การออกแบบและสร้างเครื่องบดบอลมิลล์สำหรับการเตรียมสารตัวนำยวดยิ่ง Y134

Design and Construction a Batch Ball Mill for Preparation of Y134 Superconductor

ธีรถวัลย์ ปานกลาง[1], ธัญนพ นิลกำจร[2], รัตนสุดา สุภดนัยสร[1*], ปริวัตร คำทา[2], ณัฐวจี อินเล็ก[2], ธนพร อึ้งมงคลชัย[2] และ พงษ์แก้ว อุดมสมุทรหิรัญ[2]

Theerathawan Panklang [1], Tunyanop Nilkamjon [2], Rattanasuda Supadanaison[1*], Pariwat Kumtha[2], Natwagee Inlek[2], Thanaporn Ouengmongkhonchai[2] and Pongkaew Udomsamuthirun[2]

[1] *สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา*

[2] *ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*

[1]*Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University Bangkok 1061*

[2]*Department of Physics, Faculty of Science, Srinakharinwirot University, Bangkok 10110*

Received : 23 November 2017

Accepted : 12 June 2018

Published online : 22 June 2018

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อออกแบบและสร้างเครื่องบดบอลมิลล์ที่ใช้เตรียมตัวนำยวดยิ่ง Y134 แบบแห้งและแบบเปียก ผู้วิจัยพบว่าเครื่องบดบอลมิลล์ที่สร้างขึ้นสามารถทำงานได้ดีที่ความถี่ 900 รอบต่อนาที หม้อบดมีปริมาตร 800 ลูกบาศก์เซนติเมตร และใช้ลูกบดอลูมินาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร โดยในการเตรียมตัวนำยวดยิ่ง Y134 ใช้วิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็งโดยใช้ Y_2O_3, $BaCO_3$ และ CuO สำหรับการบดเปียกใช้ไอโซโพรพลิแอลกอฮอล์เป็นตัวกลาง ผลการทดลองพบว่าการเตรียมด้วยการบดละเอียดโดยใช้เครื่องบดบอลมิลล์แบบเปียกจะได้สารตัวอย่าง ที่มีขนาดของเกรนเล็ก และมีอุณหภูมิวิกฤตสูงกว่าการเตรียมตัวนำยวดยิ่งด้วยการบดละเอียดด้วยเครื่องบดบอลมิลล์แบบแห้ง ผู้วิจัยพบว่าตัวอย่างการเตรียมสารที่ได้จากการบดละเอียดด้วยเครื่องบดบอลมิลล์มีความพรุนน้อยกว่าตัวอย่างการเตรียมสารที่ได้จากการบดละเอียดด้วยครกอลูมินา

คำสำคัญ : เครื่องบดบอลมิลล์, ตัวนำยวดยิ่ง Y134, ปฏิกิริยาสถานะของของแข็ง

***Corresponding author. E-mail :** rattanasuda@yahoo.com

Abstract

The purpose of this research is to design and construct the batch ball milling for Y134 superconductor preparation by wet and dry ball milling. We found that the best condition is a milling speed of 900 rpm. With volume of 800 cm^3 and alumina ball diameter of 5 mm. The Y134 superconductor was synthesized by solid state reaction using Y_2O_3, $BaCO_3$ and CuO as staring materials. The isopropyl alcohol was used as a media in wet ball milling process. The wet ball milling process provided of the sample with smller grain size and higher critical temperature than sample of dry ball milling. The wet and dry ball milling processes provided samples with less porosity compared with the samples prepared from grinding by mortar.

Keywords : ball milling, Y134 superconductor, solid state reaction

บทนำ

ตัวนำยวดยิ่งเป็นวัสดุที่มีสมบัติทางด้านฟิสิกส์ของแข็ง (Solid State Physics) ที่โดดเด่นกว่าวัสดุชนิดอื่น เช่น สมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติทางแม่เหล็ก เป็นต้น ในระยะแรกตัวนำยวดยิ่งอยู่ในรูปแบบของโลหะบริสุทธิ์ ต่อมามีการค้นพบที่หลากหลายขึ้น ได้แก่ ตัวนำยวดยิ่งแบบโลหะ โลหะผสมหรือแม้แต่เซรามิก และในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์สามารถนำทฤษฎีตัวนำยวดยิ่งมาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้โดยอาศัยสมบัติโดดเด่นที่วัสดุนี้มีความต้านทานไฟฟ้าเป็นศูนย์และการลอยตัวเหนือแม่เหล็กได้ (Kruaehong, 2013)

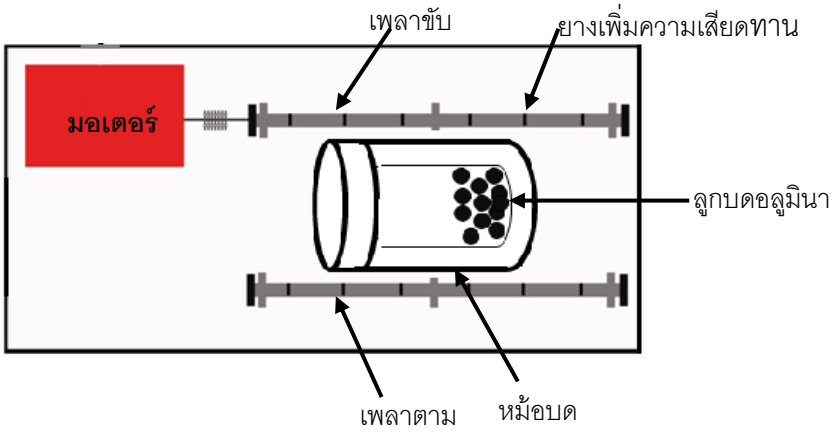
ในปัจจุบันการเตรียมสารตัวนำยวดยิ่งที่เป็นเซรามิกสำหรับศึกษาวิจัย (Kruaehong, 2007) มักนิยมผสมสารให้เข้ากันและบดโดยใช้ครกอลูมินา เมื่อนำตัวนำยวดยิ่งที่ได้จากการเตรียมไปศึกษาผิวด้วยเครื่องมือ SEM (Scanning Electron Microscope, JSM-5410LV) จะพบว่าขนาดของเกรนค่อนข้างใหญ่ (ประมาณ 10 ไมโครเมตร) และเนื้อสารยังไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพของตัวนำยวดยิ่งที่เตรียมขึ้น อีกทั้งทำให้เสียเวลาและแรงงานในการบดสารตัวนำยวดยิ่ง

จากการศึกษาค้นคว้า พบว่า การบดละเอียดโดยใช้เครื่องบดบอลมิลล์ (Ball mill) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ช่วยประหยัดแรงและสามารถบดสารได้ทั้งแบบเปียก (Wet milling) และแบบแห้ง (Dry milling) ซึ่งใช้หลักการหมุนของหม้อบดที่มีลูกบดอยู่ภายใน ทำให้ไม่ต้องใช้แรงงานมากนัก และลูกบดที่นิยมใช้คือลูกบดอลูมินา (Al_2O_3) เนื่องจากมีค่าความถ่วงจำเพาะที่สูงประมาณ 3.5-3.7 และการสึกหรอน้อยทำให้มีมลทินปนลงไปในวัตถุดิบต่ำมาก แต่อย่างไรก็ตามลูกบดอลูมินาก็เป็นลูกบดที่มีราคาสูงพอสมควรเมื่อเทียบกับลูกบดชนิดอื่นๆ (Sayinthawong,2008) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจการออกแบบและสร้างเครื่องบดบอลมิลล์เพื่อใช้สำหรับการเตรียมสารตัวนำยวดยิ่ง Y134 ให้ได้ความเป็นระเบียบที่มีรูพรุนที่น้อยลงเมื่อเทียบกับวิธีการบดด้วยมือ โดยสารประกอบที่ใช้ในการเตรียมสารเป็นของแข็งที่ผ่านการเผาในเตาเผาอุณหภูมิสูง แล้วปล่อยให้เย็นตัวลง การจับตัวของสารที่ได้หลังจากการเผามีลักษณะเป็นก้อนแข็งสีดำ การบดเพื่อทำเป็นผงด้วยครกมีความยากลำบาก และให้ขนาดอนุภาคที่ไม่แน่นอน ทำให้สารที่เตรียมได้มีรูพรุนและเปราะ การใช้เครื่องบดบอลมิลล์จึงเป็นทางเลือกในการเตรียมสารที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า ได้ขนาดเกรนของตัวอย่างที่เล็กและมีขนาดสม่ำเสมอตามที่ต้องการ สามารถตั้งเวลาการทำงานแบบอัตโนมัติ ทั้งนี้ขึ้นกับเงื่อนไขการบด เช่น ปริมาตรของหม้อบด เวลาในการบด ขนาดและชนิดของลูกบดที่ใช้ เครื่องบดบอลมิลล์ที่มีจำหน่ายทั่วไปมีขนาดใหญ่และราคาแพงซึ่งไม่เหมาะสมในการใช้เตรียมสารในห้องปฏิบัติการที่ใช้สารปริมาณน้อย

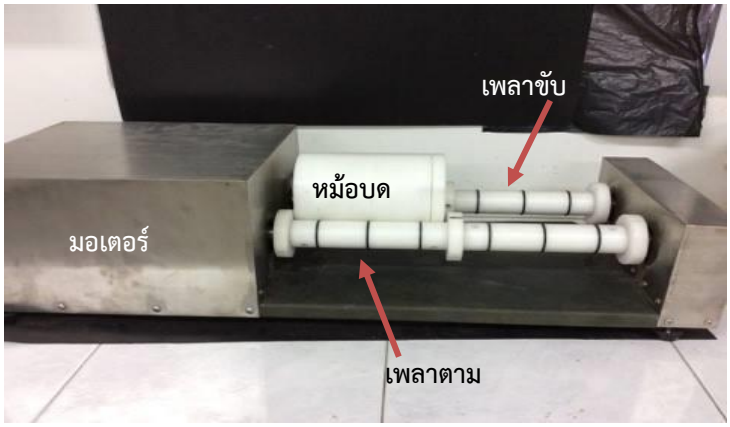
วิธีดำเนินการวิจัย

1.การออกแบบเครื่องบดบอลมิลล์

เครื่องบดบอลมิลล์ที่ออกแบบและสร้างขึ้นในงานวิจัยนี้สามารถบดสารได้ทั้งแบบเปียกและแบบแห้งโดยใช้หลักการหมุนของหม้อบดที่มีปริมาตร 800 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีน้ำหนัก 1.598 กิโลกรัมภายในหม้อบรรจุลูกบดทรงกลมอลูมินาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร จำนวน 1 กิโลกรัม และใช้มอเตอร์ขนาด 373 วัตต์ ในการหมุนหม้อบด โดยตั้งค่าความเร็วรอบของหม้อบดที่ 900 รอบต่อนาที ส่วนประกอบของเครื่องบดบอลมิลล์แสดงดังภาพที่ 1 และภาพที่ 2



ภาพที่ 1 การออกแบบเครื่องบดบอลมิลล์



ภาพที่ 2 เครื่องบดบอลมิลล์

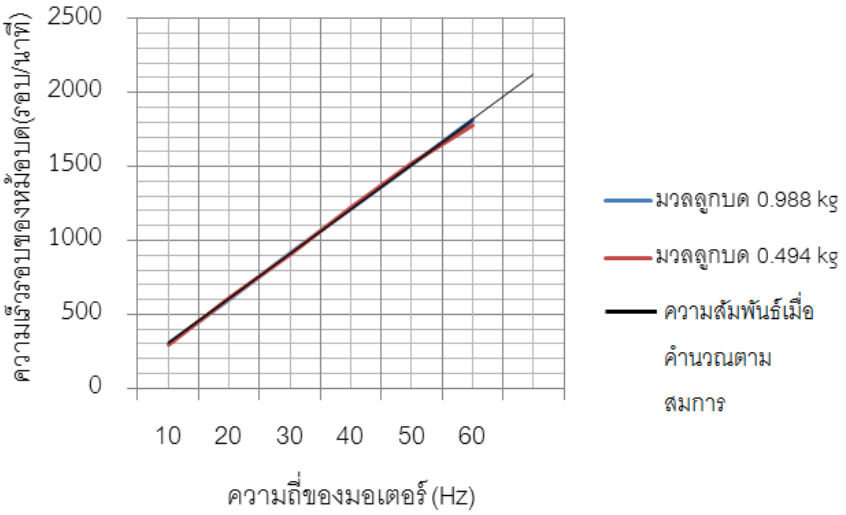
โดยจากการทดสอบเครื่องบดบอลลมิลล์ เปรียบเทียบการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของมอเตอร์กับจำนวนรอบของหม้อบดดังสมการที่ (1) ได้กราฟดังภาพที่ 3

$$F = 30.13f + 2.99 \quad \text{.....(1)}$$

โดย f คือความถี่เครื่องบด(Hz)

F คือความถี่การหมุนของมอเตอร์ (รอบ/นาที)

สมการนี้เป็นสมการของความถี่หม้อบดที่สัมพันธ์กับความถี่ของมอเตอร์ซึ่งเป็นจริงสำหรับการทดลองเมื่อมีมวลในหม้อบดตั้งแต่ 0.499 กิโลกรัม ถึง 0.988 กิโลกรัม



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของมอเตอร์กับจำนวนรอบของหม้อบด

จากการทดสอบการทำงานของเครื่องบดบอลมิลล์ ผู้วิจัยพบว่า ความถี่ของมอเตอร์ที่ 30 Hz ซึ่งสัมพันธ์กับความเร็วรอบของหม้อบดที่ 900 รอบต่อนาที โดยมวลลูกบดเท่ากับ 0.998 กิโลกรัม มีความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกับสมการที่ (1)

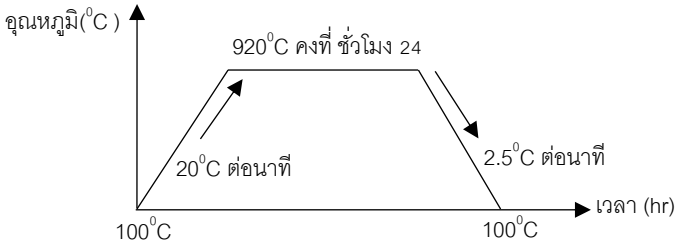
2.การเตรียมสารตัวนำยวดยิ่ง Y134

คณะผู้วิจัยได้เตรียมตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y134 ด้วยวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็งโดยมีสารตั้งต้น คือ อิตเทรียมออกไซด์ (Y_2O_3) แบเรียมคาร์บอเนต ($BaCO_3$) และคอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) ตามสูตรเคมีดังนี้

$$Y_2O_3 + 6BaCO_3 + 8CuO \longrightarrow 2YBa_3Cu_4O_{8.5} + 6CO_2$$

จากปฏิกิริยาทางเคมีสามารถคำนวณหาปริมาณสารตั้งต้นตามปริมาณสารสัมพันธ์และ นำสารตั้งต้นทั้งสามมาผสมกันแล้วนำไปสู่กระบวนการเผาแคลไซน์ (Calcination) และกระบวนการเผาซินเตอร์ (Sintering) ในเตาเผาอุณหภูมิสูงซึ่งมีกระบวนการเผาแบบต่างๆ ที่แตกต่างกันโดย กระบวนการแรกเป็นกระบวนการเผาแบบผงมีรายละเอียดดังนี้ เริ่มกระบวนการ

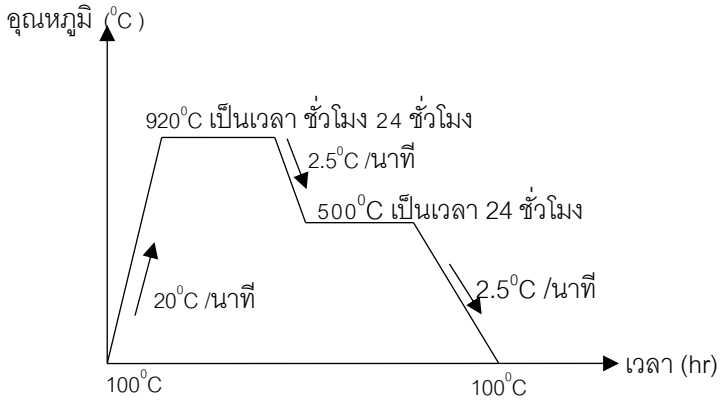
เผาแบบผงที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 20 องศาเซลเซียสต่อนาที จนกระทั่งอุณหภูมิถึง 920 องศาเซลเซียส คงอุณหภูมินี้ไว้ 24 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิลงด้วยอัตรา 2.5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนกระทั่งอุณหภูมิเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส ซึ่งมีกระบวนการ เผาดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 กระบวนการเผาแบบผง

สารที่ผ่านกระบวนการเผาครั้งที่ 1 มาบดให้ละเอียดโดยในการบดนั้นจะแบ่งออกเป็น 3 แบบเพื่อเปรียบเทียบสมบัติทางฟิสิกส์ของตัวนำยวดยิ่งของสารประกอบ Y134 ที่ได้จากการบดแต่ละแบบ ได้แก่ การบดด้วยมือในครกอลูมินา การบดละเอียดโดยใช้เครื่องบดบอลมิลล์แบบแห้ง และการบดละเอียดโดยใช้เครื่องบอลมิลล์แบบเปียก ที่ตั้งค่าความถี่ของเครื่องบด 900 รอบต่อนาทีซึ่งความถี่ของเครื่องบดเป็นความถี่ที่สัมพันธ์กับความถี่ของมอเตอร์ที่ใช้ในการสร้างเครื่องบดบอลมิลล์ในครั้งนี้ โดยใช้เวลาบด 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำสารที่เป็นผงไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 45 ไมโครเมตร เพื่อเป็นการคัดเลือกขนาดของอนุภาคของสาร แล้วนำสารที่มีลักษณะเป็นผงไปสู่การเผาแบบผงเป็นครั้งที่ 2 ซึ่งมีกระบวนการเผาเหมือนกับครั้งที่ 1 เพื่อให้เกิดความกลมกลืนและเป็นเนื้อเดียวของสารตัวอย่างมากขึ้น

สารที่ได้จากกระบวนการเผาแบบผงครั้งที่ 2 ถูกนำไปบดให้ละเอียดอีกครั้ง ด้วยการบด 3 แบบโดยมีกระบวนการเหมือนการบดเหมือนครั้งแรก แล้วนำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 45 ไมโครเมตร เพื่อเป็นการคัดเลือกขนาดของอนุภาคของสารอีกครั้งก่อนที่จะนำผงไปที่ได้อัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิก ด้วยแรงอัด 15,000 นิวตันต่อตารางเมตร เป็นเวลา 30 นาที สารทุกสูตรที่ได้จากกระบวนการอัดจะมีลักษณะเป็นก้อนกลมแบน แล้วนำสารนี้วางบนแผ่นอลูมินา จากนั้นเริ่มกระบวนการเผาแบบขึ้นรูปโดยเริ่มเผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 20 องศาเซลเซียสต่อนาที จนอุณหภูมิถึง 920 องศาเซลเซียส คงที่อุณหภูมินี้ไว้ 24 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิลงด้วยอัตรา 2.5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนกระทั่งอุณหภูมิเท่ากับ 500 องศาเซลเซียส คงที่อุณหภูมินี้ไว้ 24 ชั่วโมง และลดอุณหภูมิลงอีกครั้งด้วยอัตรา 2.5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 กระบวนการเผาแบบขึ้นรูป

เมื่อผ่านกระบวนการเผาแบบขึ้นรูปแล้วนำสารมาสังเกตลักษณะพื้นผิวของตัวนำยวดยิ่ง Y134 โดยถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด วิเคราะห์ปริมาณธาตุจากเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน

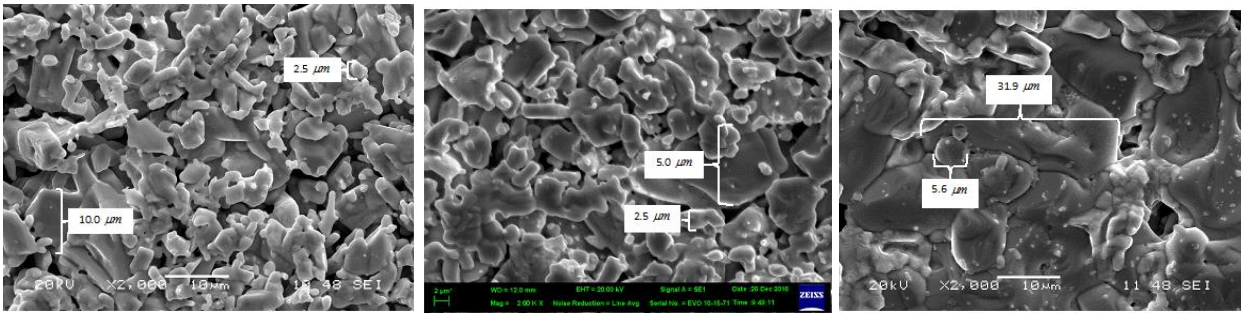
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของตัวนำยวดยิ่งที่ถ่ายโดยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ลักษณะพื้นผิวของตัวนำยวดยิ่งที่เตรียมด้วยการบดละเอียดด้วยเครื่องบดบอลมิลล์แบบแห้ง แบบเปียก และการบดด้วยครกบดอลูมินา ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงลักษณะพื้นผิวของตัวนำยวดยิ่ง Y134 ที่ได้จากการเตรียม

ตัวนำยวดยิ่ง / ลักษณะ	บดแบบแห้ง	บดแบบเปียก	บดด้วยครกบดอลูมินา
ขนาดเกรน	2.5-10.0 μm	2.5-5.0 μm	5.6-31.9 μm
ความสม่ำเสมอของขนาดเกรนเมื่อพิจารณาจากภาพถ่าย SEM	ขนาดของเกรนมีความสม่ำเสมอปานกลาง	ขนาดของเกรนมีความสม่ำเสมอมาก	ขนาดของเกรนมีความไม่มีความสม่ำเสมอ
ความพรุนของพื้นผิววิเคราะห์จากภาพถ่าย SEM โดยพิจารณาบริเวณที่เป็นช่องว่าง	พื้นผิวมีความพรุนมากที่สุด ขนาดรูพรุน ไม่เกิน 5.0 μm	พื้นผิวมีความพรุนปานกลาง ขนาดรูพรุน ไม่เกิน 3.0 μm	พื้นผิวมีความพรุนน้อยขนาดรูพรุน ไม่เกิน 5.0 μm พื้นผิวส่วนใหญ่เชื่อมติดกัน

จากตารางที่ 1 วิธีการบดละเอียดด้วยเครื่องบดบอลมิลล์สามารถบดสารได้ละเอียดกว่าวิธีการบดด้วยครกบดอลูมินา และทำให้ได้สารที่มีขนาดสม่ำเสมอ โดยวิธีการบดด้วยเครื่องบดบอลมิลล์ ชนิดลูกบดอลูมินาแบบเปียก จะทำให้ได้ขนาดเกรนเล็กและมีขนาดสม่ำเสมอมากกว่าวิธีการบดด้วยเครื่องบดบอลมิลล์ ชนิดลูกบดอลูมินาแบบแห้ง ที่สามารถบดให้ได้ขนาดเล็กเช่นกัน แต่มีความต่างของขนาดเกรนบ้าง เนื่องจาก ผลของการบดทำให้อนุภาคมีขนาดเล็กลง แต่การบดแบบเปียกเป็นกระบวนการที่ผู้วิจัยเพิ่มเข้ามาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการแยกแยะสารออกจากเม็ดบดทำให้ได้สารปริมาณมากขึ้น (Nilkamjon *et al.,* 2017) เพราะการบดแบบแห้ง พบว่า อนุภาคที่ได้จากการบดมีขนาดเล็กมากไม่สามารถหลุดออกจากเม็ดบดได้ แต่ก็ส่งผลทำให้ต้องเพิ่มกระบวนการอบแห้งและตัวทำละลายเข้ามาในการบดแบบเปียก ซึ่งผลของสารละลายและอุณหภูมิการอบก็มีผลกระทบต่อขนาดเกรน ในขณะที่วิธีการบดด้วยครกบดอลูมินาทำให้ได้ขนาดเกรนใหญ่และมีความต่างของขนาดเกรนมากกว่าทั้งสองวิธีข้างต้น



ก. ข. ค.

ภาพที่ 6 เปรียบเทียบลักษณะพื้นผิวของตัวนำยวดยิ่งที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธีบดละเอียด
ก.การบดด้วยเครื่องบดบอลมิลล์แบบแห้ง
ข.การบดด้วยเครื่องบดบอลมิลล์แบบเปียก
ค.การบดด้วยครกอลูมินา

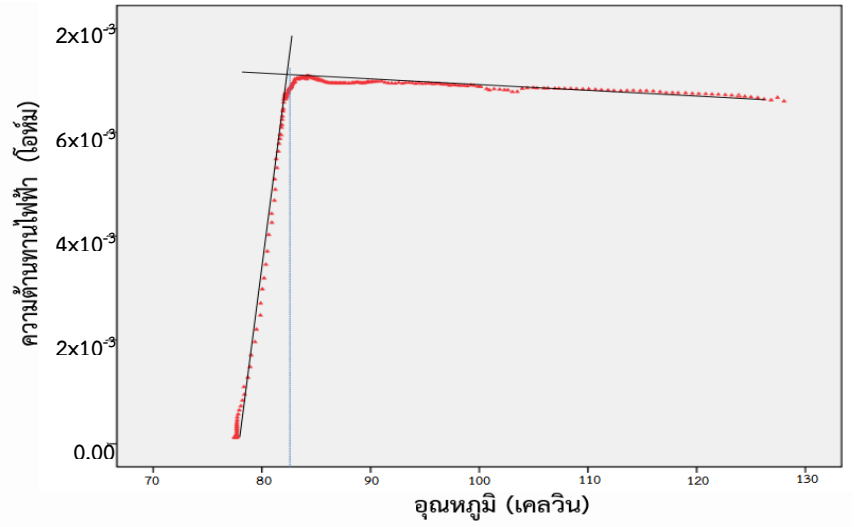
เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุจากเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-ray spectrometer, EDX) ของตัวนำยวดยิ่ง Y134 ได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงการวิเคราะห์ปริมาณธาตุของตัวนำยวดยิ่งที่เตรียมได้จากเครื่องบดบอลมิลล์

ธาตุหลักตัวนำยวดยิ่ง	อัตราส่วนอะตอมของตัวนำยวดยิ่ง Y134 ที่ใช้วิธีการบดด้วยเครื่องบดบอลมิลล์ แบบแห้ง		อัตราส่วนอะตอมของตัวนำยวดยิ่ง Y134 ที่ใช้วิธีการบดด้วยเครื่องบด บอลมิลล์ แบบเปียก	
	สมการเคมี	วิเคราะห์ EDX	สมการเคมี	วิเคราะห์ EDX
อิตเทรียม (Y)	1.00	1.00	1.00	1.00
แบเรียม (Ba)	3.00	2.49	3.00	2.56
คอปเปอร์ (Cu)	4.00	3.28	4.00	3.74

จากตารางที่ 2 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุของตัวนำยวดยิ่งที่เตรียมได้จากเครื่องบดบอลมิลล์ เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนโมลของตัวนำยวดยิ่ง พบว่า การบดด้วยเครื่องบดบอลมิลล์แบบแห้ง มีสัดส่วนโมลของธาตุในสารประกอบตัวนำยวดยิ่ง สอดคล้องกับสมการเคมี และพบว่าสารทั้งก้อนมีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอ ในขณะที่สัดส่วนโมลของตัวนำยวดยิ่ง Y134 ที่ใช้วิธีการบดด้วยเครื่องบดบอลมิลล์ แบบเปียกมีสัดส่วนที่ใกล้เคียงกับสมการเคมีมากกว่า และสารมีความเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่า

ในการวัดความต้านทานไฟฟ้าของตัวนำยวดยิ่ง Y134 ด้วยการบดละเอียดทั้ง 3 วิธี ใช้การวัดความต้านทานไฟฟ้าแบบสี่ขั้ว ซึ่งให้ไนโตรเจนเหลวเป็นสารให้ความเย็น และให้กระแสไฟฟ้าคงที่ 50 มิลลิแอมแกร์ วัดความต่างศักย์ไฟฟ้า ในช่วงอุณหภูมิ 77 เคลวิน ถึง 120 เคลวิน นำค่าที่ได้มาคำนวณหาความต้านทานไฟฟ้า เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิได้ดังภาพที่ 7 เมื่อสังเกตอุณหภูมิวิกฤตที่ได้จากกราฟ (T_c) พบว่า อุณหภูมิวิกฤตของตัวนำยวดยิ่ง Y134 ที่เตรียมด้วยเครื่องบดบอลมิลล์แบบเปียก มีอุณหภูมิวิกฤตออนเซต 83 เคลวิน และอุณหภูมิวิกฤตออฟเซต 77.7 เคลวิน และอุณหภูมิวิกฤตของตัวนำยวดยิ่ง Y134 ที่เตรียมด้วยเครื่องบดบอลมิลล์แบบแห้ง มีอุณหภูมิวิกฤตออนเซต 78 เคลวิน และอุณหภูมิวิกฤตออฟเซตต่ำกว่า 77 เคลวิน สำหรับการเตรียมตัวนำยวดยิ่ง Y134 ด้วยครกอลูมินาของ จะมีอุณหภูมิวิกฤตออนเซตเท่ากับ 93 เคลวิน และอุณหภูมิวิกฤตออฟเซตเท่ากับ 83 เคลวิน ซึ่งจะเห็นว่าอุณหภูมิวิกฤตออนเซต และอุณหภูมิวิกฤตออฟเซตของตัวนำยวดยิ่งที่เตรียมด้วยเครื่องบดบอลมิลล์แบบเปียกมีค่าสูงมากกว่าอุณหภูมิวิกฤตของตัวนำยวดยิ่ง Y134 ที่ได้จากการเตรียมด้วยเครื่องบดบอลมิลล์แบบแห้ง เนื่องจากมีปัจจัยจำนวนมากที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิวิกฤตนี้ เช่น ความเข้มข้นของสารเจือ ความสมบูรณ์ของโครงสร้าง สัดส่วนของ Cu2+ กับ Cu3+ที่เหมาะสม (Supadanaison *et al.*, 2017) เพื่อทำให้เกิดปรากฏการณ์แจนเทลเลอร์(Udomsamuthirun,2016) ซึ่งปัจจัยเหล่าต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมจำนวนมาก การศึกษานี้จึงเป็นการศึกษาเบื้องต้นเพื่อเป็นแนวโน้มในการศึกษาต่อไป เพื่อให้ได้ข้อสรุปว่าปัจจัยอะไรบ้างที่มีผลทำให้อุณหภูมิวิกฤตเพิ่มขึ้น ซึ่งผลของการบดทั้งสองแบบจะทำให้ขนาดอนุภาคมีขนาดเล็กลงเพิ่มความเป็นระเบียบในโครงสร้างและเพิ่มความเป็นระเบียบในเนื้อสารที่มีลักษณะแบบก้อน ในการทดลองนี้ผู้วิจัยใช้การวัดแบบสี่ขั้ว โดยมีระยะระหว่างขั้วมากกว่าขนาดเกรนมากๆ ดังนั้นสารที่มีความเป็นระเบียบมากกว่าย่อมให้ผลการวัดที่ดีกว่า



ภาพที่ 7 อุณหภูมิวิกฤตของตัวนำยวดยิ่ง Y134 ที่เตรียมด้วยเครื่องบดบอลมิลล์แบบเปียก

สรุปผลการวิจัย

เครื่องบดบอลมิลล์ที่สร้างขึ้น สามารถทำงานได้ดีที่ความถี่ 900 รอบต่อนาที หม้อบดมีปริมาตร 800 ลูกบาศก์เซนติเมตร และใช้ลูกบดอลูมินาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร จำนวน 1 กิโลกรัม เครื่องบดบอลมิลล์สามารถเตรียมตัวนำยวดยิ่ง Y134 ได้ทั้งการบดละเอียดแบบเปียกและแบบแห้ง ซึ่งการบดละเอียดแบบเปียกจะได้ลักษณะพื้นผิวของตัวนำยวดยิ่ง Y134 อาทิเช่น ขนาดของเกรนเล็ก สม่ำเสมอดีกว่าและมีรูพรุนน้อยกว่าการเตรียมตัวนำยวดยิ่งวิธีอื่น สำหรับอุณหภูมิวิกฤตที่ได้จากการเตรียมตัวนำยวดยิ่งด้วยเครื่องบดบอลมิลล์มีความสอดคล้องกับอุณหภูมิวิกฤตตัวนำยวดยิ่งกลุ่มอุณหภูมิสูงที่มีผู้วิจัยท่านอื่นได้ทำมาแล้ว

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยนี้จากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา และขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่สนับสนุนเครื่องมือที่ใช้สำหรับการทดลองในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Chainok, P.,Supphadate, Su., Nilkkamjon, T., Ratreng, S., Somsri, K., Phomphuang, N., Mychareon, P. & Udomsamuthirun, P. (2014).The synthesis of $YBa_3Cu_4O_x$ superconductor and comparison with YBa_2Cu_3Ox . *Advanced Materials Research* ,*979*, 220-223.

Hannachi, E., Hamrita, A., Slimani, Y., Ben Salem, M.K., Zouaoui, M., Ben Salem, M. & Ben Azzouz, F. (2015). Effect of the Ball-Milling Technique on the Transport Current Density of Polycrystalline Superconductor $YBa_2Cu_3O_y$- Pinning Mechanism. *Journal of Superconductivity*, *28*, 493-498.

Kruaehong,T.(2007). Preparation and Characterization on Y-BaCuO Superconductors. *Srinakharinwirot Science Journal*, *23*(2),15-27. (in Thai)

Kruaehong,T.(2013). A Century of Superconductors.*The Journal of KMUTNB*,*23*(2),525-542.(in thai)

Nilkamjon,T., Supadanaison, R., Panklang, T., Kumtha, P., Inlek, N., Ouengmongkhonchai, T. & Udomsamuthirun, P. et al.(2017). The Effect of Wet and Dry Ball Milling on some Properties of Y134 Superconductor. *The 3rd International Conference on Applied Physics and Material Applications (ICAPMA2017)*, (67-69).Thailand.

Sayinthawong,K.(2008).*Grinding or Milling*. Retrieved August 5, 2008, from www.thaiceramicsociety.com/pc_pre_grindmore.php. (in Thai)

Sukma,D., Hongsachat, P., Chaninphum, A. & Rodphon, C.(2011). Designing and Constructing Batch Ball Mill Machine Size 6 Liter. *IE Network Conference 2011*, (20-21). Thailand. (in Thai)

Supadanaison,R., Panklang, T., Wanichayanan, C., Kaewkao, A., Nilkamjon, T., Udomsamuthirun, P., Tiyasri, S., Wongphakdee, W. & Kruaehong, T.(2018). Determination of Cu2+ and Cu3+ by Titration in Y134 and Y145 superconductor. *Materialstoday:Proceedings, 2018*(5), 14896-14900.

Udomsamuthirun,P., Kruaehong, T., Nilkamjon, T. & Ratreng, S.(2010). The New Superconductors of YBaCuO Materials. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, *23*,1377-1380.

Udomsamuthirun, P.(2016). *fundamental superconductor.* Bangkok: Chulalongkorn University Press. (in thai)