

การศึกษาผลจากการเติมไอรอนออกไซด์ในแก้วที่เตรียมจากขี้เถ้าลอยถ่านหิน

The Study Effect of Fe₂O₃ in Glasses Were Prepared form Coal Fly Ash

วัชรินทร์ ราชนิยม^{1*} ยศกิต เรืองทวีป^{2,3} กิติพันธ์ บุญอินทร์^{2,3} และ จักรพงษ์ แก้วขาว^{2,3}

¹โปรแกรมวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

²ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

³โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

*watcharinratniyom601@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ใช้ขี้เถ้าลอยซบพิทมินัสที่ได้จากโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนในประเทศไทยเพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างผลึกของขี้เถ้าลอย จากนั้นได้ทำการเตรียมวัสดุแก้วโดยใช้ขี้เถ้าลอยซบพิทมินัสร่วมกับสารเคมีโบรอนออกไซด์ โซเดียมออกไซด์ โดยใช้สารเคมีไอรอนออกไซด์เป็นสารเติมเพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพที่เปลี่ยนไปของแก้วจากการทดลองพบว่าส่วนประกอบสำคัญของขี้เถ้าลอยประกอบด้วย ซิลิกอนไดออกไซด์ อลูมิเนียมออกไซด์ และไอรอนออกไซด์ โครงสร้างผลึกพบผลึกของมัลไลต์และควอทซ์เป็นโครงสร้างหลัก สำหรับคุณสมบัติทางด้านความหนาแน่นและดัชนีหักเหพบว่าค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารเคมีไอรอนออกไซด์ คุณสมบัติด้านความแข็งไม่สามารถหาความสัมพันธ์จากการเติมสารเคมีไอรอนออกไซด์ได้ ในขณะที่การส่องผ่านของแสงพบว่ามีเฟอร์ริกและเฟอร์รัสไอออนเกิดขึ้น ณ ความยาวคลื่น 440 และ 1,050 นาโนเมตร และเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสงจะลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารเคมีไอรอนออกไซด์

คำสำคัญ: ขี้เถ้าลอย, ซบพิทมินัส, ซิลิกา

Abstract

In this work, the sub-bituminous fly ash (SFA) in Thailand has been investigated for their compositions and crystal structures. The glasses were prepare from SFA , B₂O₃, Na₂O and various concentration of Fe₂O₃. The results have shown that the chemical composition comprised with SiO₂, Al₂O₃ and Fe₂O₃. The major crystal structures of SFA was occurred of mullite and quartz phases. The density and refractive index values of glasses were found to increase with increasing of Fe₂O₃ concentrations. The hardness values have been not related with increasing of Fe₂O₃ content. The transmission spectra are corresponding to ferric and ferrous ions in wavelength of 440 nm and 1,050 nm and decreased with increasing of Fe₂O₃ concentrations.

Keywords: sub-bituminous, fly ash, silica

1. บทนำ

จากสถิติการใช้เชื้อเพลิงถ่านหินในประเทศไทยพบว่าความต้องการเชื้อเพลิงถ่านหินนั้นมีอัตราเพิ่มขึ้นในทุกๆปี สอดคล้องกับอัตราการเจริญเติบโตทางด้านอุตสาหกรรมในประเทศ จากปริมาณการใช้ถ่านหินในแต่ละปี เชื้อเพลิงถ่านหินถูกใช้ในภาคการผลิตไฟฟ้าคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 81 ที่เหลืออีกร้อยละ 19 ถูกใช้ในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ (กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553) ข้อเสียของใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงจะก่อให้เกิดกากของเสียหรือขี้เถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ในปริมาณมาก เมื่อถ่านหินถูกเผาไหม้จะก่อให้เกิดขี้เถ้าประมาณร้อยละ 4-25 ของน้ำหนักถ่านหิน ประกอบด้วยขี้เถ้าลอย

(fly ash) ร้อยละ 85-95 และซีเมนต์ (bottom ash) ร้อยละ 5-15 (S. Zhou et al., 2006: 549) จะเห็นได้ว่าซีเมนต์ลอย เป็นขยะส่วนใหญ่ที่เกิดจากการเผาไหม้ถ่านหิน ซีเมนต์ลอยเป็นฝุ่นที่มีอนุภาคขนาดเล็กมาก มีส่วนประกอบคือ ซิลิกาไดออกไซด์ แคลเซียมออกไซด์ อลูมิเนียมออกไซด์ และออกไซด์ของโลหะหนักหลายชนิด เป็นอันตรายต่อการตกค้าง ในสิ่งแวดล้อมและอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ โดยเฉพาะการทำลายระบบทางเดินหายใจและปอด

จากรายงานการวิจัยพบว่าซีเมนต์ลอยจะมีปริมาณซิลิกาประมาณร้อยละ 40-50 โดยน้ำหนัก (W. Rachniyom et al., 2014: 271) ซึ่งอาจนำมาใช้ประโยชน์โดยใช้เป็นวัสดุแทนซิลิกาในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมบางประเภทที่ไม่ต้องการ ซิลิกาที่มีความบริสุทธิ์มาก เช่น คอนกรีต อิฐและแก้วที่ใช้ในงานเครื่องประดับ เป็นต้น อย่างไรก็ตามซีเมนต์ลอยถึงแม้จะมี ปริมาณซิลิกาถึงร้อยละ 40-50 โดยน้ำหนัก แต่ในทางอุตสาหกรรมก็ยังถือว่าเป็นวัสดุที่มีคุณภาพต่ำเนื่องจากปริมาณความ บริสุทธิ์ของซิลิกานั้นน้อยเกินไป

ในงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยได้ทำการทดลองนำซีเมนต์ลอยซับบิทูมินัส (sub-bituminous fly ash) ที่เป็นผลพลอยได้จาก การผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานถ่านหินในจังหวัดระยอง โดยตัวอย่างซีเมนต์ลอยจะถูกนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และโครงสร้างผลึกของซีเมนต์ลอย จากนั้นใช้ซีเมนต์ลอยเตรียมเป็นวัสดุแก้วโดยผสมกับสารเคมีโบรอนออกไซด์ (B₂O₃) และ โซเดียม-ออกไซด์ (Na₂O) แล้วจึงทดลองเติมสารเคมีไอรอนออกไซด์ (Fe₂O₃) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เพื่อศึกษาผลกระทบต่อคุณสมบัติของแก้วตัวอย่างทางด้านความหนาแน่น ดัชนีหักเห ความแข็ง และการส่องผ่านของแสง

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

ซีเมนต์ลอยถ่านหินที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นซีเมนต์ลอยจากการใช้ถ่านหินซับบิทูมินัส (SFA) เป็นเชื้อเพลิงของโรงไฟฟ้า พลังงานถ่านหิน ตั้งอยู่ที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง โดยตัวอย่างซีเมนต์ลอยที่ได้จากการเก็บตัวอย่างจะถูกนำไป วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน (Panalytical model minipal-4) และศึกษาโครงสร้างของซีเมนต์ลอยด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (Bruker D8 Advance) จากนั้นเตรียมแก้วโดยใช้ซีเมนต์ลอยแทนองค์ประกอบซิลิกาพร้อมกับสารเคมีอื่น โดยที่กำหนดความเข้มข้นของไอรอนออกไซด์ ที่ความเข้มข้นต่างๆกัน ภายใต้อัตราส่วน : (30-x)B₂O₃ : 50Na₂O : 20SFA : xFe₂O₃ เมื่อ x คือความเข้มข้นของไอรอนออกไซด์ที่กำหนดตั้งแต่ร้อยละ 0.2-1.0 โดยน้ำหนัก และนำสารเคมีดังกล่าวบรรจุในเบ้าหลอมที่ทำจากอลูมินา (Alumina crucible) แล้วนำไปเผาในเตา ไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นน้ำแก้วจะถูกเทลงในแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมที่ อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปอบในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้ค่อยๆเย็นตัวลงอย่าง ช้าๆในเตาไฟฟ้า จากนั้นแก้วตัวอย่างจะถูกตัดและขัดให้เรียบเพื่อใช้ในการตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆของแก้วตัวอย่าง ได้แก่ การวัดความหนาแน่นด้วยวิธีอาคิมีดีส (Archimedes's principle) วัดดัชนีหักเหด้วยเครื่องรีแฟรกโตมิเตอร์ (ATAGO-3T) วัดการส่องผ่านของแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล-อินฟราเรด สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Shimadzu UV-3600)

3. ผลการทดลอง

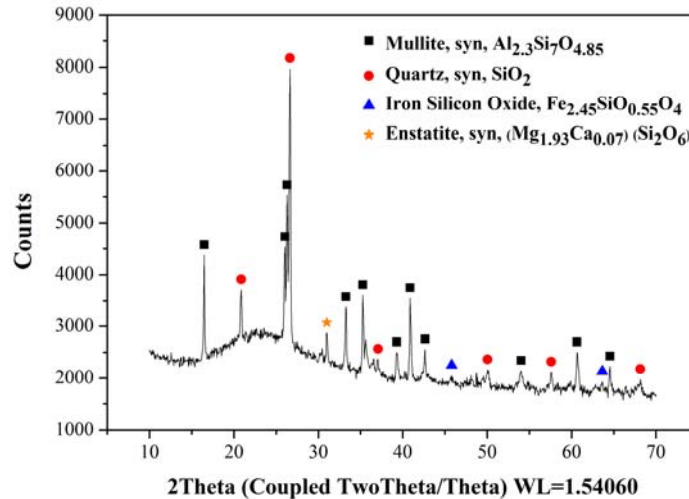
ผลการทดลององค์ประกอบทางเคมีของซีเมนต์ลอยซับบิทูมินัสจากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสีเอกซ์แบบกระจาย พลังงานแสดงดังตารางที่ 1 ผลการทดลองสังเกตได้ว่าองค์ประกอบทางเคมีของซีเมนต์ลอยซับบิทูมินัสมีส่วนประกอบหลัก คือ ซิลิกาไดออกไซด์ (SiO₂) ละมีส่วนประกอบรองคืออะลูมิเนียมออกไซด์ (Al₂O₃) และไอรอนออกไซด์ (Fe₂O₃) นอกจากนี้ยังมี องค์ประกอบทางเคมีอื่นๆเจือปนในปริมาณเล็กน้อยดังตาราง

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของซีเมนต์ลอยซับบิทูมินัส

องค์ประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)											
Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	NiO	CuO	Loi ^a
28.9	49.61	0.77	0.46	1.08	2.24	1.98	0.14	14.61	0.01	0.02	0.05

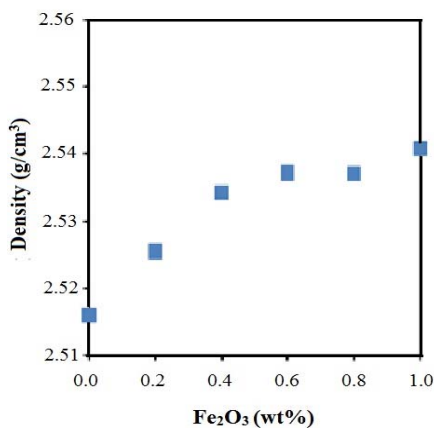
^aLOI = Loss on ignition

จากการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ ในรูปภาพที่ 1 พบว่าซีเถ้าลอยมีโครงสร้างผลึกของมัลลิต (Al_{2.3} Si₇ O_{4.85} Mullite, syn) มีองค์ประกอบหลักเป็นธาตุอะลูมิเนียม (Al) ซิลิกอน (Si) และออกซิเจน (O) และโครงสร้างผลึกของควอตซ์ (Si O₂ Quartz, syn) มีองค์ประกอบหลักเป็นธาตุซิลิกอน (Si) และออกซิเจน (O) ในขณะที่ซีเถ้าลอยที่พบในซีเถ้าลอยทั้งหมดนี้เกิดจากองค์ประกอบของธาตุซิลิกอน อะลูมิเนียม และเหล็ก สอดคล้องกับรายงานการวิจัยเกี่ยวกับแร่วิทยาของซีเถ้าลอยถ่านหินจากแหล่งถ่านหินอื่นๆ (T. Phaharaj et al., 2002: 609) (O. Font et al., 2010: 2,971)

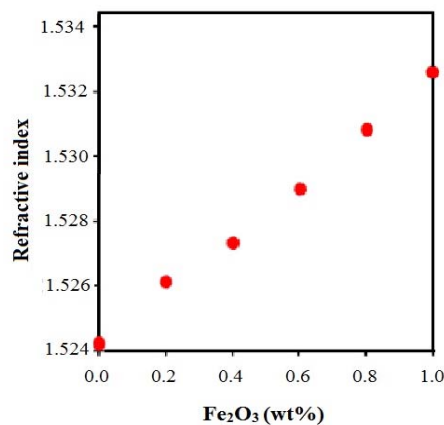


รูปที่ 1 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของซีเถ้าลอยซัปปิบูมินัส

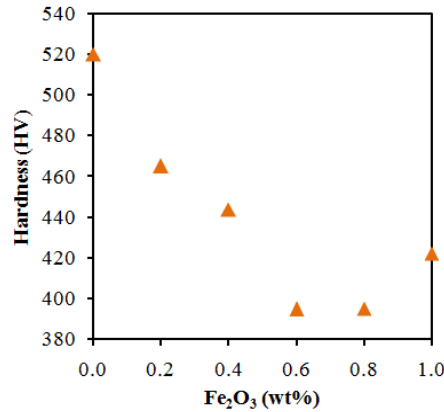
การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นพบว่า ค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของไอรอนออกไซด์เพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 2.51-2.54 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรดังรูปที่ 2 เช่นเดียวกับรูปที่ 3 ค่าดัชนีหักเหที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของไอรอนออกไซด์ โดยมีค่า 1.5238-1.5322 ในขณะที่ค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ไม่สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งและความเข้มข้นของไอรอนออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงสุดที่ 520.4 และค่าต่ำสุดที่ 394.96 ณ ระดับความเข้มข้นของไอรอนออกไซด์ที่ร้อยละ 0 และ 0.6 โดยน้ำหนัก ดังแสดงในรูปที่ 4



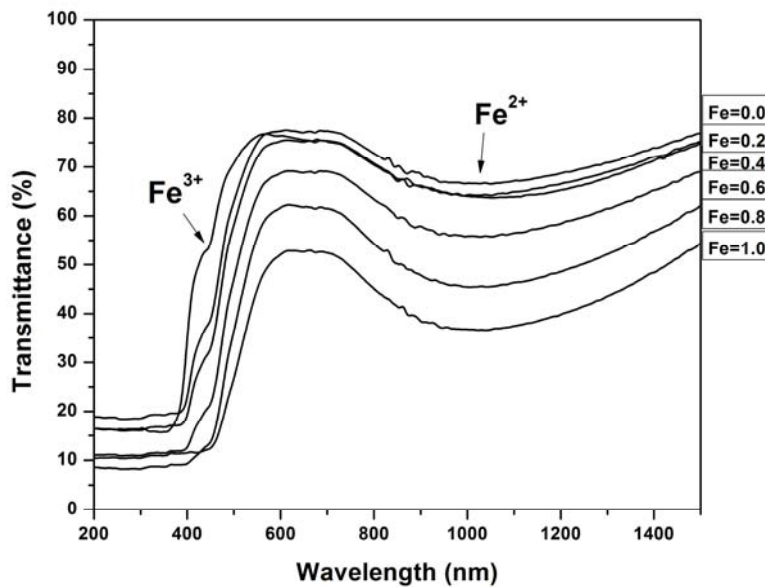
รูปที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับ Fe₂O₃ ที่ความเข้มข้นต่างๆ



รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหกับ Fe₂O₃ ที่ความเข้มข้นต่างๆ



รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแบบวิกเกอร์กับ Fe₂O₃ ที่ความเข้มข้นต่างๆ



รูปที่ 5 กราฟแสดงค่าการส่องผ่านของแสงของแก้วตัวอย่างที่เติม Fe₂O₃ ที่ความเข้มข้นต่างๆ

จากการวิเคราะห์ค่าการส่องผ่านของแสงในช่วงความยาวคลื่น 200 – 1,500 นาโนเมตรของแก้วตัวอย่างที่มีการเติมสารเคมีไอรอนออกไซด์ (Fe₂O₃) ที่ความเข้มข้นต่างๆ พบการลดลงของการส่องผ่านของแสงในช่วง 440 นาโนเมตรซึ่งเกิดจากปรากฏการณ์ของเฟอร์ริกไอออน (ferric ion) Fe³⁺ (⁶A_{1g}(S) → ⁴T_{2g}(G)) นอกจากนี้ยังพบการลดลงของการส่องผ่านของแสงในช่วง 1,050 นาโนเมตร จากปรากฏการณ์ของเฟอร์รัสไอออน (ferrous ion) Fe²⁺ (⁵E_g → ⁵T₂) เฟอร์ริกไอออนมีผลต่อการส่องผ่านแสงในช่วงที่ตามองเห็นจึงทำให้แก้วตัวอย่างมีสีเหลืองน้ำตาล (C.R. BamFord., 1977: 34) (Z. Eberhard., 2013: 199) โดยค่าการส่องผ่านของแสงในช่วงดังกล่าวมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของ Fe₂O₃ เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามแก้วตัวอย่างที่ไม่ได้เติมสารเคมี Fe₂O₃ ก็พบเฟอร์ริกและเฟอร์ริกไอออนเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 5 เนื่องจากซีเมนต์ละลายซัลฟิวไรต์ประกอบด้วยไอรอนออกไซด์ประมาณ 14.61 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ดังแสดงในตารางที่ 1

4. บทสรุป

จากการศึกษาองค์ประกอบของซีเมนต์ตัวอย่างพบว่าส่วนประกอบหลักของซีเมนต์ประกอบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ อะลูมิเนียมออกไซด์ และไอรอนออกไซด์ จากการตรวจสอบโครงสร้างผลึกพบโครงสร้างผลึกของมัลไลต์และควอทซ์เป็นส่วนมาก หลังจากการเตรียมแก้วเพื่อศึกษาผลของไอรอนออกไซด์ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติการส่องผ่านของแสงพบว่า แก้วตัวอย่างมีค่าความหนาแน่นและค่าดัชนีหักเหเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารเคมี

ไอออนออกไซด์ ในขณะที่ความแข็งของแก้วตัวอย่างไม่สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งและความเข้มข้นของสารเคมีไอออนออกไซด์ได้จากการทดลองนี้ ในด้านคุณสมบัติการส่องผ่านของแสงพบว่าแก้วตัวอย่างทั้งหมดสอดคล้องกับปรากฏการณ์ของเฟอร์ริคและเฟอร์รัสไอออนในช่วงความยาวคลื่น 440 และ 1,050 นาโนเมตร และแก้วตัวอย่างจะมีค่าการส่องผ่านของแสงลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารเคมีไอออนออกไซด์

5. เอกสารอ้างอิง

- กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2553). ข้อมูลการใช้ถ่านหินในอุตสาหกรรม. ค้นเมื่อ 20 กรกฎาคม 2556 จาก <http://www.dede.go.th/dede/index.php?>
- S. Zhou, Y. Chen, W. Zhang, Prediction of compressive strength of cement mortars with fly ash and activated coal gangue, *Journal of Southeast University* 4 (2006) 549-552.
- W. Rachniyom, Y. Ruangtaweep, J. Kaewkhao, K. Phachana, Effects of Na₂O on borosilicate glasses prepared from coal fired ash, *Advanced Materials Research* 979 (2014) 271-274.
- T. PrahaRaj, M.A Powell, B.R. Hart, S. Tripathy, Leachability of elements from sub-bituminous coal fly ash from India, *Environment International* 27 (2002) 609-615.
- O. Font, N. Moreno, X. Querol, M. Izquierdo, E. Alvarez, S. Diez, J. Elvira, D. Antenucci, H. Nugteren, F. Plana, A. López, P. Coca, F.G. Peña, X-ray powder diffraction-based method for determination of the glass content and mineralogy of coal (co)-combustion fly ashes, *Fuel* 89 (2010) 2,971-2,976.
- C.R. BamFord, Colour generation and control in glass, *Glass Science and Technology* 2 (1977) 34-38.
- Z. Eberhard, Chemical technology of glass, *Society of Glass Technology* (2013) 199- 201.