



รายงานการวิจัย
เรื่อง

โครงการศึกษาการผลิตซิลิกาคุณภาพสูงจากเถ้าแกลบโรงไฟฟ้าพลังแกลบ
Study of High quality Silica Production by using Rice Husk Ash
from Rice Husk Power Plant as Raw Material

นายวีรชน ภูหินกอง
นางฐิตินาถ สุกนเขตร์
นายอุดมศักดิ์ กิจทวี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต
2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต



รายงานการวิจัย
เรื่อง

โครงการศึกษาการผลิตซิลิกาคุณภาพสูงจากเถ้าแกลบโรงไฟฟ้าพลังแกลบ
Study of High quality Silica Production by using Rice Husk Ash
from Rice Husk Power Plant as Raw Material

นายวีรชน ภูหินกอง

(ศูนย์เครื่องมือปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)

นางฐิตินาถ สุกนเขตร์

(ศูนย์เครื่องมือปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)

นายอุดมศักดิ์ กิจทวี

(ศูนย์เครื่องมือปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณแผ่นดินด้านการวิจัย ปีงบประมาณ 2556)

หัวข้อวิจัย	โครงการศึกษาการผลิตซิลิกาคุณภาพสูงจากเถ้าแกลบโรงไฟฟ้าพลังแกลบ
ผู้ดำเนินการวิจัย	นายวีรชน ภูหินกอง นางจิตตินาถ สุคนเขตร์ นายอุดมศักดิ์ กิจทวี
หน่วยงาน	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต
ปี พ.ศ.	2557

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลิกาจากเถ้าแกลบเหลือทิ้งผ่านทางสารละลายโซเดียมซิลิเกตที่สกัดได้จากเถ้าแกลบ จากนั้นทำการสังเคราะห์นาโนซิลิกาโดยกระบวนการตกตะกอนด้วยกรด ที่สภาวะอุณหภูมิห้อง และเติมเกลืออนินทรีย์ โดยไม่ใช้สารลดแรงตึงผิวหรือสารแม่แบบ ทำการศึกษาการสังเคราะห์ด้วยระบบการไหลโดยทำการศึกษาผลความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เกลือโซเดียมคลอไรด์ สารละลายโซเดียมซิลิเกต และอัตราการไหล ทำการศึกษาสมบัติของสารตัวอย่างที่ได้ด้วยภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FESEM) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) และวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ผลที่ได้พบว่า เกลือโซเดียมคลอไรด์มีผลทำให้สามารถเกิดเป็นอนุภาคนาโนซิลิกาได้ง่ายและรวดเร็ว มีลักษณะรูปร่างทรงกลม มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วงระหว่าง 80 ถึง 150 นาโนเมตร ในการสังเคราะห์ด้วยเทคนิคการไหลพบว่า สามารถเกิดอนุภาคซิลิกาได้หลายขนาดคือ 10 นาโนเมตร อนุภาคที่มีลักษณะการเกาะกลุ่มกันจนมีขนาดอยู่ในช่วงระหว่าง 50 ถึง 200 นาโนเมตร และสำหรับการใช้อัตราการไหลที่สูงขึ้น 300 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่า ซิลิกาที่ได้มีลักษณะรูปร่างคล้ายแท่งมีขนาดไม่แน่นอน มีความกว้างอยู่ในช่วงระหว่างประมาณ 250 ถึง 500 นาโนเมตร และความยาวอยู่ในช่วงระหว่าง 1 ถึง 10 ไมโครเมตร กระบวนการในการสังเคราะห์นี้สามารถประยุกต์เพื่อใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลิกาให้มีขนาดและรูปร่างต่างๆและเป็นกระบวนการที่สามารถขยายขนาดการผลิตสำหรับการนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมต่างๆที่หลากหลายได้

Research Title	Study of High quality Silica Production by using Rice Husk Ash from Rice Husk Power Plant as Raw Material
Researcher	Weerachon Phoothinkong,, Thitinat Sukonket, Udomsak Kitthawee
Organization	Faculty of Science and Technology, Suan Dusit Rajabhat University
Year	2014

The objective of this work was to investigate the synthesized of nanosilica from rice husk ash via sodium silicate solution. Nanosilica particles were obtained via alkaline extraction and a bath synthesis with fast acid precipitation method at room temperature by adding inorganic salts and without surfactant or template. The flow synthesis was investigated by varying the concentration of precursor such as hydrochloric acid, sodium chloride, sodium silicate and varying of flow-rate. The sample were characterized by field emission scanning electron microscopy (FESEM), transmission electron microscopy (TEM), and X-ray diffraction (XRD). The result revealed that the sodium chloride is significantly inorganic salt for generated nanosilica, with uniform spherical morphology and diameter around 80 to 150 nm, without curing or aging time. In the flow synthesis method, the silica nanoparticles, of diameter around 10 nm and aggregate particle of around 50 to 200 nm were obtained, and for high flow-rate 300 ml/min the silica morphology were micro rod-like with diameter around 250 to 500 nm and 1 to 10 length were obtained. This method may be applicable to control different particle size and morphology of nanosilica and can easily scaling up of nanosilica production for many industry areas.

กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ให้การสนับสนุน และให้คำปรึกษาการวิจัยมาโดยตลอด ขอขอบคุณ อาจารย์และเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ และคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต ที่ให้การสนับสนุนการทำงานวิจัยนี้ดำเนินไปด้วยดี มา ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้วิจัย

2557

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
กรอบแนวคิดในการวิจัย	4
ขอบเขตการวิจัย	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
แนวคิด ทฤษฎี	6
เกลปข้าว	6
อนุภาคนาโนซิลิกา	8
การสังเคราะห์นาโนซิลิกาในปัจจุบัน	9
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
กรอบแนวคิดในการวิจัย	17

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	18
สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	18
สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	18
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	18
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	19
บทที่ 4 ผลการวิจัย	31
ผลของความเข้มข้นของสารตั้งต้น	31
ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของอนุภาคที่ได้จากการ	
สังเคราะห์แบบแบทในขั้นตอนการหาความเข้มข้นที่เหมาะสม	32
การเตรียมอนุภาคซิลิกาด้วยเทคนิคการไหลต่อเนื่อง	44
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	81
สรุปผลการวิจัย	81
อภิปรายผลการวิจัย	83
ข้อเสนอแนะ	99
บรรณานุกรม	101
บรรณานุกรมภาษาไทย	101
บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ	101
ภาคผนวก	105
ภาคผนวก ก กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชัน	106
ภาคผนวก ข กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน	111
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์	114
ประวัติผู้วิจัย	120

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แสดงตัวอย่างปริมาณการผลิตไฟฟ้าของแต่ละโรงงานไฟฟ้าพลังงานกลและปริมาณกลบที่ใช้ต่อปี	3
	ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมซัลไฟด์และสารละลายกรดที่ทำการศึกษา	
2.1	แสดงส่วนประกอบของกลบจากข้าว	7
2.2	องค์ประกอบทางเคมีของเถ้ากลบ	7
2.3	แสดงปริมาณออกไซด์ต่างๆในกลบที่ผ่านการเผาแล้ว	8
3.1	ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมซัลไฟด์และสารละลายกรดที่ทำการศึกษา	23
5.1	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสองกราดชนิดฟิล์มมิชชันเปรียบเทียบผลของความเข้มข้นของสารตั้งต้นสารละลายโซเดียมซัลไฟด์	83
5.2	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสองกราดชนิดฟิล์มมิชชันเปรียบเทียบผลของชนิดของกรดที่เข้าทำปฏิกิริยา	84
5.3	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสองกราดชนิดฟิล์มมิชชันเปรียบเทียบผลของอัตราการไหลต่ออนุภาคซิลิกาที่สังเคราะห์ได้	87
5.4	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสองกราดชนิดฟิล์มมิชชันเปรียบเทียบผลของอัตราการไหลต่ออนุภาคซิลิกาที่สังเคราะห์ได้	88
5.5	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสองกราดชนิดฟิล์มมิชชันเปรียบเทียบผลของอัตราการไหลต่ออนุภาคซิลิกาที่สังเคราะห์ได้	89
5.6	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสองกราดชนิดฟิล์มมิชชันเปรียบเทียบผลของอัตราการไหลต่ออนุภาคซิลิกาที่สังเคราะห์ได้	89
5.7	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสองกราดชนิดฟิล์มมิชชันเปรียบเทียบผลของความเข้มข้นเกลือ ที่อัตราการไหลต่างๆ	91
5.8	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสองกราดชนิดฟิล์มมิชชันเปรียบเทียบผลของความเข้มข้นเกลือ ที่อัตราการไหลต่างๆ	92
5.9	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสองกราดชนิดฟิล์มมิชชันเปรียบเทียบผลของความเข้มข้นกรดที่อัตราการไหลต่างๆ	93
5.10	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสองกราดชนิดฟิล์มมิชชันเปรียบเทียบผลของความเข้มข้นกรดที่อัตราการไหลต่างๆ	94
5.11	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสองกราดชนิดฟิล์มมิชชันเปรียบเทียบผลของความเข้มข้นกรดและเกลือที่อัตราการไหล 0.10 มิลลิลิตรต่อนาที	95
5.12	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสองกราดชนิดฟิล์มมิชชันเปรียบเทียบผลของความเข้มข้นกรดและเกลือที่อัตราการไหล 0.50 มิลลิลิตรต่อนาที	95

ตารางที่		หน้า
5.13	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมชันเปรียบเทียบผลของความเข้มข้นกรดและเกลือที่อัตราการไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที	96
5.14	เปรียบเทียบผลของความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกต่ออนุภาคซิลิกาที่ได้ในการสังเคราะห์ที่อัตราการไหล 300 มิลลิลิตรต่อนาที	97
5.15	เปรียบเทียบผลของความเข้มข้นของเกลือต่ออนุภาคซิลิกาที่ได้ในการสังเคราะห์ที่อัตราการไหล 300 มิลลิลิตรต่อนาที	98

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	แสดงสัดส่วนการบริโภคนีโคตในสหภาพยุโรปในปี	2
1.2	แสดงสัดส่วนการบริโภคนีโคต silica gel ในสหภาพยุโรปในปี 2000	2
2.1	แสดงลักษณะ tetrahedral coordination ของออกซิเจนกับซิลิกา (a) ball และ stick model, (b) solid tetrahedron, (c) skeletal tetrahedron, และ (d) space-filling model	9
2.2	แสดงลักษณะแบบสองมิติของการเชื่อมต่อกันแต่ละ tetrahedron การเรียงตัวแบบสุ่มด้านซ้ายจะเป็นซิลิกาอสัณฐานและการเชื่อมต่อเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบด้านขวาเป็นผลึกซิลิกา	9
2.3	แสดงส่วนประกอบของเฟลม burner ของระบบเฟลมสเปรย์ไพโรไลซิส	10
2.4	แสดงแผนผังของระบบสเปรย์ไพโรไลซิสที่ไม่ได้ใช้เฟลม	10
2.5	แสดงกระบวนการที่เกิดขึ้นของเทคนิคการตกตะกอนโดยใช้โซเดียมซิลิเกตเป็นสารตั้งต้น	11
2.6	แสดงแผนผังกระบวนการโดยทั่วไปของเทคนิคการตกตะกอนในการผลิตซิลิกาที่ใช้ในอุตสาหกรรมที่ใช้โซเดียมซิลิเกตเป็นสารตั้งต้นในการผลิต	12
2.7	แสดงลักษณะของการเกิดเป็นซิลิกาเจลและการตกตะกอนเป็นอนุภาคซิลิกา (a) sol, (b) gel และ (c) ในกรณีของการตกตะกอนจะเกิดการจับเกาะกันเป็นกลุ่มของอนุภาคและตกตะกอน	13
2.8	แสดงระบบของ TEOS, water (ซ้าย) และเกิด polymerized Sol-gel (ขวา)	14
3.1	บริเวณเก็บตัวอย่างแก้วกลม	19
3.2	สถานที่เก็บแก้วกลมจากโรงไฟฟ้าพลังงานกล	20
3.3	แก้วกลมก่อนล้างน้ำและแก้วกลมขณะแช่สารละลายกรดไฮโดรคลอริก	21
3.4	การกรองและล้างกรดออกจากแก้วกลม	22
3.5	แก้วกลมที่ล้างทำความสะอาดแล้ว	22
3.6	แก้วกลมที่นำไปอบให้แห้งหลังจากล้างทำความสะอาดแล้ว	22
3.7	การกรองเอาสารละลายโซเดียมซิลิเกตโดยสารละลายที่ได้จะมีสีน้ำตาล	23
3.8	ตัวอย่างสารละลายโซเดียมซิลิเกตที่ส่วนผสมและความเข้มข้นต่างๆที่เตรียม	26
3.9	แสดงแผนผังของระบบการสังเคราะห์และรีแอกเตอร์ของการสังเคราะห์ด้วยระบบการไหล	27
3.10	ภาพกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อีมิชชัน (FE-SEM) รุ่น FE-SEM MODEL: HITACHI – S4700 ที่ใช้ในงานวิจัยนี้	28
3.11	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่า (TEM) ยี่ห้อ FEI รุ่น TECNAI T20 G ² ที่ใช้ในงานวิจัยนี้	29
3.12	เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโทมิเตอร์ (XRD) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้	30

ภาพที่		หน้า
4.1	สารละลาย 1M Na ₂ SiO ₃ และกลีโฆเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 2, 5, 10, 20, และ 25 ตามลำดับ ทำปฏิกิริยาด้วยกรด 1M HCl	32
4.2	แสดงภาพถ่ายที่กำลังขยายต่างๆดังนี้	34
4.3	แสดงภาพถ่ายที่กำลังขยายต่างๆดังนี้	35
4.4	แสดงภาพถ่ายที่กำลังขยายต่างๆดังนี้	36
4.5	แสดงภาพถ่ายที่กำลังขยายต่างๆดังนี้	37
4.6	แสดงภาพถ่ายที่กำลังขยายต่างๆดังนี้	38
4.7	แสดงลักษณะของอนุภาคซิลิกาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน เทียบกับเส้นมาตราส่วนขนาด 200 นาโนเมตร	39
4.8	แสดงลักษณะของอนุภาคซิลิกาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน เทียบกับเส้นมาตราส่วนขนาด 100 นาโนเมตร	39
4.9	แสดงลักษณะของอนุภาคซิลิกาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน เทียบกับเส้นมาตราส่วนขนาด 50 นาโนเมตร	40
4.10	แสดงลักษณะของอนุภาคซิลิกาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน เทียบกับเส้นมาตราส่วนขนาด 200 นาโนเมตร	41
4.11	แสดงลักษณะของอนุภาคซิลิกาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน เทียบกับเส้นมาตราส่วนขนาด 100 นาโนเมตร	41
4.12	แสดงลักษณะของอนุภาคซิลิกาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน เทียบกับเส้นมาตราส่วนขนาด 50 นาโนเมตร	42
4.13	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของซิลิกาที่สังเคราะห์ได้จากการใช้กรด ไฮโดรคลอริก	43
4.14	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของซิลิกาที่สังเคราะห์ได้จากการใช้กรด ไนตริก	43
4.15	แสดงการเกิดตะกอนสีขาวทันทีจากระบบการไหล	44
4.16	แสดงภาพถ่ายที่กำลังขยายต่างๆ	47
4.17	แสดงภาพถ่ายที่กำลังขยายต่างๆ	48
4.18	แสดงภาพถ่ายที่กำลังขยายต่างๆ	50
4.19	แสดงภาพถ่ายที่กำลังขยายต่างๆ	52
4.20	แสดงภาพถ่ายที่กำลังขยายต่างๆ	54
4.21	แสดงภาพถ่ายที่กำลังขยายต่างๆ	57
4.22	แสดงภาพถ่ายที่กำลังขยายต่างๆ	59
4.23	แสดงภาพถ่ายที่กำลังขยายต่างๆ	62
4.24	แสดงภาพถ่ายที่กำลังขยายต่างๆ	64
4.25	แสดงภาพถ่ายที่กำลังขยายต่างๆ	66
4.26	แสดงภาพถ่ายที่กำลังขยายต่างๆ	68

ภาพที่		หน้า
4.27	แสดงภาพถ่ายที่กำลังขยายต่างๆ	70
4.28	แสดงภาพถ่ายที่กำลังขยายต่างๆ	72
4.29	แสดงภาพถ่ายที่กำลังขยายต่างๆ	73
4.30	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของซิลิกาที่สังเคราะห์ได้จากการใช้กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2 โมลาร์	74
4.31	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของซิลิกาที่สังเคราะห์ได้จากการใช้กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 4 โมลาร์	74
4.32	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของซิลิกาที่สังเคราะห์ได้จากการใช้เกลือ 5 เปอร์เซนต์ ทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2 โมลาร์	75
4.33	แสดงภาพถ่ายที่กำลังขยายต่างๆ	77
4.34	แสดงภาพถ่ายที่กำลังขยายต่างๆ	78
4.35	แสดงภาพถ่ายที่กำลังขยาย 10,000 เท่า	79
4.36	แสดงภาพถ่ายที่กำลังขยายต่างๆ	80
5.1	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสองผ่านเปรียบเทียบผลของกรดไฮโดรคลอริก(ซ้าย) และกรดไนตริก(ขวา)	85
ก.1	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชันรุ่น FE-SEM MODEL: HITACHI – S4700 ที่ใช้ในงานวิจัยนี้	108
ก.2	แสดงลักษณะภาพถ่ายที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชันรุ่น FE-SEM MODEL: HITACHI – S4700 ที่ใช้ในงานวิจัยนี้	109
ก.3	ส่วนประกอบและการทำงานโดยทั่วไปของเครื่อง SEM	110
ข.1	เครื่อง TEM (Transmission Electron Microscope) ยี่ห้อ FEI รุ่น TECNAI T20 G2 ที่ใช้ในงานวิจัยนี้	112
ข.2	ส่วนประกอบและการทำงานโดยทั่วไปของเครื่อง TEM	113
ค.1	ตัวอย่างการจัดโครงสร้างของผลึกแบบต่างๆ	115
ค.2	Bragg 's Law	116
ค.3	ส่วนประกอบโดยทั่วไปของหลอดรังสีเอกซ์	117
ค.4	แสดงการเกิดรังสีเอกซ์ที่โลหะเป้าหมายเมื่อยิงด้วยอิเล็กตรอน	117
ค.5	แสดงไออะแกรมของเครื่อง XRD โดยจะมีแกนหมุนสำหรับยิงรังสีไปที่ตัวอย่างที่อยู่ตรงกลางและดีเทคเตอร์อยู่ด้านตรงกันข้ามสำหรับตรวจวัดสัญญาณที่ได้จากตัวอย่างที่ทำมุมต่อกัน	118
ค.6	แสดงส่วนประกอบภายในของเครื่อง XRD ที่ใช้ในการทดลองนี้	118
ค.7	แสดงเครื่อง XRD ที่ใช้ในการทดลองนี้	119