# บทที่ 2

# ทฤษฎี

## 2.1 การวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอคติเวชั่น

### 2.1.1 ปฏิกริยาของนิวตรอนต่อสาร(Interaction Of Neutron With Matter)

นิวตรอนที่ได้จากต้นกำเนิดนิวตรอนหรือจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู ถ้าเป็นกลุ่มนิวตรอนที่มีพลังงานเฉลี่ย 0.025 eV เรียกว่า เทอร์มัลนิวตรอน (Thermal Neutron) ปฏิกริยานิวเคลียร์ที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิกริยาแบบ (n,$\gamma$) สำหรับกลุ่มนิวตรอนที่วิ่งเร็ว ( Fast Neutron) ปฏิกริยานิวเคลียร์ที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิกริยาแบบ (n,p),(n,$\alpha$) และ(n,2n)

พลังงานที่ทำให้โปรตรอนและนิวตรอน รวมกันอยู่ได้เป็นนิวเคลียส ซึ่งเรียกว่า พลังงานยึดเหนี่ยวในนิวเคลียส(Binding Energy) คำนวณได้จากสูตร

$$E = 931( 1.008145\ Z + 1.008986\ N - M)\ Mev \qquad (2.1)$$

E = พลังงานยึดเหนี่ยวในนิวเคลียส

Z = จำนวนโปรตรอนในนิวเคลียส

N = จำนวนนิวตรอนในนิวเคลียส

M = มวลของนิวเคลียส

### 2.1.2 นิวตรอนแอคติเวชั่น (Neutron Activation)

เมื่อสารถูกยิงด้วยนิวตรอนจะมีบางอะตอมของสารนั้นกลายเป็นสารกัมมันตรังสี ซึ่งอัตราการเกิดสารกัมมันตรังสีนี้ ขึ้นอยู่กับปริมาณนิวตรอน ค่าครอสเซคชั่น(Cross Section) และจำนวนอะตอมของสาร

ให้ P = อัตราการเกิดสารกัมมันตรังสี

$\phi$ = จำนวนเทอร์มัลนิวตรอน มีหน่วยเป็น นิวตรอน ต่อ ตารางเซนติเมตร ต่อ วินาที

$\sigma$ = Activation Cross Section มีหน่วยเป็น ตารางเซนติเมตร

N = จำนวนอะตอมทั้งหมดของสาร

t = ระยะเวลาที่สารถูกยิงด้วยนิวตรอน

อัตราการเกิดสารกัมมันตรังสี $P = N\phi\sigma$ (2.2)

ความแรงของไอโซโทปรังสีที่เกิดขึ้น $A = (1 - e^{-\lambda t})N\phi\sigma$ (2.3)

$\lambda$ = ค่าคงตัวของการสลายตัว

W = น้ำหนักของชาตุทั้งหมด

M = น้ำหนักอะตอมของสาร

f = จำนวนเปอร์เซนต์ของไอโซโทปของสารนั้นที่มีในธรรมชาติ

$$A = \frac{\phi\sigma Wf \times 6.02 \times 10^{23}(1 - e^{-\lambda t})}{M} \quad (2.4)$$

ความแรงของสารกัมมันตรังสีที่วัดได้ หลังจากอาบรังสีแล้วทิ้งไว้เป็นเวลานาน T จะมีค่า

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

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

ค่าที่อยู่ทางขวามือของสมการ (2.5) นี้ เป็นค่าที่สามารถจะวัดได้ ดังนั้นก็สามารถคำนวณหาค่าน้ำหนักของชาตุในสารได้ แต่อย่างไรก็ตามค่าของ $\sigma$ และ f ไม่สามารถที่จะรู้ได้ถูกต้องแน่นอนที่เดียว เพราะฉะนั้นการหาค่าความแรงสมบูรณ์ของสารกัมมันตรังสีจึงทำได้ไม่ง่ายนัก ในการหาปริมาณของชาตุในสาร วิธีที่ดีที่สุดคือใช้วิธีเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของชาตุที่จะหาปริมาณ

ให้ $C_x$ = จำนวนการนับรังสีของสารตัวอย่างที่จะหาปริมาณชาตุ

$C_s$ = จำนวนการนับรังสีของสารมาตรฐานที่ใช้เปรียบเทียบ

น้ำหนักของธาตุในสารตัวอย่าง = น้ำหนักของธาตุในสารมาตรฐาน x $\frac{C_x}{C_s}$

2.1.3 ความไวของการวิเคราะห์หาธาตุด้วยวิธีนิวตรอนแอคติเวชั่น

ในการอาบรังสีนิวตรอน ถ้าเวลาที่อาบรังสีมากกว่าค่าครึ่งชีวิต (Half Life) ของไอโซโทปรังสีหลายๆเท่าแล้ว เทอม $(1 - e^{-\lambda t})$ ในสมการ(2.5) ที่เรียกว่าเทอมอิ่มตัว (Saturation Factor) จะมีค่าใกล้ 1

หลังจากอาบรังสีนิวตรอนแล้ว การวัดความแรงของธาตุที่ทำในช่วงระยะเวลาอันสั้นเมื่อเทียบกับค่าครึ่งชีวิตของธาตุ น้ำหนักของธาตุในตัวอย่างเขียนได้เป็น

$$W = \frac{MA}{\phi\sigma f \times 6.02 \times 10^{23}} \qquad (2.6)$$

ดังนั้นถ้าอาบรังสีนิวตรอนเป็นเวลานานพอสมควร และวัดรังสีหลังจากทิ้งไว้ไม่นานนักเมื่อเทียบกับค่าครึ่งชีวิตของไอโซโทปรังสี ความไวของวิธีวิเคราะห์ด้วยวิธีนิวตรอนแอคติเวชั่นนี้ จะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเครื่องวัดรังสี ถ้าเครื่องวัดมีความไวสูงก็จะทำให้วิธีการนี้วัดได้ไวมาก

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

นอกจากนี้ถ้าปริมาณของนิวตรอน ค่าครอสเซคชั่น และปริมาณไอโซโทปของธาตุนั้นที่มีในธรรมชาติ มีค่ามาก ก็จะทำให้การวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุในตัวอย่างมีความไวมาก หมายความว่าสามารถวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุในตัวอย่าง ซึ่งมีปริมาณน้อยๆเป็นไมโครกรัมได้ดี

2.1.4 ข้อผิดพลาดเกี่ยวกับการวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอคติเวชั่น

ก). เกิดขึ้นเนื่องจากในสารตัวอย่างและสารมาตรฐาน ได้รับปริมาณของรังสีนิวตรอนไม่เท่ากัน ทั้งนี้เนื่องจากในขณะใดขณะหนึ่ง ปริมาณของรังสีนิวตรอนที่ใช้อาบอาจเปลี่ยนแปลงได้ ข้อผิดพลาดอันนี้สามารถแก้ไขได้โดยการอาบรังสีนิวตรอนสารตัวอย่างและสารมาตรฐานในเวลาเดียวกัน หรือจะมีสารมาตรฐานอีกตัวหนึ่งไว้ภายใน เพื่อใช้แก้ให้เป็นค่าขณะที่ได้รับปริมาณรังสีนิวตรอนอันเดียวกัน

ข). ผิดพลาดเนื่องจากปริมาณของรังสีนิวตรอนที่ได้รับไม่เท่ากัน ซึ่งเกิดขึ้นได้จากการที่ตำแหน่งของสารตัวอย่างกับสารมาตรฐานอยู่ห่างกันมาก แก้ข้อผิดพลาดได้โดยเวลาอาบรังสีนิวตรอน

ให้สารตัวอย่างและสารมาตรฐานอยู่ใกล้กันที่สุด อยู่ในภาชนะที่ใช้อาบรังสีนิวตรอนอันเดียวกัน และให้สารตัวอย่างกับสารมาตรฐานมีขนาดใกล้เคียงกันที่สุด

ค). ผิดพลาดเนื่องจากเกิดปฏิกริยานิวเคลียร์ของธาตุอื่นที่ให้ไอโซโทปตัวเดียวกับที่ใช้ในการวิเคราะห์ เช่น ปฏิกริยานิวเคลียร์แบบ (n,p) ของธาตุ $^{A+1}_{Z+1}X$ หรือปฏิกริยานิวเคลียร์แบบ (n,$\alpha$) ของธาตุ $^{A+4}_{Z+2}Y$ จะให้ไอโซโทปรังสีอันเดียวกับที่ได้จากปฏิกริยานิวเคลียร์แบบ (n,$\gamma$) ของธาตุ $^{A}_{Z}P$ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ถ้าในสารตัวอย่างที่ต้องการจะวิเคราะห์มีธาตุพวก Z+1 หรือ Z+2 แล้วสามารถที่จะไปรบกวนการวิเคราะห์หาธาตุ Z ในตัวอย่างได้ การรบกวนจะมากหรือน้อยนอกจากจะขึ้นอยู่กับปริมาณของธาตุพวก Z+1 และ Z+2 แล้วยังขึ้นอยู่กับสัดส่วนของจำนวนนิวตรอนวิ่งเร็วต่อเทอร์มัลนิวตรอน และสัดส่วนของค่าครอสเซคชั่น ว่าจะเกิดปฏิกริยานิวเคลียร์ได้ดีแค่ไหน โดยปรกติค่าครอสเซคชั่นของปฏิกริยานิวเคลียร์แบบ (n,p) และ (n,$\alpha$) ต่ำมาก เมื่อเทียบกับค่าครอสเซคชั่นของปฏิกริยาแบบ (n,$\gamma$) และจำนวนนิวตรอนวิ่งเร็วในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูมีน้อยกว่าจำนวนเทอร์มัลนิวตรอนหลายเท่า การรบกวนจะเกิดขึ้นต่อเมื่อปริมาณของธาตุที่ก่อให้เกิดการรบกวนมีเป็นจำนวนมากเท่านั้น ถ้าอาบรังสีสารตัวอย่างในที่ที่มีเทอร์มัลนิวตรอนแต่เพียงอย่างเดียว เช่นในเทอร์มัลคอลั่ม (Thermal Column) ก็ไม่ต้องคำนึงถึงการรบกวนดังกล่าว

ง). เกิดผิดพลาดเนื่องจากความแรงของสารมาตรฐานกับสารตัวอย่างแตกต่างกันมาก ทำให้จำนวนรังสีที่นับได้หายไปเป็นบางส่วน เนื่องจากเครื่องวัดรังสีนับไม่ทัน ซึ่งแก้ไขได้โดยพยายามทำให้ความแรงของสารมาตรฐานกับสารตัวอย่างมีขนาดพอๆกัน อย่างไรก็ตามถ้าสามารถทราบช่วงระยะเวลาที่เครื่องวัดรังสีไม่นับ ก็สามารถคำนวณแก้หาจำนวนที่นับจริงๆได้

อนึ่ง ต้องวัดรังสีของสารตัวอย่างและสารมาตรฐานในตำแหน่งเดียวกัน การที่ตำแหน่งคลาดเคลื่อนไป จะทำให้ปริมาณรังสีที่วัดได้ผิดพลาดไป

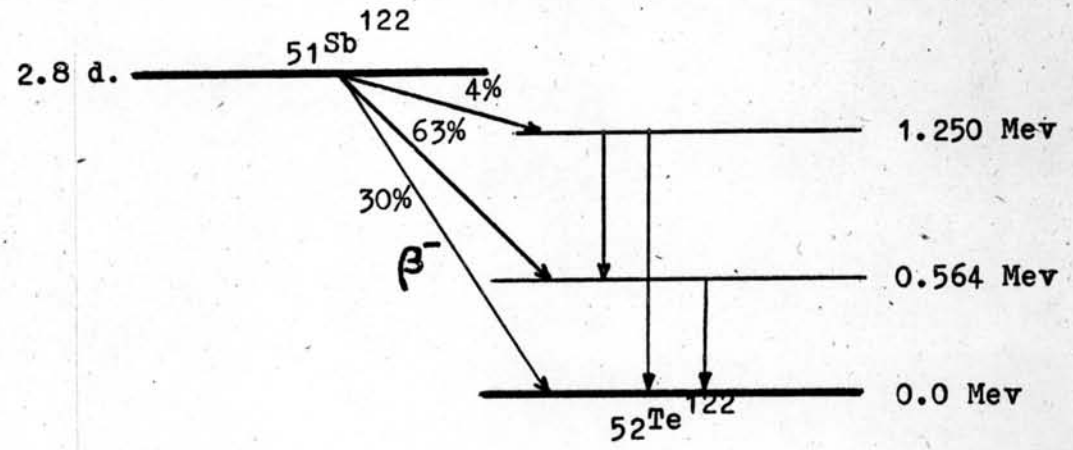
### 2.1.5 นิวตรอนแอคติเวชั่นของแอนติโมนี

แอนติโมนีในธรรมชาติมีอยู่ 2 ไอโซโทป คือ แอนติโมนี-121 มีปริมาณ 57.25% และ แอนติโมนี-123 มีปริมาณ42.75% เมื่อแอนติโมนีถูกยิงด้วยเทอร์มัลนิวตรอนแล้ว จะเกิดปฏิกริยานิวเคลียร์แบบ (n,$\gamma$) ให้ไอโซโทปรังสี 2 ตัว คือ

ก). แอนติโมนี-122 จากแอนติโมนี-121 ปฏิกริยานี้มีค่าครอสเซคชั่น 6.2 ± 0.2 barn[7] แอนติโมนี-122 ที่เกิดมีครึ่งชีวิต 2.8 วัน มีการสลายตัวดังผังการสลายตัว (Decay Scheme) ในรูปที่ 2-1.

รูปที่ 2-1[8]

ผังการสลายตัวของแอนติโมนี-122




ข). แอนติโมนี-124 จากแอนติโมนี-123 ปฏิกริยานี้มีค่าครอสเซคชั่น 4.28±0.16 barn[9] แอนติโมนี-124 ที่เกิดมีครึ่งชีวิต 60 วัน มีการสลายตัวดังผังการสลายตัวในรูปที่ 2-2.

---

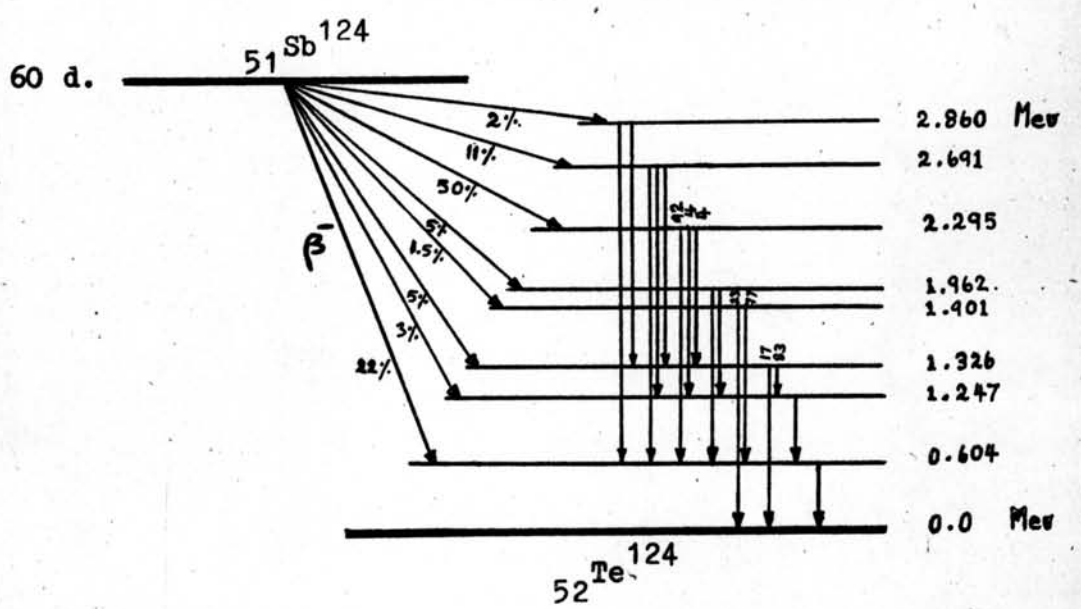
7 S.F. Mughabghab, and D.I. Garber, Neutron Cross Section, Vol.1 (3rd ed. June 1973, Brookhaven National Laboratory, USAEC.) p. c/102

8 C.M. Lederer, J.M. Hollander, and I. Perlman, Table Of Isotopes, (Sixth ed.1967, John Wiley & Sons,Inc.) p.265

9 Mughabghab, and Garber, op. cit., p. c/105

รูปที่ 2-2[10]

ผังการสลายตัวของแอนติโมนี-124




2.1.6 นิวตรอนแอคติเวชั่นของแบเรียม

แบเรียมในธรรมชาติมีอยู่ด้วยกันถึง 7 ไอโซโทป คือ Ba-130, Ba-132, Ba-134, Ba-135, Ba-136, Ba-137 และ Ba-138 โดยเฉพาะ Ba-138 มีปริมาณสูงสุดคือ 71.66% ส่วนไอโซโทปอื่นๆ มีปริมาณน้อย และมีค่าครอสเซคชั่นต่ำ ดังนั้นเมื่อฉายรังสีนิวตรอนกลายเป็นสารกัมมันตรังสีก็จะมีปริมาณน้อยเช่นกัน ทำให้ไม่ต้องคำนึงถึงการรบกวนของไอโซโทปรังสีของธาตุแบเรียมดังกล่าว

ปฏิกริยาอุดเทอร์มัลนิวตรอนของแบเรียม-138 มีค่าครอสเซคชั่น 0.35 ± 0.15 barn[11] ไอโซโทปรังสีที่เกิดคือ แบเรียม-139 มีครึ่งชีวิต 83 นาที มีการสลายตัวดังผังการสลายตัวในรูปที่ 2-3

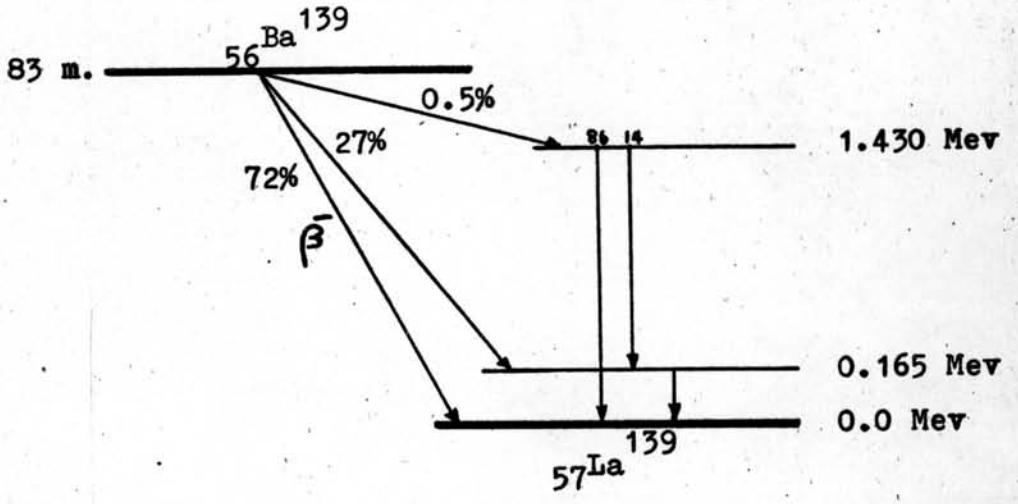
---

10 Lederer, Hollander, and Perlman, op. cit., p.267

11 Mughabghab, and Garber, op. cit., p. c/153

รูปที่ 2-3[12]

ผังการสลายตัวของแบเรียม-139

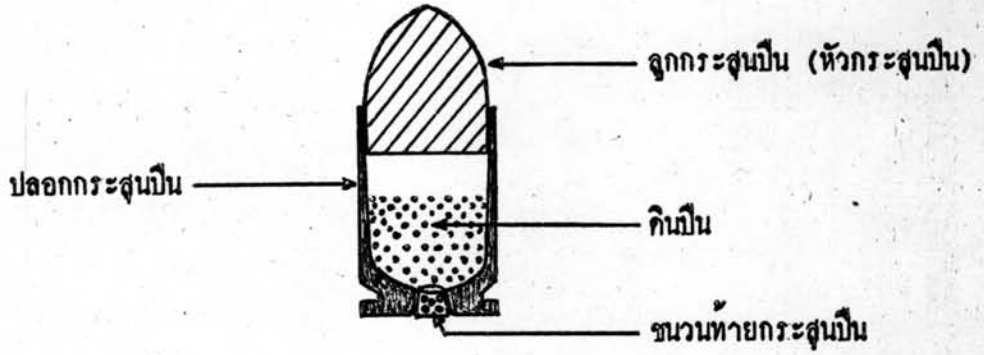



## 2.2 เชื่อกินปืน

กระสุนปืนโดยทั่วๆไป จะประกอบด้วยส่วนสำคัญต่างๆดังนี้คือ 1. ดินปืน 2. ขนวนท้ายกระสุนปืน (แก๊ป) 3. ลูกกระสุนปืน (หัวกระสุนปืน) 4. ปลอกกระสุนปืน ดังรูปที่ 2-4

รูปที่ 2-4

ภาพผ่าตามยาวส่วนประกอบสำคัญของกระสุนปืน




---

12 Lederer, Hollander, and Perlman, op. cit., p.287

ดินปืน ในสมัยก่อนดินปืนเป็นพวกดินดำ (Black Powder) ประกอบด้วย ดินประสิว (Potassium Nitrate) 75% กำมะถัน (Sulphur) 10% และถ่านไม้ (Charcoal) 15% แต่เนื่องจาก ดินดำให้กำลังดันต่ำและมีควันมาก จึงทำให้มีผู้คิดค้นดินปืนที่มีคุณภาพดีกว่าขึ้น ดังที่ใช้กันในกระสุนปืนทั่วๆไปขณะนี้ เรียกว่าดินควันน้อย (Smokeless Powder) ซึ่งเป็นสารประกอบพวกไนโตรเซลลูโลส (Nitro-cellulose) หรือ กลีเซอรอลไนเตรท (Glycerol-nitrate) ดินปืนชนิดใหม่นี้ให้กำลังดันสูงกว่าดินดำมากในปริมาณที่เท่ากัน และยังไม่มีควันอีกด้วย

ชนวนท้ายกระสุนปืน ประกอบด้วยสารเคมีหลายชนิดผสมกัน แต่โดยทั่วๆไปจะประกอบด้วย Fulminate Of Mercury, Potassium Chlorate, Antimony Sulphide และ T.N.T. แต่บางชนิดจะมี Barium Nitrate และสารอย่างอื่นผสมอยู่ด้วย สำหรับปริมาณของสารแต่ละอย่างนั้นไม่แน่นอน ทั้งนี้แล้วแต่บริษัทผู้ผลิต ชนวนท้ายกระสุนปืนจะบรรจุอยู่ในภาชนะรูปถ้วย ซึ่งอยู่ตรงกลางจานท้ายกระสุนปืนแบบชนวนกลาง (Center Fire) หรือบรรจุอยู่ภายในริมขอบจานท้ายกระสุนปืนแบบชนวนริม (Rim Fire)

ลูกกระสุนปืน (หัวกระสุนปืน) ส่วนใหญ่ทำด้วยตะกั่ว หรือทองแดงหุ้มตะกั่ว

ปลอกกระสุนปืน ส่วนใหญ่ทำด้วยโลหะทองแดง หรือทองเหลือง แต่บางอย่างทำด้วยพลาสติค

เมื่อยิงปืน เข็มแทงชนวนปืนจะกระแทกกับชนวนท้ายกระสุนปืนเกิดระเบิดขึ้น แล้วไปจุดระเบิดดินปืนภายในกระสุนปืนอีกต่อหนึ่ง เพื่อขับดันลูกกระสุนปืนให้ผ่านลำกล้องปืนออกไปสู่เป้า ขณะที่ชนวนท้ายกระสุนปืนและดินปืนระเบิดขึ้นนั้น แรงระเบิดจะขับดันให้อนุของสารต่างๆ ที่เป็นส่วนประกอบของกระสุนปืนออกไปทุกทิศทาง และบางส่วนของอนุของสารเหล่านี้จะไปเกาะติดและฝังตัวลงตามรูขุมขนบนผิวหนังของมือหรือแขน ตลอดจนใบหน้าและตามเสื้อผ้าของผู้ยิง หรือของผู้ถูกยิงในระยะประชิดตัว

2.3 <u>การแพร่กระจายของเขม่าดินปืนบนมือหลังจากยิงปืน</u>

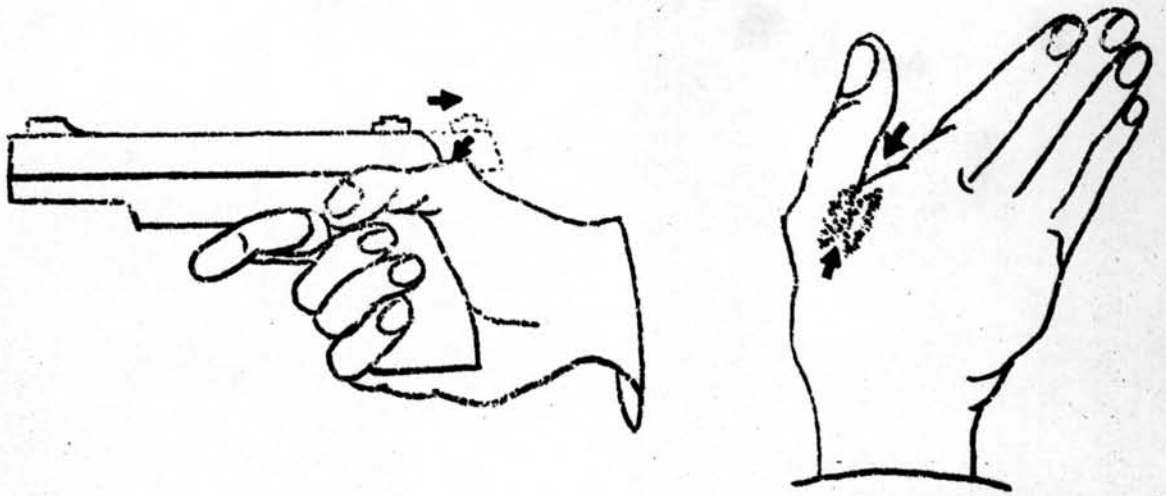
อาวุธปืนที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน มีทั้งแบบปืนสั้นและปืนยาว ส่วนใหญ่ที่ใช้ในการกระทำผิดจะเป็นพวกอาวุธปืนสั้น เพราะอาชญากรสามารถนำอาวุธปืนสั้นพกติดตัวไปได้ง่าย และสะดวกกว่าอาวุธปืนยาว อาวุธปืนสั้นที่ใช้กันทั่วๆไปมีอยู่ 2 ชนิด คือ ชนิดออโตเมติค (หรือกึ่งออโตเมติค) และชนิดรีวอลเวอร์ ซึ่งการแพร่กระจายของเขม่าดินปืนบนมือเนื่องจากการยิงอาวุธปืนสั้นทั้ง 2 ชนิดนี้ จะแตกต่างกัน

ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 2-5 ก). และ ข). เขม่าดินปืนที่กระจายเกาะติดบนผิวหนังของมือที่ยิงปืนนั้น จะมีอนุของธาตุแอนติโมนีและแบเรียม ซึ่งเป็นส่วนประกอบของสารที่ใช้ทำชนวนท้ายกระสุนปืน ติดอยู่ด้วย

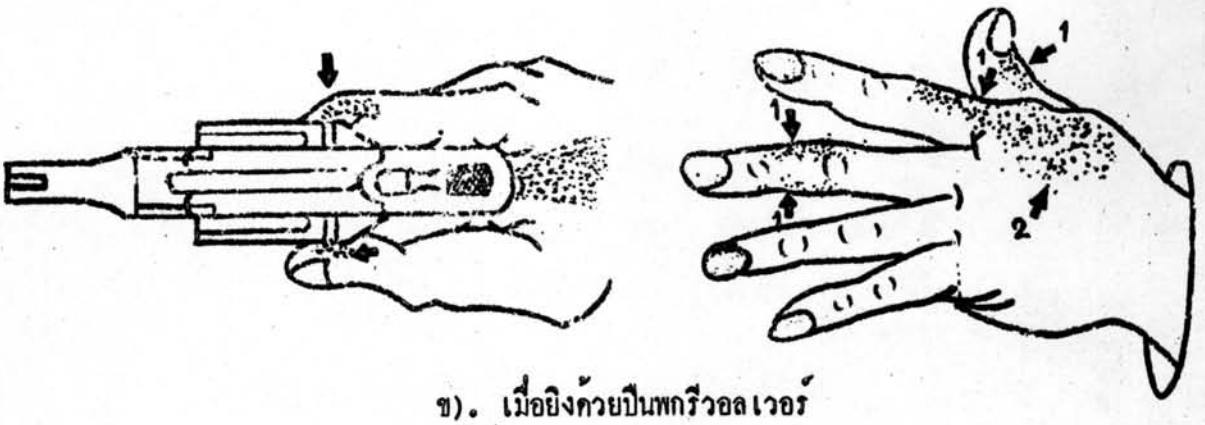
รูปที่ 2-5 แสดงภาพการกระจายของเขม่าดินปืนบนมือ เฉพาะผู้ที่ยิงปืนสั้นซึ่งมีใช้กันอยู่ 2 แบบ ถ้าเป็นการยิงปืนยาวแล้ว การกระจายของเขม่าดินปืนจะมีทั้งบนมือที่เหนี่ยวไกปืน ที่แขน และตามใบหน้าของผู้ยิงด้วย ซึ่งการกระจายของเขม่าดินปืนจากการยิงปืนยาวนี้ ไม่แน่นอนเหมือนการยิงปืนสั้น นอกจากนี้ อาวุธปืนที่ใช้ยิงแล้วไม่ได้ล้างให้สะอาด ก็จะมีเขม่าดินปืนติดอยู่ตามตัวปืนด้วย ดังนั้นเมื่อไปจับอาวุธปืนที่ยิงแล้ว ก็จะทำให้มือมีเขม่าดินปืนติดด้วยเช่นกัน

รูปที่ 2-5[13]

การกระจายของเขม่าดินปืนบนมือของผู้ยิงปืนสั้น



ก). เมื่อยิงด้วยปืนพกออโตเมติค




ข). เมื่อยิงด้วยปืนพกรีวอลเวอร์

---

13 Ernst Wigger - Kriminalhauptkommissar, Kriminaltechnisher Leitfaden. (Herausgeber Bundeskriminalamt Wiesbaden, 1965/1-3), p.97