



ความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็ก

Health Risk from Fine Particulate Matter Exposure

นันทพร ภัทรพุทธ

คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

Nantaporn Phatrabuddha

Faculty of Public Health, Burapha University

บทคัดย่อ

ฝุ่นละอองขนาดเล็ก มักพบในปริมาณมากในบรรยากาศในเขตเมืองโดยมีแหล่งกำเนิดที่สำคัญ ได้แก่ ยานพาหนะ ฝุ่นจากการก่อสร้าง และอุตสาหกรรม ส่วนประกอบของฝุ่นละอองขนาดเล็กในบรรยากาศประกอบไปด้วยซัลเฟต ไนเตรต คลอไรด์ แอมโมเนียม สารประกอบคาร์บอนและโลหะ การเพิ่มขึ้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กในบรรยากาศมีความสัมพันธ์กับผลอันไม่พึงประสงค์ต่อสุขภาพ โดยผลกระทบต่อสุขภาพแบบเฉียบพลันของฝุ่นละอองขนาดเล็กพบได้ในกลุ่มคนไวรับ เช่น เด็ก ผู้สูงอายุ ผู้ที่มีโรคประจำตัว แต่ไม่พบในกลุ่มคนทั่วไปที่มีสุขภาพดี ยกเว้นแต่รับสัมผัสที่ปริมาณความเข้มข้นที่สูง ส่วนใหญ่จะทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพแบบเรื้อรัง อันเนื่องมาจากความเป็นพิษอันเนื่องมาจากองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของฝุ่น การรบกวนระบบทางเดินหายใจและการที่ฝุ่นเป็นตัวพาหรือดูดซับสารมลพิษ และพาเข้าสู่ร่างกาย อย่างไรก็ตาม ผลกระทบต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กขึ้นอยู่กับปริมาณ และชนิดของฝุ่นที่ได้รับจากการสูดดมหรือหายใจเข้าไป กรมควบคุมมลพิษ ได้กำหนดมาตรฐานใหม่เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพปัญหาในปัจจุบัน โดยกำหนดค่ามาตรฐานฝุ่นขนาด ≤ 2.5 ไมครอน เฉลี่ย 24 ชั่วโมง เท่ากับ 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และเฉลี่ย 1 ปี เท่ากับ 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

คำสำคัญ : ความเสี่ยงต่อสุขภาพ ฝุ่นละอองขนาดเล็ก มลพิษทางอากาศ

Abstract :

Fine particulate matter has been found in urban area in large quantities. The main sources are from traffic emissions, constructions and industries. Fine particulate matter is made up of a number of components, including nitrate, sulfate, chloride, ammonium, organic carbon and metals. Increase in fine particulate matter has associated with adverse health effects in respiratory system. Particulate matter has been linked to acute respiratory effect in susceptibility person but not found in healthy people, accepted for high exposure level. Exposures to particulate matter may result in chronic respiratory effect as a result of chemical or physical components of dust, respiratory disturbance and adsorption to particulate matter. However, adverse effects depend on concentration and types of fine particulate matter. Recognizing health risk from small particulate exposure, Thailand's Pollution Control Department (PCD) proposed a new standard for $PM_{2.5}$ to be not more than $50 \mu g/m^3$ (24 hr. average) and not more than $25 \mu g/m^3$ for 1 year average.

Keywords : health risk, fine particulate matter, air pollution

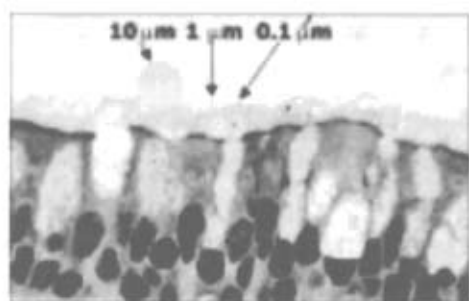
บทนำ

ปัจจุบันฝุ่นละอองในบรรยากาศ (Suspended Particulate Matter; SPM) เป็นปัญหามลพิษทางอากาศที่สำคัญที่สุดของเมืองใหญ่ๆ ในเกือบทุกประเทศ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนทั้งทางตรงและทางอ้อม สำหรับประเทศไทยไม่ว่าจะเป็นกรุงเทพมหานคร เชียงใหม่ ชลบุรี สงขลา ล้วนแต่ได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อนฝุ่นละอองในสิ่งแวดล้อม ทั้งจากการจราจร การประกอบอาชีพ และจากธรรมชาติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งใน 5 จังหวัด ทางภาคเหนือ (เชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน ลำปาง พะเยา) ซึ่งขณะนี้กำลังได้รับผลกระทบจากไฟป่าและการเผาพื้นที่ทำการเกษตร โดยพบค่าฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน สูงเกินค่ามาตรฐาน 120 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร โดยพบว่ามีค่ามากกว่า 250 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นสถานการณ์ที่รุนแรงที่สุดในประเทศในขณะนี้

แหล่งกำเนิด และส่วนประกอบของฝุ่นละอองขนาดเล็ก ฝุ่นละอองในบรรยากาศประกอบด้วยสาร

ต่าง ๆ ทั้งที่เป็นของแข็ง และของเหลวที่กระจายอยู่ในบรรยากาศ มีขนาดตั้งแต่ 0.002 ไมครอน (เป็นกลุ่มของโมเลกุลที่มองด้วยตาเปล่าไม่เห็นต้องใช้กล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน) ไปจนถึงฝุ่นที่มีขนาดใหญ่กว่า 500 ไมครอน (ฝุ่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่ามีขนาดตั้งแต่ 50 ไมครอนขึ้นไป) ฝุ่นละอองขนาดเล็กสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ขนาด คือ ฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน แต่ใหญ่กว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{10-2.5}$) ฝุ่นละอองที่มีขนาดเท่ากับหรือเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 0.1 ไมครอน ($PM_{0.1}$) ซึ่งฝุ่นแต่ละขนาดล้วนมีความแตกต่างกันทั้งแหล่งที่มา กลไกการเกิด องค์ประกอบ ค่าครึ่งชีวิตในบรรยากาศ และระยะทางการแพร่กระจายในบรรยากาศ

ฝุ่นที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน มีขนาดเล็กมาก เมื่อเทียบกับโครงสร้างเซลล์ของระบบทางเดินหายใจและเส้นผม และจะนำมาซึ่งผลอันไม่พึงประสงค์ต่อระบบทางเดินหายใจ (รูปที่ 1)



(ก)



(ข)

รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็กและโครงสร้างระดับเซลล์ในปอดและเส้นผม

ก) ฝุ่นขนาด 10, 1, 0.1 ไมครอน ถูกแสดงเปรียบเทียบกับ Bronchial epithelium (ฝุ่นขนาด 0.1 ไมครอน ซึ่งเป็นฝุ่นละเอียด มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น) (ที่มา: Donaldson *et al.*, 2001)³

ข) ฝุ่นขนาด 10 และ 2.5 ไมครอน ถูกแสดงเปรียบเทียบกับเส้นผม (ดัดแปลงจาก Lipsett M., 2002)⁴

ฝุ่นละอองขนาดเล็ก มักพบในปริมาณมากในบรรยากาศในเขตเมือง การเพิ่มขึ้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กในบรรยากาศ พบว่ามีความสัมพันธ์กับผลอันไม่พึงประสงค์ต่อสุขภาพ ซึ่งมีหลักฐานยืนยันเป็นที่แน่ชัด (box 1)^{3,5} ส่วนประกอบของฝุ่นละอองขนาดเล็ก ไม่เป็นพิษทั้งหมด แต่ประกอบด้วย

ส่วนประกอบของซัลเฟต ไนเตรต คลอไรด์ แอมโมเนียม สารประกอบคาร์บอน โลหะและฝุ่น⁶ ดังนั้นเราจึงหันไปสนใจส่วนประกอบที่มีศักยภาพทำให้เกิดพิษ จากข้อมูลทางพิษวิทยาและระบาดวิทยาพบว่า ฝุ่นละเอียด (ultrafine particle) ที่เป็นส่วนประกอบหนึ่งในฝุ่นละอองขนาดเล็ก ดูเหมือนจะ

เป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดความเป็นพิษ ส่วนประกอบอื่นๆ ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก ซึ่งทำให้เกิดผลอันไม่พึงประสงค์ในระดับปานกลางคือโลหะธาตุ ทรานซิชัน และสารเอ็นโดท็อกซิน

ฝุ่นละอองขนาดเล็ก เป็นส่วนผสมที่ซับซ้อนของฝุ่นในบรรยากาศ ซึ่งประกอบด้วยเกลือ โลหะ ฝุ่นละออง และสารชีวภาพต่างๆ ผลอันไม่พึงประสงค์ต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กได้แก่

- การใช้ยา/เข้ารับการรักษาที่เพิ่มขึ้นเพื่อรักษาอาการหอบหืด
- การเกิดโรคทางเดินหายใจอุดกั้นเรื้อรัง (chronic obstructive pulmonary disease; COPD)
- การเข้าโรงพยาบาลด้วยสาเหตุของระบบหัวใจและหลอดเลือด
- การเสียชีวิตจากภาวะหัวใจล้มเหลว
- การเสียชีวิตจากสาเหตุของระบบทางเดินหายใจ

ความไวรับของบุคคลต่อฝุ่นละอองขนาดเล็ก

ผลต่อสุขภาพแบบเฉียบพลันของฝุ่นละอองขนาดเล็ก พบได้ในกลุ่มคนไวรับ แต่ไม่พบในกลุ่มคนทั่วไปที่มีสุขภาพดียกเว้นแต่รับสัมผัสที่ปริมาณความเข้มข้นที่สูง^๖ ส่วนประกอบของฝุ่นละอองขนาดเล็กโดยทั่วไปแล้วไม่เป็นพิษมาก แต่ปอดของกลุ่มคนไวรับ อาจจะตอบสนองมากกว่าคนปกติจากการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็ก ซึ่งอาจเป็นผลมาจากฝุ่นละอองมากที่ปนอยู่ในส่วนประกอบของฝุ่นละอองขนาดเล็ก ปอดของเด็กที่อายุต่ำกว่า 18 ปี ผู้ใหญ่ที่อายุ 65 ปีขึ้นไป คนที่เป็นโรคปอดเรื้อรัง เช่น หอบหืด (asthma) หลอดลมอักเสบเรื้อรัง (chronic bronchitis) ถุงลมโป่งพอง (emphysema) คนที่เป็นโรคเกี่ยวกับหลอดเลือดและหัวใจ คนที่เป็นโรคเบาหวานคนที่มีความผิดปกติของปอด น่าจะมีปัจจัยไวรับ (factor of susceptibility) ซึ่งคนที่ปกติไม่มี อันจะนำไปสู่การตอบสนองที่มากเกินไปจากการรับสัมผัสดังกล่าว

ความไวรับของแต่ละบุคคล เป็นหนึ่งในปัจจัยที่จะบ่งชี้ถึงอันตรายจากการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็ก ปัจจัยที่ทำให้บุคคลที่ไวรับมีความเสี่ยงมากกว่าคนทั่วไป

สามารถแบ่งออกได้เป็นกลุ่มๆ บนพื้นฐานเชิงพิษวิทยา ตามการรับสัมผัส : ปริมาณ (dose) และการตอบสนอง (response)

ความไวรับต่อการรับสัมผัส (susceptibility to exposure)

ความแตกต่างในความไวรับต่อฝุ่นละอองขนาดเล็ก อาจเนื่องมาจากปริมาณการรับสัมผัส ตัวอย่างที่ชัดเจนในเรื่องนี้ เช่น เด็กที่อาศัยใกล้ทางด่วน หรืออาศัยในเมืองมีโอกาสรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กมากกว่าคนที่อาศัยนอกเมือง ส่วนประกอบของฝุ่นละอองขนาดเล็ก อาจจะแตกต่างกัน โดยในเมืองฝุ่นส่วนใหญ่เป็นฝุ่นที่มาจากการจราจร⁷ นอกจากนั้น คนที่สูบบุหรี่หรือเด็กที่อาศัยอยู่ในบ้านที่มีการสูบบุหรี่ อาจได้รับฝุ่นละอองมาก (ultrafine particles) และส่วนประกอบอื่นๆ ในควันบุหรี่มากกว่าคนที่ไม่สูบบุหรี่หรือไม่ได้อยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีควันบุหรี่ ดังนั้น เหล่านี้จึงเป็นปัจจัยที่เพิ่มความไวรับต่อฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM₁₀)

ความไวรับต่อปริมาณที่เพิ่มขึ้น (susceptibility to increased dose)

ในการรับสัมผัสฝุ่น ปริมาณที่ได้รับจะเป็นตัวกำหนดการสะสมและการกำจัดออกจากร่างกาย โดยขนกวัดในทางเดินหายใจ (mucociliary escalator) และเซลล์แมคโครฟาส (macrophage cell) การสะสมขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ความลึกและความถี่ของการหายใจ รวมทั้งขนาดและกายวิภาคของทางเดินหายใจด้วย^๖ ความแตกต่างในการทำหน้าที่กำจัดฝุ่นของแมคโครฟาสในเด็กทารกยังทำหน้าที่ได้ไม่สมบูรณ์ ซึ่งอาจทำให้เกิดสารอนุมูลอิสระ (reactive oxygen species; ROS)^๘ ดังนั้นการกำจัดฝุ่นจากปอดของเด็กทารกจะน้อยเมื่อเทียบกับในผู้ใหญ่ ส่วนปัจจัยอื่นๆ ซึ่งมีแนวโน้มที่จะเพิ่มปริมาณฝุ่นในอวัยวะเป้าหมาย เช่น เยื่อบุทางเดินหายใจและเนื้อปอด (epithelium & interstitium) ก็อาจนำไปสู่ภาวะไวรับได้

ความไวรับต่อการตอบสนอง (susceptibility to response)

คนที่มีโรค เช่น การอักเสบที่ปอด (หอบหืด พังผืดที่ถุงลม) หรือการติดเชื้อ จะมีความไวรับมากกว่า

คนที่มีความแข็งแรง เชื้ออุปโลกหรือเซลล์เม็ดเลือดขาวจะเตรียมพร้อมเพื่อตอบสนองที่มากเกินไปเมื่อได้รับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็ก ซึ่งจะทำให้อาการของโรคที่เป็นอยู่แล้วกลับแย่หนักลงไปอีก มีหลักฐานแสดงสำหรับกลุ่มคนที่ไวรับกับข้อมูลการเสียชีวิตด้านระบาดวิทยา¹⁰ มีงานวิจัยแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงอัตราการเต้นของหัวใจเมื่อได้รับฝุ่นในปริมาณมาก ๆ¹¹ และนี่เองนำไปสู่อาการโรคหัวใจวาย ความไวรับต่อการตอบสนองอาจเกี่ยวข้องกับปัจจัยด้านพันธุกรรมอีกด้วย¹¹

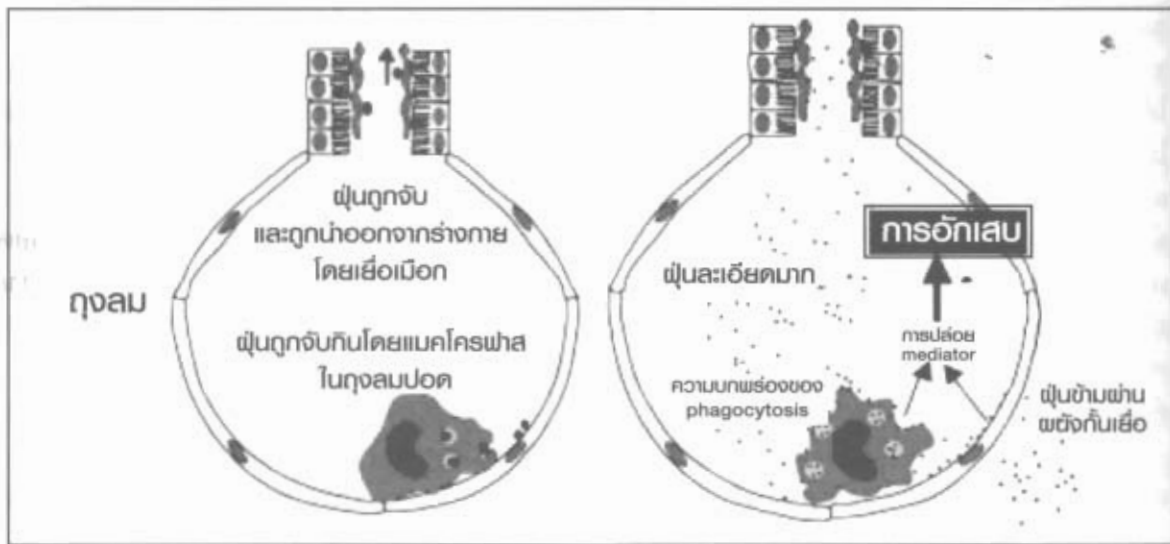
กลไกการเกิดการอักเสบหรือเกิดพิษที่ปอด

เมื่อคนหายใจเอาฝุ่นเข้าไปในปอดส่วนหนึ่ง จะเกิดปฏิกิริยาระคายเคือง โดยมีผลทำให้เชื้ออณูและหลอดลมอักเสบแบบเรื้อรัง ทำให้เกิดการสร้างพังผืด และกลไกของโรคหอบและโรคปอดอักเสบที่เกิดการคั่งของเสมหะและเมือก บทบาทของการเกิด oxidative stress และการกระตุ้นการแสดงออกของไซโตไคน์โดยเซลล์แมโครฟาจ (macrophage cells) และเซลล์เยื่อทางเดินหายใจ (epithelial cells) อันจะนำไปสู่การอักเสบของระบบทางเดินหายใจ (รูปที่ 2) ฝุ่นที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน เป็นตัวกระตุ้นสำคัญที่จะปล่อยตัวส่งสาร (mediator) ซึ่งจะนำมาซึ่งผลอันไม่พึงประสงค์ (adverse effect) ต่อระบบทางเดินหายใจ โดยจะไปมีผลต่อการทำหน้าที่ของแมโครฟาจในการเก็บกินฝุ่นแบคทีเรียฟากโอไซโตซิส (phagocytosis) ฝุ่นละเอียดจะไปกับยั้งกระบวนการฟากโอไซโตซิส ทำให้เกิดการสะสมฝุ่นในปอด การตอบสนองของร่างกายต่อฝุ่นละเอียด ซึ่งเป็นส่วนประกอบในฝุ่นละอองขนาดเล็กจะแตกต่างกันไปจากฝุ่นละอองขนาดเล็ก โดยจะมีทั้งในและนอกเซลล์แมโครฟาจจะมีการปล่อยตัวส่งสาร (mediator) จากเซลล์แมโครฟาจ และเซลล์เยื่อทางเดินหายใจ เนื่องจากมีการกระตุ้นสัญญาณ อันจะนำไปสู่การอักเสบ การเพิ่มการทำปฏิกิริยาระหว่างฝุ่นกับเยื่อทางเดินหายใจ จะนำไปสู่การเคลื่อนของฝุ่นไปที่เนื้อปอด

การคั่งค้างของฝุ่นละอองขนาดเล็ก เกิดจากความล้มเหลวของเม็ดเลือดขาวที่จะจับและทำลายฝุ่น

ละอองขนาดเล็ก ทำให้เกิดการอักเสบของถุงลมปอดจากการกระตุ้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก กระบวนการเกิดการอักเสบของปอด พบได้จากการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในพลาสมาที่จะกลายเป็นไฟบรินและมีจำนวนเม็ดเลือดขาวที่เพิ่มขึ้น นอกจากนั้น เม็ดเลือดขาวที่ถูกกระตุ้นจะนำไปสู่กระบวนการตกตะกอนของเลือดโดยโปรตีนในพลาสมา จะเปลี่ยนไปเป็นไฟบริน (ไฟบรินเจน) ที่เกี่ยวข้องกับการแข็งตัวของเลือด ซึ่งหลั่งออกมาจาก pneumatocytes เนื่องจากการอักเสบของเซลล์ถุงลมในปอด มีส่วนส่งเสริมให้เกิดการตกตะกอนของเลือด และการจับตัวเป็นลิ่มของทางเดินโลหิต (clotting pathway) และเป็นสาเหตุของอุบัติการณ์ของโรคหัวใจล้มเหลว

อนุภาคฝุ่นที่สะสมมากขึ้นจะอุดกั้นถุงลมและหลอดลมขนาดเล็ก ทำให้ปอดเสื่อมสมรรถภาพในการทำงานเกิดการขยายตัวของปอดจากการสูญเสียความยืดหยุ่นของถุงลมและหลอดลม ทำให้เกิดโรคถุงลม / หลอดลมโป่งพอง หรือภาวะปอด / หลอดลมอุดตัน หรือ Chronic Obstructive Pulmonary Disease; COPD อนุภาคฝุ่นที่สะสมร่วมกับการสร้างพังผืดในปอดทำให้เกิดภาวะปอดแข็ง หรือ Pneumoconiosis ภาวะปอด / หลอดลมอุดกั้นและภาวะปอดแข็งจะทำให้ปอดเสื่อมสมรรถภาพ โดยทำให้ปริมาตรและความเร็วในการหายใจเข้าออกลดลง มีการตึงตัวของอากาศในปอดมากขึ้น การวัดโดยเครื่อง Spirometer พบว่า FEV₁ (Forced Expiratory Volume at one second) และ FVC (Forced Vital Capacity) มีค่าลดลงจากการศึกษาวิจัยพบว่า ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM₁₀) ที่เพิ่มขึ้น 10 µg/m³ ทำให้เกิดอาการความผิดปกติของระบบทางเดินหายใจส่วนบน 0.7% อาการระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง 3.0% อาการไอ 2.5% และมีผลต่อสมรรถภาพการทำงานของปอดโดยลดค่า FEV₁ 0.15% และลดค่า PEF (Peak Expiratory Flow) 0.08%¹²



รูปที่ 2 แสดงเหตุการณ์เมื่อมีการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM_{10} - coarse particle)

(ก) เปรียบเทียบกับฝุ่นละเอียดมาก ($PM_{0.1}$ - ultrafine particle)

(ข) โดยกระบวนการฟาโกไซโตซิส (phagocytosis) และการกำจัดฝุ่น (clearance) ที่สะสมในถุงลมปอดและทางเดินหายใจออกจากร่างกาย^{11, 13}

โรคหรือผลกระทบทางสุขภาพที่เกิดจากการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็ก

ฝุ่นละอองขนาดเล็ก สามารถผ่านเข้าไปในระบบทางเดินหายใจได้ลึก โดยระบบทางเดินหายใจส่วนต้น เช่น จมูก ไม่สามารถที่จะกรองเพื่อไม่ให้เข้าไปในระบบทางเดินหายใจส่วนปลายได้ ฝุ่นละอองขนาดเล็ก จึงมีอันตรายมากกว่าฝุ่นขนาดใหญ่ มีหลักฐานแน่ชัดว่าฝุ่นละอองขนาดเล็กมีผลกระทบต่อสุขภาพประชาชนทั้งในเมืองของประเทศที่พัฒนาแล้ว และประเทศที่กำลังพัฒนา โดยมีผลต่อระบบทางเดินหายใจและระบบหัวใจและหลอดเลือด ไม่มากนักน้อยสำหรับประชาชนที่สูดดมเข้าไป โดยเฉพาะในกลุ่มเสี่ยงซึ่งได้แก่ เด็ก คนชรา และคนที่มีโรคของระบบทางเดินหายใจ เช่น โรคภูมิแพ้ โรคหอบหืด เป็นต้น

ฝุ่นมีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ 3 ทาง ได้แก่ (1) ความเป็นพิษอันเนื่องจากองค์ประกอบทางเคมี หรือลักษณะทางกายภาพของฝุ่น (2) ฝุ่นเข้าไปรบกวนระบบทางเดินหายใจ และ (3) ฝุ่นเป็นตัวพาหรือดูดซับสารมลพิษและพาเข้าสู่ร่างกาย ผลกระทบต่อสุขภาพขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของ

สารพิษที่ได้รับจากการสูดดมหรือหายใจเข้าไป ความเจ็บป่วยที่พบว่ามีความสัมพันธ์กับมลพิษอากาศทั้งภายนอกและภายในอาคาร ได้แก่ การติดเชื้อระบบทางเดินหายใจ ปอดอักเสบเฉียบพลัน โรคปอดอักเสบเรื้อรัง และโรคหอบหืด รวมทั้งผลอันไม่พึงประสงค์อื่นๆ ของฝุ่นละอองขนาดเล็กต่อระบบทางเดินหายใจ¹⁴ ซึ่งได้แก่

- เพิ่มอัตราการตายของประชากร
- เพิ่มอุบัติการณ์การเป็นมะเร็งปอด
- เพิ่มความถี่ของอาการโรคหอบหืด
- เพิ่มอุบัติการณ์การติดเชื้อระบบทางเดินหายใจ

ส่วนล่างและการติดเชื้อแบบเฉียบพลันของระบบทางเดินหายใจส่วนบน

● ระคายเคืองตา จมูก และทรวงอก ซึ่งทำให้เกิดการรบกวนการทำงานของระบบทางเดินหายใจในภาวะปกติ

● เพิ่มความชุก / อุบัติการณ์อาการแน่นหน้าอก อาการไอ และมีเสมหะ

- เพิ่มความชุกของการหายใจมีเสียงวี๊ด

● เปลี่ยนแปลงการทำหน้าที่และโครงสร้างของปอด โดยลดค่า FEV₁ หรือ FVC ซึ่งสัมพันธ์กับการเกิดอาการทางคลินิก

● เพิ่มอาการกำเริบของผู้ที่ป่วยเป็นโรคหัวใจและปอดเรื้อรัง

- เพิ่มอัตราความถี่ การเข้ารับรักษาตัวที่โรงพยาบาล

- เพิ่มการใช้ยา

- ลดการทำงานของปอด

Vichit-Vadakan N. และคณะ¹³ ทำการศึกษาแบบ Panel studies ถึงผลกระทบของฝุ่น PM₁₀ และ PM_{2.5} ต่ออาการระบบทางเดินหายใจของประชากร 3 กลุ่มในกรุงเทพฯ ได้แก่ กลุ่มผู้ใหญ่ กลุ่มเด็ก ซึ่งได้รับสัมผัสมลพิษอากาศในปริมาณสูง และกลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มพยาบาล โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ ซึ่งทำงานอยู่ในห้องปรับอากาศและพักในหอพักใกล้โรงพยาบาล จึงรับสัมผัสมลพิษอากาศในปริมาณที่ต่ำกว่า 2 กลุ่มแรก พบว่า มีความสัมพันธ์ระหว่าง PM₁₀ และ PM_{2.5} และอาการระบบทางเดินหายใจของทั้ง 3 กลุ่ม โดยมีผลกระทบต่อกลุ่มผู้ใหญ่ > พยาบาล > กลุ่มเด็ก

Watchalayann P. และคณะ¹⁴ ศึกษาการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM₁₀) ที่ตัวบุคคล, ในอาคารและนอกอาคารในผู้ที่ไม่สูบบุหรี่ที่อาศัยในตึกซึ่งตั้งอยู่ริมถนนสุขุมวิท พบว่ามีค่าเท่ากับ 81.6, 74.8 และ 130.7 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร, ตามลำดับ โดยค่าที่ตรวจวัดในฤดูหนาวสูงกว่าฤดูร้อนและฤดูฝน ซึ่งมีค่าความแปรผันของข้อมูลขึ้นต่อชั้น (floor to floor) โดยพบค่าสูงสุดที่ชั้นล่างของ shop house ความสัมพันธ์ระหว่างการรับสัมผัสที่ตัวบุคคลกับปริมาณฝุ่นนอกอาคารมีค่าเท่ากับ 0.706

Langkulsen U. และคณะ¹⁵ ศึกษาอาการระบบทางเดินหายใจและการทำหน้าที่ของปอดในเด็กนักเรียนในกรุงเทพฯ พบว่า เด็กที่อาศัยอยู่ริมถนน (R) และพื้นที่ทั่วไป (G) ที่เป็นพื้นที่ที่มีมลพิษมาก จะมีความชุกของอาการระบบทางเดินหายใจสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (R,OR=2.44; G,OR=2.60)

ที่พักอาศัยและสมาชิกในครอบครัวมีความสัมพันธ์กับความชุกของอาการระบบทางเดินหายใจ ในขณะที่ปัจจัยอื่นๆ เช่น เพศ อายุ ขนาดบ้าน การสูบบุหรี่ของผู้ปกครอง การใช้เครื่องปรับอากาศในบ้าน และสัตว์เลี้ยงในบ้าน ไม่มีความสัมพันธ์กับความชุกของอาการระบบทางเดินหายใจ

Chuersuwan N. และคณะ¹⁶ ทำการศึกษาปริมาณและแหล่งการรับสัมผัสฝุ่น PM₁₀ และ PM_{2.5} ในกรุงเทพมหานคร โดยทำการตรวจวัด 4 สถานี พบว่าค่าปริมาณฝุ่น PM₁₀ และ PM_{2.5} เฉลี่ย 24 ชั่วโมงมีค่าสูงสุดที่สถานีที่มีการจราจรหนาแน่น (สถานีดินแดง) ส่วนอีก 2 สถานีซึ่งเป็นย่านที่พักอาศัยมีค่าใกล้เคียงกัน (สถานีจันทรมุขและสถานีบ้านสมเด็จเจ้าพระยา) โดยแหล่งของฝุ่น PM₁₀ ในสถานีที่มีการจราจรหนาแน่นส่วนใหญ่มาจากการปลดปล่อยจากยานพาหนะ (~33%) และการเผาไหม้ (~33%) ส่วนอีก 2 สถานีที่อยู่บริเวณย่านที่พักอาศัย แหล่งการปลดปล่อยที่มาจากยานพาหนะ 39 & 22%, มาจากการเผาไหม้ 36 & 28%, จากการประกอบอาหาร ~10-15% สำหรับแหล่งของฝุ่น PM_{2.5} ในสถานีที่มีการจราจรหนาแน่น ส่วนใหญ่มาจากการปลดปล่อยจากยานพาหนะ (~32%) และการเผาไหม้ (~26%) ส่วนอีก 2 สถานีที่อยู่บริเวณย่านที่พักอาศัย แหล่งการปลดปล่อยฝุ่น PM_{2.5} ส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ ส่วนสถานีที่มีค่าปริมาณฝุ่น PM₁₀ และ PM_{2.5} เฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่ำสุด (สถานีบางนา) แหล่งการปลดปล่อยฝุ่น PM_{2.5} ส่วนใหญ่มาจากการประกอบอาหาร (31%) จากยานพาหนะ, การเผาไหม้ และฝุ่นบนท้องถนน พบเพียง 10, 6 และ 5% ตามลำดับ ปริมาณฝุ่น PM₁₀ และ PM_{2.5} มีลักษณะแปรผันตามฤดูกาล โดยมีปริมาณ PM₁₀ และ PM_{2.5} สูงในช่วงฤดูแล้งและลดต่ำในช่วงฤดูฝน

Phatrabuddha N. and Maharatchapong N.¹⁷ ศึกษาผลกระทบจากการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมในเด็กนักเรียนจ.ชลบุรี พบว่า ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM₁₀ และ PM_{2.5} ที่ตรวจวัดระหว่งที่ได้อยู่ในระดับที่ไม่เกิน

ค่ามาตรฐานบรรยากาศภายนอกอาคาร โดยปริมาณฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศในบริเวณโรงเรียนและบริเวณริมถนนหน้าโรงเรียนของโรงเรียนในเมืองมีค่าสูงกว่าโรงเรียนนอกเมืองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$ (17.41 ± 6.02 และ 9.16 ± 1.69 , 31.38 ± 10.56 และ 12 ± 1 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ) และเด็กนักเรียนในเขตเมืองมีปริมาณการรับสัมผัสฝุ่น PM_{10} ที่ตัวเด็กนักเรียนเฉลี่ย 8 ชั่วโมง สูงกว่าโรงเรียนควบคุมที่อยู่นอกเมืองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.001$ (114.21 ± 11.24 และ 37.66 ± 4.95 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร) เด็กที่อาศัยในพื้นที่เขตเมืองมีค่าการตรวจวัดสมรรถภาพปอดที่ไม่แตกต่างจากเด็กนักเรียนนอกเมืองและ ปริมาณการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่พบว่ามีความสัมพันธ์กับการลดลงของสมรรถภาพการทำงานของปอด ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับสมรรถภาพปอดของเด็ก ได้แก่ เพศ อายุ น้ำหนักส่วนสูง ที่ตั้งของโรงเรียน การรับสัมผัสควันบุหรี่และการรับสัมผัสฝุ่นจากการทำความสะอาดบ้าน

หลักฐานทางระบาดวิทยามักมาโดยทั่วไปจะชี้ให้เห็นว่า ฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM_{10} เป็นตัวการที่ทำให้เกิดการตอบสนองต่อการอักเสบของทางเดินหายใจ มีผลทำให้ลดการทำงานของปอดและทำให้มีอาการอักเสบที่เฉียบพลัน แต่ไม่ใช่สาเหตุเบื้องต้นของอาการหอบหืด²⁰ แม้ว่า ผลเชิงพิษวิทยาแบบรวมฤทธิ์ (additive effect) หรือเสริมฤทธิ์ (synergistic effect) กับสารมลพิษตัวอื่นๆจะทำให้ลดไปได้ แต่วิธีการเชิงระบาดวิทยาก็สามารถที่จะได้ข้อมูลเกี่ยวกับปฏิกิริยาดังกล่าวได้

ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณความเข้มข้นและการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็ก

1. อายุ / วัย หรือปัจจัยทางสรีรวิทยา ปริมาณการดูดซึมสารเคมี ปัจจัยจากพฤติกรรมของเด็ก การที่เด็กอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความเสี่ยงต่อการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็ก พฤติกรรมของเด็ก กิจกรรมที่เด็กกระทำ ตลอดจนอาหารและพฤติกรรมการรับประทานอาหาร

2. ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นในอาคารขึ้นอยู่กับปัจจัยและกลไกต่างๆ ได้แก่ ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมทั้งในและอาคาร อัตราการแลกเปลี่ยนของอากาศ กลไกการกำจัดฝุ่นโดยกระบวนการทางกายภาพ หรือผลของการระบายอากาศหรือระบบเครื่องปรับอากาศในอาคาร

3. ค่าเฉลี่ยการรับสัมผัสฝุ่นที่ตัวบุคคล ขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นในสิ่งแวดล้อมย่อยและระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละสิ่งแวดล้อมย่อยนั้นๆ ทั้งในอาคารและนอกอาคาร ซึ่งโดยเฉลี่ยคนทั่วไปจะใช้เวลาในอาคารประมาณ 90% (ที่บ้านและที่ทำงาน) และใช้เวลานอกอาคารประมาณ 6%¹

4. อัตราส่วนของการรับสัมผัสฝุ่นที่ตัวบุคคล ต่อปริมาณความเข้มข้นฝุ่นนอกอาคาร มีความแปรผันระหว่างบุคคลและในแต่ละบุคคล (intra and inter personal variation) ความผันแปรนี้เกิดเนื่องจากแหล่งที่มาของฝุ่นในแต่ละสิ่งแวดล้อมย่อยและฝุ่นที่แต่ละบุคคลได้รับสัมผัส และความแปรผันของผลของฝุ่นนอกอาคารที่มีต่อฝุ่นในอาคาร

5. ลักษณะของอาคาร/บ้านพักอาศัย เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยการรับสัมผัสและปริมาณความเข้มข้นฝุ่นในบรรยากาศ อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศเป็นสิ่งที่ใช้อธิบายถึงความแปรผันระหว่างบุคคลและในแต่ละบุคคล

6. เนื่องจากบ้านเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่มีผลต่อการรับสัมผัสของบุคคล ดังนั้น ความสัมพันธ์ระหว่างการรับสัมผัสฝุ่นที่ตัวบุคคลกับปริมาณความเข้มข้นฝุ่นในบรรยากาศ จึงแปรผันไปตามฤดูกาลและสภาพทางภูมิศาสตร์

7. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นฝุ่น การรับสัมผัสฝุ่น และผลต่อสุขภาพขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้น ส่วนประกอบและความเป็นพิษของฝุ่น ซึ่งมีแหล่งที่มาที่แตกต่างกัน

นอกจากนั้น ปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคระบบทางเดินหายใจในเด็ก ได้แก่

1. ลักษณะทางพันธุกรรม ที่สำคัญ คือ ยีนส์ที่ทำให้เกิดการขาดสาร α_1 -antitrypsin ซึ่งมีรายงานว่า

พบได้ในประเทศไทย²¹ แต่ยังไม่มียารักษาผู้ป่วยจากโรคนี้จริง

2. ปัจจัยด้านภาวะแวดล้อม เช่น ควันบุหรี่ มลภาวะในบ้าน ที่โรงเรียน และที่สาธารณะ ที่สำคัญคือการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวลในการประกอบอาหาร (biomass fuel) และไอเสียจากเครื่องจักรกลต่าง ๆ (diesel exhaust)

3. การติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจ การศึกษาวิจัยที่ผ่านมา^{22, 23} มีข้อมูลบ่งชี้ว่า การติดเชื้อของระบบทางเดินหายใจส่วนล่างในวัยเด็กจะมีผลทำให้มีการสมรรถภาพปอดลดลงเมื่อเข้าสู่วัยผู้ใหญ่

4. ฐานะทางเศรษฐกิจของครอบครัว พบมีความชุกมากขึ้นในกลุ่มเด็กที่มีเศรษฐกิจต่ำ

การจัดการความเสี่ยงต่อการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็ก

โดยทั่วไปการจัดการความเสี่ยงต่อการรับสัมผัสสารพิษที่หายใจเข้าสู่ร่างกายที่ถูกต้อง เราต้องทราบถึงอันตราย (hazard) และความเป็นพิษ (intrinsic toxicity) ของสารนั้น ๆ เสียก่อน เช่นในกรณีของฝุ่นละอองขนาดเล็ก แ่งมุมต่างๆ ที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้เป็นสิ่งที่ต้องทราบเพื่อที่จะหามาตรการเพื่อจัดการเพื่อลดความเสี่ยงต่อการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กต่อไป

การตรวจวัดเชิงกายภาพ

- ปริมาณความเข้มข้นที่ปนเปื้อนในบรรยากาศ (total airborne mass concentration; $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- จำนวนฝุ่น (particle number concentration; millions of particles/ m^3)
- พื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface area; m^2/m^3)

การตรวจวัดเชิงเคมี

- ปริมาณความเข้มข้นของ PAH ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- ปริมาณความเข้มข้นของ Sulfate ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- อื่นๆ

ทางเลือกที่เราจะใช้เพื่อจัดการความเสี่ยงขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น

- ฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM_{10} ทำให้เกิดอันตรายต่อปอดอย่างไร
- ในทางปฏิบัติ จะทำการตรวจวัดอย่างไร
- อวัยวะที่จะได้รับอันตรายจากการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กอาจมีหลายตำแหน่ง

ปัญหาอยู่ที่ว่าการตรวจวัดส่วนมากจะเป็นการตรวจวัดจุดเล็ก ๆ ในส่วนผสมทั้งหมด เช่น PAHs เป็นเพียงส่วนหนึ่งในส่วนประกอบของฝุ่นละอองขนาดเล็ก แต่มีศักยภาพสูงในการก่อมะเร็ง

ฝุ่นละอองขนาดเล็กมีแหล่งกำเนิดหลากหลาย ทำให้การออกมาตรการเพื่อลดฝุ่นทำได้ยาก โดยแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองที่สำคัญได้แก่ ยานพาหนะ ฝุ่นละอองแขวนลอยคงค้างในถนน ฝุ่นจากการก่อสร้าง และอุตสาหกรรม สำหรับในพื้นที่ชนบท แหล่งกำเนิดฝุ่นละอองที่สำคัญ คือ การเผาไหม้ในภาคเกษตรกรรม ฝุ่นละอองขนาดเล็กมีปริมาณสูง อาจเกิดจากเหตุผลสำคัญ คือ ความเร็วลมต่ำ ซึ่งมักเกิดในสภาพอากาศที่หนาวเย็น และค่าความสูงของการกระจายตัวของมวลสารต่างๆ ในอากาศต่ำ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยเสริมอื่นๆ ที่ส่งผลทำให้ปัญหาฝุ่นละอองมีความรุนแรงขึ้นได้แก่ สภาพทางอุตุนิยมวิทยาและลักษณะพื้นที่ กล่าวคือ ในฤดูหนาวจะพบปริมาณฝุ่นละอองจะสูงกว่าฤดูอื่น^{16, 24} เนื่องจากอากาศมีสภาพนิ่ง ไม่กระจายตัวทำให้เกิดการสะสมของฝุ่นละอองเหล่านี้ สำหรับปัจจัยด้านลักษณะพื้นที่ๆ โดยมีสิ่งก่อสร้าง เช่น อาคาร บ้านเรือน หรือสิ่งกีดขวางในบริเวณใกล้เคียงหรือมีสภาพเป็นหุบเขา การกระจายตัวของอากาศก็จะไม่ดีเช่นเดียวกัน ย่อมส่งผลให้ฝุ่นละอองสูงกว่าบริเวณพื้นที่อื่น

เพื่อปกป้องความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชาชนจากการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็ก กรมควบคุมมลพิษจึงได้ออกประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5

ไมโครน ในบรรยากาศโดยทั่วไป เป็น 2 ระดับ คือ ระยะสั้น 24 ชั่วโมง ค่าเฉลี่ยต้องไม่เกิน 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และระยะยาวในเวลา 1 ปี ค่าเฉลี่ยต้องไม่เกิน 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรเพื่อเป็นการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมและเพิ่มระดับการป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน²⁵

เอกสารอ้างอิง

1. U.S.EPA. Air Quality Criteria for Particulate Matter. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. EPA 600/P-99/002aF-bF. 2004. ?cited Dec 10, 2008?. Available from: URL: <http://cfpub.epa.gov/neca/cfm/recordisplay.cfm?deid=87903>.
2. Wilson WE, Suh HH. Fine particles and coarse particles: concentration relationships relevant to epidemiologic studies. *J Air Waste Manag Assoc.* 1997; 47(12): 1238-49
3. Donaldson K, Stone V, Clouter A, Renwick L, MacNee W. Ultrafine particle. *Occup Environ Med.* 2001; 58: 211-216.
4. Lipsett M. Health effects of air pollution. 2002. ?cited Nov 9, 2008?. Available from: URL: <http://www.epa.gov/airnow/presentations2002/lipsett.ppt>
5. Pope C A, Dockery DW, Kanner RE, Villegas GC, Schwartz J. Oxygen saturation, pulse rate, and particulate air pollution: a daily time-series panel study. *Am J Respir Crit Care Med.* 1999; 159: 365-372.
6. Quality of Urban Air Review Group (QUARG). Airborne particulate matter in the United Kingdom: 3rd report of the Quality of Urban Air Review Group. London: Quality of Urban Air Review Group 1996.
7. Van Vliet P, Knape M, de Hartog J, Harssema H, Brunekreef B. Motor vehicle exhaust and chronic respiratory symptoms in children living near freeways. *Environ Res.* 1997; 74:122-132.
8. Birchall A, Bailey MR, James AC. LUDEP : a lung dose evaluation program. *Radiat. Protect Dosim.* 1991; 38: 167-174.
9. Delacourt C, Harf A, Lafuma C. Developmental aspects of alveolar macrophage functions involved in pulmonary defenses. *Pediatr Pulmonol.* 1997; 16 (Suppl.): 211-212.
10. Schwartz J, Dockery DW, Neas LM, et al. Acute effects of summer air pollution on respiratory symptom reporting in children. *Am J Respir Crit Care Med* 199 ; 150: 1234-1242.
11. Stone V. Environmental Air Pollution. *Am J Respir Crit Care Med.* 2000; 162 (2): S44-S47
12. Malo JL, Cartier A, Côté J, Milot J, Leblanc C, Paquette L, et al. Influence of inhaled steroids on the recovery of occupational asthma after cessation of exposure: an 18 month double-blind cross-over study. *Am J Respir Crit Care Med.* 1996; 153: 953-960.
13. Tran CL, Buchanan D, Cullen RT, Searl A, Jones AD, Donaldson K. Inhalation of poorly soluble particles: II Influences of particle surface area on clearance and inflammation. *Inhalation Toxicology.* 2000; 12: 101-15.
14. American Thoracic Society. What constitutes an adverse health effect of air pollution? *Am J Respir Crit Care Med.* 2000; 161: 665-673.
15. Vichit-Vadakan N, Ostro BD, Chestnut LG,

- Mills DM, Aekplakom W, Wangwongwatana S, Panich N. Air Pollution and Respiratory Symptoms: Results from Three Panel Studies in Bangkok, Thailand. *Environmental Health Perspectives* 2001; 109 (3): 381-387.
16. Watchalayann P, Srisatit T, Watts DJ, Rachadawong P. Exposure to PM₁₀ of shop house dwellers in Bangkok, Thailand. *Science Asia*. 2005; 31: 359-367.
17. Langkulsen U, Jinsart W, Karita K, Yano E. Respiratory symptoms and lung function in Bangkok school children. *Eur J Public Health*. 2006; 16 (6): 676-681.
18. Chuchsuwan N, Nimrat S, Lekphet S, Kerdkumrai T. Levels and major sources of PM_{2.5} and PM₁₀ in Bangkok Metropolitan Region. *Environ Int*. 2008; 34 (5): 671-7.
19. Phatrabuddha N. and Maharatchapong N. Full report: Impact Assessment of Environmental Exposure to PM₁₀ among Schoolchildren in Chonburi Province. 2009.
20. Van Vliet P, Knappe M, de Hartog J, Harksema H, Brunekreef B. Motor vehicle exhaust and chronic respiratory symptoms in children living near freeways. *Environ. Res.*1997; 74: 122-132.
21. J de Serres-F. Worldwide racial and ethnic distribution of α 1-antitrypsin deficiency. *Chest*. 2002; 122: 1818-1829.
22. Shaheen S. The beginnings of chronic airflow obstruction. *Br Med Bull* . 1997; 53(1): 58-70.
23. Shaheen SO, Barker DJ, Holgate ST. Do lower respiratory tract infections in early childhood cause chronic obstructive pulmonary disease? *Am J Respir Crit Care Med*. 1995; 151(5): 1649-51; discussion 1651-2.
24. Horak F., Studnicka M., Gartner C., Spengler JD., Tauber E., Urbanek R., Veiter A., Frischer T. Particulate matter and lung function growth in children: a 3-yr follow-up study in Australia schoolchildren. *Eur Respir J* 2002; 19: 838-845.
25. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 36 (พ.ศ.2553) เรื่องกำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนในบรรยากาศทั่วไป ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 127 ตอนพิเศษ 37 ง 24 มีนาคม 2553 หน้า 61