บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

เนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้แบ่งงานที่ทำเป็นสองส่วน จึงจะแยกการสรุปและวิจารณ์ผลเป็นสองหัวข้อเพื่อง่ายต่อการเข้าใจ

5.1 เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์

การสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ได้ออกแบบโดยใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำทั้งหมดเพื่อใช้แทนเครื่องเก่าที่เป็นแบบหลอดสูญญากาศ อุปกรณ์ส่วนใหญ่ประกอบลงบนแผ่นวงจรเอนกประสงค์ หลังจากการประกอบครั้งแรกวงจรมีปัญหาสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ออกมามีการออสซิลเลตที่ความถี่สูงอยู่บริเวณด้านบนของสัญญาณสี่เหลี่ยม ซึ่งหลังจากที่แก้ด้วยการใส่ตัวเก็บประจุค่าประมาณ 100 ไมโครฟารัด ในส่วนอินพุตของวงจรเรกกูเลเตอร์ 6 โวลต์ ปัญหาดังกล่าวก็หมดไป

เอาต์พุตของเครื่องกำเนิดพัลส์มีทั้งหมด 3 ช่อง คือ ช่องที่ 1,ช่องที่ 2 และช่องที่สุดท้าย ซึ่งเป็นผลรวมของช่อง 1 กับช่อง 2 ในการทดลองจะใช้เพียงสัญญาณจากช่องที่ 3 เท่านั้น ส่วนช่องที่ 1 และ 2 นั้นมีไว้เผื่อใช้งานในกรณีพิเศษอื่น จากการทดลองพบว่าเครื่องใช้งานได้ดี และเล็กกะทัดรัดกว่าเครื่องที่มีอยู่เดิมมาก

มีข้อด้อยอยู่บ้างในส่วนของเครื่องที่สร้างขึ้นมานี้คือ ในการปรับค่าต่าง ๆ ไม่ได้ทำสเกลไว้ ดังนั้นการปรับค่าต่าง ๆ จึงไม่ค่อยจะสะดวกนัก การปรับต้องการคนที่เข้าใจการทำงานของวงจรและลักษณะการให้สัญญาณแก่ระบบเอ็นเอ็มอาร์พอสมควร จึงจะทำได้ง่าย อย่างไรก็ตามข้อด้อยดังกล่าวไม่ได้มีผลเชิงลบต่อผลการทดลองแต่อย่างใด

5.2 การหาปริมาณไขมันในนมผง

นำผลการทดลองจากตารางที่ 4.1 ไปเขียนกราฟระหว่างลอกฐานธรรมชาติของตำแหน่งที่เกิดสัญญาณ (มิลลิวินาที) กับความสูงของสัญญาณ (หน่วยไม่เจาะจง) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

แมทแลด ได้ผลดังกราฟที่ 5.1, 5.2 และ 5.3 ซึ่งได้ค่าเวลาผ่อนคลายตามขวาง (T_2) เป็น 21.2,23.0 และ 23.6 วินาที ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น 22.6 มิลลิวินาที โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์อยู่ในช่วง 99.8-99.9 % ซึ่งถือได้ว่าเป็นข้อมูลที่ดีมากดังนั้นในการทดลองอื่นจึงใช้เวลาในการให้สัญญาณซ้ำเท่ากับที่ใช้ในการทดลองนี้ได้คือ 500 มิลลิวินาที

ในการทำกราฟปรับเทียบนำผลการทดลองจากกราฟที่ 4.2 และ 4.3 ไปเขียนกราฟระหว่างความสูงของสัญญาณกับปริมาณไขมัน (กรัม) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปโลตัสและเลือกให้เส้นกราฟผ่านจุดกำเนิด ได้ผลดังกราฟที่ 5.4 และกราฟที่ 5.5 ตามลำดับ

นำผลการทดลองจากตารางที่ 4.4 ไปเทียบหาปริมาณไขมันได้ดังนี้

กราฟปรับเทียบชุดที่ 1 กราฟมีค่าความชัน = 2636.3 กรัม$^{-1}$

จากสมการ $y = ax$ จะได้ว่า y แทนความสูงของสัญญาณ, a แทนค่าความชันของกราฟซึ่งเท่ากับ 2636.3 กรัม$^{-1}$ และ x แทนปริมาณไขมัน (กรัม) ดังนั้น

$y = 1760$, $x = 1760/2636.3 = 0.67$ กรัม คิดเป็น 25.68%

$y = 905$, $x = 905/2636.3 = 0.34$ กรัม คิดเป็น 26.41%

$y = 470$, $x = 470/2636.3 = 0.18$ กรัม คิดเป็น 27.43%

$y = 234$, $x = 234/2636.3 = 0.09$ กรัม คิดเป็น 26.90%

ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ไขมัน = $(25.68 + 26.41 + 27.43 + 26.90)/4$

$= 26.60\%$

โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ 99.22 %

ในทำนองเดียวกัน กราฟปรับเทียบชุดที่ 2 ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ไขมันเป็น 27.58%

โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ 99.04 %

ข้อมูลที่ผู้ผลิตให้มาคือ 28%

สรุปว่าการหาปริมาณไขมันโดยวิธีพัลส์เอ็นเอ็มอาร์เป็นวิธีการที่เชื่อถือได้ และเป็นวิธีการหาปริมาณไขมันได้รวดเร็วที่สุดในปัจจุบัน โดยเฉพาะถ้ามีไขมันสำหรับทำกราฟปรับเทียบพร้อมอยู่แล้ว

ในการทำการทดลองนั้นได้ทำอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ข้อมูลมีโอกาสที่จะผิดพลาดเนื่องจากการทดลองน้อยที่สุด และควรทำกราฟปรับเทียบทุกครั้งที่ทำการทดลอง ปัญหาอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นในการทดลองและแก้ไขค่อนข้างยากคือการเลื่อนของตำแหน่งที่เกิดเรโซแนนซ์ ซึ่งคาดว่าเนื่องมาจากเสถียรภาพอุปกรณ์ทางอิเลกทรอนิกส์เช่น ออสซิลเลเตอร์ เพาเวอร์ซับพลายของแม่เหล็ก เป็นต้น อย่างไรก็ตามปัญหาดังกล่าวไม่ใช่ปัญหาใหญ่เพราะสามารถปรับแก้ได้ในระหว่างการทดลอง

ในบางครั้งพบว่าเครื่องชั่งทำงานผิดพลาด ในการทดลองที่ทิ้งช่วงเวลาเป็นวันหรือหลายวันควรจะมีการตรวจสอบเครื่องชั่งด้วยวัตถุที่มีน้ำหนักมาตรฐาน เคยตั้งสมมุติฐานว่าความกดอากาศอาจมีผลต่อการผิดพลาดของเครื่องชั่ง หรือไม่ก็เป็นความผิดพลาดของตัวเครื่องชั่งเอง

หลังการละลายไขมันด้วยคาร์บอนเตตระคลอไรด์ควรจะทิ้งไว้ 10 - 15 นาที จึงนำไปทำการทดลอง เพราะถ้าทำการทดลองเร็วเกินไปไขมันยังละลายไม่หมด ส่วนที่ยังไม่ละลายจะลอยอยู่บนผิวของสารละลาย และไม่ควรใช้อุปกรณ์ใด ๆ คนสารละลาย เพราะอาจทำให้ไขมันติดไปได้ ซึ่งอาจทำให้การทดลองมีความผิดพลาด

5.3 แนวทางการวิจัยต่อไป

การทำระบบประมวลผลแบบรวบยอดเป็นงานที่ควรทำต่อไป ซึ่งเป็นส่วนที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ นั่นคือการหาปริมาณไขมันในนมผงจะทำเป็นระบบสำเร็จรูป มีการควบคุมระบบและประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ การทดลองสามารถที่จะทำได้ง่าย ๆ โดยเพียงแต่ใช้ไขมันที่มีปริมาณแน่นอนและเก็บไว้ในหลอดแก้วที่มีการหลอมปิดอย่างมิดชิด ไว้ใน

i17 21923 61

คอยส์สำหรับทำเรโซแนนซ์ หลอดแก้วนี้ควรจะมี 3-4 หลอด โดยบรรจุไขมันปริมาณต่าง ๆ กัน และมีขนาดพอดีสามารถใส่ลงในคอยล์สำหรับทำเรโซแนนซ์ได้ ไขมันเหล่านี้ควรจะทำให้กระจายได้ปริมาตรเท่ากันทั้งหมด โดยการละลายด้วยคาร์บอนเตตระคลอไรด์ ทุกครั้งที่ได้สัญญาณเรโซแนนซ์ก็เพียงแต่กดปุ่มที่ทำหน้าที่สั่งให้มีการบันทึกข้อมูลไว้ เสร็จแล้วก็สั่งให้มีการทำกราฟปรับเทียบแล้วนำข้อมูลไปเก็บไว้ก่อน จากนั้นนำนมผงที่ต้องการหาปริมาณไขมันเข้าเครื่อง เพื่อเก็บสัญญาณเรโซแนนซ์แล้วก็สั่งให้มีการเปรียบเทียบสัญญาณกับกราฟปรับเทียบและแสดงปริมาณไขมันออกมาได้เลย เมื่อต้องการทราบเป็นเปอร์เซ็นต์ก็เพียงแต่ใส่น้ำหนักของนมผงเข้าไปเท่านั้น ก็จะได้ผลออกมาทันที ซึ่งถ้าทำวิธีนี้สำเร็จจะทำให้ได้ผลรวดเร็วขึ้นมาก

งานวิจัยการหาปริมาณไขมันในสารตัวอย่างที่มีน้ำปนอยู่ด้วยเป็นงานที่น่าสนใจ และมีการวิจัยกันมาบ้างแล้ว (10),(24)

msec ≡ 1

Determination of Relaxation Time

$$time := \begin{bmatrix} 3.96 \\ 6.86 \\ 9.26 \\ 10.82 \\ 13.90 \\ 16.94 \\ 18.90 \end{bmatrix} \qquad max_peak := \begin{bmatrix} 309 \\ 266 \\ 240 \\ 218 \\ 186 \\ 166 \\ 154 \end{bmatrix}$$

$$i := 0 \,..\, 6$$

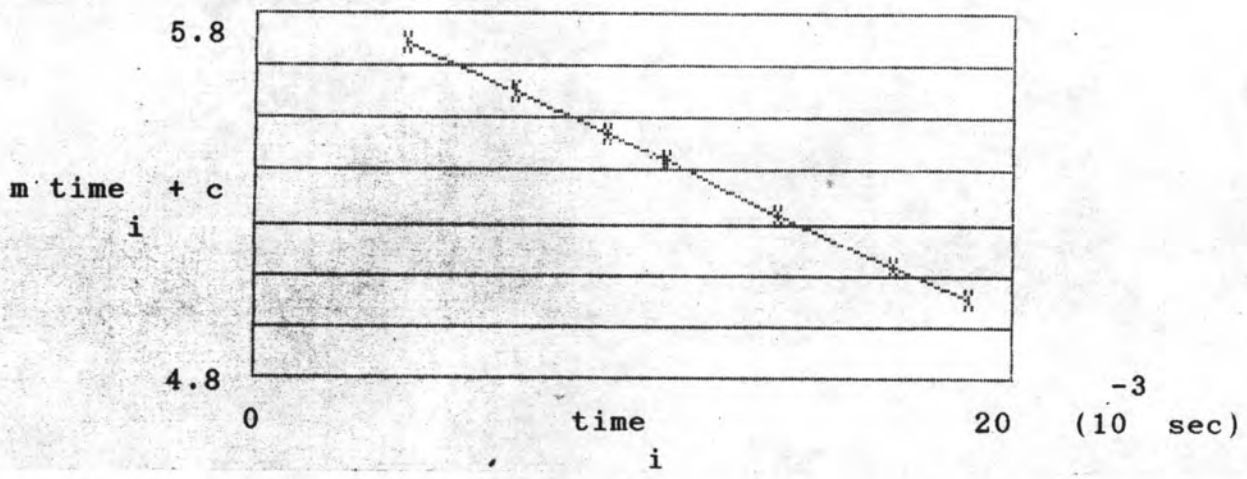
$$\left| corr\left[time, \overline{(\ln(max_peak))}\right] \right| = 99.801\ \%$$

$$m := slope\left[time, \overline{(\ln(max_peak))}\right]$$

$$c := intercept\left[time, \overline{(\ln(max_peak))}\right]$$

$$slope\ \ m = -0.047\ msec^{-1}$$

$$Relaxation\ time\ (T2) = \frac{-1}{m} = 21.212\ msec$$



กราฟที่ 5.1 กราฟกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอกการิทึมฐานธรรมชาติของความสูงของสัญญาณกับตำแหน่งสูงสุดของสัญญาณเรโซแนนซ์ของนมผง 0.33 กรัม เป็นกราฟที่ใช้หาค่าเวลาผ่อนคลายตามขวางของไขมันในนมผง

ec ≡ 1

Determination of Relaxation Time

$$time := \begin{bmatrix} 3.94 \\ 6.86 \\ 9.24 \\ 10.84 \\ 13.96 \\ 16.90 \\ 18.90 \end{bmatrix} \qquad max_peak := \begin{bmatrix} 1150 \\ 1007 \\ 919 \\ 848 \\ 739 \\ 655 \\ 599 \end{bmatrix}$$

$$i := 0 \,..\, 6$$

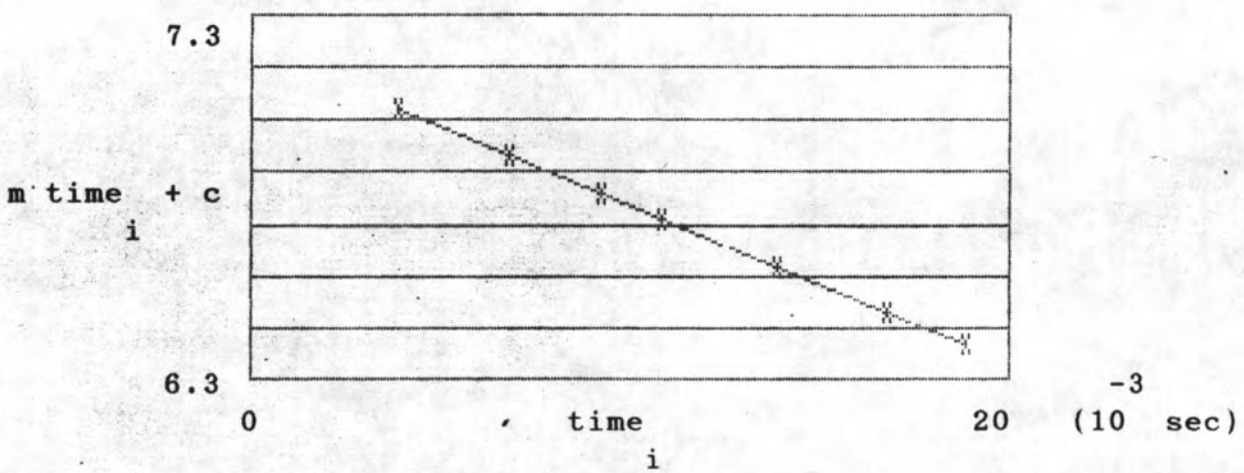
$$\left| corr\left[time, \overline{(\ln(max_peak))}\right] \right| = 99.982\ \%$$

$$m := slope\left[time, \overline{(\ln(max_peak))}\right]$$

$$c := intercept\left[time, \overline{(\ln(max_peak))}\right]$$

slope $m = -0.044\ msec^{-1}$

Relaxation time $(T2) = \frac{-1}{m} = 22.969\ msec$



กราฟที่ 5.2 กราฟกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมฐานธรรมชาติของความสูงของสัญญาณกับตำแหน่งสูงสุดของสัญญาณเรโซแนนซ์ของนมผง 1.3 กรัม เป็นกราฟที่ใช้หาค่าเวลาผ่อนคลายตามขวางของไขมันในนมผง

msec = 1

Determination of Relaxation Time

$$time := \begin{bmatrix} 2.90 \\ 5.42 \\ 9.02 \\ 11.02 \\ 14.02 \\ 16.54 \\ 19.06 \end{bmatrix} \qquad max_peak := \begin{bmatrix} 1130 \\ 1018 \\ 875 \\ 808 \\ 712 \\ 641 \\ 564 \end{bmatrix}$$

$$i := 0 \,..6$$

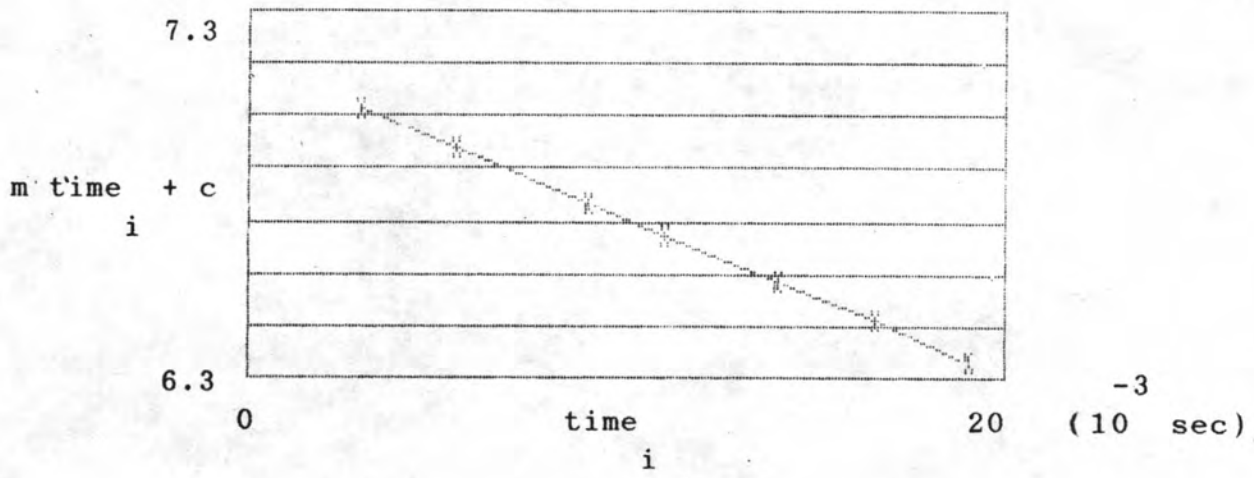
$$\left| corr\left[time, (\ln(max_peak))\right] \right| = 99.957\ \%$$

$$m := slope\left[time, (\ln(max_peak))\right]$$

$$c := intercept\left[time, (\ln(max_peak))\right]$$

slope $m = -0.042\ msec^{-1}$

Relaxation time $(T2) = \frac{-1}{m} = 23.555\ msec$



กราฟที่ 5.3 กราฟกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอกการิทึมฐานธรรมชาติของความสูงของสัญญาณกับตำแหน่งสูงสุดของสัญญาณเรโซแนนซ์ของนมผง 2.6 กรัม เป็นกราฟที่ใช้หาค่าเวลาผ่อนคลายตามขวางของไขมันในนมผง

กราฟที่ 5.1,5.2 และ 5.3 แสดงผลการทดลองและค่าทางสถิติที่สำคัญดังนี้

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Corr[time,(ln(max-peak))]) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ มีค่าเป็น 99.80%,99.98%และ99.96% แสดงให้เห็นว่าข้อมูลคือ เวลา (Time) กับ ลอกการิทึมฐานธรรมชาติของความสูงของสัญญาณ (ln(max-peak) มีความสัมพันธ์กันอย่างดีมาก

จุดตัดบนแกน Y (c:= Slope[time,(ln(max-peak))]) จะแทนค่าสูงสุดของลอกการิทึมฐานธรรมชาติของความสูงของสัญญาณ ในที่นี้ไม่ได้แสดงค่าให้ดูเพราะไม่มีความสำคัญต่อผลการทดลอง

ค่าความชัน (slope) เป็นอัตราส่วนของลอกการิทึมฐานธรรมชาติของความสูงของสัญญาณต่อเวลา เป็นค่าที่มีความสำคัญต่อการหาค่าเวลาผ่อนคลายตามขวาง ซึ่งหาได้จาก

เวลาผ่อนคลายตามขวาง = -1/ค่าความชัน (มิลลิวินาที)$^{-1}$

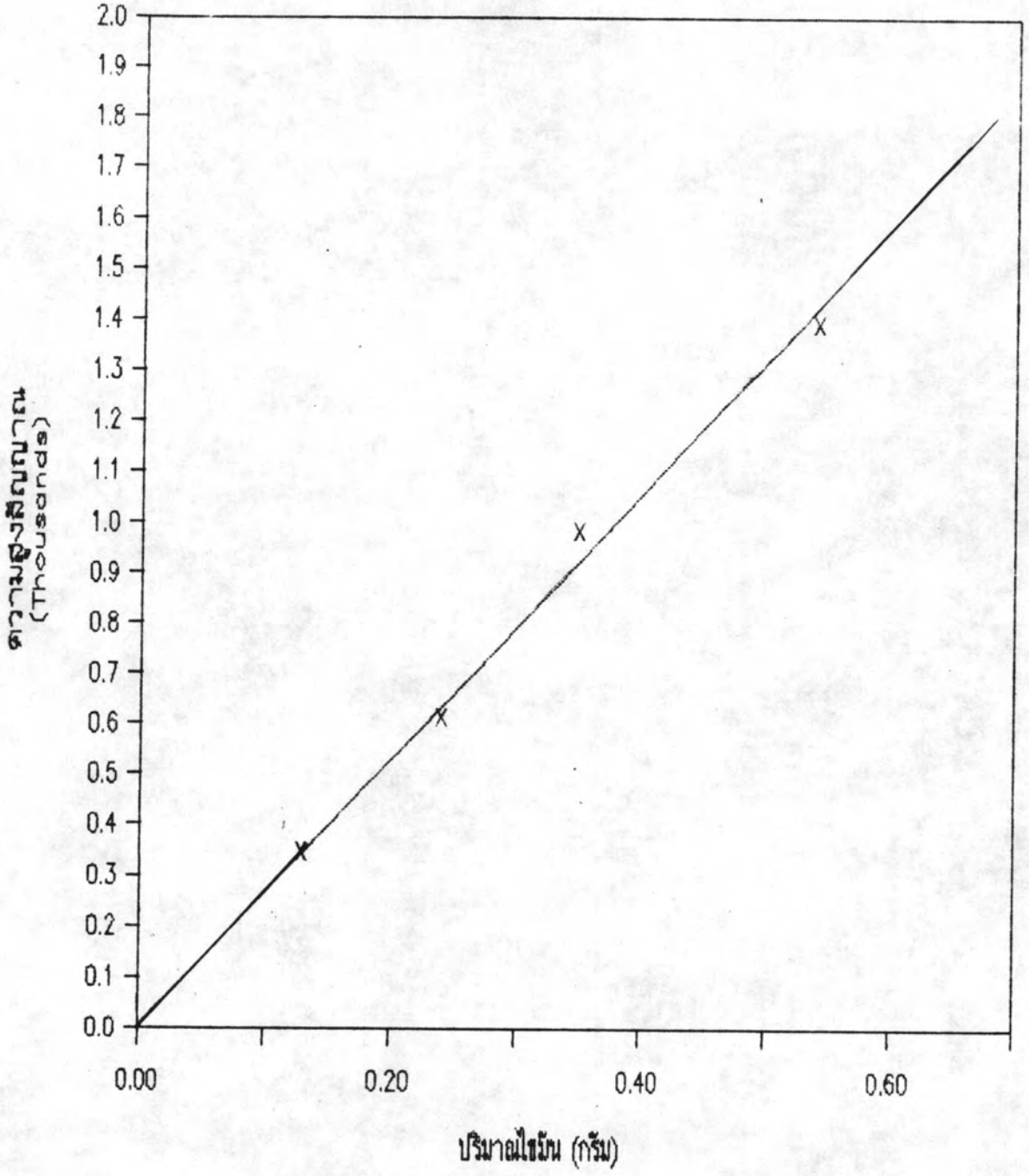
เวลาผ่อนคลายตามขวาง จากกราฟที่ 5.1 = -1/(-0.047) = 21.2 มิลลิวินาที

เวลาผ่อนคลายตามขวาง จากกราฟที่ 5.2 = -1/(-0.044) = 22.97 มิลลิวินาที

เวลาผ่อนคลายตามขวาง จากกราฟที่ 5.3 = -1/(-0.042) = 23.56 มิลลิวินาที

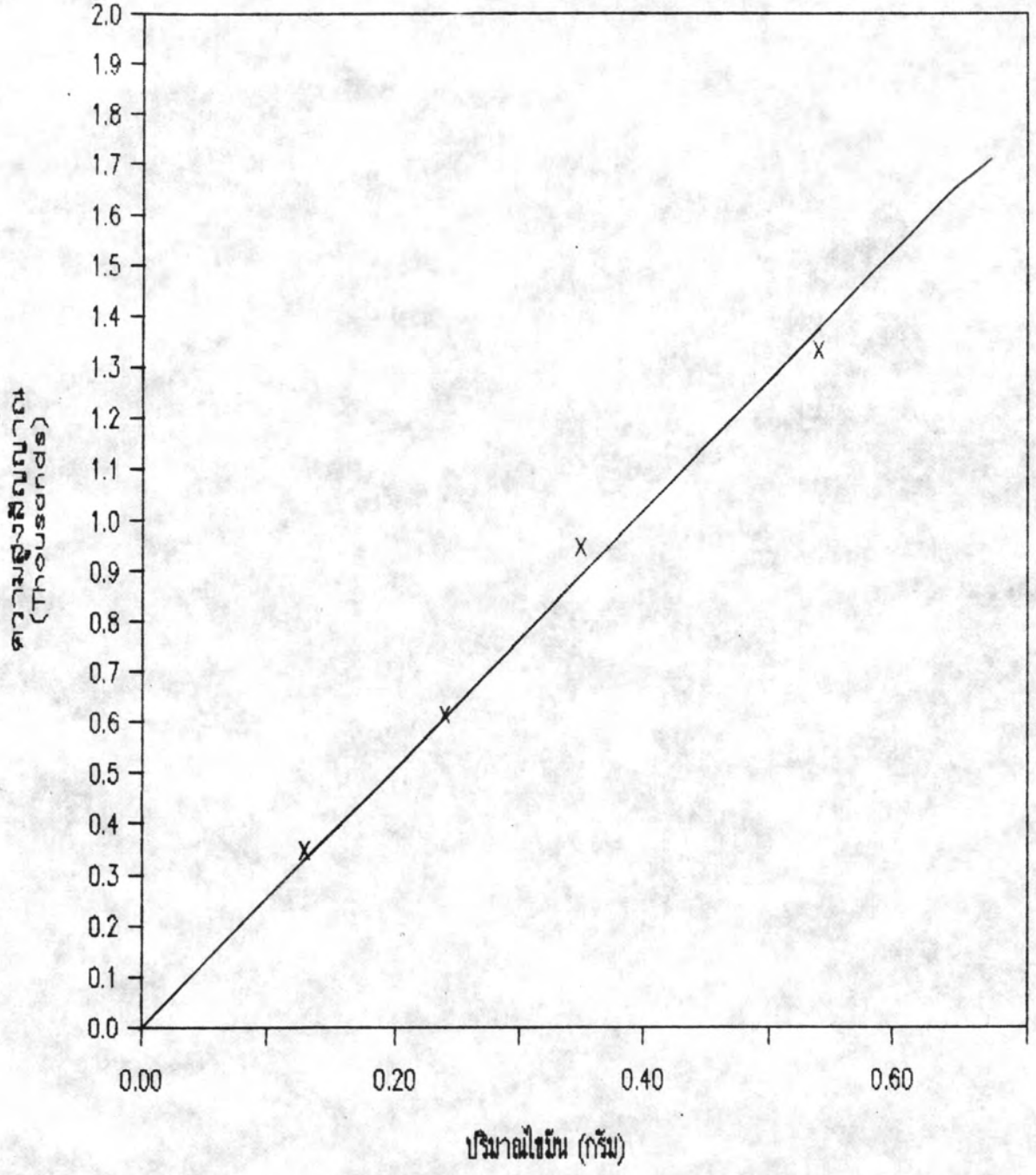
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Stdev:Standard deviation) ของความสูงของสัญญาณมีค่าเป็น 2.98,3.67 และ 4.49 จะเห็นว่าข้อมูลมีการเบี่ยงเบนออกจากเส้นตรงที่ได้จากการทำกราฟน้อยมาก เมื่อเทียบกับขนาดความสูงของสัญญาณที่ได้จากการทดลอง นั่นคือการทดลองมีความน่าเชื่อถือสูง

กราฟปรับเทียบ



กราฟที่ 5.4 แสดงกราฟปรับเทียบชุดที่ 1 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของสัญญาณกับปริมาณไขมัน

กราฟปรับเทียบ



กราฟที่ 5.5 แสดงกราฟปรับเทียบชุดที่ 2 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของสัญญาณกับปริมาณไขมัน การทดลองได้ละลายไขมันด้วยคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl_4) เพื่อให้มีการกระจายปริมาตรของไขมันให้เต็มคอยล์ เพื่อให้ปริมาตรของสารที่ใช้มีค่าเท่า ๆ กันทุกการทดลอง

ข้อมูลของกราฟปรับเทียบ

ปริมาณไขมัน (กรัม)	ความสูงสัญญาน
0.54	1392
0.35	982
0.24	615
0.13	347

Regression Output:

Constant	0.00
Std Err of Y Est	40.19
R Squared	99.22%
No. of Observations	4
Degrees of Freedom	3
X Coefficient(s)	2636.29
Std Err of Coef.	57.50

ความสูงสัญญาณ	ปริมาณไขมันที่วัดได้ (กรัม)	น้ำหนักนมผง (กรัม)	ร้อยละ
1760	0.67	2.60	25.68
905	0.34	1.30	26.41
470	0.18	0.65	27.43
234	0.09	0.33	26.90
		เฉลี่ย	26.60

ตารางที่ 5.1 แสดงผลของการหาปริมาณไขมันในนมผง โดยใช้นมผงปริมาณต่าง ๆ กัน 4 ตัวอย่าง โดยผลที่ได้คำนวณจากกราฟปรับเทียบชุดที่ 1

ข้อมูลของกราฟปรับเทียบ

ปริมาณไขมัน (กรัม)	ความสูงสัญญาน
0.54	1331
0.35	946
0.24	614
0.13	347

Regression Output:

Constant	0.00
Std Err of Y Est	41.62
R Squared	99.04%
No. of Observations	4
Degrees of Freedom	3
X Coefficient(s)	2542.59
Std Err of Coef.	59.54

ความสูงสัญญาณ	ปริมาณไขมันที่วัดได้ (กรัม)	น้ำหนักนมผง (กรัม)	ร้อยละ
1760	0.69	2.60	26.62
905	0.36	1.30	27.38
470	0.18	0.65	28.44
234	0.09	0.33	27.89
		เฉลี่ย	27.58

ตารางที่ 5.2 แสดงผลของการหาปริมาณไขมันในนมผง โดยใช้นมผงปริมาณต่าง ๆ กัน 4 ตัวอย่าง โดยผลที่ได้คำนวณจากกราฟปรับเทียบชุดที่ 2

คำอธิบายสำหรับตารางที่ 5.1 และ 5.2 มีดังต่อไปนี้

ค่าจุดตัดบนแกน Y (Constant) ซึ่งในการทำกราฟจะเลือกให้ผ่านจุดกำเนิดโดยมีเหตุผลที่ว่า เมื่อปริมาณไขมันเป็นศูนย์ ความสูงของสัญญาณควรจะเป็นศูนย์ด้วย

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Error of Y Estimation) ของความสูงของสัญญาณมีค่าเป็น 40.2 และ 41.6 จะเห็นว่าค่านี้มีค่ามากกว่าตอนทดลองหาค่าเวลาผ่อนคลายถึง 10-20 เท่า ความผิดพลาดที่เพิ่มมากขึ้นคาดว่าเป็นผลมาจากลักษณะของสัญญาณเรโซแนนซ์ซึ่งแตกต่างกันอยู่มากสำหรับกรณีไขมันและนมผง ซึ่งจะทำให้โปรแกรมคำนวนฐานของสัญญาณผิดพลาดไปบ้าง นอกจากนี้แต่ก็มีสาเหตุอย่างอื่นที่ทำให้การทดลองมีการเบี่ยงเบนของข้อมูลมากขึ้น เช่น ความผิดพลาดของเครื่องชั่งหรือความผิดพลาดจากการชั่งน้ำหนัก การใช้เรโซแนนซ์คอยล์ที่มีขนาดใหญ่เกินไปเพื่อใส่ไขมันซึ่งมีปริมาตรน้อยมาก ทำให้ความไม่เป็นเอกพันธ์ (Homogeneous)ของสนามแม่เหล็กมีผลมากขึ้นโดยไม่จำเป็น รวมทั้งการตั้งค่าสนามแม่เหล็กไม่ตรงเรโซแนนซ์ ซึ่งจะทำให้ขนาดความสูงของสัญญาณผิดพลาดไปเป็นต้น เป็นต้น

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R Squared) มีค่าเป็น 99.2 และ 99.0 ซึ่งข้อมูลมีความสัมพันธ์กันดี

ค่าความชันของกราฟ (Slope : X Coefficients) มีค่าเป็น 2636.3 และ 2542.6