

การระบาดของโรคโควิด 19 ด้วยละอองลอยและมาตรการ ควบคุมการระบาดเบื้องต้น

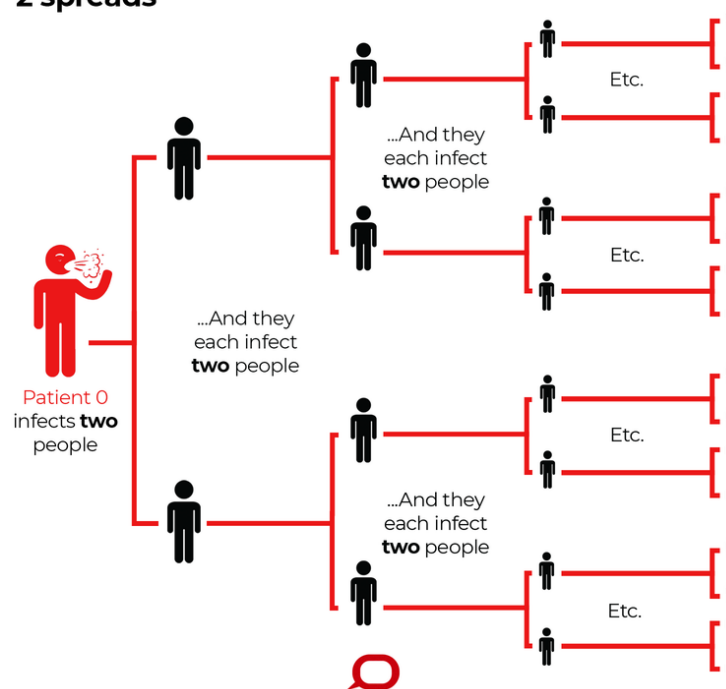
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อาจารย์ ดร.กริชชาติ ว่องไวลิขิต
ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล
ศาสตราจารย์ ดร.พิสุทธิ เพ็ชรมนกุล
รองศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย ชรินพานิชกุล
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธิกุล

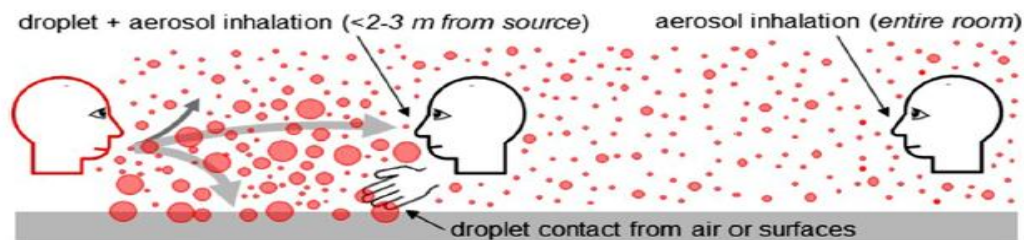
การแพร่ระบาดของโรคโควิด 19

- โควิด 19 เป็นโรคที่มีค่า Reproduction number (R0) ~ 1-2 ขึ้นอยู่กับพื้นที่
 - R0 หมายถึงค่าการแพร่เชื้อ โดยหาก R0 = 2 หมายถึง ผู้ติดเชื้อ 1 คนมักแพร่เชื้อให้กับผู้ใกล้ชิดอีก 2 คน

How a virus with a reproduction number (R0) of 2 spreads



การแพร่ระบาดของโรคโควิด 19



- รูปแบบการแพร่เชื้อของโควิด 19
 - **หยดละออง (droplet)**
 - เกิดจากการไอ จาม พุดคุย ฯลฯ ที่ทำให้มีสารคัดหลั่งออกมาจากระบบทางเดินหายใจ
 - มักมีขนาดอยู่ในช่วง 60 ไมโครเมตร ถึง 2 มิลลิเมตร
 - ระยะการกระจายตัวสั้นไม่เกิน 1-2 เมตร
 - สามารถเข้าสู่ร่างกายผ่านระบบทางเดินหายใจและมักติดอยู่บริเวณหลอดลม เยื่อเมือก
 - **การสัมผัส (Surface contamination)**
 - เกิดจากหยดละอองที่ตกลงบนพื้นผิว
 - สามารถเข้าสู่ร่างกายผ่านทาง การสัมผัสจมูก ปาก และตา
 - **ละอองลอย (aerosol)**
 - ขนาดเล็กกว่า 60 ไมครอน (นิยามเฉพาะโควิด เนื่องจากเป็นขนาดที่เริ่มลอยตัวในอากาศได้)
 - เกิดจากการหายใจ หรือ หยดละออง (droplet) บางส่วนของการพุดคุย ไอ จาม เกิดการระเหยจนมีขนาดเล็ก
 - มีระยะการกระจายตัวมากกว่า 1.5 เมตร และสามารถสะสมได้ภายในห้องที่อากาศไม่ถ่ายเท
 - สามารถเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ผ่านการหายใจและเข้าถึงถุงลมของปอดได้

ละอองลอย (Aerosol) ของโรคโควิด 19

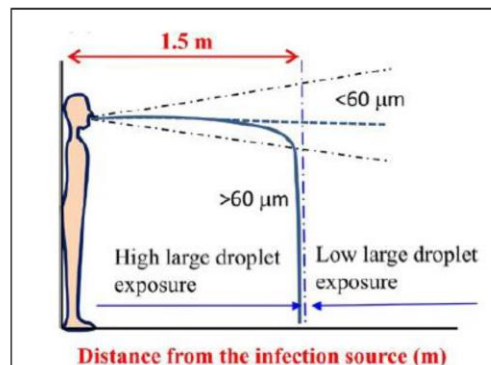
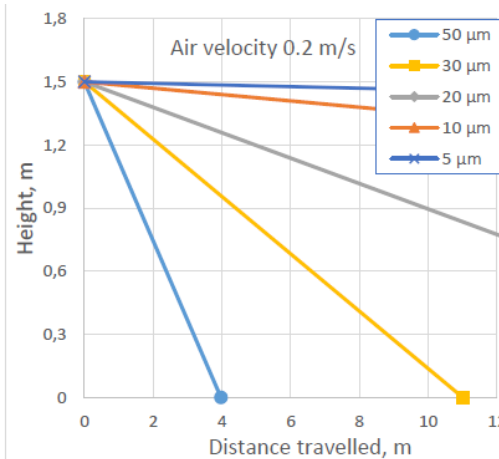
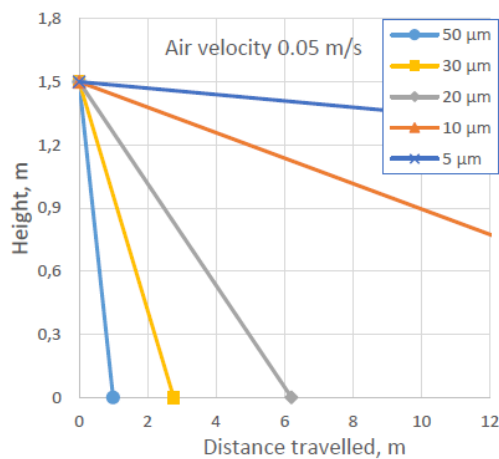
- **หลักฐานการแพร่เชื้อผ่านละอองลอย (aerosol) ของโควิด 19**
 - ในช่วงแรก องค์การอนามัยโลกได้เผยแพร่ข้อมูลเกี่ยวกับการระบาดของ SARS-COV 2 และให้คำแนะนำมาตรการควบคุมบนฐานของหยดละอองเท่านั้น ไม่ครอบคลุมละอองลอย
 - ประเทศญี่ปุ่นเป็นประเทศแรกที่ยืนยันความเสี่ยงในการติดโรคจากการรวมตัวของผู้คนจำนวนมากในห้องปิดที่แม้ไม่มีการไอหรือจาม โดยหลายประเทศได้พบหลักฐานในลักษณะเดียวกัน
 - มีการพิสูจน์เกี่ยวกับไวรัสของโรคโควิด 19 ที่สามารถอยู่ในรูปแบบของละอองลอยได้หลายชั่วโมง
 - เหตุการณ์แพร่กระจายของไวรัสใหญ่ ๆ (superspreading) หลายครั้งที่พบว่า สภาพที่เป็นห้องปิดและมีการถ่ายเทอากาศน้อย (Air change rate, ACH ต่ำกว่า 0.8 ต่อชั่วโมง)
 - กรณีของร้านอาหารกว้างโจว
 - Skagit Valley Chroale
 - หลายงานวิจัยได้ยืนยัน การแพร่กระจายโรคโควิด 19 จากละอองลอย (aerosol)

ละอองลอย (Aerosol) ของโรคโควิด 19

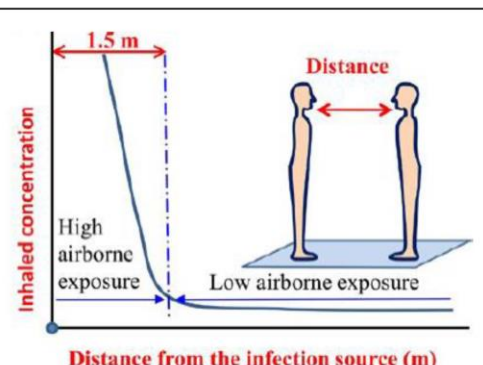
- **หลักฐานการแพร่เชื้อผ่านละอองลอย (aerosol) ของโควิด 19**
 - การแพร่กระจายผ่านละอองลอยถูกยืนยันโดยศูนย์ป้องกันและควบคุมโรคแห่งยุโรป (ECDC) และสถาบัน Robert Koch ของเยอรมันที่พบการฟุ้งกระจายของโควิดในระบบระบายอากาศ
 - จัดหมายเปิดผนึกจากนักวิทยาศาสตร์กว่า 239 คน ถูกส่งให้ WHO เกี่ยวกับการติดเชื้อผ่านละอองลอย
 - WHO ยอมรับและเพิ่มลักษณะการแพร่กระจายโดยละอองลอยในรูปแบบของการกระจายโรคโควิด 19 ในเดือนมิถุนายน 2563 ที่ผ่านมา

ละอองลอย (Aerosol) ของโรคโควิด 19

- ระยะการกระจายตัวของหยดละออง (droplet) และละอองลอย (aerosol)



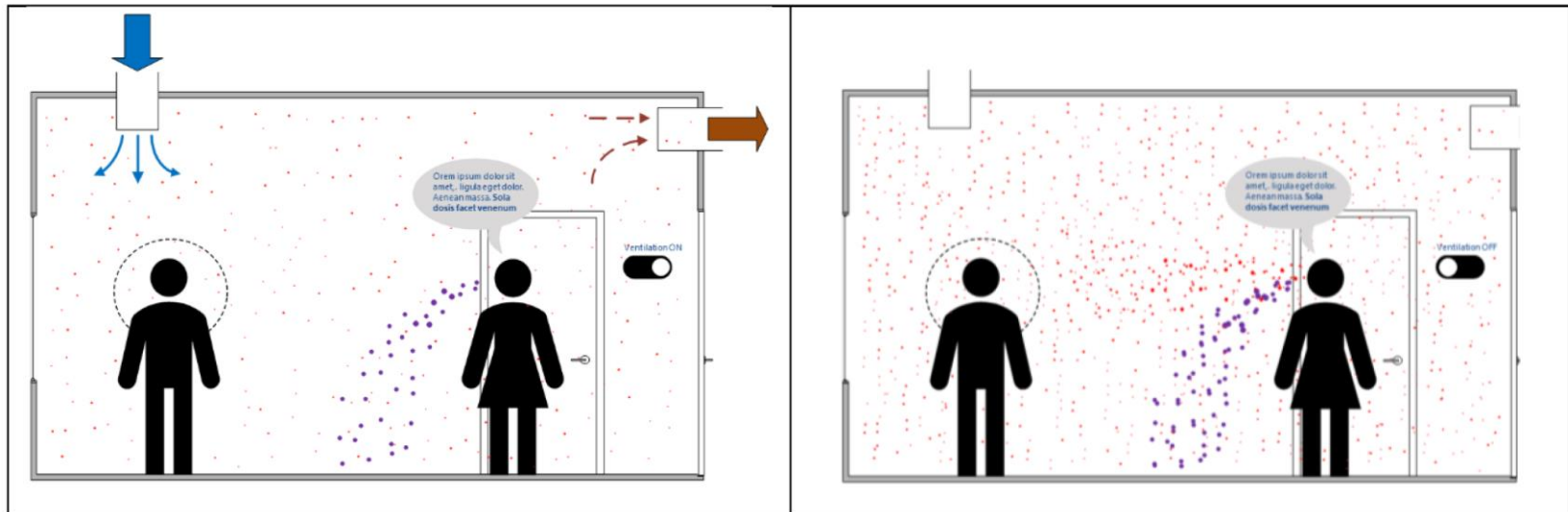
Close contact: combined exposure from droplets and droplet nuclei (aerosols)



Long range: exposure from droplet nuclei (aerosols) can be controlled with sufficient ventilation

ละอองลอย (Aerosol) ของโรคโควิด 19

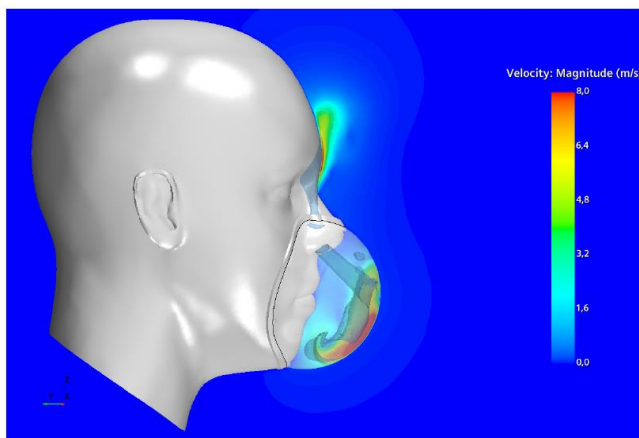
- การสะสมตัวของละอองลอยภายในห้องปิด



(ซ้าย) การลดการสะสมของไวรัสในพื้นที่ปิดจากการเปิดระบบระบายอากาศ (ขวา) การสะสมของไวรัสในห้องที่ไม่เปิดการระบายอากาศ

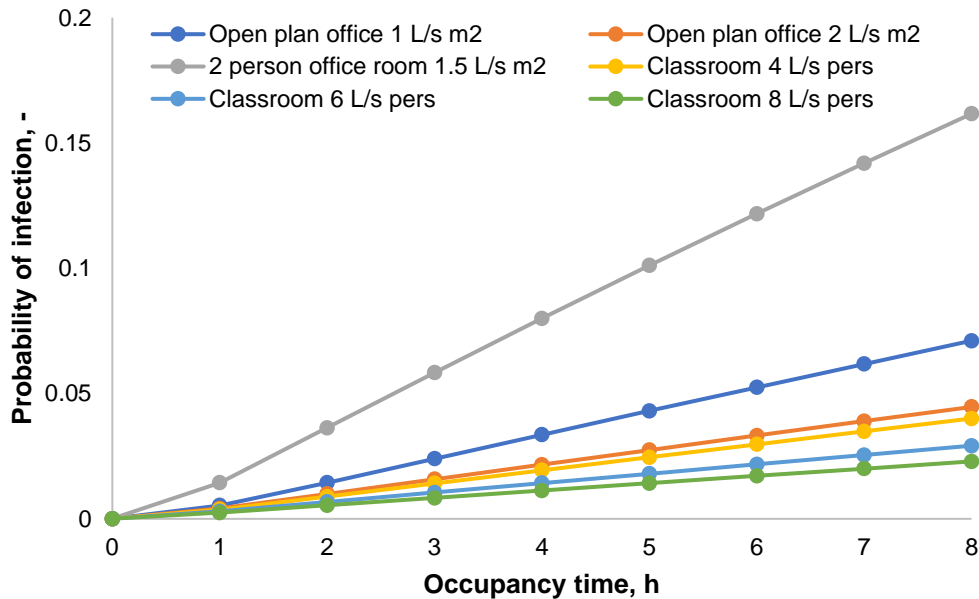
ละอองลอย (Aerosol) ของโรคโควิด 19

- การลดการกระจายตัวของโควิด 19 จากการสวมใส่หน้ากาก
 - หน้ากากสามารถป้องกันการฟุ้งกระจายอย่างรวดเร็วของไวรัสจากการไอและจาม
 - ช่วยลดการกระจายตัวโดยตรงได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อไม่สามารถรักษาระยะได้ต่ำกว่า 2 เมตร
 - แม้ใส่หน้ากาก การอยู่ในพื้นที่ปิดที่ไม่มีการถ่ายเทอากาศที่เหมาะสมจะยังส่งผลให้มีความเสี่ยงในการติดโรคโควิด 19 สูง เนื่องจากละอองลอยสามารถลอดผ่านหน้ากากได้โดยเฉพาะในบริเวณรอยต่อระหว่างจมูกและหน้ากาก
 - การสวมใส่หน้ากากชนิด N95 ที่มีวาล์วสำหรับการระบายอากาศสามารถทำให้ไวรัสถ่ายเทออกจากหน้ากากได้และไม่มีผลในการควบคุมโรค



ละอองลอย (Aerosol) ของโรคโควิด 19

- ระยะเวลาสัมผัสที่เสี่ยงในการติดโรคโควิด 19 จากละอองลอย
 - ความเสี่ยงในการติดเชื้อขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัย
 - ขนาดของห้องและอัตราการถ่ายเทอากาศภายในห้อง
 - กิจกรรมภายในห้อง
 - ระยะเวลาในการสัมผัส

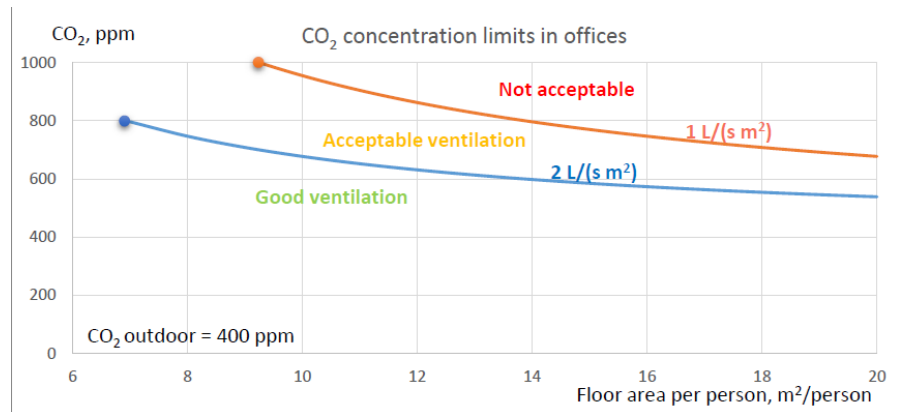


ทฤษฎีและกรณีศึกษา

- **การเพิ่มอัตราการระบายอากาศในพื้นที่ปิดและกึ่งปิด**
 - อัตราการระบายอากาศมาก ความเสี่ยงในการติดโรคจะลดลงและการรักษาระยะห่าง 1.5 เมตร จะมีประสิทธิผลสูงสุด
 - การระบายอากาศในแต่ละพื้นที่ควรมีอย่างน้อย 10 ลิตรต่อวินาทีต่อคน
 - ในทางปฏิบัติแนวทางที่เหมาะสมคือควรให้มีการระบายอากาศอย่างต่อเนื่องก่อนและหลังการใช้งานในพื้นที่ไม่ต่ำกว่า 2 ชั่วโมง
 - ในเบื้องต้น อัตราการถ่ายเทอากาศที่เหมาะสมในการลดความเสี่ยงในการติดเชื้อ คือ 3-5 เท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง (air changes per hour, ACH)

ทฤษฎีและกรณีศึกษา

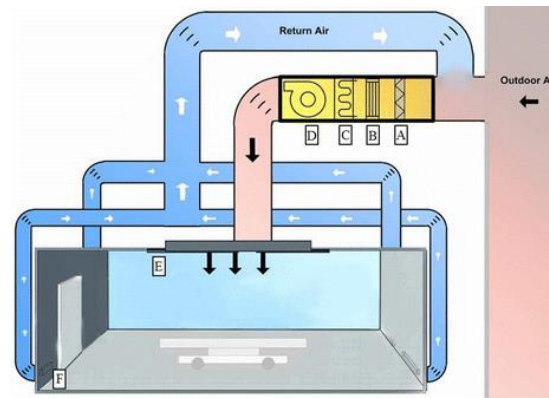
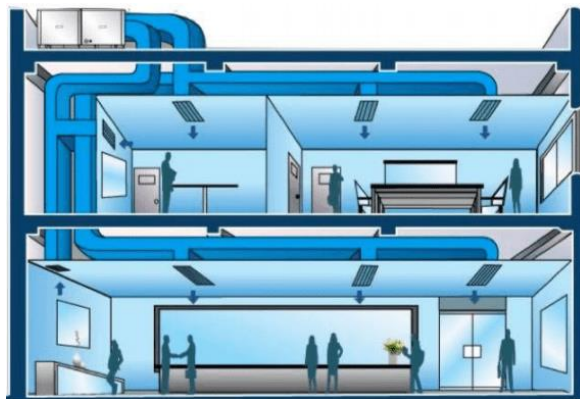
- การติดตั้งระบบตรวจวัด CO₂ เพื่อใช้เป็นตัวชี้วัดในการระบายอากาศ
 - การตรวจวัด CO₂ เป็นแนวทางหนึ่งในการตรวจวัดความสามารถในถ่ายเทอากาศในแต่ละพื้นที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ที่มีผู้ใช้งานเป็นปริมาณมากและต่อเนื่อง เช่น พื้นที่ห้องเรียน ห้องประชุม ฯลฯ
 - ในห้องที่มีผู้ใช้งานเป็นปริมาณมากควรมีค่า CO₂ ต่ำกว่า 800 ppm
 - ค่า CO₂ สูงกว่า 800 ppm แสดงถึงการระบายอากาศที่ไม่ดีหรือเป็นพื้นที่แออัด
 - หากความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าสูงกว่า 1000 ppm ควรต้องมีการจัดการอย่างเร่งด่วนเพื่อลดจำนวนผู้ใช้งานหรือเพิ่มอัตราการถ่ายเทอากาศ



ทฤษฎีและกรณีศึกษา

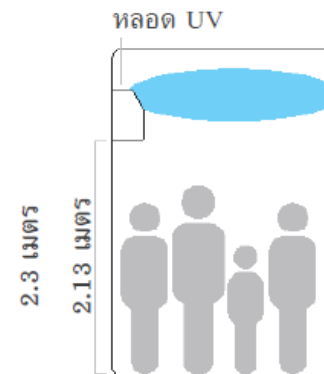
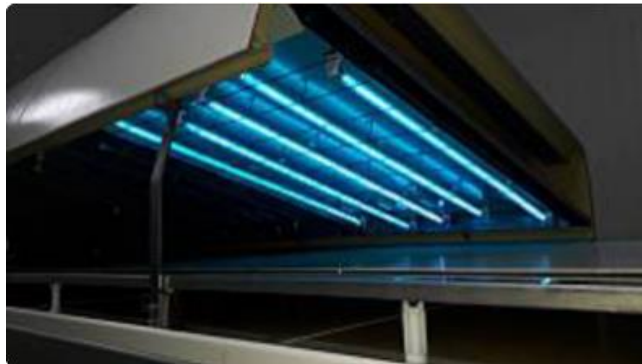
- ระบบแอร์รวม

- ระบบแอร์รวมทำให้เกิดการสะสมของไวรัสในรูปของละอองลอยอยู่ในอากาศเพราะไม่ได้เป็นการระบายอากาศสู่ภายนอกและระบบแอร์รวม
- โดยปกติมันไม่ได้มีการติดแผ่นกรองที่สามารถกรองหยดละอองหรือละอองลอยได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- ในสภาวะวิกฤตจึงควรหลีกเลี่ยงการใช้ระบบแอร์รวมหากไม่จำเป็น
- หากหลีกเลี่ยงไม่ได้ ควรให้มีการติดแผ่นกรองอากาศที่เหมาะสมหรือระบบฆ่าเชื้อด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต
- ควรรักษาให้มีการระบายอากาศในอัตราที่ไม่ต่ำกว่า 3-5 ACH



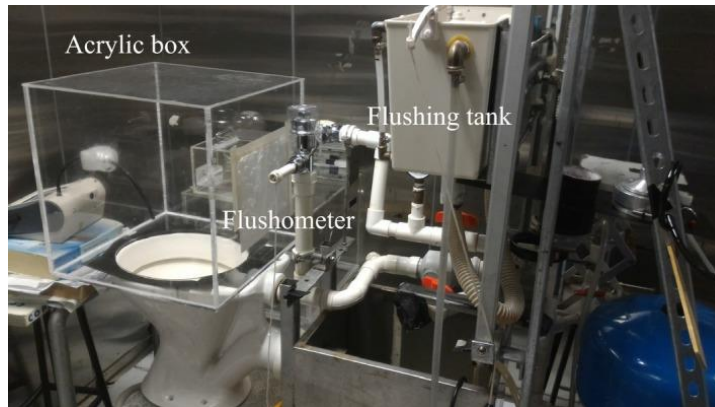
ทฤษฎีและกรณีศึกษา

- เครื่องกรองอากาศ
 - HEPA
 - สามารถช่วยลดการสะสมตัวของละอองลอยในอากาศได้ แต่อาจไม่เหมาะกับระบบแอร์รวมเนื่องจากมีความดันลดสูงมาก
 - ePM1 80 %
 - สามารถติดในระบบแอร์รวมได้ และสามารถลดการสะสมตัวของละอองลอยได้ แม้มีประสิทธิภาพไม่เทียบเท่า HEPA
- ระบบฆ่าเชื้อด้วยแสง (Germicidal Ultraviolet, GUV)

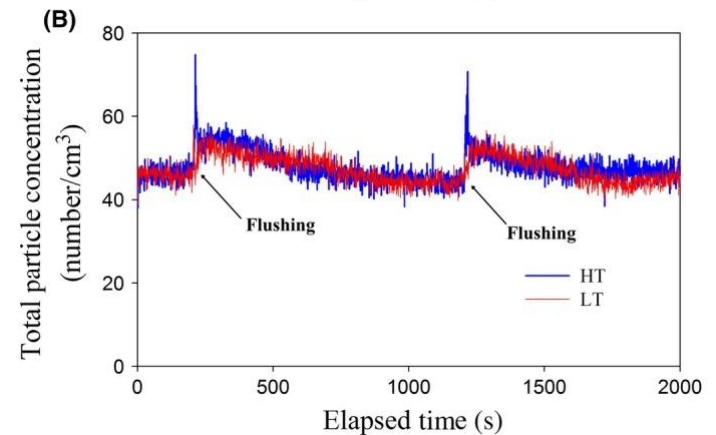
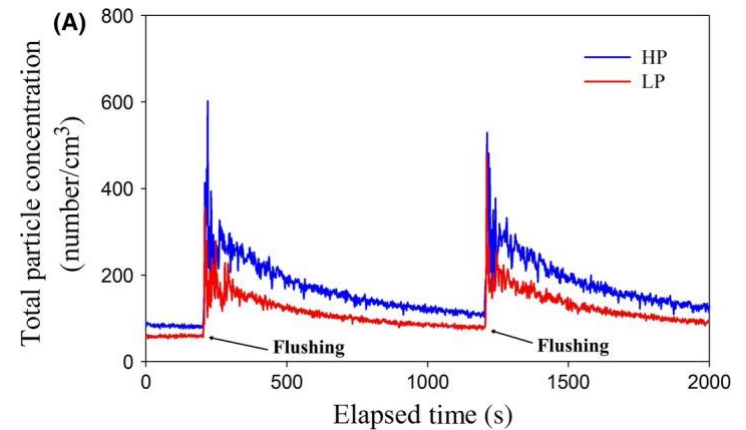


ทฤษฎีและการณีศึกษา

- การปิดฝาชักโครกก่อนกวดน้ำในห้องสาธารณะ



Temporal profile of total particle (0.3–10 μm) emission strength upon toilet flushing in the (A) high–pressure (HP, in blue) and low–pressure (LP, in red) and (B) high–tank (HT, in blue) and low–tank (LT, in red) conditions



ข้อเสนอแนะเบื้องต้นในการป้องกันโควิด 19 ในรูปละอองลอย

- การจัดกิจกรรมต่าง ๆ
 - เน้นการจัดกิจกรรมในพื้นที่เปิดโล่ง หรือกลางแจ้ง โดยจัดให้มีการเว้นระยะห่าง 2 เมตร และมีการใส่หน้ากากตลอดเวลาเพื่อลดโอกาสการติดเชื้อทั้งจากรูปแบบละอองฝอย (droplet) และละอองลอย (aerosol)

ข้อเสนอแนะเบื้องต้นในการป้องกันโควิด 19 ในรูปละอองลอย

- โรงเรียนและมหาวิทยาลัย
 - จัดให้มีการนั่งห่างกันในระยะ 2 เมตรเพื่อลดความเสี่ยงในการติดเชื้อผ่านละอองฝอย (droplet)
 - ควรจัดให้มีการล้างมืออย่างต่อเนื่องและลดการสัมผัสโดยตรงระหว่างบุคคลต่อบุคคล และทำความสะอาดพื้นผิวอย่างต่อเนื่อง
 - เพิ่มอัตราการระบายอากาศโดยควรให้มีอัตราการระบายอากาศอย่างน้อย **4-5 ACH** โดยการเปิดหน้าต่างและประตูเท่าที่เป็นไปได้
 - ควรติดตั้งระบบตรวจวัด CO₂ เพื่อใช้เป็นตัวชี้วัดอัตราการระบายอากาศ โดยหากค่า CO₂ สูงกว่า 800 ppm ควรลดจำนวนผู้ใช้งานหรือเพิ่มอัตราการถ่ายเทอากาศอย่างเร่งด่วน

ข้อเสนอแนะเบื้องต้นในการป้องกันโควิด 19 ในรูปละอองลอย

- **ห้องน้ำสาธารณะ**
 - ตรวจสอบท่อระบายน้ำที่งออยู่เสมอไม่ให้แห้งเพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับของเชื้อจากระบบระบายน้ำ
 - เพิ่มอัตราการระบายอากาศอย่างน้อย **3-5 ACH**
 - เพิ่มข้อบังคับในการปิดฝาชักโครกก่อนกดน้ำ

ข้อเสนอแนะเบื้องต้นในการป้องกันโควิด 19 ในรูปละอองลอย

- โรงพยาบาลและสถานกักกันผู้ติดเชื้อ
 - ห้องทั่วไปและห้องคนไข้ที่ไม่ติดเชื้อ
 - ควรมีการระบายอากาศไม่น้อยกว่า **4-6 ACH**
 - ห้องที่มีความเสี่ยงและใกล้ชิดผู้ติดเชื้อ
 - ควรตรวจสอบระบบระบายอากาศให้แยกออกจากระบบระบายอากาศบริเวณอื่น ๆ
 - ควรมีการระบายอากาศในอัตราที่ไม่น้อยกว่า **6-12 ACH** โดยสำหรับอาคารที่สร้างใหม่ ควรมีการระบายอากาศไม่น้อยกว่า **12 ACH** และควรติดตั้งอยู่ใกล้เคียงเตียงคนไข้ให้มากที่สุด
 - ควรมีการติดตั้งเครื่องกรองระบบ HEPA เพื่อป้องกันการการแพร่เชื้อออกนอกบริเวณ โดยหากเป็นไปได้ไม่ควรวนนำอากาศที่ผ่านเข้าห้องแล้วกลับเข้าสู่ห้องใหม่อีกครั้ง
 - ควรมีความดันลบไม่ต่ำกว่า 5 Pa เพื่อป้องกันเชื้อแพร่กระจายออกสู่ภายนอก

ข้อเสนอแนะเบื้องต้นในการป้องกันโควิด 19 ในรูปละอองลอย

- **สถานกีฬาในร่ม ฟิตเนส และโรงยิม**
 - เพิ่มอัตราการระบายอากาศโดยควรให้มีอัตราการระบายอากาศอย่างน้อย **10 ACH** โดยการเปิดหน้าต่างและประตูเท่าที่เป็นไปได้
 - ควรติดตั้งระบบตรวจวัด CO₂ เพื่อใช้เป็นตัวชี้วัดอัตราการระบายอากาศ โดยหากค่า CO₂ สูงกว่า 800 ppm ควรลดจำนวนผู้ใช้งานหรือเพิ่มอัตราการถ่ายเทอากาศอย่างเร่งด่วน

ข้อเสนอแนะเบื้องต้นในการป้องกันโควิด 19 ในรูปละอองลอย

- ร้านอาหารและพื้นที่ปิดอื่น ๆ
 - เพิ่มอัตราการระบายอากาศโดยควรให้มีอัตราการระบายอากาศอย่างน้อย **5 ACH** โดยการเปิดหน้าต่างและประตูเท่าที่เป็นไปได้
 - ควรติดตั้งระบบตรวจวัด CO₂ เพื่อใช้เป็นตัวชี้วัดอัตราการระบายอากาศ โดยหากค่า CO₂ สูงกว่า 800 ppm ควรลดจำนวนผู้ใช้งานหรือเพิ่มอัตราการถ่ายเทอากาศอย่างเร่งด่วน

ข้อเสนอแนะเบื้องต้นในการป้องกันโควิด 19 ในรูปละอองลอย

- ข้อเสนอแนะอัตราการระบายอากาศเบื้องต้น

พื้นที่	Recommended ACH
ห้องทั่วไป	อย่างน้อย 3-5
ห้องเรียน	อย่างน้อย 4-5
ห้องน้ำสาธารณะ	อย่างน้อย 3-5
ห้องทั่วไปในโรงพยาบาล	อย่างน้อย 4-6
ห้องที่มีความเสี่ยงและใกล้ชิดผู้ติดเชื้อ	อย่างน้อย 6-12
สนามกีฬาในร่ม ฟิตเนส โรงยิม	อย่างน้อย 10
ร้านอาหาร ภัตตาคาร	อย่างน้อย 5

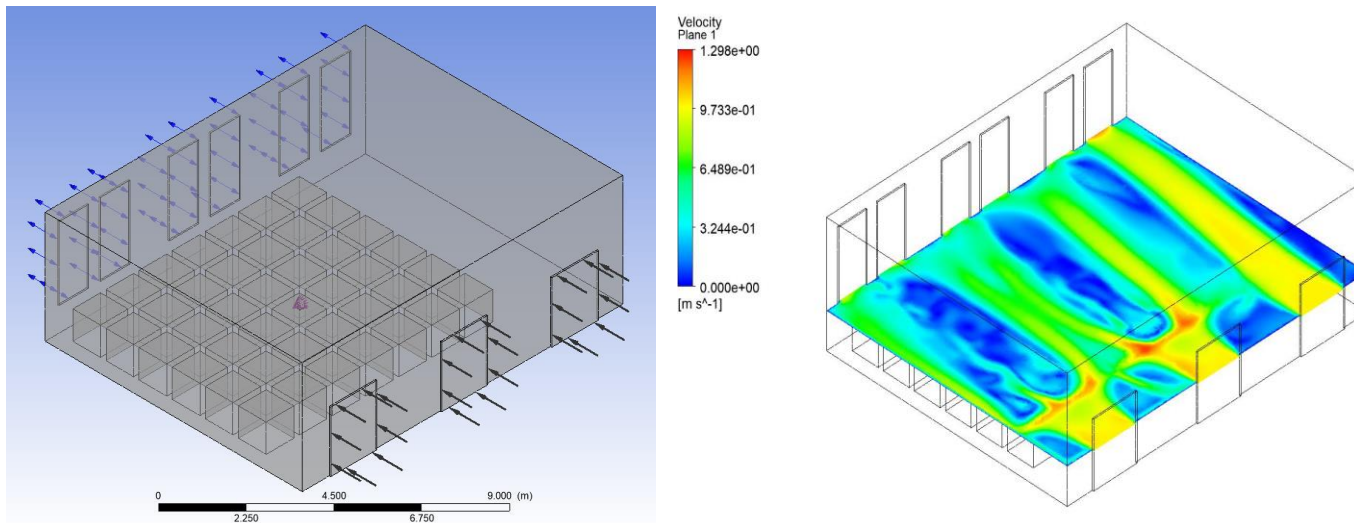
*ข้อมูลนี้เป็นการประเมินเบื้องต้นเท่านั้น

ข้อเสนอแนะเบื้องต้นในการป้องกันโควิด 19 ในรูปละอองลอย

- **การเพิ่มอัตราการถ่ายเทอากาศเบื้องต้น**
 - ระยะสั้น : เปิดประตู หน้าต่าง
 - ระยะกลาง-ยาว : ติดตั้งระบบระบายอากาศที่ได้มาตรฐาน
- **การลดการสะสมของละอองลอย**
 - ติดตั้งเครื่องกรองอากาศ HEPA ในทุก ๆ ห้องสำหรับห้องที่ไม่ใช่ระบบแอร์รวม
 - สำหรับระบบแอร์รวมควรทำการติดแผ่นกรองที่สามารถกรองอนุภาคเล็กได้ (ePM1 80% / MERV-12 ขึ้นไป)

แนวทางการวิจัยและต่อยอด

- การถ่ายเทอากาศภายในพื้นที่ห้องเรียนและสำนักงานที่เหมาะสมในสถานการณ์โควิด 19
- การจำลองการฟุ้งกระจายของละอองลอย ความเข้มข้นของไวรัสและการถ่ายเทอากาศภายในสำหรับพื้นที่ห้องปิด
- ผลของระยะเวลาสัมผัสและความเข้มข้นของไวรัสที่ส่งผลต่อความเสี่ยงในการติดโรคโควิด 19
- การจัดการละอองลอยและหยดละอองภายในอาคารของระบบปรับอากาศ



การจำลองการไหลของอากาศภายในห้องเรียน 204 ตึก 3 คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
เมื่อมีการระบายอากาศอย่างทั่วถึงผ่านการเปิดประตูและหน้าต่าง