

중증환자를 위한 진공 구강 세정기에 대한 유동해석

신현석¹, 김남웅², 김국원^{3*}

¹순환엔지니어링, ²동양미래대학교 기계공학부, ³순천향대학교 기계공학과

Flow Analysis of Vacuum Oral Cleaner Developed for Serious Patient

Hyeon seok Shin¹, Nam Woong Kim², Kug Weon Kim^{3*}

¹Mechanical Design Team, Soonhan Engineering

²School of Mechanical Engineering, Dongyang Mirae University

³Department of Mechanical Engineering, SoonChunHyang University

요약 중환자실에 입원한 환자들의 구강위생은 매우 중요한 문제이다. 중환자들은 기본적으로 면역이 저하된 환자들로 각종 병원성 세균들에 의한 감염의 기회가 높기 때문이다. 구강문제는 감염의 1차 방어선인 구강이 감염의 우선적인 부위로 작용될 뿐 아니라 전신감염을 초래하기도 한다. 본 연구에서는 중증환자의 구강청소를 용이하게 하는 마우스 피스 형태의 새로운 진공 구강 세정기 설계에 관한 연구를 수행하였다. 이중 구조 방식의 세정기와 표준 치아 모델로써 3D CAD 모델링 및 유동해석 모델을 수립하고 압력 및 유동특성을 분석하였다. 세정기 내부의 압력은 거의 일정한 분포를 보였으나, 속력분포의 경우 치아 안쪽과 바깥쪽에서 큰 차이를 보였다. 치아 안쪽에서도 가운데 부분의 속도가 가장 높고 가운데에서 멀어질수록 속력이 감소하는 특성을 보였다. 세정기의 흡입관과 배출관을 바꾸어 해석한 결과 치아 바깥쪽 가운데 부분의 속도가 가장 높게 나타났다. 세정기의 효과를 높이기 위해서 흡입-배출을 교대로 바꾸는 교번식을 제안하고, 어금니 부위의 속력을 높이는 설계 보완이 요구된다.

Abstract The oral hygiene of patients admitted to the ICU (Intensive Care Unit) is very important. Critically ill patients are basically immunocompromised ones because of the high risk of infection by various pathogenic bacteria. The mouth is not only the primary site of infection, but also the site of systemic infections. The purpose of this study was to design a mouthpiece type vacuum oral cleaner for the oral care of seriously ill patients. A 3D CAD modeling and flow analysis model were established for a double structure type cleaner and standard tooth model, and their pressure and flow characteristics were analyzed. The pressure inside the oral cleaner was almost constant, but the velocity distribution showed a large difference between the inside and outside of the teeth. The velocity at the center region inside of the teeth was the highest, and the speed decreased as the distance from the center increased. In the analysis of the case where the suction tube was replaced by the drainage tube, the velocity at the center of the outer portion of the teeth was the highest. In order to increase the effectiveness of the oral cleaner, alternating between suction and drainage is proposed, and a design complement to increase the speed of the molar region is required.

Keywords : Flow analysis, Oral hygiene, Serious patient, Vacuum oral cleaner, Velocity distribution

1. 서론

최근 구강위생 및 구강건강에 대한 관심이 높아지면

서 거동이 불편한 노인 및 장애인의 구강상태 및 실태에 대한 연구[1-2]들이 발표되고 있다. 특히 중환자실에 입원한 환자들의 구강위생은 매우 중요한 문제인데, 중환

본 논문은 순천향대학교 학술연구비 지원을 받았음.

*Corresponding Author : Kug Weon Kim(Soonchunhyang Univ.)

Tel: +82-41-530-1225 email: kimkug1@sch.ac.kr

Received October 12, 2017

Revised November 20, 2017

Accepted January 5, 2018

Published January 31, 2018

자들은 기본적으로 면역이 저하된 환자들로 각종 병원성 세균들에 의한 감염의 기회가 높기 때문이다. 구강문제는 감염의 1차 방어선인 구강이 감염의 우선적인 부위로 작용될 뿐 아니라 전신감염을 초래하기도 한다. 중환자의 경우 구내염이 자주 발생하는데, 이로 인하여 영양과 수분섭취가 부족하게 되어 저항력 저하와 탈진할 가능성이 높아지므로 집중적인 구강치료와 간호가 요구된다.

한편, 구강 세정 장치로는 칫솔이나 치실 외에 고압 치과 주사 구강 세정기(치과 용 워터 제트) 등이 있다. 고압 분사 구강세정기의 치면 세균막 제거 효과에 대해서는 다양한 외국 임상 논문들이 존재하고 있는데 Hugoson[3]의 연구에서 모든 구강위생용품 사용을 중단시키고 고압 분사 구강 세정기의 한 종류인 Waterpik을 유일한 구강 위생 수단으로 제공한 실험 결과 Waterpik을 사용한 실험군에서 모든 구강위생용품 사용을 중단한 대조군에 비해 유의하게 낮은 잇몸출혈(Gingival Exudate), 치은지수(Gingival Index), 플라크지수(Plaque Index)가 관찰되었다. Goyal 등[4]은 고압 분사 구강 세정기의 한 종류인 Waterpik과 음파진동칫솔을 함께 사용한 경우와 음파진동칫솔을 단독으로 사용한 경우를 비교했을 때, Waterpik과 음파진동칫솔을 함께 사용한 군에서 더 효과적인 잇몸출혈, 치은염(Gingivitis), 플라크 감소를 보였다고 보고하였다. Park[5]의 연구에서도 고압 분사 구강 세정기, 음파 진동 칫솔, 수동 칫솔의 치면 세균막 제거효과를 치아별, 악궁별로 상호 간 비교, 평가에서 보면 비슷한 치면 세균막 제거 효과가 있음을 밝히고 있다. 많은 다른 연구[6]에서도 고압 구강세정기가 치실의 효과적인 대용품이 될 수 있음을 보이고 있다. 그러나 고압 분사 구강세정기는 환자 특히 침대에 누워있는 중증환자에게는 다량의 물이 넘칠 수 있어 자칫 기도를 막을 수 있는 위험 때문에 사용하기 힘들다.

본 연구에서는 중환자 혹은 중증 장애인 환자의 구강 청소를 용이하게 하는 마우스피스 형태의 새로운 진공 구강 세정기 설계에 관한 연구를 수행하였으며, 3D CAD 모델링 및 세정기 내부 유동해석을 통하여 세정기 내부의 압력 및 유동특성을 분석하였다. 유동해석을 위해서 유체 해석 전문 프로그램인 Fluent를 이용하였다.

2. 진공 구강 세정기 모델링

본 연구에서 개발하는 중증장애인을 위한 진공 구강

세정기는 Hyun의 특허[7,8]를 바탕으로 다음의 기능을 고려하여 설계되었다.

- 사용자가 거동이 불편함을 고려하여 사용자가 직접 양치를 하지 않아도 양치가 가능해야 하며, 주로 누워있는 상황을 반영함. 따라서 밀폐성과 빠른 물살을 통한 충분한 세정효과 및 기도로 넘어가는 것을 방지하는 것에 중점을 둠

Fig. 1은 본 연구에서 개발하는 진공 구강 세정기의 개념도를 나타낸다. 마우스 피스 형태의 실리콘 재료로 만들어진 세정기는 잇몸에 밀봉되며 치과에서 일반적으로 사용되는 휴대용 흡인기(Portable aspirator)에 연결되어 세정기가 입안에 위치하면 음압에 의해 물이 치아 및 잇몸 주변조직을 세정한 후 배수관을 통해 배출된다. 구강 세정기의 몸체는 이중 구조로 설계하며, 내부 파트(Inner part)는 치아와 잇몸에 세정수가 분사될 수 있도록 다수개의 분사공이 뚫려있는 형태이며, 외부파트(Outer part)는 흡인관과 배출관이 연결되고 제품을 분리하여 세정 및 소독을 할 수 있게 설계되었다.

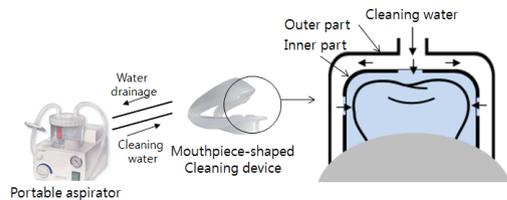


Fig. 1. Schematic diagram of the vacuum oral cleaner

진공 구강 세정기의 3D 모델링을 수행하였다. 이를 위해 3D CAD 프로그램인 SolidWorks를 이용하였다.

Fig. 2는 세정기의 내부파트이며 치아와 잇몸 구석구석에 세정액이 분사될 수 있도록 다수개(치아 내부쪽 10개, 치아 외부쪽 14개)의 구멍이 뚫려있다.



Fig. 2. Modeling of vacuum oral cleaner's inner part: (a) top view; (b) front view

Fig. 3은 세정기의 외부파트이며 흡입관 및 배출관(치아 내부쪽 4개의 흡입관(Suction), 치아 외부쪽 4개의 배출관(Drainage))과 연결된다. Fig. 4는 세정기 내부파트와 외부파트를 조립한 그림이다. Fig. 5는 치과에서 사용하는 표준 치아 모형을 스캔한 치아 모델링 파일이며, Fig. 6은 치아와 세정기를 결합한 모델 및 그 단면을 보이고 있다.

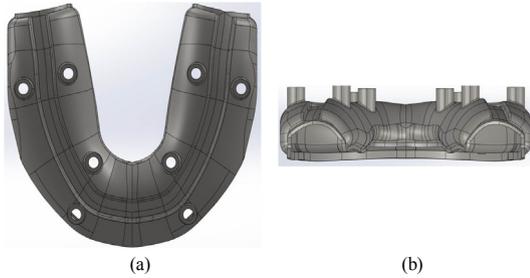


Fig. 3. Modeling of vacuum oral cleaner's outer part: (a) top view; (b) front view

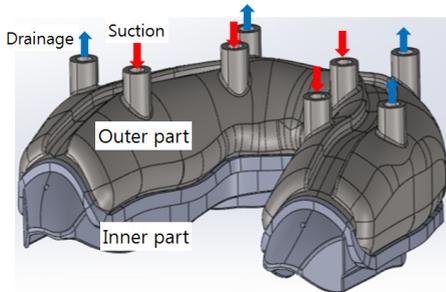


Fig. 4. Modeling of vacuum oral cleaner

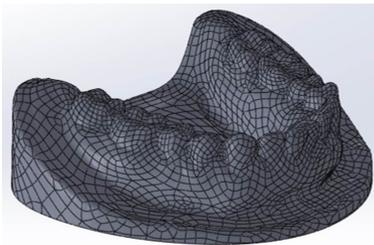


Fig. 5. Modeling of standard teeth scan

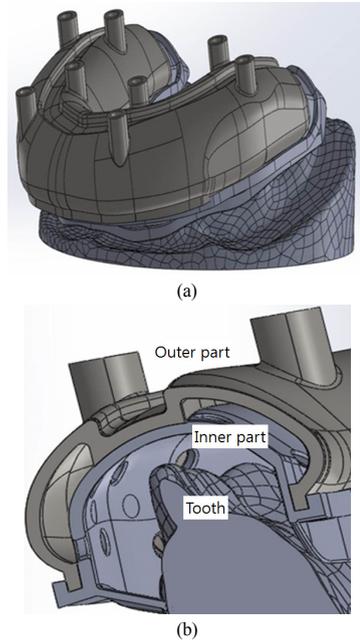


Fig. 6. Assemble model of vacuum oral cleaner and teeth: (a) assemble model; (b) sectional view

3. 수치해석 결과 및 논의

진공 구강 세정기 내부의 유동해석을 수행하기 위해 SolidWorks 프로그램에서 만들어진 CAD 데이터는 Fluent로 보내져 Fig. 7과 같은 해석영역을 구축하였다.

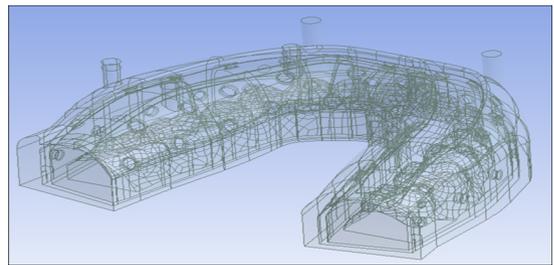


Fig. 7. Flow region of numerical analysis in Fluent program

진공 구강 세정기의 흡입관과 배출관에는 압력 경계 조건이 적용된다. 흡입관에는 흡인기의 기본 압력인 200mmHg(26,664.48Pa)로, 배출관은 진공으로 설정하였다. 중력이 고려되었고, 유체유동은 난류로 설정하였다. 세정액으로는 물을 사용하였다.

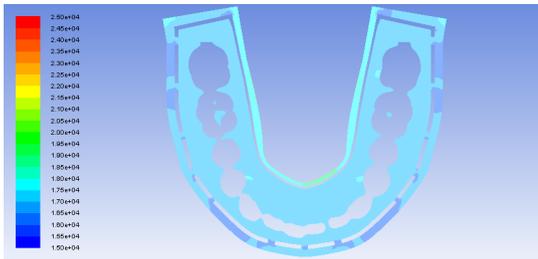


Fig. 8. Contours of static pressure on middle plane

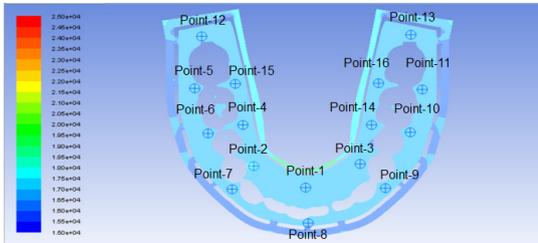


Fig. 9. Positions of 16 points

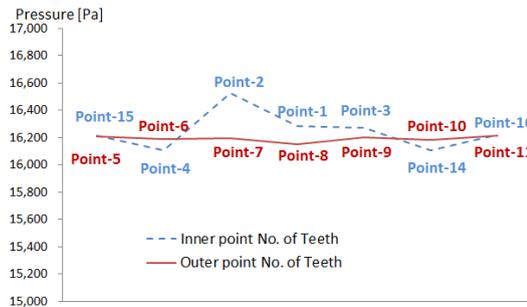


Fig. 10. Pressures of inner and outer points

Fig. 8은 유동해석 결과, 세정기의 중간단면에서의 압력분포를 나타낸다. 전체적으로 균일한 분포를 보이며, 치아 안쪽과 바깥쪽의 압력 차이는 매우 미미하다. 보다 자세히 치아 안쪽/바깥쪽의 압력값을 살펴보기 위해 Fig. 9에 나타난 바와 같이 16개의 포인트를 설정하여 압력값을 비교하였다. 그림에서 치아 안쪽의 포인트 no. 는 왼쪽에서부터 15, 4, 2, 1, 3, 14, 16이고 치아 바깥쪽 포인트 no. 역시 왼쪽에서부터 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11이며 각각 순서대로 안쪽 포인트 no. 와 위치적으로 쌍을 이룬다. 포인트 no. 12, 13은 치아의 어금니 안쪽 위치이다. 치아 안쪽의 평균 압력은 16,247.2Pa, 치아 바깥쪽 평균 압력은 16,198.6Pa이다. 치아 안쪽과 바깥쪽의 평균 압력의 차이는 매우 미미하다(약 48.6Pa 차이, 바깥쪽 평균 압력은 안쪽 평균 압력에 비해 약 0.3% 감소). Fig.

10은 치아 포인트 위치에서의 압력값을 나타낸 그래프이다. 치아 안쪽 가운데 부분의 압력이 상대적으로 높고(포인트 no. 2, 1, 3), 치아 바깥쪽 부분은 모두 거의 비슷한 압력값을 보인다(포인트 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11).

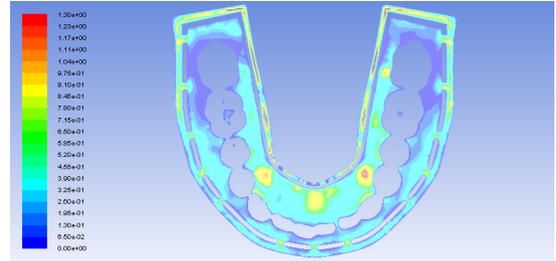


Fig. 11. Contours of velocity magnitude on middle plane

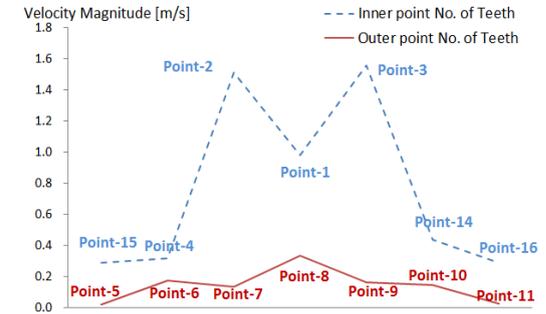


Fig. 12. Velocity magnitudes of inner and outer points

Fig. 11은 유동해석 결과, 세정기의 중간단면에서의 속력분포를 나타낸다. 압력분포와는 달리 치아 안쪽/바깥쪽의 속력값은 비교적 큰 차이를 보인다. 치아 안쪽 중심부에서 유동속력은 매우 높으며 어금니 부위에서 가장 낮은 속력을 나타낸다. 앞에서와 마찬가지로 Fig. 9에 나타난 바와 같이 16개의 포인트의 속력값을 비교하였다. 치아 안쪽의 평균 속력은 0.7670 m/s이고 치아 바깥쪽 평균 속력은 0.1373 m/s 이므로 0.6297 m/s 만큼 차이가 있으며 바깥쪽 평균 속력은 안쪽 평균 속력에 비해 약 82.1% 감소하였다. Fig. 12는 치아 포인트 위치에서의 속력값을 나타낸 그래프이다. 치아 안쪽 가운데 부분의 속력이 매우 높고(포인트 no. 2, 1, 3), 가운데에서 멀어질수록 급격히 감소하는 특성을 보인다. 치아 바깥쪽 부분은 큰 차이를 보이지는 않지만 가운데 부분의 속력이 약간 높고 주변부로 갈수록 점차 감소하는 경향을 나타낸다. 치아 안쪽 가운데 부분, 특히 포인트 no. 2, 3의 속력이 큰 이유는 이 측정 위치와 세정기 흡입관 및 세정

기 내부파트의 구멍의 위치가 유사하여 흡입관으로 들어온 물이 곧바로 내부파트의 구멍을 통과하였기 때문이라 판단된다(Fig. 2-4 참조). 유동속력이 큰 지역은 세정효과가 클 것이므로, 치아 안쪽 부분의 세정효과가 좋을 것이라 예측된다.

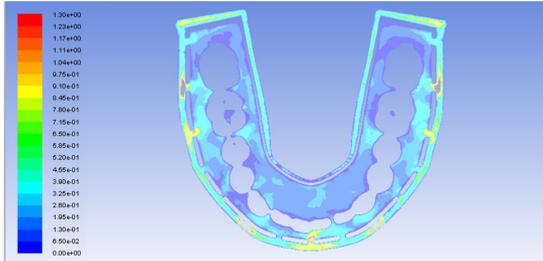


Fig. 13. Contours of velocity magnitude on middle plane for exchanging suction to drainage

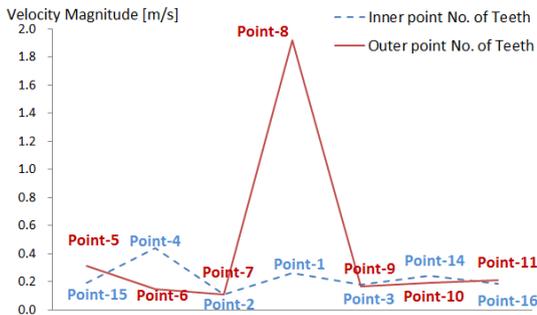


Fig. 14. Velocity magnitudes of inner and outer points for exchanging suction to drainage

Fig. 13은 흡입관과 배출관의 위치를 바꾸어서 유동해석을 수행한 결과, 세정기의 중간단면에서의 속도분포를 나타낸다. Fig. 11과는 반대로 치아 바깥쪽 중심부에서 유동속력이 가장 높으며, 치아 안쪽 중심부에서의 속력이 매우 낮다. 앞에서와 마찬가지로 Fig. 9에 나타낸 바와 같이 16개의 포인트의 속도값을 비교하였다. 치아 바깥쪽의 평균 속력은 0.3622 m/s이고 치아 안쪽 평균 속력은 0.2295 m/s 이므로 0.1327 m/s 만큼 차이가 있으며 안쪽 평균 속력은 바깥쪽 평균 속력에 비해 약 36.6% 감소하였다. Fig. 14는 치아 포인트 위치에서의 속도값을 나타낸 그래프이다. 치아 바깥쪽 가운데 부분의 속력이 매우 높고(포인트 no. 8), 그 외에서는 급격히 낮은 특성을 보인다. 치아 안쪽 부분은 큰 차이를 보이지는 않고 전체적으로 낮은 유동속력을 보이고 있다. 이렇게 흡

입관과 배출관의 위치를 바꾼 경우, 유동속력으로 추정하건데 치아 바깥쪽 가운데 부분의 세정효과는 뛰어나지만 나머지 부분에서는 큰 효과를 보기 힘들다.

이러한 결과는 일정한 흡입-배출 흐름을 유지한다면 원래의 흡입관 및 배출관 사용이 좀 더 세정효과 측면에서 유리할 것이다. 그러나 흡입-배출을 교대로 바꾸는 교번식 제어장치를 적용한다면 치아 안쪽, 바깥쪽 모두 효율적인 세정효과를 볼 것이라 생각된다. 또한 어금니 부분은 항상 속력이 낮으므로(Fig. 11,12 참조) 이에 대한 설계 보완이 요구된다.

4. 결론

중증환자를 위한 마우스피스 형태의 새로운 진공 구강 세정기 설계에 관한 연구의 일환으로 세정기 내부 유동해석을 통한 압력 및 유동특성을 분석하였고 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

1. 세정기 내부는 전체적으로 균일한 압력분포를 보였다. 세정기 내부 16개의 포인트를 설정하여 각 포인트에서의 압력값을 비교한 결과 치아 안쪽 가운데 부분의 압력이 상대적으로 높고 치아 바깥쪽 부분은 모두 거의 비슷한 압력분포를 나타내었다.
2. 세정기 내부의 속도분포는 치아 안쪽과 바깥쪽에서 비교적 큰 차이를 보인다. 세정기 내부 16 포인트에서의 속력을 비교한 결과 치아 바깥쪽 평균 속력은 안쪽 평균 속력에 비해 약 82.1% 감소하였다. 또한 치아 안쪽 가운데 부분의 속력이 매우 높고 가운데에서 멀어질수록 급격히 감소하는 특성을 보인다. 유동속력이 큰 곳은 세정효과가 클 것이므로 상대적으로 치아 안쪽 부분의 세정효과가 좋을 것이라 예측된다.
3. 세정기의 흡입관과 배출관을 바꾸어 유동해석을 수행한 결과 치아 바깥쪽에서의 평균 속력이 더 높았으며, 안쪽의 평균 속력은 바깥쪽 평균 속력에 비해 약 36.6% 감소하였다. 속도 분포를 살펴보면 바깥쪽 가운데 부분만 높고 나머지 부분은 매우 낮은 값을 보인다.
4. 유동해석 결과 세정액의 흡입-배출을 교대로 바꾸는 교번식 장치를 적용한다면 치아의 안쪽과 바깥쪽 모두 효율적인 세정효과를 볼 것이라 생각된다.

또한 어금니 부분은 항상 속력이 낮으므로 이에 대한 설계 보완이 요구된다.

References

- [1] E.-H. Kim, M.-K. Park, I.-Y. Ku, S.-J. Moon and S.-H. Kim, "The Impact of Oral Health Impact Profile(OHIP-14) of Subjectively Reported Oral Status in the Elderly," *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, vol. 14, no. 9, pp. 4349-4358, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.9.4349>
- [2] H.-J. Jin, "Survey of Unmet Dental Treatment Needs among Adult Disabled," *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, vol. 16, no. 11, pp. 7501-7507, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.11.7501>
- [3] A. Hugoson, "Effect of the Water Pik device on plaque accumulation and development of gingivitis," *Journal of Clinical Periodontology*, vol. 5, pp. 95-104, 1978. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.1978.tb01911.x>
- [4] C. R. Goyal, D. M. Lyle, J. G. Qaqish and R. Schuller, "Evaluation of the plaque removal efficacy of a water flosser compared to string floss in adults after a single use," *Journal of Clinical Dentistry*, vol. 24, pp. 37-42, 2013.
- [5] K. D. Park, Comparison of High Pressure Spray Oral Hygienic Appliance and Sonic Vibration Toothbrush in Reduction of Dental Plaque, Master's Degree Theses, Seoul National University, 2014.
- [6] C. A. Jahn, "The dental water jet: a historical review of the literature," *Journal of Dental Hygiene*, vol. 84, pp. 114-120, 2010.
- [7] K. B. Hyun, Apparatus for cleaning oral cavity, Korea Patent Registration, no. 1014497240000, 2014.
- [8] K. B. Hyun, Mouthpiece for cleaning the oral cavity with double membrane structure and cleaning the oral cavity using thereof, *Korea Patent Application*, no. 1020160171751, 2016.

신 현 석(Hyeon seok Shin)

[정회원]



- 2008년 2월 : 광영고등학교
- 2015년 2월 : 순천향대학교 기계공학 (학사)
- 2017년 2월 : 순천향대학교 기계공학 (석사)
- 2017년 5월 ~ 현재 : 순환엔지니어링(주) 기구설계팀

<관심분야>

기계 · 설계 · CAB 및 정밀가공

김 남 응(Nam Woong Kim)

[정회원]



- 1995년 2월 ~ 2003년 8월 : LG 전자 디지털미디어연구소 선임연구원
- 2008년 8월 : 서울대학교 기계항공공학부 (공학박사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 동양미래대학교 기계공학부 부교수

<관심분야>

전산역학, 나노생산공정, 진동학

김 국 원(Kug Weon Kim)

[정회원]



- 1988년 2월 : 서울대학교 기계설계학과 (공학사)
- 1990년 2월 : 서울대학교 기계설계학과 (공학석사)
- 1995년 2월 : 서울대학교 기계설계학과 (공학박사)
- 1995년 2월 ~ 1999년 2월 : LG전자 디지털미디어연구소 책임연구원
- 2001년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 기계공학과 교수

<관심분야>

CAD/CAM, 초정밀가공