

# การประยุกต์สูตร Beam Formula ออกแบบกำแพงกันดินเสาเข็มเสียบแผ่นผนังแบบคานยื่น

ผศ.ชัชวาลย์ พูลลาภพานิช<sup>1</sup>, ผศ.ดร.คมวุฒ วิศวไพศาล<sup>2</sup>

Asst.Prof. Chatshawal Poonlappanish<sup>1</sup>, Asst.Prof. Komwut Wissawapaisal, Ph.D.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและการพัฒนาเมือง คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.ศรีปทุม E-mail: chatshawal.po@spu.ac.th

<sup>2</sup> ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและการพัฒนาเมือง คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.ศรีปทุม E-mail: komwut.wi@spu.ac.th

## บทคัดย่อ

นำเสนอวิธีการประยุกต์ใช้สูตรฟังก์ชันโมเมนต์ดัด แรงเฉือน และระยะโก่งตัวของคานยื่นในรูปแบบ beam formula มาใช้ปรับปรุงระเบียบวิธีการคำนวณออกแบบกำแพงกันดินเสาเข็มเสียบแผ่นผนังแบบคานยื่น วิธีดั้งเดิมที่เสนอโดย CALTRANS (2011) ระเบียบวิธีวิจัยประกอบด้วย 1.วิเคราะห์สูตรฟังก์ชันโมเมนต์ดัด แรงเฉือน และระยะโก่งตัวของคาน 2.สร้างสูตรคำนวณในสเปรดชีต 3.คำนวณวิเคราะห์และสอบเทียบผลคำนวณ สรุปผลวิจัยพบว่าวิธีคำนวณที่บทความนำเสนอให้ผลวิเคราะห์ตรงกับวิธีดั้งเดิม แต่มีประสิทธิภาพสูง สะดวกและประหยัดเวลาคำนวณมากขึ้น

**คำสำคัญ:** สูตรวิเคราะห์คาน, กำแพงกันดินประเภทฝังปลายในชั้นดิน, กำแพงกันดินเสาเข็มเสียบแผ่นผนัง, ระยะโก่งตัวของเสาเข็ม

## Abstract

This paper presents applications of beam formulas for improving the design method of cantilevered soldier pile walls which was originally proposed by CALTRANS (2011). The methodology in this paper consists of (1) formulating bending moment, shear force, and deflection functions, (2) applying a spreadsheet program for evaluating those functions, and (3) obtaining the results for further analyses and comparisons. The proposed method shows accurate results in comparison with the original one. It makes such calculations more efficient and less time-consuming.

**Keywords:** Beam formula, Embedded retaining wall, Cantilevered soldier pile wall, Pile deflections

## 1. บทนำ

โครงสร้างกำแพงกันดินเสาเข็มเสียบแผ่นผนังแบบคานยื่น (cantilevered soldier pile walls, CSPW) เป็นระบบกำแพงกันดินไม่มีค้ำยัน นิยมใช้ในงานขุดหรือถมดินที่ต่างระดับโดยทั่วไปประมาณ 3.5 -5 เมตร ไปจนถึงการประยุกต์ใช้เสริมเสถียรภาพคันทางที่รับน้ำหนักบรรทุกจากรถบรรทุกหนัก คันทางรถไฟ เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการนำมาใช้งาน ติดตั้งและรื้อถอนได้ง่าย สามารถใช้ประโยชน์ทั้งในรูปแบบโครงสร้างชั่วคราวหรือถาวร ขึ้นต่อนคำนวณ

ออกแบบประกอบด้วย การวิเคราะห์หาระยะฝังปลายเสาเข็มในดิน การวิเคราะห์ค่าแรงเฉือน ค่าโมเมนต์ดัด เพื่อออกแบบขนาดหน้าตัด H pile ที่นำมาใช้เป็นเสาเข็ม และวิเคราะห์ระยะโก่งตัวของแนวกำแพง (deformation analysis) เพื่อตรวจสอบความสามารถในการให้บริการ (serviceability) ป้องกันความเสียหายจากการเคลื่อนตัวเกินพิกัดของแนวกำแพง กระบวนการวิเคราะห์ออกแบบข้างต้นนี้ ในตำราหรือคู่มือออกแบบวิศวกรรมฐานราก[1], [2], [3], [4] นิยมใช้วิธีคำนวณแบบดั้งเดิมที่อาศัยการสร้างและแก้

สมการสมดุลที่ละชั้น วิธีนี้เหมาะสมเพื่อใช้เป็นตัวอย่างคำนวณสาธิตในการเรียนการสอน แต่ยังคงขาดประสิทธิภาพเมื่อใช้แก้โจทย์ปัญหาในสภาพงานจริงที่มีแรงดันบนกำแพงซับซ้อน ค่าความยาก อาทิ กำแพงฝังในชั้นดินคุณสมบัติแตกต่างกัน รับภาระน้ำหนักบรรทุกหลายประเภทในคราวเดียวกัน หรือมีการรวมน้ำหนักบรรทุก (load combination) มากกรณี จึงมีความจำเป็นที่ต้องพัฒนาวิธีคำนวณที่สะดวกรวดเร็ว ให้ผลถูกต้อง โดยใช้ทรัพยากรของสำนักงานจัดทำได้อย่างสะดวก

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการประยุกต์ใช้สูตรฟังก์ชันโมเมนต์ดัดแรงเฉือน และระยะโค้งตัวของคานายื่นในรูปแบบ beam formula กรณีคานายื่นรับน้ำหนักบรรทุกแผ่รูปคางหมวกกลางช่วงคาน มาใช้ปรับปรุงกรรมวิธีคำนวณออกแบบกำแพงกันดินเสาเข็มเสียบแผ่นผนังแบบคานายื่น (กำแพง CSPW) ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

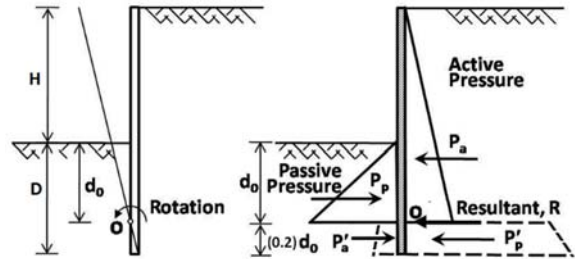
## 3. แนวคิดและทฤษฎี

### 3.1 การวิเคราะห์ออกแบบกำแพง CSPW

ใช้หลักการออกแบบกำแพงกันดินชนิดฝังปลายในดิน (embedded wall) แทนแบบจำลองโครงสร้างเสาเข็มเป็นคานาที่ปักในชั้นดินต่างระดับ คานาหมุนรอบจุดหมุนบนคานาใต้ระดับชุด เกิดแรงดันดินเชิงรุก (active earth pressure,  $P_a$ ) และแรงดันดินเชิงรับ (passive earth pressure,  $P_p$ ) กระทำบนคานาทั้งสองด้าน ใช้เงื่อนไขสมดุลแรงในแนวราบ ( $\sum F_H=0$ ) และสมดุลโมเมนต์ ( $\sum M=0$ ) สร้างสมการคำนวณวิเคราะห์หาระยะฝังปลายคานาในดิน ตามด้วยการวิเคราะห์ค่าแรงเฉือนค่าโมเมนต์ดัดจากแรงดันดินที่กระทำบนคานา

[2] ใช้วิธีอย่างง่าย (simplified method) ลดทอนให้เป็นโครงสร้างคานาดีเทอร์มิเนตที่คำนวณง่ายขึ้น [3], [5] ดังในภาพที่ 1 โดยอนุมานว่าจุดหมุนใต้ระดับชุด (จุด o) กับจุดที่เกิดสมดุลโมเมนต์ ( $\sum M=0$ ) เป็นจุดเดียวกัน แล้วนำเงื่อนไขสมดุลโมเมนต์เพียงสมการเดียวนี้คำนวณระยะฝังเริ่มต้น  $d_0$  แต่ระยะฝังนี้ยังมีความยาวไม่มากพอทำให้กำแพงเกิดสมดุลของแรงในแนวราบ ( $\sum F_H=0$ ) จะต้องออกแบบเพิ่มระยะฝังปลายเสาเข็มขึ้นอีกเพื่อสร้างแรงต้านแนวราบ ( $P'_p - P'_a$ ) มาหักล้างกับแรงลัพธ์ R จนสมดุล (เพิ่มความยาวมากพอให้แรง  $P'_p - P'_a \geq R$ ) วิธีออกแบบในเชิงปฏิบัติที่สะดวกรวดเร็ว

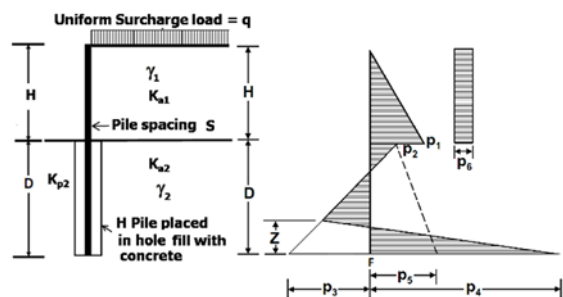
นิยมประมาณระยะฝังเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 20 รวมเป็นค่าออกแบบระยะฝังปลายเข็มฝังในชั้นดินทั้งหมด (D) เท่ากับ  $1.2d_0$



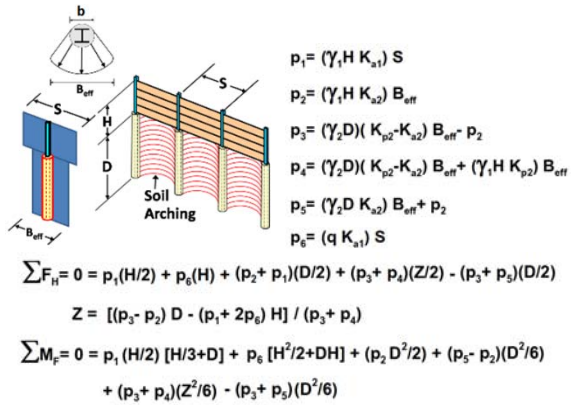
ภาพที่ 1 แบบจำลองกำแพงกันดินชนิดฝังปลายในดินและสมมุติฐานของการออกแบบโดยวิธี simplified method

อีกวิธีที่นิยมใช้คำนวณวิเคราะห์กำแพงกันดินชนิดฝังปลายในดินคือวิธี Fixed Earth Support [4] วิธีนี้มีสมมุติฐานให้การกระจายของไดอะแกรมแรงดันสุทธิ (Net pressure diagram) ที่จุดหมุน o ปรับค่าแนวเส้นตรงไปยังค่าแรงดันดินสุทธิที่ปลายล่างกำแพง ทำให้รูปสมการที่เกิดจากเงื่อนไขสมดุล 2 สมการสามารถคำนวณผลลัพธ์ได้ง่ายขึ้น โดยภาพที่ 2 แสดงไดอะแกรมแรงดันดินสุทธิและสมการเงื่อนไขสมดุลที่ใช้ออกแบบกำแพง CSPW ตามสมมุติฐานของวิธีดังกล่าว

[2] แนะนำให้นำสภาพการถ่ายแรงแบบโครงสร้างโค้ง (Arching effect) ระหว่างหน้าสัมผัสเสาเข็มที่เกิดแรงดันดินเชิงรับมารวมวิเคราะห์ในรูปตัวประกอบคูณเพิ่มขนาดหน้าเสาเข็มประสิทธิภาพ (Effective width of pile,  $B_{eff}$ ) จำแนกตามชนิดของดินดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2



ภาพที่ 2 ไดอะแกรมแรงดันดินและสมการสมดุลที่ใช้ออกแบบกำแพง CSPW วิธี Fixed Earth Support



ภาพที่ 2(ต่อ) โดอะแกรมแรงดันดินและสมการสมดุลที่ใช้ ออกแบบกำแพง CSPW วิธี Fixed Earth Support

ตารางที่ 1 ตัวประกอบ Arching Capability Factor สำหรับดินไม่มีความเชื่อมแน่น (Cohesionless soil) [2]

| Pile Spacing, S   | Arching Capability Factor, f |
|---|------------------------------|
| $\leq 3 \times d$   | 3                            |
| $> 3 \times d$  | $0.08 * \phi (\leq 3)$       |
| $B_{eff}$ = ขนาดหน้าเสาเข็มประสิทธิภาพ = $f * b$<br>$b$ = ขนาดเสาเข็ม<br>$\phi$ = มุมเสียดทานภายในของดิน (องศา) |                              |

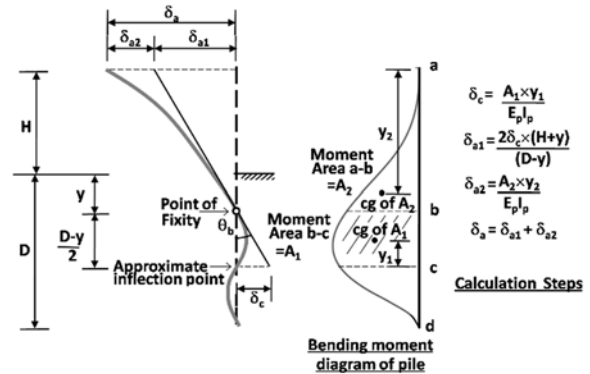
ตารางที่ 2 ตัวประกอบ Arching Capability Factor สำหรับดินเชื่อมแน่น (Cohesive soil) [2]

| Consistency :                           | Very soft | Soft      | Medium    | Stiff | Very stiff | Hard |
|---|-----------|-----------|-----------|-------|------------|------|
| $q_u$ = Unconfined comp. strength (psf) | 500       | 1000      | 2000      | 4000  | 8000       |      |
| Unit Weight (pcf)                       | 100 - 120 | 110 - 130 | 120 - 140 | 130 + |            |      |
| Arching Capability Factor f             | 1 to 2    | 1 to 2    | 2         | 2     | 2          |      |

### 3.2 วิธีการคำนวณระยะโค้งตัวของกำแพง CSPW

[2] แนะนำวิธีประมาณค่าระยะโค้งตัวสูงสุดที่ปลายด้านบน ( $\delta_a$ ) ของกำแพง CSPW ด้วย วิธี Moment Area ประยุกต์เข้ากับสมมุติฐานรูปแบบการโค้งตัวของเสาเข็มยาว (long pile) ที่มีแนว elastic line ตัดโค้งกลับซ้ายขวาเหนือปลายคานด้านล่าง และเกิดจุดยึดแน่นมีระยะโค้งตัวเป็นศูนย์

(point of zero deflection / point of fixity, Pof) ที่ตำแหน่งได้ระดับผิวดิน (y) ดังในภาพที่ 3 [2] เสนอค่าประเมินระยะ y จากผลวิเคราะห์การโค้งตัวของเสาเข็มกำแพงด้วยทฤษฎี Beam on Elastic Foundation และข้อมูลผลวัดในภาคสนาม โดยวัดระยะ y จากระดับผิวดินลงมาตามแนวแกนเสาเข็มเป็นสัดส่วนกับความยาวระยะฝังปลายเสาเข็ม (D) มีค่าระหว่าง 0 ถึง 0.75 D โดยแนะนำค่า 0.25 D สำหรับเสาเข็มที่ฝังปลายในดินแข็งหรือแน่นระดับมากถึงปานกลาง (most stiff to medium dense soils) และระดับลึก 0.75 D สำหรับดินเหนียวอ่อนหรือทรายหลวม และมีตำแหน่งจุดตัดกลับโดยประมาณ (Approximate inflection point) ของแนวเสาเข็มกำแพงที่ระยะครึ่งหนึ่งของระยะฝังปลายที่เหลือ



ภาพที่ 3 วิธีประมาณค่าระยะโค้งตัวสูงสุดที่ปลายด้านบนของแนวกำแพง CSPW [2]

### 4. วิธีการดำเนินวิจัย

เริ่มจากการวิเคราะห์โครงสร้างคานยื่นรับน้ำหนักบรรทุกทุกแผ่รูปคางหมูกกลางช่วงคาน สร้างสูตรฟังก์ชัน แรงเฉือน โมเมนต์ตัด และระยะโค้งตัวของคาน นำสูตรฟังก์ชันสร้างสเปรดชีตเพื่อใช้เป็นเครื่องมือคำนวณ สดท้ายเป็นขั้นตอนสอบเทียบผลคำนวณระหว่างวิธีที่บทความวิจัยนี้นำเสนอ กับผลคำนวณจากวิธีดั้งเดิมที่เสนอโดย [2] ด้วยโจทย์ปัญหาการออกแบบกำแพง CSPW กรณีเดียวกัน

#### 4.1 การวิเคราะห์หาสูตรฟังก์ชันแรงเฉือนและโมเมนต์ตัด

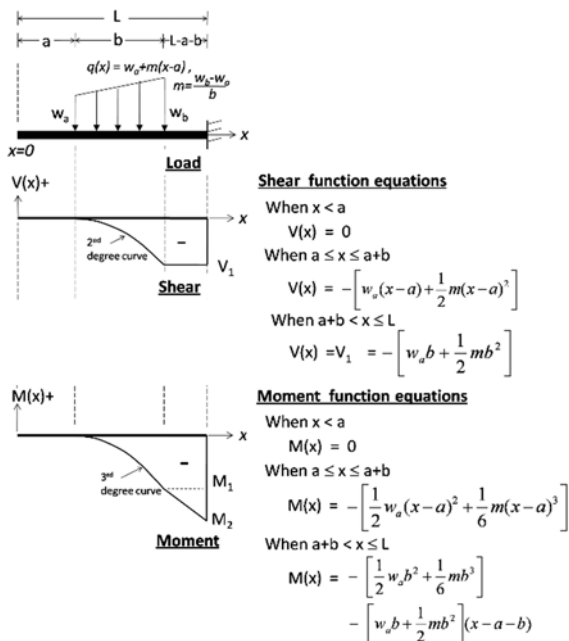
กำหนดให้ x คือตัวแปรแสดงพิกัดบนคานตามแนวยาว เริ่มวัดจากปลายคานอิสระ (x = 0) สิ้นสุดที่ความยาว L (x = L)

ด้านจุดรองรับยึดแน่น น้ำหนักบรรทุกทุกแฉ่เริ่มต้นมีค่าขนาด น้ำหนักบรรทุก/ความยาว  $w_a$  ที่พิกัด  $x = a$  แล้ว เปลี่ยนแปลงด้วยอัตราเชิงเส้น  $m$  จนมีค่า  $w_b$  บนช่วงคาน ยาว  $b$  เกิดสมการการกระจายน้ำหนักบรรทุกทุกแฉ่บนคานคือ

$$\text{เมื่อ } a \leq x \leq a+b \quad q(x) = w_a + m(x-a) \quad (1)$$

$$\text{โดย } m = (w_b - w_a)/b \quad (2)$$

สภาพน้ำหนักบรรทุกทุกตามสมการ (1) และ (2) นำมา วิเคราะห์ด้วยทฤษฎีโครงสร้างชั้นพื้นฐาน เช่น วิธีการ อินทิเกรตสมการการกระจายน้ำหนักบรรทุกเทียบกับ  $x$  ทำให้เกิดสูตรฟังก์ชันของแรงเฉือน และโมเมนต์ดัดแตกต่างกัน บนช่วงคานทั้งสามส่วน โดยมีรายละเอียดของสูตรนำเสนอ เป็นไดอะแกรมพร้อมกำกับสมการฟังก์ชันของค่าตัวแปร ระยะ  $x$  ในภาพที่ 4

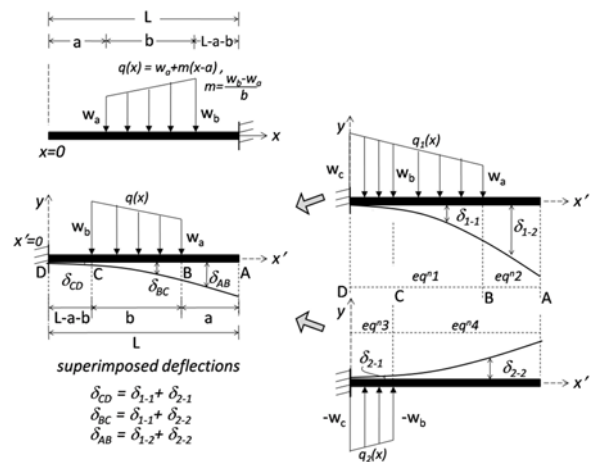


ภาพที่ 4 ไดอะแกรมแรงเฉือน โมเมนต์ดัด และสูตรฟังก์ชันของคานยื่นกรณีมีน้ำหนักบรรทุกทุกแฉ่รูปคางหมูกกลางช่วงคาน

#### 4.2 การวิเคราะห์หาสูตรฟังก์ชันระยะโก่งตัว

เนื่องจากรูปแบบน้ำหนักบรรทุกทุกแฉ่วางไม่เต็มช่วงคาน จึงนำหลักการทับซ้อน (Superposition Principal) มาร่วมประยุกต์ใช้ โดยคำนวณจากการทับซ้อนค่าระยะโก่งตัวของคานยื่น 2 ตัวขณะรับน้ำหนักบรรทุกทุกแฉ่  $q_1(x)$  และ  $q_2(x)$  ที่มีเงื่อนไขแรงกระทำบนคาน  $q(x) = q_1(x) + q_2(x)$  ดังแสดงใน

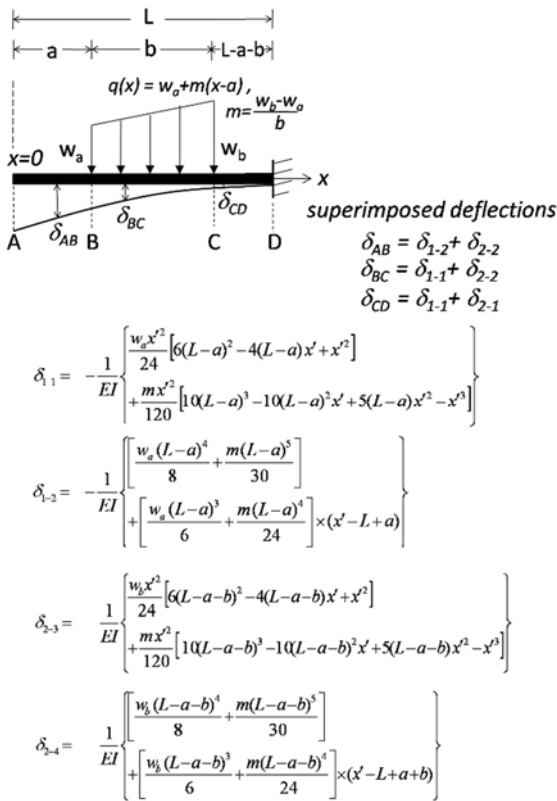
ภาพที่ 5 ได้ผลเฉลยในรูปผลรวมระยะโก่งตัวจากคานแต่ละตัว นั่นคือ  $\delta = \delta_1 + \delta_2$  โดย  $\delta_1$  และ  $\delta_2$  คือ ระยะโก่งตัวของคานยื่นรับน้ำหนักบรรทุกทุกแฉ่  $q_1(x)$  และ  $q_2(x)$  ตามลำดับ ซึ่งระยะโก่งตัวคานแต่ละกรณี มีสมการฟังก์ชันแบ่งย่อยช่วงคานออกเป็น 2 ช่วงย่อย จึงเพิ่มเลขตัวห้อยแจกแจงออกเป็นระยะโก่งตัว  $\delta_{1-1}$   $\delta_{1-2}$   $\delta_{2-1}$  และ  $\delta_{2-2}$  เพื่อระบุสมการอธิบายสูตรให้ครบถ้วน สมการฟังก์ชันทั้งหมดแสดงรายละเอียดไว้ในภาพที่ 6 ในรูปฟังก์ชันของตัวแปร  $x'$  เพื่อให้สูตรคำนวณสั้นกระชับ คำนวณง่าย ระบบพิกัด  $x'$  นี้เริ่มวัดจากปลายจุดรองรับยึดแน่น ( $x'=0$ ) ไปยังด้านปลายยื่น ( $x'=L$ ) ซึ่ง สามารถแปลงค่าจากระบบพิกัดเดิมด้วยสมการความสัมพันธ์  $x' = L - x$



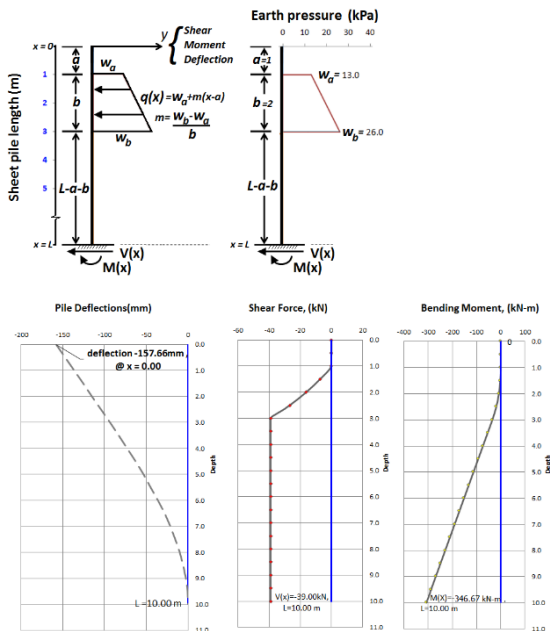
ภาพที่ 5 วิธีวิเคราะห์ค่าระยะโก่งตัวของคานยื่นที่รับภาระน้ำหนักบรรทุกทุกแฉ่รูปคางหมู  $q(x)$  ด้วยหลักการทับซ้อน

#### 4.3 การใช้สเปรดชีตคำนวณและแสดงผลจากสูตรฟังก์ชัน

ในภาพที่ 7 แสดงตัวอย่างกราฟจากสเปรดชีตของผลคำนวณโมเมนต์ดัด แรงเฉือน และระยะโก่งตัวของคาน จากสูตรฟังก์ชันของคานยื่นที่มีค่า  $L = 10$  m,  $E = 210$  GPa,  $I = 49300$  cm<sup>4</sup> ขณะรับน้ำหนักบรรทุกทุกแฉ่รูปคางหมู  $q(x)$  ที่มีค่าพารามิเตอร์  $a$ ,  $b$ ,  $w_a$ ,  $w_b$  เท่ากับ 1 m, 2 m, 13 kN/m, และ 26 kN/m ตามลำดับ โดยแบ่งคานระหว่างจุดปลายบน ( $x = 0$ ) และจุดปลายล่าง ( $x = L$ ) ออกเป็น 20 ส่วน ข้อดีของการคำนวณลงในสเปรดชีตคือ สามารถแก้ไขพารามิเตอร์ความยาว  $L$  หรือใช้การสุ่มค่าวิเคราะห์แบบ What if คำนวณหาระยะฝั่งปลายกำแพง จากเงื่อนไขสมดุลแรงในแนวราบและสมดุลโมเมนต์ได้

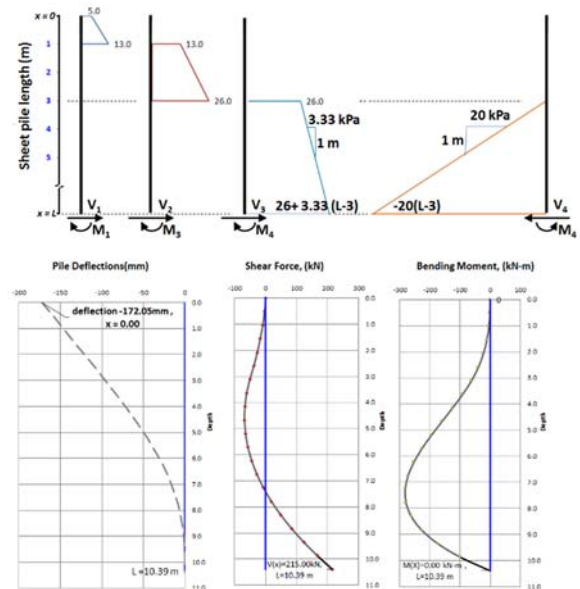


ภาพที่ 6 สมการฟังก์ชันระยะโค้งตัวของคานายื่นรับภาระน้ำหนักบรรทุกแผ่รูปคางหมู  $q(x)$



ภาพที่ 7 กราฟผลคำนวณจากสเปรดชีตด้วยสูตรฟังก์ชันระยะโค้งตัว แรงเฉือน และโมเมนต์ดัดของคานายื่นรับภาระน้ำหนักบรรทุกแผ่รูปคางหมู  $q(x)$  1 ชุด

ในภาพที่ 8 แสดงตัวอย่างการใช้สเปรดชีตของคานตัวเดิมที่จำลองปัญหากำแพงกันดินที่รับน้ำหนักบรรทุกทุกแผ่ทับซ้อนกัน 4 ชุด โดย น้ำหนักบรรทุกชุดที่ 3 และ 4 ที่กระจายตัวถึงปลายล่างของคาน ระบุพารามิเตอร์ นน.บรรทุกเฉพาะค่า  $a$   $w_0$  และ  $m$  ส่วนค่า  $b$  ใส่เป็นประพจน์สมการ  $= L-a$  ผลการวิเคราะห์แบบ What if ด้วยเงื่อนไข  $\sum M_{(x=L)} = 0$  ได้ผลคำนวณค่า  $L = 10.39\text{ m}$  ค่า  $V(x=10.39) = 215.0\text{ kN}$  และระยะโค้งตัวปลายคานบน  $172.05\text{ mm}$  ซึ่งแนวระยะโค้งตัวที่วิเคราะห์ได้เป็นแนว elastic line ของคานยื่นปลายยึดแน่นยังไม่ใช่แนวโค้งตัวของกำแพง ต้องปรับแก้ตามสมมุติฐานการโค้งตัวที่ [2] นำเสนอไว้ในหัวข้อ 3.2

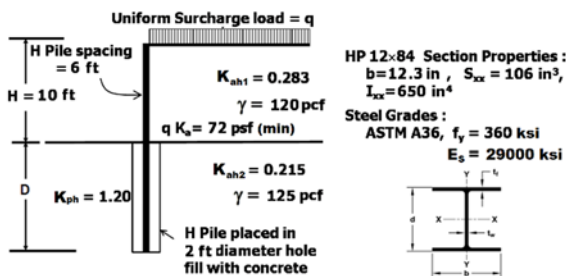


ภาพที่ 8 กราฟผลคำนวณจากสเปรดชีต กรณีคานรับภาระน้ำหนักบรรทุก 4 ชุดพร้อมกัน ร่วมกับการใช้การสุ่มค่าวิเคราะห์แบบ What if คำนวณระยะฝังปลายกำแพง

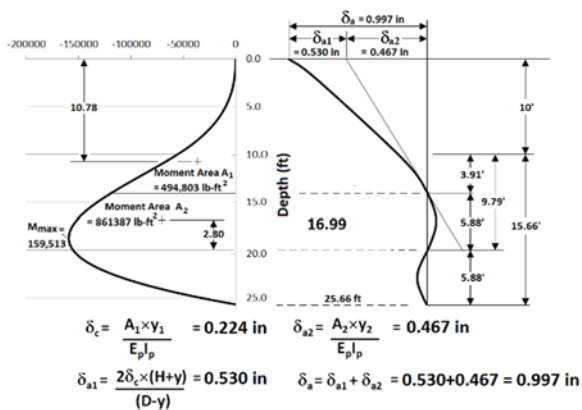
#### 4.4 การสอบเทียบผลคำนวณ

ภาพที่ 9 แสดงโจทย์ปัญหาที่เลือกมาเพื่อใช้สอบเทียบผลคำนวณ มาจากตัวอย่าง 6-3 ใน [2] โจทย์ปัญหาการออกแบบกำแพงกันดิน CSPW ได้กำหนดค่า Arching Capability Factor ( $f$ ) ค่าความความกว้างประสิทธิภาพ ( $B_{eff}$ ) ของเสาเข็ม  $= 2.88$  และกำหนดจุด  $P_{of}$  ที่ระยะ  $y = 0.25 D$  เมื่อเปรียบเทียบผลวิเคราะห์โจทย์ปัญหาของ [2] และผลคำนวณด้วยสูตรฟังก์ชันด้วยวิธี Simplified Method

เช่นกัน พบว่ากรรมวิธีคำนวณที่งานวิจัยนี้นำเสนอ มีประสิทธิภาพ ได้ผลลัพธ์ตรงกัน พบว่าเมื่อใช้ตัวประกอบความปลอดภัยลดค่าแรงดันดิน Passive ( $FS_p$ ) = 1.3 ได้ค่าความยาวระยะฝังปลายเสาเข็ม  $D$  เท่ากับ  $1.2(18.71) = 22.45$  ft ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด  $159513$  lb-ft สำหรับค่าระยะโค้งตัวสูงสุด ณ ปลายบนสุดของกำแพง ผลจากวิธีที่เสนอโดย [2] ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธี Moment Area ได้ผลลัพธ์  $\delta_a = 0.997$  in มีรายละเอียดการคำนวณที่แสดงไว้ในภาพที่ 10 ให้ค่าตรงกับการใช้สูตรฟังก์ชันระยะโค้งตัวของคานยื่นร่วมกับการปรับแก้ elastic line ด้วยสมมุติฐานรูปแบบการโค้งตัวในหัวข้อ 3.2 เช่นเดียวกัน ได้ค่าตั้งรายละเอียดการคำนวณที่แสดงไว้ในภาพที่ 11



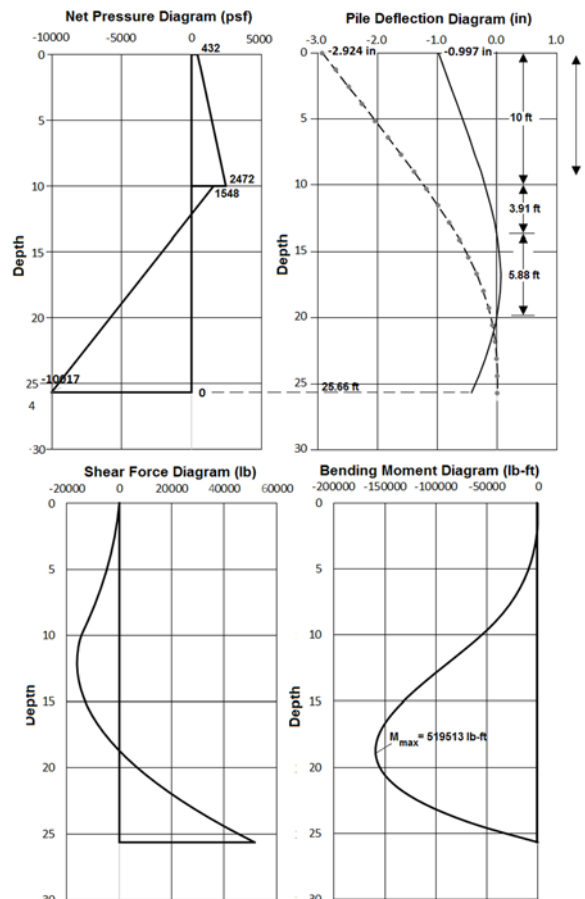
ภาพที่ 9 โจทย์ปัญหาการออกแบบกำแพงกันดิน CSPW จาก [2] ที่ใช้สอบเทียบการคำนวณระหว่างสองวิธี



ภาพที่ 10 ผลวิเคราะห์โดยวิธีอย่างง่ายปัญหาการออกแบบกำแพงกันดิน CSPW [2]

กรณีนำวิธีการคำนวณด้วยสูตรฟังก์ชันประยุกต์ใช้วิเคราะห์ออกแบบกำแพง CSPW ตามสมมุติฐานวิธี Fixed Earth Support ร่วมกับการสุ่มค่าวิเคราะห์แบบ What if คำนวณระยะฝังปลายกำแพง พบว่ากรรมวิธีคำนวณที่

นำเสนอมีประสิทธิภาพสามารถคำนวณให้ผลลัพธ์ได้เช่นกัน ได้ค่าระยะฝังปลายเสาเข็ม  $D = 21.30$  ft ( $FS_p = 1.3$ ) ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด  $159285.5$  lb-ft และค่าระยะโค้งตัวสูงสุดที่ปลายบนสุดของกำแพง  $\delta_a = 1.13$  in รูปแบบไดอะแกรมแรงดันดินสุทธิและผลวิเคราะห์จากสเปรดชีต แสดงไว้ในภาพที่ 12

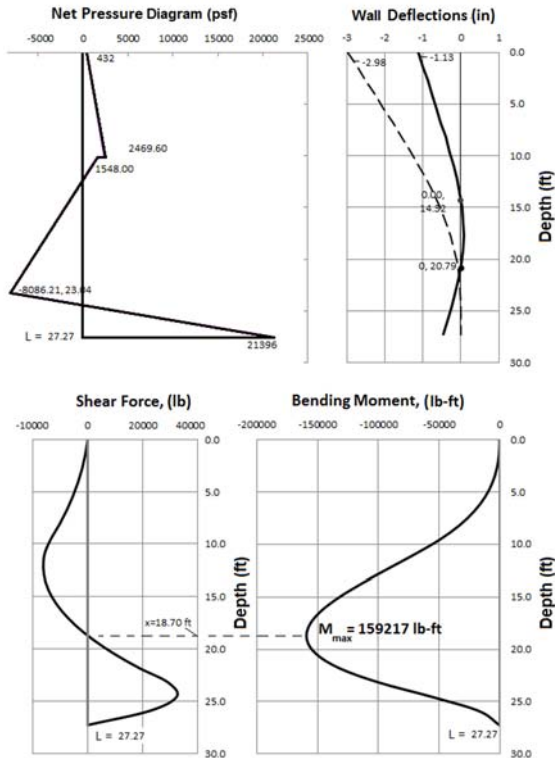


ภาพที่ 11 ผลวิเคราะห์ตัวอย่างโจทย์ปัญหาการออกแบบกำแพงกันดิน CSPW โดยสูตรฟังก์ชันวิธี Simplified Method

## 5. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

บทความวิจัยนี้ นำเสนอวิธีการประยุกต์ใช้สูตรฟังก์ชันแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด และระยะโค้งตัวจากสูตรคำนวณคานกรณีคานยื่นรับน้ำหนักบรรทุกทุกแผ่รูปคางหมูกกลางช่วงคาน เพื่อวิเคราะห์ออกแบบโจทย์ปัญหากำแพงกันดินเสาเข็มเสียบแผ่นผนังแบบคาน เมื่อสอบเทียบผลคำนวณพบว่าให้ผลวิเคราะห์ออกแบบค่าความยาวระยะฝังปลายเข็มฝังในชั้นดิน และค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดของหน้าตัดเข็มฝังที่ถูกต้อง เช่นเดียวกับผลวิเคราะห์ด้วยวิธีสร้างเงื่อนไขความสมดุลและ





ภาพที่ 12 ผลวิเคราะห์ตัวอย่างโจทย์ปัญหาออกแบก้ำแพงกันดิน CSPW โดยสูตรฟังก์ชัน วิธี Fixed Earth Support

แก้สมการที่ละชั้น และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างทั้งสองวิธีพบว่า วิธีการที่บทความนำเสนอนี้มีประสิทธิภาพดีกว่าในด้านต่างๆดังรายละเอียดที่อภิปรายต่อไปนี้

1. มีความยุ่งยากและใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่า เนื่องจากมีกระบวนการเพียง 2 ขั้นตอนคือ ป้อนข้อมูลพารามิเตอร์ของน้ำหนักบรรทุกทุกแผ่แต่ละก้อน และค่าความยาวก้ำแพงเริ่มต้น ใช้คำสั่งสูตรคำนวณวิเคราะห์แบบ What if จำนวนผลลัพธ์ได้ทันที
2. สามารถคำนวณและแสดงไดอะแกรมค่าแรงเฉือน โมเมนต์ตัด และระยะโค้งตัวตลอดความยาวแนวก้ำแพงหรือระบุตำแหน่งบนก้ำแพงที่ต้องการทราบค่าได้ เนื่องจากฟังก์ชันที่สร้างขึ้นมีความต่อเนื่องไม่ต้องสร้างสมการคำนวณออกมาทีละจุด
3. มีความยืดหยุ่นปรับได้กับโจทย์ปัญหาที่มีขอบเขตรูปแรงดันหลายเหลี่ยมที่เปลี่ยนแปลงไม่ต่อเนื่องจำนวนมากได้ โดยประยุกต์ได้กับวิธีวิเคราะห์ทั้งแบบ Simplified Method และวิธี Fixed Earth Support

## ข้อเสนอแนะ

ปรับปรุงสูตรฟังก์ชันที่ตอบสนองการใช้งานกรณีออกแบบก้ำแพงกันดินเข็มที่รับแรงดันหรือแรงกระทำรูปแบบอื่นๆ เช่น น้ำหนักบรรทุกทุกแผ่รูปโค้งเรขาคณิต แรงกระทำเป็นจุดหรือโมเมนต์บนก้ำแพง การศึกษาวิเคราะห์สูตรฟังก์ชันเพื่อคำนวณระยะโค้งตัวของแนวก้ำแพง หรือการประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์ออกแบบโครงสร้างก้ำแพงกันดินประเภทฝังปลายในชั้นดินประเภทอื่น

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Bowles, J. E. (1982). Foundation Analysis and Design, 3rd Edition. New York: McGraw Hill Book Company.
- [2] CALTRANS (2011). Trenching and Shoring Manual. California: Office of Structure Construction, California Department of the Transportation, Sacramento.
- [3] Clayton, C. R. I., Woods R. I. and Milititsky J. (1993). Pressure and Earth-Retaining Structures, 2nd Edition. Florida: CRC Press.
- [4] Goldberg, D. T., Jaworski, W. E. and Gordon, M. D. (1976). FHWA-D-75-128: Lateral Support Systems and Underpinning. Washington D.C: Federal Highway Administration.
- [5] Padfield, C. J. and Mair, R. J. 1984. CIRIA Report 104: Design of Retaining Walls Embedded in Stiff Clays. London: Construction Industry Research and Information Association.