

<연구논문>

멜트블로운 부직포의 후가공 공정에 의한 흡음재의 제조와 특성

송인희² · 김진수¹ · 홍영기[†]

²(주)선진인더스트리, ¹건양대학교 컴퓨터학과, 건양대학교 패션디자인산업학과

Manufacture and Characteristics of Sound Absorption Materials by Finishing of Meltblown Nonwovens

In-Hee Song², Jin-Soo Kim¹ and Young-Ki Hong[†]

²Sun Jin, Inc., 496 Sapo-Ri, Yeunsan-Myeon, Nonsan-Si, Chungnam 320-874, Korea

¹Department of Computer Science & Engineering, Konyang University, Nonsan, ChungNam 320-711, Korea
Department of Fashion Design & Apparel Industry, Konyang University, Nonsan, ChungNam 320-711, Korea

(Received: November 30, 2011/Revised: December 14, 2011/Accepted: December 19, 2011)

Abstract— For sound absorption and sound insulation in automobile industry, the sound absorption materials based on meltblown nonwovens were prepared by SMS (spunbond-meltblown-spunbond) technique. And the sound absorption coefficient (α) of the meltblown nonwoven, produced with isotatic-polypropylene(PP), was examined for the various processing conditions such as die-to-collector distance(DCD), nonwoven weight(GSM), and air suction conditions. The meltblown nonwoven for sound absorption materials was composed of bulky microfiber web, increasing with increases in weight and DCD. The sound absorption coefficient(α) was excellent as a sound absorption materials of PAD type composed of SMS(spunbond-meltblown-spunbond) nonwovens.

Keywords: sound absorption materials, meltblown, sound absorption coefficient, spunbond, isotatic-polypropylene

1. 서 론

소음으로 인한 환경오염은 최근 여러 산업분야에서 장차 미래산업에 미칠 영향으로 보아 많은 주목을 받고 있다. 특히 자동차나 항공 산업분야에서는 소음저감을 위하여 다각적인 측면에서 노력을 기울이고 있으며, 그중 새로운 흡음재 적용에 따른 흡음이나 차음에 관한 연구¹⁻³⁾가 활발히 진행되고 있다.

최근에는 고분자 복합체를 이용하여 흡음의 효과를 향상^{4,5)}하거나, 흡음재의 구조를 변경하여 다층형태의 흡음재인 elastic 및 poroelastic과 airspace의 혼합체로써 흡음효과를 극대화하는 연구⁶⁻⁸⁾가 발표되었다. 이러한 흡음재의 고유특성은 특성임피던스와 전파상수에 의해 결정^{9,11)}되며, 새로운 흡음재를 개발하거나 개발된 흡음재의 음향특성을 평가할 때는 흡음재의 특성

임피던스와 전파상수에 대한 정보가 반드시 필요하다. 일반적으로 자동차 및 건축 분야에서 많이 사용되는 흡음재료에는 유리면이나 펠트(felt)와 같은 섬유재료와 폴리우레탄 폼과 같은 발포재료가 있고, 그 중 섬유재료가 50% 이상을 점유하고 있다. 그러나 최근 들어 환경과 안전문제가 사회적으로 강력하게 대두됨에 따라 전통적으로 사용되던 소음저감용 흡음재의 패턴이 상당히 바뀌고 있다. 즉 종래의 대표적 흡음재인 유리섬유는 탁월한 흡음성능을 보유하고 있음에도 불구하고, 인체에 유해한 문제점 때문에 법적으로 사용규제를 받고 있으며, 또한 유리섬유와 대등한 흡음성능을 갖는 폴리우레탄 폼은 화재의 위험성 때문에 적용범위의 제한을 받고 있다. 따라서 이러한 흡음재를 보다 효율적으로 대체하기 위해 최근 극세사 섬유집합체를 응용한 멜트블로운 부직포를 자동차

[†]Corresponding author. Tel.: +82-41-730-5436; Fax.: +82-41-730-5787; e-mail: ymhong@konyang.ac.kr

산업분야의 내장재 및 흡음재에 활용하는 것으로 많은 관심을 보이고 있다. 멜트블로운(meltblown) 부직포는 직경이 10 μ m이하인 미세섬유들이 상호 결합하여 거미줄과 같은 구조형태를 가지는 3차원적 구조의 섬유집합체이다. 일반적으로 열가소성 수지로 섬유를 형성하는 고분자를 수백 또는 수천개의 오리피스(orifice)로 형성된 방사구금을 통해 방사되는 공정으로, 방사노즐로 압출된 고분자는 용융상태에서 방사구금의 양 옆에서 고속으로 분사되는 열풍에 의해 초극세화된 섬유가 수집체에 적층되어 우수한 흡차음 성능을 갖는 자기결합형(self-bonding)부직포를 형성한다. 이와 같이 구조화된 멜트블로운 부직포는 극세화된 섬유집합체가 벌크한 구조로 형성되어 기능적 특성을 갖기 때문에 본 연구에서는 이러한 멜트블로운 부직포를 흡음재 적용재료로 선택하였다.

현재 3M사의 초극세사 특허기술로 만들어진 신슐레이트(Thinsulate™)가 성능이 우수하여 자동차의 흡음재 분야에서 주로 사용되고 있으며, 진동 소음과 타이어 소음, 하체 소음, 상체 소음, 엔진음 소음 등의 외부 소음 감소 및 내부 소음을 방지하며, 극세 섬유를 사용한 가벼운 부직포 재질로 차체 중량이나 연비에 전혀 영향을 주지 않기 때문에 포드·GM·폴크스바겐·토요타·혼다·닛산·피아트·다임러크라이슬러 등 세계 유명 자동차에 사용되고 있다.

본 연구에서는 이러한 연구배경을 바탕으로 비중이 0.91인 폴리프로필렌 흡음재용 멜트블로운 부직포를 공정상의 제조조건에 따라 구조 분석을 하였다. 그리고 이와 같은 조건으로 제조된 흡음재는 잔향실법에 의해 흡음특성을 평가하였고, 또한 현재 상용화되어 사용되고 있는 M사의 흡음재와 흡음특성을 비교평가하여 폴리프로필렌 멜트블로운 부직포의 자동차용 흡음재로 적용 가능성을 검토하기 위해 체계적으로 기초적인 연구를 수행하였다.

2. 실험 및 방법

2.1 재료

실험에 사용된 흡음재 원료로는 멜트블로운 방사용 폴리프로필렌수지에 2,5-Dimethyl-2,5-di-(tert-butylperoxy)-hexane을 사용하여 용융 지수(MFR

: melt flow rate)을 1,500으로 조절한 초고유동성 isotatic 폴리프로필렌 수지를 사용하였다.

2.2 멜트블로운 부직포 제조장치

본 실험에 있어서 실험계획의 최적 조건별 흡음재 제조를 위한 멜트블로운 제조 장치는 현장의 생산 라인에서 가동 중인 멜트블로운 시스템(J&M Labs., USA)을 사용하였다.

2.3 흡음재 제조

Fig. 1은 현장에서 생산되는 부직포 웹 제조 조건을 바탕으로 최적의 흡음재를 생산하기 위해 본 실험의 계획법에 따른 흡음재 제조 시 영향인자와 전반적인 제조 공정을 고려해서 흐름도를 작성하여 나타낸 것이다. 따라서 본 실험에서는 이와 같은 흐름도를 바탕으로 하여 최적의 자동차용 흡음재를 제조하였다.

Table 1은 최적의 흡음재를 얻기 위한 멜트블로운 부직포 제조공정 인자를 바탕으로 작성하여 생산한 멜트블로운 시스템의 조작조건을 나타낸 것이다. 본 실험에서 흡음재 부직포 웹의 중량은 150, 200, 300, 400GSM으로 변화시켰으며, DCD는 25, 45, 65cm로 변화시켰고, 수집체 하부에서 공기흡입은 1.0m³/min로 흡입판을 열어 흡입시키거나 0m³/min로 정지시킨 후 흡입판을 닫아 공기흡입을 차단시켜 웹을 제조하였다. 그리고 이때 기류의 영향으로 웹이 잘

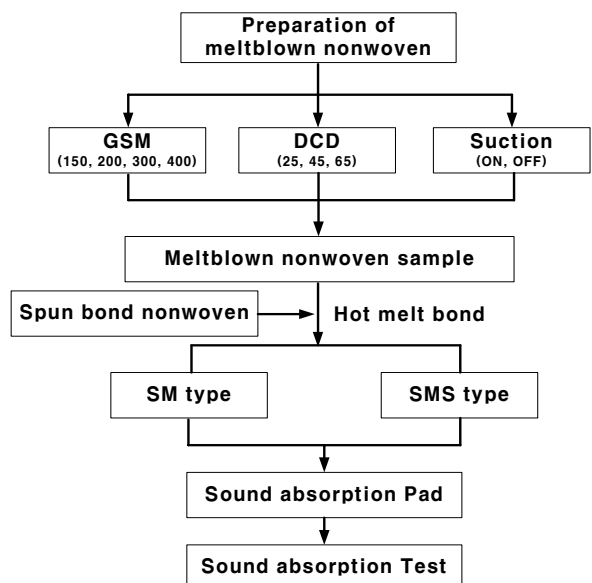


Fig. 1. Flow chart for experiment and preparation of sound absorption materials.

Table 1. Operation conditions selected for meltblown nonwoven process

Operation parameter	Operation condition
Basic weight(g/m ²)	150, 200, 300, 400
Die tip temperature(°C)	230 ~ 265
Air flow rate(m ³ /min)	2.0 ~ 6.0
Amount of production(cc/min/hole)	0.8
Die to collector distance ; DCD(cm)	25, 45, 65
Below wire exhaust ; Suction(m ³ /min)	1.0(open), 0(close)
Accessory air temperature(°C)	Ambient condition

형성되지 않는 것을 방지하기 위해 연신구간에 실온의 공기를 송풍시켜 벌키성을 향상시키고 웹형태를 안정되도록 조건을 설정하였다.

Fig. 2는 흡음재를 연속공정으로 얻기 위해 멜트블로운 부직포 웹 제조공정에 연속시스템을 설계제작하여 연결시킨 제조 공정 완성도를 나타낸 것이다. 이것은 기존의 멜트블로운 공정의 후 가공에서 웹의 형태안정성을 부여하기 위해 스펀본드 부직포를 라미네이팅 시키는 방법으로하여 SMS 흡음재를 제조하였다.

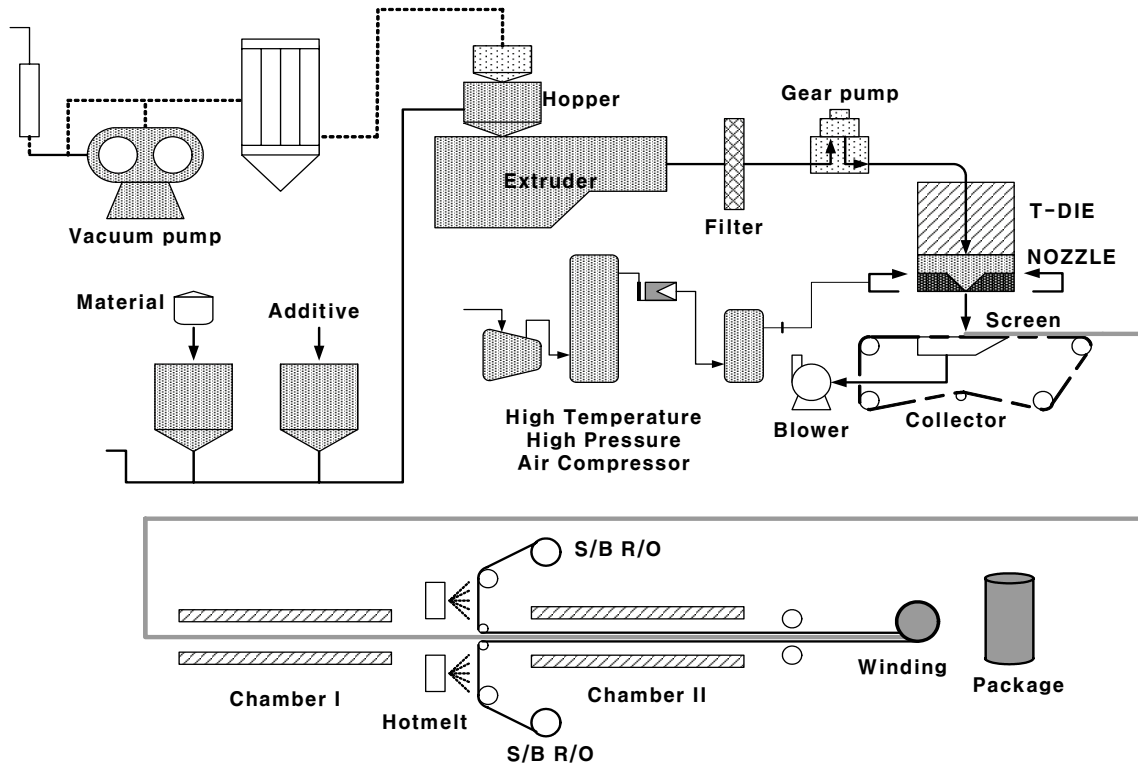


Fig. 2. Manufacturing processes of meltblown system for sound absorption materials.

2.4 흡음특성 평가

흡음재의 흡음률을 측정하기 위해서는 잔향실에서 잔향시간을 측정할 필요가 있다. 잔향실은 벽에서 소리의 반사가 불규칙하게 잘 일어나서 내부에서 확산음장이 형성되는 공간을 말한다. 지금까지의 잔향실은 집을 짓듯이 건설공사를 하여서 비교적 큰 잔향실을 제작하였으므로 가격이 비싸고 이동이 곤란하므로 실용적이지 못하여 별로 호응을 얻지 못하였다. 최근에는 자동차 회사를 중심으로 저렴하고 이동이 편리한 간이잔향실에 의한 소음평가가 이루어지고 있다.

간이잔향실의 단점은 실내공간의 크기가 작아 저주파수에서의 소음평가가 조금은 곤란하다는 것이 단점이기도하다.

그러나 간이잔향실도 400Hz 이상의 소음 평가에는 문제가 없는 것으로 알려져 있고, 일반적으로 200Hz와 같은 낮은 소음평가는 별로 필요로 하지 않는 것이 현실이다. 따라서 Fig. 3은 본 실험에서 제조된 흡음재의 흡음특성 평가를 위해 공인된 시스템으로 설계제작하여 실험에 사용한 잔향실법¹²⁾에 의한 흡음특성 평가 시스템의 상세도를 나타낸 것이다.

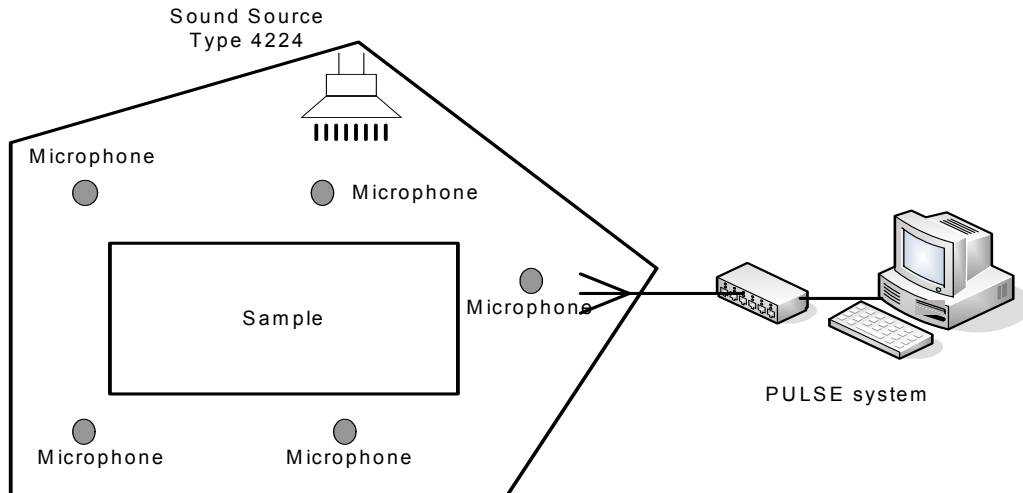


Fig. 3. Schematic diagram of sound absorption evaluation system by reverberation room method¹²⁾.

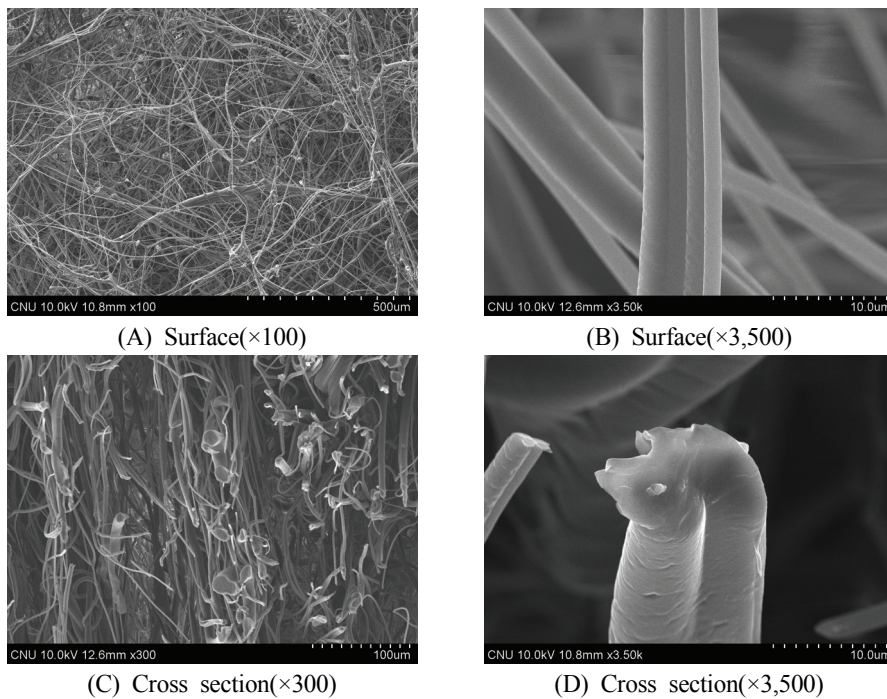


Fig. 4. SEM microphotographs of meltblown nonwoven for sound absorption materials.

3. 결과 및 고찰

3.1 멜트블로운 흡음재의 구조

본 연구의 자동차용 흡음재 제조를 위한 멜트블로운 부직포 제조장치는 수직방사형으로 최신 Melt-Blown System(JM Labs., USA)을 사용하였고, 자동차용 흡음재의 최적 운전조건으로 멜트블로운 부직포 웹을 제조하였다. 이와 같이 극세섬유로 구조화된 자동차용 흡음재 부직포 형상 전자현미경 사진을 Fig. 4에 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 부직포는 일정한

공극을 가지면서 극세섬유 간 자기접착으로 형성된 벌크성 웹상태의 구조를 확인할 수 있었다. 따라서 이와 같은 벌크성 웹상태의 구조는 멜트블로운 방사조건에 따라 여러 형태의 구조와 물성이 가능하므로¹³⁾ 후 가공 공정을 통해 다양한 용도전개가 가능할 것으로 판단된다.

3.2 부직포 웹의 흡음특성 평가

Fig. 5는 일정한 DCD 65cm에서 중량변화에 따른 흡음재의 흡음특성을 나타낸 것으로 150GSM, 200GSM, 300GSM, 400GSM으로 중량이 증가할

수록 흡음특성이 향상되는 것이 확인되었다. 이것은 같은 DCD의 조건에서 극세화된 부직포의 웹의 중량이 증가 할수록 벌크한 구조를 갖게 됨으로써 흡음특성이 향상되는 것으로 멜트블로운 부직포 흡음재의 일반적인 경향임을 알 수 있다.

Fig. 6은 멜트블로운 시스템의 공정조건으로 DCD가 흡음특성에 미치는 영향에 대하여 알아보기 위한 실험으로, 중량 200GSM 부직포 웹을 25, 45, 65cm의 DCD 조건으로 변화시켜 흡음재를 제조하여 평가한 결과를 나타낸 것이다. 이때 수집체 하부에서의 공기흡입(suction)은 일정한 상태였고, DCD는 변화를 갖게 되었는데 DCD가 증가할수록 부직포 웹의 두께가 더 두꺼워지는 경향을 확인할 수 있었다. 이는 DCD를 증가시킬수록 웹 내부 기공의 함량이 증가¹⁴⁾되어 벌키한 구조의 웹이 형성된다고 생각한다. Fig. 6으로부터 DCD를 증가시킬수록 우수한 흡음특성을 갖게 됨을 확인할 수 있었다. 한편, 본 연구의 수직방사형 생산라인 제조 조건상의 한계로 DCD를 65cm이상 늘리지 못하였으나, 수평방사로 하여 DCD를 늘린다면 어느 한계치까지는 더 벌크한 구조가 되어 더욱 향상된 흡음특성을 나타내리라 예상할 수 있었다. 그러나 제조 공정상 DCD는 65cm로 하여 흡음재를 제조하였다.

Fig. 7은 수집체에 가해지는 공기흡입(suction)이 부직포 흡음재의 흡음특성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 실험한 결과이다. 제조공정상의 최적조건으로 흡음특성을 향상시키기 위해서 벌키한 구조를 가지면서 두께를 증가시키는 방법으로 수집체 하부의 공기흡입을 가동하지 않고 제조조건을 설정하였다. 또한 자기접착에 의한 결합력이 약해져 웹의 형성이 어려워지는 현상을 막기 위해서 연신구간에 악세서리 에어로 실온의 공기를 불어주는 방법¹⁵⁾으로 최적의 제조조건을 설정하였다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 주어진 실험의 주파수 범위에서 공기흡입장치가 닫혀있을 때 흡음특성이 우수함을 알 수 있었다. 이것은 또한 흡음재 부직포 웹의 형성에 공기흡입의 조작도 웹의 두께를 증가시켜¹⁶⁾ 흡음특성에 주요한 인자로 영향을 준다는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 8은 최적조건으로 제조된 200GSM의 흡음재의 흡음특성을 나타낸 것이다. 여기서 DCD

는 65cm, 수집체의 공기흡입은 잠그고, 연신구간에는 실온의 악세서리 에어를 불어주며 제조된 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 멜트블로운 부직포 흡음재의 400-10,000Hz 주파수별 흡음특성을 나타낸 것으로 저주파수대에 비해 고주파수대에서 우수한 흡음특성을 보이고 있다.

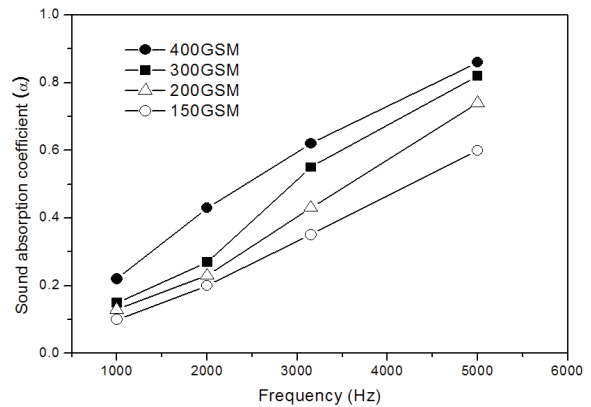


Fig. 5. Comparison of sound absorption coefficient with different GSM(DCD 65cm).

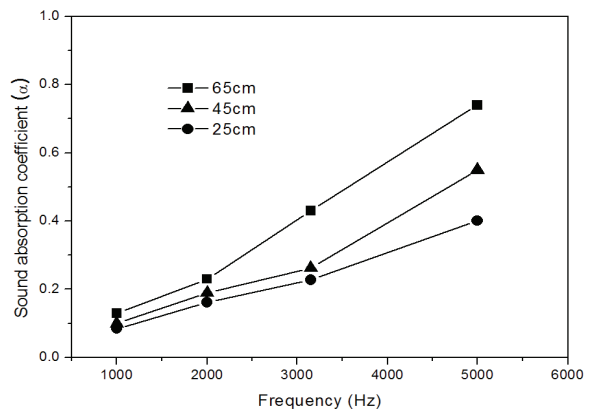


Fig. 6. Comparison of sound absorption coefficient with different DCD(200GSM, suction open).

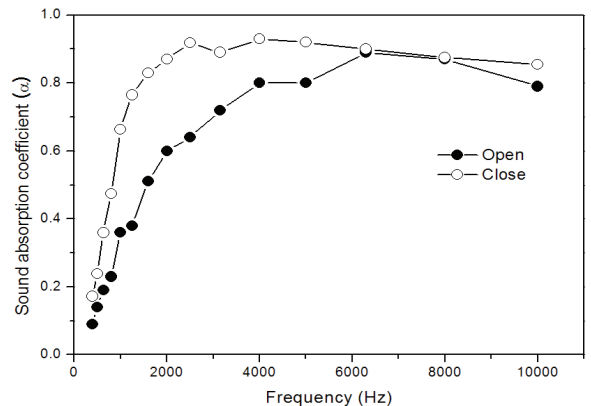


Fig. 7. Comparison of sound absorption coefficient with different air suction.

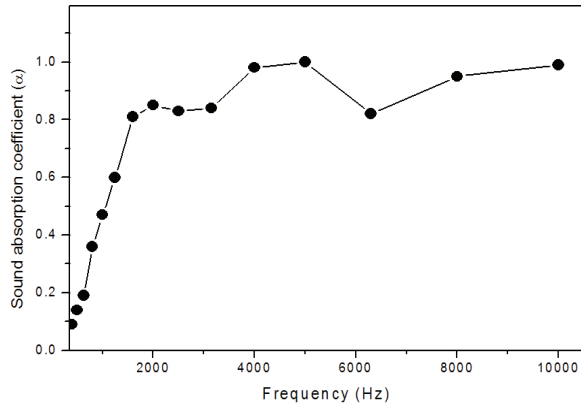


Fig. 8. Sound absorption coefficient of meltblown non-woven manufactured by the selected conditions.

특히 주파수대 범위 2,000Hz이상에서부터 높은 흡음특성을 나타내고 있는데 이는 멜트블로운 부직포의 섬유극세화와 벌크구조가 고효율의 흡음특성에 기인한 것으로 멜트블로운 부직포를 이용한 흡음재는 고주파수대 범위의 흡음특성에 보다 효과적이고 효율적^{17,18)}이라는 것을 확인할 수 있었다.

3.3 흡음재 PAD의 특성 평가

자동차용 흡음재가 최종목적으로 사용되는 형태로는 PAD형으로 본 연구에서는 스펀본드 멜트블로운 스펀본드의 SMS형 PAD를 제조하여 특성평가를 측정하였다. 실험은 국내 S사의 자동차 흡음재 PAD시험용 스펙인 MS341-17(C-1 Type)으로 규정하여 특성 평가하였다.

시험의 표준상태는 온도 23±2℃, 상대습도 50±5%에서 실시하였으며, 시험편은 적어도 24시간 이상 표준상태로 유지한 후 시험에 사용하여 측정 하였다. 시험편의 두께는 일정하였으며, 중량은 300×300mm의 샘플을 임의의 위치에서 3매 취하여 중량 측정 후 1m²의 중량을 평균치로 나타낸 것이다.

Table 2는 본 연구에서 사용한 자동차용 흡음재 PAD의 물성시험 및 흡음특성 시험결과를 나타낸 것으로 자동차용 흡음재의 기술표준 요구규격에 만족할 만한 결과를 확인할 수 있었다.

한편, 주파수 영역 1,000Hz에서 5,000Hz범위의 흡음특성 평가치는 표에서 알 수 있는 바와 같이 요구규격에 따른 결과 치 모두 높은 값을 얻을 수 있었다. 이는 앞서서도 언급했듯이 극세사 멜트블로운 부직포 웹의 흡음특성이 크게 기여하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 9는 벌키한 구조의 흡음재를 얻기 위해 최적조건으로 제조된 멜트블로운 부직포 웹에 스펀본드 부직포를 붙여 패드형태로 제조된 흡음재의 흡음특성을 나타낸 것이다. 시료는 200GSM 멜트블로운 부직포 웹, 190GSM 멜트블로운 부직포 웹의 양쪽에 17GSM 폴리프로필렌 스펀본드 부직포를 모두 합치 시킨 것과, 190GSM 멜트블로운 부직포 웹의 한쪽에 17GSM의 폴리프로필렌 스펀본드 부직포를 다른 한쪽에 17GSM의 저융점 PET를 합치시킨 것으로 제조하여 평가하였다.

Table 2. Results of physical properties on PAD test for sound absorption materials

Item	Requirements	Results
Thickness (mm)	±10%	6.0
Basic weight (g/m ²)	200 ± 20	215.5
Strength (kgf/cm ²)	≥0.1	L:0.32 W:0.31
Thermal resistance	Strength (kgf/cm ²)	≥0.1
	Shrinkage (%)	≤2
Wet resistance	Strength (kgf/cm ²)	≥0.1
	Shrinkage (%)	≤5
Water absorption (%)	≤10	0
Compressive modulus (%)	Thermal resistance	≥70
	Wet resistance	≥70
Sound absorption coefficient	1,000 Hz	≥0.10
	3,000 Hz	≥0.34
	3,150 Hz	≥0.55
	5,000 Hz	≥0.75
Odor	≥4 grade	4.0
Haze	≤10%	1.4
Burning test	≤80mm/min	SE

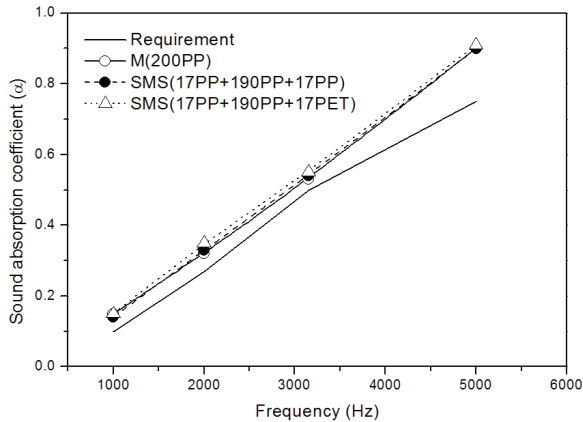


Fig. 9. Sound absorption coefficients of various pads.

주파수영역의 모든 범위에 있어서 모두 자동차 기술표준의 요구 규격에 만족할 만한 흡음 특성을 확인할 수 있었다. 따라서 자동차용 흡음재의 적용가능성으로는 무엇보다도 흡음재 기질의 섬유극세화와 벌키성 향상이 매우 중요함을 알 수 있었다.

Fig. 10은 현재 상업적으로 사용되고 있는 M사의 흡음재와 본 연구에서 개발한 흡음재의 저주파수 영역 400Hz에서부터 고주파수 영역 10,000Hz의 범위에서의 흡음특성 평가를 비교하여 나타낸 것이다. 그림에서 나타낸 것과 같이 자동차 적용을 위한 최종 패드형 흡음재의 우수한 흡음특성 경향과 결과로부터 제품화 활용 가능성 및 국산화 개발에 대한 기초적인 연구를 확립할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 현재 널리 사용되고 있는 자동차용 흡음재를 국산화로 대체하기 위해 현재 상업적으로 사용되고 있는 M사의 흡음재와 유사한 흡음특성을 갖도록 멜트블로운 부직포 웹을 바탕으로 흡음재를 제조하여 각각의 제품에 대하여 비교평가하고, 이러한 흡음재를 최종용도인 자동차 산업분야에 활용 가능하도록 기초적인 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 자동차용 흡음재 폴리프로필렌 멜트블로운 부직포 제조를 위한 최적조건을 설정하여 흡음재를 제조하였으며, 우수한 흡음특성을 갖기 위한 구조 조건으로는 섬유극세화와 부직포 웹의 벌키성으로 전자현미경 사진을 통하여 확인할 수 있었다.

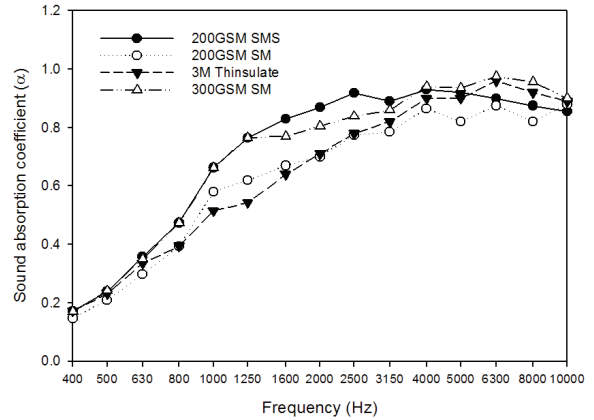


Fig. 10. Sound absorption coefficients of various pads.

제조된 멜트블로운 부직포 웹의 흡음특성은 고중량이고, DCD가 클수록, 그리고 수집체의 공기흡입을 하지 않고 실온의 악세서리 공기를 불어주는 것이 우수한 성능을 나타냈으며, 최종 패드형에서는 SM 타입보다는 SMS 타입이 더욱 우수한 특성을 나타내었다. 자동차용 흡음재의 안정성 평가를 위해 현재 자동차산업 분야의 흡음재 적용 관련 규정항목에 맞추어 각각의 특성에 대하여 평가한 결과 기술표준 요구규격에 모든 항목이 매우 만족한 결과를 얻었다. Pad 실험결과 최적 조건으로 제조된 SMS 흡음재 패드의 흡음특성은 400Hz의 저주파수 영역에서부터 10,000Hz의 고주파수 영역에 이르기까지 현재 상업적으로 이용되고 있는 M사의 흡음재와 유사한 경향의 흡음특성을 확인함으로써 자동차용 흡음재의 적용가능성 및 국산화 개발의 기초적인 연구를 확립할 수 있었다.

참고문헌

1. N. Atalla and P. Raymond, The Effects of Multilayer Sound-absorbing Treatments on the Noise Field Inside a Plate Backed Cavity, *Noise Control Eng. J.*, **44**(5), 235-243(1996).
2. W. E. Zorumski, Aircraft Flyover Noise Prediction, Proc. Noise Con.77, p.205, 1977.
3. J. G. Lee, I. D. Kim, and Y. S. Lee, Effective Application of Insulations and Deadeners Improving the Vehicle Interior Noise, *J. Korea Soc. Automotive Engineers*, **14**(4), 68-78(1992).
4. R. Moulder, "Sound-absorptive Material in Handbook of Acoustical Measurement and Noise

- Control”, ed. by C. M. Harris, McGraw- Hill, N. Y., pp.78-82, 1991.
5. R. F. Gibson, “Principles of Composite Material Mechanics”, McGraw-Hill, N.Y., pp.102-105, 1994.
 6. S. J. Hwang and R. F. Gibson, The Use of Strain Energy-based Finite Element Techniques in the Analysis of Various Aspects of Damping of Composite Materials and Structures, *J. Composite Mat.*, **26**(3), 2585-2605(1992).
 7. S. S. Jung, W. S. Lee, M. J. Jho, and S. J. Suh, A Study on the Sound Absorption Coefficient by Varying Sample Size, *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, **11**(5), 83-88(2001).
 8. D. J. Kang, W. S. Lee, J. W. Lee, J. K. Hong, and Y. H. Jo, Characteristics of Absorption Performance of Sound Absorptive Materials according to Test Conditions, *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, **16**(7), 683-689(2006).
 9. J. F. Allard and Y. Champoux, New Empirical Equations for Sound Propagation in Rigid Frame Fibrous Materials, *J. Acoust. Soc. Am.*, **91**(6), 3346-3353(1992).
 10. J. F. Allard, Y. Champoux, and C. Depollier, Modelization of Layered Sound Absorbing Materials with Transfer Matrices, *J. Acoust. Soc. Am.*, **82**(5), 1792-1796(1987).
 11. C. H. Hwang, S. S. Jung, and H. J. Eun, A New Method for Measuring Characteristic Impedance and Propagation Constant of Sound-absorbing Materials, *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, **7**(5), 781-787(1997).
 12. *ASTM C 423*, Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method.
 13. H. S. Shin, L. Jin, and J. H. Yoo, Effect of Manufacturing Conditions on the Properties of Oil-absorbable Melt Blown Nonwoven, *Textile Coloration and Finishing(J. Korean Soc. Dyers and Finishers)*, **21**(6), 22-28(2009).
 14. R. R. Bresee, U. A. Qureshi, and M. C. Pelham, Influence of Processing Conditons on Melt Blown Web Structure : Part 2 - Primary Airflow Rate, *International Nonwovens Journal*, **14**(2), 11-18(2005).
 15. X. Wang and Q. Ke, Experimental Investigation of Adhesive Meltblown Web Production Using Accessory Air, *Polymer Engineering and Science*, **46**, 1-7(2006).
 16. J. W. Lee, S. N. Lee, J. H. Shim, P. K. Jung, W. K. Lee, and B. J. Bang, The Study on Improvement of Acoustic Performance for Automobile Sound-absorbing Materials Using Hollow Fiber, *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, **21**(9), 850-857(2011).
 17. H. S. Shin, J. H. Yoo, and L. Jin, A Study on Oil Absorption Rate and Oil Absorbency of Melt-blown Nonwoven, *Textile Coloration and Finishing(J. Korean Soc. Dyers and Finishers)*, **22**(3), 257-263(2010).
 18. J. D. Lee, Y. K. Hong, and K. S. Bae, Development of Composite Filter With High Performance Meltblown Non-woven, *Textile Coloration and Finishing(J. Korean Soc. Dyers and Finishers)*, **17**(2), 40-45(2005).