

ORIGINAL ARTICLE

생분해성 고분자 부직포를 이용한 마스크 제조와 특성 연구

전혜민 · Ysacor Mengistu Yimenu¹⁾ · 장성호²⁾ · 진영읍 · 이원기*

국립부경대학교 응용화학공학부, ¹⁾아디스 아바바대학교 화학생명공학부, ²⁾부산대학교 바이오환경에너지학과

Manufacturing of Masks Using Biodegradable Polymer Nonwoven Fabrics and Their Characterization

Hye-min Jun, Ysacor Mengistu Yimenu¹⁾, Seong-ho Jang²⁾, Youngeup Jin, Won-Ki Lee*

BB21+, Division of Applied Chemical Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

¹⁾School of Chemical and Bio-Engineering, Addis Ababa University, Ethiopia

²⁾Department of Bioenvironmental Energy, Pusan National University, Miryang 50463, Korea

Abstract

The demand for face masks has increased significantly due to the coronavirus disease 2019 pandemic, leading to a large amount of non-degradable mask waste. In particular, conventional polypropylene (PP)-based filters are not biodegradable and are difficult to recycle due to contamination after use, which causes various environmental problems. In this study, the potential of environmentally friendly and biodegradable polylactide (PLA) as a core material for filter media was investigated. PLA melt-blown nonwoven fabrics were prepared and their filtration characteristics were evaluated to examine their applicability as filter materials. Although PLA nonwoven fabrics exhibit relatively low electrostatic retention due to their hydrophilic nature, resulting in lower filtration efficiency compared with conventional materials, they demonstrated potential for application in everyday mask filters. These results suggest that PLA-based filter structures can be applied not only to respiratory protective equipment but also to reusable mask filters, providing a more sustainable alternative to conventional PP-based filters.

Key words : Mask waste, Polypropylene, Biodegradable polylactide, Melt-blown nonwoven

1. 서 론

코로나19 팬데믹과 지속적인 환경 오염 문제로 인해 깨끗한 공기와 수질에 대한 필요성이 그 어느 때보다 중요해지고 있다. 특히 의학 및 생물학 분야에서는 살균된 공기가 필수적이며, 여과 기술은 사무실, 가정뿐만 아니라 다양한 운송 수단에서도 공기 질을 개선하는 데 중요한 역할을 한다(Brown, 1993). 여과 필터용 부직포를 제작하는 방사 공정들 중 하나인 melt-blown

(MB) 방식은 방사능 입자 및 미세 입자를 포집할 수 있는 필터 소재 연구에서 열가소성 고분자를 이용한 미세섬유의 제조와 응용 연구로 부터 시작되었으며, 이후 polypropylene (PP) 기반의 산업용 부직포 제조 기술로 발전하여 널리 활용되고 있다(Wente et al., 1954). MB 공정을 통해 제조된 부직포는 마스크 필터, 공기 및 액체 필터, 위생용품과 같은 고기능성 제품

Received 8 April, 2026; Revised 7 May, 2026;

Accepted 13 May, 2026

*Corresponding author : Won-Ki Lee, BB21+, Division of Applied Chemical Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

Phone : +82-51-629-6451

E-mail : wonki@pknu.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

에 활용되고 있다. MB 공정은 용융 점도가 매우 낮은 열가소성 고분자 수지를 미세한 노즐을 통해 방사한 후, 고온·고압의 공기 제트로 연신 및 냉각하여 웹 형성 장치에 적층함으로써 부직포 형태를 형성하는 제조 방법이며, 약 0.8~10 μm 직경의 섬유로 구성된다(Lee, 2008; Choe, 2020).

PP를 포함한 올레핀 고분자의 MB 섬유는 높은 내구성, 우수한 성능 및 가공성을 가지고 있지만 일반적인 환경에서는 거의 분해되지 않는 특성을 가지고 있다. 코로나19 팬데믹 기간 동안 전 세계적으로 매일 약 1290 억 개의 PP 부직포로 제조된 일회용 마스크가 사용된 것으로 추정되며 또한, 미세먼지와 감염병의 상시화로 인해 고효율 마스크 및 공기정화용 필터에 대한 수요도 지속적으로 증가하고 있다(Fadare and Okoffo, 2020). 이러한 시장 수요는 단순한 친환경성뿐 아니라, 높은 여과 효율과 낮은 압력 강하라는 필수적인 기능적 요건을 충족하는 제품을 요구한다. 마스크 폐기물은 거의 대부분 매립 또는 소각 처리되고 있다. 특히, 매립이나 수집되지 않은 폐 마스크는 장기간 미분해로 환경 오염을 유발할 뿐만 아니라 마모와 노화 과정을 통해 엄청난 미세 플라스틱을 방출할 수 있으며, 이는 해양 및 토양 생태계에 축적되어 생물군집과 환경에 심각한 위협이 되는 것으로 알려져 있다(Wang et al., 2023). 따라서, 지속 가능한 자원 순환과 환경적 관점에서 위해 친환경적 재료에 대한 관심과 기술적·산업적 요구가 급증하고 있다(Shin et al., 2024).

2024년 이후 주요 글로벌 기업들과 정부 기관들은 일회용 플라스틱 규제를 강화하고 있으며, 소비자들 역시 환경 영향을 고려한 제품 소비를 선호하는 경향이 뚜렷해지고 있다. 전 세계 생분해성 플라스틱 시장은 2023년 39억 달러에서 2033년 91억 달러로 성장할 것으로 예상되며, 연평균 성장률은 8.8%에 달할 것으로 예측하고 있다(Grand View Research, 2024). Polylactide (PLA)는 옥수수, 사탕수수 등에서 얻은 젖산(lactic acid, $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$)의 카복실기($-\text{COOH}$)와 하이드록시기($-\text{OH}$)가 축합중합하여 에스터 결합($-\text{COO}-$)을 가진 고분자를 생성하거나 젖산을 2량화한 고리형 락타이드(lactide)를 개환중합(ring-opening polymerization)하여 얻어지는 생분해성이자 열가소성 고분자이다(Kim et al., 2025). 100% 재생 가능한 자원에서 유래하여 Table 1에서 나타난 바와 같이 고분자 생성을 위해 필요로 하는 에너지가 낮고 이산화탄

소 배출량도 합성고분자인 PP에 비해 적고 생분해가 가능하기 때문에 환경 친화적인 소재로 평가받는다(Drumright, 2000).

Table 1. Consumption and emissions per Kg of polymer produced

Resin	Energy (kWh)	Emissions (Kg of CO ₂)	Water (L)
PLA	16.4	0.27	69.7
PP	20.6	1.7	43.4

현재 필터와 마스크 제조에 가장 많이 사용되는 조합은 PP melt-blown (MB 또는 M) 부직포 원단과 spunbond (SB 또는 S) 부직포 원단을 라이네이팅한 것이다(Fig. 1). 이러한 조합은 여과효(filtration efficiency), 통기성, 차압(pressure drop) 등의 성능을 고려하여 설계되며 각각의 구성 원단들은 특정한 역할을 수행한다. 따라서, MB 부직포 원단은 제품의 여과 성능을 결정하는 가장 핵심적인 요소이다. 통상 직경이 0.8~10 μm 수준의 미세한 섬유들로 구성되어 있으며, 고밀도의 섬유 배열을 통해 미세 입자를 포집하는 기능을 한다. 또한 후가공으로 정전기 대전(electrostatic charging) 공정을 거쳐 최종 제품화된다. 이러한 charging 공정의 다른 장점으로는 차압이나 공기 투과도 성능을 유지하고 필터 질량이나 밀도도 증가시키지 않으면서 여과 효율을 향상시킬 수 있다(Zhang, 2020). 반면에 SB 원단은 섬유가 비교적 굵고 강도가 높아 필터 및 마스크의 구조적 안정성(강도 및 내구성)을 확보하는 역할을 한다. 따라서 SB 원단 자체는 기공이 크고 섬유 간 간격이 넓어 여과 효율 및 차압에 직접적인 영향을 미치지 않는 경우가 많다. 따라서 주로 필터나 마스크의 겉면과 안쪽 면(내피 및 외피)으로 사용되며, 물리적인 보호막 역할을 수행한다. 이렇게 조합한 구조를 SMS (spunbond/melt-blown/spunbond) 라고 하며, 외피 SB가 기계적 강도와 내구성을 제공하고, 내부 MB는 높은 밀도와 미세 섬유로 미세먼지를 포집한다(Yahya and Kolos, 2022). 마스크 및 필터의 전체 성능은 MB 부직포의 물성에 의해 결정되며 SB 부직포는 MB 부직포를 보호하는 역할을 수행한다. 따라서, 고성능 필터를 개발하기 위해서는 부직포의 물성을 최적화하는 것이 가장 중요하다.

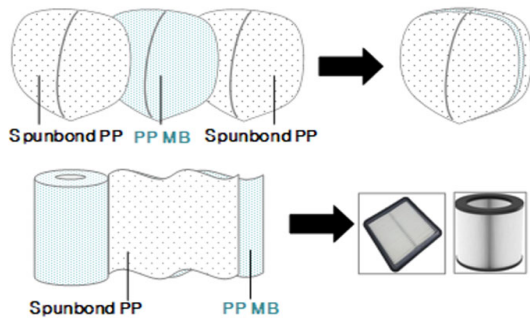


Fig. 1. Internal structures of mask (top) and filter (bottom).

PLA는 재생 가능한 자원에서 유래하여 석유화학 기반의 플라스틱에 비해 이산화탄소 발생량이 적고 생분해가 가능해, 석유 기반 플라스틱의 대안으로 주목받고 있다. 이에 따라 국내외에서도 PLA 부직포에 대한 연구와 적용이 활발히 진행되고 있다(Yu, et al., 2015). 일반적으로 사용되는 비분해성 PP MB 부직포 원단과는 다르게 PLA MB 부직포는 원료가 재생가능하고 생분해 특성이 있어 환경 친화적이다. 따라서 본 연구의 목적은 PLA 부직포와 기존 PP 기반 부직포를 다층 구조로 결합하여, 여과효율과 차압 성능을 비교하고 적용가능 조합을 도출하는 데 있다. 이를 통해 부분적 친환경성과 성능을 동시에 만족시키는 필터 구조를 연구하고 저한다. 특히, PLA 원단이 갖는 구조적 특성과 이를 보완하기 위한 다층 조합의 영향을 분석함으로써 PLA의 적용가능성을 분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험재료

본 연구에서는 친환경성 원단인 PLA 부직포 원단(씨엔투스, Korea)을 베이스로, 다양한 원단을 조합하여 성능을 분석하였다. 사용된 PLA 원단은 KS M ISO 14855-1 생분해성 평가 기준에 따라 6개월 이내에 90% 이상의 생분해도를 나타내는 L type의 PLA를 사용하였다. PP MB 부직포 원단 2종류와 SB 부직포 원단을 함께 사용하였다. PP 원단은 H13 등급(여과효율, filtration efficiency: 99.95%, PP99)과 E11 등급(여과효율: 95%, PP95)의 2종류를 사용하였다. 먼저, 각 원단의 개별 성능을 분석한 후, 조합된 구조의 성능을 분석하였다. 본 연구에 사용된 부직포는 Polytech사(China)의 제품을 사용하였다.

2.2. 특성분석

에어 필터의 성능을 판단하는 가장 중요한 인자인 원단 입자 투과에 따른 여과효율(%)과 차압(Pa) 성능을 파악하기 위하여 유럽의 의료용 마스크 표준인 EN 14683에 따라 Automated Filter Tester (TSI 8130, TSI Inc., USA)을 이용하여 유량(flow rate)은 32 L/min으로 설정하여 측정하였다. 측정 단면적은 100.25 cm²이고 면속도는 5.3 cm/s 였다. 측정은 에어로졸의 분진 입자인 오일입자(평균 입경 : 0.33 μ m) 또는 NaCl 입자(평균 입경 : 0.26 μ m)를 상층부에서 하층부로 흘려보내 필터 통과 전, 후의 에어로졸 입자 수를 측정하여 포집 능력과 차압을 평가하였다. Paraffin oil 은 유성(기름성)입자로, 산업용 필터 혹은 ultra low penetration air필터(0.1 μ m 이상의 미립자를 99.9995% 이상 제거하는 초고성능 공기 필터)의 성능을 평가할 때 사용하고, NaCl은 수용성 입자로, 미세면지 필터 평가에 사용된다.

통기도(공기투과도) 시험은 원단의 일정 면적에 수직으로 공기를 통과시켜 일정 시간 동안 일정 면적에 대하여 투과된 공기량과 공기 흐름 속도를 측정하는 방법이다. 실험 장비는 FX-3000 (TEXTTEST Instruments, Switzerland)를 사용하였으며, 시험 면적은 38 cm², 시험 압력은 125 Pa이며 측정 단위는 cm³/cm²/s이다. 측정 위치를 달리하여 10회 측정하여 평균값을 나타내었다. 주사전자현미경(scanning electron microscope, SEM), (FE-SEM, JSM-7800F, JEOL Ltd., Japan)은 부직포의 형태학을 분석하기 위해 사용되었다.

여과 필터 및 부직포 소재의 성능을 평가하는 중요한 요소 중 하나는 기공 크기와 분포이다. 기공 크기는 필터의 여과효율, 공기 및 유체의 투과성, 오염물질 제거 성능 등에 직접적인 영향을 미친다. PMI capillary flow porometer (Porous Materials Inc., USA)를 이용하여 부직포 및 필터 소재의 기공 구조를 분석하여 기공 크기 및 분포가 필터 성능에 미치는 영향을 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 부직포의 특성분석

마스크, 필터 등에 사용되는 부직포의 성능은 주로 여과효율과 차압이 중요한 판단 기준으로 이용된다. 여과효율은 공기나 액체가 부직포를 통과할 때 불순물이

나 입자가 얼마나 효과적으로 차단되는지를 나타내는 지표이며, 차압은 유체가 필터를 통과할 때 발생하는 압력 강하를 의미한다. 이 두 요소는 서로 밀접하게 연관되어 있으며, 부직포의 구조나 제조 조건에 따라 상호 영향을 미친다.

MB 형태로 부직포를 제조할 때, 방사 조건, 공정 조건, 첨가제 부가 등 다양한 방법으로 성능을 조절할 수 있다. 또한, 각 원단의 조합을 달리하여도 여과효율과 차압을 개선할 수 있다. 예를 들어, 원단의 두께나 미세 구조를 변경하거나, 여러 층을 겹쳐서 사용할 경우, 여과효율은 향상될 수 있는데 여과면적이 넓어지고, 더 많은 입자가 걸러지기 때문이다. 그러나 이러한 구조 변화는 차압을 증가시킬 수 있는 단점도 있다. 부직포의 두께가 증가하거나 여러 층으로 구성될 경우, 유체가 필터를 통과할 때 더 많은 저항을 받게 되어 차압이 상승한다(Pais et al., 2021). 차압이 너무 높으면, 마스크를 착용한 사람이 호흡하기 어려워지거나, 필터가 사용하는 시스템에서 에너지 소비가 증가하고 소음이 유발될 수 있다. 따라서, 여과효율을 높이면서 차압을 최소화하는 균형을 맞추는 것이 중요하다. 이를 위해서는 원단의 구조나 다층 구조의 최적화를 통해 여과 성능을 극대화하면서도 차압을 낮게 유지할 수 있는 설계가 필요하다.

PLA MB, PP MB, 및 PP SB 원단의 원사 직경을 분석하기 위해 전자주사현미경으로 측정된 각 샘플의 이미지(Fig. 2)에서 100 군데 이상을 측정하여 평균 결과를 산출하였다. PLA의 경우, 측정된 평균 직경은 $2.02 \mu\text{m}$ (최대 $7.98 \mu\text{m}$, 최소 $0.28 \mu\text{m}$)로 나타났고 PP99 MB 부직포는 평균 직경은 $2.41 \mu\text{m}$, 최대 직경은 $13.73 \mu\text{m}$, 최소 직경은 $0.58 \mu\text{m}$ 으로 PLA보다 약간 큰 직경을 가졌으나 여전히 미세한 섬유 구조를 보였다. 각 샘플의 이미지에서도 PLA 부직포의 섬유가 PP MB에 비하여 상대적으로 미세하며 섬유 직경의 분포가 균일함을 보인다. 반면에 SB 원단은 평균 직경이 $38.58 \mu\text{m}$ 로 PLA와 PP에 비해 상당히 크며 원사 간의 큰 기공이 관찰되었다.

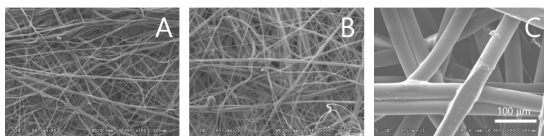


Fig. 2. SEM images of melt-blown PLA (A), PP99 MB (B) and PP SB (C) fabrics.

먼저, PLA MB, PP99 MB, PP95 MB 및 PP SB 부직포 원단의 필터 성능을 분석하였다. 각 원단의 필터 성능 및 물리적 특성 분석(효율, 차압, 공기투과도, 평량, 두께 등)을 통해 부직포 간 특성을 분석하고, 이를 기반으로 다층 구조의 마스크 조합을 설계하였다. 특히, PLA MB 원단은 친환경 소재로서 난분해성인 PP 원단의 사용량을 줄여 궁극적으로는 친환경 소재의 적용 가능성을 연구하였다. PLA MB, PP99 MB, PP95 MB 및 PP SB 원단의 여과효율 및 차압을 측정하였는데 원단별로 5회 측정을 통해 평균값을 도출하였으며 결과를 Table 2에 나타내었다. PP계 MB는 95-99.0%의 여과효율과 9.9-25.3의 차압특성을 보이나 PLA MB 원단은 81.38% 효율과 44.6 Pa의 차압특성을 보이는데, PP계 MB 대비 섬유직경이 작아 상대적으로 높은 차압을 나타내는 것으로 보이거나 낮은 여과효율을 나타내었다. 이러한 낮은 여과효율은 탄화수소로 이루어진 PP계 MB는 무극성이고 소수성인 반면에 에스테르 그룹을 가진 PLA는 상대적으로 극성이며 친수성(hydrophilic)이 높는데, 표면에 정전기를 부여하는 charging 공정에서 전하의 주입능력이 떨어지고 흡수된 수분에 의해 전하가 빠르게 소실된다고 알려져 있다(Tcharkhtchi et al., 2021). 이로 인해 NaCl 에어로졸을 이용한 여과효율 측정에서 정전기적 포집 성능이 감소하고, 결과적으로 PP에 비해 낮은 여과 효율을 나타낸다(Lee et al., 2022). 이러한 특성은 정전기 처리된 PP계 MB 부직포는 세척 후에 여과특성이 현저히 감소하는데 PLA부직포는 세척 후에도 여과특성의 변화가 낮은 것으로 예상할 수 있다.

Table 2. Filtration efficiency and pressure drop characteristics of nonwoven fabrics

Sample	Filtration efficiency (%)	Pressure drop (Pa)
PLA MB	81.3803	44.6
PP99 MB	99.9861	25.3
PP95 MB	95.9880	9.9
PP SB	7.1971	0.8

통기도는 부직포를 통해 공기가 통과하는 정도를 나타내며, 일반적으로 여과효율이 높을수록 공기투과도는 낮아지고 차압은 증가하는 경향을 나타낸다. Table 3의 측정 결과로부터 PLA MB는 평균 $15.5 \text{ cm}^3/\text{cm}^2/\text{s}$,

PP H13 MB는 $26.9 \text{ cm}^3/\text{cm}^2/\text{s}$, PP95 MB는 $67.5 \text{ cm}^3/\text{cm}^2/\text{s}$ 그리고 PP SB의 통기도는 $376.6 \text{ cm}^3/\text{cm}^2/\text{s}$ 로 나타났다. PLA MB는 가장 낮은 공기 투과도를 보이는데, 이는 상대적으로 미세한 섬유 구조와 균일한 기공 분포로 인해 공기 흐름이 제한되었기 때문으로 판단된다. 반면, PP SB는 가장 높은 공기 투과도를 나타내었으며, 이는 섬유가 굵고 기공 크기가 크기 때문이다. PP99 MB는 PLA MB보다 높은 통기도를 보이는데 필터로 적용될 경우, 상대적으로 낮은 차압을 가질 것으로 예상된다. PP95 MB는 PP99 MB보다 통기도가 높아, 더 낮은 차압을 유지할 수 있으나, 기공 크기에 따라 여과 효율이 영향을 받을 수 있다. 이러한 결과를 통해 통기도는 부직포의 섬유 구조 및 기공 크기와 밀접한 관련이 있으며, 이를 고려하여 원하는 여과 성능과 차압을 조절할 수 있음을 나타낸다.

Table 3. Air permeability of nonwoven fabrics

Sample	Air permeability ($\text{cm}^3/\text{cm}^2/\text{s}$)	Weight (g/m^2)	Thickness (mm)
PLA MB	15.5	34.1	0.196
PP99 MB	26.9	39.4	0.310
PP95 MB	67.5	39.3	0.416
PP SB	376.6	46.8	0.230

기공 크기 및 분포를 평가하기 위해 PMI capillary flow porometer를 이용하여 PLA MB, PP H13 MB, PP E11 MB 및 PP SB 원단의 기공 특성을 측정하여 평균 기공 크기(mean pore size) 및 최대 기공 크기(bubble point size)를 분석하였으며, 결과를 Table 4에 나타내었다. PLA MB 원단은 평균 기공 크기 $7.7961 \mu\text{m}$ 과 최대 기공 크기 $16.9971 \mu\text{m}$ 로, 상대적으로 작은 기공 크기를 나타냈다. 이는 PLA MB 원단이 섬유 직경이 미세하고 조밀한 구조를 가짐을 의미하며, 일정 수준의 여과 성능을 확보할 수 있음을 의미한다. PP H13 MB 원단은 평균 기공 크기 $12.3074 \mu\text{m}$ 와 최대 기공 크기 $26.6601 \mu\text{m}$ 로 측정되었으며, 이는 고효율 필터(H13 등급)로서의 역할을 고려했을 때 적절한 기공 크기 분포를 보이는 것으로 판단된다. PP95 MB 원단의 평균 기공 크기 및 최대 기공 크기는 각각 $24.1910 \mu\text{m}$ 와 $54.4836 \mu\text{m}$ 로, PP99 MB 원단보다 더 큰 기공을 가지며 중효율(E11 등급)의 특성을 반영하고 있다. PP SB 원단은 평균 기공 크기 $152.1890 \mu\text{m}$

와 최대 기공 크기 $1581.1909 \mu\text{m}$ 로, 매우 큰 기공 크기를 나타내며 여과보다는 여과층의 지지층으로 적합하다.

Table 4. PMI (Capillary flow porometer) results

	Mean pore size (μm)	Bubble point size (μm)
PLA MB	7.7961	16.9971
PP99 MB	12.3074	26.6610
PP95 MB	24.1910	54.4836
PP SB	152.1890	1581.1909

3.2. 부직포 구성에 따른 필터 성능 분석

본 연구에서 사용된 다양한 섬유 원단의 조합을 통해 친환경 소재의 원단 적용 가능성을 확인하고자 총 4가지 조합으로 필터 샘플들을 제작하였다(Table 5). 먼저 대조군으로 PP MB계를 이용하여 R1(SB/PP99/SB)과 R2(SB/PP95/PP95/SB)를 제작하여 특성을 비교 확인하였다. R1은 PLA MB가 포함되지 않고 PP99와 SB의 3중층으로 구성된 표준 시편으로 평균 여과효율은 98.85%이고 차압은 63.0 Pa 이며 통기도는 $13.1 \text{ cm}^3/\text{cm}^2/\text{s}$ 였다. 중량과 두께는 각각 $145.2 \text{ g}/\text{m}^2$ 와 0.75 mm 로 비교적 낮은 수준을 나타내었다. R2(SB/PP95/PP95/SB)는 PP95 MB를 이중 적층한 4중 구조로, 평균 효율은 97.30%, 차압은 60.5 Pa , 통기도는 $14.5 \text{ cm}^3/\text{cm}^2/\text{s}$, 중량은 $152.0 \text{ g}/\text{m}^2$, 두께는 0.78 mm 였다. 비교적 높은 통기성과 안정적인 차압을 나타내었다. PP95 MB의 단일 층은 95% 정도의 여과효율을 보이는 것을 고려하면 2중 층의 구조로 여과 효율이 높아짐을 의미한다.

Table 5. Structures of reference (R) and sample (S) masks

Sample	Structures	Layer
R1	SB / PP99 / SB	3
R2	SB / PP95 / PP95 / SB	4
T1	SB / PLA / SB	3
T2	SB / PLA / PLA / SB	4

T1 (SB/PLA/SB) 구성은 가장 단순한 3중 구조로, SB 사이에 단일 층의 PLA MB로 제작된 샘플로 평균 여과 효율은 80.32%, 평균 차압은 46.1 Pa 및 통기도는

16.1 $\text{cm}^3/\text{cm}^2/\text{s}$ 로 측정되었다. 중량과 두께는 각각 124.2 g/m^2 , 0.57 mm로 가장 낮은 값을 보였다. 효율 면에서는 R1에 비해 다소 낮은 수준이지만, 측정된 차압과 통기성을 바탕으로 호흡 저항이 적은 생활용 마스크나 프리 필터용으로 적용 가능성을 보여준다(Fig. 3). T2 (SB/PLA/PLA/SB)는 PLA층을 이중으로 구성한 형태로, 평균 효율은 95.63%로 향상되었으나 차압은 88.1 Pa로 높아졌고 통기도는 7.9 $\text{cm}^3/\text{cm}^2/\text{s}$ 로 감소하였다. 중량과 두께는 각각 159.4 g/m^2 과 0.80 mm로 증가하였다. 여과효율은 개선되었지만, 상대적으로 높은 차압과 낮은 통기성은 일반 마스크 용도로는 한계가 있어 보인다.

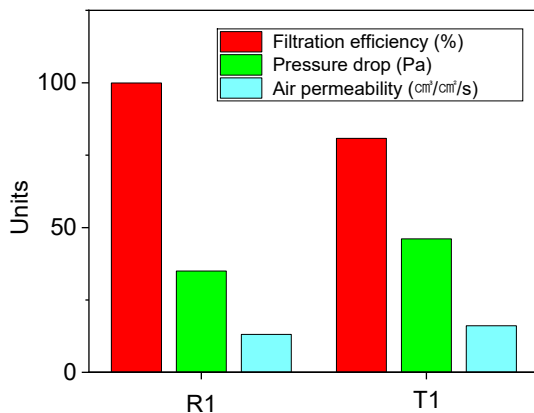


Fig. 3. Properties of R1 and T1 mask samples.

4. 결 론

코로나19 팬데믹을 거치면서 공기 오염 등에 대한 경각심이 고조되고 마스크 착용에 대한 인식이 확대되면서 melt-blown PP 부직포 기반의 일회용 마스크에 대한 수요가 폭발적으로 증가하였고 팬데믹을 극복한 지금도 여전히 공기를 통한 감염 등의 이유로 많은 마스크가 소비되고 있다. 이러한 대량의 폐 마스크는 환경오염을 유발한다. 따라서 본 연구에서는 친환경적이며 생분해성 소재인 PLA 부직포로 대체 가능한지를 연구하였다. PLA MB 단일 층으로 구성된 샘플은 여과효율과 차압이 각각 80.32%와 46.1 Pa를 나타내었고 통기도는 16.1 $\text{cm}^3/\text{cm}^2/\text{s}$ 로 호흡 저항이 적은 KF 80과 같은 생활용 마스크로 적용이 가능한 성능을 보였다. PLA 부직포는 PP 부직포에 비해 기공이 작음에도 여과효율이 떨어지는데 PLA 부직포의 여과효율은 정전

기 처리에 따른 영향이 작아 세척에 의한 필터 성능의 저하를 줄일 수 있음을 의미한다. 그러나 PLA MB 이중 층으로 구성된 샘플은 95%의 높은 여과효율을 보였으나 차압이 높고 통기도가 낮아 마스크 용도로는 적합하지 않았다. 향후 연구에서는 PLA MB 구조에 나노섬유 보강하여 기계적 특성을 향상시키거나 기능성 첨가제를 첨가하여 섬유의 표면 소수성화를 통한 여과효율 증대 및 상대적으로 소수성인 생분해성 고분자의 부직포 특성 등을 비교 연구할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2025학년도 국립부경대학교의 글로벌 공동연구(202506010001)와 부산시 BB21plus 지원을 받아 수행된 연구임.

REFERENCES

- Brown, R. C., 1993, Air filtration: An Integrated approach to the theory and applications of fibrous filters, Pergamon Press, Oxford, 1-8.
- Choe, H. J., 2020, Nanofiber manufacturing technology, Air Clean. Technol., 33, 23-30.
- Drumright, R. E., Gruber, P. R., Henton, D. E., 2000, Polylactic acid technology, Adv. Mater., 12, 1841-1846.
- Fadare, O. O., Okoffo, E. D., 2020, Covid-19 face masks: A Potential source of microplastic fibers in the environment, Sci. Total Environ., 737, 140279.
- Grand View Research, 2024, Biodegradable polymers market size, share & demand report 2035, <https://www.grandviewresearch.com>
- Kim, D., Gavande, V., Lee, W. K., 2025, Surface modification of biodegradable poly (L-lactide) for controlled enzymatic degradation, Biomass Convers. Biorefin., 15, 24601-24608.
- Lee, C. H., 2008, Manufacturing of bicomponent melt-blown nonwovens, Fiber Technology and Industry, 12, 81-87.
- Lee, J., Lee, K., Park, H., Kim, J., 2022, Environmental storage conditions influencing the filtration behavior of electret filters with repeated use, J. Ind. Text., 55, 1-16.
- Pais, V., Mota, C., Bessa, J., Dias, J. G., Cunha, F., Figueiro, R., 2021, Study of the filtration performance of multilayer and multiscale fibrous structures, Materials, 14, 7147.

- Shin, H., Eem, S., An, S., Oh, D., Kang, D. K., 2024, Microbial and enzymes that can regulate plastic degradation, *Polym. Korea*, 48, 345–360.
- Tcharkhtchi, A., Abbasnezhad, N., Seydani, M. Z., Zirak, N., 2021, An Overview of filtration efficiency through the masks: Mechanisms of the aerosols penetration, *Bioact. Mater.*, 6, 106–122.
- Wente, V. A., Boone, E. L., Fluharty, C. D., 1954, Manufacture of superfine organic fibers, NRL Report 4364, Naval Research Laboratory, Washington. D.C.
- Yu, B., Han, J., Sun, H., Zhu, F., Zhang, Q., Kong, J., 2015, The preparation and property of poly (lactic acid)/tourmaline blends and melt-blown nonwoven, *Polym. Compos.*, 36, 264–271.
- Zhang, H., Liu, N., Zeng, Q., Liu, J., Zhang, X., Ge, M., Zhang, W., Li, S., Fu, Y., Zhang, Y., 2020, Design of polypropylene electret melt-blown nonwovens with superior filtration efficiency stability through thermally stimulated charging, *Polymers*, 12, 2341.
-
- MS. student. Hye-min Jun
BB21+, Division of Applied Chemical Engineering,
Pukyong National University
haemin32@gmail.com
 - Doctor's course. Ysacor Mengistu Yimenu
School of Chemical and Bio-Engineering, Addis Ababa
University
ysacor.mengistu@aait.edu.et
 - Professor. Seong-ho Jang
Department of Bioenvironmental Energy, Pusan National
University
jangsh@pusan.ac.kr
 - Professor. Youngeup Jin
BB21+, Division of Applied Chemical Engineering,
Pukyong National University
yjin@pknu.ac.kr
 - Professor. Won-Ki Lee
BB21+, Division of Applied Chemical Engineering,
Pukyong National University
wonki@pknu.ac.kr