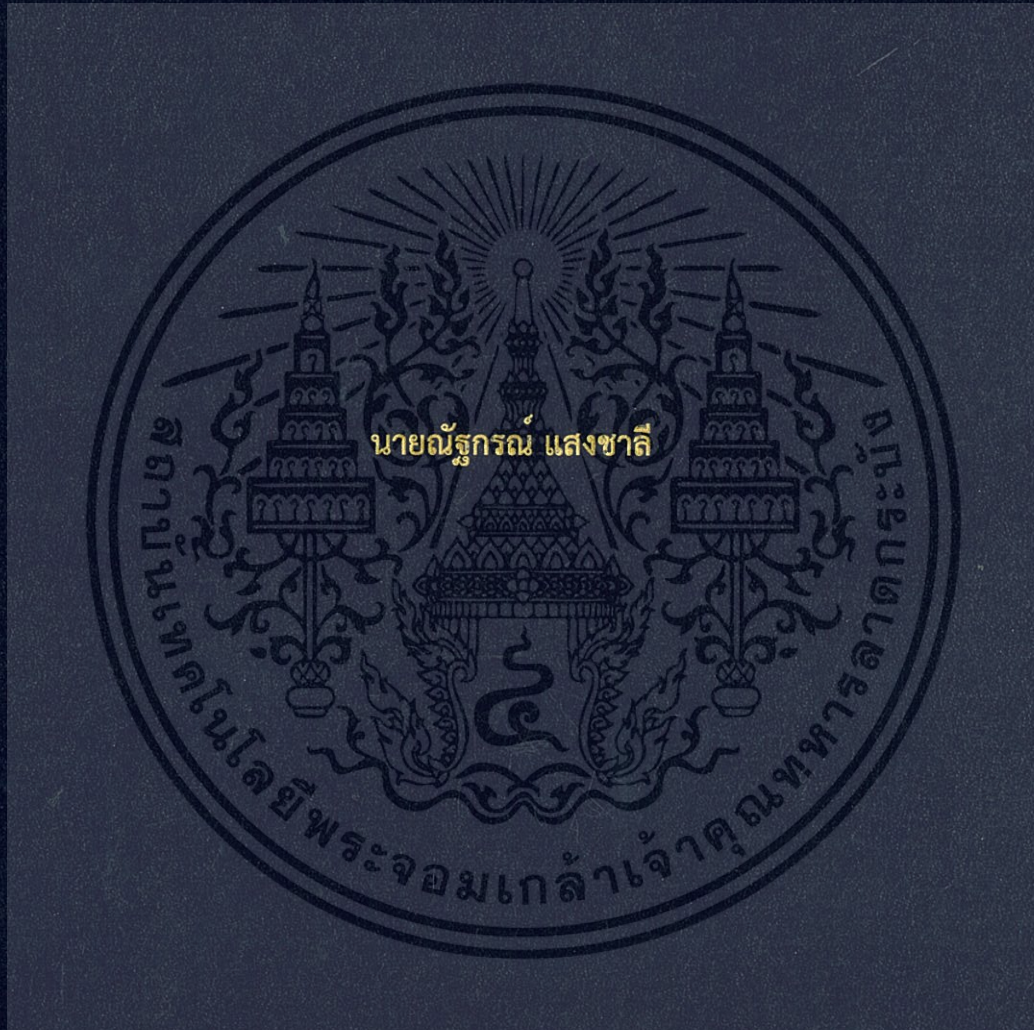


การตรวจสอบในงานเสาเข็มตอก  
INVESTIGATION IN DRIVEN PILE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2560

การตรวจสอบในงานเสาเข็มตอก  
INVESTIGATION IN DRIVEN PILE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# INVESTIGATION IN DRIVEN PILE



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การตรวจสอบในงานเสาเข็มตอก

INVESTIGATION IN DRIVEN PILE

นักศึกษา ญัฐกรณ์ แสงชาลี รหัสประจำตัว 57010406

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ชนาดล คงสมบูรณ์  
ดร.ศลิษา ไชยพุทธ

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. ชนาดล	คงสมบูรณ์	
ดร. ศลิษา	ไชยพุทธ	
ดร. วิรุฬห์	คำชุม	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(ผศ.ดร. อาทิตย์ เพชรศศิธร)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การตรวจสอบในงานเสาเข็มตอก

ณัฐกรณ์ แสงชาติ รหัสประจำตัว 57010406

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ธนาถล คงสมบูรณ์

ดร.ศลิษา ไชยพุทธ

ปีการศึกษา 2560

## บทคัดย่อ

การตรวจสอบในงานเสาเข็มตอกเป็นงานวิจัยที่ศึกษาปัจจัยที่ทำให้เสาเข็มเกิดการชำรุด โดยมีจุดประสงค์เพื่อหาปัจจัยที่ทำให้เสาเข็มเกิดการชำรุดและหาวิธีป้องกันการชำรุดของเสาเข็ม โดยการศึกษาเป็นการศึกษาในพื้นที่ก่อสร้างใกล้นิคมอุตสาหกรรมไฮเทค ต.บ้านหว้า อ.บางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยาโดยมีการใช้เสาเข็มตอกแบบจตุรัส แบ่งได้ดังนี้ เป็นเสาเข็มขนาด 40x40 ตร.ซม. ความยาว 30 เมตร จำนวน 1266 ต้น เป็นเสาเข็มขนาด 35x35 ตร.ซม. ความยาว 26 เมตร จำนวน 259 ต้น เป็นเสาเข็ม 26x26 ตร.ซม. ความยาว 21 m จำนวน 397 ต้นซึ่งจะแบ่งปัจจัยที่ทำการศึกษาออกเป็น 5 ปัจจัยได้แก่ปัจจัยด้านขนาดเสาเข็ม ปัจจัยด้านน้ำหนักของลูกตุ้มที่ใช้ในการตอก, ปัจจัยด้านพลังงานที่ใช้ในการตอก, ปัจจัยด้านค่า last 10 blow, ปัจจัยด้านค่า Deviation เพื่อทำการศึกษาปัจจัยที่ทำให้เสาเข็มเกิดการชำรุด โดยจากการศึกษาแต่ละปัจจัยที่จึงสรุปได้ว่า

ปัจจัยด้านน้ำหนักของลูกตุ้มที่ใช้ในการตอกเสาเข็ม โดยจากการศึกษาปัจจัยนี้พบว่า การชำรุดของเสาเข็มจะเกิดกับการใช้น้ำหนักของลูกตุ้มขนาด 5.5 หรือมี Wh/Wp มีค่าเท่ากับ 0.477 ซึ่งเป็นค่าที่น้อยที่สุด ปัจจัยด้านน้ำหนักไม่ใช่ปัจจัยที่ทำให้เสาเข็มเกิดการชำรุดเพราะการชำรุดของเสาเข็มอาจเกิดกับเสาเข็มที่มีขนาดใดก็ได้ ปัจจัยด้านพลังงานในการตอกจะเห็นได้ว่าการชำรุดจะมีค่าสูงเมื่อพลังงานมีค่ามากดังนั้นจึงสรุปได้ว่า พลังงานในการตอกเสาเข็มเป็นปัจจัยที่ทำให้เสาเข็มเกิดการชำรุด ปัจจัยด้านค่า last 10 blows หลังจากทำการวิจัยพบว่ามีเสาเข็มต้นที่มีค่าต่ำกว่าข้อกำหนดในการตอกมากๆแต่กลับไม่เกิดการชำรุด จึงทำให้ปัจจัยด้านค่า last 10 blows ไม่ใช่ปัจจัยที่มีผลต่อการชำรุดของเสาเข็ม ปัจจัยด้านค่า deviation หรือค่าการเยื้องศูนย์ปัจจัยที่มีสมมุติฐานจากผลของ lateral earth pressure ว่าจะทำให้เสาเข็มเกิดการชำรุดและมีค่าการเยื้องศูนย์เกินกว่าข้อกำหนด จึงมีสมมุติฐานว่าเราสามารถใช่ค่าการเยื้องศูนย์ของเสาเข็มที่เกินกว่ากำหนดเป็นการบ่งบอกการชำรุดของเสาเข็มได้ แต่หลังจากการทำวิเคราะห์ปัจจัยนี้ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าการเยื้องศูนย์กับค่า Beta ที่เป็นตัวบ่งบอกการชำรุดของเสาเข็มดังนั้นจึงสรุปได้ว่าปัจจัยด้านค่า deviation ไม่ใช่ปัจจัยที่ผลทำให้เสาเข็มเกิดการชำรุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# INVESTIGATION IN DRIVEN PILE

Nathakorn Saengchale e Student ID. 57010406

Advisor Asst.Prof. Dr. Thanadol Kongsomboon

Dr. Salisa Chaiyaput

Academic Year 2017

## ABSTRACT

The investigation in driven pile is a research that studies the factors that cause pile damage. The purpose of this study was to determine the pile damage and find out how to prevent pile damage. The study was conducted in the construction area near Hi-Tech Industrial Estate, Ban Wa, Bang Pa-in, Phranakhon Si Ayutthaya. Can be divided as follows. The pile size is 40x40 cm, length 30 meters, 1266 piles. The pile size is 35x35 sqcm, 26 meters length, 259 piles. The pile is 26x26 sq. 21 meters length, 397 piles. The study was divided into 5 factors: The weight factor of hammer used in drop hammer, The power factor of drop hammer, The last 10 blow factor, the deviation factor. for study the factors that cause pile damage. By studying each factor, it is concluded that,

The weight factor of hammer used in drop hammer. Based on this study, it is found that the pile failure is caused by the weight of the hammer 5.5 or the  $Wh/Wp$  is 0.477 which is the smallest. The weight factor is not a factor in the pile's failure, because pile damage can occur with any pile of any size. The power factor of drop hammer is that the damage is high when the energy is high. Therefore, The pile driving power is the factor that make the pile to break down. the factor of the last 10 blows after the research found that the pile was lower than the standard hammer but not damaged. Therefore, the factor of last 10 blows is not a factor affecting the damage of pile, The deviation factor or the value of ecentricity and the factors that have hypothesized results of lateral earth pressure that causes the pile to break down and the ecentricity exceeds the standard. The assumption is that we can use the value of ecentricity of the pile to indicate a defect of the pile. But after analyzing this factor, don't found no relationship between ecentricity and the value of beta, that can be concluded the deviation factor is not the factor that causes the pile to break down.

# กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผศ.ดร.ธนาตล คงสมบูรณ์ และ ดร.ศลิษา ไชยพุทธที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาปรับปรุงแก้ไข ข้อบกพร่องอีกทั้งยังจัดหา ตลอดจนให้ความรู้ เอาใจใส่ ให้คำแนะนำช่วยเหลือในการแก้ปัญหา ให้ ประสบการณ์ที่ดี อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งกับโครงการนี้ พวกเราผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธาสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้ในทุกๆรายวิชาที่ศึกษาเพื่อเป็นพื้นฐาน อันเป็นประโยชน์ยิ่งในการทำ ปริญญานิพนธ์เล่มนี้ให้สำเร็จลุล่วง ตลอดจนอาจารย์ประจำภาควิชาท่านต่างๆที่ให้คำแนะนำอย่าง ดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือในการให้คำแนะนำในการทำโครงการ รวมถึงการให้ความรู้ตลอดระยะเวลาที่ได้เรียนรู้ ศึกษาในภาควิชาโยธาตลอดมา

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดาอันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งเป็นผู้ให้ความรักและให้กำลังใจ ในการสนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนของคุณะผู้จัดทำมาโดยตลอด ทำให้คณะผู้จัดทำมีวันนี้ได้ คณะ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

ณัฐกรณ์ แสงชาติ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญ	
ตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 เอกสารที่เกี่ยวข้อง.....	3
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	18
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	23
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและ ข้อเสนอแนะ.....	34
เอกสารอ้างอิง.....	36
ภาคผนวก	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IV อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\beta$ และประสิทธิภาพของหน้าตัด.....	10
ตารางที่ 3.1 ตารางแสดง Driving criteria ในการตอกเสาเข็มที่คำนวณจากสูตร Danish Formula.....	19
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\beta$ และการขำรุดของเสาเข็ม.....	24
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงชนิดของเข็มและจำนวนของเสาเข็มที่ใช้ตอกขนาด 40x40 ตร.ซม.....	24
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงชนิดของเข็มและจำนวนของเสาเข็มที่ใช้ตอกขนาด 35x35 ตร.ซม.....	24
ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงชนิดของเข็มและจำนวนของเสาเข็มที่ใช้ตอกขนาด 26x26 ตร.ซม.....	25
ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงการนำหนักตุ้มและเสาเข็มที่เกิดการขำรุด.....	26
ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงเสาเข็มต้นที่เกิดการขำรุด.....	28
ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงความสัมพันธ์ $W_h/W_p$ กับความยาวที่ออกแบบ.....	29
ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและจำนวนเสาเข็มที่เกิดการขำรุด.....	30
ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง last 10 blows และจำนวนเสาเข็มที่เกิดการขำรุด.....	31



# สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 รูปแสดงชั้นดินกรุงเทพหรือ Bangkok Clay.....	3
รูปที่ 2.2 รูปแสดงปั้นจั่นแบบ Drop Hammer .....	5
รูปที่ 2.3 รูปแสดงการตอกของเสาเข็ม.....	5
รูปที่ 2.4 รูปแสดงปั้นจั่นแบบ Single-Acting Hammer.....	6
รูปที่ 2.5 รูปแสดงปั้นจั่นแบบ Double-Acting Hammer.....	6
รูปที่ 2.6 รูปแสดงปั้นจั่นแบบ Diesel Hammer.....	7
รูปที่ 2.7 รูปแสดงปั้นจั่นแบบ Vibratory Hammer.....	8
รูปที่ 2.8 รูปแสดงการทดสอบ Seismic Test.....	10
รูปที่ 2.9 รูปแสดงการติดตั้งเพื่อทดสอบ Dynamic Load Test.....	11
รูปที่ 2.10 รูปแสดงการติดตั้งเพื่อทดสอบ Dynamic Load Test.....	11
รูปที่ 2.11 รูปแสดงการทำงานและการทดสอบของ Static Load Test.....	12
รูปที่ 2.12 ภาพแสดงการรับน้ำหนักของเสาเข็ม แบบ Skin Frictions.....	13
รูปที่ 2.13 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\alpha$ กับ $C_u$ .....	14
รูปที่ 2.14 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\sigma$ และ $N_q$ .....	15
รูปที่ 3.1ก รูปแสดงการบันทึกข้อมูลการเก็บตัวอย่างดิน.....	18
รูปที่ 3.1ข รูปแสดงการบันทึกข้อมูลการเก็บตัวอย่างดิน.....	18
รูปที่ 3.2ก รูปแสดงการบันทึกข้อมูลการตอกเสาเข็มในไซส์งานการก่อสร้าง.....	20
รูปที่ 3.2ข รูปแสดงการบันทึกข้อมูลการตอกเสาเข็มในไซส์งานการก่อสร้าง.....	20
รูปที่ 3.3 รูปแสดงค่าเบต้าจากการทดสอบ Seismic Test.....	21
รูปที่ 3.4 รูปแสดงผลการทดสอบ Dynamic Load Test จากหน้างาน.....	21
รูปที่ 4.1 รูปภาพแสดงการความสัมพันธ์ระหว่างค่า Beta และ น้ำหนักของลูกตุ้มที่ใช้ตอก.....	27
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Last 10 Blows และ ค่า Beta.....	31
รูปที่ 4.3 รูปแสดงตำแหน่งของเสาเข็มที่เกิดการชำรุดการชำรุดของเสาเข็ม.....	32
รูปที่ 4.4 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเสาเข็มต้นที่ชำรุดและค่าการเยื้องศูนย์กลางของเสาเข็ม.....	33
ก.1 ภาพแสดงลักษณะของพื้นที่การก่อสร้าง.....	38
ก.2 ภาพแสดงการติดตั้ง Sheet Pile.....	38
ก.3 ภาพแสดงการติดตั้งเสาเข็ม.....	38
ก.4 ภาพแสดงลักษณะการติดตั้งของเสาเข็มและลูกตุ้มที่ใช้ตอก.....	39
ก.5 ภาพแสดงลักษณะการติดตั้งเครื่องทำการทดสอบ Dynamic Load Test.....	39
ก.6 แพลนของการก่อสร้างที่แสดงผลจากโปรแกรม Autocad.....	40

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การทำงานในการก่อสร้างมักเป็นงานที่จำเป็นต้องให้ความสำคัญกับงานในแต่ละส่วน ส่วนหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างโดยตรงคือฐานรากซึ่งฐานรากนั้นจะทำหน้ารับแรงทุกส่วนของอาคาร ดังนั้นจึงทำให้วิศวกรในความสัมพันธ์กับงานของฐานรากเป็นอย่างมาก

ในปัจจุบันพบว่า การก่อสร้างฐานรากส่วนใหญ่มักนิยมใช้เสาเข็มตอกเนื่องจากมีราคาถูก ง่ายต่อการก่อสร้าง และใช้ระยะเวลาในการก่อสร้างที่น้อยกว่าเสาเข็มแบบอื่นๆ จึงทำให้วิศวกรหรือผู้ออกแบบนิยมใช้การก่อสร้างฐานรากโดยใช้เสาเข็มตอก หลังจากมีการใช้เสาเข็มตอกอย่างแพร่หลาย พบว่าจะมีปัญหาที่เกิดขึ้นจากเสาเข็มตอกมาก บ่อยครั้งเสาเข็มตอกเกิดการชำรุดโดยการชำรุดมักเกิดได้จากหลายสาเหตุ แต่เนื่องจากการชำรุดของเสาเข็มตอกมีสาเหตุมากมายดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจปัจจัยที่ทำให้เสาเข็มเกิดการชำรุดและในการชำรุดแต่ละครั้งอาจมีสัญญาณบางอย่างที่บ่งบอกจากสภาพหน้างานซึ่งทำให้ผู้ควบคุมงานควรระมัดระวังในการทำงานมากยิ่งขึ้น

#### 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสาเหตุและปัจจัยที่มีผลทำให้เสาเข็มเกิดการชำรุดหรือสูญเสียกำลังรับแรง
2. เพื่อค้นหาข้อตกลงในการทำงานเพื่อป้องกันการชำรุดหรือเกิดการเสียหายของเสาเข็มตอก

#### 1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาในพื้นที่การก่อสร้างขนาด 11 ไร่ ไกลันนิคมอุตสาหกรรมไฮเทค ต.บ้านหว่า อ.บางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
2. วิทยานิพนธ์นี้จะศึกษาปัจจัยที่เกิดขึ้นโดยไม่คำนึงถึงแรงดันดินด้านข้าง

#### 1.4 ขั้นตอนการดำเนินการ

1. สำรวจพื้นที่การทำงานและทำการเก็บข้อมูลต่างๆจากสภาพหน้างานทั้งข้อมูลก่อนการตอกเสาเข็ม ระหว่างตอกเสาเข็ม และข้อมูลหลังการตอกเสาเข็ม
2. ทำการวิเคราะห์ข้อมูลและคำนวณค่าต่างๆจากข้อมูลที่ได้จากสภาพหน้างานและทำการเปรียบเทียบข้อมูล โดยแบ่งตามปัจจัยที่ทำการศึกษิต่างๆ
3. สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมด
4. นำข้อมูลที่ได้มาทำการทดลองเพื่อสร้างขั้นตอนการทำงานด้วยเสาเข็มให้เกิดการชำรุดของเสาเข็มที่น้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.เรียนรู้การเก็บข้อมูลจากสภาพหน้างานของงานเสาเข็มตอก
- 2.เรียนรู้การวิเคราะห์ข้อมูลจากหน้างานเพื่อหาสาเหตุการชำรุดของเสาเข็ม

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.พบปัจจัยที่ก่อให้เกิดการชำรุดของเสาเข็มที่เกิดขึ้นในงานก่อสร้าง
- 2.ออกแบบขั้นตอนการก่อสร้างที่ช่วยลดการชำรุดของเสาเข็มตอก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

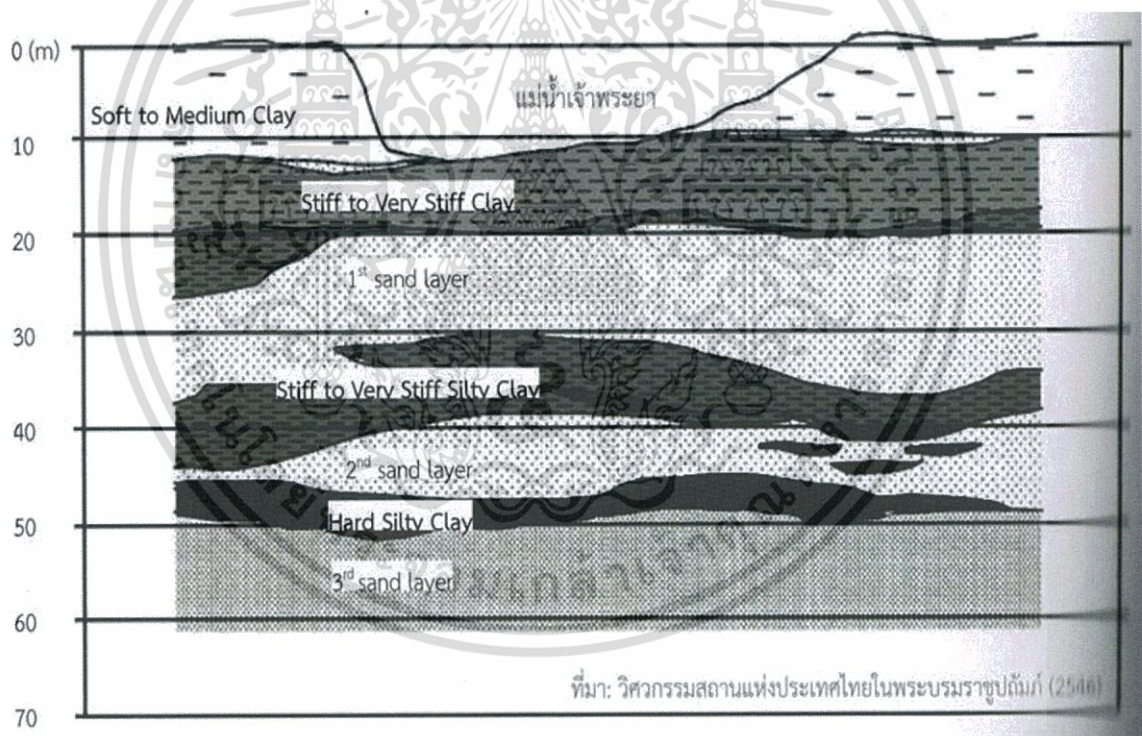
### เอกสารที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ชั้นดินกรุงเทพหรือ Bangkok Clay

ชั้นดินกรุงเทพเป็นชั้นดินที่มีอยู่ในบริเวณพื้นที่ในกรุงเทพหรือภาคกลาง โดยลักษณะของดินจะมีความเป็นดินเหนียวในอ่อนในชั้นความลึก 10-15 เมตร จากพื้นดินและเป็นดินเหนียวแข็งและดินทรายสลับกันไป ชั้นดินกรุงเทพมีการกำเนิดมาจากดินตะกอนที่ถูกพัดจากแม่น้ำมาทับถมกันกลายเป็นชั้นดิน โดยคุณสมบัติของดินเหนียวอ่อนจะไม่สามารถรับแรงได้และยังมีผลต่อการทรุดตัวของโครงสร้างที่อยู่บนชั้นดินเหนียวอ่อน

ดังนั้นหากต้องการก่อสร้างบนพื้นที่ที่มีดินเหนียวอ่อนมากหรือเป็นชั้นดินกรุงเทพจะต้องใช้การสำรวจชั้นดินและการควบคุมอย่างถูกวิธีเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพดินกรุงเทพ

รูปที่ 2.1 รูปแสดงชั้นดินกรุงเทพหรือ Bangkok Clay



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ฐานรากเสาเข็ม

ฐานรากเป็นส่วนหลักของการรับแรงของโครงสร้างทั้งหมดทำหน้าที่รับแรงของอาคาร ฐานรากเป็นส่วนประกอบสำคัญในงานก่อสร้างดังนั้นจึงเป็นส่วนที่ควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับการก่อสร้าง ฐานรากที่ถูกนำมาใช้กับชั้นดิน ลักษณะของดินมีผลต่อก่อเลือกชนิดเสาเข็มรวมไปถึงความลึกของเสาเข็มให้เหมาะสมกัน

### 2.2.1 เสาเข็มตอก

เสาเข็มตอกเป็นเสาเข็มที่นิยมใช้ในปัจจุบันมากเนื่องด้วย ราคาของเสาเข็มเจาะมีราคาถูกกว่าเสาเข็มเจาะ4-10 เท่า และกรรมวิธีในการก่อสร้างมีความก่อสร้างง่ายกว่า นอกจากนี้ยังพบว่ามีเสาเข็มตอกใช้ระยะเวลาการก่อสร้างสั้นกว่าเสาเข็มเจาะมาก ด้วยเหตุผลเหล่านี้ทำให้เสาเข็มตอกถูกนำมาใช้ในการก่อสร้างมาก กรรมวิธีของการก่อสร้างเสาเข็มตอกคือทำการตอกลงไปโดยวัดจากค่า Blowcount ที่ต้องการ ค่า Blowcount คือจำนวนครั้งที่ตอกต่อการยุบตัว 1 ฟุต

#### 2.2.1.1 ส่วนประกอบของเสาเข็มตอก

1. ส่วนหัว หรือ head คือส่วนบนสุดทำหน้าที่รับแรงจากการตอกเสาเข็ม
2. ส่วนตัวเสาเข็ม หรือ food ส่วนลำตัวจะมีพื้นที่ผิวมากกว่าส่วนอื่น จะเป็นส่วนที่เกิดแรงฝืดหรือแรงเสียดทาน(Friction) ที่ตัวเสาเข็ม
3. ส่วนปลายเสาเข็ม (Tip) คือส่วนล่างสุดที่จะทำหน้าที่ เจาะทะลุชั้นดินไปยังชั้นดินที่ต้องการ พบว่ามีปลายเสาเข็มหลายแบบขึ้นอยู่กับใช้งานควรเลือกให้เหมาะสมกับดินและการใช้งาน
  - ปลายหัวป้าน เหมาะกับการตอกผ่านดินอ่อน ดังรูป
  - ปลายหัวเข็ม เหมาะกับการตอกผ่านดินอ่อนโดยจะปักผ่านดินดาน หรือทราย ดังรูป
  - ปลายหัวดินสอ เหมาะกับการตอกผ่านดินเหนียว กรวด ทราย
4. แผ่นเหล็กหัวเสาเข็ม (Driving Head) คือแผ่นเหล็ก ที่ปิดทับบนหัวเสาเข็มถูกยึดด้วยเหล็กสมอเทผัง ทำหน้าที่รองรับน้ำหนักกระแทกจากการตอกของตุ้ม

#### 2.2.1.2 การติดตั้งเสาเข็มตอก

การติดตั้งเสาเข็มตอกจะต้องใช้อุปกรณ์เพื่อให้ทำการตอกเสาเข็ม การเลือกใช้เครื่องมือในการตอกจะช่วยให้เหมาะสมกับงานที่ทำและยังทำให้สามารถทำงานได้ง่ายและลดปัญหาที่เกิดจากการตอกเสาเข็มได้อีกมาก

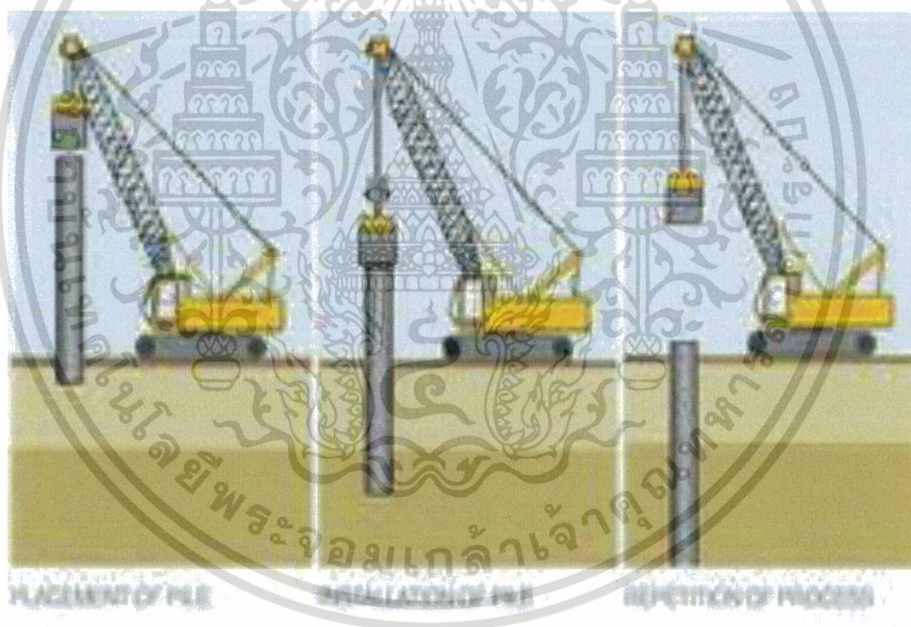
##### 2.2.1.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ตอกเสาเข็ม

- 1) Drop Hammer เป็นการตอกโดยใช้ปั้นจั่นยกตุ้มขึ้นสูงแล้วปล่อยให้ตกกระทบที่หัวเสาเข็ม เป็นวิธีนี้ทำให้เกิดแรงสั่นสะเทือน ส่งผลกับพื้นที่รอบๆการก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 รูปแสดงปั้นจั่นแบบ Drop hammer

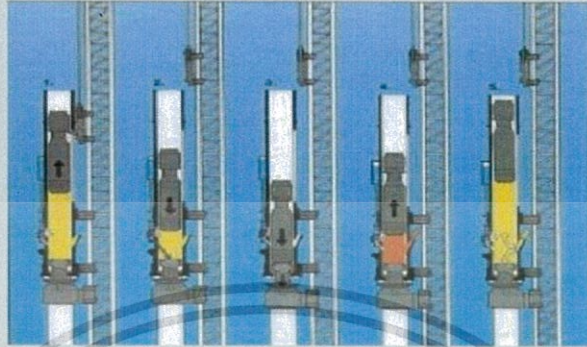


รูปที่ 2.3 รูปแสดงการตอกของเสาเข็ม

2) Single-Acting Hammer เป็นการตอกโดยใช้แรงดันจากไอน้ำ หรือ หรือแรงดันน้ำมัน (Hydraulic Hammer) ในการยกลูกตุ้มโดยมีระยะในการยกไม่สูง จึงมีแรงสั่นสะเทือนน้อยกว่า Drop Hammer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Single acting steam or compressed air...



รูปที่ 2.4 รูปแสดงปั้นจั่นแบบ Single-Acting Hammer

3) Double-Acting Hammer มีการทำงานลักษณะคล้ายกับ Single-Acting Hammer แต่ในช่วงที่ตุ้มตกลงมา ยังหัวเสาเข็มจะมีการให้แรงดันช่วยเพิ่มพลังงานในการตอก



*Double Acting hammers*

รูปที่ 2.5 รูปแสดงปั้นจั่นแบบ Double-Acting Hammer

4) Diesel Hammer ใช้เครื่องยนต์ดีเซลขับเคลื่อนตุ้มในลักษณะของการขับเคลื่อนลูกสูบของรถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องตรวจสอบเครื่องยนต์บ่อยครั้งเพื่อลดการสั่นไหว



รูปที่ 2.6 รูปแสดงปั้นจั่นแบบ Diesel Hammer

5) Vibratory Hammer การทำงานจะแตกต่างจะตมอื่นคือจะใช้การสั่นสะเทือนและน้ำหนักที่กดทับในการตอกเสาเข็ม

รูปที่ 2.7 รูปแสดงปั้นจั่นแบบ Vibratory Hammer



หลังจากที่เลือกเสาเข็มตอกแล้วก็ดำเนินการตอกเสาเข็มตอก การตอกเสาเข็มในชั้นดินอ่อนควรผู้ควบคุมควรกำหนดพื้นที่ที่จะเริ่มทำการตอก ในพื้นที่ดินอ่อนเราควรเริ่มตอกเสาเข็มในพื้นที่ที่มีดินแข็งมากที่สุดไล่ไปยังพื้นที่ที่มีดินอ่อนเพื่อลดการโน้มเอียงและการเอียงศูนย์ เนื่องจากการทำงานจะต้องใช้เครื่องตอกที่หลายตัวในพื้นที่ดังนั้นจึงจำเป็นต้องวางแผนการทำงาน เพื่อลดปัญหาพื้นที่การทำงานทับซ้อน ในบางครั้งผู้ควบคุมงานอาจใช้ Sheet pile เพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวของดินระหว่างการตอกเสาเข็ม ในบางครั้งจำเป็นต้องต่อเสาเข็ม เนื่องจากความยาวของเสาเข็มไม่เพียงพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือพื้นที่การก่อสร้างคับแคบจนไม่สามารถนำเสาเข็มเข้ามาทำการตอกได้จึงจำเป็นต้องทำการตอกเสาเข็มซึ่งจะมีวิธีการต่อเสาเข็มดังนี้

- การเชื่อม
- กลไกล็อก
- ใช้แหวนยึด
- ใช้ลิ้ม
- ใช้ปลอก
- ใช้ลิ้ม

### 2.2.1.3 การวางตำแหน่งของเสาเข็ม

การตอกเสาเข็มจะทำการวางตำแหน่งโดยผ่านการวางตำแหน่งจากค่า Coordinate ที่แสดงอยู่ในแบบก่อสร้าง ทั้งนี้การปฏิบัติงานจะต้องทำการสำรวจและทำการวางหมุดอ้างอิง โดยหมุดอ้างอิงจะอ้างอิงพิกัดจากหมุดของกรมทหารหรือหมุดที่มีตำแหน่งจริง เมื่อได้ตำแหน่งการตอกที่ชัดเจนแล้วจึงค่อยทำการตอก ทุกครั้งที่ทำการตอกจะตอกทำการตรวจตำแหน่งอ้างอิงว่าเคลื่อนที่ไปจากเดิมหรือไม่ เนื่องจากการตอกเสาเข็มทำให้เกิดแรงสั่นสะเทือนหรืออาจเกิดแรงสั่นสะเทือนอื่นๆที่ทำให้หมุดเกิดการเคลื่อนที่และเกิดความคลาดเคลื่อนตามมาในภายหลัง

## 3.การตรวจสอบคุณภาพเสาเข็ม

เมื่อทำการตอกเสาเข็มเสร็จสมบูรณ์ วิศวกรจำเป็นต้องตรวจสอบคุณภาพของเสาเข็มก่อนทำการส่งมอบงานเสาเข็มโดยจุดประสงค์ของการตรวจสอบคุณภาพงานเสาเข็มคือการตรวจสอบสมรรถภาพของเสาเข็มที่สามารถรับกำลังได้ตามที่ออกแบบและสภาพที่สมบูรณ์ ไม่หักหรือแตกจนเกิดว่าที่จะสามารถใช้งานได้ การทดสอบจะแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มและการทดสอบกำลังรับแรงของเสาเข็ม

### 3.1การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็ม(Seismic Test)

การทดสอบความสมบูรณ์เสาเข็ม (Seismic Integrity Test) มีจุดประสงค์เพื่อประเมินสภาพความสมบูรณ์ตลอดความยาวของ เสาเข็ม การทดสอบวิธีนี้เป็นการทดสอบที่สะดวก, รวดเร็ว, และเสียค่าใช้จ่ายต่ำ จึงเหมาะสมและเป็นที่ยอมรับใช้ตรวจสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็ม ในขั้นต้น (Preliminary Test) หากตรวจสอบพบสภาพบกพร่องที่เกิดขึ้น จึงกำหนดวิธีทดสอบอื่น ๆ ประกอบกับพิจารณาหรือดำเนินการซ่อมแซมแก้ไขต่อไป การทดสอบนี้สามารถดำเนินการได้ทั้งในเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงและเสาเข็มเจาะหล่อกับที่ผลการทดสอบนี้จะระบุถึงข้อบกพร่องต่าง ๆ อาทิเช่น รอยแตกร้าว (Crack) โพรงหรือช่องว่าง (Void) รอยคอด (Size Reduction) หรือบวม (Size Increase) ของเสาเข็ม เป็นต้น

#### 3.1.1อุปกรณ์

เครื่องมือทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มนั้นเป็นเครื่องมือที่ได้รับการออกแบบมาโดยเฉพาะเพื่อการทดสอบดังกล่าว มีขนาดเล็ก, น้ำหนักเบา และมีประสิทธิภาพสูงประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ขอสงวนสิทธิ์ในเงื่อนไขการใช้งาน  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฆ้อนทดสอบ(Hand-Held Hammer)

เครื่อง Pile Integrity Tester รุ่น Collector

หัววัดสัญญาณคลื่นความเค้น (Accelerometer Transducer)

### 3.1.2วิธีการทดสอบ

การทดสอบเริ่มจากการติดตั้งหัววัดสัญญาณคลื่นความเค้น(Accelerometer Transducer) บนหัวเสาเข็มซึ่งต้องการทดสอบโดยหัวเสาเข็มที่ดี ควรจะอยู่ในสภาพที่สะอาด ไม่มีน้ำขังหรือมีเศษดินปกคลุมอยู่ จากนั้นเคาะหัวเสาเข็มดังกล่าวด้วยฆ้อนทดสอบ (Hand-Held Hammer) คลื่นความเค้นอัด (Compression Stress Wave) ที่เกิดจากการเคาะดังกล่าวจะวิ่งผ่านลงไปในตัวเสาเข็ม และจะสะท้อนกลับขึ้นมาเพื่อพบว่ามี การเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัด หรือพบการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของเนื้อคอนกรีตหรือเมื่อพบปลายเสาเข็ม คลื่นความเค้นที่สะท้อนกลับขึ้นมา ณ จุดต่าง ๆ ดังกล่าวจะถูกตรวจจับด้วยหัววัดสัญญาณข้างต้น และถูกส่งไปยังเครื่อง Pile Integrity Tester (PIT) เพื่อเปลี่ยนค่าคลื่นสัญญาณความเร่ง (Acceleration Signal) เป็นคลื่นสัญญาณความเร็ว (Velocity Signal) ก่อนแสดงผลที่หน้าจอทดสอบและบันทึกไว้ ในหน่วยความจำของเครื่องทดสอบดังกล่าว เพื่อนำไปวิเคราะห์ผลในรายละเอียดต่อไป ซึ่งลักษณะการทำงานโดยภาพรวมของการทดสอบ ดังแสดงไว้ดังรูป

### 3.1.3การประมวลผลการทดสอบ

กราฟคลื่นสัญญาณระหว่างความเร็ว กับเวลา (Velocity Trace) จะถูกนำมาวิเคราะห์และประเมินสภาพความสมบูรณ์ของเสาเข็ม โดยถ้าพบคลื่นสัญญาณสะท้อนกลับในรูปของคลื่นแรงดึง (Tension Wave) หรือกราฟความเร็วมีค่าเพิ่มขึ้น ณ จุดใด ๆ ตามความยาวของเสาเข็มทดสอบ แสดงว่าเสาเข็มมีขนาดพื้นที่หน้าตัด หรือค่าความหนาแน่นลดลง ณ จุดนั้น ในทำนองเดียวกันถ้าพบคลื่นแรงอัด (Compression Wave) หรือกราฟความเร็วมีค่าลดลงแสดงว่าเสาเข็มมีพื้นที่หน้าตัดเพิ่มขึ้น ถ้าไม่พบคลื่นสัญญาณสะท้อนกลับใด ๆ ที่กล่าวข้างต้น จนกระทั่งปลายเสาเข็ม แสดงว่าเสาเข็มมีสภาพสมบูรณ์ ขนาดพื้นที่หน้าตัดที่ลดลงหรือเพิ่มขึ้นดังกล่าวสามารถประเมินได้คร่าว ๆ จากค่าดัชนี แสดงความสมบูรณ์ (Integrity Factor) หรือที่เรียกว่า BETA ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าอิมพีแดนซ์ (Z) ของพื้นที่หน้าตัดที่พบการเปลี่ยนแปลง(Z2) เทียบกับพื้นที่หน้าตัดที่สมบูรณ์ (Z1)

$$\beta = Z2/Z1 = A2/A1 \quad (Z = EA/C)$$

เมื่อ

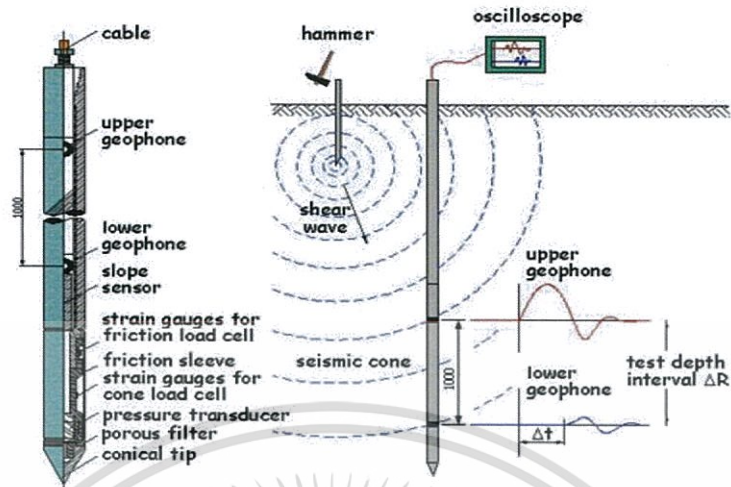
E = Elastic Modulus ของคอนกรีต

A = พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม

C = ค่าความเร็วคลื่นความเค้น

การประเมินค่าดัชนี ความสมบูรณ์ ของเสาเข็ม (BETA) สามารถหาได้จากโปรแกรม PIT-program เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ BETA ยังเป็นดัชนีประเมินระดับความเสียหายของเสาเข็ม ( Degree of Damage ) โดยพิจารณาตามตารางข้างท้ายนี้



รูปที่ 2.8 รูปแสดงการทดสอบ Seismic test

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า beta และประสิทธิภาพของหน้าตัด

ค่าเบต้า( $\beta$ )	สภาพความสมบูรณ์
0.9-1.0	เสาเข็มสมบูรณ์
0.8-0.9	ประสิทธิภาพหน้าตัดอยู่ที่ 0.8-0.9
0.6-0.8	ประสิทธิภาพหน้าตัดอยู่ที่ 0.6-0.8
น้อยกว่า 0.6	เสาเข็มที่หักเนื่องจากมีประสิทธิภาพหน้าตัดที่น้อยเกินไป

### 3.2 การตรวจสอบกำลังรับแรงของเสาเข็ม

การตรวจสอบกำลังรับแรงของเสาเข็มเป็นการตรวจสอบเสาเข็มว่าสามารถรับกำลังได้ตามที่ออกแบบหรือไม่ นอกจากนี้ยังทำให้สามารถรู้กำลังรับแรงที่แท้จริงของเสาเข็มนั้นอีกด้วย โดยการทดสอบมี 2 วิธีคือ Dynamic Load Test และ Static Load Test

#### 3.2.1 Dynamic Load Test

เป็นการทดสอบเพื่อประเมินการรับน้ำหนักของเสาเข็ม โดยใช้วิธีการวัดค่าแรง (Force) และความเร็ว (Velocity) จากสัญญาณสะท้อนคลื่นความเค้น (Stress Wave) ซึ่งเกิดจากการปล่อยตุ้มน้ำหนักให้กระแทกลงบนหัวเสาเข็ม แล้วใช้ผลตอบสนองของเสาเข็มที่วัดได้เป็นข้อมูลป้อนเข้าเครื่องวิเคราะห์ข้อมูล Pile Driving Analyzer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับทำการทดสอบ

1. Pile Driving Analyzer เครื่องประมวลผลการทดสอบ
2. Accelerometer Sensor อุปกรณ์ในการวัดค่าความสมบูรณ์ของเสาเข็ม
3. Strain Gauges Transducer อุปกรณ์ในการวัดค่ากำลังของเสาเข็ม
4. ปั้นจั่น ที่ใช้ตอกเสาเข็ม
5. ส่วน สำหรับเจาะติดตั้งเครื่องมือเพื่อยึด Accelerometer Sensor และ Strain Transducer แนบด้านข้างเสาเข็มทดสอบ



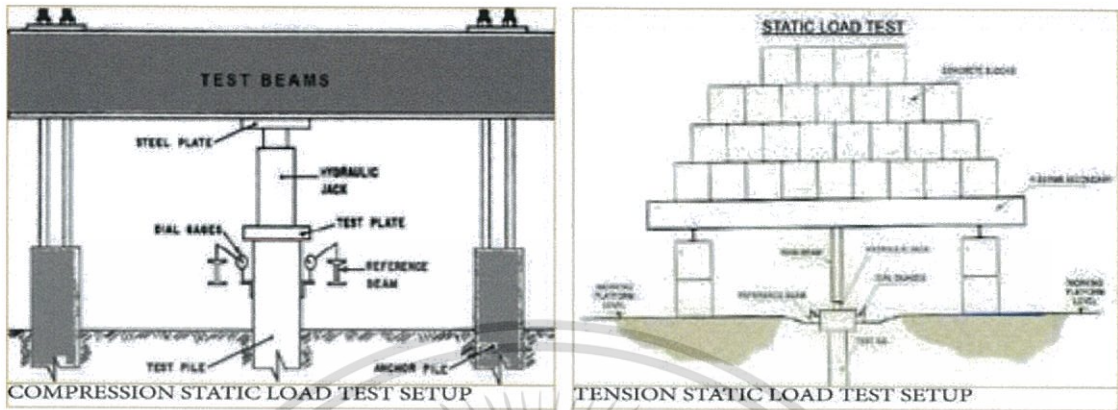
รูปที่ 2.9 และ 2.10 รูปแสดงการติดตั้งเพื่อทดสอบ Dynamic load test

### 3.2.2 Static Load Test

เป็นการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจริง โดยใช้น้ำหนักทดสอบกระทำกับเสาเข็ม และตรวจสอบการเคลื่อนตัวของเสาเข็มเปรียบเทียบกับค่าการเคลื่อนตัวที่ยอมให้ หลักการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม ทดสอบโดยการวางน้ำหนักบรรทุกจนเกิดแรงกระทำที่เสาเข็ม แล้วตรวจวัดค่าการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้น พร้อมกับตรวจวัดและบันทึกค่าการเคลื่อนตัวของเสาเข็มไปพร้อมกัน เมื่อทดสอบจนแล้วเสร็จนำผลที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการทรุดตัว เพื่อการวิเคราะห์ผลต่อไป

การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม โดยมี 2 วิธี คือ Static Load Test แบบเสาเข็มสมอ และ Static Load Test แบบวัสดุถ่วง โดยในการทดสอบจะเพิ่มน้ำหนักเป็นช่วงๆ พร้อมกับวัดค่าการทรุดตัวของเสาเข็ม

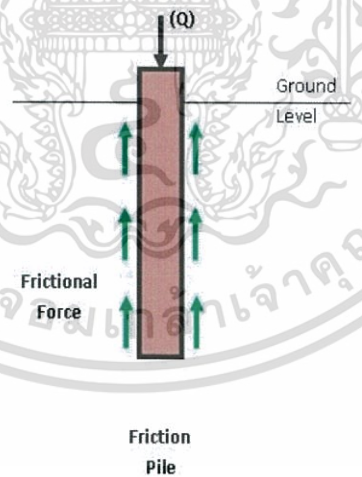
การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็ม โดยวิธี Static Load Test จะใช้เวลาในการเตรียมการและทดสอบนานกว่าการทดสอบเสาเข็มแบบอื่นๆ



รูปที่ 2.11 รูปแสดงการทำงานและการทดสอบของ Static load test

#### 4. การรับกำลังของเสาเข็มตอก

กลไกการถ่ายแรงสู่เสาเข็ม เสาเข็มจะรับน้ำหนักทั้งหมดจากอาคาร และถ่ายลงสู่ดินโดยมีการจำแนกพฤติกรรมการรับแรงของเสาเข็มเป็น 2 ชนิด คือ Skin-Friction และ End-Bearing Skin-Friction เป็นแรงที่เสียดทานที่อยู่รอบผิวของเสาเข็ม เป็นแรงที่เสาเข็มกระทำกับดินโดยรอบตัวเสาเข็ม



รูปที่ 2.12 ภาพแสดงการรับน้ำหนักของเสาเข็ม แบบ Skin Fictions

$$Q_f = \sum f_s * \Delta L * p$$

$$f_s = \beta * \sigma'_{vo} \quad \text{สำหรับดินทราย}$$

$$f_s = \alpha * c_u \quad \text{สำหรับดินเหนียว}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$Q_f$  = กำลังรับแรงของ Skin Frictions

$f_s$  = แรงเสียดทานที่ผิวของเสาเข็ม

$\Delta L$  = ความลึกของชั้นดินที่พิจารณา

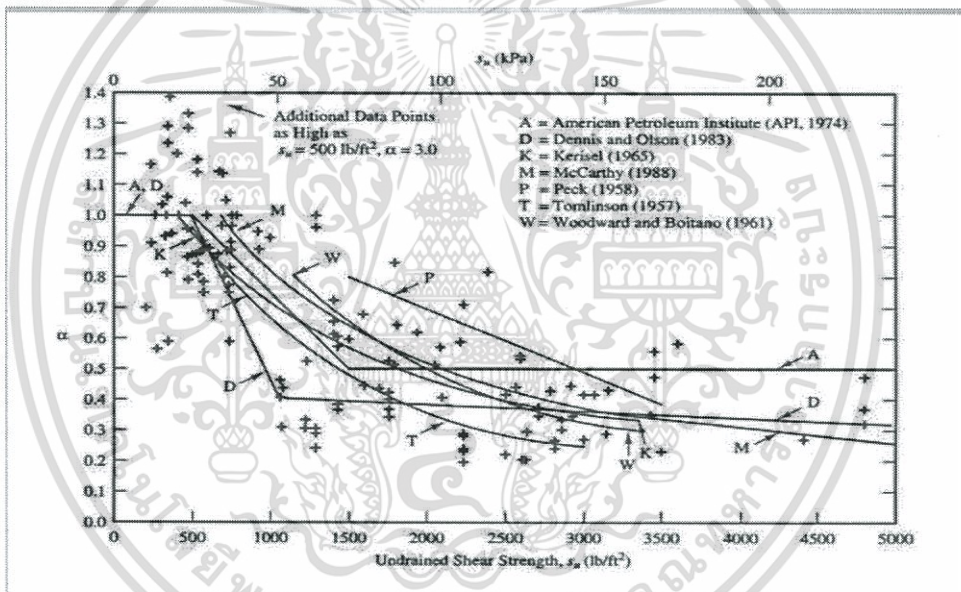
$p$  = เส้นรอบรูป

$\alpha$  = สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของดินเหนียว

$\beta$  = สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของดินทราย

$c_u$  = กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ

$\sigma'_{vo}$  = หน่วยแรงกดทับประสิทธิผล



รูปที่ 2.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\alpha$  กับ  $c_u$  (Visic, 1977)

End-Bearing คือกำลังรับแรงปลายเข็ม เป็นแรงที่เกิดที่ปลายเสาเข็มเป็นแรงต้านที่ช่วยให้เสาเข็มรับแรงอีกแรงหนึ่ง คำนวณได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q_b = q_b * A_b$$

$$q_b = 9 * c_u$$

สำหรับดินเหนียว

$$q_b = \sigma'_{vo} * N_q$$

สำหรับดินทราย

$Q_b$  = กำลังรับแรงของ End-bearing

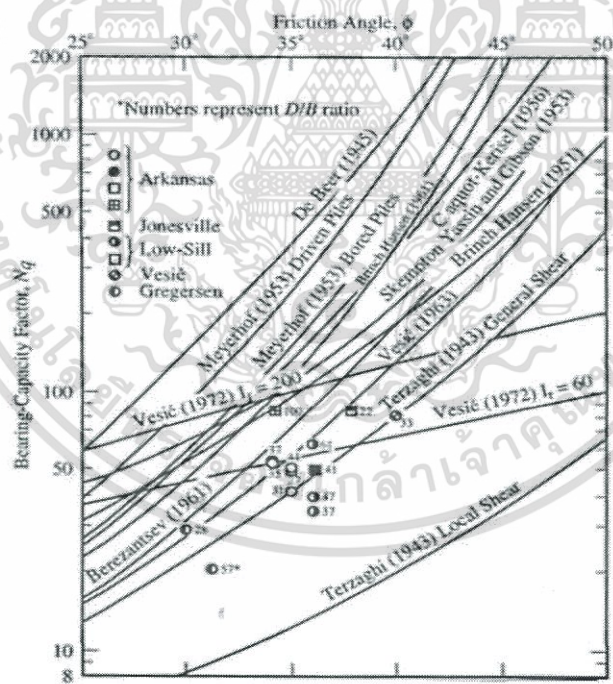
$q_b$  = แรงเสียดทานที่ปลายเสาเข็ม

$A_b$  = พื้นที่การรับที่ปลายเสาเข็ม

$\sigma'_{vo}$  = หน่วยแรงกดทับที่ปลายเสาเข็ม

$c_u$  = กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ

$N_q$  = ตัวประกอบกำลังรับแรง End-bearing



รูปที่ 2.14 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\phi$  และ  $N_q$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรการคำนวณหาการรับน้ำหนักของเสาเข็มตอก (Dynamic Pile Driving Formula)

Engineering New Formula (แนะนำให้ใช้ F.S. = 4)

$$Q_{ult} = \frac{Wh}{S + 2.54C}$$

$Q_{ult}$  = Ultimate Bearing Capacity

$W$  = น้ำหนักของลูกตุ้มเสาเข็ม

$h$  = ระยะยกลูกตุ้มจากหัวเสาเข็ม

$S$  = Last 10 Blows

$C$  = 0.9 สำหรับเครื่องตอกแบบ Drop Hammer

$F.S.$  = Factor of Safety

Hiley's Formula (แนะนำให้ใช้ F.S. = 4)

$$Q_{ult} = \frac{eWhZ}{S + \frac{C}{2}} \quad e = \frac{W + Pr^2}{W + P}$$

$Q_{ult}$  = Ultimate bearing capacity

$W$  = น้ำหนักของลูกตุ้มเสาเข็ม

$P$  = น้ำหนักของเสาเข็ม

$r$  = Coefficient of Restitution = 0.25

$Z$  = Equipment Loss Factor ( $Z = 1$  สำหรับ Drop hammer)

$h$  = ระยะยกลูกตุ้มจากหัวเสาเข็ม

$S$  = Last 10 Blows

$F.S.$  = Factor of Safety

$C$  = Temporary Compression =  $C_1 + C_2 + C_3$

$C_1$  = การยุบตัวของกระสอบรองหัวเสาเข็มหนา  $L_2$

$$= 1.8 \frac{Q_{ult} L_2}{A}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_2 = \text{การยุบตัวของเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กที่ยาว } L_2$$

$$= 0.72 \frac{Q_{ult} L_2}{A}$$

Janbu's Formula (แนะนำให้ใช้ F.S. = 4)

$$Q_{ult} = \frac{Wh}{SK_u}$$

$$K_u = C_d \left[ 1 + \sqrt{1 + \frac{\lambda}{C_d}} \right]$$

$$C_d = 0.75 + 0.15 \frac{P}{W}$$

$$\lambda = \frac{WhL}{SAE}$$

$Q_{ult}$  = Ultimate Bearing Capacity

$W$  = น้ำหนักของลูกตุ้มเสาเข็ม

$h$  = ระยะยกลูกตุ้มจากหัวเสาเข็ม

$P$  = น้ำหนักของเสาเข็ม

$A$  = พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม

$S$  = Last 10 Blows

$E$  = พิกัดยึด

$L$  = ความยาวของเสาเข็ม

$F.S.$  = Factor of safety

Danish Formula (แนะนำให้ใช้ F.S. = 4)

$$Q_{ult} = \frac{e_n E_n}{S + C} = \frac{Wh}{S + C}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$Q_{ult}$  = Ultimate Bearing Capacity

$W$  = น้ำหนักของลูกตุ้มเสาเข็ม

$e_h$  = ประสิทธิภาพการตอก

$E_h$  = พลังงานของลูกตุ้ม

$C$  = ค่าคงที่สำหรับ Drop hammer คือ 0.0254 สำหรับลูกตุ้มไอน้ำ คือ 0.00254

$S$  = Last 10 Blows



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3

## วิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานในการตรวจสอบในงานเสาเข็มตอกจะมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

- 1.ทำการเก็บข้อมูล
- 2.ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาปัจจัยที่มีผลทำให้เสาเข็มเกิดการชำรุดหรือเสียหาย
- 3.ทำการสรุปปัจจัยที่มีผลที่ทำให้เสาเข็มชำรุด

### 3.1 การเก็บข้อมูล

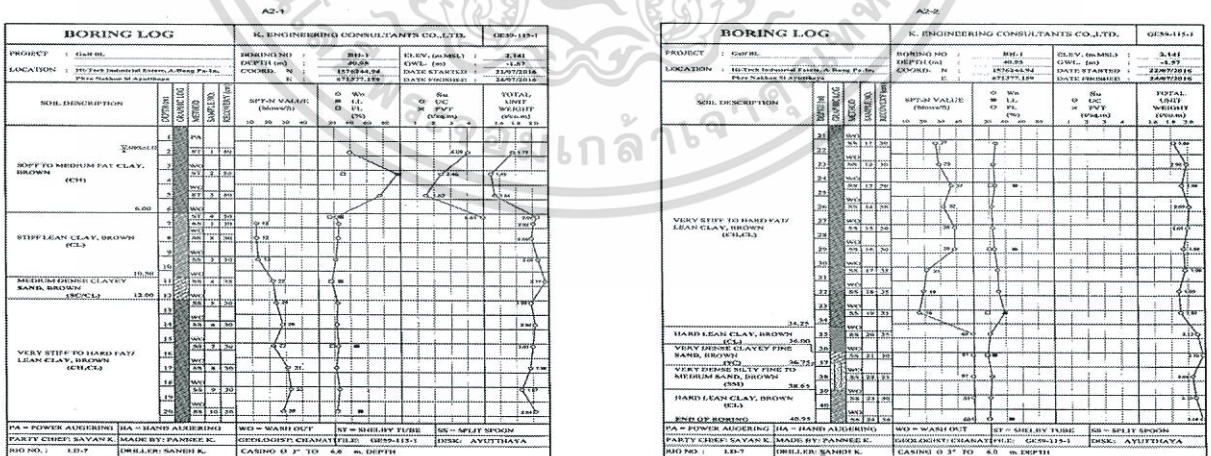
#### 3.1.1 สํารวจพื้นที่และทำการเก็บข้อมูลตัวอย่างดิน

การสำรวจพื้นที่ที่ทำการก่อสร้างจะทำให้เรารู้จักบริเวณโดยรอบและทำการเก็บข้อมูลตัวอย่างดินเบื้องต้น

พื้นที่ที่ก่อสร้างเป็นพื้นที่ขนาด 11 ไร่ ตั้งอยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงนิคมอุตสาหกรรมไฮเทค บ้านหว่า อ.บางปะอิน จ.พระนครศรีอยุธยา

#### การเก็บข้อมูลตัวอย่างดิน

การเก็บข้อมูลตัวอย่างดินเป็นการเก็บข้อมูลเพื่อต้องการรู้สมบัติของดินโดยดินแต่ละชนิดจะมีสมบัติที่ต่างกันและจะใช้งานก่อนสร้างที่ต่างกันออกไป โดยการเก็บข้อมูลตัวอย่างดินเก็บข้อมูลโดยการทำ Boring log เพื่อทดสอบคุณสมบัติต่างๆของดินและแสดงออกมาเป็นตารางดังรูปภาพด้านล่าง



รูปที่ 3.1ก และ 3.1ข รูปแสดงการบันทึกข้อมูลการเก็บตัวอย่างดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2 ข้อมูลที่ได้จากการทำงานเสาเข็ม

เสาเข็มที่ใช้ในโซ่สำงานนี้เป็นเสาเข็มตอกแบบจตุรัส มีทั้งหมด 3 ขนาดดังนี้

เสาเข็มขนาด 40x40 ตร.ซม. ความยาว 30 เมตร จำนวน 1266 ต้น เป็นเสาเข็มขนาด 35x35 ตร.ซม. ความยาว 26 เมตร จำนวน 259 ต้น เป็นเสาเข็ม 26x26 ตร.ซม ความยาว 21 m จำนวน 397 ด้วยวิธีการเชื่อม เสาเข็มแต่ละการขนาดจะถูกตอกด้วยปั้นจั่นแบบ Drop Hammer ที่มีขนาดของลูกตุ้มที่ต่างกัน และถูกควบคุมด้วย เงื่อนไขการตอก (Driving Criteria) ตามตารางดังนี้

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดง Driving Criteria ในการตอกเสาเข็มที่คำนวณจากสูตร Danish Formula

น้ำหนักตุ้ม(ton)	ระยะยก (cm)	last 10 blow(cm)	S(cm)	Blow count /ft
5.5	50	6.12	0.612	49
5.5	60	8.24	0.824	36
5.5	70	10.42	1.042	29
5.5	80	12.66	1.266	24
7	70	14.73	1.473	20
7.5	70	16.19	1.619	19
7.5	80	19.38	1.938	15
9	50	13.07	1.307	23
9	60	16.83	1.683	18
9	70	20.67	2.067	15

การตอกเสาเข็มมักจะทำการตอกโดยมีค่า Driving Criteria ที่ควบคุมการตอกเพื่อให้เสาเข็มสามารถรับแรงได้ตามที่ตอกการโดยการคำนวณ Driving Criteria จากสูตรของ Danish Formula เหตุผลที่ใช้ Danish formula เพราะว่าการก่อสร้างครั้งนี้ออกแบบด้วย Danish Formula

Danish Formula (แนะนำให้ใช้ F.S. = 4)

$$Q_{ult} = \frac{e_h E_h}{S + C} = \frac{Wh}{S + C}$$

$Q_{ult}$  = Ultimate Bearing Capacity

$W$  = น้ำหนักของลูกตุ้มเสาเข็ม

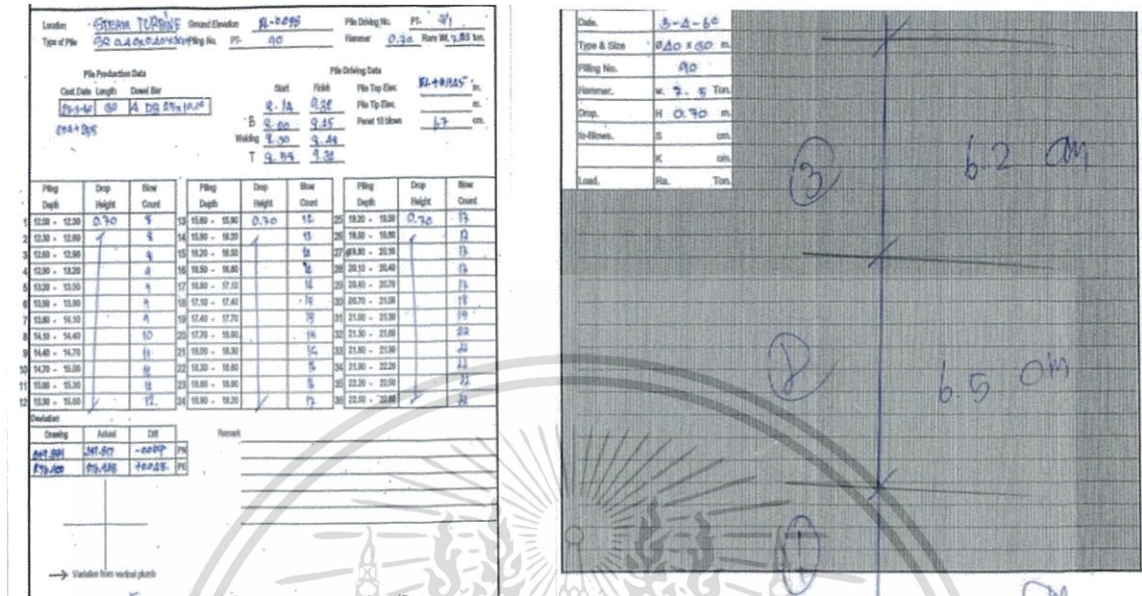
$e_h$  = ประสิทธิภาพการตอก

$E_h$  = พลังงานของลูกตุ้ม

$C$  = ค่าคงที่สำหรับ Drop Hammer คือ 0.0254 สำหรับลูกตุ้มไอน้ำ คือ 0.00254

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระหว่างการตอกเสาเข็มผู้ควบคุมงานผู้ควบคุมงานจะทำการเก็บข้อมูลการตอกจำพวก Blow count ,Last 10 blows โดยจะทำการบันทึกตามตารางบันทึกหน้างานดังนี้



รูปที่ 3.2ก และ 3.2ข รูปแสดงการบันทึกข้อมูลการตอกเสาเข็มในไซต์งานการก่อสร้าง

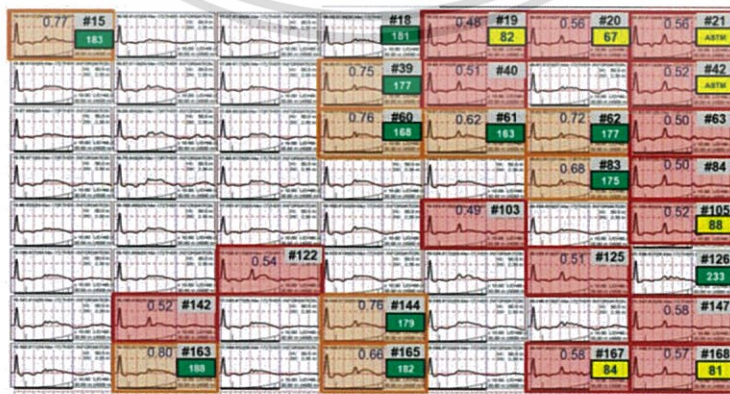
\*ค่า Blowcount คือค่าที่บันทึกจำนวนครั้งในการตอกเสาเข็มที่จมลงไป 1 ฟุตหรือ 30 cm

Last 10 blow คือค่าบันทึกความลึกในการตอก 10 ครั้งสุดท้าย

หลังจากการตอกผู้ควบคุมงานจะเก็บข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆต่อไป

ข้อมูลต่อไปที่นำมาวิเคราะห์คือ ข้อมูลการทดสอบเสาเข็มซึ่งผลการทดสอบเสาเข็มที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์คือ Seismic Test, Dynamic Load Test

Seismic test คือการตรวจสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มด้วยการแสดงค่าเบต้าดังนี้



รูปที่ 3.3 รูปแสดงค่าเบต้าจากการทดสอบ Seismic Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dynamic load test คือการทดสอบกำลังรับแรงของเสาเข็ม (Compressive Strength)

รูปที่ 3.4 รูปแสดงผลการทดสอบ Dynamic Load Test จากหน้างาน

**FIELD SHEET : High Strain Pile Bearing Testing (HSPBT-TESTING)**

Project Title	QDL			
Contractor/Piling Contractor	Gulabhai & Co.		Sukhvitayalai	
Pile Name @ Location	P41	P106	10	1
Pile Type/Grade & Size (mm)	210.4 x 30.4	210.4 x 30.4	210.4 x 30.4	210.4 x 30.4
Working/Test Load (T)    compression	60 x 1.5 = 150	60 x 1.5	60 x 1.5 = 150	60 x 1.5 = 150
Date of Testing (dd/mm/yyyy)	6-6-12	6-6-12	6-6-12	6-6-12
Date of Driven/Cast in-situ	31-5-12	19-5-12	2-6-12	4-5-12
Type of Testing	Mon/Eod/Bor/Res	Mon/Eod/Bor/Res	Mon/Eod/Bor/Res	Mon/Eod/Bor/Res
Total Length (m)	30	30	30	30
Gauges Length (m)	29.4	29.4	29.4	29.4
Pile Penetration Length (m)	29	29	29	29
Excavated/Sounding (m)	(+) + 1	(-) - 1	(-) - 1	(-) - 1
Embedded Depth (m)	29	29	29	29
Pile Area (m <sup>2</sup> )/Perimeter(m)	0.1600/1.6	0.1600/1.6	0.1600/1.6	0.1600/1.6
Pile Density (T/m <sup>3</sup> )    assumed	2600	2600	2600	2600
Wave Speed (m/s)    assumed	1000	1000	1000	1000
Pile Make-Up (bottom-2-top)	15+15	15+15	15+15	15+15
Hammer Name    single/double	-	-	-	-
Hammer Serial #	1	2	-	-
CASE Method Results	Subjected to analysis using ASIAWAP			
Case Capacity (T), Jc	0.4	0.5	0.5	0.5
Ram Weight (T)	5.5	5.5	5.5	5.5
Ram Stroke (m)	0.3 0.8 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9	0.3 0.8 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9	0.3 0.8 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9	0.3 0.8 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9
	123 122 121 120 119 118 117	123 122 121 120 119 118 117	123 122 121 120 119 118 117	123 122 121 120 119 118 117

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลต่างๆที่ได้ทำการเก็บบันทึกตามหัวข้อ3.1จะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยในที่สุดผลทำให้เสาเข็มเกิดการชำรุดโดยการวิเคราะห์จะทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเบต้าที่เป็นตัวบ่งบอกความสมบูรณ์ของเสาเข็มกับ ค่า last 10 blow, น้ำหนักลูกตุ้ม, น้ำหนักเสาเข็ม, อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักลูกตุ้มและน้ำหนักของเสาเข็ม และค่าอื่นๆที่เกี่ยวข้องโดยจะแบ่งเป็น 5 ปัจจัยดังนี้

ปัจจัยที่ 1 ที่ทำการศึกษาการชำรุดของเสาเข็มคือปัจจัยเรื่องขนาดเสาเข็ม

ปัจจัยที่ 2 ที่ทำการศึกษาคือปัจจัยด้านน้ำหนักของลูกตุ้มที่ใช้ในการตอก

ปัจจัยที่ 3 ที่ทำการศึกษาคือปัจจัยด้านพลังงานที่ใช้ในการตอก

ปัจจัยที่ 4 ที่ทำการศึกษาคือปัจจัยด้านค่า Last 10 Blow

ปัจจัยที่ 5 ปัจจัยที่ทำการศึกษาคือปัจจัยด้านค่า Deviation

## 3.3 สรุปผลการวิเคราะห์และเสนอแนวทางแก้ไขเพิ่มเติม

จากการรวบรวมข้อมูลและทำการวิเคราะห์ข้อมูลจะทำให้ค้นพบปัจจัยที่มีผลทำให้เสาเข็มเมื่อเราสามารถรู้ปัจจัยที่ทำให้เสาเข็มเกิดการชำรุดเราก็สามารถป้องกันและลดปัจจัยที่ทำให้เกิดการชำรุดของเสาเข็มลงและเสนอแนวทางการป้องกัน

## บทที่ 4

### ผลการศึกษา

การศึกษาการตรวจสอบในงานเสาเข็มตอกเป็นการศึกษาเพื่อหาปัจจัยของการชำรุดของเสาเข็ม เป็นการศึกษาในโครงการก่อสร้างใกล้พื้นที่นิคมอุตสาหกรรมไฮเทค ต.บ้านหว่า อ.บางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยาโดยการก่อสร้างเป็นการก่อสร้างด้วยเสาเข็มตอกจำนวนเสาเข็มจตุรัส(SQ) ทั้งหมด 1922 ต้นแบ่งเป็น 3 ชนิด คือ ขนาด 40x40 ตร.ชม ความยาว 30 เมตร จำนวน 1266 ต้น เสาเข็มขนาด 35x35 ตร.ชม ความยาว 26 เมตร จำนวน 259 ต้น และเสาเข็มขนาด 26x26 ตร.ชม ความยาว 21 เมตร จำนวน 397 ต้น การศึกษาการปัจจัยที่มีผลทำให้เสาเข็มเกิดการชำรุดจะศึกษาสาเหตุที่ทำให้เสาเข็มชำรุด โดยตัวบ่งบอกการชำรุดของเสาเข็มคือ ค่าbeta ค่าเบต้าเป็นค่าที่ได้จากการทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็ม (Seismic test) การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็ม (Seismic test) คือการทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มเป็นการทดสอบเพื่อหารอยแตก ช่องว่างที่เกิดขึ้นกับเสาเข็ม รวมไปถึงจนถึงการหักของเสาเข็ม ซึ่งอาจมีผลกับกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม ทำให้เสาเข็มไม่สามารถรับกำลังได้ตามที่ออกแบบหรือไม่สามารถใช้เสาเข็มนั้นในการรับกำลังได้อีกเลย

#### วิธีการทดสอบการทดสอบ Seismic Test

1. หัวเสาเข็มที่จะทำการทดสอบต้องมีการทำความสะอาดไม่ให้มีเศษหินปูนและฝุ่นและควรปรับแต่งผิวให้เรียบก่อนทดสอบ
2. ติดตั้งตัวรับสัญญาณความเร่ง (PIT Accelerometer) บนหัวเสาเข็มจากนั้นทำการเคาะบนหัวเสาเข็มด้วยค้อนทดสอบ (Held Hammer) โดยแรงกระทำที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดคลื่นความเค้น (Low-Strain Compression Wave) เดินทางลงไปในเสาเข็ม และเกิดการสะท้อนกลับขึ้นมาของคลื่นในรูปแบบต่างๆ ซึ่งจะสัมพันธ์กับพื้นที่หน้าตัดโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุและความหนาแน่นความเร็วคลื่นที่เกิดขึ้นในเนื้อคอนกรีตนี้
3. สัญญาณในรูปแบบคลื่นนี้จะถูกบันทึกโดยตัวรับสัญญาณความเร่ง(PIT Accelerometer)และจะส่งผ่านข้อมูลไปที่เครื่องแสดงผล
4. จากนั้นก็จะนำข้อมูลเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการวิเคราะห์ และประมวลผลทดสอบด้วยโปรแกรม PIT-W Professional Version โดยเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D-5882

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าBeta และการชำรุดของเสาเข็มได้ดังนี้

ค่าเบต้า( $\beta$ )	สภาพความสมบูรณ์
0.9-1.0	เสาเข็มสมบูรณ์
0.8-0.9	ประสิทธิภาพหน้าตัดอยู่ที่ 0.8-0.9
0.6-0.8	ประสิทธิภาพหน้าตัดอยู่ที่ 0.6-0.8
น้อยกว่า0.6	เสาเข็มที่หักเนื่องจากมีประสิทธิภาพหน้าตัดที่น้อยเกินไป

จากความรู้เรื่องการทดสอบความของเสาเข็มพบว่าค่า Beta ที่เป็นตัวบ่งบอกสภาพความสมบูรณ์ของเสาเข็มที่เกิดขึ้นดังนั้นการศึกษาปัจจัยที่ทำให้เสาเข็มเกิดการชำรุดจึงจะศึกษาโดยใช้ค่า Beta เป็นตัวชี้วัดความสมบูรณ์ของเสาเข็ม

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงชนิดของเข็มและจำนวนของเสาเข็มที่ใช้ตอกขนาด 40x40 ตร.ชม

เสาเข็มขนาด 40x40 ตร.ชม			
น้ำหนักของลูกตุ้ม (tons)	ชำรุด(ต้น)	ไม่ชำรุด(ต้น)	รวม(ต้น)
5.5	28	372	400
7	0	81	81
7.5	3	347	350
9	6	429	435
			1266

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงชนิดของเข็มและจำนวนของเสาเข็มที่ใช้ตอกขนาด 35x35 ตร.ชม

เสาเข็มขนาด 35x35 ตร.ชม			
น้ำหนักของลูกตุ้ม (tons)	ชำรุด(ต้น)	ไม่ชำรุด(ต้น)	รวม(ต้น)
4	0	12	12
5.5	0	247	247
			259

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงชนิดของเข็มและจำนวนของเสาเข็มที่ใช้ตอกขนาด 26x26 ตร.ซม

เสาเข็มขนาด 26x26 ตร.ซม			
น้ำหนักของลูกตุ้ม (tons)	ชำรุด(ตัน)	ไม่ชำรุด(ตัน)	รวม(ตัน)
5.5	0	397	397
			397

#### 4.1 ปัจจัยที่ 1 ที่ทำการศึกษาการชำรุดของเสาเข็มคือปัจจัยเรื่องขนาดของเสาเข็ม

ในการศึกษาปัจจัยเรื่องขนาดเสาเข็มผู้วิจัยมีสมมุติฐานว่าเสาเข็มที่มีขนาดเล็กจะมีโอกาสชำรุดและเสียหายจากการตอกเสาเข็มมากกว่าเสาเข็มที่มีขนาดใหญ่ โดยการศึกษาจะศึกษาจากจำนวนต้นที่เกิดการชำรุดกับชนิดของเสาเข็มที่ใช้ จากตารางที่ 4.2 เราพบว่าเสาเข็มที่เสาเข็มที่มีการชำรุดเกิดกับเสาเข็มเข็มขนาด 40x40 cm ซึ่งทำให้ทราบได้ว่าการชำรุดเสาเข็มอาจเกิดกับเสาเข็มที่มีขนาดใหญ่ได้เช่นกัน โดยไม่จำเป็นต้องเกิดกับเสาเข็มที่ขนาดที่เล็เสมอไป ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าสมมุติฐานว่าเสาเข็มที่มีขนาดเล็กจะมีโอกาสในการเกิดการชำรุดของเสาเข็มมากกว่าเสาเข็มขนาดใหญ่ และจากที่ทำการศึกษาปัจจัยเรื่องขนาดของเสาเข็มไม่ใช่ปัจจัยที่ทำให้เกิดการชำรุดของเสาเข็มจึงทำการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุและปัจจัยต่อไปทำให้เสาเข็มเกิดการชำรุดอื่นๆต่อไป หากสังเกตในตารางที่ 4.2 พบว่าการชำรุดของเสาเข็มจะเกิดขึ้นมากที่สุดกับการใช้น้ำหนักของลูกตุ้มที่ 5.5 ตัน จึงทำการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับน้ำหนักของตุ้มเพื่อหากปัจจัยที่มีผลทำให้เสาเข็มเกิดการชำรุดต่อไป

อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักลูกตุ้มที่ใช้กับน้ำหนักของเสาเข็ม ( $Wh/Wp$ ) คือค่าน้ำหนักของลูกตุ้ม/น้ำหนักของเสาเข็ม

$$\frac{Wh}{Wp} = \frac{\text{น้ำหนักของลูกตุ้ม}}{\text{น้ำหนักของเสาเข็ม}}$$

ค่าอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของลูกตุ้มกับการใช้น้ำหนักของเสาเข็มจะใช้ในการบ่งบอกการใช้ น้ำหนักตุ้มว่าเพียงพอต่อน้ำหนักเสาเข็มหรือไม่ โดยการค่า  $Wh/Wp$  ที่น้อยมากอาจหมายถึงการเลือกใช้ค่าน้ำหนักของลูกตุ้มที่น้อยเกินไป หรือ ขนาดของเสาเข็มมีค่าใหญ่กว่าลูกตุ้มมาก แต่ในสภาพหน้างานขนาดของเสาเข็มเป็นค่าคงที่ที่ผู้ออกแบบกำหนดให้มาเพื่อใช้ตามการออกแบบซึ่งจะทำให้การใช้ค่า  $Wh/Wp$  มีค่าที่น้อยหมายถึงการใช้น้ำหนักของลูกตุ้มที่มีค่าน้อยหรือมีค่าต่ำกว่าน้ำหนักของเสาเข็มมาก ค่า  $Wh/Wp$  ที่น้อยจะทำให้การตอกเสาเข็มต้องใช้จำนวนครั้งการตอกมากและจะต้องใช้การกระแทกเสาเข็มมากๆเพื่อให้เสาเข็มสามารถผ่านไปยังชั้นดินที่ต้องการหรือมีความลึกตามที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งค่า  $Wh/Wp$  จะมีความสัมพันธ์กับการเลือกใช้น้ำหนักตุ้มในการตอกเสาเข็มผู้วิจัยสนใจในการนำค่า  $Wh/Wp$  และการเลือกใช้น้ำหนักของลูกตุ้มที่ใช้ในการตอกมาเป็นปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาต่อไป นอกจากนี้ยังมีค่าน้ำค่า last 10 blows มาใช้ในการเปรียบเทียบกับซึ่ง ค่า Last 10 Blows หมายถึงระยะการทรุดตัวของเสาเข็มในการตอก 10 ครั้งสุดท้าย ในการก่อสร้างเสาเข็มจะมีข้อกำหนดของค่า Last 10 Blows มาควบคุมการตอกของเสาเข็มโดยจะต้องได้ค่า Last 10 Blows ที่ต่ำกว่า ข้อกำหนดในการตอกที่ออกแบบไว้เพื่อให้เสาเข็มสามารถรับกำลังได้ตามที่ออกแบบ แต่อีกนัยหนึ่งสำหรับค่า Last 10 Blows ที่ต่ำ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่าข้อกำหนดในการตอกมากอาจหมายถึงการที่ไม่สามารถตอกให้เสาเข็มลงไปลึกกว่านี้ได้อีก ซึ่งอาจมีผลมาจากเสาเข็มอยู่ในชั้นดินที่มีแรงต้านมากหรือเสาเข็มอาจเกิดการชำรุดจนไม่สามารถตอกลงไปได้อีกต่อไป

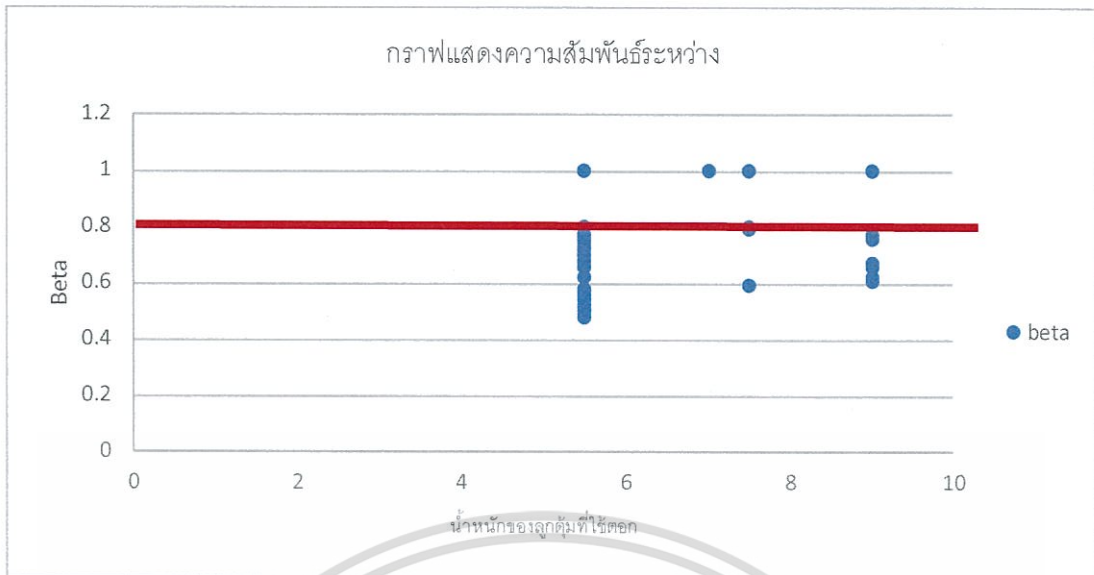
#### 4.2 ปัจจัยที่ 2 ที่ทำการศึกษาคือปัจจัยด้านน้ำหนักของลูกตุ้มที่ใช้ในการตอก

ปัจจัยที่ทำการศึกษาคือปัจจัยด้านน้ำหนักของลูกตุ้มที่ใช้ในการตอกพบว่าการเลือกใช้น้ำหนักของลูกตุ้มที่มีขนาดน้อยกว่าน้ำหนักของเสาเข็มมากหรืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักตุ้มและน้ำหนักของเสาเข็มที่มีค่าน้อยมากจะทำให้เสาเข็มเกิดการชำรุด โดยสาเหตุที่ทำให้เกิดการชำรุดของเสาเข็มนั้นเกิดจากการเลือกใช้น้ำหนักตุ้มที่น้อยจึงทำให้การตอกเสาเข็มต้องตอกด้วยจำนวนครั้งในการตอกเสาเข็ม (Blow count) ที่มากและต้องกระแทกเสาเข็มลงไปเพื่อให้เสาเข็มสามารถผ่านไปยังชั้นดินที่ต้องการได้ โดยค่าที่เป็นตัวบ่งบอกการชำรุดของเสาเข็มคือ ค่าBeta ผู้วิจัยจึงทำการเลือกใช้น้ำหนักของลูกตุ้มและอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักตุ้มและน้ำหนักของเสาเข็มที่เสาเข็มขนาด 40x40 ตร.ซม เนื่องจากการชำรุดของเกิดกับเสาเข็มขนาด 40x40 ตร.ซม

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงการน้ำหนักตุ้มและเสาเข็มที่เกิดการชำรุด

เสาเข็มขนาด 40x40 ตร.ซม					
น้ำหนักของลูกตุ้ม (ตัน)	ชำรุด(ตัน)	ไม่ชำรุด(ตัน)	รวม(ตัน)	Wh/Wp	เปอร์เซ็นต์ของการชำรุด
5.5	28	372	400	0.477	7.0
7	0	81	81	0.608	0.0
7.5	3	347	350	0.651	0.9
9	6	429	435	0.781	1.4
			1266		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 รูปภาพแสดงการความสัมพันธ์ระหว่างค่า Beta และ น้ำหนักของลูกัดไม้ที่ใช้ตอก

จากการศึกษาตารางที่ 4.5 และ รูปภาพที่ 4.1 จะพบว่า การชำรุดของเสาเข็มมักจะเกิดขึ้นเมื่อมีการใช้ลูกัดไม้ที่มีน้ำหนักของการตอก 5.5 หรือมีอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักตอกและน้ำหนักของเสาเข็มที่อยู่ที่ 0.477 ซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักตอกและน้ำหนักของเสาเข็มที่น้อยที่สุด โดยค่าที่เป็นตัวบ่งบอกการชำรุดของเสาเข็มคือ ค่า beta ซึ่งจะพบว่าปัจจัยการเลือกใช้น้ำหนักของลูกัดไม้ในการตอกเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการชำรุดของเสาเข็ม

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงเสาเข็มต้นที่เกิดการชำรุด

ชื่อฐานราก	ระยะยก (Cm)	น้ำหนักตุ้ม (tons)	พลังงานที่ใช้ในการตอก (KN*m)	Beta	last10 blows(cm)	Wh/Wp
steam turbine p62	70	5.5	37730	0.72	3.53	0.477
steam turbine p63	70	5.5	37730	0.5	3.17	0.477
steam turbine p83	70	5.5	37730	0.68	3.73	0.477
steam turbine p84	70	5.5	37730	0.5	3.07	0.477
HRSg no1 p04	80	5.5	43120	0.7	3.13	0.477
HRSg no1 p14	80	5.5	43120	0.76	4.03	0.477
HRSg no1 p33	80	5.5	43120	0.73	4.20	0.477
steam turbine p103	80	5.5	43120	0.49	3.10	0.477
steam turbine p105	80	5.5	43120	0.52	3.50	0.477
steam turbine p122	80	5.5	43120	0.54	2.50	0.477
steam turbine p125	80	5.5	43120	0.51	3.40	0.477
steam turbine p142	80	5.5	43120	0.52	2.60	0.477
steam turbine p144	80	5.5	43120	0.76	3.00	0.477
steam turbine p147	80	5.5	43120	0.58	3.90	0.477
steam turbine p15	80	5.5	43120	0.77	3.90	0.477
steam turbine p163	80	5.5	43120	0.8	3.67	0.477
steam turbine p165	80	5.5	43120	0.66	3.07	0.477
steam turbine p167	80	5.5	43120	0.58	3.50	0.477
steam turbine p168	80	5.5	43120	0.57	3.367	0.477
steam turbine p19	80	5.5	43120	0.48	3.53	0.477
steam turbine p20	80	5.5	43120	0.56	3.47	0.477
steam turbine p21	80	5.5	43120	0.56	4.03	0.477
steam turbine p39	80	5.5	43120	0.75	4.07	0.477
steam turbine p4	80	5.5	43120	0.58	2.70	0.477
steam turbine p40	80	5.5	43120	0.51	2.77	0.477
steam turbine p42	80	5.5	43120	0.52	3.00	0.477
steam turbine p60	80	5.5	43120	0.76	3.60	0.477
steam turbine p61	80	5.5	43120	0.62	2.67	0.477
steam turbine p131	70	7.5	51450	0.8	6.70	0.651
steam turbine p71	70	7.5	51450	0.59	8.10	0.651
steam turbine p8	70	7.5	51450	0.79	8.60	0.651
gas turbine p113	60	9	52920	0.62	10.85	0.781
gas turbine p60	60	9	52920	0.66	10.00	0.781
gas turbine p112	60	9	52920	0.77	17.50	0.781
gas turbine p54	60	9	52920	0.76	16.60	0.781
gas turbine p60	60	9	52920	0.67	8.80	0.781
HRSg no2 p53	60	9	52920	0.61	8.90	0.781

จากตารางที่ 4.6 ทำให้เห็นค่าการชำรุดของเสาเข็มได้ชัดเจนขึ้นว่าเสาเข็มมีการชำรุดจะเกิดกับเสาเข็มที่มีน้ำหนักของการตอก 5.5 หรือมีอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักตุ้มและน้ำหนักของเสาเข็มที่อยู่ที่ 0.477 ซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักตุ้มและน้ำหนักของเสาเข็มที่น้อยที่สุด ผู้วิจัยจึงได้ทำการค้นหาข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อสนับสนุนปัจจัยที่เกิดขึ้น ผู้วิจัยพบข้อกำหนดของการเลือกใช้ขนาดของลูกตุ้มที่ใช้ในไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตอกเสาเข็มของสำนักโยธาธิการ โดยจะสรุปได้ตั้งตารางแสดงอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของลูกตุ้ม และน้ำหนักของเสาเข็มน้อยสุดตารางที่ 4.7 ตารางแสดงอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของลูกตุ้มและน้ำหนักของเสาเข็มที่น้อยสุด(Humes)

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงความสัมพันธ์ Wh/Wp กับความยาวที่ออกแบบ

ความยาวเสาเข็ม(m)	Wh/Wp
15	1
15-18	0.75
มากกว่า 18	0.67

เนื่องจากเสาเข็มที่ใช้มีความยาว 30 m เมื่อเทียบกับตารางที่ 4.4 พบว่าต้องใช้อัตราส่วนระหว่างเสาเข็มระหว่างน้ำหนักของลูกตุ้มและน้ำหนักของเสาเข็มของการก่อสร้างที่น้อยที่สุดที่ควรเลือกใช้คือ 0.65 หรือควรใช้น้ำหนักของลูกตุ้มที่  $0.67 * \text{น้ำหนักเข็ม} = 0.40 \times 0.40 \times 30 \times 2.4 \times 0.67 = 7.7$  ตันขึ้นไปแต่กลับพบว่าอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของลูกตุ้มและน้ำหนักของเสาเข็ม (Wh/Wp) ที่น้อยที่สุดคือ 0.477 ซึ่งต่ำกว่าค่าน้อยสุดที่กำหนดไว้อยู่มากจึงเป็นเหตุให้เสาเข็มเกิดการชำรุดมากที่สุด ดังนั้นถือว่าปัจจัยด้านน้ำหนักของลูกตุ้มที่ใช้ในการตอกเสาเข็มเป็นปัจจัยที่ทำให้เสาเข็มมีความชำรุด

### 4.3 ปัจจัยที่ 3 ที่ทำการศึกษาคือปัจจัยด้านพลังงานที่ใช้ในการตอก

การตอกเสาเข็มในการก่อสร้างเป็นการตอกโดยใช้พลังงานจากการยกลูกตุ้มกระแทกไปที่เสาเข็มเพื่อทำการเปลี่ยนไปเป็นพลังงานให้เสาเข็มสามารถผ่านแรงต้านในดินลงไปยังความลึกที่ต้องการได้ พลังงานในการตอกเสาเข็มเป็นพลังงานที่ใช้ในการตอกเสาเข็มเป็นพลังงานศักย์โน้มถ่วงที่เกิดจากการยกของลูกตุ้มสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{Potential energy (ต่อการตอก 1 ฟุตสุดท้าย)} = mgh * (30 / \text{Last 10 Blow} * 0.1)$$

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{น้ำหนักของลูกตุ้ม 5.5 ตัน ระยะยก 80 ซม } g = 9.81 \text{ เมตร/วินาที}^2 \text{ Last 10 Blow} = 3.22 \text{ ชม}$$

$$Mgh = 5.5 * 1000 * 9.81 * 0.8 * (30 / (3.22 * 0.1)) = 4025147 \text{ กิโลนิวตัน-เมตรต่อการตอกหนึ่งฟุตสุดท้าย}$$

จากนั้นจึงทำการศึกษาและเปรียบเทียบพลังงานในการใช้ตอกกับจำนวนเสาเข็มที่เกิดการชำรุดเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ใช้ในการตอกและจำนวนการชำรุดของเสาเข็มว่ามีความสัมพันธ์ตามสมมุติฐานว่าการใช้พลังงานในการตอกเสาเข็มที่สูงจะทำให้เสาเข็มเกิดการชำรุดมากตามไปด้วยหรือไม่

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและจำนวนเสาเข็มที่เกิดการชำรุด

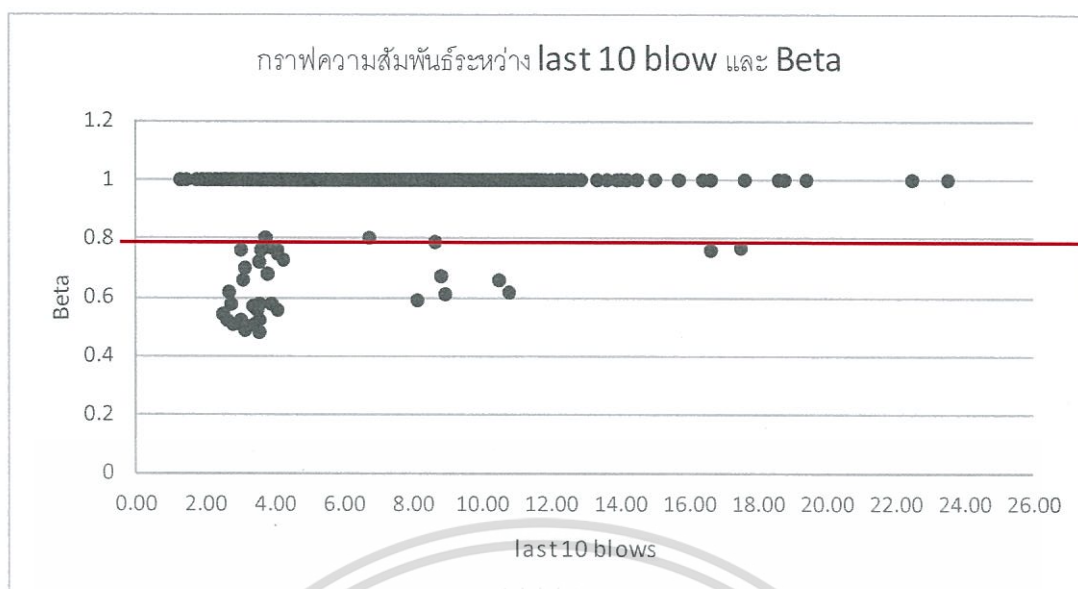
น้ำหนักของ ลูกตุ้ม(tons)	ระยะยก (cm)	last 10 blows เฉลี่ย (cm)	พลังงานที่ใช้ตอก (KN-m/ft)	จำนวนต้นที่ ตอก(ต้น)	จำนวนต้นที่ ชำรุด(ต้น)
5.5	50	4.71	1718644	11	0
5.5	60	5.68	1710663	22	0
5.5	70	4.49	2524814	248	4
5.5	80	3.22	4025147	120	24
7	70	7.07	2038315	81	0
7.5	70	6.69	2307985	343	3
7.5	80	3.86	4574611	7	0
9	50	5.48	2417579	5	0
9	60	9.31	1706659	389	6
9	70	10.35	1792164	41	0
				1267	37

Last 10 Blows ที่อยู่ในตารางเป็นค่า Last 10 Blows เป็นค่าเฉลี่ยของการตอกด้วยข้อกำหนดนั้นๆ สาเหตุที่ใช้ค่าเฉลี่ยเป็นตัวแทนข้อมูลเนื่องจากข้อมูลนี้มีพิสัยที่กว้างแต่กลับมีการกระจายของข้อมูลที่ต่ำดังนั้นการใช้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลจึงสามารถบอกละเอียดได้ชัดเจนมากกว่าการใช้พิสัยในการแสดง จากตารางที่ 4.6 ซึ่งเป็นแสดงตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและจำนวนเสาเข็มที่เกิดการชำรุดพบว่าเมื่อพลังงานที่มีค่าที่มีค่าการชำรุดมากที่สุดคือที่ 4025147 KN-m/ft ที่มีการชำรุดของเสาเข็มจำนวน 24 ต้น ซึ่งเป็นพลังงานที่มีค่าเป็นอันดับสองรองจาก 4574611 KN-m/ft แต่ว่าการตอกด้วยพลังงานที่สูงสุดทำการตอกไปเพียงแค่ 7 ต้น เท่านั้นจึงทำให้การชำรุดอาจยังไม่เกิดขึ้นเพราะจำนวนต้นของการตอกที่น้อยอยู่และจะเห็นได้ว่าการชำรุดจะมีค่าสูงเมื่อพลังงานมีค่ามากดังนั้นจึงจะสรุปได้ว่าพลังงานในการตอกเสาเข็มเป็นปัจจัยที่ทำให้เสาเข็มเกิดการชำรุด

#### 4.4 ปัจจัยที่ 4 ที่ทำการศึกษาคือปัจจัยด้านค่า Last 10 Blow

ค่า Last 10 Blows หมายถึงระยะการทรุดตัวของเสาเข็มในการตอก 10 ครั้งสุดท้าย ค่า Last 10 Blows เป็นค่าที่ผู้ออกแบบจะให้ข้อกำหนดในการตอกเสาเข็มเพื่อให้ค่าเสาเข็มสามารถรับกำลังได้ตามที่ออกแบบค่า Last 10 Blow ที่ต่ำกว่าข้อกำหนดในการตอกที่ออกแบบไว้เพื่อให้เสาเข็มสามารถรับกำลังได้ตามที่ออกแบบ แต่อีกนัยหนึ่งสำหรับค่า Last 10 Blows ที่ต่ำกว่าข้อกำหนดในการตอกมากอาจหมายถึง 4 การที่ไม่สามารถตอกให้เสาเข็มมีระยะทรุดตัวที่มากกว่านี้ได้อีก ซึ่งอาจมีผลมาจากการชำรุดของเสาเข็มจนไม่สามารถตอกลงไปหมายถึงการที่เสาเข็มมีค่า Last 10 Blows ที่น้อยกว่าข้อกำหนดในการตอกเสาเข็มมากๆ เสาเข็มอาจทำให้ชำรุดและไม่สามารถรับกำลังได้ตามที่ออกแบบ แต่สาเหตุที่ได้ Last 10 Blows ต่ำกว่าค่าที่ออกแบบไว้หรือผ่านข้อกำหนดของการตอกเพราะว่าเสาเข็มไม่ชำรุดจนไม่สามารถตอกลงไปได้จึงได้ค่า Last 10 Blows หรือระยะการทรุดตัวที่ต่ำกว่าข้อกำหนดที่ออกแบบไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Last 10 Blows และ ค่า Beta

ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Last 10 Blows และจำนวนเสาเข็มที่เกิดการชำรุด

น้ำหนักของ ลูกตุ้ม(ตัน)	ระยะยก(ชม.)	last 10 blows		จำนวนต้น ที่ตอก(ตัน)	จำนวนต้นที่ ชำรุด(ตัน)
		Danish formula(ชม.)	สภาพหน้างาน (ชม.)		
5.5	50	5.81	4.71	11	0
5.5	60	8.26	5.68	22	0
5.5	70	10.42	4.49	248	4
5.5	80	10.79	3.22	120	24
7	70	14.76	7.07	81	0
7.5	70	16.19	6.69	343	3
7.5	80	19.38	3.86	7	0
9	50	13.07	5.48	5	0
9	60	16.83	9.31	389	6
9	70	20.67	10.35	41	0
				1267	37

Last 10 Blows ที่อยู่ในตารางเป็นค่า Last 10 Blows เป็นค่าเฉลี่ยของการตอกด้วยข้อกำหนดนั้นๆ สาเหตุที่ใช้ค่าเฉลี่ยเป็นตัวแทนข้อมูลเนื่องจากข้อมูลนี้มีพิสัยที่กว้างแต่กลับมีการกระจายของข้อมูลที่ต่ำ ดังนั้นการใช้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลจึงสามารถบอกรายละเอียดได้ชัดเจนมากกว่าการใช้พิสัยในการแสดง

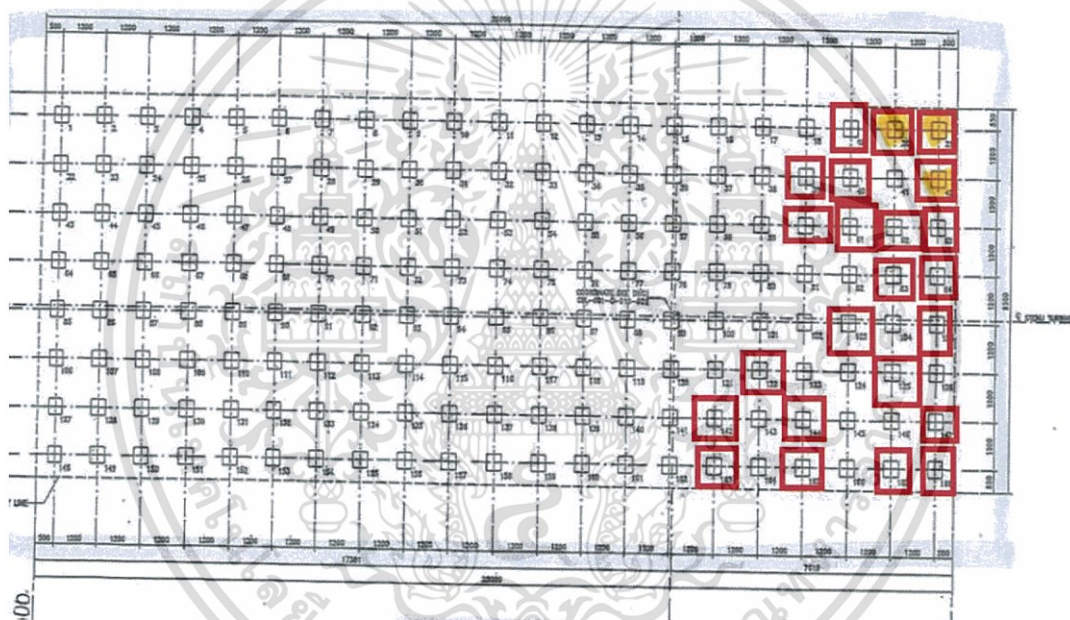
จากการศึกษารูปภาพที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.7 เมื่อเทียบระหว่างค่า last 10 blows ตามข้อกำหนดในการตอกซึ่งคำนวณจาก Danish Formula และ Last 10 Blows จากสภาพหน้างานจริง พบว่าค่าเฉลี่ยของ Last 10 Blows ในสภาพหน้างานจริงมีต่ำกว่าค่าข้อกำหนดในการตอกอยู่มากแต่กลับไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างค่า Last 10 Blows กับการชำรุดของเสาเข็มที่เกิดขึ้น ดังนั้นอาจสรุปได้ว่า ค่า Last 10 Blows ไม่ใช่ปัจจัยที่ทำให้เสาเข็มเกิดการชำรุดและเสียหาย จากรูปภาพที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าค่าการชำรุดของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้กับเจ้าของเอกสารเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็น ใบเขียวประโยชน์ดังกล่าว  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสาเข็มจะอยู่ที่ 2.5 ถึง 4 ซม พบว่ามีการชำรุดของเสาเข็มมากที่สุด ถึงแม้ว่า Last 10 Blows จะไม่ใช่ปัจจัยที่ทำให้เสาเข็มเกิดการชำรุดแต่สำหรับการตอกเสาเข็มที่มีค่า Last 10 Blows ต่ำกว่า 4 ซม ผู้ควบคุมงานควรทำการตรวจสอบเพิ่มเติมเพราะอาจมีเสาเข็มที่ชำรุดเกิดขึ้นกับเสาเข็มที่มี Last 10 Blows ต่ำกว่า 4 ซม.

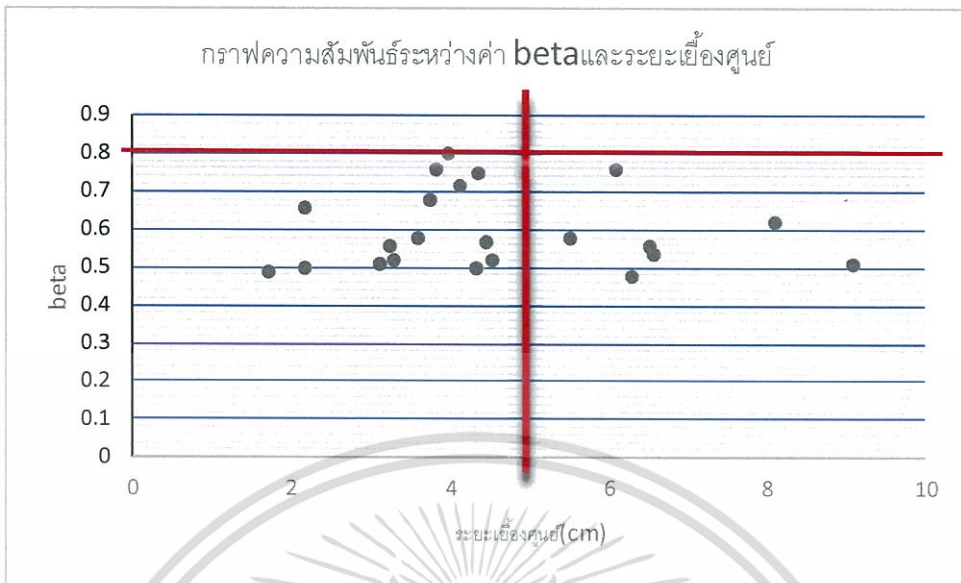
#### 4.5 ปัจจัยที่ 5 ปัจจัยที่ทำการศึกษาคือปัจจัยด้านค่า Deviation

ค่า Deviation หรือ ค่าการเยื้องศูนย์ของเสาเข็มเป็นค่าการคำนวณของการเยื้องของเสาเข็มทั้งแกน X และ Y โดยจะเทียบกับพิกัดตำแหน่งหลังการตอกและตำแหน่งพิกัดหลังการตอกไปแล้วเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 30 วัน การตรวจสอบการเยื้องศูนย์ของเสาเข็มจะมีข้อกำหนดดังนี้คือ สำหรับเสาเข็มกลุ่มคือ 7.5 ซม. และ สำหรับเสาเข็มเดี่ยว คือ 5 ซม. การเยื้องศูนย์ของเสาเข็มที่มีปัจจัยมาจาก แรงดันดินข้างข้าง (lateral earth pressure) ที่กระทำต่อเสาเข็ม ซึ่งผลของการเยื้องศูนย์ที่เกินค่าที่กำหนดคือ เสาเข็มอาจเกิดการชำรุดและเสียหาย



รูปที่ 4.3 รูปแสดงตำแหน่งของเสาเข็มที่เกิดการชำรุดการชำรุดของเสาเข็ม

หลังจากที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค่าตำแหน่งของเสาเข็มการชำรุดของเสาเข็มพบว่ามีฐานรากหนึ่งซึ่งมีเสาเข็มที่เกิดการชำรุดมากที่สุด และหลังจากที่ทำการศึกษาค่าตำแหน่งของเสาเข็มต้นที่ชำรุดของฐานรากนั้นจึงได้ตำแหน่งของเสาเข็มต้นที่ชำรุดดังรูปภาพที่ 4.2 ประกอบกับพื้นที่ในบริเวณของเสาเข็มที่เกิดการชำรุดถูกใช้เป็นถนนในการสัญจรและที่จอดของบั้งจันและรถบรรทุกขนาดใหญ่ จึงเป็นไปได้ว่าการชำรุดของเสาเข็มที่เกิดขึ้นอาจเกิดจาก Lateral Earth Pressure ที่เกิดขึ้นในบริเวณนั้น ผู้วิจัยจึงตั้งสมมุติฐานว่าหาก Lateral Earth Pressure เป็นสาเหตุที่ทำให้เสาเข็มเกิดการเยื้องศูนย์ที่เกินข้อกำหนดและเสาเข็มเกิดการชำรุด แสดงว่าเสาเข็มที่มีค่าการเยื้องศูนย์ที่เกินกว่ากำหนดจะเกิดการชำรุดของของเสาเข็มด้วย ดังนั้นเราสามารถใช้อำนาจการเยื้องศูนย์ของเสาเข็มที่เกินกว่ากำหนดเป็นการบ่งบอกการชำรุดของเสาเข็มได้หรือไม่ จึงทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างเสาเข็มต้นที่ชำรุดและค่าการเยื้องศูนย์ของเสาเข็ม



รูปที่ 4.4 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเสาเข็มต้นที่ชำรุดและค่าการเยื้องศูนย์กลางของเสาเข็ม

จากรูปที่ 4.3 พบว่าเสาเข็มที่ชำรุดไม่ได้มีค่าระยะเยื้องศูนย์กลางเกินข้อกำหนดของค่าระยะเยื้องศูนย์กลางทุกต้น และไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างเสาเข็มต้นที่ชำรุดและค่าการเยื้องศูนย์กลางของเสาเข็ม ดังนั้นอาจสรุปได้ว่า เราไม่สามารถใช้ค่าการเยื้องศูนย์กลางของเสาเข็มที่เกินกว่ากำหนดเป็นการบ่งบอกการชำรุดของเสาเข็มได้ เพราะมีเสาเข็มที่เกิดการชำรุด แต่ไม่มีค่าระยะเยื้องศูนย์กลางไม่เกิน 5 ซม. จึงทำให้ค่าระยะเยื้องศูนย์กลางไม่ใช่ ปัจจัยที่ทำให้เสาเข็มเกิดการชำรุดของเสาเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ทั้งหมด 5 ปัจจัยได้แก่ปัจจัยด้านขนาดเสาเข็ม ปัจจัยด้านน้ำหนักของลูกตุ้มที่ใช้ในการตอก, ปัจจัยด้านพลังงานที่ใช้ในการตอก, ปัจจัยด้านค่า Last 10 Blows, ปัจจัยด้านค่า Deviation พบว่า

ปัจจัยด้านน้ำหนักของลูกตุ้มที่ใช้ในการตอกเสาเข็ม โดยจากการศึกษาปัจจัยนี้พบว่า การชำระของเสาเข็มจะเกิดกับการใช้น้ำหนักของลูกตุ้มขนาด 5.5 หรือมี Wh/Wp มีค่าเท่ากับ 0.477 ซึ่งเป็นค่าที่น้อยที่สุดและเป็นค่าที่ต่ำกว่าข้อกำหนดการเลือกใช้ลูกตุ้มที่น้อยที่สุดของสำนักงานโยธาธิการ

ปัจจัยด้านน้ำหนักไม่ใช่ปัจจัยที่ทำให้เสาเข็มเกิดการชำระเพราะการชำระของเสาเข็มอาจเกิดกับเสาเข็มที่มีขนาดใดก็ได้ โดยไม่จำเป็นต้องเกิดกับเสาเข็มขนาดเล็กเสมอไป

ปัจจัยด้านพลังงานในการตอกจะเห็นได้ว่าการชำระจะมีค่าสูงเมื่อพลังงานมีค่ามากดังนั้นจึงจะสรุปได้ว่า พลังงานในการตอกเสาเข็มเป็นปัจจัยที่ทำให้เสาเข็มเกิดการชำระ

ปัจจัยด้านค่า Last 10 Blows เนื่องจากสมมุติฐานว่าค่า Last 10 Blows ที่ต่ำกว่าข้อกำหนดในการตอกมากจะมีผลทำให้เสาเข็มเกิดการชำระ หลังจากทำการวิจัยพบว่า มีเสาเข็มต้นที่มีค่าต่ำกว่าข้อกำหนดในการตอกมากๆ แต่กลับไม่เกิดการชำระ จึงทำให้ปัจจัยด้านค่า Last 10 Blows ไม่ใช่ปัจจัยที่มีผลต่อการชำระของเสาเข็ม

ปัจจัยด้านค่า Deviation หรือค่าการเยื้องศูนย์ปัจจัยที่มีสมมุติฐานจากผลของ lateral Earth Pressure ว่าจะทำให้เสาเข็มเกิดการชำระและมีค่าการเยื้องศูนย์เกินกว่าข้อกำหนด จึงมีสมมุติฐานว่า เราสามารถใช้ค่าการเยื้องศูนย์ของเสาเข็มที่เกินกว่ากำหนดเป็นการบ่งบอกการชำระของเสาเข็มได้ แต่หลังจากการทำวิเคราะห์ปัจจัยนี้ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าการเยื้องศูนย์กับค่า Beta ที่เป็นตัวบ่งบอกการชำระของเสาเข็มดังนั้นจึงสรุปได้ว่าปัจจัยด้านค่า Deviation ไม่ใช่ปัจจัยที่ผลทำให้เสาเข็มเกิดการชำระ

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะของการวิจัยคือผู้ควบคุมงานควรเลือกน้ำหนักของลูกตุ้มที่มีอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของลูกตุ้มและน้ำหนักของเสาเข็มที่มีค่ามากกว่า 0.67 สำหรับเสาเข็มที่มีความยาวมากกว่า 18 เมตร ตามข้อกำหนดของสำนักโยธาธิการหรือใช้ค่า  $Wh/Wp$  ตามข้อกำหนดการใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของลูกตุ้มและน้ำหนักเข็ม เพื่อป้องกันการชำรุดของเสาเข็ม

จากนั้นคือปัจจัยด้านพลังงานที่ใช้ในการตอกพบว่าใช้พลังงานที่สูงอาจจะทำให้เสาเข็มเกิดการชำรุดของเสาเข็มสำหรับเข็ม 40x40 ตร.ซม พลังงานที่ทำให้เกิดการชำรุดมากที่สุดคือ 405127 KN-m/ft ซึ่งพลังงานที่ผู้ออกแบบเลือกน้ำหนักของลูกตุ้มที่เหมาะสมกับการตอกแล้วผู้ออกแบบควรกำหนดระยะยกที่เหมาะสมกับค่าพลังงานเพื่อไม่ให้พลังงานในการตอกมีค่ามากจนทำให้เสาเข็มเกิดการชำรุดของเสาเข็ม

นอกจากนี้พบว่า การชำรุดของเสาเข็มมากที่สุด จะอยู่ที่ค่า last 10 blows 2.5 ถึง 4 ซม พบว่าการชำรุดของเสาเข็มมากที่สุด ถึงแม้ว่า last 10 blows จะไม่ใช่ปัจจัยที่ทำให้เสาเข็มเกิดการชำรุดแต่สำหรับการตอกเสาเข็มที่มีค่า last 10 blows ต่ำกว่า 4 ซม ผู้ควบคุมงานควรทำการตรวจสอบเพิ่มเติม เพราะอาจมีเสาเข็มที่ชำรุดเกิดขึ้นกับเสาเข็มที่มี last 10 blows ต่ำกว่า 4 ซม



## เอกสารอ้างอิง

- [1] ผศ.ดร. ธนาตล คงสมบูรณ์ (2559) เอกสารประกอบการสอน เรื่อง การออกแบบฐานราก เสาเข็ม กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล
- [2] กรมทางหลวงชนบท (2556) เรื่อง การปรับปรุงสูตรการตอกเสาเข็มโดยใช้ผลทดสอบ Dynamic load test
- [3] กลุ่มงานวิจัยและพัฒนา สำนักงานควบคุมงานก่อสร้าง (2547) เรื่อง เสาเข็ม และการคำนวณการรับน้ำหนักของเสาเข็ม
- [4] ดร.พัลลภ วิสุทธิเมธานุกุล คู่มือวิศวกรรมฐานราก (2558) พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ บริษัทซี เอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก.1 ภาพแสดงลักษณะของพื้นที่การก่อสร้าง



ก.2 ภาพแสดงการติดตั้ง Sheet pile



ก.3 ภาพแสดงการติดตั้งเสาเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

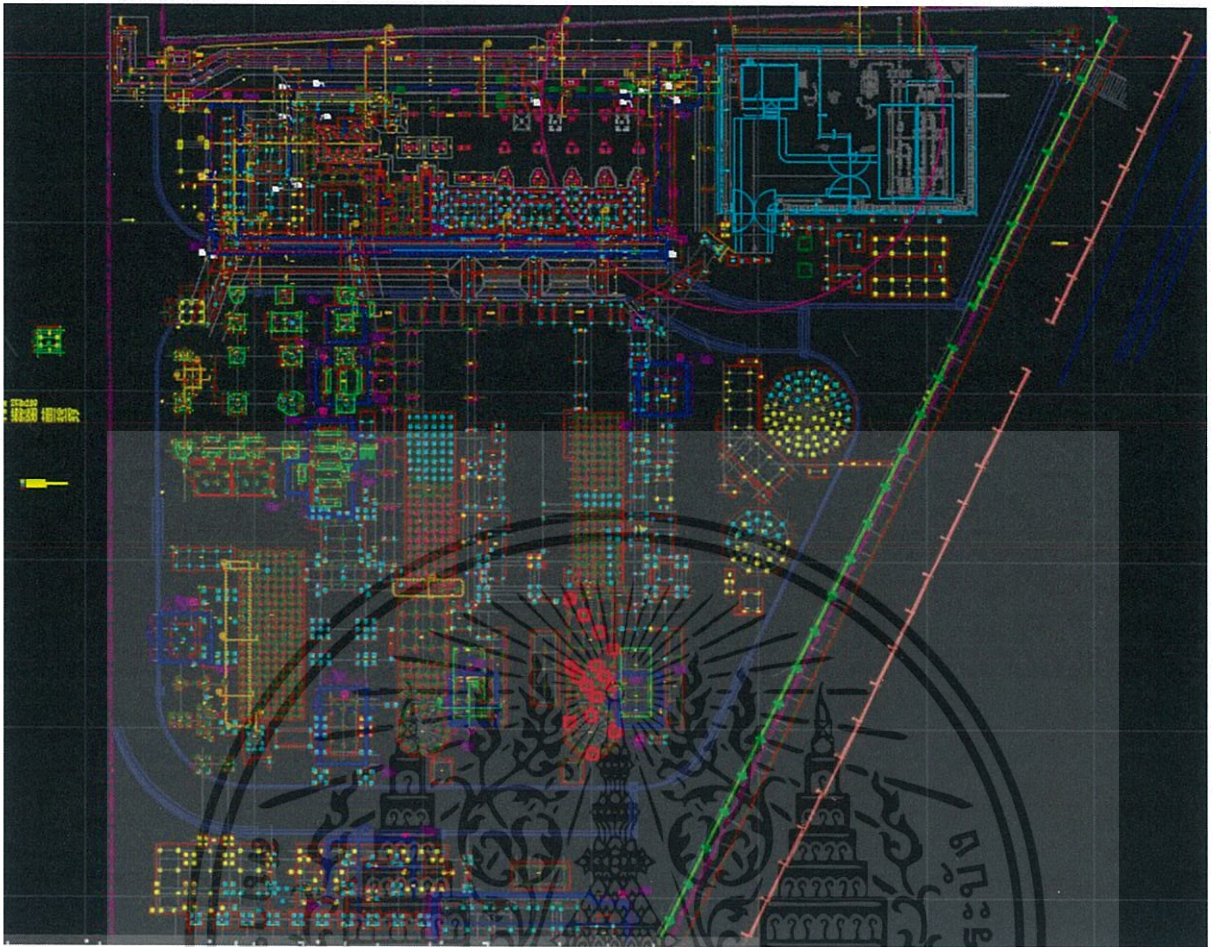


ก.4 ภาพแสดงลักษณะการติดตั้งของเสาเข็มและลูกตุ้มที่ใช้ตอก



ก.5 ภาพแสดงลักษณะการติดตั้งเครื่องทำการทดสอบ Dynamic load test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก.6 แพลนของการก่อสร้างที่แสดงผลจากโปรแกรม Autocad

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้