

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การศึกษาโครงสร้างผลึกและองค์ประกอบของ อัญมณีมุกดาหาร

โดย

รองศาสตราจารย์ ดร.ณสรณ์ ผลโภค
ผู้ช่วยศาสตราจารย์บัญชา ศิลปสกุลสุข
อาจารย์ ดร.ธนภรณ์ โตโสภณ
นายเสริมสุข รัตเร่ง

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

553.8
ก522

รายงานการวิจัยฉบับนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินงบประมาณ
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประจำปี 2550

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การศึกษาโครงสร้างผลึกและองค์ประกอบของ
อัญมณีมุกดาหาร

โดย

รองศาสตราจารย์ ดร.ณสรวง ผลโภค
ผู้ช่วยศาสตราจารย์บัญชา ศิลปสกุลสุข
อาจารย์ ดร.ธนภรณ์ โตโสภณ
นายเสริมสุข รัตเร่ง

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

รายงานการวิจัยฉบับนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินงบประมาณ
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประจำปี 2550

ประกาศคุณูปการ

งานวิจัยครั้งนี้ไม่อาจสำเร็จล่วงได้ หากไม่ได้รับการสนับสนุนจากหน่วยงานต่างๆ ดังนี้
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ คณะผู้วิจัย
ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงาน และเจ้าหน้าที่ที่ให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆ ตลอดมา

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการ
ใช้อุปกรณ์สำหรับการหาค่าความถ่วงจำเพาะและค่าดัชนีหักเห ตลอดจนความช่วยเหลือในการ
ตัดแต่งตัวอย่าง

ขอขอบคุณฝ่ายวิจัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบ
ประมาณประจำปี 2550

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบุพการีและครอบครัวที่เป็นกำลังใจให้เสมอมา

คณะผู้วิจัย

24 พฤษภาคม 2553



บทคัดย่อ

อัญมณีมุกดาหารเป็นหินโปร่งแสง พบในแม่น้ำโขงในจังหวัดมุกดาหาร ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ใช้ตัวอย่างหินที่มีขนาดประมาณ 1x2 เซนติเมตร จำนวน 11 ตัวอย่าง โดยได้แบ่งตัวอย่างดังกล่าวออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่มีลักษณะขาวใส ไม่มีมลทิน กลุ่มที่มีลักษณะขาวอมเหลือง ใส มีตำหนิสีเหลืองกระจายทั่วไป กลุ่มที่มีลักษณะโปร่งแสง สีแดงและสีค่อนข้างสม่ำเสมอ และกลุ่มที่มีลักษณะโปร่งแสงสีขาวอมชมพู โดยที่สีไม่สม่ำเสมอทั้งก้อน จากการศึกษาสมบัติเชิงกายภาพพบว่า ตัวอย่างทุกชิ้นมีลักษณะโปร่งแสง มีค่าดัชนีหักเห 1.55 มีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 2.63 ถึง 2.65 เมื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธีการวาร์รังสีเอ็กซ์พบว่า องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็น SiO_2 โดยตัวอย่างในกลุ่มที่แรกปรากฏมีส่วนของ Fe_2O_3 และมี CaO ในกลุ่มที่ 2 สำหรับตัวอย่างในกลุ่มที่ 3 และ 4 พบว่ามี ZnO และ Na_2O เจือปนอยู่ การศึกษาด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์พบว่า โครงสร้างของตัวอย่างทุกชิ้นเป็นเฮกซะโกนอล มีลักษณะเป็นควอตซ์หรือเขียวหนุมาน อย่างไรก็ตามก็ยังได้พบเฟสของ $\alpha\text{-SiO}_2$ ซึ่งมีโครงสร้างเป็นรอมโบอีดรอน เป็นเฟสที่สอง ซึ่งอาจจะเป็นลักษณะเฉพาะของอัญมณีมุกดาหาร

Mukdahan Gems are translucent stones in Khong River in Mukdahan province. Eleven samples with average size of 1x2 centimeter are classified into four groups; clearly white, clearly white with scattered yellow spots, translucent uniformed red and translucent with non homogeneous mixing of white and pink. Physical properties of transparency, refractive index and specific gravity are investigated. It was found that all samples are translucence with 1.55 of index of refraction and 2.63-2.65 specific gravity. Chemical composition of samples of each group was obtained by technique of x-ray fluorescence. While SiO_2 is the main composition of every group, Fe_2O_3 and CaO were found in the first and the second group respectively whereas the third and the forth one are contaminated by ZnO and Na_2O . X-ray diffraction study informed that crystal structures of all samples are hexagonal which indicated that they are quart or silicon dioxide. $\alpha\text{-SiO}_2$ phase with rhombohedral structure, however, was also found and this may be an identity of Mukdahan Gems.

สารบัญ

	หน้า
ประกาศคุณูปการ	ก
บทคัดย่อ	ข
บัญชีตาราง	จ
บัญชีภาพประกอบ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 รังสีเอ็กซ์	4
2.1.1 รังสีเอ็กซ์ต่อเนื่อง	4
2.1.2 รังสีเอ็กซ์เฉพาะ	6
2.1.3 การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์	6
2.1.4 ระนาบและรูปทรงของผลึก	7
2.1.5 ระนาบของโครงข่าย	10
2.2 การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ด้วยดิฟแฟรคโตมิเตอร์	11
2.3 การวิเคราะห์สารด้วยวิธีการวาวรังสีเอ็กซ์	11
2.4 ความหนาแน่นของวัสดุและความถ่วงจำเพาะ	12
2.5 ดัชนีหักเห	13
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 ขั้นตอนการวิจัย	14
3.2 การหาค่าความถ่วงจำเพาะ	14
3.3 การหาค่าดัชนีหักเห	15
3.4 การหาโครงผลึก	15
3.5 การหาองค์ประกอบด้วยวิธีการวาวรังสีเอ็กซ์	15
3.6 รวบรวมผลและสรุปผลการวิจัย	
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 ลักษณะเชิงกายภาพของตัวอย่าง	16
4.2 สมบัติทางกายภาพ	17
4.3 โครงสร้างผลึก	17
4.4 องค์ประกอบของธาตุ	18

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	20
บรรณานุกรม	21
ประวัติย่อผู้วิจัย	22



บัญชีตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ระบบผลึกและ Bravais lattices	9
ตารางที่ 4.1 แสดงสมบัติทางกายภาพของตัวอย่าง	17
ตารางที่ 4.2 แสดงองค์ประกอบของธาตุของสารตัวอย่าง	19



บัญชีภาพประกอบ

หน้า

ภาพประกอบ 2.1	รังสีเอ็กซ์ต่อเนื่องและรังสีเอ็กซ์เฉพาะที่เกิดจากขั้วแอโนดชนิด molybdenum	5
ภาพประกอบ 2.2	การเปลี่ยนระดับพลังงานและรังสีเอ็กซ์เฉพาะที่แผ่ออกจากการเปลี่ยนระดับพลังงาน	6
ภาพประกอบ 2.3	กฎของแบรกก์	7
ภาพประกอบ 2.4	พารามิเตอร์โครงข่าย	8
ภาพประกอบ 2.5	ระนาบในโครงข่าย 2 มิติ	10
ภาพประกอบ 2.6	ระนาบที่มี miller indices ต่าง ๆ กัน	10
ภาพประกอบ 2.7	ส่วนประกอบของดิฟแฟรคโตมิเตอร์	11
ภาพประกอบ 2.8	ส่วนประกอบของเครื่องมือวิเคราะห์การเรืองรังสีเอ็กซ์	12
ภาพประกอบ 2.9	การหักเหของแสง	13
ภาพประกอบ 3.1	เครื่องซึ่งที่ใช้ในงานวิจัย	14
ภาพประกอบ 4.1	ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่าง	16
ภาพประกอบ 4.2	รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของตัวอย่างซึ่งแสดงโครงสร้างแบบ เฮกซะโกนอลและเฟส α -SiO ₂ ซึ่งเป็นเฟสที่ 2	18

บทที่ 1

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีชื่อเสียงในเรื่องของอัญมณี [1] โดยเป็นแหล่งสำคัญของ ทับทิม ไพลิน บุษราคัม เขี้ยวส่อง เพทาย โกเมนและไข่มุก ประเทศไทยได้ส่งออกอัญมณีและเครื่องประดับเป็นจำนวนมากติดอันดับ 1 ใน 5 ของสินค้าส่งออกของประเทศ โดยมีการผลิตและการทำเหมืองแร่อัญมณีในหลายจังหวัด เช่นในจังหวัดกาญจนบุรี จันทบุรีและตราด โดยมีข้อได้เปรียบ คือ มีช่างฝีมือที่มีคุณภาพ มีความรู้ ความชำนาญในการเจียระไนและการออกแบบ ทั้งนี้ได้มีการนำเข้าอัญมณีจากต่างประเทศเช่นจากประเทศในกลุ่มทวีปแอฟริกา เพื่อมาเจียระไนและเพิ่มมูลค่าในประเทศไทย อุตสาหกรรมการผลิตและการส่งออกอัญมณีและเครื่องประดับ จึงได้ขยายตัวอย่างรวดเร็วในระยะ 10 ปีที่ผ่านมา ดังจะเห็นได้จากตัวเลขของกรมเศรษฐกิจการพาณิชย์ที่แสดงถึงสถิติของมูลค่าของการส่งออกสินค้าประเภทนี้ ซึ่งเพิ่มขึ้นทุกปี

อัญมณีหรือรัตนชาติ คือวัตถุธรรมชาติ โดยส่วนใหญ่เป็นสารอนินทรีย์ เช่นแร่ชนิดต่าง ๆ หรือสารอินทรีย์ เช่นไข่มุก ที่ผ่านการตกแต่ง เจียระไน โดยมีคุณสมบัติสำคัญคือมีความสวยงาม หายากและคงทน ในบริบทของคนไทยแต่โบราณได้จัดแบ่งอัญมณีออกเป็นแก่น นพรัตน์หรือแก้วเก้าประการซึ่งประกอบด้วย เพชร ทับทิม มรกต บุษราคัม โกเมน ไพลิน ไข่มุก หรือมุนสโตน เพทาย และไพฑูรย์ ดังคำกล่าวที่ผูกเป็นบทกลอนว่า เพชรดี มณีแดง เขี้ยวใส แสงมรกต เหลืองใสสดบุษราคัม แดงแก่กำโกเมนเอก สีมอกเมฆนิลกาฬ มุกดาหารหมอกมัว แดงสลับเพทาย สวรรค์สายไพฑูรย์ จะเห็นว่า มุกดาหารหมอกมัวก็คือไข่มุกหรือมุนสโตน อัญมณีทั้ง 9 ชนิดนี้ ประเทศไทยมีเกือบทุกชนิด ขาดเพียงมรกตและไพฑูรย์ ซึ่งยังไม่พบในประเทศไทย และในบรรดาแก่นนพรัตน์ดังกล่าว อัญมณีไทยที่มีชื่อเสียงระดับโลกคือ ทับทิมสยาม ส่วนไพลินหรือนิลกาฬก็เป็นอัญมณีที่คนไทยโดยทั่วไปนิยมเลื่อมใส นพรัตน์หรือแก้วเก้าประการเป็นของมีค่าสูงและเป็นสิริมงคล มีการนำมาใช้ประดับประดาทั้งในด้านศาสนา และในสถาบันพระมหากษัตริย์ เช่น ทำเป็นพระพุทธรูปต่าง ๆ ตลอดจนใช้ประดับเครื่องทรงและที่ประทับ อีกทั้งยังใช้เป็นเครื่องประดับแสดงถึงตำแหน่งและเกียรติยศ นอกจากนี้ยังมีการใช้อัญมณีเป็นหลักทรัพย์ที่ถือเป็นมรดกสืบทอดแก่ทายาทในวงศ์ตระกูลอีกด้วย

นอกจากแก้วอัญมณีแล้ว ยังมีการประดิษฐ์เครื่องประดับด้วยหินสวยงาม โดยบางครั้งผู้ที่ประดับตนด้วยหินสวยงามเพื่อความสวยงามแล้ว ยังมีความเชื่อว่าหินสวยงามเหล่านั้นเป็นสิ่งมงคลซึ่งจะนำโชคลาภมาสู่ตน เช่นหินโป่งขาม เป็นต้น

ลำนํ้าโขงก็นับได้ว่าเป็นแหล่งกำเนิดของหินสวยงาม และมีการนำมาใช้ทำเครื่องประดับบริเวณที่มีการพบหินดังกล่าวบริเวณหนึ่งคือบริเวณในเขตจังหวัดมุกดาหาร จนมีคำกล่าวถึงหินชนิดนี้ว่า “อัญมณีมุกดาหาร”

จังหวัดมุกดาหาร เป็นจังหวัดชายแดนที่ติดริมแม่น้ำโขง มีอำเภอที่มีพื้นที่ติดแม่น้ำโขง

3 อำเภอ ได้แก่ อำเภอเมืองมุกดาหาร อำเภอหว้านใหญ่ และอำเภอดอนตาล ประชาชนส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม การประมง เนื่องจากอำเภอทั้ง 3 มีที่ตั้งติดกับแม่น้ำโขงดังที่กล่าวมาแล้ว จึงได้มีธุรกิจดูดทรายจากกลางแม่น้ำโขงขึ้นมาใช้ในการก่อสร้าง



ภาพประกอบ 1.1 แผนที่จังหวัดมุกดาหาร

ในการดูทรายนี้ได้มีก้อนหินกรวดติดขึ้นมาด้วย ชาวบ้านบางส่วนในละแวกนั้นจึงมีอาชีพในการคัดและเลือกหินกรวดที่มีขนาดต่าง ๆ เพื่อใช้ในการแต่งสวน และตามวัตถุประสงค์อื่น ๆ อย่างไรก็ดีในจำนวนหินกรวดที่ได้จากการดูทรายนี้ จะมีหินอยู่จำนวนหนึ่งซึ่งเป็นส่วนน้อยชนิด ที่มีลักษณะใส บางส่วนเป็นหินสี ชาวบ้านจะขายหินใสและสีนี้ในราคาที่สูงกว่าหินทั่วไปมาก ต่อมาได้มีผู้นำหินสวยงามดังกล่าวมาทำการเจียรใน ก็ปรากฏว่าหินเหล่านั้นกลีบกลายเป็นอัญมณีที่เหมาะสมกับการประดับ จนได้ชื่อว่าเป็น “อัญมณีมุกดาหาร” และมีการเรียกอัญมณีที่ได้จากหินใสในระดับท้องถิ่นว่า มูนสโตน (moonstone) ทั้งนี้อัญมณื่อดังกล่าวได้รับการรับรองจากสถาบันอัญมณีศาสตร์แห่งเอเชีย (Asian Institute of Gemological Science) (Report Number SP0601374 Client Number 060050) เมื่อวันที่ 24 มกราคม 2549 ว่าเป็นควอตซ์ธรรมชาติ (natural quartz) โดยเป็น หินควอตซ์ (rock quartz)

จากการศึกษาพบว่ามุนสโตนอยู่ในกลุ่มแร่เฟลด์สปาร์ (Feldspar) [2] มีความแข็งเป็น 6-6.5 โดยมีองค์ประกอบเป็น โปตัสเชียม อะลูมิเนียม ซิลิเกต (KAlSi_3O_8) มีความถ่วงจำเพาะเป็น 2.55-2.58 มีโครงสร้างผลึกเป็นโมโนคลินิก (Monoclinic) และ มีดัชนีหักเหเป็น 1.52-1.54

ซานโตสและคอลลิน (M. Santosh and Alan S. Collins) [3] ได้รายงานว่ามีสารค้นพบสายแร่ที่ประกอบด้วยมุนสไตน์ซึ่งอยู่ในกลุ่มของแร่เฟลด์สปาร์ทางตอนใต้ของประเทศอินเดีย นอกจากนี้ยังพบแร่คอร์รัมด์ัม และแร่คอดีเอไรท์ โดยมีอายุคร่าวเดียวกับที่พบในประเทศศรีลังกา และมาดากาสการ์

สำหรับในประเทศไทยมีรายงานว่ามีสารค้นพบแร่เฟลด์สปาร์และควอตซ์ในภาคต่างๆ ของประเทศ โดย พ.สุวานิช (P.Suwanich) [4] ได้รายงานการพบเฟลด์สปาร์และควอตซ์ ขณะศึกษาขนาดและองค์ประกอบของดินในแถบจังหวัดมหาสารคาม ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (x-ray diffraction) และฟลูออเรสเซนซ์รังสีเอกซ์ (x-ray fluorescence) โดยพบว่าองค์ประกอบหลักของแร่ดังกล่าวเป็น คลอไรท์ ลิลไลต์ และชั้นผสมของคอร์เรนไซต์ ในขณะที่ ดินขนาดอื่น ๆ จะเป็นควอตซ์และโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ ว.พิสุทธอนันท์และคณะ (V.Pisutha-Arnond et.al) [5] รายงานการพบควอตซ์และแร่เฟลด์สปาร์ในดินขาวระนอง ขณะที่ทำการศึกษาความหลากหลายของขนาดดินขาวระนอง ในภาคใต้ของประเทศไทย โดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ การวิเคราะห์ความร้อนเชิงอนุพันธ์ (differential thermal analysis) และ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราด (scanning electron microscopy)

มุนสไตน์อาจมีสีขาว เหลือง ส้ม เทา หรือไม่มีสี [6] โดยมักพบเป็นสีขาวหรือสีเหลืองฟ้าแวววาว โดยลักษณะเด่นในการให้แสงแวววาวนี้มีสาเหตุเนื่องมาจากเกิดการสะท้อนแสงของมุนสไตน์ มุนสไตน์ที่มีคุณภาพดีมีพบมากในประเทศศรีลังกา นอกจากนี้ยังพบมุนสไตน์ในประเทศบราซิล อินเดีย มาดากาสการ์ เม็กซิโก พม่า แทนซาเนีย แอฟริกาใต้ อิตาลี ยุโรป และสหรัฐอเมริกา

อัญมณีหรือรัตนชาติทุกชนิดมีองค์ประกอบทางเคมีเฉพาะตัว โดยสามารถใช้สูตรเคมีเป็นหลักเกณฑ์ในการจัดแบ่งประเภท สำหรับอัญมณีซึ่งเป็นแร่ประเภทเดียวกัน มีการเกิดไม่เหมือนกันหรือมีสภาพแวดล้อมต่างกัน อาจทำให้องค์ประกอบทางเคมีต่างกันได้ ซึ่งอาจส่งผลให้มีความแตกต่างกันในเรื่องของสี ความโปร่งใสหรือรูปร่างลักษณะภายนอกบางอย่าง

สำหรับงานวิจัยนี้จะศึกษาองค์ประกอบทางเคมี สมบัติความแข็ง ค่าดัชนีหักเห โครงสร้างผลึก ของอัญมณีมุกดาหาร ที่พบในจังหวัดมุกดาหาร เพื่อใช้เป็นหลักฐานในการอ้างอิงแหล่งกำเนิดและใช้ในการเปรียบเทียบในกรณีที่มีการศึกษาผลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีต่ออัญมณีดังกล่าวต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 รังสีเอ็กซ์ [7,8,9]

รังสีเอ็กซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นเดียวกับแสงแต่มีความยาวคลื่นสั้นมาก ความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์จะมีค่าความยาวคลื่นประมาณระหว่าง 0.01-100 อังสตรอม

รังสีเอ็กซ์เกิดขึ้นได้เมื่ออนุภาคที่มีประจุที่มีพลังงานจลน์มาก มีความเร็วลดลงอย่างฉับพลันทำให้อนุภาคคายพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สำหรับการผลิตรังสีเอ็กซ์มักจะใช้อิเล็กตรอนเป็นอนุภาคที่มีประจุดังกล่าว โดยอิเล็กตรอนที่ถูกเร่งระหว่างขั้วไฟฟ้าสองขั้วด้วยสนามไฟฟ้าจากความต่างศักย์สูงในหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์จะเคลื่อนที่จากขั้วไฟฟ้าลบหรือคาโทดเข้าหาขั้วไฟฟ้าบวกหรือแอโนดด้วยความเร็วสูง เมื่ออิเล็กตรอนนี้เคลื่อนที่เข้าชนนิวเคลียสของอะตอมที่ประกอบเป็นแอโนดจะส่งแรงกระทำต่ออิเล็กตรอน ทำให้มีการเบี่ยงเบนของแนวการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ส่งผลให้ความเร็วของอิเล็กตรอนเปลี่ยนแปลงและเกิดการแผ่รังสีเอ็กซ์ นอกจากนี้อิเล็กตรอนที่วิ่งเข้าไปในแอโนดอาจจะมีการชนกับอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียสของอะตอมที่ประกอบเป็นโครงสร้างแอโนด ทำให้อิเล็กตรอนรอบนิวเคลียสเกิดการหลุดออกจากระดับชั้นพลังงานเดิมไปยังระดับพลังงานที่สูงกว่า เมื่ออิเล็กตรอนเหล่านี้กลับลงมายังระดับพลังงานเดิมหรือระดับพลังงานที่ต่ำกว่า อิเล็กตรอนเหล่านี้ก็จะคายพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งหากพลังงานที่คายออกมามีค่าพอเหมาะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นก็จะเป็นรังสีเอ็กซ์ สำหรับพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนที่เข้าชนแอโนด คำนวณได้จากความต่างศักย์ที่ใช้เร่งและประจุของอิเล็กตรอน และเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$KE = eV = \frac{1}{2}mv^2 \quad 2.1$$

เมื่อ e คือประจุของอิเล็กตรอน V คือความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วคาโทดกับแอโนด m คือมวลของอิเล็กตรอน v คือความเร็วของอิเล็กตรอนขณะเข้าชนกับแอโนด

ที่กล่าวมาเห็นได้ว่ารังสีเอ็กซ์ที่เกิดขึ้นจากการกระบวนกรเร่งอิเล็กตรอนนี้มีได้สองลักษณะคือรังสีเอ็กซ์ที่มีความยาวคลื่นอย่างต่อเนื่องและรังสีเอ็กซ์เฉพาะซึ่งมีความยาวคลื่นเฉพาะ ทั้งนี้กับความต่างศักย์หรือพลังงานที่ให้กับอิเล็กตรอนและชนิดอะตอมธาตุที่เป็นองค์ประกอบของแอโนด

2.1.1 รังสีเอ็กซ์ต่อเนื่อง

รังสีเอ็กซ์ต่อเนื่องเกิดจากการลดลงหรือการเปลี่ยนแปลงทิศทางของความเร็วของอนุภาคอิเล็กตรอนที่เข้าใกล้นิวเคลียสอันเนื่องมาจากแรงดึงดูดของนิวเคลียส รังสีเอ็กซ์นี้มีความยาวคลื่นหลายค่าอย่างต่อเนื่อง โดยความยาวคลื่นสั้นที่สุดมีค่าเท่ากับค่าความยาวคลื่นของโฟตอนที่มีความพลังงานเท่ากับพลังงานสูงสุดของอิเล็กตรอนที่เข้าชนแอโนด รังสีเอ็กซ์ที่มีความยาวคลื่นสั้น

ที่สุดนี้เกิดจากการที่อิเล็กตรอนที่เข้าชนแอโนดแล้วสูญเสียพลังงานทั้งหมดในการชนเพียงครั้งเดียว และสามารถคำนวณหาความยาวคลื่นดังกล่าวจากสมการ

$$eV = hv_{\max} \quad 2.2$$

$$\lambda_{\min} = \frac{c}{v_{\max}} = \frac{hc}{eV} \quad 2.3$$

เมื่อ h คือค่าคงที่ของพลังค์

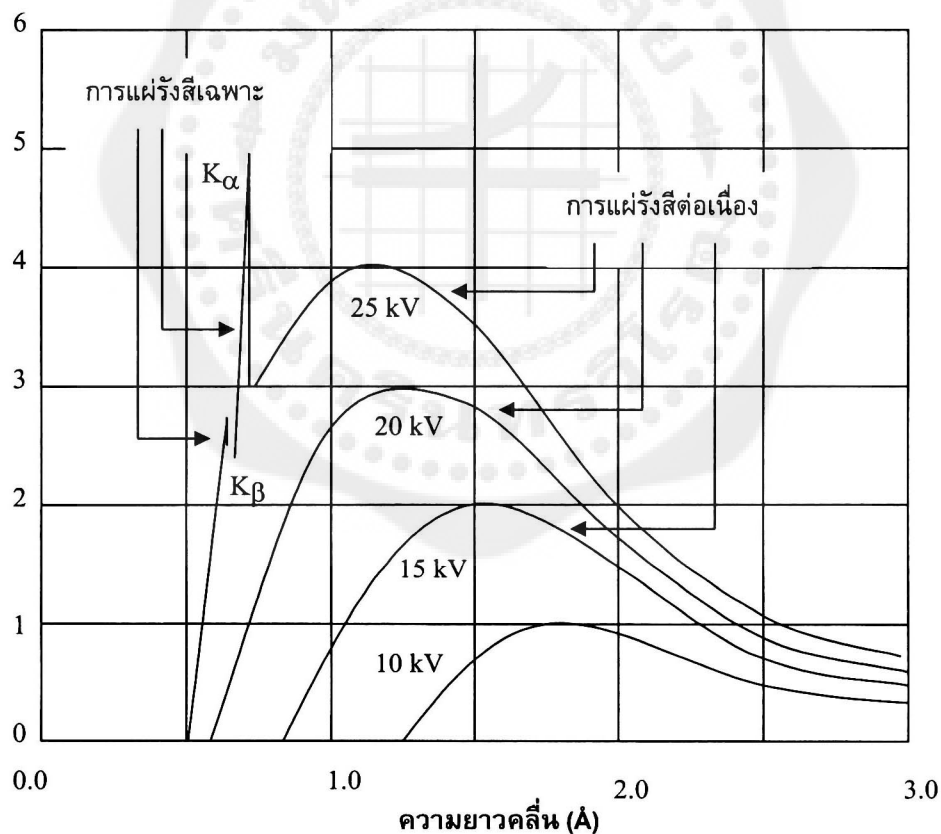
$V_{\max}$ คือความถี่ของโฟตอนที่มีพลังงานสูงสุด

$\lambda_{\min}$ คือความยาวคลื่นสั้นที่สุด

และ c คืออัตราเร็วแสง

ความเข้มของรังสีเอ็กซ์ที่ความยาวคลื่นต่างๆ จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้เร่งอิเล็กตรอน ภาพประกอบ 1 เป็นรังสีเอ็กซ์ที่เกิดจากขั้วแอโนดชนิด molybdenum ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วต่ำกว่า 20 kV รังสีเอ็กซ์ที่แผ่ออกจากแอโนดจะเป็นรังสีต่อเนื่อง รังสีเอ็กซ์ความยาวคลื่นต่อเนื่องนี้บางครั้งเรียกว่า bremsstrahlung

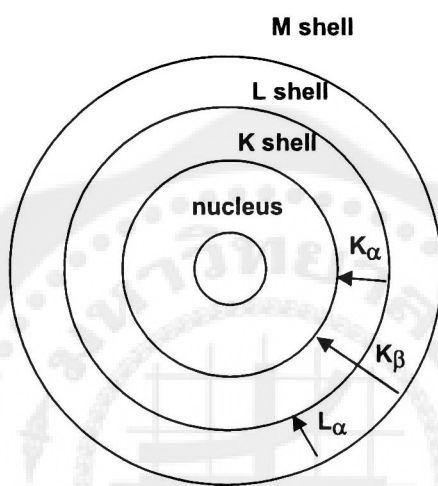
ความเข้มรังสีเอ็กซ์(relative unit)



ภาพประกอบ 2.1 รังสีเอ็กซ์ต่อเนื่องและรังสีเอ็กซ์ เฉพาะที่เกิดจากขั้วแอโนดชนิด molybdenum

2.1.2 รังสีเอ็กซ์เฉพาะ

รังสีเอ็กซ์เฉพาะ (characteristic x-ray) เกิดขึ้นจากความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในการเร่งอิเล็กตรอนสูงกว่าค่าวิกฤติค่าหนึ่งซึ่งทำให้อิเล็กตรอนมีพลังงานมากเพียงพอที่จะชนอิเล็กตรอนที่อยู่ในระดับชั้นพลังงานรอบนิวเคลียสของอะตอมของแอโนดหลุดออก ทำให้เกิดที่ว่างในระดับชั้นพลังงานต่ำ อิเล็กตรอนที่อยู่ในระดับพลังงานที่สูงกว่าจะลดพลังงานลงมาเข้าแทนที่ในช่องว่างพร้อมกับให้โฟตอนออกมา โดยโฟตอนนี้จะมีพลังงานเท่ากับความแตกต่างของชั้นพลังงานซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของอะตอมธาตุที่เป็นแอโนด ความถี่หรือความยาวคลื่นรังสีเอ็กซ์ที่เกิดขึ้นด้วยวิธีนี้จึงมีค่าเฉพาะขึ้นกับชนิดของธาตุที่ให้รังสีเอ็กซ์



ภาพประกอบ 2.2 การเปลี่ยนระดับพลังงานและรังสีเอ็กซ์เฉพาะที่แผ่ออกจากการเปลี่ยนระดับพลังงาน

รังสีเอ็กซ์เฉพาะมีค่าความยาวคลื่นเป็นค่าไม่ต่อเนื่องและมีความเข้มสูง ภาพประกอบ 2.2 แสดงถึง การเกิดรังสีเอ็กซ์จากการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานของอิเล็กตรอนที่สามารถเกิดขึ้นได้และชื่อที่ใช้ในการเรียกรังสีเอ็กซ์เฉพาะที่เกิดจากการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานของอิเล็กตรอน

2.1.3 การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์

เมื่อรังสีเอ็กซ์ตกกระทบผลึกจะเกิดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ไปในทิศทางต่าง ๆ รังสีที่เลี้ยวเบนนี้เป็นผลจากการแทรกสอดของรังสีที่กระเจิงจากอะตอมที่เรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบในโครงสร้างของผลึก กฎของแบรกก์เป็นกฎที่ใช้อธิบายทิศทางการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ โดยพิจารณาว่าอะตอมในโครงสร้างผลึกเรียงตัวอยู่ในระนาบที่เป็นชั้นๆ เมื่อรังสีเอ็กซ์ตกกระทบทำมุมที่เหมาะสมจะเกิดการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ที่มีความเข้มสูงในทิศทางที่ทำมุมกับระนาบโครงสร้างผลึกเท่ากับมุมที่ตกกระทบ เป็นไปตามสมการ 2.4

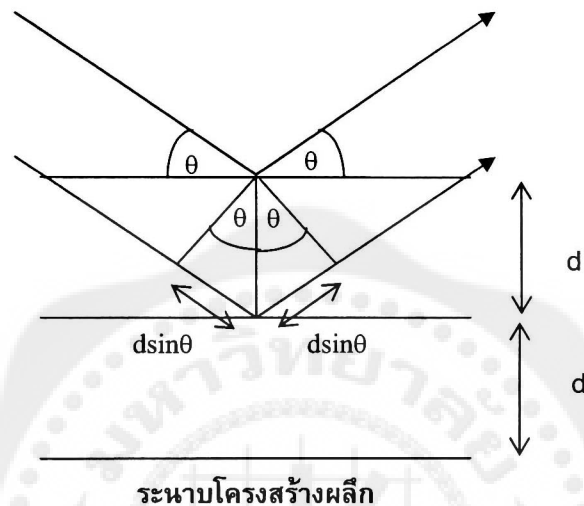
$$2d\sin\theta = n\lambda \quad (2.4)$$

d คือระยะห่างระหว่างระนาบของโครงสร้างผลึก

θ คือมุมที่รังสีเอ็กซ์ตกกระทบบนระนาบโครงสร้างผลึก

n คือเลขจำนวนเต็ม

λ คือความยาวคลื่นรังสีเอ็กซ์

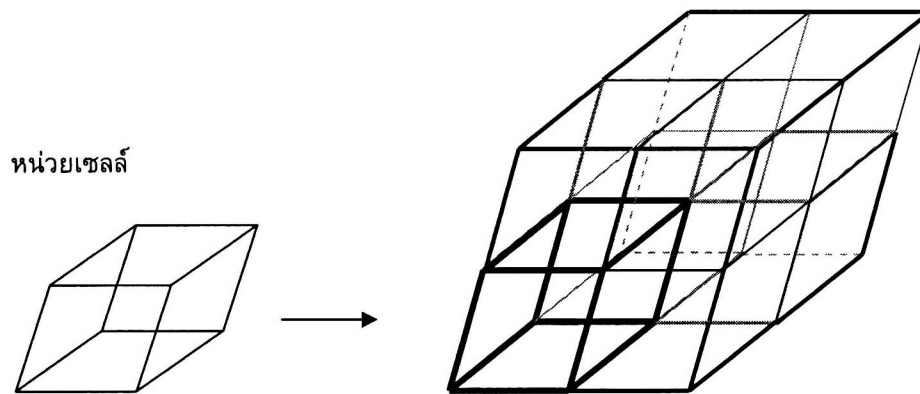


ภาพประกอบ 2.3 กฎของแบรกก์

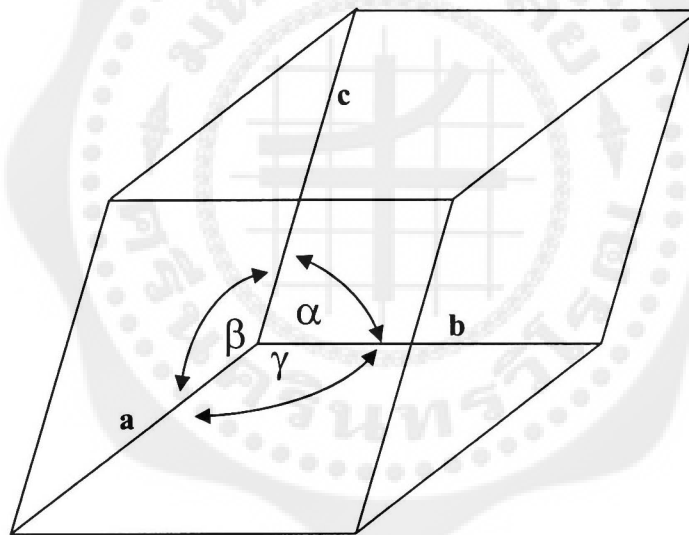
กฎของแบรกก์ให้ความสัมพันธ์ระหว่างระนาบในโครงสร้างผลึกกับมุมเลี้ยวเบนสำหรับรังสีเอ็กซ์ความยาวคลื่นหนึ่งๆ เราสามารถใช้กฎของแบรกก์มาทำการหาโครงสร้างผลึกของวัสดุต่างๆโดยทำการวัดมุมเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์แล้ววิเคราะห์ระยะห่างระหว่างระนาบที่ทำให้เกิดการเลี้ยวเบนนั้นๆ แต่ละมุมการเลี้ยวเบนก็จะให้ระยะห่างระหว่างระนาบอย่างน้อย 1 ชุดที่มีระยะห่างระหว่างระนาบเท่ากัน ด้วยการเลี้ยวเบนจากระนาบต่างๆที่วัดได้ ทำให้ทราบได้ว่าผลึกของวัสดุมีโครงสร้างผลึกเป็นรูปแบบใด

2.1.4 ระนาบและรูปทรงของผลึก

อะตอมหรือโมเลกุลของสารที่เป็นของแข็งหลายชนิดมีการจัดเรียงตัวยึดเหนี่ยวกันโดยมีรูปทรงเชิงเรขาคณิตที่เป็นระเบียบ การจัดเรียงตัวอะตอมหรือโมเลกุลนี้มีลักษณะเป็นคาบใน 3 มิติที่เรียกว่าผลึก (crystal) เราอาจพิจารณาว่าผลึกมีลักษณะเป็นโครงข่ายประกอบขึ้นจากหน่วยเล็กๆที่เรียกว่าหน่วยเซลล์ (unit cell) เรียงซ้อนกันจำนวนมากในสามมิติดังภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 2.3 หน่วยเซลล์และหน่วยเซลล์ในโครงสร้างผลึก



ภาพประกอบ 2.4 พารามิเตอร์โครงข่าย (lattice parameter)

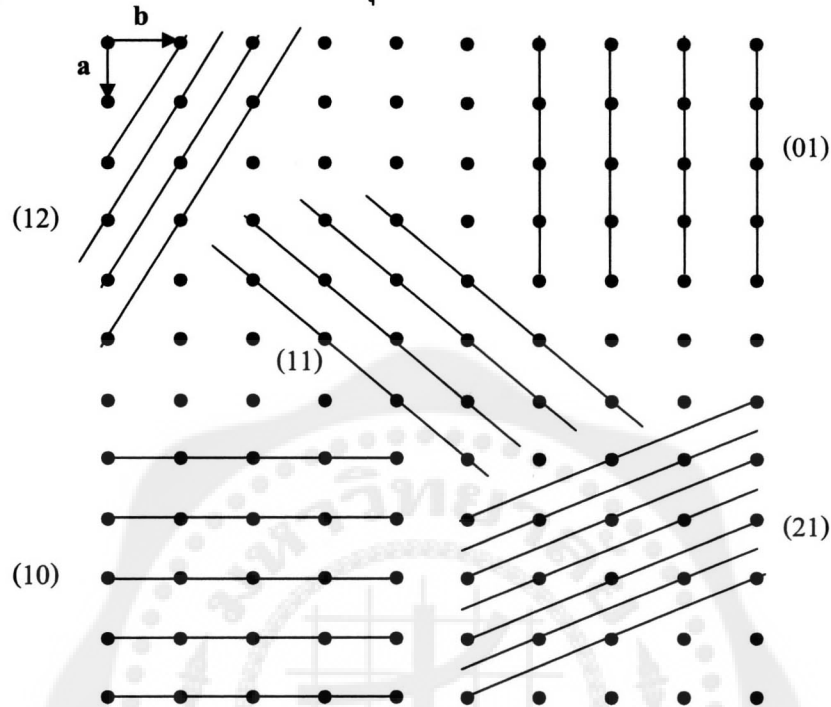
ในการจำแนกรูปผลึก ทำได้ด้วยการพิจารณาแกนผลึกและมุมที่แกนผลึกกระทำระหว่างกันในหน่วยเซลล์ดังภาพประกอบ 4 ซึ่ง บราวส์ (Bravais) นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศสที่ทำงานด้านวิเคราะห์โครงสร้างผลึกได้แสดงให้เห็นในปี คศ 1848 ว่ารูปผลึกที่สามารถเป็นไปได้นั้นมีอยู่ 14 แบบ ดังจำแนกในตาราง 2.1

ตาราง 2.1 ระบบผลึกและ Bravais Lattices

ระบบผลึก	แกนผลึกและมุม	Bravais lattice	สัญลักษณ์ lattice
Cubic	แกนทั้งสามยาวเท่ากันและตั้งฉากกัน $a=b=c$, $\alpha=\beta=\gamma = 90^\circ$	Simple Body-centered Face-centered	P I F
Tetragonal	แกนทั้งสามตั้งฉากกัน และมีสองด้านยาวเท่ากัน $a=b \neq c$, $\alpha=\beta=\gamma = 90^\circ$	Simple Body-centered	P I
Orthorhombic	แกนทั้งสามตั้งฉากกันและยาวไม่เท่ากัน $a \neq b \neq c$, $\alpha=\beta=\gamma = 90^\circ$	Simple Body-centered Base-centered Face-centered	P I C F
Rhombohedral	แกนทั้งสามยาวเท่ากันทำมุมเท่ากันไม่เท่ากับ 90° $a=b=c$, $\alpha=\beta=\gamma \neq 90^\circ$	Simple	P
Hexagonal	แกนสองแกนยาวเท่ากันอยู่ในระนาบเดียวกันทำมุมกัน 120° และตั้งฉากกับแกนที่สาม $a=b \neq c$, $\alpha=\beta = 90^\circ$, $\gamma = 120^\circ$	Simple	P
Monoclinic	แกนทั้งสามยาวไม่เท่ากัน และคู่หนึ่งไม่ตั้งฉากกัน $a \neq b \neq c$, $\alpha=\gamma = 90^\circ \neq \beta$	Simple Base-centered	P C
Triclinic	แกนทั้งสามยาวไม่เท่ากัน ทำมุมไม่เท่ากัน และไม่มีมุมใดเป็น 90°	Simple	P

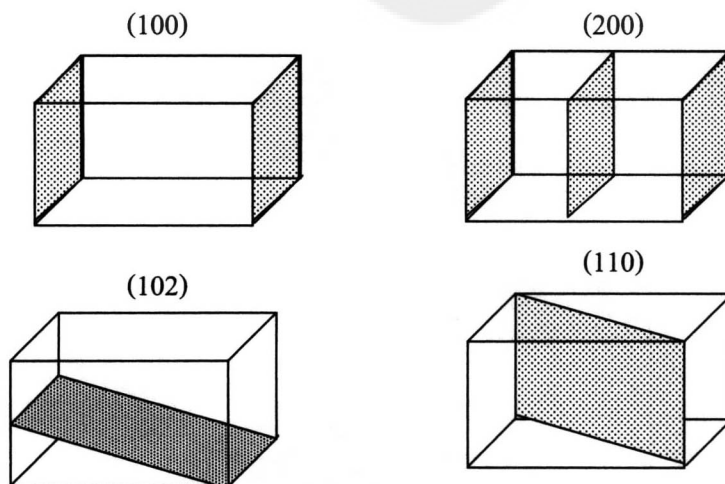
2.1.5 ระนาบของโครงข่าย (lattice planes)

เราอาจพิจารณาโครงข่ายของผลึกว่า ประกอบขึ้นด้วยระนาบขนานที่มีระยะห่างเท่าๆกันหลายชุด แต่ละระนาบประกอบกันขึ้นด้วยจุดตัดในโครงข่าย พิจารณาภาพประกอบ 5 ซึ่งเป็นภาพจุดตัดโครงข่ายผลึกในสองมิติ จุดตัดเหล่านี้ประกอบกันเป็นระนาบในทิศทางต่างๆ จำนวนมาก



ภาพประกอบ 2.5 ระนาบในโครงข่าย 2 มิติ

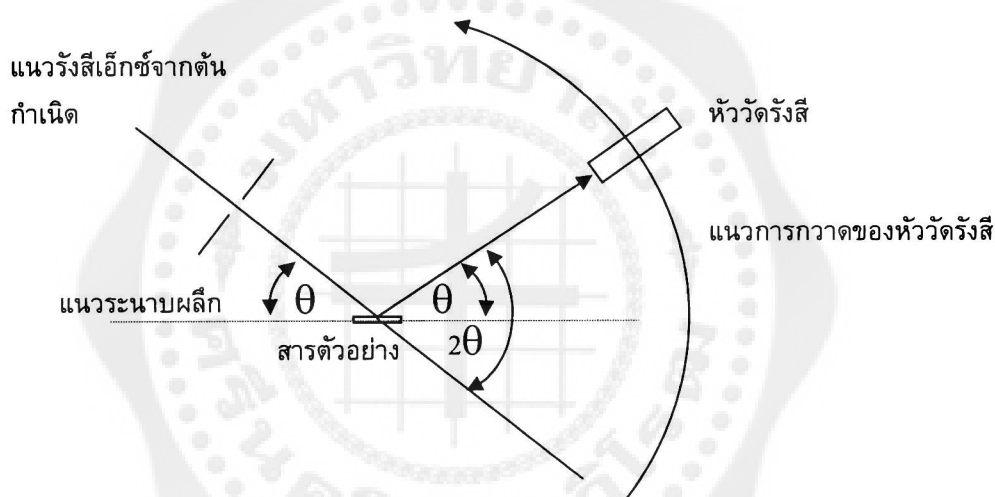
ระนาบเหล่านี้กำหนดด้วยตัวเลขที่เรียกว่า ดัชนีมิลเลอร์ (Miller indices) ใช้สัญลักษณ์ (hkl) โดยชุดระนาบ จะตัดแบ่งแกนผลึก a ออกเป็น h ส่วน แกนผลึก b ออกเป็น k ส่วน และแกนผลึก c ออกเป็น l ส่วน ตัวอย่าง เช่นในภาพประกอบ 2.5 ระนาบ (12) คือระนาบที่มีค่า h เป็น 1 และค่า k เป็น 2 หมายถึงระนาบนี้แบ่งแกน a ออกเป็น 1 ส่วน และแบ่ง b ออกเป็น 2 ส่วน



ภาพประกอบ 2.6 ระนาบ ที่มี miller indices ต่างๆกัน

2.2 การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ด้วยดิฟแฟรคโตมิเตอร์ [7]

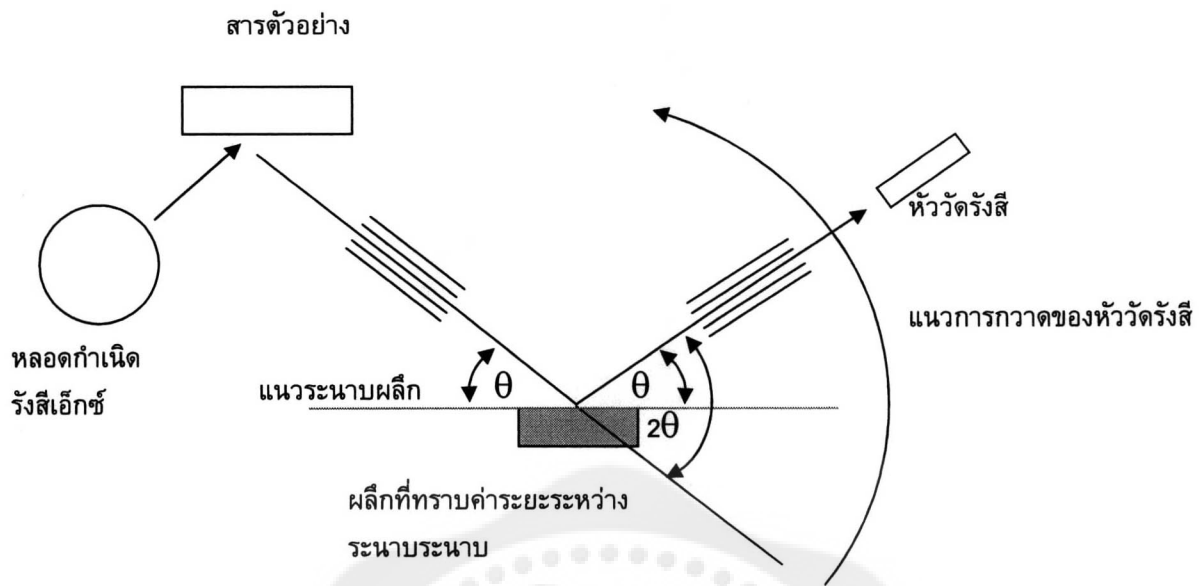
ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (diffractometer) เป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์จากผลึกที่บิดเป็นผง ลำรังสีเอ็กซ์จากหลอดรังสีเอ็กซ์จะถูกกรองให้เหลือรังสีเฉพาะที่มีความยาวคลื่นค่าหนึ่ง และถูกทำให้เป็นรังสีขนานด้วยการผ่านช่องที่มีลักษณะเป็นทางยาวและแคบ (slit) ไปสู่สารตัวอย่างที่จะทำการวิเคราะห์ รังสีเอ็กซ์ที่เลี้ยวเบนจากสารตัวอย่างที่บิดเป็นผงจะมีความเข้มสูงในแนวรังสีเลี้ยวเบนตามกฎของแบรกก์ แนวดังกล่าวเป็นแนวที่เกิดขึ้นในมุมต่าง ๆ จากชุดของระนาบที่ต่างกัน รังสีเอ็กซ์ที่เลี้ยวเบนมานี้จะได้รับการบันทึกจากหัววัดรังสีที่หันหน้าเข้าหาสารตัวอย่าง และสามารถเคลื่อนที่กวาดท่ามกับแนวรังสีเอ็กซ์ที่เข้าสู่สารตัวอย่าง จากตำแหน่งมุมที่หัววัดรังสีวัดค่าได้สูงสุดสามารถถูกนำไปวิเคราะห์คำนวณรูปโครงสร้างผลึก หรือเทียบกับข้อมูลการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์จากโครงสร้างผลึกที่ได้มีการวิเคราะห์ไว้แล้ว ทำให้สามารถทราบว่าเป็นสารชนิดใด และมีพารามิเตอร์โครงสร้างผลึกอย่างไร



ภาพประกอบ 2.7 ส่วนประกอบของดิฟแฟรคโตมิเตอร์

2.3 การวิเคราะห์สารด้วยวิธีการวาวรังสีเอ็กซ์ (X-ray fluorescence spectrometry) [8]

การวิเคราะห์สารด้วยวิธีการวาวรังสีเอ็กซ์จะใช้รังสีเอ็กซ์ปฐมภูมิจากต้นกำเนิดที่มีพลังงานสูงฉายไปยังสารตัวอย่างเพื่อกระตุ้นให้อิเล็กตรอนของสารตัวอย่างหลุดออกทำให้อิเล็กตรอนในระดับชั้นพลังงานที่สูงกว่าของอะตอมสารตัวอย่างเข้าแทนที่อย่างรวดเร็ว การเปลี่ยนระดับพลังงานนี้อะตอมของสารตัวอย่างจะให้รังสีเอ็กซ์ซึ่งเป็นรังสีเอ็กซ์ทุติยภูมิออกมา รังสีนี้เป็นรังสีที่มีความยาวคลื่นเฉพาะขึ้นกับสารตัวอย่างที่ปลดปล่อยรังสีเอ็กซ์ เมื่อให้รังสีเอ็กซ์ทุติยภูมินี้ผ่านไปยังผลึกที่ทราบค่าระยะระหว่างระนาบ จะเกิดการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์นี้จากผลึก การวัดค่ามุมการเลี้ยวเบนทำให้ทราบค่าความยาวคลื่นเฉพาะของรังสีเอ็กซ์ที่เกิดจากสารตัวอย่าง ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบข้อมูลนี้กับข้อมูลในฐานข้อมูลจะทำให้ทราบองค์ประกอบของสารตัวอย่าง



ภาพประกอบ 2.8 ส่วนประกอบของเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวรังสี

2.4 ความหนาแน่นของวัสดุ และความถ่วงจำเพาะ

ความหนาแน่นของวัสดุคือมวลต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุนั้น สำหรับวัสดุที่มีความหนาแน่นสม่ำเสมอ ความหนาแน่นเท่ากับมวลของวัสดุนั้นต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของวัสดุซึ่งมวลของวัสดุสามารถหาได้ด้วยการชั่งมวลและปริมาตรสามารถหาได้ด้วยการคำนวณจากรูปทรงเชิงเรขาคณิตโดยตรงหรือด้วยวิธีการแทนที่น้ำ

ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) คือน้ำหนักของวัตถุหรือสารต่อน้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่าวัตถุที่อุณหภูมิเดียวกัน การหาความหนาแน่นของวัสดุหรือความถ่วงจำเพาะ อาจใช้วิธีชั่งวัสดุในน้ำโดยใช้หลักการของอาร์คิมิดีสซึ่งกล่าวว่าน้ำหนักของของเหลวที่ถูกแทนที่ด้วยวัตถุเท่ากับแรงลอยตัวของของเหลวนั้นกระทำต่อวัตถุ การชั่งวัตถุในอากาศและในน้ำจะทำให้ทราบน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่าวัตถุ และนำไปสู่การคำนวณหาความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่นของวัตถุได้ตามสมการ 2.5

$$\frac{\text{ความหนาแน่นของวัสดุ}}{\text{ความหนาแน่นน้ำ}} = \frac{\text{น้ำหนักของวัสดุ}}{\text{น้ำหนักของวัสดุในอากาศ} - \text{น้ำหนักของวัสดุในน้ำ}} \quad (2.5)$$

2.5 ดัชนีหักเห

เมื่อแสงแผ่จากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง ถ้าความเร็วแสงในตัวกลางทั้งสองไม่เท่ากันและแนวการแผ่ของแสงไม่ได้ตั้งฉากกับผิวรอยต่อระหว่างตัวกลาง จะเกิดการหักเหของแสง โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างมุมตกกระทบและมุมสะท้อนดังสมการ 2.6

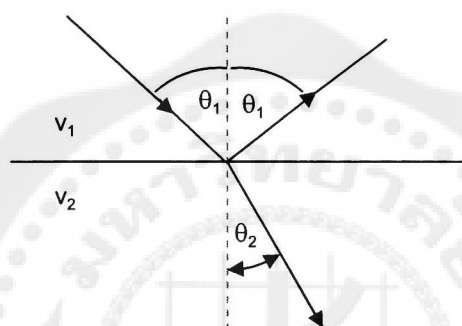
$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{v_2}{v_1} = \text{constan } t \quad (2.6)$$

โดย θ_1 คือ มุมที่แสงตกกระทบกระทำกับเส้นตั้งฉากในตัวกลางที่ 1

θ_2 คือ มุมที่แสงหักเหทำมุมกับเส้นตั้งฉากในตัวกลางที่ 2

v_1 คืออัตราเร็วแสงในตัวกลางที่ 1

v_2 คืออัตราเร็วแสงในตัวกลางที่ 2



ภาพประกอบ 2.9 การหักเหของแสง

โดยปรกติแล้วอัตราเร็วของแสงในตัวกลางต่างๆ จะน้อยกว่าในสุญญากาศหรือในอากาศ กล่าวได้ว่าอัตราเร็วสูงสุดของแสงคืออัตราเร็วในสุญญากาศ อัตราส่วนระหว่างอัตราเร็วแสงในสุญญากาศต่ออัตราเร็วแสงในตัวกลางใดๆจะมีค่าคงที่ ซึ่งแสดงถึงการหักเหของแสงผ่านรอยต่อระหว่างตัวกลางใดๆกับอากาศหรือสุญญากาศ และเรียกอัตรส่วนคงที่นี้ว่าดัชนีหักเหของตัวกลาง

$$n = \frac{c}{v} \quad (2.7)$$

n คือดัชนีหักเหของตัวกลาง

c อัตราเร็วแสงในสุญญากาศ

v อัตราเร็วแสงในตัวกลาง

ด้วยการนิยามดัชนีหักเหของตัวกลางตามสมการ (2.7) สำหรับรอยต่อระหว่างตัวกลางต่างชนิดกัน

$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

หรือ

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (2.8)$$

เรียกสมการ 2.8 ว่ากฎการหักเหของสเนล (Snell's law or refraction)

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการวิจัย

1. ทำการรวบรวมก้อนหินแม่น้ำจากแม่น้ำโขง จาก อำเภอเมือง จังหวัดมุกดาหาร
2. แบ่งกลุ่มหินออกตามความใสและความแตกต่างของสี เป็นกลุ่มตัวอย่างต่างกัน
3. นำตัวอย่างไปวัดเพื่อให้ได้ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์เพื่อหาโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค เอ็กซ์เรย์ ดิฟแฟรกชัน องค์ประกอบของหินด้วยเทคนิคการวาวรังสีเอ็กซ์ ความถ่วงจำเพาะและดัชนีหักเห ด้วยเครื่องมือจากหน่วยงานที่ให้บริการ
4. นำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ หาความเชื่อมโยงลักษณะทางกายภาพกับผลที่ได้จากการวัดและสรุปผลการวิจัย

3.2 การหาค่าความถ่วงจำเพาะ

นำก้อนหินแม่น้ำแต่ละกลุ่มตัวอย่างมาทำการหาค่าความถ่วงจำเพาะด้วยการชั่งน้ำหนักในอากาศและชั่งในน้ำโดยใช้เครื่องชั่งไฟฟ้า แล้วทำการคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะตามสมการ 2.5 โดยเครื่องชั่งที่ใช้เป็นเครื่องชั่งที่มีเครื่องหมายการค้า METTLER TOLEDO ของห้องปฏิบัติการภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



ภาพ 3.1 เครื่องชั่งที่ใช้ในงานวิจัย

3.3 การหาค่าดัชนีหักเห

นำหินแม่น้ำในแต่ละกลุ่มตัวอย่างมาทำการขัดด้วยเครื่องเจียรไนจนมีผิวเรียบ และทำการวัดค่าดัชนีหักเหด้วยอุปกรณ์ refractometer Gia Gem No.39200 ของภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

3.4 การหาโครงสร้างผลึก

ทำการบดหินแต่ละกลุ่มตัวอย่าง เพื่อหาโครงสร้างผลึกด้วยเครื่องเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ โดยส่งตัวอย่างไปที่ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) นำข้อมูลการเลี้ยวเบนที่ได้มาทำการวิเคราะห์เทียบกับฐานข้อมูลเพื่อหารูปแบบโครงสร้างผลึก

3.5 การหาลักษณะประกอบด้วยวิธีการวาวรังสีเอ็กซ์

นำตัวอย่างแต่ละกลุ่ม ทำการบดเพื่อนำไปวิเคราะห์หาส่วนประกอบของธาตุด้วยวิธีการวาวรังสีเอ็กซ์ที่ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

3.6 รวบรวมผลและสรุปผลการวิจัย

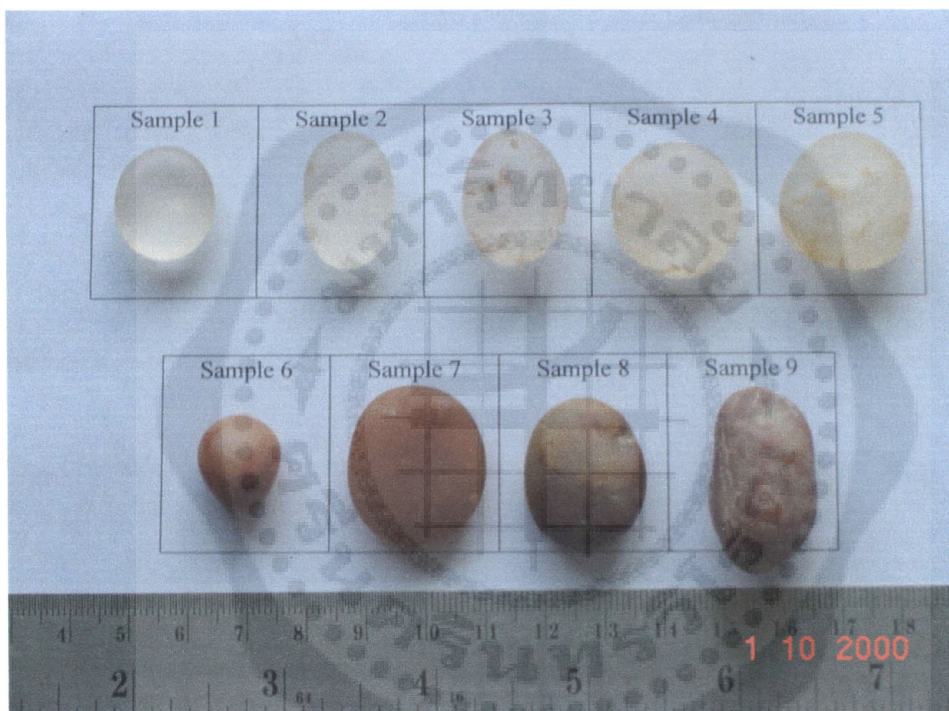
รวบรวมผลการวัดที่ได้ทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์ความเชื่อมโยงกับลักษณะทางกายภาพของหินตัวอย่างและสรุปผลการวิจัย

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงลักษณะเชิงกายภาพของตัวอย่าง ได้แก่ ความโปร่งแสง ดัชนีหักเห ความถ่วงจำเพาะโครงสร้างผลึกและองค์ประกอบของธาตุของตัวอย่าง

4.1 ลักษณะเชิงกายภาพของตัวอย่าง



ภาพประกอบ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่าง

ภาพประกอบ 4.1 แสดงลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างทั้งหมด 9 ตัวอย่าง โดยสามารถแบ่งตัวอย่างดังกล่าวออกได้เป็น 4 กลุ่มดังนี้

กลุ่มที่ 1 ได้แก่ ตัวอย่างที่ 1 และ 2 โดยตัวอย่างมีลักษณะขาวใส ไร้มลทิน

กลุ่มที่ 2 ได้แก่ ตัวอย่างที่ 3 4 และ 5 โดยตัวอย่างมีลักษณะขาวอมเหลือง ใส มีตำหนิเป็นสีเหลืองกระจายทั่วก้อน

กลุ่มที่ 3 ได้แก่ ตัวอย่างที่ 6 และ 7 โดยตัวอย่างมีลักษณะโปร่งแสง สีแดงและสีค่อนข้างสม่ำเสมอ

กลุ่มที่ 4 ได้แก่ ตัวอย่างที่ 8 และ 9 โดยตัวอย่างมีลักษณะโปร่งแสง สีขาวอมชมพู โดยที่สีไม่สม่ำเสมอทั้งก้อน

4.2 สมบัติทางกายภาพ

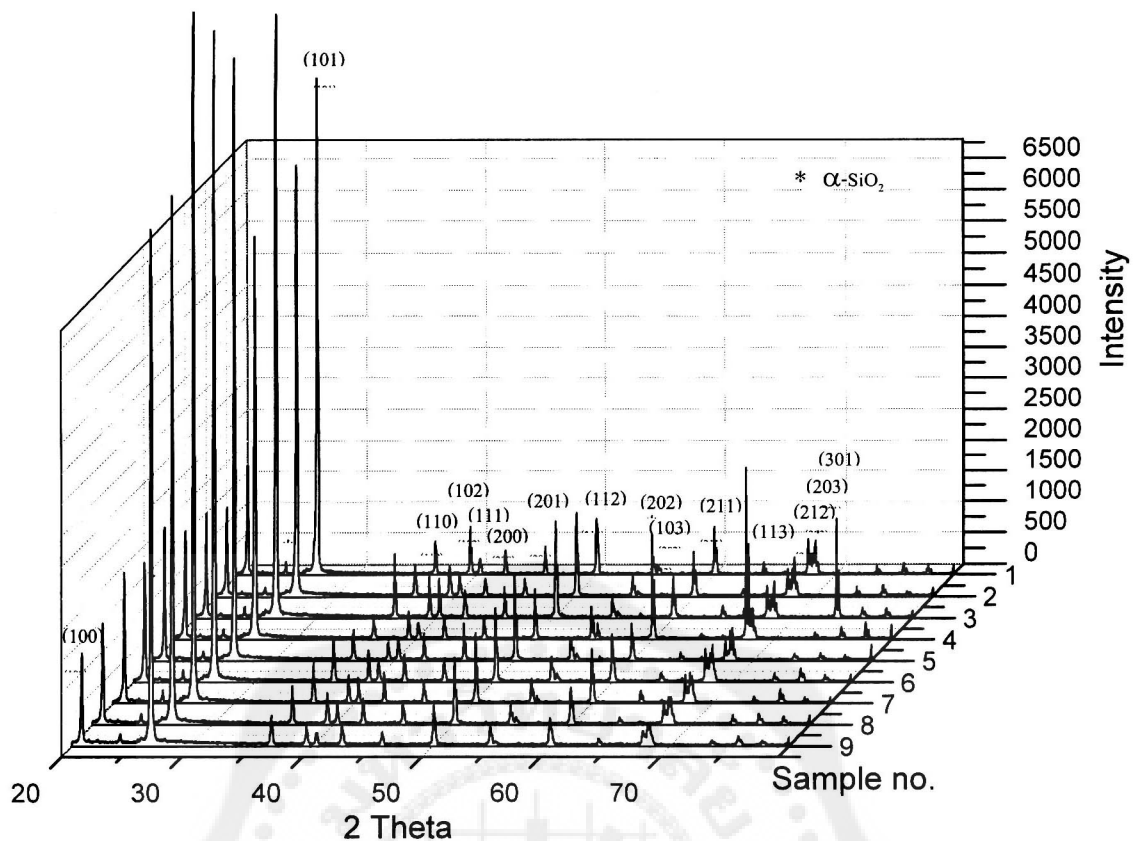
จากการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างอันได้แก่ ความโปร่งแสง ดัชนีหักเห และความถ่วงจำเพาะ ได้ผลการตรวจสอบดังตาราง 4.1 ซึ่งพบว่าหินตัวอย่างทั้ง 9 ตัวอย่างมีความโปร่งแสง และมีดัชนีหักเหเป็น 1.55 โดยตัวอย่างกลุ่มที่ 1-3 (หรือตัวอย่างที่ 1-7) มีความถ่วงจำเพาะเป็น 2.65 และตัวอย่างกลุ่มที่ 4 (หรือตัวอย่างที่ 8-9) ซึ่งไม่โปร่งใสและมีสีขาวอมชมพู ไม่สม่ำเสมอทั้งก้อน มีความถ่วงจำเพาะเป็น 2.63 และ 2.65 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 แสดงสมบัติทางกายภาพของตัวอย่าง

ตัวอย่างที่	ความโปร่งแสง	ดัชนีหักเห	น้ำหนักชั่งในน้ำ (cts)	น้ำหนักชั่งในอากาศ (cts)	ความถ่วงจำเพาะ
1	โปร่งแสง	1.55	13.662	22.006	2.65
2	โปร่งแสง	1.55	16.569	26.612	2.65
3	โปร่งแสง	1.55	23.303	37.398	2.65
4	โปร่งแสง	1.55	25.812	41.419	2.65
5	โปร่งแสง	1.55	31.612	50.606	2.65
6	โปร่งแสง	1.55	10.864	17.464	2.65
7	โปร่งแสง	1.55	26.690	42.832	2.65
8	โปร่งแสง	1.55	26.167	42.209	2.63
9	โปร่งแสง	1.55	41.679	67.119	2.64

4.3 โครงสร้างผลึก

จากการตรวจสอบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ เพื่อหาโครงสร้างผลึกของตัวอย่างพบว่าตัวอย่างทั้งหมดแสดงโครงสร้างแบบเฮกซะโกนอล (Hexagonal) โดยเป็นแร่เชียวหนุมาน (Quartz) หรือ ซิลิกอนไดออกไซด์ (Silicon dioxide, SiO_2) โดยเทียบกับฐานข้อมูล JCPDS เบอร์ 46-1045 และพบว่ามีเฟส $\alpha\text{-SiO}_2$ ซึ่งมีโครงสร้างเป็นรอมโบอีตรอนเป็นเฟสที่สอง (second phase) ดังภาพประกอบ 4.2



ภาพประกอบ 4.2 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์เรย์ของตัวอย่างซึ่งแสดงโครงสร้างแบบเฮกซะโกนอลและเฟส α - SiO_2 ซึ่งเป็นเฟสที่ 2

4.4 องค์ประกอบของธาตุ

จากการตรวจสอบองค์ประกอบของธาตุของตัวอย่างทั้ง 4 กลุ่มตัวอย่างโดยใช้เทคนิคการวาวรังสีเอ็กซ์เตงดาราที่ 4.2 พบว่าตัวอย่างกลุ่มที่ 1 ซึ่งมีลักษณะขาว โปร่งใส มีองค์ประกอบเป็นซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) 100 % โดยน้ำหนัก โดยมีเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ปนเปื้อนน้อยกว่า 0.01% โดยน้ำหนัก ตัวอย่างกลุ่มที่ 2 ซึ่งมีลักษณะขาวอมเหลือง ใส มีดำห็นเป็นสีเหลืองกระจายทั่วก้อน มีองค์ประกอบเป็น SiO_2 100% โดยน้ำหนัก โดยมี Fe_2O_3 ปนเปื้อนน้อยกว่า 0.01% โดยน้ำหนัก และมีแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ปนเปื้อนน้อยกว่า 0.01% โดยน้ำหนัก ตัวอย่างกลุ่มที่ 3 ซึ่งมีลักษณะโปร่งแสง สีแดงและสีค่อนข้างสม่ำเสมอ มีองค์ประกอบเป็น SiO_2 100% โดยน้ำหนัก โดยมี Fe_2O_3 ปนเปื้อนน้อยกว่า 0.01% โดยน้ำหนัก CaO ปนเปื้อนน้อยกว่า 0.01% โดยน้ำหนัก ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ปนเปื้อนน้อยกว่า 0.01 % โดยน้ำหนัก และ โซเดียมออกไซด์ (Na_2O) ปนเปื้อนน้อยกว่า 0.01% โดยน้ำหนัก และตัวอย่างกลุ่มที่ 4 ซึ่งมีลักษณะโปร่งแสง สีขาวอมชมพู โดยที่สีไม่สม่ำเสมอทั้งก้อน มีองค์ประกอบเป็น SiO_2 99.85 % โดยน้ำหนัก โดยมี Fe_2O_3 ปนเปื้อน 0.15% โดยน้ำหนัก CaO ปนเปื้อนน้อยกว่า 0.01% โดยน้ำหนัก ซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO_3) ปนเปื้อนน้อยกว่า 0.01% โดยน้ำหนัก

ฟอสฟอรัสออกไซด์ (P_2O_5) ปนเปื้อนน้อยกว่า 0.01 % โดยน้ำหนัก และอลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ปนเปื้อนน้อยกว่า 0.01% โดยน้ำหนัก

จากการวิเคราะห์พบว่าตัวอย่างที่ค่อนข้างบริสุทธิ์มีสารอื่นเจือปนน้อยกว่า 0.01% โดยน้ำหนัก (กลุ่มที่ 1) จะให้ตัวอย่างที่มีลักษณะโปร่งใส ขณะที่ตัวอย่างที่มี CaO ปนเปื้อนจะเป็นสีขาวอมเหลือง ใส (กลุ่มที่ 2) และตัวอย่างที่มีการปนเปื้อนของ ZnO และ Na_2O จะมีสีแดง (กลุ่มที่ 3)

ตารางที่ 4.2 แสดงองค์ประกอบของธาตุของสารตัวอย่าง

ออกไซด์	ปริมาณ (% โดยน้ำหนัก)			
	กลุ่ม 1	กลุ่ม 2	กลุ่ม 3	กลุ่ม 4
Na_2O	-	-	<0.01	-
Al_2O_3	-	-	-	<0.01
SiO_2	>99.99	>99.98	>99.94	>99.81
P_2O_5	-	-	-	<0.01
SO_3	-	-	-	<0.01
CaO	-	<0.01	<0.01	<0.01
Fe_2O_3	<0.01	<0.01	<0.01	0.15
ZnO	-	-	<0.01	-

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่า หินตัวอย่างทั้งหมดทุกกลุ่มเป็นแร่เขียวหนุมาน หรือซิลิกอนไดออกไซด์ โดยมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบเฮกซะโกนอล และพบว่ามีเฟส $\alpha\text{-SiO}_2$ เป็นเฟสที่สอง ตัวอย่างทั้งหมดมีความโปร่งแสง และมีค่าดัชนีหักเหเป็น 1.55 โดยสามารถแบ่งตัวอย่างจากสีและความโปร่งใสได้เป็น 4 กลุ่มคือ

1. ตัวอย่างที่มีลักษณะขาวใส เป็นตัวอย่างที่มีความบริสุทธิ์สูง โดยมีองค์ประกอบเป็น SiO_2 99.99 % โดยน้ำหนัก และมีเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ปนเปื้อนน้อยกว่า 0.01% โดยมีความถ่วงจำเพาะเป็น 2.65

2. ตัวอย่างที่มีลักษณะขาวอมเหลือง ใส มีตำหนิเป็นสีเหลืองกระจายทั่วก้อน มีองค์ประกอบเป็น SiO_2 99.98% โดยน้ำหนัก มี Fe_2O_3 เจือปนน้อยกว่า 0.01% โดยน้ำหนัก และมี CaO เจือปนน้อยกว่า 0.01% โดยน้ำหนัก มีความถ่วงจำเพาะเป็น 2.65

3. ตัวอย่างที่มีสีแดง โปร่งแสง และสีค่อนข้างสม่ำเสมอ มีองค์ประกอบเป็น SiO_2 99.94%โดยน้ำหนัก โดยมี Fe_2O_3 ปนเปื้อนน้อยกว่า 0.01% โดยน้ำหนัก CaO ปนเปื้อนน้อยกว่า 0.01% โดยน้ำหนัก ZnO ปนเปื้อนน้อยกว่า 0.01 % โดยน้ำหนัก และ Na_2O ปนเปื้อนน้อยกว่า 0.01% โดยน้ำหนัก มีความถ่วงจำเพาะเป็น 2.65

4. ตัวอย่างที่มีสีขาวอมชมพู สีไม่สม่ำเสมอทั้งก้อน โปร่งแสง เป็นตัวอย่างที่มีสารเจือปนมากที่สุดกล่าวคือมีองค์ประกอบเป็น SiO_2 99.81 % โดยน้ำหนัก โดยมี Fe_2O_3 ปนเปื้อน 0.15% โดยน้ำหนัก CaO ปนเปื้อนน้อยกว่า 0.01% โดยน้ำหนัก SO_3 ปนเปื้อนน้อยกว่า 0.01% โดยน้ำหนัก P_2O_5 ปนเปื้อนน้อยกว่า 0.01 % โดยน้ำหนัก และ Al_2O_3 ปนเปื้อนน้อยกว่า 0.01% โดยน้ำหนัก โดยมีความถ่วงจำเพาะเป็น 2.63-2.64

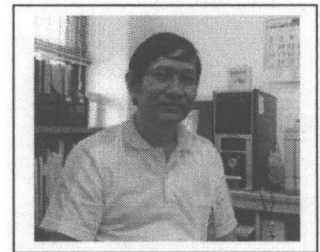
ข้อสังเกต แม้ว่าโครงสร้างผลึกของตัวอย่างเป็นเฮกซะโกนอลแต่พบเฟส $\alpha\text{-SiO}_2$ ซึ่งเป็นรอมโบฮีดรัล (rhombohedral) ในทุกตัวอย่าง ซึ่งลักษณะเช่นนี้เป็นการบ่งชี้ว่าตัวอย่างนี้มาจากแหล่งแม่น้ำโขง จังหวัดมุกดาหาร

บรรณานุกรม

1. www.kanchanapisek.or.th/kp6/BOOK20/chapter7/t20-7-11
2. www.24carat.co.uk/index.html
3. M. Santosh and Alan S. Collins, Gondwana Research, 2003, Vol 6, issue 4, page 911-918.
4. P. Suwanich, Journal of Southeast Asian Earth Sciences, 1993, Vol.8, Issues 1-4, pages 369-381.
5. V. Pisutha-Arnond, S. Phuvichit and Q. Leepowpanth, Journal of Southeast Asian Earth Sciences, 1993, Vol.8, Issues 1-4, pages 293-305.
6. www.jewelrymall.com/stones/moonstone.html
7. B.D.Cullity, *Elements of X-Ray Diffraction*, 2nd edition, Addison-Wesley Publishing Company, Inc. 1978.
8. C. Whiston, *X-ray Methods Analytical Chemistry by Open Learning*, John Wiley & Sons. 1991.
9. C. Suryanarayana and M. Grant Norton, *X-ray Diffraction A Practical Approach*, Plenum Press. 1998.

ประวัติย่อผู้วิจัย

รองศาสตราจารย์ ดร.ณสรณ์ ผลโกก



ชื่อ ณสรณ์ ผลโกก (Nason Phonphok)
ตำแหน่งทางวิชาการ รองศาสตราจารย์ ระดับ 9
ที่ทำงาน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
โทรศัพท์ 0-2664-1000 ต่อ 8162
โทรสาร 0-2664-1000 ต่อ 8163
Email nason@swu.ac.th

การศึกษา

Ph.D.(Physics:NMR), Kent State University, U.S.A.	1988
M.A.(Physics), Kent State University, U.S.A.	1984
วท.ม.(ฟิสิกส์) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	1978
วท.บ.(ฟิสิกส์) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	1974

วิทยานิพนธ์

Phonphok, N. (1988). Effects of Anesthetic Membrane Solutions on Orientational Order in Lecithin Bilayer Membranes: A Deuterium NMR Study. Doctoral Dissertation, Kent State University, Ohio, USA.

Phonphok, N. (1978). Measurement of Dielectric Constant of some Nematic Liquid Crystal at Various Frequencies in Magnetic Field. Master's Thesis, Chulalongkorn university.

ตำรา/เอกสารประกอบการสอน/บทความ

กลศาสตร์ 1 (ระดับบัณฑิตศึกษา), สำนักพิมพ์ SCIENCE CENTER, 2538
กลศาสตร์ 2 (ระดับบัณฑิตศึกษา), สำนักพิมพ์ SCIENCE CENTER, 2538
Nuclear Magnetic Resonance of Deuterium, วารสารวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มศว. 2532
คณิตศาสตร์สำหรับฟิสิกส์, ศูนย์เอกสาร มศว.บางเขน 2526
แม่เหล็กไฟฟ้าและฟิสิกส์ยุคใหม่, ศูนย์เอกสาร มศว.บางเขน 2526

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์

Suppadate Sujinnapram, Buncha Silskulsuk, Nason Phonphok;

Design and Construction of a Device for Measuring Rotational Motion

32nd Congress on Science and Technology of Thailand, 2006

Jiraporn Pongsopa, Buncha Silskulsuk, Nason Phonphok;

A Design and Construction of Flash Evaporation Apparatus 30th Congress on Science and Technology of Thailand, 2004

ณสรณ์ ผลโกล กาญจนา ชูครูวงศ์ มนัส บุญประกอบ พรณี บุญประกอบ

การปฏิรูปการศึกษาของประเทศไทย สิ่งพิมพ์เผยแพร่ สำนักงานคณะกรรมการ
การศึกษาแห่งชาติ ISBN: 974-241-149-2 พฤศจิกายน 2543

Buncha Silskulsuk, Nason Phonphok;

A Study of the RLC Circuit Through a Differential Amplifier

26th Congress on Science and Technology of Thailand, 2000

Phonphok, N.; Chidichimo, G. and Westerman; P.,

Deposition of Chloroform in Phosphatidylcholine Membranes: a ²H – AND ³¹p –
NMR Study, *Chemistry and Physics of Lipids* 83, 1996, 25.

สมพูน ใจเข้มแข็ง บัญชา ศิลป์สกุลสุข **ณสรณ์ ผลโกล**

ผลของอัตราส่วนของรัศมีของขั้วไฟฟ้าและของความดันแก๊สที่มีต่อ
ลักษณะเฉพาะของหลอดไทเกอร์มิลเลอร์ การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และ
เทคโนโลยีแห่งชาติ ครั้งที่ 21 ปี 2538

ณสรณ์ ผลโกล นิรมล ปิตะนิละผลิน บัญชา ศิลป์สกุลสุข

พฤติกรรมเคออสของเพนดูลัมบิด วารสารวิทยาศาสตร์ มศว. ปีที่ 9 ฉบับที่ 2
กรกฎาคม 2536

ณสรณ์ ผลโกล กาญจนา พันธุะผล

การจำลองการสลายตัวของสารรังสีด้วยคอมพิวเตอร์ วารสารวิทยาศาสตร์ สมาคม
วิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย ปีที่ 47 ฉบับที่ 6 พฤศจิกายน-ธันวาคม 2536

โซ สาลีฉิน **ณสรณ์ ผลโกล** บัญชา ศิลป์สกุลสุข สวัสดิ์ ปานเนา

การออกแบบและสร้างเครื่องเคลื่อนระบบสุญญากาศ การประชุมวิชาการ
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ครั้งที่ 18 ปี 2535

N.Phonphok, P.W.Westerman, L.J.Lis and P.J. Quinn

Kinematics of the Main Phase Transition in Lipid Bilayer Membranes Containing n-Alkanols: A Time-Resolved X-Ray Diffraction Study, *Journal of Colloid and Interface Science*. Vol 127, No.2 February 1989

P.W.Westerman, J.M.Pope, **N.Phonphok**, J.W.Doane and D.W.Dubro;

The interaction on n-Alkanols with lipid bilayer membranes: a ^2H -NMR study, *Biochimica et Biophysica Acta* 939 (1988)

N.Phonphok, P.W.Westerman, J.M.Pope, J.W.Doane and D.W.Dobro

The interaction of alcohols with lipid bilayers membranes *Biophysical Journals* 53 498a 1988

P.W.Westerman, J.M.Pope, J.W.Doane and **N.Phonphok**

The interaction of structurally related long-chain alcohols with phospholipids bilayers membranes *Biophysical Journals* 51 154a 1987

N.Phonphok, S.Horvath, J.W.Doane and P.W.Westerman

Anesthetics interactions with bound water in model bilayer membranes *Biophysical Journals* 49 511a 1986

N.Phonphok, J.W.Doane and P.W.Westerman

^2H -NMR Studies of the action of benzylalcohol on model lecitin and gramicidine/lecitin bilayer membranes *Biophysical Journals* 47 113a 1985

ณสรณ์ ผลโลก อนันตสินเตชะกำพุช รท.เรื่องศักดิ์แก้วหาญ

การวัดค่าคงที่ฉนวนของผลึกเหลวบางตัวด้วยไมโครเวฟที่ความถี่ต่าง ๆ
การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ครั้งที่ 2 ปี 2522

การเสนอผลงาน

ณสรณ์ ผลโลก วิชา บุญยรัตกลิน ปรีดา เพชรมีศรี จามรี อมรโกศลพันธ์ สุปรานี โรจน์บัวทอง

การศึกษาข้อคิดเห็นของนิสิตชั้นปีที่ 1 คณะแพทยศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่มีต่อการสอนฟิสิกส์ PY105 ใน

ลักษณะเชิงคุณภาพ, การประชุมแห่งชาติเรื่องฟิสิกส์ศึกษาระดับ

ปริญญาบัณฑิต จัดโดย กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สมาคม

ฟิสิกส์ไทย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร และ ภาควิชาฟิสิกส์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (8-9 ธันวาคม 2548)

จามรี อมรโกศลพันธ์ พงษ์แก้ว อุดมสมุทรหิรัญ ณสรณ์ ผลโกลก กาญจนา ชูวงศ์
มนัส บุญประกอบ

การทดลองสอนปฏิบัติการปฏิบัติการฟิสิกส์อย่างอิสระ, การประชุมแห่งชาติเรื่อง
ฟิสิกส์ศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต จัดโดย กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
สมาคมฟิสิกส์ไทย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร และ ภาควิชาฟิสิกส์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (8-9 ธันวาคม 2548)

ทุนวิจัยที่ได้รับ

ชื่อโครงการ	ระยะเวลา	หัวหน้าโครงการ	แหล่งทุน
การศึกษาการปฏิรูป การศึกษาของประเทศ อังกฤษ	พ.ศ. 2542	ณสรณ์ ผลโกลก	สำนักงานคณะกรรมการ การศึกษาแห่งชาติ
การศึกษาพฤติกรรมเคออส ของเพนดูลัมบิด	พ.ศ. 2535	ณสรณ์ ผลโกลก	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิ โรฒ
การสร้างเครื่องเคลื่อนระบบ สุญญากาศ	พ.ศ. 2533	โซ สาลีฉัน	คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ความเชี่ยวชาญ

Vacuum Physics and Technology

Solid State Physics and Nuclear Magnetic Resonance

Science Education

สมพูน ใจเข้มแข็ง บัญชา ศิลป์สกุลสุข ณสรณ์ ผลโลก

ผลของอัตราส่วนของรัศมีของขั้วไฟฟ้าและของความดันแก๊สที่มีต่อ

ลักษณะเฉพาะของหลอดไอเกอร์มีลเลอร์ การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ครั้งที่ 21 ปี 2538

ณสรณ์ ผลโลก นิรมล ปิตะนีละผลิน บัญชา ศิลป์สกุลสุข

พฤติกรรมเคออสของเพนดูลัมบิด วารสารวิทยาศาสตร์ มศว. ปีที่ 9 ฉบับที่ 2
กรกฎาคม 2536

โซ สาลีฉัน ณสรณ์ ผลโลก บัญชา ศิลป์สกุลสุข สวัสดิ์ ปานนาว์

การออกแบบและสร้างเครื่องเคลื่อนระบบสุญญากาศ การประชุมวิชาการ
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ครั้งที่ 18 ปี 2535

ทุนวิจัยที่ได้รับ

ชื่อโครงการ	ระยะเวลา	หัวหน้าโครงการ	แหล่งทุน
การศึกษาพฤติกรรมเคออส ของเพนดูลัมบิด	พ.ศ.2535	ณสรณ์ ผลโลก	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิ โรฒ
การสร้างเครื่องเคลื่อนระบบ สุญญากาศ	พ.ศ.2533	โซ สาลีฉัน	คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ความเชี่ยวชาญ

Vacuum Physics and Technology

Solid State Physics and X-rays Crystallography

ดร.ธนภรณ์ โตโสภณ



ชื่อ ธนภรณ์ โตโสภณ (Thanaporn Tohsophon)

ตำแหน่งทางวิชาการ อาจารย์

ที่ทำงาน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

โทรศัพท์ 0-2664-1000 ต่อ 8568

โทรสาร 0-2664-1000 ต่อ 8163

มือถือ 086-670-1550

Email thanaporn_ann@yahoo.com

การศึกษา

ปร.ด. (วัสดุศาสตร์) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	2006
วท.ม.(ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	2000
วท.บ. (วัสดุศาสตร์) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	1993

วิทยานิพนธ์

Tohsophon, T (2006) **Structures and Properties of Aluminum doped Zinc Oxide Transparent Conductive Thin Films Prepared by Sputtering Technique**

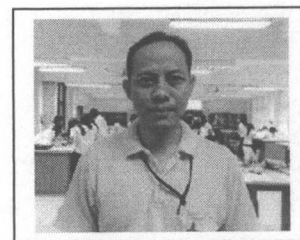
Tohsophon, T (2000) **Electrical Resistivity of Lead Silicate Glass**

ผลงานวิจัย ที่ได้รับการตีพิมพ์

1. Tohsophon, T.; Boonthanom, N.; Yotsombat, B.; Tunkasiri, T.,
Resistance indicate the physical changing of Lead Silicate Compound,
Proceeding of the 1st Science and Material Technology Conference,
Bangkok, 2000, 513-515.
2. Tohsophon, T.; Boonthanom, N.; Yotsombat, B.; Tunkasiri, T.,
Effect of Potassium Carbonate on Electrical Resistivity and Activated
Energy of Lead Silicate Glass, Proceeding of the 26th Congress on Science
and Technology of Thailand, Bangkok, 2000, 255.
3. Tohsophon, T.; Sirikulrat, N.; Tunkasiri, T.,
Influence of sintering temperatures on Microstructures and Electrical
Properties of Zinc Oxide Ceramic Doped with Aluminum, Journal of
Electron Microscopy Society of Thailand 17(1), 2003, 45-46.

4. Tohsophon, T.; Sirikulrat, N.; Tunkasiri, T.,
High Conductive ZnO Ceramics, Proceeding of the 29th Congress on
Science and Technology of Thailand, Bangkok, 2003, 219.
5. Tohsophon, T.; Sirikulrat, N.; Tunkasiri, T.,
Quenching Effects and Conduction Characteristics of Al doped ZnO
ceramics, Transactions of the Materials Research Society of Japan, 29[7],
2003, 3227-3229.
6. Tohsophon, T.; Huepkes, J.; Calnan, S.; Reetz, W.; Rech, B.; Beyer, W.; Sirikulrat, N.,
Damp heat stability and annealing behavior of aluminum doped zinc oxide
films prepared by magnetron sputtering, Thin Solid Films, 511-512, 2006,
673-677.
7. Tohsophon, T.; Sirikulrat, N.,
Effects of step-deposition on structures and properties of transparent
conducting aluminum-doped zinc oxide films prepared by DC magnetron
sputtering. Solar Energy Materials and Solar Cells, 90, 2006, 3444-3448.
3. ประวัติการรับทุนวิจัย (ให้ระบุชื่อโครงการวิจัย ปีงบประมาณที่รับทุน ประเภททุนที่ได้รับ
วงเงินงบประมาณที่ได้รับ และเลขที่สัญญาอ้างอิง)
1. ทุนวิจัย : เรื่อง สภาพนำไฟฟ้าและแถบพลังงานต้องห้ามของเซรามิกส์ซิงค์ ออกไซด์เจือด้วย
อินเดียม
ทุนจากงบรายได้มหาวิทยาลัยประเภททุน Young Blood ประจำปี 2550
สัญญาเลขที่ 053/2550 ในงบประมาณ 43,000 บาท
4. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
- X-ray crystallography
 - Thin film and vacuum technology
 - Surface analysis by X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS) and Auger electron Spectroscopy (AES)
 - Solar Cells

นายเสริมสุข รัตเร่ง



1. ชื่อ เสริมสุข รัตเร่ง (Semsuk Ratreng)
2. ตำแหน่ง พนักงานวิทยาศาสตร์ 4
3. ที่ทำงาน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
โทรศัพท์ 0-2664-1000 ต่อ 8163
โทรสาร 0-2664-1000 ต่อ 8163

4. การศึกษา

วท.บ. เกียรตินิยมอันดับ 2 (เทคโนโลยีการผลิตพืช)
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 1988

5. ประวัติการรับทุนวิจัย (ให้ระบุชื่อโครงการวิจัย ปีงบประมาณที่รับทุน ประเภททุนที่ได้รับ
วงเงินงบประมาณที่ได้รับ และเลขที่สัญญาอ้างอิง)

-

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
 - การใช้เครื่อง X-ray crystallography
 - การวิเคราะห์และประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์