

การศึกษาการปรับปรุงเทคโนโลยีการสูบน้ำใต้ดิน เพื่อการเกษตร :
กรณีตัวอย่าง หมู่บ้านบ้านกร่าง อำเภอทองไทร จังหวัดสุโขทัย



นายชัชวาลย์ ทักษอุดม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2531

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

014372

T 1 1 5 0 6 9 ๙ X

An Improvement Study of Groundwater Pumping Technology for Agriculture :
Case Study of Bankrang , Amphoe Kongkrait , Sukhothai Province

Mr.Chatchawan Thaksaudom

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1988

ISBN 974-569-462-2



หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาการปรับปรุงเทคโนโลยีการสูบน้ำใต้ดินเพื่อการเกษตร
กรณีตัวอย่าง ตำบลบ้านกร่าง อำเภอองไกรลาส จังหวัดสุโขทัย

โดย

นายชัชวาลย์ ทักษอุดม

ภาควิชา

วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา

ศาสตราจารย์ อ่าง ประมปรีดี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.อ่าง ประมปรีดี)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ จักริ จัตตะศรี)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ เสถียร ชลาชา)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธ์ รักวิชัย)

.....กรรมการ และอาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ อ่าง ประมปรีดี)



ชัชวาลย์ ทักษอุดม : การศึกษาการปรับปรุงเทคโนโลยี การสูบน้ำใต้ดินเพื่อการเกษตร กรณีตัวอย่าง หมู่บ้าน บ้านกร่าง อำเภอกงไกรลาส จังหวัดสุโขทัย (A STUDY OF IMPROVEMENT OF GROUNDWATER PUMPING TECHNOLOGY FOR AGRICULTURE : CASE STUDY OF BAN KRANG AMPHOE KONGKRAILAT SUKHOTHAI PROVINCE) อ. ที่ปรึกษา : ศ.ธำรง เปรมปรีย์ 232 หน้า

การสูบน้ำบาดาลเพื่อการเกษตร ในเขตท้องที่ตำบลบ้านกร่าง อำเภอกงไกรลาส ของจังหวัดสุโขทัย ได้ประสบปัญหาในการสูบน้ำมาโดยตลอด ทั้งนี้เนื่องจากปัญหาของการใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการสูบน้ำที่ไม่เหมาะสมกับสภาพการสูบน้ำที่เป็นอยู่ของท้องถิ่น จึงทำให้ประสิทธิภาพในการสูบน้ำอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำ

การศึกษาวិทยานิพนธ์นี้ มุ่งที่จะศึกษาวิธีการแก้ไข และปรับปรุงเทคโนโลยีในการสูบน้ำใต้ดิน ในสภาพที่เป็นอยู่ให้มีความเหมาะสม และมีประสิทธิภาพสูงขึ้น เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการเกษตร

จากการศึกษาพบว่า ปัญหาที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษา เป็นผลเนื่องมาจากข้อจำกัดของชั้นดินอุ้มน้ำเป็นส่วนใหญ่ เพราะคุณสมบัติของชั้นดินอุ้มน้ำมีเกณฑ์การให้น้ำแกบ่อบาดาลค่อนข้างต่ำ ไม่เพียงพอสำหรับการสูบน้ำที่ต้องการปริมาณมาก ๆ ได้ จึงได้ก่อให้เกิดปัญหาในการสูบน้ำจากบ่อบาดาล เช่น ปัญหาการเกิดโพรงภายในเครื่องสูบน้ำ การส่งถ่ายกำลังงาน และค่าใช้จ่ายในการสูบน้ำ เป็นต้น การศึกษานี้ได้รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสภาพการสูบน้ำใต้ดินและปัญหาที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ในการสูบน้ำ เพื่อนำไปพิจารณาแก้ไข และปรับปรุงเทคโนโลยีในการสูบน้ำให้เหมาะสมกับสภาพของท้องถิ่นยิ่งขึ้น

ภาควิชา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา.....
สาขาวิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ.....
ปีการศึกษา 2531.....

ลายมือชื่อนิสิต : ชัชวาลย์ ทักษอุดม
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา : ธำรง เปรมปรีย์



MR. CHATCHAWAN THAKSAUDOM : A STUDY OF IMPROVEMENT OF GROUNDWATER PUMPING TECHNOLOGY FOR AGRICULTURE : CASE STUDY OF BAN KRANG AMPHOE KONGKRAILAT SUKHOTHAI PROVINCE. THESIS ADVISOR PROF. THAMRONG PREMPRIDI Ed.d 232 pp.

Problems have been encountered in groundwater pumping operation for agricultural purpose at Ban Krang, a village in Kongkraitat District, Sukhothai Province. This is due to the fact that pumping equipments used are not appropriate for local conditions and result in low efficiency of the pumping operation.

This study is thus aimed at improving groundwater pumping technology for local conditions at Ban Krang in order to have an efficient and economical operation.

From the study, it is found that the problem in the study area is the low yield of groundwater well which is attributed by the low quality of the aquifer. The high rate of pumping together with the low yield of aquifer cause problems of cavitation in pumping system and power transmission and also increase the cost of operation In this study, data concerning local groundwater pumping operation as well as problems encountered and equipments used were collected and analysed and then corrective measures were suggested to improve groundwater pumping technology for local conditions.

ภาควิชาภาควิชาวิศวกรรมโยธา.....
สาขาวิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ.....
ปีการศึกษา ..2531.....

ลายมือชื่อนิสิต ชัยวัฒน์ ทักสงท.
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา D. M.



กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ จักริ จัตุหะศรี รองศาสตราจารย์ เสถียร ชลาชีวะ รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รักวิจัย ซึ่งได้กรุณาเสียสละให้คำแนะนำ และแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์นี้ และขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิศวกรรมแหล่งน้ำทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา ความรู้ต่างๆ ให้แก่ข้าพเจ้า

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาของ รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รักวิจัย และศาสตราจารย์ ถำรง เปรมปรีดี ที่ได้ให้คำปรึกษา แนวความคิดและปรัชญาในการครองชีวิตต่างๆ ตลอดจนได้ให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์นี้ด้วยดีตลอดมา

นอกจากนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ วราภรณ์ รักวิจัย พี่ เพื่อน และน้อง ของ ชมรมวิศวกรรมแหล่งน้ำที่มีส่วนช่วยเหลือ ในการทำงาน of ข้าพเจ้าทั้งหมด ตลอดการศึกษา ขอกราบระลึกถึงพระคุณของ พ่อ และ แม่ ที่ได้เสียสละเพื่อลูก

ชัชวาลย์ ทักษอุดม



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฏ
รายการสัญลักษณ์.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 ขอบข่ายและวัตถุประสงค์.....	3
1.3 แนวเหตุผลและทฤษฎี.....	6
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย และขั้นตอนในการดำเนินการศึกษา.....	7
1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับ.....	8
บทที่ 2 ลักษณะหมู่บ้าน สถานสังคม และ เศรษฐกิจ	
2.1 สถานที่ทั่วไป.....	9
2.1.1 ขนาดและที่ตั้ง.....	9
2.1.2 ภูมิประเทศ และ ภูมิอากาศ.....	9
2.1.3 ลักษณะดินฟ้าอากาศ.....	11
2.1.4 การปกครอง และ ประชากร.....	14
2.2 สถานสังคม.....	15
2.2.1 ประเพณี และความเชื่อ.....	15
2.2.2 ภาษาพูด.....	15
2.2.3 การศึกษา.....	15
2.2.4 การสาธารณสุข.....	17
2.2.5 การติดต่อสื่อสาร และ การคมนาคม.....	17

2.2.6	ทรัพยากร และ ศักยภาพด้านพลังงานของชุมชน.....	17
2.3	สภาพทางเศรษฐกิจ.....	19
2.4	สภาพการใช้น้ำเพื่อการเกษตร.....	21
บทที่ 3	หลักวิชาการ และ ทฤษฎี	
3.1	ทฤษฎีของน้ำใต้ดิน.....	23
3.1.1	ธรณีวิทยาของน้ำใต้ดิน.....	25
3.1.2	ลักษณะทางธรณีวิทยาของชั้นดินอุ้มน้ำ.....	27
3.1.3	คุณสมบัติ และ ตัวกำหนดที่สำคัญที่มีผลต่อปริมาณน้ำของชั้นดินอุ้มน้ำ.....	28
3.1.4	อัตราการให้น้ำจำเพาะ.....	30
3.1.5	การเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน.....	32
3.1.6	การสำรวจแหล่งน้ำใต้ดิน.....	35
3.1.7	การออกแบบ และ การก่อสร้างบ่อบาดาล.....	38
3.1.8	พลศาสตร์ของบ่อบาดาล.....	42
3.2	หลักการและทฤษฎีของเครื่องสูบน้ำ.....	48
3.2.1	หลักการเบื้องต้นของการเคลื่อนที่ของของไหล.....	48
3.2.2	สมการการไหลของของไหลที่ไม่มีการอัดตัว.....	49
3.2.3	สมการพลังงานของการไหล (สมการเบอร์นูลลี).....	51
3.2.4	สมการการไหลต่อเนื่องสำหรับการไหลคงที่ในหนึ่งมิติ.....	51
3.2.5	หลักการของอิมพัลส์และโมเมนตัม.....	54
3.2.6	การนำเอาหลักการปริมาตรควบคุมในการวิเคราะห์การไหล.....	54
3.2.7	การประยุกต์สมการพลังงาน และหลักการของอิมพัลส์ และ โมเมนตัม.....	58
3.2.8	ประเภท และชนิดของเครื่องสูบน้ำ.....	60
3.2.9	เส้นโค้งแสดงคุณลักษณะของเครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง.....	65
3.2.10	ความคล้ายกันของเครื่องสูบน้ำ.....	67
3.2.11	ความเร็วจำเพาะของเครื่องสูบน้ำ (Specific Speed).....	67
3.2.12	การเกิดโพรงไอ (Cavitation) ภายในเครื่องสูบน้ำ.....	72
3.2.13	การสูญเสียพลังงานของการไหลภายในท่อ.....	78
3.2.14	การเลือกใช้เครื่องสูบน้ำ.....	83

3.3	ทฤษฎีการใช้น้ำของพืช.....	88
3.3.1	การระเหยของน้ำ.....	88
3.3.2	การคายน้ำของพืช.....	88
3.3.3	อิทธิพลของสิ่งแวดล้อมที่มีต่อการระเหย.....	89
3.3.4	สิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการคายน้ำของพืช.....	90
3.3.5	การคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชจากข้อมูลภูมิอากาศ.....	90
บทที่ 4	การทดสอบและการสำรวจข้อมูล	
4.1	สภาพทั่วไปในการสูบน้ำ.....	98
4.2	แนวความคิดในการศึกษา.....	100
4.3	เครื่องมือในการทดสอบ.....	101
4.3.1	อุปกรณ์เครื่องมือสำหรับการทดสอบภาคสนาม.....	101
4.3.2	เครื่องมือสำหรับทดสอบในห้องปฏิบัติการ.....	102
4.4	วิธีการทดสอบ.....	103
4.4.1	การทดสอบภาคสนามและการสำรวจข้อมูล.....	103
4.4.2	การทดสอบในห้องปฏิบัติการ.....	105
4.5	ข้อมูล และผลการทดสอบภาคสนาม.....	108
4.5.1	ลักษณะทางกายภาพของบ่อบาดาล.....	108
4.5.2	ลักษณะการติดตั้งเครื่องต้นกำลัง และเครื่องสูบน้ำ.....	109
4.5.3	วัตถุประสงค์ในการใช้บ่อบาดาล.....	110
4.5.4	ผลการทดสอบ และสภาพสูบน้ำในสนาม.....	110
4.5.5	ผลการทดสอบคุณภาพของชั้นดินอุ้มน้ำในสนาม.....	112
4.6	ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ.....	112
4.6.1	ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำ.....	112
4.6.2	ผลการทดสอบการเกิดโพรงภายในเครื่องสูบน้ำ.....	114
4.6.3	ผลการทดสอบการกระจายขนาดของเม็ดดินของชั้นดินอุ้มน้ำ.....	114
บทที่ 5	การวิเคราะห์ข้อมูล และผลการศึกษา	
5.1	การวิเคราะห์ด้านเทคโนโลยี.....	119
5.1.1	สภาพการสูบน้ำบาดาล และศักยภาพของชั้นดินอุ้มน้ำในพื้นที่ศึกษา	119

5.1.2	ปัญหาการเกิดโพรงภายในเครื่องสูบน้ำ.....	122
5.1.3	ปัญหาการส่งกำลังงานจากเครื่องต้นกำลังไปยังเครื่องสูบน้ำ.....	122
5.1.4	ปัญหาการเลือกเครื่องสูบน้ำ ที่ไม่เหมาะสมกับสภาพการสูบน้ำของ ท้องถิ่น.....	124
5.1.5	ปัญหาช่วงการทำงานที่แตกต่างกันของเครื่องต้นกำลัง และเครื่อง สูบน้ำ.....	125
5.1.6	ข้อจำกัดในการสูบน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา.....	131
5.1.7	สภาพการใช้น้ำของพืชในพื้นที่ศึกษา.....	135
5.2	การวิเคราะห์ด้านสภาพสังคมและเศรษฐกิจ.....	136
5.3	ผลการศึกษาและการประยุกต์.....	137
บทที่ 6 สรุปและข้อเสนอแนะ		
6.1	สรุปผลการศึกษา.....	144
6.1.1	ศักยภาพของชั้นดินอุ้มน้ำ.....	145
6.1.2	การเกิดโพรงภายในเครื่องสูบน้ำ และการส่งถ่ายกำลังงาน.....	145
6.1.3	การเลือกใช้เครื่องสูบน้ำ และเครื่องต้นกำลัง.....	146
6.1.4	การใช้น้ำของต้นข้าว และการกำหนดพื้นที่ในการเพาะปลูก.....	147
6.1.5	ค่าใช้จ่ายในการสูบน้ำ.....	147
6.1.6	ผลกระทบของการสูบน้ำใต้ดินเพื่อการเกษตร.....	148
6.2	ข้อเสนอแนะ.....	149
เอกสารอ้างอิง.....		155
ภาคผนวก ก.	ตัวอย่างแบบฟอร์มการสัมภาษณ์ในสนาม.....	158
ภาคผนวก ข.	ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องสูบน้ำในสนาม.....	161
ภาคผนวก ค.	ผลการทดสอบคุณภาพของชั้นดินอุ้มน้ำในสนาม.....	174
ภาคผนวก ง.	ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำในห้องปฏิบัติการ.....	178
ภาคผนวก จ.	ผลการทดสอบการกระจายขนาดของเม็ดดินของชั้นดินอุ้มน้ำ.....	183
ภาคผนวก ฉ.	ข้อมูลโปรแกรม และผลการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของข้าว ในพื้นที่ศึกษา โดยอาศัยข้อมูลภูมิอากาศของท้องถิ่น.....	196
ภาคผนวก ช.	เอกสารประกอบการเลือกใช้เครื่องสูบน้ำของบริษัทผู้ผลิต.....	217
ประวัติผู้ศึกษา.....		232



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
(2-1) จำนวนบ่อน้ำแต่ละประเภทในเขต ต.บ้านกร่าง อ.กงไกรลาส.....	11
(2-2) แสดงจำนวนประชากรของ ต.บ้านกร่าง อ.กงไกรลาส.....	14
(2-3) ลักษณะการศึกษาของประชากรในเขตเทศบาล และ นอกเขตเทศบาลของ จังหวัดสุโขทัย.....	18
(2-4) อัตราส่วนร้อยละของประชากรใน และนอกเขตเทศบาล แยกตามเพศ และหมวดอาชีพสำคัญ ของจังหวัดสุโขทัย.....	19
(3-1) การแบ่งขนาดของเม็ดดินตามระบบของ MIT และ Bureau of Soil.....	39
(3-2) แสดงค่าความเร็วที่เหมาะสมในการไหลผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ.....	41
(3-3) ความสัมพันธ์ระหว่าง $w(u)$ และ u	47
(3-4) แผนภูมิแสดงการแยกประเภทของเครื่องสูบน้ำ.....	61
(3-5) รังสีแสงอาทิตย์ที่ชั้นบนของบรรยากาศ มีหน่วยเทียบเท่ากับการระเหยของน้ำที่ 20 องศาเซลเซียส เป็น มม./วัน.....	94
(3-6) ค่า Radiant Emittance มีหน่วยเป็นความลึกของน้ำเป็น มม.	95
(3-7) ความดันไอน้ำอิ่มตัว เหนือผิวน้ำมีหน่วยเป็น มม.	96
(5-1) ข้อมูลการสูบน้ำบาดาล และประสิทธิภาพในการสูบน้ำในพื้นที่ศึกษา.....	123
(5-2) สมรรถนะของ เครื่องยนต์ดีเซลขนาดต่างๆ.....	125
(5-3) ข้อมูลในการสูบน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรในพื้นที่ ต.บ้านกร่าง.....	132
(6-1) ตารางแสดงแบบของเครื่องสูบน้ำของผู้ผลิตต่างๆที่เหมาะสมกับการสูบน้ำของพื้นที่ในการศึกษา.....	151



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
(1-1) แผนที่แสดงขอบเขต และตำแหน่งบ่อสำรวจของกรมชลประทาน.....	2
(1-2) แสดงพื้นที่ที่ทำการศึกษา อ.กงไกรลาส จ.สุโขทัย.....	4
(1-3) ขอบเขตของพื้นที่ในการศึกษา ต.บ้านกร่าง อ.กงไกรลาส จ.สุโขทัย.....	5
(2-1) สภาพท้องนาบริเวณพื้นที่ศึกษาก่อนทำการเพาะปลูก.....	10
(2-2) การปลูกข้าวนาปรังโดยอาศัยน้ำจากบ่อบาดาล.....	10
(2-3) สภาพบ่อบาดาลที่ใช้เพื่อการเกษตร.....	12
(2-4) เครื่องสูบน้ำโยกที่ใช้ในการล่อน้ำก่อนการสูบน้ำ.....	12
(2-5) สภาพการสูบน้ำบาดาลเพื่อใช้ในการปลูกข้าวนาปรัง.....	13
(2-6) ลักษณะของเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่งที่ใช้ในการสูบน้ำบาดาล.....	13
(2-7) บ่อบาดาลเพื่อการอุปโภคบริโภค บริเวณโรงเรียนบ้านหนองหญ้าปล้อง.....	16
(2-8) การนำเอาไฟฟ้าเข้าสู่หมู่บ้านในปี พศ.2529.....	16
(2-9) แต่งกวา ผลผลิตอย่างหนึ่งที่ได้จากการสูบน้ำบาดาล.....	20
(2-10) การเก็บผลผลิตที่ได้จากการเกษตร ในช่วงฤดูแล้ง.....	20
(3-1) วัฏจักรของน้ำ.....	24
(3-2) การแบ่งชั้นอุทกธรณีวิทยาของพื้นผิวโลก.....	26
(3-3) ลักษณะทางธรณีวิทยาของชั้นดินอุ้มน้ำ.....	26
(3-4) ลักษณะของชั้นดินอุ้มน้ำแบบกึ่งอิสระ.....	29
(3-5) ความสัมพันธ์ของค่าความพรุน อัตราการให้น้ำจำเพาะ และอัตราการคงค้าง จำเพาะ ตามขนาดของเม็ดดิน.....	31
(3-6) ลักษณะช่องว่างภายในมวลดิน และหินที่มีผลต่อคุณสมบัติของชั้นดินอุ้มน้ำ.....	31
(3-7) การเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินในธรรมชาติ.....	34
(3-8) การหาตำแหน่งของ เส้นแสดงระดับความดัน และทิศทางการไหลในกลุ่มของ บ่อบาดาล.....	34
(3-9) แสดงลักษณะของชั้นดิน และผลการทดสอบ Electric Logs ทั้งสองวิธี.....	43

(3-10)	แสดงการไหลแบบคงที่ของน้ำใต้ดินสู่บ่อบาดาล.....	43
(3-11)	การวิเคราะห์สมการการไหล โดยกฎข้อที่สองของนิวตัน.....	50
(3-12)	การวิเคราะห์สมการความต่อเนื่อง โดยใช้ปริมาตรควบคุมในหนึ่งมิติ.....	52
(3-13)	การวิเคราะห์สมการความต่อเนื่อง โดยใช้ปริมาตรควบคุมในสองมิติ.....	52
(3-14)	การวิเคราะห์สมการโมเมนต์ตัม โดยใช้ปริมาตรควบคุม.....	56
(3-15)	ลักษณะการทำงานของ เทอร์ไบน์ และ เครื่องสูบน้ำ.....	62
(3-16)	ลักษณะภายในของเครื่องสูบน้ำชนิดต่างๆ.....	61
(3-17)	ลักษณะของตัวใบพัดของเครื่องสูบบนหอยโข่ง (Volute Pump) เครื่องสูบบน แบบการไหลผสม (Mixed Flow Pump) และเครื่องสูบบนไหลตามแนวแกน ของการหมุน (Axial Flow Pump).....	64
(3-18)	ลักษณะทางพลศาสตร์ของการไหลผ่านในท่อผ่านเครื่องสูบน้ำ.....	64
(3-19)	โค้งแสดงคุณลักษณะของเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง.....	66
(3-20)	โค้งความสัมพันธ์ของหัวพลังงาน และอัตราการไหลในลักษณะต่างๆ.....	68
(3-21)	ไดอะแกรมการหาค่าความเร็วจำเพาะของเครื่องสูบน้ำด้วยวิธีการ.....	68
(3-22)	ลักษณะโค้งสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำที่มีค่าความเร็วจำเพาะต่างๆ	70
(3-23)	ลักษณะความสัมพันธ์ของรูปร่างใบพัด และประสิทธิภาพ กับค่าความเร็วจำเพาะ ของเครื่องสูบประเภทต่างๆ.....	70
(3-24)	โค้งแสดงคุณลักษณะของเครื่องสูบน้ำที่มีค่าความเร็วจำเพาะต่างๆ.....	71
(3-25)	รูปแสดงความหมายของเทอมต่างๆ เพื่อใช้ในการกำหนดตัวแปรการเกิดโพรง ภายในเครื่องสูบน้ำ.....	73
(3-26)	ลักษณะค่าเทอมต่างๆที่ใช้ในการคิดความดันภายในท่อดูด.....	73
(3-27)	การเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของเครื่องสูบน้ำ เมื่อ NPSH เปลี่ยนขณะที่อัตรา การไหลของเครื่องสูบคงที่.....	76
(3-28)	การเปลี่ยนแปลงของหัวพลังงาน และอัตราการไหล เมื่อ (NPSH) เปลี่ยนของ เครื่องสูบที่มีการไหลแบบผสม และเครื่องสูบที่มีการไหลตามแนวแกน.....	76
(3-29)	การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพ และหัวพลังงาน เมื่อ (NPSH) เปลี่ยนสำหรับ เครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง.....	76

(3-30ก)	มุดดี ไดอะแกรม.....	80
(3-30ข)	แสดงสูตร และค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานในส่วนย่อยของอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบต่อชนิดต่างๆ.....	81
(3-31)	ข้อมูลแสดงสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำ เพื่อให้ประกอบการตัดสินใจเลือกใช้เครื่องสูบน้ำ.....	84
(3-32)	ความสัมพันธ์ของ ระดับหัวพลังงาน อัตราการไหล และกำลังงานที่ใช้ขับของเครื่องสูบน้ำชนิดต่างๆ.....	85
(3-33)	ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการเลือกเครื่องสูบน้ำ เมื่อรู้ความต้องการของหัวพลังงานและอัตราการไหล.....	85
(3-34)	เส้นโค้งความสัมพันธ์ของ ค่าหัวพลังงานของเครื่องสูบน้ำ และค่าการสูญเสียพลังงานภายในระบบท่อส่งน้ำ กับค่าอัตราการไหล.....	87
(3-35)	การเปลี่ยนแปลงของเส้นโค้งการสูญเสียพลังงาน เมื่อค่าหัวพลังงานสถิตย์เปลี่ยน.....	87
(3-36)	การเปลี่ยนแปลงของเส้นโค้งการสูญเสียพลังงาน เมื่อค่าการสูญเสียพลังงานภายในท่อส่งน้ำเปลี่ยน.....	87
(4-1)	แสดงการติดตั้ง เครื่องสูบน้ำบาดาลของชาวบ้าน ในเขต ต.บ้านกร่าง อ.กงไกรลาศ	99
(4-2)	แสดงการทดสอบการเกิดโพรงภายในเครื่องสูบน้ำ ในห้องปฏิบัติการ.....	107
(4-3)	แสดงการทดสอบสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำ ในห้องปฏิบัติการ.....	107
(4-4)	แสดงระดับหัวพลังงานสถิตย์ ในการสูบน้ำจากบ่อบาดาล.....	111
(4-5)	ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำที่ความเร็วรอบต่างๆ	113
(4-6)	กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างอัตราการไหล กับระดับหัวพลังงานทางท่อดูด..	115
(4-7)	กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างประสิทธิภาพ กับระดับหัวพลังงานทางท่อดูด...	115
(4-8)	แสดงท่อเหล็ก เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว เพื่อให้ให้น้ำไหลเข้าสู่บ่อ.....	116
(4-9)	ตาข่ายไนลอนสีฟ้าที่ใช้หุ้มท่อที่เจาะรู เพื่อกั้นเม็ดดินไหลเข้าสู่บ่อ.....	116
(4-10)	สภาพการสูบน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรในพื้นที่ศึกษา.....	117
(4-11)	การส่งกำลังด้วยสายพานที่มีความยาวมาก ไปยังเครื่องสูบน้ำ.....	117
(4-12)	เครื่องสูบน้ำ และเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบในห้องปฏิบัติการ.....	118
(4-13)	การทดสอบสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำในห้องปฏิบัติการ.....	118

(5-1)	ไดอะแกรมแสดงการสูญเสียพลังงาน ในการสูบน้ำจากบ่อบาดาล.....	120
(5-2)	โค้งแสดงสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล ปริมาตรกระบอกสูบ 353 ซีซี.....	126
(5-3)	โค้งแสดงสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล ปริมาตรกระบอกสูบ 411 ซีซี.....	127
(5-4)	โค้งแสดงสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล ปริมาตรกระบอกสูบ 477 ซีซี.....	128
(5-5)	โค้งแสดงสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล ปริมาตรกระบอกสูบ 577 ซีซี.....	129
(5-6)	โค้งแสดงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ขนาด 353 และ 411 ซีซี	130
(5-7)	สภาพของชั้นดินอมน้ำ จากข้อมูลที่กรมชลประทานทำการสำรวจ.....	134
(5-7)	แสดงลักษณะการปรับปรุงบ่อบาดาล และการติดตั้งเครื่องสูบน้ำแบบจุ่มน้ำ.....	139
(6-1)	แสดงลักษณะการติดตั้งเครื่องสูบน้ำ โดยใช้เวลาเป็นตัวส่งกำลัง.....	153

รายการสัญลักษณ์

- S_v = อัตราการให้น้ำจำเพาะ
 S_r = อัตราคงค้างจำเพาะ
 V = ความเร็วของการไหล (ม./ว.)
 K = สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (ม./ว.)
 i = ความลาดชันศาสตร์
 Q = อัตราการไหล (ลบ.ม./ว.)
 P = ความดัน (นิวตัน/ตร.ม.)
 Z = ระดับหัวพลังงานศักย์ (ม.)
 T = แรงบิด (นิวตัน - เมตร)
 E_p = หัวพลังงานรวมของเครื่องสูบน้ำ (ม.)
 E_t = หัวพลังงานรวมของเทอร์ไบน์ (ม.)
 N = ความเร็วรอบของการหมุน (รอบ/นาที)
 H = ระดับหัวพลังงานรวม (ม.)
 P = กำลังงาน (กิโลวัตต์)
 N_u = ความเร็วจำเพาะของเครื่องสูบน้ำ
 P_{atm} = ความดันบรรยากาศ (นิวตัน/ตร.ม.)
 H_L = ผลรวมการสูญเสียพลังงาน (ม.)
 H_{svN} = ค่าหัวดูดบวกสุทธิที่จำเป็นต้องมี (ม.)
 $NPSH$ = หัวดูดบวกสุทธิ (ม.)
 h_{req} = ค่าหัวดูดบวกสุทธิที่ต้องการ (ม.)
 ET_p = ปริมาณการใช้น้ำของพืช (มม./วัน)
 Q_n = รังสีจากดวงอาทิตย์ (มม./วัน)
 ρ (Rho) = ความหนาแน่นของน้ำ (กก./ลบ.ม.)
 γ (Gamma) = น้ำหนักจำเพาะของน้ำ (นิวตัน/ลบ.ม.)
 ω (Omega) = ความเร็วเชิงมุม (เรเดียน/วินาที)