

มลพิษทางอากาศในระดับภูมิภาคและการแพร่กระจายในระยะทางไกล: (1) ภูมิภาคเอเชียตะวันออก

ภักพงศ์ พจนารณ 

อาจารย์ คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม

สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์



pakpong.pochanart@gmail.com

บทคัดย่อ

ด้วยการพัฒนาอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องในภูมิภาคเอเชียตะวันออก มีการคาดการณ์ว่าภูมิภาคนี้จะเป็นแหล่งกำเนิดของมลพิษต่างๆที่เกิดจากน้ำมือมนุษย์แหล่งที่ใหญ่ที่สุดในโลกในช่วงทศวรรษอันใกล้ มลพิษทางอากาศที่เกิดในภูมิภาคเอเชียตะวันออกสามารถส่งผลกระทบต่อภูมิภาคอื่นได้โดยการแพร่กระจายระยะไกล บทความนี้ศึกษาการแพร่กระจายในระยะทางไกลของมลพิษทางอากาศที่มีผลต่อภูมิภาคเอเชียตะวันออกโดยมุ่งเน้นไปที่การไหลเข้าและการไหลออกของมลพิษทางอากาศในภูมิภาคนี้ พบว่าลักษณะการแพร่กระจายของมลพิษจะถูกกำหนดโดยระบบลมมรสุมในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเป็นสำคัญ จากการศึกษาทั้งโดยการตรวจวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถยืนยันได้ว่าการแพร่กระจายในระยะทางไกลของมลพิษทางอากาศจากทวีปยุโรปเข้าสู่เอเชียตะวันออกไปควบคู่กับการการแพร่กระจายในระยะทางไกลของมลพิษทางอากาศจากในภูมิภาคเอเชียตะวันออกไปยังแถบชายฝั่งของทวีปและข้ามมหาสมุทรแปซิฟิกไปจนถึงทวีปอเมริกาเหนือ นอกจากนี้ ยังพบว่ามลพิษทางอากาศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกยังได้รับจากอิทธิพลของไฟป่าที่เกิดในเขตตอนบนของทวีปอีกด้วย

คำสำคัญ: มลพิษทางอากาศ; โอโซน; แหล่งกำเนิดระดับภูมิภาค; เอเชียตะวันออก; การแพร่กระจายในระยะทางไกล

Air Pollution and Long-range Transport in Asia: (1) East Asia

Pakpong Pochanart 

Lecturer, School of Social and Environmental Development

National Institute of Development Administration

 pakpong.pochanart@gmail.com

Abstract

In the coming decades due to continued, rapid industrialization, East Asia is predicted to be the largest anthropogenic emission source in the world. Because of long-range transport, air pollution from East Asian emissions could have an impact on other regions. This article reviews the long-range transport of air pollution in East Asia focusing on the regional-scale and continental-scale inflow and outflow of air pollution in the region. It was found that the transport characteristics were dominated by the East Asian monsoon regime. The inflow of air pollution associated with trans-Eurasian transport of air masses by westerly flows from Europe to East Asia, and outflow air pollution associated with regional air mass transport to the rim region, as well as trans-Pacific transport from East Asia to the Pacific and North America using both observations and model studies, were verified. The influence of boreal forest fires on air pollution in East Asia has also been clearly identified.

Keywords: Air Pollution; Ozone; Regional Source; East Asia; Long-range Transport

บทนำ

ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เป็นประเด็นสำคัญในระดับโลกและได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน คือ ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) และความเกี่ยวข้องกับสภาวะโลกร้อน (Global Warming) ถึงแม้ว่ายังไม่มีหลักฐานทางวิชาการชัดเจนที่พิสูจน์ว่าความผิดปกติของสภาวะอากาศที่เกิดขึ้นบ่อยในระยะเวลาที่ผ่านมาเกี่ยวข้องโดยตรงกับปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้นในชั้นบรรยากาศ แต่ก็เป็นที่เชื่อและยอมรับกันโดยทั่วไปว่า การสะสมและเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยออกมาโดยกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นที่เกี่ยวข้อง ภาคการบริโภค ภาคพลังงาน ภาคการผลิต ภาคอุตสาหกรรม และภาคเกษตรกรรม ล้วนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เกิดขึ้น

ในขณะเดียวกัน ปัญหาสิ่งแวดล้อมสำคัญอีกอย่างหนึ่งซึ่งเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ และเกิดขึ้นควบคู่กันไปกับปัญหาการเพิ่มของก๊าซเรือนกระจก ก็คือ ปัญหาการเพิ่มขึ้นของมลพิษทางอากาศชนิดต่าง ๆ ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นปัญหาระยะยาวและส่งผลกระทบขนาดใหญ่ต่อสังคมและสิ่งแวดล้อมในระดับโลกและระดับประเทศ ส่วนปัญหามลพิษทางอากาศเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน และเกิดขึ้นส่วนใหญ่ในระดับภูมิภาค ระดับชุมชน หรือระดับตัวบุคคล

การที่มีติของปัญหาทั้งสองแตกต่างกันนั้นเกิดจากคุณลักษณะที่แตกต่างกันของก๊าซเรือนกระจกและ มลพิษทางอากาศ ก๊าซเรือนกระจกส่วนใหญ่จะมีสภาวะที่ค่อนข้างเสถียร (อยู่ได้ในชั้นบรรยากาศเป็นเวลาหลายสิบปีไปจนถึงนานกว่านั้น) ไม่มีพิษที่ไม่เป็นอันตรายโดยตรงต่อสิ่งมีชีวิต สามารถกระจายไปได้กว้างไกลในชั้นบรรยากาศระดับสูง สามารถดูดกลืนรังสีอินฟราเรดและก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อน ในขณะที่มลพิษทางอากาศทั่วไป ไม่ว่าจะอยู่ในสภาวะของแข็ง ของเหลว หรือ ก๊าซ จะแพร่กระจายจากแหล่งกำเนิดได้ไม่กว้างไกลมาก แต่ก็สามารถอยู่ในอากาศนานเพียงพอที่จะทำให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิตได้โดยตรง และนับวันจะเพิ่มปริมาณทวีความรุนแรงยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม งานวิจัยในช่วงเวลาที่ผ่านมาได้ชี้ชัดว่า มลพิษทางอากาศหลายชนิด สามารถส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมในระดับกว้างได้ จากเปลี่ยนสภาพ (Transformation) โดยกระบวนการทางเคมี และการแพร่กระจายในระยะทางไกล (Long-Range Transport) โดยมีปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยาและสภาพลมฟ้าอากาศเป็นตัวควบคุม ในภาษาไทย เคยมีผู้ให้ความหมายของ Air Pollution Transport ว่าเป็น การเคลื่อนย้ายมลพิษทางอากาศ ซึ่งจะสื่อสารได้ไม่ชัดเจนนัก ในบทความนี้ผู้เขียนจะใช้คำว่า การแพร่กระจายในระยะทางไกล แทนคำแปลตรงตัวคือการเคลื่อนย้ายในระยะทางไกล

บทความนี้เป็นบทความตอนแรกของบทความวิชาการเรื่อง มลพิษทางอากาศและการแพร่กระจายในระยะทางไกลในทวีปเอเชีย ผู้เขียนมุ่งเน้นที่ทวีปนี้ เนื่องจากเอเชียเป็นทวีปที่กำลังเติบโตอย่างรวดเร็ว มีประชากรกว่าครึ่งหนึ่งของโลกอาศัยอยู่ และมีกิจกรรมต่าง ๆ จากมนุษย์ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นจำนวนมาก โดยการนำเสนอในบทความตอนแรกนี้ จะกล่าวถึงมลพิษทางอากาศโดยรวม และกล่าวถึงการแพร่กระจายในระยะไกลซึ่งมีเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับภูมิภาคเอเชียตะวันออกเป็นสาระสำคัญ สำหรับบทความตอนจบ จะเป็นการนำเสนอเนื้อหาเกี่ยวกับมลพิษทางอากาศและการแพร่กระจายในระยะไกลที่เกี่ยวข้องกับภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และประเทศไทยโดยตรง

มลพิษทางอากาศ

ความเป็นมาและการจำแนกประเภทของมลพิษทางอากาศ

คำจำกัดความ

เราสามารถให้คำจำกัดความของ มลพิษทางอากาศ (Air Pollution) ว่าเป็น สภาวะของอากาศ หรือบรรยากาศซึ่งมีสารอยู่ในปริมาณที่สูงเกินกว่าระดับปกติที่ควรจะเป็นในธรรมชาติ ซึ่งสามารถส่งผลกระทบต่อ มนุษย์ พืช สัตว์ สิ่งมีชีวิตต่าง ๆ หรือรวมไปถึง สิ่งไม่มีชีวิตเช่น วัสดุหรือวัตถุต่าง ๆ ด้วย คำว่าสารในที่นี้ หมายถึง ธาตุหรือสารประกอบที่มีอยู่ในธรรมชาติหรือเกิดโดยน้ำมือมนุษย์ ซึ่งสามารถกระจายไปในอากาศ ไม่ว่าจะอยู่ในสภาพก๊าซ ของเหลว หรือ ของแข็ง และไม่ว่าสารนั้นจะเป็นอันตรายโดยตรงหรืออาจจะไม่เป็นอันตรายโดยตัวของมันเองโดยตรงก็ตาม (Seinfeld, 1986) มากกว่าร้อยละ 99 ของอากาศ โดยมวลและปริมาตร ประกอบไปด้วย ก๊าซหลักคือ ไนโตรเจน (N_2) ออกซิเจน (O_2) อาร์กอน (Ar) ก๊าซหลักทั้งสามชนิดนี้ มีปริมาณความเข้มข้นในอากาศที่คงที่มาเป็นเวลานานนับล้านปี และมีแนวโน้มว่าจะคงปริมาณเช่นนี้ต่อไปอีกเป็นระยะเวลานาน โดยที่ไม่ได้รับผลกระทบมากนักจากการเปลี่ยนแปลงโดยธรรมชาติและมนุษย์ ในทางกลับกัน มลพิษทางอากาศมักจะเกิดจาก ก๊าซซึ่งมีปริมาณน้อยในอากาศ (Trace Gases) แต่จะมีความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลงโดยง่าย ก๊าซเหล่านี้ ตัวอย่างเช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แอมโมเนีย (NH_3) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) โอโซน (O_3) และก๊าซอื่น ๆ อีกมาก จะมีปริมาณในอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป ขึ้นกับสถานที่ และระยะเวลาที่แตกต่างกัน โดยได้รับผลกระทบจากสาเหตุทางธรรมชาติและโดยมนุษย์ (Matthias & Bohn, 1996)

ความเป็นมา

มลพิษทางอากาศ เป็นสิ่งที่เกิดมานานมากนับเป็นพันล้านปีตั้งแต่โลกเริ่มมีชั้นบรรยากาศ ในยุคก่อนประวัติศาสตร์ สามารถกล่าวได้ว่ามลพิษทางอากาศเกิดจากสาเหตุทางธรรมชาติ เช่น ภูเขาไฟระเบิด ไฟป่า ซึ่งจะปล่อยก๊าซ คาร์บอน และเถ้าถ่านจากการระเบิดหรือเผาไหม้ให้ฟุ้งกระจายไปในอากาศ หรือรวมไปถึง พายุฝุ่น (Dust Storm) ซึ่งจะทำให้ฝุ่นทรายปริมาณมหาศาลถูกพวยกระจายไปในอากาศ อย่างไรก็ตาม หลังจากที่มนุษย์เริ่มมีบทบาทในโลก มนุษย์ก็เริ่มกลายเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ โดยเริ่มจากการเผาพื้นที่ธรรมชาติเพื่อมาใช้อาศัยและทำการเกษตรกรรม การใช้วัตถุติดไฟตามธรรมชาติ มาเป็นเชื้อเพลิง จากไม้ในยุคแรก จนมาถึงการเริ่มใช้ถ่านหินในยุคกลาง และการใช้น้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติในยุคปฏิวัติอุตสาหกรรม มีหลักฐานบันทึกไว้ว่า มนุษย์ได้ตระหนักถึงผลกระทบและอันตรายจากควันที่เกิดจากการเผาไหม้ของถ่านหินที่อังกฤษตั้งแต่กลางทศวรรษที่ 13 (Brimblecombe, 1999)

จากยุคปฏิวัติอุตสาหกรรมมาจนถึงปัจจุบัน เป็นช่วงเวลาที่มนุษย์ได้ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศมากที่สุด ด้วยสาเหตุหลักจากการบริโภคพลังงานเชื้อเพลิงต่าง ๆ ทั้งในครัวเรือน ภาคขนส่ง ภาคอุตสาหกรรม จากการ สังเคราะห์สารเคมีใหม่ ๆ ขึ้นมาใช้ในภาคเกษตรกรรม อุตสาหกรรม และจากสารตกค้าง ของเสียที่ปล่อยมาจากกระบวนการผลิตต่าง ๆ

การจำแนกประเภท

ปัญหามลพิษทางอากาศ สามารถอธิบายเป็นระบบว่า เกิดจากการที่แหล่งกำเนิด (Emission Sources) ไม่ว่าจะเป็นจากธรรมชาติหรือมนุษย์ ได้ปลดปล่อยสารมลพิษ (Pollutants) เข้าสู่บรรยากาศ (Atmosphere) ทำให้เกิดการผสมและ/หรือการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อผู้รับ (Receptor) ซึ่งเป็นได้ทั้ง มนุษย์ สิ่งมีชีวิตต่าง ๆ หรือ สิ่งไม่มีชีวิต การแบ่งประเภทของมลพิษทางอากาศสามารถกำหนดได้จากแหล่งกำเนิดว่าเป็น ตามธรรมชาติหรือโดยมนุษย์สร้างขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถจำแนกประเภทมลพิษทางอากาศได้ตามชนิดของสารมลพิษในบรรยากาศ และตามขนาดของผลกระทบที่มีต่อผู้รับได้

การจำแนกประเภทมลพิษทางอากาศตามชนิดของสารมลพิษในบรรยากาศ สามารถจำแนกได้เป็น สารมลพิษทางอากาศชนิดปฐมภูมิ (Primary Air Pollutants) และ สารมลพิษทางอากาศชนิดทุติยภูมิ (Secondary Air Pollutants) สารมลพิษทางอากาศชนิดปฐมภูมิคือ สารที่ถูกปลดปล่อยเข้าสู่บรรยากาศโดยตรงจากแหล่งกำเนิด สารเหล่านี้ สามารถก่อให้เกิดอันตรายหรือผลกระทบโดยตรงได้ หากปริมาณที่ปลดปล่อยออกมาพอ ตัวอย่างที่สำคัญของสารมลพิษทางอากาศชนิดปฐมภูมิได้แก่ สารประกอบของคาร์บอน เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) มีเทน (CH₄) และ สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) สารประกอบของไนโตรเจน เช่น ไนตริกออกไซด์ (NO) ไนตรัสออกไซด์ (N₂O) แอมโมเนีย (NH₃) สารประกอบของซัลเฟอร์ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) สารประกอบฮาโลเจน เช่น คลอไรด์ ฟลูออไรด์ โบรไมด์ รวมไปถึง อนุภาคต่างๆที่เป็นทั้งของเหลว หรือ ของแข็ง แอโรโซล (aerosol) ต่าง ๆ เช่น PM₁₀ PM_{2.5} ส่วนสารมลพิษทางอากาศชนิดทุติยภูมิเป็นสารที่ไม่ได้ถูกปล่อยมาจากแหล่งกำเนิดโดยตรง แต่เกิดขึ้นจากการแปรสภาพโดยปฏิกิริยาทางเคมีของสารมลพิษทางอากาศชนิดปฐมภูมิในอากาศ ในกรณีนี้เราจะเรียกสารมลพิษทางอากาศชนิดปฐมภูมิว่าเป็นตัวตั้งต้น (Precursors) ตัวอย่างของสารมลพิษทางอากาศชนิดทุติยภูมิที่สำคัญ ได้แก่ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) และ กรดไนตริก (HNO₃) ที่เกิดจากไนตริกออกไซด์ ก๊าซโอโซน (O₃) ที่เกิดจาก ออกไซด์ของไนโตรเจนและ VOCs ละออง (Droplet) ของกรดซัลฟูริก (H₂SO₄) และกรดไนตริก (HNO₃)ที่เกิดจาก SO₂ และ NO₂ ตามลำดับ รวมไปถึง ละอองสารอินทรีย์ (Organic Aerosols) ที่เกิดจากปฏิกิริยาจากก๊าซเป็นอนุภาคของ VOCs

การจำแนกประเภทมลพิษทางอากาศโดยพิจารณาจากขนาดของผลกระทบที่มีต่อผู้รับ สามารถแบ่งได้เป็น

(1) มลพิษทางอากาศระดับท้องถิ่น (Local Scale Air Pollution) จะเป็นมลพิษที่มีผลกระทบเมื่อถูกปล่อยออกมาหรือทำปฏิกิริยาในอากาศในระยะเวลานั้น และครอบคลุมรัศมีไม่กว้างมาก โดยทั่วไปประมาณไม่เกินหลายสิบกิโลเมตร ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดต่อชุมชน โดยมากมักเกิดจากมลพิษในระดับนี้ เช่น ปัญหากลิ่น ปัญหาควันหรือของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมแห่งใดแห่งหนึ่ง ปัญหามลพิษทางอากาศในเมือง (Urban Air Pollution) เป็นต้น

(2) มลพิษทางอากาศระดับภูมิภาค (Regional Scale Air Pollution) จะเป็นมลพิษที่มีผลกระทบในวงกว้างรัศมีอาจถึงหลายร้อยกิโลเมตร แหล่งกำเนิดของมลพิษทางอากาศประเภทนี้จะมีขนาด

ใหญ่มาก หรือ ปริมาณแหล่งกำเนิดของมลพิษจะมีความหนาแน่นสูง กระจัดกระจายอยู่ในบริเวณเดียวกัน และส่งผลกระทบต่อผู้รับโดยการแพร่กระจายไปในบรรยากาศเป็นระยะทางไกล ตัวอย่างของปัญหาจากมลพิษทางอากาศชนิดนี้ได้แก่ ปัญหาคุณภาพอากาศของเมืองที่อยู่ทางด้านใต้ลมของกลุ่มเมืองอุตสาหกรรมหลัก

(3) มลพิษทางอากาศระดับภาคพื้นทวีป (Hemispherical Scale Air Pollution) จะเป็นมลพิษที่มีผลกระทบในวงกว้างรัศมีหลายพันกิโลเมตร แต่ความรุนแรงมักจะไม่มากเท่า มลพิษทางอากาศระดับท้องถิ่นและระดับภูมิภาค แหล่งกำเนิดของมลพิษประเภทนี้อาจเป็นแหล่งเดียวกับมลพิษทางอากาศระดับภูมิภาค แต่ด้วยสภาพอากาศที่มีช่วยเสริมจะทำให้แพร่กระจายไปในระยะทางไกล รวมไปถึงเกิดจากสารมลพิษที่ถูกปล่อยไปในอากาศมีอายุยาวนานพอที่จะคงสภาพในอากาศได้เป็นเวลานาน ปัจจุบัน ปัญหามลพิษทางอากาศระดับภาคพื้นทวีป เริ่มกลายเป็นปัญหาหลักระดับโลกที่นานาชาติตื่นตัว เนื่องจากผลกระทบเกิดในวงกว้าง (Akimoto, 2003) และส่วนมาก ประเทศที่ได้รับผลกระทบจะไม่ใช้ประเทศที่ทำให้เกิดปัญหา ตัวอย่างของปัญหามลพิษทางอากาศระดับภาคพื้นทวีปที่เกิดโดยสาเหตุทางธรรมชาติ ได้แก่ ปัญหาการระเบิดของภูเขาไฟ ส่วนปัญหาที่เกิดโดยที่มนุษย์มีส่วนร่วม ได้แก่ ปัญหาไฟป่าขนาดใหญ่ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และแอฟริกา ปัญหาการกระจายตัวของสารกัมมันตภาพ เป็นต้น

การแพร่กระจายในระยะทางไกลของมลพิษทางอากาศในบทความนี้จะเกี่ยวข้องโดยตรงกับมลพิษทางอากาศระดับภูมิภาคและระดับภาคพื้นทวีป ในบางบริบทหรือบางงานวิจัยอาจนับรวมว่ามลพิษทางอากาศระดับภูมิภาคและระดับภาคพื้นทวีปเป็นสิ่งเดียวกันก็ได้

สถานการณ์มลพิษทางอากาศในทวีปเอเชียและภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียง

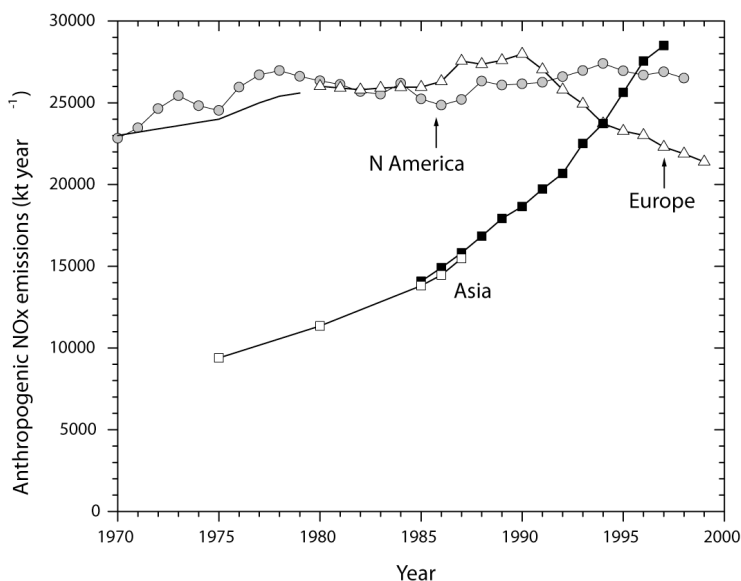
การเพิ่มขึ้นของมลพิษทางอากาศในทวีปเอเชีย

เอเชียเป็นทวีปที่ใหญ่ที่สุดในโลกครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่เขตศูนย์สูตรไปจนถึงเขตขั้วโลกและมีประชากรมากกว่าครึ่งหนึ่งของโลกอาศัยอยู่ สำหรับในทวีปเอเชียเอง ภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียง และเอเชียใต้ เป็นภูมิภาคที่มีประชากรอาศัยมากที่สุด คือมากกว่าหนึ่งพันล้านคนในแต่ละภูมิภาค ถัดไปก็คือเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ซึ่งมีประชากรไม่ต่ำกว่าห้าร้อยล้านคน กิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ในภูมิภาคที่กล่าวข้างต้น สามารถส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระดับกว้างทำให้เกิดมลพิษชนิดต่าง ๆ เพิ่มปริมาณขึ้นจำนวนมาก ในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมา เกิดการพัฒนาทางเศรษฐกิจเป็นอย่างมากจากการลงทุนของต่างประเทศและภายในภูมิภาคโดยเฉพาะในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เกิดการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน พัฒนาอุตสาหกรรมต่าง ๆ เกิดการขยายขนาดของเมือง เกิดเป็นเมืองขนาดใหญ่ (Mega Cities) ที่มีประชากรอาศัยอยู่เป็นจำนวนมาก

ปัญหามลพิษทางอากาศเกิดขึ้นมากในเมืองใหญ่และเมืองที่มีการขยายตัวทางอุตสาหกรรมและการก่อสร้าง ยิ่งในปัจจุบัน การกลายเป็นสังคมเมือง (Urbanization) การที่ผู้คนนิยมอาศัยและประกอบอาชีพอยู่ในเมืองเนื่องจากความพร้อมของปัจจัยสาธารณะ การที่ตลาดแรงงานต่าง ๆ มีการเคลื่อนย้ายเข้ามาสู่เมือง การเกิดขึ้นของเมืองขนาดใหญ่ ล้วนเป็นปัจจัยที่ทำให้สภาวะและผลกระทบของมลพิษทางอากาศในประเทศในทวีปเอเชีย โดยเฉพาะเอเชียตะวันออกเฉียงทวีความรุนแรงขึ้น ปัญหามลพิษทางอากาศที่สำคัญที่คนในเมืองต้องประสบ ไม่เพียงมีแต่มลพิษทางอากาศภายนอกอาคาร (Outdoor Air Pollution)

เท่านั้น ปัญหามลพิษทางอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Pollution) จากการที่คนเราต้องใช้เวลาส่วนใหญ่อยู่ในอาคารและการเดินทางระยะเวลานานด้วยยานพาหนะชนิดต่าง ๆ ยังเป็นปัญหาสำคัญต่อสุขภาพมนุษย์อีกเรื่องที่คนส่วนใหญ่ยังขาดความตระหนักและการป้องกันที่เพียงพออีกด้วย

ข้อมูลจากงานวิจัยทางด้านการจัดทำบัญชีการปล่อยสารมลพิษทางอากาศ (Emission Inventory) และจากการศึกษาโดยใช้ข้อมูลดาวเทียม แสดงให้เห็นชัดเจนว่า ก๊าซมลพิษทางอากาศชนิดหลัก ๆ เช่น ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และ ออกไซด์ของซัลเฟอร์ (SO_x) ได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในประเทศกำลังพัฒนาในเอเชีย ในขณะที่ปริมาณก๊าซมลพิษดังกล่าวค่อนข้างคงที่หรือลดลงในทวีปอเมริกาและยุโรป (EPA, 1999; EMEP, 2001) ข้อมูล NO_2 จากอุปกรณ์รับสัญญาณ OMI (Ozone Monitoring Instrument) ในดาวเทียม EOS AURA แสดงให้เห็นว่า ในปัจจุบันแหล่งมลพิษทางอากาศสามแหล่งใหญ่ของโลกคือ ประเทศอเมริกา ทวีปยุโรป และภูมิภาคเอเชียตะวันออก



ภาพที่ 1 การเปลี่ยนแปลงของการปล่อย NO_x จากสามทวีปที่เป็นแหล่งกำเนิดใหญ่ของโลก คือ ทวีปอเมริกาเหนือ ทวีปยุโรป และทวีปเอเชีย

ที่มา: Akimoto (2003)

ภาพที่ 1 แสดงการเพิ่มของปริมาณการปลดปล่อย NO_x โดยกิจกรรมมนุษย์โดยเปรียบเทียบระหว่าง ทวีปอเมริกาเหนือ ยุโรป และ เอเชีย เห็นได้ว่า ก่อนปี 1985 ปริมาณการปลดปล่อย NO_x โดยกิจกรรมมนุษย์ในทวีปเอเชียต่ำกว่ายุโรปและอเมริกามาก แต่หลังจากนั้นได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนขึ้นไปถึงในระดับเดียวกันในปี 2000 ในปัจจุบันจากข้อมูลการจัดทำบัญชีการปล่อยสารมลพิษทางอากาศโดย Ohara et al. (2007) สามารถประเมินได้ว่าปริมาณการปลดปล่อย NO_x โดยกิจกรรมมนุษย์ในทวีปเอเชียได้เพิ่มขึ้นจนอยู่ในอันดับสูงสุดของโลกแล้ว

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ

มีหลักฐานมากมายที่ระบุว่า มลพิษทางอากาศส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และสัตว์ ทำความเสียหายต่อพืชและดิน ส่งผลให้วัสดุต่าง ๆ เกิดการผุพัง ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยา ส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศ รวมไปถึง เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของอากาศในหลาย ๆ ด้าน เช่น ลดทัศนวิสัย (Visibility) ลดปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์ (WHO, 1998) ตัวอย่างผลกระทบต่อมนุษย์ อย่างรุนแรงที่เคยเกิดในประเทศพัฒนาแล้ว ได้แก่ เหตุการณ์หมอกควันพิษในกรุงลอนดอน ประเทศ อังกฤษ เมื่อปี 1952 ซึ่งหมอกควันที่เกิดจากการเผาไหม้ของถ่านหินเกิดภายใต้สภาวะอากาศอับที่เรียกว่าภาวะอุณหภูมิผกผัน (Temperature Inversion) ทำให้เกิดการเสียชีวิตถึงมากกว่าสี่พันราย หรือ ในประเทศสหรัฐอเมริกา ในปี 1948 ก็เกิดเหตุการณ์ที่ควันพิษจากอุตสาหกรรมสังกะสี ทำให้ ประชากรในเมืองเล็ก ๆ ชื่อ Donora มลรัฐเพนซิลวาเนีย เสียชีวิต 20 คน เจ็บป่วยและต้องได้รับการรักษาพยาบาล ถึงเกือบครึ่งหนึ่งของประชากรทั้งเมือง ตัวอย่างที่กล่าวข้างต้น จัดเป็นเหตุการณ์มลพิษในระดับท้องถิ่น สำหรับมลพิษทางอากาศในระดับภูมิภาค ได้แก่ ปรากฏการณ์ Los Angeles Smog ในช่วงทศวรรษ 1940s-1950s ซึ่งเกิดจากก๊าซมลพิษที่ปล่อยออกมาจากไอเสียรถยนต์ ทำปฏิกิริยากับแสงแดดในอากาศ และเกิดเป็นโอโซนและหมอกควัน ส่งผลกระทบต่อสุขภาพและทัศนวิสัยในมลรัฐแคลิฟอร์เนียเป็นวงกว้าง ปรากฏการณ์นี้สามารถเรียกได้รวม ๆ ว่าเป็นหมอกควันแบบโฟโตเคมีเคิล (Photochemical Smog)

ในภูมิภาค เอเชียตะวันออก ปัญหามลพิษทางอากาศต่าง ๆ ปรากฏการณ์หมอกควันแบบโฟโตเคมีเคิลกำลังเป็นปัญหาที่สำคัญ โดยเฉพาะในประเทศจีน ซึ่งมีเมืองใหญ่ ๆ ที่มีประชากรเป็นจำนวนมาก ที่ตั้งอยู่ในระยะห่างกันไม่มาก เกิดเป็นลักษณะ กลุ่มเมือง (Cluster Cities) ทำให้ขอบเขตของมลพิษที่เกิดขึ้นกระจายตัวอยู่ในบริเวณกว้าง การพยายามควบคุมคุณภาพอากาศในแต่ละเมืองไม่สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Andrews, 2009) ในประเทศญี่ปุ่นเอง หลังจากเกิดเหตุการณ์ปัญหาหมอกควันแบบโฟโตเคมีเคิล ในระหว่างปี 1970 และสามารถแก้ปัญหาโดยการควบคุมระดับ NO_x และ VOCs ซึ่งเป็นตัวตั้งต้นสำหรับโอโซนแล้ว ในปัจจุบันโอโซนกลับมาเป็นปัญหาในประเทศญี่ปุ่นอีก ผลงานวิจัยหลายชิ้นระบุว่า โอโซนที่เพิ่มขึ้นในญี่ปุ่นนี้ เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายในระยะทางไกลของมลพิษทางอากาศที่มีจากภูมิภาคเอเชียตะวันออก (Ohara & Sakata, 2003)

มนุษย์ได้รับผลกระทบจากมลพิษทางอากาศโดยการหายใจ ผ่านทางเดินหายใจเข้าไปในปอด ในบางกรณีที่มลพิษมีปริมาณสูง อาจเกิดอันตรายได้โดยตรงจากการสัมผัส (ผิวหนังและดวงตา) อันตรายที่เกิดขึ้นอาจเริ่มตั้งแต่การก่อให้เกิดระคายเคือง เกิดการเปลี่ยนแปลงในร่างกายโดยไม่แสดงอาการ จนกระทั่งมีอาการชัดเจน และถึงขั้นเสียชีวิตในที่สุด อันตรายต่อสุขภาพอาจเกิดโดยทางอ้อมจากโรคแทรกซ้อนที่เกิดขึ้น เมื่อร่างกายอ่อนแอจากการได้รับหรือสัมผัสกับสารมลพิษทางอากาศ อาการและโรคที่มักพบบ่งชี้จากมลพิษทางอากาศ ได้แก่ โรคระบบทางเดินหายใจต่าง ๆ เช่น ปอดอักเสบ หลอดลมอักเสบ หอบหืด โรคภูมิแพ้ โรคหรงอก โรคระบบหลอดเลือด เยื่อปอดอักเสบ โดยเชื่อกันว่ามลพิษทางอากาศหลายชนิดเป็นสาเหตุของโรคมะเร็ง นอกเหนือไปจากผลกระทบที่มีต่อสุขภาพของมนุษย์แล้ว มลพิษทางอากาศยังส่งผลกระทบต่อ พืชและสัตว์ วัสดุต่าง ๆ ทัศนวิสัย และ ระบบนิเวศวิทยา ซึ่งในระยะยาวแล้วสิ่งเหล่านี้สามารถมีผลวนกลับมาเป็นผลกระทบต่อมนุษย์ การรณรงค์และประชาสัมพันธ์ให้ประชาชน

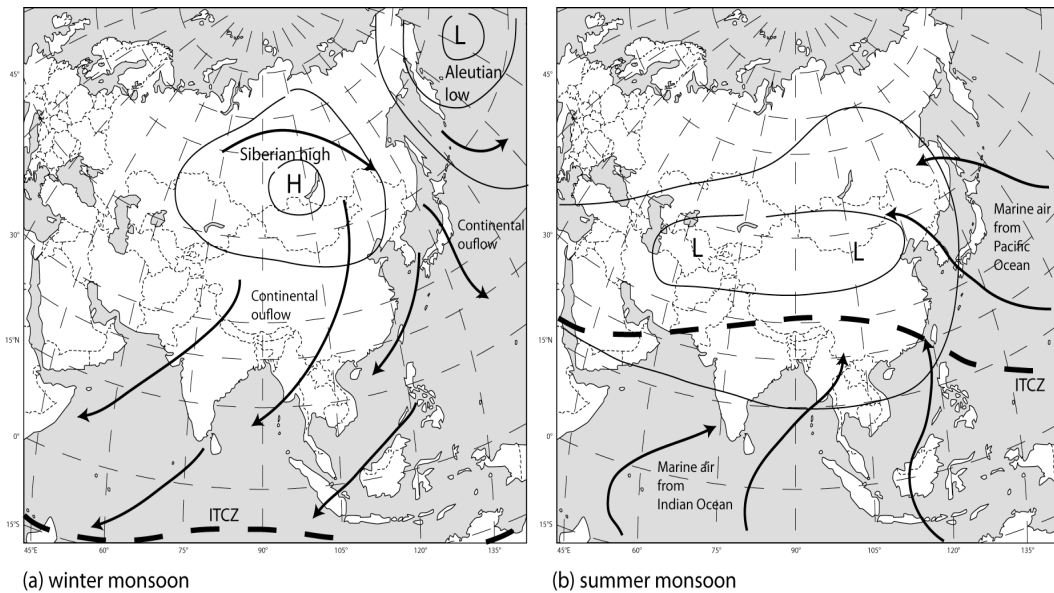
เข้าใจอันตรายที่เกิดจากภาวะมลพิษทางอากาศ และมีส่วนร่วมในการป้องกันแก้ไขมิให้เกิดภาวะมลพิษทางอากาศจึงเป็นเรื่องที่จำเป็นอย่างยิ่งยวด

การแพร่กระจายในระยะทางไกลของมลพิษทางอากาศในภูมิภาคเอเชียตะวันออก

ในปัจจุบัน ประเทศจีน ซึ่งเป็นประเทศใหญ่ที่สุดในภูมิภาคเอเชียตะวันออก ได้รับแรงกดดันจากนานาชาติในฐานะที่เป็นประเทศที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศเป็นอันดับต้นของโลก ให้ทำการลดการปลดปล่อยก๊าซมลพิษและก๊าซเรือนกระจก เหตุผลหลักนอกจากปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสภาวะโลกร้อนแล้ว มลพิษทางอากาศจากประเทศจีนยังสามารถส่งผลกระทบต่อพื้นที่ได้ลม (Downwind) โดยการแพร่กระจายในระยะทางไกลได้ ในทางกลับกัน ประเด็นของการแพร่กระจายในระยะทางไกลของมลพิษทางอากาศจากภูมิภาคอื่นเข้าสู่เอเชียตะวันออก กลับได้รับความสนใจน้อยกว่า ในหัวข้อต่อไปนี้จะเป็นการตรวจสอบและอธิบายถึง มลพิษทางอากาศจากแหล่งกำเนิดภายนอกที่แพร่กระจายเข้าสู่ภูมิภาคเอเชียตะวันออกและมลพิษทางอากาศจากแหล่งกำเนิดภายในเอเชียตะวันออกที่แพร่กระจายไปสู่ภูมิภาคอื่น

การแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศจากแหล่งกำเนิดภายนอกเข้าสู่ภูมิภาคเอเชียตะวันออกไกลและลักษณะของการแพร่กระจาย

ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศในระยะทางไกลก็คือ สภาวะอากาศและการเปลี่ยนแปลงของลมฟ้าอากาศ ในภูมิภาคเอเชียตะวันออก ลักษณะสภาวะอากาศที่สำคัญมากคือการมีลมมรสุมและการเคลื่อนย้ายถ่ายเทของมวลอากาศจากแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน (Pochanart, Hirokawa, Kajii, Akimoto & Nakao, 1999) ที่บริเวณละติจูดกลาง (Mid-Latitude) ในช่วงลมมรสุมฤดูร้อน (ในเขตอบอุ่น ช่วงเดือน มิถุนายนถึงสิงหาคม) ความกดอากาศสูงในระดับผิวหรือแอนติไซโคลนในมหาสมุทรแปซิฟิกจะนำมวลอากาศจากมหาสมุทรสู่ภูมิภาคเอเชียตะวันออก ในฤดูอื่น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูหนาว ลมมรสุมฤดูหนาวซึ่งมีกำลังแรงกว่าจะนำมวลอากาศเย็นจากภายในภาคพื้นทวีปมาสู่ภูมิภาคเอเชียตะวันออก ดังแสดงในภาพที่ 2 ลักษณะเด่นของลมมรสุมฤดูหนาวคือ การมีแอนติไซโคลนขนาดใหญ่ทางตอนบนของทวีปเอเชีย ซึ่งจะผลักดันมวลอากาศจากภายในทวีปให้ไปสู่ทางชายฝั่งของภูมิภาคเอเชียตะวันออก ในระดับความสูงที่มากขึ้น การเคลื่อนที่ของมวลอากาศที่เกี่ยวข้องกับร่องอากาศชายฝั่งและกระแสลมกรด (jet stream) จะนำกระแสอากาศจากด้านตะวันตกของทวีปไปยังด้านตะวันออกของทวีปด้วยกำลังแรง ส่วนบริเวณละติจูดต่ำ กำลังของลมมรสุมจะอ่อนตัวลง (Zhang, Sperber, & Boyle, 1996)



ภาพที่ 2 ลักษณะสภาวะอากาศในทวีปเอเชียที่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุม
ที่มา: Ahrens (1994)

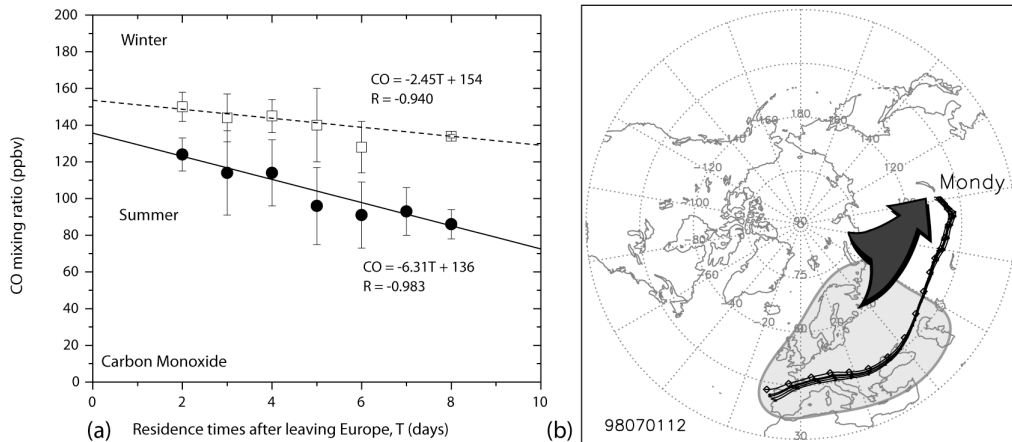
การแพร่กระจายมลพิษทางอากาศในระยะไกลจะสอดคล้องสัมพันธ์กับการเคลื่อนไหวของกระแสอากาศ โดยฤดูที่ได้ส่งผลกระทบต่อชัดเจนคือ ฤดูหนาวและฤดูใบไม้ผลิ ซึ่งจะมีการเคลื่อนที่ของมวลอากาศจากภายในทวีปมาสู่ชายฝั่ง สำหรับฤดูร้อนถึงแม้ว่าเป็นช่วงเวลาที่มีความเข้มข้นของแสงสูงเหมาะกับการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีเคิลและมลพิษทางอากาศชนิดทุติยภูมิก็ตาม มวลอากาศที่เข้าสู่ภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้จะเป็นมวลอากาศสะอาดจากมหาสมุทรแปซิฟิกและบางส่วนจากมหาสมุทรอินเดีย ซึ่งจะมีปริมาณของมลพิษอยู่ในระดับต่ำมากเนื่องจากปราศจากแหล่งกำเนิดมลพิษต่าง ๆ ในการศึกษาการแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศในระยะทางไกล ชนิดของมลพิษที่มักใช้กันบ่อยคือ คาร์บอนมอนนอกไซด์ซึ่งเป็นสารมลพิษปฐมภูมิที่มีช่วงอายุยาวนานพอที่จะกระจายไปในระดับภาคพื้นทวีปและระดับโลกได้ และอีกชนิดคือ โอโซน ซึ่งเป็นสารมลพิษทุติยภูมิแต่ก็สามารถแพร่กระจายได้ในระยะไกลเช่นกันขึ้นอยู่กับฤดูกาล โอโซนมีช่วงอายุที่ยาวกว่าในฤดูหนาวมากกว่าฤดูร้อน

Newell & Evans (2000) ได้คำนวณการเคลื่อนที่ของมวลอากาศเข้าสู่ไซบีเรียและภูมิภาคเอเชีย โดยจำลองกำแพงสมมุติที่เส้นลองจิจูด 100 องศา จากเส้นละติจูด 20 องศาทางตอนเหนือของประเทศไทย ผ่านจินตองกลางไปยังเส้นละติจูด 60 องศาในไซบีเรีย ผลการศึกษาพบว่า มวลอากาศที่เคลื่อนที่เข้ามากระทบกำแพงนี้ ในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ตอนบน จะมาจากทวีปยุโรป ทวีปแอฟริกาตอนเหนือ และบางกรณีไกลถึงทวีปอเมริกา สำหรับชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ด้านล่าง มวลอากาศจะมาจากทวีปยุโรป ในกำแพงบริเวณละติจูดสูง และจะมาจากทวีปแอฟริกาตอนเหนือและ ภูมิภาคตะวันออกกลางในกำแพงบริเวณละติจูดต่ำ

การแพร่กระจายในระยะทางไกลของมลพิษทางอากาศจากทวีปยุโรปสู่เอเชียตะวันออก

การแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศโดยทั่วไป มักเกิดภายใต้สภาพอากาศที่เอื้ออำนวยให้เกิดสภาวะมลพิษทางอากาศ ซึ่งสามารถตรวจวัดได้ทางด้านใต้ลมหรือบริเวณที่มลพิษทางอากาศนั้นถ่ายเทไปสู่ ในการแพร่กระจายในระยะทางไกลของมลพิษ หากเป็นในระดับภาคพื้นทวีปหรือเป็นระยะทางหลายพันกิโลเมตร สภาวะมลพิษทางอากาศนั้นอาจเจือจางบรรเทาความรุนแรงลงหรือหายไป เนื่องจากการผสมกับอากาศรอบข้างในขณะแพร่กระจาย และอาจตรวจสอบได้เพียงแค่ ปริมาณความเข้มข้นของมลพิษที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย การแพร่กระจายในระยะทางไกลของมลพิษทางอากาศจากทวีปยุโรปสู่เอเชียตะวันออก (Trans-Eurasian Transport) ถูกพิจารณาว่าเกิดขึ้นในลักษณะเช่นนี้ ซึ่งทำให้ยากแก่การตรวจวัดและพิสูจน์ เมื่อเทียบกับ การแพร่กระจายในระยะทางไกลของมลพิษทางอากาศจากอีกสองแหล่งใหญ่ในโลก คือ จากทวีปเอเชียข้ามมหาสมุทรแปซิฟิก (Trans-Pacific Transport) หรือ จากทวีปอเมริกาข้ามมหาสมุทรแอตแลนติก (Trans-Atlantic Transport) การเคลื่อนที่ของมวลอากาศและมลพิษในอากาศของสองแหล่งนั้น เกิดจากการยกตัวโดยการพาความร้อน (Convection) หรือโดยแนวปะทะอากาศนำมวลอากาศขึ้นไปสู่ชั้นฟรีโทรโพสเฟียร์ (Free Troposphere) และแพร่กระจายต่อไปโดยลมตะวันตกเป็นระยะทางหลายพันกิโลเมตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนการแพร่กระจายในระยะทางไกลของมลพิษทางอากาศจากทวีปยุโรปสู่เอเชียตะวันออก จะเกิดบนภาคพื้นทวีป โดยมักเกิดขึ้นที่บริเวณละติจูดสูงและมีความสูงระดับต่ำกว่าในชั้นฟรีโทรโพสเฟียร์ หรืออาจเกิดในชั้นบรรยากาศที่อยู่ติดกับผิวโลก (Boundary Layer) การแพร่กระจายในลักษณะนี้จะผ่านแรงเสียดทานของอากาศสูงและมีการผสมผสานที่ดีกับอากาศในชั้นพื้นผิวเนื่องจากอยู่ใกล้พื้นผิวโลก ทำให้มลพิษทางอากาศผสมผสานกับอากาศรอบตัวในขณะที่มวลอากาศเคลื่อนที่มาทางตะวันตกและเจือจางลงที่สุดในที่สุด

การศึกษาเกี่ยวกับการตรวจวัดการแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศจากทวีปยุโรปมายังเอเชียยังมีไม่มากนัก การวัดมลพิษชนิดต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นระยะยาวหรือการตรวจวัดเป็นครั้งคราวมักทำกันในทวีปยุโรป หรือ ภูมิภาคเอเชียตะวันออก (Monks, 2000; Pochanart, Akimoto, Maksyutov & Staehelin, 2001) การที่ไม่มีการตรวจวัดมลพิษทางอากาศในส่วนกลางของภาคพื้นทวีปที่เพียงพอ ทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับการแพร่กระจายระยะไกลของมลพิษในทวีปเอเชียทำได้ยาก อย่างไรก็ตาม ข้อมูลเกี่ยวกับมลพิษทางอากาศภายในภาคพื้นทวีปเท่าที่มีอยู่บ้างก็สามารถทำให้เราเข้าใจถึงบทบาทของการแพร่กระจายระยะไกลจากทวีปยุโรปได้



ภาพที่ 3 (a) ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของ CO ในมวลอากาศและระยะเวลาที่อากาศใช้ในการเคลื่อนตัวจากยุโรปมายัง Mondy ในช่วงฤดูหนาว (สี่เหลี่ยม) และฤดูร้อน (วงกลม) และ (b) ตัวอย่างการแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศแสดงโดย 5-day backward trajectory ในวันที่ 1 กรกฎาคม 1998 สัญลักษณ์แสดงระยะเวลา 12 ชั่วโมง

ที่มา: Pochanart *et al.* (2003)

Pochanart, Akimoto, Kajii, Potemkin & Khodzher (2003) ได้ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ โอโซนและ CO ในช่วงปี 1997-1998 ในสถานีตรวจวัดชื่อ Mondy ซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่เทือกเขาในไซบีเรีย ทางตะวันตกของทะเลสาบไบคาล และพบว่า มวลอากาศที่เคลื่อนที่มาจากยุโรปจะมีปริมาณ โอโซนและ CO สูงกว่ามวลอากาศที่เคลื่อนที่มาจากบริเวณอื่น ในระดับ 2-3 ppbv (ส่วนในพันล้านส่วนโดยปริมาตร) และ 6-14 ppbv ตามลำดับขึ้นอยู่กับฤดูกาล นอกจากนั้น ตามแสดงในภาพที่ 3 ยังพบว่า มวลอากาศที่เคลื่อนที่จากยุโรปมายังไซบีเรียตะวันออกด้วยความเร็วสูง จะคงปริมาณของ CO ไว้มากกว่ามวลอากาศที่เคลื่อนที่มาด้วยความเร็วต่ำ โดยที่เมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของ CO ในมวลอากาศ และระยะเวลาที่อากาศใช้ในการเคลื่อนตัวจากยุโรปมายัง Mondy พบว่าเมื่อมวลอากาศเดินทางจากยุโรปมายัง Mondy CO จะลดลงในอัตรา 2 และ 6 ppbv ต่อวันในฤดูหนาวและฤดูร้อนตามลำดับ ซึ่งยืนยันว่า เมื่อมลพิษทางอากาศมีการแพร่กระจายจากยุโรปมายังเอเชีย มลพิษนั้นจะค่อยเจือจางและผสมผสานเข้ากับสภาพอากาศเดิมที่สะอาดปราศจากแหล่งกำเนิดมลพิษขนาดใหญ่ในใจกลางทวีปเอเชียตอนบน

Crutzen ซึ่งเป็นนักวิทยาศาสตร์ที่เคยได้รับรางวัลโนเบลในสาขาเคมีและคณะ ได้ทำการตรวจวัดมลพิษทางอากาศในระดับพื้นผิวในทวีปเอเชีย โดยอาศัยทางรถไฟสายทรานส์ไซบีเรีย ในโครงการ TROICA (Trans-Siberian Observation Into the Chemistry of the Atmosphere) ครั้งที่สาม ในเดือนเมษายน 1997 พบว่าในทางรถไฟสายทรานส์ไซบีเรีย ปริมาณ CO ในบริเวณลองจิจูดที่ 45-65 องศา จะสูงกว่า ในบริเวณลองจิจูดที่ 80 องศา อยู่ประมาณ 30 ppbv และสรุปว่า CO ในไซบีเรียตะวันตกจะได้รับผลกระทบจากการพัดพามลพิษทางอากาศ (Advection) จากยุโรป

ในขณะที่การศึกษาข้อมูลจากการตรวจวัดมีอยู่ไม่มาก มีการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองมวลอากาศและชั้นบรรยากาศของการแพร่กระจายในระยะทางไกลของมลพิษจากยุโรปในโครงการต่างๆ ควบคู่ไปกับการตรวจวัดหรือเป็นการศึกษาโดยอิสระ ถึงแม้ว่าเป็นที่รับรู้โดยทั่วกันว่า ผลการศึกษาจากการใช้แบบจำลองจะมีความหลากหลายและแตกต่างกันไป รวมไปถึงอาจมีความคลาดเคลื่อนไปจากผลที่ได้จากการตรวจวัดจริง ในหลายกรณีที่ไม่ได้มีการตรวจวัด หรือไม่สามารถทำการตรวจวัดมลพิษทางอากาศได้ การศึกษาโดยใช้แบบจำลองมวลอากาศและชั้นบรรยากาศสามารถช่วยให้เข้าใจถึงบทบาทของการแพร่กระจายระยะไกลของมลพิษจากยุโรปได้มากขึ้น ผลการศึกษาจากหลายแบบจำลองในตารางที่ 1 ช่วยยืนยันและแสดงให้เห็นถึงบทบาทของแหล่งกำเนิดมลพิษจากยุโรป ที่ส่งผลกระทบต่อทวีปเอเชียและภูมิภาคเอเชียตะวันออก

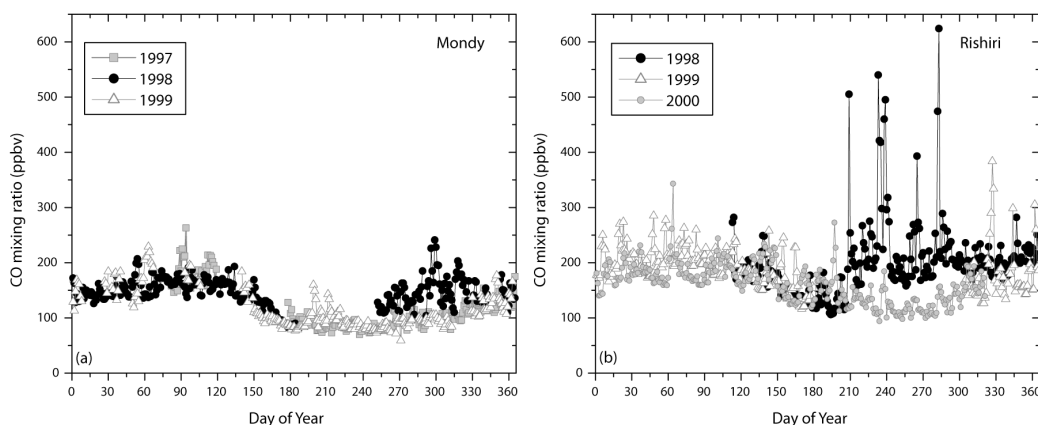
ตารางที่ 1 ผลกระทบของแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศจากทวีปยุโรปต่อทวีปเอเชียและภูมิภาคเอเชียตะวันออกจากการศึกษาโดยใช้แบบจำลอง

โครงการ	พื้นที่ศึกษา	ผลการศึกษา	เอกสารอ้างอิง
PEM-West B	ชายฝั่งภูมิภาคเอเชียตะวันออก	ร้อยละ 15 ของ CO ที่ออกจากเอเชีย มาจาก ยุโรป ในช่วง กุมภาพันธ์ – เมษายน 1994	Bey et al. (2001)
PEM-Tropics B	มหาสมุทรแปซิฟิกด้านตะวันออกเฉียงเหนือ	ร้อยละ 12% ของ CO มาจากยุโรป ในช่วง มีนาคม – เมษายน 1999	Staudt et al. (2003)
TRACE-P	ชายฝั่งภูมิภาคเอเชียตะวันออก	50 ppbv ของ CO ที่ออกจากเอเชีย มีต้นกำเนิดจากยุโรป ในช่วงกุมภาพันธ์-เมษายน 2001	Jeagle et al. (2003)
PEACE-A	ญี่ปุ่น	สูงสุดร้อยละ 40 ของปริมาณคอลัมน์ CO ใน ญี่ปุ่นมาจากยุโรป ในช่วงฤดูหนาว 2001	Takigawa et al. (2003)
แบบจำลอง CTM	ทั่วโลก	ค่าเฉลี่ย 0.2-1.8 ppbv ของโอโซนในภูมิภาคเอเชียตะวันออกมาจากยุโรป	Wild & Akimoto (2001)
แบบจำลอง CTM	Mondy	10-30 ppbv ของ CO และ 1.0-3.5 ppbv ของโอโซนมาจากยุโรป	Wild & Akimoto (2001)

แหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศในยูเรเชียตอนกลางและการแพร่กระจายในระยะทางไกลสู่เอเชียตะวันออก

มวลอากาศที่เคลื่อนที่เข้าสู่ภูมิภาคเอเชียตะวันออกโดยลมมรสุมฤดูหนาว อาจได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดของมลพิษทางอากาศภายในยูเรเชีย (ยุโรปและเอเชีย ใช้ในความหมายว่าเป็นทวีปที่ติดต่อกัน) ไม่ว่ามวลอากาศนั้นจะได้รับอิทธิพลจากแหล่งกำเนิดในยุโรปหรือไม่ ถึงแม้ทางตอนบนของภาคกลางยูเรเชีย จะเป็นพื้นที่ป่าเขตเหนือ (Boreal Forest) เป็นส่วนมากและไม่มีแหล่งอุตสาหกรรมขนาดใหญ่เหมือนในยุโรปหรือภูมิภาคเอเชียตะวันออก ไฟป่าขนาดใหญ่ในไซบีเรียสามารถนับได้ว่า เป็นแหล่งกำเนิดของมลพิษทางอากาศที่สำคัญและสามารถส่งผลกระทบต่อภูมิภาคเอเชียตะวันออกได้ (Shvidenko & Nilsson, 2000; Wotawa, Novelli, Trainer & Granier, 2001) ไฟป่าในเขตทางตอนเหนือหรือในไซบีเรียจะแตกต่างกับแหล่งกำเนิดมลพิษจากอุตสาหกรรม ในลักษณะที่ว่า ในขณะที่มลพิษทางอากาศที่ถูกปล่อยมาจากมลพิษทางอุตสาหกรรมนั้นเกิดขึ้นสม่ำเสมอตลอดทั้งปีในพื้นที่ที่แน่นอน ไฟป่าจะเกิดและมีความรุนแรงแตกต่างกันไปตามสถานที่และสภาวะอากาศของแต่ละปีที่เกิดไฟป่า ในปีที่ยอบุ่น อากาศแห้งและมีปริมาณฝนต่ำ เช่นในฤดูใบไม้ผลิและช่วงฤดูร้อนต่อฤดูใบไม้ร่วงของปี 1987 และปี 1998 เป็นปีที่ไฟป่าในเขตทางตอนเหนือของยูเรเชียตอนกลางมีความรุนแรงเป็นพิเศษ

ในปีที่ไฟป่ามีความรุนแรง สภาพอากาศและระดับทั่วไปของมลพิษทางอากาศ (Background Air Pollution) ในภูมิภาคเอเชียตะวันออก จะสามารถได้รับผลกระทบจากไฟป่านั้น มวลอากาศที่เคลื่อนที่ผ่านบริเวณไฟป่าที่รุนแรง จะได้รับมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นในปริมาณมาก และทำให้ไม่สามารถตรวจสอบปริมาณมลพิษที่อาจมาจากแหล่งกำเนิดในยุโรปซึ่งมีปริมาณน้อยกว่าได้ มีการตรวจพบการเพิ่มขึ้นของปริมาณมลพิษทางอากาศในไซบีเรียและภูมิภาคเอเชียตะวันออกในช่วงฤดูร้อนและใบไม้ร่วง ในปี 1998 และสรุปว่าเกิดจากผลกระทบของไฟป่า ดังแสดงในภาพที่ 4 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของ CO ที่ Mondy ในไซบีเรีย และ Rishiri ซึ่งเป็นเกาะทางตอนเหนือของญี่ปุ่น พบว่า ความเข้มข้นของก๊าซ CO ทั้งสองที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับปีอื่น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ Rishiri เนื่องจากไฟป่าในช่วงฤดูร้อนและใบไม้ร่วง ปี 1998 ซึ่งเกิดขึ้นมากเขตไซบีเรียตะวันออกและอยู่ในทิศทางที่มีการแพร่กระจายระยะไกลไปยังภาคเหนือของญี่ปุ่นได้ (Tanimoto *et al.*, 2000; Pochanart *et al.*, 2003) นอกจาก Rishiri แล้ว ที่สถานี Moshiri และ Rikubetsu ในเกาะฮอกไกโดทางตอนเหนือของญี่ปุ่น ก็ตรวจพบปริมาณคอลลิมน์ CO C₂H₆ HCN ที่เพิ่มขึ้นในบรรยากาศถึงร้อยละ 54 – 65 (Zhao *et al.*, 2002) ในภาคกลางของญี่ปุ่น มีการตรวจพบว่า มวลอากาศจากไซบีเรียในช่วงไฟป่าในปี 1998 ทำให้ CO และโอโซนในชั้นบรรยากาศที่ Happo เพิ่มขึ้น 29 ppbv และ 5 ppbv ตามลำดับ (Kato *et al.*, 2002) การศึกษาโดยแบบจำลองสภาวะอากาศพบว่า ไฟป่าในเขตตอนเหนือของยูเรเชีย ในเดือน พฤษภาคม 1987 ทำให้ปริมาณโอโซน ทางภาคเหนือของญี่ปุ่นเพิ่มถึงมากกว่า 25% (Phadnis & Carmichael, 2000)



ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงของ CO ในปีต่าง ๆ ที่ Mondy ในไซบีเรีย และ Rishiri ทางตอนเหนือของประเทศญี่ปุ่น ในปี 1998 ทั้งสองบริเวณได้รับผลกระทบจากไฟป่าขนาดใหญ่ในไซบีเรีย ที่มา: Tanimoto et al. (2000), Pochanart et al. (2003)

การแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศจากแหล่งกำเนิดภายในภูมิภาคและผลกระทบต่อภูมิภาคอื่น ไกลและลักษณะของการแพร่กระจาย

อย่างที่ได้อ้างอิงไปข้างต้น กลไกการเคลื่อนย้ายมวลอากาศและการแพร่กระจายของมลพิษในระยะทางไกลจากภูมิภาคเอเชียตะวันออกโดยลมมรสุม จะแตกต่างจากการกลไกการเคลื่อนย้ายมวลอากาศและมลพิษจากยุโรปผ่านมาในทวีปเอเชียซึ่งเกิดจากพัฒนามลพิษทางอากาศเป็นหลัก อิทธิพลของลมมรสุมในภูมิภาคเอเชียตะวันออกจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสลมเย็นจากไซบีเรียและกระแสลมอบอุ่นจากมหาสมุทรแปซิฟิกและเกิดหย่อมความกดอากาศต่ำเคลื่อนตัวไปทางตะวันออกหรือตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศทางการเคลื่อนที่ของหย่อมความกดอากาศต่ำและแนวปะทะที่เกิดขึ้น ทำให้เกิดเส้นทางหลักที่มลพิษทางอากาศจากภูมิภาคเอเชียตะวันออกจะสามารถแพร่กระจายไปภูมิภาคอื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ อากาศที่อบอุ่นและชื้นจากบริเวณละติจูดต่ำจะถูกดันไปทางตะวันออกเฉียงเหนือและยกขึ้นสู่ระดับฟริโทรโพสเฟียร์โดยกลไกการไหลเวียนของอากาศประเภทหนึ่งซึ่งมีชื่อว่า Warm Conveyor Belts (WCBs) โดยจะนำมวลอากาศเข้าไปสู่ลมตะวันตกและพัดพาข้ามมหาสมุทรไปได้ WCBs จะดึงมวลอากาศที่มีปริมาณมลพิษสูงในระดับพื้นผิวของภูมิภาคเอเชียตะวันออก ตั้งแต่บริเวณละติจูดที่ 10-40 องศา ไปปล่อยในชั้นบรรยากาศที่สูงขึ้นตามเส้นทางของพายุที่เกิดในมหาสมุทรแปซิฟิกเหนือบริเวณละติจูดที่ 30-60 องศา อย่างไรก็ตาม บางกรณี WCBs จะดึงมวลอากาศบริสุทธิ์จากมหาสมุทรเข้าไปผสมด้วย ทำให้มลพิษทางอากาศที่แพร่กระจายไปกับมวลอากาศจากภูมิภาคเอเชียตะวันออกเจือจางลงก่อนส่งผลกระทบต่อพื้นที่ปลายทาง

กลไกสำคัญอีกอย่างในการแพร่กระจายในระยะทางไกลของมลพิษทางอากาศที่นอกเหนือไปจาก WCBs ก็คือ การไหลออก (Outflow) ในระดับต่ำในมวลอากาศหลังแนวปะทะอากาศเย็น (Cold Front) มลพิษทางอากาศจากแหล่งกำเนิดในภูมิภาคเอเชียตะวันออกสามารถสะสมตัวในระหว่างการเกิดหย่อมความกดอากาศสูงในฤดูหนาวและฤดูใบไม้ผลิ และในบางช่วงเวลามลพิษที่สะสมตัวนี้จะถูกส่งต่อเข้าไปในชั้นบรรยากาศที่อยู่ติดกับผิวโลกและชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ระดับต่ำที่อยู่หลังแนวปะทะอากาศเย็น การเคลื่อนตัวของกระแสอากาศในลักษณะนี้ มักนำมลพิษที่สะสมอยู่ในภาคพื้นทวีปของเอเชียตะวันออกมาสู่บริเวณชายฝั่งเช่น ญี่ปุ่นและไต้หวัน หรืออาจต่ำลงมาในเขตศูนย์สูตรได้ ในฤดูร้อนหากเกิดการพาความร้อนที่รุนแรงและมีประสิทธิภาพสูง มลพิษทางอากาศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกสามารถที่จะยกตัวขึ้นอยู่ในบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ระดับสูง กระแสอากาศนี้อาจเข้าไปผสมกับกระแสลมใต้แถวบริเวณหย่อมความกดอากาศสูงจากทิเบต ทำให้มลพิษจากภูมิภาคเอเชียตะวันออกมีโอกาสที่จะแพร่กระจายไปทางตะวันตกถึงตะวันออกกลางหรือแถบเมดิเตอร์เรเนียนได้

การแพร่กระจายมลพิษจากภูมิภาคเอเชียตะวันออก

การแพร่กระจายมลพิษจากภูมิภาคเอเชียตะวันออก (East Asian Pollution Export) มีความสำคัญเป็นที่ยอมรับกันทั่วไป ยิ่งเมื่อพิจารณาประเด็นการเพิ่มของปริมาณมลพิษทางอากาศจากแหล่งกำเนิดในภูมิภาคนี้ในปัจจุบันและอนาคตแล้ว นานาชาติต่างให้ความสนใจถึงผลกระทบที่จะตามมาสู่บริเวณที่มลพิษทางอากาศจะส่งผลไปถึง ไม่ว่าจะเป็น ชายฝั่งภูมิภาค มหาสมุทรแปซิฟิก และผลกระทบระยะไกลอย่างทวีปอเมริกาเหนือและยุโรป (Jaffe *et al.*, 2003a) แหล่งกำเนิดมลพิษจากภูมิภาคเอเชียตะวันออกถูกพิจารณาว่ามีศักยภาพที่จะทำให้เกิดผลกระทบในระดับโลกได้มากกว่าแหล่งกำเนิดมลพิษจากทวีปอเมริกาเหนือหรือยุโรป เนื่องจากอยู่ในบริเวณละติจูดที่ต่ำกว่าและมลพิษทางอากาศมีการยกตัวขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศระดับสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Wild & Akimoto, 2001)

การแพร่กระจายระยะไกลจากภูมิภาคเอเชียตะวันออกที่เห็นเด่นชัดคือผลกระทบจากฝุ่นที่เรียกว่า โคลสะ (Kosa หรือ Yellow Sand) จากพื้นที่ทะเลทรายในประเทศจีน ไปยังชายฝั่งและมหาสมุทรแปซิฟิกตอนเหนือ ในช่วงฤดูใบไม้ผลิ การแพร่ของฝุ่นละอองโคลสนี้สามารถสังเกตได้จากภาพถ่ายดาวเทียม Sea WIFS โดยตรง ในปีที่เกิดรุนแรงฝุ่นจะปกคลุมทำให้ทัศนวิสัย ของเมืองที่ได้รับผลกระทบในประเทศเกาหลีและญี่ปุ่น ลดลงอย่างชัดเจน รวมทั้งอาจสังเกตได้ในทวีปอเมริกาเหนือ เช่น ระหว่างเดือนเมษายนของปี 1998 และ 2001 ผลการศึกษาในระยะหลังพบว่าจะมีการเกาะจับของสารมลพิษจากอุตสาหกรรมต่าง ๆ บนฝุ่นละอองโคลสะ ซึ่งมาจากแหล่งกำเนิดโดยธรรมชาติส่งผลให้ปรากฏการณ์นี้มีผลต่อสุขภาพของมนุษย์เพิ่มขึ้น

ตามแนวชายฝั่งของภูมิภาคเอเชียตะวันออกมีการตรวจวัดมลพิษทางอากาศเป็นจำนวนมากและมีข้อยืนยันว่า กระแสอากาศที่มาจากทางด้านตะวันตกซึ่งจะพามลพิษจากภาคพื้นทวีปโดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศจีน จะมีปริมาณสารมลพิษทางอากาศเจือปนอยู่สูงกว่ามวลอากาศที่มาจากทิศทางอื่น (Pochanart *et al.*, 1999; 2002; 2004) นอกจากนี้ ได้มีโครงการตรวจวัดสารมลพิษทางอากาศในบริเวณพื้นที่ซึ่งกระแสอากาศไหลออกจากภูมิภาคนี้โดยนักวิจัยหลายกลุ่มจากนานาประเทศ ในลักษณะที่เป็นงานวิจัยตรวจวัด

ร่วมกันขนาดใหญ่หลายครั้ง ไม่ว่าจะเป็นโครงการ NASA PEM-West A ในฤดูใบไม้ร่วงปี 1991 โครงการ NASA PEM-West B ในฤดูหนาวและฤดูใบไม้ผลิปี 1994 โครงการ TRACE-P ในฤดูหนาวและฤดูใบไม้ผลิปี 2001 เป็นต้น ทุกโครงการตรวจพบการแพร่กระจายมลพิษจากภูมิภาคเอเชียตะวันออกได้อย่างมีนัยสำคัญ ตัวอย่างเช่น มีการตรวจพบสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เส้นลองจิจูด 150 องศาในมหาสมุทรแปซิฟิกซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ที่มีอายุเพียงแค่ 2-3 วัน โครงการสำรวจโดยใช้เครื่องบินอย่างเช่น MOPITT ก็ตรวจพบระดับ CO ที่เพิ่มขึ้นเป็นระยะทางไกลถึง 2500 กิโลเมตร ในช่วงความสูง 2 – 4 กิโลเมตร ซึ่งแหล่งกำเนิดมาจากภูมิภาคเอเชียตะวันออก

การเพิ่มขึ้นของมลพิษทางอากาศจากแหล่งกำเนิดในภูมิภาคเอเชียตะวันออกในช่วงสามทศวรรษที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน ทำให้มีการคาดการณ์ว่า ผลกระทบจากภูมิภาคนี้ต่อมลพิษทางอากาศในระดับโลกจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ มีการตรวจพบว่าโอโซนในระดับต่ำในประเทศญี่ปุ่นเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 1 – 2 ต่อปีระหว่างปี 1969 – 1990 ทั้งที่มีการควบคุมปริมาณ NO_x และ VOCs ข้อมูลถัดมาในปี 1989 – 1997 ณ หมู่เกาะโอกินาวา พบว่า มีการเพิ่มถึงร้อยละ 2.5 ของโอโซนที่แพร่กระจายมาจากแหล่งกำเนิดบนภาคพื้นทวีป (Lee, Akimoto, Nakane, Kurnosenko & Kinjo, 1998) งานศึกษาในบริเวณฝั่งตะวันตกของทวีปอเมริกา ก็มีการตรวจพบการเพิ่มขึ้นถึง 10 ppbv ของโอโซนในช่วงเวลา 18 ปีของยุค 1980 โดยที่บางส่วนอาจมีสาเหตุมาจากการแพร่กระจายระยะไกลของมลพิษทางอากาศจากภูมิภาคเอเชียตะวันออก (Jaffe *et al.*, 2003b)

บทสรุป

บทความนี้เป็นการนำเสนอปัญหามลพิษทางอากาศและการแพร่กระจายในระยะไกลที่เกี่ยวข้องกับทวีปเอเชียโดยเน้นไปที่ ภูมิภาคเอเชียตะวันออกซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญของมลพิษต่าง ๆ เนื่องมาจากการพัฒนาอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็วในช่วงสามทศวรรษที่ผ่านมา จากการศึกษาพบว่า งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายออกของมลพิษทางอากาศจากภูมิภาคเอเชียตะวันออกไปสู่ภูมิภาคอื่น ๆ มีปริมาณมากกว่างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายออกของมลพิษทางอากาศจากภูมิภาคอื่นเข้ามาในเอเชียตะวันออก สาเหตุหนึ่งเนื่องมาจาก ในอดีตที่ผ่านมางานวิจัยด้านการแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศในระดับทวีปมักจะเป็นงานที่ต้องทำโดยอาศัยความร่วมมือจากหลายหน่วยงานทั้งในระดับประเทศและความร่วมมือในระดับนานาชาติ ต้องใช้ทุนวิจัยจำนวนมาก ซึ่งหน่วยงานที่สามารถให้ทุนวิจัยในระดับนี้ มักจะเป็นชาติตะวันตกที่พัฒนาแล้วและความกังวลเกี่ยวกับผลกระทบของมลพิษจากทวีปเอเชียที่อาจมีต่อภูมิภาคของตนเองเป็นหลัก ในขณะที่ ประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเอง ส่วนมากเป็นประเทศกำลังพัฒนา (ยกเว้นประเทศญี่ปุ่นและอาเจนตินาบรวมเกาหลีใต้ในปัจจุบัน) ซึ่งมีทรัพยากรที่จำกัดสำหรับงานวิจัย รวมไปถึง ปัญหามลพิษทางอากาศในภูมิภาคเองก็เป็นปัญหาที่รุนแรงและอ่อนไหวต่อการเปิดเผยสู่สาธารณะ (เช่นปัญหามลพิษทางอากาศในประเทศจีน) อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันด้วยการพัฒนางานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ควบคู่ไปกับการพัฒนาอุตสาหกรรม โดยอาศัยความร่วมมือในระดับภูมิภาคและระดับนานาชาติทำให้ประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกมีผลงานวิจัยและข้อมูลทางด้านมลพิษทางอากาศทั้งในระดับท้องถิ่น ระดับภูมิภาค และระดับภาคพื้นทวีปเปิดเผยต่อสาธารณะมากขึ้น

การแพร่กระจายของมลพิษทั้งเข้าและออกจากภูมิภาคเอเชียตะวันออกจะถูกควบคุมโดยสภาวะอากาศเป็นสำคัญ ในภูมิภาคเอเชียตะวันออก ลมมรสุมจะเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการถ่ายเทของมลพิษจากแหล่งหนึ่งสู่แหล่งหนึ่ง ลมมรสุมฤดูร้อนจะนำมวลอากาศที่สะอาดจากมหาสมุทรแปซิฟิกเข้ามายังทวีปเอเชียทำให้ ปริมาณมลพิษในฤดูนี้ลดต่ำลง ส่วนลมมรสุมฤดูหนาว จะนำมวลอากาศที่เจือปนไปด้วยมลพิษทางอากาศจากภูมิภาคเอเชียตะวันออก ไปสู่เขตชายฝั่งทวีป มหาสมุทรแปซิฟิก กลไกหลักที่จะนำมลพิษในระดับพื้นผิวขึ้นไปสู่บรรยากาศชั้นบนและแพร่กระจายไปในระยะทางไกล ก็คือ Warm Conveyor Belts การศึกษาโดยการตรวจวัดและแบบจำลองในพื้นที่ซึ่งกระแสอากาศไหลออกจากภูมิภาคนี้ สามารถพิสูจน์ถึงอิทธิพลของการแพร่กระจายมลพิษจากภูมิภาคเอเชียตะวันออกได้เป็นส่วนใหญ่ ส่วนมลพิษจากทวีปยุโรปที่จะแพร่กระจายเข้าสู่ทวีปเอเชียนั้น มักจะเกิดจากการพัดพาในระดับต่ำและเจือจางไปกับสภาวะอากาศกลางทวีปยูเรเชียซึ่งค่อนข้างสะอาด ปราศจากการปนเปื้อนของแหล่งกำเนิดมลพิษขนาดใหญ่ ยกเว้นในกรณีที่เกิดไฟป่าขนาดใหญ่ จะสามารถส่งผลกระทบต่อปริมาณมลพิษในมวลอากาศที่แพร่กระจายมาได้ สำหรับการศึกษาการตรวจวัดมลพิษที่เข้าสู่ภูมิภาคเอเชียตะวันออกจากทวีปยุโรปนั้นมีอยู่น้อยชิ้น แต่ก็สามารถยืนยันการแพร่กระจายมลพิษในระยะระยะไกลสู่เอเชียได้โดยรวมแล้ว พบว่าอิทธิพลของแหล่งกำเนิดมลพิษในทวีปยุโรปส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศและสิ่งแวดล้อมของภูมิภาคเอเชียตะวันออกน้อยกว่า อิทธิพลของแหล่งกำเนิดมลพิษในภูมิภาคเอเชียตะวันออกที่ส่งผลกระทบต่อพื้นที่ได้ลม เช่นบริเวณชายฝั่งภูมิภาคเอเชีย มหาสมุทรแปซิฟิก และทวีปอเมริกาเหนือ ยิ่งในอนาคตอันใกล้แล้ว มีการคาดการณ์ว่า ปริมาณมลพิษทางอากาศที่ถูกปล่อยมาจากแหล่งกำเนิดในทวีปยุโรปจะคงที่หรืออาจลดลงก็ยิ่งทำให้ผลกระทบต่อคุณภาพอากาศและสิ่งแวดล้อมในภูมิภาคเอเชียตะวันออกน้อยลงหรือไม่เปลี่ยนแปลง ในทางกลับกันการพัฒนาอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่องในปัจจุบันและอนาคตอันใกล้นี้จะส่งผลให้ภูมิภาคเอเชียตะวันออกเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่ใหญ่ที่สุดในโลก และส่งอิทธิพลต่อคุณภาพอากาศและสิ่งแวดล้อมในภูมิภาคอื่นเพิ่มมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Ahrens, C. (1994). *Meteorological Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment*, 5th ed. Minneapolis; St. Paul: West Publishing Company.
- Akimoto, H. (2003). Global air quality and pollution. *Science*, 302, 1716 – 1719.
- Andrews, S. Q. (2009). *Seeing Through the Smog: Understanding the Limits of Chinese Air Pollution Reporting*. China Environment Series, Issue 10, 2008/2009. Retrieved June 1, 2011, from <http://www.wilsoncenter.org/sites/default/files/ces10.pdf>
- Bey, I., Aumont, B., & Toupance, G. (2001). A modeling study of the nighttime radical chemistry in the lower continental troposphere: 1 - Development of a detailed chemical mechanism including nighttime chemistry. *Journal of Geophysical Research*, 106(D9), 9991 – 10001.

- Brimblecombe, P. (1999). Chapter 2: Air Pollution and Health History. In S. T. Holgate, J. M. Samet, H. L. Koren & R. L. Maynard (Eds.), *Air Pollution and Health* (pp. 5–21). San Diego: Academic Press.
- European Monitoring and Evaluation Programme—EMEP (2001). *Emission data reported to UNECP/EMEP: Evaluation of the spatial distribution of emissions*. MSC-W Status Report. Oslo, Norway: Norwegian Meteorological Institute.
- Environmental Protection Agency—EPA (1999). *National air pollutant emission trends, 1900–1998*. Report EPA-454/R-00-002. Research Triangle Park, NC: Environmental Protection Agency.
- Jaeglé, L., Jaffe, D. A., Price, H. U., Weiss-Penzias, P., Palmer, P. I., Evans, M. J., Jacob, D. J. & Bey, I. (2003). Sources and budgets for CO and O₃ in the northeastern Pacific during the spring of 2001: Results from the PHOBEA-II Experiment. *Journal of Geophysical Research*, 108(D20), 8802, doi:10.1029/2002JD003121.
- Jaffe, D., McKendry, I., Anderson, T. & Price, H. (2003a). Six ‘new’ episodes of trans-Pacific transport of air pollutants. *Atmospheric Environment*, 37, 391 – 404.
- Jaffe, D., Price, H., Parrish, D., Goldstein, A. & Harris, J. (2003b). Increasing background ozone during spring on the west coast of North America. *Geophysical Research Letters*, 30(12), 1613, doi:10.1029/2003GL017024
- Kato, S., Pochanart, P., Hirokawa, J., Kajii, Y., Akimoto, H., Ozaki, Y., Obi, K., Katsuno, T., Streets, D. G. & Minko, N. P. (2002). The influence of Siberian forest fires on carbon monoxide concentrations at Happon, Japan. *Atmospheric Environment*, 36, 385 – 390.
- Lee, S., Akimoto, H., Nakane, H., Kurnosenko, S. & Kinjo, Y. (1998). Lower tropospheric ozone trend observed in 1989–1997 at Okinawa, Japan. *Geophysical Research Letters*, 25, 1637 – 1640.
- Matthias, A. D. & Bohn, H. L. (1996). Chapter 3: Physical Processes Affecting Atmospheric Pollution. In I. L. Pepper, C. P. Gerba & M. L. Brusseau (Eds.), *Pollution Science* (pp. 19 – 30). San Diego, Academic Press.
- Monks, P. S. (2000). A review of the observations and origins of the spring ozone maximum. *Atmospheric Environment*, 34, 3545 – 3561.
- Newell, R. E. & Evans, M. J. (2000). Seasonal changes in pollutant transport to the North Pacific: the relative importance of Asian and European sources. *Geophysical Research Letter*, 27, 2509 – 2512.

- Ohara, T., Akimoto, H., Kurokawa, J., Horii, M., Yamaji, K., Yan, X. & Hayasaka T. (2007). An Asian emission inventory of anthropogenic emission sources for the period 1980–2020. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 7, 4419 – 4444.
- Ohara T. & Sakata, T. (2003). Long-term variation of photochemical oxidants over Japan [In Japanese]. *Journal of Japan Society for Atmospheric Environment*, 38(1), 47 – 54.
- Phadnis, M. J. & Carmichael, G. R. (2000). Forest fire in the Boreal Region of China and its impact on the photochemical oxidant cycle of East Asia. *Atmospheric Environment*, 34, 483 – 498.
- Pochanart, P., Hirokawa, J., Kajii, Y., Akimoto, H. & Nakao, M. (1999). Influence of regional-scale anthropogenic activity in Northeast Asia on seasonal variations of surface ozone and carbon monoxide observed at Oki, Japan. *Journal of Geophysical Research*, 104, 3621 – 3631.
- Pochanart, P., Akimoto, H., Maksyutov, S. & Staehelin, J. (2001). Surface ozone at the Swiss Alpine site Arosa: The hemispheric background and the influence of the large-scale anthropogenic emissions. *Atmospheric Environment*, 35, 5553 – 5566.
- Pochanart, P., Akimoto, H., Kinjo, Y. & Tanimoto, H. (2002). Surface ozone at four remote Island sites and the preliminary assessment of the exceedances of its critical level in Japan. *Atmospheric Environment*, 36, 4235 – 4250.
- Pochanart, P., Akimoto, H., Kajii, Y., Potemkin, V. M. & Khodzher, T. V. (2003). Regional background ozone and carbon monoxide variations in remote Siberia/East Asia. *Journal of Geophysical Research*, 108(D1), 4028 – 4045.
- Pochanart, P., Kato, S., Katsuno, T. & Akimoto, H. (2004). Eurasian continental background and regionally polluted levels of ozone and CO observed in northeast Asia. *Atmospheric Environment*, 38, 1325 – 1336.
- Shvidenko, A.Z. & Nilsson, S. (2000). Extent, distribution, and ecological role of fire in Russian forests. In E. S. Kasischke, B. J. Stocks (Eds.), *Fire, climate change, and carbon cycling in the boreal forests*. Berlin; Heidelberg; New York: Springer.
- Seinfeld, J. H. (1986). *Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution*. New York: John Wiley & Sons.
- Staudt, A. C., Jacob, D. J., Ravetta, F., Logan, J. A., Bachiochi, D., Krishnamurti, T. N., Sandholm, S., Ridley, B., Singh, H. B. & Talbot, B. (2003). Sources and chemistry of nitrogen oxides over the tropical Pacific. *Journal of Geophysical Research*, 108(D2), 8239, doi:10.1029/2002JD002139.

- Takigawa, M., Akimoto, H., Sudo, K., Takahashi, M., Takegawa, N. & Kondo, Y. (2003, June 30 – July 22). Estimation of the contribution of inter-continental transport by using a global chemical model. Paper presented at the International Union of Geophysics and Geodesy XXIII General Assembly (IUGG2003), Sapporo, Japan.
- Tanimoto, H., Kajii, Y., Hirokawa, J., Akimoto, H. & Minko, N. P. (2000). The atmospheric impact of boreal forest fires in far east Siberia on the seasonal variation of carbon monoxide: Observation at Rishiri, a northern remote island in Japan. *Geophysical Research Letters*, 27, 4073 – 4076.
- World Health Organization—WHO (1998). *Guidance for Setting Air Quality Standards*, Report on a WHO Working Group, EUR/ICP/EHPM 02 01 02.
- Wild O. & Akimoto, H. (2001). Intercontinental transport of ozone and its precursors in a three-dimensional global CTM. *Journal of Geophysical Research*, 106(D21), 27729 – 27744.
- Wotawa, G., Novelli, P. C., Trainer, M. & Granier, C. (2001). Inter-annual variability of summertime CO concentrations in the Northern Hemisphere explained by boreal forest fires in North America and Russia. *Geophysical Research Letters*, 28, 4575 – 4578.
- Zhang, Y., Sperber, K. R. & Boyle, J. S. (1996). *Climatology of East Asian winter monsoon and cold surges: Results from the 1979–1995 NCEP/NACR reanalysis*. PCMDI Report No. 38. Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, CA
- Zhao, Y., Strong, K., Kondo, Y., Koike, M., Matsumi, Y., Irie, H., Rinsland, C. P., Jones, N. B., Suzuki, K., Nakajima, H., Nakane, H. & Murata, I. (2002). Spectroscopic measurements of tropospheric CO, C₂H₆, C₂H₂, and HCN in northern Japan. *Journal of Geophysical Research*, 107(D18), 4343, doi:10.1029/2001JD000748.