

บทที่ 1

บทนำ

บทนำสั้นเรื่อง

การใช้งานของสารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile organic compounds, VOCs) ในปัจจุบันมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการขยายตัวของอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ซึ่งมีการใช้สารอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดต่างๆ เช่น โทลูอีน (Toluene) เบนซีน (Benzene) ไซลีน (Xylene) คีโตน (Ketone) และเอทิลอะซิเตท (Ethyl acetate) ในกระบวนการผลิตอย่างกว้างขวาง ส่งผลให้ในแต่ละปีมีอากาศเสียที่ปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์ระเหยง่าย ถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศในปริมาณมาก (Chang et al., 2002) ซึ่งหากไม่มีระบบบำบัดอากาศที่ดี จะส่งผลให้เกิดปัญหาหมอกควันทางอากาศ รวมถึงผลกระทบต่อสุขภาพของสิ่งมีชีวิตทั้งคน และสัตว์ ทั้งในระยะสั้นและระยะยาวอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เทคโนโลยีต่างๆ สำหรับบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในอากาศเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีใช้ในปัจจุบันได้แก่ การดูดซับด้วยคาร์บอน (carbon adsorption) การเผา (incineration) การควบแน่น (condensation) และการใช้ปฏิกรณ์ชีวภาพ (bioreactor) เป็นต้น แต่ปัญหาที่พบคือ เทคโนโลยีเหล่านี้ต้องใช้งบลงทุน ตลอดจนค่าใช้จ่ายในการดำเนินการที่สูง ส่งผลให้โรงงานขนาดกลางและขนาดเล็กไม่สามารถที่จะลงทุนได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาแนวทางการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในอากาศด้วยเทคโนโลยีที่มีการลงทุนต่ำ และมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการไม่สูงจนเกินไป แต่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไปคือ การบำบัดด้วย wet scrubber โดยใช้น้ำเป็นสารดูดซับเป็นละอองเล็กๆ เพื่อดักจับอนุภาคสารปนเปื้อนต่างๆ ที่มีอยู่ในอากาศเสีย แต่วิธีนี้มีข้อจำกัดคือ ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่ไม่สูงนัก และสารปนเปื้อนที่อยู่ในสถานะแก๊สเมื่อถูกดักจับ และรวมตัวกับน้ำ ความเป็นพิษที่มีอยู่ไม่ได้ลดลง แต่จะเปลี่ยนสถานะไปอยู่ในรูปของเหลว ซึ่งจำเป็นต้องมีขั้นตอนการบำบัดก่อนปล่อยทิ้งด้วยเช่นกัน ดังนั้นการศึกษาและปรับปรุงประสิทธิภาพของ wet scrubber สำหรับการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในอากาศเสีย จากโรงงานอุตสาหกรรม จึงได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่ำกว่าการบำบัดด้วยวิธีอื่น (Gao et al., 2001) อีกทั้งสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของ wet scrubber ให้สูงขึ้นได้หลายวิธี เช่น การ

ผสมสารลดแรงตึงผิว (surfactant) ในสารดูดซึมเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดักจับไอระเหย (วาสนา และ วิทยา, 2545) การบำบัดร่วมกับปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยผสมสารออกซิแดนต์ชนิดต่าง ๆ ในสารดูดซึมเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดให้สูงขึ้น รวมถึงการลดความเป็นพิษที่เหลืออยู่ในรูปของเหลวภายหลังจากการบำบัด

งานวิจัยนี้จึงเน้นศึกษาการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในอากาศเสียโดยใช้ wet scrubber ร่วมกับปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของ wet scrubber และศึกษาผลของสภาวะดำเนินการต่างๆ ที่มีต่อการบำบัด โทลูอิน อะซีโตน และเมทิลเอทิลคีโตน (Methyl ethyl ketone, MEK) โดยสารดูดซึมที่ใช้ ได้แก่ สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (Sodium hypochlorite, NaOCl) ซึ่งพบว่า เป็นสารออกซิเดนต์ที่เหมาะสมกับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในกลุ่ม อะโรมาติก และคีโตน (Thakatkaew, 2004) โดยในการบำบัดจะพ่นสารดูดซึมให้เป็นละอองเล็กๆ เพื่อดักจับ และทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ปนเปื้อนอยู่ในอากาศเสีย สารอินทรีย์ระเหยง่ายเหล่านั้นจะถูกออกซิไดซ์ไปอยู่ในรูปที่ไม่อันตราย และสามารถปล่อยอากาศที่ผ่านการบำบัดแล้วออกสู่บรรยากาศได้อย่างปลอดภัย ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นประโยชน์ต่อโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก ที่ไม่สามารถลงทุนเพื่อใช้เทคโนโลยีที่มีราคาสูงได้

ตรวจเอกสาร

1. สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds, VOCs)

สารอินทรีย์ระเหยง่าย คือ กลุ่มสารประกอบอินทรีย์ที่สามารถระเหยเป็นไอได้ง่ายที่อุณหภูมิและความดันปกติ โดยโมเลกุลประกอบด้วย อะตอมของคาร์บอน และไฮโดรเจน เป็นสำคัญ ซึ่งอาจมีอะตอมของออกซิเจน (O_2) หรือคลอรีน (Cl_2) ร่วมด้วย โดยสามารถจำแนกชนิดของสารอินทรีย์ระเหยง่ายได้ ดังนี้

1.1 ชนิดของสารอินทรีย์ระเหยง่าย (Harold, 1998)

- กลุ่ม Aliphatic hydrocarbons เป็นกลุ่มที่มีลักษณะโครงสร้างทางเคมีที่มีคาร์บอนต่อกันเป็นเส้นตรง ได้แก่ น้ำมันเชื้อเพลิง ก๊าซโซลีน เฮกเซน และมีเทน

- กลุ่ม **Aromatic hydrocarbons** เป็นกลุ่มที่มีลักษณะโครงสร้างทางเคมีที่มีคาร์บอนต่อกันเป็นวงแหวน ได้แก่ โทลูอิน เบนซีน เอทิลเบนซีน คลอโรเบนซีน ไซลีน สไตรีน และฟีนอล

- กลุ่ม **Alcohol, Aldehydes และ Ether** เป็นกลุ่มที่มีหมู่ไฮดรอกซี (OH) อีเธอร์ (-C-O-C-) อยู่ในโมเลกุล หรือมีหมู่ -OR เข้าแทนที่ไฮโดรเจนในสายไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ เอทานอล เมทานอล ฟอร์มัลดีไฮด์ และ เมทิลบิวทิลอีเทอร์

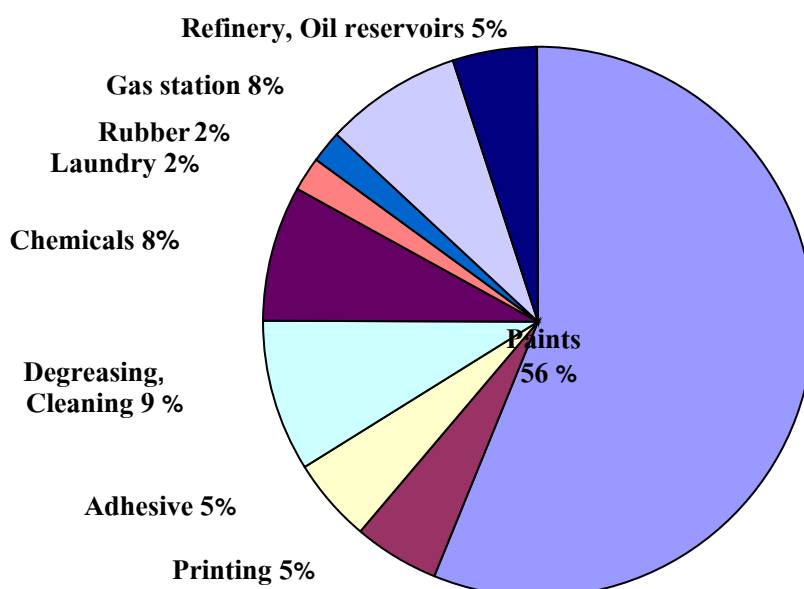
- กลุ่ม **Ketone** มีสูตรทั่วไป คือ RCOR ได้แก่ อะซิโตน MEK และ เมทิล- บิวทิล คีโตน (Methyl butyl ketone, MBK)

- กลุ่ม **Halogenated aliphatic** เป็นกลุ่มที่มีหมู่ฮาโลเจนเข้าแทนที่ไฮโดรเจน ในสายไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ เมทิลคลอไรด์ ไวนิลคลอไรด์ เปอร์คลอโรเอทิลีน โดยทั่วไป สารกลุ่มนี้จะเป็นพิษต่อร่างกายสูง

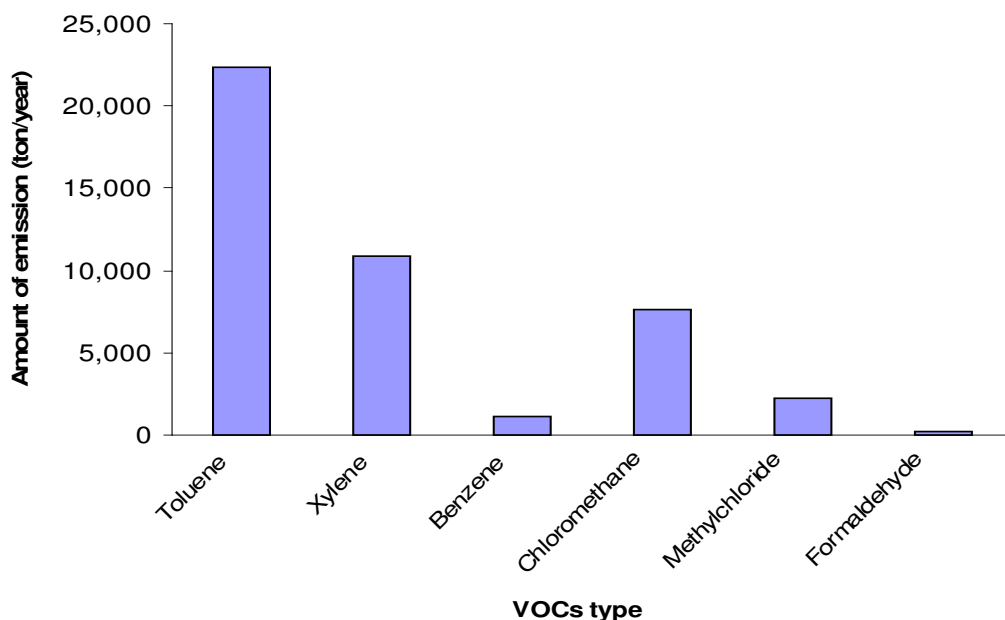
1.2 การใช้งานของสารอินทรีย์ระเหยง่าย

ปัจจุบันสารอินทรีย์ระเหยง่ายมีการใช้งานอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมหลายประเภท โดยมักมักใช้เป็นตัวทำละลาย และตัวพาหะ (volatile carrier) ในสีหรือสารเคลือบ เนื่องจากมีความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน โดยสารอินทรีย์ระเหยง่ายสามารถระเหยออกจากชิ้นงานภายหลังการเคลือบได้อย่างรวดเร็ว จึงทำให้สารเคลือบผิวแห้งติดชิ้นงานเร็ว ได้ผิวเคลือบที่ทนทานและมีคุณภาพ นอกจากนั้นสารอินทรีย์ระเหยง่ายยังนิยมใช้เป็นสารสำหรับล้างทำความสะอาดรอยคราบสี น้ำมัน หรือการถอดตันจากสิ่งสกปรก รวมถึงใช้ในการปรับความหนืดของสารเคมีต่างๆ เพื่อให้มีความเหมาะสมต่อกระบวนการผลิต โดยอุตสาหกรรมที่มีการใช้งานสารอินทรีย์ระเหยง่าย ได้แก่ อุตสาหกรรมการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใช่ก๊าซธรรมชาติ อุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์ สารเคมี หรือวัสดุเคมี อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติก อุตสาหกรรมการผลิตยางเรซินสังเคราะห์ ยางอีลาสโตเมอร์ อุตสาหกรรมสิ่งทอหรือเส้นใยสังเคราะห์ อุตสาหกรรมเกี่ยวกับสี น้ำมันชักเงา หรือผลิตภัณฑ์สำหรับใช้ยาแนวหรืออุด อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ อุตสาหกรรมการพิมพ์ หรือการทำแม่พิมพ์โลหะ อุตสาหกรรมการผลิตเฟอร์นิเจอร์ หรือเครื่องตกแต่งภายในอาคารจากไม้ แก้ว ยางหรือโลหะอื่น เป็นต้น ซึ่งจากการใช้งานในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ อย่างกว้างขวางนี้ ส่งผลให้ แต่ละปีมีการปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายออกสู่บรรยากาศในปริมาณที่ค่อนข้างสูง โดยอุตสาหกรรมเกี่ยวกับสี

และสารเคลือบจะปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายออกมามากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 56 ของสารอินทรีย์ระเหยง่ายทั้งหมด รองลงมาได้แก่ อุตสาหกรรมเกี่ยวกับการล้างทำความสะอาด ดังแสดงในภาพประกอบที่ 1 สำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีการปล่อยออกสู่บรรยากาศสูงสุด ได้แก่ โทลูอิน ซึ่งในปี พ.ศ. 2546 มีการปล่อยออกสู่บรรยากาศสูงถึง 22,400 ตัน ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2 ทั้งนี้เนื่องจากโทลูอินเป็นสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีความสำคัญ และนิยมใช้งานอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมหลายประเภท อีกทั้งสามารถที่จะระเหยออกสู่บรรยากาศได้ง่ายและรวดเร็ว โดย EPA (US environment protection agency) ได้ประมาณว่าโทลูอินที่ใช้เป็นส่วนประกอบในสี หรือสารเคลือบจะสามารถระเหยออกสู่บรรยากาศได้ทั้งหมดถ้าไม่มีการควบคุม นอกจากนี้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท ยังนิยมใช้ โทลูอินเป็นตัวทำละลาย เนื่องจากมีราคาถูก ไม่ละลายน้ำ แต่สามารถละลายในน้ำมัน หรือสีได้ดี สำหรับข้อมูลเบื้องต้นของโทลูอินแสดงในภาคผนวก ก



ภาพประกอบที่ 1 แสดงปริมาณการปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายของอุตสาหกรรมต่างๆ
ที่มา: PRTR, 2003



ภาพประกอบที่ 2 แสดงปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดต่างๆ ที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศ
ที่มา: PRTR, 2003

1.3 ปัญหาที่เกิดจากสารอินทรีย์ระเหยง่าย

สารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศจากอุตสาหกรรมต่างๆ จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงสุขภาพของผู้ที่ทำงานอยู่บริเวณนั้น ซึ่งอุตสาหกรรมเหล่านี้เข้าสู่ร่างกายดังนี้

1.3.1 ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม

สารอินทรีย์ระเหยง่ายมีส่วนในการทำให้ระบบนิเวศน์ในธรรมชาติเสียสมดุล โดยเมื่อฝนตก และชะสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ปนเปื้อนอยู่ในอากาศลงสู่ดิน หรือแหล่งน้ำ จะส่งผลให้เกิดความเป็นพิษขึ้น พืชและสัตว์น้ำบางชนิดไม่สามารถอยู่ได้ นอกจากนั้นสารอินทรีย์ระเหยง่ายยังส่งผลกระทบต่อชั้นโอโซน โดยทำให้ชั้นโอโซนเกิดการกระจายตัว แสงอาทิตย์สามารถส่องผ่านมายังโลกได้มากขึ้น ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน

1.3.2 ปัญหาด้านสุขภาพ

สารอินทรีย์ระเหยง่ายสามารถ เข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทางคือ การหายใจ ทางปากโดยการกินดื่ม และการสัมผัสทางผิวหนัง ซึ่งความเป็นพิษต่อร่างกายจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ชนิดของสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ได้รับ ปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยง่าย ช่วง

ครึ่งชีวิตของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในร่างกาย สภาวะความสมบูรณ์ของร่างกาย และระบบขับถ่ายของเสีย

สารอินทรีย์ระเหยง่ายเมื่อเข้าสู่ร่างกาย จะส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ ทำให้ประสิทธิภาพของระบบภูมิคุ้มกันลดลง ส่งผลกระทบต่อระบบประสาท เช่น กดประสาท ทำลายระบบประสาทส่วนกลาง และส่งผลกระทบต่อด้านอื่นๆ เช่น ระบบฮอร์โมน ระบบสืบพันธุ์ รวมถึง อาจก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้ โดยความเป็นพิษของตัวทำลายอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดต่างๆ ที่มีต่อร่างกาย แสดงในภาคผนวก ข

2. การบำบัดอากาศโดยใช้ wet scrubber

wet scrubber เป็นอุปกรณ์สำหรับใช้ในการบำบัดอากาศที่มีการปนเปื้อนของอนุภาคขนาดเล็กกว่า 50 ไมครอน โดยอนุภาคนั้นต้องสามารถละลายในน้ำ หรือสารดูดซับ ที่ใช้เป็นตัวบำบัดได้ดี นิยมใช้ในอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก เนื่องจากมีค่าใช้จ่าย ในการติดตั้งหรือการดำเนินการที่ไม่สูงจนเกินไป โดยสามารถแยกอนุภาคของแข็ง และฝุ่นละอองขนาดเล็ก รวมถึงการกำจัดแก๊สอันตรายที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงประเภทถ่านหิน ได้แก่ แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และแก๊สไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ออกจากอากาศเสียที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง โดยในการแยกอนุภาคของแข็ง ฝุ่นละออง หรือแก๊สออกจากกระแสอากาศ ทำได้โดยการผ่านอากาศที่ต้องการบำบัดไปยังหอดูดซับ ซึ่งภายในจะประกอบด้วยหัวพ่นฝอย ซึ่งทำหน้าที่ในการฉีดน้ำให้เป็นละอองขนาดเล็ก เพื่อดักจับ และทำให้อนุภาคของแข็ง ฝุ่นละอองหรือแก๊สเหล่านั้นเกิดการรวมตัวกัน สำหรับกรณีที่เป็นการแยกแก๊สอันตรายบางชนิดออกจากอากาศเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ เช่น การแยกแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ออกจากอากาศเสีย ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์ อาจมีการนำปฏิกิริยาเคมี และหลักการดูดซับมาใช้ร่วมกับระบบ wet scrubber โดยใช้สารละลายของหินปูน หรือปูนขาวเป็นสารดูดซับ และทำปฏิกิริยาเคมี ทำให้สามารถแยกแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ออกจากอากาศเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ได้ดียิ่งขึ้น

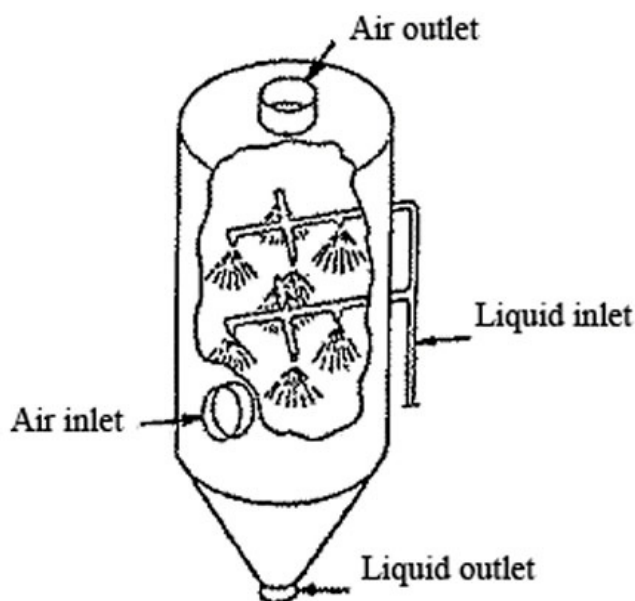
2.1 ชนิดของ wet scrubber ที่ใช้ในปัจจุบัน

wet scrubber ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไปมีหลายชนิด ขึ้นอยู่กับขนาดของโรงงานอุตสาหกรรม และขนาดของอนุภาคของแข็ง ฝุ่นละออง หรือแก๊สที่จะทำการแยก

โดยสามารถแบ่งลักษณะของ wet scrubber ได้ดังนี้ (อนุตร จำลองกุล, 2547)

2.1.1 spray tower scrubber

spray tower scrubber เป็น wet scrubber ที่มีการใช้พลังงานต่ำ มีลักษณะ เป็น หอ ภายในประกอบด้วยชุดหัวพ่นฝอย ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3 เมื่ออนุภาคของแข็ง ฝุ่น ละออง หรือแก๊ส ผ่านเข้าไปภายในอุปกรณ์ จะถูกดักจับด้วยละอองสารดูดซึม ซึ่งฉีดมาจาก หัว พ่นฝอย ทำให้อนุภาคของแข็ง ฝุ่นละออง หรือแก๊ส ถูกชะลงมาอยู่ในรูปของเหลว และไหล ลงไป ยังส่วนล่างของหอ ส่วนอากาศที่ผ่านการบำบัดแล้วจะเคลื่อนที่ออกทางท่อส่วนบนของหอ ดัง แสดงในภาพประกอบที่ 3

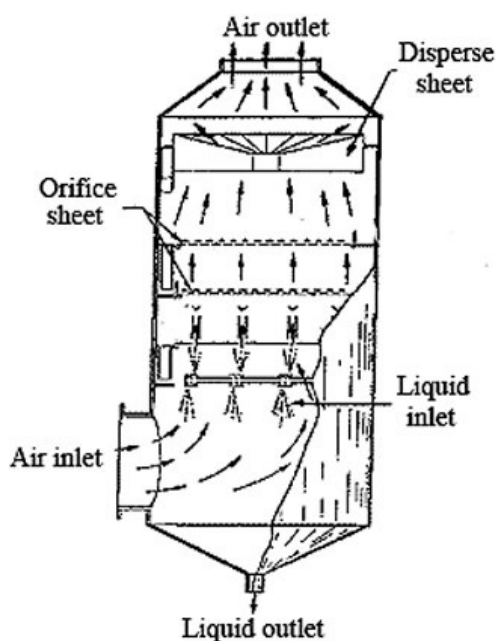


ภาพประกอบที่ 3 แสดงลักษณะภายในของ spray tower scrubber

2.1.2 impingement spray scrubber

impingement spray scrubber มีลักษณะเป็นหอ ภายในประกอบด้วยชุด หัว พ่นฝอย แผ่นกระทบซึ่งมีลักษณะเป็นช่อง (orifice) และแผ่นกระจายอากาศ ดังแสดง ในภาพ ประกอบที่ 4 เมื่ออนุภาคของแข็ง ฝุ่นละออง หรือแก๊ส ผ่านเข้าไปภายในหอบริเวณทางเข้าด้าน ล่าง จะถูกดักจับด้วยละอองสารดูดซึมซึ่งฉีดมาจากหัวพ่นฝอย ทำให้อนุภาคของแข็ง ฝุ่นละออง

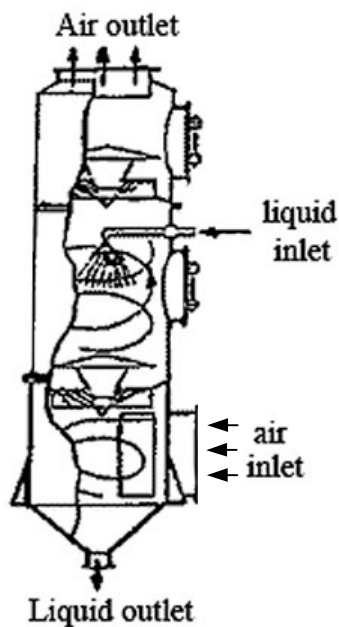
หรือแก๊ส ถูกชะลงมาอยู่ในรูปของเหลวไหลออกไปทางส่วนล่างของหอ ส่วนอากาศ ซึ่งผ่านการบำบัดแล้วจะเคลื่อนที่ผ่านแผ่นกระแทก ซึ่งจะทำให้ความเร็วของอากาศมีค่าสูงขึ้น และละอองสารคอลลอยด์ที่ปะปนกับอากาศจะรวมตัวเป็นหยดน้ำบริเวณขอบของแผ่นกระแทก และไหลลงสู่ส่วนล่างทางด้านข้างของหอ ดังภาพประกอบที่ 4



ภาพประกอบที่ 4 แสดงลักษณะภายในของ impingement spray scrubber

2.1.3 cyclone spray scrubber

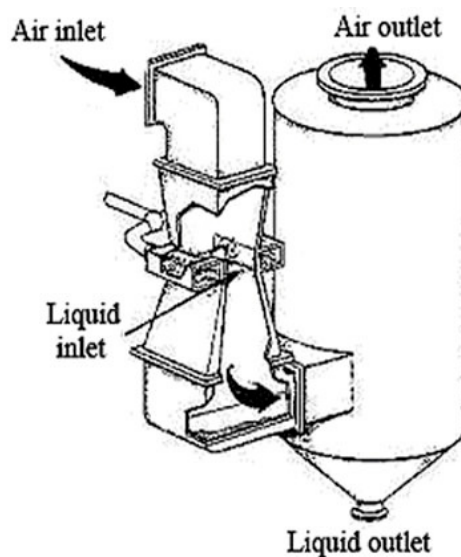
cyclone spray scrubber มีลักษณะเป็นหอ ภายในประกอบด้วยหัวพ่นฝอย และ ครีบริบนำ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 5 เมื่ออนุภาคของแข็ง ฝุ่นละออง หรือแก๊ส เคลื่อนที่ผ่านเข้าสู่ไซโคลน (cyclone) ซึ่งจะออกแบบช่องทางเข้าให้เกิดการไหลของของไหลในแนว เส้นรอบวง ส่งผลให้อากาศและอนุภาคที่ปนเปื้อนเป็นดังกล่าว เคลื่อนที่ในลักษณะหมุนเป็นเกลียวม้วนตัวขึ้นสู่ด้านบน และจะรวมตัวกับละอองน้ำซึ่งฉีดมาจากหัวพ่นฝอยจากด้านบนของหอ ทำให้กลายสภาพเป็นของเหลวไหลลงสู่ด้านล่างของไซโคลน อากาศที่ผ่านการบำบัดแล้ว จะเคลื่อนตัวในลักษณะเป็นเกลียวออกไปจากหอบริเวณท่อทางออก



ภาพประกอบที่ 5 แสดงลักษณะภายในของ cyclone spray scrubber

2.1.4 venturi scrubbers

venturi scrubbers เป็น wet scrubber ที่ใช้งานกันอย่างกว้างขวาง เนื่องจาก ให้ประสิทธิภาพในการดักจับอนุภาคสูง มีลักษณะเป็นท่อ ประกอบด้วยคอคอตเวนทูลี (venturi throat) และหัวพ่นฝอย ดังแสดงในภาพประกอบที่ 6 โดยบริเวณคอคอตเวนทูลีจะเป็นที่ซึ่งอากาศที่ปนเปื้อนด้วยอนุภาคของแข็ง ฝุ่นละออง หรือแก๊ส สัมผัสกับหยดของเหลว จากนั้นจึงผ่าน ส่วนที่ขยายกว้างออก ซึ่งจากส่วนนี้อากาศจะผ่านเข้าสู่ห้องขนาดใหญ่ และเกิดการแยกของอนุภาคออกจากกระแสอากาศได้ ในการดักจับละอองน้ำจะถูกฉีดเข้าสู่ช่วงคอคอต (throat) ซึ่งในส่วนนี้ จะทำให้อากาศที่ไหลขึ้นสู่ด้านบนปะทะกับละอองน้ำที่ฉีดเข้าไปบริเวณคอคอต แรงเฉือนของ ของไหลจะมีค่าสูงเป็นสาเหตุให้มีการแตกกระจายของน้ำเกิดเป็นละอองขนาดเล็ก และทำการดักจับอนุภาคของแข็ง ฝุ่นละอองหรือแก๊สที่ไหลสวนเข้ามาได้



ภาพประกอบที่ 6 แสดงลักษณะภายในของ venturi scrubbers

2.2 การออกแบบระบบ wet scrubber

ในการออกแบบระบบ wet scrubber เพื่อบำบัดอากาศเสีย ต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ดังนี้ (Daniel, 2002)

2.2.1 ขนาดอนุภาค และปริมาณของสารปนเปื้อนในอากาศเสีย

ขนาดอนุภาคของสารปนเปื้อนสามารถบ่งบอกถึงกลไกที่มีอิทธิพลในการบำบัด โดยอนุภาคขนาดใหญ่จะอาศัยกลไกการปะทะ (direct impaction) อนุภาคขนาดเล็ก หรืออนุภาคแก๊สอาศัยกลไกการแพร่ (diffusion) ในการดักจับและแยกอนุภาคปนเปื้อนออกจาก กระแสอากาศ โดยทั่วไปประสิทธิภาพในการบำบัดของ wet scrubber จะลดลง เมื่ออนุภาคสาร มีขนาดเล็ก ส่วนปริมาณของสารปนเปื้อนซึ่งป้อนเข้าสู่ wet scrubber โดยมากมักคิดในหน่วยของมวล อนุภาคสารปนเปื้อนต่อปริมาตรอากาศเสีย โดยหากปริมาณของสารปนเปื้อนสูง สารดูดซับ ที่หมุนเวียนกลับมาใช้ในระบบ จะมีปริมาณของสารปนเปื้อนสูง ส่งผลให้ความสามารถในการบำบัดลดลง การเพิ่มปริมาณของสารดูดซับจะช่วยเพิ่มความสามารถในการบำบัดของระบบได้ แต่ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการจะสูงขึ้นตามไปด้วย

2.2.2 อัตราการป้อน อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเสีย

อัตราการป้อนอากาศเสียถือเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดสภาวะดำเนินการอื่นๆ ในระบบ wet scrubber โดยทั่วไปอัตราการป้อนอากาศเสียที่สูง ส่งผลให้ในการบำบัดต้องการ ปริมาณของสารดูดซึมสูง

อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเสีย มีผลต่อการออกแบบระบบบำบัด โดยหากอากาศเสียที่เข้าสู่ wet scrubber มีอุณหภูมิสูง เมื่อสัมผัสกับสารดูดซึม จะทำให้สารดูดซึม บางส่วนเกิดการระเหย และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจะมากขึ้น ซึ่งอัตราการระเหยของสาร ดูดซึมเป็นสาเหตุให้ปริมาณสารดูดซึมลดลง โดยทั่วไปแล้วอุณหภูมิของอากาศเสียที่ป้อนเข้าสู่ wet scrubber จะอยู่ในช่วง $10 - 370\text{ }^{\circ}\text{C}$ สำหรับกรณีที่อุณหภูมิของอากาศเสียสูง อาจมีระบบ หล่อ เย็นเพื่อช่วยประหยัดสารดูดซึม

2.2.3 ความเร็วของอากาศเสีย และความดันลด

การเพิ่มความเร็วนៃของอากาศเสีย หรือสารดูดซึมจะส่งผลให้โมเมนตัมในการ ปะทะ กันมีมากขึ้น ดังนั้นสารดูดซึมจึงสามารถดักจับอนุภาคสารปนเปื้อนได้ดี การเพิ่มความเร็วนៃของ อากาศเสีย หรือสารดูดซึมสามารถทำได้โดยการฉีดสารดูดซึมแบบสวนทาง (counter current) กับ อากาศเสีย หรือการใช้ wet scrubber แบบมีคอคอด แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มความเร็วนៃของอากาศเสีย หรือสารดูดซึม จะส่งผลให้เกิดความดันลดขึ้นในระบบ ซึ่งทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่าย ในการดำเนินการ และใช้พลังงานในการบำบัดที่สูงขึ้น

2.2.4 สัดส่วนอัตราการไหลของสารดูดซึมต่ออัตราการไหลของอากาศเสีย (L/G ratio)

โดยทั่วไปแล้ว L/G ratio สูงจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัดอนุภาคปน เปื้อนในอากาศเสียสูงขึ้น แต่ในบางกรณีการเพิ่ม L/G ratio ที่สูงเกินไปอาจไม่ถือเป็นการเพิ่ม ประสิทธิภาพของ wet scrubber โดยจะทำให้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการอันเนื่องมาจากการใช้งานปั๊ม และการใช้สารดูดซึมมากขึ้น

2.2.5 ขนาดอนุภาคของสารดูดซึม

อนุภาคของสารดูดซับที่มีขนาดเล็ก จะมีอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดต่อปริมาตร ที่สูง ส่งผลให้สามารถดักจับสารปนเปื้อนได้มากขึ้น เมื่อใช้ปริมาณของสารดูดซับเท่ากัน แต่ขนาดอนุภาคของสารดูดซับที่เล็กมากๆ จะทำให้โมเมนต์ของการปะทะกันกับสารปนเปื้อนลดลง ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัดจะลดลงด้วย ดังนั้นอนุภาคสารดูดซับที่มีขนาดเหมาะสมจะช่วยให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุด การควบคุมขนาดอนุภาคของสารดูดซับสามารถทำได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับชนิดของ wet scrubber เช่น spray tower ขนาดอนุภาคสารดูดซับขึ้นอยู่กับชนิดของ หัวพ่นฝอย และสถานะดำเนินการของระบบ venturi scrubber ขนาดอนุภาคสารดูดซับขึ้นอยู่กับความเร็วของอากาศเสียในคอคอด และ L/G ratio เป็นต้น

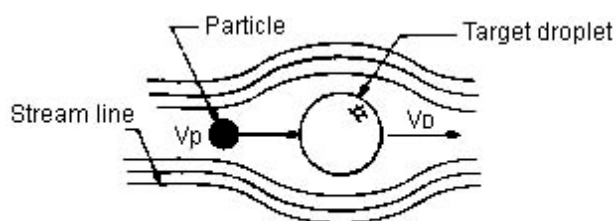
2.2.6 ระยะเวลาที่อนุภาคสารปนเปื้อนและสารดูดซับอยู่ภายในถังบำบัด

การเพิ่มระยะเวลาที่อนุภาคสารปนเปื้อน และสารดูดซับอยู่ภายในถังบำบัด จะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดของ wet scrubber สูงขึ้น เนื่องจากอนุภาคสารปนเปื้อนมีโอกาส ถูกบำบัดด้วยสารดูดซับได้มากขึ้น ซึ่งการเพิ่มระยะเวลาที่อนุภาคสารปนเปื้อนและสารดูดซับ อยู่ในถังบำบัด สามารถทำได้โดยการเพิ่มพื้นที่หน้าตัด หรือความยาวของถังบำบัด และ การลดความเร็วของอากาศเสีย

2.3 กลไกพื้นฐานในระบบ wet scrubber

กลไกการดักจับอนุภาคของแข็ง ฝุ่นละออง หรือแก๊สจากกระแสอากาศในระบบ wet scrubber โดยทั่วไปประกอบด้วย

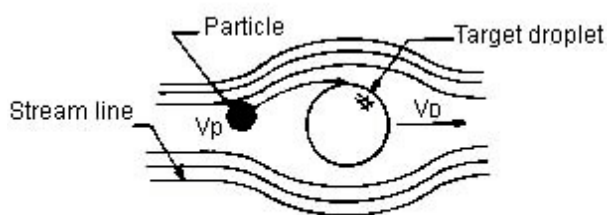
1) **direct impaction** : กรณีนี้อนุภาคของแข็ง หรือฝุ่นละอองในกระแสอากาศ ที่มีขนาดใหญ่ (> 1 ไมครอน) จะชนกับละอองของสารดูดซับโดยตรง ดังแสดงในภาพประกอบที่ 7



ภาพประกอบที่ 7 แสดงกลไก direct impaction

ที่มา: Cooper and Alley, 1994

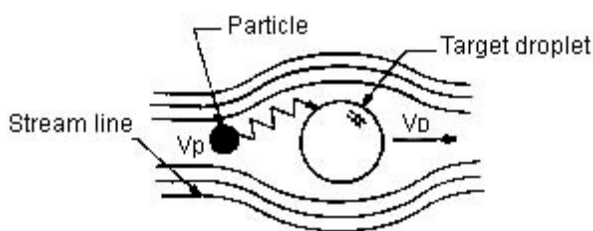
2) interception : กลไกนี้คล้ายคลึงกับ direct impaction โดยอนุภาคของแข็ง หรือฝุ่นละอองในกระแสอากาศ เกิดการปะทะ หรือเฉียดชนกับส่วนของละอองสารดูดซึมในแนวที่ไม่ใช่ศูนย์กลางในขณะที่อนุภาคเหล่านั้นเคลื่อนเข้าใกล้ละอองของสารดูดซึม ดังแสดงในภาพประกอบที่ 8



ภาพประกอบที่ 8 แสดงกลไก interception

ที่มา: Cooper and Alley, 1994

3) diffusion : กรณีนี้เกิดกับอนุภาคของแข็ง ฝุ่นละอองหรือแก๊ส ที่มีขนาดเล็ก (< 0.1 ไมครอน) ซึ่งมีทิศทางการเคลื่อนที่อย่างไม่เป็นระเบียบ เกิดการปะทะ และแพร่ผ่าน เข้าไปยังชั้นแก๊สที่อยู่รอบๆ ละอองของสารดูดซึม และถูกดักจับไว้เมื่อเข้าใกล้ในระยะเพียงพอ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 9



ภาพประกอบที่ 9 แสดงกลไก diffusion

ที่มา: Cooper and Alley, 1994

กลไกในการดักจับอนุภาคสารปนเปื้อนต่างๆ ในระบบ wet scrubber ทั้ง 3 แบบ ขึ้นอยู่กับ L/G ratio ขนาดอนุภาคของสารปนเปื้อน และขนาดอนุภาคของสารดูดซึม

การดูดซึม (absorption) ที่เกิดขึ้นใน wet scrubber เป็นการถ่ายโอนมวลจากสถานะหนึ่งไปยังอีกสถานะหนึ่ง โดยมากมักเกิดกับสารปนเปื้อนในสถานะแก๊ส โดยอนุภาคแก๊สจะถูกดูดซึมเก็บไว้ภายในละอองสารดูดซึม และเมื่อความเข้มข้นของสารปนเปื้อนมากขึ้นจะส่งผลให้ความสามารถในการดูดซึมลดลง ซึ่งการเพิ่มความสามารถในการดูดซึมของระบบ wet scrubber สามารถทำได้โดยเพิ่มจำนวน หรือพื้นที่ผิวของสารดูดซึม และเพิ่มระยะเวลาการสัมผัสกันระหว่างอนุภาคสารปนเปื้อนกับละอองสารดูดซึม

ความสามารถในการละลาย (solubility) ของอนุภาคสารปนเปื้อนในสารดูดซึม เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพของ wet scrubber โดยความสามารถในการละลายของอนุภาคสารปนเปื้อนต่างๆ ในละอองสารดูดซึมในระบบ wet scrubber ขึ้นอยู่กับค่า L/G ratio และระยะเวลาการสัมผัสกันระหว่างอนุภาคสารปนเปื้อนกับละอองสารดูดซึม หากสารปนเปื้อนละลายในสารดูดซึมได้ค่อนข้างต่ำ ในการบำบัดต้องเพิ่มค่า L/G ratio และระยะเวลาการสัมผัสกันระหว่างอนุภาคสารปนเปื้อนกับละอองสารดูดซึมให้มากขึ้น

2.4 ข้อดีและข้อเสียของการบำบัดอากาศเสียโดยใช้ wet scrubber

การบำบัดอากาศด้วย wet scrubber มีข้อดี ดังนี้

1. มีความเสี่ยงต่อการลัดวงจรไฟหรือระเบิดน้อย
2. สามารถดูดซึมแก๊สและดักจับอนุภาคฝุ่นละอองได้ในเครื่องเดียว
3. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและติดตั้งไม่สูงนัก และ
4. ไม่ใช้อุณหภูมิสูงในการบำบัด

ข้อเสียที่อาจเกิดขึ้นจากการบำบัดอากาศเสียโดยใช้ wet scrubber ได้แก่

1. เกิดปัญหาเนื่องจากการกัดกร่อนได้ง่าย
2. สารดูดซึมที่ใช้ในการบำบัดจะทำให้เกิดมลพิษทางน้ำได้

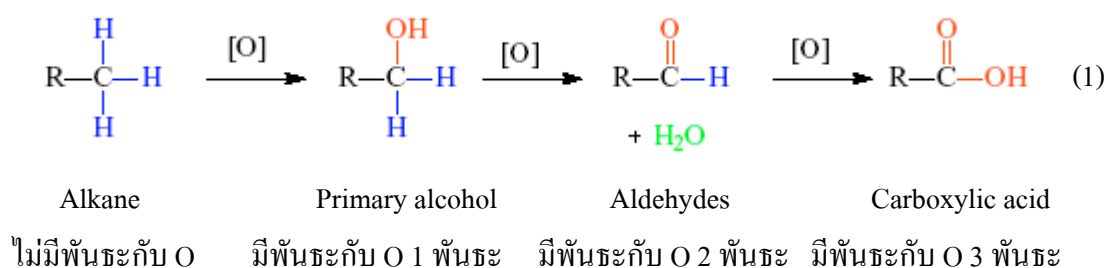
3. อาจเกิดปัญหาการอุดตัน
4. การจัดการของเสียที่เกิดขึ้นภายหลังการบำบัดมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง
5. สิ้นเปลืองพื้นที่ในการติดตั้ง และ
6. ประสิทธิภาพในการบำบัดไม่สูงนัก

3. ปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ในเชิงเคมีอินทรีย์ ปฏิกิริยาออกซิเดชันถือเป็นการสูญเสียอะตอมของไฮโดรเจน (H_2) หรือเติมออกซิเจน (O หรือ O_2) หรือ ฮาโลเจน (X_2) โดยลักษณะการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่างๆ ไปของสารอินทรีย์ ได้แก่ (บัญชา พูลโกคา, 2545)

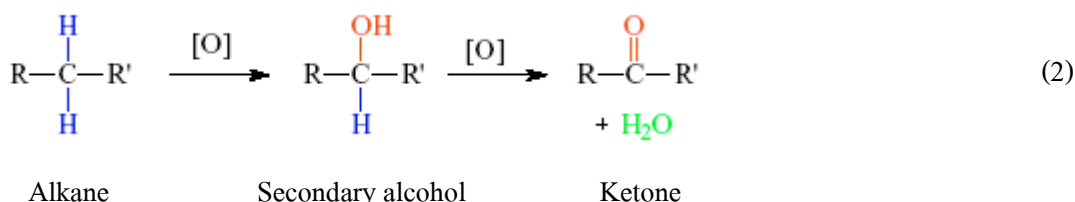
1) Primary (1°)

เมื่อแอลเคนเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เป็นแอลกอฮอล์ปฐมภูมิ ซึ่งสามารถถูกออกซิไดซ์ให้เป็นสารแอลดีไฮด์ (aldehydes) ที่มีไฮโดรเจนต่ออยู่กับหมู่คาร์บอนอีกหนึ่งอะตอม ดังนั้นจึงสามารถถูกออกซิไดซ์ต่อได้กรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acids) เป็นผลิตภัณฑ์ดังสมการที่ 1



2) Secondary (2°)

เมื่อแอลเคนเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้แอลกอฮอล์ทุติยภูมิ ซึ่งสามารถถูกออกซิไดซ์ให้เป็นคีโตนได้ง่ายและได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่สูง โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบทุติยภูมิของสารอินทรีย์แสดงดังสมการที่ 2 รีเอเจนต์ที่ใช้กันทั่วไปสำหรับการการออกซิไดซ์แอลกอฮอล์ทุติยภูมิในระดับห้องปฏิบัติการคือ กรดโครมิก



ไม่มีพันธะกับ O มีพันธะกับ O 1 พันธะ มีพันธะกับ O 2 พันธะ

3) Tertiary (3°)

เมื่อแอลเคนเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้แอลกอฮอล์ตติยภูมิ ดังสมการที่ 3 ซึ่ง เป็นแอลกอฮอล์ที่ไม่มีไฮโดรเจนต่ออยู่กับ carbinol carbon เหมือนกับแอลกอฮอล์ชนิดอื่น จึงทำให้ถูกออกซิไดซ์ได้ยากเนื่องจากจะต้องสลายพันธะ C – C ซึ่งแข็งแรงกว่าพันธะ C – H มาก ดังนั้นปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอลกอฮอล์ตติยภูมิจึงต้องใช้สภาวะที่รุนแรง และจะได้ผลิตภัณฑ์ ที่เป็นของผสมจำนวนมากจึงทำให้ปฏิกิริยานี้ไม่เป็นที่สนใจของนักเคมีเท่าไรนัก



Alkane

Tertiary alcohol (โดยปกติแล้วไม่สามารถถูกออกซิไดซ์ต่อไปได้อีก)

ไม่มีพันธะกับ O มีพันธะกับ O 1 พันธะ

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอลกอฮอล์ปฐมภูมิ และทุติยภูมิ สามารถถูกออกซิไดซ์ได้โดยง่ายด้วยตัวออกซิไดซ์ หลายชนิด เช่น โครเมียม สารในกลุ่มเปอร์แมงกาเนต กรดไนตริก หรือแม้กระทั่งน้ำยาฟอกขาว (Sodium hypochlorite, NaOCl) การที่จะเลือกใช้รีเอเจนต์ชนิดใดนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณและราคาของสารที่ใช้ โดยจะใช้ตัวออกซิไดซ์ราคาถูก สำหรับการออกซิไดซ์สารในปริมาณมากๆ ส่วนตัวออกซิไดซ์ที่มีราคาแพง และมีความจำเพาะ จะใช้สำหรับออกซิไดซ์สารที่มีราคาแพง ปริมาณน้อย และไม่ค่ออยู่ตัว

ปัจจุบันมีการนำปฏิกิริยาออกซิเดชันมาใช้ในกระบวนการต่างๆ ได้แก่ การสังเคราะห์สารเคมี เช่น การผลิตกรดเบนโซอิกจากปฏิกิริยาออกซิเดชันโทลูอีน (Fan et. al., 2003)

การบำบัดสารพิษต่างๆ เช่น สารในกลุ่ม polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) โดยใช้ปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบเปียก (Anne, 1997) การบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันที่อุณหภูมิสูง (Thermal oxidation) และการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Catalytic oxidation) (Khan and Ghoshal, 2000) ซึ่งข้อดีของการใช้ปฏิกิริยาออกซิเดชัน คือ ปฏิกิริยาสามารถเกิดขึ้นรวดเร็ว ผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่ ได้แก่ น้ำ ออกซิเจน แก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ และกรดคาร์บอกซิลิก

4. โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (Sodium hypochlorite, NaOCl)

โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (Sodium hypochlorite, NaOCl) เป็นสารออกซิเดนต์ที่นิยมใช้กันทั่วไปในการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารเคมีต่างๆ มีลักษณะเป็นผลึกแข็ง โดยมากมักอยู่ในรูปสารละลายใส มีสีเหลือง อมเขียว มีกลิ่นคลอรีน ซึ่งมีสมบัติทางเคมี และการใช้งานทั่วไปดังนี้

4.1 สมบัติทางเคมี (MSDS, 2000)

สูตรโมเลกุล	: NaOCl
น้ำหนักโมเลกุล	: 74.44
ชื่อทางเคมี	: Sodium hypochlorite
ชื่อเหมือน	: Soda bleach, Hypochlorous acid, Sodium salt
จุดหลอมเหลว	: -6 °C
ความหนาแน่น	: 1.07 - 1.14 (g/ml, 20 °C)
จุดเดือด	: 40 °C (decomposes)
pH	: 9 - 10 (no excess sodium hydroxide)

การเตรียมโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ได้จากปฏิกิริยาการละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) ด้วยคลอรีน ซึ่งอยู่ในรูปของเหลวหรือแก๊ส ดังแสดงในสมการที่ 4 (James, 2002)



4.2 การใช้งานของโซเดียมไฮโปคลอไรท์

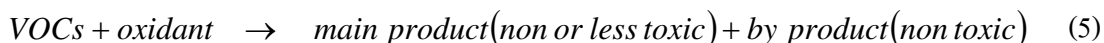
- ใช้ในห้องปฏิบัติการสำหรับกำจัดสิ่งปนเปื้อนออกจากพื้นผิวที่ต้องสัมผัสกับสารจำพวกออร์แกโนฟอสเฟต (organophosphate) ซึ่งสารจำพวกออร์แกโนฟอสเฟตนี้จะถูกไฮโดรไลซ์ (hydrolyzed) ด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรท์ไปอยู่ในรูปที่ไม่อันตรายได้โดยง่าย
- ใช้ในระดับอุตสาหกรรม เช่น งานพอกกระดาษหรือสิ่งทอ ใช้เป็นน้ำยา ทำความสะอาด และฆ่าเชื้อโรคสำหรับสระว่ายน้ำ โรงพยาบาล ฟาร์มเลี้ยงสัตว์ โรงกำจัดขยะ เป็นต้น ใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย บำบัดกลิ่น และใช้เป็นสารออกซิเดนต์สำหรับผลิตสารเคมีต่างๆ

5. แนวทางการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายโดยใช้ wet scrubber ร่วมกับปฏิกิริยาออกซิเดชัน

จากข้อจำกัดที่สำคัญของการบำบัดอากาศเสียด้วย wet scrubber แบบทั่วไป ซึ่งใช้น้ำเป็นสารดูดซับ คือ ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่ไม่ดีนัก ต้องใช้ปริมาณน้ำในการบำบัดสูง และสารอินทรีย์ระเหยง่ายในสถานะแก๊สเมื่อถูกดักจับ และรวมตัวกับน้ำความเป็นพิษที่มีอยู่นั้นไม่ได้ลดลง เพียงแต่เปลี่ยนสถานะไปอยู่ในรูปของเหลว ซึ่งจำเป็นที่จะต้องมีขั้นตอนในการบำบัดก่อนปล่อยทิ้ง ดังนั้นจึงได้มีการศึกษา และปรับปรุงประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายโดยใช้ wet scrubber เพื่อลดข้อจำกัดดังกล่าวด้วยวิธีต่างๆ ซึ่งวิธีหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจ คือ การนำปฏิกิริยาออกซิเดชันมาใช้ร่วมกับ wet scrubber โดยสารออกซิเดนต์ที่เลือกใช้จะต้อง มีความเหมาะสมกับชนิดของสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ต้องการบำบัด รวมถึงสถานะในการดำเนินการ เช่น ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายเริ่มต้น และ L/G ratio ต้องมีความเหมาะสมด้วย (Kastner and Das, 2002) (Chien and Chu, 2000)

หลักในการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายโดยใช้ wet scrubber ร่วมกับปฏิกิริยาออกซิเดชัน จะใช้น้ำผสมกับสารออกซิเดนต์เป็นสารดูดซับ ซึ่งเมื่อพ่นเป็นละอองเล็กๆ ไปสัมผัสกับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในอากาศ จะทำให้สารอินทรีย์ระเหยง่ายถูกออกซิไดซ์ไปอยู่ในรูปที่ไม่อันตราย และสามารถปล่อยอากาศที่ผ่านการบำบัดแล้วออกสู่บรรยากาศได้อย่างปลอดภัย โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้น แสดงดังสมการที่ 5 สำหรับผลิตภัณฑ์หลัก (main product) และผลพลอยได้ (by product) ที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของสารอินทรีย์ระเหยง่าย และ สารออกซิเดนต์ที่ใช้ โดยสามารถระบุได้จากการตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยานั้นๆ หรือการ

วิเคราะห์โดยใช้เทคนิคที่เหมาะสมต่อไป



เนื่องจากอากาศเสียที่ผ่านเข้าสู่ wet scrubber จะมีเวลาอยู่ใน wet scrubber ไม่นานนัก ดังนั้นการบำบัดอากาศเสียจะเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ หากสามารถทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นระหว่างสารอินทรีย์ระเหยง่ายในอากาศ กับสารออกซิแดนท์ในละอองของสารดูดซึมเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

- 1) ปัจจัยด้านจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยา (reaction kinetics) ได้แก่ ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในอากาศ ($C_{\text{VOCs},0}$) และความเข้มข้นของสารออกซิแดนท์ ($C_{\text{oxidant},0}$)
- 2) ปัจจัยด้านการถ่ายโอนมวลและความร้อน (mass and heat transfer) ได้แก่ อัตราการไหลของอากาศ (Q_G) และ อัตราการไหลของน้ำ (Q_L)

ชนิดของ wet scrubber ที่ใช้สำหรับการบำบัดได้แก่ spray chamber wet scrubber เนื่องจากง่ายต่อการออกแบบ และการใช้งาน โดยสามารถอธิบายลักษณะของ spray chamber wet scrubber แบบไหลสวนทาง ได้ดังสมการที่ 6 และ 7 (Cooper and Alley, 1994)

$$P_{td} = \exp\left[-\frac{3Q_L V_{td} Z \eta_d}{4Q_G r_d (V_{td} - V_G)}\right] \quad (6)$$

$$= \exp\left(-0.25 \frac{A_d V_{td} \eta_d}{Q_G}\right) \quad (7)$$

เมื่อ

P_{td} = penetration of a given particle size

Q_L = volume liquid flow rate

Q_G = volume gas flow rate

V_G = superficial gas velocity

V_{td} = terminal settling velocity of droplets

η_d = fraction collection efficiency of a single droplet

r_d = droplet radius

Z = length of scrubber content zone

A_d = cross sectional area of all the droplets in the scrubber

จากสมการข้างต้นพบว่า ตัวแปรดำเนินการที่มีผลต่อประสิทธิภาพของ spray chamber scrubber ที่สามารถควบคุมได้คือ Q_L , Q_G , Z , r_d และ A_d ซึ่งจะต้องทำให้สารอินทรีย์ ระเหยง่ายที่อยู่ในอากาศ มีโอกาสสัมผัสกับสารออกซิเดนต์ที่อยู่ในละอองของสารดูดซึมได้มาก และนานที่สุด จึงจะสามารถบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยหากคิดค่า 1 หยด ของสารดูดซึมทำหน้าที่เป็นปฏิกรณ์เคมีย่อยๆ หนึ่งปฏิกรณ์ การกำหนดค่า Z , r_d และ A_d จึงเปรียบเสมือนการกำหนดขนาด และจำนวนของปฏิกรณ์ ในขณะที่การกำหนดค่า Q_L และ Q_G จะเป็นการกำหนดระยะเวลาสัมผัส (contact time) และระยะเวลาที่สารปนเปื้อนอยู่ในปฏิกรณ์ (resident time) ดังนั้นการศึกษาวิจัยเพื่อออกแบบ spray chamber wet scrubber ร่วมกับปฏิกิริยาออกซิเดชันจึงเป็นการรวมเอาความรู้ และแนวคิดในเรื่องของการถ่ายโอนมวล และเรื่องของจลนพลศาสตร์ของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเข้าด้วยกัน จึงแตกต่างไปจาก wet scrubber ที่ใช้ดักจับอนุภาคซึ่งไม่มีเรื่องของปฏิกิริยาเข้ามาเกี่ยวข้องแต่อย่างใด

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วาสนา พัฒนา และ วิทยา เทพไพฑูรย์ (2545) ศึกษาการบำบัดไอระเหย ของสารไซโคลเฮกซาโนน (Cyclohexanone) ด้วยน้ำผสมกับ Triton-100 ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิว (surfactant) ด้วยวิธี mist scrubbing โดยฉีดของเหลวดังกล่าวให้เป็นละอองเล็กด้วย air atomizer และให้สัมผัสกับไอของสารอินทรีย์ระเหยง่ายแบบไหลทางเดียว (co current) ภายในคอลัมน์ พบว่าสามารถบำบัดไอของสารอินทรีย์ระเหยง่ายได้ถึง ร้อยละ 90 ในระยะเวลาสัมผัสประมาณ 3 วินาที

อิม ปุรินทรภิบาล และ วิโรจน์ บุญอำนวยวิทยา (2545) ทำการศึกษาประสิทธิภาพของ spray tower ที่ใช้ในการดักจับไอระเหยของบิวทิลออกซิทอล (Butyl oxitol) ซึ่งเกิดจากกระบวนการเคลือบผิวโลหะ โดยใช้น้ำเป็นสารดูดซึม พบว่าสามารถกำจัดไอระเหยดังกล่าวได้ดี โดย spray tower มีประสิทธิภาพในการดูดซึมไอระเหยได้ถึง ร้อยละ 60-100 และพบว่าเมื่อระยะ

เวลาในบำบัด และความเข้มข้นของบิวทิล ออกซิทอล ในสารละลายเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับไอระเหยลดลง

Anne (1997) ศึกษาการสลายตัวของควิโนลิน (Quinolin) ซึ่งเป็นสารในกลุ่ม polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) โดยใช้ปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบเปียกที่สภาวะต่างๆ ซึ่งพบว่า สามารถออกซิไดซ์ควิโนลินเป็น แก๊สคาร์บอน ไดออกไซด์ น้ำ กรดไนตริก และสารอื่นๆ ที่มีความเป็นพิษลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการสลายตัวของควิโนลินจากปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบเปียกมีค่าสูงกว่าการสลายตัวตามธรรมชาติค่อนข้างมาก

Chang และคณะ (2002) ทำการศึกษาปัญหาการระเหยของสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากอุตสาหกรรมรถยนต์ในประเทศไต้หวัน ซึ่งใช้ตัวทำละลายเป็น โทลูอีน และสารเติมแต่งเพื่อลดความหนืดของสารเคลือบ พบว่ามีการใช้ตัวทำละลายในอุตสาหกรรมรถยนต์สูงถึง 7,200 ตัน/ปี ตัวทำละลายที่ใช้ประกอบด้วย โทลูอีน ไโซลิน เอทิลอะซิเตท บิวทิลอะซิเตท และคีโตน ซึ่งจากการศึกษาพบว่า แต่ละโรงงานจะมีการปล่อย สารอินทรีย์ระเหยง่ายออกสู่บรรยากาศในปริมาณ สูงถึง 500-650 กรัมของสารอินทรีย์ระเหยง่าย/ลิตรของปริมาณสารเคลือบผิวทั้งหมด ดังนั้นปัญหาการระเหยของสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากอุตสาหกรรมการเคลือบผิว จึงถือว่ามีผลสำคัญที่จะต้องให้ความสนใจและเข้ามาแก้ไขเพื่อป้องกันการเกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมต่อไป

Chien และ Chu (2000) ศึกษาผลการบำบัดสารประกอบ NO_x/SO_x ด้วย wet scrubber ชนิด sieve tray โดยใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์/โซเดียมไฮดรอกไซด์ ($\text{NaOCl}_2/\text{NaOH}$) เป็นสารดูดซับ โดยมีตัวแปรดำเนินการที่ศึกษา ได้แก่ ความเข้มข้นของ NO_x และ SO_x อัตราการไหลสารดูดซับต่ออัตราการไหลของอากาศ (L/G ratio) อัตราส่วนโมล และ pH เริ่มต้น ผลการบำบัดสารประกอบ NO_x/SO_x พบว่าประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัด NO_x อยู่ในช่วงร้อยละ 36.6-71.9 โดยตัวแปรที่มีผล ได้แก่ L/G ratio ปริมาณ $\text{NaOCl}_2/\text{NaOH}$ ที่ใช้ และประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัด SO_x อยู่ในช่วงร้อยละ 89.4-100 โดยตัวแปรที่มีผล ได้แก่ L/G ratio

Ebert และ Buttner (1995) ศึกษาผลของสภาวะดำเนินการที่มีต่อประสิทธิภาพการ

บำบัดอนุภาคฝุ่นละอองในระบบ wet scrubber ซึ่งพบว่าระยะเวลาที่อนุภาคอยู่ใน wet scrubber มีผลต่อกลไกในการบำบัด โดยระยะเวลาที่อนุภาคอยู่ใน wet scrubber สั้น กลไกการปะทะจะมีผลต่อการบำบัด และกรณีระยะเวลาที่อนุภาคอยู่ใน wet scrubber นานกลไกการแพร่จะมีผลต่อการบำบัด นอกจากนี้ยังพบว่าค่า L/G ratio สูงจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัดเพิ่มขึ้น โดย ค่า L/G ratio ประมาณ 0.05-0.25 l/m^3 จะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่เหมาะสม รวมถึง มีค่าใช้จ่ายที่ไม่สูงจนเกินไป

Gao และคณะ (2001) ได้ศึกษาการใช้ wet scrubber ร่วมกับปฏิกิริยาออกซิเดชันในการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen sulfide, H_2S) โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์/โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOCl/NaOH) เป็นตัวออกซิไดซ์ พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัด H_2S โดยใช้วิธีการดังกล่าวสูงถึง ร้อยละ 95 ขึ้นอยู่กับสภาวะการดำเนินการ (operating condition) และสภาพแวดล้อม นอกจากนี้ยังพบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัด H_2S โดยใช้ wet scrubber ร่วมกับปฏิกิริยาออกซิเดชัน มีค่าใกล้เคียงกับการบำบัดโดยวิธีการกรองชีวภาพ (biofilter) แต่มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่า

Kastner และ Das (2002) ศึกษาการใช้ wet scrubber ร่วมกับปฏิกิริยาออกซิเดชันในการบำบัดไดเมทิล ไดซัลไฟด์ (Dimethyl disulfide) มีเทนไทออล (Methanethiol) ออกเทน (Octane) เมทานอล บิวทานอล (2- Methylbutanol และ 3- Methylbutanol) และเฮกซานัล (Hexanal) ในอากาศเสียจากโรงงานผลิตเครื่องหนัง โดยใช้คลอรีนไดออกไซด์ (Chlorine dioxide, ClO_2) เป็นตัวออกซิไดซ์ พบว่าประสิทธิภาพของการบำบัดมีเทนไทออลสูงถึงร้อยละ 100 ในขณะที่ประสิทธิภาพการบำบัดสารประกอบจำพวกอัลดีไฮด์ มีค่าอยู่ระหว่าง ร้อยละ 20-80 ดังนั้นสารออกซิแดนท์และสภาวะการดำเนินการที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดสารอินทรีย์ ระเหยง่ายชนิดหนึ่ง อาจจะไม่เหมาะสมสำหรับการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายอีกชนิดหนึ่งได้

Thakatkaw (2004) ทำการศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาออกซิเดชันของโทลูอิน เอทานอล และเมทิลเอทิลคีโตน โดยใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์ และโพแทสเซียม-เปอร์แมง

กานเนต (KMnO_4) เป็นสารออกซิแดนต์ ในปฏิกรณ์แบบกะ (batch reactor) ภายใต้สภาวะที่มีการผสมกันอย่างสมบูรณ์มีค่า pH และอุณหภูมิคงตัวพบว่า โซเดียมไฮโปคลอไรท์ เป็นสารออกซิแดนต์ที่เหมาะสมกับสารกลุ่มอะโรมาติก และคีโตน ส่วนโพแทสเซียมเปอร์แมงกานेट เป็นสารออกซิแดนต์ที่เหมาะสมกับสารกลุ่มแอลกอฮอล์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของสภาวะดำเนินการของ wet scrubber ที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในอากาศเสียโดยใช้ wet scrubber ร่วมกับปฏิกิริยาออกซิเดชัน ในระดับห้องปฏิบัติการ
2. เพื่อสร้างแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของ wet scrubber กับตัวแปรดำเนินการที่สนใจ
3. เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในอากาศเสียโดยใช้ wet scrubber ร่วมกับปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

ได้แนวทางการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในอากาศเสียโดยใช้ wet scrubber ร่วมกับปฏิกิริยาออกซิเดชัน