

코로나19 등 대응을 위한 “유리창 부착용 항바이러스 동필름” 성능분석 사례연구

김성제^{1,2*}

¹인천계양소방서 현장대응단장, ²서울시립대학교 재난과학박사

A Case Study on Performance Analysis of Antimicrobial Copper Film Attaching to Window for Responding to COVID-19 and Others

Seong Je Kim^{1,2*}

¹Field Response Group Leader, Incheon Gyeong Fire Station

²Ph. D. Department of Disaster Science in University of Seoul

요약

세계적인 코로나19 대유행의 시대에, 현재 치료제·백신이 개발, 시판 중인 단계에서 병원내 교차감염의 위험성이 있는 상황이므로, 개인적으로는 후천적인 면역력을 제고하고 사회환경적으로 구리이온의 성능에 의한 생활방역체제를 일반화해야 한다. 감염확산방지를 위해 동서고급의 연구개발사례를 근거로 항균동 필름의 필요성 및 항바이러스 성능실험을 통해 효능성을 분석했다. 한국건설생활환경시험연구원(KCL)에서 항균성능인증 및 “국가승인 성능인증기관”에서 항바이러스 시험성적 인증을 받게 되었다. 당시 질병관리본부의 허가를 받은 실험재료인 NCCP 43326 Human corona virus(BetaCoV/Korea/KCDC03/2020)을 분양받아 생물안전기준에 맞게 생체의 실험실에서 In Vitro 시험 결과, 항바이러스 성능시험에서 감염된 세포의 활성제거율이 만족할만한 결과를 도출하고 성능을 인증받게 되었다. 향후 코로나19 바이러스 확산방지대책으로 항바이러스 동필름이 시공된 유리창 공간내에서의 실험군과 항균동필름이 없는 동일조건 대조군을 비교하는 질(質)적인 임상실험연구가 추가 필요하다.

핵심용어: 코로나19, 항균동 필름, 항바이러스, 시험인증

ABSTRACT

In the era of the global coronal 19 pandemic, there is a risk of cross-infection in hospitals at the stage where treatments and vaccines are currently being developed and marketed, so individuals should enhance their acquired immunity and generalize their living systems by the performance of copper ions in the social environment. In order to prevent the spread of infection, the need for anti-bacterial film and its efficacy were analyzed through anti-viral performance tests based on research and development cases of worldwide and immemorial time. he Korea Construction Research Institute (KCL) has received anti-bacterial performance certification and anti-viral test scores from the “National Approval Performance Certification Agency.” At the time, NCCP 43326 Human Corona virus (BetaCoV/Korea/KCDC03 /2020), which was approved by the Centers for Disease Control and Prevention, was introduced to ensure that the activity rate of infected cells was satisfied in the anti-viral performance test. Anti-proliferation measures for the Corona 19 virus require a quality clinical trial study comparing the experimental group within the glass space where the antiviral copper film is constructed with the comparator of the same condition without copper film.

Keywords: COVID-19 pandemic, Activity removal rate, Vaccine, NCCP 43326

*Corresponding author: Seong Je Kim, saintkhan119@korea.kr ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4997-2460>

Received: September 7 2020, Revised: 31 December 2020, Accepted: 29 January 2021



1. 서론

2019년 12월 중국 우한(武漢) 폐렴에서 시작된 신종 코로나바이러스 감염증(COVID-19, 이하 코로나19로 칭함) 재난으로 2020년은 사회적 시간이 멈춘 상태가 되었는데 감염병이 종식될지 아직도 예측불허인 상황이다. 질병관리청 통계에서 코로나19의 국내 발생현황은 2021. 03. 23. 기준 확진환자 99,075명, 사망자 1,697명으로 공식발표되었다. 또한 세계보건기구(World Health Organization, 이하 WHO라 칭함)의 상기시각 기준 발표에서, 전세계 발생현황은 217개국에서 확진환자 123,207,156명, 사망 2,715,290명으로 공식집계되고 있다. 우리나라 및 전 세계에 확산된 코로나19에, WHO는 사상(史上) 세 번째¹⁾로 세계적 대유행(pandemic)²⁾을 선포했고 2020년 겨울이후 치료제 및 Vaccine이 개발되어 임상시험을 거쳐 조금씩 상용화되는 현실이다.

헌법 제34조 제6항에 “국가는 재해를 예방하고 그 위험으로부터 국민을 보호하기 위하여 노력하여야 한다.”라고 국민의 생명과 재산을 보호하기 위해 각종 재난으로부터 보호하며 국가의 존재적 책임을 명시하고 있다. 대한민국은 현 시국을 엄중히 인식하고 K-방역을 강화하며 진단키트 개발 및 사회적 거리두기 등 초유의 사태에 적극 대응활동을 전개하고 있다. 그러나 2020년 하반기에는 코로나19 변이의 출현, 감염경로의 미확인 등 인간의 감염방지노력을 무색케하는 가운데 With-Corona시대에 장기적으로 사회적인 불안감이 조성되었다. 또한 코로나19의 잠복기는 14일정도로 파악되고, 가급적 집에서 휴식을 취하고 집단감염 예방차원에서 면대면 접촉을 피하도록 한다. 그리고 정부는 감염병 위기대응단계를 「심각」수준으로 상향(‘20. 2. 23)하여 국무총리를 중심으로 중앙재난안전대책본부를 가동하여 범정부적으로 방역에 집중했다. 우리나라의 「재난 및 안전관리 기본법」 및 「감염병의 예방 및 관리에 관한 법률」에 따라 사회재난(社會災難)으로 규정하고, 사회안전(Societal Security)을 위해 처음으로 대구광역시, 경상북도 일원에 특별재난지역으로 선포되었다. 집단감염 예방과 국가차원 총력대응전략으로 세계적인 운동인 사회적 거리두기(Social Distancing) 캠페인이 전국적으로 전개되고 있다. 사회적으로 감염확산방지(infection diffusion prevention) 캠페인에 주력하고 있는 현실과 관련해 감염확산방지 관련한 연구에 집중한다.

진단, 치료, 예방의 보건의료체계에서 이제 개발되고 있는 코로나19의 치료제 및 Vaccine의 불확실성과 부작용, 변이바이러스 출현 등 복잡한 상태이다. 이에 코로나19의 생의학적인 개념을 규명하고 감염방지를 위해서 역학적으로 임상시험(IIT, Investigator Initiated Trials)을 통해 감염경로를 확인해 확진자가 대부분 나이많은 어르신인 점을 감안해 인체의 면역력(immunity)을 높이며 국제적인 협업으로 감염확산방지환경을 구축해 나가야 한다. 이러한 위험한 시대적 상황 가운데 연구의 배경과 목적으로는 감염확산방지를 위해 건축물 및 자동차에 유리창 부착용 항(抗)바이러스 동(銅)필름의 성능시험과 개발을 통해 효능을 인정받는데 있다. 연구의 범위에서 성능인증기준에 합격되는 바이러스 활성제거 성능을 검증하는 것이며, 연구의 대상은 항균&항바이러스 동(銅)필름의 코로나19 감염확산방지의 성능여부이다. 연구방법에서도 INTERNET 정보통신미디어를 통해 세계적인 학술지 및 연구논문 발표자료를 활용한 문헌연구와 실제 실험실(laboratory)에서 Virus를 배양해 반복적인 In Vitro 활성제거 성능실험을 관찰·평가하며 시험인증과정을 사례연구했다. 또 관련실무자와의 주기적인 면담 실시, 항균동(antimicrobial copper)필름 개발현장 탐방 및 담당연구원과의 인터뷰 등을 통한 생의학적이고 금속공학적인 분석과 사회과학적인 질적(質的) 융합연구 방법으로 성능결과를 도출하였다.

1) 첫 번째는 1968년 홍콩독감, 두 번째는 2009년 신종플루가 대유행했던 사례이다(출처: 세계보건기구, WHO).

2) 감염병이 세계적으로 크게 유행하는 현상으로서 감염병의 위험수준에 따른 6단계의 경보종류 중 가장 높은 단계이다(출처: 세계보건기구, WHO).

2. 이론적 기초

2.1 코로나19 바이러스의 개요

2.1.1 코로나19의 개념

감염병이란 세균, 바이러스, 진균, 기생충과 같은 병원체에 의해 감염되어 발병 및 유행하는 질환으로서 「감염병의 예방 및 관리에 관한 법률」 제2조에 따른 감염병의 확산으로 인명피해를 유발하는 재난으로 정의한다. 코로나19는 박쥐(Bats) 동물체를 숙주(宿主, host)로 하는 사람감염의 호흡기 중후군인데 질병 분류상으로 제1급 법정 감염병이며 질병 코드는 U07.1이다. 병원체로는 SARS-CoV-2로서 beta-coronavirus에 속(genus)하며 크기 80~200 nm 정도의 유전자 RNA 바이러스이다. 주요증상으로는 발열, 권태감, 기침, 호흡곤란 및 중증폐렴, 급성호흡곤란중후군 등 다양하며 경증에서 중증까지 호흡기감염증이 있고 드물게는 객담, 인후통, 두통, 객혈과 오심, 설사도 생긴다. 다음의 Fig. 1은 기존에 발생한 호흡기 바이러스 감염되는 전염병에 대한 비교이다.


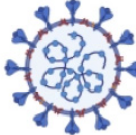
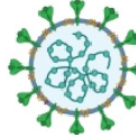

| Disease | Flu | COVID-19 | SARS | MERS |
|---------------------------------|---|--|---|--|
| Disease Causing Pathogen |  Influenza virus |  SARS-CoV-2 |  SARS-CoV |  MERS-CoV |
| Basic Reproductive Number R_0 | 1.3 | 2.0 - 2.5 * | 3 | 0.3 - 0.8 |
| Case Fatality Rate CFR | 0.05 - 0.1% | ~3.4% * | 9.6 - 11% | 34.4% |
| Incubation Time | 1 - 4 days | 4 - 14 days * | 2 - 7 days | 6 days |
| Hospitalization Rate | 2% | ~19% * | Most cases | Most cases |
| Community Attack Rate | 10 - 20% | 30 - 40% * | 10 - 60% | 4 - 13% |
| Annual Infected (global) | ~ 1 billion | N/A (ongoing) | 8098 (in 2003) | 420 |
| Annual Infected (US) | 10 - 45 million | N/A (ongoing) | 8 (in 2003) | 2 (in 2014) |
| Annual Deaths (US) | 10,000 - 61,000 | N/A (ongoing) | None (since 2003) | None (since 2014) |

Fig. 1. Epidemiological Comparison of Respiratory Viral Infections

(Source : Akiko Iwasaki/COVID-19 data as of March 2020/Yale University/BioRender.com.)

다음의 Fig. 2에서 보듯이, 코로나바이러스는 계절독감(Seasonal flu)와 유사한 치명률을 나타내고 있다. 코로나³⁾19는 기존의 SARS(중증급성호흡기중후군), MERS(중동호흡기중후군)와 같은 공통점으로 호흡기를 통해 감염되고 있는 점과 모두 ‘코로나 바이러스’의 일종이다. 코로나19(SARS-CoV-2)는 사스(SARS-CoV)와 유사한 임상적 특성을 보였다는 중국에서의 연구결과도 발표되었다(Li at al., 2020)⁴⁾.

3) 바이러스의 외피 주변을 감싸고 많은 돌기들이 돌출되어 있는 모양이 닭의 벼슬 또는 왕관을 닮았다고 해서 라틴어로 ‘왕관’이라는 뜻을 지닌 코로나(corona)로 명명하게 되었다(출처 : 세계보건기구, WHO).

4) Li, G., Fan, Y., Lai, Y., Han, T., Li, Z., Zhou, P., Pan, P., Wang, W., Hu, D., Liu, X., Zhang, Q., and Wu, J. (2020). Coronavirus Infections and Immune Responses. *Journal of Medical Virology*. 92(4): 424-432.

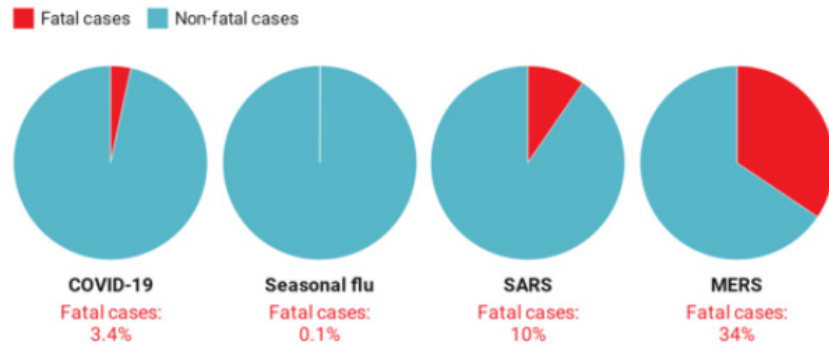


Fig. 2. COVID-19 Looks a Lot Closer to Seasonal Flu than to Previous Coronavirus Outbreaks
 (Source : Elijah Wolfson for TIME, CDC and WHO created with datawrapper)

그런데 감염확산 속도가 매우 높은 상태이고, 치사율의 경우는 2003년 SARS 10%, 2012년 MERS 34%에 비해 상시시각 기준 대한민국 1.75%, 전세계 2.62%로 집계되며 비교적 높지 않으며 계절적인 강한 독감 수준으로 알려져 있다.

2.1.2 잠복기 감염과 무증상·경증 감염

코로나19의 잠복기는 평균 4.1일이며 잠복기 감염은 바이러스가 체내에 들어와서 증식하는 단계, 즉 증상이 나타나기 전에 다른 사람에게 바이러스를 전파한다는 것을 뜻한다. 홍역, 수두, 인플루엔자(독감) 등 일부 질병의 경우 잠복기 중에 바이러스를 전파한다. 바이러스가 환자 몸에 감염됐지만 증상이 없는 상황에서 다른 사람에게 바이러스 감염이 이루어지는 것이다.

무증상 감염자는 체내 바이러스가 증식된 후 면역시스템과 싸운 결과 발열, 기침 등의 별다른 증상이 나타나지 않는 것을 뜻한다. 병에 걸렸는지 본인은 모르지만, 다른 사람에게 바이러스를 전파할 가능성이 있다. 코로나19가 장기화되고 ‘무증상 감염’으로 큰 전파력을 보여주는 특이한 현상이 나타나면서 질병관리청에서 심각하게 다루고 있다. 이에 정부에서는 ‘생활 치료센터’에서 치료를 받도록 조치했는데 대체로 가벼운 발열증상 정도였다. 중앙방역대책본부에서 2020년 8월에 국내 양성판정을 받은 확진자들을 분석한 결과 무증상 39.2%·경증 90.9%로 파악되었고 가벼운 미각 또는 후각 둔감증상이 동반되었는데 인지를 못했다. 2020년 2월에 중국 국가위생위원회는 코로나19가 급속도로 확산된 원인이 이런 무증상 감염 탓으로 추측된다고 밝혔다. WHO(세계보건기구)도 무증상 시기에 신종 코로나바이러스의 전파가 가능할 것으로 본다고 발표했다.

2.1.3 코로나19의 증상

감염환자의 증상이 매우 다양하다는 점이 특징이다. 미국 질병통제예방센터(Center for Disease Control and Prevention, 이하 CDC라 칭함) 웹사이트에는 11가지로 공식 등록되어 있다. 즉, 발열과 오한(Fever or chills), 기침(Cough), 호흡 곤란(Shortness of breath or difficulty breathing), 근육통(Muscle or body aches), 두통(Headache), 미각 또는 후각 상실(New loss of taste or smell), 인후통(Sore throat), 피로(Fatigue), 콧물(Congestion or runny nose), 메스꺼움이나 구토(Nausea or vomiting), 설사(Diarrhea)이다. Anthony Stephen Fauci 국립알레르기·전염병 연구소(NIAID) 소장은 “증상이 다양하며 발열은 코로나19의 가장 흔한 초기 증상이다.”라고 언급했고, 미국 University of Southern California 연구진이 호흡기 감염 질환 임상데이터를 비교분석한 결과, 증상들이 일정한 순서를 따르는 것으로 나타났다. 또 코로나19 증상의 발현순서는 인플루엔자(독감)는 물론 다른 코로나바이러스 감염 질환과도 조금 다른 것으로 분석됐다. 최근 학제간(interdisciplinary) 공개 학술저널지에 실린 연구논문에 따르면, 증상발현순서가 Fever or chills→Cough→Sore throat, Headache, Muscle or body aches→Nausea or vomiting→Diarrhea로 진행됨을 분석해 발표했다(Dykstra, 2020)⁵⁾.

5) Dykstra, M. (2020). How COVID-19 Kills. *Frontiers in Public Health*.

2.2 코로나19의 특징

2.2.1 감염경로의 다양성

1) 접촉감염(接觸感染)

코로나19의 바이러스전파와 관련해 초기에 예상했다. 바이러스 환자나 보균자 또는 물품, 물건 등에 직접 닿아 피부점막으로 감염되는 전염병이다.

2) 비말감염(飛沫感染)

감염자(환자)의 기침, 재채기, 말할 때 배출되는 비말(튀어서 흩어지는 물방울)에 바이러스가 호흡기나 눈·코·입의 점막으로 침투될 때 감염된다. 비말 크기는 $5\ \mu\text{m}$ ($1\ \mu\text{m} = 100$ 만분의 $1\ \text{m}$) 이상이며, 기침을 한 번 하면 약 3,000개의 비말이 전방 2 m 내에 분사된다. 한국입자 에어로졸학회 자료에 따르면 비말 내에서 미생물의 생존시간은 미생물 종류에 따라 다른데, 코로나바이러스는 비말 내에서 3시간, 코로나 바이러스의 변종 바이러스는 24시간까지 생존하는 것으로 추정한다. 비말감염으로 전염되는 대표질환은 독감, 백일해 등이다. 비말감염이라 해도, 에어컨 등이 바이러스를 빨아들인 뒤 공기 중에 내뿜게 되면 비말이 훨씬 멀리 퍼질 위험이 있다. 코로나19 감염자를 격리하는 ‘음압병상’은 이러한 위험을 피하기 위해 공기가 항상 병실 안에서만 흐르도록 유도, 병실 내 공기가 외부로 유출되는 걸 막는 구조이다.

3) 공기감염(空氣感染)

최근에 감염경로가 파악안되는 ‘깜깜이 확진자’가 늘어나면서 보다 심각하게 주의집중하고 있다. 이는 비말핵(核)이라 불리는 $5\ \mu\text{m}$ 미만의 바이러스 입자가 공기 중에 떠다니다가 사람이 공기를 흡입할 때 호흡기로 감염되는 형태이다. 기침 등으로 튀어나온 비말이 시간의 흐름에 따라 수분성이 증발되지만 공기 중에 남아 있는 게 원인이다. 전염력이 커 최대 48 m 떨어진 사람에게도 감염시킬 수 있다. 공기감염으로 전염되는 대표질환은 결핵, 홍역, 수두바이러스 등이다. 그리고 WHO가 코로나19의 공기 중 전파 가능성을 처음으로 인정해 “공공장소, 특히 혼잡하고 폐쇄되며 환기가 안 되는 환경에서는 코로나19의 공기 중 전파 가능성을 배제할 수 없다”고 발표했다. 그동안 접촉감염 및 비말감염의 가능성만 고수해온 상태에서 큰 변화이다.

4) 감염경로 불분명 확진자(깜깜이)

2020년 여름철에 집중적으로 최대 31.4%까지 나타났다. 즉, 무증상 감염자와 결부해 조용한 전파가 사회속으로 이루어져 역학조사 등 방역에 비상이 걸렸다. 즉, 감염고리를 못 찾으면 방역에 실패하고 집단감염으로 진행될 수 있다.

2.2.2 잦은 변이 바이러스 출현

코로나19는 단기간에 바이러스 변이하고 불규칙적으로 감염·유행·소멸하는 특징을 보인다. 복제과정에 돌연변이가 잦고 백신을 회피하는 새로운 변종발생 확률이 높다. 이에 기존 제약업체들은 자본시장의 논리에서 치료제·백신에 개발에 소극적이다. 잦은 돌연변이 탓에 치료제·백신 개발에 어마어마한 자금이 투입되는 점과 어렵게 개발되자마자 벌써 변종 바이러스가 출현하는 한계에 노출되어 악순환이 반복된다. 2020년 8월경에는 러시아 선원에게서 발견된 코로나19 변이가 국내에 퍼진 것으로 확인되어 방역당국이 긴장했다.

3. COVID-19 바이러스 예방 및 확산방지

3.1 감염예방 환경조성 및 실천

3.1.1 접촉감염 예방조치

비누로 30초 이상 손 씻기를 하면 coronavirus의 표면에 뿔족하게 솟은 돌기형태⁶⁾의 ‘스파이크 단백질(spike protein)’이 있는데 비누의 계면활성제가 일부를 녹여 형태를 파괴하므로 바이러스가 불활화(不活化·감염력 상실)된다(Warnes and Keevil, 2013)⁷⁾. 계면활성제는 코로나 바이러스의 지방층에도 잘 달라붙고, 물 분자를 좋아하는 ‘친수성’ 때문에 비누거품을 제거할 때는 불활화된 바이러스가 물에 잘 씻겨 내려가게 한다.

3.1.2 비말감염 예방조치

감염 위험이 있으면 마스크를 반드시 착용하며, 기침은 팔에 하는 등 기침 예절을 지켜야 한다. 또한 감염자로부터 2 m 이상 떨어져야 안전하다. 손으로 얼굴, 입 만지지 않기, 재채기할 때, 입을 가리거나 팔꿈치에 대고 하기, 공공장소, 사람 많은 곳 피하기 등이다.

3.1.3 공기감염 예방조치

건조할수록 바이러스가 잘 가라앉지 않으므로 가습기를 틀어 놓고 더 나아가 실내공기질(Indoor Air Quality)의 개선이 필요하다. 생물학적 공기오염원(세균, 진균, 바이러스 등)의 제거를 위해서 UV/광촉매 장치 또는 항균 및 탈취성능, 공기청정기, 소독제, 오존발생장치, 항균물질의 도포(塗布) 등의 방법이 있다. 그러나 이는 추가 에너지 소모 또는 높은 부식성과 독성, 낮은 항균력 등의 단점으로 항균력 있는 구리를 활용한 필터가 필요하다.

3.2 코로나19환자 치료 및 그 후유증

현재 코로나19 환자로 확진되면 기저질환(基底疾患)이 있거나 기침·인후통·폐렴 등 중증, 고령인 감염환자에게는 항바이러스제를 쓴다. 그러나 대부분의 경증환자에게는 2차 감염예방을 위한 항생제 투여, 환자의 면역력을 높여 스스로 바이러스를 극복하도록 유도 등의 대증요법치료가 이뤄진다. 국립중앙의료원이 발표한 치료지침으로 1차적으로 에이즈 치료제인 ‘칼레트라(Kaletra Tab)’, 말라리아 약인 ‘하이드록시클로로퀸(Hydroxychloroquine)’의 사용권장 후 2020년 6월 21일 에볼라(Ebola Virus) 치료제인 렘데시비르(Remdesivir)를 권고하기로 변경했다.

퇴원후 후유증도 심하다고 알려졌다. 2020년 9월 1일 A라는 20대 미혼여성이 “코로나 완치 후기(후유증 有)”라는 제목의 직접 경험한 이야기이다. “별다른 약물치료 없이 자연치유로 37일 만에 2차례의 음성판정을 받고 퇴원했다”며 “설사, 후·미각 상실 등의 증세가 있었으나 이 정도는 회복이 빨랐다는 주치의 소견이다”고 했다. 하지만 퇴원한 후 일상생활을 시작하면서 후유증과 함께 찾아온 고통에 직장까지 사직하고 집에서 요양하고 있다고 한다. 그는 “조금이라도 무리하면 숨이 제대로 쉬어지지 않고 갑갑해진다”며 “코부터 머리까지 울리는 것처럼 두통이 있다”고 설명했다. “병원에서 있던 미각·후각이상 증상은 계속되고 있다”라고 했다.

6) 인간세포 수용체에 달라붙어 바이러스가 세포 안으로 침투해 증식할 수 있게 해주는 일종의 안내자 역할을 한다(출처: 세계보건기구, WHO).

7) Warnes, S. L. and Keevil, C. W. (2013). Inactivation of Norovirus on Dry Copper Alloy Surfaces. PloS One. 8: e75017.

3.3 감염확산방지를 위한 대비·대응

3.3.1 개인의 면역성 강화

코로나19 바이러스가 침입하면 선천성 면역세포들인 호중구, 대식세포, NK세포(natural killer cell), 수지상세포가 대응을 하며 여러 염증물질들과 발열물질들이 분비되면서 열과 기침이 나며 폐렴과 같은 염증성 호흡기 질환이 발생한다. 면역세포에는 케모카인(chemokine)이 세포의 이동을 유도하는 신호로 세포들을 특정위치로 불러 모으고, 주변에 위험신호를 알리고 면역세포를 결집시키는 물질인 사이토카인(cytokine)을 분비한다(Warnes et al., 2012b)⁸⁾. 그런데 너무 급속하게 과다 분비되면 바이러스 뿐 아니라 정상세포까지 손상시키는데 이를 ‘사이토카인 폭풍(cytokine storm)’이라 하며 코로나-19 중증환자에게서 주로 발견된다. 코로나19와 싸워 이기려면 결국 면역력을 유지하거나 강화해야 한다. 면역력이 약한 노인이나 기저질환이 있는 환자들은 적극적 치료를 받았음에도 불구하고 폐렴이 악화되어 사망에 이르는 사례가 많다.

그리고 뉴잉글랜드 의학저널(NEJM) 발표에 의하면, 경증 감염자의 항체 면역력이 73일로서 오래 지속되지 않는 것으로 확인됐다. 코로나19에 감염됐다가 회복되어도 반드시 평생 면역성을 지니는 것은 아니라고 연구자의 설명이다. 항체가 있다고 해서 반드시 면역되는 것도 아니라는 것이다. 이에 연구진은 인간의 코로나 바이러스에 대한 면역성이 짧다는 것으로 항체수치 기반의 ‘면역 인증’(항체 보균 증명서), 집단 면역, 또한 백신의 내구성에 관한 판단과 조치에 있어 주의가 요구된다고 강조했다.

다음 Fig. 3에서 보듯이 사스코로나바이러스-2에 대한 면역 기작. 폐를 통해 침투하는 바이러스는 증식을 통해 감염된 세포 밖으로 분출되며, 이 바이러스를 제거하기 위해 몸 안의 면역체계가 활성화된다. 선천성 면역계는 병원체 침입초기에 활성화되며 우리 몸을 방어한다. 후천성 면역계는 선천성 면역계에 연이어 활성화되며, 바이러스에 특이적인 시스템을 갖추어 공격한다.

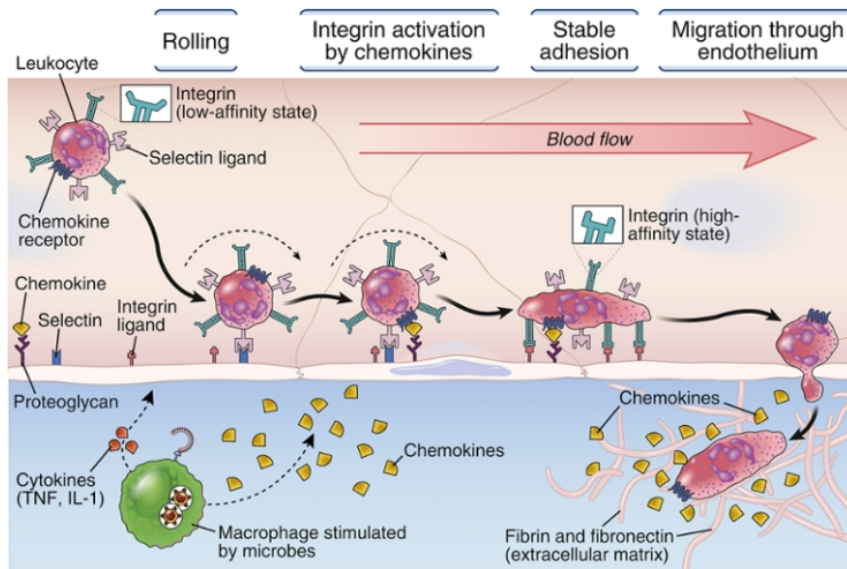


Fig. 3. Bacterial Infection and Innate/Adaptive Immune System

(Source : Reorganized from International Endotoxin and Innate Immune. Society <http://www.ieiis.org/>)

8) Warnes, S. L., Highmore, C. J., and Keevil, C. W. (2012b). Horizontal Transfer of Antibiotic Resistance Genes on Abiotic Touch Surfaces: Implications for Public Health. *mBio*. 3, e00489.

그리고 후천적인 면역력을 높여야 하며 충분한 에너지 공급을 위해서 고품질의 단백질 식품이 필요하고, 하루 300 ml의 우유 및 유제품 섭취를 해야 한다. 식욕부진 등을 겪고 있는 중증 환자의 경우 우유 및 유제품처럼 소화하기 쉬운 액체류 식품을 섭취해야 한다. 2020년 2월 중국 국가위생건강위원회(国家卫生健康委员会)는 중국의료협회 및 중국영양협회 등과 함께 코로나19 예방과 치료를 위한 ‘영양섭취 가이드’를 발표하고, 일선 공공기관과 의료기관 등에서 참고할 것을 권고했다. 먼저 ‘영양 섭취 가이드’에 따르면 신중 코로나 바이러스에 감염된 환자는 충분한 에너지와 신선한 과일과 채소, 적절한 수분, 비타민A~비타민D를 포함한 식품 등을 섭취해야 한다고 권고했다.

3.3.2. 코호트 격리(cohort isolation) 조치

집단감염 등을 막기 위해 감염자가 발생한 의료기관을 통째로 봉쇄하는 조치를 가리킨다. 즉, 환자와 의료진 모두를 동일 집단으로 묶어 전원 격리(隔離)해 감염병 확산위험을 줄이는 방식이다. 치료제나 Vaccine이 없던 시기에는 감염병이 창궐하면 외딴 섬이나 지역에 환자들을 가두어 감염을 차단했다.

3.3.3 치료제·백신(Vaccine) 등 개발

치료제 및 Vaccine은 우리 몸의 후천성 면역계를 활용하는 것이다. 치료제, Vaccine, 방역물품·기기의 3개 분과별로 산·학·연·병·정 「범정부 지원단」에서 개발에 유기적인 Partnership을 갖고 주력하고 있다. 치료제에는 혈장치료제(Plasma Treatment), 항체치료제(Therapeutic Antibodies)와 약물 재창출(Drug Repurposing) 연구 등 3대 전략 품목에 집중하며, Vaccine분야에서는 합성항원 백신 및 DNA 백신⁹⁾ 등 3대 백신 핵심품목을 중심으로 한다. Vaccine은 항원을 약하게 만들어 인체에 주입하여 항체를 형성해 그 질병에 저항하는 후천성 면역체가 생기도록 하는 예방적인 의약품이다. Vaccine 투여는 인체의 면역체계를 이용하여 바이러스를 불활화(不活化)시키는 항체를 만들게 하는 것이다(Warnes et al., 2015a)¹⁰⁾. 2020년 8월 기준 식품의약품안전처에서는 국내개발 코로나19 치료제·백신 임상시험이 총 15건 승인해 진행중이다. 미국 식품의약국(FDA)은 ‘렘데시비르(Remdesivir)’에 대해 조기증상 호전 효과가 있어 중증환자에게 긴급사용 승인을 했고, 효능이 50%를 충족하면 백신으로 승인하겠다고 Guideline을 제시했다. 또한 말라리아 치료제인 ‘클로로퀸(chloroquine)’도 중국과 프랑스에서 신중하게 중증환자에게 투여되고 있다.

3.3.4 공기감염 방지 항바이러스 생활환경 조성

기후변화 및 신종 재난의 출현 등으로 인간이 예상 못한 virus가 갑자기 발생할 수 있다. 접촉이나 비말감염보다 공기감염으로 제2의 코로나19의 발생과 확산방지를 위해서는 불특정다수인이 호흡하는 공기중 virus에 대해 항균&항바이러스 생활환경으로 변화되어야 한다. 항균등을 활용하여 각종 인간의 사회생활의 분야별 주거공간과 사용시설 및 자동차 등에 재난으로부터 안전하고 쾌적한 생활환경으로 새롭게 조성되어야 한다(Weever et al., 2010a)¹¹⁾.

9) 인체가 바이러스가 들어왔다고 착각하게 만드는 DNA를 투여해 면역반응을 일으키는 방식이다. 바이러스 등 병원체의 유전자 중 일부를 인공적으로 복제해 만든다(출처: <https://www.nih.gov/>).

10) Warnes, S. L., Summersgill, E. N., and Keevil, C. W. (2015a). Inactivation of Murine Norovirus on a Range of Copper Alloy Surfaces is Accompanied by Loss of Capsid Integrity. *Applied and Environmental Microbiology*. 81: 1085-1091.

11) Weaver, L., Michels, H. T., and Keevil, C. W. (2010a). Potential for Preventing Spread of Fungi in Air-conditioning Systems Constructed Using Copper Instead of Aluminium. *Letters in Applied Microbiology*. 50: 18-23.

4. 유리창 부착용 항바이러스 동필름의 성능 분석

4.1 유리창 부착용 항균&항바이러스 동(銅)의 필요성

4.1.1 공기감염으로 Virus확산 가능성

2020년 2월 중국 국가위생건강위원회는 코로나19가 코로나바이러스가 에어로졸을 통해 감염될 수도 있다고 발표했다. 2020년 3월 미국 국립보건원(NIH, National Institutes of Health, 이하 NIH라 칭함)에서 코로나19 Virus가 공기 중에서 최대 4시간 동안 생존이 가능하다는 연구결과를 발표했다(Weever et al., 2008).¹²⁾ 플라스틱 표면 등에서는 최대 3일까지 생존이 가능한 것으로 알려져 마스크를 통한 개인위생 뿐만 아니라 공용물품에 대한 위생에도 만전을 기해야한다고 강조했다. 코로나19는 공기 중의 고체 또는 액체 미립자인 에어로졸(aerosols) 상태로 떠다니면서 확산된다. 이는 보통 지름이 1 μm(100만분의 1 m)에 불과해 감염자의 기침이나 재채기 등을 통해 나오는 비말보다 훨씬 작은 크기이다. 공기를 통한 오염뿐만 아니라 오염된 공용 물품을 만진 후 바이러스가 퍼질 수 있음이 확인됐다. NIH에서는 “코로나19 감염확산 방지조치로 인플루엔자 및 기타 호흡기 질환 바이러스와 동일하게 이뤄져야한다”며 “스프레어나 물티슈로 자주 닦은 물체와 표면을 소독해야 할 것”이라고 밝혔다.

또한 미국 국방부의 지원으로 시행된 임상시험 결과, 항균동 제품이 설치된 중환자실에서 치료 받은 환자들의 교차 감염(Cross Infections) 확률이 최대 70%이상 감소했음이 밝혀졌다. 코로나19가 가스배관, 엘리베이터, 환풍기 등 공조설비를 통해 전파될 수 있다는 외국의 연구결과도 있는 바, 고층건물의 항균필터 및 공기정화기에도 적용할 필요가 있다.

4.1.2 Glass Curtain Wall로 건축양식의 변화

최근에는 고층 또는 초고층건물이 증가되면서 강철로 기둥을 세우고 유리로 벽을 세운 현대적인 건축 양식이 주류를 이룬다. 대표적인 건물로는 63빌딩, 롯데월드타워, 엘시티가 있으며 유리와 같은 외장재를 건물외벽에 커튼형태로 붙여놓은 것인데 가시성과 채광성이 우수한 장점이 있어 미래형 건축구조의 경향은 더욱 증가할 전망이다. 그런데 공간내 Privacy침해 등의 단점이 부각되면서 통유리를 기본으로 시공해서 섬유재질의 커튼보다는 선팅필름지를 부착하는 형태가 일반적이다. 이는 태양열을 차단하며 냉난방비를 절감하고 자외선을 차단하고 다량 유리에 의한 햇빛반사에 의한 눈부심 감소, 선명한 시야확보 등의 효과를 제공한다. 이때 기존의 염료필름보다 금속필름으로서의 항균동필름을 활용해 유리창을 인테리어하면 훨씬 현대적인 건축양식에 조화를 이룬다.

4.1.3 안전하고 건강한 생활환경 추구

21세기 현대사회는 위험이 일반화되는 “위험(Risk) 사회(Ulrich, 1986)¹³⁾”이다. 이는 개인의 재난안전을 국가에서 책임을 져야 하는 사회임을 뜻한다. 과거의 “작고 효율적인 정부”개념에서 “작지만 강한 정부”의 개념으로 Post Corona시대를 지향하고 있다. 전세계적인 통계를 보면, 국민들의 의식과 요구수준도 사회경제적인 수준에 따라 변천하는데 1인당 국민소득(GNI) 1만달러일 때에는 환경분야, 2만달러일 때에는 안전분야, 3만달러일 때에는 보건(건강)분야에 관심이 집중하는 것으로 연구발표되었다. 우리나라는 2017년부터 3만달러를 돌파하며 안전분야 뿐만아니라 보건(건강)분야에도 국민들의 관심이 상당히 증가했다고 보도되고 있다. 안전한 환경과 건강한 삶을 위해 위생관리환경과 건강 인프라 확대를 통해 2차 감염으로 인한 사회경제적인 비용을 줄일 수 있다.

12) Weaver, L., Michels, H. T., and Keevil, C. W. (2008). Survival of Clostridium Difficile on Copper and Steel: Futuristic Options for Hospital Hygiene. *The Journal of Hospital Infection*. 68(2): 145-151.

13) Ulrich, B. (1986). *Risk Society*, London: Sage Publications.

4.2 유리창 부착용 항균&항바이러스 동(銅)의 대두배경

4.2.1 항균&항바이러스 동(銅)의 관심

1) 항균동(抗菌銅)의 개념

구리, 은, 아연 등 무기 항균제 중에서 구리(Cu)는 표면이 적갈색을 띠며 높은 전기/열전도성이며 원자번호 29, 원자질량 63.546이며 인류의 가장 오래된 금속중의 하나이다. 우수한 내구성, 내식성, 연성이 있으며 미학(美學)적으로 아름다운 소재로서 건축가들의 건축설계 요소로 활용되었고 천연적인 항균성이 뛰어나다. 균(菌, 미생물, bacteria)과 바이러스(virus)는 개념이 다르므로 공통점과 차이점을 구분해 접근해야 한다. Bacteria는 습기가 많은 여름을 좋아하고, Virus는 습기가 적은 겨울을 좋아한다. ‘항바이러스’는 바이러스를 비활성화 시키거나, 활성화된 바이러스 입자의 내부 또는 외부를 파괴하는 능력을 뜻한다. 우리나라에서는 2012년 “항균동(이하‘동’이라 칭함) 제품을 쓰면 유해세균 99.9% 박멸”이라는 제목의 중앙일보 사회면 Top기사 이후 세인(世人)들의 관심이 모아졌다. 항균동(antimicrobial copper)이란 항균효과가 있는 동합금을 65%이상 사용해 국제구리협회¹⁴⁾(International Copper Association, 이하 ICA라 칭함)로부터 2시간 내 유해세균을 99.9% 박멸할 경우 인증마크를 받을 수 있는 동이다.

2) 고대(古代)부터 활용된 살균금속

동(銅)이 의료용으로 사용된 것은 기원전 2000년경 이집트에서는 식수와 상처의 살균을 목적으로 사용한 기록이 있고, BC 400년경에는 서양 의학의 아버지인 Hippocrates II가 하지정맥류와 족부궤양 치료에 구리를 활용했다. A.D 900 우리나라 고려시대부터 구리와 주석의 합금인 놋그릇으로 주방용품 제작해 여름에 상하기 쉬운 음식을 보관하며 항균동의 효능을 활용했다. 조선시대에는 임금님의 수라상에 반드시 놋그릇이 사용됐는데, 식중독균 살균 및 농약 및 독성물질 검출효과가 발견되고 무형문화재인 방짜유기가 대표적이다. 놋쇠는 구리와 주석을 8:2로 합금한 것인데, 도자기 기술이 발달한 시대임에도 불구하고 사용한 가장 큰 이유는 음식의 독성을 없애주기 때문이었다. 1850년 콜레라가 유행하던 프랑스에서는 동 관련 사업에 종사한 인부들에게서 면역이 발견됐고, 2005년부터 인도 Punjab 지역에서는 식수의 대장균을 박멸하기 위해 황동 물탱크를 사용하고 있다. 가까운 일본에서는 야외의 화병에 모기 유충이 생기지 않도록 10엔짜리 동전을 넣는다.

4.2.2 항균&항바이러스 동(銅)의 성능분석 및 과학적 검증

1) 서구 선진국의 효능검증

2006년 영국 Southampton대학 환경보건학 윌리엄 키빌(C. William Keevil) 박사는 항생제에 내성(耐性)을 가져 의료기관감염(Healthcare-associated Infections)을 유발하고 패혈증의 원인으로 사망률이 높은 수퍼 박테리아인 메티실린 내성 황색포도상 구균(MRSA, Methicillin-resistant staphylococcus aureus)에 대한 항균 비교실험결과, 다음의 Fig. 4에서 보듯이 stainless steel표면과 구리표면의 1000만 마리의 수퍼 박테리아 중 stainless steel표면에서는 거의 그대로 생존해 있는 반면, 구리표면에서는 2시간 경과 후 살모넬라균·신종인플루엔자 등 인체유해 세균 160여 종을 포함한 거의 모든 수퍼 박테리아가 박멸(撲滅)되었다(Noyce et al., 2006a)¹⁵⁾.

14) 미국 뉴욕에 본사가 있고 브뤼셀, 산티아고, 싱가포르에 지역 본부가 있으며 50개국 이상에서 구리와 환경/건강 관계 연구 프로그램을 운영하고 있음(출처 : <https://www.antimicrobialcopper.org>).

15) Noyce, J. O., Michels, H., and Keevil, C. W. (2006a). Potential Use of Copper Surfaces to Reduce Survival of Epidemic Methicillin-Resistant Staphylococcus Aureus in the Healthcare Environment. *The Journal of Hospital Infection*. 63(3): 289-297.

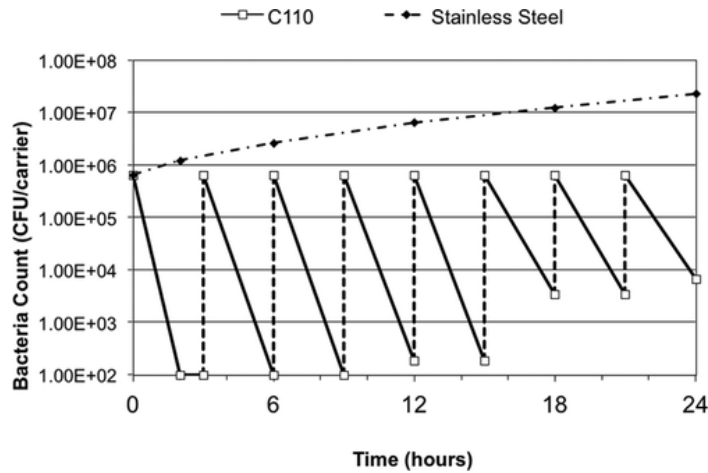


Fig. 4. Comparison of Copper and Stainless Steel

(Source : Anderson, D. G. and Michels, H. T. (2008). Continuous Reduction Test Results for MRSA on Copper Alloy C110.)

또한 동(銅)은 대표적 식중독균인 O-157균은 30분 내에, 대장균을 90분 내에 사멸(死滅)하고 90여개의 악성 박테리아와 20여개의 바이러스에 대한 항균효과가 있음을 연구발표했다(Noyce et al., 2006b)¹⁶⁾. 더 나아가 2007년에도 C. William Keevil박사는, “동(銅)은 H1N1을 포함한 인플루엔자A를 불활화(不活化)시키는 데 효과적”이라는 연구결과를 발표했다(Noyce et al., 2007)¹⁷⁾. 동(銅)과 stainless steel 표면에 인플루엔자A를 배양 후 24시간이 지났을 때, stainless steel의 표면에는 약 50만개의 바이러스가 존재했지만, 동(銅) 표면에서는 1시간 후 75%의 바이러스가 불활화(不活化)됐고, 6시간 후에는 500개만 남아 동(銅)이 인플루엔자 바이러스의 감염력을 상실시키는데 효과가 있다(Warnes et al., 2012a)¹⁸⁾.

그리고 미국 환경보호청¹⁹⁾(Environmental Protection Agency, 이하 EPA라 칭함)은 황동, 청동을 포함해 275개의 동(銅) 합금에 대해 주기적인 관리로 접촉 살균(contact killing)을 통해 2시간 안에 유해성 박테리아를 99.9% 이상 지속적으로 살균하고 강력하면서도 무독성의 터치표면 구리합금의 천연 항균소재로서 유일하게 승인해 공중보건을 등록했고, 은(銀) 나노 코팅재보다 항균 효능이 우수하다고 발표했다(Warnes et al., 2010)²⁰⁾. 항균동의 활용을 정책화해서 감염성 바이러스에 예방·대비하자는 의견을 지지하는 전세계적 캠페인이 전개되기도 했다. 그리고 이는 항균표면의 하이터치(high-touch) 및 비다공성(non-porous)을 요구하는 친환경 WELL Building Standard™(2016) 조건을 모두 충족하는 건축소재이다.

2) 외국의 Anti-Virus 효능검증

2015년 C. William Keevil박사가 미국 미생물학회지인 「mBio」에 발표한 연구결과(Warnes et al., 2015b)²¹⁾, Fig. 5에서

16) Noyce, J. O., Michels, H., and Keevil, C. W. (2006b). Use of Copper Cast Alloys to Control Escherichia Coli O-157 Cross-Contamination during Food Processing. *Applied and Environmental Microbiology*. 72(6): 4239-4244.

17) Noyce, J. O., Michels, H., and Keevil, C. W. (2007). Inactivation of Influenza A Virus on Copper Versus Stainless Steel Surfaces. *Applied and Environmental Microbiology*. 73(8): 2748-2750.

18) Warnes, S. L., Caves, V., and Keevil, C. W. (2012a). Mechanism of Copper Surface Toxicity in Escherichia Coli O157. *Environmental Microbiology*. 14(7): 1730-1743.

19) 미국 내의 환경오염 방지에 관한 다양한 대책을 세우고 통합적으로 추진하기 위해 1970년에 설립한 환경보존을 위한 정부행정기관이다 (출처 : <https://www.epa.gov>).

20) Warnes, S. L., Green, S. M., Michels, H. T., and Keevil, C. W. (2010). Biocidal Efficacy of Copper Alloys Against Pathogenic Enterococci Involves Degradation of Genomic and Plasmid DNAs. *Applied and Environmental Microbiology*. 76(16): 5390-5401.

21) Warnes, S. L., Little, Z. R. and Keevil, C. W. (2015b). Human Coronavirus 229E Remains Infectious on Common Touch Surface Materials. *Centre for Biological Sciences, University of Southampton, United Kingdom. mBio*. 6(6): e01697-15.

보는 바와 같이, SARS나 MERS 등과 유사한 Human Coronavirus 229E(HCoV-229E)가 트리클로산, 은(銀), stainless steel 등의 표면에선 최소 5일 동안 살아남았다. 하지만 구리와 구리합금(copper alloy)을 포함한 ‘항균동’ 표면에서만 바이러스가 30분 이내에 급속히 불활화(不活化)되었고 2시간 이내 99.9% 사멸했음을 확인했다.

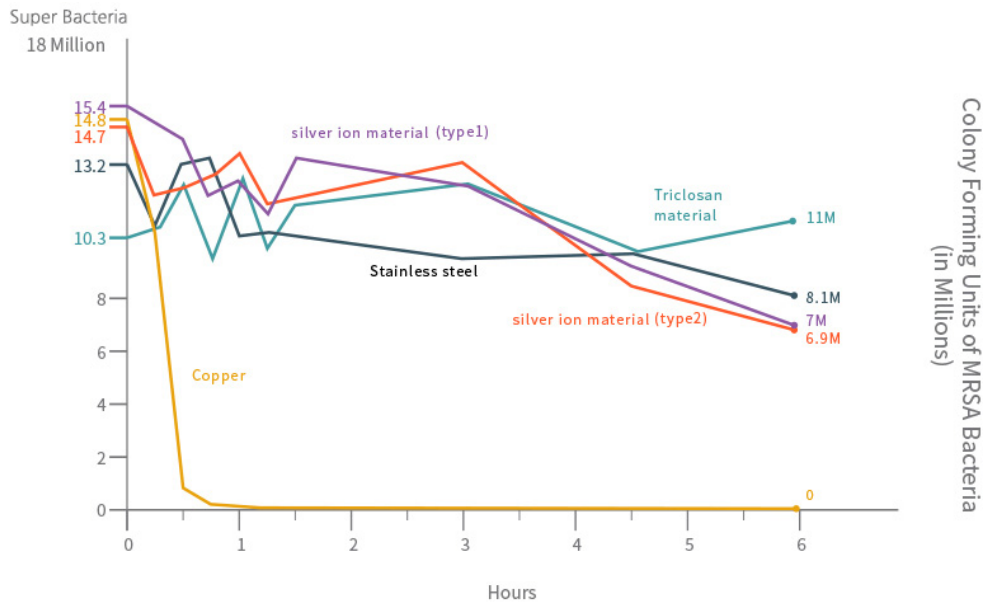


Fig. 5. Comparison Experiment of Antimicrobial Performance at Inorganic World Materials

(Source : Warnes., S. L., Little, Z. R. and Keevil, C. W. (2015). Human Coronavirus 229E Remains Infectious on Common Touch Surface Materials. University of Southampton. mBio. 6(6): e01697-15.)

또, 2020년 3월 미국 NIH 및 CDC의 “표면재질에 따른 코로나19 생존력 Test” 실험결과, 구리표면에서 코로나19 바이러스는 4시간 이내에 99.9%까지 불활화(不活化·감염력 상실)시킨다고 발표했다. 코로나19가 구리 표면에서는 최대 4시간, 골판지 표면(택배박스과 유사함)에서는 24시간, 플라스틱 표면에서는 48시간까지 생존한 것으로 확인됐다(Giao et al., 2015)²²⁾. 해당 연구는 UCLA의 David Geffen 의과전문대학원의 F. 자비에르 이바론도 박사 중심 연구팀이 진행했고, 그 내용은 미국 Massachusetts 의학협회에서 발행하는 ‘뉴잉글랜드 의학저널(NEJM)’에 발표되었다.

3) 항균동(銅)의 살균메카니즘

Fig. 6의 그림에서 보듯이, 첫째단계는, 구리 표면의 박테리아가 미량동(微量動, Oligodynamic)작용으로 구리 이온(ion)을 필수 영양소로 착각해 세포막과 단백질 구조 안으로 흡수한다. 하지만 흡수된 구리이온(Cu+)이 박테리아 세포막에 구멍이 뚫어지면 세포막의 내·외부 전위차를 불안정하게 교란시키고 virus는 영양분과 수분을 잃어 전반적으로 약해지게 된다. 박테리아와 같은 단일세포 유기체 등 세포의 외피는 안정적인 미세전류가 흐르는데 세포의 내·외부 전압차이가 발생한다. 박테리아가 구리 표면과 접촉하게 되면 세포막에서 전류의 단락(short)이 발생하고 이에 세포막을 약화시키고 구멍이 생기게 된다. 둘째단계로, 구리 이온이 박테리아 세포 내부를 장악하고 세포의 생화학적 신진대사를 방해하여 효소활동을 멈추게 한다. 이어 구리 이온이 세포막 구멍으로 핵산을 파괴시키고 활성산소를 끌어당기면 박테리아 세포손상이 가속화 되고 계승

22) Gião, M. S., Wilks, S. A., and Keevil, C. W. (2015). Influence of Copper Surfaces on Biofilm Formation by Legionella Pneumophila in Potable Water. Biometals: An International Journal on the Role of Metal Ions in Biology, Biochemistry, and Medicine. 28: 329-339.

및 플라스미드(plasmid) DNA가 분해되며 세포복제 및 자가증식(proliferation)을 차단해 완전히 사멸하는 과정이다.

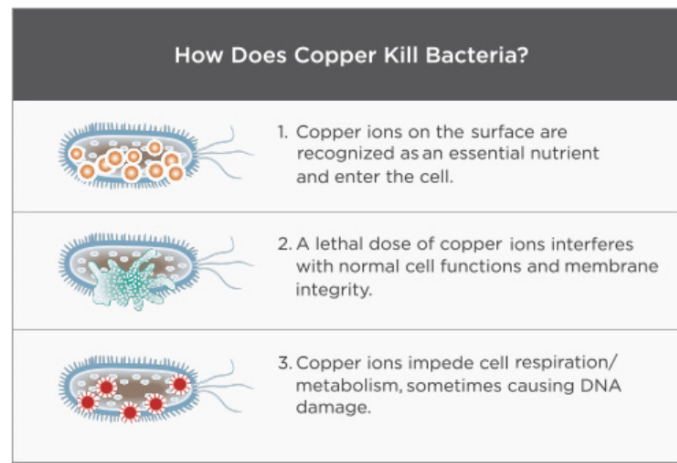


Fig. 6. Process by Which Bacteria are Eradicated on the Copper Surface

(Source : Grass, G., Rensing, C., and Solioz, M. (2011). Metallic Copper as an Antimicrobial Surface. American Society for Microbiology Journals. 77(5): 1541-1547.)

이상을 살피건대, 이미 오래전부터 국내·외적으로 석학들 및 공신력 있는 기관에서 박테리아 뿐만 아니라 바이러스에 대한 살균효과가 있음을 확인했고, 코로나19 바이러스에 대한 살균효능에 대한 연구결과도 발표되었다. 세균의 세포벽을 파괴하는 능력을 지니며 선천면역을 증가시키는 ‘리소자임(lysozyme)’ 효소를 항균동의 입자에 첨가하여 코로나19 바이러스의 감염력을 상실시키는 ‘불활화(不活化)’ 효능을 확인했다.

4.2.3 유리창 부착용 항균&항바이러스 동필름의 성분조건

1) 순수한 구리(純銅) 또는 구리함유량이 65% 이상인 합금일 것(Michels et al., 2015)²³⁾

폴리에틸렌(PE) 등 필름소재에 구리입자를 첨가하거나 코팅(도금)한 정도가 아니라 순도 99.96%인 구리 또는 구리함유량이 65~70% 정도라야 한다. 그리고 염료필름이 아닌 금속필름으로서 구리이온으로 표면코팅되지 않고 구리 분말을 제품 자체에 적용한 원료배합 방식이라야 멸균·Anti-Virus기능이 있는 바, 구리성분의 전체 함유량이 중요한 영향을 미친다. 구리 농도가 높을수록 항균 효과가 크며, 합금은 순수구리보다 항균 효과가 낮다. 구리 성분과 바이러스가 직접 접촉해야 하는 바, 플라스틱 필름 안에 첨가된 구리이온은 외부의 바이러스와 접촉이 안되어 항균성능이 저하된다.

2) 인체와 환경에 무해(無害)한 동필름일 것

아무리 성능이 좋고 코로나19의 감염확산방지 효능이 검증된 제품이라도 일단 인체에 다른 부작용이 있으면 연구개발을 재고(再考)해 봐야 한다. 그리고 우리 환경을 파괴하는 오염물질을 함유하고 있으면 재검토해야 한다.

3) 항균성능이 반영구적(半永久的)일 것

기존의 유기계(有機系) 항균제들은 시간이 지나면 금속입자표면에 이온에 의한 용출현상(湧出現狀, exsolution)에 의해

23) Michels, H. T., Keevil, C. W., C. D. Salgado, and Schmidt, M. G.(2015). From Laboratory Research to a Clinical Trial: Copper Alloy Surfaces Kill Bacteria and Reduce Hospital-Acquired Infections. SAGE Journals. 9(1): 64-79.

항균력이 사라지는데 비해 물에 젖거나 표면색상이 변색되어도 항균성에 차이가 없어야 한다. 대체로 한국이 기후에서 10년 이상 그 성능이 유지되는 것으로 알려진다.

4.3 유리창 부착용 항균&항바이러스 동(銅)의 성능시험

4.3.1 항균&항바이러스 동필름의 시험성적 국내외적 인증기준

항균동(antimicrobial copper) 필름의 공신력을 위해 불순물이 전혀 없는 순동(純銅)을 추출하는 기술이 중요하며, 한국건설생활환경시험연구원(KCL)의 국제규격(KOLAS) 항균&항바이러스시험 성적서 발급을 필수적 요건으로 한다(Weaver et al., 2010b)²⁴). 항균동필름은 국제인증, 국내특허, 시험성적을 통과한 만큼 바이러스의 교차 감염을 방지할 수 있다고 이해된다. 대개 순동 또는 특수합금을 사용하며 suttering 및 세라믹하드코팅 처리기술을 가미했고 0.08~0.09 mm 두께로 일반염료 선팅지보다 얇음을 시험성과과정에서 확인했다. 그리고 ICA, 국제검사공인기관(SGS)²⁵, 한국건설생활환경시험연구원(KCL) 등 기관에서 인증받은 항균동을 생산하는 업체들이 다수 존재한다.

4.3.2 유리창 부착용 항균&항바이러스 동필름의 실험방법

1) In vitro 실험 개요

그동안 꾸준한 실험연구로 항균동의 폐렴균, 황색포도상구균, 대장균에 대해 KCL로부터 ammonia, formaldehyde, hydrogen sulfide(H₂S)에 대한 탈취효과 인증도 받았고 항균동 필름의 코로나 바이러스 활성제거 성능분석시험을 함께 실시했다. 연구과제대상 수행방법으로 미생물인 박테리아균을 배양하여 실험실(laboratory)에서 수차례 Test를 거치면서 항균성능이 99.9% 있음을 KCL로부터 인증받는 결과치를 도출했다. 그리고 항바이러스 성능실험을 위해 당시 질병관리본부로부터 생물안전(Biosafety Level) 3등급수준 시설²⁶)로서 허가를 받았고, 실험재료인 Virus는 국내 분리주 NCCP 43326 Human corona virus(BetaCoV/Korea/KCDC03/2020)을 국가병원체자원은행(National Culture Collection for Pathogens, NCCP)에서 분양받아 실험되었다. 그리고 배양 및 취급에는 「신종 코로나바이러스 대응 실험실 생물안전 가이드(질병관리본부 '20.2.6.)」 사항을 준수하며 진행되었다. 항바이러스 성능시험에는 고려대학교 의과대 바이러스병연구소 및 건국대학교 수의과대학연구소 등에서 진행하고 있음을 확인했다. Table 1은 공식 분양받아 배양 및 실험에 사용된 Human corona virus의 Identity에 대한 설명이다.

Table 1. Coronavirus disease 2019 virus (NCCP No. 43326)

| | Family | Virus | Genome type | Cell line |
|---|-----------------------------------|--------------------------|-------------|-----------|
| 1 | Coronaviridae /betacoronavirus | COVID-19 (SARS CoV-2) | RNA | VERO E6 |

2) 세포배양 재료 및 실험조건

세포배양용 배지로 DMEM, 1% penicillin-streptomycin, 2% FBS가 활용되었다. DMEM(Dulbecco's modified Eagle's

24) Weaver, L., Noyce, J. O., Michels, H. T., and Keevil, C. W. (2010b). Potential Action of Copper Surfaces on Meticillin-Resistant Staphylococcus Aureus. *Journal of Applied Microbiology*. 109(6): 2200-2205.

25) Société Générale de Surveillance)는 스위스 제네바에 본사를 두고 있으며 검사, 검증, 테스트 및 인증 서비스를 제공하는 다국적 기업이다(출처: <https://www.sgs.com/>).

26) 근거: 유전자재조합실험지침 제6조(물리적 밀폐)-보건복지부고시 제2020-140호, 2020. 7. 1. 시행

medium)은 가장 일반적으로 사용되는 세포배양용 배지(cell culture media)이다. 다른 세균에 의한 감염을 예방하기 위해 1% penicillin-streptomycin을 첨가했다. 그리고 세포 성장용 첨가제로 소태아 혈청 FBS(Fetal Bovine Serum) 2%를 넣었다. 바이러스 배양세포로는 Vero(Monkey kidney cell line)을 사용했고, 배양환경으로는 기온 37°C, 공기 5% CO₂ 상태조성의 incubator 배양상태이며 배양기간은 3일(72 H)을 설정했다. 자원의 보존은 동결된 바이러스 배양액이 포함된 튜브(-70°C)상에 500 μ l용량을 활용했고 실험대상 자원의 분류로는 Beta Coronavirus 속 2019-nCoV중 아종에 해당하고 분리 경로로는 인후도말(oropharyngeal swab, throat swab)에 해당한다.

3) 실험의 방법 및 과정

① 5 cm×5 cm×1 cm 미만으로 제단된 동필름 처리 전후로 petri dish위에 놓고 COVID-19 바이러스 1 ml를 흡수시켰다. ② 뚜껑을 덮고 클린벤치 내에서 각각 30분간, 120분, 24시간을 정치하며 관찰했다. ③ 대조군은 PET 필름위에 바이러스를 loading하고 동일시간 동안 정치했다. ④ 반응시간 종료후 freezing - thawing을 3회 반복한 후 2000RPM에서 15분 원심분리하고 각각의 바이러스 액을 회수했다. ⑤ 회수한 바이러스액을 배양용 배지로 10진법으로 희석한 후 희석 배수당 100 μ l씩 분주하여 5well을 세포에 접종했다. ⑥ 72시간 이상 인큐베이터에서 배양후 세포병변효과(CPE, cytopathic effect, 바이러스 감염에 의해서 세포의 병변이나 이상을 보이는 현상)를 관찰하여 TCID₅₀²⁷⁾값을 계산했다. ⑦ 이 때 세포가 부착 및 증식하면서 독성을 일으키지 않는 농도를 MNCC(maximal non cytotoxic concentration)로 하였다. ⑧ 실험결과를 정리하여 바이러스 활성제거 성능을 확인했다. ⑨ 바이러스 감염가 측정은 바이러스 감염 후 5일째 50% 이상의 CPE가 발생한 well의 희석 단계를 Reed-Muench method로 설정하고 log TCID₅₀/ml로 표기하였다. Fig. 7에서 보듯이, 5일째 log TCID₅₀/ml로 세포 변성효과로 독성을 잃는 비율을 나타내어주고 있다.

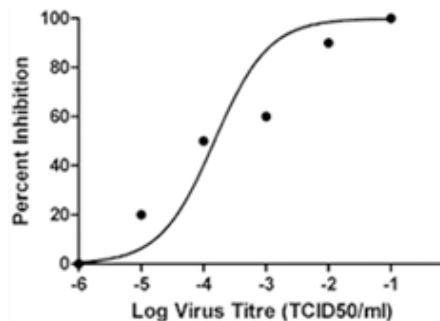


Fig. 7. log TCID₅₀/ml vs Inhibition Percent

4.3.3 유리창 부착용 항균&항바이러스 동필름의 시험평가 및 인증결과

1) 코로나19 바이러스 활성제거 효능(Inactivation Rate) 분석결과

세포시료(실험군)를 대조군과 별개로 하여 감염안되게 배지에서 관리 후 박테리아(세균) 또는 바이러스를 접종시킨 후 시간대별로 감소를 또는 활성제거률을 비교하며 관찰하였다. 정량검사인 plaque assay법을 활용해 바이러스 불활화 시험인 MIC & MBC test를 실시했다. 불활화 효능평가에서 30분이 경과되자 14.0%, 120분이 지나자 38.1%, 24시간이 경과하면서 97.2%의 만족할만한 상태의 결과가 도출되었다.

27) tissue culture infectious dose의 약기. 바이러스 세포 변성효과의 측정지표이다. 일정 계열의 바이러스단계 희석액을 같은 조건에서 배양한 많은 세포배양에 접종하여 세포변성효과가 나타난 배양병을 센다. 50%의 배양병에 세포 변성효과가 나타나는 바이러스 희석배수가 TCID₅₀이다(출처 : 생명과학대사전, 초판 2008., 개정판 2014., 강영희).

2) 코로나19 바이러스 활성제거 성능시험 인증결과

2020년 “국가승인 항바이러스 시험인증기관”에 의뢰한 「항균동 필름의 코로나19에 대한 항바이러스 성능평가」 성능시험 결과, 대조군(parafilm)과 비교해 24시간 이내 최대 97.2%까지 코로나19를 불활화(不活化)시키는 효능을 확인했다. 즉, 상온에서 코로나19 바이러스 10만개, 1만개, 1000개 이상을 각각 항균동 필름에 24시간 노출시킨 후 관찰했더니 각각 97.2%, 96.7%, 90.6%의 코로나19가 감염력을 상실했다.

4.3.4 유리창 부착용 항균&항바이러스 동필름의 한계성

1) 전적(全的)인 의탁은 금물

항균동(antimicrobial copper)의 역할은 바이러스의 생존시간을 줄여주는 것이다. 즉, 일반적인 환경에서 Virus가 10시간 내의 생존한다면 항균성 금속환경에서는 생존시간이 절반 이하로 짧아진다. 서울대 금속공학과 L교수는 “이론적으로 세균이나 바이러스가 구리 성분과 닿으면 활동성이 저하되고 생존시간이 줄어 항균&항바이러스 효과는 확인되었지만 항균동 필름표면에서 코로나19 바이러스가 사멸하기 전에 접촉이 이루어진다면 오히려 교차 감염(Cross Infections) 우려가 있다”고 지적했다. 이는 바이러스 사멸에 4시간정도 소요되므로 현실적으로 다중이용자가 많은 엘리베이터 특성상 항균동 필름의 Anti-Virus효과를 기대하기 어렵다는 의미이다. 통계적으로 감염 질환의 약 80%는 인간의 손에 의한 접촉으로 감염된다. 코로나19의 예방을 위해서 손을 자주 씻고, 비누 거품을 충분히 내어 흐르는 물에 30초 이상 닦는 개인위생을 철저히 관리하는 것이 중요하다. 구리합금 표면재의 활용과 효과적인 손 씻기 등 세척습관 임상진료를 함께하면 바이러스 확산방지에 더욱 효과적이다.

2) 쉽게 산화(酸化)하는 단점

자연산화 특성으로 가공에 특수기술이 요구되며 부식, 화학적 산화, 변색, 특유의 냄새 등 시각적이고 정서적인 특성을 극복하는 난제가 있기에 의료시설을 중심으로 시공이 제한된다. 이를 해결하기 위해 플라스틱과의 화학적 배합방식으로 연구하면 높은 투명도와 다양한 색상구현도 가능하다.

3) 현실적인 관리의 한계성

항균성능이 있어도 손 기름때·먼지 등 외부오염에 계속해 노출되면 기능이 현저히 감소되므로 초소수성 코팅(superhydrophobic coating)으로 방오(防汚) 성능까지 첨가할 필요가 있다. 또한 아직까지 정부기관으로부터 공식적으로 위임받은 공신력 있는 연구소가 실제 코로나19 바이러스를 갖고 실제로 사람에게 임상실험을 실시해 효과를 입증한 항바이러스 동필름 제품은 없다는 점에서 실험실에서의 이론적인 연구결과에 맹신할 수 없다. 그래서 환경부에서는 항균동(antimicrobial copper) 필름에 대한 효능성을 입증하기 위해 정부의 공신력 있는 전문기관을 중심으로 인체 위해성 평가와 효과·효능 조사 등 임상실험이 요구된다.

5. 결론

기후변화시대에 지구촌의 신종재난인 감염병의 유행은 인류에게 불신과 불안, 나쁜 소문과 공포, Stress를 유발하여 사회경제적으로 크게 악영향을 조장하고 있다. 지속적인 치료제 및 백신을 개발하려는 노력 끝에 미국의 Pfizer와 Moderna 및 영국의 Astrazeneca 백신이 2020년 말부터 접종되기 시작했다. 그러나 영국에서의 코로나19 변이바이러스가 확산되면서 백신부작용 및 백신무용론 등 국제적인 재난은 계속되고 있다. 인류의 연구 가운데 각 개인은 마스크 착용과 손 씻기 등 개인위

생을 보다 철저히 하여 Virus 확산을 최소화하는 노력이 필요하다. 확산방지 사회환경으로는 항바이러스 패치(부직포, 마스크)는 ‘SARS-CoV’, ‘MERS CoV’와 같은 호흡기변종 바이러스 대상 성능시험결과 99.99%의 성능시험을 검증했다. 그리고 항균동필름의 경우, 항바이러스 성능시험에서 완전히 신뢰할만한 결과치는 아니지만 만족할만한 수준의 활성억제 효능을 인정받았다. 코로나19의 전국확산으로 ICA 인증마크(Cu+) 부착필름을 각종 건물의 엘리베이터 버튼 위에 시공한 수요자가 급증했다.

이런 사회재난의 상황에서 이상의 코로나19의 감염확산방지를 위해 건축물 및 자동차에 유리창 부착용 항바이러스 동필름의 성능시험분석을 통해 효능인증을 확인하였다. 한국건설생활환경시험연구원(KCL)에서의 항균성능시험 및 고려대학교 연구소에서의 항바이러스 성능인증기준에 합격되는 바이러스 활성제거 효능을 검증했으며 만족할만한 결과를 도출했다. 이번 In Vitro 실험연구실(laboratory)에서 Virus를 배양해 활성제거 효능을 관찰·평가하며 인증을 받는 과정과 결과를 살펴 보았다. 그런데 실제로 코로나19 Virus가 평균 4시간 생존하는 동안 항바이러스 동필름시공의 유리창공간내에서 생활하는 사람의 임상실험군과 항바이러스 동필름 없는 동일조건인 대조군과 비교하는 질적(質的) 연구(인체실험)를 실시하지 못한 현실적인 한계가 있었는데, 향후 정부주도의 합동 임상실험연구를 기대한다.

References

- Anderson, D. G. and Michels, H. T. (2008). Continuous Reduction Test Results for MRSA on Copper Alloy C110.
- Bang, J. H. (2020). We Can Get Out of The Virus Panic. Through Using Antimicrobial Copper. Steel&Metal News.
- Dykstra, M. (2020). How COVID-19 Kills. Frontiers in Public Health.
- Gião, M. S., Wilks, S. A., and Keevil, C. W. (2015). Influence of Copper Surfaces on Biofilm Formation by Legionella Pneumophila in Potable Water. *Biomaterials: An International Journal on the Role of Metal Ions in Biology, Biochemistry, and Medicine*. 28: 329-339.
- Grass, G., Rensing, C., and Solioz, M. (2011). Metallic Copper as an Antimicrobial Surface. *American Society for Microbiology Journals*. 77(5): 1541-1547.
- Kim, D. Y. (2015). Antimicrobial Copper Re-illuminated by MERS : Need to Increase Awareness of Antimicrobial Copper and Spread Application in Korea. *Metal World*. Vol. 115. Seoul. S&M Media.
- Li, G., Fan, Y., Lai, Y., Han, T., Li, Z., Zhou, P., Pan, P., Wang, W., Hu, D., Liu, X., Zhang, Q., and Wu, J. (2020). Coronavirus Infections and Immune Responses. *Journal of Medical Virology*. 92(4): 424-432.
- Michels, H. T., Keevil, C. W., C. D. Salgado, and Schmidt, M. G.(2015). From Laboratory Research to a Clinical Trial: Copper Alloy Surfaces Kill Bacteria and Reduce Hospital-Acquired Infections. *SAGE Journals*. 9(1): 64-79.
- NARS (2020). NARS Analysis. COVID-19: How We Are Handling the Outbreak. Seoul: National Assembly.
- Noyce, J. O., Michels, H., and Keevil, C. W. (2006a). Potential Use of Copper Surfaces to Reduce Survival of Epidemic Meticillin-Resistant Staphylococcus Aureus in the Healthcare Environment. *The Journal of Hospital Infection*. 63(3): 289-297.
- Noyce, J. O., Michels, H., and Keevil, C. W. (2006b). Use of Copper Cast Alloys to Control Escherichia Coli O-157 Cross- Contamination during Food Processing. *Applied and Environmental Microbiology*. 72(6): 4239-4244.
- Noyce, J. O., Michels, H., and Keevil, C. W. (2007). Inactivation of Influenza A Virus on Copper Versus Stainless Steel Surfaces. *Applied and Environmental Microbiology*. 73(8): 2748-2750.
- Ulrich, B. (1986). *Risk Society*, London: Sage Publications.
- Warnes, S. L. and Keevil, C. W. (2013). Inactivation of Norovirus on Dry Copper Alloy Surfaces. *PloS One*. 8: e75017.
- Warnes, S. L., Caves, V., and Keevil, C. W. (2012a). Mechanism of Copper Surface Toxicity in Escherichia Coli O157. *Environmental Microbiology*. 14(7): 1730-1743.
- Warnes, S. L., Green, S. M., Michels, H. T., and Keevil, C. W. (2010). Biocidal Efficacy of Copper Alloys Against Pathogenic Enterococci Involves Degradation of Genomic and Plasmid DNAs. *Applied and Environmental*

Microbiology. 76(16): 5390-5401.

Warnes, S. L., Highmore, C. J., and Keevil, C. W. (2012b). Horizontal Transfer of Antibiotic Resistance Genes on Abiotic Touch Surfaces : Implications for Public Health. *mBio*. 3: e00489.

Warnes, S. L., Summersgill, E. N., and Keevil, C. W. (2015a). Inactivation of Murine Norovirus on a Range of Copper Alloy Surfaces is Accompanied by Loss of Capsid Integrity. *Applied and Environmental Microbiology*. 81(3): 1085-1091.

Warnes, S. L., Little, Z. R. and Keevil, C. W. (2015b). Human Coronavirus 229E Remains Infectious on Common Touch Surface Materials. Centre for Biological Sciences, University of Southampton, United Kingdom. *mBio*. 6(6): e01697-15.

Weaver, L., Michels, H. T., and Keevil, C. W. (2008). Survival of Clostridium Difficile on Copper and Steel: Futuristic Options for Hospital Hygiene. *The Journal of Hospital Infection*. 68(2): 145-151.

Weaver, L., Michels, H. T., and Keevil, C. W. (2010a). Potential for Preventing Spread of Fungi in Air-conditioning Systems Constructed Using Copper Instead of Aluminium. *Letters in Applied Microbiology*. 50(1): 18-23.

Weaver, L., Noyce, J. O., Michels, H. T., and Keevil, C. W. (2010b). Potential Action of Copper Surfaces on Meticillin-Resistant Staphylococcus Aureus. *Journal of Applied Microbiology*. 109(6): 2200-2205.

Korean References Translated from the English

김도연 (2015). ‘메르스’를 계기로 재조명되는 ‘항균동’ : 항균동(抗菌銅) 인식제고 통해 국내적용 확산 필요. *Metal World*. Vol. 115. 서울 : S&M미디어.

방정환 (2020). 바이러스 감염공포, ‘항균동(抗菌銅)’으로 벗어날 수 있어. *철강금속신문*.

입법조사처 (2020). *코로나19(COVID-19) 대응 종합보고서*. 서울: 국회.