

การศึกษาสมบัติทางแม่เหล็กของวัสดุนาโนคอมโพสิต Bacterial Cellulose/Fe₃O₄ เตรียมด้วยวิธีการ ตกตะกอนร่วมโดยใช้สารตั้งต้นที่แตกต่างกัน

Magnetic Properties of Bacterial Cellulose/Fe₃O₄ Nanocomposites Prepared by Co - Precipitation Method Using Difference in Reactants

มนทกานต์ จันทิวงศ์ (Monthakarn Chanthiwong)* ดร.สุปรีย์ พินิจสุนทร (Dr.Supree Pinitsoontorn)**

ดร.วิยะดา มงคลธนากรักษ์ (Dr.Wiyada Mongkolthanaruk)***

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์วัสดุนาโนคอมโพสิตระหว่างแบคทีเรียเซลลูโลสกับเหล็กออกไซด์ ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วมโดยใช้สารตั้งต้นที่แตกต่างกัน 5 ชนิด ได้แก่ FeCl₂, FeCl₃, FeSO₄, Fe(NO₃)₃ และ Fe(C₂H₃O₂)₂ โดยอาศัยปฏิกิริยารวมตัวกันระหว่างเฟอร์รัส (Fe²⁺) และเฟอร์ริก (Fe³⁺) ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน ซึ่งสังเคราะห์ได้ทั้งหมด 6 ตัวอย่าง พบว่าวัสดุนาโนคอมโพสิตที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะอนุภาคค่อนข้างกลมและมีขนาดต่ำกว่า 100 นาโนเมตร จากการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของอนุภาคด้วยเทคนิค XRD และ XANES พบว่าอนุภาคที่ได้จากการสังเคราะห์ทั้ง 6 ตัวอย่างเป็นเหล็กออกไซด์ชนิดแมกนีไทต์ (Fe₃O₄) และมีเหล็กออกไซด์ชนิดแมกนีไมต์ (γ-Fe₂O₃) รวมอยู่ด้วยและจากการวิเคราะห์สมบัติทางแม่เหล็กด้วยเทคนิค VSM พบว่าอนุภาคทั้งหมดแสดงสมบัติแม่เหล็กแบบซูเปอร์พาราวัสดุนาโนคอมโพสิตที่สังเคราะห์ได้จากสารตั้งต้นระหว่าง FeSO₄ กับ FeCl₃ ให้ค่าแมกนีไทเซชันสูงสุดที่ 55.20 emu/g ตัวอย่างที่สังเคราะห์จากสารตั้งต้นต่างชนิดส่งผลต่อค่าแมกนีไทเซชันลดลง

ABSTRACT

In this research, the bacterial cellulose /Fe₃O₄ nanocomposite materials were synthesized by the co-precipitation method using 5 different reactants; FeCl₂, FeCl₃, FeSO₄, Fe (NO₃)₃, and Fe (C₂H₃O₂)₂, based on the aggregate reactions between ferrous (Fe²⁺) and ferric (Fe³⁺) ions under argon atmosphere. The total of 6 samples were synthesized. It was found that the synthesized nanocomposite material showed relatively round particles size with the diameter less than 100 nanometers. Based on the analysis of the phase and structure of the particles by XRD and XANES techniques, it was found that all samples were the mixture between magnetite (Fe₃O₄) and hematite (γ-Fe₂O₃) phase. By VSM technique, all samples showed superparamagnetic properties. The nanocomposite materials synthesized from FeSO₄ and FeCl₃ possessed the highest magnetization value of 55.20 emu/g. The samples synthesized from other different reactants showed the lower magnetization value.

คำสำคัญ: แบคทีเรียเซลลูโลส นาโนคอมโพสิต เหล็กออกไซด์

Keywords: Bacterial cellulose, Nanocomposite, Iron oxide

* นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวัสดุศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาวัสดุศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

*** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

แบคทีเรียเซลลูโลส (Bacterial cellulose : BC) เป็นชีววัสดุธรรมชาติที่ได้รับความสนใจและศึกษากันอย่างแพร่หลาย ผลิตจากแบคทีเรีย *Gluconacetobacter xylinum* ประกอบด้วยเส้นใยขนาดเล็กเป็นจำนวนมากมาเชื่อมต่อกันเป็นโครงข่าย 3 มิติ (Chang and Zhang, 2011) มีขนาดเล็กกว่าเส้นใยของพืชและเส้นใยสังเคราะห์ประมาณ 10 – 10,000 และ 100 เท่า ตามลำดับ มีความบริสุทธิ์สูงกว่าเซลลูโลสที่ได้จากพืช สามารถดูดซับน้ำได้ดี มีค่าความต้านทานการดึงขาด ความยืดหยุ่นและอุณหภูมิในการหลอมเหลวสูง (บุปผาชาติ, 2555) มีความสามารถในการละลายต่ำ สามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติ ด้วยสมบัติดังกล่าว ปัจจุบันจึงมีการนำแบคทีเรียเซลลูโลสไปประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลาย ทั้งในด้านอุตสาหกรรม เช่น การใช้แบคทีเรียเซลลูโลสในการดูดซับสารพิษจำพวกโลหะหนักจากแหล่งน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม หรือในด้านการแพทย์ โดยการใช้รักษาผู้ป่วยที่มีบาดแผลจากการโดนไฟไหม้ เนื่องจากสมบัติการดูดซับน้ำที่ดีของแบคทีเรียเซลลูโลส อีกทั้งไม่มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตซึ่งไม่ก่อให้เกิดความระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อภายในร่างกายจึงถูกนำไปสังเคราะห์ห่อหุ้มห่อหุ้มต่างๆ เช่น หลอดเลือดเทียม ผิวหนังเทียม เป็นต้น (Nathan and Paul, 2011)

วัสดุแม่เหล็กที่มีขนาดในระดับนาโนเมตรเป็นวัสดุที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีสมบัติเป็นแม่เหล็กแบบซูเปอร์พารา (Superparamagnetic) (ธีระพงษ์, 2556) ซึ่งเป็นสมบัติแม่เหล็กที่ไม่เสถียร ไม่มีอำนาจแม่เหล็กตกค้าง และมีขนาดเล็กมากในระดับนาโนเมตร เช่น แมกนีไทต์ โคลบอลต์ และนิเกิล โดยอนุภาคโคลบอลต์เป็นอนุภาคที่มีความเป็นแม่เหล็กสูงแต่สามารถเกิดออกซิไดซ์กับออกซิเจนในอากาศได้ง่าย เกิดเป็นโคลบอลต์ออกไซด์ซึ่งไม่มีสมบัติความเป็นแม่เหล็กเลย แต่อนุภาคแมกนีไทต์ (Fe_3O_4) ซึ่งมีค่าความเป็นแม่เหล็กที่ต่ำกว่าอนุภาคโคลบอลต์มีความเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานมากกว่า เนื่องจากอนุภาคแมกนีไทต์มักอยู่ในรูปออกไซด์ของเหล็ก ดังนั้นแม่เหล็กจะถูกออกซิไดซ์กับออกซิเจนเกิดเป็นอนุภาคแมกนีไทต์ ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) ก็ยังคงสมบัติความเป็นแม่เหล็กอยู่

จากสมบัติของแบคทีเรียเซลลูโลสและสมบัติทางแม่เหล็กของอนุภาคแมกนีไทต์ ดังกล่าวข้างต้น ก่อให้เกิดแนวคิดที่จะนำสมบัติที่น่าสนใจของแบคทีเรียเซลลูโลสในด้านความยืดหยุ่น มีความพรุนและพื้นที่ผิวสูง (Sergio, 2014) มาศึกษาเกี่ยวกับการสังเคราะห์อนุภาคแมกนีไทต์ให้อยู่ในโครงข่ายนาโนของแบคทีเรียเซลลูโลส ซึ่งเปรียบเสมือนการทำให้อนุภาคแมกนีไทต์ยึดเกาะที่บริเวณพื้นผิวของเส้นใยของแบคทีเรียเซลลูโลส เพื่อป้องกันการรวมกลุ่มกันของอนุภาคแมกนีไทต์ และช่วยลดอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคแม่เหล็ก ซึ่งจะทำให้มีสมบัติทางแม่เหล็กที่ดีขึ้น และเนื่องจากอนุภาคแมกนีไทต์ (Fe_3O_4) เกิดจากการรวมตัวกันระหว่างเฟอร์รัส (Fe^{2+}) และเฟอร์ริก (Fe^{3+}) (ฐิติรัตน์, 2556) ซึ่งสามารถเตรียมได้จากวิธีการตกตะกอนร่วม (co - precipitation) ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวก ประหยัดค่าใช้จ่าย สามารถสังเคราะห์อนุภาคได้ในปริมาณมากและใช้เวลาสั้น (สุนัน, 2559) จึงมีแนวคิดในการใช้สารตั้งต้นที่แตกต่างกันในการสังเคราะห์อนุภาคแมกนีไทต์ เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางแม่เหล็กของวัสดุคอมโพสิต $\text{BC/Fe}_3\text{O}_4$ ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้สารตั้งต้นต่างกัน

วัตถุประสงค์การวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบสมบัติทางแม่เหล็กของวัสดุนาโนคอมโพสิต $\text{BC/Fe}_3\text{O}_4$ ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วมโดยใช้สารตั้งต้นที่แตกต่างกัน

วิธีการวิจัย

การดำเนินการวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก คือ

1. การเตรียมแบคทีเรียเซลล์โลส
2. การสังเคราะห์วัสดุนาโนคอมโพสิต BC/Fe₃O₄ โดยการใช้สารตั้งต้นแตกต่างกันด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม
3. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ซึ่งแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมเซลล์โลสจากแบคทีเรีย

ในงานวิจัยนี้จะเตรียมเซลล์โลสจากการเลี้ยงแบคทีเรีย *Gluconacetobacter xylinum* ในขวดแก้วขนาด 120 ลูกบาศก์มิลลิเมตร โดยใช้สูตรอาหาร Glucose Yeast Extract Broth (GYEB) เป็นเวลา 14 วัน ที่อุณหภูมิ 30 °C เพื่อให้ได้แบคทีเรียเซลล์โลสที่มีสมบัติและขนาดใกล้เคียงกัน จากนั้นนำแบคทีเรียเซลล์โลสที่เตรียมได้ไปทำให้แห้งโดยการแช่แข็ง (Freeze dried)

ขั้นตอนที่ 2 การสังเคราะห์วัสดุนาโนคอมโพสิต BC/Fe₃O₄

นำแบคทีเรียเซลล์โลสแช่ในสารละลายเหล็กออกไซด์ ที่ได้จากการสมการการเกิดปฏิกิริยาตารางที่ 1 ซึ่งเกิดจากการเตรียมเหล็กเฟอร์รัส (Fe²⁺) และเฟอร์ริก (Fe³⁺) ด้วยอัตราส่วนโมลเท่ากับ 1:2 เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง และนำไปใส่แก๊สออกซิเจนออกจากปฏิกิริยาด้วยแก๊สอาร์กอนเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำไปตกตะกอนร่วมโดยการเติมสารละลายแอมโมเนีย (NH₄) และนำไปล้างด้วยน้ำ DI หลายๆ ครั้ง จนกระทั่งมีความเป็นกลาง หลังจากนั้นนำ BC/Fe₃O₄ ที่เตรียมได้ไปอบที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 1 คืน

ตารางที่ 1 สมการการเกิดปฏิกิริยาเคมีของอนุภาคนาโนเหล็กออกไซด์

สมการการเกิดปฏิกิริยาเคมี		สัญลักษณ์
FeCl ₂ + 2FeCl ₃ + 8NH ₄ OH	→ Fe ₃ O ₄ + 8NH ₄ Cl + 4H ₂ O	CC
FeSO ₄ + 2FeCl ₃ + 8NH ₄ OH	→ Fe ₃ O ₄ + 6NH ₄ Cl + (NH ₄) ₂ SO ₄ + 4H ₂ O	SC
FeSO ₄ + 2Fe(NO ₃) ₃ + 8NH ₄ OH	→ Fe ₃ O ₄ + 6NH ₄ NO ₃ + (NH ₄) ₂ SO ₄ + 4H ₂ O	SN
FeCl ₂ + 2Fe(NO ₃) ₃ + 8NH ₄ OH	→ Fe ₃ O ₄ + 6NH ₄ NO ₃ + 2NH ₄ Cl + 4H ₂ O	CN
Fe(C ₂ H ₃ O ₂) ₂ + 2FeCl ₃ + 8NH ₄ OH	→ Fe ₃ O ₄ + 6NH ₄ Cl + 2NH ₄ (C ₂ H ₃ O ₂) + 4H ₂ O	AC
Fe(C ₂ H ₃ O ₂) ₂ + 2Fe(NO ₃) ₃ + 8NH ₄ OH	→ Fe ₃ O ₄ + 6NH ₄ NO ₃ + 2NH ₄ (C ₂ H ₃ O ₂) + 4H ₂ O	AN

ขั้นตอนที่ 3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

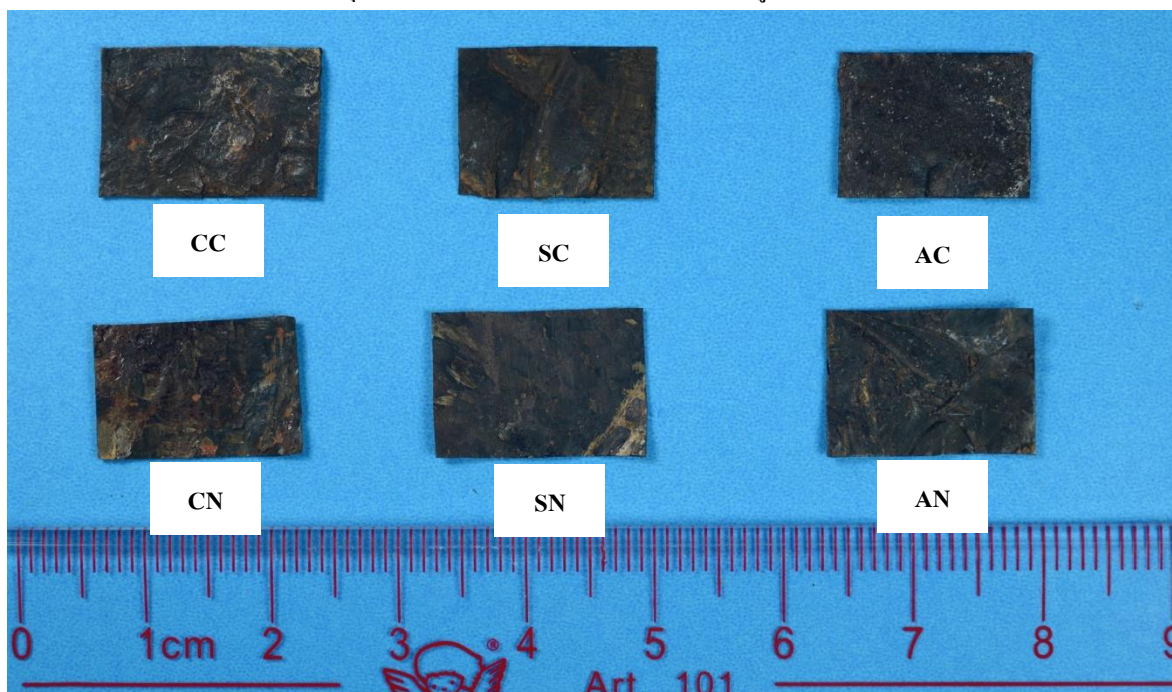
ตัวอย่างที่เตรียมได้จากการทดลองทั้งหมดจะนำไปวัดผลด้วยเทคนิคต่าง ๆ ประกอบด้วย

1. Scanning Electron Microscope (SEM) รุ่น FIB FEI เพื่อศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของอนุภาคนาโนเหล็กออกไซด์ที่เกาะอยู่บนเส้นใยแบคทีเรียเซลล์โลส
2. X-ray Diffraction (XRD) ยี่ห้อ PANalytical รุ่น EMPYREAN เพื่อศึกษาองค์ประกอบของอนุภาคนาโนเหล็กออกไซด์
3. X-ray Absorption Spectroscopy (XAS) ที่สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (BI 1.1W) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เพื่อศึกษาสถานะออกซิเดชัน (Oxidation State) ของอนุภาคนาโนเหล็กออกไซด์

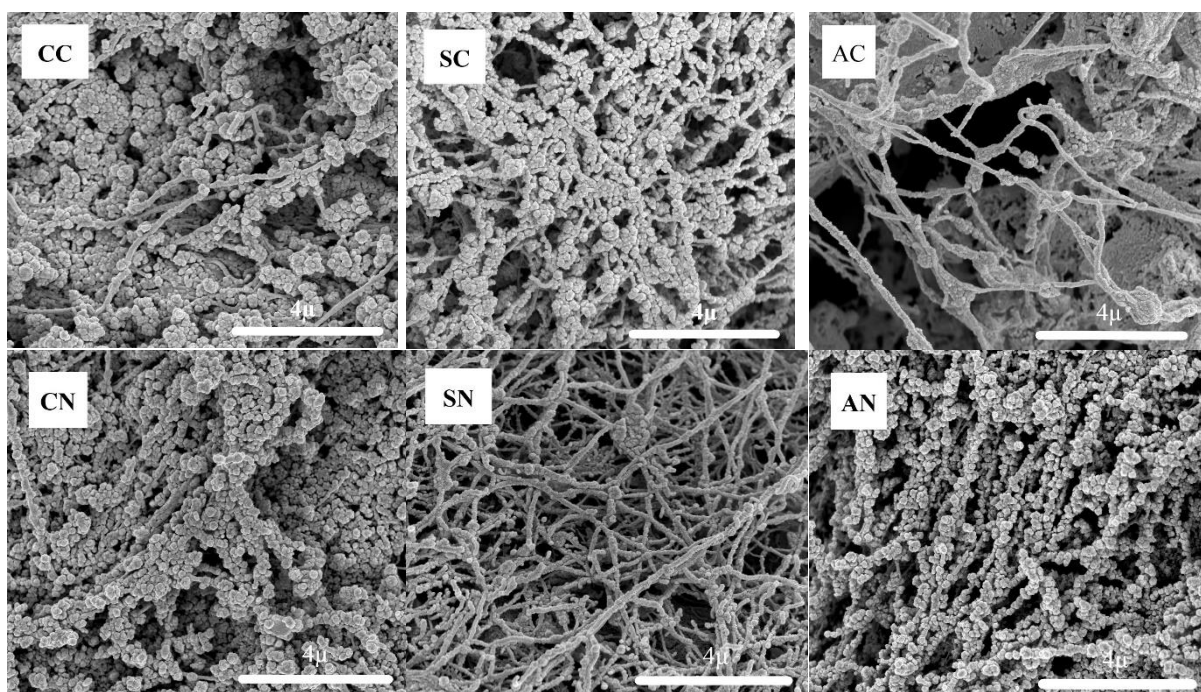
4. Vibrating Sample Magnetometer (VSM) เพื่อศึกษาสมบัติทางแม่เหล็กของอนุภาคเหล็กออกไซด์ ผลการวิจัย

1. การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา

จากการสังเกตรายละเอียดของแผ่นวัสดุคาร์บอนคอมโพสิต BC/Fe₃O₄ ที่เตรียมได้จากวิธีการตกตะกอนร่วมโดยใช้สารตั้งต้นที่แตกต่างกัน ทั้งหมด 6 ตัวอย่าง พบว่ามีลักษณะเป็นแผ่นสีดำ ดังภาพที่ 1 เมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าอนุภาคมีลักษณะค่อนข้างกลมและมีขนาดอยู่ในช่วง 50 - 100 นาโนเมตร ดังภาพที่ 2



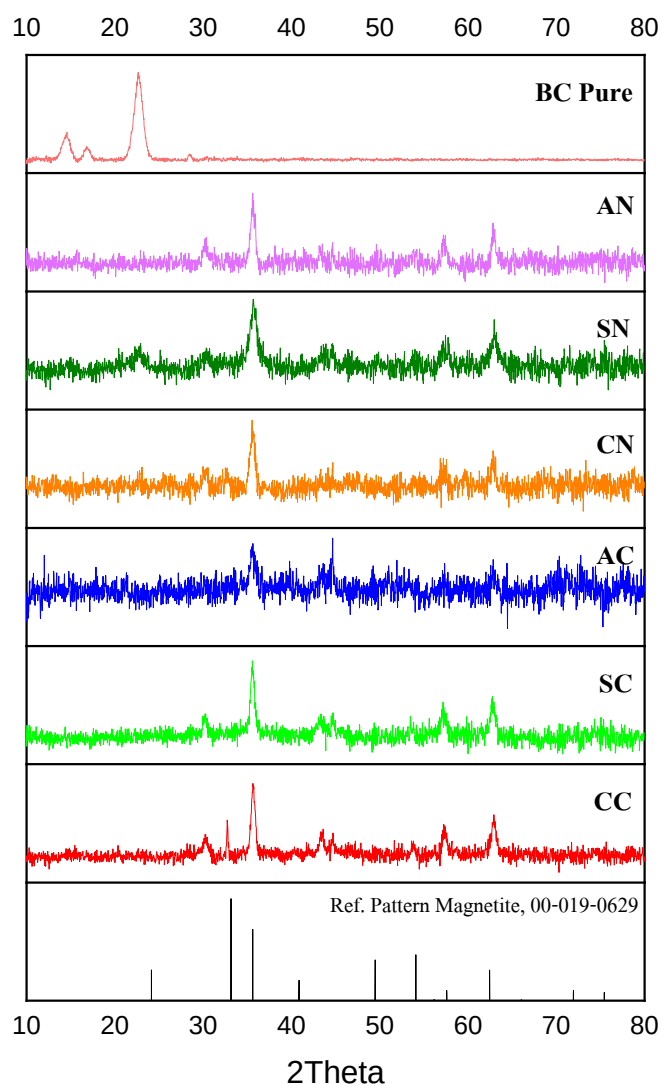
ภาพที่ 1 วัสดุคาร์บอนคอมโพสิต BC/Fe₃O₄ ที่เตรียมจากสารตั้งต้นที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 2 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของตัวอย่าง CC, SC, AC, CN, SN และ AN ตามลำดับ

2. ลักษณะโครงสร้าง

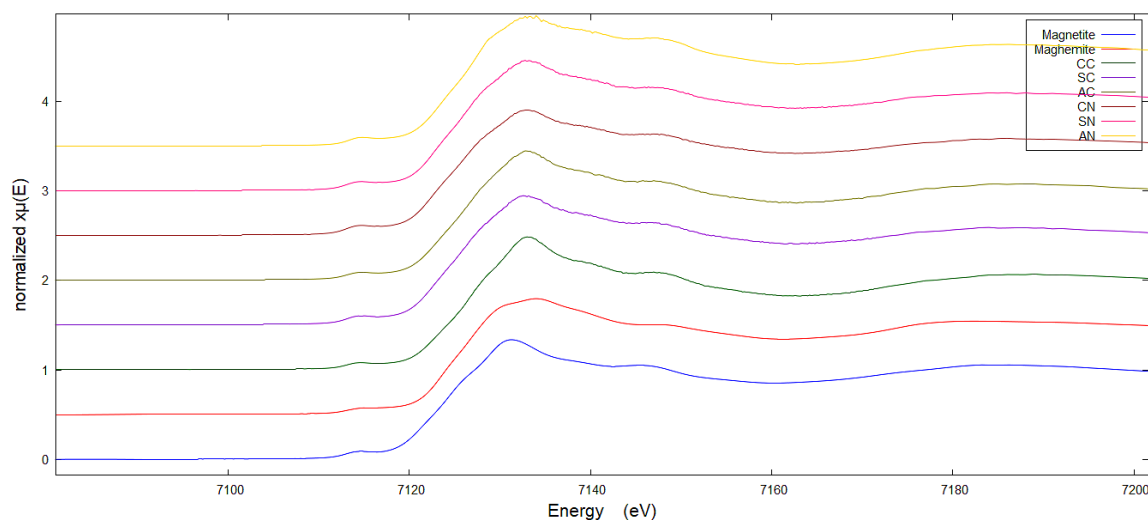
องค์ประกอบของอนุภาคเหล็กออกไซด์ที่เตรียมจากวิธีการตกตะกอนร่วมโดยใช้สารตั้งต้นที่แตกต่างกัน ศึกษาด้วยเทคนิค XRD ที่มีความยาวคลื่น 1.54 อังสตรอม วัดในช่วงมุม 2θ ตั้งแต่ 10 ถึง 80 องศา ได้ผลดังภาพที่ 3 พบว่าที่ตำแหน่ง 30.2° , 35.6° , 43.3° , 57.3° และ 62.9° ตรงกับตำแหน่งพีคตรงกับระนาบ (220), (311), (400), (422), (511) และ (440) ซึ่งสอดคล้องกับรูปแบบ XRD มาตรฐาน International Centre for Diffraction Data (ICDD) หมายเลข 019-0629 ของเหล็กออกไซด์ชนิดแมกนีไทต์ (Fe_3O_4) ที่มีโครงสร้างผลึกในระบบลูกบาศก์ (Cubic) เมื่อคำนวณหาค่าแลตทิซพารามิเตอร์ (lattice parameter) ได้ค่าพารามิเตอร์เท่ากับ 8.242 – 8.348 อังสตรอม



ภาพที่ 3 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของวัสดุนาโนคอมโพสิต BC/ Fe_3O_4 ที่สังเคราะห์จากสารตั้งต้นที่แตกต่างกัน เปรียบเทียบกับระนาบผลึกของอนุภาคแมกนีไทต์ตามมาตรฐาน ICDD

จากการศึกษายังพบว่าอนุภาคเหล็กแมกนีไทต์ ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) มีโครงสร้างผลึกใกล้เคียงกับอนุภาคเหล็กแมกนีไทต์ โดยมียอดพีคในระนาบ (213), (210) และ (113) เพิ่มเติม ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าจะมีอนุภาคแมกนีไทต์ผสมอยู่ด้วย ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการดูดกลืนรังสีเอกซ์ (X-ray Absorption Spectroscopy; XAS) เพื่อศึกษาโครงสร้าง

ของสารตัวอย่างในระดับอะตอม แสดงดังภาพที่ 4 และเมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี linear combination fitting ด้วยโปรแกรม Athena: XAS Data Processing แสดงดังตารางที่ 2

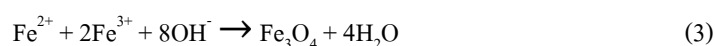


ภาพที่ 4 สเปกตรัม XANES ของวัสดุนาโนคอมโพสิต BC/Fe₃O₄ ที่สังเคราะห์จากสารตั้งต้นที่แตกต่างกัน

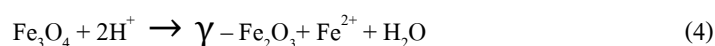
ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคแม่เหล็กจากเทคนิค XAS

Samples	Weight (%)		
	FeO	γ-Fe ₂ O ₃	Fe ₃ O ₄
CC	0.000	0.883	0.117
SC	0.000	0.491	0.509
AC	0.000	0.662	0.338
CN	0.000	0.443	0.557
SN	0.000	0.568	0.432
AN	0.000	0.670	0.330

จากตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณของอนุภาคแม่เหล็กจากเทคนิค XAS พบว่าตัวอย่าง CC, AC, SN และ AN มีปริมาณของอนุภาคเหล็กแมกนีไทต์มากกว่าอนุภาคแมกนีไทต์ เป็นผลมาจากกระบวนการสังเคราะห์อนุภาค ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม ซึ่งเป็นไปตามกระบวนการทางอุณหพลศาสตร์ของปฏิกิริยา ทำให้เกิดอนุภาคแมกนีไทต์ (Fe₃O₄) ภายใต้สภาวะไม่มีออกซิเจน ดังสมการ

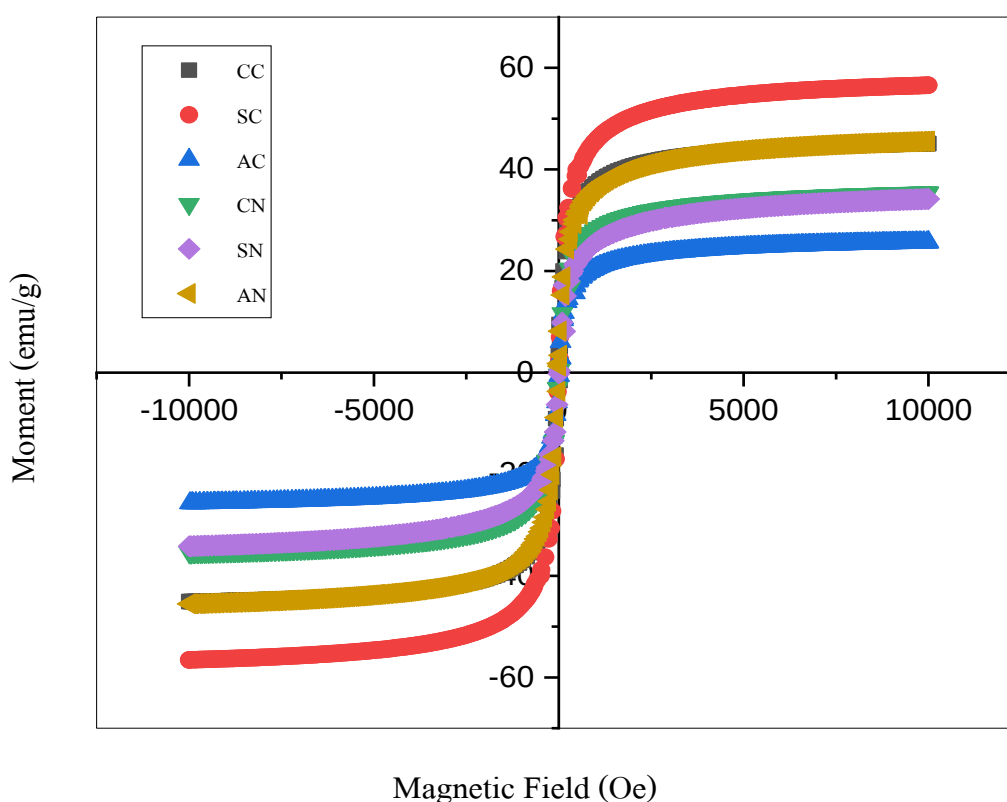


อย่างไรก็ตามอนุภาคแมกนีไทต์สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายในสภาวะที่มีออกซิเจนหรือสภาวะที่เป็นกรดทำให้ได้อนุภาคแมกนีไทต์ (γ-Fe₂O₃) เป็นสารผลิตภัณฑ์ (Michel and Jeff, 2007) ดังสมการ



3. สมบัติทางแม่เหล็ก

จากการวิเคราะห์สมบัติทางแม่เหล็กด้วยเครื่อง VSM พบว่าวัสดุนาโนคอมโพสิต BC/Fe₃O₄ ที่สังเคราะห์ได้จากสารตั้งต้นที่แตกต่างกันแสดงสมบัติแม่เหล็กแบบซูเปอร์พาราแมกเนติก โดยค่าแมกนีไทเซชันเพิ่มขึ้นตามสนามแม่เหล็กภายนอกอย่างรวดเร็วในช่วงแรก และไม่แสดงวงฮิสเทอรีซิสลูปเชิงแม่เหล็ก และเข้าสู่ภาวะแม่เหล็กอิ่มตัวในช่วง 10,000 Oe โดยสำหรับตัวอย่าง SC ที่ได้จากการสังเคราะห์ระหว่าง FeSO₄ กับ FeCl₃ มีค่าแมกนีไทเซชันอิ่มตัวเท่ากับ 55.20 emu/g ซึ่งมีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ และเมื่อเปลี่ยนสารตั้งต้นเป็นสารอื่นส่งผลให้ค่าแมกนีไทเซชันเปลี่ยนแปลงไป จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD พบว่าตัวอย่าง AC ที่ได้จากการสังเคราะห์ระหว่าง Fe(C₂H₃O₂)₂ กับ FeCl₃ มี %Intensity ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ จึงส่งผลให้มีค่าแมกนีไทเซชันต่ำสุด แสดงดังตารางที่ 3



ภาพที่ 5 สมบัติแม่เหล็กของวัสดุนาโนคอมโพสิต BC/Fe₃O₄ ที่สังเคราะห์ได้ทั้ง 6 ตัวอย่าง

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบค่าแมกนีไทเซชันจากเทคนิค VSM

ตัวอย่าง	ค่าแมกนีไทเซชัน (emu/g)
CC	42.38
SC	55.20
AC	26.21
CN	35.73
SN	34.84
AN	41.41

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นศึกษาเปรียบเทียบสมบัติแม่เหล็กของการวัดสัณฐานนาโนคอมโพสิต BC/Fe_3O_4 ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วมจากสารตั้งต้นที่แตกต่างกัน ทั้งหมด 6 ตัวอย่าง ได้แก่ CC ($FeCl_2 + 2FeCl_3$), SC ($FeSO_4 + 2FeCl_3$), SN ($FeSO_4 + 2Fe(NO_3)_3$), CN ($FeCl_2 + 2Fe(NO_3)_3$), AC ($Fe(C_2H_3O_2)_2 + 2FeCl_3$) และ AN ($Fe(C_2H_3O_2)_2 + 2Fe(NO_3)_3$) โดยสังเคราะห์ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน วัดสัณฐานนาโนคอมโพสิต BC/Fe_3O_4 ที่สังเคราะห์ได้นำไปวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยา ลักษณะโครงสร้างและสมบัติแม่เหล็ก ด้วยเทคนิค SEM XRD XAS และ VSM

ผลการวิเคราะห์พบว่าอนุภาคเหล็กออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ มีรูปร่างค่อนข้างกลมและมีขนาดต่ำกว่า 100 นาโนเมตร จากการวิเคราะห์โครงสร้างของอนุภาคด้วยเทคนิค XRD พบว่าอนุภาคที่ได้เป็นเหล็กออกไซด์ชนิดแมกนีไทต์ (Fe_3O_4) แต่มีเหล็กออกไซด์ชนิดแมกนีไทต์ ($\gamma - Fe_2O_3$) รวมด้วย ขึ้นขึ้นด้วยการวิเคราะห์ XANES ให้ผลสอดคล้องกับ XRD และจากการวิเคราะห์สมบัติแม่เหล็กพบว่าแสดงสมบัติแม่เหล็กแบบซูเปอร์พารา โดยอนุภาคที่สังเคราะห์จากสารตั้งต้นระหว่าง $FeSO_4$ กับ $FeCl_3$ ให้ค่าแมกนีไทเซชันสูงสุดที่ 55.20 emu/g แต่เมื่อเปลี่ยนชนิดของสารตั้งต้นจะส่งผลให้ค่าแมกนีไทเซชันลดลง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนวิจัยสำหรับคณาจารย์บัณฑิตศึกษาเพื่อให้สามารถรับนักศึกษาที่มีความสามารถ ๑ ประจำปีการศึกษา 2559 ที่ได้มอบทุนการศึกษาและทุนสำหรับงานวิจัย This work was supported by the Thailand Research Fund (TRF) in cooperation with Khon Kaen University (RSA5980014), and the Institute of Nanomaterials research and Innovation for Energy (IN-RIE), Khon Kaen University and the National Nanotechnology Center (NANOTEC), NSTDA, Ministry of Science and Technology, Thailand, through its program of Research Network NANOTEC (RNN)

เอกสารอ้างอิง

- ฐิติรัตน์ เจริญตา. การเตรียมและศึกษาลักษณะของอนุภาคนาโนแม่เหล็กสำหรับงานด้านไฮเปอร์เทอร์เมีย. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์; 2556.
- ธีระพงษ์ พวงมะลิ. การนำส่งยาด้วยอนุภาคนาโนแม่เหล็ก: กระสุนจิ๋วพิชิตมะเร็ง. วารสารวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 41(3) 607-620; 2556.
- บุปผชาติ ชัยคันโท, คมกฤต เล็กสกุล, มลทิรา ติ่งบุญธง, วลัยลักษณ์ ไชยสกุล. การศึกษาคุณสมบัติของเซลล์ูโลสแบบที่เรียบเพื่อการผลิตกระดาษย่อยสลายได้ Properties of Bacterial Cellulose for Producing Biodegradable Pots. สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2555
- สุนัน หนองเหล็ก. โครงสร้าง สมบัติเชิงแสงและแม่เหล็กของอนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์เจือ ระหว่าง Fe และ Pr. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์; 2559.
- A.S. Teja, P.-Y. Koh. Synthesis, properties, and applications of magnetic iron oxide nanoparticles. Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials 55. 22e45; 2009.
- Chunyu Chang and Lina Zhang. Carbohydrate Polymers, 84, p. 40-53; 2011
- Michel M. J. Modo and Jeff W. M. Bulte., Molecular and Cellular MR Imaging, RC78.7N83M65, p. 61; 2007
- Nathan Petersen and Paul Gatenholm., Appl Microbiol Biotechnol, 91, p.1277-1286; 2011
- Sergio I. Controlling size and magnetic properties of Fe_3O_4 clusters in solvothermal process. Advances in Nano Research, Vol. 2, No. 4, 187-198; 2014