

ชื่อโครงการ “การค้นหาสาเหตุของมลพิษที่เจือปนในสังกะสีออกไซด์”

(Investigation of Contamination in Zinc Oxide)

นายปณิต ลักคุณะประสิทธิ์ และ นายพิทวัส จินดา และ นายสุธี ภควลีธร

รศ. ดร. ธวัชชัย ชรินพานิชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา

ศ. ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย* e-mail ctawat@chula.ac.th

คุณธนาภย์ เกียรติวสกุล ผู้รับผิดชอบด้านโรงงาน

บริษัท ยูนิเวนเจอร์ จำกัด บริษัทที่เข้าร่วมโครงการ

บทคัดย่อ

สังกะสีออกไซด์เป็นสารตั้งต้นสำคัญในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การผลิตสี ยางรถยนต์ เครื่องสำอาง เกสซ์ ภัณฑ์ ทั้งนี้สารมลพิษที่ปนอยู่ในสังกะสีออกไซด์จะมีผลมากต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์และประโยชน์ใช้งานของสังกะสีออกไซด์นั้น ในทางปฏิบัติการผลิตสังกะสีออกไซด์มีโอกาสที่สารมลพิษต่างๆจะเข้ามาปนเปื้อนผลิตภัณฑ์อยู่หลายทาง ดังนั้นการค้นหาสาเหตุของสารมลพิษในสังกะสีออกไซด์จึงมีความสำคัญมาก จากการศึกษาเก็บข้อมูลในโรงงานจริงที่ใช้การผลิตแบบ French process โดยใช้สังกะสีแบบแท่งเป็นสารตั้งต้นหลัก พบว่าสารมลพิษเกิดจาก 2 แหล่ง คือ สารมลพิษที่เจือปนในสังกะสีที่ใช้เป็นสารตั้งต้นและสังกะสีซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่ปฏิกิริยาไม่หมด

คำสำคัญ สังกะสีออกไซด์ สารมลพิษ การเก็บตัวอย่างแบบไอโซคินेटิก การวิเคราะห์ตัวอย่าง

1. บทนำ

สังกะสีออกไซด์ (ZnO) เป็นสารเคมีที่มีการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท เช่น การผลิตสี ยางรถยนต์ เครื่องสำอาง เกสซ์ ภัณฑ์ ทั้งนี้ในการผลิตสังกะสีออกไซด์นั้นมีโอกาสที่สารมลพิษจะปนเปื้อนเข้ามาได้มากมาย สารมลพิษเหล่านั้นจะส่งผลต่อคุณภาพของสังกะสีออกไซด์เอง ทำให้มูลค่าของสังกะสีออกไซด์ที่ผลิตได้ต่ำลง ทั้งๆที่ในทางปฏิบัติ ปัญหาเหล่านี้มีทางที่จะป้องกันหรือแก้ไขได้ หากทางโรงงานทราบสาเหตุของการเกิดหรือแหล่งที่กำเนิดของสารมลพิษต่างๆ แต่อย่างไรก็ดี โรงงานที่ผลิตสังกะสีออกไซด์นั้นก็ยังขาดความรู้และประสบการณ์ในการวิเคราะห์หาสาเหตุของสารมลพิษอย่างเป็นระบบ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะค้นหาสาเหตุของสารมลพิษและการพัฒนาองค์ความรู้สำหรับการวิเคราะห์เพื่อค้นหาสาเหตุการปนเปื้อนที่เจือปนใน

ผลิตภัณฑ์สังกะสีออกไซด์ พร้อมทั้งเสนอแนวทางการลดปริมาณสารมลพิษหรือแนวทางในการป้องกันไม่ให้สารมลพิษปนเปื้อนเข้าไปในผลิตภัณฑ์สังกะสีออกไซด์ที่ผลิตได้

การศึกษานี้ได้แบ่งออกเป็นการศึกษาทั้งทางทฤษฎีและภาคปฏิบัติโดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ กระบวนการผลิต การเก็บตัวอย่าง และการวิเคราะห์ตัวอย่าง

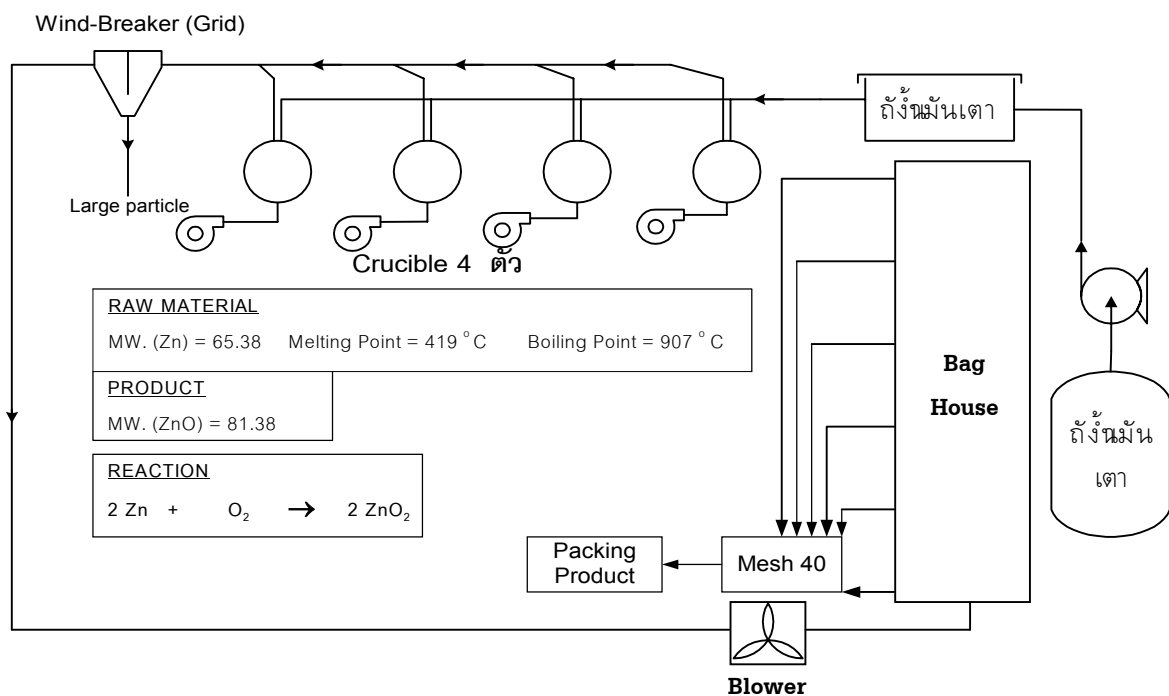
กระบวนการผลิตสังกะสีออกไซด์นั้นมีด้วยกันหลายกระบวนการ แต่ที่ทางโรงงานนี้เลือกใช้ คือ การศึกษากระบวนการ French Process ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตที่มีใช้อย่างกว้างขวางที่สุด

กระบวนการผลิตแบบ French process มีหลักการดังแสดงในรูปที่ 1 กล่าวคือ จะเริ่มต้นโดยการนำสังกะสีแบบแท่ง หรือ Zinc Ingot มาหลอมละลายในเบ้าหลอม (Crucible) ซึ่งถูกให้ความร้อนโดยอาศัยการ

เผาไหม้ น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงจนกระทั่งสังกะสีระเหยกลายเป็นไอ แล้วจึงใช้การขนส่งโดยใช้ท่อลม (Pneumatic Conveying) ดูดไอสังกะสีให้ผสมกับอากาศ และปล่อยให้ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่มีอยู่ในอากาศ จนเกิดเป็นอนุภาคสังกะสีออกไซด์ จากนั้นกระแसाากาศที่มีอนุภาคจะไหลปะทะกับ กริด (grid หรือ Spark arrester) ซึ่งทำหน้าที่กำจัดประกายไฟที่

อาจก่ออันตรายต่อระบบ นอกจากนี้ยังสามารถดักจับอนุภาคขนาดใหญ่ได้บางส่วนอีกด้วย

จากนั้นกระแอากาศที่พัดพาอนุภาคสังกะสีออกไซด์จะค่อยๆ ระบายความร้อนให้กับบรรยากาศในระหว่างที่ขนส่งไปตามท่อแล้วถูกกรองจับเก็บด้วยถุงกรอง จากนั้นจะถูกนำไปร่อนเพื่อคัดขนาดอีกครั้ง



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตแบบ French Process ในโรงงานยูนิเวนเจอร์

2. อุปกรณ์

ในการค้นหาสาเหตุของสารมลทินที่ปนเปื้อนในสังกะสีออกไซด์ที่ผลิตด้วยกระบวนการดังกล่าว มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องการทำการเก็บตัวอย่างอนุภาคที่จุดต่างๆ ในกระบวนการเพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมี ดังนั้นในโรงงานนี้จึงนำหลักการเก็บตัวอย่างอนุภาคแบบ Isokinetic มาใช้ โดยส่วนประกอบต่างๆ ของชุดอุปกรณ์ เก็บตัวอย่างวัสดุอนุภาคประกอบด้วย

- ท่อปีโตต์คู
- มาโนมิเตอร์
- ท่อเทฟลอน
- เทอร์โมคัปเปิล (Thermo couple)
- ตัวยึดท่อปีโตต์คู
- อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
- น้ำแข็งแห้ง
- เครื่องเก็บตัวอย่างอนุภาคแบบไอโซคิเนติก (isokinetic sampling device)
- จารบีสูญญากาศสูง (High vacuum grease)

3. วิธีการทดลอง

วิธีการค้นหาสาเหตุมลพิษในเจ็บบนทำได้โดยวิเคราะห์ตัวอย่างอนุภาคด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ที่สามารถตรวจพบสารมลพิษในเจ็บบนในผลิตภัณฑ์ เช่น X-ray diffraction (XRD), Inductively coupled plasma (ICP) แล้วนำผลมาสรุปเพื่อหาจุดที่ต้องสงสัยในการเกิดสารมลพิษในผลิตภัณฑ์ได้ หนึ่งการเก็บตัวอย่างอนุภาคตามจุดต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตเพื่อนำไปวิเคราะห์แบ่งเป็น 2 ประเภทคือ

3.1 การเก็บตัวอย่างภายนอกห้องส่งในโรงงาน

เป็นการเก็บตัวอย่างในตำแหน่งที่สามารถเก็บได้โดยไม่ใช้เครื่องเก็บตัวอย่างอนุภาค ซึ่งทำขึ้นที่ตำแหน่งต่าง ๆ ดังนี้

- ตำแหน่งปล่องท่อกรด
- ตำแหน่งก่อนผ่านตะแกรงร่อน
- ตำแหน่งหลังผ่านตะแกรงร่อนหรือผลิตภัณฑ์

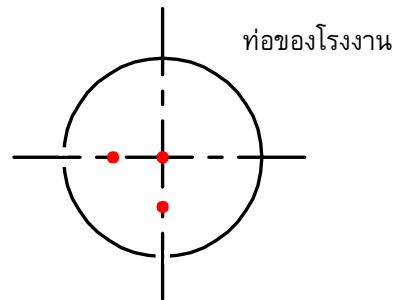
3.2 การเก็บตัวอย่างภายในห้องโรงงาน

เพื่อให้ได้ตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของสิ่งก่อกวนที่ผลิตขึ้นในกระบวนการผลิต ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องใช้หลักการเก็บตัวอย่างอนุภาคแบบไอโซไคเนติก (Isokinetic Sampling) ซึ่งก็คือ การเก็บตัวอย่างขณะที่เวกเตอร์ความเร็วทั้งขนาดและทิศทางของไหลในห้องเก็บตัวอย่างเท่ากับความเร็วของไหลในห้องโรงงานซึ่งจะทำให้ได้อนุภาคจำนวนหนึ่งซึ่งเป็นตัวแทนประชากรทั้งหมดไปทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ในกรณีก่อนทำการเก็บตัวอย่างอนุภาคจึงต้องวัดความเร็วของของไหลในห้องโรงงานเสียก่อน ทำให้ต้องแบ่งขั้นตอนออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

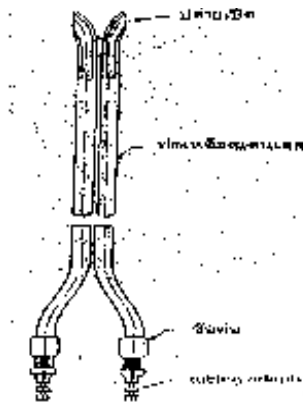
3.2.1 การวัดความเร็วของอากาศภายในห้อง

เนื่องจากโดยธรรมชาติในขณะที่ก๊าซไหลอยู่ในท่อ ไม่ว่าจะเป็นอนุภาคของแข็งแขวนลอยอยู่หรือไม่ก็ตาม มักเกิดการกระจายความเร็วในแนวพื้นที่หน้าตัดของท่อที่ก๊าซไหลอยู่ เพื่อทำการประมาณค่าความเร็วในการ

ไหล ณ จุดต่าง ๆ ที่จะทำการเก็บตัวอย่าง โดยในการนี้ได้เก็บตัวอย่าง ณ ตำแหน่งที่แสดงไว้ในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตำแหน่งที่ทำการวัดความเร็วก๊าซและทำการเก็บตัวอย่างอนุภาค



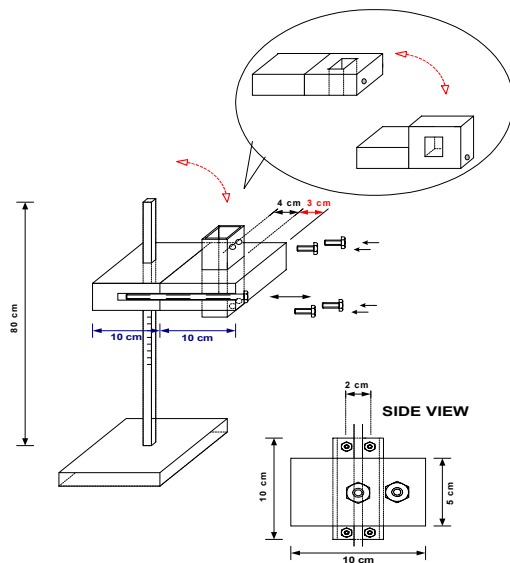
รูปที่ 3 ท่อพิโตตัสสำหรับวัดความเร็วก๊าซในห้อง

อุปกรณ์ที่สะดวกต่อการใช้และเหมาะกับโรงงานนี้ซึ่งเป็นการเก็บตัวอย่างอนุภาคที่อุณหภูมิสูงได้แก่ ท่อพิโตตัสซึ่งทำจากสเตนเลสสตีลซึ่งแสดงดังรูปที่ 3

ในการนี้ทางโรงงานได้ทำการเจาะรูท่อของโรงงานทั้งแนวตั้งและแนวนอน แล้วสอดท่อพิโตตัสเข้าไปในระบบ ปลายทั้งสองด้านท่อพิโตตัสจะทำให้เกิดผลต่างความดันคร่อมตัวท่อพิโตตัส โดยให้การไหลของอากาศในห้องของโรงงานเข้าทางปลายเปิดของท่อพิโตตัส โดยให้ขนานกับทิศทางของการไหลของกระแสก๊าซ กล่าวคือ หนึ่งปลายด้านหนึ่งไปทางเหนือลมส่วนอีกทางไปทางใต้ลม ปลายด้านเหนือลมจะวัดความดันรวมของกระแสลม ส่วนอีกด้านจะวัดความดันสถิต และผลต่างคือความดันเชิงพลวัต (Dynamic Pressure) หรือความดันของความเร็ว (Velocity Pressure) เมื่อนำอุปกรณ์วัดความดันมาประกอบกับปลายด้านล่างทั้ง 2 ข้างของ

ท่อปิโตต์คู่ จะทำให้สามารถวัดความดันคร่อมตัวท่อปิโตต์คู่ได้โดยใช้มาโนมิเตอร์

ในการวัดความเร็วที่ให้ได้ค่าที่ถูกต้องแน่นอน ต้องให้ท่อปิโตต์คู่อยู่หนึ่งให้ได้มากที่สุด ดังนั้นจึงต้องมีการสร้างตัวยึดท่อปิโตต์คู่ขึ้นมาซึ่งสามารถใช้ได้ทั้งในแนวตั้งและแนวระดับซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ตัวยึดท่อปิโตต์

ในการเก็บตัวอย่างอนุภาคสังกะสีออกไซด์ในโรงงานที่ได้รับความร่วมมือเป็นการทำงานที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องทำการลดอุณหภูมิก่อนโดยใช้เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่บรรจุน้ำแข็งแห้ง โดยสามารถติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบถอดประกอบได้ตามแนวยาวของลำท่อปิโตต์คู่ดังแสดงในรูปที่ 5

ค่าความดันสามารถคำนวณแปลงเป็นความเร็วได้โดยสมการที่ 1 ดังนี้

$$V = 4.427 C [\Delta P / S]^{1/2} \quad (1)$$

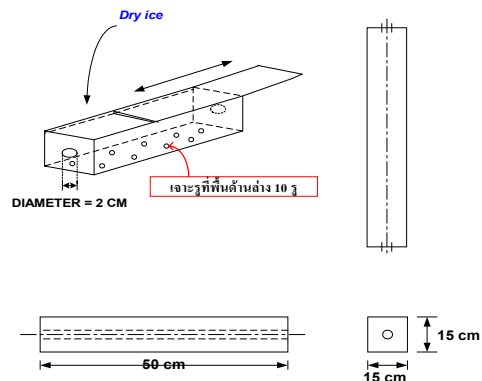
โดยกำหนด :

V = ความเร็วที่จุดวัดในท่อ (m/sec)

C = ค่าสัมประสิทธิ์ของท่อปิโตต์ (-)

ΔP = ผลต่างของระดับน้ำในมาโนมิเตอร์ (mmAq)

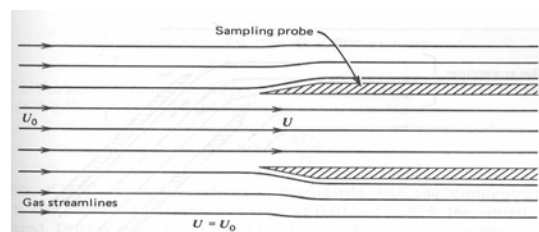
S = ความหนาแน่นของอากาศที่จุดวัดที่สภาวะภายในท่อ (kg/m^3)



รูปที่ 5 ชุดลดอุณหภูมิของก๊าซที่เก็บตัวอย่าง

3.2.2 การเก็บตัวอย่างอนุภาคโดยอาศัยเครื่อง Isokinetic Sampling

รูปที่ 6 แสดงการเก็บตัวอย่างอนุภาคที่ความเร็วของก๊าซในหัวเก็บตัวอย่าง (Sampling probe) เท่ากับความเร็วของก๊าซข้างเคียงในปล่อง ซึ่งแสดงถึงการเก็บตัวอย่างอนุภาคที่ถูกต้องตามหลักของ Isokinetic sampling



รูปที่ 6 ภาพแสดงถึงการเก็บตัวอย่างอนุภาคที่ถูกต้อง

การออกแบบเครื่องเก็บตัวอย่างอนุภาคนั้นจะเป็นไปตามลักษณะสถานที่ที่ต้องเข้าไปทำการเก็บตัวอย่างที่โรงงาน ซึ่งอยู่ในที่สูงจากพื้นและนอกจากนี้การเก็บตัวอย่างอนุภาคในโรงงานนี้เป็นการเก็บตัวอย่างอนุภาคที่อุณหภูมิสูง จึงต้องทำการเลือกวัสดุสำหรับเป็นท่อเก็บตัวอย่างที่ทนอุณหภูมิสูงได้ด้วย ทั้งนี้ในการที่เก็บตัวอย่างอนุภาคจะทำทั้งในแนวตั้งและแนวระดับ

เนื่องจากในทางปฏิบัติจะต้องใช้วัสดุกรองชนิด เซรามิค ซึ่งสามารถทนความร้อนได้สูง แต่วัสดุกรอง ดังกล่าวไม่สามารถหาได้ในประเทศ ในการนี้จึงใช้วัสดุ กรองอื่นซึ่ง คือ HEPA filter ที่สามารถทนอุณหภูมิได้ ไม่สูงนัก ในการลดอุณหภูมินั้นจึงใช้ชุดอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อนที่บรรจุน้ำแข็งแห้ง แบบถอด ประกอบได้ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5 ข้างต้นเนื่องจาก อุณหภูมิของอากาศและอนุภาคหลังจากผ่านเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อนแล้วจะลดลงมาก วัสดุที่ใช้ ประกอบระบบในช่วงหลังนี้ จึงสามารถใช้วัสดุทั่วไปได้ คือ โลหะทองแดงผสม เพื่อลดค่าใช้จ่ายเนื่องจาก Stainless steel มีราคาสูง

การเก็บตัวอย่างอนุภาคโดยเครื่อง Isokinetic Sampling นั้นเริ่มจากการนำท่อเก็บตัวอย่างที่มีลักษณะ เป็นหัวแหลม (Probe) แหะเข้าไปในท่อของโรงงานเพื่อ เก็บตัวอย่างอนุภาคตามจุดที่ได้วัดค่าความเร็วอากาศไว้ ล่วงหน้า อนุภาคจะไหลไปตามกระแสอากาศเข้าไปใน หัวเก็บตัวอย่าง ทั้งนี้การเก็บที่จะทำให้ได้ตัวอย่าง อนุภาคเป็นไปตามหลักการ Isokinetic Sampling นั้น ต้องควบคุมอัตราการไหลของก๊าซในท่อเก็บตัวอย่างให้ มีความเร็วเท่ากับความเร็วของกระแสอากาศที่ไหล นอกจากนี้วางทิศทางของหัวเก็บตัวอย่าง ให้ขนานกับ กระแสอากาศที่ไหลอยู่

เมื่อตัวอย่างอนุภาคไหลเข้ามาในเครื่อง Isokinetic Sampling ตัวอย่างอนุภาคสักระยะก็ออกไซด์จะ ไปติดอยู่ที่ HEPA filter ซึ่งถูกตรึงไว้ที่กรวยลดความเร็ว ที่มีลักษณะเป็นกรวย 2 ชั้นประกบกันอยู่ ทำให้อนุภาค มีความเร็วที่เหมาะสมที่ทำให้ HEPA filter มี ประสิทธิภาพในการกรองได้สูงสุด แล้วจึงนำอนุภาค สักระยะออกไซด์ที่ติดอยู่ที่ HEPA filter นี้ไปวิเคราะห์ ต่อไป นอกจากนี้เพื่อป้องกันการรั่วไหลของอนุภาค ทุกๆข้อต่อต้องมีการใช้จารบีสุญญากาศสูงทาไว้ โดยรอบ

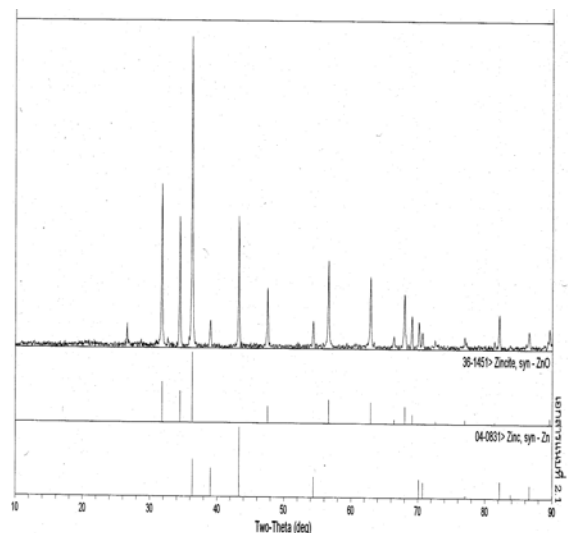
4. ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างอนุภาค

เมื่อนำตัวอย่างของสารตั้งต้น ตัวอย่างก่อน ผ่านตะแกรงร่อน ตัวอย่างที่ปลายกระบวนกร และ

ตัวอย่างที่เก็บได้จากเครื่อง Isokinetic ผลการวิเคราะห์ ได้จากเอกสารรายงานการวิเคราะห์จากสถาบันวิจัยและ พัฒนาอณูมิณีและเครื่องประดับแห่งชาติโดยใช้เครื่อง Inductively Coupled Plasma (ICP) ซึ่งจะแสดงผลเป็น องค์ประกอบในรูปธาตุต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ธาตุ

ตำแหน่งของตัวอย่าง	%Zn	%Pb	%Fe	%Al
สารตั้งต้น	97.260	0.8396	1.8760	0.0108
ก่อนผ่านตะแกรงร่อน	99.56	0.0574	0.0021	0.0037
ผลิตภัณฑ์	99.76	0.0616	0.0065	0.0004
จากเครื่อง Isokinetic	98.68	0.0598	0.0014	0.0003



รูปที่ 7 การกระจายตัวของรังสีเอ็กซ์ของตัวอย่าง อนุภาคที่เก็บจากท่อกริดและกราฟมาตรฐานการ กระจายตัวของรังสีเอ็กซ์ของสังกะสีและสังกะสีออกไซด์

นอกจากนี้คณะวิจัยยังได้ทำการวิเคราะห์ องค์ประกอบในรูปสารประกอบของตัวอย่างอนุภาคที่ เก็บจากท่อกริด โดยใช้เครื่อง X-ray diffraction (XRD) ซึ่งกราฟแสดงการกระจายตัวของรังสีเอ็กซ์ของตัวอย่าง และกราฟมาตรฐานการกระจายตัวของรังสีเอ็กซ์ของ สังกะสีและสังกะสีออกไซด์แสดงไว้ในรูป 7

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า ตัวอย่าง อนุภาคที่เก็บตัวอย่างได้จากบริเวณกริดมีสังกะสีที่ยังไม่ ทำปฏิกิริยาปนเปื้อนอยู่บางส่วน ทั้งนี้สารมลพิษชนิด

อื่นๆ ยังมีปริมาณน้อยกว่าจะตรวจวัดได้ด้วยเครื่อง X-ray diffraction (XRD)

5. สรุปผลการทดลอง

ผลการวิเคราะห์จากเครื่อง Inductively coupled plasma (ICP) พบว่ามีสารมลทินที่อยู่ในสารตั้งต้นเนื่องจากมีธาตุที่สอดคล้องกัน และ ผลการวิเคราะห์จากเครื่อง X-ray diffraction (XRD) พบสารมลทิน คือ ตัวสังกะสีเองซึ่งมีความเป็นไปได้อย่างสูงที่เกิดจากสารตั้งต้นที่ทำปฏิกิริยาไม่หมด

แหล่งที่พบสารมลทินนั้นมีการกระจายตัวโดยพบมากที่บริเวณกระบวนการผลิต แต่ทั้งนี้สืบเนื่องจากข้อจำกัดของจำนวนข้อมูลที่น่าไปวิเคราะห์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการเก็บตัวอย่างอนุภาคเพิ่มเพื่อตรวจยืนยันต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ได้รับทุนอุดหนุนจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรมโครงการโครงการอุตสาหกรรม สำหรับปริญญาตรี ประจำปี2546 รายงานฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือและความกรุณาจากผู้มีพระคุณหลายๆ ท่าน ทางคณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ รศ. ดร. ธวัชชัย ชรินพานิชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา และ ศ. ดร. วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมของโครงการศึกษานี้ ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำต่างๆ ตลอดจนตรวจทานแก้ไขรายงานจนเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ บริษัทยูนิเวนเจอร์จำกัดมหาชน ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่และอำนวยความสะดวกต่างๆ ให้ นอกจากนี้โครงการยังได้รับการสนับสนุนจากห้องปฏิบัติการศูนย์เทคโนโลยีอนุภาคไทย (TPTC)

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาที่ให้บุตรได้เกิดมาและสนับสนุนให้ทำการศึกษาจนสำเร็จการศึกษาจนมาถึงขั้นนี้ รวมทั้งทุกคนๆ ในครอบครัวที่เป็นกำลังใจ

ขอขอบคุณดำรงศักดิ์ เอี้ยวชัยพรที่ให้คำแนะนำและประสานงานจนลุล่วง รวมทั้งพี่ๆ คนอื่นๆ

ในห้องปฏิบัติการศูนย์เทคโนโลยีอนุภาคไทย (TPTC) ที่ให้ความช่วยเหลือต่างๆ

ขอขอบใจเพื่อนๆ ทุกๆ คนที่เกิดมาเป็นเพื่อนที่ดีต่อกัน ร่วมทุกข์ร่วมสุข รวมทั้งอยู่พุดคุยเป็นกำลังใจยามท้อแท้

และที่สำคัญที่สุดรายงานฉบับนี้จะไม่สำเร็จได้หากปราศจาก ความเคารพในระบบอาวุโส ความมีระเบียบ ธรรมเนียมประเพณี ความสามัคคี น้ำใจ การให้อภัย ความเป็นห่วง และ ความรัก

เอกสารอ้างอิง

1. เครื่องมือวิเคราะห์ และหลักการทำงานเบื้องต้น : แม่น อมรสิทธิ์ พ.ศ.2534
2. เครื่องมือวิจัยทางวัสดุศาสตร์ ทฤษฎีและหลักการทำงานเบื้องต้น : ดร.วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา สถาบันวิจัยโลหะวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. มลภาวะอากาศ ดร. วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล ดร. ชิกาโอะ คานาโอกะ
4. เอกสารประกอบการเรียนวิชา 2105430 เทคโนโลยีอนุภาค
5. เอกสารรายงานการวิเคราะห์จากศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ ฉบับ MTEC No. 743/47_1 และ MTEC No. 743/47_2
6. เอกสารรายงานการวิเคราะห์จากสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ ฉบับ OTI 0403-011-1, OTI 0403-012-2, OTI 0403-013-3 และ OTI 0403-014-4
7. Gotoh, K. et. al., Powder Technology Handbook, Marcel Dekker, New York, 1997.
8. www.pcc-chemical.com/e/b.htm
9. www.matweb.com