

บทที่ 5

ผลการทดลองของอุปกรณ์ตรวจรู้แรงและแรงบิดที่มีอยู่เดิมของห้องปฏิบัติการ การวิจัยหุ่นยนต์อุตสาหกรรม (Sensor I)

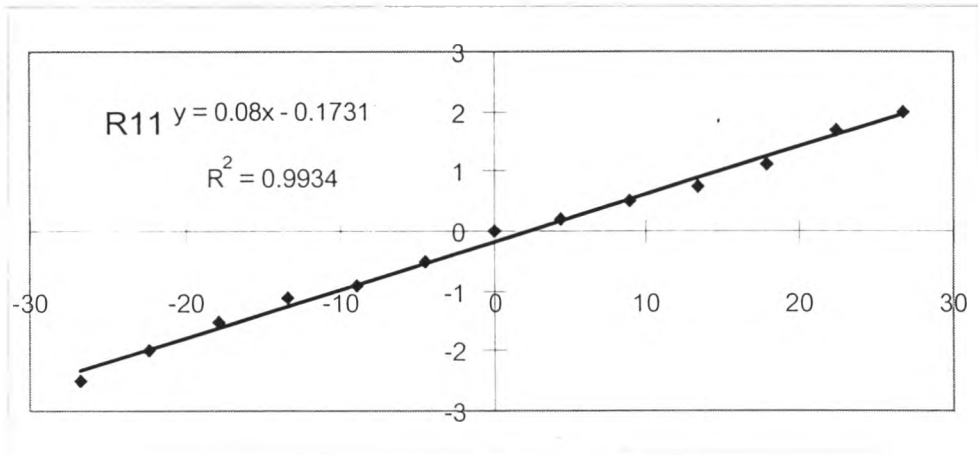
เราจะทำการทดสอบอุปกรณ์ตรวจรู้แรงและแรงบิดตามวิธีการในบทที่ 2 หน้าที่ 7 โดยที่ค่าในตารางเป็นค่าที่ทดลองหาใหม่ เพราะว่าค่าที่ผู้วิจัยคนก่อนได้ทำไว้มันไม่ดี เนื่องจาก strain amplifier ไม่ดีเท่าไรนัก

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบค่าแรงในแนวแกน x

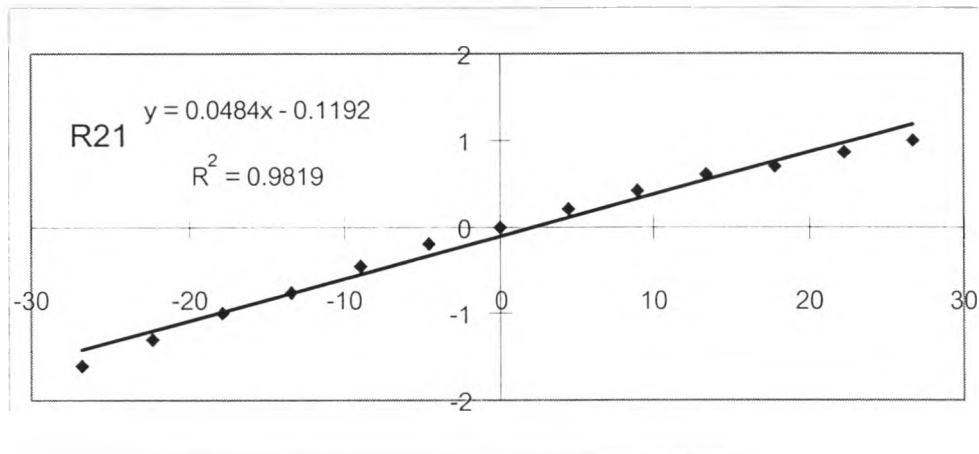
| Fx(Lb.) | Fx(N) | ϵ_1 | ϵ_2 | ϵ_3 | ϵ_4 | ϵ_5 | ϵ_6 | ϵ_7 | ϵ_8 |
|---------|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| -6 | -26.76 | -2.5 | -1.6 | 2 | -1.7 | -6 | -5.9 | -3.2 | 5.65 |
| -5 | -22.3 | -2 | -1.3 | 1.75 | -1.3 | -5 | -4.75 | -2.7 | 4.7 |
| -4 | -17.84 | -1.5 | -1 | 1.25 | -0.95 | -4.2 | -3.85 | -2.1 | 3.85 |
| -3 | -13.38 | -1.1 | -0.75 | 1 | -0.6 | -2.9 | -2.95 | -1.5 | 2.9 |
| -2 | -8.92 | -0.9 | -0.45 | 0.75 | -0.35 | -2 | -1.9 | -1 | 1.85 |
| -1 | -4.46 | -0.5 | -0.2 | 0.4 | -0.15 | -1 | -0.9 | -0.5 | 0.9 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 4.46 | 0.2 | 0.2 | -0.6 | 0.1 | 0.8 | 0.7 | 0.7 | -0.75 |
| 2 | 8.92 | 0.5 | 0.4 | -1.1 | 0.2 | 1.5 | 1.4 | 1.3 | -1.6 |
| 3 | 13.38 | 0.75 | 0.6 | -1.9 | 0.4 | 2.4 | 1.65 | 2 | -2.35 |
| 4 | 17.84 | 1.1 | 0.7 | -2.6 | 0.65 | 3.2 | 2.9 | 2.6 | -3.1 |
| 5 | 22.3 | 1.7 | 0.85 | -3.3 | 0.95 | 4 | 3.6 | 3.4 | -4 |
| 6 | 26.76 | 2 | 1 | -3.95 | 1.25 | 4.7 | 4.35 | 4 | -4.7 |

ช่อง " $\epsilon_1 - \epsilon_8$ " คือ คู่สเตรนเกจชุดที่ 1-8

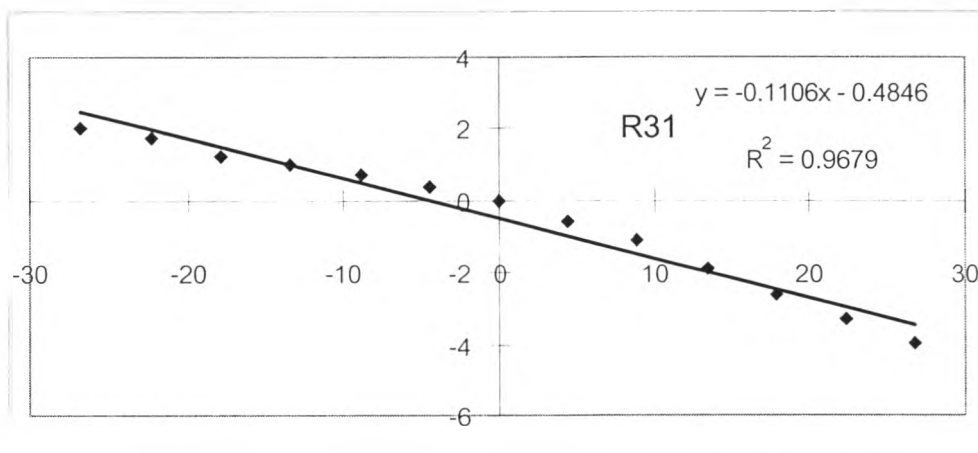
ค่าตัวเลขในช่อง " $\epsilon_1 - \epsilon_8$ " หมายถึงค่าความเครียดที่วัดได้จากคู่สเตรนเกจชุดที่ 1-8 หน่วยเป็น μstrain



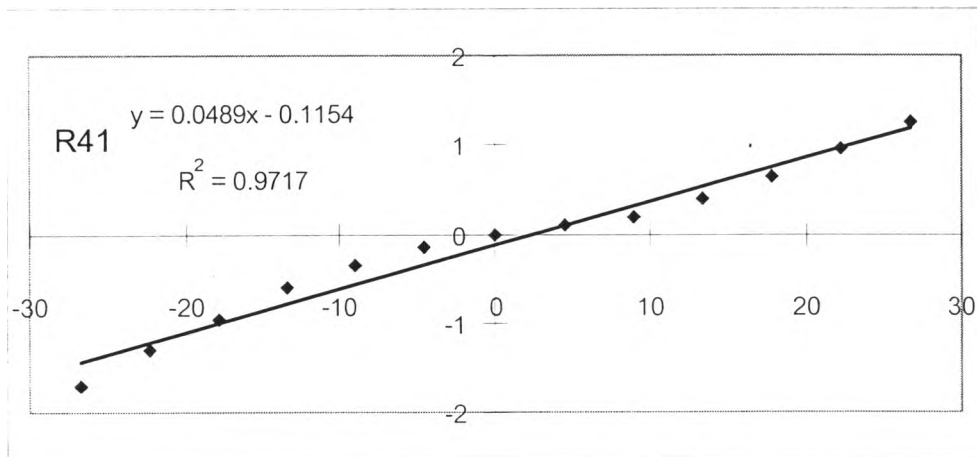
รูปที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง F_x กับ ค่าความเคียด ϵ_1



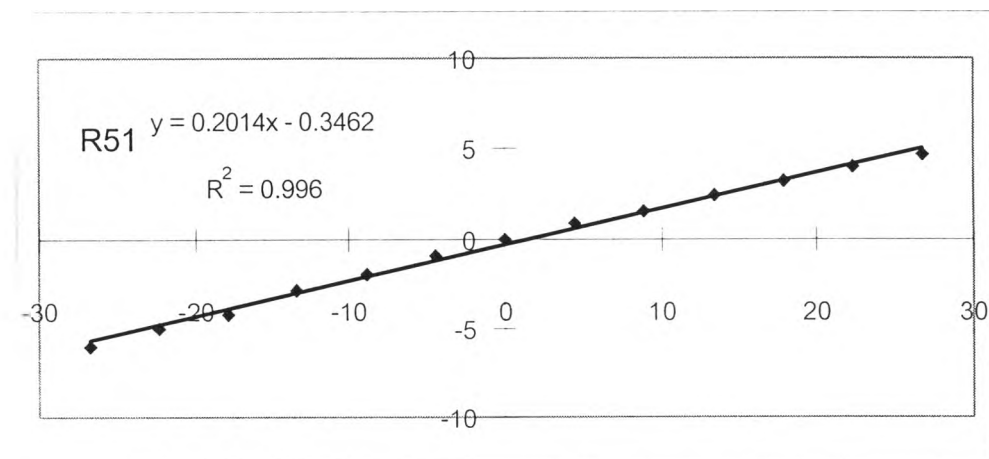
รูปที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง F_x กับ ค่าความเคียด ϵ_2



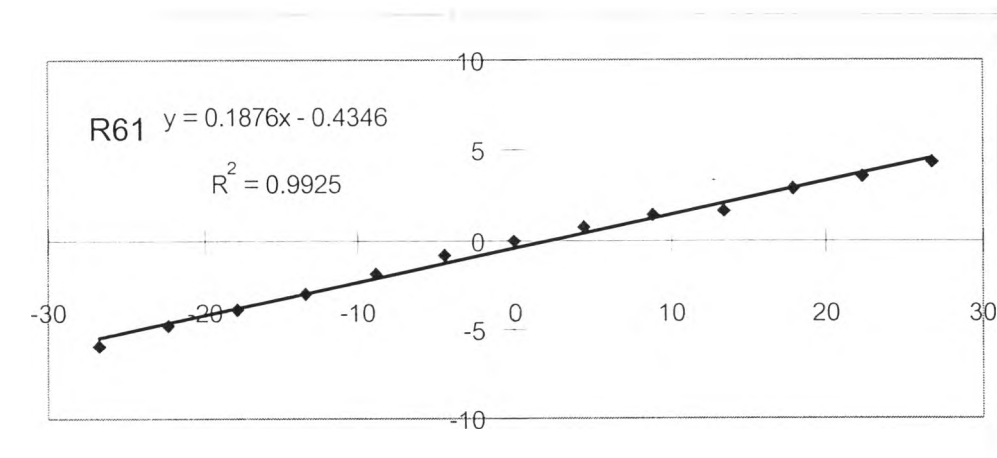
รูปที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง F_x กับ ค่าความเคียด ϵ_3



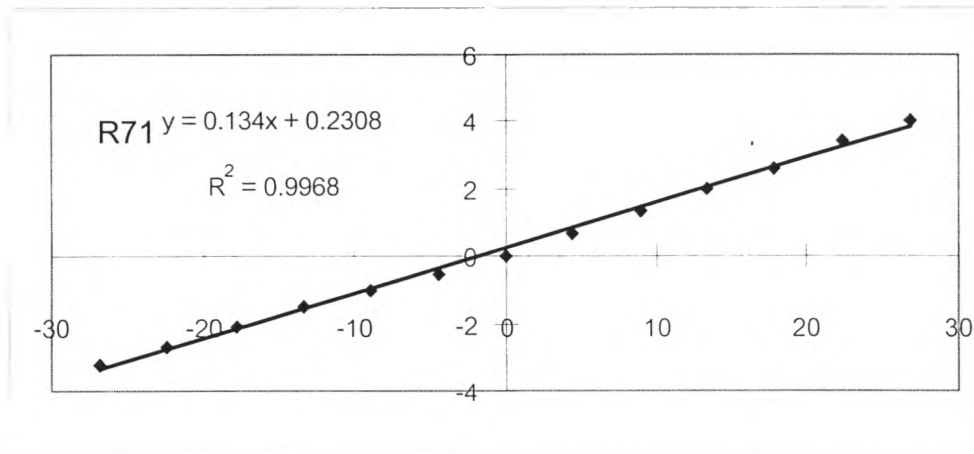
รูปที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง F_x กับ ค่าความเคียด ε_4



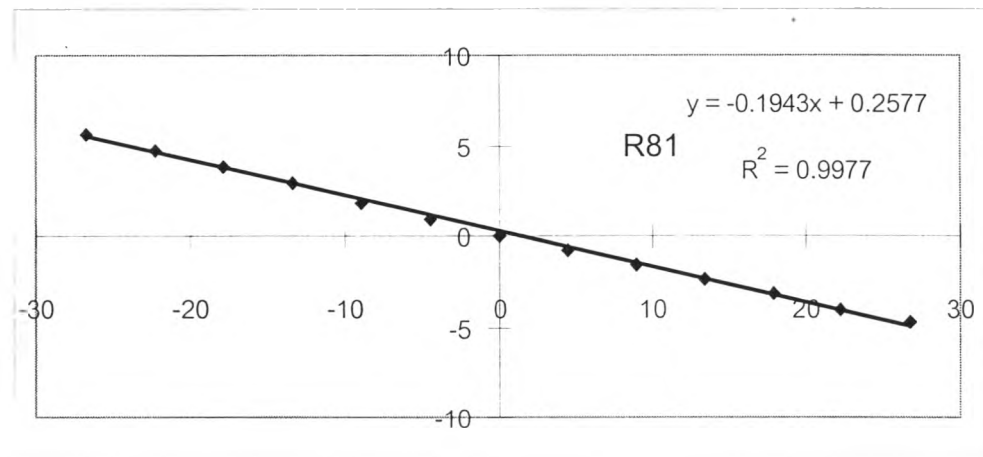
รูปที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง F_x กับ ค่าความเคียด ε_5



รูปที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง F_x กับ ค่าความเคียด ε_6



รูปที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง F_x กับ ค่าความเคียด ε_7



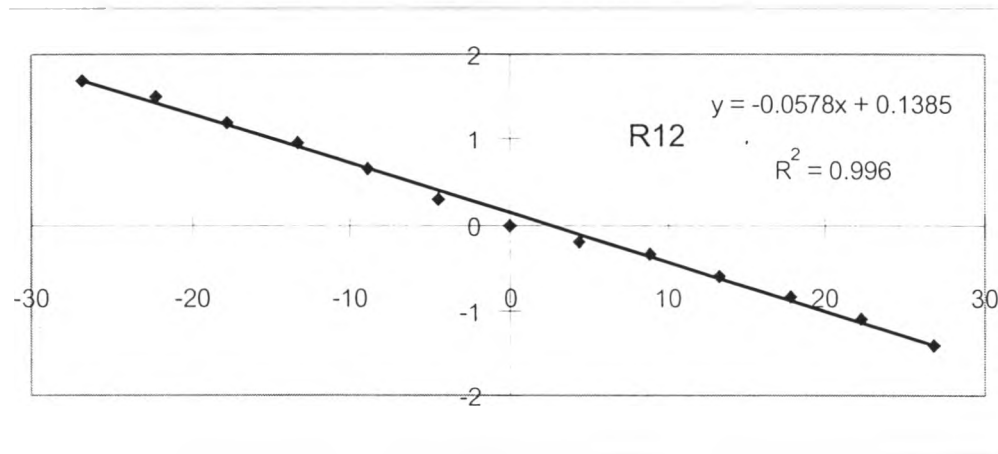
รูปที่ 5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง F_x กับ ค่าความเคียด ε_8

ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบค่าแรงในแนวแกน y

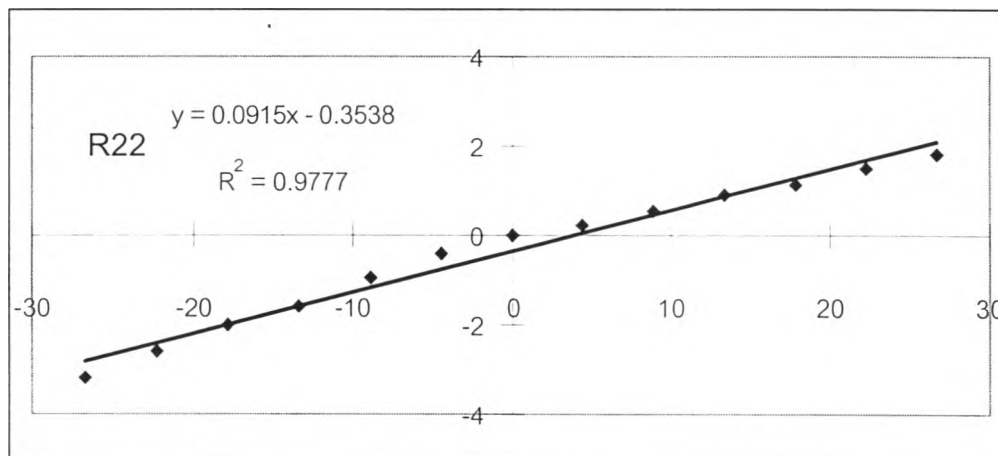
| Fy(Lb.) | Fy(N) | ϵ_1 | ϵ_2 | ϵ_3 | ϵ_4 | ϵ_5 | ϵ_6 | ϵ_7 | ϵ_8 |
|---------|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| -6 | -26.76 | 1.7 | -3.2 | 1.25 | 4.15 | -5.5 | 5.3 | 5.6 | 5.85 |
| -5 | -22.3 | 1.5 | -2.6 | 1 | 3.4 | -4.4 | 4.3 | 4.7 | 4.9 |
| -4 | -17.84 | 1.2 | -2 | 0.8 | 2.8 | -3.5 | 3.7 | 3.7 | 4.1 |
| -3 | -13.38 | 0.95 | -1.6 | 0.7 | 2 | -2.6 | 2.9 | 2.75 | 3 |
| -2 | -8.92 | 0.65 | -0.95 | 0.5 | 1.3 | -1.7 | 2.1 | 1.7 | 1.8 |
| -1 | -4.46 | 0.3 | -0.4 | 0.25 | 0.6 | -0.8 | 1.2 | 0.9 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 4.46 | -0.2 | 0.25 | -0.2 | -0.35 | 0.7 | -0.75 | -0.7 | -0.75 |
| 2 | 8.92 | -0.35 | 0.55 | -0.4 | -0.75 | 1.45 | -1.5 | -1.5 | -1.65 |
| 3 | 13.38 | -0.6 | 0.9 | -0.7 | -1.2 | 2.25 | -2.75 | -2.4 | -2.45 |
| 4 | 17.84 | -0.85 | 1.15 | -1.1 | -1.75 | 2.9 | -4 | -3.05 | -3.25 |
| 5 | 22.3 | -1.1 | 1.5 | -1.4 | -2.4 | 3.75 | -5 | -3.85 | -4.1 |
| 6 | 26.76 | -1.4 | 1.8 | -1.8 | -3 | 4.45 | -6.5 | -4.6 | -4.85 |

ช่อง " $\epsilon_1 - \epsilon_8$ " คือ คู่สเตรนเกจชุดที่ 1-8

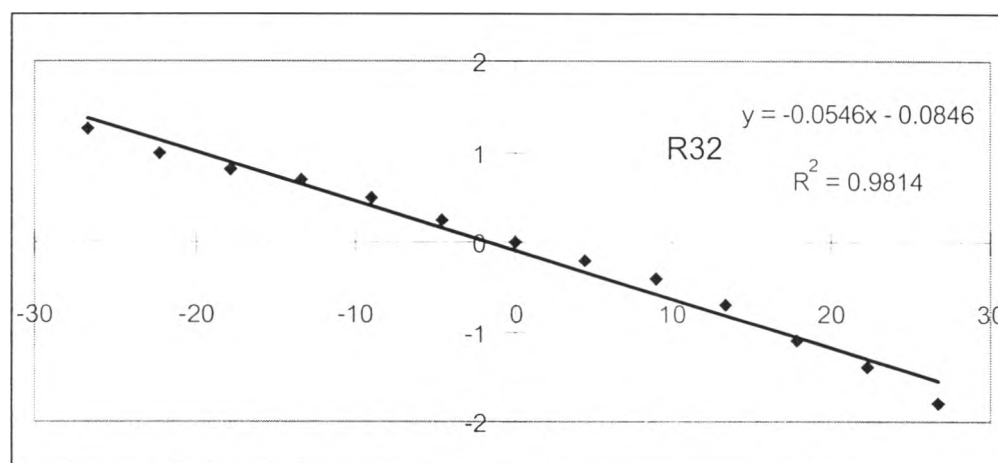
ค่าตัวเลขในช่อง " $\epsilon_1 - \epsilon_8$ " หมายถึงค่าความเครียดที่วัดได้จากคู่สเตรนเกจชุดที่ 1-8 หน่วยเป็น μstrain



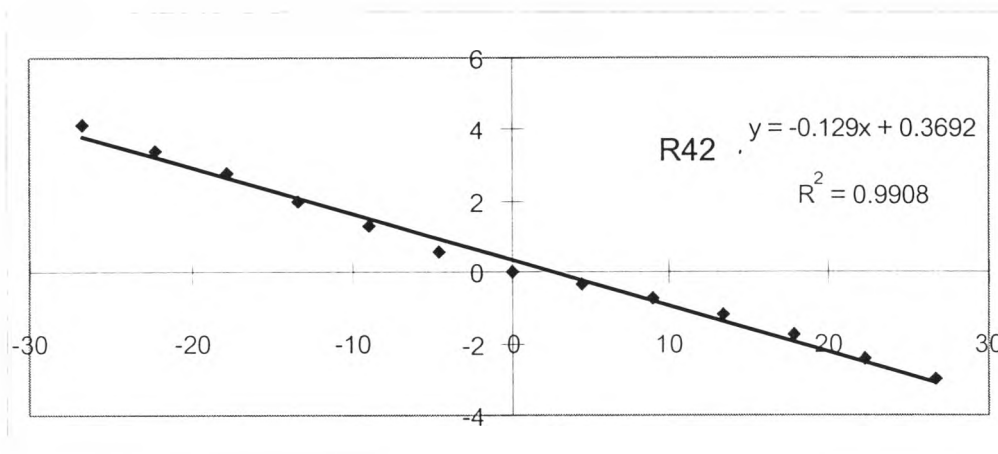
รูปที่ 5.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง F_y กับ ค่าความเครียด ϵ_1



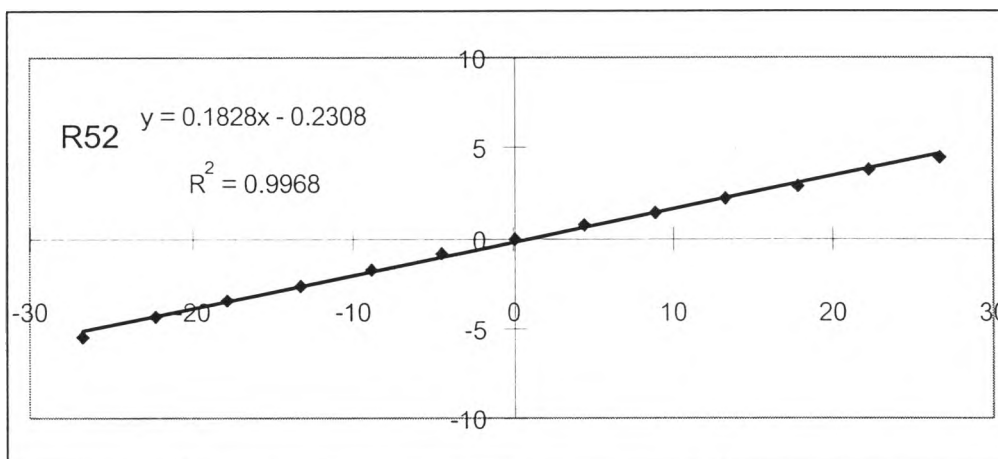
รูปที่ 5.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง F_y กับ ค่าความเครียด ϵ_2



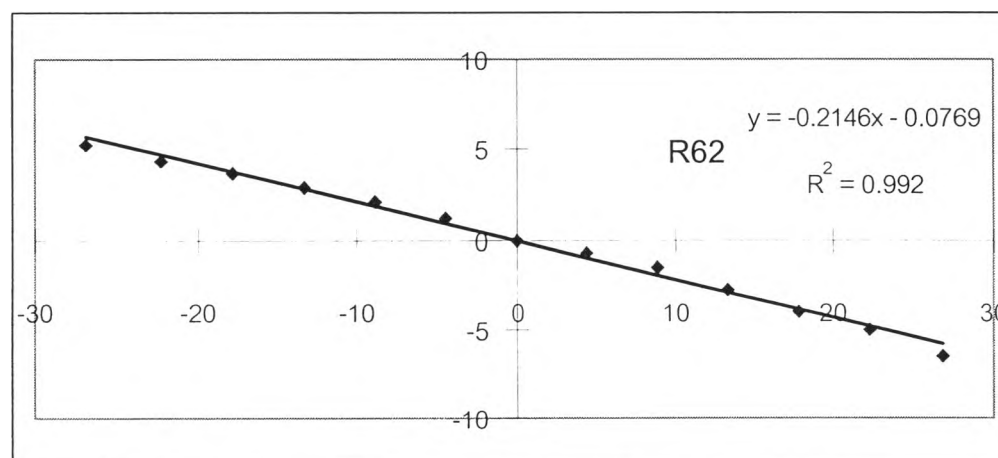
รูปที่ 5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง F_y กับ ค่าความเครียด ϵ_3



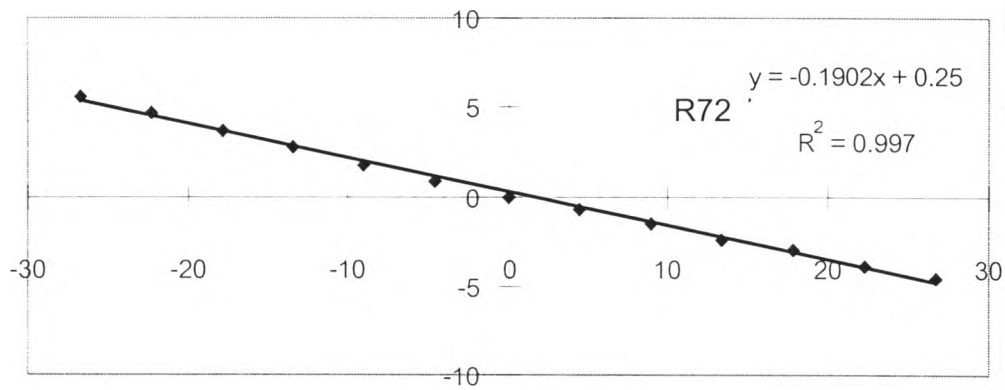
รูปที่ 5.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง F_y กับ ค่าความเค้น ϵ_4



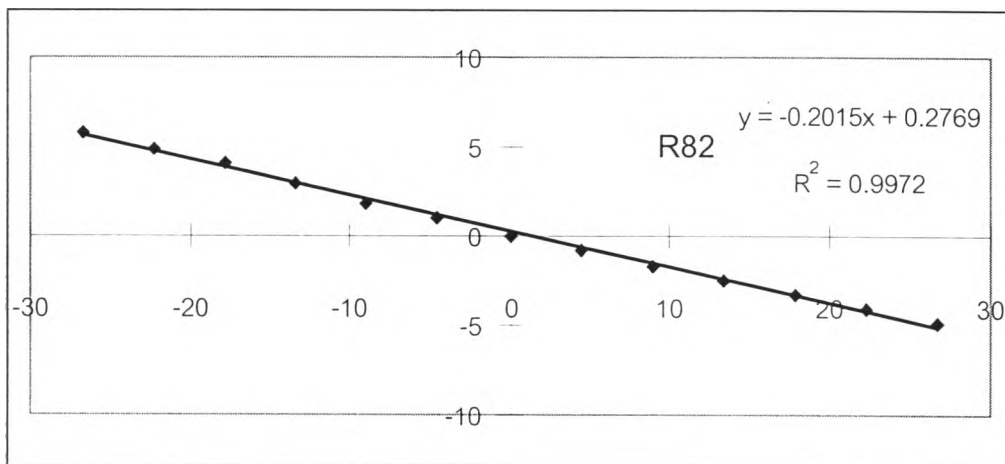
รูปที่ 5.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง F_y กับ ค่าความเค้น ϵ_5



รูปที่ 5.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง F_y กับ ค่าความเค้น ϵ_6



รูปที่ 5.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง F_y กับ ค่าความเครียด ϵ_7



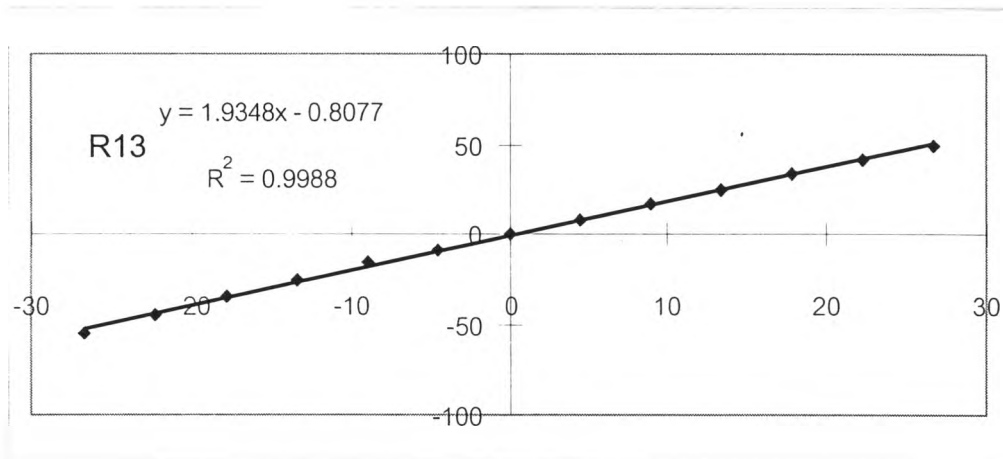
รูปที่ 5.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง F_y กับ ค่าความเครียด ϵ_8

ตารางที่ 5.3 การเปรียบเทียบค่าแรงในแนวแกน z

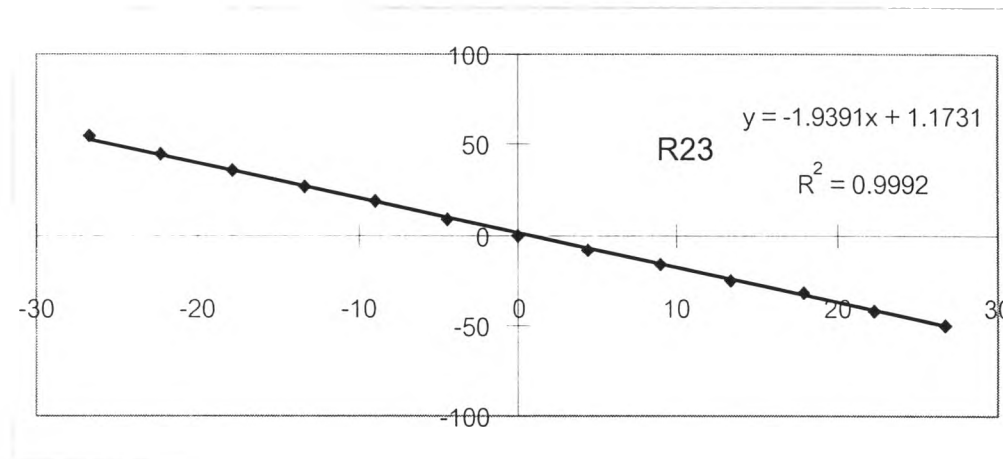
| Fz(Lb.) | Fz(N) | ϵ_1 | ϵ_2 | ϵ_3 | ϵ_4 | ϵ_5 | ϵ_6 | ϵ_7 | ϵ_8 |
|---------|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| -6 | -26.76 | -55 | 55 | -56 | 46 | 0.7 | 4.25 | -1 | -5.9 |
| -5 | -22.3 | -45 | 45 | -47 | 36.5 | 0.6 | 3.5 | -0.85 | -5 |
| -4 | -17.84 | -35 | 35.5 | -37.5 | 31 | 0.45 | 2.75 | -0.7 | -3.9 |
| -3 | -13.38 | -25.5 | 26 | -27.5 | 23.5 | 0.35 | 2 | -0.6 | -2.7 |
| -2 | -8.92 | -16 | 18.25 | -18 | 15 | 0.2 | 1.25 | -0.4 | -1.7 |
| -1 | -4.46 | -8.5 | 9 | -9 | 8 | 0.1 | 0.5 | -0.2 | -0.6 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 4.46 | 8 | -8.5 | 9.5 | -8 | -0.2 | -0.4 | 0.2 | 0.7 |
| 2 | 8.92 | 16.5 | -16 | 20 | -15 | -0.3 | -1 | 0.5 | 1.6 |
| 3 | 13.38 | 24.5 | -25 | 30 | -23 | -0.5 | -1.7 | 0.75 | 3 |
| 4 | 17.84 | 33.5 | -32 | 39 | -31.5 | -0.65 | -2.4 | 1 | 3.5 |
| 5 | 22.3 | 42 | -42 | 50 | -37.5 | -0.75 | -3 | 1.3 | 4.7 |
| 6 | 26.76 | 50 | -50 | 61.5 | -46.5 | -0.9 | -3.6 | 1.7 | 5.5 |

ช่อง " $\epsilon_1 - \epsilon_8$ " คือ คู่สเตรนเกจชุดที่ 1-8

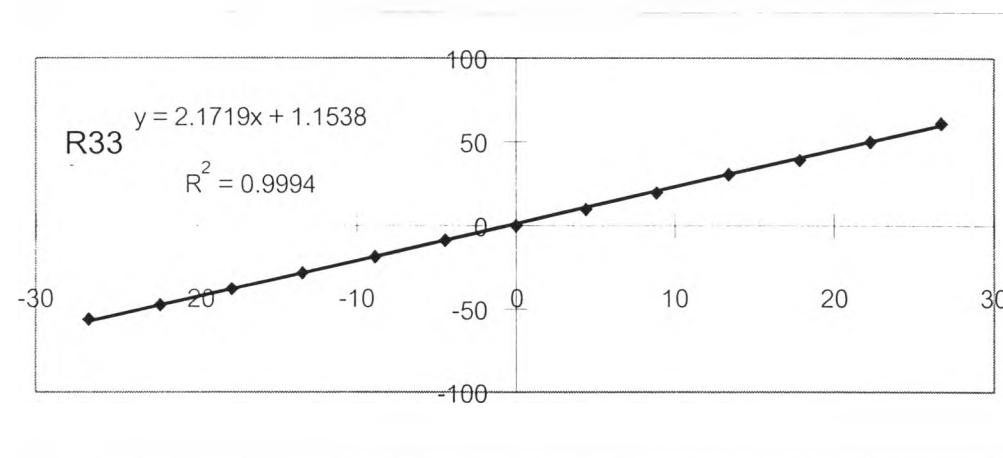
ค่าตัวเลขในช่อง " $\epsilon_1 - \epsilon_8$ " หมายถึงค่าความเครียดที่วัดได้จากคู่สเตรนเกจชุดที่ 1-8 หน่วยเป็น μstrain



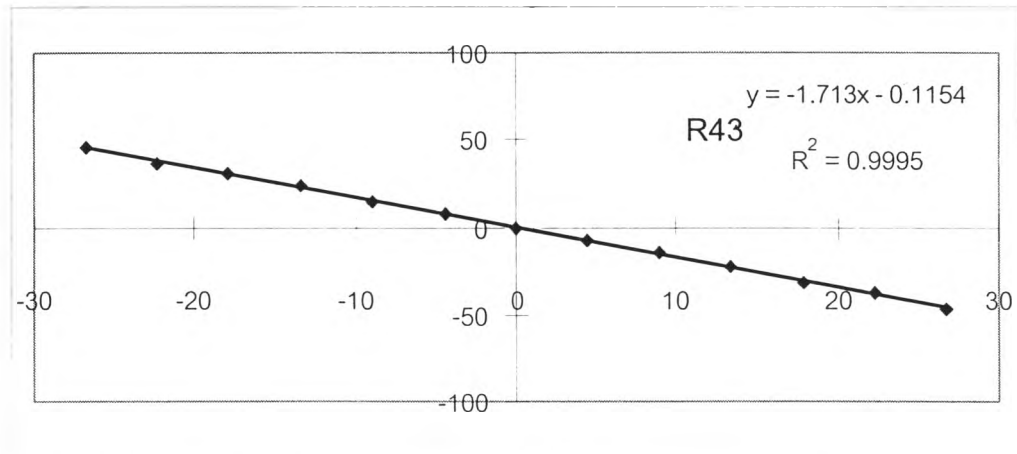
รูปที่ 5.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง F_z กับ ค่าความเครียด ϵ_1



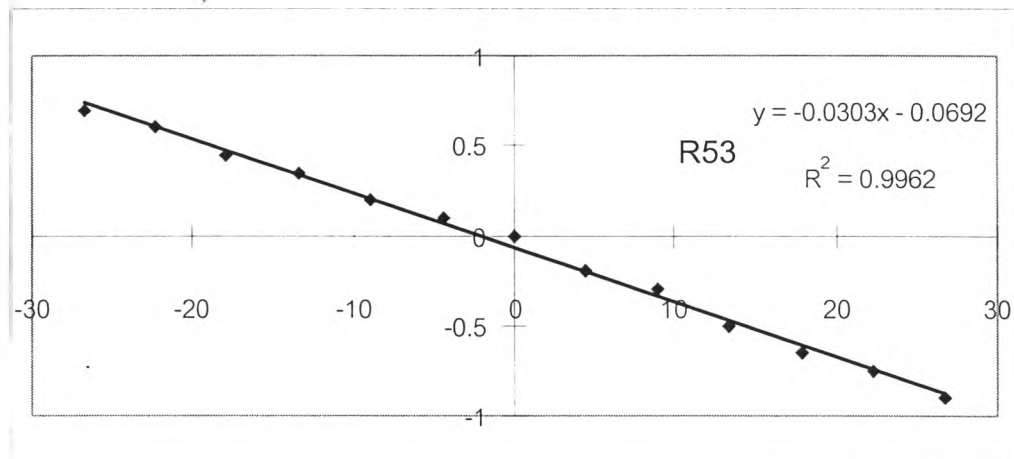
รูปที่ 5.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง F_z กับ ค่าความเครียด ϵ_2



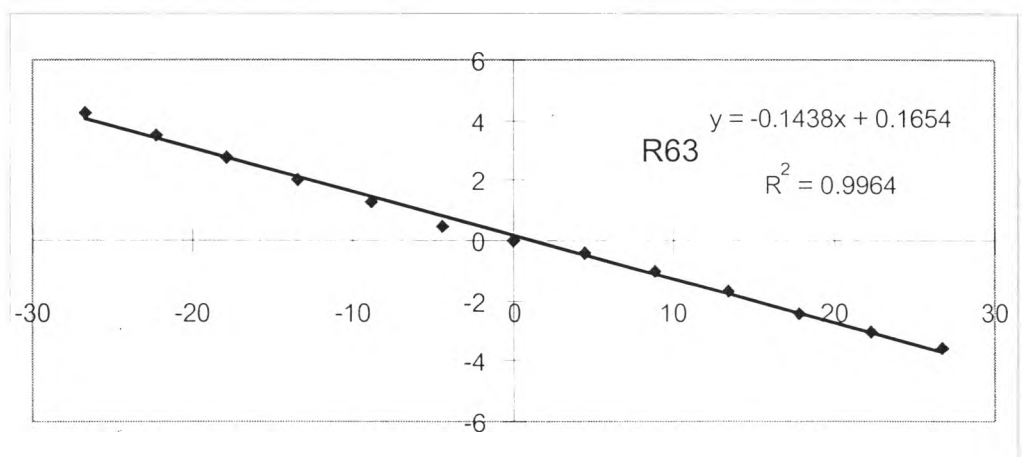
รูปที่ 5.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง F_z กับ ค่าความเครียด ϵ_3



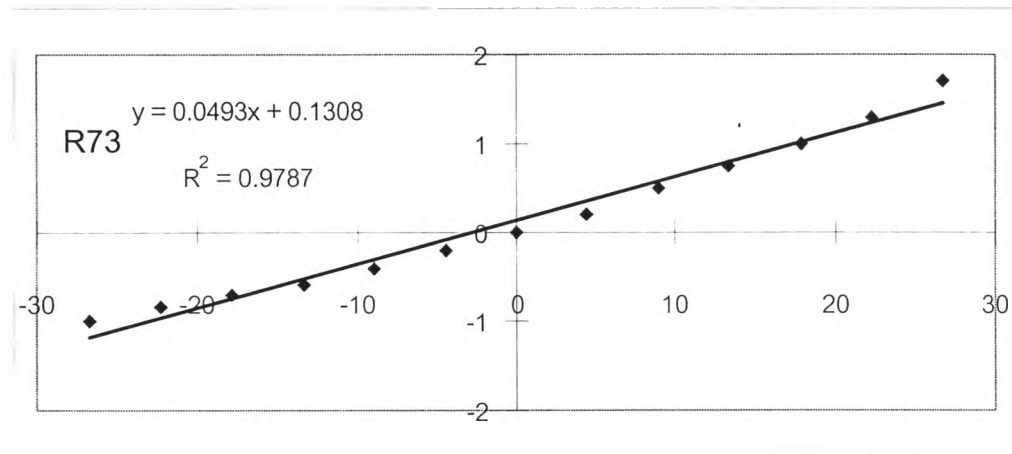
รูปที่ 5.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง F_z กับ ค่าความเครียด ε_4



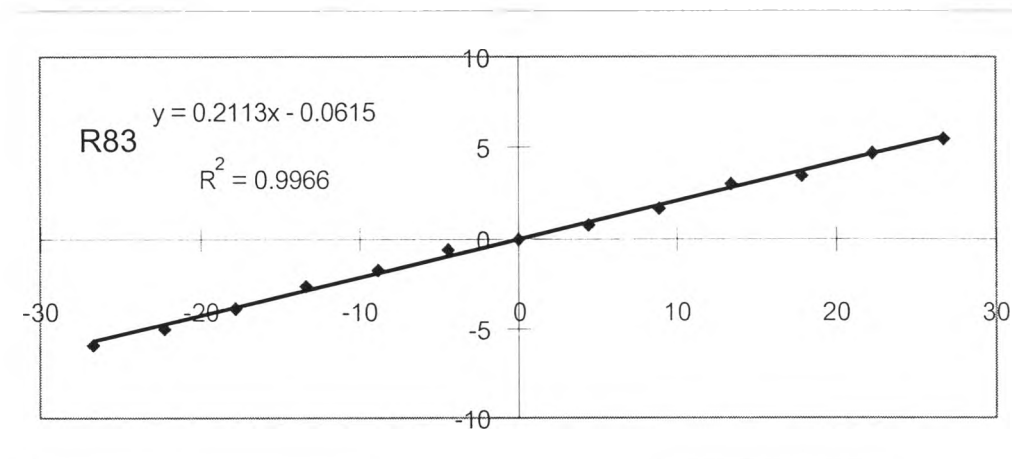
รูปที่ 5.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง F_z กับ ค่าความเครียด ε_5



รูปที่ 5.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง F_z กับ ค่าความเครียด ε_6



รูปที่ 5.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Fz กับ ค่าความเครียด ϵ_7

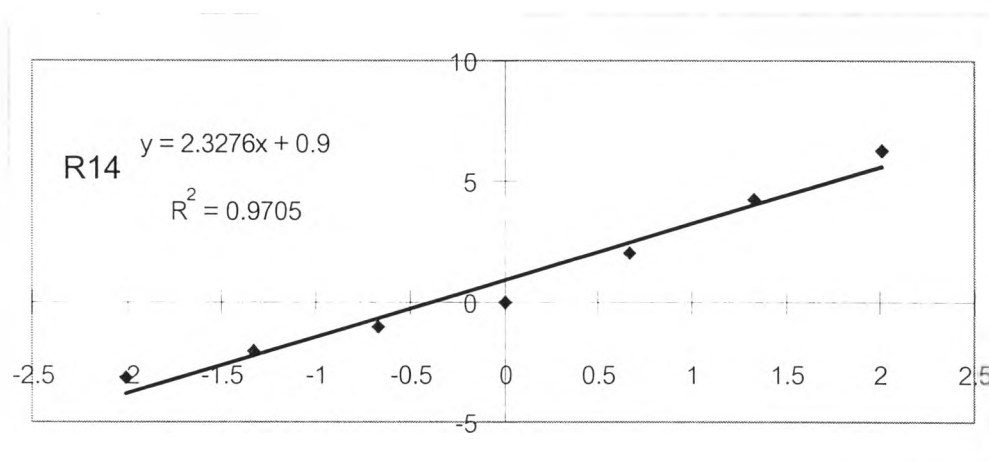


รูปที่ 5.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Fz กับ ค่าความเครียด ϵ_8

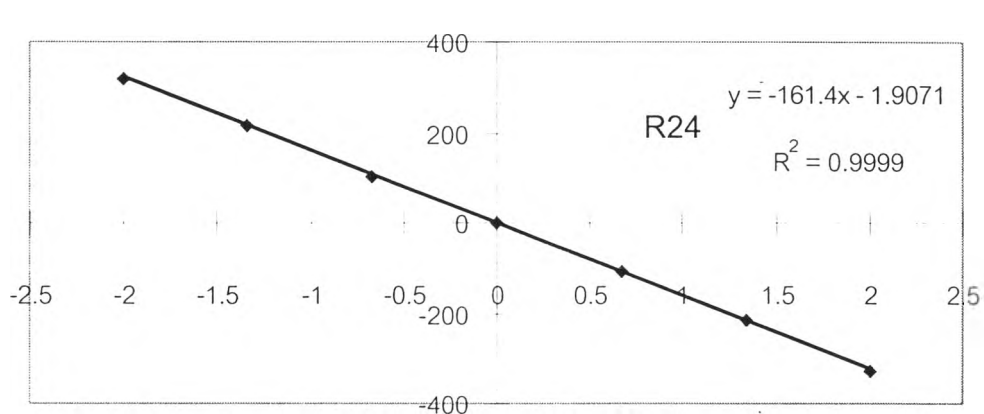
ตารางที่ 5.4 การเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ในแนวแกน x

| Mx(Lb.) | Mx(Nm.) | ϵ_1 | ϵ_2 | ϵ_3 | ϵ_4 | ϵ_5 | ϵ_6 | ϵ_7 | ϵ_8 |
|---------|---------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| -3 | -2.007 | -3.15 | 320 | 12.5 | -310 | 3.55 | -17 | -8.15 | 6.5 |
| -2 | -1.338 | -2 | 215 | 8 | -215 | 2.35 | -11.5 | -5.4 | 4.25 |
| -1 | -0.669 | -1 | 105 | 3.5 | -105 | 1.1 | -6 | -2.5 | 2 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0.669 | 2 | -108.4 | -5 | 110 | -1.6 | 8 | 1.5 | -2.6 |
| 2 | 1.338 | 4.2 | -215 | -10.5 | 225 | -3.4 | 15 | 3.5 | -5.7 |
| 3 | 2.007 | 6.25 | -330 | -17 | 335 | -5.15 | 21.5 | 5.75 | -8.6 |

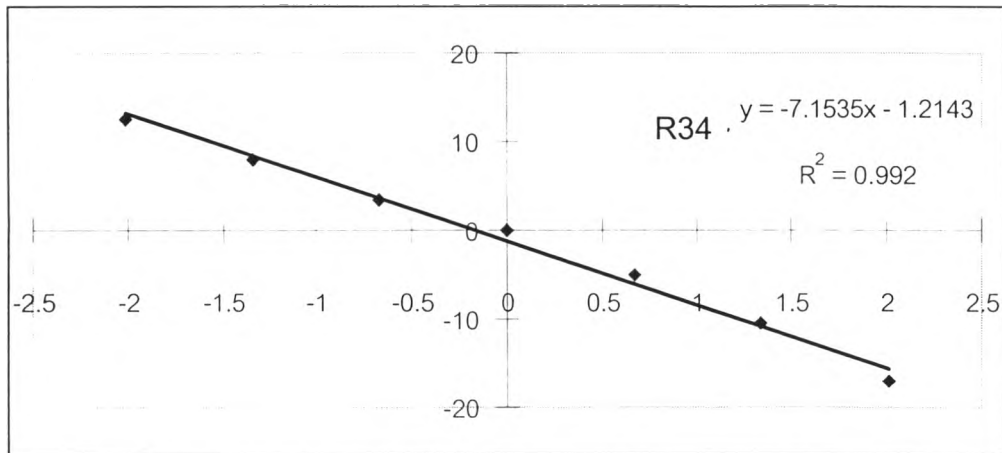
ค่าตัวเลขในช่อง " $\epsilon_1 - \epsilon_8$ " หมายถึงค่าความเครียดที่วัดได้จากกลุ่มเซนเซอร์แกนที่ 1-8 หน่วยเป็น μstrain



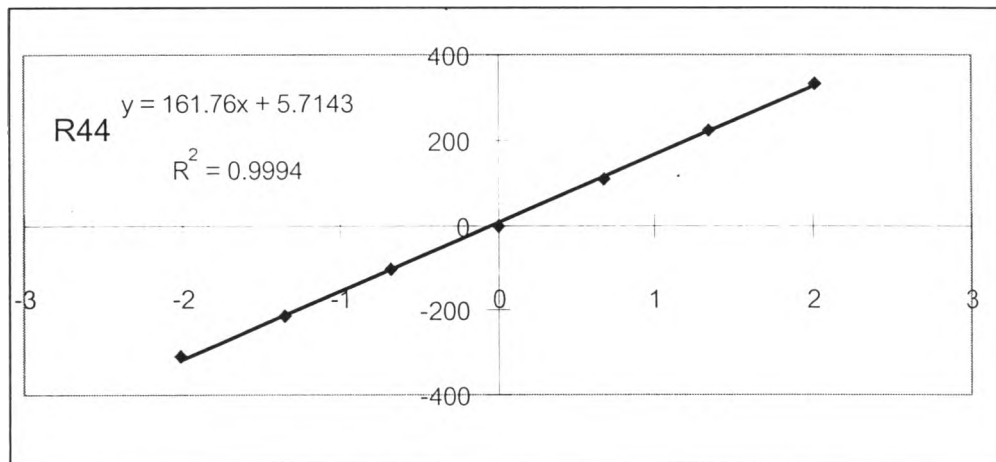
รูปที่ 5.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Mx กับ ค่าความเครียด ϵ_1



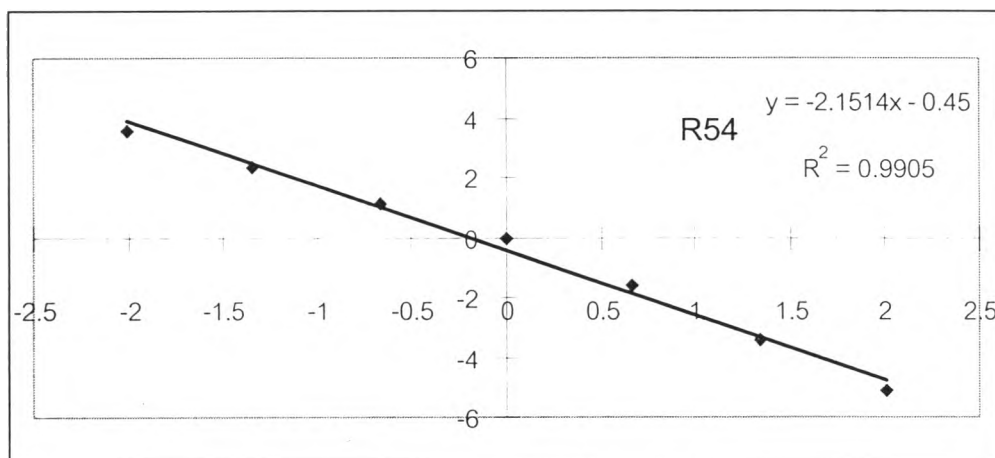
รูปที่ 5.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Mx กับ ค่าความเครียด ϵ_2



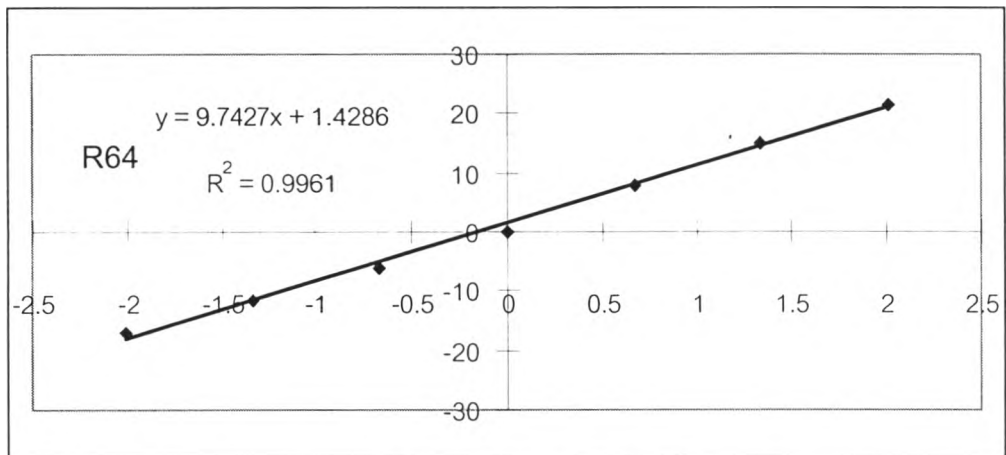
รูปที่ 5.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Mx กับ ค่าความเครียด ϵ_3



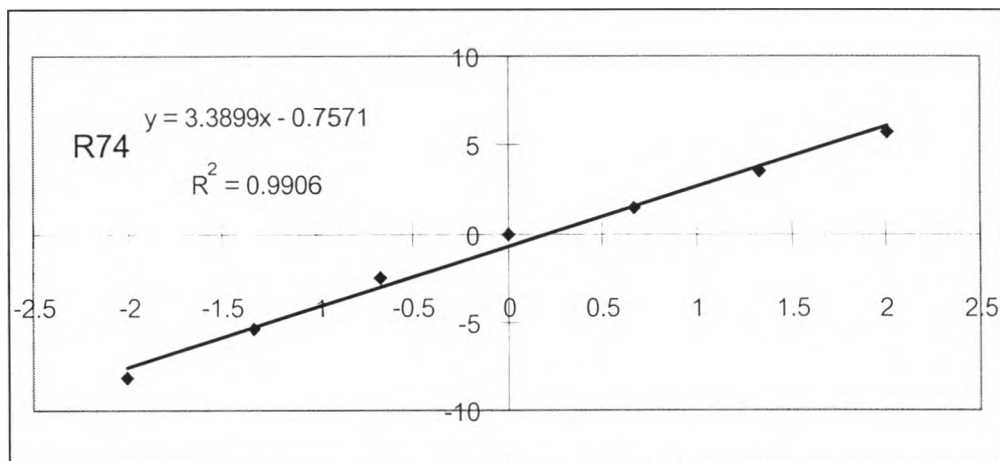
รูปที่ 5.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Mx กับ ค่าความเครียด ϵ_4



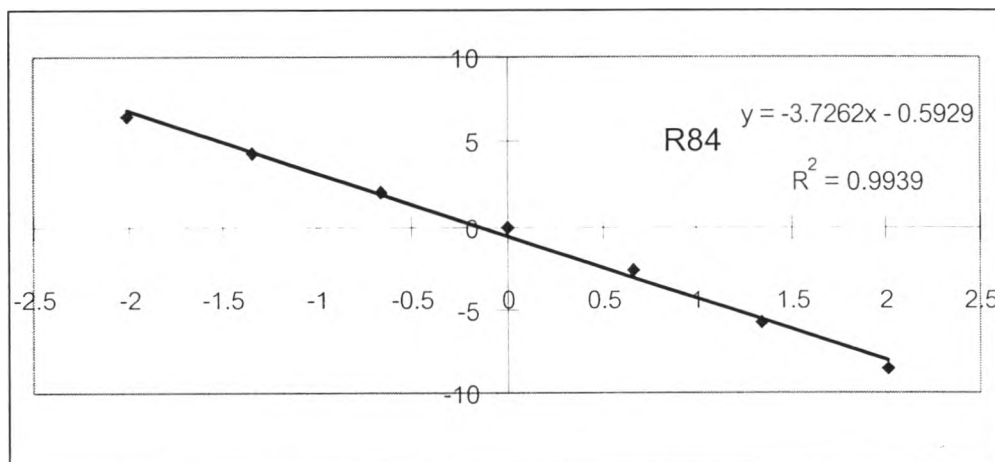
รูปที่ 5.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Mx กับ ค่าความเครียด ϵ_5



รูปที่ 5.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Mx กับ ค่าความเครียด ε_6



รูปที่ 5.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Mx กับ ค่าความเครียด ε_7

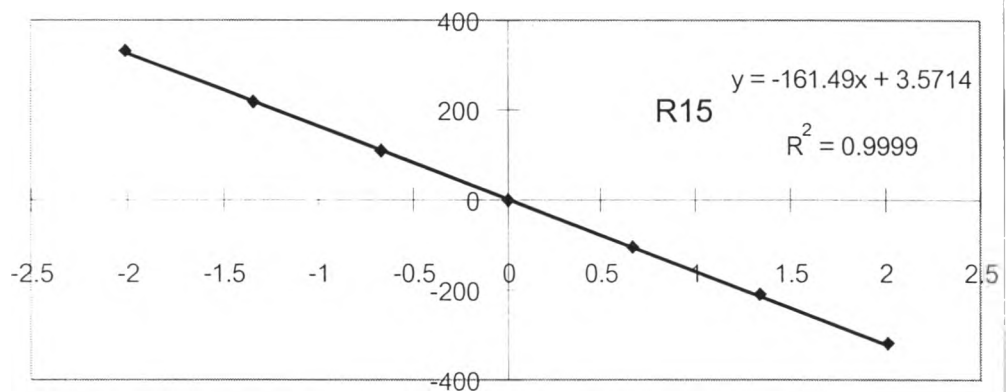


รูปที่ 5.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Mx กับ ค่าความเครียด ε_8

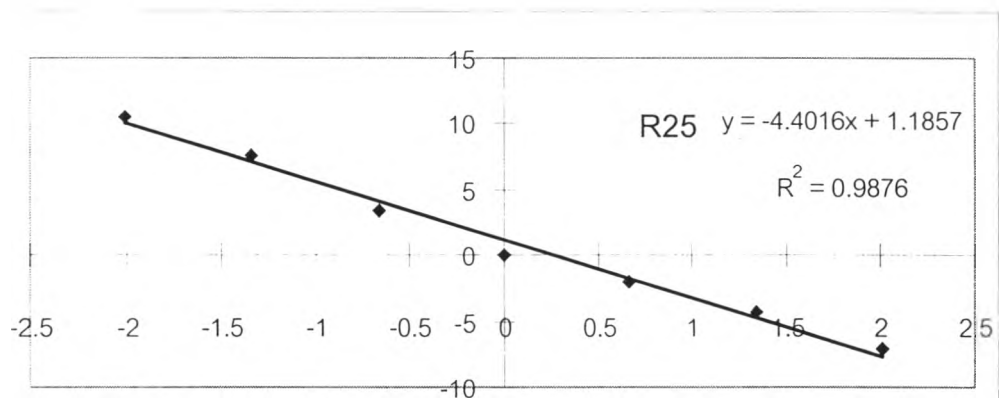
ตารางที่ 5.5 การเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ในแนวแกน y

| My(Lb.) | My(Nm) | ϵ_1 | ϵ_2 | ϵ_3 | ϵ_4 | ϵ_5 | ϵ_6 | ϵ_7 | ϵ_8 |
|---------|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| -3 | -2.007 | 330 | 10.6 | -320 | -17.4 | -4.6 | 10.15 | -8.45 | -3.2 |
| -2 | -1.338 | 220 | 7.65 | -215 | -11.1 | -3.2 | 7.2 | -5.6 | -1.75 |
| -1 | -0.669 | 110 | 3.45 | -105 | -5 | -1.2 | 3.15 | -2.65 | -0.7 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0.669 | -105 | -2 | 110 | 3.25 | 1.65 | -2.4 | 2.3 | 1.15 |
| 2 | 1.338 | -210 | -4.3 | 220 | 7.9 | 3.55 | -5.25 | 4.75 | 2.6 |
| 3 | 2.007 | -320 | -7.1 | 325 | 10.85 | 5.35 | -8.6 | 7.6 | 4.35 |

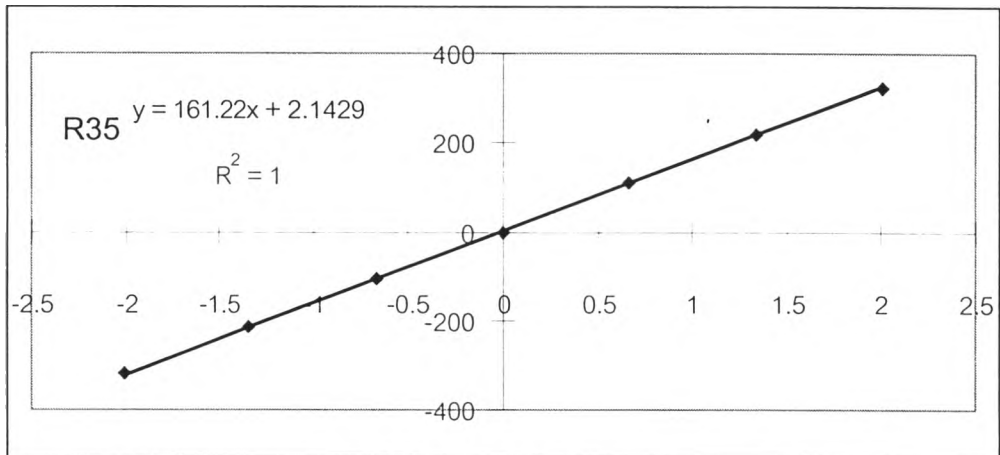
ค่าตัวเลขในช่อง " $\epsilon_1 - \epsilon_8$ " หมายถึงค่าความเครียดที่วัดได้จากคู่สเตรนเกจชุดที่ 1-8
หน่วยเป็น μstrain



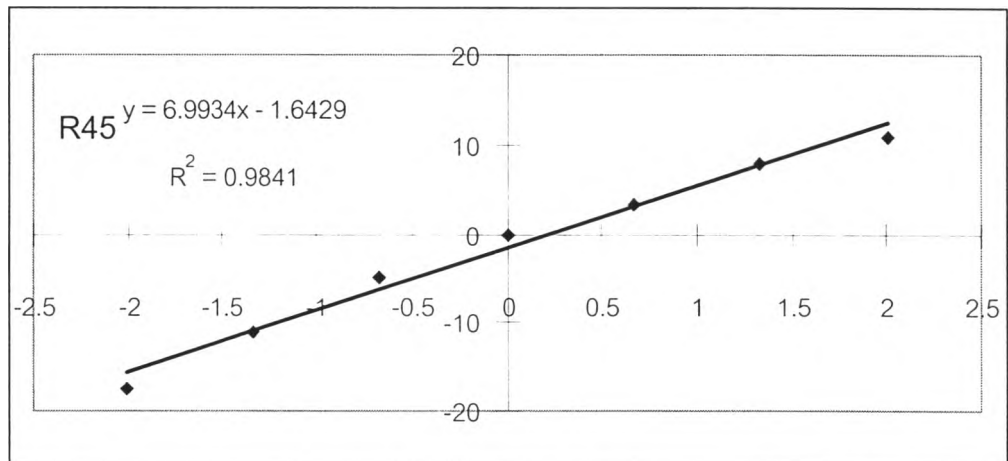
รูปที่ 5.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง My กับ ค่าความเครียด ϵ_1



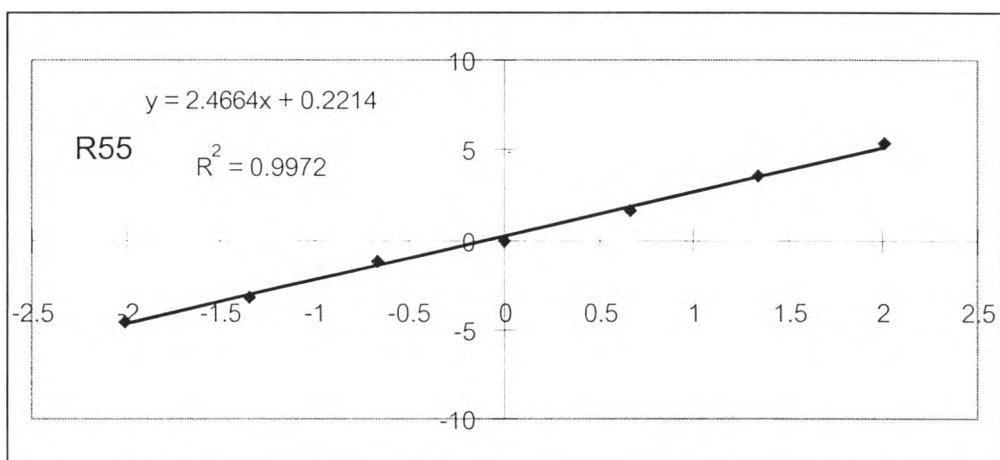
รูปที่ 5.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง My กับ ค่าความเครียด ϵ_2



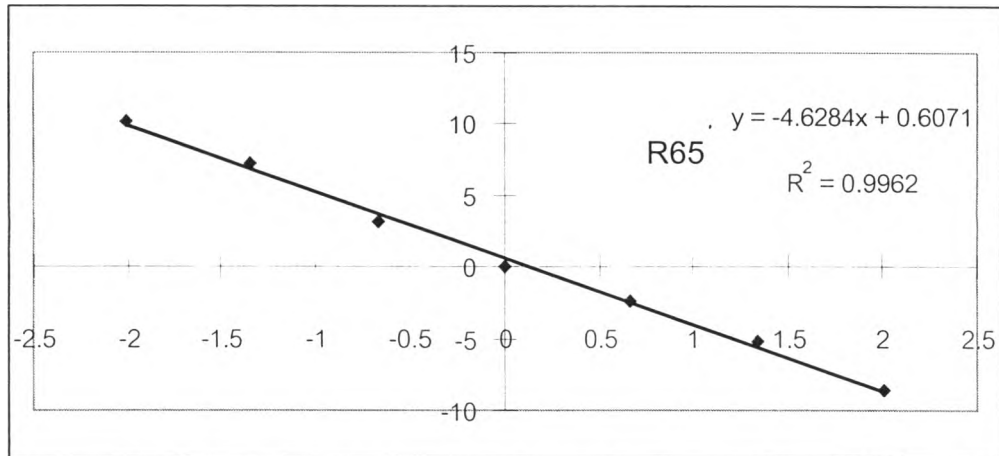
รูปที่ 5.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง My กับ ค่าความเคี้ยว ϵ_3



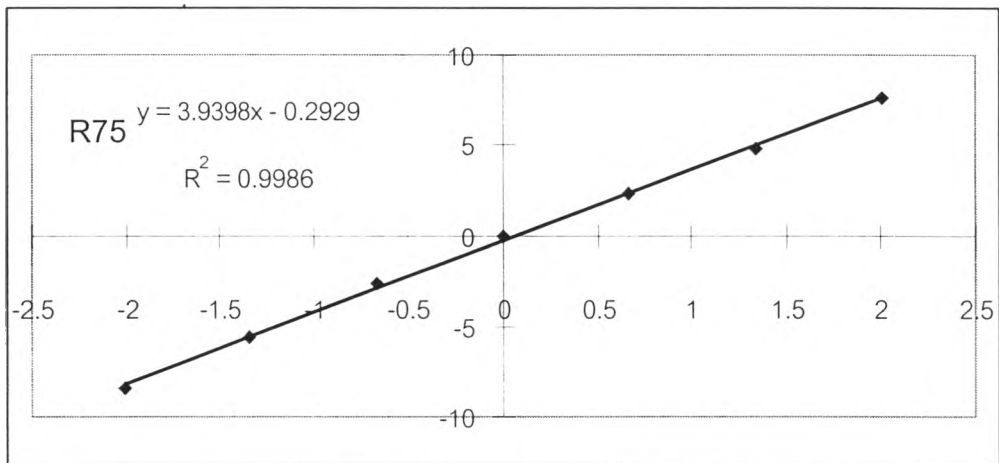
รูปที่ 5.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง My กับ ค่าความเคี้ยว ϵ_4



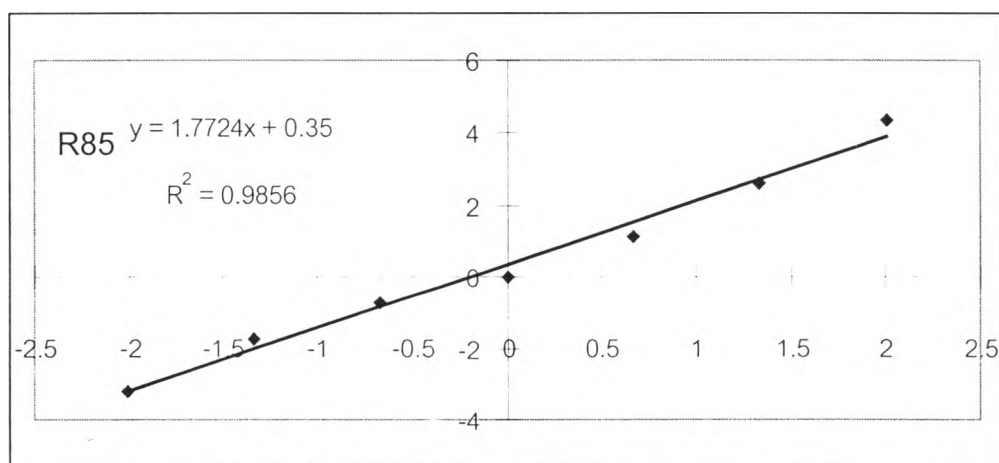
รูปที่ 5.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง My กับ ค่าความเคี้ยว ϵ_5



รูปที่ 5.38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง M_y กับ ค่าความเครียด ϵ_6



รูปที่ 5.39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง M_y กับ ค่าความเครียด ϵ_7



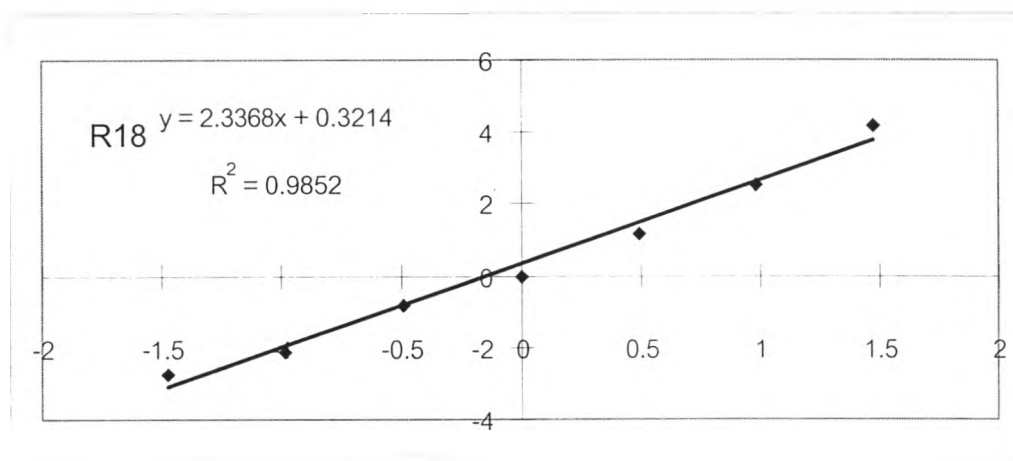
รูปที่ 5.40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง M_y กับ ค่าความเครียด ϵ_8

ตารางที่ 5.6 การเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ในแนวแกน z

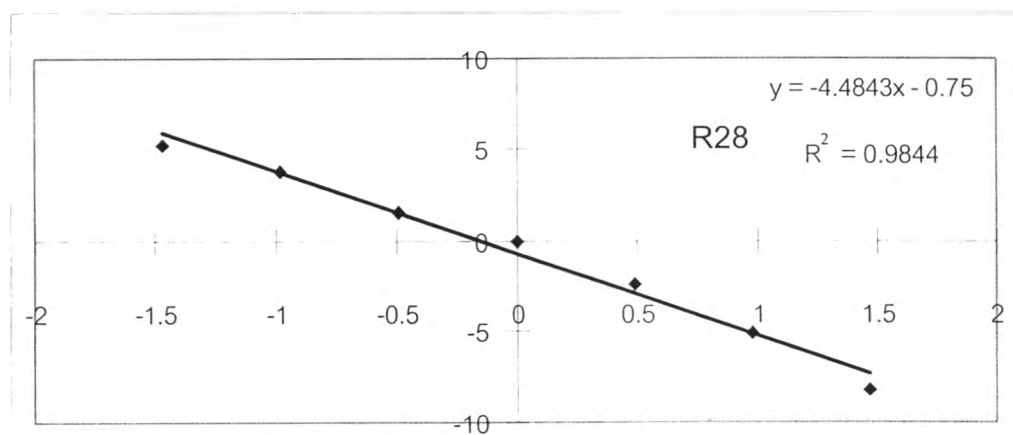
| Mz(Lb.) | Mz(Nm) | ϵ_1 | ϵ_2 | ϵ_3 | ϵ_4 | ϵ_5 | ϵ_6 | ϵ_7 | ϵ_8 |
|---------|---------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| -3 | -1.4718 | -2.75 | 5.15 | -7.25 | 9.1 | -129 | 138.5 | -130 | 140 |
| -2 | -0.9812 | -2.1 | 3.75 | -4.45 | 6.35 | -85.5 | 92 | -90 | 95 |
| -1 | -0.4906 | -0.8 | 1.5 | -2.1 | 2.75 | -42 | 45 | -43 | 45 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0.4906 | 1.15 | -2.35 | 1.75 | -1.85 | 45.5 | -42.5 | 45 | -43.5 |
| 2 | 0.9812 | 2.55 | -5.1 | 3.85 | -4.2 | 92.5 | -86.5 | 92 | -90 |
| 3 | 1.4718 | 4.2 | -8.2 | 5.9 | -6.55 | 140 | -131 | 140 | -135 |

ค่าตัวเลขในช่อง " $\epsilon_1 - \epsilon_8$ " หมายถึงค่าความเครียดที่วัดได้จากคู่สเตรนเกจชุดที่ 1-8

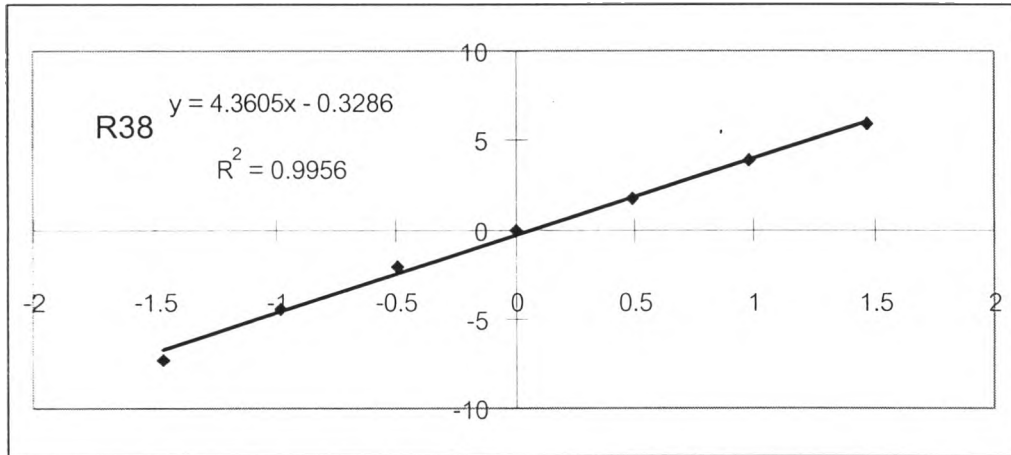
หน่วยเป็น μstrain



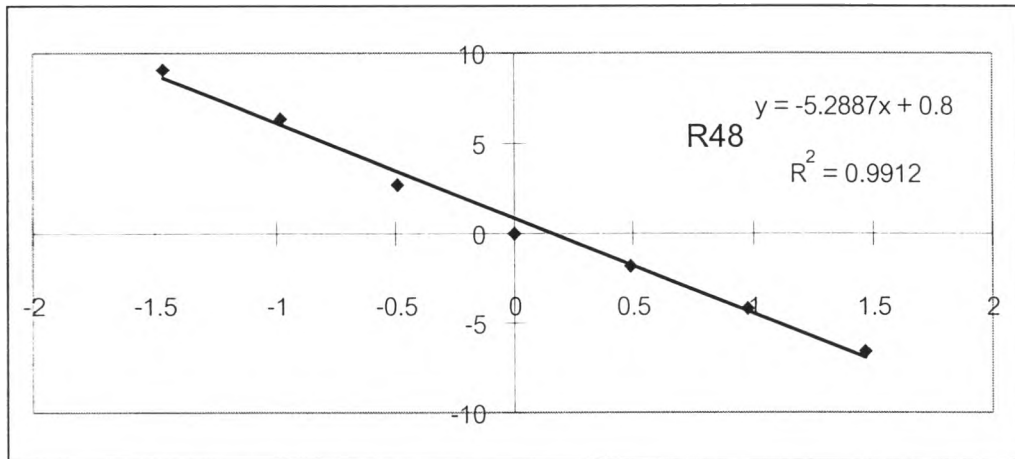
รูปที่ 5.41 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Mz กับ ค่าความเครียด ϵ_1



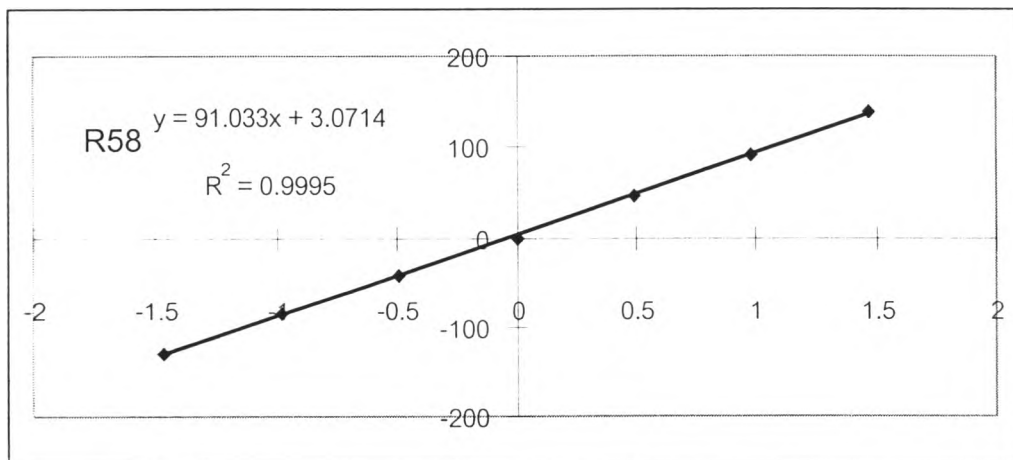
รูปที่ 5.42 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Mz กับ ค่าความเครียด ϵ_2



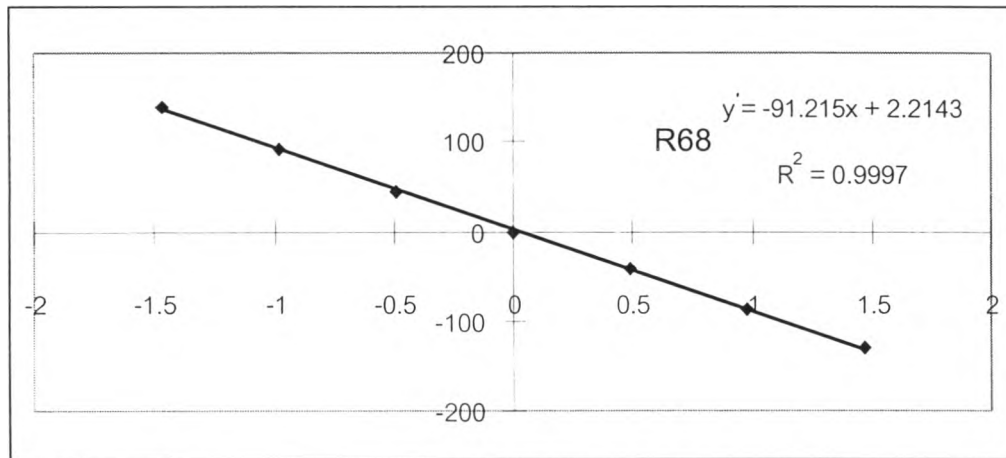
รูปที่ 5.43 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Mz กับ ค่าความเครียด ϵ_3



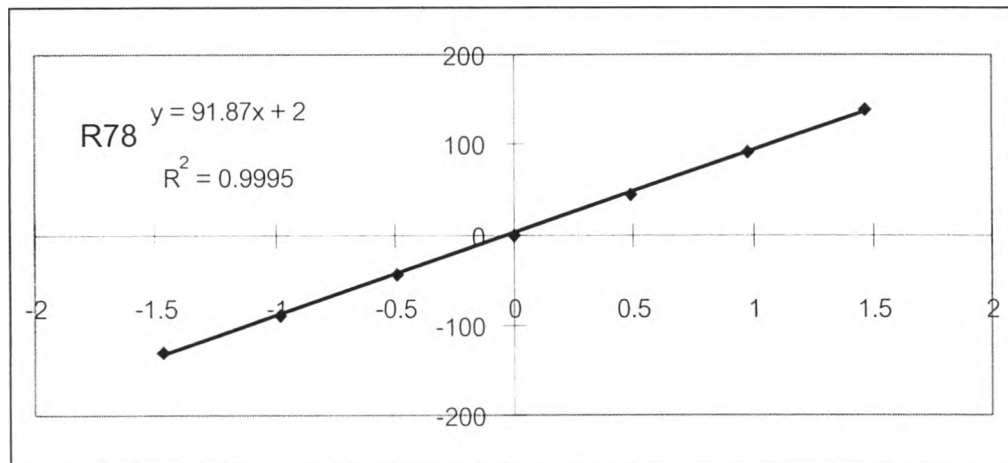
รูปที่ 5.44 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Mz กับ ค่าความเครียด ϵ_4



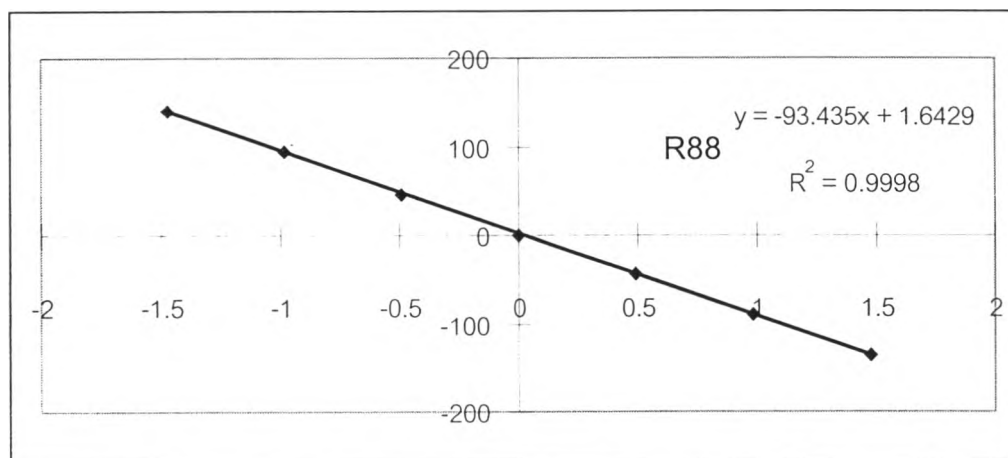
รูปที่ 5.45 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Mz กับ ค่าความเครียด ϵ_5



รูปที่ 5.46 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง M_z กับ ค่าความเครียด ϵ_6



รูปที่ 5.47 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง M_z กับ ค่าความเครียด ϵ_7



รูปที่ 5.48 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง M_z กับ ค่าความเครียด ϵ_8

จากการทดลองเราจะได้ว่าอุปกรณ์ตรวจรู้แรงและแรงบิดที่พัฒนาขึ้นก่อนหน้านี้มี strain compliance matrix เท่ากับ

$$C = \begin{bmatrix} 0.08 & -0.0578 & 1.9348 & 2.3276 & -161.49 & 2.3368 \\ 0.0484 & 0.0915 & -1.9391 & -161.4 & -4.4016 & -4.4843 \\ -0.1106 & -0.0546 & 2.1719 & -7.1535 & 161.22 & 4.3605 \\ 0.0489 & -0.129 & -1.713 & 161.76 & 6.9934 & -5.2887 \\ 0.2014 & 0.1828 & -0.0303 & -2.1514 & 2.4664 & 91.033 \\ 0.1876 & -0.2146 & -0.1438 & 9.7427 & -4.6284 & -91.215 \\ 0.134 & -0.1902 & 0.0493 & 3.3899 & 3.9398 & 91.87 \\ -0.1943 & -0.2015 & 0.2113 & -3.7262 & 1.7724 & -93.435 \end{bmatrix}$$

เมื่อเราทำ singular value decomposition กับ matrix C เราจะได้ค่า singular value ดังนี้

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= 229.3086 & \sigma_2 &= 228.2367 & \sigma_3 &= 183.7357 \\ \sigma_4 &= 3.8962 & \sigma_5 &= 0.3696 & \sigma_6 &= 0.2812 \end{aligned}$$

จากค่า singular value ที่ได้และจากสมการที่ 3.28 เราก็จะได้ว่าอุปกรณ์ตรวจรู้แรงและแรงบิดที่มีอยู่เดิมของห้องปฏิบัติการวิจัยหุ่นยนต์อุตสาหกรรมนี้มีค่า condition number เท่ากับ

$$\frac{229.3086}{0.2812} = 815.46$$

เปรียบเทียบผลจากการวิเคราะห์การเกิดค่าความเครียด ณ ตำแหน่งของชุดสเตรนเกจที่เป็นหลักในการวัดสำหรับแรงและโมเมนต์ในแนวแกนต่างๆด้วยทฤษฎีของคานและผลจากการทดลองจริง เราพบว่า

ตารางที่ 5.7 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าความเครียดที่ได้จากการทดลองจริงและที่ได้จากทฤษฎีของคานของอุปกรณ์ตรวจรู้แรงและแรงบิดที่มีอยู่เดิม (Sensor I)

| Load | ที่ตำแหน่ง | ผลโดยเฉลี่ยจากการทดลองจริง | ผลจากทฤษฎีของคาน | % error |
|------|--|----------------------------|------------------|---------|
| Fx | ϵ_6, ϵ_8 | 0.191 | 0.090 | 112.222 |
| Fy | ϵ_5, ϵ_7 | 0.187 | 0.090 | 107.778 |
| Fz | $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3, \epsilon_4$ | 1.940 | 1.843 | 5.263 |
| Mx | ϵ_2, ϵ_4 | 161.580 | 162.481 | -0.555 |
| My | ϵ_1, ϵ_3 | 161.355 | 162.481 | -0.693 |
| Mz | $\epsilon_5, \epsilon_6, \epsilon_7, \epsilon_8$ | 91.888 | 87.751 | 4.712 |

ช่องของ " Load " คือ ประเภทของแรงหรือโมเมนต์

ช่องของ " ผลโดยเฉลี่ยจากการทดลองจริง " และ " ผลจากทฤษฎีของคาน " คือ ค่าความเครียดที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งของชุดสเตรนเกจที่เป็นหลักในการวัด

- ถ้า Load คือ F_x, F_y, F_z หน่วยคือ $\mu\text{strain}/N$
- ถ้า Load คือ M_x, M_y, M_z หน่วยคือ $\mu\text{strain}/N.m$

จากการเปรียบเทียบดังกล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์โดยหลักการของคานโดยอาศัยเงื่อนไขที่ว่าวงกลมยังรักษาสภาพความเป็นวงกลมไว้อยู่ได้นั้น สามารถให้ค่าที่ใกล้เคียงก็เฉพาะกับการพิจารณาความเครียดที่เกิดจากแรงในแนวแกน z และโมเมนต์ในแนวแกน x, y และ z เท่านั้น ส่วนการพิจารณาแรงในแนวแกน x จะเห็นได้ว่ามีความผิดพลาดไปมาก ด้วยเหตุนี้ เราจึงไม่สามารถที่ออกแบบอุปกรณ์ตรวจรู้แรงและแรงบิดโดยอาศัยการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีของคานแต่เพียงอย่างเดียวได้ ต่อไปเราจะทำการวิเคราะห์หาการเกิดความเครียดในตำแหน่งหวังผลเนื่องจากแรงและโมเมนต์ในแนวแกนต่างๆด้วยวิธีการของไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อดูว่าจะได้ผลอย่างไร