

2.1 การวิเคราะห์หาค่ายนิวตรอนแอกติเวชัน

2.1.1 ปฏิกริยาของนิวตรอนต่อสาร (Interaction of Neutron with Matter)

นิวตรอนที่ได้จากต้นกำเนิดนิวตรอนหรือจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู ถ้าเป็นกลุ่มนิวตรอนที่มีพลังงานเฉลี่ย 0.025 eV เรียกว่าเป็น เทอร์มัลนิวตรอน (Thermal Neutron) ปฏิกริยานิวเคลียร์ที่เกิดขึ้นจะเป็นแบบปฏิกริยา (n, γ) สำหรับกลุ่มของนิวตรอนที่วิ่งเร็ว (Fast Neutron) ปฏิกริยานิวเคลียร์ที่เกิดขึ้นจะเป็นแบบปฏิกริยา (n, p) หรือ (n, α) แต่ถ้านิวตรอนมีพลังงานสูงๆ เช่น มากกว่า 1 MeV ขึ้นไป จะเกิดปฏิกริยานิวเคลียร์ขึ้นได้หลายแบบ ตัวอย่างเช่น ปฏิกริยานิวเคลียร์แบบ (n, 2n) ต้องการพลังงานของนิวตรอนประมาณ 10 MeV และปฏิกริยานิวเคลียร์แบบ (n, 3n) ต้องการพลังงานของนิวตรอนขนาด 30 MeV เป็นต้น

สำหรับพลังงานที่สามารถทำให้นิวเคลียสแตกออกเป็น โปรตอน และ นิวตรอน ซึ่งเรียกว่าเป็น พลังงานยึดเหนี่ยวในนิวเคลียส (Binding Energy) คำนวณได้จากสูตร

$$E = 931 (1.008145 Z + 1.008986 N - M) \text{ MeV} \quad (2-1)$$

E = พลังงานยึดเหนี่ยวในนิวเคลียส

Z = จำนวนโปรตอน

N = จำนวนนิวตรอน

M = มวลของนิวเคลียส

2.1.2 นิวตรอนแอกติเวชัน (Neutron Activation)

เมื่อสารถูกยิงด้วยนิวตรอนจะมีบางส่วนของอะตอมของสารนั้นกลายเป็นสารกัมมันตรังสี ซึ่งอัตราการเกิดสารกัมมันตรังสีนี้ ขึ้นอยู่กับปริมาณนิวตรอน, cross section และจำนวนอะตอมของสาร

- ให้
- P = อัตราการเกิดสารกัมมันตรังสี
 - ϕ = เฮอร์มันัลนิวตรอน มีหน่วยเป็น นิวตรอนต่อ ซม.² ต่อวินาที
 - σ = activation cross section มีหน่วยเป็น ซม.²
 - N = จำนวนอะตอมทั้งหมดของสาร

$$\text{อัตราการเกิดสารกัมมันตรังสี} \quad P = N\phi\sigma \quad (2-2)$$

$$\text{ความแรงของไอโซโทปรังสีที่เกิดขึ้น} \quad A = (1 - e^{-\lambda t}) N\phi\sigma \quad (2-3)$$

- λ = ค่าคงตัวของการสลายตัว (decay constant)
- W = น้ำหนักของธาตุทั้งหมด
- M = น้ำหนักอะตอมของสาร
- f = จำนวนของไอโซโทปของสารนั้นมีในธรรมชาติ (abundance)

$$A = \frac{\phi\sigma W f (1 - e^{-\lambda t}) \times 6.02 \times 10^{23}}{M} \quad (2-4)$$

ความแรงของสารกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นหลังจากถูกยิงด้วยนิวตรอนแล้วที่เวลาใดๆ T สารกัมมันตรังสีจะสลายตัวด้วย $e^{-\lambda T}$

$$A = \frac{\phi\sigma W f \times 6.02 \times 10^{23} (1 - e^{-\lambda t}) e^{-\lambda T}}{M}$$

หรือ

$$W = \frac{MA}{\phi\sigma f} \frac{e^{\lambda T}}{(1 - e^{-\lambda t}) \times 6.02 \times 10^{23}} \quad (2.5)$$

ค่าที่อยู่ทางขวามือของสมการ (2-5) นี้ เป็นค่าที่สามารถจะวัดได้ ดังนั้นก็สามารถคำนวณหาค่า W ได้ อย่างไรก็ตามค่าของ σ และ f ไม่สามารถที่จะรู้ได้ถูกต้องมากนัก เพราะฉะนั้นการหาค่าความแรงสมบูรณ์ของสารจึงไม่เป็นการหาที่ง่ายนัก ในการหาปริมาณของธาตุในสารวิธีที่ดีที่สุดโดยการใช้วิธีเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของธาตุที่จะหาปริมาณ

ให้ C_x = จำนวนการนับรังสีของตัวอย่างที่จะหาปริมาณธาตุ
 C_s = จำนวนการนับรังสีของสารมาตรฐานที่ใช้เปรียบเทียบ

น้ำหนักของธาตุในตัวอย่าง = น้ำหนักของธาตุในสารมาตรฐาน $\times \frac{C_x}{C_s}$

2.1.3 ความไวของการวิเคราะห์หาธาตุด้วยวิธีนิวตรอนแอกติเวชัน

ในการอาบรังสีนิวตรอนเป็นเวลานานๆ หลายๆ เท่าของคาครึ่งชีวิต (Half life) ของธาตุแล้ว เทอม $(1 - e^{-\lambda t})$ ในสมการ(2-5) จะมีค่าใกล้ 1 เทอมนี้ เรียกว่า เทอมอิ่มตัว (Saturation factor)

หลังจากอาบนิวตรอนแล้ว การวัดความแรงของธาตุที่ทำในช่วงระยะเวลาอันสั้นเมื่อเทียบกับครึ่งชีวิตของธาตุแล้ว

น้ำหนักของธาตุในตัวอย่างเขียนได้เป็น

$$W = \frac{MA}{\phi \sigma f 6.02 \times 10^{23}} \quad (2-6)$$

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ความไวของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณนิวตรอนขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเครื่องวัดรังสี ถ้าเครื่องวัดมีความไวสูง ก็จะทำให้วิธีการนี้วัดได้ไวมาก

ความแรงของรังสี A (การสลายตัวต่อวินาที) = $\frac{\text{ค่าที่นับได้ต่อวินาที}}{\text{ประสิทธิภาพของเครื่องวัด}} \times 100$

นอกจากนี้ ถ้าปริมาณของนิวตรอน, cross section และปริมาณของธาตุนั้นที่มีในธรรมชาติ มีค่ามากก็จะทำให้การวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุในตัวอย่าง มีความไวมาก หมายความว่า สามารถวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุในตัวอย่างที่เป็นปริมาณน้อยๆ เป็นไมโครกรัมได้คือ

2.1.4 ข้อผิดพลาดเกี่ยวกับการวิเคราะห์หาปริมาณนิวตรอนแอกติเวชัน

ก) เกิดขึ้นเนื่องจากในตัวอย่างและสารมาตรฐานได้รับปริมาณของนิวตรอนไม่เท่ากัน

ทั้งนี้เนื่องจากในขณะใดขณะหนึ่ง ปริมาณนิวตรอนที่ใช้อาจเปลี่ยนไปได้ ซึ่งก็สามารถจะแกชอผิดพลาดนี้ได้ โดยการอ่านนิวตรอนของสารตัวอย่างกับสารมาตรฐานในเวลาเดียวกัน หรือจะมีสารมาตรฐานอีกตัวหนึ่งไว้ภายในเพื่อใช้แก้ให้เป็นค่าขณะที่ได้รับปริมาณนิวตรอนอันเดียวกัน

ข) ผิดพลาดเนื่องจากปริมาณของนิวตรอนที่ได้รับไม่เท่ากัน เกิดขึ้นจากตำแหน่งของตัวอย่างกับสารมาตรฐานห่างกันมาก แกชอผิดพลาดได้โดยการอ่านนิวตรอนให้ตัวอย่างและสารมาตรฐานอยู่ใกล้กันที่สุด และอยู่ในภาชนะที่ใช้อ่านนิวตรอนอันเดียวกัน และใช้ขนาดตัวอย่างกับสารมาตรฐานให้มีขนาดใกล้เคียงกันที่สุด

ค) ผิดพลาดเนื่องจากปฏิกิริยานิวเคลียร์อื่นๆ ที่เกิดขึ้นเหมือนกับปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่ต้องการจะวิเคราะห์หาธาตุ เช่น ปฏิกิริยานิวเคลียร์ของ (n, p) กับธาตุ $Z+1$ หรือปฏิกิริยานิวเคลียร์ของ (n, α) กับธาตุ $Z+2$ จะให้ปฏิกิริยานิวเคลียร์ออกมาเหมือนกันกับปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบ (n, γ) กับธาตุ Z ซึ่งจะเห็นได้ว่า ถ้าในตัวอย่างที่ต้องการจะวิเคราะห์มีธาตุพวก $Z+1$ หรือ $Z+2$ แล้วสามารถที่จะไปรบกวนการวิเคราะห์หาธาตุในตัวอย่างได้ การรบกวนที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของธาตุพวก $Z+1$ และ $Z+2$, ปริมาณสัดส่วนของนิวตรอนวิ่งเร็วต่อเทอร์มัลนิวตรอน และสัดส่วนของ cross sectionว่าจะเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ได้แค่ไหน แต่มีข้อดีที่ว่า cross section ของปฏิกิริยานิวเคลียร์ของ (n, p) และ (n, α) ต่ำมากเมื่อเทียบกับ cross section ของปฏิกิริยาแบบ (n, γ) ดังนั้นการรบกวนการวิเคราะห์ธาตุในตัวอย่างจะเกิดขึ้นมากถ้าปริมาณของธาตุที่ก่อให้เกิดการรบกวนมีเป็นจำนวนมาก หรืออีกนัยหนึ่งปริมาณของธาตุที่ต้องการจะวิเคราะห์มีปริมาณน้อยมาก การรบกวนการวิเคราะห์ธาตุนี้ จะมีน้อยมาก หรือไม่ต้องคำนึงถึง ถ้าอ่านตัวอย่างในที่ที่มีเทอร์มัลนิวตรอนแต่เพียงอย่างเดียว เช่นใน Thermal Column

ง) เกิดผิดพลาดเนื่องจาก ความแรงของสารมาตรฐานกับสารตัวอย่าง มีความแรงของรังสีแตกต่างกันมาก ทำให้จำนวนรังสีที่นับได้หายไปเป็นบางส่วน เนื่องจากเครื่องวัดรังสีนับไม่ทัน ซึ่งแก้ไขได้โดยพยายามทำให้ความแรงของสารมาตรฐานกับสารตัวอย่างมีความแรงของรังสีขนาดพอๆ กัน อย่างไรก็ตามถ้าสามารถทราบช่วงระยะเวลาที่เครื่องไม่นับก็สามารถ

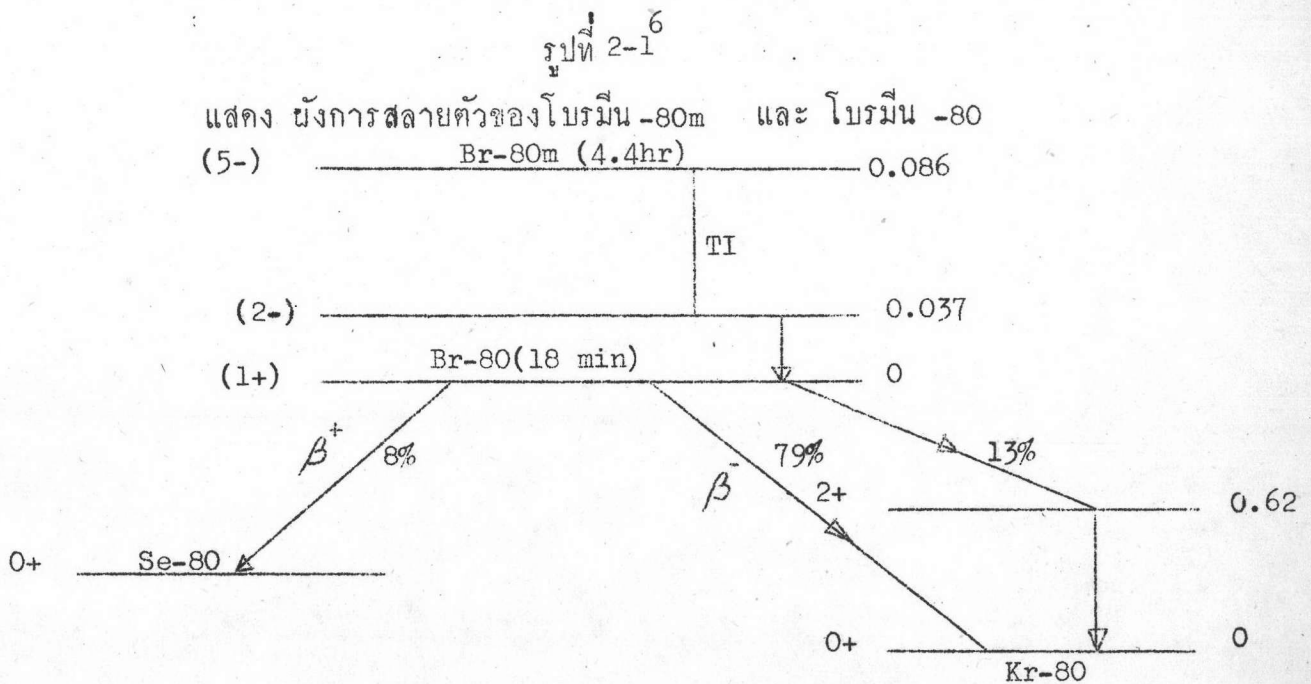
แก้หาจำนวนที่นับได้จริงๆ ได้

2.1.5 นิวตรอนแอกติเวชันของโบรมีน

โบรมีนในธรรมชาติมีอยู่ 2 ไอโซโทป คือ โบรมีน-79 มีปริมาณ 50.57 เปอร์เซ็นต์ และโบรมีน-81 มีปริมาณ 49.43 เปอร์เซ็นต์ เมื่อโบรมีนถูกยิงด้วยเทอร์มัลนิวตรอนแล้ว จะเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ดังนี้ คือ โบรมีน-79 จะเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ได้ 2 ประการ

ก) เกิดขึ้นด้วย cross section 2.4 barn^4 เป็นไอโซโทปรังสีของ โบรมีน-80m ในสภาวะ Metastable มีครึ่งชีวิต 4.42 ชั่วโมงมีการสลายตัวตั้งด้วยการสลายตัว (Decay Scheme) รูปที่ 2-1

ข) เกิดขึ้นด้วย cross section 8.0 barn^5 เป็นไอโซโทปรังสีของโบรมีน-80 มีครึ่งชีวิต 17.6 นาที มีการสลายตัวตั้งด้วยการสลายตัวรูปที่ 2-1



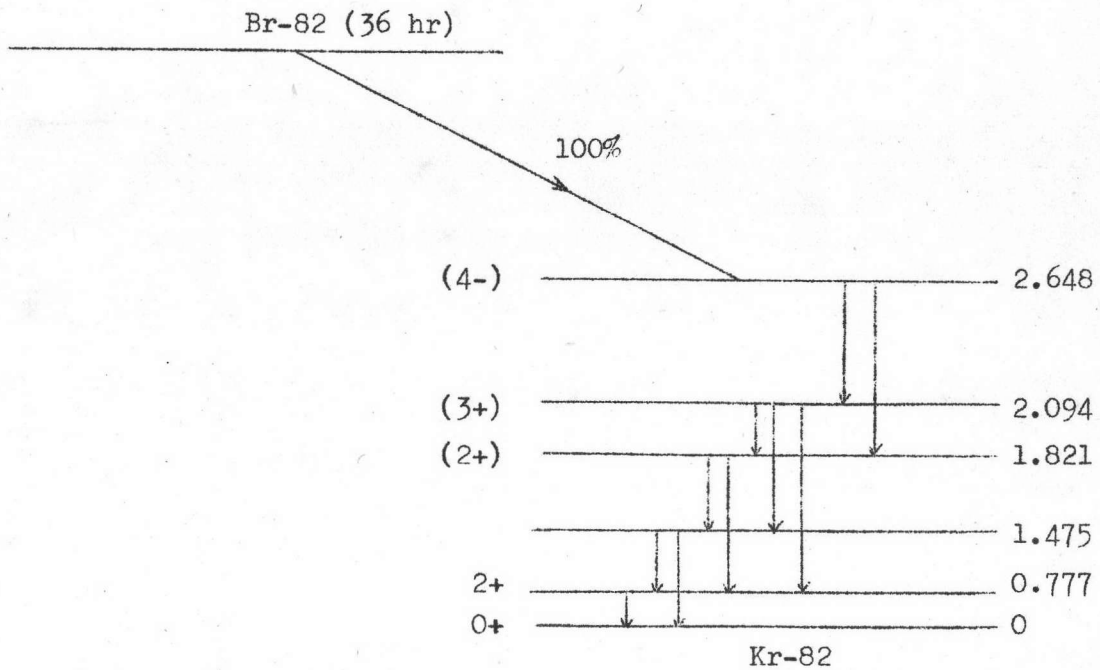
⁴ D. De Soete, Neutron Activation Analysis (New York: John Wiley, 1972), Vol. 1, pp. 754.

⁵ De Soete, op. cit. p. 754.

⁶ R. Pannetier, "Vade-Mecum du Technicien" Table des Isotopes (1965)

ส่วนโบรมีน-81 จะเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์กับเทอร์มัลนิวตรอนด้วย cross section 3.3 barn เป็นโบรมีน-82 มีครึ่งชีวิต 35.9 ชั่วโมง มีการสลายตัว รูปที่ 2-2
รูปที่ 2-2⁷

แสดงผังการสลายตัวของโบรมีน-82



2.2 ไอเสียรถยนต์

ไอเสียของรถยนต์ที่ปล่อยออกมา จากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จะมีพวกไนโตรเจน ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นผลจากการเกิดปฏิกิริยาตามปกติ นอกจากนี้ มี คาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ไฮโดรเจน, ออกซิเจน, น้ำมันที่เหลือจากการเผาไหม้ และพวกไฮโดรคาร์บอน

นอกจากที่กล่าวแล้วยังมีสิ่งอื่นๆ อีกที่ปล่อยจากไอเสียรถยนต์ได้แก่ พวกสิ่งเจือปนทั้งหลาย ที่เติมลงในน้ำมันเชื้อเพลิง เช่น พวกสารที่เติมลงไปเพื่อเพิ่ม octane ของน้ำมันเพื่อไม่ให้เครื่องยนต์เกิดการสคุด (Knock) สารเหล่านี้จะเป็นสารประกอบของตะกั่ว พวก Tetraethyl

⁷ Pannetier, loc. cit.

lead (TEL) หรือ Tetramethyl lead (TML) ซึ่งเป็นสารประกอบที่นิยมใช้กันมาก เมื่อ TEL หรือ TML ที่ใส่เข้าไปในน้ำมันเชื้อเพลิงนั้นเกิดการเผาไหม้ จะได้เป็นสารประกอบของตะกั่วออกไซด์ ซึ่งมีจุดหลอมเหลวสูง ถ้าไม่มีการนำออกไปจากระบบของเครื่องยนต์แล้วจะกลั่นตะกั่วและเกาะติดเหลือตกค้างอยู่ในเครื่องยนต์เป็นจำนวนมาก เพราะฉะนั้นเขาจึงจำเป็นต้องเติมสารประกอบอินทรีย์ของคลอรีนและโบรมีนเข้าไปด้วย ที่ใช้กันก็คือ Ethylene Dichloride และ Ethylene Dibromide สารประกอบอินทรีย์ของคลอรีนกับโบรมีนนี้ จะไปทำปฏิกิริยาเคมีกับตะกั่วออกไซด์ซึ่งเป็นตัวที่ระเหยได้ยาก จะทำปฏิกิริยากันในขณะที่ตะกั่วออกไซด์ซึ่งอยู่ในสภาพที่เป็นแก๊ส กลั่นตัวลงและเกาะติดอยู่กับผนังในระบบเครื่องยนต์นั้น ตะกั่วออกไซด์ตอนที่เป็นของแข็งนี้จะทำปฏิกิริยากับแก๊สไฮโดรเจนโบรไมด์ หรือ ไฮโดรเจนคลอไรด์ ตะกั่วออกไซด์ซึ่งเป็นสารที่ไม่ระเหยถูกเปลี่ยนสภาพให้เป็นตะกั่วโบรไมด์และตะกั่วคลอไรด์ ซึ่งระเหยได้ง่ายจะพากันออกไปทางท่อไอเสียของเครื่องยนต์ จึงเป็นการช่วยให้ไม่มีสารตกค้างและเกาะตัวติดอยู่ตามผนังของระบบเครื่องยนต์

ส่วนผสมของ TEL ที่ใช้ผสมในน้ำมันเชื้อเพลิง คือ 1 mole ของ TEL กับ 1 mole ของ Ethylene Dichloride และ 0.5 mole ของ Ethylene Dibromide⁸

น้ำมันเบนซินที่ใช้กันในประเทศไทยขณะนี้ ชนิดที่เรียกกันว่าน้ำมันเบนซินชนิดธรรมดาจะมี TEL ผสมกับสารประกอบอินทรีย์โบรไมด์และสารประกอบอินทรีย์คลอไรด์ ส่วนน้ำมันเบนซินชนิดที่เรียกกันว่า ซุปเปอร์จะเติม TEL ผสมกับสารประกอบอินทรีย์ของโบรไมด์และคลอไรด์เจือ TML

2.3 การแพร่กระจายของไอเสียรถยนต์

ไอเสียของรถยนต์ที่ปล่อยลงสู่ถนนนั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณความหนาแน่นของรถยนต์ที่วิ่งผ่านและความเร็วลมในถนนนั้น ในวินาทีหนึ่งๆ จะมีปริมาณของไอเสียรถยนต์เกิดขึ้นจำนวนหนึ่งในถนนซึ่งการแพร่กระจายของไอเสียรถยนต์จำนวนนี้ สามารถนำเอาทฤษฎีการฟุ้งของอากาศ

⁸ E.F. Obert, Internal Combustion Engines (Scranton: International Textbook Co., 1968), p. 315.

(Atmospheric Diffusion) มาใช้ได้

n = ความเข้มข้นของไอเสีย จำนวน กรัม/ ลบ. ซม.

K_x, K_y, K_z = สัมประสิทธิ์การฟุ้งของอากาศในทิศทาง x, y และ z
Taylor⁹ ได้ให้สมการ Differential ของการฟุ้ง คือ

$$\frac{dn}{dt} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial n}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial n}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial n}{\partial z} \right) \quad (2-7)$$

ในกรณีของไอเสียของรถยนต์ในถนนนี้ ถือว่าเป็น Continuous line Source และคิดในระบัพพื้นถนน ตามแนว x และในทิศทางตั้งฉากตามแนว z

ขณะที่อยู่ในสภาวะ Steady State $\frac{\partial n}{\partial t} = 0$ และ

คิดเฉพาะในสองทิศทาง $\frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial n}{\partial y} \right) = 0$

U = ความเร็วเฉลี่ยของลมในถนน (เมตรต่อวินาที)

Q = ปริมาณไอเสียของรถยนต์ที่เกิดขึ้น กรัม/ วินาที/ เมตร

และสัมประสิทธิ์การฟุ้งของไอเสียรถยนต์ = $K = K_x = K_y = K_z$ สำหรับ
การฟุ้งแบบ Isotropic

โดยการพิจารณาเทอม $\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial n}{\partial x} \right)$ กับเทอม $U \frac{\partial n}{\partial x}$ แล้วเทียบกัน

ก็เทอม $\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial n}{\partial x} \right)$ หักทิ้งได้

เพราะฉะนั้น สมการของการฟุ้งจากสมการ (2-7) จะได้ว่า

$$U \frac{\partial n}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial n}{\partial z} \right) \quad (2-8)$$

⁹ G.I. Taylor,

Diffusion by Continuous Movement.
Proc. London Math. Society 20:196 (1920)

U และ K_z เป็นฟังก์ชันของ z และลพัดไปตามแกน x โดยมีเงื่อนไข (Boundary condition)

$$\begin{aligned} n &= 0 & \text{ที่} & x = \infty \text{ และ } z = \infty \\ n &= \infty & \text{ที่} & x = z = 0 \\ \int_{-\infty}^{\infty} U n dz &= Q \end{aligned}$$

คำตอบของสมการ (2-8) ได้ว่า

$$n(x, z) = \frac{Q}{\sqrt{4\pi K_z U x}} \exp\left[-\frac{U z^2}{4K_z x}\right] \dots \quad (2-9)$$

ค่าของ $U(z)$ ทำการวัดได้ และค่าของ K_z หาได้จากสภาพของลมซึ่ง Sutton ได้ทำการทดลองและได้

$$K_z = \frac{C_z^2 x^{s-1} U}{4} \quad (2-10)$$

C_z = สัมประสิทธิ์การฟุ้งของ Sutton

s = ค่าคงตัวซึ่งได้จากการทดลอง = 1.75 เมื่ออยู่ในสภาวะ Dry adiabatic และบนพื้นเรียบ

การหาค่า C_z จากความสูงของ line source ได้จากการทดลองของ Sutton ได้ทำเมื่อสภาวะของอากาศเป็น Adiabatic gradient และความเร็วลม 5 เมตร/วินาที ที่ความสูง 2 เมตร

ความสูงเป็นเมตร	0	10	25	50	75	100	200
C_z	0.12	0.12	0.12	0.10	0.09	0.07	0.05

¹⁰ N.A. Fuch, The Mechanics of Aerosols (New York: Pergamon Press, 1964), p. 212.

จากสมการ (2-9) เขียนได้ใหม่เป็น

$$n(x, z) = \frac{Q}{\sqrt{\pi c_z^2 u^2 x^s}} \exp \left[-\frac{z^2}{c_z^2 x^s} \right] \quad (2-11)$$