

코로나 바이러스 확산억제를 위한 환경 및 건축 마감재료 고찰

- 항바이러스 재료 관련 해외 문헌을 중심으로

Review of Environmental Characteristics and Building Finishes Controlling the Spread of SARS-CoV-2

- Focused on overseas literature related to antiviral experiments

박용현* Park, Yonghyun | 이현진** Lee, Hyunjin | 권순정*** Kwon, Soonjung

Abstract

Purpose: Currently, research on environmental conditions and finishing materials for medical facilities with proven antiviral performance is poor in Korea. Through this study, we have explored environmental characteristics and finishing materials that can be used to control cross-infection when constructing medical facilities. **Methods:** Experiments in overseas papers related to antiviral effects of environmental conditions, spatial compartments, and interior finishes have been analyzed. **Results:** The higher the temperature, the higher the humidity, and the higher the illuminance of sunlight, the lower the viability of the corona-virus. The proliferation of viruses was suppressed on the surface of the copper alloy. Materials such as brushed steel are the ones that maintain the strongest viability. Among the characteristics of the surface, survival and propagation power differ depending on whether it is porous or hydrophilic. In the case of infection ward actually operated in Italy, the presence of airborne viruses in contaminated and non-contaminated spaces differed significantly. Corona-virus has been identified in reachable parts such as door handles and medical shelves in quasi-contaminated spaces, which are spaces between contaminated and non-contaminated spaces, but the corona-virus has not been identified in cases of out-of-touch walls. **Implications:** It is necessary to evaluate the performance by testing the construction finishing materials of infection control facilities according to domestic conditions.

주제어: 코로나19, 코로나 바이러스, 건축 마감재료, 환경조건, 항바이러스

Keywords: COVID-19, SARS-CoV-2, Finishing materials, Environmental condition, Antiviruses

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

전세계적으로 감염병은 일정 주기를 가지고 유행한다. 2002년 사스(중증급성호흡기증후군)와 2009년 신종플루엔자A, 2015년 메르스(중등호흡기증후군)는 약 6년을 주기로 확산되었지만, 2019년 코로나는 4년 만에 찾아왔다. 감염병 유행 주기가 짧아지는 것은 급격한 도시화와 인구의 밀집, 기후변화, 공장식 농

장의 증가 등 다양한 원인을 꼽는다. 감염병 관련 전문가들은 감염병 유행 주기가 더욱 짧아지고 있으며 다음 신종 감염병은 3년 이내에 유행할 것으로 보고 있다.¹⁾ 2019년 중국 우한에서 시작된 코로나바이러스는 전세계적으로 확산되어 2023년 1월 국내 누적 확진자 수는 3천만 명을 넘어섰으며 현재에도 감염 환자 수는 계속 증가하고 있다. 신종감염병의 발생으로 감염병 관리시설의 확충은 계속될 것으로 판단된다.

감염병 관리시설은 감염병의 예방, 감염병 환자 등의 진료 및 입원을 위한 시설이다. 국내 감염병 관리시설은 S.G.P(Steel

* 회원, 석사과정, 건축학과, 아주대학교(주저자: babypig98@ajou.ac.kr)
** 이사, 교수, 의료공간디자인학과, 건양대학교 (hjlee0323@konyang.ac.kr)
*** 명예회장, 교수, 건축학과, 아주대학교(교신저자: sjkwon@ajou.ac.kr)

1) 한국기후변화학회에서 제공한 언론활동 중 <한겨레>에서 진행한 한국기후변화학회 회원 70명에게 설문 조사를 한 결과이다.

Gypsum Panel) 등 다양한 실내마감재료를 사용한다.²⁾ 그러나 사용되는 실내마감재료 중 바이러스 확산을 효과적으로 억제하는 성능이 있는지 확인된 것은 없다.

본 연구에서는 코로나 바이러스 감염병의 효과적인 확산억제를 위한 환경 및 건축마감재료를 조사하고, 사용공간의 용도와 특징에 따른 적용 가능한 마감재의 제시를 통해 감염병 확산을 억제토록 하는 기초자료 제시에 그 목적이 있다.

1.2 연구방법

본 연구의 범위는 바이러스에 대한 연구로서 세균은 제외하였다. 바이러스 중 코로나바이러스(SARS-CoV-2)를 중심으로 해외 항바이러스 재료 및 환경에 관련된 연구들과 실험 사례를 종합하여 고찰한다. 본 연구는 국내의 의료시설 및 공공 건축물에서 주로 쓰이는 재료와 감염관리시설 내의 공간을 기준으로 항바이러스 실험을 하기 위해 사전실사하는 문헌조사로 해외 연구의 사례를 고찰하는 예비조사이다. 항바이러스에 관련된 선행 연구를 분석하여 바이러스 확산을 효과적으로 억제할 수 있는 환경과 재료를 도출한다. 상대습도와 온도, 조도의 변화 환경에 따른 코로나 바이러스의 생존력에 대한 문헌과 다양한 실내재료마감 조건에 코로나 바이러스의 생존력에 대한 실험 및 문헌을 분석하였다.

이를 기반으로 감염관리시설 내에서 바이러스가 많이 검출된 공간을 효과적으로 관리할 수 있도록 유도한다.

2. 환경에 따른 코로나 바이러스의 생존력

2.1 상대습도³⁾

Jennifer Biryukov(2020)는 SARS-CoV-2 바이러스(분리균 USA-WA1/ 2020 NR-52281)를 사용한 실험연구로 바이러스를 모의 타액에 1:10의 비율로 접종하고, 생성된 액체 방울을 표본에 떨어뜨려 실험하였다. 정확한 실험을 위해 온도는 상도인 24°C를 기준으로 제어하였다. 약 20~80%의 상대습도(RH)에 따라 실험하였다. 2일 동안 실험한 3개의 배양 배지 중 무작위로 회수하여 측정하였다.

바이러스의 반감기($t_{1/2}$)를 보면 바이러스 역가(TCID₅₀/mL)는 상대습도(RH)가 높을수록 빠르게 줄어드는 것을 볼 수 있었다. 즉 상대습도를 높게 유지하는 것이 바이러스 확산을 효과적으로 억제하기에 적합한 환경이라고 볼 수 있다.

[표 1] 표면에서 상대습도별 바이러스 반감기(hour)

상대습도	20%	40%	60%	80%
반감기 ($t_{1/2}$)	15.33	11.52	9.15	8.33

2) 국내 18개 병원 국가 지정 입원치료 병상에서 사용된 실내 마감재료는 비닐시트, S.G.P., 암면흡음 패드, 자기질타일, 도기질타일, 유성 페인트, SMC, 우레탄, 벽지 등이 있다.

3) Jennifer Biryukov 외, 2020; 2-6의 내용을 요약하여 정리

2.2 온도⁴⁾

Shane Riddell(2020)는 SARS-CoV-2 바이러스 (분리균 Betacoronavirus/ Australia/ SA01/ 2020)를 사용한 실험으로 신체 분비물의 구성을 모방하여 설계된 국제표준 ASTM E219 7⁵⁾에 따라 360 μ L의 스탁을 2.5mg/mL의 소(牛) 혈청 알부민(BSA), 2.5mg/mL의 트립톤, 2.5mg/mL의 뮤신으로 구성된 매질 160 μ L에 첨가하였다. 생성된 현탁액(최종농도 3.38 X 10⁵/10 μ L) 10 μ L에 바이러스를 접종하고 1시간 동안 생물 안전 작업대 Class II에서 건조 시켰다. 정확한 실험을 위해 50%의 상대습도와 어둠을 기준으로 제어하였다. 20°C, 30°C, 40°C의 온도에 따라 실험하였다. 각각의 온도에 따른 표본은 1, 3, 7, 14, 21, 28일을 시점으로 추출하여 바이러스 역가를 확인했다. 스테인리스 스틸, 호주 지폐, 종이, 유리, 비닐 소재, 유리, 직물 등 일상생활에서 쓰이는 다양한 표면에서 실험되었다.

재질마다 온도의 변화에 따라 바이러스 역가가 줄어드는 정도가 다르지만, 모두 온도가 올라갈수록 반감기가 줄어드는 데이터를 볼 수 있었다. 즉 온도를 높게 유지하는 것이 바이러스 확산을 효과적으로 억제하기에 적합한 환경이라고 볼 수 있다.

[표 2] 표본에 따른 온도별 바이러스 반감기(hour)

표본 \ 온도(°C)	20	30	40
스테인리스	43.2	12.6	1.5
호주지폐	50.4	14.7	1.4
종이	64.8	32.7	1.6
유리	45.6	10.5	2.0
코튼	40.8	11.0	NA
비닐소재	45.6	10.1	3.0

* NA는 검출이 되지 않음을 뜻함

2.3 조도⁶⁾

Jérémy Raiteux(2021)는 SARS-CoV-2 바이러스(분리균 BetaCov/ France/ IDF-0372/ 2020)를 사용한 실험연구로 NF EN 14675⁷⁾ 기준으로 1%의 소(牛) 혈청 알부민과 1%의 효소 추출물로 구성된 현탁액을 만들었다. 현탁액(10 μ L at 3.43 X 10⁶ TCID₅₀/mL)에 바이러스를 접종하고 스테인리스 쿠폰에 떨어뜨려 바이러스 역가를 분석하였다. 정확한 실험을 위해 프랑스 여름 기후의 평균인 온도 35°C, 상대습도 50%로 제어하였다. 본 실험은 크세논램프라는 특수 조명을 사용하였다. 크세논램프는 발산하는 빛의 분포 에너지가 천연 주광과 매우 근사하기에 실제 햇빛을 받는 것처럼 실험을 계획하였다. 크세논램프

4) Shane Riddell 외, 2020; 2-7의 내용을 요약하여 정리

5) 미국 EPA에서 제공된 실험 방법으로, 직경 1cm의 브러시드 스테인리스 스틸 디스크를 사용하여 실온에서 진공 건조되어 실험하는 방법이다.

6) Jérémy Raiteux 외, 2021; 2-9의 내용을 요약하여 정리

7) 수의학 분야에서 사용하기 위해 만든 바이러스 활성을 보는 테스트 방법이다.

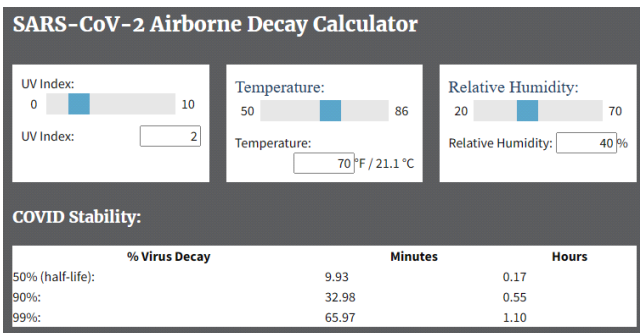
의 조도는 햇빛의 어둠(0lux)과 10,000lux, 56,000lux의 세가지 조도(lux)를 측정하였다.⁸⁾ 각 실험은 40분 동안 실험하였다.

56,000lux의 조도에서는 바이러스가 빛에 노출되고 5분 후부터 더 이상 검출되지 않았다. 바이러스가 90% 정도 사멸에 걸린 시간을 보면 10,000lux의 조도에서 9분12초, 56,000lux의 조도에서는 2분12초이다. 10,000lux에서 56,000lux까지 햇빛이 강해진다면 바이러스 붕괴율이 분당 25.5%에서 106%로 증가했음을 나타낸다. 조도가 높을수록 바이러스가 빠르게 붕괴가 된다는 데이터를 볼 수 있다.

햇빛의 조도가 바이러스 사멸에 효과적인 이유는 햇빛에서 방출되는 자외선 때문이다. 자외선은 파장이 길어 세포벽 안쪽까지 침투할 수 있다. 침투한 파장은 바이러스의 RNA구조를 변화시키거나 핵산을 제거하고, 화학적으로 변형을 유도하여 바이러스의 생존력을 잃도록 한다.

2.4 온도, 상대습도, 자외선 지수가 종합된 바이러스 사멸 시간 계산기⁹⁾

온도, 상대습도, 자외선 지수(UV)에 대한 해외 논문 및 실험의 결과를 토대로 환경에 따라 바이러스 사멸 시간을 계산해주는 계산기가 있다. 이 계산기는 제한된 범위 내에 원하는 온도, 상대습도, 자외선 지수의 값을 설정하면 바이러스의 반감기와 95%, 99% 사멸에 걸리는 시간을 알려준다. 본 사이트는 공기 중의 바이러스 사멸에 걸리는 시간과 표면에서의 바이러스 사멸에 걸리는 시간의 계산 기능을 지원하고 있다.



[그림 1] 공기중에서 자외선 지수, 온도, 상대습도에 따른 코로나 바이러스의 사멸 시간을 계산해주는 사이트 화면 (<https://www.dhs.gov/science-and-technology/sars-airborne-calculator> 참고)

바이러스 사멸 시간 계산기는 앞선 실험들(2.1, 2.2, 2.3)과 비슷한 경향으로 환경에 따라 바이러스가 사멸하는 것을 볼 수 있다.

2.5 소결

상대습도가 높을수록, 온도가 높을수록, 자외선 지수가 높을수록 바이러스는 빠르게 사멸한다. 환경적인 요인이 코로나 바이러스 확산을 효과적으로 억제할 수 있다는 데이터는 감염관리 시설을 계획할 때 병실의 위치, 병실 환경 구성에 있어 참고할만한 근거가 될 수 있다. 코로나와 비슷한 감염병이 다시 유행하여 감염병 관리시설을 확충할 때 바이러스 확산을 효과적으로 억제할 수 있도록 병실의 위치를 햇빛이 잘 들어오는 방향으로 선택하는 것이 유리하다. 바이러스 사멸시간 계산기를 활용한다면 감염 환자가 있던 공간의 환경에 맞추어 일정 시간 동안 출입을 제한해야 하는지 개략적 계획이 가능하다. 항바이러스에 관한 환경적인 실험의 경향은 행사나 회의 등 많은 사람이 모여야 할 때 모이는 일반장소를 선정하는 기준이 될 수 있다. 하지만 감염관리 시설 내 음압병실과 같은 전문 의료시설의 환경을 조성할 경우에는 바이러스를 효과적으로 사멸하기 위해 선행의 실험 결과에만 맞추어 조성하기보다는 전문가의 의견과 시설 감염기준 상황에 맞는 환경이 조성되어야 한다.

3. 실내마감재료별 코로나 바이러스의 생존력

3.1 표면과 공기 중에서 코로나 바이러스 사멸 시간 비교¹⁰⁾

Neeltje van Doremalen(2020)가 실험에서 사용된 바이러스는 SARS-CoV-2와 SARS-CoV-1으로 두 가지이지만 본 연구의 범위에 맞게 SARS-CoV-2의 실험값만 확인하고자 한다.¹¹⁾ SARS-CoV-2바이러스(분리군 nCoV-WA1-2020 (MN985325.1))을 사용한 실험연구는 공기 중, 플라스틱, 스테인리스 스틸, 구리, 판지로 총 5가지 표본을 만들어 바이러스 사멸에 관하여 실험하였다. 공기 중 바이러스 사멸을 실험할 땐 공기가 약 5 μ m 미만으로 구획된 챔버에 three-jet 분무기를 사용하여 실험하였다.

실험 결과를 보면 바이러스는 구리에서 가장 빠르게 비활성화가 된 것을 볼 수 있었다. 공기 중에서 바이러스가 사멸하는 시간보다 구리를 제외한 대부분 표면에서 바이러스가 사멸하는 것이 더욱 더디다. 판지보다는 스테인리스나 플라스틱이 긴 시간 동안 바이러스가 검출된 것을 볼 수 있었다.

항바이러스 재료를 활용하여 바이러스를 빠르게 사멸하기 위해서는 스테인리스나 플라스틱 보다는 구리를 사용하는 것이 적합하다. 바이러스가 포함된 비말이 공기를 통해 확산되어 감염병을 옮기는 직접 전파와 마찬가지로 바이러스가 표면을 통해 확산되어 감염병을 옮기는 간접 전파 또한 위험성이 있음을 볼 수 있다.

8) 국내의 기후에서 10,000lux는 나뭇잎 등으로 햇빛이 가려진 야외 정도 되는 조도이다. 보통의 야외 햇빛의 직사광선의 경우 조도가 100,000lux 정도 된다.

9) Estimated Airborne Decay of SARS-CoV-2, 2022 미합중국 국토안보국 SARS-CoV-2의 공기 중 붕괴 예상 <https://www.dhs.gov/science-and-technology/sars-airborne-calculator>

10) Neeltje van Doremalen 외, 2020 요약하여 정리

11) SARS-CoV-1의 실험 결과는 SARS-CoV-2의 실험 결과와 유사한 경향을 보인다.

[표 3] 코로나 바이러스 반감기(hour)에 대한 평균과 95%의 신뢰구간

시간 (hour)	평균	2.5%	97.5%
공기중	1.09	0.64	2.64
구리	0.774	0.427	1.19
판지	3.46	2.34	5
스테인리스 스틸	5.63	4.59	6.86
플라스틱	6.81	5.62	8.17

3.2 10가지 표면에서 코로나 바이러스 사멸에 대한 실험¹²⁾

Chin A W H(2020)는 바이러스 배양액 5μL를 실제 운영 중인 병원에 있는 10가지(종이, 휴지, 나무, 옷, 유리, 지폐, 스테인리스 스틸, 플라스틱, 마스크 안쪽, 마스크 바깥쪽)의 표본에 떨어트렸다. 배양액이 접종된 표본은 정확한 실험을 위해 상대습도가 65%, 온도가 22°C로 설정된 실험실에서 건조 시켰다. 각 표본을 0, 3, 6, 24, 48, 96, 168시간의 시점에서 회수하여 200μL의 바이러스 수송배지에 30분 동안 담가 바이러스 역가를 측정하였다.

실험 결과를 보면 표본 중 바이러스가 가장 먼저 비활성화된 표면은 3시간의 시점에서 검출이 되지 않은 종이와 휴지이다. 지폐나 마스크 바깥면, 스테인리스 스틸이나 플라스틱, 유리 등 비교적 표면이 매끈하다고 판단되는 표본이 바이러스가 오랫동안 검출이 된 것을 볼 수 있다. 재료에 대한 정확한 묘사가 되어 있지 않기에 재료 구성 요소나 성능에 따라 차이가 있을 수 있다.

[표 4] 표본별 바이러스 역가(Log TCID50/mL)

시간 (hour)	0	3	6	24	48	96	168
종이	4.76	NA	NA	NA	NA	NA	NA
휴지	5.48	NA	NA	NA	NA	NA	NA
나무	5.66	3.41	2.47	2.07	NA	NA	NA
옷감	4.84	2.21	2.25	2.07	NA	NA	NA
유리	5.83	5.14	5.06	3.48	2.44	NA	NA
지폐	6.05	4.77	4.04	3.29	2.47	NA	NA
스테인리스	5.80	5.09	5.24	4.85	4.44	3.26	NA
플라스틱	5.81	5.33	4.68	3.89	2.79	2.27	NA
마스크 안	5.88	5.24	5.01	4.21	3.16	2.47	NA
마스크 바깥	5.78	5.11	4.97	4.73	4.20	3.17	2.79

* NA는 검출이 되지 않음을 뜻함

3.3 미국 내 공공시설 및 병원에서의 건축 마감재 성능¹³⁾

Shannon E. Ronca(2021)는 SARS-CoV-2 바이러스(분리균 USA-WA1/ 2020 NR-52281)를 사용하여 실험했다. 미국 내의 보건의료, 가정, 지역사회에서 일반적으로 쓰이는 16가지 실내

12) Chin A W H 외, 2020 요약하여 정리

13) Shannon E. Ronca 외, 2021; 50-61의 내용을 요약하여 정리

건축재료의 표면에 대해 코로나 바이러스 사멸 시간을 알아보는 실험을 했다. 세포에 일련의 바이러스 희석액을 접종하고 37°C에서 2일 동안 배양하여 실험하였다. 표면을 45~50%의 상대습도와 25°C에서 건조되도록 방치하였다. 각 표면에 바이러스를 접종 후 4, 8, 12, 24, 30, 48, 168시간일 때 바이러스의 역가에 대하여 측정하였다. 표본을 3번의 반복실험을 하고 결과의 평균을 나타내었다.

실험 결과는 바이러스가 검출되지 않았을 때 모두 사멸한 정확한 시간은 알 수 없기에 시간 간격을 토대로 확인하는 것이 적합하다. 구리와 구리시트는 감염 후 첫 관측인 4시간이 경과하였을 때 바이러스가 발견되지 않음을 볼 수 있다. 가장 오랫동안 사멸되지 않은 재료는 비닐벽지 유형2이고, 브러시드 스틸은 4시간이 경과 하였을 때 가장 많은 바이러스가 있는 것을 볼 수 있다. 대부분의 마감 재료는 약 24시간 내외에서 코로나 바이러스가 모두 사멸되는 것을 볼 수 있다.

[표 5] 실험에 사용된 재료의 구성 묘사

재료	구성
아크릴	고체, 비다공성, 균질, 아크릴 수지와 천연 미네랄로 구성
CuO가 있는 단단한 표면	고체, 균질, 폴리에스터 수지로 구성된 향균시트, 미네랄 충전제, 안료. 산화 구리는 향균성을 위해 첨가
스테인리스 스틸, 브러시드	크롬-니켈(CrNi) 오스테나이트계 합금 시트(최소 18% 크롬 및 최대 10% 니켈, 18계이지, 등급 304)
고압 라미네이트	페놀 수지가 함침된 크라프트지 코어 시트 위에 눌린 멜라민 수지가 함침된 장식용 표면 종이
구리 시트	구리 합금 C71000(구리 니켈, CuNi) 78%-84% 구리와 19%-23% 니켈로 구성 18 계이지
석영(유리)	주로 천연 소재로 폴리에스테르 수지 바인더와 안료가 약 7% 함유
고무 바닥재	가황 고무(천연, 합성, 재활용) 일반적으로 폴리 우레탄 최상층
균질한 비닐 시트	우레탄 탑코트가 있는 PVC의 단층
목재 라미네이트 바닥재, 상업용	목재 베니어 백커 보드, HDF 코어 및 단단한 목재 마모 층을 사용하는 적층 바닥 시스템, 우레탄코팅으로 마감
럭셔리 비닐타일 #15	LVT, 접착제 바닥 설치, 유연한 PVC 코어. 안정화
럭셔리 비닐타일 #21	LVT, 플로팅 플로어 설치, 유연한 PVC코어, 안정화 층, 쿠션백킹, 방수
럭셔리 비닐타일 #26	LVT, 접착제 다운 설치, 유연한 PVC코어, 안정화 층 없음, 쿠션 백킹 없음
카펫, 상업용	나일론 6, 20온스, 레벨루프, 폴리에스테르 안감
카펫, 주거용	PET, 25온스, 컷 파일, 황마 뒷면
실내 장식 품, 부직포	좌석 적용, 폴리에스터 뒷면이 있는 100% 폴리우레탄 부직포 표면, 무게 15oz. 마모 성능 100,000회 이중 문지름
비닐벽지 유형2	상업용 등급 벽지, 20온스 무게, 직조 또는 부직포 기판에 적용된 두 층의 단단한 비닐. 조성물은 가소제, 안정제 및 안료를 포함한다. 살생물제 및 난연제를 함유

[표 6] 시간에 따른 재료별 바이러스 역가

재료	시간 (hour)	4	8	12	24	30	48	168
아크릴 고체 표면		410 ±3	295 ±25	105 ±11	21 ±2	NA	NA	NA
CuO가 있는 단단한 표면		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
스테인리스 스틸, 브러시드		495 ±76	130 ±57	NA	NA	NA	NA	NA
고압 라미네이트		305 ±118	NA	NA	NA	NA	NA	NA
구리시트		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
석영		330 ±33	243 ±3	106 ±34	32 ±12	NA	NA	NA
고무 바닥재		390 ±3	NA	NA	NA	NA	NA	NA
비닐, 시트, 균질		327 ±25	57 ±4	NA	NA	NA	NA	NA
목재 라미네이트 바닥, 상업용		245 ±22	NA	NA	NA	NA	NA	NA
럭셔리 비닐타일 #15		242 ±18	131 ±29	90 ±9	NA	NA	NA	NA
럭셔리 비닐타일 #21		100 ±2	30 ±5	NA	NA	NA	NA	NA
럭셔리 비닐타일 #26		192 ±2	5 ±0	NA	NA	NA	NA	NA
카펫, 상업용		115 ±6	NA	NA	NA	NA	NA	NA
카펫, 주거용		170 ±20	12.5 ±2	NA	NA	NA	NA	NA
실내 장식품, 부직포		230 ±40	45 ±7	NA	NA	NA	NA	NA
비닐벽지, 유형2		195 ±62	137 ±6	100 ±14	35 ±7	12 ±0	10 ±2	NA

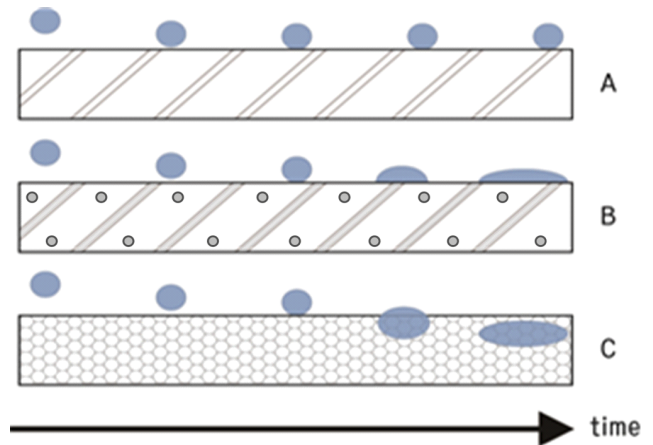
* NA는 검출이 되지 않음을 뜻함

3.4 표면 특성별 바이러스 생존력 및 전파력¹⁴⁾

표면의 형태에 따라 바이러스의 생존력과 전파력이 달라진다. 이는 바이러스가 확산되는 매개체인 물방울(비말)과 관련되어 있다. [그림 2]는 물과 관련하여 소수성, 친수성과 다공성의 특성을 통해 분류하여 성질을 나타낸 그림이다. A는 소수성, B는 친수성, C는 다공성의 성질을 나타내었다. A는 표면에 붙은 물방울이 구의 형태를 거의 유지하기에 표면에서 증발이 빠르게 일어나지 않는 타입이다. B는 물방울이 넓게 퍼져 증발이 빠르게 일어난다. C는 물방울이 표면의 구멍 안으로 흡수되어 바이러스가 함께 재료의 안쪽까지 들어간다.

A와 B에 해당하는 소수성과 친수성은 표면 에너지와 관련이 있다. A는 비교적 낮은 표면 에너지가 있는 재료로 아크릴, 비닐, 플라스틱 등이 속해있다. B는 비교적 높은 표면 에너지를 지닌 재료로 스테인리스 스틸이나 구리, 알루미늄과 같은 대부분의 금속 표면들과 유리 등이 속해있다. C는 종이와 면 등 흡수가 가능한 재료가 속해있다.

친수성이 있는 표면에서의 물방울이 빠르게 증발하여 바이러스가 매질을 잃고 빠르게 사멸한다. 그러나 증발하기 전까지 닿을 수 있는 면적이 넓어 전파될 확률이 높다. 소수성이 있는 표면의 경우 증발을 빠르게 하지 못하여 비교적 바이러스가 빠르게 사멸하지 않지만, 다른 물질이 닿을 수 있는 면적이 적기에 전파될 확률이 높지 않다고 볼 수 있다. 다공성이 있는 표면에서 비말은 흡수가 되기에 전파될 확률은 가장 낮지만, 바이러스의 생존력이 유지된다.



[그림 2] 재료의 특성에 따른 물방울의 시간별 변화 (Abhimanyu Tharayil 외, 2021; Figure 5.를 재구성함)

3.5 합금 마감재¹⁵⁾

다양한 합금이 바이러스의 사멸에 효과적이라는 연구들이 있다. 구리는 코로나 바이러스뿐만 아닌 여러 미생물에 의한 전염병을 억제하는데 효과적인 재료이다. 구리의 독성이 있는 특성을 이용하여 면역체계의 방어 매커니즘으로 미생물의 공격에 저항한다. 고농도의 구리는 박테리아의 세포막을 통과한다. 구리의 독성이 통과된 세포벽은 구리이온에 의해 파괴되고 이후 세포질이 약해지고 사라져 세포의 사멸을 초래하게 된다.

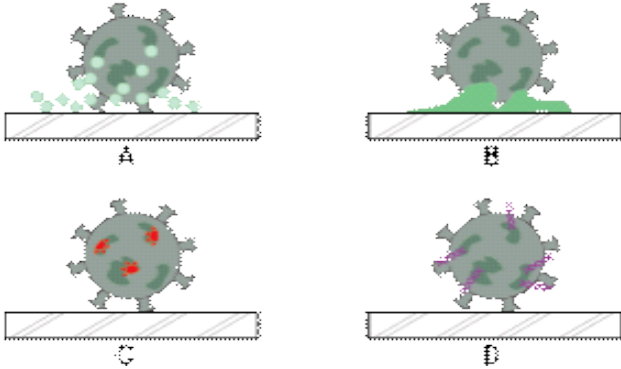
구리의 바이러스 사멸을 돕는 4가지 효과가 [그림 3]이다. A-구리는 세포막을 손상을 일으켜 생존력을 약하게 한다. B-구리는 바이러스 전위와 세포질 함량 손실을 유발한다. C-구리이온은 활성 산소 생성을 유도하여 바이러스 세포 손상을 유발한다. D-구리는 게놈 및 플라스미드 DNA가 분해되게 한다.

바이러스를 효과적으로 사멸하기 좋은 구리합금을 실생활에서 사용하기 편리하게 만든 것이 구리 필름이다. 구리에 폴리우레탄을 섞은 Cu₂O/Pu는 항바이러스 효과가 검증된 구리 필름이다. 이 필름은 '바이러스를 비활성화를 신속하게', '다양한 고체에 코팅이 가능하게', '사용하는 동안 효능을 유지할 수 있도록 견고하게'라는 세 가지 목표로 만들어졌다. 구리 필름의 성능을 검토하기 위해 코팅이 되지 않은 기존의 표본과 그 위로 구리 필름을 코팅한 표본에 대하여 코로나 바이러스의 역가가

14) Abhimanyu Tharayil 외, 2021; 5-7의 내용을 요약하여 정리

15) Govind 외, 2021; 1218-1232, Saeed Behzadinasab 외, 2020; 34723-34726 두 논문을 요약하여 정리

어느 정도의 차이가 나는지 비교하는 실험이다. 유리와 스테인리스 스틸이 대표적으로 사용되었으며 정상적으로 $\text{Cu}_2\text{O}/\text{Pu}$ 코팅된 고체에서는 모두 코팅이 되지 않는 고체보다 99% 정도 바이러스가 비활성화되는 것을 볼 수 있다.



[그림 3] 바이러스 사멸을 유도하는 구리의 효과 대한 그림 (V Govind외, 2021; Fig.3를 재구성함)

[표 7] $\text{Cu}_2\text{O}/\text{Pu}$ 의 성능을 위한 비교 실험 분석 결과값

실험군	비교군	감소 %	감소 로그	95% 신뢰 한계 하한값	P값
$\text{Cu}_2\text{O}/\text{Pu}$ 코팅 유리	유리	>99.98	>3.64	99.95	5×10^{-4}
$\text{Cu}_2\text{O}/\text{Pu}$ 코팅 스테인리스 스틸	스테인리스 스틸	99.90	2.97	98.51	8×10^{-3}
Pu코팅 유리	유리	10	0.04	-164	0.22
$\text{Cu}_2\text{O}/\text{Pu}$ 코팅 13일 동안 물속에 보관된 유리	물속에 있지 않은 유리	99.96	3.39	99.56	8×10^{-4}
$\text{Cu}_2\text{O}/\text{Pu}$ 코팅 된 높은 접촉각의 유리	유리	99.89	2.97	99.22	2×10^{-6}
$\text{Cu}_2\text{O}/\text{Pu}$ 코팅 5번 소독한 유리	유리	99.89	2.95	99.79	4×10^{-8}

3.6 소결

코로나 바이러스 사멸은 공기중에서보다 대부분의 표면에서 더욱 늦게 이루어지는 것을 볼 수 있다. 이는 표면에서의 간접 전파의 가능성을 보여준다. 실내마감재로는 각자 다양한 장단점들이 있다. 계획되는 시설 상황에 맞게 선택하여 사용하는 것이 중요하다. 구리나 구리합금의 경우 항바이러스 능력이 매우 좋다. 구리의 경우 건축 재료로 사용하면 신속되는 감염관리 시설 내부에 적용할 수 있지만, 기존 공간에 마감재료만 리모델링하는 경우는 여러 어려움이 발생할것으로 판단된다. 이러한 어려움을 해소하려고 개발된 것이 구리 필름($\text{Cu}_2\text{O}/\text{Pu}$)이다. 기존 시설은 실내재료마감에 위에 필름지만 붙이면 되기 때문에 편리하고 범용성이 좋은 항바이러스 마감재료로 볼 수 있다. 하지만 외부공간은 다양한 화학적, 물리적 요인으로 찢어지거나 녹이 스는 등 관리적인 면에서 지속가능하지 못한 건축마감재료이다. 친수성이 있는 표면은 바이러스의 매질인 물방울이 빠

르게 증발하며 소수성이 있는 표면보다는 비교적 빠르게 잃는다. 하지만 물방울이 넓게 퍼져 바이러스가 섞인 물방울이 다른 매질(손이나 직물 등)로 전파될 확률이 높다. 종이나 벽지와 같은 다공성이 큰 재질은 물방울을 흡수하여 감염력을 빠르게 잃기에 바이러스가 섞인 물방울이 다른 곳으로 전파되기 힘들다. 하지만, 흡수된 물방울은 증발이 어려워 바이러스의 생존력이 유지된다. 표면에 흡수된 물방울 속 바이러스는 관측이 어렵기에 바이러스 역가를 확인하는 과정에서 오류가 있을 수 있다. 3.2와 3.3의 실험의 경우 다공성이 큰 표면에 바이러스가 검출되지 않았을 때 실제로 바이러스가 모두 사멸하였는지 재료의 특성상 확실시키기 어렵다. 표면의 특성을 확인하며 공간에 맞게 재료를 선택해야 한다. 병동 1인실의 경우 바이러스의 교차 감염 확률이 낮으므로 전파력 보다는 생존력을 억제하는 재료가 적합하지만 다인실의 경우 생존력과 전파력 모두 억제 가능한 재료의 선정이 중요하다.

4. 음압격리병동 내 공간별 바이러스 분포¹⁶⁾

이탈리아는 유럽에서 최초로 코로나 확진 환자가 발생하였고 감염자 수도 가장 많았다(2021년 기준). Katia Razzini(2020)는 코로나 확진 환자가 입원하여 운영 중인 이탈리아의 밀라노의 감염병동에서 공기 및 표면을 표본 채취하여 바이러스를 조사하였다. 환자가 실제로 입원하고 있었던 감염 병실 내 벽에서는 바이러스가 검출되지 않았다. 반면 손이 닿는 환자 침대 간, 의료기기, 손소독제 디스펜서, 의료장비 터치스크린, 문손잡이, 의료선반에서는 바이러스 검출이 되었다. 준오염구역이라도 손이 닿는 곳이라면, 바이러스가 검출되는 결과가 나왔다. 탈의실 내부에서도 바이러스가 검출되었으며 공기 중 바이러스는 오염구역에서만 검출되었다. PPE(Personal Protective Equipment)탈의실은 환자구역이 아닌 의료진의 공간으로 원내 감염 및 교차감염을 막기 위하여 바이러스를 효과적으로 제어해야 하는 공간이기에 마감재료 선정이 매우 중요하다. 탈의실 내의 의료기기와 문손잡이를 계획할 때에는 항바이러스 성능이 확인된 재료인지 확인하고 사용하는 것이 바람직하다.



[그림 4] 밀라노의 코로나 감염관리병동 내 표면 바이러스 검출 현황(Katia Razzini 외, 2020; Fig.2를 재구성함)

16) Katia Razzini 외, 2020; 2-6의 내용을 요약하여 정리

[표 8] 밀라노의 코로나 감염관리병동 내 검출된 표면 바이러스 비율

번호	이름	바이러스 양성 비율 (양성/표본수)
1	침대난간	33.3% (1/3)
2	벤치	0.0% (0/3)
3	컴퓨터 키보드	0.0% (0/1)
4	문손잡이	25.0% (2/8)
5	장갑 상자	0.0% (0/1)
6	손소독제 디스펜서	100.0% (1/1)
7	의료기기	50.0% (2/4)
8	의료장비 터치스크린	50.0% (1/2)
9	의료기기용 선반	40.0% (2/5)
10	직원 사물함	0.0% (0/2)
11	벽	0.0% (0/4)
12	폐기물 용기	0.0% (0/1)
13	수도꼭지	0.0% (0/1)
14	창문	0.0% (0/1)

5. 결론

코로나 바이러스를 효과적으로 사멸하기 위해서는 높은 온도와 높은 상대습도를 유지하며, 자외선 지수를 높여 햇빛이 잘 들도록 하는 것이 적합하다. 이를 통해 감염병 관리시설 확충 시 병실의 위치는 햇빛이 잘 들어오는 방향으로 배치하는 것이 바람직하다.

환경조건과 재료조건에 따른 바이러스 사멸 시간을 참고하여 감염 환자가 있던 공간에서 어느 정도의 시간 동안 출입을 제한해야 하는지 알 수 있는 기준이 될 수 있다. 코로나와 비슷한 감염병이 유행할 때 사용공간의 용도에 따라 장소를 선택하는 기준이 될 수 있다.

표면을 통한 간접 전파의 가능성이 있기에 실내공간의 마감재는 항바이러스 성능이 있는 것으로 선택하여 적용하는 것이 감염병 확산을 억제하기에 적합하다. 감염병 확산억제를 위한 실내공간의 마감재는 공간의 사용용도에 맞게 선택하도록 한다. 1인실의 경우 변이 바이러스의 교차감염의 확률이 상대적으로 적으므로 전파력 보다는 생존력을 억제하는 재료가 적합하며, 다인실의 경우 생존력과 전파력을 모두 억제할 수 있는 마감재료를 선택하는 것이 적합하다.

감염병 음압격리병동내 PPE(Personal Protective Equipment) 탈의실은 환자구역이 아닌 의료진이 이용하는 공간으로 원내감염 및 교차감염을 막기 위하여 바이러스에 대한 효과적인 제어가 필요한 공간이다. PPE 탈의실 공간은 벽이나 천장보다는 손이 자주 닿는 문손잡이나 의료기기 등에 항바이러스 성능이 있는 재료를 사용하는 것이 더욱 효과적이다. 손이 많이 닿는 부분은 항바이러스 성능이 있는 구리합금을 사용하는 것이 좋다. 하지만 구리합금은 오염과 변형에 취약하기에 지속적인 관리가 필요하다.

연구논문의 실험자료는 제어된 실험실 환경에서 도출된 결과이다. 실제로 의료진이 진료하는 환경과는 다소 다른 양상이 나올 수 있다. 바이러스 검출은 바이러스의 RNA 수를 검출하는 방식으로 바이러스의 RNA 수와 감염력은 비례하지 않을 수 있으며 감염력을 잃은 바이러스의 RNA가 검출될 가능성 또한 있다. 연구자료의 실험은 보통 적은 양의 바이러스를 사용하여 실험하였으므로 실제 환자에게서 나온 비밀이나 배설물 안에 있는 바이러스의 양이 실험에 쓰인 바이러스보다 많아 같은 재료 및 환경을 조성하였다더라도 결과로 나온 시간보다 오래 살아남을 가능성이 있다. 따라서 본 논문의 종합된 실험 결과를 수치로만 확인하기보다는 경향을 분석하거나 비교를 통해 활용하는 것이 바람직하겠다.

고찰된 논문은 해외에서 이루어진 실험으로 실험실의 온도, 습도, 자외선 지수를 정하는 기준과 건축에서 주로 사용하는 재료 그리고 감염관리병동의 공간 형태 또한 한국과 다르다. 향후 본 연구의 기초자료를 바탕으로 한국의 사계절을 고려한 습도, 온도, 조도 기준과 실제 감염관리 시설에서 사용된 재료를 바탕으로 한 표본 추출을 사용한 실험 연구가 필요로 되어진다.

사사: 본 연구는 보건복지부의 재원으로 감염병의료안전강화 기술개발사업 지원에 의하여 이루어진 것임(과제고유번호 : HG22C0017)

참고문헌

Abhimanyu Tharayil; R Rajakumari; Miran Mozetic; Gregor Primc; Sabu Thomas; 2021, "Contact transmission of SARS-CoV-2 on fomite surfaces: surface survival and risk reduction", INTERFACE FOCUS

Alex W H Chin; Julie T S Chu; Mahen R A Perera; Kenrie P Y Hui; Hui-Ling Yen; Michael C W Chan; Malik Peiris; Leo L M Poon, 2020, "Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions", The Lancet Microbe

Jennifer Biryukov; Jeremy A Boydston; Rebecca A Dunning; John J Yeager; Stewart Wood; Amy L Reese; Allison Ferris; David Miller; Wade Weaver; Nathalie E Zeitouni; Aaron Phillips; Denise Freeburger; Idris Hooper; Shanna Ratnesar-Shumate; Jason Yolitz; Melissa Krause; Gregory Williams; David G Dawson; Artemas Herzog; Paul Dabisch; Victoria Wahl; Michael C Hevey; Louis A Altamura, 2020, "Increasing Temperature and Relative Humidity Accelerates Inactivation of SARS-CoV-2 on Surfaces", mSphere

Jérémy Raiteux; Marine Eschlimann; Audrey Marangon; Sophie Rogée; Maylis Dadvisard; Laurent Taysse; Guilhem Larigauderie, 2021, "Inactivation of SARS-CoV-2 by Simulated Sunlight on Contaminated Surfaces", Microbiology Spectrum

Katia Razzini; Marta Castrica; Laura Menchetti; Lorenzo Maggi; Lucia Negroni; Nicola V Orfeo; Alice Pizzoccheri; Matteo Stocco; Stefano Muttini; Claudia M Balzaretta, 2020, "SARS-CoV-2 RNA detection in the air and on surfaces in the COVID-19 ward of a hospital in Milan, Italy", Science of The Total Environment

- Neeltje van Doremalen; Trenton Bushmaker; Dylan H Morris; Myndi G Holbrook; Amandine Gamble; Brandi N Williamson; Azaibi Tamin; Jennifer L Harcourt; Natalie J Thornburg; Susan I Gerber; James O Lloyd-Smith; Emmie de Wit; Vincent J Munster, 2020, "Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1", *The new england journal of medicine*
- Saeed Behzadinasab; Alex Chin; Mohsen Hosseini; Leo Poon; William A Ducker, 2020, "A Surface Coating that Rapidly Inactivates SARS-CoV-2", *ACS APPLIED MATERIALS & INTERFACES*
- Shane Riddell; Sarah Goldie; Andrew Hill; Debbie Eagles; Trevor W Drew, 2020, "The effect of temperature on persistence of SARS-CoV-2 on common surfaces", 2020. *BMC Virology Journal*
- Shannon E Ronca; Rodney X Sturdivant; Kelli L Barr; Debra Harris, 2021, "SARS-CoV-2 Viability on 16 Common Indoor Surface Finish Materials", *HERD - Health Environments Research & Design Journal*
- S L Warnes; S M Green; H T Michels; C W Keevil, 2010, "Biocidal Efficacy of Copper Alloys against Pathogenic Enterococci Involves Degradation of Genomic and Plasmid DNAs", *Applied and Environmental Microbiology*
- V Govind; S Bharadwaj; M R Sai Ganesh; Jithin Vishnu; Karthik V Shankar; Balakrishnan Shankar; R Rajesh, 2021, "Antiviral properties of copper and its alloys to inactivate covid-19 virus: a review", *Biometals*

접수 : 2023년 10월 17일

1차 심사완료 : 2023년 11월 1일

게재확정일자 : 2023년 11월 22일

3인 익명 심사 필