

# เถ้าลอยลิกไนต์กับงานด้านสิ่งแวดล้อม

สร้อยดาว วินิจนันท์รัตน์

อาจารย์, สายวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ถนนประชากรูทิศ ราษฎร์บูรณะ บางมด กรุงเทพฯ 10140

ถ่านหินลิกไนต์ ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าในโรงไฟฟ้านั้น เมื่อถูกเผาไหม้ในเตาเผา จะเกิดเป็นเถ้าสองประเภท คือ เถ้าหนักประมาณร้อยละ 15 และเถ้าลอยร้อยละ 85

1. เถ้าหนักหรือเถ้าก้นเตา (bottom ash, wet ash) เป็นเถ้าที่ได้จากการปะทะของอนุภาคเถ้าในบริเวณที่เกิดการสันดาป โดยอนุภาคบริเวณนี้จะสูงพอที่จะหลอมเถ้าที่ปะทะกันให้เป็นเม็ดหรือตกลงสู่ก้นเตาได้ บางส่วนของเถ้าจะปะทะกับผนังเตา และหลอมติดกันรวมตัวกันเป็นก้อนขนาดใหญ่ เรียกว่าเถ้าตะกรัน (slag ash) เมื่อน้ำหนักรวมกันมาก ๆ เข้าจนเกาะติดผนังไม่ไหวก็จะหล่นลงสู่ก้นเตา

2. เถ้าลอย (fly ash, dry ash) เป็นเถ้าที่มีขนาดเล็กละเอียด ลอยไปกับก๊าซร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ออกไปทางปล่องควัน แต่ก่อนที่จะผ่านปล่องควัน จะถูกจับโดยเครื่องดักที่เรียกว่า Electrostatic precipitator แล้วส่งต่อไปยังถังเก็บ

โรงไฟฟ้าที่อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง เป็นโรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยได้มีการประมาณกันว่าจะต้องใช้ถ่านหินเกือบ 45,000 ตันต่อวัน และมีเถ้าถึง 13,400 ตันต่อวัน ที่จะต้องนำไปทิ้ง ซึ่งนับว่าเป็นภาระอันใหญ่หลวงอันหนึ่งของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

จากการศึกษาถึงองค์ประกอบทางเคมีในรูปออกไซด์ของเถ้าลอย พบว่ามีแคลเซียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์สูง จึงทำให้

เถ้าลอยนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในงานต่าง ๆ มากมายซึ่งส่วนใหญ่จะนำไปใช้ประโยชน์ในงานด้านก่อสร้างตัวอย่างเช่นในปี พ.ศ. 2531-2532 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้นำเถ้าลอยไปใช้ในงานก่อสร้างเป็นชั้นรองพื้นทางรองรับถนน และใช้ทำรากฐาน และในปี พ.ศ. 2535-2536 ได้ใช้ในงานถมกลับ (back fill) เพื่อซ่อมแซมและเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ทางระบายน้ำคอนกรีตของสถานีไฟฟ้าแม่เมาะ เป็นต้น

## การใช้เถ้าลอยลิกไนต์ในงานด้านสิ่งแวดล้อม

การใช้ประโยชน์จากเถ้าลอยลิกไนต์ในงานด้านสิ่งแวดล้อม ได้มีการศึกษาวิจัยกันในประเทศมานานพอสมควรแล้ว โดยนำมาใช้เป็นตัวยึดประสานในการหล่อแข็งสารอันตราย และใช้เป็นตัวดูดซับสี งานวิจัยที่ได้ตีพิมพ์เผยแพร่มีดังต่อไปนี้

Poon และคณะ (1986) ได้ทำการศึกษาการกำจัดกากตะกอนสังกะสี และปรอท โดยใช้ตัวยึดประสาน คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเถ้าลอยลิกไนต์ ในอัตราส่วนกากตะกอน/ปูนซีเมนต์ผสมซีเถ้าลอยลิกไนต์ เท่ากับ 1 พบว่า สามารถตรึงสังกะสี และปรอทได้

Rademaker และ Wiegers (1987) ได้ทำการศึกษาการกำจัดสารหนู แคดเมียม พลวง และเซลเลนียม โดยเตรียมอัตราส่วนผสมคือ 40 % toxic waste 50 % ซีเถ้าลอย 5 % ปูนขาว และ 5 % เป็นวัสดุปอลิโซลานชนิดอื่น ๆ พบว่าสามารถตรึงโลหะที่ศึกษาได้ทุกตัว

Roy และคณะ (1991) ได้ศึกษาโครงสร้างจุลภาคของการหล่อแข็งภาคตะกอนที่มี โครเมียม นิกเกิล แคลเซียม และปรอท โดยใช้ตัวยัดประสาน คือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเมนต์ class F อัตราส่วนปูนซีเมนต์/ซีเมนต์ 0.4 อัตราส่วนภาคตะกอน/ตัวยัดประสาน 1.43 โดยใช้เครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope) XRD(X-Ray Diffraction) และ EDX(Energy Dispersive X-ray Spectrometry) พบว่า จากSEM และ EDM ซีเมนต์ลอมมีรูปร่างทรงกลม โครงสร้างของ calcium silicate hydrate มีลักษณะเป็น irregular จากXRDจะพบผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันซึ่งได้แก่ calcium silicate hydrate, calcium aluminate hydrate, ettringite, monosulphate และ gypsum

Gupta และคณะ (1988) ได้ศึกษาการใช้ถั่วลอมลิกไนต์ในการกำจัดสี Metomega Chrome Orange GL. พบว่า การกำจัดสีจะดีขึ้นเมื่อน้ำหนักของซีเมนต์ลอมลดลง โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีร้อยละ 91 เมื่อน้ำหนักของซีเมนต์ลอมเป็น 125 ไมครอน และการกำจัดสีจะลดลงเหลือร้อยละ 64 เมื่อน้ำหนักของซีเมนต์ลอมเป็น 53 ไมครอน เมื่อใช้ความเข้มข้นสี 10 มก./ลิตร ที่ 30 องศาเซลเซียส

นอกจากนี้ Gupta และคณะ (1988) ยังพบว่า ต้องใช้เวลาในการดูดซับสี 120 นาที จึงจะถึงสภาวะสมดุล เมื่อให้ความเข้มข้นของสีเพิ่มขึ้นจาก 5 เป็น 20 มก./ลิตร การดูดซับสีจะลดลงจาก 99 % เป็น 69 % เมื่อทดลองที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และ pH เท่ากับ 4.2 สำหรับการนำถั่วลอมลิกไนต์ไปใช้ประโยชน์ในงานด้านสิ่งแวดล้อมที่ได้มีการศึกษาโดยสาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม สจธ. ได้มีการใช้ถั่วลอมลิกไนต์เป็นตัวยัดประสานสำหรับการหล่อแข็งนิกเกิลและการใช้ถั่วลอมลิกไนต์เป็นสารดูดซับในการกำจัดสีจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ โดยถั่วลอมลิกไนต์ได้รับความอนุเคราะห์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จ.ลำปาง ในหน่วยที่ 4-7 ขนาดอนุภาค 1-34 ไมครอน โดยมีองค์ประกอบของถั่วลอมลิกไนต์แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของถั่วลอมลิกไนต์

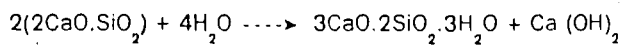
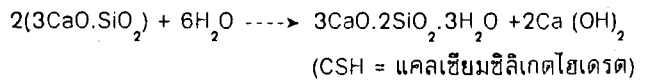
องค์ประกอบ	ร้อยละ (%)
Silicon dioxide, SiO <sub>2</sub>	45.12
Calcium oxide, CaO	20.50
Aluminium oxide, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.20
Ferric oxide, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.47
Sulphur oxide, SO <sub>3</sub>	5.76
Potassium oxide, K <sub>2</sub> O	1.14
Magnesium oxide, MgO	0.83
Sodium oxide, Na <sub>2</sub> O	0.82
Loss of ignition	2.24

## การใช้ถั่วลอมลิกไนต์ในงานหล่อแข็งภาคสารอันตราย

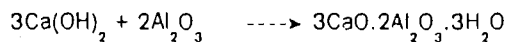
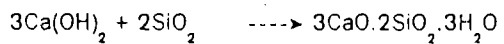
การหล่อแข็ง (solidification) เป็นกระบวนการนำกากของเสียที่เป็นอันตรายที่ผ่านการบำบัดแล้วมาทำให้อยู่ในรูปของแข็ง โดยมีตัวยัดประสาน ได้แก่ ซีเมนต์ ปูนขาว ซิลิกเกต ซีเมนต์ ต่าง ๆ โพลีเมอร์ ยางมะตอย เป็นต้น เพื่อตรึงสารพิษต่าง ๆ เหล่านี้โดยวิธีทางเคมีหรือฟิสิกส์ อันจะเป็นการลดการเคลื่อนที่ของสารที่เป็นอันตราย การหล่อแข็งเป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่ใช้ในการกำจัดภาคตะกอนโลหะหนักต่าง ๆ ที่เกิดจากการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะปนเปื้อน เช่น โรงงานฟอกหนังโรงงานชุบโลหะ

การใช้ถั่วลอมลิกไนต์ มีคุณสมบัติเป็นตัวยัดประสานได้ดั่งนั้น เนื่องจาก ในถั่วลอมลิกไนต์มีซิลิกาและอลูมินา ซึ่งเป็นสารปอซโซลาน (Pozzolan material) ซึ่งเมื่อทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิปกติแล้ว จะได้สารประกอบแคลเซียมซิลิกเกตไฮเดรต (CSH = Calcium Silicate Hydrate) และแคลเซียมอลูมินาไฮเดรต (CAH = Calcium Aluminate Hydrate) ดังสมการ

### ขั้นตอนที่ 1



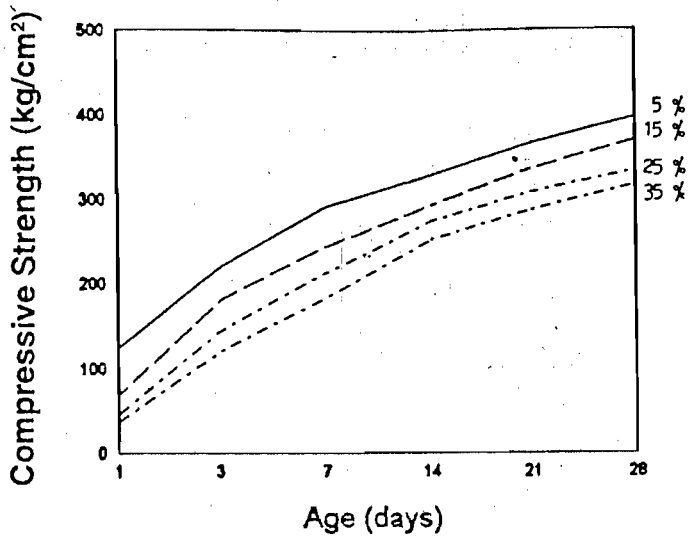
### ขั้นตอนที่ 2



(CAH = แคลเซียมอลูมินาไฮเดรต)

จากการทดลองใช้ถั่วลอมลิกไนต์เป็นตัวยัดประสานในการหล่อแข็งภาคตะกอนนิกเกิลที่เกิดจากการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ โดยศึกษาหาอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ต่อซีเมนต์ลอมลิกไนต์ที่อัตราส่วนซีเมนต์ลอมลิกไนต์ร้อยละ 5, 15, 25 และ 35 และปริมาณภาคตะกอน 10 % หรือมีสัดส่วนของ ปูนซีเมนต์และซีเมนต์ลอมลิกไนต์ : ทราย : ภาคตะกอน : น้ำ เท่ากับ 90 : 200 : 10 : 45 โดยน้ำหนัก พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนของซีเมนต์ลอมลิกไนต์เป็นการเพิ่มปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์ ซึ่งทำหน้าที่ในการตรึงนิกเกิล เพิ่มขึ้น และกำลังแรงอัดก็สูงกว่ามาตรฐานที่ 14 กก./ตร.ซม. เมื่อนำก้อนหล่อแข็งไปตรวจสอบการรั่วซึมของนิกเกิลพบว่าการรั่วซึมน้อยกว่ามาตรฐานกำหนด (50 ส่วนในพันล้านส่วน) โดยที่อัตราส่วนถั่วลอมลิกไนต์ร้อยละ 35 ให้กำลังอัดสูงสุด (ดังแสดงในรูปที่ 1)

นอกจากนี้ยังพบอีกว่า สามารถเพิ่มภาคตะกอนนิกเกิลเป็นร้อยละ 15 และ 20 ได้ โดยให้ค่ากำลังแรงอัด และค่าการรั่วซึมของนิกเกิลไม่เกินมาตรฐาน



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างหล่อแข็งที่มีปูนซีเมนต์ผสมแฉะร้อยละ 5, 15, 25 และ 35 กับระยะเวลาบ่ม

### การใช้เถ้าลอยเป็นสารดูดซับสี

ในปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีว่า อุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทย เป็นอุตสาหกรรมที่นำรายได้เข้าประเทศอย่างมหาศาล หากแต่ในกระบวนการผลิตนั้นมีขั้นตอนของการฟอกย้อมและพิมพ์ผ้า ก็จะก่อให้เกิดน้ำเสียที่มีสีขุ่นปนออกมาอยู่มาก ถึงแม้ว่ามาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรมจะกำหนดค่าสีแต่เพียง ไม่เป็นที่น่ารังเกียจเท่านั้น แต่ประชาชนคงจะไม่ยอมรับน้ำทิ้งที่มีสีได้ โรงงานจึงจำเป็นต้องพยายามลดสีให้อยู่ในระดับต่ำที่สุด การบำบัดน้ำเสียที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะใช้ระบบบำบัดทางชีววิทยา หรือระบบ

บำบัดทางเคมี อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือทั้งสองอย่างควบคู่กันไปแล้ว แต่ประเภทของโรงงานนั้นการบำบัดทางเคมีมักจะใช้วิธีการตกตะกอน ซึ่งสีบางชนิดจะกำจัดได้เพียงบางส่วนเท่านั้น นอกจากนี้ในอนาคต กรมโรงงานอุตสาหกรรมจะมีการกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งใหม่ โดยจะกำหนดค่า COD (Chemical Oxygen Demand) ด้วย ซึ่งจะมีผลกระทบต่อโรงงานฟอกย้อมและพิมพ์ผ้าได้ เพราะตัวสีย้อมเองจะให้ค่า ซีโอดี ด้วย ดังนั้นการจะกำจัดสีให้ได้ดียิ่งขึ้นจึงจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีอื่นเพิ่มเติม เช่น การใช้เยื่อแผ่น การใช้ไฟฟ้าแยกสี และการดูดซับสี เป็นต้น ซึ่งการดูดซับสีจะมีความเป็นไปได้อย่างมาก เพราะใช้เทคโนโลยีไม่สูงมากเมื่อเทียบกับวิธีอื่น ๆ แต่สารดูดซับสีจะมีราคาแพง โดยเฉพาะถ่านกัมมันต์ สายวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมจึงได้ทำการศึกษาเบื้องต้นถึงการนำเถ้าลอยลิกไนต์มาเป็นสารดูดซับทดแทนถ่านกัมมันต์

จากการศึกษาเบื้องต้นในการนำเถ้าลอยลิกไนต์ มากำจัดสีที่ใช้ในการฟอกย้อมและพิมพ์ผ้าในอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยในการทดลองได้เตรียมน้ำสีสังเคราะห์เข้มข้น 100 มก./ลิตร และใช้เถ้าลอย 1 กรัมดูดซับสีในสารละลายสีที่ได้เตรียมไว้ 50 มิลลิลิตร สีที่ใช้ในการทดลองได้แก่ สีแอสิด สีดิสเพอร์ส สีไดเรกต์ และสีรีแอคทีฟ ที่ pH 8 อุณหภูมิ 25°C และนำไปเขย่าด้วยความเร็ว 125 รอบต่อนาที พบว่าเถ้าลอยสามารถดูดซับสีได้หมดภายในเวลา 20 นาที โดยที่เถ้าลอยลิกไนต์ยังไม่หมดประสิทธิภาพ ต่อมาจึงได้ศึกษาเพิ่มเติม โดยเพิ่มปริมาณสารละลายสีเป็น 100 มิลลิลิตร และเพิ่มสีอีก 3 ประเภท ได้แก่ สีเบสิก สีซัลเฟอร์ และสีฟักเมนต์ โดยทดสอบความสามารถในการดูดซับสีที่ pH ต่าง ๆ 3 ค่า คือ 4, 6 และ 8 พบว่าความสามารถของเถ้าลอยลิกไนต์ในการดูดซับสีแต่ละประเภทแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความเข้มข้นของสีหลังการดูดซับและความสามารถในการดูดซับสีของเถ้าลอยลิกไนต์

Dye	Trade name	Concentration of Solution After Adsorption (ppm)			Amount adsorbed or % Removal (mg/g)		
		pH4	pH6	pH8	pH4	pH6	pH8
Disperse	Foron Resolin	2.4	1.7	2.0	97.6	98.3	98
		80-100	80-100	80-100	≤20	≤20	≤20
Acid	Nylosan Telon	6.8	11.8	11.0	93.2	88.2	89
		23.5	34.1	43.1	76.5	65.9	56.9
Reactive	Drimarene Levafix	34.2	41.2	37.3	65.8	58.8	62.7
		52.5	51.4	51.7	47.5	48.6	48.3
Direct	Indosol Sirius	4.2	3.1	5.9	95.8	96.9	94.1
		20	21.1	21.4	80	78.9	78.6
Basic	Apollofix Cationic	21.8	21.7	23.0	78.2	78.3	77
		12-100	12-100	12-100	≤88	≤88	≤88
Sulphur	Sulphosol	28.4	39	41.8	71.6	61	58.2
Pigment	Acramin	0.1	0.1	0.3	99.9	99.9	99.7

