

ฟิสิกส์ของหยดละอองเพื่อการป้องกันการแพร่เชื้อโควิด 19

Physics of droplets for COVID-19 prevention

พรรณสิริ คำโอ* และ ชุตินา รัตนสุภา

สาขาวิชาฟิสิกส์ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

*Corresponding author E-mail: dpunsiri@mail.wu.ac.th

วันที่รับบทความ: 2 ตุลาคม 2563, วันที่แก้ไขบทความ: 28 ธันวาคม 2563, วันที่ตอบรับบทความ: 29 ธันวาคม 2563

บทคัดย่อ

บทความนี้ให้ความรู้แก่ผู้อ่านเกี่ยวกับวิธีการกระจายของหยดละอองที่เกิดจากกิจกรรมการหายใจ ขนาดการเปิดของช่องปาก ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิที่แตกต่างกัน จากงานวิจัยที่อ้างอิงไว้ในบทความนี้พบว่าหยดละอองขนาด $60 - 100 \mu\text{m}$ จากทางเดินหายใจสามารถระเหยหมดก่อนตกถึงพื้นในระยะห่างออกไป 2 m หากหยดละอองนี้มีเชื้อโรคปนเปื้อน หลังการระเหยเชื้อโรคงกล่าวก็จะล่องลอยปะปนไปในอากาศ หยดละอองเหล่านี้หลังจากถูกขับออกมาด้วยการจามที่อัตราเร็ว 50 m/s การไอที่ 10 m/s และการหายใจปกติที่ 1 m/s จากการศึกษาพบว่าหยดละอองสามารถเคลื่อนที่ออกไปได้ไกล 6 m , 2 m , และน้อยกว่า 1 m ตามลำดับ จากคนที่เป่าแหย่งกำนิคหยดละออง นอกจากนี้ยังได้นำเสนอการจำลองการเคลื่อนที่ของหยดละอองในรถยนต์ส่วนบุคคล ในรถโดยสาร และในศูนย์ดูแลสุขภาพเนื่องจากหยดละอองนี้อาจเป็นตัวนำพาเชื้อโรคออกจากตัวผู้ติดเชื้อไปยังคนอื่น ๆ ดังนั้นความเข้าใจเกี่ยวกับการกระจายของหยดละอองจะนำไปสู่การหาวิธีป้องกันการติดเชื้อไวรัส COVID-19 ที่มีประสิทธิภาพ ไม่ว่าจะเป็นการสวมใส่หน้ากากอนามัย ระยะห่างทางสังคมที่เหมาะสม เป็นต้น

คำสำคัญ: หยดละออง, โควิด-19, ระยะห่างทางสังคม, การจำลองการไหลของอากาศ, การติดเชื้อจากการหายใจ

Abstract

This article gives readers knowledge related to approaches for studying droplet distribution originated from different respiratory activities, sizes of opening mouth, relative humidities and temperatures. In cited papers, the studies reveal that the droplet sizes between 60 and 100 μm would totally evaporate before falling 2 m away. In case of contamination of disease in these droplets, after evaporation, the disease will be suspended in the air. These droplets expelled by sneezing at 50 m/s, coughing at 10 m/s, and breathing at 1 m/s can be carried more than 6, 2, and less than 1 m away from a human, the origin of the droplets, respectively. Furthermore, this article presents simulation of droplets motion in a car, bus, and health care center. These droplets may carry disease from an infected person to others. Understanding of droplet distribution leads ones to find effective methods to prevent humans from COVID-19 for example wearing mask, practicing social distancing, etc.

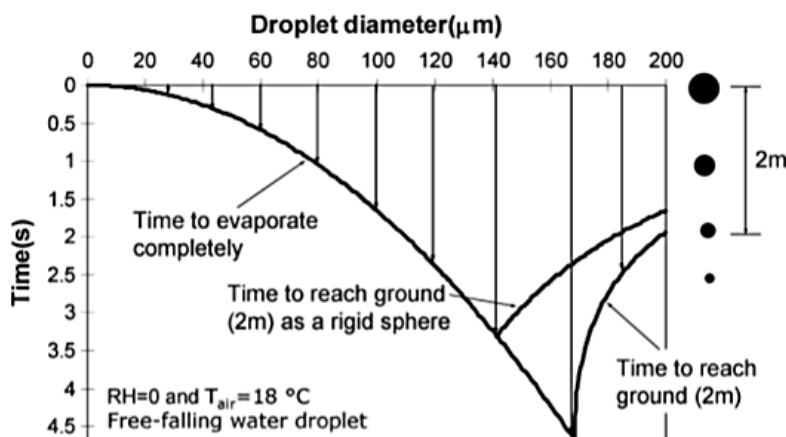
Keywords: Droplet, Covid-19, Social distancing, Simulation of fluid flow, Respiratory infection

โรคที่เกิดจากไวรัสโคโรนา 2019 หรือ COVID-19 ได้รับการรายงานครั้งแรกว่ามีอาการระบาดเกิดในเมืองหวู่ฮั่น ประเทศจีน ในช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2019 [1] ผู้ที่ติดเชื้อ COVID-19 จะมีอาการของโรคทางเดินหายใจเฉียบพลันรุนแรง โดยมีลักษณะอาการ เช่น มีไข้สูง ไอ ปวดกล้ามเนื้อ และอ่อนเพลีย เป็นต้น โรคนี้มีการแพร่เชื้อจากมนุษย์สู่มนุษย์ด้วยการส่งผ่านเชื้อไวรัสทางหยดละอองสารคัดหลั่งของผู้ติดเชื้อ เช่น น้ำลาย เสมหะ น้ำมูก เป็นต้น เข้าไปสู่ระบบทางเดินหายใจของผู้รับเชื้อ โดยหยดละอองที่เคลื่อนที่ออกจากผู้ติดเชื้อ จะมีเส้นทางการเคลื่อนที่อย่างไรนั้น สามารถพยากรณ์ได้จากค่าความเฉื่อย ความโน้มถ่วง และการระเหยของหยดละออง ดังนั้น การศึกษาทางฟิสิกส์ด้านพลศาสตร์ของของไหล (Fluid dynamics) จึงมีประโยชน์ในการทำนายการระบาดของโรค COVID-19 ที่จะนำไปสู่การกำหนดมาตรการป้องกันการแพร่ระบาดให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ไม่ว่าจะเป็น การใช้หน้ากากอนามัย การล้างมือ การระบายอากาศของสภาพแวดล้อมภายในห้องหรืออาคาร การสร้างระยะห่างทางสังคม เป็นต้น

ลักษณะของหยดละออง (Droplet)

ในการจามสามารถสร้างหยดละอองที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดประมาณ 100 μm นับล้านหยด ปะปนกับอนุภาคขนาดใหญ่หลายพันหยดของน้ำลายจากส่วนหน้าของปาก ถ้าเป็นการพ่นค้ำยปกติเป็นเวลา 5 นาที จะสามารถสร้างหยดละอองจำนวน 3,000 หยด ซึ่งเป็นจำนวนที่เทียบเท่ากับการไอ 1 ครั้ง [2] โดยการกระจายขนาดของหยดละอองขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความเร็วลมจากการหายใจออก ความหนืดของของเหลว (สารคัดหลั่ง) เส้นทางการไหลของอากาศ เป็นต้น สำหรับการกำหนดว่าหยดละอองมีขนาดเล็กหรือใหญ่นั้น มีข้อเสนอจากนักวิจัยที่แตกต่างกัน เช่น ในบทความวิจัยของ Mangili และ Gendreau [3] กำหนดว่าหยดละอองขนาดใหญ่จะต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 5 μm ส่วน Christian และคณะ [4] กำหนดว่าหยดละอองขนาดใหญ่จะต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 10 μm ในขณะที่ Wells [5] สรุปว่าต้องมากกว่า 100 μm

เมื่อ 70 ปีที่ผ่านมา Wells [5] ศึกษาการระเหยของหยดน้ำที่ตกลงมาโดยใช้วิธีคำนวณอย่างง่ายและได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของหยดน้ำกับเวลาที่ใช้ในการตกพบว่า หยดละอองบางส่วนระเหยไปหมดก่อนตกถึงพื้น ในขณะที่หยดละอองบางส่วนตกถึงพื้นโดยยังคงรูปทรงเป็นทรงกลม (Rigid sphere) และบางส่วนก็เปลี่ยนรูปทรงไปจากเดิม ดังแสดงในรูปที่ 1



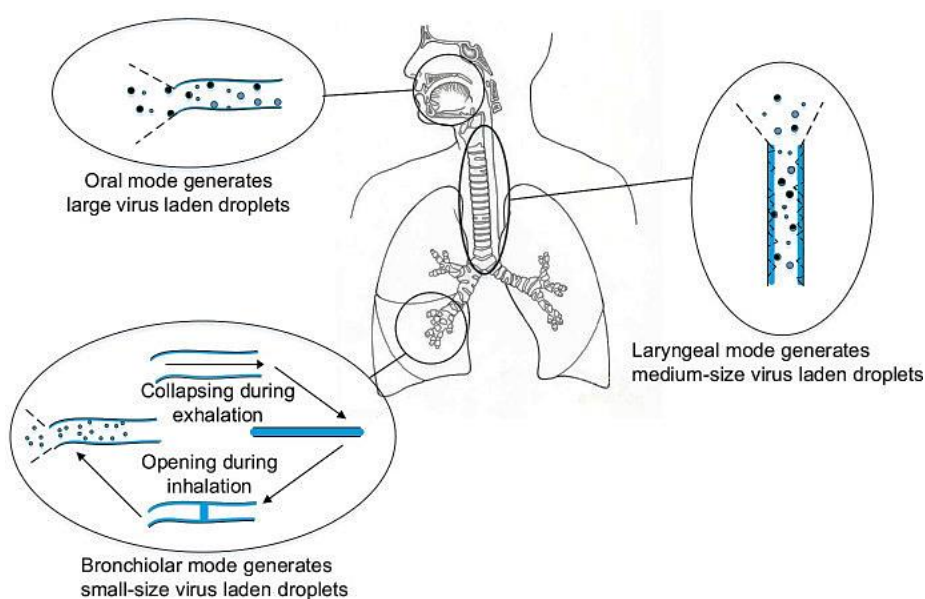
รูปที่ 1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดหยดละอองน้ำกับระยะเวลาในการตกอย่างอิสระ ที่ระยะถึงพื้นตามแนวดิ่ง 2 m ความชื้นสัมพัทธ์ ($RH = 0$) อณุมหิอากาศ ($Ta = 18^{\circ}C$) [5]

จากกราฟ Wells ได้ให้ข้อสรุปไว้ว่า หยดละอองน้ำที่มีขนาดน้อยกว่า 100 μm เมื่อออกจากแหล่งกำเนิดแล้วก็จะระเหยจนกระทั่งแห้งสนิทก่อนที่จะตกลงถึงพื้นในระยะ 2 m ซึ่งระยะนี้ใกล้เคียงกับความสูงเฉลี่ยของมนุษย์ การศึกษาของ Wells เป็นจุดกำเนิดของทฤษฎีหยดละออง ที่เกี่ยวข้องกับการแพร่ของนิวเคลียสของหยดละอองที่ติดเชื้อมีขนาดของละอองนั้น ๆ ทฤษฎีนี้กล่าวว่า หยดละอองที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 100 μm ตกลงสู่พื้นอย่างรวดเร็วด้วยแรงโน้มถ่วง ทำให้ระยะติดเชื้อ (Infective range) อยู่ในช่วงเวลาสั้น ๆ แต่ถ้าเป็นหยดละอองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 100 μm ซึ่งน้ำได้ระเหยออกไปหมดก่อนที่จะตกลงพื้น ทำให้คงเหลือเฉพาะเชื้อโรคอยู่ในอากาศ ส่งผลให้ระยะติดเชื้ออยู่ในช่วงเวลาที่ยาวนานและสามารถแพร่ในกระแสของอากาศไปได้ไกล เรียกการติดเชื้อลักษณะนี้ว่าการติดเชื้อแบบแห้ง (Dried-out infectious droplet)

กลไกการเกิดหยดละอองของสารคัดหลั่ง

จากการศึกษาของ Moriarty และ Grotberg [6] พบว่ากลไกสำคัญประการแรกที่ทำให้เกิดหยดละอองจากระบบทางเดินหายใจคือ ความไม่มีเสถียรภาพและการแตกออกเป็นส่วนตัวของสารคัดหลั่ง อันเนื่องมาจากค่าความเค้นเฉือนที่เกิดจากการไหลของอากาศส่งผลต่อหยดละออง กลไกสำคัญประการที่สองที่ทำให้เป็นหยดละอองนั้นเกิดขึ้นขณะสารคัดหลั่งอยู่ในทางเดินหายใจ ในขณะที่คนเราหายใจออก ช่องทางเดินหายใจจะค่อย ๆ ปิดแคบลงและหมอนรองกระดูกบริเวณลำคอก็จะยุบตัว ส่งผลให้หลอดลมฝอยลดขนาดลงจนมีเส้นผ่านศูนย์กลางในระดับมิลลิเมตร การลดขนาดของหลอดลมฝอยนี้ทำให้สารคัดหลั่งที่อยู่ภายใน ถูกบีบกระแทกเกิดเป็นหยดละอองขนาดเล็กในระดับไมโครเมตร ดังรูปที่ 2 [7] กลไกที่คล้ายคลึงกันนี้อาจเกิดขึ้นที่กล่องเสียงขณะพูดหรือไอ ซึ่งจะทำให้เกิดการเปิดและปิดของ

เส้นเสียง เมื่อเกิดหยดละอองสารคัดหลั่งขนาดเล็ก สุดท้ายเมื่อเกิดการเคลื่อนที่และสัมผัสของลิ้นและริมฝีปาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากการจาม ซึ่งจะทำให้เกิดหยดละอองน้ำลายออกมา การทำนายการกระจายตัวและขนาดของสารคัดหลั่งนั้นทำได้ยาก เพราะหยดละอองเหล่านี้เป็นของไหลประเภทหยุ่นหนืด (Viscoelastic) มีความเค้นแบบเชียร์ทินนิง (Shear-thinning) อันเป็นผลมาจากค่าความตึงผิวของของไหล ประกอบกับหยดละอองดังกล่าวเป็นของไหลนอกแบบของนิวตัน (Non-Newtonian fluid) ที่มีขอบเขตการเคลื่อนที่ทั้งระยะทางและช่วงเวลาที่ยาว



รูปที่ 2 กลไกการเกิดหยดละอองจากระบบทางเดินหายใจ [5]

การกระจายของหยดละออง

ในปี ค.ศ. 2007 Xie และคณะ ได้ศึกษาเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number; Re) และเลขอาร์คิมิดีส (Archimedes number; Ar_0) ที่เป็นผลจากขนาดช่องเปิดที่หยดละอองเคลื่อนที่ออกมาและอัตราเร็วเริ่มต้น เมื่อ เลขเรย์โนลด์คืออัตราส่วนของอัตราเร็วเริ่มต้นของหยดละออง หรือ U_0 ที่หยดละอองพุ่งออกไปต่อแรงหนืด μ (ความหนืดพลวัต หรือ Dynamic viscosity) ของหยดละออง ดังสมการที่ 1

$$Re = \frac{\rho_g d_0 U_0}{\mu} \quad (1)$$

เมื่อ ρ_g คือความหนาแน่นของหยดละออง และ d_0 คือเส้นผ่านศูนย์กลางของปากที่เปิด (ประมาณว่าเป็นวงกลม) ส่วนเลขอาร์คิมิดีสคืออัตราส่วนของแรงโน้มถ่วง (g) ต่ออัตราเร็วเริ่มต้นของหยดละออง มีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2

$$Ar_0 = \frac{g\sqrt{\pi}\beta\Delta T_0 d_0}{U_0^2} \quad (2)$$

เมื่อ β คือสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตร และ ΔT_0 คือผลต่างของอุณหภูมิระหว่าง ค่าของเลขเรย์โนลด์และเลขอาร์คิมิดีส ตามขนาด การเปิดของปากและความเร็วเริ่มต้นต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เลขเรย์โนลด์และเลขอาร์คิมิดีสของหยดละอองที่พุ่งออกไป ที่ความเร็วเริ่มต้นและขนาดการเปิดของปากแตกต่างกัน [5]

$d_0(\text{m})$	$U_0 (\text{m/s})$	Re	Ar_0
0.02	1	1.2×10^3	1.7×10^{-2}
	5	6.1×10^3	7.0×10^{-4}
	10	1.2×10^4	1.7×10^{-4}
	20	2.5×10^4	4.4×10^{-5}
	50	6.2×10^4	7.0×10^{-6}
0.03	1	1.8×10^3	2.6×10^{-2}
	5	9.2×10^3	1.0×10^{-3}
	10	1.8×10^4	2.6×10^{-4}
	20	3.7×10^4	6.5×10^{-5}
	50	9.2×10^4	1.0×10^{-5}
0.04	1	2.5×10^3	3.5×10^{-2}
	5	1.2×10^4	1.4×10^{-3}
	10	2.5×10^4	3.5×10^{-4}
	20	4.9×10^4	8.7×10^{-5}
	50	1.2×10^5	1.4×10^{-5}

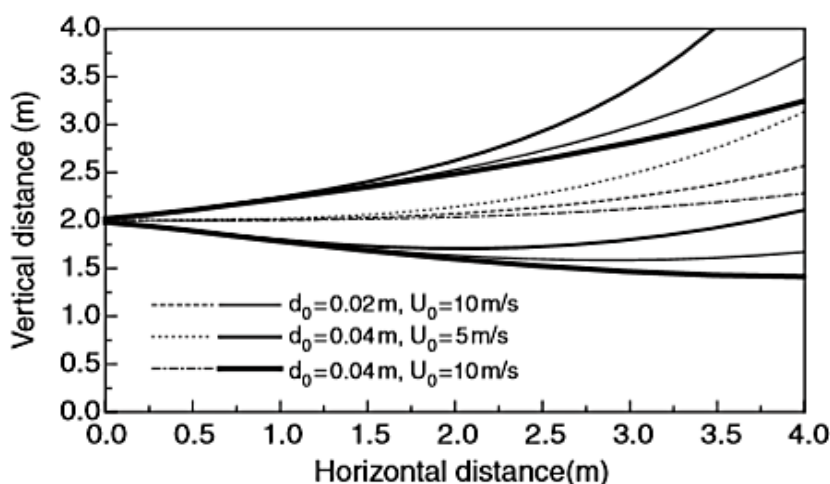
จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าเลขเรย์โนลด์มีค่าแปรผันตรงกับความเร็วเริ่มต้นและขนาดของปากที่เปิด และสำหรับเลขอาร์คิมิดีสก็จะมีค่าแปรผันตรงกับขนาดการเปิดของปาก แต่แปรผกผันกับความเร็วเริ่มต้นยกกำลังสองของหยดละออง

ในปี ค.ศ. 1972 Buturin [6] ได้แสดงสมการความสัมพันธ์ของระยะที่หยดละอองเคลื่อนที่ตามแนวระดับ (x) ที่เป็นฟังก์ชันของระยะในแนวตั้ง (y) ดังสมการที่ 3

$$\frac{y}{\sqrt{A_0}} = 0.354 Ar_0 \left(\frac{x}{\sqrt{A_0}} \right)^3 \sqrt{\frac{T_0}{T_r}} \quad (3)$$

สมการของ Buturin แสดงให้เห็นว่าระยะที่หยดละอองเคลื่อนที่ไปได้สั้น ขึ้นอยู่กับค่า A_0 ซึ่งเป็นพื้นที่ที่เปิดให้หยดละอองออกมา Ar_0 หรือเลขอาร์คิมิดีส (ดูสมการที่ 2) เป็นค่าที่มาจากการพิจารณาแรงลอยตัวของหยดละอองในอากาศ T_0 คืออุณหภูมิเริ่มต้นของ

หยดละอองที่พุ่งออกมา และ T_r คืออุณหภูมิโดยรอบของหยดละออง นั่นคือกำลังพิจารณาว่าหยดละอองที่พุ่งออกมานั้นมีอุณหภูมิไม่คงที่ (Non-isothermal jet) จากสมการที่ 3 สามารถสรุปความสัมพันธ์ได้ว่าความชันของเส้นแนวกลาง (Centerline slope) แปรผกผันกับขนาดของช่องเปิดและอัตราเร็วต้นของหยดละอองที่พุ่งออกมา ยกกำลังสอง หากเขียนกราฟความสัมพันธ์นี้กับสถานการณ์การเปิดของปากและอัตราเร็วต้นของหยดละอองที่พุ่งออกมามีขนาดต่าง ๆ จะได้เส้นทางการเคลื่อนที่ของหยดละอองในแนวระดับและแนวตั้ง ดังรูปที่ 3



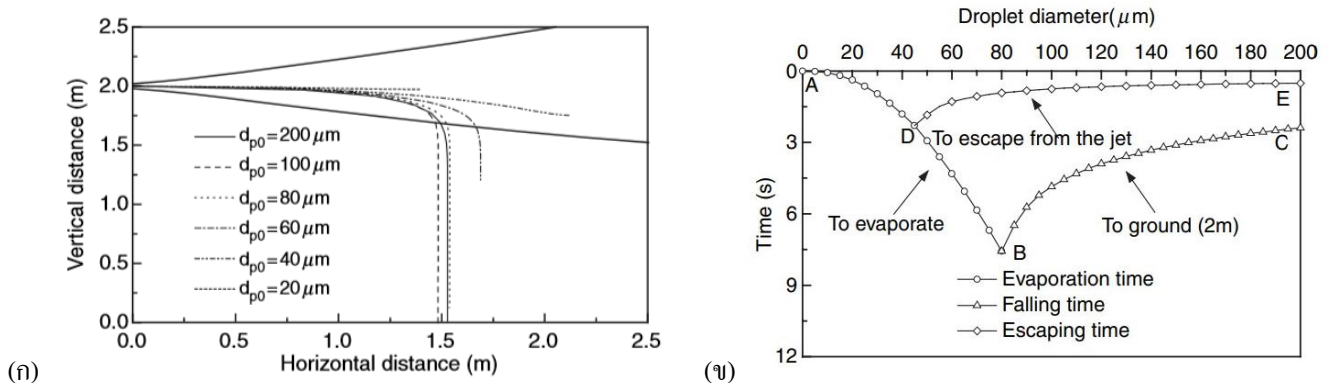
รูปที่ 3 กราฟแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของหยดละอองที่พุ่งออกมาเมื่อหยดละอองมีอุณหภูมิ $T_{p0} = 33^{\circ}\text{C}$ ระยะที่ไกลออกไปจากหยดละอองมีอุณหภูมิ $T_{\infty} = 20^{\circ}\text{C}$ (ก) ค่า $d_0 = 0.02\text{ m}$ และ $U_0 = 10\text{ m/s}$ โดย $Re = 1.2 \times 10^4$ และ $Ar_0 = 1.7 \times 10^{-4}$, (ข) ค่า $d_0 = 0.04\text{ m}$ และ $U_0 = 5\text{ m/s}$ โดย $Re = 1.2 \times 10^4$ และ $Ar_0 = 1.4 \times 10^{-3}$ และ (ค) ค่า $d_0 = 0.04\text{ m}$ และ $U_0 = 10\text{ m/s}$ โดย $Re = 2.5 \times 10^4$ และ $Ar_0 = 3.5 \times 10^{-4}$ [5] โดยเส้นทึบและเส้นประแต่ละคู่จะแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของหยดละอองที่พุ่งออกมาโดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางการเปิดของปากแตกต่างกัน โดยเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ (ข) จะอยู่สูงที่สุดเนื่องจากมีเลขอาร์คิมิดีสมากที่สุด

ค่าความเร็วของหยดละอองที่กำหนดในรูปที่ 3 นั้นเทียบเคียงจากอัตราเร็วของหยดละอองที่เกิดจากกิจกรรมของระบบหายใจแบบต่าง ๆ เช่น การหายใจปกติ การพูด การไอ และการจาม ซึ่งกิจกรรมเหล่านี้หยดละอองมีอัตราเร็วประมาณ 1, 5, 10 และ 20 – 50 m/s ตามลำดับ ผลการคำนวณที่ได้ในรูปที่ 3 สังเกตได้ว่า กราฟ (ข) มีเส้นทางการเคลื่อนที่ที่สูงขึ้นมากที่สุดเมื่อเทียบกับกราฟ (ก) และ (ค) เนื่องจากที่สถานการณ์ดังกล่าวมีค่าเลข Ar_0 มีค่ามากที่สุด

จากสมการพื้นฐานที่กล่าวมา Xie และคณะ [5] ได้ศึกษาการกระจายของหยดละอองที่ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงมากยิ่งขึ้นใน 3 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1 การกระจายของหยดละอองเมื่อมีกิจกรรมการหายใจแตกต่างกัน เช่น การหายใจปกติ การพูด การไอ การจาม เป็นต้น กรณีที่ 2 การกระจายของหยดละอองเมื่อขนาดการเปิดของปากที่แตกต่างกัน และกรณีที่ 3 การกระจายของหยดละอองเมื่อมีความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อมแตกต่างกัน โดย Xie และคณะได้ใช้วิธีการจำลอง ได้ผลการทดลองทำนายการกระจายตัวของหยดละออง ดังนี้

กรณีที่ 1 การกระจายของหยดละอองเมื่อมีกิจกรรมการหายใจแตกต่างกัน

เมื่อกำหนดการกระจายของหยดละอองขนาดต่าง ๆ ได้แก่ ภายใต้เงื่อนไขหยดละอองที่พุ่งออกมาในอุณหภูมิต่ำกว่าที่ เส้นผ่านศูนย์กลางปากที่เปิด หรือ $d_0 = 0.04$ m อัตราเร็วเริ่มต้นของหยดละออง หรือ $U_0 = 10$ m/s เลขเรย์โนลด์ หรือ $Re = 24,640$ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ หรือ $RH = 50\%$ อุณหภูมิของหยดละออง $T_{p0} = 33$ °C และอุณหภูมิที่ระยะไกลออกไปจากหยดละออง $T_\infty = 20$ °C ได้ผลการทำนายการกระจายของหยดละอองในแนวราบและแนวดิ่ง ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การกระจายของหยดละอองขนาดต่าง ๆ (ก) กราฟแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของหยดละอองที่พุ่งออกมาในสภาวะอุณหภูมิต่ำกว่าที่ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหลายขนาด และ (ข) ผลของขนาดต่อการกระจายของหยดละออง เมื่อเส้นโค้ง AB คือเวลาที่หยดละอองระเหย, BC คือเวลาที่หยดละอองตกลงสู่พื้น และ DE คือเวลาที่หยดละอองแยกตัวออกจากอากาศที่พุ่งออกมา [5]

สังเกตได้ว่า รูปที่ 4 (ก) ในช่วงแรก หยดละอองทุกขนาดเคลื่อนที่ไปข้างหน้าพร้อมกับอากาศที่ถูกพุ่งออกมาจากปาก จากนั้นหยดละอองขนาดใหญ่จะแยกตัวออกมาอย่างรวดเร็วแล้วตกลงบนพื้น จากนั้นหยดละอองขนาดกลางแยกตัวออกก่อนที่ระเหยหมดไปในอากาศ ส่วนหยดละอองขนาดเล็กนั้น ยังคงเคลื่อนที่ไปกับอากาศที่พุ่งออกมา แล้วระเหยไปขณะเคลื่อนที่ โดยผลของขนาดต่อการกระจายของหยดละออง แสดงไว้ในรูปที่ 4 (ข) เมื่อเปรียบเทียบกับหยดละอองขนาดเล็ก หยดละอองขนาดใหญ่ (Critical size = 40 μm) จะเคลื่อนที่ได้ช้ากว่า และใช้เวลานานกว่าในการแยกออกจากอากาศที่พุ่งออกมาก่อนที่จะตกลงจากปากที่เปิดออกไป 2 m จุดเชื่อมต่อ B เป็นจุดที่แสดงให้เห็นว่าหยดละอองขนาดใหญ่ที่สุด (Critical size = 80 μm) จะระเหยหมดก่อนตกลงออกไป 2 m ขณะที่จุดเชื่อมต่อ D แสดงให้เห็นว่าหยดละอองขนาดใหญ่ที่สุด จะระเหยหมดไปขณะที่เดินทางไปกับอากาศที่พุ่งออกมา

นอกจากนี้ Xie และคณะ [2] ยังได้คำนวณเพิ่มเติมเพื่อศึกษาว่า หากหยดละอองขนาดต่าง ๆ ออกจากช่องปากที่เปิดด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกันจะมีการกระจายในแนวระดับอย่างไร พบว่าหากหยดละอองขนาดเท่ากัน ที่อัตราเร็วเริ่มต้นสูงจะเคลื่อนที่ไปได้ไกลกว่า อย่างเช่น ในการหายใจปกติ หยดละอองที่มีอัตราเร็ว 1 m/s จะเคลื่อนที่ในแนวระดับไปได้ไกล 1 m แต่ถ้าเป็นการจาม หยดละอองมีอัตราเร็ว 50 m/s ก็จะเคลื่อนที่ไปได้ไกลถึง 6 m

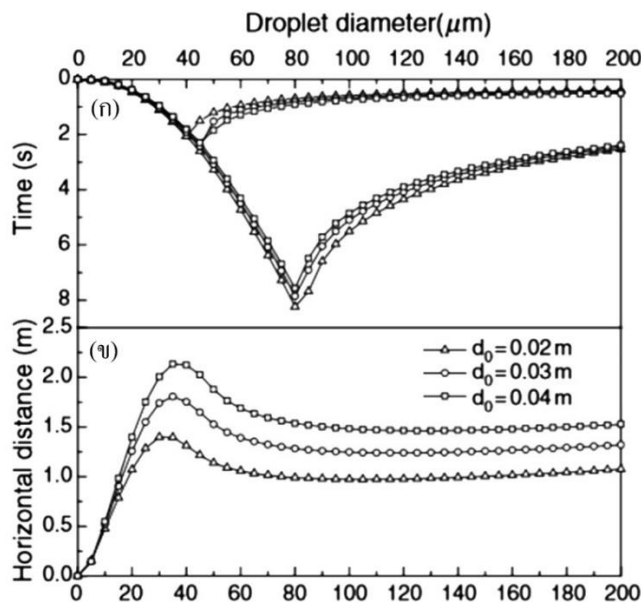
กรณีที่ 2 การกระจายของหยดละอองเมื่อขนาดการเปิดของปากที่แตกต่างกัน

ดังที่ได้อธิบายไปก่อนหน้านี้ว่า ขนาดการเปิดของปากส่งผลต่อ เลขเรย์โนลด์ และเลขอาร์คิมิดีส (ดูตารางที่ 1) การระเหยและการเคลื่อนที่เมื่อหยดละอองถูกพ่นออกมา เมื่อพิจารณาว่าหยดละอองถูกพ่นออกผ่านขนาดช่องเปิดของปากซึ่งประมาณว่าเป็นวงกลมขนาดแตกต่างกันที่ 0.02, 0.03 และ 0.04 m และกำหนดให้อัตราเร็วเริ่มต้นของหยดละอองเท่ากับ 10 m/s และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศโดยรอบเท่ากับ 50% จะได้ผลการคำนวณดังรูปที่ 5

รูปที่ 5 (ก) แสดงให้เห็นว่า ระยะเวลาที่ใช้ในการระเหยและตกลงมาของหยดละอองมีค่าลดลงเมื่อขนาดของช่องปากเปิดกว้างขึ้น อย่างไรก็ตามการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของหยดละอองแต่ละขนาดมีความแตกต่างเพียงเล็กน้อย ส่วนการเคลื่อนที่ในแนวระดับจากรูปที่ 5 (ข) ทำนายได้ว่า หยดละอองที่อัตราเร็วเริ่มต้นเท่ากัน ถ้าการเปิดของปากมีขนาดใหญ่ หยดละอองนั้นจะเคลื่อนที่ไปได้ไกลกว่าการเปิดของปากขนาดเล็ก คำอธิบายนี้อธิบายได้ด้วยสมการที่ 4

$$U_m = \frac{6.8U_0}{s/d_0} \quad (4)$$

สมการที่ 4 แสดง U_m หรือการลดลงของเส้นแนวกลางมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงอัตราเร็วของหยดละอองและขนาดการเปิดของปาก และแปรผกผันกับ s หรือความยาวเส้นโค้งของกราฟจากเส้นแนวกลาง



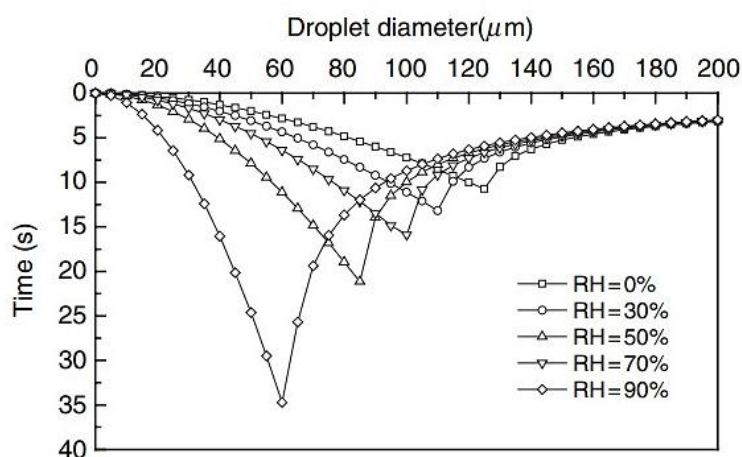
รูปที่ 5 กราฟแสดงการเคลื่อนที่ของหยดละอองที่มีขนาดแตกต่างกันภายในสภาวะที่มีขนาดการเปิดของปากที่แตกต่างกัน ในสภาพแวดล้อมที่หยดละอองมีอุณหภูมิ $T_{p0} = 33^\circ\text{C}$ อุณหภูมิ $T_\infty = 20^\circ\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ $RH = 50\%$ ความเร็วเริ่มต้น $U_0 = 10$ m/s ขนาดการเปิดของปาก $d_0 = 0.02, 0.03$ และ 0.04 m ค่า $Re = 12,320, 18,480, 24,640$ [5]

กรณีที่ 3 การกระจายของหยดละอองเมื่อมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อมแตกต่างกัน

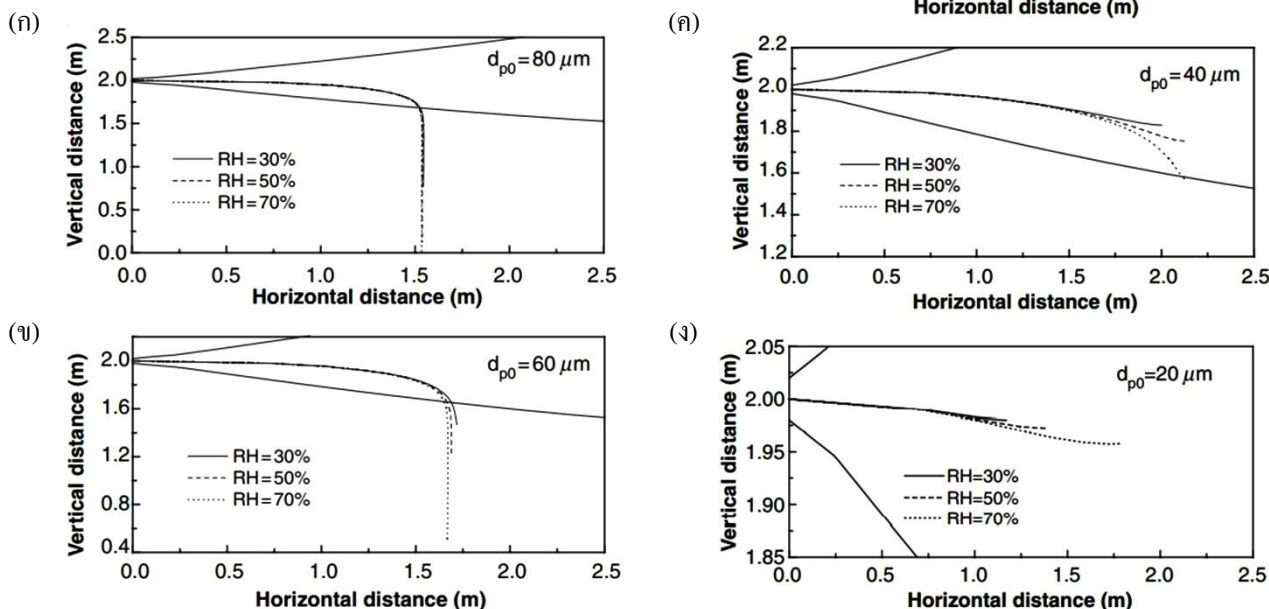
การศึกษาของ Xie และคณะ [2] ทำให้พบว่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีผลอย่างมากต่อการระเหยและการตกลงสู่พื้นของหยดละออง ดังรูปที่ 6

จากรูปที่ 6 ผู้ทดลอง [2] สรุปได้ว่า หยดละอองระเหยในอากาศชื้นช้ากว่าในอากาศแห้งอยู่มาก สังเกตได้จากเส้นกราฟที่มีลักษณะโค้งตกลงมาอย่างรวดเร็ว เมื่อพิจารณาถึงขนาด พบว่าขนาดที่สำคัญ (Critical size) อยู่ที่ 60, 85, 100, 110 และ 125 μm ซึ่งค่าเหล่านี้เพิ่มขึ้นตามความชื้นสัมพัทธ์ และเมื่อศึกษาความสัมพันธ์การกระจายของหยดละอองในแนวระดับและแนวดิ่ง ที่ขนาดหยดละอองและความชื้นอากาศแตกต่างกันจะแสดงผลดังรูปที่ 7

จากรูปที่ 7 สังเกตได้ว่า ที่ความชื้นสัมพัทธ์ใด ๆ หยดละอองขนาดเล็กน้อยกว่าหรือเท่ากับ 40 μm สามารถกระจายตัวแนวระดับได้ไกล และจะสั้นลงสำหรับหยดละอองขนาดประมาณ 60 μm ระยะในแนวระดับนี้จะอยู่ที่ประมาณ 1.5 m จนถึงขนาดหยดละออง 80 μm กล่าวคือ หยดละอองส่วนใหญ่อาจเคลื่อนที่ไปได้ไกลกว่า 1.5 m ห่างจากแหล่งกำเนิด ซึ่งถือว่าเป็นระยะเสี่ยงของการติดเชื้อจากหยดละอองที่ปนเปื้อนเชื้อโรคนั่นเอง



รูปที่ 6 เวลาระเหยและเวลาตกของหยดละอองขนาดต่าง ๆ ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ $RH = 0, 30\%, 50\%, 70\%$ และ 90% ที่ช่องปากเปิด ด้วยเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.04 m และอัตราเร็วของหยดละอองขณะออกจากปากเท่ากับ 10 m/s (การจาม) [5]

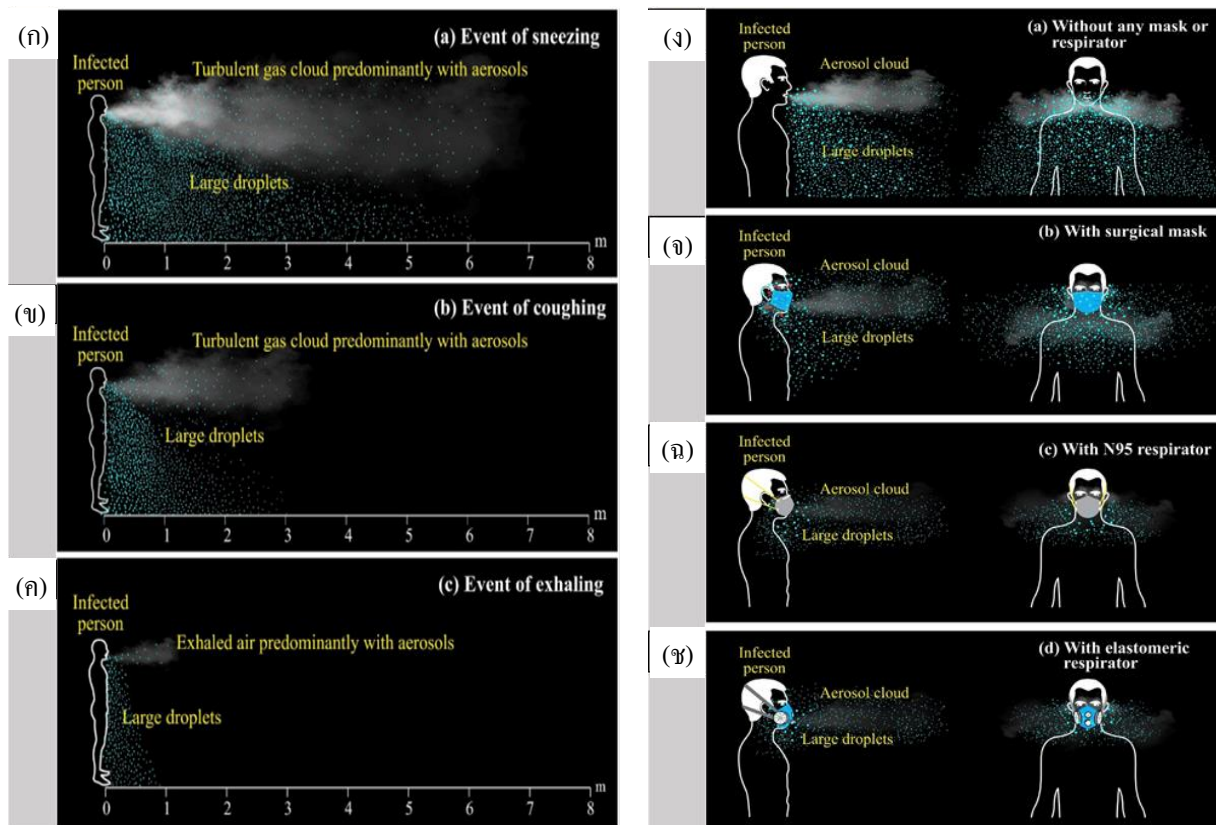


รูปที่ 7 เส้นทางการเคลื่อนที่ของหยดละออง 4 ขนาด ที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ กัน ในสภาพแวดล้อมที่หยดละอองมีอุณหภูมิ $T_{p0} = 33^\circ\text{C}$ อุณหภูมิ $T_\infty = 20^\circ\text{C}$ ความเร็วเริ่มต้น $U_0 = 10 \text{ m/s}$ ขนาดการเปิดของปาก $d_0 = 0.04 \text{ m}$ ค่า $Re = 24,640$ (ก) $d_{p0} = 80 \mu\text{m}$, (ข) $d_{p0} = 60 \mu\text{m}$, (ค) $d_{p0} = 40 \mu\text{m}$ และ (ง) $d_{p0} = 20 \mu\text{m}$ [2]

การจำลองภาพการกระจายของหยดละอองในสถานการณ์การหายใจและการสวมหน้ากากแบบต่าง ๆ

นอกจากนี้ Xie และคณะ [2] ยังได้จำลองทางฟิสิกส์เพื่อแสดงผลการกระจายของหยดละอองในสถานการณ์ต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 8 จะเห็นได้ว่าการกระจายของหยดละอองขนาดใหญ่ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง $60 - 100 \mu\text{m}$ ซึ่งเป็นขนาดใหญ่กว่าขนาดของไวรัส $800 - 1,000$ เท่า [1] จะขึ้นอยู่กับความเร็วลมหายใจออกและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ โดยการจามทำให้หยดละอองเคลื่อนที่ไปได้ระยะทางตามแนวนอนมากกว่า 6 m ด้วยความเร็ว 50 m/s ภายในเวลา 0.12 s ดังรูปที่ 8(ก) ในการไอทำให้หยดละอองเคลื่อนที่ไปได้ระยะทางตามแนวนอนมากกว่า 2 m ด้วยความเร็ว 10 m/s ภายในเวลา 0.2 s ดังรูปที่ 8(ข) ส่วนการหายใจออกนั้นทำให้หยดละอองเคลื่อนที่ไปได้ระยะทางตามแนวนอนประมาณ 1 m ด้วยความเร็ว 1 m/s ภายใน 1 s ดังรูปที่ 8(ค)

จากรูปที่ 8(ง) แสดงให้เห็นว่าการหายใจจะมีหยดละอองทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ถูกปล่อยออกมายังผู้รับเชื้อ ในกรณีที่ผู้ติดเชื้อสวมหน้ากากอนามัยแบบ Surgical mask พบว่าจะมีหยดละอองรั่วไหลออกมา 20 – 30% ไปยังผู้รับเชื้อ หากผู้รับเชื้อสวมหน้ากากอนามัยแบบ Surgical mask ด้วย ดังรูปที่ 8(จ) ก็จะทำให้โอกาสการรับเชื่อน้อยลง ในกรณีที่ผู้ติดเชื้อสวมหน้ากาก N95 หรือแบบที่สามารถใช้ซ้ำได้ ดังรูปที่ 7(ฉ) และ 7(ช) ตามลำดับ พบว่ามีการรั่วไหลของหยดละออง 5% เป็นที่น่าสังเกตว่าไม่มีหน้ากากชนิดใดที่จะป้องกันเชื้อโรคได้ 100% ด้วยเหตุนี้ในทางการแพทย์จึงแนะนำให้ใช้วิธีระยะห่างทางสังคม (Social distancing) เพื่อลดโอกาสในการติดเชื่อนั่นเอง



รูปที่ 8 การจำลองเส้นทางการเคลื่อนที่ของหยดละอองจากผู้ติดเชื้อ SARS-CoV-2 ในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้แก่ ก) การจาม ข) การไอ และ ค) การหายใจ การจำลองเส้นทางการเคลื่อนที่ของหยดละอองจากการไอของผู้ป่วยที่ติดเชื้อ ไปสู่ผู้รับเชื้อ ขณะไม่สวมและสวมหน้ากากอนามัยชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ง) ไม่สวมหน้ากากอนามัย จ) สวมหน้ากากแบบ Surgical mask ฉ) สวมหน้ากากแบบ N95 และ ช) สวมหน้ากากแบบใช้ซ้ำได้ [2]

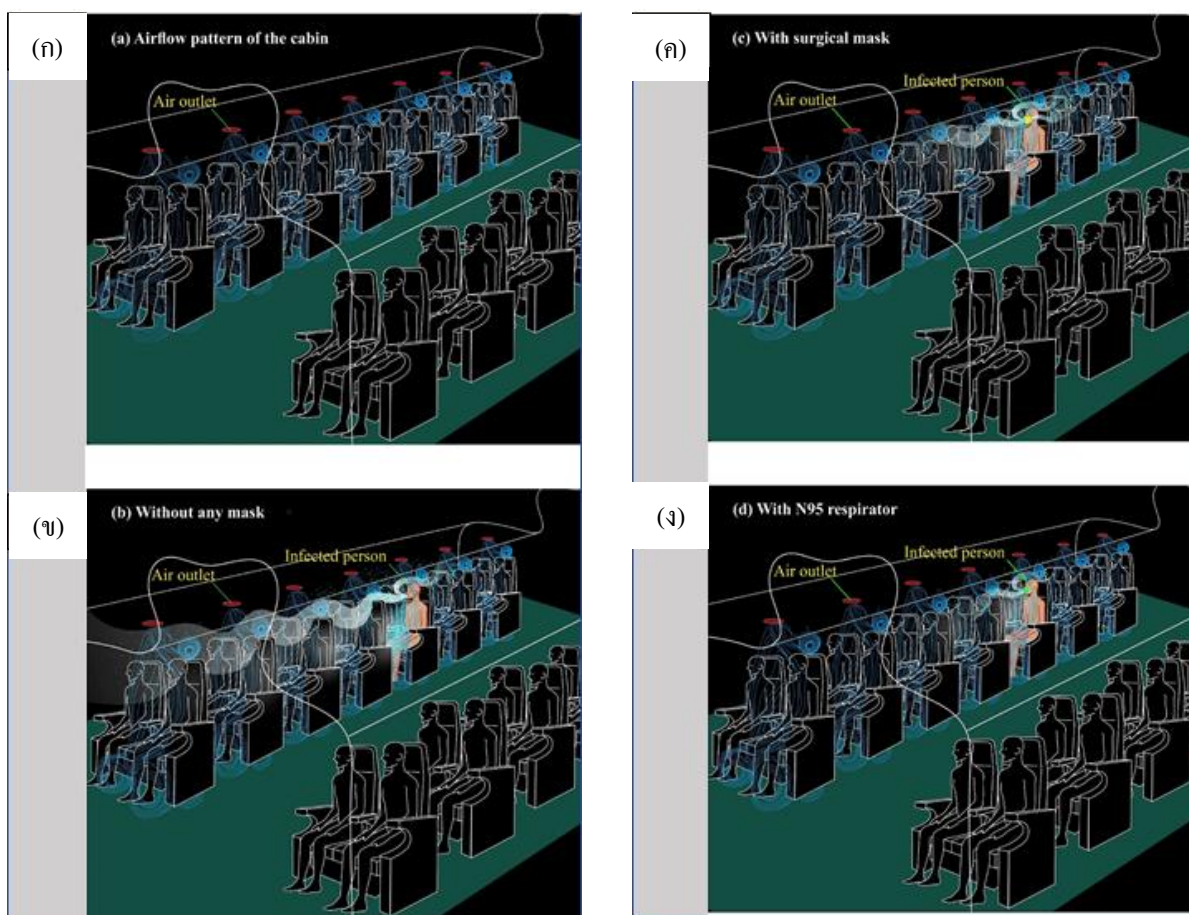
การจำลองภาพการกระจายของหยดละอองในสถานที่ต่าง ๆ

ในห้องโดยสารเครื่องบิน

โดยปกติการไหลเวียนของอากาศในรูปแบบของหยดละอองที่พุ่งออกมา ที่อุณหภูมิภายในห้องโดยสารต่ำกว่า 25°C อากาศจะแพร่ลงไปตามด้านล่างของห้องโดยสารดังรูปที่ 9(ก) หากแบ่งโซนของห้องออกเป็น 2 โซน ได้แก่ โซนพื้นที่ส่วนบนของห้องโดยสารเรียกว่า “Jet zone” และ โซนพื้นที่ส่วนกลางและส่วนล่างเรียกว่า “Collision zone” พบว่าบริเวณ “Jet zone” เป็นบริเวณที่มีการแพร่เชื้อสู่อากาศ โดยอากาศอาจเคลื่อนที่ไปในทิศทางหน้าหรือด้านหลังของห้องโดยสาร โดยเฉพาะที่บริเวณใกล้กับจุดทางออกดังรูปที่ 9(ข) หยดละอองที่เกิดจากการไอสามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วประมาณ 10 m/s หากวิเคราะห์ทางด้วยจำนวนที่นิ่ง หยดละอองเหล่านี้อาจเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้ถึง 4 – 5 ที่นั่ง แต่ถ้าวายเป็นละอองลอย (Aerosol) ก็อาจเคลื่อนที่ออกไปได้ไกลออกไปอีก ในรูปที่ 9(ค) แสดงให้เห็นเส้นทางของหยด

ละอองที่เคลื่อนที่ออกจากผู้ป่วยที่สวมหน้ากากอนามัยแบบ Surgical mask พบว่าหยดละอองสามารถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้เป็นระยะทาง 1 – 2 ที่นั่ง และเคลื่อนที่ไปด้านหลังได้เป็นระยะทางหนึ่งที่นั่ง ทั้งนี้ หากผู้ป่วยสวมหน้ากากแบบ N95 จะสามารถแพร่เชื้อผ่านหยดละอองที่เคลื่อนที่ไปด้านหน้าและด้านหลังเป็นระยะทางเพียงด้านละ 1 ที่นั่งเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 9(ง) ส่วนบริเวณ “Collision zone” นั้นเป็นบริเวณที่หยดละอองเกิดการชนกัน

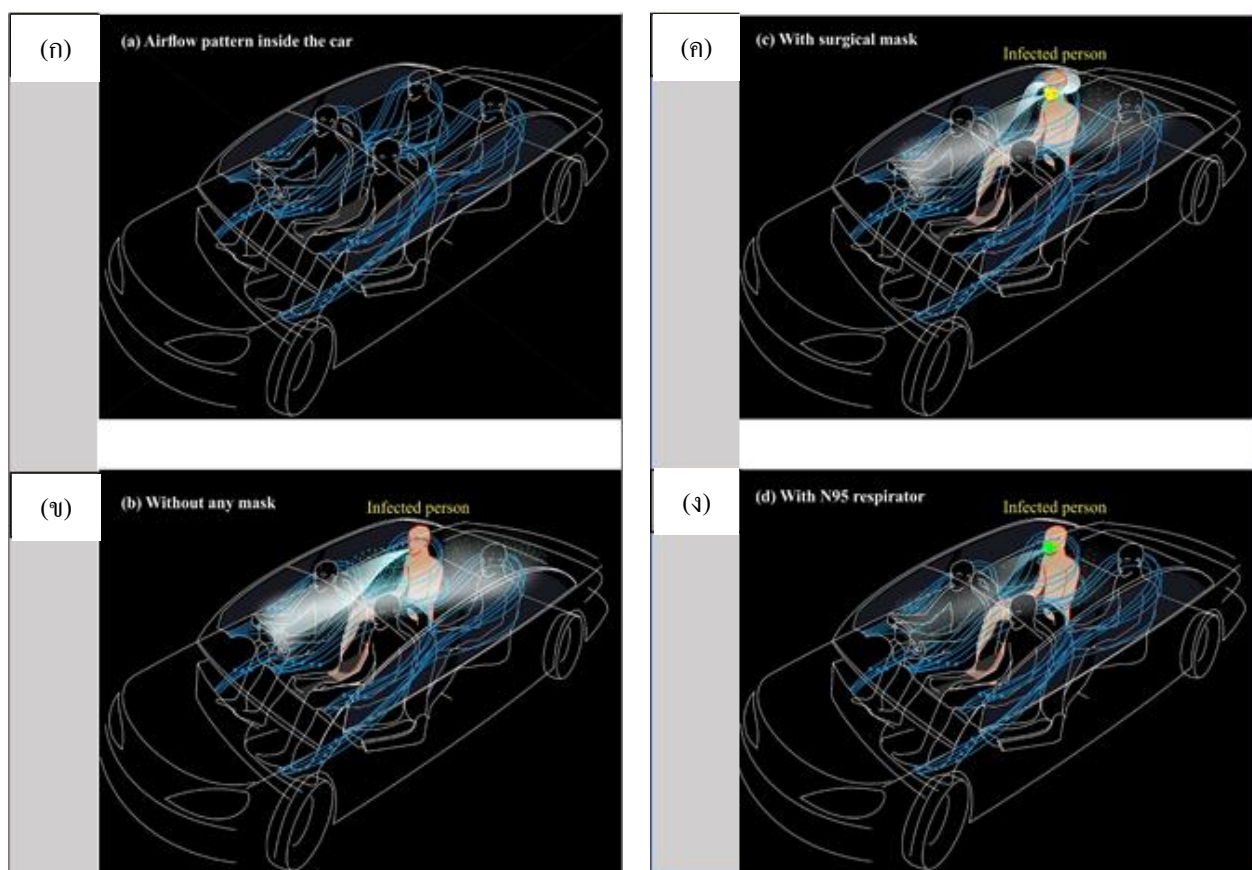
โดยทั่วไปผู้โดยสารหนึ่งคนที่อยู่ในห้องโดยสารจะมีอากาศไหลเวียนประมาณ 3.6 – 7.4 L/s โดยครึ่งหนึ่งของปริมาตรนี้จะถูกกรองด้วย HEPA (High efficiency particulate air filter) แล้วนำมาหมุนเวียนซ้ำ และอีกครึ่งหนึ่งก็จะอยู่รอบ ๆ ตัวกรอง HEPA มีประสิทธิภาพในการกรอง 99.97% สามารถกรองอนุภาคอากาศที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า $0.3 \mu\text{m}$ รวมทั้งฝุ่นละออง เชื้อไวรัส และแบคทีเรียต่าง ๆ ได้



รูปที่ 9 แสดงการจำลองการเคลื่อนที่ของอากาศ [2] โดย ก) เป็นเส้นทางการไหลเวียนของอากาศภายในห้องโดยสารของเครื่องบิน ข) เป็นเส้นทางของหยดละอองจากผู้ป่วยที่ไม่สวมหน้ากากอนามัย ค) เป็นเส้นทางของหยดละอองที่เคลื่อนที่ออกจากผู้ป่วยที่สวมหน้ากากอนามัยแบบ Surgical mask และ ง) เป็นเส้นทางของหยดละอองที่เคลื่อนที่ออกจากผู้ป่วยที่สวมหน้ากากอนามัยแบบ N95

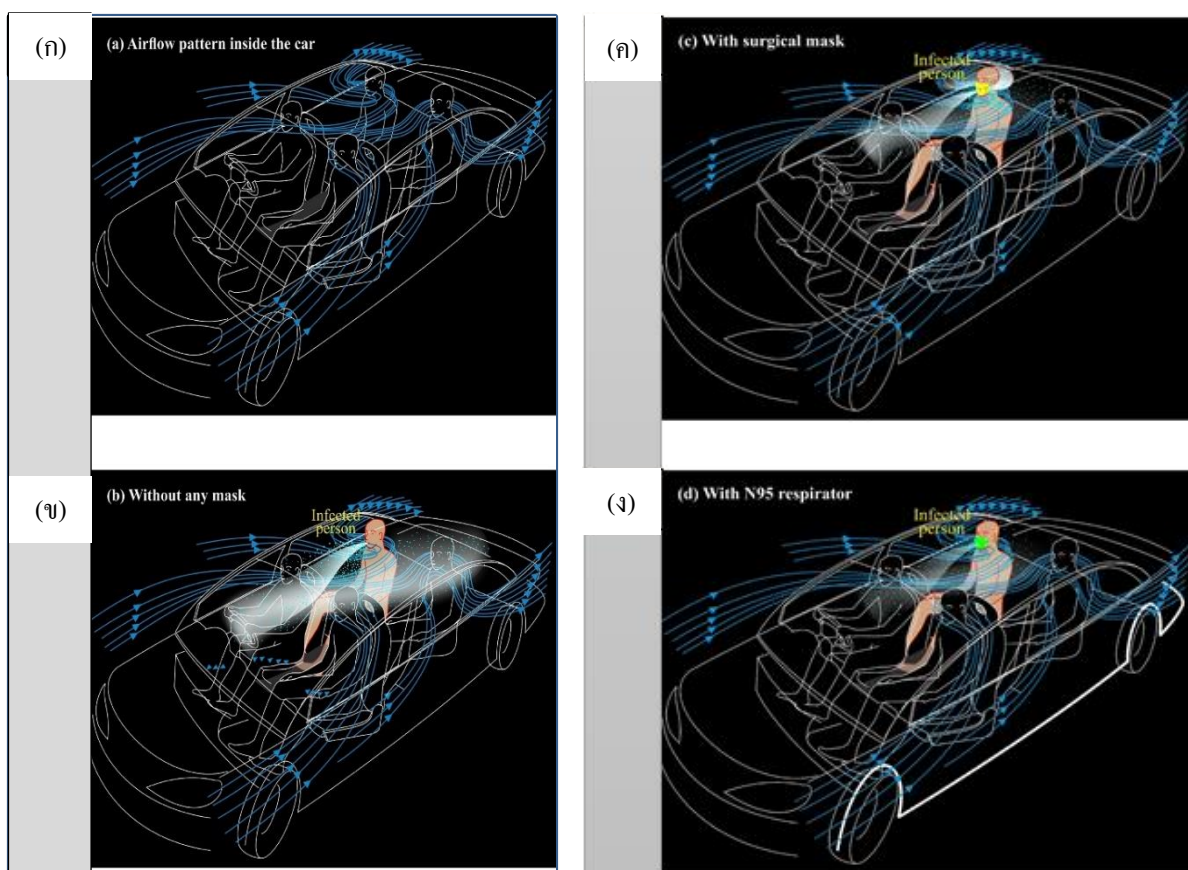
ในรถยนต์นั่งส่วนบุคคล

การแพร่กระจายของ COVID-19 มักแสดงหน่วยเป็น ACH (Air changes per hour) ซึ่งค่านี้ขึ้นอยู่กับความเร็วของยานพาหนะ การระบายอากาศและตำแหน่งหน้าต่าง ในกรณีที่เส้นทางความเร็วภายในห้องโดยสารที่มี ACH ระดับปานกลาง ในขณะที่เปิดเครื่องปรับอากาศและปิดหน้าต่าง จากรูปที่ 10(ก) เป็นการแสดงการเคลื่อนที่ของอากาศขึ้นไปยังที่นั่งด้านหลังและกลับไปยังด้านหน้าทั้งสองฝั่งในตัวรถ โดยอากาศเย็นดังกล่าวมีแนวโน้มเคลื่อนที่ต่ำลง หากผู้ติดเชื้อนั่งอยู่ด้านหลังของรถยนต์มีอาการไอ หายคละอองที่ปล่อยออกมาจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ย 10 m/s ไปทางที่นั่งด้านหน้า ส่วนละอองลอยจะแพร่ด้วยความเร็วที่ต่ำลงไปทิศทางที่นั่งด้านหลัง ดังแสดงในรูปที่ 10(ข) โดยข้อมูลดังกล่าวได้จากการศึกษาที่หอยคละอองมีความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า 50% อุณหภูมิน้อยกว่า 25 °C และ ACH น้อยกว่า 60 ต่อชั่วโมง ส่วนในรูปที่ 10(ค) แสดงให้เห็นลักษณะการรั่วไหลของหอยคละอองออกมาจากหน้าต่างในกรณีที่ขอบหน้าต่างไม่แนบชิดกับใบหน้าต่าง แต่ในกรณีที่ผู้ติดเชื้อสวม N95 พบว่ามีการรั่วไหลของหอยคละอองออกมาน้อยกว่าดังแสดงในรูปที่ 10(ง)



รูปที่ 10 การจำลองการเคลื่อนที่อากาศภายในรถ [2] โดย ก) เป็นเส้นทางการไหลเวียนของอากาศภายในห้องโดยสาร ข) เป็นเส้นทางของหอยคละอองจากผู้ป่วยที่ไม่สวมหน้ากากอนามัย ค) เป็นเส้นทางของหอยคละอองที่เคลื่อนที่ออกจากผู้ป่วยที่สวมหน้ากากอนามัยแบบ Surgical mask และ ง) เป็นเส้นทางของหอยคละอองที่เคลื่อนที่ออกจากผู้ป่วยที่สวมหน้ากากอนามัยแบบ N95

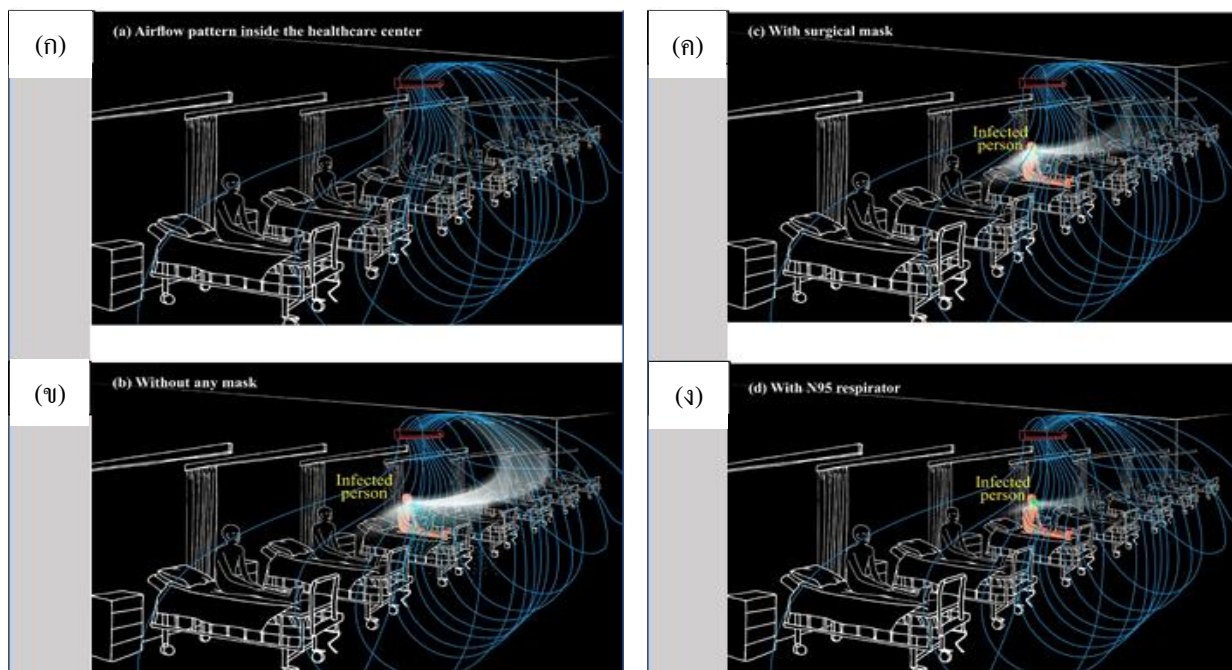
เมื่อรถยนต์ส่วนบุคคลเคลื่อนที่ด้วยความเร็วใด ๆ ขณะที่เปิดหน้าต่าง อากาศจะเคลื่อนที่เข้าทางหน้าต่าง วนเข้าไปในห้องโดยสาร แล้วเคลื่อนที่ออกไปนอกตัวรถดังแสดงในรูปที่ 11(ก) ส่วนรูปที่ 11(ข) แสดงพฤติกรรมของหยดละอองในรถยนต์ที่ปิดเครื่องปรับอากาศและเปิดหน้าต่าง หากรถยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำกว่า 30 km/h หยดละอองจะตกลงตามแรงโน้มถ่วงภายในระยะทางตามความยาวรถ โดยเคลื่อนที่ไปด้านหน้าและกลับมาด้านหลังของห้องโดยสารรถยนต์ แต่เมื่อรถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วมากกว่า 30 km/h พบว่าหยดละอองเคลื่อนที่ในระยะทางสั้น ๆ ในขณะที่กลุ่มละอองลอยสามารถเคลื่อนที่ไปได้ไกลกว่า ก่อนที่จะออกจากตัวรถผ่านทางกระจกด้านหลัง เมื่อผู้ติดเชื้อสวมหน้ากากอนามัยขณะเดินทางก็ยังคงมีความเสี่ยงในการติดเชื้อแต่ก็ยังจะได้รับเชื้อจากภายนอกของหน้ากากอนามัย กลุ่มละอองก็ยังเคลื่อนที่ไปด้านหน้าของห้องโดยสารและย้อนกลับมาด้วยกระแสลมที่ไหลเข้ามาจากภายนอก อย่างไรก็ตามการไหลเวียนของอากาศในห้องโดยสารจะช่วยให้กลุ่มละอองที่เต็มไปด้วยไวรัสเคลื่อนที่ออกจากห้องโดยสารภายในไม่กี่วินาทีดังแสดงในรูปที่ 11(ค) และเมื่อผู้ติดเชื้อสวมหน้ากากอนามัยแบบ N95 ก็ยังคงมีความเสี่ยงในการติดเชื้อมีดังแสดงในรูปที่ 11(ง)



รูปที่ 11 การจำลองการเคลื่อนที่ของอากาศภายในรถที่มีการเปิดหน้าต่าง [2] โดย ก) เป็นเส้นทางการไหลเวียนของอากาศภายในห้องโดยสารที่มีการเปิดหน้าต่าง ข) เป็นเส้นทางของหยดละอองจากผู้ป่วยที่ไม่สวมหน้ากากอนามัย ค) เป็นเส้นทางของหยดละอองที่เคลื่อนที่ออกจากผู้ป่วยที่สวมหน้ากากอนามัยแบบ Surgical mask และ ง) เป็นเส้นทางของหยดละอองที่เคลื่อนที่ออกจากผู้ป่วยที่สวมหน้ากากอนามัยแบบ N95

ในศูนย์ดูแลสุขภาพ

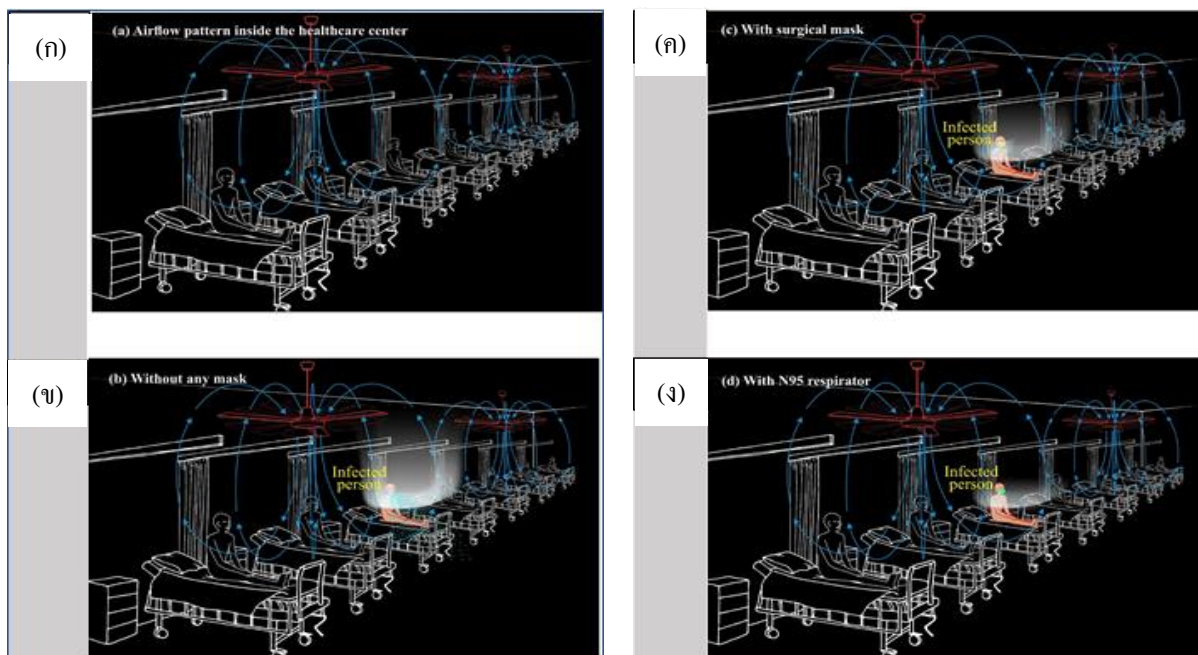
รูปแบบการไหลเวียนของอากาศบริเวณพื้นที่เปิดโล่ง มีชุดเตียงสำหรับผู้ป่วยโดยเปิดเครื่องปรับอากาศและปิดช่องเปิดทั้งหมด สำหรับสภาพอากาศเขตร้อนดังแสดงในรูปที่ 12(ก) เส้นทางการไหลของอากาศเกิดจากเครื่องปรับอากาศ โดยเคลื่อนที่ในทิศทาง เมื่อความเร็วการพาของอนุภาคหยดละอองลดลงจะทำให้มวลการไหลของอากาศเริ่มเคลื่อนที่ผ่านกระแสหมุนเวียน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อากาศร้อนจะถูกกรองและทำความสะอาดโดยเครื่องปรับอากาศก่อนที่จะถูกปล่อยออกมาบริเวณเดิม รูปแบบการไหลเวียนของละอองจากผู้ติดเชื้อที่มีอาการไอและมีการเปิดเครื่องปรับอากาศ หยดละอองจะตกลงตามแรงโน้มถ่วงในระยะทางสั้น ๆ แต่กลุ่มหยดละอองที่มีไวรัสก็จะยังคงเคลื่อนที่ไปได้ไกลดังแสดงในรูปที่ 12(ข) เส้นทางการไหลของอากาศจากผู้ป่วยที่ติดเชื้อสวมหน้ากากแบบ Surgical mask มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 12(ค) ปริมาณหยดละอองจะลดลงอย่างมากและแพร่กระจายอยู่ในระยะทางสั้น ๆ และเมื่อผู้ติดเชื้อสวมหน้ากากอนามัยแบบ N95 ปริมาณของกลุ่มหยดละอองจะมีปริมาณน้อยลงดังแสดงในรูปที่ 12(ง)



รูปที่ 12 การจำลองการเคลื่อนที่อากาศภายในศูนย์สุขภาพโดยมีระบบปรับอากาศ [2] โดย ก) เป็นเส้นทางการไหลเวียนของอากาศภายในศูนย์สุขภาพ ข) เป็นเส้นทางของหยดละอองจากผู้ป่วยที่ไม่สวมหน้ากากอนามัย ค) เป็นเส้นทางของหยดละอองที่เคลื่อนที่ออกจากผู้ป่วยที่สวมหน้ากากอนามัยแบบ Surgical mask และ ง) เป็นเส้นทางของหยดละอองที่เคลื่อนที่ออกจากผู้ป่วยที่สวมหน้ากากอนามัยแบบ N95

บริเวณพื้นที่ของศูนย์สุขภาพที่มีพัฒมเพดานในการระบายอากาศนั้นอากาศจะหมุนเวียนผ่านผู้ป่วยและวัตถุต่าง ๆ จากด้านล่างสู่ด้านบนดังแสดงในรูปที่ 13(ก) อากาศที่อบอุ่นจะเคลื่อนที่ขึ้นสู่ด้านบนเพดานและอาจเคลื่อนที่ออกในบริเวณเปิด หากมีการระบายอากาศที่ไม่ดีจะส่งผลให้อากาศนั้นมีกลุ่มละอองที่มีเชื้อไวรัส SARS-CoV-2 เป็นองค์ประกอบ ส่วนหยดละอองและละอองลอยที่ผู้ติดเชื้อหลั่งออกมาดังแสดงในรูปที่ 13(ข) จะเคลื่อนที่กระจายไปยังผู้ป่วยเตียงอื่น ๆ ทำให้มีโอกาสติดเชื้อโควิด 19 ตามมา ส่วนเมื่อผู้ป่วยสวม

หน้ากากอนามัยดังแสดงในรูปที่ 13(ค) และสวมหน้ากาก N95 ดังแสดงในรูปที่ 13(ง) จะมีการแพร่ของหยดละอองที่มีเชื้อไวรัสลดลงแต่ก็ยังคงมีการแพร่กระจายหยดละอองของไวรัสต่อไปได้



รูปที่ 13 การจำลองการเคลื่อนที่อากาศภายในศูนย์สุขภาพที่มีพัดลมติดเพดาน [2] โดย ก) เป็นเส้นทางการไหลเวียนของอากาศที่มีพัดลมติดเพดาน ข) เป็นเส้นทางของหยดละอองจากผู้ป่วยที่ไม่สวมหน้ากากอนามัย ค) เป็นเส้นทางของหยดละอองที่เคลื่อนที่ออกจากผู้ป่วยที่สวมหน้ากากอนามัยแบบ Surgical mask และ ง) เป็นเส้นทางของหยดละอองที่เคลื่อนที่ออกจากผู้ป่วยที่สวมหน้ากากอนามัยแบบ N95

การป้องกันโควิด 19

การสวมหน้ากากอนามัย

van der Sande, Teunis และ Sabel [8] ได้กล่าวว่า การเข้าใจถึงฟิสิกส์ที่สนับสนุนประสิทธิภาพของหน้ากากในการป้องกันเชื้อโรคในอากาศมีความสำคัญมากกว่าที่ผ่านมา โดยหน้ากากจะให้การปกป้องจากภายในโดยการกรองอนุภาคละอองที่เต็มไปด้วยเชื้อไวรัส และให้การป้องกันจากภายนอกโดยการดักจับละอองไวรัสที่ผู้ติดเชื้อแพร่ออกมา นอกจากนี้ Radonovich และคณะ [9] กล่าวว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในการทดลองระหว่างการใช้หน้ากาก N95 และหน้ากากทางการแพทย์สำหรับเหตุการณ์โรคไข้หวัดใหญ่ที่ได้รับการยืนยันในห้องปฏิบัติการรวมทั้ง Long และคณะ [10] ได้กล่าวว่า เมื่อเปรียบเทียบหน้ากาก N95 และหน้ากากแบบ surgical mask จะไม่มีความเกี่ยวข้องกับความเสี่ยงที่ต่ำของโรคไข้หวัดใหญ่ที่มาจากในห้องปฏิบัติการ และยังระบุว่าหน้ากาก N95 ไม่มีความจำเป็นสำหรับประชาชนทั่วไปและเจ้าหน้าที่ทางการแพทย์ที่ไม่ได้สัมผัสใกล้ชิดกับผู้ป่วยไข้หวัดใหญ่หรือผู้ป่วยที่สงสัยว่าจะเป็นโรค

จากการเพิ่มขึ้นของ COVID-19 ทั่วโลกทำให้เกิดปัญหาการขาดแคลนหน้ากากอนามัย [10] ดังนั้นศูนย์ควบคุมและป้องกันโรคอย่างเช่นในประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ปรับเปลี่ยนแนวทางปฏิบัติเกี่ยวกับหน้ากากโดยให้ใช้ผ้าสวมใส่ในพื้นที่สาธารณะ เพื่อให้สามารถควบคุมการซึมผ่านของหยดละอองจากผู้ติดเชื้อเข้าสู่ทางเดินหายใจของผู้รับเชื้อได้ อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของการใช้หน้ากากอนามัยในการควบคุมการแพร่กระจายละอองของ SARS-CoV-2 จากผู้ติดเชื้อไปยังผู้รับเชื้อที่อ่อนแอ นั้นไม่สามารถป้องกันได้ทั้งหมด โดยทั่วไปแล้ว N95 มีไว้เพื่อป้องกันไม่ให้ผู้ใช้สูดดมอนุภาคขนาดเล็กในอากาศ (Aerosols) และต้องมีความพอดีกับใบหน้าของผู้ใช้

การล้างมือ

การแพร่เชื้อจากพื้นผิวที่มีละอองของ Virion (ไวรัสอาศัยอยู่บนพื้นผิวภายนอกของเซลล์โฮสต์) เกิดขึ้นผ่านการสัมผัสผ่านมือ ดังนั้นการล้างมือโดยใช้สบู่จะลดการติดเชื้อได้โดยแรงเสียดทาน ความหนืด ความตึงผิวและความโน้มถ่วงจะมีบทบาทสำคัญในกระบวนการนี้ [11]

การใช้เครื่องพ่น

การฉีดพ่นฆ่าเชื้อเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในพื้นที่ขนาดใหญ่เช่น โรงพยาบาลและเครื่องบิน ประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับอัตราการกระจายตัวของละอองในอากาศ Krishnan [12] ได้กล่าวว่าในการออกแบบเครื่องพ่นจะอยู่บนพื้นฐานของพลศาสตร์ของไหลของละอองและขนาดหยดละอองที่มีขนาดต่ำกว่า $10\ \mu\text{m}$ ซึ่งขนาดของหยดละอองนี้มีผลมาจากการที่ความเค้นที่มีค่าน้อยและการชนกันระหว่างหยดละอองกับนิวเคลียสหยดละอองที่มีเชื้อไวรัสจากการแพร่กระจาย นอกจากนี้ยังมีการนำเครื่องพ่นมาปรับใช้ในสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคโควิด 19 อีกด้วย

ระยะห่างทางสังคม

จากที่ได้อธิบายข้างต้นสถานการณ์จากกิจกรรมการหายใจต่าง ๆ [2] (รูปที่ 8) นั้นแสดงให้เห็นว่าระยะห่าง 2 m ยังไม่เพียงพอต่อการป้องกันการติดเชื้อโรคโควิด 19 ดังนั้นจึงต้องมีการสวมหน้ากากอนามัยในการป้องกัน นอกจากนี้กลุ่มนักวิจัยชาวญี่ปุ่น [13] ได้พบว่าหยดละอองขนาดเล็กระดับไมโครเมตร (Microdroplets) ถูกแพร่ออกมาจากการพูดทุกครั้งและหากมีความดังมากก็จะสามารถแพร่ออกมาได้มาก ดังนั้นการที่คนสองคนสนทนากันโดยเว้นระยะห่างกันตามปกติอาจทำให้ติดเชื้อได้ง่ายทำให้องค์การอนามัยโลก (WHO) ได้แนะนำถึงระยะห่างทางสังคมให้ผู้คนมีระยะห่างกันอย่างน้อย 1 m ตลอดเวลา รวมไปถึงการสนับสนุนให้อยู่ในบริเวณที่มีอากาศถ่ายเทสะดวกอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Kim, Y. Chung, H. J. Jo, N. J. Lee, M. S. Kim, S. H. Woo, S. Park, J. W. Kim, H. M. Kim and M. Hana, "Identification of Coronavirus Isolated from a Patient in Korea with COVID-19", *Osong Public Health and Research Perspectives*, 11, 3–7 (2020).
- [2] X. Xie, Y. Li, A. T. Chwang, P. L. Ho and W. H. Seto, "How far droplets can move in indoor environments? Revisiting the Wells evaporation falling curve", *Indoor Air*, 17, 211-225 (2007).

- [3] A. Mangili and M. A. Gendreau, “Transmission of infectious diseases during commercial air travel”, *The Lancet*, 365, 989-996 (2005).
- [4] M. D. Christian, M. Loutfy, L. C. McDonald, K. F. Martinez, M. Ofner, T. Wong, T. Wallington, W. L. Gold, B. Mederski, K. Green and D. E. Low, “Possible SARS coronavirus transmission during cardiopulmonary resuscitation”, *Emerging Infectious Diseases*, 10, 287-293 (2004).
- [5] W. F. Wells, “On air-borne infection: study II. Droplets and droplet nuclei”, *American Journal of Epidemiology*, 20, 611–618 (1934).
- [6] J. A. Moriarty and J. B. Grotberg, “Flow-induced instabilities of a mucus–serous bilayer”, *Journal of Fluid Mechanics*, 397, 1-22 (1999).
- [7] S. Niazi, R. Growth, K. Spann and G. R. Johnson, The role of respiratory droplet physicochemistry in limiting and promoting the airborne transmission of human coronaviruses: A critical review”, *Environmental Pollution*, (2020). doi: 10.1016/j.envpol.2020.115767.
- [8] M. van der Sande, P. Teunis and R. Sabel, “Professional and home-made face masks reduce exposure to respiratory infections among the general population”, *PLoS One*, 3, e2618 (2008).
- [9] J. J. Mcdevitt, S. N. Rudnick and L. J. Radonovich, “Aerosol susceptibility of influenza virus to UV-C light”, *Applied and Environmental Microbiology*, 78, 1666-1669 (2012).
- [10] Y. Long, T. Hu, L. Liu, R. Chen, Q. Guo, L. Yang and L. Du, “Effectiveness of N95 respirators versus surgical masks against influenza: A systematic review and meta-analysis”, *Journal of Evidence-Based Medicine*, 13, 93-101 (2020).
- [11] M. H. Khan and H. Yadav, “Sanitization during and after COVID-19 pandemic: A short review”, *Transactions of the Indian National Academy of Engineering*, 5, 617–627 (2020).
- [12] J. Krishnan, G. Fey, C. Stansfield, L. Landry, H. Nguy, S. Klassen and C. Robertson, “Evaluation of a dry fogging system for laboratory decontamination”, *Applied Biosafety*, 17, 132-141 (2012).
- [13] B. Douglas, “This Japanese experiment shows how easily coronavirus can spread – and what you can do about it”, from <https://europeansting.com/2020/04/15/this-japanese-experiment-shows-how-easily-coronavirus-can-spread-and-what-you-can-do-about-it/> Access on April 14th, 2020.