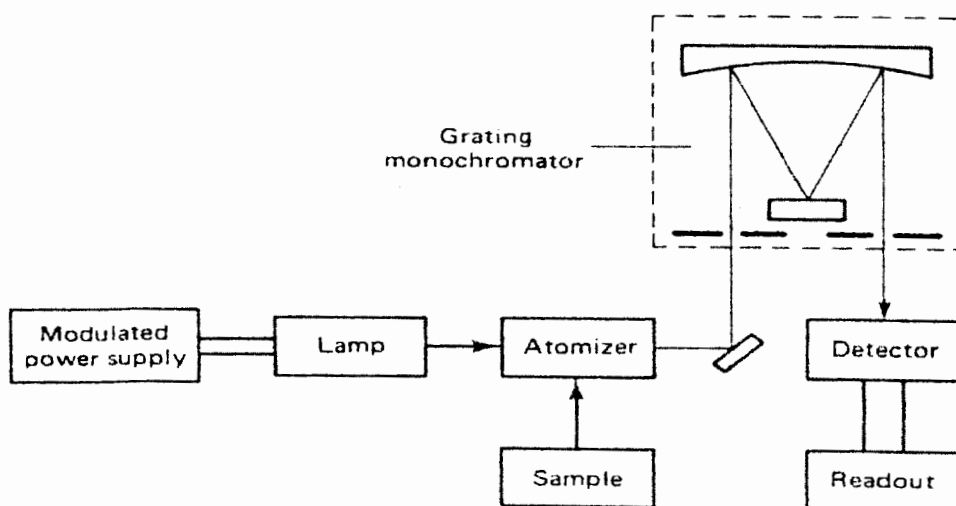


## บทที่ 10

# การวิเคราะห์ด้วยอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรสโกปี

(Analysis by Atomic Absorption Spectroscopy, AAS)

เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุอนินทรีย์ต่างๆเกี่ยวกับการดูดกลืนแสงของอะตอม ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ในรูปสารปนเปื้อนเช่นในน้ำ ดิน อากาศ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นโลหะหนัก และมีความสำคัญต่อการควบคุมคุณภาพในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อยกระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้มีมาตรฐาน ซึ่งสามารถทำได้ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณวิเคราะห์ โดยตัวอย่างจะถูกทำให้ร้อนขึ้นเพื่อเปลี่ยนสภาพเป็นอะตอมและสามารถดูดกลืนแสงได้ในปริมาณที่เป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของธาตุที่มีอยู่ในตัวอย่าง AAS นำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร และเครื่องมือในการวิเคราะห์ปริมาณ ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง สังกะสี เหล็ก และแคลเซียม ในอาหารนมจะวิเคราะห์ปริมาณแมงกานีส โปแตสเซียม โซเดียมและแคลเซียม ทางด้านการแพทย์ใช้ตรวจปริมาณโลหะหนักในเลือด ด้านสิ่งแวดล้อมเช่น อากาศ น้ำ และดินมีโลหะหนักปนเปื้อนมาก อุตสาหกรรมสินแร่ในดินเช่นการหาโลหะเงินและทอง เป็นต้น



ภาพที่ 10.1 แสดงส่วนประกอบต่างๆของ Atomic Absorption Spectrometry

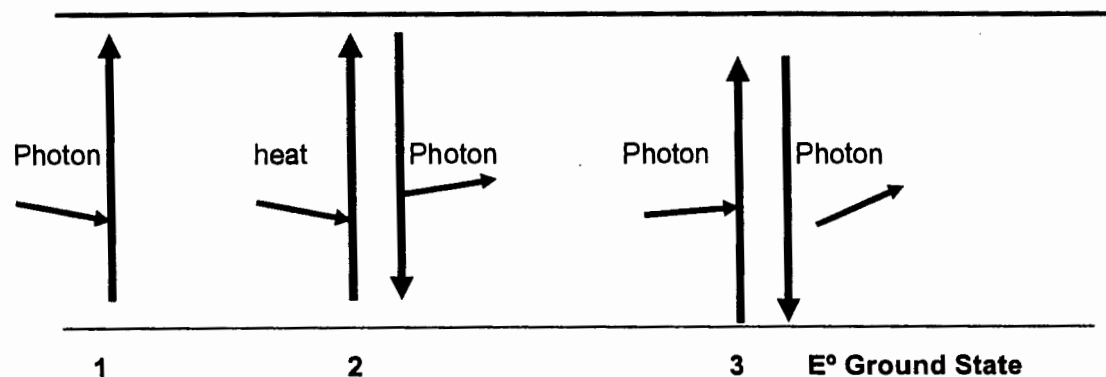
## หลักการของอะตอมมิกแอบซอร์พชัน (Principles of Atomic absorption spectroscopy)

อะตอมมิกแอบซอร์พชันเป็นกระบวนการที่เกิดจากอะตอมเสรีของธาตุ เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานจะดูดกลืนพลังงานและเปลี่ยนวงโคจรไปอยู่วงโคจรใหม่ที่ระดับพลังงานสูงกว่าเดิม ซึ่งธาตุจะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นเฉพาะขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุนั้นๆ โดยค่าการดูดกลืนแสงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเข้มข้นของโลหะ เมื่อโลหะมีความเข้มข้นมากจะดูดกลืนแสงได้มาก ถ้าโลหะมีความเข้มข้นน้อยก็ดูดกลืนแสงน้อยเช่นอะตอมของตะกั่วจะดูดกลืนแสงที่ 283.3 nm เป็นช่วงคลื่นที่มีพลังงานพอดีที่จะทำให้อิเล็กตรอนของตะกั่วเกิดการเปลี่ยนสถานะจากสถานะพื้น (ground state) ไปสู่สถานะกระตุ้น (excited state) ในการทำให้อะตอมของธาตุเกิดเป็นอะตอมเสรีต้องอาศัยพลังงานความร้อน เช่นพลังงานความร้อนจากเปลวไฟ หรือความร้อนจากไฟฟ้า เป็นต้น

1. **Atomic absorption** เกิดจากการเปลี่ยนสภาวะของ electron จากสภาวะพื้น (ground state) ไปยังสภาวะกระตุ้น (excited state) จะมีการดูดกลืนจาก photon

2. **Atomic emission** เมื่อ electron ได้รับพลังงานจากความร้อน ทำให้อิเล็กตรอนเปลี่ยนสภาวะไปยังสภาวะกระตุ้นระดับแรกแล้วปล่อยพลังงานออกมาสู่สภาวะพื้นจะให้ photon

3. **Atomic fluorescence** เมื่อ electron ได้รับพลังงานจาก photon เนื่องจาก spectrum เปลี่ยนระดับพลังงานไปยังสภาวะกระตุ้น เมื่อกลับมาสู่สภาวะพื้นจะให้ photon ออกมา



ภาพที่ 10.2 แสดง Transition diagram

หมายเหตุ : 1 = Atomic absorption 2 = Atomic emission 3 = Atomic fluorescence

### การเตรียมตัวอย่างประเภทอินทรีย์

1. Wet digestion เป็นการย่อยสลายสารตัวอย่างด้วยกรดเข้มข้น ซึ่งอาจใช้กรดเดี่ยวหรือกรดผสมหลายชนิดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการย่อย กรดที่นิยมใช้คือ  $H_2SO_4$ ,  $HNO_3$ ,  $HClO_4$  ถ้าเป็นกรดผสมนิยมใช้อัตราส่วนดังนี้คือ  $H_2SO_4 : HClO_4 : HNO_3 = 3:1:1$

2. Dry ashing โดยนำสารตัวอย่างไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ  $500^\circ C$  สารอินทรีย์จะสลายตัวไป จนเหลือเถ้า แล้วนำไปละลายด้วยกรดที่เหมาะสม กรองก่อนปรับปริมาตร เวลาเผาต้องควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมเพราะธาตุบางชนิดจะระเหยไปได้เมื่ออุณหภูมิสูงเกินไป เช่น As, Se, Pb เป็นต้น

### การเตรียมตัวอย่างประเภทอนินทรีย์

การละลาย (Dissolution) โดยใช้กรดหรือด่าง เช่น  $HNO_3$ ,  $H_2SO_4$ , และ  $HClO_4$  ละลายสารตัวอย่าง ทำให้เกิดการแตกตัวของโลหะที่อยู่ในรูปสารประกอบเป็นไอออน โดยมีปัจจัยต่างๆ ช่วยในการละลายเช่น ความดัน ความร้อน นอกจากนี้ยังรวมถึง วิธี microwave digestion, acid digestion, pressure digestion เช่น acid bomb digestion

### การเตรียมเครื่องแก้วเพื่อใช้ในการวิเคราะห์โลหะหนัก

1. โดยแช่เครื่องแก้วใน mineral acid เช่น กรด  $HCl$ ,  $HNO_3$  ความเข้มข้น 10% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2. ทำความสะอาดเครื่องแก้วด้วยน้ำกลั่นหรือ deionize water ที่ปราศจากสารปนเปื้อน

3. อบแห้งและเก็บในภาชนะปิดก่อนนำไปใช้

การเลือกวิธีเตรียมตัวอย่างที่เหมาะสมต้องคำนึงถึง

- ◆ ตัวอย่างมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันหรือไม่
- ◆ เป็นโลหะหนักที่ถูกย่อยสลายได้ง่ายหรือไม่
- ◆ ปริมาณของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ในตัวอย่างมีปริมาณมากน้อยเพียงใด
- ◆ องค์ประกอบของตัวอย่างที่สารจำพวกอินทรีย์อยู่มากน้อยเพียงใด

การเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ โดยทั่วไปมีวิธีการวิเคราะห์จากคู่มือต่างๆ ดังนี้คือ

- ◆ Standard Methods เช่น American Society for Testing and Materials (ASTM),

Association of Official Analytical Chemists (AOAC)

- ◆ Literature Methods
- ◆ Official Methods เช่น Environmental protection Agency (EPA)
- ◆ Laboratory developed Methods (In house methods) คือวิธีที่ได้ปรับปรุงจากวิธีต่างๆ จนได้ค่าที่ถูกต้องยอมรับ

สิ่งไร้ตัวตน (Blank solution) และสารละลายที่ใช้ละลายสารตัวอย่างต้องเป็นชนิดเดียวกัน

### ส่วนประกอบที่สำคัญของ atomic absorption spectroscopy (AAS) ประกอบด้วยส่วนสำคัญดังนี้คือ

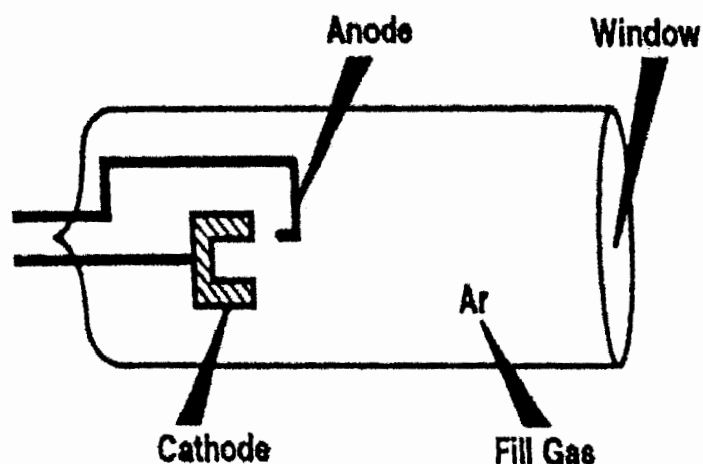
1. แหล่งกำเนิดแสง (Light source)
2. แหล่งผลิตไออะตอม (Atomizer)
3. โมโนโครเมเตอร์ (Monochromator)
4. เครื่องตรวจวัด (Detector)
5. เครื่องอ่านสัญญาณ (Read out)

1. แหล่งกำเนิดแสง (Light source) สำหรับเครื่อง AAS แหล่งกำเนิดแสงใช้เป็น hollowcathode lamp (HCL) และ electrodeless discharge lamps (EDL) โดยทั่วไปแล้ว แหล่งกำเนิดแสงจะเป็นตัวปลดปล่อยคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่นในช่วงซึ่งขาดต้องการวิเคราะห์จะสามารถดูดกลืนแสงได้

1.1 Hollow cathode Lamps (HCLs) โดยมากจะใช้หลอด Hollow cathode lamp เป็นแหล่งกำเนิดแสง Hollow cathode lamp ทำจากหลอดแก้วเป็นรูปทรงกระบอกที่ฉาบด้านในด้วยธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ ซึ่งบรรจุด้วย cathode และ anode ทำด้วยโลหะนิกเกิลหรือทังสเตน หรือเซอร์โคเนียมเป็นแห่งเล็กๆ ภายในบรรจุด้วยก๊าซเฉื่อย เช่น Argon หรือ Neon ที่มีความดันต่ำ 4-10 torr เมื่อให้ความต่างศักย์สูงถึง 600 โวลต์ ไอออนของก๊าซที่ประจุบวกจะวิ่งชนขั้ว cathode และอะตอมที่ฉาบอยู่ที่ผิว ขั้วเหล่านี้จะถูกเร่งและปลดปล่อย spectrum ของธาตุนั้นออกมาเป็นสเปกตรัมเฉพาะของธาตุนั้นๆ กระเจกที่นำมาทำเป็นหลอดนั้นมีความสำคัญมาก คือจะต้องยอมให้คลื่นแสงผ่านได้ดีที่สุด แก้ว Quart สามารถยอมให้แสงผ่านได้ดีที่สุด ส่วนแก้ว pyrex ซึ่งมีราคาถูกกว่าแต่สามารถให้แสงผ่านได้ดีในช่วงที่มีความยาวคลื่นสูงกว่า 350 nm Hollow cathode lamp จะให้ spectrum ที่แคบมาก แต่ช่วงความยาว

คลื่นที่อะตอมจะดูดกลืนก็ยิ่งแคบกว่าแสงที่เปล่งออกมาจากหลอด HCL ทุกหลอดเมื่อจะใช้งานต้องเปิดให้อุ่นก่อน 5-10 นาที เพื่อให้แสงที่ออกมาคงที่

**Hollow Cathode Lamp** มีข้อดีคือ ให้ความเข้มรังสีสูงและลด dropper effect



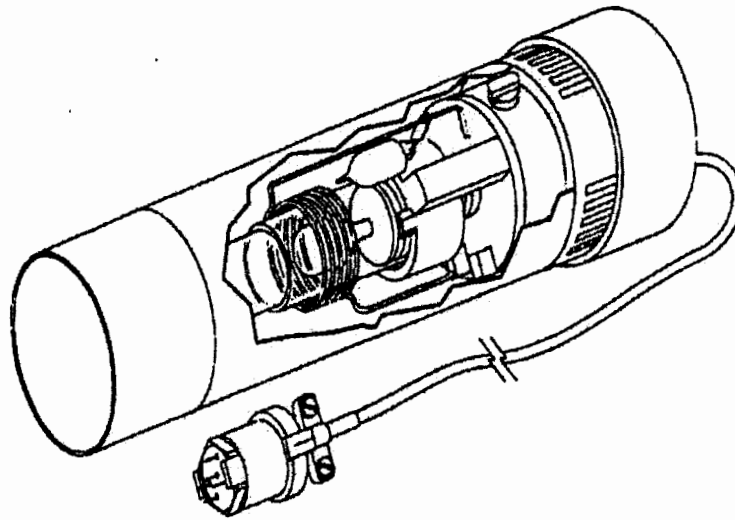
*Hollow cathode lamp.*

ภาพที่ 10.3 แหล่งกำเนิดแสง Hollow Cathode Lamp

**1.2 Electrodeless Discharge Lamp (EDL)** จะให้ emission สม่ำเสมอกับธาตุที่ระเหยง่าย เช่น As, P, Pb, Sb, Se, Sn, Te, TI และ Zn ให้ความเข้มสูงกว่า ทำให้การทำงานเร็วขึ้น

**ข้อเสียของ EDL คือ**

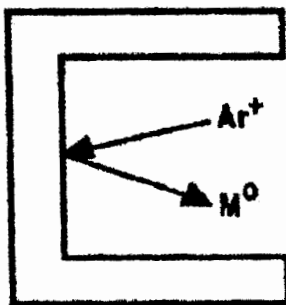
1. ราคาแพงกว่าแหล่งกำเนิดแสงอื่นๆ
2. ต้องใช้เวลาอุ่นหลอดนานกว่าชนิดอื่นถึง 5 เท่า
3. ใช้ได้กับธาตุบางชนิดเท่านั้น



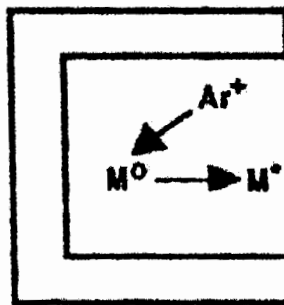
*Electrodeless discharge lamp.*

ภาพที่ 10.4 แหล่งกำเนิดแสง Electrodeless Discharge Lamp

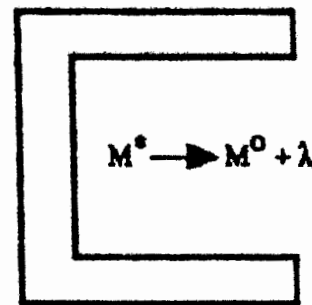
**1. SPUTTERING**



**2. EXCITATION**



**3. EMISSION**



ภาพที่ 10.5 ปฏิกริยาภายในหลอด Hollow Cathode Lamp

**Dopper Effect** คือ ปรากฏการณ์ที่ความเร็วของอะตอมถูกรวมตัวกับความเร็วของลำแสง ซึ่งทำให้อะตอมถอยห่างจากลำแสงและเกิดผลเสียคืออะตอมจะให้พลังงานมากกว่า single energy ซึ่งจะลดประสิทธิภาพของการดูดกลืนแสง และเกิด spectral interference สิ่งที่ต้องการคือให้อะตอมโลหะเคลื่อนที่เหมือนกับอะตอมที่วิ่งเข้าไปใน flame

**Chopper** จะตัดลำแสงจาก Hollow cathode lamp และผลิตพลังงานแบบสลับ ขณะที่พลังงานที่ปล่อยจากอะตอมใน flame เป็นแบบสม่ำเสมอ chopper จะให้สัญญาณซึ่งจะขยายให้รับกับ hollow cathode radiation สำหรับ flame radiation

**2. แหล่งผลิตไออะตอม (Atomizer)** กระบวนการผลิตไออะตอมสำหรับการวิเคราะห์โดยเครื่อง AAS ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนคือ

**2.1 Nebulization** เมื่อ nebulizer ดูดสารตัวอย่างที่เป็นของเหลวที่ได้จากการสกัดและผ่านการกรองแล้ว เครื่องจะพ่นสารละลายเป็นฝอยเล็กๆ ภายในห้องผสม (mixing chamber) เรียกกระบวนการเปลี่ยนสารละลายเป็นฝอยว่า nebulization ละอองฝอยจะรวมตัวกับเชื้อเพลิงและตัวออกซิไดซ์ จากนั้นส่วนผสมทั้งหมดจะถูกเผาที่ burner

**2.2 Droplet precipitation** ละอองเล็กรวมตัวเป็นหยดตกลงมาออกทางท่อน้ำทิ้ง

**2.3 Mixing** ละอองเล็กๆผสมกับเชื้อเพลิง (fuel) และ oxidant ใน spray chamber ของ nebulizer

**2.4 Desolvation** ตัวทำละลายในละอองเล็กๆถูกกำจัดออกไป ทำให้เกิดเป็นละอองเล็กๆของสารประกอบ

**2.5 Compound decomposition** ความร้อนจากเปลวไฟ ทำให้สารประกอบแตกตัวเป็นออกไซด์เป็น โมเลกุลและอะตอมเสรี

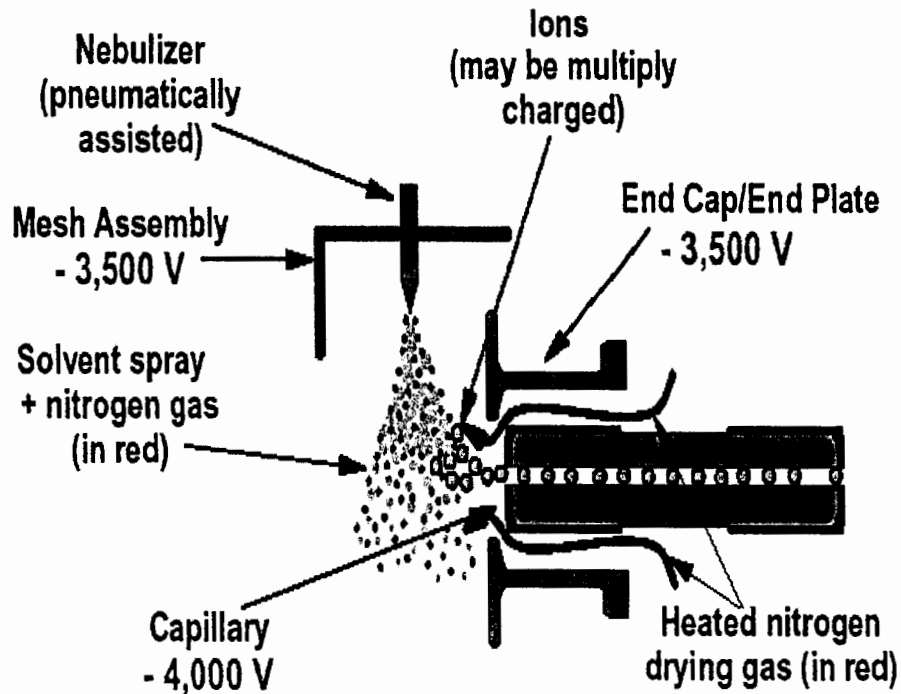
**3. Monochromator** ทำการแยก spectrum ของแต่ละอะตอมออกจากเส้น spectrum ที่ถูกปลดปล่อยจากหลอด Hollow cathode lamp หรือ Electrodeless discharge lamp

การทำงานแยกเป็น 3 ส่วนคือ

**3.1 Dispersion** โดยแยก wavelength อื่นๆ ที่ไม่ต้องการออกด้วย

**3.2 Wavelength control** โดยปรับ wavelength และความกว้างของ spectral band เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง

### 3.3 Slit control โดยเปิด slit ให้กว้างขึ้นเพื่อเพิ่ม energy และปรับ baseline noise



ภาพที่ 10.6 กลไกต่างๆ ภายใน nebulizer

4. **Detector** มีหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า ที่ใช้กันใน AAS คือ Photomultiplier tube โดยตรวจสัญญาณในช่วงคลื่นระหว่าง 190-850 nm Photomultiplier จะเปลี่ยนจาก light energy เป็น electrical energy ข้อควรระวังคือต้องให้ dynode voltage ต่ำที่สุด เพราะถ้าสูงเกินที่กำหนดจะทำให้เกิด noise มากซึ่งทำให้การวิเคราะห์ผิดพลาดมากสัญญาณจาก photomultiplier ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนคือ

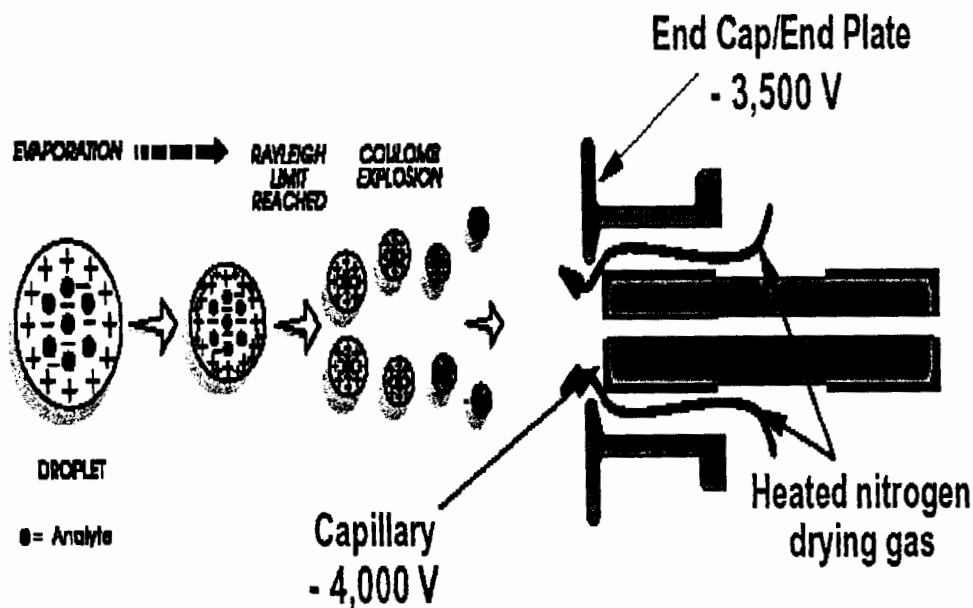
4.1 Dark current

4.2 Flame emission

4.3 The analytical absorption signal

สัญญาณจาก Hollow cathode lamp จะทำให้ photomultiplier tube มีสัญญาณเกิดขึ้นแต่ไม่มีผลต่อ Dark current และ Flame emission เกิดสัญญาณ





ภาพที่ 10.7 การเกิดอะตอมเสรี

5. Read out ระบบ digital ที่ต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ ประกอบด้วยเครื่องมือชนิดใดชนิดหนึ่ง

- 5.1 Meter
- 5.2 Recorder
- 5.3 Digital display
- 5.4 Printer
- 5.5 Direct computer interfacing

ในการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค AAS การเลือกใช้ burner และ flame เป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งผู้วิเคราะห์จะต้องตรวจสอบว่าธาตุที่จะวิเคราะห์นั้นควรจะใช้ flame ชนิดไหนจึงจะทำให้เกิดอะตอมเสรี

**Burner** คือ ส่วนสำคัญที่ให้ความร้อนทำให้ธาตุต่างๆ ที่ต้องการวิเคราะห์เปลี่ยนเป็นอะตอมอิสระ โดยทั่วไป burner จะทำด้วยโลหะที่ทนต่อการกัดกร่อนของกรด เช่นทำด้วยโลหะไทเทเนียมหรือโลหะผสมไทเทเนียม ขนาดของช่องที่ทำให้เกิดเปลวไฟมี 2 ขนาดคือขนาด 10 และ 5 เซนติเมตร ซึ่ง burner ขนาด 5 เซนติเมตรจะใช้กับ nitrous oxide/acetylene เท่านั้น

เพราะเป็นการเผาไหม้ที่เร็วมาก ถ้าทำช่องยาวอาจเกิดการระเบิดได้ ถ้า gas ชนิดอื่นใช้กับ burner ขนาด 10 เซนติเมตร แบ่งเป็นชนิด laminar flow และ slot burner

**Flame** ปฏิกริยาต่างๆที่เกิดขึ้นในเปลวไฟก่อนข้างซับซ้อนจึงต้องศึกษาคุณลักษณะของเปลวไฟเพื่อประโยชน์ของการเลือกชนิดของ fuel gas และ oxidizing agent อัตราการไหลของ fuel gas และ oxidizing agent ความสูงของเปลวไฟเหนือ burner และชนิดของ burner คุณสมบัติของเปลวไฟขึ้นกับอัตราส่วนผสมของแก๊สเชื้อเพลิงและ oxidant ซึ่งแบ่งได้หลายชนิดคือ

1. Oxidizing flame
2. Neutral flame
3. Reducing flame

โครงสร้างของ Premix-flame ขึ้นกับโครงสร้างของเชื้อเพลิงและ oxidant เช่น

- ถ้าใช้  $C_2H_2/air$  จะได้เปลวไฟสีน้ำเงิน
- ถ้าใช้  $C_2H_2/N_2O$  จะได้เปลวไฟสีชมพู

เปลวไฟที่เกิดจากการผสมของ fuel gas และ oxidizing agent ประกอบด้วย 4 zone

1. ขอบเขตฐาน (base หรือ preheating)
2. ขอบเขตใน (inner zone หรือ primary reaction zone หรือ combustion zone)
3. ขอบเขตตรงกลาง (interconal zone หรือ reaction free zone)
4. ขอบเขตนอกสุด (outer mantle หรือ secondary reaction zone)

1. **ขอบเขตฐาน** ได้รับความร้อนจากขอบเขตข้างในโดยการนำความร้อน (fuel gas เกิด oxidation)

2. **ขอบเขตใน** มีความสูงประมาณ 0.1 มิลลิกรัม สังเกตได้จากการปล่อยแสงที่สว่าง ซึ่ง fuel gas เป็นพวก hydrocarbon ขอบเขตนี้จะเป็นสีเขียวปนน้ำเงินเนื่องจากพวกคาร์บอนและอะตอมอิสระปล่อยแสงออกมา ขอบเขตนี้มีการเผาไหม้บางส่วนคือ

2.1 ไม่มีสมดุลย์ของความร้อนมีแต่ปฏิกิริยา oxidation และ ionization

2.2 มีการปล่อย fuel gas ดังนั้นจึงไม่นิยมใช้เปลวไฟส่วนนี้ในการวิเคราะห์โดยวิธี atomic absorption และ atomic emission

3. **ขอบเขตกลาง** มีอุณหภูมิสูงสุดเพราะเป็นส่วนที่เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ มีการปล่อยแสงไม่มากนัก ดังนั้นจึงใช้เปลวไฟส่วนนี้ในการวิเคราะห์โดยวิธี atomic absorption และ atomic emission ความสูงของเปลวไฟขึ้นอยู่กับ burner, fuel gas และ oxidant รวมถึง

อัตราเร็วของ fuel gas และ oxidant

#### 4. ขอบเขตนอกสุด ส่วนนี้อยู่โดยรอบ

#### คุณสมบัติต่าง ๆ ของเปลวไฟต่าง ๆ

1. Air-C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> เป็นเปลวไฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุต่างๆ หลายชนิดคือมากกว่า 30 ชนิด และอุณหภูมิที่ได้ประมาณ 2300 °ซ

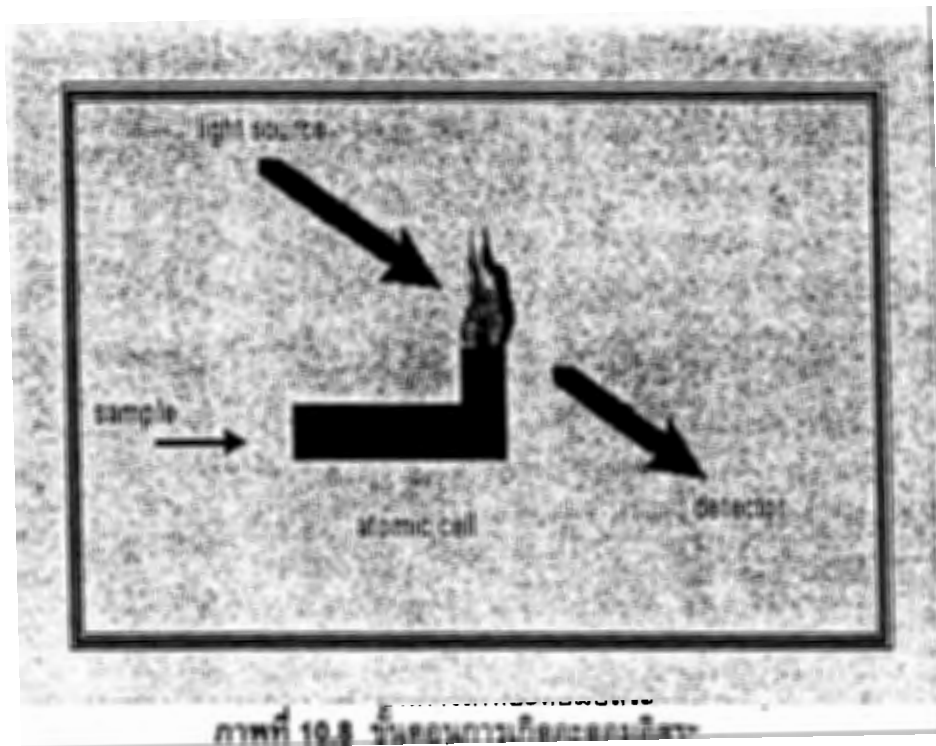
2. N<sub>2</sub>O- C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> เปลวไฟชนิดนี้มีอุณหภูมิประมาณ 3000 °ซ เป็นเปลวไฟที่ร้อนที่สุดซึ่งให้ความร้อนพอที่จะเกิดการแตกตัวเป็นไอออนของธาตุทนไฟ เช่น Aluminium, Silicon และ Validium ซึ่งสามารถเกิดออกไซด์ที่เสถียรภาพมาก และแทบไม่แตกตัวเป็นอะตอมที่อุณหภูมิต่ำ แต่เปลวไฟชนิดนี้สามารถทำให้ธาตุต่างๆสลายตัวเป็นอะตอมได้สามารถใช้วิเคราะห์ธาตุที่พบยาก (rare earth elements)

3. Air- H<sub>2</sub> เปลวไฟที่ใช้ Air- H<sub>2</sub> เป็นเชื้อเพลิงจะเกิดการดูดกลืนแสงในช่วงคลื่นสั้นซึ่งจะให้สัญญาณรบกวนต่ำ เมื่อเทียบกับเปลวไฟของ Air-C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> สามารถใช้วิเคราะห์ธาตุหลายชนิด เช่น As, Se, Zn, Pb, Cd, Sn ซึ่งดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นต่ำจะให้ผลดีกว่าเปลวไฟชนิด Air-C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>

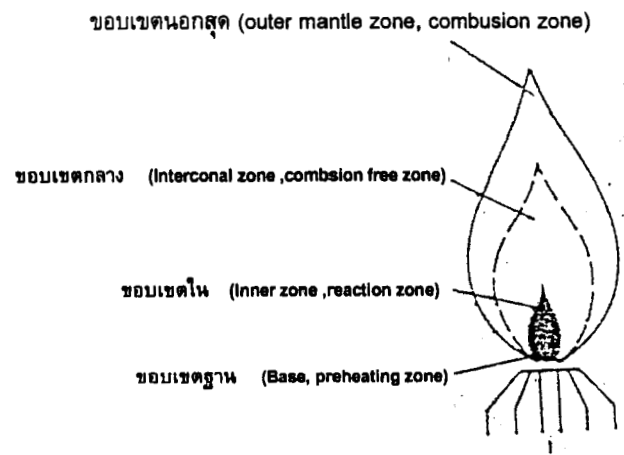
4. Ar-H<sub>2</sub> สำหรับธาตุที่มีการดูดกลืนความยาวคลื่นต่ำ 200 nm เช่น As, Se เรามักจะใช้เปลวไฟชนิดนี้ เปลวของไฮโดรเจนยังมีข้อเสียคือมีการใช้อุณหภูมิต่ำ ทำให้เกิดการรบกวนของธาตุอื่นๆ ได้มาก

#### ตารางที่ 10.1 แสดงอุณหภูมิของเปลวไฟ

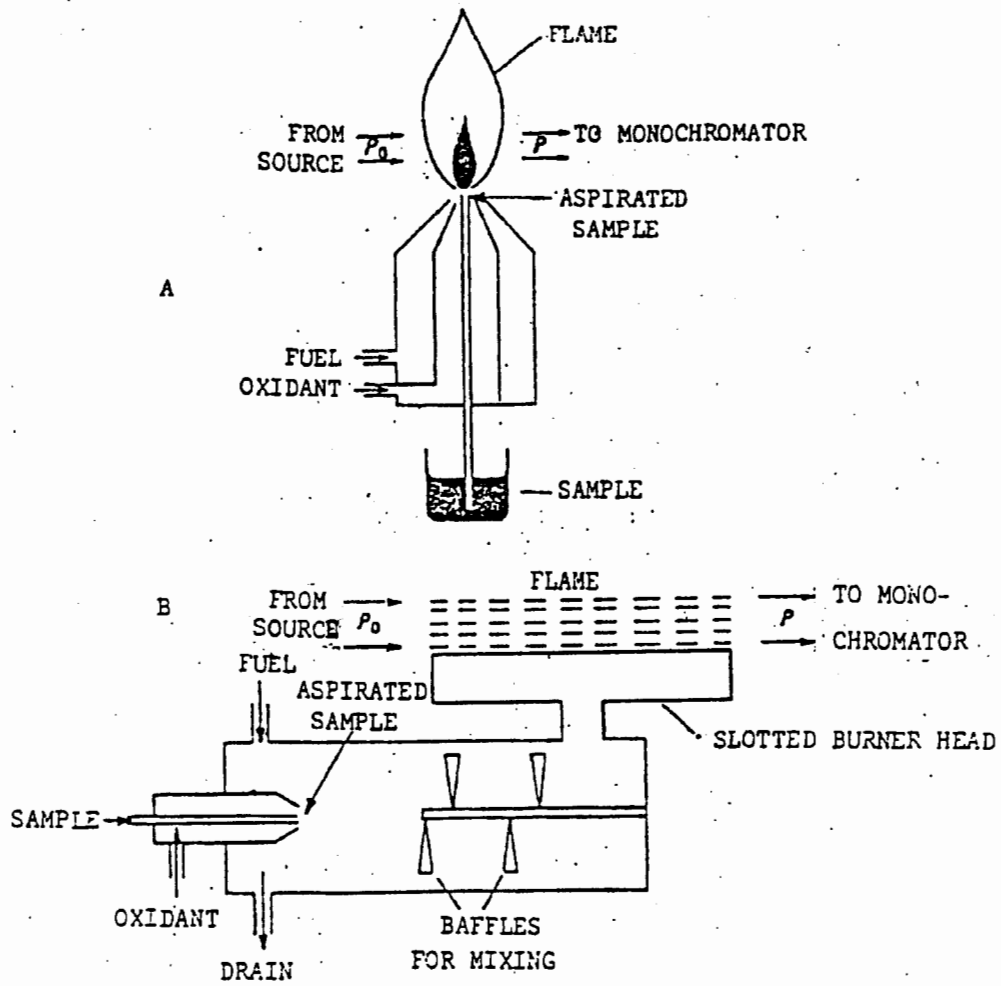
เปลวไฟ	อุณหภูมิสูงสุด °ซ
Argon-H <sub>2</sub>	1577
Air- H <sub>2</sub>	2045
Air- C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	2300
N <sub>2</sub> O- C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	2955



ภาพที่ 10.8 ขั้นตอนการวัดอะตอมอิสระ



ภาพที่ 10.9 เปลวไฟในช่วงต่างๆ



TYPES OF BURNERS FOR ATOMIC ABSORPTION SPECTROSCOPY

A. TOTAL CONSUMPTION BURNER

(TURBULENT FLOW BURNER)

B. PREMIX BURNER

(LAMINAR FLOW BURNER, SPRAYER BURNER)

ภาพที่ 10.10 แสดงส่วนประกอบของ Burner

## เทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วย AAS

1. **Flame Atomization Technique** โดยใช้ flame ทำให้สารแตกตัวเป็นอะตอมอิสระ นิยมใช้วิเคราะห์สารตัวอย่างที่มีโมเลกุลใหญ่ ความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้รายงานเป็น ppm (มิลลิกรัม / กิโลกรัมสารตัวอย่าง)

2. **Flameless หรือ Non-flame Atomization technique** วิธีนี้ทำให้สารเป็นอะตอมอิสระด้วยกระแสไฟฟ้าหรือ graphite furnace วิธีนี้ให้ sensitivity ที่ดีกว่าใช้ graphite rod โดยใช้ปริมาณสารตัวอย่างน้อยกว่า วิธีเตรียมสารง่ายแม้จะเป็นของแข็งก็วิเคราะห์โดยตรงได้ สามารถวิเคราะห์โมเลกุลเล็ก ความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้รายงานเป็น ppb (ไมโครกรัม / กิโลกรัมสารตัวอย่าง)

3. **Hydride Generation Technique** วิธีนี้จะใช้กับธาตุบางชนิดที่ไม่สามารถเปลี่ยนเป็นอะตอมอิสระโดยตรง ซึ่งต้องเปลี่ยนเป็น hydride ก่อนในบรรยากาศที่ไม่มีออกซิเจน แล้วให้ hydride นั้นผ่านเข้าไปในเปลวไฟไฮโดรเจน ซึ่งจะทำให้เกิดอะตอมอิสระได้ เทคนิคนี้ใช้วิเคราะห์ As, Se, Bi, Sb

4. **Cold Vapor Generation Technique** ใช้วิเคราะห์ธาตุที่เปลี่ยนเป็นไอได้ง่ายๆ เช่น เทคนิคนี้เป็นเทคนิคของ flameless atomization แบบ vapor generation โดยการ reduction สารปรอทด้วยสารละลาย stannous chloride ( $\text{SnCl}_2$ ) ในกรด ซึ่ง  $\text{Hg}^{2+}$  จะถูก reduce เป็น  $\text{Hg}^0$

### การเกิดสิ่งรบกวนในการวิเคราะห์โลหะหนัก

ธาตุที่ปนอยู่กับสารตัวอย่างอาจทำให้ค่าการดูดกลืนแสงที่มากกว่าหรือน้อยกว่าปกติ เนื่องจากมีสิ่งรบกวนดังนี้

1. **Physical effects** คุณสมบัติทางกายภาพของสารมีผลถึงอัตราการไหลของสารเข้าไปใน nebulizer วิธีแก้ไขโดยทำให้สารเจือจางกว่าเดิมถ้าเกิดปัญหานี้ขึ้น

2. **Chemical effects** กลุ่ม anions ของ phosphate, sulphate และ aluminium ที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบทำให้ผลการหาปริมาณสารของพวกเขา alkaline earth metals น้อยลง ดังนั้นก่อนการวิเคราะห์ต้องคำนึงถึงผลนี้ด้วย