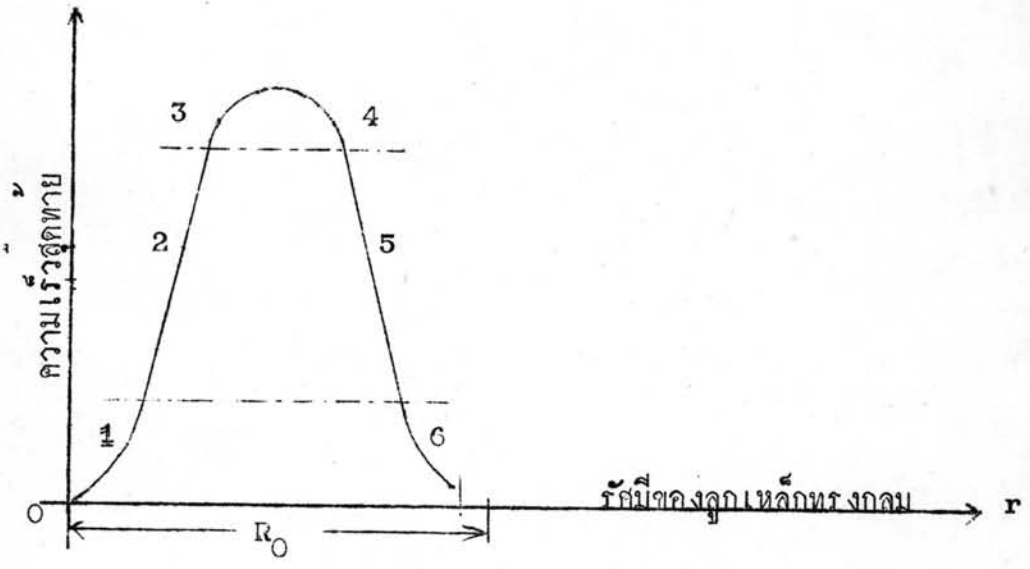
บทที่ 5

การอภิปรายผลของการวิจัย

5.1 การเปรียบเทียบระหว่างกราฟมาตรฐานกับการทดลอง

จากการทดลองเพื่อสืบสวนหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสุดท้าย[1] กับรัศมีของทรงกลม เมื่อเคลื่อนที่ในน้ำมัน พบว่าเมื่อเส้นผ่าศูนย์กลางของทรงกลมเปลี่ยนไป ค่าความเร็วปลายก็จะเปลี่ยนไป ดังแสดงในกราฟรูปที่ 3-7 ความเร็วจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และสูงสุดเมื่อรัศมีของทรงกลมประมาณเท่ากับครึ่งหนึ่งของรัศมีของกระบอกแก้ว เมื่อรัศมีโตขึ้นกว่านี้ ความเร็วจะลดลง



รูปที่ 5-1 : กราฟแสดงความเร็วของทรงกลมตามแกนดิ่งของกระบอกแก้วที่บรรจุด้วยน้ำมัน

R_0 เป็นรัศมีภายในของกระบอกแก้ว

---

[1] ความเร็วสุดท้าย : Smith, C.J. The General Properties of Matter. London: Edward Arnold & Co. 1953. p. 465

พิจารณาสมการ (2-23)

$$\eta = \frac{2}{9}\frac{(\rho - \rho_o)gr^2}{v}\left(\frac{1}{1 + 2.4\frac{r}{R_o}}\right)\left(\frac{1}{1 + 3.3\frac{r}{h}}\right)$$

$h \gg r$ เทอม $\frac{1}{1 + 3.3\frac{r}{h}} \approx 1$

ดังนั้น $$\eta = \frac{2}{9}\frac{(\rho - \rho_o)gr^2}{v}\cdot\left(\frac{1}{1 + 2.4\frac{r}{R_o}}\right)$$

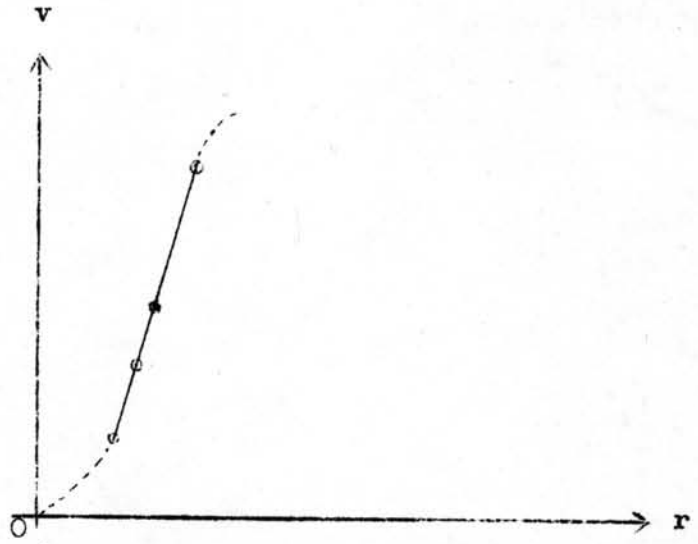
หรือ $$\frac{r^2}{v} = K + 2.4K\left(\frac{r}{R_o}\right) \quad \text{..... (5-1)}$$

เมื่อ $$K = \frac{9\eta}{2(\rho - \rho_o)g}$$

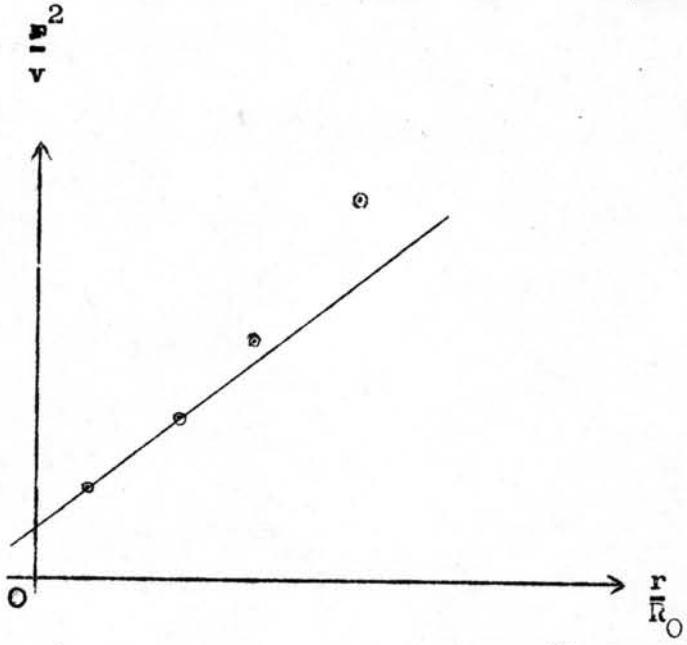
ถ้าเขียนกราฟระหว่าง $\frac{r^2}{v}$ กับ $\frac{r}{R_o}$ แล้วได้กราฟเป็นเส้นตรงจะสามารถคำนวณหาสัมประสิทธิ์ของความหนืดได้จากความชันของกราฟ (Slope) หรือจุดที่เส้นตรงตัดแกน $\frac{r^2}{v}$ ถ้ากราฟไม่เป็นเส้นตรง แสดงว่าค่าของความเร็ว v กับรัศมี r นั้น ไม่อยู่ในช่วงที่จะนำมาคำนวณหา η ได้ตามกฎของสโตกส์

พิจารณาผลการทดลองโดยให้ลูกทรงกลม (ลูกปืน) อาบรังสีเคลื่อนที่ในน้ำมันหล่อลื่น ได้ความเร็วของลูกปืนลูกต่าง ๆ ดังแสดงในตาราง 4-1, 4-2, 4-3, และ 4-4 ค่าใกล้เคียงกับความเร็วที่หาโดยการจับเวลาธรรมดาดังในตารางที่ 4-9 กราฟระหว่างความเร็วกับรัศมีดังรูปที่ 5-2 มีลักษณะเป็นเส้นตรงเมื่อเทียบกับกราฟในรูปที่ 5-1 เส้นกราฟที่ได้นี้จะอยู่ในช่วงที่ 2 ซึ่งเป็นช่วงที่นับว่าความเร็วสูง และมีความชันคงที่ ซึ่งนับว่าการหาความเร็วด้วยวิธีใช้กัมมันตภาพรังสีนี้ เป็นไปตามสมมติฐานที่คาดคะเนไว้ในหัวข้อที่ 2.6.2

กราฟระหว่าง $\frac{r^2}{v}$ กับ $\frac{r}{R_o}$ ดังรูปที่ 5-3 ไม่เป็นเส้นตรง ซึ่งอธิบายได้ว่าขนาดของทรงกลมโตเกินไป จนทำให้ความเร็วสูงเกินขีดที่จะหาความหนืดของของเหลวได้ โดยใช้กฎของสโตกส์ ค่าความหนืด η ที่หาไว้ในตาราง 4-1, 4-2, 4-3, และ 4-4 นั้น



รูปที่ 5-2: แสดงเส้นกราฟระหว่างความเร็ว (v) จากการวัดด้วยรังสีกับรัศมี (r) ของทรงกลมในน้ำมันหล่อลื่น



รูปที่ 5-3: แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{r^2}{v}$ กับ $\frac{r}{R_o}$ ในน้ำมันหล่อลื่น

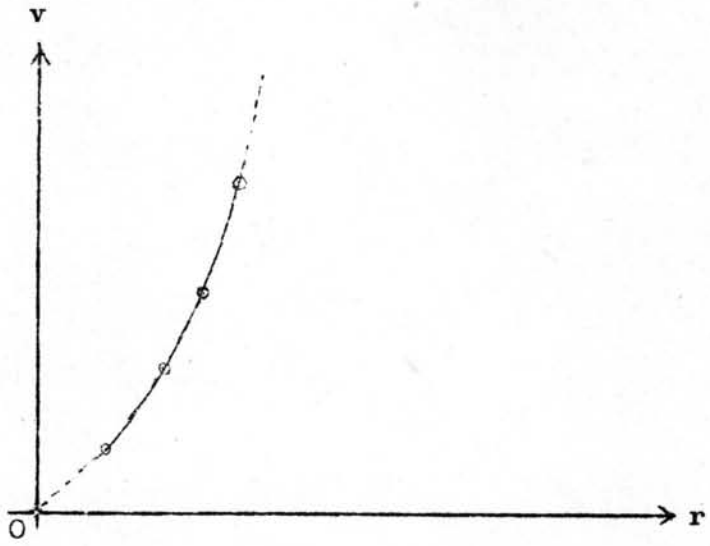
เป็นค่าที่ยังเชื่อถือไม่ได้เพราะค่า η ที่หาจากลูกปืนแต่ละลูกได้ค่าไม่เท่ากัน แต่อย่างไรก็ดี ค่า η ที่หาจากลูกที่ 1 กับลูกที่ 2 นั้น ได้ค่าใกล้เคียงกันมากพอที่จะถือได้ว่ามีค่าเท่ากันแต่สำหรับที่หาโดยลูกที่ 3 และลูกที่ 4 นั้น ผิดกันอย่างเห็นได้ชัด คือค่าจะมากขึ้นเรื่อย ๆ เป็น

การเน้นให้เชื่อแน่ว่าความเร็วและรัศมีขนาดของลูกที่ 3 และที่ 4 ไม่อาจจะนำไปประยุกต์หาความหนืดของของเหลวนั้นได้ เพราะเกินขอบเขตที่กฎของสโตกส์จะใช้ได้ผล

อย่างไรก็ดีจุดประสงค์ในการวิจัย ต้องการหาความเร็วเท่านั้น สัมประสิทธิ์ความหนืดของของเหลวเป็นเพียงผลพลอยได้ ซึ่งเราก็ได้แสดงให้เห็นแล้วว่า การหาความเร็วโดยวิธีกัมมันตภาพรังสีนี้ใช้ได้ถูกต้องตามทฤษฎี แม้ว่าการทดลองแต่ละครั้งของทรงกลมลูกเดียวกันจะให้ผลออกมาไม่เท่ากันทีเดียว ความคลาดเคลื่อนสูงสุดเมื่อเทียบกับการหาโดยจับเวลาธรรมดาก็เพียง 6.55% สำหรับลูกที่ 1, 4.25% สำหรับลูกที่ 2, 6.10% สำหรับลูกที่ 3, และ 8.67% สำหรับลูกที่ 4, การหาความเร็วโดยการจับเวลาก็ยังมีความผิดพลาดในตัวของมันเองอีกด้วย อันเนื่องมาจากการวัดเวลานั่นเอง แต่ก็คงไม่มากเท่าใดนักในลูกเล็ก ๆ แต่อาจจะมากในลูกโตที่วิ่งเร็ว ๆ ดังนั้นความคลาดเคลื่อนเป็นร้อยละนี้ ก็คงจะเปลี่ยนไปบ้างจากความเร็วที่ถูกต้องจริง ๆ ซึ่งอาจจะมากขึ้นหรือลดลงก็ได้ ความคลาดเคลื่อนเหล่านี้เกิดจากธรรมชาติของรังสีเองที่ปล่อยออกมาจากต้นกำเนิดคือลูกปืน, ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากรังสีของแบคกราวน์, ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากเครื่องวัดรังสีเองด้วย เมื่อลูกปืนเคลื่อนที่ลงด้วยความเร็วสูง ๆ เวลาในการวัดรังสีสะสมจะน้อย จำนวนสะสมที่วัดได้โดยเครื่องวัดจะคลาดเคลื่อนมาก โดยเฉพาะเมื่อรังสีมีความเข้มอ่อน ๆ ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไปในตอนท้าย นอกจากนี้ยังมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความไม่แน่นอนของการทดลองอีกด้วย

5.2 ความเร็วของลูกเหล็กทรงกลมในนมข้นหวาน

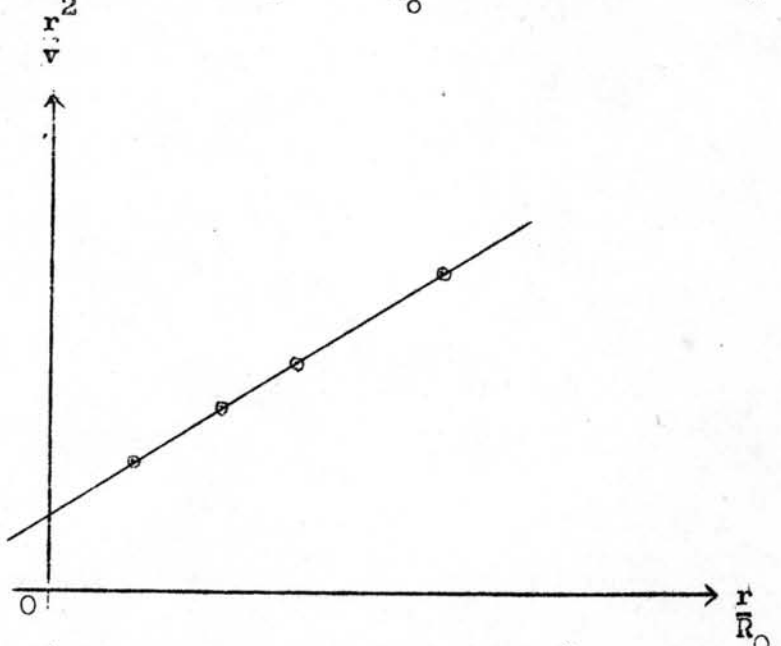
เนื่องจากนมข้นมีความหนืดสูง ความเร็วปลายในการเคลื่อนที่ของลูกปืนทั้ง 4 ลูกจึงต่ำ ทำให้เครื่องวัดมีเวลาในการวัดรังสีในขณะที่ลูกปืนเคลื่อนที่ผ่านหน้าเครื่องวัดนาน จำนวนสะสมที่วัดได้จะมีค่ามากความคลาดเคลื่อนเป็นร้อยละจากการวัดก็ต่ำ ดังนั้นจะเห็นว่าความเร็วของลูกปืนลูกหนึ่ง ๆ มีค่าใกล้เคียงกันมาก ดังตารางที่ 4-5, 4-6, 4-7, และ 4-8 กราฟที่เขียนระหว่างความเร็ว v, กับรัศมี r มีลักษณะดังรูปที่ 5-4 ความชันของเส้นกราฟจะเปลี่ยนสูงขึ้นเรื่อย ๆ คล้าย ๆ กับการเปลี่ยนแปลงของความเร็วกับรัศมีในน้ำมันในช่วงที่ 1 ในรูปที่ 5-1 ซึ่งเป็นช่วงที่มีความเร็วต่ำ จึงนับว่าการเปลี่ยนแปลงความเร็วกับรัศมี



รูปที่ 5-4 : กราฟแสดงความเร็ว v กับรัศมี r ของลูกปืนในนมข้นหวาน

ในนมข้นคล้ายคลึงกับในน้ำมันหล่อลื่น แตกต่างกันก็ตรงที่นมข้นหวานมี η สูงกว่าความเร็วของลูกปืนแต่ละลูกจึงช้าลง

กราฟที่เขียนระหว่าง $\frac{r^2}{v}$ กับ $\frac{r}{R_0}$ มีลักษณะเป็นเส้นตรงดังรูปที่ 5-5



รูปที่ 5-5 : แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{r^2}{v}$ กับ $\frac{r}{R_0}$ ในนมข้นหวาน

แสดงว่าความเร็วของลูกปืนขนาดต่าง ๆ เหล่านี้ มีขนาดพอเหมาะที่จะใช้หาความหนืดของนมข้นได้ตามสูตรของสโตกส์ ตามสมการที่ 5-1 ผลการทดลองในตารางที่ 4-5, 4-6, 4-7, และ 4-8 แสดงให้เห็นค่า η เกือบเท่ากันทุกครั้งไม่ว่าจะใช้ลูกปืนลูกใด นี่ก็เป็นการยืนยันอย่างหนึ่งว่าความเร็วที่หาได้โดยวิธีนี้ถูกต้อง แม้ว่าจะมีความผิดพลาดบ้างก็ตาม ซึ่งเป็นธรรมดาของการทดลองสาเหตุที่ทำให้ผิดพลาด ก็ได้กล่าวไว้แล้วในเรื่องน้ำมัน ความคลาดเคลื่อนเป็นร้อยละ โดยถือเอาค่าที่วัดได้มากที่สุดเป็นมาตรฐาน ได้แสดงไว้ในตารางการทดลองดังกล่าวแล้ว

5.3 ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากธรรมชาติของรังสี

ในกรณีที่เครื่องวัดดีและแน่นอนในการวัดรังสีต่อ 1 นาที (cpm) จะไม่ได้ค่าเดิมเสมอเมื่อวัดหลาย ๆ ครั้ง ทั้งนี้เนื่องจากต้นกำเนิดของมันไม่ได้ปล่อยรังสีออกมาอย่างสม่ำเสมอตลอดเวลา แต่ปล่อยแบบสุ่ม (Random) ไม่แน่นอน

สมมติว่า cpm ที่เครื่องวัดนับได้บ่อยที่สุดเป็น S

cpm จากแบคกราวน์เป็น B

$\therefore$ cpm ที่เป็นของต้นกำเนิดรังสีจริง ๆ ควรจะอยู่ในช่วง

$$S - B \pm \sqrt{S + B}$$

$\sqrt{S + B}$ เรียกว่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการวัดรังสี นี่ก็เป็นสาเหตุอย่างหนึ่งที่ทำให้การหาความเร็วมีค่าคลาดเคลื่อนไปในการหาแต่ละครั้ง

5.4 ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากเครื่องวัด

เมื่ออนุภาคหรือโฟตอนสองตัวผ่านเข้ามาในเครื่องวัดพร้อม ๆ กัน หรือในช่วงเวลาของการแยก (Resolving tine interval) เครื่องวัดจะนับได้เพียงครั้งเดียว ดังนั้นจำนวนนับจะขาดไปเรียกว่า "Coincidence Loss"

จำนวนนับ (Count) ที่หายไปเป็นร้อยละ $= \frac{nT}{60} \times 100$

เมื่อ n เป็นจำนวน cpm ที่วัดได้

T เป็น Resolving time ของระบบ (System) เป็นวินาที

$\therefore$ จำนวน cpm ที่ควรจะนับได้ $= n + \left(\frac{nT}{60} \times 100 \right) n$

จากผลของความคลาดเคลื่อนเหล่านี้ จะทำให้ค่า $\bar{D}$ และ C ผิดไปจากค่าที่ควรจะเป็น จึงทำให้ผลการหาความเร็วผิดพลาดไปบ้าง แต่อย่างไรก็ดีผลการวิจัยครั้งนี้ก็แสดงให้เห็นว่า การหาความเร็วโดยวิธีนี้เป็นอีกวิธีหนึ่ง ที่สามารถจะนำไปใช้ให้เป็นประโยชน์ได้โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในกรณีที่การวัดความเร็วโดยวิธีอื่นไม่สามารถจะใช้ได้