

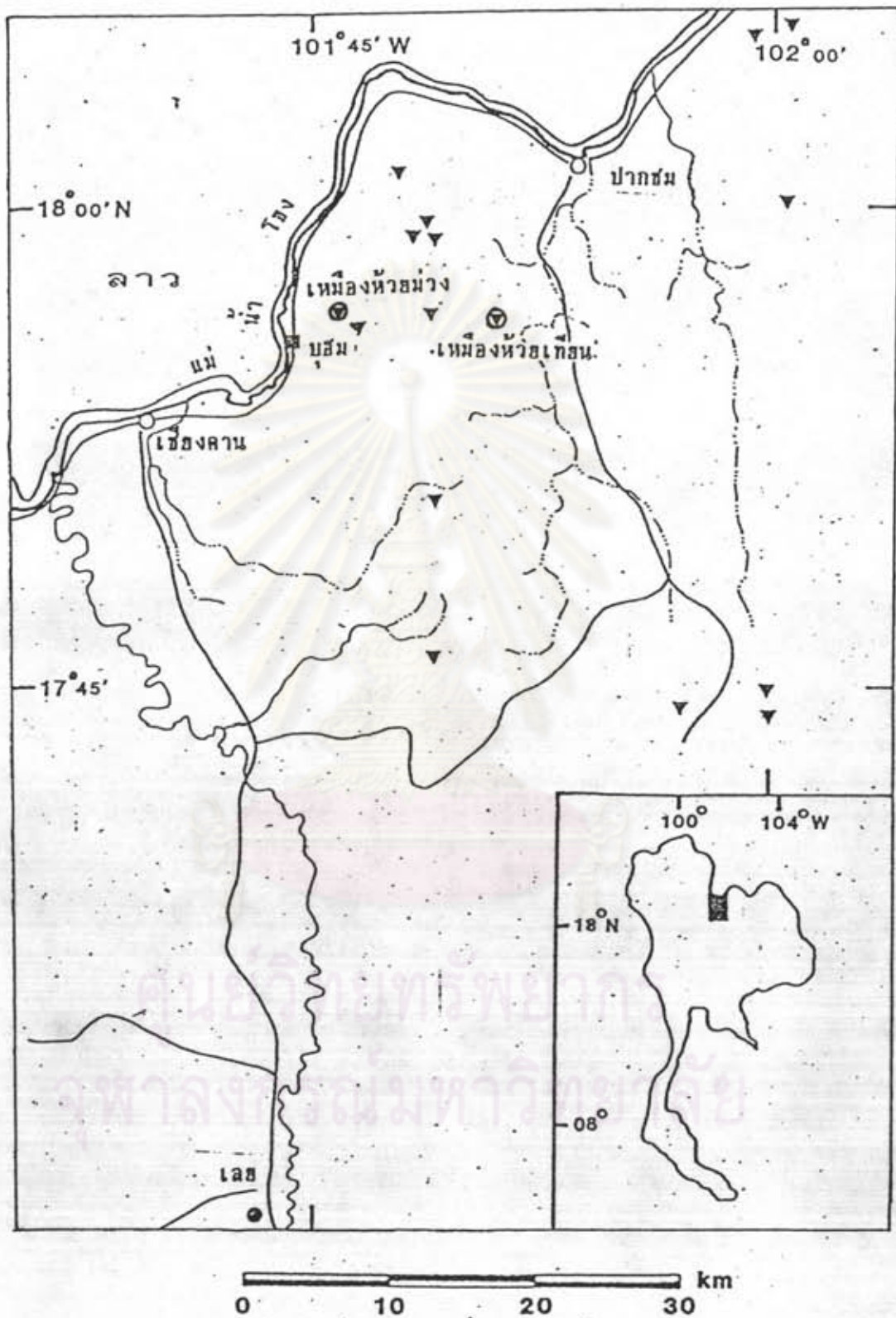
การศึกษาลักษณะเบื้องต้นของแร่แมงกานีสของประเทศไทย

การศึกษาลักษณะเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงคุณภาพของแร่แมงกานีส เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมถ่านไฟฉายนั้น จะศึกษาทั้ง ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานที่ใช้ในการซื้อขาย อันได้แก่ คุณสมบัติในการทำถ่านไฟฉาย และผลวิเคราะห์ทางเคมี ซึ่งจำเป็นต้องมีการตรวจสอบอยู่ทั่วไป รวมไปถึง ลักษณะพื้นฐานที่สำคัญของแร่ อันได้แก่ การศึกษาทางแร่วิทยา เพื่อที่จะบ่งบอกถึงชนิดเฟสของแร่แมงกานีส ลักษณะและชนิดของมลทินที่เกิดขึ้น และการศึกษาการเปลี่ยนแปลงเฟสของแร่ที่อุณหภูมิต่างๆด้วย DTA เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับแนวทางการปรับปรุงคุณภาพ โดยการกำจัดมลทินและเปลี่ยนแปลงเฟสของแร่ ให้เหมาะสมกับการใช้งานต่อไป

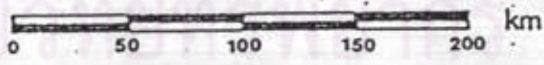
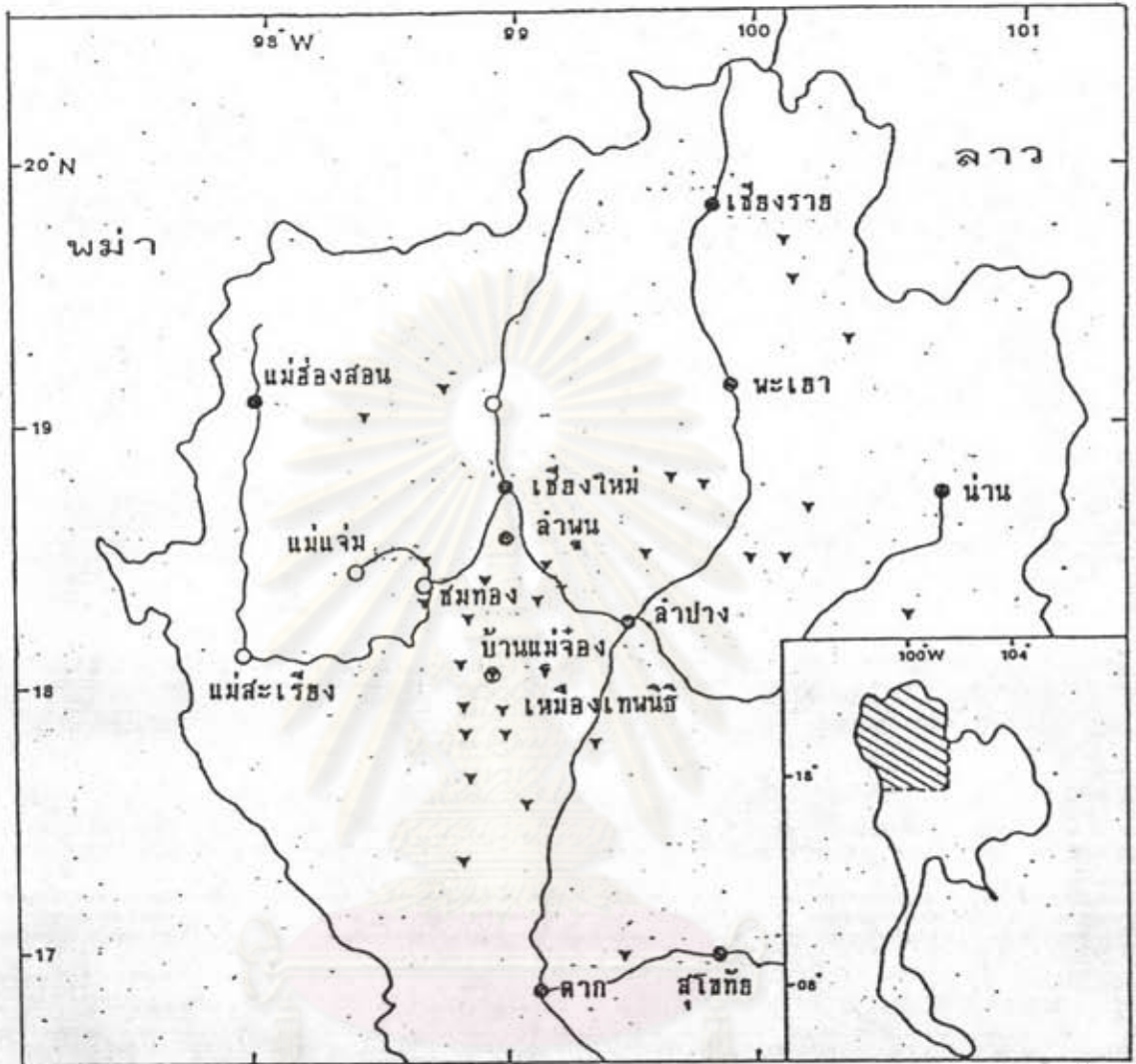
ตัวอย่างแร่ที่จะนำมาศึกษาคั้งนี้ ได้จาก แหล่งแร่แมงกานีสในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ แหล่งที่ อ.เซียงคาน และ อ.ภูกระดึง จ.เลย ซึ่งเป็นแหล่งแร่ที่สำคัญในปัจจุบัน จาก 3 บริเวณคือ ห้วยม่วง ห้วยเทียน และผาขาว นอกจากนี้ยังศึกษาตัวอย่างบางส่วนจาก แหล่งแร่แมงกานีสในภาคเหนือ ได้แก่ แหล่งเทพนิติ อ.ด.จ.ลำพูน ซึ่งเป็นแหล่งแร่แมงกานีสที่มีการผลิตมานาน โดยที่ตั้งของแหล่งแร่ดังกล่าวแสดงอยู่ในภาพที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ และตัวอย่างแมงกานีสไดออกไซด์สังเคราะห์ ของ บริษัทเวนตรอน (Ventron) เพื่อเป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบลักษณะต่างๆด้วย โดยกำหนดชื่อของตัวอย่างดังนี้

1. HM ได้จากเหมืองของบริษัท เหมืองแร่กมทและอีชาวล จำกัด ซึ่งเข้าช่วงมาจากนาสาวราภรณ์ พรหมา ใน ป.บ.ที่ 15464/11377 ตั้งอยู่บริเวณห้วยม่วง ต.บงษ์ อ.เซียงคาน จ.เลย ในระวางที่ 5344I โดยมีลักษณะทางกายภาพเป็นเนื้อเรียบแน่นสีดำ อีกแบบเป็นก้อนสีดำมีรูพรุนอยู่ทั่วไป มีน้ำหนัก จัดเป็นแร่เกรดแบดเดอวี ซึ่งซื้อขายกันอยู่ 2 เกรด คือ ที่  $MnO_2$  82% และที่  $MnO_2$  50-70%

2. HT ได้จากเหมืองของบริษัท วิริยะอุตสาหกรรม จำกัด ป.บ.ที่ 8312/11530 ตั้งอยู่ บริเวณห้วยเทียน ต.บงษ์ อ.เซียงคาน จ.เลย ในระวางที่ 5344I โดยมีลักษณะทางกายภาพเป็นก้อนสีน้ำตาลดำแน่น มีน้ำหนัก จัดเป็นแร่เกรดแบดเดอวีเกรด แต่มีปัญหาเกี่ยวกับปริมาณทองแดงที่เจือปน มีปริมาณสูง



ภาพที่ 3.1 แผนที่แสดงที่ตั้งของแหล่งแนวเมฆกานีสภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (27)



ภาพที่ 3.2 แผนที่แสดงที่ตั้งของแหล่งรวบรวมกาน้ำสภาคเหนือ (27)

3. PK ได้จากเหมืองของ บริษัท อีสานไมนิ่ง จำกัด ป.บ.ที่ 15473/13397 ตั้งอยู่บริเวณบ้านโคกกางม ค.ผาขาว อ.ภูกระดึง จ.เลย ในระวางที่ 5343II โดยมีลักษณะทางกายภาพเป็นก้อนสีน้ำตาลดำแน่น มีน้ำหนัก ลัดเป็นแร่เกรดโลหกรรม

4. LP ได้จากเหมืองของ บริษัท เทนนิซี จำกัด ใน ป.บ.ที่ 9379/8069 ตั้งอยู่บริเวณบ้านแม่จ้อง ค.แม่ตื่น อ.สี จ.ลำพูน ในระวางที่ 4745II โดยมีลักษณะทางกายภาพเป็นก้อนสีน้ำตาลดำแน่น มีรูพรุนบ้าง มีน้ำหนัก (LP1) อีกแบบไม่ค่อขมีน้ำหนัก (LP2) มีพบทั้ง 3 เกรด คือ เกรดโลหกรรม เกรดเคมี และเกรดแบคเตอรี

5. ตัวอย่างสารสังเคราะห์บริสุทธิ์จาก บริษัท เวนทรอน ได้แก่  $MnO_2$  ทั้งแบบธรรมดา ( $\beta-MnO_2$ ) ซึ่งเป็นผงสีเงินวาว และแบบแอคทีเวด ( $\gamma-MnO_2$ ) ซึ่งเป็นผงละเอียดสีดำดำ และเมงกานีสออกไซด์อื่นๆ ได้แก่  $MnO$ ,  $Mn_2O_3$  และ  $Mn_3O_4$  ซึ่งมีลักษณะดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ลักษณะทางกายภาพของสารประกอบเมงกานีสจากบริษัทเวนทรอน

| สารประกอบ      | ลักษณะ      | ความบริสุทธิ์         | ความหนาแน่น |
|----------------|-------------|-----------------------|-------------|
| $\beta-MnO_2$  | ผงสีเงินวาว | Mn(IV)Oxide 99.9%     | 5.076       |
| $\gamma-MnO_2$ | ผงสีดำดำ    | Mn(IV)Oxide Activated | 5.026       |
| $Mn_2O_3$      | ผงสีดำดำ    | Mn(III)Oxide 98%      | 4.50        |
| $Mn_3O_4$      | ผงสีน้ำตาล  | Mn(II,III)Oxide 71.0% | 4.856       |
| $MnO$          | ผงสีเขียว   | Mn(II)Oxide 99.5%     | 5.43-5.46   |

### การทดสอบคุณสมบัติในการทำถ่านไฟฉาย (Activity Test)

การทดสอบคุณสมบัติ ในการเป็นตัวดีโพลาร์ไรเซอร์ในถ่านไฟฉาย ของแร่แมงกานีส ไดออกไซด์นั้น เป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของแร่แมงกานีสเกรดแบตเตอรี่ อาจทดสอบได้หลายวิธี แต่วิธีที่เหมาะสมและนิยมใช้กัน มีอยู่ 3 วิธีได้แก่ การหาแบตเตอรี่แอคติวิตี (B.A.), การหาเคมีคอลแอคติวิตี (C.A.) และการหาอัตราการเกิดของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$  Evolution Test)

#### 1. การหาแบตเตอรี่แอคติวิตี (Battery Activity)

การทดสอบคุณสมบัติในการทำถ่านไฟฉายของแร่แมงกานีส โดยการหาค่า B.A. นั้น เป็นการทดลองให้แร่แมงกานีสทำงานเช่นเดียวกับในถ่านไฟฉายจริงในแบบ Continuous Discharge Test โดยทำเป็นเซลล์ทดสอบขึ้น และใช้โอเลคโตรไลต์ในรูปของเหลว แล้วหาความสามารถในการให้จ่ายกระแสไฟของเซลล์ทดสอบ ผ่านความต้านทาน 5 โอห์ม ในช่วงระยะเวลา 3 ชั่วโมงครึ่ง ตามมาตรฐานที่ได้กำหนดขึ้น ดังมีรายละเอียดต่างๆ แสดงในภาคผนวก ก

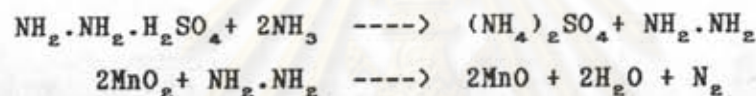
การทดสอบหาค่า B.A. ของตัวอย่างแร่แมงกานีสครั้งนี้ ได้จากการคัดเลือกลักษณะที่แตกต่างของตัวอย่างแร่จากแหล่งต่างๆ ตามที่ได้กล่าวไปแล้ว นำมาบดจนมีขนาด -200 เมช แล้วส่งไปทำการทดสอบที่ สำนักงานทรานซากราฟมีเทค 3 (เชียงใหม่) ซึ่งมีบริการทดสอบ B.A. แก่ผู้สนใจทั่วไป ผลของการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ผลการทดสอบหาค่าแบตเตอรี่แอคติวิตี (B.A.) (หน่วย : วัตต์)

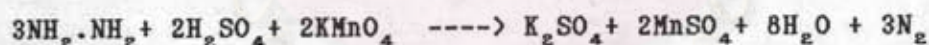
| สถานะการทดลอง                                    | ตัวอย่างแร่แมงกานีส |      |      |      |      |      |                       |                      |      |
|--|---------------------|------|------|------|------|------|-----------------------|----------------------|------|
|  | HM1                 | HM2  | HT   | PK   | LPI  | LP2  | $\gamma\text{-MnO}_2$ | $\beta\text{-MnO}_2$ |      |
| ความต่างศักย์ของ<br>วงจรเปิด                     | 1.61                | 1.61 | 1.60 | 1.43 | 1.60 | 1.45 | 1.77                  | 1.40                 |      |
| ความต่างศักย์ของ<br>วงจรเปิด<br>(จ่ายละ 30 นาที) |                     |      |      |      |      |      |                       |                      |      |
| ช่วงเวลา   | 0                   | 1.44 | 1.45 | 1.48 | 1.29 | 1.45 | 1.34                  | 1.62                 | 1.23 |
|  | 1                   | 1.30 | 1.32 | 1.33 | 1.25 | 1.29 | 1.28                  | 1.48                 | 1.20 |
|  | 2                   | 1.26 | 1.28 | 1.29 | 1.23 | 1.25 | 1.24                  | 1.43                 | 1.18 |
|  | 3                   | 1.24 | 1.25 | 1.26 | 1.20 | 1.22 | 1.21                  | 1.40                 | 1.13 |
|  | 4                   | 1.21 | 1.23 | 1.24 | 1.17 | 1.20 | 1.19                  | 1.37                 | 0.91 |
|  | 5                   | 1.19 | 1.21 | 1.22 | 1.16 | 1.18 | 1.16                  | 1.35                 | 0.86 |
|  | 6                   | 1.17 | 1.19 | 1.20 | 1.12 | 1.15 | 1.13                  | 1.32                 | 0.84 |
|  | 7                   | 1.15 | 1.17 | 1.18 | 0.98 | 1.13 | 1.01                  | 1.30                 | 0.82 |

## 2. การหาเคมีคอลแอคทีวิตี (Chemical Activity)

เป็นการประเมินคุณสมบัติในการทำถ่านไฟฉาย ของแร่แมงกานีสออกไซด์หนึ่งซึ่งทำได้สะดวกและรวดเร็ว เหมาะสำหรับตรวจสอบแร่แมงกานีส ในห้องปฏิบัติการเคมี โดยการหาความสามารถในการปลดปล่อยออกซิเจน (Chemical Oxidation Power) ตามวิธีการของ ดรอตชมัน(Drotschman method for determination of the Activity of  $MnO_2$ ) ซึ่งพัฒนามาจากพื้นฐานที่ว่า รุนรนของแร่แมงกานีสในก้อนสารผสม (Bobbin) ของถ่านไฟฉายนั้นจะเต็มไปด้วยสารละลายแอมโมเนีย ซึ่งระหว่างการปล่อยกระแสไฟฟ้านั้นจะเกิดการรีดิวส์ของ  $Mn^{4+}$  ไปเป็น  $Mn^{2+}$  วิธีการนี้จึงใช้  $MnO_2$  ทำปฏิกิริยากับไฮดราซีนซัลเฟต(Hydrazine Sulphate :  $NH_2.NH_2.H_2SO_4$ ) ในน้ำยาแอมโมเนียเป็นเวลา 2 ชม. เพื่อให้เกิดการรีดิวส์ของแร่แมงกานีสเช่นเดียวกับดังปฏิกิริยา



จากนั้นนำส่วนผสมมากรอง เอาสารละลายที่ได้มาเติมกรดกำมะถัน แล้วอุ่นให้ร้อนถึง  $65^{\circ}C$  นำมาทำปฏิกิริยากับ สารละลายค่างกับทิมมาตรฐาน 0.1 N เพื่อหาปริมาณของไฮดราซีนที่ถูกใช้ไปในการรีดิวส์ดังกล่าว ดังปฏิกิริยา



ซึ่งจะนำมาเทียบกับสารละลายที่ไม่ได้ผสมแร่ (Blank Solution) ทำให้ได้ตัวเลขแสดงค่าของแอคทีวิตีออกมา ซึ่งมีรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข

การทดสอบหาค่า C.A. ของตัวอย่างแร่ทั้งหมดนี้เป็นตัวอย่างเดียวกับการหาค่า B.A. โดยทำการทดสอบที่ ห้องปฏิบัติการเคมี ของภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ฯ ผลของการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ผลการทดสอบหาค่าเคมีลวดดีวีดี (C.A.)

| ตัวอย่าง | เสถียรภาพ |       | KMnO4 ที่เหลือ<br>(มล.) | KMnO4 ที่ใช้ไป<br>(มล.) | C.A.  |
|----------|-----------|-------|-------------------------|-------------------------|-------|
|          | เริ่มต้น  | หยุด  |                         |                         |       |
| Blank    | 7.30      | 30.80 | 23.50                   | 0.00                    | --    |
| HM1      | 2.40      | 15.84 | 13.44                   | 10.06                   | 11.55 |
| HM2      | 18.50     | 31.49 | 12.99                   | 10.51                   | 12.07 |
| HT       | 18.80     | 31.09 | 12.29                   | 11.21                   | 12.87 |
| PK       | 1.10      | 18.70 | 17.60                   | 5.90                    | 6.77  |
| LP1      | 2.10      | 15.91 | 13.81                   | 9.69                    | 11.13 |
| LP2      | 15.00     | 30.70 | 15.70                   | 7.80                    | 8.95  |
| r-MnO2   | 23.80     | 34.60 | 10.80                   | 12.70                   | 14.57 |
| p-MnO2   | 0.70      | 23.70 | 23.00                   | 0.50                    | 0.57  |

หมายเหตุ ค่าของมิลลิกรัม KMnO4 มาตรฐานที่ใช้คือ 0.1148 N

3. การหาอัตราการเกิดของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub> Evolution Test)

วิธีการนี้ใช้เพื่อศึกษา อัตราของการเกิดปฏิกิริยาของแมงกานีสไดออกไซด์ ว่าออกซิเจนที่ปลดปล่อยได้ (Available Oxygen) ในร่นั้นๆ จะสามารถทำปฏิกิริยารวดเร็วมากน้อยเพียงไร โดยให้ตัวอย่างแร่ทำปฏิกิริยากับกรดออกซาลิก (Oxalic acid) ในกรดกำมะถัน ซึ่งจะให้ผลดังนี้

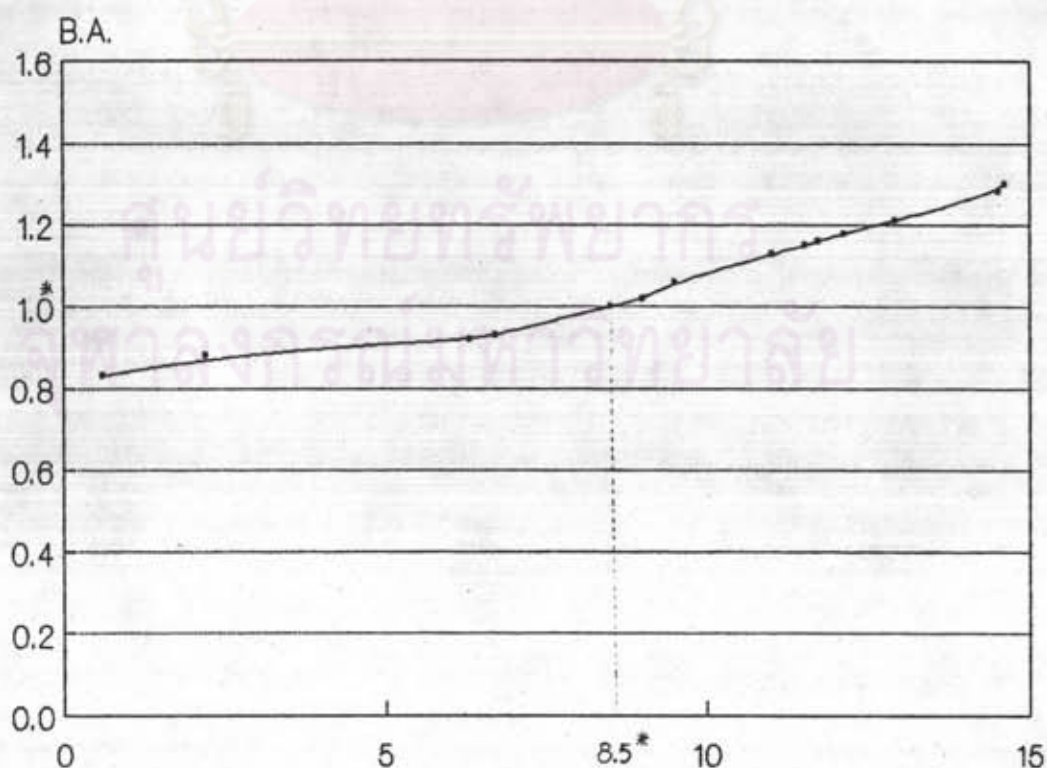


อัตราการเกิด (Evolution) ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะขึ้นอยู่กับ คุณสมบัติของแร่ว่าจะสามารถทำปฏิกิริยากับกรดออกซาลิก ได้รวดเร็วมากน้อยอย่างไร หรือเป็นไปในลักษณะคงที่ และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากน้อยเท่าใด เป็นเครื่องแสดงให้ทราบได้ว่าร่นั้นๆ ควรมีคุณสมบัติอย่างไรเมื่อนำเขาไปใช้งานแล้ว ซึ่งรายละเอียดแสดงใน ภาคผนวก ค

#### 4. ผลสรุปและข้อคิดเห็นในการทดสอบคุณสมบัติในการทำด้านไฟฉาย

ผลการทดสอบแร่จากแหล่งต่างๆ นั้น สรุปได้ว่า แร่จากแหล่งห้วยม่วง, ห้วยเทียน และจากเทพนิธิ จะมีแอกติวิตี แต่แร่จากแหล่งผาขาวเป็นแร่ที่ไม่มีแอกติวิตี

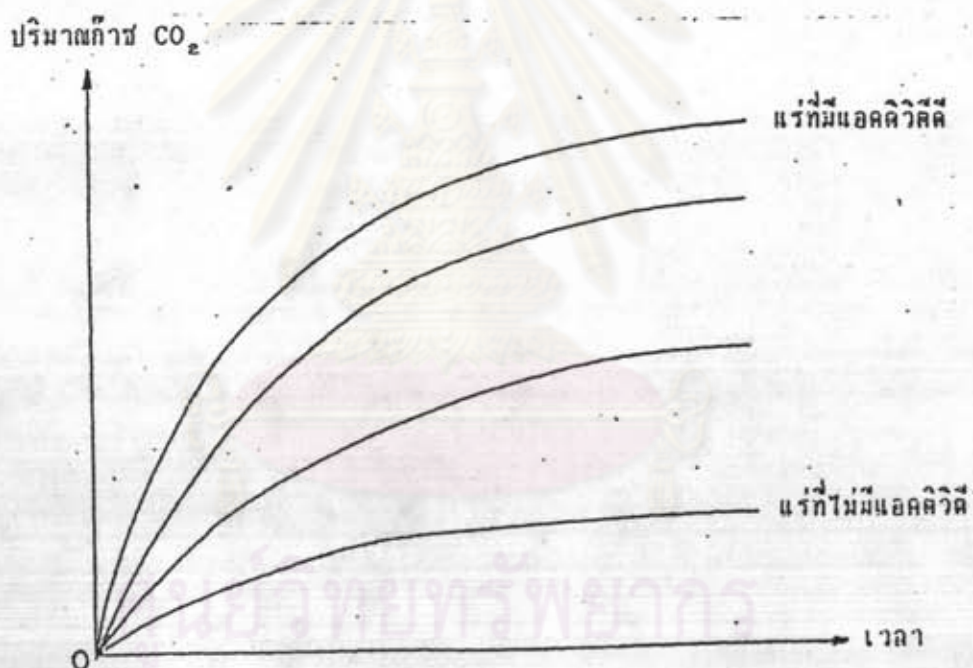
การทดสอบแร่แมงกานีส ว่าจะมีควมว่องไวเพียงพอในการทำด้านไฟฉายได้หรือไม่ นั้น สามารถที่จะใช้การตรวจสอบโดยการหาค่า B.A., C.A. และ  $\text{CO}_2$  Evolution Test ได้ทั้ง 3 วิธี และการทดลองจะต้องให้ได้ผลตรงกัน ซึ่งวิธีที่ดีและเหมาะสมในทางปฏิบัติคือ การหาค่า B.A. และ C.A. โดยการทดสอบค่า B.A. เหมาะสำหรับทางอุตสาหกรรม ซึ่งจะต้องทำการทดสอบเป็นประจำสม่ำเสมอ เพราะสามารถที่จะซื้ออุปกรณ์มาตรฐานมาทดสอบได้ และเป็นวิธีที่สะดวกพอสมควรและให้ค่าถูกต้อง แต่ต้องใช้ระยะเวลาทดสอบประมาณ 2 วัน ทั้งนี้ เพราะต้องเตรียมน้ำยาทุกครั้งที่ทำกรทดสอบเนื่องจากน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ดังกล่าวไม่สามารถจะเก็บไว้นานวัน และในการอัดแท่งส่วนผสมสีค่านั้น ถ้าใช้แรงอัดไม่ดีนอกร์จะทำให้เนื้อส่วนผสมแตกได้ง่าย สำหรับการทดสอบค่า C.A. นั้น เหมาะสำหรับการตรวจแร่แมงกานีสในห้องปฏิบัติการเคมี เป็นวิธีที่ดีให้ค่าถูกต้อง แต่ยังไม่มีการใช้ทดสอบกันในโรงงานทำด้านไฟฉาย และใช้เวลาคอลงภายในวันเดียว สะดวกและรวดเร็ว ซึ่งได้ทดลองหาความสัมพันธ์กับ B.A. ดังกราฟ ภาณที่ 3.3 จากข้อมูลการทดสอบแร่แมงกานีสตัวอย่างเดียวกัน ด้วยวิธีการทั้งสองแบบ ซึ่งมีข้อมูลบางส่วนเพิ่มเติมมาจากเอกสารของ ดร.สันต์ รัชฎาวงศ์ (22)



ภาณที่ 3.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง B.A. กับ C.A.



ส่วนวิธีการหาอัตราการเกิดของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นี้ เป็นการหาอัตราการทำปฏิกิริยาของแร่ในถ่านไฟฉาย ซึ่งอาจไม่สะดวกในทางปฏิบัติที่จะนำมาใช้ทดสอบเป็นประจำเพื่อหาเป็นค่าออกมา แต่อาจนำไปประยุกต์ใช้ในงานภาคสนามโดยการใช้หลอดไฟแอลซีไฟในบีกเกอร์ เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 25% และกรดออกซาลิกเข้มข้น 25% ลงให้ท่วมแร่พอสมควร สิ่งเกิดคืออัตราการก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบีกเกอร์ ถ้ามีฟองมากและรวดเร็วแสดงว่าแร่ให้ออกซิเจนได้ดี โดยไม่ต้องหาค่าออกมาเป็นตัวเลขที่แน่นอน เพราะจากการทดสอบตามวิธีนี้ (22) โดยใช้แร่แมงกานีสที่ทราบค่า C.A. จากแหล่งต่างๆมาทดสอบ ผลปรากฏว่า แร่ที่มีแอกติวิตีจะให้ฟองก๊าซเกิดมากในทุกๆ 5 นาที จนกว่าจะสิ้นสุดปฏิกิริยา ส่วนแร่ที่ไม่มีแอกติวิตี จะมีปฏิกิริยาเฉื่อย อัตราการเกิดค่อนข้างช้า ปริมาณก๊าซจะน้อยเมื่อเทียบกับแร่ที่มีแอกติวิตีในเวลาเท่ากัน ดังกราฟภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 กราฟแสดงปริมาณก๊าซ  $\text{CO}_2$  ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาต่างๆ (22)

## การวิเคราะห์ทางเคมีของแอมมอกาไนต์

การวิเคราะห์แอมมอกาไนต์ถือว่ามีความสำคัญมาก นอกเหนือจาก การทดสอบคุณสมบัติ ในการทำถ่านไฟฉาย (Activity Test) เพราะจะทำให้ทราบว่า แอมมอกาไนต์นั้นๆ มีปริมาณ ส่วนประกอบที่เหมาะสมต่อการใช้ทำถ่านไฟฉายตามมาตรฐานที่กำหนดในการซื้อขายหรือไม่ โดย การตรวจสอบหาปริมาณของออกซิเจนที่อาจปลดปล่อยออกมาได้ (Available Oxygen) ใน รูปของ  $MnO_2$  และมีปริมาณส่วนประกอบอื่น ที่อยู่ในรูปของธาตุมลทิน อาทิเช่น เหล็ก ทองแดง และตะกั่ว ในปริมาณที่สูงเกินไปหรือไม่ เพราะธาตุมลทินดังกล่าวอาจก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพ ของถ่านไฟฉายอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ธาตุที่ละลายได้ในอิเล็กโทรไลต์ในถ่านถ่าน ไฟฉายซึ่งมีลักษณะเป็นกรด เหล็กที่อยู่ในสภาวะเฟอร์ริก ( $Fe^{3+}$ ) จะไม่เป็นอันตรายมากนัก แต่ หากอยู่ในรูปเฟอร์รัส ( $Fe^{2+}$ ) ซึ่งละลายได้ง่ายแล้ว จะเป็นอันตรายต่อถ่านไฟฉายมาก ส่วน ทองแดงนั้นเป็นอันตรายในทุกลักษณะ เนื่องจากเป็นตัวอิเล็กโทรเนกาตีฟ กับสังกะสีในถ่านไฟ ฉาย จึงต้องจำกัดปริมาณอย่างมาก ตะกั่ว, นิเกิล และโคบอลต์ ก็เป็นอันตรายเช่นกัน หากมี ปริมาณมากเกินไป

การหาปริมาณส่วนประกอบของแอมมอกาไนต์ที่สำคัญ และจำเป็นต้องใช้การวิเคราะห์ แบบเปียก (Wet Analysis) โดยวิธีหาปริมาตร (Volumetric Method) ในแบบไตเตรต (Titrimetric Method) ได้แก่  $MnO_2$  เนื่องจากต้องการค่าในรูปของสารประกอบ ส่วน การหาปริมาณของธาตุอื่นนั้น ก็อาจใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ ดังรายละเอียดในภาคผนวก ซึ่ง ค่อนข้างช้าและยุ่งยากกว่า หรือใช้การวิเคราะห์โดยเครื่องมือ (Instrumental Analysis) เช่น AAS หรือ XRF เข้าช่วยหาชนิดและปริมาณของธาตุได้สะดวกและรวดเร็วขึ้น ซึ่งในการ ศึกษาครั้งนี้จะใช้วิธีวิเคราะห์แบบเปียก เฉพาะการหาปริมาณ  $MnO_2$  ส่วนธาตุอื่นนั้นจะใช้การ วิเคราะห์ด้วย AAS ในการหาปริมาณธาตุที่ต้องการทราบ และ XRF ในการหาชนิดของธาตุที่ปน

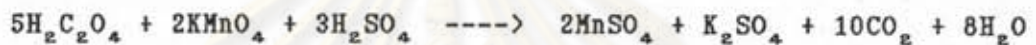
### 1. การวิเคราะห์แบบเปียก (Wet Analysis)

เป็นการวิเคราะห์ตัวอย่างแร่ในห้องปฏิบัติการเคมี โดยวิธีการหาปริมาตรในแบบไตเตรต ซึ่งใช้หาปริมาณของ  $MnO_2$ , Total Mn, Fe และธาตุอื่นๆ ในตัวอย่างแร่ โดยวิธีนี้จะ ให้สารที่เราต้องการหาปริมาณ ทำปฏิกิริยากับ สารประกอบชนิดหนึ่ง (Reducing Agent) ซึ่งทราบปริมาณแน่นอน จากนั้นทำการไตเตรตหาปริมาณของสารประกอบนั้นที่เหลือจากปฏิกิริยา ที่ทำกับสารที่ต้องการวิเคราะห์

1.1 การวิเคราะห์หาปริมาณแมงกานีสไดออกไซด์ ( $MnO_2$ ) เป็นการหาปริมาณออกซิเจนที่อาจปลดปล่อยได้จากออกไซด์ของ  $Mn^{4+}$  โดยเริ่มจากการให้แร่ทำปฏิกิริยากับกรดกำมะถัน ( $H_2SO_4$ ) โดยให้สารละลายโซเดียมออกซาเลต (Sodium Oxalate :  $Na_2C_2O_4$ ) เป็นตัวรีดิวส์แมงกานีสในแร่ที่อยู่ในรูปของแมงกานีส ( $Mn^{4+}$ ) ให้ละลายตัวเป็นแมงกานีสซัลเฟต ดังปฏิกิริยา



นำสารละลายที่ได้มาไตเตรตกับสารละลายค่างทับทิมมาตรฐาน เพื่อหาปริมาณของโซเดียมออกซาเลตที่เหลืออยู่ ดังปฏิกิริยา



นำไปลบกับปริมาณสารละลายค่างทับทิมมาตรฐาน ที่ได้จากการไตเตรตกับ สารละลายที่ไม่ได้ผสมแร่ (Blank Solution) ก็จะคำนวณหาปริมาณ  $MnO_2$  ได้ ซึ่งมีรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ง

การวิเคราะห์หาปริมาณ  $MnO_2$  ของตัวอย่างแร่จากแหล่งต่างๆ ทำการทดสอบที่ห้องปฏิบัติการเคมี ของภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ฯ ซึ่งผลการวิเคราะห์เห็นส่งไว้ในตารางที่ 3.4

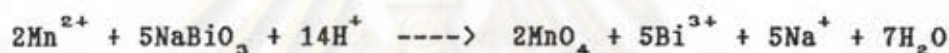
ตารางที่ 3.4 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณ  $MnO_2$

| ตัวอย่าง | เลขชั่งน้ำหนัก |      | $KMnO_4$ ที่เหลือ<br>(มล.) | $KMnO_4$ ที่ใช้ไป<br>(มล.) | $MnO_2$ |
|----------|----------------|------|----------------------------|----------------------------|---------|
|          | เริ่มต้น       | หยุด |                            |                            |         |
| Blank    | 2.1            | 45.3 | 43.20                      | 0.00                       | --      |
| HM1      | 1.2            | 12.3 | 11.10                      | 32.10                      | 80.10   |
| HM2      | 18.6           | 29.9 | 11.30                      | 31.90                      | 79.60   |
| HT       | 1.7            | 16.5 | 14.80                      | 28.40                      | 70.86   |
| PK       | 2.4            | 22.7 | 20.30                      | 22.90                      | 57.14   |
| LP1      | 22.7           | 30.5 | 7.80                       | 35.40                      | 88.33   |
| LP2      | 2.3            | 24.1 | 21.80                      | 21.40                      | 53.40   |
| β-MnO2   | 12.6           | 14.2 | 1.60                       | 20.00                      | 99.81   |
| γ-MnO2   | 12.3           | 18.6 | 6.30                       | 36.90                      | 92.07   |

หมายเหตุ ค่าอนุโมลลิของ  $KMnO_4$  มาตรฐานที่ใช้คือ 0.1148 N

$MnO_2 = 0.004347 \times (N \text{ ของ } KMnO_4 / 0.1) / \text{มล. คร} \times 100 \times \text{มล. ที่ใช้ไป}$

1.2 การวิเคราะห์หาปริมาณแมงกานีสทั้งหมด (Total Mn) เป็นการหาปริมาณแมงกานีสทั้งหมดที่เกิดอยู่ใน รูปสารประกอบอื่น หรือออกไซด์อื่น นอกจากออกไซด์ของ  $Mn^{2+}$  โดยเริ่มจากการแยกละลายแมงกานีสออกมาจากรูปร่างจากการให้แร่ทำปฏิกิริยากับกรดดินประสิว ( $HNO_3$ ) โดยมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) เป็นตัวช่วยรีดิวซ์แร่ จะทำให้ได้สารละลายที่มีแมงกานีสอยู่ในรูปของแมงกานีส ( $Mn^{2+}$ ) นำมากรองแยกจะเหลือทิ้งไว้แต่ตะกอนสีขาวของควอทซ์ ( $SiO_2$ ) แต่ในกรณีที่มีแมงกานีส ในรูปของแมงกานีสซิลิเกต ( $MnSiO_4$ ) จะทำให้ได้ตะกอนสีอื่น ซึ่งจะไม่ถูกละลายด้วยวิธีดังกล่าว ต้องนำเอาตะกอนนั้นมาทำให้หลอมละลาย (Fusion) โดยใช้โปตัสเซียมไบซัลเฟต ( $KHSO_4$ ) เป็นฟลักซ์ช่วยในการหลอม แล้วนำสารหลอมมาต้มกับกรดดินประสิว จึงจะได้สารละลายของแมงกานีสออกมาอีก ทำการกรองเอาสารละลาย แล้วนำไปรวมกับสารละลายที่ได้ในครั้งแรก นำมาหาปริมาณของแมงกานีสทั้งหมด โดยการออกซิไดซ์สารละลายด้วยโซเดียมบิสมัทเทต (Sodium Bismuthate) จะได้แมงกานีสในรูปของกรดเปอร์แมงกานิก (Permanganic :  $HMnO_4$ ) ดังปฏิกิริยา



ซึ่งกรดเปอร์แมงกานิกนี้ จะคงอยู่ได้ในสภาวะของกรดไนตริกเจือจาง (20-40%) ที่เย็นเท่านั้น จึงต้องควบคุมสภาวะให้เหมาะสมตลอดเวลา นำมากรองแยกออกจากตะกอนแล้วทำการรีดิวซ์สารละลายเปอร์แมงกานิกที่ได้ ด้วยเฟอร์รัสไอออน ( $Fe^{2+}$ ) โดยให้ทำปฏิกิริยากับสารละลายเฟอร์รัสซัลเฟต (Ferrous Solution) ดังปฏิกิริยา

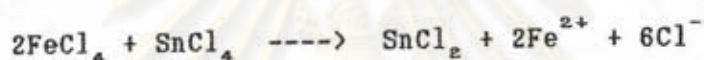


จากนั้นนำมาทำปฏิกิริยากับ สารละลายค่าเท่ากับมาตรฐาน 0.1 N เพื่อหาปริมาณของเฟอร์รัสที่เหลือจากปฏิกิริยารีดิวซ์ดังกล่าว ซึ่งต้องนำมาเทียบกับผลที่ได้จากสารละลายที่ไม่ได้ผสมแร่ (Blank Solution) ก็จะคำนวณหาปริมาณของธาตุแมงกานีสทั้งหมด ที่มีอยู่ในแร่ได้ ดังรายละเอียดแสดงใน ภาคผนวก จ

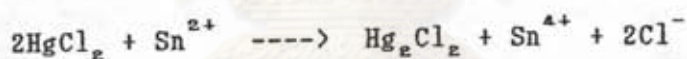
ในการศึกษาครั้งนี้ใช้การวิเคราะห์โดยเครื่อง AAS ซึ่งผลการทดลองแสดงในตาราง

ที่ 3.6

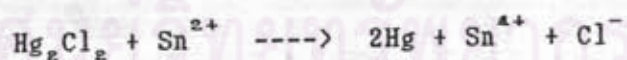
1.3 การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กโดยวิธีสแตนนัสคลอไรด์ เริ่มจากการแยกเหล็กออกจากแร่ โดยนำมาละลายให้เหล็กอยู่ในรูปของเฟอริก ( $\text{Fe}^{3+}$ ) ซึ่งอาจมีเฟอรัส ( $\text{Fe}^{2+}$ ) ปนอยู่บ้าง ซึ่งทำได้หลายวิธีเช่น การละลายด้วยกรดเกลือ ( $\text{HCl}$ ) โดยใช้กรดดินประสิว ( $\text{HNO}_3$ ) เป็นตัวช่วยที่อุณหภูมิ ประมาณ  $80-90^\circ\text{C}$  นำมากรองแยก เอาสารละลายเหล็กออกจากตะกอน หรือ ใช้วิธี Basic Acetate Method โดยการละลายด้วยกรดเกลือ แล้วเติมสารละลาย โซเดียมคาร์บอเนตลงไป จนมีตะกอนสีแดงเกิดขึ้น จึงเติมกรดน้ำส้มเข้มข้นลงไป 3 มล. เพื่อละลายตะกอน ทำให้เจือจางเป็น 500 มล. คั้นให้เคঁอด แล้วเติมสารละลายโซเดียมอะซิเตต (30%) ลงไป 6 มล. คั้นทิ้งไว้ให้ตะกอนรวมตัวกัน จึงนำมารองเอาสารละลายเหล็กออกจากตะกอน นำสารละลายเหล็กที่ได้มาอุ่นให้ร้อนเพื่อให้เกิดเป็นเหล็กในรูปของเฟอรัส ซึ่งจะนำมาหาปริมาณของเฟอรัสที่อยู่ในสารละลายต่อไป โดยการรีดิวด้วย สแตนนัสคลอไรด์ ( $\text{SnCl}_4$ ) ดังปฏิกิริยา



นำมาทำให้เย็นจัด แล้วกำจัดสแตนนัสคลอไรด์ ส่วนที่เกิดด้วยเมอคิวริคคลอไรด์ ( $\text{HgCl}_2$ ) จะได้ตะกอนเป็นสายอุ้งขาวเหมือนมุกของเมอคิวริคคลอไรด์ ( $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ ) ดังปฏิกิริยา



ต้องระวัง! การเกิดตะกอนสีดำของปรอท อันเนื่องจากการเติมสแตนนัสคลอไรด์มากเกินไป ดังปฏิกิริยา

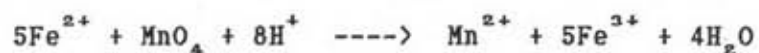


เพราะตะกอนของปรอท สามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายค่างทับทิมในชั้นต่อไปได้ ซึ่งสารละลายนี้จะใช้ต่อไปไม่ได้ ต้องเริ่มเตรียมใหม่ แล้วเติม สารละลายซิมเมอร์แมน (Zimmermann-Reinhardt) ซึ่งเป็นสารละลายผสมของ  $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  กับ  $\text{H}_2\text{SO}_4$  และ  $\text{H}_3\text{PO}_4$  ช่วยในการไตเตรต (Titrating Mixture) โดยจะควบคุมสภาวะไม่ให้เกิดปฏิกิริยาระหว่าง คลอรีน อีออนกับสารละลายค่างทับทิม ดังสมการ



และโดยที่ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นไม่ดีที่อุณหภูมิต่ำ จึงต้องให้สารละลายนี้อยู่ในสภาวะเย็นจัด และยังช่วยไม่ให้เฟอรัสถูกออกซิไดซ์ด้วยอากาศเป็นเฟอริคด้วย นำสารละลายดังกล่าวมาไตเตรตกับ

สารละลายต่างกับที่มึนเนื้อหาปริมาณของเฟอร์รัสที่มีอยู่ในสารละลาย ดังปฏิกิริยา



ก็จะคำนวณหาปริมาณของธาตุเหล็กที่มีอยู่ในแร่ได้ ดังรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ง

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้การวิเคราะห์โดยเครื่อง AAS ซึ่งผลการทดลองแสดงในตาราง

ที่ 3.6



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 2. การวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ (Instrumental Analysis)

เป็นการวิเคราะห์ธาตุในตัวอย่างแร่ โดยใช้การวัดจากคุณสมบัติทางกายภาพของธาตุเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งวิธีที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ จะใช้วิเคราะห์ในเชิงปริมาณโดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชัน (AAS) และวิเคราะห์ในเชิงคุณภาพโดยใช้เครื่องรังสีเอ็กซ์เรย์ในแบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive XRF)

### 2.1 การวิเคราะห์ธาตุในแร่แมงกานีสด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชัน (AAS)

การวิเคราะห์โดย เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันในแบบเปลว (Flame Atomic Absorption Spectrophotometer) เป็นการวิเคราะห์ธาตุจากหลักการดูดกลืนคลื่นแสงของอะตอม โดยการอะตอมไนซ์สารตัวอย่างด้วยเปลวไฟที่ได้จากออกซิแดนต์ (Oxidant) และเชื้อเพลิง จากการฉีดสารละลายตัวอย่างเข้าไปในเปลวไฟ เพื่อให้โมเลกุลของสารละลายตัว และเปลี่ยนเป็น อะตอมอิสระที่เป็นไอ ในสภาวะพื้น (Ground State) เมื่อมีคลื่นแสง จากแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสม ซึ่งแหล่งกำเนิดแสงนี้ ส่วนใหญ่จะใช้หลอดฮอลโลแคโทด (Hollow Cathode Lamp) ซึ่งมีอาโนดเป็นทั้งสแตนเลสและคาโทดทำจากธาตุที่ต้องการจะวิเคราะห์ เมื่อมีศักย์ไฟฟ้าคล่อมขั้วทั้งสองจะเกิดการไอออไนซ์ และเกิดแสงที่มีความยาวคลื่นเฉพาะของธาตุนั้นๆ ออกมา ผ่านเข้าไปชนอะตอมอิสระดังกล่าว อะตอมนี้จะดูดกลืนปริมาณแสงเอาไว้ ทำให้ปริมาณแสงผ่านเข้าสู่เครื่องวัดน้อยลง โดยค่าการดูดกลืนนี้ จะขึ้นกับความเข้มข้นของธาตุที่อยู่ในสารละลายนั้น

การวิเคราะห์ธาตุในตัวอย่างแร่ด้วยวิธีนี้ จึงเป็นการวิเคราะห์ในรูปของสารละลาย เช่นเดียวกับการวิเคราะห์แบบเปียกในห้องปฏิบัติการเคมี สามารถวิเคราะห์ได้หลายธาตุจากการเตรียมสารละลายแร่เพียงครั้งเดียว ทำให้สะดวกและรวดเร็วกว่าการวิเคราะห์แบบเปียก โดยเฉพาะในกรณีที่มีตัวอย่างแร่จำนวนมาก ซึ่งต้องวิเคราะห์หลายธาตุที่เหมือนกัน และให้ผลวิเคราะห์ที่แม่นยำดี แต่จะใช้วิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบ เช่น  $MnO_2$  ไม่ได้ วิธีกาที่ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วยรายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ข

การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุในตัวอย่างแร่ทั้งหมดนี้ เป็นตัวอย่างเดียวกับ การหาค่า B.A., C.A. และปริมาณ  $MnO_2$  โดยทำการเตรียมและทดสอบ ที่ห้องปฏิบัติการเคมี ของภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ฯ และห้องเครื่อง AAS ของภาควิชาธรณีวิทยา โดยมีผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุในสารละลายแร่ จากการดูดกลืนคลื่นแสงได้ ดังตารางที่ 3.5 นำมาคำนวณย้อนกลับเป็นปริมาณธาตุในตัวอย่างแร่ ดังแสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.5 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุโลหะหนักด้วย AAS

| ตัวอย่าง | Mn         |     | Fe         |     | Cu         |      | Pb         |     |
|----------|------------|-----|------------|-----|------------|------|------------|-----|
|          | การดูดกลืน | ppm | การดูดกลืน | ppm | การดูดกลืน | ppm  | การดูดกลืน | ppm |
| HM1      | 0.781      | 83  | 0.140      | 6   | 0.009      | 0.20 | 0.014      | 1.0 |
| HT       | 0.703      | 73  | 0.584      | 68  | 0.088      | 1.90 | 0.011      | 0.8 |
| PK       | 0.573      | 60  | 0.641      | 98  | 0.063      | 1.40 | 0.010      | 0.7 |
| LP1      | 0.842      | 90  | 0.168      | 7   | 0.007      | 0.15 | 0.008      | 0.5 |
| LP2      | 0.553      | 58  | 0.646      | 99  | 0.091      | 0.40 | 0.015      | 1.1 |

ตารางที่ 3.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วย AAS

| ตัวอย่าง | ผ่านปรอท |      |       |       |
|----------|----------|------|-------|-------|
|          | Mn       | Fe   | Cu    | Pb    |
| HM1      | 51.9     | 1.2  | 0.010 | 0.014 |
| HT       | 45.8     | 13.6 | 0.095 | 0.011 |
| PK       | 37.5     | 19.6 | 0.070 | 0.010 |
| LP1      | 56.5     | 1.4  | 0.007 | 0.008 |
| LP2      | 35.8     | 19.8 | 0.020 | 0.015 |

ศูนย์วิจัยและพัฒนา  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## 2.2 การวิเคราะห์ธาตุในแร่ผงงานนี้ด้วยวิธีการเรืองรังสีเอ็กซ์ (XRF)

รังสีเอ็กซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นมาก อยู่ในช่วงประมาณ 0.01-10 นาโนเมตร ซึ่งตามปรกติการวิเคราะห์ธาตุมักจะเรียกรังสีเอ็กซ์ตามขนาดพลังงานของรังสีเอ็กซ์นั้นว่ามีหน่วยเป็น กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ (keV) ซึ่งสัมพันธ์กับความยาวคลื่นดังสมการ

$$E \text{ (keV)} = 1.2396/\lambda \text{ (nm)}$$

เมื่อรังสีเอ็กซ์ที่มีความยาวคลื่นหนึ่งกระทบสาร จะเกิดอันตรกิริยาขึ้นหลายแบบ ซึ่งบางส่วนจะถูกดูดกลืนโดยอะตอม และปล่อยโฟโตอิเล็กตรอนออกมา ทำให้เกิดรังสีเอ็กซ์เฉพาะตัว (Characteristic X-Rays) ของธาตุนั้นๆ ซึ่งจะมีความยาวคลื่นต่างกันออกมา ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า "การเรืองรังสีเอ็กซ์" (X-Ray Fluorescence)

ระบบของการวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอ็กซ์เรื่อนั้น (75)(77)(79) อาจแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ๆคือ ขั้นตอนกระตุ้นให้เกิดรังสีเอ็กซ์เรื่อ ซึ่งอาจใช้การกระตุ้นได้หลายแบบเช่น การกระตุ้นด้วยลำอิเล็กตรอน, การกระตุ้นด้วยไอโซโทปกัมมันตรังสี และการกระตุ้นด้วยหลอดรังสีเอ็กซ์ เป็นต้น ซึ่งมักนิยมใช้ในแบบสุดท้าย อีกขั้นหนึ่งคือ การวัดรังสีเอ็กซ์เรื่อที่เกิดขึ้น ซึ่งมีวิธีการวัดได้ 2 แบบคือ

แบบอีดีเอส (EDS: Energy Dispersive Spectrometer) ระบบนี้หลอดรังสีเอ็กซ์ที่ใช้จะเป็นประเภทพลังงานต่ำ ขนาด 10-50 วัตต์ และให้กำเนิดรังสีเอ็กซ์ปฐมภูมิที่พลังงานต่อเนื่อง ได้ตั้งแต่ 0-50 keV. หัววัดรังสีที่นิยมใช้จะต้องเป็นประเภทที่ความสามารถในการแจกแจงพลังงานสูง ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ หัววัดรังสีแบบกึ่งตัวนำ Si(Li) (Lithium Drifted Silicon) ซึ่งเหมาะสำหรับการวัดรังสีเอ็กซ์เรื่อ ที่มีพลังงานในช่วง 1.5-30 keV. หรือ หัววัด HPGe (High Purity Germanium) ซึ่งสามารถวัดรังสีเอ็กซ์ได้ในช่วงกว้าง 3-200 keV. โดยหัววัดนั้นเปลี่ยน พลังงานของรังสีเอ็กซ์ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าในรูปของศักดาไฟฟ้า ซึ่งขนาดของสัญญาณไฟฟ้าที่ทางออกของหัววัดจะเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับพลังงานของรังสีเอ็กซ์ที่ตกกระทบบนหัววัด เครื่องวัด MCA จะเก็บสัญญาณไฟฟ้าจากหัววัดในหน่วยความจำที่อยู่ในเครื่อง และสามารถแสดงผลการวิเคราะห์บนจอภาพ หรือบันทึกสเปกตรัมลงในกระดาษกราฟ พร้อมทั้งผลวิเคราะห์เชิงปริมาณด้วยวิธีการของโปรแกรมสำเร็จรูปที่มีอยู่ในเครื่องวัด MCA ซึ่งมีความซับซ้อนแตกต่างกันแล้วแต่แบบชนิดของบริษัทผู้ผลิต

แบบดับเบิลยูดีเอส (WDS: Wavelength Dispersive Spectrometer) ระบบนี้จะใช้ หลอดรังสีเอ็กซ์พลังงานสูงขนาด 1-3 กิโลวัตต์ ทั้งนี้เพราะรังสีเอ็กซ์เรื่อที่เกิดขึ้น

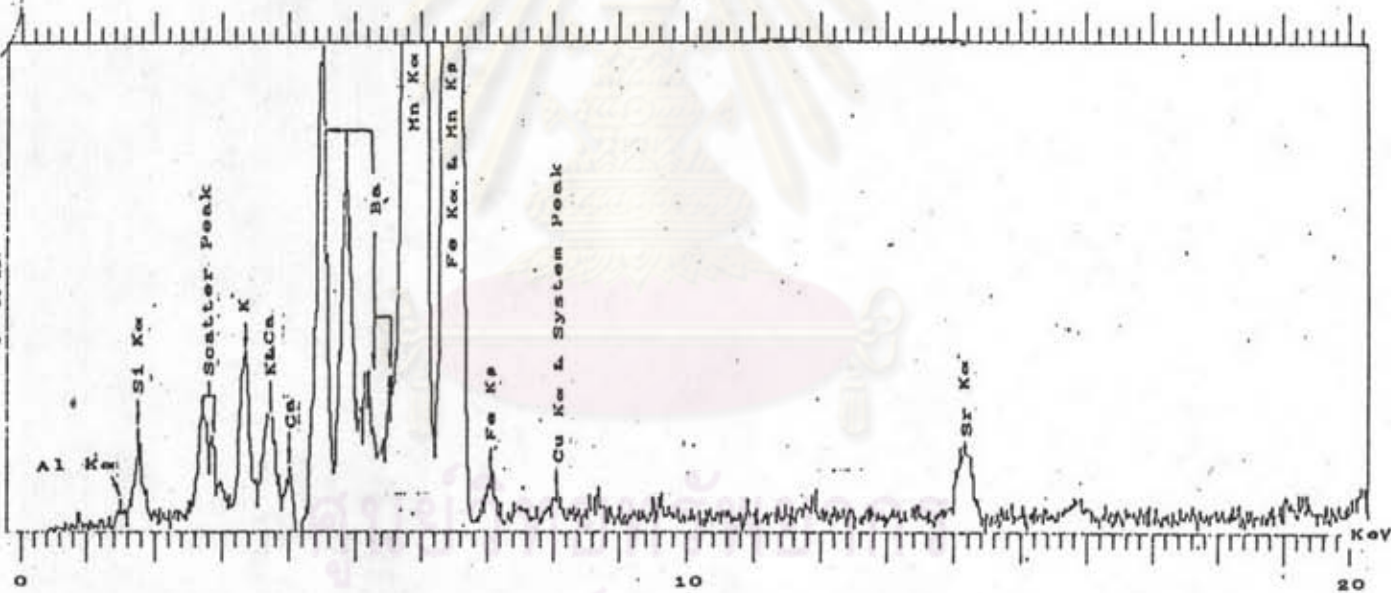
ก่อนที่จะเข้าไปยังหัววัดนั้น จะต้องผ่านช่องรวมรังสี (Slit) หลายครั้ง ทำให้ความเข้มของรังสีเอ็กซ์เรืองลดลง รังสีเอ็กซ์เรืองจากตัวอย่างซึ่งประกอบด้วยรังสีเฉพาะตัวของธาตุต่างๆ ในตัวอย่าง จะถูกแยกออกตามความยาวคลื่น ด้วยผลึกวิเคราะห์ (Analyzing Crystal) ซึ่งจะหมุนรับรังสีเอ็กซ์เรืองเป็นมุม  $\theta$  ซึ่งความยาวคลื่นที่สัมพันธ์กับสมการ  $2d\sin\theta = n\lambda$  เท่านั้น จึงจะถูกวัดพลังงานออกมาโดยหัววัดรังสี จะต้องอยู่ในตำแหน่ง  $2\theta$  กับทิศทางของรังสีเอ็กซ์เรืองที่ตกกระทบผลึกวิเคราะห์ หัววัดที่ใช้ จึงไม่มีความจำเป็นที่ต้องใช้ หัววัดรังสี ที่มีความสามารถการแจกแจงพลังงานสูง เช่น หัววัดรังสีกึ่งตัวนำ ดังนั้นหัววัดรังสีในระบบนี้ จึงใช้เป็นแบบที่บรรจุควอเตอร์ หรือแบบซินทิลเลชั่น (Scintillation) ซึ่งนิยมใช้ผลึก NaI บางๆ เป็นหัววัดรังสี

การใช้ประโยชน์ของระบบการวัดทั้งสองแบบนี้ ต่างกันตรงที่แบบดับเบิลซินทิลเลชั่นมีความสามารถในการแจกแจงพลังงานได้ดีกว่า ซึ่งทำให้มีความแม่นยำในการวิเคราะห์ธาตุแต่ละตัวได้สูงกว่า แต่ในการวิเคราะห์ธาตุหลายธาตุในตัวอย่างเดียวกัน กระทำได้ดีค่อนข้างช้า

การวิเคราะห์ธาตุในแร่แมงกานีสครั้งนี้ จะใช้การวิเคราะห์ในระบบอีดีเอส เพื่อที่จะหาชนิดของธาตุมลทินที่เจือปนอยู่ในตัวอย่างแร่ และใช้เปรียบเทียบกับปริมาณธาตุมลทินที่ลดลง ภายหลังการทดลองปรับปรุงคุณภาพทางกายภาพและเคมีของแร่แมงกานีส ซึ่งจะทำให้ทราบว่า ธาตุมลทินนั้นถูกกำจัดออกไปตามกรรมวิธีได้บ้างหรือไม่ ถือเป็น การวิเคราะห์ในเชิงคุณภาพ เนื่องจากไม่มีตัวอย่างที่มาตรฐานพอที่จะให้ผลวิเคราะห์เชิงปริมาณที่แน่นอนได้ การวิเคราะห์ จะทำการบดตัวอย่างให้เป็นผงละเอียดขนาด -200 เมช แล้วส่งไปที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้ เครื่องมือ Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer Model EDXRF XR-200 โดยมีลักษณะของสเปกตรัมที่วิเคราะห์ได้ ดังภาพที่ 3.18 และ 3.19 ซึ่งเป็นผลวิเคราะห์ของตัวอย่างแร่จากแหล่ง HM และ HT ตามลำดับ จะเห็นว่า Peak ในช่วงธาตุ Cu จะซ้อนทับกับ System Peak จึงยากจะบอกว่า มีปริมาณทองแดงเท่าใดอย่างแน่นอน เนื่องจากการคำนวณหาปริมาณธาตุในตัวอย่าง จะใช้โปรแกรม ZAF-4 คำนวณออกมาในรูปออกไซด์เทียบกับข้อมูลของธาตุโลหะที่อยู่ในหน่วยความจำจากระดับพลังงานที่ปรากฏ แต่สามารถบอกได้ว่าแร่จากแหล่ง HT มีทองแดงเจือปนแน่นอน ในปริมาณที่มากกว่าจากแหล่ง HM โดยสังเกตจาก ระดับพลังงานที่ต่างกัน



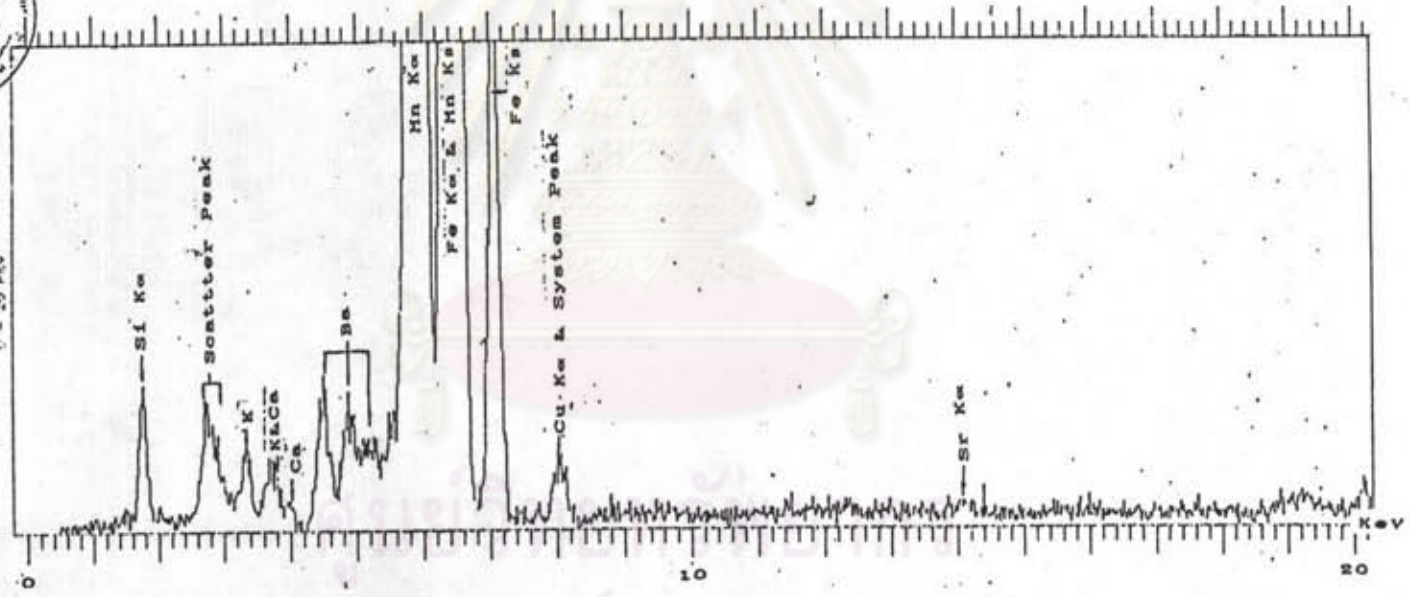
GRADE : 00 FTD  
NO. BY CHAN. LIVE TIME \* 855 FS: 8  
SPECTRUM LENGTH \* 03 \* CHAN  
0 - 40 KEV



ภาพที่ 3.5 สเปกตรัมของผลวิเคราะห์ตัวอย่างแร่แมงกานีสจากแหล่งห้วยม่วงด้วย XRF



MT PEED 255 PSI P  
30 EV/GMM. LIVE TIME = 70 SECS  
ANALYST: LEMRYN = 11/24 CHAN  
C - 20 PEV



ภาพที่ 3.6 สเปกตรัมของผลวิเคราะห์ตัวอย่างแร่แมงกานีสจากแหล่งห้วยเทีษด้วย XRF

### 3. ผลสรุปและข้อคิดเห็นในการวิเคราะห์ทางเคมีของแร่แมงกานีส

จากผลการวิเคราะห์ตัวอย่างแร่แมงกานีสครั้งนี้สรุปได้ว่า แร่ที่มีปริมาณ  $MnO_2$  อยู่ในมาตรฐานมากกว่า 70% ได้แก่ แร่จากแหล่งห้วยม่วง ห้วยเทียน และเทพนิธิ โดยมี  $MnO_2$  80%, 71% และ 85% ตามลำดับ ส่วนแร่จากแหล่งผาชาวนั้นจะมีปริมาณ  $MnO_2$  ค่าเกินไป คือ ประมาณ 57.14% และบางตัวอย่างจากแหล่งเทพนิธิซึ่งเป็นเกรดโลหะกรรมมีอยู่ 53.4% แต่ธาตุที่เจือปนและทำให้แร่เสียคุณภาพ ได้แก่ เหล็ก และทองแดงนั้น พบอยู่ในแร่จากแหล่งห้วยเทียน โดยพบทองแดง 0.09% และเหล็ก 13.6% ซึ่งสูงเกินมาตรฐานที่กำหนดทองแดงไม่เกิน 0.02% และเหล็กไม่เกิน 3.0% ส่วนแหล่งผาชาวก็นพบทองแดง 0.07% และเหล็ก 19.6% ซึ่งต้องอาศัยการศึกษาทางแร่วิทยาเพื่อหาลักษณะการเกิดร่วมของมลทินต่อไป

ในการหาปริมาณออกซิเจนที่ปลดปล่อยออกมาได้ (Available Oxygen) ในรูปของ  $MnO_2$  นั้น ต้องใช้วิธีการวิเคราะห์ในแบบเปียก โดยการหาปริมาณ Mn ที่อยู่ในรูปของ  $Mn^{+4}$  เท่านั้น ส่วนการหาปริมาณธาตุในแร่ นั้น การใช้วิธีวิเคราะห์ด้วย AAS จะให้ผลที่รวดเร็วและยอมรับได้ ในขณะที่การวิเคราะห์ด้วย XRF นั้น เราอาจใช้เนืองเนืองบ่งบอกชนิดของธาตุที่เจือปนอยู่ทั่วไป หากเราไม่มีตัวอย่างมาตรฐานที่จะให้เปรียบเทียบเพื่อให้ผลการวิเคราะห์ที่แน่นอนได้

ข้อที่ควรสังเกตเกี่ยวกับแมงกานีสไดออกไซด์นั้น ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างแมงกานีสกับออกซิเจน ซึ่งไม่ว่าจะเป็นแร่ธรรมชาติหรือที่สังเคราะห์ขึ้นมา แมงกานีสไดออกไซด์จะไม่มีอัตราส่วนระหว่างแมงกานีสกับออกซิเจน เป็น 1:2 อย่างแน่นอน แต่พบว่ามีอัตราส่วนลดลงในช่วงระหว่าง 1:1.92 ถึง 1:1.98 ซึ่งเหตุผลของการลดลงของออกซิเจนดังกล่าว เนื่องมาจากในองค์ประกอบของแมงกานีสไดออกไซด์ โดยพบว่า มีออกไซด์ค่าจำนวนเล็กน้อยปนอยู่ด้วย เช่น  $Mn_2O_3$  ซึ่งมีจำนวนน้อยเกินกว่าที่จะปรากฏในรูปแบบทางรังสีเอ็กซ์ จึงยากแก่การนิรนัย แม้จะทำการละลายแมงกานีสไดออกไซด์บริสุทธิ์กับกรดน้ำ (นอกเหนือจาก HCl) ก็ทำให้มีปริมาณออกซิเจนในองค์ประกอบเพิ่มขึ้นบ้างแต่ก็ไม่ถึงอัตราส่วน 1:2 ดังกล่าว ส่วนการเตรียม  $MnO_2$  สังเคราะห์บริสุทธิ์โดยการละลายด้วยความร้อนของแมงกานีสในเตาให้ผลผลิตใกล้เคียงกับ  $MnO_{2.00}$  มาก นอกจากนี้ ยังพบว่า  $MnO_2$  ที่มีอัตราส่วนของ Mn:O เป็น 1:2 นั้น อาจเตรียมมาจากการเผา  $\beta-MnO_2$  ในออกซิเจน (146)

เหตุที่ทำให้มีออกซิเจนลดลงจาก 1:2 เนื่องจากความไม่สมบูรณ์ของโครงสร้างผลึกด้วย ซึ่งการลดลงของออกซิเจนในแมงกานีสไดออกไซด์ทำให้มีปัญหาในการคำนวณองค์ประกอบที่แท้จริงของ  $MnO_2$  นักเทคโนโลยีทางด้านแบตเตอรี่ (Battery Technologists) จึงถือว่าตัวอย่างจะประกอบด้วยส่วนผสมของ  $MnO_2$  กับ  $Mn_2O_3$  (42) โดยอาศัยผลการวิเคราะห์

ของแมงกานีสทั้งหมด และองค์ประกอบของแมงกานีสไดออกไซด์ที่คิดจากปริมาณออกซิเจนที่ถูกปลดปล่อยได้ สัดส่วนของออกซิเจนจึงอาจคำนวณออกมาจากค่าของ  $x$  ในสูตร  $MnO_x$  จาก

$$x = 1 + (0.632 \times \% \text{แมงกานีสไดออกไซด์ทั้งหมด}) / (\% \text{แมงกานีสทั้งหมด})$$

ค่า 0.632 ได้จาก อัตราส่วนระหว่าง น้ำหนักอะตอมของ Mn (54.94) กับน้ำหนักโมเลกุลของ  $MnO_2$  (86.93) เมื่อคูณกับ  $\% MnO_2$  ที่วิเคราะห์ได้ จะได้เป็น  $\% Mn$  ที่อยู่ในรูปของ  $MnO_2$  และเมื่อนำมาหารด้วย  $\% Mn$  ทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้ จะได้เทอมของค่าเปอร์ออกซิเดชัน (Peroxidation) ซึ่งแสดงอยู่ในเทอมสุดท้ายของสมการข้างบน เป็นตัวบอกค่าเฉลี่ยของปริมาณออกซิเจน (Degree of Oxidation) ของแมงกานีสในตัวอย่าง

นอกจากนี้ หากนำค่า  $\% Mn$  ทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้ลบด้วย  $\% Mn$  ที่คำนวณจาก  $\% MnO_2$  จะถือเป็น  $\% Mn$  ที่อยู่ในรูปอื่นๆ ซึ่งอาจคำนวณเป็นปริมาณเทียบเท่าของออกไซด์อื่นๆจากการคูณด้วยอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักอะตอมของแมงกานีสกับน้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบแมงกานีสออกไซด์นั้นๆ ในรูป  $MnO$  และ  $Mn_2O_3$  ส่วนค่าของ "แมงกานีสไดออกไซด์อิสระ (Free  $MnO_2$ )" จะคิดจากค่าของ  $MnO_2$  ทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้หักออกด้วย ปริมาณเทียบเท่าของ  $MnO_2$  โดยค่า  $MnO_2$  อิสระนี้ จะเป็นส่วนหนึ่งของ  $MnO_2$  ทั้งหมด และถือเป็นตัวที่ใช้งานโดยตรงในปฏิบัติการที่คาโอด ส่วนปริมาณออกไซด์ทั้งหมด จะคำนวณจากผลบวกของ ปริมาณ  $MnO_2$  อิสระกับปริมาณ  $Mn_2O_3$  เทียบเท่า

ตัวอย่างการคำนวณค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้ จะถือว่าความแตกต่างระหว่าง ค่า  $Mn$  ทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้ กับปริมาณ  $Mn$  ที่ได้จาก  $MnO_2$  จัดอยู่ในรูปของ  $MnO$  ซึ่งจะรวมกับส่วนที่เหลือของ  $MnO_2$  ในรูปของ  $Mn_2O_3$

จากผลวิเคราะห์ของตัวอย่าง HM1 ได้ ปริมาณ  $Mn$  ทั้งหมดเป็น 51.9% และ  $MnO_2$  เป็น 79.60%

$$\text{ค่า } Mn \text{ ที่อยู่ในรูปของ } MnO_2 = 0.632 \times 79.60 = 50.31 \%$$

$$\text{ค่าเปอร์ออกซิเดชัน} = (50.31/51.9) \times 100 = 96.93 \%$$

ได้ ค่า  $x$  ในสูตรเคมีเป็น 1.969

$$\text{แมงกานีสในรูปของออกไซด์อื่นๆ} = 51.9 - 50.31 = 1.59\%$$

$$\text{ค่าปริมาณเทียบเท่าของ MnO} = (70.93 / 54.94) \times 1.59 = 2.06 \%$$

$$\text{ค่าปริมาณเทียบเท่าของ MnO}_2 = (86.93 / 54.94) \times 1.59 = 2.52 \%$$

$$\text{ปริมาณเทียบเท่าของ Mn}_2\text{O}_3 \text{ ที่มีอยู่} = 2.06 + 2.52 = 4.58 \%$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณ MnO}_2 \text{ อิสระ} &= \text{ปริมาณ MnO}_2 \text{ ทั้งหมด} - \text{ปริมาณเทียบเท่าของ MnO}_2 \\ &= 79.6 - 2.06 = 77.08 \%$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณของออกไซด์ทั้งหมด} &= \text{ปริมาณ MnO}_2 \text{ อิสระ} + \text{ปริมาณ Mn}_2\text{O}_3 \text{ ที่มีอยู่} \\ &= 77.08 + 4.58 = 81.66 \%$$

ผลการคำนวณค่าต่างๆของตัวอย่างแร่แมงกานีสที่วิเคราะห์ แสดงใน ตารางที่ 3.7 ซึ่งพบว่า ค่าส่วนประกอบต่างๆที่วิเคราะห์ได้นั้น ไม่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าแอกติวิตีของแร่ แต่เป็นเพียงการคำนวณส่วนประกอบทางเคมี เพื่อประกอบการนิจารณาเท่านั้น

อีกวิธีหนึ่งนั้น (41) ค่าของ MnO, Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> และ MnO<sub>2</sub> อาจคำนวณได้จาก สมการต่อไปนี้เป็น

$$\Delta \% \text{ MnO} = (\% \text{ Mn} \times 1.291) - (\% \text{ MnO}_2 \times 0.816)$$

$$\Delta \% \text{ Mn}_2\text{O}_3 = (\% \text{ Mn} \times 2.874) - (\% \text{ MnO}_2 \times 1.816)$$

$$\Delta \% \text{ MnO}_2 = (\% \text{ Mn} \times 1.586) - (\% \text{ MnO}_2)$$

บางท่านได้ให้ความเห็นว่า อัตราส่วนของ MnO<sub>2</sub>:Mn เป็นสิ่งที่อาจนำมาพิจารณาเกี่ยวกับแร่แมงกานีสเกรดแบตเตอรี่ได้ (51) โดยตามการคำนวณแล้ว MnO<sub>2</sub> / Mn จะเท่ากับ 1.58 จาก อัตราของน้ำหนักโมเลกุลของ MnO<sub>2</sub> กับน้ำหนักอะตอมของ Mn แร่แมงกานีสเกรดแบตเตอรี่ทั่วไปจึงมักมี MnO<sub>2</sub>:Mn มากกว่า 1.5 เสมอ ซึ่งจากการคำนวณผลวิเคราะห์ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนดังกล่าว กับค่าแอกติวิตี

ตารางที่ 3.7 ผลการคำนวณปริมาณผงแป้งล่อล่อไร้และค่าอื่นๆ

| ตัวอย่าง | X <sub>M02</sub> | X <sub>M0</sub> | X <sub>M0</sub><br>คิดจาก<br>X <sub>M02</sub> | ค่าเฉลี่ย<br>ล่อล่อไร้เดิม | X <sub>M0</sub><br>พหุคูณ<br>ล่อล่อไร้ใหม่ | X <sub>M0</sub> | X <sub>M02</sub> | X <sub>M0203</sub> | X <sub>M02</sub><br>อิสระ | ปริมาณ<br>ล่อล่อไร้<br>ทั้งหมด |
|----------|------------------|-----------------|---|----------------------------|--|-----------------|------------------|--------------------|---------------------------|--------------------------------|
| HM1      | 79.60            | 51.9            | 50.31   | 96.93                      | 1.59                                       | 2.06            | 2.52             | 4.58               | 77.08                     | 81.66                          |
| HT       | 70.86            | 45.8            | 44.78   | 97.78                      | 1.02                                       | 1.31            | 1.61             | 2.92               | 69.25                     | 72.17                          |
| PK       | 57.14            | 37.5            | 36.11   | 96.30                      | 1.39                                       | 1.79            | 2.20             | 3.99               | 54.94                     | 58.93                          |
| LP1      | 88.33            | 56.5            | 55.82   | 98.80                      | 0.68                                       | 0.87            | 1.07             | 1.94               | 87.26                     | 89.20                          |
| LP2      | 53.40            | 35.8            | 33.75   | 94.27                      | 2.05                                       | 2.65            | 3.25             | 5.89               | 50.15                     | 56.05                          |

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## การศึกษาทางแร่วิทยา

การศึกษาทางแร่วิทยาของสินแร่ในแหล่งแร่ นั้น เป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในการพัฒนาแหล่งแร่ เพราะนอกจากจะทำให้ทราบถึงชนิดและความสมบูรณ์ของแร่แล้ว ยังอาจบอกถึง การกำเนิดและความสัมพันธ์ของแร่ชนิดต่างๆในแหล่ง รวมทั้งคุณสมบัติทางกายภาพอื่นๆ เช่น ขนาดของเฟสและมลทินที่เกิดร่วม ซึ่งในการศึกษาแร่วิทยาของแร่แมงกานีสครั้งนี้ จะใช้วิธีการ วิเคราะห์ด้วยรังสีเอ็กซ์เลี้ยวเบน (XRD) และวิธีทางด้านกล้องจุลทรรศน์ (Ore Microscopy) ร่วมกับการวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอ็กซ์ในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (EPMA) ซึ่งผลที่ได้จะทำให้ทราบถึงลักษณะและชนิดเฟสของแร่แมงกานีส, องค์ประกอบทางเคมีของเฟส, ปริมาณและ ชนิดของธาตุที่เจือปนในแหล่งต่างๆ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงคุณภาพของสินแร่ด้วยวิธี ที่เหมาะสม กับธรรมชาติของแร่ในแหล่งนั้นๆ และเป็นข้อมูลเปรียบเทียบ สำหรับการศึกษาแร่ แมงกานีสจากแหล่งอื่นๆต่อไปด้วย

ตัวอย่างของแร่ ที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้ ได้จากแหล่งต่างๆทั้ง 4 แหล่งเช่นเดียวกับ การทดสอบลักษณะอื่นๆ ที่กล่าวมาแล้ว โดยทำการคัดเลือกตัวอย่างด้วยมือลักษณะทางกายภาพ ของก้อนแร่ที่แตกต่างกันไป เพื่อให้ได้เฟสต่างๆของแร่ในแหล่งมากที่สุด ส่วนหนึ่งนำมาบดให้ ละเอียดแล้วส่งวิเคราะห์ด้วย XRD เพื่อหาชนิดเฟสส่วนใหญ่ของแร่ในแหล่ง อีกส่วนหนึ่งนำมา เตรียมเป็นตัวอย่างขัดมัน เพื่อมาศึกษาลักษณะ ภาสไตกล้องจุลทรรศน์แบบโพลารไรซ์ และจะได้ จำแนกลักษณะของเฟสต่างๆ ที่เห็น แต่เนื่องจากลักษณะภาสไตกล้องของแร่แมงกานีสเฟสต่างๆ มักมีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน จึงนำมาวิเคราะห์หาส่วนประกอบของธาตุในเฟสต่างๆ ด้วย EPMA เพื่อจะได้เป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาในการศึกษาตัวอย่างแร่แมงกานีสของไทยภาสไตกล้อง จุลทรรศน์ว่าลักษณะอย่างไรควรเป็นแร่ชนิดใดต่อไป

### 1. การศึกษาด้วยการวิเคราะห์รังสีเอ็กซ์เลี้ยวเบน (XRD)

การวิเคราะห์แร่ด้วยวิธีนี้ สามารถบ่งบอกประเภทของสารประกอบต่างๆ โดยอาศัย หลักการที่ว่า เมื่อรังสีเอ็กซ์ชนผลึกที่ผิวในมุม  $\theta$  อะตอมที่ผิวผลึกจะเลี้ยวเบนรังสีนี้ รังสีที่ไม่ถูก เลี้ยวเบนจะผ่านเข้าสู่อะตอมที่อยู่ชั้นที่สองและเกิดการเลี้ยวเบน รังสีส่วนที่เหลือที่ผ่านเข้าสู่ อะตอมอื่นถัดไป และเกิดการเลี้ยวเบนตามกฎของแบรกก์ (Bragg's Law) ซึ่งการเลี้ยวเบน นี้เป็นผลจากอะตอมที่อยู่ในแนวเดียวกัน และมีระยะห่างระหว่างอะตอมเท่ากัน โดยจะเกิดได้ เมื่อระยะห่างระหว่างชั้นอะตอม มีค่าใกล้เคียงกับความยาวคลื่นของรังสี ซึ่งลักษณะการเลี้ยว เบนของผลึก ของสารแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป เกิดเป็น "รูปแบบของรังสีเอ็กซ์" (X-ray Pattern) และได้มีการรวบรวมรูปแบบของสารประกอบต่างๆ โดย Joint Committee on Powder Diffraction Standard ซึ่งได้ทำการสรุปรูปแบบของรังสีเอ็กซ์ของแร่แมงกานีส

ชนิดต่างๆ ไว้ดังภาคผนวก ๗

การวิเคราะห์แร่แมงกานีสด้วย XRD ครั้งนี้ใช้เครื่อง JEOL ซึ่งอยู่ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งประกอบเข้ากับโปรแกรมช่วยการวิเคราะห์ เช่นโปรแกรม Search Match ช่วยให้การวิเคราะห์ทำได้สะดวกและรวดเร็วขึ้น แต่ทั้งนี้ต้องนำผลวิเคราะห์มาประกอบกับการวิเคราะห์ประเภทอื่น เพื่อสรุปชนิดเฟสของแร่ที่ประกอบกันอยู่ในตัวอย่าง

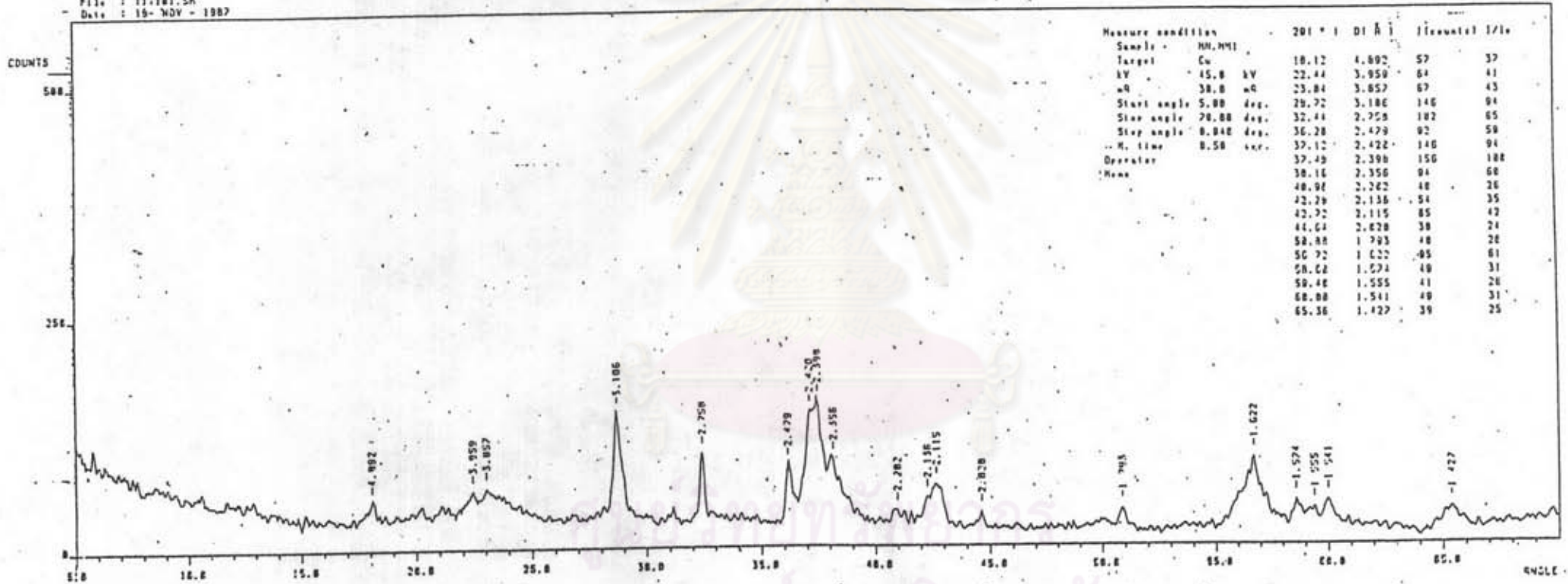
#### ผลการวิเคราะห์ชนิดของแร่แมงกานีสด้วย XRD

ผลวิเคราะห์ดังแสดงเป็นรูปแบบทางรังสีเอ็กซ์ (X-ray Pattern) ของตัวอย่างแร่จากแหล่งต่างๆ แสดงในภาพที่ 3.7 ถึง 3.14 เปรียบเทียบกับ รูปแบบทางรังสีเอ็กซ์ของสารประกอบแมงกานีสบริสุทธิ์ ของ บริษัทเวทรอน แสดงในภาพที่ 3.15 ถึง 3.19

และค่าของ d-spacing ของแร่แมงกานีสที่พบในตัวอย่างแร่จากแหล่งต่างๆ นี้ ได้ทำการรวบรวมไว้ ดังแสดงในตารางที่ 3.8 เพื่อความสะดวก ในการตรวจสอบแร่แมงกานีสจากแหล่งอื่นๆ ต่อไปด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

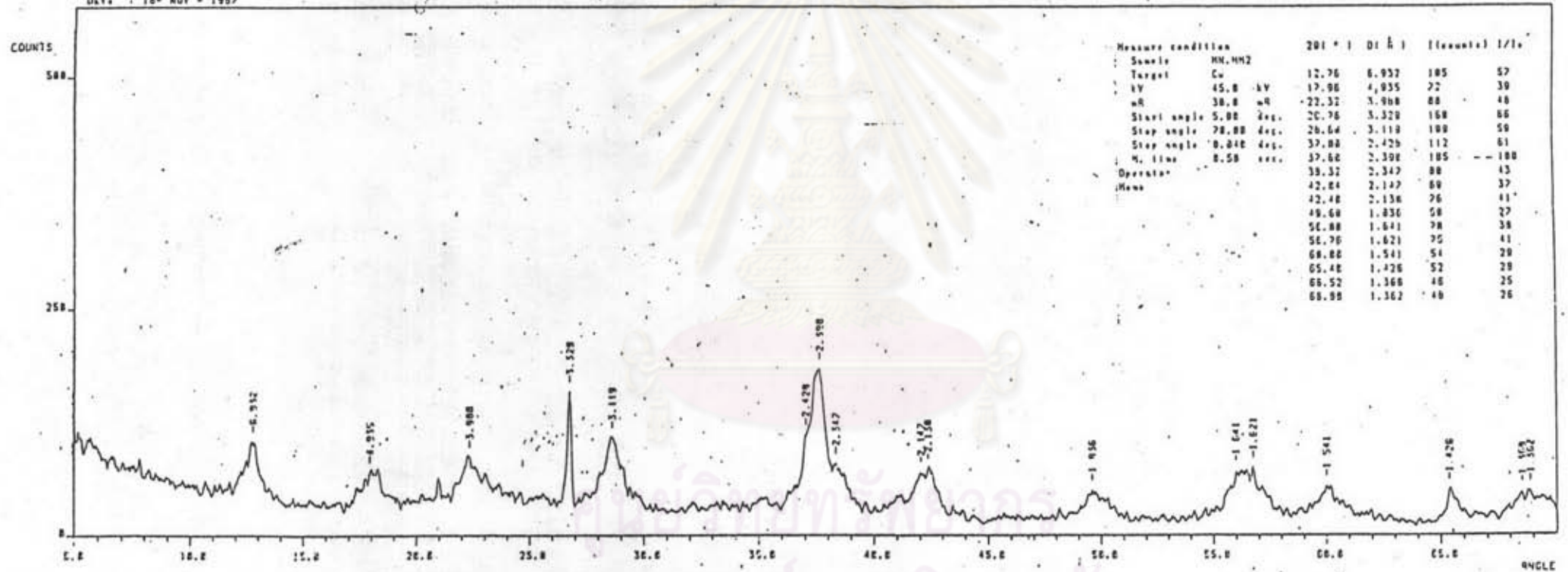
File : T17181.SM  
 Date : 19- NOV - 1987



ภาพที่ 3.7 รูปแบบทางรังสีเอกซ์ของตัวอย่างแร่แมงกานีสจากแหล่งห้วยม่วง (HM1)

ประกอบด้วย คริปโตไมต์ (C291020), เอนซูไทต์ (170510), เวอร์นาโดต์ (160604), ไพโรลูไซต์ (I240735), เซาส์แมนไนต์ (#240734)

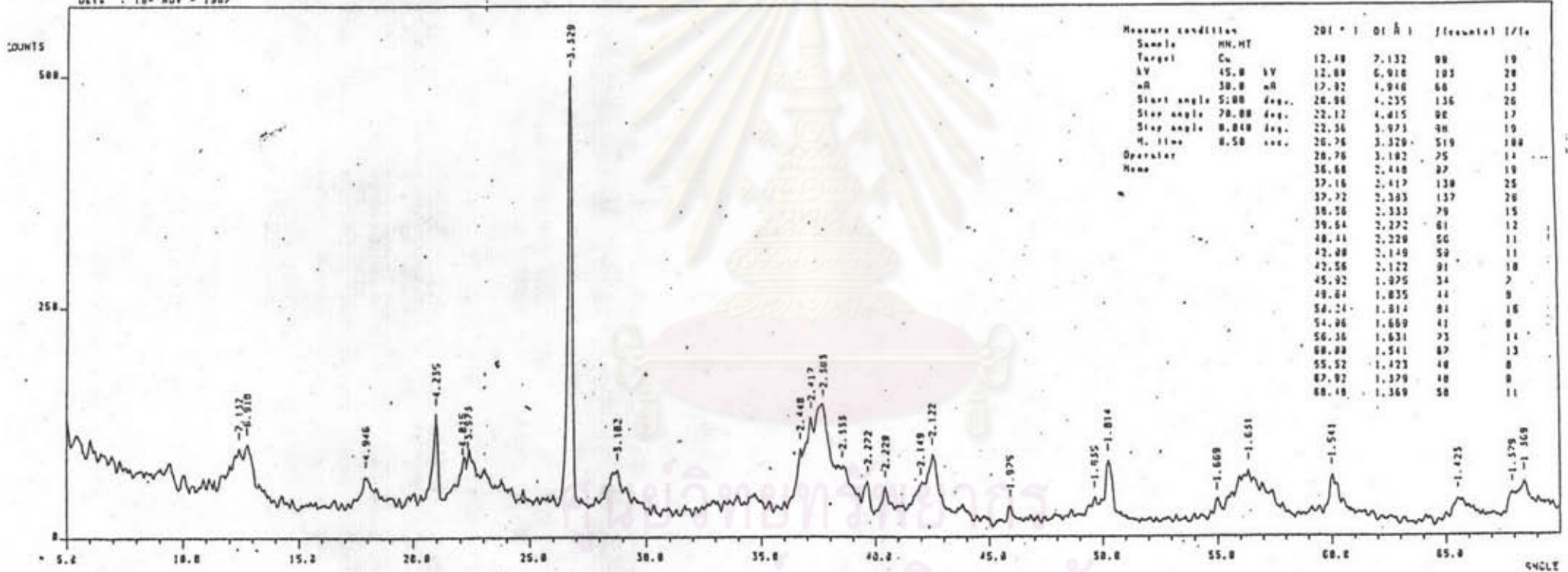
File : TTT102.SH  
Date : 16- NOV - 1987



ภาพที่ 3.8 รูปแบบทางรังสีแกมมาของตัวอย่างแร่แมงกานีสจากแหล่งห้วยม่วง (HM2)

ประกอบด้วย กริปโทไมต์ (C291020)&(C340168), เฮนซิงโกต์ (170510), ฮาลเทเนสโกต์ (\*300820), เวร์นาไลต์ (160604), ไพโรลูไซต์ (I240735), ควอทซ์

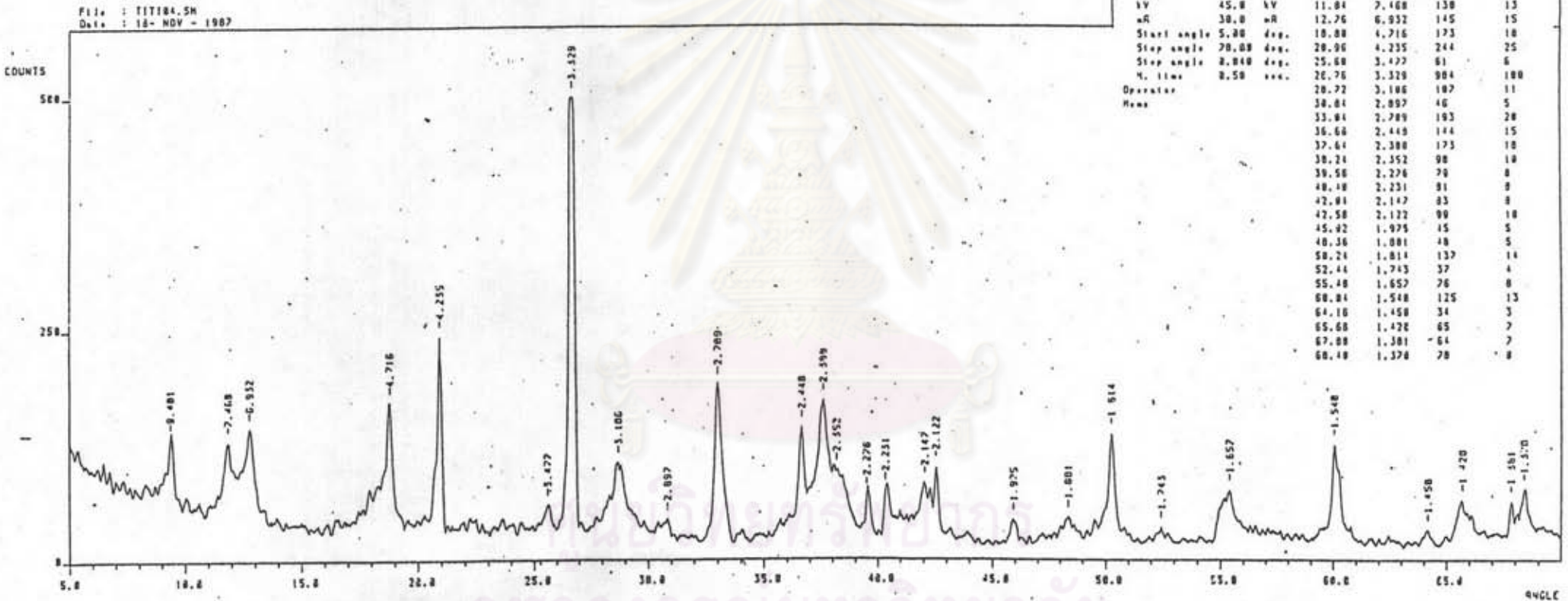
File : TIT105.SM  
Date : 18-NOV-1987



ภาพที่ 3.9) รูปแบบทางรังสีเอ็กซ์ของตัวอย่างแผ่นวงกาน้ำชาจากแหล่งห้วยเทียน (HT)

ประกอบด้วย คาร์บอน (C291020)&(C340168), เอนไซม์ (170510), อากาศไนโตรเจน (+300820), เวนิซีน (160604), ไนโตรเจน (1240735), เกลือไนโตรเจน (C240713), กลูโคส

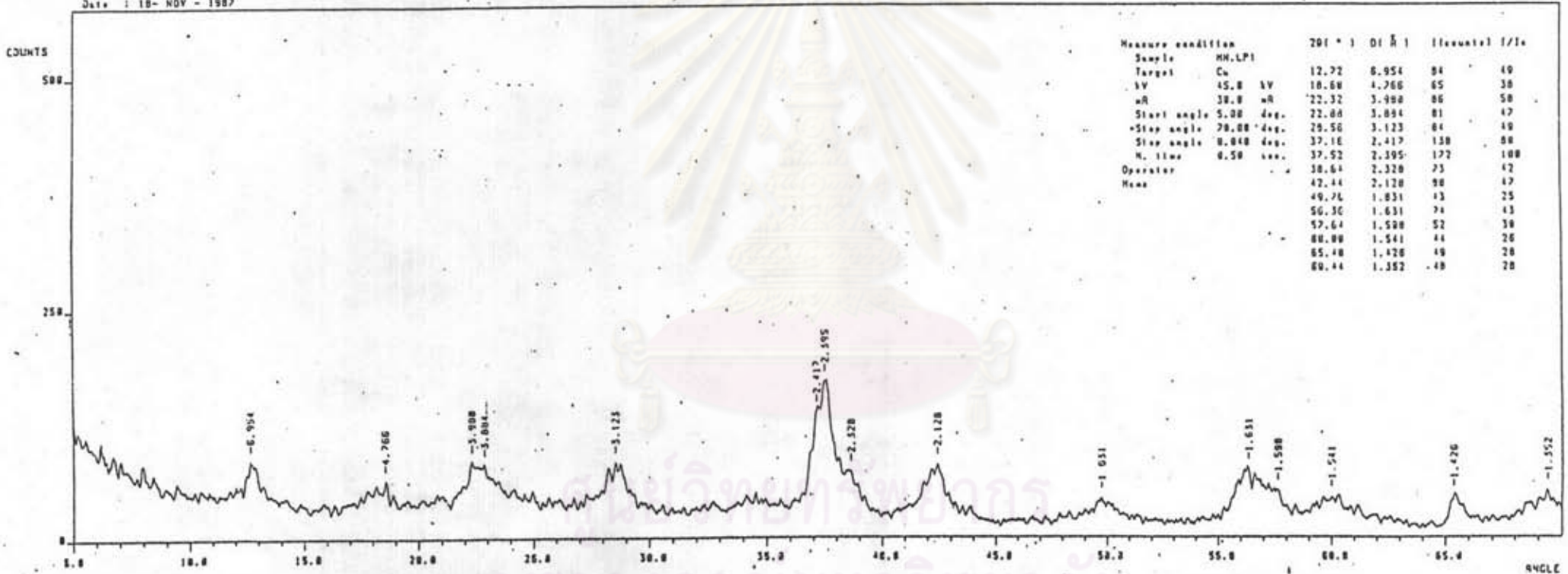
| Measure condition | 2θ    | d (Å) | Intensity | I/I <sub>0</sub> |
|-------------------|-------|-------|-----------|------------------|
| Sample            | MN.PK |       |           |                  |
| Target            | Cu    | 0.40  | 0.401     | 142              |
| kV                | 45.0  | kV    | 11.04     | 7.468            |
| μR                | 30.0  | μR    | 12.76     | 6.932            |
| Start angle       | 5.00  | deg.  | 10.00     | 4.716            |
| Stop angle        | 70.00 | deg.  | 20.00     | 4.235            |
| Step angle        | 0.040 | deg.  | 25.00     | 3.477            |
| M. time           | 0.50  | sec.  | 20.70     | 3.320            |
| Operator          |       |       | 20.72     | 3.106            |
| Name              |       |       | 30.04     | 2.897            |
|                   |       |       | 33.04     | 2.789            |
|                   |       |       | 36.00     | 2.449            |
|                   |       |       | 37.04     | 2.300            |
|                   |       |       | 38.24     | 2.252            |
|                   |       |       | 39.50     | 2.226            |
|                   |       |       | 40.10     | 2.231            |
|                   |       |       | 42.04     | 2.117            |
|                   |       |       | 42.50     | 2.122            |
|                   |       |       | 45.02     | 1.975            |
|                   |       |       | 48.36     | 1.801            |
|                   |       |       | 50.24     | 1.811            |
|                   |       |       | 52.44     | 1.745            |
|                   |       |       | 55.40     | 1.657            |
|                   |       |       | 60.04     | 1.510            |
|                   |       |       | 64.10     | 1.450            |
|                   |       |       | 65.00     | 1.426            |
|                   |       |       | 67.00     | 1.301            |
|                   |       |       | 68.40     | 1.370            |



ภาพที่ 3.10 รูปแบบทางรังสีเอกซ์ของตัวอย่างแผ่นผงกาบีสจากแหล่งผาขาว (PK)

ประกอบด้วย เวย์ไรต์ (150604), คริปโตไมเลน (C291020), บราวไนต์ (I290890), นิกซ์ไบต์ (C240508)&(I310825)  
โทโดโรไกต์ (210553), เกราไทต์ (C240713), ไฟโรครอยต์ (180787) ควอทซ์

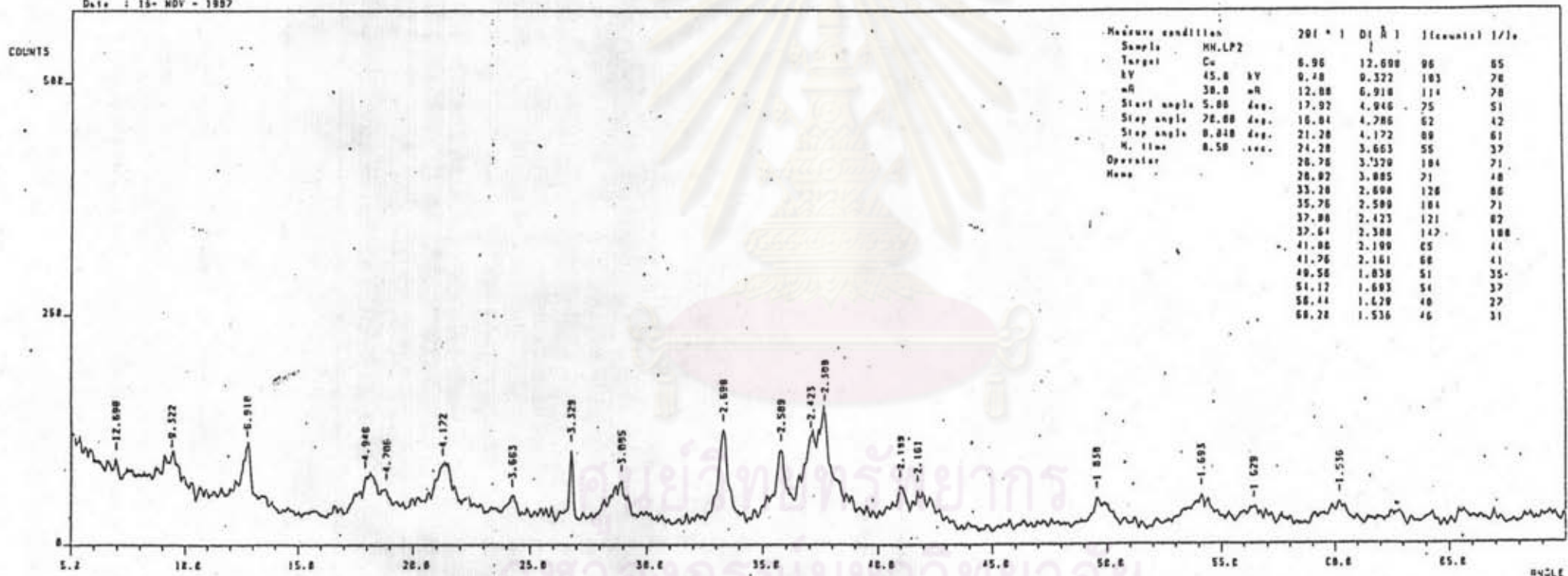
File : TIT185.SM  
Date : 18- NOV - 1987



ภาพที่ 3.11 รูปแถบทางรังสีเอ็กซ์ของตัวอย่างแฉ่งม่วงกานีสีจากแหล่งเทพนิย์ (LP1)

ประกอบด้วย เกล็ดไทต์ (170510), ควิโตมิเลน (C291020) อากเทสโกต์ (#300820), ไนโรลูไซด์ (I240735)

File : TIT10G.SW  
Date : 16- NOV - 1997

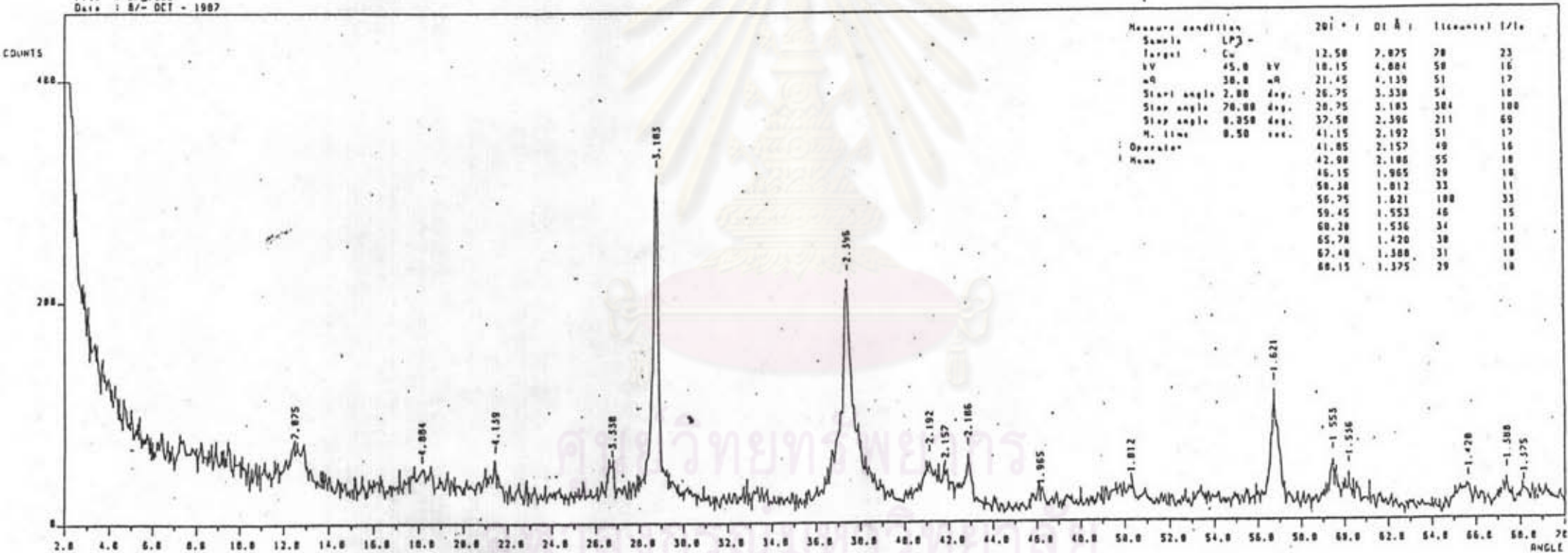


ภาพที่ 3.12 รูปแบบทางรังสีเอ็กซ์ของตัวอย่างแผ่นงาที่ส่งจากแหล่งเทปหนี (LP2)

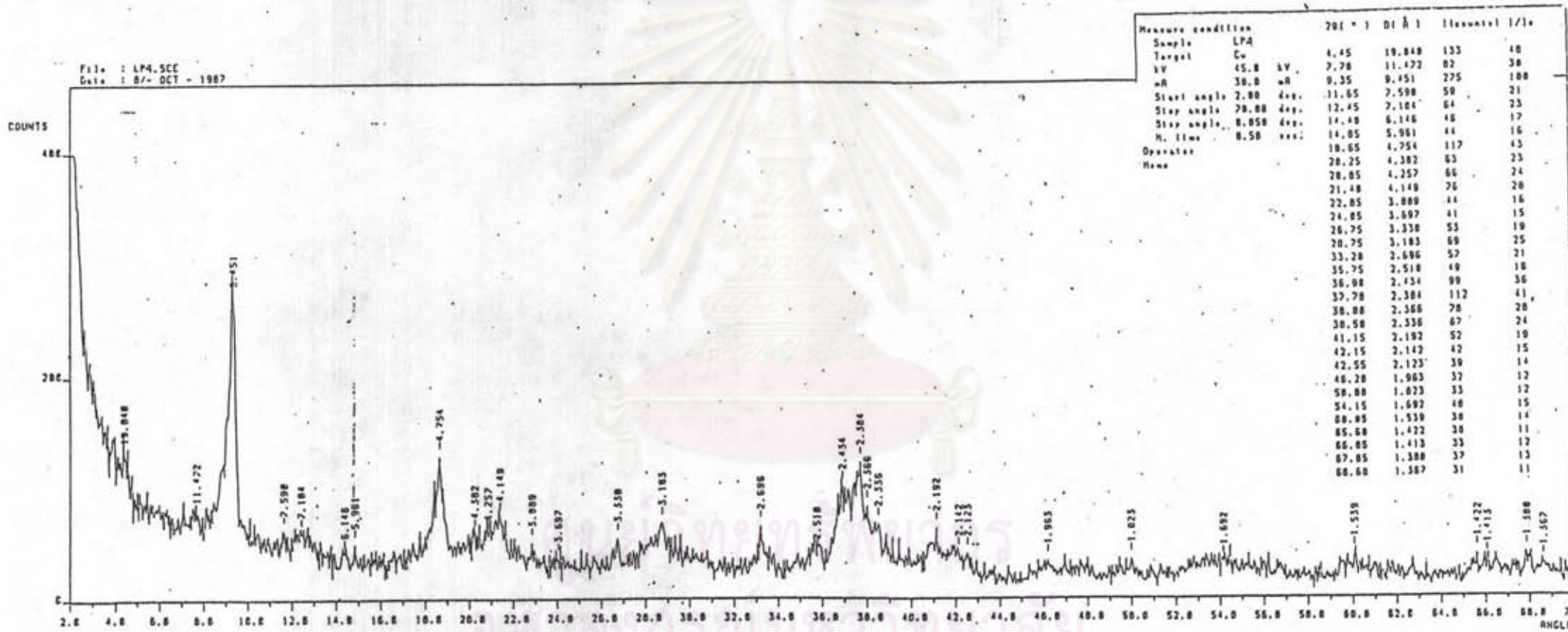
ประกอบด้วย เวย์นาโดลด์ (150604), คริปโตมิเจน (C291020)&(C340168) ไนโตรลูซิด (I240735), โทโดโรโดลด์ (210553), ควอทซ์ 136



File : LP3.SCE  
 Date : 8/- OCT - 1987



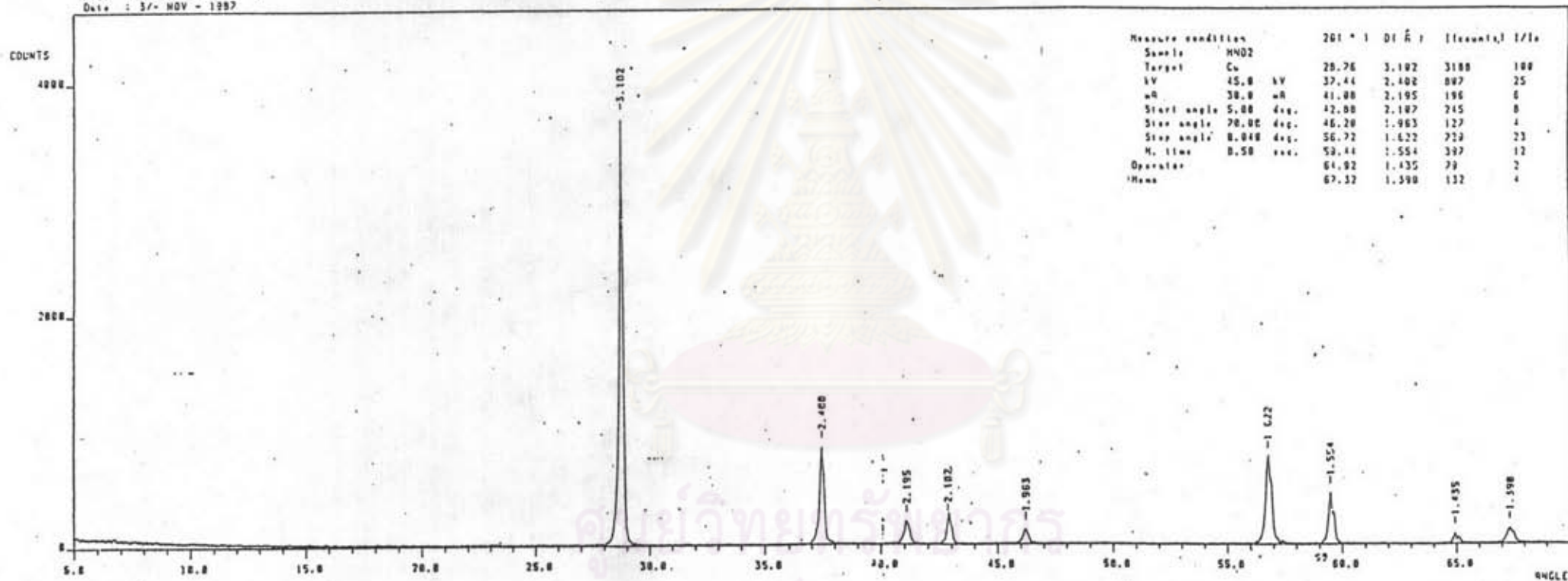
ภาพที่ 3.13 รูปแบบทางรังสีเอ็กซ์ของตัวอย่างแร่เมงกานีสจากแหล่งเทพนิถี (LP3) ประกอบด้วย โพลโรไซด์ (I240735)



| Measure condition     | 2θ (°) | d (Å)  | Intensity (%) |
|-----------------------|--------|--------|---------------|
| Sample LPA            | 4.45   | 19.848 | 133           |
| Target Cu             | 7.78   | 11.472 | 82            |
| kV 45.8 kV            | 9.35   | 9.451  | 275           |
| uR 30.8 uR            | 11.65  | 7.598  | 59            |
| Start angle 2.00 deg. | 12.45  | 7.104  | 64            |
| Stop angle 70.00 deg. | 14.48  | 6.146  | 46            |
| Step angle 0.050 deg. | 14.85  | 5.981  | 44            |
| M. time 8.50 sec.     | 16.65  | 4.754  | 117           |
| Operator              | 20.25  | 4.382  | 83            |
| Name                  | 20.85  | 4.257  | 86            |
|                       | 21.48  | 4.148  | 76            |
|                       | 22.85  | 3.889  | 44            |
|                       | 24.85  | 3.697  | 41            |
|                       | 26.75  | 3.338  | 53            |
|                       | 28.75  | 3.183  | 69            |
|                       | 33.28  | 2.696  | 57            |
|                       | 35.75  | 2.518  | 49            |
|                       | 38.08  | 2.434  | 89            |
|                       | 37.78  | 2.384  | 112           |
|                       | 38.88  | 2.368  | 78            |
|                       | 38.58  | 2.338  | 67            |
|                       | 41.15  | 2.192  | 52            |
|                       | 42.15  | 2.142  | 42            |
|                       | 42.55  | 2.123  | 39            |
|                       | 46.28  | 1.963  | 37            |
|                       | 50.88  | 1.823  | 33            |
|                       | 54.15  | 1.692  | 48            |
|                       | 60.85  | 1.539  | 38            |
|                       | 65.68  | 1.422  | 38            |
|                       | 66.85  | 1.413  | 33            |
|                       | 67.85  | 1.388  | 37            |
|                       | 68.68  | 1.387  | 31            |

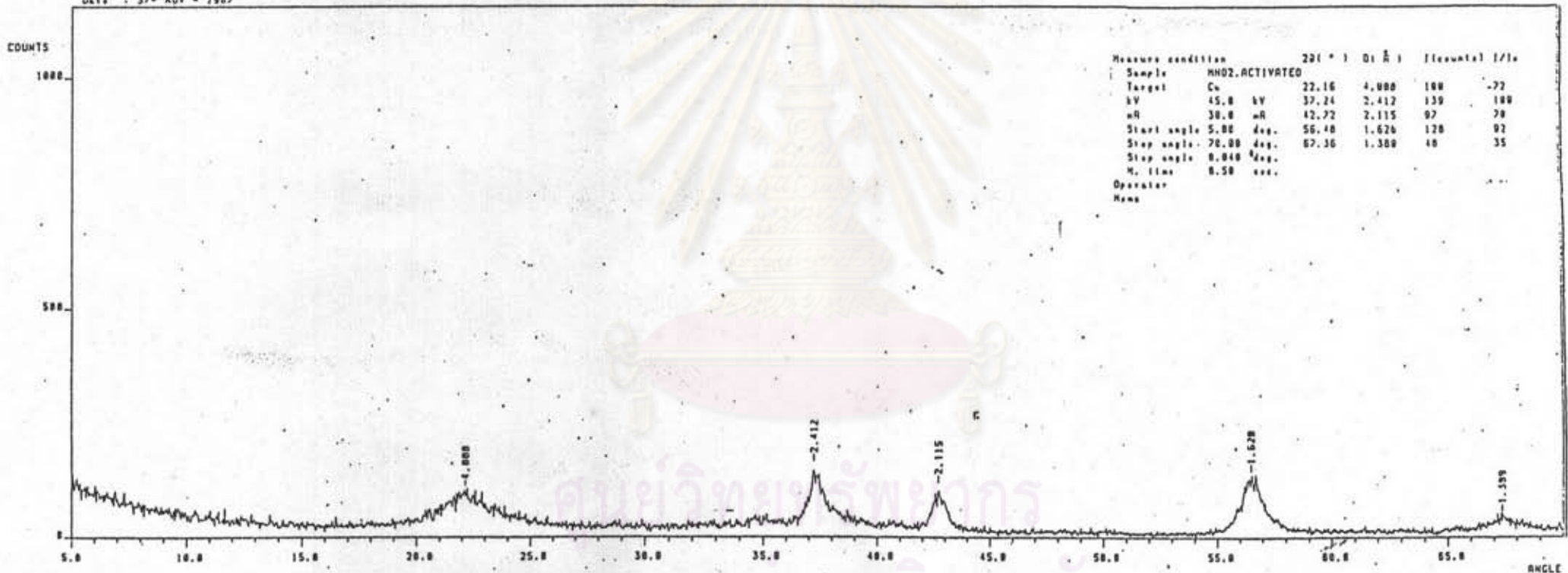
ภาพที่ 3.14 รูปแบบทางรังสีเอ็กซ์ของตัวอย่างแผ่นเมงกาให้จากแหล่งเทพนิธิ (LP4) ประกอบด้วย ควิปโตมิเลน (C291020)&(C340168), โทโคโรโกลด์ (210553)

File : P1Y011.SCE  
 Date : 5/- NOV - 1987



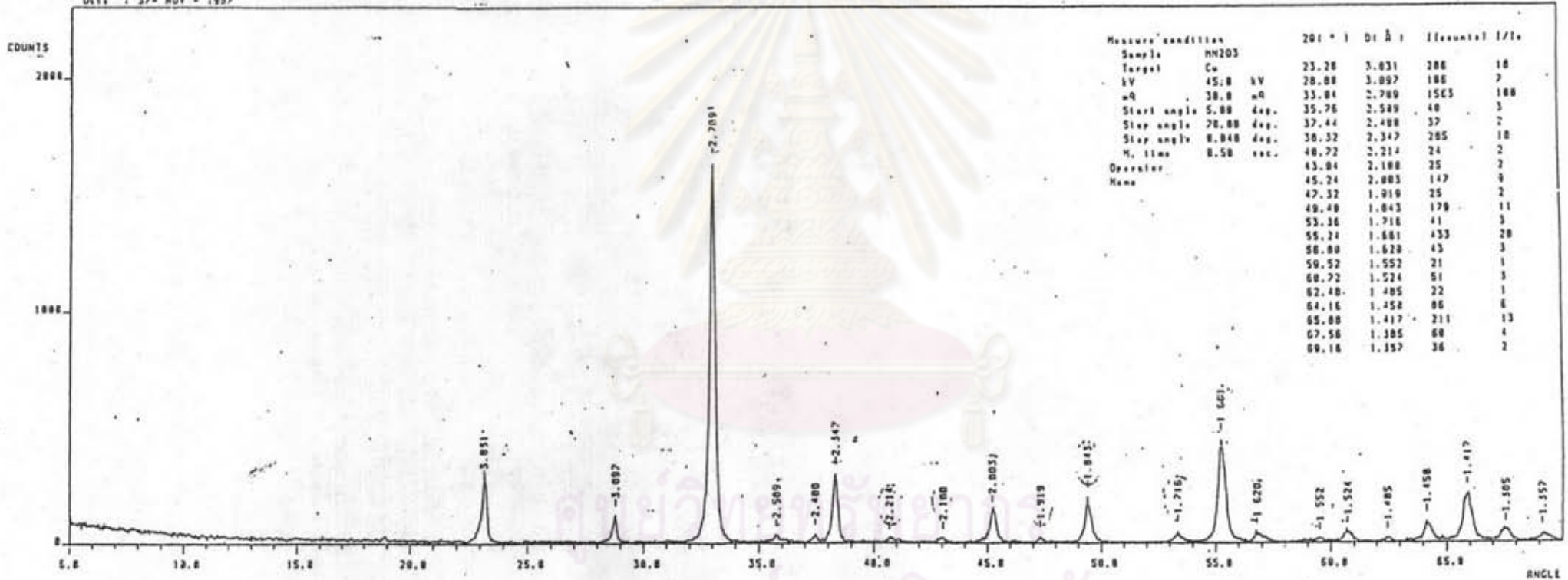
ภาพที่ 3.15 รูปแบบทางรังสีเอ็กซ์ของสารประกอบ  $MnO_2$  จากบริษัทเวเนตรอน

File : PIX013.SCE  
 Date : 3/- NOV - 1987



ภาพที่ 3.16 รูปแบททางรังสีเอ็กซ์ของสารประกอบ Activated-MnO<sub>2</sub> จากบริษัทเวทรอน

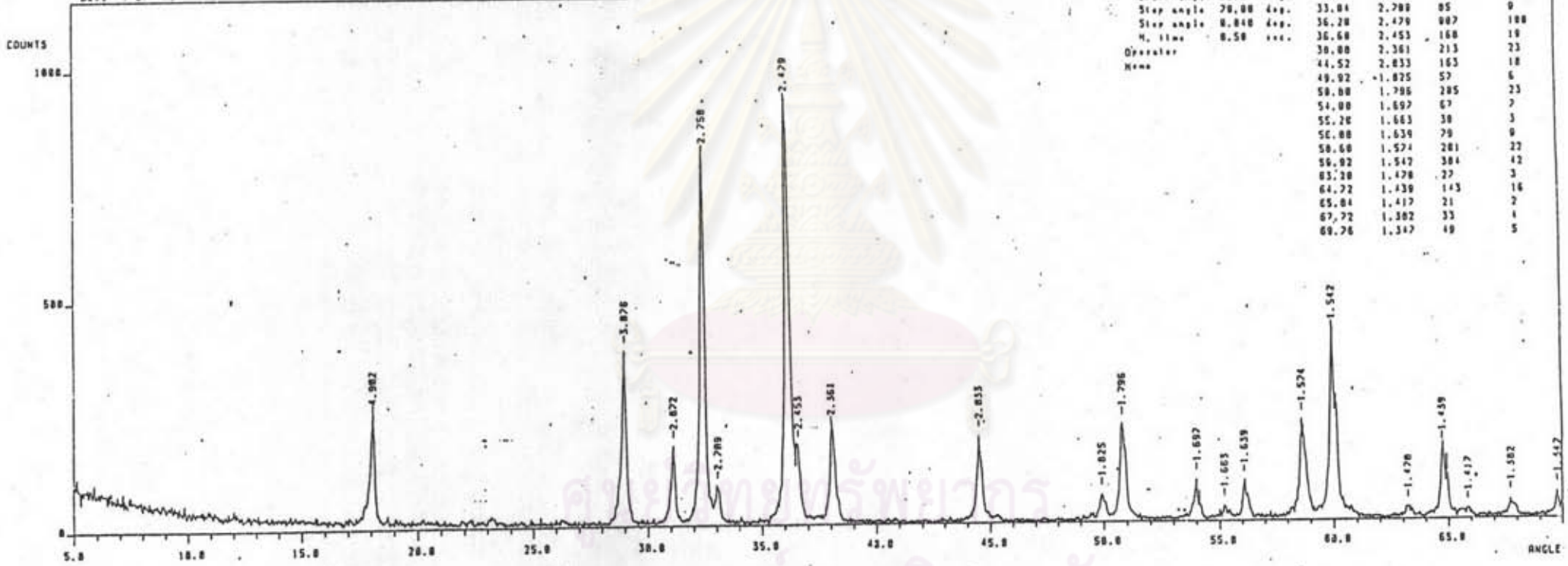
File : P1D14.SCE  
Date : 3/- NOV - 1987



ภาพที่ 3.1. รูปแบบทางรังสีเอ็กซ์ของสารประกอบ  $Mn_2O_3$  จากบริษัทเวเนทอน

File: MYDIS.SCE  
Date: 31-NOV-1987

| Measure condition |       | 2θ    | d (Å) | Intensity | I/I |
|-------------------|-------|-------|-------|-----------|-----|
| Sample            | HM304 | 18.88 | 4.902 | 236       | 26  |
| Target            | Cu    | 20.80 | 3.876 | 341       | 38  |
| kV                | 45.0  | 31.12 | 2.872 | 159       | 18  |
| ωR                | 30.0  | ωR    | 32.44 | 2.758     | 85  |
| Start angle       | 5.00  | deg.  | 33.84 | 2.788     | 85  |
| Stop angle        | 70.00 | deg.  | 36.28 | 2.479     | 887 |
| Step angle        | 0.818 | deg.  | 38.68 | 2.453     | 168 |
| H. time           | 0.50  | sec.  | 44.52 | 2.361     | 213 |
| Operator          |       |       | 49.92 | 1.825     | 57  |
| Name              |       |       | 50.80 | 1.796     | 285 |
|                   |       |       | 54.00 | 1.697     | 67  |
|                   |       |       | 55.28 | 1.663     | 38  |
|                   |       |       | 56.88 | 1.639     | 79  |
|                   |       |       | 58.68 | 1.574     | 281 |
|                   |       |       | 59.82 | 1.547     | 384 |
|                   |       |       | 63.28 | 1.478     | 27  |
|                   |       |       | 64.72 | 1.439     | 143 |
|                   |       |       | 65.84 | 1.417     | 21  |
|                   |       |       | 67.72 | 1.382     | 33  |
|                   |       |       | 69.76 | 1.347     | 49  |



ภาพที่ 3.18 รูปแบบทางรังสีเอกซ์ของสารประกอบ  $Hg_3O_4$  จากบริษัทเวเนตรอน

File: 1 P1012.SCE  
Date: 1 31- NOV - 1987

| Measure condition |            | 201 ° | 01 Å  | Flourential 1/10 |     |
|-------------------|------------|-------|-------|------------------|-----|
| Sample            | MNO        |       |       |                  |     |
| Target            | Cu         | 35.88 | 2.562 | 934              | 66  |
| kV                | 45.0 kV    | 48.61 | 2.218 | 1423             | 188 |
| uR                | 38.8 uR    | 58.78 | 1.578 | 612              | 43  |
| Start angle       | 5.88 deg.  |       |       |                  |     |
| Step angle        | 28.88 deg. |       |       |                  |     |
| Stop angle        | 8.848 deg. |       |       |                  |     |
| M. time           | 8.58 sec.  |       |       |                  |     |
| Operator          | None       |       |       |                  |     |

COUNTS

2000

1000

5.0 10.0 15.0 20.0 25.0 30.0 35.0 40.0 45.0 50.0 55.0 60.0 65.0 70.0 75.0 80.0 85.0 90.0

ANGLE

2.218

2.562

8.848

ภาพที่ 3.19 รูปแบบทางรังสีเอ็กซ์ของสารประกอบ MnO จากบริษัทเวเนทรอน

ตารางที่ 3.4 ค่า d-spacing ของระนาบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของสารประกอบอินทรีย์

| รฟ   | 9    | 8 | 7    | 6    | 5 | 4    | 3.9 | 3.8  | 3.7 | 3.6 | 3.5 | 3.4 | 3.3 | 3.2 | 3.1  | 3.0  | 2.9 | 2.8  | 2.7  | 2.6 | 2.5 | 2.4  | 2.3  | 2.2  | 2.1  | 2.0  | 1.9  | 1.8 | 1.7  | 1.6  | 1.5  | 1.4  | 1.3  |  |  |
|--|------|---|------|------|---|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|--|--|
| โพโรไรต์<br>(I240735)                              |      |   |      |      |   |      |     |      |     |     |     |     |     |     | 3.1  |      |     |      |      |     |     | 2.41 |      |      | 2.13 |      |      |     |      | 1.62 | 1.56 |      | 1.31 |  |  |
| เอนโซไลท์<br>(170510)                              |      |   |      |      |   | 4.00 |     |      |     |     |     |     |     |     |      |      |     |      |      |     |     | 2.42 | 2.33 |      |      |      |      |     |      | 1.64 |      |      |      |  |  |
| ซ-โมนอไซต์<br>(เวทโรน)<br>อาคเทมสไตต์<br>(*300820) |      |   |      |      |   | 4.01 |     |      |     |     |     |     |     |     |      |      |     |      |      |     |     | 2.41 |      |      | 2.12 |      |      |     |      | 1.63 |      |      | 1.39 |  |  |
| คาร์โบเนอไมต์<br>(C234168)                         |      |   |      |      |   | 4.85 |     |      |     |     |     |     |     |     | 3.12 | 3.09 |     |      |      |     |     | 2.40 |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |  |  |
| คาร์โบเนอไมต์<br>(C291020)                         |      |   |      |      |   | 4.91 |     |      |     |     |     |     |     |     | 3.10 |      |     |      |      |     |     |      |      | 2.39 |      |      |      |     |      |      |      |      |      |  |  |
| คาร์โบเนอไมต์<br>(20-908)                          |      |   |      | 6.90 |   | 4.90 |     |      |     |     |     |     |     |     | 3.10 |      |     |      |      |     |     |      |      | 2.39 | 2.15 |      | 1.83 |     |      | 1.54 | 1.42 | 1.35 |      |  |  |
| โพโรไรต์<br>(210553)                               | 9.40 |   | 7.17 |      |   | 4.74 |     |      |     |     |     |     |     |     |      |      |     |      |      |     |     | 2.49 |      | 2.28 |      |      |      |     |      | 1.69 |      |      |      |  |  |
| โครไซต์<br>(240713)                                |      |   |      |      |   | 4.20 |     |      |     |     |     |     |     |     |      |      |     | 2.81 | 2.67 |     |     |      | 2.37 |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |  |  |
| โพโรไรต์<br>(180787)                               |      |   |      |      |   | 4.72 |     |      |     |     |     |     |     |     |      |      |     | 2.87 |      |     |     | 2.45 |      |      |      |      | 1.83 |     |      |      |      |      |      |  |  |
| เวอโรไนต์<br>(150604)                              |      |   |      |      |   |      |     |      |     |     |     |     |     |     | 3.11 |      |     |      |      |     |     |      |      | 2.39 | 2.15 |      | 1.83 |     |      |      |      |      |      |  |  |
| ออร์โทไนต์<br>(1310825)                            |      |   |      |      |   |      |     | 3.84 |     |     |     |     |     |     |      |      |     |      | 2.72 |     |     |      |      |      |      | 2.01 |      |     |      | 1.66 |      |      |      |  |  |
| พาร์ฟลูอไรต์<br>(C240508)                          |      |   |      |      |   |      |     | 3.84 |     |     |     |     |     |     |      |      |     |      | 2.72 |     |     |      |      |      |      |      |      |     |      | 1.66 |      |      |      |  |  |
| บราไนต์<br>(1290890)                               |      |   |      |      |   |      |     |      |     |     |     |     |     |     |      |      |     |      | 2.71 |     |     |      | 2.36 |      | 2.14 |      |      |     | 1.66 |      |      |      |      |  |  |
| เฮคซ์อไมต์<br>(*240734)                            |      |   |      |      |   |      |     |      |     |     |     |     |     |     | 3.0  |      |     |      | 2.77 |     |     |      | 2.49 |      |      |      |      |     |      | 1.54 |      |      |      |  |  |
| ควอซท์   |      |   |      |      |   | 4.23 |     |      |     |     |     |     | 3.3 |     |      |      |     |      |      |     |     |      | 2.45 |      |      |      | 1.81 |     |      |      |      |      |      |  |  |

ศูนย์วิทยุทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



2. การศึกษาด้วยตัวอย่างขัดมันภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์ ร่วมกับ การวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอ็กซ์ในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

ตัวอย่างขัดมัน (Polished Section) ที่ใช้ในการศึกษารังนี้ เลือกจากก้อนแร่ จากทั้ง 4 แหล่งคือ HM, HT, PK และ LP โดยคุณลักษณะทางกายภาพภายนอกที่แตกต่างกันไป ดังได้กล่าวไปแล้ว นำมาเตรียมโดยใช้วัสดุและกรรมวิธีของบริษัท สตรูเออร์ (Struers) ที่มีอยู่ในภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ฯ ดังแสดงใน ตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 การเตรียมตัวอย่างแร่แมงกานีสขัดมัน

| ขั้นตอน   | อุปกรณ์   |
|---|---|
| 1. ตัดตัวอย่างแร่ออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาดกว้างไม่เกิน 1 นิ้ว  | 1. เครื่องตัดหิน  |
| 2. ทำการหล่อแบบ (Mounting) ในแม่แบบวงกลมขนาด 1 นิ้วที่ทำด้วยโพลีเอทิลีน ทิ้งไว้ 1 คืน แล้วนำออกจากแบบ | 2. น้ำยาหล่อแบบเย็น (Cold Embedding Resin) ใช้ EPOFIX RESIN ผสมกับ HARDENER สัดส่วน 8 : 1   |
| 3. ขัดหยาบ (Grinding) เพื่อให้ตัวอย่างเรียบเป็นระดับเดียว   | 3. เครื่องขัดตัวอย่างรุ่น DAP ใช้แผ่นขัดเป็น Diamond Grinding Disc ขนาด Grit 120 โดยใช้ น้ำเป็นตัวหล่อเย็น จนผิวเรียบ แล้วขัดต่อด้วย Petrodisc-M โดยใช้ Blue Alcohol เป็นตัวหล่อเย็นใช้ร่วมกับ DP-Spray ขนาด 9 $\mu\text{m}$  |
| 4. ขัดละเอียด (Polishing) เพื่อให้หน้าตัวอย่างเป็นเงา   | 4. ใช้ผ้าขัดรุ่น Pellow PA-W คัดบนงานขัด โดยใช้ Blue Alcohol เป็นตัวหล่อเย็น ใช้ร่วมกับ DP-Spray ขนาด 6 $\mu\text{m}$ . เมื่อตัวอย่างขึ้นเงาบ้าง นำมาขัดละเอียดยิ่งขึ้น โดยใช้ผ้าขัดรุ่น DP-Mol (ทำจากผ้าขนสัตว์คัตินิเศษ) โดยใช้ Blue Alcohol เป็นตัวหล่อเย็น ใช้ร่วมกับ DP-Spray ขนาด 3 $\mu\text{m}$ . แล้วเปลี่ยนผ้าใช้ DP-Spray ขนาด 1 $\mu\text{m}$ . เป็นขั้นสุดท้าย ส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จนไม่พบรอยขีดข่วน |

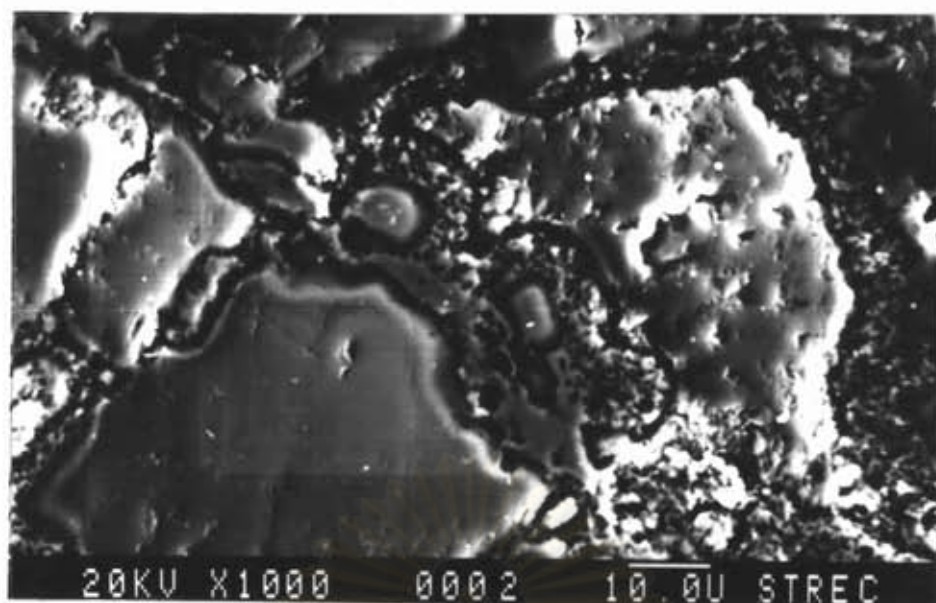
ตัวอย่างชัดเจนที่ได้ นำมาศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาริซ์ โดยใช้กล้อง Nikon Labophot-Pol ซึ่งลักษณะเด่นที่พบภายใต้กล้องนั้น ได้เคยมีการศึกษาและรวบรวมไว้เป็นตาราง (82)(83) โดยลักษณะที่กล่าวถึงนั้น มักจะใกล้เคียงกันในแร่แมงกานีสแต่ละเฟส จึงเป็นการยากที่จะบ่งบอกจากลักษณะที่เห็นนี้เพียงอย่างเดียว ซึ่งอาจจะแตกต่างจากแร่ที่พบภายในประเทศ ตัวอย่างเหล่านี้จึงถูกส่งไปทำการวิเคราะห์ธาตุในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (EPMA) ในระบบอีดีเอส ณ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งโดยทั่วไป การวิเคราะห์ธาตุในตัวอย่าง โดยอินเอ็มเอนี้ สามารถทำได้ 3 วิธ (85) คือ

2.1 การวิเคราะห์เป็นพื้นที่ (Area Analysis) เป็นการวิเคราะห์โดยใช้ลำอิเล็กตรอนสแกนบนผิวตัวอย่างเป็นพื้นที่เล็กๆ ซึ่งความกว้างของพื้นที่จะขึ้นอยู่กับกำลังขยายที่ใช้ เช่น ถ้าใช้กำลังขยาย 10,000 เท่า พื้นที่ลำอิเล็กตรอนสแกนบนตัวอย่างเท่ากับ 100 ตร.มม (จอภาพ CRT ขนาด 10x10 ตร.ซม.) โดยจะสแกนจากซ้ายไปขวาและจากบนลงล่าง รังสีเอ็กซ์เฉพาะตัวที่พุ่งออกมาจากตัวอย่างจะเป็นจุดต่อจุด ภาพที่ได้ในลักษณะจุดของรังสีเอ็กซ์นี้ จะบ่งบอกถึง ลักษณะการกระจายของธาตุ (X-ray Distribution Image หรือ X-ray Map) บนพื้นที่นั้น เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับภาพที่ได้จากอิเล็กตรอนทึบก็ยังสามารถทราบได้ว่า ตำแหน่งของธาตุที่สนใจนั้น มีการกระจายอยู่ในบริเวณใดอย่างไร ดังแสดงในภาพที่ 3.21 ถึง 3.22 ซึ่งเป็นตัวอย่างแร่แมงกานีสเกรดค่าที่เกิดแทรกกับควอทซ์ โดยมีลักษณะของพื้นที่ผิวแสดงใน ภาพที่ 3.20

2.2 การวิเคราะห์ในแนวเส้น (Line Analysis) เป็นการวิเคราะห์โดยสแกนลำอิเล็กตรอนเป็นเส้นในแนวนอนบนตัวอย่างตรงตำแหน่งที่สนใจเพื่อวัดความเข้มของรังสีเอ็กซ์เฉพาะธาตุ ในกรณีที่ต้องการจะหาขอบเขตของรอยต่อ หรือเฟสของโครงสร้าง

2.3 การวิเคราะห์เฉพาะจุด (Point Analysis) เป็นการวิเคราะห์ที่ให้ลำอิเล็กตรอนอยู่ร่วมกับพื้นผิวตัวอย่าง เพื่อวัดปริมาณซึ่งรังสีเอ็กซ์เฉพาะตัวตามจุดที่ต้องการซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณ

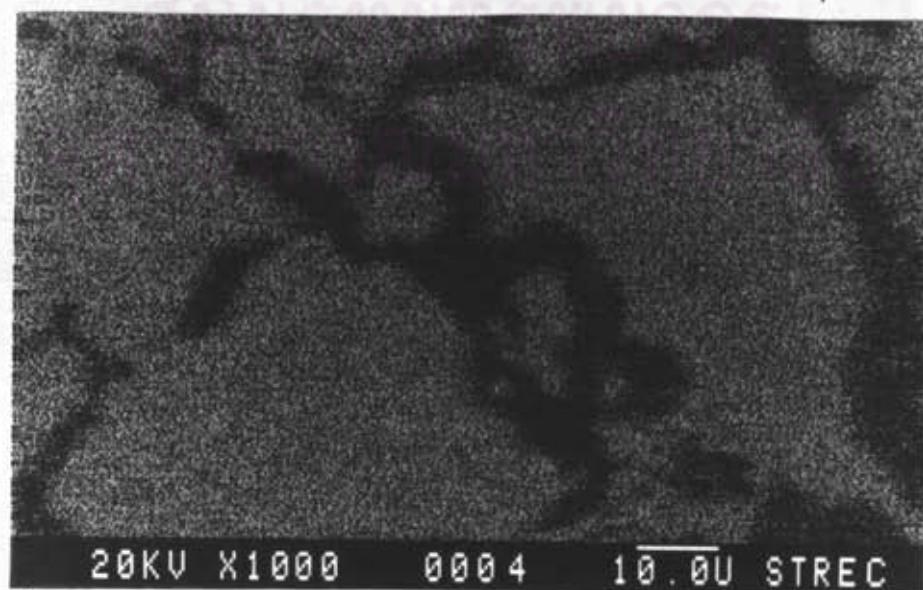
การวิเคราะห์ธาตุ ในการศึกษารังสี ได้ใช้การวิเคราะห์เฉพาะจุดของแต่ละเฟสหรือบริเวณที่ทำเครื่องหมายไว้ โดยใช้โปรแกรม ZAF-4 ช่วยคำนวณหาปริมาณธาตุที่พบ โดยเปรียบเทียบกับธาตุโลหะที่เก็บไว้ในหน่วยความจำของเครื่อง เพื่อจะได้ทราบถึงองค์ประกอบของเฟสที่พบ โดยจะถือเป็นข้อมูลเปรียบเทียบในแต่ละจุด ไม่อาจใช้เป็นข้อมูลเชิงปริมาณที่แท้จริง เนื่องจากไม่มีตัวอย่างมาตรฐานพอ ที่จะให้ค่าปริมาณธาตุที่แน่นอนได้ ดังนั้น ผลการวิเคราะห์เฉพาะจุดจึงละเว้น ไม่แสดงในที่นี้



ภาพที่ 3.20 ลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างแร่เกรดต่ำภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน



ภาพที่ 3.21 การกระจายตัวของแมงกานีส(Mn-Mapping)ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน



ภาพที่ 3.22 การกระจายตัวของซิลิกา(Si-Mapping)ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

ลักษณะเด่นที่พบและสังเกตได้ ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์ ของตัวอย่างแร่แมงกานีส จากแหล่งต่างๆ ร่วมกับ อาจจำแนกออกได้ดังนี้

ลักษณะผลึกรูปเข็ม (Acicular) ของแร่ไนโรลูไซต์ ซึ่งจะเห็น เป็นแร่ที่สว่างกว่าแร่อื่นๆ ดังแสดงในภาพที่ 3.23 และเมื่อทำการ Cross-Nicol จะเห็นลักษณะ Anisotropic ชัดเจนมากเป็นสีเหลืองน้ำตาลจนถึงเทาเขียวดังแสดงในภาพที่ 3.24 พบในตัวอย่างจากแหล่งเทพนิตีและห้วยม่วง

ลักษณะผลึกแบบแท่งใหญ่ (Coarse Tabular) ของแร่ไนโรลูไซต์ จะเห็นเป็นแท่งผลึกขนาดใหญ่ ดังแสดงใน ภาพที่ 3.25 และเมื่อทำการ Cross-Nicol จะเห็นลักษณะของ Anisotropic ชัดเจนเช่นเดียวกันดังแสดงในภาพที่ 3.26 พบในตัวอย่างแร่จากแหล่งเทพนิตีและห้วยม่วง

ลักษณะแร่ควิโตรีมีเลนแบบเนื้อแน่นละเอียด (Massive) แสดงในภาพที่ 3.27 และ 3.29 เมื่อทำการ Cross-Nicol จะเห็นลักษณะเหลือบที่ผิวคล้ายเป็นส่วนของก้อนรูปไต ดังแสดงในภาพที่ 3.28 และ 3.30 โดยพบเกิดร่วมกับผลึกรูปแท่งของไนโรลูไซต์ ดังแสดงในภาพที่ 3.31 และ 3.32 ซึ่งบางครั้ง จะไม่พบการเปลี่ยนแปลงใดๆภายหลัง Cross-Nicol โดยแสดงลักษณะ Isotropic ดังแสดงในภาพที่ 3.33 และ 3.34 แต่บางครั้งอาจพบลักษณะของ Anisotropic และเนื้อ Botryoidal ดังแสดงในภาพที่ 3.35 และ 3.36 พบในตัวอย่างแร่จากแหล่งห้วยม่วง, ห้วยเทียน และเทพนิตี

ลักษณะเนื้อแบบผลึกหยาบ (Cryptocrystalline) ของแร่ควิโตรีมีเลนซึ่งพบเป็นเนื้อออก และจะเห็นชัดเจนหลังการ Cross-Nicol โดยจะแสดงลักษณะ Anisotropic ชัดเจน ดังแสดงในภาพที่ 3.37 และ 3.38 ซึ่งพบเกิดแทรกอยู่ในเนื้อแร่แบบละเอียด ดังแสดงใน ภาพที่ 3.39 และ 3.40 พบในตัวอย่างแร่จากแหล่งห้วยม่วง

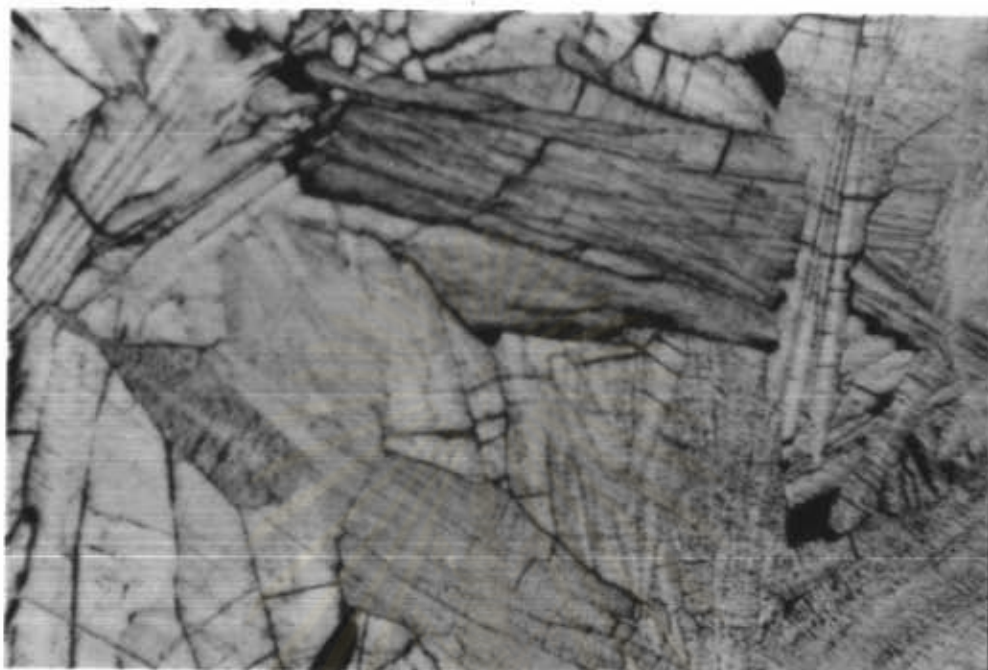
ลักษณะแบบคอลลอยด์ (Colloform) เกิดระหว่างแร่หลายชนิดได้แก่ ควิโตรีมีเลน ไนโรลูไซต์ หรือ เอนซุไทต์ เป็นลักษณะสำคัญที่พบในแหล่งแร่แบบซูเปอร์จิน ดังแสดงในภาพที่ 3.41 และ 3.42 พบในตัวอย่างแร่จากแหล่งห้วยม่วง



ภาพที่ 3.23 ลักษณะผลึกรูปเข็มของแอมโพลีโพรพิลีน (x90)



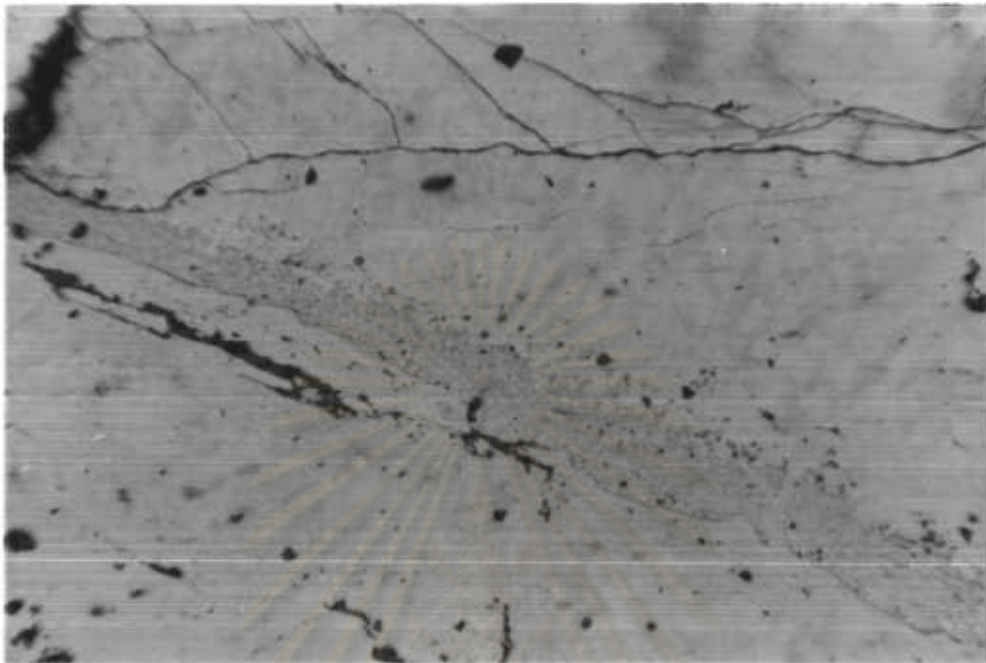
ภาพที่ 3.24 ลักษณะผลึกรูปเข็มของแอมโพลีโพรพิลีน หลังการ Cross-Nicol (x90)



ภาพที่ 3.25 ลักษณะผลึกแท้ของแร่ไนโตรลูไซต์ (x90)



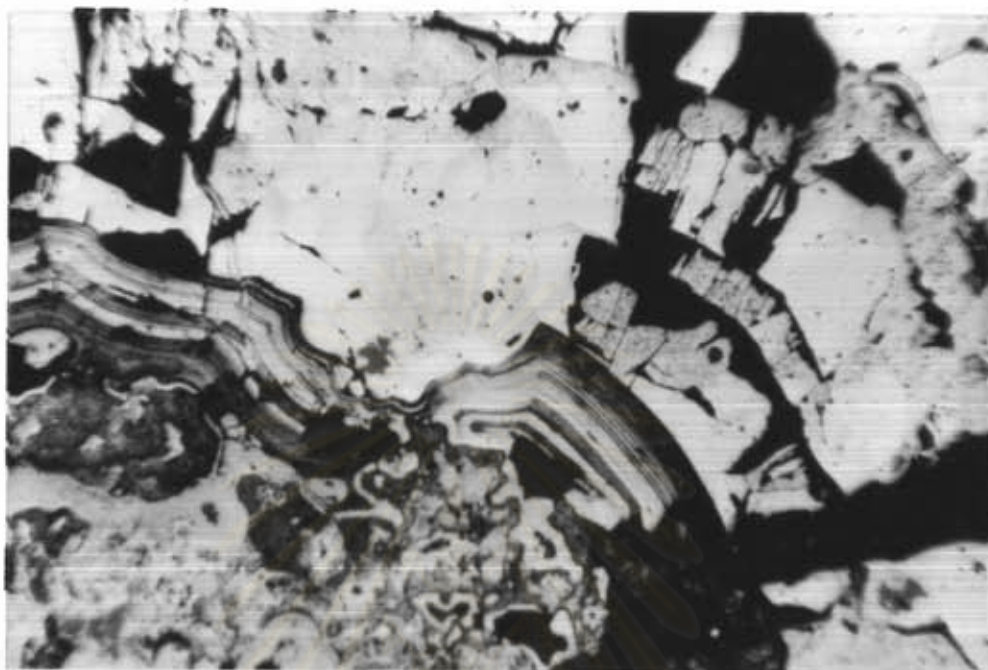
ภาพที่ 3.26 ลักษณะผลึกแท้ของแร่ไนโตรลูไซต์ หลังการ Cross-Nicol (x90)



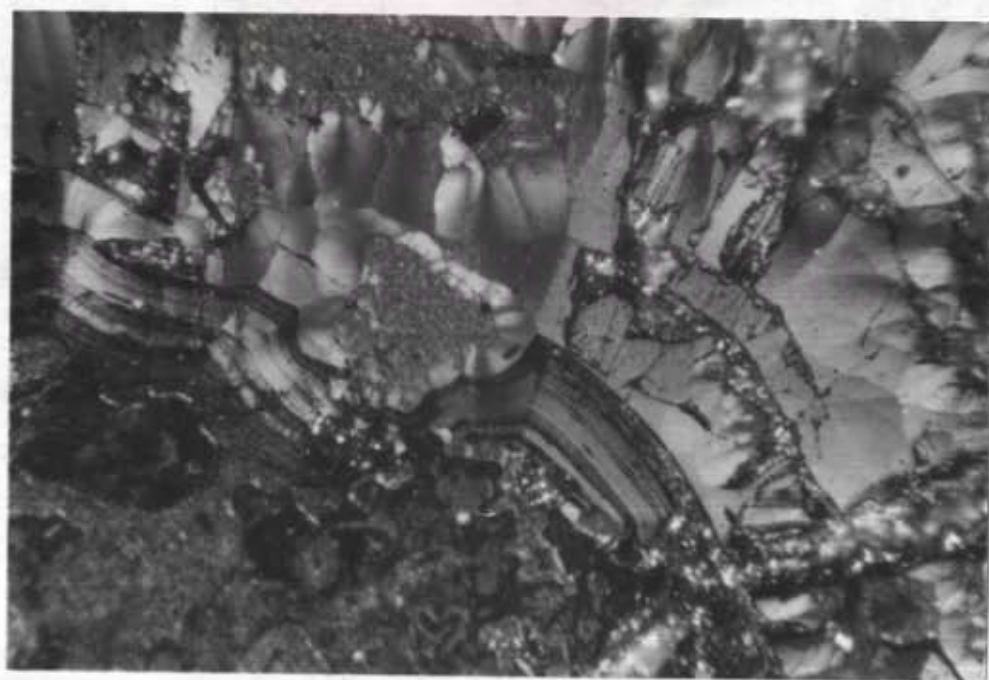
ภาพที่ 3.27 ลักษณะแคว่คิริปโตมีเลนเนื้อแน่นละเอียด (x90)



ภาพที่ 3.28 ลักษณะแคว่คิริปโตมีเลนเนื้อแน่นละเอียด หลังการ Cross-Nicol (x90)

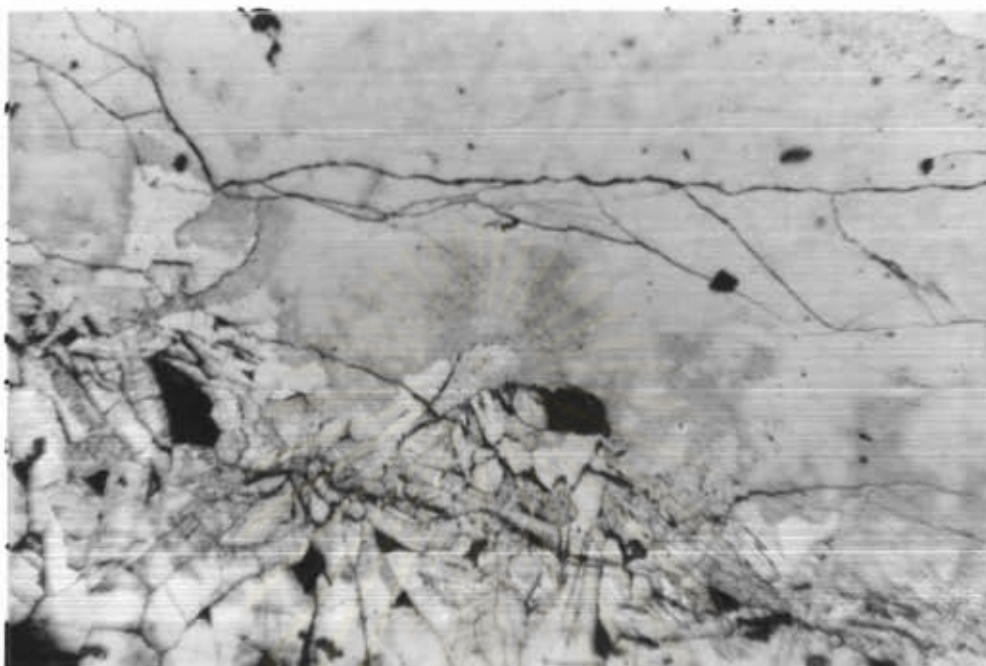


ภาพที่ 3.29 ลักษณะแ่งคิพโตมีเลนเนื้อแน่นละเอียด (x90)

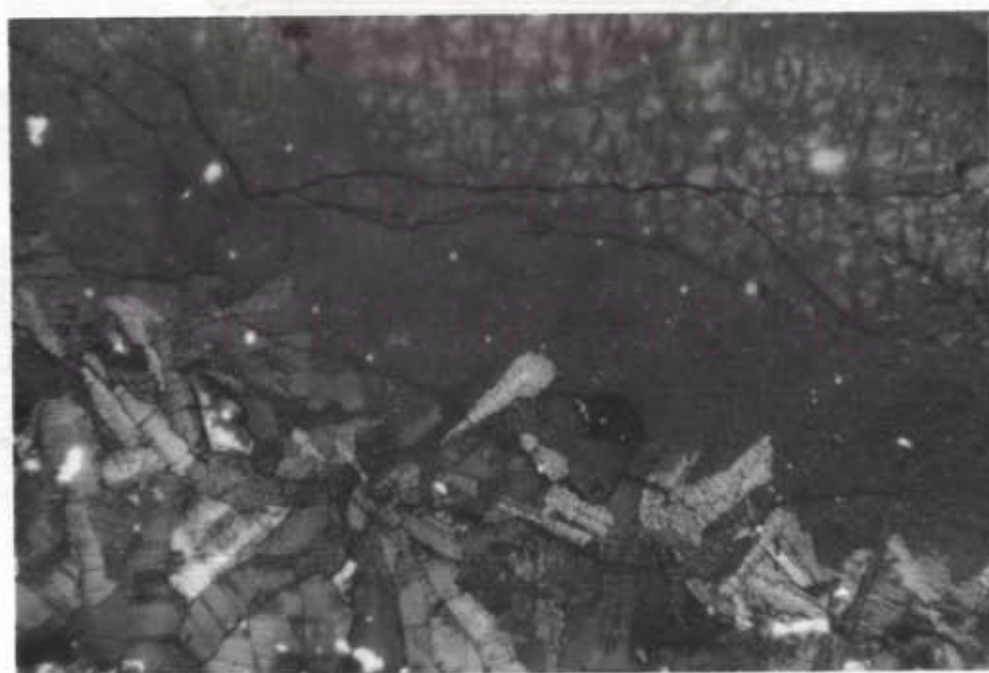


ภาพที่ 3.30 ลักษณะแ่งคิพโตมีเลนเนื้อแน่นละเอียด หลังการ Cross-Nicol (x90)

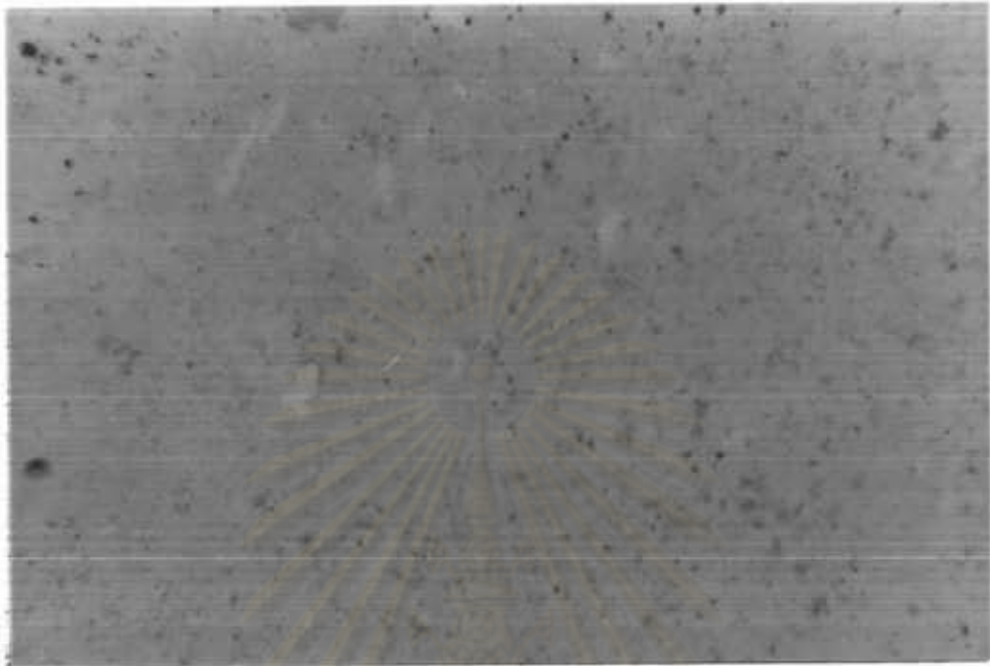




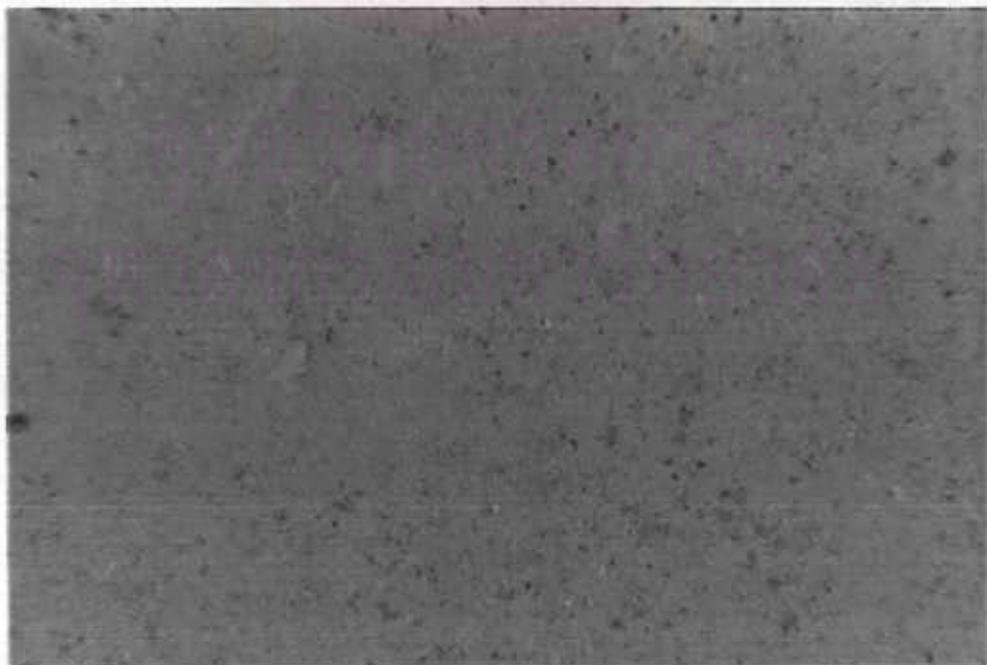
ภาพที่ 3.31 ลักษณะการเกิดร้าวของแฉะคริปโตมีเลนเนื้อแน่นละเอียด  
กับผลึกแห่งของแฉะโพลีเอทิลีน (x90)



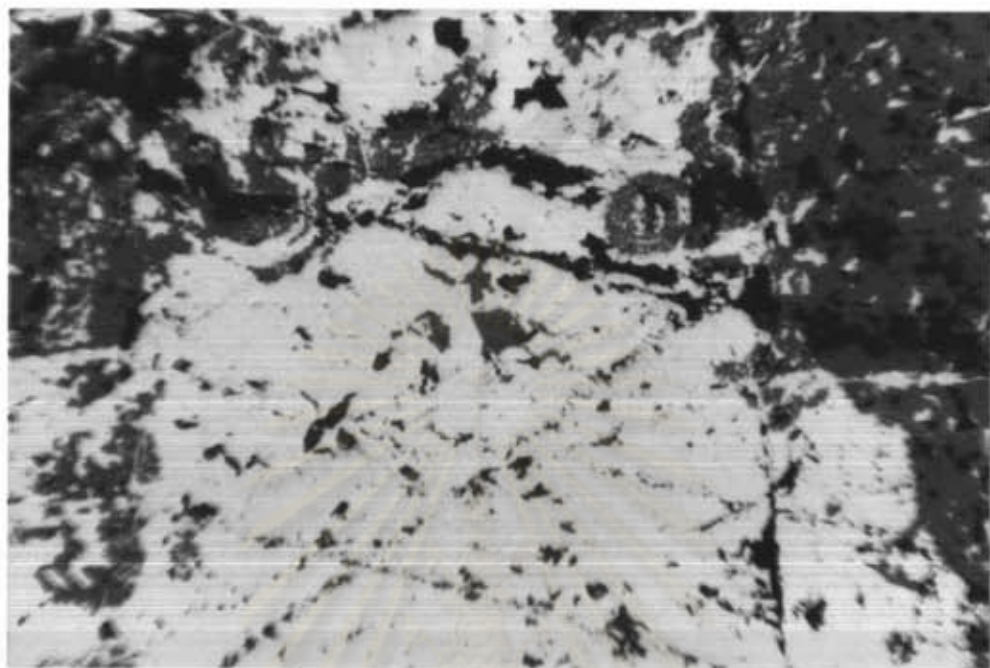
ภาพที่ 3.32 ลักษณะแฉะคริปโตมีเลนเนื้อแน่นละเอียดกับผลึกแห่งของ  
แฉะโพลีเอทิลีน หลังการ Cross-Nicol (x90)



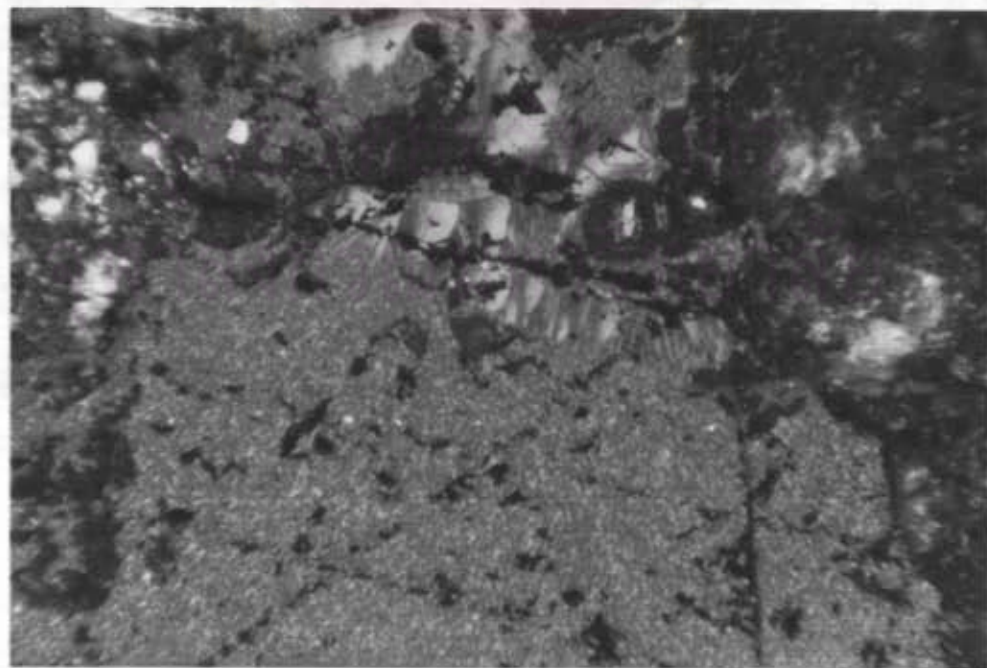
ภาพที่ 3.33 ลักษณะแร่ควิปโตมีเลนเนื้อแน่นละเอียด (x90)



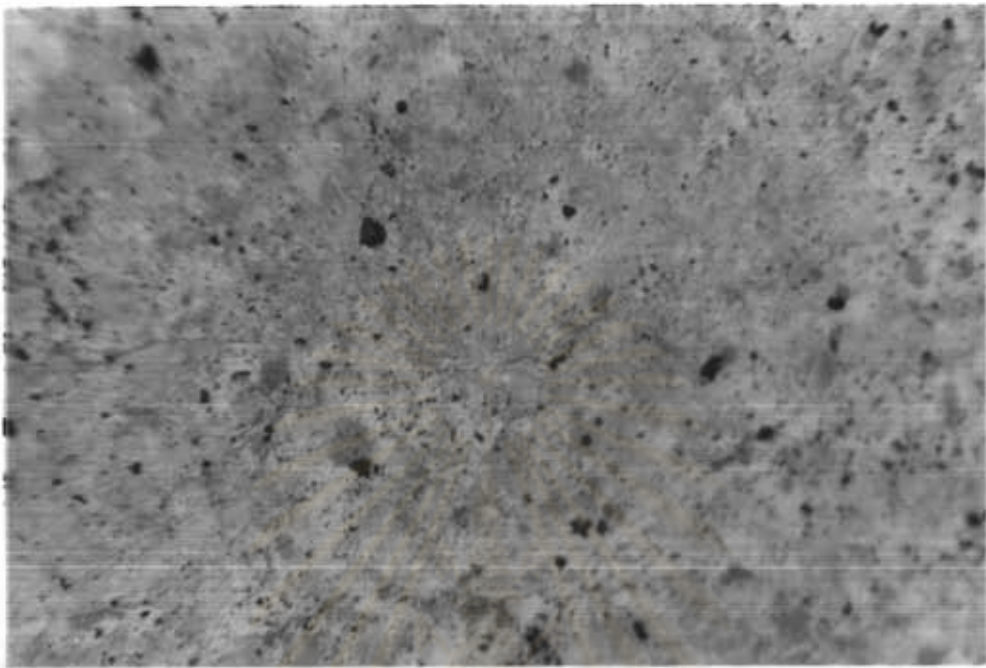
ภาพที่ 3.34 ลักษณะแร่ควิปโตมีเลนเนื้อแน่นละเอียด หลังการ Cross-Nicol (x90)



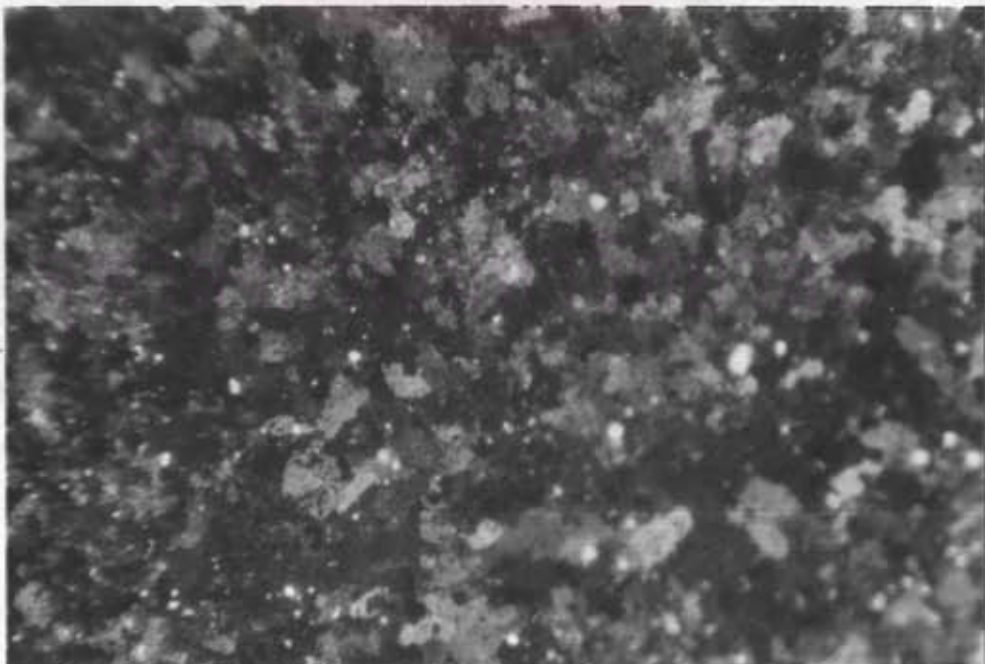
ภาพที่ 3.35 ลักษณะแคว์คิโตรีโตนีเลนเนื้อแน่นละเอียด (x90)



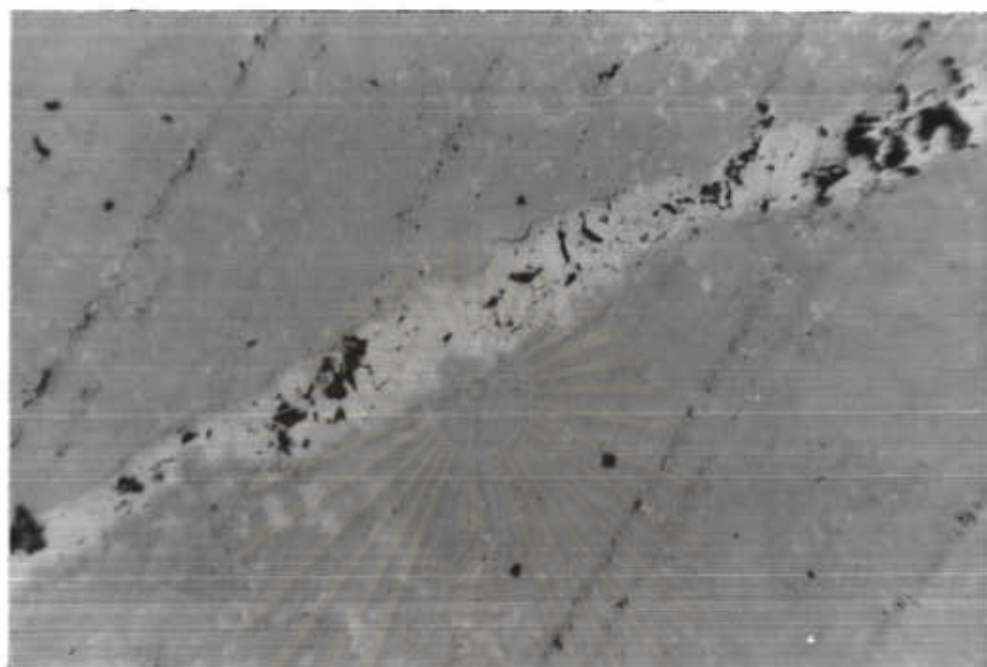
ภาพที่ 3.36 ลักษณะแคว์คิโตรีโตนีเลนเนื้อแน่นละเอียด หลังการ Cross-Nicol (x90)



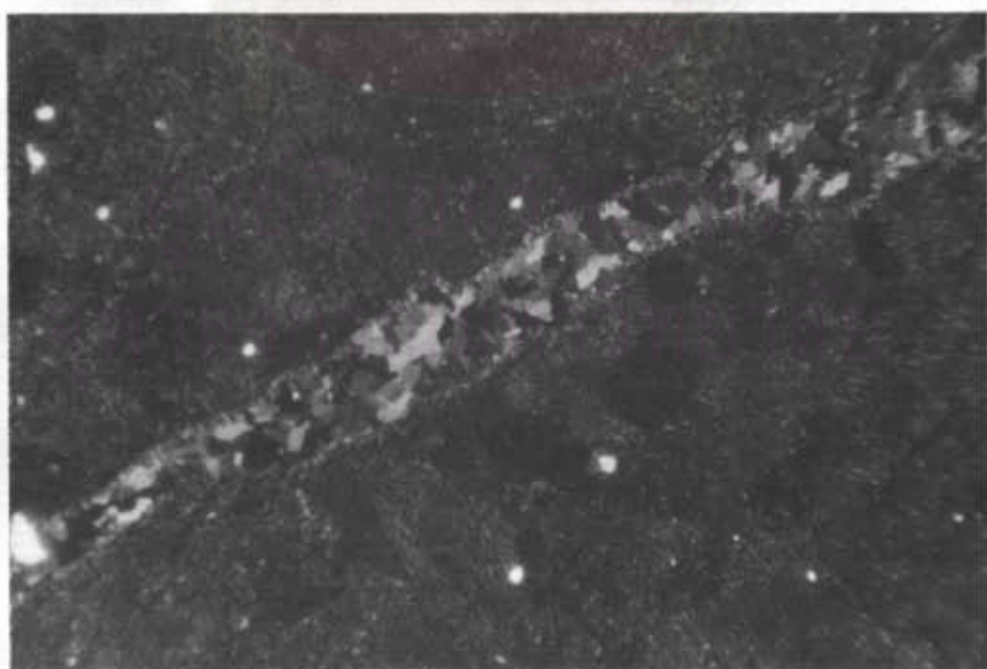
ภาพที่ 3.37 ลักษณะแร่ควิโตรีโตนีเลนแบบผลึกทาบ (x90)



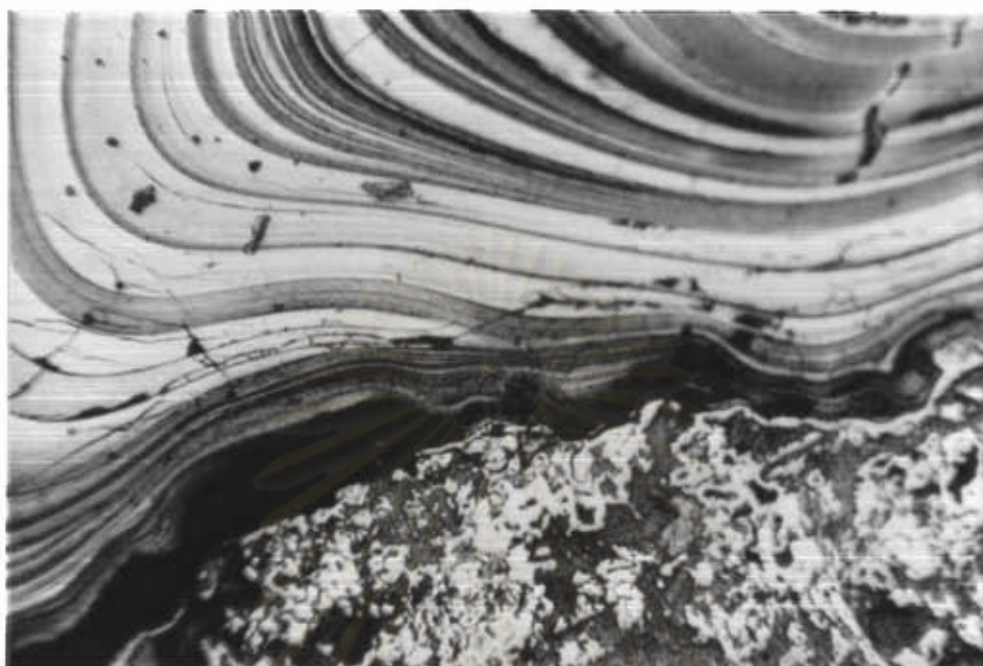
ภาพที่ 3.38 ลักษณะแร่ควิโตรีโตนีเลนแบบผลึกทาบ หลังการ Cross-Nicol (x90)



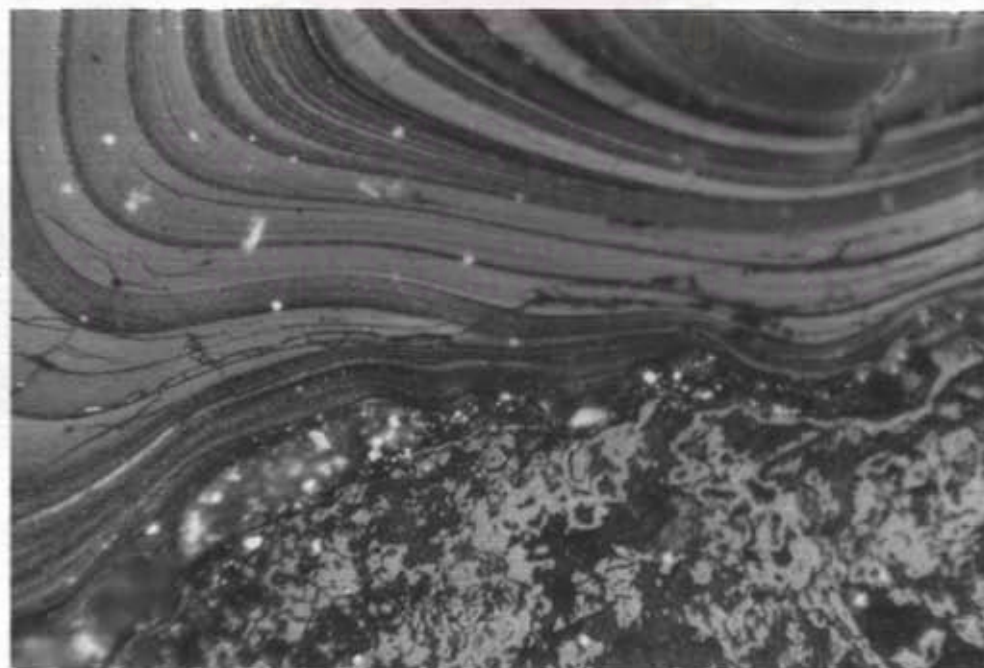
ภาพที่ 3.39 ลักษณะการเกิดร่วมของแครคิโพลิโพรพิลีนแบบผลึกหลาย  
แทรกในแฉะเนื้ออะเอ็ค (x90)



ภาพที่ 3.40 ลักษณะแครคิโพลิโพรพิลีนแบบผลึกหลายเกิดแทรกในแฉะเนื้ออะเอ็ค  
หลังการ Cross-Nicol (x90)



ภาพที่ 3.41 ลักษณะคอลโลฟอร์มของแร่แมงกานีส (x90)



ภาพที่ 3.42 ลักษณะคอลโลฟอร์มของแร่แมงกานีส หลังการ Cross-Nicol (x90)

### ผลสรุปและข้อคิดเห็นในการศึกษาทางแร่วิทยา

จากข้อมูลการศึกษาเกี่ยวกับแหล่งแร่แมงกานีสในประเทศไทย (26)(27)(58)(60) พบสรุปลักษณะการกำเนิดได้ว่า การกำเนิดของแหล่งแร่แมงกานีสมักจะพบเริ่มจากการกำเนิดแบบปฐมภูมิในแบบสายน้ำร้อนชนิดออกซิดา (Epithermal System) โดยพบการเปลี่ยนแปลงของหินข้างเคียงในแบบฟิลลิก (Phyllic) และซิลิซิเคชัน (Silification) บริเวณที่พบแร่แมงกานีสมักจะอยู่ใน หินดินดานหรือหินตะกอนละเอียด ในช่วงยุคโอไอนีออน ถึงคาร์บอนิเฟอรัส ซึ่งมักจะพบการเกิดเนื้อหินในแบบทัฟฟ์ (Tuffaceous) สลับกับหินตะกอน ซึ่งแสดงถึงความเกี่ยวพันกับหินอัคนี และจะเกิดเป็นแหล่งแร่ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ โดยพบแร่เกรดคืออยู่มากพอจะต้องถูกกระทำด้วยกระบวนการละลายทางเคมีในแบบซูเปอร์เจน (Supergene) ซึ่งทำให้เกิดมีแร่แมงกานีสหลายประเภท เกิดร่วมกันอยู่อย่างซับซ้อน การที่จะบ่งบอชนิดของแร่ในแหล่งนั้นอย่างครบถ้วนถูกต้องโดยสมบูรณ์นั้น จึงเป็นเรื่องที่ยากอย่างยิ่ง แม้จะใช้เทคนิคการวิเคราะห์หลายแบบประกอบกันก็ตาม เช่น ในการวิเคราะห์ด้วย XRD รูปแบบของผลวิเคราะห์ของแร่แมงกานีสในเฟสต่างๆ ก็ค่อนข้างใกล้เคียงกันและซ้อนทับกันอยู่บ้าง การบ่งบอชนิดของแร่จึงต้องอาศัยข้อมูล จากการศึกษาชนิดของ แร่แมงกานีสจากแหล่งต่างๆ ที่เป็นที่ยอมรับได้ ว่า แร่แมงกานีสชนิดใด ที่จะมีโอกาสเกิดร่วมกันได้ ในสภาวะแวดล้อม ของการกำเนิดที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งแม้บางครั้ง รูปแบบของผลวิเคราะห์จะต่างไป จากข้อมูลมาตรฐานของแร่ใน JCPDS-Card (89) ไปเล็กน้อย แต่ก็ถือได้ว่ามีความน่าจะเป็นแร่ที่นั้นๆ อยู่สูงมาก ซึ่งต้องสอดคล้อง กับลักษณะของแร่ที่พบภายใต้กล้องจุลทรรศน์ และส่วนประกอบของเฟสที่นั้นๆ จากอินฟิเรด นอกจากนี้ผลการทดสอบคุณสมบัติในการทำถ่านไฟฉาย ก็ยังเป็นส่วนช่วยบ่งบอชนิดของเฟสต่างๆ ของแร่แมงกานีสได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งจากข้อมูลในการวิเคราะห์ครั้งนี้สรุปได้ว่า ถ้าแร่แมงกานีสแหล่งนั้นมีแอคติวิตี ก็น่าที่จะพบเฟสของแร่เนอซูไทท์ (Nsutite) ซึ่งเป็นแกมมาเฟส หรือแร่คริปโตไมเลนผลึกละเอียด (Microcrystalline Cryptomelane) ซึ่งเป็นเคลตาเฟส อยู่ด้วยอย่างแน่นอน โดยจะพบว่ามีรูปแบบทางรังสีเอ็กซ์ คล้ายคลึงกับตัวอย่างสารประกอบ Activated  $MnO_2$  ซึ่งจะพบรูปแบบเป็นแนวเส้นที่กว้างและค่อนข้างต่ำในช่วงตำแหน่งระยะ d ที่ประมาณ 3.9, 2.4 2.1, 1.6 และ 1.4 ตามลำดับดังแสดงในภาพที่ 3.16 อันเนื่องมาจากการที่แมงกานีสหลายวาเลนซ์อยู่ในองค์ประกอบโมเลกุล ซึ่งจะมีส่วนประกอบทางเคมีไม่แน่นอน ทำให้ไม่มีความสมบูรณ์ของโครงสร้างของผลึก ซึ่งจะพบในตัวอย่างแร่ HM1, HM2, HT และ ที่เด่นชัดที่สุดคือ LP1 ในส่วนที่แอคติวิตีไม่ค่านั้นจะไม่พบรูปแบบรังสีเอ็กซ์ในลักษณะนี้ที่ตำแหน่งดังกล่าว ได้แก่ PK LP2, LP3 และ LP4 ซึ่งในตัวอย่าง LP3 นั้นจะพบรูปแบบทางรังสีเอ็กซ์คล้ายคลึงกับตัวอย่างสารประกอบ  $MnO_2$  จากเวทรอน ซึ่งแสดงว่า รูปแบบทางรังสีเอ็กซ์นี้ จะมีความสัมพันธ์กับแอคติวิตีของแร่

สำหรับส่วนประกอบของแร่แมงกานีส ชนิดต่างๆ และมลทินที่เจือปนในแหล่งแร่ทั้ง 4 แห่ง พอสรุปได้ดังนี้

1. แหล่งห้วยม่วง (HM) ประกอบด้วยแร่เอนซุไทต์ และคริปโตมีเลนผลึกละเอียด เป็นส่วนใหญ่ และมีแร่แมงกานีสอื่นเกิดร่วมที่สำคัญ ได้แก่ เวอร์นาไคต์, ไนโตรลูไซต์, เฮาส์แมนไนต์ และแร่มลทินคือ ควอทซ์ และ โรโดไนต์

2. แหล่งห้วยเทียน (HT) ประกอบด้วยแร่เอนซุไทต์และคริปโตมีเลนผลึกละเอียด เป็นส่วนใหญ่เช่นกัน โดยจะพบมลทินของทองแดงเป็นธาตุอยู่ในโครงสร้างของผลึกด้วย ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ด้วย EPMA ทำให้การละลายเอาธาตุทองแดงออกมา โดยวิธีทางเคมีนั้นเป็นเรื่องที่ยาก แร่ที่เกิดร่วมคล้ายคลึงกับแหล่งห้วยม่วงได้แก่ เวอร์นาไคต์, โทโคโรไกต์, ไนโตรลูไซต์, เกราไทต์ และอาคเทนสไกต์ (Aktenskite) ซึ่งเป็นเฟสของ  $E-MnO_2$  ส่วนมลทินที่สำคัญคือ ควอทซ์ และแมกนีไทต์ หรือจาโคบไซต์

3. แหล่งผาขาว (PK) ประกอบด้วย แร่เวอร์นาไคต์ และคริปโตมีเลน เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ก็มี บราวไนต์, บิกซ์ไบไคต์, โทโคโรไกต์, เกราไทต์ และไนโตรโครไซต์ ส่วนมลทินที่พบคือ ควอทซ์ และแมกนีไทต์หรือจาโคบไซต์ คล้ายกับแหล่งห้วยเทียน

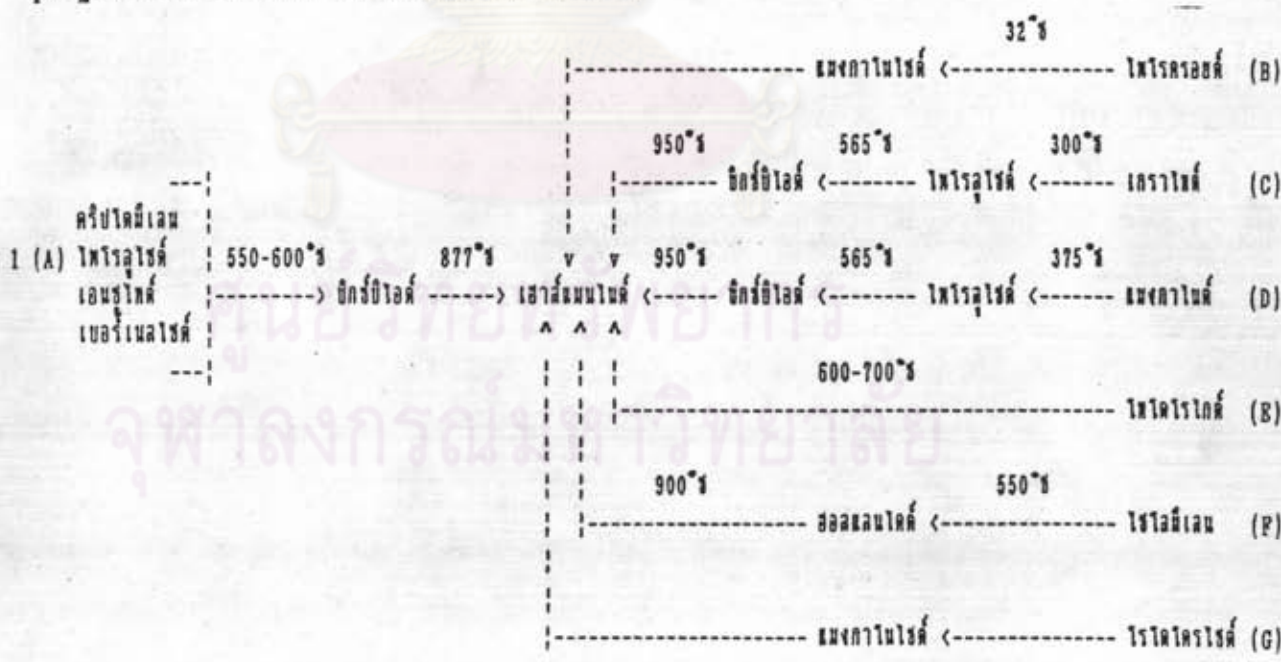
4. แหล่งเทพนิธ (LP) ในแหล่งนี้มีตัวอย่างแร่อยู่หลายลักษณะที่พบ ซึ่งได้ทำการแบ่งวิเคราะห์ออกเป็น 4 ตัวอย่าง คือ LP1, LP2, LP3 และ LP4 โดย LP1 นั้นจัดเป็นแร่เกรดแบตเตอรี่ที่ดีมาก ประกอบด้วยแร่เอนซุไทต์ และคริปโตมีเลนผลึกละเอียดเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ก็พบเป็น อาคเทนสไกต์ และไนโตรลูไซต์ ส่วน LP2 และ LP3 มีแอคติวิตีตรงลงมาพบแร่ส่วนใหญ่เป็น เวอร์นาไคต์, คริปโตมีเลน, ไนโตรลูไซต์, โทโคโรไกต์ และควอทซ์ โดยเฉพาะ LP3 จะพบเฟสส่วนใหญ่เป็น ไนโตรลูไซต์ ส่วน LP4 จะประกอบด้วยคริปโตมีเลน และ โทโคโรไกต์ เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ก็มี บิกซ์ไบไคต์ (ชนิดเหล็กต่ำ) ซึ่งมีแอคติวิตีไม่ดี



การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแร่ด้วย DTA

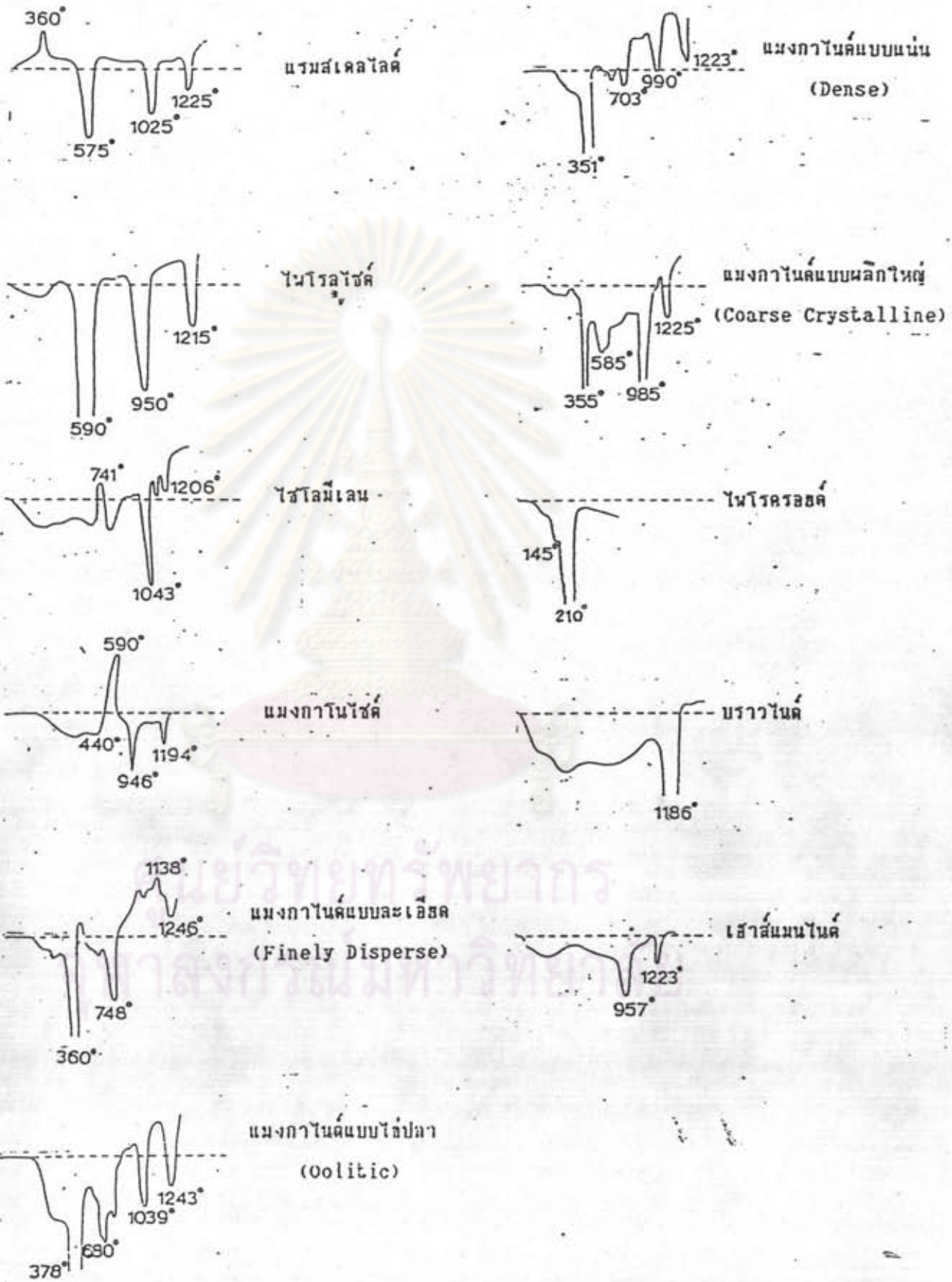
การศึกษาตัวอย่างแร่ด้วยวิธีนี้เป็นการหาการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างที่อุณหภูมิต่างๆ ในแต่ละช่วงเวลา เช่น การคายน้ำ (Dehydration), การเพิ่มออกซิเจน (Oxidation), การสลายองค์ประกอบ (Decomposition) และการเปลี่ยนสภาพของผลึก เป็นต้น โดยการเผาแร่ที่อุณหภูมิสูงขึ้น เปรียบเทียบกับอุณหภูมิของวัสดุมาตรฐาน เมื่อเกิดมีปฏิกิริยาต่างๆ ในรูปของการดูดหรือคายความร้อน ก็จะทำให้ Peak ที่สูงขึ้นหรือลดลงจากมาตรฐาน ที่อุณหภูมินั้นๆ ใช้ในการวิเคราะห์แร่ ที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิในรูปแบบเฉพาะหลายประเภท ซึ่งแร่แมงกานีสก็จัดเป็นแร่ที่มีคุณสมบัติดังกล่าว โดยแร่แต่ละเฟสจะให้ผลของการเปลี่ยนแปลงที่ใกล้เคียงหรือแตกต่างกันไปบ้าง ในรูปของกราฟระหว่างอุณหภูมิกับเวลา ผลของการวิเคราะห์แร่แมงกานีสในเฟสต่างๆ ที่มีการเผยแพร่ได้แสดงในภาพที่ 3.44 ซึ่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงนั้นแสดงในตารางที่ 3.11

เป็นที่ทราบกันว่า แร่แมงกานีสนั้น เมื่อถูกความร้อนกระทำที่อุณหภูมิต่างๆ จะเกิดการเปลี่ยนรูปแบบจากแร่หนึ่งไปสู่อีกแร่หนึ่ง ทำให้เกิดมีแร่แมงกานีสเกิดร่วมอยู่หลากหลายในทางแร่วิทยา ได้มีผู้ศึกษาและรวบรวม การเปลี่ยนรูปของ แร่แมงกานีสออกไซด์ และคาร์บอเนตที่อุณหภูมิต่างๆ (44) ดังแสดงในแผนผัง ภาพที่ 3.43



2 1A, 1C, 1D, 1E + เฟสออกไซด์หรือไฮดรอกไซด์ ----> บิกซ์ไบต์ -----> จาคอบไนต์ หรือ พีร์เดนเชอร์ไนต์  
 (Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ที่มี (MnPe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) (MnPe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> กับ  
 60%Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ส่วนเกิน ในรูป Solid Solution)

ภาพที่ 3.43 การเปลี่ยนรูปของแร่แมงกานีสออกไซด์และคาร์บอเนต ที่อุณหภูมิสูงขึ้น (44)



ภาพที่ 3.44 ลักษณะของกราฟ DTA ของแร่แมงกาโนไซด์ชนิดต่างๆ ที่เพชแพร่ (45)

ตารางที่ 3.10 ข้อมูลผลการวิเคราะห์ด้วย DTA ของแร่เหล็กที่ผลิตจากโรงไฟฟ้าบางเขน (96)

| แร่          | สูตรเคมี                                      | อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง<br>(องศาเซลเซียส) | ผลที่เกิดขึ้น | ระบุชื่อสารหรือการเปลี่ยนแปลง<br>ระบุชื่อสารหรือการเปลี่ยนแปลง |
|--------------|---|--|---------------|--|
| แร่เหล็ก     | $\gamma\text{-MnO}_2$                         | 450-500                                  | คายความร้อน   | $\beta\text{-MnO}_2$   |
|              |   | 650-700                                  | ดูดความร้อน   | Mn2O3  |
|              |   | 950-1050                                 | ดูดความร้อน   | $\beta\text{-Mn}_3\text{O}_4$                                  |
|              |   | 1200                                     | ดูดความร้อน   | หลอม $\beta\text{-}\gamma\text{-Mn}_3\text{O}_4$               |
| โพโรไซด์     | $\beta\text{-MnO}_2$                          | 580-650                                  | ดูดความร้อน   | Mn2O3  |
|              |   | 950-1050                                 | ดูดความร้อน   | $\beta\text{-Mn}_3\text{O}_4$                                  |
|              |   | 1200                                     | ดูดความร้อน   | หลอม $\beta\text{-}\alpha\text{-Mn}_3\text{O}_4$               |
| โซโลไมเอม    | $\text{BaMn}_8\text{O}_{16}$                  | 741                                      | คายความร้อน   | -  |
|              |   | 900-1000                                 | ดูดความร้อน   | -  |
|              |   | 1200                                     | ดูดความร้อน   | -  |
| คาร์โบไมเอม  | $\text{KMn}_8\text{O}_{16}$                   | 900-1000                                 | ดูดความร้อน   | Mn3O4  |
| แมงกานีส     | $\text{MnOOH}$                                | 350-400                                  | ดูดความร้อน   | สูญเสียน้ำ $\rightarrow$ Mn2O3                                 |
|              |   | 950-980                                  | ดูดความร้อน   | Mn2O3  |
| โพโรรอสต์    | $\text{Mn}(\text{OH})_2$                      | 500-570                                  | ดูดความร้อน   | $\alpha\text{-Mn}_2\text{O}_3$                                 |
|              |   | 640-700                                  | ดูดความร้อน   | $\alpha\text{-}\beta\text{-Mn}_2\text{O}_3$                    |
| บิกซิมิไรต์  | $(\text{Mn,Fe})_2\text{O}_3$                  | 1000                                     | ดูดความร้อน   | $\beta\text{-Mn}_3\text{O}_4$                                  |
| บรานไนต์     | $3\text{Mn}_2\text{O}_3 \cdot \text{MnSiO}_3$ | 950-1050                                 | ดูดความร้อน   | $\beta\text{-Mn}_3\text{O}_4$                                  |
|              |   | 1150-1200                                | ดูดความร้อน   | $\beta\text{-}\alpha\text{-Mn}_3\text{O}_4$                    |
| เฮมาไทต์     | $\text{Mn}_3\text{O}_4$                       | 900-970                                  | ดูดความร้อน   | หลอม $\gamma\text{-}\beta\text{-Mn}_3\text{O}_4$               |
|              |   | 1150-1200                                | ดูดความร้อน   | $\beta\text{-}\alpha\text{-Mn}_3\text{O}_4$                    |
| แมงกานีสไรต์ | $\text{MnO}$                                  | 440                                      | ดูดความร้อน   | -  |
|              |   | 600-650                                  | คายความร้อน   | ออกซิเดชัน $\beta\text{-MnO}_2$                                |
|              |   | 900-950                                  | ดูดความร้อน   | $\beta\text{-Mn}_3\text{O}_4$                                  |
|              |   | 1200                                     | ดูดความร้อน   | $\beta\text{-}\alpha\text{-Mn}_3\text{O}_4$                    |

จุดประสงค์ของการวิเคราะห์แรม่งกานีสด้วย DTA นี้ เนื่องรวบรวมลักษณะสำคัญที่จะพบจากแรม่งกานีสจากแหล่งต่างๆ เช่น เกี่ยวกับการศึกษาลักษณะอื่นๆ ได้แก่ HM, HT, PK และ LP โดยจะสังเกตอุณหภูมิและการเปลี่ยนเฟสไปสู่รูป  $Mn_2O_3$  ว่าจะเกิดได้ทุกแหล่งใกล้เคียงกันหรือไม่ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการกระดุนผิวแรม่งแบบ AMD สำหรับการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของแรม่งกานีสในประเทศไทย

### ผลการวิเคราะห์แรม่งกานีสด้วย DTA

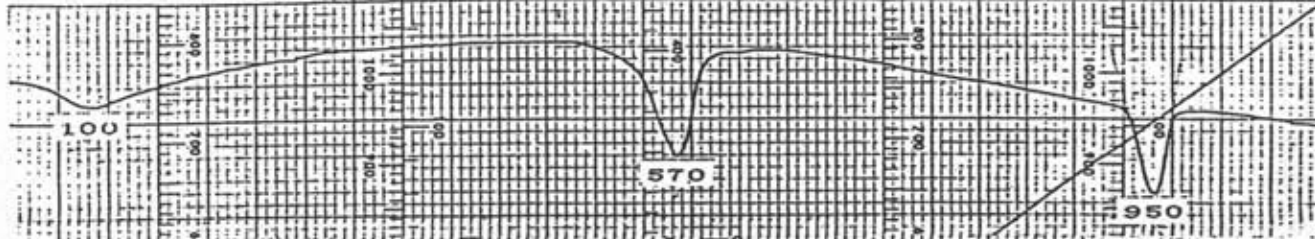
ตัวอย่างแรม่งกานีส ที่ใช้ศึกษา เป็นตัวอย่างเกี่ยวกับการศึกษาอื่นๆ โดยทำการบดตัวอย่างให้ละเอียดส่งไปวิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยเครื่อง Shimadzu

จากผลการวิเคราะห์กล่าวได้ว่า ลักษณะของ Peak ของแรม่งที่มีแอกติวิตีดี จะคล้ายคลึงกับสารประกอบ Activated- $MnO_2$  หรือ  $\alpha$ - $MnO_2$  ของเวทรอน ดังแสดงในภาพที่ 3.45 โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงแบบดูดความร้อน ที่อุณหภูมิประมาณ  $100^{\circ}C$  ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาการระเหยน้ำที่ผิว แสดงให้เห็นว่า แรม่งกานีสที่มีแอกติวิตีดีนั้น จะต้องมีน้ำเป็นองค์ประกอบ และมีพื้นที่ผิวที่รับความชื้นได้มาก จึงมีความไวในการทำปฏิกิริยาได้มากกว่า ซึ่งอาจเป็นปัจจัยอื่นหนึ่งที่ทำให้ แรม่งกานีสเกรดคอบดเคอร์สูญเสียแอกติวิตีไปได้ ภายหลังการอบแรม่งที่อุณหภูมิ  $100^{\circ}C$  ดังนั้นในการผลิตแรม่งเกรดนี้ จึงไม่ควรใช้การทำแห้งด้วยการอบจนถึงอุณหภูมิดังกล่าว ขณะที่ในตัวอย่าง  $\beta$ - $MnO_2$  จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมินี้ ดังแสดงในภาพที่ 3.47 ส่วนการเปลี่ยนแปลงแบบดูดความร้อน อีกช่วงหนึ่งเกิดที่อุณหภูมิประมาณ  $600-700^{\circ}C$  ซึ่งเป็นการเปลี่ยนรูปจาก  $MnO_2$  ไปเป็น  $Mn_2O_3$  ทำให้สามารถใช้ขบวนการ AMD ในการปรับปรุงคุณภาพได้ทุกแหล่งและในช่วงสุดท้าย เกิดการเปลี่ยนแปลงแบบดูดความร้อน ที่อุณหภูมิ  $950-1050^{\circ}C$  เป็นการเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ  $Mn_3O_4$

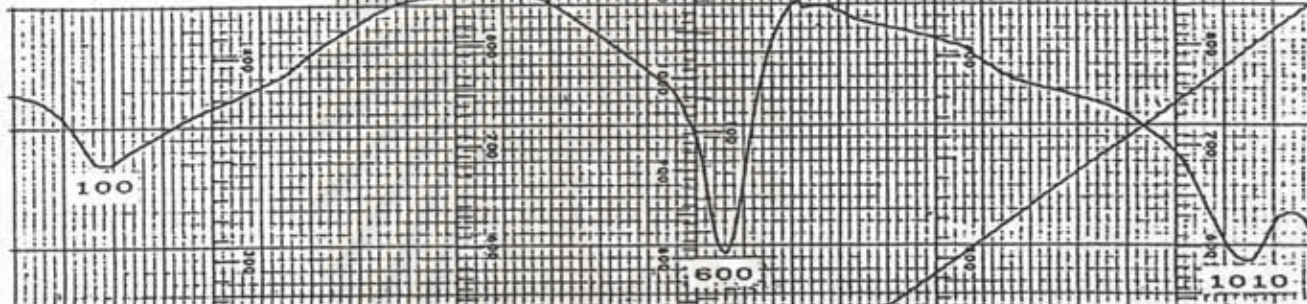
ส่วนตัวอย่างแรม่งที่มีแอกติวิตีไม่ดีนัก จะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่หลายช่วงอุณหภูมิ มากกว่าแรม่งที่มีแอกติวิตีดี ดังแสดงในภาพที่ 3.46 เนื่องจากมีแรม่งกานีสอยู่หลายเฟสเกิดร่วมกันอย่างซับซ้อน และมีธาตุอื่นเจือปนในโครงสร้างมาก นอกจากนี้ได้ทำการวิเคราะห์สารประกอบแรม่งกานีสอื่นๆจากเวทรอนอีก ซึ่งมีผลการวิเคราะห์แสดงใน ภาพที่ 3.48 เพื่อใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบในการพิจารณาด้วย

SAMPLE S-MnO<sub>2</sub> 45.0 mg  
 RT 1100 °C  
 Heating Rate 20 °C  
 Range +250 v  
 N<sub>2</sub> 50 ml/min

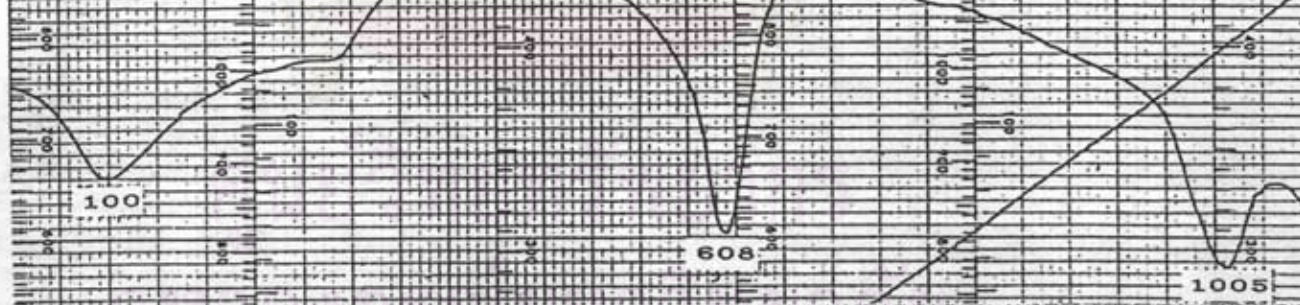
165



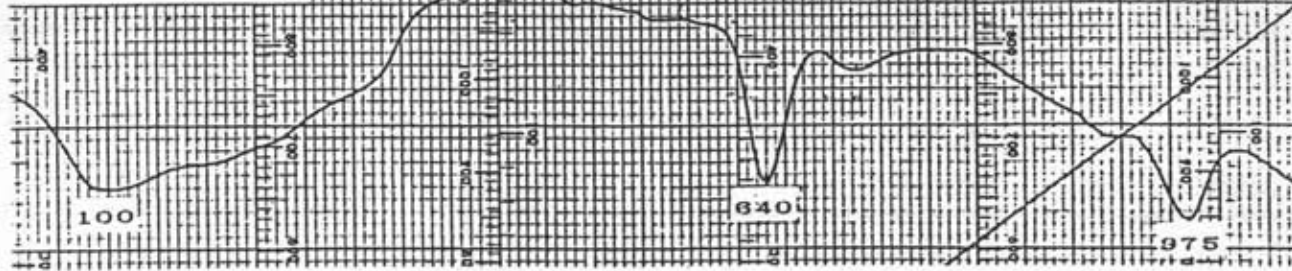
SAMPLE HK 120.1 mg  
 RT 1100 °C  
 Heating Rate 20 °C  
 Range +100 v  
 N<sub>2</sub> 50 ml/min



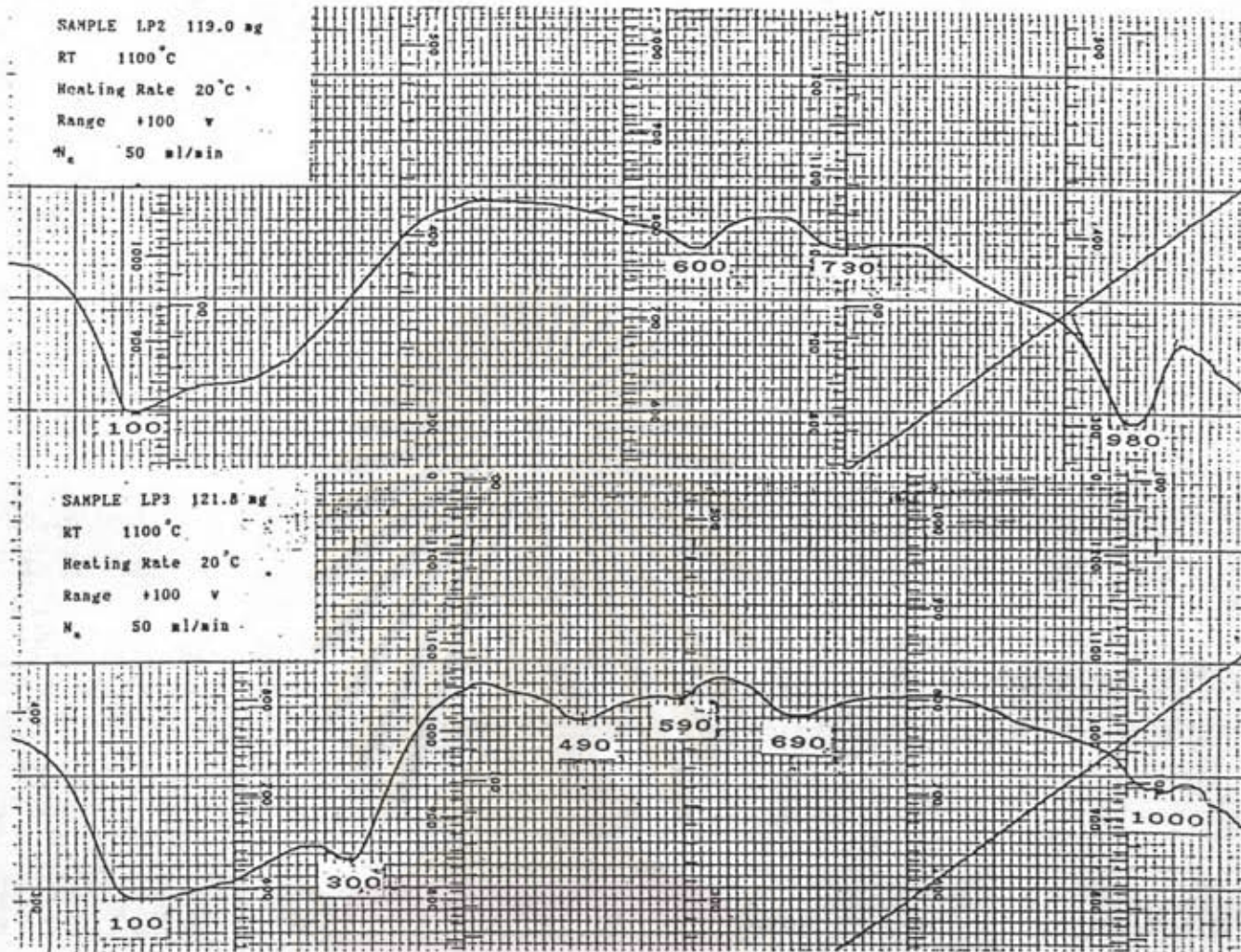
SAMPLE HT1 120.8 mg  
 RT 1100 °C  
 Heating Rate 20 °C  
 Range +100 v  
 N<sub>2</sub> 50 ml/min



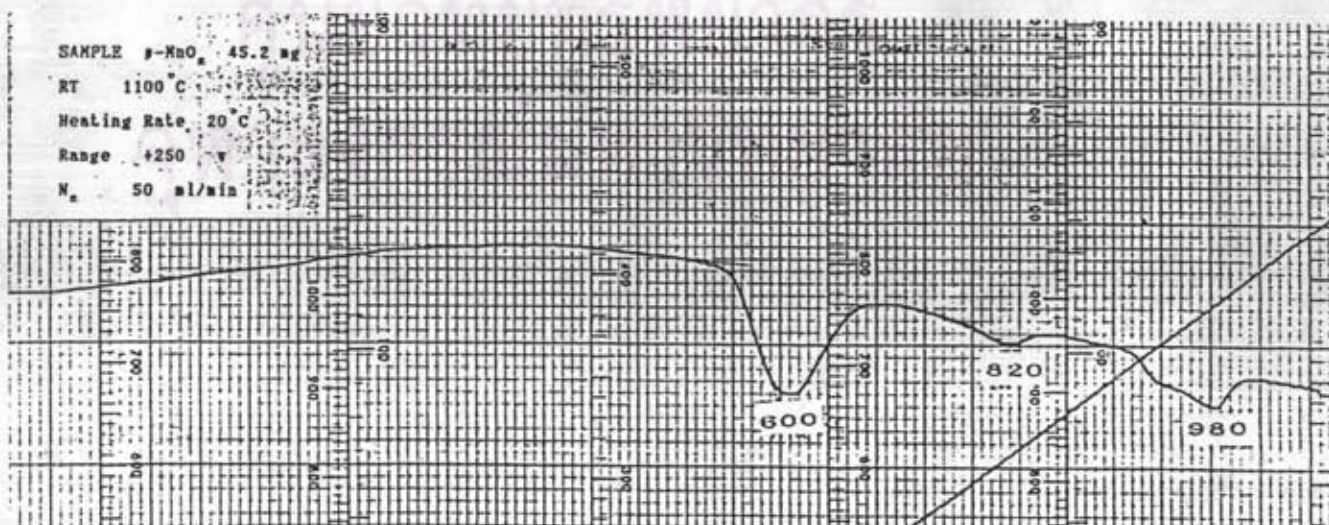
SAMPLE LP1 118.8 mg  
 RT 1100 °C  
 Heating Rate 20 °C  
 Range +100 v  
 N<sub>2</sub> 50 ml/min



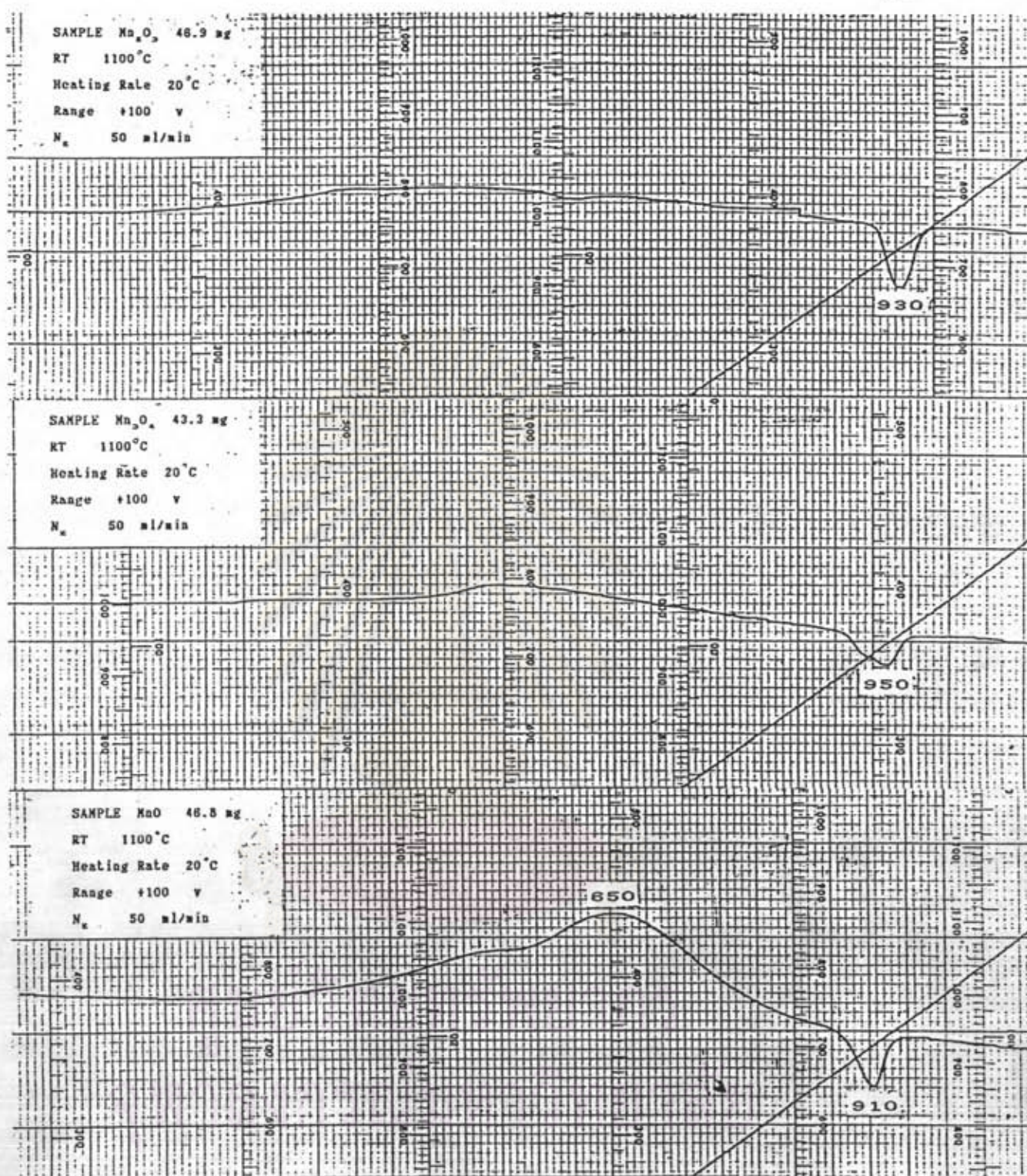
ภาพที่ 3.45 ผลวิเคราะห์ DTA ของตัวอย่างกลุ่มที่ 1 แก๊สออกซิเจน



ภาพที่ 3.46 ผลวิเคราะห์ DTA ของตัวอย่างกลุ่มที่มีแอสคิวติไมด์นิก



ภาพที่ 3.47 ผลวิเคราะห์ DTA ของสารประกอบ  $\beta$ -MnO<sub>2</sub>



ภาพที่ 3.48 ผลวิเคราะห์ DTA ของสารประกอบแมงกานีสจาก บริษัท เวนทรอน