มลพิษจากโรงงานถลุงแร่ตะกั่ว

ปัยวุฒิ เลาวเลิศ

ความต้องการใช้ตะกั่วในกิจการต่าง ๆ ของประเทศไทย ประมาณได้ 20,000 เมตริกตันต่อปี มีการนำเข้าจากต่างประเทศประมาณ 10,000 เมตริกตันต่อปี ส่วนที่เหลือได้จากโรงงานถลุงแร่ตะกั่วและโรงงานถลุงตะกั่วจากเศษแบตเตอรี่ ซึ่งตั้งอยู่ตามที่ต่าง ๆ จำนวนประมาณ 5 โรงงาน เช่น โรงงานที่อำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ และที่อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี เป็นต้น สำหรับการถลุงตะกั่วจากแร่ตะกั่วนั้น มีโรงงานถลุงแร่ที่จังหวัดกาญจนบุรีและสงขลา ใช้แหล่งแร่จากกาญจนบุรีและพัทลุง โรงงานถลุงแร่ที่อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี เริ่มดำเนินการผลิตในเดือนมีนาคม 2531 มีการผลิตประมาณ 12,000 เมตริกตันต่อปี ทำการผลิตตะกั่วแท่งความบริสุทธิ์สูง (99.99%) การผลิตตะกั่วแท่งบริสุทธิ์เพื่อทดแทนการนำเข้าย่อมจะเป็นประโยชน์ต่อประเทศ แต่ในขณะเดียวกันสิ่งที่ตามมากับการผลิตก็คือ ปัญหามลพิษที่เกิดจากกระบวนการผลิตนั่นเอง ดังนั้นการมีมาตรการควบคุมและป้องกันที่ดี จะช่วยไม่ให้สารมลพิษฟุ้งกระจายไปในสิ่งแวดล้อมได้

ตะกั่ว เป็นโลหะที่มีคุณสมบัติโดยทั่วไปดังนี้ อ่อน มีสีน้ำเงินปนเทา เป็นโลหะหนัก มีน้ำหนักอะตอม (atomic weight) 207.19 ความถ่วงจำเพาะ (SG) 11.3 มีความอ่อนตัวมากและเฉื่อยต่อปฏิกริยาทางเคมี มีจุดเดือดที่ 1,740°ซ. และหลอมเหลวที่ 327.4°ซ.

ตะกั่วที่ใช้ในวงการอุตสาหกรรมแบ่งออกเป็น 2 พวก คือ

1. **สารประกอบอนินทรีย์ของตะกั่ว (inorganic lead compounds)** เช่น โลหะตะกั่ว ตะกั่วอะซีเตต ตะกั่วซัลเฟต ตะกั่วซัลไฟด์และออกไซด์ของตะกั่ว เป็นต้น

2. **สารประกอบอินทรีย์ของตะกั่ว (organic lead compounds)** เช่น ตะกั่วเตตราเอทิล ตะกั่วเตตราเมทิล เป็นต้น

กรรมวิธีผลิตตะกั่วจากแร่ตะกั่ว

แร่ตะกั่ว (lead ores) เป็นสารประกอบของตะกั่วที่สามารถพบได้ในรูปต่าง ๆ เช่น

- รูปของซัลไฟด์ (PbS) ในแร่กาลีนา (Galena)
- รูปของคาร์บอเนต ($PbCO_3$) ในแร่เซรัสไซท์ (Ce-rusite)
- รูปของซัลเฟต ($PbSO_4$) ในแร่แองกลีไซท์ (Anglesite)

การถลุงแร่ตะกั่วจากแร่เซรัสไซท์ที่อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี มีกรรมวิธีแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ ๆ คือ

1. **การถลุง (smelting)** วัตถุดิบประกอบด้วยผงแร่ที่ผ่านขั้นตอนการลอยแร่ (floatation) มีขนาดประมาณ 55 ไมครอน มีตะกั่วไม่น้อยกว่าร้อยละ 60 ความชื้นประมาณร้อยละ 10 รวมกับฝุ่นตะกั่วที่ได้จากเครื่องกรอง (filter) นำไปผสมกับฟลักซ์ (ทราย ปูนขาว เหล็กออกไซด์และถ่านโค้ก) ในอัตราส่วนที่เหมาะสม ป้อนเข้าเตาถลุง (short rotary furnace) เผาที่อุณหภูมิประมาณ 600-800°ซ. แล้วเพิ่มอุณหภูมิเป็น 1,100°ซ. ทิ้งไว้ประมาณ 7-8 ชั่วโมง โดยที่เตาถลุงจะหมุนรอบตัวเองอย่างช้า ๆ เมื่อแร่ตะกั่วละลายและแยกตัว ตะกั่วจะตกไปอยู่ชั้นล่างและขี้ตะกรันอันประกอบด้วย ซิลิก้า เหล็ก แคลเซียม และถ่านจะแยกตัวอยู่ข้างบน รอการตักไปทิ้งหรือผ่านกรรมวิธีแยกแบบอื่น ถ้าตะกรันเหล่านั้นยังมีโลหะที่มีค่าปนอยู่ในอัตราส่วนที่เหมาะสมในเชิงพาณิชย์ ส่วนตะกั่วเหลวจะถูกปล่อยให้ไหลออกจากเตาถลุงลงสู่ภาชนะที่เตรียมไว้เพื่อนำไปผ่านขั้นตอนที่ 2 คือการทำให้สะอาดต่อไป

2. **การทำโลหะตะกั่วให้สะอาด (refining)** ตะกั่วที่ได้จากการถลุงอาจจะมีโลหะมลทินบางชนิดปนอยู่ในปริมาณเกินกว่าที่มีมาตรฐานได้กำหนดไว้ จึงต้องมีการกำจัดออกไป โลหะมลทินที่มักเจือปนอยู่กับโลหะตะกั่ว คือ ทองแดง สารหนู พลวง ดีบุก และเงิน การกำจัดโลหะมลทินเหล่านี้ ทำเป็นขั้นตอนดังนี้

2.1 ถ่ายโลหะตะกั่วหลอมเหลวจากเตาถลุงไว้ในกะทะเหล็กหรือเตาอนขนาดเล็ก ควบคุมให้อุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมตัวของโลหะตะกั่วเล็กน้อย และรักษาสภาพดังกล่าวไว้นานพอสมควร เพื่อให้โอกาสทองแดงและโลหะมลทินอื่นที่มีจุดหลอมตัวค่อนข้างสูงตกตัวเป็นฝ้า และกากโลหะ-แยกออกจากโลหะหลอมเหลว โลหะทองแดงที่ยังเหลือค้างอีกเล็กน้อยจะถูกกำจัดโดยให้ทำปฏิกริยาเคมีกับผงกำมะถัน ให้กลายเป็น dross ซึ่งจะถูกตักออกจากโลหะตะกั่วหลอมเหลวได้

2.2 สารหนู พลวงและดีบุก ซึ่งถูกออกซิไดส์ได้ง่ายกว่าตะกั่ว จะถูกกำจัดออกโดยวิธีพ่นลมหรือให้ทำปฏิกริยากับโซดาไฟ (NaOH) และดินประสิว ($NaNO_3$) ซึ่งเป็นสารที่มีความสามารถในการเติมออกซิเจน โลหะมลทินทั้งสามจะถูกออกซิไดส์ให้กลายเป็น dorss

2.3 โลหะตะกั่วมักจะมีโลหะเงินเจือปนอยู่ด้วยเสมอ การแยกโลหะเงินออกจากตะกั่วหลอมเหลว ทำได้โดยการกวนด้วยโลหะสังกะสี โลหะเงินและสังกะสีจะจับตัวกันเป็นกากโลหะผสมที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าโลหะตะกั่วหลอมเหลว จึงลอยขึ้นมาอยู่บนผิวหน้าและตัดแยกออกได้ง่าย

โลหะตะกั่วหลอมเหลวที่บริสุทธิ์สูงจะถูกหล่อเป็นแท่ง เพื่อนำไปใช้งานหรือจำหน่ายต่อไป จากกระบวนการผลิต จะเห็นว่า มลพิษที่เกิดจากโรงงาน ได้แก่

1. มลพิษทางอากาศ (air pollution)

1.1 มลพิษที่เกิดจากการใช้น้ำมัน โรงงานใช้น้ำมันเตาเกรด C เป็นเชื้อเพลิงประมาณ 12,000 ลิตรต่อวัน อาจจะก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับเขม่าและก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ขึ้นได้

1.2 มลพิษที่เกิดจากฝุ่นของผงแร่และตะกั่ว จากกรรมวิธีผลิต ขั้นตอนการเทแร่ใส่เตาช่วงแรกและตลอดระยะเวลาการถลุงจะเกิดการฟุ้งกระจายของผงแร่ได้ ในเตาหมุนที่อุณหภูมิประมาณ 1,100° ซ. เป็นเวลา 7-8 ชั่วโมง แร่เซรัสไซท์ ($PbCO_3$) จะละลายตัวเป็นตะกั่วออกไซด์แล้วถูกรีดิวส์ด้วยถ่านโค้กหรือก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ที่เกิดขึ้นภายในเตา ดังสมการ

$$PbCO_3 \longrightarrow PbO + CO_2\uparrow$$
$$2PbO + C \longrightarrow 2Pb + CO_2\uparrow$$
$$PbO + CO \longrightarrow Pb + CO_2\uparrow$$

ที่อุณหภูมิสูงเช่นนี้ ตะกั่วบางส่วนจะระเหยกลายเป็นไอได้ ดังนั้นจะมีฝุ่นผงแร่และไอตะกั่วออกไปกับอากาศเสีย

โรงงานได้ควบคุมและป้องกันมลพิษทางอากาศ โดยการดูดเอาอากาศเสียที่ออกจากเตาถลุงนี้ เข้าสู่หอพักหลังเตาถลุง เพื่อให้ก๊าซที่ยังเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เกิดการสันดาปที่สมบูรณ์ขึ้น ด้วยวิธีการอัดอากาศจากภายนอกเข้าไปและทำให้อุณหภูมิของอากาศเสียในหอพักนี้ลดลง อากาศเสียจากหอพักหลังเตาถลุงจะถูกดูดผ่านเข้าไซโคลน (Cyclone) ซึ่งทำหน้าที่เก็บกักฝุ่นพร้อมทั้งลดอุณหภูมิของอากาศเสียลงอีก โดยเอาอากาศจากภายนอกเข้าไปผสมจนอุณหภูมิของอากาศเสียที่ออกจากไซโคลนไม่เกิน 150° ซ. แล้วผ่านเข้าไปในเครื่องกรองฝุ่น (bag filter) จากนั้นอากาศเสียจะเข้าสู่ปล่องปล่อยสู่บรรยากาศต่อไป

2. มลพิษทางน้ำ (water pollution)

จากขบวนการผลิตทุกขั้นตอนไม่มีการใช้น้ำ เพียงแต่ใช้น้ำล้างทำความสะอาดโรงงานและน้ำฝนที่ตกลงชะล้างบริเวณโรงงาน ทางโรงงานได้ขุดคูน้ำขนาดกว้าง 3 เมตร บริเวณหลังโรงงานทางด้านใกล้แม่น้ำแควใหญ่ เพื่อเก็บกักน้ำล้าง น้ำฝน น้ำที่ใช้แล้วไม่ให้ไหลลงสู่แม่น้ำแควใหญ่

3. ของเสียอื่น ๆ (solid waste)

ของเสียอื่นที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต คือ ตะกรัน (กากโลหะ) ตะกรันนี้ประกอบด้วยสารประกอบซิลิเกตของโลหะพวกเหล็ก-ออกไซด์ อะลูมินา แคลเซียม และแมกนีเซียม-ออกไซด์และอาจมีเศษทองแดง สังกะสี และตะกั่วปนอยู่ด้วย โรงงานได้แก้ไขโดยขุดบ่อถมตะกรันเหล่านี้ไว้ในบริเวณด้านข้างโรงงาน

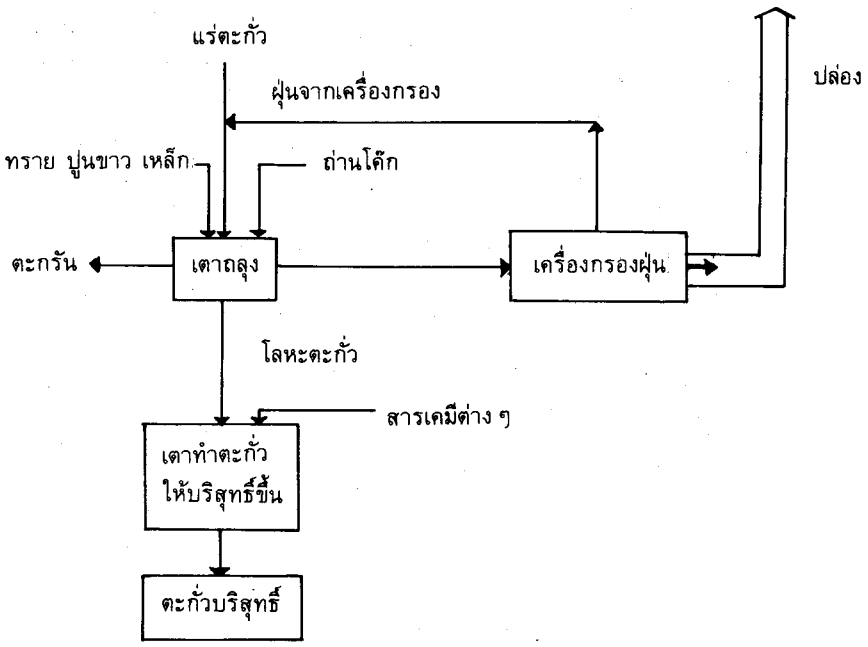
กรมวิทยาศาสตร์บริการ โดยกองฟิสิกส์และวิศวกรรม ได้รับการร้องขอจากโรงงานผลิตตะกั่วจากแร่เซรัสไซท์ ให้ดำเนินการศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณสารมลพิษที่ปล่อยออกจากปล่องของโรงงาน เจ้าหน้าที่ของฝ่ายวิเคราะห์วิจัยสภาวะแวดล้อม กองฟิสิกส์และวิศวกรรมจึงได้ไปเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ปริมาณสารมลพิษตั้งแต่เดือนมีนาคม 2531 เป็นประจำทุกเดือนใน 6 เดือนแรกและต่อไปทุก 3 เดือน เจ้าหน้าที่ได้เก็บตัวอย่างถึงเดือน ตุลาคม 2532 รวมทั้งหมด 10 ครั้ง จำนวน 10 ตัวอย่าง แล้ววิเคราะห์ตรวจหาสารมลพิษ ฝุ่น ตะกั่ว ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และสารหนู

รายงานผลการวิเคราะห์ปริมาณสารมลพิษในปล่องที่ปล่อยออกจากโรงงาน 10 ตัวอย่าง ยกเว้นรายการ SO_2 เป็นค่าเฉลี่ยจาก 9 ตัวอย่าง มีดังนี้

สารมลพิษ	ค่าสูงสุด mg/m^3	ค่าต่ำสุด mg/m^3	ค่าเฉลี่ย mg/m^3	ข้อกำหนดของกรมโรงงานอุตสาหกรรม mg/m^3
ฝุ่น	342.5	5	51.07	ไม่เกิน 100
Pb	52	.04	6.57	" 30
SO_2	180.7	6.24	72.8	" 1,300 ppm.
AS_2O_3	.05	ไม่พบ	.005	" 20

เมื่อเทียบปริมาณสารพิษของโรงงานที่ตรวจพบกับมาตรฐานที่กำหนด ปริมาณสารมลพิษโดยเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด มีรายงานผลของตัวอย่างหนึ่งที่มีปริมาณฝุ่นและตะกั่วเกินกว่ามาตรฐาน หลังจากนั้นผลการตรวจสอบคราวต่อมาไม่ผิดปกติ คาดว่าการเก็บตัวอย่างครั้งนั้น bag filter มีรอยรั่วเกิดขึ้น ทำให้มีปริมาณสารพิษฟุ้งกระจายสู่บรรยากาศสูงกว่าปกติ เมื่อโรงงานได้ทราบผลวิเคราะห์แล้ว คงได้ปรับปรุงเปลี่ยน filter ให้อยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ดังเดิม

แผนภูมิกระบวนการผลิตตะกั่วจากแร่ตะกั่ว

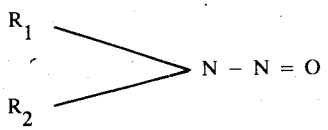


สารก่อมะเร็ง "ไนโตรซามีน"

อำนวยพร ฤทธิจันทร์

ในต้นศตวรรษที่ 19 คนงานในโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภทป่วยเป็นโรคมะเร็งเป็นจำนวนมาก จนถือว่ามะเร็งเป็นโรคที่เกิดมาจากอาชีพ (occupational disease) เช่น คนงานในโรงงานผลิตสีย้อมมักเป็นมะเร็งที่กระเพาะปัสสาวะ คนงานทำความสะอาดปล่องไฟเป็นมะเร็งที่อัณฑะและผิวหนัง ต่อมาพบว่าสารเคมีหลายชนิดเป็นสาเหตุของโรคมะเร็ง จึงมีคำว่า "สารก่อมะเร็ง" (carcinogen) ซึ่งหมายถึงสารใด ๆ ที่เหนี่ยวนำให้มนุษย์และสัตว์เป็นมะเร็ง ปัจจุบันนอกจากคนงานในโรงงานอุตสาหกรรมแล้ว ผู้อุปโภคบริโภคทั่วไปก็มีอัตราการป่วยด้วยโรคมะเร็งสูงขึ้น เนื่องจากความเจริญทางด้านอุตสาหกรรม จึงนำสารเคมีมาใช้ในเครื่องอุปโภคบริโภคมากขึ้น การแพร่กระจายของสารก่อมะเร็งจึงมีอยู่ทั่วไปในสภาวะแวดล้อม เช่น ในน้ำ อากาศ อาหาร เป็นต้น

สารก่อมะเร็งมีหลายประเภท เช่น สารประเภท polycyclic aromatic hydrocarbon ซึ่งประกอบด้วยโมเลกุลของเบนซินต่อกันเป็นวง เกิดขึ้นเมื่อการเผาไหม้สารอินทรีย์เป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ สารประเภท aromatic amines หลายชนิดโดยเฉพาะที่มีคาร์บอนต่อเป็นวงมากกว่าหนึ่งวง ซึ่งพบมากในอุตสาหกรรมสีย้อม อุตสาหกรรมยาง สารก่อมะเร็งที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ เช่น อะฟลาทอกซิน (aflatoxin) ที่เกิดจากรา Aspergillus flavus สารประเภทไนโตรซามีน (nitrosamines) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งที่แรงกว่าสารก่อมะเร็งดังกล่าวข้างต้น ทั้งนี้เพราะไนโตรซามีนละลายได้ดีทั้งในน้ำและไขมัน จึงถูกดูดซึมได้ง่าย และก่อให้เกิดมะเร็งที่อวัยวะต่าง ๆ เช่น ตับ ไต หลอดอาหาร กระเพาะอาหาร ปอด และกระเพาะปัสสาวะ ความสามารถก่อมะเร็งขึ้นอยู่กับปริมาณ ชนิด และระยะเวลาที่ได้รับสารไนโตรซามีน ตลอดจนความสามารถด้านทานมะเร็งของร่างกายด้วย



สูตรโครงสร้างพื้นฐานของสารประกอบไนโตรซามีน

โครงสร้างของไนโตรซามีนประกอบด้วย 2 ส่วน คือ หมู่เอมีน (R_1R_2N-) และหมู่ไนโตรซิล ($-N=O-$) ดังนั้นคุณสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ และความสามารถก่อมะเร็งจึงขึ้นกับขนาดและชนิดของ R_1 และ R_2 ที่เกาะกับหมู่เอมีน ความรุนแรงของสารก่อมะเร็งจะเพิ่มขึ้นเมื่อความยาวของสายโซ่อัลคิล (R_1, R_2) ของหมู่เอมีนลดลง เช่น nitrosodimethylamine เป็นสารก่อมะเร็งที่มีความรุนแรงมากคือ มีค่า LD_{50} 27-41 มิลลิกรัม/กิโลกรัมของน้ำหนัก