การเตรียมและสมบัติพื้นฐานของตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม YBaCuO

Preparation and Fundamental Properties of YBaCuO Superconductor.

สมพร ศรีอาภานนท์* 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 มีรูปแบบโครงสร้างแบบออโทรอมบิก มีกลุ่มปริภูมิแบบ Pmmm มีค่าคงตัวของหน่วยเซลล์เท่ากับ a=3.8217Å b=3.8846 Å และ c=11.6890 Å และมีตำแหน่งอะตอมของธาตุที่ต่างกัน ขนาดของเกรนเท่ากับ 0.8 ไมโครเมตร และมีสัดส่วนของธาตุที่ไม่สม่ำเสมอ มีปฏิกิริยาแบบดูดความร้อนที่อุณหภูมิ 1,015 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ : ตัวนำยวดยิ่ง ปฏิกิริยาสถานะของแข็ง อุณหภูมิวิกฤต

Abstract

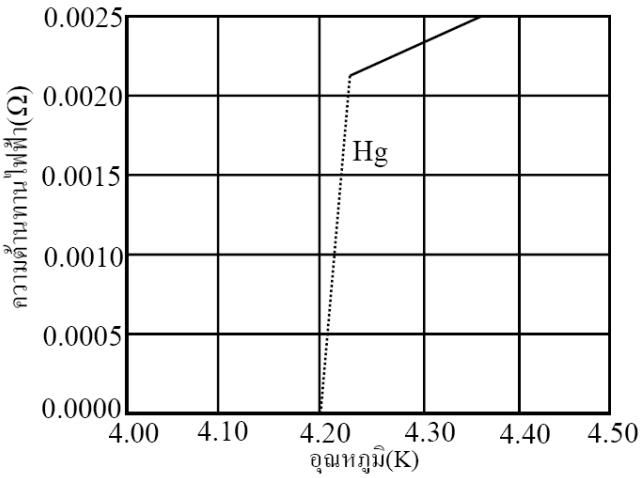
In this research, the YBaCuO superconductor was synthesized by solid state reaction. The sample with dimension of 3 centimetres diameter and 5 millimetres thickness was obtained. The average critical temperature equal 90 K, The crystal structure was orthorhombic with Pmmm space group. The lattice parameters were a=3.8217Å b=3.8846 Å and c=11.6890 Å 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 โดยคาร์เมอร์ลิงออนเนส (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 จึงทำให้เชื่อว่าตัวนำยวดยิ่งน่าจะมีอุณหภูมิวิกฤตจำกัด ในทางปฏิบัติตัวนำยวดยิ่งชนิดนี้มีความยุ่งยากในการใช้งานหรือการทดลองมาก เนื่องจากต้องใช้ฮีเลียมเหลวเป็นสารในการลดอุณหภูมิ และในการใช้งานจะต้องใช้การกำบังความร้อนเป็นอย่างดีเพื่อรักษาอุณหภูมิระดับต่ำๆ นี้ไว้ได้ อีกประการหนึ่งฮีเลียมเหลวเป็นสารที่ผลิตยากและมีราคาแพง

จนกระทั่งปี พ.ศ. 2530 กลุ่มวิจัยของวูและคณะ (Wu *et al*., 1987) ได้ค้นพบตัวนำยวดยิ่งกลุ่มคิวเพรทอีกกลุ่มหนึ่งที่มีองค์ประกอบของอิตเทรียม (Yttrium, Y) แบเรียม (Barium, Ba) ทองแดง (Copper, Cu) และออกซิเจน (Oxygen, O) มีสูตรทางเคมีเป็น $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ หรือที่เรียกว่า Y123 ซึ่งสารกลุ่มนี้มีอุณหภูมิวิกฤตเท่ากับ 93 เคลวิน การค้นพบครั้งนี้ก่อให้เกิดประโยชน์อย่างมากต่อการทดลองและการประยุกต์ใช้งานตัวนำยวดยิ่งชนิดนี้สามารถทำได้ง่ายขึ้น เนื่องจากการใช้งานตัวนำยวดยิ่งชนิดนี้สามารถใช้ไนโตรเจนเหลวเป็นสารที่ใช้ในการลดอุณหภูมิได้ เพราะว่าไนโตรเจนเหลวหาง่ายและราคาถูก 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) เพื่อหาค่าของอุณหภูมิเพอร์ริเทคติค (peritectic temperature) ตามลำดับ

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

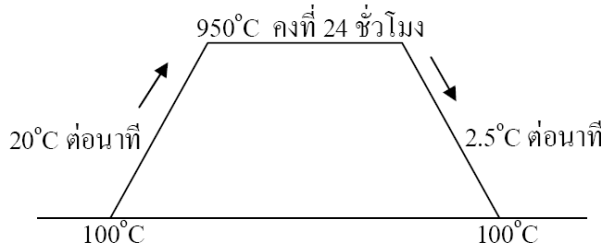
คณะผู้วิจัยได้เตรียมตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y123 ด้วยวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็ง (solid state reaction) มีสารตั้งต้นคือ อิตเทรียมออกไซด์ (Y_2O_3) แบเรียมคาร์บอเนต ($BaCO_3$) และคอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) ความบริสุทธิ์ 99.99 เปอร์เซ็นต์ มีปฏิกริยาทางเคมีดังนี้

$$Y_2O_3 + 4BaCO_3 + 6CuO \rightarrow 2YBa_2Cu_3O_{6.5} + 4CO_2$$

จากปฏิกิริยาทางเคมีสามารถคำนวณหาปริมาณสารตั้งต้นได้โดยนำสารทั้งสามมาผสมกันแล้วนำไปสู่กระบวนการเผาแบบผง (Calcination) และกระบวนการเผาขึ้นรูป (Sintering) ในเตาเผา

อุณหภูมิสูงซึ่งมีกระบวนการเผาแบบต่างๆ ที่แตกต่างกันโดยกระบวนการแรกเป็นกระบวนการเผาแบบผงมีรายละเอียดดังนี้

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



ภาพที่ 2 แสดงกระบวนการเผาแบบผง

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

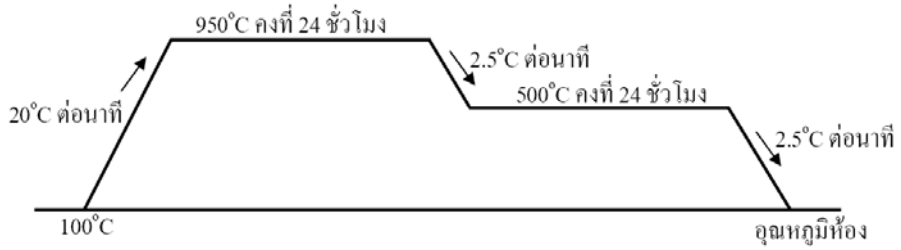
เริ่มต้นกระบวนการเผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส แล้วเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 20 องศาเซลเซียสต่อนาที จนกระทั่งอุณหภูมิถึง 950 องศาเซลเซียส คงอุณหภูมินี้ไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นลดอุณหภูมิลงด้วยอัตรา 2.5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนกระทั่งอุณหภูมิถึง 500 องศาเซลเซียส คงอุณหภูมินี้ไว้ 24 ชั่วโมง ลดอุณหภูมิลงอีกครั้งจนกระทั่งถึงอุณหภูมิห้อง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

นำสารที่ได้จากกระบวนการเผาขึ้นรูปวัดความต้านทานไฟฟ้าแบบ 4 ขั้ว (four probes) เพื่อหาค่าอุณหภูมิวิกฤต วิเคราะห์โครงสร้างของสารด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์โดยใช้เครื่องมือรุ่น D8 Discovery diffractometer นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์รูปแบบโครงสร้าง ค่าคงตัวของหน่วยเซลล์ กลุ่มปริภูมิ และตำแหน่งอะตอมของสาร โดยใช้โปรแกรมฟูลพรอฟ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และเอกซ์เรย์สเปกโทรสโกปีแบบกระจายพลังงาน เพื่อศึกษาพื้นผิวและวิเคราะห์ธาตุโดยใช้เครื่องมือรุ่น JEOL-5400LV และการวิเคราะห์ความร้อนเชิงอนุพันธ์เพื่อหาค่าของอุณหภูมิเพอร์ริเทคติคโดยใช้เครื่องมือรุ่น Netzsch 409 ตามลำดับ

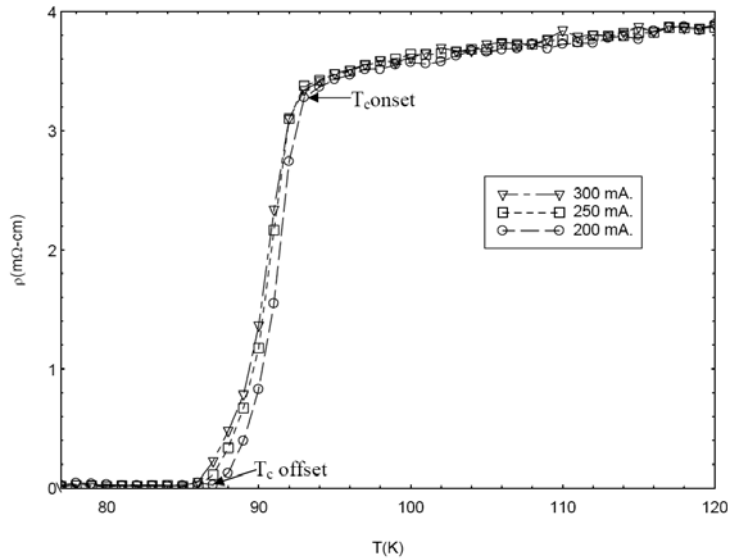
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

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 ($T_c$onset) เป็นค่าที่สารเปลี่ยนสภาพจากสภาพปกติ 100 เปอร์เซ็นต์ เข้าสู่สภาพนำยวดยิ่งมีค่าเท่ากับ 93 เคลวิน และค่าของอุณหภูมิวิกฤตปลาย ($T_c$offset) เป็นค่าอุณหภูมิวิกฤตสุดท้ายก่อนที่สารจะมีสภาพนำยวดยิ่ง 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีค่าเท่ากับ 87 เคลวิน นำค่าของอุณหภูมิวิกฤตทั้ง 2 ค่ามาหาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิวิกฤตดังสมการที่ 1 (Thitipong *et al*., 2011)



ภาพที่ 3 แสดงกระบวนการเผาแบบขึ้นรูป

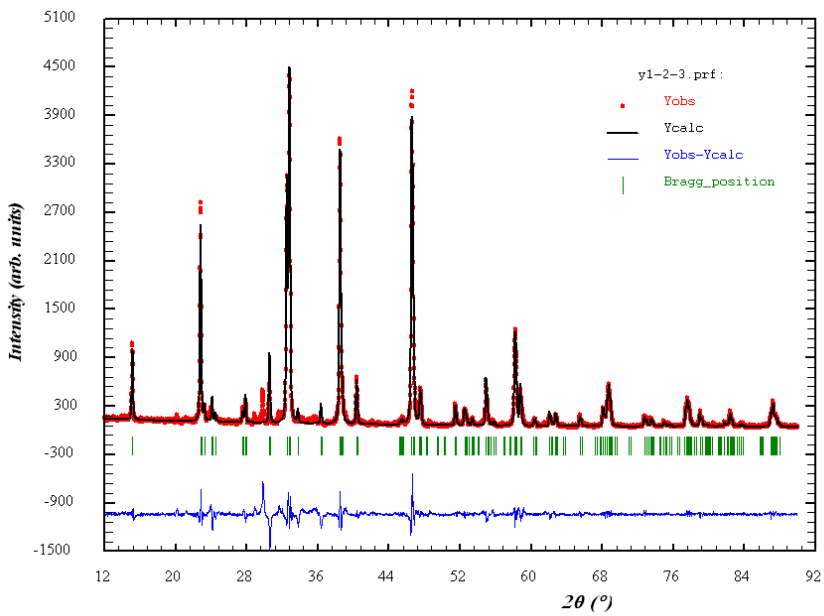


ภาพที่ 4 กราฟแสดงสภาพต้านทานไฟฟ้าของ Y123 กับอุณหภูมิ

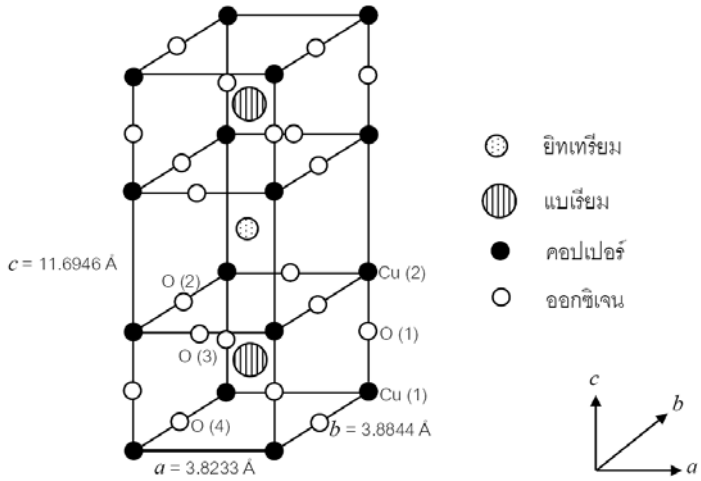
$$T_c = T_c\text{offset} + \frac{T_c onset - T_c offest}{2} \quad (1)$$

เมื่อนำค่าของอุณหภูมิวิกฤตต่างๆ แทนลงในสมการที่ 1 พบว่าสารนี้มีค่าของอุณหภูมิวิกฤตเท่ากับ 90 เคลวิน ซึ่งค่าอุณหภูมิวิกฤตเฉลี่ยมีค่าต่ำกว่าค่าอุณหภูมิวิกฤตเฉลี่ยของคอร์เดอร์ (Corder., 2001) ในการเตรียมสารเขาจะใส่ออกซิเจนเข้าไปเพื่อที่จะทำให้อุณหภูมิวิกฤตของสารเพิ่มมากขึ้น หากเกิดการขาดออกซิเจนในโครงสร้างของสารจะมีผลทำให้สารกลุ่มนี้กลายสภาพเป็นฉนวนได้ (Swommea *et al*., 1987)

การวิเคราะห์ด้วยวิธีการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างของสาร โดยนำสารที่มีลักษณะเป็นผงใส่ลงในที่ใส่สารตัวอย่าง (sample holder) แล้วจึงทดลองวัดมุมโดยเริ่มจากมุม 10 องศา เพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงมุม 90 องศา ด้วยอัตรา 0.02 องศาต่อนาที จากนั้นนำผลการทดลองวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมฟูลพรอฟดังภาพที่ 5



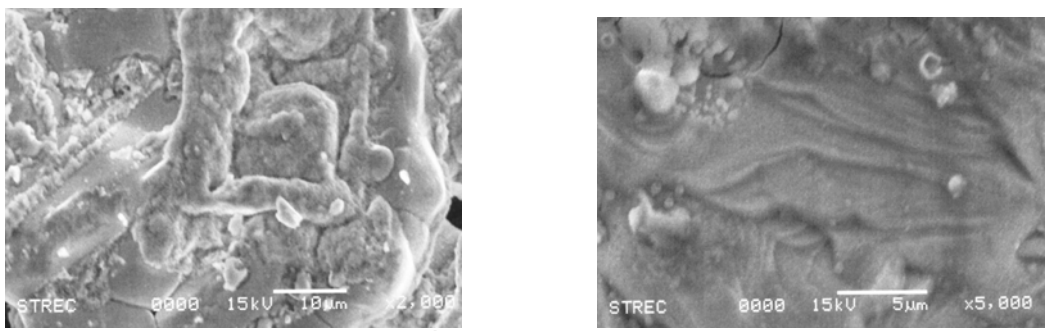
ภาพที่ 5 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ Y123 วงกลมสีแดงเป็นข้อมูลที่ได้จากการทดลอง เส้นสีดำเป็นข้อมูลที่ได้จากการคำนวณและแถบสีเขียวใต้กราฟคือตำแหน่งของแบรกก์(Bragg)



ภาพที่ 6 ตำแหน่งอะตอมของ Y123

จากการวิเคราะห์สามารถบ่งชี้รูปแบบโครงสร้าง กลุ่มปริภูมิ หน่วยเซลล์ และตำแหน่งอะตอมของสารได้ โดยพบว่าสารที่เตรียมได้มีเฟสเดี่ยวและไม่พบเฟสของสารปกติ (non-superconducting phase) มีรูปแบบโครงสร้างแบบออโทรอมบิก มีกลุ่มปริภูมิแบบ Pmmm มีค่าคงตัวของหน่วยเซลล์เท่ากับ a = 3.8219Å b = 3.8844 Å และ c = 11.6862 Å เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองของเรลเลอร์และคณะ (Reller *et al*., 1987) พบว่าสารมีรูปแบบโครงสร้างกลุ่มปริภูมิแบบเดียวกัน ค่าคงตัวของหน่วยเซลล์ใกล้เคียงกับบีชและคณะ (Beech *et al*., 1987) ที่มีรายงานไว้เท่ากับ a = 3.8250 Å b = 3.8864 Å และ c = 11.6945 Å และจากวิเคราะห์เพื่อหาตำแหน่งอะตอมของธาตุ สามารถระบุตำแหน่งอะตอมของธาตุได้ ซึ่งตำแหน่งอะตอมของ 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 จึงทำให้พื้นผิวโดยส่วนใหญ่มีรอยแตกมีรูพรุน อาจจะเกิดจากขั้นตอนการลดลงของอุณหภูมิยังไม่ดีพอ จึงทำให้เกิดเกรนที่มีขนาดที่เล็กดังภาพถ่ายผิวของสารดังภาพที่ 7 ซึ่งวิธีการเตรียมสารมีด้วยกันหลายวิธี วิธีการหนึ่ง ใช้วิธีการตกตะกอน (co-precipitation method) เป็นกระบวนการเตรียมสารที่สามารถจะทำให้ขนาดของเกรนมีขนาดใหญ่ขึ้น(Adrian *et al*., 1996) จะส่งผลทำให้สารเกิดการนำไฟฟ้าที่ดีขึ้นและอาจจะทำให้อุณหภูมิวิกฤตของสารสูงขึ้นได้



ภาพที่ 7 ภาพถ่ายผิวของ Y123

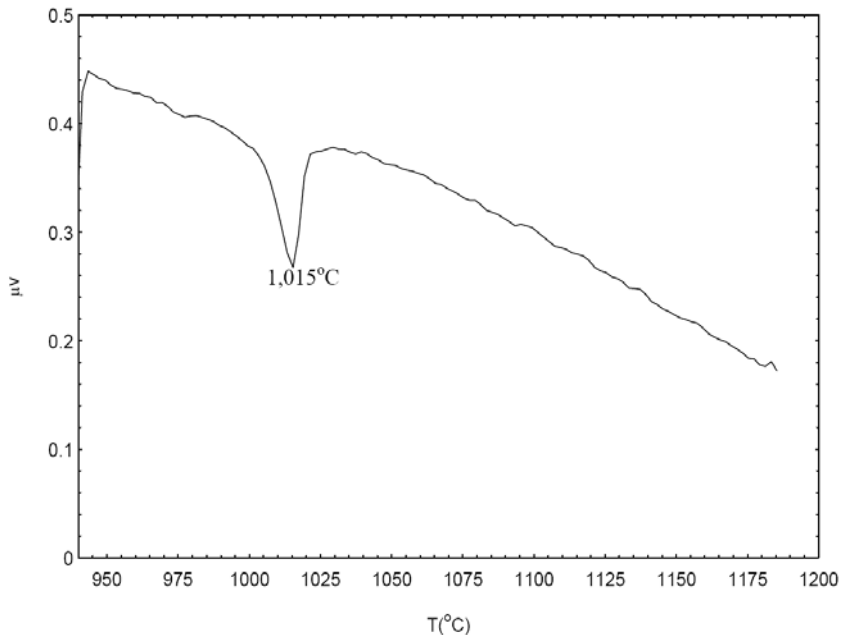
เมื่อทดลองด้วยวิธีการวิเคราะห์สภาพพื้นผิวแล้วในขณะเดียวกันได้ทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบชนิดของธาตุด้วยเทคนิคเอกซ์เรย์สเปกโทรสโกปีแบบการกระจายพลังงาน พบว่าสารมีจำนวนอัตราส่วนของอิตเทรียม (Y) แบเรียม (Ba) ทองแดง (Cu) และออกซิเจน (O) แตกต่างกัน โดยไม่พบสารเจือใดๆ ในสูตรของสารนี้มีตัวเลขสามตัว ตัวเลขตัวแรกจะแสดงอัตราส่วนของธาตุอิตเทรียม ตัวเลขตัวที่สองแสดงอัตราส่วนของธาตุแบเรียม และตัวเลขตัวสุดท้ายแสดงอัตราส่วนของธาตุทองแดง ตามลำดับจากข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลอง ซึ่งประกอบด้วยอัตราส่วนของธาตุทั้ง 4 ชนิด จากนั้นผู้วิจัยได้คำนวณโดยทำการปรับค่าให้อัตราส่วนเท่ากับตัวเลขตัวแรกก่อน แล้วคำนวณอัตราส่วนของธาตุอื่นๆ ถัดไป สามารถแสดงอัตราส่วนของปริมาณธาตุต่างๆ ที่ได้จากการปรับค่าแล้ว พบว่ามีสัดส่วนของ Y:Ba:Cu:O คิดเป็นสัดส่วน 1:1.79:1.69:6.79 เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรตั้งต้นของสารแล้ว พบว่าอัตราส่วนของแบเรียมและทองแดง มีค่าไม่ตรงกับสูตร จึงสรุปได้ว่าสารที่เตรียมขึ้นมีสัดส่วนของปริมาณธาตุต่างๆ ที่ไม่สม่ำเสมอ ในการวิจัยในโอกาสต่อไปสามารถเพิ่มการทดลองในส่วนของรายละเอียดเข้าไป ได้แก่ การใส่ก๊าซออกซิเจนเข้าไปขณะทำการเผา หรืออาจเตรียมในท่อควอตซ์หรืออาจจะใช้วิธีการเผาแบบหลอม (melt process) ซึ่งทั้งสองกระบวนการนี้จะเป็นกระบวนการที่สามารถปรับให้สารเกิดความเป็นเนื้อเดียวกันได้มากยิ่งขึ้น

การวิเคราะห์ความร้อนเชิงอนุพันธ์เป็นการทดลองเพื่อหาค่าอุณหภูมิเพอร์ริเทคติคของสารจะพิจารณาช่วงอุณหภูมิจาก 940 องศาเซลเซียส จนถึง 1,150 องศาเซลเซียส พบว่าสารมีค่าของอุณหภูมิเพอร์ริเทคติคที่อุณหภูมิ 1,015 องศาเซลเซียสและมีปฏิกิริยาแบบดูดความร้อนดังภาพที่ 8

ในปี พ.ศ. 2550 กลุ่มวิจัยของเฟงและคณะ (Feng *et al*., 2007) ได้รายงานอุณหภูมิเพอร์ริเทคติคของสารกลุ่มนี้เท่ากับ 1,022 องศาเซลเซียส และมีปฏิกิริยาแบบดูดความร้อนแบบเดียวกันแต่ค่าของอุณหภูมิเพอร์ริเทคติคจะมีค่าต่ำกว่า และเขาสามารถบอกได้ว่าที่อุณหภูมิเพอร์ริเทคติค สารจะเกิดการเปลี่ยนสภาพเป็นสารปกติได้แก่ Y_2BaCuO_5(Y211) และ $Ba_3Cu_5O_8$ ดังนั้นการทราบค่าอุณหภูมินี้จะมีประโยชน์ในกระบวนการเตรียมและเพื่อป้องกันการเกิดสารปกติ ซึ่งสารนี้เป็นสารไม่ต้องการเพราะอาจจะทำให้ตัวนำยวดยิ่งเกิดการเสื่อมสภาพได้

สรุปผลการวิจัย

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



ภาพที่ 8 แสดงค่าของอุณหภูมิเพอร์ริเทคติคของ Y123

ศึกษาโครงสร้างของสารด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ นำผลการทดลองวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมฟูลพรอฟเพื่อหารูปแบบโครงสร้าง กลุ่มปริภูมิ ค่าคงตัวของหน่วยเซลล์ และตำแหน่งอะตอม พบว่ามีรูปแบบโครงสร้างแบบออโทรอมบิก (orthorhombic) มีกลุ่มปริภูมิแบบ Pmmm มีค่าของหน่วยเซลล์เท่ากับ a=3.8217Å b=3.8846 Å และ c=11.6890 Å และมีตำแหน่งอะตอมของธาตุต่างๆ ในตำแหน่งที่ต่างกัน การวิเคราะห์สภาพพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่า มีขนาดของเกรนที่มีขนาดเล็กเท่ากับ 0.8 ไมโครเมตร ธาตุต่างๆ มีสัดส่วนของธาตุไม่สม่ำเสมอ การวิเคราะห์ความร้อนเชิงอนุพันธ์พบว่ามีปฏิกิริยาแบบดูดความร้อนที่อุณหภูมิ 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, Rs. (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 $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ superconductors. *Physica C, 459*, 52-55.

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

Reller, A., Bednorz, J.G., & Muller, K.A. (1987). Alternate structure for $Ba_2YCu_3O_7$. *Zeitschriftfur 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., & Steinfink, H., (1987). The crystal structure of $YBa_2Cu_3O_6$, the x=1 phase of the superconductor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$. *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, In expensive 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.