บทที่ 2

ทฤษฎี

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1 เทคนิคการวิเคราะห์โดยวิธีนิวตรอนแอคติเวชั่น

การวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอคติเวชั่น หมายถึงการวิเคราะห์ธาตุโดยการยิงธาตุด้วยอนุภาคนิวตรอน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในนิวเคลียสของอะตอมของธาตุนั้นเกิดเป็นไอโซโทปกัมมันตรังสี ที่มีคุณสมบัติเฉพาะตัว คือมีครึ่งชีวิต ให้ชนิดของรังสีและพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาเป็นค่าหนึ่ง ๆ จากคุณสมบัติจะเพาะตัวนี้สามารถจะทราบได้ว่าเป็นไอโซโทปของธาตุใด และจากปริมาณรังสีที่วัดได้เปรียบเทียบกับปริมาณรังสีของสารมาตรฐานนั้น ๆ ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน จะสามารถคำนวณหาปริมาณของธาตุที่วิเคราะห์ได้

องค์ประกอบสำคัญของการวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอคติเวชั่น มี

2.1.1 แหล่งกำเนิดนิวตรอน

อนุภาคนิวตรอนที่ใช้ในการทดลองนี้ได้จากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู ซึ่งเกิดจากปฏิกริยาการแตกตัวของเชื้อเพลิงปรมาณูยูเรเนียม -235 ในการแตกตัวแต่ละครั้ง จะมีนิวตรอนออกมา 2 -3 อนุภาค และขณะเดียวกันจะเกิดพลังงานจำนวนมาก เนื่องจากอนุภาคนิวตรอนที่เกิดขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูมีพลังงานต่างกัน มีอิพิเทอร์มัลนิวตรอน มีพลังงานสูงกว่า 0.025 อีเลคตรอนโวลต์ (eV) นิวตรอนเร็ว (fast neutron) มีพลังงานสูงกว่า 0.1มิลเลี่ยนอิ-เลคตรอนโวลต์ (MeV) ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกริยานิวเคลียร์แบบนิวตรอนโปรตรอน (n,p) หรือแบบนิวตรอน-แอลฟ่า (n,α) หรือนิวตรอน-นิวตรอน (n,2n) หรือนิวตรอน-ฟิชชั่น (n,f) ส่วนเทอร์มัลนิวตรอนมีพลังงานต่ำ 0.025อิเลคตรอนโวลต์ (eV) สามารถทำให้เกิดปฏิกริยานิวเคลียร์กับธาตุได้แทบทุกชนิด เนื่องจากธาตุส่วนมากมีความสามารถในการเกิดปฏิกริยานิวเคลียร์จากนิวตรอนชนิดนี้สูง (Thermal neutron cross-section) ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นเป็นแบบ (n,γ)

2.1.2ปฏิกิริยา (n,γ)

ปฏิกิริยานี้ใช้กันมากในการวิเคราะห์หาธาตุที่มีปริมาณน้อยมาก ๆ สามารถจะวิเคราะห์ได้ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการยิงอนุภาคนิวตรอนเข้าไปในนิวเคลียสของธาตุ แล้วอะตอมของธาตุเปลี่ยนไปเป็นธาตุกัมมันตรังสี หรือเรดิโอไอโซโทปของธาตุเดิมพร้อมกับปล่อยรังสีแกมม่าออกมา ดังนั้นเมื่อนำเอาสารตัวอย่างไปอาบรังสีนิวตรอนในระยะเวลาหนึ่ง ธาตุในสารตัวอย่างจะเกิดปฏิกิริยาทางนิวเคลียร์ เกิดเป็นธาตุกัมมันตรังสีได้

อัตราการเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ = $N \phi \sigma$

N = จำนวนอะตอมของธาตุ

σ = ความสามารถในการจับนิวตรอนของธาตุ (Neutron Cross - Section) หน่วยเป็นบาร์น (barn)

ϕ = ความเข้มข้นของนิวตรอนหรือนิวตรอนฟลักซ์ มีหน่วยเป็น นิวตรอน ต่อ ตร.ซม. ต่อวินาที

ตัวอย่างปฏิกิริยา (n,γ) ได้แก่

$$_{33}As^{75} + {}_{0}n' \longrightarrow {}_{33}As^{76} + \gamma$$

หรือ $As^{75}(n,\gamma)As^{76}$

2.1.3 การสลายตัว

เหมือนกับธาตุกัมมันตรังสีทั่วไป ธาตุที่อาบรังสีนิวตรอนแล้วที่ระยะเวลาหนึ่ง ธาตุนั้นจะกลายเป็นธาตุกัมมันตรังสี และจะสลายตัวปล่อยรังสีออกมาตลอดเวลา

อัตราการสลายตัวจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับเวลา ระยะเวลาที่ปริมาณรังสีลดลงไปครึ่งหนึ่งเรียกเวลานั้นว่า "ครึ่งชีวิต" ของธาตุกัมมันตรังสีนั้น ($t_{\frac{1}{2}}$) สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$A_t = A_o e^{-\lambda t} = A_o \cdot e^{-0.693t/t_{\frac{1}{2}}}$$

A_o = ปริมาณรังสีที่วัดได้ในระยะตั้งต้น มีหน่วยเป็น disintegration/Unit time

A_t = ปริมาณรังสีที่วัดได้เมื่อเวลาผ่านไป t Unit time

$t_{\frac{1}{2}}$ = ครึ่งชีวิตของธาตุกัมมันตรังสี

e = ฐานของ log

จากสมการข้างบนอาจเขียนได้ใหม่ดังนี้

$$R_t = R_o e^{-\lambda t}$$

Rt = จำนวนครั้งที่นับได้ที่เวลา t นาที

R_o = จำนวนครั้งที่นับได้ที่เวลาเริ่มต้น

λ = ค่าคงที่ของการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี = $0.693/ t_{\frac{1}{2}}$

รังสีที่ปลดปล่อยออกมาจากธาตุกัมมันตรังสีที่น่าสนใจ และใช้ในการวิเคราะห์มีรังสีเบตา (β^-) โปซิตรอน (β^+) แกมม่า (γ) และ Electron Capture รังสีแกมม่าให้พลังงานที่ค่า ๆ หนึ่ง (linespectrum) เป็นพลังงานเฉพาะของธาตุกัมมันตรังสีที่ปล่อยออกมา การวิเคราะห์พลังงานของรังสีแกมม่าที่ปล่อยออกมาจากธาตุที่ไม่ทราบชนิดมาก่อน และหาครึ่งชีวิตของธาตุกัมมันตรังสีนั้นก็จะสามารถวิเคราะห์หาชนิดของธาตุนั้น ๆ ได้ พลังงานของรังสีแกมม่าโดยทั่วไปจะมีพลังงานไม่ถึง 3 ล้านอิเลคตรอนโวลต์ (MeV)

2.1.4 การวัดรังสี

เมื่อเอาสารตัวอย่างไปอาบนิวตรอนเพื่อทำการวิเคราะห์ จำเป็นที่จะต้องรู้ลักษณะเฉพาะของรังสีที่ปล่อยออกมาดังนี้

- ชนิดของรังสีที่ถูกปล่อยออกมาจากสารตัวอย่าง
- พลังงานของรังสีที่ปล่อยออกมา
- ครึ่งชีวิตของธาตุกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้น
- ปริมาณรังสีที่เกิดจากธาตุกัมมันตรังสีแต่ละตัวที่เป็นส่วนประกอบในสารตัวอย่าง

ในบางกรณีการวิเคราะห์โดยวิธีนี้อาจจะต้องผ่านกรรมวิธีการแยกทางเคมีก่อนหรือหลังการอาบนิวตรอน

มีเครื่องมือหลายชนิดที่จะใช้ในการวัดรังสีแกมม่าเหล่านี้ เช่น Ionization Chamber, Geiger - Mueller Counters, Scintillation Counters, Spectrometers, Semiconductor detector

2.1.5 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ

การวิเคราะห์หาชนิดของธาตุโดยการนำสารตัวอย่างมาอาบด้วยนิวตรอนปกติเป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์หาธาตุที่มีปริมาณน้อยมาก ๆ ซึ่งใช้ได้รวดเร็ว มีความไวสูง วิธีการนี้มีหลักอยู่ว่าธาตุกัมมันตรังสีจะให้ค่าพลังงาน รังสีเบตา รังสีแกมม่า และค่าครึ่งชีวิตเฉพาะตัว ดังนั้นการเอาสารมาอาบรังสีแล้ววิเคราะห์หาชนิดของธาตุได้จากการหาค่าพลังงานของรังสีที่ปลดปล่อยออกมาด้วยเครื่องมือวัดรังสีที่เหมาะสมกับพลังงานของรังสีที่ออกมา ก็จะสามารถวิเคราะห์หาชนิดของธาตุที่มีอยู่ในสารตัวอย่างได้ ยกเว้นสารที่มีส่วนประกอบซับซ้อนมาก ๆ ซึ่งจำเป็นที่จะต้องผ่านกรรมวิธีการแยกทางเคมีก่อนหรือหลังการอาบนิวตรอน

2.1.6 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ

เทคนิคการวิเคราะห์โดยการอาบรังสีนิวตรอนแล้ววัดรังสีแกมม่าที่ปล่อยออกมาโดยการใช้เครื่องมือวัดรังสีแกมม่าที่เหมาะสมกับพลังงานของรังสีที่ออกมา นอกจากจะวิเคราะห์ในเชิงคุณภาพแล้ว ก็ยังสามารถวิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ ในเชิงปริมาณได้อีกด้วย โดยอาศัยหลักที่ว่า ความเข้มของรังสีที่เปล่งออกมาจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของธาตุที่มีอยู่ในส่วนประกอบของสารตัวอย่าง แต่ยังมีข้อแม้อยู่ว่าธาตุบางตัวไม่สามารถจะเปลี่ยนเป็นธาตุกัมมันตรังสีได้หมดทุกไอโซโทป เมื่อนำไปอาบรังสี เนื่องจากในธรรมชาติธาตุนั้นมีอยู่หลายไอโซโทป แต่ละไอโซโทปก็ไม่สามารถรับนิวตรอนได้เท่ากัน เพราะมีปริมาณต่างกันและมีความสามารถในการรับนิวตรอนได้ต่างกัน เช่น เหล็กในธรรมชาติมีอยู่ 4 ไอโซโทป คือ Fe^{54} (5.82 %) Fe^{56} (91.66%) Fe^{57} (2.19%) Fe^{58} (0.33%) และมี Fe^{54}, Fe^{58} เท่านั้นที่จะเกิดปฏิกิริยา (n,γ) นี้ได้ ดังนั้นรังสีที่วัดได้จากเหล็กก็จะมีเพียง 6.15% ของจำนวนเหล็กที่มีอยู่ทั้งหมดเท่านั้น

การพิจารณาหาค่าความหนาแน่นของธาตุต่าง ๆ จึงมีความสำคัญมากในการหาความไวที่จะเกิดธาตุกัมมันตรังสี กับค่านิวตรอนฟลักซ์ เพื่อหาวิธีการอาบรังสีที่ถูกต้องสำหรับธาตุนั้น ๆ

รังสีที่เกิดขึ้นในตัวอย่างไม่เพียงแต่จะขึ้นอยู่กับปริมาณของธาตุเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับค่า σ หรือความสามารถของธาตุที่จะรับนิวตรอน นิวตรอนฟลักซ์ และระยะเวลาของการอาบรังสี ลักษณะของการปลดปล่อยรังสีจากธาตุกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้น

σ ของนิวไคลด์ชนิดใด ๆ จะแสดงถึงความสามารถที่ธาตุนั้นจะรับนิวตรอนแล้วเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ เมื่อถูกยิงด้วยนิวตรอน ค่านี้ขึ้นอยู่กับค่าพลังงานของนิวตรอนด้วย ถ้าเป็นเทอร์มัลนิวตรอน Thermal neutron Cross Section จะเป็นค่าที่ใช้คำนวณให้เกิดอนุภาครังสี ค่าของ σ มีหน่วยเป็นบาร์น (1 บาร์น เท่ากับ 10^{-24} ซม.^{2})

ϕ = นิวตรอนฟลักซ์ มีหน่วยเป็นนิวตรอน ต่อ ตร.ซม. ต่อ วินาที ถ้า ϕ สูง รังสีที่เกิดขึ้นก็มากกว่า

ดังนั้นเมื่อเอาธาตุใด ๆ ไปอาบรังสีด้วยนิวตรอนที่ระยะเวลาหนึ่ง ปริมาณรังสีที่เกิดขึ้นจะเป็นดังนี้

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

A = ปริมาณรังสีที่เกิดขึ้น เมื่อนำเอาธาตุไปยิงด้วยนิวตรอน มีหน่วยเป็น dis/sec

N = จำนวนปรมาณูของไอโซโทปที่เกิดปฏิกริยานิวเคลียร์ที่สนใจ

σ = Cross - Section, ซม.^{2}

ϕ = neutron flux - neutron / cm^2 / sec.

ti = ระยะเวลาที่อาบรังสี

$t_{\frac{1}{2}}$ = ครึ่งชีวิตของธาตุกัมมันตรังสี

λ = ค่าคงที่ของการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้น = $0.693 / t_{\frac{1}{2}}$

$(1-e^{-\lambda t_i})$ = แฟคเตอร์ของการอิ่มตัว S เมื่อเวลา ti ที่ใช้อาบรังสีมีค่ามาก เมื่อเทียบกับครึ่งชีวิตของกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้น ค่า $1-e^{-\lambda t}$ จะมีค่าเข้าใกล้ 1 ดังนั้น

$$A = N \sigma \phi$$

การวิเคราะห์โดยการอาบรังสีด้วยนิวตรอนที่ใช้กันทุกวันนี้ ใช้เทคนิคเปรียบเทียบกับธาตุที่ทราบชนิดแล้ว โดยการอาบรังสีสารตัวอย่างกับสารมาตรฐานที่รู้น้ำหนักแน่นอนในระยะเวลาเดียวกัน ในที่มีนิวตรอนฟลักซ์เท่ากัน ลักษณะการอาบรังสีที่เป็นแบบเดียวกันแล้ววัดหาปริมาณรังสีของสารตัวอย่างกับสารมาตรฐานในลักษณะของการวางที่เป็นแบบเดียวกันด้วยเครื่องวัดอันเดียวกัน ดังนั้นจะได้

$$Wx = \frac{Ws\ Ax}{As}$$

$$Rx = Ax.\ \epsilon x$$

$$Rs = As\ \epsilon s$$

$$\therefore \frac{Rx}{Rs} = \frac{Ax}{As}$$

$$Wx = \frac{Ws.Ax}{As}$$

เมื่อ Wx = น้ำหนัก ของธาตุ X ในตัวอย่าง

Ws = น้ำหนัก ของธาตุ X ในสารมาตรฐาน

Ax = disintegration rate ของธาตุ X ในสารตัวอย่าง

As = "--------"--------" ของธาตุ X ในสารมาตรฐาน

Rx = อัตราการนับในตัวอย่าง

Rs = อัตราการนับในสารมาตรฐาน

ϵx = ประสิทธิภาพของการนับของสารตัวอย่าง

ϵs = ประสิทธิภาพของการนับของสารมาตรฐาน

2.1.7 การเลือกสารมาตรฐานที่ใช้สำหรับเปรียบเทียบมีความสำคัญเช่นเดียวกัน ดังนั้น สารมาตรฐานจึงต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. มีความบริสุทธิ์สูง
2. สามารถเกิดธาตุกัมมันตรังสีได้เพียงธาตุเดียว ดังนั้นจึงควรเป็น อ๊อกไซด์ ไนเตรต ออกซาเลต คาร์บอเนต และนิยมใช้อยู่ในรูปของธาตุมากกว่าพวกที่เป็นคลอไรด์ โบรไมด์ หรือไอโอไดด์
3. ละลายได้ง่ายในตัวทำละลายที่ต้องการ
4. ต้องไม่ดูดน้ำและสามารถชั่งได้ง่าย
5. มีความคงทนต่อรังสีและความร้อนได้สูง

การใช้วิธีเปรียบเทียบในการวิเคราะห์โดยการอาบรังสีด้วยนิวตรอนจะสามารถลดค่าคลาดเคลื่อนออกไปได้หลายอย่าง โดยจะต้องทำให้สารตัวอย่างและสารมาตรฐานเป็นแบบเดียวกัน มีปริมาณของธาตุที่จะวิเคราะห์ใกล้เคียงกัน ค่าคลาดเคลื่อนอาจเกิดจากการกำบังตนเองขณะอาบนิวตรอน เนื่องจากมีธาตุบางชนิดที่สามารถรับนิวตรอนได้ดี ถ้ามีสารตัวอย่างมีธาตุเช่นนี้มาก นิวตรอนจะไม่สามารถเข้าไปถึงบริเวณตรงกลางได้ ทำให้ธาตุกัมมันตรังสีเกิดขึ้นได้ไม่เต็มที่ เกิดการผิดพลาดขึ้นได้ อาจจะหลีกเลี่ยงได้โดยการใช้สารตัวอย่างน้อย ๆ สำหรับจะวิเคราะห์ นอกจากนั้นวิธีการที่จะทำให้ถูกต้อง ธาตุมาตรฐานที่ใช้จะต้องมีปริมาณของธาตุที่ต้องการจะหาใกล้เคียงกันกับในสารตัวอย่าง และควรจะเป็นลักษณะเดียวกัน

2.1.8 ความแม่นยำและเที่ยงตรง (Accuracy and Precision)

การวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคแอคติเวชั่น จะเกิดความแม่นยำและเที่ยงตรงได้ด้วยการหลีกเลี่ยงข้อผิดพลาดต่าง ๆ ดังนี้

2.1.8.1 การสุ่มตัวอย่าง

เนื่องจากความไวในการวิเคราะห์สูง จึงใช้สารตัวอย่างน้อย ๆ ซึ่งจะกันการเกิดกำบังตนเองได้ด้วย กรณีที่สารตัวอย่างมีเนื้อแตกต่างกันไม่สามารถจะทำให้เป็นเนื้อเดียวกันตลอด ตัวอย่างที่นำมาก็จะไม่สามารถแทนทั้งหมดได้ ทำให้ผลการวิเคราะห์ผิดพลาดได้

2.1.8.2 เทคนิคการอาบรังสี

ค่าคลาดเคลื่อนจะเกิดขึ้นได้ถ้านำตัวอย่างและสารมาตรฐานไปอาบรังสีในที่ที่มีนิวตรอนฟลักซ์ต่างกัน เนื่องจากความเข้มข้นของนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูมีค่าต่างกันในที่ต่าง ๆ ดังนั้นสารตัวอย่างและสารมาตรฐานจะต้องวางไว้ใกล้กัน แล้วนำไปอาบนิวตรอนพร้อมกันในเวลาเดียวกันและเป็นเวลาเท่ากัน

2.1.8.3 การกำบังตนเองขณะอาบนิวตรอน (Self Shielding)

ข้อผิดพลาดนี้เกิดจากการที่ธาตุบางชนิดมีความสามารถในการดูดจับนิวตรอนได้ดี ถ้ามีธาตุเหล่านี้มาก อนุภาคนิวตรอนจะไม่สามารถเข้าไปถึงบริเวณตรงกลางของสารนั้น ๆได้ทำให้เกิดธาตุกัมมันตรังสีได้ไม่เต็มที่ เกิดความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ได้

2.1.8.4 ปฏิกิริยานิวเคลียร์แทรกซ้อน (Interference Nuclear Reaction)

โดยที่สารตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์มีธาตุที่มีน้ำหนักปรมาณูใกล้เคียงกันอยู่ หรือตำแหน่งที่นำเอาตัวอย่างไปอาบนิวตรอนนั้นไม่ได้มีเทอร์มัลนิวตรอนเพียงอย่างเดียว อาจจะมีนิวตรอนอยู่ด้วย ทำให้ผลวิเคราะห์ผิดพลาดได้ แต่อย่างไรก็ตามโอกาสที่จะเกิดขึ้นก็ค่อนข้างจะยาก เนื่องจากปฏิกิริยาอื่น ๆ จะเกิดได้น้อยมากเมื่อเทียบกับปฏิกิริยา (n,γ) และจะสามารถแก้ได้โดยเลือกตำแหน่งที่มีนิวตรอนชนิดที่ต้องการเพียงชนิดเดียว

2.1.8.5 เทคนิคการวัด

การวัดรังสีของสารตัวอย่างและสารมาตรฐานจะต้องวางไว้บนหัววัดรังสีในตำแหน่งเดียวกัน และควรจะวัดในเวลาที่ไม่ต่างกันมาก เวลาการวัดหรือนับรังสีก็ต้องเท่ากัน

2.2 การหาปริมาณธาตุคาร์บอน กำมะถัน ฟอสฟอรัส และซิลิกอน

2.2.1 การหาปริมาณของธาตุฟอสฟอรัส และซิลิกอน โดยวิธี Spectrometry

หลักการ

ธาตุฟอสฟอรัส และซิลิกอน จะถูกเปลี่ยนให้เป็นสารประกอบที่มีสีเพื่อดูดแสงจากแหล่งกำเนิดแสง ที่ความยาวคลื่นใดความยาวคลื่นหนึ่ง ความเข้มของแสงที่ถูกดูดขึ้นอยู่กับกฎของ Lambert และกฎของ Beer กฎของ Lambert กล่าวว่าความเข้มของแสงที่ผ่านไปยังสารละลายเนื้อเดียวกันจะลดลงไปตามความหนาของชั้นสารละลายที่เพิ่มขึ้น ส่วนกฎของ Beer กล่าวว่าการดูดแสงจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนโมเลกุลที่ดูดแสง (Absorbing Molecule) หรือขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลาย กฎของ Beer จะใช้ได้ดีในกรณีที่สารละลายมีความเข้มข้นต่ำ ๆ เท่านั้น เมื่อแสงผ่านสารละลายออกไปจะถูกวัดเป็นเปอร์เซ็นต์ของ Transmittance หรือ Absorbance ที่ความยาวคลื่นใดความยาวคลื่นหนึ่งที่เหมาะสม เครื่องมือที่ใช้วัดเปอร์เซ็นต์ Transmittance หรือ Absorbance นั้นเป็น Colorimeter ซึ่งเป็น Spectrophotometer ชนิดหนึ่ง ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องมือมีดังนี้

ก. แหล่งกำเนิดแสง (Source of light) เป็นหลอดทังสเตน หรือแสงธรรมดาก็ได้ ซึ่งจะให้แสงที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 400 - 850 nm[1]

ข. โมโนโครมาเตอร์ (Monochromator) แสงจากแหล่งกำเนิดแสงจะมีความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน จำเป็นที่จะต้องเลือกแสงที่มีความยาวคลื่นใดความยาวคลื่นหนึ่งเพื่อวัดหาปริมาณของธาตุที่ต้องการ ซึ่งธาตุต่างชนิดกันจะมีค่าต่างกัน จึงใช้ Monochromator สำหรับแยกแสงโดยที่แสงจากแหล่งกำเนิดแสงจะผ่านไปกระทบกับ Prism หรือ Grating ซึ่งจะกระจายแสงออกไปเป็นความยาวคลื่นขนาดต่าง ๆ ที่ช่วงคลื่นระหว่าง 400 - 850 nm. ความยาวคลื่นที่เหมาะสมที่ให้ผ่านออกไปกระทบสารละลายนั้นจะทราบค่าของความยาวคลื่นได้จากการวัดตำแหน่งมุมของปริซึม

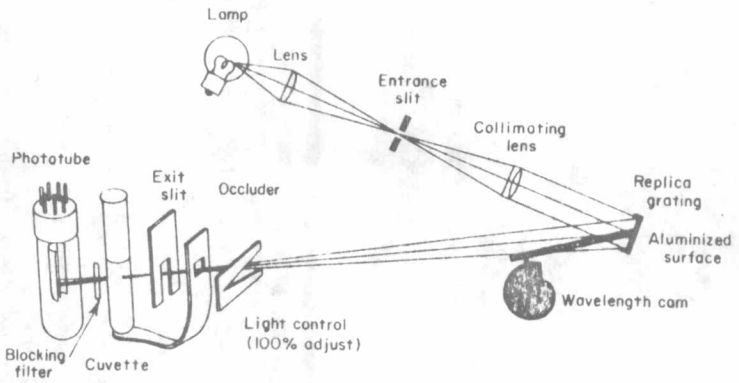
ค. Detector เมื่อได้แสงที่มีความยาวคลื่นตามที่ต้องการแล้วก็ให้ผ่านไปยังสารละลายที่บรรจุในเซลล์ขนาดเล็ก ๆ แล้วแสงที่ผ่านสารละลายออกไปจะไปกระทบกับ Detector ซึ่งเป็น Photocell หรือ Photomultiplier แล้วพลังงานแสงจะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานไฟฟ้า ปรากฏให้เห็นเป็นเปอร์เซ็นต์ของ Transmittance หรือ Absorbance ที่ความยาวคลื่นนั้น ๆ

---

1 nm = nanometer เป็นหน่วยวัดความยาวคลื่นของแสง ที่มีค่าเท่ากับ 10^{-9} เมตร

รูปที่ 2.1

แสดงส่วนประกอบของเครื่องมือ Spectrophotometer แบบ Spectronic 20 ของ Bausch & Lomb.



จากกฎของ Lambert & Beer สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$I = Ioe^{-abc}$$

เมื่อ Io, I เป็นความเข้มของแสงที่ผ่านไปกระทบและแสงที่ผ่านออกไปตามลำดับ

b เป็นระยะทางที่แสงผ่าน (path of light) จะมีค่าคงที่ มีหน่วยเป็น ซม.

c เป็นความเข้มข้นของสารละลายมีหน่วยเป็น โมล ต่อลิตร

a เป็น molar absorptivity หรือ Molar Extinction Coefficient มีหน่วยเป็น 1000 ซม^2/โมล ซึ่งจะมีค่าคงที่สำหรับสารชนิดหนึ่ง ๆ

Io = มีค่าคงที่

$\therefore$ I = ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารแต่เพียงอย่างเดียว

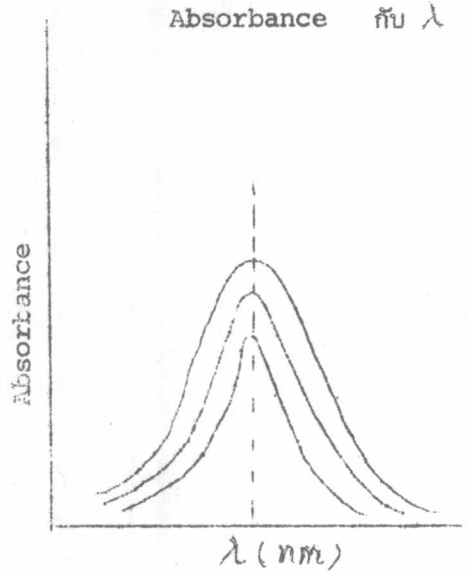
$$\log Io/I = abc$$

$$A = abc$$ เมื่อ log Io/I=A=Absorbance

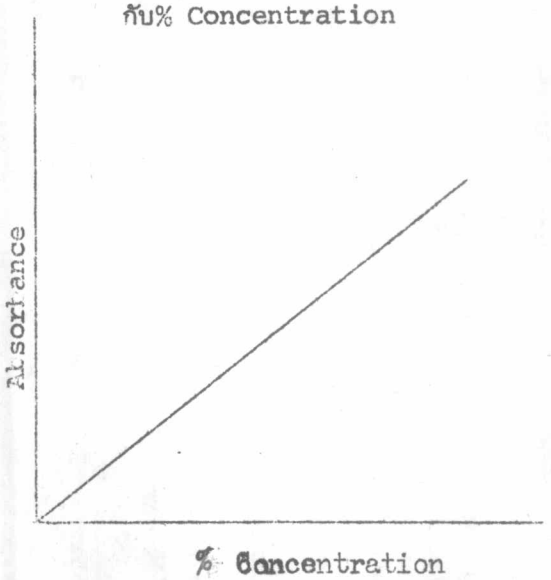
$\therefore$ ค่า Absorbance ก็ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายเท่านั้น

ในการหาปริมาณของสารประกอบนั้นวัดค่า Absorbance หรือเปอร์เซ็นต์ Transmittance อย่างใดอย่างหนึ่งที่ความยาวคลื่นที่เหมาะสมเท่านั้น การเลือกความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการวัด Absorbance ของสารละลายใด ๆ นั้น จะต้องเลือกความยาวคลื่นที่ให้ค่า Absorbance ที่สูงสุด ทั้งนี้เพราะปริมาณของสารละลายที่มีความเข้มข้นต่างกัน เมื่อวัด Absorbance ที่ความยาวคลื่นอ่าง ๆ แล้วนำมาเขียนกราฟระหว่างค่า Absorbance กับความยาวคลื่น จะได้ Absorbance Curve เป็นแบบเดียวกัน ต่างกันตรงขนาดเท่านั้น แต่จะมีค่า Absorbance สูงสุดอยู่ตรงความยาวคลื่นที่เท่ากัน ดังรูปที่ 2.2 และถ้าเขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นกับค่า Absorbance จะได้กราฟเป็นเส้นตรง ดังรูปที่ 2.3สามารถนำไปวิเคราะห์ปริมาณของธาตุได้โดยการวัดค่า Absorbance ที่ความยาวคลื่นที่ให้ค่า Absorbance สูงสุดที่ใช้สร้าง Calibration Curve.

รูปที่ 2.2 Absorbance Curve แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Absorbance กับ λ



รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Absorbance กับ% Concentration



2.2.2 การหาปริมาณของธาตุคาร์บอนกับกำมะถัน โดยใช้เครื่อง Infracarb-s E 880

เป็นการวิเคราะห์หาธาตุคาร์บอนกับกำมะถันในเหล็กโดยเปลี่ยนธาตุกำมะถันหรือธาตุคาร์บอน ให้เป็นแกสคาร์บอนไดอ๊อกไซด์ กับซัลเฟอร์ไดอ๊อกไซด์ โดยทำให้เกิดการเผาไหม้กับอ๊อกซิเจนก่อน แล้วผ่านแกสที่เกิดขึ้นเข้าไปในเครื่อง Infra - red Gas Analysers ที่จะทำหน้าที่แยก ซัลเฟอร์ไดอ๊อกไซด์ ออกจากคาร์บอนไดอ๊อกไซด์ แล้วแกสที่เกิดขึ้นจะผ่านเข้าไปที่เครื่องวัดสำหรับคาร์บอนไดอ๊อกไซด์ หรือแกสซัลเฟอร์ไดอ๊อกไซด์โดยไม่ปะปนกัน และเครื่องที่วัดแกสทั้งสองนี้จะไวเฉพาะ แกสตัวใดตัวหนึ่งเท่านั้น และปริมาณที่เกิดขึ้นจะปรากฏออกมาที่เครื่องวัด อ่านค่าได้ออกมาเป็นเปอร์เซนต์ของคาร์บอนกับกำมะถันเลย

006789

ส่วนประกอบของเครื่องมือ

1. Programming Unit กับ Digital Display
2. Analysis Unit ประกอบด้วย
   Infra - red gas analysers สำหรับ
   CO_2 กับ SO_2

หลักของ Infra - red Gas Analyser มีอยู่ว่าแกสที่ต้องการวัดหาปริมาณนั้นจะต้องดูดแสง Infra - red มากในขณะที่แกสอื่นซึ่งมีปะปนกันอยู่นั้นจะไม่ดูดแสง Infra-red ซึ่งขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลของแกสและชนิดของแกสนั้นด้วย

Infra - red Gas Analyser ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

ก. แหล่งกำเนิดแสง จะต้องเป็นแหล่งกำเนิดที่ให้แสง Infra - red ที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 2.5 - 15.0nm หรือ Wavenumber ตั้งแต่ 600-4000 cm^{-1} และให้ผ่านไปยัง Sample Cell ที่บรรจุ Sample gas ที่จะวัดหาปริมาณ

ข. Sample Cell เป็น Gas cell ที่บรรจุตัวอย่างแกสจะมีความยาวตั้งแต่ 1 - 20 ซม. หรือมากกว่านั้น และจะมีหน้าต่างเป็น NaCl หรือ KBr ความเข้มข้นของตัวอย่างแกสที่ถูกบรรจุใน Gas cell นั้นจะทราบจากเครื่องคุมความดันของแกสตัวอย่างที่ผ่านเข้าไปใน gas cell

ค. Filter Cell และ Compensator Cell ใน Filter Cell จะบรรจุแกสชนิดเดียวกันกับแกสที่จะวัดหาปริมาณโดยที่บรรจุแกสเข้าไปใน Filter cell ให้มีความเข้มข้นมากที่สุด เพื่อที่แกสนั้นจะสามารถดูดแสง Infra - red ได้ทุกความยาวคลื่นตามคุณสมบัติของแกสนั้น ส่วนใน Compensator Cell นั้นว่างเปล่าเป็นเพียง Optical path ของ cell เท่านั้น

ง. Bolometer เป็นส่วนที่ใช้วัดความเข้มของแสงโดยเปรียบเทียบความเข้มของแสงที่ออกมาจาก filter cell และ Compensator cell

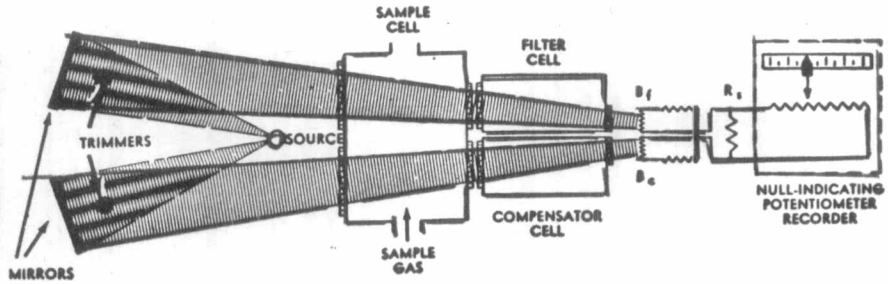
จ. Recorder ความเข้มของแสงที่เปรียบเทียบได้ จะส่งผลไปยังเครื่องบันทึกซึ่งจะรายงานผลออกมาให้ทราบ เป็นความเข้มข้นของแกสเป็นเปอร์เซ็นต์ในส่วนผสมของแกสนั้น ๆ

ความเข้มของแสงที่ออกจาก filter Cell จะมีความเข้มคงที่ไม่ว่าความเข้มข้นของแกสที่ต้องการวัดหาปริมาณที่มีอยู่ใน gas cell จะแปรเปลี่ยนความเข้มไปมากน้อยเท่าไหร่ก็ตาม แต่ผลของการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแกสที่ต้องการวัดหาปริมาณ จะไปปรากฏที่ความเข้มของแสงที่ออกจาก Compensator cell

ดังนั้นความเข้มของแสงที่ได้จากการเปรียบเทียบในส่วนของ Bolometer จึงออกมาเป็นผลให้ทราบเป็นเปอร์เซ็นต์ของความเข้มข้นของแกสในแกสผสมในส่วนของ Recorder

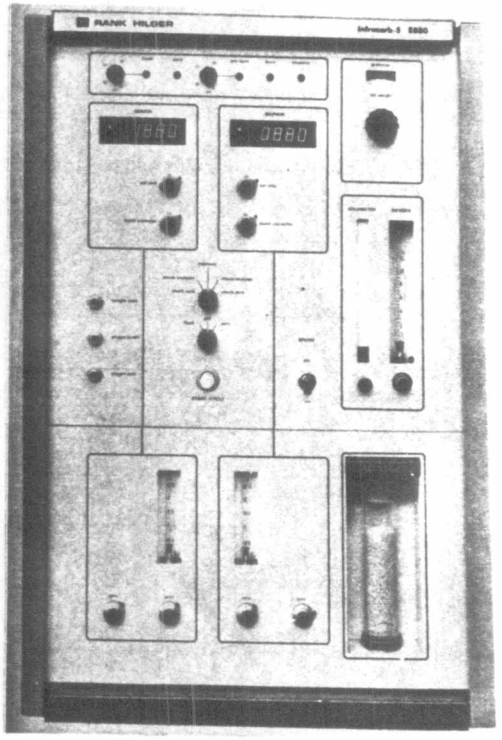
เครื่องมือที่ใช้วัดหาปริมาณของธาตุคาร์บอนและธาตุกำมะถันในดาบต่อสู้ไทยโบราณนั้นเป็น Infracarb - S model E 880 ผลิตโดยบริษัท Rank Hilger เครื่องมือนี้สามารถวัดผลเป็นเปอร์เซ็นต์ของธาตุคาร์บอนกับกำมะถันโดยอัตตโนมัต (ตามรูปที่ 2.5) และสามารถวัดความเข้มข้นของแกสคาร์บอนไดอ๊อกไซด์ และซัลเฟอร์ไดอ๊อกไซด์ ได้ตั้งแต่ 0 -5.0%

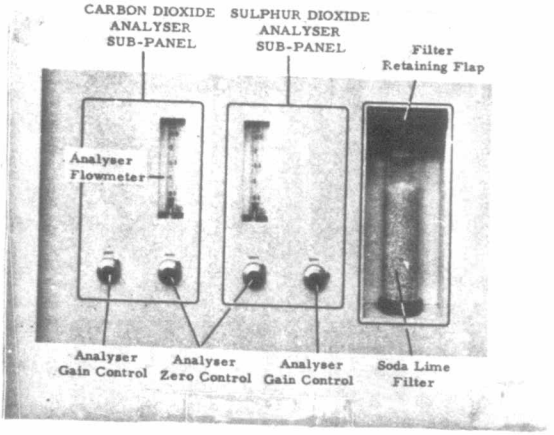
วิธีทำ นำเอาตัวอย่างที่จะหาคาร์บอนและกำมะถันชั่งมา 1 กรัม แล้วนำไปเผากับอ๊อกซิเจน คาร์บอน และซัลเฟอร์จะถูกเปลี่ยนเป็น คาร์บอนไดอ๊อกไซด์ และ ซัลเฟอร์ไดอ๊อกไซด์ แกสที่เกิดขึ้นจะผ่านไปยัง Infra - red gas Analysers สองหน่วยด้วยกันคือ ส่วนที่จะแยกวัด คาร์บอนไดบอกไซด์ จะผ่านไปยัง CO_2- Analyser ส่วนที่เป็น ซัลเฟอร์ไดอ๊อกไซด์ จะผ่านไปยัง SO_2- Analyser ปริมาณแกสที่เกิดขึ้นจะปรากฏออกมาเป็น % ของ คาร์บอน ซัลเฟอร์ เลยโดยอัตตโนมัต



รูปที่ 2.4 แสดงส่วนประกอบของ

Infra - Red Gas Analyser





รูปที่ 2.5 รูปเครื่องมือ INFRACARB - S E880

2.3 เหล็กกล้าคาร์บอน

เหล็กกล้าคาร์บอน หมายถึงเหล็กที่มีธาตุคาร์บอนผสมอยู่ในปริมาณที่ต่ำกว่าร้อยละ 2 อาจจะมีธาตุอื่น ๆ อยู่ด้วยในลักษณะที่เป็นสารเจือปน (Impurities) เช่น แมงกานีส กำมะถัน ฟอสฟอรัส ซิลิกอน ที่อาจจะติดมาจากแร่ที่นำมาถลุงก็เป็นได้ เหล็กกล้าสามารถจะแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ตามปริมาณร้อยละของธาตุคาร์บอนที่ผสมอยู่ดังต่อไปนี้

ก. เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Steel) มีธาตุคาร์บอนน้อยกว่าปริมาณร้อยละ 0.3 เป็นเหล็กที่อ่อน รีดหรือตีแผ่เป็นแผ่นได้ ส่วนมากใช้ในการก่อสร้างทั่ว ๆ ไป เรียกว่า Mild Steel

ข. เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium Carbon Steel) มีธาตุคาร์บอนอยู่ปริมาณร้อยละ 0.3 - 0.6 เป็นเหล็กที่มีความแข็งสูงกว่าประเภทแรก ส่วนมากใช้ทำชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลทั่วไป และสามารถชุบแข็งได้

ค. เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (Hight Carbon Steel) มีธาตุคาร์บอนตั้งแต่ปริมาณร้อยละ 0.6 ขึ้นไป เป็นเหล็กที่มีความแข็งแรง (Strength) และความแข็ง (hardness) สูง แต่มีความเหนียวต่ำ สามารถทำการชุบแข็งได้ ใช้ทำเครื่องใช้ต่าง ๆ ที่ต้องการความทนทานต่อการสึกหรอสูง

2.3.1 การถลุงเหล็กกล้า

การถลุงเหล็กกล้าโดยทั่วไป ไม่ว่าจะเป็นในสมัยโบราณหรือในสมัยปัจจุบัน คือการเอาแร่เหล็กซึ่งส่วนมากเป็นอ๊อกไซด์ของเหล็ก เอามาถลุงในเตาที่ให้ความร้อนด้วยถ่าน ถ่านจะทำหน้าที่เป็นทั้งเชื้อเพลิงให้ความร้อนและเป็นตัวดึงเอาอ๊อกซิเจนจากแร่เหล็กออกมาให้ได้เหล็ก ซึ่งเหล็กที่ถลุงได้จะมีคาร์บอนผสมอยู่ด้วยเสมอ นอกจากนี้ยังมีธาตุอื่นผสมอยู่ด้วยในลักษณะของสารเจือปน เหล็กที่มีคาร์บอนผสมอยู่น้อยกว่าร้อยละ 2 จึงเรียกว่าเหล็กกล้าคาร์บอน (Plain Carbon Steel)

2.3.2 อิทธิพลของธาตุคาร์บอนที่มีต่อเหล็กกล้า

ธาตุคาร์บอนที่มีอยู่ในเหล็กกล้า จะไปทำให้เหล็กมีความแข็งแรงและความแข็งเพิ่มขึ้น แต่ถ้าปริมาณของธาตุคาร์บอนสูงขึ้น ความแข็งจะสูงขึ้นตามปริมาณของคาร์บอน แต่จะทำให้ความเหนียวลดลง บางกรณีถ้ามีคาร์บอนอยู่ปริมาณสูง และในเหล็กกล้านั้นผสม Alloy elements บางตัวลงไปด้วย เช่น แมงกานีส หรือโครเมี่ยม อาจจะทำให้เกิดคาร์ไบด์ของธาตุ

แมงกานีส หรือโครเมี่ยม ซึ่งมีความแข็งมาก มีส่วนทำให้คุณสมบัติเหล็กกล้าเปลี่ยนไปด้วย

นอกจากธาตุที่มีอยู่ในเหล็กกล้าในลักษณะของสารเจือปนแล้ว ยังมีธาตุอื่น ๆ ที่อาจจะผสมลงไปในเหล็กกล้าเพื่อให้เกิดคุณสมบัติเปลี่ยนไปตามที่ต้องการได้ ธาตุต่าง ๆ เหล่านี้เป็นธาตุที่มีคุณสมบัติที่จะรวมกับเหล็กเกิดเป็นเหล็กกล้าผสมได้ ธาตุที่สำคัญมีดังนี้

นิเกิล (Ni)

เมื่อผสมลงไปในเหล็กกล้าจะรวมกับเหล็กเกิดเป็น Solid Solution ทำให้ความแข็งแรงของเหล็กกล้าเพิ่มขึ้นและมีความเหนียว (ductility) อยู่ในเกณฑ์ดี นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มคุณสมบัติในการชุบแข็งได้ดีและทนต่อการกัดกร่อน (Corrosion)

โครเมียม (Cr) เป็นธาตุที่จะรวมกับเหล็กในลักษณะ Solid Solution ได้ ทำให้เหล็กมีความแข็งแรงมากขึ้น แต่ถ้าเหล็กมีธาตุคาร์บอนอยู่ด้วย โครเมียมก็จะรวมกับธาตุคาร์บอนเกิดเป็นโครเมียมคาร์ไบด์ที่เสถียรภาพ ทำให้เกิดความแข็งสูง และทนความร้อนได้อยู่ในเกณฑ์ดี จากคุณสมบัติที่สามารถรวมกับธาตุคาร์บอนเกิดเป็นคาร์ไบด์ที่มีเสถียรภาพความแข็งมากขึ้น จึงทำให้เหล็กกล้านั้นทนต่อการสึกหรอได้ดี แต่มีข้อเสียอยู่บ้างถ้ามีคาร์ไบด์เกิดขึ้นและไปจับอยู่ตาม grain boundary จะมีส่วนทำให้เหล็กสูญเสียความเหนียว (ductility)

แมงกานีส (Mn) คล้ายคลึงกับนิเกิลมาก แต่จะรวมกับคาร์บอนเกิดเป็นคาร์ไบด์ แมงกานีส จะมีอิทธิพลต่อเหล็กกล้าคาร์บอน จะทำให้เหล็กมีความแข็งแรงและความแข็งสูง แต่แมงกานีส จะทำให้คุณสมบัติทางเชิงกลไม่สม่ำเสมอ เพราะเกิดการแยกตัวได้ง่ายตามบริเวณ grain boundary และจะทำให้เกิดแมงกานีสคาร์ไบด์ตาม grain boundary ทำให้เหล็กเปราะ แตกง่าย เมื่อถูกกระแทก

โมลิบเดนั่ม (Mo) มีอิทธิพลต่อเหล็กกล้าคาร์บอนคล้ายคลึงกับโครเมียมและนิเกิลรวมกัน กล่าวคือจะรวมกับคาร์บอนให้คาร์ไบด์ที่เสถียรภาพสูง ทำให้เหล็กคาร์บอนที่ผสมโมลิบเดนั่มมีความแข็งแรงและคงความแข็งแรงไว้ได้ดีที่อุณหภูมิสูง โดยไม่ทำให้ความเหนียวลดลง

ทังสเตน (W) จะทำให้เหล็กมีความแข็งเพิ่มขึ้น ทังสเตนจะรวมกับคาร์บอนได้ดี เกิดเป็นคาร์ไบด์ที่เสถียรภาพสูง มีความแข็งสูง ถ้าปริมาณของทังสเตนสูง ความแข็ง Tensile Strength ก็จะสูงขึ้นด้วย

แวนนาเดียม (V) เมื่อรวมกับเหล็กจะทำให้เหล็กมีความแข็ง ความแข็งแรง และความเหนียวสูง แม้จะมีผสมอยู่ในเหล็กในปริมาณน้อยก็ตาม

ซิลิกอน (Si) มีอิทธิพล ที่จะช่วยทำให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น สามารถละลายในเหล็กได้ แต่จะไม่รวมกับธาตุคาร์บอนในเหล็ก

โคบอลต์ (Co) เป็นธาตุที่จะรวมกับเหล็กได้ ทำให้เหล็กมีความแข็งแรงมากขึ้น ทนความร้อนสูงเป็นพิเศษ

2.3.3 การศึกษาทาง Metallography

เป็นการศึกษาลักษณะโครงสร้างของโลหะ เพื่อจะทราบถึงคุณสมบัติของโลหะ กรรมวิธีการผลิตโลหะและอื่น ๆ โดยการตรวจดูโครงสร้างโลหะด้วยกล้องจุลทัศน์ ซึ่งมีวิธีการดังต่อไปนี้

2.3.3.1 การเตรียมตัวอย่าง

1. เก็บตัวอย่างเหล็กขนาด 1/4-1 ตารางนิ้ว (ถ้าตัวอย่างเล็กเกินไปก็ยากต่อการขัดผิว)
2. เอาชิ้นตัวอย่างอัดลงในพลาสติคโดยการใช้ความร้อนและอัดด้วยความดัน
3. นำเอาตัวอย่างที่อัดในพลาสติคแล้วมาขัดด้วยกระดาษทรายจากหยาบ ถึงกระดาษทรายละเอียด จากเบอร์ 240,300,400,600 ตามลำดับ จนไม่มีรอยหรือเส้นปรากฏให้เห็นบนผิวโลหะ เมื่อมองดูด้วยตาเปล่า
4. นำเอาตัวอย่างที่ขัดได้จากข้อ 3 ไปขัดด้วยเครื่องโดยการใช้ผงขัดใส่ลงไปด้วย ผงขัดที่ใช้เป็นอลูมินาที่ละเอียดมากผสมกับน้ำจนได้ผิวเรียบเป็นมัน ปราศจากรอยจากการขัดบนกระดาษทราย

2.3.3.2 การกัดผิว

เพื่อให้เห็นลักษณะของเกรนของโลหะ ลักษณะโครงสร้างของโลหะ น้ำยากัดผิวที่ใช้มี

1 - 5 % Nital (กรดดินประสิวผสมในแอลกอฮอล์)

5 % Picric Acid (Picric Acid ผสมในแอลกอฮอล์)

2.3.3.3 อุปกรณ์ถ่ายภาพลักษณะโครงสร้าง

ประกอบด้วยกล้องจุลทัศน์ ติดกล้องถ่ายภาพ และอุปกรณ์เพื่อยึดตัวอย่างโลหะ