

치아 근관 세척용 마이크로 기포 세정 시스템 개발 및 성능평가

성길환* · 성재용**⁺ · 이명호**

Development and performance test of a micro bubble irrigation system for root canal cleaning of tooth

Gilhwon Sung, Jaeyong Sung and Myeong Ho Lee

Abstract. Elimination of the smear layer and bacteria in the root canal is the most important in the endodontic treatment, and various irrigation devices have been developed. Nevertheless, it is hard to eliminate the smear layer and bacteria completely. In this paper, a micro bubble irrigation system has been developed for the root canal cleaning of tooth. Micro bubbles are generated when pressurized fluids passing through a porous material inside a hand-piece nozzle, and the bubbly flows excited by ultrasonic vibration are observed using a high-speed camera and a microscope. The results show that the diameter and number of bubbles increases with the applied pressure, and there found an optimum excitation frequency in order to minimize the bubble size. From in-vitro tests, it is also verified that the developed bubble irrigation system has the ability of antibacterial and infection removal. Thus, this biocompatible system would be well suited for root canal cleaning.

Keywords : Micro bubble(마이크로 기포), Ultrasonic excitation(초음파 가진), Porous material(다공성 물질), Root canal irrigation (근관 세척)

1. 서 론

치과 신경치료(endodontic treatment)라고 통용되는 근관치료는 치아 내부의 치수가 충치 및 세균에 의해 감염되거나 유해한 자극에 의해 염증을 일으킨 경우, 치아 근관 내에 오염된 치수 및 조직을 온전히 제거하고 세척 후 충전재를 채워 넣어 외부 세균들이 치아 근관으로 재침입하는 것을 막는 치료방법을 말한다. 이러한 치과의 신경치료 기술은 최근에 매우 중요하게 다루어지고 있으며, 근관 내부 이물질의 완전한 제거가 치료의 성공에 있어 필수적이다. 그러나 근래 도입된 형상기억합금의 전동식 회전기구들은 사용하는 기계적인 방법은 도말층(smear layer) 등으로 인하여 근관 내 감염원을 완전히 제거할 수 없다⁽¹⁻⁴⁾.

상아세관(dentinal tubule) 도말층(smear layer)

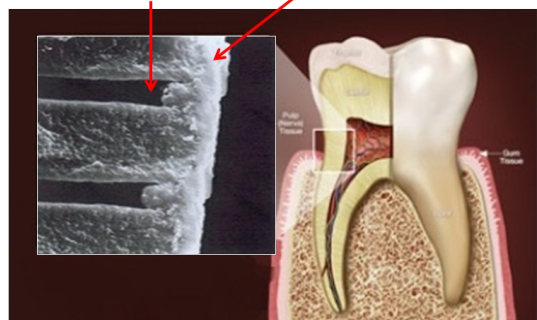


Fig. 1. Dentinal tubule and smear layer.

⁺ Dept. Mechanical & Automotive Engineering, SeoulTech
E-mail : jysung@seoultech.ac.kr

* Graduated School, SeoulTech

** Dept. Mechanical & Automotive Engineering, SeoulTech

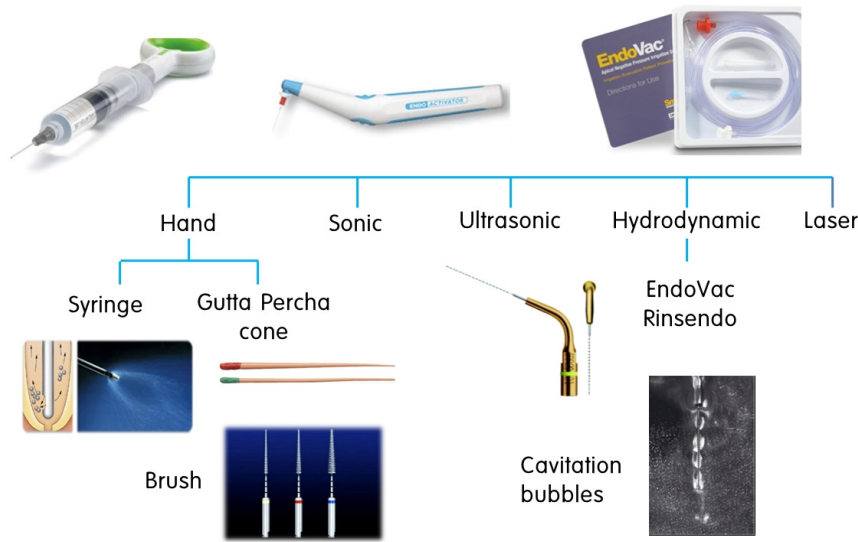


Fig. 2. Irrigation dental devices.

Fig. 1과 같이 도말층은 근관형성과정 중에 생기는 0.005~0.1 mm 크기의 잔존물이 1-5 mm의 두께를 가지고 근관 내벽에 얇게 형성되는 층이다. 이 도말층이 제거되지 않으면 상아세관(dentinal tubules) 내 감염원을 완전히 제거할 수 없으며, 추후 충전재를 붕괴시키거나 용해시킬 위험이 있다. 따라서 기계적인 근관형성과 함께 항균물질을 사용한 화학적인 근관 세척 방법의 병행은 근관치료의 성공을 위해 중요한 요소가 된다.

근관 세척에 사용되는 세정액은 식염수(saline), 과산화수소, 치아염소산나트륨(NaOCl), 클로로헥시딘, EDTA 등이 있으며, 치근단 외부의 살아있는 구강 조직과 직접 접촉을 하게 되면 전신적인 과민증 및 독성 반응을 일으킬 수 있다. 따라서 세정액을 구강에 접촉하지 않으면서 근관 내에 효과적으로 주입하고 세정 후 회수하는 방법이 필요하다.

근관 내부의 이물질을 세척하는 기구들은 Fig. 2와 같이 여러 가지가 있으며, 방식에 따라 주사바늘 세척, 충전재를 사용하는 수동세척, 칫솔, 음파세척, 초음파세척, 레이저세척 등으로 나뉜다⁽⁵⁾. 이 중 마이크로 크기인 근관 내부까지 세척할 수 있는 최신 기술은 초음파세척과 레이저세척이다. 레이저세척은 고가이면서 충격파에 의해 근관 세척액이 근단부(apical) 밖으로 나갈 수 있고, 아직 그 안정성에 대해 충분한 검증이 되어 있지 않아 실제 치료에서는 초음파세척을 가장 선호한다. 초음파세척은 휘어질 수 있

는 매우 가는 바늘을 통해 치아염소산나트륨 및 식염수를 근관 내부로 주입 후 초음파로 음향류(acoustic streaming)와 기포를 만들어 세척효과를 높이도록 설계되어 있다. 그러나 현재 사용되는 기구에서 발생하는 기포의 크기는 100 μm 내지 1 mm로 상당히 큰 편이어서 도말층 제거 및 상아세관 내 세정효과가 떨어진다. 따라서 10 μm 이내의 마이크로 또는 나노 기포를 이용한 세척방법이 중요한 이슈가 되고 있다. 마이크로-나노 기포를 생성하는 방법⁽⁶⁻⁷⁾과 기포의 거동에 관한 연구⁽⁸⁻⁹⁾들은 많이 있었으나 대부분 대용량의 장치에서 사용되는 기법들이며, 치아 근관 세정을 위한 핸드피스 규모의 소형화된 기포생성 기구에 대한 연구는 아직 미미한 실정이다.

본 연구에서는 핸드피스 형태의 소형 치과용 의료기기로 적용이 가능한 근관세척용 마이크로 기포 세정 시스템을 개발하고 그 성능을 평가하고자 한다. 다양한 압력 및 초음파 가진 조건에서 마이크로 기포의 발생 특성을 파악하고, In-vivo 임상실험에 의한 치아 표면의 이물질 제거 효과에 대해서도 논의한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 마이크로 기포 노출

Fig. 3은 마이크로 기포 발생에서 중요한 역할을 하는 노출부의 형상을 도식화한 것이다. 고압의 유체가 다공성

물질(porous material)을 지나서 캐비테이션(cavitation) 현상에 의해 기포를 발생된다. 기포가 다공성 물질의 채널을 통과하고 밖으로 나오면 기포들 간의 병합으로 커지거나 압력 상승에 따른 소멸과정을 거칠 수 있다. 기포들 간의 병합 또는 소멸 현상을 제어하고 고르게 잘 분산된 마이크로 기포를 만들기 위해서는 다공성 물질 통과 후 나타나는 역압력 구배를 적절히 제어하는 것이 필요하며, 본 연구에서는 수축-확대 노즐 형태로 채널 형상을 설계하였다. 수축-확대 구간에서는 실린더형 피에조가 채널 외곽을 감싸고 초음파로 가진함으로써 마이크로 기포의 분산을 보다 효과적으로 달성한다. 마지막에는 확대-노즐을 형성함으로써 유체의 속도를 줄이고 생성된 기포가 안정화되도록 하였다.

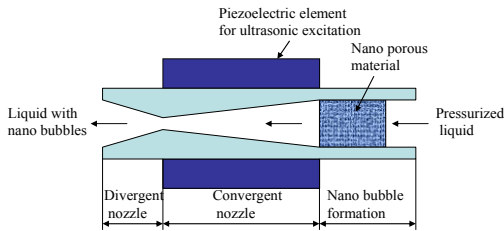


Fig. 3. Schematic of a nozzle to generate micro bubbles.

2.2 실험 방법

본 연구에서는 유체의 압력과 피에조에 가해지는 전압의 주파수를 변화시키면서 생성된 마이크로 기포의 발생 특성을 살펴보았다. 이를 위해 Fig. 4와 같은 실험장치를 사용하였다. 압축기에서 고압을 가해 밀폐된 물탱크의 물을 튜브를 통해 마이크로 기포 노즐로 보낸다. 물이 노즐 내부에 설치된 다공성 물질을 통과하면서 포화증기압 이하로 떨어지면 마이크로 기포가 생성된다. 노즐에 설치된 피에조를 통해 초음파를 발생시키고, 초음파 가진에 의해 생성된 기포를 분산시킨다. 합수 발생기와 전압증폭기를 이용하여 피에조에 가해지는 주파수를 변화시키면서 실험을 수행하였다. 노즐에서 토출되는 마이크로 기포 유동은 고속카메라와 광학현미경을 통해 영상을 획득함으로써 그 크기와 양을 측정하였다.

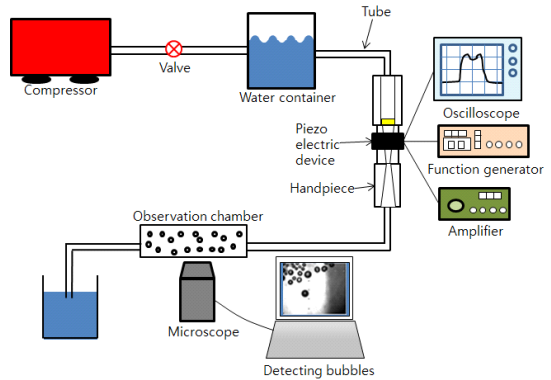


Fig. 4. Schematic of the experimental set-up.

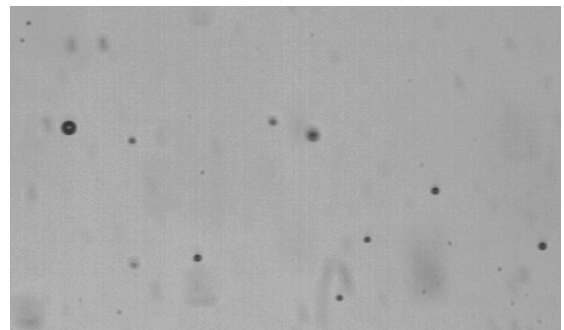


Fig. 5. Micro bubbles generated through a porous material and ultrasonic excitation.

3. 마이크로 기포 발생특성 평가

Fig. 5는 고속카메라로 촬영하여 현미경을 통해서 본 마이크로 기포의 실제 영상이다. 이 영상에서 가장 작은 기포의 직경은 20.8 μm , 가장 큰 기포는 44.6 μm 로 다양한 크기의 기포를 관측하였다. 획득된 영상으로부터 기포의 크기를 정량적으로 구하기 위해서, 본 연구의 이전 연구⁽¹⁰⁾에서 개발한 영상처리 기법을 이용하여 기포의 경계선을 추출하고 기포의 면적 및 유효직경을 계산하였다. Fig. 5에서 겹쳐있거나 초점면에 있지 않은 기포는 기포의 경계가 불확실하기 때문에 오차가 발생할 수 있으며, 이 경우 수작업으로 해당 기포의 데이터를 삭제하고 통계처리를 수행하였다.

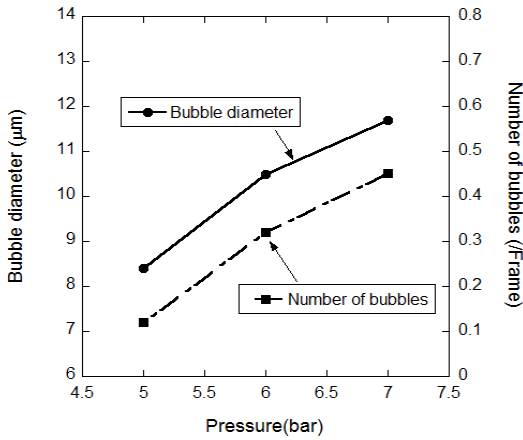


Fig. 6. Variations of bubble diameter and number of bubbles according to the reservoir pressure.

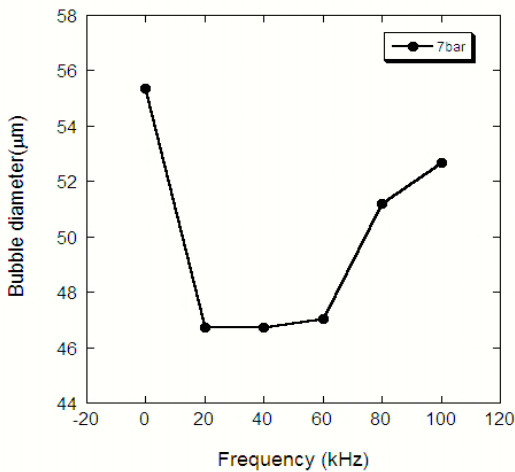


Fig. 7. Variations of bubble diameter according to the frequency of ultrasonic excitation.

Fig. 6은 초음파 가진 주파수를 50 kHz로 고정한 상태에서 물탱크의 압력을 5 - 7 bar로 변화시키면서 기포의 크기와 개수의 관계를 나타낸 그래프이다. 압력의 증가에 따라 최소 8.4 mm에서 최대 11.7 mm까지 기포의 지름이 증가하였고, 각 각의 영상에서의 기포의 수도 증가하였다. 이는 물탱크의 압력이 높아질수록 유체의 속도가 빨라지고 다공성 물질을 통과하면서 압력강하에 의한 캐비테이션이 잘 일어나 기포 발생률이 높아졌기 때문이다.

동일 조건 하에 유체 압력을 7 bar 고정 후, 주파수를 0 - 100 kHz까지 20 kHz 간격으로 가변하여 Fig. 7에 기포의 크기를 비교하여 그래프로 나타내었다. 본 실험을 통해서 피에조 가진에 의한 기포의 분산 및 크기의 변화가 발생한다는 것을 확인하였으며, 초음파를 가진하지 않았을 경우 생성된 기포는 직경 22 - 23 mm 크기로 측정되어 생성된 기포에 초음파 가진을 하지 않았을 때 보다 가진했을 때 더 작은 크기의 기포가 발생됨을 알 수 있었다. 특히 초음파 가진 구간 중 20 - 40 kHz에서 그 크기가 19 mm로 가장 작았으며 이후 주파수를 높여감에 따라 그 크기가 다시 커졌다. 이는 초음파 가진에 따라 기포 분산 효과가 커지지만, 어느 특정 주파수 이상으로는 초음파 가진이 오히려 기포의 병합을 유발함을 알 수 있다.

4. In-vitro 임상적 효능 평가

기포 거동 분석을 통하여 축적된 데이터를 기반으로 제작된 기포 발생 장치를 발치된 치아를 사용하여 in-vitro 임상 효능 평가를 실험하였다. 50개의 자연 소구치를 Ni-Ti 파일(file)을 활용하여 근관을 형성하였다. 본 실험을 위해 적용한 세척 방법은 다음과 같은 5개의 그룹 - A) 증류수(distilled water) + 증류수, B) 치아염소산나트륨 + 치아염소산나트륨, C) 기포수(micro bubble water) + 기포수, D) EDTA + 치아염소산나트륨, E) EDTA + 기포수의



Fig. 8. In-vitro tooth sample for evaluating the removal of the smear layer and debris.

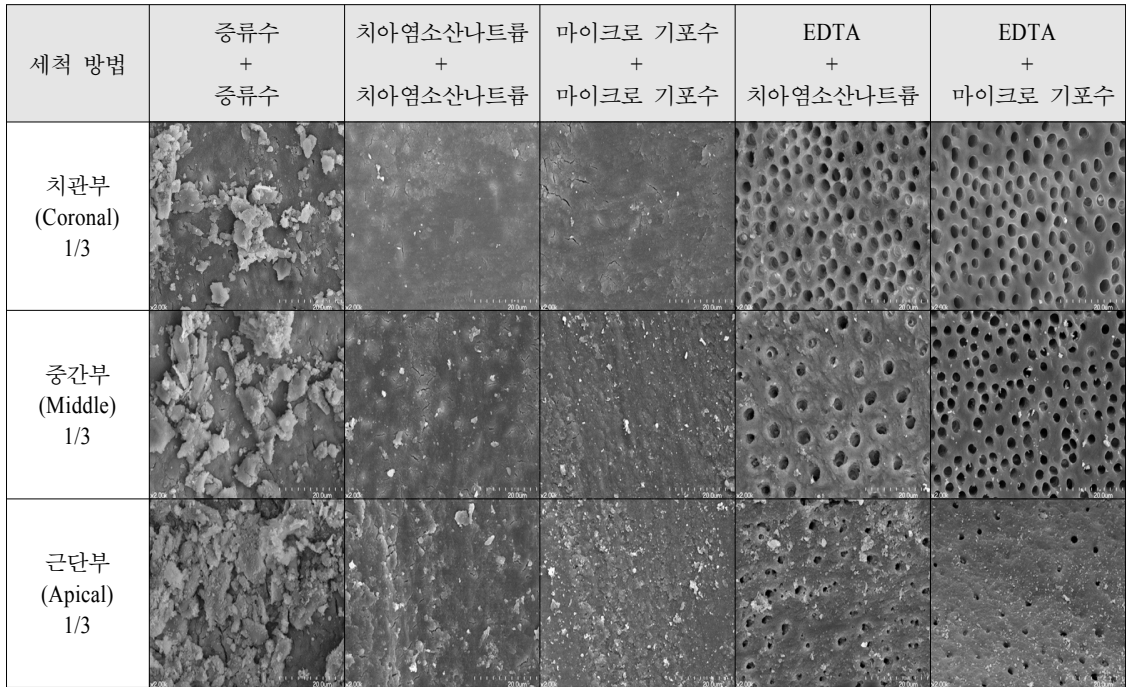


Fig. 9. SEM images of the in-vitro root canal cleaning at three canal levels.

조합으로 구성하였다. 치아 근관을 형성한 후 두 개의 조합으로 된 세정액을 각각 5 ml를 1 분간 근관 내 세척을 수행하였다. 실험 후 Fig. 8과 같이 치아를 수직으로 쪼개어 SEM 사진을 찍어 치관부, 중간부, 근단부 부분의 잔존물 및 도말층의 유무를 관찰하였다.

Fig. 9에서는 5 가지 세정방법에 대해 그 결과를 비교하였다. Fig. 1에서 볼 수 있듯이 치아 표면에서 안쪽으로 상아세관이라는 구멍이 존재하고, 신경치료로 치수를 제거하면 도말층이 상아세관을 덮고 있는 형태가 된다. 세정이 완벽하게 되려면 치아 표면에 상아세관 구멍이 완전히 드러나도록 도말층을 제거해야 세정효과가 큰 것으로 판단할 수 있다. Fig. 9에서 모든 세정방법에 있어서 치아 근단부에서 치관부로 갈수록 세정 효과가 크다는 것을 볼 수 있었다. 그럼에도 불구하고 증류수만 사용할 경우 잔존 제거 효과가 매우 낮음을 알 수 있다. 근관 내 불순물, 세균 및 도말층은 증류수로는 제거할 수 없었으며, 치아염소산나트륨 및 마이크로 기포수를 활용할 경우 근관 내 불순물의 제거율을 상대적으로 높음을 확인할 수 있었다. EDTA는 조직 용해능력이 뛰어나 구멍 형태의 상아세관까지 세정이 가능함을 볼 수 있고, EDTA와 마이크로 기포수를 조합하여 사용할 경우 생체 친화적으로 치아 근관 세척이 가능함을 확인하였다.

5. 결론

본 연구에서는 치아 근관 세척을 위한 마이크로 기포 세정 시스템을 개발하고, 마이크로 기포 노즐의 특성과 마이크로 기포를 이용한 치아 근관 세척의 임상적 효과를 고찰하였다.

마이크로 기포 노즐은 유체가 노즐 내부의 다공성 물질을 통과하면서 발생하는 캐비테이션에 의해 기포가 생성될 때, 공급 압력 및 초음파 가진 주파수에 따른 기포의 크기 및 기포량을 측정하여 그 특성을 평가하였다. 노즐로 보내는 유체의 압력이 증가할수록 유속이 증가하여 기포의 총 발생량이 많아졌으며, 그 결과 노즐로 토출되는 기포의 크기와 개수가 증가하였다. 또한 다공성 물질에서 발생된 기포 유동에 초음파를 가진했을 경우 가진하지 않았을 때 보다 더 작은 기포를 만들 수 있었으며, 특정 가진 주파수에서 기포의 크기가 최소화되는 조건이 존재함을 알 수 있었다.

근관치료용 세정액은 넓은 범위의 항균성, 도말층 제거 능력 및 조직 용해 능력이 요구된다. in-vitro 임상 효능 평가를 통해서 마이크로 기포가 항균 능력과 오염물을 제거하는 능력을 확인했다. 비록 조직 용해능력이 없지만 생체

친화성이 있다는 것은 치아 근관 세척용으로 마이크로 기포의 가장 큰 이점이라고 할 수 있다.

후 기

본 연구는 성길환의 공학석사 학위논문이며, 중소기업청의 기술혁신개발사업의 일환으로 수행하였음.

(S2163003, Nano Bubble Irrigation 시스템 개발)

REFERENCE

- 1) Weller, R. N., Brady, J. M. and Bernier, W. E., 1980, "Efficacy of Ultrasonic Cleaning," J. Endod., Vol.6, pp.740~743.
- 2) Schäfer, E. and Zapke, K. A., 2000, "Comparative Scanning Electron Microscopic Investigation of the Efficacy of Manual and Automated Instrumentation of Root Canals," J. Endod., Vol. 26, pp.660~664.
- 3) Gutarts, R., Nusstein, J., Reader, A. and Beck, M., 2005, "In Vivo Debridement Efficacy of Ultrasonic Irrigation Following Hand-Rotary Instrumentation in Human Mandibular Molars," J. Endod., Vol.31, pp. 166~170.
- 4) Ciucchi, B., Khattabi, M. and Holz, J., 1989, "The Effectiveness of Different Endodontic Irrigation Procedures on the Removal of the Smear Layer: A Scanning Electron Microscopic Study," Int. Endod. J., Vol.22, pp.21~28.
- 5) Yoo, Y.-J., Shin, S.-J. and Baek, S.-H., 2011, "Review of Root Canal Irrigant Delivery Techniques and Devices," J. Korean Academy of Conservative Dentistry, Vol.36, No.3, pp.180~179.
- 6) Ashutosh, A. and Wun, J. N., 2011, "Principle and Applications of Microbubble and Nanobubble Technology for Water Treatment," J. Chemosphere, Vol.84, pp.1175~1180.
- 7) Fujikawa, S., Zhang, R., Hayama, S. and Peng, G., 2003, "The Control of Micro-Air-Bubble Generation by a Rotational Porous Plate," J. Multiphase Flow, Vol.29, pp.1221~1236.
- 8) Qin, Z., Bremhorst, H., Alehossein, H. and Meyer, T., 2007, "Simulation of Cavitation Bubbles in a Convergent-Divergent Nozzle Water Jet," J. Fluid Mechanics, Vol.573, pp.1~25.
- 9) Lee, W. M., Lee, S. H., Sung, J. and Lee, M. H., 2014, "Dynamics Response of a Micro Bubble under Temporal Pressure Variations, J. Korean Society of Visualization, Vol.12, No.1, pp.13~17.
- 10) Sung, J., Park, S. M. and Yoo, J. Y., 2004, "Time-Resolved Two-Phase PIV Measurements of Freely Rising Bubble Flows with an Image Separation Method," J. Korean Society of Visualization, Vol.2, No.1, pp.39~45.