



เทคนิคการจัดการงานวิศวกรรมเพื่อปรับปรุงคุณภาพของงานก่อสร้าง
ของวิธีเจ็ตเกราที่ต้ง : กรณีศึกษาดินเหนียวแข็งปานกลาง

โดย
นายพงศ์ศักดิ์ แซ่หลี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

เทคนิคการจัดการงานวิศวกรรมเพื่อปรับปรุงคุณภาพของงานก่อสร้าง
ของวิธีเจ็ทเกรทติ้ง : กรณีศึกษาดินเหนียวแข็งปานกลาง

โดย
นายพงศ์ศักดิ์ แซ่หลี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

**ENGINEERING MANAGEMENT TECHNIQUE TO IMPROVE THE QUALITY OF
CONSTRUCTION
OF JET GROUTING METHOD : A CASE STUDY OF MEDIUM CLAY**

**By
Pongsak Saelee**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree
MASTER OF ENGINEERING
Department of Industrial Engineering and Management
Graduate School
SILPAKORN UNIVERSITY
2009**

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “เทคนิคการจัดการ
วิศวกรรมเพื่อปรับปรุงคุณภาพของงานก่อสร้างโดยวิธีเจ็ทเกรทติ้ง : กรณีศึกษาดินเหนียวแข็งปาน
กลาง”เสนอโดยนายพงศ์ศักดิ์ แซ่หลี่ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรม
ศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ชินะตั้งกูร)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
อาจารย์ ดร. สิทธิชัย แซ่เหล่ม

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร. วิชัย รุ่งเรืองอนันต์)
...../...../.....

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ณัฐพล ศิริสว่าง)
...../...../.....

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. สิทธิชัย แซ่เหล่ม)
...../...../.....

48405309 : สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม

คำสำคัญ : งานกำแพงทึบน้ำ โดยวิธีเจ็ทเกรทติ้ง / การถอดรอยลจิสติกส์ / เทคนิคการจัดการงาน

วิศวกรรม

พงศ์ศักดิ์ แซ่หลี่ : เทคนิคการจัดการงานวิศวกรรมเพื่อปรับปรุงคุณภาพของงานก่อสร้างของวิธีเจ็ทเกรทติ้ง : กรณีศึกษาดินเหนียวแข็งปานกลาง. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : อาจารย์ ดร.สิทธิชัย แซ่หล่ม. 83 หน้า.

งานวิจัยฉบับนี้ ใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงสำรวจ และการวิเคราะห์ทางสถิติซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์การถดถอยลจิสติกส์ เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพงานก่อสร้างกำแพงทึบน้ำโดยวิธีเจ็ทเกรทติ้งซึ่งได้วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากกรณีศึกษา โครงการก่อสร้างจำนวนทั้งสิ้น 110 ชุด ซึ่งตัวแปรตอบสนองเป็นแบบพหุนาม ผลการทดลองพบว่าปัจจัยด้านผู้ปฏิบัติงาน และผู้ควบคุมงาน มีนัยสำคัญต่อคุณภาพของงานกำแพงทึบน้ำโดยวิธีเจ็ทเกรทติ้ง ที่ค่า p-value 0.007 และ 0.033 ตามลำดับ และค่าสารูปสนิทธิโดยวิธีการเพียร์สันเท่ากับ 0.231 เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์โดยใช้แผนภาพสาเหตุและผลได้แนวทางแก้ไขปัญหาคือการฝึกอบรมผู้ปฏิบัติงานและผู้ควบคุมงานหลังจากการฝึกอบรมผู้ปฏิบัติงานและผู้ควบคุมงานทำให้ได้มาตรฐานของการปฏิบัติงานเจ็ทเกรทติ้ง ตลอดจนประเมินผลความพึงพอใจของผู้ปฏิบัติงานและผู้ควบคุมงานรวมทั้งตัวแทนของเจ้าของโครงการ ซึ่งพบว่าทุกฝ่ายมีความพึงพอใจในระดับสูงมาก

สุดท้ายการวิเคราะห์แนวทางการลดโอกาสของความสูญเสียของงาน กำแพงทึบน้ำของวิธีเจ็ทเกรทติ้งที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ ก่อนปรับปรุงพบว่ามีของเสียเท่ากับร้อยละ 18.18 หลังการปรับปรุงพบว่ามีของเสียเท่ากับร้อยละ 1.61 พบว่า สามารถลดโอกาสสูญเสียของงานกำแพงทึบน้ำของวิธีเจ็ทเกรทติ้งลดลงร้อยละ 16.57

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2552

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์.....

48405309 : MAJOR : ENGINEERING MANAGEMENT
KEY WORDS: LOGISTIC REGRESSION/JET GROUTING/ENGINEERING MANAGEMENT
PONGSAK SAELEE : ENGINEERING MANAGEMENT TECHNIQUE TO
IMPROVE THE QUALITY OF CONSTRUCTION OF JET GROUTING METHOD : A CASE STUDY
OF MEDIUM CLAY. THESIS ADVISORS : SITTICHAJ SAELEM, Ph.D., 83 pp.

This paper presents an application of Logistic Regression Analysis to determine the factors affecting the construction quality of jet grouting technique. The analysed data were obtained from totally 110 data sets collected from actual construction projects of which the response variables were dichotomous. The results showed that the machine controller and the construction supervisor were considerably significant factors effected to the quality of jet grouting at the p-value of 0.033 and 0.007 respectively. The goodness-of-fits test by Pearson's method is 0.231. Then, the obtained data shall be analyzed by using cause and result chart to determine the appropriate solution which finally found that training for workers and supervisors is the best solution. Finally the training established the working standard of jet grouting operation as well as the satisfaction evaluation of operators and supervisors and project owner representatives shown at highly satisfaction level.

Finally, the results show that the training could reduce the chance of loss, the loss was equal to 18.18% and 1.61% prior and after training respectively, which was approximately decrease 16.57%

Department of Industrial Engineering and Management Graduate School, Silpakorn University Academic Year 2009

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

รายงานฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือของอาจารย์ ดร. สิทธิชัย แซ่เหล่ม ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความกรุณาให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะที่มีคุณค่าและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี นับตั้งแต่เริ่มต้นดำเนินการจนเสร็จเรียบร้อยสมบูรณ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. วิชัย รุ่งเรืองอนันต์ ที่กรุณาเป็นประธานกรรมการและอาจารย์ ดร. ณัฐพล ศิริสว่าง เป็นกรรมการแต่งตั้งในการสอบวิทยานิพนธ์ และให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการปรับปรุงแก้ไขให้วิทยานิพนธ์มีความเรียบร้อยสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ในสาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ตลอดเป็นประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยและเป็นประสบการณ์ที่ดีเสมอมา

ขอขอบคุณ ภรรยาที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจ และเพื่อนๆทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือครั้งนี้ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
กรอบแนวคิด.....	3
วัตถุประสงค์.....	3
สมมติฐานงานวิจัย.....	4
ขอบเขตของการวิจัย.....	4
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
แนวคิดและทฤษฎี.....	5
เครื่องจักรที่ใช้ในการทำงาน.....	6
การออกแบบพารามิเตอร์ในการทำ เจ็ดเกราที่ดิ่ง.....	11
วิธีการควบคุมคุณภาพ.....	13
ทฤษฎีเกี่ยวกับการจัดการคุณภาพ.....	15
ทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องมือในการแก้ปัญหา.....	15
การถอดถอยลอจิสติกส์.....	16
การทดสอบสมมติฐานค่าสัดส่วนของประชากรสองกลุ่ม.....	18
ทฤษฎีเกี่ยวกับเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม.....	19
ความสามารถในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์.....	22
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	24

บทที่	หน้า
3	วิธีดำเนินวิจัย..... 27
	ประชากรที่ใช้ในงานวิจัย..... 27
	กลุ่มตัวอย่าง..... 27
	ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล..... 27
	เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย..... 27
	การเก็บรวบรวมข้อมูล..... 33
	การวิเคราะห์ข้อมูล..... 33
	ขั้นตอนในการวิจัย..... 34
4	ผลการวิจัยและอภิปรายผล..... 35
	ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพกำแพงทึบน้ำโดยวิธีเจ็ทเกราท์ตั้ง... 35
	การวิเคราะห์ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่มีนัยสำคัญ..... 37
	แผนการฝึกอบรมผู้ปฏิบัติงานและผู้ควบคุมงาน..... 41
	เปรียบเทียบผลการปรับปรุงประสิทธิภาพ..... 41
	ผลการประเมินความพึงพอใจต่อแนวทางการปรับปรุงคุณภาพของงาน กำแพงทึบน้ำโดยวิธีเจ็ทเกราท์ตั้งของผู้ปฏิบัติงานผู้ควบคุมงานและตัวแทน ของเจ้าของโครงการ..... 43
	การทดสอบสมมติฐานของงานวิจัย..... 44
5	บทสรุปและข้อเสนอแนะ..... 46
	สรุปผลงานวิจัย..... 46
	อุปสรรคที่พบในงานวิจัย..... 47
	ข้อเสนอแนะในงานวิจัยครั้งต่อไป..... 47
	บรรณานุกรม..... 48
	ภาคผนวก..... 50
	ภาคผนวก ก ชุดข้อมูลคุณภาพของวิธีเจ็ทเกราท์ตั้ง..... 51
	ภาคผนวก ข แบบสอบถามความพึงพอใจ..... 58
	ภาคผนวก ค การวิเคราะห์การถดถอยลอจิสติกส์..... 66

บทที่	หน้า
ภาคผนวก ง ปัจจัยปัญหาทางด้านคุณภาพของวิธีเจ็ดเกรงาที่ดั่ง.....	68
ภาคผนวก จ ชุดข้อมูลคุณภาพของวิธีเจ็ดเกรงาที่ดั่ง.....	70
ภาคผนวก ฉ การทดสอบสมมติฐานทางสถิติ.....	75
ภาคผนวก ช ค่าชีกเนลทุนอยส์เร โชของงานเจ็ดเกรงาที่ดั่ง.....	79
ประวัติผู้วิจัย.....	83

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในโครงการฯ.....	12
2	Core recovery และลักษณะทางกายภาพของตัวอย่าง.....	14
3	การพิจารณาเลือกใช้ค่า Lugeon จากรูปแบบการไหลของน้ำ.....	31
4	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการรั่วซึมของน้ำกับสัมประสิทธิ์ความซึมได้ของน้ำ..	32
5	ผลการวิเคราะห์การถดถอยลอจิสติกส์.....	36
6	ประเด็นปัญหาของการปฏิบัติงานก่อสร้างกำแพงทึบน้ำโดยวิธีเจ็ทเกราที่ต้ง.....	39
7	แนวทางแก้ไขปัญหาทางด้านคุณภาพของกำแพงทึบน้ำ โดยวิธีเจ็ทเกราที่ต้ง.....	40
8	แผนการฝึกอบรมผู้ปฏิบัติงานและผู้ควบคุมงาน.....	42
9	ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ปฏิบัติงานและผู้ควบคุมงานต่อการฝึกอบรม..	43
10	ผลการประเมินความพึงพอใจของตัวแทนของเจ้าของโครงการต่อความสำเร็จของโครงการ.....	44
11	ปัจจัยข้อมูลก่อนปรับปรุง.....	52
12	ปัจจัยข้อมูลหลังปรับปรุง.....	71

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กรอบแนวความคิดของงานวิจัย.....	3
2	รถเจาะระบบไฮดรอลิก.....	7
3	รถขุดระบบไฮดรอลิก.....	8
4	โรงงานผสมน้ำปูน.....	10
5	ปั๊มอัดฉีดความดันสูง.....	11
6	การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับ Jet Grouting.....	12
7	ขั้นตอนการทำ Jet grouting.....	13
8	การทดสอบกำลังอัดของแท่งตัวอย่าง เจ็ทเกราที่ต้ง.....	14
9	โครงสร้างของแผนภาพก้างปลาแบบกำหนดรายการสาเหตุ.....	16
10	ขั้นตอนในการวิจัย.....	34
11	แผนผังสาเหตุและผลของงานกำแพงทึบน้ำ โดยวิธีเจ็ทเกราที่ต้ง.....	36
12	แผนภูมิพาเรโต้แสดงปัจจัยที่มีผลต่องานที่เสีย.....	37
13	แผนผังสาเหตุและผลของงานกำแพงทึบน้ำ ของคน.....	38
14	แบบแสดงข้อมูลการเจาะสำรวจและข้อมูลการทดสอบ.....	69
15	ค่าชิกแนลทูนอย์เรโซ ของ SPT.....	80
16	ค่าชิกแนลทูนอย์เรโซ ของ Density	81
17	ค่าชิกแนลทูนอย์เรโซ ของ Compresion Test	82

บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

งานก่อสร้างปรับปรุงฐานรากเขื่อน โครงการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำของโครงการตัวอย่าง มีวิธีการก่อสร้างปรับปรุงฐานรากเขื่อนดังนี้

งานก่อสร้างกำแพงทึบน้ำ มีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงชั้นดินฐานราก ซึ่งเป็นตะกอนทรายและขุมเหมืองเดิมให้แข็งแรงและทึบน้ำโดยวิธีเจ็ทกราท์ติง

เรามักจะรู้จักและคุ้นเคยกับคำว่า Slurry Wall หรือ Diaphragm Wall ซึ่งใช้ในฐานรากอาคาร ในลักษณะกำแพงกันดินในการ ขุดฐานรากหรือ ก่อสร้างชั้นใต้ดิน ของอาคารใหญ่ๆ หลายแห่งในกรุงเทพฯ แต่เทคนิคเดียวกันนี้ก็สามารถใช้กับเขื่อนดินโดยมีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อปิดกั้นการไหลซึมของน้ำผ่านชั้นดินหรือหินผุใต้ฐานรากเขื่อนได้เป็นอย่างดี จึงเรียกว่า “กำแพงทึบน้ำใต้ดิน” ซึ่งตรงกับภาษาอังกฤษว่า Impervious Cutoff Wall เพราะมุ่งชี้ถึงประโยชน์ของความทึบน้ำของหลังตัวกำแพงที่ก่อสร้างลงไปใต้ดินมากกว่ามีความแข็งแรงในการรับแรงดันดินด้านข้างดั้งงานขุดชั้นใต้ดินทั่วไป

1.1 เมื่อไรจึงควรใช้กำแพงทึบน้ำในงานเขื่อน

เป็นที่ทราบกันดีว่าเขื่อนจะก่อสร้างเพื่อเก็บกักน้ำไว้ใช้ประโยชน์ ดังนั้นจึงต้องปิดกั้นน้ำไม่ให้รั่วไหลออกจากอ่าง ผ่านตัวเขื่อน ฐานราก หรือขอบอ่างออกไป วิธีที่มักจะใช้กันคือการขุดฐานเป็นร่องแกนเขื่อนลงไป จนถึงหน้าหินทึบน้ำแล้วจึงบดอัดดินเหนียวทึบน้ำกลับขึ้นมาจนถึงตัวเขื่อน เหนือระดับดินเดิม แล้วต่อเชื่อมกับแกนดินเหนียวกับตัวเขื่อน แต่ในบางกรณีจะไม่สามารถ ใช้วิธีดังกล่าวได้ และควรพิจารณาใช้กำแพงทึบน้ำ แทนการขุดร่องแกนและอัดดินน้ำปูนในชั้นหินคือ

1. ดินฐานรากเป็นกรวดทรายมีความหนามากเกินกว่าที่จะขุดได้ โดยประหยัด
2. ระดับน้ำใต้ดินอยู่ตื้น และเป็นอุปสรรคต่อการทำงานขุดและการสูบน้ำออกจากบ่อก่อสร้าง
3. ดินฐานรากค่อนข้างอ่อนหรือเป็นทรายหลวมมากต่อการรักษาความมั่นคงของลาดบ่อขุดไม่ให้เกิดการพังทลายได้

4. กรณีซ่อมแซมเขื่อนดินเดิม โดยไม่จำเป็นต้องรื้อตัวเขื่อนเดิมออกทั้งหมด

1.2 กำแพงทึบน้ำใต้ดินสำหรับเขื่อนของไทย

เขื่อนในประเทศไทยได้มีการนำเอาเทคนิคกำแพงทึบน้ำมาใช้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2520 ที่เขื่อนยางชุม จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ โดยกรมชลประทาน แล้วก็ยังมีการใช้ต่อมาอีกหลายเขื่อน โดยล่าสุดใช้เป็นฉากกันการซึมของเขื่อนกั้นน้ำท้ายเขื่อนภูมิพล

ชนิดของผนังกันดินทึบน้ำ

1. Soil – Bentonite Cutoff ซึ่งเนื้อกำแพงเป็นดินธรรมชาติที่คัดเลือกจากกาบริเวณที่ก่อสร้างนำมาผสมกับผงโคลนวิทยาศาสตร์ (Bentonite) ตามสัดส่วนที่เหมาะสมจนมีความทึบน้ำและยึดหยุ่นมักจะผสมบนพื้นลាយปากหลุมขุดแล้วใช้ Bulldozer คัดลงในหลุม

2. Plastic Concrete Cutoff วัสดุเนื้อกำแพงประกอบด้วย กรวด, ทราย, ซีเมนต์, โคลนวิทยาศาสตร์และน้ำในสัดส่วนที่มีความยึดหยุ่นใกล้เคียงกับดินฐานราก และต้องผสมในโรงผสมจึงจะได้คุณภาพที่ดี และจะก่อสร้างควบคู่กับการขุดเป็นแผงเว้นสลับแผง เพื่อให้แผงที่เทก่อนได้กำลังที่เพียงพอที่จะยืนอยู่ได้ด้วยตัวเองขณะขุดแผงข้างเคียง

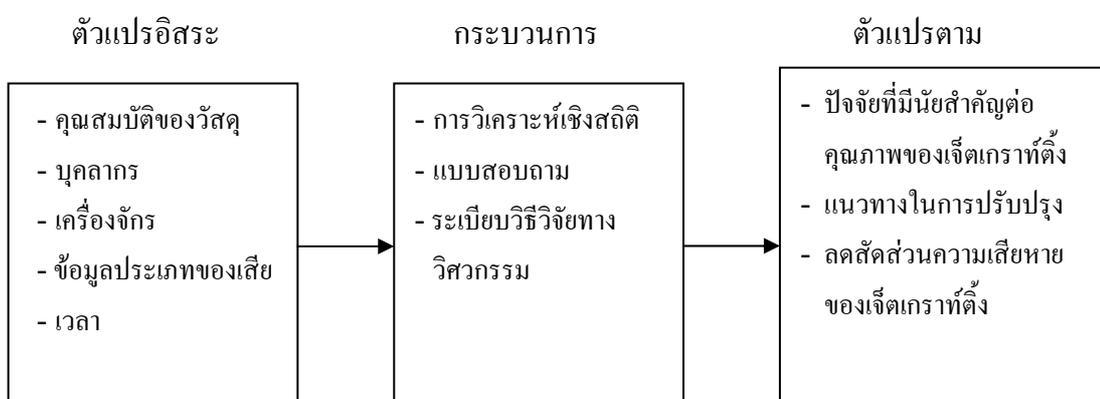
3. Concrete Diaphragm Wall วัสดุกำแพงเป็นคอนกรีตมีความแข็งตัวมาก เมื่อเทียบกับดินฐานราก ดังนั้นจึงต้องระมัดระวังในการพิจารณาใช้ ซึ่งอาจทำให้เกิดการทรุดตัวที่ไม่เท่ากันและเกิดรอยแตกของเขื่อนที่บริเวณปลายบนของกำแพง จึงมีการนำมาใช้น้อยมากในงานเขื่อน

งานก่อสร้างกำแพงทึบน้ำ (Impervious Diaphragm Wall) มีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงชั้นดินฐานรากซึ่งเป็นตะกอนทรายและหินขุมเหมือนเดิมให้แข็งแรง และทึบน้ำโดยวิธีเจ็ทกราที่ติดตั้งสำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นใน โครงการงานก่อสร้างงานปรับปรุงฐานรากเขื่อนซึ่ง มักจะมีความล้าช้าของการก่อสร้างเนื่องจากสภาพของชั้นดินของแต่ละโครงการและแต่ละความลึก จะไม่เหมือนกัน ฉะนั้นเทคนิคและวิธีการก่อสร้างจะมีความแตกต่างกันไป การแก้ปัญหาจะไม่เหมือนกันซึ่งหากดำเนินการแก้ปัญหาอย่างไม่ถูกต้องแล้วอาจจะส่งผลกระทบต่อระยะเวลางานก่อสร้างที่ จะต้องล่าช้าออกไป และกระทบงานในส่วนที่จะต้องทำต่อเนื่องจากงานฐานรากแต่สำหรับโครงการงานก่อสร้างอ่างเก็บน้ำโครงการตัวอย่าง จากการเจาะสำรวจชั้นดินเบื้องต้นพบว่าชั้นดินในโครงการนี้มีค่า SPT เฉลี่ยอยู่ที่ 24 ซึ่งเท่ากับเป็นชั้นดินเหนียวแข็งปานกลางและบางบริเวณมีค่า SPT อยู่ที่ 35-40 ซึ่งจัดเป็นลักษณะของชั้นดินเหนียวแข็งมากหรือเป็นชั้นทราย ดังนั้นระยะเวลาการก่อสร้างจะต้องมากกว่าการก่อสร้างในชั้นดินเหนียวอ่อน ฉะนั้นจึงมีความจำเป็นจะต้องนำเทคนิคการ

จัดการงานวิศวกรรมมาใช้เพื่อลดระยะเวลาการก่อสร้างงานเจ็ทเกรทที่ตั้ง เพื่อให้สามารถส่งมอบงานได้ทันตามกำหนดระยะเวลา บรรลุวัตถุประสงค์โครงการ และ ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม

2. กรอบแนวความคิด

ในงานวิจัยนี้เป็นการหาแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพงานเจ็ทเกรทที่ตั้งของโครงการงานก่อสร้างกำแพงทึบน้ำของโครงการตัวอย่างเพื่อศึกษาตัวแปรอิสระได้แก่คุณสมบัติของวัสดุ วิธีการบุคลากร เครื่องจักร ข้อมูลประเภทของเสีย เวลา ต้นทุน และวิธีการทำงานโดยใช้แนวคิดและทฤษฎีการจัดการงานวิศวกรรมได้แก่การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม แบบสอบถาม แบบสัมภาษณ์ เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมระเบียบวิธีวิจัยทางวิศวกรรมเพื่อศึกษาและออกแบบงานวิจัยโดยมีเป้าหมายเพื่อให้สามารถลดลงของความบกพร่องของเจ็ทเกรทที่ตั้ง ลงร้อยละ 10 และ เพิ่มความพึงพอใจของลูกค้าได้อย่างน้อยร้อยละ 80 ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมของงานเจ็ทเกรทที่ตั้ง ลดลง และเวลาในการก่อสร้างลดลง โดยกรอบแนวความคิดนี้สามารถอธิบายได้โดย ภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวความคิดของงานวิจัย

3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพของงาน ก่อสร้างกำแพงทึบน้ำได้ฐานเขื่อนของ วิถีเจ็ทเกรทที่ตั้ง โดยใช้แนวคิดและทฤษฎีการจัดการงานวิศวกรรม

4. สมมติฐานของการวิจัย

1. แนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพงานเจ็ทเกรทที่ตั้งที่ได้จากงานวิจัยสามารถลดความบกพร่องของงาน เจ็ทเกรทที่ตั้ง ลง ร้อยละ 10

2. แนวทางในการปรับปรุงคุณภาพงานเจ็ตเกราท์ที่ตั้งสามารถเพิ่มความพึงพอใจให้กับเจ้าของโครงการได้อย่างน้อย ร้อยละ 80

5. ขอบเขตของการวิจัย

ในงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงสำรวจและวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม เพื่อศึกษาเทคนิคและวิธีการลดระยะเวลาการก่อสร้างกำแพงทึบน้ำ (Impervious Diaphragm Wall) โดยวิธีเจ็ตเกราท์ตั้งโครงการอ่างเก็บน้ำตัวอย่างโดยงานก่อสร้างอยู่ระหว่าง เดือนกันยายน 2549 ถึง เดือนมกราคม 2551 (เฉพาะงานในส่วนของการปรับปรุงฐานราก)

6. นิยามศัพท์เฉพาะ

1. Jet Grouting หมายถึง การฉีดน้ำปูนด้วยแรงดันสูงในมวลดินผ่านหัวฉีดพิเศษที่ส่วนปลายของแกนเจาะ

2. Soil Cement Column หมายถึง เสาค้ำดิน ซีเมนต์

3. Impervious Diaphragm Wall หมายถึง กำแพงทึบน้ำ

4. Ground Improvement หมายถึง การปรับปรุงคุณภาพดิน

5. High Pressure Grout Pump หมายถึง ปั๊มอัดฉีดแรงดันสูง

6. Single Tube หมายถึง ก้านเจาะระบบท่อเดี่ยว

7. Withdrawal Speed หมายถึง อัตราการยกก้านเจาะขึ้นขณะที่อัดฉีดน้ำปูน

9. Standard Penetration Test (SPT) หมายถึง กระบอกลำเก็บตัวอย่างดินและทดสอบความแน่นของดิน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบแนวทางการลดเวลาการก่อสร้าง ของโครงการงานปรับปรุงงานฐานรากเชื่อมของวิธี เจ็ตเกราท์ตั้งลดลงร้อยละ 10 จากแผนงานก่อสร้าง

2. ทราบแนวทางในการลดอัตราเสีย ของงาน เจ็ตเกราท์ตั้งลดลงจากเดิมได้ร้อยละ 10

3. เพิ่มระดับความพึงพอใจของลูกค้า

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. แนวคิดและทฤษฎี

การปรับปรุงดินโดยใช้ Jet Grouted Piles สำหรับงานถนนบนชั้นดินเหนียวอ่อนโดยวิธี Jet Grouting Method ซึ่ง คือวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินวิธีหนึ่งทำโดยการฉีดน้ำปูนด้วยแรงดันสูงลงไปดินเหนียวเพื่อทำการแทนที่ดินหรือเข้าไปผสมกับดิน ซึ่งโดยทั่วไปแรงดันที่ใช้อยู่ระหว่าง 200-400 บาร์ ผ่านหัวฉีดพิเศษที่ส่วนปลายของท่อน้ำปูนซีเมนต์ ซึ่งหมุนในแนวตั้งและเลื่อนระดับขึ้นอย่างต่อเนื่องตามอัตราความเร็วที่ได้กำหนดไว้ มวลดินจะถูกทำลายด้วยแรงกระทำเนื่องจากการฉีดน้ำปูนอนุภาคของดินจะถูกผสมกับน้ำปูน ในขณะที่ส่วนผสมของมวลดินและน้ำปูนส่วนเกินจะถูกเคลื่อนย้าย และแทนที่พลังงานจลน์ของน้ำปูนจะลดลง เนื่องจากถูกแรงเสียดทานภายในมวลดินจนสลายหมดไป ในช่วงระยะหนึ่งที่น้ำปูนได้แหวกผ่านเนื้อดินออกไป ผลของการปรับปรุงคุณภาพดิน จะทำให้ได้เสาเข็มรูปทรงกระบอกที่มีความแข็งแรงเป็นวัสดุผสมดินซีเมนต์ที่มีเนื้อสม่ำเสมอ หลังจากทำการติดตั้งเสาเข็ม Jet Grouting ให้มีระยะห่างที่เหมาะสม จะทำให้ได้ชั้นดินที่มีการปรับปรุง และมีค่าคุณสมบัติการรับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ตามที่วิศวกรผู้ออกแบบต้องการ

ตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ Jet Grouting Method หรือระยะรัศมี ของการฉีดน้ำปูนจะขึ้นอยู่กับ

1. การอัดตัวแน่นของเนื้อดิน ซึ่งขึ้นอยู่กับ ชนิดของดิน และ ความลึก
2. เวลาที่ใช้ในการถอนท่อหรือระยะเวลาที่คงการฉีดน้ำปูนไว้ในช่วงความลึกหนึ่งๆ

(Withdrawal Speed)

3. ความดันของน้ำปูน (Grout Pressure) ขึ้นกับกำลังของเครื่องฉีดน้ำปูน
4. พลังงานรวมซึ่งมาจากขนาดรูของหัวฉีด (Nozzle diameter) ที่ปล่อยน้ำปูนออกไปจากก้านเจาะ และในช่วงระยะเวลา 3-4 สัปดาห์ ความแข็งแรงของดินเหนียว จะพัฒนาสูงขึ้น ถึงระดับ เหนียวแข็งดาน (Hard clay) และมีคุณสมบัติความทึบน้ำเพิ่มขึ้น

การพัฒนาคุณสมบัติทางด้านกำลังของเสาเข็ม Jet Grouting Pile (JGP) โดยทั่วไปจะมีค่าระหว่าง 200- 1000 kPa. ซึ่งคุณสมบัติด้านกำลังนี้จะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆดังต่อไปนี้

1. ชนิดและส่วนประกอบของดินเดิม เช่น pH และ Humus Content
2. ชนิดและปริมาณของปูนซีเมนต์ที่ใช้ผสม (ส่วนใหญ่เป็นซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1) โดยทั่วไปสำหรับการปรับปรุงคุณภาพเหนียวอ่อน จะใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ประมาณ

200-400 kg/m³ ของดินที่ปรับปรุง

3. ปริมาณความชื้นในดิน (Water Content) ปริมาณน้ำที่เหมาะสม ที่ใช้ขึ้นอยู่กับปริมาณปูนโดยทั่วไปค่า Water-Cement Ratio ประมาณ 1.1 – 1.35 หากปริมาณน้ำในมวลดินที่จะทำการผสมมากเกินไป จะทำให้น้ำปูนที่ใส่เจือจาง ซึ่งจะมีผลต่อการแข็งตัวของตัวประสานทำให้ค่ากำลังของเสาเข็มที่ได้ต่ำกว่าค่าที่ต้องการ

4. ระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มประมาณ 14 - 28 วัน

5. คุณภาพของน้ำที่ใช้ในการผสมตามมาตรฐานน้ำที่ใช้ในการก่อสร้าง

6. วิธีการบ่ม (Curing under temperature and pressure)

ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2535 เป็นต้นมา ได้มีการนำวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธี Jet Grouted Piles มาประยุกต์กับอุตสาหกรรมก่อสร้างอย่างกว้างขวางในประเทศไทย เนื่องจากสามารถก่อสร้างได้สำเร็จลุล่วงในเวลาสั้น มีประสิทธิภาพดีและมีค่าใช้จ่ายโดยรวมต่ำ วิธี Jet Grouting จึงเป็นวิธีพื้นฐานที่สามารถประยุกต์ใช้ได้กับ หรือป้องกันปัญหาทั่วไปที่มักเกิดกับงานวิศวกรรมปฐพีของประเทศไทย เช่น งานก่อสร้างกำแพงกันดินชั่วคราว งานเสริมความแข็งแรงของดินที่กั้นบ่อขุดเพื่อป้องกันการยกตัวของดินกั้นบ่อในงานขุดบ่อดิน สราวุธ จริตงาม และ K.S. Wong : (2538) งานปรับปรุงดินฐานราก ซึ่งเป็นชั้นดินอ่อนที่หนามาก เพื่อให้สามารถรองรับคันดินถม หรือรองรับน้ำหนักต่างๆ ได้อย่างปลอดภัยและไม่เกิดการทรุดตัวเกินค่าที่กำหนด งานเสริมความมั่นคงให้กับคันตลิ่งริมน้ำ ทั้งที่มีหรือยังไม่มีโครงสร้างกำแพงคอนกรีตป้องกันตลิ่ง งานปรับปรุงดินเพื่อเพิ่มเสถียรภาพในงานขุดเจาะอุโมงค์ดินของโครงการรถไฟฟ้ามหานครและ งานก่อสร้างกำแพงกั้นน้ำ เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำผ่านเข้าไปในบริเวณที่ต้องการป้องกัน (Impervious Cut-off Wall) เป็นต้น วิชาญ เข้มมะลัง, ธวัชชัย ธรรมเกษตรรักษ์ และพงศ์ศักดิ์ แซ่หลี (2541 : 23-24)

เครื่องจักรที่ใช้ในการทำงานก่อสร้างกำแพงกั้นน้ำของวิธีเจ็ทกราฟต์

1. รถเจาะระบบไฮดรอลิก (Hydraulic Drilling Machine) มีลักษณะคล้ายรถขุดไฮโดรลิก (Back hoe) มีเครื่องยนต์ดีเซลเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนปั๊มไฮโดรลิก แล้วนำแรงดันน้ำมันไฮโดรลิกไปควบคุมการทำงานในส่วนต่างๆของเครื่องเจาะอีกทีหนึ่ง ชุดเครื่องเจาะทั้งหมดจะติดตั้งอยู่บนรถดินตะขาบซึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้ บริเวณส่วนหน้าของตัวรถจะมี Hydraulic Rotary Drill Head ติดอยู่บน Mast และสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวดิ่งได้ โดยทั่วไปความสูงของ Mast ประมาณ 12 ถึง 24 เมตร ทำให้มีการควบคุมก้านเจาะที่มีความยาวต่อเนื่องการเจาะอัดฉีดน้ำปูนให้กระทำในจังหวะเดียวโดยไม่ต้องหยุดชะงักเพื่อตัดต่อก้าน และสามารถปรับตั้งให้อยู่ในแนวดิ่งหรือแนวเอียงได้รอบทิศทาง ส่วนของ Drill Head โดยทั่วไปประกอบด้วยมอเตอร์ไฮโดรลิก 1 ถึง 2 ตัวขับเคลื่อน Rotary Table ให้หมุนในขณะที่ทำการเจาะหรือทำการอัดฉีด ความเร็วรอบ

ของ Rotary Drill Head สามารถปรับระดับความเร็วได้เป็นช่วงๆปกติประมาณ 0 ถึง 30 รอบต่อนาที และประมาณ 0 ถึง 60 รอบต่อนาที บริเวณด้านบนด้านล่างของ Mast จะมีมอเตอร์ไฮดรอลิก และระบบเพื่อส่งถ่ายกำลังไปยังโซ่ซึ่งต่อเชื่อมอยู่กับส่วนบนและส่วนล่างของ Rotary Drill Head เพื่อทำหน้าที่ดึงก้านเจาะขึ้นหรือลง โดยทั่วไปแรงดึงลง (Pull Down Force) จะอยู่ระหว่าง 3,000 กิโลกรัม จนถึงมากกว่า 15,000 กิโลกรัม บริเวณส่วนท้ายของเครื่องเจาะจะมีขาปรับระดับ (Hydraulic Leveling Legs) เพื่อทำหน้าที่ปรับให้เครื่องเจาะอยู่ในระดับที่ต้องการและมีความมั่นคง ในขณะทำงาน เครื่องเจาะประเภทนี้แผงควบคุม (Control Panel) อุปกรณ์ต่างๆมักจะอยู่ในรูปของ วาล์วเปิดปิดน้ำมันไฮดรอลิก และจะทำการติดตั้งอยู่บนเครื่องเจาะทั้งหมด ในเครื่องเจาะบางรุ่นอาจ มีการติดตั้งอุปกรณ์อำนวยความสะดวกและอุปกรณ์ตรวจวัดต่างๆ เช่น เครื่องตรวจวัดระยะ (Depth Wheel) เครื่องตรวจวัดความเร็วรอบ (Rational Speed Measurement) หรือ เครื่องตรวจวัดแรงที่ใช้ในการเจาะ (Weight on bit) เครื่องตรวจวัดแรงดึงของน้ำปูน เครื่องตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำปูน นาฬิกาจับเวลา ระบบ Digital และสามารถแสดงบันทึกผลขนาดทำงาน ซึ่งจะทำให้ตรวจสอบคุณภาพได้ดียิ่งขึ้น เป็นต้น



ภาพที่ 2 รถเจาะระบบไฮดรอลิก (Hydraulic Drilling Machine)

2. รถขุดระบบไฮดรอลิก (Hydraulic Excavator)



ภาพที่ 3 รถขุดระบบไฮดรอลิก (Hydraulic Excavator)

3. โรงงานผสมน้ำปูน (Plant Mix Cement) ประกอบด้วย

เครื่องชั่ง (Weighing Unit) เป็นอุปกรณ์ที่มีความจำเป็นสำหรับงาน Jet Grouting มาก เนื่องจากเป็นอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดปริมาณของปูนซีเมนต์ผงก่อนที่จะทำการผสม ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของน้ำปูนอันจะส่งผลต่อเนื่องไปถึงคุณภาพของดินฐานรากที่ได้รับการปรับปรุงแล้วด้วย โดยทั่วไปเครื่องชั่งที่ใช้ในงาน Jet Grouting มักเป็นเครื่องชั่งไฟฟ้า (Electrical Balance) ซึ่งมีความละเอียดและถูกต้องมากกว่าเครื่องชั่งชนิดอื่นๆ อย่างไรก็ตามเครื่องชั่งจะต้องตรวจวัดความเที่ยงตรงทุกๆ 3 เดือนเนื่องจากติดตั้งอยู่ในภาคสนาม ซึ่งจะช่วยให้คงคุณภาพได้ตามที่ออกแบบลักษณะ โดยทั่วไปประกอบด้วยภาชนะสำหรับบรรจุปูนซีเมนต์ผงและภาชนะบรรจุน้ำ หรือนำเครื่องชั่งน้ำหนักติดตั้งเข้ากับถังผสมทำให้สามารถชั่งน้ำและปูนอย่างต่อเนื่องรวดเร็ว หน่วยตรวจวัดน้ำหนักและหน่วยรายงานผล สามารถตรวจวัดน้ำหนัก นับจำนวนครั้งของการชั่ง เปลี่ยนแปลงหน่วยการวัด ได้สะดวกและรวดเร็ว การรายงานผลการตรวจวัดจะใช้ระบบ Digital ในเครื่องชั่งบางรุ่นสามารถพิมพ์ผลการตรวจวัดและสามารถวิเคราะห์ผลทางสถิติได้อีกด้วย

ถังผสม (Mixer) ถังผสมเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ผสมปูนซีเมนต์ผงกับน้ำ หรือสารผสมเพิ่มอื่นๆ (Additives) ให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกันก่อนที่จะทำการอัดฉีดเข้าไปในชั้นดินที่ต้องการปรับปรุงคุณภาพ ถังผสมที่ดีควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

3.2.1 ความสามารถผสมคลุกเคล้าส่วนผสมต่างๆ ให้เป็นเนื้อเดียวกันและอยู่ในสภาพ Colloid

3.2.2 ใช้เวลาในการผสมน้อยและสามารถผสมได้อย่างต่อเนื่อง

3.2.3 อุปกรณ์ประกอบต่างๆ มีความแข็งแรง ทนทานและใช้งานได้ง่าย

3.2.4 ต้องการการบำรุงรักษาต่ำ

3.2.5 ราคาถูก

ปัจจุบันถังผสมน้ำปูนที่ใช้ในงาน Jet grouting และงาน Foundation grouting อื่นๆมีหลายประเภท การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายอย่างประกอบกัน อาทิเช่น ลักษณะและสภาพของบริเวณพื้นที่ก่อสร้าง ความต้องการหรือข้อกำหนดของงาน วิธีการอัดฉีด ปริมาณและความต่อเนื่องของงานอัดฉีด เป็นต้น

ถังกวน เป็นภาชนะที่บรรจุน้ำปูนสำรองไว้เพื่อรอการอัดฉีดน้ำปูน ทำให้การผสมในถังผสมต่อเนื่องปกติจะทำการวัดปริมาตรของน้ำปูนในถังนี้ โดยใช้ก้านวัดปริมาตร (Dipstick) ซึ่งเป็นก้านเหล็กมาตรฐานและมีขีดบอกปริมาตรติดตั้งไว้บริเวณข้างถังหรือในท่อสำหรับวัดปริมาตร น้ำปูนที่บรรจุอยู่ในถังนี้จะต้องทำให้เกิดการหมุนเวียนตลอดเวลาเพื่อป้องกันการแยกตัว และการตกตะกอนของของสารผสมในถัง ถังกวนจะมีลักษณะเป็นถังเหล็กทรงกระบอกมีขนาดความจุแตกต่างหลายแบบ โยปกติจะมีความจุมากกว่าถังผสมประมาณ 25% ขนาดที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันประมาณ 200 ลิตร จนถึง 400 ลิตร ที่บริเวณส่วนล่างของถังกวนจะมีวาล์วสำหรับควบคุมการส่งถ่ายของผสมเข้าสู่ปั๊มอัดฉีด บริเวณส่วนล่างของถังกวนจะมีแกนเพลานิวแมติกซึ่งรับกำลังมาจากมอเตอร์ไฟฟ้าและส่วนปลายของแกนเพลามีใบพัด (Paddle) ซึ่งติดตั้งอยู่ในระดับใกล้เคียงกับก้นถัง และปริมาณส่วนกลางของความสูงของถังกวนเพื่อทำหน้าที่กวนส่วนผสมไม่ให้ตกตะกอน ปกติความเร็วของใบพัดกวนประมาณ 100 รอบต่อนาที มอเตอร์ที่ใช้จะขึ้นอยู่กับขนาดความจุของถังกวนและส่วนผสมที่ผสม โดยเฉพาะถ้ามีส่วนผสมของทรายจะต้องใช้มอเตอร์ที่มีกำลังม้าสูงกว่าปกติ ในถังกวนบริเวณที่รับส่วนผสมมาจากถังผสมควรจะมีตะแกรงลวด (Screen) เพื่อกรองวัสดุแปลกปลอมหรือก้อนซีเมนต์ (Lump) แข็งที่ไม่แตกตัวหลังจากผสมแล้วออกให้หมด เนื่องจากวัสดุดังกล่าวอาจเข้าไปทำให้เกิดการอุดตันภายในปั๊มอัดฉีดหรือในระบบอัดฉีดอื่นๆ เมื่อทำการส่งถ่ายของผสมออกจากถังกวนหรือเมื่อเสร็จจากการอัดฉีดช่วงหนึ่งๆ ควรทำการล้างระบบอัดฉีดตั้งแต่ถังกวน ปั๊มอัดฉีด และวาล์วควบคุมต่างๆ เพื่อป้องกันการจับตัวบริเวณ

ผนังช่องว่างของปูนซีเมนต์ซึ่งจะทำให้เกิดการอุดตันอย่างช้าๆ และเป็นสาเหตุที่ทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพลดลง



ภาพที่ 4 โรงงานผสมน้ำปูน (Plant Mix Cement)

4. ถังเก็บปูนผง (Cement Silo) ถังเก็บปูนผงเป็นถังเหล็กรูปทรงกระบอกสูง ที่ใช้ในการเก็บสำรองปูนซีเมนต์ผงหรือสารผสมเพิ่มอื่นๆ ที่จะนำมาใช้ในการอัดฉีด ลักษณะโดยทั่วไปบริเวณส่วนล่างของถังจะมีลักษณะเป็นทรงกรวย (Cone Shape) และมีวาล์วเปิดปิดเพื่อควบคุมการปล่อยวัสดุ ความจุของถังเก็บปูนผงมีหลายขนาดแต่ที่นิยมใช้งานมีขนาดประมาณ 5 ถึง 30 ตัน และมักจะติดตั้งให้ถังปูนผงอยู่ในระดับสูงกว่าอุปกรณ์ชนิดอื่น ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการปล่อยวัสดุออกจากถังโดยใช้แรงโน้มถ่วงและเป็นการหลีกเลี่ยงความชื้นซึ่งอยู่ในบริเวณพื้นที่ทำงาน ดังนั้นการติดตั้งถังเก็บปูนผงขนาดใหญ่ๆ ควรเลือกบริเวณพื้นที่สูง ไม่มีน้ำที่เกิดจากการทำงานไหลเข้ามากรณีไม่สามารถติดตั้งถังปูนผงให้อยู่สูงกว่าระดับพื้นได้ จำเป็นต้องมี Screw Conveyor เพื่อขนถ่ายวัสดุให้แก่เครื่องชั่ง (Weight Unit) ก่อนที่จะปล่อยลงสู่ถังผสม(Mixer)

5. ปัมอัดฉีดความดันสูง (High Pressure Pump) ปัมอัดฉีดเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งถ่ายของผสมไปตามระบบท่อจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งสำหรับงาน Jet grouting โดยทั่วไปปัมอัดฉีดจะรับของผสม (มักเป็นน้ำปูน) จากถังกวน (Agitator) แล้วส่งผ่านของผสมนั้นโดยใช้ความดันสูงเข้าไปในท่ออัดฉีด (Jetting Pipe) และออกสู่ดินฐานรากโดยผ่านทางหัวอัดฉีด (Monitor) ปัมอัด

ฉีดความดันสูงนี้มีลักษณะที่เรียกว่า Plunger Pump คือ ปัมป์อัดฉีดที่มีลักษณะคล้ายแบบ Piston Pump แต่มีความแข็งแรงกว่า ติดตั้งอยู่ในตำแหน่ง Inlet และ Outlet การเคลื่อนที่ของลูกสูบไปข้างหน้าจะเกิดการทำงานขึ้น 1 จังหวะ (Single Action) คืออัดฉีดของผสมออกไปทางวาล์ว Outlet เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ถอยหลังจะทำให้เกิดสุญญากาศและดูดของผสมเข้ามาทางวาล์ว Inlet เป็นเช่นนี้สลับกันไป ปัมป์อัดฉีดชนิดนี้จะมี ความแข็งแรงของลูกสูบมากกว่าแบบ Piston แต่จะมีอัตราการอัดฉีดน้อยกว่า ดังนั้นส่วนใหญ่ปัมป์ชนิดนี้จึงมักมีกระบอกสูบ 3 สูบ (Triplex Plunger Pump) เพื่อให้ อัตราการอัดฉีดมากขึ้นและมีความราบเรียบของความดันดีขึ้น



ภาพที่ 5 ปัมป์อัดฉีดความดันสูง (High Pressure Pump)

3. การออกแบบพารามิเตอร์ในการทำ เจ็ทกราท์ติง

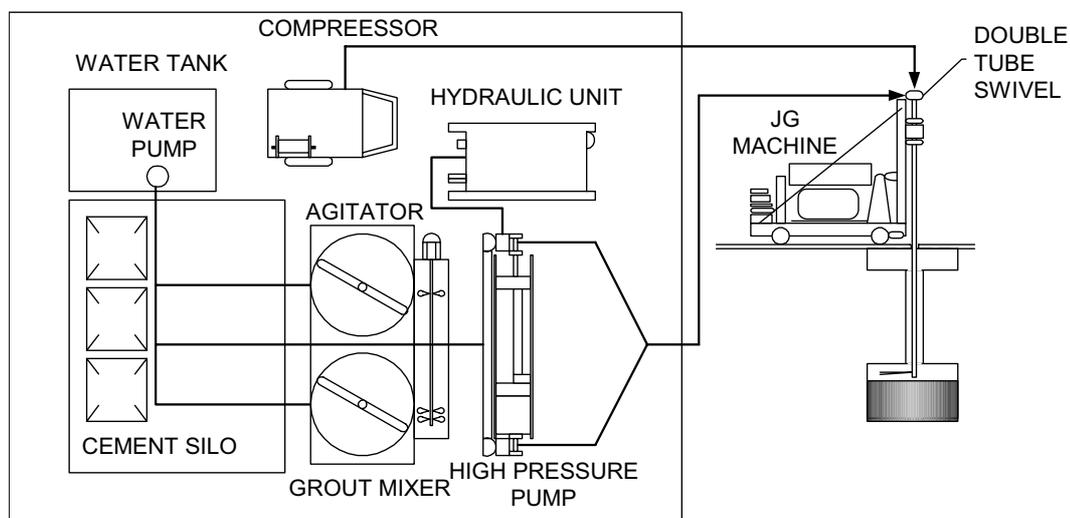
สำหรับการออกแบบพารามิเตอร์ต่างๆในการทำงานภาคสนาม เพื่อหาค่าที่ใช้ในการควบคุมเครื่องมือ-เครื่องจักร ค่าพารามิเตอร์ต่างๆจะถูกทดลองใช้ในการทำงานเพื่อให้ได้เสาเข็มเจ็ทกราท์ติง ที่มีอัตราส่วนผสมของปูนเท่ากับที่กำหนดจากห้องปฏิบัติการ เช่น อัตราการถอนท่อฉีดน้ำปูน, ความดันของ Cement Grout, อัตราการถอนก้านเจาะต่างๆ และอัตราส่วนผสมของน้ำต่อปูนซีเมนต์ เป็นต้น ขั้นตอนนี้จะเรียกว่า Trial Test หรือสร้าง Pilot Pile เมื่อบ่มได้เวลาที่กำหนดแล้ว เช่น 14 หรือ 28 วัน จึงทำการเจาะเก็บตัวอย่างแบบต่อเนื่องเพื่อทดสอบค่ากำลังอัดแบบ Unconfined Compression และตรวจสอบว่าเสาเข็มได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (โดยการขุดเปิดหรือการถอน)

ตามที่กำหนด เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ปฏิบัติงานในสนาม สำหรับโครงการฯนี้พบว่าค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เหมาะสมกับคุณสมบัติของดินเดิมดังแสดงในตารางที่ 1

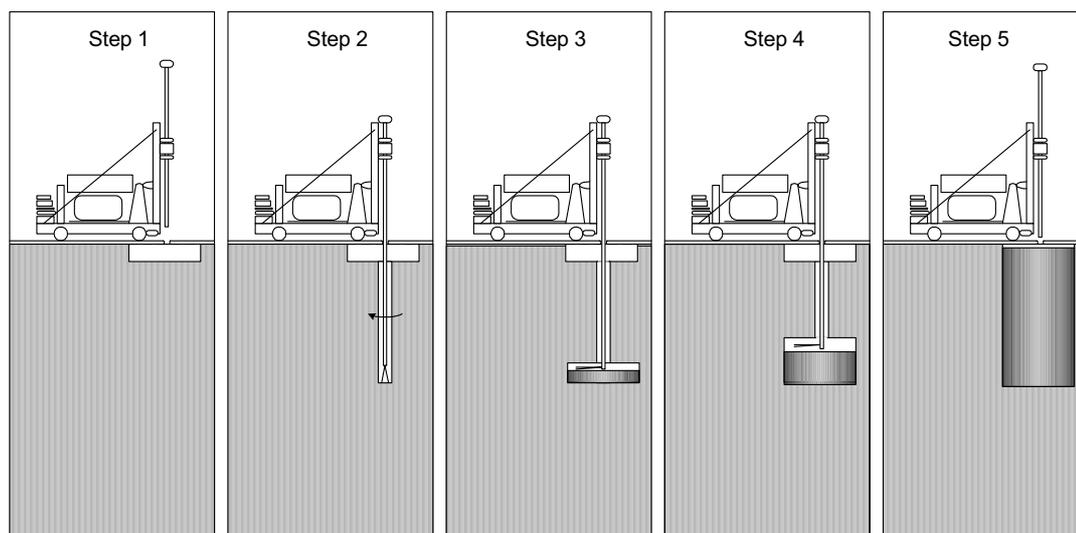
ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในโครงการฯ

รายการที่	รายละเอียด	หน่วย	ค่าที่ใช้
1	ความดัน Cement Grout	kg/cm ²	100
2	อัตราส่วนผสมของน้ำต่อซีเมนต์ (W/C)		1.1
3	ส่วนผสมของซีเมนต์ในดิน	kg/m ³	225
4	Undrained Shear Strength ที่ 28 วัน	ksc	3.0
5	อัตราการถอนก้านเจาะ	sec/m	100
6	อัตราการไหลของน้ำปูน	ลิตรต่อนาที	60

การจัดวางอุปกรณ์เครื่องจักรที่ใช้ในการทำ เจ็ตเกรทติ้ง ได้แสดงในภาพที่ 6 ซึ่งมีขั้นตอนการทำ เจ็ตเกรทติ้ง มี 5 ขั้นตอนดังนี้ (1) ติดตั้งเครื่องมือเจาะที่ตำแหน่งที่ต้องการทำ เจ็ตเกรทติ้ง (2) ทำการเจาะถึงระดับที่ต้องการ (3) ทำการฉีดน้ำปูนซีเมนต์โดยเริ่มจากระดับล่างสุดขึ้นมา (4) เมื่อทำการถอนท่อฉีดน้ำปูนซีเมนต์และหมุนอย่างต่อเนื่อง จะได้เสาเข็ม เจ็ตเกรทติ้ง และ (5) เมื่อได้ระดับความยาวของ เจ็ตเกรทติ้ง ที่ต้องการก็หยุดการทำงาน และเคลื่อนย้ายตำแหน่งใหม่ ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 6 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับ Jet Grouting



ภาพที่ 7 ขั้นตอนการทำ Jet grouting

4. วิธีการควบคุมคุณภาพ

แนวความคิดด้านการควบคุมคุณภาพงานปรับปรุงดินด้วยเจ็ทเกรทติ้ง ที่ก่อสร้างโครงการฯ แบ่งเป็น 2 กรณี คือ

1. การควบคุมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (Diameter Control) การควบคุมขนาดและรูปร่างของ เจ็ทเกรทติ้ง Column โดยการ Coring เป็นหลัก ซึ่งสามารถกำหนดให้มีการเจาะเก็บในบริเวณใกล้แนวศูนย์กลางของต้น และในบริเวณใกล้แนวขอบของ เจ็ทเกรทติ้ง เพื่อให้ทราบขนาดของรัศมีของการฉีดน้ำปูนหรือการทำ (Pull-Out Test) กรณีที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.50-0.80 เมตรกับ เจ็ทเกรทติ้งที่ได้อายุแล้วการดึง Cement Column นั้น ดึงโดยการเสริมเหล็กใน Cement Column ไว้ก่อนหรือดึงโดยใช้ Vibro ส่งปลอกกลงไปสวมแล้วดึงขึ้น

2. การควบคุมกำลัง (Strength Control) โดยจะทำการทดสอบ Unconfined Compressive Strength ของตัวอย่าง เจ็ทเกรทติ้ง ที่ได้จากการเจาะเก็บตัวอย่าง (Coring) ในภาคสนามโดยการสุ่มเก็บ โดยตัวอย่างที่ทำการทดสอบต้องมีความยาว 2-3 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (โดยทั่วไป ϕ ประมาณ 45 มิลลิเมตร) ปริมาณความยาวรวมของตัวอย่างที่ยาวเกินก่อนละ 10 เซนติเมตร ซึ่งเก็บได้ในแต่ละช่วงการเจาะ ต่อความยาวรวมของช่วงการเจาะเรียกว่า Core Recovery ซึ่งอาจจะกล่าวไปได้ว่าตัวอย่างที่มีค่า Core Recovery สูงนั้นเป็นตัวอย่างที่มีการจับตัวและมีความต่อเนื่องดีกว่าตัวอย่างที่มีค่า Core Recovery ต่ำ จากผล Core Recovery ที่ได้จะสามารถประเมินผลการเจาะได้ดังนี้

ตารางที่ 2 Core recovery และลักษณะทางกายภาพของตัวอย่าง

Core Recovery (%)	ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่าง
0-25	ต่ำ
25-50	ค่อนข้างต่ำ
56-75	ปานกลาง
75-100	ค่อนข้างสูง

5. ผลการตรวจสอบคุณภาพ

ลักษณะของ เจ็ตเกราที่ตึง โดยทั่วไปจะเป็นแท่งซีเมนต์ผสมดิน เมื่อปล่อยให้แห้งให้แข็งตัวเต็มที่จะมีความแข็งเพิ่มมากขึ้น และมีค่าหน่วยน้ำหนักน้อยกว่าหน่วยน้ำหนักของดินก่อนปรับปรุงดินประมาณ 10% กำลังรับแรงอัดของแท่ง เจ็ตเกราที่ตึง จะขึ้นกับส่วนผสมของซีเมนต์และน้ำที่ทำการอัดฉีดเข้าไปในชั้นดิน ลักษณะภายในโดยทั่วไป จะมีลักษณะคล้ายเป็นชั้นของส่วนผสมระหว่างซีเมนต์และดินเหนียวอ่อนซ้อนทับกัน เนื้อวัสดุมีลักษณะแข็งและเปราะดังแสดงในภาพที่ 8 มวลของแท่ง เจ็ตเกราที่ตึงจะมีรูปร่างใกล้เคียงทรงกระบอก บริเวณผิวนอกสุดจะแตกออกเป็นชิ้นเล็กๆเมื่อทิ้งไว้แห้งบนผิวดิน การทดสอบคุณภาพ Diameter Control เพื่อการควบคุมขนาดและรูปร่างของ เจ็ตเกราที่ตึง และ Strength Control โดยจะทำการทดสอบ Unconfined Compressive Strength ของตัวอย่าง เจ็ตเกราที่ตึง ที่ได้จากการ Coring พบว่าผลการดำเนินการก่อสร้าง JG มีผลที่น่าพอใจ คือมากกว่าหรือเท่ากับ 6 ksc



ภาพที่ 8 การทดสอบกำลังอัดของแท่งตัวอย่าง เจ็ตเกราที่ตึง

1. ขั้นตอนการทำ Pilot Test เพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการทำงานภาคสนาม และใช้ปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับที่กำหนดในข้อ 1
2. การออกแบบโครงสร้างฐานรากที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพดินโดยวิธีผสมปูนซีเมนต์ให้ใช้งานได้อย่างปลอดภัยในทุกกรณี และประหยัด

6. ทฤษฎีเกี่ยวกับการจัดการคุณภาพ

คะทซึยะ โสโซทานิ (2549) ทฤษฎีเกี่ยวกับการจัดการเป็นกระบวนการใช้กิจกรรมต่างๆ ที่จำเป็นต่อการทำงานอย่างต่อเนื่องอย่างมีเหตุผลและมีประสิทธิภาพ เพื่อให้งานนั้นๆบรรลุเป้าหมาย โดยมี 4 ขั้นตอนทำงานนั้นคือวงล้อ PDCA หรือเรียกว่าวงจรของ Deming มีรายละเอียดดังนี้ เราจะต้องมีการวางแผนปฏิบัติตามแผน ตรวจสอบผลการปฏิบัติ และนำผลการแก้ปัญหาปฏิบัติ จากนั้นก็นำปัญหาใหม่มาแก้ปัญหาค่อยๆไปตามกระการเดิมอย่างต่อเนื่องไม่สิ้นสุด

สรารุช จริตงาม (2541) ทฤษฎีเกี่ยวกับวิธีการก่อสร้าง เสาเข็มดิน – ซีเมนต์ ของบริษัท แอลบี จีโอเทค จำกัด เอกสารประกอบการสัมมนาเจ้าหน้าที่กรมชลประทาน โครงการลุ่มน้ำปากพนังจังหวัด นครศรีธรรมราช

พนม ภัยหน่าย (2537) ทฤษฎีเกี่ยวกับการวางแผนงานการก่อสร้าง และการจัดองค์การบริหารงานก่อสร้าง

7. ทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องมือในการแก้ปัญหา

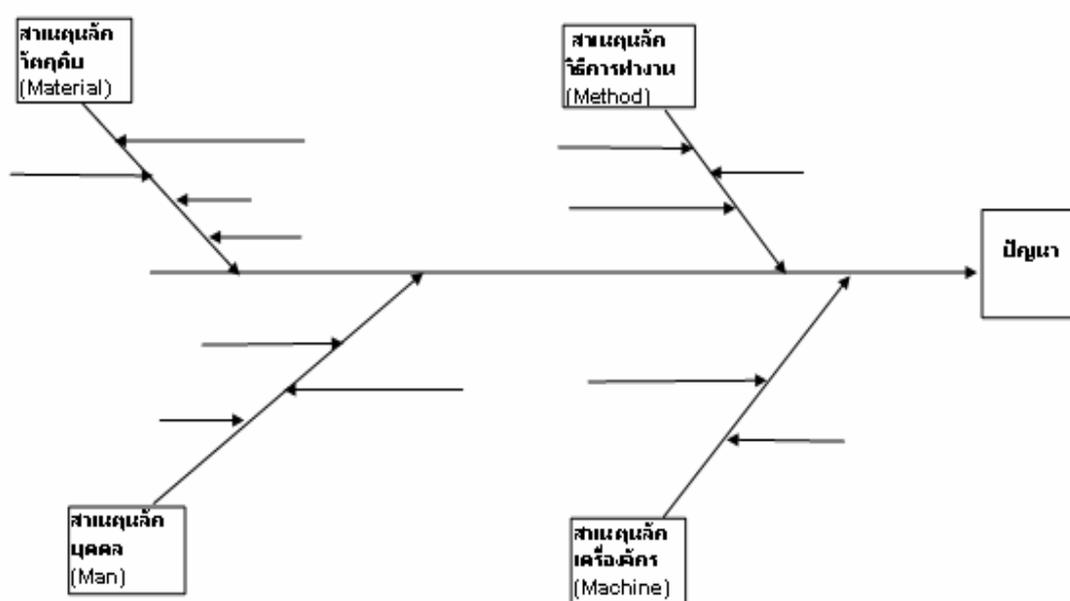
เชดส์คัตต์ อนุทัต (2545) โดยทั่วไปมีอยู่ 7 อย่าง หรือที่เรียกว่า ชุดเครื่องมือคุณภาพ 7 อย่าง (7 QC Tools) โดยเลือกเครื่องมือในการแก้ปัญหาคือออกเป็น 3 กลุ่มประยุกต์ ดังนี้ 1) ชุดเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของข้อมูล มีจุดประสงค์เป็นการศึกษาผ่านการประเมินผล (Enumerative Study) เพื่อการพิจารณาว่าประชากรที่พิจารณาได้รับการทำให้เป็นมาตรฐานแล้วหรือไม่

ชุดเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ความผันแปรในข้อมูล มีจุดประสงค์ผ่านการประเมินผลและศึกษาผ่านการวิเคราะห์ ซึ่งในจุดประสงค์แรกจะประกอบด้วย ไปตรวจสอบ กราฟ และฮิสโตแกรม สำหรับจุดประสงค์แบบวิเคราะห์จะใช้แผนภูมิควบคุมสำหรับแยกความผันแปรสาเหตุแบบไม่ธรรมชาติออกจากความผันแปรสาเหตุแบบธรรมชาติ

ชุดเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์เหตุและผล ซึ่งโดยปกติจะเป็นการศึกษาแบบวิเคราะห์ และควรศึกษาผ่านสถิติเชิงอนุมานจึงจะมีประสิทธิภาพมากที่สุด แต่ด้วยหลักการแห่งการทำให้ง่ายโดย JUSE จึงมีการแนะนำให้ใช้สถิติเชิงพรรณนาแทนซึ่งประกอบด้วยแผนภูมิแก่งปลา

สำหรับการกำหนดสมมติฐานของสาเหตุและการพิสูจน์สาเหตุและผลโดยอาศัยแผนภาพการกระจาย กราฟและฮีสโตแกรม

แผนภาพก้างปลาใช้ในการวิเคราะห์ความผันแปร เพื่อศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลนั้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องดำเนินการระดมสมอง (Brainstorming) ถึงสาเหตุต่างๆของความผันแปร เพื่อการพิสูจน์ตามข้อเท็จจริงสำหรับการแก้ไขต่อไป เครื่องมือสำคัญตัวหนึ่งที่ใช้แสดงผล และใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล คือแผนภาพก้างปลา (Fish Bone Diagram) และอาจจะเรียกชื่ออื่นๆ ได้อีก อาทิ แผนภาพอิชิกาวา (Ishigawa Diagram) หรือแผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect (CE) Diagram)



ภาพที่ 9 โครงสร้างของแผนภาพก้างปลาแบบกำหนดรายการสาเหตุ

8. การถดถอยลอจิสติกส์

การวิเคราะห์การถดถอย เป็นการวิเคราะห์เชิงสถิติที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลในอดีต เพื่อหาความมีนัยสำคัญระหว่างตัวแปรต้น และตัวแปรตาม รูปแบบที่ใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ดังกล่าวจะถูกเรียกว่า รูปแบบเชิงเส้นทั่วไป (General Linear Model) หากแต่ในกรณีที่ตัวแปรตาม เป็นตัวแปรสุ่มแบบ ทวิ (binary random variable) นั่นคือ ผลของตัวแปรตามมีเพียงสำเร็จ (success) หรือ ล้มเหลว (failure) รูปแบบเชิงเส้นทั่วไปที่นิยมใช้สำหรับข้อมูลลักษณะนี้ คือ การถดถอยลอจิสติกส์ (Logistic Regression)

กำหนดให้ Y เป็นตัวแปรตาม โดย Y มีค่าที่เป็นไปได้เพียงสองค่า คือ 1 หรือ 0 และกำหนดให้ X_1, X_2, \dots, X_k เป็นตัวแปรต้น รูปแบบการถดถอยลอจิสติกส์สามารถอธิบายได้ด้วยค่าเฉลี่ยของ Y ตามสมการ

$$\pi(x) = \frac{\exp\left(\beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i\right)}{1 + \exp\left(\beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i\right)}$$

เมื่อ $\pi(X) = E(Y|X)$ ซึ่งการถดถอยลอจิสติกส์สมมติฐานว่า $\pi(X)$ มีความสัมพันธ์กับ X เป็น Logit ฟังก์ชัน ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการ

$$\frac{\pi(X)}{1 - \pi(X)} = \exp\left(\beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i\right)$$

ค่าของ $\exp(\beta_0 + \sum \beta_i X_i)$ ทางด้านขวามือของสมการ มีชื่อเรียกว่า Odds ratio ซึ่งเราสามารถแปลง (Transform) ฟังก์ชันดังกล่าวได้ดังนี้

$$\text{logit}(\pi) = \log\left(\frac{\pi(X)}{1 - \pi(X)}\right) = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i$$

สมการดังกล่าวเป็นสมการเชิงเส้นตรงในฟังก์ชันของ X ซึ่งสามารถแสดงได้ง่ายๆ ดังนี้

$$\text{logit}(\pi) = \beta X$$

การประมาณค่าพารามิเตอร์ และการวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของปัจจัยสามารถทำได้โดยวิธี Maximum Likely Hood ซึ่งมีอยู่ในโปรแกรมการคำนวณทางสถิติขั้นสูงทั่วไป จึงไม่ขอกล่าวรายละเอียดในที่นี้

การตรวจสอบรูปแบบที่เรียกว่าการตรวจสอบสารูปสนิทธิ (Goodness-of-Fit Test) ในที่นี้ จะนำเสนอวิธีการของเพียร์สัน (Pearson's method) ซึ่งมีชื่อสำหรับการวิเคราะห์การถดถอยลอจิสติกส์ว่า “เพียร์สันไคสแควร์” โดยสามารถแสดงสมการและการคำนวณได้ดังนี้

$$e_i = \frac{y_i - n_i \hat{\pi}_i}{\sqrt{[n_i \hat{\pi}_i (1 - \hat{\pi}_i)]}}$$

เมื่อ y_i แทนจำนวนครั้งของการเกิดผลสำเร็จ จากการทดลอง n_i ครั้ง และ $\hat{\pi}_i$ แทนความน่าจะเป็นของการเกิดผลสำเร็จ ที่ได้จากรูปแบบ (model) และสุดท้าย e_i คือ เศษเหลือจากสมการดังกล่าว การทดสอบเพียร์สันไคสแควร์ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\chi^2 = \sum e_i^2$$

ซึ่งหากค่า P-value ที่ได้มีค่าเข้าใกล้ 1 จะกล่าวได้ว่ารูปแบบการถดถอยมีความเหมาะสม สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตามผ่านฟังก์ชัน Logit ได้

9. การทดสอบสมมติฐานค่าสัดส่วนของประชากรสองกลุ่ม

เมื่อต้องการเปรียบเทียบค่าสัดส่วนระหว่างประชากรสองกลุ่ม ที่มีขนาดของจำนวนชุดข้อมูลมาก ($n \geq 30$) สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยการทดสอบสมมติฐานค่าสัดส่วน ซึ่งมีสมมติฐานหลักและสมมติฐานรองดังนี้

$$H_0 : p_1 = p_2$$

$$H_1 : p_1 \neq p_2$$

การทดสอบสามารถกระทำผ่านการประมาณค่าด้วยการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน (Standard Normal Distribution) ซึ่งมีสูตรการประมาณค่าดังนี้

$$Z = \frac{\hat{p}_1 - \hat{p}_2 - (p_1 - p_2)}{\sqrt{\frac{p_1(1-p_1)}{n_1} + \frac{p_2(1-p_2)}{n_2}}}$$

ซึ่งสามารถกำหนดพื้นที่แห่งการปฏิเสธ และยอมรับได้ตามค่าระดับนัยสำคัญ (Level of Significance) ที่ต้องการทดสอบ

นอกจากนี้ค่าความน่าจะเป็นของการผิดพลาดชนิดที่ 2 (Type II error) สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\beta = \Phi \left[\frac{z_{\alpha/2} \sqrt{\bar{p}\bar{q}(1/n_1 + 1/n_2) - (p_1 - p_2)}}{\sigma_{\hat{p}_1 - \hat{p}_2}} \right] - \Phi \left[\frac{-z_{\alpha/2} \sqrt{\bar{p}\bar{q}(1/n_1 + 1/n_2) - (p_1 - p_2)}}{\sigma_{\hat{p}_1 - \hat{p}_2}} \right]$$

ซึ่ง

$$\bar{p} = \frac{n_1 p_1 + n_2 p_2}{n_1 + n_2} \quad \text{และ} \quad \bar{q} = \frac{n_1(1 - p_1) + n_2(1 - p_2)}{n_1 + n_2}$$

$$\text{และ} \quad \sigma_{\hat{p}_1 - \hat{p}_2} = \sqrt{\frac{p_1(1 - p_1)}{n_1} + \frac{p_2(1 - p_2)}{n_2}}$$

ซึ่งการคำนวณขนาดของข้อมูลที่เหมาะสม เพื่อให้ได้กำลังการทดสอบที่ต้องการ สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$n = \frac{[z_{\alpha/2} \sqrt{(p_1 + p_1)(q_1 - q_2)/2} + z_{\beta} \sqrt{p_1 q_1 + p_2 q_2}]^2}{(p_1 - p_2)^2}$$

10. ทฤษฎีเกี่ยวกับเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

สมบูรณ์ ลูวีระ (2537) การวิเคราะห์หาอัตราผลตอบแทนของโครงการ สามารถนำมาใช้สำหรับการวิเคราะห์ปัญหาด้วยวิธีค่าเงินปัจจุบัน หรือวิธีจำนวนเงินเฉลี่ยเท่ากันรายปี คือ

1. วิเคราะห์หาอัตราผลตอบแทนของโครงการเพื่อประกอบการพิจารณาตัดสินใจ ดำเนินงานตามโครงการถ้าอัตราผลตอบแทนสูงกว่าอัตราแทนขั้นต่ำที่กำหนดไว้ และยกเลิกโครงการในกรณีที่อัตราผลตอบแทนที่จะได้ต่ำกว่าเป้าหมายหรืออัตราดอกเบี้ยที่กำหนดไว้

2. วิเคราะห์หาอัตราผลตอบแทนของวิธีการดำเนินงานวิธีต่างๆเพื่อนำมาเปรียบเทียบ และพิจารณาเลือกวิธีการดำเนินงาน

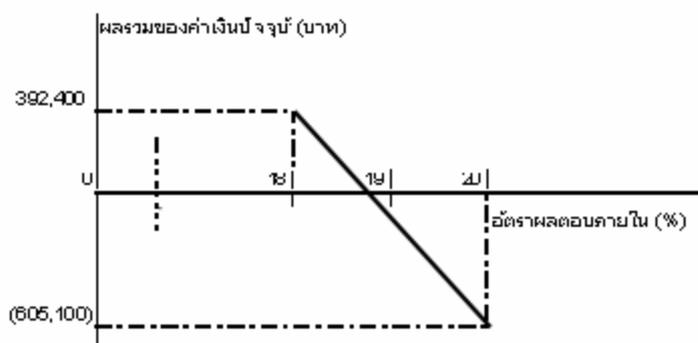
อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) = อัตราดอกเบี้ยที่ทำให้มูลค่าเงินปัจจุบันของโครงการ มีค่าเท่ากับศูนย์

$$IRR = (P_w) = 0$$

P แทนค่าเงินปัจจุบัน

F แทนค่าเงินในอนาคต

- A แทนจำนวนเงินเฉลี่ยเท่ากับรายปี
 G แทนจำนวนเงินที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงเท่ากับทุกปี
 I แทนอัตราดอกเบี้ยหรืออัตราผลตอบแทน
 N แทนจำนวนปีหรือจำนวนครั้งที่คิดดอกเบี้ย



$$\begin{aligned} \text{อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)} &= 18\% + \frac{392,400}{392,400 + 605,100} (20\% - 18\%) \\ &= 18.8\% \end{aligned}$$

ไพบูลย์ แยมเฟื่อน (2543) การวิเคราะห์ตัดสินใจทางเลือกลงทุนในโครงการต่างๆ บางครั้งจะต้องทราบว่าจำนวนผลผลิตที่จะผลิตคุ้มทุนควรเป็นเท่าใด เพื่อเป็นเครื่องช่วยในการตัดสินใจ จุดคุ้มทุน คือจุดที่รายได้เท่ากับรายรับ นั่นคือกำไรเป็นศูนย์นั่นเอง การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของต้นทุน รายได้และผลกำไรที่ปริมาณการผลิตต่างๆ

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน(ปี)} = \frac{\text{เงินลงทุนเริ่มต้น}}{\text{ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้เฉลี่ยต่อปี}}$$

$$N^* = \frac{F}{P - V}$$

เมื่อ

- N^* แทนระยะเวลาคืนทุน (ตามคาบเวลา)
 F แทนต้นทุนคงที่
 P แทนราคาขายต่อหน่วย
 V แทนต้นทุนแปรผันต่อหน่วย

11. ขั้นตอนการงานปรับปรุงคุณภาพดินโดยใช้เทคนิค Jet Grouting

ทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบและวิธีการก่อสร้าง Jet Grouting (เอกสารขออนุมัติการก่อสร้าง Jet Grouting ของบริษัทตัวอย่าง 2549) ในการปรับปรุงคุณภาพดินนั้นมีวัตถุประสงค์หลักเมื่อใช้แก้ปัญหาและพัฒนาคุณสมบัติของดินให้ดีขึ้นและสามารถรับแรงและมีคุณสมบัติด้านต่างๆ ให้ได้ตามที่ผู้ออกแบบต้องการ ที่จะนำมาประยุกต์ใช้งาน โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การแก้ปัญหาเชิงกล (Mechanical Problems)

- 1.1 เป็นการเพิ่มกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของชั้นดิน
- 1.2 ป้องกัน Deformation
- 1.3 ลดแรงดันดิน
- 1.4 เพิ่มเสถียรภาพความลาดชัน

2. การแก้ปัญหาเชิงอุทก (Hydrological Problems)

- 2.1 ป้องกันการรั่วซึม
- 2.2 ป้องกันการเกิด Soil liquefaction
- 2.3 อื่นๆ

คุณภาพดิน โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยการปรับปรุงชนิดหนึ่งเข้าไปผสมกับมวลดินเดิมทำให้คุณสมบัติของดินดีขึ้น โดยสามารถแบ่งการปรับปรุงดินโดยใช้ปูนซีเมนต์เข้ามาผสมกับมวลดินเดิม (Soil cement column) ได้เป็น 3 ระบบ ดังนี้

1. ระบบแห้ง (Dry mix method) คือการใช้เครื่องจักรฉีดปูนซีเมนต์ลงไปผสมในมวลดินและใช้ไปกวนของเครื่องจักรกวนผสมปูนซีเมนต์กับเนื้อดินให้เข้ากัน โคนปูนซีเมนต์ที่อัดฉีดเข้าไปจะทำปฏิกิริยาเคมีกับน้ำใต้ดิน ทำให้เกิดเป็น Soil Cement ที่มีคุณสมบัติของดินดีขึ้น

2. ระบบเปียกแบบแรงดันต่ำ (Low Pressure Grouting method) หรือเรียกกันว่า Deep Cement Mixing (DCM) คือการใช้น้ำปูนซีเมนต์ที่แรงดัน 5-50 Bar อัดฉีดเข้าไปผสมกับดินเดิม และใช้ไปกวนดินกับน้ำปูนซีเมนต์ให้เข้ากัน หลังจากนั้นปฏิกิริยาทางเคมีในปูนซีเมนต์จะพัฒนา กำลังขึ้น ทำให้เกิดเป็น Soil Cement Column ที่มีคุณสมบัติดีขึ้น

3. ระบบเปียกแบบแรงดันสูง (High Pressure grouting method) หรือเรียกกันว่า Jet grouting คือการใช้น้ำปูนซีเมนต์อัดฉีดด้วยแรงดันสูง 200-400 Bar ทำให้โครงสร้างดินเดิมแตกตัวออกจากกันและในขณะเดียวกันน้ำปูนซีเมนต์จะเข้าไปรวมตัวกับเนื้อดินที่แตกตัวแล้วและปฏิกิริยาทางเคมีในปูนซีเมนต์ จะพัฒนากำลังของดินเดิมขึ้นมาใหม่ให้ได้คุณสมบัติของดินที่ดีขึ้นเครื่องจักรที่ใช้ในการก่อสร้าง Jet grouting ดูรายละเอียดที่ได้ในภาพที่ 6 และรายละเอียดของขบวนการผลิตของ Jet grouting ได้ในภาพที่ 7

1. การเจาะสำรวจชั้นดินบริเวณก่อสร้างเพื่อหาค่าคุณสมบัติด้านต่างๆเพื่อนำมาพิจารณาในการออกแบบ

2. ทำการออกแบบ Soil Cement Column โดยใช้เทคนิค Jet grouting

3. ทำการนำเสนอวิธีการก่อสร้างและค่าพารามิเตอร์ที่จะใช้ในการก่อสร้างและทำแปลงทดสอบเพื่อขออนุมัติในการใช้งานจากผู้ออกแบบก่อนเริ่มงานจริง โดยในการเตรียมเสาเข็มทดสอบจะต้องพิจารณาออกแบบพารามิเตอร์ของเสาเข็มทดสอบให้ได้ตามข้อกำหนดของการออกแบบของผู้ออกแบบ มีรายละเอียดดังนี้

1. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ Jet grouting ต้องได้ไม่น้อยกว่าที่ผู้ออกแบบกำหนดสามารถตรวจสอบได้โดยการทำ Pull-out หรือ Coring

2. ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ต้องไม่น้อยกว่าที่ผู้ออกแบบกำหนด สามารถตรวจสอบได้จาก Mix design และในขั้นตอนการทำงานจะเก็บข้อมูลจริงจากเครื่อง Data record ของการก่อสร้างเสาเข็ม Jet grouting ทุกต้น

3. กำลังรับน้ำหนักของกำลังรับแรงเฉือนของ Soil cement column ที่ก่อสร้างโดยใช้ Jet grouting technic สามารถตรวจสอบโดยวิธี Coring และนำแท่งตัวอย่างไปทดสอบหาค่า Unconfined Compressive Strage ในห้อง Lab

4. ในส่วนที่เป็นโครงสร้างที่บ้น้ำ เช่น Cut-off wall ของแกนเขื่อน หรือโครงสร้างที่บ้น้ำชนิดอื่นๆ ต้องทำการทดสอบการรั่วซึมด้วย

5. ทำการทดสอบการรับน้ำหนักและค่าการทรุดตัว โดยใช้การทดสอบ Static load test

12. ความสามารถในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2550) ในการประเมินผลระบบการวัด มีประเด็นสำคัญที่ต้องพิจารณา 3 ประการด้วยกัน คือความไว (sensitivity) ความเสถียร (stability) และความสม่ำเสมอ (consistent) โดยคุณสมบัติความไวนี้ จะหมายถึงความสามารถในการแยกความแตกต่าง (discrimination) ของระบบการวัดโดยอาศัยกฎเกณฑ์ “10 ต่อ 1” และสามารถทนสอบผ่านค่าพิสัยในพิสัยควบคุมของแผนภูมิควบคุม R จำนวนมากกว่า 4 ค่ามิฉะนั้นแล้วจะถือว่าระบบการวัดดังกล่าวขาดคุณสมบัติด้านความสามารถในการแยกความแตกต่าง นอกจากนี้แล้ว ระบบการวัดจะต้องมีคุณสมบัติด้านความไวในการตรวจจับความผันแปรของผลิตภัณฑ์ที่ได้ จากกระบวนการผลิต โดยในกรณีนี้จะพิจารณาได้เบื้องต้นจากความแตกต่างของค่า \bar{X} ในแผนภูมิควบคุม \bar{X} และอาจจะวิเคราะห์เชิงปริมาณผ่านสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้น (r) กับอัตราส่วนซิกเนลทูนอยส์เรโซ (S/N) ในเทอมของอัตราจำแนกประเภท (classification ratio) หรือ ตัวเลขแสดงประเภทของข้อมูลที่แตกต่างกัน (number of distinct categories, ndc) ซึ่งโดยทั่วไปแนะนำให้ใช้ตัวเลข ndc ไม่ต่ำกว่า 5 สำหรับการวิเคราะห์ความผันแปรเพื่อการควบคุมผลิตภัณฑ์และ

กระบวนการ ถ้าหากพิจารณาถึงอัตราส่วนของความยาวของแกนยาวต่อความยาวของแกนสั้นของรูปวงรีแล้ว จะนิยามได้ว่าหมายถึงตัวเลขแสดงประเภทข้อมูลที่แตกต่างกัน (ndc) ที่สามารถใช้กำหนดมิติของผลิตภัณฑ์ภายใต้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ของระบบการวัด และอาจเรียกอัตราส่วนนี้ว่า (classification ratio) ตัวเลขแสดงประเภทข้อมูลที่แตกต่างกัน (ndc) หรืออัตราส่วนจำแนกประเภทของข้อมูลนี้ จะมีความสัมพันธ์กับซิกแนลทูนอยส์เรโซ คือ

$$ndc = \sqrt{\frac{2\delta_p}{\delta_{GRSR}}} = \sqrt{\frac{2r}{1-r}}$$

โดยทั่วไปแล้วสามารถพิจารณาถึงความผันแปรของผลิตภัณฑ์ขึ้นต่อชิ้นได้จากแผนภูมิควบคุม Xbar โดยที่พิสัยควบคุมของแผนภูมิควบคุมจะพิจารณาจากค่ารีโพรดิวซิบิลิตี้ ดังนั้นถ้าจุดทุกจุดอยู่ในพิสัยควบคุมจะแสดงว่าความคลาดเคลื่อนจากการวัดจะมีค่ามากกว่าความผันแปรระหว่างผลิตภัณฑ์ขึ้นต่อชิ้น ทำให้ไม่สามารถนำข้อมูลจากระบบการวัดนี้ไปประเมินถึงความผันแปรจากกระบวนการได้ แต่ในทางกลับกัน ถ้าหากมีจุดออกนอกพิสัยควบคุมของแผนภูมิควบคุม Xbar แล้ว แสดงว่าจุดดังกล่าวซึ่งแสดงถึงค่าประมาณค่าแท้จริงของชิ้นงานดังกล่าวมีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญจากค่าเฉลี่ยโดยรวมของกระบวนการได้ โดยการพิจารณาค่าความไวของระบบการวัดจากแผนภูมิควบคุม เช่นในกรณีนี้จะถือเป็นการตัดสินใจเชิงอัตวิสัย

ในกรณีที่ผู้วิเคราะห์ต้องการตัดสินใจเชิงภาวะวิสัยนั้น มีความจำเป็นต้องพิจารณาค่าความผันแปรของสิ่งตัวอย่างทดลอง (Part – to – part variation; σ_p) เทียบกับความผันแปรจากระบบการวัด ($\sigma_{GR\&R}$) โดยจะเรียกอัตราส่วนนี้ว่า ซิกแนลทูนอยส์เรโซ (signal – to-noise ratio ; S/N)

$$\text{กล่าวคือ S/N} = \frac{\delta_p}{\delta_{GRSR}}$$

$$\text{โดย} \quad (\delta_p^2) = \frac{R(x)}{d_2}$$

$$\text{และ} \quad \delta_{GRSR} = \sqrt{\delta^2 EV + \delta^2 AV}$$

ค่าซิกแนลทูนอยส์เรโซนี้จะป็นฟังก์ชันแปลงค่า (Transformation function) ของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้น (Intraclass correlation coefficient) ซึ่งสามารถนิยามได้ว่า

$$\text{สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้น (r)} = \frac{\text{ความสัมพันธ์แปรของสิ่งตัวอย่าง (\delta^2_p)}}{\text{ความผันแปรของข้อมูลวัด (\delta^2_{TV})}}$$

$$\text{โดย} \quad \delta_{TV} = \sqrt{\delta^2_{GRSR} + (\delta^2_p)}$$

ค่าของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้น (r) นี้ จะใช้วัดถึงความเข้าใจใกล้เคียงกัน 45 องศา

ของจุดที่แสดงถึงกลุ่มข้อมูลในการวัดซ้ำ โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์ยังมีค่าสูง ยิ่งกว่ามีการเกาะกลุ่มกันแน่นขึ้น (tighter clusters)

13. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปณิธร เจียรธรวานิช และ คณะ (2549) ได้ใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพเพื่อลดของเสียในสายงานผลิตวอยซ์คอยล์ โดยงานวิจัยเริ่มต้นจากการสัมภาษณ์พนักงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตและกลุ่มบริหารงานกลุ่มย่อยต่างๆ เพื่อทำการเก็บข้อมูล สาเหตุที่ทำให้เกิดของเสีย จากเดือนมกราคมถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2547 จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้แผนภูมิสาเหตุและผลกระทบเป็นส่วนใหญ่ เพื่อเสนอแนวทางในการแก้ปัญหาการทำงานโดยใช้ทฤษฎีการออกแบบการทดลองเพื่อหาเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสม ให้กับกลุ่มบริหารงานคุณภาพกลุ่มย่อยต่างๆ ทั้ง 9 กลุ่ม จากนั้นวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ของผลการดำเนินงานตั้งแต่เดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม 2547 โดยใช้อัตราผลตอบแทนภายในและระยะเวลาคืนทุน

ผลงานวิจัยแสดงว่าโรงงานสามารถลดของเสีย ได้ตามเป้าหมายและมีอัตราผลตอบแทนภายในเฉลี่ยของโครงการเท่ากับ 4.68% ต่อเดือน และระยะเวลาการคืนทุน 3.48 เดือน นอกจากนี้การผสมผสานทฤษฎีเครื่องมือคุณภาพ การออกแบบการทดลอง และเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม สามารถทำให้ผู้บริหารตัดสินใจลงทุนเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างถูกต้อง

เชิดศักดิ์ อนุทัต (2545) วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอแนวทางการปรับปรุงระบบควบคุมคุณภาพการผลิตของโรงงานเบเกอร์รี่ โดยเริ่มจากการเข้าไปศึกษาระบบการผลิตและระบบควบคุมคุณภาพการผลิตของโรงงานตัวอย่างและพบว่าการปฏิบัติงานส่วนใหญ่ยังขาดระบบควบคุมคุณภาพที่เหมาะสมและตัวชี้วัดในการตัดสินใจ ส่งผลให้เกิดของเสียซึ่งจากวัดผลกระบวนการในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์ของเสียพบว่าเปอร์เซ็นต์ของเสียอยู่ที่ 5.21%

การปรับปรุงระบบควบคุมคุณภาพการผลิตนี้ ได้เริ่มจากการจัดตั้งทีมโครงการแบบข้ามสายงานทำการระดมสมองกำหนดปัจจัยการผลิต วิเคราะห์ปัจจัยการผลิตเพื่อกำหนดวิธีการควบคุมของระบบควบคุมคุณภาพ ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ การควบคุมกระบวนการ มีกิจกรรมในการควบคุมคุณภาพการผลิต 9 กิจกรรมดังนี้ การเบิกจ่ายส่วนผสมวัตถุดิบ การจัดลำดับการใส่ส่วนผสมวัตถุดิบ การกำหนดความเร็วและระยะเวลาในการตีผสม การบันทึกความหนาแน่นของเนื้อเบทเทอร์ การกำหนดค่าความหนาแน่นของเนื้อเบทเทอร์การเฝ้าพินิจน้ำหนักเนื้อเบทเทอร์ต่อแพ็ค การวัดค่าอุณหภูมิเตาล้าง การเฝ้าพินิจอุณหภูมิและความเร็วสายพาน ส่วนการควบคุมการดำเนินงานมีกิจกรรมในการควบคุมคุณภาพการผลิต 3 กิจกรรมดังนี้ จัดทำคู่มือการปฏิบัติงาน จัดทำคู่มือการใช้งานเตาอุโมงค์ จัดทำแผนการตรวจสอบผลิตภัณฑ์และสุดท้ายส่วนกิจกรรมอื่นๆ ในการควบคุมคุณภาพการผลิต 7 กิจกรรมดังนี้ การตรวจสอบเครื่องจักรก่อนปฏิบัติงาน แผนการบำรุงเครื่องจักร การระบุดาดและหม้อที่ตีผสม การเฝ้าพินิจน้ำหนักแพ็คหลังอบ คุณลักษณะผลิตภัณฑ์ การจัดเก็บข้อมูลการผลิต การประมวลผลข้อมูลการผลิตรวมทั้งสิ้น 19 กิจกรรม

หลังจากที่ได้ปรับปรุงและดำเนินการใช้ระบบควบคุมการผลิตแล้วนั้น รวมทั้งได้ทำการสร้างโปรแกรมวิเคราะห์ผลการผลิต Waste 1.0 ขึ้นมาใช้คู่กับระบบเอกสารของระบบควบคุมคุณภาพที่ปรับปรุงขึ้น พบว่ามีปริมาณของเสีย 420 แพ็ค จากการผลิตทั้งสิ้น 28,424 แพ็ค คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของเสียอยู่ที่ 1.48 %

ธีระพงษ์ กังเสนารักษ์ (2539) การพัฒนาระบบควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์เป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งสำหรับผู้ผลิตควรที่จะให้ความสนใจ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของผู้ใช้เช่นรางสายไฟฟ้าและตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าวิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบควบคุมคุณภาพในสายการผลิตรางสายไฟฟ้า และตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าที่เหมาะสมกับโรงงาน ตัวอย่าง จากการสำรวจสภาพทั่วไปของโรงงานตัวอย่างพบว่าทางโรงงานยังไม่มีข้อกำหนดทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์ วิธีการปฏิบัติงานและเอกสารต่างๆทางด้านคุณภาพซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของระบบควบคุมคุณภาพ

โดยในการพัฒนาระบบควบคุมคุณภาพได้นำเทคนิคการควบคุมคุณภาพมาใช้ ได้แก่ ไบตรตรวจสอบแผนภูมิแสดงเหตุและผล วิธีการทางสถิติและการศึกษาสมรรถภาพกระบวนการผลิตมาใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบ วิเคราะห์และประเมินผล เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาทางด้านคุณภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอระบบควบคุมคุณภาพสำหรับสายการผลิตรางสายไฟฟ้าและตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า โดยมีแนวทางการพัฒนาดังนี้

1. การจัดผังองค์กรด้านควบคุมคุณภาพ
2. การจัดระบบเอกสารที่ใช้ทางด้านควบคุมคุณภาพ

3. การกำหนดมาตรฐานการควบคุมคุณภาพของรางสายไฟฟ้า และผู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ตั้งแต่การตรวจสอบคุณภาพของวัตถุดิบ การควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิตและการตรวจสอบผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป

การออกแบบและควบคุมคุณภาพเสาเข็มดิน-ซีเมนต์ ในงานก่อสร้างของท่าเทียบเรือขนถ่ายอุปกรณ์หนักของ กฟผ. ที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยคณะกรรมการสาขาวิศวกรรมปฐพี คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์

ขบวนการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพงานที่นำมาใช้ ช่วยให้มั่นใจได้มากขึ้นว่าจะสามารถผลิตเสาเข็มที่เนื้อวัสดุดิน-ซีเมนต์ ส่วนใหญ่มีกำลังอัดสูงกว่าเกณฑ์ได้เสาเข็มที่มีขนาดไม่คลาดเคลื่อนไปมาก โดยเฉพาะไม่เล็กไปกว่าขนาดที่ออกแบบไว้และเสาเข็มที่ได้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดได้ไม่น้อยกว่า 2 เท่าของน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยที่ต้องการ(สมชัย กกกำแหง, วิบูลย์ พงศ์เทพูปถัมภ์ และ ทศพร เนตยานุวัฒน์ : 2542)

การประยุกต์ใช้ Jet Grouting เป็นเชื่อมกันดินริมแม่น้ำการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 7 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 17-18 พฤษภาคม 2544 (สราวุธ จริตงาม และยุทธ จันทรสิงห์ 2544 : GTE-1 ถึง GTE-7)

วิธีการควบคุมคุณภาพ แนวความคิดด้านการควบคุมคุณภาพงานปรับปรุงดินด้วย Jet Grout ที่ก่อสร้างโครงการฯ แบ่งเป็น 2 กรณี คือ

1. Diameter Control เพื่อการควบคุมขนาดและรูปร่าง Jet Grout Pile โดยการ Coring เป็นหลัก
2. Strength Control โดยจะทำการทดสอบ Unconfined Compressive Strength ของตัวอย่าง Jet Grout Pile ที่ได้จากการ Coring โดยตัวอย่างที่ทำการทดสอบต้องมีความยาว 2 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง โดยทั่วไปประมาณ 45 mm.

ธนู หาญพิพัฒน์พานิชย์ และคณะ (2542) ได้เสนอประสบการณ์งาน Jet Grouting ในโครงการชลประทาน Jet Grout เป็นวิธีการปรับปรุงฐานรากวิธีหนึ่งที่ได้มีการนำมาใช้ในการเพิ่มความมั่นคงแข็งแรงของดินฐานราก ลดการทรุดตัวและลดค่าการรั่วซึมของชั้นดิน ทั้งนี้บางครั้งสามารถดำเนินการในชั้นหินผุได้ด้วย โดยเฉพาะในกรณีของการใช้ Jet Grout เพื่อสร้างกำแพงกั้นน้ำในชั้นดินหรือชั้นหินผุ ด้วยวิธีการเพิ่มตัวประสานเพื่อลดจำนวนช่องว่างในดินหรือหินผุ ตัวอย่างลักษณะการใช้งานด้านนี้ ได้แก่ เขื่อน Pergau Dam ในประเทศมาเลเซีย ซึ่งใช้ Jet Grout ในการสร้าง Cutoff ในหินผุของหิน Granite และได้มีการใช้ Jet Grout เพื่อสร้าง Cutoff ในชั้นตะกอนกรวดทรายลำน้ำ สำหรับ Cofferdams ของเขื่อน Ertam ในประเทศจีน(SEMBENELLI, 1999)

บทที่ 3 วิธีดำเนินวิจัย

การวิจัยเรื่อง เทคนิคการจัดการงานวิศวกรรม เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของงานก่อสร้างโดยวิธีเจ็ทเกราท์ติ่ง กรณีศึกษาดินเหนียวแข็งปานกลาง ซึ่งแบ่งการศึกษาออกเป็น 5 ส่วน ดังนี้

1. ประชากรที่ใช้ในงานวิจัย

ประชากรในงานวิจัยนี้ คือ งานก่อสร้างปรับปรุงฐานรากเขื่อน โครงการอ่างเก็บน้ำคลองบางเหนียวตำอำเภอดกลาง จังหวัดภูเก็ต ใช้ระยะเวลาในการก่อสร้าง 12 เดือน (เฉพาะงานในส่วนงานก่อสร้างกำแพงที่บ้น้ำ)

2. กลุ่มตัวอย่าง

- 1.งานก่อสร้างปรับปรุงฐานรากเขื่อนของโครงการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำ คลองบางเหนียวตำ จำนวน 110 ต้น เก็บข้อมูลร้อยละร้อย (ภาคผนวก ก)
- 2.เจ้าของโครงการ
- 3.ผู้ปฏิบัติงาน

3. ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย และการเก็บรวบรวมข้อมูล

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary data)
 - 1.1 คุณสมบัติของสารละลายที่มีผลต่อคุณภาพของเจ็ทเกราท์ติ่ง ซึ่งเก็บตัวอย่างจากจำนวนหลุมเจาะทดสอบที่ทำการก่อสร้างร้อยละร้อย
 - 1.2 ประเภทของเสียของเจ็ทเกราท์ติ่ง (Jet Grouting)
 - 1.3 แบบสัมภาษณ์ความพึงพอใจของลูกค้ำ
2. ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary data)
 - 2.1 มาตรฐานการตรวจสอบคุณภาพของเจ็ทเกราท์ติ่ง (Jet Grouting)

4. เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

ผู้วิจัยสร้างเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยออกเป็นส่วนใหญ่ส่วนโดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ชุดเครื่องมือทดสอบคุณภาพ

1.1 ชุดเครื่องทดสอบ ค่าความหนาแน่นของสารละลายยี่ห้อ NL BAVOID

ผลิตที่ HOUSTION TEXAS MADE IN U.S.A โดยสามารถวัดค่าความถ่วงจำเพาะได้ตั้งแต่ 1.00-2.80 g/ml

1.2 ชุดเครื่องทดสอบการเจาะเก็บตัวอย่างแท่ง Jet Grouted Pile ดำเนินการโดยใช้เครื่องเจาะแบบหมุน (Rotary Drilling Rig) และใช้กระบอกเก็บตัวอย่างแบบ Tripple Tube Core Barrel โดยใช้หัวเจาะแบบ Surface Set Diamond Bit แบบ Multistep Crown Profile ขนาดของหัวเพชร 40 / 60 SPC และมีช่องทางของน้ำหล่อเย็น 4 ช่องทางการเจาะเก็บตัวอย่างจะใช้น้ำจืดเป็นสารหล่อเย็น โดยมีการควบคุมปริมาณความดันให้ให้เหมาะสมตลอดเวลา โดยทั่วไปในการเจาะเก็บตัวอย่างจะมีตัวอย่างบางส่วนแตกเป็นชิ้นเล็ก ๆ หายไปในการเจาะแต่ละช่วง ปริมาณตัวอย่างที่ทำการเก็บได้ในแต่ละช่วงการเจาะ (Core Run) เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ เรียกว่า Core Recovery จากข้อจำกัดดังกล่าวจึงอาจประเมินได้ว่า ตัวอย่างช่วงที่มีค่า Core Recovery สูง ควรจะมีแนวโน้มของลักษณะตัวอย่างที่แข็งหรือมีการจับตัวกันดีกว่าช่วงที่มีค่า Core Recovery ต่ำ นอกจากนี้ยังแสดงถึงความต่อเนื่องของวัสดุที่ทำการเจาะได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามการประเมินคุณภาพของตัวอย่าง JGP ที่ถูกต้องจะต้องมีการทดสอบอื่น ๆ ประกอบด้วย เช่น ผลทดสอบ Unconfined Compression Test เป็นต้น

1.2.1 การทดสอบแรงอัดแกนเดียว(Unconfined Compression Test)เป็นการหาความต้านทานแรงเฉือน โดยวิธีทดสอบแรงอัดแกนเดียวเป็นแบบหนึ่งของวิธีทดสอบแรงอัดสามแกนโดยไม่มีความดันที่กระทำต่อผิวตัวอย่างผสม (Confining Pressur) ดังนั้นความต้านทานแรงเฉือนของ ตัวอย่าง Coring ผสมจะเกิดเนื่องจากหน่วยแรงในแกนตั้ง (Axial Stress) เท่านั้น

วิธีทดสอบตัวอย่าง Coring โดยไม่มีความดันกระทำต่อผิวตัวอย่างผสมดังกล่าว ทำให้สภาพของ ตัวอย่าง Coring ไม่เหมือนกับสภาพความจริงตามธรรมชาติ ดังนั้นผลการทดสอบความต้านทานแรงเฉือนของตัวอย่าง Coring จึงเป็นเพียงค่าประมาณเท่านั้น อย่างไรก็ตามวิธีทดสอบแรงอัดแกนเดียวก็เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เพราะสามารถปฏิบัติการได้รวดเร็วและประหยัด ค่าความต้านทานแรงเฉือนตัวอย่าง Coring จึงขึ้นอยู่กับสภาพและปริมาณน้ำในตัวอย่าง Coring หน่วยแรงเหนี่ยวนำของ Coring ที่ได้จากการทดสอบแรงอัดแกนเดียวจะมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของหน่วยแรงอัดแกนเดียวในแท่งตัวอย่าง Coring สภาพที่อิ่มตัวและไม่มีการไหลออกจาก

ตัวอย่างผสมขณะเฉือน (Undrained) ดังนั้นมุมเสียดทานภายในของตัวอย่าง Coring จะมีค่าเท่ากับ ศูนย์

$$C = Su = qu / 2$$

เมื่อ C = หน่วยแรงเหนี่ยวนำ (Cohesion)

qu = หน่วยแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength)

หน่วยแรงเหนี่ยวนำที่ได้นี้ จะมีค่าเท่ากับความต้านทานแรงเฉือนในสภาพที่ไม่มีน้ำไหลออกจากตัวอย่าง Coring (Undrained Shear Strength, S_{uc}) การทดสอบอาศัยมาตรฐานการทดสอบ ASM D 2166-85

1.3 การทดสอบโดยตอกทะลวงมาตรฐาน (Standard Penetration Test, SPT) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบแบบทะลวงมาตรฐาน(SPT)ประกอบด้วย

1.3.1 กระทบค้อน (Split Barrel-Spoon) มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน (ϕ ID) 1 3/8" (1½") และเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก (ϕ OD) 2" ความยาวกระทบค้อน 18 นิ้ว

1.3.2 ค้อนน้ำหนัก 140 ปอนด์ หรือ 63.5 กก. ระยะตกของค้อนน้ำหนัก 30" หรือ 76 ซม.

การทดสอบ จะทำการตอกกระทบค้อนลงในชั้นดินที่จะทำการทดสอบ โดยอ่านค่าจำนวนครั้งในการตอก (Blow Count, N) ที่กระทบค้อนจมลงในดิน ซึ่งเป็นค่าจำนวนนับครั้งที่ลูกค้อนตอกกระทบค้อนมาตรฐานจมลงในชั้นดิน ช่วง 30 ซม. สุดท้ายโดยช่วงระยะแรกของการตอก 0-15 ซม. จะไม่นับค่าจำนวนตอก โดยปกติจะแบ่งช่วงการนับเป็นสามช่วง ช่วงละ 15 ซม. ค่าจำนวนครั้งในการตอกจะนับสองช่วงสุดท้าย มีหน่วยเป็นจำนวนตอก/ฟุต (Blows/ft.) หรือจำนวนตอก/30 ซม. โดยปกติจะทำการตอกทดสอบทุกๆ ระยะความลึก 1.5 ม. วิธีการนี้จะใช้ได้ดีในดินทรายและในดินเหนียวแข็ง ซึ่งค่าจำนวนตอก (N) จะนำไปประเมินหาค่ามุมเสียดทานภายในของดิน (ϕ) ส่วนในดินเหนียวสามารถประเมินกำลังอัดแบบไม่ระบายน้ำหรือกำลังอัดแกนเดียว ข้อจำกัดของวิธีการนี้คือไม่สามารถใช้ได้กับ กรวด และดินเหนียวอ่อน ตัวอย่างที่ได้มากับกระทบค้อนจะเป็นตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของชั้นที่ทำการทดสอบ แต่เป็นตัวอย่างแบบปราศภาพซึ่งเหมาะจะใช้ในการทดสอบสมบัติทางกายภาพเพื่อการจัดจำแนกประของดิน

1.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่วิธีทดสอบในสนามเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Coefficient of Permeability , k) โดยใช้วิธี Open borehole test ในสนามแบบ Constant Head โดยได้ทำการทดสอบที่ระดับทุกช่วงความลึกของหลุมเจาะทดสอบ ค่าสัมประสิทธิ์ ความ

ซึมผ่านที่ได้มีค่าไม่น้อยกว่า 1.55×10^{-5} ซม./วินาที ถึงจะผ่านข้อกำหนดทดสอบการรั่วซึม (Permeability Test)

1.4.1 การทดสอบอัตราการรั่วซึมของน้ำในชั้นดิน (Permeability Test) กระทำได้ถึง 3 วิธี

ก) การทดสอบอัตราการรั่วซึมของน้ำในชั้นดิน โดยวิธี Open-End Test

การทดสอบอัตราการรั่วซึมของน้ำในชั้นดินโดยวิธี Open-End Test จะกระทำทุก ๆ ความลึก 1 เมตร นานครั้งละ 10 นาที ตามมาตรฐานของ USBR Earth Manual Designation E-18 และสามารถคำนวณอัตราการรั่วซึมของน้ำในชั้นดินได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$K = \frac{Q}{5.5 R H_c}$$

เมื่อ K = ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ของน้ำ (ซม./วินาที)
 Q = อัตราการไหลของน้ำที่หายไปนในหลุมเจาะ (ลบ. ซม./วินาที)
 R = รัศมีภายในของท่อกรู (ซม.)
 H_c = Differential Head of Water (ซม.)

ข) การทดสอบอัตราการรั่วซึมของน้ำแบบ Length Test

การทดสอบวิธีนี้เป็นการประเมินค่าการรั่วซึมของน้ำผ่านชั้นดินและหินฐานราก พัฒนาขึ้นโดย Hock E & Bray J.W. (1981) โดยอาศัยหลักการกรอกน้ำลงในหลุมเจาะด้วยอัตราไหลที่คงที่ และให้ระดับน้ำคงที่อยู่ ณ จุดใดจุดหนึ่ง วิธีการทดสอบแบบ Constant Head นี้จะใช้ได้ดีสำหรับดินที่เป็นชนิดเดียวกันตลอด (Isotropic Soil) การคำนวณหาอัตราการรั่วซึมของน้ำสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$K = \frac{Q}{F \cdot H_c}$$

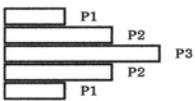
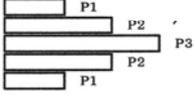
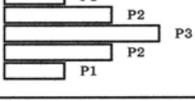
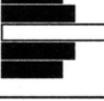
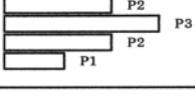
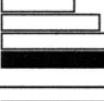
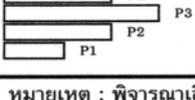
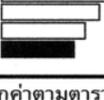
$$F = \frac{2 \pi L}{\ln \left(\frac{L}{R} \right)} \quad \text{เมื่อ } L > 10R$$

เมื่อ	K	=	ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ของน้ำ (ชม./วินาที)
	Q	=	อัตราการไหลของน้ำที่หายไปในหลุม(ลบ.ชม./วินาที)
	F	=	Shape Factor (ชม.)
	H _c	=	Differential Head of Water (ชม.)
	L	=	ระยะความยาวทดสอบ (ชม.)
	R	=	รัศมีภายในของหลุมเจาะ (ชม.)

ค) การทดสอบอัตราการรั่วซึมของน้ำในชั้นหิน

ในการเจาะสำรวจในชั้นหินได้ดำเนินการทดสอบหาอัตราการรั่วซึมของน้ำผ่านชั้นหิน โดยวิธี Lugeon Test ตามหลักการของ A.C. HOULSBY (1976) ทุกๆ ช่วงความลึก 3 เมตร โดยการอัดน้ำลงไปหลุมเจาะด้วยความดันต่าง ๆ กัน 3 ค่า และทำการทดสอบ 5 ครั้ง นานครั้งละ 10 นาที โดยมีความดันที่ทดสอบดังนี้ 0.4P, 0.7P, 1.0P, 0.7P และ 0.4P ตามลำดับ โดย P คือ ความดันสูงสุดที่ใช้ทดสอบในช่วงนั้น ๆ ซึ่ง P จะพิจารณาจากระดับความลึกของหลุมเจาะที่เพิ่มขึ้นทุก ๆ 1 เมตร ความดันจะเพิ่มขึ้น 0.23 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร(1 ฟุต ต่อ 1 PSI) โดยพิจารณาเลือกใช้ค่า Lugeon จากรูปแบบการไหลของน้ำตามที่ A.C. HOULSBY (1976) เสนอด้งแสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การพิจารณาเลือกใช้ค่า Lugeon จากรูปแบบการไหลของน้ำ

TEST PRESSURE	LUGEON VALUES FOR EACH TEST	TYPE OF FLOW AND INTERPRETATION OF RESULTS
		Laminar Flow - all lugeon values are about equal. Use the average of the five values.
		Turbulent Flow - lugeon values decrease as pressure increases. Use the lugeon value for the highest pressure. Flow is rarely completely turbulent.
		Dilation - cause by fissures opening in the rock at high pressure. This is regarded as a temporary feature and not a normal property at typical groundwater pressure. Hence, use the average of the two
		Wash-Out - joint filling materials are washed out by water flow. It is presumed that washout is a permanent feature of the rock. Use the final (highest) value. This may also indicate test pressure
		Void-Filling - this is usually caused by water filling voids in a partially saturated rock. The final lugeon value is taken or, preferably, an extended test is carried out to ensure saturation.

หมายเหตุ : พิจารณาเลือกค่าตามตารางของ A.C. Houlbly (1976)

กรณีที่ไม่สามารถทดสอบ Lugeon ได้จะใช้วิธีการทดสอบแบบ Constant Head แทน ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การรั่วซึมของน้ำที่ได้จากการทดสอบวิธีดังกล่าว สามารถนำไปเทียบเคียงหาค่า Lugeon ได้โดย 1 Lugeon มีค่าเท่ากับ 10^{-5} ซม./วินาที ตามตารางที่ 4

การคำนวณหาค่าการรั่วซึมมีหน่วยเป็น Lugeon โดยนิยามของค่า 1 Lugeon คือ ปริมาณ ความรั่วซึมของน้ำในหลุมเจาะ ด้วยอัตราไหล 1 ลิตร ต่อ เวลา 1 นาที ในช่วงความลึกของหลุม เจาะ 1 เมตร ภายใต้อัตราความดันน้ำ 10 กก./ตร.ซม. เขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$Lu = \frac{10Q}{PL}$$

เมื่อ	Lu	=	อัตราการรั่วซึมของน้ำในหิน (Lugeon)
	Q	=	ปริมาณน้ำที่หายไป (ลิตร/นาที)
	L	=	ความยาวช่วงทดสอบ (เมตร)
	P	=	ความดันรวมที่ใช้ทดสอบ (กก./ตร.ซม.)

เมื่อได้ค่าอัตราการรั่วซึมของน้ำผ่านดิน-หินฐานรากแล้ว สามารถนำมาเปรียบเทียบกับ คุณสมบัติของชั้นหินฐานรากเกี่ยวกับการยอมให้น้ำไหลผ่านได้ ดัง ตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการรั่วซึมของน้ำกับสัมประสิทธิ์ความซึมได้ของน้ำ

Degree of Permeability (K)	Permeability	
	cm/sec	Lugeon
1	$< 10^{-5}$	< 1
2	$10^{-5} - 5 \times 10^{-5}$	1 - 5
3	$5 \times 10^{-5} - 10^{-4}$	5 - 10
4	$10^{-4} - 5 \times 10^{-4}$	10 - 50
5	$> 5 \times 10^{-4}$	> 50

1.5 ใบทตรวจสอบคุณภาพเป็นแบบฟอร์มมาตรฐานของบริษัทตัวอย่างใช้เก็บข้อมูล การก่อสร้าง เจ็ตเกราะที่ตึ้ง ดูรายละเอียด ในภาคผนวก ก

1.5.1 โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ Minitab R 14

1.5.2 แบบสัมภาษณ์ความพึงพอใจของผู้ปฏิบัติงานซึ่งแบ่งออกเป็น 4

ตอน (ภาคผนวก ข)

- ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป
- ตอนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับคุณภาพของงานก่อสร้างของกำแพงที่บ้น้ำโดยวิธีเจ็ทเกรทติ้ง
- ตอนที่ 3 ข้อมูลเกี่ยวกับความพึงพอใจในคุณภาพของงานก่อสร้างและบริการของบริษัท
- ตอนที่ 4 ข้อเสนอแนะและความคิดเห็นเพิ่มเติม
- ซึ่งแบบสัมภาษณ์จะมีการเก็บข้อมูลต่อกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มดังนี้
1. เจ้าของโครงการ
 2. พนักงานในโครงการก่อสร้างเพื่อนตัวอย่าง

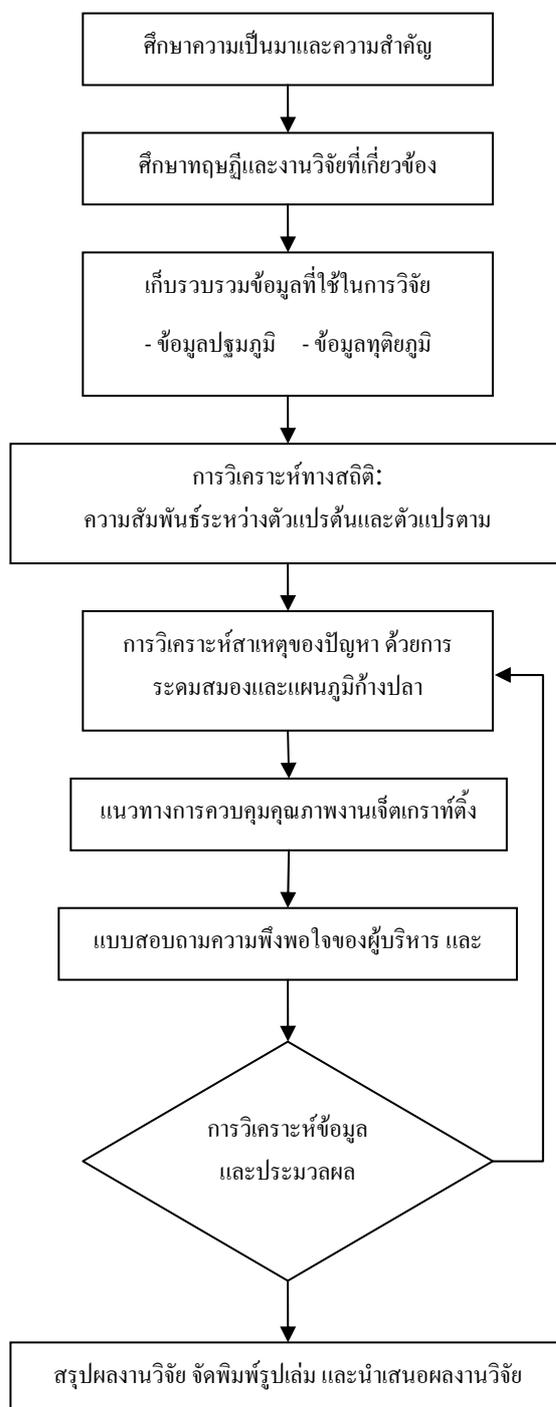
5. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ใช้แบบสอบถามในการสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่าง และเก็บผลการทดลองจากชุดทดสอบการวิจัย ระยะเวลาในการเก็บรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ผล แล้วสรุปวิธีการแก้ปัญหาตั้งแต่เดือนกันยายน.พ.ศ.2549 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ.2551

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การวิเคราะห์ทางสถิติใช้โปรแกรม MINITAB R14
 - 1.1 การทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อความที่บ้น้ำของเขื่อน คือคุณสมบัติของน้ำผสมซีเมนต์ โครงสร้างของชั้นดิน ผู้ควบคุมเครื่องจักร และผู้ควบคุมงาน
 - 1.2 การทดสอบสมมติฐานค่าสัดส่วนของประชากรสองกลุ่มระหว่างก่อนการปรับปรุง และหลังการปรับปรุง
2. การวิเคราะห์แบบสอบถามใช้โปรแกรม MINITAB R14
3. การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์
 - 3.1 หาอัตราผลตอบแทนภายใต้การเปรียบเทียบระหว่างก่อนปรับปรุงและหลังทำการปรับปรุงกระบวนการผลิต
 - 3.2 หาระยะเวลาการคืนทุนโดยเปรียบเทียบระหว่างก่อนปรับปรุงและหลังทำการปรับปรุงกระบวนการผลิต
4. วิเคราะห์ถึงความพึงพอใจในการปฏิบัติงานของพนักงานภายหลังการปรับปรุงจากการส่งแบบสอบถามใช้โปรแกรม MINITAB R14
5. แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้เกี่ยวข้องใช้โปรแกรม MINITAB R14

7. ขั้นตอนในการการวิจัย



ภาพที่ 10 ขั้นตอนในการวิจัย

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การวิจัยเรื่องแนวทางปรับปรุงประสิทธิภาพงานเพื่อปรับปรุงคุณภาพของงานก่อสร้าง โดยวิธีเจ็ทเกราท์ติ้ง กรณีศึกษาดินเหนียวแข็งปานกลางใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติ และระเบียบการวิจัยเชิงสำรวจ แบ่งการศึกษาออกเป็น 6 ส่วนดังนี้

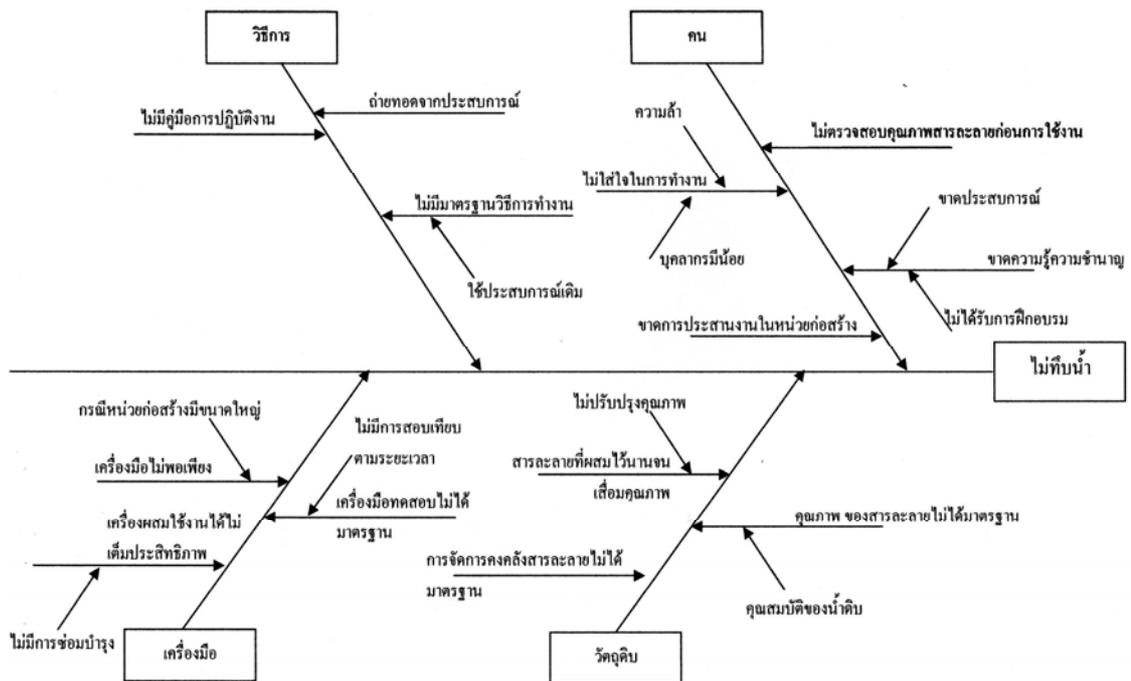
1. ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพกำแพงทึบน้ำ โดยวิธีเจ็ทเกราท์ติ้ง
2. การวิเคราะห์ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่มีนัยสำคัญ
3. แผนการฝึกอบรมผู้ปฏิบัติงาน และผู้ควบคุมงาน
4. เปรียบเทียบผลการปรับปรุงประสิทธิภาพ
5. ผลการประเมินความพึงพอใจต่อแนวทางการปรับปรุงคุณภาพของงานกำแพงทึบน้ำ โดยวิธีเจ็ทเกราท์ติ้งของผู้ปฏิบัติงานผู้ควบคุมงานและตัวแทนของเจ้าของโครงการ
6. การทดสอบสมมติฐานของงานวิจัย

1.ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพกำแพงทึบน้ำ โดยวิธีเจ็ทเกราท์ติ้ง

จากข้อมูลของโครงการในอดีต จำนวน 110 ชุด (ภาคผนวก ก) ตัวแปรต้นที่สนใจศึกษาได้แก่ เครื่องเจาะเจ็ทเกราท์ติ้ง ซึ่งประกอบด้วย ค่าความถ่วงจำเพาะ (ถพ.) ได้จากการชั่งน้ำหนักของน้ำปูน (สารละลาย) ทุกๆ 5 ถึงผสม ค่าความแน่นของดิน (SPT) ได้จากค่าเฉลี่ยของแต่ละชั้นดินในหลุมเจาะทดสอบ ดังแสดงไว้ใน (ภาคผนวก ง) ค่าการรับกำลังอัดของกำแพงทึบน้ำ (Compression Test) ได้จากการเจาะ Coring ทดสอบหลังจากการทำ เจ็ทเกราท์ติ้งซึ่งจะนำค่ารับกำลังอัดมาเฉลี่ยในหลุมเจาะทดสอบ และปัจจัยผู้ปฏิบัติงาน และผู้ควบคุมงานผลจากการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกส์ ด้วยโปรแกรม Minitab (ภาคผนวก ค) สรุปผลได้ดัง ตารางที่ 5

ซึ่งจากตารางที่ 5 พบว่า ค่า p-value ของปัจจัย ผู้ปฏิบัติงาน และผู้ควบคุมงานอยู่ที่ 0.007 และ 0.033 ตามลำดับ หากกำหนดระดับนัยสำคัญของการทดสอบที่ 0.05 เราสามารถสรุปในทางสถิติ ได้ว่า ผู้ปฏิบัติงาน และผู้ควบคุมงาน ที่แตกต่างกันให้ผลของคุณภาพกำแพงทึบน้ำ โดยวิธีเจ็ทเกราท์ติ้งที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อพิจารณาปัจจัยเรื่องความ ทึบน้ำของงานก่อสร้างกำแพงทึบน้ำ และปัจจัยผู้ปฏิบัติงาน และผู้ควบคุมงานพบว่า ไม่มีนัยสำคัญต่อสมการการถดถอย เลย แสดงให้เห็นว่า หากสามารถควบคุม ปัจจัยผู้ปฏิบัติงานดังกล่าว ให้อยู่ในช่วงพิสัยความ เพื่อตามมาตรฐานงานก่อสร้าง จะทำให้ไม่ส่งผลถึงคุณภาพของความทึบน้ำของกำแพง แต่อย่างใด

ส่วนผลการทดสอบสารูปสนธิติของรูปแบบการถดถอยด้วยวิธีการเพียร์สันไคสแควร์ ได้ผลเท่ากับ 65.551 ซึ่งให้ค่า p-value เท่ากับ 0.231 นั่นคือ รูปแบบการถดถอยลอจิสติกส์สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตามได้เป็นอย่างดีในทางสถิติ อนึ่งในการวิเคราะห์การถดถอยลอจิสติกส์นี้ไม่ได้ทำการวิเคราะห์อันตรกิริยาระหว่างผู้ปฏิบัติงานและผู้ควบคุมงาน

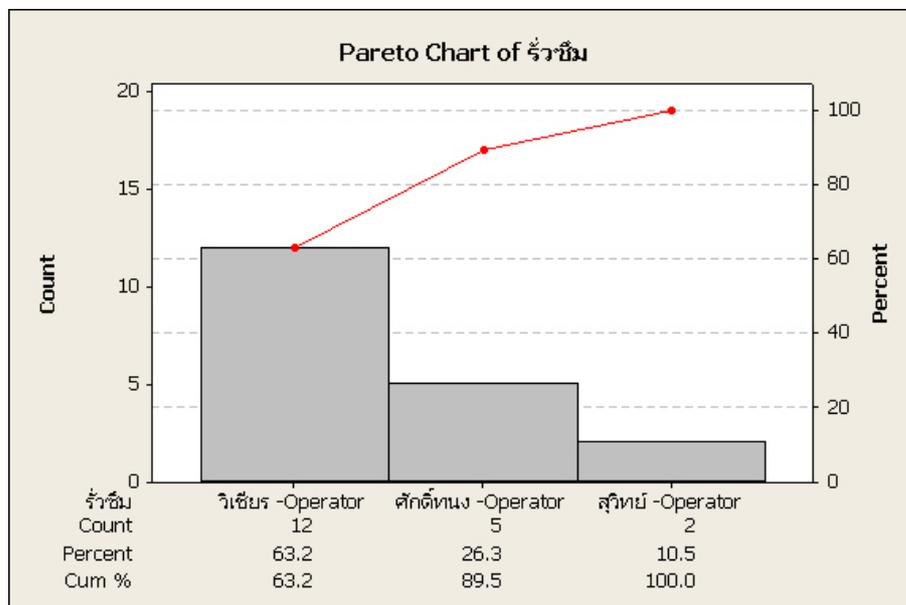


ภาพที่ 11 แผนผังสาเหตุและผลของงานกำแพงทึบน้ำ ของวิธี เจ็ตเกราทิ้ง

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์การถดถอยลอจิสติกส์

ตัวแปรต้น	สัมประสิทธิ์	ค่าผิดพลาดมาตรฐาน	ค่า Z	P-value	หมายเหตุ S/N
ค่าคงที่	-17.74	30.48	0.58	0.561	
เครื่องเจาะ	-0.2388	0.3357	-0.71	0.477	
ค่าความหนาแน่นสูงสุด (SPT)	-0.00058	0.02809	-0.02	0.984	29.70
ค่าความถ่วงจำเพาะสารละลาย	13.03	21.26	0.61	0.540	7.07
ค่ากำลังอัด Compression Test	-0.05408	0.03196	-1.69	0.091	53.03
ผู้ควบคุมงาน	1.7865	0.6646	2.69	0.007	
ผู้ปฏิบัติงาน	-1.2748	0.5988	-2.13	0.033	

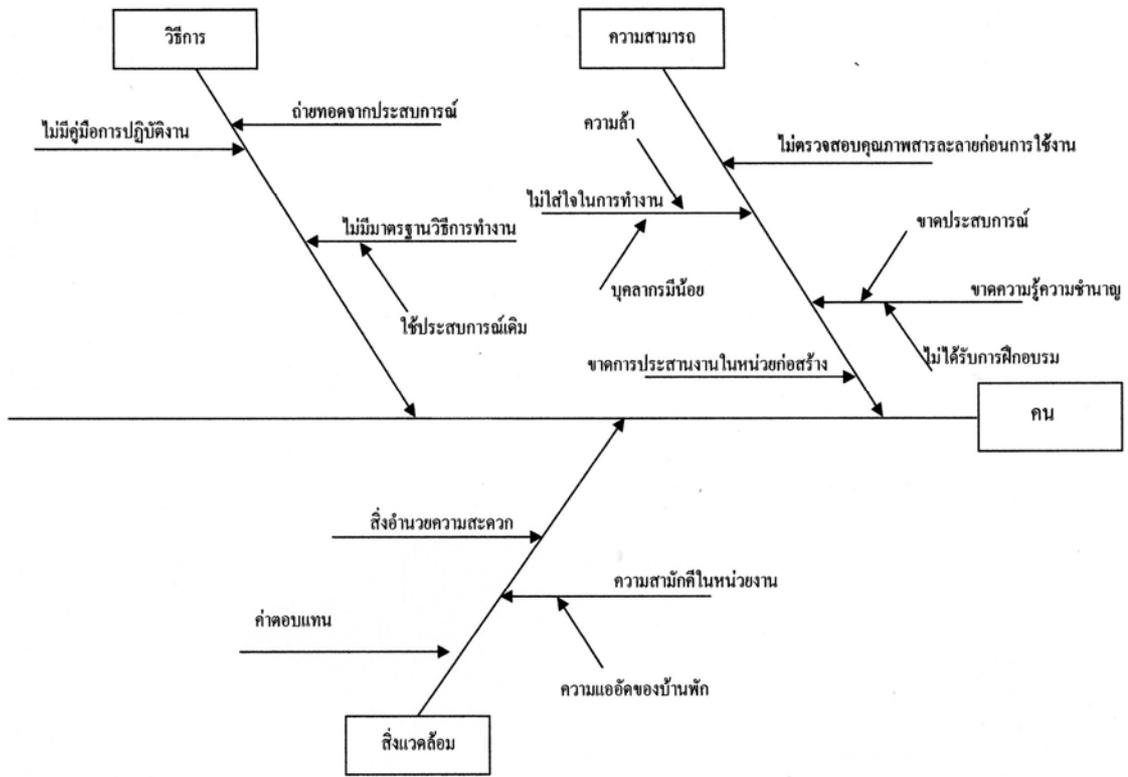
2.การวิเคราะห์ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่มีนัยสำคัญ



ภาพที่ 12 แผนภูมิพาร์โตรีได้แสดงปัจจัยที่มีผลต่องานที่เกี่ยวข้อง

จากผลข้อที่ 2. ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาปัญหาของการปฏิบัติงาน และการควบคุมงานโดยใช้แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) เป็นเครื่องมือและระดมความคิดจากการประชุมกลุ่มย่อยของผู้ปฏิบัติงานและผู้ควบคุมงาน ซึ่งจะมุ่งประเด็นไปที่ลักษณะการปฏิบัติงาน คุณสมบัติของทั้งผู้ปฏิบัติงานและผู้ควบคุมงาน ดังแสดงในภาพที่ 11 และภาพที่ 12

จากการทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่าผู้ปฏิบัติงานและผู้ควบคุมงานมีผลต่อคุณภาพของก่อสร้างกำแพงที่บ้น้ำโดยวิธีเจ็ทเกรทติ้ง ส่วนประเด็นที่ข้อกำหนดของงานไม่มีนัยสำคัญเพราะคุณสมบัติของสารละลายที่ใช้มีค่า Number of Distinct Categories (ndc) สูง คือความผันแปรของการวัดจะน้อยกว่าความผันแปรของกระบวนการผลิต โดยค่า ndc สูงก็จะมีค่า S/N Ratio สูงด้วย (ภาคผนวก ข) จึงไม่ถูกนำมาพิจารณา นอกจากนี้ผู้ปฏิบัติงานและผู้ควบคุมงานได้เตรียมสารละลายให้มีคุณสมบัติอยู่ในช่วงข้อกำหนดอยู่แล้ว แต่ผู้วิจัยยังสนใจที่จะนำปัจจัยดังกล่าวมาพิจารณา ในประเด็นว่ามีการตรวจสอบคุณสมบัติก่อนใช้งานจริง หรือไม่ จึงได้กำหนด เหตุดังกล่าวในแผนภูมิสาเหตุและผล และได้รับการยืนยันดังกล่าวตามผลการประเมินในตารางที่ 6



ภาพที่ 13 แผนผังสาเหตุและผลของงานกำแพงที่บิ่น้ำ ของคน

จากแผนผังผู้วิจัยได้สรุป ประเด็นปัญหาและแนวทางแก้ไขจากการ ระดมความคิดในระหว่าง ผู้ควบคุมงานและผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งในการประเมินนี้ผู้วิจัยได้สัมภาษณ์ผู้ปฏิบัติงานและผู้ควบคุมงานรวมทั้งสิ้น 10 คน และตัวแทนของเจ้าของโครงการกรณีศึกษารวมทั้งสิ้น 3 ราย โดยสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ประเด็นปัญหาของการปฏิบัติงานก่อสร้างกำแพงทึบน้ำโดยวิธีเจ็ทกราที่ต้ง

ที่	รายละเอียดของปัญหา	ประเภทของสาเหตุ	ผลกระทบ (A)	โอกาสในการเกิด (B)	คะแนน (A×B)
1	ไม่ตรวจสอบตรวจสอบคุณภาพสารละลายก่อนการใช้งาน	คน	3	3	9
2	ขาดประสบการณ์ในการทำงาน	คน	3	2	6
3	ขาดการประสานงานในภายในหน่วยก่อสร้าง	คน	3	3	9
4	ไม่ใส่ใจในการทำงาน เนื่องจากความล่าและมีบุคคลากรน้อย	คน	3	2	6
5	ไม่มีมาตรฐานของวิธีการทำงาน	วิธีการ	3	3	9
6	ใช้ความรู้เดิมประสบการณ์เดิมจากที่ทำงานเก่า	วิธีการ	3	3	9
7	ถ่ายทอดวิธีการทำงานจากประสบการณ์	วิธีการ	3	3	9
8	ไม่มีคู่มือปฏิบัติงาน	วิธีการ	3	3	9
9	คุณสมบัติของน้ำดิบไม่ได้มาตรฐาน	วัตถุดิบ	3	2	6
10	ระดับคุณภาพของซีเมนต์ไม่ได้มาตรฐาน	วัตถุดิบ	3	1	3
11	การเก็บคงคลังของสารละลาย น้ำยา ไม่ได้มาตรฐาน	วัตถุดิบ	3	1	3
12	สารละลายที่ไว้นานจนหมดอายุนำกลับมาใช้ใหม่ไม่ได้มาตรฐาน	วัตถุดิบ	3	2	6
13	ไม่สอบเทียบเครื่องมือทดสอบตามระยะเวลา	เครื่องมือ	1	1	1
14	เครื่องมือไม่ได้รับการซ่อมบำรุงอย่างเพียงพอ	เครื่องมือ	1	1	1
15	เครื่องมือมีไม่เพียงพอ	เครื่องมือ	2	1	2

หมายเหตุ:

1.ผลกระทบแบ่งได้เป็น 3 ระดับ คือ

1.1 แทนมีผลกระทบต่อคุณภาพของความทึบน้ำน้อย

- 1.2 แทนมีผลกระทบต่อคุณภาพของความทึบน้ำปานกลาง
- 1.3 แทนมีผลกระทบต่อคุณภาพของความทึบน้ำมาก
- 2. โอกาสในการเกิดแบ่งได้เป็น 3 ระดับ คือ
 - 2.1 แทนมีโอกาสดำเนินขึ้นน้อยครั้ง
 - 2.2 แทนมีโอกาสดำเนินขึ้นปานกลาง
 - 2.3 แทนมีโอกาสดำเนินขึ้นมาก

จากตารางที่ 6 ประเด็นปัญหาที่มีคะแนนสูง หมายถึง เป็นปัญหาที่สำคัญมีผลกระทบต่อคุณภาพของงานมาก จึงจำเป็นต้องแก้ไขโดยเร่งด่วน และเมื่อรวมประเด็นปัญหาที่มีคะแนนสูงกว่า 5 พบว่ามีประเด็นปัญหาดังนี้

- 1. ไม่ตรวจสอบคุณภาพสารละลายก่อนการใช้งาน
- 2. ขาดการประสานงานภายในหน่วยก่อสร้าง
- 3. ไม่มีมาตรฐานของวิธีการทำงาน
- 4. ใช้ความรู้เดิมประสบการณ์เดิมจากที่ทำงานเก่า
- 5. ถ่ายทอดวิธีการทำงานจากประสบการณ์
- 6. ไม่มีคู่มือปฏิบัติงาน

ตารางที่ 7 แนวทางแก้ไขปัญหาทางด้านคุณภาพของกำแพงทึบน้ำ โดยวิธีเจ็ดกรงที่ดั่ง

ปัญหาที่	แนวทางแก้ไข
1)	จัดตั้งมาตรฐานการตรวจสอบ และฝึกอบรม
2)	กำหนดให้มีการประชุมกลุ่มย่อยก่อนเริ่มงาน 15 นาที
3)	จัดทำมาตรฐานวิธีการทำงาน
4)	กำหนดให้มีการคอร์สฝึกอบรมผู้ปฏิบัติงานใหม่ทุกครั้ง และมีการฝึกภาคสนามกับผู้ปฏิบัติงานเก่าที่ได้รับอนุมัติจากผู้จัดการ โครงการ
5)	ผู้ถ่ายทอด หรือผู้ฝึกอบรมต้องผ่านการฝึกอบรมจากบริษัทก่อน และต้องได้รับอนุมัติจากผู้จัดการ โครงการก่อนจะเป็นผู้ให้การฝึกอบรมต่อไป
6)	จัดทำคู่มือปฏิบัติงาน

3. แผนการฝึกอบรมผู้ปฏิบัติงาน และผู้ควบคุมงาน

ก่อนทำการฝึกอบรม ผู้วิจัยได้นำเสนอแนวทางแก้ไขรวมถึงคู่มือปฏิบัติงานที่ปรับปรุงใหม่ เพื่อป้องกันปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นกับงานเจ็ดเกเรทที่ตั้งได้ หลังจากมีการอนุมัติคู่มือปฏิบัติงานฉบับดังกล่าวแล้ว จึงได้ทำแผนการฝึกอบรมโดยแบ่งกลุ่มเป็นผู้ปฏิบัติงานและผู้ควบคุมงาน ใช้ช่วงเวลาของวันอาทิตย์ ซึ่งมีการจ่ายค่าแรงตามปกติเสมือนมาทำงานล่วงเวลาในวันอาทิตย์เป็นเวลาทั้งหมด 4 สัปดาห์ จากนั้นจึงสอบปฏิบัติตามขั้นตอนการปฏิบัติงานที่อบรมใหม่ พบว่าผู้ปฏิบัติงานมีขั้นตอนการทำงานที่ชัดเจนตรงตามที่คู่มือระบุไว้ และเข้าใจถึงความสำคัญของงานที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของงานเจ็ดเกเรทที่ตั้งได้อย่างดี ในส่วนของผู้ควบคุมงานมีความเข้าใจถึงขั้นตอนที่สำคัญที่ผู้ควบคุมงานต้องเอาใจใส่มากเป็นพิเศษ และเข้าใจบทบาทของตนเองที่อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของกำแพงทึบน้ำโดยวิธีเจ็ดเกเรทที่ตั้งได้

จากปัจจัยผู้ปฏิบัติงานผสมสารละลาย และผู้ควบคุมงานซึ่งมีนัยสำคัญต่อคุณภาพของงานก่อสร้างกำแพงทึบน้ำโดยวิธีเจ็ดเกเรทที่ตั้ง ซึ่งถูกนำมาวิเคราะห์ในแผนภาพสาเหตุและผลเพื่อนำเสนอแนวทางการลดความเสี่ยงของกำแพงทึบน้ำโดยวิธีเจ็ดเกเรทที่ตั้ง ที่อยู่สูงกว่าระดับใช้งาน ผู้วิจัยได้เสนอแผนการฝึกอบรมผู้ปฏิบัติงานและผู้ควบคุมงานซึ่งแสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 8

4. เปรียบเทียบผลการปรับปรุงประสิทธิภาพ

หลังจากการกำหนดมาตรฐานงานก่อสร้างกำแพงทึบน้ำ โดยวิธีเจ็ดเกเรทที่ตั้งขึ้นมาใหม่ จัดทำเป็นคู่มือมาตรฐานและจัดฝึกอบรมแก่ผู้ปฏิบัติงานและผู้ควบคุมงานที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้ติดตามผลการปฏิบัติงานในแง่คุณภาพ ของการก่อสร้างกำแพงทึบน้ำโดยวิธีเจ็ดเกเรทที่ตั้งที่ได้ จากโครงการซึ่งมีการเก็บข้อมูลทั้งโครงการจำนวน 62 ชุดข้อมูล พบว่ามีจำนวน 1 ชุด ข้อมูลที่บ่งชี้ว่าการก่อสร้างกำแพงทึบน้ำโดยวิธีเจ็ดเกเรทที่ตั้งไม่ได้คุณภาพ และต้องมีการซ่อมแซม(ภาคผนวก) ผู้วิจัยจึงได้ตั้งสมมติฐานทางสถิติเพื่อทดสอบค่าสัดส่วนของเสีย ของประชากรสองกลุ่มระหว่างก่อนการปรับปรุงประสิทธิภาพ และหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพ พบว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 มีหลักฐานเพียงพอที่จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก คือ ค่าสัดส่วนของเสียของประชากรก่อนการปรับปรุง และหลังการปรับปรุงแตกต่างกัน และก่อนการปรับปรุงมีค่าสัดส่วนของเสีย ของประชากรก่อนการปรับปรุงมากกว่าค่าสัดส่วนของเสียของประชากรหลังการปรับปรุง และเมื่อหาค่าความน่าจะเป็นของการผิดพลาดชนิดที่ 2 พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.0927 นั้นหมายถึงกำลังของการทดสอบ (Power of Test) ในครั้งนี้เท่ากับ 0.9807 ซึ่งอยู่ในระดับที่น่าพอใจ (ภาคผนวก ฉ)

ตารางที่ 8 แผนการฝึกอบรมผู้ปฏิบัติงานและผู้ควบคุมงาน

วัตถุประสงค์	เป้าหมาย	แผนการดำเนินงาน	หน่วยงานที่รับผิดชอบ	งบประมาณ (บาท)	ดัชนีวัดประสิทธิภาพ	ประโยชน์ของแผนที่คาดว่าจะได้	ระยะเวลา (สัปดาห์)*				
							1	2	3	4	
1. เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานและผู้ควบคุมงานมีความรู้และความเข้าใจในขั้นตอนการเตรียมงาน	พนักงานและผู้ควบคุมงานผ่านการทดสอบภายหลังการฝึกอบรมโดยมีระดับการประเมินไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80	1. ขออนุมัติค่าแรงให้กับผู้ปฏิบัติงานและผู้ควบคุมงานในการฝึกอบรม 2. ขออนุมัติงบประมาณในการฝึกอบรม 3. จัดเตรียมสถานที่และคัดเลือกวิทยากร 4. จัดเตรียมแบบทดสอบทั้งภาคปฏิบัติและข้อเขียน	ผู้จัดการโครงการก่อสร้าง	50,000	1. ผู้เข้าฝึกอบรมต้องใช้เวลาฝึกอบรมร้อยละ 100 2. ผู้เข้าฝึกอบรมต้องผ่านการทดสอบทั้งภาคปฏิบัติและข้อเขียน โดยมีคะแนนอย่างน้อยร้อยละ 80 3. ความเสียหายของงานก่อสร้างก้ำกึ่งที่พบน้ำโดยวิธีเจ็ทกราที่ติดตั้งน้อยร้อยละ 10	1. ลดต้นทุนของงานก่อสร้างก้ำกึ่งที่พบน้ำโดยวิธีเจ็ทกราที่ติดตั้ง 2. ลดระยะเวลาโครงการ 3. เพิ่มความพึงพอใจให้กับลูกค้า					
2. เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานและผู้ควบคุมงานมีความรู้และความเข้าใจในผลกระทบของเครื่องจักรที่มีต่อคุณภาพของงานก้ำกึ่งที่พบน้ำโดยวิธีเจ็ทกราที่ติดตั้ง											

* ฝึกอบรมเฉพาะวันอาทิตย์

5. ผลการประเมินความพึงพอใจต่อแนวทางการปรับปรุงคุณภาพของงานก่อสร้างกำแพงที่บ้น้ำ โดยวิธี เจ็ตเกรทติ้งของผู้ปฏิบัติงาน ผู้ควบคุมงานและตัวแทนของเจ้าของโครงการ

ผู้วิจัยได้ออกแบบสัมภาษณ์เพื่อวัดผลความพึงพอใจของผู้ปฏิบัติงาน และผู้ควบคุมงานรวมทั้งสิ้น 10 คน และตัวแทนของเจ้าของโครงการก่อสร้างกรณีศึกษารวมทั้งสิ้น 3 ราย โดยให้ระดับความพึงพอใจ 1 = น้อย, 2 = ปานกลาง และ 3 = มาก รวมทั้งให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงการทำงานและการฝึกอบรม ซึ่งผลการประเมินแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 9 และ 10

ตารางที่ 9 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ปฏิบัติงาน และผู้ควบคุมงานต่อการฝึกอบรม

หัวข้อการประเมิน	\bar{X}	SD	ความพึงพอใจระดับเฉลี่ย (ร้อยละ)	ข้อเสนอแนะ
1) ความรู้ที่ได้รับจากภาคทฤษฎี	2.8	0.42	93.33	ขอให้มีการฝึกอบรมอย่างต่อเนื่อง
2) ความรู้ที่ได้รับจากภาคปฏิบัติ	2.9	0.32	96.67	ขอให้มีการฝึกอบรมอย่างต่อเนื่อง
3) ความปลอดภัยในการทำงาน	2.7	0.48	90.00	ขอให้บริษัทฯ จัดหาอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากสารเคมีเพิ่มขึ้น
4) ประสิทธิภาพการทำงานที่เพิ่มขึ้น	2.9	0.32	96.67	ขอให้บริษัทฯ ให้รางวัลกับทีมงานหากสามารถลดความสูญเสียของงานเจ็ตเกรทติ้งได้อย่างต่อเนื่องตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ร่วมกัน
5) ความเครียดที่ลดลงจากการประสานงานของผู้ปฏิบัติงานและผู้ควบคุมงาน	2.2	0.42	73.33	-
6) ความง่ายและรายละเอียดของกลุ่มปฏิบัติงานที่ปรับปรุงใหม่	2.7	0.48	90	ควรมีการทบทวนคู่มืออย่างต่อเนื่องจากทีมงาน

จากตารางที่ 9 พบว่า ผู้ปฏิบัติงานและผู้ควบคุมงานมีระดับความพึงพอใจในแผนการฝึกอบรม และคู่มือปฏิบัติงานในภาพรวมเท่ากับร้อยละ 90.00

ตารางที่ 10 ผลการประเมินความพึงพอใจของตัวแทนของเจ้าของโครงการต่อความสำเร็จของโครงการ

หัวข้อการประเมิน	\bar{X}	SD	ความพึงพอใจ ระดับเฉลี่ย (ร้อยละ)	ข้อเสนอแนะ
1) ความคาดหวังในการลดระยะเวลาโครงการ	3.00	0	100.00	-
2) ความคาดหวังในการลดราคาประมูลของโครงการ (ในสำนักงานเจ็ดเกวราที่ตั้ง)	2.70	0.48	90	-
3) ความคาดหวังในการลดราคาประมูลของโครงการ (ในภาพรวมของโครงการ)	2.70	0.48	90	-
4) ความคาดหวังในการลดความขัดแย้งของทีมงานของผู้รับเหมา	2.70	0.48	90	-
5) ความคาดหวังในการเพิ่มคุณภาพงานของโครงการ	3.00	0	100.00	-
6) ความคาดหวังในการลดอุบัติเหตุในงานเจ็ดเกวราที่ตั้ง	2.70	0.48	90	-

จากตารางที่ 10 พบว่า ตัวแทนของเจ้าของโครงการก่อสร้างกรณีศึกษามีระดับความพึงพอใจในความคาดหวังของความสำเร็จของโครงการในภาพรวม เท่ากับร้อยละ 93.33

6.การทดสอบสมมติฐานของงานวิจัย

1. แนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพงานกำแพงที่บ้น้ำ โดยวิธีเจ็ดเกวราที่ตั้งที่ได้จากงานวิจัย สามารถลดความบกพร่องของกำแพงที่บ้น้ำ โดยวิธีเจ็ดเกวราที่ตั้งลงร้อยละ 10
2. แนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพงานกำแพงที่บ้น้ำ โดยวิธีเจ็ดเกวราที่ตั้งสามารถเพิ่มความพึงพอใจให้กับตัวแทนเจ้าของโครงการได้อย่างน้อย ร้อยละ 80

สมมติฐานที่ 1

จากการทดสอบสมมติฐานค่าสัดส่วนของเสียของประชากรสองกลุ่ม ระหว่างก่อนการปรับปรุง และหลังการปรับปรุง ในหัวข้อ 3.6.1 ยังไม่เป็นการยืนยันสมมติฐานนี้ เนื่องจากเป็นการทดสอบแบบสองทาง ผู้วิจัยจึงได้ทดสอบแบบทางเดียวโดยตั้งสมมติฐานหลัก และสมมติฐานรอง ดังนี้

$$H_0 : \hat{p}_1 - \hat{p}_2 = 0.10$$

$$H_1 : \hat{p}_1 - \hat{p}_2 < 0.10$$

จากการคำนวณทางสถิติพบว่าไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (ภาคผนวก ฉ) ดังนั้นค่าสัดส่วนของเสียของประชากรหลังการปรับปรุงมากกว่าค่าสัดส่วนของเสียของประชากรก่อนการปรับปรุง อย่างน้อยร้อยละ 10

สมมติฐานที่ 2

จากการประเมินแบบสอบถามที่ได้จากตัวแทนเจ้าของโครงการ พบว่าระดับความพึงพอใจ อยู่ที่ร้อยละ 93.33 ดังนั้นสมมติฐานของงานวิจัยถูกต้อง

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การวิจัยเรื่อง แนวทางการปรับปรุงคุณภาพของงานก่อสร้างกำแพงทึบน้ำ ของวิธีเจ็ทเกราท์ติงของโครงการก่อสร้างปรับปรุงฐานรากเขื่อน ของงานก่อสร้างอ่างเก็บน้ำ ซึ่งใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติ และระเบียบวิธีการวิจัยเชิงสำรวจแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

1. สรุปผลงานวิจัย

การประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยลอจิสติกส์ เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพงานก่อสร้างกำแพงทึบน้ำของวิธีเจ็ทเกราท์ติงของโครงการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำ ร่วมกับเครื่องมือคุณภาพ ในงานวิจัยนี้ใช้แผนภาพสาเหตุ และผลสามารถเสนอแนวทางการลดความสูญเสียของงานก่อสร้างกำแพงทึบน้ำของวิธีเจ็ทเกราท์ติงโดยใช้แผนการฝึกอบรมการเตรียมสารละลายน้ำผสมกับซีเมนต์การตรวจสอบเครื่องจักรเครื่องมือ ก่อนเริ่มงานสำหรับผู้ปฏิบัติงานและเพิ่มความถี่ในการตรวจสอบเครื่องมือวัด ศึกษาข้อมูลจากการเจาะสำรวจของชั้นดินเพื่อปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ ให้เหมาะสมชั้นดินในการทำเจ็ทเกราท์ติง สำหรับผู้ควบคุมงาน โดยใช้คู่มือปฏิบัติงานซึ่งได้รับการปรับปรุงจากผู้เชี่ยวชาญของบริษัท และปรับปรุง งานทางด้านสิ่งแวดล้อมเช่น ความแออัดของบ้านพักพนักงานและสาธารณสุขของสถานที่สำนักงานสนาม สถานที่ก่อสร้าง และ ค่าตอบแทนเหมาะสมกับความสามารถของพนักงานเมื่อผู้ปฏิบัติงาน และ ผู้ควบคุมงานได้ผ่านการทดสอบภาคปฏิบัติและข้อเขียนภายหลังการฝึกอบรมของ ผู้ปฏิบัติงานและผู้ควบคุมงานดังกล่าวได้ปฏิบัติงานจริงในโครงการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำ ซึ่งผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ปฏิบัติงานและผู้ควบคุมงานต่อความรู้ที่ได้จากการฝึกอบรมอยู่ในระดับดี ส่วนตัวแทนของเจ้าของโครงการมีความพึงพอใจต่อผลงานของบริษัท สามารถส่งมอบงานได้ตรงเวลา

สุดท้ายการวิเคราะห์แนวทางการลดโอกาสของความสูญเสียของงาน ก่อสร้าง กำแพงทึบน้ำของวิธีเจ็ทเกราท์ติงที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ ก่อนปรับปรุงพบว่ามีของเสียเท่ากับร้อยละ 18.18 หลังการปรับปรุงพบว่ามีของเสียเท่ากับร้อยละ 1.61 พบว่า สามารถลดความสูญเสียของงานกำแพงทึบน้ำ ของวิธีเจ็ทเกราท์ติงลดลง ร้อยละ 16.57

2. อุปสรรคที่พบในงานวิจัย

1. ในการวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพกำแพงทึบน้ำโดยวิธีเจ็ทเกราท์ดิ่ง ของโครงการก่อสร้างนั้นไม่สามารถทำการออกแบบการทดลอง เพื่อเก็บข้อมูลปัจจัยอิสระและปัจจัยตามได้ เนื่องจากข้อจำกัดของระยะเวลาโครงการและค่าใช้จ่ายที่สูง

2. ผลจากข้อ 1. อาจทำให้การวิเคราะห์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีความคลาดเคลื่อนได้บ้าง

3. ข้อเสนอแนะในงานวิจัยครั้งต่อไป

ควรทำการออกแบบการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลปัจจัยอิสระ ได้แก่ คุณสมบัติของสารละลาย ชนิดและคุณสมบัติของสารตั้งต้นสารละลาย (ซีเมนต์ สารเบนโทไนท์ น้ำดิบ เป็นต้น) และปริมาณร้อยละของทรายในชั้นดิน ส่วนปัจจัยตามคือ คุณภาพกำแพงทึบน้ำ ของวิธีเจ็ทเกราท์ดิ่งในห้องทดลองและในภาคสนามร่วมกัน จากนั้นทำการวิเคราะห์เชิงสถิติด้วยวิธีการออกแบบการทดลองน่าจะให้ผลการวิเคราะห์ที่แม่นยำกว่า

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

พนม ภัยหน่าย. การบริหารงานก่อสร้าง. พิมพ์ครั้งที่ 11. กรุงเทพฯ: หจก.70 สีการ์พิมพ์, 2537.

วิชาญ เข้มมะลัง, ชวิชัย ธรรมเกษตรรักษ์ และพงศ์ศักดิ์ แซ่หลี่. “การปรับปรุงดินโดยใช้ Jet Grouted Piles สำหรับงานถนนบนชั้นดินเหนียวอ่อน.” โยธาสาร 10, 4 (ตุลาคม-ธันวาคม 2541) : 23-24.

บริษัท พอล คอนซัลแตนท์ จำกัด. “แนวคิดในการออกแบบและควบคุมคุณภาพการปรับปรุงคุณภาพดินโดยวิธี Jet Grouting โครงการประตูระบายน้ำปากพอง อ.ปากพอง จ.นครศรีธรรมราช.” เอกสารเผยแพร่, สิงหาคม 2541. (อัดสำเนา)

สรารุช จริตงาม. “โครงการก่อสร้างประตูระบายน้ำปากพอง.” เอกสารในการสัมมนาเรื่องการก่อสร้างเสาเข็ม JGP และ SCJG (Construction of Jet Grouted Pile and Sand Cement Jet Grouted) เสนอที่โรงแรมทวินโลดส์ จังหวัดนครศรีธรรมราช 26 พฤษภาคม 2541. (อัดสำเนา)

กิตศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. สถิติวิศวกรรม (ประมวลผลด้วย MINITAB) เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2547.

การประยุกต์ใช้วิธีการของ six sigma เพื่อลดของเสีย ในสายการผลิตคอนกรีตเสริมเหล็ก [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 3 มีนาคม 2550 <http://www.irpus.org>

คะทียะ โสโชนานิ. การแก้ปัญหาแบบทิวซี วิธีการแก้ปัญหาในงานตามแบบฉบับญี่ปุ่น. แปลโดย วีรพงษ์ เกลิมจิระรัตน์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น), 2549.

เชิดศักดิ์ อนุทัต. “การปรับปรุงระบบควบคุมคุณภาพการผลิตของโรงงานเบเกอรี่.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

ธีระพงษ์ กังสนารักษ์. “การพัฒนาระบบควบคุมคุณภาพสำหรับสายการผลิตราง สายไฟและตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

ปิ่นนคร เกียรติรวานิช และคณะ “การใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพเพื่อลดของเสียในสายงานผลิตวอยซ์คอร์ด.” โยธาสารกำแพงแสน 4, 1 (2549) : 101-108 .

ปารเมศ ชุติมา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

ไพบุลย์ แยมเพื่อน. เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม. กรุงเทพฯ : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2547.

สมบูรณ์ ลูวีระ. เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.

สุวรรณ สุทธิขจรกิจการ. Manufacturing KPI เพื่อมุ่งสู่ TPM. กรุงเทพฯ : บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2547.

ภาษาอังกฤษ

Agresti, Alan. An Introduction to Categorical Data Analysis. New York : John Wiley & Sons, 1996.

Hosmer, David W., and Stanley Lemeshow. Applied Logistic Regression. New York : John Wiley & Sons, 1989.

Montgomery, Douglas C., and George C. Runger. Applied Statistics and Probability for Engineers. 4 th ed. Singapore : John Wiley & Sons, 2007.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ชุดข้อมูลคุณภาพของวิธีเจ็ดกรรมาที่ดิ่ง : กรณีศึกษาดินเหนียวแข็งปานกลาง
ก่อนปรับปรุง

ตารางที่ 11 บัญชีข้อมูลก่อนปรับปรุงงานก่อสร้าง

ลำดับ	เครื่องเจาะ	ค่าความหนาแน่น SPT(สูงสุด)	ค่าความหนาแน่นของสารละลาย	ค่ากำลังอัด Compression Test	ผู้ควบคุมงาน	ผู้ควบคุมงาน เครื่องจักร	หมายเหตุ
1	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	63	1.41	60.15	ไพศาล	ศักดิ์ทอง	ทับน้ำ
2	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	63	1.43	60.15	ไพศาล	ศักดิ์ทอง	ทับน้ำ
3	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	63	1.41	60.15	ไพศาล	ศักดิ์ทอง	ทับน้ำ
4	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.45	27.28	ไพศาล	วิเชียร	ทับน้ำ
5	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.44	27.28	ไพศาล	วิเชียร	ทับน้ำ
6	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.42	27.28	ไพศาล	วิเชียร	ทับน้ำ
7	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	31	1.43	27.28	ไพศาล	วิเชียร	ทับน้ำ
8	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	24	1.44	32.52	ไพศาล	วิเชียร	ทับน้ำ
9	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	24	1.45	32.52	ไพศาล	วิเชียร	ทับน้ำ
10	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	9	1.42	43.97	ไพศาล	ศักดิ์ทอง	ทับน้ำ
11	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	34	1.43	43.97	ไพศาล	ศักดิ์ทอง	รั้วชิม
12	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	30	1.41	43.97	ไพศาล	ศักดิ์ทอง	ทับน้ำ
13	Rig 3 EX200	34	1.45	66.6	ไพศาล	สุวิทย์	ทับน้ำ
14	Rig 3 EX200	34	1.42	66.6	ไพศาล	สุวิทย์	ทับน้ำ
15	Rig 3 EX200	25	1.41	66.6	ไพศาล	สุวิทย์	ทับน้ำ
16	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	28	1.45	66.6	ไพศาล	สุวิทย์	รั้วชิม
17	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	28	1.41	66.6	ไพศาล	สุวิทย์	ทับน้ำ

ตารางที่ 11 บัญชีข้อมูลก่อนปรับปรุงงานก่อสร้าง

ลำดับ	เครื่องเจาะ	ค่าความหนาแน่น SPT(สูงสุด)	ค่าความหนาแน่นของสารละลาย	ค่ากำลังอัด Compression Test	ผู้ควบคุมงาน	ผู้ควบคุมงาน เครื่องจักร	หมายเหตุ
18	Rig 1 SM400-เครื่องขยนต์	28	1.42	66.6	ไพศาล	สุวิทย์	ทึบน้ำ
19	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	40	1.43	97.71	ไพศาล	ศักดิ์ทอง	ทึบน้ำ
20	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	40	1.41	97.71	ไพศาล	ศักดิ์ทอง	ทึบน้ำ
21	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	40	1.42	97.71	ไพศาล	ศักดิ์ทอง	ทึบน้ำ
22	Rig 3 EX200	42	1.44	87.75	ไพศาล	สุวิทย์	ทึบน้ำ
23	Rig 3 EX200	40	1.42	97.71	ไพศาล	สุวิทย์	ทึบน้ำ
24	Rig 3 EX200	49	1.42	42.06	ไพชญน	สุวิทย์	ทึบน้ำ
25	Rig 1 SM400-เครื่องขยนต์	49	1.44	42.06	ไพชญน	วิเชียร	ทึบน้ำ
26	Rig 1 SM400-เครื่องขยนต์	49	1.43	42.06	ไพชญน	วิเชียร	ทึบน้ำ
27	Rig 1 SM400-เครื่องขยนต์	49	1.45	42.06	ไพชญน	วิเชียร	ทึบน้ำ
28	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	49	1.44	51.13	ไพชญน	ศักดิ์ทอง	ทึบน้ำ
29	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	49	1.41	51.13	ไพชญน	ศักดิ์ทอง	ร่วซึม
30	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	41	1.41	50.1	ไพชญน	ศักดิ์ทอง	ทึบน้ำ
31	Rig 3 EX200	68	1.42	50.1	ไพชญน	สุวิทย์	ทึบน้ำ
32	Rig 3 EX200	68	1.44	50.1	ไพศาล	สุวิทย์	ทึบน้ำ
33	Rig 3 EX200	68	1.43	40.16	ไพศาล	สุวิทย์	ทึบน้ำ
34	Rig 1 SM400-เครื่องขยนต์	28	1.46	40.16	ไพศาล	สุวิทย์	ทึบน้ำ

ตารางที่ 11 บัญชีข้อมูลก่อนปรับปรุงงานก่อสร้าง

ลำดับ	เครื่องเจาะ	ค่าความหนาแน่น SPT(สูงสุด)	ค่าความหนาแน่นของสารละลาย	ค่ากำลังอัด Compression Test	ผู้ควบคุมงาน	ผู้ควบคุมงาน เครื่องจักร	หมายเหตุ
35	Rig 1 SM400-เครื่องขุด	28	1.44	40.16	ไพศาล	สุวิทย์	ที่บ่้ำ
36	Rig 1 SM400-เครื่องขุด	28	1.42	40.16	ไพศาล	สุวิทย์	ที่บ่้ำ
37	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	46	1.43	50.1	ไพศาล	ศักดิ์ทอง	ร่ว้ชิม
38	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	46	1.42	50.1	ไพศาล	ศักดิ์ทอง	ที่บ่้ำ
39	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	46	1.41	50.1	ไพศาล	ศักดิ์ทอง	ที่บ่้ำ
40	Rig 3 EX200	67	1.44	43.22	ไพศาล	สุวิทย์	ที่บ่้ำ
41	Rig 3 EX200	67	1.42	43.22	ไพชญน	สุวิทย์	ร่ว้ชิม
42	Rig 3 EX200	67	1.43	43.22	ไพชญน	สุวิทย์	ที่บ่้ำ
43	Rig 1 SM400-เครื่องขุด	37	1.42	37.15	ไพชญน	วิเชียร	ที่บ่้ำ
44	Rig 1 SM400-เครื่องขุด	37	1.43	37.15	ไพชญน	วิเชียร	ร่ว้ชิม
45	Rig 1 SM400-เครื่องขุด	37	1.42	44.13	ไพชญน	วิเชียร	ที่บ่้ำ
46	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	57	1.44	67.9	ไพชญน	วิเชียร	ร่ว้ชิม
47	Rig 3 EX200	67	1.44	43.22	ไพศาล	สุวิทย์	ที่บ่้ำ
48	Rig 3 EX200	67	1.42	43.22	ไพชญน	สุวิทย์	ร่ว้ชิม
49	Rig 3 EX200	67	1.43	43.22	ไพชญน	สุวิทย์	ที่บ่้ำ
50	Rig 1 SM400-เครื่องขุด	37	1.42	37.15	ไพชญน	ศักดิ์ทอง	ที่บ่้ำ
51	Rig 1 SM400-เครื่องขุด	37	1.43	37.15	ไพชญน	ศักดิ์ทอง	ร่ว้ชิม

ตารางที่ 11 บัญชีข้อมูลก่อนปรับปรุงงานก่อสร้าง

ลำดับ	เครื่องเจาะ	ค่าความหนาแน่น SPT(สูงสุด)	ค่าความหนาแน่นของสารละลาย	ค่ากำลังอัด Compression Test	ผู้ควบคุมงาน	ผู้ควบคุมงาน เครื่องจักร	หมายเหตุ
52	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	37	1.42	37.15	ไพทูน	ศักดิ์ทอง	ทับน้ำ
53	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	57	1.44	67.9	ไพทูน	ศักดิ์ทอง	ทับน้ำ
54	Rig 3 EX200	49	1.42	42.06	ไพทูน	สุวิทย์	ทับน้ำ
55	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	49	1.44	42.06	ไพทูน	วิเชียร	รั้วซึม
56	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	49	1.43	42.06	ไพทูน	วิเชียร	ทับน้ำ
57	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	49	1.45	42.06	ไพทูน	วิเชียร	รั้วซึม
58	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	49	1.44	51.13	ไพทูน	ศักดิ์ทอง	ทับน้ำ
59	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	49	1.41	51.13	ไพทูน	ศักดิ์ทอง	รั้วซึม
60	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	41	1.42	51.13	ไพทูน	ศักดิ์ทอง	ทับน้ำ
61	Rig 3 EX200	68	1.44	50.1	ไพทูน	สุวิทย์	ทับน้ำ
62	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	63	1.43	60.15	ไพศาล	ศักดิ์ทอง	ทับน้ำ
63	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	63	1.45	60.15	ไพศาล	ศักดิ์ทอง	ทับน้ำ
64	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	63	1.44	60.15	ไพศาล	ศักดิ์ทอง	ทับน้ำ
65	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.41	27.28	ไพศาล	วิเชียร	ทับน้ำ
66	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.44	27.28	ไพศาล	วิเชียร	ทับน้ำ
67	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.42	27.28	ไพศาล	วิเชียร	ทับน้ำ
68	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	63	1.41	60.15	ไพศาล	ศักดิ์ทอง	ทับน้ำ

ตารางที่ 11 บัญชีข้อมูลก่อนปรับปรุงงานก่อสร้าง

ลำดับ	เครื่องเจาะ	ค่าความหนาแน่น SPT(สูงสุด)	ค่าความหนาแน่นของสารละลาย	ค่ากำลังอัด Compression Test	ผู้ควบคุมงาน	ผู้ควบคุมงานเครื่องจักร	หมายเหตุ
69	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	63	1.42	60.15	ไพศาล	ศักดิ์ทอง	ทับน้ำ
70	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	63	1.44	60.15	ไพศาล	ศักดิ์ทอง	ทับน้ำ
71	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.43	27.28	ไพศาล	วิเชียร	ทับน้ำ
72	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.45	27.28	ไพศาล	วิเชียร	ร่วม
73	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.44	27.28	ไพศาล	วิเชียร	ทับน้ำ
74	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	63	1.41	60.15	ไพศาล	ศักดิ์ทอง	ทับน้ำ
75	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	63	1.42	60.15	ไพศาล	ศักดิ์ทอง	ทับน้ำ
76	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	63	1.44	60.15	ไพศาล	ศักดิ์ทอง	ทับน้ำ
77	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.42	27.28	ไพศาล	วิเชียร	ทับน้ำ
78	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.44	27.28	ไพศาล	วิเชียร	ร่วม
79	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.43	27.28	ไพศาล	วิเชียร	ทับน้ำ
80	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	63	1.45	60.15	ไพศาล	ศักดิ์ทอง	ทับน้ำ
81	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.44	27.28	ไพศาล	วิเชียร	ทับน้ำ
82	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.41	27.28	ไพศาล	วิเชียร	ร่วม
83	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.42	27.28	ไพศาล	วิเชียร	ทับน้ำ
84	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	63	1.44	60.15	ไพศาล	ศักดิ์ทอง	ทับน้ำ
85	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	63	1.43	60.15	ไพศาล	ศักดิ์ทอง	ทับน้ำ

ตารางที่ 11 บัญชีข้อมูลก่อนปรับปรุงงานก่อสร้าง

ลำดับ	เครื่องเจาะ	ค่าความหนาแน่น SPT(สูงสุด)	ค่าความหนาแน่นของสารละลาย	ค่ากำลังอัด Compression Test	ผู้ควบคุมงาน	ผู้ควบคุมงานเครื่องจักร	หมายเหตุ
86	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	63	1.45	60.15	ไพศาล	ศักดิ์ทอง	ทึบนำ
87	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.44	27.28	ไพศาล	วิเชียร	ทึบนำ
88	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.42	27.28	ไพศาล	วิเชียร	ร่วชิม
89	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.44	27.28	ไพศาล	วิเชียร	ทึบนำ
90	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	63	1.43	60.15	ไพศาล	ศักดิ์ทอง	ทึบนำ
91	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	63	1.45	60.15	ไพศาล	ศักดิ์ทอง	ทึบนำ
92	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	63	1.44	60.15	ไพศาล	ศักดิ์ทอง	ทึบนำ
93	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.41	27.28	ไพศาล	วิเชียร	ทึบนำ
94	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.42	27.28	ไพศาล	วิเชียร	ร่วชิม
95	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.44	27.28	ไพศาล	วิเชียร	ทึบนำ
96	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.43	27.28	ไพศาล	วิเชียร	ทึบนำ
97	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.45	27.28	ไพศาล	วิเชียร	ร่วชิม
98	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.44	27.28	ไพศาล	วิเชียร	ทึบนำ
99	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	63	1.42	60.15	ไพศาล	ศักดิ์ทอง	ทึบนำ
100	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	63	1.44	60.15	ไพศาล	ศักดิ์ทอง	ทึบนำ
101	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	63	1.43	60.15	ไพศาล	ศักดิ์ทอง	ทึบนำ
102	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.45	27.28	ไพศาล	วิเชียร	ทึบนำ

ตารางที่ 11 บัญชีข้อมูลก่อนปรับปรุงงานก่อสร้าง

ลำดับ	เครื่องเจาะ	ค่าความหนาแน่น SPT(สูงสุด)	ค่าความหนาแน่นของสารละลาย	ค่ากำลังอัด Compression Test	ผู้ควบคุมงาน	ผู้ควบคุมงานเครื่องจักร	หมายเหตุ
103	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.44	27.28	ไพศาล	วิเชียร	ทึบน้ำ
104	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.41	27.28	ไพศาล	วิเชียร	ทึบน้ำ
105	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	63	1.42	60.15	ไพศาล	ศักดิ์ทอง	ทึบน้ำ
106	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	63	1.44	60.15	ไพศาล	ศักดิ์ทอง	ทึบน้ำ
107	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	63	1.41	60.15	ไพศาล	ศักดิ์ทอง	ทึบน้ำ
108	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.45	27.28	ไพศาล	วิเชียร	ทึบน้ำ
109	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.44	27.28	ไพศาล	วิเชียร	ร่วซึม
110	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.42	27.28	ไพศาล	วิเชียร	ทึบน้ำ

ภาคผนวก ข
แบบสอบถามความพึงพอใจ

แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ปฏิบัติงานและผู้ควบคุมงานต่อการฝึกอบรม

แบบสัมภาษณ์

กรุณาให้ข้อมูลส่วนตัวของท่านในตอนต้นที่ 1 ของแบบสัมภาษณ์และความคิดเห็นต่อการฝึกอบรมที่ท่านได้รับในตอนต้นที่ 2

ตอนที่ 1 ข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบ

ชื่อ..... นามสกุล.....

การศึกษาขั้นสูงสุด.....

อายุการทำงานในบริษัท.....ปี

หน้าที่ความรับผิดชอบ.....

โครงการที่ทำ.....

ตอนที่ 2 โปรดแสดงความคิดเห็นโดยการทำเครื่องหมาย / ในช่องระดับความพึงพอใจ โดย 1 = น้อย 2 = ปานกลาง 3 = มาก 4 = ดีมาก และให้ข้อเสนอแนะในแต่ละหัวข้อการประเมิน

หัวข้อการประเมิน	ระดับของความพึงพอใจ				ข้อเสนอแนะ
	1	2	3	4	
1) ความรู้ที่ได้รับจากภาคทฤษฎี					
2) ความรู้ที่ได้รับจากภาคปฏิบัติ					
3) ความปลอดภัยในการทำงาน					
4) ประสิทธิภาพการทำงานที่เพิ่มขึ้น					
5) ความเครียดที่ลดลงจากการประสานงานของผู้ปฏิบัติงานและผู้ควบคุมงาน					
6) ความง่ายและรายละเอียด					
7) ความสามารถของวิทยากร					

แบบสัมภาษณ์ความพึงพอใจของตัวแทนของเจ้าของ โครงการต่อความสำเร็จของโครงการ

แบบสัมภาษณ์

กรุณาให้ข้อมูลส่วนตัวของท่านในตอนต้นที่ 1 ของแบบสัมภาษณ์และความคิดเห็นต่อการฝึกอบรมที่ท่านได้รับในตอนต้นที่ 2

ตอนที่ 1 ข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบ

ชื่อ..... นามสกุล.....

การศึกษาขั้นสูงสุด.....

อายุการทำงานในบริษัท.....ปี

หน้าที่ความรับผิดชอบ.....

โครงการที่คุณดูแล.....

บริษัท.....

ตอนที่ 2 โปรดแสดงความคิดเห็นโดยการทำเครื่องหมาย / ในช่องระดับความพึงพอใจ โดย 1 = น้อย 2 = ปานกลาง 3 = มาก 4 = ดีมาก และให้ข้อเสนอแนะในแต่ละหัวข้อการประเมิน

หัวข้อการประเมิน	ความพึงพอใจระดับเฉลี่ย				ข้อเสนอแนะ
	1	2	3	4	
1) ความคาดหวังในการลดระยะเวลาโครงการ					
2) ความคาดหวังในการลดราคาประมูลของโครงการ					
3) ความคาดหวังในการลดความขัดแย้งของทีมงานของผู้รับเหมา					
4) ความคาดหวังในการเพิ่มคุณภาพงานของโครงการ					
5) ความคาดหวังในการลดอุบัติเหตุในงานเจ็ทเกราะที่ตั้ง					

ขอขอบคุณที่สละเวลาในการให้ข้อคิดเห็น บริษัทฯจะนำข้อคิดเห็นของท่านไปทำการปรับปรุงการดำเนินงานเพื่อให้ท่านได้รับความพึงพอใจสูงสุดต่อไป

ตารางที่ 1 รายชื่อสัมภาษณ์ผู้ปฏิบัติงานของบริษัท กราวด์ เอนิเนียริง จำกัด

ลำดับ	ชื่อ	นามสกุล	หน้าที่รับผิดชอบ
1	นายสาธิต	สาพรัตน์	หัวหน้า Plant
2	นายอรุณ	น้อยพา	พนักงานขับเครื่องเจาะ
3	นายวิเชียร	พลະสุนย์	พนักงานขับเครื่องเจาะ
4	นายศักดิ์ทรง	ลุนบุคดา	พนักงานขับเครื่องเจาะ
5	นายกิตติกันต์	จันทร์สวัสดิ์	พนักงานขับเครื่องเจาะ
6	นายยุทธการ	แก้วถม	พนักงานขับเครื่องเจาะ
7	นายไวพจน์	สิทธิ์ธรรม	พนักงานควบคุมบ่มแรงดันสูง
8	นายสุวิทย์	ศรีพุทธา	พนักงานขับเครื่องเจาะ
9	นายไพฑูรย์	บุญมาตุ่น	ผู้ควบคุมงาน
10	นายไพศาล	ธรรมมา	ผู้ควบคุมงาน

ผลการวิเคราะห์แบบสัมภาษณ์ข้อมูลทั่วไป (ตอนที่ 1)

จากตารางที่ 1 แสดงรายชื่อผู้ปฏิบัติงานของบริษัท กราวด์ เอนิเนียริง จำกัด จำนวน 10 ท่าน เพื่อทำการวิเคราะห์แบบสัมภาษณ์ เพื่อสามารถนำมาประเมินคะแนนปัจจัยภายในและภายนอก พบว่า

เพศชาย จำนวน 10 คน

เพศหญิง จำนวน 0 คน

พนักงานอยู่ในช่วงอายุ 25-39 ปี จำนวน 7 คน

อายุ 40-49 ปี จำนวน 2 คน

และอายุ 50-60 ปี จำนวน 1 คน

ระดับการศึกษาคุณวุฒิ ม.6 จำนวน 5 คน

ระดับการศึกษาคุณวุฒิ ปวช. จำนวน 2 คน

ระดับการศึกษาคุณวุฒิ ปวส. จำนวน 1 คน

ระดับการศึกษาปริญญาตรี จำนวน 1 คน

ระยะเวลาการปฏิบัติงานทั้งหมดที่สัมภาษณ์ปฏิบัติงานเกิน 5 ปีขึ้นไป

ผลการวิเคราะห์แบบสัมภาษณ์ข้อมูลเกี่ยวกับองค์กรของท่าน (ตอนที่ 2)

จากแบบสัมภาษณ์ตอนที่ 2 ที่ถามข้อมูลเกี่ยวกับองค์กรของท่านบริษัท กราวด์ เอนิเนียริง จำกัด มีอัตรากำลังเจ้าหน้าที่ขององค์กร เป็นพนักงานประจำทั้งหมด จำนวน 30 คน, และมีลูกจ้างทั้งหมด จำนวน 20 คน และมีวุฒิการศึกษาของพนักงาน ระดับการศึกษา (ส่วนใหญ่) มีคุณวุฒิการศึกษาระดับ ปวส.

ตารางที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับองค์กรของบริษัท กราวด์ เอนิเนียริง จำกัด

จากตารางที่ 1 แสดงข้อมูลเกี่ยวกับองค์กรของบริษัท กราวด์ เอนิเนียริง จำกัด โดยสัมภาษณ์จากผู้ปฏิบัติงาน จำนวน 10 ท่าน ให้ข้อมูลจากความพอใจในการให้บริการของบริษัท กราวด์ เอนิเนียริง จำกัด จะเห็นว่าจากคะแนนที่ได้ มีคะแนนเฉลี่ยพอ ร้อยละ 49.32 และมีคะแนนเฉลี่ยไม่พอ อยู่ที่ร้อยละ 50.68 ซึ่งคะแนนเฉลี่ยดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกันมีความจำเป็นที่จะต้องปรับปรุงมาตรฐาน

ผลการวิเคราะห์แบบสัมภาษณ์ประเมินความพึงพอใจของตัวแทนเจ้าของโครงการ (ตอนที่ 3)

ตารางที่ 3 แสดงการคำนวณหาค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยภายในและภายนอก

จากตารางที่ 3 แสดงข้อมูลเกี่ยวกับตัวแทนเจ้าของโครงการโดยสัมภาษณ์จากผู้ควบคุมงาน จำนวน 5 ท่าน ให้ข้อมูลจากความพอใจในการให้บริการของบริษัท กราวด์ เอนิเนียริง จำกัด จะเห็นว่าจากคะแนนที่ได้ มีคะแนนเฉลี่ยพอ ร้อยละ 49.32 และมีคะแนนเฉลี่ยไม่พอ อยู่ที่ร้อยละ 50.68 ซึ่งคะแนนเฉลี่ยดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกันมีความจำเป็นที่จะต้องปรับปรุงมาตรฐาน

ภาคผนวก ค
การวิเคราะห์การถดถอยลอจิสติกส์

ผลการวิเคราะห์การถดถอยลอจิสติกส์ด้วย Minitab

Binary Logistic Regression:

Link Function: Logit

Response Information

Variable	Value	Count
C13	1	20 (Event)
	0	90
	Total	110

Logistic Regression Table

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds Ratio	95% CI	
						Lower	Upper
ค่าคงที่	-17.74	30.48	-0.58	0.561			
เครื่องเจาะ	-0.2388	0.3357	-0.71	0.477	0.79	0.41	1.52
ค่าความหนาแน่น	-0.00058	0.02809	-0.02	0.984	1.00	0.95	1.06
ค่าความถ่วงจำเพาะ	13.03	21.26	0.61	0.540	4.57E+05	0.00	5.74E+23
ค่ากำลังอัด	-0.05408	0.03196	-1.69	0.091	0.95	0.89	1.01
ผู้ควบคุมงาน	1.7865	0.6646	2.69	0.007	5.97	1.62	21.96
ผู้ปฏิบัติงาน	-1.2748	0.5988	-2.13	0.033	0.28	0.09	0.90

Log-Likelihood = -45.175

Test that all slopes are zero: G = 13.961, DF = 6, P-Value = 0.030

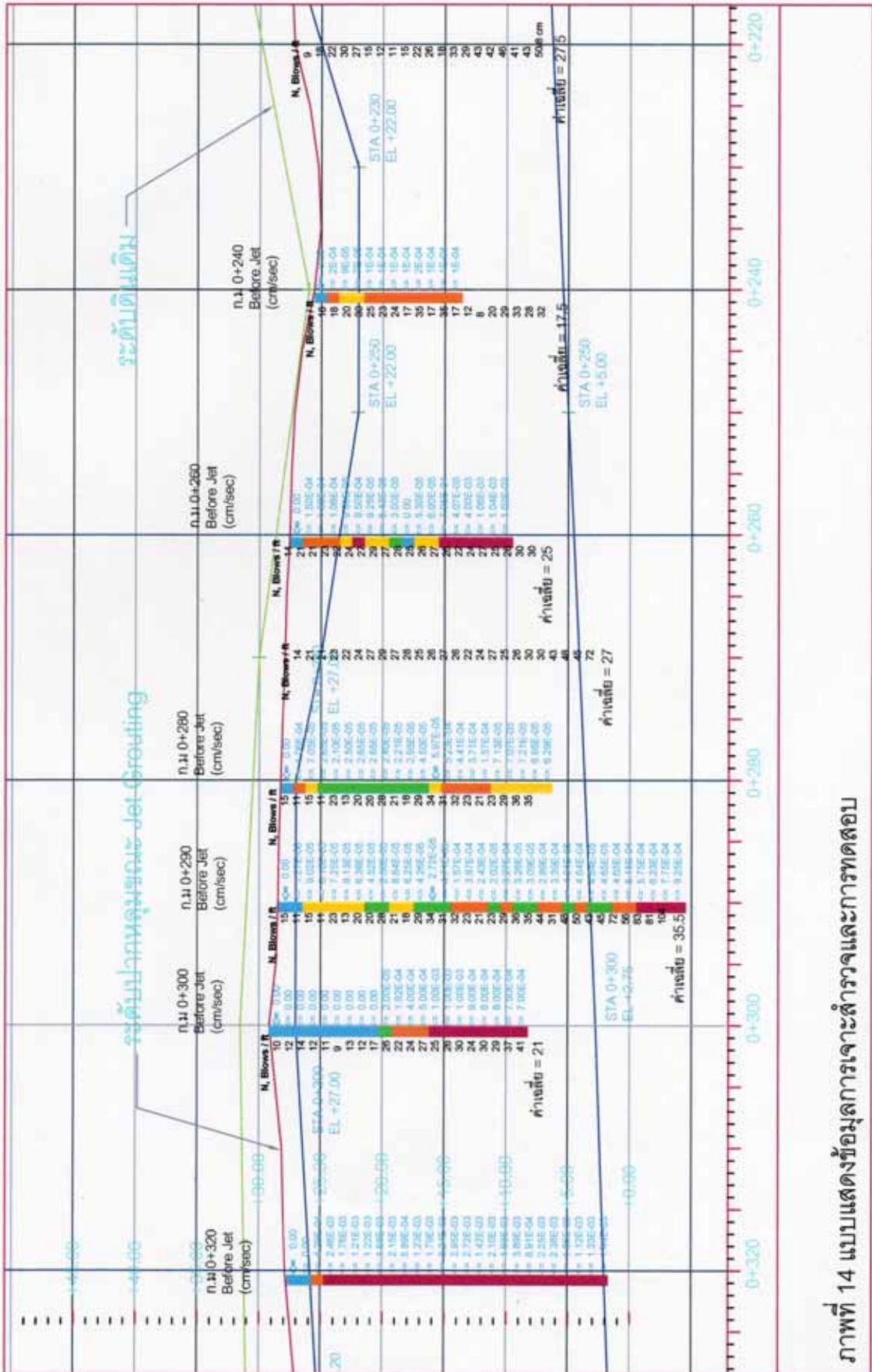
Goodness-of-Fit Tests

Method	Chi-Square	DF	P
Pearson	65.551	58	0.231

จากผลการวิเคราะห์การถดถอยลอจิสติกส์ พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อรูปแบบการถดถอยดังกล่าว คือ Supervisor และ Operator ซึ่งในที่นี้คือ ผู้ควบคุมงาน และผู้ปฏิบัติงาน ตามลำดับ โดยค่า p-value อยู่ที่ 0.007 และ 0.033 ตามลำดับ พิจารณาการทดสอบสารูปสันนทคิขงรูปแบบการถดถอย ด้วยวิธีเพียร์สันไคสแควร์ ได้ผลเท่ากับ 65.551 ได้ค่า p-value = 0.231

ภาคผนวก ง

ปัจจัยปัญหาทางด้านคุณภาพของกำแพงทึบน้ำ โดยวิธีเจ็ทเกราะที่ตั้ง



ภาพที่ 14 แบบแสดงข้อมูลการเจาะสำรวจและการทดสอบ

ภาคผนวก จ

ชุดข้อมูลคุณภาพของวิธีเจ็ดกรรพที่ดิ่ง : กรณีสึกษาดินเหนียวแข็งปานกลางหลังปรับปรุง

ตารางที่ 12 ปัจจัยข้อมูลหลังปรับปรุงงานการก่อสร้าง

ลำดับ	เครื่องเจาะ	ค่าความหนาแน่น SPT(สูงสุด)	ค่าความถ่วงจำเพาะของสารละลาย	ค่ากำลังอัด Compression Test	ผู้ควบคุมงาน	ผู้ควบคุมงานเครื่องจักร	หมายเหตุ
1	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.44	27.28	ไพศาล	ศักดิ์ทรง	ทับน้ำ
2	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.42	27.28	ไพศาล	ศักดิ์ทรง	ทับน้ำ
3	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	34	1.43	43.97	ไพศาล	วิเชียร	ทับน้ำ
4	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	30	1.41	43.97	ไพศาล	วิเชียร	ทับน้ำ
5	Rig 3 EX200	34	1.45	66.60	ไพศาล	วิเชียร	ทับน้ำ
6	Rig 3 EX201	34	1.42	66.60	ไพศาล	วิเชียร	ทับน้ำ
7	Rig 3 EX202	25	1.41	66.60	ไพศาล	วิเชียร	ร่วม
8	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	28	1.45	66.60	ไพศาล	วิเชียร	ทับน้ำ
9	Rig 3 EX200	42	1.44	87.75	ไพศาล	ศักดิ์ทรง	ทับน้ำ
10	Rig 3 EX200	40	1.42	97.71	ไพศาล	ศักดิ์ทรง	ทับน้ำ
11	Rig 3 EX200	49	1.42	42.06	ไพฑูญ	ศักดิ์ทรง	ทับน้ำ
12	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	48	1.44	42.06	ไพฑูญ	ศักดิ์ทรง	ทับน้ำ
13	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	49	1.43	42.06	ไพฑูญ	ศักดิ์ทรง	ทับน้ำ
14	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	49	1.45	42.06	ไพฑูญ	ศักดิ์ทรง	ทับน้ำ
15	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	50	1.44	51.13	ไพฑูญ	ศักดิ์ทรง	ทับน้ำ
16	Rig 3 EX200	67	1.44	43.22	ไพศาล	วิเชียร	ทับน้ำ
17	Rig 3 EX200	67	1.42	43.22	ไพฑูญ	วิเชียร	ทับน้ำ

ตารางที่ 12 ปัจจัยข้อมูลหลังปรับปรุงงานการก่อสร้าง

ลำดับ	เครื่องเจาะ	ค่าความหนาแน่น SPT(สูงสุด)	ค่าความถ่วงจำเพาะของสารละลาย	ค่ากำลังอัด Compression Test	ผู้ควบคุมงาน	ผู้ควบคุมงานเครื่องจักร	หมายเหตุ
18	Rig 3 EX200	65	1.43	43.22	โพชน	วิเชียร	ทับน้ำ
19	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	37	1.42	37.15	โพชน	วิเชียร	ทับน้ำ
20	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	37	1.43	37.15	โพชน	วิเชียร	ทับน้ำ
21	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	38	1.42	44.13	โพชน	วิเชียร	ทับน้ำ
22	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	57	1.44	67.90	โพชน	วิเชียร	ทับน้ำ
23	Rig 3 EX200	67	1.44	43.22	ไพศาล	วิเชียร	ทับน้ำ
24	Rig 3 EX200	65	1.42	41.50	โพชน	วิเชียร	ทับน้ำ
25	Rig 3 EX200	67	1.43	43.22	โพชน	วิเชียร	ทับน้ำ
26	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	37	1.42	37.15	โพชน	ศักดิ์ทรง	ทับน้ำ
27	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	37	1.43	37.15	โพชน	ศักดิ์ทรง	ทับน้ำ
28	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	38	1.42	37.15	โพชน	ศักดิ์ทรง	ทับน้ำ
29	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	57	1.44	67.90	โพชน	ศักดิ์ทรง	ทับน้ำ
30	Rig 3 EX200	49	1.42	42.06	โพชน	ศักดิ์ทรง	ทับน้ำ
31	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	41	1.42	51.13	โพชน	ศักดิ์ทรง	ทับน้ำ
32	Rig 3 EX200	68	1.44	50.11	โพชน	ศักดิ์ทรง	ทับน้ำ
33	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	63	1.43	59.54	ไพศาล	ศักดิ์ทรง	ทับน้ำ
34	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	62	1.45	60.15	ไพศาล	ศักดิ์ทรง	ทับน้ำ

ตารางที่ 12 ปัจจัยข้อมูลหลังปรับปรุงงานการก่อสร้าง

ลำดับ	เครื่องเจาะ	ค่าความหนาแน่น SPT(สูงสุด)	ค่าความถ่วงจำเพาะของสารละลาย	ค่ากำลังอัด Compression Test	ผู้ควบคุมงาน	ผู้ควบคุมงานเครื่องจักร	หมายเหตุ
35	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	63	1.44	60.12	ไพศาล	ศักดิ์ทรง	ทับน้ำ
36	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.41	27.28	ไพศาล	ศักดิ์ทรง	ทับน้ำ
37	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.44	27.28	ไพศาล	ศักดิ์ทรง	ทับน้ำ
38	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.42	27.28	ไพศาล	ศักดิ์ทรง	ทับน้ำ
39	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	63	1.41	60.15	ไพศาล	วิเชียร	ทับน้ำ
40	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	64	1.42	60.15	ไพศาล	วิเชียร	ทับน้ำ
41	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	63	1.44	60.15	ไพศาล	วิเชียร	ทับน้ำ
42	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.43	27.28	ไพศาล	วิเชียร	ทับน้ำ
43	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.45	27.28	ไพศาล	วิเชียร	ทับน้ำ
44	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	31	1.44	27.30	ไพศาล	วิเชียร	ทับน้ำ
45	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	63	1.41	60.15	ไพศาล	วิเชียร	ทับน้ำ
46	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.44	27.28	ไพศาล	วิเชียร	ทับน้ำ
47	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.44	27.28	ไพศาล	ศักดิ์ทรง	ทับน้ำ
48	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.42	27.28	ไพศาล	ศักดิ์ทรง	ทับน้ำ
49	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	32	1.44	27.28	ไพศาล	ศักดิ์ทรง	ทับน้ำ
50	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	63	1.43	60.15	ไพศาล	ศักดิ์ทรง	ทับน้ำ
51	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	63	1.45	60.15	ไพศาล	ศักดิ์ทรง	ทับน้ำ

ตารางที่ 12 ปัจจัยข้อมูลหลังปรับปรุงงานก่อสร้าง

ลำดับ	เครื่องเจาะ	ค่าความหนาแน่น SPT(สูงสุด)	ค่าความถ่วงจำเพาะของสารละลาย	ค่ากำลังอัด Compression Test	ผู้ควบคุมงาน	ผู้ควบคุมงานเครื่องจักร	หมายเหตุ
52	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	63	1.44	60.15	ไพศาล	ศักดิ์ทรง	ทับน้ำ
53	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.41	27.28	ไพศาล	สุวิทย์	ทับน้ำ
54	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.42	28.20	ไพศาล	สุวิทย์	ทับน้ำ
55	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	63	1.44	60.15	ไพศาล	สุวิทย์	ทับน้ำ
56	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	63	1.43	61.91	ไพศาล	ศักดิ์ทรง	ทับน้ำ
57	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.45	27.28	ไพศาล	สุวิทย์	ทับน้ำ
58	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	63	1.44	60.15	ไพศาล	ศักดิ์ทรง	ทับน้ำ
59	Rig 2 SM400-ไฟฟ้า	63	1.41	60.23	ไพศาล	ศักดิ์ทรง	ทับน้ำ
60	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.45	27.28	ไพศาล	สุวิทย์	ทับน้ำ
61	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.44	27.28	ไพศาล	สุวิทย์	ทับน้ำ
62	Rig 1 SM400-เครื่องยนต์	33	1.42	26.55	ไพศาล	สุวิทย์	ทับน้ำ

ภาคผนวก ฉ
การทดสอบสมมติฐานทางสถิติ

การทดสอบสมมติฐานค่าสัดส่วนของเสียของประชากรสองกลุ่ม

ข้อมูลค่าสัดส่วนของเสียของประชากรสรุปได้ดังนี้

ประชากร	จำนวนข้อมูล	ของเสีย	สัดส่วน (p)
ก่อนการปรับปรุง	110	20	0.1818
หลังการปรับปรุง	62	1	0.0161

สมมติฐานของการทดสอบ

$$H_0 : p_1 = p_2$$

$$H_1 : p_1 \neq p_2$$

ทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตัวสถิติที่ใช้ในการทดสอบ คือ

$$Z = \frac{\hat{p}_1 - \hat{p}_2 - (p_1 - p_2)}{\sqrt{\frac{p_1(1-p_1)}{n_1} + \frac{p_2(1-p_2)}{n_2}}}$$

พื้นที่แห่งการยอมรับอยู่ในช่วง (-1.96, +1.96) ของการกระจายแบบปกติมาตรฐาน

ทดสอบด้วย Minitab

Sample	X	N	Sample p
1	20	110	0.18181
2	1	62	0.01612

Difference = p (1) - p (2)

Estimate for difference: 0.165689

95% CI for difference: (0.087086 , 0.244292)

Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = 4.13 P-Value = 0.000

Fisher's exact test: P-Value = 0.000

พบว่าค่า $Z = 4.13$ เป็นผลให้เกิดการปฏิเสธ H_0 นั้นหมายความว่าค่าสัดส่วนของเสียจากประชากรกลุ่มที่ 1 ไม่เท่ากับค่าสัดส่วนของเสียจากประชากรกลุ่มที่ 2 ซึ่งเป็นไปในลักษณะค่าสัดส่วนของเสียจากประชากรกลุ่มที่ 1 มากกว่าของกลุ่มที่ 2 นั้นการปรับปรุงคุณภาพมีผลให้ลดค่าสัดส่วนของเสียอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ และค่า $p\text{-value} = 0.000$

เมื่อคำนวณค่าความน่าจะเป็นของโอกาสการเกิดข้อผิดพลาดชนิดที่ 2 (β error) ซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$\beta = \Phi \left[\frac{z_{\alpha/2} \sqrt{\bar{p}\bar{q}(1/n_1 + 1/n_2)} - (p_1 - p_2)}{\sigma_{\hat{p}_1 - \hat{p}_2}} \right] - \Phi \left[\frac{-z_{\alpha/2} \sqrt{\bar{p}\bar{q}(1/n_1 + 1/n_2)} - (p_1 - p_2)}{\sigma_{\hat{p}_1 - \hat{p}_2}} \right]$$

$$\text{เมื่อ} \quad \bar{p} = \frac{n_1 p_1 + n_2 p_2}{n_1 + n_2} \quad \text{และ} \quad \bar{q} = \frac{n_1(1 - p_1) + n_2(1 - p_2)}{n_1 + n_2}$$

$$\text{และ} \quad \sigma_{\hat{p}_1 - \hat{p}_2} = \sqrt{\frac{p_1(1 - p_1)}{n_1} + \frac{p_2(1 - p_2)}{n_2}}$$

พบว่า $\beta = 0.0918$ นั้นแสดงว่ากำลังการทดสอบอยู่ที่ 0.9082 หรือ 90.82% ซึ่งเพียงพอแล้ว

การทดสอบสมมติฐานค่าสัดส่วนของเสียของประชากรสองกลุ่ม

ข้อมูลค่าสัดส่วนของเสียของประชากรสรุปได้ดังนี้

ประชากร	จำนวนข้อมูล	ของเสีย	สัดส่วน (p)
ก่อนการปรับปรุง	110	20	0.1818
หลังการปรับปรุง	62	1	0.0161

สมมติฐานของการทดสอบ

$$H_0 : p_1 - p_2 = 0.10$$

$$H_1 : p_1 - p_2 < 0.10$$

ทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตัวสถิติที่ใช้ในการทดสอบ คือ

$$Z = \frac{\hat{p}_1 - \hat{p}_2 - (p_1 - p_2)}{\sqrt{\frac{p_1(1-p_1)}{n_1} + \frac{p_2(1-p_2)}{n_2}}}$$

พื้นที่แห่งการยอมรับอยู่ในช่วง $(-1.64, +\infty)$ ของการกระจายแบบปกติมาตรฐาน

ทดสอบด้วย Minitab

Sample	X	N	Sample p
1	20	110	0.181818
2	1	62	0.016129

Difference = p (1) - p (2)

Estimate for difference: 0.0793548

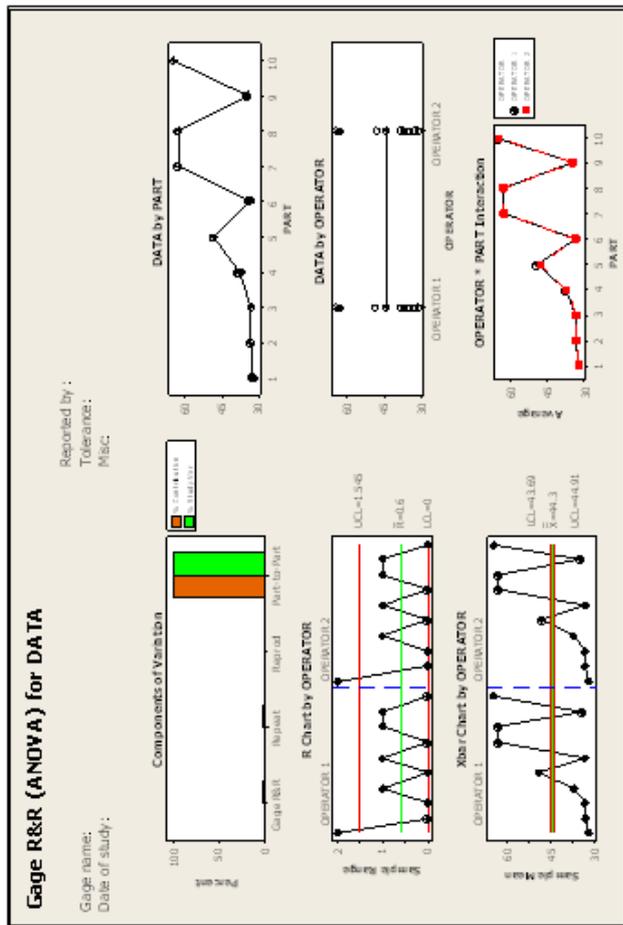
95% lower bound for difference: 0.0553362

Test for difference = 0.1 (vs > 0.1): Z = -1.41 P-Value = 0.921

พบว่าค่า $Z = -1.41$ เป็นผลให้เกิดการยอมรับ H_0 นั้นหมายความว่าค่าสัดส่วนของเสียจากประชากรกลุ่มที่ 1 มากกว่าค่าสัดส่วนของเสียจากประชากรกลุ่มที่ 2 อย่างน้อย 10% และค่า $p\text{-value} = 0.921$

ภาคผนวก ข

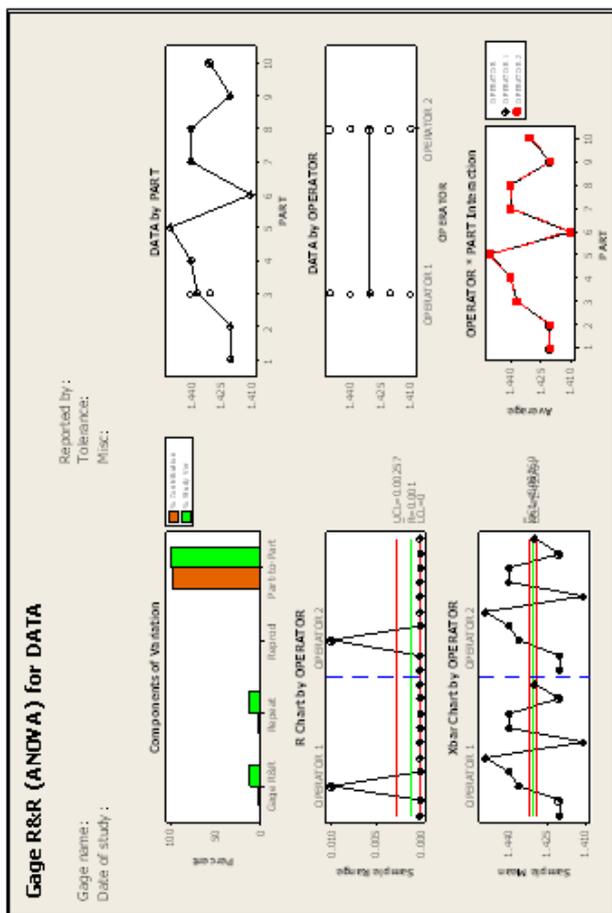
ค่าชดเชยเงินบำนาญของงานเจ็ดกรรมาที่ตั้ง



ภาพที่ 15 ค่าซิกแมนูนอยส์ไรซ์ของ SPT

Number of Distinct Categories = 42

S/N SPT = 29.70



Gage R&R

Source	StdDev (SD)	(6 * SD)	(%SV)
Total Gage R&R	0.0016496	0.0098974	12.95
Repeatability	0.0016496	0.0098974	12.95
Reproducibility	0.0000000	0.0000000	0.00
OPERATOR	0.0000000	0.0000000	0.00
Part-To-Part	0.0126312	0.0757870	99.16
Total Variation	0.0127384	0.0764306	100.00

ภาพที่16 ค่าซิกแมนูมอเรีย โขง Density

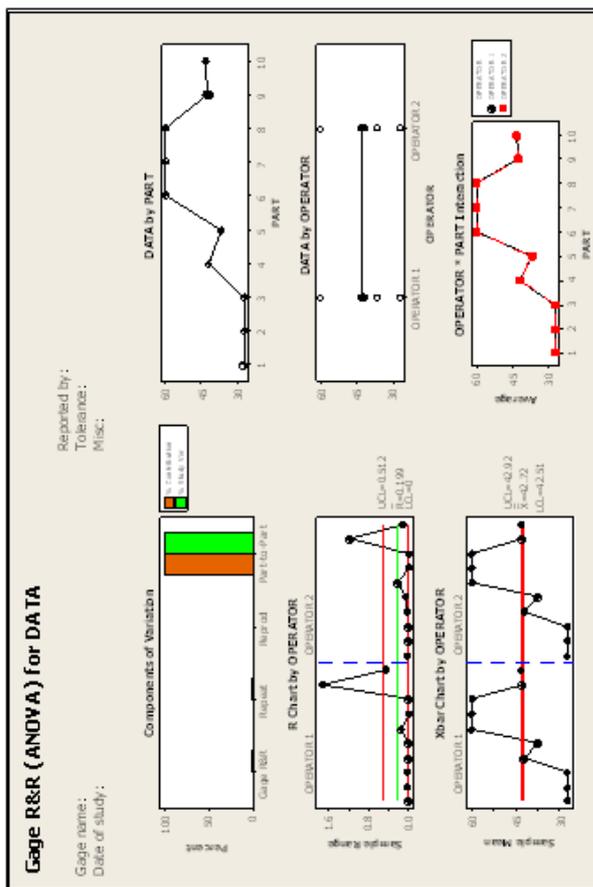
Number of Distinct Categories = 10

SIN DENSITY = 7.07

Gage R&R

Source	VarComp	(of VarComp)	%Contribution
Total Gage R&R	0.064		0.03
Repeatability	0.064		0.03
Reproducibility	0.000		0.00
OPERATOR	0.000		0.00
Part-To-Part	183.869		99.97
Total Variation	183.932		100.00

Source	StdDev (SD)	(6 * SD)	(%SV)
Total Gage R&R	0.2526	1.5154	1.86
Repeatability	0.2526	1.5154	1.86
Reproducibility	0.0000	0.0000	0.00
OPERATOR	0.0000	0.0000	0.00
Part-To-Part	13.5598	81.3589	99.98
Total Variation	13.5622	81.3730	100.00



ภาพที่ 17 ค่าซิกเมตตามอนอเรียซ์ ของ Compression Test

Number of Distinct Categories = 75

S/N COMPRESSION = 53.03

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นายพงศ์ศักดิ์ แซ่หลี
ที่อยู่	377/177 ตำบลบ้านคลองสวน อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ 10290
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ.2538	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตร บัณฑิต (สาขาวิศวกรรมโยธา) มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ เขตหนองแขม แขวงหนองค้างพลู กรุงเทพมหานคร
พ.ศ.2550	กำลังศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ.2544 - 2551	บริษัท ซีเอสโก้ เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด วิศวกร โครงการ ฝ่ายก่อสร้าง
พ.ศ.2547 - ปัจจุบัน	บริษัท เอเชีย จีโอ ซัพพลาย จำกัด 89/112 แขวง บางมด เขต ทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร ตำแหน่ง กรรมการผู้จัดการ
พ.ศ.2549 - ปัจจุบัน	บริษัท แคสแลบ (ประเทศไทย) จำกัด 377/176 หมู่ 2 ตำบล บ้านคลองสวน อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ 10290 ตำแหน่ง กรรมการผู้จัดการ