

기체-액체 이젝터의 디퓨저 형상에 대한 연구

장진우¹, 신원협¹, 박영철^{2*}

¹동아대학교 대학원 기계공학과, ²동아대학교 기계공학과

STUDY ON THE PERFORMANCE OF THE SHAPE OF THE AIR-LIQUID EJECTOR DIFFUSER

Jin-Woo Jang¹, Won-Hyeop Sin¹, Young-Chul Park^{2*}

¹Graduate school, Department of Mechanical Engineering, DongA University

²Department of Mechanical Engineering, DongA University

요약 본 논문은 기체-액체 이젝터의 수치해석연구에 초점을 맞추고 있다. 이젝터는 구동유체가 노즐을 통해 고속으로 분출될 때, 구동노즐 출구 주변에 진공압이 형성되어 주변의 기체와 운동량 교환을 통하여 저압의 유체를 보다 높은 압력으로 압축하여 수송하는 장치이다. 기체-액체 이젝터는 상용 소프트웨어 ANSYS-CFX 14.0을 사용하여 다상의 CFD 분석을 통해 연구한다. 구동유체는 물을 사용하여 구동되며, 실제로는 공기가 아닌 오존을 사용하여 배출 된다.

기체-액체 이젝터의 디퓨저의 형상에 따라 성능 차이를 비교한다. 결과 기체-액체 이젝터의 성능에 미치는 다양한 요인을 제공 한다. 그리고 제안 된 수치 모델은 기체-액체 이젝터의 최적 설계에 매우 도움이 될 것이다.

Abstract This paper performed a numerical study of an air-liquid ejector. An ejector is a fluid-transportation device that spouts high-pressure fluid from driving pipes using the kinetic energy of the spouted fluid and increases the pressure through the exchange of momentum with the surrounding gases of the lower pressure. The air-liquid ejector was investigated through steady three-dimensional multiphase CFD analysis using commercial software ANSYS-CFX 14.0. Water as the primary fluid is driven through the driving nozzle and air is ejected as the second gas instead of ozone in real applications.

The difference in performance according to the shape of the diffuser of the ejector was examined. The results provide deep insight into the influence of various factors on the performance of the air-liquid ejector. The proposed numerical model will be very helpful for further design optimization of the air-liquid ejectors.

Key Words : Air-liquid, Ejector, CFD, Diffuser, Ejector performance

1. 서 론

이젝터(Ejector)는 벤트리 효과를 이용하는 펌프의 일종으로서 제트 펌프라고 부르기도 하며 구동유체로 물을 이용하여 진공을 형성시키는 장치로서, 고압의 유체(motive fluid)가 지닌 압력 에너지를 이용하여 흡입 유체를 빨아들여 이송하는 기계장치이다. 구동유체에 따라 증기 이젝터(steam ejector), 수 이젝터(Water ejector),

공기 이젝터(Air ejector)등 으로 분류 하며, 그 구성은 흡입되는 흡입부(Suction port), 구동노즐과 흡입부에서 흡입된 유체들이 혼합되는 혼합실(Mixing section), 구동유체와 흡입된 유체가 완전히 혼합이 되는 이젝터 목(Throat), 구동노즐을 통과하면서 저압이 된 구동유체의 압력을 회복시켜주는 디퓨저(Diffuser)로 구성 되어 있으며, 이젝터 목을 포함하지 않은 형태도 있다.

이젝터의 성능 및 유동 특성에 관하여 이론 및 실험

본 논문은 지식경제부 지정 지역혁신센터사업(RIC) 고기능성밸브기술지원센터 지원으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Young-Chul Park(Dong-A Univ.)

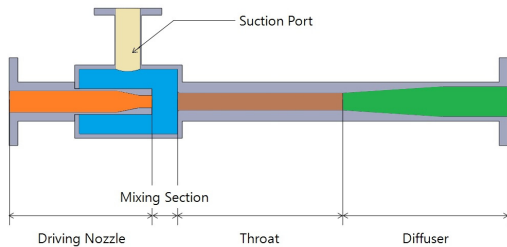
Tel: +82-51-200-7652 email: parkyc67r@dau.ac.kr

Received October 14, 2014

Revised November 5, 2014

Accepted November 6, 2014

등의 많은 연구가 현재 진행되어 왔다. Keenan과 Neumann은 디퓨저가 없는 공기 이젝터의 이론적 해석 결과와 실험결과가 일치하는 것을 확인하였고, German 등은 이젝터의 이차목의 형상이 이젝터 성능 및 기저압력에 영향을 미친다는 것을 확인하였다.



[Fig. 1] Schematic of the ejector

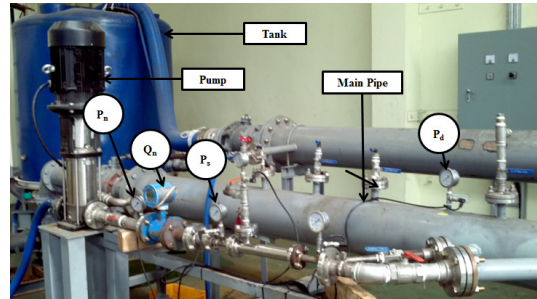
본 논문에서는 수치해석을 위해 상용 CFD프로그램인 CFX 14.0을 사용하여 이젝터의 구성요소 중에서 디퓨저의 위치와 형상이 air-liquid Ejector 성능에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

작동원리는 다음과 같다. 이젝터에 공급된 고압(구동압력)의 액체는 구동노즐에서 액체가 가지고 있는 압력 에너지를 속도에너지로 변환시켜 고속으로 분사되며, 이때 혼합부는 고속으로 분사되는 액체에 의하여 매우 낮은 압력(흡입압력)으로 형성되고, 흡입부 주위에 있는 공기를 흡입 배관을 통하여 고속으로 분사된 액체가 디퓨저로 유출될 때 빨려 들어오게 된다. 고속으로 분사된 액체와 흡입 유체는 디퓨저 입구에서 구동 액체와 혼합이 시작되어 이젝터 목에서 혼합이 완료된다. 고속 유동의 혼합유체는 디퓨저 출구에서 베르누이의 원리에 따라 배출구 까지 압력이 회복되어 외부로 배출하게 된다.

이젝터의 작동원리 및 성능 특성을 파악하기 위해서 물을 구동유체로 사용하며 대기 중의 공기를 흡입하여, 물과 공기가 혼합되어 메인배관으로 토출하는 시스템을 구상하여 실험을 수행하였다. Fig. 2에는 air-liquid Ejector를 실험하기 위한 실험장치 전경으로 나타낸 것이다. 실험 장치의 구성은 펌프를 통해 물이 저장된 탱크, 탱크를 통해 구동노즐로 물을 공급하는 펌프, 실험대상

air-liquid Ejector, 메인 배관 및 각종 게이지들로 이루어져 있다.

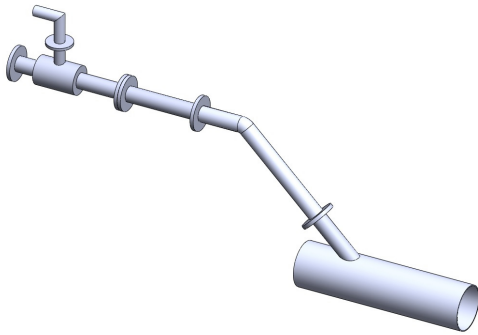


[Fig. 2] Experimental Apparatus of air-liquid ejector

실험 순서는 다음과 같다. 구동펌프를 통해 물탱크 안에 채워진 물을 air-liquid Ejector로 유입되어 압력게이지 P_n 와 유량게이지 Q_n 를 통해 이젝터로 흘러간다. 이때 유입된 유체는 일정한 유량과 압력을 가지도록 조절한다. 구동노즐을 통해 유입되는 물에 의해 흡입되는 공기는 압력 게이지 P_s 를 이용하여 흡입압력을 측정하고, 공기의 흡입 여부를 확인한다. 이젝터를 빠져나온 공기와 물이 혼합된 혼합유체는 메인 배관에 유입되게 되고, 메인 배관은 일정한 압력으로 배압을 관리하기 위해 압력 게이지 P_d 를 이용해 조절한다. 실험의 진행 과정은 메인 배관의 압력을 변화시켜, 이때 실험용 air-liquid Ejector의 작동이 안정화될 수 있는 충분한 시간을 가지도록 한다.

3. 전산 유체 역학 시뮬레이션

Fig. 3은 CFD 프로그램을 사용하여 전산수치해석을 수행하기 전 실험 장치와 같이 3차원 모델링을 하였고, 모델링 전용 소프트웨어인 'Solid Works'를 이용하여 조립도를 나타낸 것이다. 수치해석에 필요한 3차원 구조 모델링을 하기 위해서 실제 실험에 사용한 실험용 air-liquid Ejector의 치수를 측정하였고, 측정된 값을 이용해 3차원 모델링을 구현하였다. 3차원 구조 모델은 크게 구동 노즐, 흡입부, 혼합실, 이젝터 목, 디퓨저, 이너 파이프, 그리고 메인파이프를 개별 모델링을 실시한 후 조립하는 형태로 완성하였다.

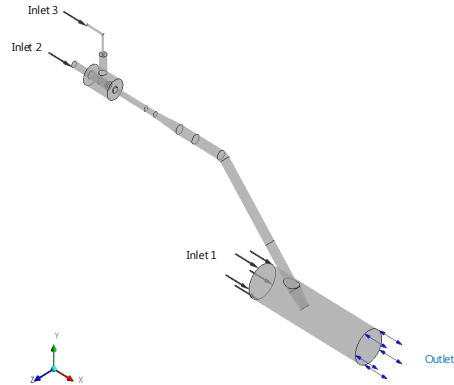


[Fig. 3] 3D modeling

이젝터 유동해석에 있어 해석결과와 신뢰성 및 정확도를 위해 해석모델은 최대한 실제 형상에 가깝게 구성하도록 한다. 고전적인 방법으로 유동해석을 위해 유동도메인 자체를 모델링하여 전산해석을 수행하는 방법이 널리 사용되어 왔으나, 컴퓨터 성능 및 모델링 도구의 끊임없는 발달로 본체 부분을 모델링 한 후 내부 유동이 이루어지는 유동 도메인을 안정적으로 얻을 수 있는 기법이 개발되었다. air-liquid Ejector의 내부 유동장을 형성하기 위하여 ANSYS-Workbench를 이용해서 이젝터 내부 유동도메인을 추출하였다. Fig. 4는 3차원 모델링 생성 후, 이젝터의 구조적인 부분을 제외한 내부 유동장만을 추출한 것이다.



[Fig. 4] 3D modeling of flow region of air-liquid ejector



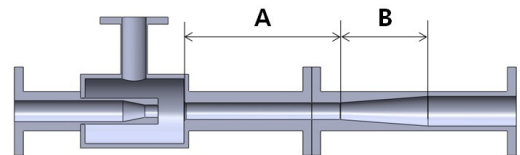
[Fig. 5] boundary conditions of air-liquid ejector

유동 해석을 위한 경계조건은 Fig 5에서 보는 바와 같이 메인배관 입구(Inlet 1)와 메인배관 출구(Outlet)는 배압 상태 유지를 위해 압력 조건을 사용하였고, 압력의 수치는 실험에서의 메인 배관 압력에 근거하였다. 구동노즐 유입구(Inlet 2)는 일정 유량 조건을 사용하여, 실험에서 측정된 압력 게이지의 데이터를 이용하였다. 공기 흡입구는 대기와 동일한 압력 상태가 되도록 압력 조건으로 설정하였다. CFD 모델을 이루는 격자는 tetrahedral & prizm 격자로 구성하였다.

이젝터의 성능을 좌우하는 설계변수는 여러 가지가 있으나, 이들을 모두 파악하기 위해서는 많은 시간과 노력이 따른다. 또한, 이젝터의 설계 변수들 가운데 하나인 이젝터 디퓨저의 위치 및 형상에 대한 유동 특성을 파악함으로써 이젝터의 성능 향상을 도모한다.

설계변수 설정은 Fig. 6에서 보는 바와 같이 A, B로 설정하였으며 Table 1로 나타내었다.

- A. 혼합부에서 디퓨저가 시작되는 위치(0mm)에서 350mm까지 50mm 간격으로 변수 설정을 하였다.
- B. 디퓨저의 형상은 길이에 따른 변수로 3가지 200mm, 300mm)를 설정하였다.



[Fig. 6] Setting parameters for the ejector

[Table 1] Details of Setting parameters

	A	B		A	B
Case1	0	100	Case13	200	100
Case2	0	200	Case14	200	200
Case3	0	300	Case15	200	300
Case4	50	100	Case16	250	100
Case5	50	200	Case17	250	200
Case6	50	300	Case18	250	300
Case7	100	100	Case19	300	100
Case8	100	200	Case20	300	200
Case9	100	300	Case21	300	300
Case10	150	100	Case22	350	100
Case11	150	200	Case23	350	200
Case12	150	300	Case24	350	300

4. 해석 결과

기체-액체 이젝터 디퓨저에 대한 해석 결과는 Table 2와 같다. 이 해석 결과를 바탕으로 이젝터의 성능을 예측 하고자 한다.

이젝터의 성능은 이젝터 노즐을 통과하는 구동유체와 흡입부를 통과하는 흡입유체에 비해 의해 결정되며, 성능을 평가하기 위한 효율식은 다음과 같이 표현된다.

$$M = Q_n / Q_s$$

$$N = (P_d - P_s) / (P_n - P_d)$$

$$\eta = M \cdot N$$

유량비 M 은 구동노즐을 통해 유입되는 물의 유량 Q_n 과 흡입구를 통해 흡입되는 공기의 유량 Q_s 의 비를 나타내며, 압력비 N 은 구동노즐의 압력 P_n 과 배압 P_d 의 차에 대한 배압과 흡입구의 압력 P_s 와의 차에 대한 비를 나타낸다. 유량비와 압력비의 곱을 효율 η 이라 말하며, 이는 기체-액체 이젝터의 성능을 평가하기 위한 수 치로 사용된다.

효율식을 이용한 기체-액체 이젝터의 효율을 위치별, 형상 별로 평균값은 Table 2와 Table 3에 나타내었으며, 이 효율의 최소값은 0%, 최대값은 12.6%까지 나타났다.

[Table 2] Average efficiency of the shape of gas-liquid ejector

Shape [mm]	100	200	300
Average efficiency [%]	6.268	8.812	10.443

[Table 3] Average efficiency of the position of gas-liquid ejector

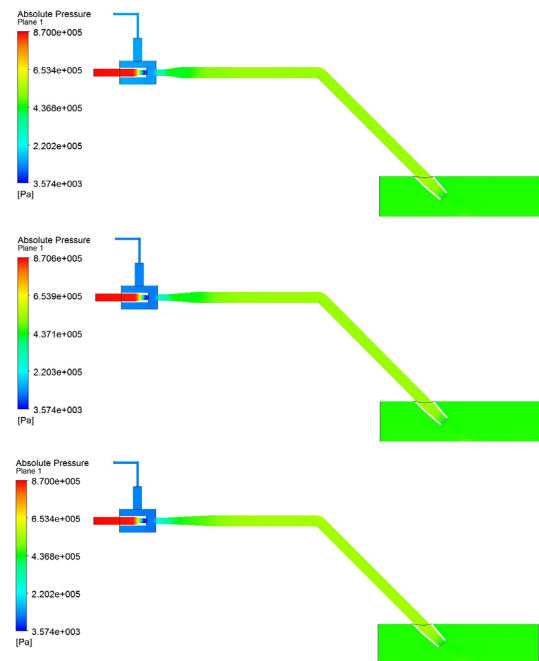
Position [mm]	Average efficiency [%]
0	1.167
50	4.449
100	7.852
150	10.469
200	10.078
250	11.114
300	12.058
350	10.836

디퓨저의 위치에 대하여 100mm, 200mm, 300mm의 조건으로 해석을 수행하여 Fig. 7.에 같은 위치에서 성능이 가장 차이 나는 Case 4, Case 5, Case 6의 압력 차이를 나타내었고, Fig. 8.에는 유속, Fig. 9에는 Air의 분포를 나타내었다.

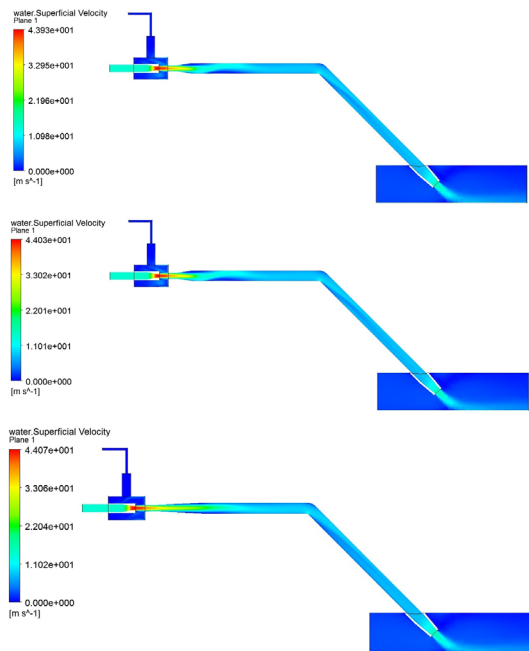
Fig. 7의 그림을 보면 펌프에서 오는 구동 유체의 압력은 이젝터의 형상과는 관계없이 항상 일정 하다는 것을 볼 수 있다. 이는 성능과 압력과의 관계가 무관하다는 것을 알 수 있다.

Fig. 8에서는 디퓨저의 형상이 길수록 디퓨저에서 유동이 보다 안정적인 것을 확인 할 수 있다.

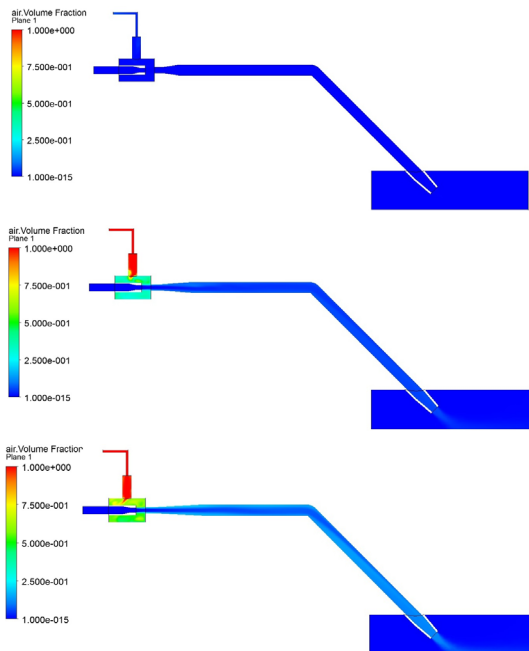
Fig. 9에서는 디퓨저의 형상이 길수록 Air의 흡입량이 확인이 증가 하는 것을 볼 수 있다. 이는 디퓨저의 길이에 따라 이젝터의 성능에 달라진다는 것이다.



[Fig. 7] Absolute pressure of the shape of ejector



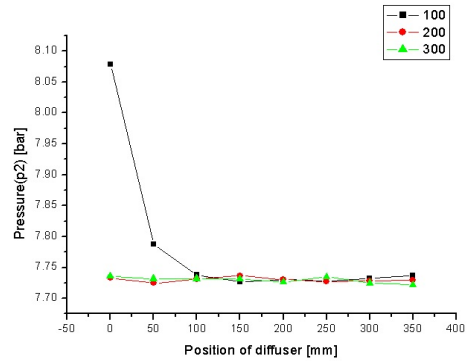
[Fig. 8] Water superficial velocity of the position of ejector



[Fig. 9] Air volume fraction of the position of ejector

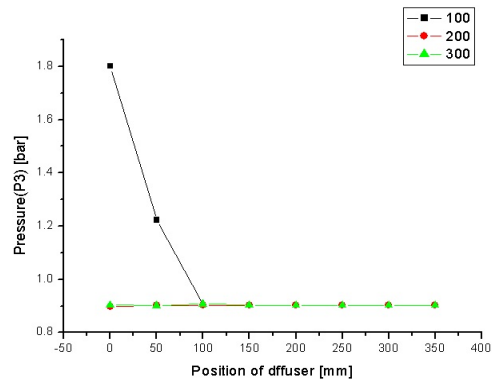
다음은 수치해석 결과를 바탕으로 나타낸 그래프이다. Fig. 10은 구동노즐의 압력, Fig. 11은 Suction Port의 압

력으로 기체-액체 이젝터가 Air를 흡입하면 항상 일정한 압력으로 유지되는 것으로 보아 이젝터의 성능은 구동노즐과 Suction Port의 압력은 무관하다고 볼 수 있다.

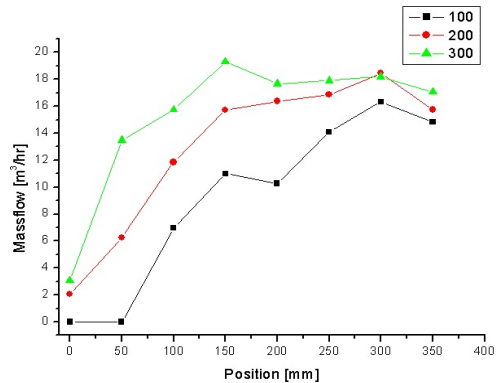


[Fig. 10] The Pressure of the ejector nozzle

디퓨저의 위치와 형상을 나타내는 Fig. 12를 보면 디퓨저의 형상이 길면 길수록 성능이 눈에 띄게 좋다는 것을 확인 할 수 있다.



[Fig. 11] The Pressure of the Suction Port



[Fig. 12] Massflow of the Shape of the Ejector

5. 결 론

본 연구에서는 선박평형 수 처리장치용 기체-액체 이젝터 디퓨저의 형상에 대한 유동 특성 및 성능을 수치해석을 통하여 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

기체-액체 이젝터 디퓨저의 형상변경을 통하여 성능을 파악하였다. 디퓨저의 길이에 따라 성능 및 효율이 2%씩 차이가 났고, 이것으로 보아 디퓨저의 길이가 길수록 성능 및 효율이 증가하는 것을 확인 할 수 있었다.

본 연구는 수치해석을 이용하여 기체-액체 이젝터 디퓨저의 형상에 대한 유동 특성 및 성능을 수치해석을 통하여 수행하였고, 이 결과는 기체-액체 이젝터에 대한 기초 설계 자료에 도움이 될 것으로 사료된다.

References

[1] Keenan, J. H., Neumann, E. P. and Lustwerk, F.(1950), An Investigation of Ejector Design by Analysis and Experiment, *Journal of Applied Mechanics*, Vol.17, No.3, pp.299-309.

[2] Takashima, Y.(1952), Studies on Liquid Jet Gas Pumps, *Journal Scientific Research Institute(Tokyo)*, Vol.46, pp.230-246.

[3] Bonnington, S. T., and King, A. L.(1972), Jet pumps and Ejectors, A State of the Art Review and Bibliography. Published by BHRA Fluid Engineering.

[4] Zahradnik, J., Fialova, M., Linek, V., Sinkule, J., Reznickova and J. Kastanek, F.,1997, "Dispersion efficiency of ejectortype gas distributors in different operating modes", *Chem. Eng. Science*, Vol. 52, No. 24, pp. 4499-4510.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0009-2509\(97\)00294-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0009-2509(97)00294-7)

[5] Havelka, P., Linek, V., Sinkule, J., Zahradnik, J. and Fialova, M., 1997, "Effect of the ejector configuration on the gas suction rate and gas hold-up in ejector loop reactors", *Chem. Eng. Science*, Vol. 52, No. 11, pp. 1701-1713.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0009-2509\(97\)00003-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0009-2509(97)00003-1)

[6] Rahman, F., Umesh, D. B., Subbarao, D. and Ramasamy, M., 2010, "Enhancement of entrainment rates in liquid-gas ejectors", *Chem. Eng. Processing.*, Vol. 49, pp. 1128-1135.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ccep.2010.08.014>

[7] Kandakure, M. T., Gaikar, V. G. and Patwardhan, A.W.,

2005, "Hydrodynamic aspects of ejectors", *Chem. Eng. Science*, Vol. 60, pp. 6391-6402.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ces.2005.04.055>

[8] Yadav, R. L., Patwardhan, A. W., 2008, "Design aspects of ejectors: effects of suction chamber geometries", *Chem. Eng. Science*, Vol. 63, pp. 3886-3897.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ces.2008.04.012>

[9] Utomo, T., Jin, Z., Rahman, M., Jeong, H. and Chung, H., 2008, "Investigation on hydrodynamics and mass transfer characteristics of a gas-liquid ejector using threedimensional CFD modeling", *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 22, pp. 1821-1829.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12206-008-0614-3>

[10] Myoung Kuk Ji, A Parametric study on the Performance Characteristics of Air and Liquid Ejector, A doctor's thesis, Gyeongsang National University (2008)

[11] Ji-Hoon Jung, A Study of Flow Characteristics inside of ejector, A master's thesis, Dong-A University (2010)

장 진 우(Jin-Woo Jang)

[준회원]



- 2012년 8월 : 동아대학교 기계공학과 (학사)
- 2014년 8월 : 동아대학교 기계공학과 대학원 (석사)

<관심분야>

전산유체, 구조설계

신 원 협(Won-Hyeop Sin)

[정회원]



- 2009년 2월 : 경성대학교 영어영문학과 (학사)
- 2011년 8월 : 동아대학교 산업정보대학원 기계공학과 (석사)
- 2013년 8월 ~ 현재 : 동아대학교 기계공학과 대학원 (박사과정)
- 1997년 3월 ~ 현재 : (주)엔케이 기술연구소 책임연구원

<관심분야>

전산유체, 구조설계

박 영 철(Young-Chul Park)

[정회원]



- 1982년 2월 : 부산대학교 금속공학과 대학원 (석사)
- 2002년 2월 : 일본 동북대학교 기계공학과 대학원 (박사)
- 2009년 3월 ~ 2013년 7월 : 동아대학교 산학협력단 단장
- 1998년 3월 ~ 현재 : 동아대학교 기계공학과 교수

<관심분야>

금속재료, 구조설계