คะตะลิสท์กับบทบาทการป้องกันปัญหาสิ่งแวดล้อม

ดร. สุภาภรณ์ เทอดเทียนวงษ์
อาจารย์
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอถึงบทบาทของคะตะลิสท์ในด้านการช่วยลดปัญหามลพิษในสิ่งแวดล้อม นอกเหนือจากบทบาททางอุตสาหกรรมเคมีที่รู้จักกันมานานแล้ว ซึ่งการใช้งานของคะตะลิสท์ในการช่วยป้องกันปัญหาสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกันหลายอย่าง ได้แก่ การพัฒนาคะตะลิสท์เพื่อช่วยในการผลิตสารตัวใหม่ที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมน้อยลง การใช้คะตะลิสท์ในการจัดการสารที่เป็นพิษและเป็นอันตราย รวมทั้งการลดปริมาณกากของเสียให้น้อยลงและการนำกลับมาใช้ใหม่ ท้ายสุดก็เป็นการแก้ปัญหาก๊าซพิษที่ปล่อยออกมาจากท่อไอเสียรถยนต์

Catalyst and Its Role for Environmental Prevention

Dr. Supaporn Therdthianwong
Lecturer
Department of Chemical Engineering
Faculty of Engineering Khonkaen University

Abstract

Beyond its important role in the chemical industry commonly known, the catalysts have been used for the environmental prevention for many years. The catalysts utilized for environmental control include : the development of novel catalyst for environmental safer products; the management of hazardous and toxic

materials; the minimization and reuse of waste; and the use of catalyst for automobile exhaust.

บทนำ

ตัวเร่งปฏิกิริยาหรือคะตะลิสท์ได้ถูกมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมเคมี ปิโตรเคมี และปิโตรเลียมมาเป็นเวลานาน ซึ่งพบว่า 90% ของอุตสาหกรรมดังกล่าวมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสิ้น หน้าที่สำคัญของคะตะลิสท์คือ การลดค่าพลังงานกระตุ้นในการเกิดปฏิกิริยาทำให้ปฏิกิริยาดำเนินไปได้อย่างรวดเร็ว (เพิ่มความไวของปฏิกิริยา) นอกจากนี้คะตะลิสท์ยังทำหน้าที่ช่วยให้ปฏิกิริยาที่ต้องการดำเนินได้ดีและยับยั้งปฏิกิริยาที่เราไม่ต้องการ (เพิ่มการเลือกจำเพาะของปฏิกิริยา) แต่ในปัจจุบันพบว่าคะตะลิสท์มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อการควบคุมการกำจัดก๊าซพิษที่ก่อให้เกิดมลพิษต่อบรรยากาศของโลก

อุตสาหกรรมต่างๆ ที่กำลังดำเนินอยู่ในปัจจุบันได้มีการเปลี่ยนแปลงให้มีการดำเนินไปในลักษณะที่จะต้องไม่ก่อให้เกิดมลพิษแก่สิ่งแวดล้อม และการเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นจากการบีบบังคับของสังคม เนื่องจากประชาชนได้รับความรู้และข่าวสารถึงปัญหามลพิษมากขึ้น และยอมรับว่าปัญหามลพิษเป็นปัญหาที่ใหญ่ที่ตัวเองจะต้องเข้าไปมีบทบาทในการช่วยป้องกัน ทั้งในแง่การเลือกสินค้าที่ได้ผ่านมาตรฐานการรับรองและการใช้กระบวนการผลิตที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษ ประเทศที่มีกำลังทางเศรษฐกิจก็เริ่มบีบบังคับและกีดกันไม่ใช้สินค้าที่ผลิตจากกระบวนการที่ไม่ได้มาตรฐานและก่อปัญหาแก่สิ่งแวดล้อมเข้ามาในประเทศของตน

บทบาทของคะตะลิสท์ที่มีต่อการป้องกันปัญหาสิ่งแวดล้อม

คะตะลิสท์เข้ามามีบทบาทต่อการป้องกันและลดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้ในหลายลักษณะ ไม่ว่าจะเป็นโดยทางตรงคือการใช้คะตะลิสท์มาเป็นตัวกำจัดก๊าซพิษ หรือจะเป็นโดยทางอ้อมซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นข้อๆ ดังนี้

ก) การใช้คะตะลิสท์ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม

ข) การใช้คะตะลิสท์ในการจัดการสารที่เป็นพิษและเป็นอันตราย

ค) การใช้คะตะลิสท์ในการลดกากของเสียทางอุตสาหกรรมและเพิ่มการนำกลับมาใช้ใหม่

ง) การใช้คะตะลิสท์มาเป็นตัวกำจัดมลพิษอากาศโดยตรง

ในบทความนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดและยกตัวอย่างการประยุกต์ใช้คะตะลิสท์ สำหรับการป้องกันปัญหาสิ่งแวดล้อม และจะเน้นถึงการใช้คะตะลิสท์มาเป็นตัวกำจัดมลพิษอากาศโดยตรง

การใช้คะตะลิสท์ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม

เป็นที่แน่นอนว่าในการกระบวนผลิตทางอุตสาหกรรมทุกประเภท ล้วนต้องการกระบวนการที่ลดต้นทุนการผลิต และให้ผลคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ตลอดจนต้องการกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพสูง แต่แนวทางในการให้ได้มาซึ่งคุณลักษณะข้างต้นมักจะสวนทางกับปัญหาสิ่งแวดล้อม ในปัจจุบันผู้คนส่วนมากรวมทั้งผู้ประกอบการทางอุตสาหกรรมก็ยอมรับว่าปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นตัวแปรที่สำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่าคุณลักษณะที่กล่าวมาข้างต้นทั้งสาม การเดินในทางสายกลางจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดได้แก่ ประโยชน์ของสารพวก คลอโรคาร์บอนที่ถูกสังเคราะห์ขึ้น (synthetic chlorocarbon) เช่น เมธิลคลอโรฟอร์ม (methylchloroform) คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (carbon tetrachloride) และคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (chlorofluorocarbons, CFC) เป็นที่ยอมรับกันว่าสารประกอบเหล่านี้สามารถนำไปใช้งานได้ดีมีประสิทธิภาพสูง แต่พบว่าสารประกอบเหล่านี้ไม่สลายตัวได้ง่าย และยังหลุดลอยขึ้นไปทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศของโลก ปฏิกิริยาการทำลายโอโซนที่เกิดจาก CFC มีดังนี้

$$R - Cl + radiation \rightarrow R\bullet + Cl\bullet \qquad \text{ปฏิกิริยาเริ่มต้น}$$

$$Cl\bullet + O_2 \rightarrow ClO\bullet + O_2 \qquad \text{ปฏิกิริยาลูกโซ่}$$

$$ClO\bullet + O \rightarrow Cl\bullet + O_2$$

$$O_3 + O \rightarrow 2O_2 \qquad \text{ปฏิกิริยารวม}$$

$$Cl\bullet + CH_4 \rightarrow HCl + CH_3\bullet \qquad \text{ปฏิกิริยาสิ้นสุด}$$

จากเหตุผลข้างต้นจึงทำให้ทางอุตสาหกรรมต้องตอบสนองโดยการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นที่มีความปลอดภัยกว่า ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ได้มีการผลิตขึ้นเพื่อทดแทนสารคลอโรคาร์บอนนั้นแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งผลิตภัณฑ์ใหม่เหล่านี้มีความยุ่งยากในการผลิตมากกว่า และต้องการเทคโนโลยีทางคะตะลิสท์เพื่อใช้ในการผลิต โดยปกติ CFC สามารถผลิตได้โดยการใช้ปฏิกิริยาเคมีเพียงขั้นตอนเดียว แต่สำหรับ $HFC-134a$ จะต้องการขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาแบบใช้คะตะลิสท์ทั้งหมด 2-5 ขั้นตอน

ตารางที่ 1

การทดแทนสารคลอโรคาร์บอนด้วยผลิตภัณฑ์ใหม่

การใช้งาน	*CFC* ที่ใช้กันในปัจจุบัน	สารทดแทน
สารทำความเย็น (refrigerants)	CFC-12 (CF_2Cl_2)	*HFC-134a (CF_3CFH_2), HFC-22 (CF_3Cl) HFC-32 (CH_3F_2), HFC-125 (CF_3CF_2H) HFC-124 (CF_3CFCl), HFC-152a (CH_3CHF_2) Blends/Azeotropes*
สารทำให้เกิดฟอง (Blowing agents)	*CFC-11 ($CFCl_3$)*	*HFC-142 (CH_3CFCl_2), HFC-123 (CF_3CHCl_2) HFC-22 (CHF_2Cl), Blends/Azeotropes*
สารทำความสะอาด (Cleaning Agents)	*CFC-113 ($CF_2ClCFCl_2$)*	*Blends/Azeotropes, New Compounds*

ข้อสังเกตุที่ได้จากตารางที่ 1 คือสารทดแทนที่ใช้จะมีไฮโดรเจนอะตอมอยู่ในโครงสร้าง และทำให้สารดังกล่าวมีอายุสั้นในบรรยากาศ เพราะว่าสารพวกนี้มีความเสถียรน้อยกว่า และจากการที่สารเหล่านี้เกิดการสลายตัวเร็วจึงทำให้คะตะลิสท์เสื่อมสภาพไว ดังนั้นการวิจัยเพื่อพัฒนาคะตะลิสท์ที่มีอายุนานจึงเป็นสิ่งจำเป็น

ตัวอย่างอื่นๆ นอกเหนือจากการหาสารทดแทนสารประกอบคลอโรคาร์บอน ได้แก่ การประยุกต์ใช้คะตะลิสท์ในการผลิตสารที่ประกอบด้วยออกซิเจนเพื่อทดแทนสารเตตระเอธิลเลด (tetraethyllead) ซึ่งใช้เป็นสารเติมแต่งในน้ำมันก๊าซโซลีนหรือน้ำมันเบนซิน การผลิตโพลีเมอร์ที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ง่าย หรือสามารถเกิดการสลายตัวโดยทางชีวภาพ (biodegradable polymer) ล้วนแต่ต้องการคะตะลิสท์ใหม่ๆ

หน้าที่ของคะตะลิสท์ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือ การใช้คะตะลิสท์ในการผลิตน้ำมันรถยนต์ที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษน้อยที่สุดหรือที่เราเรียกว่า น้ำมันก๊าซโซลีนสูตรพิเศษ (reformulated gasoline) ก่อนจะกล่าวถึงว่าคะตะลิสท์เข้ามามีบทบาทเช่นไรในการผลิตน้ำมันประเภทนี้ เราน่าจะทำความเข้าใจก่อนว่า องค์ประกอบอะไรที่มีอยู่ในน้ำมันรถยนต์ที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษอากาศ และในน้ำมันประเภทสูตรพิเศษนี้มีสารเติมแต่งอะไรบ้างและส่งผลให้เกิดผลดีเช่นไร

องค์ประกอบส่วนใหญ่ในน้ำมันก๊าซโซลีนเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีสูตรโครงสร้างทางเคมีต่างๆ กัน อาทิเช่น สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบสายโซ่ตรง สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เป็นพวกอะโรเมติก สารจำพวกเบนซีน และสารเติมแต่งต่างๆ มลพิษที่สำคัญตัวหนึ่งที่เกิดจากปฏิกิริยาโฟโตเคมี (photochemical reaction) ของไนโตรเจนออกไซด์กับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในอากาศเกิดเป็นโอโซนที่อยู่ในระดับพื้นโลก รถยนต์ในโลกจะปล่อยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนขึ้นไปในอากาศเป็นปริมาณถึง 1 ใน 3 ของปริมาณทั้งหมด มาตรการที่สำคัญที่ออกโดยกฎหมายแห่งอากาศบริสุทธิ์ (clean air act) ของสหรัฐอเมริกาเพื่อลดปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ถูกปล่อยสู่อากาศคือ การควบคุมปริมาณของสารประกอบอะโรเมติก เบนซีน และออกซิเจนที่มีอยู่ในน้ำมันก๊าซโซลีน ดังแสดงในตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2

ปริมาณของสารที่ถูกกำหนดตาม Clean Air Act ของสหรัฐอเมริกา

องค์ประกอบ	ปริมาณที่กำหนด
สารประกอบอะโรเมติก	25% สูงสุด
เบนซีน	2% สูงสุด
ออกซิเจน	2% ต่ำสุด

หมายเหตุ : ปริมาณออกซิเจนที่เติมในน้ำมันก๊าซโซลีนจะอยู่ในรูปของอีเธอร์ (ethers) และ/หรือแอลกอฮอล (alcohols)

การควบคุมปริมาณสารประกอบอะโรเมติกและเบนซีนในน้ำมันก๊าซโซลีน จะช่วยลดความสามารถในการระเหยและลดปริมาณของการปล่อยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนออกสู่บรรยากาศ ส่วนปริมาณของออกซิเจนที่ถูกเติมลงในน้ำมันก๊าซโซลีนจะช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ในก๊าซพิษให้ต่ำลง

แนวทางการควบคุมหรือลดปริมาณอะโรเมติกและเบนซีนในน้ำมันก๊าซโซลีนสามารถกระทำได้ดังนี้

1) โดยปกติในโรงกลั่นน้ำมันประกอบด้วยหน่วยแตกโมเลกุลโดยใช้คะตะลิสท์แบบฟลูอิดไดซ์เบด (fluid bed catalytic cracking, *FCC*) ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีจุดเดือดสูงและคุณค่าต่ำให้กลายเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีคุณค่าสูงที่สามารถใช้กับรถยนต์ แต่เนื่องจากน้ำมันก๊าซโซลีนที่ผลิตจากกระบวนการ *FCC* นี้มีปริมาณขององค์ประกอบแบบโอลิฟินและอะโรเมติกอยู่มาก ดังนั้นการลดปริมาณอะโรเมติกในน้ำมันก๊าซโซลีนทำได้โดยการลดเปอร์เซ็นต์ของน้ำมันก๊าซโซลีนที่ผลิตจาก

FCC ในน้ำมันก๊าซโซลีนที่ผลิตได้จากวิธีนี้ นอกจากนี้อาจทำได้โดยการนำน้ำมันก๊าซโซลีนที่ผลิตจาก *FCC* ไปผ่านกระบวนการไฮโดรจีเนชัน (hydrogenation) เพื่อลดปริมาณของโอลีฟินและอะโรมาติก ซึ่งในขั้นตอนการทำไฮโดรจีเนชันนี้จะต้องมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะ *Pt* ด้วย

2) การลดปริมาณแนฟทีนในน้ำมันก๊าซโซลีน สามารถทำได้อีกวิธีหนึ่งคือการนำแนฟทีนไปทำให้อิ่มตัว และจากนั้นทำให้วงแหวนเปิดออก (ring saturation/opening) ดังเช่นในกระบวนการของ Mobil M-forming process

ในการผลิตก๊าซโซลีนสูตรพิเศษได้มีการเติมสารเติมแต่งหลายชนิด เช่น methyl tertiary butyl ether (*MTBE*) หรือสาร oxygenate เพื่อลดปัญหามลพิษที่ปล่อยออกมาจากท่อไอเสีย นอกจากนี้องค์ประกอบของเชื้อเพลิงยังมีผลต่อไกลพิษที่ปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์ ซึ่งจากการวิจัยของ auto/oil air quality improvement research program (*AQIRP*) ได้พบว่า

- ถ้าองค์ประกอบของโอลีฟินในน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าต่ำๆ ปริมาณของไอไซนจะยิ่งมีค่าต่ำเท่านั้น
- ยิ่งปริมาณของสารประกอบอะโรมาติกมีค่าต่ำๆ ปริมาณความเป็นพิษของไอเสียที่ออกจากรถจะยิ่งมีค่าน้อย
- ปริมาณของก๊าซเบนซีนมีค่าต่ำจะช่วยลดปริมาณของไอเสีย ลดปริมาณความเป็นพิษ และลดปริมาณโอโซนที่เกิด
- การที่น้ำมันก๊าซโซลีนมีคุณสมบัติของค่าความดันไอแรงดัน (reid vapor pressure) และช่วงอุณหภูมิจุดเดือด T_{gp} ต่ำ จะทำให้ปริมาณของโอโซนและสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีค่าลดลง
- การเติมสาร *MTBE* และสารประกอบออกซิเจนจะช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (*CO*) และเพิ่มค่าเลขออกเทน

ปัจจุบันการผลิต *MTBE* เตรียมขึ้นจากไอโซบิวทีน (isobutene) และเมทานอล (methanol) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันคือเรซินจำพวกกรด (acid resin) ซึ่งสามารถทนอุณหภูมิได้น้อยมาก ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้วิธีการปรับสภาพโดยใช้ก๊าซร้อนจัดเพื่อทำปฏิกิริยาอีกครั้งหนึ่ง (oxidative regeneration) ได้ และในปัจจุบันได้มีผู้ทำการวิจัยเพื่อผลิตตัวเร่งปฏิกิริยาแข็งที่มีคุณสมบัติเป็นกรด (solid-acid catalyst) ตลอดจนตัวเร่งปฏิกิริยาที่ภาวะอยู่บนซีโอไลท์ (zeolites) เพื่อใช้ในกระบวนการดังกล่าวข้างต้น

การใช้คะตะลิสท์ในการจัดการสารที่เป็นพิษและเป็นอันตราย

ในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมเคมี เรามักจะต้องใช้สารที่เป็นอันตรายและเป็นพิษ เช่น ไฮโดรเจนไซยาไนด์ (hydrogen cyanide) กรดไฮโดรฟลูออริค (hydrofluoric acid) กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) คลอรีน (chlorine) แอคลิโลไนไทรล์ (acrylonitrile) ฟอร์มาลดีไฮด์ (formaldehyde) เอธิลีนออกไซด์ (ethylene oxide) กรดซัลฟุริค (sulfuric acid) เป็นต้น ทั้งนี้เพราะสารเหล่านี้ประกอบด้วยกลุ่มฟังก์ชั่นหรือกลุ่มที่มีความไวซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาได้ต่อไป การหลีกเลี่ยงไม่ใช้สารดังกล่าวนี้ในทางอุตสาหกรรมเคมีคงจะเป็นไปไม่ได้ วิธีการป้องกันไม่ให้สารดังกล่าวหลุดไปจากระบบและลดการเสี่ยงที่สารดังกล่าวจะทำอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ทำได้โดยการหลีกเลี่ยงการขนส่งสารที่เป็นอันตรายด้วยการหาทางผลิตสารดังกล่าวในแหล่งที่ต้องการใช้สารเหล่านี้เลย ซึ่งการที่จะทำเช่นนี้ได้จะต้องพยายามหาวิธีการผลิตในแนวทางใหม่โดยใช้คะตะลิสท์มาเป็นตัวช่วย ตัวอย่างเช่นการผลิตสารเมธิลไอโซไซยาเนท (methyl isocyanate, *MIC*) ซึ่งใช้เป็นสารตัวกลางในการผลิตยาปราบศัตรูพืชโดยอาศัยปฏิกิริยาต่อไปนี้

$$CH_3NH_2 + COCl_2 \rightarrow CH_3NCO + 2HCl$$

MIC ที่ผลิตโดยวิธีนี้ไม่สามารถผลิตในแหล่งที่ต้องการใช้งาน ดังนั้นจึงมีปัญหาเรื่องการขนส่ง การเก็บและการใช้งาน ได้มีผู้ทำการวิจัยเพื่อหากระบวนการใหม่ที่จะใช้ผลิตสาร *MIC* จากสารตั้งต้นที่มีอันตรายน้อยกว่าและลดปัญหาในเรื่องการขนส่งและการเก็บรักษา วิธีการใหม่ที่เหมาะสมในการผลิต *MIC* คือการใช้กระบวนการดีไฮโดรจีเนชั่นและออกซิเดชั่นแบบใช้คะตะลิสท์ (catalytic oxidative-dehydrogenation process) ดังนี้

$$CH_3NH_2 + CO \rightarrow CH_3NHCHO$$

$$CH_3NHCHO + \tfrac{1}{2}O_2 \rightarrow CH_3NCO + H_2O$$

ซึ่งกระบวนการใหม่นี้ทำให้สามารถผลิต *MIC* ในแหล่งที่ต้องการใช้งานและถูกนำไปใช้งานได้ในทันที จึงเป็นการลดแนวโน้มที่สารดังกล่าวจะทำอันตรายต่อผู้คนและสิ่งมีชีวิต

การใช้คะตะลิสท์ในการลดกากของเสียทางอุตสาหกรรมและเพิ่มการนำกลับมาใช้ใหม่

แนวทางอันหนึ่งที่สำคัญในการป้องกันปัญหาสิ่งแวดล้อม คือการลดกากของเสียทางอุตสาหกรรมและเพิ่มการนำกลับมาใช้ใหม่ ในอุตสาหกรรมเคมีเป็นสิ่งที่ยากมากในการทำให้ได้

ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ (%-yield) มีค่า 100% ดังนั้นสิ่งที่ทำได้คือการนำเอาผลิตภัณฑ์ข้างเคียง ตลอดจนของเสียมาเปลี่ยนให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งก่อนหน้านี้การกำจัดของเสียที่ไม่ใช้มักกระทำโดยการนำไปเผาทิ้ง หรือการนำไปฝังใต้ดิน แต่ต่อมาพบว่าการกระทำเหล่านี้ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมในภายหลัง

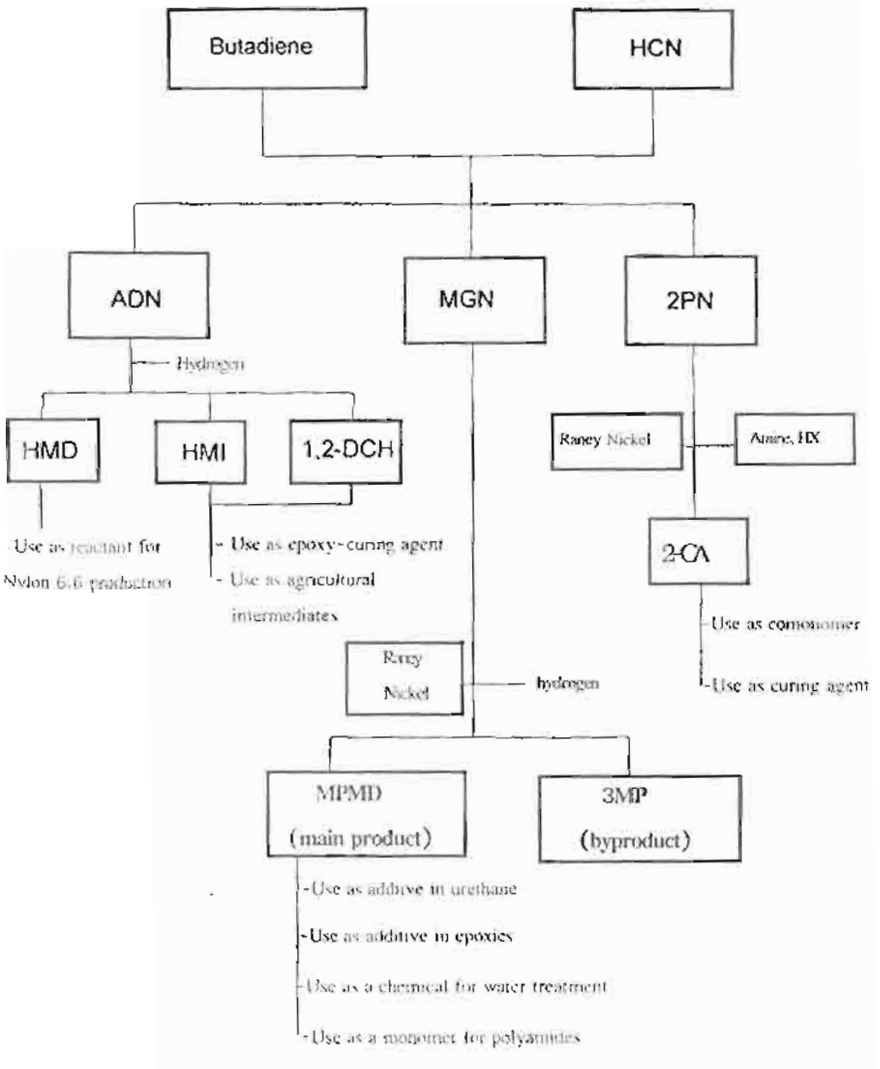
ตัวอย่างการใช้คะตะลิสท์ในการลดกากของเสียทางอุตสาหกรรมและเพิ่มการนำกลับมาใช้ใหม่ที่ขอกล่าวในที่นี้คือ กระบวนผลิตเฮกซะเมธิลลีนไดเอมีน (hexamethy-lenediamine, *HMD*) ซึ่งใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตไนลอน 6.6 (nylon 6.6) ขั้นตอนของปฏิกิริยาหลักมีดังนี้

$$butadiene + HCN \rightarrow ADN + MGN + 2PN$$
$$ADN + H_2 \rightarrow HMD + HMI + 1,2 - DCH$$

จำนวน 2 โมลของไฮโดรเจนไซยาไนด์ (*HCN*) ทำปฏิกิริยากับ บิวทะไดอีน (butadiene) ในสองขั้นตอนโดยการใช้คะตะลิสท์ที่เป็นนิคเกิ้ลฟอสไฟท์วาเลนซ์ศูนย์ (zero-valent nickel phosphite) เพื่อทำการผลิต $C_6 - dinitriles$ ที่มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นเส้นตรง (*ADN*) และ $C_6 - dinitriles$ ที่มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบมีกิ่งก้าน (branched $C_6 - dinitriles$ หรือ *MGN*) ส่วนผลิตภัณฑ์ข้างเคียงที่เกิดขึ้นคือ 2-เพนทีนไนไทรล์ ($2 - pentenenitrile$ หรือ *2PN*) ในอดีต *2PN* จะถูกแยกออกแล้วนำไปเผาทิ้ง ส่วนเฮกซะเมธิลีนอิมีน (hexamethyleneimine, *HMI*) และ 1,2-ไดอะมิโนไซโคลเฮกเซน ($1,2 - diaminocyclohexane$, $1,2 - DCH$) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาที่สองตอนผลิต *HMD* มักถูกนำไปเผาเป็นเชื้อเพลิง แต่ในปัจจุบันทางอุตสาหกรรมได้ใช้คะตะลิสท์แบบ Raney Nickel มาทำปฏิกิริยากับสารเหลือทิ้งข้างต้นเพื่อเปลี่ยนให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ ดังแสดงในรูปที่ 1

การใช้คะตะลิสท์ในการกำจัดมลพิษอากาศโดยตรง

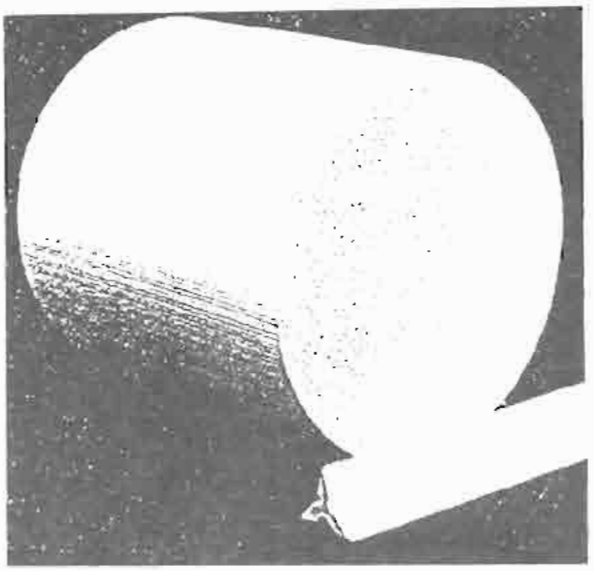
การกำจัดมลพิษอากาศสามารถกระทำได้โดยการใช้คะตะลิสท์โดยตรง แหล่งกำเนิดของมลพิษอากาศในโลกมักมาจาก 2 แหล่งใหญ่ๆ คือ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง และการเผาไหม้เชื้อเพลิง มักมีการปล่อยก๊าซพิษพวกซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_x) และไนตริกออกไซด์ (NO_x) ออกสู่บรรยากาศ และเป็นสาเหตุก่อให้เกิดฝนกรด ส่วนอีกแหล่งกำเนิดหนึ่งก็คือท่อไอเสียรถยนต์ทั้งเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนและเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งมีการปล่อยก๊าซพิษออกมาทางท่อไอเสีย โดยในที่นี้จะขอกล่าวรายละเอียดของการกำจัดก๊าซพิษจากแหล่งกำเนิดที่สองซึ่งเป็นสิ่งที่ใกล้ตัวของเรามากที่สุด



รูปที่ 1 การใช้คะตะลิสท์ Raney nickel ในการเปลี่ยนภากของเสียให้เป็นผลิตภัณฑ์

ตัวปรับเปลี่ยนคะตะลิสท์ (catalytic converter) สำหรับเครื่องยนต์ก๊าซโซลีน

ก๊าซพิษที่ถูกปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนจะประกอบด้วยไอเสียและเขม่า ในส่วนที่เป็นไอเสียประกอบด้วย ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ไนตริกออกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ อัลดีไฮด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ส่วนที่เป็นอนุภาคหรือเขม่าจะประกอบด้วย ผงคาร์บอน สารประกอบของตะกั่ว สารจำพวกฟีนอล น้ำมันเครื่องยนต์ สารประกอบอินทรีย์ และส่วนที่เป็นยางเหนียวซึ่งเป็นพวกสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอะโรมติก และโพลีไซคลิก ในปัจจุบันรถยนต์เบนซินหรือเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนทุกคันจะมีการติดตั้งตัวปรับเปลี่ยนคะตะลิสท์ตรงท่อทางออกของไอเสีย



รูปที่ 2 ตัวโครงสร้างแบบรวงผึ้ง (Monolith) ที่ใช้ทำตัวปรับเปลี่ยนคะตะลิสท์

ตัวปรับเปลี่ยนคะตะลิสท์สำหรับเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนจะประกอบด้วยตัวโครงสร้างที่มีไว้ให้พวกโลหะไวมาเกาะ ตัวโครงสร้างจะมีลักษณะภายนอกเหมือนรวงผึ้งดังแสดงในรูปที่ 2 ก๊าซพิษจะไหลจากปลายด้านหนึ่งวิ่งผ่านช่องทางไหลเล็กๆ จำนวนมากมายและไหลออกไปยังปลายอีกด้านหนึ่ง บนพื้นผิวของตัวโครงสร้างจะชุบเคลือบด้วยตัวเคลือบที่เรียกว่า washcoat องค์ประกอบของตัวเคลือบจะมีอลูมินา (ซึ่งเป็นตัวเพิ่มพื้นที่ผิว) และโลหะไวมีค่า (active precious metals) จำพวก

แพลตทินัม (*Pt*) โรเดียม (*Rh*) และ พาลลาเดียม (*Pd*) นอกจากนี้องค์ประกอบอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญสำหรับตัวเคลือบคือ ตัวส่งเสริม (promoters)

ตัวปรับเปลี่ยนคะตะลิสท์สำหรับเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนในการควบคุมก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน และไนโตรเจนมอนนอกไซด์ มักมีผู้เรียกตัวปรับเปลี่ยนคะตะลิสท์ในอีกชื่อหนึ่งว่า คะตะลิสท์สามทาง เพราะคะตะลิสท์ดังกล่าวจะช่วยในการกำจัดองค์ประกอบก๊าซพิษทั้งสามข้างต้นพร้อมกัน ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เพื่อเกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ โดยปฏิกิริยาออกซิเดชั่นแบบใช้คะตะลิสท์ ส่วน *NO* จะทำปฏิกิริยาเพื่อให้ได้เป็นก๊าซไนโตรเจน ซึ่งเป็นส่วนที่ต้องการ และก๊าซแอมโมเนีย ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ต้องการ ปฏิกิริยาทั้งหมดที่ถูกเร่งโดยตัวปรับเปลี่ยนคะตะลิสท์มีดังนี้

$$CO + \tfrac{1}{2}O_2 \rightarrow CO_2$$

$$hydrocarbon + O_2 \rightarrow H_2O + CO_2$$

$$C_xH_y + 2xH_2O \rightarrow xCO_2 + (2x + y/2)H_2$$

$$C_xH_y + xH_2O \rightarrow xCO + (x + y/2)H_2$$

$$NO_x + CO \text{ และ } H_2 \rightarrow N_2 + CO_2 + H_2O$$

การออกแบบโครงสร้างสำหรับตัวปรับเปลี่ยนคะตะลิสท์ นอกจากจะทำเป็นแบบรวงผึ้งแล้ว ยังมีการทำเป็นแบบเม็ด (pellet type catalytic converters) แต่ที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบันมักทำเป็นแบบรวงผึ้ง (monolith catalysts or ceramic honeycomb) ทั้งนี้เพราะตัวโครงสร้างแบบรวงผึ้งมีลักษณะพิเศษที่ประกอบด้วยช่องทางที่ก๊าซจะไหลผ่านซึ่งขนานกันเป็นจำนวนมากมาย ตัวรวงผึ้งนี้จะทำมาจากวัสดุเซรามิกส์ประเภท cordiente เพราะสามารถทนอุณหภูมิได้สูง รูปโครงสร้างของเซลในรวงผึ้งสามารถทำได้หลายรูปแบบ หลายขนาด และค่าความหนาแน่นของตัวเซลก็มีหลายช่วงทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของการใช้งาน สำหรับตัวปรับเปลี่ยนคะตะลิสท์จะใช้ตัวรวงผึ้งที่มีค่าความหนาแน่นของเซลประมาณ 400 เซล/ตารางนิ้ว นั่นหมายความว่า ในหนึ่งหน่วยตารางนิ้วจะมีจำนวนของเซลอยู่ทั้งหมด 400 เซล ความหนาของผนังเซลมีค่าโดยประมาณ 0.2 มม.

ตัวส่งเสริมที่นิยมใช้ในตัวปรับเปลี่ยนคะตะลิสท์คือ ซีเรีย (*ceria*, CeO_2) ทั้งนี้เพราะซีเรียส่งเสริมให้ปฏิกิริยาอ็อกซิเดชั่นของ *CO* เกิดขึ้นได้ดีกับคะตะลิสท์ *Pt/Rh/Al* ภายใต้บรรยากาศที่มีก๊าซออกซิเจนอยู่ นอกจากนี้ยังพบว่าซีเรียยังช่วยให้เกิดกลไกอื่นๆ ขึ้นอีก เช่น

- ซีเรียช่วยเพิ่มความไวของคะตะลิสท์
- ซีเรียช่วยทำหน้าที่เป็นเสมือนตัวเก็บออกซิเจน (storage of oxygen)
- ซีเรียช่วยเพิ่มปฏิกิริยา water-gas shift ซึ่งช่วยในการกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ดังนี้ $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$
- ซีเรียช่วยเพิ่มเสถียรภาพของคะตะลิสท์

ความสามารถของซีเรียในแง่ของการเป็นตัวเก็บออกซิเจน ก็คือ ซีเรียมีความสามารถเปลี่ยนสูตรโครงสร้างทางเคมีระหว่าง Ce_2O_3 ภายใต้สภาวะที่มีเชื้อเพลิงมาก (fuel-rich condition) และ CeO_2 ภายใต้สภาวะที่มีเชื้อเพลิงน้อย (fuel-lean condition) นั่นคือภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนในก๊าซมากซีเรียจะทำหน้าที่เก็บออกซิเจน และซีเรียจะปล่อยให้ออกซิเจนออกมาเมื่อปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในก๊าซเสียมีมาก

จากการตรวจวัดค่าปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ถูกปล่อยจากท่อไอเสีย พบว่าในช่วง 2 นาทีแรกของการสตาร์ทเครื่องยนต์ ปริมาณของสารทั้งสองมีค่าสูง สิ่งนี้มีสาเหตุ 2 ประการ ประการแรกคือเครื่องยนต์ที่เย็นจะมีปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนและคาร์บอนมอนนอกไซด์มากกว่าเครื่องยนต์ที่อุ่น และอีกสาเหตุหนึ่งคือตัวปรับเปลี่ยนคะตะลิสท์จะไม่สามารถทำงานได้ถ้าอุณหภูมิของตัวมันมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิที่เรียกว่า "lightoff temperature" ทางแก้ไขเหตุการณ์ดังกล่าวสามารถกระทำได้โดยการใช้ตัวปรับเปลี่ยนคะตะลิสท์ที่มีการให้ความร้อนโดยกระแสไฟฟ้า (electrically heated catalytic convertor) ตัวปรับเปลี่ยนคะตะลิสท์แบบนี้ทำขึ้นมาจากเหล็กกล้าไร้สนิมเกรดสูงที่ถูกเคลือบด้วยอลูมินาที่เสถียร จากนั้นนำไปจุ่มลงในสารละลายของอิออนโลหะไว (*Pt*, *Pd* และ *Rh*) เพื่อให้โลหะดังกล่าวเกาะดูดซับบนอลูมินา ซึ่งเรียกวิธีการเตรียมดังกล่าวว่าวิธีฝังเปียก (wet impregnation) ในการผลิตความร้อนทำได้โดยการป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังตัวปรับเปลี่ยนคะตะลิสท์ ความร้อนจะถูกผลิตขึ้นจากความต้านทานไฟฟ้าของโครงและความร้อนดังกล่าวจะถูกถ่ายเทต่อให้กับพื้นผิวคะตะลิสท์ โดยที่กระแสไฟฟ้าที่ต้องการจะมีค่าพอๆ กับมอเตอร์ที่ใช้สตาร์ทเครื่องยนต์ ดังนั้นกระแสไฟฟ้าขนาดนี้สามารถดึงได้จากแบตเตอรี่ที่ใช้กับรถยนต์ ตัวปรับเปลี่ยนคะตะลิสท์สามารถลดปริมาณก๊าซพิษและอนุภาคที่ปล่อยออกมาได้ถึง 90% และสามารถใช้งานได้ถึง 80,000 km

ตัวปรับเปลี่ยนคะตะลิสท์ที่ใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล

การควบคุมปัญหามลพิษอากาศได้ขยายขอบเขตคลอบคลุมถึงเครื่องยนต์ดีเซลด้วยทั้งนี้เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลได้รับความนิยมใช้กันมาก นอกจากใช้กับรถยนต์บรรทุกขนาดใหญ่ ขนาด

กลาง ขนาดเล็ก รถโดยสารขนาดใหญ่ และรถดักดินแล้ว เครื่องยนต์ดีเซลยังใช้เป็นเครื่องต้นกำลังในโรงงานอุตสาหกรรมอีกมากมาย จากการเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์เบนซิน เครื่องยนต์ดีเซลมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่า และใช้งานได้ทนทานกว่า ก๊าซพิษที่ออกจากท่อไอเสียเครื่องยนต์ดีเซลประกอบด้วย ไอน้ำ คาร์บอนมอนนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ไนตริคออกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ อัลดีไฮด์ ออกซิเจน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน ปริมาณของคาร์บอนมอนนอกไซด์และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ผลิตจากเครื่องยนต์ดีเซลจะน้อยกว่าเครื่องยนต์เบนซิน แต่ข้อเสียเปรียบของเครื่องยนต์ดีเซลคือ มีปริมาณอนุภาคที่อยู่ในไอเสียมากกว่า และอนุภาคส่วนใหญ่เป็นสารที่มองไม่เห็น แต่มีองค์ประกอบมากมายในอนุภาคซึ่งทางสถาบัน NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health) และ The International Agency for Research on Cancer ได้จัดให้เป็นสารที่มีแนวโน้มในการก่อให้เกิดโรคมะเร็ง (carcinogens) ได้ สารดังกล่าวได้แก่ 3,4 benzypyrene, dibenzanthrecene, 1,2 benzanthrecene, coronene และ 11,12 benzofluoranthene เป็นต้น

อนุภาคจากเครื่องยนต์ดีเซลถูกนิยามว่าเป็นอนุภาคทั้งหมดที่ถูกจับโดยตัวกรองที่เป็นเส้นใยแก้ว (glass fiber filter) จากท่อไอเสียที่อุณหภูมิของก๊าซเท่ากับหรือน้อยกว่า 52°C อนุภาคที่ออกจากเครื่องยนต์ดีเซลทั้งส่วนที่เป็นของแข็ง อันได้แก่ คาร์บอนแห้งหรือเขม่า สารประกอบซัลเฟตของอนินทรีย์ ขี้เถ้า (ซึ่งเกิดจากอ๊อกไซด์ของสารอนินทรีย์ที่เป็นสารเติมแต่งในน้ำมันเชื้อเพลิงและน้ำมันหล่อลื่น และจากเศษโลหะที่มาจากการสึกหรอของเครื่องยนต์) นอกจากนี้ยังมีส่วนที่เป็นของเหลวที่เกิดจากน้ำมันเชื้อเพลิงที่ไม่เกิดการเผาไหม้และจากน้ำมันหล่อลื่น

ตลอดช่วงเวลาหลายปี ได้มีผู้ทำการวิจัยและค้นคว้าเพื่อควบคุมไอเสียที่ปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์ดีเซล โดยในการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 แนวทาง แนวทางแรกคือการปรับปรุงเครื่องยนต์ดีเซลให้มีการปล่อยอนุภาคเขม่าและ NO_x ออกมาน้อยลง ตัวอย่างเช่น การใช้ความดันสูงขึ้นในการพ่นฉีดน้ำมันให้เป็นฝอย การออกแบบให้การทำงานของกระบอกสูบและเวลาในการฉีดน้ำมันที่สอดคล้องและเหมาะสมเป็นต้น แนวทางที่สองคือการติดตั้งตัวปรับเปลี่ยนคะตะลิสท์ตรงบริเวณทางออกของท่อไอเสียรถยนต์ดีเซล ซึ่งในปัจจุบันได้มีการผลิตขึ้นในรูปแบบที่เรียกว่า diesel oxidation catalyst โดยผลิตขึ้นจากตัวโครงสร้างแบบรวงผึ้งคล้ายตัวปรับเปลี่ยนคะตะลิสท์ที่ใช้กับเครื่องยนต์ก๊าซโซลีน นั่นคือไอเสียจะไหลเข้าที่ปลายด้านหนึ่ง และไหลผ่านรูช่องทางไหลออกไปอีกปลายด้านหนึ่งโดยไม่จำเป็นต้องมีการไหลผ่านผนังของตัวเซล และด้วยเหตุนี้เราจึงเรียกตัวปรับเปลี่ยนคะตะลิสท์แบบนี้ว่า อ๊อกซิเดชั่นคะตะลิสท์ (flow-through type oxidation catalysts, *FTC*).

เนื่องจากในน้ำมันดีเซลมีธาตุกำมะถันหรือซัลเฟอร์อยู่ ซัลเฟอร์นี้จะสามารถถูกอ๊อกซิไดซ์ไปเป็นซัลเฟตภายใต้สภาวะของการสันดาป และซัลเฟอร์ที่เกิดขึ้นนี้จะถูกพ่นออกมากับไอเสียรถยนต์ในรูปของอนุภาค ดังนั้นจึงไม่เป็นที่น่าแปลกใจเลยว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลจะต้องมีคุณสมบัติที่แตกต่างจากตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้กับไอเสียของรถยนต์เบนซิน

อ๊อกซิเดชั่นคะตะลิสท์สำหรับเครื่องยนต์ดีเซล สามารถนำมาติดตั้งและช่วยกำจัดสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเหลว (ซึ่งจัดเป็นส่วนหนึ่งของอนุภาค) โดยที่สารนี้จะถูกอ๊อกซิไดซ์ในขณะที่ไหลผ่านตัวปรับเปลี่ยนคะตะลิสท์ ในขณะเดียวกันองค์ประกอบในก๊าซที่ประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจะถูกอ๊อกซิไดซ์โดยคะตะลิสท์ที่เป็นโลหะไว นอกจากนี้พบว่าตัวปรับเปลี่ยนคะตะลิสท์แบบนี้ยังช่วยกำจัดสารอัลดีไฮด์ และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนพวกอะโรมติกแบบโพลีไซคลิค (polycyclic aromatic hydrocarbons) ซึ่งเป็นตัวที่ก่อให้เกิดกลิ่นในไอเสียได้ด้วย อย่างไรก็ตามตัวปรับเปลี่ยนคะตะลิสท์แบบอ๊อกซิเดชั่นคะตะลิสท์นี้จะไม่สามารถกำจัดอนุภาคในส่วนที่เป็นเขม่าและขี้เถ้าได้ แต่เนื่องจากปัญหามลพิษอากาศที่เพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะในเมืองที่มีปัญหาจราจรติดขัด ดังนั้นในบางประเทศได้มีการออกกฎหมายที่ควบคุมเคร่งครัด อาทิเช่นในประเทศสหรัฐอเมริกา ได้มีการกำหนดขอบเขตสูงสุดของปริมาณสารพิษที่จะถูกพ่นออกมาจากท่อไอเสีย ดังนี้

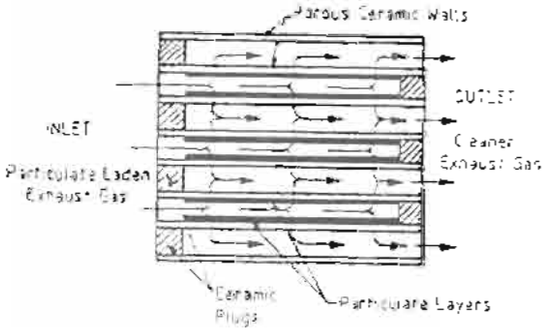
ปริมาณอนุภาค	0.1 g/bhp-h
ปริมาณไนโตรเจนมอนนอกไซด์	5.1 g/bhp-h
ปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอน	1.3 g/bhp-h

ซึ่งจากมาตรฐานข้างต้น diesel oxidation catalyst จะไม่สามารถกระทำได้ จึงได้มีการวิจัยค้นคว้าอุปกรณ์ดักจับอนุภาคสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลขึ้น แต่งานดังกล่าวยังอยู่ในช่วงการค้นคว้าวิจัยในห้องปฏิบัติการอยู่ โดยที่ตัวดักจับอนุภาคสามารถกำจัดเขม่าได้และยังทำหน้าที่เช่นเดียวกับ diesel oxidation catalyst ทุกประการอีกด้วย

ตัวดักจับอนุภาคได้รับการพัฒนาขึ้นมามากมายหลายรูปแบบ ได้แก่ เซรามิกส์แบบรวงผึ้ง (ceramic wall-flow monolith) ซึ่งเป็นวัสดุเดียวกันกับที่ใช้ทำตัวปรับเปลี่ยนคะตะลิสท์สำหรับเครื่องยนต์เบนซิน โดยมีลักษณะเป็นรวงผึ้ง แบบที่สองเป็นแบบตัวดักจับอนุภาคที่ทำมาจากเซรามิกส์รูพรุน (ceramic foam) ส่วนแบบสุดท้ายคือตัวดักจับอนุภาคแบบเส้นใย (fibrous mesh traps)

ตัวดักจับอนุภาคเซรามิกส์แบบรวงผึ้ง (Ceramic wall-flow monolith)

ตัวดักจับอนุภาคแบบรวงผึ้งประกอบด้วยช่องทางไหลยาวที่มีผนังเป็นรูพรุน ดังแสดงในรูปที่ 2 ลักษณะภายนอกดูแล้วคล้ายรวงผึ้ง ตรงด้านปลายของช่องทางไหลเข้าจะถูกอุดด้วยซีเมนต์ทนไฟ เพื่อว่าก๊าซที่ไหลเข้าไปในช่องทางไหลเข้าจะต้องไหลผ่านผนังที่มีรูพรุนก่อนที่จะไหลออกทางช่องทางไหลออก (ดูรูปที่ 3 ประกอบ) โดยที่ปลายทางเข้าของช่องทางไหลออกจะถูกอุดด้วยซีเมนต์ทนไฟเช่นเดียวกัน กลไกการกรองจะเหมือนกับกระบวนการกรองทั่วๆ ไปกล่าวคือขนาดของรูพรุนจะต้องมีขนาดเล็กพอที่จะกักเอาอนุภาคเขม่าไว้ เมื่อการกรองเกิดขึ้นเป็นเวลานาน อนุภาคจะเกิดการสะสมเป็นชั้นบางๆ บนผนังของช่องทางไหล

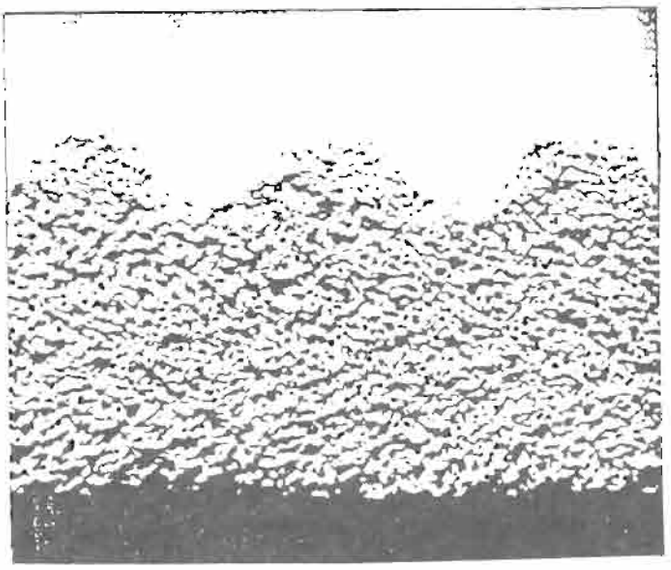


รูปที่ 3 กลไกการไหลผ่านตัวดักจับอนุภาคแบบ Ceramic Wall-flow monolith

เนื้อวัสดุที่ใช้ทำตัวดักจับประเภทนี้ คือ เนื้อเซรามิกส์ประเภท cordierite ประสิทธิภาพของการดักจับอนุภาคของอุปกรณ์ประเภทนี้จะขึ้นอยู่กับค่าความพรุนตัวและขนาดของรูพรุน ซึ่งจากการทดสอบการดักจับอนุภาคพบว่า ตัวดักจับแบบ Corning Ex47 หรือ *NGK DHC-221* มีความเหมาะสมในการใช้งาน โดยมีค่าความพรุนตัว 50% มีขนาดเฉลี่ยของรูพรุนเท่ากับ 13 μm และมีความหนาแน่นของจำนวนเซลเท่ากับ 100-400 เซล/ตารางนิ้ว ความหนาของผนังเซลมีค่า 0.017 นิ้ว ค่าความหนาของผนังเซลเป็นสิ่งสำคัญเพื่อก่อให้เกิดสภาพการทำงานเหมาะสมสูงสุดระหว่างประสิทธิภาพ ค่าความดันลด ความแข็งแรง และความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างกระทันหัน ในการออกแบบตัวดักจับเขม่าแบบรวงผึ้งนี้มักกำหนดให้ค่าอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางกับความยาวของตัวดักจับมีค่าประมาณ 1 ทั้งนี้เพื่อให้เครื่องดักจับมีค่าความดันลดต่ำและมีค่าความเค้นในแนวแกนอันเนื่องมาจากความร้อนต่ำ ค่าประสิทธิภาพในการกักอนุภาคของตัวดักจับนี้มีค่าสูงถึง 80-95%

ตัวดักจับอนุภาคเขม่าแบบเซรามิกส์รูพรุน (ceramic foam)

ตัวดักจับอนุภาคเขม่าแบบเซรามิกส์รูพรุน (ดังแสดงในรูปที่ 4) ประกอบด้วยเยื่อแผ่นที่มีเซรามิกส์รูพรุนเกาะอยู่ทางตอนบน รูปที่แสดงเป็นเซรามิกส์รูพรุนที่ผลิตจากบริษัท Cercona Inc. ซึ่งมีประสิทธิภาพในการดักจับอนุภาคเขม่าถึง 50-80% โดยมีองค์ประกอบเป็น 8-9% MgO, 44-46% Al_2O_3 และ 44-46% SiO_2

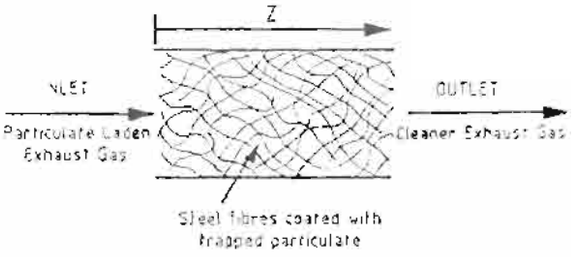


รูปที่ 4 ตัวดักจับอนุภาคเขม่าแบบเซรามิกส์รูพรุนที่ผลิตจากบริษัท Cercona Inc.

คุณสมบัติของเซรามิกส์รูพรุนที่ผลิตโดยบริษัทนี้ มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้คือ จำนวนรูพรุนต่อหนึ่งหน่วยความยาวหนึ่งนิ้วมีค่าเท่ากับ 40-60 ค่าความหนาแน่น 0.65 g/cc ค่าโมดูลัสของการแตก (modulus of rupture) 3-4 N/mm^2 ค่าสัมประสิทธิ์ของการขยายตัวอันเนื่องมาจากความร้อน (coefficient of thermal expansion) เท่ากับ $2x10^{-6}$ N/m^2C ค่าพื้นที่ผิว 2 m^2/g ขนาดของตัวกรองเซรามิกส์รูพรุนมีหลายขนาดแต่ที่ใช้ในการทดสอบดักจับอนุภาคเขม่าจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25.4 cm และยาว 1 2 cm.

ตัวดักจับอนุภาคแบบเส้นใย

ตัวดักจับอนุภาคเซมาแบบนี้ (ดังแสดงในรูปที่ 5) จะแตกต่างจากสองแบบแรก ตรงที่เครื่องดักจับแบบเส้นใยจะไม่ใช่เป็นแบบกักอนุภาค (non-blockable type) พื้นที่ว่างสำหรับการไหลระหว่างเส้นใยจะมีขนาดใหญ่กว่าขนาดของอนุภาคที่จะทำการกรอง กระบวนการดักจับอนุภาคเกิดจากกลไกรวมของการชนเกาะของอนุภาคขนาดใหญ่กับเส้นใย และการเกาะของอนุภาคขนาดเล็กบนพื้นผิวของอนุภาคขนาดใหญ่ที่เกาะตัวอยู่ก่อน



รูปที่ 5 ตัวดักจับอนุภาคแบบเส้นใย

บทสรุป

จะเห็นได้ว่าคะตะลิสท์และเทคโนโลยีของคะตะลิสท์ได้มีบทบาทสำคัญมาก ไม่ใช่เฉพาะกับอุตสาหกรรมเท่านั้นแต่ยังเข้ามามีบทบาทในการป้องกันปัญหาสิ่งแวดล้อมอีกด้วย โดยคะตะลิสท์เข้ามาช่วยในการผลิตสารที่มีอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมน้อยลง ช่วยก่อให้เกิดกระบวนการที่ก่อให้เกิดปัญหาทางมลพิษน้อยลง การช่วยลดและการนำกลับมาใช้ใหม่ของกากของเสียที่มีพิษ และที่พบเห็นและเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันโดยตรงก็คือการช่วยลดก๊าซพิษที่ออกมาจากท่อไอเสียของรถยนต์ทั้งเครื่องยนต์เบนซินและดีเซล ถึงแม้ว่าคะตะลิสท์สามารถช่วยในการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมได้มากมายก็ตาม แต่การพัฒนาและศึกษาเกี่ยวกับคะตะลิสท์และเทคโนโลยีคะตะลิสท์ก็ยังเป็นสิ่งที่ต้องดำเนินต่อไปเพื่อให้ได้มาซึ่งการพัฒนาและการใช้ประโยชน์สูงสุดของเทคโนโลยีนี้

บรรณานุกรม

1. Bell, A.T., Manzer, L.E., Chen, N.Y., Weekman, V.W., Hegedus, and Pereira, C.J., ***Chem. Eng. Prog.***, February, 1995

2. Taylor, K.C., ***Catal. Rev.-Sci. Eng.***, 35 (4), 457-481, 1993.

3. Dictor, R., and Roberts, S., ***J. Phys. Chem.***, 93, 5846-5850, 1989.

4. Yao, H.C., and Yu Yao, Y.F., ***J. Catal.***, 86, 254-265, 1984.

5. _____, ***Automotive Emission Control Catalysts***, Leaflet distributed by Degussa, Germany.

6 _____, ***Diesel Oxidation Catalysts***, Leaflet distributed by Degussa, Germany.

7. Wyatt, M., Manning, W.A., Roth, D'Aniello, Anderson, E.S., and Fredholm, S.C.G., ***The Design of Flow-through Diesel Oxidation Catalysts***, SAE Paper no. 930130, 1993

8. Beckmann, R., Engeler, W., Mueller, E., Engler, B.H., Leyrer, J., Lox, E.S., and Ostgathe, K., ***A New Generation of Diesel Oxidation Catalysts***, SAE paperno. 922330, 1992.

9. _____, ***The Clean Fuels Report***, J.E. Sinor Consultants Inc., 5 (4), September, 1993.

10. Pattas, K.N., Kyriakis, and Samaras, Z.C., ***A New Approach to the Oxidizing Behavior of a Porous Ceramic Diesel Particulate Trap***, SAE paper no.850012, 1985.