

#### 4. ผลการวิจัย

##### ผลลัพธ์คุณสมบัติ Anisotropy

จากผลการดั่งชิ้นงาน AL11 , AL12 และ AL13 สามารถนำผลลัพธ์มาเขียนกราฟระหว่างความเค้นในทิศทางความกว้างของชิ้นงานกับความเค้นในทิศทางความหนาของชิ้นงาน โดยทำการวัดระยะยึดเท่ากับ 5 , 10 , 15 , 20 , 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของระยะ Gage Length ตามลำดับ ความชันของกราฟนี้มีค่าเท่ากับค่า R ของชุดการทดลอง A ดังแสดงในภาพที่ 2

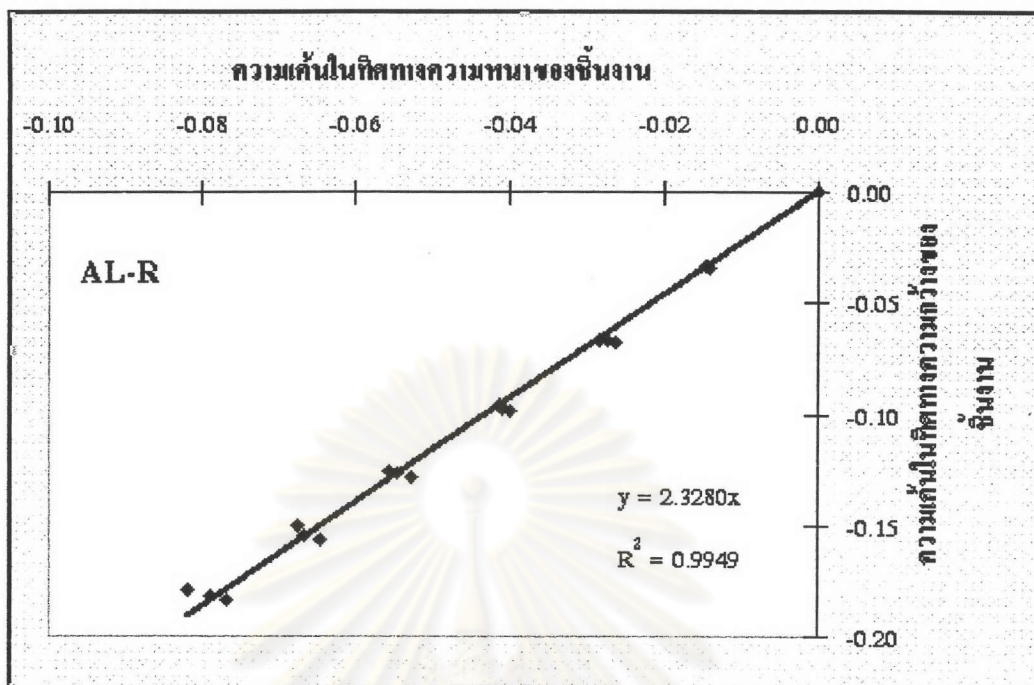
จากผลการดั่งชิ้นงาน AT01 , AT02 และ AT03 สามารถนำผลลัพธ์มาเขียนกราฟระหว่างความเค้นในทิศทางความกว้างของชิ้นงานกับความเค้นในทิศทางความหนาของชิ้นงาน โดยทำการวัดระยะยึดเท่ากับ 5 , 10 , 15 , 20 , 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของระยะ Gage Length ตามลำดับ ความชันของกราฟนี้มีค่าเท่ากับค่า P ของชุดการทดลอง A ดังแสดงในภาพที่ 3 ที่น่าสนใจคือมีอยู่สองจุดที่ระยะยึด 30 เปอร์เซ็นต์ ที่อยู่นอกกราฟเนื่องจากเกิดคอคอดเสียก่อน

จากผลการดั่งชิ้นงาน BL11 , BL12 และ BL13 สามารถนำผลลัพธ์มาเขียนกราฟระหว่างความเค้นในทิศทางความกว้างของชิ้นงานกับความเค้นในทิศทางความหนาของชิ้นงาน โดยทำการวัดระยะยึดเท่ากับ 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ของระยะ Gage Length ตามลำดับ ความชันของกราฟนี้มีค่าเท่ากับค่า R ของชุดการทดลอง B ดังแสดงในภาพที่ 4

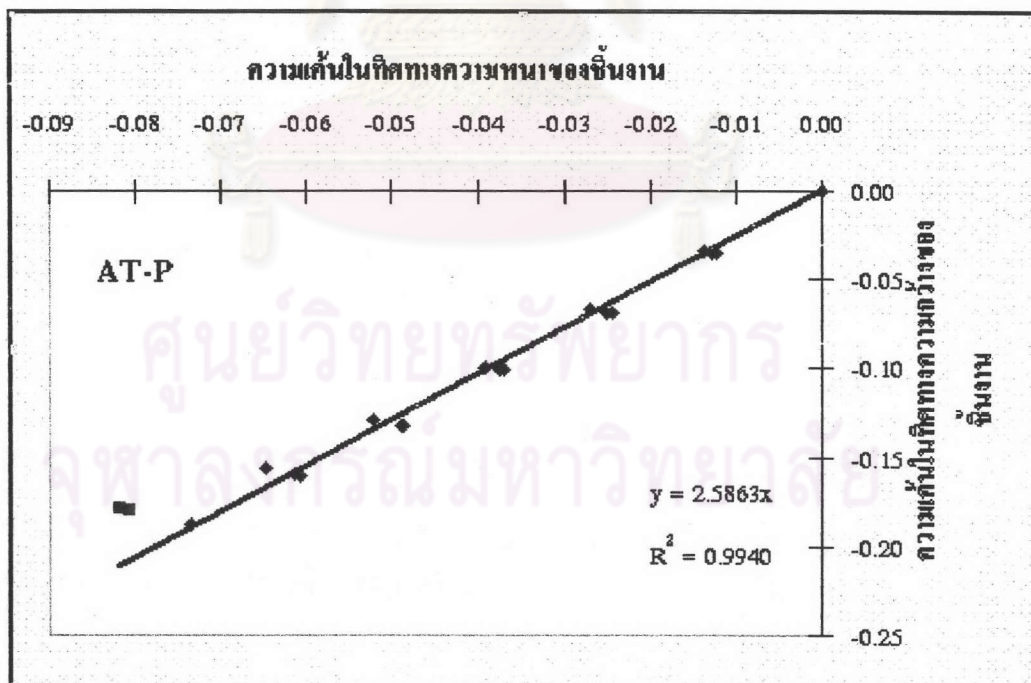
จากผลการดั่งชิ้นงาน BT01 , BT02 และ BT03 สามารถนำผลลัพธ์มาเขียนกราฟระหว่างความเค้นในทิศทางความกว้างของชิ้นงานกับความเค้นในทิศทางความหนาของชิ้นงาน โดยทำการวัดระยะยึดเท่ากับ 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ของระยะ Gage Length ตามลำดับ ความชันของกราฟนี้มีค่าเท่ากับค่า P ของชุดการทดลอง B ดังแสดงในภาพที่ 5

จากผลการดั่งชิ้นงาน CL11 , CL12 และ CL13 สามารถนำผลลัพธ์มาเขียนกราฟระหว่างความเค้นในทิศทางความกว้างของชิ้นงานกับความเค้นในทิศทางความหนาของชิ้นงาน โดยทำการวัดระยะยึดเท่ากับ 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ของระยะ Gage Length ตามลำดับ ความชันของกราฟนี้มีค่าเท่ากับค่า R ของชุดการทดลอง C ดังแสดงในภาพที่ 6

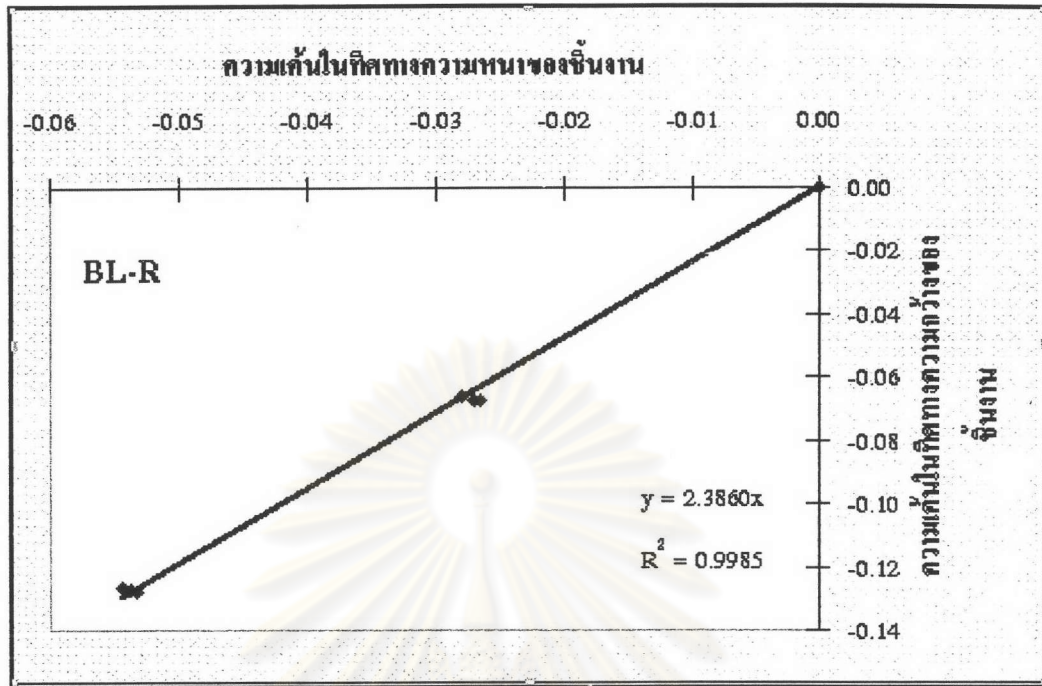
จากผลการดั่งชิ้นงาน CT01 , CT02 และ CT03 สามารถนำผลลัพธ์มาเขียนกราฟระหว่างความเค้นในทิศทางความกว้างของชิ้นงานกับความเค้นในทิศทางความหนาของชิ้นงาน โดยทำการวัดระยะยึดเท่ากับ 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ของระยะ Gage Length ตามลำดับ ความชันของกราฟนี้มีค่าเท่ากับค่า P ของชุดการทดลอง C ดังแสดงในภาพที่ 7



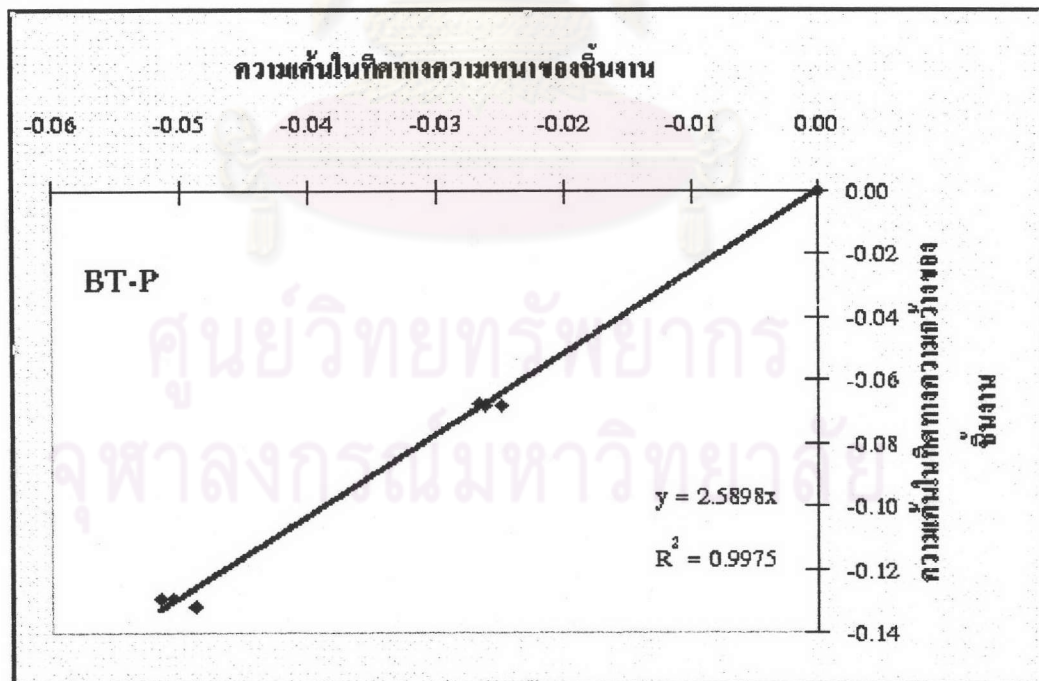
ภาพที่ 2 แสดงการหาค่า R ของชิ้นงานชุด A โดยทำการวัดระยะยัดเท่ากับ 5 , 10 , 15 , 20 , 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ของระยะ Gage Length ตามลำดับ



ภาพที่ 3 แสดงการหาค่า P ของชิ้นงานชุด A โดยทำการวัดระยะยัดเท่ากับ 5 , 10 , 15 , 20 , 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ของระยะ Gage Length ตามลำดับ (มีอยู่สองจุดที่อยู่นอกกราฟเนื่องจากเกิดคอคอด)

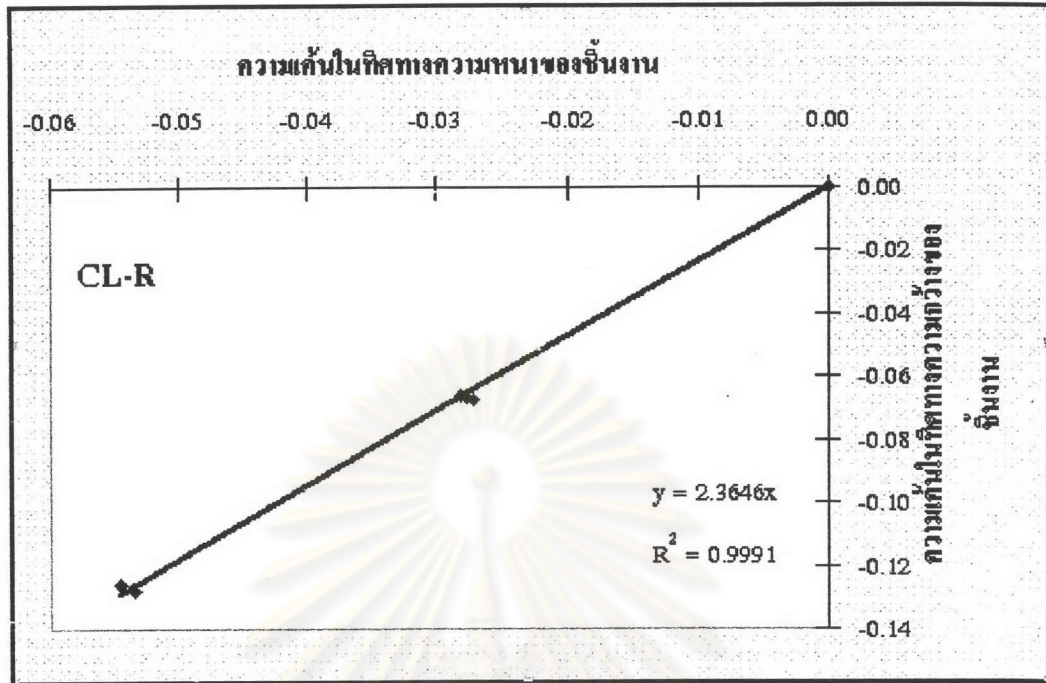


ภาพที่ 4 แสดงการหาค่า R ของชิ้นงานชุด B โดยทำการวัดระยะยัดเท่ากับ 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ของระยะ Gage Length ตามลำดับ

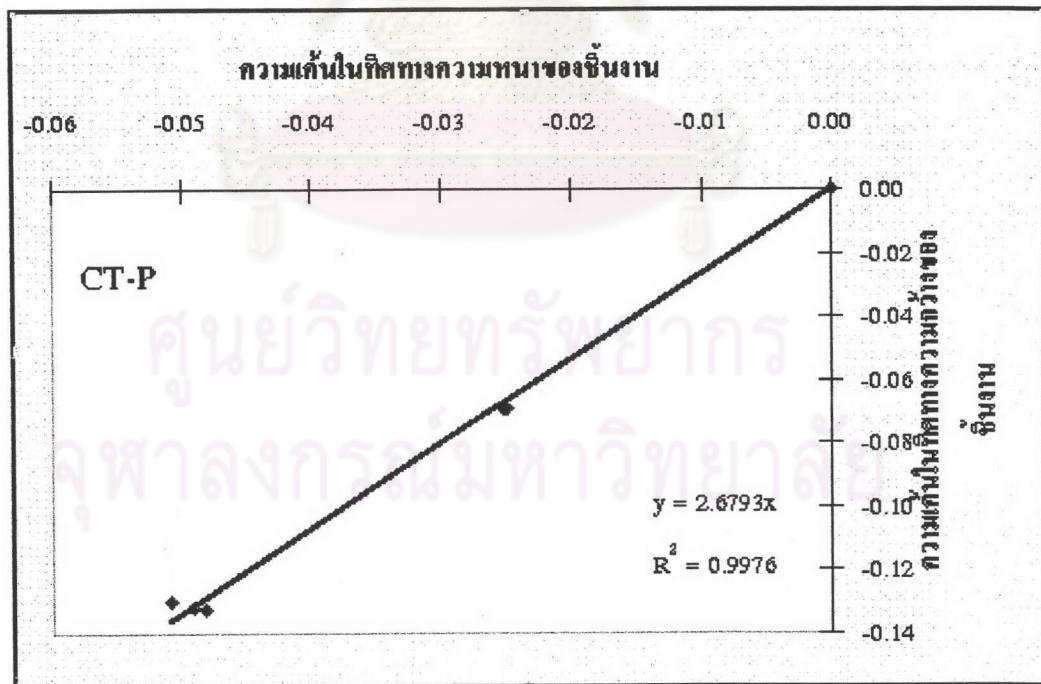


ภาพที่ 5 แสดงการหาค่า P ของชิ้นงานชุด B โดยทำการวัดระยะยัดเท่ากับ 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ของระยะ Gage Length ตามลำดับ

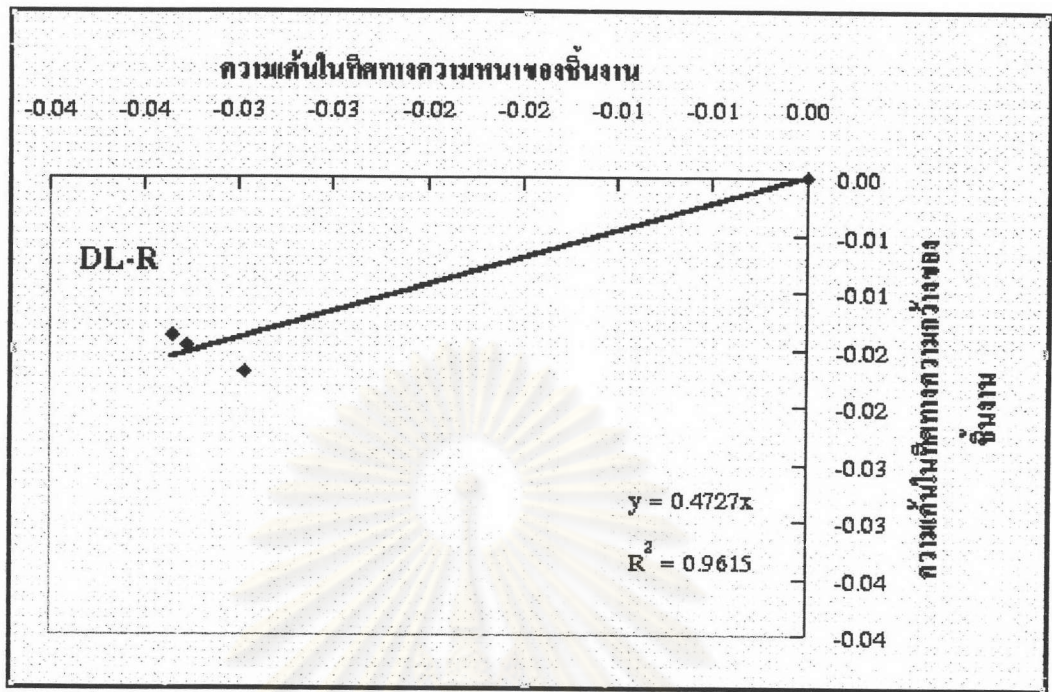




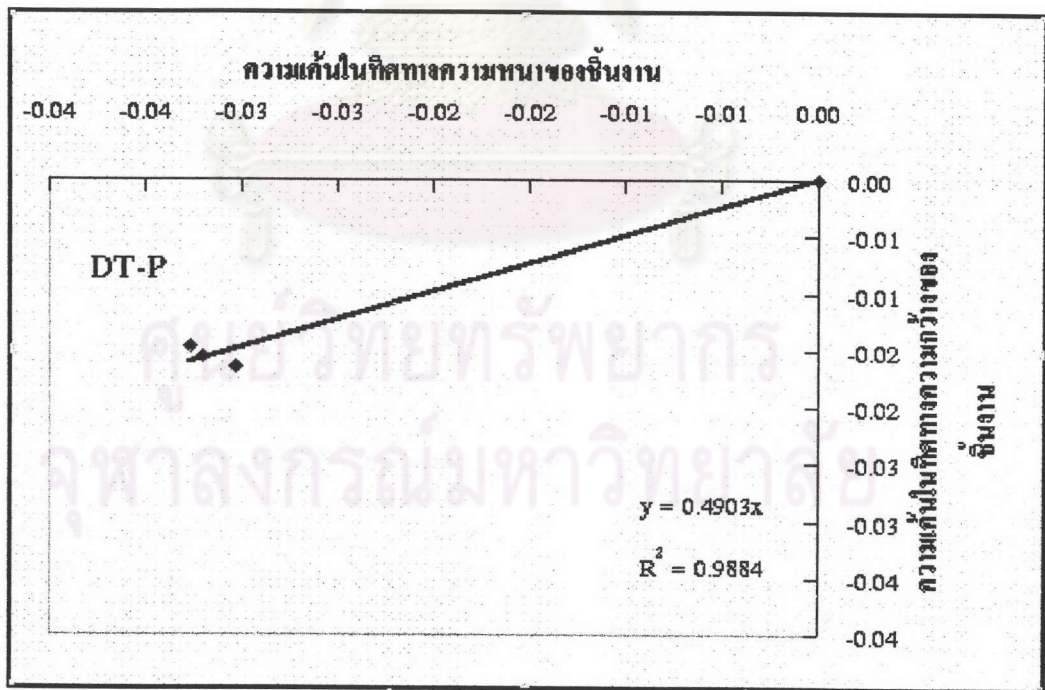
ภาพที่ 6 แสดงการหาค่า R ของชิ้นงานชุด C โดยทำการวัดระยะยึดเท่ากับ 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ของระยะ Gage Length ตามลำดับ



ภาพที่ 7 แสดงการหาค่า P ของชิ้นงานชุด C โดยทำการวัดระยะยึดเท่ากับ 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ของระยะ Gage Length ตามลำดับ



ภาพที่ 8 แสดงการหาค่า R ของชิ้นงานชุด D โดยทำการวัดระยะยึดเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ ของระยะ Gage Length



ภาพที่ 9 แสดงการหาค่า P ของชิ้นงานชุด D โดยทำการวัดระยะยึดเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ ของระยะ Gage Length





จากผลการดึงชิ้นงาน DL21 , DL22 และ DL23 สามารถนำผลลัพธ์มาเขียนกราฟระหว่างความเค้นในทิศทางความกว้างของชิ้นงานกับความเค้นในทิศทางความหนาของชิ้นงาน โดยทำการวัดระยะยึดเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ของระยะ Gage Length ความชันของกราฟนี้มีค่าเท่ากับค่า R ของชุดการทดลอง D ดังแสดงในภาพที่ 8

จากผลการดึงชิ้นงาน DT01 , DT02 และ DT03 สามารถนำผลลัพธ์มาเขียนกราฟระหว่างความเค้นในทิศทางความกว้างของชิ้นงานกับความเค้นในทิศทางความหนาของชิ้นงาน โดยทำการวัดระยะยึดเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ของระยะ Gage Length ความชันของกราฟนี้มีค่าเท่ากับค่า P ของชุดการทดลอง D ดังแสดงในภาพที่ 9

จากผลการทดลองทั้งหมดเพื่อหาคุณสมบัติ Anisotropy ของเหล็กแผ่นและอลูมิเนียมแผ่น คือชุด A , B , C และ D สามารถแสดงผลของคุณสมบัติ Anisotropy ทั้งหมดในรูปแบบตารางได้ดังนี้

ตารางที่ 7 แสดงค่า R , ค่า P และค่าสัมประสิทธิ์การตัดลื่นใจ ของชุดการทดลอง A , B , C และ D ที่ได้จากการทดสอบเชิงเส้น

ชิ้นงาน	ค่า R	สัมประสิทธิ์การตัดลื่นใจ	ชิ้นงาน	ค่า P	สัมประสิทธิ์การตัดลื่นใจ
AL11-12-13	2.3280	0.9949	AT01-02-03	2.5863	0.9940
BL11-12-13	2.3860	0.9985	BT01-02-03	2.5898	0.9975
CL11-12-13	2.3646	0.9991	CT01-02-03	2.6793	0.9976
DL21-22-23	0.4727	0.9615	DT01-02-03	0.4903	0.9884

### การหาค่า Yield Stress

เนื่องจากกราฟความเค้นกับความเครียดของชิ้นงานไม่มี Yield Point ปรากฏ การหาค่า Yield Stress ของแต่ละชุดชิ้นงานคือ ชุดชิ้นงาน A , B , C และ D ทำได้โดยการใช้ค่า 0.2 % OffSet แทน ในชิ้นงานแต่ละชุดจะมีชิ้นงานทดสอบ 6 ชิ้น เป็นชิ้นงานในแนวตามยาว (L) 3 ชิ้น เพื่อหาค่า Yield Stress ในทิศทาง x และเป็นชิ้นงานในแนวตามขวาง (T) อีก 3 ชิ้น เพื่อหาค่า Yield Stress ในทิศทาง y

หลังจากที่หาค่า 0.2 % OffSet Yield Stress ได้แล้ว จะนำค่าเฉลี่ยของ Yield Stress ในแนวตามยาว (L) ของชิ้นงานสามชิ้น และค่าเฉลี่ยของ Yield Stress ในแนวตามขวาง (T) ของชิ้นงานสามชิ้นมาใช้ในการคำนวณต่อไป ผลการคำนวณหาค่า 0.2 % OffSet Yield Stress และค่าเฉลี่ยในแต่ละชุดได้แสดงไว้แล้วในตารางที่ 8 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 8 แสดงค่า Yield Stress ในชุดทดลอง A , B , C และ D ในทิศทาง X และทิศทาง Y ตามลำดับ

รหัสชิ้นงาน	X (MPa)	รหัสชิ้นงาน	Y (MPa)
AL11	161.319	AT01	165.105
AL12	162.584	AT02	165.147
AL13	160.723	AT03	165.743
AL เฉลี่ย	161.542	AT เฉลี่ย	165.332
BL11	160.132	BT01	161.539
BL12	164.344	BT02	171.307
BL13	161.003	BT03	162.479
BL เฉลี่ย	161.826	BT เฉลี่ย	165.108
CL11	161.319	CT01	164.016
CL12	160.377	CT02	166.500
CL13	160.656	CT03	162.352
CL เฉลี่ย	160.784	CT เฉลี่ย	164.289
DL21	83.008	DT01	73.760
DL22	83.038	DT02	80.026
DL23	81.697	DT03	77.393
DL เฉลี่ย	82.581	DT เฉลี่ย	77.060

**การหาขีดจำกัดความเคียดในการขึ้นรูปโลหะแผ่นจากการทดลอง**

ผลที่ได้จากการดึงชิ้นงานของการทดลองชุด A , B และ C ชุดละ 10 ชิ้น และการทดลองชุด D อีก 20 ชิ้น เพื่อหาค่าความเคียด ณ.จุดที่มีค่าแรงดึงสูงสุด สามารถสรุปค่าที่ได้ดังนี้

ตารางที่ 9 แสดงค่าความเคียด ณ.จุดที่มีค่าแรงดึงสูงสุด ของชุดการทดลอง A, B และ C

รหัสชิ้นงาน	ชุดทดลอง A	ชุดทดลอง B	ชุดทดลอง C
L01	0.2467	0.2433	0.2463
L02	0.2483	0.2484	0.2449
L03	0.2472	0.2440	0.2482
L04	0.2464	0.2436	0.2463



L05	0.2478	0.2436	0.2441
L06	0.2431	0.2423	0.2445
L07	0.2443	0.2422	0.2458
L08	0.2452	0.2425	0.2428
L09	0.2436	0.2422	0.2438
L10	0.2456	0.2432	0.2466

ตารางที่ 10 แสดงค่าความเครียด ณ จุดที่มีค่าแรงดึงสูงสุด ของชุดการทดลอง D

รหัสชิ้นงาน	ชุดทดลอง D	รหัสชิ้นงาน	ชุดทดลอง D
L01	0.0554	L11	0.0515
L02	0.0598	L12	0.0553
L03	0.0623	L13	0.0608
L04	0.0655	L14	0.0658
L05	0.0686	L15	0.0736
L06	0.0702	L16	0.0761
L07	0.0838	L17	0.0725
L08	0.0913	L18	0.0835
L09	0.0940	L19	0.0825
L10	0.0985	L20	0.0956

#### การหาขีดจำกัดความเครียดในการขึ้นรูปโลหะแผ่นโดยทางทฤษฎีของฮิลล์

ด้วยการสร้างกราฟเซมิลอการิทึมระหว่าง ลอการิทึมความเค้นกับความเครียด ทำให้สามารถหาสมการถดถอยกำลังสี่ ในช่วงที่มีพฤติกรรมแบบพลาสติกเต็มที่แล้วจนถึงจุดที่ค่าแรงดึงสูงสุด หลังจากทำการหาอนุพันธ์อันดับหนึ่งของสมการถดถอย และให้เท่ากับ  $[ K / ( 1 + \alpha p ) ]$  จะสามารถหาค่า Critical Effective Strain ได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 11 แสดงค่า Critical Effective Strain ของชุดการทดลอง A, B และ C ที่ได้โดยทางทฤษฎีของ

รหัสชิ้นงาน	ชุดทดลอง A	ชุดทดลอง B	ชุดทดลอง C
L01	0.2409	0.2385	0.2409



L02	0.2414	0.2423	0.2391
L03	0.2405	0.2383	0.2425
L04	0.2399	0.2387	0.2410
L05	0.2407	0.2388	0.2383
L06	0.2360	0.2368	0.2375
L07	0.2381	0.2366	0.2409
L08	0.2401	0.2399	0.2373
L09	0.2376	0.2371	0.2388
L10	0.2398	0.2382	0.2427

ตารางที่ 12 แสดงค่า Critical Effective Strain ของชุดการทดลอง D ที่ได้โดยทางทฤษฎีของฮิลล์

รหัสชิ้นงาน	ชุดทดลอง D	รหัสชิ้นงาน	ชุดทดลอง D
L01	0.0496	L11	0.0467
L02	0.0538	L12	0.0492
L03	0.0552	L13	0.0551
L04	0.0589	L14	0.0592
L05	0.0606	L15	0.0657
L06	0.0635	L16	0.0685
L07	0.0740	L17	0.0663
L08	0.0810	L18	0.0746
L09	0.0834	L19	0.0747
L10	0.0866	L20	0.0855

**การหาค่าขีดจำกัดความเครียดโดยใช้ค่า Strain-Hardening Exponent จากอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของความสัมพันธ์แบบลอการิทึมของความเค้นกับความเครียด**

ด้วยการสร้างกราฟระหว่าง ลอการิทึมความเค้นกับลอการิทึมความเครียด ทำให้สามารถหาสมการถดถอยเชิงเส้น ในช่วงที่มีพฤติกรรมแบบพลาสติกเต็มที่แล้วจนถึงจุดที่ค่าแรงดึงสูงสุด หลังจากทำการหาอนุพันธ์อันดับหนึ่งของสมการถดถอย และให้ความชันเท่ากับ Strain-Hardening Exponent ซึ่งจากสมการที่ 32 และ 33 จะสามารถหาค่า Critical Effective Strain ได้เท่ากับค่า  $n$  ดังแสดงไว้ในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 13 แสดงค่า Critical Effective Strain ของชุดการทดลอง A, B และ C ที่ได้จากค่า n

รหัสชิ้นงาน	ชุดทดลอง A	ชุดทดลอง B	ชุดทดลอง C
L01	0.2530	0.2531	0.2509
L02	0.2528	0.2498	0.2510
L03	0.2530	0.2503	0.2504
L04	0.2522	0.2522	0.2510
L05	0.2552	0.2543	0.2503
L06	0.2522	0.2544	0.2532
L07	0.2556	0.2535	0.2514
L08	0.2534	0.2534	0.2556
L09	0.2531	0.2523	0.2553
L10	0.2549	0.2516	0.2510

ตารางที่ 14 แสดงค่า Critical Effective Strain ของชุดการทดลอง D ที่ได้จากค่า n

รหัสชิ้นงาน	ชุดทดลอง D	รหัสชิ้นงาน	ชุดทดลอง D
L01	0.0864	L11	0.0807
L02	0.0918	L12	0.0896
L03	0.0956	L13	0.0921
L04	0.0953	L14	0.0952
L05	0.1025	L15	0.1064
L06	0.0996	L16	0.1059
L07	0.1044	L17	0.1114
L08	0.1138	L18	0.1115
L09	0.1148	L19	0.1140
L10	0.1179	L20	0.1201