
การเตรียมและสมบัติพื้นฐานของตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม YBaCuO
Preparation and Fundamental Properties of YBaCuO Superconductor.

สมพร ศรีอาภาานนท์* และ ฐิติพงศ์ เครือหงส์
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี
Somporn Sriapanon* and Thitipong Kruaehong
Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Suratthani Rajabhat University.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้เตรียมตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม YBaCuO ด้วยวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็ง จะได้สารตัวอย่างมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร และมีความหนา 5 มิลลิเมตร มีค่าอุณหภูมิวิกฤตเฉลี่ยเท่ากับ 90 เคลวิน มีรูปแบบโครงสร้างแบบออร์ทอโรมบิก มีกลุ่มปริภูมิแบบ Pmmm มีค่าคงตัวของหน่วยเซลล์เท่ากับ $a=3.8217\text{\AA}$ $b=3.8846\text{\AA}$ และ $c=11.6890\text{\AA}$ และมีตำแหน่งอะตอมของธาตุที่ต่างกัน ขนาดของเกรนเท่ากับ 0.8 ไมโครเมตร และมีสัดส่วนของธาตุที่ไม่สม่ำเสมอ มีปฏิกิริยาแบบดูดความร้อนที่อุณหภูมิ 1,015 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ : ตัวนำยวดยิ่ง ปฏิกิริยาสถานะของแข็ง อุณหภูมิวิกฤต

Abstract

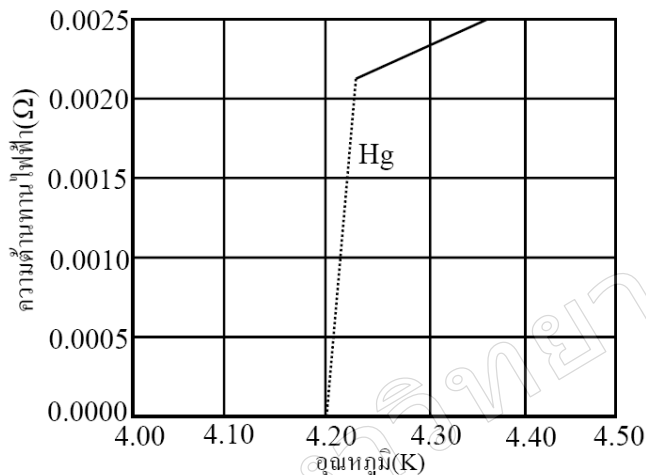
In this research, the YBaCuO superconductor was synthesized by solid state reaction. The sample with dimension of 3 centimetres diameter and 5 millimetres thickness was obtained. The average critical temperature equal 90 K, The crystal structure was orthorhombic with Pmmm space group. The lattice parameters were $a=3.8217\text{\AA}$ $b=3.8846\text{\AA}$ and $c=11.6890\text{\AA}$ and the positions of the atoms of different elements. The grain size of 0.8 μm and the proportion of elements that were not consistent. Endothermic reaction was observed at 1,015°C.

Keywords : superconductor, solid state reaction, critical temperature.

*Corresponding author. E-mail: somphorn@sru.ac.th

บทนำ

ตัวนำยวดยิ่งได้ถูกค้นพบในปี พ.ศ. 2454 โดยคาร์เมอร์ลิง ออนเนส (Buckel., 1991) เขาได้ทำการทดลองลดอุณหภูมิของปรอทบริสุทธิ์ลงจนกระทั่งถึง -268.95 องศาเซลเซียสหรือ 4.2 เคลวิน ทำให้สารนี้ไร้ความต้านทานไฟฟ้าใดๆ เขาเรียกปรากฏการณ์ที่สารสูญเสียความต้านทานไฟฟ้าอย่างสิ้นเชิงนี้ว่า สภาพนำยวดยิ่ง (Superconductivity) และเรียกอุณหภูมิที่ทำให้ความต้านทานไฟฟ้าของสารมีค่าเป็นศูนย์อย่างทันทีทันใดนี้ว่า อุณหภูมิวิกฤต (Critical Temperature, T_c) ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของปรอทบริสุทธิ์

หลังจากปี พ.ศ. 2454 เป็นต้นมาการค้นคว้าวิจัยเพื่อให้ได้ตัวนำยวดยิ่งชนิดใหม่ๆ ที่มีอุณหภูมิวิกฤตที่สูงขึ้น กลับพัฒนาได้อย่างเชื่องช้าจนกระทั่งในปี พ.ศ. 2517 นักวิทยาศาสตร์ได้ค้นพบโลหะผสมของไนโอเบียม (Niobium, Nb) และเจอร์เมเนียม (Germanium, Ge) ซึ่งมีอุณหภูมิวิกฤตเท่ากับ 23.2 เคลวิน จากนั้นอีกหลายสิบปีนักวิทยาศาสตร์ได้พยายามค้นคว้าวิจัยเพื่อให้ได้ตัวนำยวดยิ่งที่มีอุณหภูมิวิกฤตสูงกว่า 23.2 เคลวิน แต่ไม่ประสบผลสำเร็จ จึงทำให้เชื่อว่าตัวนำยวดยิ่งน่าจะมียุณหภูมิวิกฤตจำกัด ในทางปฏิบัติตัวนำยวดยิ่งชนิดนี้มีความยุ่งยากในการใช้งานหรือการทดลองมาก เนื่องจากต้องใช้ฮีเลียมเหลวเป็นสารในการลดอุณหภูมิ และในการใช้งานจะต้องใช้การกำบังความร้อนเป็นอย่างดีเพื่อรักษาอุณหภูมิต่ำๆ นี้ไว้ได้ อีกประการหนึ่งฮีเลียมเหลวเป็นสารที่ผลิตยากและมีราคาแพง

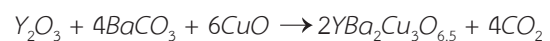
จนกระทั่งปี พ.ศ. 2530 กลุ่มวิจัยของวูและคณะ (Wu *et al.*, 1987) ได้ค้นพบตัวนำยวดยิ่งกลุ่มคิวเพอร์ทออีกกลุ่มหนึ่งที่มี

องค์ประกอบของอิตเทรียม (Yttrium, Y) แบเรียม (Barium, Ba) ทองแดง (Copper, Cu) และออกซิเจน (Oxygen, O) มีสูตรทางเคมีเป็น $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ หรือที่เรียกว่า Y123 ซึ่งสารกลุ่มนี้มีอุณหภูมิวิกฤตเท่ากับ 93 เคลวิน การค้นพบครั้งนี้ก่อให้เกิดประโยชน์อย่างมากต่อการทดลองและการประยุกต์ใช้งานตัวนำยวดยิ่งชนิดนี้สามารถทำได้ง่ายขึ้น เนื่องจากการใช้งานตัวนำยวดยิ่งชนิดนี้สามารถใช้ในโตรเจนเหลวเป็นสารที่ใช้ในการลดอุณหภูมิได้ เพราะวไนโตรเจนเหลวหาง่ายและราคาถูก หลังจากนั้นได้มีการนำเสนอวิธีการเตรียมตัวนำยวดยิ่งกลุ่มนี้จากกลุ่มวิจัยต่างๆ อย่างแพร่หลายและต่อเนื่องทั่วโลกจนถึงปัจจุบัน

คณะผู้วิจัยจึงได้ศึกษาวิธีการเตรียมและวิธีการวัดสมบัติของตัวนำยวดยิ่งกลุ่มนี้ที่ได้มีการนำเสนอ (Fox *et al.*, 1988; Rossano, 1997; Van dervoort *et al.*, 1995) แล้วยังพบว่า ในปัจจุบันสามารถเตรียมและสร้างชุดการทดลองเพื่อทำการวัดอุณหภูมิวิกฤตได้โดยใช้อุปกรณ์ที่มีราคาไม่แพงมากนัก ซึ่งสามารถหาได้ในห้องปฏิบัติการพื้นฐาน ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้คณะผู้วิจัยได้สังเคราะห์ตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y123 ขึ้นเพื่อทำการวัดอุณหภูมิวิกฤตด้วยการวัดแบบ 4 ขั้ว (four probes) ด้วยชุดทดลองที่สร้างขึ้นเอง และศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction: XRD) และใช้โปรแกรมฟูลพรอฟ (Fullprof)(Rodriguez., 1993) เพื่อวิเคราะห์หารูปแบบโครงสร้าง ค่าคงตัวของหน่วยเซลล์ (lattice parameter) กลุ่มปริภูมิ (space group) และตำแหน่งอะตอม (atomic position) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy: SEM) เอกซ์เรย์สเปกโทรสโกปีแบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-ray spectroscopy: EDX) เพื่อศึกษาพื้นผิวและวิเคราะห์ธาตุและการวิเคราะห์ความร้อนเชิงอนุพันธ์ (Differential Thermal Analysis: DTA) เพื่อหาค่าของอุณหภูมิเพอร์ริเทคติก (peritectic temperature) ตามลำดับ

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

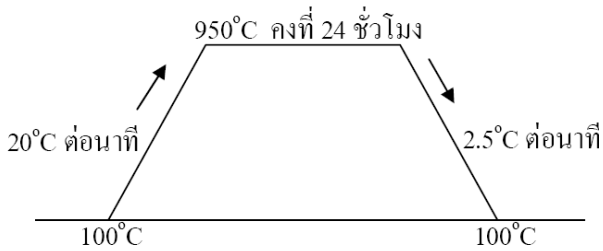
คณะผู้วิจัยได้เตรียมตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y123 ด้วยวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็ง (solid state reaction) มีสารตั้งต้นคืออิตเทรียมออกไซด์ (Y_2O_3) แบเรียมคาร์บอเนต ($BaCO_3$) และคอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) ความบริสุทธิ์ 99.99 เปอร์เซ็นต์ มีปฏิกิริยาทางเคมีดังนี้



จากปฏิกิริยาทางเคมีสามารถคำนวณหาปริมาณสารตั้งต้นได้โดยนำสารทั้งสามมาผสมกันแล้วนำไปสู่กระบวนการเผาแบบผง (Calcination) และกระบวนการเผาขึ้นรูป (Sintering) ในเตาเผา

อุณหภูมิสูงซึ่งมีกระบวนการเผาแบบต่างๆ ที่แตกต่างกันโดยกระบวนการแรกเป็นกระบวนการเผาแบบผงมีรายละเอียดดังนี้

เริ่มกระบวนการเผาแบบผงที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 20 องศาเซลเซียสต่อนาที จนกระทั่งอุณหภูมิถึง 950 องศาเซลเซียส คงอุณหภูมินี้ไว้ 24 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิลงด้วยอัตรา 2.5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนกระทั่งอุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส ซึ่งมีกระบวนการเผาดังแผนภาพที่ 2

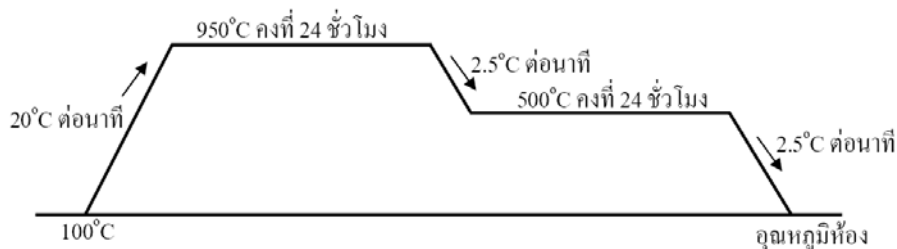


ภาพที่ 2 แสดงกระบวนการเผาแบบผง

นำสารที่ได้จากกระบวนการเผาผงครั้งที่ 1 นำมาบดแล้วทำการเผาแบบผงอีกครั้ง ซึ่งมีวิธีการเผาแบบเดียวกับกระบวนการเผาครั้งที่ 1 นำสารที่ได้จากกระบวนการเผาแบบผงครั้งที่ 2 มาอัดขึ้นรูปด้วยแรง 2,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) นำสารที่ได้ไปเผาแบบขึ้นรูป ซึ่งมีกระบวนการเผาดังนี้

เริ่มต้นกระบวนการเผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส แล้วเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 20 องศาเซลเซียสต่อนาที จนกระทั่งอุณหภูมิถึง 950 องศาเซลเซียส คงอุณหภูมินี้ไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นลดอุณหภูมิลงด้วยอัตรา 2.5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนกระทั่งอุณหภูมิต่ำกว่า 500 องศาเซลเซียส คงอุณหภูมินี้ไว้ 24 ชั่วโมง ลดอุณหภูมิลงอีกครั้งจนกระทั่งถึงอุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส ซึ่งมีกระบวนการเผาดังแผนภาพที่ 3

นำสารที่ได้จากกระบวนการเผาขึ้นรูปวัดความต้านทานไฟฟ้าแบบ 4 ขั้ว (four probes) เพื่อหาค่าอุณหภูมิวิกฤต วิเคราะห์



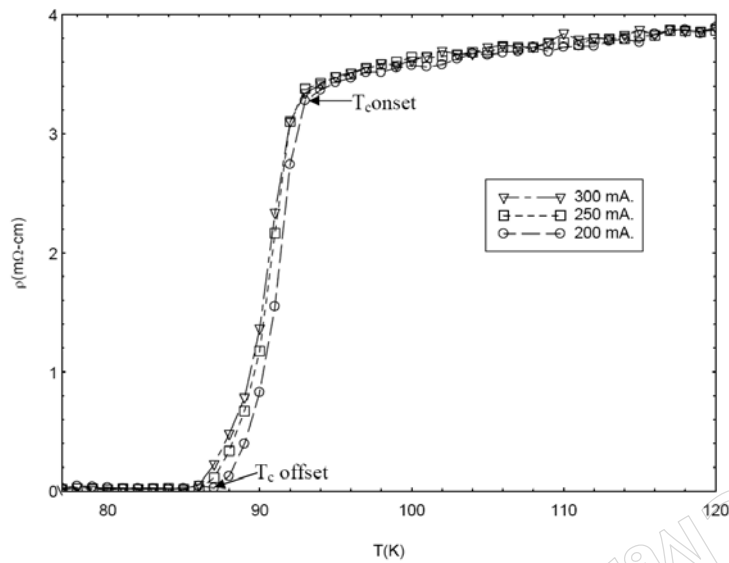
ภาพที่ 3 แสดงกระบวนการเผาแบบขึ้นรูป

โครงสร้างของสารด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์โดยใช้เครื่องมือรุ่น D8 Discovery diffractometer นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์รูปแบบโครงสร้าง ค่าคงตัวของหน่วยเซลล์ กลุ่มปริภูมิ และตำแหน่งอะตอมของสาร โดยใช้โปรแกรมฟูลพรอฟ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และเอกซเรย์สเปกโทรสโกปีแบบกระจายพลังงาน เพื่อศึกษาพื้นผิวและวิเคราะห์ธาตุโดยใช้เครื่องมือรุ่น JEOL-5400LV และการวิเคราะห์ความร้อนเชิงอนุพันธ์เพื่อหาค่าของอุณหภูมิเพอร์ริเทคติกโดยใช้เครื่องมือรุ่น Netzsch 409 ตามลำดับ

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

สารที่ได้จากกระบวนการเผาขึ้นรูป มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร หนา 5 มิลลิเมตร มีความหนาแน่น 5.840 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นนำสารนี้ทำการวัดค่าอุณหภูมิวิกฤตด้วยวิธีการวัดแบบ 4 ขั้ว โดยลดอุณหภูมิของสารลงจนกระทั่งอุณหภูมิของสารเท่ากับ 77 เคลวิน ใส่ไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาดคงตัว 3 ค่าคือ 200 มิลลิแอมแปร์ 250 มิลลิแอมแปร์ และ 300 มิลลิแอมแปร์ ตามลำดับ จนกระทั่งอุณหภูมิของสารเท่ากับ 120 เคลวิน จากนั้นนำค่าของกระแสและความต่างศักย์ไฟฟ้ามาคำนวณเพื่อหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) แล้วเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิ ได้ดังภาพที่ 4

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิ สามารถนำมาคำนวณเพื่อหาค่าของอุณหภูมิวิกฤตได้โดยนำค่าของกระแสที่ 200 มิลลิแอมแปร์มาใช้ในการพิจารณาเป็นหลัก ซึ่งสามารถแบ่งช่วงกราฟออกเป็น 2 ค่าหลักๆ คือ ค่าของอุณหภูมิวิกฤตเริ่มต้น ($T_{c\text{onset}}$) เป็นค่าที่สารเปลี่ยนสภาพจากสภาพปกติ 100 เปอร์เซ็นต์ เข้าสู่สภาพนำยวดยิ่งมีค่าเท่ากับ 93 เคลวิน และค่าของอุณหภูมิวิกฤตปลาย ($T_{c\text{offset}}$) เป็นค่าอุณหภูมิวิกฤตสุดท้ายก่อนที่สารจะมีสภาพนำยวดยิ่ง 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีค่าเท่ากับ 87 เคลวิน นำค่าของอุณหภูมิวิกฤตทั้ง 2 ค่ามาหาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิวิกฤตตั้งสมการที่ 1 (Thitipong *et al.*, 2011)



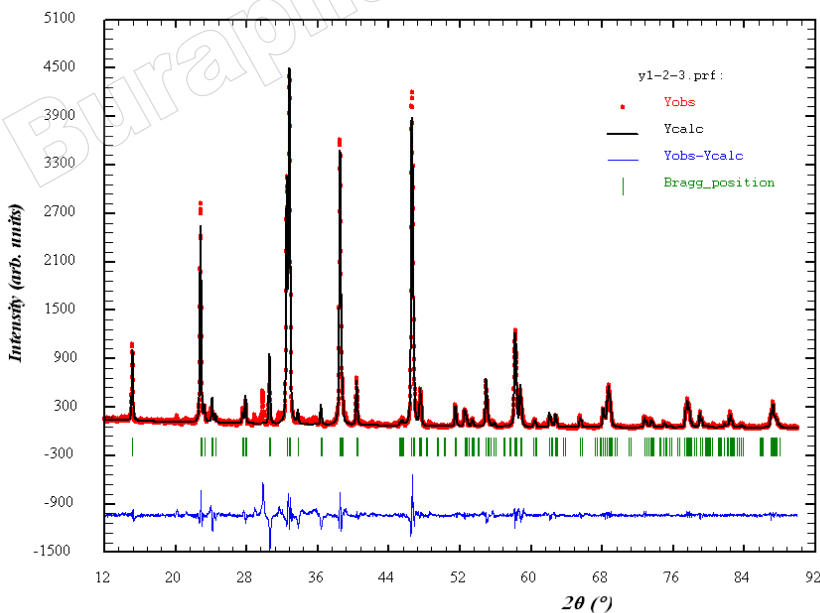
ภาพที่ 4 กราฟแสดงสภาพต้านทานไฟฟ้าของ Y123 กับอุณหภูมิ

$$T_c = T_{c\text{offset}} + \frac{T_{c\text{onset}} - T_{c\text{offset}}}{2} \quad (1)$$

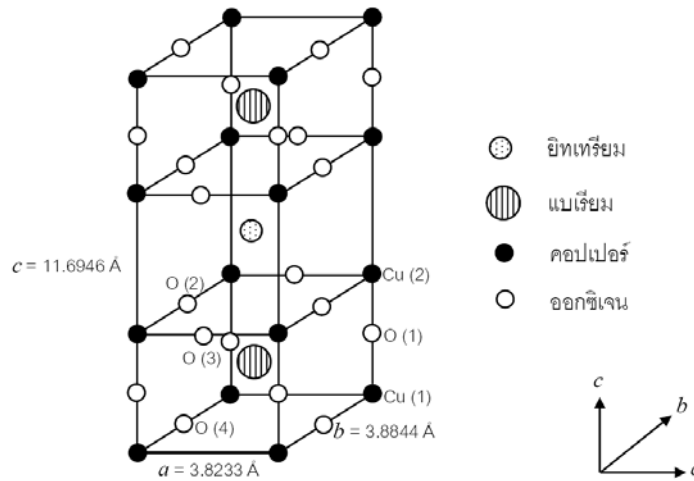
เมื่อนำค่าของอุณหภูมิวิกฤตต่างๆ แทนลงในสมการที่ 1 พบว่า สารนี้มีค่าของอุณหภูมิวิกฤตเท่ากับ 90 เคลวิน ซึ่งค่าอุณหภูมิวิกฤตเฉลี่ยมีค่าต่ำกว่าค่าอุณหภูมิวิกฤตเฉลี่ยของคอร์เดอร์ (Corder., 2001) ในการเตรียมสารเขาจะใส่ออกซิเจนเข้าไปเพื่อที่จะทำให้อุณหภูมิวิกฤตของสารเพิ่มมากขึ้น หากเกิดการขาดออกซิเจนใน

โครงสร้างของสารจะมีผลทำให้สารกลุ่มนี้กลายเป็นฉนวนได้ (Swommea et al., 1987)

การวิเคราะห์ด้วยวิธีการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างของสาร โดยนำสารที่มีลักษณะเป็นผงใส่ลงในที่ใส่สารตัวอย่าง (sample holder) แล้วจึงทดลองวัดมุม โดยเริ่มจากมุม 10 องศา เพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงมุม 90 องศา ด้วยอัตรา 0.02 องศาต่อนาที จากนั้นนำผลการทดลองวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Pulprofp ดังภาพที่ 5



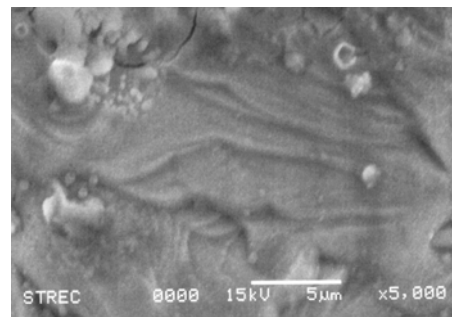
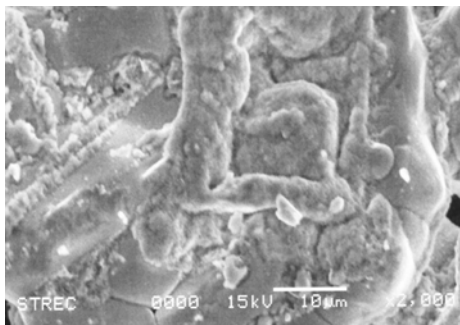
ภาพที่ 5 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ Y123 วงกลมสีแดงเป็นข้อมูลที่ได้จากการทดลอง เส้นสีดำเป็นข้อมูลที่ได้จากการคำนวณและแถบสีเขียวใต้กราฟคือตำแหน่งของแบรกก์(Bragg)



ภาพที่ 6 ตำแหน่งอะตอมของ Y123

จากการวิเคราะห์สามารถบ่งชี้รูปแบบโครงสร้าง กลุ่มปริภูมิหน่วยเซลล์ และตำแหน่งอะตอมของสารได้โดยพบว่าสารที่เตรียมได้มีเฟสเดียวและไม่พบเฟสของสารปกติ (non-superconducting phase) มีรูปแบบโครงสร้างแบบออร์ทอโรมบิก มีกลุ่มปริภูมิแบบ Pmmm มีค่าคงตัวของหน่วยเซลล์เท่ากับ $a = 3.8219 \text{ \AA}$ $b = 3.8844 \text{ \AA}$ และ $c = 11.6862 \text{ \AA}$ เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองของเรลเลอร์และคณะ (Reller *et al.*, 1987) พบว่าสารมีรูปแบบโครงสร้างกลุ่มปริภูมิแบบเดียวกัน ค่าคงตัวของหน่วยเซลล์ใกล้เคียงกับบิชและคณะ (Beech *et al.*, 1987) ที่มีรายงานไว้เท่ากับ $a = 3.8250 \text{ \AA}$ $b = 3.8864 \text{ \AA}$ และ $c = 11.6945 \text{ \AA}$ และจากการวิเคราะห์เพื่อหาตำแหน่งอะตอมของธาตุ สามารถระบุตำแหน่งอะตอมของธาตุได้ซึ่งตำแหน่งอะตอมของ Y อยู่ที่ตำแหน่ง $(1/2, 1/2, 1/2)$ Cu(1) อยู่ที่ตำแหน่ง $(0, 0, 0)$ และ O(4) อยู่ที่ตำแหน่ง $(0, 1/2, 0)$ ซึ่งจากข้อมูลนี้สามารถสร้างเป็นรูปแบบจำลองของหน่วยเซลล์เป็นภาพสามมิติได้ ดังภาพที่ 6

การวิเคราะห์สภาพพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเป็นวิธีการศึกษาพื้นผิวและขนาดของเกรน การทดลองนี้ใช้สารที่มีลักษณะเป็นแผ่นมาติดด้วยเทปกาวคาร์บอนสองหน้าแล้วนำไปวางบริเวณที่จับสารตัวอย่าง (sample holder) โดยทำการตรวจสอบพื้นผิวของสารที่กำลังขยายขนาด 2,000 และ 5,000 เท่า ภายใต้เงื่อนไขที่ไม่ต้องผ่านการเคลือบด้วยทอง พบว่าสารนี้มีขนาดของเกรนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.8 ไมโครเมตร ดังนั้นการเตรียมด้วยวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็งนี้จะทำให้สารเกิดความไม่เป็นเนื้อเดียวกันเท่าที่ควร จึงทำให้พื้นผิวโดยส่วนใหญ่มีรอยแตก มีรูพรุน อาจเกิดจากขั้นตอนการลดลงของอุณหภูมิยังไม่ดีพอ จึงทำให้เกิดเกรนที่มีขนาดที่เล็กดังภาพถ่ายผิวของสารดังภาพที่ 7 ซึ่งวิธีการเตรียมสารมีด้วยกันหลายวิธี วิธีการหนึ่ง ใช้วิธีการตกตะกอน (co-precipitation method) เป็นกระบวนการเตรียมสารที่สามารถจะทำให้ขนาดของเกรนมีขนาดใหญ่ขึ้น (Adrian *et al.*, 1996) จะส่งผลทำให้สารเกิดการนำไฟฟ้าที่ดีขึ้นและอาจจะทำให้อุณหภูมิวิกฤตของสารสูงขึ้นได้



ภาพที่ 7 ภาพถ่ายผิวของ Y123

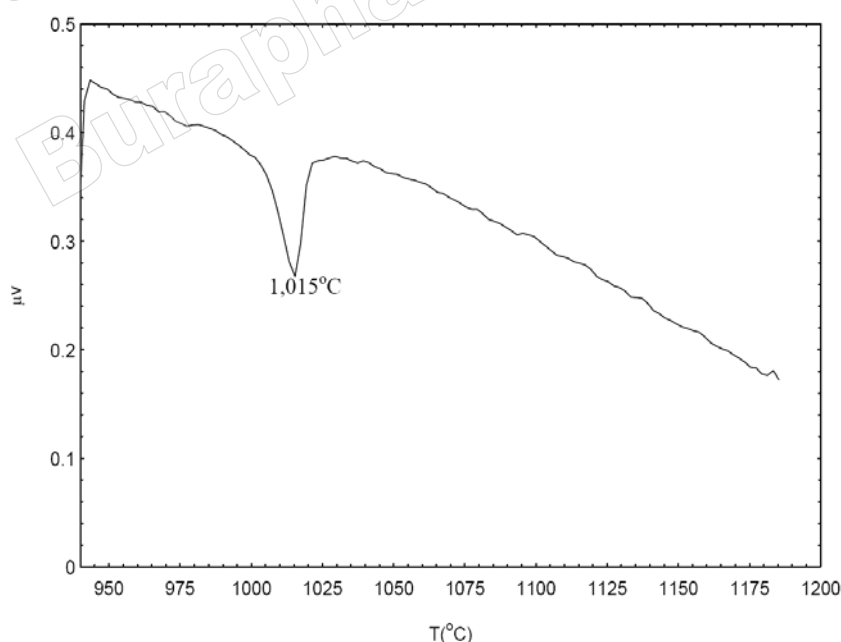
เมื่อทดลองด้วยวิธีการวิเคราะห์สภาพพื้นผิวแล้วในขณะเดียวกันได้ทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบชนิดของธาตุด้วยเทคนิคเอกซเรย์สเปกโทรสโกปีแบบการกระจายพลังงาน พบว่าสารมีจำนวนอัตราส่วนของอิตเทรียม (Y) แบเรียม (Ba) ทองแดง (Cu) และออกซิเจน (O) แตกต่างกัน โดยไม่พบสารเจือใดๆ ในสูตรของสารนี้มีตัวเลขสามตัว ตัวเลขตัวแรกจะแสดงอัตราส่วนของธาตุอิตเทรียม ตัวเลขตัวที่สองแสดงอัตราส่วนของธาตุแบเรียม และตัวเลขตัวสุดท้ายแสดงอัตราส่วนของธาตุทองแดง ตามลำดับจากข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลอง ซึ่งประกอบด้วยอัตราส่วนของธาตุทั้ง 4 ชนิด จากนั้นผู้วิจัยได้คำนวณโดยการปรับค่าให้อัตราส่วนเท่ากับตัวเลขตัวแรกก่อน แล้วคำนวณอัตราส่วนของธาตุอื่นๆ ถัดไปสามารถแสดงอัตราส่วนของปริมาณธาตุต่างๆ ที่ได้จากการปรับค่าแล้ว พบว่ามีสัดส่วนของ Y:Ba:Cu:O คิดเป็นสัดส่วน 1:1.79:1.69:6.79 เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรตั้งต้นของสารแล้วพบว่าอัตราส่วนของแบเรียมและทองแดง มีค่าไม่ตรงกับสูตร จึงสรุปได้ว่าสารที่เตรียมขึ้นมีสัดส่วนของปริมาณธาตุต่างๆ ที่ไม่สม่ำเสมอในการวิจัยในโอกาสต่อไปสามารถเพิ่มการทดลองในส่วนของการละเอียดเข้าไป ได้แก่ การใส่ก๊าซออกซิเจนเข้าไปขณะทำการเผาหรืออาจเตรียมในท่อควอตซ์หรืออาจใช้วิธีการเผาแบบหลอม (melt process) ซึ่งทั้งสองกระบวนการนี้จะเป็นกระบวนการที่สามารถปรับให้สารเกิดความเป็นเนื้อเดียวกันได้มากยิ่งขึ้น

การวิเคราะห์ความร้อนเชิงอนุพันธ์เป็นการทดลองเพื่อหาค่าอุณหภูมิเพอร์ริเทคติกของสารจะพิจารณาช่วงอุณหภูมิจาก 940 องศาเซลเซียส จนถึง 1,150 องศาเซลเซียส พบว่าสารมีค่าของอุณหภูมิเพอร์ริเทคติกที่อุณหภูมิ 1,015 องศาเซลเซียสและมีปฏิกิริยาแบบดูดความร้อนดังภาพที่ 8

ในปี พ.ศ. 2550 กลุ่มวิจัยของเฟงและคณะ (Feng *et al.*, 2007) ได้รายงานอุณหภูมิเพอร์ริเทคติกของสารกลุ่มนี้เท่ากับ 1,022 องศาเซลเซียส และมีปฏิกิริยาแบบดูดความร้อนแบบเดียวกันแต่ค่าของอุณหภูมิเพอร์ริเทคติกจะมีค่าต่ำกว่า และเขาสามารถบอกได้ว่าที่อุณหภูมิเพอร์ริเทคติก สารจะเกิดการเปลี่ยนสภาพเป็นสารปกติได้แก่ Y_2BaCuO_5 (Y211) และ $Ba_3Cu_5O_8$ ดังนั้นการทราบค่าอุณหภูมินี้จะมีประโยชน์ในกระบวนการเตรียมและเพื่อป้องกันการเกิดสารปกติ ซึ่งสารนี้เป็นการไม่ต้องการเพราะอาจจะทำให้ตัวนำยวดยิ่งเกิดการเสื่อมสภาพได้

สรุปผลการวิจัย

คณะผู้วิจัยได้เตรียมตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y123 ด้วยวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็ง โดยผ่านกระบวนการเผาแบบผงและกระบวนการเผาแบบขึ้นรูป จะได้สารตัวอย่างมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร และมีความหนา 5 มิลลิเมตร จากนั้นวัดอุณหภูมิวิกฤตด้วยวิธีการวัดแบบ 4 ชั่วโมง พบว่ามีค่าอุณหภูมิวิกฤตเฉลี่ยเท่ากับ 90 เคลวิน



ภาพที่ 8 แสดงค่าของอุณหภูมิเพอร์ริเทคติกของ Y123

ศึกษาโครงสร้างของสารด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ นำผลการทดลองวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมฟูลพรอฟเพื่อหารูปแบบโครงสร้าง กลุ่มปริภูมิ ค่าคงตัวของหน่วยเซลล์ และตำแหน่งอะตอม พบว่ามีรูปแบบโครงสร้างแบบออร์ทอโรมบิก (orthorhombic) มีกลุ่มปริภูมิแบบ Pmmm มีค่าของหน่วยเซลล์เท่ากับ $a=3.8217\text{\AA}$ $b=3.8846\text{\AA}$ และ $c=11.6890\text{\AA}$ และมีตำแหน่งอะตอมของธาตุต่างๆ ในตำแหน่งที่ต่างกัน การวิเคราะห์สภาพพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่า มีขนาดของเกรนที่มีขนาดเล็กเท่ากับ 0.8 ไมโครเมตร ธาตุต่างๆ มีสัดส่วนของธาตุไม่สม่ำเสมอ การวิเคราะห์ความร้อนเชิงอนุพันธ์พบว่า มีปฏิกิริยาแบบดูดความร้อน ที่อุณหภูมิ 1,015 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

เอกสารอ้างอิง

Adrian, A., Millar, G., Bhargava, A., Mackinnon, I., & Fredericks, P. (1996). A spectroscopic comparison of YBCO superconductors synthesised by solid-state and co-precipitation methods. *Materials Letters*, 28, 27-32.

Beech, F., Miraqlia, S., Santoro, A., & Roth, R. (1987). Neutron study of the crystal structure and vacancy distribution in the superconductor Ba_2YCu . *Physical Review B: Condens Matter*. 35, 8778-8781.

Buckel, W. (1991). Superconductivity Fundamental and Application. p.3. New York, VCH Publisher Inc.

Corder, K. (2001). Oxygen Diffusion in the superconductors of the YBaCuO family. *Material Science and Engineering*, 32, 41-43.

Feng, J., Lu, Y., Zhou, L., Zhang, P., Xu, X., Chen, S., Zhang, C., Xiong, X., & Liu, G. (2007). The study on melting behavior of precursor powders for powder melting processed $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ superconductors. *Physica C*, 459, 52-55.

Fox, N. J., Rustad, F. A., & Smith, W. R. (1988). Measurement of the Transition Temperature of a High T_c Superconductor. *American Journal of Physics*, 56, 980-982.

Reller, A., Bednorz, J.G., & Muller, K.A. (1987). Alternate structure for $\text{Ba}_2\text{YCu}_3\text{O}_7$. *Zeitschrift für Physik B*. 67, 285-289.

Rodriguez, C. (1993). Recent Advances in Magnetic Structure Determination by Neutron Powder Diffraction. *Physica B*. 192, 55-69.

Rossano, L. M. (1997). An Inexpensive and Easy Experiment to Measure the Electrical Resistance of High- T_c Superconductors as a Function of Temperature. *American Journal of Physics*, 65, 1024-1026.

Swinnea, J.S., & Steinink, H., (1987). The crystal structure of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_6$, the $x=1$ phase of the superconductor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$. *Journal of Material Research*, 2, 424-426.

Thitipong, K. (2011). Investigate the characterization of Y7-11-18 superconductor. In the 2nd International Conference on Applied Science (ICAS) and The 3rd International Conference on Science and Technology for Sustainable Development of the Greater Mekong Sub-region Souphanouvong University: (pp.210-214). Luang Prabang. Lao PDR.

Van dervoort, K. G., Willingham, J. M., & Morris, C. H. (1995). Simple, Inexpensive Probe for Resistivity Measurements Above 77 K on Metals and Superconductors. *American Journal of Physics*, 63, 759-760.

Wu, K., Ashburn, J.R., Torng, C.J., Hor, P.H., Meng, R.L., Gao, L., Huang, Z.J., Wang, Y.Q., & 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.