บทที่ 4

สรุปผลการคำนวณ

4.1 ปรากฏว่าสูตรที่ให้ผลการคำนวณฟลักซ์จากต้นกำเนิดจุดได้ผลใกล้เคียงกับวิธีโมเมนต์มากที่สุด คือ สูตรที่ใช้เคอร์เนลจากทฤษฎีรีมูวัล (รูปที่ 3) ซึ่งอยู่ในรูปผลบวกของเอกซ์โพเนนเชียลสองเทอม คือ:-

$$\phi_f = \frac{S}{4\pi r^2}\left(0.892e^{-0.129r} + 0.108e^{-0.091r}\right) \qquad (4.1)$$

และสูตรที่คำนวณได้ดีรองมา คือ สูตรที่ได้จากทฤษฎีเฟิสท์สแกตเตอริง เมื่อ $\Sigma_s = 0.12$ ซม.$^{-1}$:-

$$\phi_f = \frac{S}{4\pi r^2} e^{-\Sigma_s r} \qquad (4.2)$$

สูตรนี้ใช้ได้ดีเฉพาะช่วงที่ ห่างจากต้นกำเนิดไม่เกิน 1 เมตร (รูปที่ 2) ผลอันนี้มีประโยชน์มาก เพราะถ้าเราต้องการทราบฟลักซ์จากต้นกำเนิดจุดที่ระยะไม่เกิน 1 เมตร ก็ใช้สมการ (4.2) คำนวณได้อย่างง่ายๆ เนื่องจากเป็นเอกซ์โพเนนเชียลเทอมเดียว และให้ค่าใกล้เคียงกับสูตร (4.1) ซึ่งคำนวณได้ยากกว่า คำว่าสแกตเตอริงครอสเซคชั่นในที่นี้มีความหมายใกล้เคียงกับคำว่า effective cross section เพราะค่า Σ_s จริงๆ ของน้ำมีค่าเปลี่ยนไปตามพลังงาน คือ $\sigma_s = \frac{10.97}{E+1.66}$ barn (E เป็นพลังงานหน่วย MeV)แต่ Σ_s ที่ใช้ในการคำนวณนี้มีค่า 0.12 ซม.$^{-1}$ ถ้าสังเกตดูจะเห็นว่า G_{pt} จากทฤษฎีรีมูวัลเป็นผลบวกของเอกซ์โพเนนเชียลสองเทอมที่มี Σ_r เท่ากับ 0.091 และ 0.129 ซม.$^{-1}$ ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.11 ซม.$^{-1}$ ซึ่งค่าใกล้เคียงกับ Σ_s ที่ให้ผลการคำนวณดีที่สุด เหตุผลที่ $\Sigma_r < \Sigma_s$ ก็เพราะว่า หลังจากเกิดการชนแล้ว นิวตรอนส่วนใหญ่ยังเคลื่อนที่ต่อไปข้างหน้า ไม่ค่อยกระเด็นออกจากทิศทางเดิม ทำให้มีนิวตรอนจำนวนน้อยที่หายไป

ทฤษฎีทูกรูพ ให้ผลการคำนวณไม่ดี ทั้งที่ระยะใกล้และระยะไกล (รูปที่ 1) แม้ว่าจะลองเปลี่ยน L_f แล้วก็ตาม ทั้งนี้ก็เพราะว่า L_f มีค่าเปลี่ยนไปตามระยะทาง ที่ระยะไกลๆ

L_f มีค่าน้อยลง อีกเหตุผลหนึ่งก็คือ ϕ_f มีการแปรผกผันกับระยะกำลังสองมากกว่าแปรผกผันกับระยะทาง ด้วยเหตุนี้จึงให้ผลการคำนวณไม่ได้ค่าใกล้เคียงกับวิธีโมเมนต์

เนื่องจากไม่มีข้อมูลที่ใช้เปรียบเทียบ ϕ_s ที่คำนวณจากทฤษฎีต่างๆ จึงแสดงค่าไว้เท่านั้น

4.2 เมื่อแทน BSR ด้วยต้นกำเนิดทรงกลมและต้นกำเนิดทรงกระบอก ปรากฏว่าให้ผลต่างกันไม่มากนัก แต่การแทนด้วยกำเนิดทรงกลมให้ผลดีกว่า ทั้งนี้ก็เพราะว่า การแทน BSR ด้วยต้นกำเนิดทรงกระบอกจะต้องมีความยาวเป็นอินฟินิท แต่ความจริงแล้วแกนของเครื่องปฏิกรณ์ฯ ไม่ได้มีความยาวมากนัก จึงควรแทนด้วยต้นกำเนิดทรงกลม

ปรากฏว่าทฤษฎีที่ให้ผลการคำนวณใกล้เคียงกับผลการทดลองมากที่สุด คือการหา ϕ_f จากต้นกำเนิดอินฟินิทเพลน เมื่อใช้ G_{pt} จากทฤษฎีรีมูวัลแล้วแปลงเป็นต้นกำเนิดทรงกลม (รูปที่ 9) การคำนวณแบบนี้ไม่ยุ่งยากมากนัก (เมื่อเทียบกับการคำนวณของ Duncan และ Whittum) ทฤษฎีที่ให้ผลการคำนวณดีรองลงมา ได้แก่ทฤษฎีเฟิสท์สแกตเตอริง เมื่อใช้ $\Sigma_s = 0.11$ ซม.$^{-1}$ และใช้ได้ดีในช่วงที่ห่างจากแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯ ไม่เกิน 1 เมตร ผลอันนี้มีประโยชน์มาก ทำให้สามารถคำนวณ ϕ_f จากเครื่องปฏิกรณ์ฯ ด้วยสูตรง่ายๆ แต่ให้ผลดี คือ

$$\phi_f = \frac{r}{r_o} \frac{S_a}{2} E_1(\Sigma_s r) \qquad (4.3)$$

ส่วนทฤษฎีทูกรูพใช้ไม่ได้ ทั้งที่ระยะใกล้และไกลด้วยเหตุผลที่ว่า L_f มีค่าเปลี่ยนไปตามระยะทางนั่นเอง (รูปที่ 7)

การคำนวณ ϕ_s ที่ให้ผลใกล้เคียงกับการทดลองมากที่สุด คือ สมมติว่าฟาสท์ฟลักซ์มีการลดลงแบบเอกซ์โพเนนเชียล:-

$$\phi_f = Ce^{-\Sigma_r Z} \qquad (4.4)$$

และ Σ_r มีค่าเปลี่ยนไปตามระยะทาง เมื่อใช้ Σ_r ที่หาจากทฤษฎีรีมูวัล ปรากฏว่าทำให้การคำนวณ ϕ_s จากสูตร:-

$$\phi_s = \frac{r}{r_o} \frac{\Sigma_r \phi_f}{(k^2 - \Sigma_r^2)} \quad (4.5)$$

ได้ค่าใกล้เคียงกับการทดลองมาก (รูปที่ 12) แต่การหา Σ_r จากทฤษฎีรีมูวัลไม่สะดวกนัก เพราะต้องหา ϕ_f ก่อน จากสูตร (2.40) แล้วจึงจะหา Σ_r จาก

$$\Sigma_r = \frac{1}{Z_2 - Z_1} \ln \frac{\phi(Z_2)}{\phi(Z_1)} \quad (4.6)$$

สูตรที่ให้ผลการคำนวณได้ดีรองลงมา คือ ใช้ ϕ_f ที่คำนวณโดยทฤษฎีเฟิสท์สแกตเตอริง เมื่อ $\Sigma_s = 0.11$ ซม.$^{-1}$ [$\phi_f = \frac{S_a}{2} E_1(\Sigma_s r)$] มาหา Σ_r แล้วแทนในสมการ (4.5) ปรากฏว่าได้ผลใกล้เคียงกับการทดลองและใช้ได้ดีกับระยะที่ห่างจากแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯ ถึง 170 ซม. (รูปที่ 13) ผลอันนี้ทำให้สามารถคำนวณ ϕ_s จากเครื่องปฏิกรณ์ฯ ได้ด้วยสูตรง่ายๆ และให้ผลดี สูตรที่ให้ผลการคำนวณได้ดีรองลงมา คือ สูตรที่ได้จากทฤษฎีเฟิสท์สแกตเตอริง คือ:-

$$\phi_s = \frac{r}{r_o} 2\pi S_a \left[\left(\frac{Z}{M_1} + \frac{1}{M_1^2}\right) a_1 e^{-M_1 Z} + \left(\frac{Z}{M_2} + \frac{1}{M_2^2}\right) a_2 e^{-M_2 Z} \right] \quad (4.7)$$

แต่สูตรนี้จะให้ฟลักซ์สูงกว่าการทดลอง (รูปที่ 11)

ทฤษฎีทุกรูพให้ผลการคำนวณ ϕ_s ไม่ดีทั้งระยะใกล้และไกล (รูปที่ 10) ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาแล้ว

ข้อสังเกต แม้ว่าสูตรที่ให้ผลการคำนวณใกล้เคียงกับผลการทดลองมากก็ตาม แต่ที่ระยะใกล้ๆ จะปรากฏว่าค่า ϕ_s จากการทดลองจะมีค่าสูงกว่าการคำนวณเสมอ ทั้งนี้ก็เพราะว่าความจริงมีนิวตรอนเร็วต่ำพุ่งออกมาจากแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯ ด้วย แต่ในการคำนวณของเราไม่ได้คำนึงถึงแฟคเตอร์นี้ จึงทำให้ได้ค่า ϕ_s ในช่วงนี้ต่ำกว่าการทดลอง