

長照機構寢室內通風型態對氣溶膠擴散之探討 及改善

江侑璇 (I-Hsuan Chiang)

台北科技大學建築與都市設計研究所
碩士生

黃志弘(Chih-Hong Huang)

台北科技大學建築與都市設計研究所
教授

摘要

長照機構被視為容納高危險傳染族群的場所，年長以及免疫力較差的受照顧者，容易罹患包括新型冠狀病毒（COVID-19）、結核病等的空氣傳染病，長照機構工作者及被照顧者的健康風險不容忽視，如何有效地預防和控制傳播流行病是最緊迫需要被解決的問題。因此我們需要了解氣溶膠及飛沫在室內空間中的特性及傳播途徑，對室內空間的環境進行改善，藉以降低長照機構內的傳染情況。

以長照機構三人寢室為參考，將空教室配置為實驗場域，在實驗中以點燃的線香模擬受感染者呼出之氣溶膠，實驗中使用移動式測量儀器 Acer Air Monitor Pro 與固定式測量儀器 MetOne，Acer Air Monitor Pro 以網格形式量測每個階段的環境因子，MetOne 置於線香旁量測燃燒時所散發的 PM1~PM10 濃度，實驗以燃燒前、燃燒中、靜置三個階段做量測，每階段 10 分鐘為一輪，了解受感染者呼出之氣溶膠擴散模式，及污染集中紅區癥結原理。

以計算流體力學(CFD)模擬室內氣流，利用實驗測得之污染物濃度作為 CFD 設置之依據，模擬驗證先前的實測數據，對比後發現燃燒線香後的空間與 CDF 模擬的結果皆顯示：單靠空調作為通風裝置無法有效的排出污染物，造成懸浮微粒在空間中持續的積累。因應這個狀況提出兩種改善策略進行比較：分別為機械抽風之氣流場控制及個人的通風裝置，利用機械裝置強化空間對流，達到在短時間內排出夾帶病毒之氣溶膠，降低滯留態及空氣傳染的機率，以提升長照機構寢室空間之空氣品質達到健康環境目標。

關鍵詞：氣溶膠、長照機構、通風換氣、計算流體力學(CFD)、個人換氣裝置

Discussion and Improvement of aerosol particles diffusion by Ventilation Patterns of Long-term Care Institutions dormitory

Abstract

Long term care institutions is seen to be a place where accommodate population at high risk. Elderly and immunocompromised care recipients are prone to airborne diseases including novel coronavirus (COVID-19), tuberculosis, etc, so we cannot ignore the health risks of workers in long-term care institutions. How to effectively prevent and control the spread of epidemics is the most urgent problem that needs to be solved. Therefore, we need to understand the characteristics and transmission routes of aerosol particles and droplets in indoor space, and improve the environment of indoor space to reduce the infection in long-term care institutions.

The configuration of the three-person dormitory in the long-term care institution is used as a reference for the experimental field. Use burning incense sticks to simulate the aerosols particle exhaled by infected people. Use mobile measuring instruments (Acer Air Monitor Pro) and stationary measuring instruments(MetOne) in experiments. Use Acer Air Monitor Pro to measure the environmental factors of each stage in the form of a grid, and MetOne is placed next to the incense stick to measure the PM1~PM10 concentration emitted. The experiment is measured in three stages: before combustion, during combustion, and at rest, ten minutes for each stage. Understanding aerosol particles diffusion patterns exhaled by an infected person and the principle of pollution concentration red zone.

Indoor Flow Field Simulation with Computational Fluid Dynamics. Using the measured pollutant concentration as the basis for CFD setting. Simulation results approve that the results of the space after burning incense stick and the CDF simulation both show that the air conditioner alone cannot effectively discharge pollutants as a ventilation device, causes continuous accumulation of aerosols in space. In response to this situation, we propose two improvement strategies for comparison were respectively Air field control of mechanical ventilation and personal ventilation. Using mechanical devices to enhance space convection. To achieve the purpose of discharging the aerosol entrained with the virus in a short time. Reduce the chance of stranded state and airborne contamination. To improve the air quality of dormitories in long-term care institutions to achieve the goal of healthy environment.

Keywords : aerosol particles, long term care institutions, Computational Fluid Dynamics(CFD), personal ventilating device

一、前言

在過去幾年中，流感、嚴重急性呼吸系統綜合症（SARS）病毒等傳染病的出現，到現在新冠狀病毒(COVID-19)的爆發對全球社會產生了前所未有的影響。新型冠狀病毒附著在飛沫和氣溶膠上形成生物氣溶膠並透過空氣進行傳播，在沒有完全的免疫屏障的情況下，儘管戴口罩和保持社交距離等物理隔離措施正在減少生物氣溶膠顆粒的傳播，但在室內環境中仍然存在病毒感染的風險(ChenRen et al,2021)，如何有效地預防和控制傳播流行病是最緊迫需要被解決的全球性問題。新冠肺炎疫不斷加劇的情況下，對於長照機構屬高危險族群，一旦機構出現染疫症狀就可能造成迅速擴散、交叉感染等風險(許詠晴，2022)。因此長照機構工作者及被照顧者的健康風險皆不容忽視。

本研究期望能夠過實驗及模擬驗證的方式，瞭解氣溶膠擴散情況，提出個人通風裝置和增設機械排風兩種方式，有效緩解感染者咳嗽和打噴嚏造成的污染物擴散，測試和評估其性能對感染源產生的污染物的傳播的影響，從而進一步降低院內群聚感染的風險，有效的改善長照機構寢室之室內空氣品質。

二、研究主體

1. 理論

根據國發會推估，2025年台灣將進入超高齡社會（65歲以上的老年人口占社會的20%以上），高齡化與失能的長期照顧需求將與日俱增，在COVID-19疫情下，高感染傳播風險場所包括長照機構等場域，該如何提供長者們一個安養適宜的長期照護環境，室內空氣品質是關鍵之一。醫務人員以及來訪者和患者正在經歷從傳染性患者感染空氣傳播傳染病的高風險。通風是控制和減少病原體通過醫院場所的空氣傳播途徑傳播的主要方式(Streifel,1999；Kaushal et al,2004；Beggs et al,2008)。然而，機構內的通風設施可能無法成功地將病原體從空氣中完全排出，甚至可能進一步增加它們在建築圍護結構內的傳播，從而污染更多的人並導致院內感染(Li et al.2007)。因此，良好的通風設計對於控制空氣傳播疾病的傳播起著重要作用。

計算流體力學CFD模型可應用於模擬和分析氣流、溫度和污染物濃度(Lawrance and Schone,2020)，研究指出SF₆和CO₂等示踪氣體已被用於模擬醫院病房中呼吸熱人體模型呼出的空氣所散發的傳染性氣溶膠液滴的運動，與氣溶膠顆粒大小0.7μm和3.5μm具有相似的氣溶膠動力學行為(Bivolarova et al.,2017)，環境中的氣溶膠很容易滲透到各種室內環境中，並對室內空氣質量產生不利影響，而氣溶膠及感染者呼出的液滴核夾帶著病菌形成的生物氣溶膠則容易造成空間中的交叉感染。

2. 實驗場域

本研究以實際測量之方式，將實測之汙染數值導入 CFD 進行模擬及改善。實驗場域為台北科技大學設計館的教室，將教室依照長照機構三人房做配置，實驗時間為 2022 年 9 月 30 日 11:30~12:08，以燃燒的線香作為汙染物，為避免受到外在干擾，燃燒及儀器測量過程中皆未開窗。

3. 實驗方法

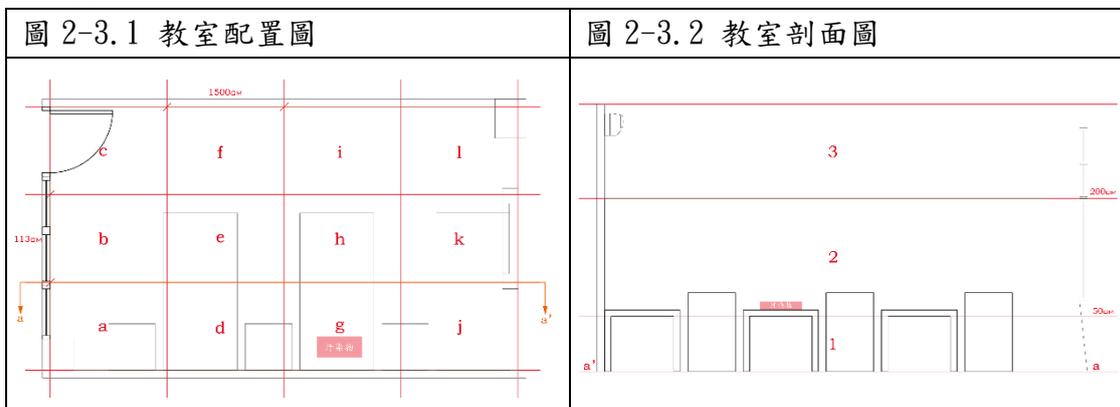


表 2-3.1 實驗階段表

實驗階段	燃燒前	燃燒中	靜置	靜置 10 分鐘
時間	11:30~11:36	11:40~11:52	11:52~11:58	12:02~12:08

使用 Acer Air Monitor 空氣品質偵測器進行移動式測量，量測線香燃燒的三個階段：燃燒前、燃燒中及靜置，燃燒前量測時間 6 分鐘；線香燃燒中量測兩輪共 12 分鐘；熄滅線香後靜置量測兩輪共 12 分鐘。每一輪量測 a~l 十二個網格、三個高度：50 公分/150 公分/200 公分共 36 比數據。固定式量測放置 MetOne 於線香旁作為懸浮微粒的濃度及測風儀量測空調的出風速，作為後續 CFD 模型參數的設定的依據。

表 2-3.2 各階段 PM2.5 濃度值

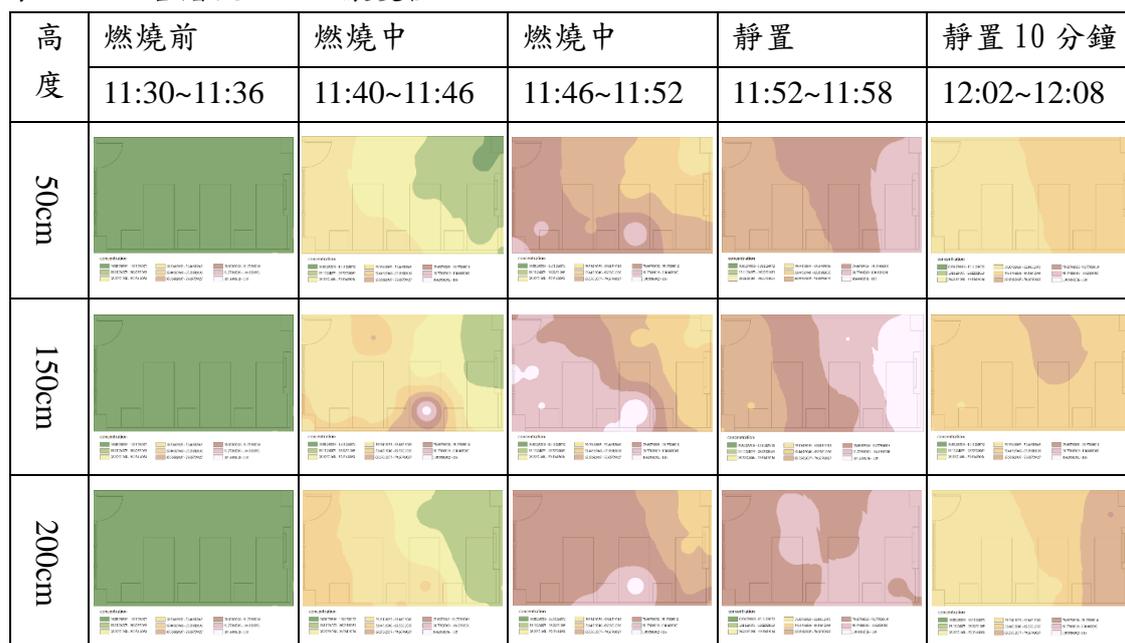


圖 2-3.3 50cm PM2.5 燃燒中濃度

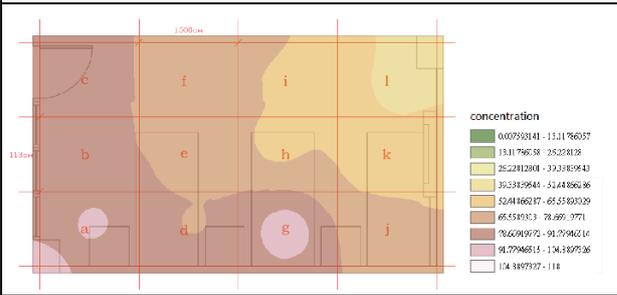
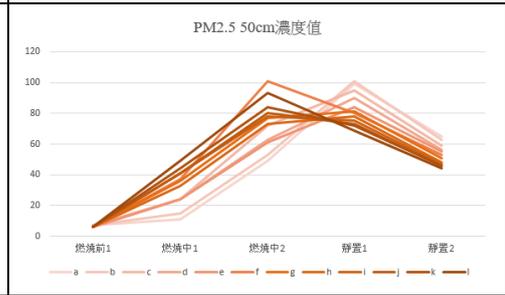
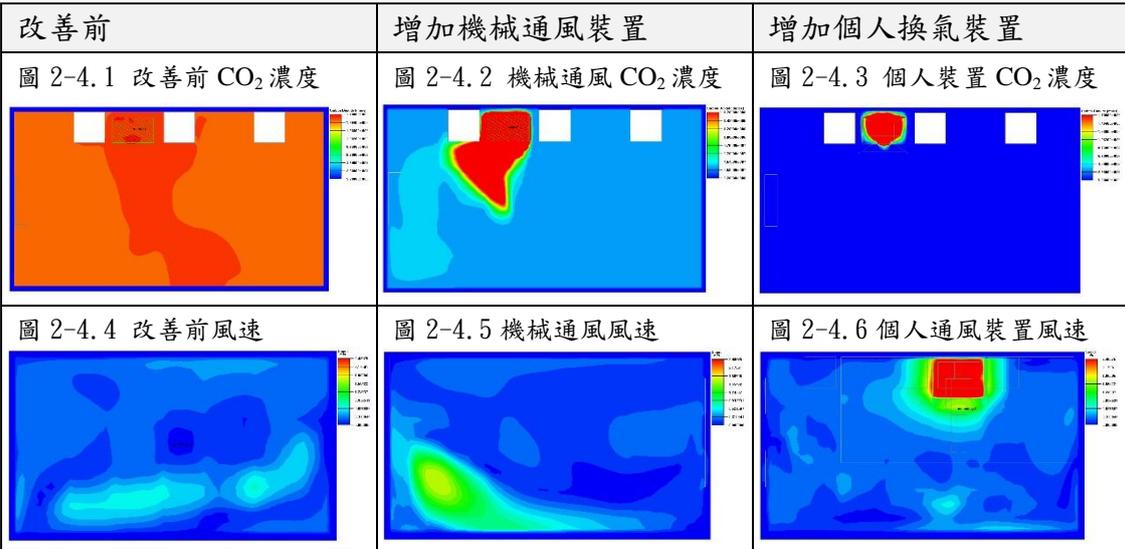


圖 2-3.4 燃燒過程網格濃度值



4. CFD 模擬



5. 數據切圖分析

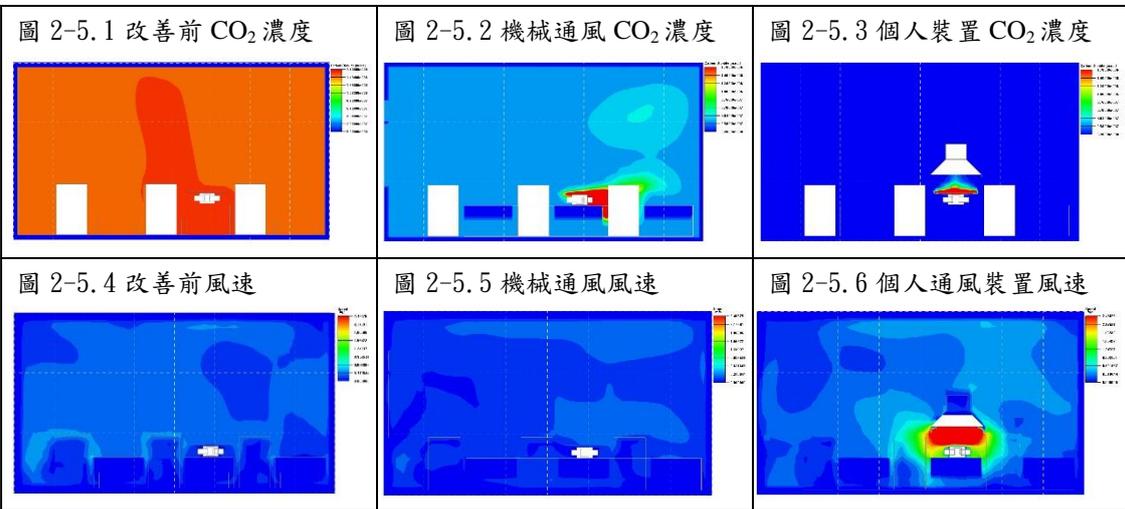


圖 2-5.7 CO₂ 濃度數據切圖分析

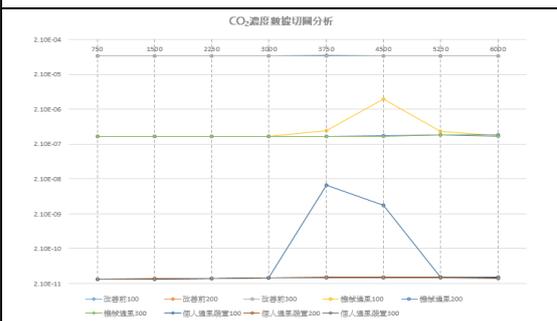
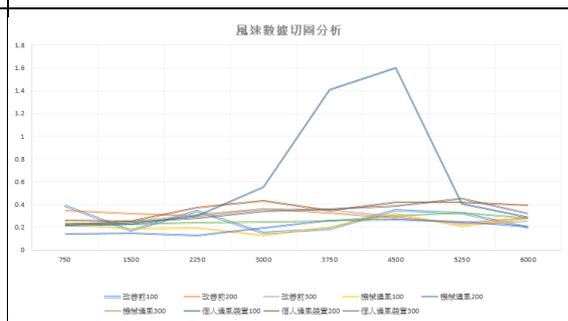


圖 2-5.8 風速數據切圖分析



三、結論與建議

本研究針對長照機構寢室之通風現況進行模擬實測，後續利用 CFD 進行模擬驗證及改善：

1. 單一的冷氣空調在實測及 CFD 的模擬的情況下，皆無法有效率的排除寢室空間內的污染物，造成污染物在空間中堆積，空間中人員暴露在污染風險中，進而增加交叉感染之機率。
2. 增加機械抽風裝置於空間中有效的提高空間風速，帶動污染物向排風口排出，達到對流換氣的作用，空間中的污染濃度也相對的下降，但卻無法在短時間內排除室內之污染物，仍然具有一定程度的感染機率。
3. 裝設個人換氣裝置於感染者的頭頂，有效地將污染物產生後即刻排出，減少污染物被空間中風場捲入造成堆積及滯留的情況，大幅地降低人員感染機率。
4. 未來可針對換氣裝置之形式及材質等作探討，減少污染物在裝置內堆積、降低設置之成本，期望能廣泛應用於容易造成感染之場所如：醫院、候診室及長照機構等，藉由簡單的通風裝置改善室內環境之空氣品質。

四、參考文獻

1. Bivolarova, M., Ondráček, J., Melikov, A., Ždímal, V. (2017). A comparison between tracer gas and aerosol particles distribution indoors: The impact of ventilation rate, interaction of airflows, and presence of objects. *indoor air*, 27(6), 1201-1212.
2. ChenRen, C. X., Junqi Wang , Zhuangbo Feng , Fuzhan Nasiri , Shi-Jie Cao , Fariborz Haghighat. (2021). Mitigating COVID-19 infection disease transmission in indoor environment using physical barriers. *Sustainable Cities and Society*, 74:103175.
3. Z. T. Ai, A. K. M. (2018). Airborne spread of expiratory droplet nuclei between the occupants of indoor environments: A review. *indoor air*, 28(4), 500-524.
4. Suvanjan Bhattacharyya, K. D., Akshoy Ranjan Paul, Ranjib Biswas. (2020). A novel CFD analysis to minimize the spread of COVID-19 virus in hospital isolation room. *Chaos, Solitons & Fractals*, 139(110294).
5. YahyaSheikhnejad, Marzieh Fallahpour Hami, Motamedid Mohammad, Moshfeghi, Parham A. Mirzaei, Hadi Bordbar. (2022). Airborne and aerosol pathogen transmission modeling of respiratory events in buildings: An overview of computational fluid dynamics. *Sustainable Cities and Society*, 79(103704).
6. Lei Zhao, Y. Q., Paolo Luzzatto-Fegiz, Yi Cui, Yangying Zhu. (2020). COVID-19: Effects of Environmental Conditions on the Propagation of Respiratory Droplets. *Nano Letters*, 20(10).