환경보건학적 관점에서 본 메르스 사태의 문제점 - 병원 실내공기질 관리를 중심으로 -

허다안 · 이정현 · 허은혜 · 문경환*

고려대학교 보건과학대학 보건과학과

*고려대학교 보건과학대학 보건환경융합과학부

Problems of the Middle East Respiratory Syndrome Outbreak from the Perspective of Environmental Health - Focusing on Control of Indoor Air Quality in Hospitals -

Da-An Heo, Junghyun Lee, Eun-Hae Huh, and Kyong Whan Moon*

Department of Public Health, College of Health Science, Korea University, Seoul, Korea

*Department of Health and Environmental Science, College of Health Science, Korea University, Seoul, Korea

ABSTRACT

Since Patient Zero of MERS was diagnosed in May 20, 2015, cases of MERS continued to grow. The current situation, which people have been confirmed to be infected, suggested that contaminated indoor air could be the potential cause of hospital-acquired infections. It is important to address the indoor air quality in hospitals because pathogens can spread through air. While the heating, ventilating and air conditioning(HVAC) system is useful managing indoor air quality in hospitals, it can transmit the pathogens if operated improperly. Therefore, it is necessary to remove contaminants in hospitals and operate the HVAC system according to the guidelines, in order to maintain clean indoor air.

Keywords: Hospital, HVAC, Indoor air quality, Middle east respiratory syndrome

I. 서 론

지난 2015년 5월 20일, 사우디아라비아와 아랍에미리트를 여행하고 돌아온 68세 남자 환자가 중동호흡기증후군(Middle East respiratory syndrome, MERS; 메르스)으로 확진된 이후 현재까지 메르스 환자는 계속해서 발생하고 있다. 국내에서는 최초 감염자와 접촉한 두 명의 환자가 12일 만에 사망하고 3차, 4차 감염자까지 발생함에 따라 지역사회로의 감염 확산에 대한 우려의 목소리 또한 커지고 있다. 첫 확진자가 발생한지 한 달이 지난 6월 20일까지

메르스 확진자는 166명, 사망자는 24명, 격리자는 5,197명인 것으로 보고되었다(Fig. 1).¹⁾

2015년 6월 20일을 기준으로, 메르스 환자가 발생한 병원은 강남 삼성서울병원이 82명으로 가장 많았고 평택성모병원이 37명으로 그 뒤를 이었다. 소수의 확진자로부터 수십 명이 전염되고 있는 현재의 상황은 병원 내의 부적절한 환기 상태와 응급실, 다인병실이라는 공간적 특성으로 인해 오염된 실내공기가 하나의 원인으로 작용했을 가능성이 있다. 2015년 6월 5일에 공개된 민간합동대책반의 역학조사 결과에서도 평택성모병원 내 메르스 1번 확진자가 입

[†]Corresponding author: Department of Health & Environmental Science, College of Health Science, Korea University, Seoul 136-703, Korea, Tel: +82-2-3290-5692, Fax: +82-303-0317-2865, E-mail: kwmoon@korea.ac.kr

Received: 28 June 2015, Revised: 28 June 2015, Accepted: 28 June 2015

Fig. 1. The number of confirmed cases, deaths and quarantines with Middle East respiratory syndrome in South Korea (20 May to 19 June, 2015).

원했던 병실에 적절한 환기시설이 없음을 지적했다.

일반적으로 미생물체에 의해 인체감염이 일어나기 위해서는 인체에 침투해야 하는 최소한의 병원체 수(infectious dose) 이상이 체내로 유입되어야 한다.²⁾ 병원체의 수는 사람의 활동량이 늘어날수록 증가하며,³⁾ 환기의 상태와도 관련이 있다고 알려져 있다.⁴⁾ 또한 이렇게 증가한 병원체는 매개체에 의한 전이(vector borne transmission), 접촉전이(contact transmission), 오염된 물건에 의한 전이(transmission by transminated vehicles), 공기를 통한 전이(airborne spread) 등의 기전을 통해 인체에 침투하여 질병을 유발할 수 있다.⁵⁾

특히 병원의 실내공기질은 각 병실 및 진료실의 사용목적에 따라 온도, 습도, 세균이나 바이러스 등의 미생물이 일반 건물과는 달리 엄격하게 관리되어야 한다. 하지만 우리나라의 경우 아직은 병원 환경의 표준제도가 확립되어 있지 않아 병원내 실내공기질 관리가 중대한 문제로 대두되고 있다. 따라서 본 논문에서는 현재 한국의 메르스 사태를 통해 알 수 있는 국내 병원 실내공기질 관리의 문제점을 언급하고, 추후 개선방향에 대해 제안하고자 한다.

II. 본 론

1. 병원체의 에어로졸을 통한 전파 가능성

에어로졸(aerosol)은 미세한 고체의 콜로이드(colloid)

나 액체 방울이 공기 중에 떠다니는 것을 의미한다. 액체 또는 고체 입자는 대체로 $1\ \mu\text{m}$ 정도의 직경을 가지지만 에어로졸의 크기는 $0.001\ \mu\text{m}$ 에서 $100\ \mu\text{m}$ 로 다양하다.⁶⁾ 에어로졸을 통해 병원체의 전파가 일어날 수 있는데, 에어로졸의 크기에 따라 비말전파(droplet transmission)와 공기전파(aerosol transmission)로 구분한다.⁷⁾

비말은 대화(talking), 웃음(laughing), 기침(coughing), 재채기(sneezing)에 의해 생성되며, 감염성 있는 에어로졸을 생성할 수 있다.⁸⁾ 에어로졸은 다양한 상황에 따라 입자의 크기가 달라지는데, 이 크기는 입자가 공기 중에서 체류할 수 있는 시간, 이동 가능한 거리 등에 영향을 준다. Galton 등에 따르면 호흡, 기침, 재채기, 대화를 통해 생성되는 입자의 크기는 $0.05\sim 500\ \mu\text{m}$ 로 다양하다.⁷⁾ 또한 8 ft(약 2.5 m) 이동 범위 내에서 침강하는데 소요되는 시간은 $100\ \mu\text{m}$ 크기의 입자가 8초, $10\ \mu\text{m}$ 가 13분, $1\ \mu\text{m}$ 가 19시간, $0.1\ \mu\text{m}$ 가 79일, 그리고 $0.01\ \mu\text{m}$ 크기의 입자는 거의 침강하지 않고 공기 중에 부유한다는 연구결과가 있다(Table 1).⁹⁾ 부유하고 있는 에어로졸은 짧은 거리에서 먼 거리까지 이동이 가능하며, 먼 거리 이동은 주로 환기 시스템이나 사람의 이동 등으로 인한 압력차로 공기가 이동하게 되었을 때 발생한다. 또한 입자의 크기가 큰 비말이라 할지라도 증발을 통해 비말핵(droplet nuclei)으로 바뀔 수 있으며, 이는 먼 거리까지 감염을 전파하는 원인이 될 수 있다.⁸⁾ 물

Table 1. Particle settling time in still air⁹⁾

Particle size(μm)	Time required to settle 8 ft
100	8 secs
10	13 mins
1	19 hrs
0.1	79 days
0.01	infinite

론 아무리 비말이 공기 중으로 퍼진다고 해도 질병을 일으킬 수 있는 병원체가 포함되어 있지 않다면 감염은 일어나지 않는다. 대부분의 병원체가 이번 메르스-코로나 바이러스(MERS-CoV)처럼 일반적인 기침이나 호흡을 통해 배출되지 않는다면¹⁰⁾ 공기전파는 크게 염려할 문제가 아닐지도 모른다. 그러나 환자에게 기관 내 삽관 등을 수행하는 과정에서 에어로졸이 발생하거나¹¹⁾ 호흡기 내에서 분열, 증식되는 것으로 알려진 대다수 병원체의 경우에는 특정 환경이 충족되면 공기전파와 비슷한 양상을 보일 수 있다.¹²⁾ 따라서 향후 발생할 수 있는 이동성 바이러스 등의 미생물이 병원 내에서 공기를 통해 전파된다는 가능성을 열어두는 것은 매우 중요하다고 할 수 있다.

2. 병원 내 공조시스템의 역할과 한계점

병원체가 공기 중에 부유할 수 있다는 사실은 병원 내 공기의 흐름과 환기시스템이 병원 내 감염에 중요한 역할을 담당한다는 것을 뜻한다. 우리나라의 대다수 종합병원은 자연환기 보다는 강제 환기 방식을 채택하고 있다.¹³⁾ 강제 환기 방식이란 송풍기, 환기 팬 등에 의해 실내공기를 강제적으로 내보내고 외부공기를 끌어들이는 환기방법을 뜻한다. 대표적인 강제 환기 방식으로는 공기조화시스템(heating

ventilating and air conditioning, HVAC; 공조시스템)이 있으며, 이 설비는 주로 실내의 온습도와 기류를 조절하고 오염물질을 제거하는 역할을 한다. 또한 병원에서의 공조시스템은 감염 확산을 막기 위해 실내 공기의 압력을 조절하는 역할도 수행한다.

공조시스템은 제어하는 방식이나 이용하는 매체, 덕트 수 등 다양한 방식에 차이를 둘 수 있다. 많은 국내 종합병원의 병동부는 덕트 병용 팬 코일 유닛 방식(duct fan-coil unit)을 사용해 왔으며,^{14,15)} 이는 공기와 물을 모두 사용하는 공기-물 방식(air-to-water system)에 해당된다. 중앙 공조실에서 팬 코일 유닛으로 보낸 냉온수는 실내의 온열환경을 조절하고, 덕트는 오염된 공기를 공기조화기로 보내거나 정화된 공기를 실내로 내보내는 통로가 된다. 이 때 공기조화기로 이동한 실내공기는 일정비율만을 외부로 내보내고, 나머지는 외기와 섞어 오염물질을 희석한 후 재활용한다(Fig. 2). 박동욱 등의 연구결과에 따르면, 연구대상으로 참여한 모든 병원들이 여름과 겨울 동안에는 외기의 반입 없이 병원 로비의 공기만으로 병원 내 공기를 순환시키고 있는 것으로 밝혀졌다.¹⁶⁾ 이러한 시스템은 만약 실내에 부유하고 있던 병원체들이 필터의 문제 등으로 걸러지지 않은 채 급기로 공급된다면 병원체를 전 병동으로 전파시킬 수 있다는 문제를 가지고 있다.

3. 적절한 병원 실내공기질 관리를 위한 지침

실내공기질을 관리하는 방법으로는 문제가 발생했을 때 대처하는 반응적 대응(reactive response)과 문제를 사전에 미리 예방하는 예방적 접근(proactive approach)이 있다. 반응적 대응은 발생원에 대한 조치와 환기가 대표적인 방법이며, 예방적 접근은 건

Fig. 2. The process of duct fan-coil unit HVAC system.

Table 2. Classification of viruses by the lipid and size¹⁸⁾

Category	Lipid and size	Property
Category A	Viruses that have lipoprotein envelopes.	Category A viruses are the most susceptible to disinfectants.
Category B	Small(20-30 nm) non-envelopes(non-lipid) virus.	Category B viruses are the least susceptible to disinfectants.
Category C	Large non-enveloped (non-lipid) viruses.	Category C viruses are intermediately susceptible to disinfectants.

Table 3. Disinfectant selection on types of viruses¹⁹⁾

Compounds (Concentration)	Chlorine (0.01-5%)	Iodine Iodophor (0.5-5%)	Chlorhexi-dine (0.05-0.5%)	Alcohol (70-95%)	Oxidizing agent (0.2-3%)	Phenol (0.2-3%)	Quaternary Ammonium (0.1-2%)	Aldehyde (1-2%)
Non-envelope viruses	Yes	Yes	No	No	Yes	No	No	Yes
Envelope viruses	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

Table 4. Air changes per hour(ACH) and time required for removal efficiencies of 99% and 99.9% of airborne contaminants*²⁰⁾

ACH	Minutes required for removal efficacy**	
	99%	99.9%
2	138	207
4	69	104
6	46	69
12	23	35
15	18	28
20	14	21
50	6	8
400	<1	1

*This table can be used to estimate the time necessary to clear the air of airborne *Mycobacterium tuberculosis* after the source patient leaves the area or when aerosol-producing procedures are complete.

**Time in minutes to reduce the airborne concentration by 99% or 99.9%.

축물의 설계에서부터 건축, 시험 가동, 입주에 이르는 단계에서 적절한 조치를 강구하는 방법이다.¹⁷⁾

반응적 대응의 첫째는 발생원에 대한 조치로, 병원 내의 적절한 소독을 통해 침강 상태인 병원체의 재비산이나 전파를 차단하는 것이다. 병원 내 소독을 할 때에는 먼저 병원체에 대한 특성을 파악하는 것이 중요하다. 한 예로, 바이러스는 소독제에 대한 감수성(susceptibility)이나 저항성(resistance)을 기준으로 그 종류를 구분할 수 있다. Noll 등은 바이러스의 외피(envelope) 또는 지질(lipid) 존재 여부에 따라 소독제에 대한 감수성을 3가지 카테고리로 분

Table 5. Comparison of the various guidelines governing the ventilation of general ward spaces in the Unites States and United Kingdom²¹⁻²³⁾

Code	Country	Minimum outdoor air change rate(AC/h)	Minimum total air change rate(AC/h)
AIA	United States	2	6
ASHRAE	United States	2	6
HTM 2025	United Kingdom	Not specified*	Not specified**

*Minimum outdoor air rate of 8 l/s per person specified.

**100% outdoor air encouraged.

류하였다(Table 2).¹⁸⁾ 최근 문제가 되고 있는 메르스-코로나 바이러스는 외피가 있는 바이러스로 카테고리 A에 포함되며, 소독제에 대한 감수성이 예민하다. 바이러스 형태별 소독제 종류와 유효농도는 Table 3과 같으며,¹⁹⁾ 외피가 없는 바이러스는 선택적인 소독제를 사용하여야 하나 이번 사태를 유발한 메르스-코로나 바이러스의 경우 다양한 소독제를 사용할 수 있다.

둘째는 환기로, 병원 내 구역의 공조시스템의 빈도를 조절하는 것이다. 미국 CDC의 의료시설의 인간형결핵균 전파방지를 위한 가이드라인에 따르면 1시간 당 환기횟수가 증가할수록 오염물질을 제거하는 데에 소요되는 시간이 짧아짐을 알 수 있다(Table 4).²⁰⁾ 또한 여러 기관에서 병원에서의 환기 정도를 시간 당 환기 횟수로 규정하고 있는 것을 고려했을 때(Table 5),²¹⁻²³⁾ 병원 내의 환기 빈도가 잦을수록 오

염물질 제거에 효과적이라고 예상할 수 있다. 그러나 공조시스템을 가동할 때에는 많은 에너지가 소비되므로 경제적인 면도 무시할 수 없는 측면이다. 2013년에 나온 환경부 보고서 환기설비 및 공기정화설비 관리기준 마련 연구에 따르면 많은 병원들이 중앙제어식 공조시스템을 사용하고 있음을 알 수 있다. 병원 내 공간에 따라 시간 당 필요한 환기 횟수가 다르기 때문에,²⁴⁾ 한 번에 모든 구간의 공조시스템이 가동되는 중앙제어식 방법은 에너지 소모가 클 뿐만 아니라 병원 내 각 구역들을 관리하기에는 효율적이지 못하다고 할 수 있다. 그러므로 공조 방식을 중앙제어식에서 개별제어식으로 점차 변경하여 병원 내 구역 특성에 맞게 환기 횟수를 개별설정 하는 것이 바람직하다고 판단된다.

예방적 접근은 건물의 계획단계에서부터 건강한 건물을 목표로 설정하여 진행하는 방식을 말한다. 병원의 경우에는 설계 단계에서 실내 공기의 일부를 재사용 하는 공조 설비 부분과 실내 공기 전부를 밖으로 내보내야 하는 부분에 대한 분리가 필요하다. 실내 공기 전부를 밖으로 내보내는 것은 실내 공기의 재사용으로 인한 추가 감염을 예방하기 위한 것인데, 현재 국내 병원들은 질병관리본부의 국가격리병상 운영과 관리에 따라 격리병동이 있을 경우에만 실내공기를 전량 외부로 내보내는 부분이 분리되어 있다. 그러나 AIA(American Institute of Architects)에 따르면 병원 내 화장실과 청소도구 보관함 등 몇몇 주의해야 할 공간은 격리병동이 아니더라도 발생할 공기를 전량 외부로 내보낼 것을 권고하고 있다.²⁴⁾ 이번 메르스 사태에서 알 수 있듯이 감염병 환자는 일반병동에서도 예상치 못하게 발생할 수 있으므로, 감염병 환자가 발견되었을 때 신속하게 실내공기를 재사용하지 않는 분리된 공조시스템을 보유해야 한다. 이미 완공된 병원 건물들은 공조 시스템을 분리시키는 작업에 많은 시간과 비용이 추가로 소요될 것이므로, 추후 지어지는 병원 건물들을 중심으로 공조 설비 부분을 분리시키는 설계를 권고할 필요가 있다.

메르스사태와 관련된 환경보건학적인 문제는 이번 논문에서 언급한 실내공기질 관리에 국한되는 것은 아님을 다시 한번 강조한다. 병원의 환기의 문제 이외에도 보호구 착용, 병원의 감염 환경, 위생/병원종사자의 의식, 위험 소통의 문제 등 다양한 문제가 있을 수 있다. 여러 환경보건학적인 관점들에 대한

별도의 연구와 종합적인 연구도 필요할 것으로 사료된다.

III. 결 론

본 논문에서는 병원체의 에어로졸을 통한 전파 가능성과 병원 실내공기질 관리의 중요성을 언급하였다. 메르스-코로나 바이러스는 기관 내 삽관 등의 에어로졸이 발생하는 치료를 수행할 때에 제한적으로 바이러스가 부유할 수 있는 상황이 형성된다. 그러나 공기를 통한 전이가 비교적 쉬운 병원체들은 그 특성상 비말이나 에어로졸 상태로 공기 중에 존재할 가능성이 크며, 이 경우 공기의 흐름을 제어하고 실내공기를 청결하게 유지하는 것이 추가적인 감염을 막는 중요한 방법이 된다. 병원의 공기조화시스템은 실내공기질을 관리하기에 용이한 면이 있으나, 부적절하게 사용될 경우 병원체를 전파시키는 원인이 될 수도 있다. 병원 내 오염 발생원들을 제거하면서 공조시스템을 바람직하게 운영한다면, 질 좋은 실내공기를 유지함으로써 병원 내 감염병 확산을 예방할 수 있을 것이라 생각한다.

References

1. Korea Centers for Disease Control and Prevention. Middle East respiratory syndrome information. Available: <http://www.mers.go.kr/mers/html/jsp/main.jsp> [accessed 21 June 2015].
2. Leggett HC, Cornwallis CK, West SA. Mechanisms of pathogenesis, infective dose and virulence in human parasites. *PLoS Pathog.* 2012; 8(2): e1002512.
3. Pastuszka, J., Kyaw Tha Paw, U., Lis, D., Wlazlo, A., Ulf, K. Bacterial and fungal aerosol in indoor environment in upper silesia, Poland. *Atmospheric Environment.* 2000; 34: 3833-3842.
4. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). Bioaerosols assessment and control. ACGIH; 1999.
5. Riley, R. L. The ecology of indoor atmospheres airborne infection in hospital. *Journal of Chronic Diseases.* 1972; 25: 421-423.
6. Hinds W. Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles, 2nd ed. New York: Wiley; 1999.
7. J. Gralton, E. Tovey, M.L. McLaws, W.D. Rawlin-

- son. The role of particle size in aerosolized pathogen transmission: a review. *Journal of Infection*. 2011; 62: 1-13.
8. Tang JW, Li Y, Eames I, Chan PK, Ridgway GL. Factors involved in the aerosol transmission of infection and control of ventilation in healthcare premises. *Journal of Hospital Infection*. 2006; 64(2): 100-114.
 9. Utrup LJ, Frey AH. Fate of bioterrorism-relevant viruses and bacteria, including spores, aerosolized into an indoor air environment. *Experimental Biology and Medicine*. 2004; 229(4): 345-350.
 10. Butler D. South Korean MERS outbreak is not a global threat. *Nature news*; 2015. Available: <http://www.nature.com/news/south-korean-mers-outbreak-is-not-a-global-threat-1.17709> [accessed 21 June 2015].
 11. World Health Organization(WHO). Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV). WHO; 2014. Available: http://www.who.int/csr/don/2014_04_11_mers/en/# [accessed 21 June 2015].
 12. Tang JW, Li Y, Eames I, Chan PK, Ridgway GL. Factors involved in the aerosol transmission of infection and control of ventilation in healthcare premises. *The Journal of Hospital Infection*. 2006; 64(2): 100-114.
 13. Eun-Gyu Lee. A study on distribution of airborne bioaerosols among different areas in a hospital[dissertation]. [Seoul]: Hanyang University; 2002.
 14. Sung Min, Kim, Yong Sik, Kim. A study on the HVAC system for improvement of indoor air quality in general hospital ward area. *Architectural Research*. 1996; 16(1): 201-205.
 15. Ju hyeon, Shin. HVAC system of modern hospitals. *The Korean Society of Clean Technology*. 2002; 15(3): 47-71.
 16. Dong-Uk Park, Jeong-Kwan Yeom, Won Jae Lee, Kyeong-Min Lee, Assessment of the level of airborne bacteria, gram-negative bacteria, and fungi in hospital lobbies. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2013; 10(2): 541-555.
 17. Hyeon Uk, Kim. Management and improvement of office building indoor air quality. *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene*. 2005; 208: 22-25.
 18. Noll H., Youngner J.S. Virus-lipid interactions. The mechanism of adsorption of lipophilic viruses to water insoluble polar lipids. *Virology*, 1959; 8: 319-343.
 19. University of Nebraska-Lincoln Extension, Institute of Agriculture and Natural Resources. Selection and use of disinfectants. Available: <http://www.ianr-pubs.unl.edu/public/archive/g1410/build/g1410.pdf> [accessed 21 June 2015].
 20. Centers for Disease Control and prevention (CDC), Guidelines for preventing the transmission of *Mycobacterium tuberculosis* in Health-Care Settings. CDC; 2005.
 21. American Institute of Architects. Guidelines for design and construction of health care facilities. Washington, DC: *American Institution of Architects*; 2006.
 22. American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers. HVAC design manual for hospitals and clinics. Atlanta (GA): *American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers*; 2003.
 23. National Health Service. Design considerations: ventilation in healthcare premises. Health technical memorandum 2025. London: National Health Service Estates; 1994.
 24. Industrial Air Solutions. AIA ventilation requirements hospitals and outpatient. Available: <http://www.industrialairsolutions.com/contamination-control/hospital-air-purifiers-pdf/AIA-Guidelines-patient-care-construction.pdf> [accessed 21 June 2015].