

ตัวคูณลดค่าของเสาเข็มกลุ่มที่รองรับป้ายโฆษณาขนาดใหญ่ ในพื้นที่ของกรุงเทพมหานคร

The P-multipliers of Pile Groups Supported Large Billboard Signs in Bangkok Area

สถาพร ปกป้อง^{1*}

Sathaporn Pokpong^{1*}

^{1*} คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร เลขที่ 9 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน กรุงเทพฯ 10220
โทร 0 2522 6637 โทรสาร 0 2522 6637 E-mail: pokpong@pnru.ac.th

^{1*} Faculty of Industrial Technology, Phranakhon Rajabhat University, 9 Chaengwattana Rd., Anusawari Sub-district, Bangkok District, Bangkok 10220 Tel +66 2522 6637 Fax +66 2522 6637 Email: pokpong@pnru.ac.th

วันที่รับบทความ 25 พฤษภาคม 2562 วันที่รับแก้ไขบทความ 11 ตุลาคม 2562 วันที่ตอบรับบทความ 17 ธันวาคม 2562
Received: May. 25, 2019 Revised: Oct. 11, 2019 Accepted: Dec. 17, 2019

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) สร้างแบบจำลองเชิงตัวเลข ในการศึกษาพฤติกรรมแรงต้านทานดินที่มีต่อฐานรากเสาเข็มกลุ่ม ที่รองรับโครงสร้างป้ายโฆษณาขนาดใหญ่ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร และ 2) ศึกษาตัวคูณลดค่า (p-multipliers) ของเสาเข็มแต่ละต้นภายในกลุ่มภายใต้สภาวะการรับน้ำหนักที่เกิดจากแรงลมที่กระทำทางด้านข้าง โดยสร้างแบบจำลองด้วยวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์แบบสามมิติ และประมวลผลโดยใช้ชุดคำสั่งมาตรฐานของโปรแกรม ABAQUS/CAE ที่ควบคุมการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างดินฐานราก และเสาเข็มด้วยเทคนิคการจำลองชิ้นส่วนเสมือนที่มีความบางเป็นพิเศษ บริเวณชั้นดินรอบ ๆ เสาเข็มให้มีขนาดเท่ากับร้อยละ 10 ของเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็ม จากผลการวิจัยพบว่า 1) แรงต้านทานทางด้านข้างของดินโดยรอบเสาเข็มนั้นเกิดขึ้นสูงสุดที่บริเวณใกล้ผิวดินเดิม หรือที่ระดับความลึกวิกฤติที่ระยะความลึกประมาณ 2 เท่าของระยะที่กว้างที่สุดของเสาเข็ม ภายใต้สภาวะที่โครงสร้างป้ายรับหน่วยแรงลมสูงสุดตามที่ พ.ร.บ.ควบคุมอาคารกำหนดไว้ และเสาเข็มที่ติดตั้งในแถวแรกจะเกิดหน่วยแรงกระจายเป็นบริเวณกว้างมากกว่าเสาเข็มในแถวหลัง และ 2) ตัวคูณลดค่าของเสาเข็มแถวแรก (Leading row) มีค่าเท่ากับ 0.884 และเสาเข็มแถวหลัง (Trailing row) มีค่าเท่ากับ 0.772 เนื่องจากอันตรกิริยาระหว่างเสาเข็มด้วยกันภายในกลุ่มและดินฐานรากโดยรอบ (Pile-soil-pile interaction) มีผลกระทบจากตำแหน่งของเสาเข็มภายในกลุ่ม และทิศทางของแรงกระทำทางด้านข้างที่มากระทำต่อฐานรากเสาเข็ม

คำสำคัญ: แรงต้านทานด้านข้างของดิน, ตัวคูณลดค่า, เสาเข็มกลุ่ม, ป้ายโฆษณา

Abstract

The purposes of this research were 1) to numerically investigate the soil resistance against the pile group supporting a large billboard sign in the Bangkok area, and 2) to study the p-multipliers for a laterally-loaded pile in a group subjected to wind load. The three-dimensional finite element analysis was performed and created

graphically using a standard set of commands in the ABAQUS/CAE package. To simulate the behaviors of soil and pile foundations subjected to wind load acting on a large billboard sign, the virtual interface element technique was employed to relatively control and monitor the pile-soil-pile interaction when the lateral movement was induced. The effective interface element thickness was assigned to be 10% of the pile diameter. The research results revealed two findings. First, the lateral soil resistance against the piles was found to be at its ultimate value at the topmost layer near the existing ground, the so-called critical depth at about 2 times of the pile diameter at its widest part, when considering the maximum wind loads applied to the billboard sign according to Building Control Acts. It was found that piles installed in the leading row resisted larger lateral stress distribution than those in the trailing row. Second, the p-multipliers of piles in the leading and trailing row were equal to 0.884 and 0.772, respectively. This is due to the fact that the pile-soil-pile interaction induced among piles within a group and surrounding soil, are dependent on the position of each pile in a group and also the direction of the lateral load applied to the pile foundation.

Keywords: lateral soil resistance, p-multiplier, pile group, billboard signs

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในช่วงที่เกิดพายุฤดูร้อนและลมกระโชกแรงในพื้นที่เขตเมืองใหญ่ ปัญหาการวิบัติของโครงสร้างป้ายโฆษณาขนาดกลางถึงขนาดใหญ่มักเกิดขึ้นบ่อยครั้ง และส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนในพื้นที่ การตรวจสอบป้ายโฆษณาให้อยู่ในสภาพมั่นคงแข็งแรง โดยเฉพาะป้ายโฆษณาที่ติดตั้งบริเวณชุมชน ริมนถนน บนอาคาร หรือผนังของอาคารสูง ซึ่งอาจถูกแรงลมพัดทำให้ป้ายโฆษณาล้มทับบ้านเรือน และก่อให้เกิดอันตรายกับผู้ที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง จากการศึกษา เกี่ยวกับข้อมูลเชิงสถิติของการวิบัติของอาคารในประเทศไทยในช่วง 25 ปี (พ.ศ.2532-2556) พบว่า การวิบัติของอาคารในระหว่างการก่อสร้างสูงถึงร้อยละ 40 รองลงมาคืออาคารที่มีอายุใช้งานมากกว่า 5 ปี แต่มีปัญหาสะสมมาจาก การก่อสร้างที่ไม่ได้มาตรฐาน คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 27.2 ตามด้วยปัญหาที่เกิดขึ้นจากงานฐานรากของอาคาร คิดเป็นร้อยละ 23.6 หากพิจารณาเฉพาะกรณีที่เกิดขึ้นจากปัญหาของฐานราก จะพบว่า เสาเข็มที่ออกแบบนั้นไม่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกขององค์อาคารได้ และกรณีที่เกิดจากการกระทำด้านข้างโดยส่วนใหญ่จะเกิดจากแรงลม คิดเป็นร้อยละ 73 จากกรณีศึกษา 11 กรณีของป้ายโฆษณา หรืออาคารสูงหลายชั้นและมีความสูงเกิน 2 เท่าของด้านแคบของตัวอาคาร ทั้งนี้เพราะแรงลมจะเป็นสาเหตุให้เกิดโมเมนต์ดัดในเสาเข็มและเสาชั้นล่าง ๆ ของอาคาร (Chainuwat, W., et al., 2015)

สาเหตุหลักของการวิบัติของโครงสร้างประเภทป้ายที่วิศวกรผู้เชี่ยวชาญได้ตรวจสอบเบื้องต้น พบว่า นอกจากขนาดความรุนแรงของลมพายุที่เกิดจากมรสุมนั้น อาจจะเกินขีดความสามารถในการต้านทานแรงลมของโครงสร้างป้ายโฆษณาขนาดใหญ่แล้ว ปัญหาการออกแบบ

ฐานรากเสาเข็มเพื่อรับแรงกระทำทางด้านข้าง (Laterally loaded piles) และโมเมนต์ดัดที่เกิดจากแรงลมก็ยังไม่มีการทราตรว และข้อกำหนดทางวิศวกรรมมารับ รวมไปถึงในปัจจุบันยังไม่มีรายงานการตรวจวัดพฤติกรรมของฐานรากเสาเข็มกลุ่มที่รับแรงทางด้านข้างในภาคสนาม การสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลข (Numerical modeling) จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการศึกษาพฤติกรรมของฐานรากเสาเข็มกลุ่ม ที่ออกแบบมาเพื่อรองรับน้ำหนักบรรทุกจากโครงสร้างป้ายโฆษณาขนาดใหญ่เหล่านี้ เพราะสามารถจำลองสภาพหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในฐานราก ขนาดของการโก่งตัวของเสาเข็ม และโมเมนต์ดัด ตลอดความยาวของเสาเข็ม โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์เชิงตัวเลขด้วยวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์แบบสามมิติ การออกแบบโครงสร้างและฐานรากจะต้องมีกำลัง (Strength) และเสถียรภาพ (Stability) ที่สูงเพียงพอที่จะสามารถต้านทานแรงลม หรือผลกระทบเนื่องจากแรงลมได้อย่างปลอดภัย โดยไม่เกิดความเสียหายโดยรวมต่อโครงสร้างเอง และอาคารสิ่งปลูกสร้างใกล้เคียง ที่อาจจะได้รับผลกระทบจากการวิบัติของโครงสร้างเหล่านี้ (Department of Public Works and Town & Country Planning, 2007)

1.2 พฤติกรรมเสาเข็มกลุ่ม

ถึงแม้ว่าการใช้เสาเข็มกลุ่มเพื่อรับแรงกระทำทางด้านข้าง โดยใช้ผิวสัมผัสระหว่างดิน ฐานรากโดยรอบและเสาเข็มแต่ละต้น สามารถเสริมกำลังในการรับแรงกระทำให้มากขึ้น แต่ความสามารถในการต้านทานแรงกระทำด้านข้างของเสาเข็มแต่ละต้นจะถูกลดหรือทอนกำลังลงเมื่อเปรียบเทียบกับเสาเข็มเดี่ยว เนื่องจากสภาวะการซ้อนทับของหน่วยแรง (Shadowing effect) และมีผลกระทบต่อการรับกำลังของเสาเข็มกลุ่ม (Group effect) จากการทดสอบในภาคสนามแสดงให้เห็นว่า เสาเข็มในแถวหน้า (Leading row) จะรับแรงต้านทานทางด้านข้างที่กระทำต่อดิน ฐานรากโดยรอบมากที่สุดและเสาเข็มในแถวถัด ๆ ไปจนกระทั่งถึงแถวหลัง (trailing row) จะมีความสามารถในการต้านทานแรงกระทำทางด้านข้างลดลง เนื่องจากสภาวะการซ้อนทับของหน่วยแรงข้างต้น (Brown, D.A., et al., 1988; Ruesta, P.F. and Townsend, F.C., 1997; Rollins, K.M., et al., 1998). ดังนั้น การออกแบบเสาเข็มในชั้นดินเหนียวที่รับแรงกระทำในแนวราบ จะต้องลดประสิทธิภาพ โดยการคูณตัวคูณลดกำลัง (p-multiplier) กับแรงกระทำในแนวราบเฉลี่ยต่อต้นของเสาเข็มภายในกลุ่ม (Pimanmas, A., et al., 2016)

1.3 แบบจำลองพฤติกรรมของเสาเข็มรับแรงกระทำทางด้านข้าง

แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของดิน ในปัจจุบันนิยมใช้แบบอีลาสโตพลาสติก (elasto-plastic models) โดยอธิบายพฤติกรรมของวัสดุภายใต้ภาวะความเค้นที่อยู่ภายในพื้นผิวการคลาก (yield surface) และเมื่อภาวะความเค้นถึงเงื่อนไขการคลาก (yield criteria) เมื่อใดวัสดุจะแสดงพฤติกรรมอีลาสโตพลาสติก การสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขเพื่อลดปัญหาในการคำนวณความเครียดพลาสติก ที่บริเวณจุดมุมอันเนื่องมาจากความไม่ต่อเนื่องของแบบจำลอง โดยเฉพาะแบบจำลองสำหรับปัญหาระบบสามมิติในการวิเคราะห์พฤติกรรมของเสาเข็มรับแรงกระทำทางด้านข้าง ดังนั้นการเลือกใช้แบบจำลอง Drucker-Prager (extended von Mises) ที่ดัดแปลงมาจาก von Mises model) ซึ่งรูปแบบมีลักษณะคล้ายคลึงกับแบบจำลองของมอร์-คูลอมบ์ แต่ค่าอัตราส่วนความเค้นในสถานะวิกฤติ (critical state stress ratio) ที่ได้จากการทดสอบแรงอัดสามแกนแบบระบายน้ำ (CD Test) มีค่าคงที่ นอกจากนี้การเคลื่อนตัวสัมผัสระหว่างดินฐานราก

กับโครงสร้างภายใต้แรงกระทำ จะต้องอยู่ในเงื่อนไขความต่อเนื่องที่เหมาะสม ดังนั้นการสร้างแบบจำลองที่เนื้อวัสดุมีคุณสมบัติต่างชนิดกัน เช่น บริเวณรอยต่อระหว่างดินกับเสาเข็ม อาจเกิดความไม่ต่อเนื่องในระหว่างการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง หรือเปลี่ยนตำแหน่งได้ เทคนิคการจำลองชิ้นส่วนเสมือนที่มีความบางพิเศษ (virtual interface elements) ที่เรียกว่า contact pair concept โดยให้การเคลื่อนที่ของจุดต่อ (nodal displacement) บนส่วนผิวสัมผัสของเสาเข็ม ซึ่งกำหนดให้เป็นชิ้นส่วนหลัก (master elements) สามารถเปลี่ยนรูปร่างเข้าไปแทนที่ชิ้นส่วนรอง (slave elements) บนผิวสัมผัสของดินฐานราก ซึ่งจะสามารถลดระยะเวลาในการประมวลผลด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ได้ระดับหนึ่งด้วย (Katzenbach, R. and Pokpong, S., 2005)

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลข เพื่อศึกษาพฤติกรรมแรงต้านทานดินของฐานรากเสาเข็มกลุ่มที่ติดตั้งแบบสลับเหลี่ยม ที่รองรับโครงสร้างป้ายโฆษณาขนาดใหญ่ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร

2.2 เพื่อศึกษาตัวคูณลดค่า (p-multipliers) ของเสาเข็มแต่ละต้นภายในกลุ่มภายใต้สภาวะการรับน้ำหนักที่เกิดจากแรงลมที่กระทำทางด้านข้าง

3. วิธีดำเนินการวิจัย

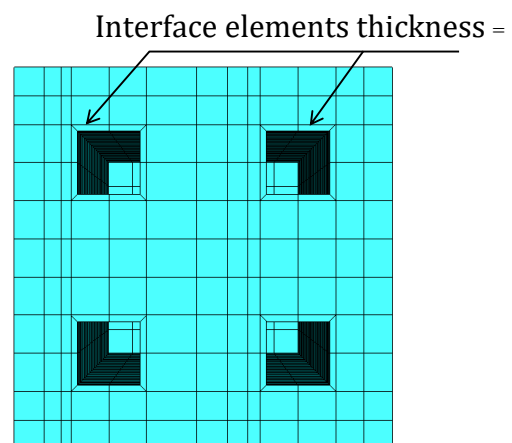
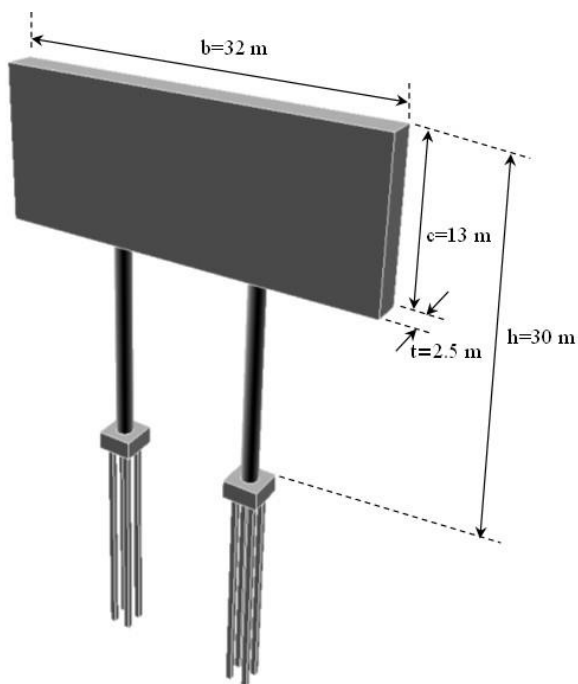
การศึกษาพฤติกรรมแรงต้านทานดินของเสาเข็มกลุ่มที่รับแรงกระทำทางด้านข้างนั้น สามารถวิเคราะห์ด้วยสมการคณิตศาสตร์ชั้นสูง วิเคราะห์จากการตรวจวัดค่าโมเมนต์ในสนาม วิเคราะห์ด้วยวิธีโมดูลัสการต้านแรงกดของชั้นดิน (Subgrade modulus) หรือวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองบนพื้นฐานของทฤษฎีของความยืดหยุ่น (Theory of Elasticity) ซึ่งแต่ละวิธีข้างต้นมีข้อจำกัดในการอธิบายพฤติกรรมของกลุ่มเสาเข็มที่มีระยะห่างระหว่างเสาเข็มน้อยเนื่องจากปรากฏการณ์ Shadowing effects หรืออันตรกิริยาระหว่างเสาเข็มด้วยกันภายในกลุ่มและดินฐานรากโดยรอบ (Pile-soil-pile interaction) การเลือกใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบสามมิติ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการใช้วิเคราะห์ และอธิบายพฤติกรรมของเสาเข็มและการเหนี่ยวนำแรงเค้นในชั้นดินฐานรากโดยรอบได้เป็นอย่างดี

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

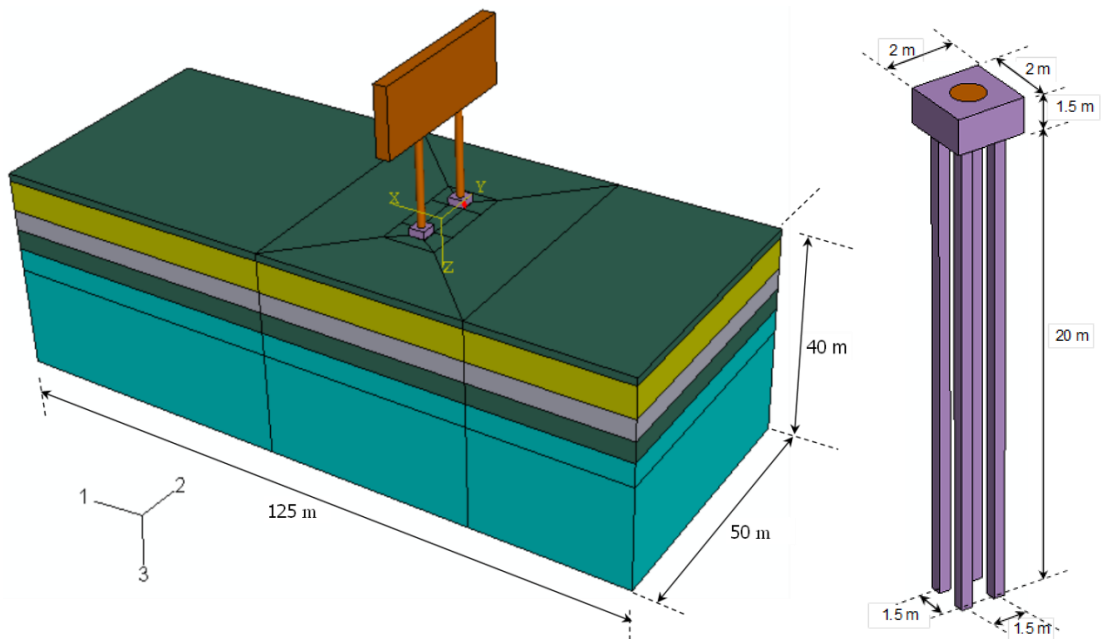
สำหรับองค์ประกอบแบบจำลอง (Constitutive models) ของเสาเข็มในงานวิจัยครั้งนี้ อยู่ภายใต้สมมติฐานความต่อเนื่อง (Continuum approach) ของมวลดินและเสาเข็ม เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ชั้นดินหลาย ๆ ชั้นซึ่งมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมแตกต่างกันได้และใช้เทคนิค Interface elements เป็นชั้นบาง ๆ บริเวณรอยต่อระหว่างเสาเข็ม และดินฐานราก สำหรับการประมวลผลได้เลือกใช้ชุดคำสั่งมาตรฐานของโปรแกรม ABAQUS/CAE โดยสมมติให้เสาเข็มคอนกรีตอยู่ในสถานะอิลาสติก และดินฐานรากอยู่ในสถานะ Elasto-plastic บนบรรทัดฐานการคลาก (Yield criterion) ที่เสนอโดย Drucker-Prager (Sandhya, R.R., et al., 2014)

3.2 ขอบเขตของการวิจัย

ชั้นดินที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ คือ ชั้นดินเหนียวอ่อนของกรุงเทพฯ ผั่งตะวันออก ซึ่งมีความหนาของชั้นดินเหนียวอ่อนถึงอ่อนมากเท่ากับ 10 m. มีค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำประมาณ 11.3 kN/m^2 สำหรับเสาเข็มคอนกรีตมีหน้าตัดสี่เหลี่ยมขนาด $0.50 \times 0.50 \text{ m}^2$ ความยาว 20.0 m. ซึ่งเป็นความยาวเสาเข็มที่ออกแบบสำหรับอาคารทั่วไปในเขตกรุงเทพมหานคร ที่ปลายเสาเข็มจะอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็งปานกลางหรือต่ำกว่า โดยจัดเรียงแบบรูปสี่เหลี่ยม (box arrangement) ด้วยระยะห่าง 3 เท่าของขนาดความกว้างของเสาเข็ม สำหรับการสร้างแบบจำลองของป้ายโฆษณาเป็นป้ายโฆษณาที่ก่อสร้างอยู่เหนือระดับพื้นดิน และเสาโครงสร้างรองรับป้ายโฆษณาเป็นแบบเสาคู่ โดยกำหนดช่วงของแรงลมสูงสุด ที่กระทำต่อแผ่นป้ายโฆษณาที่มีความกว้าง $b=32 \text{ m}$. สูง $c=13 \text{ m}$. หนา $t=2.5 \text{ m}$. และอยู่เหนือพื้นดิน $h=30 \text{ m}$. ซึ่งเป็นระยะที่มากที่สุด ตามที่ระบุไว้ในข้อกำหนดของพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร (ฉบับที่ 3) พ.ศ.2543 โดยออกเป็นกฎกระทรวงว่าด้วยการควบคุมป้ายโฆษณา พ.ศ.2558 ดังแสดงในภาพที่ 1 สำหรับการสร้างแบบจำลองเสาเข็มในการวิจัยครั้งนี้ เลือกสร้างแบบจำลองชิ้นส่วนเสมือนที่มีความบางเป็นพิเศษ (Virtual interface elements) บริเวณโดยรอบเสาเข็ม ที่เรียกว่า Contact pair concept (Reul, O., 2000) ดังแสดงในภาพที่ 2 บริเวณรอยต่อของเสาเข็มทุกต้นกับชั้นดินฐานรากโดยรอบ ซึ่งมีความบางเป็นพิเศษ เท่ากับ 0.10 เท่าของระยะกว้างสุดของเสาเข็ม หรือเท่ากับ 0.04 m. เนื่องจากอาจเกิดความไม่ต่อเนื่องในระหว่างการเปลี่ยนแปลงรูปร่างภายใต้แรงกระทำภายนอก และกำหนดขอบเขต (Boundary) ของชั้นดินฐานรากขนาด $50 \times 125 \times 40 \text{ m}$. ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 1 แบบจำลองป้ายโฆษณาขนาดใหญ่ ภาพที่ 2 การจำลองชิ้นส่วนเสมือนที่มีความบางพิเศษ

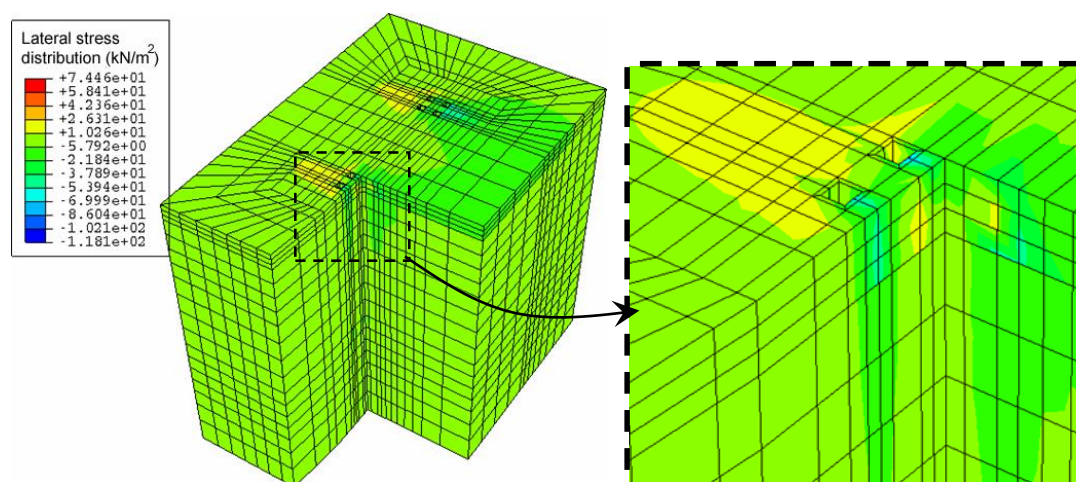


ภาพที่ 3 ขอบเขตของการสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขของดินฐานราก เสาเข็มและป้ายโฆษณา

4. ผลการวิจัย

4.1 แรงต้านทานด้านข้างของดินที่มีต่อเสาเข็ม

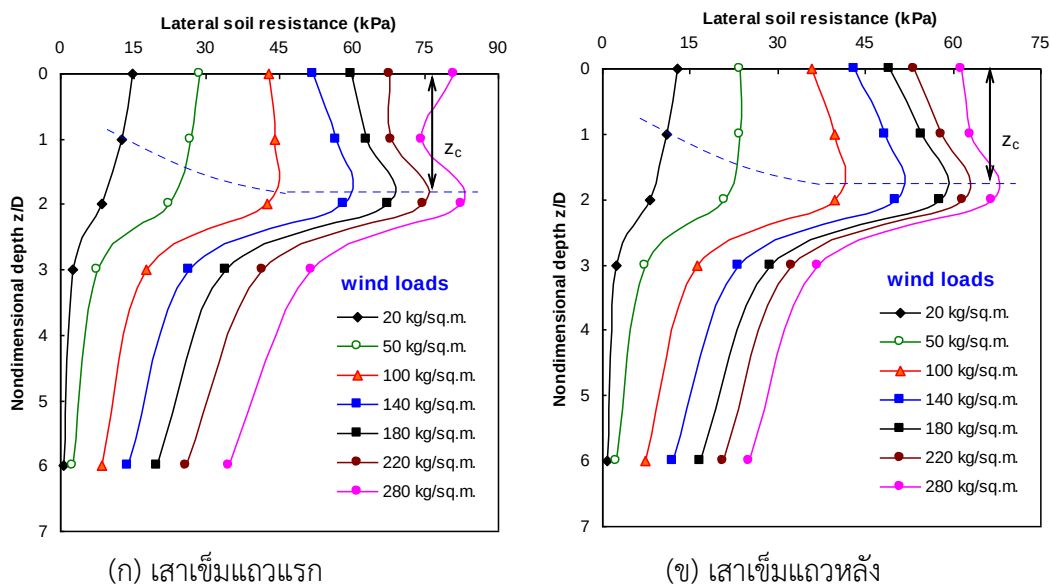
เมื่อพิจารณาแรงต้านทานของดินที่มีต่อเสาเข็มที่รับแรงกระทำทางด้านข้าง ที่เกิดจากแรงลมปะทะป้ายโฆษณาขนาดใหญ่ จะพบว่าที่บริเวณความลึกใกล้ ๆ ผิวดินเดิมด้านหน้าของฐานราก จะมีความเข้มของหน่วยแรงต้านทานทางด้านข้างสูงกว่าบริเวณอื่น ดังแสดงในภาพที่ 4 เมื่อนำค่าแรงต้านทานที่ผิวสัมผัสระหว่างดินฐานราก กับเสาเข็มแต่ละต้นมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างแรงต้านทานดินในแนวราบที่ระดับความลึกต่าง ๆ จะพบว่าที่ความลึกประมาณ 2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็มมีค่าแรงต้านทานดินในแนวราบสูงกว่าที่ระดับความลึกอื่น ๆ ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 4 ความเข้มของหน่วยแรงในแนวราบที่เกิดขึ้นในพื้นที่รอบๆเสาเข็ม (หน่วย : kN/m^2)

4.2 ความลึกวิกฤติของเสาเข็มรับแรงทางด้านข้าง

จากการศึกษาและวิเคราะห์หาขนาดของแรงต้านทานทางด้านข้าง ของเสาเข็มกลุ่มบริเวณดินฐานรากโดยรอบ ด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์แบบสามมิติ พบว่า บริเวณใกล้ผิวดินเดิมจะมีความเข้มของหน่วยแรงต้านทานทางด้านข้างสูงกว่าบริเวณอื่น โดยเฉพาะที่ระดับความลึก 1.0 เมตร จากผิวดินเดิม หรือประมาณ 2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็ม ซึ่ง ณ ความลึกนี้ คือ ความลึกวิกฤติของเสาเข็มรับแรงทางด้านข้าง (Critical depth) ทั้งนี้เพราะแรงต้านทานดินทางด้านข้างที่มีต่อการเคลื่อนตัวของเสาเข็มมีขนาดมากที่สุด เมื่อมีแรงลมกระทำทางด้านข้างมากกระทำต่อปายโฆษณา



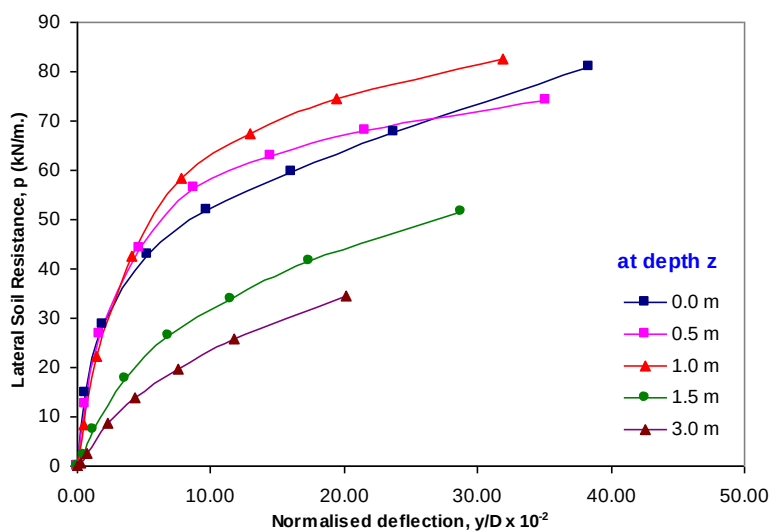
ภาพที่ 5 แรงต้านทานดินด้านข้างที่กระทำต่อเสาเข็มที่ระดับความลึกต่าง ๆ บริเวณผิวดินเดิม

จากภาพที่ 6 จะเห็นได้ว่า แรงต้านทานทางด้านข้างของดินมีลักษณะความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเส้นตรงเชิงเส้นกับการโก่งหรือเคลื่อนตัวของเสาเข็ม ในช่วงแรกของการเคลื่อนตัวของเสาเข็ม มีขนาดน้อย อัตราการเพิ่มของขนาดแรงต้านทานในแนวราบของดินจะเพิ่มอย่างรวดเร็ว และเริ่มลดลงอย่างต่อเนื่องหรือเกือบจะคงที่ เมื่อการเคลื่อนตัวของเสาเข็มมีขนาดมากขึ้น จากการศึกษพบว่าหากแรงลมที่มาประทะปายโฆษณา มีขนาดสูงสุดตามที่กฎหมายควบคุมอาคาร กำหนดแรงต้านทานทางด้านข้างของดินที่กระทำต่อเสาเข็ม มีขนาดประมาณ 60 kN/m^2 และการเคลื่อนตัวของเสาเข็มอาจสูงถึงร้อยละ 10 ของเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็ม ซึ่งอาจจะส่งผลให้เกิดความไม่มั่นคง หรือเสถียรภาพของโครงสร้างโดยรวมได้

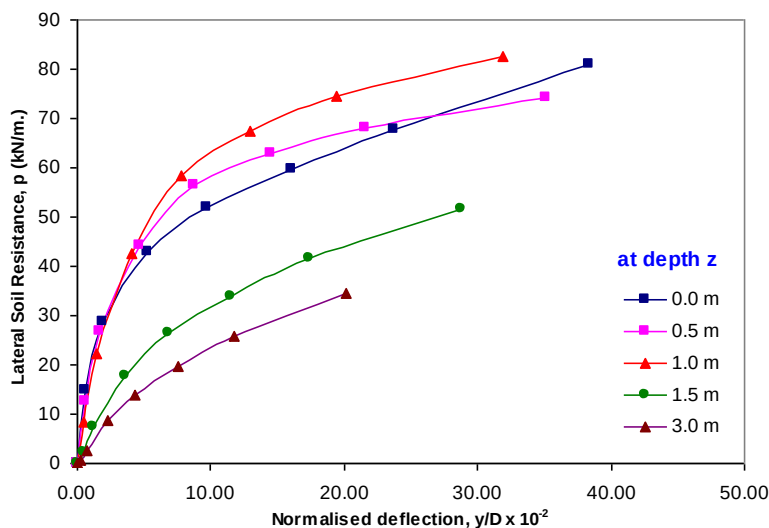
จากผลการวิจัยพบว่า ที่ระดับความลึกประมาณ 2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็ม หรือ ความลึกวิกฤติของเสาเข็มรับแรงทางด้านข้างที่ติดตั้งในชั้นดินเหนียว เป็นจุดที่เสาเข็มจะรับแรงต้านทานในแนวราบของดินฐานรากสูงกว่าที่ระดับความลึกอื่น ๆ จากนั้นค่าแรงต้านทานดังกล่าว จะมีแนวโน้มคงที่ หรือมีค่าลดลงเล็กน้อย ดังนั้นในการออกแบบเสริมแรงเสาเข็มในชั้นดินเหนียว กรุงเทพฯ ที่รับแรงกระทำด้านข้าง ควรมีการเสริมแรงให้เพียงพอต่อการต้านทานโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้น ณ ระดับความลึกวิกฤติ

4.3 ตัวคูณลดค่าแรงต้านทานดินของเสาเข็มกลุ่ม

จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของเสาเข็ม และแรงต้านทานดินในแนวราบ พบว่าที่ระดับความลึกประมาณ 1.0 m. มีค่าสูงกว่าที่ระดับความลึกอื่น ๆ จึงหาประสิทธิภาพในการต้านทานแรงกระทำทางด้านข้างของเสาเข็มกลุ่ม ที่ระดับความลึกนี้ โดยใช้วิธีการแบบไฮบริดที่เรียกว่า p-multiplier concept โดยเปรียบเทียบกับผลการศึกษากรณีเสาเข็มเดี่ยวในชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ (Katzenbach, R. and Pokpong, S., 2005) และเลือกใช้ระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างอ้างอิง (Reference deflection) ที่ระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างอ้างอิงเท่ากับ 0.02D โดยประมาณ (Scott, V.M., 1995)



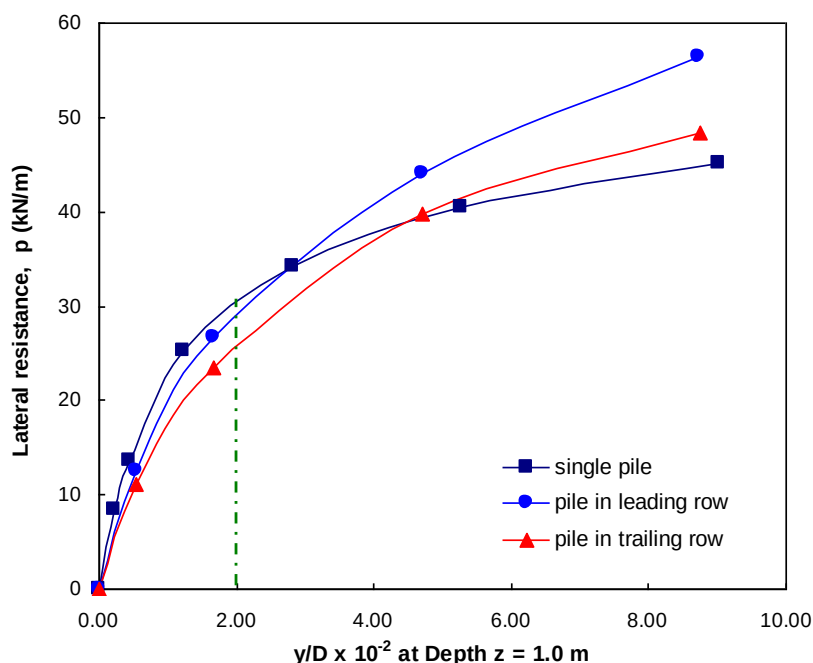
(ก) เสาเข็มแถวแรก



(ข) เสาเข็มแถวหลัง

ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านทานดินและขนาดการเคลื่อนตัวของเสาเข็ม

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอันตรกิริยาของเสาเข็มกลุ่มและเสาเข็มเดี่ยว ในภาพที่ 7 พบว่า อัตราส่วนของแรงต้านทานดินทางด้านข้างในกรณีเสาเข็มกลุ่ม เมื่อเทียบกับกรณีเสาเข็มเดี่ยวนั้นมีค่าสัดส่วนเท่ากับ 0.884 สำหรับเสาเข็มแถวแรก และเท่ากับ 0.772 สำหรับเสาเข็มแถวหลัง



ภาพที่ 7 การเปรียบเทียบอันตรกิริยาของเสาเข็มกลุ่มและเสาเข็มเดี่ยว

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

จากการศึกษาและวิเคราะห์อันตรกิริยาระหว่างเสาเข็มกลุ่มและดินฐานรากโดยรอบ ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบสามมิติพบว่า ความลึกวิกฤติของเสาเข็มรับแรงทางด้านข้าง คือความลึกบริเวณใกล้ผิวดินเดิม ซึ่งจะมีขนาดของอันตรกิริยาสูงกว่าบริเวณอื่น โดยเฉพาะที่ระดับความลึก 1 เมตร จากผิวดินเดิม หรือประมาณ 2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็ม ทั้งนี้เพราะแรงต้านทานดินทางด้านข้างที่มีต่อการเคลื่อนตัวของเสาเข็มมีขนาดมากที่สุด เมื่อมีแรงลมกระทำทางด้านข้างมากกระทำต่อปายโฆษณาจากภาพที่ 6 จะเห็นได้ว่า อันตรกิริยาระหว่างเสาเข็มและแรงต้านทานทางด้านข้างของดินมีลักษณะความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเส้นตรงเชิงเส้น ในช่วงแรกที่มีการเคลื่อนตัวของเสาเข็มมีขนาดน้อย อัตราการเพิ่มของขนาดแรงต้านทานในแนวราบของดินจะเพิ่มอย่างรวดเร็ว และเริ่มลดลงอย่างต่อเนื่อง หรือเกือบมีค่าคงที่ เมื่อการเคลื่อนตัวของเสาเข็มมีขนาดมากขึ้น จากการศึกษาพบว่าหากแรงลมที่มาปะทะปายโฆษณามีขนาดสูงสุดตามที่กฎหมายควบคุมอาคาร กำหนดการเคลื่อนตัวของเสาเข็มอาจสูงถึงร้อยละ 10 ของเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็ม ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความไม่มั่นคง หรือเสถียรภาพของโครงสร้างโดยรวมได้

สำหรับกรณีการติดตั้งเสาเข็มกลุ่มจำนวน 4 ต้น ที่จัดเรียงแบบสี่เหลี่ยม ที่ได้ทำการศึกษาในครั้งนี้พบว่า การซ้อนทับของหน่วยแรงภายในกลุ่มเสาเข็มไม่ชัดเจนนัก เมื่อเทียบกับฐานรากเสาเข็มกลุ่มที่มีขนาดใหญ่นี้ ซึ่งจะเห็นว่าเสาเข็มแถวแรกนั้นจะเกิดหน่วยแรงกระจายเป็นบริเวณ

กว้างมากกว่าเสาเข็มในแถวหลัง ซึ่งจะเกิดทำให้แรงต้านทานที่ตรวจสอบได้มีค่าน้อยกว่าในเสาเข็มแถวแรกเล็กน้อย เมื่อทำการคำนวณเปรียบเทียบประสิทธิภาพ หรือตัวคูณลดค่าของแรงต้านทานดินด้านข้าง จะพบว่า ในเสาเข็มแถวหลังจะมีค่าประมาณ 0.772 ซึ่งต่ำกว่าตัวคูณลดค่าของเสาเข็มในแถวแรก นั้นหมายความว่าในกรณีเสาเข็มกลุ่มประสิทธิภาพในการต้านทานดินทางด้านข้างจะมีค่าลดลงเล็กน้อยสำหรับเสาเข็มแถวหลัง โดยเสาเข็มในแถวแรกจะมีพฤติกรรมคล้ายคลึงกับกรณีเสาเข็มเดี่ยวมากกว่าแถวอื่น ๆ และตำแหน่งของเสาเข็มภายในกลุ่ม ก็มีความสำคัญต่ออันตรกิริยาระหว่างเสาเข็มด้วยกันภายในกลุ่มและดินฐานรากโดยรอบ ดังนั้นในการออกแบบเสาเข็มรับแรงกระทำทางด้านข้างที่ติดตั้งในชั้นดินเหนียว จึงควรใช้ตัวคูณลดค่าของเสาเข็มแถวหลังสุด โดยนำค่ามาหารแรงกระทำด้านข้างที่เสาเข็มแต่ละต้นรับน้ำหนัก ก็จะได้น้ำหนักกระทำที่ปลอดภัยสำหรับการออกแบบเสาเข็มให้มีความต้านทานแรงกระทำในแนวราบต่อไป

7. เอกสารอ้างอิง

- Brown, D.A., Morrison, C. and Reese, L.C. (1988). Laterally Load Behavior of Pile Group in Sand. **Journal of Geotechnical Engineering ASCE**. vol. 114 (11), pp. 1261–1276.
- Chainuwat, W., Sae-lim, S. and Sritong-on, S. (2015). Building Failure in Thailand in 25-Year Period (1989-2013). **The Journal of Industrial Technology**. vol.11(1), pp. 103-110.
- Department of Disaster Prevention and Mitigation. (2014). **Disaster Risk Reduction into Sustainable Development**. Bangkok: United Nations Development Programme – UNDP Printing House in Thailand. (in Thai)
- Department of Public Works and Town & Country Planning, Ministry of Interior. (2007). **Standard for Wind Load Calculation and Response of Buildings**. Bangkok. S.P.M. Co., Ltd. Printing House.
- Katzenbach, R. and Pokpong, S. (2005). Nonlinear Response of Laterally Loaded Piles in Soft Bangkok Clays, **paper presented in the 11th of IACMAG: International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics: Prediction, Analysis and Design in Geomechanical Applications**, Turin, Italy. pp. 475-482.
- Pimanmas, A., Chaimahawan, P. and Joyklad, P. (2016). **Design of Pile Foundations subjected to Earthquake Loading**. [online]. Available <http://www.coe.or.th/coe-2/main/coeHome.php?aMenu=806>. access on 07/03/2019. (in Thai)

- Result, O.F., (2000). **In-situ-Messungen und numerische Studien zum Tragverhalten der Kombinierten Pfahl-Plattengründung**. Mitteilungen des Institutes und der Versuchsanstalt für Geotechnik der Technischen Universität Darmstadt, Heft 53. (in German).
- _____. (2000). **In-situ Measurements and Numerical Studies on Bearing Capacity of Combined Pile-Raft Foundation**. Publications of the Institute and Laboratory of Geotechnics, Darmstadt University of Technology, vol. 53.
- Rollins, K.M., Peterson, K.T. and Weaver, T.J. (1998). Lateral load behavior of full-scale pile group in clay. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering ASCE**. vol. 124 (6), pp. 468–478.
- Ruesta, P.F. and Townsend, F.C. (1997) Evaluation of laterally loaded pile group at Roosevelt Bridge. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering ASCE**. vol. 123 (12), pp. 1153–1161.
- Sandhya, R.R., Nagendra, P.K., and Sai, K.T. (2014). Applicability of Mohr-Coulomb and Drucker-Prager Models for Assessment of Undrained Shear Behaviour of Clayey Soils, **International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)**. vol. 5 (10), pp. 104-123.
- Scott, V. M., (1995). **Interaction factors for piles in groups subjected to lateral loading**. Thesis, University of Texas, Austin.