บทที่ ๓

คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์

๓.๑ บทนำ

คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์ เป็นข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์ นำเอาข้อมูลนี้ไปให้เครื่องคอมพิวเตอร์คำนวณจากน้ำหนักกระทำต่างๆ กัน ซึ่งการคำนวณใช้ตามทฤษฎีในบทที่ ๒ และจากบทที่ ๒ นี้จะเห็นว่าคุณสมบัติของวัสดุที่สำคัญก็คือค่าโมดูลัสอิลาสติกซิตี้ และปัวซองเรโช ของวัสดุพื้นแต่ละชั้น คุณสมบัติที่ใช้เป็นคุณสมบัติของวัสดุยืดหยุ่น โปรแกรมคอมพิวเตอร์แต่ละโปรแกรมที่ทำการวิเคราะห์ใช้คุณสมบัติของวัสดุแตกต่างกัน เช่นของ CHEV5L โมดูลัสเป็นอิลาสติกแบบเชิงเส้นไม่คิดผลของอุณหภูมิ ส่วน PSAD และ PSAD2A นั้นเป็นอิลาสติกแต่สามารถวิเคราะห์ปัญหาของอิลาสติกไร้เชิงเส้นได้ โดยวิธีของอิเตอร์เรชั่น ซึ่งไม่คิดผลของอุณหภูมิเช่นกัน โปรแกรม FEPAVE วิเคราะห์ปัญหาอิลาสติกไร้เชิงเส้น โดยวิธีอินครีเม้นท์ทั้งยังคิดผลของอุณหภูมิที่กระทำต่อวัสดุด้วย ต่อไปจะกล่าวถึงคุณสมบัติของวัสดุแต่ละชั้น ได้แก่ ชั้นผิว, ชั้นพื้นทาง, ชั้นรองพื้นทาง, ชั้นดินเดิม และคุณสมบัติของวัสดุที่ได้จากการทดลองกับชั้นดินเดิม และได้นำเอาคุณสมบัติของวัสดุเหล่านี้ไปคำนวณโดยคอมพิวเตอร์ และนำผลมาแสดงไว้ในบทที่ ๕

๓.๒ คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ชั้นผิว

วัสดุชั้นผิวของพื้นแบบยืดหยุ่นใช้หินผสมยางแอสฟอลท์ ซึ่งเรียกว่าแอสฟอลท์คิกคอนกรีต คุณสมบัตินี้ได้มีหลายสถาบันทำการทดลอง, ค้นคว้า และวิจัยอย่างละเอียด ซึ่งสรุปผลการทดลองและค้นคว้า เพื่อที่นำผลเหล่านี้มาใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ดังตารางที่ ๓.๑, ๓.๒

i 18018671

ตารางที่ ๓.๑ ค่าโมดูลัสของแอสฟอลท์ติกคอนกรีต (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)

อุณหภูมิ °F	โมดูลัส
๔๐	๑,๘๐๐,๐๐๐
๗๐	๖๖๐,๐๐๐
๘๐	๒๗๐,๐๐๐
๑๐๐	๑๔๕,๐๐๐
๑๒๐	๑๐๐,๐๐๐

ตารางที่ ๓.๒ ค่าปัวซองเรโช (Poisson's ratio) ที่ใช้โดยสถาบันต่างๆ

วัสดุ	Original Shell Oil Co.	Revised Shell Oil Co.	The Asphlt Institute	Kentucky Hwy
แอสฟอลท์คอนกรีต	๐.๕	๐.๓๕	๐.๔	๐.๔
แกรนนูลาร์	๐.๕	๐.๓๕	๐.๔๕	๐.๔๕
ชั้นดินเดิม	๐.๕	๐.๓๕	๐.๔๕	๐.๔๕

ค่าโมดูลัสของชั้นผิวนี้อาจหาได้อีกหลายวิธี ซึ่งมีองค์ประกอบขึ้นกับอีกหลายตัว เช่น ความถี่ที่กระทำ, ความเค้นที่เกิดในยาง, ปริมาณยางกับมวลหินที่ใช้ แต่จะไม่นำมากล่าว เพราะไม่ได้นำมาวิเคราะห์ ส่วนค่าปัวซองเรโชที่แสดงไว้ในตาราง ๓.๒ นั้น ค่าเหล่านี้แตกต่างกันเล็กน้อย ก็ไม่เป็นผลต่อการวิเคราะห์หาค่าของความเค้น, ความเครียดมากนัก โมดูลัสของพื้นถนนที่ทำการวิเคราะห์โดยโปรแกรม CHEV5L, PSAD, PSAD2A ใช้ ๓๐๐,๐๐๐ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ส่วนโปรแกรม FEPAVE คิดตามอุณหภูมิตามตาราง ๓.๑ โมดูลัสของสนามบินใช้ ๔๘๐,๐๐๐ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว กับโปรแกรม CHEV5L, PSAD, PSAD2A ส่วนโปรแกรม FEPAVE คิดตามอุณหภูมิตามตารางที่ ๓.๑ เช่นกัน

๓.๓ คุณสมบัติของวัสดุชั้นพื้นทาง (BASE)

วัสดุชั้นนี้ใช้หินคลุกซึ่งเป็นพวกแกรนนูลาร์ ค่าของโมดูลัสของวัสดุชนิดนี้ขึ้นกับองค์ประกอบของความดันรอบตัว (σ_3) และขนาดของความเค้น (strss level) ดังมีสมการดังนี้

$$M_R = K_1\sigma_3^{K_2} \qquad .....3.1$$

$$M_R = \overline{K}_1\theta^{\overline{K}_2} \qquad .....3.2$$

เมื่อ M_R = เรสซิเร้นท์โมดูลัส หน่วยปอนด์ต่อตารางนิ้ว = $\frac{\sigma_D}{\varepsilon_a}$

σ_3 = ความดันรอบตัว (Confining pressure) หน่วยปอนด์ต่อตารางนิ้ว

θ = ผลรวมของความเค้น = $\sigma_1+\sigma_2+\sigma_3$ หน่วยปอนด์ต่อตารางนิ้ว

K_1, K_2, $\overline{K}_1$, $\overline{K}_2$ ค่าคงที่ที่ได้จากการทดลอง

โมดูลัสจากชั้นพื้นทางนี้ได้มาหลายคนคิดขึ้นมา และได้ทำการทดสอบ, ค้นคว้าอย่างละเอียด แล้วสรุปผลดังแสดงไว้ตารางที่ ๓.๓ ซึ่งใช้ของ Schiffley เป็น Crushed gravel ของพื้นถนนใช้ K_1 = ๑๑๒๐๐, K_2 = ๐.๕ ของสนามบินใช้ K_1 = ๑๓๐๐๐, K_2 = ๐.๕ ค่า K_1, K_2 นี้ใช้กับโปรแกรมของ PSAD, PSAD2A และ FEPAVE สำหรับโปรแกรม CHEV5L นั้นประมาณค่าโมดูลัสได้จากตารางที่ ๓.๔ ซึ่งได้จากผลคูณของตัวประกอบที่กำหนดให้กับค่าโมดูลัสชั้นรองลงไป ซึ่งก็ได้ค่าประมาณของสมการที่ ๓.๑ และ ๓.๒ โดยที่ถนนกำหนดโมดูลัสหินคลุก = ๕๘๐๐๐ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ของสนามบินกำหนดชั้นหินคลุก ๗๒๐๐๐ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ตารางที่ 3.3 Resilient modulus of granular material

Researcher	Material	Modulus (pSi) Resilient	Comments
1. Seed & Chan	Silty sand	21,300 to 27,300	Varied frequency and duration of load
2. Haynes & Yoder	Gravel and crushed stone	28,000 to 63,000	Varied moisture content and gradation
3. Biarez	Rounded aggregate	16,700 to 54,500	Varied stress level and void ration
4. Trollope, Lee and Morris	Poorly graded dry sand	35,000 to 95,000	Varied stress levels
5. Dunlap	Well graded aggregate	30,000 to 160,000	Varied stress levels
6. Mitry	Dry gravel	$7{,}000\ \sigma_3^{0.55}$ to $1{,}900\ \theta^{.61}$	Varied stress levels
7. Schiffley	Crushed gravel	$13{,}000\ \sigma_3^{0.5}$ to $9{,}000\ \sigma_3^{0.5}$	Varied moisture content
8. Kasianchuk	Aggregate base	$3{,}830\ \theta^{.53}$	Varied stress levels
	Aggregate subbase	$2{,}900\ \theta^{.47}$	
9. Hicks & Finn	Aggregate base	$5{,}400\ \theta^{.50}$ to $21{,}000\ \theta^{.5}$	Varied moisture content
10. Browns & Pell	Aggregate base	$2{,}040\ \theta^{0.57}$	Calculated from insitu tests
11. Smith & Nair	Aggregate base	$2{,}000\ \theta^{0.6}$ to $5{,}000\ \theta^{0.6}$	Extremes from all experiments

ตารางที่ 3.4 Granular base-subgrade modular ratios

Agency	K = Modular Ratio for $E_{subgrade}$ Given				
	3000	6000	12,000	21,000	30,000
Shell Oil Company	3.5	2.4	1.9	1.8	1.7
The Asphalt Institute	4.8	2.7	1.8	1.6	1.5
Kentucky Highway Department					
E_{AC} = 150,000 pSi	4.6	3.5	2.7	2.2	1.9
270,000 pSi	4.2	3.4	2.7	2.3	2.0
600,000 pSi	3.8	3.2	2.7	2.4	2.2
1,800,000 pSi	3.6	3.1	2.7	2.5	2.3

$E_{base} = KE_{subgrade}$

๓.๔ คุณสมบัติของวัสดุชั้นรองพื้นทาง, ชั้นดินเดิม

คุณสมบัติของวัสดุชั้นรองพื้นทางและชั้นดินเดิมเป็นพวกวัสดุละเอียด ได้มีการทดลองค้นคว้าอย่างละเอียดและสรุปผลการหาค่าโมดูลัสจากค่า CBR ดังสูตรของ Huekelomand และ Fostor (7)

$$E = 1500\ CBR \qquad .....3.3$$

วัสดุชั้นพื้นทางนี้เป็นพวกลูกรัง ซึ่งมีวัสดุละเอียดสูตรประมาณค่านี้ได้ใกล้เคียงสำหรับช่วงของอิลาสติก การ test ค่า CBR เมื่อถึงช่วงของพลาสติก คือช่วงที่วัสดุไม่กับคืนตัวเหมือนก่อนน้ำหนักกระทำได้ค่าไม่ถูกต้อง ควรทำเป็น dynamic test

สำหรับ CBR ของถนนชั้นพื้นทางลูกรัง ๒๐ % ซึ่งได้ค่าโมดูลัส ๓๐,๐๐๐ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ชั้นดินเดิม CBR = ๖ % โมดูลัส ๙,๐๐๐ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ของสนามบินก็กำหนด CBR ของลูกรังและของชั้นดินเดิมเท่ากัน ได้ค่าโมดูลัสเท่ากัน เพราะเหตุผลของเรื่องกำลังวัสดุซึ่งกำหนดให้ค่า CBR เท่ากันนั่นเอง

คุณสมบัติของวัสดุต่างๆ ที่ได้กล่าวมาจะนำไปใช้ในบทที่ ๕ สำหรับการวิเคราะห์โดยคอมพิวเตอร์

๓.๕ คุณสมบัติของวัสดุที่ได้จากการทดลองชั้นดินเดิม

จากการทดลองกดแผ่นเหล็กกับชั้นดินเดิมในบทที่ ๕ นั้น ได้นำมาทดลองหาคุณสมบัติของดินเพื่อจะได้นำไปวิเคราะห์โดยคอมพิวเตอร์ แล้วนำมาเปรียบเทียบกัน ผลของการทดลองคุณสมบัติและวิธีการนั้นใช้วิธีของ CBR แล้วใช้สูตรการหาโมดูลัสจากสมการที่ (๓.๓) ซึ่งได้ค่าประมาณของโมดูลัสใกล้เคียงพอใช้สำหรับในช่วงของอิลาสติก

การทดสอบหาค่า CBR จากชั้นดินเดิมนั้นต้องเป็นค่า CBR จากดินเดิมจริงๆ ไม่ควรจะกระทบกระเทือนหรือทำให้สภาพนั้นต่างไปจากของจริง เพราะว่าต้องการค่าโมดูลัสจากสภาพเดิมจริงๆ ค่าความชื้นและความแน่นจึงไม่ควรเปลี่ยนแปลง ดังนั้นการเก็บดินในกระบอกทดสอบจึงควรระวังมาก และนำมาทดสอบหาค่า CBR ในทันทีห้ามทิ้งไว้ข้ามวัน เพราะจะทำให้ความชื้นจริงของดินเดิมเปลี่ยนไปได้ เราเรียกวิธีนี้ว่า FIELD TEST CBR และผลของการทดลองอยู่ที่ตาราง ๓.๕, ตารางที่ ๓.๖ และรูปกราฟที่ ๓.๒ เครื่องมือทดลอง CBR ในรูปที่ ๓.๑

ตารางที่ ๓.๕ ทดสอบหาค่า CBR ของดินเติมระยะ ๑ ฟุตแรก ความชื้น ๒๖.๒๘ %

การกด (นิ้ว	จำนวนช่องที่อ่าน ๑ ช่อง ๑๙.๖ ปอนด์	พื้นที่กด ๓ ตารางนิ้ว น้ำหนัก	
		ปอนด์	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
๐.๐๒๕	๐.๔	๗.๘๔	๒.๖๑
๐.๐๕๐	๐.๘	๑๕.๖๘	๕.๒๓
๐.๐๗๕	๑.๒	๒๓.๕๒	๗.๘๔
๐.๑๐๐	๑.๕	๒๙.๔๐	๙.๘๐
๐.๑๕๐	๑.๘	๓๕.๒๘	๑๑.๗๖
๐.๒๐๐	๒.๐	๓๙.๒๐	๑๓.๐๑
๐.๒๕๐	๒.๒	๔๓.๑๒	๑๔.๓๗
๐.๓๐๐	๒.๓	๔๕.๐๘	๑๕.๐๒
๐.๓๕๐	๒.๔	๔๗.๐๔	๑๕.๖๘
๐.๔๐๐	๒.๓	๔๕.๐๘	๑๕.๐๒
๐.๔๕๐	๒.๒	๔๓.๑๒	๑๔.๓๗
๐.๕๐๐	๒.๒	๔๓.๑๒	๑๔.๓๗

ค่า CBR ที่ ๐.๑๐๐ นิ้ว = $\frac{๙.๘๐}{๑๐๐๐}$ x ๑๐๐ = ๐.๙๘ ≈ ๑

โมดูลัสชั้น ๑ ฟุตแรกประมาณ ๑ x ๑๕๐๐ = ๑๕๐๐ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

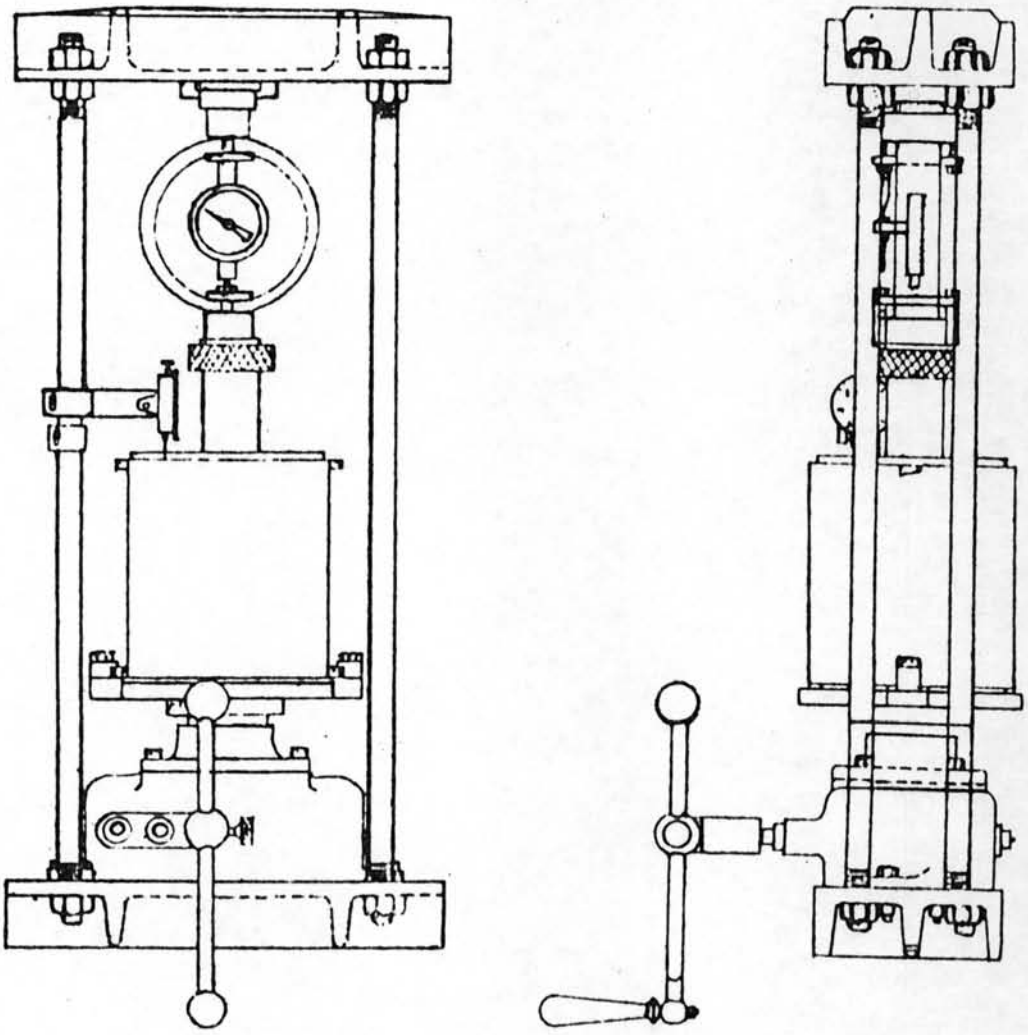
ตารางที่ ๓.๖ ทดสอบค่า CBR ที่ระยะต่ำกว่า ๑ ฟุต ความชื้น ๓๙.๒๑ %

การกด (นิ้ว)	จำนวนช่องที่อ่าน ๑ ช่อง ๑๙.๖ ปอนด์	พื้นที่กด ๓ ตารางนิ้ว น้ำหนัก	
		ปอนด์	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
๐.๐๒๕	๐.๓	๕.๘๘	๑.๙๖
๐.๐๕๐	๐.๕	๙.๘๐	๓.๒๗
๐.๐๗๕	๐.๘	๑๕.๖๘	๕.๒๓
๐.๑๐๐	๑.๐	๑๙.๖๐	๖.๕๓
๐.๑๕๐	๑.๒	๒๓.๕๒	๗.๘๔
๐.๒๐๐	๑.๕	๒๙.๔๐	๙.๘๐
๐.๒๕๐	๑.๖	๓๑.๓๖	๑๐.๔๖
๐.๓๐๐	๑.๘	๓๕.๒๘	๑๑.๗๖
๐.๓๕๐	๒.๐	๓๙.๒๐	๑๓.๐๑
๐.๔๐๐	๒.๐	๓๙.๒๐	๑๓.๐๑
๐.๔๕๐	๑.๘	๓๕.๒๘	๑๑.๗๖
๐.๕๐๐	๒.๐	๓๙.๒๐	๑๓.๐๑

ค่า CBR ที่ ๐.๑๐๐ นิ้ว = $\frac{๖.๕๓}{๑๐๐๐}$ x ๑๐๐ = ๐.๖๕๓

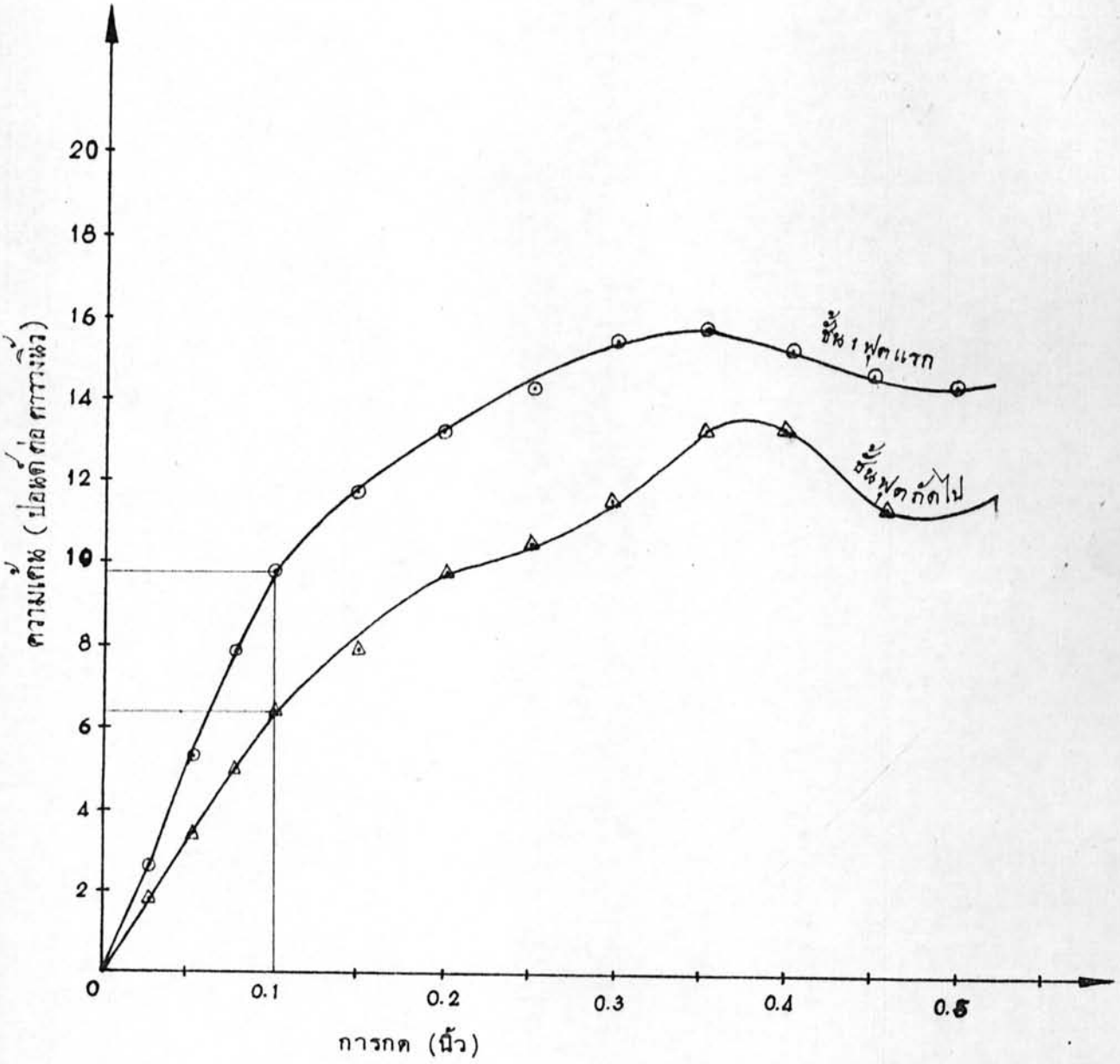
โมดูลัสชั้นถัดจาก ๑ ฟุตประมาณ = ๑๕๐๐ x ๐.๖๕๓ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

= ๙๗๙.๕ ≃ ๑๐๐๐ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว



รูปที่ ๓.๑ แสดงเครื่องมือทดสอบหาค่า CBR

การทดสอบหาค่า CBR ที่ ๐.๑๐๐ นิ้ว penetration



รูปที่ ๓.๒ กราฟแสดงการทดลองหาค่า CBR