

항바이러스 섬유 기술 동향 및 시험 평가 방법



장동환

- 2011. 경상국립대학교 생화학과 학사
- 2019. 경상국립대학교 응용생명과학부 박사
- 2019-2019. 한국생명공학연구원 박사후 연구원
- 2019-2022. 국립마산병원 선임연구원
- 2022-현재. (재)KATRI시험연구원 바이오 환경사업본부 생물자원평가팀 선임연구원



김수진

- 2015. 부산대학교 미생물학과 학사
- 2017. 부산대학교 생명시스템학과 석사
- 2017-현재. (재)KATRI시험연구원 바이오 환경사업본부 생물자원평가팀 주임연구원



최수영

- 2017. 조선대학교 생명공학과 학사
- 2018-현재. (재)KATRI시험연구원 바이오 환경사업본부 생물자원평가팀 연구원



공현정

- 2020. 부산대학교 미생물학과 학사
- 2023. 이화여자대학교 약학과 석사
- 2023-2024. 국립보건연구원 선임연구원
- 2025-현재. (재)KATRI시험연구원 바이오 환경사업본부 생물자원평가팀 연구원

1. 서 론 – 대유행 감염병에 의한 항바이러스 섬유의 부상

대유행 감염병(Pandemic)은 일반적으로 사람들이 면역력을 갖고 있지 않은 새로운 종류의 병원체(Pathogen)에 의해 발병되는 감염성 질환(Infectious disease)이 전 세계로 확산되는 현상을 의미하며, 세계보건기구(World Health Organization, WHO)에서 발령하는 감염병 경보 중 가장 높은 수준이다. 20세기 이후 스페인 독감(1918, Spanish flu), 아시아/홍콩 독감(1957/1968, Hong Kong flu), 후천성 면역결핍증(1981, Acquired Immune Deficiency Syndrome(AIDS)) 등 높은 전파력과 치사율을 가진 감염병들이 대유행 감염병으로 분류, 지정되어 왔으며[1], 가장 최근의 대유행 감염병인 코로나바이러스감염증-19(2020, 이하 COVID-19)으로 인해 7억 명이 넘는 확진자와 700만 명 이상으로 추산되는 사망자 기록이 현재 진행 중이다(Table 1)[2]. 대유행 감염병은 개인의 단위에서 확진자의 사망까지 이어질 수 있는 질환 뿐만 아니라 전 세계의 사회적, 정치적, 경제적으로 대유행 이전과 비교하여 큰 변화를 유발하며, 눈에 보이지 않는 감염병 병원체가 인류 역사에 미치는 영향은 정량화할 수 없는 자연적 재해로 분류될 수 있다. 이러한 대유행 감염병을 일으키는 병원체는 주로 인수공통 감염성 바이러스들이었으며, HIV 바이러스 외에는 공통적인 특징으로 공기 매개 전파 경로(Airborne transmission pathway)를 가지는 호흡기 감염성 바이러스로 분류된다.

가장 최근의 대유행 감염병인 COVID-19는 백신, 치료제와 같은 의료 분야의 방역뿐만 아니라 소독, 방역물품 등 일상생활 분야의 방역에 대한 대중의 관심을 매우 증가시켰다. 호흡기 감염성 바이러스를 물리적으로 차단하는 개인 방역물품인 마스크와 표면 소독을 위한 살균제를 포함한 살생물제품의 소비 및 생산량은 관련 산업

Table 1. 20세기 이후 주요 대유행 감염병 현황

명칭	시기(연도)	원인 병원체	사망자 수
스페인 독감 (Spanish flu)	1918-1919	인플루엔자 바이러스 (<i>Influenza A H1N1</i>)	약 5,000만 명 (추정)
아시아 독감 (Asia flu)	1957-1958	인플루엔자 바이러스 (<i>Influenza A H3N2</i>)	약 400만 명 (추정)
홍콩 독감 (Hong Kong flu)	1968	인플루엔자 바이러스 (<i>Influenza A H3N2</i>)	약 400만 명 (추정)
후천성 면역결핍증 (AIDS) *성·혈액매개전파	1981-현재	인간 면역결핍 바이러스 (<i>HIV</i>)	4,400만 명 이상 (집계 중)
코로나 바이러스 감염증-19 (COVID-19)	2019-현재	코로나19 바이러스 (<i>SARS-CoV-2</i>)	700만 명 이상 (집계 중)

계를 단기간에 급성장시켰으며, 그와 더불어 소비자들이 직접적으로 접촉할 수 있는 섬유 제품 표면의 바이러스를 불활성화 시켜 감염기회를 저감시키는 항바이러스 섬유(Antiviral textile)에 대한 관심도 높아졌다.

항바이러스 섬유는 바이러스의 증식을 억제하거나 감염능력을 불활성화 시키는 항바이러스 물질이 표면처리 되거나 원사로 사용된 섬유 소재 및 제품으로 정의된다. 바이러스가 생체 외부 환경에서 감염능력을 보유한 채 얼마만큼 생존할 수 있는지에 대한 연구들을 종합한 결과, COVID-19 원인 병원체인 *SARS-CoV-2* 바이러스는 섬유 등 다공성 표면에서 최대 2일 동안 감염능력이 유지되며[3], 다른 종류의 코로나바이러스(229E)는 공기 중에서 최대 4일 이상 감염능력이 유지되는 것을 확인할 수 있다[4]. 이렇게 외부 환경에서 감염능력을 가지고 생존하고 있는 바이러스를 일상생활에서 효과적으로 억제하기 위해 항바이러스 기능 섬유 제품을 사용하는 생활방역에 대한 개념이 정립되고 있으며 전세계적인 COVID-19 대유행 기간 동안 소비자들의 관심도 높아졌다. 항바이러스 섬유 시장은 소비자들의 관심과 제조사들의 다양한 제품 및 소재 출시로 매우 큰 성장을 보였으며, 관련 시장 보고서는 2023년 2,700억 달러 규모에서 2024-2032년 연평균 16%의 성장률을 예상하고 있다[5].

본 원고에서는 항바이러스 섬유 기술에 대한 동향 및 섬유 제품에 대한 항바이러스 성능 시험표준을 알아보고, 에어로졸 형태의 호흡기 감염성 바이러스를 대상으로 개발된 KS 국

가표준에 대해 소개하려 한다. 더 나아가, 항바이러스 물질과 같은 살생물제가 처리된 섬유 제품군에 대한 규제 내용과 향후 전망을 예측하고자 한다. 이하의 내용에서는 박테리오파지(Bacteriophage) 등 동물이 아닌 숙주를 감염시키는 바이러스에 대한 내용은 제외한다.

2. 항바이러스 섬유 기술 동향

2.1. 바이러스 구조 및 항바이러스 기작

바이러스는 유전체(Genome)와 단백질(Protein), 지질(Lipid) 등으로 구성되며, 외부 환경에서 자가증식(Self-replication)할 수 없기에 인간을 포함한 동물과 같은 숙주(Host)에 의존적으로 생존하는 생물과 무생물의 중간적인 물질이다. 바이러스 종(Species)에 따라 유전체는 DNA 또는 RNA로 구성되며, 이들 유전체는 단백질 또는 지질단백질(Lipoprotein)에 둘러싸여 보호되고 있다. 바이러스는 외부 구조의 구성물질과 형태에 따라 크게 두 종류로 구분되며, 단백질 캡질만을 가지고 있는 비외피 바이러스(Non-enveloped virus)와 지질막까지 가지고 있는 외피 바이러스(Enveloped virus)로 나눌 수 있다. 지질막은 화학물질 및 높은 온도, 산성도 변화 등 물리·화학적 스트레스에 취약하여, 일반적으로 외피 바이러스가 비외피 바이러스보다 불활성화되기 쉬운 특성을 갖는다[6,7].

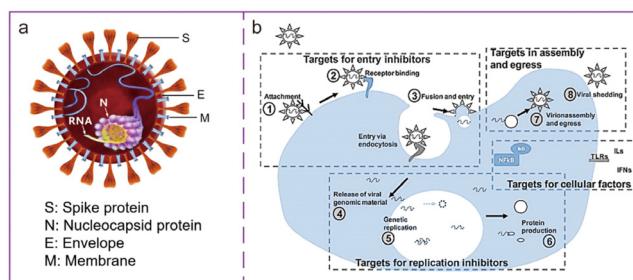


Figure 1. RNA-외피 바이러스 구조 예시 및 바이러스 생활사.

바이러스는 다른 미생물과 다르게 숙주세포 내에서만 증식할 수 있으며, 증식하기 위해 숙주세포(Host cell)에 부착한 뒤, 침투 및 유전체 삽입, 메신저 RNA 전사(mRNA transcription), 유전체 복제, 단백질 합성, 바이러스 입자 조립, 방출 등 과정이 반드시 필요하다(Figure 1). 바이러스의 구조 및 복제 과정을 표적으로 하는 항바이러스 기작은 전략적으로 1) 바이러스 구조 파괴, 2) 숙주세포 부착/침투 억제, 3) 숙주세포 내 복제 억제, 4) 바이러스 방출 억제 등으로 나눌 수 있다[8].

Table 2. 항바이러스 소재 분류 및 장단점

구분	예시물질	장점	단점
1) 무기 항바이러스 소재(Inorganic materials)			
- 금속 및 금속화합물 (Metal & compounds)	금 나노입자 (AuNPs) 은 나노입자 (AgNPs) 구리(Cu)	광범위한 스펙트럼(항균효과 등) 장기간 지속 효과 낮은 독성 내성 발생 억제	높은 비용 효과 발현 느림 산화되기 쉬움
- 탄소기반 나노물질 (Carbon-based nanomaterials)	풀러렌 (Fullerene) 그래핀(Graphene) 탄소 나노흔(CNH)	낮은 독성 특정된 항바이러스 활성	높은 비용 제한적 사용 범위
- 광촉매 물질 (Photocatalytic materials)	이산화티타늄 (TiO ₂) 산화아연(ZnO)	우수한 성능 환경 친화적	높은 비용 항진균 효과 부족
2) 유기 항바이러스 소재 (Organic materials)	4급 암모늄염 (QAC) 헤테로고리 화합물	낮은 비용 효과 발현 빠름 가공 난이도 낮음 색상 안정성 우수	일부 독성 유발 낮은 내열성 일부 내성 유발 생산 공정 중 오염 가능성
3) 천연소재 (Natural materials)	황련, 감초 등 한약재 프로폴리스 다당류(EPSSs)	인체유해성 낮음 환경 친화적	가공 어려움 내구성/내열성 낮음 물질 안정성 낮음 제한적 적용 범위
4) 그 외 복합소재	산화그래핀-은 나노복합체 (GO-Ag)	내구성 높음 광범위한 스펙트럼 안전성 확보	작용 기작 불명확

2.2. 항바이러스 소재

최근까지 다양한 항바이러스 소재들을 섬유제품에 도입하기 위한 연구는 활발히 진행되고 있으며, 특정한 기작들을 통해 바이러스를 불활성화시킬 수 있다고 알려졌다. 현재까지 연구개발 및 상용화된 항바이러스 소재는 화학 구조에 따라 무기 소재(Inorganic material), 유기소재(Organic material), 천연소재(Natural material) 등 크게 3가지로 분류 될 수 있다. 무기 항바이러스 소재는 금속 이온을 포함하는 물질과 탄소 기반 나노물질, 광촉매 물질 등을 포함하며, 유기 항바이러스 소재는 4급 암모늄염, 페놀, 벤즈이미다졸 등 화합물을 다른 단량체와 중합하여 제조된 고분자 물질들을 지칭한다. 천연 항바이러스 소재는 주로 식물에서 추출, 분리, 정제한 물질 중 항바이러스 특성을 가진 활성물질들을 지칭한다. 최근에는 탄소 나노 소재에

은 이온을 결합한 복합소재도 개발되어 활용을 앞두고 있다. 이들 항바이러스 소재들은 작용 기작과 물질 자체 특성에 따라 섬유제품에 적용될 때 장점과 단점이 각각 존재하며, 이는 Table 2와 같이 정리될 수 있다[8].

2.3. 항바이러스 섬유 가공 방법

항바이러스 소재를 섬유에 가공 처리하는 방법은 일반적으로 항균 섬유의 가공과 크게 다르지 않다[9]. 항바이러스 소재를 섬유에 부착시켜 항바이러스 기능을 갖는 섬유로 제조하는 방법은 가공 시점에 따라 두 가지 주요 방법으로 구분할 수 있다. 첫 번째는 항바이러스 소재를 고분자 방사 용액(Polymer spinning solution)과 혼합하여 방사하는 원사개량 가공법(Spinning method)이고, 두 번째는 후처리 가공법(Textile finishing)으로 항바이러스 소재를 침지(Impregnation) 또는 패딩(Padding) 방식을 위해 섬유 후가공제에 첨가하여 섬유에 항바이러스 기능을 부여하는 것이다. 적용 대상 항바이러스 섬유 소재의 제조 방법에 따라 가공 방법은 달라질 수 있으며, 가공 후 항바이러스 섬유로서 그 기능이 온전히 발휘되는 것이 중요하다. 각 가공 방법 별 일반적인 장단점은 아래 표와 같이 정리될 수 있다(Table 3) [8].

최근 국내에서는 이온빔을 이용해 구리 이온을 섬유에 증착시켜 항바이러스 섬유로 가공하는 연구가 있었으며, 해당 연구에서는 COVID-19 원인 병원체인 SARS-CoV-2 바이러스를 99.8% 이상 불활성화시키는 항바이러스 효과와 황색포도상구균(*S. aureus*), 폐렴간균(*K. pneumoniae*), 대장균(*E. coli*), 녹농균(*P. aeruginosa*) 등 세균들에 대해서도 99.9% 이상의 항균 효과를 나타내는 마스크 필터용 섬유 소재 가공기술을 개발했다[10,11].

**Figure 2.** 국내 항바이러스 섬유 기공기술 개발 예시.

2.4. 국내 항바이러스 섬유 제품 현황

현재 다수의 국내 제조·수입업체에서 항바이러스 섬유에 적용되는 항바이러스 소재들을 도입하고 있으며, 많은 경우 은, 구리, 티타늄 등 무기 항바이러스 소재를 적용하고 있다(Table 4). 원사 가공 또는 후처리 가공을 통해 항바이러스 성능을 보유한 섬유 원단을 제작하고 있으며, 생활용 의류에서 공조용 필터 부직포 소재까지 다양한 품목에 적용됨을 확인할 수 있다.

시험/인증 소개

Table 3. 항바이러스 섬유 가공 방법 별 장단점

가공 방법	적용 소재	장점	단점
1) 원사개량 가공법(Spinning method)			
습식방사 (Wet spinning)	무기물질 유기물질	구조균일 품질 우수	항바이러스 물질 합량 낮음 낮은 효율/높은 비용
용융방사 (Melt spinning)	무기물질, 유기물질 (고온 안정성 필요)	항바이러스 효과 장기 지속 유연성 우수	방사 과정 중 응집 발생 가능 항바이러스 물질 불균일 분산
겔방사 (Gel spinning)	무기물질 유기물질	효과 장기 지속 느린 방출 효과	생산량 및 효율 낮음
전기방사 (Electrostatic spinning)	무기물질 유기물질	특정 표면적 처리 가능 높은 다공성 항바이러스 효과 우수	섬유 강도 낮음 생산성 낮음
2) 후처리 가공법(Textile finishing)			
マイ크로캡슐 (Microcapsule)	천연물질	세탁견로도우수 느린 방출 효과	촉감 및 통기성 저하
침지 및 패딩 (Impregnation & Padding)	무기물질	가공난이도낮음 낮은 비용 높은 범용성	부드러움 및 통기성 저하
3) 그 외 방법			
레이저유도코팅 (Laser-induced coating)	탄소기반 나노물질 (그래핀 등)	간단한 작업 대량생산 가능	직물 구조 손상
이온빔 증착 (Ion beam sputtering)	금속 및 금속화합물 (구리 등)	방출 저감 효과 항바이러스 효과 우수 섬유구조손상없음	낮은 효율 /높은 비용

3. 항바이러스 섬유 성능 분석을 위한 시험표준 현황

3.1. 바이러스 감염 역가 정량 분석 방법

항바이러스 성능 평가는 기본적으로 바이러스가 숙주세포에 침투하고 자가증식하는 감염능력을 정량적으로 평가하기 위한 배양 기반 감염 역가 분석(Infectious titer assay) 시험이 수행되어야 한다. 이는 세균, 곰팡이 등 자가증식으로 집락(Colony)을 형성하여 육안으로 계수할 수 있는 다른 미생물과 다르게 바이러스의 특성상 숙주세포가 바이러스가 포함된 시료에 의해 얼마나 감염이 되었는지 평가하기 위한 방법이다. 정량적 평가를

Table 4. 국내 항바이러스 섬유 제품 현황

기업	제품명	주요 소재/ 가공방법	적용 품목	참조
휴비스	그래핀	그래핀/ 원사 가공	의류, 의료용 의류, 침구류, 마스크	[12]
Scienssent	Agion	은, 구리, 아연/ 후처리 가공	마스크, 아웃도어의류	[13]
코오롱 글로텍	Q-PLUS	황화구리/ 원사 가공	마스크, 공기청정기 필터, 침구, 카시트	[14]
모테크 바이오	MHOTEX	미네랄, 폴리펩타이드/ 후처리 가공	의류, 의료용 의류, 시트, 장갑, 공조용 필터	[15]
케이피엠 테크	EVER-EX	다기능셀룰로오스/ 원사 가공	의료용 의류, 유아용품, 침구류, 스포츠웨어	[16]
다원엔더스	Voltlon	구리/ 원사 가공	마스크, 의류, 침 구류	[17]
자하케미칼	바이로제로	바이오 세라믹/ 후처리 가공	공조용 필터	[18]
블루인더스	블루인더스 필터	이산화티타늄 (TiO ₂)/ 후처리 가공	공조용 필터, 마스크	[19]

위해 시험자가 바이러스에 의한 숙주세포의 감염 정도를 현미경을 사용해 세포병변효과(Cytopathic effect, CPE)를 판정하고 계수하여 플라크 형성 단위(Plaque-forming unit, PFU) 또는 50% 조직 배양 감염량(Tissue culture infectious dose 50%, TCID₅₀) 등으로 평가할 수 있다[20]. 단일 시험에서는 플라크 분석(Plaque assay) 또는 TCID₅₀ 분석(TCID₅₀ assay) 중 동일한 평가방법을 사용하여 바이러스의 감염 역가를 정량적으로 측정하는 것이 권장된다.

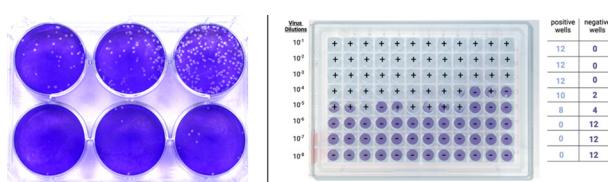


Figure 3. (좌)플라크 분석 및 (우)TCID₅₀ 분석 예시[20].

플라크 분석은 가장 직접적인 바이러스 감염 역가 분석 방법으로, 바이러스에 감염된 숙주세포의 세포병변효과로 유발되어 눈

으로 관찰할 수 있는 플라크 형성을 계수한다(Figure 3, 좌). 이를 위해 10배 연속 희석한 바이러스 접종액을 독립된 숙주세포에 각각 감염시키고, 세포층 위에 고체 또는 반고체 배양액을 덮어 새롭게 증식된 바이러스가 유동적으로 확산되는 범위를 제한하고 배양한다. 배양 후 형성된 플라크를 크리스탈바이올렛 또는 메틸렌블루와 같은 세포염색 기법을 사용하여 계수하며, 하나의 플라크는 하나의 감염성 바이러스 입자에서 유래된 것으로 간주하여 계산하게 되고, 최종적으로 플라크 형성 단위로 환산한다.

TCID₅₀ 분석은 50%의 감염을 유도하는 감염성 바이러스 농도를 측정하는 간접적인 방법으로, 세포병변효과를 여러 반복 시험을 통해 판정하고 계산한다(Figure 3, 우). 10배 연속 희석한 바이러스 접종액을 독립된 최소 4개 이상의 숙주세포에 반복 감염시키고, 배양 후 각 반복 감염한 세포의 세포병변효과의 유무를 관찰하여 감염 양성 또는 음성으로 판정한 뒤, Reed-Muench 또는 Spearman-Kärber와 같은 방법으로 계산하여 희석액 내 확률적으로 50% 감염 농도를 가정하는 TCID₅₀ 단위로 환산한다.

위 두 가지 대표적인 바이러스 감염 역가 분석 방법은 세포병변효과가 비교적 잘 확인될 수 있는 바이러스 및 숙주세포를 대상으로 적용할 수 있으며, 만약 세포병변효과가 충분히 관찰되지 않는 바이러스를 대상으로 할 때에는 면역학적 또는 분자생물학적 역가 분석이 고려될 수 있다.

3.2. 항바이러스 섬유 성능 분석 시험표준 – ISO 18184

ISO 18184 'Textiles-Determination of antiviral activity of textile products'(KS K ISO 18184 텍스타일-섬유제품의 항바이러스 활성도 측정) 시험표준은 특정 바이러스를 시험편(직물, 편물, 원사 및 브레이드를 포함한 섬유제품) 위에 접종하고 일정 시간 후 남아있는 바이러스를 계수하여 시험편의 항바이러스 활성도를 측정하는 방법이다[21]. 시험에 사용되는 바이러스는 대표적인 외피 바이러스이며 인수공통 감염성을 가진 A형 인플루엔자 바이러스(*Influenza A virus*)와 대표적인 비외피 바이러스인 고양이 칼리시바이러스(*Feline calicivirus*)이며, 각 바이러스에 특이적인 숙주세포로 개 신장 유래 세포(MDCK cell)와 고양이 신장 유래 세포(CRFK cell)를 사용한다(Table 5).

ISO 18184 시험방법은 대조 시험편, 항바이러스 시험편 등 각 조건별 3회 반복 수행을 기본으로 하며, 시험 과정은 다음과 같다. 먼저 각 섬유 시험편을 0.4 g 씩 채취한 후 각각의 시험 바이알에 담아 고압증기멸균 등 시험편의 특성에 적합한 방법으로 멸균한다. 멸균 후 건조된 시험편 위에 $(1\sim 5 \times 10^7)$ TCID₅₀/mL

Table 5. ISO 18184 시험용 바이러스 및 숙주세포

시험대상 바이러스 및 숙주세포 (Strain, 식별번호 등)	형태	생물안전 등급 (Biosafety level)
<i>Influenza A virus (H1N1)</i> (A형 인플루엔자 바이러스) (A/PR/8/34) ATCC® VR-1469™	외피 바이러스 (Enveloped)	2
<i>Influenza A virus (H3N2)</i> (A형 인플루엔자 바이러스) (A/Hong Kong/8/68) ATCC® VR-1679™		
(숙주세포) MDCK cell line(개 신장 유래 세포) (NBL-2) ATCC® CCL-34™		
<i>Feline calicivirus</i> (고양이 칼리시바이러스) (F-9) ATCC® VR-782™	비외피 바이러스 (Non-enveloped)	2
(숙주세포) CRFK cell line(고양이 신장 유래 세포) ATCC® CCL-94™		

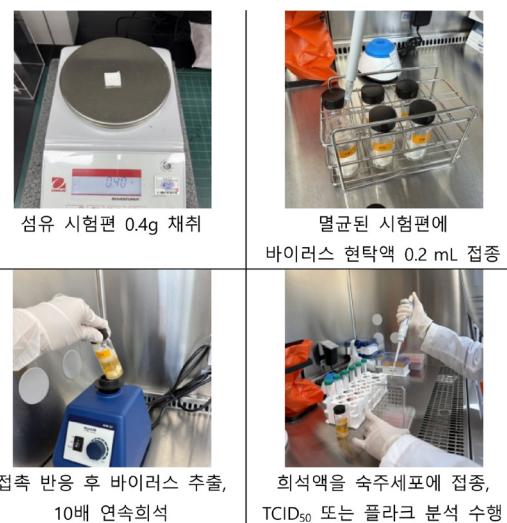


Figure 4. ISO 18184 시험 주요과정.

의 감염 역가를 가진 바이러스 혼탁액을 0.2 mL 씩 접종한 후 25°C에서 2시간 동안 시험편과 바이러스가 접촉·반응하도록 한다. 반응 후, SCDLP와 같은 중화용액 20 mL를 넣고 충분히 교반하여 시험편에서 바이러스를 회수한다. 회수액을 세포 배지로 10배씩 연속 희석한 후, TCID₅₀ 방법으로 숙주세포가 배양된 96-웰 플레이트(96-well plate)에 각 희석 비율별로 0.1 mL 씩 접종하고 1시간 동안 이산화탄소 배양기에서 감염시킨다. 이후 보존배지를 0.2 mL 씩 넣어 이산화탄소 배양기에서 3-5일 배양한다. 배양 온도 및 보존배지 조성 등 바이러스 종류별로 세부 조건이 다르므로 적합한 시험장비 설정 및 배지 준비가 필요하다. 배양 후, 세포고정액 및 염색용액을 첨가하여 세포병변효과

의 양성 비율을 계수하고 Spearman-Kärber 방법으로 바이러스 감염 역가를 계산한다(Figure 4).

이 시험표준을 이용한 항바이러스 활성도(Mv) 계산은 대조 시험편에 바이러스 혼탁액을 접종한 직후 바이러스 감염 역가의 상용로그 평균값($Ig(Va)$)에서 2시간 접촉 한 항바이러스 시험편의 상용로그 평균값($Ig(Vc)$)의 차이로 계산한다($Mv = Ig(Va) - Ig(Vc)$). 이때, 대조 시험편의 2시간 동안 바이러스 감염 역가의 감소가 로그값 1.0 이하여야 시험 조건이 성립된 것으로 하며, 이를 벗어날 경우 시험과정 중 세부 조건을 점검하고 재 시험 해야 한다. 섬유 제품의 항바이러스 성능이 3 이상($Mv \geq 3.0$)일 경우 매우 우수한 효과로, 2 이상($Mv \geq 2.0$)일 경우 우수한 효과로 평가할 수 있다.

3.3. 에어로졸-항바이러스 섬유 시험표준 개발 배경

ISO 18184 시험표준은 액상 형태의 바이러스를 섬유 시험편에 접촉 후 회수하여 항바이러스 성능을 평가하는 방법이다. 이는 시험 과정 중 호흡기 감염성 바이러스의 공기 매개 전파 경로를 모사할 수 없으며, 실생활에서 항바이러스 섬유 제품이 공기 중 존재하는 바이러스와 직접적 접촉하는 형태를 반영하기 힘든 한계점이 있다. 호흡기 감염성 바이러스의 공기 매개 전파 경로는 바이러스 감염자의 호흡기에서 호흡, 대화, 재채기, 기침 등 활동으로 발생되는 바이러스가 포함된 직경 5 μm 이상의 호흡기 비말(Respiratory droplets) 및 직경 5 μm 이하의 에어로졸(Aerosol) 또는 비말핵(Droplet nuclei)이 인접한 비감염자의 호흡기에 접촉하여 감염이 확산되는 과정으로 정의된다. 크기가 큰 비말 입자는 최대 2 m 이내의 거리에 확산될 수 있으며 최대 1시간 이내에 바닥으로 낙하하나, 비교적 크기가 작은 에어로졸 입자는 40 m 이상의 거리까지 확산되며 12시간을 초과하는 공기 중 부유시간을 가짐으로써 감염병 전파에 큰 영향을 끼칠 수 있다(Figure 5) [22].

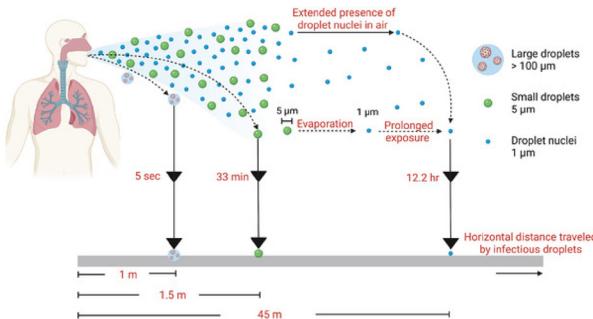


Figure 5. 호흡기 비말 및 에어로졸의 확산 거리 및 부유시간.

KATRI시험연구원에서는 기존 ISO 18184 시험표준의 액상 형태 바이러스를 사용하는 시험 방법의 한계점을 개선하기 위한 목적으로 실제 호흡기 감염성 바이러스의 공기 매개 전파 경로를 모사하는 새로운 시험 방법을 개발하기 위해 관련된 학술문헌 검토 및 시험장치 설계·제작, 시험방법 확립, 시험자 간 비교시험 과정을 수행했다. 시험실 환경에서 바이러스 혼탁액을 5 μm 이하 크기의 에어로졸로 생성하는 발생기와 섬유 시험편에 적재하는 챔버의 종류 및 형태를 관련 학술논문에서 참조했으며[10,23], 이를 통해 동시에 6개 시험편에 에어로졸 바이러스를 적재할 수 있는 표준화된 시험 시스템을 설계하고 (주)에이알티플러스에 제작 의뢰하여 '에어로졸 챔버 시험 시스템'을 확립했다(Figure 6). 시험방법의 확립 후 최종적으로 KOTITI시험연구원 및 한국화학융합시험연구원 소속 시험자들과 비교시험을 통해 통계적으로 유의미한 차이가 없는 표준화된 시험방법을 개발했으며, 이를 KS 섬유분야 전문위원 심의와 기술 심의를 거쳐 2024년 KS K 0695 '텍스타일 – 에어로졸에 포함된 인간 병원성 바이러스에 대한 텍스타일 제품의 항바이러스 활성도 측정'으로 제정했다[24].

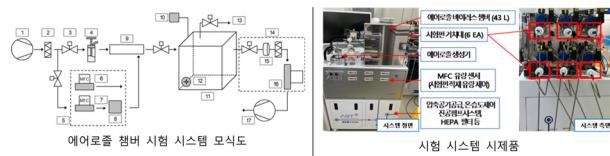


Figure 6. 에어로졸 챔버 시험 시스템 설계 및 제작.

3.4. 에어로졸-항바이러스 섬유 성능 분석 시험표준 – KS K 0695

본 표준의 시험방법은 다음과 같다. 다공성 섬유 시험편을 직경 25 mm 크기의 원형으로 채취하여 습식멸균 용기에 담아 고압증기멸균 등 시험편의 특성에 적합한 방법으로 멸균하고, 에어로졸 챔버 시험 시스템의 시험편 거치대에 거치한다. 바이러스 감염자가 생성하는 호흡기 유래 바이러스 에어로졸을 모사하기 위해 (1×10^8) TCID₅₀/mL의 감염 역가를 가진 호흡기 감염성 바이러스인 인플루엔자 A 바이러스(H1N1, ATCC® VR-146™) 혼탁액과 인공타액(Artificial saliva)을 10:1 비율로 에어로졸 생성기(6-Jet collision nebulizer)에 적용하고 시험 시스템을 활성화한다. 에어로졸 생성기에 공급되는 압축 공기 압력(145 ± 7 kPa)과 챔버에 공급되는 희석 공기 장치의 압력(97 ± 7 kPa)이 각각의 적정선에도 달리면 5 분간 바이러스 에어로졸을 생성하여 온도($21 \sim 25$) °C 및 상대 습도(70 ± 10) % 조건의 챔버 내부에 공급한다. 챔버 내 바이러스 에어로졸을 시험편 거치대에 4 L/min 유량의 진공 펌프 시스템으로 30분간 통과시켜 시험편에 적재시키고, 이후 시험편 거

치대에서 탈거한 시험편을 각각 용기에 넣고 밀봉하여 25 °C에서 1시간 동안 시료와 바이러스가 접촉·반응하도록 한다(Figure 7).

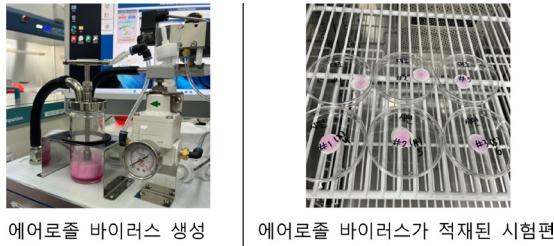


Figure 7. KS K 0695 시험 주요과정.

접촉 시간 후 시험편에서 바이러스 회수 및 감염 역가를 분석하는 시험방법은 ISO 18184와 유사하나, 시험편에 접종되었던 바이러스의 감염 역가는 시험편의 단위 면적인 $TCID_{50}/cm^2$ 으로 환산한다. 항바이러스 활성도(R) 계산은 바이러스 접촉 시간 후 대조 시험편의 바이러스 감염 역가의 상용로그 평균값(L_u)에서 항바이러스 시험편의 상용로그 평균값(L_t)의 차이로 계산한다($R = L_u - L_t$). 이때, 대조 시험편에서 즉시 추출한 바이러스 감염 역가는 $(1 \times 10^3) TCID_{50}/cm^2$ 이상 이어야 시험 조건이 성립된 것으로 하며, 이를 벗어날 경우 시험과정 중 세부 조건을 점검하고 재시험 해야 한다.

4. 항바이러스 등 항균 섬유 제품 제조 · 수입사 준수 사항

4.1. 국내 화학제품안전법

「생활화학제품 및 살생물제의 안전관리에 관한 법률」(약칭 화학제품안전법, K-BPR)은 많은 인명피해가 발생한 국내 가습기살균제 사고를 계기로 제정된 법으로 미생물, 해충, 쥐 등 유해생물을 제거하거나 무해화하는 기능을 가진 살생물제(Biocide)의 관리를 목적으로 한다[25]. 살생물물질(Biocidal active substance) 및 살생물제품(Biocidal product)의 국내 제조·수입을 위해서 제조사는 환경부 장관의 승인을 득해야 하며, 이는 법 제정 이후 일정 유예기간을 거쳐 이행되도록 시행 중이다. 이는 유럽의 BPR(Biocidal Product Regulation ; 살생물제관리법)과 미국의 FIFRA(Federal Insecticide, Fungicide, and Rodenticide Act ; 연방해충·곰팡이·설치류퇴치제법) 등 정부 주도로 소비자가 사용하는 살생물제에 대한 관리 및 규제하는 법률과 유사하다. 바이러스와 같은 미생물을 대상으로 살균, 불활성화하는 살생물제인 살균제는 2022년까지 물질승인, 2024년

까지 제품승인을 득하여야 했으며, 2025년 6월까지 총 26개의 물질과 25개의 제품이 살균제로 승인 받았다[26].

살균제와 같이 사용자가 직접적으로 미생물 오염의 의심되는 표면에 사용하는 능동 방역(Active disinfection) 제품과 달리 항바이러스 섬유는 의도치 않게 오염에 적용되어 항바이러스 기능을 수행하는 수동 방역(Manual disinfection) 제품으로 분류될 수 있다. 화학제품안전법에서는 이러한 제품을 '살생물 처리제품(Treated article)'이라고 정의하며, 제품의 주된 목적이 아닌 유해생물 제거 등 부수적인 목적을 위하여 살생물제품이 사용된 제품이라고 지칭한다[27]. 제품 자체의 보존이나 보호만을 목적으로 하는 경우와 제품에 살생물 기능이 있지만 주된 목적에 해당하지 않는 경우 모두 제품의 부수적 목적에 해당되며(살생물처리제품), 현재 많은 제조·유통사들이 표시·광고하는 '항바이러스/항균/항곰팡이 성능' 등 대중의 건강보호를 포함하는 주장은 제품의 주된 목적에 해당된다(살생물제품). 섬유 제품의 항바이러스, 항균, 항곰팡이 등 제품명 및 표시·광고에 따른 구체적인 구분 예시는 다음과 같다(Table 6).

Table 6. 섬유 분야 살생물처리제품 및 살생물제품 구분 예시

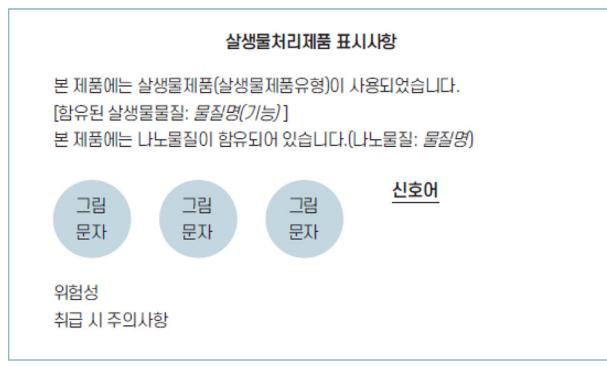
구분	살생물처리제품	살생물제품
제품명, 표시·광고	항바이러스, 항균, 항곰팡이 등 처리된 원단으로 제작한 마스크, 내의, 매트 등 완제품	(제품명) 항바이러스 마스크, 항균 내의, 항곰팡이 매트 등
	(제품명) 항바이러스, 항균, 항곰팡이 등 미기재	(표시·광고) 항바이러스/균/곰팡이 99.9 % 등
	(표시·광고) 위생적, 냄새 제거 등 항균 처리 원단 사용	미생물 저감 기능, 질병예방 등
판단근거	- 제품 자체 보존·보호 기능	- 대중의 건강 보호 주장
	- 부수적 목적	- 주된 목적

4.2. 살생물처리제품 및 살생물제품 관련 준수사항

항바이러스 섬유 소재가 사용된 섬유 제품을 부수적 목적인 살생물처리제품으로 국내 제조·수입하여 판매·유통하기 위해서는 화학제품안전법에 따라 안전기준과 표시기준을 준수하여야 한다. 살생물처리제품에 대한 안전기준은 1) 사용되는 살생물제품은 환경부장관의 승인을 받은 것이어야 하며, 2) 수입하는 경우 처리된 살생물제품이 국외(예: 미국 EPA, 유럽 ECHA 등)에서 승인·등록이 유효하여야 함을 포함한다(화학제품안전법 제28조제1항). 표시기준의 경우 1) 해당 제품에 살생물제품이 사용되었음

시험/인증 소개

을 알리는 문구, 2) 사용된 살생물제품에 함유된 모든 살생물물질의 명칭 및 기능, 3) 사용된 살생물제품에 나노물질이 함유되었는지, 4) 사용된 살생물제품의 위험성 및 취급 시 주의사항 등을 표시 함을 포함한다(화학제품안전법 제28조제2항)(Figure 8). 이 외에도 구매자가 요구하는 경우 사용된 살생물제품에 대한 정보제공, 사용된 살생물물질 또는 제품의 새로운 위해성 등에 대해 환경부 장관에 보고, 사용된 살생물제품의 제품명 및 사용량에 대한 자료를 기록 및 보존할 의무가 있다(화학제품안전법 제30조, 제36조, 제49조). 현행법상 살생물처리제품의 제조·수입을 위해서는 별도 승인 신청이나 자료제출이 요구되지는 않는다.



※ 그림문자 및 신호어는 해당되는 경우에만 기재한다.

Figure 8. 살생물처리제품 표시사항 예시[27].

항바이러스 섬유 제품을 주된 목적의 살생물제품으로 국내 제조·수입하여 판매·유통하기 위해서는 해당 제품에 승인된 살생물물질의 사용이 전제되며, 물리·화학적 및 생물학적 특성 등을 포함하는 제품 정보, 인체와 환경에 대한 유해성·위해성평가 결과, 표적 생물체에 대한 효과·효능평가 결과 등 자료를 환경부장관에 제출하고 승인 받아야 한다(화학제품안전법 제20조). 위 절차는 살균제, 살충제, 살서제 등 일반적인 살생물제품의 승인 과정과 동일하며, 승인 유효기간은 10년 이내로 지정된다.

현행법상 살생물제품으로 승인받지 아니한 제품을 항바이러스, 항균, 항곰팡이 등 살생물 기능을 주된 목적으로 제품명 또는 표시·광고하는 경우 미승인 살생물제품으로 판단되어 관계 당국의 법적 처분을 받을 수 있다(화학제품안전법 제56조, 7년 이하의 징역 또는 7천만원 이하의 벌금). 또한 부수적인 목적으로 살생물처리제품에 대해 안전기준 및 표시기준을 준수하지 않았을 경우 마찬가지로 법적처분을 피할 수 없다(화학제품안전법 제57조, 5년 이하의 징역 또는 5천만원 이하의 벌금). 미승인 살생물제품에 대한 처벌규정은 2026년 즉시 시행 예정이며

[28], 살생물처리제품 안전기준 및 표시기준 미이행에 대한 처벌규정은 2028년부터 단계적으로 시행된다.

5. 결 론

국내 대다수의 섬유패션업계에서는 항바이러스, 항균, 항곰팡이 등 원천기술이 부족한 현황으로 해외 승인된 살생물질을 수입하여 원단 제조과정에 사용하거나 2차 가공하는 방식을 일반적으로 사용하고 있다. 현재도 의류, 침구, 커튼, 마스크 등 다양한 섬유 제품에 항바이러스, 항균, 항곰팡이 등 목적의 제조·가공을 하고 있고 효과·효능에 대한 일반 시험성적서를 기반으로 마케팅하고 있으나, 환경부 승인 살생물제품을 사용하고 있는 경우는 드물며, 중소기업 및 영세업체 등 전반적인 섬유패션업계에서는 살생물제품 및 살생물처리제품의 관리 법령에 대한 인식이 부족한 실정이다. 살생물제품의 승인과정은 상당한 양의 자료가 요구되며 그에 소요되는 비용 및 시간 또한 영세업체에 큰 부담이 될 수 있다. 또한, 섬유패션업계의 특성 상 제품의 리뉴얼 주기가 짧기 때문에 실제 섬유·살생물제품으로서 생산하는 제품을 매번 출시 전 환경부 승인을 받기에는 많은 애로사항이 발생할 것으로 사료된다.

따라서 섬유패션업계에는 별도 승인 신청 및 자료제출이 요구되지 않으며, 제품 자체의 위생적 보존·보호를 목적으로 항바이러스 등 기능성 소재가 포함된 살생물처리제품으로서 안전기준 및 표시기준의 이행이 권장된다. 또한 섬유 제품에 적용하는 항바이러스 등 기능성 소재를 직접 연구개발·제조·수입하는 기업이라면 해당 소재를 '살균제' 또는 '섬유·죽류·용·보존제' 유형으로 살생물물질 및 살생물제품 승인을 즉시 받아야만 한다. 규제 법률의 준수와 더불어 항바이러스 기능성을 소비자에게 어필하고 시장경쟁력을 갖추기 위해 한국시험인증산업협회 항바이러스인증센터의 '항바이러스 인증'과 일본섬유평가기술협의회의 'SEK 항바이러스 인증' 등 국내외 단체인증으로 제품의 안전성과 성능을 입증하는 방안도 고려될 수 있다(Figure 9)[29, 30].



Figure 9. 국내외 항바이러스 인증.

소비자들의 건강과 안전을 위해 시행되는 제도가 관련 산업계에 까다로운 규제로 적용될 수 있으나, 적합한 항바이러스 섬유 성능 시험과 올바른 제도 이행으로 해당 이슈를 극복하고 발판 삼아 국내 섬유패션업계가 안전성이 입증된 기능성 항바이러스 제품으로 세계시장에서 선도할 수 있는 계기가 되기를 기대한다.

참고문헌

1. S. Sampath, A. Khedr, S. Qamar, A. Tekin, R. Singh, R. Green et al., Pandemics Throughout the History, *Cureus*, 2021, **13**(9), e18136.
2. WHO COVID-19 dashboard, WHO Web Page, <https://data.who.int/dashboards/covid19/> (Accessed June, 2025).
3. J. Xu, C. Xu, R. Chen, Y. Yin, Z. Wang, K. Li et al., Stability of SARS-CoV-2 on inanimate surfaces: A review, *Microbiol Res*, 2023, **272**, 127388.
4. H. A. Aboubakr, T. A. Sharafeldin, and S. M. Goyal, Stability of SARS-CoV-2 and other coronaviruses in the environment and on common touch surfaces and the influence of climatic conditions: A review, *Transbound Emerg Dis*, 2021, **68**(2), 296-312.
5. A. M. Insights, Anti-Viral Fabric Market by Product Type, Application, Country, and Region: Industry Analysis, Market Size, Market Share, and Forecast from 2024 to 2032, 2024.
6. S. S. Zhou, Variability and Relative Order of Susceptibility of Non-Enveloped Viruses to Chemical Inactivation. In: R. W. Nims, M. K. Ijaz editors, *Disinfection of Viruses*, Rijeka, IntechOpen, 2022.
7. Guidance to registrants: Process for making claims against emerging viral pathogens not on EPA-registered disinfectant labels, EPA, 2016.
8. Y. Zhang, W. Fan, Y. Sun, W. Chen, and Y. Zhang, Application of anti-viral materials in textiles: A review, 2021, **10**(1), 1092-115.
9. 홍성학, 김용, 최창남, 항균방취 가공기술의 개발 동향, 섬유기술과 산업, 1998, **2**(2), 286-95.
10. S. Jung, J. Y. Yang, D. Jang, T. Kim, K. H. Baek, H. Yoon, et al., Sustainable Antibacterial and Antiviral High-Performance Copper-Coated Filter Produced via Ion Beam Treatment, *Polymers (Basel)*, 2022, **14**(5).
11. S. Jung, J. Y. Yang, E. Y. Byeon, D. G. Kim, D. G. Lee, S. Ryoo, et al., Copper-Coated Polypropylene Filter Face Mask with SARS-CoV-2 Antiviral Ability, *Polymers(Basel)*, 2021, **13**(9).
12. 휴비스, 국내 최초 염색 가능한 ‘그래핀섬유’ 양산 돌입, 한국섬유신문, 2021.
13. 그루텍스 '에이지온' 항균 마스크 원료로 각광, 패션비즈, 2020.
14. 코오롱글로텍, '큐플러스' 항바이러스 기능 입증, 어페럴뉴스, 2021.
15. 항바이러스 가공기술로 글로벌 시장 공략, TIN 뉴스, 2020.
16. [PIS 2011 현장] 케이피엠텍, 항바이러스 항균 원단 'EVER-EX' 소개, 에이빙(AVING), 2011.
17. 볼트론 '코로나 바이러스 사멸 검증' 폐지, 한국섬유신문, 2022.
18. 자하케미칼, 1분내 99.7% 바이러스 사멸 항바이러스 필터 개발, 의학신문, 2023.
19. 블루인더스, 항바이러스 공인 테스트 통과 '신소재 필터' 개발, 파이낸셜뉴스, 2022.
20. Virology through numbers: Plaque and TCID50 assays, Virology Research Services, (<https://virologyresearchservices.com/>) (Accessed June, 2025)).
21. ISO 18184:2019, Textiles-Determination of antiviral activity of textile products(Published June, 2019).
22. J. Joseph, H. M. Baby, S. Zhao, X. L. Li, K. C. Cheung, K. Swain, et al., Role of bioaerosol in virus transmission and material-based countermeasures, *Exploration(Beijing)*, 2022, **2**(6), 20210038.
23. E. Fisher, S. Rengasamy, D. Viscusi, E. Vo, and R. Shaffer, Development of a test system to apply virus-containing particles to filtering facepiece respirators for the evaluation of decontamination procedures, *Appl Environ Microbiol*, 2009, **75**(6), 1500-7.
24. KS K 0695:2024, 텍스타일 - 에어로졸에 포함된 인간 병원성 바이러스에 대한 텍스타일 제품의 항바이러스 활성도 측정(Published November, 2024).
25. 생활화학제품 및 살생물제의 안전관리에 관한 법률, 국가법령정보센터(2024. 3. 19., 일부개정).
26. 화학제품관리시스템, 한국환경산업기술원, (<https://chembold.keiti.re.kr/>) (Accessed June, 2025)).
27. 살생물처리 제품 제도 이행 가이드라인 제2판, 환경부, 2023.
28. 항균 99.9% 표기, 내년부터 함부로 쓰면 안된다, 한국섬유신문, 2025.
29. 한국시험인증산업협회 항바이러스인증센터, (<https://www.antiviral.or.kr/>) (Accessed June, 2025)).
30. The Certification Standards of SEK Mark Textile Products(일본섬유 평가기술협의회 SEK 인증), (<https://www.sengikyo.or.jp/english/sek.php> (Accessed June, 2025)).