

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

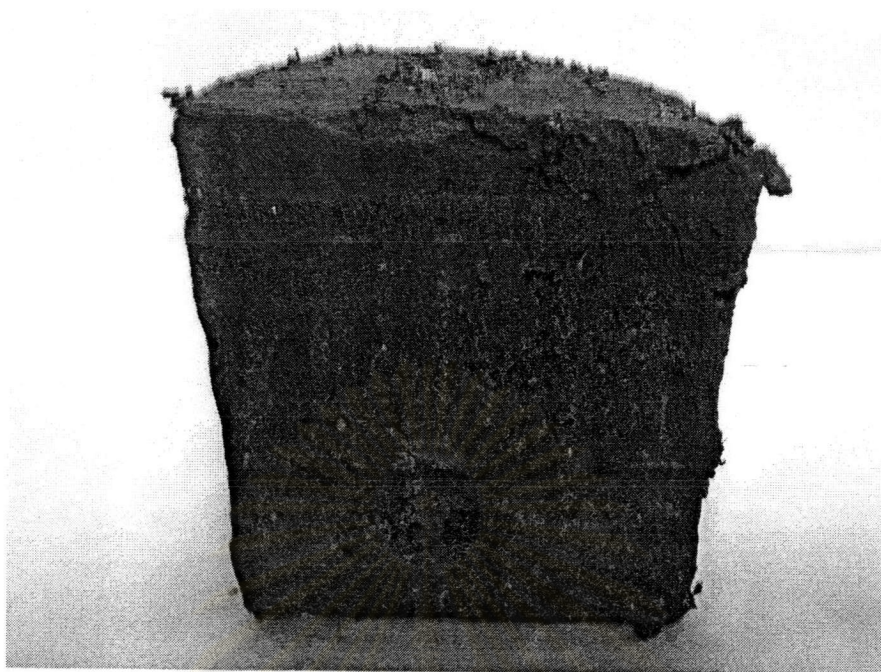
4.1 บทนำ

ผลการทดลองของงานวิจัยนี้ จะเป็นผลการทดสอบของดินเหนียวภายในกรุงเทพ เพื่อหาค่าโมดูลัสแบบเฉือน (equivalent shear modulus) โดยวิธีทดสอบแบบ bender element ในเครื่องมือทดสอบที่ทำขึ้นมาใหม่ ซึ่งตัวอย่างดินที่นำมาใช้ทดสอบเป็นดินตัวอย่างที่นำมาจากบริเวณเขตตลิ่งชัน การทดสอบจะทำเหมือนกับการทดสอบ consolidation test พร้อมกับวัดหาค่าแรงดันด้านข้าง

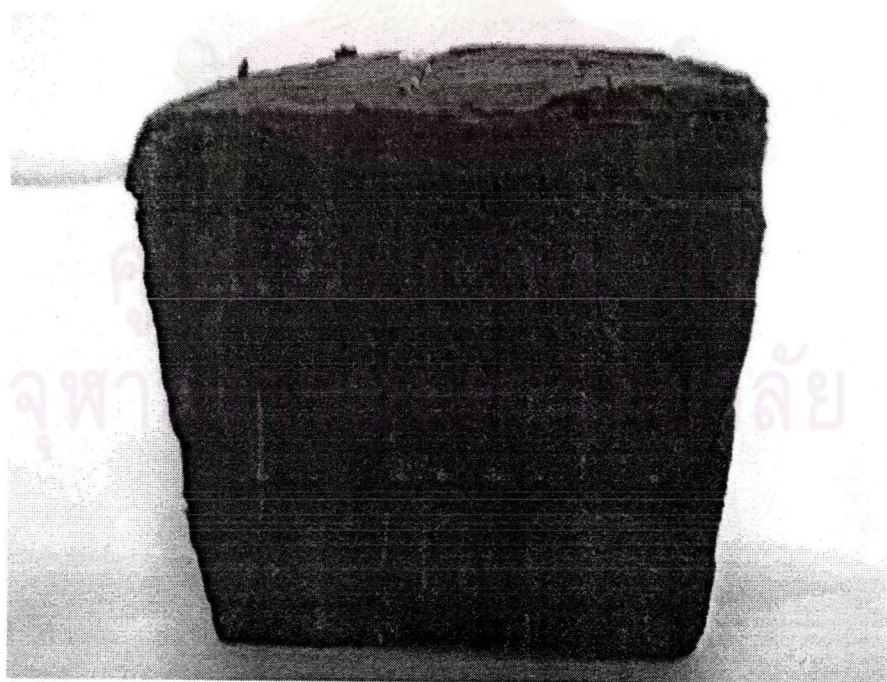
สำหรับการศึกษาและทดลองในงานวิจัยนี้จะศึกษาถึงผลกระทบที่มีต่อค่าโมดูลัสแบบเฉือนโดยพิจารณาถึงผลของ หน่วยแรงประสิทธิผล , ค่าหน่วยแรงแบกทานในอดีต (maximum past pressure) และคุณสมบัติทางกายภาพ และศึกษาพฤติกรรมของโมดูลัสแบบเฉือน

4.2 คุณสมบัติทางกายภาพของดินตัวอย่างที่นำมาทดสอบ

ดินที่นำมาทดสอบจะมีลักษณะเนื้อดินละเอียดสีดํา ในระดับความลึก 7.50 – 8.20 ม. จะพบมีเศษเปลือกหอยปนอยู่บ้าง ค่า Plastic Index (PI) อยู่ประมาณ 27 % ความชื้นธรรมชาติของตัวอย่างดินประมาณ 44 % ความหนาแน่นรวม γ_T 1.61 ส่วนที่ระดับความลึก 9.00 – 14.20 ม. มีลักษณะเป็นเนื้อดินละเอียดสีดํา และมีทรายสีเทาปนอยู่บ้างในระดับ 13.50 – 14.20 ม. ค่า Plastic Index (PI) อยู่ประมาณ 41 – 46 % ความชื้นธรรมชาติของตัวอย่างดินประมาณ 63 – 68 % ความหนาแน่นรวม γ_T 1.63 – 1.67



รูปที่ 4.1 ลักษณะของดินที่ใช้ในการทดสอบที่ระดับความลึก 7.50 – 8.20 m.



รูปที่ 4.2 ลักษณะของดินที่ใช้ในการทดสอบที่ระดับความลึก 9.00 – 9.70 m.



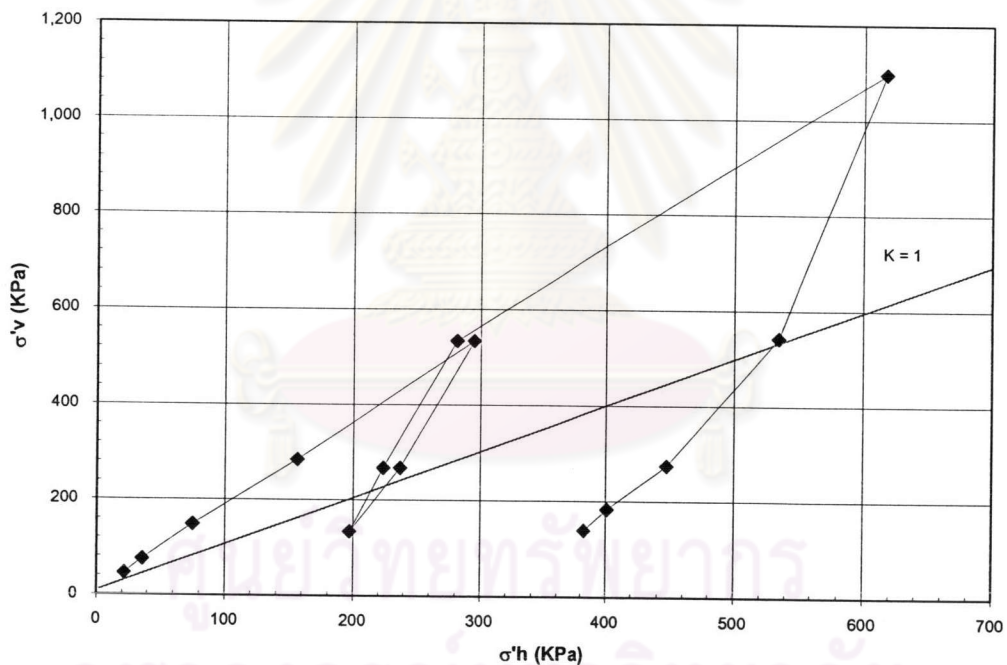
รูปที่ 4.3 ลักษณะของดินที่ใช้ในการทดสอบที่ระดับความลึก 13.50 – 14.20 m.

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของตัวอย่างดินที่นำมาทดสอบในงานวิจัยนี้

ระดับความลึก (ม.)	7.50 – 8.20	9.00 – 9.70	13.50 – 14.20
ปริมาณความชื้น $w(\%)$	44.26	67.23	63.68
ขีดเหลว $LL(\%)$	48.19	71.97	78.21
ขีดพลาสติก $PL(\%)$	20.78	30.49	32.18
ดัชนีพลาสติก $PI(\%)$	27.41	41.48	46.03
หน่วยน้ำหนักรวม $\gamma_T (t/m^3)$	1.61	1.63	1.66
ความถ่วงจำเพาะ G_s	2.65	2.68	2.69
แรงดันในอดีตสูงสุด (KPa)	87		148

4.3 ค่าของอัตราส่วนหน่วยแรงประสิทธิผล ($K=\sigma'_h/\sigma'_v$) ของดินตัวอย่าง

จากการทดสอบเมื่อให้น้ำหนักแก่ตัวอย่าง สามารถวัดค่าหน่วยแรงประสิทธิผลทางด้านข้างจากการอ่าน dial gauge ที่ติดกับ proving ring ในช่วงแรกที่ใส่น้ำหนักแก่ตัวอย่างค่าของหน่วยแรงประสิทธิผลทางด้านข้างที่ได้จะมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้ง (σ'_h/σ'_v) โดยที่ค่า $K=\sigma'_h/\sigma'_v$ จะอยู่ช่วงระหว่าง 0.47 – 0.49 และเมื่อให้น้ำหนักแก่ตัวอย่างดินต่อไป ค่าของ σ'_h/σ'_v จะอยู่ช่วงระหว่าง 0.5 – 0.63 ช่วงระหว่างที่มีการถอดเอาน้ำหนักออกจากตัวอย่างค่าของ σ'_h/σ'_v จะมีค่าสูงโดยจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.9 – 2.8



รูปที่ 4.4 ค่า σ'_h กับ σ'_v ที่ได้จากการทดสอบวิธีที่ 1 (เตรียมตัวอย่างดินในแนวตั้ง)
ดินตัวอย่างที่ระดับความลึก 7.50 – 8.20 m.

4.4 ผลของหน่วยแรงประสิทธิผลที่มีผลต่อโมดูลัสแบบเฉือน

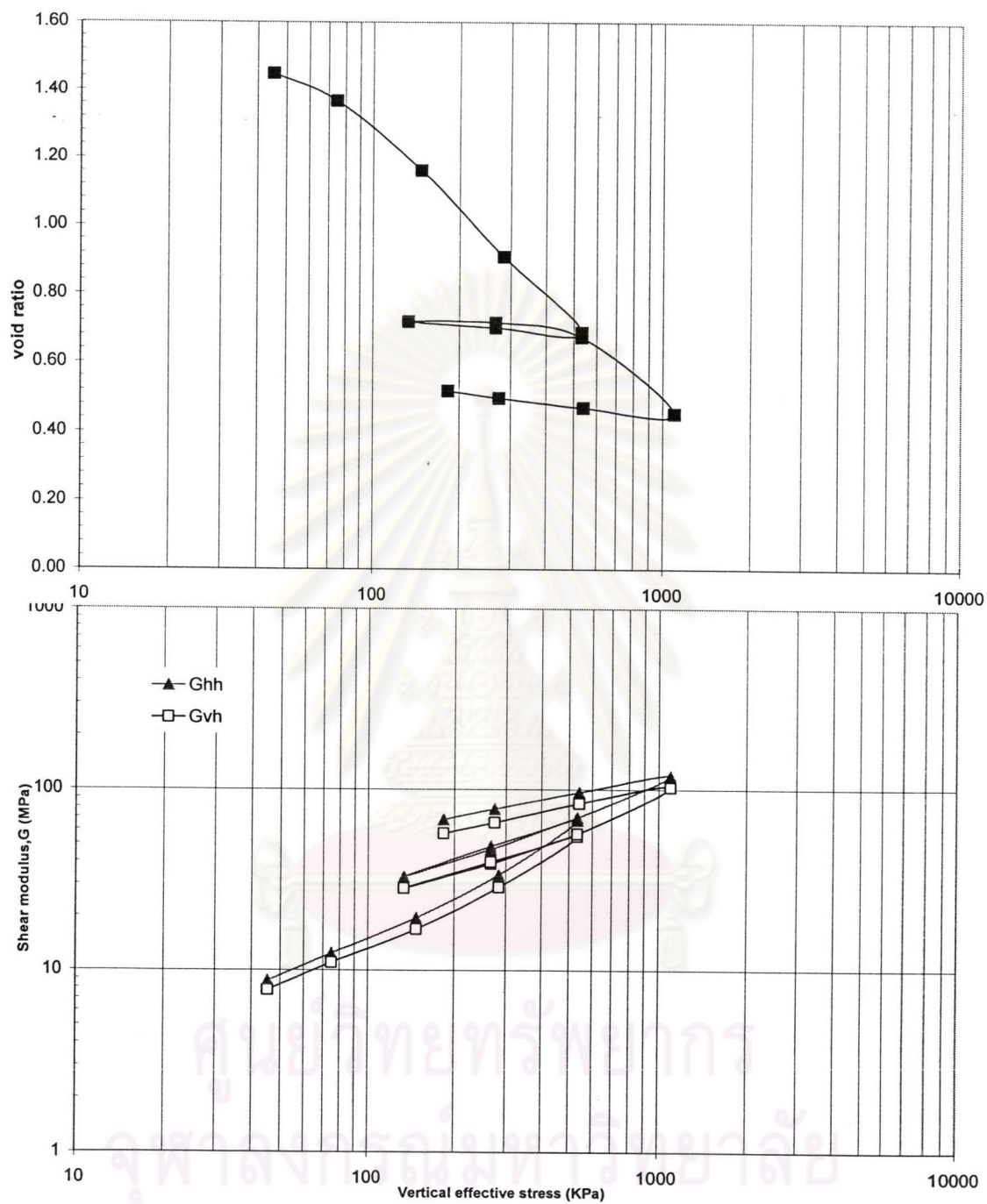
ในการทดสอบหาค่าโมดูลัสแบบเฉือนหลังจากการอัดตัวคายน้ำ (consolidation) ลึกลงในแต่ละชั้น เมื่อทำการเพิ่มน้ำหนักหรือเพิ่มหน่วยแรงประสิทธิผล (effective stress) ต่อดัตัวอย่างดินพบว่า ค่าโมดูลัสแบบเฉือนจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อหน่วยแรงประสิทธิผลของดัตัวอย่างดินมีค่าสูง

เมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์ $G = \rho V^2$ ในผลการทดสอบพบว่าความหนาแน่นของตัวอย่างเพิ่มขึ้นและค่าความเร็วของคลื่นความเค้นที่วัดได้มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อหน่วยแรงประสิทธิผลเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าโมดูลัสแบบเฉือน (shear modulus)

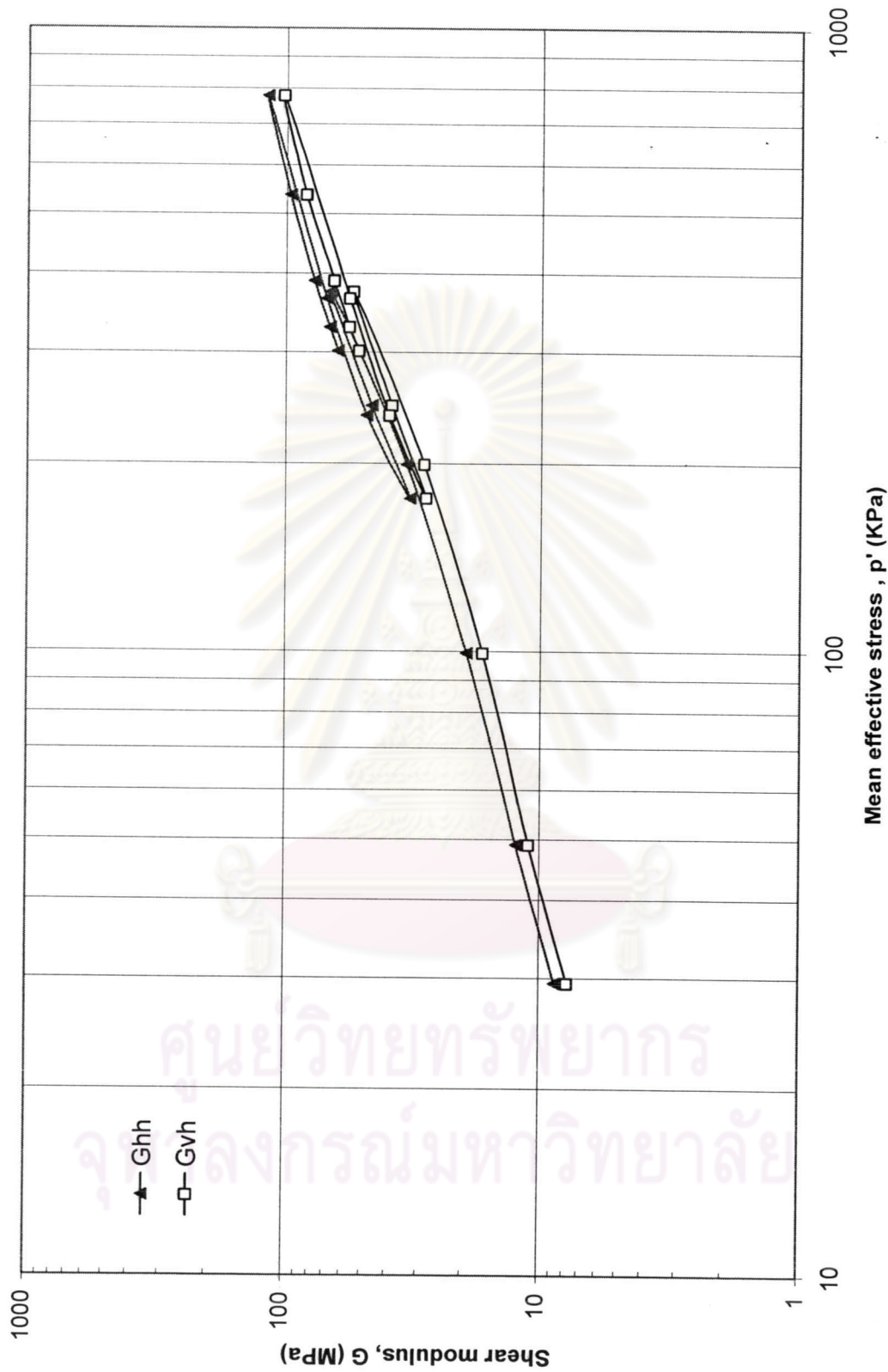
4.5 ผลของกำลังรับน้ำหนักแบกทานในอดีตที่มีผลต่อโมดูลัสแบบเฉือน

จากผลการทดลองหาความสัมพันธ์ของโมดูลัสแบบเฉือน (shear modulus) กับค่าหน่วยแรงประสิทธิผล (effective stress, σ') เมื่อเพิ่มค่าค่าหน่วยแรงประสิทธิผลค่าของโมดูลัสแบบเฉือนก็มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น และเมื่อค่าหน่วยแรงประสิทธิผลที่พื้นช่วงของกำลังรับน้ำหนักแบกทานในอดีตพบว่า ค่าโมดูลัสแบบเฉือนจะมีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้นมากกว่าเดิมและเห็นได้ชัดยิ่งขึ้นเมื่อนำมาพิจารณาในรูปแบบของกราฟระหว่าง $G_0 / F(e)$ กับค่าหน่วยแรงประสิทธิผล (effective stress, σ') ในแกน log-log จะเห็นว่าช่วงที่ค่าหน่วยแรงประสิทธิผล (effective stress, σ') พื้นกำลังรับน้ำหนักแบกทานในอดีต ค่าโมดูลัสแบบเฉือน (shear modulus) จะเพิ่มขึ้นมากกว่าช่วงที่ยังไม่พื้นค่ากำลังรับน้ำหนักแบกทานในอดีต

จะเห็นว่าพฤติกรรมของค่าโมดูลัสแบบเฉือน (shear modulus) กับค่าหน่วยแรงประสิทธิผล (effective stress, σ') เป็นผลเนื่องมาจากความสัมพันธ์ของ $G_{co} = AF(e)(OCR)^{Ks}(\sigma_0')^{0.5}$ โดยที่ $OCR = \sigma_p' / \sigma_0'$

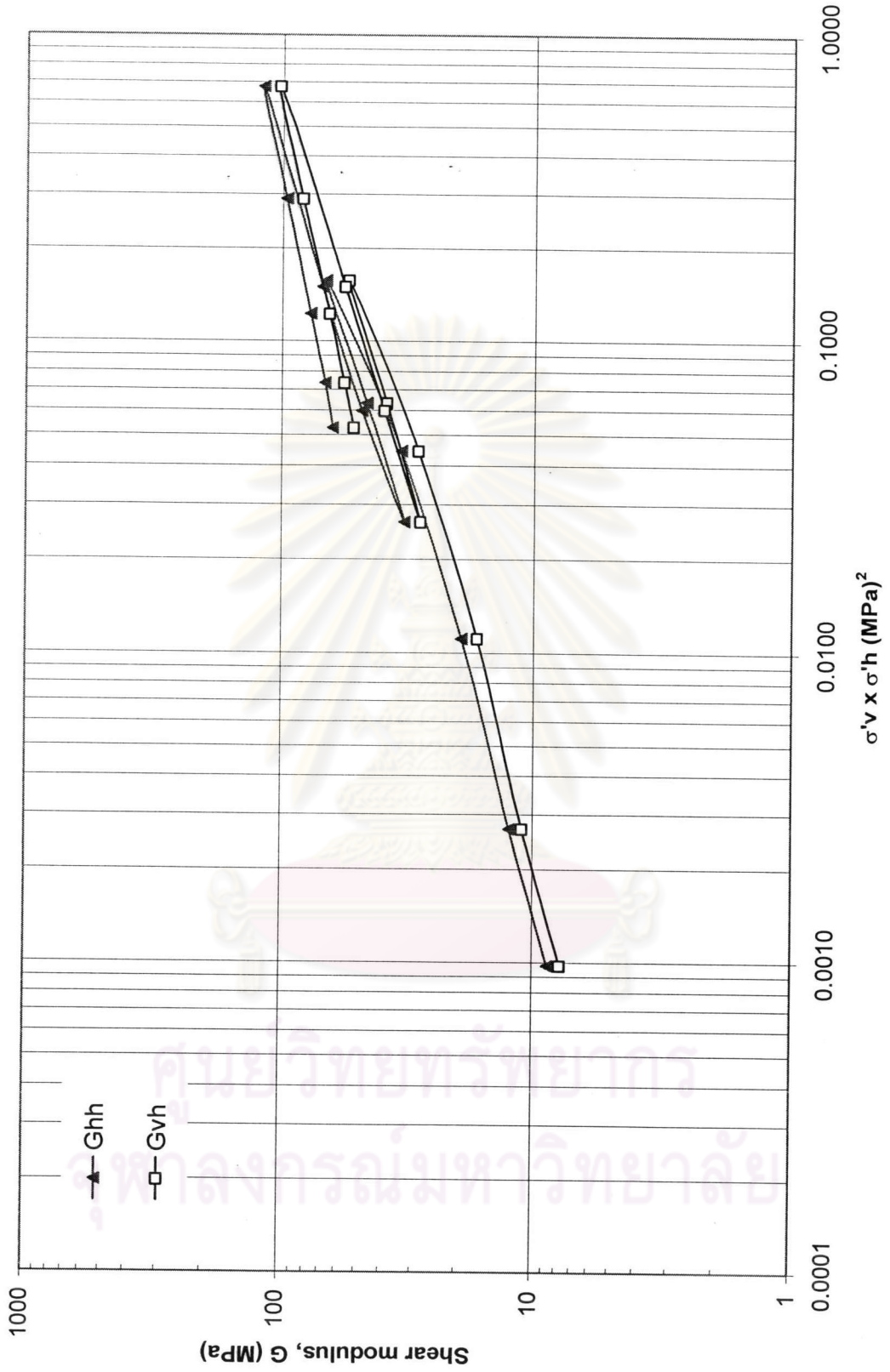


รูปที่ 4.7 ค่าหน่วยแรงประสิทธิผลต่อค่าโมดูลัสแบบเฉือนที่ได้จากการทดสอบวิธีที่ 1 (เตรียมตัวอย่างดินในแนวตั้ง) ที่ระดับความลึก 7.50 – 8.20 m.



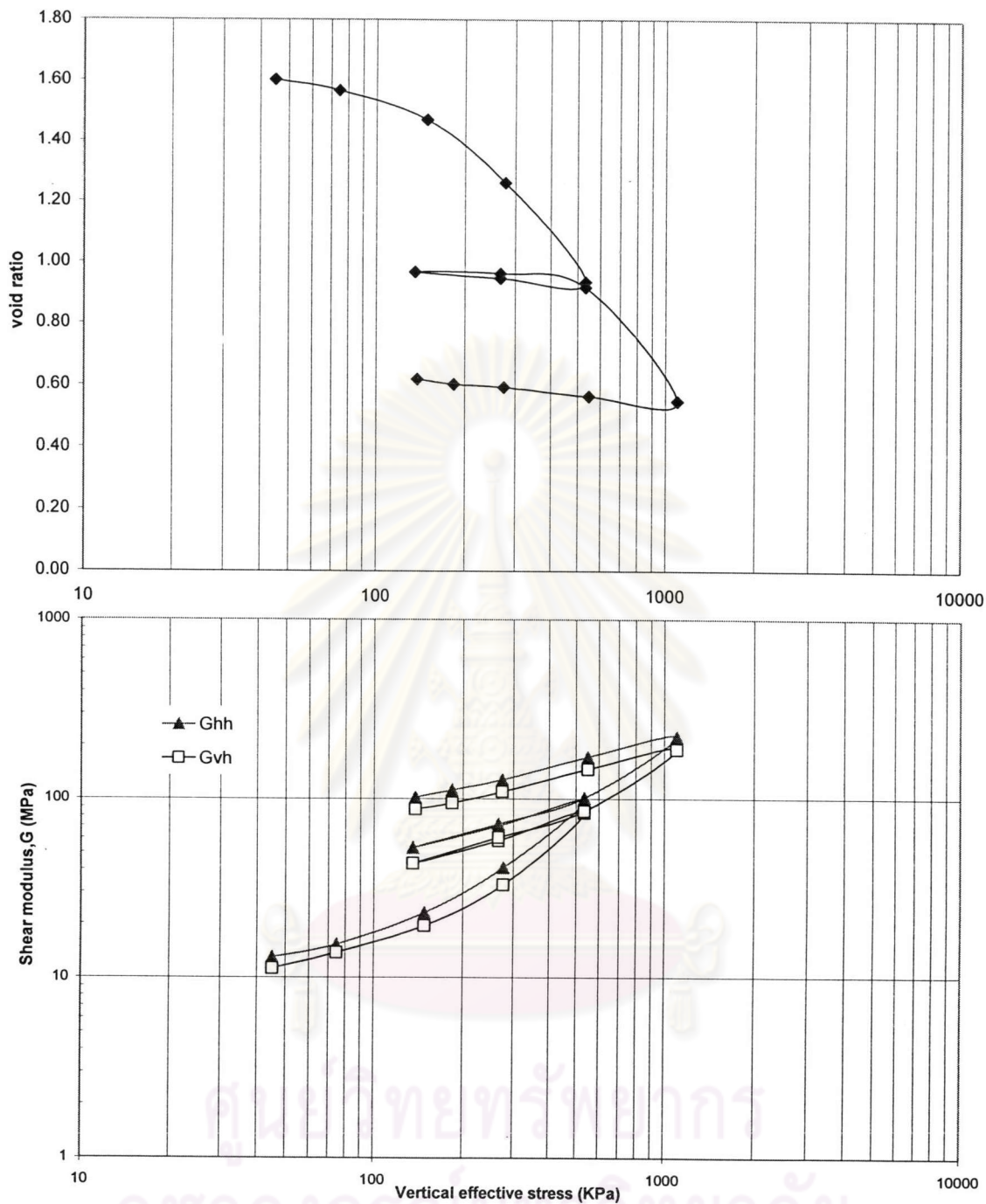
รูปที่ 4.8 ผลของ Mean effective stress, p' ต่อค่าโมดูลัสแบบเฉือนที่ได้จากการทดสอบวิธีที่ 1 (เตรียมตัวอย่างดินในแนวตั้ง) ที่ระดับความลึก 7.50 -8.20 m.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

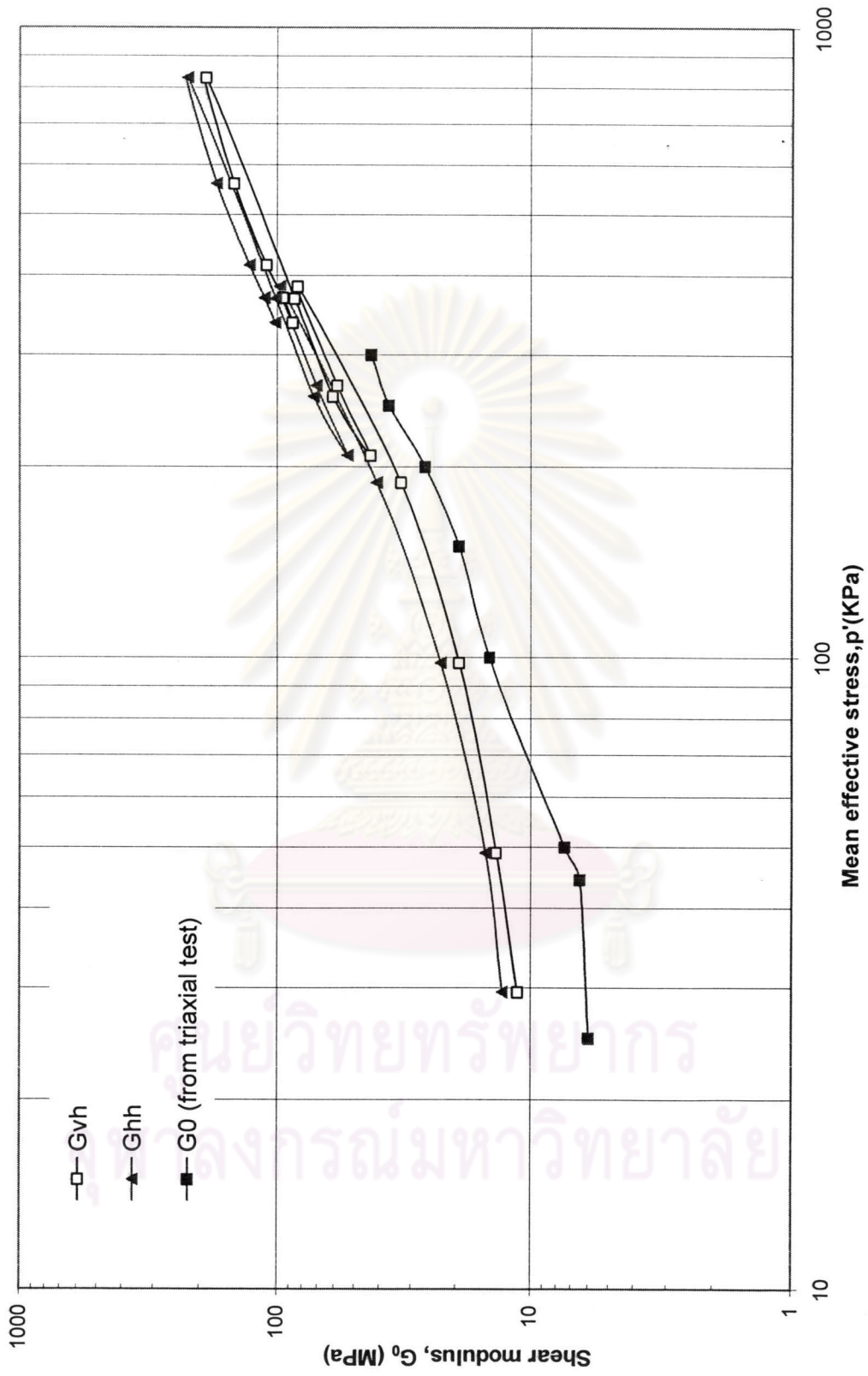


รูปที่ 4.9 ผลของหน่วยแรงประสิทธิผลต่อค่าโมดูลัสแบบเฉือนที่ได้จากการทดสอบวิธีที่ 1 (เตรียมตัวอย่างดินในแนวตั้ง) ที่ระดับความลึก 7.50 - 8.20 ม.

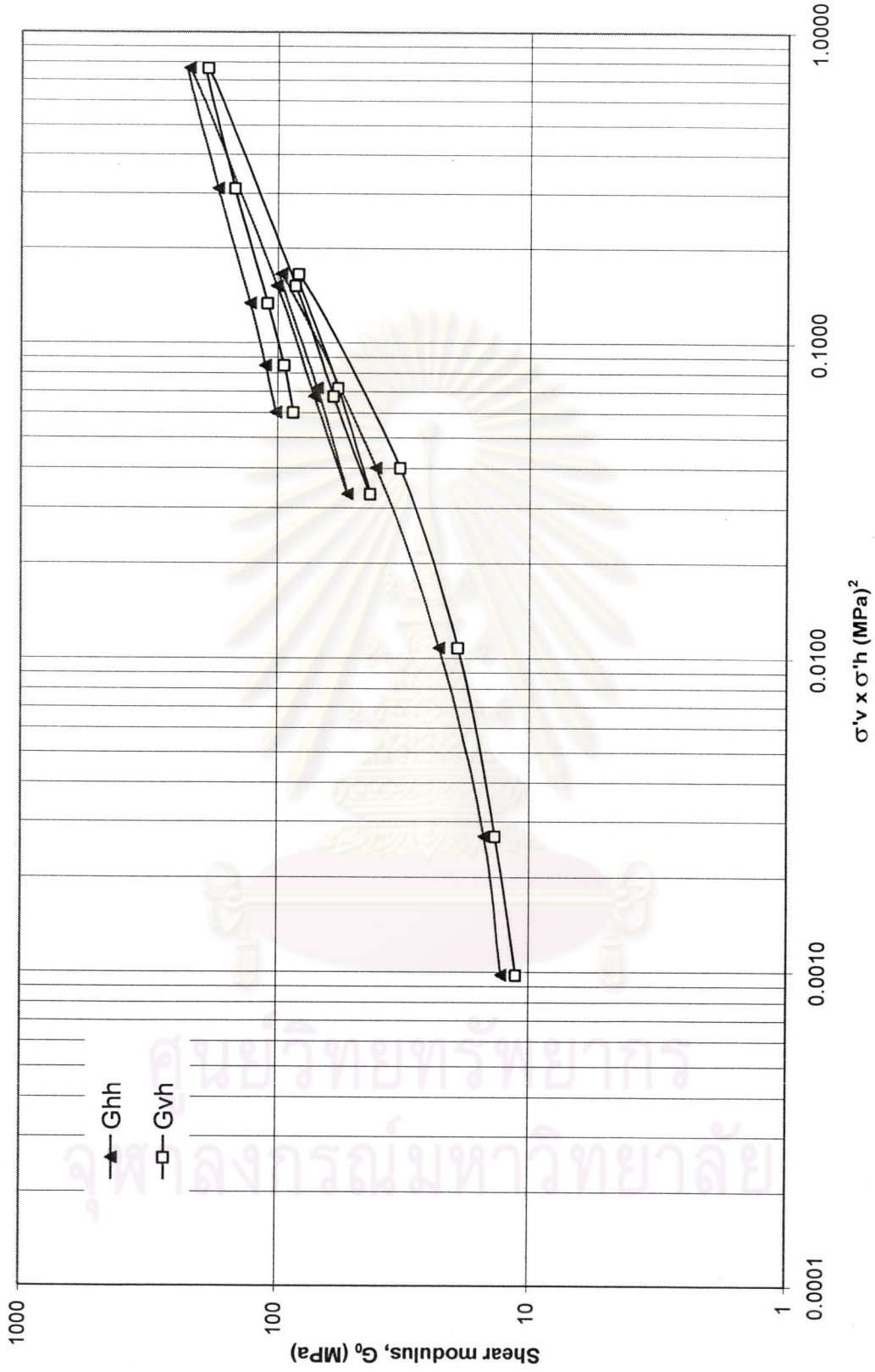
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



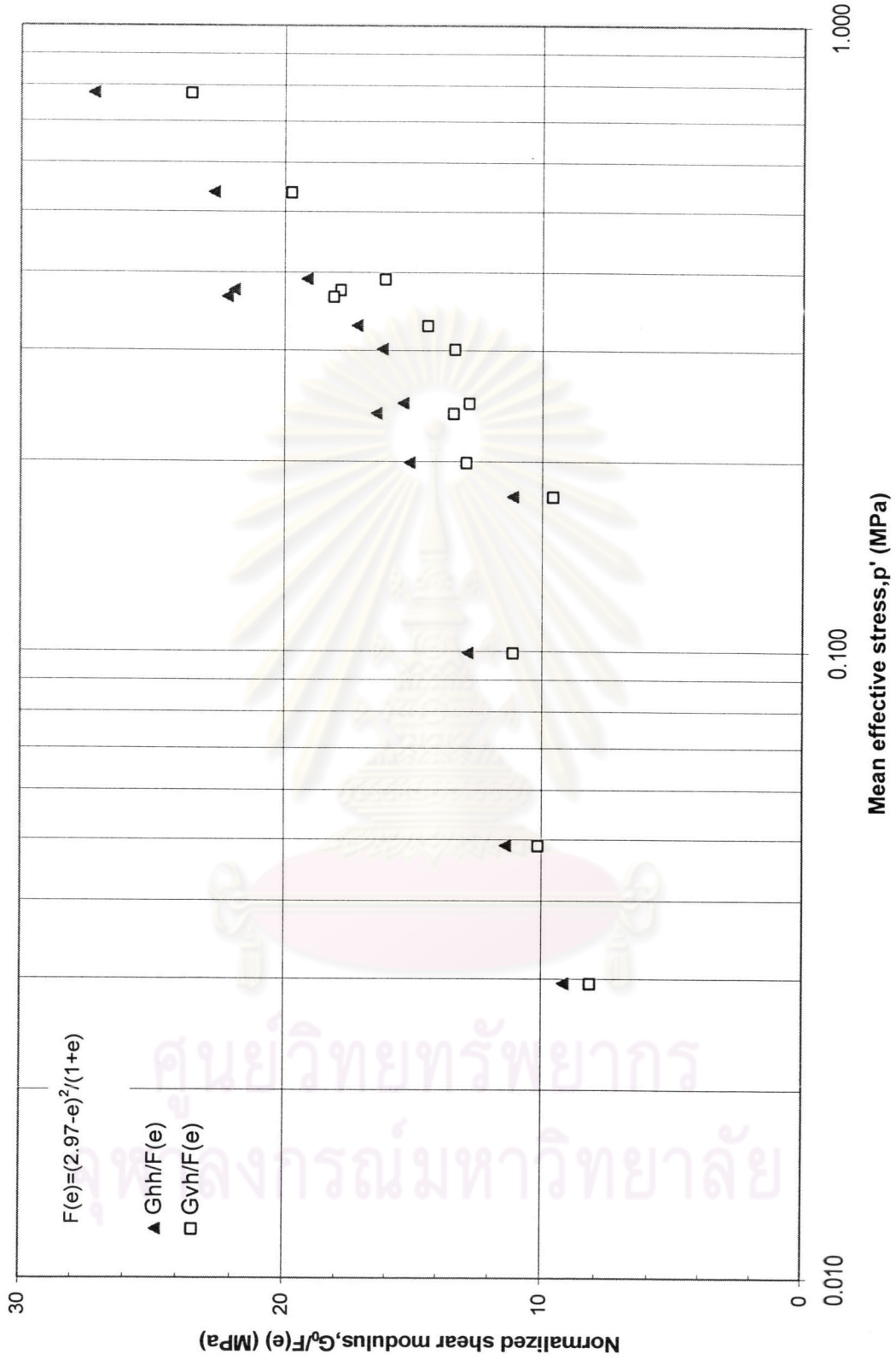
รูปที่ 4.10 ค่าหน่วยแรงประสิทธิผลต่อค่าโมดูลัสแบบเฉือนที่ได้จากการทดสอบวิธีที่ 1 (เตรียมตัวอย่างดินในแนวตั้ง)ที่ระดับความลึก 13.50 – 14.20 m.



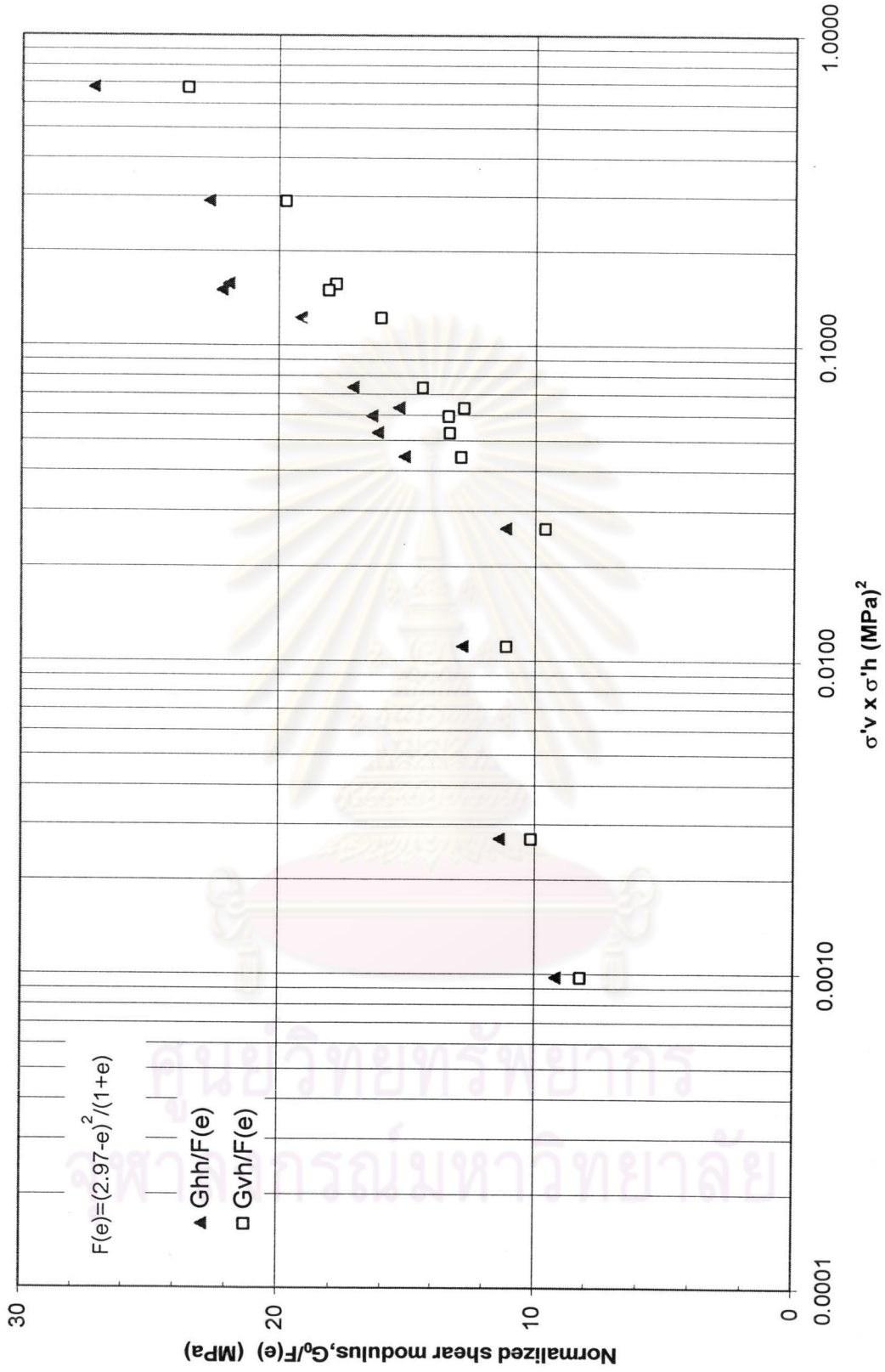
รูปที่ 4.11 ผลของ Mean effective stress, p' ต่อค่าโมดูลัสแบบเฉือนที่ได้จากการทดสอบวิธีที่ 1 (เตรียมตัวอย่างดินในแนวตั้ง) ที่ระดับความลึก 13.50 - 14.20 ม.



รูปที่ 4.12 ผลของหน่วยแรงประสิทธิผลต่อค่าโมดูลัสแบบเงื่อนไขที่ได้จากการทดสอบวิธีที่ 1 (เตรียมตัวอย่างดินในแนวตั้ง) ที่ระดับความลึก 13.50 -14.20 ม.

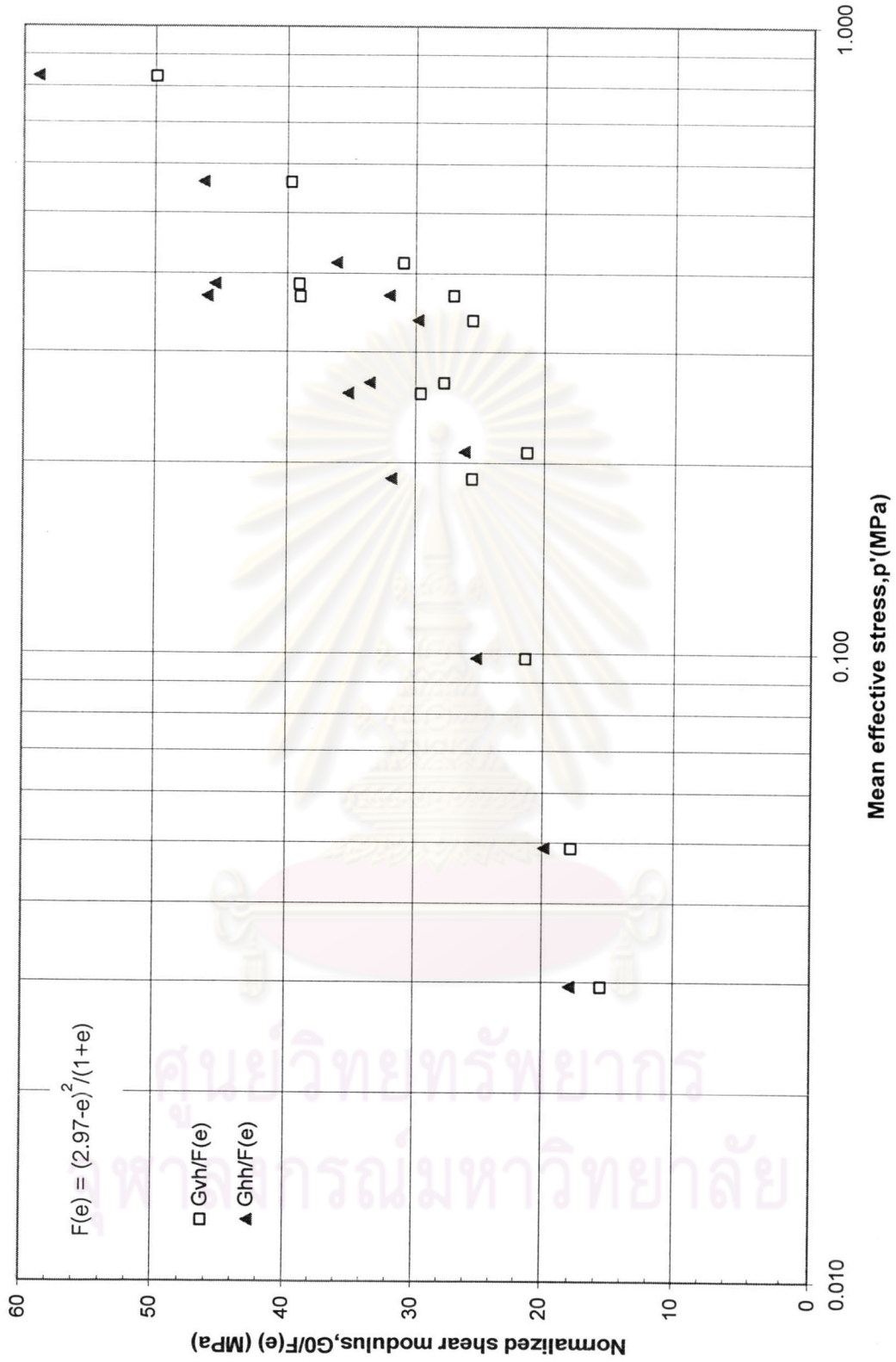


รูปที่ 4.13 ผลของ Mean effective stress, p' ต่อค่า Normalized shear modulus ที่ได้จากการทดสอบวิธีที่ 1 (เตรียมตัวอย่างดินในแนวตั้ง) ที่ระดับความลึก 7.50 - 8.20 ม.

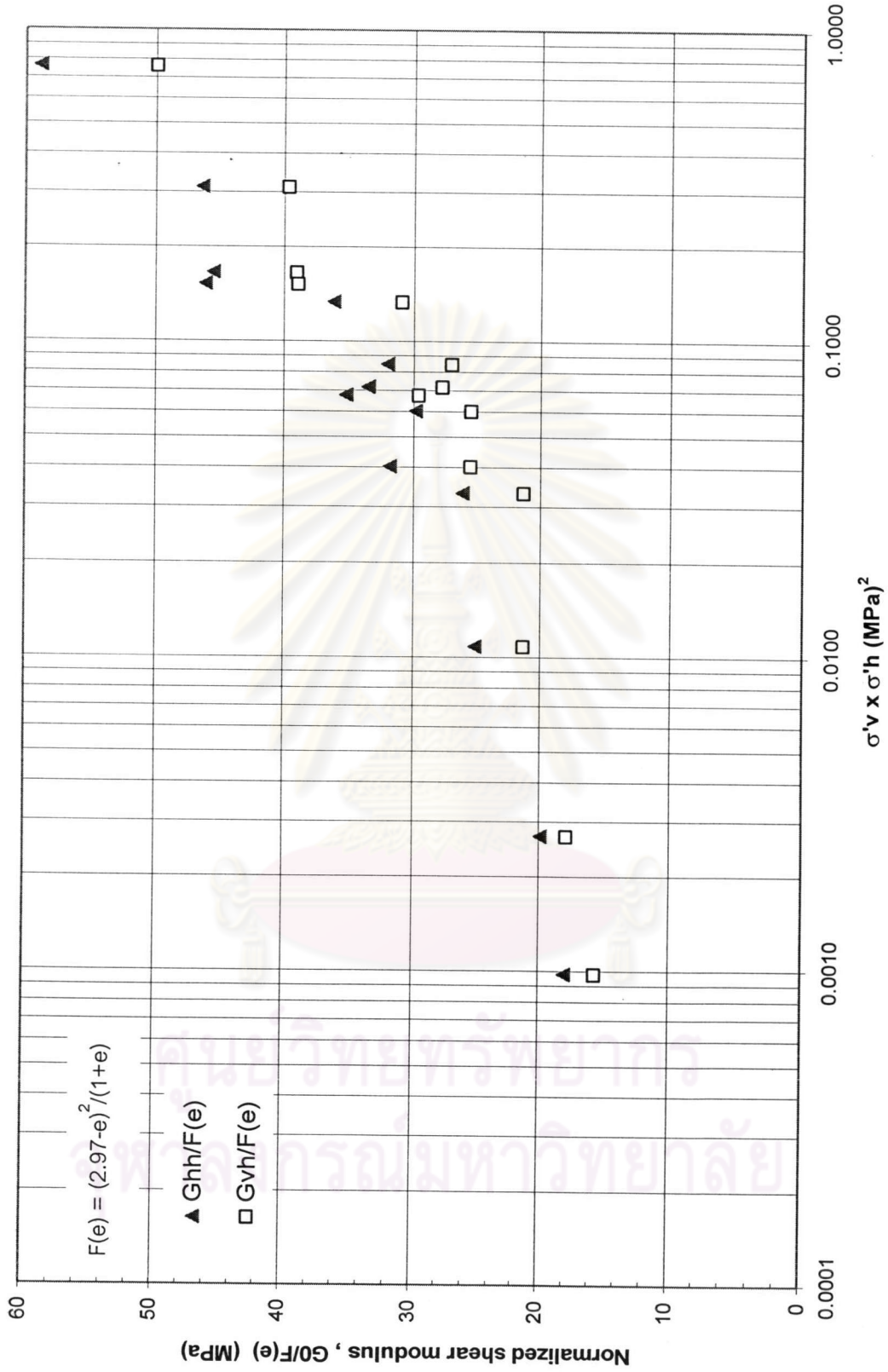


รูปที่ 4.14 ผลของหน่วยแรงประสิทธิผลต่อค่า Normalized shear modulus ที่ได้จากการทดสอบวิธีที่ 1 (เตรียมตัวอย่างดินในแนวตั้ง)

ที่ระดับความลึก 7.50 - 8.20 m.



รูปที่ 4.15 ผลของ Mean effective stress, p' ต่อค่า Normalized shear modulus ที่ได้จากการทดสอบวิธีที่ 1 (เตรียมตัวอย่างดินในแนวตั้ง) ที่ระดับความลึก 13.50 - 14.20 ม.



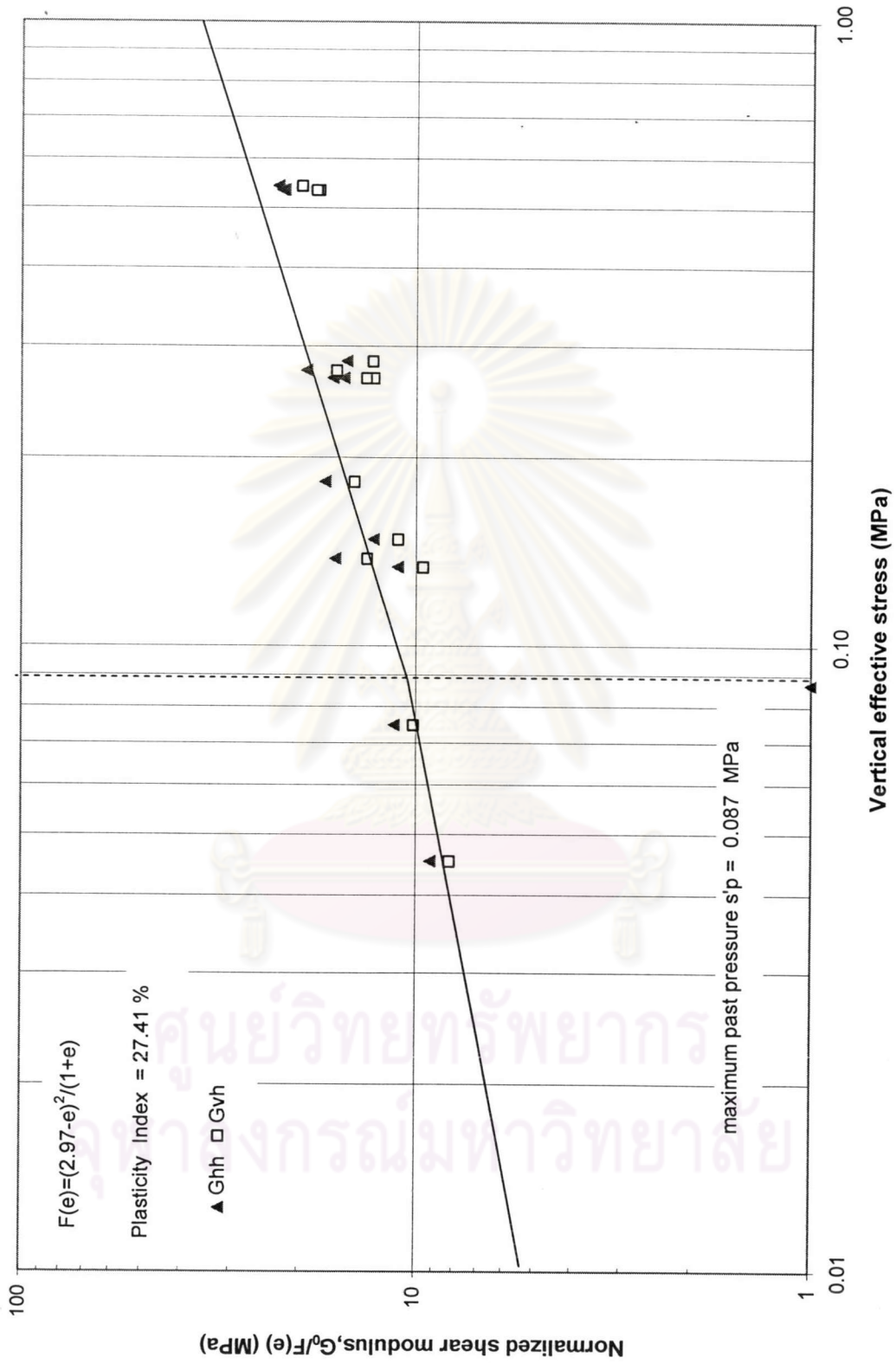
รูปที่ 4.16 ผลของหน่วยแรงประสิทธิผลต่อค่า Normalized shear modulus ที่ได้จากการทดสอบวิธีที่ 1 (เตรียมตัวอย่างดินในแนวตั้ง) ที่ระดับความลึก 13.50 – 14.20 ม.

4.6 ผลของ Plasticity ที่มีผลต่อโมดูลัสแบบเฉือน

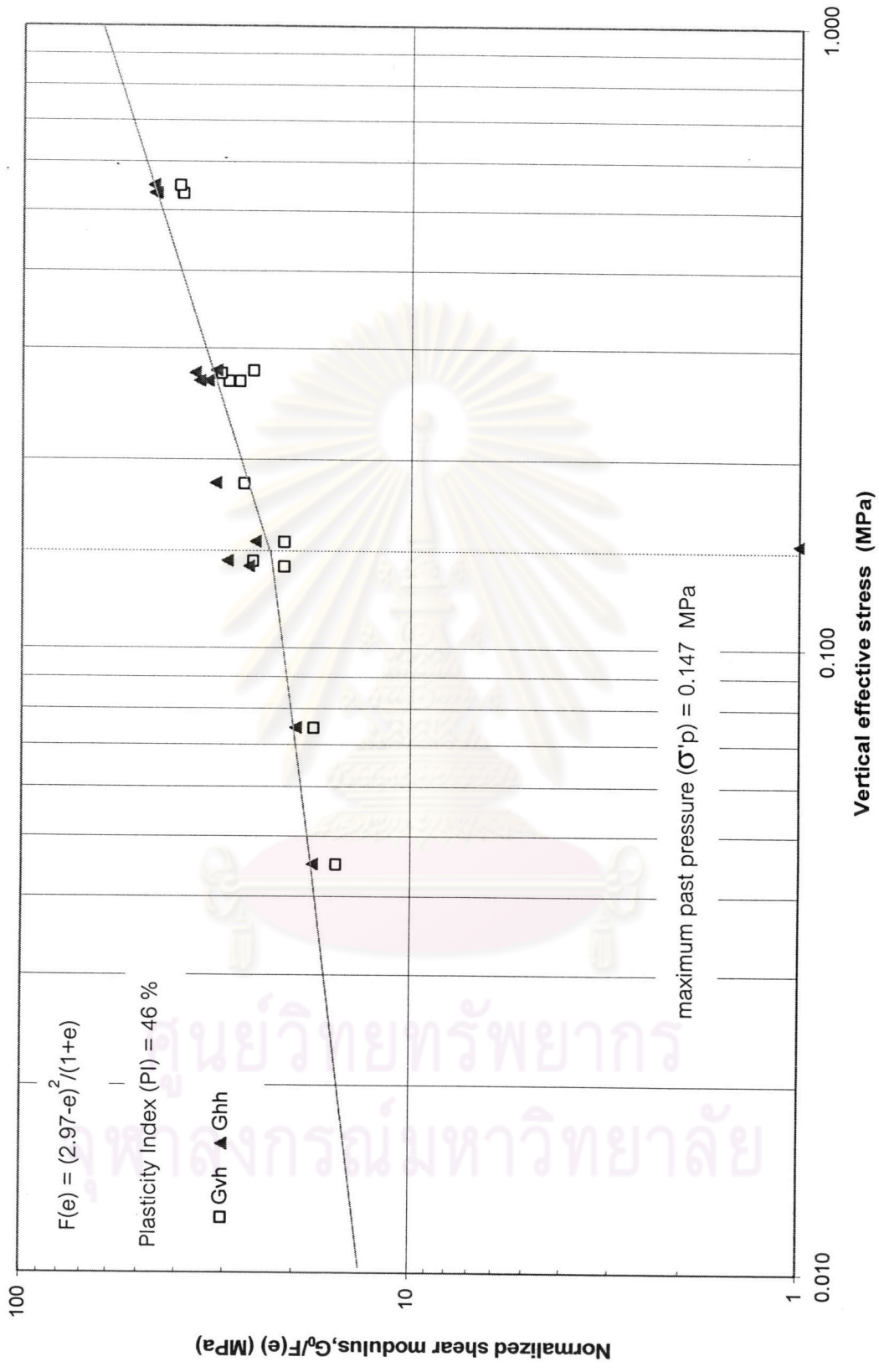
จากผลการทดลองค่าของโมดูลัสแบบเฉือน(shear modulus) ต่อค่า $F(e)$ ในรูปของ $G_0/F(e)$ กับหน่วยแรงประสิทธิผล (effective stress, σ') ในแกน log-log จะเห็นว่าแนวโน้มของโมดูลัสแบบเฉือนที่เพิ่มขึ้นเป็นแนวเส้นตรง และเมื่อเลยระดับที่หน่วยแรงประสิทธิผลที่เท่ากับกำลังรับน้ำหนักแบบกทานในอดีต พบว่าโมดูลัสแบบเฉือนเพิ่มขึ้นเป็นแนวเส้นตรงที่มีความชันมากกว่าเดิม ซึ่งอธิบายได้ว่าถ้าตัวอย่างดินที่มีค่า Plasticity Index ต่ำ แนวโน้มความชันของ $G_0/F(e)$ กับหน่วยแรงประสิทธิผลเมื่อพ้นช่วงกำลังรับน้ำหนักแบบกทานในอดีต จะไม่เห็นชัดเจน ดังเช่นตัวอย่างที่ระดับความลึก 7.50 – 8.20 ม. ที่มีค่า Plasticity Index 26 % แต่ถ้าตัวอย่างดินมีค่า Plasticity Index ที่มีค่าสูง แนวโน้มความชันของ $G_0/F(e)$ เมื่อเทียบกับค่าหน่วยแรงประสิทธิผลที่เพิ่มขึ้นเมื่อพ้นช่วงกำลังรับน้ำหนักแบบกทานในอดีต จะเห็นได้ชัด ดังเช่นตัวอย่างที่ระดับความลึก 13.50 – 14.20 ม. ที่มีค่า Plasticity Index 46 %

จากผลการทดลองในการวิจัยนี้พอจะสรุปว่า พฤติกรรมของค่าโมดูลัสแบบเฉือน(shear modulus) ของดินเหนียวกรุงเทพฯ ที่มีค่า Plasticity Index ที่มีค่าสูงกว่า 40 % เฉพาะค่าของหน่วยแรงประสิทธิผลที่มีค่าต่ำกว่าค่ากำลังรับน้ำหนักแบบกทานในอดีต ค่า Plasticity Index จะมีผลกระทบต่อค่าโมดูลัสแบบเฉือน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.17 ผลของหน่วยแรงประสิทธิผลต่อค่า Normalized shear modulus เนื่องมาจาก Plasticity Index ที่ได้จากการทดสอบวิธีที่ 1 (เตรียมตัวอย่างดินในแนวตั้ง) ที่ระดับความลึก 7.50 – 8.20 ม.



รูปที่ 4.18 ผลของหน่วยแรงประสิทธิผลต่อค่า Normalized shear modulus เนื่องจาก Plasticity Index ที่ได้จากการทดสอบวิธีที่ 1 (เตรียมตัวอย่างดินในแนวตั้ง) ที่ระดับความลึก 13.50 – 14.20 ม.

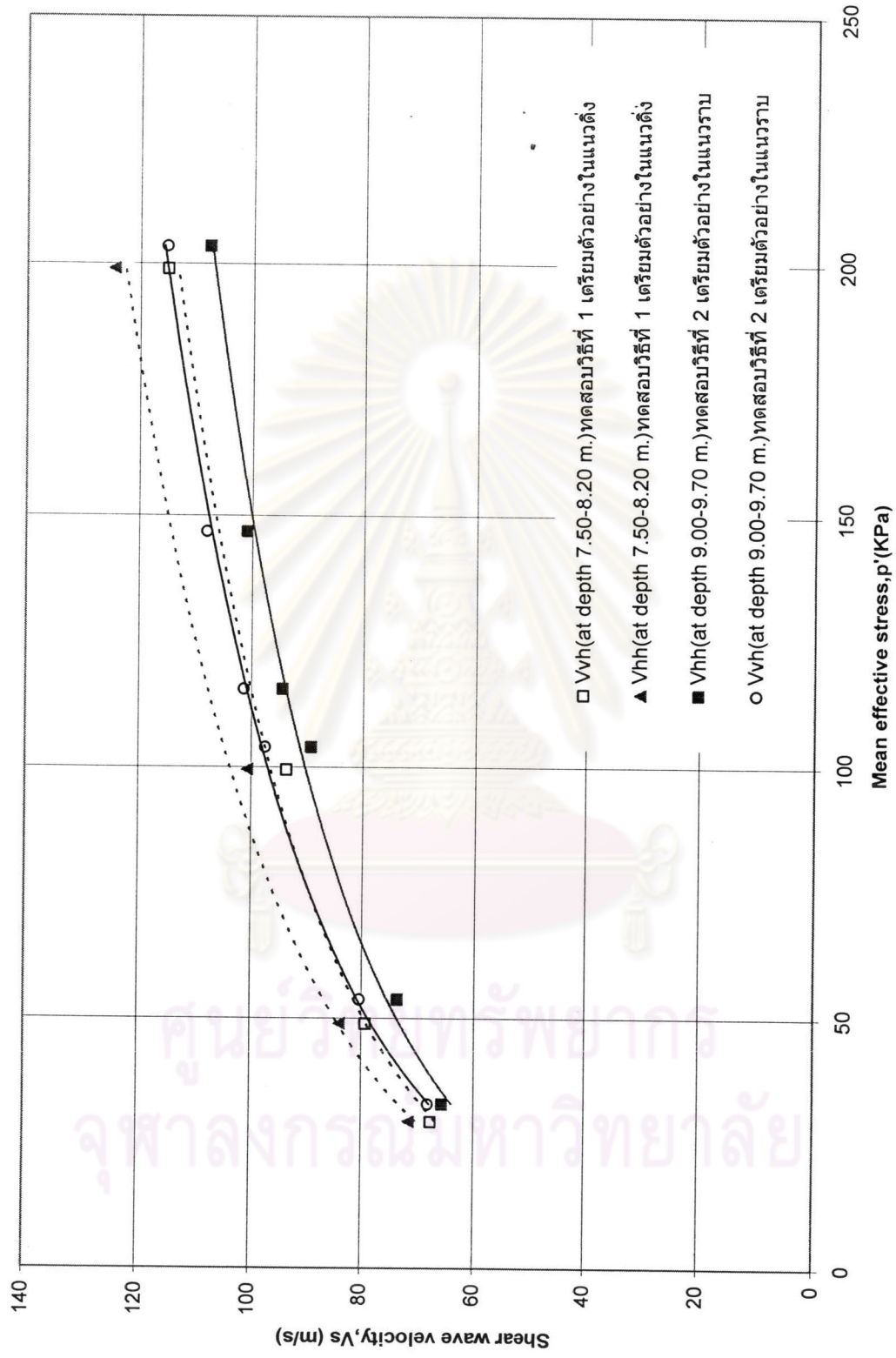
4.7 ผลของโมดูลัสแบบเฉือนที่วัดได้จากแนวราบและแนวตั้งและการเปลี่ยนทิศทางของการวางตัวอย่าง

การทดสอบในครั้งนี้ได้มีการวัดความเร็วคลื่นความเค้นในสองทิศทางคือในแนวราบ(V_{hh}) และในแนวตั้ง (V_{vh}) โดยได้ทดสอบอยู่ 2 วิธี คือวิธีที่ 1 จากตัวอย่างดินที่นำมาทดสอบจะจัดเตรียมตัวอย่างให้อยู่ในลักษณะตั้งตรงตามรูปแบบที่มีการทดลองทั่วไป และอีกวิธีคือนำตัวอย่างดินมาจัดเตรียมให้อยู่ในลักษณะนอนราบ เพื่อศึกษาความแตกต่างของคลื่นความเค้น

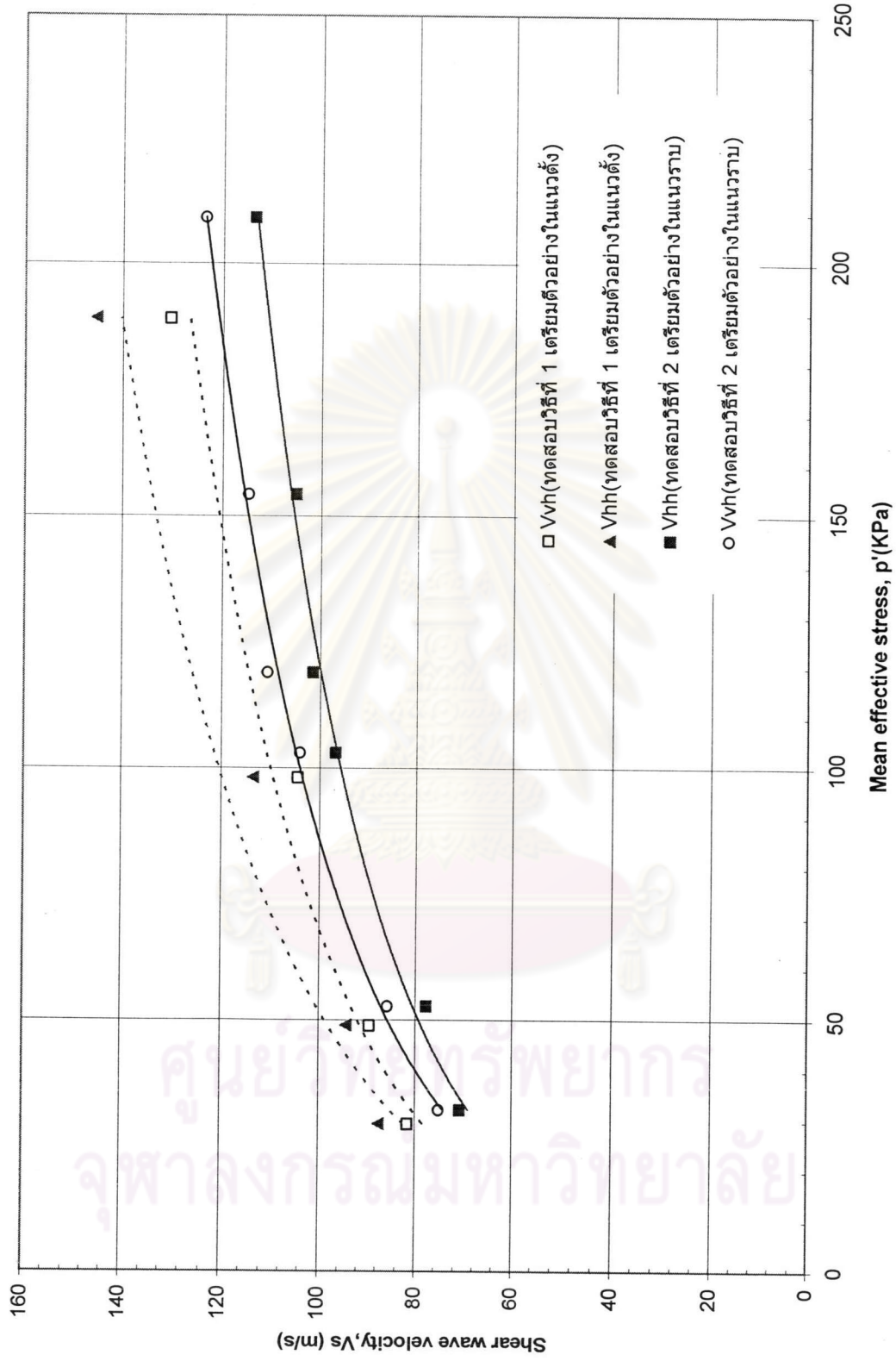
จากผลการทดลองจะพบว่าในการทดสอบวิธีที่ 1 หลังจากสิ้นสุดการอัดตัวคายน้ำแล้ว (consolidation) เมื่อวัดความเร็วคลื่นความเค้นทั้งในแนวราบ(V_{hh}) และแนวตั้ง(V_{vh}) ค่าของความเร็วคลื่นความเค้นในแนวราบ(V_{hh}) จะมีค่าสูงกว่า ทั้งที่ระดับความลึก 7.50 – 8.20 ม. และที่ระดับความลึก 13.50 – 14.20 ม. และค่าของโมดูลัสแบบเฉือน(shear modulus) ที่ได้จากแนวราบ G_{hh} จะมีค่าสูงกว่าค่าของโมดูลัสแบบเฉือน(shear modulus) ที่ได้จากแนวราบ G_{vh} อยู่ประมาณ 10 – 24 %

เมื่อทำการทดลองอีกโดยจัดให้ตัวอย่างนอนลงโดยลักษณะชั้นตอนของการทดลอง เหมือนกับการทดลองวิธีที่ 1 จะพบว่าเมื่อวัดความเร็วคลื่นความเค้นหลังจากสิ้นสุดการอัดตัวคายน้ำแล้ว(consolidation) ค่าของความเร็วคลื่นความเค้นที่วัดได้จะตรงกันข้ามกับวิธีที่ 1 โดยความเร็วคลื่นในแนวตั้ง (V_{vh}) จะมีค่าสูงกว่า ทั้งที่ระดับความลึก 9.00 – 9.70 ม. และที่ระดับความลึก 13.50 – 14.20 ม. และค่าของโมดูลัสแบบเฉือน(shear modulus) ที่ได้จากแนวตั้ง G_{vh} จะมีค่าสูงกว่าค่าของโมดูลัสแบบเฉือน(shear modulus) ที่ได้จากแนวราบ G_{hh} อยู่ประมาณ 10 – 20 %

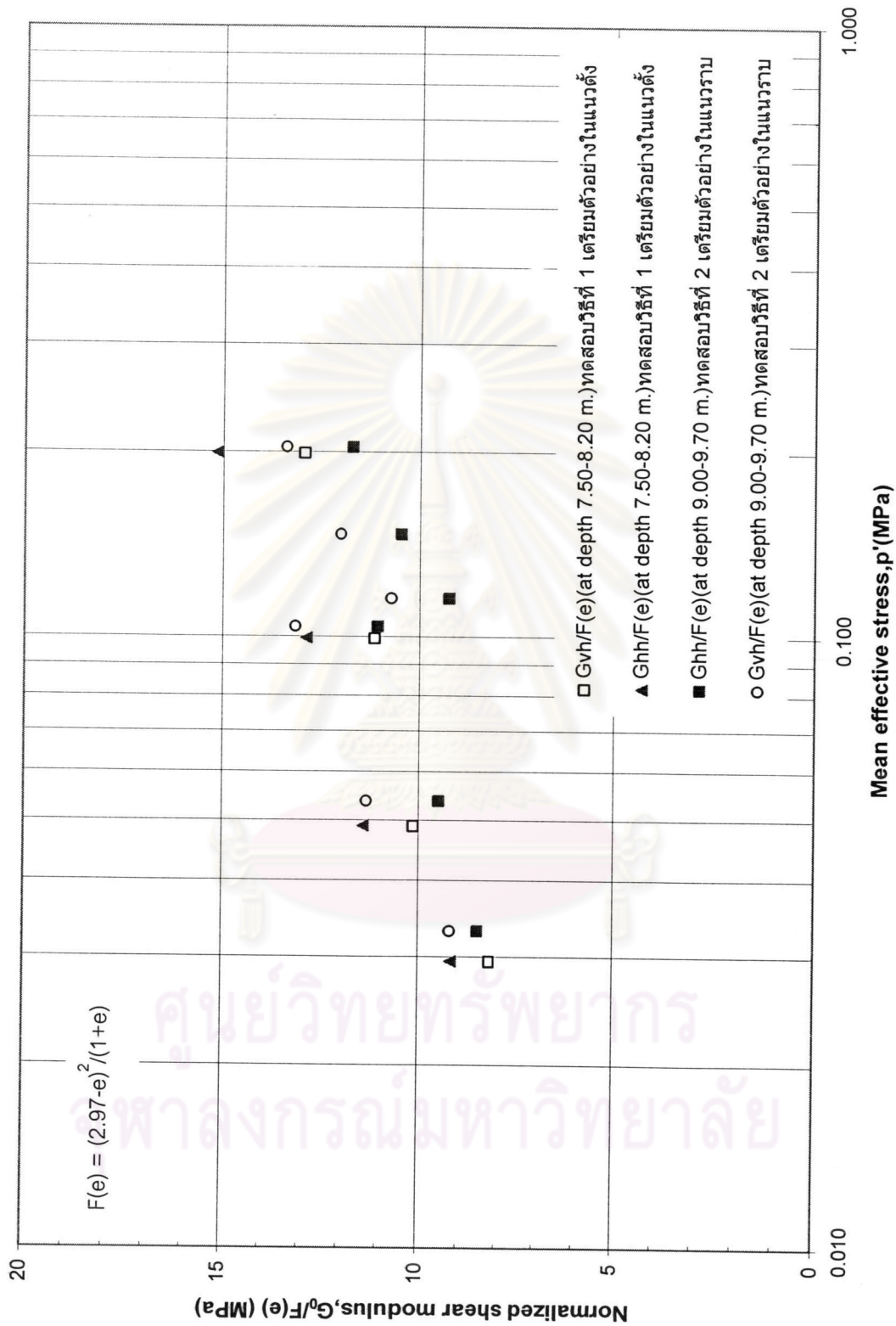
ความแตกต่างของค่าโมดูลัสแบบเฉือน(shear modulus)ที่ได้จากการทดสอบทั้งในแนวราบและแนวตั้ง เนื่องจากคุณสมบัติภายในของดินตามธรรมชาติ(inherent anisotropy) เมื่อคลื่นความเค้นวิ่งผ่านตัวอย่างดินในทิศทางที่แตกต่างกัน ทิศทางการเคลื่อนตัวของอนุภาคดินก็จะแตกต่างกันตามทิศทางการวิ่งผ่านของคลื่น



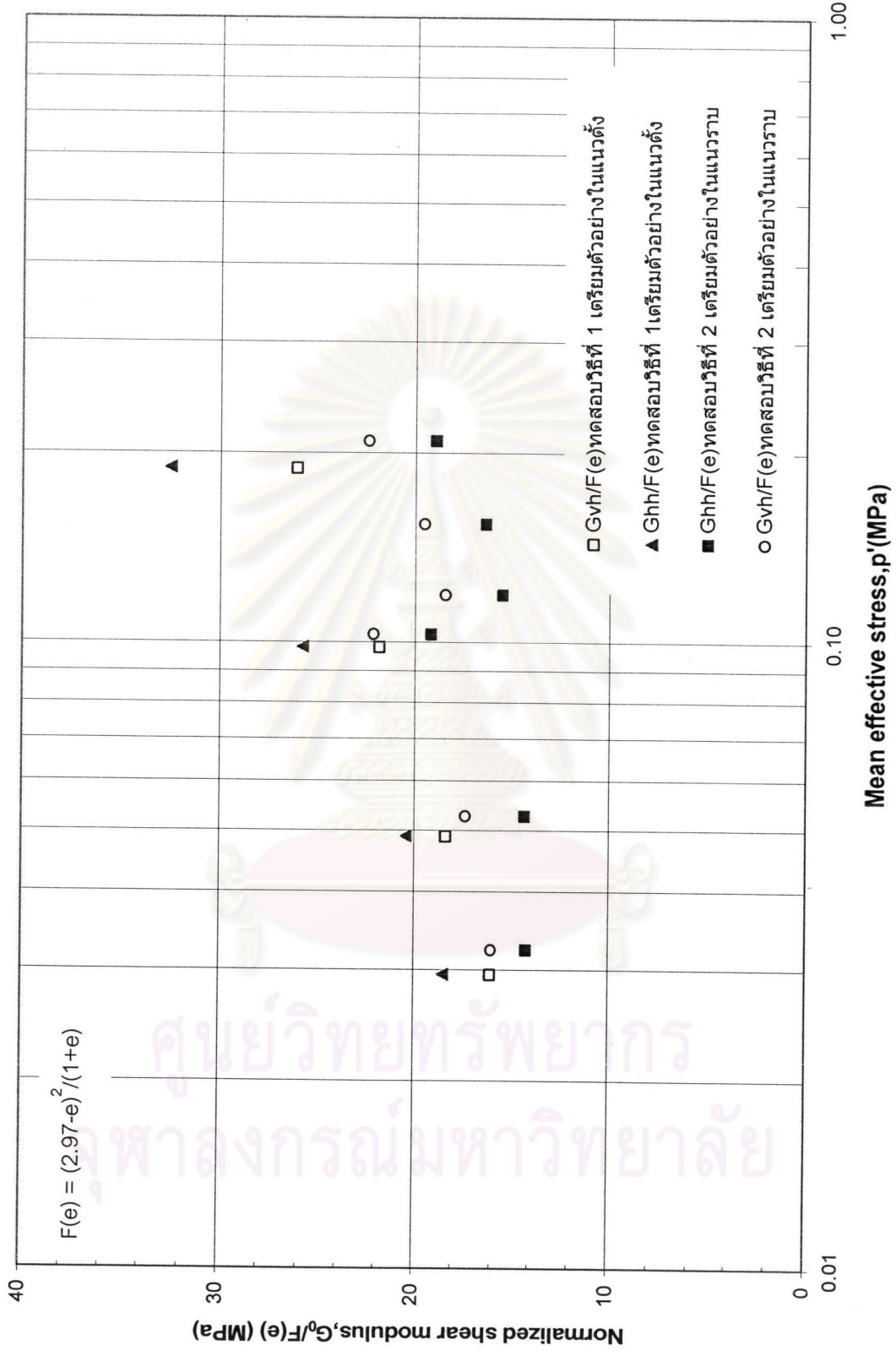
รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบความเร็วคลื่นความเค้นเนื่องจาก การเปลี่ยนแปลงทิศทางการเตรียมตัวอย่าง (ทั้งเตรียมในแนวตั้งและเตรียมในแนวราบ)



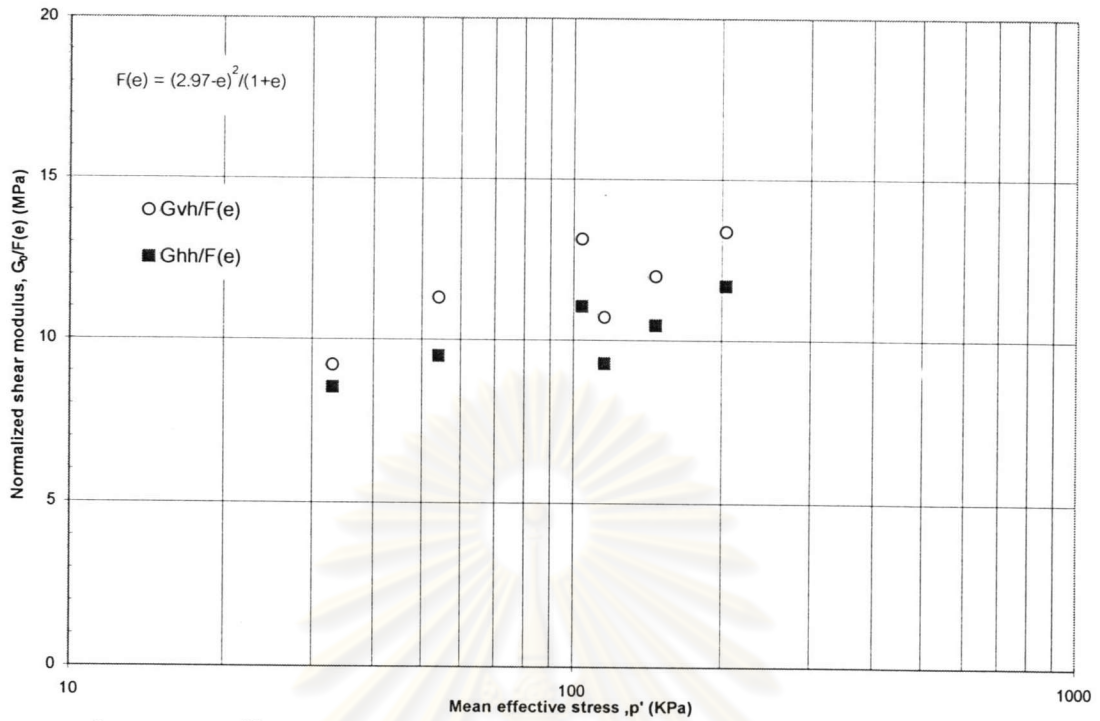
รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบความเร็วคลื่นความเค้นเนื่องจากกาการเปลี่ยนทิศทางการเตรียมตัวอย่าง (ทั้งเตรียมในแนวตั้งและเตรียมในแนวราบ) ของดินที่ความลึก 13.50 – 14.20 m.



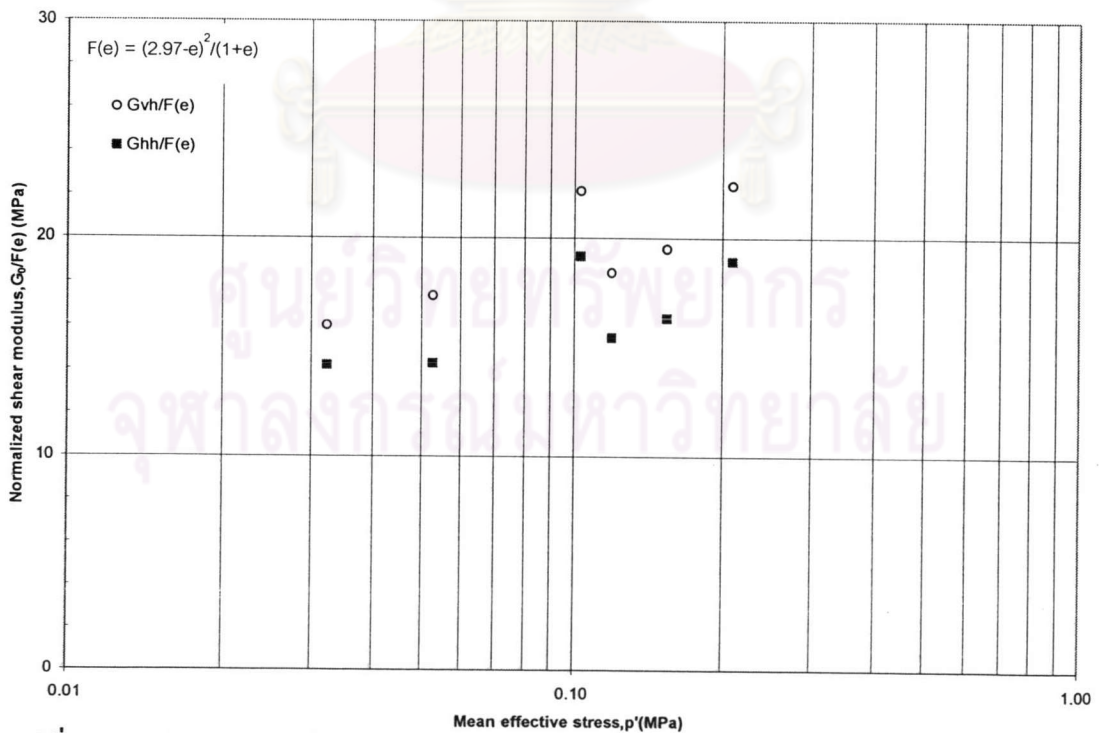
รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบค่า Mean effective stress กับค่า Normalized shear modulus เนื่องจากกาเปลี่ยนแปลงทิศทางการเตรียมตัวอย่าง (ทั้งเตรียมในแนวตั้งและเตรียมในแนวราบ)



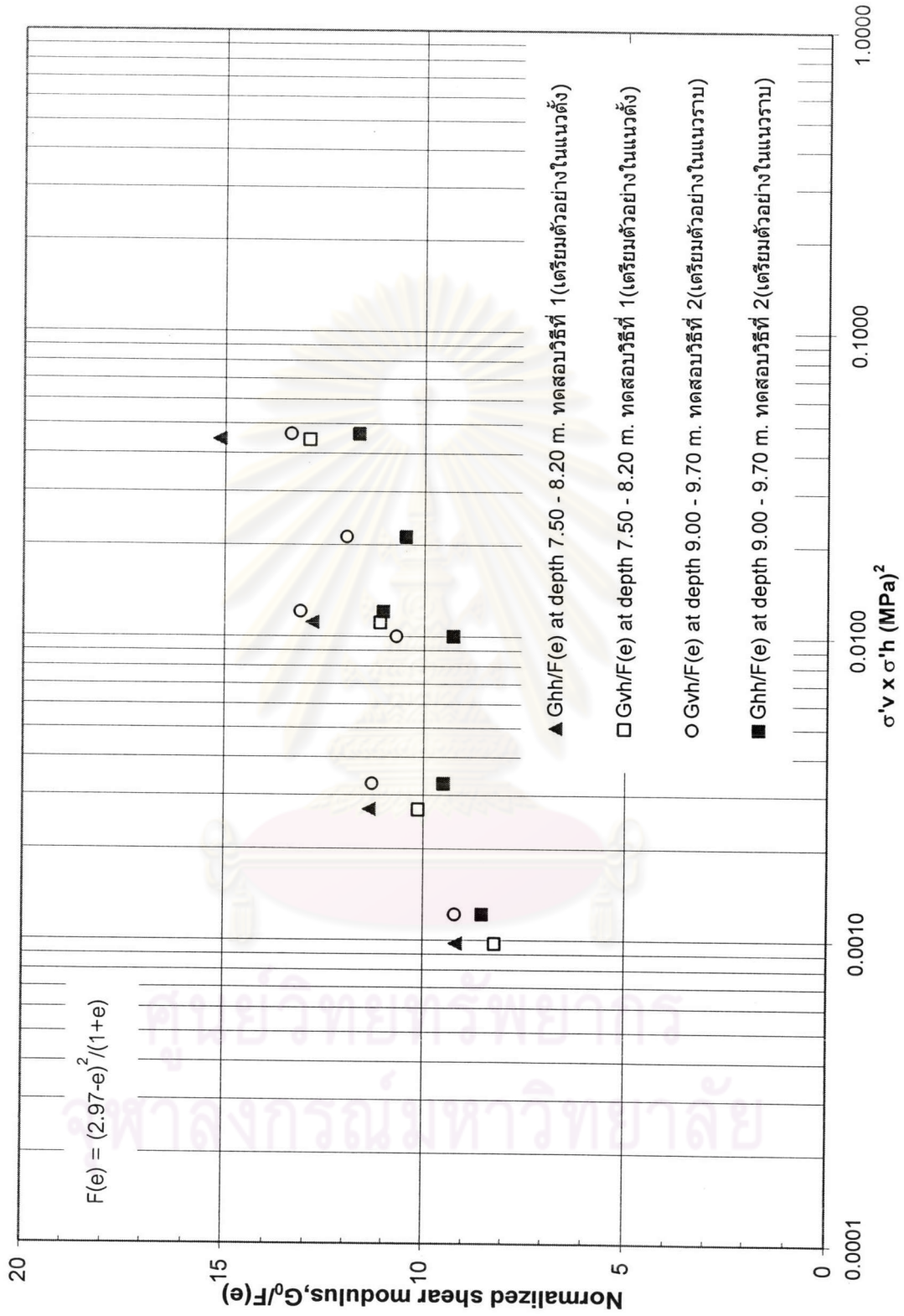
รูปที่ 4.22 เปรียบเทียบค่า Normalized shear modulus เนื่องจาก การเปลี่ยนแปลงทิศทางการเตรียมตัวอย่าง (ทั้งเตรียมในแนวตั้งและเตรียมในแนวราบ) ที่ความลึก 13.50 – 14.20 ม.



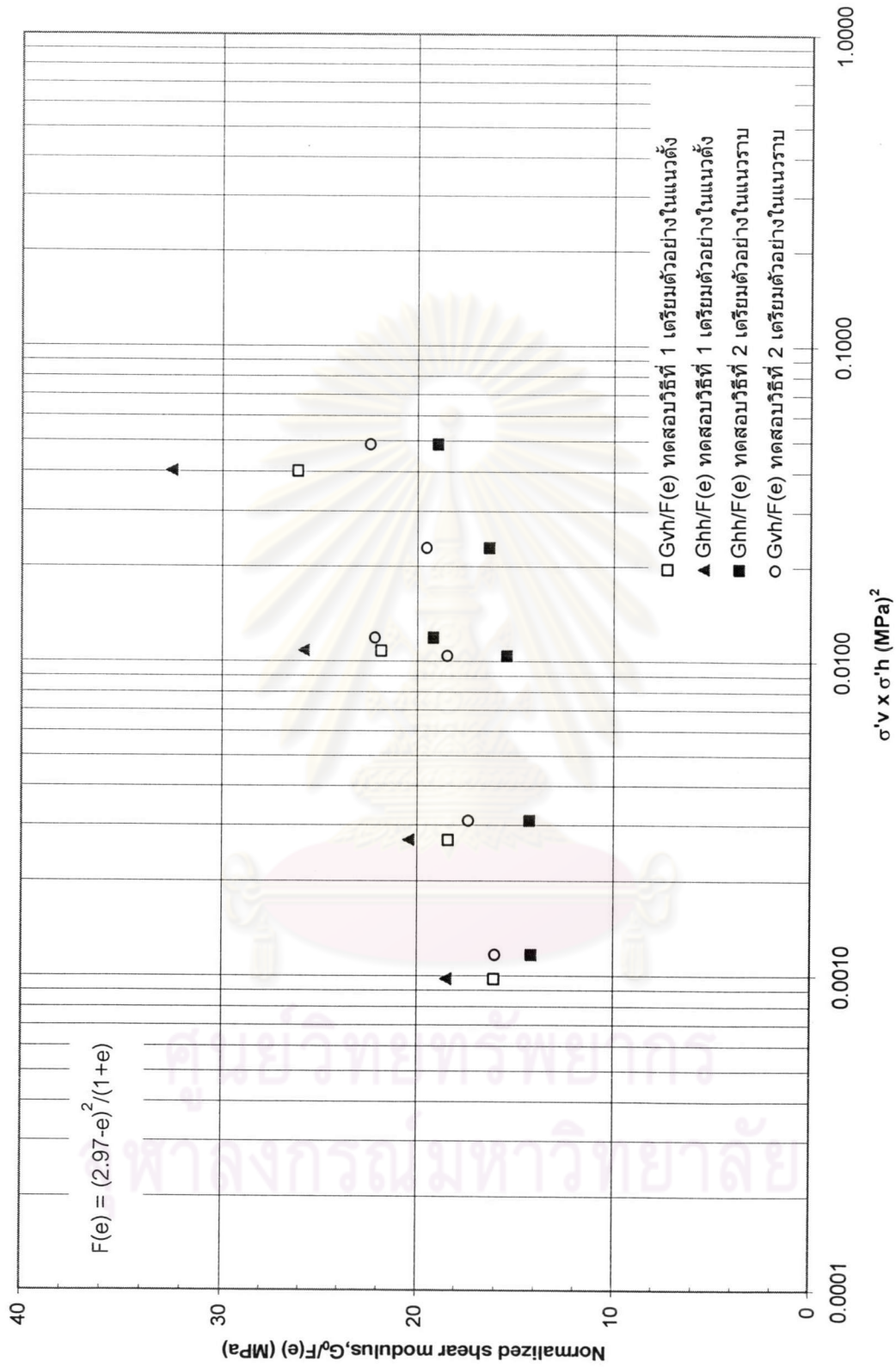
รูปที่ 4.23 ค่า $G_o/F(e)$ กับ Mean effective stress จากการเตรียมตัวอย่างดิน (ในแนวราบ) ที่ระดับความลึก 9.00 – 9.70 m.



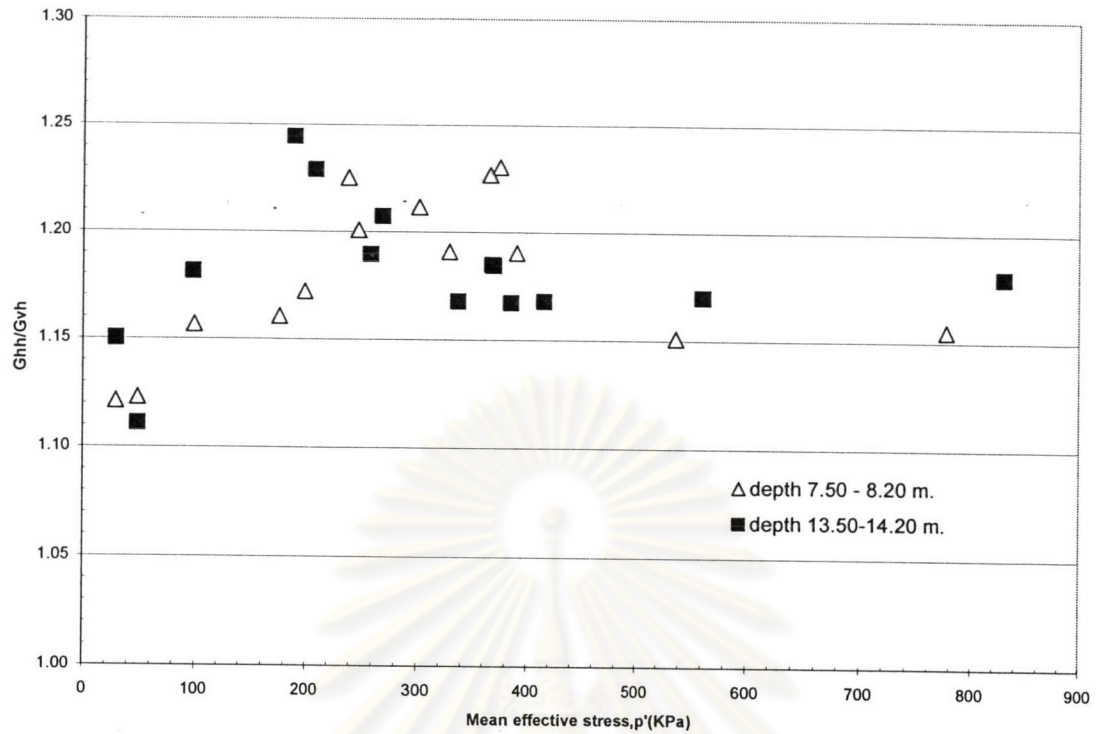
รูปที่ 4.24 ค่า $G_o/F(e)$ กับ Mean effective stress จากการเตรียมตัวอย่างดิน (ในแนวราบ) ที่ระดับความลึก 13.50 – 14.20 m.



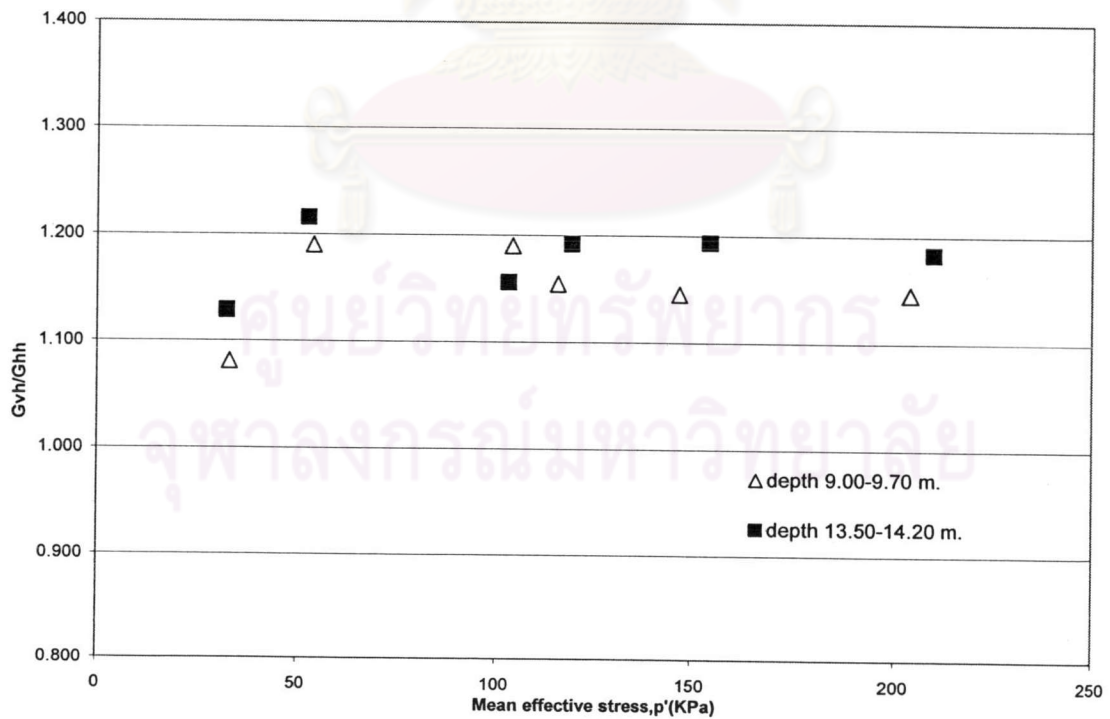
รูปที่ 4.25 ค่า Normalized shear modulus กับหน่วยแรงประสิทธิผล เนื่องจากกาเปลี่ยนแปลงทิศทางการเตรียมตัวอย่าง (ทั้งเตรียมในแนวตั้งและเตรียมในแนวราบ)



รูปที่ 4.26 ค่า Normalized shear modulus กับหน่วยแรงประสิทธิผล เนื่องจากกาการเปลี่ยนทิศทางการเตรียมตัวอย่าง (ทั้งเตรียมในแนวตั้งและเตรียมในแนวราบ) ของดินที่มีความลึก 13.50 – 14.20 m.



รูปที่ 4.27 สัดส่วนค่า G_{hh}/G_{vh} กับ Mean effective stress จากการเตรียมตัวอย่างในแนวตั้ง



รูปที่ 4.28 สัดส่วนค่า G_{vh}/G_{hh} กับ Mean effective stress จากการเตรียมตัวอย่างในแนวราบ