

## บทความวิจัย

# การเตรียมและการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ของ Y211

จิตติพงษ์ เครือหงส์<sup>1\*</sup> ศุภเดช สุจินพรัหม<sup>2</sup> พงษ์แก้ว อุดมสมุทรหิรัญ<sup>3,4</sup>

ธัญนพ นิลกำจร<sup>3,4</sup> และ เสริมสุข รัตเร่ง<sup>3,4</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้สังเคราะห์  $Y_2BaCuO_5$  (Y211) ด้วยวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็ง มีสารตั้งต้นคือ ยิบเทรียมออกไซด์ ( $Y_2O_3$ ) แบเรียมคาร์บอเนต ( $BaCO_3$ ) และคอปเปอร์ออกไซด์ ( $CuO$ ) นำสารตั้งต้นผสมกันแล้วนำไปสู่กระบวนการเผาแบบผงสองครั้ง ศึกษาคุณลักษณะของสารด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ และใช้โปรแกรมฟูลพรอฟเพื่อหารูปแบบโครงสร้างและกลุ่มปริภูมิ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดศึกษาสัณฐานพื้นผิว การวัดเอกซเรย์สเปกโตรสโกปีแบบกระจายพลังงานเพื่อวิเคราะห์ธาตุและการวิเคราะห์ความร้อนเชิงอนุพันธ์เพื่อหาค่าของอุณหภูมิเพอร์ริเทคติกพบว่า สารมีรูปแบบโครงสร้างแบบออร์โธโรมบิก และมีกลุ่มปริภูมิแบบ Pbnm มีขนาดของเกรนประมาณ 1 ไมโครเมตร ปรากฏจากสารเจือและมีปฏิกิริยาแบบดูดความร้อนที่อุณหภูมิ  $995^\circ C$

**คำสำคัญ:** ปฏิกิริยาสถานะของแข็ง Y211 สารปกติ

<sup>1</sup>ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

<sup>2</sup>ภาควิชาฟิสิกส์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม

<sup>3</sup>หน่วยวิจัยฟิสิกส์ประสานมิตร ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

<sup>4</sup>ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์

\*ผู้นิพนธ์และประสานงาน, e-mail: kruaehong@hotmail.com

# Preparation and Study on the Physical Properties of Y211

Thitipong Kruaehong<sup>1\*</sup>, Suppadate Sujinnapram<sup>2</sup>,  
Pongkaew Udomsamuthirun<sup>3,4</sup>, Tunyanop Nilkamjon<sup>3,4</sup>  
and Sermasuk Ratreng<sup>3,4</sup>

---

## ABSTRACT

In this research,  $Y_2BaCuO_5$  (Y211) was synthesized by solid state reaction, using yttrium oxide ( $Y_2O_3$ ), barium carbonate ( $BaCO_3$ ) and copper oxide (CuO) as the reactants. They were mixed and underwent calcination twice. The sample was characterized by X-ray diffraction (XRD) and the FullProf program was used to determine the crystal structure and space group. Surface morphology studies were performed using scanning electron microscopy (SEM); element analyses were carried out by energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX). Finally, the peritectic temperature was determined by differential thermal analysis (DTA). The crystal structure of the sample was found to be orthorhombic with a Pbnm space group. The Y211 had a grain size of about 1  $\mu m$  without any impurities and the endothermic reaction was found at 995°C.

**Keywords:** solid state reaction, Y211, non-superconducting phase

---

<sup>1</sup>Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Suratthani Rajabhat University

<sup>2</sup>Department of Physics, Faculty of Liberal Arts and Science, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom

<sup>3</sup>Prasarnmitr Physics Research Unit, Department of Physics, Faculty of Science, Srinakharinwirot University,

<sup>4</sup>Thailand Centre of Excellence in Physics (ThEP)

\*Corresponding author, e-mail: kruaehong@hotmail.com

## บทนำ

ตัวนำยวดยิ่งเป็นตัวนำที่ไม่มีความต้านทานไฟฟ้าในสภาพหนึ่ง ถูกค้นพบโดยนักฟิสิกส์ชาวเนเธอร์แลนด์ ชื่อ คาร์เมอร์ลิงก์ ออนเนส [1] ในปี ค.ศ. 1911 ซึ่งเขาได้ศึกษาการวัดความต้านทานไฟฟ้าของปรอท โดยใส่ปรอทลงในภาชนะรูปร่างแบนแล้วแช่ลงในฮีเลียมเหลวเพื่อลดอุณหภูมิของสาร ผลปรากฏว่าปรอทที่ถูกหล่อเย็นด้วยฮีเลียมเหลวนี้จะมีอุณหภูมิลดลงอย่างสม่ำเสมอจนกระทั่งถึงอุณหภูมิที่ 4.2 เคลวิน ความต้านทานไฟฟ้าของปรอทลดลงเป็นศูนย์อย่างทันทีทันใด เรียกสภาวะเช่นนี้ว่า สภาพนำยวดยิ่ง (superconductivity) และเรียกอุณหภูมิที่ทำให้ความต้านทานไฟฟ้าของปรอทมีค่าเป็นศูนย์อย่างทันทีทันใดนี้ว่า อุณหภูมิวิกฤต (critical temperature:  $T_c$ ) หลังจากการค้นพบสภาพไร้ความต้านทานไฟฟ้าในปี ค.ศ. 1911 แล้ว นักวิทยาศาสตร์ได้พยายามค้นคว้าวิจัยเพื่อให้ได้ตัวนำยวดยิ่งชนิดใหม่ๆ ให้มีอุณหภูมิวิกฤตสูงขึ้น แต่พัฒนาได้อย่างเชื่องช้า จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1986 ได้มีการค้นพบครั้งสำคัญของตัวนำยวดยิ่งอีกครั้งหนึ่ง โดยเบททอสและมูลเลอร์ [2] ตัวนำยวดยิ่งที่ได้ค้นพบเป็นตัวนำยวดยิ่งกลุ่มใหม่ที่มียังค์ประกอบของคอปเปอร์และออกซิเจน เรียกตัวนำยวดยิ่งที่มีสารประกอบสองชนิดนี้ว่า ตัวนำยวดยิ่งกลุ่มคิวเพรท (Cuprate) ซึ่งสารนี้ก็คือ  $La_2BaCuO_4$  เป็นสารประเภทเซรามิกส์ โดยที่อุณหภูมิห้องมีสภาพเป็นฉนวนไฟฟ้า แต่เมื่อลดอุณหภูมิลงประมาณ 30 เคลวินจะมีสภาพนำยวดยิ่ง

จากนั้นอีกหนึ่งปีถัดมาในปี ค.ศ. 1987 วู และคณะ [3] ได้ค้นพบตัวนำยวดยิ่งกลุ่มคิวเพรทอีกกลุ่มหนึ่งที่มียังค์ประกอบของธาตุยทเทรียม (Y) แบเรียม (Ba) คอปเปอร์ (Cu) และออกซิเจน (O) เรียกตัวนำยวดยิ่งกลุ่มนี้ว่า Y123 มีสูตรทางเคมีเป็น  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  มีอุณหภูมิวิกฤตสูงถึง 92 เคลวิน ซึ่งสูงกว่าจุดเดือดของไนโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิ 77 เคลวิน ดังนั้นในการใช้งานตัวนำยวดยิ่งชนิดนี้จึงสามารถใช้ไนโตรเจนเหลวเป็นสารหล่อเย็นเพื่อใช้ในการลดอุณหภูมิของสารได้ อีกทั้งไนโตรเจนเหลวหาง่าย ราคาถูก ดังนั้นการค้นพบครั้งนี้จึงทำให้การทดลองและการสังเคราะห์ตัวนำยวดยิ่งนี้สามารถทำได้ง่ายขึ้น รวมทั้งการปรับปรุงสมบัติของตัวนำยวดยิ่งกลุ่มนี้สามารถนำสารปกติหลายชนิดเพิ่มเข้าไป โดยสารปกติชนิดหนึ่งที่นิยมนำไปผสม คือ Y211 [4] มีสูตรทางเคมีเป็น  $Y_2BaCuO_x$  ซึ่งสารนี้สามารถเพิ่มค่าของกระแสวิกฤต (critical current) [5] ให้มีค่าที่สูงขึ้น อีกทั้งยังสามารถตั้งสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นใน Y123 ให้มีค่าสม่ำเสมอ และจะทำให้มีค่าสนามแม่เหล็กวิกฤต (critical magnetic field) สูงขึ้นตามไปด้วย ถึงแม้ว่าลักษณะโครงสร้างสมบัตินี้ของ Y211 ได้ถูกนำเสนอไว้ในหนังสือเรื่อง “Melt processed High Temperature Superconductor” [6] ยังไม่ครบถ้วนในด้านการเตรียมเพื่อให้ได้สาร Y211 ที่บริสุทธิ์ และสมบัติทางกายภาพซึ่งจะทำให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับสมบัติของสารนี้น้อยจะส่งผลให้เกิดความเข้าใจใน Y123 น้อยตามไปด้วย

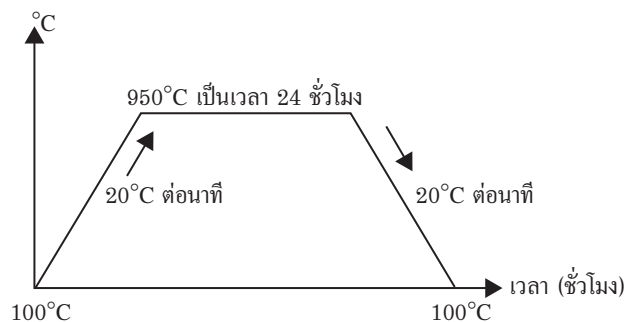
งานวิจัยนี้จึงได้เตรียมสาร Y211 แบบเฟสเดี่ยวขึ้นมาเพื่อศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction: XRD) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) เอกซเรย์สเปกโตรสโกปีแบบการกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy: EDX) และการวิเคราะห์ความร้อนเชิงอนุพันธ์ (Differential Thermal Analysis: DTA) ซึ่งจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับการเตรียม Y211 ที่มีความบริสุทธิ์สูง และจะเป็นประโยชน์ในการนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของ Y123 ต่อไป

## วิธีการทดลอง

คณะผู้วิจัยได้เตรียมสารปฏิกิริยาขึ้นด้วยวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็ง (solid state reaction) มีสารตั้งต้น คือ ยิทเทรียมออกไซด์ ( $Y_2O_3$ ) จำนวน 9.84 กรัม แบเรียมคาร์บอเนต ( $BaCO_3$ ) จำนวน 8.60 กรัม และคอปเปอร์ออกไซด์ ( $CuO$ ) จำนวน 3.47 กรัม มีความบริสุทธิ์ 99.99 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำปริมาณสารทั้งสามมาผสมให้เข้ากันในครกอะลูมินาแล้วนำไปสู่กระบวนการเผาแบบผง (calcination) ซึ่งมีกระบวนการเผา ดังนี้

### กระบวนการเผาครั้งที่ 1

เริ่มต้นกระบวนการเผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 20 องศาเซลเซียสต่อนาที จนกระทั่งอุณหภูมิถึง 950 องศาเซลเซียส คงที่อุณหภูมินี้ไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นลดอุณหภูมิลงด้วยอัตรา 20 องศาเซลเซียส จนอุณหภูมิลดลงถึง 100 องศาเซลเซียส ซึ่งมีกระบวนการเผาดังรูปที่ 1 ดังนี้



รูปที่ 1 แสดงกระบวนการเผาครั้งที่ 1

เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการเผาครั้งที่ 1 แล้ว สารที่ได้จะมีลักษณะสีเขียวเกาะตัวกันแน่น จากนั้นนำไปบดให้เป็นผงละเอียด แล้วนำไปกรองด้วยตะแกรงขนาด 150 ไมโครเมตร เพื่อคัดเลือกขนาดของอนุภาคของสาร จากนั้นนำไปเผาครั้งที่สอง ซึ่งมีกระบวนการเผาแบบเดียวกับกระบวนการเผาครั้งที่ 1 นำสารที่มีลักษณะเป็นผงนี้ศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ โดยใช้เครื่องมือรุ่น D8 discovery diffractometer เริ่มทำการวัดจากมุม 10 องศา จนถึงมุม 90 องศา ด้วยอัตรา 0.02 องศาต่อวินาที นำข้อมูลดิบที่ได้จากการวัดไปหาค่าคงตัวของหน่วยเซลล์ (lattice parameter) และกลุ่มปริภูมิ (space group) โดยใช้โปรแกรมฟูลพรอฟ [7] จากนั้นนำสารไปศึกษาพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 2,000 และ 5,000 เท่า เอกซเรย์สเปกโตรสโกปีแบบการกระจายพลังงานเพื่อวิเคราะห์ธาตุ ใช้เครื่องมือรุ่น JSM 5800LV และการวิเคราะห์ความร้อนเชิงอนุพันธ์ ใช้เครื่องมือรุ่น Netzsch 409 โดยเริ่มทำการทดลอง ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 20 องศา

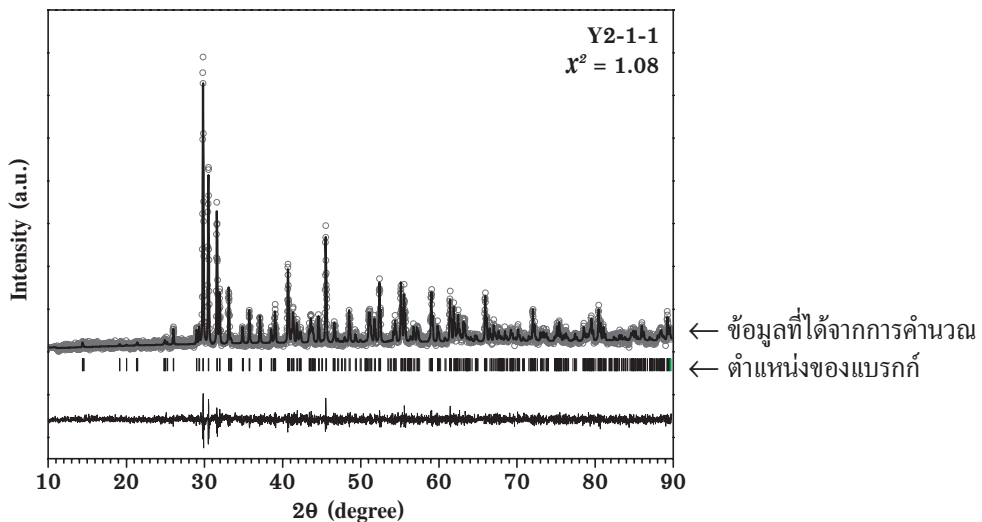
เซลเซียสต่ออนาที จนกระทั่งอุณหภูมิถึง 950 องศาเซลเซียส แล้วเปลี่ยนอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็น 2 องศาเซลเซียสต่ออนาที จนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

## ผลการทดลอง

นำสารที่ได้จากกระบวนการเผาครั้งสุดท้ายที่มีลักษณะเป็นผงสีขาวตามลำดับของเครื่องมือ ซึ่งมีผลการทดลอง ดังนี้

### การวัดด้วยการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

การวัดด้วยการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เป็นการทดลองเพื่อศึกษาโครงสร้างของสารโดยการยิงรังสีเอกซ์ไปยังสารที่ต้องการจะศึกษา รังสีเอกซ์นี้มีแหล่งกำเนิดจากทองแดง (Cu) ที่ใช้เป็นเป้าของเครื่องเอกซเรย์ ซึ่งจะให้ความยาวคลื่นเท่ากับ 1.5406 อังสตรอม (Å) เมื่อรังสีเอกซ์นี้ผ่านเข้าไปในผลึกจะเกิดการเลี้ยวเบนเกิดขึ้น รังสีที่เลี้ยวเบนจะถูกตรวจจับความเข้ม (intensity) ด้วยหัววัด (detector) ที่มุมต่างๆ กัน การเลี้ยวเบนที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามสมการของแบรกก์ (Bragg) ดังสมการ  $2d\sin\theta = n\lambda$  [8] เมื่อ d คือ ระยะห่างระหว่างระนาบในผลึกมีหน่วยเป็นอังสตรอม (Å)  $\theta$  คือ มุมที่รังสีตกกระทบทำกับระนาบของผลึกมีหน่วยเป็นเรเดียน n คือ เลขจำนวนเต็ม  $\lambda$  คือ ความยาวคลื่นมีค่าเท่ากับ 1.5406 อังสตรอม (Å) สำหรับทองแดง จากนั้นนำข้อมูลดิบ (raw data) ที่ได้จากการทดลองนำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมฟูลพروفเพื่อหารูปแบบโครงสร้างค่าคงตัวของหน่วยเซลล์และกลุ่มปริภูมิ ซึ่งมีผลการทดลอง ดังนี้

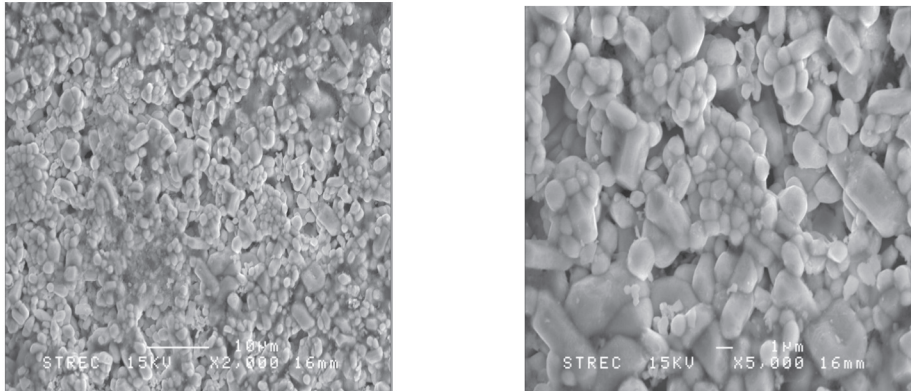


รูปที่ 2 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ Y211 วงกลมเป็นข้อมูลที่ได้จากการทดลอง เส้นสีดำเป็นข้อมูลที่ได้จากการคำนวณ และแถบใต้กราฟ คือ ตำแหน่งของแบรกก์ (Bragg)

ผลการวิเคราะห์ พบว่า สารชนิดนี้มีโครงสร้างแบบออร์ทอโรมบิก มีค่าคงตัวของหน่วยเซลล์เท่ากับ  $a = 7.1403 \text{ \AA}$ ,  $b = 12.1921 \text{ \AA}$  และ  $c = 5.6523 \text{ \AA}$  มีกลุ่มปริภูมิเป็นแบบ Pbnm (No. 62 International Table) [9]

### การวิเคราะห์สภาพพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

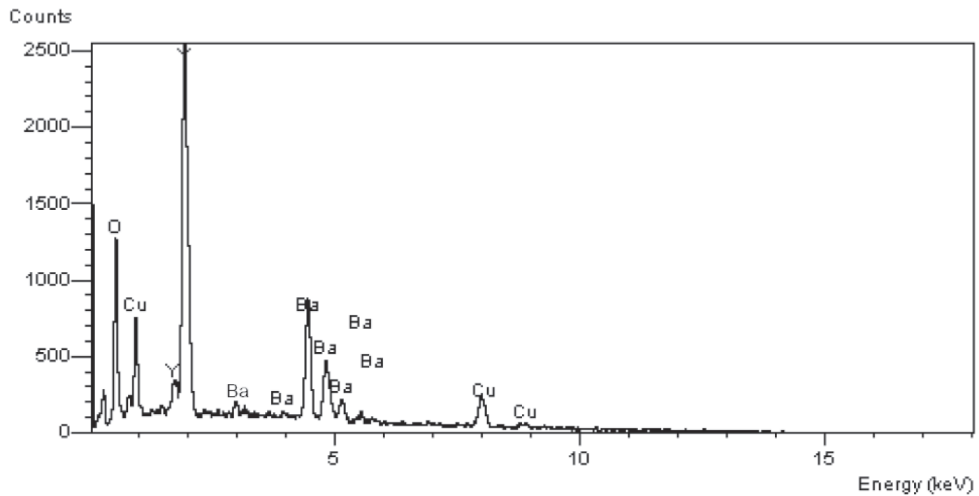
การวิเคราะห์สภาพพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเป็นวิธีการศึกษาพื้นผิวและขนาดของเกรน การทดลองนี้ใช้สารที่มีลักษณะเป็นผงมาติดด้วยเทปกาวคาร์บอนสองหน้าแล้วนำไปวางที่จับสารตัวอย่าง (sample holder) แล้วใช้กำลังขยายขนาด 2,000 และ 5,000 เท่า โดยไม่ต้องเคลือบด้วยทอง โดยพบว่าสารนี้มีขนาดของเกรนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1 ไมโครเมตร มีภาพถ่ายผิวของสาร ดังนี้



รูปที่ 3 ภาพถ่ายผิวของ Y211 ที่กำลังขยาย 2,000 และ 5,000 เท่า

### การวัดแบบเอกซเรย์สเปกโทสโกปีแบบการกระจายพลังงาน

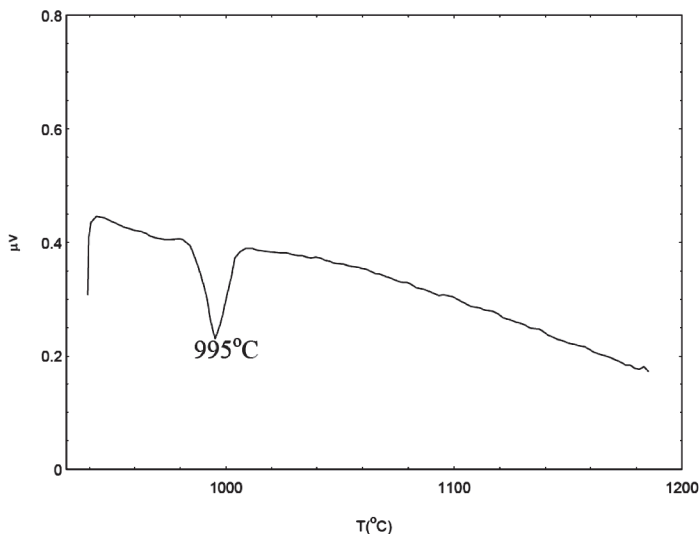
เมื่อทดลองด้วยวิธีการวิเคราะห์สภาพพื้นผิวแล้ว ในขณะเดียวกันสามารถทำการทดลองด้วยวิธีการวัดด้วยวิธีเอกซเรย์สเปกโทสโกปีแบบการกระจายพลังงานเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ธาตุ พบว่า สารมีจำนวนอัตราส่วนของยิทเทเรียม (Y) แบเรียม (Ba) คอปเปอร์ (Cu) และออกซิเจน (O) ที่แตกต่างกัน โดยไม่พบสารเจือใดๆ ซึ่งสารนี้มีตัวเลขสามตัว ตัวเลขตัวแรกจะแสดงอัตราส่วนของธาตุยิทเทเรียม ตัวเลขตัวที่สองแสดงอัตราส่วนของธาตุแบเรียม และตัวเลขตัวสุดท้ายแสดงอัตราส่วนของธาตुकอปเปอร์ ตามลำดับ จากข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองจะรายงานปริมาณของธาตุที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ของธาตุทั้ง 4 ชนิด จากนั้นผู้วิจัยได้คำนวณโดยทำการปรับค่าให้อัตราส่วนของสารแต่ละสูตรตรงกับอัตราส่วนของเลขตัวแรกก่อน แล้วคำนวณอัตราส่วนของ แบเรียม คอปเปอร์ และออกซิเจน ถัดไป สามารถแสดงข้อมูลของอัตราส่วนของปริมาณธาตุต่างๆ ที่ได้จากการปรับค่าได้พบว่ามีสัดส่วนของ Y: Ba: Cu: O คิดเป็นสัดส่วน 1.4: 1: 1.1: 2.8 เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรตั้งต้นของสารแล้วพบว่าอัตราส่วนของแบเรียมและคอปเปอร์มีค่าไม่ตรงกับสูตรตั้งต้น แสดงให้เห็นว่าสารที่เตรียมขึ้นมีการกระจายตัวของปริมาณธาตุต่างๆ ที่ไม่สม่ำเสมอ ดังรูปที่ 4 แสดงปริมาณธาตุของสาร



รูปที่ 4 ปริมาณธาตุที่มีอยู่ใน Y211

#### การศึกษาด้วยการวิเคราะห์ความร้อนเชิงอนุพันธ์

การวิเคราะห์ความร้อนเชิงอนุพันธ์เป็นการทดลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลต่างเชิงความร้อนของสารตัวอย่างกับสารอ้างอิง ซึ่งจะมีเทอร์มอคัปเปิ้ลติดอยู่กับสารทั้งสอง โดยจะให้เทอร์มอคัปเปิ้ลติดกับสารตัวอย่างเป็น  $T_1$  และติดกับสารอ้างอิงเป็น  $T_2$  ผลต่างของอุณหภูมิที่ได้จะแปรผลในรูปของแรงเคลื่อนไฟฟ้า (electromotive force) การพิจารณาปฏิกิริยาทางความร้อนสามารถพิจารณาได้ดังนี้ คือ ถ้าผลต่างของแรงเคลื่อนไฟฟ้าของสารตัวอย่างมากกว่าสารอ้างอิง ( $T_1 - T_2 > 0$ ) จะมีปฏิกิริยาทางความร้อนแบบคายความร้อน และผลต่างของแรงเคลื่อนไฟฟ้าของสารตัวอย่างน้อยกว่าสารอ้างอิง ( $T_1 - T_2 < 0$ ) จะมีปฏิกิริยาทางความร้อนแบบดูดความร้อน [10] สำหรับผลการทดลองของ Y211 มีปฏิกิริยาทางความร้อนแบบดูดความร้อนที่อุณหภูมิ 995 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมินี้ทำให้สารเกิดการเปลี่ยนสภาพเป็นสารประกอบอื่น [11] หรือที่เรียกว่าอุณหภูมิเพอร์ริเทคติก ดังนั้นก่อนการเตรียมสารจึงควรจะทราบค่าของอุณหภูมินี้ก่อนเพื่อป้องกันการเกิดสารประกอบอื่นที่ไม่ต้องการซึ่งการเกิดปฏิกิริยาแบบดูดความร้อนของสารกลุ่มนี้จะเกิดจากธาตุแบเรียม [12] เนื่องจากเป็นธาตุที่มีจุดหลอมเหลวต่ำที่สุดของธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารกลุ่มนี้ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงอุณหภูมิเพอร์ริเทคติกของ Y211

### สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

คณะผู้วิจัยได้เตรียมสารปกติของ Y211 แบบเฟสเดียวที่มีความบริสุทธิ์สูงด้วยวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็ง (solid state reaction) มีสารตั้งต้น คือ ยิทเทรียมออกไซด์ ( $Y_2O_3$ ) แบเรียมคาร์บอเนต ( $BaCO_3$ ) และคอปเปอร์ออกไซด์ ( $CuO$ ) สารที่เตรียมได้ลักษณะเป็นผงสีเขียว นำสารนี้ทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์ด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์พบว่าโครงสร้างแบบออร์ทอโรมบิก มีค่าคงตัวของหน่วยเซลล์เท่ากับ  $a = 7.1403 \text{ \AA}$   $b = 12.1921 \text{ \AA}$  และ  $c = 5.6523 \text{ \AA}$  และมีกลุ่มปริภูมิแบบ Pbnm (No. 62 International Table) การวิเคราะห์สภาพพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า เกรนมีขนาดเท่ากับ 1 ไมโครเมตร สภาพพื้นผิวส่วนใหญ่มีรูพรุนและไม่เป็นเนื้อเดียวกันเท่าที่ควร การวัดแบบเอกซเรย์สเปกโตรสโกปีแบบการกระจายพลังงานพบว่าปริมาณธาตุยิทเทรียม แบเรียม คอปเปอร์ และออกซิเจน ในปริมาณที่แตกต่างกัน สารที่เตรียมขึ้นมีการกระจายตัวของปริมาณธาตุต่างๆ ที่ไม่สม่ำเสมอโดยไม่พบสารอื่นเจือ การวิเคราะห์ความร้อนเชิงอนุพันธ์พบว่าสารมีปฏิกิริยาแบบดูดความร้อนที่อุณหภูมิ 995 องศาเซลเซียส ซึ่งถือว่าการค้นพบที่มีค่าใกล้เคียงกับหนังสือ “Melt processed High Temperature Superconductor” ที่มีการรายงานไว้ว่ามีอุณหภูมิเท่ากับ 1,000 องศาเซลเซียส

ในปี ค.ศ. 2011 สุจินพรัหม และคณะ [13] ได้ทำการทดลองวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y123 พบว่า สามารถจำแนกส่วนผสมของ Y123 [14] ได้ว่า มีสารนำยวดยิ่ง 94 เปอร์เซ็นต์ และสารปกติ 6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสารปกตินี้มีค่าคงตัวของหน่วยเซลล์เท่ากับสารของคณะผู้วิจัย และมีกลุ่มปริภูมิแบบเดียวกัน สารปกติดังกล่าวจะมีประโยชน์ต่อ Y123 ซึ่งมีกลุ่มวิจัยของ นาริกิ และคณะ [15] ได้ศึกษาผลของสารนี้ที่มีต่อ Y123 พบว่า Y211 นี้จะสามารถตรึงสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นใน Y123 ให้มีค่าสม่ำเสมอและสูงขึ้น จึงเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ Y123 ให้ดีขึ้น และมีความสำคัญต่อการประยุกต์ใช้งานด้านแม่เหล็กของตัวนำยวดยิ่งกลุ่มนี้เป็นอย่างมาก



## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ หน่วยวิจัยฟิสิกส์ประสานมิตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

## เอกสารอ้างอิง

1. Buckel, W. 1911. Superconductivity Fundamental and Application. 2<sup>nd</sup> Edition. New York. VCH Publisher, Inc. p.3
2. Bednorz, J. G., and Muller, K. A. 1986. Possible High  $T_c$  Superconductivity in the Ba-La-Cu-O System. *Zeitschrift fuer Physik B* 64: 189-193.
3. Wu, K., Ashburn, J. R., Torng, C. J., Hor, P. H., Meng, R. L., Gao, L., Huang, Z. J., Wang, Y. Q., and Chu, C. W. 1987. Superconductivity at 93 K in a New Mixed-Phase Y-Ba-Cu-O Compound System at Ambient Pressure. *Physical Review Letter* 58: 908-910.
4. Mucha, J., Rogacki, K., Misiorek, H., Jezowski, A., Wisniewski, A., and Puzniak, R. 2010. Influence of the Y211 Phase on Anisotropic Transport Properties and Vortex Dynamics of the Melt-Textured Y123/Y211 Composites. *Physica C* 470: 1009-1010.
5. Nariki, S., Sakai, N., Murakami, M., and Hirabayashi, I. 2006. Effect of RE<sub>2</sub>BaCuO<sub>5</sub> Refinement on the Critical Current Density and Trapped Field of Melt-Textured (Gd,Y)-Ba-Cu-O Bulk Superconductors. *Physica C* 439: 62-66.
6. Murakami, M. 1992. Melt Processed high-Temperature Superconductors. Singapore. World Scientific.
7. Rodriguez-Carvajal, J. 2008. Fullprof/crystallographic tools of Rietveld, profile matching & integrated intensity refinement of X-Ray and neutron data Available from URL: <http://www.ill.eu/sites/fullprof/reference.html>. 15 March 2012.
8. Anthony, R., and West, D. 1999. Basic Solid State Chemistry. 2<sup>nd</sup> Edition. New York. John Wiley & Sons.
9. Hahn, Th. 2005. International Tables for Crystallography. 5<sup>th</sup> Edition. Amsterdam. Springer Publisher Inc. p. 299.
10. Robert, B., 2008. Phase transition/Differential thermoanalysis. Available from URL: <http://www.nikhef/phywe.html>. 15 March 2012.
11. Yuichi, N., Makoto, K., Teruo, I., and Yuh, S. 2000. Analysis of Growth Behavior of the RE123 Crystals Using the Ternary Phase Diagram. *Physica C* 341-348: 2417-2420.
12. Hai, P., and Jin, H. 2006. Kinetics for the Formation of YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub> Superconductors from the Oxide Precursor Containing BaCuO<sub>2.5</sub>. *Journal of the BWW Society* 6: 1-16.

13. Sujinnapram, S., Udomsamuthirun, P., Kruaehong, T., Nilkamjon, T., and Ratreng, S. 2011. XRD Spectra of New YBaCuO Superconductors. *Bulletin of Material Science*. 34:1053-1057.
14. Udomsamuthirun, P., Kruaehong, T., Nilkamjon, T., and Ratreng, S. 2010. The New Superconductors of YBaCuO Materials. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism* 23: 1377-1380.
15. Nariki, S., Sakai, N., Murakami, M., and Hirabayashi, I. 2004. High Critical Current Density in RE-Ba-Cu-O Bulk Superconductors with Very Fine RE<sub>2</sub>BaCuO<sub>5</sub> Particles. *Physica C* 412-414: 557-565.

ได้รับบทความวันที่ 16 ธันวาคม 2554  
ยอมรับตีพิมพ์วันที่ 24 เมษายน 2555