

การควบคุมคุณภาพการตอกเสาเข็มโดย สูตรของ Danish ในมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

ธราพงษ์ พัฒนศักดิ์ภิญโญ^{1*}

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มตอกโดยใช้สูตร Danish และหาการรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยด้วยอัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ 2.5, 3.0, 3.5, 4 และ 4.5 ผลน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยที่คำนวณได้นี้จะนำมาเทียบกับผลทดสอบเสาเข็มโดยวิธีสถิตยศาสตร์ (static pile load test)

ค่าน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็มด้วยการใช้อัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ 2.5, 3.0, 3.5, 4 และ 4.5 มีค่าสูงกว่าผลทดสอบเสาเข็มโดยวิธีสถิตยศาสตร์ (static pile load test) เท่ากับ 81, 51, 30, 13 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยที่คำนวณได้จากสูตร Danish ด้วยการใช้อัตราส่วนความปลอดภัยระหว่าง 4 ถึง 4.5 ให้ผลใกล้เคียงกับผลทดสอบเสาเข็มโดยวิธีสถิตยศาสตร์ (static pile load test)

คำสำคัญ : สูตรของ Danish formula , เสาเข็มตอก

¹ อาจารย์ หลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
จังหวัดปทุมธานี e-mail : tarapnge43@yahoo.com

*ผู้นิพนธ์หลัก e-mail : tarapnge43@yahoo.com

QUALITY CONTROL OF PILE DRIVING BY Danish FORMULA IN VALAYA ALONGKORN
RAJABHAT UNIVERSITY UNDER THE ROYAL PATRONAGE.

Tarapong Patanasakpinyo^{1*}

Abstract

The purpose of this research are to study ultimate load carrying capacity of driven pile using Danish formula and to obtain safe load carrying capacity with safety factor of 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, and 4.5. The results of the study will then be compared to the static pile load test.

The safe pile carrying loads with the safety factor of 2.5, 3.0, 3.5, 4.0 and 4.5 using Danish formula show 81, 51, 30, 13 and 1 percent higher than the static pile load test respectively. This comparison can conclude that safe pile load carrying capacity with the safety factor between 4-4.5 provide closer results to static pile load test.

Keywords : Danish formula, Driven Pile

¹ Lecturer .Technology Program in Engineering Technology. Valaya Alongkorn Rajabhat University Under The Royal Patronage, e-mail: tarapnge43@yahoo..com

* Corresponding author, e-mail: tarapnge43@yahoo..com

บทนำ

เสาเข็มตอก (Driven Pile) มีการใช้งานในประเทศไทยแพร่หลายมา มากกว่า 50 ปี ในปัจจุบันฐานรากเสาเข็มตอกเหล่านั้นยังคงใช้งานได้อย่างมั่นคง ฐานรากเสาเข็มตอกยังคงเป็นที่นิยมเลือกใช้มาจนถึงทุกวันนี้ ส่วนหนึ่งมาจากความมั่นคงแข็งแรงที่เชื่อถือได้ตรวจสอบได้ง่าย และมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างต่ำ การพัฒนาเทคโนโลยีในการก่อสร้างและติดตั้งเสาเข็มตอกมีมาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน ทั้งในเรื่องรูปแบบเสาเข็มที่เปลี่ยนจากไม้มาเป็นเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก (คสล.), เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง (คอร.) และเสาเข็มกลมแรงเหวี่ยง (Circular Spun Pile) ที่มีขนาดหน้าตัดและความยาวเพิ่มขึ้น มีประสิทธิภาพและความคงทนสูง เสาเข็มตอกที่ใช้ศึกษานี้ คือเสาเข็มตอกของโครงการอาคารเรียนโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ฯ คลองหลวง ปทุมธานี เป็นเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงสี่เหลี่ยมตันขนาด 0.35 ม. X 0.35 ม. ยาวประมาณ 18-20 เมตร (บริษัท เคเคทีเอ็นเจเนียร์ริง จำกัด, 2555) รับน้ำหนักปลอดภัย 50 ตันต่อต้น

การก่อสร้างเสาเข็มตอกหรือที่เรียกว่า “Driven Pile” มีขั้นตอนการดำเนินการเป็นลำดับเริ่มตั้งแต่การสำรวจลักษณะชั้นดินไปจนกระทั่งเสร็จสิ้นการตอกเสาเข็มและการควบคุมคุณภาพ สรุปได้ดังนี้ ขั้นตอนการดำเนินการงานเสาเข็มตอก (ณัฐมนต์ กัมปนาท, สมชัย อวยพรประเสริฐ, 2550)

1. การสำรวจสภาพและลักษณะชั้นดิน
2. การออกแบบและเลือกใช้เสาเข็ม
3. การผลิตและขนส่งเสาเข็ม
4. การกำหนดเงื่อนไขในการควบคุมการตอกเสาเข็ม
5. การตอกและการควบคุมคุณภาพขณะตอก
6. การควบคุมคุณภาพเสาเข็มที่ตอกแล้ว

การควบคุมคุณภาพเสาเข็มที่ตอกแล้วเสร็จคือการทดสอบน้ำหนักบรรทุก จะเป็นผลทดสอบเสาเข็มโดยวิธีสถิตยศาสตร์ (Static pile load test) หรือผลทดสอบเสาเข็มโดยวิธีพลศาสตร์ (Dynamic load test) ก็ได้พิสูจน์ว่าเสาเข็มรับน้ำหนักบรรทุกได้จริง

ในส่วน กำหนดเงื่อนไขในการควบคุมการตอกเสาเข็ม มีสูตรหลายแบบให้ใช้ เช่น Hiley, Janbu และ Gate ที่ผ่านผู้รับจ้างงานเสาเข็มตอกนิยมเลือกเสนอใช้สูตรของ Danish มักมีข้อสงสัย ถกเถียงกันว่าอัตราส่วนความปลอดภัย ที่เหมาะสมปลอดภัย เป็นเท่าใดในการกำหนดเงื่อนไขในการควบคุมการตอกเสาเข็ม การวิจัยนี้เป็นการศึกษาข้อมูลการเสาเข็มทดสอบ ค่าระยะจมน 10 ครั้งสุดท้าย จำนวน 50 ต้น แล้วนำมาคำนวณความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มตอกโดยสูตรของ Danish และนำผลมาเปรียบเทียบกับผลทดสอบเสาเข็มโดยวิธีสถิตยศาสตร์ (Static pile load test) เพื่อศึกษา อัตราส่วนความปลอดภัยที่เหมาะสมถูกต้องปลอดภัย และใช้การควบคุมการควบคุมงานคุณภาพขณะตอกเสาเข็มของมหาวิทยาลัยฯต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลัย และการรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็มตอก ด้วยอัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ 2.5, 3.0, 3.5 4 และ 4.5 โดยสูตรของ Danish formula
2. เพื่อศึกษาอัตราส่วนความปลอดภัยสูตรของ Danish ที่ให้ผลการคำนวณน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยใกล้เคียงสอดคล้องกับผลทดสอบเสาเข็มโดยวิธีสถิตยศาสตร์ (static pile load test) มากที่สุด

ขอบเขตการวิจัย

1. เสาค้ำคอนกรีตอัดแรงสี่เหลี่ยมตันขนาด 0.35 ม. X 0.35 ม. รับน้ำหนักปลอดภัย 50 ตันต่อต้น ยาว 18 เมตร จำนวน 50 ต้น
2. เสาค้ำในโครงการอาคารเรียนโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ฯ คลองหลวง ปทุมธานี
3. วิธีตอกเสาค้ำโดยใช้ปั้นจั่นยกลูกตุ้มขึ้นสูงแล้วปล่อยให้ตกกระทบที่หัวเสาค้ำ (drop hammer)

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ตรวจสอบน้ำหนักลูกตุ้ม ให้ได้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำ โดยนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่งรถบรรทุกแล้วบันทึกค่า
2. ปั้นจั่นยกลูกตุ้มขึ้นสูงแล้วปล่อยให้ตกกระทบที่หัวเสาค้ำ ควบคุมระยะยกของลูกตุ้ม ให้ได้ตามที่กำหนดในที่นี้ คือ 60 เซนติเมตร
3. บันทึกค่าในสนามระยะที่หัวเสาค้ำยุบตัวต่อการตอกหนึ่งครั้งโดยคิดเฉลี่ยจากการตอก 10 ครั้งสุดท้าย ทั้งหมด 50 ต้น
4. นำค่าในสนามที่ได้มา คำนวณน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย โดย สูตร Danish และหาค่าน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาค้ำ แต่ละอัตราส่วนความปลอดภัย และเปรียบเทียบผลในสนามกับทดสอบเสาค้ำโดยวิธีสถิตยศาสตร์ (static pile load test)



ภาพที่ 1 เสาค้ำตอกด้วยปั้นจั่นยกลูกตุ้มปล่อยให้ตกกระทบที่หัวเสาค้ำ (drop hammer)

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สูตรการตอกเสาเข็ม (pile driving formula) ได้จากนำหลักการพื้นฐานของกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน และหลักงานและพลังงาน มาประยุกต์ใช้ เป็นการประมาณกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มในขณะที่ทำการตอก โดยใช้ข้อมูลจากการตอกเสาเข็ม ได้แก่ น้ำหนักของตุ้ม ความสูงที่ยก และระยะที่เสาเข็มจมลงเมื่อตอกวัสดุรองหัวเสาเข็ม ในการทำงานจะวัดระยะที่เสาเข็มจมลงเมื่อตอกสิบครั้ง แล้วนำค่ามาเฉลี่ยเพื่อหาค่าที่จมตัวต่อการตอกหนึ่งครั้ง การใช้สูตรการตอกเสาเข็มจะใช้ในการควบคุมการตอกเสาเข็ม เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการควบคุมการตอกเสาเข็ม และใช้ควบคุมการตอกมิให้หน่วยแรงในเสาเข็มไม่ให้อ่างจนกระทั่งเสาเข็มชำรุด (คณะทำงานการจัดการความรู้ในองค์กรกรมทางหลวง, 2551) จะใช้ควบคุมจำนวนครั้งของการตอกต่อระยะจมที่แน่นอนเช่น 30 ซม. ในกรณีที่มีชั้นดินแข็งมาก แทรกอยู่ จะทำให้ตอกไม่ลงซึ่งจะสังเกตได้จากจำนวนครั้งของการตอกเพิ่มสูงขึ้น (คณะทำงานการจัดการความรู้ในองค์กรกรมทางหลวง, 2551) ใช้ตรวจสอบชั้นดินที่ปลายเข็มในขณะที่ตอก ในการตอกเสาเข็มจะต้องใช้จำนวนครั้งของการ ตอกเพิ่มขึ้นตามระยะเสาเข็มที่จมลงเนื่องจากจะต้องเอาชนะแรงเสียดทานผิวและแรงต้านปลายเข็ม (คณะทำงานการจัดการความรู้ในองค์กรกรมทางหลวง, 2551) แต่ถ้าจำนวนครั้งของการตอกเพิ่มขึ้นมากอย่างทันทีแสดงว่าปลายเข็มเคลื่อนเข้าสู่ ชั้นดินที่แข็งกว่าและถ้าจำนวนครั้งของการตอกลดลงอย่างรวดเร็วอาจเกิด จากปลายเสาเข็ม เคลื่อนเข้าสู่ชั้นดินอ่อนหรือเสาเข็มอาจหัก สูตรที่ใช้ในที่นี้เสนอการคำนวณ โดยใช้ สูตร ของ Danish (Bowles , Joseph E. Bowles, 1997) อัตราส่วนความปลอดภัย (Safety factor) แนะนำให้ใช้คือ 3 - 6 (Bowles , Joseph E. Bowles, 1997)

$$\text{Danish formula : } Q_u = \frac{eWH}{\left(S + \sqrt{\frac{eWHL}{2AE}} \right)}$$

$$Q_a = Q_u/FS$$

Q_u = น้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็ม (ultimate load carrying capacity)

Q_a = น้ำหนักบรรทุกทุกปลอดภัยของเสาเข็ม (safe load carrying capacity)

FS = อัตราส่วนความปลอดภัย (safety factor)

S = ระยะที่หัวเสาเข็มยุบตัวต่อการตอกหนึ่งครั้งโดยคิดเฉลี่ยจากการตอก 10 ครั้งสุดท้าย

W = น้ำหนักลูกตุ้ม

H = ระยะยก

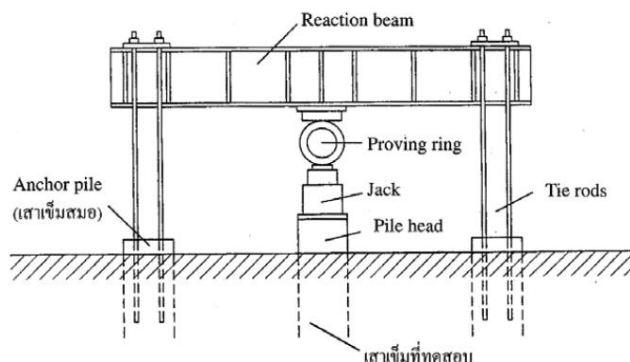
E = ค่าโมดูลัสของคอนกรีต

A = พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม

L = ความยาวเสาเข็ม

e = ประสิทธิภาพของปั้นจั่น

การทดสอบเสาเข็มโดยวิธีสถิตยศาสตร์นี้ให้ผลที่น่าเชื่อถือ เนื่องจากมีพฤติกรรมใกล้เคียงกับเสาเข็มตอนรับน้ำหนักจริง จึงใช้วิธีนี้เป็นหลักในการเปรียบเทียบ การทดสอบเสาเข็มโดยวิธีสถิตยศาสตร์ (static pile load test) เป็นการทดสอบกำลังรับน้ำหนัก ของเสาเข็มเมื่อตอกเสร็จ จะทำการทดสอบจริงในสนาม การทดสอบเป็นการรับแรงกดตามแกนเสาเข็ม ซึ่งการทดสอบจะเป็นการยืนยันว่าเสาเข็มที่ทดสอบนั้นสามารถรับแรงกดตามที่ได้ออกแบบไว้ได้ แล้วจะทำการทดสอบด้วยน้ำหนักบรรทุก 2.5 เท่า ของน้ำหนักปลอดภัย น้ำหนักบรรทุกสูงสุดในโครงการนี้ คือ 125 ตัน จากข้อมูลการทดสอบ โดยวิธีผลทดสอบเสาเข็มโดยวิธีสถิตยศาสตร์ (static pile load test) ได้ผลดังนี้คือ



ภาพที่ 2 การทดสอบเสาเข็มโดยวิธีสถิตยศาสตร์ (static pile load test)

(สุเวช ชลานันนัต, บัญชา พุตะกุล, นภดล วิชญานันต์, ณัฐสม สงวนวงศ์, และกิริติ ชัยนการนาวิ, 2548)

ผลการทดสอบเสาเข็มโดยวิธีสถิตยศาสตร์โครงการอาคารเรียนโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ฯ ที่น้ำหนักบรรทุก 125 ตัน เสาเข็มทรุดตัวไป 7.40 มม. และถอนน้ำหนักบรรทุกออกหมดแล้ว เสาเข็มคืนตัวกลับ 4.71 มม. และทรุดถาวรตัวไป 2.69 มม. (บริษัท เคเคทีเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด, 2555) ดังนั้นสรุปได้ว่าเสาเข็ม 30x30 ยาวประมาณ 18 เมตร รับน้ำหนักปลอดภัย 50 ตันต่อได้ (บริษัท เคเคทีเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด, 2555)

จากงานวิจัยที่ผ่านมา (สุเวช และคณะสุเวช ชลานันนัต, บัญชา พุตะกุล, นภดล วิชญานันต์, ณัฐสม สงวนวงศ์, และกิริติ ชัยนการนาวิ, 2548) เป็นการวิจัยประเมินกำลังประลัยเสาเข็มตอกในสนามจากสูตร hiley ชนิดปั้นจั่นยกลูกตุ้มขึ้นสูงแล้วปล่อยให้ตกกระทบที่หัวเสาเข็ม ทดสอบเสาเข็มจำนวนสี่เหลี่ยม 35x35 ยาว 24 เมตร 50 ตัน และ 40x40 ยาว 24 เมตร 50 ตัน ศึกษาความแม่นยำของสูตร hiley เทียบกับผล pile load test พบว่า กำลังประลัยของเสาเข็มตอกมีองค์ประกอบหลายอย่าง ที่ทำให้เกิดความคาดเคลื่อนสูง จึงควรใช้ด้วยความระมัดระวังในการใช้พิกัดค่าความปลอดภัย ควรใช้ค่าความปลอดภัยไม่น้อยกว่า 4

ผลการวิจัย

ข้อมูลที่ใช้ประกอบการคำนวณ เสาเข็มคอนกรีตอัดแรงสี่เหลี่ยมตันขนาด 0.35 ม. X 0.35 ม.ยาว 18 เมตร, W = น้ำหนักลูกตุ้ม 5.7 ตัน, H = ระยะยก 60 เซนติเมตร, E = ค่าโมดูลัสของคอนกรีต 297 ตัน/เมตร² A = พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม 1225 ตารางเซนติเมตร, L = ความยาวเสาเข็ม 18 เมตร e = ประสิทธิภาพของปั้นจั่น = 0.8 จาก S = ระยะที่หัวเสาเข็มยุบตัวต่อการตอกหนึ่งครั้งโดยคิดเฉลี่ยจากการตอก 10 ครั้งสุดท้าย บันทึกค่าในสนามทั้งหมด 50 ตัน นำมาคำนวณ โดย Danish formula เพื่อหาค่าน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็มจากข้อมูลที่ใช้ประกอบ ได้ค่าที่แสดงในตารางที่ 1 และเปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็มกับผลทดสอบเสาเข็มโดยวิธีสถิตยศาสตร์ (static pile load test) ในภาพที่ 3

ตารางที่ 1 แสดงค่าระยะที่หัวเสาเข็มยุบตัวต่อการตอกหนึ่งครั้ง น้ำหนักบรรทุกประลัยและ น้ำหนักปลอดภัย

PILE NUMBER	S (cm)	Q_u	Q_a FS=2.5	Q_a FS=3.0	Q_a FS=3.5	Q_a FS=4.0	Q_a FS=4.5	STATIC LOAD TEST
1	0.39	250.87	100.35	83.62	71.68	62.72	55.75	50.00
2	0.38	252.84	101.14	84.28	72.24	63.21	56.19	50.00
3	0.55	223.03	89.21	74.34	63.72	55.76	49.56	50.00
4	0.37	254.85	101.94	84.95	72.81	63.71	56.63	50.00
5	0.3	269.81	107.93	89.94	77.09	67.45	59.96	50.00
6	0.4	248.93	99.57	82.98	71.12	62.23	55.32	50.00
7	0.6	215.56	86.22	71.85	61.59	53.89	47.90	50.00
8	0.57	219.98	87.99	73.33	62.85	55.00	48.88	50.00
9	0.45	239.65	95.86	79.88	68.47	59.91	53.26	50.00
10	0.44	241.45	96.58	80.48	68.99	60.36	53.66	50.00
11	0.46	237.88	95.15	79.29	67.97	59.47	52.86	50.00
12	0.5	231.05	92.42	77.02	66.01	57.76	51.34	50.00
13	0.61	214.12	85.65	71.37	61.18	53.53	47.58	50.00
14	0.34	261.05	104.42	87.02	74.59	65.26	58.01	50.00
15	0.52	227.77	91.11	75.92	65.08	56.94	50.62	50.00
16	0.6	215.56	86.22	71.85	61.59	53.89	47.90	50.00
17	0.52	227.77	91.11	75.92	65.08	56.94	50.62	50.00

PILE NUMBER	S (cm)	Q_u	Q_a FS=2.5	Q_a FS=3.0	Q_a FS=3.5	Q_a FS=4.0	Q_a FS=4.5	STATIC LOAD TEST
18	0.66	207.23	82.89	69.08	59.21	51.81	46.05	50.00
19	0.6	215.56	86.22	71.85	61.59	53.89	47.90	50.00
20	0.72	199.51	79.80	66.50	57.00	49.88	44.34	50.00
21	0.55	223.03	89.21	74.34	63.72	55.76	49.56	50.00
22	0.7	202.02	80.81	67.34	57.72	50.50	44.89	50.00
23	0.58	218.49	87.40	72.83	62.43	54.62	48.55	50.00
24	0.63	211.31	84.52	70.44	60.37	52.83	46.96	50.00
25	0.43	243.28	97.31	81.09	69.51	60.82	54.06	50.00
26	0.56	221.50	88.60	73.83	63.29	55.37	49.22	50.00
27	0.55	223.03	89.21	74.34	63.72	55.76	49.56	50.00
28	0.8	190.08	76.03	63.36	54.31	47.52	42.24	50.00
29	0.69	203.30	81.32	67.77	58.08	50.82	45.18	50.00
30	0.55	223.03	89.21	74.34	63.72	55.76	49.56	50.00
31	0.53	226.17	90.47	75.39	64.62	56.54	50.26	50.00
32	0.56	221.50	88.60	73.83	63.29	55.37	49.22	50.00
33	0.46	237.88	95.15	79.29	67.97	59.47	52.86	50.00
34	0.46	237.88	95.15	79.29	67.97	59.47	52.86	50.00
35	0.43	243.28	97.31	81.09	69.51	60.82	54.06	50.00
36	0.4	248.93	99.57	82.98	71.12	62.23	55.32	50.00
37	0.59	217.01	86.81	72.34	62.00	54.25	48.23	50.00
38	0.45	239.65	95.86	79.88	68.47	59.91	53.26	50.00
39	0.39	250.87	100.35	83.62	71.68	62.72	55.75	50.00
40	0.59	217.01	86.81	72.34	62.00	54.25	48.23	50.00
41	0.57	219.98	87.99	73.33	62.85	55.00	48.88	50.00
42	0.65	208.57	83.43	69.52	59.59	52.14	46.35	50.00
43	0.3	269.81	107.93	89.94	77.09	67.45	59.96	50.00
44	0.61	214.12	85.65	71.37	61.18	53.53	47.58	50.00

PILE NUMBER	S (cm)	Q_u	Q_a FS=2.5	Q_a FS=3.0	Q_a FS=3.5	Q_a FS=4.0	Q_a FS=4.5	STATIC LOAD TEST
45	0.66	207.23	82.89	69.08	59.21	51.81	46.05	50.00
46	0.45	239.65	95.86	79.88	68.47	59.91	53.26	50.00
47	0.46	237.88	95.15	79.29	67.97	59.47	52.86	50.00
48	0.33	263.19	105.28	87.73	75.20	65.80	58.49	50.00
49	0.54	224.59	89.84	74.86	64.17	56.15	49.91	50.00
50	0.61	214.12	85.65	71.37	61.18	53.53	47.58	50.00
ค่าเฉลี่ย		227.96	90.69	75.58	64.78	56.68	50.39	-
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		18.76	14.82	12.35	10.59	9.27	8.24	-
ค่าอัตราส่วน		-	1.81	1.51	1.30	1.13	1.01	-
Qa/static pile load test								

หมายเหตุ Q_u, Q_a หน่วย (ตัน)

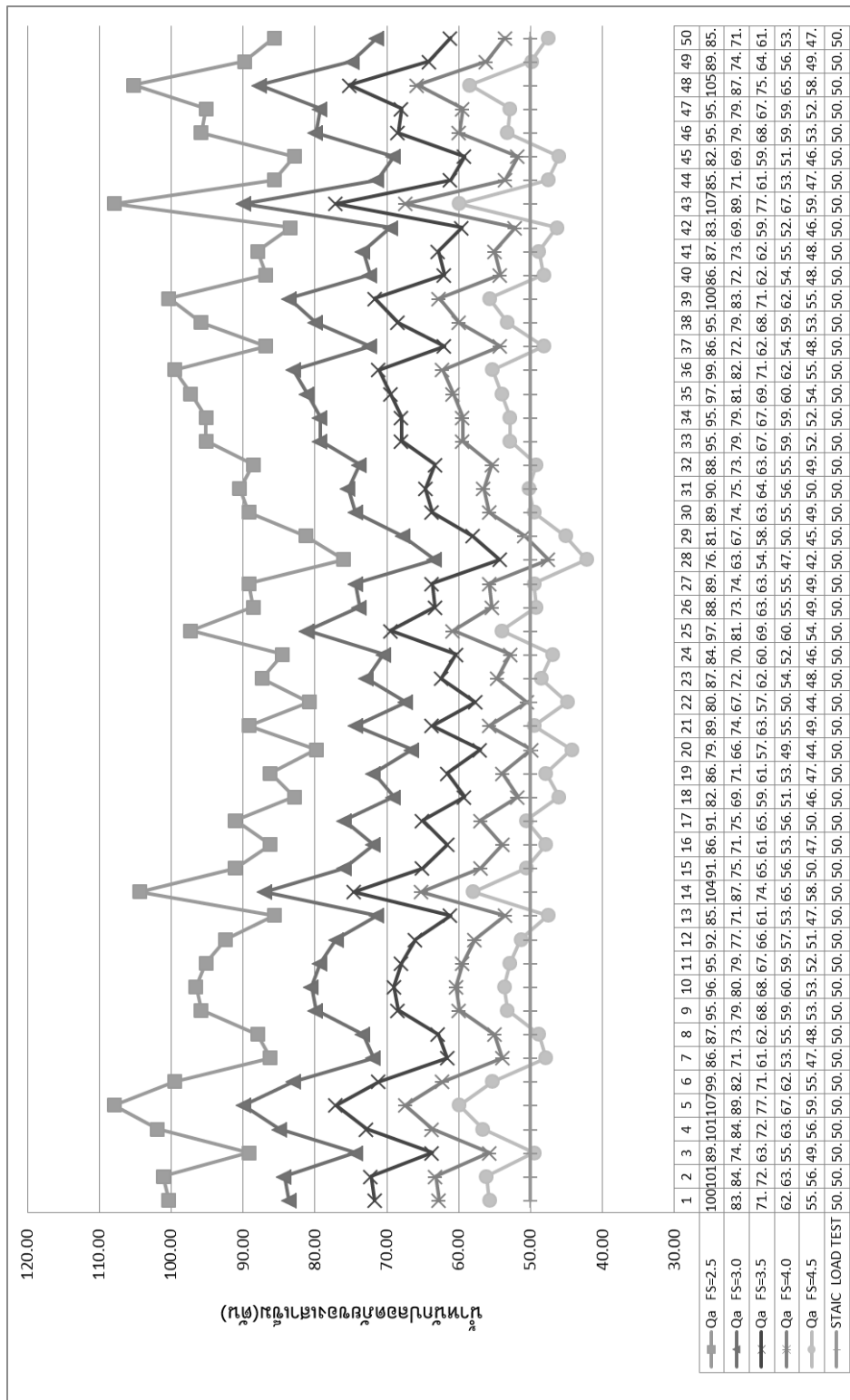
สรุปและอภิปรายผล

1. จากค่าน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของ Danish formula ที่ได้ นำมาหาค่าน้ำหนักปลอดภัย ที่อัตราส่วนความปลอดภัย 2.5, 3.0, 3.5, 4.0 และ 4.5 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลทดสอบ (Static pile load test) ให้ค่าสูงเกินกว่าผลทดสอบเสาเข็มโดยวิธีสถิตยศาสตร์ (Static pile load test) ประมาณ 81, 51, 30, 13 และ 1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

2. อัตราส่วนความปลอดภัย ของ Danish formula ที่ ใกล้เคียงสอดคล้องกับผลทดสอบเสาเข็ม โดยวิธีสถิตยศาสตร์ (Static pile load test) ในโครงการนี้ควรใช้ระหว่าง 4 ถึง 4.5

3. อัตราส่วนความปลอดภัย ของ Danish formula ที่ 2.5 ที่ผู้รับจ้างงานเสาเข็มตอกเสนอ ไม่ควรใช้

4. การใช้สูตร Danish ต้องพิจารณารายงานผลเจาะสำรวจดินประกอบด้วยเสมอในการตอกและระดับของปลายเสาเข็ม



ภาพที่ 3 กราฟความสัมพันธ์พื้นที่หน้าทับตลอดภัย จาก Danish formula กับ เสาคement ทั้ง 50 ต้น

อภิปรายผล

ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของ Danish formula ที่อัตราส่วนความปลอดภัย 2.5, 3.0, 3.5, 4.0 และ 4.5 ได้ค่าเฉลี่ย 90.69, 75.58, 64.78, 56.58 และ 50.39 ตัน ตามลำดับ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 14.82, 12.35, 10.59, 9.27, 8.24 ตามลำดับ จะเห็นว่าที่อัตราส่วนความปลอดภัย 2.5, 3.0, 3.5 ให้ค่าสูงกว่าผลโดยวิธีสถิตยศาสตร์ (static pile load test) 30-81เปอร์เซ็นต์ซึ่งอยู่ด้านไม่ปลอดภัย ที่อัตราส่วนความปลอดภัย 4.0 ให้ค่าสูงกว่าโดยวิธีสถิตยศาสตร์ 13เปอร์เซ็นต์ และที่อัตราส่วนความปลอดภัย 4.5 จะให้ค่าเฉลี่ย 50.39 ตันก็ตามแต่มีจำนวนถึง 26 ตันให้ค่าต่ำกว่าผลโดยวิธีสถิตยศาสตร์ (static pile load test) ซึ่งอยู่ด้านปลอดภัย การใช้สูตรต้องพิจารณารายงานผลเจาะสำรวจดินประกอบด้วยเสมอ

จากภาพที่ 3 จะเห็นว่า อัตราส่วนความปลอดภัย (safety factor) ของ Danish formula ที่ให้ผลใกล้เคียงสอดคล้องกับผลทดสอบเสาเข็มโดยวิธีสถิตยศาสตร์ (static pile load test) ที่เหมาะสมปลอดภัย คือ 4 ถึง 4.5

ข้อเสนอแนะ

1. เพิ่มจำนวนเสาเข็มและรูปแบบเสาเข็มที่วิจัยให้มากขึ้น
2. ศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมของโครงการก่อสร้างอื่นในมหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ อ.ดร.สุพจน์ ทราญแก้ว ผศ.สุวิทย์ ฉุยฉาย ที่ให้แนวทางและคำแนะนำชี้แนะ คุณพงศ์เนตร์ โลกสุวรรณ ที่ประสานงานและควบคุมงานการตอก งานงานวิจัยสำเร็จจุล่งด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

คณะทำงานจัดการความรู้ในองค์กรกรมทางหลวง ด้านที่ 3 และ คณะทำงานจัดทำองค์ความรู้งานเสาเข็ม ในการก่อสร้างทางหลวง (2551) งานเสาเข็มในการก่อสร้างทางหลวง กรมทางหลวง
บริษัท เคเคทีเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด (2555) รายงานผลเจาะสำรวจดิน โครงการโครงการอาคารเรียนโรงเรียนสาธิต มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ฯ, อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี
บริษัท เคเคทีเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด (2555) รายงานการทดสอบเสาเข็ม static pile load test โครงการโครงการอาคารเรียนโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ฯ, อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี
ณัฐมนต์ กัมปนานนท์, สมชัย อวยพรประเสริฐ (2550) เทคนิคและปัญหาของงานเสาเข็มตอกคอนกรีตอัดแรง ในประเทศไทย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ เอกสารประกอบการบรรยาย โครงการอบรมเรื่อง “การออกแบบฐานราก 1 รุ่นที่ 4, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
สุเวช ชลานันต์, บัญชา พุตะกุล, นกตล วิชญานันต์, ณัฐสม สงวนวงศ์, และกิริติ ขยันการนาวิ (2548) การวิจัยเพื่อประเมินการรับน้ำหนักประลัยเสาเข็มชนิดตอกในสนามจาก hiley formular รายงานการวิจัย ฉบับ วพ. 218 สำนักวิจัยและพัฒนาทาง, กรมทางหลวง

Bowles , Joseph E. Bowles (1997) p975 Foundation Analysis and Design 5 th Edition , New York : McGraw-Hill