

การทดลองและผลการทดลอง

(Experimental procedures and results)

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer model AA-650
ของบริษัท Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น
- เครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer model JSX-60
ของบริษัท Jeol ประเทศญี่ปุ่น
- เตาเผา (Electric furnace) ที่ควบคุมอุณหภูมิได้สูงสุด 1500 องศาเซลเซียส
ของบริษัท Gallenkamp ประเทศอังกฤษ
- เครื่องหาค่าความร้อน (Bomb Calorimeter) แบบอัตโนมัติ model CA-2
ของบริษัท Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น
- เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณธาตุ (Elemental Analyzer) model 240C
ของบริษัท Perkin Elmer ประเทศสหรัฐอเมริกา
- เครื่อง UV-VIS Spectrophotometer model 635 ของบริษัท Varian
Techtron ประเทศออสเตรเลีย
- เครื่อง Gas Chromatograph model GC 9A, ของบริษัท Shimadzu
ประเทศญี่ปุ่น
- เครื่อง Flame Photometer model 400 ของบริษัท Corning ประเทศสหรัฐอเมริกา
- เตาไฟฟ้า สำหรับหาปริมาณสารระเหย (Thermolyne tube furnace)
ที่ควบคุมอุณหภูมิถึง 1200 องศาเซลเซียส ของบริษัท Sybron ประเทศสหรัฐอเมริกา
- เครื่องมือสกัดสาร (Soxhlet extraction apparatus)
- Filter thimble ของบริษัท Scheicher and Schüll ประเทศเยอรมนี

3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมีที่ใช้ในการทดลองเป็น reagent grade ยกเว้นที่เขียน AR ซึ่งเป็น analytical grade

- กรดซัลฟูริก ของบริษัท Merck
- กรดทาร์ทาริก (AR) ของบริษัท Hopkin and Williams
- กรดไรโอโกลคอริก ของบริษัท Fluka
- กรดไนตริก ของบริษัท Merck
- กรดบอริก (AR) ของบริษัท Merck
- กรดอะซิติก (AR) ของบริษัท BDH
- กรดไฮโดรคลอริก ของบริษัท Merck
- กรดไฮโดรฟลูออริก ของบริษัท Fluka
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (AR) ของบริษัท Merck
- โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ของบริษัท Fluka
- แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ของบริษัท Merck
- แคลเซียมคลอไรด์ ของบริษัท Fluka
- โซเดียมซีเตรต ของบริษัท May and Baker
- โซเดียมอะซิเตต (AR) ของบริษัท Merck
- โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (AR) ของบริษัท Fluka
- โซเดียมซัลไฟต์ (AR) ของบริษัท BDH
- โซเดียมเมตาวานาเตต ของบริษัท Fluka
- โซเดียมคาร์บอเนต (AR) ของบริษัท Merck
- แบเรียมคลอไรด์ (AR) ของบริษัท Merck
- โพแทสเซียมคลอไรด์ (AR) ของบริษัท Merck
- โพแทสเซียมไดไฮโดร เจน ออร์โธฟอสเฟต (AR) ของบริษัท BDH
- แลนทานัมคลอไรด์ ของบริษัท Fluka
- ลิเทียมเตตระโบเรต (AR) ของบริษัท BDH
- แอมโมเนียมโมลิบเดต (AR) ของบริษัท Baker
- เอธิลีน ไดอะมีนเตตระอะซิติก แอซิด EDTA (AR) ของบริษัท BDH
- คลอโรฟอร์ม (AR) ของบริษัท Baker

- โทลูอิน (AR) ของบริษัท Carlo Erba
- ไดเอทิล อีเทอร์ (AR) ของบริษัท Riedel-De Haen
- เบนซีน (AR) ของบริษัท Merck
- เมทิลีนคลอไรด์ (AR) ของบริษัท Merck
- เมทานอล (AR) ของบริษัท Merck
- เอทานอล (AR) ของบริษัท BDH
- เฮกเซน (AR) ของบริษัท BDH
- แคลซีน ของบริษัท Fluka
- ไรมอลพาราซีน ของบริษัท Merck
- แพรอรอล กรีน บี ของบริษัท Fluka
- พาราซีน เพอร์เฟิล ของบริษัท Merck
- เมริล เรด ของบริษัท Fluka
- เมริล ออเรนจ์ ของบริษัท Merck
- 1-อะมิโน-2-แพรอรอล-4 อัลฟูนิค แอซิด ของบริษัท Fluka
- ออร์โธพีแนนโรลีน (AR) ของบริษัท Fluka
- อะซิซาริน เรด-เอลส์ ของบริษัท Fluka
- ไตรเอทานอลามีน ของบริษัท BDH
- ไฮดรอกซีลามีนไฮโดรคลอไรด์ (AR) ของบริษัท Hopkin and Williams
- โครโมซอบ (60/80 เมช) ของบริษัท Supelco
- ซิลิกา เจล 60 (7734) สำหรับคอลัมน์โครมาโตกราฟี (70-230 เมช)

ของบริษัท Merck

3.3 สารมาตรฐาน

สารละลายมาตรฐานที่ใช้วิเคราะห์ทาง atomic absorption spectrophotometry และ flame photometry เป็นสารละลายที่มีความเข้มข้น 1 มิลลิกรัม/cm³ ได้แก่

- ทองแดงไนเตรต ของบริษัท BDH
- สังกะสีไนเตรต ของบริษัท BDH
- โคโรเมียมไนเตรต ของบริษัท BDH
- แมงกานีสไนเตรต ของบริษัท BDH

- ซิลิคอน ของบริษัท BDH
- อะลูมิเนียมไนเตรต ของบริษัท BDH
- เฟอร์ริกไนเตรต ของบริษัท BDH
- แคลเซียมไนเตรต ของบริษัท BDH
- แมกนีเซียมไนเตรต ของบริษัท BDH
- โซเดียมคลอไรด์ ของบริษัท BDH
- โพแทสเซียมคลอไรด์ ของบริษัท BDH

สารมาตรฐานเปรียบเทียบ ซึ่งใช้เป็นสารมาตรฐานในการเปรียบเทียบหาปริมาณของสารต่าง ๆ ในตัวอย่างถ่านหิน สำหรับใช้วิเคราะห์ทาง UV-VIS absorption spectrophotometry

Feldspar ของ Bureau of Analysed Sample ใช้เป็นสารมาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบ ซึ่งมีองค์ประกอบต่าง ๆ กัน ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงปริมาณขององค์ประกอบต่าง ๆ ในสารมาตรฐาน feldspar

| องค์ประกอบ | ปริมาณคิดเป็น % โดยน้ำหนัก |
|--------------------------------|----------------------------|
| SiO ₂ | 67.10 |
| Al ₂ O ₃ | 17.80 |
| Na ₂ O | 2.75 |
| K ₂ O | 11.30 |
| Ign. loss | 0.37 |

สารมาตรฐานที่ใช้ในการทดลองสำหรับวิเคราะห์หาองค์ประกอบไฮโดรคาร์บอนโดยใช้เทคนิค gas Chromatography คือ standard n-paraffinic C₁₀-C₃₀ ของบริษัท Poly Science Corporation (PSC)

3.4 ลํารตัวอย่าง และการเตรียมลํารตัวอย่าง

ในการวิจัยครั้งนี้ ใช้ตัวอย่างถ่านหินจากจังหวัดต่าง ๆ ที่มีแหล่งถ่านหิน รวมทั้งสิ้น

10 ตัวอย่าง คือ

- ตัวอย่างถ่านหินจาก จังหวัดกระบี่
- ตัวอย่างถ่านหินจาก จังหวัดเลย
- ตัวอย่างถ่านหินจาก แหล่งบ้านป่าคา จังหวัดลำพูน
- ตัวอย่างถ่านหินจาก จังหวัดตาก
 - เก็บจากกองถ่าน ตำบลบ้านตาก
 - แหล่งแม่ระมาต
- ตัวอย่างถ่านหินจากแหล่งแม่เมาะ จังหวัดลำปาง มีขนาดต่าง ๆ กัน คือ
 - ไม่คัดขนาด
 - หลายขนาดรวมกัน
 - ขนาดกลาง
 - ขนาด 1 มิลลิเมตร
 - เศษถ่าน ขนาด 2 มิลลิเมตร

การเตรียมตัวอย่างถ่านหินเพื่อนำไปวิเคราะห์ ได้ใช้วิธีเตรียมตามมาตรฐาน ASTM D2013. (32) โดยนำตัวอย่างมาบดให้ละเอียด แล้วนำไปร่อนให้ผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช หรือให้ได้ขนาด 0.25 มิลลิเมตร เก็บใส่ถุงพลาสติก และใส่ในขวดที่มีฝาปิดสนิท เพื่อป้องกันมิให้ความชื้นเปลี่ยนแปลง

3.5 การวิเคราะห์ถ่านหินโดยประมาณ (Proximate analysis) (33)

3.5.1 การหาปริมาณความชื้นของถ่านหิน (Moisture content) (34)

นำเบ้ากระเบื้อง (porcelain crucible) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร ไปอบที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นใน เดสิคเคเตอร์ (desiccator) นำไปยังหาน้ำหนักที่แน่นอนไว้ แล้วนำตัวอย่างถ่านหินที่เตรียมไว้ใส่ในเบ้ากระเบื้อง ย่างให้รู้น้ำหนักแน่นอน (หมักประมาณ 1 กรัม) นำไปอบที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักที่เหลือคงที่ นำไปยังหาน้ำหนักที่แน่นอนอีกครั้งหนึ่ง น้ำหนักที่หายไปนำมาคำนวณหาปริมาณร้อยละของความชื้น ได้ผลการทดลองดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.2

3.5.2 การหาปริมาณของสารระเหยของถ่านหิน (Volatile matter) (35)

นำเบ้านิเกิล (nickel crucible) เปล่า ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง

3 เซนติเมตร ปิดฝา เเผาในเตาเผาให้ร้อนประมาณ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาที แล้วทิ้งให้เป็นในเตลิกเคเตอร์ นำไปยังหาน้ำหนักที่แน่นอนไว้ ยั่งตัวอย่างถ่านหินให้รู้น้ำหนักที่แน่นอน (หนักประมาณ 1 กรัม) ใส่ในเบ้านิเกิล ปิดฝา เเผาในเตาเผาที่ 650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาที แล้วเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาที ในเตาเผาแบบ tube furnace แล้วทิ้งให้เป็นในเตลิกเคเตอร์ นำไปยังหาน้ำหนักที่แน่นอน น้ำหนักที่หายไปนำมาคำนวณหาน้ำหนักร้อยละของความชื้นและสารระเหย เมื่อหักค่าน้ำหนักร้อยละของความชื้นออก จะได้ค่าน้ำหนักร้อยละของสารระเหย ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 3.2

สำหรับปริมาณสารระเหยของตัวอย่างแห้ง, ไม่รวมสารอนินทรีย์ คำนวณได้จากสูตร คือ

$$\% \text{ ปริมาณสารระเหย} = 100 - \% \text{ ปริมาณคาร์บอนคงตัว (ตัวอย่างแห้ง, ไม่รวมสารอนินทรีย์)}$$

3.5.3 การหาปริมาณเถ้าของถ่านหิน (Ash) (36)

นำชามกระเบื้อง (porcelain basin) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร ไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เป็นในเตลิกเคเตอร์ นำไปยังหาน้ำหนักที่แน่นอนไว้ แล้วนำตัวอย่างถ่านหินที่เตรียมไว้ใส่ในชามกระเบื้อง ยั่งให้รู้น้ำหนักที่แน่นอน (ประมาณ 1 กรัม) นำไปเผาในเตาเผา โดยค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิจนถึง 700-750 องศาเซลเซียส เเผาที่อุณหภูมินี้จนเหลือแต่เถ้า และจนมีน้ำหนักคงที่ นำไปยังหาน้ำหนักที่แน่นอนอีกครั้งหนึ่ง น้ำหนักที่ยั่งได้นำมาคำนวณหาน้ำหนักร้อยละของเถ้าในถ่านหิน ได้ผลการทดลองดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.2

3.5.4 การหาปริมาณคาร์บอนคงตัวของถ่านหิน (Fixed carbon)

หาได้จากการคำนวณ โดยหาน้ำหนักร้อยละที่เหลือ เมื่อหักค่าน้ำหนักร้อยละของความชื้น เถ้า และสารระเหยออกแล้ว จะเป็นปริมาณน้ำหนักร้อยละของค่าคาร์บอนคงตัว ดังสมการ

$$\% \text{ ปริมาณคาร์บอนคงตัว} = 100 - (\% \text{ ความชื้น} + \% \text{ เถ้า} + \% \text{ สารระเหย}) \dots 1$$

ตารางที่ 3.2 แสดงผลการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ของถ่านหินแหล่งต่าง ๆ โดยประมาณ

| แหล่ง | ปริมาณความชื้น % | ปริมาณเถ้า % | ปริมาณ สารระเหย % | ปริมาณ คาร์บอนคงตัว % | ปริมาณ* สารระเหย % | ปริมาณ คาร์บอนคงตัว* % | อัตราส่วน คาร์บอนคงตัว ต่อสารระเหย |
|-------------------------------------|---------------------|-----------------|-------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------------------|--|
| จังหวัดกระบี่ | 13.41±0.04 | 16.58±0.19 | 41.37±0.47 | 28.64 | 57.88 | 42.12 | 0.73 |
| จังหวัดเลย | 3.05±0.62 | 43.89±1.29 | 10.08±0.14 | 42.98 | 11.46 | 88.54 | 7.73 |
| จังหวัดลำพูน (บ้านป่าคา) | 17.22±0.62 | 14.94±0.27 | 31.56±0.44 | 35.28 | 45.10 | 54.48 | 1.18 |
| จังหวัดตาก (บ้านตาก) | 7.59±0.25 | 22.85±0.19 | 30.14±0.41 | 39.42 | 41.36 | 58.67 | 1.42 |
| จังหวัดตาก (ระมัด) | 9.37±1.18 | 21.55±1.39 | 27.45±0.53 | 41.63 | 37.73 | 62.27 | 1.65 |
| จังหวัดลำปาง (แม่เมาะะ) | | | | | | | |
| ตัวอย่างที่ 1 ไม่คัดขนาด | 22.18±0.42 | 7.57±0.57 | 38.75±0.06 | 31.50 | 54.58 | 45.42 | 0.83 |
| ตัวอย่างที่ 2 หลายขนาดรวมกัน | 15.23±0.24 | 25.24±0.60 | 31.39±0.15 | 28.14 | 50.50 | 49.50 | 0.98 |
| ตัวอย่างที่ 3 ขนาดกลาง | 12.13±0.38 | 29.51±1.26 | 29.78±0.53 | 28.58 | 48.28 | 51.72 | 1.07 |
| ตัวอย่างที่ 4 ขนาด 1 มม. | 9.26±0.10 | 46.15±1.72 | 28.85±0.64 | 15.74 | 60.45 | 39.55 | 0.65 |
| ตัวอย่างที่ 5 เศษถ่าน (ขนาด >2 มม.) | 7.96±1.22 | 44.81±1.44 | 33.50±0.07 | 13.73 | 67.77 | 32.23 | 0.48 |

* เป็นตัวอย่างถ่านหินที่แห้งและไม่รวมสารอินทรีย์

หมายเหตุ เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ครั้ง

สำหรับปริมาณคาร์บอนคงตัวของตัวอย่างแห้ง, ไม่รวมสารอนินทรีย์ คำนวณได้จากสูตร

$$\% \text{ ปริมาณคาร์บอนคงตัว} = \frac{\text{ปริมาณคาร์บอนคงตัว จากผลการ 1}}{100 - (M + 1.1 A + 0.1 S)} \times 100$$

โดยที่ M = ความชื้น

A = เถ้าของถ่านหิน

S = กำมะถัน

ผลการทดลองดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.2

3.6 การหาค่าความร้อนของถ่านหิน (Heating value) (37)

การหาค่าความร้อนของถ่านหิน ทำได้โดยการเผาถ่านหินที่รู้น้ำหนักแน่นอน ในเครื่องหาค่าความร้อนแบบอัตโนมัติ (Automatic Bomb Calorimeter) ดังรูปที่ 3.1 ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D2015 คือ นำตัวอย่างไปหาค่าความร้อนโดยไม่บดไล่ความชื้น และนำตัวอย่างไปบดไล่ความชื้นแล้วจึงไปหาค่าความร้อน โดยนำถ่านหินห่อด้วยกระดาษฟาง (rice paper) ซึ่งทราบค่าความร้อนแล้ว แล้วพันห่อกระดาษด้วยลวดเผาไหม้ (ignition wire) ใล่ลงในถ้วยตัวอย่าง (sample pan) แล้วนำไปวางในห้วงของเครื่องบอมบ์ ปิดฝา อัดก๊าซออกซิเจนเข้าไปด้วยความดัน 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แล้วประกอบเข้าในถัง (Jacket) เมื่ออุณหภูมิภายในเครื่องคงที่ ตัวอย่างจะถูกเผาไหม้ (ignite) ความร้อนที่เกิดขึ้นจะถูกถ่ายเทให้กับน้ำ อุณหภูมิของน้ำจะเพิ่มขึ้น และนำไปคำนวณหาค่าความร้อนของตัวอย่างได้จากสูตร

$$Q = C (W+w) \times td$$

Q = ค่าความร้อนจากการเผาไหม้, แคลอรี

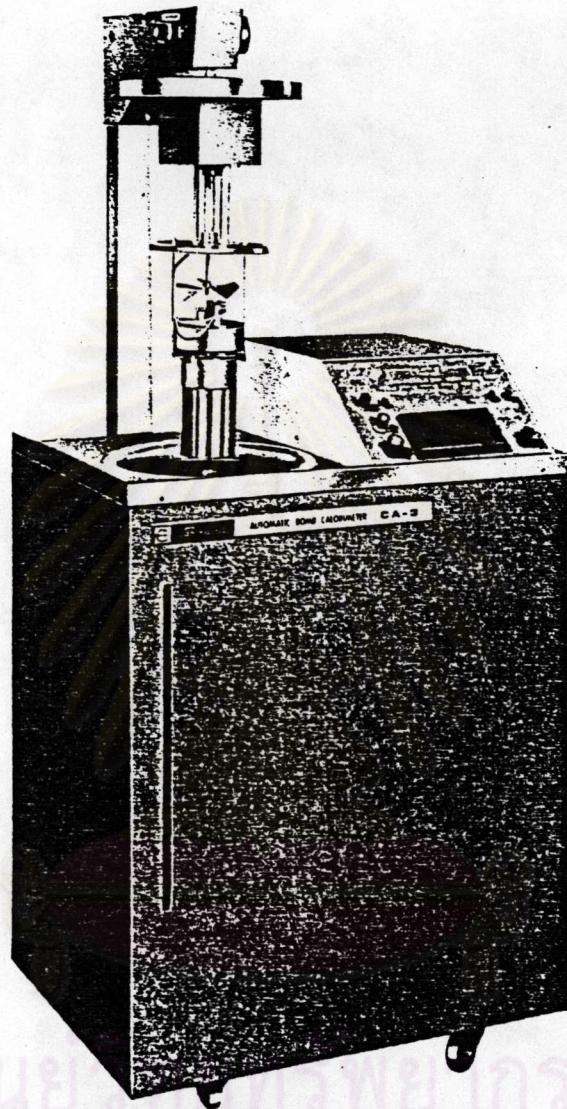
C = ความร้อนจำเพาะของน้ำ, แคลอรีต่อกรัมต่อองศา

W = ค่าคงที่ของเครื่อง (Water equivalent, กรัม)

w = น้ำหนักของน้ำในเครื่องที่แช่บอมบ์, กรัม

td = อุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้น, องศาเซลเซียส

ค่าของ C (W+w) เป็นค่าคงที่ของเครื่องแต่ละเครื่อง ซึ่งสามารถหาได้ด้วยสารมาตรฐาน ซึ่งทราบค่าความร้อนแล้ว ดังนั้นค่าความร้อน จึงเป็นปฏิภาคโดยตรงกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (td) ค่าความร้อนที่หาได้มี 2 ประเภท คือ



รูปที่ 3.1 แสดงเครื่องหาค่าความร้อนแบบอัตโนมัติ

ศูนย์วิจัยและพัฒนา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ค่าความร้อนที่ได้จากตัวอย่างที่นำไปอบไล่ความชื้นเสียก่อน
2. ค่าความร้อนที่ได้จากตัวอย่างที่ไม่ได้อบไล่ความชื้น

ในแต่ละประเภทได้นำมาคำนวณเป็นค่าความร้อนที่ไม่รวม ถ้า และค่าความร้อนที่ไม่รวมสำหรับอินทรีย์ ดังสูตร

$$\text{ค่าความร้อนที่ไม่รวมถ้า} = \frac{\text{ค่าความร้อนที่รวมถ้า (ปีทียู)}}{100 - A} \times 100$$

$$\text{ค่าความร้อนที่ไม่รวมสำหรับอินทรีย์} = \frac{\text{ค่าความร้อนที่รวมสำหรับอินทรีย์ (ปีทียู)}}{100 - (1.1 A + 0.1 S)} \times 100$$

โดยที่ A = เปอร์เซ็นต์

S = เปอร์เซ็นต์

ผลการทดลองดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.3

3.7 การวิเคราะห์ถ่านหินโดยละเอียด (Ultimate Analysis) (38)

การวิเคราะห์แบบนี้เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ออกซิเจน และกำมะถัน ในการวิเคราะห์ปริมาณธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน ได้ใช้เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณธาตุ (elemental analyzer) โดยเฉพาะ แต่สำหรับการหาปริมาณกำมะถัน ได้ใช้วิธีการเปลี่ยนกำมะถันให้กลายเป็นซัลเฟต แล้วตกตะกอนซัลเฟตในรูปของแบเรียมซัลเฟต จากนั้นล้างบอมบ์ในแคลอริมิเตอร์ที่ใช้ในการหาความร้อน ส่วนปริมาณออกซิเจนเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณ

3.7.1 การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน

ในการทดลอง ได้ใช้เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณธาตุของบริษัท Perkin Elmer model 240C โดยนำตัวอย่างในหัวข้อ 3.4 ทั้งที่อบให้แห้ง และที่ไม่ได้อบให้แห้ง ปริมาณแน่นอน (1-3 มิลลิกรัม) ใส่ในภาชนะสำหรับใส่สารตัวอย่าง แล้วใส่เข้าไปใน combustion furnace เเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส จนตัวอย่างถูกเผาไหม้หมดในบรรยากาศของออกซิเจน ได้ผลิตภัณฑ์คือคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และไนโตรเจนออกไซด์เป็น ไนโตรเจน จากนั้นให้ก๊าซผสมผ่านเข้าไปยังส่วนที่ดูดน้ำ (water trap ซึ่งเป็นแมกนีเซียม-เปอร์คลอเรต) และส่วนที่ดูดคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide trap ซึ่งเป็นลิเทียม-ไฮดรอกไซด์) ตามลำดับ ปริมาณน้ำและปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกดูดซับสามารถวัดได้

ตารางที่ 3.3 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของถ่านหินแหล่งต่าง ๆ

| แหล่ง | ค่าความร้อน ปีทียู* /ปอนด์ | | | | | |
|-------------------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------------------|--------------------|-----------------------|-------------------------------|
| | ตัวอย่างรวมความชื้นรวมเตา | ตัวอย่างรวมความชื้นไม่รวมเตา | ตัวอย่างรวมความชื้นไม่รวมสารอินทรีย์ | ตัวอย่างแห้งรวมเตา | ตัวอย่างแห้งไม่รวมเตา | ตัวอย่างแห้งไม่รวมสารอินทรีย์ |
| จังหวัดกระบี่ | 6,150±22 | 7,372 | 7,554 | 7,475±40 | 8,961 | 9,185 |
| จังหวัดเลย | 7,118±16 | 12,686 | 13,797 | 7,706±10 | 13,733 | 14,943 |
| จังหวัดลำพูน (บ้านป่าคา) | 7,513±40 | 8,832 | 9,018 | 8,946±90 | 10,517 | 10,749 |
| จังหวัดตาก (บ้านตาก) | 8,885±70 | 11,516 | 11,876 | 9,059±40 | 11,743 | 12,111 |
| จังหวัดตาก (ระมัด) | 8,089±24 | 10,311 | 10,613 | 8,467±22 | 10,793 | 11,110 |
| จังหวัดลำปาง (แม่เมาะ) | | | | | | |
| ตัวอย่างที่ 1 ไม่คัดขนาด | 8,141±50 | 8,808 | 8,894 | 10,006±90 | 10,826 | 10,938 |
| ตัวอย่างที่ 2 หลายขนาดรวมกัน | 7,167±50 | 9,587 | 9,943 | 8,064±10 | 10,787 | 11,192 |
| ตัวอย่างที่ 3 ขนาด กลาง | 5,815±70 | 8,249 | 8,628 | 7,195±20 | 10,207 | 10,679 |
| ตัวอย่างที่ 4 ขนาด 1 มม. | 5,211±40 | 9,678 | 10,623 | 6,223±50 | 11,555 | 12,686 |
| ตัวอย่างที่ 5 เศษถ่าน (ขนาด >2 มม.) | 5,194±25 | 9,411 | 10,273 | 5,400±50 | 9,785 | 10,682 |

* ปีทียู/ปอนด์ = 1.8007535 x แคลอรี/กรัม

หมายเหตุ เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ครั้ง

ด้วย thermal conductivity detector ส่วนไนโตรเจน เข้า detector โดยตรง สัญญาณจาก detector จะถูกบันทึกเป็นกราฟแท่ง อ่านค่าสัญญาณเป็นไมโครโวลต์ (μV) แล้วนำไปคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอน, ไฮโดรเจน และไนโตรเจน ผลการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.4, 3.5, 3.6 และ 3.7

3.7.2 การวิเคราะห์หาปริมาณกำมะถัน (39)

เนื่องจากเครื่องวิเคราะห์ปริมาณธาตุยังไม่มีอุปกรณ์ที่จะหาปริมาณกำมะถันได้ จึงต้องใช้วิธีวิเคราะห์โดย Bomb washing method คือวิเคราะห์จากน้ำล้างในเครื่องบอมบ์ ของสารตัวอย่าง โดยนำสารละลายตอนหาค่าความร้อนที่ได้จากการล้างเครื่องบอมบ์ เพราะ กำมะถันจะถูกเผาไหม้เป็นกำมะถันไดออกไซด์ และไตรออกไซด์ นำมากำจัดสารรบกวนเสียก่อน โดยเติมแอมโมเนียไฮดรอกไซด์ แล้วกรองเอาตะกอนออก นำสารละลายมาปรับสภาพให้เป็น กรดเล็กน้อย แล้วตกตะกอนกำมะถันออกมาในรูปของแบเรียมซัลเฟต (BaSO_4) นำตะกอนที่ กรองได้ไปเผาที่อุณหภูมิ 925 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ น้ำหนักของตะกอนนั้นสามารถ คำนวณหาปริมาณกำมะถันได้ดังสมการข้างล่างนี้ และผลการทดลองแสดงในตารางที่ 3.4, 3.5, 3.6 และ 3.7

$$\% \text{ กำมะถัน} = \frac{\text{น้ำหนักตะกอนแบเรียมซัลเฟต} \times 13.738}{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้}}$$

3.7.3 การวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจน

ปริมาณของออกซิเจนในถ่านหินนั้น ถือว่าเป็นปริมาณที่ออกซิเจนเกิดอยู่ใน สารประกอบอินทรีย์ต่าง ๆ โดยทั่วไปปริมาณของออกซิเจนจะหาได้จากผลต่างจากปริมาณสาร กับองค์ประกอบอื่น ๆ ดังแสดงในสมการข้างล่างนี้

$$\% \text{ ออกซิเจน} = 100 - (\% \text{ C} + \% \text{ H} + \% \text{ N} + \% \text{ S})$$

ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.4, 3.5, 3.6 และ 3.7

3.8 การวิเคราะห์หาองค์ประกอบหลักใน ถ้ำถ่านหินโดยเทคนิค Atomic Absorption Spectrophotometry (40)

เพื่อจะวิเคราะห์หาองค์ประกอบใน ถ้ำถ่านหิน ซึ่งได้แก่ SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O โดยใช้เทคนิคทาง atomic absorption spectrophotometry ทำตามขั้นตอนต่อไปนี้

ตารางที่ 3.4 แสดงผลการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยของถ่านดินแหล่งต่าง ๆ โดยละเอียด ตัวอย่างรวมความชื้น, รวมแก้ว

| แหล่ง | ปริมาณธาตุต่าง ๆ ในตัวอย่างถ่านดิน | | | | |
|-------------------------------------|------------------------------------|-----------|------------|-----------|-------|
| | %C | %H | %N | %S | %O |
| จังหวัดกระบี่ | 37.82±0.03 | 3.05±0.06 | 1.14±0.01 | 3.51±0.10 | 54.48 |
| จังหวัดเลย | 44.79±0.18 | 1.48±0.05 | 0.54±0.04 | 1.28±0.01 | 51.91 |
| จังหวัดลำพูน (บ้านป่าคา) | 44.60±0.27 | 3.87±0.02 | 0.91±0.01 | 2.61±0.01 | 48.01 |
| จังหวัดตาก (บ้านตาก) | 52.15±0.22 | 3.69±0.04 | 1.28±0.01 | 0.54±0.02 | 42.34 |
| จังหวัดตาก (ระมาต) | 46.94±0.05 | 3.48±0.03 | 1.08±0.005 | 0.75±0.02 | 47.75 |
| จังหวัดลำปาง (แม่เมาะ) | | | | | |
| ตัวอย่างที่ 1 ไม่คัดขนาด | 49.52±0.09 | 3.65±0.15 | 1.84±0.01 | 1.33±0.01 | 43.66 |
| ตัวอย่างที่ 2 หลายขนาดรวมกัน | 42.25±0.23 | 3.36±0.03 | 0.81±0.04 | 1.57±0.01 | 52.01 |
| ตัวอย่างที่ 3 ขนาดกลาง | 33.75±0.32 | 3.03±0.04 | 0.69±0.01 | 1.45±0.02 | 61.08 |
| ตัวอย่างที่ 4 ขนาด 1 มม. | 30.13±0.90 | 2.73±0.02 | 0.69±0.01 | 1.76±0.02 | 64.69 |
| ตัวอย่างที่ 5 เศษถ่าน (ขนาด >2 มม.) | 31.03±0.02 | 2.67±0.02 | 0.56±0.00 | 1.53±0.02 | 64.10 |

หมายเหตุ เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ครั้ง

ตารางที่ 3.5 แสดงผลการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยของถ่านหินแหล่งต่าง ๆ โดยละเอียด ตัวอย่างแห้ง, รวมถ้ำ

| แหล่ง | ปริมาณธาตุต่าง ๆ ในตัวอย่างถ่านหิน | | | | |
|-------------------------------------|------------------------------------|------------|-----------|-----------|-------|
| | %C | %H | %N | %S | %O |
| จังหวัดกระบี่ | 42.10±0.93 | 3.35±0.06 | 1.32±0.07 | 3.76±0.20 | 49.46 |
| จังหวัดเลย | 48.57±1.26 | 1.49±0.01 | 0.57±0.04 | 1.52±0.01 | 47.85 |
| จังหวัดลำพูน (บ้านปากา) | 48.21±0.01 | 4.07±0.003 | 0.96±0.03 | 3.37±0.03 | 43.39 |
| จังหวัดตาก (บ้านตาก) | 50.44±0.75 | 3.45±0.05 | 1.21±0.01 | 0.62±0.01 | 39.27 |
| จังหวัดตาก (ระมาต) | 47.49±0.33 | 3.38±0.05 | 1.03±0.02 | 0.83±0.06 | 47.27 |
| จังหวัดลำปาง (แม่เม่าะ) | | | | | |
| ตัวอย่างที่ 1 ไม่คัดขนาด | 53.42±0.09 | 3.71±0.00 | 1.94±0.12 | 1.90±0.04 | 40.93 |
| ตัวอย่างที่ 2 หลายขนาดรวมกัน | 44.41±0.05 | 3.29±0.08 | 0.66±0.03 | 1.87±0.02 | 49.77 |
| ตัวอย่างที่ 3 ขนาดกลาง | 39.67±0.67 | 3.27±0.00 | 0.68±0.03 | 1.65±0.02 | 54.73 |
| ตัวอย่างที่ 4 ขนาด 1 มม. | 33.03±0.56 | 2.87±0.03 | 0.79±0.05 | 1.85±0.03 | 61.46 |
| ตัวอย่างที่ 5 เศษถ่าน (ขนาด >2 มม.) | 31.55±0.63 | 2.65±0.02 | 0.65±0.01 | 1.81±0.04 | 63.21 |

หมายเหตุ เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ครั้ง

ตารางที่ 3.6 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านหินแหล่งต่าง ๆ โดยละเอียด ตัวอย่างรวมความชื้น

| แหล่ง | ปริมาณธาตุต่าง ๆ ในตัวอย่างถ่านหิน* | | | | | ปริมาณธาตุต่าง ๆ ในตัวอย่างถ่านหิน** | | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|------|------|------|-------|--------------------------------------|------|------|------|-------|
| | %C | %H | %N | %S | %O | %C | %H | %N | %S | %O |
| จังหวัดกระบี่ | 45.34 | 3.66 | 1.37 | 4.21 | 45.42 | 46.46 | 3.75 | 1.40 | 4.31 | 44.08 |
| จังหวัดเลย | 79.83 | 2.64 | 0.96 | 2.28 | 14.29 | 86.82 | 2.87 | 1.05 | 2.48 | 6.78 |
| จังหวัดลำพูน (บ้านป่าคา) | 52.43 | 4.55 | 1.07 | 3.07 | 38.88 | 53.54 | 4.65 | 1.09 | 3.13 | 37.59 |
| จังหวัดตาก (บ้านตาก) | 67.60 | 4.78 | 1.66 | 0.70 | 25.26 | 69.71 | 4.93 | 1.71 | 0.72 | 22.93 |
| จังหวัดตาก (ระมาต) | 59.61 | 4.42 | 1.37 | 0.95 | 33.65 | 61.59 | 4.57 | 1.42 | 0.98 | 31.44 |
| จังหวัดลำปาง (แม่เมาะ) | | | | | | | | | | |
| ตัวอย่างที่ 1 ไม้คัดขนาด | 53.58 | 3.95 | 1.99 | 1.44 | 39.04 | 54.10 | 3.99 | 2.01 | 1.45 | 38.45 |
| ตัวอย่างที่ 2 หลายขนาดรวมกัน | 56.51 | 4.49 | 1.08 | 2.10 | 35.82 | 58.61 | 4.66 | 1.12 | 2.18 | 33.43 |
| ตัวอย่างที่ 3 ขนาดกลาง | 47.88 | 4.30 | 0.98 | 2.06 | 44.78 | 50.08 | 4.50 | 1.02 | 2.15 | 42.25 |
| ตัวอย่างที่ 4 ขนาด 1 มม. | 55.95 | 5.07 | 1.28 | 3.27 | 34.43 | 61.42 | 5.57 | 1.41 | 3.59 | 28.01 |
| ตัวอย่างที่ 5 เศษถ่าน (ขนาด >2 มม.) | 56.22 | 4.84 | 1.02 | 2.77 | 35.15 | 61.38 | 5.28 | 1.11 | 3.03 | 29.20 |

* ไม่รวมเถ้า

** ไม่รวมสารอนินทรีย์



ตารางที่ 3.7 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านหินแหล่งต่าง ๆ โดยจะเขียน ตัวอย่างแห้ง, ไม่รวมถ้ำ

| แหล่ง | ปริมาณธาตุต่าง ๆ ในตัวอย่างถ่านหิน | | | | |
|-------------------------------------|------------------------------------|------|------|------|-------|
| | %C | %H | %N | %S | %O |
| จังหวัดกระบี่ | 50.46 | 4.02 | 1.59 | 4.51 | 39.42 |
| จังหวัดเลย | 86.56 | 2.66 | 1.02 | 2.71 | 7.05 |
| จังหวัดลำพูน (บ้านป่าคา) | 56.67 | 4.78 | 1.13 | 3.96 | 33.46 |
| จังหวัดตาก (บ้านตาก) | 71.51 | 4.80 | 1.61 | 0.80 | 21.28 |
| จังหวัดตาก (ระมาต) | 60.53 | 4.30 | 1.31 | 1.05 | 32.81 |
| จังหวัดลำปาง (แม่เมาะ) | | | | | |
| ตัวอย่างที่ 1 ไม่คัดขนาด | 57.80 | 4.01 | 2.10 | 2.10 | 33.99 |
| ตัวอย่างที่ 2 หลายขนาดรวมกัน | 59.40 | 4.39 | 0.88 | 2.50 | 32.83 |
| ตัวอย่างที่ 3 ขนาดกลาง | 56.28 | 4.64 | 0.96 | 2.34 | 35.78 |
| ตัวอย่างที่ 4 ขนาด 1 มม. | 61.33 | 5.32 | 1.46 | 3.44 | 28.54 |
| ตัวอย่างที่ 5 เศษถ่าน (ขนาด >2 มม.) | 57.16 | 4.79 | 1.41 | 3.28 | 33.36 |

3.8.1 การเตรียมเก้าถ่านหิน

นำตัวอย่างถ่านหินจากหัวข้อ 3.4 ซึ่งมีขนาด 0.25 มิลลิเมตร ใส่ในขำม กระเบื้อง เกลี่ยให้หนาประมาณ 6 มิลลิเมตร แล้วนำไปวางในเตาเผาซึ่งมีอุณหภูมิสูงประมาณ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 750 องศาเซลเซียส จนคาร์บอนหมด ตั้งทิ้งให้เป็น แล้วนำไปบดให้ละเอียด, ร่อนให้เก้าถ่านหินมีขนาดน้อยกว่า 0.074 มิลลิเมตร เผาอีกครั้งที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตั้งทิ้งให้เป็นในเตาเล็กเคเตอร์

3.8.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่างเพื่อจะวิเคราะห์

ชั่งเก้าถ่านหินในหัวข้อที่ 3.8.1 ให้น้ำหนักแน่นอน (0.1000 กรัม) ในเบ้าพลาตินัม เติมลิเทียมเตตระโบเรต 1.00 กรัม นำไปให้ความร้อนในเตาเผาจนถึง 1000 องศาเซลเซียส ประมาณ 15 นาที สารตัวอย่างจะหลอมเหลวหลังจากตั้งทิ้งให้เป็น แล้วนำสารที่หลอมเหลวไปละลายในกรดไฮโดรคลอริก (5:95) และอุ่นให้ร้อน เมื่อเย็นแล้วถ่ายสารละลายลงในขวดมาตรฐาน 250.0 cm³ แล้วทำให้สารละลายมีปริมาตรครบ 250.0 cm³ ด้วยกรดไฮโดรคลอริก (5:95) แบ่งสารละลายนี้ออกเป็น 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 นำสารละลายมาทำให้สีจาง 2 เท่า ด้วยกรดไฮโดรคลอริก (5:95)

ส่วนที่ 2 นำสารละลายมา 10.0 cm³ และ สารละลายแลนทานัมคลอไรด์ (10% La) 10.0 cm³ ใส่ในขวดมาตรฐาน 100.0 cm³ เติมกรดไฮโดรคลอริก (5:95) จนปริมาตรครบ 100.0 cm³

3.8.3 การวิเคราะห์หาปริมาณ SiO₂ และ Al₂O₃

3.8.3.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน และการทำกราฟมาตรฐาน

ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานซิลิคอน ใช้สารละลายมาตรฐานซิลิคอนซึ่งมีความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัม/cm³ มาทำให้เป็นสารละลายที่มีความเข้มข้นระหว่าง 20.00-60.00 ไมโครกรัม/cm³ สำหรับสารละลายมาตรฐานอะลูมิเนียม ก็เตรียมเช่นเดียวกัน แต่ให้มีความเข้มข้นระหว่าง 10.00-30.00 ไมโครกรัม/cm³ ปรับปริมาตรด้วย blank ที่เตรียมในหัวข้อที่ 3.7.3 แล้วนำไปวัดค่า absorbance ด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer ซึ่งได้จัด instrument parameter ต่าง ๆ ที่จะเลือกใช้ให้ถูกต้องในการวิเคราะห์

ปริมาณซิลิคอน และอะลูมิเนียม ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.8 นำผลการทดลอง ไปหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้น กับค่า absorbance โดยใช้ least square method ในการเขียนกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 และ 3.3

3.8.3.2 การเตรียมสารละลาย blank

เตรียมสารละลายลิเทียมเตตระโบเรตในกรดไฮโดรคลอริก โดยใช้ลิเทียมเตตระโบเรตหนัก 2.00 กรัม นำไปละลายใน HCl (5:95) แล้วทำให้ ปริมาตรเป็น 1000.0 cm^3 ในขวดมาตรฐาน

3.8.3.3 การหาค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง

นำสารละลายส่วนที่ 1 ในหัวข้อที่ 3.8.2 ไปวิเคราะห์เช่นเดียวกับสารละลายมาตรฐาน โดยวัดค่า absorbance นำไปหาค่าความเข้มข้น จากกราฟมาตรฐาน เป็น ไมโครกรัม/cm³ แล้วนำไปคำนวณหาเป็นเปอร์เซ็นต์ของ SiO₂ และ Al₂O₃ ได้

ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.9

3.8.4 การวิเคราะห์หาปริมาณ Fe₂O₃, CaO และ MgO

3.8.4.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน และการทำกราฟมาตรฐาน

ในการเตรียมสารละลายมาตรฐาน ใช้สารละลายมาตรฐาน เหล็ก, แคลเซียม และแมกนีเซียม ซึ่งมีความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัม/cm³ มาทำให้เจือจาง มีความเข้มข้นดังต่อไปนี้

สารละลายมาตรฐานเหล็ก ให้มีความเข้มข้นระหว่าง
2.00-10.00 ไมโครกรัม/cm³

สารละลายมาตรฐานแคลเซียม ให้มีความเข้มข้นระหว่าง
1.00-10.00 ไมโครกรัม/cm³

สารละลายมาตรฐานแมกนีเซียม ให้มีความเข้มข้นระหว่าง
0.50-2.00 ไมโครกรัม/cm³

ในแต่ละสารละลายที่จะเตรียม ให้มีความเข้มข้นต่าง ๆ ด้ ให้เติมแลนทานัมคลอไรด์ (10% La) ลงไป 10.0 cm^3 สำหรับสารละลาย 100.0 cm^3 ปรับปริมาตรให้ครบด้วย blank ที่เตรียมในหัวข้อที่ 3.7.4.2 แล้วนำสารละลายมาตรฐานของแต่ละธาตุไปวัดค่า absorbance ด้วยเครื่อง

atomic absorption spectrophotometer ซึ่งได้จัด instrument parameter ต่าง ๆ ที่จะใช้ให้ถูกต้องในการวิเคราะห์แต่ละธาตุ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.8 ผลการทดลองที่ได้นำไปหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้น กับค่า absorbance โดยใช้ least square method ในการเขียนกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 3.4, 3.5 และ 3.6

3.8.4.2 การเตรียมสารละลาย Blank

ใช้ลิเทียมเตตระโบรไรด์ 0.50 กรัม และสารละลายแลนทานัม-คลอไรด์ (10% La) จำนวน 100.0 cm³ ใส่ในขวดมาตรฐาน 1000.0 cm³ แล้วทำให้ปริมาตรครบ 1000.0 cm³ ด้วยกรดไฮโดรคลอริก (5:95)

3.8.4.3 การหาค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง

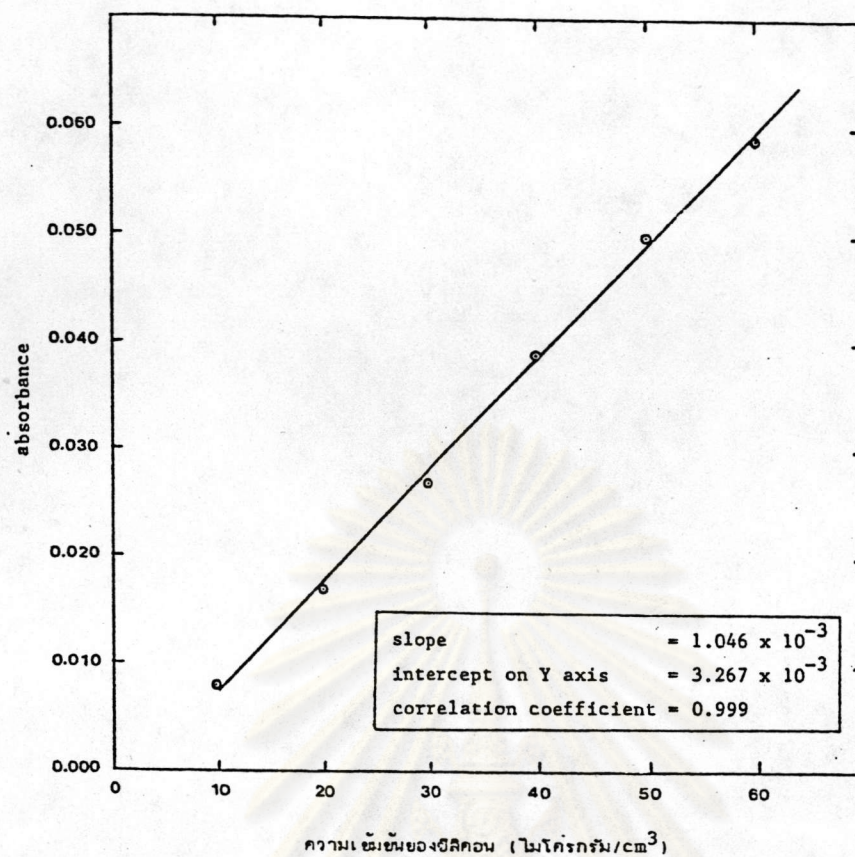
นำสารละลายส่วนที่ 2 ในหัวข้อที่ 3.7.2 ไปวิเคราะห์ เช่นเดียวกับสารละลายมาตรฐานของแต่ละธาตุ วัดค่า absorbance แล้วนำไปหาค่าความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน เป็น ไมโครกรัม/cm³ แล้วนำไปคำนวณหาเป็นเปอร์เซ็นต์ของ Fe₂O₃, CaO และ MgO ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.8 แสดงค่า instrument parameters ต่าง ๆ ที่จะเลือกใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโดยใช้เทคนิคทาง atomic absorption spectrophotometry

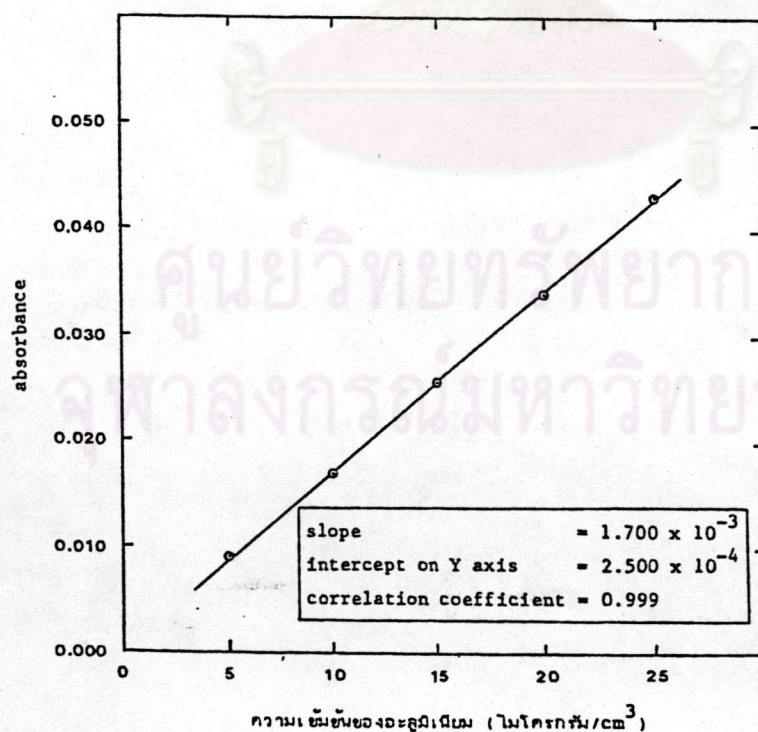
| ธาตุ | กระแสไฟฟ้า (mA) | ชนิดของเปลวไฟ* | ความกว้างของ slit \AA | ความยาวคลื่น (nm) |
|------|-----------------|----------------|--------------------------------|-------------------|
| Si | 10 | N-A | 5 | 251.6 |
| Al | 7 | N-A | 5 | 309.3 |
| Fe | 7 | A-A | 2 | 248.3 |
| Ca | 5 | A-A | 5 | 422.7 |
| Mg | 4 | A-A | 6 | 285.2 |

หมายเหตุ * A-A = Air-Acetylene

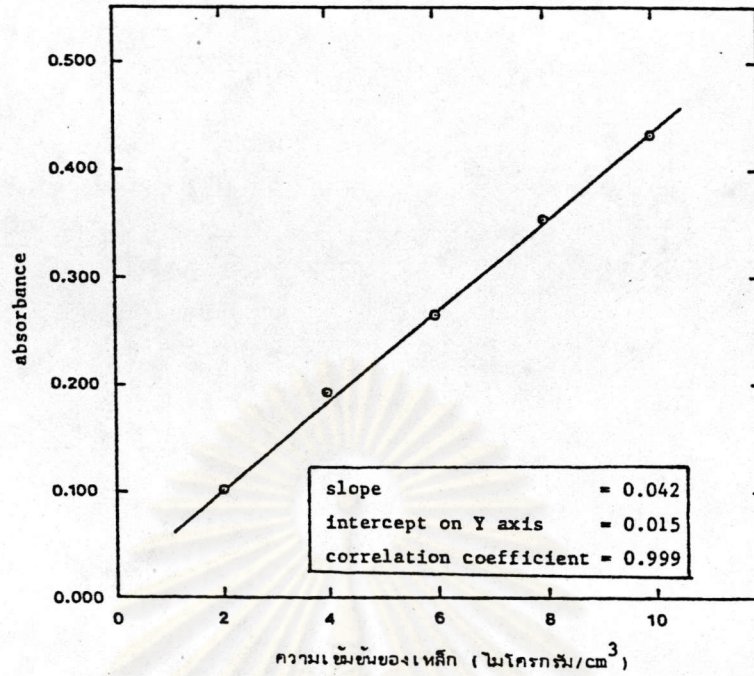
N-A = Nitrous oxide-Acetylene



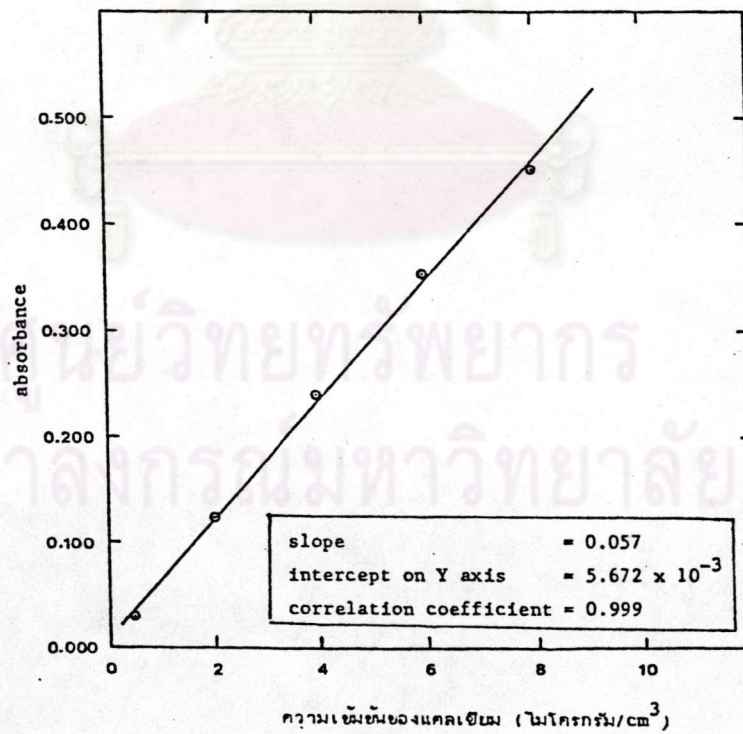
รูปที่ 3.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า absorbance กับค่าความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์



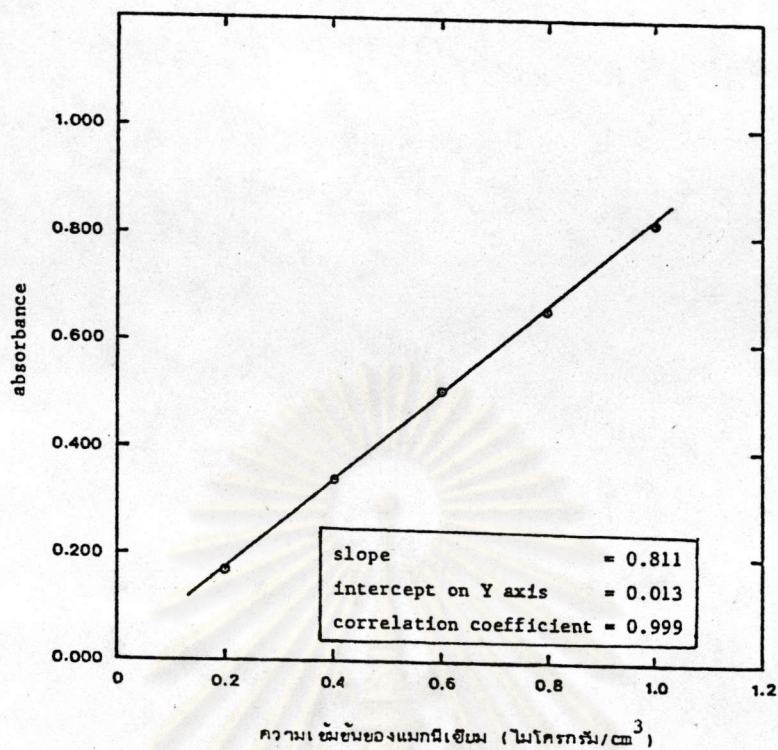
รูปที่ 3.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า absorbance กับค่าความเข้มข้นของอะลูมิเนียม



รูปที่ 3.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า absorbance กับค่าความเข้มข้นของไอโอดีน



รูปที่ 3.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า absorbance กับค่าความเข้มข้นของแคดเมียม



รูปที่ 3.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า absorbance กับค่าความเข้มข้นของแมกนีเซียม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.9 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณออกไซด์ของธาตุต่าง ๆ ในถ่านหินโดยใช้เทคนิคทาง Atomic Absorption Spectrophotometry

| แหล่ง | ปริมาณออกไซด์ในถ่านหิน | | | | | ปริมาณถ่าน (%) |
|-------------------------------------|------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------|------------|----------------|
| | %SiO ₂ | %Al ₂ O ₃ | %Fe ₂ O ₃ | %MgO | %CaO | |
| จังหวัดกระบี่ | 35.44±0.23 | 17.86±0.38 | 16.85±0.77 | 1.87±0.10 | 7.56±0.53 | 16.58±0.19 |
| จังหวัดเลย | 49.76±0.54 | 17.96±0.27 | 6.53±0.92 | 1.35±0.10 | 8.18±0.51 | 43.89±1.29 |
| จังหวัดลำพูน (บ้านป่าคา) | 34.87±0.63 | 22.20±0.30 | 15.13±0.62 | 1.45±0.11 | 7.34±0.43 | 14.94±0.27 |
| จังหวัดตาก (บ้านตาก) | 45.88±0.63 | 29.96±0.26 | 7.19±0.94 | 0.91±0.12 | 1.75±0.49 | 22.85±0.19 |
| จังหวัดตาก (ระมัด) | 49.70±0.00 | 28.09±0.56 | 7.63±0.72 | 1.08±0.11 | 1.12±0.39 | 21.55±1.39 |
| จังหวัดลำปาง (แม่เม่าะ) | | | | | | |
| ตัวอย่างที่ 1 ไม่คัดขนาด | 4.83±0.18 | 4.28±0.39 | 12.64±0.67 | 7.90±0.20 | 20.93±0.42 | 7.57±0.57 |
| ตัวอย่างที่ 2 หลายขนาดรวมกัน | 45.12±0.91 | 24.12±0.81 | 5.61±0.91 | 1.37±0.13 | 4.10±0.40 | 25.24±0.60 |
| ตัวอย่างที่ 3 ขนาดกลาง | 48.40±0.20 | 24.42±0.92 | 5.35±0.78 | 1.27±0.10 | 3.33±0.35 | 29.51±1.26 |
| ตัวอย่างที่ 4 ขนาด 1 มม. | 50.23±0.11 | 22.74±0.79 | 6.40±0.54 | 1.25±0.10 | 3.43±0.42 | 46.15±1.72 |
| ตัวอย่างที่ 5 เศษถ่าน (ขนาด >2 มม.) | 50.65±0.17 | 22.69±0.96 | 5.74±0.69 | 1.12±0.11 | 2.68±0.23 | 44.81±1.44 |

หมายเหตุ เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ครั้ง

3.9 การวิเคราะห์ธาตุที่มีปริมาณน้อยในตัวอย่างดิน โดยใช้เทคนิคทาง Atomic Absorption Spectrophotometry (41)

จากการตรวจสอบสารละลายตัวอย่างที่เตรียมได้โดยใช้เทคนิคทาง atomic absorption spectrophotometry เพื่อจะดูว่ามีธาตุอะไรบ้างนั้น ปรากฏว่าธาตุปริมาณน้อยที่พบจะมี Cr, Cu, Zn และ Mn จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์อีกครั้งหนึ่ง โดยขั้นตอนต่อไปนี้

3.9.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน และการทำกราฟมาตรฐาน

นำสารละลายมาตรฐานซึ่งมีความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัม/cm³ ของธาตุ Cr, Cu, Zn และ Mn มาทำให้มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.01 ppm ถึง 10.00 ppm โดยให้มีปริมาตรสุดท้าย มีสารละลายกรดกัดทอง 15% (v/v), กรดไฮโดรฟลูออริก 3% (v/v), กรดบอริก 3% (v/v) นำไปวัดค่า absorbance ด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer นำผลการทดลองไปหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า absorbance โดยใช้ least square method ในการเขียนกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 3.7, 3.8, 3.9 และ 3.10

3.9.2 การเตรียมตัวอย่างดิน (Ashing)

ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดแล้ว ขนาด 0.15 มิลลิเมตร ประมาณ 6.0 กรัม ในเบ้ากระเบื้อง นำไปวางในเตาเผา ค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิจนถึง 300 องศาเซลเซียส และเผาที่อุณหภูมินี้เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 500 องศาเซลเซียส และเผาที่อุณหภูมิประมาณ 2 ชั่วโมง จนกระทั่งไม่เหลือสารที่เป็นคาร์บอน แล้วทิ้งไว้ให้เย็น นำตัวอย่างไปบด และเผาอีกครั้งที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดลิคเคเตอร์

3.9.3 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างดินในหัวข้อที่ 3.9.2 ที่น้ำหนักแน่นอน (0.20 gm) ลงในขวดพลาสติก เติมกรดกัดทอง 3.0 cm³ และไฮโดรฟลูออริก 5.0 cm³ ต้มบนเครื่องอังน้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วเติมกรดบอริก 50.0 cm³ ถ้ายังมีตะกอน ให้ต้มต่อไปอีกจนได้สารละลายใส ทิ้งให้เย็น ทำให้สารละลายมีปริมาตรครบ 100.0 cm³ ด้วยน้ำกลั่น เก็บสารละลายในขวดพลาสติก เตรียม blank โดยวิธีเดียวกัน

3.9.4 การวิเคราะห์ปริมาณ Cr, Cu, Zn และ Mn

นำสารละลายตัวอย่างไปวัดค่า absorbance ด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer ซึ่งได้จัด instrument parameters ต่าง ๆ ที่จะเลือกใช้ให้ถูกต้อง ในการวิเคราะห์หาปริมาณ Cr, Cu, Zn และ Mn ดังแสดงในตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 แสดงค่า instrument parameter ต่าง ๆ ที่จะเลือกใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ โดยใช้เทคนิคทาง atomic absorption spectrophotometry

| ธาตุ | กระแสไฟฟ้า (mA) | ชนิดของเปลวไฟ* | ความกว้างของ slit (°A) | ความยาวคลื่น (nm) |
|------|-----------------|----------------|------------------------|-------------------|
| Cr | 5 | A-A | 3 | 357.9 |
| Cu | 3 | A-A | 3 | 324.8 |
| Zn | 3 | A-A | 5 | 213.9 |
| Mn | 8 | A-A | 2 | 279.5 |

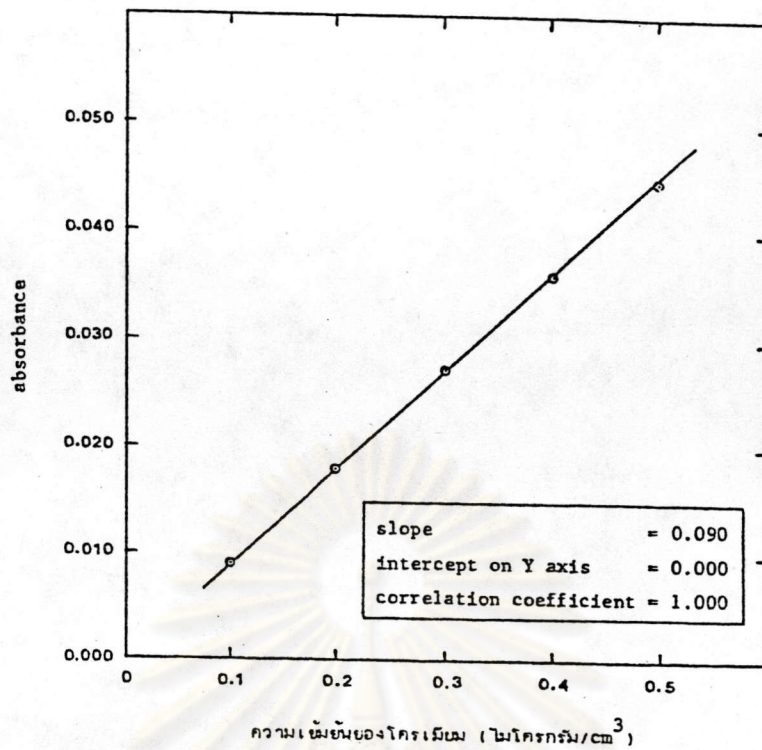
หมายเหตุ * A-A = air-acetylene

นำตัวอย่างที่เตรียมจากแก้วถ่านหินไปวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุต่าง ๆ เช่นเดียวกับสารละลายมาตรฐาน วัดค่า absorbance แล้วนำไปหาค่าความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐานเป็นไมโครกรัม/cm³ ของแก้วถ่านหิน แล้วนำไปคำนวณเป็นไมโครกรัม/cm³ ของตัวอย่างถ่านหิน

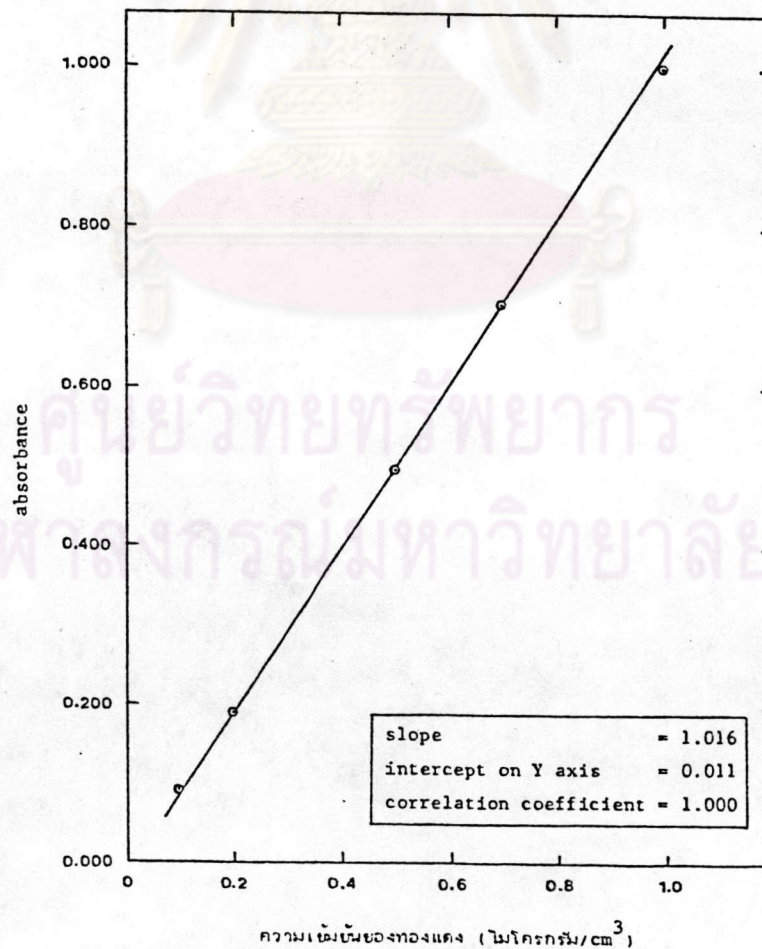
ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.11

3.10 การวิเคราะห์หาองค์ประกอบหลักในแก้วถ่านหินโดยใช้เทคนิคทาง UV-VIS Absorption Spectrophotometry, Titration และ Flame photometry (42)

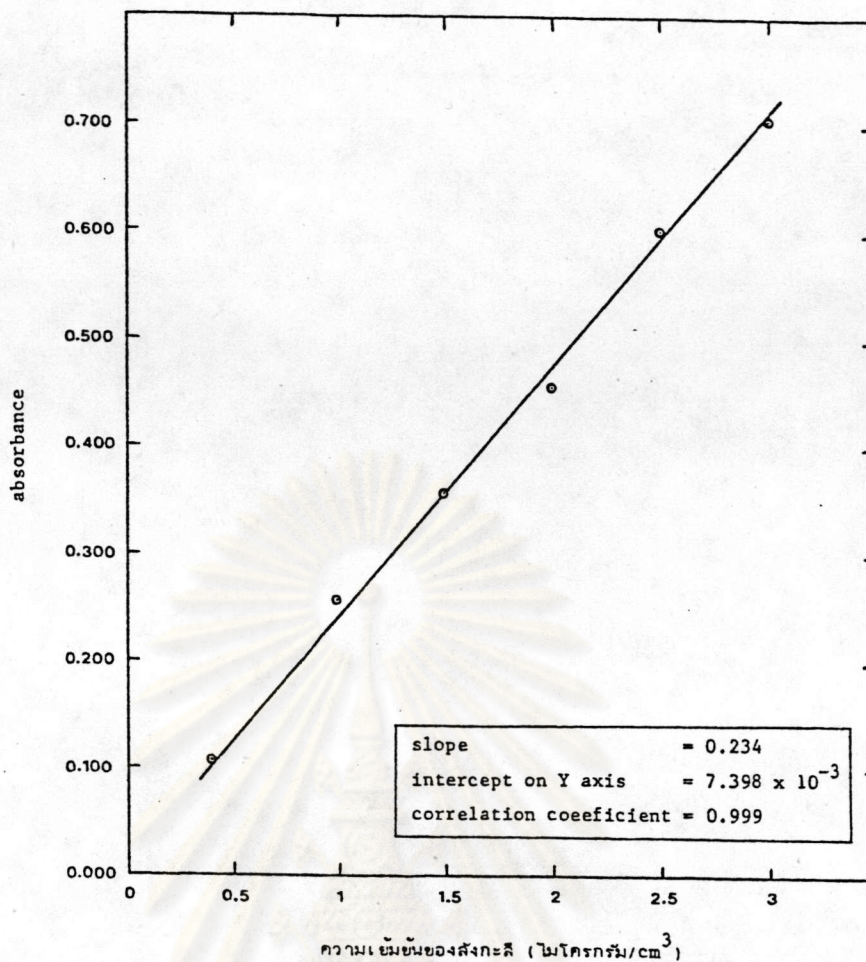
ในการหาองค์ประกอบหลักซึ่งเป็นสารพวกอนินทรีย์สารนั้น ได้ทำการตรวจสอบดูว่ามีธาตุอะไรบ้าง โดยใช้เครื่อง atomic absorption spectrophotometer และจากการค้นคว้าเอกสารเกี่ยวกับการวิจัยขององค์ประกอบหลักในแก้วถ่านหิน ทำให้รู้ว่าธาตุที่เป็นองค์ประกอบในแก้วถ่านหินนั้นมี Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K และ P ดังนั้นในการหาปริมาณของธาตุเหล่านั้นจึงได้ใช้วิธีที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลออกมาอย่างถูกต้อง คือ



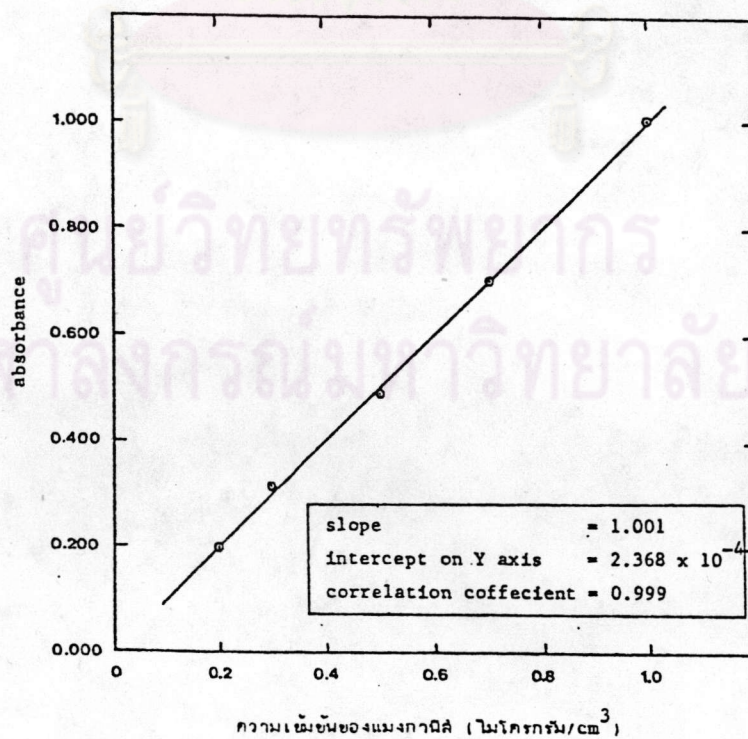
รูปที่ 3.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า absorbance กับค่าความเข้มข้นของโครเมียม



รูปที่ 3.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า absorbance กับค่าความเข้มข้นของทองแดง



รูปที่ 3.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า absorbance กับค่าความเข้มข้นของสังกะสี



รูปที่ 3.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า absorbance กับค่าความเข้มข้นของแมงกานีส

ตารางที่ 3.11 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุที่มีปริมาณน้อยในแก้วถ่านหินโดยใช้เทคนิคทาง Atomic Absorption Spectrophotometry

| แหล่ง | ปริมาณธาตุในแก้วถ่านหิน (ไมโครกรัม/กรัม) | | | | ปริมาณธาตุในตัวอย่างถ่านหิน (ไมโครกรัม/กรัม) | | | | ปริมาณแก้ว % |
|-------------------------------------|--|--------------|--------------|--------------|--|-------------|-------------|------------|--------------|
| | Zn | Cu | Mn | Cr | Zn | Cu | Mn | Cr | |
| จังหวัดกระบี่ | 125.69±16.13 | 43.70±3.49 | 102.63±3.88 | 61.89±1.17 | 20.84±2.67 | 7.25±0.58 | 17.02±0.65 | 10.26±0.19 | 16.58±0.19 |
| จังหวัดเลย | 50.63±2.65 | 92.42±1.04 | 945.00±2.50 | 139.58±9.72 | 22.22±0.82 | 40.56±0.46 | 414.76±1.10 | 61.26±4.27 | 43.89±1.29 |
| จังหวัดลำพูน (บ้านป่าคา) | 252.42±2.88 | 525.42±7.00 | 265.88±16.37 | 134.50±8.50 | 37.71±0.43 | 78.50±1.05 | 39.71±2.47 | 20.09±1.27 | 14.94±0.27 |
| จังหวัดตาก (บ้านตาก) | 86.88±1.88 | 47.19±1.16 | 342.19±4.16 | 102.21±4.12 | 19.85±0.43 | 10.78±0.27 | 78.19±0.95 | 23.36±0.94 | 22.85±0.19 |
| จังหวัดตาก (ระมาด) | 87.50±2.83 | 45.08±3.57 | 351.38±19.38 | 108.75±14.29 | 18.86±0.43 | 9.72±0.77 | 75.73±4.18 | 23.43±3.08 | 21.55±1.39 |
| จังหวัดลำปาง (แม่เมาะ) | | | | | | | | | |
| ตัวอย่างที่ 1 ไม่ศึกษา | 49.83±3.13 | 33.17±1.77 | 215.58±9.75 | 37.58±0.80 | 3.77±0.24 | 2.51±0.13 | 16.32±0.74 | 2.84±0.06 | 7.57±0.57 |
| ตัวอย่างที่ 1 หลายขนาดรวมกัน | 396.88±26.34 | 352.20±20.98 | 312.50±7.25 | 149.92±4.35 | 100.17±4.70 | 88.89±5.29 | 78.88±1.83 | 37.84±1.10 | 25.24±0.60 |
| ตัวอย่างที่ 3 ขนาดกลาง | 221.38±13.46 | 298.25±11.31 | 212.38±8.62 | 142.70±1.13 | 65.33±3.98 | 88.82±3.37 | 63.24±2.56 | 42.49±0.23 | 29.51±1.26 |
| ตัวอย่างที่ 4 ขนาดเดิม 1 มม. | 157.25±7.65 | 220.17±1.63 | 259.25±7.25 | 112.75±1.75 | 72.57±3.53 | 101.61±0.75 | 119.64±3.35 | 52.04±0.81 | 46.15±1.72 |
| ตัวอย่างที่ 5 เศษถ่าน (ขนาด >2 มม.) | 149.17±12.55 | 196.08±3.18 | 271.13±4.88 | 116.96±1.71 | 66.84±5.63 | 87.87±1.43 | 121.50±2.19 | 52.41±0.77 | 44.81±1.44 |

หมายเหตุ เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ครั้ง



ใช้เทคนิคทาง UV-VIS Absorption Spectrophotometry สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณของ SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 และ P_2O_5

ใช้เทคนิคทาง Chelatometric Titration วิเคราะห์หาปริมาณของ CaO และ MgO

ใช้เทคนิคทาง Flame Photometry วิเคราะห์หาปริมาณของ Na_2O และ K_2O ในการวิเคราะห์แต่ละเทคนิคที่ใช้ นั้น ตัวอย่างถ่านหินจะถูกนำไปเผาจนเหลือแต่ถ้าเสียก่อน แล้วจึงนำไปเตรียมเป็นสารละลายเพื่อวิเคราะห์ต่อไป โดยมีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

3.10.1 การเตรียมถ่านหิน (Preparation of Coal Ash)

นำตัวอย่างถ่านหินที่เตรียมไว้ตามหัวข้อ 3.4 ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน ใส่ในข่ามกระเบื้องทนไฟ เกสย์ถ่านหินให้หนาประมาณ 6 มิลลิเมตร นำไปเผาในเตาเผา โดยเพิ่มอุณหภูมิทีละน้อย ๆ จนถึง 500 องศาเซลเซียส ภายใน 1 ชั่วโมง และเผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส อีกเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทั้งไว้ให้เย็น แล้วนำถ่านหินมาผ่านตะแกรงให้ถ่านหินมีขนาด 0.15 มิลลิเมตร แล้วนำไปเผาอีกครั้งที่ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทั้งให้เย็นในเตลิกเคเตอร์ แล้วนำไปเตรียมสารละลายเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณธาตุต่อไป

3.10.2 การวิเคราะห์ปริมาณของ SiO_2 และ Al_2O_3 โดยเทคนิคทาง UV-VIS Absorption Spectrophotometry (38)

3.10.2.1 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง และสารละลายมาตรฐาน

ชั่งถ่านหินตัวอย่างที่เตรียมได้มา 0.0500 กรัม ใส่ในแก้วนิคเกิล เดิมโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วเผาในเตาเผาให้ถ่านหินหลอม ตั้งทิ้งให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่น เติลสารละลายในแก้วทั้งหมดลงในบีกเกอร์ เดิมกรดไฮโดรคลอริก (1:1) ลงไป 20.0 cm^3 แล้วทำให้มีปริมาตรเป็น 1000.0 cm^3 ในขวดมาตรฐาน ด้วยน้ำกลั่น สารละลายที่ได้นี้นำไปวิเคราะห์หาปริมาณของ SiO_2 และ Al_2O_3 ต่อไป

สำหรับการเตรียมสารละลายมาตรฐาน เตรียมได้โดยใช้สารมาตรฐาน Feldspar ซึ่งรู้ปริมาณองค์ประกอบแน่นอน ดังแสดงในตารางที่ 3.1 มาเตรียมเป็นสารละลายเช่นเดียวกับสารตัวอย่างทุกประการ

3.10.2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณ SiO_2

นำสารละลายตัวอย่าง และสารละลายมาตรฐานที่เตรียมได้ในหัวข้อที่ 3.10.2.1 มาอย่างละ 10.0 cm^3 ใส่ในขวดมาตรฐาน 100.0 cm^3 เติม น้ำกลั่นพอประมาณ และเติมสารละลายแอมโมเนียม โมลิบเดต 1.50 cm^3 ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที แล้วเติมกรดทาร์ทาริก 4.0 cm^3 และ reducing solution 1.0 cm^3 แล้วทำให้สารละลายมีปริมาตรเป็น 100.0 cm^3 ด้วยน้ำกลั่น เขย่า แล้วตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง นำไปวัดค่า absorbance โดยเทียบกับ blank ที่ความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง double beam UV-VIS spectrophotometer จากนั้นนำค่า absorbance ของสารละลายมาตรฐาน และสารละลายตัวอย่างมา เปรียบเทียบกัน จะหาความเข้มข้นของ SiO_2 ในสารตัวอย่างได้ ผลการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.12

3.10.2.3 การวิเคราะห์หาปริมาณ Al_2O_3

นำสารละลายตัวอย่าง และสารละลายมาตรฐานที่เตรียมได้ในหัวข้อที่ 3.10.2.1 มาอย่างละ 20.0 cm^3 ใส่ในขวดมาตรฐาน 100.0 cm^3 เติม สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1.0 cm^3 , สารละลายไฮดรอกซีลามีโนไฮดรคลอไรด์ 1.0 cm^3 , สารละลายกรดโรโอโทลคอริก 1.0 cm^3 และสารละลายฟฟเฟอร์ (โซเดียม-อะซีเตต 70.00 กรัม และกรดอะซีติก 30.0 cm^3 ในน้ำ 500.0 cm^3) 10.0 cm^3 เขย่า ให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ 10 นาที เติมสารละลายอะลิซาริน เรด เอล 5.0 cm^3 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 100.0 cm^3 เขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง นำไปวัดค่า absorbance ที่ความยาวคลื่น 475 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง double beam UV-VIS spectrophotometer จากการเปรียบเทียบค่า absorbance ของสารละลายมาตรฐาน และสารละลายตัวอย่างก็จะหาความเข้มข้นได้ ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.12

3.10.3 การวิเคราะห์ปริมาณของ Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O และ P_2O_5 โดยเทคนิคทาง Spectrophotometry และ Volumetric Titration

3.10.3.1 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ชั่งแก้วถ่านหิน 0.4000 กรัม ใส่ในบ้ำพลาตินัม เติมกรด ซัลฟูริก 3.0 cm^3 และกรดไฮโดรฟลูออริก 10.0 cm^3 ต้มนบนเครื่องให้ความร้อนด้วย ไฟฟ้า (hot plate) จนกรดไฮโดรฟลูออริกหมด แล้วเติมกรดไนตริกลงไปอีก

1.0 cm³ ให้ความร้อนต่อไปจนควันสีขาวของ SO₃ หมด เติมน้ำกลั่นลงไปประมาณ 20.0 cm³ เพื่อละลายตะกอนที่เกิดขึ้น แล้วนำไปต้มอีกครั้งหนึ่งจนตะกอนละลายหมด ทิ้งไว้ให้เย็น ถ่ายใส่ขวดมาตรฐานขนาด 250.0 cm³ แล้วเติมน้ำกลั่นจนครบ 250.0 cm³ สำหรับละลายที่ได้เก็บไว้เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุแต่ละชนิดต่อไป

3.10.3.2 การวิเคราะห์หาปริมาณ Fe₂O₃ โดยเทคนิคทาง spectrophotometry

นำสารละลายจากข้อ 3.8.3.1 มา 10.0 cm³ ทำให้มีปริมาตรเป็น 50.0 cm³ แล้วนำสารละลายที่ได้มา 10.0 cm³ ใส่ลงในขวดมาตรฐาน 100.0 cm³ และนำสารละลายมาตรฐานเหล็ก ซึ่งมีความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัม/cm³ (100.00 ppm) ใส่ในขวดมาตรฐาน 100.0 cm³ เช่นกัน จากนั้นเติมน้ำกลั่นไฮดรอกซีลามีโนไฮโดรคลอไรด์ลงไป 5.0 cm³ ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที แล้วเติมน้ำกลั่นละลายอโรทีนเนสโรลีน 10.0 cm³ และสารละลายโซเดียมซีเตรต 10.0 cm³ แล้วทำให้ปริมาตรครบ 100.0 cm³ ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากันหลังจากทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง นำไปวัดค่า absorbance ที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง double beam spectrophotometer จากการนำค่า absorbance ของสารละลายมาตรฐาน และสารละลายตัวอย่างมาเปรียบเทียบกัน จะหาความเข้มข้นของ Fe₂O₃ ในสารตัวอย่างได้ ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.12

3.10.3.3 การวิเคราะห์หาปริมาณ CaO โดยใช้เทคนิค Titration

นำสารละลายตัวอย่างที่เตรียมได้ในหัวข้อ 3.8.3.1 มา 25.0 cm³ ใส่ในขวดรูปชมพู่ เติมน้ำพอประมาณ แล้วปรับ pH ให้เป็นกรดเล็กน้อยด้วยกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง เติมนิเตรเตอราโนลามีน 5.0 cm³, แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 5.0 cm³ และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 10.0 cm³ เขย่าให้เข้ากัน แล้วเติมแคลซินอินดิเคเตอร์ แล้วนำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน EDTA เข้มข้น 0.01 M จนได้จุดยุติเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วง ปริมาณของ CaO คำนวณได้จากสูตร

$$\% \text{ CaO} = \frac{V_1 \times F (250/A) \times 100}{W}$$

- V_1 = ปริมาตรเป็น cm^3 ของสารละลายมาตรฐาน EDTA ที่ใช้เมื่อหาค่า blank แล้ว ในการไทเทรตกับตัวอย่าง
 F = น้ำหนักของ $\text{CaO} = 0.0056$ กรัม ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับ $\text{EDTA } 1.0 \text{ cm}^3$
 W = น้ำหนักของสารตัวอย่างที่ใช้เป็นกรัม
 A = ปริมาตรของตัวอย่างที่นำมาไทเทรต

3.10.3.4 การวิเคราะห์หาปริมาณ MgO โดยใช้ Titration method

นำสารละลายตัวอย่างที่เตรียมได้ในย่อ 3.8.3.1 มา

ใส่ในขวดรูปชมพู่ เติมน้ำพอประมาณ แล้วปรับ pH ให้เป็นกรดเล็กน้อยด้วยกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง เติมนิโตรเอทราโนลามีน 20.0 cm^3 , แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 25.0 cm^3 , เติมสารละลายมาตรฐาน EDTA ที่รู้ปริมาตรแน่นอนลงไป ปริมาตรนี้น้อยกว่าปริมาตรที่ใช้ไทเทรตหา CaO ดังกล่าวข้างต้นเล็กน้อย แล้วเติมพาราซีนเพอร์เฟิลอินดิเคเตอร์ลงไป 40 มิลลิกรัม แล้วนำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน EDTA จนได้จุดยุติ เปลี่ยนจากสีม่วงอ่อนเป็นไม่มีสี ให้ปริมาตรของ EDTA ที่ใช้เป็น B ดังนั้นปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน EDTA ที่ใช้ทั้งหมด = $(A + B) \text{ cm}^3$

ปริมาณของ MgO สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\% \text{ MgO} = \frac{(V_2 - V_1) (0.719F) (250/A)}{W} \times 100$$

- V_1 = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน EDTA ที่ใช้ในการไทเทรตหาปริมาณในตัวอย่างเมื่อหาค่า blank แล้วเป็น cm^3
 V_2 = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน EDTA ที่ใช้ในการไทเทรตของตัวอย่างเมื่อหาค่า blank แล้ว $(A + B \text{ cm}^3)$
 $0.719F$ = น้ำหนักของ MgO ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับ $\text{EDTA } 1.0 \text{ cm}^3$
 F, W, A = เป็นสัญลักษณ์เหมือนกันกับที่ใช้ในการคำนวณหา $\% \text{ CaO}$

ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.12

3.10.3.5 การวิเคราะห์หาปริมาณของ Na_2O และ K_2O โดยเทคนิคทาง Flame Photometry

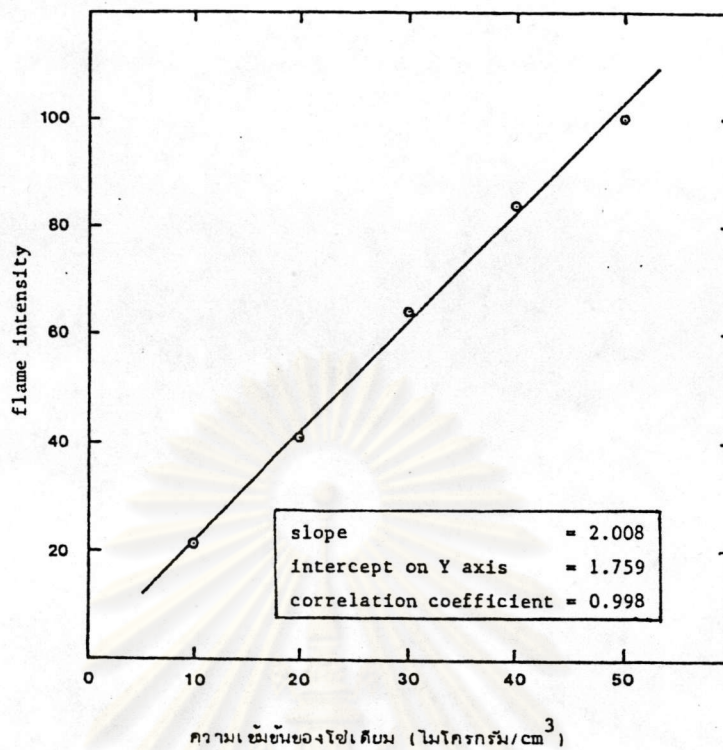
การทำกราฟมาตรฐาน

ในการทำกราฟมาตรฐาน เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณ Na, K นั้น เตรียมสารละลายมาตรฐานโซเดียมให้มีความเข้มข้น 10.00-50.00 ppm และสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม ให้มีความเข้มข้น 1.00-5.00, 10.00-50.00 ppm จากสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 1.00 mg/cm³ แล้วนำไปวัดค่า flame intensity ด้วยเครื่อง flame photometer เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้น กับค่า flame intensity โดยใช้ least square method ในการเขียนกราฟมาตรฐาน ดังแสดงในรูปที่ 3.11, 3.12

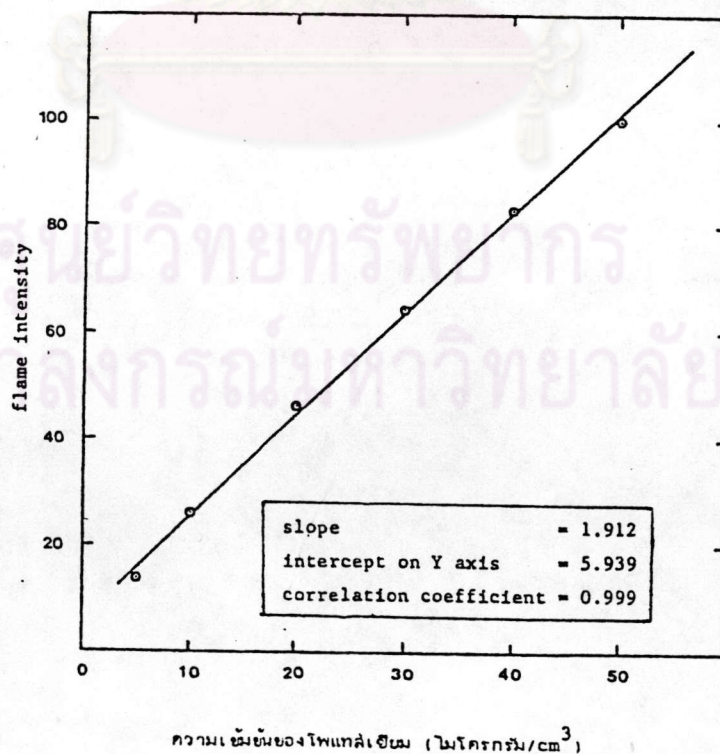
แล้วนำสารละลายตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อ 3.8.3.1 ไปวิเคราะห์หาปริมาณ Na และ K โดยวัดค่า flame intensity แล้วนำไปอ่านความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน เพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ต่อไป ผลการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.12

3.10.3.6 การวิเคราะห์หาปริมาณ P_2O_5 โดยเทคนิคทาง Spectro- photometry

นำสารละลายที่เตรียมได้ในข้อ 3.8.3.1 มา 25.0cm³ ใส่ในขวดมาตรฐานขนาด 50.0cm³ เติมสารละลายโมลิบดีนัมเดต (ซึ่งเป็นสารละลายผลัมของแอมโมเนียม เมตาวานาเดต และ แอมโมเนียม โมลิบเดต) ลงไป 10.0cm³ แล้วเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรครบ 50.0cm³ เขย่าให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ 5 นาที แล้วนำสารละลายไปวัดค่า absorbance ที่ความยาวคลื่น 430 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง double beam spectrophotometer จากการนำค่า absorbance ของสารละลายมาตรฐาน และสารละลายตัวอย่างมาเปรียบเทียบกัน โดยที่สารละลายมาตรฐานที่ใช้เตรียมจากโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตสามารถคำนวณเปอร์เซ็นต์ P_2O_5 ได้ ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.12



รูปที่ 3.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Flame Intensity กับค่าความเข้มข้นของเอทานอล



รูปที่ 3.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Flame Intensity กับค่าความเข้มข้นของเอทานอล

ตารางที่ 3.12 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณออกไซด์ของธาตุต่าง ๆ ในถ้ำถ่านหิน โดยใช้เทคนิคทาง UV-VIS Spectrophotometry, Titration และ Flame Photometry

| แหล่ง | ปริมาณออกไซด์ในถ้ำถ่านหิน | | | | | | | | ปริมาณถ้ำ % |
|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------|------------|-------------------|--------------------|--------------------------------|-------------|
| | %SiO ₂ | %Al ₂ O ₃ | %Fe ₂ O ₃ | %MgO | %CaO | %K ₂ O | %Na ₂ O | %P ₂ O ₅ | |
| จังหวัดกระบี่ | 36.09±0.74 | 19.36±0.22 | 17.74±0.18 | 2.57±0.01 | 6.20±0.04 | 3.02±0.14 | 0.57±0.03 | 0.380±0.017 | 16.58±0.19 |
| จังหวัดเลย | 51.34±0.96 | 19.67±0.37 | 6.74±0.05 | 1.17±0.02 | 8.33±0.11 | 1.69±0.08 | 0.65±0.03 | 0.051±0.004 | 43.89±1.29 |
| จังหวัดสุพรรณ (บ้านป่าคา) | 36.19±0.00 | 24.63±0.22 | 15.53±0.16 | 1.24±0.08 | 6.97±0.03 | 1.42±0.10 | 0.28±0.02 | 0.285±0.030 | 14.94±0.27 |
| จังหวัดตาก (บ้านตาก) | 49.99±0.89 | 31.67±0.27 | 6.22±0.30 | 0.99±0.05 | 2.16±0.20 | 2.30±0.14 | 0.32±0.03 | 0.407±0.017 | 22.85±0.19 |
| จังหวัดตาก (ระมัด) | 51.26±0.18 | 30.35±0.09 | 6.99±0.53 | 1.15±0.05 | 1.26±0.06 | 2.17±0.20 | 0.29±0.05 | 0.430±0.010 | 21.55±1.39 |
| จังหวัดลำปาง (แม่เมาะะ) | | | | | | | | | |
| ตัวอย่างที่ 1 ไม่หัดขนาด | 7.09±0.33 | 4.80±0.68 | 14.35±0.38 | 9.49±0.08 | 23.50±0.24 | 0.81±0.05 | 2.50±0.09 | 0.500±0.014 | 7.57±0.57 |
| ตัวอย่างที่ 2 หลายขนาดรวมกัน | 46.59±0.79 | 26.50±0.67 | 6.69±0.07 | 1.73±0.06 | 4.55±0.00 | 1.87±0.08 | 0.77±0.20 | 9.249±0.006 | 25.24±0.60 |
| ตัวอย่างที่ 3 ขนาดกลาง | 49.31±0.21 | 26.70±0.21 | 5.70±0.09 | 1.64±0.03 | 3.43±0.01 | 3.04±0.24 | 0.85±0.06 | 0.130±0.010 | 29.51±1.26 |
| ตัวอย่างที่ 4 ขนาด 1 มม. | 51.76±0.13 | 25.46±0.76 | 6.51±0.50 | 1.46±0.03 | 2.31±0.10 | 2.89±0.11 | 0.83±0.05 | 0.195±0.007 | 46.15±1.72 |
| ตัวอย่างที่ 5 เศษถ่าน (ขนาด >2 มม.) | 52.77±0.03 | 24.94±0.51 | 6.45±0.06 | 1.41±0.08 | 2.59±0.20 | 2.86±0.08 | 0.88±0.04 | 0.126±0.008 | 44.81±1.44 |

หมายเหตุ เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ครั้ง

3.11 การวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบในแก้วถ่านหินโดยใช้เทคนิคทาง X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRFS) (43)

การวิเคราะห์โดยอาศัยเทคนิคทาง XRFS เป็นวิธีการหนึ่งที่ให้ผลที่ถูกต้อง และเหมาะสมสำหรับที่จะวิเคราะห์หาองค์ประกอบที่เป็นธาตุต่าง ๆ ในลาร์อนินทรีย์ ซึ่งสามารถทำได้ สะดวกและรวดเร็ว ทั้งคุณภาพวิเคราะห์ และปริมาณวิเคราะห์

3.11.1 การทำคุณภาพวิเคราะห์

นำลาร์ตัวอย่างแก้วถ่านหินที่บดละเอียดขนาด 100 เมช หนัก 0.30 กรัม ผสมกับกรดบอริก 2.70 กรัม ผสมให้เข้ากัน แล้วนำมาอัดให้เป็นแผ่น โดยใช้แรงอัดประมาณ 400 กิโลกรัม/cm² ให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 4 เซนติเมตร แล้วนำไปวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคทาง XRFS และใช้สภาวะในการทดลองดังนี้

แหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ ใช้หลอดโรเดียม (Rhodium, X-Ray Tube),

พลังงานที่ใช้ 40 กิโลวัตต์.

กระแสไฟฟ้าที่ใช้ 30 มิลลิแอมแปร์.

analyzing crystal - EDDT (Ethylene diamine-D-Tartrate)

สำหรับวิเคราะห์ธาตุ Ca และ Si

- Li F 200 สำหรับวิเคราะห์ธาตุ Al, K, Fe

- RbAP (Rhubidium acid phthalate)

สำหรับวิเคราะห์ธาตุ Mg

Detectors - Proportional Counter

สำหรับวิเคราะห์ธาตุ Ca, Si และ Mg

- Scintillation Counter

สำหรับวิเคราะห์ธาตุ Al, Fe และ K

หลังจาก Scan X-Ray Fluorescence ที่เกิดขึ้นตามมุมต่าง ๆ กันแล้ว จะได้ X-Ray Fluorescence spectra ซึ่งใช้วิเคราะห์ว่าเป็นธาตุอะไร

3.11.2 การทำปริมาณวิเคราะห์

การเตรียมลาร์มาตรฐานในการหาปริมาณของธาตุต่าง ๆ ในลาร์ตัวอย่าง โดยใช้เทคนิคนี้จำเป็นจะต้องเตรียมลาร์มาตรฐานให้คล้ายคลึงกับลาร์ตัวอย่างให้มากที่สุดซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์ได้ผลดีและถูกต้อง ดังนั้น จึงได้นำผลการวิเคราะห์ลาร์ตัวอย่างโดยเทคนิค

ทาง Atomic Absorption Spectrophotometry และผลจากการทำคุณภาพวิเคราะห์โดยเทคนิค XRFs มาใช้พิจารณาในการหาปริมาณของส่วนประกอบในการเตรียมสารมาตรฐาน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.13

ตารางที่ 3.13 แสดงปริมาณของสารประกอบที่ใช้เตรียมสารมาตรฐานเพื่อใช้หาปริมาณวิเคราะห์ของธาตุต่าง ๆ ในแก้วถ่านหิน โดยใช้เทคนิค XRFs

| สารประกอบ | น้ำหนัก (กรัม) | ปริมาณร้อยละ |
|--------------------------------|----------------|--------------|
| SiO ₂ | 0.98 | 49.00 |
| Al ₂ O ₃ | 0.50 | 25.00 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.20 | 10.00 |
| Ca (OH) ₂ | 0.14 | 7.00 |
| MgO | 0.02 | 1.00 |
| NaCl | 0.02 | 1.00 |
| KCl | 0.06 | 3.00 |
| TiO ₂ | 0.02 | 1.00 |
| S | 0.06 | 3.00 |
| ปริมาณรวม | 2.00 | 100.00 |

สำหรับสารตัวอย่างนั้นเตรียมได้เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ทางคุณภาพจาก count rate ที่วัดได้ของสารมาตรฐาน และสารตัวอย่าง เมื่อทำการวิเคราะห์ที่สภาวะเดียวกัน ก็สามารถคำนวณหาปริมาณของแต่ละธาตุได้ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.14

ตารางที่ 3.14 ผลการวิเคราะห์ปริมาณออกไซด์ของธาตุต่าง ๆ ในถ้ำถ่านหิน โดยใช้เทคนิคทาง X-Ray Fluorescence Spectrometry

| แหล่ง | ปริมาณออกไซด์ของธาตุต่าง ๆ ในถ้ำถ่านหิน | | | | | | ปริมาณถ้ำ % |
|-------------------------------------|---|---------------------------------|---------------------------------|------|-------|-------------------|----------------|
| | %SiO ₂ | %Al ₂ O ₃ | %Fe ₂ O ₃ | %MgO | %CaO | %K ₂ O | |
| จังหวัดกระบี่ | 36.43 | 21.11 | 16.03 | 2.39 | 7.87 | 3.42 | 16.58±0.19 |
| จังหวัดเลย | 49.86 | 16.91 | 7.14 | 0.83 | 10.65 | 2.04 | 43.89±1.29 |
| จังหวัดลำพูน (บ้านป่าคา) | 39.70 | 28.69 | 17.80 | 1.86 | 6.95 | 2.55 | 14.94±0.27 |
| จังหวัดตาก (บ้านตาก) | 44.87 | 30.20 | 7.39 | 0.84 | 2.35 | 3.13 | 22.85±0.19 |
| จังหวัดตาก (ระมัด) | 46.15 | 32.50 | 7.56 | 1.52 | 1.41 | 2.58 | 21.55±1.39 |
| จังหวัดลำปาง | | | | | | | |
| ตัวอย่างที่ 1 ไม่คัดขนาด | 5.20 | 7.91 | 13.49 | 6.74 | 24.94 | 0.97 | 7.57±0.57 |
| ตัวอย่างที่ 2 หลายขนาดรวมกัน | 46.31 | 28.38 | 7.33 | 1.88 | 5.83 | 3.78 | 25.24±0.60 |
| ตัวอย่างที่ 3 ขนาดกลาง | 49.62 | 25.25 | 6.52 | 1.42 | 3.14 | 5.53 | 29.51±1.26 |
| ตัวอย่างที่ 4 ขนาด 1 มม. | 50.60 | 24.81 | 7.00 | 1.64 | 3.60 | 5.70 | 46.15±1.72 |
| ตัวอย่างที่ 5 เศษถ่าน (ขนาด >2 มม.) | 51.14 | 26.19 | 6.41 | 1.34 | 2.70 | 5.70 | 44.81±1.44 |

หมายเหตุ เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ครั้ง

3.12 การวิเคราะห์หาองค์ประกอบของสารที่ได้จากการสกัดถ่านหินด้วยสารละลายอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ

3.12.1 การสกัดถ่านหิน (Extraction)

นำถ่านหินที่เตรียมได้ในข้อ 3.4 มา 25 กรัม บรรจุใน extraction thimble แล้วนำตัวอย่างไปสกัดด้วยสารละลายอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ กัน คือ

ส่วนที่ 1 สกัดด้วยเฮกเซน เป็นเวลา 16 ชั่วโมง

ส่วนที่ 2 สกัดด้วยของผสมโทลูอีน/25% เอทานอล เป็นเวลา 32 ชั่วโมง

ส่วนที่ 3 สกัดด้วยเมทิลีนคลอไรด์ เป็นเวลา 32 ชั่วโมง

เก็บสารละลายที่สกัดได้ไประเหยให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนักสารที่สกัดได้ แล้วเก็บสารที่สกัดได้นี้ไว้พร้อมทั้งปิดฝาด้วยแผ่นอะลูมิเนียม (Aluminium foil) เพื่อนำไปแยกเป็นส่วน ๆ (fraction) ต่อไป ผลลัพธ์ที่ได้จากการสกัดทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 3.15

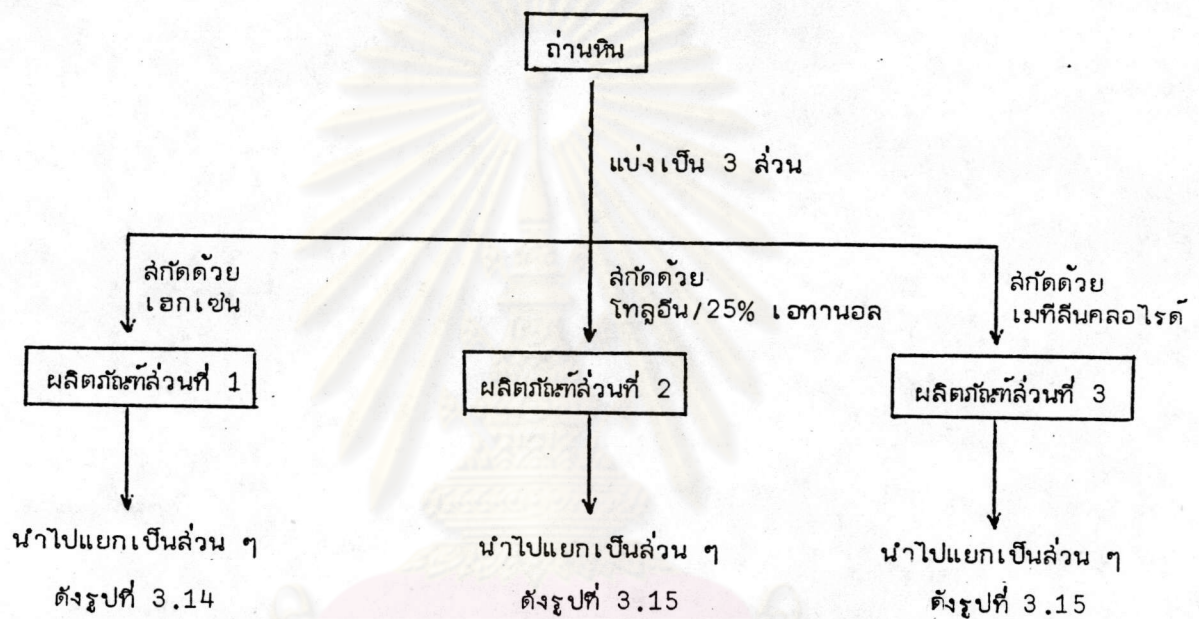
ตารางที่ 3.15 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการสกัดด้วยสารละลายอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ

| แหล่ง | ผลลัพธ์ที่ได้จากการสกัด (% โดยน้ำหนัก) | | |
|-------------------------------------|--|---------------------------------------|----------------------------------|
| | ส่วนที่ 1 สกัดด้วยเฮกเซน | ส่วนที่ 2 สกัดด้วยโทลูอีน/25% เอทานอล | ส่วนที่ 3 สกัดด้วยเมทิลีนคลอไรด์ |
| จังหวัดกระบี่ | 0.61 | 7.15 | 0.93 |
| จังหวัดเลย | 0.13 | 0.08 | 0.16 |
| จังหวัดลำพูน (บ้านป่าคา) | 1.15 | 7.36 | 2.38 |
| จังหวัดตาก (บ้านตาก) | 0.20 | 2.56 | 0.59 |
| จังหวัดตาก (ระมัด) | 0.24 | 2.85 | 0.62 |
| จังหวัดลำปาง (แม่เมาะ) | | | |
| ตัวอย่างที่ 1 ไม่คัดขนาด | 0.45 | 2.97 | 0.58 |
| ตัวอย่างที่ 2 หลายขนาดรวมกัน | 0.48 | 4.71 | 1.15 |
| ตัวอย่างที่ 3 ขนาดกลาง | 0.45 | 4.44 | 1.20 |
| ตัวอย่างที่ 4 ขนาด 1 มม. | 0.43 | 4.41 | 1.08 |
| ตัวอย่างที่ 5 เศษถ่าน (ขนาด >2 มม.) | 0.37 | 4.30 | 0.97 |

3.12.2 การแยกผลิตภัณฑ์ที่สกัดได้โดยใช้เทคนิคทางคอสัมน์โครมาโตกราฟี

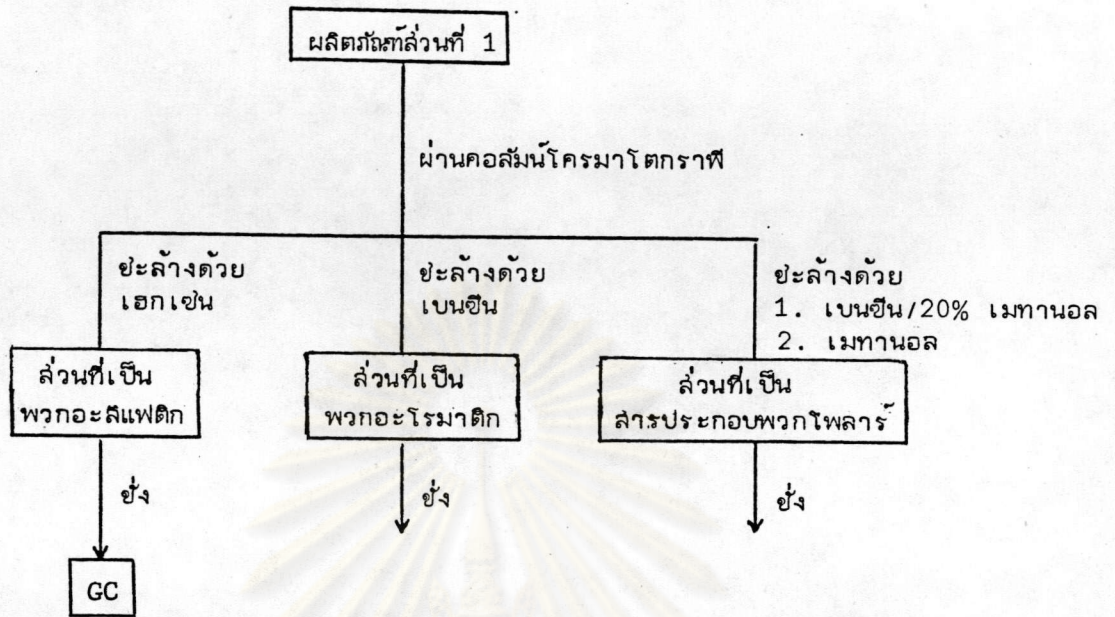
สิ่งทีสกัดได้จากถ่านหิน เป็นสารประกอบที่ซับซ้อนซึ่งประกอบด้วยสารที่ระเหยง่าย และสารที่ระเหยยากเป็นจำนวนมาก จึงจำเป็นต้องทำการแยกออกเป็นส่วน ๆ ตามประเภทของสารประกอบ โดยใช้เทคนิคทางคอสัมน์โครมาโตกราฟี แล้วจึงนำส่วนที่สนใจ เช่น พริกพารา-ฟีนิกไฮโดรคาร์บอน ไปทำการวิเคราะห์หัตด้วยเทคนิคทางก๊าซโครมาโตกราฟี

ขั้นตอนในการวิเคราะห์หัตประกอบที่ได้จากการสกัดด้วยสารละลายอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.13

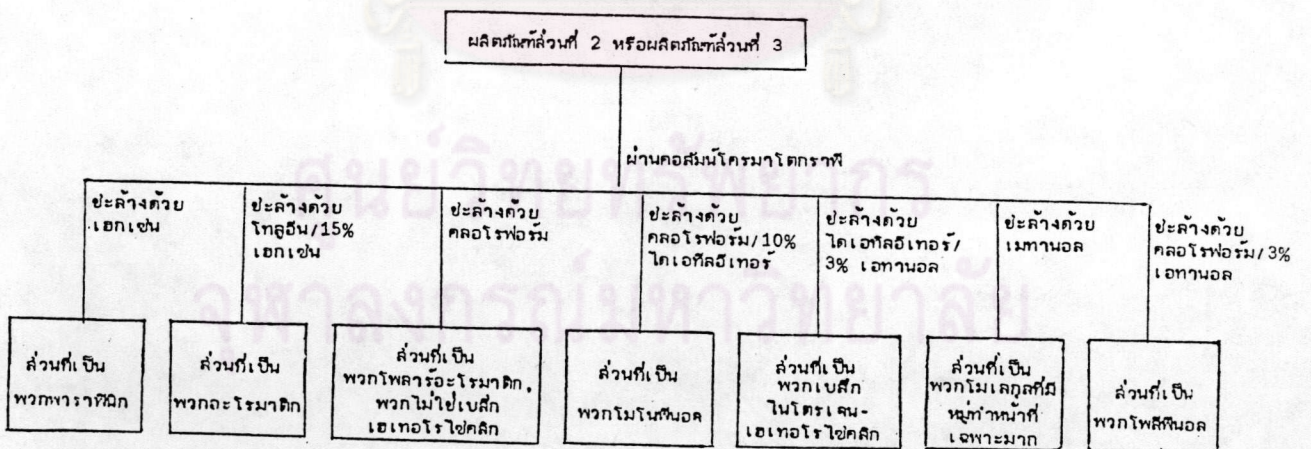


รูปที่ 3.13 แสดงขั้นตอนการสกัดด้วยสารละลายอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.14 แสดงขั้นตอนการแยกผลิตรถยนต์ส่วนที่ 1



รูปที่ 3.15 แสดงขั้นตอนการแยกผลิตรถยนต์ส่วนที่ 2 หรือผลิตรถยนต์ส่วนที่ 3

สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสกัดด้วยโทลูอีน/25% เอทานอล และที่ได้จากการสกัดด้วยเมทิลีนคลอไรด์นั้น ประกอบด้วยสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และโครงสร้างที่ซับซ้อนมากกว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสกัดด้วยเอทเธอร์ ดังนั้น ในการแยกผลิตภัณฑ์ออกเป็นส่วน ๆ จึงมีขบวนการที่ยุ่งยากมากขึ้น โดยจะต้องชะล้างออกจากคอสัมน์ด้วยสารละลายอินทรีย์ให้มากขึ้นยิ่งขึ้น ดังนั้น ในการแยกผลิตภัณฑ์ออกเป็นส่วน ๆ ได้ใช้คอสัมน์โครมาโตกราฟี โดยทำการทดลองดังต่อไปนี้

1. การเตรียมคอสัมน์ ใช้คอสัมน์แก้วขนาด $1 \times 50 \text{ cm}$ ล้างให้สะอาด แล้วรินเอทเธอร์ลงในคอสัมน์จนถึงความสูงประมาณ 30 cm นำใยแก้วมาใส่ลงไปพอสมควร เพื่อใช้รองรับตัวดูดซับ ในการเตรียมคอสัมน์

2. การบรรจุตัวดูดซับ (adsorbent) ในการวิจัยใช้ตัวดูดซับ คือ ซิลิกาเจล ซึ่งนำไปอบให้แห้งแล้วนำมา 10 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 50 cm^3 เติมเอทเธอร์ในปริมาณพอเหมาะที่จะให้เป็น slurry คนอย่าให้ซิลิกาเจลอ่อนกัน แล้วเทลงในคอสัมน์แก้วอย่างช้า ๆ เอาสายยางเคาะคอสัมน์เบา ๆ เพื่อให้ซิลิกาอยู่ในคอสัมน์สม่ำเสมอ พร้อมทั้งให้เอทเธอร์ในคอสัมน์หยดลงมาช้า ๆ แต่ต้องระวังอย่าให้เอทเธอร์ส่วนบนของซิลิกาเจลแห้ง มิฉะนั้นจะเกิดฟองอากาศขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดการแยกตัวของซิลิกาเจล ใช้หลอดหยดที่สะอาดดูดเอทเธอร์แล้วนำมาล้างซิลิกาเจลที่ติดอยู่ข้าง ๆ คอสัมน์ลงให้หมด เมื่อได้คอสัมน์ของซิลิกาเจลที่แน่นสม่ำเสมอแล้ว ก็รอให้ระดับของเอทเธอร์ลดลงจนจะแห้ง แสดงว่าในขณะที่คอสัมน์พร้อมที่จะวิเคราะห์ตัวอย่างที่จะนำมาแยกออกเป็นส่วน ๆ

3. การแยกผลิตภัณฑ์ส่วนที่ 1 ผลิตภัณฑ์ส่วนที่ 1 เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสกัดด้วยเอทเธอร์ มีปริมาณน้อย และโครงสร้างไม่ซับซ้อน น้ำหนักโมเลกุลไม่สูงมาก จึงนำตัวอย่างไปละลายในเอทเธอร์ในปริมาณน้อยที่สุดที่จะละลายผลิตภัณฑ์หมด แล้วเทลงในคอสัมน์ เตรียมบีกเกอร์ขนาดพอเหมาะที่จะเก็บแต่ละส่วน รองรับสารละลายใส่คอสัมน์ แล้วค่อย ๆ หยดเอทเธอร์จากคอสัมน์ด้วยอัตราเร็ว $1 \text{ cm}^3/\text{นาที}$ พร้อมทั้งคอยเติมเอทเธอร์ลงในคอสัมน์แก้ว จนปริมาตรครบ 25 cm^3 เมื่อระดับเอทเธอร์อยู่เหนือซิลิกาเจล 1 cm เทเบนซีนลงในคอสัมน์ พร้อมเปลี่ยนบีกเกอร์รองรับใหม่ ทำดังนี้เรื่อยไป แต่เปลี่ยนสารละลายอินทรีย์ที่จะชะล้างตามตารางที่ 3.16 สำหรับส่วนที่ 3 นั้น เป็นผลรวมของการชะล้างด้วยเบนซีน/20% เมทานอล และชะล้างด้วยเมทานอล สำหรับส่วนที่ 4 เป็นส่วนที่ค้างอยู่ในคอสัมน์ ซึ่งเป็นผลต่างของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดกับส่วนที่ถูกชะล้างออกมาในส่วนที่ 1, 2 และ 3 เก็บสารละลายที่ถูกชะล้างออกมา นำไประเหยให้แห้งด้วยเครื่อง อังไอน้ำ ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น นำไปยังให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน เมื่อห้กน้ำหนักของบีกเกอร์ จะได้น้ำหนักของแต่ละส่วน ผลการทดลองดังแสดงใน ตารางที่ 3.18 และรูปที่ 3.16

ตารางที่ 3.16 แสดงสารละลายอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ชะล้างผลิตภัณฑ์ส่วนที่ 1

| ส่วนที่ (fraction no.) | ชนิดของสารละลายอินทรีย์ที่ใช้ชะล้าง (eluent) จำนวน 25 cm ³ | ชนิดของสารประกอบที่ ถูกชะล้างออกมา |
|---------------------------|--|---------------------------------------|
| 1 | เฮกเซน | พาราฟีนิก ไฮโดรคาร์บอน |
| 2 | เบนซีน | อะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน |
| 3 (3.1) | เบนซีน/20% เมทานอล | สารประกอบโพลาร์ |
| (3.2) | เมทานอล | |

4. การแยกผลิตภัณฑ์ส่วนที่ 2 และส่วนที่ 3 ผลิตภัณฑ์ส่วนที่ 2 เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสกัดด้วยโทลูอิน/25% เอทานอล สำหรับผลิตภัณฑ์ส่วนที่ 3 เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสกัดด้วยเมทิลีนคลอไรด์ ผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด มีปริมาณมาก ให้นำมาละลายในสารละลายอินทรีย์ที่ใช้สกัด ในปริมาณน้อยที่สุดที่ละลายผลิตภัณฑ์ทั้งหมด แล้วเติมของแข็งรองรับ (โครโมซอบ 60/80 เมช) ลงไป 5 เท่าของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ ผสมให้เข้ากันแล้วนำไประเหยสารละลายอินทรีย์ออกด้วยเครื่องอังไอน้ำ แล้วจึงนำของผสมที่แห้งแล้วนี้ไปเทลงในคอลัมน์ที่เหนือซิลิกาเจล มีเฮกเซนในปริมาณมากพอที่เทของผสมแล้วยังมีเฮกเซนอยู่เหนือของผสมเล็กน้อย เนื่องจากผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดประกอบด้วยสารพวกโพลาร์ และพวกโมเลกุลที่มีหมู่ทำหน้าที่เฉพาะมาก จึงทำการชะล้างสารออกจากคอลัมน์ตามวิธีของ Malvina Farcasiu (23) โดยเริ่มจากตัวทำละลายที่ไม่เป็นโพลาร์ คือ เฮกเซน ต่อมาใช้ตัวทำละลายผสมเฮกเซน/15% โทลูอิน ซึ่งจะละลายสารประกอบพวกอะโรมาติกออกมา ตัวทำละลายที่จะใช้ชะล้างตัวต่อมาจะเป็นโพลาร์มากขึ้น มีไดโพล โมเมนต์ แต่ไม่มีคุณสมบัติการรับโปรตอน เช่น คลอโรฟอร์ม ตัวทำละลายตัวต่อ ๆ มา จะมีโพลาร์ตีมากขึ้นเรื่อย ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.17

การเก็บสารละลายที่ถูกชะล้างออกมา ทำเช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ส่วนที่ 1 คือ รองรับสารละลายใต้คอลัมน์ด้วยอัตราเร็ว 1 cm³/นาที พร้อมทั้งเทเฮกเซนลงไปจนปริมาตรครบ 100 cm³ เมื่อระดับเฮกเซนอยู่เหนือซิลิกาเจล 1 cm. เทเฮกเซน/15% โทลูอินลงในคอลัมน์ พร้อมเปลี่ยนบีกเกอร์รองรับใหม่ ทำการทดลองดังนี้เรื่อยไป แต่เปลี่ยนสารละลายอินทรีย์ที่จะชะล้างตามตารางที่ 3.17 เก็บสารละลายที่ถูกชะล้างออกมา แล้วนำไประเหยให้แห้งด้วยเครื่องอังไอน้ำ ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปย้งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน เมื่อห้กน้ำหนัก

ของบีกเกอร์ จะได้น้ำหนักของแต่ละส่วน (fraction) ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.19, 3.20 และรูปที่ 3.17, 3.18

ตารางที่ 3.17 แสดงสารละลายอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ละลายผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสกัดด้วย โทลูอีน/25% เอทานอล และจากการสกัดด้วยเมทิลีนคลอไรด์

| ส่วนที่ | ชนิดของสารละลายอินทรีย์ที่ใช้ละลาย (eluent) จำนวน 100 cm ³ | ชนิดของสารประกอบที่ถูกชะล้างออกมา |
|---------|---|---|
| 1 | เฮกเซน | พวกพาราฟินิก ไฮโดรคาร์บอน |
| 2 | โทลูอีน/15% เฮกเซน | พวกอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน |
| 3 | คลอโรฟอร์ม | พวกโพลาร์อะโรมาติก, พวกไมใช่เบสิก เอเทอร์- ไซคลิก |
| 4 | คลอโรฟอร์ม-10% ไดเอทิล อีเทอร์ | พวกโมโนฟีนอล |
| 5 | ไดเอทิลอีเทอร์/3% เอทานอล | พวกเบสิกไนโตรเจน เอเทอร์- ไซคลิก |
| 6 | เมทานอล | พวกโมเลกุลที่มีหมู่ทำหน้าที่ เฉพาะมาก |
| 7 | คลอโรฟอร์ม/3% เอทานอล | พวกโพลีฟีนอล |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 3.18 แสดงปริมาณของสารที่สกัดได้ด้วยเอทเธน แล้วนำไปแยกเป็นส่วน ๆ โดยนำไปผ่านคอลัมน์ที่เตรียมจากซิลิกาเจล แล้วชะล้างด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ต่าง ๆ คือ

1. ชะล้างด้วยเอทเธน
2. ชะล้างด้วยเบนซีน
3. ชะล้างด้วยเบนซีน/20% เมทานอล + ชะล้างด้วยเมทานอล
4. ส่วนที่เหลืออยู่ในคอลัมน์

| แหล่ง | ผลผลิตที่ได้จากการสกัดทั้งหมด (%) | น้ำหนักแต่ละส่วน (มิลลิกรัม/10 กรัม) | | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| จังหวัดกระบี่ | 0.61 | 14.69 | 13.58 | 17.82 | 15.24 |
| จังหวัดเลย | 0.13 | 4.24 | 3.53 | 4.65 | 0.83 |
| จังหวัดลำพูน (บ้านป่าคา) | 1.15 | 13.40 | 9.97 | 17.18 | 71.40 |
| จังหวัดตาก (บ้านตาก) | 0.20 | 7.13 | 5.36 | 7.38 | 0.86 |
| จังหวัดตาก (ระมัด) | 0.24 | 8.26 | 5.82 | 9.05 | 0.74 |
| จังหวัดลำปาง (แม่เม่าะ) | | | | | |
| ตัวอย่างที่ 1 ไม่หักขนาด | 0.45 | 7.28 | 6.72 | 11.72 | 19.16 |
| ตัวอย่างที่ 2 หลายขนาดรวมกัน | 0.48 | 6.85 | 5.10 | 14.10 | 22.35 |
| ตัวอย่างที่ 3 ขนาดกลาง | 0.45 | 7.85 | 6.79 | 12.40 | 18.72 |
| ตัวอย่างที่ 4 ขนาด 1 มม. | 0.43 | 8.00 | 6.63 | 9.81 | 18.24 |
| ตัวอย่างที่ 5 เกษถ่าน (ขนาด >2 มม.) | 0.37 | 8.32 | 5.67 | 9.56 | 13.50 |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.19 แสดงปริมาณของสารที่สกัดได้ด้วยโทลูอีน/25% เอทานอล แล้วนำไปแยกเป็นส่วน ๆ โดยนำไปผ่านคอลัมน์ที่เตรียมจากซิลิกา เจล แล้วชะล้างด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ต่าง ๆ คือ

1. ชะล้างด้วยเฮกเซน
2. ชะล้างด้วยเฮกเซน/15% โทลูอีน
3. ชะล้างด้วยคลอโรฟอร์ม
4. ชะล้างด้วยคลอโรฟอร์ม/10% ไดเอทิลอีเทอร์
5. ชะล้างด้วยไดเอทิลอีเทอร์/3% เอทานอล
6. ชะล้างด้วยเมทานอล
7. ชะล้างด้วยคลอโรฟอร์ม/3% เอทานอล

| แหล่ง | ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสกัดทั้งหมด (%) | น้ำหนักแต่ละส่วน (มิลลิกรัม/10 กรัม) | | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------|--------|--------|-------|--------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| จังหวัดกระบี่ | 7.15 | 13.35 | 7.94 | 24.24 | 127.38 | 78.90 | 344.44 | 20.92 |
| จังหวัดเลย | 0.08 | 1.25 | 1.06 | 1.59 | 2.08 | 0.30 | 1.11 | 0.06 |
| จังหวัดลำพูน (บ้านป่าคา) | 7.36 | 13.20 | 6.63 | 138.54 | 166.36 | 58.95 | 267.98 | 23.72 |
| จังหวัดตาก (บ้านตาก) | 2.56 | 9.66 | 6.20 | 13.09 | 81.52 | 21.84 | 96.45 | 14.14 |
| จังหวัดตาก (ระมัด) | 2.85 | 10.22 | 9.46 | 17.24 | 75.98 | 37.54 | 90.18 | 21.34 |
| จังหวัดลำปาง (แม่เมาะ) | | | | | | | | |
| ตัวอย่างที่ 1 ไม่คัดขนาด | 2.97 | 6.26 | 2.30 | 31.70 | 56.50 | 38.90 | 102.10 | 26.16 |
| ตัวอย่างที่ 2 หลายขนาดรวมกัน | 4.71 | 12.48 | 7.52 | 44.30 | 133.50 | 51.03 | 180.22 | 42.26 |
| ตัวอย่างที่ 3 ขนาดกลาง | 4.44 | 14.46 | 9.42 | 37.81 | 129.06 | 59.80 | 160.26 | 33.42 |
| ตัวอย่างที่ 4 ขนาด 1 มม. | 4.41 | 8.58 | 3.98 | 52.38 | 87.74 | 57.28 | 191.52 | 39.44 |
| ตัวอย่างที่ 5 เศษถ่าน (ขนาด >2 มม.) | 4.30 | 15.08 | 6.34 | 38.44 | 126.60 | 43.08 | 183.00 | 31.00 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.20 แสดงปริมาณของสารที่สกัดได้ด้วยเมทิลีนคลอไรด์ แล้วนำไปแยกเป็นส่วน ๆ

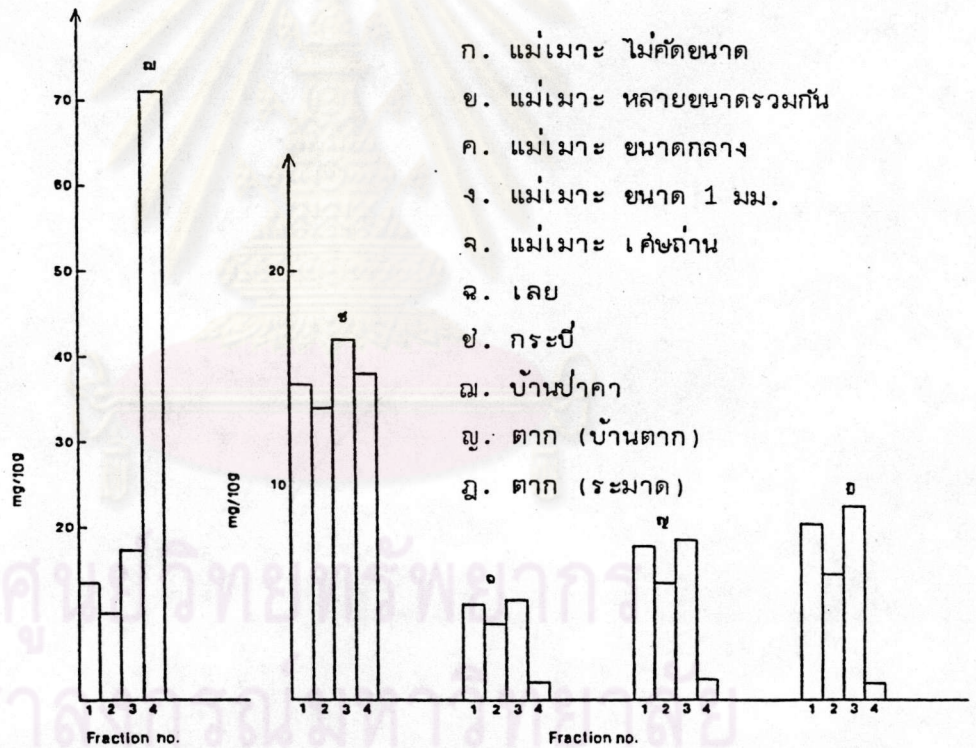
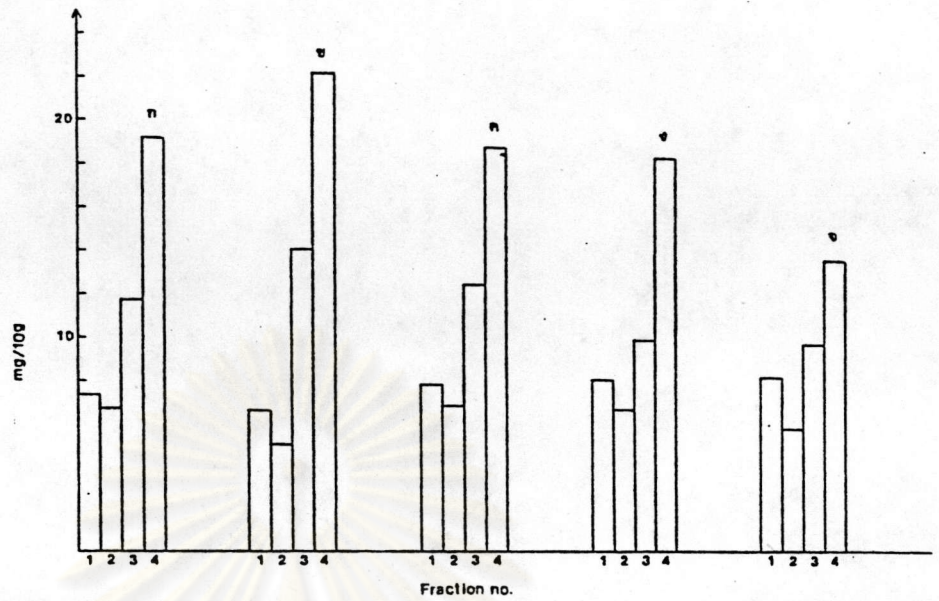
โดยนำไปผ่านคอลัมน์ที่เตรียมจากซิลิกา เจล แล้วชะล้างด้วยตัวทำละลาย

อินทรีย์ต่าง ๆ คือ

1. ชะล้างด้วยเฮกเซน
2. ชะล้างด้วยเฮกเซน/15% โทลูอิน
3. ชะล้างด้วยคลอโรฟอร์ม
4. ชะล้างด้วยคลอโรฟอร์ม/10% ไดเอทิลอีเทอร์
5. ชะล้างด้วยไดเอทิลอีเทอร์/3% เอทานอล
6. ชะล้างด้วยเมทานอล
7. ชะล้างด้วยคลอโรฟอร์ม/3% เอทานอล

| แหล่ง | ผลผลิตที่ได้จากการสกัดทั้งหมด (%) | น้ำหนักแต่ละส่วน (มิลลิกรัม/10 กรัม) | | | | | | |
|---------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------|-------|--------|-------|-------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| จังหวัดกระบี่ | 0.93 | 6.97 | 6.22 | 11.69 | 28.75 | 11.25 | 17.72 | 2.65 |
| จังหวัดเลย | 0.16 | 2.40 | 0.49 | 4.49 | 2.90 | 0.89 | 3.28 | 0.34 |
| จังหวัดลำพูน (บ้านป่าคา) | 2.38 | 11.37 | 4.51 | 29.08 | 97.57 | 26.51 | 41.16 | 9.31 |
| จังหวัดตาก (บ้านตาก) | 0.59 | 5.98 | 2.38 | 11.75 | 14.72 | 5.45 | 11.32 | 2.84 |
| จังหวัดตาก (ระมาด) | 0.62 | 8.86 | 3.98 | 10.56 | 13.11 | 7.49 | 11.00 | 3.01 |
| จังหวัดลำปาง (แม่เม่า) | | | | | | | | |
| ตัวอย่างที่ 1 ไม่คัดขนาด | 0.58 | 4.35 | 1.22 | 3.98 | 28.29 | 4.67 | 10.28 | 1.28 |
| ตัวอย่างที่ 2 หลายขนาดรวมกัน | 1.15 | 8.72 | 2.99 | 11.50 | 48.76 | 15.81 | 18.51 | 1.63 |
| ตัวอย่างที่ 3 ขนาดกลาง | 1.20 | 6.27 | 3.10 | 11.58 | 54.10 | 14.07 | 18.05 | 3.78 |
| ตัวอย่างที่ 4 ขนาด 1 มม. | 1.08 | 7.72 | 2.85 | 8.99 | 147.39 | 14.78 | 16.78 | 1.02 |
| ตัวอย่างที่ 5 เคียงถ่าน (ขนาด >2 มม.) | 0.97 | 8.50 | 3.56 | 8.72 | 49.76 | 7.81 | 12.99 | 0.48 |

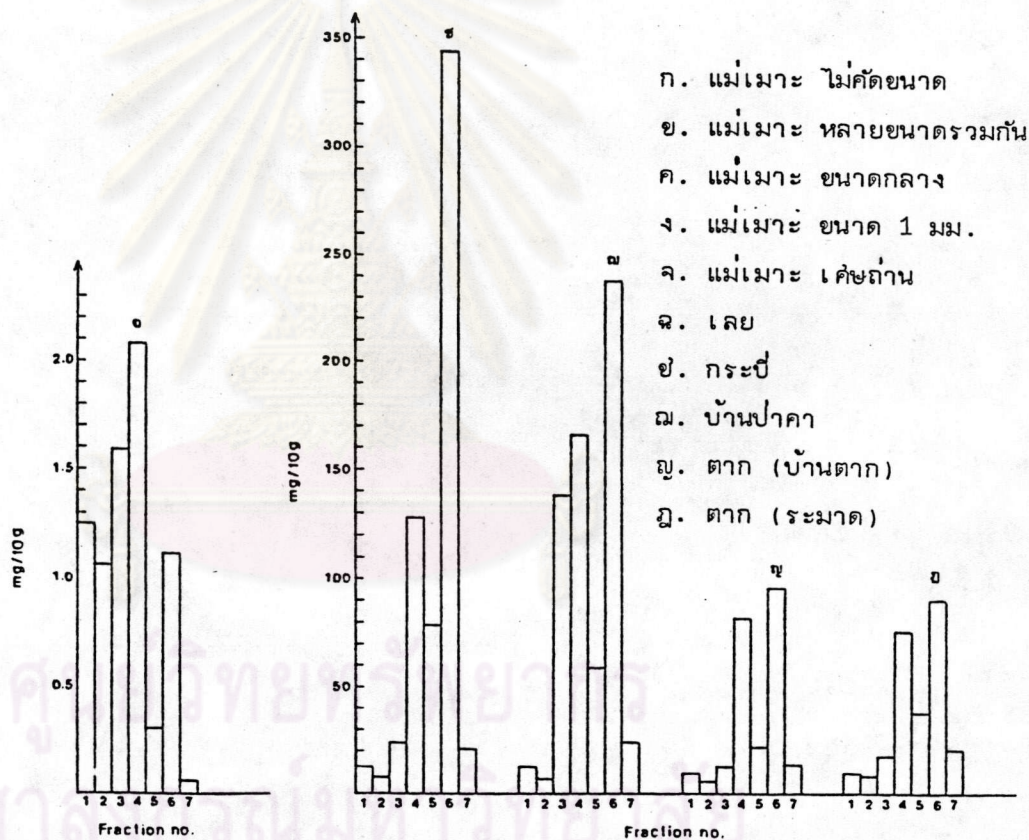
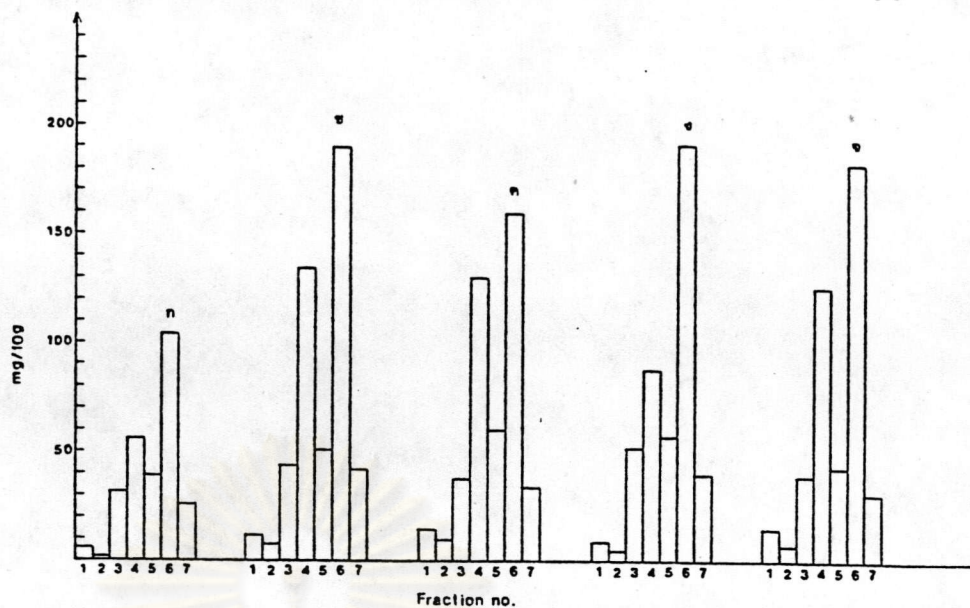
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



- ก. แม่เมาะ ไม่คัดขนาด
- ข. แม่เมาะ หลายขนาดรวมกัน
- ค. แม่เมาะ ขนาดกลาง
- ง. แม่เมาะ ขนาด 1 มม.
- จ. แม่เมาะ เคียงถ่าน
- ฉ. เลย
- ช. กระจับ
- ฅ. บ้านป่าคา
- ญ. ตาก (บ้านตาก)
- ฎ. ตาก (ระมัด)

รูปที่ 3.16 แสดงกราฟแท่งจากการนำสารที่สกัดได้ด้วยเฮกเซนไปแยกเป็นส่วน ๆ โดยนำไปผ่านคอลัมน์ที่เตรียมจากซิลิกาเจล แล้วชะล้างด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ต่าง ๆ คือ

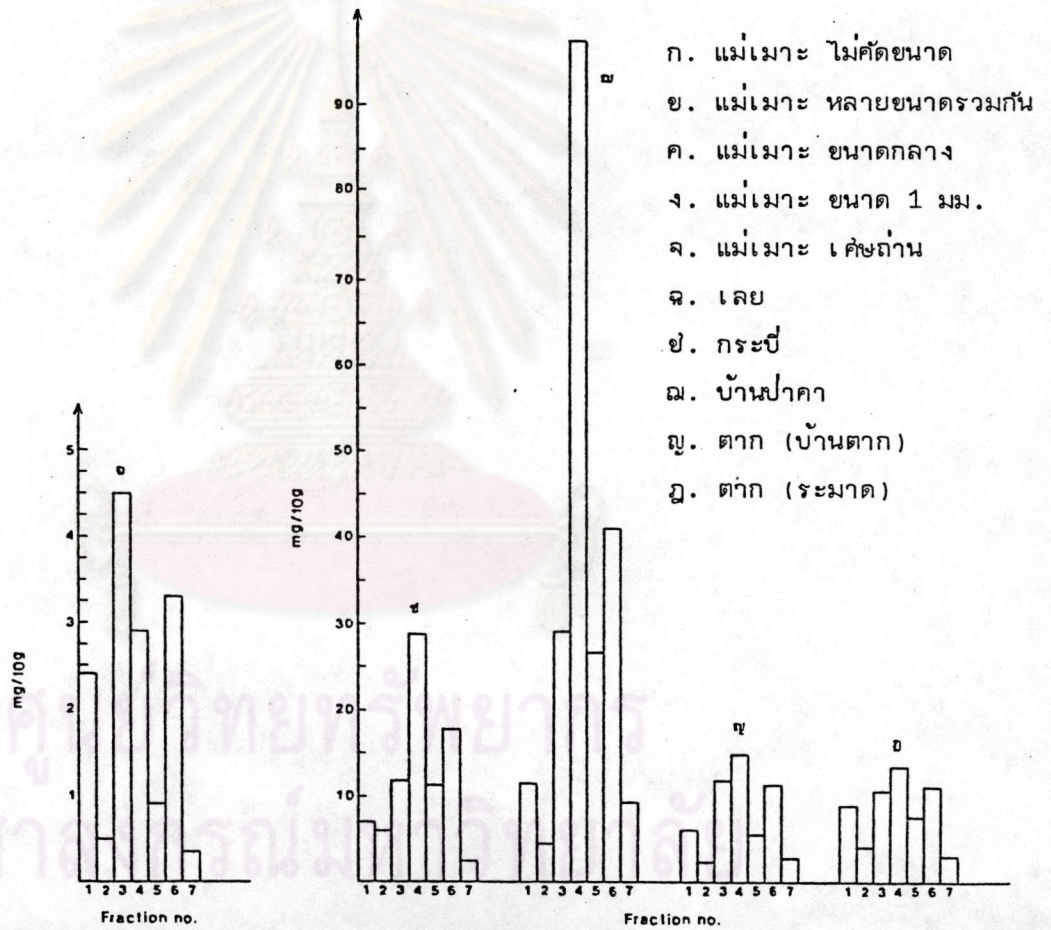
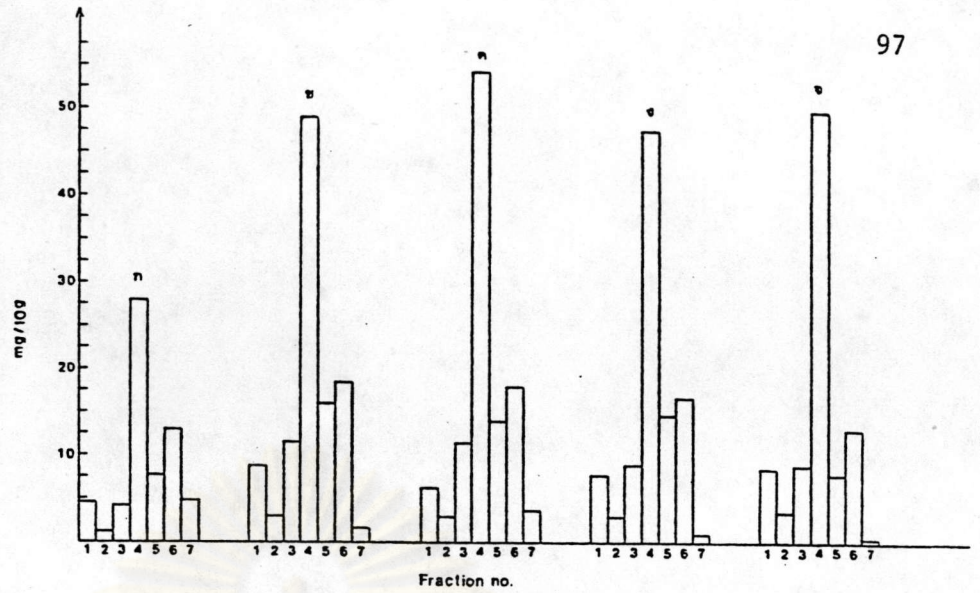
1. ชะล้างด้วยเฮกเซน
2. ชะล้างด้วยเบนซีน
3. - ชะล้างด้วยเบนซีน/20% เมทานอล
4. ส่วนที่เหลืออยู่ในคอลัมน์
- ชะล้างด้วยเมทานอล



- ก. แม่เมาะ ไม่คัดขนาด
- ข. แม่เมาะ หลายขนาดรวมกัน
- ค. แม่เมาะ ขนาดกลาง
- ง. แม่เมาะ ขนาด 1 มม.
- จ. แม่เมาะ เค้ชถ่าน
- ฉ. เลย
- ช. กระจี
- ฅ. บ้านป่าคา
- ญ. ตาก (บ้านตาก)
- ฎ. ตาก (ระมัด)

รูปที่ 3.17 แสดงกราฟแท่งจากการนำสารที่สกัดได้ด้วยโทลูอิน/25% เอทานอลไปแยกเป็นส่วน ๆ โดยนำไปผ่านคอลัมน์ที่เตรียมจากซิลิกาเจล แล้วชะล้างด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ต่าง ๆ คือ

1. ชะล้างด้วยเฮกเซน
2. ชะล้างด้วยเฮกเซน/15% โทลูอิน
3. ชะล้างด้วยคลอโรฟอร์ม
4. ชะล้างด้วยคลอโรฟอร์ม/10% ไดเอทิลอีเทอร์
5. ชะล้างด้วยไดเอทิลอีเทอร์/3% เอทานอล
6. ชะล้างด้วยเมทานอล
7. ชะล้างด้วยคลอโรฟอร์ม/3% เอทานอล



รูปที่ 3.18

แสดงกราฟแท่งจากการนำสารที่สกัดได้ด้วยเมทิลีนคลอไรด์ไปแยกเป็นส่วน ๆ โดยนำไปผ่านคอลัมน์ที่เตรียมจากซิลิกาเจล แล้วชะล้างด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ต่าง ๆ คือ

1. ชะล้างด้วยเฮกเซน
2. ชะล้างด้วยเฮกเซน/15% โทลูอิน
3. ชะล้างด้วยคลอโรฟอร์ม
4. ชะล้างด้วยคลอโรฟอร์ม/10% ไดเอทิลอีเทอร์
5. ชะล้างด้วยไดเอทิลอีเทอร์/3% เอทานอล
6. ชะล้างด้วยเมทานอล
7. ชะล้างด้วยคลอโรฟอร์ม/3% เอทานอล

3.12.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบของนอร์มัล-พาราฟินในสิ่งที่ได้จากการชะล้าง
คอสมินด้วยเฮกเซน ด้วยเทคนิคทางกาซโครมาโตกราฟี

ส่วนที่ 1 (fraction No. 1) เป็นสิ่งที่ได้จากการชะล้างคอสมินด้วย
เฮกเซน เป็นสารประกอบพวกอะลิฟาติก ประกอบด้วย นอร์มัล-พาราฟิน (n-paraffin)
สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัวแบบวงแหวนและแบบโซ่กิ่ง เมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค
ทาง gas chromatography โดยใช้ fused silica capillary column ยาว 25 เมตร
และใช้ temperature programming เพื่อช่วยทำให้การวิเคราะห์ได้ผลดีขึ้น ซึ่งจะเห็นว่า
โครมาโตแกรมที่ได้มีแบบอย่างที่ตั้งที่ และค่อนข้างเฉพาะ (characteristic fingerprint)
ในแต่ละตัวอย่างของท่านหิน นอกจากนี้แล้วยังสามารถนำโครมาโตแกรมไปคำนวณหาค่า CPI
ได้อีกด้วย สภาวะต่าง ๆ ของการใช้เครื่อง gas chromatograph ในการวิเคราะห์นั้น
ได้แสดงในตารางที่ 3.21

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.21 แสดงสภาวะของการใช้เครื่อง gas chromatograph ในการทางองค์ประกอบ
พวกพาราฟิน ไอโซคาร์บอน

| | |
|---------------------------------------|---|
| คอลัมน์ | OV-101 , fused silica capillary (25 เมตร x 0.2 มิลลิเมตร) |
| วิธีการวิเคราะห์ | อุณหภูมิเริ่มต้น (initial temp) 120°C คงที่ เป็นเวลา 1 นาที ใช้ temperature programming คือ - เพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 6 °C/นาที ตั้งแต่ อุณหภูมิ 120-208°C - เพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 4 °C/นาที ตั้งแต่ อุณหภูมิ 208-280°C อุณหภูมิสุดท้าย (final temp) 280°C คงที่ เป็นเวลา 40 นาที |
| Injector Temperature | 280°C |
| Splitting ratio | 1/100 |
| FID Temperature | 280°C |
| H ₂ -flow rate | 50 cm ³ /นาที |
| air-flow rate | 500 cm ³ /นาที |
| N ₂ -carrier gas flow rate | 0.5 cm ³ /นาที |
| sample size | 2 µl. |
| range | 10 ¹ |
| chart speed | 2 มิลลิเมตร/นาที |

3.12.3.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน นอร์มัล-พาราฟิน (Standard n-paraffins)

เตรียมได้โดยนำสารละลายมาตรฐานนอร์มัล-พาราฟิน C₁₀-C₁₈ ซึ่งเป็นของเหลวมาอย่างละ 70.0 µl และนำสารมาตรฐาน C₁₉-C₃₀ ซึ่งเป็นของแข็งมาอย่างละ 0.05 กรัม ใส่ในขวดมาตรฐาน 10.0 cm³ เดิมเอกเซน (AR) จนปริมาตรครบผล้มให้เข้ากัน แล้วนำสารละลายนี้มาทำให้เจือจางลง 10 เท่า ในขวดมาตรฐาน แล้วนำไปฉีดเข้าเครื่อง gas chromatograph ในปริมาณ 2.0 µl จะได้

โครมาโตแกรม แสดงในรูปที่ 3.19

3.12.3.2 การทำคุณภาพวิเคราะห์

เพื่อจะศึกษาดูว่าองค์ประกอบที่มีอยู่ในส่วนพาราฟีนิก ไฮโดรคาร์บอน มีอะไรบ้าง โดยดูจากพีคที่ได้ในโครมาโตแกรม สามารถทำได้ 2 วิธี

ก. ดูจากค่า retention time ค่า retention time คือระยะเวลาของสารแต่ละชนิดที่ออกมาจากคอลัมน์ในการทดลองฉีดสารละลายมาตรฐาน ผลได้ในข้อ 3.11.3.1 แล้วฉีดสารตัวอย่าง นำค่า retention time ที่ได้จากตัวอย่างเปรียบเทียบกับค่า retention time ของสารละลายมาตรฐาน ถ้าค่าที่ได้เท่ากัน จะเป็นสารชนิดเดียวกัน

ข. จากการสไปค์ (spike) เพื่อเป็นการทดสอบในการวิเคราะห์สาร ให้ใช้วิธีการเติมสารมาตรฐานลงไปเล็กน้อยในสารตัวอย่าง แล้วนำไปฉีดเข้าในเครื่อง gas chromatograph ถ้าเป็นสารตัวเดียวกัน โครมาโตแกรมที่ได้จะมีพีคเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

3.12.3.3 การหาองค์ประกอบของนอร์มัลพาราฟีนจากส่วนที่ชะล้างด้วยเอกเซน

นำส่วนที่ชะล้างด้วยเอกเซนทั้งของผลิตภัณฑ์ส่วนที่ 1, 2 และ 3 มาละลายด้วยเอกเซนในปริมาณที่น้อยที่สุดที่ละลายได้หมด แล้วฉีดเข้าเครื่อง gas chromatograph

ในการทดลองได้ใช้ capillary column ทำให้โครมาโตแกรมที่ได้ออกมามีการแยกที่ดี ความกว้างของพีค (peak) มีน้อย การหาปริมาณจึงได้ใช้ การวัดความสูงของพีค แทนการหาพื้นที่ (peak area) โดยถือว่าความสูงของพีคจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับปริมาณของสารในตัวอย่างที่เป็นสารประกอบประเภทเดียวกัน

โครมาโตแกรมของตัวอย่างแหล่งต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.20-3.29

3.12.3.4 การหาค่า Carbon preference index (CPI)

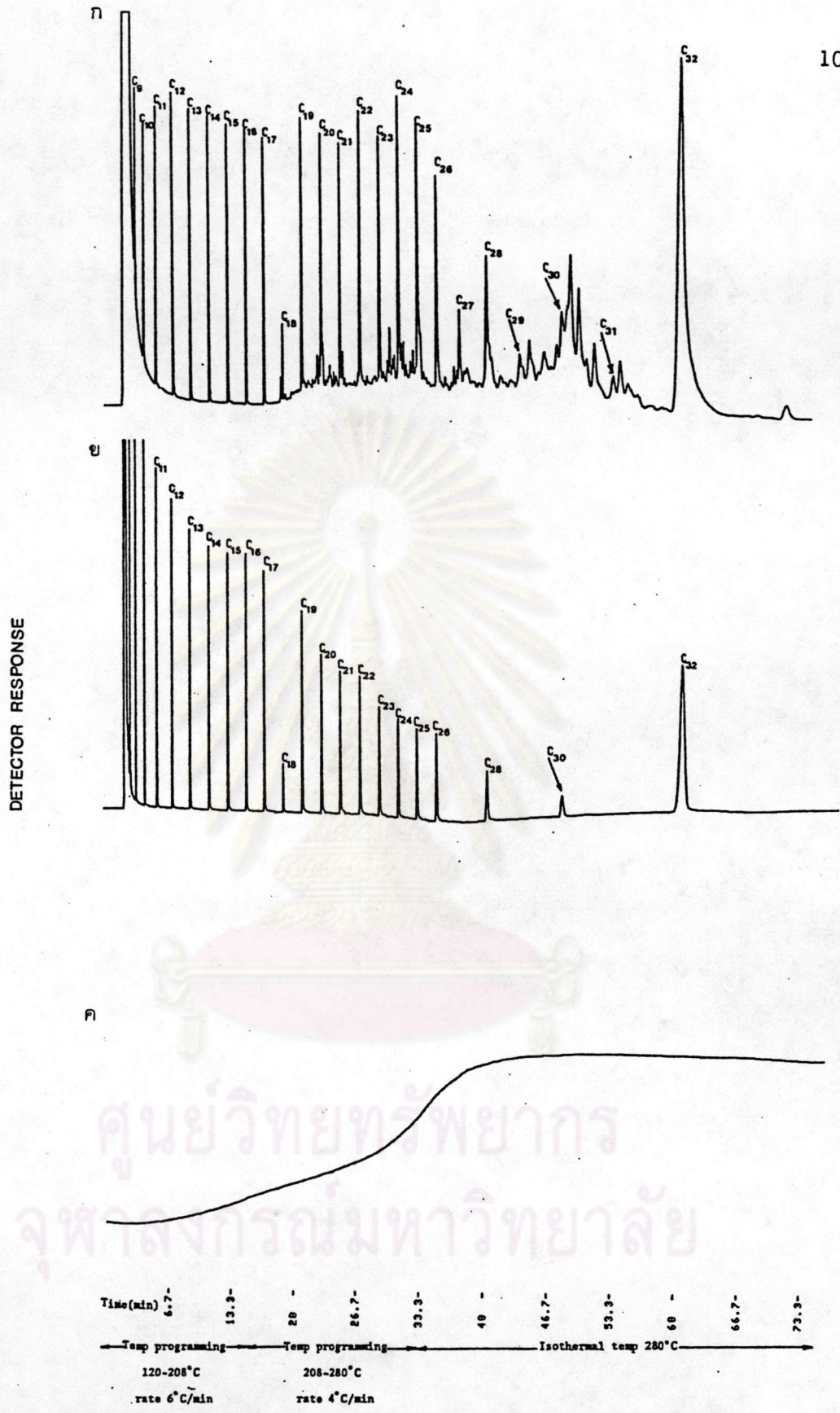
เป็นที่รู้กันดีว่า นอร์มัล-พาราฟีนในดินตะกอน (sediment), น้ำมัน (petroleum) และถ่านหินนั้นมีการกระจาย (distribution) แตกต่างกัน เป็นลักษณะเฉพาะตัว (characteristic) เป็นความแตกต่างระหว่างปริมาณของนอร์มัล-พาราฟีนที่เป็นเลขคู่และเลขคี่ ซึ่งเรียกว่า "Carbon preference index" (CPI) ซึ่ง Maxwell (27) ได้ให้นิยามเอาไว้ ดังสูตร

$$CPI = \frac{1}{2} \left[\frac{\sum \text{conc}^n C_{17} - C_{31}}{\sum \text{conc}^n C_{16} - C_{30}} + \frac{\sum \text{conc}^n C_{17} - C_{31}}{\sum \text{conc}^n C_{18} - C_{32}} \right]$$

จากโครมาโตแกรม วัดความสูงของพีก ซึ่งเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับ
ปริมาณ แล้วนำมาคำนวณหาค่า CPI ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.22
เป็นค่า CPI ที่ได้จากการคำนวณโดยเริ่มที่ C_{18} เนื่องจากในโครมาโตแกรมที่วิเคราะห์
ได้ไม่พบ C_{16} และ C_{17}

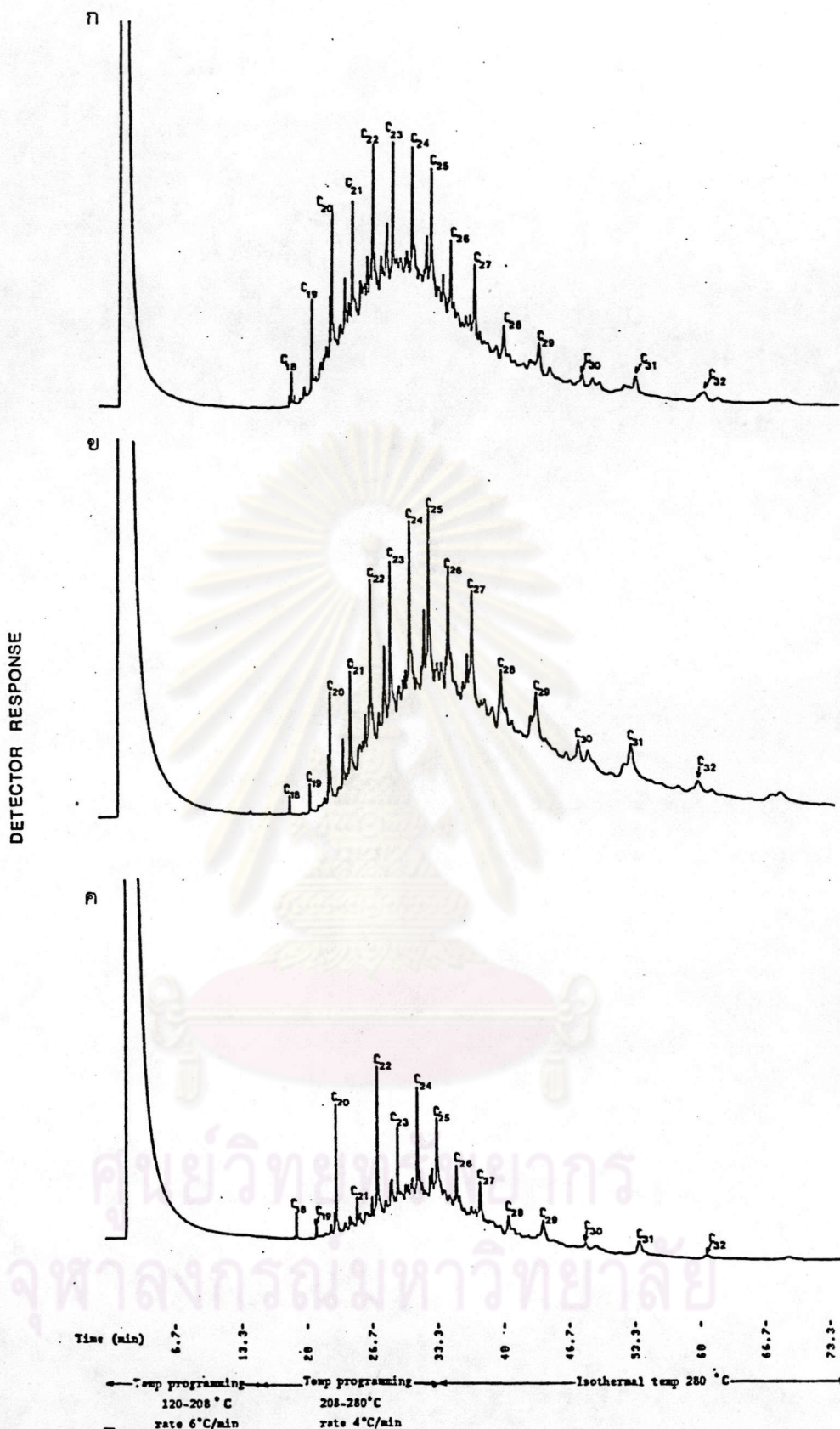
ตารางที่ 3.22 แสดงค่า CPI ของถ่านหินแหล่งต่าง ๆ ซึ่งสกัดด้วยสารอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ

| แหล่ง | Carbon preference index (CPI) | | |
|--|---------------------------------|----------------------------|--------------------|
| | สกัดด้วย โทลูอิน/25% เอทานอล | สกัดด้วย เมทิลีนคลอไรด์ | สกัดด้วย เฮกเซน |
| จังหวัดกระบี่ | 2.01 | 1.92 | 1.62 |
| จังหวัดเลย | 1.01 | 1.04 | 0.59 |
| จังหวัดลำพูน (บ้านป่าคา) | 1.11 | 1.01 | 1.10 |
| จังหวัดตาก (บ้านตาก) | 1.63 | 1.56 | 1.47 |
| จังหวัดตาก (ระมัด) | 1.74 | 1.68 | 1.48 |
| จังหวัดลำปาง (แม่เมาะ) | | | |
| ตัวอย่างที่ 1 ไม่คัดขนาด | 3.99 | 3.09 | 2.08 |
| ตัวอย่างที่ 2 หลายขนาดรวมกัน | 1.70 | 1.74 | 1.33 |
| ตัวอย่างที่ 3 ขนาดกลาง | 2.13 | 1.99 | 1.48 |
| ตัวอย่างที่ 4 ขนาด 1 มม. | 2.11 | 1.72 | 1.33 |
| ตัวอย่างที่ 5 เศษถ่าน (ขนาด >2 มม.) | 1.90 | 2.09 | 1.62 |



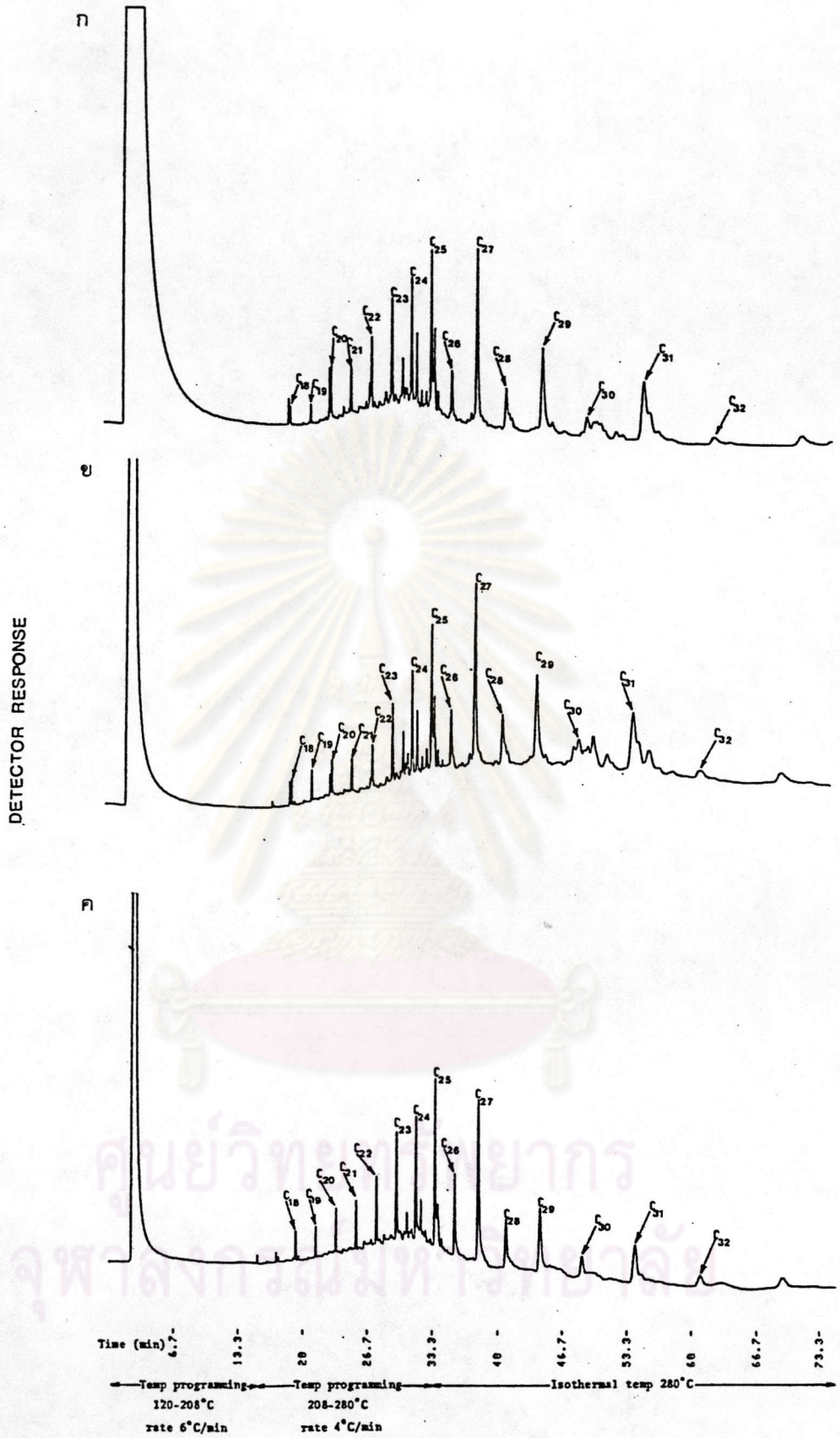
รูปที่ 3.19 แสดงโครมาโตแกรมจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatograph โดยใช้ Temperature programming

- ก. โครมาโตแกรมของสารมาตรฐาน และตัวอย่างถ่านหินบ้านป่าคา จังหวัดลำพูน
- ข. โครมาโตแกรมของสารมาตรฐาน
- ค. โครมาโตแกรมของ Background



รูปที่ 3.20 แสดงโครมาโตแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์สารพวกพาราฟินไฮโดรคาร์บอนของแหล่งถ่านหินจังหวัดเลย

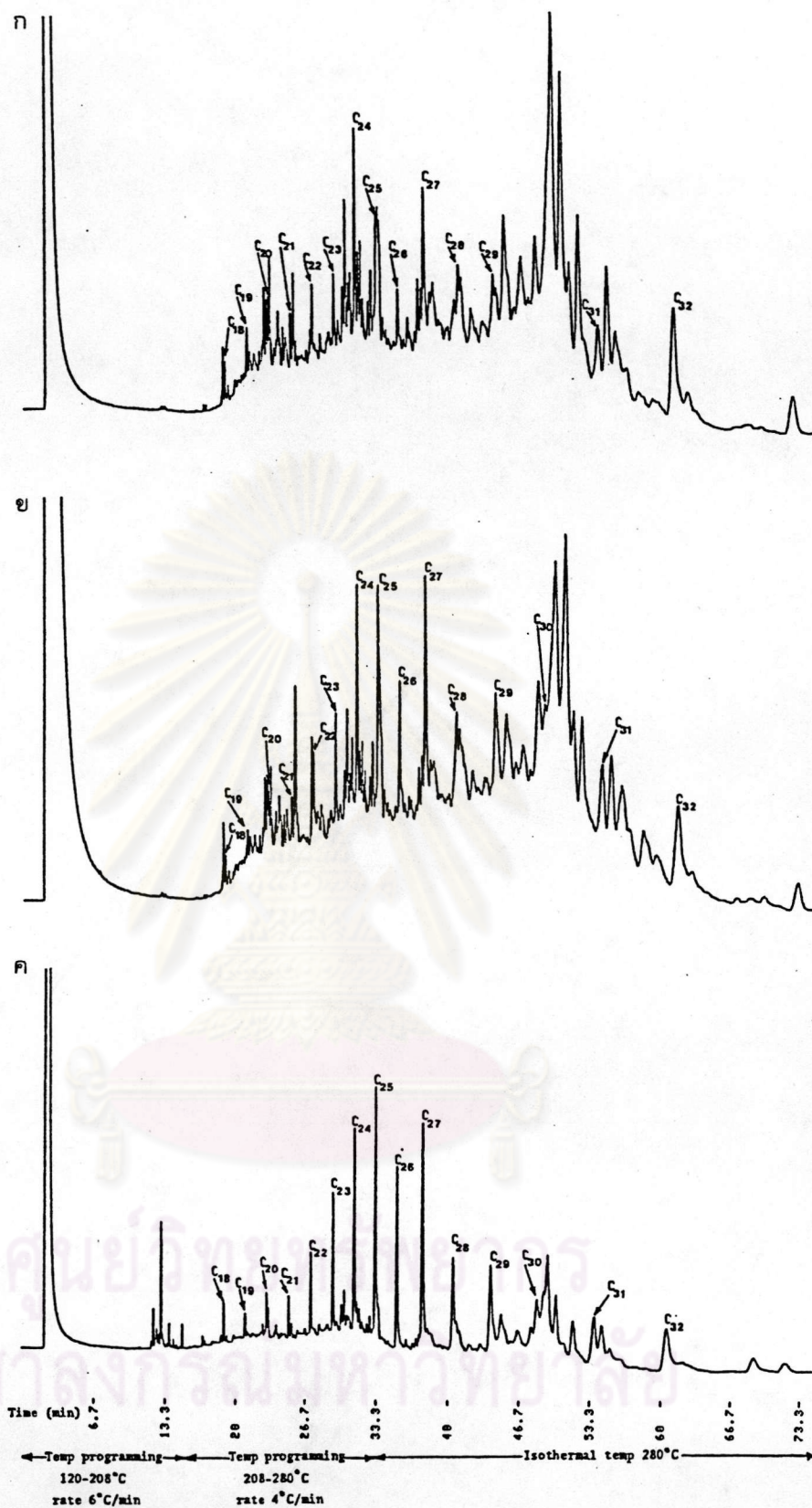
- ก. เมื่อสกัดด้วยเมทิลีนคลอไรด์
- ข. เมื่อสกัดด้วยโทลูอิน/25% เอทานอล
- ค. เมื่อสกัดด้วยเฮกเซน



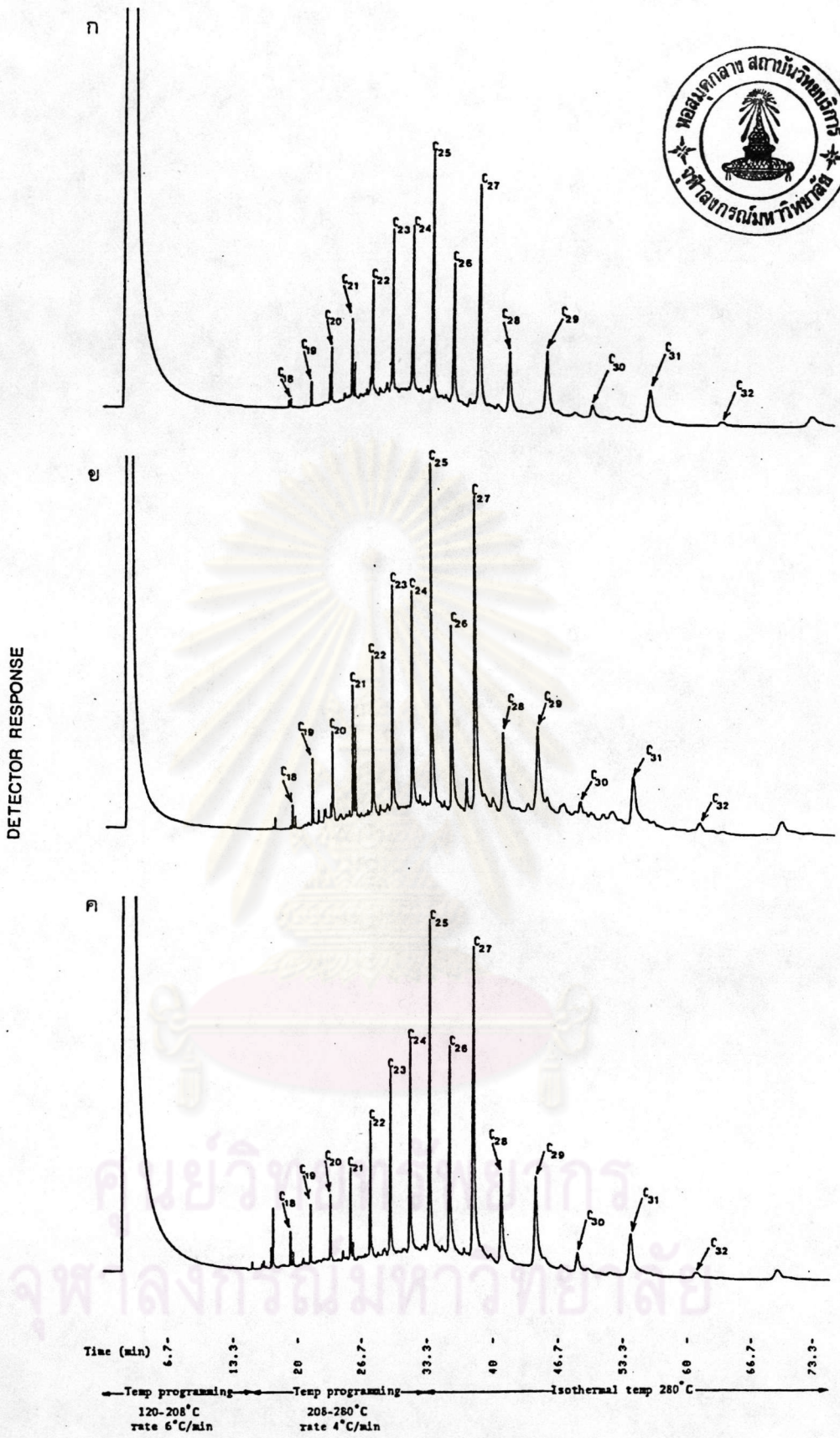
รูปที่ 3.21 แสดงโครมาโตแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์สารพวกพาราฟีนิกไฮโดรคาร์บอนของแหล่งถ่านหินจังหวัดกระบี่

- ก. เมื่อสกัดด้วยเมทิลีนคลอไรด์
- ข. เมื่อสกัดด้วยโทลูอีน/25% เอทานอล
- ค. เมื่อสกัดด้วยเอกเซน

DETECTOR RESPONSE



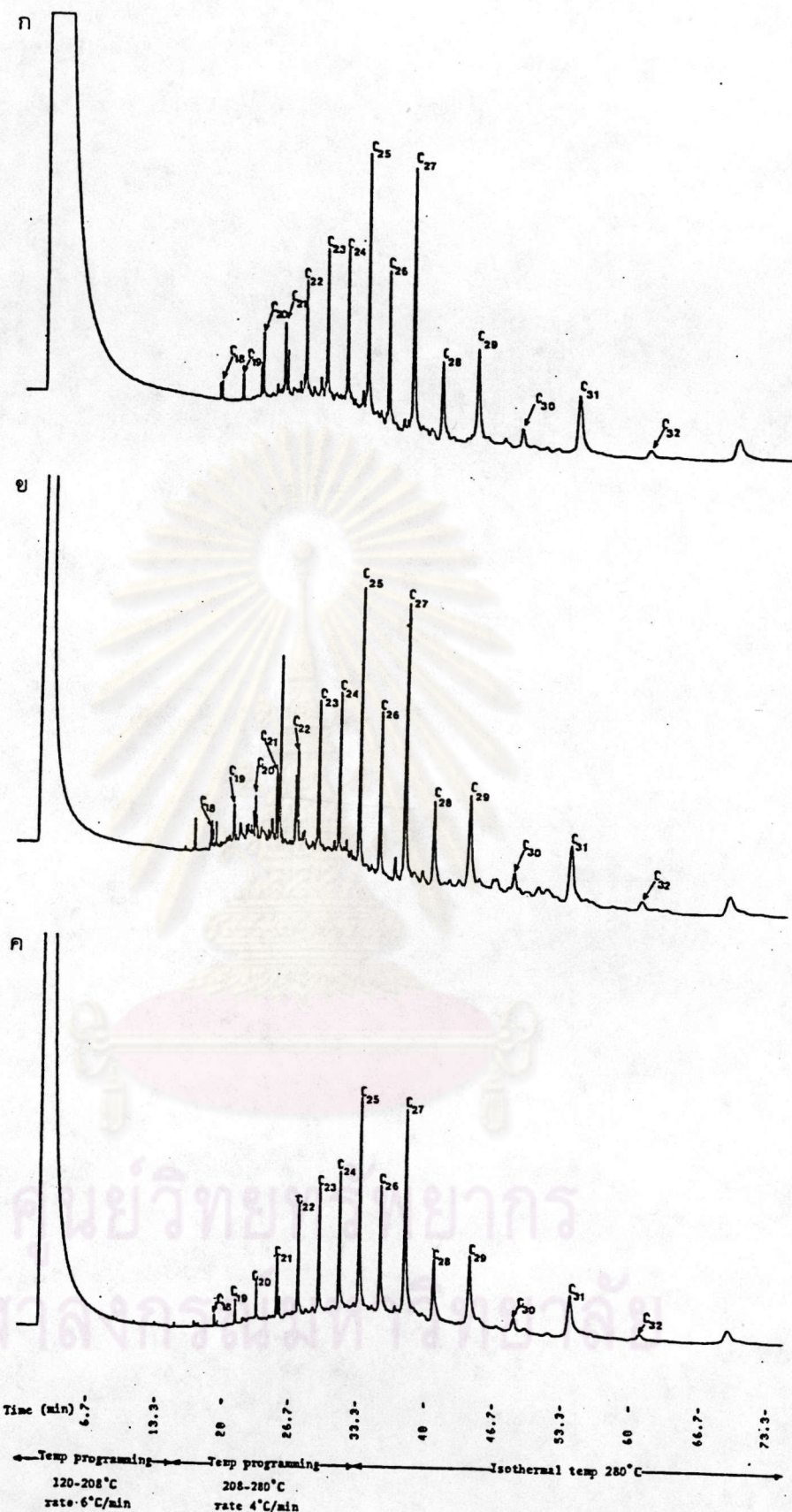
- รูปที่ 3.22 แสดงโครมาโตแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์สารพาราฟีนิกไฮโดรคาร์บอนของแหล่งถ่านหินบ้านป่าคา จังหวัดลำพูน
- ก. เมื่อสกัดด้วยเมทิลีนคลอไรด์
 - ข. เมื่อสกัดด้วยโทลูอีน/25% เอทานอล
 - ค. เมื่อสกัดด้วยเฮกเซน



รูปที่ 3.23 แสดงโครมาโตแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์สารพหุพาราฟีนิกไฮโดรคาร์บอนของกองถ่านหินบ้านตาก สังกะหวัดตาก

- ก. เมื่อสกัดด้วยเมทิลีนคลอไรด์
- ข. เมื่อสกัดด้วยโทลูอิน/25% เอทานอล
- ค. เมื่อสกัดด้วยเฮกเซน

DETECTOR RESPONSE



รูปที่ 3.24 แสดงโครมาโตแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์สารพวกพาราฟีนิกไฮโดรคาร์บอนของแหล่งระมัด สังกะหนวดตาก

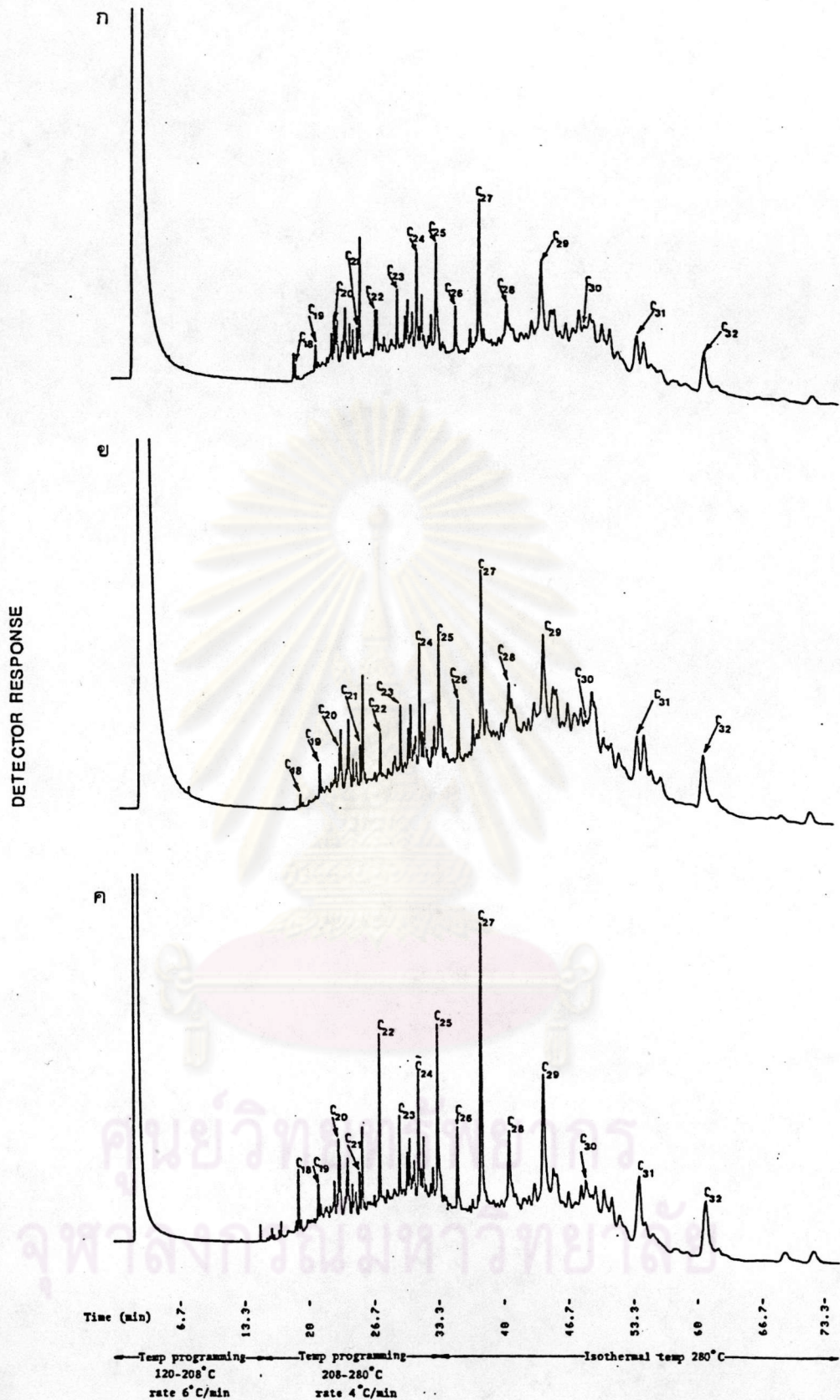
- ก. เมื่อสกัดด้วยเมทิลีนคลอไรด์
- ข. เมื่อสกัดด้วยโทลูอีน/25% เอทานอล
- ค. เมื่อสกัดด้วยเฮกเซน



รูปที่ 3.25

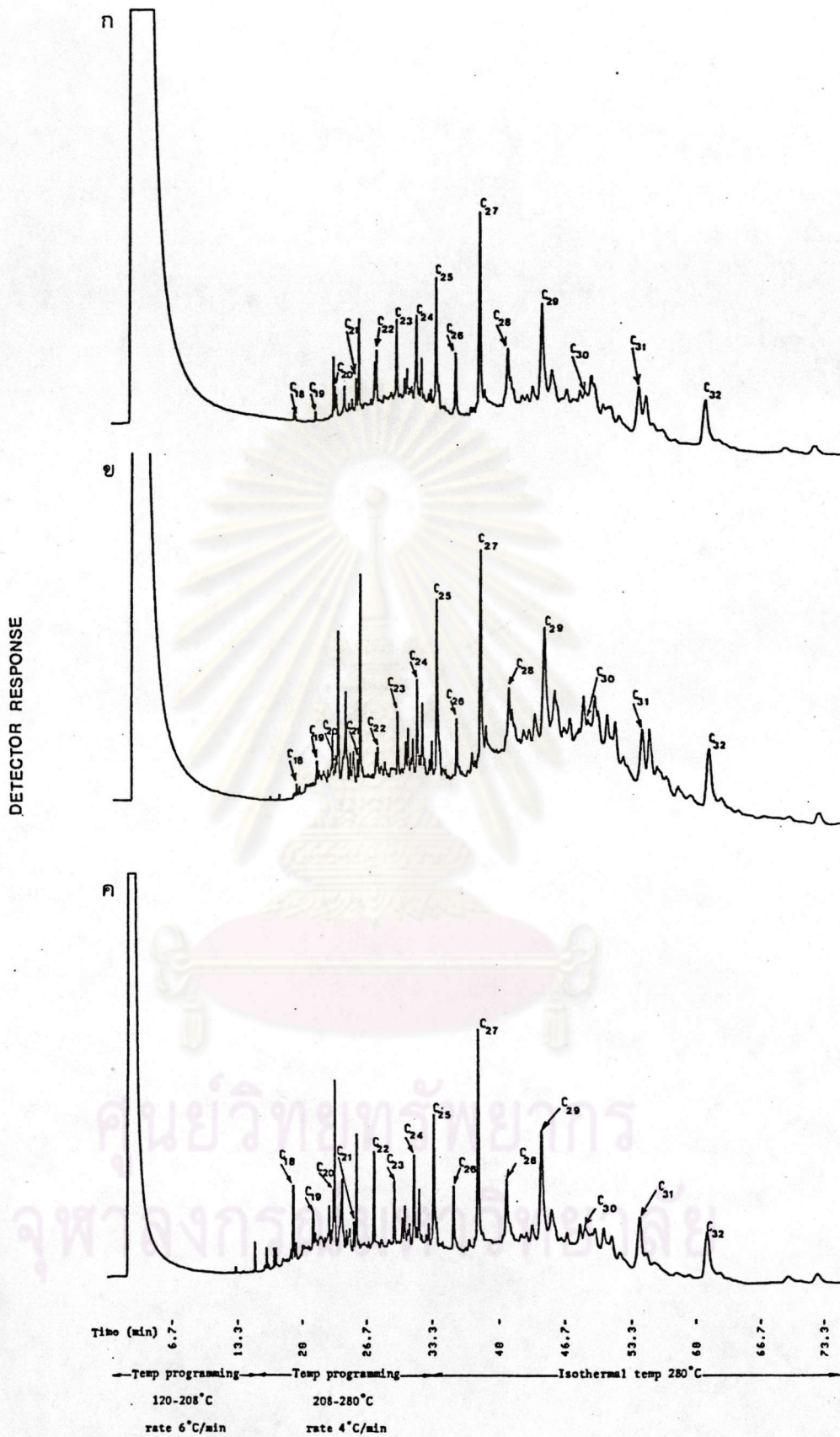
แสดงโครมาโตแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์สารพวกวพาราฟีนิกไฮโดรคาร์บอนของแหล่งแม่เมาะไม้คัดขนาด จังหวัดลำปาง

- ก. เมื่อสกัดด้วยเมทิลีนคลอไรด์
- ข. เมื่อสกัดด้วยโทลูอีน/25% เอทานอล
- ค. เมื่อสกัดด้วยเฮกเซน



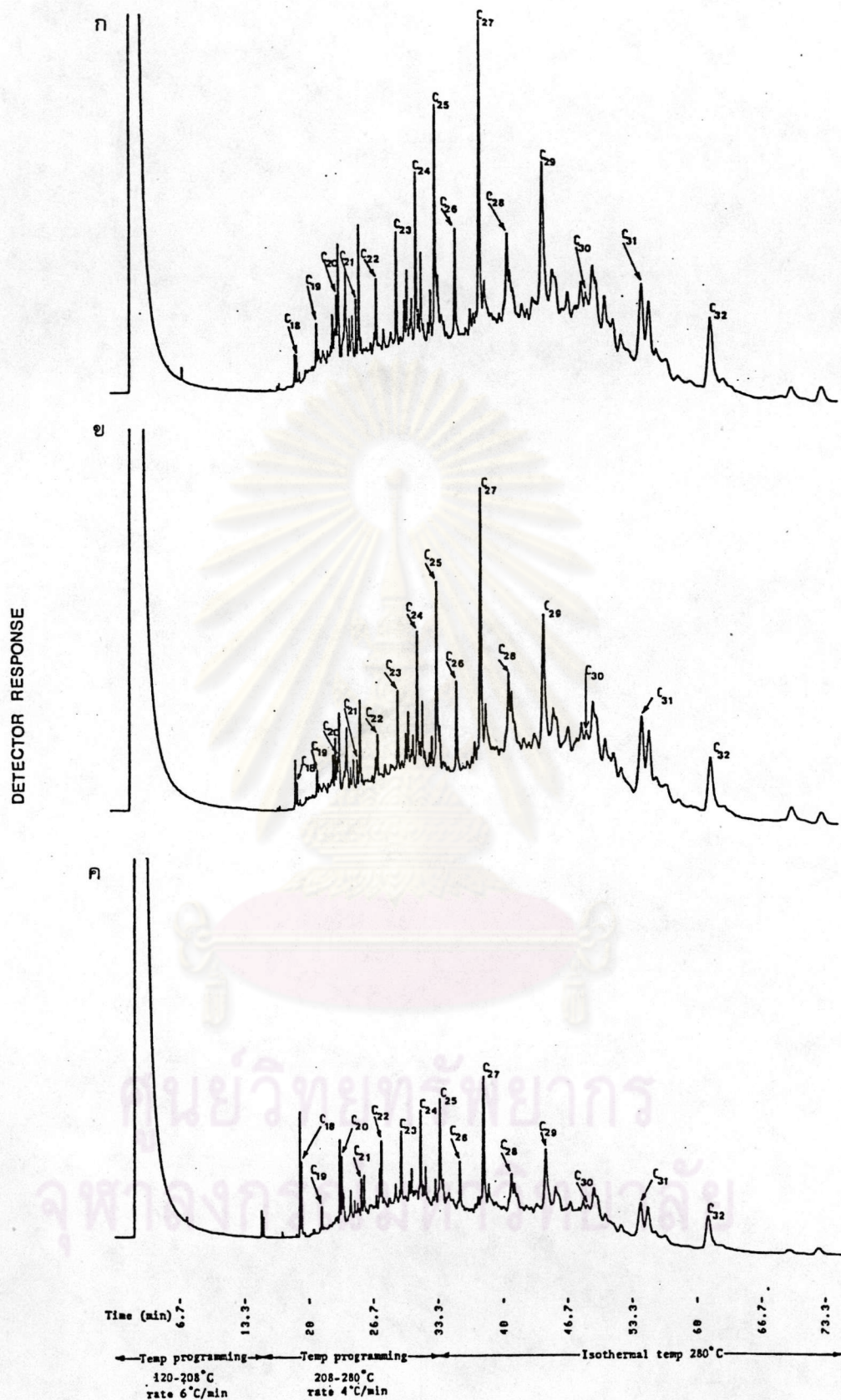
รูปที่ 3.26 แสดงโครมาโตแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์สารพวกวพาราฟีนิกไฮโดรคาร์บอนของแหล่งถ่านหินแม่เมาะ หลายขนาดรวมกัน สังกัดสาขา

- ก. เมื่อสกัดด้วยเมทิลีนคลอไรด์
- ข. เมื่อสกัดด้วยโทลูอีน/25% เอทานอล
- ค. เมื่อสกัดด้วยเฮกเซน

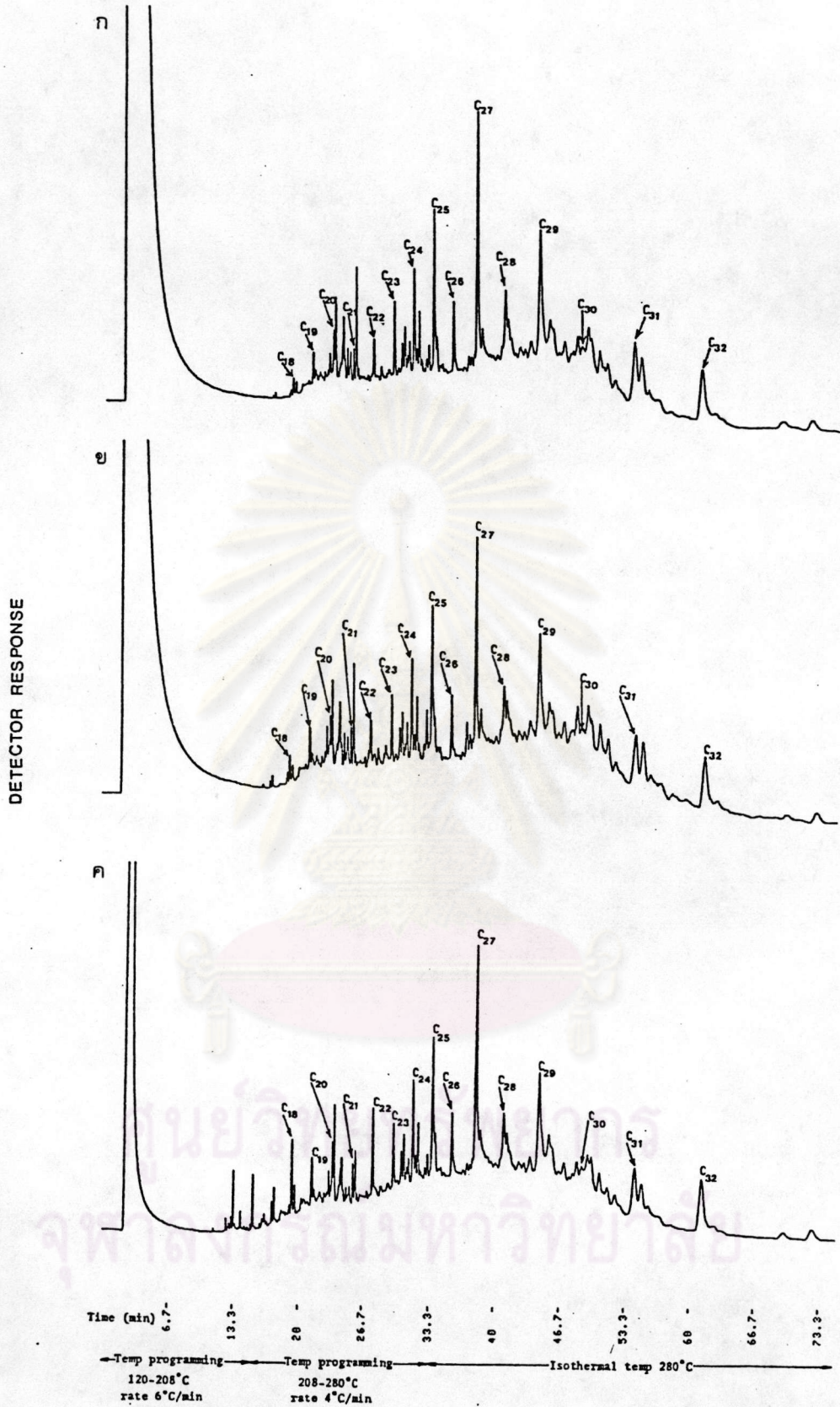


รูปที่ 3.27 แสดงโครมาโตแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์สารพวกพาราฟีนิกไฮโดรคาร์บอนของแหล่งแม่เมาะขนาดกลาง จังหวัดลำปาง

- ก. เมื่อสกัดด้วยเมทิลีนคลอไรด์
- ข. เมื่อสกัดด้วยโทลูอีน/25% เอทานอล
- ค. เมื่อสกัดด้วยเฮกเซน



- รูปที่ 3.28 แสดงโครมาโตแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์สารพหุพาราฟีนิกไฮโดรคาร์บอนของแหล่งถ่านหินแม่เมาะ ขนาด 1 มม. สังกัดลำปาง
- ก. เมื่อสกัดด้วยเมทิลีนคลอไรด์
 - ข. เมื่อสกัดด้วยโทลูอีน/25% เอทานอล
 - ค. เมื่อสกัดด้วยเฮกเซน



รูปที่ 3.29 แสดงโครมาโตแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์สารพวกพาราฟีนิกไฮโดรคาร์บอนของแหล่งถ่านหินแม่เมาะ เคชถ่าน สังกะสีปาง

- ก. เมื่อสกัดด้วยเมทิลีนคลอไรด์
- ข. เมื่อสกัดด้วยโทลูอีน/25% เอทานอล
- ค. เมื่อสกัดด้วยเฮกเซน