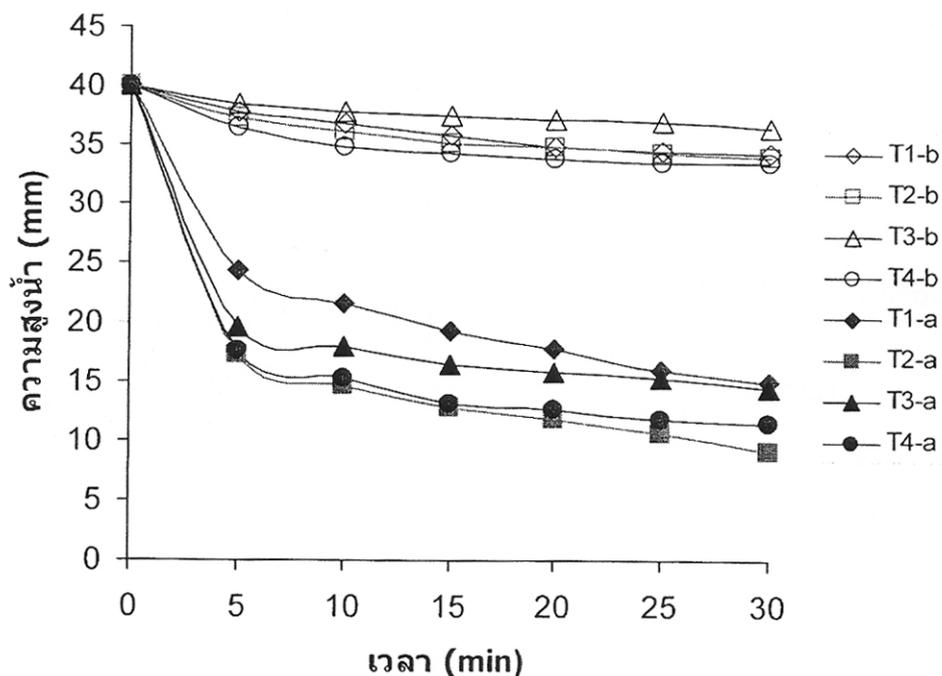


ภาพที่ 43 ค่าความต้านทานการแทงทะลุของดินตามขวางแนวไหลของ (a) ขาไหลที่ 1, (b) ขาไหลที่ 2, (c) ขาไหลที่ 3 และ (d) ขาไหลที่ 4

5. ค่าอัตราการซึมน้ำ

อัตราการซึมน้ำนั้นในการทดลองนี้ได้ทำการวัดทั้งก่อนไถและหลังไถ เพื่อนำค่าที่ได้มาพิจารณาค่าความแตกต่างของอัตราการซึมน้ำของขาไถทั้ง 4 แบบ โดยวัดค่าระดับความสูงของน้ำที่ผิวหน้าทุกๆ 5 นาที นาน 30 นาที ทั้งนี้การวัดอัตราการซึมน้ำสำหรับการทดลองในครั้งนี้ได้รักษาระดับน้ำในถังวัดอัตราการซึมไม่ให้สูงมากนักเพื่อป้องกันการซึมน้ำอันเนื่องมาจากน้ำหนักของน้ำ

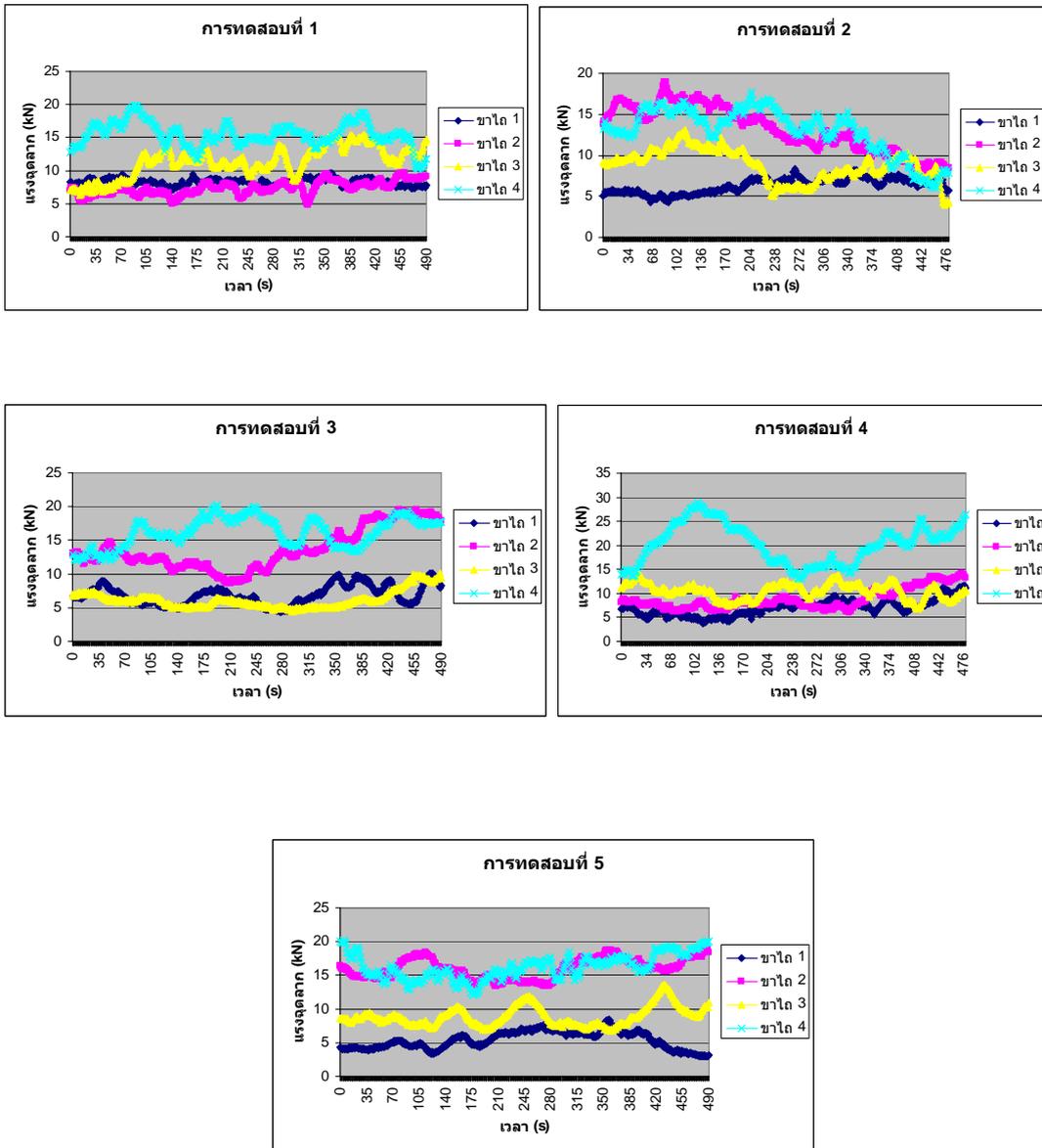
จากกราฟในภาพที่ 44 ซึ่งแสดงอัตราการซึมน้ำของแปลงย่อยที่ไถด้วยขาไถทั้ง 4 แบบทั้งก่อนการไถและหลังการไถ โดยสัญลักษณ์ b และ a ที่ต่อท้าย แปลงย่อย T นั้นบ่งชี้ถึงก่อนหรือหลังไถตามลำดับ พบว่าก่อนการไถนั้นระดับความสูงของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากแสดงถึงค่าของการซึมน้ำนั้นมีค่าน้อยมากในทุกๆแปลงย่อยที่เตรียมดิน ส่วนภายหลังการไถระดับน้ำลดลงมากแสดงถึงอัตราการซึมน้ำที่เพิ่มสูงขึ้น โดยอัตราการซึมน้ำของแปลงย่อยที่ไถด้วยขาไถแบบที่ 2 มีอัตราการซึมน้ำสูงที่สุด และแปลงย่อยที่ไถด้วยขาไถแบบที่ 1 มีค่าอัตราการซึมน้ำต่ำที่สุด



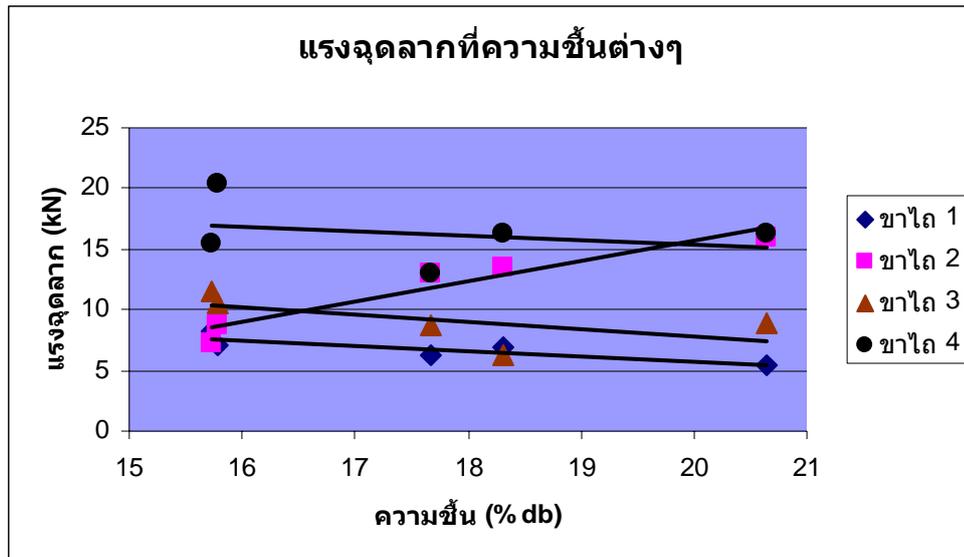
ภาพที่ 44 ค่าอัตราการซึมน้ำของขาไถทั้ง 4 แบบ

6. แรงขุดลากของไถที่ความชื้นต่างๆ

เนื่องจากการทดลองครั้งที่ 6 นั้นขาไถที่ 3 เกิดการฉีกขาดที่รอยเชื่อมจึงได้วิเคราะห์ผลการทดลองเพียง 5 ครั้งเท่านั้น ซึ่งจากการทดลองเพื่อหาค่าแรงขุดลากของขาไถทั้ง 4 ขานั้นพบว่าขาไถที่ 4 มีความต้องการแรงขุดลากสูงที่สุดในทุกการทดลองและขาไถที่ 1 มีความต้องการแรงขุดลากต่ำที่สุดในทุกการทดลองเช่นกัน ดังแสดงในภาพที่ 45 และขาไถแบบที่ 4 ที่มีความต้องการแรงขุดลากสูงที่สุดในทุกการทดลองนั้นมีค่าเฉลี่ย 16.26 kN ส่วนขาไถแบบที่ 1 ที่มีความต้องการแรงขุดลากต่ำที่สุดในทุกการทดลองนั้นมีค่าเฉลี่ย 6.77 kN จากผลการทดลองดังกล่าวเมื่อนำค่าแรงขุดลากที่ได้มาหาความสัมพันธ์กับความชื้นของดิน พบว่าได้กราฟความสัมพันธ์ดังแสดงในภาพที่ 46 ขาไถแบบที่ 1,3 และ 4 นั้นความต้องการแรงขุดลากมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับความชื้นสูงขึ้น แต่ขาไถที่ 2 นั้นกลับมีแนวโน้มต้องการแรงขุดลากมากขึ้นเมื่อความชื้นของดินสูงขึ้น



ภาพที่ 45 ค่าแรงจุดลากเฉลี่ยของขาโตทั้ง 4 ขาในแต่ละการทดสอบ



ภาพที่ 46 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงจุดลากกับความชื้นของดิน

7. การแตกตัวของดิน



ภาพที่ 47 การแตกตัวของดินหลังไถ

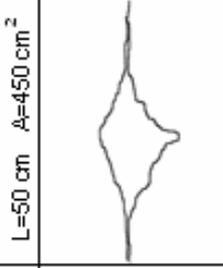
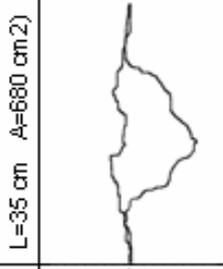
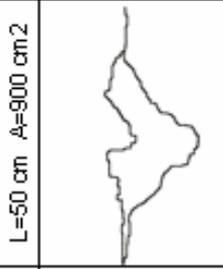
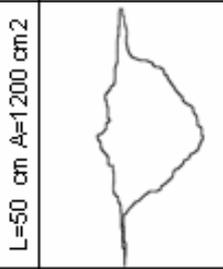
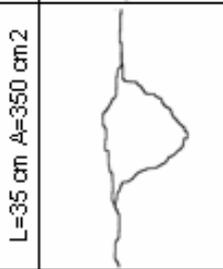
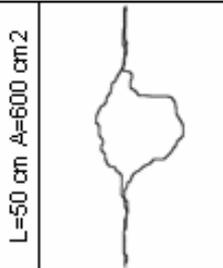
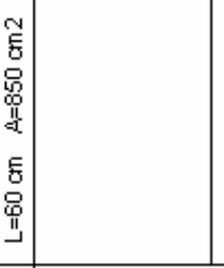
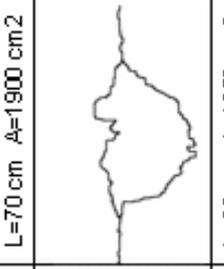
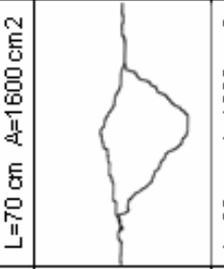
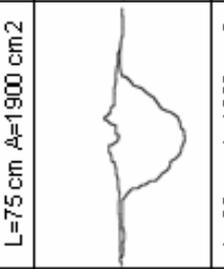
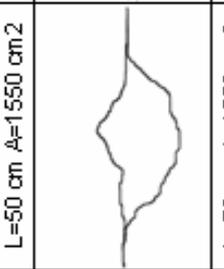
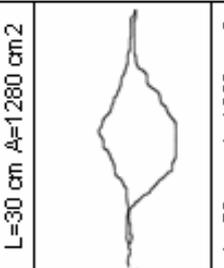
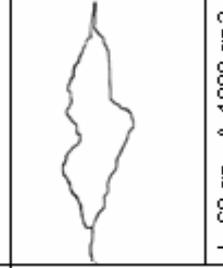
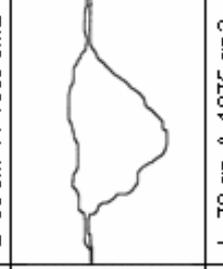
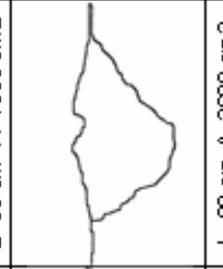
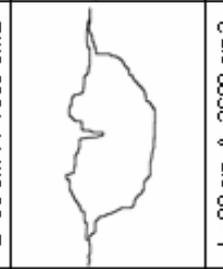
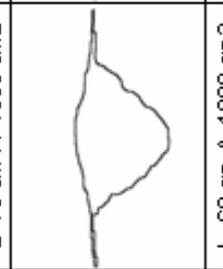
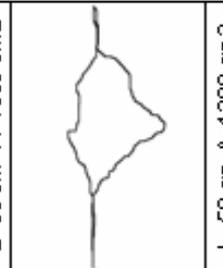
จากภาพที่ 47 แสดงตัวอย่างการวัดการแตกตัวที่ผิวดินหลังไถ โดยใช้ปูนขาวโรยเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสเพื่อดูการแตกตัวของดินภายหลังการไถ โดยการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่สี่เหลี่ยม ซึ่งภายหลังจากการไถพบว่าขาไถที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่สี่เหลี่ยมน้อยมาก ขาไถที่ 2 และ 3 มีการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่สี่เหลี่ยมที่ใกล้เคียงกันและพื้นที่การแตกตัวของดินของขาไถที่ 4 มีการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่สี่เหลี่ยมมากที่สุด

จากภาพที่ 48 แสดงการวัดพื้นที่การแตกตัวของดินโดยใช้ Profile meter ก่อนการโกยดิน พบว่าแท่งทองแดงที่ใช้วัดมีลักษณะยกสูงขึ้นบริเวณกึ่งกลางรอยไถอันเนื่องมาจากการเคลื่อนตัวขึ้นสู่ด้านบนของดินภายหลังการไถทดสอบ และการวัดภายหลังจากการโกยดินแล้วพบว่าแท่งทองแดงมีลักษณะที่ลดต่ำลงตามแนวการแตกตัวของดินซึ่งมีรูปร่างที่แตกต่างกันออกไปตามชนิดของขาไถที่ใช้ทำการไถทดสอบ



ภาพที่ 48 ตัวอย่างการวัดการแตกตัวของดิน โดยใช้ Profile meter

ดังแสดงในภาพที่ 49 จะเห็นได้ว่าลักษณะของพื้นที่การแตกตัวของดินภายหลังจากการใช้ขาไถที่มีรูปทรงต่างกันมีผลต่อขนาดของพื้นที่การแตกตัวของดินโดยลักษณะและรูปร่างในการแตกตัวของดินได้นำภาพถ่ายก่อนการโกยดินและหลังการโกยดินมาหาพื้นที่การแตกตัว และรูปร่างที่คล้ายกันของการแตกตัวของดินคือมีลักษณะเหมือนรูปตัว V หรือตัว U เมื่อพิจารณาถึงขนาดของพื้นที่ในการแตกตัวแล้วพบว่าขาไถที่ 1 มีขนาดของพื้นที่การแตกตัวต่ำที่สุด และขาไถที่ 4 มีขนาดพื้นที่การแตกตัวสูงที่สุด

	R1	R2	R3	R4	R5	R6
T1	 L=50 cm A=450 cm ²	 L=35 cm A=680 cm ²	 L=50 cm A=900 cm ²	 L=50 cm A=1200 cm ²	 L=35 cm A=350 cm ²	 L=50 cm A=600 cm ²
T2	 L=60 cm A=850 cm ²	 L=70 cm A=1900 cm ²	 L=70 cm A=1600 cm ²	 L=75 cm A=1900 cm ²	 L=50 cm A=1550 cm ²	 L=30 cm A=1280 cm ²
T3	 L=60 cm A=1650 cm ²	 L=60 cm A=1600 cm ²	 L=60 cm A=1600 cm ²	 L=60 cm A=1600 cm ²	 L=70 cm A=1550 cm ²	 L=58 cm A=1300 cm ²
T4	 L=60 cm A=1000 cm ²	 L=70 cm A=1975 cm ²	 L=80 cm A=2600 cm ²	 L=80 cm A=2600 cm ²	 L=68 cm A=1900 cm ²	 L=50 cm A=1300 cm ²

ภาพที่ 49 พื้นที่ในการแตกตัวและความยาวในการแตกตัว

จากการไถทดสอบด้วยขาไถทั้ง 4 แบบในการทดสอบทั้ง 6 ครั้ง ค่าความยาวของการแตกตัวและขนาดของพื้นที่การแตกตัวมีค่าแตกต่างกัน ดังข้อมูลในตารางที่ 13 โดยค่าความยาวของการแตกตัวที่ได้จากการทดลองพบว่า ขาไถที่ 4 ให้ค่าความยาวในการแตกตัวสูงที่สุดมีค่า 80 cm และขาไถที่ 1 ให้ค่าความยาวของการแตกตัวต่ำที่สุดมีค่า 35 cm

ตารางที่ 13 ขนาดความยาวและพื้นที่การแตกตัว

แปลงที่ทดสอบขาไถ	การทดสอบที่ 1		การทดสอบที่ 2		การทดสอบที่ 3	
	L(cm)	A(cm ²)	L(cm)	A(cm ²)	L(cm)	A(cm ²)
T1	50	900	50	1200	35	350
T2	70	1600	75	1900	50	1550
T3	60	1600	60	1600	70	1550
T4	80	2600	80	2600	70	1900
แปลงที่ทดสอบขาไถ	การทดสอบที่ 4		การทดสอบที่ 5		การทดสอบที่ 6	
	L(cm)	A(cm ²)	L(cm)	A(cm ²)	L(cm)	A(cm ²)
T1	35	680	50	600	50	450
T2	70	1900	30	1280	60	850
T3	60	1650	58	1300	-	-
T4	70	1975	50	1300	60	1000

การแตกตัวของดินนั้นมีความแตกต่างกันตามชนิดของขาไถและจะมีพื้นที่ในการแตกสูงที่ระดับความชื้นต่ำและพื้นที่ของการแตกตัวจะลดลงเมื่อระดับความชื้นเพิ่มสูงขึ้นมีแนวโน้มที่เหมือนกันในทุกๆขาไถ โดยขาไถที่มีการแตกตัวของดินน้อยที่สุดในทุกการทดลองคือขาไถที่ 1 มีพื้นที่รวมต่ำสุด 450 cm² และขาไถที่ให้พื้นที่การแตกตัวสูงที่สุดคือขาไถแบบที่ 4 มีพื้นที่รวม 2600 cm²

ตารางที่ 14 แรงกดลากต่อพื้นที่การแตกตัวของดิน

ขาไถแบบที่	แรงกดลากต่อพื้นที่(N/ cm ²)					เฉลี่ย
	การ ทดลองที่1	การ ทดลองที่2	การ ทดลองที่3	การ ทดลองที่4	การ ทดลองที่ 5	
1	7.87	6.89	17.92	10.08	8.92	10.34
2	5.48	3.83	8.41	7.14	12.44	7.46
3	6.6	7.15	5.66	3.74	6.85	6.0
4	7.86	5.95	6.82	8.22	12.47	8.26

เมื่อพิจารณาค่าแรงกดลากต่อพื้นที่การแตกตัวของดินหลังไถพบว่าจากการทดลองทั้ง 5 ครั้ง ขาไถแบบที่ 1 ให้ค่าเฉลี่ยของแรงกดลากต่อพื้นที่การแตกตัวมากที่สุดมีค่า 10.34 N/cm² ตามมาด้วยขาไถแบบที่ 4 แบบที่ 2 และ แบบที่ 3 ซึ่งมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 6.00 N/cm² ดังแสดงในตารางที่ 14

วิจารณ์

จากผลการทดลองที่ได้พบว่าขาไถที่ 1 มีค่าต่างๆที่ต่ำและแตกต่างจากขาไถชนิดอื่นๆ เพราะว่าไม่สามารถไถได้ในระดับความลึกที่ต่ำกว่า 35 เซนติเมตรได้เนื่องจากรูปร่างลักษณะของขาไถที่ 1 ไม่เหมาะสำหรับดินที่มีการอัดแน่นตัวที่สูงมากได้ แต่จากการทดสอบในเบื้องต้นที่ระดับความหนาแน่นปานกลางพบว่าขาไถที่ 1 สามารถไถได้ในระดับความลึกเดียวกันกับขาไถแบบอื่นๆ

ในการทดสอบที่ 6 นั้นปรากฏว่าขาไถที่ 3 ได้เกิดการฉีกออกจากแนวรอยเชื่อมในระหว่างการทดสอบทำให้ไม่สามารถเก็บข้อมูลหลังการไถของขาไถที่ 3 ได้จึงทำให้ข้อมูลในการทดสอบที่ 6 นั้นไม่สมบูรณ์ ค่าเฉลี่ยต่างๆที่เกิดจากการไถของขาไถที่ 3 ในผลการทดสอบจึงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดสอบที่ 1 ถึงการทดสอบที่ 5 เท่านั้น

ค่าอัตราการซึมน้ำเฉลี่ยก่อนไถที่วัดได้จากการทดสอบมีค่าเฉลี่ยประมาณ 3 mm/hr ซึ่งมีค่าต่ำมากและภายหลังจากการทดสอบขาไถพบว่าค่าอัตราการซึมน้ำมีค่าเพิ่มสูงขึ้นในทุกๆขาไถที่ทำการทดสอบโดยมีค่าแตกต่างกันออกไปในแต่ละแบบของขาไถ ค่าอัตราการซึมน้ำภายหลังจากการไถที่ต่ำที่สุดพบในขาไถแบบที่ 1 และค่าอัตราการซึมน้ำสูงที่สุดพบในขาไถที่ 2

ค่าแรงฉุดลากของขาไถที่ 2 มีแนวโน้มที่แตกต่างจากไถชนิดอื่นเพราะว่าจากการสังเกตในขณะที่ทำการทดลองพบว่าขาไถที่ 2 มีการแตกตัวของดินในลักษณะการยกดินให้สูงขึ้นแล้วจึงแตกตัวออกไปด้านข้าง ส่วนขาไถที่ 3 และ 4 พบว่าการแตกตัวของดินมีลักษณะการยกดินในระดับที่ต่ำกว่าแล้วจึงแตกตัวออกไปทางด้านข้าง ค่าแรงฉุดลากสูงที่สุดที่เกิดขึ้นพบในขาไถแบบที่ 4 และค่าแรงฉุดลากที่ต่ำที่สุดพบในขาไถแบบที่ 1

Jamlongkul et al (2003) ได้ทำการศึกษาไถระเบิดดินดานในลักษณะคล้ายกับขาไถที่ 2 ชนิดสั้นที่หัวเจาะเปรียบเทียบกับแบบที่ไม่มีการสั้นได้ผลว่า แรงฉุดลากที่เกิดขึ้นมีขนาด 1.62 kN และ 1.82 kN ตามลำดับ ซึ่งขนาดของแรงฉุดลากที่เกิดขึ้นนั้นมีค่าต่ำกว่าที่ทำการทดสอบในครั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า ชุดดินและค่าความชื้น รวมไปถึงค่าความหนาแน่นในการบดอัดดินมีความแตกต่างกัน

การแตกตัวของดินภายหลังจากการทดสอบขาไถทั้ง 4 แบบมีค่าการแตกตัวของดินที่มีรูปร่างลักษณะของการแตกตัวที่แตกต่างกันออกไปและมีค่ามากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับรูปร่างลักษณะของขาไถด้วย แนวโน้มการแตกตัวของดินมีค่าลดลงเมื่อระดับความชื้นเพิ่มสูงขึ้นเป็นเพราะความชื้นมีผลทำให้ดินมีแรงยึดเกาะกันเพิ่มมากขึ้นจึงส่งผลทำให้การแตกตัวของดินลดลง โดยค่าความยาวในการแตกตัวและขนาดของพื้นที่การแตกตัวมีความสัมพันธ์กันคือค่าความยาวในการแตกตัวมีค่าเพิ่มขึ้นขนาดของพื้นที่ในการแตกตัวก็จะสูงตามไปด้วย ซึ่งจากการทดสอบพบว่าค่าความยาวในการแตกตัวและขนาดพื้นที่ในการแตกตัวต่ำที่สุดพบในขาไถแบบที่ 1 มีค่าความยาวในการแตกตัว 35 cm และขนาดพื้นที่ในการแตกตัว 350 cm² ซึ่งขาไถแบบที่ 1 นั้นไม่มีมุมไถจึงทำให้ไม่สามารถไถได้ในระดับลึกจึงทำให้ได้พื้นที่การแตกตัวน้อย และขนาดความยาวและพื้นที่ในการแตกตัวที่สูงที่สุดพบในขาไถแบบที่ 4 มีค่าความยาวในการแตกตัว 80 cm และขนาดพื้นที่ในการแตกตัว 2600 cm² นั้นเป็นเพราะว่ารูปทรงของขาไถแบบที่ 4 นั้นทำให้เกิดแนวการแตกตัวของดินบริเวณด้านหน้าของขาไถได้มากที่สุด

สรุปและข้อเสนอแนะ

ขาของไถระเบิดดินดานที่ออกแบบและสร้างเพื่อใช้ในการทดสอบมีรูปทรงที่แตกต่างกัน 4 แบบ คือ ขาไถตรง, ขาไถตรง มีมุมไถ 30 องศา, ขาไถที่มีมุมเอียง 60 องศา กับมุมไถ 30 องศา และขาไถรูปตัว C มีมุมไถ 30 องศา โดยทำการทดสอบในชุดดินเหนียวที่กะบะดินของศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ และจากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ว่า แรงจูดลากของขาไถแบบที่ 1 มีค่าต่ำที่สุดแต่ไม่สามารถไถได้ในระดับความลึกที่ต้องการจึงส่งผลให้ค่าการแตกตัวของดินและค่าอัตราการซึมน้ำต่ำที่สุดด้วย แรงจูดลากของขาไถแบบที่ 2 มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อระดับความชื้นเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของการแตกตัวและการซึมน้ำสูงขึ้น แรงจูดลากของขาไถแบบที่ 3 มีค่าต่ำกว่าขาไถแบบที่ 2 และ 4 ทำให้ค่าการแตกตัวของดินและค่าอัตราการซึมน้ำต่ำกว่าขาไถแบบที่ 2 และ 4 และแรงจูดลากของขาไถแบบที่ 4 มีค่าสูงที่สุด แต่ให้ค่าการแตกตัวสูงที่สุดและให้ค่าอัตราการซึมน้ำที่ใกล้เคียงกับขาไถแบบที่ 2 เมื่อพิจารณาโดยรวมพบว่าขาไถแบบที่ 4 ขาไถรูปตัว C มีมุมไถ 30 องศา นั้นให้ผลโดยรวมของสมบัติดินหลังไถดีที่สุด

ควรมีการศึกษาและทดสอบขาไถในลักษณะของมุมไถที่แตกต่างกันอันจะเป็นประโยชน์ในการผลิตเพื่อใช้งานที่เป็นประโยชน์สูงสุดต่อไป สำหรับการเตรียมดินในการทดสอบต่าง ๆ นั้น จำเป็นต้องมีการขนย้ายดินครั้งละเป็นจำนวนมากซึ่งเป็นปัญหาและอุปสรรคอย่างยิ่งรวมทั้งเสียเวลาในการเตรียมการทดสอบเป็นอย่างมากทำให้การทดสอบเป็นไปได้ด้วยความล่าช้า ผู้ทำการทดสอบจึงมีความเห็นว่าน่าที่จะมีการออกแบบและสร้างกะบะดินสำหรับการทดสอบที่มีความสะดวกและทันสมัยโดยเฉพาะสำหรับงานวิจัยทางด้าน การออกแบบและทดสอบเกี่ยวกับเรื่องดิน ซึ่งน่าจะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษา ค้นคว้าวิจัยและพัฒนาสิ่งประดิษฐ์ใหม่ๆ ในอนาคต อันจะเป็นรากฐานในการฝึกฝนพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่ ๆ ให้มีความรู้ความสามารถทัดเทียมกับต่างประเทศได้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

พิพัฒน์ เหลืองวงษ์วาน. 2542. พฤติกรรมทางพลศาสตร์ของดินร่วนที่มีผลต่อไถดินดานชนิดสั้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มงคล กวางวโรภาส. 2530. เครื่องทุ่นแรงในฟาร์ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัท ประชาชน จำกัด(แผนก การพิมพ์), กรุงเทพฯ.

วิบูลย์ บุญยชโรกุล. 2526. หลักการชลประทาน. ห.จ.ก. โรงพิมพ์เอเชีย, กรุงเทพฯ.

สัญญา นิยมภา และ ชัยรัตน์ รางแดง. 2539. รายงานการวิจัยและพัฒนาฉบับสมบูรณ์ ไถดินดาน ชนิดสั้น. 122.

ประเทือง อุษาบริสุทธิ์ และ สัญญา นิยมภา. 2547. ผลกระทบของการอัดแน่นของดินต่อการ เจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อย. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เสนอต่อ สกว.

ภาควิชาพืชไร่ฯ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2542. พีชเศรษฐกิจ. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน. 2541. การออกแบบเครื่องจักรกล. พิมพ์ครั้งที่ 10. บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด(มหาชน), กรุงเทพฯ.

Bakker, K. 1999. **Sugar Cane Cultivation and Management.** Kluwer, New York.

Hunsigi, G. 1993. **Production of Sugarcane, Theory and Practice.** Springer Verlag, New York.

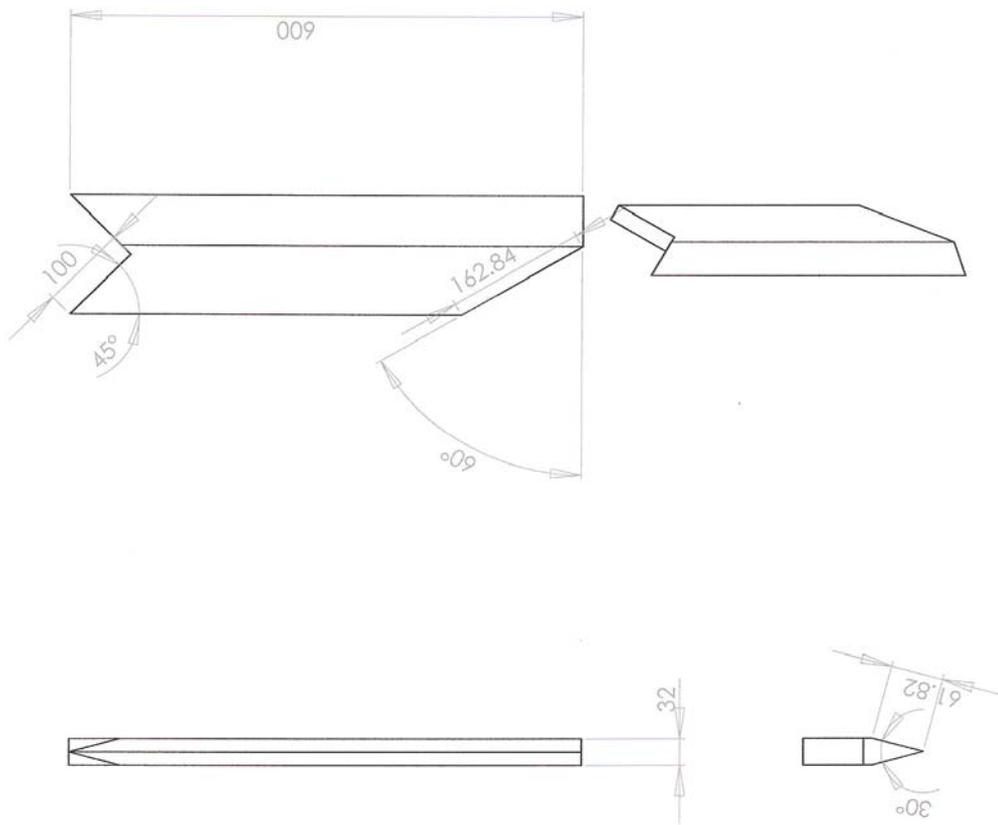
Mckyes, E. 1985. **Soil Cutting and Tillage.** Elsevier Science, New York.

- Montemayor, M. B. 1995. The effect of soil compaction during planting on cotton emergence. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 61(2): 129-136.
- Raper, R. L. 2005. Subsoiler shapes for site-specific tillage. **Applied Engineering in Agriculture** 21(1): 25-30.
- Suksatan, K. 1969. Sugarcane. **Encyclopaedia for Youth** 5(1969): 66-103
- Adawi-AI, S. S. and Reeder, R. C. 1996. Compaction and subsoiling effects on corn and soybean yields and soil physical properties. **Transactions of the ASAE**, 39(5): 1641-1649.
- Arvidsson, J. and Hakansson, I. 1996. Do effects of soil compaction persist after plowing?- Results from 21 long-term field experiments in Sweden. **Soil and Tillage Research**, 39(3-4): 175-197.
- Bandalan, E. P. Salokhe, V. M. Gupta, C. P. and Niyamapa, T. 1999. Performance of an oscillating subsoiler in breaking a hardpan. **Jurnal of Terramechanics** 36: 117-125.
- Bhardwaj, A. and Singh, R. 1993. Relationships between rain infiltration and ponded water infiltration. **Agricultural Engineering Journal** 2(1&2): 73-81.
- Gemtos, T. A. and Lellis, Th. 1997. Effects of soil compaction, water and organic matter contents on emergence and initial plant growth of cotton and sugar beet. **Journal of Agricultural Engineering Research**, 66(2): 121-134.
- Jamlongkul, A. Kalsirisilp, R. and Tantrabandit, M. 2003. Vibrating subsoiler at the cutting tip. **Report of Research.**

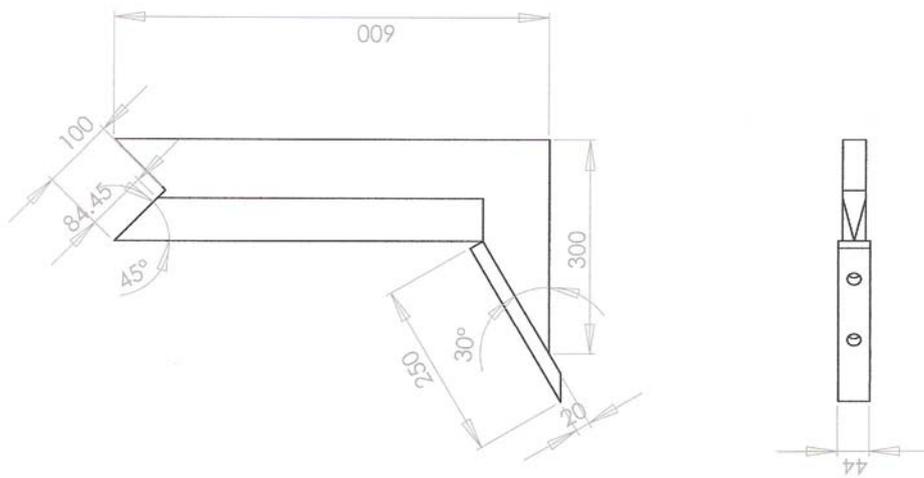
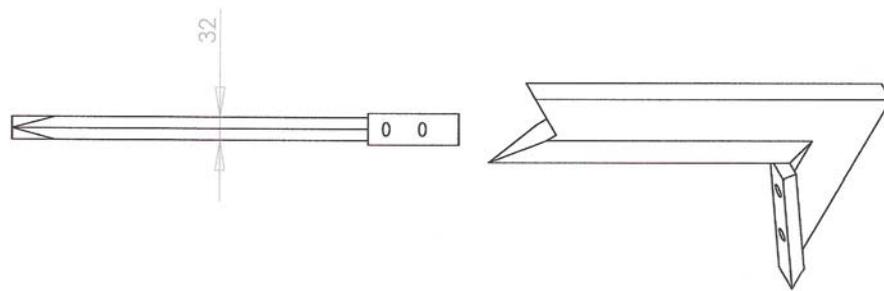
- Jurajuria, D. Draghi, L. and Avagon, A. 1997. The effect of vehicle weight on the distribution of compaction with depth and the yield of Lolium/Trifolium grassland. **Soil and Tillage Resaerch**, 41(1-2):1-12.
- Nasr, H. M. and Selles, F. 1995. Seedling emergence as influenced by aggregate size, bulk density and penetration resistance of the seedbed. **Soil and Tillage Research**, 34(1): 61-76.
- Ngunjiri, G. M. N. and Siemens, J. C. 1995. Wheel traffic effects on corn growth. **Transactions of the ASAE**, 38(3): 691-699.
- Siefken, R. J. Adamchuk, V. I. Eisenhauer, D. E. and Bashford, L. L. 2005. Mapping soil mechanical resistance with a multiple blade system. **Applied Engineering in Agriculture** 21(1): 15-23.
- Soane, B. D. and Van-Ouwerkerk, C. 1995. Implications of soil compaction in crop production for the quality of environment. **Soil Tillage Research**, 35: 5-22.
- Weaich, K., Cass, A. and Bristow, K. L. 1996. Pre-emergent shoot growth of maize as a function of soil strength. **Soil and Tillage Research**, 40(1-2)3-23.

ภาคผนวก

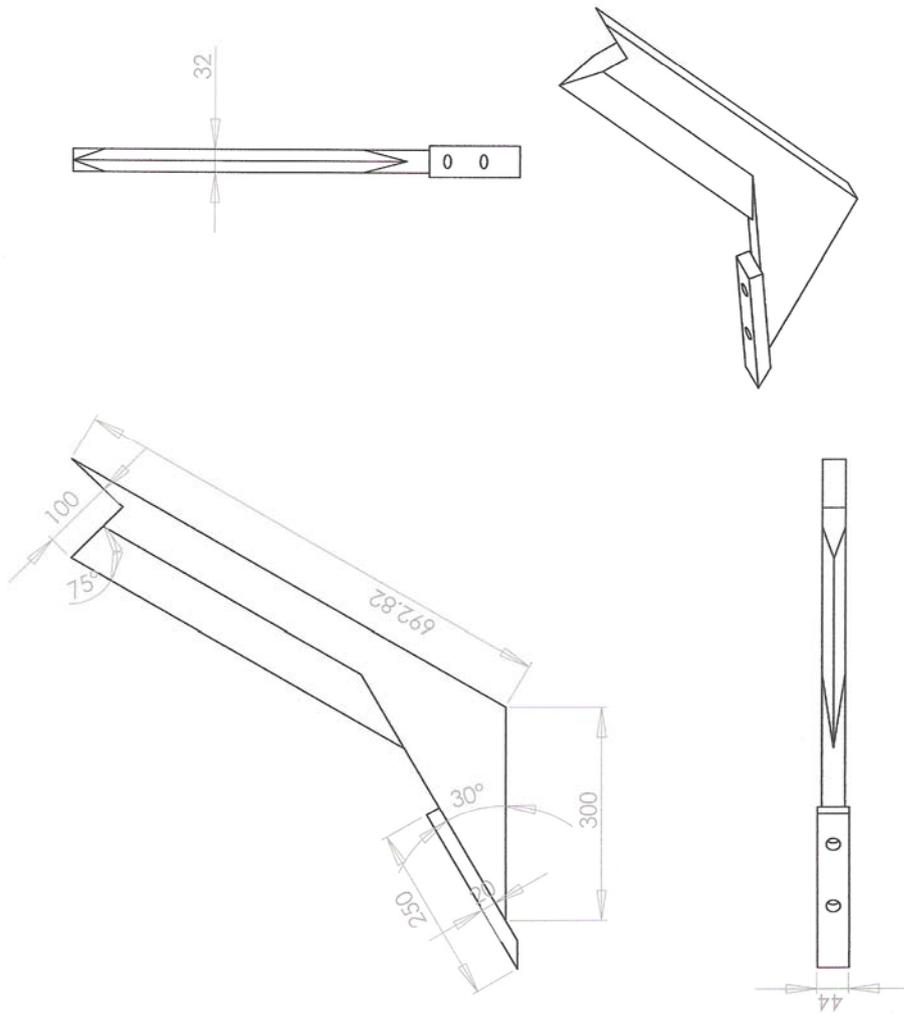
แบบของข่าไถ



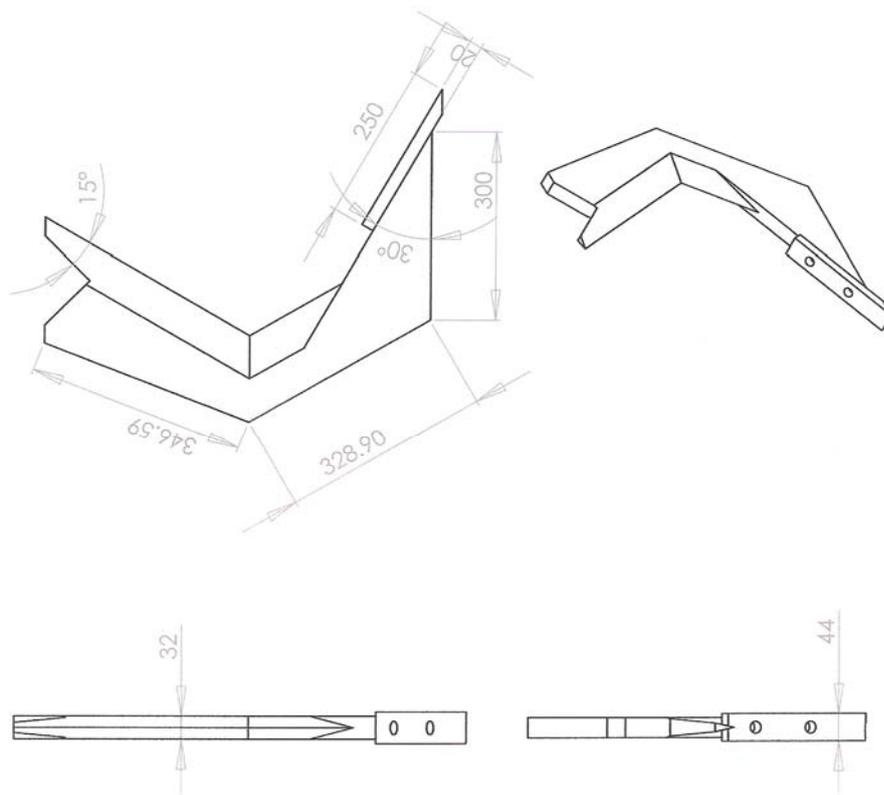
ภาพผนวกที่ 1 ข่าไถแบบที่ 1



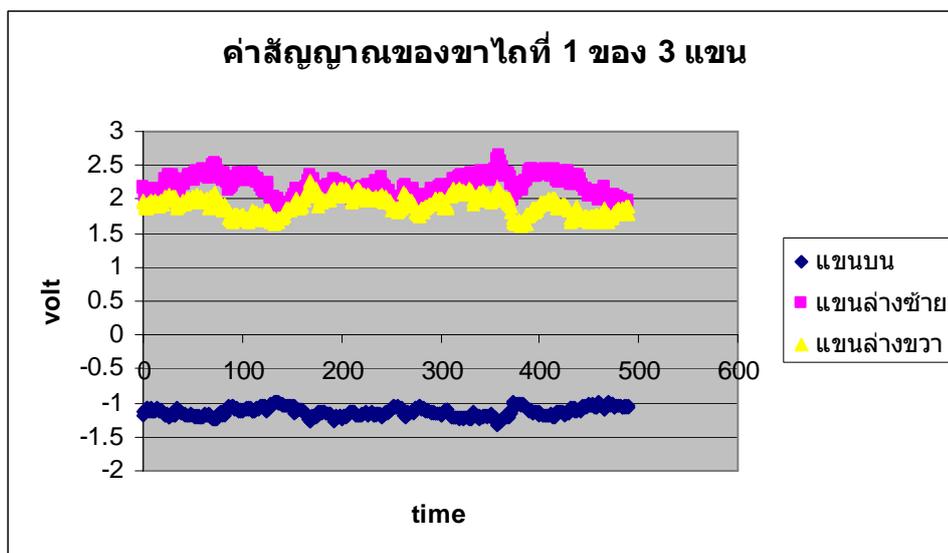
ภาพผนวกที่ 2 ขาโต๊ะแบบที่ 2



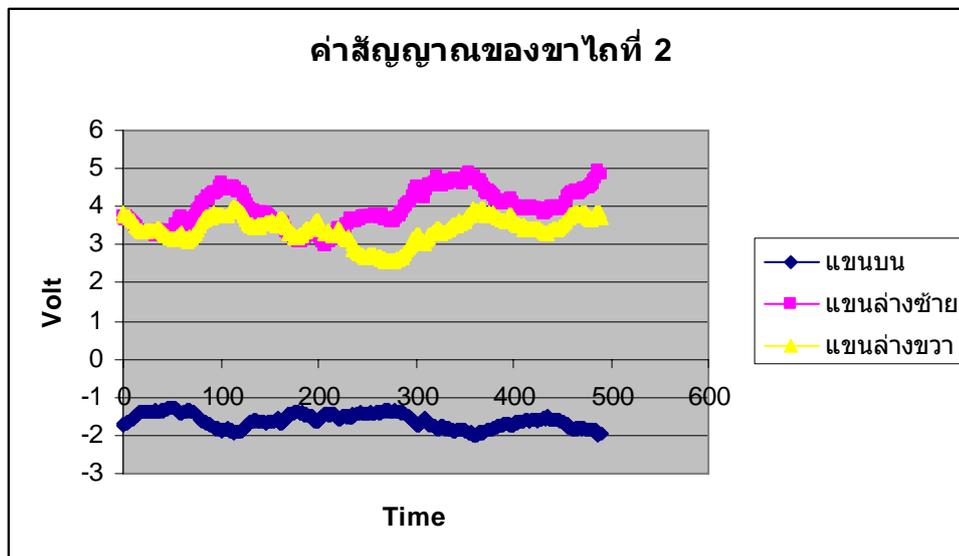
ภาพผนวกที่ 3 ขาไถแบบที่ 3



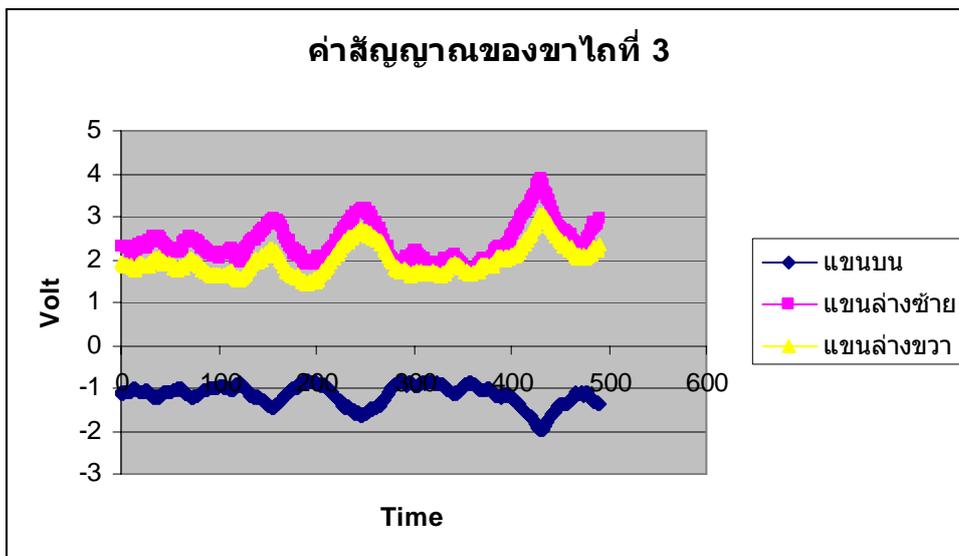
ภาพผนวกที่ 4 ขาไถแบบที่ 4



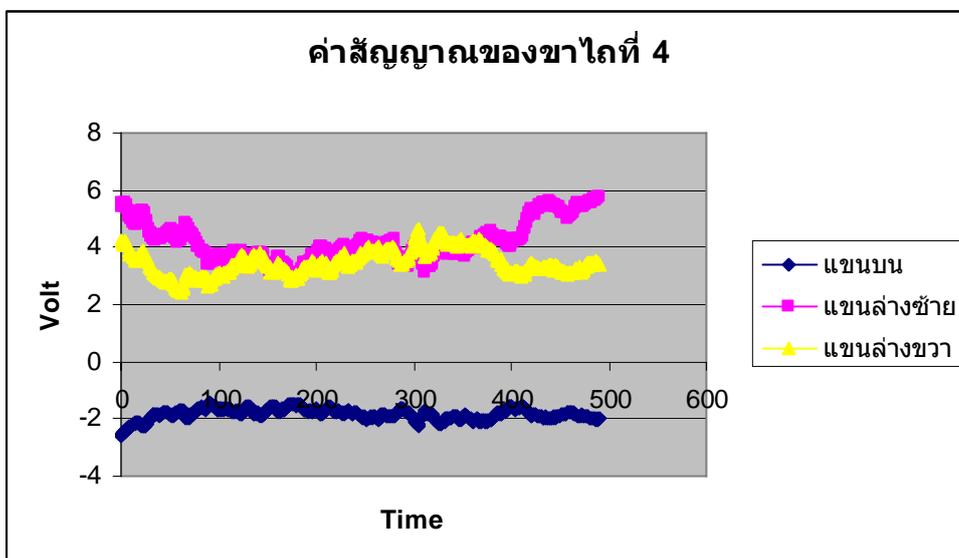
ภาพผนวกที่ 5ก แสดงค่าแรงกดลากที่วัดออกมาเป็นค่าสัญญาณทางไฟฟ้าของขาไถที่ 1



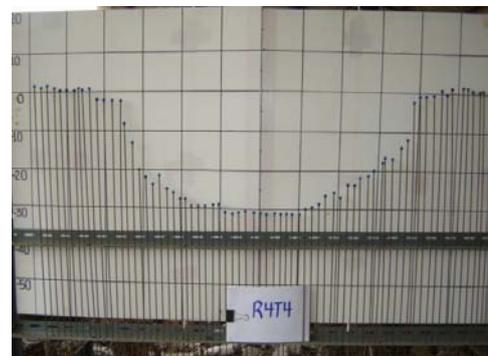
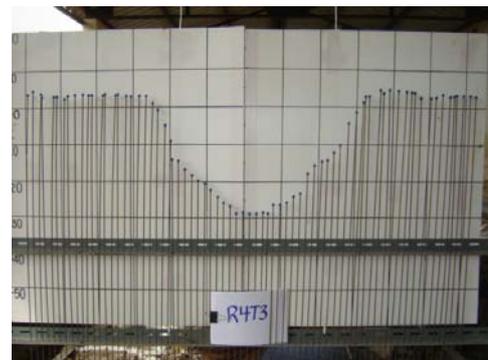
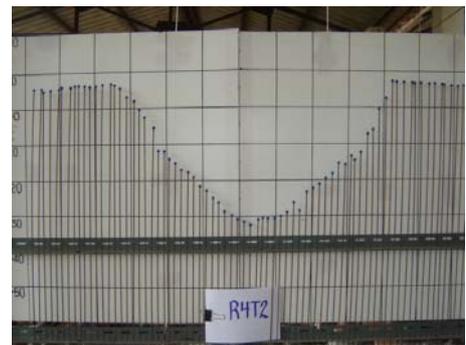
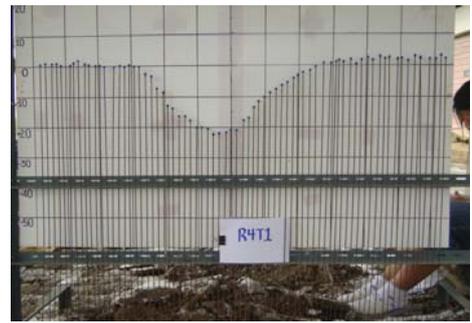
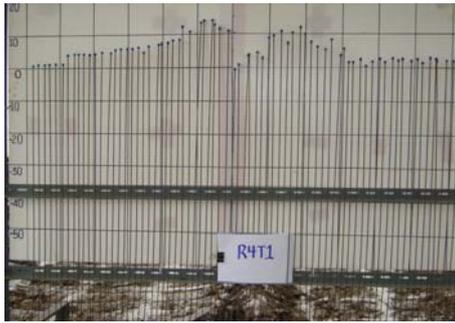
ภาพผนวกที่ 5ข แสดงค่าแรงกดลากที่วัดออกมาเป็นค่าสัญญาณทางไฟฟ้าของขาไถที่ 2



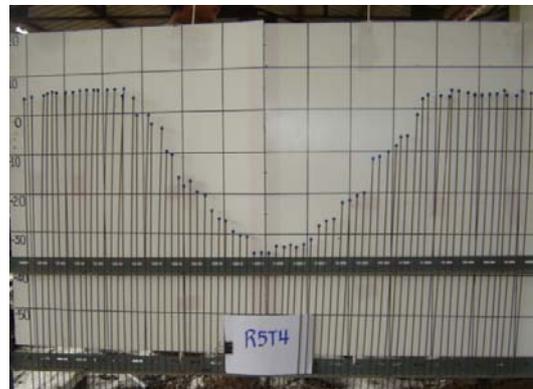
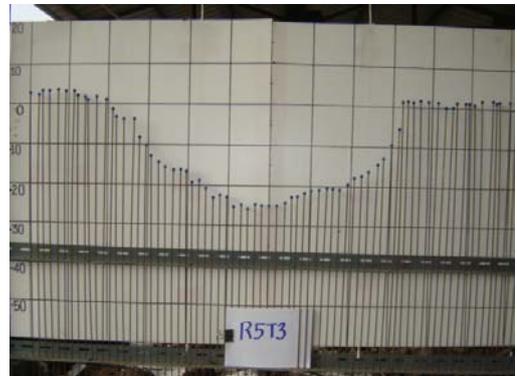
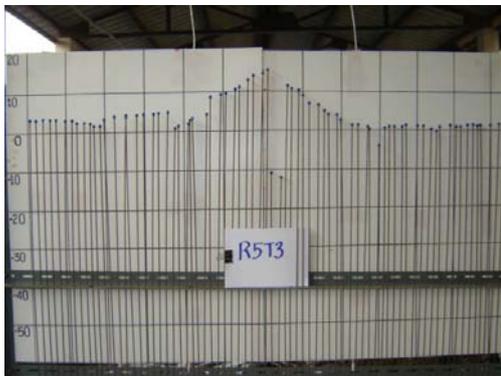
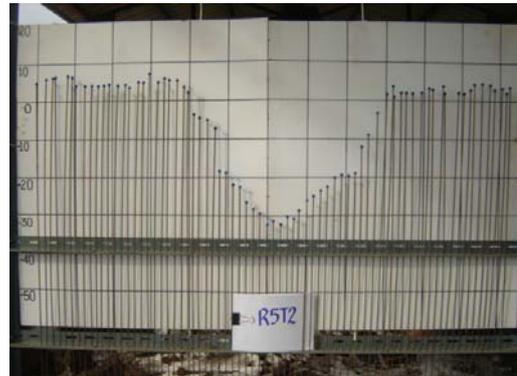
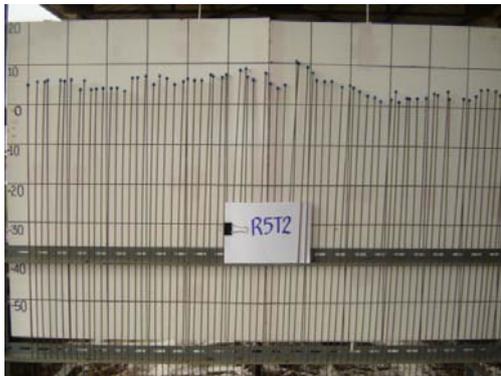
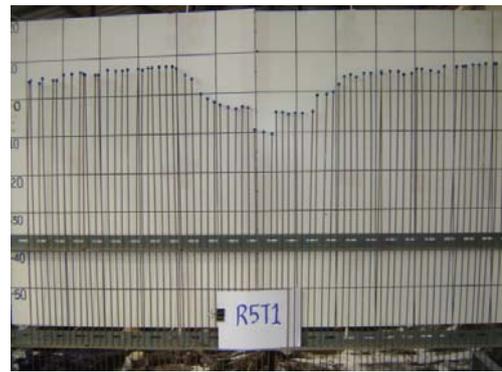
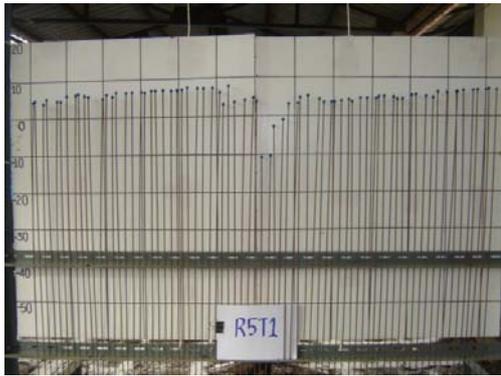
ภาพผนวกที่ 5ค แสดงค่าแรงจุดลากที่วัดออกมาเป็นค่าสัญญาณทางไฟฟ้าของขาไถที่ 3



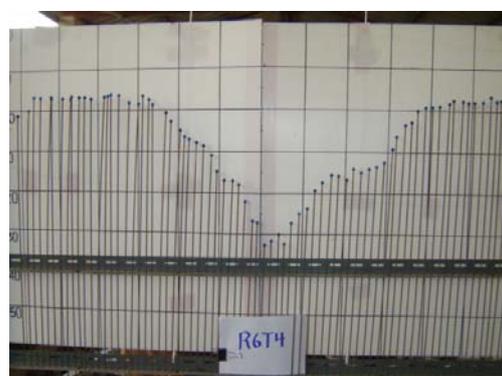
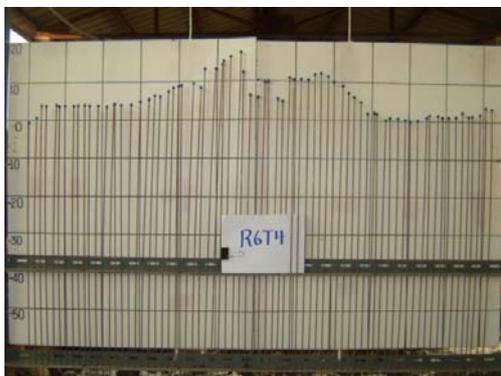
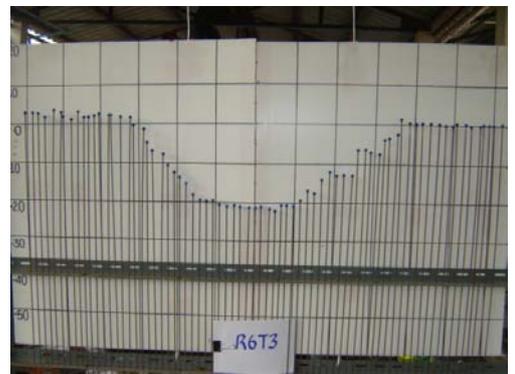
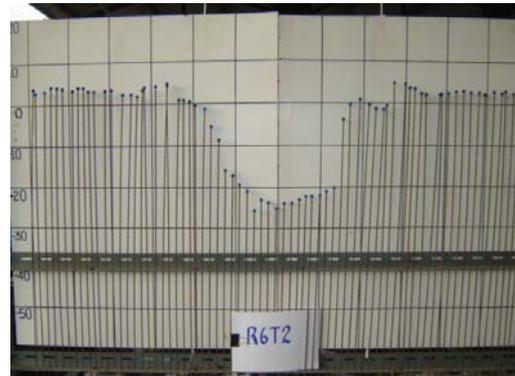
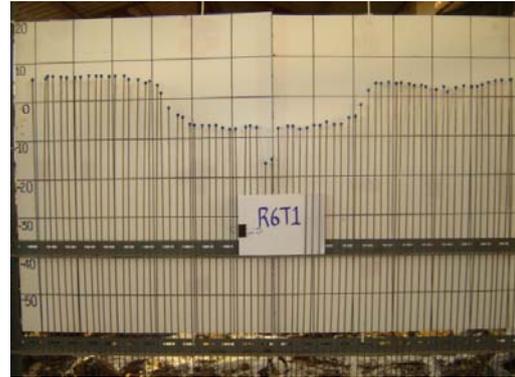
ภาพผนวกที่ 5ง แสดงค่าแรงจุดลากที่วัดออกมาเป็นค่าสัญญาณทางไฟฟ้าของขาไถที่ 4



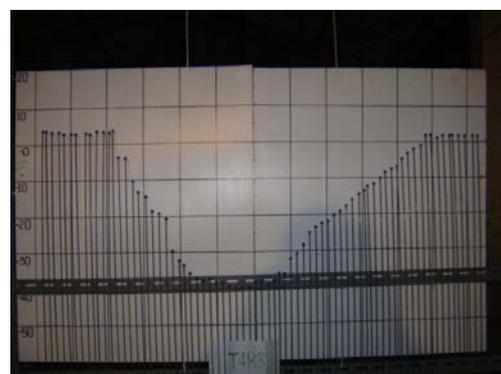
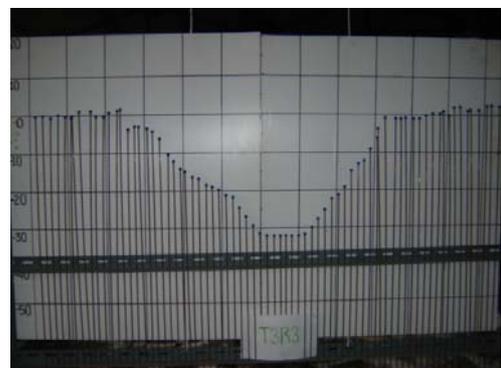
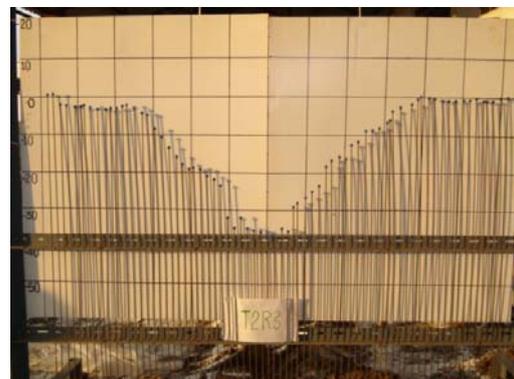
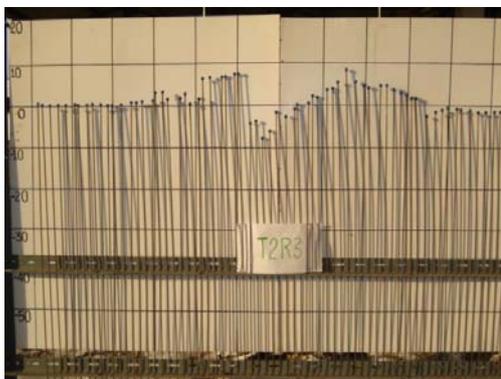
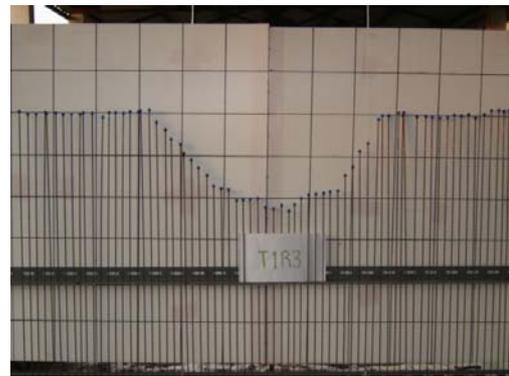
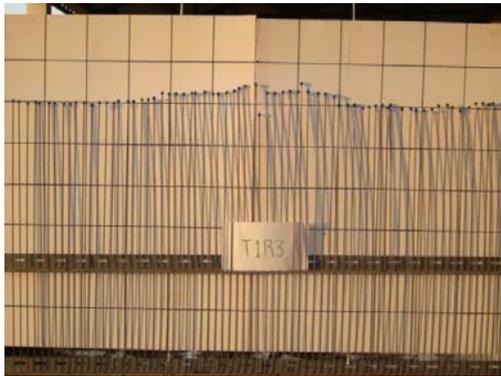
ภาพผนวกที่ 6 แสดงการใช้ Profile Meter วัดการแตกตัวของดินภายหลังการไถของไถแบบ
ต่างๆ



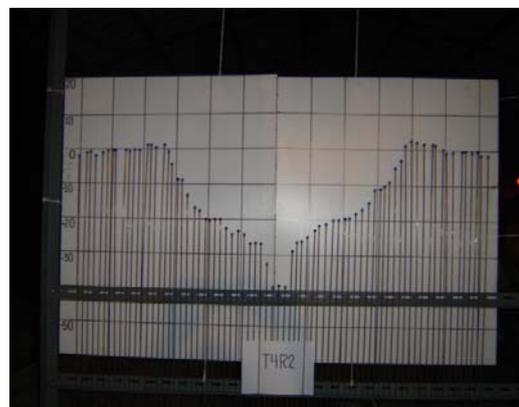
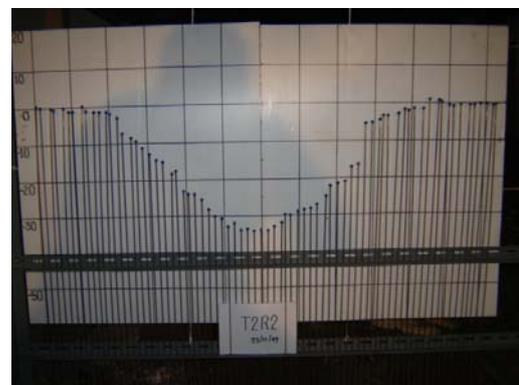
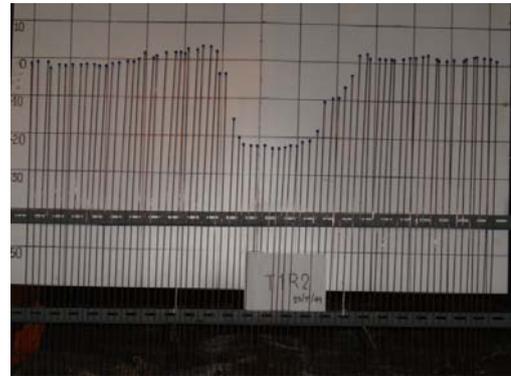
ภาพผนวกที่ 6(ต่อ) แสดงการใช้ Profile Meter วัดการแตกตัวของดินภายหลังการไถของไถแบบ
ต่างๆ



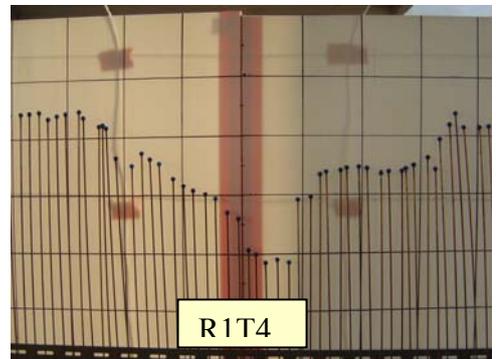
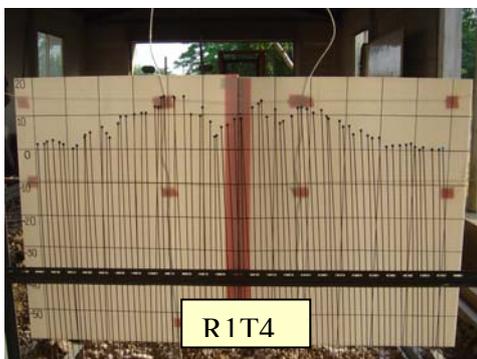
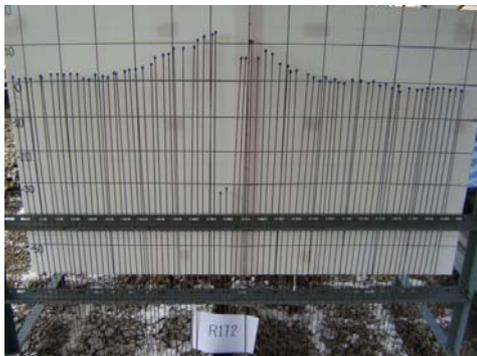
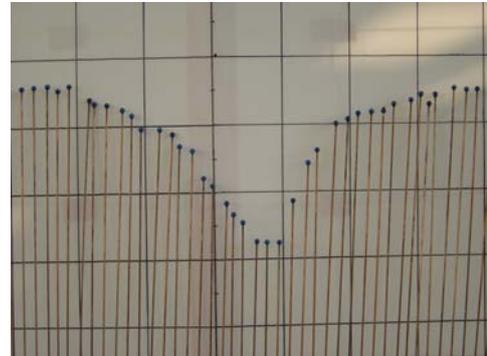
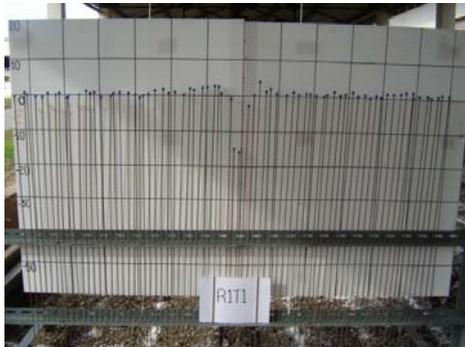
ภาพผนวกที่ 6 (ต่อ) แสดงการใช้ Profile Meter วัดการแตกตัวของดินภายหลังการไถของไถแบบ
ต่างๆ



ภาพผนวกที่ 6 (ต่อ) แสดงการใช้Profile Meterวัดการแตกตัวของดินภายหลังการไถของไถแบบต่างๆ



ภาพผนวกที่ 6 (ต่อ) แสดงการใช้ Profile Meter วัดการแตกตัวของดินภายหลังการไถของไถแบบต่างๆ



ภาพผนวกที่ 6 (ต่อ) แสดงการใช้ Profile Meter วัดการแตกตัวของดินภายหลังการไถของไถแบบ
ต่างๆ



ภาพผนวกที่ 7 แสดงการแตกตัวที่ผิวดินของขาไถทั้ง 4 ขา



ภาพผนวกที่ 7 (ต่อ) แสดงการแตกตัวที่ผิวดินของขาไถทั้ง 4 ขา

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายราวุฒิ น่วมปฐม
วัน เดือน ปี ที่เกิด	2 สิงหาคม 2522
สถานที่เกิด	อ. กำแพงแสน จ. นครปฐม
ประวัติการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเกษตร
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	วิศวกรการเกษตร
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สถานีวิจัยพืชไร่สุพรรณวาจกกสิกิจ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-