

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญตาราง	ฐ
สารบัญภาพ	ฒ
สัญลักษณ์	บ
 บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาที่นำไปสู่การค้นคว้าวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย	4
 บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในโครงการวิจัย	6
2.1.1 วิธีสถิติศาสตร์	6
2.1.2 วิธีพลศาสตร์	8
2.1.3 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มในสนาม	17
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
2.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหาลำกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม โดยสถิติศาสตร์	28
2.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหาลำกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม โดยพลศาสตร์	45
2.1.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหาลำกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม จากการทดสอบกำลังรับน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มในสนาม	52

	หน้า
บทที่ 3 การหาวิธีการที่เหมาะสมในการหาค่าน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มตอกจากผล	
การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มในสนามสำหรับจังหวัดเชียงใหม่	58
3.1 ลักษณะของข้อมูล	58
3.1.1 ข้อมูลการทดสอบที่แสดงลักษณะพิบัติ	58
3.1.2 ข้อมูลการทดสอบเสาเข็มที่ยังไม่แสดงลักษณะพิบัติ	59
3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล	59
3.2.1 ลักษณะกราฟความสัมพันธ์ของน้ำหนักและการทรุดตัวของเสาเข็ม	
ที่ได้จากการทดสอบในเชียงใหม่	59
3.2.2 ค่าน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มทดสอบที่หาได้จากวิธีการหาค่าน้ำหนัก	
ของเสาเข็มวิธีต่างๆ	62
3.3 วิจัยรณผลและวิธีการหาค่าน้ำหนักพิบัติจากวิธีการต่างๆ 9 วิธี ที่นำมาหาค่า	
กับตัวอย่างข้อมูลในเชียงใหม่	68
3.3.1 วิธีการของ Chin	68
3.3.2 วิธีการของ Davisson	71
3.3.3 วิธีการของ De Beer	75
3.3.4 วิธีการของ Fuller, Butler และ Hoy	77
3.3.5 วิธีการของ Brinch Hansen 90% Criterion	79
3.3.6 วิธีการของ Brinch Hansen 80% Criterion	79
3.3.7 วิธีการของ Van der Veen	80
3.3.8 วิธีการของ Marzulkiewicz	84
3.4 สรุปผล วิธีการที่เหมาะสมในหาค่าน้ำหนักของเสาเข็มจากการทดสอบ	
เสาเข็มในสนามสำหรับเชียงใหม่	88
3.4.1 การเลือกวิธีการที่เหมาะสมในการประเมินหาค่ากำลังรับน้ำหนักพิบัติ	
ของเสาเข็มตอกจากการทดสอบในสนามสำหรับเชียงใหม่จากข้อมูล	
ที่แสดงการพิบัติ	89
3.4.2 การเลือกวิธีการที่เหมาะสมในการประเมินหาค่ากำลังรับน้ำหนักพิบัติ	
ของเสาเข็มตอกจากการทดสอบในสนามสำหรับเชียงใหม่จากข้อมูล	
ที่ยังไม่แสดงการพิบัติ	94

	หน้า
3.4.3 สรุป	95
บทที่ 4 การหาสูตรการตอกเสาเข็มที่เหมาะสมสำหรับชั้นดินเชิงใหม่	96
4.1 รายละเอียดต่างๆของข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์สูตรการตอกเสาเข็ม	96
4.1.1 จำนวน, ชนิด, รูปร่างหน้าตัด, ขนาด, ความยาวของเสาเข็ม ตัวอย่างที่นำมาทำการวิเคราะห์	96
4.1.2 ชนิดและน้ำหนักของตุ้มตอกที่ใช้ในการตอกเสาเข็ม	96
4.1.3 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มในสนามกับกำลังรับน้ำหนัก พิบัติของเสาเข็มที่จะนำมาทำการวิเคราะห์	97
4.2 สูตรการตอกเสาเข็มที่นำมาทำการวิเคราะห์	97
4.2.1 พารามิเตอร์ต่างๆที่นำมาแทนค่าในสูตรการตอกเสาเข็ม	97
4.3 การวิเคราะห์หาสูตรการตอกเสาเข็มที่เหมาะสมสำหรับเชิงใหม่	105
4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่คำนวณได้ จากสูตรกับค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบ ในสนาม	112
4.3.2 วิเคราะห์ สรุป สูตรการตอกเสาเข็มที่เหมาะสมจากค่าตัวแปรทางสถิติ	117
4.3.3 การวิเคราะห์หาสูตรการตอกเสาเข็มจากลักษณะชั้นดินเชิงใหม่	121
4.3.4 การวิเคราะห์หาสูตรการตอกเสาเข็มจากความยาวของเสาเข็ม	122
4.4 การวิเคราะห์หาค่าตัวประกอบความปลอดภัยของแต่ละสูตรการตอกเสาเข็ม สำหรับเชิงใหม่	122
4.4.1 การวิเคราะห์หาค่าตัวประกอบความปลอดภัยของสูตรการตอกเสาเข็ม แต่ละสูตร	122
4.4.2 การวิเคราะห์หาสูตรการตอกเสาเข็มที่เหมาะสมสำหรับค่าตัวประกอบ ความปลอดภัยที่แนะนำ	126
4.5 สรุป	133
บทที่ 5 การคำนวณหาลำกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มสำหรับชั้นดินเชิงใหม่	139
5.1 ลักษณะของข้อมูลผลการเจาะสำรวจชั้นดินในเชิงใหม่	139

	หน้า
5.2 การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า Unconfined Compressive Strength, q_u กับค่า N ที่ได้จากการทดสอบ Standard Penetration Test, SPT	144
5.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Unconfined Compressive Strength, q_u กับค่า N ที่ได้จากการทดสอบ Standard Penetration Test, SPT	144
5.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Unconfined Compressive Strength, q_u กับค่า N ที่ได้จากการทดสอบ Standard Penetration Test, SPT ของดินเหนียวแข็ง-ใหม่กับกราฟความสัมพันธ์จากงานวิจัยต่างๆ	146
5.3 พารามิเตอร์ในการหาค่าแรงแบกทานของเสาเข็ม	150
5.3.1 ปลายเสาเข็มอยู่ในดินเหนียว	150
5.3.2 ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นดินทราย	151
5.4 พารามิเตอร์ในการหาค่าแรงเสียดทานด้านข้างเสาเข็ม	153
5.4.1 เสาเข็มสัมผัสกับดินเหนียว	153
5.4.2 เสาเข็มสัมผัสกับดินทราย	155
5.5 การวิเคราะห์การใช้พารามิเตอร์ในการคำนวณหาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มจากการทดสอบเสาเข็มในสนาม	157
5.5.1 รายละเอียดของเสาเข็มทดสอบและการทดสอบเสาเข็ม	157
5.5.2 การวิเคราะห์พารามิเตอร์จากการทดสอบเสาเข็ม	158
5.5.3 ผลการวิเคราะห์หาพารามิเตอร์จากเสาเข็มทดสอบ	160
5.6 ผลการคำนวณค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มจากการใช้พารามิเตอร์ที่แนะนำ	161
5.7 สรุป	165
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	167
6.1 สรุปผลการวิจัย	167
6.1.1 การหาวิธีที่เหมาะสมในการหาค่ากำลังรับน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มคอกจากผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มในสนามสำหรับเชียงใหม่	167
6.1.2 การหาสูตรการคอกเสาเข็มที่เหมาะสมสำหรับเชียงใหม่	169
6.1.3 การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับหาค่ากำลังรับน้ำหนักพิบัติโดยวิธีทางสถิติศาสตร์	170

	หน้า
6.2 ข้อเสนอแนะ	171
บรรณานุกรม	173
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก แสดงข้อมูลของตัวอย่างเสาเข็มที่นำมาทำการวิจัย	177
ภาคผนวก ข แสดงลักษณะข้อมูลของการทดสอบเสาเข็ม	221
ภาคผนวก ค ความรู้เพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	230
ประวัติผู้เขียน	243

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 แสดงค่าน้ำหนักค่าสุดของคัมที่ใช้ในการตอกเสาเข็มกับค่าความยาวที่เหมาะสม	16
2.2 แสดงการวิเคราะห์หาค่ากำลังรับน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มตามวิธีการของ Chin	19
2.3 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า N ที่ได้จากการทดสอบ SPT กับค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ	30
2.4 แสดงค่า $\tan \delta$ ตามวัสดุที่ใช้ทำเสาเข็ม	34
2.5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การยึดเกาะสำหรับเสาเข็มตอกในดินเหนียวแข็ง	36
2.6 แสดงค่าของ K และ δ	40
2.7 แสดงค่ามุมเสียดทานระหว่างเสาเข็มกับดินด้านข้าง δ	43
2.8 แสดงค่า K	43
2.9 แสดงชนิดของเสาเข็มที่ทำการทดสอบ	52
2.10 แสดงจำนวนเสาเข็มที่ทำการทดสอบในจังหวัดต่าง ๆ	52
3.1 แสดงค่าน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มทดสอบที่หาได้จากวิธีการต่าง ๆ จากข้อมูลการทดสอบที่แสดงลักษณะพิบัติ	64
3.2 แสดงค่าน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มทดสอบที่หาได้จากวิธีการต่าง ๆ จากข้อมูลการทดสอบที่ยังไม่แสดงลักษณะพิบัติ	64
4.1 รายละเอียดของเสาเข็ม คัมตอกเสาเข็มและระยะทรุดตัวจากการตอกครั้งสุดท้ายของเสาเข็ม	98
4.2 แสดงสูตรการตอกเสาเข็ม 9 สูตรที่จะนำมาแทนค่า	100
4.3 แสดงค่าประสิทธิภาพของคัมที่ใช้ตอกเสาเข็ม	102
4.4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การคืบตัว	102
4.5 แสดงค่าการยุบตัวยึดหยุ่นที่ใช้ใน Hiley Equation	103
4.6 แสดงค่าการยุบตัวยึดหยุ่นที่ใช้ใน Hiley Equation ตามคำแนะนำของ วสท.(2521)	104
4.7 แสดงค่าการยุบตัวยึดหยุ่นที่จะนำไปแทนค่าในสมการของ Hiley	104
4.8 แสดงค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มตอกที่คำนวณได้จากสูตรเสาเข็มที่ทำการพิจารณาและที่ได้จากการทดสอบเสาเข็มในสนาม	111

ตาราง	หน้า
4.9 แสดงค่า B R^2 และค่า C ของข้อมูลตัวอย่างทั้งหมด 25 ตัวอย่าง	113
4.10 แสดงค่า B R^2 และค่า C ของข้อมูลตัวอย่างทั้งหมด 16 ตัวอย่าง ที่เสาเข็มที่ทำการทดสอบในสนามมีกำลังน้อยกว่า 150 ตัน	114
4.11 แสดงค่า B R^2 และค่า C ของข้อมูลตัวอย่างทั้งหมด 16 ตัวอย่าง ที่เสาเข็มที่ทำการทดสอบในสนามมีกำลังมากกว่า 150 ตัน	114
4.12 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดในการคำนวณของ Gate Formula กรณีที่กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มในสนามมีค่าน้อยกว่า 150 ตัน	115
4.13 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดในการคำนวณของ Hiley Equation กรณีที่กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มในสนามมีค่ามากกว่า 150 ตัน	116
4.14 แสดงโครงการที่มีข้อมูลผลการเจาะสำรวจดินและจำนวนเสาเข็มทดสอบในโครงการ	118
4.15 แสดงค่าตัวประกอบความปลอดภัยของค่าน้ำหนักพิบัติที่คำนวณได้จากสูตรการตอกเสาเข็มกับค่าน้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบ	123
4.16 แสดงค่าตัวประกอบความปลอดภัยของสูตรการตอกเสาเข็มต่าง ๆ สำหรับเชิงใหม่	125
4.17 แสดงค่าน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มตอกที่ยอมให้จากค่าตัวประกอบความปลอดภัยที่แนะนำและที่ได้จากการทดสอบ PLT	127
4.18 แสดงค่าตัวประกอบความปลอดภัยที่ปรับแก้แล้ว	133
5.1 แสดงข้อมูลของค่า N จาก SPT กับค่า q_u ในเชิงใหม่	141
5.2 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ค่า N และค่า ϕ ของทราย	156
5.3 แสดงค่ากำลังรับน้ำหนักที่คำนวณได้ของเสาเข็มทดสอบกับค่าที่ได้จากการทดสอบในสนาม	160
5.4 แสดงค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่หาได้จากวิธีสถิติและจากการทดสอบเสาเข็มในสนามที่ใช้ N_u ตามคำแนะนำของ Berezontzev ตามรูปที่ 2.11	163
5.5 แสดงค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่หาได้จากวิธีสถิติและจากการทดสอบเสาเข็มในสนามที่ปลายเสาเข็มวางบนชั้นดินเหนียว	164
ก 1 แสดงความสมบูรณ์ของข้อมูลตัวอย่างของเสาเข็มที่นำมาทำการวิจัยทั้ง 56 ตัวอย่าง	181
ก 2 แสดงการสรุปลักษณะของชั้นดินที่มีการทดสอบเสาเข็ม	185
ก 3 สรุปค่าความสามารถในการรับน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มทดสอบจากโครงการตัวอย่างจำนวน 56 ตัวอย่าง	218
ข 1 แสดงสรุปคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวแข็งในบริเวณที่ทำการทดสอบเสาเข็ม	225

สารบัญรูป

รูป	หน้า
2.1 แสดงการเคลื่อนที่ของเสาเข็มขณะที่ทำการตอกเสาเข็ม	9
2.2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ตามวิธีการหาค่ากำลังรับน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มตามวิธีการของ Chin	19
2.3 แสดงการประมาณค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่มีเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัวที่แตกต่างกัน	21
2.4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของน้ำหนักและการทรุดตัวของ Plantema Sounding Pile	22
2.5 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของน้ำหนักและการทรุดตัวของ Plantema Sounding Pile ในแกนของสเกลลอค	23
2.6 แสดงกราฟการหาค่าน้ำหนักบรรทุกพิบัติของเสาเข็มตามวิธีการของ C. van der Veen	24
2.7 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัวของเสาเข็มตัวอย่าง	25
2.8 แสดงการหาค่ากำลังรับน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มตามวิธีการของ Davisson	25
2.9 แสดงการหาค่ากำลังรับน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มตามวิธีการของ Brinch Hansen 90%	26
2.10 แสดงการหาค่ากำลังรับน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มตามวิธีการของ Brinch Hansen 80%	27
2.11 แสดงรูปแบบวิธีการหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกจากผลการทดสอบเสาเข็ม	27
2.12 แสดงการหาค่ากำลังรับน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มตามวิธีการของ Fuller Butler และ Hoy	28
2.13 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลการทดสอบ SPT และค่า Unconfined Shear Strength	29
2.14 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า N ที่ได้จากการทดสอบ SPT กับค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ	30
2.15 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า N กับ ϕ และ N_q	31
2.16 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การยึดเกาะกับค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำสำหรับดินเหนียวแข็งเชิงใหม่	32
2.17 แสดงกราฟแก้ไขสัมประสิทธิ์การยึดเกาะกับค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ	33
2.18 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การยึดเกาะกับค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินเหนียวแข็งเชิงใหม่กับงานวิจัยอื่นๆ	33

รูป	หน้า
2.19 แสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างตามเงื่อนไขต่าง ๆ ของดินก่อนการตอกและหลังการตอกเสาเข็ม	34
2.20 แสดงการหาค่าความลึกวิกฤติในการหาค่าความดันประสิทธิผลเนื่องจากแรงดันดินด้านบน	36
2.21 แสดงค่า N_u ต่าง ๆ ที่มีผู้เสนอไว้	35
2.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Undrained Shear Strength กับ Adhesion Factor	36
2.23 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การยึดเกาะสำหรับกรณีที่ 1 ตามตารางที่ 2.4	37
2.24 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การยึดเกาะสำหรับกรณีที่ 3 ตามตารางที่ 2.4	37
2.25 แสดงค่า N_u ของฐานรากที่อยู่ในดินเหนียว ($\phi=0$)	38
2.26 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่า N_u	38
2.27 แสดงกราฟความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกวิกฤติและพารามิเตอร์สำหรับหาค่าแรงเสียดทานด้านข้างของเสาเข็มในดินทราย	39
2.28 แสดงค่า N_u ของ Berezantzev ที่ปรับปรุงโดย Tomlinson	40
2.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การยึดเกาะกับค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินเหนียวแข็ง	41
2.30 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การยึดเกาะของเสาเข็มตอกที่รับน้ำหนักมากและมีความยาวมาก	42
2.31 แสดงค่า N_u ที่แนะนำให้ใช้ในการออกแบบ	44
2.32 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การยึดเกาะที่แนะนำในการออกแบบ	44
2.33 แสดงการเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มที่ได้จาก Pile Load Test และ สูตรการตอกเสาเข็มที่น่าเชื่อถือ	46
2.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสูตรการตอกเสาเข็มที่พิจารณากับ Static Pile Load Test	49
2.35 แสดงรูปแบบกราฟวิธี Modified Marzulkiewicz	53
2.36 แสดงค่ากำลังรับน้ำหนักพิบัติของเสาเข็มที่ประเมินได้จากวิธีการประเมินต่างๆ	56
2.37 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและการทรุดตัวที่ได้จากการทดสอบ	57
3.1 ตัวอย่างลักษณะของตัวอย่างเส้นกราฟความสัมพันธ์ของค่าน้ำหนักและการทรุดตัวทั้งที่เป็นแบบทั้งหมดและส่วนที่จะนำมาทำการหาค่าน้ำหนักพิบัติ	60
3.2 แสดงลักษณะกราฟความสัมพันธ์ของน้ำหนักและการทรุดตัวของเสาเข็มที่ทดสอบแสดงลักษณะพิบัติทั้ง 6 ข้อมูลตัวอย่าง	61

รูป	หน้า
3.3 แสดงลักษณะกราฟความสัมพันธ์ของน้ำหนักและการทรุดตัวของข้อมูลที่ยังไม่แสดงการพิบัติ จำนวน 6 ตัวอย่าง	63
3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกราฟของน้ำหนักและการทรุดตัวของเสาเข็มกับกราฟความสัมพันธ์ของ Chin	69
3.5 แสดงลักษณะของกราฟความสัมพันธ์ ของ Chin ที่ได้จากข้อมูลตัวอย่างทั้ง 2 แบบ	70
3.6 แสดงตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัวที่ไม่สามารถทำการหาค่าน้ำหนักพิบัติโดยวิธีการของ Davisson ได้	72
3.7 แสดงตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัวจากข้อมูลที่ไม่แสดงลักษณะการพิบัติและไม่สามารถทำการหาค่าน้ำหนักพิบัติโดยวิธีการของ Davisson ได้	73
3.8 แสดงตัวอย่างของกราฟความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัวที่ทำการหาค่าน้ำหนักพิบัติจากวิธีการของ Davisson ได้	74
3.9 แสดงตัวอย่างการหาค่าน้ำหนักตามวิธีการของ De Beer กับลักษณะกราฟความสัมพันธ์ของน้ำหนักและการทรุดตัวในลักษณะที่แสดงการพิบัติ	76
3.10 แสดงตัวอย่างการหาค่าน้ำหนักตามวิธีการของ De Beer กับลักษณะกราฟความสัมพันธ์ของน้ำหนักและการทรุดตัวในลักษณะที่ไม่แสดงการพิบัติ	76
3.11 แสดงตัวอย่างการหาค่าน้ำหนักตามวิธีการของ Fuller Burtler และ Hoy กับลักษณะกราฟความสัมพันธ์ของน้ำหนักและการทรุดตัวในลักษณะที่แสดงการพิบัติ	78
3.12 แสดงตัวอย่างการหาค่าน้ำหนักตามวิธีการของ Fuller Burtler และ Hoy กับลักษณะกราฟความสัมพันธ์ของน้ำหนักและการทรุดตัวในลักษณะที่ไม่แสดงการพิบัติ	78
3.13 แสดงตัวอย่างการหาค่าน้ำหนักตามวิธีการของ Brinch Hansen 80% Criterion กับลักษณะกราฟความสัมพันธ์ของน้ำหนักและการทรุดตัวในลักษณะที่แสดงการพิบัติ	81
3.14 แสดงตัวอย่างการหาค่าน้ำหนักตามวิธีการของ Brinch Hansen 80% Criterion กับลักษณะกราฟความสัมพันธ์ของน้ำหนักและการทรุดตัวในลักษณะที่ไม่แสดงการพิบัติ	82
3.15 แสดงตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ของ Van de Veen ที่ยากต่อการตัดสินใจในการ (a) เลือกเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของน้ำหนักพิบัติของโครงการสะพานแม่กว้งตันที่ T8	83
3.15 แสดงตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ของ Van de Veen ที่ยากต่อการตัดสินใจในการ (b) เลือกเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของน้ำหนักพิบัติของโครงการแกรนด์ริมปีง	84

รูป	หน้า
3.16 แสดงตัวอย่างการหาค่าน้ำหนักพิบัติโดยวิธีการของ Mazurkiewicz กับข้อมูลที่ไม่แสดงลักษณะการพิบัติ	86
3.17 แสดงตัวอย่างการหาค่าน้ำหนักพิบัติโดยวิธีการของ Mazurkiewicz กับข้อมูลที่ไม่แสดงลักษณะการพิบัติ	87
3.18 แสดงการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักพิบัติที่ได้บนกราฟความสัมพันธ์ของน้ำหนักและการทรุดตัวในกรณีที่เราเพิ่มพิบัติทั้งหมด(ไม่พิจารณาการทรุดตัว)	91
4.1a แสดงกราฟความสัมพันธ์ของกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ได้จากสูตร Danish กับ Eytelwein Formula กับค่าที่ได้จากการทดสอบในสนาม	107
4.1b แสดงกราฟความสัมพันธ์ของกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ได้จากสูตร Gate Janbu และ Modified Engineering News Formula กับค่าที่ได้จากการทดสอบในสนาม	108
4.1c แสดงกราฟความสัมพันธ์ของกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ได้จากสูตร Navy-McKay Canadian และ PCUBC Formula กับค่าที่ได้จากการทดสอบในสนาม	109
4.1d แสดงกราฟความสัมพันธ์ของกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ได้จากสูตร Hiley Equation a และ Hiley Equation b กับค่าที่ได้จากการทดสอบในสนาม	110
4.2 แสดงความสัมพันธ์ของค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่คำนวณได้จากสูตรการดักเสาเข็มที่ให้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดสอบในสนามกรณีที่เสาเข็มรับน้ำหนักน้อยกว่า150ตัน	116
4.3 แสดงความสัมพันธ์ของค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่คำนวณได้จากสูตรการดักเสาเข็มที่ให้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดสอบในสนามกรณีที่เสาเข็มรับน้ำหนักมากกว่า150ตัน	117
4.4 แสดงลักษณะชั้นดินประเภทที่ 1 ชั้นทรายสลับดินเหนียว	119
4.5 แสดงลักษณะชั้นดินประเภทที่ 2 ชั้นทราย	119
4.6 แสดงกราฟการกระจายของค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่คำนวณได้จากสูตรของ Gate Formula และสูตรต่างๆกับค่าที่ได้จากการทดสอบในสนามที่เสาเข็มที่อยู่ในดินประเภทที่1	120
4.7 แสดงกราฟการกระจายของค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่คำนวณได้จากสูตรของ Hiley Equation ที่ใช้ค่าการยุบตัวตามคำแนะนำของ Bowles(1988) และสูตรต่างๆกับค่าที่ได้จากการทดสอบในสนามที่เสาเข็มอยู่ในชั้นดินประเภทที่ 2	121
4.8 แสดงกราฟค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ยอมให้จากการใช้ตัวประกอบความปลอดภัยที่แนะนำ	128
4.9 แสดงค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ยอมให้ทั้งสองกรณี	134

รูป	หน้า
5.1 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่า N จากการทดสอบ SPT กับค่า Unconfined Compressive Strength ของเชิงใหม่	145
5.2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่า N และค่า q_u ของดินเหนียวเชิงใหม่กับ Terzaghi และ Peck	146
5.3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่า N และค่า q_u ของดินเหนียวเชิงใหม่กับ Sowers	148
5.4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่า N และค่า q_u ของดินเหนียวเชิงใหม่กับ Sowers กับ ดินเหนียวเชิงใหม่ที่เป็น Low Plasticity	148
5.5 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่า N และค่า q_u ของดินเหนียวเชิงใหม่กับ Sowers กับ ดินเหนียวเชิงใหม่ที่เป็น High Plasticity	149
5.6 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่า N และค่า q_u ของดินเหนียวเชิงใหม่กับกราฟความสัมพันธ์ของงานวิจัยอื่นๆ	149
5.7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การยึดเกาะกับค่า Undrained Shear Strength ของดินเหนียวแข็งเชิงใหม่	154
5.8 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของแรงเสียดทานด้านข้างกับแรงแบกทานที่ปลายเสาเข็ม กับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มทดสอบ	162
5.9 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มจากตารางที่ 5.4	163
5.10 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มจากตารางที่ 5.5	164
5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ได้จากการคำนวณและที่ได้จากการทดสอบเสาเข็มในสนาม ทั้งกรณีปลายเสาเข็มอยู่ในดินเหนียวและดินทราย	165
ก 1 แสดงตำแหน่งพื้นที่บริเวณที่ตั้งของเสาเข็มตัวอย่าง	178
ก 2 แสดงตำแหน่งที่ตั้งและการกระจายของข้อมูลเสาเข็มตัวอย่างในจังหวัดเชิงใหม่	179
ก 3 แสดงตำแหน่งของเสาเข็มตัวอย่างในเขตเมืองเชิงใหม่	180
ก 4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการทรุดตัวในการให้น้ำหนักบรรทุกรอบสุดท้ายของเสาเข็มคันที่ 1 และ 2	190
ก 5 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการทรุดตัวในการให้น้ำหนักบรรทุกรอบสุดท้ายของเสาเข็มคันที่ 3 และ 4	191
ก 6 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการทรุดตัวในการให้น้ำหนักบรรทุกรอบสุดท้ายของเสาเข็มคันที่ 5 และ 6	192

รูป	หน้า
ก 21 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการทรุดตัวในการให้น้ำหนัก บรรทุกรอบสุดท้ายของเสาเข็มต้นที่ 35 และ 36	207
ก 22 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการทรุดตัวในการให้น้ำหนัก บรรทุกรอบสุดท้ายของเสาเข็มต้นที่ 37 และ 38	208
ก 23 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการทรุดตัวในการให้น้ำหนัก บรรทุกรอบสุดท้ายของเสาเข็มต้นที่ 39 และ 40	209
ก 24 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการทรุดตัวในการให้น้ำหนัก บรรทุกรอบสุดท้ายของเสาเข็มต้นที่ 41 และ 42	210
ก 25 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการทรุดตัวในการให้น้ำหนัก บรรทุกรอบสุดท้ายของเสาเข็มต้นที่ 43 และ 44	211
ก 26 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการทรุดตัวในการให้น้ำหนัก บรรทุกรอบสุดท้ายของเสาเข็มต้นที่ 45 และ 46	212
ก 27 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการทรุดตัวในการให้น้ำหนัก บรรทุกรอบสุดท้ายของเสาเข็มต้นที่ 47 และ 48	213
ก 28 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการทรุดตัวในการให้น้ำหนัก บรรทุกรอบสุดท้ายของเสาเข็มต้นที่ 49 และ 50	214
ก 29 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการทรุดตัวในการให้น้ำหนัก บรรทุกรอบสุดท้ายของเสาเข็มต้นที่ 51 และ 52	215
ก 30 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการทรุดตัวในการให้น้ำหนัก บรรทุกรอบสุดท้ายของเสาเข็มต้นที่ 53 และ 54	216
ก 31 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการทรุดตัวในการให้น้ำหนัก บรรทุกรอบสุดท้ายของเสาเข็มต้นที่ 55 และ 56	217
ข 1 แสดงบริเวณที่ทำการทดสอบเสาเข็มในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่	222
ข 2 แสดงแผนผังการทดสอบเสาเข็ม	223
ข 3 แสดงสรุปลักษณะชั้นดินที่ทำการทดสอบเสาเข็ม	224
ข 4 แสดงลักษณะชั้นดินโครงการวงแหวนรอบกลางเชียงใหม่	226
ข 5 แสดงข้อมูลและผลการทดสอบเสาเข็มในสนาม	227
ข 6 แสดงรูปการติดตั้งและการทดสอบเสาเข็ม	228
ค 1 แสดงการให้น้ำหนักเสาเข็มวิธีการต่างๆ	233

รูป	หน้า
ค 2 แสดงลักษณะของเส้นกราฟความสัมพันธ์ทางสถิติที่พิจารณา	235
ค 3 ระบบการวางน้ำหนักลงบนหัวเสาเข็มโดยตรง	238
ค 4 ระบบการวางน้ำหนักโดยใช้แม่แรงไฮดรอลิก	239
ค 5 ระบบการให้น้ำหนักโดยใช้แม่แรงไฮดรอลิกกับเสาเข็มสมอ	240

สัญลักษณ์

- P_u = น้ำหนักบรรทุกทุกพิบัติของเสาเข็ม(Ultimate Pile Capacity)
 P_{pu} = ค่าแรงแบกทานที่ปลายของเสาเข็ม(Pile Point Capacity)
 P_{fu} = ค่าแรงเสียดทานข้างเสาเข็ม(Skin Friction Resistance)
 A_p = พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม
 N_c, N_q, N_γ = ตัวประกอบความสามารถในการรับแรงแบกทาน(Bearing Capacity Factor)
 สำหรับฐานรากลึก
 q = ความดันจากน้ำหนักดินข้างบน(Overburden Pressure)
 q_u = Unconfined Compressive Strength
 c = ค่าการยึดเกาะ(Cohesion) ของดิน
 S_u = ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength) ของดิน
 A_s = พื้นที่โดยรอบของเสาเข็มที่ทำให้เกิดแรงเสียดทาน = $P \times \Delta L$
 P = ความยาวเส้นรอบรูปของเสาเข็ม
 ΔL = ความหนาของชั้นดินที่ เสาเข็มสัมผัส
 f_s = แรงเสียดทานผิวของเสาเข็ม(Skin Resistance)
 α = สัมประสิทธิ์การยึดเกาะ(Adhesion Factor)
 σ'_v = หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่ง(Effective Vertical Stress)บน ΔL
 K = สัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้าง(Coefficient of Lateral Earth Pressure)
 δ = มุมเสียดทาน(Friction Angle) ระหว่างดินกับเสาเข็ม
 g = ความเร่งของแรงโน้มถ่วงของโลก
 h = ระยะยกของตุ้มตอกเสาเข็ม
 I = Impulse ที่ทำให้เกิด การยุบตัว(Compression)
 m = มวลของวัตถุ = W/g
 M_r = โมเมนตัมของลูกตุ้ม = $m_r \times V$
 M_p = โมเมนตัมของเสาเข็ม = $m_p \times V$
 n = สัมประสิทธิ์การคืนตัว (Coefficient of Restitution)
 nI = Impulseที่ทำให้เกิดการคืนตัว
 s = ระยะจมของเสาเข็มเนื่องจากการตอกครั้งสุดท้าย

- V_{∞} = ความเร็วของตุ้มดอกเส้าเข็มและเส้าเข็มในช่วงสุดท้ายของการเกิดการยุบตัว
- V_I = ความเร็วของตุ้มดอกเส้าเข็มขณะที่กระทบกับหัวเส้าเข็ม
- V_p = ความเร็วของเส้าเข็มในช่วงสุดท้ายของการคืนตัว
- V_r = ความเร็วของตุ้มดอกเส้าเข็มในช่วงสุดท้ายของการคืนตัว
- W_r = น้ำหนักของตุ้มดอกเส้าเข็ม
- W_p = น้ำหนักของเส้าเข็มรวมทั้งน้ำหนักของที่รองหัวเส้าเข็ม
- B = ค่าความชันของกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างค่ากำลังรับน้ำหนักของเส้าเข็มที่คำนวณได้จาก
สูตรการดอกเส้าเข็มกับค่าที่ได้จากการทดสอบในสนาม
- R^2 = สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination)
- σ = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)