

# กรณีศึกษาเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปัญหา งานขุดดินลึกโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

อังคณา พันธุ์หล่อ<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

Email: ank\_pun@yahoo.com

## บทนำ

บทความนี้จะนำเสนอการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์งานขุดดินลึกที่ใช้สมอยืดสามชั้นโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยนักวิจัยจากสถาบันการศึกษา 14 แห่งในประเทศเยอรมันและออสเตรีย ปัญหาตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์จะถูกกำหนดให้ในลักษณะเป็นเกณฑ์มาตรฐาน (Benchmark Problem) เดียวกัน โดยให้อิสระในการเลือกใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์และ Constitutive Soil Model จากการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ทั้งหมดพบว่า ผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน สาเหตุอาจเกิดจากความแตกต่างของวิธีการหาค่าตัวแปรต่างๆ ตลอดจนลักษณะการสร้างแบบจำลองและวิธีการวิเคราะห์

**คำสำคัญ :** งานขุดดินลึกโดยใช้กำแพงกันดินแบบมีสมอยืด, ปัญหาตัวอย่าง, ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

# **A Case Study: The Comparison of the Results obtained from the Finite Element Analysis of a Deep Excavation Benchmark Problem**

Ankana Punlor<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Lecturer, Department of Civil Engineering, College of Engineering, Rangsit University

Email: ank\_pun@yahoo.com

## **ABSTRACT**

This paper will illustrate the comparison of the results obtained from the FE-analysis of a deep excavation with anchored diaphragm wall which had been analyzed by different 14 groups of researchers from Germany and Austria. A same benchmark problem had been assigned to all groups. It was allowed to select the FE program and the constitutive soil model freely. From a comparison, the significant scatter in results had been found. The different in methods of parameter determination, FE-model constructing and analysis procedures could be the main cause of such inconsistent results.

**Keywords** : Deep excavation with anchored diaphragm wall, Benchmark problem, Finite element analysis

## บทนำ

ปัจจุบันมีการนำระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์งานด้านวิศวกรรมปฐพีอย่างแพร่หลาย ทำให้มีการพัฒนาโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์และ Constitutive Soil Model ขึ้นมาใช้อย่างต่อเนื่องและหลากหลาย ข้อเสนอแนะสำหรับกรณีวิเคราะห์ปัญหาจริงในรูปแบบต่างๆ ได้ถูกเสนอขึ้นมา แต่ยังไม่อยู่ในรูปแบบมาตรฐานที่แน่นอน ดังนั้นผู้วิเคราะห์จะต้องพิจารณาหาวิธีและขั้นตอนที่เหมาะสมในการคำนวณ รวมทั้งเลือกใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์และ Constitutive Soil Model ที่เหมาะสมด้วยตัวเอง จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นทำให้ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ปัญหาโดยผู้วิเคราะห์แต่ละคนหรือแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อเป็นการศึกษาเปรียบเทียบถึงความแตกต่างของผลการวิเคราะห์ดังกล่าว คณะทำงานของ German Geotechnical Society (Deutsche Gesellschaft fuer Geotechnik, DGGT) ได้กำหนดปัญหาตัวอย่าง (Benchmark Problem) สำหรับงานชุดดินลึกโดยใช้สมอยืดสามชั้นขึ้นมาและเชิญกลุ่มนักวิจัยจากสถานศึกษาจำนวน 14 แห่งในประเทศเยอรมันและออสเตรียเข้าร่วมในการวิเคราะห์ปัญหาตัวอย่าง และจัดงานสัมมนาในรูปของ Workshop ระหว่างวันที่ 16-17 มีนาคม 2543 เพื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้จากทุกกลุ่ม จากนั้นจึงระดมความคิดเห็นเพื่อหาข้อสรุปซึ่งสามารถนำไปใช้ในการจัดทำข้อเสนอแนะที่มีประโยชน์ต่อการวิเคราะห์ปัญหาสำหรับงานด้านวิศวกรรมปฐพีโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ให้มีความน่าเชื่อถือและสามารถตรวจสอบได้

ผู้เขียนได้ทำงานวิจัยที่ Institute of Geotechnical Engineering, University of Stuttgart ประเทศเยอรมันเป็นเวลาหนึ่งปี และได้รับมอบหมายให้เป็นตัวแทนวิเคราะห์ปัญหาตัวอย่างและเข้าร่วม Workshop ครั้งนั้น ผู้เขียนจึงเห็นควรนำเสนอข้อมูลของปัญหาตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ตลอดจนแสดงผลการเปรียบเทียบและข้อสรุปต่างๆ บางส่วน เพื่อเป็นแนวทางในการจัดงานในลักษณะคล้ายคลึงกันในประเทศไทยต่อไปในอนาคต หรือเป็นแนวคิดในการพัฒนางานด้านวิศวกรรมปฐพีในส่วนของกรณีวิเคราะห์ปัญหาจริงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งเข้ามามีบทบาทสำคัญในการทำงานด้านวิศวกรรมในปัจจุบัน

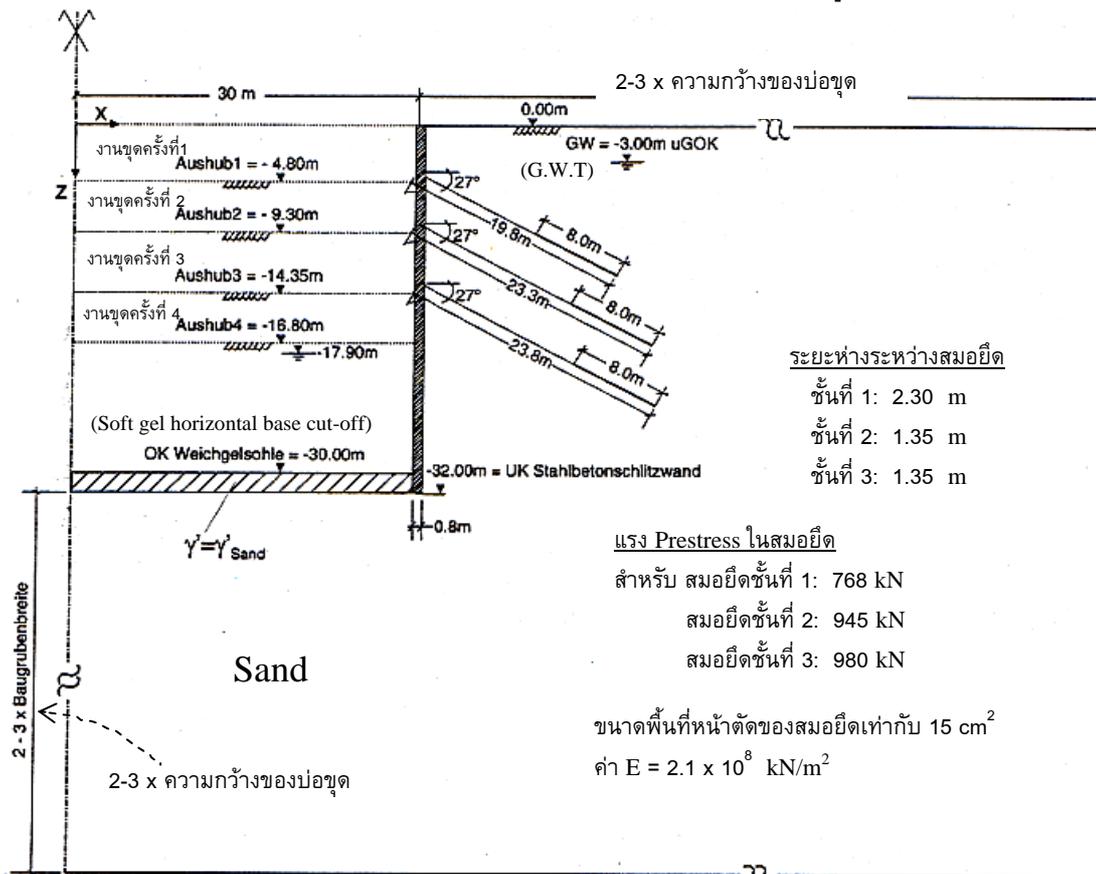
## ข้อมูลปัญหาตัวอย่างที่กำหนดให้

### ข้อมูลเบื้องต้นและ Geometry ของปัญหาตัวอย่าง

ปัญหาตัวอย่างที่ถูกกำหนดขึ้นมาคือ งานชุดดินลึกโดยใช้กำแพงกันดินแบบมีสมอยืดสามชั้น (Anchored Diaphragm Wall) โดยผู้วิเคราะห์สามารถเลือกใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์และ Constitutive Soil Model ได้โดยอิสระ ภาพตัดของปัญหาตัวอย่างแสดงไว้ในรูปที่ 1 และกำหนดให้ใช้ข้อมูลต่อไปนี้ประกอบการวิเคราะห์

- การเคลื่อนตัวของดินมีลักษณะเป็น Plain Strain
- ไม่คิดผลกระทบที่เกิดจากขั้นตอนการก่อสร้างกำแพงกันดิน กล่าวคือ สภาวะแรกกำหนดให้ไม่มีกำแพงกันดิน และในขั้นตอนแรกของการวิเคราะห์ให้ถือว่า กำแพงกันดินถูกสร้างขึ้นมาแล้ว

- การจำลองกำแพงกันดินให้ใช้ Beam Element หรือ Continuum Element
- ให้พิจารณาแรงปัดที่ผิวกำแพงกันดิน
- ในการสร้างแบบจำลอง แนะนำให้ใช้ระยะห่างจากด้านล่างบ่อขุดไปหาขอบด้านข้างและด้านล่างเท่ากับ 2-3 เท่าของความกว้างของบ่อขุด
- ชั้น Soft gel horizontal base cut-off ไม่มีผลต่อการคำนวณ
- แรง Prestress ในสมอยึด (Anchor prestressing force) กำหนดไว้ในรูปที่ 1



รูปที่ 1 Geometry ของปัญหาตัวอย่าง ขั้นตอนการขุดดินและข้อมูลอื่นๆ

#### ข้อมูลค่าตัวแปรสำหรับดินและกำแพงกันดิน

กำหนดให้ชั้นดินเป็นดินทราย (Berlin Sand) ซึ่งมีสภาพแน่นปานกลาง โดยค่าตัวแปรต่างๆ ที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์สามารถหาได้จากผลการทดสอบดินในรูปที่ 2 ถึงรูปที่ 4 สำหรับค่าตัวแปรแสดงลักษณะเม็ดดินที่ได้จากการทดสอบมีดังนี้คือ ค่า  $\rho_s = 2.66 \text{ g/cm}^3$  ค่าอัตราส่วนช่องว่างในสภาพแน่นที่สุด,  $e_{min} = 0.48$  และค่าอัตราส่วนช่องว่างในสภาพหลวมที่สุด,  $e_{max} = 0.81$  สำหรับดินคงสภาพที่ระดับความลึก 8 เมตร มีค่า  $\rho_d = 1.60 \text{ g/cm}^3$  ค่าอัตราส่วนช่องว่าง,  $e = 0.66$  และค่า Relative Density,  $D_r = 0.45$

ส่วนข้อมูลเพิ่มเติมอื่นๆ ซึ่งนำมาจากหนังสือต่างๆ กำหนดให้ดังนี้

ค่า Stiffness Modulus ของดิน,

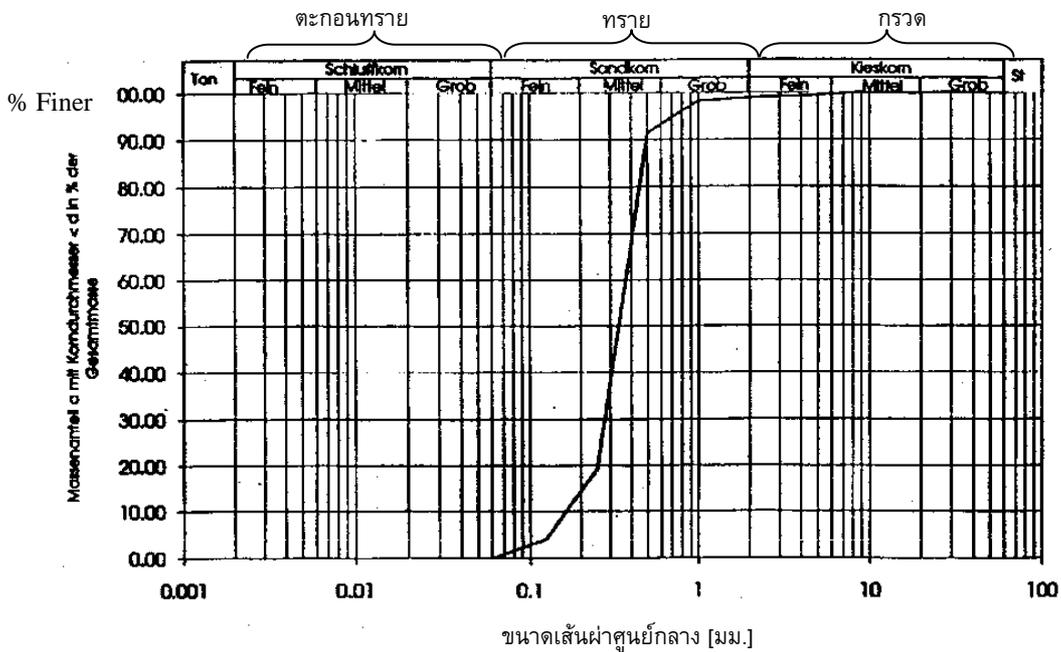
$$E_s \approx 20000\sqrt{z} \quad \text{สำหรับ } 0 < z \leq 20 \text{ m} \quad (z = \text{ความลึกวัดจากระดับผิวดิน})$$

$$E_s \approx 60000\sqrt{z} \quad \text{สำหรับ } z > 20 \text{ m},$$

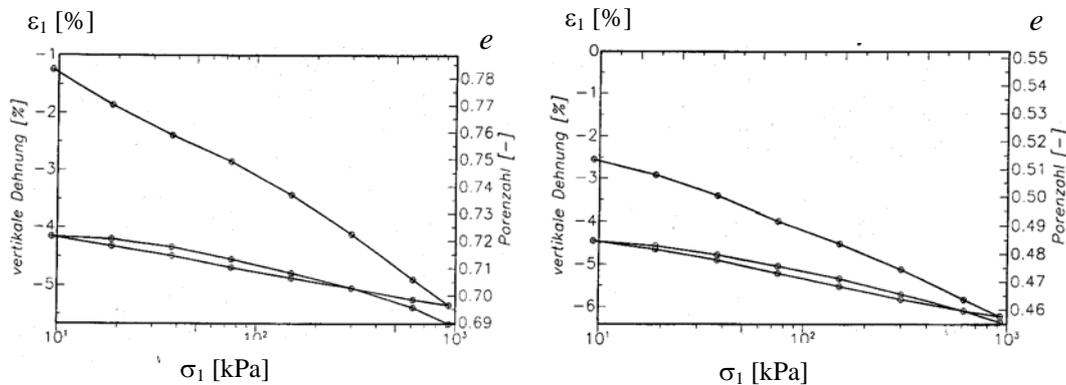
ค่า  $\phi = 35^\circ$  (ดินสภาพแน่นปานกลาง),  $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ ,  $\gamma' = 10 \text{ kN/m}^3$  และ  $K_0 = 1 - \sin\phi$

สำหรับกำแพงกันดินกำหนดให้ค่า  $E = 30,000 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$ ,  $V = 0.15$ ,  $\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$  และ

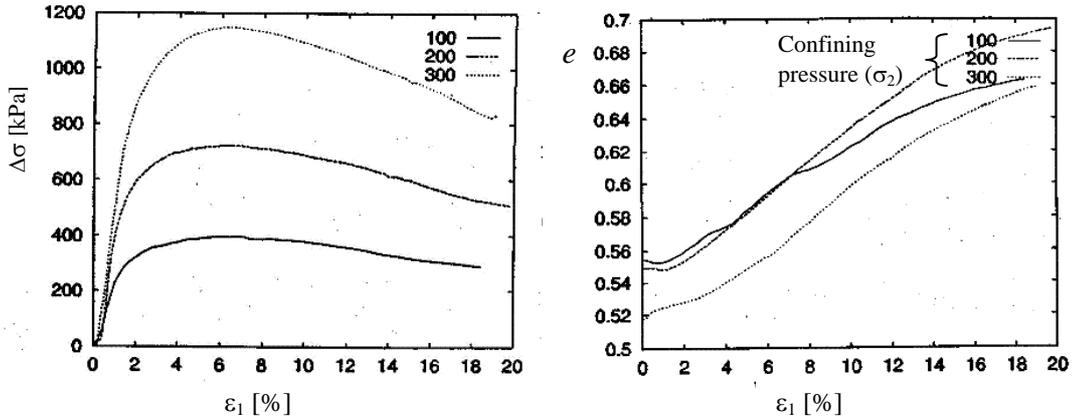
ค่า Angle of wall friction เท่ากับ  $\phi/2$



รูปที่ 2 กราฟแสดงลักษณะการกระจายตัวของเม็ดดินของ Berlin Sand



รูปที่ 3 ผลการทดสอบดินจาก Oedometer Test สภาพเริ่มต้นหลวม (ซ้าย) สภาพเริ่มต้นแน่น (ขวา)



รูปที่ 4 ผลการทดสอบดินจาก Triaxial Test:  $\Delta\sigma$ - $\varepsilon_1$  (ซ้าย)  $e$ - $\varepsilon_1$  (ขวา)  
สำหรับตัวอย่างดินสภาพเริ่มต้นแน่น ขนาดของตัวอย่างดินคือ 10x10 cm

#### ข้อกำหนดขั้นตอนการวิเคราะห์

กำหนดให้วิเคราะห์ตามลำดับขั้นตอนต่อไปนี้

1. ลดระดับน้ำใต้ดินลงไปที่ความลึก -17.90 เมตร
2. ขุดดินครั้งที่หนึ่งถึงความลึก -4.80 เมตร
3. ใส่สมอยึดและใส่แรง Prestress ที่ระดับลึก -4.30 เมตร
4. ขุดดินครั้งที่สองถึงความลึก -9.30 เมตร
5. ใส่สมอยึดและใส่แรง Prestress ที่ระดับลึก -8.80 เมตร
6. ขุดดินครั้งที่สามถึงความลึก -14.35 เมตร
7. ใส่สมอยึดและใส่แรง Prestress ที่ระดับลึก -13.85 เมตร
8. ขุดดินครั้งที่สี่ถึงความลึก -16.80 เมตร

#### การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์

ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับแบบจำลองและตัวแปรที่ถูกนำมาใช้โดยผู้วิเคราะห์จากสถาบันการศึกษาต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 1 และ 2 โดยช่องแรกของตารางที่ 1 แสดงชื่อของกลุ่มผู้วิเคราะห์ซึ่งจะแทนด้วยสัญลักษณ์ B1 ถึง B14 (โดยไม่มีการระบุชื่อจริงของสถานศึกษา และเนื่องจากมีสองกลุ่มคือ B3 และ B9 ได้ทำการวิเคราะห์เป็นสองแบบโดยใช้ Constitutive Soil Model ที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงใส่สัญลักษณ์ B3a และ B9a เพิ่มขึ้นมา) ช่องถัดไปแสดงชื่อของโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ใช้ชื่อของ Constitutive Soil Model ค่า Stiffness Modulus ของดิน และข้อมูลอื่นๆ ตามลำดับ

จากข้อมูลในตารางที่ 1 พบความแตกต่างที่เด่นชัดในการเลือกใช้ Constitutive Soil Model ซึ่งจะส่งผลต่อการเลือกตัวแปรมาใช้ในการวิเคราะห์ ตัวอย่างเช่น สำหรับ Hypoplastic Soil Model นั้นไม่

ต้องการค่า Stiffness Modulus ส่วนผู้วิเคราะห์ส่วนใหญ่ที่ใช้ Constitutive Soil Model อื่นๆ ได้แบ่งชั้นดินเป็นหลายชั้น และกำหนดให้ค่า Stiffness Modulus แปรผันตามความลึกของดิน มีเพียงกลุ่ม B3, B3a และ B13 ที่กำหนดให้เป็นค่าคงที่

สำหรับค่า Poisson Ratio,  $\nu$  จะอยู่ระหว่าง 0.20 ถึง 0.35 ส่วนค่า Friction Angle ของดินไม่ต่างกัน ( $35^\circ < \phi < 36^\circ$ ) ยกเว้นกลุ่ม B7 ( $\phi = 40.5^\circ$ ) และค่า Dilatancy Angle,  $\psi$  อยู่ระหว่าง  $0^\circ$  ถึง  $15^\circ$

	Program	Soil Model	E-modulus	$\nu$ [-]	$\phi$ [°]	$\psi$ [°]	ขนาดแบบจำลองกว้าง x สูง [m]
B1	Tunnel	Mohr-Coulomb	แปรผันตาม $\sigma$ (Ohde)	0.3	35	5	100x64
B2	PLAXIS	Hardening-Soil (z<40m) Mohr-Coulomb(z>40m)	แปรผันตาม $\sigma$ MC-linear	0.2	36	6	100x100
B3	Abaqus	Hypoplastic without Intergranular Strain					161x162
B3a	Abaqus	Hypoplastic with Intergranular Strain					161x162
B4	Ansys	Drucker Prager	แปรผันตาม $\sigma$ โดยแบ่งดินเป็น 43 ชั้น	0.3	35	0	105x107
B5	Sofistik	Mohr-Coulomb	แปรผันตาม $\sigma$ โดยแบ่งดินเป็น 6 ชั้น	0.3	35	15	80x60
B6	Z_Soil	Mohr-Coulomb	แปรผันตาม $\sigma$ โดยแบ่งดินเป็นชั้นๆ	0.3	35	15	122x90
B7	FEEREPT	Zienkiewicz/Pande/Schad	60000 kN/m <sup>3</sup>	0.26	40.5	13.5	90x60
B8	PLAXIS	Hardening Soil 2 layers (z<20m) (z>20m)	แปรผันตาม $\sigma$	0.2	35	10	90x70
B9	PLAXIS	Mohr-Coulomb	แปรผันตาม $\sigma$ โดยแบ่งดินเป็น 3 ชั้น	0.35	35	5	150x100
B9a	PLAXIS	Hardening-Soil	แปรผันตาม $\sigma$	0.2	35	10	150x100
B10	PLAXIS	Hardening-Soil	แปรผันตาม $\sigma$	0.2	36	6	100x72
B11	PLAXIS	Hardening Soil 2 layers (z<20m) (z>20m)	แปรผันตาม $\sigma$	0.3	35	0	150x120
B12	PLAXIS	Mohr-Coulomb	แปรผันตาม $\sigma$ โดยแบ่งดินเป็น 9 ชั้น	0.3	35	4	90x92
B13	Abaqus	Hypoplastic with Intergranular Strain					100x100
B14	BEFE	Shear Hardening Model with small strain stiffness	แปรผันตาม $\sigma$	0.2	35	5	120x100

ตารางที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานที่กลุ่มต่างๆ เลือกใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาตัวอย่าง

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูล Element Type ของดิน กำแพงกันดิน สมอียัด Grout Body และ Interface ที่ใช้ในแบบจำลอง รวมทั้งข้อมูลการนำผลการทดสอบดินมาใช้ในการหาค่าตัวแปรต่างๆ พร้อมข้อสังเกต เช่น มีการใส่แรง Prestress ที่สมอียัดหรือไม่ หรือข้อกำหนดพิเศษอื่นๆ ตลอดจนข้อผิดพลาดที่พบ

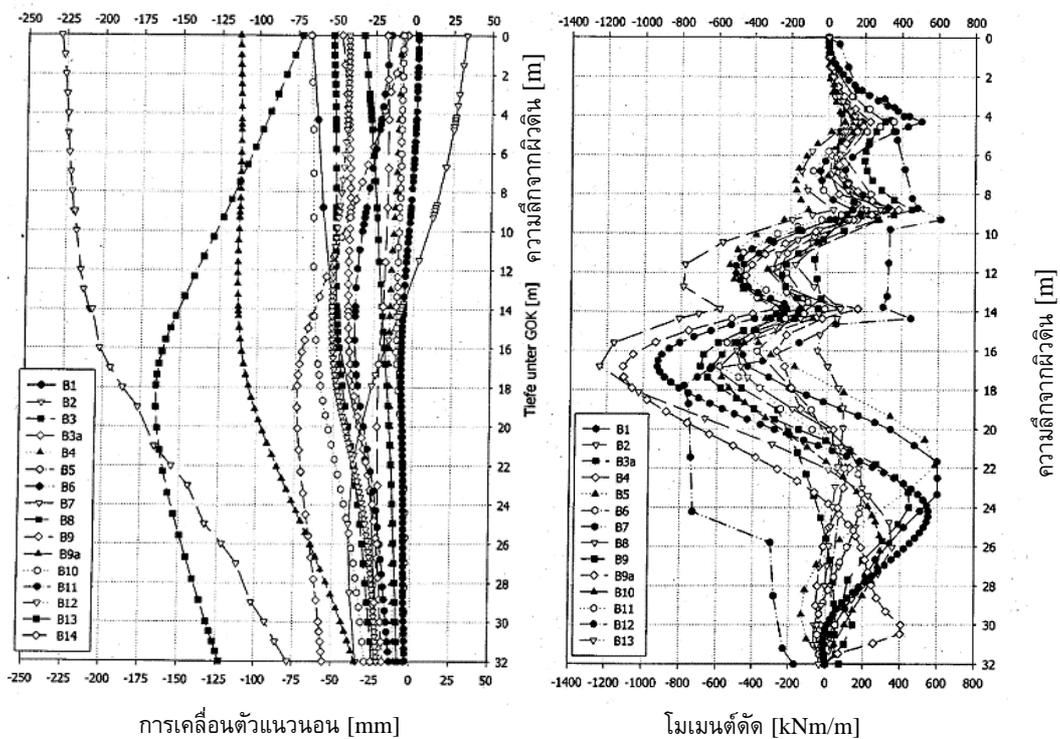
	Element Type for Soils	Element Type for Wall	Element Type for Anchors/Grout Body	Element Type for Interface	Laboratory Tests	Remark
B1		Continuum 9 nodes	Rods/Membrane		ไม่นำมาคิด	Prestress สมอยึด?
B2	สี่เหลี่ยม	Beam	Rod/Membrane	PLAXIS $R_{inter}=0.5$ $E_{inter}>E_{soil}$	นำมาคิด	ค่า $\gamma$ ผิดพลาดเล็กน้อย
B3	linear	Continuum 4 nodes	Rod Ele./Rod Ele.	หนา=0, $\phi=20^\circ$	นำมาคิด	Prestress สมอยึด?
B3a	linear	Continuum 4 nodes	Rod Ele./4-5 Rod Ele.	หนา=0, $\phi=20^\circ$	นำมาคิด	Prestress สมอยึด?
B4	linear	Continuum 4 nodes	Rod Ele./8 Rod Ele.		ไม่นำมาคิด	Prestress สมอยึด?
B5		Beam	Spring	ไม่มี interface	ไม่นำมาคิด	Prestress สมอยึด?
B6					ไม่นำมาคิด	Prestress สมอยึด? ใช้ $E_s$ แทน $E$ ?
B7	สี่เหลี่ยม	Continuum	Continuum/ Continuum	$\phi=20.25^\circ$	ไม่นำมาคิด	$C=2.5 \text{ kN/m}^2$ Capillary cohesion
B8	สี่เหลี่ยม	Beam	Rod Ele./ Membrane Ele.	PLAXIS	Reload/Unload สำหรับดินชั้นที่ หนึ่งคิดจาก Oedometer สำหรับดินชั้นที่ สองคิดจาก Triaxial	
B9	สี่เหลี่ยม	Beam	Rod Ele./Membrane Ele.	PLAXIS $R_{inter}=0.5$		
B9a	สี่เหลี่ยม	Beam	Rod Ele./Membrane Ele.	PLAXIS $R_{inter}=0.5$	พิจารณาผลจาก Triaxial	
B10	สี่เหลี่ยม	Beam	Rod Ele./Membrane Ele.	PLAXIS $R_{inter}=0.61$	ใช้ค่า $E$ สองเท่า ของค่าจากการ ทดสอบ	ค่า $\gamma$ ผิดพลาดเล็กน้อย
B11	สี่เหลี่ยม	Beam	Rod Ele./Membrane Ele.	PLAXIS Rigid?	ไม่นำมาคิด	Prestress สมอยึด?
B12	สี่เหลี่ยม	Beam	Rod Ele./Membrane Ele.	PLAXIS $R_{inter}=0.5$		Prestress สมอยึด? ค่า $\gamma$ ผิดพลาดเล็กน้อย
B13	linear+intern	Beam linear	Rod Ele.	$\phi=15.5^\circ$	ใช้ค่าจากหนังสือ	สมอยึดยาวถึงขอบ แบบจำลอง, ไม่มี Grout Body
B14	สี่เหลี่ยม	Continuum 8 nodes	Rod Ele./2 Membrane Ele.	หนา=0, $\phi=17.5^\circ$		

ตารางที่ 2 ข้อมูลพื้นฐานที่กลุ่มต่างๆ เลือกใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาตัวอย่าง (เพิ่มเติมจากตารางที่ 1)

ปัญหาตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์นำมาจากปัญหาจริงที่ดำเนินการก่อสร้างไปแล้ว โดยนำมาทำให้อยู่ในรูปแบบที่ง่ายต่อการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบ และข้อมูลจริงที่ได้จากเครื่องมือวัดในสนามจะถูกนำมาใช้เป็นบรรทัดฐานในการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ทั้งหมด ในที่นี้กำหนดให้ผู้วิเคราะห์แสดงผลการวิเคราะห์จากทุกชั้นตอนการวิเคราะห์ตามหัวข้อที่ 2.3 โดยแสดงผลในรูปแบบของการเคลื่อนตัวแนวอนของกำแพง การกระจายของโมเมนต์ดัด แรงดันดินด้านข้าง-แนวตั้งและแรงในสมอยึด และอื่นๆ เนื่องจากข้อจำกัดเรื่องพื้นที่ ในบทความนี้จะแสดงเพียงผลการวิเคราะห์จากชั้นตอนสุดท้ายโดยแบ่งตามหัวข้อได้ดังนี้

**เส้นแสดงการเคลื่อนตัวแนวอนและโมเมนต์ดัดของกำแพงจากชั้นตอนสุดท้ายของการวิเคราะห์**

จากเส้นแสดงการเคลื่อนตัวแนวอนของกำแพงในรูปที่ 5 ซึ่งเป็นผลจากชั้นตอนสุดท้ายของการวิเคราะห์ พบว่าที่ส่วนบนสุดของกำแพงมีการเคลื่อนตัวอยู่ระหว่าง -229 ถึง +33 มม. (เครื่องหมายลบหมายถึงการเคลื่อนตัวเข้าไปหาบ่อขุด) ขณะที่จุดปลายด้านล่างของกำแพงมีความแตกต่างของค่าการเคลื่อนตัวสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 122 มม. ในส่วนของการกระจายของโมเมนต์ดัดพบว่ารูปแบบที่ได้จากการวิเคราะห์ของกลุ่ม B1 ถึง B7 มีความคล้ายคลึงกันมาก แต่อย่างไรก็ตามค่าที่ได้นั้นก็มีความแตกต่างกันถึง 100 %



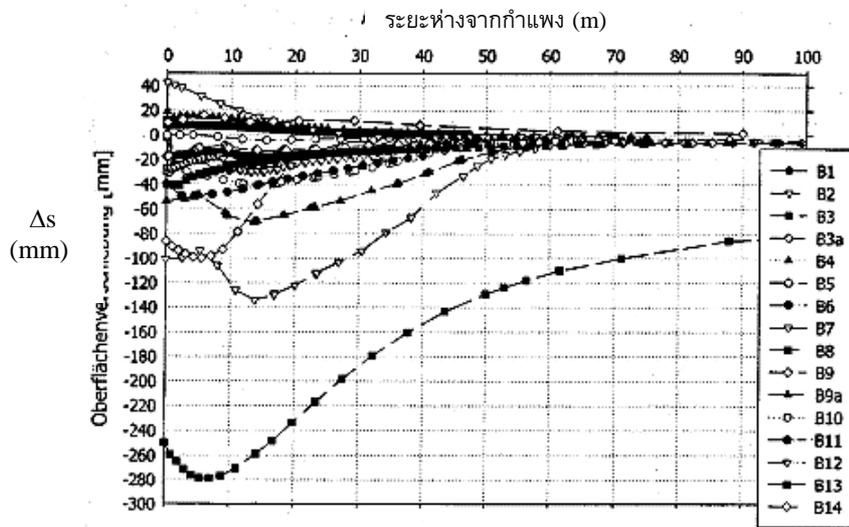
รูปที่ 5 เส้นการเคลื่อนตัวแนวอนของกำแพงและโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นจากชั้นตอนสุดท้ายของการวิเคราะห์

**การเคลื่อนตัวของผิวดินจากขั้นตอนสุดท้ายของการวิเคราะห์**

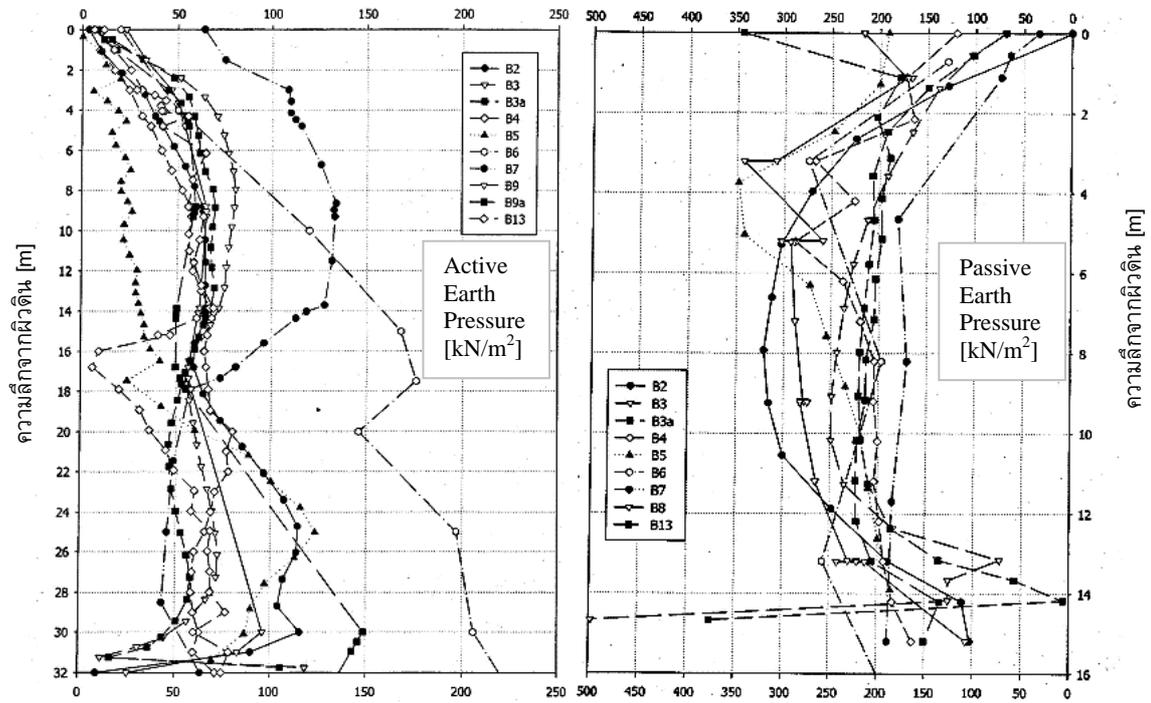
การเคลื่อนตัวของผิวดิน ( $\Delta s$ ) จากขั้นตอนสุดท้ายของการวิเคราะห์แสดงในรูปที่ 6 เมื่อพิจารณาโดยรวมพบว่า ค่ามีการกระจายค่อนข้างมาก นั่นคือ เกิดการปูดตัว (Heave) ถึง +40 มม. จนถึงการทรุดตัว -135 มม. ในที่นี้ไม่นำผลจากกลุ่ม B3 มาคิดเนื่องจากมีค่าการทรุดตัวที่สูงกว่ากลุ่มอื่นๆ อย่างชัดเจน

**การกระจายของแรงดันด้านข้างของดินจากขั้นตอนสุดท้ายของการวิเคราะห์**

จากรูปที่ 7 พบว่าการกระจายของแรงดันดินด้านข้างแบบ Active ของกลุ่มผู้วิเคราะห์ส่วนใหญ่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาโดยรวมพบความแตกต่างของค่าแรงดันดินถึง 100% ทั้งในส่วน of แรงดันดินด้านข้างแบบ Active และ Passive



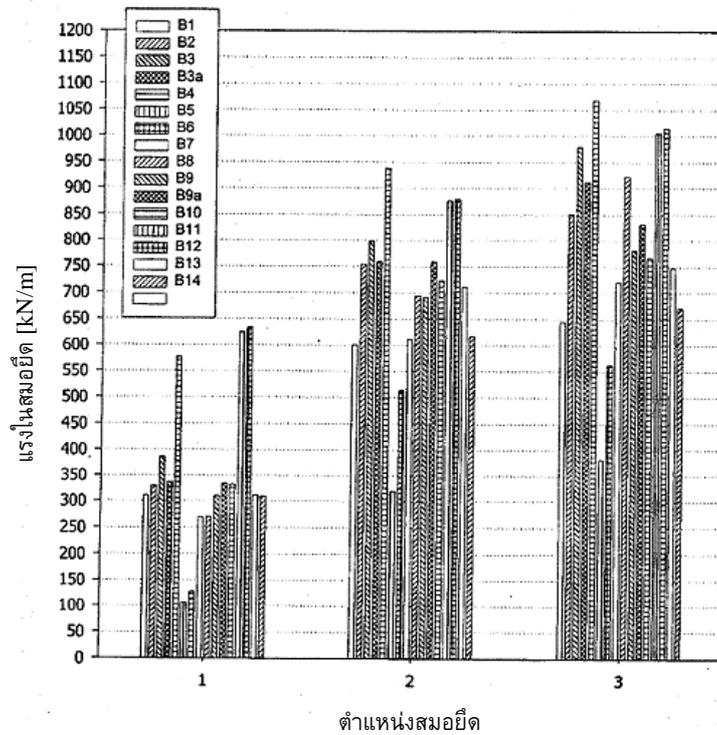
รูปที่ 6 การเคลื่อนตัวของผิวดินจากขั้นตอนสุดท้ายของการวิเคราะห์



รูปที่ 7 แรงดันด้านข้างของดินจากชั้นตอนสุดท้ายของการวิเคราะห์

ค่าแรงในสมอยืดจากชั้นตอนสุดท้ายของการวิเคราะห์

รูปที่ 8 แสดงแรงที่เกิดขึ้นในสมอยืดในแต่ละชั้นจากชั้นตอนสุดท้ายของการวิเคราะห์ ข้อสังเกตคือมีเพียงกลุ่ม B2, B7, B8, B9, B9a, B10, B13 และ B14 เท่านั้นที่ใส่แรง Prestress ในสมอยืด



รูปที่ 8 แรงในสมอียดชั้นที่ 1-3 จากชั้นตอนสุดท้ายของการวิเคราะห์

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปัญหาตัวอย่างจากทุกกลุ่มซึ่งแสดงในรูปที่ 5 ถึงรูปที่ 8 พบว่า ค่าต่างๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์มีลักษณะค่อนข้างกระจายและแตกต่างกันมาก ถึงแม้ว่าปัญหาตัวอย่างจะกำหนดสิ่งต่างๆ ไว้ค่อนข้างชัดเจน แต่ผู้วิเคราะห์จากกลุ่มต่างๆ จะใช้วิจรณ์ญาณในการเลือกใช้ข้อมูลจากข้อกำหนด รวมทั้งหาวิธีแปรผลการทดสอบดินเพื่อให้ได้ค่าตัวแปรที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์ ซึ่งจะแตกต่างกันไปตาม Constitutive Soil Model ที่เลือกใช้ นอกจากนี้ยังพบความแตกต่างที่ชัดเจนในเรื่องขนาดของแบบจำลอง ขณะเดียวกันโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ที่เลือกใช้จะส่งผลต่อการสร้างแบบจำลองที่ต่างกันไป เช่น การเลือกประเภทของ Element สำหรับดิน สมอียดและกำแพงกันดิน การจำลองสมอียด วิธีการใส่แรง Prestress ในสมอียด การจำลอง Interface และอื่นๆ เป็นต้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้อาจเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้แตกต่างกันมาก

ดังนั้นเพื่อให้ผลการวิเคราะห์ปัญหาจริงในทางปฏิบัติมีความถูกต้อง น่าเชื่อถือและตรวจสอบได้ ผู้วิเคราะห์ควรคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้ คือ

- การหาค่าตัวแปรมาใช้ในการวิเคราะห์โดยการแปรผลการทดสอบดิน ควรทำด้วยความระมัดระวังโดยคำนึงถึงสภาพจริงของดินในสนาม และควรตรวจสอบความถูกต้องของค่าตัวแปรต่างๆ ก่อนที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์
- การสร้างแบบจำลองจะต้องอาศัยความรู้พื้นฐานที่ถูกต้อง ตลอดจนประสบการณ์ในการวิเคราะห์ แม้ว่าโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ในปัจจุบันสามารถนำมาใช้งานได้ง่าย แต่ความถูกต้องและน่าเชื่อถือของผลการวิเคราะห์นั้นขึ้นอยู่กับผู้วิเคราะห์เป็นหลัก

ในส่วนของสถานศึกษาในประเทศไทยควรที่จะเพิ่มการสอนวิชาพื้นฐานเกี่ยวกับการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อเป็นการสร้างความรู้ที่จำเป็นให้กับผู้เรียนก่อนที่จะออกไปทำงานจริง นอกจากนี้กลุ่มนักวิจัยด้านนี้ควรเผยแพร่ความรู้และประสบการณ์ในการทำงานหรือการวิจัย ตลอดจนร่วมมือกับหน่วยงานเอกชนซึ่งมีโอกาสวิเคราะห์ปัญหาจริงด้านวิศวกรรม เพื่อพัฒนางานด้านนี้ให้ก้าวหน้าและสามารถนำไปใช้ได้อย่างมั่นใจและน่าเชื่อถือ

#### เอกสารอ้างอิง

- D.M. Potts. 2003. Numerical Analysis: a virtual dream or practical reality. **Geotechnique**. 6: 535-573.
- D.M. Potts and L. Zdravkovic. 1999. Finite Element Analysis in Geotechnical Engineering: Theory. Thomas Telford.
- H.F. Schweiger (Redaktion). 2000. **Beitraege zum Workshop "Verformungsprognose fuer tiefe Baugruben"** 16-17 March 2000. Stuttgart, Germany.
- M.Puller. 1998. Deep Excavations a Practical Manual. Thomas Telford.