

อินดักทีฟลี คัพเพิล พลาสมา อิมมิสชัน สเปกโทรสโกปี

ศิริรัตน์ พันธุ์เรือง**

หลักการของ Emission Spectroscopy

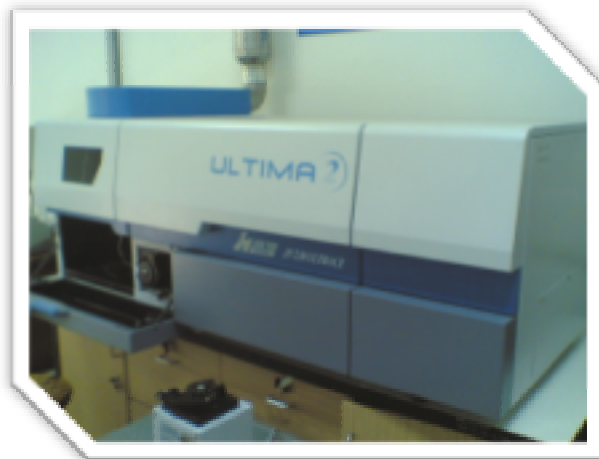
อาศัยหลักการทำให้สารที่วิเคราะห์เปลี่ยนจากสถานะพื้นไปยังสถานะกระตุ้นด้วยกระบวนการที่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้สารที่จะวิเคราะห์สามารถเปล่งแสงหรือสเปกตรัมออกมา ซึ่งอยู่ในช่วง ยูวี-วิสิเบิล และ มีลักษณะเฉพาะตัว

หลักการทำงานของเครื่อง ICP

สารละลายจะถูกเปลี่ยนให้เป็นละอองลอย (Aerosol) แล้วถูกพาเข้า plasma ของ ICP torch โดย argon gas สารที่ได้รับพลังงานจะเกิดการแตกตัวเป็นอะตอมแล้วถูกกระตุ้นหรือไอออไนส์ อะตอมหรือไอออนที่ถูกกระตุ้น จะเปล่งแสงออกมาซึ่งมีลักษณะเฉพาะ แสงที่เกิดขึ้นจะผ่านเข้าไปในเครื่อง spectrometer เพื่อแยกแสงที่ต้องการวิเคราะห์ซึ่งตรงกับความยาวคลื่นที่เลือกไว้ผ่านเข้าไปยัง detector ซึ่งเป็น UV-Vis เพื่อวัดสัญญาณและเปลี่ยนเป็นความเข้มข้น

ส่วนประกอบของเครื่อง ICP

- Argon gas
- Nebulizer
- Spray chamber
- Injector
- ICP torch
- Radio frequency generator
- Spectrometer
- Microprocessor
- Computer
- Peristaltic pump



ลักษณะเฉพาะของ ICP

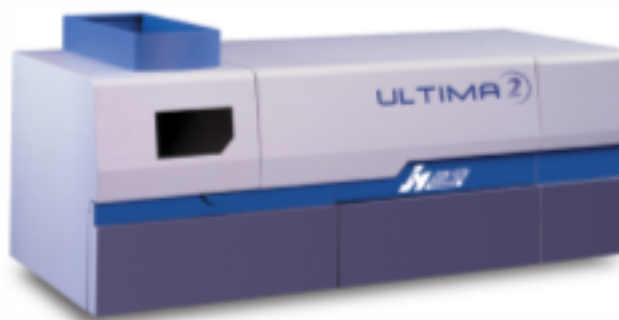
- plasma ให้อุณหภูมิสูงถึงประมาณ 10000 K
- สารตัวอย่างที่จะวิเคราะห์สามารถอยู่ใน plasma ได้นานพอ ซึ่งจะทำให้สารตัวอย่างสามารถแตกตัวเป็นอะตอมได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- Matrix และ interelement effects มีน้อย โดยเฉพาะเมื่ออยู่ในบรรยากาศของแก๊สเฉื่อย
- การใช้ Ar-ICP พบว่าให้ electron density สูง ดังนั้นการแทรกสอดที่เกิดจากการไอออไนส์จะมีผลกระทบน้อย
- อุณหภูมิสูง ทำให้ลดการเกิด fluorescence และ self-absorption
- แก๊สที่ไหลเป็นแก๊สเฉื่อย จึงไม่มีการระบิด
- ไม่ต้องใช้ขั้วไฟฟ้า

ข้อดีของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP

- เป็นเทคนิคที่มีสภาพไว (sensitivity) สูง
- ทำการวิเคราะห์ได้รวดเร็ว
- ใช้สารละลายตัวอย่างในปริมาณน้อย
- สามารถวิเคราะห์ธาตุได้หลายชนิดในเวลาเดียวกัน

Interference ที่รบกวน

- Physical interference : สิ่งรบกวนทางกายภาพ เกิดจากสารละลายตัวอย่างกับสารมาตรฐานมีลักษณะไม่เหมือนกัน
- Spectral interference : สิ่งรบกวนเชิงแสง ธาตุแต่ละชนิดมีหลายความยาวคลื่น อาจเกิดการซ้อนทับกันได้
- Chemical and ionization interference



การแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นกับ ICP เบื้องต้น

ในระหว่างการใช้ ICP ของ JY อาจเกิดปัญหาบางอย่างที่มีผลให้การทำงานไม่เต็มประสิทธิภาพหรืออาจไม่สามารถทำงานได้เลย ซึ่งปัญหาบางอย่างผู้ใช้สามารถที่จะแก้ไขเองได้ ซึ่งปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้มีดังนี้

ปัญหา	สาเหตุ	การแก้ไข
1.จุดพลาสมาไม่ติด	1.ยังไม่เปิดสวิทช์ RF generator 2.ไม่เปิด Ar หรือปริมาณ Ar น้อยหรือไม่มี Ar ไหลออกมาบริเวณ torch 3.ระบบระบายความร้อน (cooling system) ไม่ทำงาน หรือน้ำน้อยและร้อน 4.ปลายของสายไฟฟ้าแรงสูงสำหรับ arc บริเวณ torch อยู่ห่าง torch 5.มีคราบสกปรกบริเวณหัวของสายเสียบ Ar บริเวณ torch ทำให้ไฟฟ้าไม่สามารถ arc ได้ 6.ตำแหน่งการวาง torch ไม่ตรง 7.ตำแหน่ง injector tube อยู่สูงเกินไป 8.อุณหภูมิห้องหรือเครื่องร้อนเกินไป 9.มีความชื้นบริเวณห้อง torch มาก 10.หลอด torch tube สกปรก 11.มีสารละลายใน spray chamber 12.กระแสไฟฟ้าไม่เพียงพอ ไฟตกหรือเกิน 13.Ar ไม่บริสุทธิ์พอ หรือใช้ก๊าซผิด 14.ปริมาณ Ar ที่ใช้มากเกินไป 15.RF power น้อยเกินไป	1.เปิดสวิทช์ RF generator 2.เปิดวาล์ว Ar หรืออาจเพิ่มแรงดันของ Ar (6 บาร์/100 psi) 3.ถ้าน้ำร้อนให้เติมน้ำสะอาดจนปริมาณมากพอ 4.พยายามให้ปลายสายไฟฟ้าแรงสูงอยู่ชิดหัวเสียบท่อ Ar มากที่สุด 5.ทำความสะอาดผิวโลหะบริเวณหัวเสียบท่อ Ar ด้วยกระดาษทรายละเอียดจนสะอาด 6.จัดวางตำแหน่ง torch ใหม่ให้เหมาะสม (วัดอัตราส่วน intensity ระหว่างความยาวคลื่น 280.2 : 285.2 ให้ได้อัตราส่วน 8 – 14 เท่า) 7.ปรับระดับ injector tube ให้ปลายอยู่ระดับเดียวกับปลายของ internal tube อาจจะต้องต่ำกว่าปลาย internal tube เล็กน้อย 8.ลดอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศ ให้อุณหภูมิห้องไม่สูงเกิน 25 องศาเซลเซียส 9.กด control ในโปรแกรมสำหรับจุดพลาสมาให้นานเพื่อไล่ความชื้น 10.ทำความสะอาด torch tube(ดูในการดูแลรักษา) หรือเปลี่ยน tube ใหม่ 11.ตรวจสอบท่อ drain ที่ peristaltic pump ว่าแตกชำรุด หรือว่าก้านบีบหลวมหรือไม่ ถ้าพบให้ถอดเปลี่ยนหรือหมุนตัวบีบให้แน่นขึ้น 12.ใช้เครื่องรักษาแรงดันไฟฟ้า 13.เปลี่ยนท่อก๊าซใหม่ 14.ปรับลดอัตราการไหลของ Ar (plasma gas) ให้ลดลง 15.เพิ่ม RF power ให้มากขึ้น

ปัญหา	สาเหตุ	การแก้ไข
	16. เกิดขึ้นหลังการวิเคราะห์สารตัวอย่างที่มีความเข้มข้นสูง 17. ไม่หยุด pump ของสารละลาย NaBH_4 หรือสารละลายกรด ในการใช้ชุด hydride generator ซึ่งก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจะไปกวนกระบวนการเกิดพลาสมา 18. ใช้ auxiliary gas ในขณะที่ใช้ plasma gas น้อย	16. ตั้งระบบ torch ด้วยน้ำกลั่น (กด control โดยไม่ start) ตักพัก แล้วลดแรงดันของ nebulizer gas ลงให้เหลือประมาณ 1 บาร์ แล้วค่อยจุดพลาสมา เมื่อพลาสมาติดให้ค่อยๆเพิ่มแรงดันของ nebulizer 17. ก่อนจุดพลาสมาให้หยุด pump ของสารละลาย NaBH_4 และสารละลายกรด 18. ตรวจสอบว่าใช้ auxiliary gas หรือไม่ (ถ้าใช้ plasma gas และ RF power น้อย) ถ้าใช้ให้เปลี่ยนเป็นไม่ใช้
2. เมื่อเข้าโปรแกรมการทำงานมีข้อความ "spectra link communication error"	1. ระบบบัสอิเล็กทรอนิกส์ไม่พร้อมที่จะทำงาน คอมพิวเตอร์ไม่สามารถติดต่อกับเครื่องได้ 2. Hard lock ที่ต่ออยู่กับ printer port หลวม	1. ให้ restart เครื่องคอมพิวเตอร์ หรือเข้า instrument > configuration > electronics (spectra link) > board detection แล้วเข้าโปรแกรมใหม่หรือทำ zero order หรืออาจจะกดช่อง reset (ตัวเครื่องด้านซ้ายมือ สำหรับ JY 2000 รุ่นเก่า) ถ้ายังไม่หายให้ปิดเครื่องและคอมพิวเตอร์ แล้วเปิดใหม่ 2. ตรวจสอบอุปกรณ์ hard lock ที่ต่ออยู่กับ printer port ว่าหลวมหรือไม่ (โปรแกรมจะตรวจสอบอุปกรณ์นี้ก่อนทำงาน)
3. ไม่สามารถทำ zero order ได้	1. คอมพิวเตอร์กับเครื่องไม่สามารถติดต่อกันได้ 2. พลาสมาดับ 3. ค่ากระแสไฟฟ้า (high voltage) ที่ให้กับ detector มากเกินไป จะปรากฏข้อความ mono, poly over range 4. ค่ากระแสไฟฟ้า (high voltage) ที่ให้กับ detector น้อยเกินไป โดยค่า intensity จะน้อยอาจจะไม่เพิ่มขึ้นหรือเพิ่มน้อยเมื่อค่าการหมุนของ grating เพิ่มขึ้น	1. แก้ปัญหาเหมือนข้อ 3 2. ถ้าพลาสมาดับระหว่างทำ zero order ให้หยุดการทำ zero order ทันที 3. ลดกระแสไฟฟ้าแรงสูงที่ใช้กับ detector ในการทำ zero order ลง ซึ่งอยู่ใน instrument > configuration > define > movement 4. เหมือนข้อ 3

ปัญหา	สาเหตุ	การแก้ไข
4. ไม่ปรากฏ peak ของธาตุหรือสัญญาณที่ได้น้อยมาก เมื่อทำ peak search ด้วยสารละลายมาตรฐาน	1. ไม่มีละอองสารตัวอย่างเข้าไปในพลาสมา 2. ความเข้มข้นของสารละลายน้อยเกินไปกว่าความสามารถที่เครื่องจะวัดได้ 3. กระแสไฟฟ้า (high voltage) ที่ใช้กับ detector น้อยเกินไป 4. ระดับ injector tube สูงเกินไป 5. อัตราการไหลของ sheath gas มากเกินไป 6. ระดับของช่วง emission zone ไม่ตรงกับช่องรับแสงของ spectrometer 7. ตำแหน่งของความยาวคลื่นเปลี่ยนไป เนื่องจากอุณหภูมิเครื่องต่ำหรือสูงเกินไป	1.1. ตรวจสอบท่อนำสารจุ่มอยู่ในสารละลายตัวอย่าง 1.2. ตรวจสอบว่าท่อนำสารตัวอย่างแตก หรือว่าก้านบีบท่อหลวมหรือไม่ 1.3. ตรวจสอบว่า nebulizer หรือท่อนำสารตัวอย่างตันหรือไม่ ถ้า nebulizer ตันให้ใช้เส้นผมแยงสิ่งที่อุดตัน หรือแช่ใน ultrasonic bath ถ้าท่อนำสารตัวอย่างตันบริเวณปลายให้ตัดทิ้ง แต่ถ้ายูตรงกลางให้เปลี่ยนท่อใหม่ 1.4. ตรวจสอบว่า nebulizer gas ไหลหรือไม่ โดยถอดท่อก๊าซออกจาก nebulizer แล้วกด control ไม่จุดพลาสมา แล้วจุ่มปลายท่อลงในน้ำ ถ้ามีฟองอากาศแสดงว่ามีก๊าซไหลออกมา 2. เพิ่มความเข้มข้นของสารละลายให้มากขึ้น 3. เพิ่มค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้กับ detector โดยใช้ส่วน auto attenuated หรือเพิ่มในส่วน method >line + modify >acquisition (high voltage) ปกติโปรแกรมจะเริ่มต้นใช้ที่ 750 V เปลี่ยนเป็น 990 V 4. ปรับระดับความสูงของปลาย injector tube ให้เสมอกับปลายของ internal torch tube หรือต่ำกว่าเล็กน้อย 5. ปรับลดอัตราการไหลของ sheath gas 6. ปรับระดับความสูงของพลาสมาให้ช่วง emission zone ให้พอเหมาะกับช่องรับแสงของ spectrometer 7. ก่อนใช้เครื่อง warm up เครื่องไว้ประมาณ 30 นาที (กรณีที่อุณหภูมิห้องเย็นมาก) ให้สังเกตที่สวิตช์ไฟ heater regulator ด้านขวามือไม่กระพริบบ่อย ถ้าอุณหภูมิห้องสูงไม่ควรใช้เครื่อง เพราะจะเกิดการคลาดเคลื่อนของตำแหน่งความยาวคลื่น

ปัญหา	สาเหตุ	การแก้ไข
	8. โมเลกุลของออกซิเจนดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่ำกว่า 190 นาโนเมตร 9. ความยาวคลื่นที่ใช้ไม่เหมาะสม	8. เมื่อวิเคราะห์ที่ความยาวคลื่นต่ำกว่า 190 นาโนเมตร ให้ใช้ในโตรเจนหรือก๊าซเฉื่อยได้ ออกซิเจนออกจาก spectrometer 9. เปลี่ยนไปใช้ความยาวคลื่นในการวิเคราะห์
5. มี peak ปรากฏแต่โปรแกรมแสดงข้อความไม่พบ peak (some peak were not detected) เมื่อทำ peak search	1. สัญญาณที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับ noise 2. มีจำนวน peak ใน windows มากกว่าหนึ่ง peak	1. ให้ double click ที่ตำแหน่งจุดสูงสุดของ peak แล้วกด resume จะสามารถใช้โปรแกรมต่อได้ 2. ให้ตรวจสอบว่า peak ใดเป็นความยาวคลื่นที่ต้องการ โดยทดสอบด้วย single standard และ search โดยไม่ต้องใช้สารละลายใดๆ (หยด pump หรือ ดูดอากาศ)
6. ค่า % RSD ของการวิเคราะห์สูงหรือมีสัญญาณของ signal น้อย	1. การเกิดละอองสารตัวอย่างไม่สม่ำเสมอ 2. เกิดการอุดตันที่ nebulizer เมื่อวิเคราะห์สารตัวอย่างความเข้มข้นสูง หรือสารตัวอย่างที่มีเกลือมาก 3. กำหนดค่า integration time น้อย 4. วิเคราะห์สารตัวอย่างที่มีความเข้มข้นสูงก่อนหน้านี้ 5. มีฟองอากาศในท่อนำสารตัวอย่าง 6. ลักษณะรูปร่างของพลาสมาไม่สมมาตร 7. แรงดันของ Ar ที่ปล่อยออกมาจากถังน้อยเกินไป	1. ตรวจสอบท่อนำสารตัวอย่างว่าแตกหรือตันหรือไม่ และตรวจสอบแรงบีบของก้านบีบว่าเหมาะสมหรือไม่ 2. ใช้เวลาในการล้างท่อนำสารตัวอย่างระหว่างเปลี่ยนตัวอย่างให้นานขึ้น ถ้าตัวอย่างมีมาก หรือใช้เวลาในการวิเคราะห์ติดต่อกันนาน ควรใช้ Ar humidifier 3. เพิ่มเวลา integration time (method > line + modify > acquisition ค่ามาตรฐานของโปรแกรมคือ 0.5 เปลี่ยนให้มากขึ้น 1, 2, 3, 4. ล้างท่อนำสารให้สะอาดหลังจากวิเคราะห์สารตัวอย่างที่มีความเข้มข้นสูง ก่อนจะวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีความเข้มข้นต่ำ 5. พยายามไล่ฟองอากาศ โดยให้ pump ดูดอากาศจนไม่มีสารละลายในท่อแล้วค่อยจุ่มท่อในสารละลายอีกครั้ง ปรับแรงบีบของก้านบีบท่อนำสารตัวอย่างให้พอเหมาะ 6. ปรับระดับของ injector tube และ spacer ให้เหมาะสม 7. เพิ่มแรงดัน Ar ที่ท่อไม่น้อยกว่า 6 บาร์ (100 psi)

ปัญหา	สาเหตุ	การแก้ไข
7. ไม่สามารถสร้าง calibration curve ได้ (ค่า intensity ทุกจุดเท่ากัน)	1.เตรียมสารละลายผิด 2.ความยาวคลื่นที่ใช้ไม่เหมาะสม เกิดการรบกวน (interfering wavelength) จากธาตุอื่น	1.ตรวจสอบค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานให้ถูกต้อง 2.เปลี่ยนค่าความยาวคลื่น
8. Nebulizer อุดตัน	1.สารละลายมีตะกอน 2.สารละลายตัวอย่างมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้สูง	1.กรองสารละลายตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์ 2.ใช้ argon humidifier
9. เกิดเขม่าจับที่ปลาย injector tube และ internal tube เมื่อวิเคราะห์สารอินทรีย์	1.อุณหภูมิในการเผาไหม้ไม่เหมาะสม	1.เพิ่มอัตราการไหลของ auxiliary gas (0.8 – 1.6 ลิตร/นาที) 2.ลดอัตราการไหลของ nebulizer gas ลง
10. ก๊าซ (ลูกลอยวัดระดับ) ในท่อวัดอัตราการไหลของก๊าซพุ่งสูง ไม่ลดลงมาในระดับที่ปรับไว้	1.เกิดหลังจาก Ar หมดและเปลี่ยนท่อใหม่ 2.เมื่อหุนปรับอัตราการไหลของก๊าซ	1.ให้เปลี่ยนอัตราการไหลของก๊าซ โดยเลือกที่โปรแกรม automatism ไปมา 2.จุดพลาสติกไว้สักพัก
11. ไม่สามารถวิเคราะห์ธาตุกลุ่ม hydride	1.ระดับความเข้มข้นต่ำเกินไป 2.ปริมาณของ NaBH_4 ไม่เหมาะสม 3.ความแรงหรือปริมาณของกรดที่ใช้ไม่เหมาะสม	1.เพิ่มระดับความเข้มข้นของสารละลาย 2.เปลี่ยนอัตราการไหลของ NaBH_4 โดยเปลี่ยนความเร็วของ pump หรือเปลี่ยนขนาดของท่อนำสาร 3.เปลี่ยนความแรงของกรด หรืออัตราการไหลของกรด
12. โปรแกรมไม่คำนวณค่าความเข้มข้น แต่อ่านเป็นค่า intensity อย่างเดียว	1.เกิดความผิดพลาดในการประมวลผลของ โปรแกรม	1.สร้าง method ใหม่โดยให้เปลี่ยนชื่อใหม่โดยใช้ อักษร หรือตัวเลขของชื่อ method ใหม่ด้วย

ปัญหา	สาเหตุ	การแก้ไข
13. ลักษณะของ พลาสติกไม่ สมมาตรและ พลาสติกเผา torch tube (ปกติจุด พลาสติกโดยไม่มี สารตัวอย่างเข้าไป เมื่อมองผ่านกระจก หน้าจะมองเห็น พลาสติกสีเขียว อ่อนๆ แต่ถ้า torch tube โคนพลาสติก เผาที่ปลายพลาสติก จะมีสีแดงเกิดขึ้น)	1.ระดับของ spacer ไม่เหมาะสม 2.แรงดันก๊าซ Ar ลดลงหรือใกล้จะหมด 3.วางตำแหน่ง torch ไม่ตรง ทำให้ torch tube สัมผัส กับ coil	1.ปรับระดับ spacer ให้อยู่ระดับกลางหรือค่อนข้าง ด้านบนของ injector tube 2.ปรับแรงดันของ Ar ไม่น้อยกว่า 6 บาร์(100 psi) หรือเปลี่ยนถังใหม่เมื่อใกล้จะหมด 3.จัดวางตำแหน่ง torch ใหม่และตรวจสอบให้ แน่ใจว่า torch tube อยู่ระหว่างกลางของ coil โดยใช้ร่วกระดาศความหนาประมาณ 100 แกรม หมุนวนรอบ torch tube
14. โปรแกรมไม่ ทำงานเมื่อเข้าใน ส่วน task and sequence หลังจาก save ชื่อ sequence แล้วกดปุ่ม run	1.เกิดจากโปรแกรมยังไม่พร้อมที่จะทำงาน	1.ให้กด close ออกจากหน้า task and sequence แล้วเข้าไปใหม่
15.Peristaltic pump หมุนเร็วไม่หยุดเมื่อ ทำการวิเคราะห์	1.โปรแกรมไม่ยกเลิกคำสั่งให้ pump หมุนเร็วก่อน วิเคราะห์ตัวอย่าง	1.ให้เรียกโปรแกรม automatism แล้วเลือกการ หมุนของ pump เปลี่ยนไปมา normal > fast > normal
16. โปรแกรมขึ้น ข้อความ “mono , poly over range” ระหว่างการ วิเคราะห์ สารตัวอย่าง	1.สารตัวอย่างมีธาตุชนิดนั้นเข้มข้น มากเกิน ความสามารถที่ detector สำหรับ method นั้นจะ วิเคราะห์ได้	1.1.เจือจางสารตัวอย่าง 1.2.สร้าง method ใหม่โดยใช้ค่าความเข้มข้นของ สารละลายมาตรฐาน ใกล้เคียงกับสารตัวอย่าง โดยใช้ auto attenuate d กับสารละลาย มาตรฐานก่อน

ปัญหา	สาเหตุ	การแก้ไข
17.Re-calibration curve ไม่ผ่าน	1.ตำแหน่งของ peak เปลี่ยนไปจากเดิมมาก 2.ค่า intensity เพิ่มขึ้นหรือลดลงมาก 3.สารละลายมาตรฐานผิดปกติ	1.Warm up เครื่องให้นานขึ้นแล้วทำ zero order ใหม่ 2.ตรวจสอบว่าปลาย nebulizer มีคราบของแข็ง ทำให้รู้เริ่มแคลงหรือไม่ ถ้ามีให้ทำความสะอาด 3.นำสารละลายมาตรฐาน ค่าที่เคยใช้ปรับ high voltage (auto attenuated) มาทำ auto attenuated ใหม่แล้วทำ re-calibration 4.ทำ peak search และ profile แล้วทำ calibration ใหม่ หรือสร้าง method ใหม่
18.พลาสมาลอยขึ้นสูงจากปลาย internal torch มาก สำหรับสารละลายน้ำ(ปกติฐานของพลาสมาจะอยู่ในระดับเดียวกับขอบของขด coil ชั้นล่างสุด)	1.มีสารอินทรีย์หรือสารไวไฟผสมอยู่ในตัวอย่าง 2.เกิดหลังจากจุดพลาสมา ซึ่งก่อนหน้านี้วิเคราะห์สารตัวอย่างที่มีความเข้มข้นสูง 3.มี auxiliary gas ไหลออกมา	1.ใช้ auxiliary gas หรือถ้าปริมาณสารอินทรีย์มีมาก ให้สัปดาห์ก่อนการวิเคราะห์ หรือเปลี่ยนชุด spray chamber 2.กด control แล้วจุ่มล่างระบบ torch ด้วยน้ำกลั่น หรือตัวทำละลายสำหรับงานวิเคราะห์นั้น 3.เลือกที่โปรแกรมของ auxiliary gas เป็น 0
19.ไม่สามารถวิเคราะห์ธาตุกลุ่ม alkali	1.อุณหภูมิในการเผาไหม้ไม่เหมาะสม	1.เพิ่มอัตราการไหลของ sheath gas 0.6 – 0.8 ลิตร/นาที

**นางสาวศิริรัตน์ พันธุ์เรือง
 เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการช่างเทคนิคเคมี
 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
 มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

เอกสารอ้างอิง

ยูวดี เชื้อวัฒนา.(2550) เอกสารประกอบการอบรม การวิเคราะห์และการประยุกต์ใช้เทคนิค ICP.

มหาวิทยาลัยมหิดล : กรุงเทพฯ.

Horiba group.(2001) User manual ICP spectrometers (JY - 2000). France.