

รศ.ดร.พีระพงศ์ ทีฆสกุล

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

มลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นใน กทม ปัจจุบัน ปัญหาหลักมาจากหมอกควันที่เกิดจากการเผาในที่โล่งทั้งภายในประเทศ และประเทศเพื่อนบ้านข้ามแดนมา ผสมกับเขม่าจากเครื่องยนต์ดีเซลที่เป็นพื้นฐานอยู่แล้ว ในสภาวะที่อากาศปิด เกิด Thermo Inversion ชั้นอากาศข้างบนเหนือพื้นขึ้นไป 1-2 กิโลเมตรอุณหภูมิเริ่มอุ่นขึ้นทำให้อากาศจากข้างล่างไม่สามารถระบายออกสู่บรรยากาศภายนอกได้ ทำให้เกิดการกักขังของมลพิษอยู่ในแอ่ง ซึ่งกรุงเทพฯ และปริมณฑลอยู่ในสภาพที่เป็นแอ่ง ที่ขนาบด้วยเทือกเขาทางด้านตะวันตกและที่ราบสูงโคราชตะวันออก สภาวะแบบนี้จะเกิดขึ้นในช่วงฤดูหนาว

รศ.ดร.พานิช อินต๊ะ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

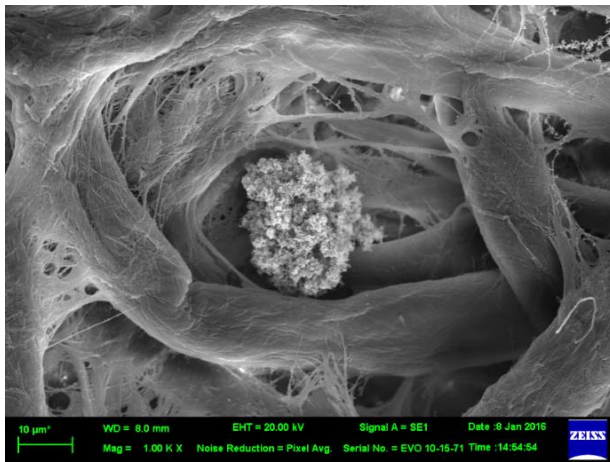
ปัญหาที่กำลังได้รับการพูดถึงมากในปัจจุบันคงหนีไม่พ้น “วิกฤตการณ์สภาวะฝุ่น” PM2.5 หมายถึงอนุภาคละเอียด (Fine Particles) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า $2.5 \mu\text{m}$ มีขนาดเท่าเชื้อโรคไปจนถึงระดับโมเลกุล อนุภาคละเอียดอาจเกิดจากแหล่งกำเนิดควันเสียของรถยนต์ โรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม ควันที่เกิดจากการหุงต้มอาหาร โดยใช้ฟืน นอกจากนี้แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur dioxide) หรือ SO_2 , ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน หรือ NO_x และ สารอินทรีย์เคมีระเหย (Volatile Organic Compound) หรือ VOC จะทำปฏิกิริยากับสารอื่นในอากาศทำให้เกิดอนุภาคละเอียดได้ อนุภาคละเอียดจะตกสะสมได้ช้ากว่าอนุภาคหยาบ ยิ่งขนาดเล็กมากๆ จะคงลอยอยู่ในอากาศได้นาน ฝุ่นละอองลอยขนาดเล็กกว่า $2.5 \mu\text{m}$ จะเป็นตัวก่อปัญหาแก่สุขภาพและคุณภาพชีวิตของประชากรเนื่องจากสามารถผ่านระบบทางเดินหายใจเข้าไปได้ลึกถึงระดับถุงลมปอด ซึ่งจะสามารถสะสมได้ตลอดไปไม่สามารถขับออกจากร่างกายโดยการหายใจปกติ วิธีการป้องกันปิดประตูหน้าต่างที่บ้านหรือสำนักงานให้มิดชิดเปิดเครื่องปรับอากาศหรือเครื่องฟอกอากาศจะช่วยให้และใส่หน้ากากอนามัย N95 ขณะออกข้างนอกบ้านหรือที่ทำงาน

ผศ.ดร.ปรีชา การินทร์

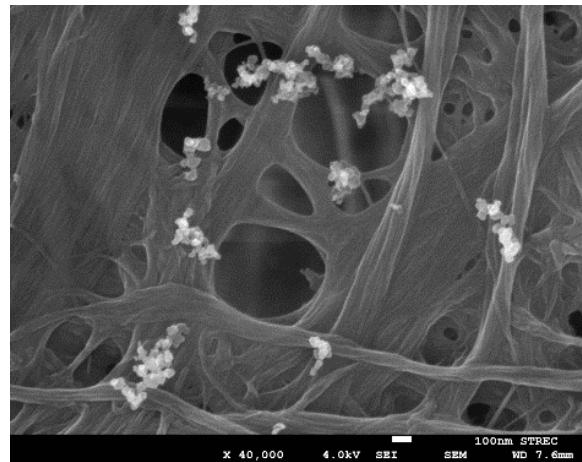
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถึงแม้ว่าเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดแบบฉีดตรงในห้องเผาไหม้ (Direct Injection Compression Ignition, DICI Engine) หรือเครื่องยนต์ดีเซล (Diesel Engine) จะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนและสมรรถนะสูงแต่ก็มีข้อเสียคือปล่อยมลพิษอนุภาคเขม่าจากการเผาไหม้ (Particulate Matter, PM) ในปริมาณที่สูงเพราะการฉีดเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้โดยตรงส่งผลให้การผสมกันของเชื้อเพลิงกับอากาศไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Nonhomogeneous) เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการเกิดมลพิษอนุภาคเขม่า (Soot Formation) โดยมีส่วนประกอบหลักคือเขม่าคาร์บอน (Soot) ถ้ำของโลหะ (Metal Oxide Ashes) และเชื้อเพลิงที่ไม่ถูกเผาไหม้ (Unburned Hydrocarbon) ที่ควบแน่นเป็นของเหลวบนผิวของเขม่าคาร์บอน มลพิษดังกล่าวอาจเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดมะเร็งในปอดของผู้ที่อาศัยในเมืองใหญ่

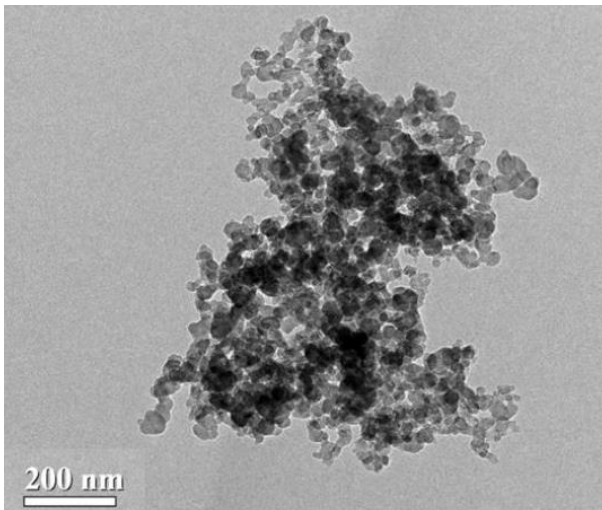
อะตอมเดี่ยวของคาร์บอนที่มีประจุไฟฟ้าจากการเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิสูงมากนั้นจะพยายามรวมตัวกับอะตอมของคาร์บอนที่อยู่ใกล้กัน (Thermionic, Electron capture) รวมตัวกันเป็นแผ่นคาร์บอนในรูปแบบของกราฟีน (Graphene) ยึดติดกันเป็นชั้นของผลึกคาร์บอนใหญ่ขึ้นจนมีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดประมาณ 10-80 nm เรียกว่า อนุภาคเดี่ยวของเขม่าในระดับนาโน (Primary or Single Nanoparticle) มีขนาดเฉลี่ยประมาณ 30 nm คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี (Physicochemical) จะแตกต่างกันเล็กน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเชื้อเพลิง ชนิดของเครื่องยนต์และการเผาไหม้ ข้อจำกัดของระยะในการทำปฏิกิริยาเคมี และสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ เป็นต้น อนุภาคเดี่ยวดังกล่าวจะรวมตัวกันเป็นกลุ่มลักษณะคล้ายพวงอุ้งนเรียกว่า อนุภาคกลุ่ม (Agglomerated Particle) ถ้ารวมกันแล้วมีขนาดไม่เกิน 100 nm เรียกว่า Ultrafine Particles (UFPs) ขนาดไม่เกิน 2,500 nm หรือ 2.5 μm เรียกว่า Fine Particles (FPs) หรือ Particulate Matter 2.5 (PM2.5) และขนาดไม่เกิน 10,000 nm หรือ 10 μm เรียกว่า Particulate Matter 10 (PM10) ดังแสดงในรูปที่ 1



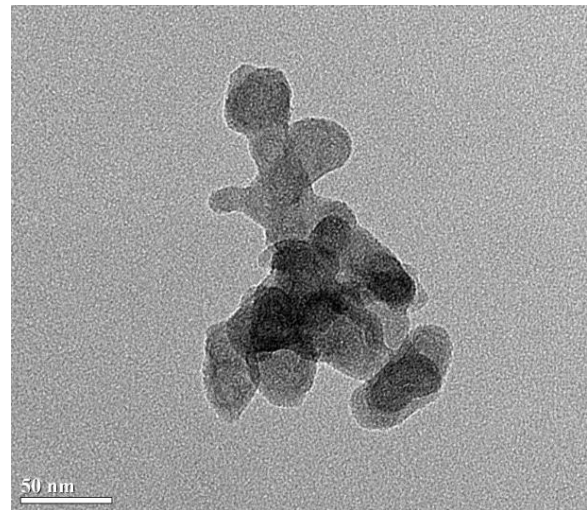
(a) SEM Image of DDI-CI Engine's PM10



(b) SEM Image of DDI-CI Engine's PM2.5



(c) TEM Image of DDI-CI Engine's PM2.5



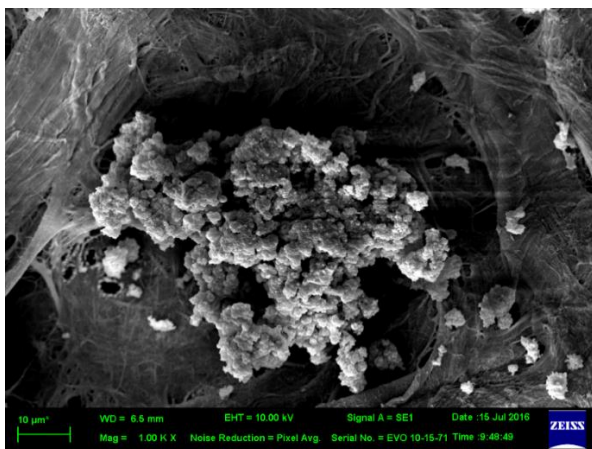
(d) TEM Image of DDI-CI Engine's Ultrafine Particle

รูปที่ 1 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Electron Microscopy) ของมลพิษอนุภาคเขม่าจากไอเสียเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดแบบฉีดตรง [ที่มา : P. Karin et. al., 2017, "Morphology and Oxidation Kinetics of CI Engine's Biodiesel Particulate Matters on Cordierite Diesel Particulate Filters using TGA", Springer, International Journal of Automotive Technology, Vol. 18, No.1, pp. 31-40.]

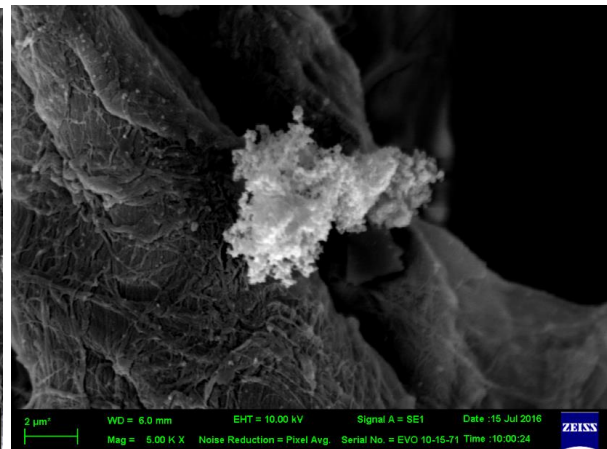
อุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาคเขม่าดีเซล (Diesel Particulate Filter, DPF) เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีหลังการเผาไหม้ (After-treatment Technology) ที่ถูกออกแบบให้สามารถดักและสลายมลพิษอนุภาคเขม่า (Particulate Matter Trapping and Oxidation) ได้โดยอัตโนมัติควบคู่ไปกับระบบควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์ด้วยอิเล็กทรอนิกส์ (Engine Control Unit, ECU) เทคโนโลยีนี้ถูกนำมาใช้ในกลุ่มประเทศที่พัฒนาแล้วซึ่งมีการบังคับใช้กฎหมายควบคุมมลพิษ ระดับยูโร 5 (Euro 5) ขึ้นไป เช่น กลุ่มประเทศยุโรป ญี่ปุ่น อเมริกา เป็นต้น แต่ในประเทศไทยยังมีมาตรฐานเทียบเท่าเพียง ระดับยูโร 3 (Euro 3) สำหรับรถบรรทุกและรถโดยสารขนาดใหญ่ และระดับยูโร 4 (Euro 4) สำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคล จึงยังไม่มีควมจำเป็นต้งติดตั้งเทคโนโลยีหลังการเผาไหม้ดังกล่าวในปัจจุบันแต่ก็คาดว่าจะมีกฎหมายควบคุมมลพิษที่เข้มงวดขึ้นเทียบเท่า ระดับยูโร 5 (Euro 5) ภายในอนาคตอันใกล้นี้ การใช้น้ำมันไบโอดีเซลซึ่งมีอะตอมของออกซิเจนในโมเลกุลเชื้อเพลิงนั้นจะสามารถลดปริมาณมลพิษอนุภาคเขม่าจากเครื่องยนต์ตามสัดส่วนที่ผสมในน้ำมันดีเซล โดยจะสามารถลดปริมาณมลพิษอนุภาคเขม่าได้สูงสุดถึงร้อยละ 50 เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลล้วน (B100) ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดแบบฉีดตรงเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล

แน่นอนว่าเครื่องยนต์แก๊สโซลีนจุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบผสมเชื้อเพลิงกับอากาศก่อนเข้าห้องเผาไหม้ (Gasoline Port Fuel Injection Spark Ignition, PFI-SI Engine) ก็มีการปล่อยมลพิษอนุภาคเขม่าออกมาสู่บรรยากาศบ้างเหมือนกันแต่ก็มีปริมาณน้อยมากจึงไม่มีความจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีหลังการเผาไหม้ดังกล่าวในมาตรฐานมลพิษยานยนต์ตั้งแต่ระดับ 1-5 (Euro 1-5) อย่างไรก็ตามอุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาคเขม่าแก๊สโซลีน (Gasoline Particulate Filter, GPF) ได้ถูกพัฒนาให้สามารถกำจัดมลพิษอนุภาคเขม่าจากเครื่องยนต์แก๊สโซลีนแบบฉีดตรง (Gasoline Direct Injection, GDI Engine) ดังแสดงในรูปที่ 2 เพื่อรองรับกับมาตรฐานควบคุมมลพิษระดับยูโร 6 (Euro 6) ขึ้นไป

คุณลักษณะทางกายภาพของมลพิษอนุภาคเขม่าจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนในบรรยากาศภายนอกด้วยตะเกียง ดังแสดงในรูปที่ 3 ไม่ได้มีความแตกต่างกันกับมลพิษอนุภาคเขม่าจากไอเสียเครื่องยนต์มากนัก มีความเป็นไปได้สูงว่ามลพิษอนุภาคเขม่าจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนในโรงงานอุตสาหกรรมหรือการเผาชีวมวลในที่โล่งก็น่าจะมีคุณลักษณะทางกายภาพไม่แตกต่างกันกับมลพิษอนุภาคเขม่าจากไอเสียเครื่องยนต์มากนักแต่อาจมีความแตกต่างกันในโครงสร้างระดับนาโนและส่วนประกอบทางเคมีในกรณีที่เชื้อเพลิงมีสารเติมแต่งนอกเหนือจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

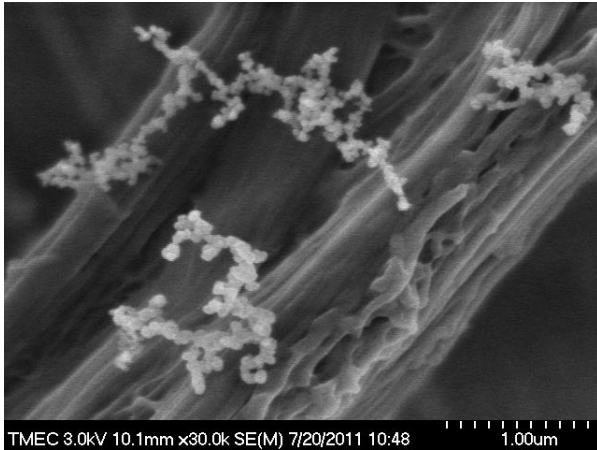


(a) SEM Image of GDI-SI Engine's PM10

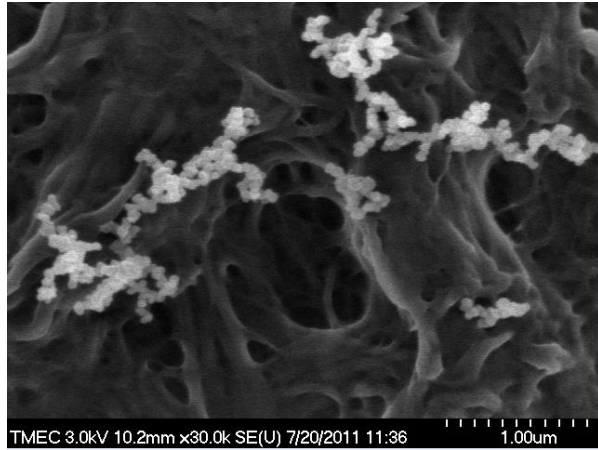


(b) SEM Image of GDI-SI Engine's PM2.5

รูปที่ 2 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Electron Microscopy) ของมลพิษอนุภาคเขม่าจากไอเสียเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรง [ที่มา : P. Karin, KMITL, 2016]



(a) SEM Image of Diesel Lamp's PM2.5



(b) SEM Image of Gasoline Lamp's PM2.5

รูปที่ 3 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Electron Microscopy) ของมลพิษอนุภาคเขม่าจากการเผาไหม้ตะเกียงน้ำมันดีเซลและตะเกียงน้ำมันแกโซลีน [ที่มา : P. Karin, KMITL, 2011]

ผศ.ดร.กัมปนาท เทียนน้อย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ฝุ่นละอองขนาดเล็กที่อยู่บริเวณชั้นบรรยากาศ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของฝุ่นละอองขนาดเล็ก (Kittelson, 1998) ได้แก่ กลุ่มแรก PM10 หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “Coarse particles” ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 2.5 ถึง 10 ไมโครเมตรหรือไมครอน กลุ่มที่สองคือ PM2.5 หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “Fine particles” ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 1.0 ถึง 2.5 ไมโครเมตร กลุ่มที่สาม คือ PM1.0 หรือ “Ultrafine particles” ซึ่งในกลุ่มนี้ขนาดของฝุ่นละอองจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กกว่า < 1.0 ไมโครเมตร โดยปัญหาที่สำคัญในปัจจุบันนี้ คือฝุ่นละอองขนาด PM2.5 มีผลกระทบต่อสุขภาพวิฤตทางอากาศ โดยที่เมื่อพิจารณาถึงขนาดของฝุ่นละออง PM2.5 นั้น พบว่า PM2.5 จะมีขนาดเล็กกว่าเส้นผมของมนุษย์ถึง 20 -28 เท่า โดยปกติเส้นผมของมนุษย์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 -70 ไมโครเมตร (Tiward and Colls, 2009)

โดยปกติองค์ประกอบของฝุ่นละอองของไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซล จะประกอบด้วย Polynuclear Aromatic Hydrocarbons (PAH) เป็นองค์ประกอบหลัก (Dieselnet.,2018) นอกจากนี้ซัลเฟอร์ในน้ำมันเชื้อเพลิงก็เป็นอีกองค์ประกอบหนึ่งที่ส่งผลต่อปริมาณการเกิดฝุ่นละอองในไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งจะอยู่ในสภาวะแก๊สซึ่งไม่สามารถเห็นได้ด้วยตาเปล่า ส่วนที่ที่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่าจะอยู่ในรูปของเขม่าจากควันดำ (Black Smoke) ซึ่งมีองค์ประกอบของ Heavy hydrocarbon และ Carbonaceous solids ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของน้ำมันเชื้อเพลิงและน้ำมันหล่อลื่นในเครื่องยนต์ (Dieselnet.,2018) โดยปริมาณฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจากเครื่องยนต์ดีเซลนั้นจะอยู่ในช่วงของขนาดฝุ่นละอองที่เล็กกว่า 40 นาโนเมตร และมีขนาดไม่เกิน 1 ไมโครเมตร ปริมาณฝุ่นละอองเป็นหนึ่งในมลพิษหลักในไอเสียที่เกิดขึ้นจากเครื่องยนต์ดีเซล ดังนั้นถ้าปริมาณไอเสียจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ไม่ผ่านการควบคุมและบำบัดอย่างถูกวิธีก็จะส่งผลโดยตรงต่อปริมาณการเพิ่มขึ้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กรวมถึง PM2.5 ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญในประเทศไทยขณะนี้ นอกจากนี้ปริมาณไอเสียจากกระบวนการผลิตที่มีการเผาไหม้ในโรงงานอุตสาหกรรม และปริมาณควันที่เกิดขึ้นจากการเผาป่าเพื่อเตรียมพื้นที่ทางการเกษตร ก็ยังเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญที่ทำให้เกิด PM2.5 ด้วย

นักวิจัยและอุตสาหกรรมยานยนต์ได้พัฒนาเทคโนโลยีการบำบัดไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซล เพื่อช่วยในการควบคุมและบำบัดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศโดยเฉพาะอย่างยิ่ง Photochemical smog

สภาวะที่เกิดหมอกควันของสารพิษซึ่งก่อให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพมนุษย์ เช่น ทำให้มีการระคายเคืองตา และระบบทางเดินหายใจ เป็นต้น โดยมลพิษที่เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดPhotochemical smog ได้แก่ ไนโตรเจนออกไซด์ โอโซน ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ รวมถึงฝุ่นละอองขนาดเล็กและสารไฮโดรคาร์บอนที่เหลือจากการเผาไหม้ ที่มีอยู่ในอากาศกับแสงอาทิตย์ก่อให้เกิดเป็นลักษณะของหมอกควัน โดยปรากฏการณ์ดังกล่าวมักเกิดขึ้นในแหล่งชุมชน หรือบริเวณที่แอ่งหรือหุบ ซึ่งมักเกิดขึ้นในช่วงฤดูหนาวซึ่งมีลักษณะอากาศที่มีค่าความชื้นสูงและอุณหภูมิสูง จากปัญหาดังกล่าวเทคโนโลยีบำบัดไอเสียสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลจึงนำมาติดตั้งในยานยนต์ เทคโนโลยีดังกล่าวได้แก่ Diesel Oxidation Catalyst (DOC) เพื่อการลดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไฮโดรคาร์บอน (HC) ผ่านกระบวนการออกซิเดชันที่อุณหภูมิการทำงานปกติของไอเสียจากรถยนต์ โดยที่ประสิทธิภาพในการทำงานเพื่อลดปริมาณ CO และ HC ได้ถึง 80 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ (Majewski, W.A. and Khair, M.K., 2006) นอกจากนี้ยังสามารถออกซิเดชันสารไฮโดรคาร์บอนจำพวกสารอินทรีย์ละลายน้ำได้ (Soluble Organic Fraction - SOF) และสารอินทรีย์ระเหยได้ (Volatile Organic Fraction - VOF) ได้เช่นกัน และ Diesel Particulate Filter (DPF) ซึ่งเป็นอุปกรณ์บำบัดไอเสีย โดยมีลักษณะเป็นชั้นกรองแบบรังผึ้งทำจากซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC) โดยแต่ละช่องจะมีทางเข้าออกเพียงทางเดียว เพื่อให้ก๊าซไอเสียผ่านผนังชั้นกรอง หน้าที่หลักของ DPF คือการดักจับเขม่า (Soot) รวมถึงขนาดของฝุ่นละอองจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล โดยมีประสิทธิภาพในการดักจับเขม่าและฝุ่นละอองขนาดเล็กได้ 70 % ถึง 90% โดยแบ่งเป็นประสิทธิภาพการดักจับคาร์บอนได้ถึง 95 -99.9% ประสิทธิภาพในการดักจับสารอินทรีย์ละลายน้ำได้ 50 - 90% โดยช่วงของขนาดฝุ่นละออง (>100 นาโนเมตร) (Dieselnet., 2019) DPF สามารถดักจับและลดปริมาณฝุ่นละอองได้ดี ซึ่งจะเห็นได้ว่า DPF เป็นระบบบำบัดไอเสียสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลที่สำคัญในการช่วยลดปริมาณฝุ่นละอองโดยเฉพาะอย่างยิ่ง PM2.5 อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

1. Kittelson, D.B. (1998) Engines and nanoparticles: a review. *Journal of Aerosol Science*, 29: 575 – 588.
2. Tiward, A. and Colls, J. (2009) *Air Pollution: Measurement, modelling and mitigation*. Third edition, Routledge, Taylor & Francis Group, London and New York. ISBN: 0415479339.
3. DieselNet. (2018). Diesel Emissions [Online]. <http://www.dieselnet.com/standards/us/stationary.php> Accessed 23/01/2018.
4. DieselNet. (2019). Diesel Filter System [Online]. <https://www.dieselnet.com/tq.php#filter> Accessed 23/01/2011.
5. Majewski, W.A. and Khair, M.K. (2006) *Diesel Emissions and Their Control*. Warrendale: SAE International. ISBN-10 0-7680-0674-0.