

การสังเคราะห์สีผงเซรามิกสีน้ำตาล สะท้อนรังสีอินฟราเรดใกล้ $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$

The synthesis of near-infrared reflective brown ceramic pigment of $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$

10

พัฒนารักความสุข^{1*} สิทธิสุนทร สุโพธิณะ² ลดา พันธุ์สุขุมธนา³ ธีรศักดิ์ ตั้งกิตติมงคล¹
Pattana Rakkwamsuk^{1*}, Sitthisuntorn Supothina², Lada Pansukhumthana³,
Teerasak Tangkittimasak¹

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการสังเคราะห์สีผงเซรามิกสีน้ำตาลด้วยปฏิกิริยาสถานะของแข็ง (Solid state reaction) จากซิงค์เฟอร์ไรต์ (Zinc ferrite) ที่เจือด้วยแมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium oxide) เพื่อเกิดเป็นผงสีสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อน (Complex inorganic compound pigment, CICP) $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ ที่ให้สีน้ำตาลและมีความสามารถในการสะท้อนรังสีอาทิตย์ช่วงอินฟราเรดใกล้ (Near infrared) ผงสีที่สังเคราะห์ได้สามารถประกอบเป็นผลิตภัณฑ์สีทาอาคารเพื่อสะท้อนรังสีอาทิตย์และลดปริมาณความร้อนที่สะสมบนแผ่นหลังคา ส่งผลต่อการประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศ และช่วยเพิ่มสภาพสบายเชิงอุณหภูมิ (Thermal comfort) ภายในอาคาร

การสังเคราะห์สีทำโดยการบดผสม ZnO , Fe_2O_3 และ MgO ที่สัดส่วนต่าง ๆ เพื่อเกิดปฏิกิริยาเป็นสารประกอบอินทรีย์ $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ โดยมีการแปรค่า x ระหว่าง 0 ถึง 1 และถูกเผาที่อุณหภูมิ 1,000, 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส แล้วนำมาล้าง อบ และบดจนได้เป็นผงสีเซรามิกสีน้ำตาล สีของผงสีซึ่งคำนวณจากระบบ $\text{CIE L}^* a^* b^*$ ไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่ออุณหภูมิเผาเปลี่ยนแปลง แต่แปรเปลี่ยนมากตามค่า x หรือ ตามปริมาณ MgO ที่เจือ และพบว่า สีจะเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเป็นสีน้ำตาลแดง เมื่อ x มีค่าเพิ่มขึ้น

เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ พบว่าผงสีเซรามิกสีน้ำตาลที่มีสูตรสารประกอบ $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ มีความสามารถในการสะท้อนรังสีอาทิตย์ช่วงอินฟราเรดใกล้ได้ดี โดยค่าการสะท้อนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ x มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งจากชุดตัวอย่างทั้งหมดพบว่า $\text{Zn}_{0.2}\text{Mg}_{0.8}\text{Fe}_2\text{O}_4$ เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1,000 °C จะได้ผงสีน้ำตาลที่มีค่าการสะท้อนรังสีอินฟราเรดใกล้สูงสุด เท่ากับ 72.9 %

Abstract

This paper presents the research and development of brown ceramic pigment synthesized by solid-state reaction of Zinc Ferrite doped with Magnesium oxide that formed complex inorganic compound pigment (CICP) of $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$. The pigment offered shades of brown and high reflectivity in the near-infrared (NIR) region. The pigment can be used as a vehicle for a high solar reflective coating that reduces heat absorbed by building structures, promotes energy conservation in an air-conditioning system, and enhance human thermal comfort in the building.

The synthesis was performed by ball-milling raw materials composed of ZnO , Fe_2O_3 and MgO at various compositions to reactively form $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ in the calcination process at 1,000, 1,100 and 1,200 °C, where x was varied between 0 and 1. The calcined compound was then washed, oven-dried and ground, that yielded powdered pigment with the shade of brown. The color of pigment, measured and computed in compliance with $\text{CIE L}^* a^* b^*$, did not alter as the calcining temperature changed but varied significantly with x . As x increased, the color changed from brown to red brown.

The brown pigment possessed high solar reflectance in the NIR region. Its reflectance increased with x . It was found that the pigment synthesized with $x = 0.8$, $\text{Zn}_{0.2}\text{Mg}_{0.8}\text{Fe}_2\text{O}_4$, and calcined at 1,000 °C offered the highest NIR reflectance at 72.9 %

คำสำคัญ: ผงสีน้ำตาล ผงสีสะท้อนรังสีอาทิตย์ ผงสีสะท้อนรังสีอินฟราเรดใกล้ สารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อน

Keywords: Brown pigment, Solar reflective pigment, Near-infrared reflective pigment, Complex inorganic compound pigment (CICP)

¹คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

²ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

³กรมวิทยาศาสตร์บริการ

*e-mail address: pattana.rak@kmutt.ac.th

*Corresponding author e-mail address: pattana.rak@kmutt.ac.th

1. บทนำ (Introduction)

ในภูมิประเทศที่มีความเข้มรังสีอาทิตย์สูง เช่นประเทศที่อยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร อาคารและที่พักอาศัยต่าง ๆ จะสิ้นเปลืองพลังงานไปกับการปรับอากาศซึ่งอาจมีสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 50 -60 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดในอาคาร [1] แนวทางการลดการใช้พลังงานอาจทำได้หลายวิธี แต่การใช้วัสดุเปลือกอาคารที่มีความสามารถในการสะท้อนรังสีอาทิตย์ได้รับการพิสูจน์ว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง เพราะลดการสะสมความร้อนภายในโครงสร้างอาคาร ส่งผลโดยตรงต่อการลดการใช้พลังงานกับการปรับอากาศ [2 - 4] เป็นประโยชน์โดยตรงต่อการอนุรักษ์พลังงาน และลดปัญหาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เป็นสาเหตุสำคัญของปัญหามลภาวะของโลกเปลี่ยนแปลง

จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า เปลือกอาคารที่เคลือบด้วยสีที่มีค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ (Solar reflectance) ได้ถึง 94% สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ไม่น้อยกว่า 20% [5] สีดังกล่าวส่วนใหญ่เป็นสีในกลุ่มโทนสีอ่อน ซึ่งอาจจะไม่ตอบสนองความพึงพอใจของเจ้าของอาคาร อย่างไรก็ตาม การใช้สีโทนเข้มทั่วไปจะมีค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์น้อยกว่าหรือมีการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ในปริมาณมากกว่า [6] ดังนั้นโจทย์สำคัญของสีสะท้อนรังสีอาทิตย์จึงได้แก่ การที่สียังคงให้สีสันในโทนสีต่าง ๆ ได้ แต่ยังคงมีความสามารถในการสะท้อนรังสีอาทิตย์ในย่านรังสีอินฟราเรดใกล้ (Near infrared) ได้ดี

บทความนี้นำเสนอผลงานวิจัยและพัฒนาผงสีสีน้ำตาลที่สามารถสะท้อนรังสีอาทิตย์ช่วงอินฟราเรดใกล้ (NIR) ได้ดี งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาผงสีเซรามิกสีน้ำตาลจากออกไซด์ต่าง ๆ โดยใช้สูตรสารประกอบต่าง ๆ [7-9] อาทิเช่น $Yb_6Mo_{2-x}M_xO_{15-5x}$, $Cr_xSb_xTi_{1-2x}O_2$ เป็นต้น ผงสีสีน้ำตาลที่ผลิตได้ก็มีค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่แตกต่างกันออกไปตามสัดส่วนและอุณหภูมิในการเผา

สำหรับงานวิจัยนี้จะเป็นการสังเคราะห์สีผงเซรามิกสีน้ำตาลด้วยปฏิกิริยาสถานะของแข็ง (Solid state reaction) จาก ซิงค์เฟอร์ไรท์ แต่จะมีการเจือด้วยแมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium oxide) เพื่อเกิดเป็นสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อน (Complex inorganic compound pigment, CICP) $Zn_{1-x}Mg_xFe_2O_4$ ที่ให้สีน้ำตาลและมีความสามารถในการสะท้อนรังสีอาทิตย์ช่วงอินฟราเรดใกล้

2. วิธีการวิจัย (Experimental methods)

2.1 ขั้นตอนการเตรียมผงสีสีน้ำตาล

การสังเคราะห์ผงสีสีน้ำตาลในงานวิจัยนี้ ทำโดยการบดผสม Zinc oxide (99.9%, Sigma-Aldrich) และ iron(III) oxide (99%, Fluka) เพื่อเป็นวัตถุดิบฐาน (Based raw material) และมีการลดปริมาณ Zinc oxide ด้วยการแทนที่ด้วย Magnesium oxide (98%, Fluka) ในปริมาณต่าง ๆ กัน เพื่อทำให้เกิดสารประกอบ $Zn_{1-x}Mg_xFe_2O_4$ ตามแผนการเตรียมตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 1 แล้วจึงนำสารประกอบแต่ละสูตรผสมทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,000 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส ด้วยเตาเผา (Modu Temp รุ่น SC96BV-N) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ใช้อัตราเพิ่มอุณหภูมิเตาเผาที่ 5 °C/นาที จากนั้นนำไปบดละเอียด ด้วยเครื่อง Planetary Ball Mill (Retsch รุ่น PM200) ด้วยความเร็ว 300 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำผงสีไปล้างด้วยน้ำ และอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการ จะได้ตัวอย่าง 18 ตัวอย่าง แบ่งเป็น กลุ่มที่ 1 ตัวอย่าง B1-B6 เผาที่ 1,000 °C กลุ่มที่ 2 ตัวอย่าง B7-B12 เผาที่ 1,100 °C และกลุ่มที่ 3 ตัวอย่าง B13-B18 เผาที่ 1,200 °C ซึ่งจะถูกนำไปวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ต่อไป

ตารางที่ 1 ชื่อตัวอย่างมีอัตราส่วนผสมสูตรสารประกอบ $Zn_{1-x}Mg_xFe_2O_4$ และ อุณหภูมิเผาต่าง ๆ

x	สูตรสารประกอบ	ชื่อตัวอย่าง		
		อุณหภูมิเผา (°C)		
		1,200	1,300	1,400
0	$ZnFe_2O_4$	B1	B7	B13
0.2	$Zn_{0.8}Mg_{0.2}Fe_2O_4$	B2	B8	B14
0.4	$Zn_{0.6}Mg_{0.4}Fe_2O_4$	B3	B9	B15

x	สูตรสารประกอบ	ชื่อตัวอย่าง		
		อุณหภูมิเผา(°C)		
		1,200	1,300	1,400
0.6	$\text{Zn}_{0.4}\text{Mg}_{0.6}\text{Fe}_2\text{O}_4$	B4	B10	B16
0.8	$\text{Zn}_{0.2}\text{Mg}_{0.8}\text{Fe}_2\text{O}_4$	B5	B11	B17
1.0	MgFe_2O_4	B6	B12	B18

2.2 การวัดและคำนวณค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ของผงสีสีน้ำตาลและค่าฟักตสี

การวิเคราะห์การสะท้อนรังสีอาทิตย์ของผงสีที่สังเคราะห์ได้ ทำด้วยการวัดค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ ด้วยเครื่อง UV-VIS-NIR spectrophotometer (Shimadzu UV-VIS-NIR 3100) และนำค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่ความยาวคลื่น 780 ถึง 2,500 นาโนเมตร มาคำนวณค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ช่วงอินฟราเรดใกล้ ตามมาตรฐาน ASTM E903 และทำการวิเคราะห์ค่าฟักตสี ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์สีที่อ้างอิงระบบฟักต CIE $L^* a^* b^*$

2.3 การศึกษาลักษณะโครงสร้างผลึก

วิเคราะห์โครงสร้างผลึกทำด้วยเครื่อง X-ray diffractometer (XRD) ด้วยรังสี Cu $K\alpha$, 40 kV, 20 mA ในช่วงมุม 2θ ระหว่าง 20–80 องศา จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ชนิดโครงสร้างผลึก โดยเปรียบเทียบกับสัญญาณ (Peak matching) มุมที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างมาตรฐานในฐานข้อมูล

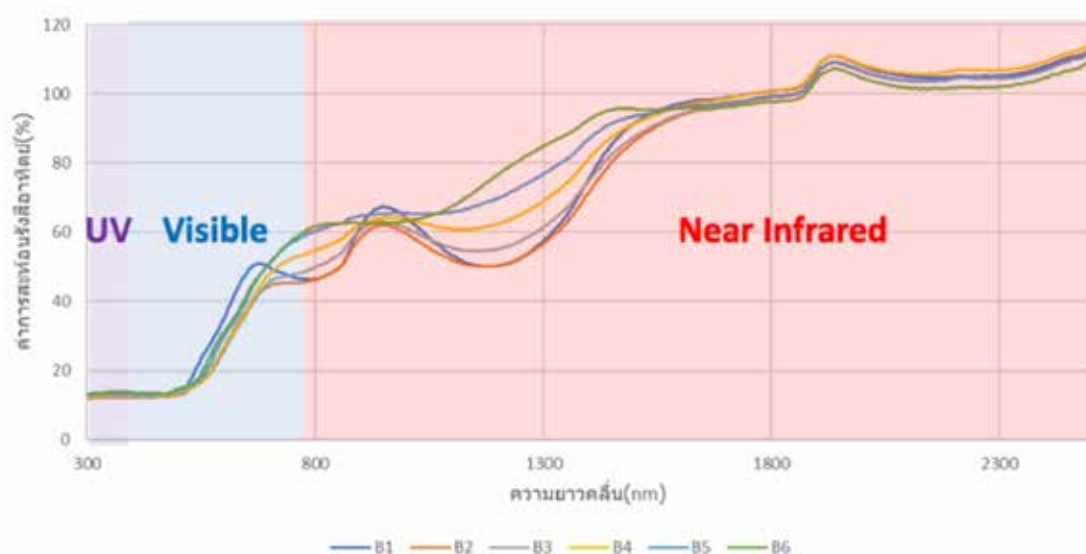
2.4 การศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคและองค์ประกอบของธาตุ

วิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคและองค์ประกอบของธาตุที่เกิดขึ้น ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ที่มีโหมด Energy Dispersive Spectrometer (EDS)

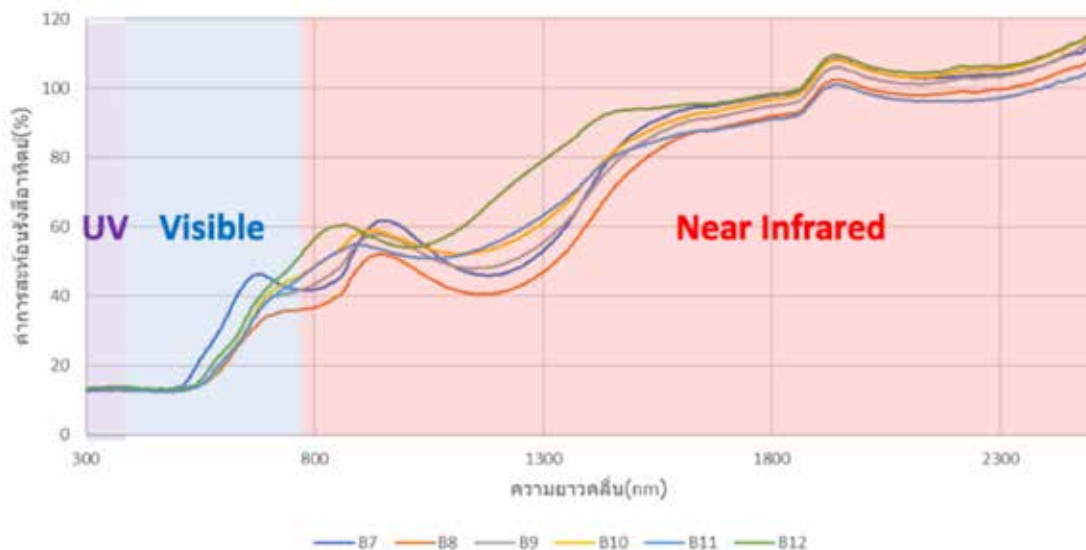
3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

3.1 ค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ของผงสีสีน้ำตาลและค่าฟักตสี

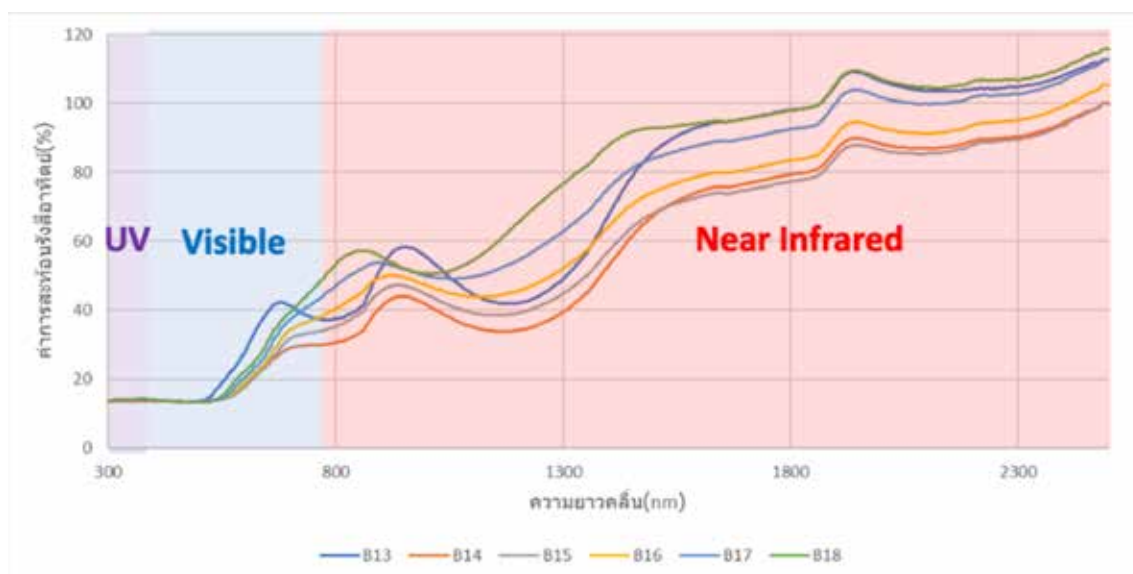
ค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่น 300 ถึง 2,500 นาโนเมตรของตัวอย่างผงสีสีน้ำตาล B1–B24 ที่วัดได้จากเครื่อง spectrophotometer แสดงในรูปที่ 1-3 และเมื่อนำมาคำนวณค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ช่วงอินฟราเรดใกล้ ตามมาตรฐาน ASTM E903 และค่าวิเคราะห์สี ตามหลัก CIE $L^* a^* b^*$ จะได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2 และรูปที่ 4



รูปที่ 1 การสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่ความยาวคลื่น 300 ถึง 2,500 นาโนเมตร ของตัวอย่าง B1–B6 (อุณหภูมิเผา 1,000 °C)



รูปที่ 2 การสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่ความยาวคลื่น 300 ถึง 2,500 นาโนเมตร ของตัวอย่าง B7-B12 (อุณหภูมิเผา 1,100 °C)

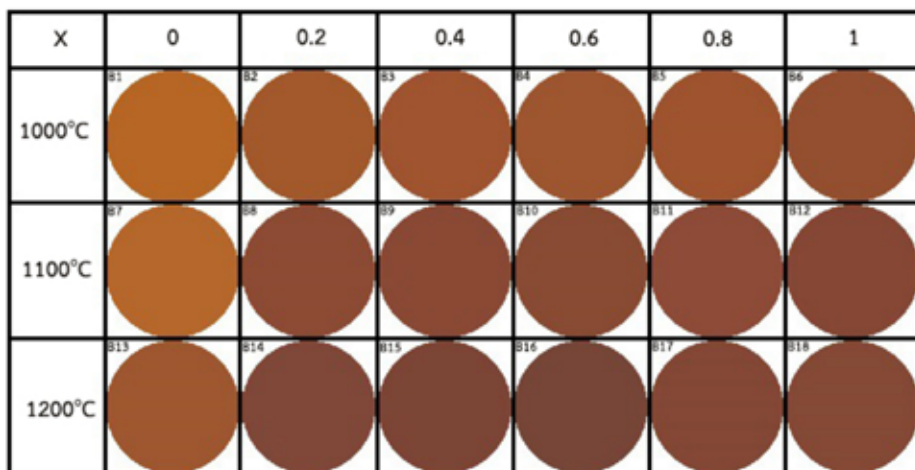


รูปที่ 3 การสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่ความยาวคลื่น 300 ถึง 2,500 นาโนเมตร ของตัวอย่าง B13-B18 (อุณหภูมิเผา 1,200 °C)

ตารางที่ 2 ค่าพิกัดสีที่คำนวณได้ตามระบบ CIE L* a* b* และ ค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ในช่วงอินฟราเรดใกล้ (R_{NIR}) ของผงสีสีน้ำตาลที่สังเคราะห์ได้

ตัวอย่างผงสีสีน้ำตาลที่สูตรโครงสร้างต่าง ๆ	1,000 °C				1,100 °C				1,200 °C			
	L*	a*	b*	R_{NIR} (%)	L*	a*	b*	R_{NIR} (%)	L*	a*	b*	R_{NIR} (%)
ZnFe ₂ O	51.65	28.08	47.63	66.2	51.81	27.1	45.59	60.5	44.94	26.62	33.51	53.4
Zn _{0.8} Mg _{0.2} Fe ₂ O ₄	46.17	27.53	38.31	66.0	39.69	26.35	26.1	56.4	36.99	22.38	19.27	46.8
Zn _{0.6} Mg _{0.4} Fe ₂ O ₄	44.64	27.25	36.18	68.8	38.52	25.56	23.16	59.0	35.76	22.13	18.61	45.0
Zn _{0.4} Mg _{0.6} Fe ₂ O ₄	44.67	26.51	33.92	68.3	39.36	24.81	24.21	65.2	35.18	20.94	16.35	53.1

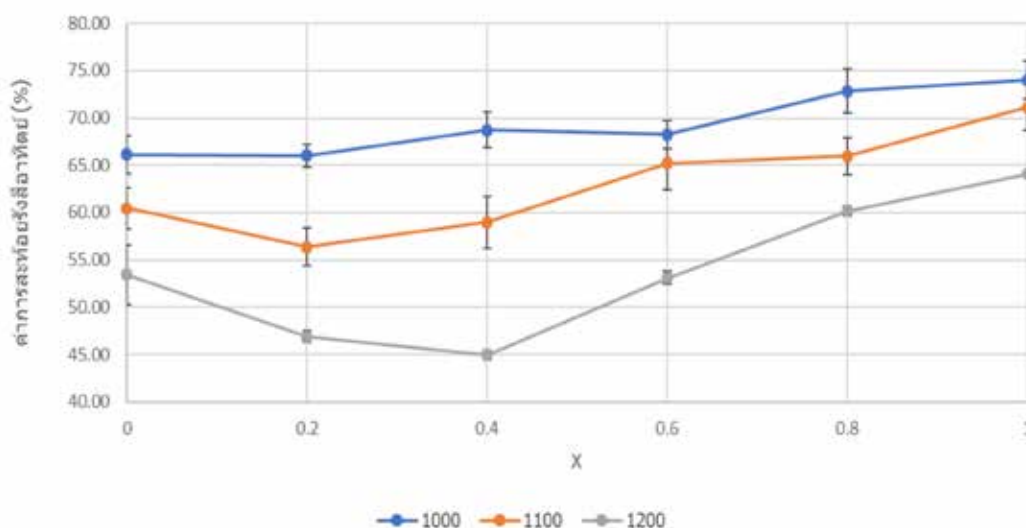
ตัวอย่างผงสี น้ำตาลที่สูตร โครงสร้างต่าง ๆ	1,000 °C				1,100 °C				1,200 °C			
	L*	a*	b*	R _{NIR} (%)	L*	a*	b*	R _{NIR} (%)	L*	a*	b*	R _{NIR} (%)
Zn _{0.2} Mg _{0.8} Fe ₂ O ₄	44.19	28.33	34.49	72.9	39.98	26.31	24.28	66.0	37.88	24.31	21.57	60.2
MgFe ₂ O ₄	41.47	26.29	29.71	74.1	97.48	-0.26	-0.48	71.1	96.76	-0.28	0.34	64.1



รูปที่ 4 ลักษณะสีของตัวอย่าง B1-B18

จากรูปที่ 4 ที่อุณหภูมิเผา 1,000 °C ตัวอย่างที่ B1 ที่ $x=0$ มีสูตรโครงสร้าง ZnFe_2O_4 ซึ่งผงสีมีสีน้ำตาล และเมื่อลดปริมาณ Zinc oxide ลง ด้วยการแทนที่ด้วย Magnesium oxide ซึ่งเป็นการเพิ่มค่า x จะเห็นได้ว่าสีของผงสีเริ่มเปลี่ยนจากน้ำตาลเป็นสีน้ำตาลแดง สำหรับตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ที่อุณหภูมิเผา 1,100 °C และ 1,200 °C ก็ให้ผลการวิเคราะห์เป็นไปในแนวทางเดียวกัน

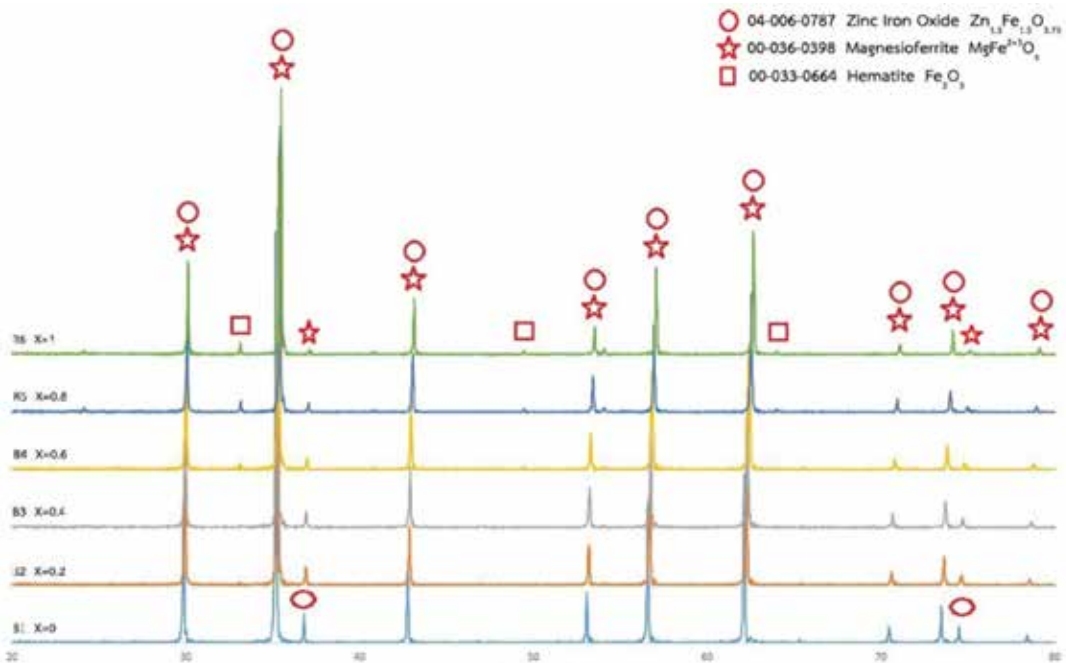
สำหรับค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ในช่วงอินฟราเรดใกล้ ที่แสดงในตารางที่ 2 เมื่อนำผลมาแสดงเป็นกราฟ จะได้ผลดังแสดงได้ในรูปที่ 5 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าการสะท้อนรังสีอินฟราเรดใกล้ของผงสีที่สังเคราะห์ได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ x มีค่าเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามหากเป้าหมายคือการสังเคราะห์ให้ได้ผงสีน้ำตาลและมีค่าการสะท้อนรังสีอินฟราเรดใกล้สูง ๆ ค่า x ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 0.6–0.8



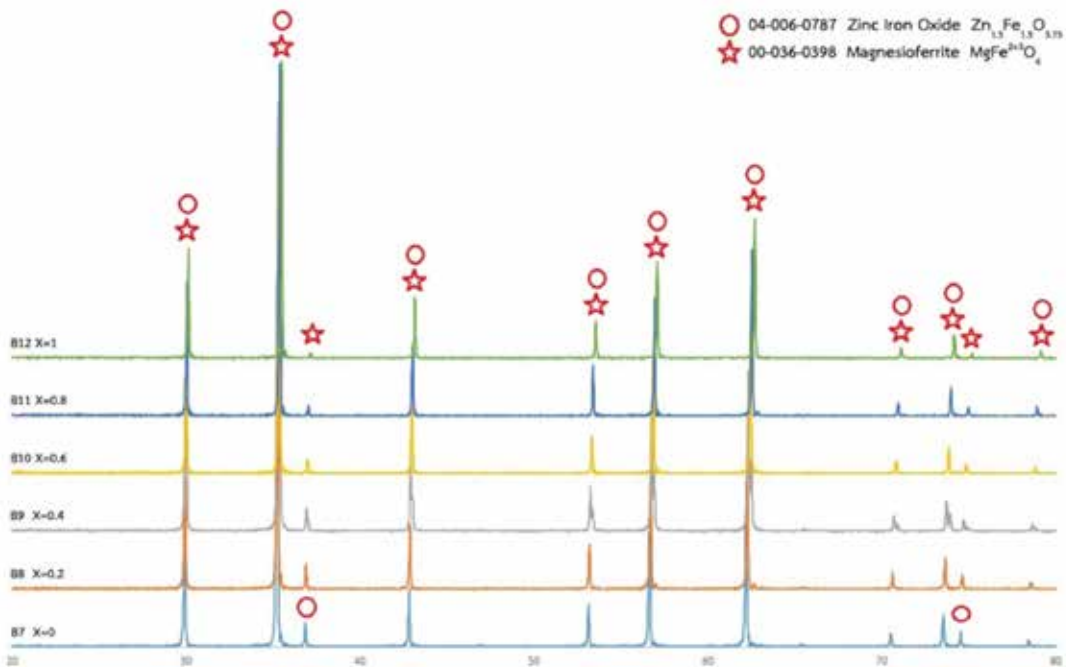
รูปที่ 5 ค่าการสะท้อนรังสีอินฟราเรดใกล้ที่มีสัดส่วน (x) ของ MgO ระหว่าง 0 ถึง 1 ที่อุณหภูมิเผา 1,000 1,100 และ 1,200 °C

3.2 ลักษณะโครงสร้างผลึก

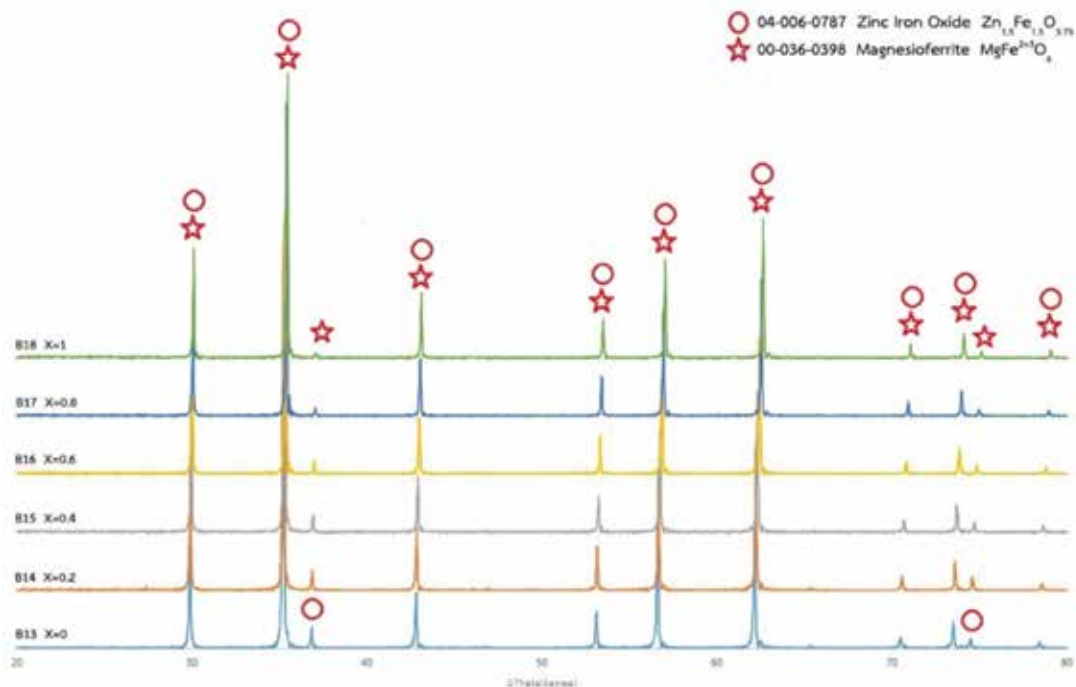
กราฟเปรียบเทียบผล XRD ของผงสีน้ำตาลที่สังเคราะห์ได้ที่อุณหภูมิเผา 1,000 1,100 และ 1,200 °C แสดงดังรูปที่ 6-8 ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่า ที่ $x = 0$ จะพบโครงสร้างของ zinc iron oxide (04-006-0787) เมื่อทำการเพิ่ม x โครงสร้างจะเปลี่ยนเป็น Magnesioferrite (00-036-0398) แต่ทั้ง 2 โครงสร้างมีตำแหน่งที่เกิดพีค (Peak) ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 6 เปรียบเทียบผล XRD ของตัวอย่าง B1-B6



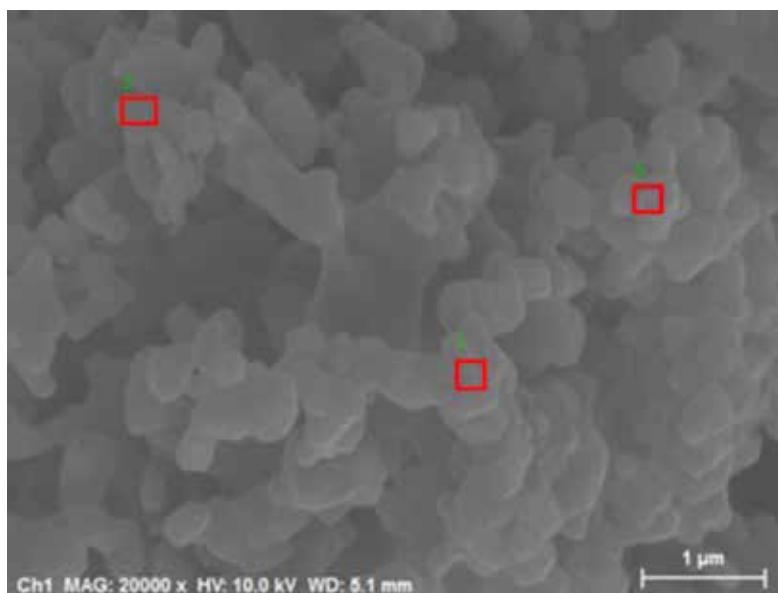
รูปที่ 7 เปรียบเทียบผล XRD ของตัวอย่าง B7-B12



รูปที่ 8 เปรียบเทียบผล XRD ของตัวอย่าง B13–B18

3.3 โครงสร้างทางจุลภาคและองค์ประกอบของธาตุ

เมื่อนำตัวอย่าง B5 สูตรโครงสร้าง $\text{Zn}_{0.2}\text{Mg}_{0.8}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ที่เผาที่อุณหภูมิ $1,000^\circ\text{C}$ ภาพสัณฐานของผงสีที่ผ่านการบดมีลักษณะดังรูปที่ 9 และเมื่อทำการวิเคราะห์ด้วย EDS โดยกำหนดให้ทำการวิเคราะห์ 3 ตำแหน่ง (กรอบสีแดงในรูปที่ 9) แล้วหาค่าเฉลี่ย จะได้ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุแบบเฉลี่ยแสดงในตารางที่ 3



รูปที่ 9 โครงสร้างทางจุลภาคของ $\text{Zn}_{0.2}\text{Mg}_{0.8}\text{Fe}_2\text{O}_4$ เผาที่ $1,000^\circ\text{C}$ ที่ผ่านการบดละเอียด

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ ของตัวอย่าง $Zn_{0.2}Mg_{0.8}Fe_2O_4$ ที่เผาที่อุณหภูมิ 1,000 °C

ตัวอย่าง	ส่วนผสม(อัตราส่วน)			สูตรสารประกอบ	อุณหภูมิเผา (°C)	องค์ประกอบของธาตุ (%)			
	Zn	Mg	Fe			Zn	Mg	Fe	O
B5	0.2	0.8	2	$Zn_{0.2}Mg_{0.8}Fe_2O_4$	1,000	9.60	9.37	50.44	30.60

4. สรุป (Conclusion)

ผงสีเซรามิกของสารประกอบอนินทรีย์ $Zn_{0.2}Mg_{0.8}Fe_2O_4$ สามารถสังเคราะห์ได้ด้วยปฏิกิริยาของเซรามิกจากความร้อน (Solid state reaction) ของซิงค์เฟอร์ไรท์ (Zinc Ferrite) ที่เจือด้วยแมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium oxide) เกิดปฏิกิริยาเป็นผงสีเซรามิกสีน้ำตาลที่สามารถสะท้อนรังสีอินฟราเรดใกล้ สีของผงสีซึ่งคำนวณจากระบบ CIE L* a* b* ไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่ออุณหภูมิเผาเปลี่ยนแปลง แต่แปรเปลี่ยนมากตามค่า x หรือ ตามปริมาณ MgO ที่เจือ และพบว่า สีจะเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเป็นสีน้ำตาลแดง เมื่อ x มีค่าเพิ่มขึ้น และผงสีเซรามิกสีน้ำตาลที่สังเคราะห์ได้ มีความสามารถในการสะท้อนรังสีอาทิตย์ช่วงอินฟราเรดใกล้ โดยค่าการสะท้อนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ x มีค่าเพิ่มขึ้น ผงสีสีน้ำตาลที่ X = 0.8 ($Co_{0.2}Mg_{0.8}Al_2O_4$) และเผาที่อุณหภูมิ 1,000 °C จะให้โทนสีน้ำตาล และมีค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ช่วงอินฟราเรดใกล้สูงที่สุดเท่ากับ 72.9%

5. เอกสารอ้างอิง (References)

[1] PEREZ-LOMBARD, LUIS, JOSE ORTIZ and ISMAEL R. MAESTRE. The map of energy flow in HVAC system. *Applied Energy*. 2011, **88**, 5020–5031.

[2] SYNNEFA, A., M. SANTAMOURIS and K. APOSTOLAKIS. On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment. *Solar Energy*. 2007, **81**, 488-497.

[3] TAKEBAYASHI, H. and M.MORIYAMA. Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island. *Build Environ*. 2007, **42**, 2971-2979.

[4] LEVINSON, R., H.AKBARI and JC. REILLY. Cooler tile-roofed buildings with near-infrared-reflective non-white coatings. *Build Environ*. 2007, **42**, 2591-2605.

[5] GANGUL, ARNA, DEBASHISH CHOWDHURY and SUBHASIS NEOGI. Performance of building roofs on energy efficiency- a Review. *Energy Procedia*. 2016, **90**, 200–208.

[6] LEVINSON, RONNEN, PAUL BERDAHL and HASHEM AKBARI. Solar spectral optical properties of pigments—part II: survey of common colorants. *Solar Energy Materials & Solar Cells*. 2005, **89**, 351–389.

[7] BENDIGANAVAL, ASHWINI and VINOD MALSHE. Infrared Reflective Inorganic Pigments. *Recent Patents on Chemical Engineering*. 2008,1(1), 67-79.

[8] WILLIAM, A., T. KENNETH, O. ANDRÉ and P. ROBERT. Color roofs with complex inorganic color pigments. *Residential buildings: technologies, design, performance analysis, and building industry trends.*, 2002. pp.1.195-1.206.

[9] LLUSAR, M., E. GARCÍA, M.T. GARCÍA, C. GARGORI, J.A. BADENES and G. MONRÓS. Synthesis, stability and coloring properties of yellow–orange pigments based on Ni-doped karrooite (Ni,Mg)Ti₂O₅. *Journal of the European Ceramic Society*. 2015, **35**, 357–376.

[10] SCHILDHAMMER, D., G. FUHRMANN, L. PETSCHNIG, N. WEINBERGER, H. SCHOTTENBERGER and H. HUPPERTZ. Synthesis and characterization of a new high NIR reflective ytterbium molybdenum oxide and related doped pigments. *Dyes and Pigments*. 2017, **138**, 90-99.

[11] SCHILDHAMMER, D., G. FUHRMANN, L. PETSCHNIG, H. SCHOTTENBERGER and H. HUPPERTZ. Synthesis and optical properties of new high NIR reflective inorganic pigments RE₆Mo₂O₁₅ (RE = Tb, Dy, Ho, Er). *Dyes and Pigments* [online]. 2017, **140**, DOI: 10.1016/j.dyepig.2017.01.021. [viewed 19 April 2018]. Available from: <https://www.researchgate.net/>

คำแนะนำในการส่งต้นฉบับ

วารสารผลงานวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

Bulletin of Applied Sciences

บทความที่ส่งตีพิมพ์จะต้องไม่เคยตีพิมพ์หรืออยู่ในระหว่างการรอพิจารณาเพื่อตีพิมพ์ในวารสารอื่น บทความที่เสนอมาเพื่อตีพิมพ์อาจเขียนเป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้ แต่บทความต้องมีทั้งสองภาษา ทั้งนี้บทความทุกเรื่องจะได้รับการพิจารณาตรวจแก้จากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้อง และกองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการตรวจแก้ไขต้นฉบับและพิจารณาตีพิมพ์ตามลำดับก่อนหลัง

ความรับผิดชอบ

บทความที่ตีพิมพ์ในวารสารผลงานวิชาการกรมวิทยาศาสตร์บริการ ถือเป็นผลงานทางวิชาการ และเป็นความเห็นส่วนตัวของผู้เขียน ไม่ใช่ความเห็นของกรมวิทยาศาสตร์บริการ หรือกองบรรณาธิการ ผู้เขียนต้องรับผิดชอบต่อบทความของตน และบทความที่ตีพิมพ์ในเล่มนี้ไม่เคยพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และจะไม่นำไปเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่นภายใน 60 วัน

การเตรียมต้นฉบับและการส่งต้นฉบับ

○ **ชื่อเรื่อง:** ชื่อเรื่องต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ตัวอักษร Cordia New ขนาด 18 ตัวหนา จัดวางข้อความชื่อเรื่องตรงกึ่งกลางหน้ากระดาษ โดยชื่อเรื่องภาษาอังกฤษเฉพาะคำขึ้นต้น ให้พิมพ์ตัวใหญ่

○ **ชื่อผู้วิจัย ผู้วิจัยร่วม:** ชื่อผู้วิจัย ผู้วิจัยร่วม ต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ตัวอักษร Cordia New ขนาด 12 ตัวปกติ จัดวางข้อความชื่อผู้วิจัย ผู้วิจัยร่วมกึ่งกลางหน้ากระดาษ ให้เลข 1.2.3....โดยยกกำลังแสดงตรงชื่อ และเป็นเลขเดียวกันเพื่อแสดงที่อยู่ และ e-mail address.

ตัวอย่าง

จิตตกานต์ อินเทียน^{1*}, วิชิต ศิริโชค^{2**}
Jittakant Intiang^{1*}, Wichit Sirichote^{2**}

¹กรมวิทยาศาสตร์บริการ

²สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

* e-mail address: jittakant@dss.go.th

** Corresponding author. e-mail address: wichit.sirichote@gmail.com

○ **บทคัดย่อ (Abstract):** บทคัดย่อต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ตัวอักษร Cordia New ขนาด 14 ตัวปกติ เนื้อหาในคัดย่อ ควรระบุวัตถุประสงค์ ผลการวิจัย และบทสรุปโดยย่อ

○ **คำสำคัญ (Keywords):** คำสำคัญต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ระบุคำสำคัญหรือวลีสั้น ๆ จำนวน 3-5 คำ คำที่ 1, คำที่ 2, คำที่ 3 ตัวอักษร Cordia New ขนาด 12 ตัวปกติ

○ **เนื้อเรื่อง** แบ่งเป็นส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. **บทนำ (Introduction):** หัวข้อบทนำ ตัวอักษร Cordia New ขนาด 16 ตัวหนา จัดชิดขอบด้านซ้าย หัวข้อย่อย ตัวอักษร Cordia New ขนาด 14 ตัวหนา เนื้อหา ตัวอักษร Cordia New ขนาด 14 ตัวปกติ

2. **วิธีการวิจัย (Experimental methods):** หัวข้อวิธีการวิจัย ตัวอักษร Cordia New ขนาด 16 ตัวหนา จัดชิดขอบด้านซ้าย หัวข้อย่อย ตัวอักษร Cordia New ขนาด 14 ตัวหนา เนื้อหา ตัวอักษร Cordia New ขนาด 14 ตัวปกติ

3. **ผลและวิจารณ์ (Results and discussion):** หัวข้อผลและวิจารณ์ ตัวอักษร Cordia New ขนาด 16 ตัวหนา จัดชิดขอบด้านซ้าย หัวข้อย่อย ตัวอักษร Cordia New ขนาด 14 ตัวหนา เนื้อหา ตัวอักษร Cordia New ขนาด 14 ตัวปกติ

4. **สรุป (Conclusion):** หัวข้อสรุป ตัวอักษร Cordia New ขนาด16 ตัวหนา จัดชิดขอบด้านซ้าย เนื้อหา ตัวอักษร Cordia New ขนาด14 ตัวปกติ
5. **กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement):** หัวข้อกิตติกรรมประกาศ ตัวอักษร Cordia New ขนาด16 ตัวหนา จัดชิดขอบด้านซ้าย เนื้อหา ตัวอักษร Cordia New ขนาด14 ตัวปกติ
6. **เอกสารอ้างอิง (References):** การอ้างอิงเอกสารให้ใช้ระบบเรียงตามตัวเลข ใส่หมายเลขในวงเล็บเหลี่ยม [] เรียงตามลำดับการอ้างอิงในเรื่อง เอกสารอ้างอิงทุกฉบับจะต้องมีการอ้างอิงหรือกล่าวถึงในบทความ

ตัวอย่าง (อ้างอิงตาม ISO 690)

- [1] AKGUL, M. and A. TOZLUOGLU. Alkaline-ethanol pulping of cotton stalks. Scientific Research and Essays. 2010, 5(10), 1068-1074.
- [2] STADELMAN, W. J. and O. J. COTTERILL. Egg Science and Technology. 4th ed. New York : Food Produce Press, 1990, 591 p.
- [3] TECHNICAL DIVISION ON REFERENCE MATERIALS OF AOAC INTERNATIONAL. Standard format and guidance for AOAC standard method performance requirement documents [online]. 2011. [viewed 26 January 201]. Available from: http://stakeholder.aoac.org/SPIFAN/SMPR_Guidelines_v13.pdf

○ **ตาราง (Table) และรูป (Figure) :** ตัวอักษร Cordia New ขนาด 12 ตัวปกติ

- ตาราง : ให้ระบุลำดับที่ของตาราง หัวตารางให้จัดชิดขอบด้านซ้าย ชื่อตารางให้อยู่ด้านบนของตาราง
- รูป : ให้ระบุลำดับที่ของรูป คำบรรยายรูปภาพให้อยู่ใต้รูปภาพ และจัดกึ่งกลางคอลัมน์