

## บทความวิจัย

# การเตรียมและการวัดสมบัติของตัวนำยวดยิ่ง Y358

ประวีณา อัจฉรมัย<sup>1\*</sup> สัพพัญญา เมฆนิตติ<sup>1</sup> ศรัณญา อารมย์สว่าง<sup>1</sup> ธัญนพ นิลกำจร<sup>1,2</sup>  
ศุภเดช สุจินพรัหม<sup>3</sup> เสริมสุข รัตเรง<sup>1,2</sup> จิตติพงศ์ เครือหงส์<sup>4</sup> ปิยะมาศ ไชนนอก<sup>1,5</sup>  
และ พงษ์แก้ว อุดมสมุทรหิรัญ<sup>1,2</sup>

### บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์และศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของตัวนำยวดยิ่ง Y358 ด้วยวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็ง ใช้  $Y_2O_3$  (99.99%)  $BaCO_3$  (99.9%) และ  $CuO$  (99+%) เป็นสารตั้งต้น นำสารมาผสมกัน บดให้เข้ากันและทำการเผาแบบ calcinations ในอากาศที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เผาด้วยกระบวนการ sintering ที่ 950 องศาเซลเซียส และการอบอ่อนที่ 500 องศาเซลเซียส ตัวอย่างที่เตรียมได้มีความหนาแน่น 4.97 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในงานนี้ได้สร้างชุดวัดความต้านทานไฟฟ้าขึ้น และได้หาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการวัดอุณหภูมิวิกฤต พบว่ามีอุณหภูมิวิกฤตเท่ากับ 93 เคลวิน มีเกรนประมาณ 20 ไมโครเมตร มีโครงสร้างผลึกแบบออร์ทอโรมบิก (orthorhombic) ที่มี  $a = 3.83839$  อังสตรอม  $b = 3.88058$  อังสตรอม และ  $c = 31.12290$  อังสตรอม

**คำสำคัญ:** ตัวนำยวดยิ่ง วิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็ง กระบวนการ sintering อุณหภูมิวิกฤต

<sup>1</sup> ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

<sup>2</sup> ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

<sup>3</sup> ภาควิชาฟิสิกส์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

<sup>4</sup> ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

<sup>5</sup> สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

\* ผู้นิพนธ์ประสานงาน, e-mail: praweena-am@windowsslive.com

# The Preparation and Characterization of Superconductor Y358

Praweena Artsamai<sup>1\*</sup>, Suppunyou Meakniti<sup>1</sup>, Sarunya Aromsawang<sup>1</sup>,  
Tunyanop Nilkamjon<sup>1,2</sup>, Suppadate Sujinnapram<sup>3</sup>, Sermsuk Ratreng<sup>1,2</sup>,  
Thitipong Kruaehong<sup>4</sup>, Piyamas Chainok<sup>1,5</sup>  
and Pongkaew Udomsamuthirun<sup>1,2</sup>

---

## ABSTRACT

In this research, we synthesized and characterize the physical properties of Y358 superconductor by solid state reaction. The raw materials  $Y_2O_3$  (99.99%)  $BaCO_3$  (99.9%) and  $CuO$  (99+%) were mixed, ground and react in air at  $950^\circ C$ ; calcinations process. The sintering process at  $950^\circ C$  and annealing  $500^\circ C$  were done. The sample obtained had the density  $4.97 \text{ g/cm}^3$ . In this research, we made the resistivity measurement set that was characterized for the suitable condition for critical temperature measurement. We found that the critical temperature was 93 K, with grain size about  $20 \mu\text{m}$ . The crystal structure was orthorhombic with  $a = 3.83839 \text{ \AA}$ ,  $b = 3.88058 \text{ \AA}$  and  $c = 31.12290 \text{ \AA}$

**Keywords:** superconductor, solid state reaction, sintering process, critical temperature

---

<sup>1</sup>Department of Physics, Faculty of Science, Srinakharinwirot University

<sup>2</sup>Thailand Center of Excellence in Physics (ThEP), Commission on Higher Education

<sup>3</sup>Department of Physics, Faculty of Liberal Arts and Science, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus

<sup>4</sup>Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Suratthani Rajabhat University

<sup>5</sup>Department of Science-Mathematics, Faculty of Science and Technology, Pathumwan Institute of Technology

\*Corresponding author, e-mail: praweena-am@windowslive.com

## บทนำ

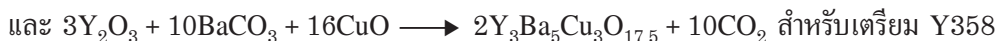
ตัวนำยวดยิ่งเป็นวัสดุที่มีความต้านทานเป็นศูนย์ จึงไม่เกิดการสูญเสียพลังงานอุปกรณ์ที่ทำมาจากตัวนำยวดยิ่งสามารถให้ประสิทธิภาพได้สูงสุด เช่นสายไฟที่ทำจากตัวนำยวดยิ่งจะไม่มี การสูญเสียพลังงาน ปัจจุบันมีการนำตัวนำยวดยิ่งมาประยุกต์ทำแม่เหล็กไฟฟ้าที่ให้สนามแม่เหล็กได้สูงสุด ซึ่งให้ประโยชน์มากในวงการแพทย์ และเนื่องจากตัวนำยวดยิ่งมีสมบัติลอยตัวเหนือแม่เหล็กได้ จึงมีการนำมาประยุกต์ทำรถไฟฟ้ที่วิ่งเร็วที่สุดในโลก แต่เนื่องจากปัญหาการควบคุมอุณหภูมิของการเป็นสภาพนำยวดยิ่ง ทำให้ตัวนำยวดยิ่งยังไม่สามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวาง จึงจำเป็นต้องมีการวิจัยและพัฒนาต่อไป จากการศึกษาประวัติศาสตร์ค้นพบตัวนำยวดยิ่ง [1] สามารถสรุปโดยย่อดังนี้ ในปี ค.ศ. 1911 คาร์เมอร์ลิงก์ ฮอนเนส ทดลองวัดความต้านทานไฟฟ้าของปรอทบริสุทธิ์โดยใส่ปรอทลงในภาชนะรูปร่างแหวน แล้วแช่ลงไปในฮีเลียมเหลว เมื่ออุณหภูมิของปรอทลดลงอย่างสม่ำเสมอถึงอุณหภูมิ 4.2 เคลวิน พบว่าความต้านทานไฟฟ้าของปรอทดังกล่าวมีค่าเป็นศูนย์อย่างทันทีทันใด เรียกสภาพดังกล่าวนี้ว่า สภาพนำยวดยิ่ง (superconductivity) และเรียกอุณหภูมิที่ทำให้ปรอทหมดความต้านทานไฟฟ้านี้ว่า อุณหภูมิวิกฤต (critical temperature,  $T_c$ ) ต่อมาในปี ค.ศ. 1913 คาร์เมอร์ลิงก์ ฮอนเนส เขาทำการทดลองที่ยืนยันได้ว่าสารตัวนำยวดยิ่งนี้สามารถนำกระแสไฟฟ้าได้โดยไม่มี การสูญเสียพลังงาน ตัวนำยวดยิ่งจะยังคงรักษาสภาพนำยวดยิ่งได้ ถ้าความหนาแน่นที่ไหลผ่านมีค่าต่ำกว่าค่าค่าหนึ่ง และเมื่อความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมีค่าสูงกว่าค่านี้แล้ว วัสดุจะกลายเป็นตัวนำปกติทันที จึงเรียกความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าค่านี้ว่า ความหนาแน่นกระแสวิกฤต (critical current density,  $J_c$ ) และในปี ค.ศ. 1914 คาร์เมอร์ลิงก์ ฮอนเนส ได้ค้นพบสมบัติของตัวนำยวดยิ่งอีกประการหนึ่งว่าสนามแม่เหล็กก็สามารถที่จะทำให้สภาพนำยวดยิ่งได้เช่นเดียวกับค่าของกระแสกล่าวคือ ถ้าให้ค่าสนามแม่เหล็กสูงกว่าค่าสนามแม่เหล็กค่าหนึ่ง สนามแม่เหล็กจะสามารถทำให้สภาพนำยวดยิ่งได้ เรียกค่าสนามแม่เหล็กที่ทำให้สภาพนำยวดยิ่งนี้ว่า สนามแม่เหล็กวิกฤต (Critical magnetic field:  $H_c$ ) ในปี ค.ศ. 1933 ไมส์เนอร์และออกเซนเฟลด์ ค้นพบสมบัติพื้นฐานที่สำคัญของตัวนำยวดยิ่งอีกประการหนึ่งว่า ถ้าสารมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิวิกฤตเมื่อใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปเส้นแรงแม่เหล็กจะสามารถทะลุผ่านสารนี้ได้ และถ้าลดอุณหภูมิของสารลงจนกระทั่งต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤตสารจะเปลี่ยนสภาพเป็นตัวนำยวดยิ่ง จากนั้นใส่สนามแม่เหล็กภายนอกเข้าไปอีกครั้งพบว่าเส้นแรงแม่เหล็กนี้ไม่สามารถทะลุผ่านเข้าไปในเนื้อของตัวนำยวดยิ่งได้ ในปี ค.ศ. 1955 เดเวอร์และแฟร์แบ็ง [2] ได้ศึกษาและค้นพบ ฟลักซ์ควอนไทซ์เซชัน (flux quantization) โดยการขึ้นรูปสารให้เป็นรูปร่างแหวนแล้วใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในขณะที่มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิวิกฤต พบว่าสนามแม่เหล็กดังกล่าวสามารถทะลุผ่านสารนี้ได้ แต่เมื่อลดอุณหภูมิของสารให้ต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤตสารนี้จะมีสภาพนำยวดยิ่ง แล้วนำสนามแม่เหล็กที่ใส่เข้าไปออก พบว่าฟลักซ์แม่เหล็กจะถูกกักอยู่ภายในวงแหวนของตัวนำยวดยิ่ง การค้นพบตัวนำยวดยิ่งเริ่มตั้งแต่ปี ค.ศ. 1911 และมีการค้นคว้าวิจัยหาตัวนำยวดยิ่งชนิดใหม่ๆ ที่มีอุณหภูมิวิกฤตสูงนั้นได้พัฒนาไปอย่างเร่งรีบ จนกระทั่งปี ค.ศ. 1973 นักวิทยาศาสตร์ได้ค้นพบโลหะผสมของไนโอเบียมและเจอร์มาเนียม ( $Nb_3Ge$ ) ซึ่งมีอุณหภูมิวิกฤต 23.2 เคลวิน จากนั้นเป็นเวลาหลายสิบปี นักวิทยาศาสตร์ก็ได้พยายามค้นคว้าวิจัย เพื่อให้ได้ตัวนำยวดยิ่งที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 23.2 เคลวิน แต่ก็ไม่ประสบความสำเร็จ ทำให้เชื่อว่าตัวนำยวดยิ่งในธรรมชาติน่าจะมีอุณหภูมิวิกฤตจำกัดอยู่ไม่เกิน 35 เคลวิน และเรียกตัวนำชนิดนี้ว่า ตัวนำยวดยิ่งแบบดั้งเดิม (conventional superconductors) ในปี ค.ศ. 1986 เบดเนอร์ช

และ มูลเลอร์ [3] ค้นพบสภาพนำยวดยิ่งในสารกลุ่ม Ba-La-Cu-O โดยเบตนอร์ชและมูลเลอร์ใช้วิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็ง (solid state reaction) ในการเตรียมสารซึ่งทำให้เกิดโครงสร้างแบบเพอร์รอฟสไกต์พบว่าพวกเขาสามารถเตรียมตัวนำยวดยิ่งกลุ่มนี้ที่มีอุณหภูมิวิกฤตเริ่มต้นเท่ากับ 35 เคลวิน ส่งผลให้พวกเขาได้รับรางวัลโนเบลจากการค้นพบครั้งนี้และการค้นพบครั้งนี้ทำให้กลุ่มนักฟิสิกส์คาดกันว่ามีโอกาสค้นพบตัวนำยวดยิ่งที่อุณหภูมิห้อง ต่อมาจึงมีการแบ่งประเภทของตัวนำยวดยิ่งโดยพิจารณาจากอุณหภูมิวิกฤต โดยตัวนำยวดยิ่งที่มีอุณหภูมิวิกฤตไม่เกิน 35 เคลวิน จะเรียกว่าตัวนำยวดยิ่งแบบดั้งเดิม และตัวนำยวดยิ่งที่มีอุณหภูมิวิกฤตสูงกว่า 35 เคลวิน เรียกว่าตัวนำยวดยิ่งอุณหภูมิสูง (high temperature superconductors) ในปี ค.ศ. 1987 กลุ่มวิจัยของวูและคณะ [4] ได้ใส่ยทเทรียม (Yttrium) แทนที่ในในกลุ่มแลนทานัม (Lanthanum) ทำให้อุณหภูมิวิกฤตเพิ่มขึ้นจากเดิม 35 เคลวิน เป็น 93 เคลวิน เรียกตัวนำยวดยิ่งที่มียทเทรียมเป็นองค์ประกอบนี้ว่า Y123 ( $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ ) ซึ่งการค้นพบตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y123 ทำให้ได้ตัวนำยวดยิ่งที่มีอุณหภูมิวิกฤตสูงกว่าจุดเดือดของไนโตรเจนเหลวเป็นครั้งแรก นำมาซึ่งความแตกตื่นในวงการฟิสิกส์เนื่องจากไนโตรเจนที่ใช้เป็นสารหล่อเย็นในการลดอุณหภูมิมีราคาถูก ในปี ค.ศ. 2007 จูตีพงศ์และคณะ[5] ได้ทำงานวิจัยเรื่องการเตรียมและศึกษาคุณลักษณะของตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y-Ba-CuO ด้วยวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็ง และศึกษาสมบัติของสภาพนำยวดยิ่งของสารตัวอย่างที่เตรียมได้ เพื่อทำการวัดอุณหภูมิวิกฤต และพบว่าตัวนำยวดยิ่งที่เตรียมได้มีสูตรเคมีเป็น  $YBa_2Cu_3O_{6.5}$  (Y123) โดยมีสารตั้งต้นคือ ยทเทรียมออกไซด์ แบเรียมคาร์บอเนต และคอปเปอร์ออกไซด์ ในปี ค.ศ. 2009 นิลกัจจร เครือหงส์ และ อุดมสมุทรหิรัญ [6] ได้ทำการเตรียมสารผสม Y123 และ Y211 ด้วยวิธีปฏิกิริยาของแข็ง และวิธีการหลอม ต่อมา อะโอบาดีและคณะ [7] ได้ค้นพบ Y358 ( $Y_3Ba_5Cu_8O_{18}$ ) มีอุณหภูมิวิกฤตสูงถึง 102 เคลวิน จนกระทั่งปี ค.ศ. 2010 อุดมสมุทรหิรัญและคณะ [8] ได้ทำการเตรียมตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม YBaCuO ขึ้นมาอีก 7 สูตร ซึ่งมี Y358 ที่ถูกเตรียมขึ้นมาด้วย แต่ยังไม่มีการศึกษามากนัก

งานวิจัยนี้จะทำการเตรียมและวัดสมบัติของตัวนำยวดยิ่ง Y358 โดยใช้เครื่องวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าที่สร้างขึ้นเองรวมถึงการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ของสารด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสแตเรียโอ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD)

## วิธีการเตรียมสาร

การเตรียมสาร Y123 และ Y358 โดยใช้สูตรเคมี

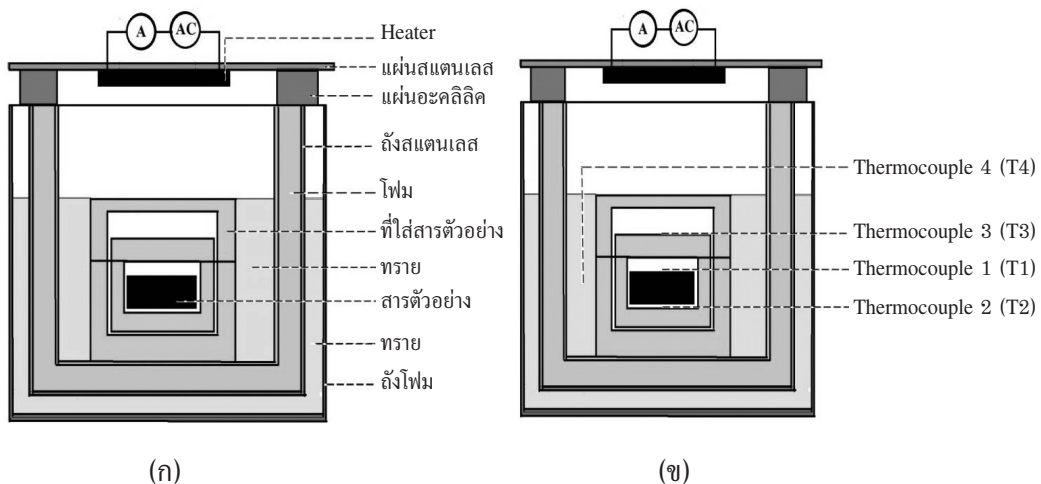


มีสารตั้งต้น 3 ชนิด คือ ยทเทรียมออกไซด์ ( $Y_2O_3$ ) 99.99% แบเรียมคาร์บอเนต ( $BaCO_3$ ) 99.9% คอปเปอร์-ออกไซด์ ( $CuO$ ) 99+% จากนั้นนำสารที่ได้มาผสมกันตามสัดส่วน ทำการสังเคราะห์สารด้วยวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็ง เริ่มกระบวนการเผาแบบผง (calcinations) ที่อุณหภูมิเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 20 องศาเซลเซียสต่อนาที จนกระทั่งอุณหภูมิเท่ากับ 950 องศาเซลเซียส คงอุณหภูมินี้ไว้ 24 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิลงด้วยอัตรา 2.5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนกระทั่งอุณหภูมิเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส ทำการเผา 2 ครั้ง ต่อมาเผาแบบขึ้นรูป (Sintering) เริ่มกระบวนการเผาแบบขึ้นรูป ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 20 องศาเซลเซียสต่อนาที

จนอุณหภูมิถึง 950 องศาเซลเซียส คงที่อุณหภูมิไว้ 24 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิลงด้วยอัตรา 2.5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนกระทั่งอุณหภูมิต่ำกว่า 500 องศาเซลเซียส คงที่อุณหภูมิไว้ 24 ชั่วโมง และลดอุณหภูมิลงอีกครั้งด้วยอัตรา 2.5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เมื่อผ่านกระบวนการเผาแบบขึ้นรูปแล้วนำสารมาทดสอบด้วยปรากฏการณ์ไมส์เนอร์ สารสามารถแสดงปรากฏการณ์ไมส์เนอร์ได้อย่างชัดเจน แสดงว่าสารที่ได้เป็นตัวนำยวดยิ่ง

การวัดสมบัติทางฟิสิกส์ ในงานวิจัยนี้ได้สร้างชุดวัดสภาพต้านทานไฟฟ้ามีลักษณะดังรูปที่ 1 โดยชุดวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าที่สร้างขึ้นจะมีการควบคุมอุณหภูมิด้วยทรายและไนโตรเจนเหลว การเพิ่มอุณหภูมิทำได้โดยการใส่ความร้อนที่ฮีสเตอร์ (heater) เพื่อศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิต่างอย่าง จะใส่เทอร์โมคัปเปิลในตำแหน่งต่างๆ 4 ตำแหน่ง คือ ด้านบนสารตัวอย่าง (T1) ด้านล่างสารตัวอย่าง (T2) บนที่ใส่สารตัวอย่าง (T3) และไนโตรเจนข้างที่ใส่สารตัวอย่าง (T4)



(ก)

(ข)

รูปที่ 1 (ก) แสดงอุปกรณ์ของชุดวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า

(ข) แสดงตำแหน่งของเทอร์โมคัปเปิลในชุดวัด

ก่อนทำการวัดความต้านทานที่อุณหภูมิต่างๆ เพื่อให้สารตัวอย่างมีอุณหภูมิที่สม่ำเสมอที่สุด ในงานวิจัยนี้ได้นำสารตัวอย่างจากที่เตรียมได้มาวัดการกระจายตัวของอุณหภูมิต่างๆ ปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิ ในการทดลองนี้คือ ปริมาณทราย และกระแสไฟฟ้าที่ใส่ให้ฮีเตอร์ โดยเริ่มใส่ทรายเสมอกับผิวของที่ใส่สารตัวอย่างพอดี ใส่ไนโตรเจนเหลวลงในถังโฟม เพื่อใช้ในการลดอุณหภูมิของสารตัวอย่าง เมื่ออุณหภูมิของสารมีค่าเท่ากับ 77 เคลวิน เริ่มใส่กระแสที่ Heater 0.5 แอมแปร์ บันทึกผลการทดลอง จนกระทั่งอุณหภูมิของสารตัวอย่างถึง 120 เคลวิน เริ่มทำการทดลองซ้ำโดยเพิ่มทรายครั้งละ 0.9 กิโลกรัม และเพิ่มกระแสที่ Heater 1 แอมแปร์ บันทึกข้อมูลในคอมพิวเตอร์ แล้วนำข้อมูลที่ได้นำมาคำนวณหาค่าสภาพต้านทาน ( $\rho$ ) โดยใช้สมการ (1) [9]

$$\rho = 2\pi s \frac{V}{l} \quad (1)$$

เมื่อ  $\rho$  คือ สภาพต้านทานไฟฟ้า (โอห์ม-เมตร)

$V$  คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)

$I$  คือ กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)

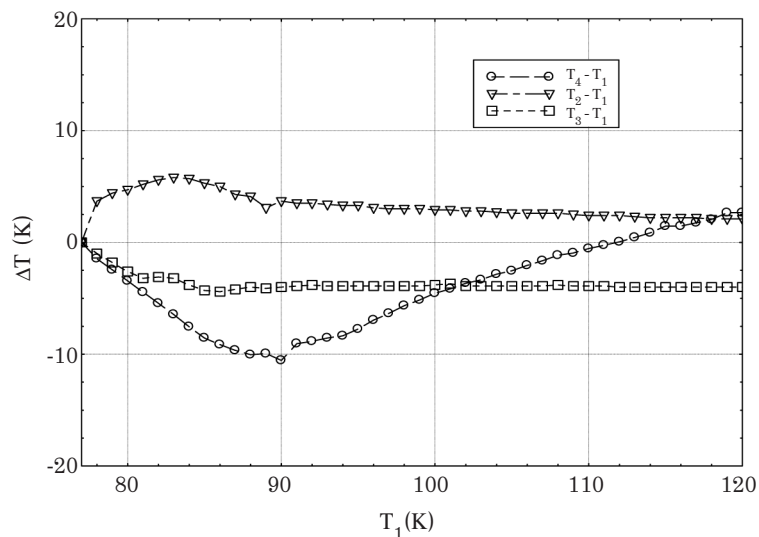
$s$  คือ ระยะห่างระหว่างขั้ว (เมตร)

เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพต้านทานกับอุณหภูมิ จะสามารถหาค่าอุณหภูมิวิกฤตของสารได้โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนของสภาพต้านทานทันทีทันใด

## ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการทดลอง

หลังจากการเตรียมตัวนำยวดยิ่งจากกระบวนการเผาแบบผง และกระบวนการเผาแบบขึ้นรูป ได้สารตัวอย่างที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.96 เซนติเมตร ทหนา 0.38 เซนติเมตร มวล 13 กรัม

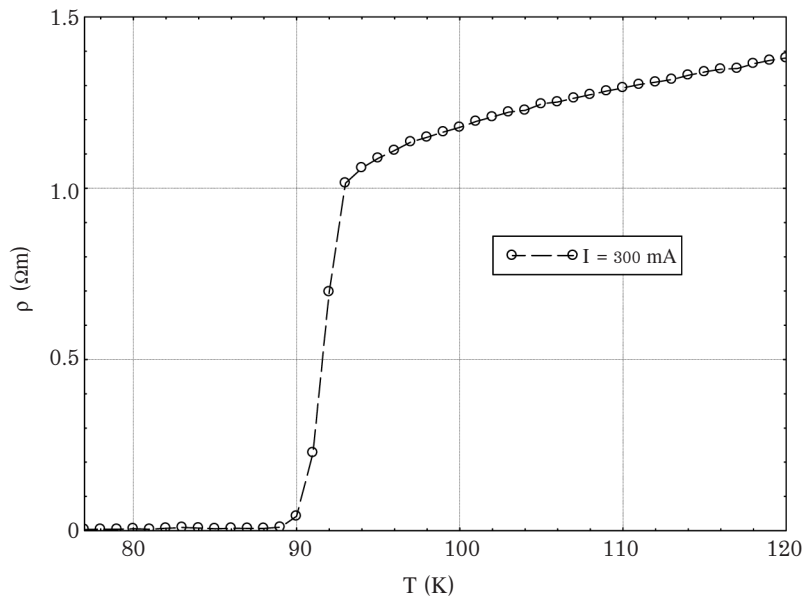
หาความแตกต่างของอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่ง โดยเทียบกับอุณหภูมิ  $T_1$  พบว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมคือ ใส่กระแสให้สารตัวอย่าง 300 มิลลิแอมแปร์ กระแส Heater 1 แอมแปร์ และทราย 2.4 กิโลกรัม ดังรูปที่ 2



**รูปที่ 2** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ กับอุณหภูมิ โดยใส่กระแสให้สารตัวอย่าง 300 มิลลิแอมแปร์ กระแส Heater 1 แอมแปร์ และทราย 2.4 กิโลกรัม

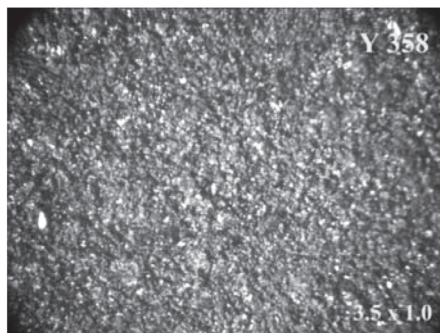
และเมื่อทำการวัด 4 ขั้วได้ผลการทดลองดังรูปที่ 3 ในการทดลองครั้งนี้สามารถหาอุณหภูมิวิกฤตของสารตัวอย่าง โดย  $T_c$  offset คือ อุณหภูมิสุดท้ายที่สารตัวอย่างยังมีความต้านทานไฟฟ้าเท่ากับศูนย์  $T_c$  onset คือ อุณหภูมิจุดเปลี่ยนที่สารตัวอย่างมีความต้านทานลดลงอย่างรวดเร็ว ทำการทดลองที่ทราย 2.4 กิโลกรัม กระแส Heater 1 แอมแปร์ กระแสที่สารตัวอย่าง 300 มิลลิแอมแปร์ ได้  $T_c$  offset เท่ากับ 90 เคลวิน และ  $T_c$  onset เท่ากับ 93 เคลวิน จากการศึกษาสารตัวนำยวดยิ่ง Y358 มีอุณหภูมิวิกฤต

onset 93 เคลวิน ซึ่งต่ำกว่างานวิจัยของอะไลบาดี ที่พบว่ามียุณหภูมิวิกฤต onset 102 เคลวิน โดยอุณหภูมิวิกฤตจากงานวิจัยนี้ต่ำกว่างานวิจัยของอะไลบาดีอาจจะมาจากตัวนำยวดยิ่งที่เตรียมได้มีสมบัติไม่ดีพอ หรือเกิดจากการวัดโดยเครื่องมือวัดคนละประเภท



**รูปที่ 3** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพต้านทานกับอุณหภูมิของสารตัวอย่าง

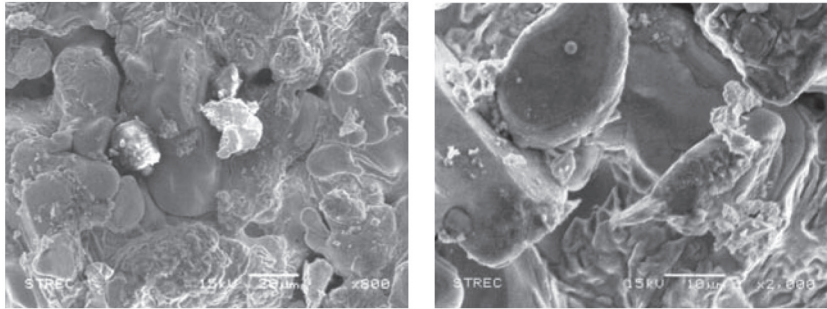
นำสารตัวอย่าง Y358 แบบก้อน มาถ่ายภาพผิวหน้าโดยใช้จุลทรรศน์สเตอริโอ กำลังขยาย  $3.5 \times 1.0$  ได้ผลดังรูปที่ 4



**รูปที่ 4** ภาพถ่ายผิวหน้าของ Y358 ที่กำลังขยาย  $3.5 \times 1.0$

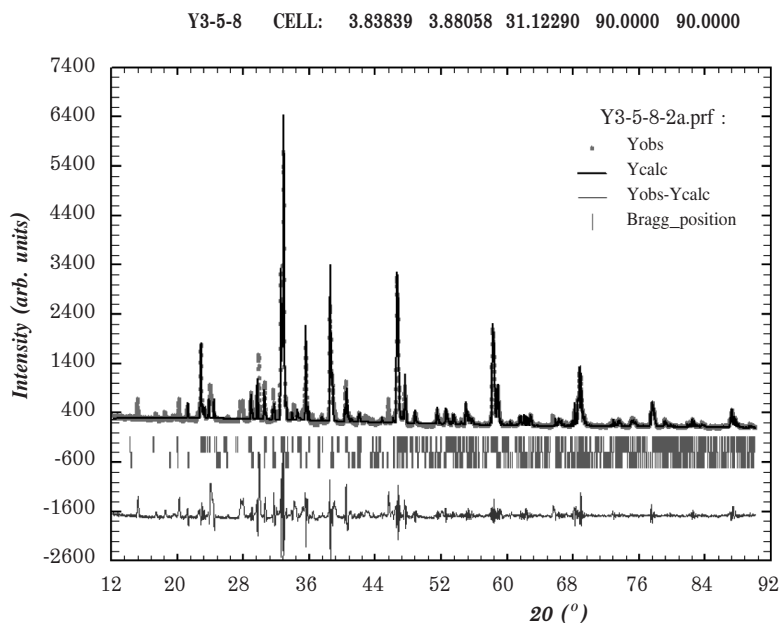


กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นเครื่องศูนย์เครื่องมือวิจัย วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รุ่น JSM 5800LV ยี่ห้อ JEOL นำสารที่ได้จากการเผา ไปวางที่จับสารตัวอย่าง หลังจากนั้นทำการถ่ายภาพที่กำลังขยาย 800 เท่า และ 2,000 เท่า ซึ่งมีภาพถ่ายดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ภาพถ่ายที่กำลังขยาย 800 เท่า และ 2,000 เท่า ตามลำดับ

จากนั้นทำการวัดโดยเครื่อง XRD ยี่ห้อ Bruker เป็นรุ่น D8 Advance โดยใช้โปรแกรมฐานข้อมูลของ DIFFRAC<sup>plus</sup> Evaluation มีความยาวคลื่น  $K_{\alpha 1}$  เท่ากับ 1.5405 อังสตรอม ผู้วิจัยได้กำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นการวัด มุม  $2\theta$  เริ่มต้นจากมุม 10 องศาจนถึงมุม 90 องศา ใช้เวลาในการวัดแต่ละสารตัวอย่างตัวอย่างละ 1 ชั่วโมงโดยวัดที่อุณหภูมิห้องประมาณ  $25^{\circ}\text{C}$  ซึ่งจะได้กราฟของสเปกตรัม XRD จากการคำนวณและการทดลอง ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของสาร Y358



จากรูปที่ 6 พบว่า สาร Y358 มีค่าคงตัวของหน่วยเซลล์เป็น  $a = 3.83839$  อังสตรอม  $b = 3.88058$  อังสตรอม และ  $c = 31.12290$  อังสตรอม จากข้อมูลของสาร Y123 ที่มีค่าคงตัวของหน่วยเซลล์เป็น  $a = 3.81725$  อังสตรอม  $b = 3.88247$  อังสตรอม และ  $c = 11.67118$  อังสตรอม จะพบว่าสาร Y358 ที่ได้มีค่า  $a$  และ  $b$  ใกล้เคียงกันกับ Y123 แต่มีค่า  $c$  ประมาณ 2.67 เท่าของ Y123

## สรุปผลการทดลอง

สารตัวนำยวดยิ่ง Y358 ที่เตรียมได้มีความหนาแน่น 4.97 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร การศึกษาครั้งนี้แบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกศึกษาการกระจายของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ของชุดทดลองวัดสภาพต้านทาน ที่อุณหภูมิต่างๆ ในช่วง 77 เคลวิน ถึง 120 เคลวิน จากการทดลองได้เลือกเงื่อนไขที่เหมาะสม สำหรับการวัดอุณหภูมิวิกฤต โดยใส่กระแสให้สารตัวอย่าง 300 มิลลิแอมแปร์ กระแส Heater 1 แอมแปร์ และทราย 2.4 กิโลกรัม ซึ่งได้อุณหภูมิวิกฤต onset 93 เคลวิน ส่วนที่สอง ศึกษาสมบัติของสารตัวอย่างด้วยเครื่องมือมาตรฐาน คือ กล้องจุลทรรศน์แบบสแตอริโอ พบว่าการกระจายตัวของอนุภาคค่อนข้างสม่ำเสมอ มีรูพรุน ผิวหน้าไม่เรียบ จากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด พบว่า สารตัวอย่างมีเกรนประมาณ 20 ไมโครเมตร พื้นผิวของสารตัวอย่างไม่เรียบ ไม่สม่ำเสมอ และจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ พบว่า สารตัวอย่างมีโครงสร้างแบบออร์ทอโรมบิก (Orthorhombic) โดยมีค่าคงตัวของหน่วยเซลล์  $a = 3.83839$  อังสตรอม  $b = 3.88058$  อังสตรอม และ  $c = 31.12290$  อังสตรอม และมีสูตรทางเคมีเป็น  $Y_3Ba_5Cu_8O_x$

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ สำนักงานการอุดมศึกษาและหน่วยวิจัยฟิสิกส์ประสานมิตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

## เอกสารอ้างอิง

1. Buckel, W. 1991. Superconductivity. New York. VCH Publisher, Inc. p. 1-27.
2. Deaver, B.S., and Fairbank, W.M. 1961. Experimental Evidence for Quantized Flux in Superconducting Cylinders. *Physical Review Letter* 7(2): 43-53.
3. Bednorz, J.G., and Muller, K.A. 1986. Possible High  $T_c$  Superconductivity in the Ba-La-Cu-O System. *Zeitschrift fur Physik B* 64: 189-193.
4. Chu C.W., Hor P.H., Meng, R.L., Gao L., Huang Z.J., and Wang Q. 1987. Evidence for Superconductivity above 40 K in the La-Ba-Cu-O Compound System. *Physical Review Letters* 58(4): 405-407.
5. Kruaehong, T., Udomsamuthirun, P., Maneerattanakul, S., Nilkamjon, T., Ratreng, S., Neamhun, K.M. Siriwatthapong, M., and Aiyara, U. 2007. Preparation and Characterization on Y-Ba-CuO Superconductors. *Srinakharinwirot Science Journal* 23(2): 15-27.

6. Nilkamjon, T., Kruaehong, T., and Udomsamuthirun, P. 2009. Synthesis of Mixed  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-d}$  with  $\text{Y}_2\text{BaCuO}_5$  by Melt Processing. Commemorative International Conference of the Occasion of the 4<sup>th</sup> Cycle Anniversary of KMUTT Sustainable Development to Save the Earth: Technologies and Strategies Vision 2050: (SDSE2008). 7-9 April 2009. Bangkok, Thailand. p. 775-777.
7. Aliabadi, A., Farshchi, A., and Akhavan, M. 2009. A New Y-based HTSC with  $T_c$  above 100 K. *Physica C* 469: 2012-2014.
8. Udomsamuthirun, P., Kruaehong, T., Nilkamjon, T., and Ratreng, S. 2010. The New Superconductor of YBaCuO Materials. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism* 23: 1377-1380.
9. Friedberg, P. 2002. EECS143 Microfabrication Technology. Four-Point Probe Manual. 1-3. California University. Photocopied.

ได้รับบทความวันที่ 27 เมษายน 2555  
ยอมรับตีพิมพ์วันที่ 15 พฤศจิกายน 2555