

# 융합연구리뷰

Convergence Research Review

도성준(한국생산기술연구원 수석연구원)  
부직포 필터 기술 동향 및 Covid-19 팬데믹에의 대응 현황

이승수(충북대학교 교수)  
빌딩풍 피해와 대응

# CONTENTS

- 01 편집자 주
- 03 부직포 필터 기술 동향 및 Covid - 19 팬데믹에의 대응 현황
- 33 빌딩풍 피해와 대응



융합연구리뷰 | Convergence Research Review  
2020 October vol.6 no.10

**발행일** 2020년 10월 5일

**발행인** 김주선

**발행처** 한국과학기술연구원 융합연구정책센터  
02792 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5  
Tel. 02-958-4980 | <http://crpc.kist.re.kr>

**펴낸곳** 주식회사 동진문화사 Tel. 02-2269-4783



### 부직포 필터 기술 동향 및 Covid-19 팬데믹에의 대응 현황

지난 몇 년여간 국내에서는 미세먼지, 초미세먼지 등과 같은 환경적 요인으로 인해 가정, 사무실, 공공시설 등 어딜 가나 공기청정기를 쉽게 볼 수 있게 되었으며, 최근에는 COVID-19와 같은 상황으로 인해 마스크도 일상생활 용품이 되었다. 하지만, 일상적으로 사용하는 공기청정기 및 마스크, 식품가공시 여과 등에 핵심적으로 사용되는 부직포 필터 기술에 대한 이해 및 관심은 최근까지도 낮았다.

이에, 본 호 1부에서는 우리말로 부직포라고 불리는 nonwoven의 다양한 제조기술 동향과 부직포의 가장 중요한 역할인 여과 성능을 평가하는 여러 방법들에 대해 알아보았다. 부직포는 방적공정을 거치지 않고 직접 섬유들을 물리적·화학적 방법으로 결합시켜 원단 형태로 제조하며, 제조공정의 특성에 따라 dry-laid, wet-laid, spun-laid 부직포로 나눌 수 있다. 현재 주로 사용되고 있는 환기용 필터의 성능 평가 규격은 ASHRAE 52.2, EN 779, ISO 16890 및 고성능 필터 등급에 사용되는 EN 1822 등이 있다.

본 호 1부를 통해 최근 들어 마스크 구매를 통해 익숙해진 KF99, KF94, KF80 등의 마스크 등급 체계와 공기청정기의 구매 및 사용을 통해 익숙한 HEPA 필터 등 부직포 필터와 관련된 용어가 더는 낯설지 않게 된 만큼, 개략적인 내용을 통해 필터 소재로서의 부직포에 대한 이해를 높이는 계기가 되었길 기대해 본다.

### 빌딩풍 피해와 대응

지난여름 이전과는 다른 양상의 태풍이 우리나라를 지나가며 크고 작은 피해를 발생시켰다. 특히, 고층 건물이 즐비한 부산 해운대 부근을 태풍이 지나가며 해안가에 자리 잡고 있던 고층빌딩의 외장재가 파손되고 그 사이로 발생한 빌딩풍으로 인해 사람이 몸을 가누기 힘들 정도의 바람이 불어 큰 이슈가 되기도 하였다. 꼭 태풍과 같은 상황이 아니더라도 도심에 바람이 심하게 부는 경우에 고층 건물들 사이로 지나가는 바람은 좁아진 바람길을 따라 풍속이 더 강력해지는 현상을 발생시키기도 한다.

이에, 본 호 2부에서는 빌딩풍 발생 및 피해 현황과 국내외 빌딩풍 예방 및 대응 방법을 알아보았다. 빌딩풍은 도시 환경 변화에 따라 새로 생긴 개념으로 학문적으로 정의된 개념은 아니지만 최근 초고층 빌딩의 건설 및 태풍과 같은 기후·도시환경 변화에 따라 주의가 필요한 분야로 판단된다. 실제로 2007년부터 2016년 동안 강풍 비산물에 의한 사망이 19명에 달하였고, 2020년에는 태풍으로 인해 직접적으로 피해를 입은 지역의 고층빌딩 외장재가 파손되고 추락하는 등 빌딩 사이를 통과하며 급격히 빨라진 바람에 의한 피해가 발생하기도 하였다. 하지만 국내에서는 기후 및 도시 환경 변화에 따른 영향 평가는 이뤄지지 않고 있으며, 빌딩풍이나 비산물 피해 가능성 등 재난과 관련한 사전 검토는 전무한 상황이다.

본 호 2부를 통해 우리나라도 빌딩풍과 관련한 풍환경 연구가 조금 더 활발해져 고층건물이 밀집한 지역에서의 안전 확립이 이루어지길 바라며, 특히 계획설계 단계의 풍환경 평가와 상세배치 계획의 풍환경 평가 도입 등을 통해 다양한 환경으로부터 국민의 안전권을 보장받을 수 있기를 기대해 본다.



# 융합연구리뷰

Convergence Research Review 2020 October vol.6 no.10



# 01

## 부직포 필터 기술 동향 및 Covid - 19 팬데믹에의 대응 현황

도성준(한국생산기술연구원 수석연구원)

# I 서언

우리말로 부직포라고 불리는 Nonwoven은 산업용 섬유 소재로서 다양한 분야에 사용되어오고 있다. 특히, 부직포는 Heating, Ventilating and Air Conditioning(HVAC)이라 불리는 공조시스템을 거치는 공기 중의 미세 입자나 가스 등 부유 물질을 제어하거나, 식품가공 등 다양한 산업 현장에서 사용되는 용수(用水)의 순도를 제어하기 위한 공정인 filtration(여과)의 핵심소재로 사용되어 왔고, 점차 이러한 필터 소재 및 제품들은 산업 현장이 아닌 인간의 생활 환경에까지 사용범위가 확대되고 있다. 2000년대 이후 황사와 더불어 미세먼지, 초미세먼지로 인한 인체 유해성의 심각함이 대두되기 시작하여, 2019년 말 조사에서는 HEPA 필터 등 고효율 필터를 사용하는 공기청정기 및 보건용 마스크의 매출이 전년 대비 300% 전후로 급성장할 만큼 공기 및 수질 여과에 대한 관심이 증가하였다.

특히, 2019년 12월 이후 중국에서 시작하여 급격히 전 세계로 확산되어 2020년 3월 팬데믹(pandemic)이 선언된 신종코로나 바이러스 감염증(Corona Virus Disease 19, Covid - 19)은 여과 소재로써 사용되는 부직포에 대한 중요성을 한층 더 부각시키게 되었고, 이제는 일반인들도 멜트블로우(meltblown), 스펀본드(spunbond) 등 부직포 관련 전문 용어들을 한 번씩은 들어보았을 정도로 낯설지 않게 되었다고 해도 과언이 아닐 것이다.

본 글에서는 현재 공기청정기, 마스크 등의 다양한 필터의 핵심 소재인 부직포의 제조 방법과 더불어, 현재 사용되고 있는 필터 및 마스크의 평가 방법 등을 소개하고, Covid - 19에 대응하는 산·학·연의 움직임에 대해 소개하고자 한다.

## II Nonwoven 제조기술 현황

### 1. Nonwoven 제조기술

부직포란 용어는 약 60여 년 전인 1962년 American Society of Testing and Materials(ASTM)에 의해 처음 정의되었고, 직조(woven)된 섬유제품에 상대되는 개념으로 탄생했다. 이전의 대부분의 섬유제품들은 직물과 편물로 만들어졌고, 짧은 섬유들을 꼬아서 만든 방적사를 이용하여 제조되었다. 부직포는 방적공정을 거치지 않고 직접 섬유들을 물리적·화학적인 방법으로 결합시켜 원단 형태로 제조할 수 있어, 기존의 직·편물 제조공정에 비해 상대적으로 공정이 단순하였고, 이로 인한 생산성 증대, 경제성 향상 덕분에 기존 산업용 섬유제품의 대체물로서 자리 잡게 되었다. 이와 같이 개발 초기에는 기존 섬유제품의 저가 대체물로서 시작하였지만, 지금의 부직포는 더 이상 woven의 상대적 개념(non-woven)으로 폼하할 수 없을 만큼 산업 전반에서 활용도는 전통적인 섬유제품을 넘어선 지 오래다.

현재의 부직포는 다양한 방법으로 제조되고 있으며, 제조공정의 특성에 따라 크게는 dry-laid, wet-laid, spun-laid 부직포로 나눌 수 있다. 이 중 필터 및 마스크용 부직포 여재를 제조하는 대표적인 제조기술로서 spun-laid 공정인 멜트블로우(meltblown), 스펀본드(spunbond) 공정과 wet-laid 제조공정 및 나노섬유 부직포 제조공정 등이 있다.

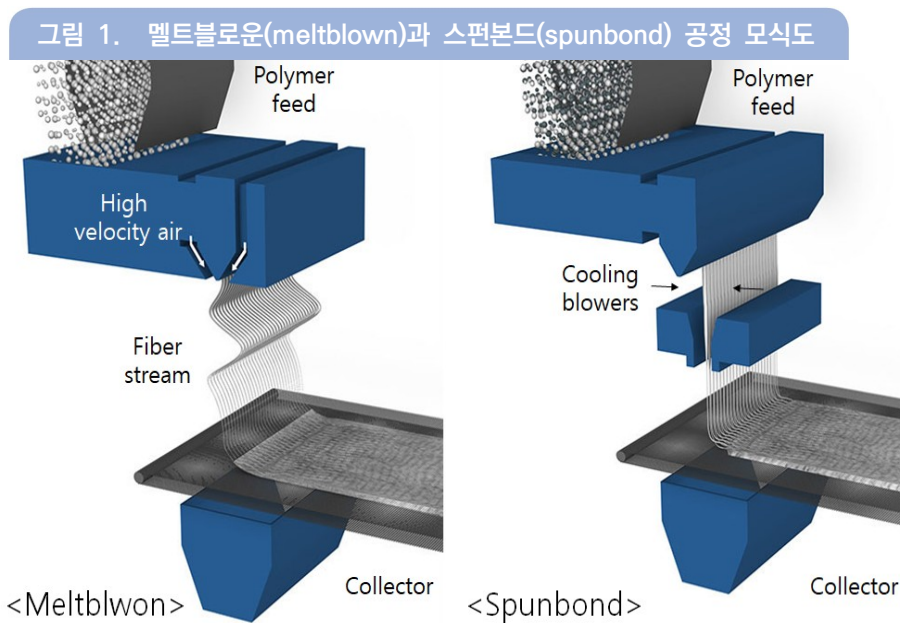
#### 1.1 멜트블로우(Meltblown)

Spun-laid의 대표적인 공정으로는 멜트블로우(meltblown)와 스펀본드(spunbond)가 있다. 이 중 멜트블로우는 압출기의 다이 팁(die tip)에서 용융된 열가소성 수지를 컨베이어 또는 스크린으로 고속 공기를 불어서 생성되는 미세 섬유들이 자가 결합하여 웹(web)을 형성하는 공정이다. 멜트블로우 웹의 섬유는 얽힘(entanglement)과 응집(cohesiveness)에 의해 형성되며 불규칙한 섬유의 배향성을 가지고 있다. 공정 중 용매를 사용하지 않으며, 수지로부터 직접 웹을 형성하는 단순한 공정과 높은 생산성은 타 기술에 비해 비용적인 측면에서 뚜렷한 이점을 제공한다. 원료와 공정의 적절한 조합을 통해 마이크론(micron) 스케일부터 나노(nano)

스케일의 섬유 직경을 제어할 수 있으므로 다양한 여과 관련 산업 분야에서 활용되고 있다. 최근에는 정전처리를 통해 물리적 여과 외에 정전기적 인력을 부여하여 여과 성능을 극대화하는 기술을 접목하여 에어필터 분야에서 각광 받고 있다.

## 1.2 스펀본드(Spunbond)

스펀본드는 멜트블로우와 많은 유사성을 가진 공정으로, 열가소성 수지로부터 직접 웹을 형성하며, 제조된 웹은 불규칙한 섬유 배향을 가지는 공통점을 가지고 있다. 가장 큰 차이점은 멜트블로우의 다이 팁에서의 섬유와 공기의 방향이 일정 각도를 가지며 같은 방향성을 갖지만, 스펀본드는 공기가 섬유와 직각에 가깝게 교차하여 흐른다. 이 차이점으로 인해 멜트블로우의 섬유가 당겨져 가늘어지는 반면, 스펀본드는 더 굵은 섬유를 얻게 된다. 또한 이렇게 생성된 섬유들이 완전히 냉각된 상태에서 웹을 형성하면 섬유간의 결합력이 없게 되어, 가열된 롤러를 통하여 섬유 간 결합력을 부여하게 되는 점도 멜트블로우 공정과 다른 점이다. 멜트블로우를 구성하는 섬유보다 굵고, 추가적인 열융착 공정이 있어 일반적으로 인장강도 등과 같은 물리적 성질이 뛰어나, 필터에서는 주로 지지체(substrate)로 사용된다.

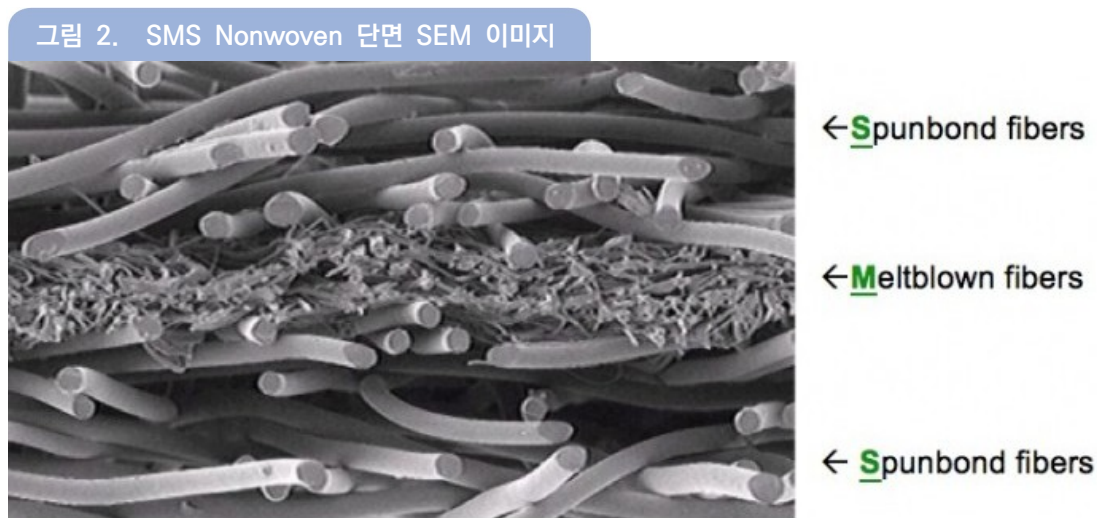


출처 : [www.freudenberg-pm.com](http://www.freudenberg-pm.com)



### 1.3 스펀본드(spunbond) - 멜트블로운(meltblown)

미세한 섬유로 구성된 멜트블로운은 작은 기공크기로 인해 여과 성능이 우수하지만, 기계적 강도가 낮고, 낮은 포집량으로 인해 단독 사용에 한계가 있다. 반면 스펀본드는 기계적 강도가 더 높고, 큰 기공으로 인해 압력손실이 낮은 특성을 보인다. 각각의 웹이 가진 단점을 상호 보완하기 위해 다층형태로 구성된 스펀본드/멜트블로운 복합소재(SM), 스펀본드/멜트블로운/스핀본드 3중 소재(SMS), 스펀본드/멜트블로운/멜트블로운/스핀본드 4중 소재(SMMS) 등이 개발되어 에어필터와 관련된 분야에 널리 사용되고 있다.

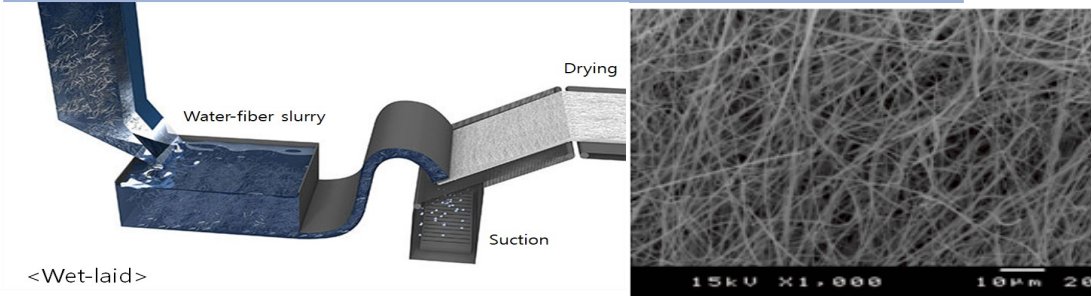


출처 : [probonoscience.org](http://probonoscience.org)

### 1.4 Wet - laid

전통적인 제지 공정에 기반한 Wet - laid 공정은 짧은 섬유를 수중에 분산시킨 슬러리를 활용하여 웹을 형성하는 기술로서, 높은 균제성과 저증량화 및 박막화가 가능하며, 원료 섬유에 대한 제한이 적다는 장점이 있다. 특히 유리섬유를 활용한 wet - laid 부직포가 HEPA 필터에 널리 사용되었으나, 높은 압력손실과 유리섬유의 인체 유해성 논란, 폐기 시 환경오염 우려 등으로 인해 근래에는 멜트블로운 또는 PTFE를 활용한 멤브레인으로 대체되는 추세이다.

그림 3. (좌) wet-laid 공정 모식도, (우) Glass Fiber wet-laid nonwoven

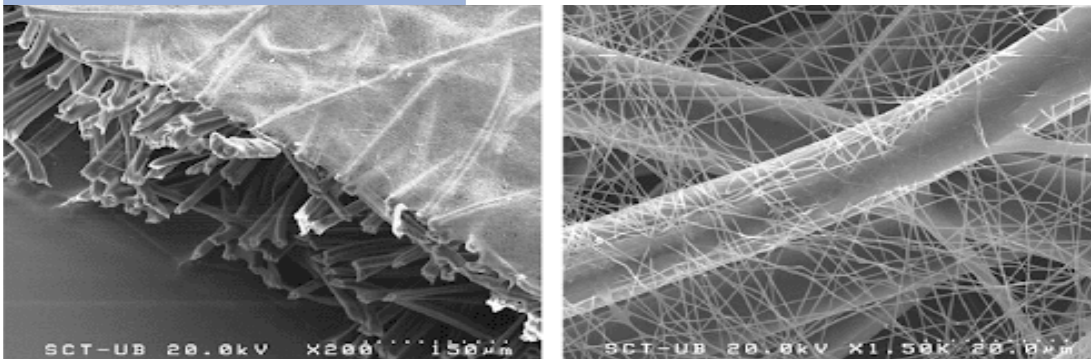


출처 : [www.freudenberg-pm.com](http://www.freudenberg-pm.com), [www.microfiltra.com](http://www.microfiltra.com)

### 1.5 나노파이버(Nanofiber)

나노미터 스케일의 직경을 가진 섬유로 다양한 Nanofiber(이하 NF) 제조 방법이 존재하지만, 대표적으로 전기방사 방식을 통해 제조된다. 전기방사는 노즐을 통해 고분자 용액을 고전압상에 방출시켜 나노섬유의 웹을 제조하는 공정으로 손쉽게 균일한 NF를 생산할 수 있다. 하지만, 낮은 생산성과 용매의 사용에 따른 안전성 문제로 인해 상업화에 한계가 있으며, 생산성을 개선하기 위해 노즐이 아닌 와이어 형태의 전기방사 제조기술이 개발 중이다. 생산성 문제를 개선하기 위해 대안으로 멜트블로우와 해도사를 활용한 NF 제조기술을 개발 중이지만, 전기방사 수준의 섬유 직경의 균제도 달성이 난관이 되고 있다. 제조된 NF 웹은 필터로써 물리적 여과 성능이 뛰어나지만, 높은 압력손실과 낮은 강도로 인해 단독 활용은 한계가 있으므로 최소한의 NF 웹만 기존 여재에 적층하여 여과 성능을 개선하는 형태로 활용되고 있다.

그림 4. Nanofiber on Spunbond



출처 : [electrospintech.com](http://electrospintech.com)

## 2. 필터 소재로서의 부직포

부직포는 타 소재에 비해 넓고 제어 가능한 비표면적을 갖고 다양한 형상으로 제조가 쉬워 여러 분야의 필터 소재로써 사용될 수 있다. 즉 요구 환경에 따라 그에 맞는 섬유 및 고분자 원료가 다양한 방법으로 복합화되어 사용할 수 있다. 멤브레인, 망포(wire cloth)나 단섬유 원단 등에 비해 부직포는 부피(bulky)감을 나타내기 쉽고, 높은 통기도와 형태안정성 등의 장점이 있으며, 절곡(pleating)성이 우수하다. 다양한 소재의 이용이 가능하여 내화학성, 내열성, 물리적 특성 등이 다양하고, 타 소재 대비 생산 속도 등 경제성이 우수하여, 액체나 기체의 여과 소재로서 우수한 내구성을 나타내기도 한다.

이와 같이 부직포는 공기 중이나 액체 내에서의 분진이나, 유해한 가스를 흡착하는 소재로서 높은 경쟁력을 가져왔으나, 코로나 팬데믹 이후의 변화, 즉, 다중이용시설, 의료시설 등의 공기정화 시스템의 바이러스 및 병원균의 외부 감염, 원내 감염(Hospital - acquired infections, HAIs), 항생제 내성 미생물 등의 여과, 차단 등의 문제에 어떻게 대응하나에 따라, 또 부직포 필터 제품을 사용하는 해법이 아닌 다른 방법을 이용한 공기정화 기술이 어떻게 전개되느냐에 따라 부직포 소재의 입지가 좌우될 것으로 보인다.

## III Filtration(여과) 성능 평가

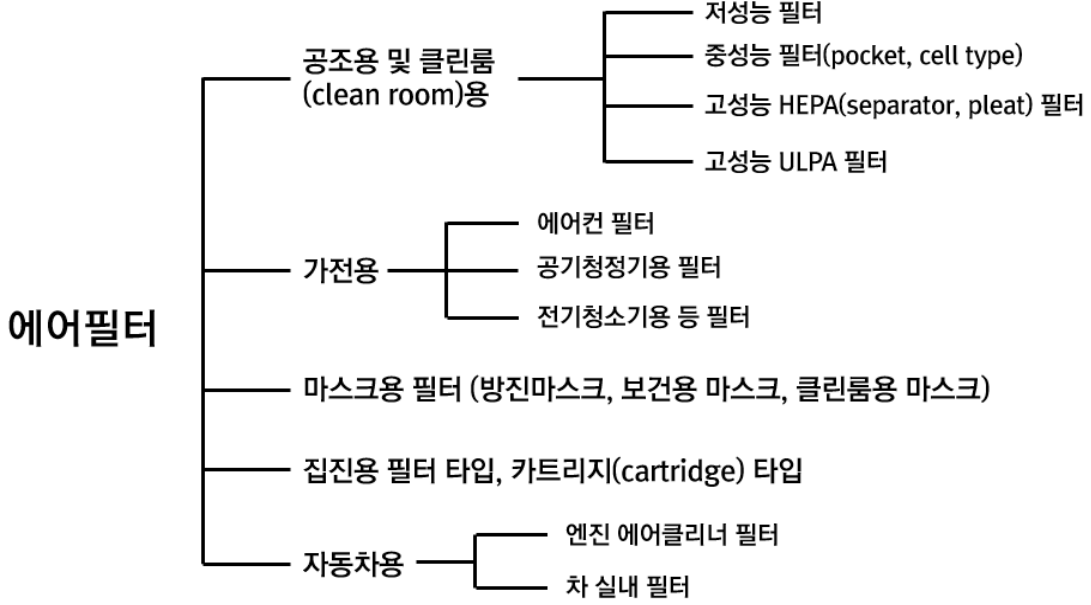
### 1. 에어필터유닛(Air Filter Unit)의 분류 및 종류

대기 환경문제에 대한 일반인의 관심이 커짐에 따라 쾌적한 주거환경을 얻기 위해서, 또는 전기, 전자, 반도체 공장 등에서 고청정의 생산공정을 유지하기 위한 방안으로 다양한 형태의 에어필터가 사용되고 있다. 국제보건기구(World Health Organization, WHO)에서는 세계 인구의 90% 이상이 공기오염 레벨 가이드라인을 넘어선 지역에 거주하고 있고, 이러한 공기 중 오염물질로 인해 한해 약 4백만 명이 목숨을 잃는다고 발표하였다. 또한 이러한 공기오염은 정신적인 건강에도 악영향을 미쳐, 범죄율의 증가, 비만 등과도 연관 지을 수 있다고 하였다. 에어필터는 용도별로 볼 때 1) 환기용 에어필터(Ventilation filters), 2) 자동차용 에어필터(Automotive air filters), 3) 산업용 분진제거 필터(Industrial dust filters), 4) 가전제품에 사용되는 각종 필터 및 마스크, 방독면 등에 사용되는 필터들이 있으며, 대표적인 에어필터들의 분류를 <그림 5>에 나타내었다.

에어필터 중 환기용에 주로 사용되고 있는 필터는 저성능 필터로 분류된 Pre filter(프리필터), 중성능 필터인 Medium filter(미디움 필터), 그리고 고성능 필터인 HEPA(헤파) 필터가 있다. 초고성능 필터인 ULPA 필터는 가정용보다는 반도체공장 등 산업용 현장에서 주로 사용된다.

Pre filter는 공업용 저급 필터에 비하여 상대적으로 적은 양의 분진을 제어하기 위한 필터로서, 일반적으로 HEPA 필터나 medium filter의 전처리 필터로 사용된다. 크기는 주로 610mm × 610mm의 면적에 50~150mm의 두께로 제조되는 것이 일반적이며, 소재는 주로 무기물 섬유나 셀룰로오스 섬유 등을 사용하며 crimped wire mesh를 사용하기도 한다. 이러한 종류의 필터는 사용 면속도가 2~2.5m/sec 정도이고 이때의 압력손실은 6mmAq가 넘는 것도 있으나 2.5mmAq 정도가 일반적이다.

그림 5. 에어필터의 분류도

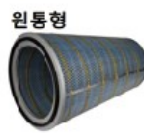


Medium filter는 pre filter보다 상대적으로 더욱 적은 양의 분진을 제어하기 위한 필터이고 일반적으로 건물의 공조용이나 클린룸(clean room) HEPA filter의 전처리 필터로 사용된다. 여기에는 두 가지 타입의 필터가 있는데 하나는 glass fiber paper로 되어 있는 box type(cell type)의 필터이고 다른 하나는 glass fiber mat로 되어 있는 pocket type(bag filter 또는 pack filter)의 필터 혹은 Polypropylene 멜트블로우 필터이다. 이러한 종류의 필터의 사이즈는 cell type의 경우 610mm × 610mm의 면적에 150 ~ 300mm 깊이로 제작 사용되고 필터의 통기량(air capacity)은 28 ~ 56m<sup>3</sup>/min 정도이며 이때의 압력손실은 10 ~ 20mmAq 정도이다. 또한 pocket type의 필터는 610mm × 610mm의 면적에 150 ~ 940mm 깊이로 제작, 사용되며 통기량은 cell type 필터와 거의 같다.

HEPA 필터는 매우 적은 양의 분진을 제어하기 위한 필터이며 이 필터는 분진의 양보다는 미세 분진의 갯수를 제어하기 위한 필터라고 표현하는 것이 적절하다. 주로 sub - micron의 glass fiber, 멜트블로우이나 ceramic fiber로 된 여재를 주로 사용한다. Filtration air velocity는 여재를 통과하는 선속도를 기준으로 보통 1.5m/min 정도로 설계되어진다. 그러므로 높은 풍량에서 낮은 압력손실의 필터를 제작하기 위해서는 산(pleat) 수를 늘려 여재의 면적을 증가시켜 제작하며 일반적으로 압력손실은 25mmAq 이하로 하고 있다. <그림 6>은 현재 사용되고 있는 환기 및 공조용 필터의 종류를 보여준다.

그림 6. 에어필터의 종류 및 용도

				
<b>Medium</b>	<b>Pre</b>	<b>V-BANK</b>	<b>Pocket</b>	<b>Gas turbine</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 대형건물 분진제거</li> <li>• 헤파필터 전처리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 건물 환기용 필터</li> <li>• 지하철 외기처리</li> <li>• 지하상가 외기처리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 가스 터빈 흡기용</li> <li>• 원자력 발전소</li> <li>• R1시설 배지저통</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 대용량 분진서리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 가스터빈용</li> </ul>



## 2. 환기 및 공조용 필터 및 성능 평가

다양한 에어필터의 성능을 평가하기 위해서 평가 방법 또한 여러 가지가 사용되고 있다. 본 문헌에서는 상기 언급한 에어필터 중 환기 및 공조용 필터의 성능 평가의 개요 및 이를 위한 국제 규격들 중 가장 보편적으로 사용되고 있는 규격들에 대해 설명하고자 한다.

필터의 기본 시험 관련 정보들로서 다음을 들 수 있다.

- (1) 필터의 형태
  - 위에서 언급했듯이 용도, 사용환경 등에 따라 다양한 필터 형태가 존재
- (2) 필터 시험 유량(풍량)
  - 시험하고자 하는 필터에 적용할 기체의 평균 이동 속도
- (3) 시험 분진(또는 에어로졸)
  - 필터의 시험시 여과해야 할 물질
- (4) 필터 여과 효율
  - 시험 분진에 대한 여과 성능지표. 초기 여과 효율, 최소 여과 효율, 평균 여과효율 등이 있음

(5) 필터 압력 손실

- 지정된 풍량에 대한 필터의 저항성

(6) 필터 분진 포집량

- 지정된 압력 손실 수치에 도달할 때까지 필터에 포집되는 분진의 양

상기 필터시험 조건 및 이에 대한 평가 정보를 취득한 후 이를 토대로 필터는 등급이 결정될 수 있다. 필터의 등급은 규격에 따라 다음과 같이 나타내어진다.

표 1. 에어필터 등급 산정 및 해당 규격	
등급명	관련 규격
MERV Rating	ASHRAE 52.2
G Rating	EN 779
M Rating	
F Rating	
Coarse	ISO 16890
ePM10	
ePM2.5	
ePM1	
EPA	EN 1822
HEPA	
ULPA	

〈표 1〉에서 나타난 바와 같이, 현재 주로 사용되고 있는 환기용 필터의 성능 평가 규격은 ASHRAE 52.2, EN 779, ISO 16890 및 고성능 필터 등급에 사용되는 EN 1822 등이 있다.

## 2.1 ASHRAE 52.2

American Society of Heating, Refrigerating and Air - Conditioning Engineers(ASHRAE)에서 제정한 규격으로, 1992년 ASHRAE 52.1(일반 환기에 사용되는 입자상 물질 제거용 공기 청정 장치를 시험하기 위한 중량 측정 및 분진 반점 시험법, Gravimetric and dust - spot procedures for testing air cleaning devices used in general ventilation for removing particulate matter)이 제정된 후, 1999년 ASHRAE

52.1은 폐지되고 ASHRAE 52.2로 개정되었으며, 가장 최근에는 2017년에 개정되었다. 국내에서 환기 및 공조용 필터의 성능 평가에 가장 널리 사용되고 있는 규격이다. MERV(Minimum Efficiency Reporting Value) 등급을 산정하기 위해서는 이 규격에 의거하여 평가를 해야 한다. 기본적으로 여과 효율 평가에 사용되는 물질은 KCl 에어로졸로서, 에어로졸 크기를 세 구간으로 나누어, 각 구간에서의 평균 여과 효율을 측정하여, 그 값들 중 최솟값만을 취하여 이 값과 MERV 등급표를 참고하여 등급을 산정하게 된다.

여기서 구간은 0.3 ~ 1.0 $\mu\text{m}$ (E1) 구간, 1.0 ~ 3.0 $\mu\text{m}$ (E2) 구간, 3.0 ~ 10.0 $\mu\text{m}$ (E3) 구간으로 나뉜다. MERV 등급은 1에서 16까지 있으며, 숫자가 높아질수록 여과 효율이 높아짐을 의미한다. 본 시험의 경우 초기 효율 및 압력 손실을 측정 후, ASHRAE A2 dust라는 시험 표준 분진을 일정 농도로 투입하여 특정 압력 손실 값에 도달할 때에 다시 여과 효율을 측정하기를 5차례에 걸쳐 진행한 후 최종 차압에 도달하면 시험을 종료하게 된다.

표 2. Minimum Efficiency Reporting Value (MERV) 등급표

Standard 52.2 Minimum Efficiency Reporting Value (MERV)	Composite Average Particle Size Efficiency, % in Size Range, $\mu\text{m}$			Average Arrestance, %
	Range 1 0.3~1.0	Range 2 1.0~3.0	Range 3 3.0~10.0	
1	N/A	N/A	$E_3 < 20$	$A_{\text{avg}} < 65$
2	N/A	N/A	$E_3 < 20$	$65 \leq A_{\text{avg}}$
3	N/A	N/A	$E_3 < 20$	$70 \leq A_{\text{avg}}$
4	N/A	N/A	$E_3 < 20$	$75 \leq A_{\text{avg}}$
5	N/A	N/A	$20 \leq E_3$	N/A
6	N/A	N/A	$35 \leq E_3$	N/A
7	N/A	N/A	$50 \leq E_3$	N/A
8	N/A	$20 \leq E_2$	$70 \leq E_3$	N/A
9	N/A	$35 \leq E_2$	$75 \leq E_3$	N/A
10	N/A	$50 \leq E_2$	$80 \leq E_3$	N/A
11	$20 \leq E_1$	$65 \leq E_2$	$85 \leq E_3$	N/A
12	$35 \leq E_1$	$80 \leq E_2$	$90 \leq E_3$	N/A
13	$50 \leq E_1$	$85 \leq E_2$	$90 \leq E_3$	N/A
14	$75 \leq E_1$	$90 \leq E_2$	$95 \leq E_3$	N/A
15	$85 \leq E_1$	$90 \leq E_2$	$95 \leq E_3$	N/A
16	$95 \leq E_1$	$95 \leq E_2$	$95 \leq E_3$	N/A



여기서 주목할 점은, 압력을 높이기 위해 투입하는 물질은 A2 dust라 불리는 표준 시험 분진이지만, 각 입자 크기 구간별 여과 효율을 측정하기 위해 사용하는 물질은 KCl 에어로졸이라는 점이다.

각 입자 사이즈에 대한 효율값이 매우 낮을 경우 Arrestance 수치로서 필터 성능을 판단하게 되는데, 이는 KCl 에어로졸에 대한 여과효율이 아닌, 투입한 총 A2 dust의 중량 대비 필터에 포집된 분진의 중량으로 효율을 나타내는, 이른바 중량 효율을 의미한다.

**그림 7. ASHRAE 52.2 시험방법**

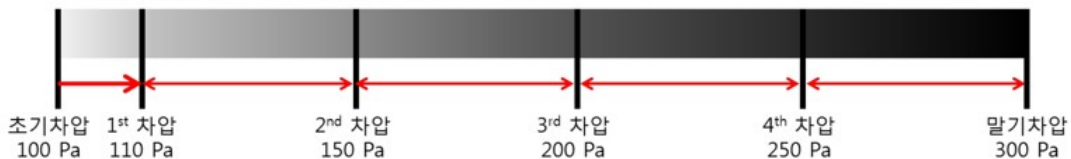
**Efficiency : KCl aerosol particle**

**차압(Final pressure drop) : ASHRAE A2 Dust**

시험 항목	시험 방법
필터 차압 (Initial resistance)	시험필터 상류측과 하류측의 정압력차를 측정
필터 효율 (Initial efficiency)	KCl 사용, 상류측과 하류측의 입자 농도를 측정
중량 효율	최종저항까지의 Dust loading량 및 효율 측정
MERV test	정해진 구간 별 Dust loading량 및 효율 측정

※ MERV (Minimum Efficiency Reporting Value) test 란?

ex) 초기차압 100 Pa, 말기차압 300 Pa 일 때



## 2.2 EN 779

ASHRAE 52.2 시험규격은 미국에서 제정된 규격이고, 유럽에서 제정된 규격으로는 EN 779(Particulate air filters for general ventilation - Determination of the filtration performance) 규격이 있다. 본 규격에서는 ASHRAE 52.2의 MERV 등급과는 달리 G(1 ~ 3), M(5 ~ 6), F(7 ~ 9)로서 총 9개로 필터의 등급을 산정한다. ASHRAE 시험규격과 비교하여 EN779 시험의 가장 큰 차이점은, 특정 입자 사이즈인 0.4 $\mu$ m에서의 평균 또는 최소 효율을 측정하여 이를 근거로 등급을 산정하는 점이다. 일반적으로 가장 여과효율이 낮은 입자의 크기가 0.4 $\mu$ m라는 점을 고려했다고 볼 수 있다. ASHRAE 규격과 마찬가지로 낮은 등급의 필터에 대해서는 투입한 분진의 중량 효율을 사용하여 등급이 산정된다.

표 3. ASHRAE 52.2와 EN 779의 시험 조건 비교

	ASHRAE 52.2 - 2017	BS EN 779 - 2012
Test airflow	0.6m/s ~ 3.89m/s, <b>2.5m/s (default)</b>	0.944m³/s (3,400m³/h)
Final pressure drop	350Pa (min. 100Pa)	250Pa (Coarse), 450Pa (Medium, Fine)
Test aerosol	KCl solution (0.3g/mL)	DEHS (Diethylhexylsebacate)
Efficiency	E1 (0.3 ~ 1.0), E2 (1.0 ~ 3.0), E3 (3.0 ~ 10.0)µm	0.4µm (0.2 ~ 3.0µm)
Grade	MERV (MERV1 ~ MERV16)	EN 779 Class (G1 ~ G4, M5 ~ M6, F7 ~ F9)
Dust	ASHRAE Dust (SAE Standard fine dust 72%, Carbon 23%, Milled cotton linter 5%)	
Discharge Others	ASHRAE 52.2 - 2017 Informative Appendix J - Optional method of conditioning a filter using fine KCl particles	Using IPA (2 - propanol)

ASHRAE 규격과 다른 또 하나의 큰 차이점은 제품의 정전효과에 의한 효율을 최소화하기 위해 정전기를 제거하여 효율을 측정하고자 했다는 점이다. 즉, 정전기를 제거하는 프로세스를 추가하였다. 이에 대한 실효성 논란은 아직까지 있으나, 본 규격이 2018년 폐지되고 이를 잇는 신규 규격에도 적용된 점을 보아 향후에도 계속 제전처리 프로세스는 적용될 것으로 보인다.

### 2.3 ISO 16890

2016년 말부터 유럽에서 신규 적용되기 시작한 ISO 16890 규격은 18개월의 유예기간을 거쳐, 2018년 중반부터 EN 779를 대체하여 사용되고 있다. EN 779가 평균 0.4µm 입자 크기의 물질의 여과 효율에 초점을 맞춘 반면, ISO 16890에서는 모든 입자 크기를 고려한다는 점이 가장 두드러진 차이점이다. 또한, 기존 규격들인 ASHRAE 52.2나 EN 779가 필터 간의 비교는 가능하지만, 실제 공기 질에 어느 정도 효과가 있는지를 일반 사용자가 판단하기 어려운 점을 보완하고자 노력했다고 보인다. 즉, 수년간 공기 질과 관련하여 사용되어오고 있는 particulate matter(PM) 개념을 등급 산정에 도입하였다. ISO 16890에 기반한 등급을 <표 4>에 나타내었다.

표 4. ISO 16890-1 필터 등급 산정표

Group	Initial efficiency in PMx	Discharged efficiency PMx
ePM10	≥ 50% (PM10)	≥ 50% (PM10)
ePM2.5	≥ 50% (PM2.5)	≥ 50% (PM2.5)
ePM1	≥ 50% (PM1)	≥ 50% (PM1)

## 2.4 EN 1822과 ISO 29463

1998년 말 제정된 EN 1822 규격은 최초로 HEPA 필터라 불리는 고효율 공기 필터의 등급 산정, 시험, 표기 등을 규정한 규격으로써, 5개의 파트로 나뉜다. 본 규격에서는 고효율 필터의 등급 규정으로, 복합효율 및 국부효율 수치를 근거로 E 등급, H 등급, U 등급의 필터 군으로 분류하고, 각 군에서도 세부 등급을 나누었다. 다음 표는 여과 효율에 따른 필터의 등급을 보여준다.

**표 5. EN 1822 필터 등급 산정표**

Filter Class	Integral Value		Local Value	
	Efficiency (%)	Penetration (%)	Efficiency (%)	Penetration (%)
E10	≥ 85	≤ 15		
E11	≥ 95	≤ 5		
E12	≥ 99.5	≤ 0.5		
H13	≥ 99.95	≤ 0.05	≥ 99.75	≤ 0.25
H14	≥ 99.995	≤ 0.005	≥ 99.975	≤ 0.025
U15	≥ 99.9995	≤ 0.0005	≥ 99.9975	≤ 0.0025
U16	≥ 99.99995	≤ 0.00005	≥ 99.99975	≤ 0.00025

일반적으로 HEPA 필터는 약 0.3 $\mu$ m 크기의 입자를 99.97% 이상 여과하는 성능을 보이는 것으로 알려져 있다. 이는 잘못된 기준이라 할 수 없으나, 본 규격에서 규정하는 HEPA의 기준과는 차이가 있다. 즉, 본 규격에서는 MPPS(most penetrating particle size) 개념을 도입하였는데, 이는 해당 필터의 소재에 대한 여과효율 시험을 진행하여, 가장 낮은 효율에 해당하는 입자 크기를 규정하여 이 크기의 입자에 대한 필터 유닛의 효율 수치를 근거로 그 등급을 산정하게 된다. 예를 들어, 평가하는 필터의 소재인 sheet상 여재의 여과 효율을 측정하였을 때, 0.2 $\mu$ m 크기에 대한 효율이 가장 낮았다면, 그 크기 입자에 대해 필터 유닛의 효율을 측정하여 만일 99.96의 수치를 얻었다면 그 필터는 H13등급의 필터가 되는 것이다. 물론 본 규격에서는 필터 제품에 대한 누설시험도 시행하여야 하고, 이 시험에서도 기준을 만족해야만 위의 등급을 받을 수 있다는 전제가 되어 있어야 한다.

HEPA 필터를 규정하는 대표적인 규격으로 EN 1822를 소개하였으나, 사실상 많은 국가, 기업 등에서 다양한 자체적인 시험방법 및 등급산정법을 따르고 있어, 포괄적이면서 대표적인 고효율 필터 시험규격을 제안하고자 하는 시도가 있었고, 이의 결과로서 2011년 ISO 29463이 제정되었다. ISO 29463은 많은 부분에서

EN 1822을 기반으로 하여 제정되었고, 이로 인해 EN 1822과 큰 차이는 없으나, 유럽과 미주의 각기 다른 등급 산정 기준을 포괄적으로 수용하기 위해 좀 더 세분화된 등급기준표를 제안하였다. 다음 표는 ISO의 기준에 따른 고효율 필터의 등급표를 보여준다.

표 6. ISO 29463 필터 등급 산정표

Filter class	Overall Efficiency (%)	Local or leak penetration (%)
ISO 15E	≥ 95	NA
ISO 20E	≥ 99	NA
ISO 25E	≥ 99.5	NA
ISO 30E	≥ 99.90	
ISO 35H	≥ 99.95	≤ 0.25
ISO 40H	≥ 99.99	≤ 0.05
ISO 45H	≥ 99.995	≤ 0.025
ISO 50U	≥ 99.999	≤ 0.005
ISO 55U	≥ 99.9995	≤ 0.0025
ISO 60U	≥ 99.9999	≤ 0.0005
ISO 65U	≥ 99.99995	≤ 0.00025
ISO 70U	≥ 99.99999	≤ 0.0001
ISO 75U	≥ 99.999995	≤ 0.0001

### 3. 마스크 분류 및 성능평가

호흡기 보호구의 하나인 마스크는 한국, 미국, 유럽 등 각 국가별 규격에 따라 보건용 마스크, 산업용 방진 마스크, 의료용 / 수술용 마스크 등으로 구분되어 사용되고 있다.

한국의 산업용 / 보건용 마스크, 미국의 N95 마스크, 유럽의 FFP2와 같은 입자성 물질(particulate materials)로부터 사용자의 코와 입을 보호하는 것을 주 목적으로 하는 호흡용 보호구(Respirator)의 하나이며, 수술용 / 의료용 마스크는 의료기관 등에서 의료인과 환자 간의 감염원의 직접적인 전달을 최소화하기 위해 사용자의 코와 입을 막아, 액체(fluid) 및 입자성 물질(particulate materials)로부터 보호하기 위해 착용하는 제품으로 액체저항성이 중요한 지표의 하나이다. 그러나 수술용 / 의료용 마스크는 호흡용 보호구가 아니므로 공기 중의 작은 입자들, 가스, 혹은 화학물질을 호흡하는 것으로부터 착용자를 보호하는데 한계가 있다.

### 3.1 한국의 호흡용 보호구(방진 마스크, 보건용 마스크)

방진 마스크는 입자상 물질을 흡입함으로써 인체에 해로운 염려가 있을 때 사용하는 것으로, 안면부 여과식 반면형 제품이 보건용 마스크와 유사한 형태를 가지고 있다. 방진 마스크는 머리에 걸치는 형태로 되어 있고, 특급, 1급, 2급으로 등급을 구별하고 있으며, 특급과 1급은 장시간 착용 노동자의 호흡 중 습기 배출을 돕고 배기저항을 낮추기 위해 배기 밸브를 장착하도록 되어 있다. 이와 유사한 보건용 마스크는 호흡기를 질병의 감염, 악취, 매연으로부터 보호할 목적으로 사용되는 것으로 의약외품으로서 식품의약품안전처에서 품목별 심사 및 허가를 하고 있다. 성능에 따라 KF99, KF94, KF80으로 등급을 나누고 있다.

그림 8. (좌)방진 마스크와 (우)보건용 마스크 제품 예



출처 : [www.praxisdienst.com](http://www.praxisdienst.com)

방진 마스크와 보건용 마스크의 성능 시험항목을 살펴보면 안면부 흡기 저항, 분집 포집 효율, 누설율을 공통적으로 평가하고 있으며 평가 방법이나 요구 수준은 유사하다. 마스크 분진포집효율을 시험할 때 모두 고체 입자(염화나트륨)와 액체 입자(파라핀 오일)에 대한 시험을 거치지만 KF80은 액체 입자에 대한 시험을 거치지 않는다. 누설률과 안면부 흡기 저항은 두 마스크가 비슷한 규정을 가지고 있으나 흡기 저항 평가 유량에 있어서 보건용 마스크는 30L/min에서의 흡기 저항만을 규정하고 있으며 두 마스크 평가 시 전처리 조건에서 차이가 있다. 그 밖의 시험 항목으로서 방진마스크는 안면부 배기 저항, 안면부 내부의 이산화탄소 농도, 불연성 등을 평가하도록 되어있으며, 보건용 마스크는 머리끈 인장강도, 형광이나 포름알데히드와 같은 물질에 대한 순도 시험을 요구하고 있다. 호흡기 보호 특성 면에서 방진 마스크와 보건용 마스크는 거의 동일한 특성을 요구하고 있다고 볼 수 있다.

분진 포집 효율이나 누설률을 평가할 때 사용하는 NaCl의 경우 평균 입경 약  $0.6\mu\text{m}$ (MMD 0.6)이며, 파라핀 오일을 사용하는 경우 약  $0.4\mu\text{m}$ (MMD 0.4)의 평균 입경을 사용한다. 국내 방진마스크와 보건용 마스크는 요구 특성이나 평가 방법 면에 있어서 대부분 유럽 규격과 유사하다.

표 7. 방진 마스크와 보건용 마스크 분류 및 주요 요구 특성

구분	등급	성능 기준			전처리
		분진 포집효율 (%)	누설률 (%)	안면부 흡기 저항 (Pa)	
방진마스크 (안면부 여과식)	특급	$\geq 99$	$\leq 5$	$\leq 103$ (30LPM) $\leq 310$ (95LPM)	70°C, 24시간 방치 $\Rightarrow$ -30°C, 24시간 방치 $\Rightarrow$ 실온 4시간 이상 방치
	1급	$\geq 94$	$\leq 11$	$\leq 72$ (30LPM) $\leq 248$ (95LPM)	
	2급	$\geq 80$	$\leq 25$	$\leq 62$ (30LPM) $\leq 217$ (95LPM)	
보건용 마스크	KF99	$\geq 99$	$\leq 5$	$\leq 100$ (30LPM)	온도 38°C, 85% RH, 24시간 방치
	KF94	$\geq 94$	$\leq 11$	$\leq 70$ (30LPM)	
	KF80	$\geq 80$	$\leq 25$	$\leq 60$ (30LPM)	

### 3.2 미국과 유럽의 호흡용 보호구 (N95, FFP2 마스크)

미국의 국립 직업 안전 위생 연구소(NIOSH)의 경우 호흡용 보호구를 분진 포집 효율에 따라 N95, 99, 100으로 등급을 나누고 있으며 액체 저항성이 있을 경우 액체 저항성 정도에 따라 “N” 대신 “R”이나 “P”를 사용한다. 관련 요구 성능 및 평가 방법은 NIOSH의 42 CFR Part 84에 규정돼 있다. 유럽의 경우 Filtering Face pieces를 FFP1, FFP2, FFP3로 등급을 구분하고 있으며 EN 149에 요구 성능 및 평가 방법이 규정돼 있다.

표 8. 미국 및 유럽의 호흡용 보호구 등급 기준

〈 미국 ; 42 CFR 84 (Non - powered air - purifying particulate respirators) 〉

Category	입자 size (μm)*	유량 (L/min)	PFE (%)	Breathing Resistance, (mmH <sub>2</sub> O)	Man. loading level (mg)
N95	NaCl CMD 0.075 (MMD 0.3)	85	> 95	< 25 (Exhalation) < 35 (Inhalation)	200
N99			> 99		
N100			> 99.97		

〈 유럽 ; EN 149 (Respiratory protective devices \_Filtering half masks) 〉

Category	입자 size (μm)*	유량 (L/min)	PFE (%)	Breathing Resistance, Inhalation (mbar)	Breathing Resistance, Exhalation (mbar)
FFP1	NaCl MMD 0.6	95	> 80	< 0.6 (30 L/min) < 2.1 (95 L/min)	3.0 (160 L/min)
FFP2			> 94	< 0.7 (30 L/min) < 2.4 (95 L/min)	
FFP3			> 99	< 1.0 (30 L/min) < 3.0 (95 L/min)	

\* CMD ; count median diameter MMD ; mass median diameter

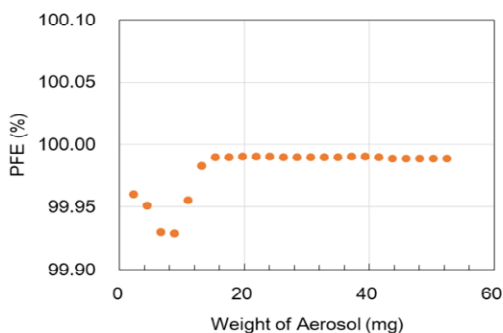
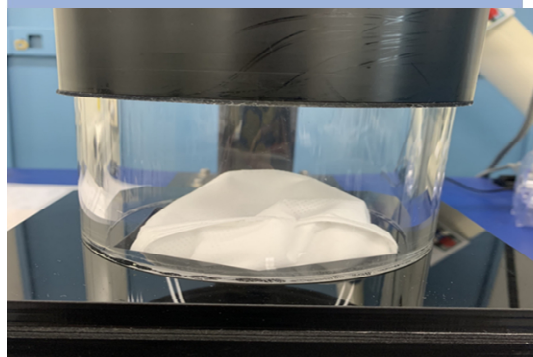
미국 N series의 경우 NaCl로 평가하며 R이나 P series는 CMD 0.185μm 평균 입경을 갖는 DOP(Dioctyl phtahalate)와 같은 액체 입자도 평가하도록 되어 있다. 유럽의 경우 파라핀 오일을 이용한 평가 시에는 CMD 0.29 ~ 0.45μm를 사용하도록 되어 있다.

미국 42 CFR 84 규정에는 20개의 마스크를 38℃, 85% RH, 25시간 전처리한 후 분진 포집 효율을 평가하도록 규정돼 있으며, 개별값이 각각의 등급 표준을 만족해야 한다고 명시돼 있다. 또한 입자를 200mg까지 loading하면서 분진 포집 효율이 최소일 때를 구한다는 점에서 특징이 있다. EN 149의 경우 미처리 3개, 착용 모사(simulated wearing treatment) 후 3개, 한국의 방진 마스크전처리 조건과 동일하게 처리한 3개를 이용해 평가하도록 규정돼 있다. 유럽 149에는 누설률 FFP1, 2, 3에 대해 개별값이 각각 5%, 11%, 25% 이하를 충족하도록 규정돼 있으며, 미국의 Fit test와 유사한 목적을 지니고 있다.

미국의 경우 분진 포집 효율 평가 방법 설정에 관한 근거가 설명돼 있는데, 0.3μm 평균 입경은 여과가 가장 어려운 입자 크기인 MMPS(most penetrating particle size)가 일반적으로 MMD 0.3μm라는 것, 85L/min가 “moderately - high work rate” 상태에서의 호흡량을 모사한다는 점, 200mg의 입자 loading 양은 분진이 많은 작업 환경(very high workplace)에서의 분진량을 모사한 것으로 설명돼 있다. 또, 전처리

조건 38°C, 85% RH는 마스크 착용시 마스크와 얼굴 사이의 환경 조건을 모사한 것이다. 결론적으로, 42 CFR 84의 경우 최악의 조건(worst case)에서 실제 착용했을 때를 모사한 것으로 보인다.

그림 9. NIOSH 평가법에 따른 측정 예



### 3.3 의료용 마스크(Medical face masks)

의료인과 환자 간의 감염원을 포함하는 혈액이나 침방울과 같은 액체성 물질이 이동하는 것을 차단하는 것을 주목적으로 하므로 N95 마스크와 같은 호흡용 보호구(Respirator)와 형태나 요구 특성 면에서 유사한 점과 다른 점을 가지고 있다.

그림 10. 의료용 마스크 제품 예



출처 : [www.kmhealthcare.co.kr](http://www.kmhealthcare.co.kr)



의료용 마스크 평가 방법으로 미국의 경우 ASTM F 2100에 규정돼 있으며, 유럽의 경우 EN 14683에 규정돼 있다. 공통적인 평가 항목으로는 박테리아 여과 효율(BFE), 차압(differential pressure), 혈액 침투 저항성, 생체적합성이 있으며, 미국의 경우 0.1 $\mu$ m에 대한 여과 효율과 난연성을 요구하고 있으며, 유럽의 경우 미생물한도를 규정하고 있다는 점에서 차이가 있다.

**표 9. 미국 및 유럽의 미생물한도 규정**

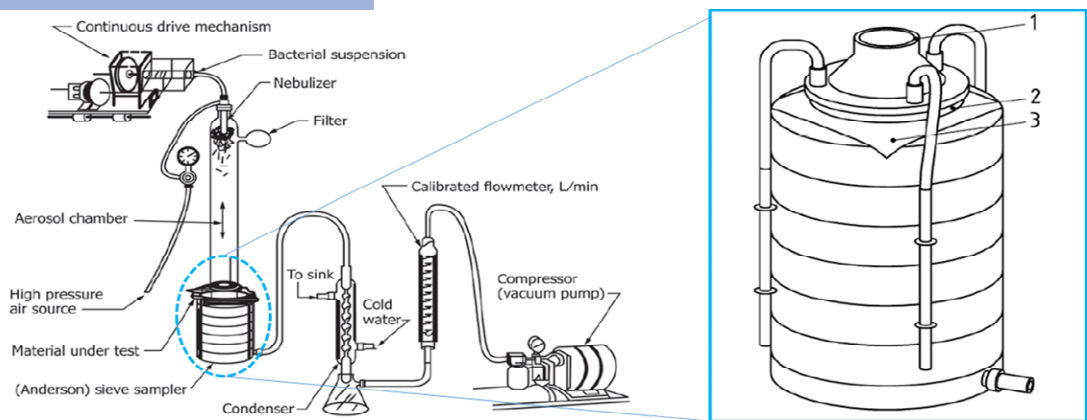
<b>〈ASTM F 2100〉</b>			
Characteristic	Level 1 Barrier	Level 2 Barrier	Level 3 Barrier
Bacterial filtration efficiency, %	≥ 95	≥ 98	≥ 98
Differential pressure, mm H <sub>2</sub> O/cm <sup>2</sup>	< 5.0	< 6.0	< 6.0
Sub - micron particulate filtration efficiency at 0.1 micron, %	≥ 95	≥ 98	≥ 98
Resistance to penetration by synthetic blood, minimum pressure in mm Hg for passresult	80	120	160
Flame spread	Class 1	Class 1	Class 1

<b>〈EN 14683〉</b>			
Test	Type Ia	Type II	Type IIR
Bacterial filtration efficiency (BFE), (%)	≥ 95	≥ 98	≥ 98
Differential pressure (Pa/cm <sup>2</sup> )	< 40	< 40	< 60
Splash resistance pressure (kPa)	Not required	Not required	≥ 16,0
Microbial cleanliness (cfu/g)	≤ 30	≤ 30	≤ 30

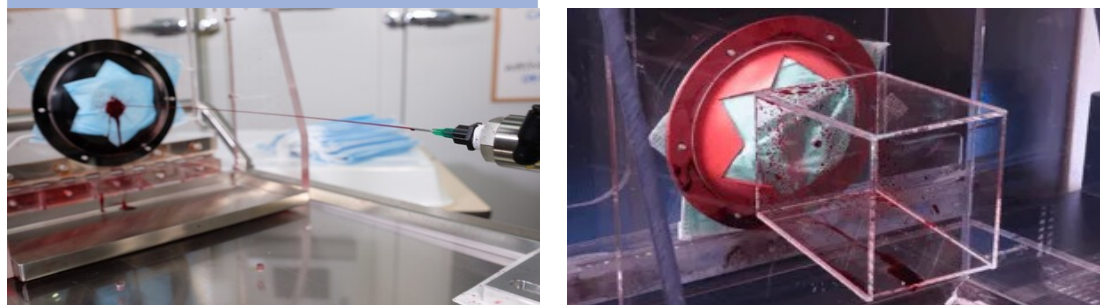
BFE는 포도상구균(S. aureus)을 함유하는 평균 입자 크기가 3.0 $\mu$ m인 에어로졸을 이용하여 six stage cascade impactor를 통과시키면서 여과 효율을 측정하는 방식이다. 이때의 유속은 28.3L/min이며 시험 면적은 4.9cm<sup>2</sup> 이상이 되도록 한다. 이때 각 cascade에서의 평균 입자 크기는 7.0 $\mu$ m, 4.7 $\mu$ m, 3.3 $\mu$ m, 2.1 $\mu$ m, 1.0 $\mu$ m, 0.65 $\mu$ m로, 입자 크기에 따라 인두, 중말세기관지, 폐포 등 인간의 호흡기 어느 위치까지 흡입될 수 있는지 모사한 개념이다.

그림 11. BFE 평가 시스템



인공 혈액 침투 저항성은 동맥 등으로부터 혈액이 튀었을 때 의료진의 호흡기로 혈액이 들어가는 것을 차단할 수 있는지를 확인하기 위한 것으로, 계면활성제와 증점제 등을 이용해 혈액과 유사한 표면 장력을 갖는 인공 혈액을 제조하여 인간의 혈압을 모사한 80mmHg, 120mmHg, 160mmHg의 압력으로 분사했을 때 마스크를 통과하는지를 살펴보는 것이다.

그림 12. 인공 혈액 침투 저항성 평가 예



출처 : [www.hospitalhealth.com.au](http://www.hospitalhealth.com.au), [www.nelsonlabs.com](http://www.nelsonlabs.com)

### 3.4 의료용 호흡기 보호구(Medical face masks)

미국의 경우 호흡기 보호구의 요구 특성과 의료용 마스크의 요구 특성을 모두 만족시켜야 하는 의료 상황에 사용할 수 있도록 “Surgical N95”와 같은 제품 등급을 규정하고 있다. 이 제품의 경우 NIOSH에서 요구하는 N95의 특성을 인증받고 FDA에서 요구하는 의료용 마스크의 특성을 모두 만족시켜야 한다. 한국에서는 2020년

8월 “의료용 호흡기 보호구”라는 품목에 대한 식약처 가이드라인을 발표하였는데, 이는 미국의 Surgical N95의 개념과 유사한 것이다. 기존의 보건용 마스크가 의약품인데 반해 “의료용 호흡기 보호구”는 2등급 의료기기에 해당한다.

현재 COVID - 19 팬데믹에서 방역용, 보건용 마스크의 평가와 관련하여 가장 큰 장애물 중의 하나는, 다양한 소재 및 제형의 마스크 제품을 인증하는 절차가 복잡하고 시간이 많이 필요하다는 것이다. 이와 관련하여 미국은 식품의약국(Food and Drug Administration, FDA)에서 긴급사용승인(Emergency Use Authorizations, EUA)을 통해 그 시간적 적체를 줄여나가고자 하고 있으나 그에 따른 부작용 또한 발생하고 있다. 마스크에 대한 대중의 관심이 급증하는 가운데 앞으로도 더욱 더 다양한 소재, 다양한 형태의 마스크가 시장에 나오게 될 것으로 보이는데, 이러한 새로운 소재 및 제형의 마스크는 기존의 보건용, 의료용 마스크의 평가 방법으로는 적합한 평가가 이루어지지 않을 수 있다. 다시 말해, 기존의 멜트블로운 nonwoven 필터 소재를 사용하지 않는 혁신적인 여과기술이 사용될 경우, 이를 평가하기 위한 표준 평가 방법의 개정 및 신규 프로세스 개발이 추가적으로 필요할 것이다. 이와 관련하여, ASTM에서는 다양한 소재 및 제품에 대한 평가 방법의 제도화에 대한 대응이 시작되었다. 즉, 우리나라의 비말차단마스크(KF - AD) 신규 분류 도입과 유사하게, 일반적인 생활환경에서 사용하기에(다시 말해서 숨쉬기에) 좀 더 수월하면서도, 비말을 차단할 수 있을 것으로 기대되는 N80 호흡기에 대한 논의가 이루어지고 있다.

## IV 코로나바이러스 팬데믹과 filtration 산학연의 대응

Covid-19로 인해 전 세계가 마스크와 필터에 전에 없던 관심을 기울이고 있고, 이에 따른 산학연의 다양한 대응도 주목받고 있다.

3M은 세계적으로 가장 널리 알려진 필터 및 마스크 관련 기업이다. 필터 분야, 특히 헬스케어 및 수질정화 분야에서 독자적인 영역을 구축해 왔으며, 부직포 관련 특허의 보유에도 역량을 기울여왔다. 멜트블로운 부직포 관련 연구를 약 50여 년간 지속해 오면서 현재도 지속적인 연구를 하고 있으며, 제품뿐 아니라 소재 개발도 독자적인 진행을 고수하고 있는 기업이다. Covid-19 이전에도 이미 연간 11억 개의 마스크 제품을 판매해 왔는데, 지난 3월 향후 12개월 이내 20억 개 생산량 증산을 선언하기도 했다.

최초의 디젤엔진 제조사이기도 한 미국의 Cummins Inc.는 현재 필터시스템을 포함한 다양한 자동차용 핵심부품을 생산하고 있으며, 특히 자회사인 Cummins Filtration은 다양한 부직포로 제조된 필터 소재를 생산하고 있다. 지난 4월 Cummins Inc.는 3M과 함께, Covid-19에 대응하는 3M 마스크 및 PAPRs(powerful air purifying respirators)용 고효율 3중 필터 제조 협약을 맺고, 7월부터 약 8백 만개 이상의 마스크를 제조할 수 있는 분량인 14톤 가량의 필터 소재를 3M 및 해외 마스크 제조사에 공급하고 있다.

DuPont는 Hybrid Membrane Technology(HMT)를 개발 및 이용하여 기존의 에어필터, 오일필터 여재등에 적용한 기술을 N95 마스크의 소재로서 활용할 수 있는 적용기술을 개발하고 있다. 하이엔드 소재 및 특수필터 소재 제조사인 Lydall, Inc는 마스크 및 고효율 에어필터 시스템용 멜트블로운 부직포 생산라인에 투자하여, 2021년까지 프랑스의 Saint-Rivalain에 신규 라인을 증설하고 있다고 최근 공개하였다. 이를 통해, 현재 유럽 내 극심한 공급부족을 겪고 있는 멜트블로운 부직포 소재의 공급사로서의 입지를 구축하고, 의료용 마스크, MERV급, HEPA급, ULPA급 에어필터 뿐 아니라 N95 호흡기 및 이에 상응하는 유럽 등급인 FFP2 / FFP3 핵심 소재를 공급하려는 계획을 진행하고 있고, 향후 연간 6억 개의 FFP2 / FFP3등급 호흡기 또는 22억 개의 의료용 마스크의 생산이 가능할 것으로 기대하고 있다.

특히 이러한 계획은 프랑스 정부의 30%에 달하는 펀딩 등 적극적인 지원 하에 구체화되었고, 이는 유럽 내 각국의 마스크 및 방역용 소재의 자체 공급능력을 향상시키기 위한 정책과 맞물린 것으로 보인다. 이러한 움직임은 독일의 부직포 제조사인 Sandler의 경우에도 마찬가지인데, 마스크용 필터여재 생산라인을 증설하여, 팬데믹 상황에서의 독일 내 마스크용 소재공급 부족현상을 타개하기 위한 대응을 하고 있다.

환기시스템, 산소발생기 등에 사용되는 호흡기 필터 제조사인 AG industries는 Covid - 19 환자를 위해 사용되는 박테리아 여과필터의 생산량을 이전 대비 1,500% 증가하여 병원 등에 공급하고 있다.

그림 13. AG industries의 여과필터



출처 : [www.agindustries.com](http://www.agindustries.com)

유럽의 최대 산업용, 자동차용 필터 제품 제조회사인 Mann + Hummel은 미국의 자동차 제조사인 포드와 협력하여 의료시설의 공조시스템에 사용되는 HEPA 필터 증산에 나서, 하루 3,500개 이상의 HEPA 필터를 미국과 유럽에 제공하고 있다.

또한 핀란드의 산업용 섬유 기반 기업인 Ahlstrom - Munksjö는 스페인의 스포츠웨어 및 악세서리 그룹인 BUFF와 파트너십 제휴를 맺고, 필터 소재를 제공하여 마스크 제조 협업을 진행하고 있다. 또한 바이러스 및 다양한 유해물질을 여과할 수 있는 기술이 산학연을 통해 선보이며 새로운 기술을 이용한 팬데믹에의 대응이 제안되고 있다. 독일의 Andritz는 고성능 및 위생기준을 충족시킨 소재 복합화 기술인 D - TECH를 개발하여 마스크 제조라인에 활용하고 있다.

그림 14. Andritz의 D-TECH



출처 : [www.andritz.com](http://www.andritz.com)

뉴질랜드 소재 기업인 Revolution Fibres는 자체 백서를 통해, 전기방사 나노파이버가 일반적인 멜트블로운 필터에 비해 공기중 부유물질, 박테리아, 바이러스 차단 성능이 우수하다는 것을 확인하였고, 미국의 휴스턴 대학교(University of Houston)에서는 바이러스 함유 공기가 통과하면 함유된 바이러스의 99.8%가 제거될 수 있는 다공성 니켈 필터 소재를 개발하고, 이를 공항, 사무용 빌딩, 비행기 등의 다양한 공조시스템에 적용하는 연구를 수행 중이다.

부직포 전문 연구기관인 North Carolina State University의 Nonwoven Institute에서는 멜트블로운 소재가 필요 없는 고효율 스펀본드 소재를 개발하고 있다. 두 가지 다른 성분으로 이루어진 섬유를 방사하여 스펀본드를 제조함으로써, 물성과 형태 안정성이 뛰어나고, 필터 성능도 우수하다. 또한 생산속도가 상대적으로 낮은 멜트블로운 부직포의 사용을 배제하여, 마스크 등 제품의 생산성을 향상할 수 있다고 한다.

## V 결언

2020년 현재 인류는 새로운 전염병과의 싸움을 벌이고 있고, 현재로서는 가장 효과적인 대처 방법이 마스크를 착용하고 사회적 거리를 두는 것으로 알려져 있다. 이와 같이 앞으로도 공기 중의 다양한 오염물질을 제어하는 기술에 대한 관심은 더욱 커질 것으로 보이고, 이러한 기술 중 가장 대표적인 기술인 필터와 이를 구성하는 부직포에 대한 개략적인 내용을 소개하였다. 본 글이 필터 소재로서의 부직포에 대한 이해를 높이는 계기가 되고, Covid - 19 팬데믹에 대처하는 데 미약하게라도 도움이 되었으면 한다.

저자\_ 도성준(Doh, Song Jun)

### • 학력

North Carolina State University Fiber & Polymer Science 박사  
서울대학교 섬유고분자공학 석사  
서울대학교 섬유고분자공학 학사

### • 경력

現) 한국생산기술연구원 융합생산기술연구소 수석연구원  
前) North Carolina State University Post Doc. Fellow

## 참고문헌

### 〈국외문헌〉

- 1) A. Wilson, "Developments in nonwovens for automotive textiles" In Advances in Technical Nonwovens, Elsevier Ltd. 2016 p. 257-271.
- 2) BCC Publishing Staff, Report Code:"Nonwoven Filter Media : Global Markets to 2025" Report Code: AVM043H, BCC Reashrch, 2020.
- 3) Gleb M., Rising awareness of environmental and health concerns drives demand for filtration, international filtration news, 2020.
- 4) Irwin M., "Processes for Nonwoven Filter Media" In Handbook of Nonwoven Filter Media, Elsevier Ltd. 2007 p. 195-244
- 5) Ishihara H., Hayashi S., Ikeuchi H., Int. Polymer Processing, 4, 91 (1989).
- 6) Jarecki L., Ziabicki A., Blim A., Computational Theoret. Polymer Sci., 10, 63 (2000).
- 7) Lakshmi N., "HVAC filters ; market global forecast to 2024" MarketsandMarkets, 2019.
- 8) S. Zobel, T. Gries, "The use of nonwovens as filtration materials" In Applications of Nonwovens in Technical Textiles, Woodhead Publishing Limited. 2010 p.160-183.
- 9) Yasuda H., in book "High Speed Melt Spinning" J. Wiley, N.Y. 1985 p. 137.
- 10) Ziabicki A., Jarecki L., Wasiak A., Computational Theoret. Polymer Sci., 8, 143 (1998).
- 11) Zobel, S., and T. Gries. "The Use of Nonwovens as Filtration Materials."In Applications of Nonwovens in Technical Textiles, 160-83. Elsevier, 2010.

### 〈참고 규격〉

- 1) ASHRAE 52.2-2017 Method of Testing General Ventilation Air-Cleaning Devices for Removal Efficiency by Particle Size
- 2) ASTM F 2100 Standard Specification for Performance of Materials Used in Medical Face Masks
- 3) EN 14683:2019 Medical face masks. Requirements and test methods
- 4) EN 149:2001 Respiratory protective devices – Filtering half masks to protect against particles
- 5) EN 1822:2019 High efficiency air filters (EPA, HEPA and ULPA). Classification, performance testing, marking
- 6) EN 779:2012 Particulate air filters for general ventilation. Determination of the filtration performance
- 7) ISO 16890:2016 Air filters for general ventilation
- 8) ISO 29463 High efficiency filters and filter media for removing particles from air
- 9) KS M 6673:2018 방진 마스크 (2018)
- 10) US 42 CFR part 84 Respiratory Protective Devices



### <웹사이트>

- 1) [www.agindustries.com](http://www.agindustries.com)
- 2) [www.andritz.com](http://www.andritz.com)
- 3) [www.electrospintech.com](http://www.electrospintech.com)
- 4) [www.freudenberg-pm.com](http://www.freudenberg-pm.com)
- 5) [www.hospitalhealth.com.au](http://www.hospitalhealth.com.au)
- 6) [www.kmhealthcare.co.kr](http://www.kmhealthcare.co.kr)
- 7) [www.mann-hummel.com](http://www.mann-hummel.com)
- 8) [www.microfiltra.com](http://www.microfiltra.com)
- 9) [www.nelsonlabs.com](http://www.nelsonlabs.com)
- 10) [www.praxisdienst.com](http://www.praxisdienst.com)
- 11) [www.probonoscience.org](http://www.probonoscience.org)
- 12) [www.who.org](http://www.who.org)



융합연구리뷰

Convergence Research Review 2020 October vol.6 no.10



# 02

## 빌딩풍 피해와 대응

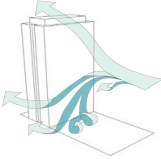
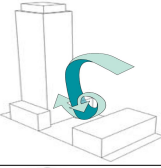
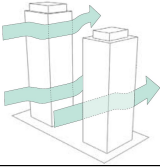
이승수(충북대학교 교수)

# I 빌딩풍과 발생 환경의 변화

## 1. 빌딩풍

빌딩풍(Building wind)은 먼로풍(Monroe wind)이라고 부르기도 하고, 영어로는 Urban Canyon Wind 등으로 표현한다. 이는 도시 환경 변화에 따라 생긴 개념으로 학문적으로 정의된 개념은 아니다. 이는 고층빌딩 사이에 일어나는 풍해(風害)로, 지상 150m 이상의 빌딩이 건설되면 상공에서는 바람이 일정 방향으로 불어오다 아래쪽에서는 바람이 빌딩의 주위에서 소용돌이치고 급강하하거나 풍속이 2배 이상으로 빨라지기도 하며 때로는 무풍(無風) 상태가 되는 현상이 일어난다. 이 때문에 시설물 파괴, 건물의 외장재 파괴 그리고 비산물에 의한 인명피해까지 발생한다. 또 연기나 배기가스가 소용돌이 현상으로 지상에 흘러서 국지적(局地的)인 대기오염이 발생하여 고층빌딩이 밀집한 대도시의 새로운 도시공해로 나타난다. 빌딩풍의 대표적인 바람 유형은 아래 <그림 1>에서의 3가지 유형이 있다. <그림 1>에서와 같이 바람이 고층 빌딩에 충돌이 일어나 풍속을 가속하게 된다.

그림 1. 빌딩풍 흐름의 예시

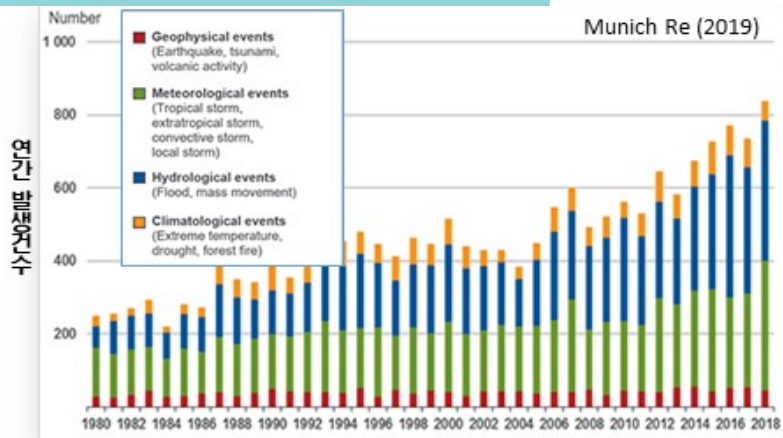
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 건물면 아래로 흐르는 바람은 바람이 불어오는 모서리 근처에서 풍속을 가속시킨다.</li> <li>• 일반적인 바람에 직면하는 크고 넓은 면은 종종 바람직하지 않다.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 건물은 바람이 부는 즉시 저압압 지역을 만든다.</li> <li>• 고층 건물의 낮은 건물의 맞바람은 바람의 하향 흐름을 증가시켜 고층 건물의 바람이 불어오는 모서리 근처에서 바람을 가속한다.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 바람이 두 건물 사이에 유입되어 건물 사이에 바람이 가속된다(바람 협곡 효과).</li> <li>• 건물의 높이, 간격 및 방향은 바람 가속의 강도에 영향을 미친다.</li> </ul>

출처 : Tall Building Design Guidelines - City of Toronto, 2013.03, P.65

## 2. 기후적 관점의 빌딩풍 발생 환경변화

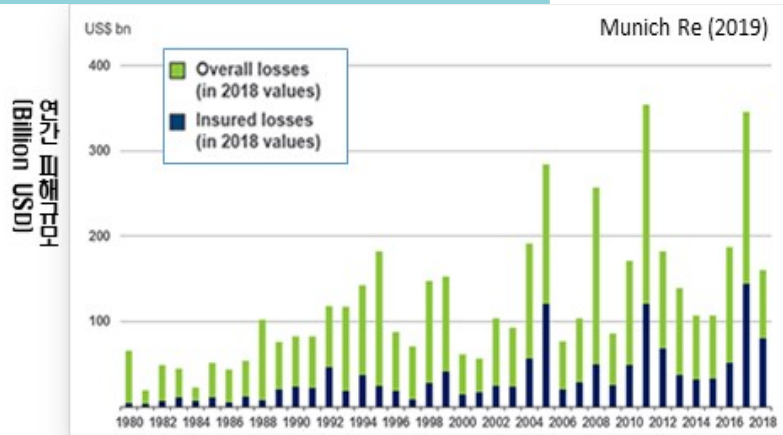
과거 1975년부터 최근까지 계속해서 자연재해 발생 건수가 매년 증가하고 있고, 이에 따른 연간 피해액 또한 계속해서 증가하고 있음을 알 수 있다. 이는 재해의 대규모화를 의미한다. <그림 2>에 보인 전세계 재난 발생 추세 및 피해규모를 보면 2017년 800건에 가까운 재난과 350억 달러(약 39조 원)의 재산피해가 발생한 것으로 집계되었다(그림 2,3,4).

그림 2. 전 세계 주요 재난 발생 빈도 추세



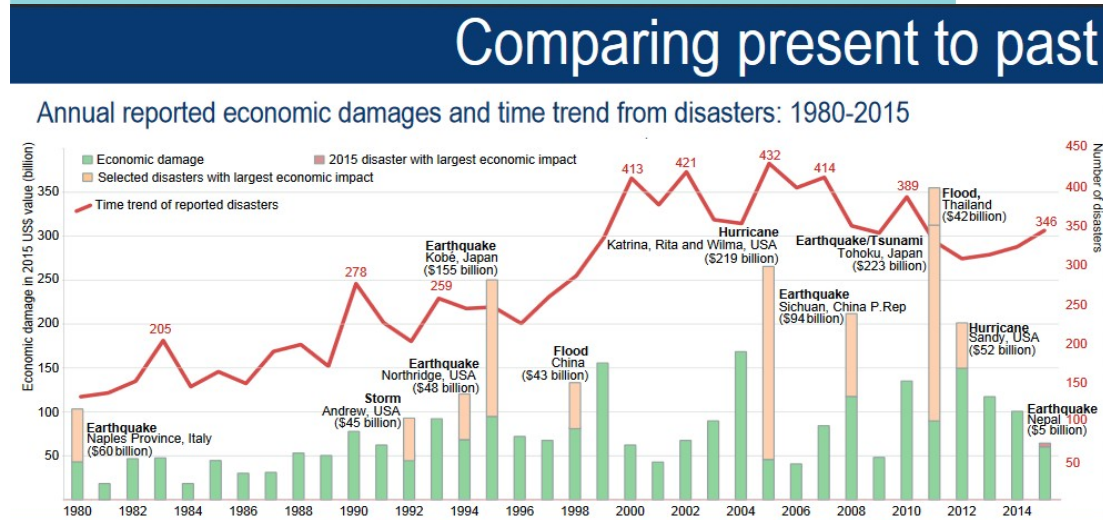
출처 : Munich Re

그림 3. 전 세계 주요 재난 발생 규모 추세



출처 : Munich Re

그림 4. 1980년부터 2015년까지의 자연재해 발생 경향과 재해에 따른 피해액



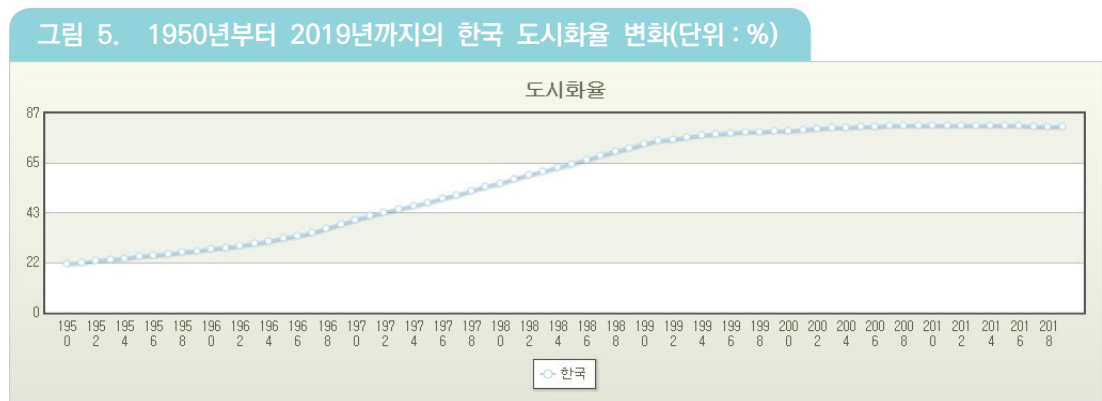
출처 : EM-DAT, "2015 Disasters in Numbers"

전 세계적으로 기후변화로 인한 재난 증가와 더불어 한반도 또한 기후 환경의 변화가 심각하다. 한반도는 세계에서 가장 빨리 수온이 상승하는 나라라고 한다. 국립수산과학원의 정선해양관측 자료에 따르면 우리나라는 최근 50년(1968 ~ 2017년) 사이 연평균 표층 수온 상승이 1.23℃에 달하며, 전 세계 평균(0.48℃)에 비해 약 2.6배 높은 경향을 보이는 등 전 세계에서 가장 높은 수온 상승률을 보이는 해역 중 하나다. 이렇게 우리나라 주변 해역의 높은 수온 상승률은 장기적인 겨울철 몬순의 약화에 의한 겨울철 수온 상승이 원인의 큰 부분을 차지하였으며, 그 외에도 저위도에서 우리나라 해역으로 열을 수송하는 역할을 하는 대마난류의 세기가 지난 1980년대 중반부터 강한 세력을 유지하는 것도 하나의 원인이었다. 이 수온 상승은 해양생태계뿐만 아니라 태풍 세기 강화와 해수면 상승이 우려된다. 태풍의 세기는 이동 경로 위의 표층 수온 경향에 큰 영향을 받고 있다. 지난 2002년과 2003년 우리나라에 내습한 루사와 매미도 평년 대비 2 ~ 4℃ 높은 동중국해의 표층 수온이 큰 영향을 미친 것으로 판단되고 있다. 또한, 현재도 수온 상승률이 매우 높은 우리나라가 앞으로도 수온 상승이 더 높아지리라는 것이다. 이는 앞으로도 한반도에 상륙하는 태풍이 그 강도가 과거와 같이 낮아지지 않음으로써 강풍 등의 재난 유발 요인이 증가할 수 있음을 의미한다.

아울러 2000년대 이후 한반도에 영향을 미친 태풍의 많은 경우의 이동 경로가 서해안으로 치우침에 따라 한반도 전역 또는 서해안 지역이 태풍 경로의 오른쪽에 위치하여 태풍에 의한 강풍 위험 반원에 해당하는 경우가 나타나고 있음도 바람에 의한 재해 증가 가능성을 나타낸다.

### 3. 도시 환경 변화에 따른 빌딩풍 환경변화

경제성장 과정에서의 급속한 산업화와 도시화로 인해 임야나 농경지 면적은 줄어들고 도시용지는 지속적으로 증가하는 도시화가 이루어짐에 따라 많은 건물이 생겼다(그림 5). 이는 과거에는 저층 건물들이 많이 밀집된 저층 건물 도시였지만, 최근 들어 고층 건물들이 주로 구성되어있는 고층 건물 도시로 바뀌게 되었으며, 이로 인한 빌딩풍 피해가 최근 빈번하게 발생하게 되었다.



## II 빌딩풍 피해

### 1. 강풍에 의한 시설피해로 사회 혼란

고층 빌딩 주변의 가로수는 뿌리째 뽑혀 차량과 보행자의 통행을 방해하기도 하고, 주택과 건물이 밀집된 도심의 송전 시설피해로 인한 정전피해가 발생하기도 한다. 그리고 작업 중이던 타워크레인 등 건설기계의 전복사고가 발생하기도 한다. 고층 빌딩 주변 아파트단지에서 바람으로 인해 쓰레기가 빈번하게 날려 위생 문제를 야기하기도 하고 고층 아파트에서 창문을 닫아도 거센 바람 소리가 발생한다. 또한, 고층 빌딩 인근의 학교에서는 현수막이 찢어지기도 하고, 길거리에 세워둔 오토바이와 주차금지 표지판이 넘어지는 등 각종 문제가 발생하였다.

그림 6. 태풍 시기 강풍에 의한 시설피해



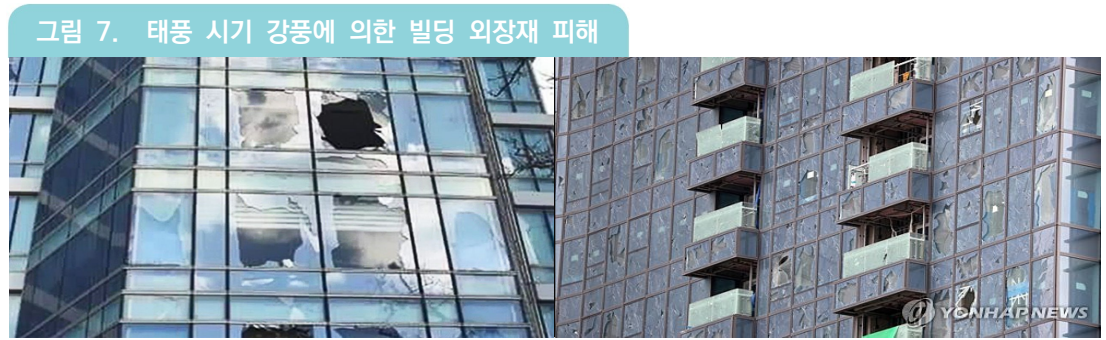
출처 : 동아닷컴

### 2. 외장재 파괴

외장재 파괴로는 빌딩 외벽 창 및 외장재 파손과 이에 따른 비산 피해가 있고, 2019년 9월, 태풍 '타파'가 부산을 강타했을 당시, 부산시 해운대구 센텀시티 한복판에 있는 전시컨벤션 시설 벅스코는 테라스 천장 철판 마감재가 대거 탈락하고, 외부 마감재가 들리고, 공중보행통로 상부 마감재도 바람에 떨어져 구겨지는



현상이 발생했다. 옥상 천장 마감재도 떨어지고, 외부 화장실 출입문이 강풍에 산산조각이 나는 등 다수의 피해를 입었다. 그리고 센텀시티 내 빌딩풍이 통과하는 길목에 있는 신호등 1기가 부러져 철거됐고, 부산시 벡스코 지원시설 용지를 둘러싼 대형 방음벽도 바람에 파손돼 인근 도로가 통제되기도 하였다.



출처 : 매일경제

### 3. 비산물에 의한 사망자 발생

2004년도에 발생한 제7호 태풍 ‘곤파스’의 피해 현황으로 사망자 4명 모두 강풍에 의한 비산물에 의해 사망하는 재난이 발생했다. 그리고 2017년 행정안전부의 정책설명자료에 따르면 2007년부터 2016년 동안 인명피해 원인 중 강풍 비산물에 의한 사망이 19명(12%)에 달하였다(표 1 참고).

표 1. 2007 ~ 2016 자연재난 원인별 사망자

구분	세부원인	인명피해(명)
합 계		160
하천범람	급류 휩쓸림	44
	침수	11
급경사지 붕괴	산사태	65
	절개지	11
강풍(비산물)		19
노후시설물 붕괴	건물붕괴	2
	축대붕괴	3
기타		5

출처 : 중앙재난안전대책본부

## III 빌딩풍 예방 및 대응 국내 현황

### 1. 강풍 대응 기상 특보

현재 국내의 강풍 시기 기상특보 발표기준은 <표 2>에 보는 바와 같다. 한편 전세계에서 통용되는 풍속에 대한 등급은 일반적으로 <표 3>에 보인 보퍼트 풍력계급(Beaufort wind force scale)이 활용되는데, 이는 주로 해상의 풍랑 상태를 기초로 하여 만든 풍력계급으로 후에 육상에서도 사용할 수 있도록 고안되었다. 현재의 풍력계급은 1964년에 개정된 것으로 계급 13 이상이 삭제됨에 따라, 계급 12에 해당하는 풍속에 상한이 없어졌다. <표 2>의 국내 강풍 특보 기준을 <표 3>과 비교하면 국내의 강풍 주의보와 경보는 각각 보퍼트 풍력 계급의 7과 9등급에 해당함을 알 수 있다.

표 2. 강풍 기상특보 발표기준

종류	주의보	경보
강풍	육상에서 풍속 50.4km/h(14m/s) 이상 또는 순간풍속 72.0km/h(20m/s) 이상이 예상될 때. 다만, 산지는 풍속 61.2km/h(17m/s) 이상 또는 순간풍속 90.0km/h(25m/s) 이상이 예상될 때	육상에서 풍속 75.6km/h(21m/s) 이상 또는 순간풍속 93.6km/h(26m/s) 이상이 예상될 때. 다만, 산지는 풍속 86.4km/h(24m/s) 이상 또는 순간풍속 108.0km/h(30m/s) 이상이 예상될 때

표 3. 보퍼트 풍력 계급표

풍력	명칭	풍속(m/s) (지상10m)	육상상태	해면상태
0	고요 (Calm)	0 - 0.2	연기가 수직으로 올라감	거울과 같은 해면
1	살바람 (Light air)	0.03 - 1.5	풍향은 연기가 날리는 것으로 알 수 있으나, 풍향계는 움직이지 않음	물결이 생선비늘같이 작고 (파고 0.1m), 물거품이 없음
2	남살바람 (Light air)	1.6 - 3.3	바람이 얼굴에 느껴짐. 나뭇잎이 흔들리며 깃발이 가볍게 날림	물결이 작게 일고(파고 0.2m), 파의 마루가 부서지지 않고 모양이 뚜렷함
3	산들바람 (Gentle air)	3.4 - 5.4	나뭇잎과 가는 가지가 끊임없이 흔들리고 깃발이 가볍게 날림	물결이 커지고(파고 0.6m), 파마루가 부서져서 물거품이 생겨 흰 파도가 간간히 보임
4	건들바람 (Moderate breeze)	5.5 - 7.9	먼지가 일고 종잇조각이 날리며 작은가지가 흔들림	파도가 일고(파고 1m), 파장이 길어지며 흰파도가 많이 보임
5	흔들바람 (Fresh breeze)	8.0 - 10.7	잎이 무성한 작은 나무 전체가 흔들리고 호수에 물결이 일어남	파도가 조금 높아지고(파고 2m), 흰 파도가 많이 나타나고 물거품이 생기기 시작함
6	뒬바람 (Strong breeze)	10.8 - 13.8	큰 나뭇가지가 흔들리고 전선이 울리며 우산받기가 곤란함	물결이 높아지기 시작하고(파고 3m), 물거품이 광범위해지며 물보라가 생김
7	센바람 (Near gale)	13.9 - 17.1	나무 전체가 흔들리며, 바람을 안고서 걷기가 어려움	파도가 높아지고(파고 4m), 파가 부서져서 물거품이 생겨 줄을 이루며 바람에 의해 날림
8	큰바람 (Gale)	17.2 - 20.7	작은 나뭇가지가 꺾이며, 바람을 안고서는 걸을 수가 없음	파도가 제법 높고(파고 5.5m), 파장이 더 길고 마루의 끝이 거꾸로 됨. 물거품이 강풍에 날림.
9	큰센바람 (Strong gale)	20.8 - 24.4	가옥에 다소 손해가 있음 굴뚝이 넘어지고 기와가 벗겨짐	파도가 높고(파고 7m), 물거품이 바람(풍향)에 따라 짙은 줄무늬를 띠. 마루가 흩어져 말리고 물보라 때문에 시정에 나빠짐
10	노대바람 (Strong)	24.5 - 28.4	내륙 지방에서는 보기 드문 현상임 수목이 뿌리채 뽑히고 가옥에 큰 손해가 일어남	파도가 옆으로 긴 마루로 되어 몹시 높고(파고 9m), 물거품이 큰 덩어리가 되어 강풍에 날림. 파도가 심하게 부서지고 시정이 나쁨
11	웅바람 (Violent storm)	28.5 - 32.6	이런 현상이 생기는 일은 거의 없음. 광범위한 파괴가 생김	파도는 대단히 높고(파고 11.5m), 주위의 배는 파도에 가려 볼 수 없고, 길게 줄지은 물거품들이 바다를 덮음. 시정이 극히 나쁨
12	쌩살바람 (Hurricane)	32.7 ~	매우 광범위한 피해가 생김	바다는 물거품과 물보라로 가득 차 (파고 14m 이상) 지척을 분간하지 못함

## 2. 국민 행동 요령

행정안전부가 제안하는 강풍 발생 시 행동 요령 중 핵심 행동 요령으로는 야외활동을 자제하고 주변의 독거노인 등 건강이 염려되는 분들의 안부를 살피고 가족이나 이웃과 주변에 있는 사람들과 함께 강풍에 대처하는 것으로 아래와 같다.

표 4. 행정안전부 강풍 시기 국민 행동 요령

- 노약자, 장애인 등이 거주하는 가정의 경우에는 비상시 대비 방법과 연락 방법을 가족 또는 이웃 등과 사전에 의논합니다.
- 대피 시에는 쓰러질 위험이 있는 나무 밑이나 전선주 밑을 피하고 안전한 건물을 이용합니다.
- 유리창 근처는 유리가 깨지면 다칠 위험이 있으므로 피하도록 합니다.
- 강풍 발생 시 지붕 위나 바깥에서의 작업은 위험하니 자제하고 되도록 집 안팎의 전기 수리도 하지 않습니다.
- 운전 중 강풍이 발생하면 반대편에서 오는 차량을 주의하고 되도록 속도를 줄여 사고를 줄이기 위한 방어운전을 합니다.
- 강풍 발생 시 인접한 차로의 차와 안전한 거리를 유지하고, 강한 돌풍은 차를 차선 밖으로 밀어낼 수 있으므로 주의합니다.
- 바닷가는 파도에 휩쓸릴 위험이 있으니 나가지 않습니다.
- 공사장 작업이나 크레인 운행 등 야외작업을 중지합니다.
- 공사장과 같이 날아오는 물건이 있거나 낙하물의 위험이 많은 곳은 가까이 가지 않도록 합니다.
- 손전등을 미리 준비하여 강풍에 의한 정전 발생에 대비하고 유리창이 깨지면 파편이 흩날릴 수 있으니 신발이나 슬리퍼를 신어 다치지 않도록 합니다.
- 강풍이 지나간 후 땅바닥에 떨어진 전깃줄에 접근하거나 만지지 않습니다.
- 강풍으로 파손된 전기시설 등 위험 상황을 발견했을 때에는 감전 위험이 있으니 접근하거나 만지지 말고 119나 시·군·구청에 연락하여 조치하도록 합니다.
- 강풍 발생으로 전력선이 차량에 닿는 경우, 차 안에 머무르면서 차의 금속 부분에 닿지 않도록 주의하고 주위 사람들에게 위험을 알리고 119에 연락하여 조치하도록 합니다.

## 3. 강풍 시 공사장 안전관리

건설 현장을 포함한 공사장의 많은 가설 시설물, 적치물 및 건설용 크레인 등은 강풍에 매우 취약하다. 강풍에 의한 가장 대표적인 공사장의 위험 요소로는 태풍 등 강풍에 따른 타워크레인의 붕괴와 전도, 강풍에 의해 날리는 자재·공구 등 적치물의 비산으로 경제적인 피해도 있지만 매우 위험한 인명피해의 요인이 될 수 있다. 따라서 매년 <그림 8>에 보는 바와 같은 공사장의 강풍 피해가 많이 발생하고 있다.

그림 8. 강풍에 의한 공사장 피해



출처 : 아시아 뉴스통신, YTN

이와 관련하여 ‘산업안전보건기준에 관한 규칙’에서는 크레인 안전관리를 아래와 같이 정하고 있다.

- 제37조(악천후 및 강풍 시 작업 중지) ② 사업주는 순간풍속이 초당 10m를 초과하는 경우 타워크레인의 설치·수리·점검 또는 해체작업을 중지하여야 하며, 순간풍속이 초당 15m를 초과하면 타워크레인의 운전작업을 중지하여야 한다.
- 제140조(폭풍에 의한 이탈 방지) 사업주는 순간풍속이 초당 30m를 초과하는 바람이 불어올 우려가 있는 경우 옥외에 설치되어 있는 주행 크레인에 대하여 이탈방지장치를 작동시키는 등 이탈 방지를 위한 조치를 하여야 한다.
- 제143조(폭풍 등으로 인한 이상 유무 점검) 사업주는 순간풍속이 초당 30m를 초과하는 바람이 불거나 중진(中震) 이상 진도의 지진이 있는 후에 옥외에 설치되어 있는 양중기를 사용하여 작업을 하는 경우에는 미리 기계 각 부위에 이상이 있는지를 점검하여야 한다.

〈표 2〉에 보인 기상청의 강풍 특보 기준과 ‘산업안전보건기준에 관한 규칙’의 공사장 안전관리 기준을 비교하면 〈표 5〉에 보인 바와 같다. 이때 두 기준의 풍속 기준이 통일되지 않아서 현장 안전관리 역시 일관성을 갖지 못하는 경우가 많다.

표 5. 강풍 특보 기준과 ‘산업안전보건기준에 관한 규칙’ 공사장 안전관리 기준 비교

풍속	기상청의 강풍 특보	‘산업안전보건기준에 관한 규칙’의 공사장 안전관리 기준
순간풍속 10m/s		• 타워크레인의 설치·수리·점검 또는 해체작업을 중지
순간풍속 15m/s		• 타워크레인의 운전작업을 중지
10m/s (순간풍속 20m/s)	주의보	
21m/s (순간풍속 26m/s)	경보	
순간풍속 30m/s		• 주행 크레인에 대하여 이탈방지장치를 작동

실제 건설 현장의 강풍 대비는 추가로 다음의 세부 사항이 고려되고 있다.

- 쉐바람(보퍼트 풍력계급 7) 이상 시 옥외작업(자재 운반, 마감 작업 등) 지양
- 자재·공구·지붕재 등이 바람에 날리지 않도록 묶음 처리 또는 고정
- 수직 거푸집·철근 등의 전도방지 조치 - 턴버클 및 와이어 등을 활용하여 고정 - 각관 등의 파이프를 설치하고 하부 뼈기목으로 고정하여 버팀대 설치
- 설치된 외부비계 등 가설구조물의 결속 및 고정 상태 점검
- 비계기둥의 침하·변형·변위 또는 흔들림 상태 점검
- 발판재료의 손상 여부 및 부착·걸림상태 점검
- 갱폼 및 수직보호망 등 7이 바람의 영향이 없도록 조치
- 가설사무실 지붕 등의 고정상태 및 비상 시 이동계획 및 조치계획 수립
- 강풍에 대비한 사전 안전 점검
  - 타워크레인 등 양중기 지지 보강
  - 가설울타리, 가설사무실 지붕 등의 고정상태 및 지지 보강
  - 강관비계 벽이음 상태 점검
  - 갱폼 및 수직보호망 등이 바람의 영향이 없도록 조치
  - 각종 가설물, 표지판, 자재 등은 견고하게 결속

한편 각 지자체에서 태풍(강풍, 호우) 대비 주요 공사장 특별점검을 시행하는데 서울시의 예는 <그림 9>에 보는 바와 같다. 이를 포함하여 대부분의 경우 구체성이 없는 경우가 많아 실제 시행에 어려움이 많은 것이 현실이다.

그림 9. 태풍 대비 안전 점검 예시

## 공사장 점검 착안사항

주요점검 항목
<p>■ 계획 공정 적정관리 여부 등 확인</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 계획공정보다 지연시 공정 지연에 따른 대책을 수립지시</li> <li>○ 시공계획서 수립 여부 등 확인</li> </ul> <p>■ 복개구조물 공사장 침수방지 대책</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 장비 및 자재 등 이동 보관 상태</li> <li>○ 인부 대피방법 등</li> </ul> <p>■ 태풍 및 집중호우에 대비한 사전준비 및 계획수립 여부</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 현장 상황에 따른 침수방지 계획</li> <li>○ 수방자재 확보 : 양수기(유류용), 마대, 가마니, 삼, 리어카, 우비, 장화 등</li> <li>○ 비상경보체계 및 근무체계                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 비상연락망 구축 및 현장내 비상대기반 편성·운영,</li> <li>- 태풍 및 호우주의보(또는 경보) 발효시를 대비한 단계별 대책</li> </ul> </li> </ul> <p>■ 주요 점검사항</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 사면붕괴, 토석낙하 위험 여부</li> <li>○ 가시설 부재의 변형·탈락 여부</li> <li>○ 동바리, 거푸집 패널 등의 설치 상태(특히 밀받침 부분의 지반상태 점검보완)</li> <li>○ 배수구멍 설치 및 청소상태</li> </ul> <p>■ 공사 현장주변 관리 상태</p> <p>■ 기타 작업안전 수칙 준수 여부</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 작업전 안전점검, 작업 후 정리정돈</li> <li>○ 작업장 안전통로 확보</li> <li>○ 개인보호구 착용</li> <li>○ 높은 곳에서 작업시 안전난간, 추락주의</li> <li>○ 추락방지용 안전망 설치</li> </ul>

출처 : 서울시 태풍(강풍, 호우)대비 주요 공사장 특별점검 계획

#### 4. 옥외광고물 안전관리

국내에서는 ‘옥외광고물 등의 관리와 옥외광고산업 진흥에 관한 법률’에서 옥외광고물 등의 안전 점검과 풍수해 등에 대비한 안전 점검에 대한 항목을 아래와 같이 정하고 있다.

제9조(광고물등의 안전점검) ① 대통령령으로 정하는 광고물등을 설치하거나 관리하는 자는 공중에 대한 위해 방지를 위하여 시장등(제3조의2에 따라 시·도지사에게 허가를 받거나 신고한 경우에는 시·도지사를 말한다. 이하 이 조에서 같다)이 실시하는 안전점검을 받아야 한다. 이 경우 안전점검의 기준·시기 및 방법 등에 관하여 필요한 사항은 대통령령으로 정한다. <개정 2016. 1. 6.>

② 시장등은 제1항에 따른 안전점검 업무를 제11조의3에 따른 옥외광고 사업자단체 및 대통령령으로 정하는 자에게 위탁할 수 있다.

③ 제2항에 따라 안전점검 업무를 위탁받을 수 있는 자의 시설기준과 자격 등에 관하여 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

④ 제2항에 따라 안전점검 업무를 위탁받은 자(그의 임직원을 포함한다)는 「형법」 제129조부터 제132조까지의 규정을 적용할 때에는 공무원으로 본다.

제9조의2(풍수해 등에 대비한 안전점검 등) ① 시장등(제3조의2에 따라 시·도지사에게 허가를 받거나 신고한 경우에는 시·도지사를 말한다)은 풍수해 등에 대비하기 위하여 옥외광고물안전점검계획을 수립하여 안전점검을 실시하여야 한다. 이 경우 안전점검의 기준·시기 및 방법 등에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

② 제1항에 따른 안전점검의 위탁에 관하여는 제9조제2항부터 제4항까지의 규정을 준용한다

그러나 옥외광고물 설계 및 시공 과정은 이상의 법령에서 제시하는 내용이 상대적으로 구체적이지 못하여 <그림 10>에 보는 바와 같이 국내 강풍에 의한 피해가 증가하는 추세이다.

그림 10. 강풍에 의한 옥외광고물 피해



출처 : 청주일보



## 5. 건축물 인허가 단계의 안전관리

건축허가 절차 흐름도를 간단히 보자면 건축상담 → 건축설계 → 건축계획 심의 → 건축허가 → 건축착공준비 → 착공신고 → 사용승인과 같은 일련의 과정을 거친다. 이러한 과정에 필수적으로 수행되어야 하는 항목으로 건축물에 의한 환경영향평가를 확인하게 된다. 환경영향평가의 항목은 자연생태환경분야, 대기환경분야(대기질, 악취), 수환경분야, 토지환경분야(토지이용, 지형, 지질) 그리고 생활환경분야(친환경적 자원순환, 소음, 진동, 경관)가 있다.

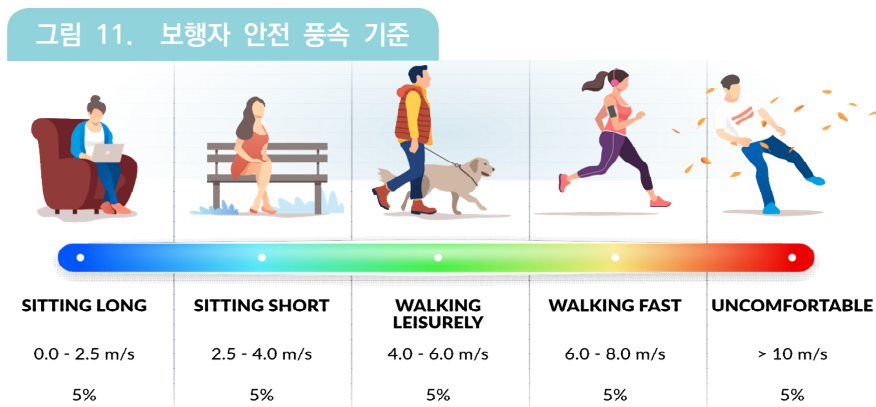
또한 설계 심의에 필요한 도서로서 건축계획서, 배치도, 평면도, 입면도, 단면도, 구조도(구조안전확인대상 건축물), 구조계산서(구조안전 확인 또는 내진설계 대상 건축물), 실내마감도, 소방설비도 등이 포함된다. 그러나 이상의 환경 영향 평가 항목에 강풍으로 인한 주변의 영향, 바람길 장애, 열섬 현상 등 최근 기후변화나 도시 환경 변화에 따른 영향 평가는 이뤄지지 않고 있으며, 특히 빌딩풍이나 비산물 피해 가능성 등 재난과 관련한 사전 검토는 전무하다고 할 수 있다.

## IV 빌딩풍 예방 및 대응 국외 현황

### 1. 보행자 안전 기준

바람의 편안함과 이러한 인식을 평가하는 데 사용되는 기준은 다양한 활동 수준에서 사람들이 서로 다른 바람 조건에서 어떻게 느끼는지 파악하기 위한 수치 개념을 기반으로 한다. 그러나 지리적 위치, 지형 및 경관의 특징 그리고 문화적 인식은 본질적으로 전 세계적으로 다양하여 바람의 편안함에 대한 기준이 있을 수 없다. 모든 것을 포괄하는 표준 기준은 없지만, 건축 환경에 대한 예측된 바람을 평가하는데 도움이 되는 많은 표준이 존재한다. 국제적으로 Lawson, Dacnport 그리고 NEN 8100이 인정받고 있다.

그 중 아래의 그림은 Lawson 풍향 기준을 그림으로 나타낸 것이다. Lawson 풍향 기준은 특정 위치에서 특정 속도보다 더 높은 풍속을 볼 수 있는 확률로 정의된다. 이러한 속도는 지역 당국 규칙에 따라 일반적으로 1.5m에서 1.75m 사이의 특정 높이에서 측정하게 된다. 간략하게 설명하자면, 이 기준은 임계 풍속을 설정한 다음 해당 임계값을 초과하는 풍속의 확률을 나타낸다. “오래 앉아있는 것”에 대한 범주는 풍속이 0~0.25m/s 일 때 가능성이 5%의 확률을 이행 값으로 사용한다. 그리고 마지막 범주인 “불편함”은 속도가 10m/s 이상 일 때 5%의 확률을 이행 값으로 사용한다(출처 : <https://www.simscale.com>).



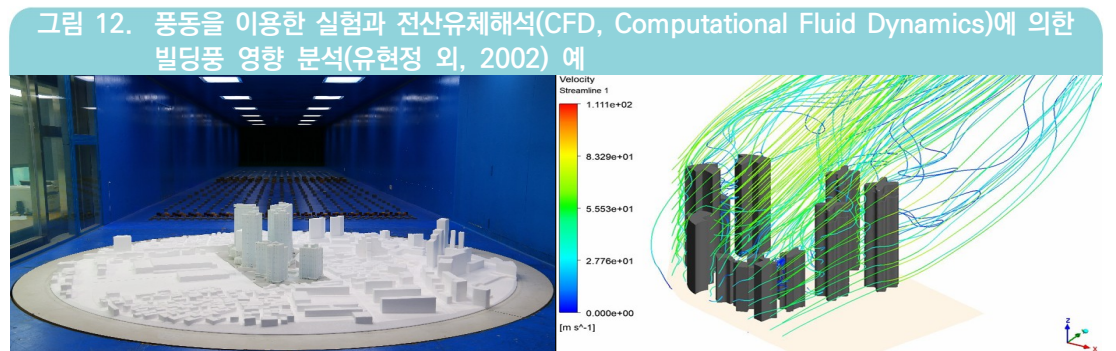
출처 : <https://www.simscale.com>

## 2. 빌딩풍에 의한 보행자 안전 국외 예방 및 대응 사례

많은 국가들이 빌딩풍으로부터 보행자의 안전을 위해 많은 노력을 하고 있다. 영국 런던은 2019년 8월에 도심 고층 건물에 의한 빌딩풍으로부터 자전거 이용자 및 보행자를 보호하기 위해서 고층 빌딩을 구축하기 위한 엄격한 규칙을 작성했다. 가장 먼저 건물의 높이에 따라 바람 미기후 연구에 대한 권장 접근법을 제안하였다(표 6).

대부분의 경우에 <그림 12>에 보인 풍동을 이용한 실험과 전산유체해석(CFD, Computational Fluid Dynamics)에 의한 빌딩풍 영향 분석을 수행하여야 한다. 만일 풍동 테스트와 CFD 결과 사이에 차이가 있는 경우 차이, 민감도 검사(예 : 그리드 민감도, 서라운드 확장 민감도, 풍동에서 난류 발생 등)에 대한 잠재적인 원인을 식별하고 일반적인 기술 요구사항들, 풍동 실험 요구사항들과 CFD 요구사항들을 제시하고, 결과 발표 및 보고에 대하여 제시하고 있다.

건축물 높이	빌딩풍 영향 분석 기법 가이드라인
주변 건물의 평균 높이보다 비슷하거나 낮고 최대 25m일 때	민감한 보행자의 활동이 의도되거나(예 : 병원 주변, 교통 허브 등) 노출된 위치에 프로젝트(예 : 템즈강 가정자리, 고층 빌딩 근처)에 있지 않는 한 바람 연구는 필요하지 않음.
주변 건물의 평균 높이가 25m ~ 50m의 최대 두 배일 때	전산 시뮬레이션 (CFD) 및 풍동 테스트
주변 건물 50m ~ 100m 평균 높이의 최대 4배일 때	전산 시뮬레이션 (CFD) 및 풍동 테스트
100m 이상의 고층	<ul style="list-style-type: none"> <li>7초기단계에서는 전산 시뮬레이션 (CFD) 및 풍동 테스트</li> <li>상세 설계에서 최종 건물 설계의 성능을 입증하기 위한 풍동 테스트 및 전산 시뮬레이션(CFD)</li> </ul>



출처 : 건설경제신문

또한, 영국 리즈에서는 2011년도에 빌딩풍으로 인하여 날아간 트럭으로 인하여 사망하는 사고가 있었다. 이를 해결하기 위하여 리즈 시의회는 2008년 초부터 도시에서 가장 높은 건물 주변의 강풍으로 인한 문제를 해결하기 위한 세부 설계 방안 수립을 추진하여, 2014년 11월 건물 및 주변 지역의 스크린 및 캐노피 시스템을 포함하는 설계 계획이 승인되었다. 항공기 날개처럼 묘사된 일련의 천공된 '배플'과 함께 도로에서 최소 6미터 위에 위치해 있다(출처 : theconstructionindex)

호주 도시에서는 기존 도시보다 미래의 도시 정책 개선을 통해 빌딩풍 피해 발생을 방지하거나 최소화하기 위한 방안에 초점을 맞추고 있다. 이를 위한 첫 번째 전략은 도시 정책 입안자와 기획자가 실제로 협곡 효과 현상을 이해하는 것이다. 좋은 정책은 문제와 그 차원에 대한 명확한 인식이 있는 경우에만 따를 수 있다. 미묘한 정책 대응이 필요한 경우 전문 교육이 선제되어야 할 수 있다. 계획자는 관련 도시 계획 도구에 의해 부과된 높이 제한 제어를 통해 제안된 건물의 높이를 평가한다. 개발 승인 과정에 포함된 확고한 정책은 거시적 도시 통합 정책 우선순위를 훼손하지 않으면서 협곡 효과의 가능성을 줄이기 위한 명시적인 미시적 전략을 제공하는 것이다(출처 : <https://medium.com>).

일본에서는 건물 주변의 보행자 바람 환경에 대한 예측 및 평가를 위해 전산 유체 역학 소프트웨어(CFD)와 고품질 풍동 실험의 광범위한 교차 비교를 포함한 가이드북을 2007년에 발간하였다. 그리고 2020년, 일본 건축 연구소(AIJ)에서 최근 건설 지역의 다양한 풍력 환경 문제에 대한 CFD 응용 프로그램을 확장하여 개정판을 발간했다.

그림 13. 도심 고층건물 설계에 빌딩풍에 의한 보행자 안전 사전 검토를 위한 전산 해석 기술



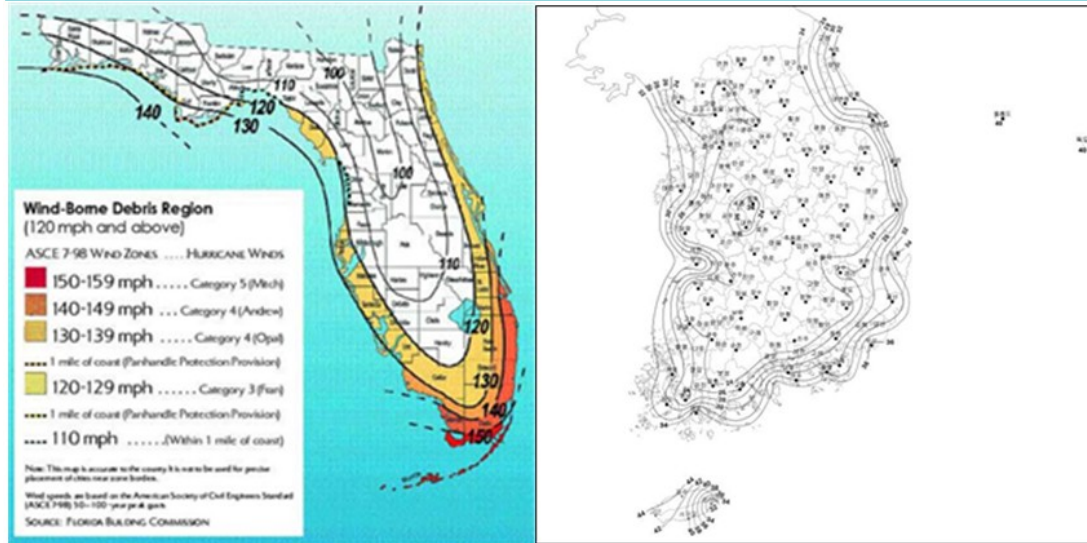
출처 : 일본건축학회, 2011

미국은 2010년에 강풍 및 교통사고로부터 보행자를 안전을 보장하기 위한 보행자 안전법을 제정한 바 있다.

### 3. 비산물에 대한 국외 예방 및 대응 사례

앞에서 여러 차례 기술한 바와 같이 강풍에 의한 비산물은 재산은 물론 인명에 매우 위험한 요소이다. 이를 위하여 건축물 설계 기준에 포함되는 내풍 설계 기준 풍속으로 미국은 허리케인 내습빈도가 높은 지역의 1마일(약 1.6km) 이내 지역을 비산물 위험 지역으로 설정하고 외장재 파괴 및 비산에 큰 영향을 미치는 순간풍속 기준의 외장재 설계 기준을 강화한 바 있다(그림 14 좌). 반면 국내에서는 해안을 중심으로 빈번한 태풍에 의한 외장재 파괴와 비산 피해가 발생함에도 불구하고 아직 10분 평균 풍속 기준의 내풍 설계 기준을 유지하고 있다(그림 14 우).

그림 14. 미국 건축물 설계 기준의 비산물 위험 지역(좌, ASCE 7-10)과 국내 내풍 설계 풍속 분포(건축구조기준)



## V 빌딩풍 피해 저감 방안 제안

빌딩풍의 피해를 줄이기 위한 방법에는 여러 가지 방안이 있겠지만, 계획설계 단계의 풍환경 평가와 상세배치 계획의 풍환경 평가가 필요할 것으로 보인다. 이는 현행 건축물 인허가 단계에서 안전관리가 강화되어야 할 것이고 이 중 환경영향평가 및 구조 심의 절차가 개선되어야 할 것으로 보인다. 자세히 보자면 첫째로, 풍환경(보행자 풍환경, 열섬효과, 바람길)을 평가할 항목의 추가가 필요하다. 그리고 비산물 발생 위험 및 피해 범위와 규모에 대한 평가 항목이 추가로 필요하다. 마지막으로 설계과정에서 풍동 실험 및 전산유체해석(CFD) 기술 적용이 필요하다.

빌딩풍의 피해 저감을 위해서는 비산물에 의한 피해를 저감시켜야 한다. 이를 위해서는 외장재의 내풍 성능 인증제를 진행하여 비산물에 의한 외장재 파괴 실험 등을 하여 건축자재 인증 항목에 외장재의 내풍 성능 평가를 포함해야한다. 그리고 비산물 피해 조사를 법제화하여 태풍 및 강풍에 의한 비산물 발생 및 피해 현황 조사와 이에 따른 성능 개선안을 도출한다. 마지막으로 빌딩풍 유발 피해에 대한 배상책임보험을 도입하는 것이다. 이를 통하여 비산물 피해 및 보행자의 피해가 발생하더라도 배상책임보험 도입으로 국민의 안전권을 보장하는 것이다.

저자\_ 이승수(Sungsu Lee)

### • 학력

Colorado State University 토목공학 박사  
서울대학교 조선공학 석사  
서울대학교 조선공학 학사

### • 경력

現) 충북대학교 교수  
前) 인하대학교 연구교수  
前) 美 National Oceanic and Atmospheric Administration(NOAA) 선임연구원  
前) 국방과학연구소 연구원

## 참고문헌

- 1) “빌딩풍”, <https://ko.wikipedia.org/wiki/%EB%B9%8C%EB%94%A9%ED%92%8D>, 2020.09.29
- 2) “빌딩풍 의미, 도시풍이라고도 불리는 현상”, 중앙일보, <https://news.joins.com/article/17213937>, 2015.02.24.
- 3) Tall Building Design Guidelines – City of Toronto, 2013.03
- 4) “고층빌딩의 복병’ 태풍급 강풍, 서울에 휘몰아친다.”, 조선일보, [https://www.chosun.com/site/data/html\\_dir/2009/02/02/2009020200031.html](https://www.chosun.com/site/data/html_dir/2009/02/02/2009020200031.html)
- 5) 환경부, 저탄소 녹색성장기본법에 따른국가 기후변화 적응 기본계획(2011~2015)수립 연구, 2011
- 6) 국가기후변화적응정보포털, “재난/재해”, [https://kaccc.kei.re.kr/portal/climateChange/changeeffect/changeeffect\\_view.do?num=2](https://kaccc.kei.re.kr/portal/climateChange/changeeffect/changeeffect_view.do?num=2)
- 7) EM-DAT, “2015 Disasters in Numbers”, <https://www.emdat.be/search/node/disasters%20in%20numbers>
- 8) KOSIS 국가통계포털, “도시화율”, [http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT\\_2KAA204](http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_2KAA204)
- 9) 중앙재난안전대책본부, 태풍(강풍) 대비 예방책, 2010.09.04.
- 10) 자연재난대응과, 정책설명자료(여름철 풍수해 대책은 촘촘한 대비와 함께), <https://www.gov.kr/portal/ntnadmNews/1099977>, 2017.06.01
- 11) “보퍼트 풍력 계급”, [https://ko.wikipedia.org/wiki/%EB%B3%B4%ED%8D%BC%ED%8A%B8\\_%ED%92%8D%EB%A0%A5\\_%EA%B3%84%EA%B8%89](https://ko.wikipedia.org/wiki/%EB%B3%B4%ED%8D%BC%ED%8A%B8_%ED%92%8D%EB%A0%A5_%EA%B3%84%EA%B8%89) (2020.09.29.)
- 12) “올해 기후변화 10대 자연재해로 1000명 사망. 950억달러 피해”, 한겨레, [http://www.hani.co.kr/arti/science/science\\_general/875957.html](http://www.hani.co.kr/arti/science/science_general/875957.html)
- 13) “기후변화에 따른 한반도 해양환경 변화”, 현대해양, <http://www.hdhy.co.kr/news/articleView.html?idxno=7910>
- 14) 통계청, 한국의 사회동향 2013
- 15) 기상특보 발표 기준, <https://www.weather.go.kr/weather/warning/standard.jsp>
- 16) 자연재난행동요령, <https://www.safekorea.go.kr/idsiSFK/neo/sfk/cs/contents/prevent/prevent04.html?menuSeq=126>
- 17) 한국산업안전보건공단, 해빙기 건설현장 안전보건길잡이, 2020.02
- 18) 한국산업안전보건공단, 장마철 건설현장 안전보건 길잡이, 2020.06
- 19) 한국산업안전보건공단, 동절기 건설현장 안전보건 가이드라인, 2018.10
- 20) 서울정보소통광장, 태풍(강풍,호우)대비 주요 공사장 특별점검 계획, <https://opengov.seoul.go.kr/sanction/2206641>, 2014.08
- 21) <http://www.law.go.kr/법령/산업안전보건기준에관한규칙>



- 22) <http://www.law.go.kr/법령/옥외광고물등의관리와옥외광고산업진흥에관한법률>
- 23) <https://www.simscale.com/blog/2020/01/lawson-wind-comfort-criteria/>
- 24) Wind microclimate guidelines for developments in the city of london, 2019.08
- 25) <https://www.standard.co.uk/news/london/city-of-london-tightens-guidelines-on-building-sky-scrapers-over-wind-tunnel-fears-for-cyclists-a4217491.html>
- 26) <https://www.theconstructionindex.co.uk/news/view/agreement-reached-on-leeds-wind-tunnel-dispute>
- 27) <https://medium.com/the-machinery-of-government/canyon-effect-in-australian-cities-ce496190c760>
- 28) [https://www.ajj.or.jp/jpn/publish/cfdguide/index\\_e.htm](https://www.ajj.or.jp/jpn/publish/cfdguide/index_e.htm)
- 29) <https://www.congress.gov/111/plaws/publ373/PLAW-111publ373.pdf>



융합연구리뷰

Convergence Research Review 2020 October vol.6 no.10