

บทนำ

ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบที่ผลกระทบต่อสุขภาพเช่น กำมะถัน (Sulfur) สารหนู (Arsenic) สารปรอท (Mercury) และ เซเลเนียม (Selenium) เป็นต้น [1] ดังนั้นการเผาถ่านหินโดยที่ไม่มีระบบป้องกันมลพิษทางอากาศ จะทำให้มลพิษเหล่านี้กระจายสู่สิ่งแวดล้อมและมีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ ในปี ค.ศ. 2004 (พ.ศ.2547) มีการรายงานว่สาเหตุของการเสียชีวิตของประชาชนราว 24,000 คน ในประเทศสหรัฐอเมริกาเกิดจากกิจกรรมการเผาถ่านหิน [2] ในประเทศไทยก็เช่นกัน ในปี พ.ศ. 2546 ประชาชนที่อาศัยที่อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง จำนวน 131 ราย เข้าร้องเรียนถึงผลกระทบจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาถ่านหินเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ซึ่งมีผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ [3] ปัจจุบันที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตได้ปรับปรุงเหมืองถ่านหินแม่เมาะให้มีคุณภาพอากาศที่ได้รับการดูแลดีขึ้น โดยได้ติดตั้งระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หรือ Flue gas desulfurization system (FGD) [4] จนสามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จนต่ำกว่า 150 ppm [5] จากรายงานของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต พบว่า การใช้ถ่านหินในการผลิตกระแสไฟฟ้าในประเทศไทยมีอัตราสูงขึ้น โดยเพิ่มจากการเป็นสัดส่วนของแหล่งพลังงานที่ร้อยละ 20.07 ในปี 2557 เป็นร้อยละ 23.01 ในปี 2559 (ก๊าซธรรมชาติมีสัดส่วนสูงสุดที่ร้อยละ 66.07) [6]

เนื่องจากปริมาณสำรองถ่านหินที่สูง ถ่านหินจึงยังคงเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของประเทศที่มีความสำคัญของโลก เช่น สหรัฐอเมริกา มีปริมาณถ่านหินสำรองสูงที่สุดในโลกโดยประเมินว่ามีถ่านหินสะสมอยู่ประมาณ 237,295 ล้านตัน สาธารณรัฐประชาชนจีนมีปริมาณถ่านหินสำรองที่ 114,500 ล้านตัน และสาธารณรัฐประชาชนจีนเป็นผู้ผลิตถ่านหินรายใหญ่ที่สุดในโลกโดยผลิตได้ 1,835 ล้านตันในปี พ.ศ. 2556 [7] สำหรับประเทศไทย จากข้อมูลในปี พ.ศ.2549 มีปริมาณถ่านหินสำรองที่ 2,075 ล้านตัน [8]

อย่างไรก็ตาม การลดมลพิษทางอากาศจากการใช้ถ่านหินด้วยระบบ FGD นี้จะได้วัสดุที่มีลักษณะองค์ประกอบคล้ายยิบซัม ผสมกับเถ้าลอยหรือถ่านหินและที่เหลือจากการเผา เราเรียกรวมว่า FGD by-product หรือ FGD material [9] บทความฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะนำเสนอลักษณะและแนวทางที่จะนำวัสดุ FGD material ไปใช้ประโยชน์ในลักษณะต่างๆตลอดจนความจำเป็นในการศึกษาเพื่อค้นหาผลกระทบก่อนนำไปใช้ เพื่อประโยชน์ในการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อม

กระบวนการกำจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (flue gas desulfurization system)

โดยส่วนใหญ่ระบบ FGD จะเป็นระบบที่ใช้ตัวดูดซับสารกำมะถัน เช่น ปูนขาว หรือหินปูน เป็นตัวกลางและดูดซับกำมะถัน และเปลี่ยนสภาพทางเคมีทำให้กำมะถันอยู่ในสภาพของแข็ง [10] สามารถแบ่งได้เป็นระบบเปียก (wet system) และระบบแห้ง (dry system) ในระบบเปียกจะดูดซับสารซึ่งละลายอยู่ในน้ำโดยทั่วไปใช้ปูนขาวละลายน้ำ (Hydrated lime, Ca(OH)2) และให้สัมผัสกับก๊าซ (flue gas) ในถึงปฏิกิริยากำมะถันในก๊าซจะละลายในน้ำและทำปฏิกิริยากับตัวดูดซับและกลายเป็นวัสดุ FGD (sludge) การดูดซับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของหินปูนเปียกและปูนขาวเปียกสามารถเขียนเป็นสมการเคมีที่ 1 และ 2

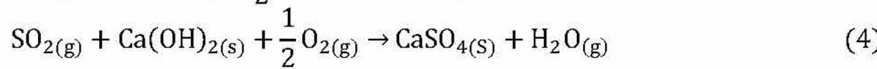
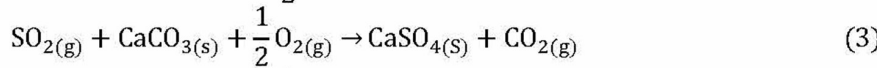
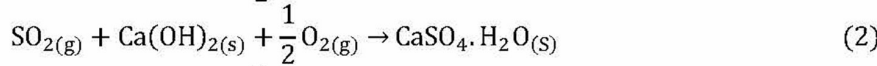
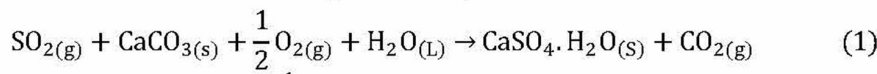


ประวัติผู้เขียนบทความ

**การศึกษา**  
วศ.บ. วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
MBA. Finance, Wright State University, Ohio  
MS. & PhD., Environ. Eng., the Ohio State Univ.

**หัวข้องานวิจัยที่สนใจ**  
Uses of flue gas desulfurization byproduct  
Industrial Waste Management  
Municipal Waste Management

**เอกสารอ้างอิง**  
[1] Taerakul, P.; Sun, P.; Golightly, D. W.; Walker, H.W. and Weavers, L. K. (2006). Distribution of arsenic and mercury in lime spray dryer ash, Energy & Fuel, 20, 1521 - 1527  
[2] MSNBC (2004). Deadly power plants? Study Fuels Debate: Thousands of Early Deaths Tied To Emissions." (2004-09-06), URL: [http://www.nbcnews.com/id/5174391/ns/us\\_news-environment/t/deadly-power-plants-study-fuels-debate/](http://www.nbcnews.com/id/5174391/ns/us_news-environment/t/deadly-power-plants-study-fuels-debate/), access on 31/03/2015.  
[3] สำนักข่าวไอเอ็นเอ็น (2558). ศาล สั่ง กฟผ. จ่ายชดเชยชาวบ้านแม่เมาะ หลังสูดดมกว่า 10 ปี, แหล่งที่มา <http://highlight.kapook.com/view/116507>, เข้าดูเมื่อวันที่ 31/03/58.  
[4] Electricity Generating Authority of Thailand (2002). 2002 Annual Report, [http://www.egat.co.th/en/index.php?option=com\\_content&view=article&id=165&Itemid=146](http://www.egat.co.th/en/index.php?option=com_content&view=article&id=165&Itemid=146), access on 31/03/2015.



ในระบบเปียก sludge จะถูกนำไปรีดน้ำ ซึ่งจะถ้าปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ตามที่กล่าวแล้วจะได้อัตราที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับยิปซัม (Synthetic Gypsum) ซึ่งสามารถนำไปใช้ในงานต่างๆ แทนการใช้ยิปซัม แต่กระบวนการจัดเก็บอาจไม่สามารถทำให้เกิดยิปซัมที่บริสุทธิ์ได้เนื่องจากอาจมีการรวมกับเถ้าลอย (fly ash) ในก๊าซร้อนจากการเผา หรือปูนขาวที่ทำปฏิกิริยาไม่หมด ซึ่งเป็นวัสดุที่เรียกว่า wet FGD ในระบบ FGD แบบแห้ง จะใช้วิธีการพ่นตัวดูดซับ เช่น ปูนขาว (CaO) หรือ ผงหินปูน (CaCO<sub>3</sub>) เข้าไปสัมผัสกับก๊าซร้อนในเตาเผาหรือในปล่องควันที่อุณหภูมิสูง ดังสมการที่ 3 และ 4 น้ำที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาจะระเหยกลายเป็นไอ เหลือเพียงกากปูนขาวหรือกากหินปูนแห้งที่ทำปฏิกิริยากับกำมะถันแล้ว ซึ่งจะถูกจัดเก็บด้วยอุปกรณ์ดักฝุ่น (electrostatic precipitator หรือ baghouse) พร้อมกับเถ้าลอยและถูกเรียกว่า dry FGD วัสดุ FGD ทั้ง 3 ชนิดนี้เป็นวัสดุที่ผลิตออกมาเป็นจำนวนมากในแต่ละปีจากการเผาถ่านหินในประเทศสหรัฐอเมริกา และมีปริมาณมากถึง 47.5 ล้านตันในปี 2014 และ 45.2 ล้านตันในปี 2015 [11]

สำหรับประเทศไทยการผลิตและการนำไปใช้ของวัสดุ FGD ยังไม่มีการทำสถิติบันทึก แต่หากจะต้องการดำเนินการคำนวณปริมาณ สามารถคำนวณจากการประเมินโดยคิดจากปริมาณถ่านหินที่ใช้ เช่น ในปี 2558 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตใช้ถ่านหิน 14.36 ล้านตัน [12] และหากประเมินว่าถ่านหินที่ใช้ในการผลิตถ่านหินเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าคิดเป็นร้อยละ 81 ของการใช้ถ่านหินทั้งประเทศ [13] จะได้ปริมาณถ่านหินทั้งหมดที่ใช้ภายในประเทศเท่ากับ 17.7 ล้านตันโดยประมาณ ถ้ากำหนดให้ ปริมาณกำมะถันโดยเฉลี่ยในถ่านหินเท่ากับ 2.41% (S) [14] จะได้ปริมาณกำมะถันที่ได้จากการเผาถ่านหินทั้งหมดในปีนั้นเท่ากับ 0.427 ล้านตัน ถ้ากำหนดให้ระบบ FGD โดยเฉลี่ยสามารถดูดซับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้อัตราร้อยละ 95 ปริมาณวัสดุ FGD ที่เกิดขึ้นไม่รวมเถ้าลอยที่อาจจะปนเข้ามาและปูนขาวที่เพิ่มเติมจะมีปริมาณทั้งสิ้น 2.05 ล้านตัน (เมื่อปรับน้ำหนักโมเลกุลให้เป็น CaSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O) ในการฝังกลบจะต้องใช้พื้นที่ประมาณ 180 ไร่ (คิดความหนาแน่นของวัสดุนี้ที่ 1,200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความลึกฝังกลบ 6 เมตร)

## การนำวัสดุ FGD มาใช้ประโยชน์

ในการทำปฏิกิริยาของซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับปูนขาวหรือหินปูนบดที่ขึ้น จะทำให้เกิดการทำปฏิกิริยาเป็น แคลเซียมซัลเฟต (CaSO<sub>4</sub>) หากไม่นำไปผสมกับเถ้าลอยและสิ่งฝังกลบ ก็สามารถนำไปปรับปรุงให้กลายเป็นวัตถุติดทนแทนการใช้ยิปซัมในงานทำแผ่นผนัง หรือแผ่นฝ้าเพดาน [15] ด้านการเกษตร วัสดุ FGD ถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงดิน การทำพื้นที่สำหรับที่เก็บพาง กั้นบ่อน้ำ หรือที่เก็บมูลสัตว์ และปรับค่า pH ในดิน จากการศึกษาการใช้วัสดุ FGD ในแปลงถั่วพบว่าให้ผลผลิตดีกว่าแปลงที่ใช้ปูนขาว [16,17] วัสดุ FGD มีคุณสมบัติที่น้ำซึมผ่านได้น้อย (10-7 เซนติเมตรต่อวินาที) จึงสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุที่ใช้ทำกั้นบ่อน้ำเพื่อกั้นน้ำซึมรั่วไหลได้ [18] คุณสมบัติของความเป็นด่างของวัสดุ FGD เกิดจากปริมาณปูนขาวที่ยังไม่ทำปฏิกิริยาหลงเหลืออยู่ คุณสมบัตินี้สามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงสภาพความเป็นกรดของน้ำที่ชะออกมาจากเหมือง (acid mine drainage) สามารถหยุดยั้งการปนเปื้อนของโลหะและธาตุต่างๆ ที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ [19] วัสดุ FGD ได้ถูกนำมาทดลองใช้ในการฟื้นฟูปะปนของเหมืองถ่านหินในรัฐโอไฮโอ สหรัฐอเมริกา เพื่อหยุดยั้งการทำปฏิกิริยาของน้ำฝนกับไฟรท์และซัลไฟด์ภายในเหมือง

- [5] Supasri, T.; Sumonsart, T. & Suwannathep, N. (2013). The Achievement of Environmental Impact Controls and The Study on the IGCC Project in Mae Moh Coal-Fired Power Plant: Asean ++ 2013: Moving Forward: paper presented in The 11th International Conference on Mining, Materials and Petroleum Engineering, The 7th International Conference on Earth Resources Technology and ASEAN Forum on Clean Coal Technology, November 11-13, 2013, Centara Duangtawan Hotel, Chiang Mai, Thailand.
- [6] กองสารสนเทศ ฝ่ายสื่อสารองค์กร, การไฟฟ้าฝ่ายผลิต (2559). สดส่วนการใช้เชื้อเพลิงผลิตพลังงานไฟฟ้าในระบบของ กฟผ. ปี 2559, แหล่งที่มา <http://www.egat.co.th>, เข้าดูเมื่อวันที่ 20/06/2560.
- [7] Wikipedia (2017). Coal, URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/Coal>, access on 20/06/2560
- [8] กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ กระทรวงพลังงาน (2552). ปริมาณสำรองถ่านหินในประเทศไทย, แหล่งที่มา [http://www.dmf.go.th/dmfweb/index.php?option=com\\_content&view=article&id=37:2009-10-27-12-53-17&catid=31:2009-10-27-12-22-32&Itemid=71&lang=th](http://www.dmf.go.th/dmfweb/index.php?option=com_content&view=article&id=37:2009-10-27-12-53-17&catid=31:2009-10-27-12-22-32&Itemid=71&lang=th), เข้าดูเมื่อวันที่ 31/03/58.
- [9] User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction, Federal Highway Administration Research and Technology (2017), <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structures/97148/fgd1.cfm>, access on 20/06/2560.
- [10] Stehouwer, R.; Dick, W.; Bickham J.; Foster, R.; Hitzhusen, F.; McCoy, E.; Traina, S.; Wolfe, W.; Haerner R. and Rowe, G. (1998). Land Application uses for Dry FGD By-Products: Phase 2. EPRI Report No. TR-109652, Electric Power Research Institute Palo Alto, CA.
- [11] American Coal Ash Association (2017), Publication: Production Use & Reports, <https://www.acaa-usa.org/Publications/Production-Use-Reports>, access on 20/06/2560.
- [12] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2560) , การใช้เชื้อเพลิงในการผลิต, แหล่งที่มา [https://www.egat.co.th/index.php?option=com\\_content&view=article&layout=edit&id=84&Itemid=200](https://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&layout=edit&id=84&Itemid=200), เข้าดูเมื่อวันที่ 20/06/2560.
- [13] กรมพลังงานทดแทน (2560), ข้อมูลและสถานภาพการใช้ถ่านหินในประเทศไทย, แหล่งที่มา [http://www.dede.go.th/ewt\\_w3c/ewt\\_news.php?nid=498](http://www.dede.go.th/ewt_w3c/ewt_news.php?nid=498), เข้าดูเมื่อวันที่ 20/06/2560
- [14] Sampattagul, S.; Kato, S.; Kiat-siroat, T. and Widiyanto, A. (2005). Life Cycle Analytical Tools and Externalities of the Flue Gas Desulphurization System in Thailand, CMU Journal, Vol4(1).

วัสดุ FGD เกิดขึ้นจากแก๊สร้อนที่ได้จากการเผาถ่านหินดังนั้นคุณสมบัติของวัสดุ FGD จึงขึ้นอยู่กับลักษณะของถ่านหินที่ใช้ กระบวนการเผา กระบวนการดูดซับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ปัจจัยเหล่านี้มีความแตกต่างในแต่ละหน่วยการดำเนินงาน จึงทำให้วัสดุ FGD ในแต่ละแหล่งกำเนิดมีความแตกต่างกัน แต่ทว่าการใช้วัสดุในการทำกิจกรรมต่างๆ เช่น การทำผนังเบา การทำที่เก็บมูลสัตว์หรือฟาง จะต้องมีการกำหนดคุณลักษณะที่ชัดเจนเพื่อใช้ในการคำนวณออกแบบ วัสดุ FGD จึงมีข้อจำกัดในการนำมาใช้ประโยชน์เพราะมีคุณสมบัติที่อาจเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา จากการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพถ่านหิน อุณหภูมิการเผา ปูนขาวที่ใช้ เป็นต้น การศึกษาถึงความอ่อนไหวของคุณสมบัติของวัสดุ FGD และวัสดุอื่นๆ ที่ได้จากการเผาถ่านหินจึงมีความสำคัญต่อการนำไปใช้ประโยชน์ [20]

วัสดุ FGD นับเป็นกากอุตสาหกรรมซึ่งทำให้เกิดความกังวลใจในการนำไปใช้ เนื่องจากอาจเกิดความเข้าใจผิดหรือความสับสนต่อการลักลอบทิ้งกากอุตสาหกรรม การใช้วัสดุ FGD จึงอาจทำให้เกิดความคลางแคลงใจในวัตถุประสงค์ ถ้าหากยังไม่มีที่ยืนยันจากการศึกษาอย่างแน่ชัดในประเทศไทยถึงประโยชน์ด้านต่างๆ ของการใช้งาน วัสดุ FGD จะกลายเป็นแคกากอุตสาหกรรมที่จะต้องดำเนินการกำจัดและไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในงานต่างๆ ได้

## สรุปและข้อเสนอแนะ

ในการกำหนดให้ถ่านหินเป็นแหล่งเชื้อเพลิงที่สำคัญในการผลิตกระแสไฟฟ้าหรือแหล่งกำเนิดพลังงานต่างๆ ในอุตสาหกรรมจะต้องมีการป้องกันผลกระทบของการเผาถ่านหิน เช่น การติดตั้งระบบ FGD และเพื่อให้การดำเนินการมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในวงจำกัด จะต้องคำนึงถึงผลผลิตที่ได้จากการดำเนินงานนั้น เช่น ถ่านลอย หรือ วัสดุ FGD การนำวัสดุ FGD มาใช้ประโยชน์จะช่วยลดปัญหา การจัดเก็บกากอุตสาหกรรมและลดค่าใช้จ่ายในการหาวัสดุ การศึกษาถึงคุณสมบัติของวัสดุ FGD ยังมีความจำเป็นต้องค้นหาความเหมาะสมในกิจกรรมเพื่อใช้ประโยชน์ และค้นหาคุณสมบัติที่อาจเปลี่ยนแปลงจากปัจจัยต่างๆ ความเข้าใจถึงประโยชน์และผลกระทบของวัสดุเป็นสิ่งที่จะต้องศึกษาอย่างต่อเนื่องเพื่อทำให้เกิดความเข้าใจของสังคมอย่างชัดเจนว่าวัสดุ FGD สามารถนำมาใช้ทดแทนวัสดุต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพและไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างที่เป็นกังวล.

- [15] Beeghly, J. H.; Smith, K. J. and Babu, M. (1997). The Dewatering and Agglomeration of FGD Gypsum into Micropellets for Use as a Soil Amendment, paper presented in 1997 International Ash Utilization Symposium, Lexington Kentucky, October 20-22, 1997.
- [16] Stehouwer, R.; Dick, W.; Bickham J.; Foster, R.; Hitzhusen, F.; McCoy, E.; Traina, S.; Wolfe, W.; Haerner R. and Rowe, G. (1998). Land Application uses for Dry FGD By-Products: Phase 2. EPRI Report No. TR-109652, Electric Power Research Institute Palo Alto, CA.
- [17] Korcak, R. F. (1998). Agricultural Uses of Coal Combustion Byproducts, In R. J. Wright, W.D. Kemper, P.D. Milner, J.F. Power and R.F. Korcak (eds). Agricultural Uses of Municipal, Animal, and Industrial Byproducts, U.S. Department of Agriculture, January 1998.
- [18] Butalia, T.S.; Mafi S. and Wolfe, W.E. (1997). Design of Full Scale Demonstration Lagoon Using Clean Coal Technology By-Products, paper presented in 13th International Conference on Solid Waste Technology and Management, Philadelphia, Pennsylvania, November 16-19, 1997.
- [19] Taerakul, P., Laminen, M., Walker, H.W., Traina, S. J., and Whitlatch, E.E. (2004). Long-Term Behavior of Fixed FGD Material Grout in Mine Drainage Environments, Journal of Environmental Engineering ASCE, 2004, Vol 130, pp. 816-823 .
- [20] Taerakul, P.; Sun, P.; Walker, H.; Weavers, L. K.; Golightly, D. W.; and Butalia, T. (2005). Variability of inorganic and organic constituents in lime spray dryer (LSD) ash. Fuel 2005, 84, 1820-1829.