หอสมุดกลาง
จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

บทที่ ๖

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

๖.๑ ผลของการทดลอง

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ ต้องการวัดความหนาของกระดาษคราฟท์ในหน่วยกรัมต่อตารางเมตร โดยมีข้อจำกัดว่า กระดาษแต่ละความหนาที่กำหนดไว้ คือ ๗๐, ๘๐, ๑๐๐, ๑๑๕, ๑๒๗, ๒๓๐ และ ๓๓๖ กรัมต่อตารางเมตร จะต้องมีความหนาเบี่ยงเบนไปไม่เกินร้อยละ ± ๕

๖.๑.๑ ผลการทดลองจากการใช้คลอรีน-๓๖ เป็นต้นกำเนิดรังสี

ใช้คลอรีน-๓๖ ทำเป็นต้นกำเนิดรังสี ๓ ชนิด คือ ชนิดจุด ชนิดเส้น และชนิดจาน ต้นกำเนิดรังสีมีความแรงไม่สูงนัก คือ เป็นไมโครคูรี พบว่าการจัดระยะที่ให้ผลในการวัดดีที่สุด คือ ระยะระหว่างต้นกำเนิดรังสีถึงหัววัดรังสี ๔.๐ เซ็นติเมตร และในจำนวนนี้ต้นกำเนิดรังสีชนิดจุดจะดีที่สุด ซึ่งอาจจะเนื่องจากหัววัดรังสีชนิดหน้าต่างปลายเหมาะสมกับต้นกำเนิดรังสีชนิดจุด แต่ผลที่ได้นี้ยังไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่ตั้งเอาไว้ คือ ถึงแม้กระดาษที่ใช้ในการทดลองจะหนาต่างกันเกิน ± ๕ % จำนวนสนับต่อนาทีที่อ่านได้ก็มีค่าคาบเกี่ยวกัน เช่น ในตารางที่ ๔.๓ กระดาษหนา ๑๐๐ กรัมต่อตารางเมตร จำนวนนับต่อนาทีเฉลี่ย ๑๐๐๘๖.๗๕ ซึ่งค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\pm\sqrt{๑๐๐๘๖.๗๕} = \pm ๑๐๐.๔๓$ และกระดาษหนา ๑๑๐ กรัมต่อตารางเมตร อ่านจำนวนนับเฉลี่ยต่อนาทีได้ ๑๐๐๖๘.๕๐ ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับกระดาษ ๑๐๐ กรัมต่อตารางเมตร คือ ต่างกันไม่เกินค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จึงไม่สามารถแยกความหนาของกระดาษได้ตามวัตถุประสงค์ ที่เป็นเช่นนี้อาจจะเนื่องจาก สเปคตรัมของพลังงานของคลอรีน-๓๖ ไม่เหมาะสมกับความหนาของกระดาษช่วงที่ทำการศึกษา

๖.๑.๒ ผลการทดลองจากการใช้ทัลเลี่ยม-๒๐๔ ชนิดจาน

ทัลเลี่ยม-๒๐๕ ชนิดจาน เป็นชนิดที่ใช้อยู่ในห้องทดลอง แต่ความแรงของต้นกำเนิดรังสีต่ำมาก คือ ประมาณ ๐.๒๕ ไมโครคูรี เท่านั้น ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ ๔.๑๐

กระดาษ ๑๐๐ กรัม กับ ๑๑๐ กรัมต่อตารางเมตร จำนวนนับต่อนาทีมีค่าใกล้เคียงกัน และจำนวนนับต่อนาทีเฉลี่ยสำหรับกระดาษ ๑๑๐ กรัมต่อตารางเมตรสูงกว่ากระดาษ ๑๐๐ กรัมต่อตารางเมตร ซึ่งไม่ถูกต้องตามทฤษฎี ทั้งนี้ อาจจะเนื่องจากสาเหตุสองประการ คือ

ก. ต้นกำเนิดรังสีมีความแรงต่ำเกินไป

ข. ต้นกำเนิดรังสีชนิดจานไม่เหมาะสมกับหัววัดรังสีที่ใช้

๖.๑.๓ ผลการทดลองจากการใช้ทัลเลี่ยม -๒๐๔ ขนาด ๒๕ มิลลิคูรี่ เป็นต้นกำเนิดรังสี

เนื่องจากลักษณะของต้นกำเนิดรังสีเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดกว้าง ๑.๗ เซ็นติเมตร ยาว ๑๗ เซ็นติเมตร การทดลองในขั้นนี้จึงพยายามที่จะหาขนาด และลักษณะที่เหมาะสมของต้นกำเนิดรังสี กับหัววัดรังสีชนิดหน้าต่างข้าง ในตอนแรก จึงใช้วิธีบีบลำรังสีสูง ๑๕ เซ็นติเมตร และ ๗.๕ เซ็นติเมตร โดยให้ช่องเปิดของท่อบีบลำรังสีขนาดต่าง ๆ กัน เนื่องจาก ท่อบีบลำแสงสูงเกินไป ปริมาณรังสีที่อ่านได้ต่ำ จึงไม่สามารถแยกความหนาของกระดาษในช่วงที่ต้องการได้

ขั้นต่อไป ใช้ท่อบีบลำรังสีต่ำลง คือใช้ระยะ ๔.๕ เซ็นติเมตร กระดาษที่ใช้ทำการทดลองหนาต่างกันน้อยกว่า ± ๕ % ในการวัดเอากระดาษที่ต้องการวัดปิดช่องเปิดของท่อบีบลำรังสี แล้วเลื่อนระยะห่างระหว่างกระดาษ กับหัววัดรังสีต่าง ๆ กัน ปรากฏว่าการจัดการทดลองเช่นนี้ยังไม่ได้ผลอีกเช่นกัน จึงเลื่อนระดับกระดาษให้ห่างจากช่องเปิดของท่อบีบลำแสง ๒ เซ็นติเมตร ทำให้ระยะต้นกำเนิดรังสีถึงกระดาษเป็น ๖.๕ เซ็นติเมตร ใช้ระยะระหว่างกระดาษถึงหัววัดรังสี ๔.๕ เซ็นติเมตร ในขณะที่ช่องเปิดของท่อบีบลำรังสีกว้าง ๐.๑๕ เซ็นติเมตร ยาว ๒.๕ เซ็นติเมตร ก็สามารถชี้ให้เห็นความแตกต่างของปริมาณรังสีที่ผ่านแผ่นกระดาษความหนาแตกต่างกันในช่วง ± ๕ % ได้ ดังแสดงในตารางที่ ๕.๓๒-๕.๓๕

ในขณะเดียวกัน ตารางที่ ๕.๓๒ - ๕.๓๕ ก็แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหน้าต่างหัววัดรังสีขนาดต่าง ๆ กัน ๔ ขนาด คือ ๐.๒X๒.๕ เซ็นติเมตร, ๐.๕X๒.๕ เซ็นติเมตร, ๑.๓X๒.๕ เซ็นติเมตร และเปิดหน้าต่างหัววัดรังสีหมด ผลปรากฏว่า ขนาดของหน้าต่าง

ดังกล่าวมาข้างต้นมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมาก การทดลองในขั้นต่อไปจึงเลือกใช้วิธีเปิดหน้าต่างหัววัดรังสีหมด เพื่อสะดวกในการใช้งาน ไม่ต้องห่วงกังวลว่าช่องเปิดท่อปืบลำรังสีจะไม่ตรงกับหน้าต่างของหัววัดรังสี

๖.๑.๔ ผลการทดลองความชื้น มีผลต่อการวัดความหนาของกระดาษ

ความชื้นมีผลทำให้น้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่ของกระดาษเปลี่ยนแปลง จากการทดลองในตารางที่ ๕.๓๖ แสดงให้เห็นว่ากระดาษแห้งกับกระดาษชื้นดูดกลืนรังสีได้ไม่เท่ากัน ดังนั้นในการทำการทดลอง ความหนาของกระดาษที่จะเปรียบเทียบกันได้จะต้องอยู่ภายใต้ระดับความชื้นอันเดียวกัน

๖.๑.๕ ผลการทดลองใช้กระดาษหนาต่างกันในช่วง $\pm$ 5 %

จากการจัดระบบเครื่องมือ โดยใช้ท่อปืบลำรังสีสูง ๔.๕ เซ็นติเมตร ช่องเปิดกว้าง ๐.๑๕ เซ็นติเมตร ยาว ๒.๕ เซ็นติเมตร ระยะจากต้นกำเนิดรังสีถึงกระดาษ ๖.๕ เซ็นติเมตร ระยะจากกระดาษถึงหัววัดรังสี ๔.๕ เซ็นติเมตร หน้าต่างหัววัดรังสีเปิดหมด ผลที่ได้ คือสามารถแยกความหนาของกระดาษตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ได้ คือ ปริมาณรังสีที่อ่านได้หลังจากผ่านกระดาษที่มีความหนาใกล้เคียงกันไม่คาบเกี่ยวกันเลย ดังแสดงในตารางที่ ๕.๓๗

๖.๑.๖ การหาความสัมพันธ์ของข้อมูล

การสร้างรูปปรับเทียบ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของกระดาษ กับปริมาณรังสีทะลุผ่านเป็นเปอร์เซนต์ ทราบว่า ความสัมพันธ์เป็นเส้นโค้งแบบเอ็กโปเนนเชี่ยล (exponential curve) ตามสมการที่ (๒.๖) คือ

$$Y = Y_o e^{-\mu X} \quad \text{----------(6.1)}$$

$$\ln Y = \ln Y_o - \mu X \quad \text{----------(6.2)}$$

ในสมการที่ (๖.๒) X กับ ln Y มีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรง จึงกำหนดข้อมูลขึ้นมาใหม่ โดยใช้ค่าจากตารางที่ ๕.๓๗

ความหนาของกระดาษ (กรัม/ตารางเมตร) X	ปริมาณรังสีทะลุผ่าน (%) Y	ln Y
71.28	72.89	4.28895
74.07	69.58	4.24248
80.39	67.79	4.21641
96.96	64.29	4.16340
101.83	62.79	4.13979
107.07	62.17	4.12987
225.99	40.99	3.71333
231.09	39.94	3.68738

กำหนดให้ r = ความสัมพันธ์ร่วม (correlation) ระหว่าง X กับ ln Y

$$r = \frac{n\sum_{i=1}^{n} X_i \ln Y_i - \sum_{i=1}^{n} X_i \sum_{i=1}^{n} \ln Y_i}{\sqrt{\left[n\sum_{i=1}^{n} X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} X_i\right)^2\right]\left[n\sum_{i=1}^{n} (\ln Y_i)^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} \ln Y_i\right)^2\right]}} \quad ----(6.3)^{17}$$

จากข้อมูลดังกล่าวคำนวณได้

$n = 8$, $\sum_{i=1}^{n} X_i \ln Y_i = 3917.6293$; $\sum_{i=1}^{n} X_i = 988.68$; $\sum_{i=1}^{n} \ln Y_i = 32.58161$

$\sum_{i=1}^{n} X_i^2 = 152738.39$; $\left(\sum_{i=1}^{n} X_i\right)^2 = 977488.14$

$\sum_{i=1}^{n} (\ln Y_i)^2 = 133.08502$; $\left(\sum_{i=1}^{n} \ln Y_i\right)^2 = 1061.5613$

แทนค่าในสมการ (๖.๓)

$$r = \frac{8x3917.6293 - 988.68x32.58161}{(8x152738.9-977488.14)(8x133.08502-1061.5613)}$$

$$= \frac{-871.752}{873.09441}$$

$$= -0.99846$$

ความสัมพันธ์ X และ lnY เป็นเส้นตรงสมบูรณ์ เมื่อ $r = \pm 1$

จากการคำนวณได้ r= -0.99846 แสดงว่าข้อมูล X และ lnY มีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงดีมาก $r^2 = 0.9967$ แสดงว่า ๙๙.๖๗ % ของข้อมูล lnY มีความสัมพันธ์แบบเป็นเส้นตรงกับข้อมูล X

๖.๑.๗ ผลการทดลองหาความหนาของกระดาษคราฟท์ที่ไม่ทราบค่า

จากตารางที่ ๕.๓๘ ใช้กระดาษที่ไม่ทราบค่าความหนากั้นรังสี เพื่ออ่านจำนวนนับและคิดหาเปอร์เซนต์ทะลุผ่าน โดยเทียบกับปริมาณรังสี ขณะที่ไม่มีแผ่นกระดาษกั้น นำเอาค่าเปอร์เซนต์ทะลุผ่านไปอ่านค่าความหนาจากกราฟ ในรูปที่ ๖.๑ เมื่อเปรียบเทียบค่าที่อ่านได้จากกราฟ กับค่าที่ได้จากการวัดและการคำนวณ ผลออกมาแตกต่างกันไม่เกิน $\pm$ ๕ % ซึ่งเป็นไปตามเป้าหมายที่ตั้งเอาไว้

๖.๒ อุปสรรคในการวิจัย และข้อเสนอแนะ

๖.๒.๑ ความหนาของกระดาษไม่สม่ำเสมอ

การทดลองด้วยรังสีเบต้าชนิดต้นกำเนิดแบบเส้นที่มีช่องเปิดเล็ก ๆ นี้ จะต้องใช้ความระมัดระวังมากเกี่ยวกับตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสีกับหัววัดรังสี ต้องให้คงที่ตลอดการทดลองแต่ละครั้ง สำหรับกระดาษแต่ละชุดที่จะเปรียบเทียบกัน ขณะเดียวกันการวางกระดาษก็ต้องให้ได้ลักษณะเดิม กระดาษคราฟท์ที่บาง เช่น ๗๐, ๘๐ กรัมต่อตารางเมตร

มีความหนาไม่สม่ำเสมอ ซึ่งสามารถส่องดูได้ จึงจำเป็นต้องวัดหลาย ๆ จุด หาจำนวนนับเฉลี่ยกัน อุณหภูมิ ความกดดันของอากาศ และความชื้นของอากาศ ก็จำเป็นต้องควบคุมให้คงที่ จะทำให้ผลการวัดดีที่สุด

๖.๒.๒ การเปรียบเทียบกระดาษชนิดต่าง ๆ กัน

การทดลองในขั้นต่อไป ควรจะใช้กระดาษอื่น ๆ นอกเหนือจากกระดาษคราฟท์ มาเปรียบเทียบกัน เช่น กระดาษปอนด์ กระดาษอาร์ต เพื่อทดสอบดูว่าปริมาณรังสีทะลุผ่านจะขึ้นอยู่กับความหนาของกระดาษเพียงอย่างเดียว หรือขึ้นอยู่กับชนิดของกระดาษด้วย สำหรับการทดลองในครั้งนี้ กระดาษที่ใช้เป็นกระดาษคราฟท์เพียงอย่างเดียว แต่มีเกรดต่าง ๆ กัน เช่น MA, KA, KI, SB เป็นต้น ผลการทดลองพบว่า เกรดของกระดาษไม่ทำให้เกิดความแตกต่างกันในการวัดรังสี

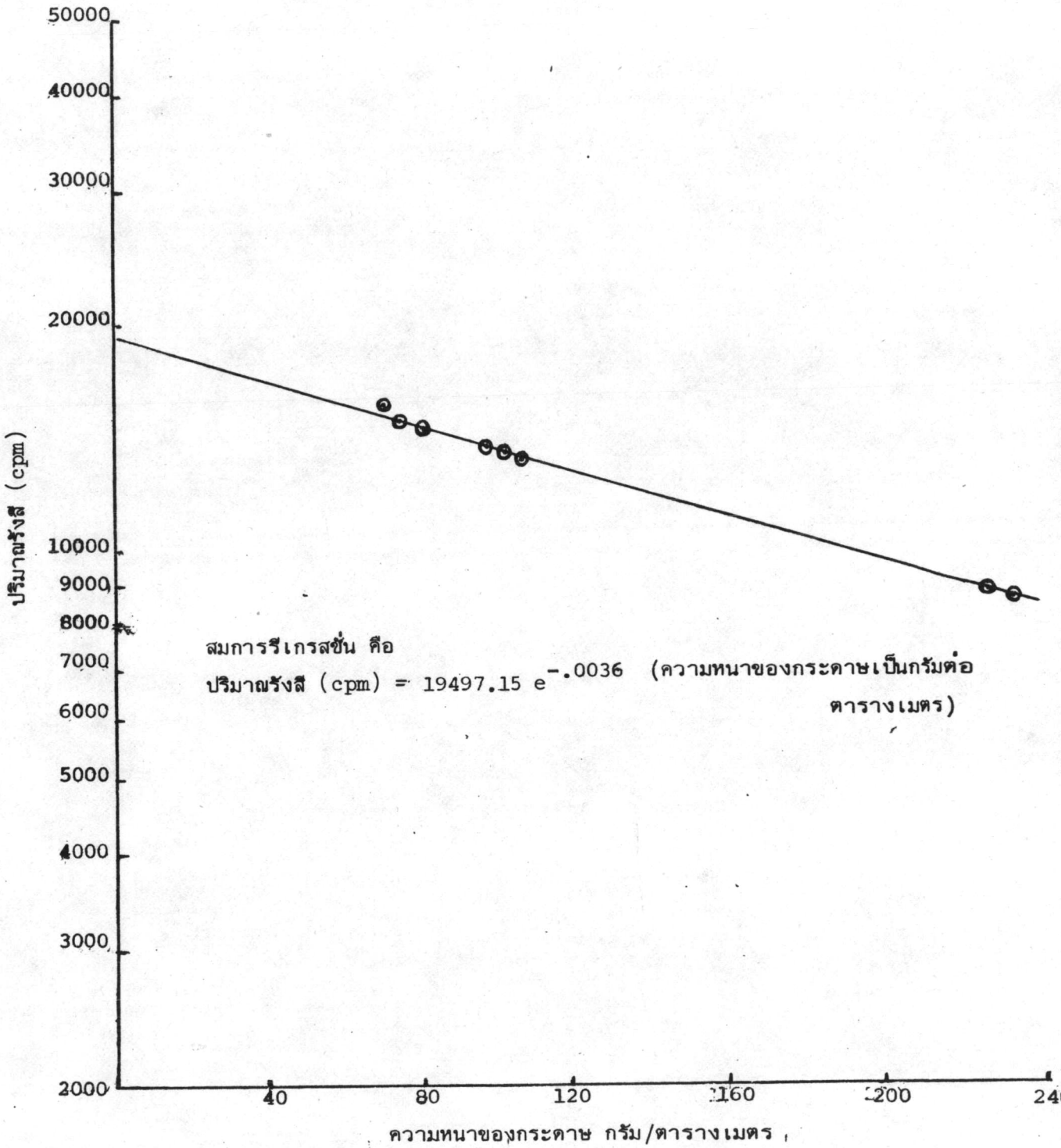
๖.๒.๓ การอ่านความหนาของกระดาษด้วยเครื่องเขียนกราฟ (plotter)

การทดลองครั้งนี้ ได้นำเอาสัญญาณออกจากช่อง SCA ของแอมปลิไฟเออร์ ORTEC model 940 A โดยตั้ง LLD ที่ ๐.๐๓ เพื่อตัดสัญญาณรบกวน เปิดหน้าต่างหมด สัญญาณนี้นำไปป้อนที่ทางเข้าของเรทมิเตอร์ เพื่อเปลี่ยนจำนวนนับต่อนาทีของหัววัดรังสีให้เป็นระดับการนับต่อนาที ซึ่งเรทมิเตอร์นี้ปรับเทียบที่ ๐-๕๐,๐๐๐ จำนวนนับต่อนาที สัมพันธ์กับแรงเคลื่อน ๐-๑๐ โวลต์ สัญญาณส่วนที่นำมาป้อนที่ทางเข้าของเครื่องเขียนกราฟแกน Y โดยสเกล ๑ ช่อง ต่อ ๑๐๐๐ จำนวนนับต่อนาที ส่วนแกน X ของของเครื่องเขียนกราฟใช้เวลาการกวาด ๑ ช่อง ต่อ ๒.๕ วินาที ผลการทดลองปรากฏว่าไม่สามารถแยกความหนาของกระดาษที่แตกต่างกัน ± ๕ % ได้ ถ้าหากมีการปรับเรทมิเตอร์ให้มีประสิทธิภาพดีกว่านี้อาจจะใช้กับพลอตเตอร์ได้ดียิ่งขึ้น

๖.๒.๔ การใช้จำนวนนับต่อนาทีเป็นมาตรฐานสำหรับอ่านค่าความหนาของกระดาษ

จำนวนนับต่อนาที มักจะเปลี่ยนแปลงได้ง่ายที่สุด ขึ้นอยู่กับการจัดอุปกรณ์แต่ละครั้ง ถ้าหากจัดอุปกรณ์ทุกชนิดให้คงที่ จำนวนนับต่อนาทีจะเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการสลายตัวของ

ทัล เสี่ยม-๒๐๔ เท่านั้น เมื่อใช้จำนวนนับต่อนาทีในตารางที่ ๕.๓๗ เป็นมาตรฐาน เขียนกราฟ จะได้กราฟดังแสดงในรูปที่ ๖.๑ และใช้สมการรีเกรสชั่นจากรูป ๖.๑ แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างความหนาของกระดาษกับปริมาณรังสีที่จะอ่านได้ในเดือนแรก เดือนที่สอง และเดือนที่ สาม ดังแสดงในตารางที่ ๖.๑



รูปที่ ๖.๑ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของกระดาษกับจำนวนนับต่อนาที

ตารางที่ ๖.๑ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีกับความหนาของกระดาษ เมื่อเวลาผ่านไปแต่ละเดือน

ความหนาของกระดาษ (กรัม/ตารางเมตร)	ปริมาณรังสีเดือนแรก $Y=19497.15e^{-.0036X}$	ปริมาณรังสีเดือนที่ ๒ $Y=19202.47e^{-.0036X}$	ปริมาณรังสีเดือนที่ ๓ $Y=18914.18e^{-.0036X}$
70	15154.06	14925.02	14700.95
80	14618.21	14397.27	14181.12
90	14101.32	13888.19	13679.68
100	13602.70	13397.12	13195.97
110	13121.71	12923.39	12729.37
120	12657.73	12466.42	12279.26
130	12210.16	12025.61	11845.07
140	11778.41	11600.39	11426.23
150	11361.93	11190.20	11022.20
160	10960.17	10794.52	10632.46
170	10572.63	10412.83	10256.50
180	10198.78	10044.64	9893.84
190	9838.15	9689.46	9543.99
200	9490.28	9346.84	9206.52
210	9154.71	9016.34	8880.98
220	8831.00	8697.53	8566.95
230	8518.74	8389.99	8264.03
240	8217.52	8093.32	7971.81
250	7926.95	7807.14	7689.93
260	7646.65	7531.08	7418.02
270	7376.27	7264.79	7155.72
280	7115.45	7007.91	6902.69

ตารางที่ ๖.๑ (ต่อ)

ความหนาของกระดาษ (กรัม/ตารางเมตร)	ปริมาณรังสีเดือนแรก $y=19497.15e^{-.0036x}$	ปริมาณรังสีเดือนที่ ๒ $y=19202.47e^{-.0036x}$	ปริมาณรังสีเดือนที่ ๓ $y=18914.18e^{-.0036x}$
290	6863.85	6760.11	6658.62
300	6621.14	6521.07	6423.17
310	6387.02	6290.49	6196.05
320	6161.18	6068.06	5976.96
330	5943.32	5853.49	5765.62
340	5733.17	5646.52	5561.74