

UV 레이저응용 마이크로 다공성 EPP 기판의 치과용 핸드피스 흡음성능에 관한 기초연구

유동빈¹, 신명호², 변효진², 최도정², 성규원³, 마용원⁴, 신보성^{5*}

¹부산대학교 인지메카트로닉스공학과 학생, ²부산대학교 기계공학부 학생, ³리치 치과 원장, ⁴부산대학교 첨단혁신제조협동과정 학생, ⁵부산대학교 광메카트로닉스 공학과 교수

Fundamental study on sound absorption of a dental hand piece using micro-porous EPP substrate processed by UV laser

Dong-Bin You¹, Myung-Ho Shin², Hyo-Jin Byun², Do-Jung Choi², Kuo-Won Sung³,
Yong-Won Ma⁴, Bo-Sung Shin^{5*}

¹Student, Department of Cogno-mechatronics engineering, Pusan National University

²Student, School of Mechanical Engineering, Pusan National University

³President, REACH dental clinic

⁴Student, Interdisciplinary Department for Advanced Innovative Manufacturing Engineering, Pusan National University

⁵Professor, Department of Optics and Mechatronics Engineering, Pusan National University

요 약 최근에는 환자의 귀에 거슬리는 소음을 발생시키는 치과 용 핸드 피스의 소음을 줄이기 위한 많은 연구가 주목 받고 있습니다. 일반적으로 배기 밸브, 기계 또는 자동차의 공기 펌프 내부에 흡음재를 추가하는 방법이 기계적 소음을 줄이는 최적의 방법으로 널리 보고됩니다. 본 논문에서는 EPP 기판의 미세 다공성 구조를 이용한 새로운 UV 레이저 가공 및 흡음 효율 향상을 위한 치과 용 핸드 피스의 제조 방법을 연구 하였다. 슬라이스 된 EPP 기판의 표면에 UV 레이저 가공으로 다수의 미세 크기 기공이 만들어졌다. 본 실험에서 다양한 휴대용 기계에 적용할 수 있는 우수한 잠재력을 가진 마이크로 다공성 EPP 기판은 치과 용 핸드 피스 내부의 마이크로 머플러의 흡음 구조에 적용되었고 핸드피스의 소음을 측정된 결과 적용전의 핸드피스에 비해 약 4dB의 흡음효과를 나타내었다.

주제어 : 고성능 흡음, 치과용 기구, 마이크로 머플러, 핸드 피스, 발포폴리프로필렌 폼, 소음

Abstract Recently many studies to reduce the noise of dental hand piece which generate inevitably mechanical sound to offend to the ear of a patient have been spotlighted. Generally, methods of adding a sound absorbing material inside the exhaust valve, air pump of machine or automobile are widely reported as optimal way to reduce the mechanical noise. In this paper we studied a new UV laser aided manufacturing of micro-porous structure of EPP substrate and applied dental hand piece to improve the efficiency of sound absorption. A lot of micro-sized pores were fabricated with UV laser processing on the surface of sliced EPP substrate. From fundamental experiments, more high-performance of micro-porous EPP substrate has finally demonstrated for sound-absorbing structure of the micro muffler inside dental hand piece, which actually has the excellent potential to apply a lot of potable machine.

Key Words : High performance sound-absorbing, Dental equipment, Micro muffler, Hand piece, EPP foam, Noise

*This research was partly supported by Institute for Information & communications Technology Promotion(IITP) grant funded by the Korea Government(MSIT) and Korea Institute for Advancement of Technology(KIAT) grant funded by the Korea Government(MOTIE) (N0009999, HRD Program for AI Specialist) and by the Technology Innovation Program (N0002310) funded by the Ministry of Trade, Industry &Energy (MOTIE, Korea).

*Corresponding Author : Bo-Sung Shin(bosung@pusan.ac.kr)

Received March 18, 2019

Revised April 22, 2019

Accepted May 20, 2019

Published May 28, 2019

1. 서론

1.1 서론

최근 들어 우리 주위에서 사용되는 기계제품들의 소음을 줄이고자 하는 많은 연구가 활발하게 진행되고 있다. 기계 제품의 외형 또는 주 소음부의 내부 부분의 형상을 바꿔서 소음을 줄이 방법도 있으나, 대체로 흡음재를 첨가하여 소음을 줄이는 방법이 사용된다. 흡음재의 재료로는 일반적으로 EPS (Expandable Polystyrene) 제품이 가장 널리 사용되었으나 상품의 고급화, 정밀화가 더욱 요구되면서 EPS의 단점인 물리적 취약성을 보완하고자 여러가지 첨가제를 추가하는 연구가 진행중이다[1-3]. 또한 물성이 우수하면서, 공정이 간단하며, 재활용 또한 가능한 무가교 발포체 개발을 진행하여 PP(Polypropylene)와 EPP(Expanded Polypropylene) 제품으로 상용화되었다. EPP는 원료인 폴리프로필렌을 화학적 발포제를 사용하지 않고 물리적(무가교성)으로 발포한 구 형태의 입자를 의미한다[4]. 순수한 PP성분으로만 구성되어 있으며, 밀도는 발포 배율에 따라 다르지만 주로 20 ~ 60 g/l 이다. 또한 EPP 소재는 EPS에 비해 높은 기계적 강도를 가지고 탄성을 및 유연성이 높고 -40 °C에서 130 °C 온도 범위의 넓게 사용되는 장점을 가진다. 그리고 뛰어난 충격 흡수 및 복원력을 가지고 있기 때문에 EPP 소재의 흡음성능을 활용하기 15배에서 45배 등의 다양한 팽창비(expansion ratio)를 가지는 폼(foam)으로 최적의 발포성형 연구들이 진행되고 있다. 이들의 미세 기공 셀(cell)의 형상은 약 95 - 98 %가 닫힌 셀 기공을 가지는 특성이 있다. 이러한 닫힌 기공 형상은 실제로 스팀 চে스트 몰딩(steam-chest moulding) 공정 중에 EPP 비드(bead)간의 접착력을 유지하면서 높은 팽창력을 제공한다. 다양한 팽창 비에 따라 기공 셀의 직경은 약 200 에서 500 μm 정도를 가지며 단위 밀도당 셀의 갯수는 약 105-106 이다. 기공 셀의 밀도, 팽창율, EPP 비드 폼의 크리스탈 특성(crystal characteristics) 등이 성형된 EPP 폼의 기계적 성질에 미치는 영향에 대하여 연구하였다[5,6]. 또한 EPP 폼을 형성하는데 있어서 최적의 공정 변수 등이 실험실 규모에서 연구되었다[7]. EPP는 EPS 와 달리 충격에 대한 저항에서 에너지 흡수율, 단열 및 열 저항 등이 우수할 뿐만 아니라 가볍고 재사용이 가능하고 물, 공기 및 화학용액에 대하여 저항이 우수하기 때문에 자동차 부품, 포장재 및 건축자재로 널리 사용되며 특히 현재 고급 차종의 자동차 범퍼, 엔진커버, 항공부품 및 건축자재 등에 널리 채택되고 있

지만, 여전히 스팀 চে스트 몰딩 공정 등과 같이 폼 비드 소결 공정과 EPP 공정 전반에 대한 연구가 활발하지 않다[8].

특히 Shin B.S.등은 여러 팽창비의 EPP 폼 재질에 따라 소음 흡수효율에 대하여 연구하였다.[9] 또한 355mm UV 파장의 펄스 레이저는 광화학적 어블레이션(photochemical ablation)의 효과가 절대적으로 지배적이며 특히, PP 폴리머 재료의 미세 천공 및 그루브 가공에 매우 적합할 뿐만 아니라, Fig. 1에서 보는 바와 같이 팽창비가 높을수록 EPP 폼 내부의 미세구멍의 셀 크기가 커지면서, 내부 폼의 기공(pore) 두께가 얇아진다는 것을 밝혔다[10-13].

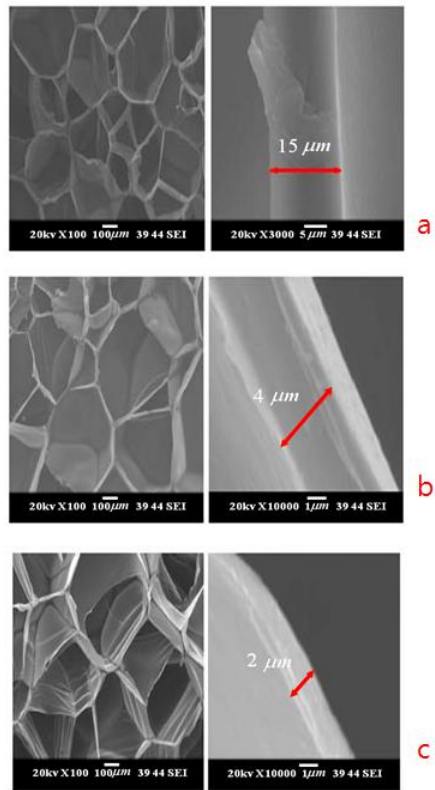


Fig. 1. SEM photographs of EPP beads with different expansion ratio (a : X 15, b : X 30, c : X 45)

또한 Fig. 2에서 보이는 바와 같이 HF(High Frequency) 주파수 영역, 즉, 800 Hz 에서 6,300 Hz 에서 팽창비 15배에서는 소음 흡수효율이 크게 변하지 않았고, 45배 팽창비에서는 주파수가 증가함에 따라 흡수효율도 증가하였으나 6,000 Hz이상에서는 일정한 수치를 수렴한다는 연구결과를 발표하였다[9].

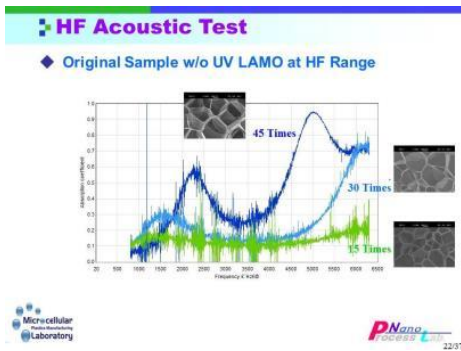


Fig. 2. Frequency response of PP samples of at HF Range

Fig. 3은 치과용 핸드 피스의 구조를 보여준다. 그림에서 보는 바와 같이 압축공기가 흡입되어 모터를 고속 회전시킨 후, 손잡이 내부 벤트(vent) 공간을 통해 밖으로 빠져나간다. 이때 고압의 공기는 심한 소음을 발생하는 주요 원인을 제공한다. 이러한 예는 자동차에서도 쉽게 이해할 수 있다. 즉, 자동차의 엔진을 통과한 압축공기는 심한 소음원인이 되지만, 배기구에 머플러(muffler)를 장착함으로써 소음을 줄이는 것과 같은 원리를 본 연구에서 적용할 수 있다. 따라서 치과용 핸드 피스의 배기구에 마이크로 머플러(micro muffler)라고 이름 붙인 흡음장치를 부착함으로써 치과환자와 치기공사의 소음으로 인한 고통을 줄여줄 뿐만 아니라, 심리적 안정을 도모하는 치료환경 개선을 도모할 수 있다. 고소음 근무환경에서의 소음감소 필요성에 대한 연구는 과거부터 최근까지 지속적으로 관심을 받아왔다[14-16]. 본 논문에서는 치과 핸드피스로 발생하는 소음을 경감시키고자 하였다. 치과 핸드 피스는 압축공기로 작동하는 기계식과 전기식 구동방식으로 구분된다. 전기식 핸드 피스의 경우에는 소음이 적어 쾌적하다고 알려져 있으나, 한가지 단점은 장치가 무겁고 가격이 비싸게 되어 실제로 장시간 치료 업무를 담당하는 치과의사의 입장에서는 거의 사용하지 않고 기피하는 게 현실이다. 아주 민감한 환자의 치아를 치료하는 손 공구로서는 기계식 핸드 피스가 조작이 쉽고 가볍기 때문에 의사들이 선호하기 때문에 이에 대한 기계 소음을 줄이는 적극적인 방법으로 마이크로 머플러를 장착하는 연구가 필요하다고 할 수 있다.

현재까지 조사한 바에 의하면, 흡음 및 방음에 관한 연구가 활발하게 있음에도 불구하고[17], 치과용 핸드 피스(hand piece), 휴대용 공구(portable tools) 및 소형 기계에 대한 소음 저감 성능에 대한 연구는 거의 없으며, 마이크

로 다공 구조의 흡음기관 제작 및 적용에 관한 연구는 찾기가 거의 힘들었다. 따라서 본 논문에서는 기존의 흡음재 EPP 폼을 UV 레이저 기반의 미세천공 가공하여 소음 흡수 효율을 더욱 높이는 연구를 수행한다. 그렇게 하기 위해서는 아주 좁은 공간 내에 설치 가능한 얇은 기관 형태를 가진 튜브(tube)식 마이크로 머플러 구조가 요구된다. 따라서 얇게 절단된 EPP 기관에 355 nm UV 펄스 레이저를 이용하여 마이크로 크기의 마이크로 구멍을 추가한 후, 마이크로 흡음기관(micro sound-absorbing substrate)을 가공하고 이를 이용하여 마이크로 머플러(micro muffler)을 제작하는 방법을 제안하고, 치과용 핸드 피스에 적용시켜 흡음 성능을 실험적으로 측정 후 비교, 분석하고자 한다.

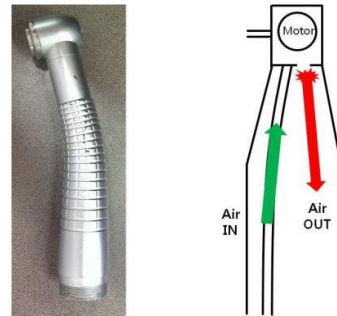


Fig. 3. Schematic of dental hand piece and its operating principle

1.2 마이크로 흡음기관

Fig. 4에서 보는 바와 같이, 얇게 자른 EPP 폼에 고속-미세-천공 가공이 가능한 UV영역대(파장: 200~400nm)의 나노초(nanosec) 첨단 레이저를 사용하여 가공하면, 기존의 EPP 폼의 마이크로 기공(pore)들이 연결되어 마이크로 채널(channel) 이 생성된다. 이를 마이크로 흡음기관이라고 명한다. Fig. 5는 팽창비가 30배인 (a) EPP 폼의 SEM 촬영사진, (b)마이크로 흡음기관의 SEM 촬영사진 결과이다. 발포된 EPP 폼에는 약 200 ~ 400 μm 크기의 기공들만 있고, 마이크로 흡음기관에서는 약 50 μm 직경의 구멍들이 수없이 많이 가공되어 있기 때문에 흡음 효율이 증가하게 된다. 이러한 미세 구조는 주로 채널(channel), 구멍(hole), 열린 셀(open cell) 및 닫힌 셀(closed cell)의 복잡구조를 가진다. 기존의 연구결과를 참조하면 EPP 폼의 팽창비가 15, 30 및 45 배로 증가하는 모든 경우에 대하여 4,000Hz 이상에서는 소음흡수효율이 계속적으로 증가하는 효과를 볼 수 있지만 6,000Hz 이상에서는 급격히 감소하는 경향을 확인할 수 있었다[9].

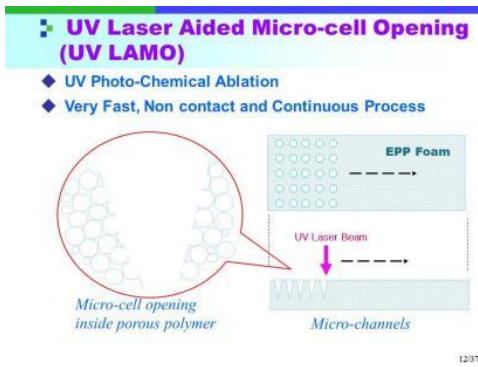


Fig. 4. UV laser aided micro-cell opened EPP Foam

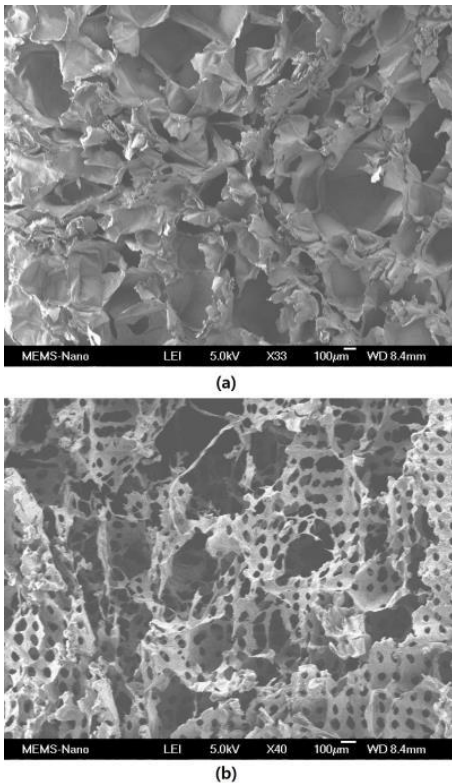


Fig. 5. Comparison of SEM images with (a) original EPP foam and (b) cell-opened EPP foam

2. 실험

본 실험에서는 위에서 언급한 정밀 가공 기술을 치과용 핸드피스에 적용시키기 위해 공기배출구에 고성능 마이크로 흡음기판을 부착하여 소음을 줄이도록 하였다. 고성능 마이크로 흡음기판을 공기 배출구 주위로 감싸는 방법으로는 철사로 고정시키는 방법, 접착제로 붙이는 방법, 테이프

로 붙이는 방법 등의 제조방법이 있으며 본 연구에서는 Fig. 6에서 보는 바와 같이 철사로 외부를 감싸는 방법으로 시작품을 제작하였다. 그림에서 보는 바와 같이 시제작된 형상은 튜브(tube)모양의 머플러와 유사하다. 여기서 머플러는 자동차의 머플러와 유사한 기능을 하나 형태가 이주작기 때문에 마이크로 머플러(micro muffler)라 이름을 명하였다. 이를 내부에 장착한 핸드 피스에 대한 흡음 실험의 개략도는 Fig. 7과 같다. 기존의 자동차 머플러와 마찬가지로 열린 셀 구조는 곡절(tortuosity) 형태를 수없이 반복하는 구조이기 때문에 이곳을 통과하는 소리의 점성 손실(viscous loss)를 대부분 일어나게 된다. 또한 원래의 EPP 폼 내부에 있는 단힌 구조의 셀은 소리에 대한 구조적 댐핑(structural damping)을 일으켜 흡음효과를 생성한다.



Fig. 6. Micro muffler

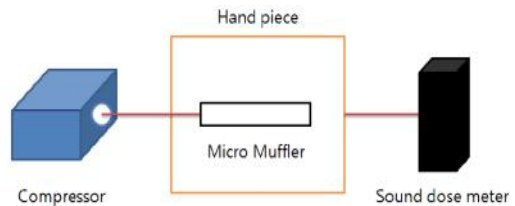


Fig. 7. Sound absorption test for a hand piece with micro muffler

3. 결과

알려진 바에 의하면, 압축공기의 힘을 받아 핸드피스는 주로 충치 치료시 250,000rpm으로 고속 회전하고 드릴의 끝은 초당 4000회 회전한다. 핸드피스의 구조상 주 소음부인 공기배출구가 매우 작은 부분이기 때문에 크기가 작으면서 내부에 마이크로 크기의 홀(hole), 채널(channel), 포어(pore) 등의 형상이 있어 흡음능력이 뛰어난 마이크로 머플러

러를 장착시켜 이에 대한 효과를 측정 비교하였다. 먼저 Table 1 은 마이크로 머플러의 장착 유무에 의한 실험결과를 나타낸 것으로, 일반적인 핸드피스의 겨우 값의 평균값이 65.52dB 가 나왔고, 마이크로 머플러를 장착한 경우의 평균값은 61.53dB가 나왔다. 이는 동일한 환경에서의 10 회의 반복 실험으로 인한 평균값이다. Fig. 8은 그래프를 이용하여 실험결과를 나타낸 것으로 전체적으로 마이크로 머플러를 장착한 경우에 흡음효과가 향상됨을 알 수 있다.

Table 1. Experimental data of sound absorption test

	w/o micro muffler (dB)	w micro muffler (dB)
1	68.1	60
2	65.2	61.7
3	64	63.1
4	66.5	64
5	67.8	60.2
6	64.2	60
7	63.8	61.2
8	65.3	60
9	66.1	62
10	64.2	63.1

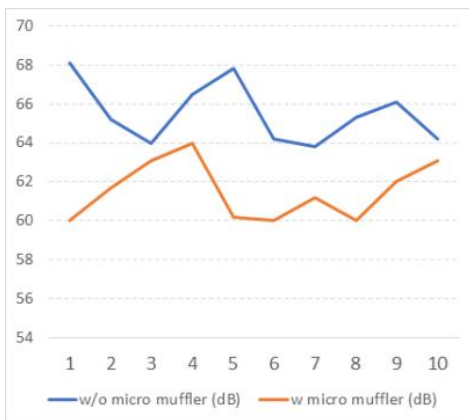


Fig. 8. Comparison graph of experimental data

4. 결론

본 논문에서는 355 mm UV 파장의 나노초 펄스 레이저 통해 미세 레이저 천공가공하여 흡음 성능이 뛰어난 고성능 마이크로 흡음기판을 제작하였다. 또한 이를 이용하여 무게가 가벼운 여러가지 휴대용 공구나 기계내부에 적용시킬 수 있게 얇은 기판 형태가 기존의 EPP 기판보다 흡음효과가 향상됨을 실험적으로 증명하였다. 또한 제안된 마이크로 머플러를 실제로 사용하는 치과용 핸드피스에 장착시켜 실험적으로 흡음효과를 규명한 결과 평균적으로 약 3.99dB 정도 감소하였고 이는 환자뿐만 아니라 소음에 만성적으로 노출되는 치과기공사의 스트레스를 낮추는데도 도움이 될 것으로 보인다. 5dB의 소음감소가 고혈압 환자 1.4%의 감소를 나타낸다는 고혈압과 소음의 연관성을 보고한 연구가 있다[14]. 또한 치과위생사를 대상으로 소음에 대한 반응을 조사한 연구[15]에 따르면 치과병원에서 60dB부터의 소음은 인체 건강을 유지하는데 악영향을 주며, 65dB부터는 집중력저하와 청력장애가 발생할 수 있다고 하였다. 이러한 연구결과들과 비교하였을 때 핸드피스에 마이크로 머플러를 장착함으로써 약 4dB의 소음을 감소시킨 결과는 유의미한 소음 경감을 의미한다고 판단된다. 향후 이러한 연구결과를 바탕으로 더욱 개량된 치과용 핸드피스 이외에도 스마트 휴대용 공구의 기계내부 등에 제품화가 가능하도록 추가 연구를 진행할 예정이다.

REFERENCES

[1] P. Gle, E. Gourdon & L. Arnaud. (2011). Acoustical properties of materials made of vegetable particles with several scales of porosity. *Appl. Acoust.* 72, 249–259.
DOI : 10.1016/j.apacoust.2010.11.003

[2] F. Asdrubali, S. Schiavoni & K. V. Horoshenkov. (2012). A review of sustainable materials for acoustic applications. *Build. Acoust.* 19(4), 283–312.
DOI : 10.1260/1351-010X.19.4.283

[3] G. Iannace, L. Maffei & P. Trematerra. (2012). On the use of green materials for the acoustic correction of classrooms. In *Proceedings of EURONOISE* (pp. 89–94).
DOI : 10.5755/j01.sace.3.4.4708

[4] G. S. Gil, S. B. Lee, J. G. Jeon, K. H. Cho & Y. H. Jo. (2018). Acquisition the Property of Cushioning Material with the Drop Test and Verification with Finite Element Shock Analysis. *Trans. Korean Soc. Noise Vib. Eng.* 28(5), 526–533.
DOI : 10.5050/KSNVE.2018.28.5.526

[5] J. Schellenberg & M. Wallis. (2010). Dependence of Thermal properties of expandable polystyrene particle foam on cell size and density. *J Cell Plast.* 46, 209–22.
DOI : 10.1177/0021955X09350803

[6] H. E. Naguib, C. B. Park & N. Reichelt. (2004). Fundamental foaming mechanisms governing the

volume expansion of extruded polypropylene foams. *Journal of applied polymer science*, 91(4), 2661-2668. DOI : 10.1002/app.13448

[7] Y. Guo, N. Hossieny, R. K. M. Chu, C. B. Park & N. Zhou. (2013). Critical processing parameters for foamed bead manufacturing in a lab-scale autoclave system. *Chemical engineering journal*, 214, 180-188. DOI : 10.1016/j.cej.2012.10.043

[8] D. Rapsa, N. Hossieny, C. B. Park & V. Altstädt. (2015). Past and present developments in polymer bead foams and bead foaming technology. *Polymer*, 56, 5-19. DOI : 10.1016/j.polymer.2014.10.078

[9] D. W. Jung, J. H. Jeong, C. B. Park & B. S. Shin. (2013). UV Laser Aided Micro-Cell Opening of EPP Foam for Improvement of Sound Absorption. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 14(7), 1127-1131. DOI : 10.1007/s12541-013-0153-4

[10] D. W. Jung, E. K Lee & C. B. Park. (2011). Study on properties of EPP bead foam. *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A*, 35(9), 991-997. DOI : 10.3795/KSME-A.2011.35.9.991

[11] J. Y. Oh & B. S. Shin. (2007). Photothermal and Photochemical Investigation on Laser Ablation of the Polyimide by 355 nm UV Laser Processing. *Journal of the Korean Society for precision Engineering*, 24(4), 147-152. DOI : 10.1016/j.microrel.2006.01.013

[12] J. Y. Oh & B. S. Shin. (2007). A Study on Laser Ablation of Copper Thin Foil by 355 nm UV Laser Processing. *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, 24(2), 134-139. DOI : 10.7735/ksmte.2012.21.5.773

[13] J. Y. Oh, B. S. Shin, J. H. Lee, S. H. Park, & C. B. Park. (2012). A Fundamental Study on UV Laser Micro Machining of Micro Porous Polymeric Foams using Laser. *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, 29(5), 572-577. DOI : 10.7735/ksmte.2012.21.5.773

[14] J. M. Yon, J. H. Lee, D. H. Kim & O. K. Lee. (2016). Influence of stress and pure tone audiometry on noise-exposed dental laboratory technicians by dental instrument. *Journal of Digital Convergence*, 14(4), 363-370. DOI : 10.14400/JDC.2016.14.4.363

[15] M. S. Choi & D. H. Ji. (2009). A Study on the Dental Hygienists' Reactions to Noise When Occurred in

Dental Clinic. *Journal of Dental Hygiene Science*, 9(4), 453-459.

[16] H. L. Jang, A. Y. Jeong & J. S. Kim. (2017). Establishment of Regulatory Standards for Noise in a High-Noise Workshop using Acoustic Psychological Analysis. *J. of the Korean Society for Environmental Technology*, 18(6), 526-534.

[17] J. S. Kim. (2016). The Characteristics of Noise Generated at High Noise Workshop. *J. of Korean Society of Environmental Technology*, 17(4), 362-370.

유 동 빈(Dong Bin You)

[학생회원]



- 2017년 2월 : 조선대학교 메카트로닉스 공학과(이학사)
- 2017년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 인지 메카트로닉스공학과(석사과정)
- 관심분야 : 레이저 가공, 태양 전지, 센서, 표면 개질
- E-Mail : ydbin0707@naver.com

신 명 호(Myoung Ho Shin)

[정회원]



- 2014년 2월 : 부산대학교 기계공학(이학사)
- 관심분야 : 레이저 가공, 표면 개질, 3D 프린팅
- E-Mail : 0808audgh@hanmail.net

변 효 진(Hyo Jin Byun)

[정회원]



- 2014년 2월 : 부산대학교 기계공학(이학사)
- 관심분야 : 레이저 가공, 간섭 리소그래피, 전자 센서
- E-Mail : clover221@hanmail.net

최 도 정(Do Jung Choi)

[정회원]



- 2014년 2월 : 부산대학교 기계공학(이학사)
- 관심분야 : 레이저 가공, 유한요소 해석, 마이크로 가공
- E-Mail : dozidozi@naver.com

성 규 원(Kuo Won Sung)

[정회원]



- 1994년 ~ 현재 : 리치 치과 원장
- 관심분야 : 치기공구, 치과병원, 근무 환경, 소음
- E-Mail : q1sung@hanmail.net

마 용 원(Ma Yong Won)

[정회원]



- 2014년 2월 : 부산대학교 기계공학 (이학사)
- 2016년 2월 : 부산대학교 인지메카트로닉스공학과(공학석사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 첨단 혁신제조협동과정 (박사과정)

- 관심분야 : 레이저 가공, 3D 프린팅, 센서, 나노 가공
- E-Mail : decentsoul@naver.com

신 보 성(Shin Bo Sung)

[정회원]



- 1981년 2월 : 부산대학교 기계공학 (이학사)
- 1985년 2월 : 부산대학교 기계공학(공학 석사)
- 1998년 9월 : KAIST 기계공학과(공학 박사)

- 1987년 4월 ~ 현재 : 서울대학교 수학과 교수
- 1987년 4월 ~ 1990년 7월 : 육군사관학교 교수부 전임강사
- 1990년 8월 ~ 2003년 9월 : 한국기계연구원 책임연구원
- 2003년 10월 ~ 현재 : 부산대학교 교수
- 관심분야 : 레이저 가공, 3D 프린팅, 센서, 나노 가공
- E-Mail : bosung@pusan.ac.kr