

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

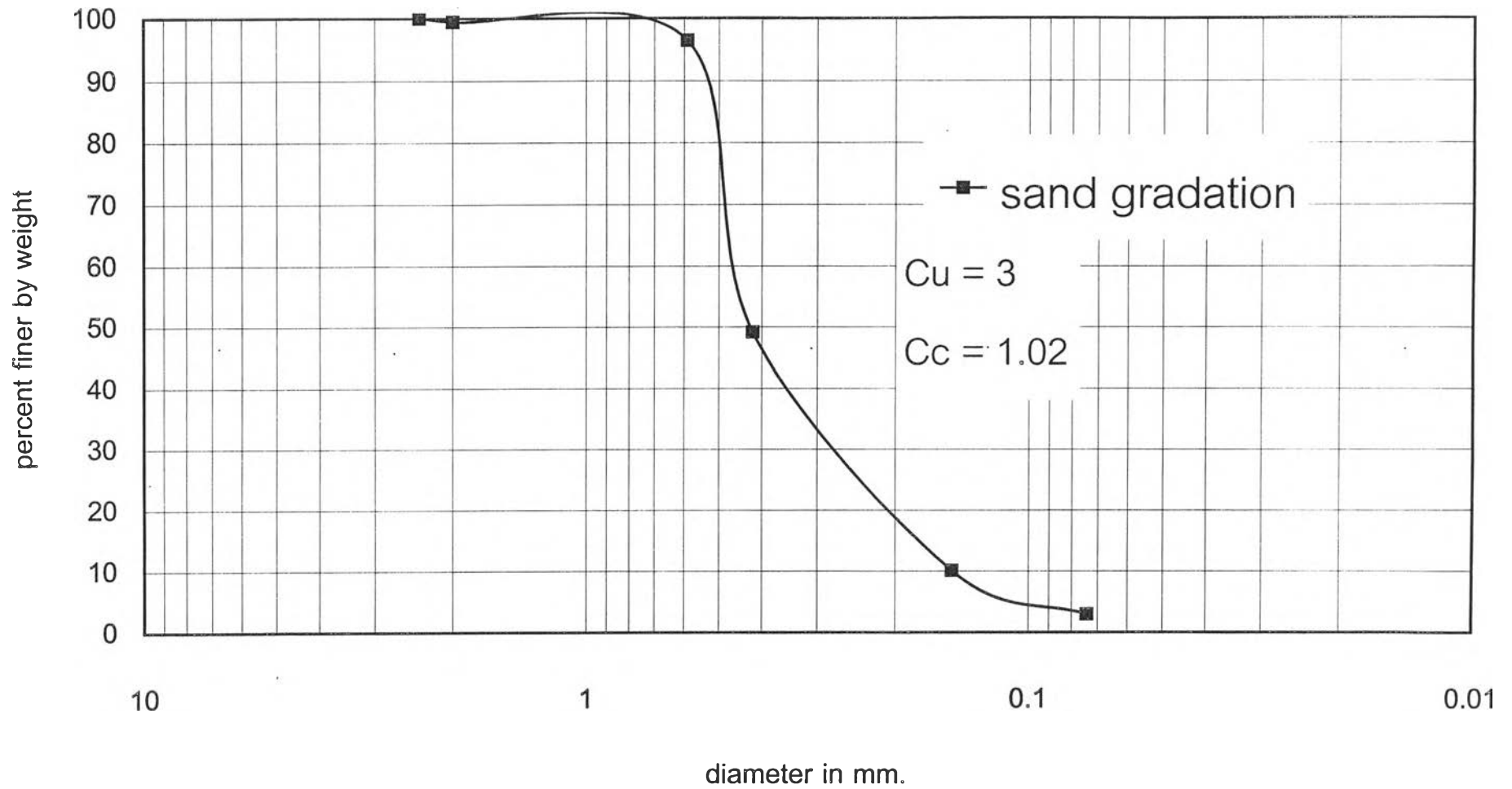
4.1 หลักการและการวิเคราะห์และคุณสมบัติชั้นพื้นฐานของวัสดุที่ใช้

ในการวิจัยนี้เป็นผลการทดสอบที่ได้จากการทดสอบแรงเฉือนแบบอันเดรอน (Su) ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ (Bangkok Clay) ที่มีส่วนผสมของสารผสมเพิ่มคือทราย(sand) ทำให้กลายเป็นดินผสม (soil mixing) ระหว่างดินเหนียวกับทราย (Clay+Sand) ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ด้วยวิธีการทดสอบ Triaxial แบบ CIUC (Isotropically Consolidated Undrained Triaxial Compression Test) โดยในการวิจัยนี้จะแสดงให้เห็นผลการทดสอบที่เปรียบเทียบความแตกต่างตามปริมาณสารผสมเพิ่ม(ทราย)ที่เพิ่มขึ้น โดยพิจารณาที่ Confining Consolidated Pressure เดียวกัน ในการวิเคราะห์ผลการทดสอบที่ได้จากการทดสอบ CIUC Test ใช้หลักการกำหนดจุดที่เกิดการพิบัติของดินในการทดสอบนี้คือค่าหน่วยแรงเบี่ยงเบน ($\sigma_1 - \sigma_3$) ณ จุดที่เกิดค่าหน่วยแรงเบี่ยงเบนสูงสุด ($(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$) และค่า ϕ' และ C' ที่จุด q_f หรือค่า ϕ' และ C' ที่จุด $(\sigma_1 / \sigma_3)_{max}$

4.1.1 ผลการทดสอบของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุที่ใช้ประกอบด้วยดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ซึ่งเก็บมาจากที่ก่อสร้างของถนนพหลโยธินและทรายหยาบจากแหล่งทรายกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

- (ก) คุณสมบัติพื้นฐานของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ คือค่า Atterberg Limit ซึ่งมีค่าดังต่อไปนี้
- | | |
|--------------------------------------|--------------|
| ปริมาณความชื้น (w) เป็น% | = 66 ถึง 82% |
| ค่าความขีดเหลว (liquid limit) เป็น % | = 72 ถึง 90% |
| ค่า plastic limit | = 46 ถึง 60% |
| ค่า specific gravity | = 2.78 |



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการกระจายตัวของทรายจากแหล่งทรายกำแพงแสน จากการทดสอบ Sieve Analysis

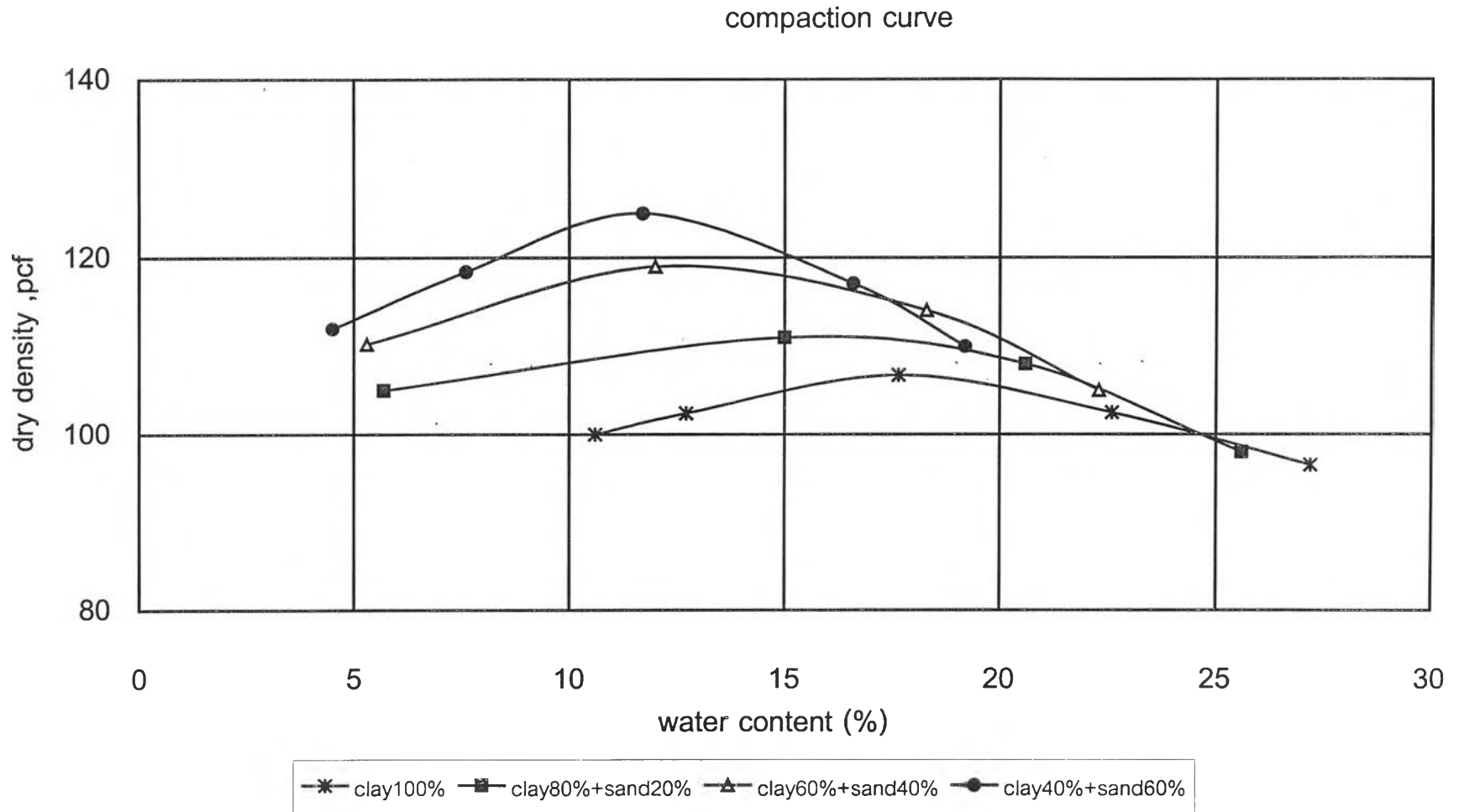
การวิเคราะห์ของเหล่านี้จะเห็นได้ว่าดินเหนียวอ่อนซึ่งต้องนำมาจำนวนมากนี้มีค่า PI ต่างกันมาก ซึ่งทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับตัวอย่างดินที่ได้รับการบดอัดแล้ว

- (ข) คุณสมบัติขั้นพื้นฐานของทรายที่กำแพงแสน
คุณสมบัติที่ทำการทดสอบคือการทำให้ Sieve Analysis ข้อมูลแสดงอยู่ในรูปที่ 4.1 ในรูป 4.1 จะเห็นได้ว่าขนาดของเม็ดทรายส่วนมากเป็นทรายเม็ดหยาบมีค่า $C_u = 3$ และค่า $C_c = 1.02$ ซึ่งถ้าจำแนกตามระบบ Unified Soil Classification แล้วเป็นพวก SP material การที่ทรายเป็น SP material แสดงว่าคุณสมบัติของทรายเองอาจเกิดปัญหาทางด้านผสมดินเหนียวกับดินทราย
- (ค) คุณสมบัติทางการบดอัดดินเหนียวผสมทราย
ในรูป 4.2 แสดงผลการทดสอบ dynamic compaction ของดินเหนียวผสมกับดินทราย โดยใช้การทดสอบ Standard Proctor ที่เปอร์เซ็นต์ทราย 0, 20, 40 และ 60%

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่า :

1. เมื่อปริมาณทรายเพิ่มขึ้น ค่า optimum water content จะลดลง
2. ค่า Maximum dry density จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ%ทรายสูงขึ้น
3. พฤติกรรมทางด้าน dry side แสดงผลของทรายอย่างชัดเจนว่า การผสมทรายช่วยให้ γ_o สูงขึ้นและถ้าเปรียบเทียบค่า γ_o เท่ากัน ปริมาณความชื้นก็จะลดลงเมื่อปริมาณทรายสูงขึ้น
4. พฤติกรรมทางด้าน wet side ไม่ได้แสดงผลกระทบของการเติมทรายอย่างชัดเจนเหมือนข้อ 3. โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อปริมาณความชื้นประมาณ 22% (รูปที่ 4.2)

สรุปจากผลการทดสอบบดอัดแบบ dynamic ด้วย standard proctor (รูปที่ 4.2) ตัวอย่างที่ γ_{Dmax} และ optimum water content โดยผสมทรายด้วยปริมาณต่างๆกัน จะเห็นได้ว่าตัวอย่างของดินเหนียวผสมทรายที่ถูกบดอัดที่ปริมาณทรายต่างกันจะมีค่า γ_{Dmax} และ optimum water content ต่างกัน การเตรียมตัวอย่างแบบ static compression ก็เช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลการบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Drydensity) ระหว่างความหนาแน่นแห้ง กับ ความชื้น ของดินผสมที่ปริมาณทรายต่างๆ

และอาจมี variation เพราะทั้งดินเหนียวและทรายที่เอามาทดลองมี variation ของคุณสมบัติ มาก

ตารางที่ 4.1 แสดงค่า γ_{Dmax} และ optimum water content ในการบดอัด

%ของปริมาณทราย	γ_{Dmax} (pcf)	%water content
0	106.5	17.6
20	111.5	16
40	119.0	12
60	125.0	11

ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลความหนาแน่น, ปริมาณความชื้น ที่ปริมาณทรายและ σ_c' ต่างๆกันจากการทดสอบ CIUC Test จากตารางจะเห็นว่า

1. ปริมาณความชื้นหลังจากการทดสอบ CIUC Test มีปริมาณน้อยลง เมื่อปริมาณทรายเพิ่มขึ้นโดยการเปรียบเทียบที่ σ_c' เดียวกัน
2. การเปลี่ยนแปลงของผลต่างๆระหว่างความหนาแน่นรวมหลังการทดสอบกับก่อนการทดสอบมีแนวโน้มที่จะลดลงเมื่อปริมาณทรายเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อ%ทรายเท่ากับ 20% และ 40% หลังจากนั้นเมื่อปริมาณทรายเพิ่มขึ้นเป็น 60% ค่า γ_c ก่อนการทดสอบและหลังการทดสอบมีการเปลี่ยนแปลง γ_c (การเพิ่มขึ้น) อย่างชัดเจน
3. ปริมาณความชื้นก่อนการทดสอบแทบไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง σ_c' และปริมาณทราย แต่เมื่อพิจารณาปริมาณความชื้นหลังการทดสอบจะเห็นได้ว่าปริมาณความชื้นจะมีปริมาณลดลงกับค่า σ_c' และการเพิ่มปริมาณทรายที่ผสมแสดงว่าผลของการเพิ่ม σ_c' และ %ทรายทำให้ γ_o หลังการทดสอบเพิ่มขึ้น
4. ในสภาพที่ compact เสร็จ ค่าปริมาณความชื้นมีค่าลดลงเมื่อ%ทรายเพิ่มขึ้น ส่วนค่า γ_o ก็มีการเพิ่มขึ้นเช่นกันใน dry side แต่ปริมาณน้อย การเพิ่มของ γ_o ในช่วง wet side มีการเปลี่ยนแปลงของ γ_o น้อยเมื่อปริมาณทรายมีการเปลี่ยนแปลง (รูปที่ 4.2)

ตารางที่ 4.2 ค่าแสดงปริมาณความชื้นและความหนาแน่น (γ_i หรือ γ_D) ก่อนและหลังการทดสอบ ที่%ทรายและความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆกัน

%mixed		consolidated pressure (psi.)	water content (%)			density (pcf.) (3)			
%clay	%sand		as compacted (0)	initial (1)	failure (2)	as compacted (γ_i)	initial (4)	final (5)	dry (6)
100	0	15	17.6	17.5	24.2	206.50	202.37	212.695	170.363
100	0	45	17.6	17.5	22.9	206.50	200.305	207.533	168.298
100	0	60	17.6	17.5	21.3	206.50	207.533	211.663	174.493
100	0	90	17.6	17.5	21.4	206.50	203.403	207.533	170.363
80	20	15	16	16.25	21.12	213.7275	207.533	215.793	178.623
80	20	45	16	16.5	19.3	213.7275	211.663	216.825	178.623
80	20	60	16	16.25	19.9	213.7275	206.5	213.728	178.623
80	20	90	16	16.25	22.05	213.7275	208.565	219.923	180.688
60	40	15	12	11.6	17.88	214.76	213.728	214.76	181.72
60	40	45	12	11.6	16.5	214.76	214.76	226.118	194.11
60	40	60	12	11.6	16.4	214.76	210.63	223.02	192.045
60	40	90	12	11.6	15.66	214.76	217.858	225.085	196.175
40	60	15	11	10.7	14.55	229.215	220.955	230.248	200.305
40	60	45	11	10.7	14.95	229.215	218.89	228.183	199.273
40	60	60	11	10.8	15	229.215	216.825	229.215	198.24
40	60	90	11	10.7	15.25	229.215	220.955	231.28	201.338

หมายเหตุ (0) as compacted คือค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมที่สุดและ γ_{Dmax} จากการทดสอบโดย standard proctor test

- (1) ค่าปริมาณความชื้นก่อนการทดสอบ บดอัดโดยวิธี static
- (2) ค่าปริมาณความชื้นหลังการทดสอบ
- (3) ค่า density (γ_i หรือ γ_D) หน่วยเป็น pcf.
- (4) ค่า γ_i ก่อนการทดสอบ
- (5) ค่า γ_i หลังการทดสอบ
- (6) ค่า γ_D หลังจากการทดสอบ

ตารางที่ 4.3 ถึง ตารางที่ 4.5 แสดงผลสรุปของการทดลองในรูปแบบต่างๆกันดังนี้

1. ตารางที่ 4.3 แสดงผลกระทบบของ σ_c' และปริมาณทรายจากคุณสมบัติของดินที่ได้จากการทดสอบ \overline{CIUC}
2. ตารางที่ 4.4 แสดงผลกระทบบของค่า σ_c' และปริมาณทรายที่มีต่อค่า ΔU และ A_f
3. ตารางที่ 4.5 แสดงผลกระทบบของปริมาณทรายต่อค่า q , A_f , E_f , ที่จุด yield และที่ $(\sigma_1'/\sigma_3')_{max}$ ที่ค่า σ_c' ค่าใดค่าหนึ่ง

ตารางทั้งสามตารางนี้มีเพื่อใช้ในการแสดงผลกระทบบของปริมาณทรายและ σ_c' ของดินเหนียวผสมทรายที่จะพิจารณาเป็นแต่ละ Section ดังนี้คือ

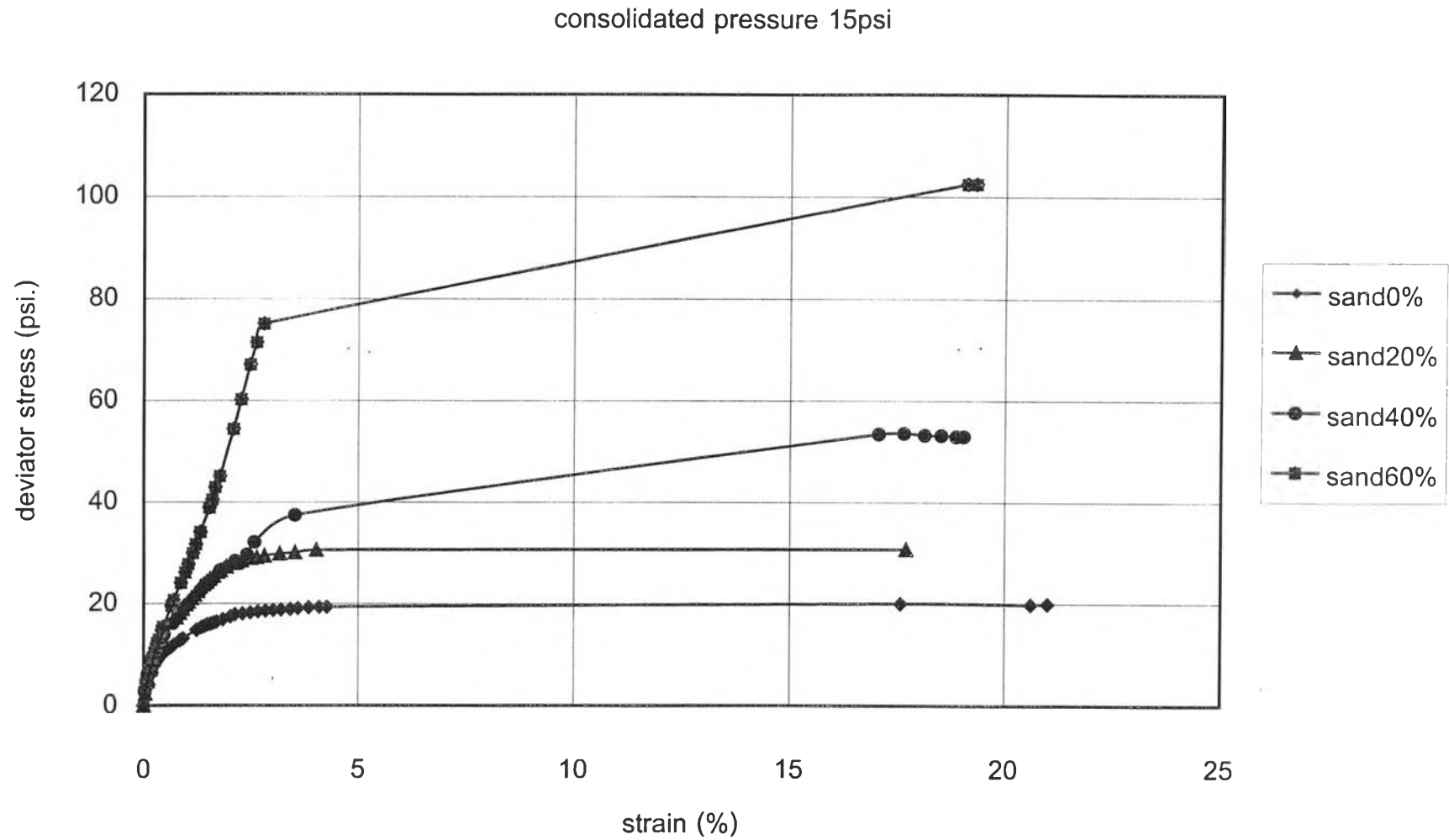
1. Section 4.2 แสดงผลกระทบบต่อความสัมพันธ์ระหว่าง $(\sigma_1 - \sigma_3)$ กับ ϵ
2. Section 4.3 แสดงผลกระทบบที่มีต่อค่าความสัมพันธ์ของ ΔU กับ strain และค่า A_f กับ strain
3. Section 4.4 แสดงผลกระทบบต่อทางเดินหน่วยแรงประสิทธิผล
4. Section 4.5 แสดงผลกระทบบต่อเส้นขอบเขตการวิบัติในรูปหน่วยแรงประสิทธิผลและหน่วยแรงรวม
5. Section 4.6 แสดงผลกระทบบต่อค่าความสัมพันธ์ของค่า E_u ที่ 50% stress level กับ ค่า σ_c' และปริมาณทราย

4.2 ผลกระทบบของปริมาณทรายและ σ_c' ที่มีต่อความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเบี่ยงเบน(deviator stress) กับความเครียดตามแนวแกน (axial strain)

4.2.1 ผลกระทบบของปริมาณทรายเมื่อ σ_c' มีค่าคงที่

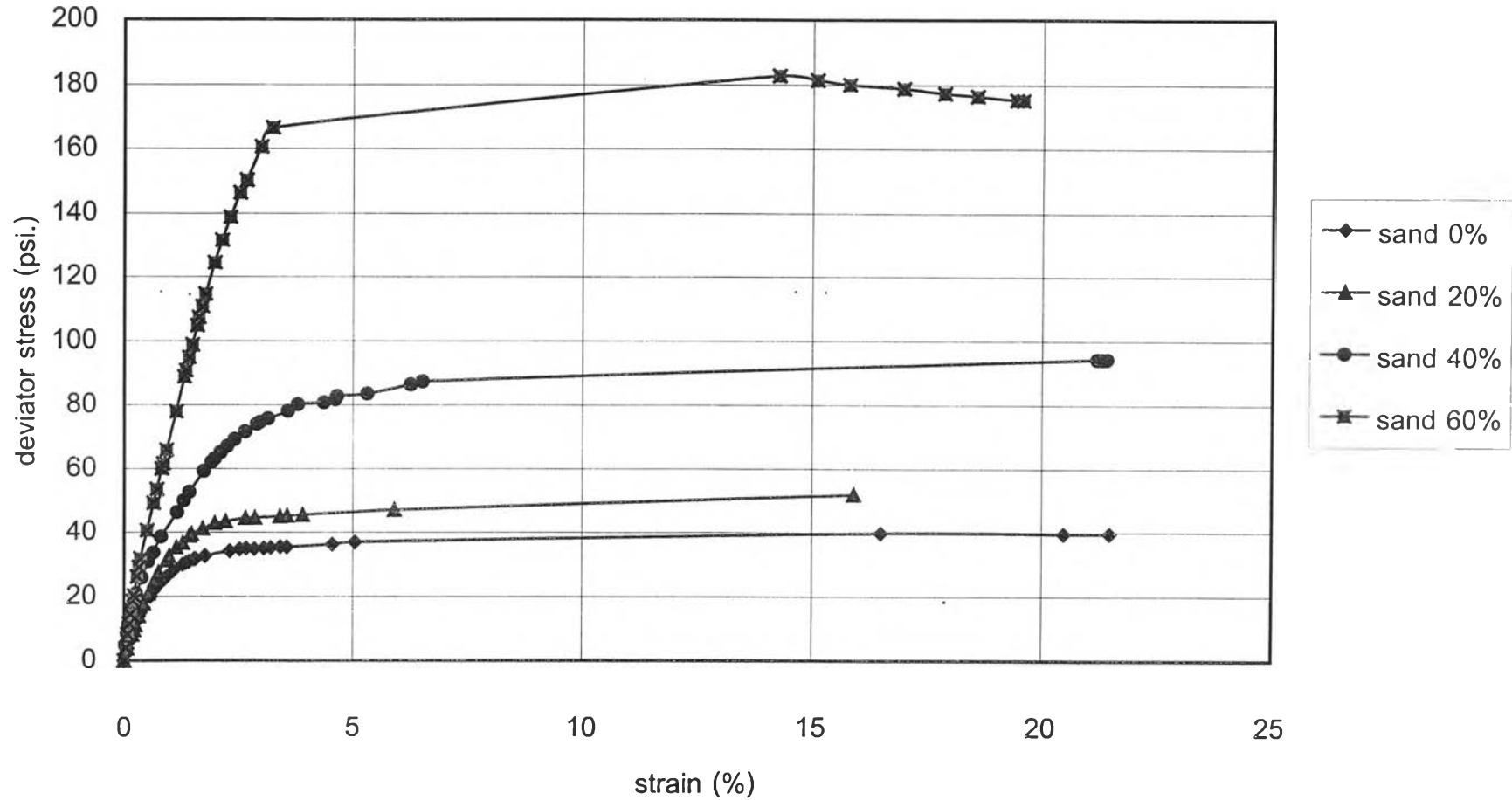
ตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3 ถึงรูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(\sigma_1 - \sigma_3)$ ที่ปริมาณ%ทรายต่างกันโดยเปรียบเทียบในรูปดังกล่าวและดูผลจากตารางที่ 4.3 ดังกล่าวจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเปอร์เซ็นต์ทราย มีผลดังนี้

1. ช่วงแรกคือที่ช่วง 3 ถึง 5%แรกซึ่งเป็นจุดประมาณ yield point ของ $(\sigma_1 - \sigma_3)$ ที่ความเครียดตามแนวแกน ค่าความเค้นเบี่ยงเบนมีค่าเพิ่ม



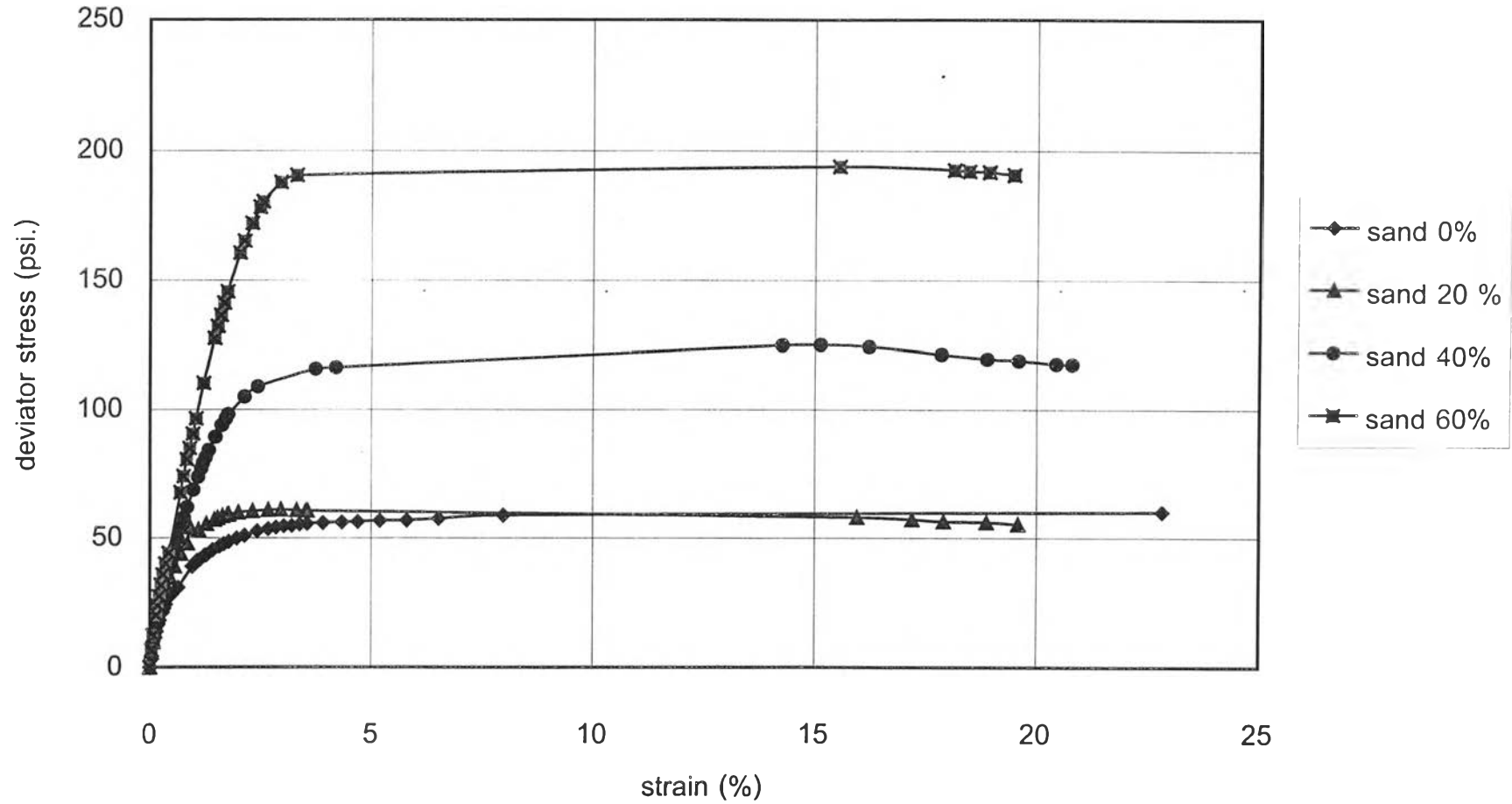
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าความเค้นเบี่ยงเบน กับความเครียดตามแนวแกน ที่ความดันตัวคายน้ำที่ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่ปริมาณทรายต่างๆ

consolidated pressure 45 psi.



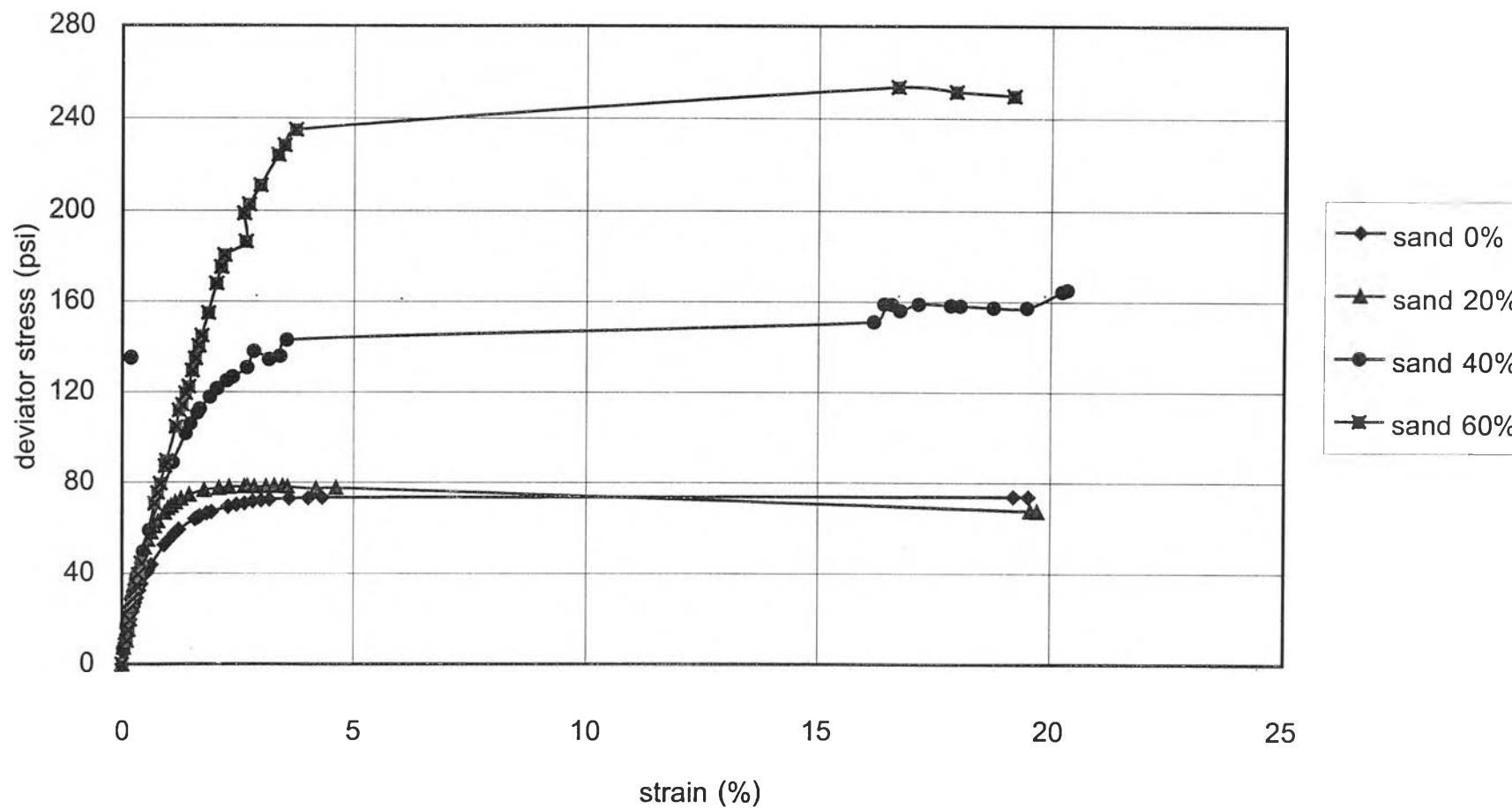
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าความเค้นเบี่ยงเบน กับความเครียดตามแนวแกน ที่ความดันอัดตัวคายน้ำ 45 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่ปริมาณทรายต่างๆ

consolidated pressure 60 psi.



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าความเค้นเบี่ยงเบน กับความเครียดตามแนวแกน ที่ความดันอัดตัวคายน้ำ 60 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่ปริมาณทรายต่างๆ

consolidated pressure 90 psi.



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าความเค้นเบี่ยงเบน กับความเครียดตามแนวแกน ที่ความดันอัดตัวคายนํ้า 90 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่ปริมาณทรายต่างๆ

- ขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อความเครียดตามแนวแกนเพิ่มขึ้น ในช่วงนี้ค่าความเค้นเบี่ยงเบนของดินผสมที่ปริมาณทราย 60% มีค่ามากที่สุด และเมื่อปริมาณทราย 40%, 20%, 0% ให้มีค่าความเค้นเบี่ยงเบนลดลงตามลำดับ ในทุกความดันอัดตัวคายน้ำ
2. ช่วงที่สองคือความเครียดตามแนวโน้มตั้งแต่ 5%ของความเครียดตามแนวแกน ค่าความเค้นเบี่ยงเบนมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยหรือไม่เปลี่ยนแปลง (เมื่อเทียบกับค่าในช่วง 5%ความเครียดตามแนวแกน) จากกราฟผลการทดสอบในช่วงนี้ พฤติกรรมผลของความดันอัดตัวคายน้ำ ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่ำๆ (15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) มีผลทำให้ค่าความเค้นเบี่ยงเบนแบ่งได้เป็นสี่ระดับ โดยที่ดินผสมที่มีปริมาณทราย 60% มีค่า $(\sigma_1 - \sigma_3)$ สูงสุด และที่ปริมาณทราย 40%, 20% และ 0% ให้มีค่าความเค้นเบี่ยงเบน ลดลงไปตามลำดับ
 3. เมื่อปริมาณของทรายเพิ่มขึ้น ค่า E_u ที่ 50% stress level (พิจารณาที่ yield section) จะเพิ่มขึ้นด้วยเมื่อพิจารณาที่ σ_c' อันเดียวกัน
 4. ค่า $(\sigma_1 - \sigma_3)$ ของตัวอย่างที่ปริมาณทราย 0 และ 20% มีค่าคงที่หลังจากผ่านจุด yield ไปแล้ว ส่วนเมื่อเปอร์เซ็นต์ทรายที่ 40 และโดยเฉพาะที่ 60% ตัวอย่างจะแสดงพฤติกรรมของ strain hardening material เมื่อ $\sigma_c' = 15$ psi. แต่เมื่อค่า σ_c' มากขึ้น (40 psi. ถึง 90 psi.) ข้อมูลมีแนวโน้มที่แสดงว่าไม่ว่าปริมาณของทรายจะเป็นเท่าไร ค่า $(\sigma_1 - \sigma_3)$ หลังจากผ่าน yield condition แล้วจะมีค่าค่อนข้างคงที่หรือลดลงเล็กน้อย (รูปที่ 4.6)
 5. สิ่งที่น่าสังเกตคือที่%ทราย 0 และ 20% ค่า $(\sigma_1 - \sigma_3) - \epsilon$ พลอตเกือบทับกันไม่ว่า σ_c' จะใช้ใดๆ

โดยสรุปผลของปริมาณทรายเริ่มมีผลกระทบต่อพฤติกรรมของดินเหนียวผสมทรายเมื่อปริมาณทรายประมาณ 40% ขึ้นไป รูปที่ 4.7 แสดงค่า $(\sigma_1 - \sigma_3)$ ที่ $(\sigma_1'/\sigma_3')_{max}$ เพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อปริมาณทรายตั้งแต่ 40% ขึ้นไปไม่ว่าค่า σ_c' จะมีค่าเท่าใด ในรูปที่ 4.7 ยังแสดงให้เห็นว่า $\sigma_1 - \sigma_3$ จะเพิ่มขึ้นอย่างมากตั้งแต่ σ_c' เพิ่มขึ้นจาก 45 psi. ถึง 90 psi.

ตารางที่ 4.3 summary ของข้อมูลประกอบด้วย E_u , A_f , f , C' , e_f ที่จุด $(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ และค่า f' และค่า C' ที่ $(\sigma_1 / \sigma_3)_{max}$ ตลอดจนค่า E_{u50} (Modulus at 50% shear stress level)

%sand content	σ_c' (psi.)	at yield point							at $(\sigma_1 / \sigma_3)_{max}$					
		ϵ_r	A_f	ϕ'	C'	E_r	p'	q	ϵ_r	A_f	ϕ'	C'	p'	q
0	15	2.85	0.22	31.4	0.04	1094	17.1	10.2	4.1	0.21	31.9	0.49	17.4	10.2
0	45	3.05	0.53	31.4	0.04	2064	38.2	17.5	5.04	0.57	31.9	0.49	36.4	18.5
0	60	3.56	0.44	31.4	0.04	2728	54.1	27.8	5.2	0.46	31.9	0.49	52.4	28.4
0	90	3.62	0.62	31.4	0.04	3591	68.8	36.5	4.03	0.63	31.9	0.49	68	36.5
20	15	2.82	0.11	26.81	4.79	1685	21.7	14.7	3.18	0.15	28.3	4.47	20.1	13.6
20	45	2.86	0.37	26.81	4.79	2664	43.2	22.3	5.9	0.39	28.3	4.47	42.3	23.5
20	60	2.67	0.39	26.81	4.79	4335	56.5	30.4	3.56	0.42	28.3	4.47	54.9	30.3
20	90	2.72	0.5	26.81	4.79	5633	77.1	39.2	4.62	0.54	28.3	4.47	73.7	38.8
40	15	3.53	0.06	33.92	6.62	1474	25.4	18.7	3.53	0.06	36.4	4.93	25.4	18.7
40	45	3.79	0.13	33.92	6.62	3391	61	40.1	3.2	0.17	36.4	4.93	57.2	37.9
40	60	3.74	0.09	33.92	6.62	5575	88.6	57.9	3.74	0.09	36.4	4.93	88.6	57.9
40	90	2.15	0.2	33.92	6.62	12576	106.7	62.5	3.56	0.18	36.4	4.93	110.5	68.6
60	15	2.8	-0.09	43.24	10.18	2526	46.4	37.5	2.49	-0.04	44.5	9.06	39.9	33.5
60	45	3.23	-0.04	43.24	10.18	6549	107.1	83.3	2.99	-0.03	44.5	9.06	102.8	80.3
60	60	3.31	-0.01	43.24	10.18	8462	125.9	95.3	2.54	0.02	44.5	9.06	117.4	90.3
60	90	3.75	0.02	43.24	10.18	8286	164.1	117.5	2.64	0.1	44.5	9.06	136	99.4

ตารางที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง U_v , A_v กับ %ทราย, σ_c'

excess pore pressure

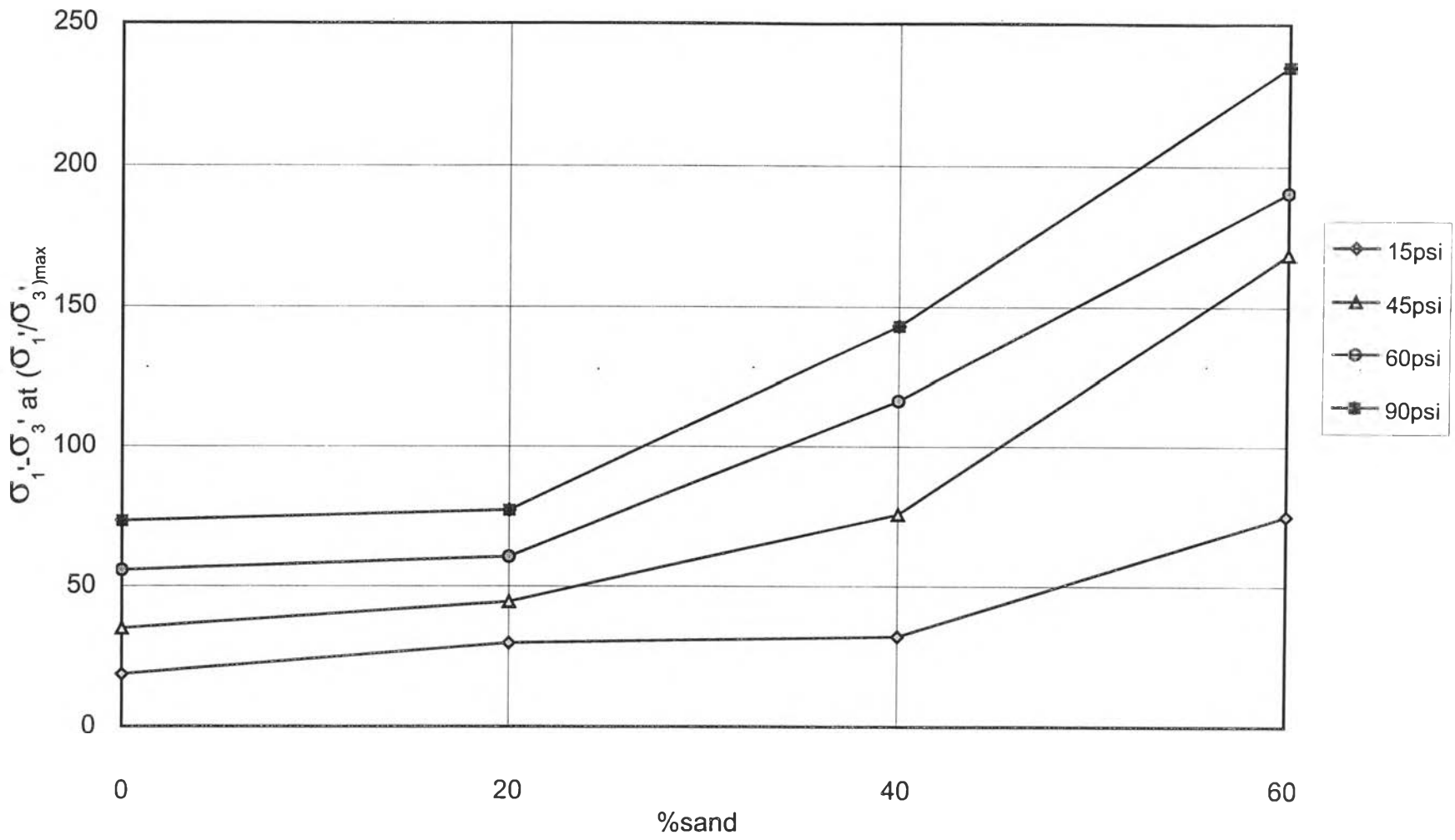
at $(\sigma_1'/\sigma_3')_{max}$					at yield point				
consolidated pressure					consolidated pressure				
%sand	15 psi	45 psi	60psi	90psi	%sand	15 psi	45 psi	60psi	90psi
0	4.1	20.9	26.5	46.4	0	51.4	27.6	60.1	73.8
20	4	18.4	25.3	42.2	20	5.3	18.4	28.8	48.7
40	2.1	13	10	25.3	40	5	10.4	16.9	25.4
60	-2.6	-4.3	2.8	20.3	60	4.1	10	14	29.6

A parameter

at $(\sigma_1'/\sigma_3')_{max}$					at yield point				
consolidated pressure					consolidated pressure				
%sand	15 psi	45 psi	60psi	90psi	%sand	15 psi	45 psi	60psi	90psi
0	0.21	0.57	0.46	0.63	0	37.3	56.6	47.5	70
20	0.15	0.39	0.42	0.54	20	0.48	0.54	0.42	0.72
40	0.06	0.17	0.09	0.18	40	0.3	0.14	0.12	0.22
60	-0.04	-0.03	0.02	0.1	60	0.31	0.29	0.11	0.31

ตารางที่ 4.5 ผลกระทบของปริมาณทรายต่อค่า ϵ_r , A_r , q_r ที่ yield point และที่ $(\sigma_1'/\sigma_3')_{max}$ ที่ σ_c' อันเดียวกัน

σ_c' (psi.)	%sand content	at yield point.					at $(\sigma_1'/\sigma_3')_{max}$				
		ϵ_r	A_r	E_r	p'	q	ϵ_r	A_r	E_r	p'	q
15	0	2.85	0.22	1093.66	17.1	10.2	4.1	0.21	864.04	17.4	10.2
15	20	2.82	0.11	1685.11	21.7	14.7	3.81	0.15	1598.71	20.1	13.6
15	40	3.53	0.06	1474.44	25.4	18.7	3.53	0.06	1474.4	25.4	18.7
15	60	2.8	-0.09	2525.97	46.4	37.5	2.49	-0.04	2642.54	39.9	33.5
45	0	3.05	0.53	2064.05	38.2	17.5	5.04	0.57	1377.38	36.4	18.5
45	20	2.86	0.37	2663.51	43.2	22.3	5.9	0.39	1560.5	42.3	23.5
45	40	3.79	0.13	3391.43	61	40.1	3.2	0.17	3391.43	57.2	37.9
45	60	3.23	-0.04	6548.78	107.1	83.3	2.99	-0.03	6637.58	102.8	80.3
60	0	3.56	0.44	2727.53	38.2	17.5	5.2	0.46	2008.24	52.4	28.4
60	20	2.67	0.39	4335.16	56.5	30.4	3.56	0.42	3325.28	54.9	30.3
60	40	3.74	0.09	5575	88.6	57.9	3.74	0.09	5574.43	88.6	57.9
60	60	3.31	-0.01	8461.68	125.9	95.3	2.54	0.02	8333.33	117.4	90.3
90	0	3.62	0.62	3590.81	38.2	17.5	4.03	0.63	3438.46	68	36.5
90	20	2.72	0.5	5633.33	77.1	39.2	4.62	0.54	3347.2	73.7	38.8
90	40	2.15	0.2	10222.2	106.7	62.5	3.56	0.18	8388.9	110.5	68.6
90	60	3.75	0.02	8285.56	164.1	117.5	2.64	0.1	8656.06	136	99.4



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าหน่วยแรงเบี่ยงเบนที่จุด maximum obliquity เมื่อปริมาณทรายเพิ่มขึ้น

การแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(\sigma_1 - \sigma_3)$ กับ ϵ แสดงว่าเมื่อปริมาณทรายมีตั้งแต่ 40% ขึ้นไป ตัวอย่างดินผสมทรายเริ่มแสดงว่าหลังจากผ่าน yield point วัสดุเป็น strain hardening material ซึ่งเป็นคุณสมบัติของทรายที่ถูกอัดแน่นโดยมีพฤติกรรมที่แสดงออกของการ dilate ซึ่งแสดงออกเมื่อความเครียดเลยจุด yield มาแล้ว เมื่อทดสอบอยู่ในสภาพ undrained

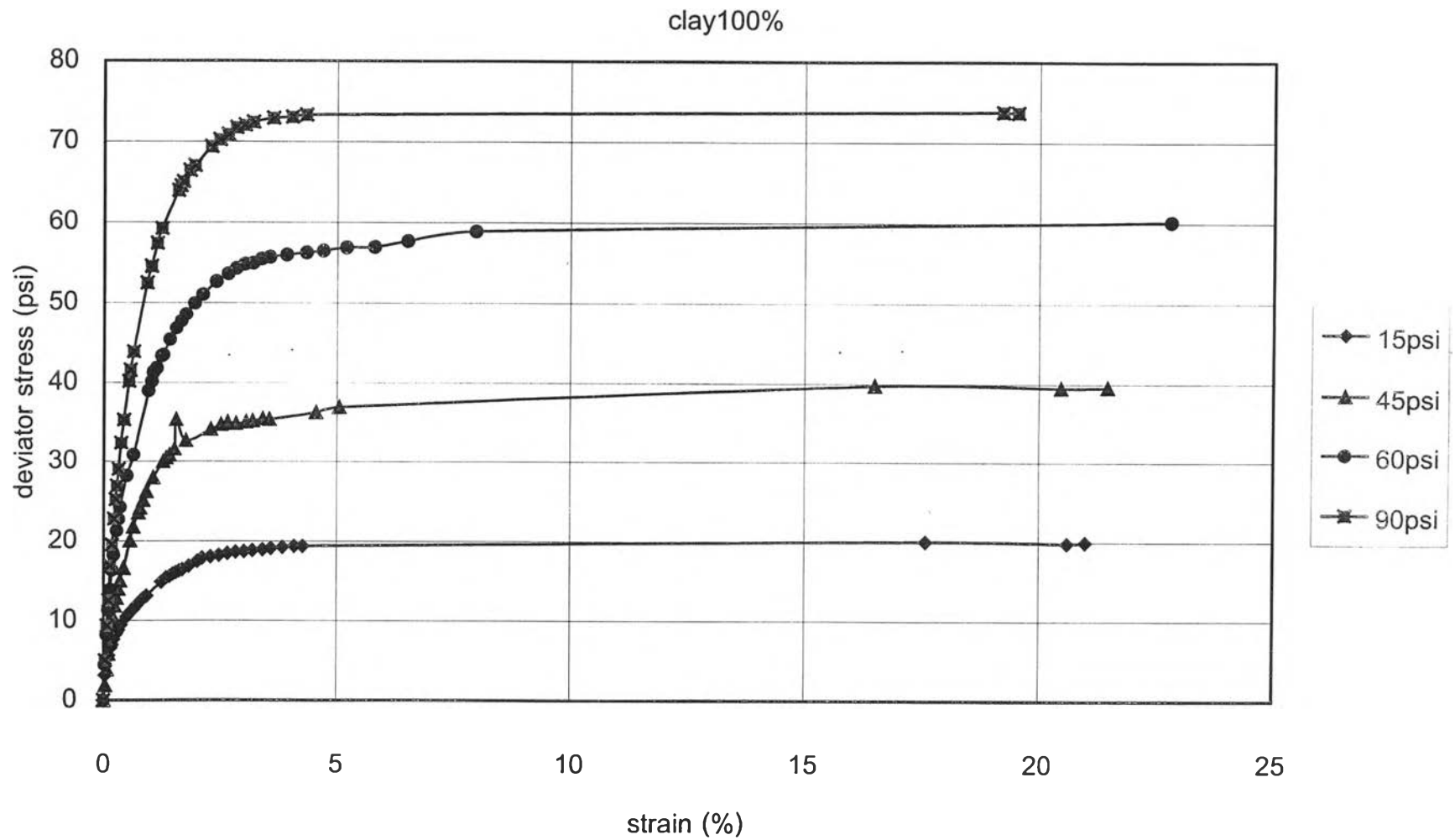
อนึ่งในการวิจัยนี้จุด yield ถูกกำหนดโดยข้อกำหนดที่ว่า slope ของ $(\sigma_1 - \sigma_3)$ กับ ϵ พล็อตหลังจากจุด yield แล้วมีค่าลดลง ดังนั้นค่า $(\sigma_1'/\sigma_3')_{max}$ กับ yield จึงไม่เกิดที่ความเครียดอันเดียวกัน ในดินผสมทรายที่มีพฤติกรรมแบบ strain hardening material ค่า $(\sigma_1 - \sigma_3)$ ที่พล็อต ในรูป 4.7 จึงถูกกำหนดขึ้นที่ $(\sigma_1'/\sigma_3')_{max}$

4.2.2 ผลของขนาดของ σ_c' เมื่อเปอร์เซ็นต์ทรายคงที่

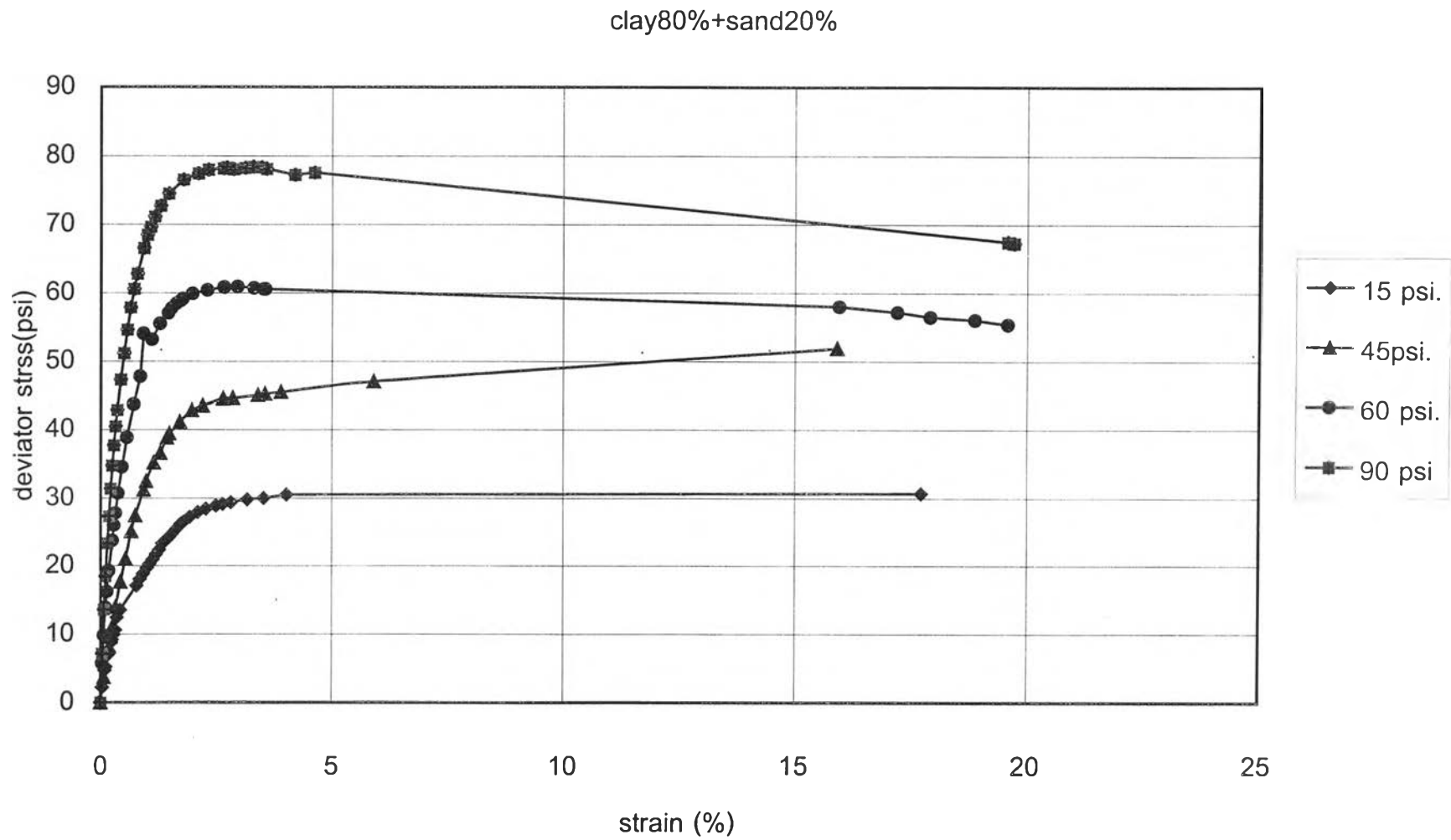
รูปที่ 4.8 ถึง 4.11 แสดงผลกระทบของขนาด σ_c' เมื่อ%ทรายคงที่ดังนี้

1. เมื่อ σ_c' เพิ่มขึ้นค่า $(\sigma_1 - \sigma_3)$ เพิ่มขึ้น มี%ทรายคงที่
2. ค่า ϵ_{yield} ที่ yield ไม่ได้แสดงพฤติกรรมเด่นชัดพอที่จะแสดงได้ว่าขนาดของ σ_c' มีผลต่อค่า ϵ ที่ yield ไม่ว่าจะพิจารณาที่%ทรายเท่าใด
3. ยกเว้นที่ ปริมาณทราย 0 ถึง 40% (ซึ่งพฤติกรรมแสดงว่าเป็น ductile material ไม่ว่าจะใช้ σ_c' เท่าใด) แต่เมื่อ%ทรายเท่ากับ 60% ผลกระทบของ σ_c' มีแนวโน้มที่แสดงว่าดินผสมทราย มีพฤติกรรมเป็นแบบ strain hardening เมื่อผ่านจุด yield ไปแล้ว
4. ค่า E_u มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ σ_c' เพิ่มขึ้น

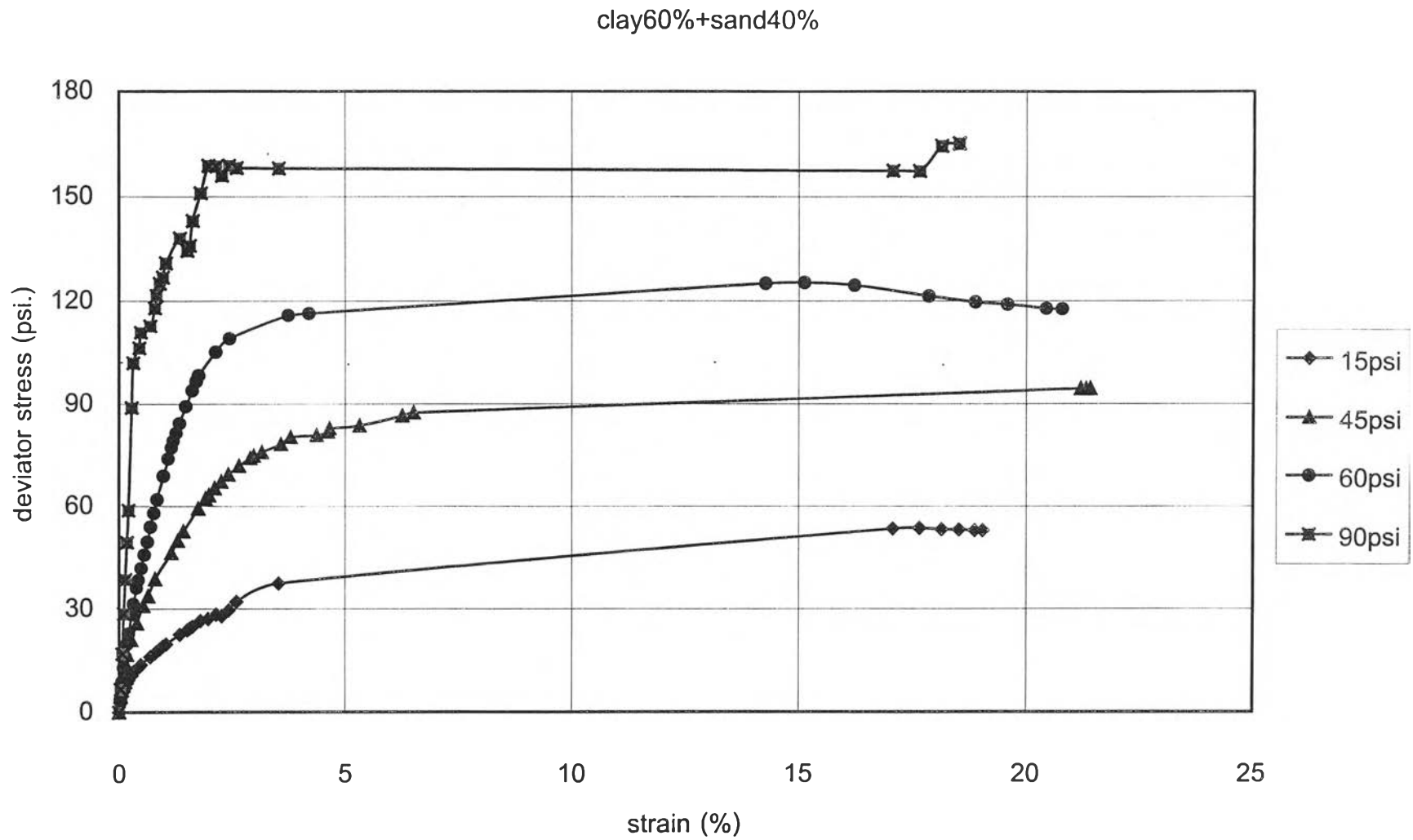
โดยสรุปค่าความเค้นเบี่ยงเบนที่ได้จากการทดสอบในดินผสมที่แต่ละปริมาณทราย มีแนวโน้มที่แสดงว่า ค่าความเค้นเบี่ยงเบน ที่ความดันอัดตัวคายน้ำ 90 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว มีค่าสูงสุด และที่ความดันอัดตัวคายน้ำ 60, 45, 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว มีค่าความเค้นเบี่ยงเบนลดลงตามลำดับ โดยพิจารณาที่พฤติกรรมคือ ในช่วง 5%แรกของความเครียดตามแนวแกนอยู่ที่ประมาณจุด yield point ค่าความเค้นเบี่ยงเบนมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว



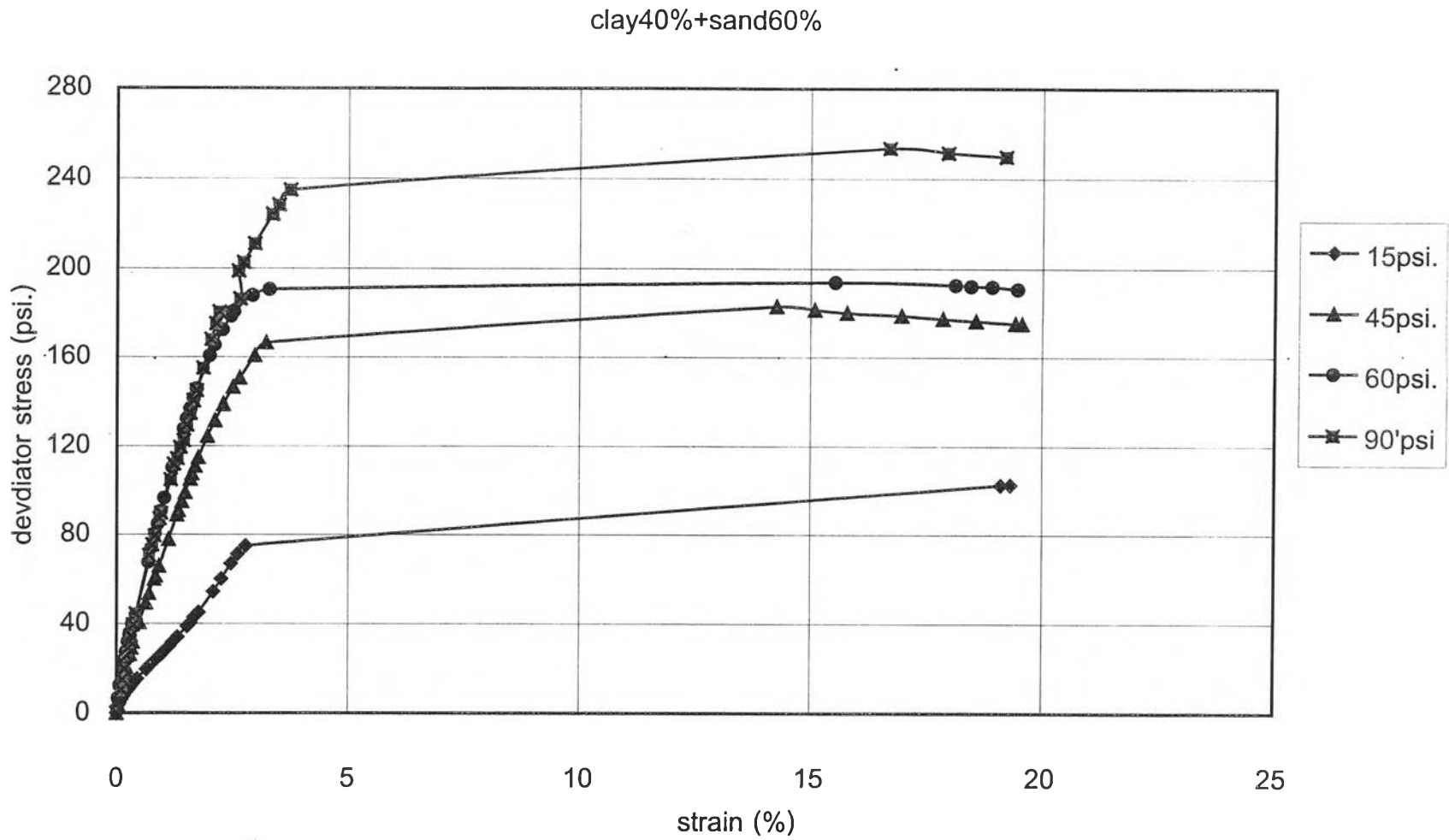
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าความเค้นเบี่ยงเบน กับความเครียดตามแนวแกน ของดินเหนียว 100% ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าความเค้นเบี่ยงเบน กับความเครียดตามแนวแกน ของดินผสมที่ปริมาณทราย 20% ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่าความเค้นเบี่ยงเบน กับความเครียดตามแนวแกน ของดินผสมที่ปริมาณทราย 40% ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่าความเค้นเบี่ยงเบน กับความเครียดตามแนวแกน ของดินผสมที่ปริมาณทราย 60% ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ

4.3 ผลการทดสอบพฤติกรรมแรงดันน้ำ (pore pressure) และค่า Skempton A parameter กับความเครียด (strain) เมื่อปริมาณสารผสมเพิ่ม (ทราย) เพิ่มขึ้น

4.3.1 แรงดันน้ำที่เพิ่มขึ้น (excess pore pressure) กับความเครียดตามแนวแกน (axial strain)

(ก) ผลของปริมาณทรายต่อค่า ΔU เปรียบเทียบกับที่ σ'_c เดียวกัน

จากกราฟผลการทดสอบในรูป 4.12 ถึง 4.15 ซึ่งเป็นผลการทดสอบระหว่างค่าแรงดันน้ำส่วนเกิน (ΔU) กับความเครียดตามแนวแกน ของดินผสมในแต่ละปริมาณสารผสมเพิ่ม (ทราย) ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ จากกราฟผลการทดสอบ พบว่า พฤติกรรมของกราฟแรงดันน้ำส่วนเกินสามารถแบ่งได้เป็นสองช่วงคือ

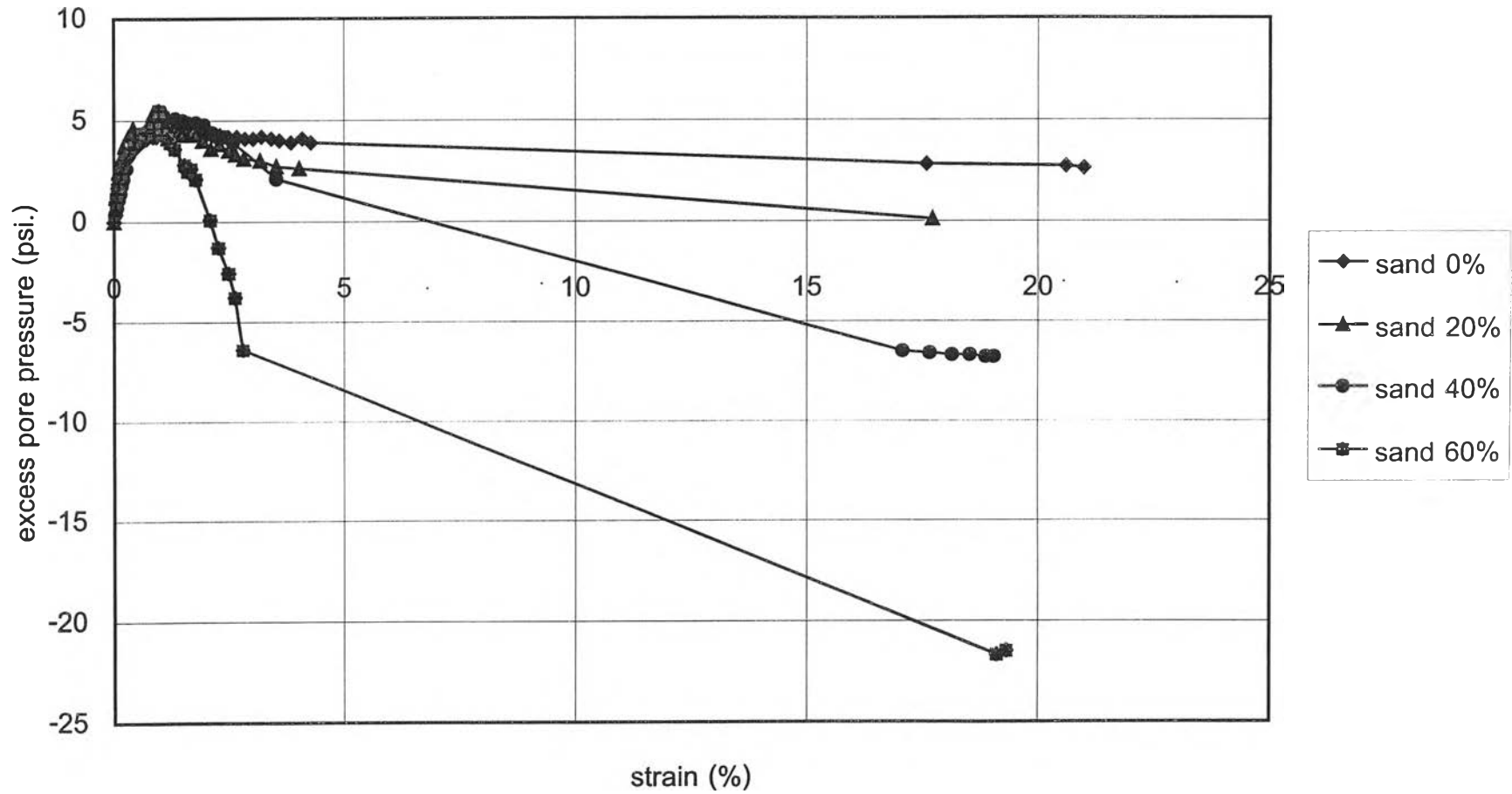
ช่วงแรกเป็นช่วง 5%แรกของความเครียดตามแนวแกน โดยกราฟมีพฤติกรรมคือ ค่าแรงดันน้ำส่วนเกินจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยที่กราฟผลการทดสอบที่ความดันอัดตัวคายน้ำที่ 90 ปอนด์ต่อตารางนิ้วมีค่าแรงดันน้ำมีค่าสูงสุด และที่ความดันอัดตัวคายน้ำ 15, 45, 60 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ค่า ΔU ลดลงตามลำดับ

ที่ $\sigma'_c = 15$ psi. ในทุกดินผสมไม่ว่าจะใช้ปริมาณทรายเท่าใดหลังจาก ϵ ผ่านจุด ΔU สูงสุดไปแล้ว ค่า ΔU จะลดลงเมื่อ ϵ เพิ่มขึ้น แต่เมื่อค่า $\sigma'_c = 45$ psi และ 60 psi. (รูปที่ 4.9 และ 4.10) พฤติกรรมการเกิด ΔU แสดงว่าหลังจากค่าความเครียดผ่านจุด yield หรือที่ ΔU มีค่าสูงสุดไปแล้ว ที่ปริมาณทราย 0% และ 20% ค่า ΔU จะมีค่าคงที่เมื่อ ϵ เพิ่มมากขึ้น

นอกจากนี้เมื่อปริมาณทรายเท่ากับ 40% และ 60% ค่า ΔU ลดลงเมื่อ ϵ เพิ่มขึ้น ส่วนที่ปริมาณทราย 60% ค่า ΔU ทุกตัวอย่างกลับมีค่าติดลบ ไม่ว่าจะใช้ σ'_c เท่าใด

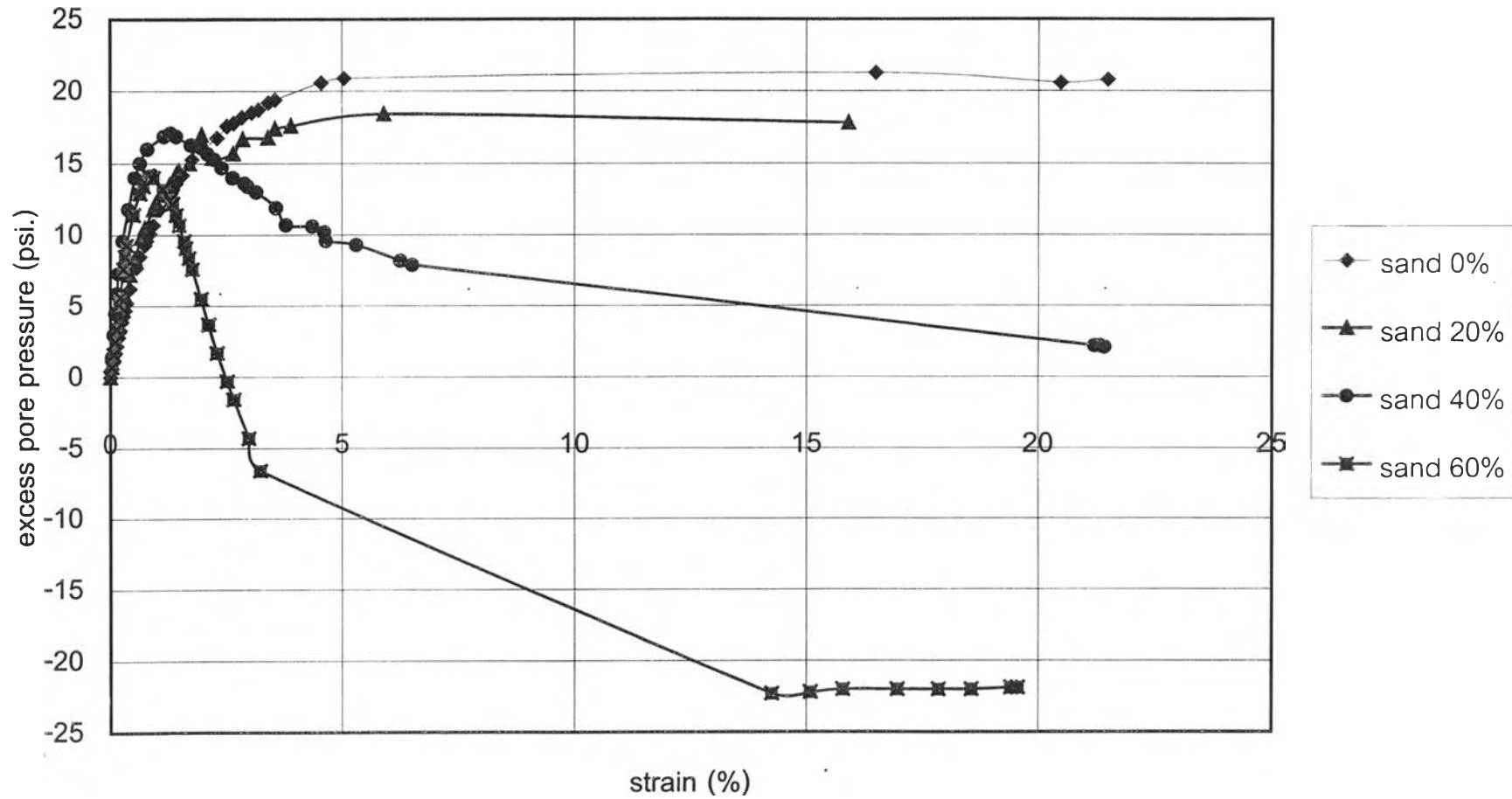
ที่น่าสังเกตคือ กลุ่มที่มีค่าแรงดันน้ำส่วนเกิน (ΔU) มีทั้งค่าบวก (positive) และ เป็นลบ (negative) ที่ ϵ มีเปอร์เซ็นต์สูงๆ ซึ่งได้แก่ กราฟผลการทดสอบของดินผสมที่มีปริมาณทราย 40% และ 60% (รูปที่ 4.14 และ 4.15) การลดลงของ ΔU หรือมีค่าเป็นลบที่ความเครียด (ϵ) สูง (มากกว่าจุดที่ ΔU สูงสุด)

consolidated pressure 15 psi.



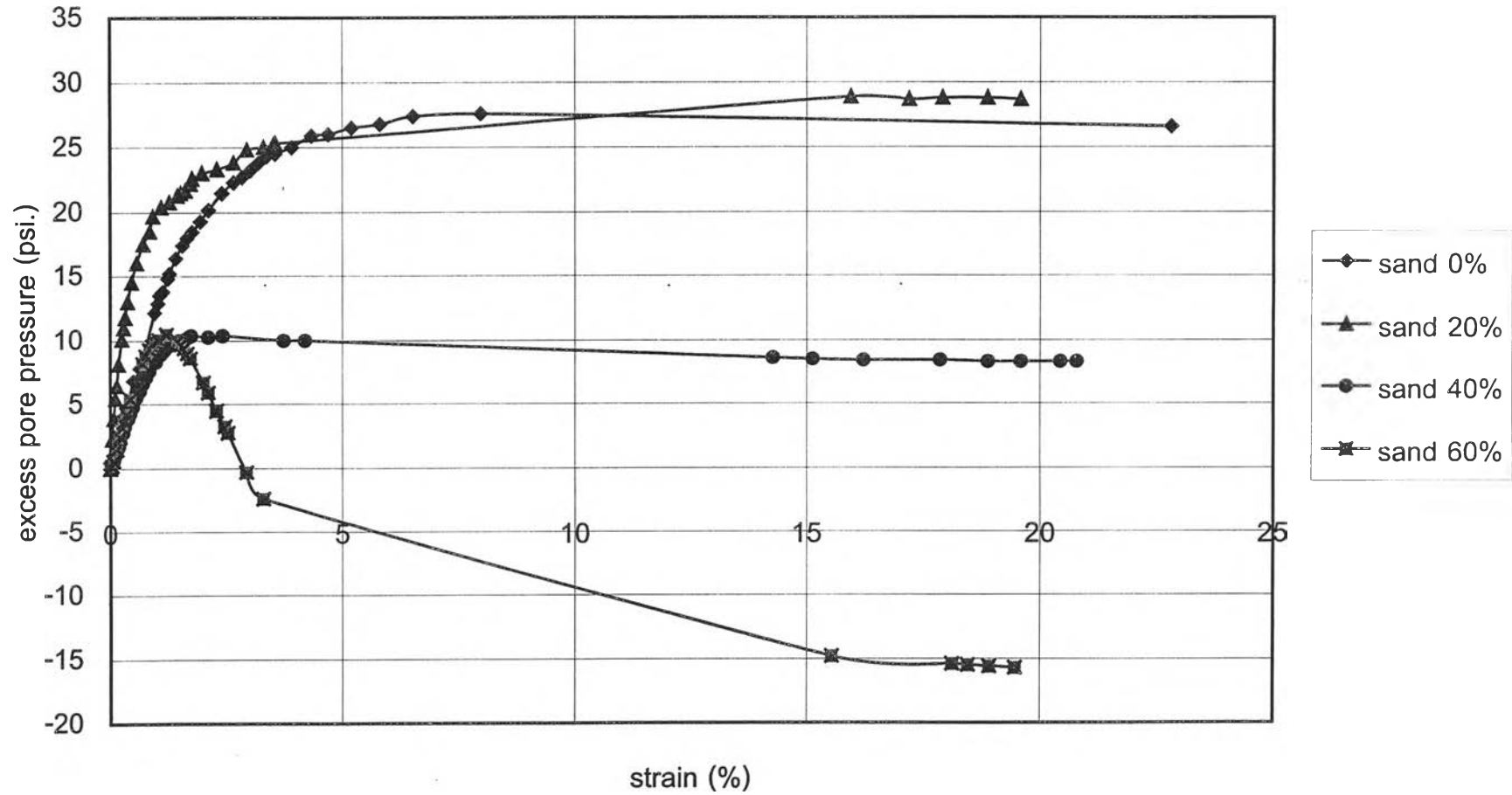
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่าแรงดันน้ำส่วนเกิน กับความเครียดตามแนวแกน ที่ความดันอัดตัวคายน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่ปริมาณทรายต่างๆ

consolidated pressure 45 psi.



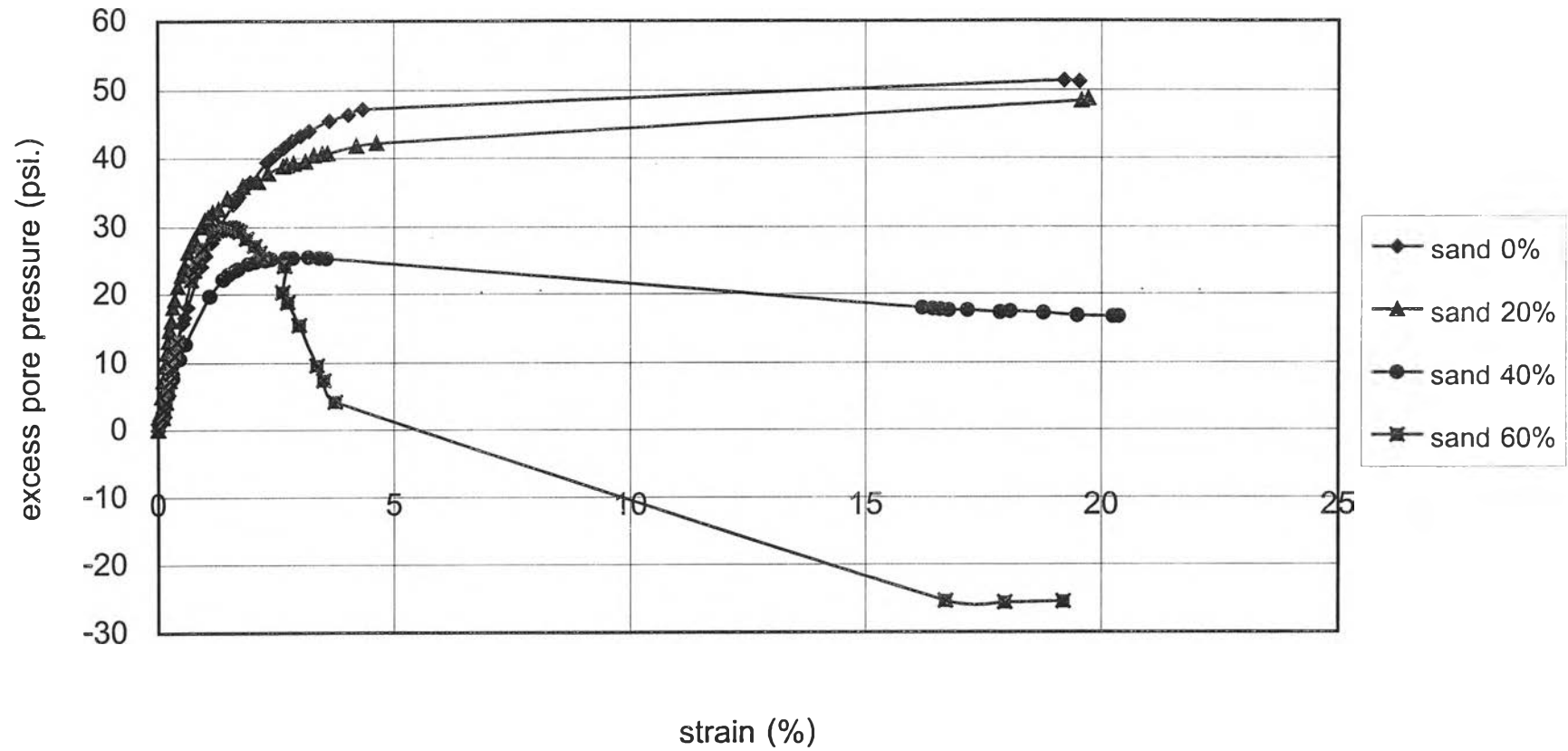
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่าแรงดันน้ำส่วนเกิน กับความเครียดตามแนวแกน ที่ความดันอัดตัวคายน้ำ 45 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่ปริมาณทรายต่างๆ

consolidated pressure 60 psi.



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่าแรงดันน้ำส่วนเกิน กับความเครียดตามแนวแกน ที่ความดันอัดตัวคายน้ำ 60 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่ปริมาณทรายต่างๆ

consolidated pressure 90 psi.



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงค่าแรงดันน้ำส่วนเกินกับความเครียดตามแนวแกน ที่ความดันอัดตัวคายน้ำ 90 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่ปริมาณสารผสมเพิ่ม (ทราย) ต่างๆ

ในพฤติกรรมของดินผสมแสดงว่าพฤติกรรมของดินผสมทรายที่ถูกบดอัดจนแน่นเริ่มแสดงพฤติกรรมของทรายออกมา โดยเฉพาะที่ปริมาณทราย 60% และ σ_c' ตั้งแต่ 45 psi. เป็นต้นไป เป็นพฤติกรรมของทรายอัดแน่น กล่าวคือเมื่อปริมาณทรายที่ถูกอัดแน่นด้วยการบดอัดและการ σ_c' จะแสดงพฤติกรรมชนิด dilate (กล่าวคือ ดินผสมทรายมีแนวโน้มที่จะ dilate เมื่อมีการทดสอบแบบไม่ระบายน้ำจะเกิดการลดลงของ ΔU หรือค่า ΔU ติดลบจึงเกิดขึ้น) พฤติกรรมดังกล่าว แสดงว่าในดินผสมทรายที่ทดสอบ ทรายที่ผสมลงไปจะเป็นวัสดุที่ control พฤติกรรมทางด้านกำลังรับแรงเฉือนและพฤติกรรมทางด้าน การเกิด ΔU เมื่อ% ทราย สูงกว่า 40%

เมื่อไม่มีทรายผสม ดินเหนียวที่ถูกบดอัดจะไม่แสดงการลดลงของ ΔU เมื่อความเครียดผ่านจุด yield ไปแล้วไม่ว่าจะใช้ค่า σ_c' เท่าใด (ดูรูปที่ 4.12 ถึง 4.15)

(ข) ผลกระทบของ σ_c' ต่อ ΔU_{max} เมื่อปริมาณทรายเท่ากัน

รูปที่ 4.16 ถึง 4.19 เป็นรูปแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันน้ำส่วนเกิน (ΔU) กับความเครียด รูปดังกล่าวแสดงให้เห็นผลดังนี้

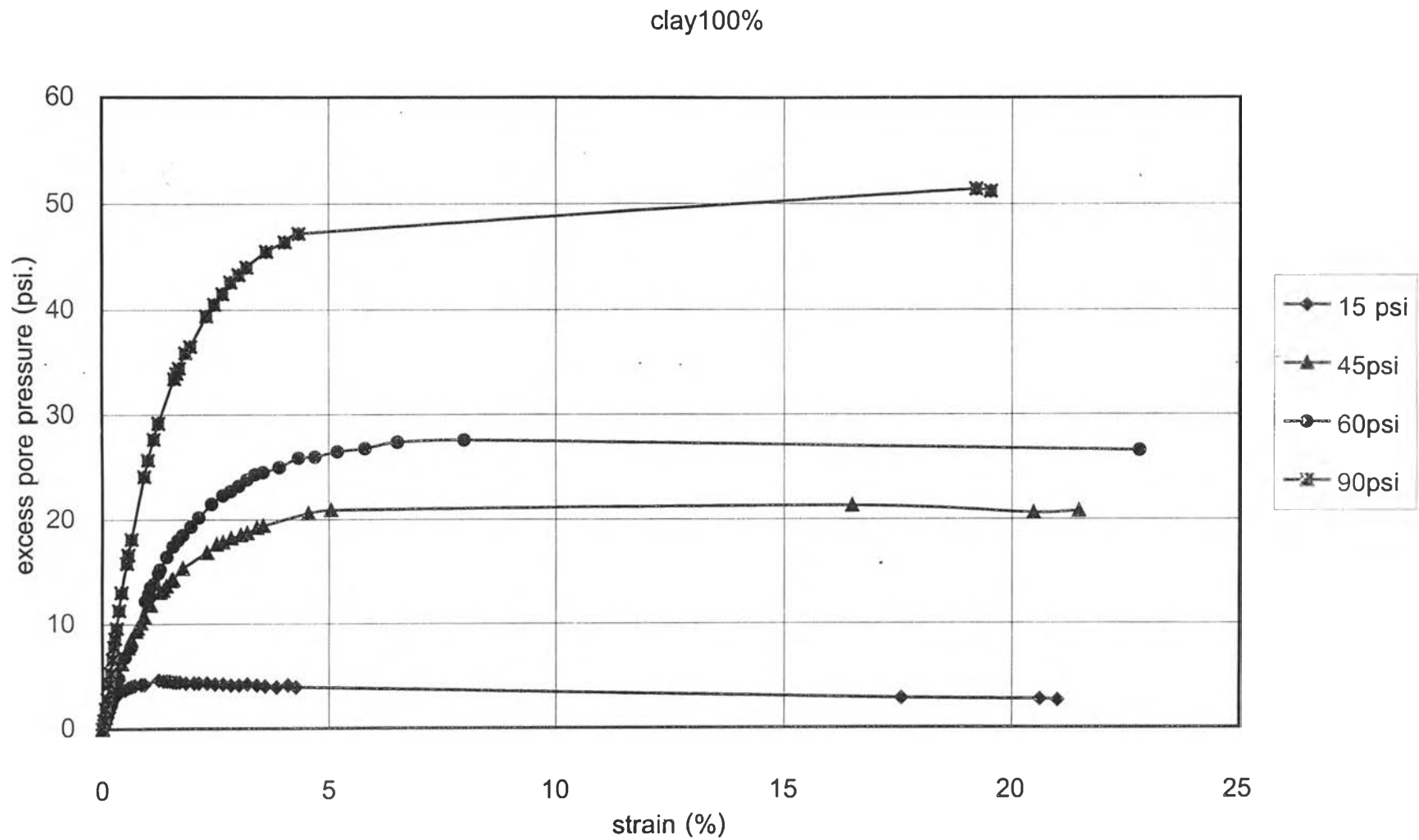
1. เมื่อไม่มีการผสมทราย ดินเหนียวมีพฤติกรรมเป็น ductile material กล่าวคือ หลังจากผ่าน yield ไปแล้ว ค่า ΔU มีค่าคงที่ เมื่อความเครียดเพิ่มขึ้น เมื่อ σ_c' เพิ่มขึ้น ความเครียดที่ ΔU_{max} ต่ำลง (รูปที่ 4.16)
2. เมื่อผสมทรายลงในดินเหนียว เมื่อ% ทรายเท่ากับ 40% (รูปที่ 4.18) ผลของ dilatancy คือ ΔU เมื่อความเครียดเพิ่มขึ้นหลังจากผ่าน ΔU_{max} เริ่มแสดงออกมาเมื่อ $\sigma_c' = 90$ psi. และเมื่อ% ทรายเพิ่มขึ้นเป็น 40% และ 60% พฤติกรรมนี้จะเห็นเด่นชัดมากขึ้นคือ ΔU (ที่ความเครียดหลังจากผ่านจุด ΔU_{max}) ลดลงที่ทุกความดันอัดตัวคายน้ำ (σ_c') และเมื่อ $\sigma_c' = 90$ psi. ค่า ΔU เป็นค่า negative สำหรับที่ปริมาณทราย 40% (รูปที่ 4.18) และ ΔU เป็นค่า negative ทั้งหมด เมื่อปริมาณทรายเท่ากับ 60% (รูปที่ 4.19) ไม่ว่าจะใช้ σ_c' เท่าใด

3. ไม่ว่า%ทรายเท่าใด ความเครียดที่จุด ΔU_{max} จะเพิ่มขึ้นเมื่อ σ_c' เพิ่มขึ้น และค่า ΔU_{max} เพิ่มขึ้นเช่นกัน เมื่อ σ_c' เพิ่มขึ้น ไม่ว่าจะใช้% ทรายเท่าใด

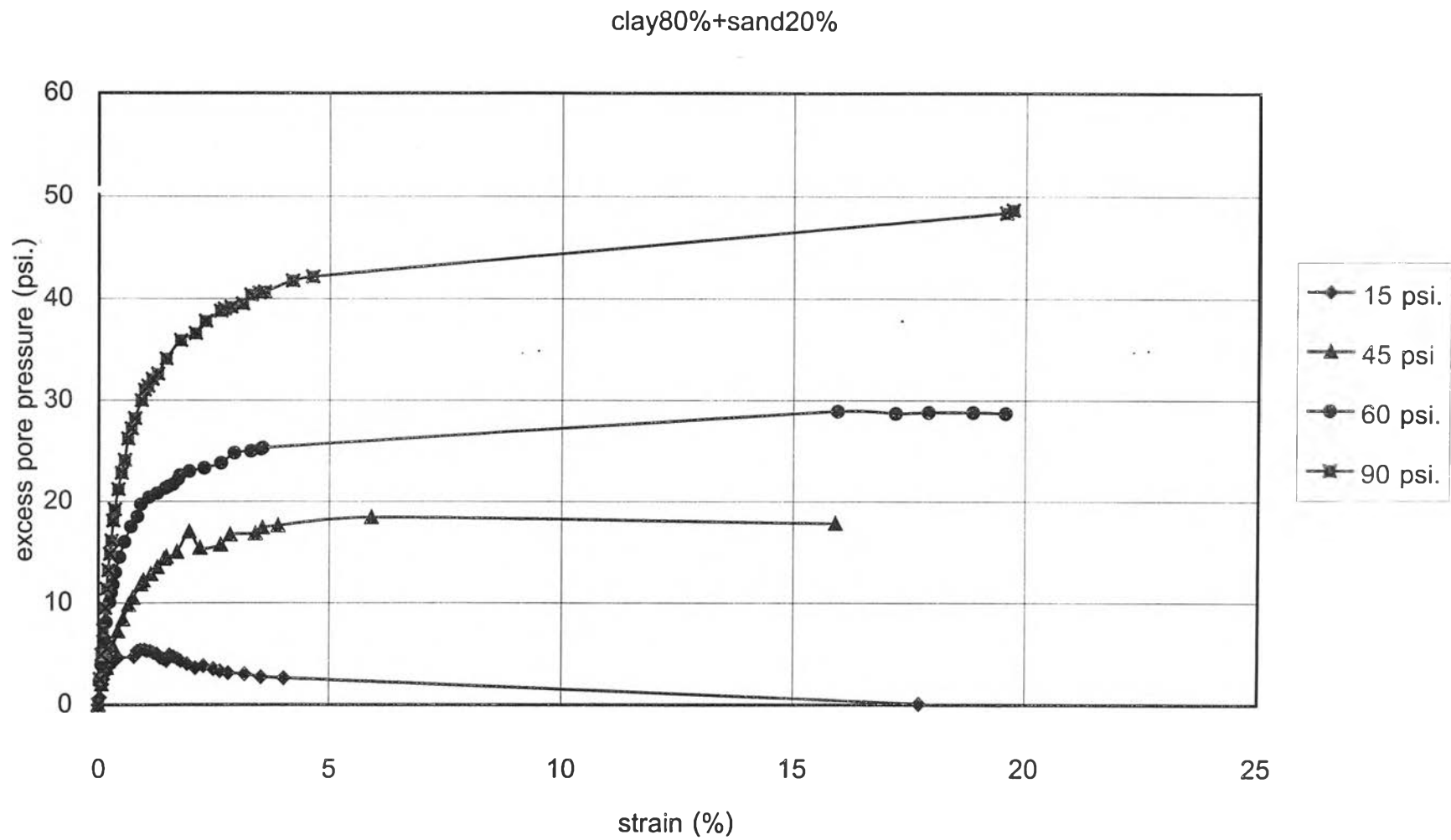
สรุปจากกราฟผลการทดสอบในรูป 4.12 ถึง 4.19 ซึ่งเป็นผลการทดสอบระหว่างค่าแรงดันน้ำส่วนเกิน (Δu) กับความเครียดตามแนวแกน ของดินผสมในแต่ละปริมาณสารผสมเพิ่ม (ทราย) ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ จากกราฟผลการทดสอบ พบว่า พฤติกรรมของกราฟผลการทดสอบสามารถแบ่งได้เป็นสองกลุ่มคือ

กลุ่มแรกคือกลุ่มที่ไม่มีจุดสูงสุด (peak) อย่างชัดเจน ได้แก่ ดินผสมที่มีปริมาณทราย 0% ที่ทุก σ_c' และ 20% ที่ $\sigma_c' = 60$ และ 90 psi. โดยที่กราฟมีพฤติกรรมคือ ในช่วงแรก ที่ความเครียดตามแนวแกนน้อยกว่า 5% กราฟค่าแรงดันน้ำส่วนเกินจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และช่วงสองคือตั้งแต่ 5%ของความเครียดตามแนวแกน กราฟค่าแรงดันน้ำส่วนเกินในช่วงนี้จะ มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยที่กราฟเพิ่มขึ้นในช่วงแรก จนถึงจุดสูงสุด (peak) และคงที่หรือลดลงหลังจากจุดสูงสุดในช่วงที่สอง แต่จะลดลงไม่มาก ทำให้เกิดจุดสูงสุดที่ไม่ชัดเจนหรือบางกราฟมีค่าแรงดันน้ำส่วนเกินเพิ่มขึ้นต่อไปเมื่อ ความเครียดตามแนวแกนเพิ่มขึ้นทำให้เกิดค่าสูงสุดที่ความเครียดตามแนวแกนที่มากกว่า 5% ของตามความเครียดตามแนวแกน ค่าแรงดันน้ำส่วนเกินในกลุ่มนี้นั้นคือ ϵ มากกว่า 5% จะเพิ่มขึ้นตามความดันอัดตัวคายน้ำ ดังนั้นค่าแรงดันน้ำส่วนเกินที่ความดันอัดตัวคายน้ำที่ 90 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว มีค่าสูงสุด และที่ความดันอัดตัวคายน้ำ 60, 45, 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว มีค่าลดลงตามลำดับ

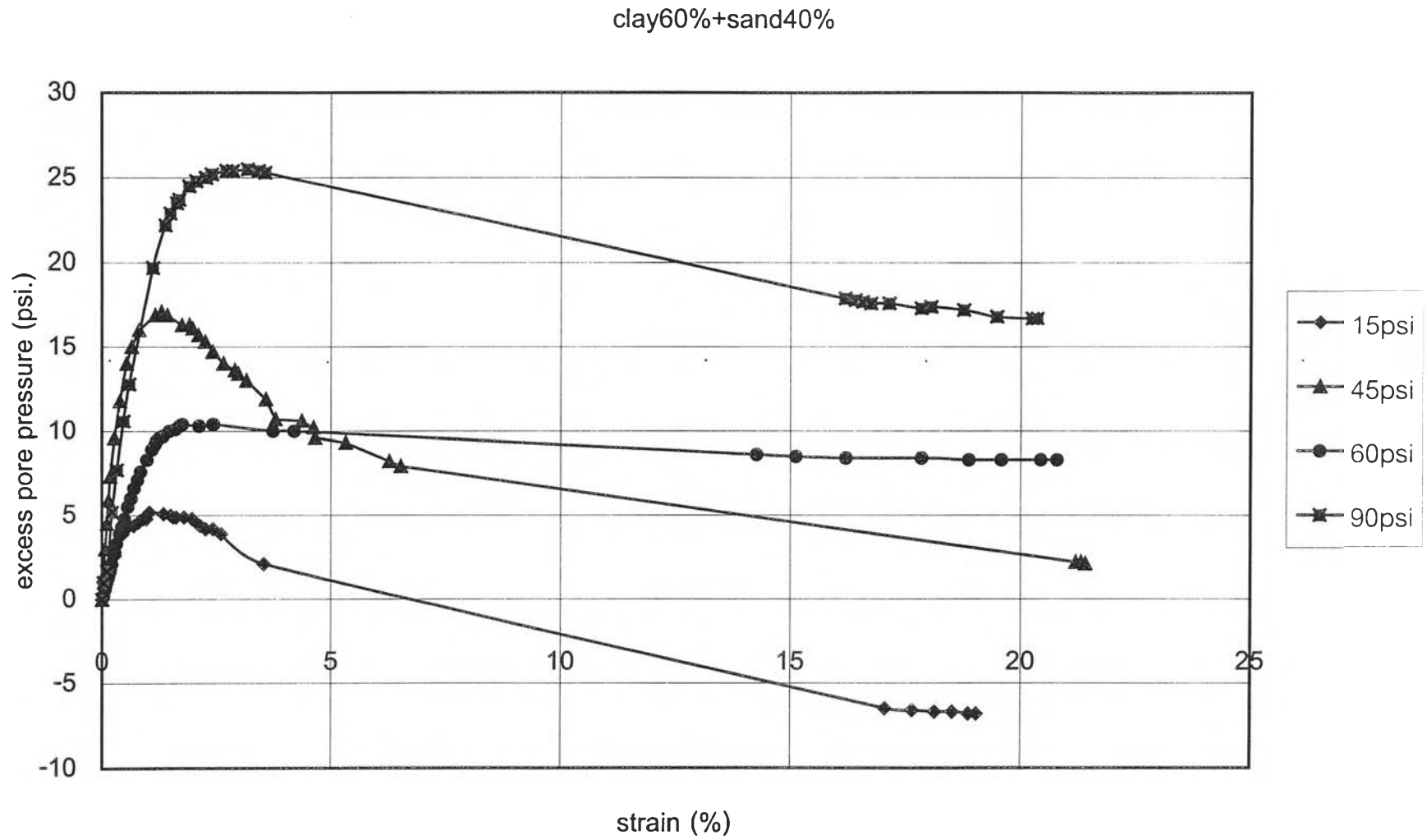
กลุ่มสองคือกลุ่มที่มีจุดสูงสุด (peak) อย่างชัดเจน ได้แก่ ดินผสมที่มีปริมาณทราย 40% และ 60% โดยที่กราฟมีพฤติกรรมคือ ในช่วงแรก ที่ความเครียดตามแนวแกนน้อยกว่า 3% กราฟค่าแรงดันน้ำส่วนเกินจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และช่วงสองคือตั้งแต่ 3%ของความเครียดตามแนวแกน กราฟค่าแรงดันน้ำส่วนเกินในช่วงนี้จะ มีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว โดยที่กราฟเพิ่มขึ้นในช่วงแรกจนถึงจุดสูงสุด (peak) และลดลงหลังจากจุดสูงสุดในช่วงที่สอง โดยจะลดลงอย่างมาก ทำให้เกิดจุดสูงสุดที่ชัดเจน สำหรับค่าแรงดันน้ำส่วนเกินในกลุ่มนี้ในช่วงแรกนี้ที่ความดันอัดตัวคายน้ำที่ 90 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว มีค่าสูงสุด และที่ความดันอัดตัวคายน้ำ 45, 60, 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว มีค่าลดลงตามลำดับ เหมือนกันทั้งในดินผสม ทั้งที่มีปริมาณทราย 40% และ 60% ซึ่งต่างจากในกลุ่มแรก ซึ่งในกลุ่มแรก ที่ความดันอัดตัว



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงค่าแรงดันน้ำส่วนเกิน กับความเครียดตามแนวแกน ของดินเหนียว 100% ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ

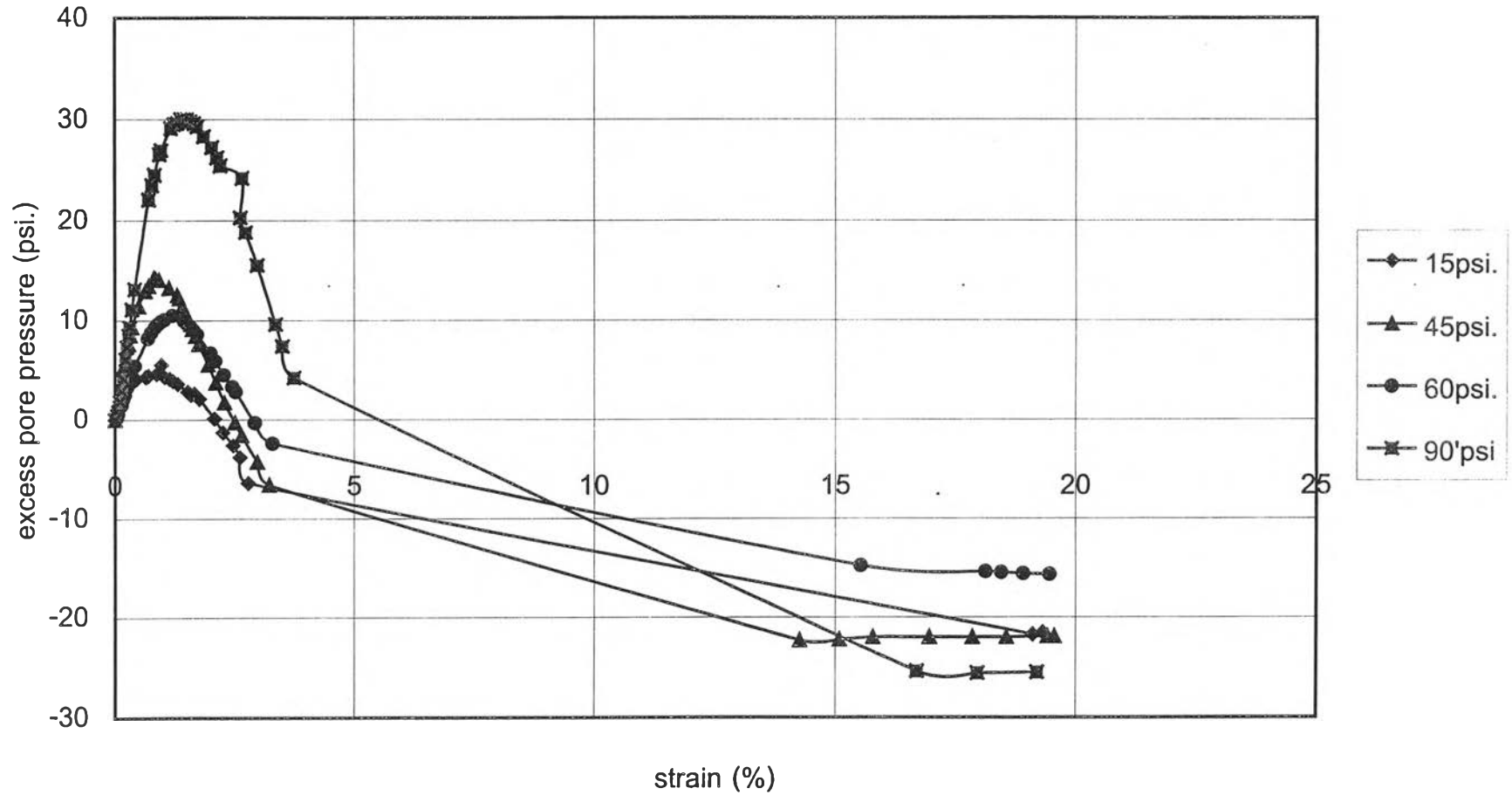


รูปที่ 4.17 กราฟแสดงค่าแรงดันน้ำส่วนเกิน กับความเครียดตามแนวแกน ของดินผสมที่ปริมาณทราย 20% ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ

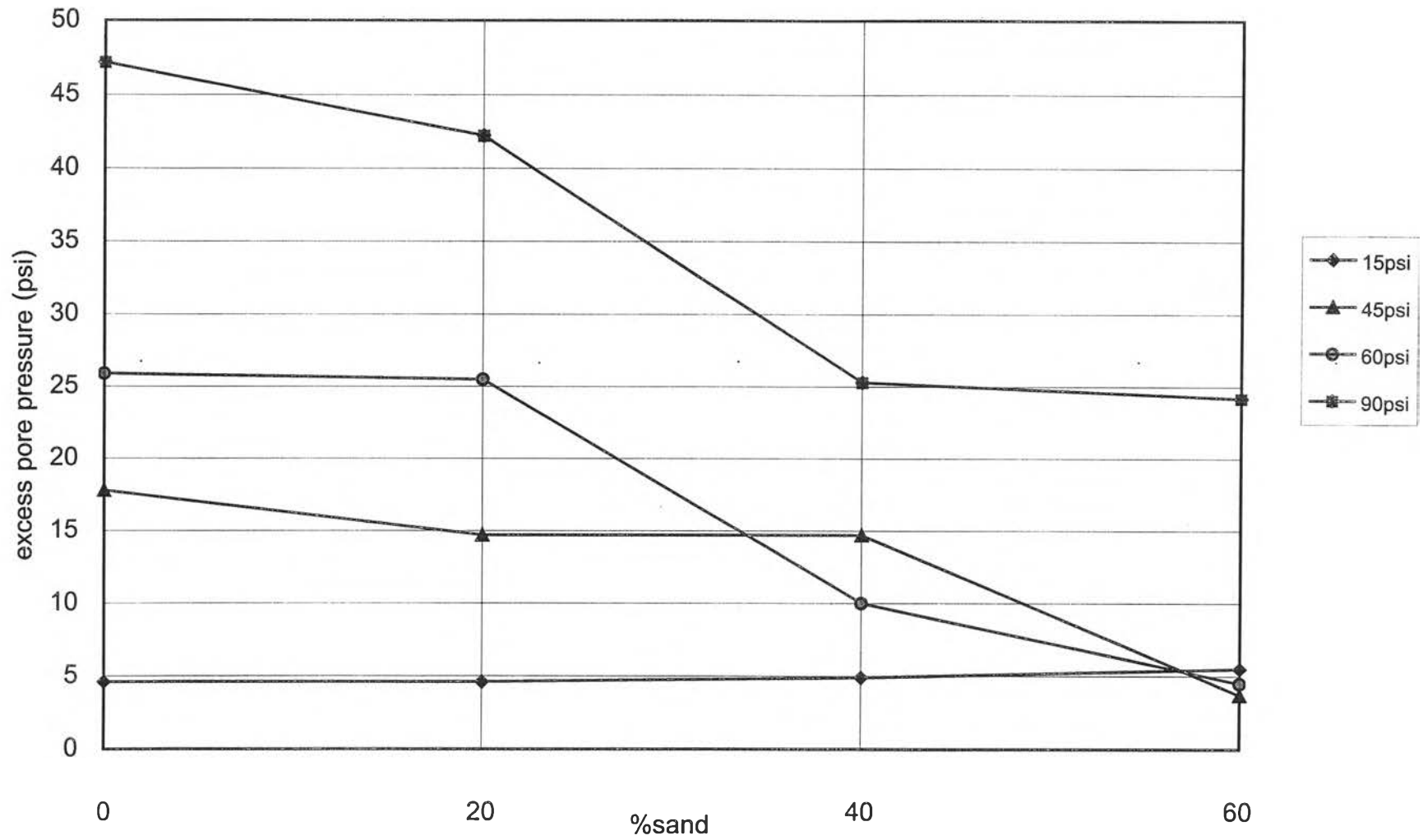


รูปที่ 4.18 กราฟแสดงค่าแรงดันน้ำส่วนเกิน กับความเครียดตามแนวแกน ของดินผสมที่ปริมาณทราย 40% ที่ความดันอัดคายน้ำต่างๆ

clay40%+sand60%



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงค่าแรงดันน้ำส่วนเกิน กับความเครียดตามแนวแกน ของดินผสมที่ปริมาณทราย 60% ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงค่าแรงดันน้ำส่วนเกินที่จุด maximum obliquity เมื่อปริมาณทรายเพิ่มขึ้น

คายน้ำ 60 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว มีค่าแรงดันน้ำส่วนเกินมากกว่า ที่ 45 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ค่าแรงดันน้ำส่วนเกินในช่วงที่สองเป็นช่วงหลังจากจุดสูงสุดค่าแรงดันน้ำส่วนเกินลดลงอย่างมากจนเป็นลบ โดยเฉพาะที่ปริมาณทราย 60% ค่าแรงดันน้ำส่วนเกินลดลงจนเป็นลบในทุกความดันอัดตัวคายน้ำ ส่วนที่ปริมาณทราย 40% จะมีค่าแรงดันน้ำส่วนเกินเป็นลบที่ความดันอัดตัวคายน้ำที่ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

(ค) ผลของปริมาณทรายที่มีผลต่อแรงดันน้ำส่วนเกิน (Δu) ที่

$$(\sigma_1'/\sigma_3')_{\max}$$

สรุปผลการทดสอบผลของปริมาณทราย ที่มีผลต่อค่าแรงดันน้ำส่วนเกิน (Δu) ได้ทำจึงนำค่าแรงดันน้ำส่วนเกินที่จุด maximum obliquity ของแต่ละความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ มาเขียนกราฟ กับ ปริมาณทรายที่เพิ่มขึ้น ดังในรูปที่ 4.20 พบว่า เมื่อปริมาณทรายเพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้ค่าแรงดันน้ำส่วนเกินที่จุด maximum obliquity จะมีแนวโน้มลดลง ในทุกความดันอัดตัวคายน้ำ โดยจะเห็นได้อย่างชัดเจนทุกความดันอัดตัวคายน้ำยกเว้น ที่ความดันอัดตัวคายน้ำที่ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว แรงดันน้ำส่วนเกินที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยและมีค่าเกือบคงที่ โดยที่เมื่อปริมาณทรายเพิ่มขึ้นค่าแรงดันน้ำส่วนเกินจึงมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

การลดลงของแรงดันน้ำส่วนเกินที่ $(\sigma_1'/\sigma_3')_{\max}$ เมื่อปริมาณทรายเพิ่มขึ้น สามารถแบ่งพฤติกรรมการลดลงได้เป็นสองช่วง โดยในช่วงแรกที่มีปริมาณทราย 0-20% ค่าแรงดันน้ำส่วนที่จุด maximum obliquity มีค่าลดลงแต่ลดลงไม่มาก ในช่วงที่สองที่มีปริมาณทราย 40-60% ค่าแรงดันน้ำส่วนเกินที่จุด maximum obliquity มีค่าลดลงอย่างมาก

4.3.2 พารามิเตอร์ เอ (A parameter) กับความเครียดตามแนวแกน (axial strain)

(ก) ผลกระทบของขนาดของแรงดันอัดตัวคายน้ำ (σ_c') ที่มีผลต่อค่า A

จากกราฟผลการทดสอบในรูป 4.21 ถึง 4.24 ที่แสดงผลกระทบ σ_c' ที่ปริมาณทรายค่าใดค่าหนึ่งรูปเหล่านี้เป็นผลการทดสอบระหว่างค่าพารามิเตอร์ เอ กับความเครียดตามแนวแกน ของดินผสมในแต่ละปริมาณสารผสมเพิ่ม(ทราย) ที่ความดันอัดตัว

คายน้ำต่างๆ จากกราฟผลการทดสอบ พบว่า พฤติกรรมของกราฟค่าพารามิเตอร์ เอ สามารถแบ่งดินผสมได้เป็นสองกลุ่มคือ

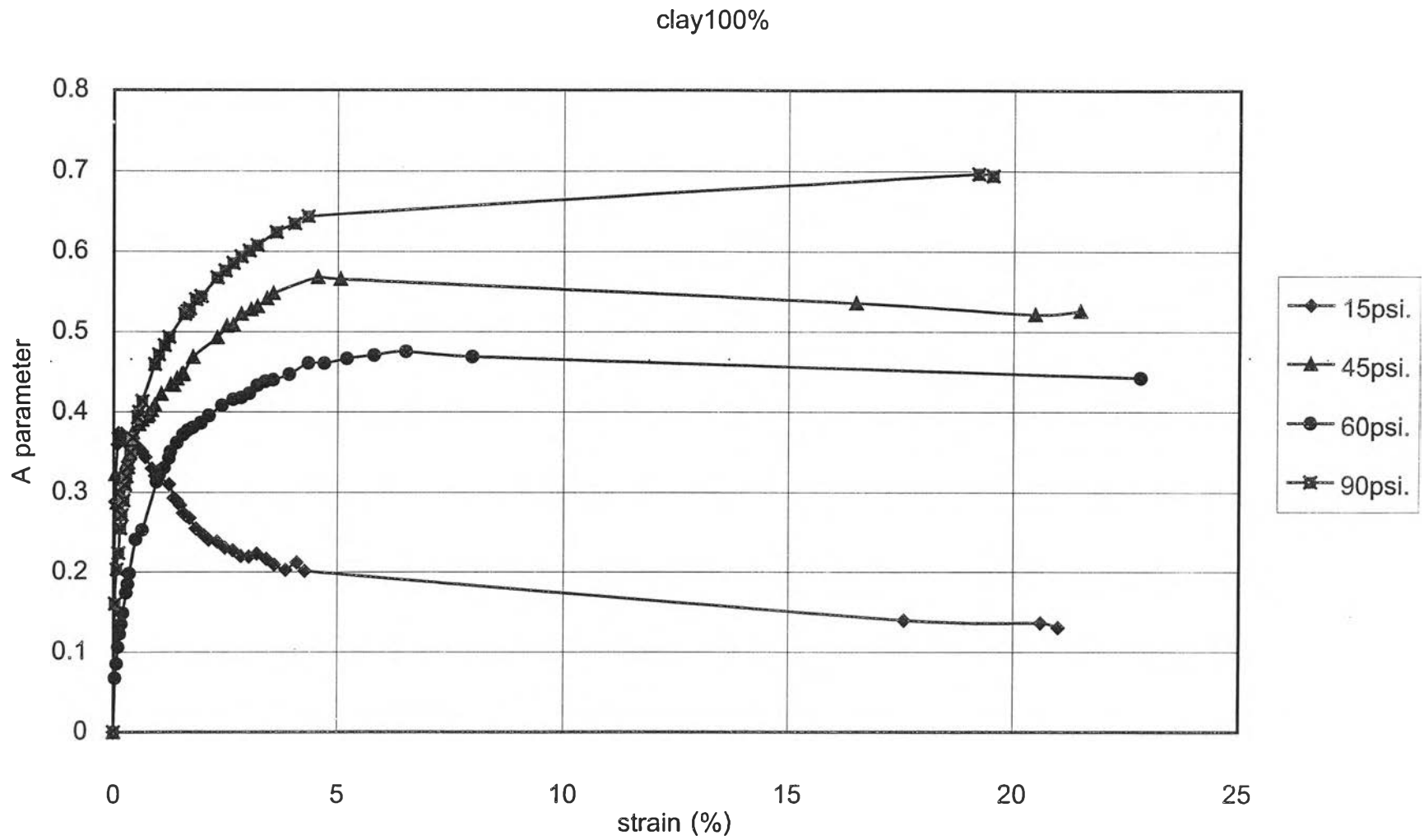
กลุ่มแรก เป็นกลุ่มที่กราฟพารามิเตอร์ เอ มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 5%แรกของความเครียดตามแนวแกน และหลังจาก 5%ของความเครียดตามแนวแกน กราฟพารามิเตอร์ เอ มีค่าเพิ่มขึ้นแต่ช้ากว่าในช่วง 5%แรกของความเครียดตามแนวแกน เมื่อพิจารณาที่มีปริมาณทราย 0% และ 20% (รูปที่ 4.21 และ 4.22) ซึ่งพฤติกรรมสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนในทุกความดันอัดตัวคายน้ำ ยกเว้นที่ความดันอัดตัวคายน้ำที่ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งจะมีพฤติกรรมเหมือนกับกลุ่มที่สอง

กลุ่มที่สอง เป็นกลุ่มที่กราฟพารามิเตอร์ เอ มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเพิ่มจนถึงจุดสูงสุด (peak) ในช่วง 1-2%แรกของความเครียดตามแนวแกน และหลังจากจุดสูงสุดค่าพารามิเตอร์ เอ จะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 3-5%ของความเครียดตามแนวแกน ต่อมาหลังจากที่ 5%ของความเครียดตามแนวแกน กราฟพารามิเตอร์ เอ มีค่าลดลง แต่ลดลงไม่มากเช่นกับในช่วง 3-5%ของความเครียดตามแนวแกน (รูปที่ 4.23 และ 4.24) ซึ่งได้แก่ดินผสมที่มีปริมาณทราย 40% และ 60%

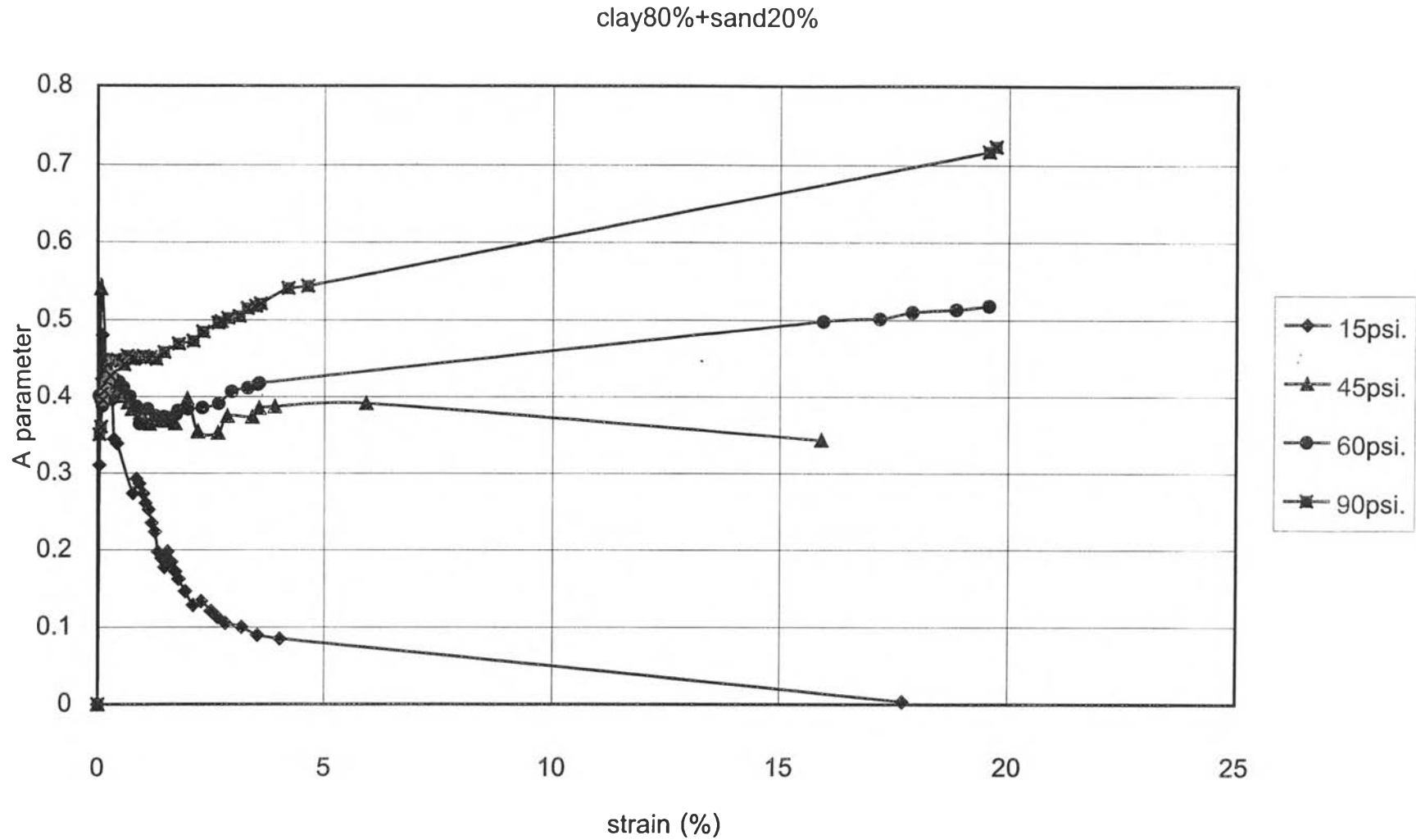
ที่ความดันอัดตัวคายน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ของดอนผสมที่มีปริมาณทราย 0% ไม่ว่าปริมาณทรายจะมีปริมาณเท่าใด หลังจากค่า A ถึงจุด peak แล้วค่า A จะลดลงเมื่อความเครียดเพิ่มขึ้น

พฤติกรรมดังกล่าวเป็นพฤติกรรมของดินเหนียวที่มี OCR สูงหรือทรายอัดแน่น รูปที่ 4.21 และ 4.22 (%ทรายเท่ากับ 0%และ 20%) แสดงผลให้เห็นแน่ชัดว่า พฤติกรรมของดินผสมทราย พฤติกรรมดินเหนียวยังคงเห็นอยู่นั้นคือ ค่า A ที่มีค่าสูงสุดเพิ่มขึ้น เมื่อ σ_c' สูงขึ้น (หรือ OCR น้อยลง) ในรูปที่ 4.21 (ในกรณีไม่มีทรายผสม) แสดงให้เห็นว่า ค่า A เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อความเครียดเพิ่มขึ้น จนกระทั่งเมื่อ $\varepsilon = 20\%$ ค่า A มีค่าถึง 0.7 ซึ่งเป็นค่าที่ในพิกัด NC clay

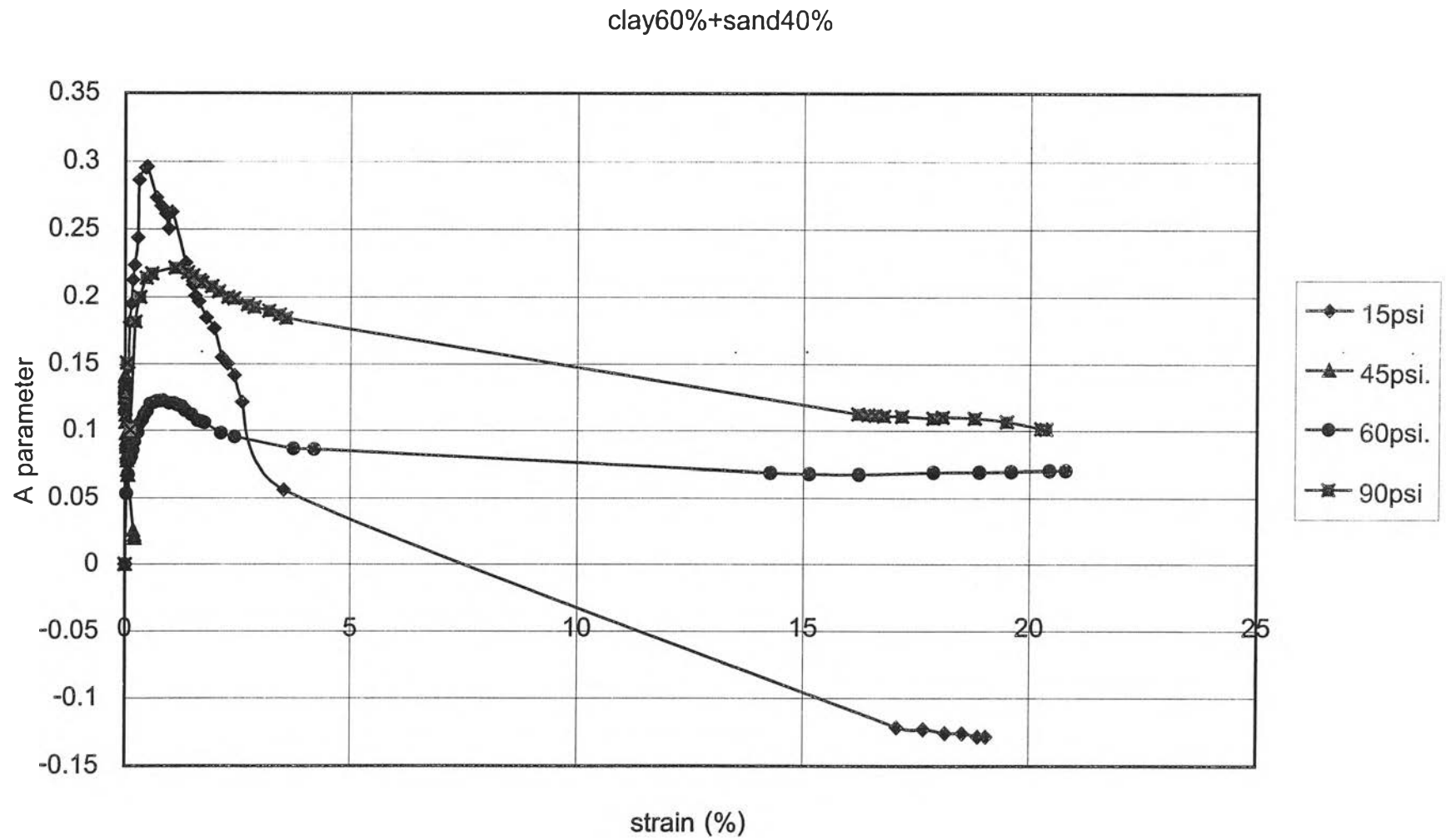
เมื่อเปรียบเทียบรูปที่ 4.21 ถึง 4.24 ในตัวอย่างที่มีทรายผสมอยู่ ที่ปริมาณทรายเท่ากับ 0% และ 20% พฤติกรรมยังคงมีพฤติกรรมเหมือนดินเหนียวนั่นคือ เมื่อ σ_c' เพิ่มขึ้น ค่า A ที่มีค่าสูงสุดจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อ σ_c' เพิ่มขึ้น ทำให้ OCR ของดินเหนียวลดลง ส่วนเมื่อ



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ เอ กับความเครียดตามแนวแกน ของดินเหนียว 100% ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ

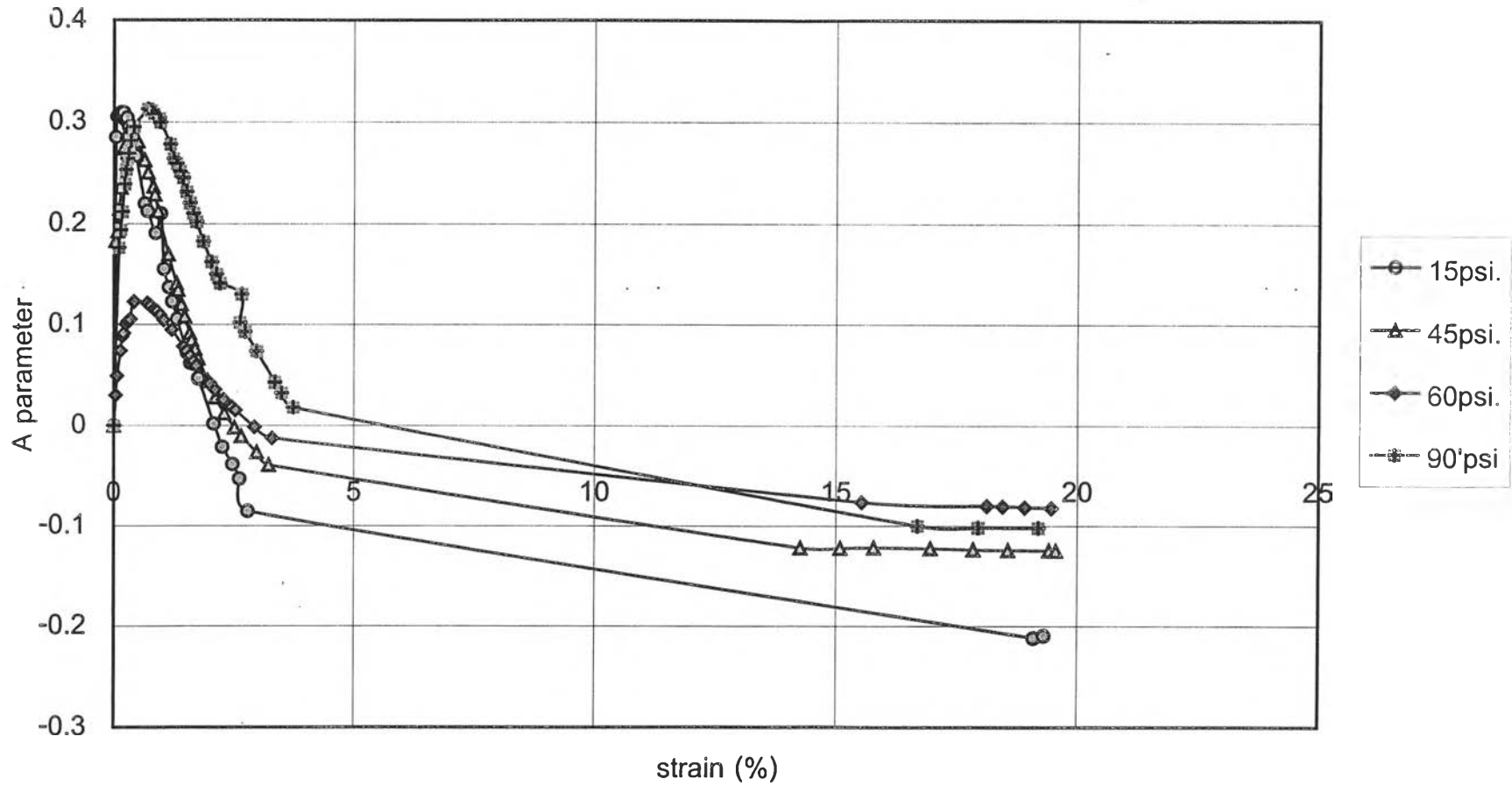


รูปที่ 4.22 กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ เอ กับความเครียดตามแนวแกน ของดินผสมที่ปริมาณทราย 20% ที่ความดันอัดตัวคายน้ำค่าต่างๆ



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ เอ กับความเครียดตามแนวแกน ของดินผสมที่ปริมาณทราย 40% ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ

clay40%+sand60%



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ เอ กับความเครียดตามแนวแกน ของดินผสมที่ปริมาณทราย 60% ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ

ปริมาณทราย 40% และ 60% พฤติกรรมของตัวอย่างดูจากค่า A จะเห็นได้ว่า ค่า A สูงสุดจะลดลง เมื่อ σ_c' สูงขึ้น ถ้าดูจากรูปที่ 4.23 และรูปที่ 4.24 พฤติกรรมดังกล่าวจะเป็นเหมือนทราย การเพิ่ม σ_c' ทำให้ทรายแน่นขึ้นทำให้ค่า A สูงสุดลดลงเหลือ 0.3 ที่ $\sigma_c' = 15$ psi. และลดลงเรื่อยๆ เมื่อ σ_c' สูงขึ้นเพราะทรายแน่นขึ้น และเมื่อความเครียดมากกว่าความเครียดที่ A สูงสุดแล้วค่า A ยังลดลงไปอีก ซึ่งแสดงออกถึงผลของ dilatancy ของทราย ซึ่งทำให้ค่า A ลดลงหรือติดลบ เมื่อ strain เพิ่มขึ้นไม่ว่า%ทรายจะเท่าใด

อนึ่งถึงแม้ว่า ตัวอย่างดินจะมีพฤติกรรมเหมือนทราย แต่ทรายที่ถูกบดอัดยังไม่แน่นมากนัก ดูได้จากพฤติกรรมของค่า A กับ ความเครียด จะเห็นได้ว่าค่า ΔU ที่จุดสูงสุดยังเป็นบวกอยู่ (แสดงว่าดินผสมทรายยังถูกอัดแน่นลงไปเมื่อความเครียดเพิ่มขึ้น) ดังนั้นเมื่อความเครียดสูง ผลของ dilatancy จึงปรากฏ

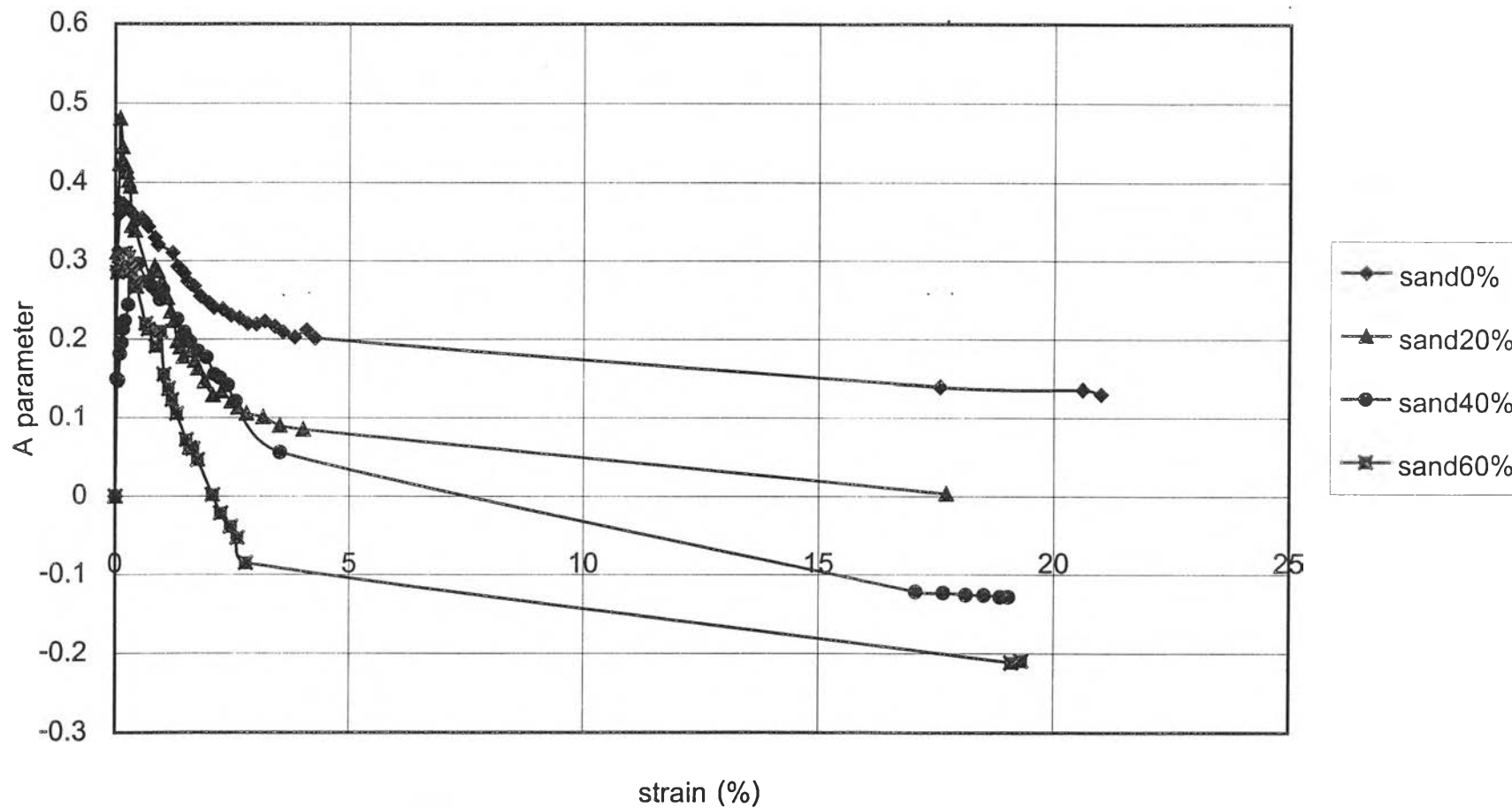
อนึ่งในรูปที่ 4.23 (ปริมาณทราย 40%) เนื่องจากทรายที่ถูกบดอัดและขนาดของ σ_c' ยังน้อย ค่า A ที่ peak value จึงมีค่าสูงสุดและมีการเปลี่ยนแปลงของค่า A อย่างมากกับความเครียด ทำให้ค่า A มีค่าติดลบแสดงถึงผลของการเกิด dilatancy จนกระทั่งมีค่า A เป็นลบ

(ข) ผลกระทบของปริมาณทรายที่มีต่อค่าพารามิเตอร์ เอ
(A parameter)

เมื่อ σ_c' เท่ากับ 15 psi. (รูปที่ 4.25) จะเห็นว่า ค่า A ที่ peak จะลดลงเมื่อ%ทรายเพิ่มขึ้นและมีค่าเป็นบวก แต่เมื่อปริมาณทราย 60% ค่า A ที่ peak ให้ค่าสูงสุด (เป็นบวก) และค่า A มีค่าลดลงอย่างมาก เมื่อความเครียดเพิ่มขึ้น พฤติกรรมของดินเหนียวหรือทรายจะแสดงออกในรูปที่ 4.26 และรูปที่ 4.27

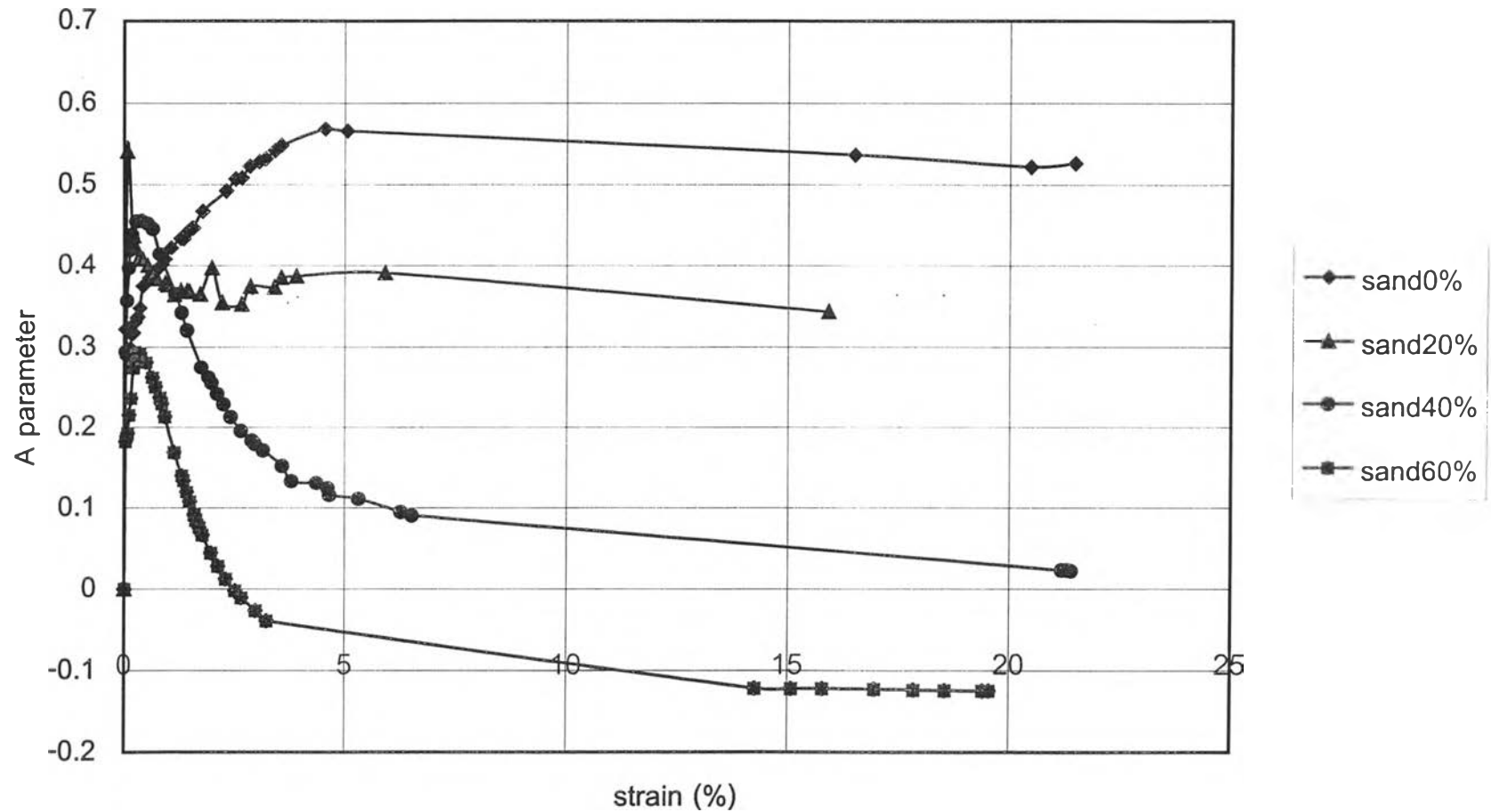
ตั้งแต่รูปที่ 4.26 ถึง 4.28 ตั้งแต่ σ_c' เท่ากับ 45psi. เป็นต้นไป จะเห็นได้ชัดว่า ไม่ว่า σ_c' จะมีค่าเท่าใด พฤติกรรมของดินเหนียวจะปรากฏในตัวอย่างที่มีปริมาณทรายเท่ากับ 0% และ 20% ให้เห็น โดยค่า A ที่ peak จะลดลง เมื่อปริมาณทรายเพิ่มขึ้น และค่า A มีค่าเป็นบวกเสมอเมื่อความเครียดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่ถ้าพิจารณาปริมาณทรายเท่ากับ 40% และ 60% ค่า A ที่ peak จะลดลง (ยังคงเป็นบวก) และเมื่อความเครียดเพิ่มขึ้น ค่า A จะลดลง เมื่อตัว

consolidated pressure 15psi



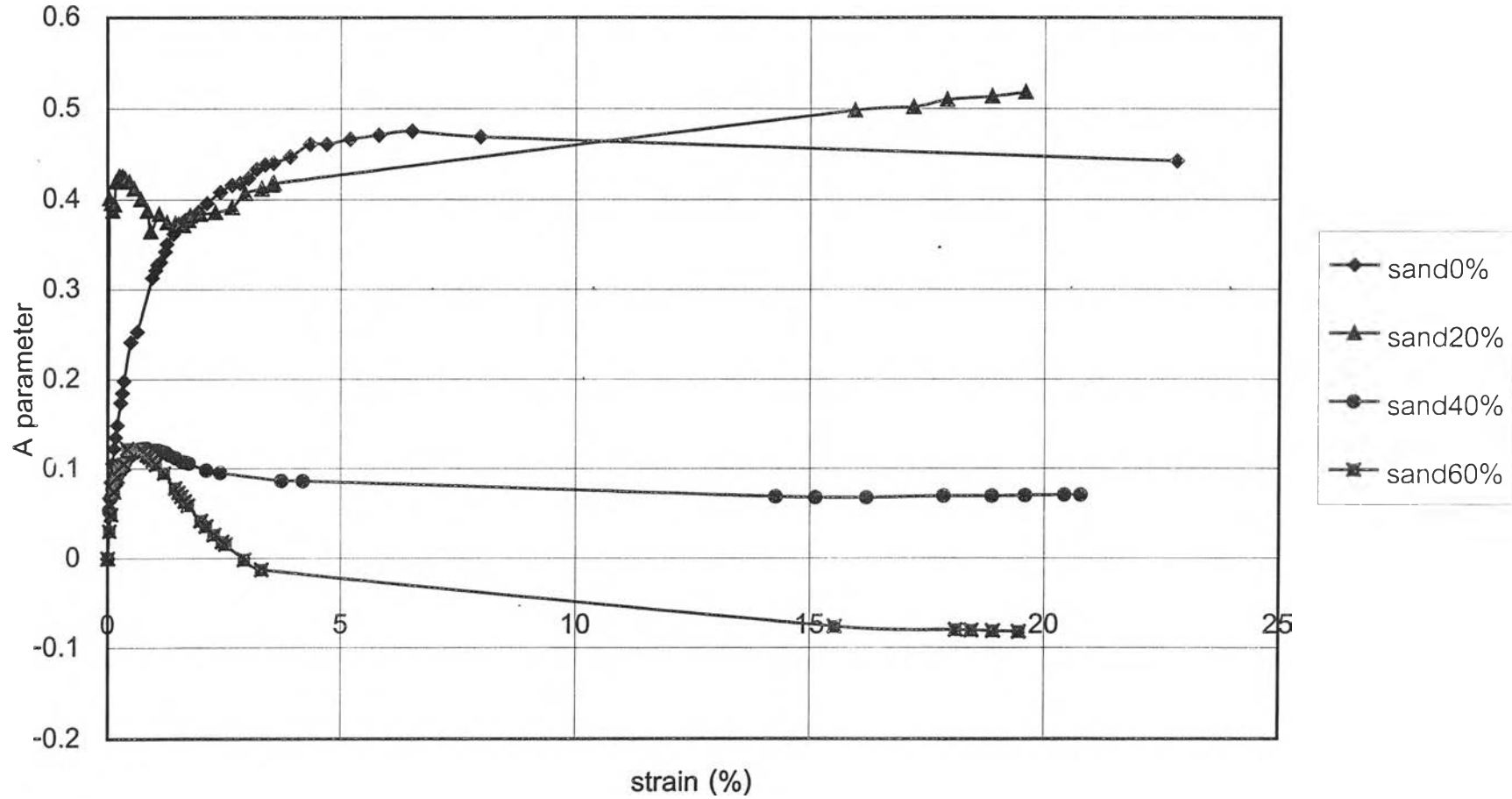
รูปที่ 4.25 กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ เอ กับความเครียดตามแนวแกน ที่ความดันอัดตัวคายนํ้าที่ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่ปริมาณทรายต่างๆ

consolidated pressure 45 psi.



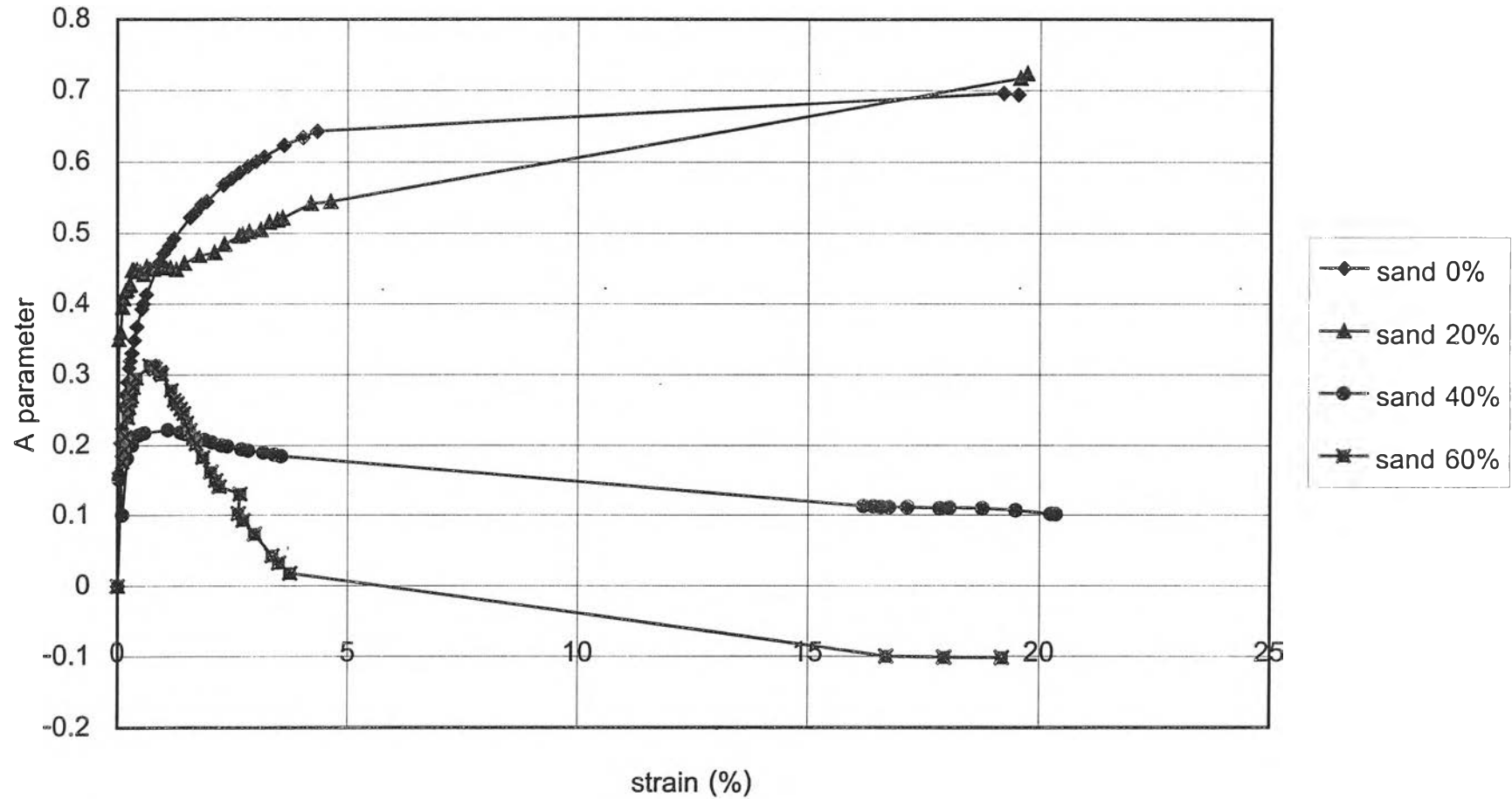
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ เอ กับความเครียดตามแนวแกน ที่ความดันอัดตัวคายน้ำ 45 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่ปริมาณทรายต่างๆ

consolidated pressure 60 psi.



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ เอ กับความเครียดตามแนวแกน ที่ความดันอัดตัวคายน้ำ 60 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่ปริมาณทรายต่างๆ

consolidated pressure 90 psi.



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ เอ กับความเครียดตามแนวแกน ที่ความดันอัดตัวคายนํ้า 90 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่ปริมาณทรายคตํางๆ

อย่างถูกบดอัดแน่น (มากกว่า 15 psi.) พฤติกรรมของ dense sand จึงปรากฏให้เห็น สังเกตได้โดยค่า A ติดลบ (นั่นคือการเกิด dilatancy) เมื่อปริมาณทรายเท่ากับ 60%

สรุปแล้วเห็นได้ว่ารูป 4.26 ถึง 4.28 แสดงให้เห็นได้ว่า พฤติกรรมของตัวอย่างดินผสม จะมีพฤติกรรมเหมือนทราย เมื่อ σ_c' ตั้งแต่ 45 psi. เป็นต้นไป และปริมาณ%ทรายตั้งแต่ 40% เป็นต้นไป

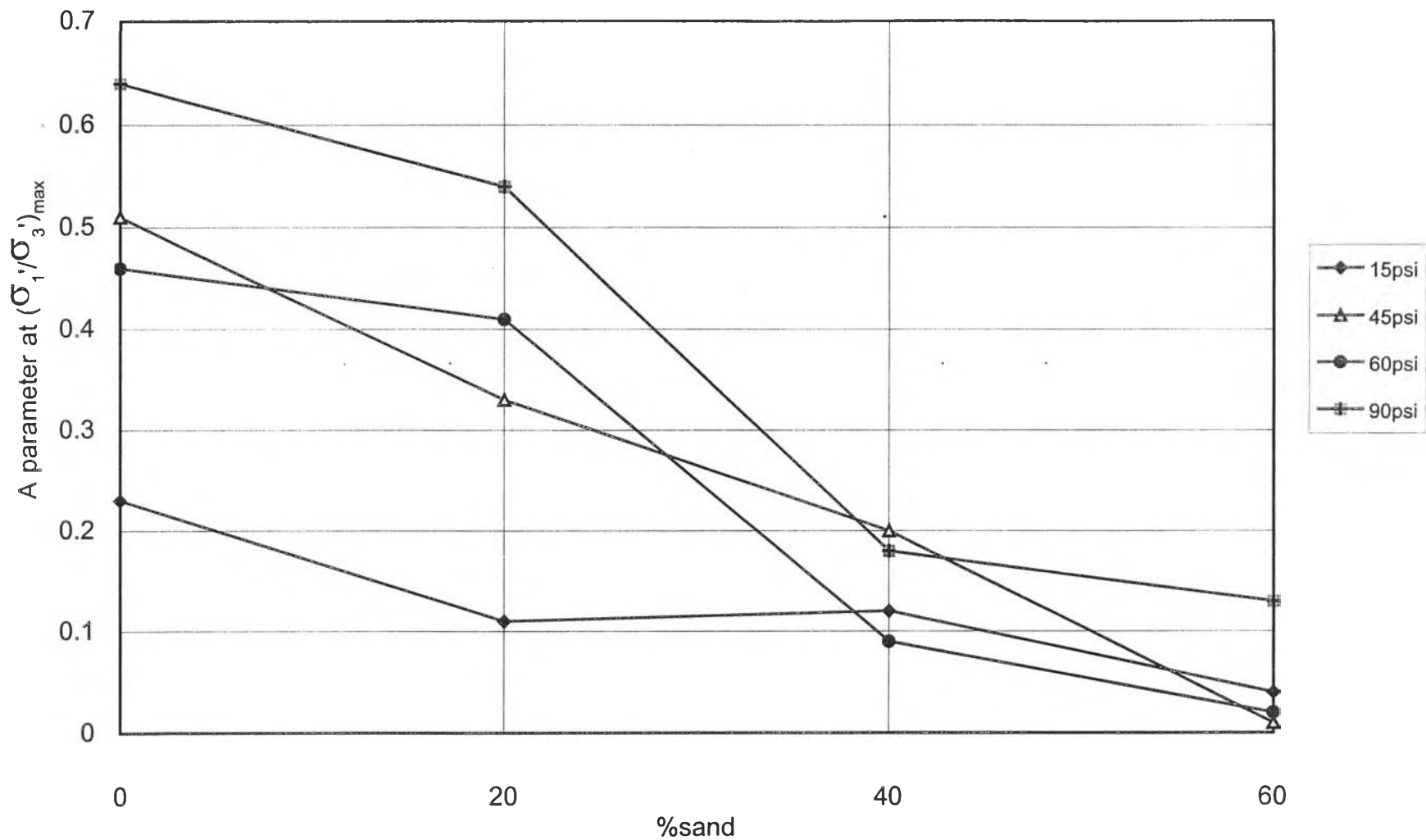
เมื่อกำหนดจุดที่วบิตขึ้นที่ $(\sigma_1'/\sigma_3')_{max}$ นำค่า A พล็อต กับ ปริมาณทรายที่เพิ่มขึ้น ดังในรูปที่ 4.29 พบว่า เมื่อปริมาณทรายเพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้ค่าแรงดันน้ำส่วนเกินหรือ A ที่จุด maximum obliquity จะมีแนวโน้มลดลง ในทุกความดันอัดตัวคายน้ำ โดยจะเห็นได้อย่างชัดเจนทุกความดันอัดตัวคายน้ำ ยกเว้น ที่ความดันอัดตัวคายน้ำที่ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ค่าพารามิเตอร์ เอ ลดลงไม่มาก เมื่อปริมาณทรายเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเกิดจากการอัดตัวคายน้ำยังไม่แน่นพอและระหว่าง%ทราย 20% กับ 40% เป็น transition zone ของพฤติกรรมของตัวอย่างว่าจะเป็นดินเหนียวหรือทราย

การลดลงของค่าพารามิเตอร์ เอ เมื่อปริมาณทรายเพิ่มขึ้น สามารถแบ่งพฤติกรรมการลดลงได้เป็นสองช่วง โดยในช่วงแรกที่ปริมาณทราย 0-20% ค่าแรงดันน้ำส่วนเกินหรือค่า A ที่จุด maximum obliquity มีค่าลดลงแต่ลดลงไม่มาก ในช่วงที่สองที่ปริมาณทรายเท่ากับ 40-60% ซึ่งมีพฤติกรรมเป็นเหมือนทราย ผลกระทบของ σ_c' และปริมาณทรายมีผลน้อยต่อค่า A ที่ $(\sigma_1'/\sigma_3')_{max}$

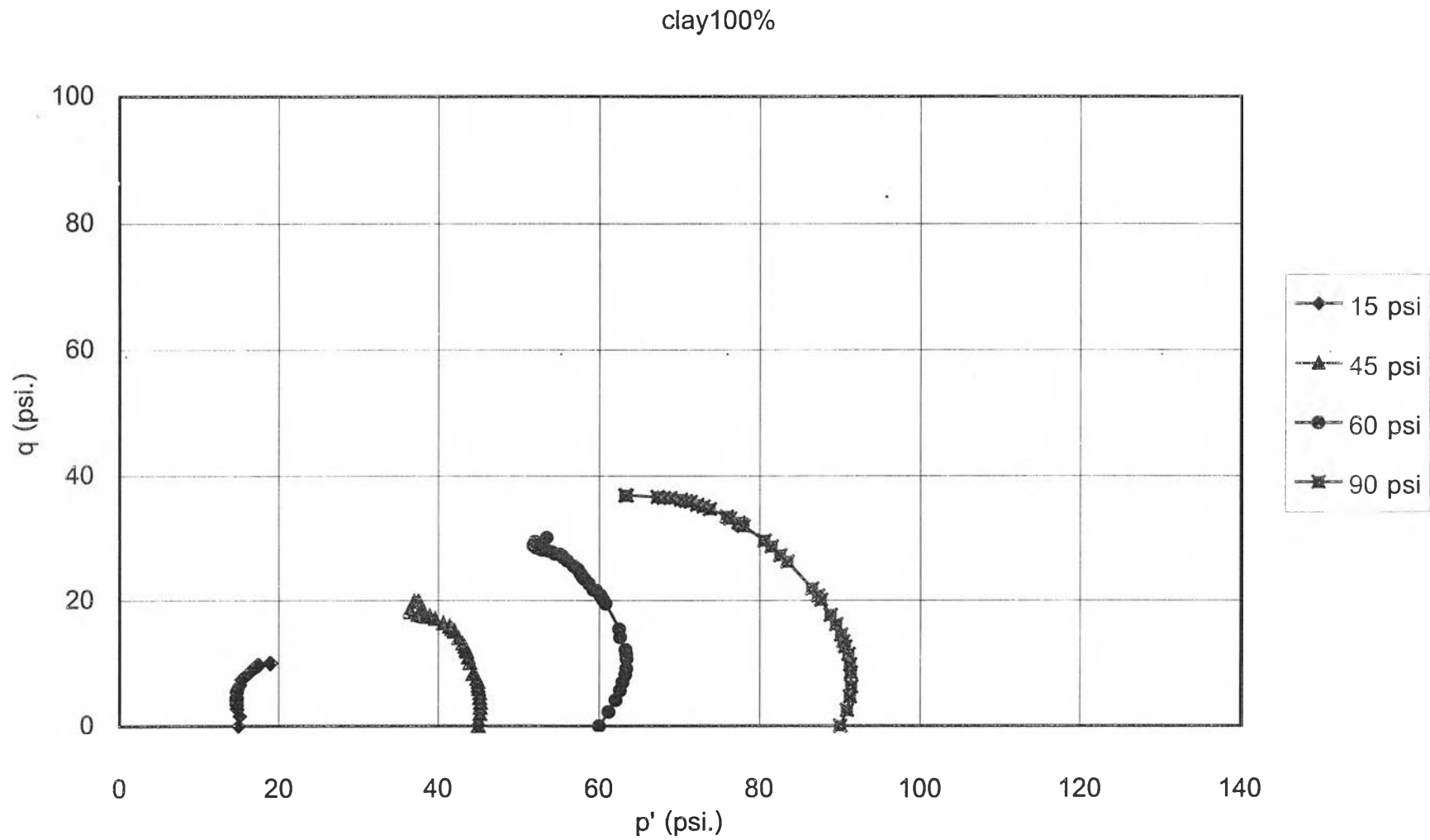
4.4 ผลกระทบของปริมาณทรายและค่า σ_c' ต่อทางเดินหน่วยแรงประสิทธิผล

รูปที่ 4.30 ถึง 4.33 แสดงทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผลของค่า σ_c' และของปริมาณทราย รูปดังกล่าวได้แสดงผลเช่นเดียวกับพฤติกรรมที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.3 ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

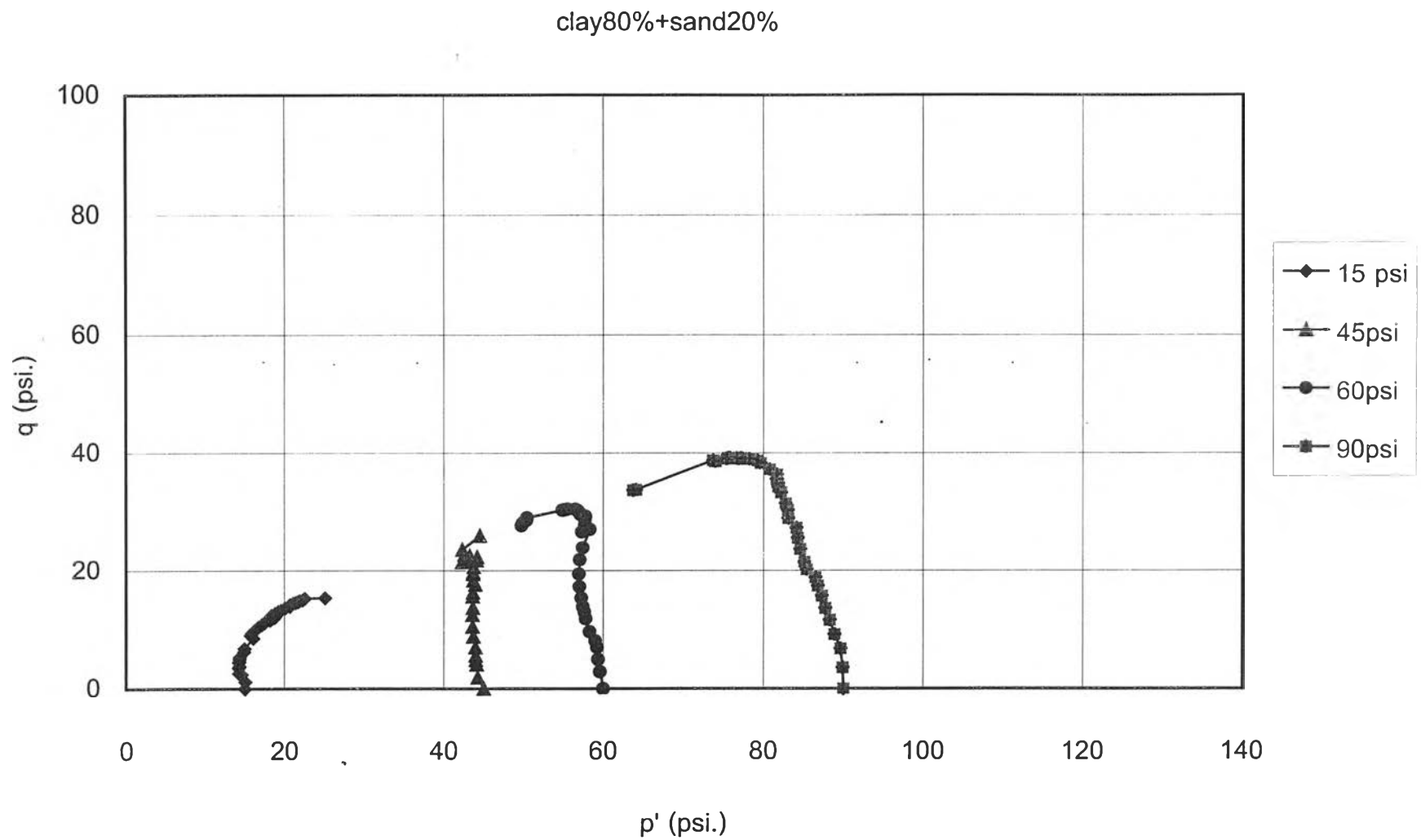
1. เมื่อปริมาณทรายเท่ากับ 0% คือตัวอย่างที่เป็นดินเหนียว ส่วนสภาพดินเหนียวที่ถูกบดอัดและอิมตัวด้วยน้ำมีพฤติกรรมเหมือนดินเหนียว ในธรรมชาติคือ การเพิ่ม σ_c' จาก 15, 45 และ 60 psi. ทำให้ OCR ของดินลดลงเรื่อยๆ ดังแสดงในรูปร่างของหน่วยแรงประสิทธิผล แต่



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ เอ กับความเครียดตามแนวแกน ที่จุด maximum obliquity เมื่อปริมาณทรายเพิ่มขึ้น

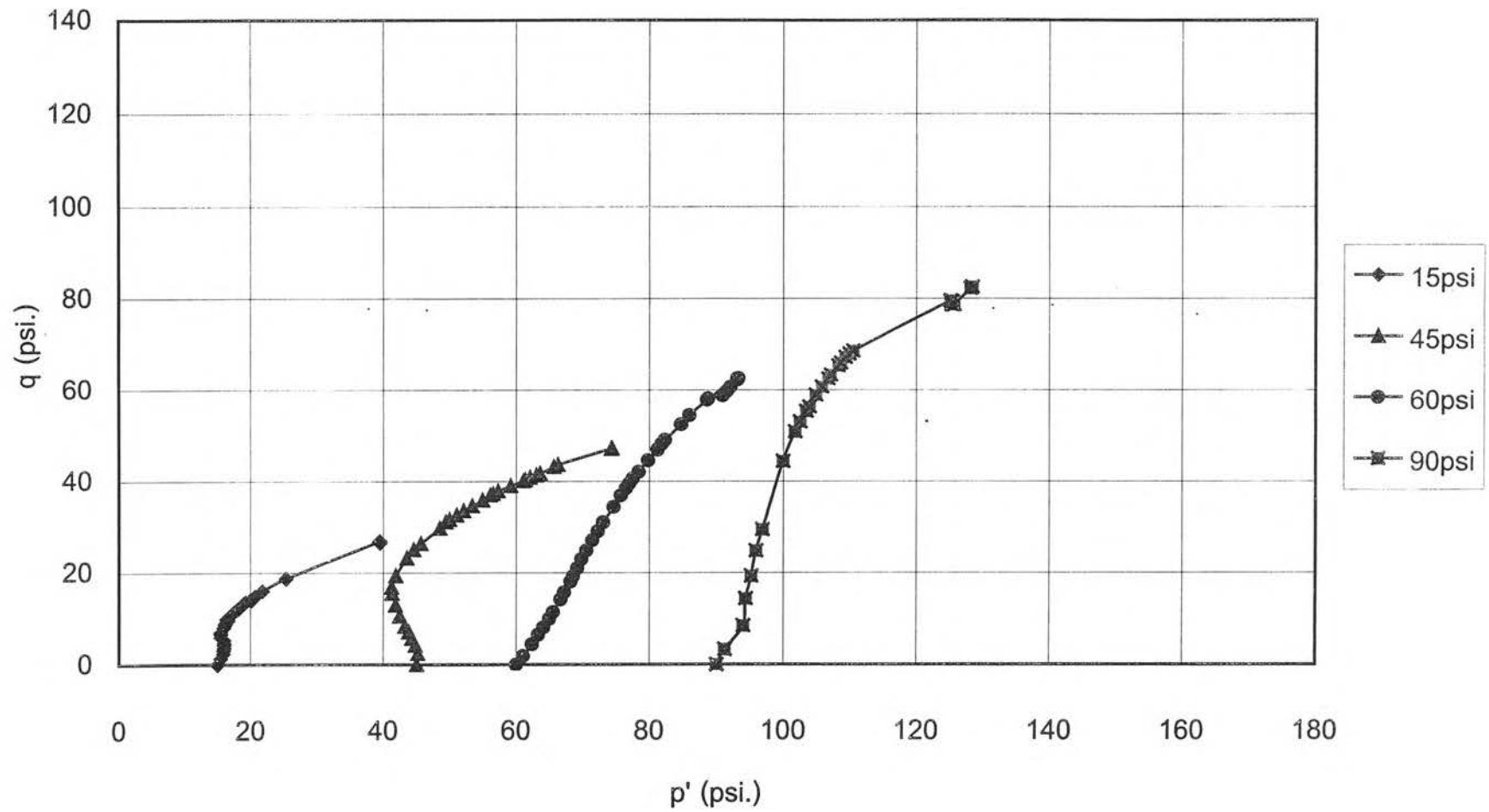


รูปที่ 4.30 กราฟแสดงค่า p' กับ q ของดินเหนียว 100% ที่ความดันอัดตัวคายนํ้าต่างๆ

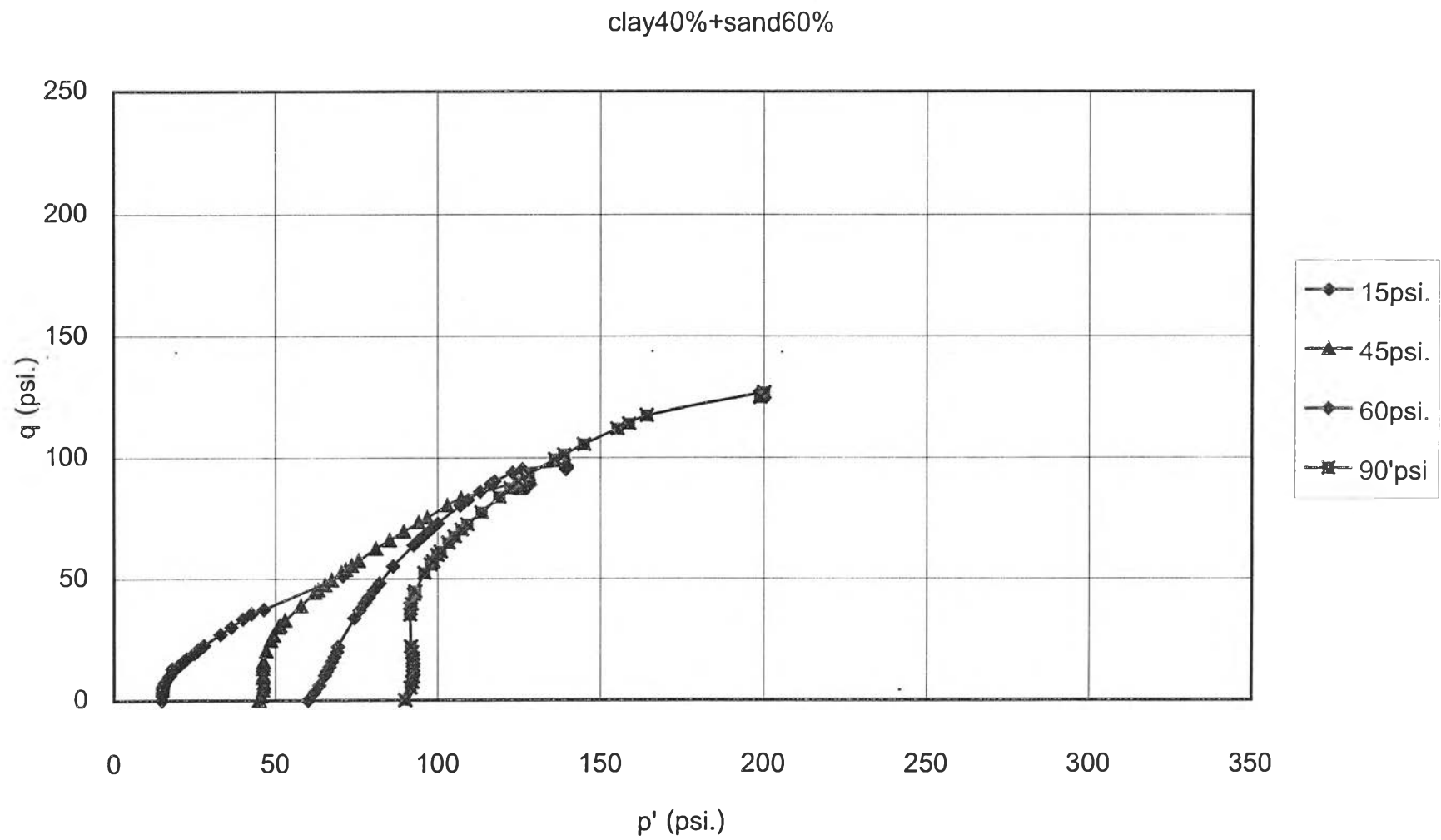


รูปที่ 4.31 กราฟแสดงค่า p' กับ q ของดินผสมที่ปริมาณทราย 20% ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ

clay60%+sand40%



รูปที่ 4.32 กราฟแสดงค่า p' กับ q ของดินผสมที่ปริมาณทราย 40% ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ



รูปที่ 4.33 กราฟแสดงค่า p' กับ q ของดินผสมที่ปริมาณทราย 60% ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ

- เมื่อ σ_c' เพิ่มขึ้นถึง 90 psi. พฤติกรรมของดินอ่อนเป็นรูปของ NC clay หรือ slightly OC clay (ดูรูปที่ 4.30)
2. เมื่อปริมาณทรายเพิ่มขึ้นเป็น 20% พฤติกรรมของ effective stress paths (รูปที่ 4.31) ยังคงแสดงผลของทรายเริ่มมีผลเล็กน้อย พฤติกรรมยังคงเหมือนดินเหนียว แต่ลักษณะของ effective stress paths ที่ 60 และ 90 psi. เหมือนแสดงว่า σ_p' ซึ่งหมายความว่า ดินผสมมี OCR มากกว่าตัวอย่างที่ปริมาณทราย 0% ซึ่งเป็นสิ่งที่ชี้ว่า σ_c' ที่ 60 psi. และ 90 psi. ทรายที่อยู่ในดินเริ่มแน่นพอที่จะแสดงพฤติกรรมออกมา
 3. เมื่อทรายเพิ่มเป็น 40 และ 60% พฤติกรรมของทรายออกมาอย่างชัดเจน การที่ทรายในดินผสมที่ปริมาณมากและอยู่ในสภาพอัดแน่น effective stress paths ของตัวอย่างจะแสดงว่าพฤติกรรมของทรายได้ถูก control โดย effective stress paths แสดงว่า dilatancy ได้เกิดขึ้น (รูปที่ 4.32 และ 4.33) ถ้าเปรียบเทียบรูปที่ 4.30 กับ รูปที่ 4.32 และ 4.33 จะเห็นว่าการผสมทรายจะทำให้เกิด dilatation เกิดขึ้น ทำให้ค่า ϕ' และ C' สูงขึ้น เมื่อ%ทรายสูงขึ้น

ด้วยผลดังกล่าวมาแต่ต้น เมื่อ%สูงขึ้นพฤติกรรมของตัวอย่างจะแสดงออกมามี OCR สูงขึ้น อันที่จริงแล้วผลของ dilatancy ของทรายที่ถูกบดอัดและขนาดของ σ_c' ทำให้พฤติกรรมของตัวอย่างแสดง mechanism ของ dilatancy ออกมาให้ดู effective stress paths แสดงเสมือนว่า %ทรายเพิ่มขึ้นเหมือนตัวอย่างมี OCR สูงขึ้น

4.5 ผลกระทบของปริมาณทรายในเส้นขอบเขตการวิบัติกำหนดขึ้นที่ $(\sigma_1'/\sigma_3')_{max}$

เนื่องจากการเพิ่มปริมาณทรายมีพฤติกรรมที่แสดงว่าตัวอย่างดินผสมทรายมีพฤติกรรมเหมือน OC clay และเมื่อปริมาณทรายมากกว่า 40% พฤติกรรมของทรายที่อัดแน่นจะเป็นพฤติกรรมของดินผสม การพิจารณาเส้นขอบเขตการวิบัติจึงพิจารณาที่ค่า $(\sigma_1'/\sigma_3')_{max}$

รูปที่ 4.34 ถึง 4.37 แสดงค่าพลอตระหว่าง (σ_1'/σ_3') กับ ϵ ที่ปริมาณทรายต่างกันในรูปแบบดังกล่าวจะเห็นได้ว่า

1. ค่า $(\sigma_1'/\sigma_3')_{max}$ จะสูงมากขึ้น เมื่อ%ทรายสูงมากขึ้น
2. ในดินเหนียวบดอัด (clay 100%) ค่า $(\sigma_1'/\sigma_3')_{max}$ แทบไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อความเครียดเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.34) แต่เมื่อมีปริมาณทรายกราฟค่า (σ_1'/σ_3') หลังจากจุด $(\sigma_1'/\sigma_3')_{max}$ แล้ว ค่า (σ_1'/σ_3') จะลดลง เมื่อความเครียดเพิ่มขึ้น

ในรูปที่ 4.38 แสดงการพลอตของค่า $(\sigma_1'/\sigma_3')_{max}$ กับปริมาณทรายเป็นค่า $(\sigma_1'/\sigma_3')_{max}$ เพิ่มขึ้นจากประมาณ 2.7 เมื่อปริมาณทรายที่ 0% และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อปริมาณทรายเพิ่มขึ้น จนกระทั่งที่มีปริมาณทราย 60% ค่า $(\sigma_1'/\sigma_3')_{max}$ มีค่าถึง 5.0 สิ่งที่น่าสังเกตอีกอย่างหนึ่งคือ ขนาดของ σ_c' มีผลกระทบต่อค่า $(\sigma_1'/\sigma_3')_{max}$ จากรูปนี้ คาดคะเนได้ว่าค่า ϕ' และ C' จะเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณทรายเพิ่มขึ้น

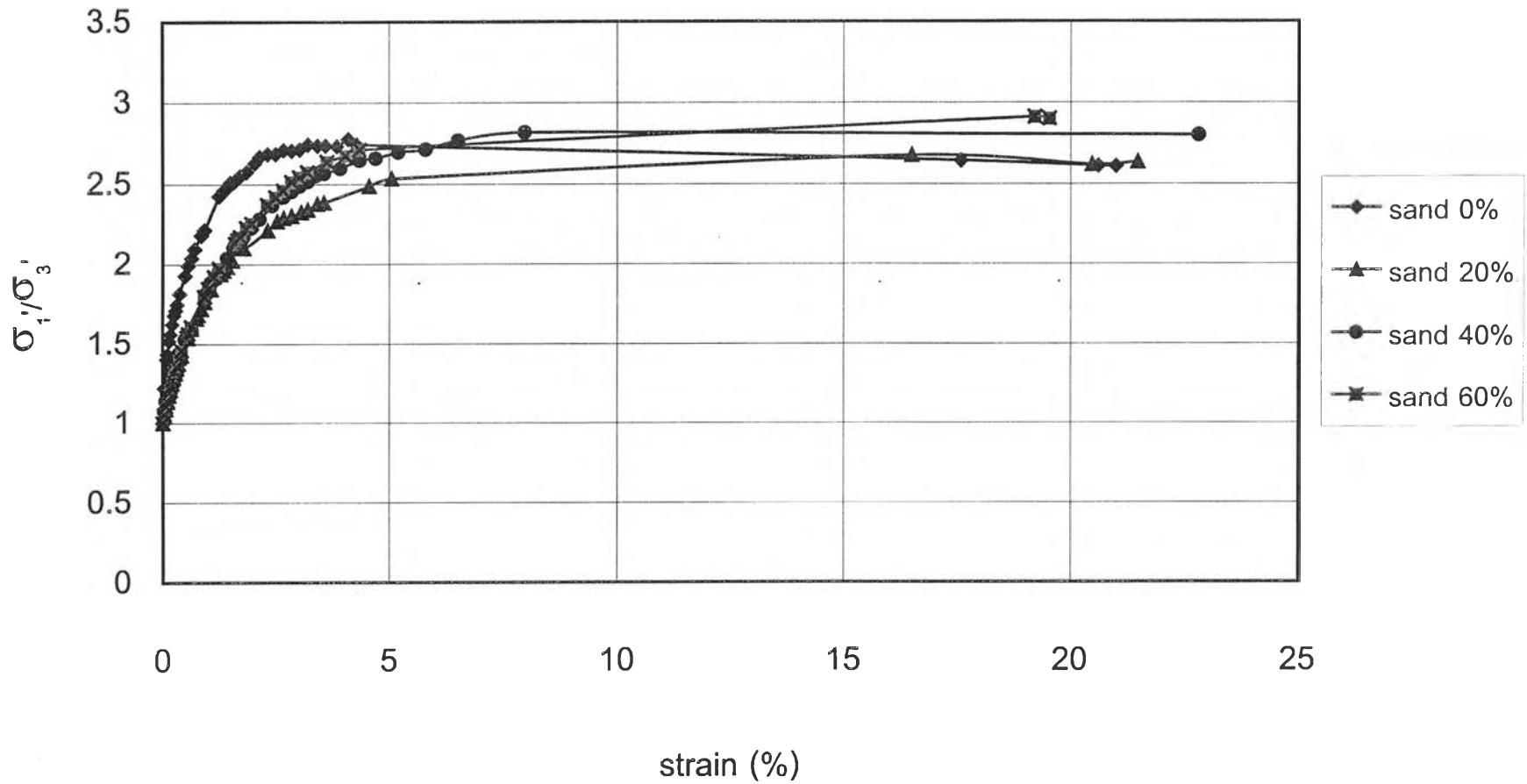
รูปที่ 4.39 เป็นค่า p_f และ q_f พลอตในรูปหน่วยแรงรวม รูปดังกล่าวไม่ค่อยมีผลกระทบบางด้าน practical มากนัก เพราะรวมผลของค่า ΔU เข้าไปด้วย ตาราง 4.6 แสดงค่า q ที่จุด yield จะมีประโยชน์มากกว่า เมื่อนำมาใช้กับ $\phi = \text{concept}$ ซึ่งใช้ได้ ใน %ทรายที่ 0% และ 20% ยกเว้นที่ปริมาณทราย 40% และ 60% ปริมาณทรายจะเพิ่มขึ้นทั้งค่า a และ α ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ซึ่งแสดงค่า α (หรือค่า ϕ) และค่า a (หรือค่า C) ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ค่าการเปลี่ยนแปลง%ทรายมีผลต่อค่า α และ a มาก

รูปที่ 4.40 เป็นค่า p_f' และ q_f' พลอตในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล รูปดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า variation ของค่า a' และ α' (ตารางที่ 4.7) มีน้อยลงแต่%ทรายยังคงเพิ่มทั้งค่า ϕ' และ C' เส้นขอบเขตในการวิบัตินี้ใช้ในการวิเคราะห์แบบหน่วยแรงประสิทธิผล ซึ่งในการวิจัยนี้ แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้ดินผสมทรายที่มี%ทรายตั้งแต่ 40% เป็นต้นไป

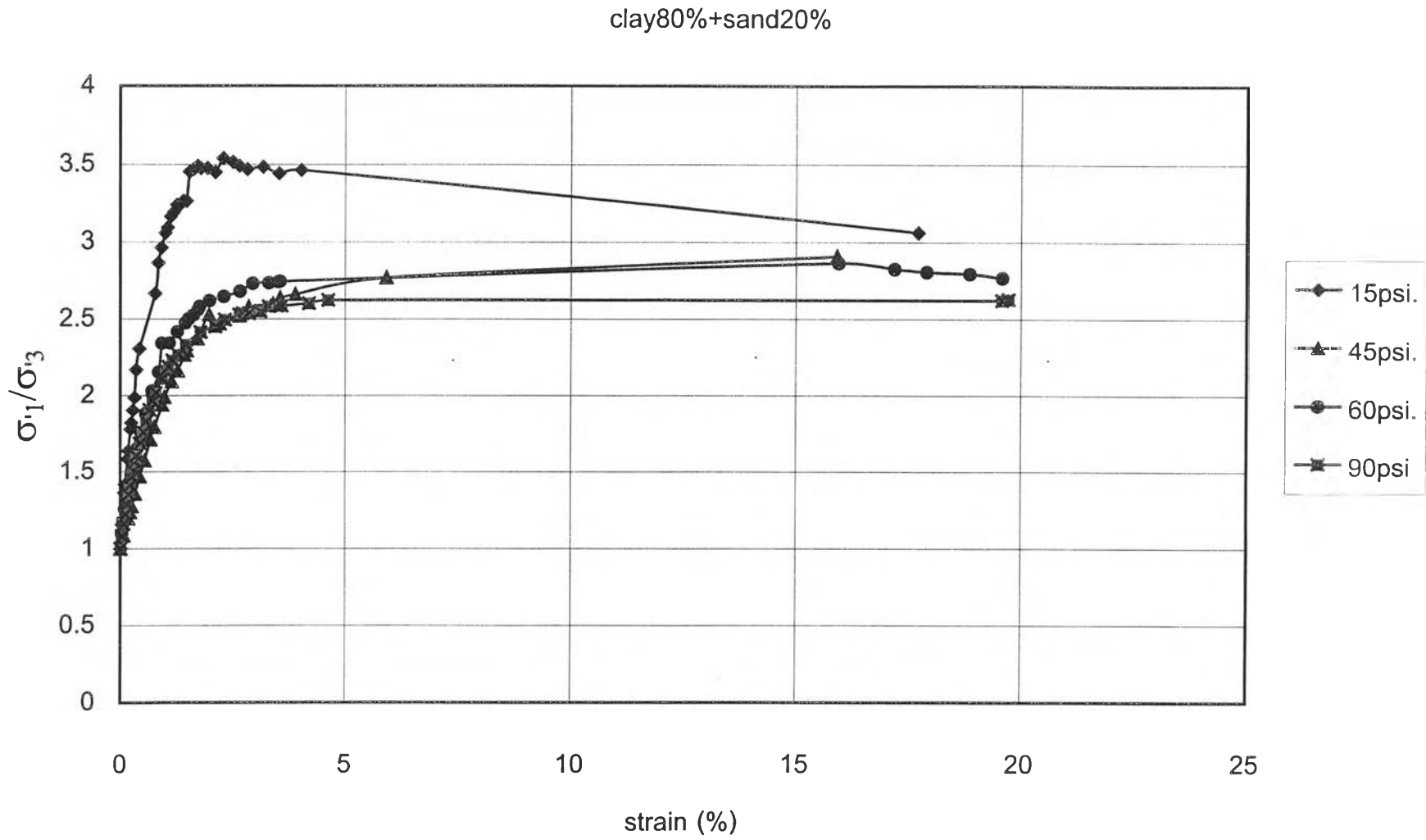
4.6 ผลกระทบของปริมาณทรายและขนาดของแรงดันอัดตัวคายน้ำ (σ_c') ต่อ secant โมดูลัสแบบไม่ระบายน้ำ ที่ 50% ของระดับหน่วยแรงเฉือนที่ yield

ตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าค่า E_u สูงขึ้นเมื่อ σ_c' สูงขึ้นไม่ว่าปริมาณทรายจะเป็นเท่าใด นอกจากนั้น E_u ยังเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณทรายเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ที่ σ_c' มากกว่า 45 psi.

clay 100%

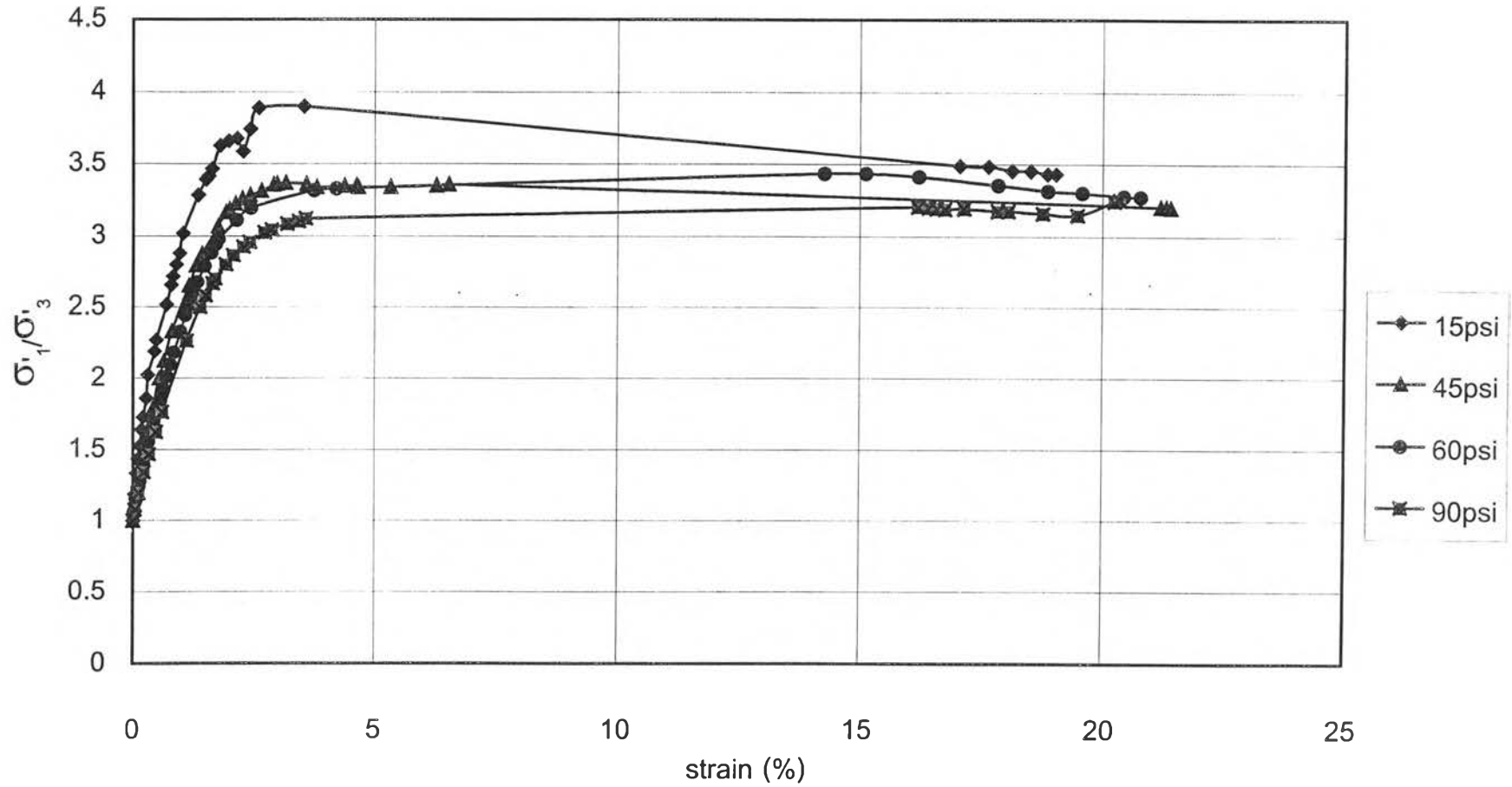


รูปที่ 4.34 กราฟแสดงค่า σ_1'/σ_3' กับความเครียดตามแนวแกน ของดินเหนียว 100% ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ



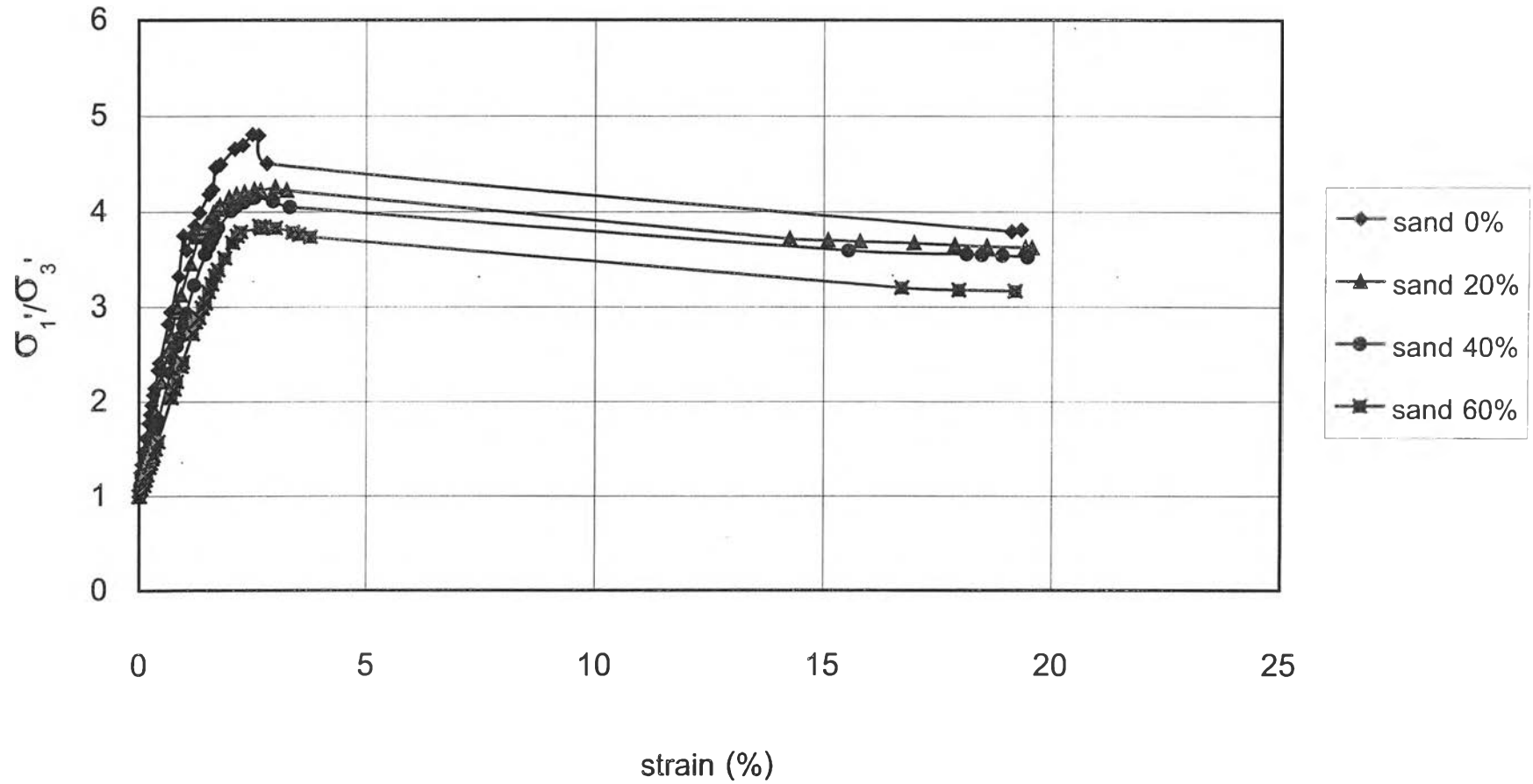
รูปที่ 4.35 กราฟแสดงค่า σ_1/σ_3 กับความเครียดตามแนวแกน ของดินผสมที่ปริมาณทราย 20% ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ

clay60%+sand40%

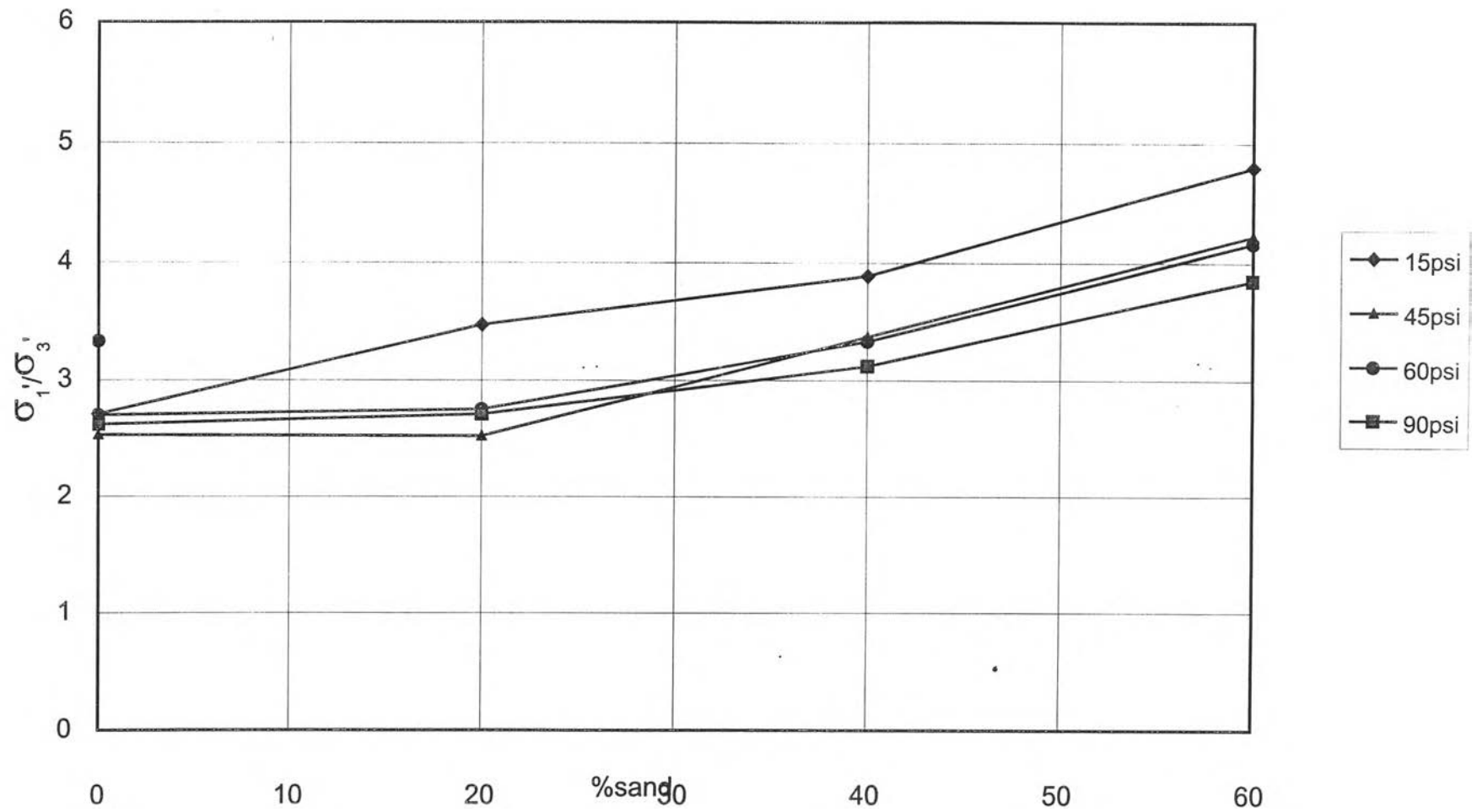


รูปที่ 4.36 กราฟแสดงค่า σ_1/σ_3 กับความเครียดตามแนวแกน ของดินผสมที่ปริมาณทราย 40% ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ

clay 40% + sand 60%

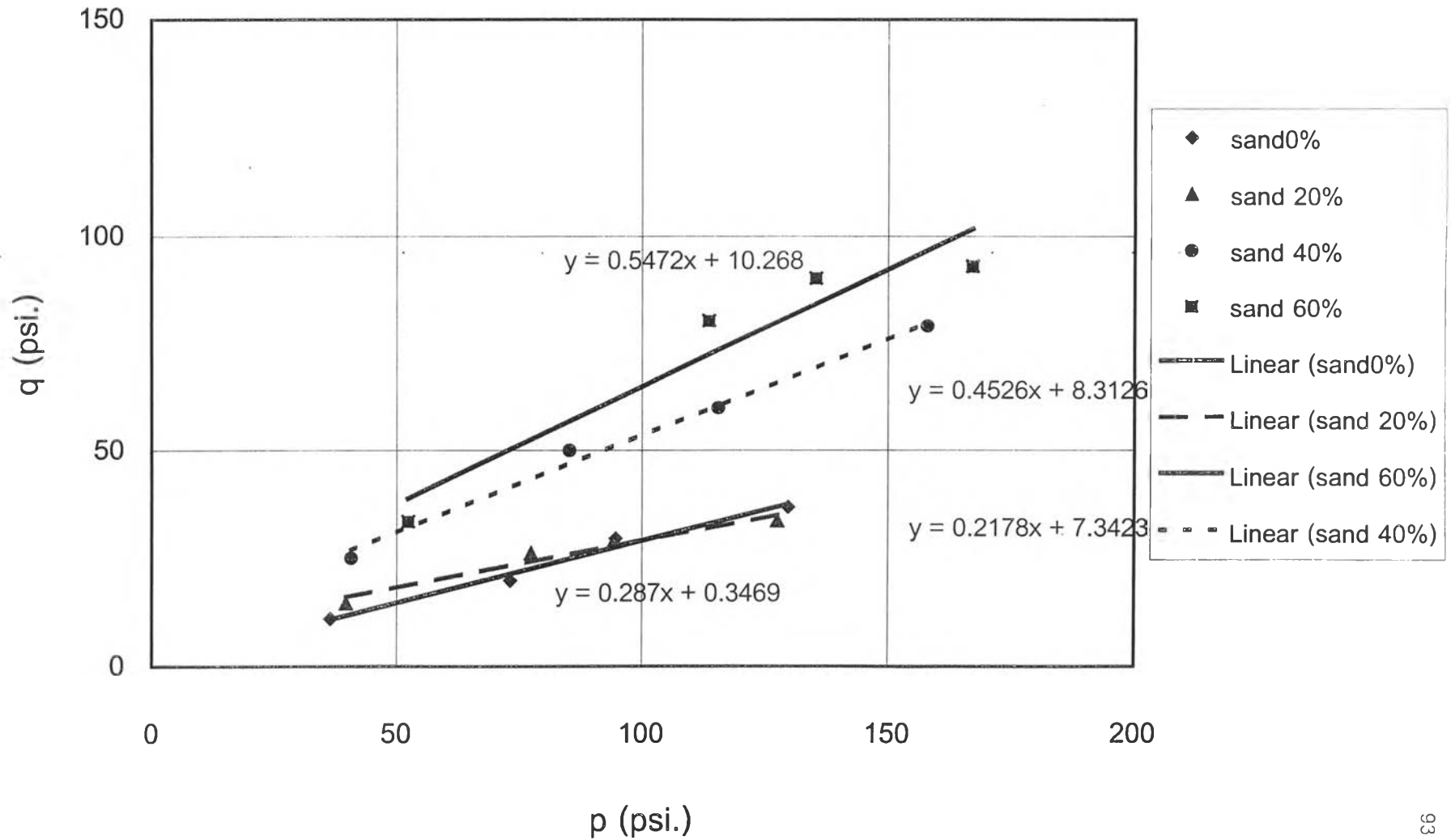


รูปที่ 4.37 กราฟแสดงค่า σ_1/σ_3 กับความเครียดตามแนวแกน ของดินผสมที่ปริมาณทราย 60% ที่ความดันอัดตัวคายน้ำต่างๆ



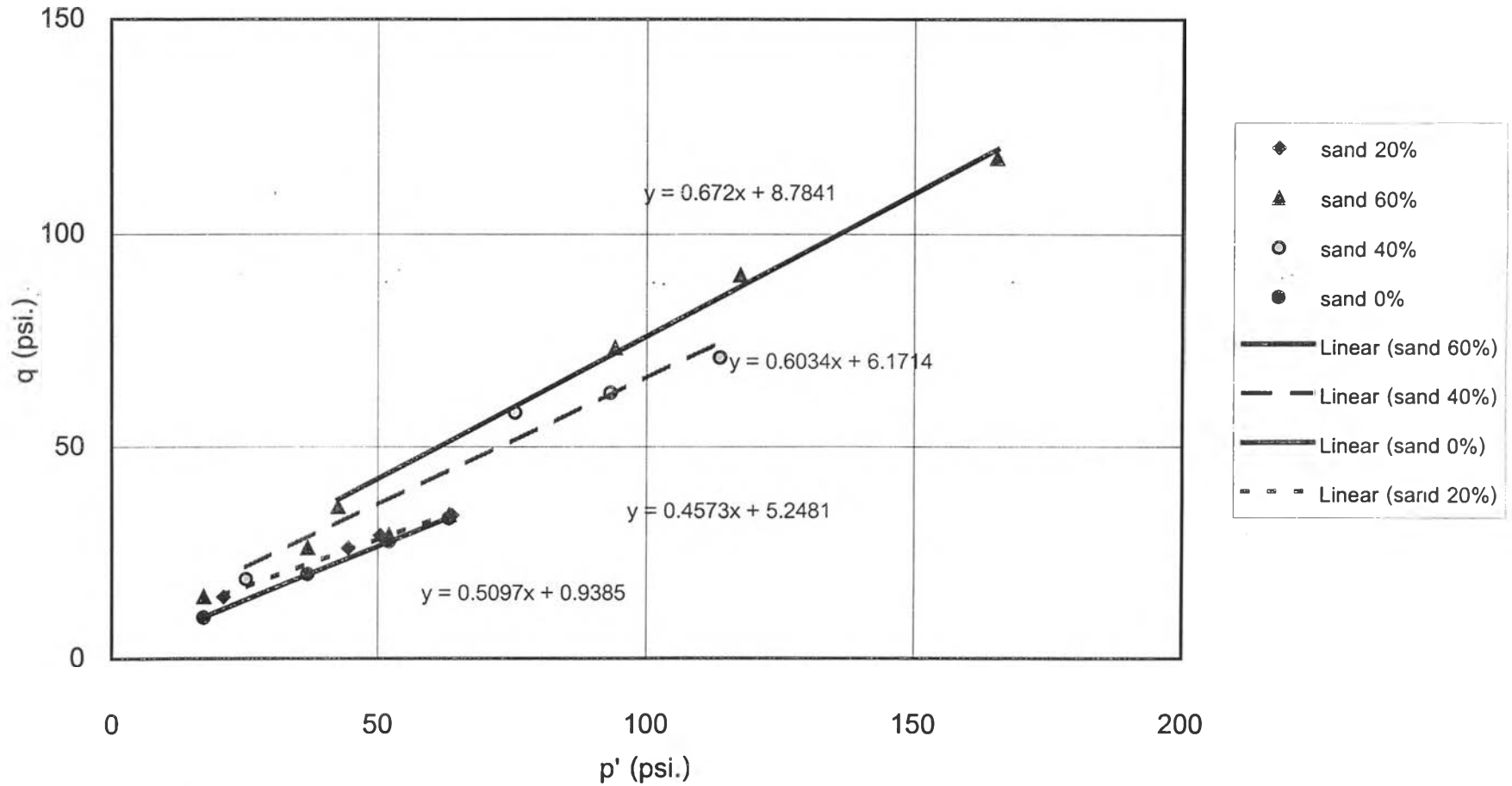
รูปที่ 4.38 กราฟแสดงค่า ที่จุด σ_1'/σ_3' maximum obliquity เมื่อปริมาณทรายเพิ่มขึ้น

Total Shear Strength Envelope



รูปที่ 4.39 กราฟ p' กับ q แสดงค่า total shear strength envelope ของดินผสมที่ปริมาณทรายต่างๆ ที่ (σ_v'/σ_v')

Effective Shear Strength Envelope



รูปที่ 4.40 กราฟ p' กับ q แสดงค่า effective shear strength envelope ของดินผสมที่ปริมาณทรายต่างๆ ที่ $(\sigma_1'/\sigma_3')_{max}$

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงค่า a และ α ของ Total Stress Paths เมื่อปริมาณทรายเพิ่มขึ้น

Total Stress Path		
%sand	a	α
0	0.3469	16.01
20	7.3423	12.52
40	8.3126	25.72
60	10.268	28.69

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงค่า a' และ α ของ Effective Stress Paths เมื่อปริมาณทรายเพิ่มขึ้น

Effective Stress Path		
%sand	a'	α
0	0.9385	27
20	5.248	24.6
40	5.1714	31.1
60	8.7841	33.9

ค่า E_u ของตัวอย่างผสมทรายที่ $\sigma_c' = 90$ psi. แสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.6 ผลกระทบของปริมาณทรายต่อ E_u ที่ $\sigma_c' = 90$ psi.

ปริมาณทราย	E_u at 50% stress level at $\sigma_c' = 90$ psi.
0	3590
20	5633
40	10222
60	8285