

ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นระหว่างเสาเข็มกับดินของเสาเข็มเจาะแห้งในชั้นดินกรุงเทพฯ  
SOIL-PILE ELASTIC MODULUS OF DRY-PROCESS BORED PILES IN  
BANGKOK SUBSOLLS

ชัชวาลย์ พูนลาภพานิช (Chatshawal Poonlappanish)<sup>1</sup>  
กวีวุฒิ ขจรเกียรติพัฒนา (Kaveewut Khajornkiatphatthana)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม (cpoonlappanish@yahoo.com)

<sup>2</sup>อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม (kavee\_wut@yahoo.com)

**บทคัดย่อ :** บทความนี้นำเสนอการศึกษาแนวโน้มของค่าโมดูลัสยืดหยุ่นระหว่างเสาเข็มกับดินของเสาเข็มเจาะแห้งในเขตกรุงเทพฯ ที่วิเคราะห์โดยใช้วิธีของ Poulos & Davis (1980) จากข้อมูลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกเสาเข็มเจาะแห้งเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.50 และ 0.60 เมตร จำนวน 42 ต้นที่ก่อสร้างในเขตกรุงเทพฯ คำนวณน้ำหนักบรรทุกและค่าการทรุดตัวของเสาเข็มที่นำมาใช้เป็นข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ ได้จากสภาวะที่เสาเข็มทรุดตัวขณะรับน้ำหนักบรรทุกใช้งานที่มีค่าร้อยละ 50 (FS. = 2) ของค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของเสาเข็มซึ่งประเมินโดยวิธีของ Mazurkiewicz ผลวิเคราะห์พบว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นระหว่างเสาเข็มกับดินของเสาเข็มเจาะแห้งในกรุงเทพฯ มีแนวโน้มที่กระจัดกระจาย ในช่วงค่าที่กว้างมากระหว่าง 410 ถึง 2030 ตัน/ตร.ม. รูปแบบการกระจายข้อมูลไร้ระเบียบไม่เหมาะในการจัดทำสมการสหสัมพันธ์

**ABSTRACT :** This paper presents the soil-pile elastic modulus estimation of dry-process bored piles. Constructed in Bangkok subsoils, the nominal diameter of these piles are 0.50 and 0.60 m . The analysis was conducted on 42 static pile load test results based on settlement analysis of single pile according to Poulos & Davis(1980)'s method. The working load of each pile is defined as 50 percent of Mazurkiewicz (1970) 's failure load (FS. = 2). The calculated modulus was found scattered in wide range between 410 to 2030 t/m<sup>2</sup>, therefore, the correlation between the soil-pile elastic modulus and other parameters can not be established.

**KEYWORDS :** Bored piles, Dry process, Foundation settlement, Soil-Pile Modulus, Pile foundation

## 1. บทนำ

การออกแบบฐานรากรองรับอาคารต้องพิจารณาถึงความสามารถรับน้ำหนักอาคารของระบบฐานรากที่ใช้ ควบคู่ไปกับพิจารณาปัญหาการทรุดตัว สุรฉัตร(2543)[3] นำเสนอความสำคัญในการออกแบบฐานรากเสาเข็มด้านการทรุดตัวในชั้นดินกรุงเทพฯ ซึ่งจะต้องหลีกเลี่ยงปัญหาการทรุดตัวมากของอาคาร รวมถึงควบคุมการทรุดตัวที่แตกต่าง (differential settlement) ระหว่างตำแหน่งฐานรากให้อยู่ในพิสัยที่ยอมรับได้ นอกจากนี้ สุรฉัตร[3] แนะนำ

วิธี Poulos(1980)[10] สำหรับคาดคะเนการทรุดตัวของฐานรากเสาเข็มเดี่ยวและกลุ่ม โดยอ้างอิงประสิทธิผลจากงานวิจัยที่เคยศึกษาในอดีต ที่ให้ผลวิเคราะห์การทรุดตัวของอาคารใกล้เคียงกับผลวัดการทรุดตัวในภาคสนาม

กรณีเสาเข็มเจาะระบบแห้งที่ก่อสร้างในชั้นดินกรุงเทพฯ ปัจจุบันมีงานวิจัยบางชิ้นที่ศึกษาประสิทธิภาพของระบบฐานรากดังกล่าว อาทิ การศึกษาแนวโน้มค่าน้ำหนักบรรทุกเสาเข็ม [1]

เพื่อเพิ่มเติมข้อมูลสนับสนุนการใช้งานเสาเข็มเจาะระบบแห้งที่ก่อสร้างในชั้นดินกรุงเทพฯให้มีจำนวนมากขึ้น บทความนี้ขอเสนอผลศึกษาแนวโน้มของค่าโมดูลัสยืดหยุ่นระหว่างเสาเข็มกับดิน (soil- pile elastic modulus) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์สำคัญในการออกแบบฐานรากเสาเข็มด้านการทรุดตัว

## 2. ข้อมูลที่ใช้ศึกษา

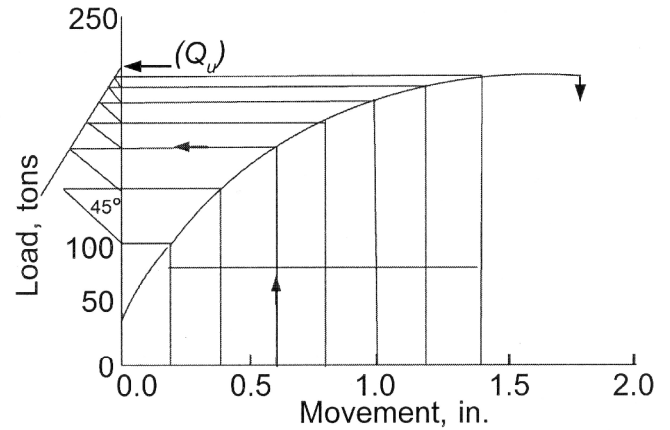
ข้อมูลน้ำหนักบรรทุก-การทรุดตัว (load-settlement data) ที่ใช้ศึกษาได้จากผลทดสอบน้ำหนักบรรทุกเสาเข็มแบบสถิต (static pile load test) ของกลุ่มตัวอย่างเสาเข็มเจาะระบบแห้งจำนวน 42 ต้น [2] โดยส่วนมากก่อสร้างในเขตกลางพื้นที่กรุงเทพฯ เช่น บางรัก พญาไท คลองเตย ดินแดง พระนคร ยานนาวา พระโขนง ที่เหลือส่วนน้อยเป็นเสาเข็มเจาะระบบแห้งที่ก่อสร้างในเขตบางยี่ขัน และ อ.พระประแดง จ.สมุทรปราการ เสาเข็มเจาะระบบแห้งกลุ่มตัวอย่างจำแนกออกเป็น 2 ส่วนคือ 1) เสาเข็มเจาะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.50 เมตร จำนวน 30 ชุด และ 2) เสาเข็มเจาะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.60 เมตร จำนวน 12 ชุด มีความยาวตั้งแต่ 19.0-28.5 เมตร

เสาเข็มส่วนใหญ่วางระดับปลายเสาเข็มในชั้นดินเหนียวแข็ง ชั้นที่ 1 ยกเว้นเสาเข็มยาวบางต้นที่ต้องการน้ำหนักบรรทุกเสาเข็มต่อต้านมากขึ้น จึงใช้การตอก casing ทะลุชั้นทรายชั้นที่ 1 เพื่อใช้ระบบเจาะแห้งก่อสร้างเสาเข็มที่มีปลายในชั้นดินเหนียวแข็งที่อยู่ถัดมา เนื่องจากที่มาของข้อมูลน้ำหนักบรรทุก-การทรุดตัวที่ใช้ศึกษาทั้งหมดได้จากผลทดสอบเพื่อพิสูจน์กำลังรับน้ำหนักบรรทุกเสาเข็ม (Proof load test) ที่จำกัดน้ำหนักบรรทุกทดสอบสูงสุดไว้เพียง 2 เท่าของน้ำหนักบรรทุกเสาเข็มที่ออกแบบไว้ จึงเลือกใช้วิธีของ Mazurkiewicz[6] ที่สามารถระบุกำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของเสาเข็มที่แนวโน้มของข้อมูลทดสอบไม่ถึงค่าสูงสุดได้

## 3. การประมาณค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มโดยวิธีของ Mazurkiewicz (1972)

วิธีของ Mazurkiewicz[6] มีสมมุติฐานว่าแนวโน้มของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก - การทรุดตัวของเสาเข็มหลังช่วงอีลาสติกไปแล้วเป็นโค้งพาราโบลาโดยประมาณ ค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุด( $Q_u$ ) ได้จากวิธีกราฟที่กระทำบนกราฟขึ้นตอนเริ่มต้นจาก แบ่งระยะบนแกนค่าการทรุดตัวออกเป็นส่วน

เท่าๆกัน ลากเส้นตั้งฉากกับแกนค่าการทรุดตัวที่จุดแบ่งระยะไปชนเส้นกราฟความสัมพันธ์ ลากเส้นแนวราบจากตำแหน่งชนบนกราฟตัดแบ่งแกนน้ำหนักบรรทุกออกเป็นส่วนๆ ดังในภาพที่ 1 ณ แต่ละจุดแบ่งบนแกนน้ำหนักบรรทุก ให้ลากเส้นเฉียง  $45^\circ$  ไปตัดเส้นที่แบ่งแกนน้ำหนักบรรทุกเส้นถัดไป จะได้ชุดของจุดตัดที่มีแนวโน้มเข้าสู่ค่า  $Q_u$  บนแกนน้ำหนักบรรทุก



ภาพที่ 1 วิธีประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของเสาเข็มของ Mazurkiewicz [6]

## 4. วิธีประเมินค่าการทรุดตัวแบบอีลาสติกของเสาเข็มขณะรับน้ำหนักบรรทุกโดยวิธีของ Poulos (1980)

วิธีนี้ใช้พื้นฐานการวิเคราะห์โดยทฤษฎียืดหยุ่น (Elastic Theory) การวิเคราะห์พิจารณาแทนเสาเข็มด้วยแท่งวัสดุยืดหยุ่นทรงกระบอกยาว  $L$  ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง  $d$  และมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับ  $E_p$  แท่งเสาเข็มข้างต้นฝังอยู่ในชั้นดินที่แทนด้วยอาณาเขต half space มีคุณสมบัติ homogeneous isotropic elastic ที่กำหนดค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและค่าอัตราส่วนพัวซองส์เท่ากับ  $E_s$  และ  $\nu_s$  ตามลำดับ

Poulos[10] หาผลเฉลยของโจทย์ปัญหาด้วยระเบียบวิธี finite difference โดยแบ่งเสาเข็มและดินที่หุ้มรอบผิวเสาเข็มออกเป็นชิ้นส่วนย่อยตามแนวยาว ขณะเสาเข็มรับแรงตามแนวแกน ท่อนเสาเข็มและดินที่หุ้มรอบผิวเสาเข็มยุบตัวเท่ากันโดยไม่เลื่อนไถล (slip), เมื่อกำหนด boundary condition ของแรงที่เกิดขึ้น ณ ปลายบนและล่างในแท่งเสาเข็ม รวมถึงการตั้งเงื่อนไขความสอดคล้องของค่า displacement ของผิวเสาเข็มและดินที่หุ้มรอบผิวเสาเข็มให้มีค่าเท่ากัน จะได้ผลเฉลยค่าของหน่วยแรงที่ถ่ายสู่ชั้นดินตลอดความยาวและบริเวณชั้นดินรองรับได้ปลายเสาเข็ม (founding layer) และได้ผลคำนวณค่าการทรุดตัวของเสาเข็มในที่สุด รายละเอียดของทฤษฎีและวิธีคำนวณ ศึกษาได้จาก [10]

ในเชิงปฏิบัติวิศวกรสามารถใช้วิธีของ Poulos[10] ประเมินการทรุดตัวของอาคารที่เป็นระบบฐานรากเสาเข็มเดี่ยวหรือกลุ่มได้โดยอาศัยการคำนวณด้วยค่าพารามิเตอร์ equivalent  $E_s$ ,  $E_s$  คือค่าโมดูลัสยืดหยุ่นระหว่างเสาเข็มกับดิน (soil-pile elastic modulus) ที่วิเคราะห์ย้อนกลับ (back analysis) จากข้อมูลน้ำหนักบรรทุก-การทรุดตัว ขณะเสาเข็มรับน้ำหนักบรรทุกใช้งาน (working load,  $Q_u$ )

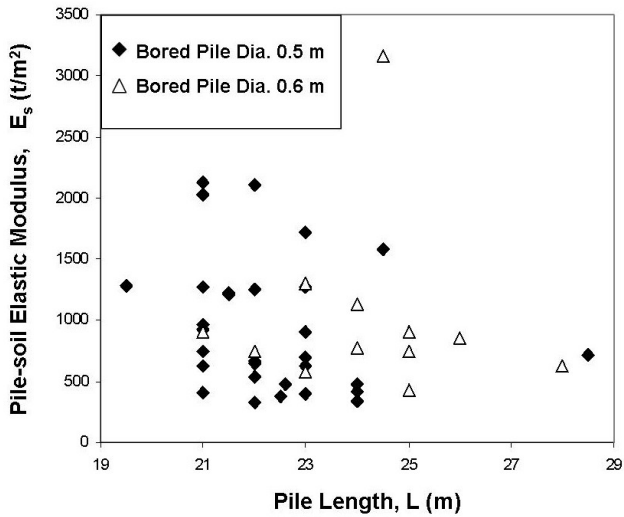
Pimpasukdi[8] นำเสนอผลการพล็อตระหว่างค่า  $E_s$  และค่าน้ำหนักบรรทุกใช้งานของเสาเข็มตอก เสาเข็มเจาะ และ เสาเข็ม auger press ในชั้นดินกรุงเทพฯ จากข้อมูลการทดสอบน้ำหนักบรรทุกเสาเข็มของงานวิจัยที่ผ่านมา อาทิ Chaloeysilp[4], Chiewcharnsilp[5] และ Pongrujikorn[7] โดยแยกนำเสนอออกเป็น 1) เสาเข็มที่มีปลายในชั้นดินเหนียว 2) เสาเข็มที่มีปลายในชั้นทราย ผลศึกษาค่า  $E_s$  ของเสาเข็มที่มีปลายในชั้นดินเหนียวพบว่าค่า  $E_s$  ของเสาเข็มตอกมีแนวโน้มสูงกว่าข้อมูลของเสาเข็ม auger press ขณะที่ค่า  $E_s$  ของเสาเข็มเจาะมีแนวโน้มกระจายออกของค่าในช่วงที่กว้างกว่าและครอบคลุมช่วงค่า  $E_s$  ของเสาเข็มตอกและเสาเข็ม auger press นอกจากนี้ Pimpasukdi[8] ได้เสนอเส้นแสดงขอบเขตข้อมูลค่า  $E_s$  ของเสาเข็มแต่ละชนิดไว้โดยสังเขปรวมทั้งสรุปปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่า  $E_s$  ประกอบด้วยเทคนิควิธีในการก่อสร้าง และปัจจัยเนื่องจากขนาดของเสาเข็ม

### 5. ผลวิเคราะห์ค่าน้ำหนักบรรทุกใช้งานและค่าโมดูลัสยืดหยุ่นระหว่างเสาเข็มกับดินของเสาเข็มเจาะระบบแห้งที่ศึกษา

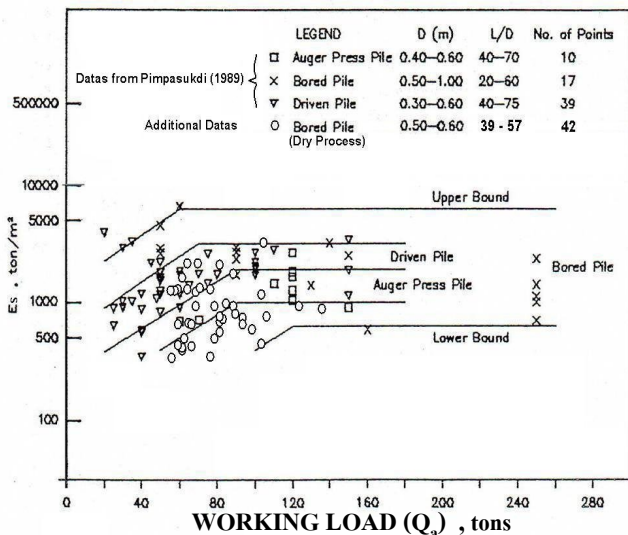
ตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์ที่ได้จากข้อมูลของเสาเข็มเจาะแห้งทั้ง 42 ต้น ประกอบด้วย ค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุด ( $Q_u$ ) ที่ประเมินโดยวิธีของ Mazurkiewicz, ค่าน้ำหนักบรรทุกใช้งาน ( $Q_a$ ) ที่มีค่าร้อยละ 50 (FS. = 2) ของค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุด ผลวิเคราะห์ได้ค่า  $Q_u$  ในช่วงน้ำหนักบรรทุกระหว่าง 60-140 ตัน นอกจากนี้ตารางที่ 1 แสดงค่าการทรุดตัวของเสาเข็มที่ประเมินจากข้อมูลน้ำหนักบรรทุก - การทรุดตัว ขณะรับภาระน้ำหนักบรรทุกใช้งาน ข้อมูลเหล่านี้ใช้เป็นตัวแปรขั้นต้นในการวิเคราะห์ย้อนกลับ เพื่อหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นระหว่างเสาเข็มกับดิน ( $E_s$ ) ได้ผลวิเคราะห์แสดงไว้ในสดมภ์ตำแหน่งขวาสุดของตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลวิเคราะห์ค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุด ค่าน้ำหนักบรรทุกใช้งาน และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นระหว่างเสาเข็มกับดินของข้อมูลเสาเข็มเจาะแห้งที่ศึกษา

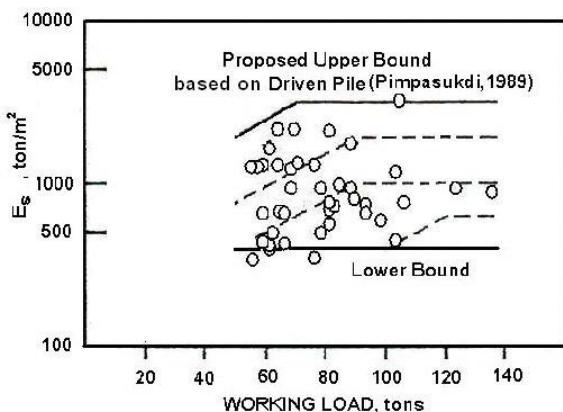
Dia. (m.)	L (m.)	$Q_u$ (tons)	$Q_a$ (tons)	Settlement @ $Q_a$ (mm)	Soil-pile Elastic Modulus $E_s$ (t/m <sup>2</sup> )
0.50	19.5	120	60	1	1280
	21	165	82.5	0.88	2030
		130	65	1	1270
		130	65	0.67	2130
		120	60	1.6	630
		160	80	1.6	920
		165	82.5	1.95	750
		172	86	1.65	960
		135	67.5	2.52	410
	21.5	140	70	1.13	1210
		117	58.5	0.95	1220
	22	114	57	2.55	330
		142	71	0.75	2110
		165	82.5	2.43	670
		113	56.5	0.89	1250
		165	82.5	2.18	540
	22.5	125	62.5	2.48	380
		127	63.5	2.1	480
	23	125	62.5	2.41	400
		168	84	2.1	700
135		67.5	1.84	630	
140		70	1.43	900	
180		90	1.1	1720	
24	155	77.5	1.2	1270	
	160	80	2.6	480	
	120	60	2.15	420	
24.5	155	77.5	3.19	340	
	125	62.5	0.77	1580	
0.60	28.5	190	95	1.98	720
	21	180	90	1.66	900
	22	215	107.5	2.28	750
	23	144	72	0.94	1300
		200	100	2.52	580
	24	210	105	1.35	1130
		182	91	1.8	780
	24.5	212	106	0.68	3160
	25	165	82.5	1.61	750
		210	105	3.21	430
250		125	2.16	900	
26	275	137.5	2.5	860	
28	190	95	2.15	630	



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นระหว่างเสาเข็มกับดิน และความยาวเสาเข็ม ของข้อมูลเสาเข็มเจาะระบบแห้งที่ศึกษา



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นระหว่างเสาเข็มกับดิน ของเสาเข็มชนิดต่างๆกับค่าน้ำหนักบรรทุกใช้งาน (เพิ่มเติม ข้อมูลของ Pimpasukdi [8])



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นระหว่างเสาเข็มกับค่าน้ำหนักบรรทุกใช้งานของเสาเข็มเจาะระบบแห้งในกรุงเทพฯ

## 6. แนวโน้มค่าโมดูลัสยืดหยุ่นระหว่างเสาเข็มกับดินของเสาเข็มเจาะระบบแห้ง

ภาพที่ 2 แสดงผลการพล็อตระหว่าง  $E_s$  กับความยาวเสาเข็มของเสาเข็มเจาะระบบแห้งที่ศึกษาทั้ง 42 ต้น จุดแสดงค่า  $E_s$  ของเสาเข็มทั้งขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.50 และ 0.60 เมตรในภาพกระจายกลมกลืนกัน แสดงว่าผลกระทบของการขนาดหลุมเจาะที่ไม่แตกต่างกันมาก ส่งผลต่อกำลังของดินและค่า  $E_s$  ในระดับใกล้เคียงกัน ในภาพที่ 2 ยังแสดงตำแหน่งจุดค่า  $E_s$  ที่กระจายเป็นแถบกว้าง ค่า  $E_s$  ส่วนใหญ่มีพิสัยของข้อมูลระหว่าง 400 ถึง 2100 ตัน/ตร.ม. ชัดจำกัคกลางของค่า  $E_s$  ปรากฏชัดเจนว่ามีค่าค่อนข้างคงที่ (ประมาณ 400 ตัน/ตร.ม.) ส่วนชัดเจนกัคคบนยังไม่สามารถระบุแนวโน้มได้

ภาพที่ 3 แสดงการพล็อตค่า  $E_s$  กับค่าน้ำหนักบรรทุกใช้งาน ( $Q_d$ ) ของเสาเข็มระบบเจาะแห้งทั้ง 42 ต้น ซ้อนทับลงในพื้นที่กราฟ  $E_s-Q_d$  ของ Pimpasukdi [8] กรณีเสาเข็มที่มีปลายในชั้นดินเหนียว จุดพล็อตข้อมูลค่า  $E_s$  ของเสาเข็มระบบเจาะแห้งที่เดิมลงไปเกือบทั้งหมดอยู่ปะปนกับจุดข้อมูลค่า  $E_s$  ของเสาเข็มตอกและเสาเข็ม auger press ที่พล็อตไว้เดิม แต่จุดพล็อตค่า  $E_s$  ของเสาเข็มระบบเจาะแห้งกระจัคกระจายมากกว่า ขณะที่ค่า  $E_s$  ของเสาเข็มเจาะที่พล็อตโดย Pimpasukdi [8] มีตำแหน่งบนพื้นที่กราฟอยู่สูงกว่าค่า  $E_s$  ของเสาเข็มเจาะระบบแห้งที่ศึกษา น่าจะมีสาเหตุมาจากปัจจัยการใช้ระบบเจาะเสาเข็มและคุณภาพของงานก่อสร้างที่แตกต่างกัน นอกจากนี้เส้นขอบเขตบนของข้อมูลค่า  $E_s$  สำหรับเสาเข็มตอกที่ Pimpasukdi [8] เสนอไว้ก็เหมาะสมจะนำมาใช้เป็นขอบเขตบนร่วมกับข้อมูลเสาเข็มเจาะระบบแห้งที่ศึกษาเช่นกัน จากแนวโน้มดังกล่าวสามารถนำเสนอความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นระหว่างเสาเข็มกับค่าน้ำหนักบรรทุกใช้งานของเสาเข็มเจาะระบบแห้งในกรุงเทพฯ ได้ดังแสดงในภาพที่ 4

## 7. สรุปผลศึกษาและข้อเสนอแนะ

ผลศึกษาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นระหว่างเสาเข็มกับดิน ( $E_s$ ) ของเสาเข็มระบบเจาะแห้งในกรุงเทพฯ เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.50 และ 0.60 เมตร ความยาว 19.5-28 ม. ที่สภาวะรับน้ำหนักบรรทุกใช้งานระหว่าง 50 ถึง 130 ตัน (ค่า FS. = 2) พบว่าค่า  $E_s$  มีแนวโน้มกระจายค่าในพิสัยกว้างระหว่าง 410 ถึง 2030 ตัน/ตร.ม. เมื่อพล็อตกราฟกับค่าพารามิเตอร์ทั้งความยาว และ ค่าน้ำหนักบรรทุกใช้งานของเสาเข็ม ได้จุดข้อมูลที่มีสภาพกระจายตัวไว้ระเบียบแผ่ออกเป็น

แถบกว้างไม่เหมาะสมต่อการทำสมการสหสัมพันธ์เพื่อใช้ทำนาย  
แนวโน้มของข้อมูล

สำหรับขีดจำกัดบนและล่างของค่า  $E_s$  สำหรับเสาเข็มระบบ  
เจาะแห้งในกรุงเทพฯ ได้จากการลากเส้นในกราฟข้อมูลค่า  $E_s$  -  
working load ของเสาเข็ม กรณีขีดจำกัดล่างเสนอเป็นเส้นแนว  
ราบคงที่ประมาณ 400 ตัน/ตร.ม. ขณะที่เส้นขีดจำกัดบน เสนอให้  
ใช้เส้นแนวโน้มเดียวกับขอบเขตบนของข้อมูลค่า  $E_s$  สำหรับ  
เสาเข็มตอก ที่เสนอไว้ในกราฟ  $E_s$  - working load กรณีเสาเข็มที่มี  
ปลายในชั้นดินเหนียวของ Pimpasukdi[8] ผลศึกษาแสดงค่า  $E_s$   
ของเสาเข็มระบบเจาะแห้งที่มีสภาพกระจายตัวบนพื้นที่กราฟ  
มากและทำนายแนวโน้มได้ยากมากกว่ากรณีผลศึกษาการประเมิน  
น้ำหนักบรรทุกทุกเสาเข็มกลุ่มตัวอย่างชุดนี้ที่เคยศึกษาไว้ [1]

ข้อเสนอแนะสำหรับงานออกแบบก่อสร้างฐานรากอาคารที่ใช้  
เสาเข็มระบบเจาะแห้งในกรุงเทพฯ นอกจากการกำหนดให้ฐาน  
รากใช้เสาเข็มที่มีขนาดและความยาวเดียวกัน ควบคู่กับการจัด  
น้ำหนักบรรทุกถ่ายลงสู่เสาเข็มให้มีค่าเฉลี่ยต่อต้นใกล้เคียงกันแล้ว  
ควรตรวจสอบค่าการทรุดตัวของแต่ละฐานราก และตรวจสอบค่า  
differential settlement ระหว่างฐานรากให้อยู่ในเกณฑ์ค่า  
limiting criteria ที่ยอมให้ โดยอาจเลือกค่าประมาณของ  $E_s$  จาก  
ผลศึกษาเป็นพารามิเตอร์เพื่อวิเคราะห์ และใช้ค่าการทรุดตัวที่ได้  
เป็นข้อมูลประกอบการพิจารณา

## 8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ อ. ธเนศ วีระศิริ เป็นอย่างสูงที่กรุณาเอื้อเพื่อ  
ข้อมูลน้ำหนักบรรทุก-การทรุดตัว ของเสาเข็มเจาะแห้งเพื่อใช้ใน  
การศึกษาวิเคราะห์

## 9. เอกสารอ้างอิง

- [1] ชัชวาลย์ พูนลาภพานิช และ พลวิท บัวศรี, 2549. กำลังรับน้ำหนัก  
บรรทุกของเสาเข็มเจาะแห้งในกรุงเทพฯ. การประชุมวิชาการ โยธา  
แห่งชาติครั้งที่ 11, เมอร์ลิน บีช รีสอร์ท ภูเก็ต.
- [2] ธเนศ วีระศิริ, 2531. สัมประสิทธิ์การยึดเกาะของเสาเข็มเจาะระบบแห้ง  
ที่มีต่อดินกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สถาบัน  
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [3] สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์, 2543. ความสำคัญในการออกแบบเสาเข็ม  
ทางด้านการทรุดตัว. การสัมมนาเรื่องงานฐานราก 2000. โรงแรม  
เอเชีย กรุงเทพฯ.
- [4] Chalcoywares, P., 1986. Settlement of Pile Foundation in Clay.  
M.Eng Thesis Chulalongkorn University.

- [5] Chiewcharnsilp, S., 1988. Static Load Transfer and Predictions of  
Carrying Capacity of Bored Piles. M.Eng Thesis Chulalongkorn  
University.
- [6] Mazurkiewicz, B. K., 1972. Test Loading of Piles According to  
Polish Regulations Royal Swedish Acad. of Eng. Sciences,  
Stockholm.
- [7] Pongrujikorn, T., 1984. Techniques in Settlement Predictions of  
Highrise Building in Bangkok Metropolis. M.Eng Thesis  
Chulalongkorn University.
- [8] Pimpasukdi, S., 1989. Performance Evaluation of Bored, Driven and  
Auger Press Pile in Bangkok Subsoils. M.Eng Thesis, No.GT-88-12  
AIT.
- [9] Pongrujikorn, T., 1984. Techniques in Settlement Predictions of  
Highrise Building in Bangkok Metropolis. M.Eng Thesis  
Chulalongkorn University.
- [10] Poulos, H. G. and Davis, E. H., 1980. Pile Foundations Analysis  
and Design. New York. John Wiley & sons.