

CFD 시뮬레이션을 이용한 이젝터 혼합실 형상에 따른 성능 평가에 관한 연구

신원협¹, 김민우¹, 박영철^{2*}

¹동아대학교 대학원 기계공학과, ²동아대학교 기계공학과

Study on Performance Evaluation of Mixing Section of Ejector using CFD simulation

Won-Hyeop Sin¹, Min-Woo Kim¹ and Young-Chul Park^{2*}

¹Graduate school, Department of Mechanical Engineering, Dong-A University

²Department of Mechanical Engineering, Dong-A University

요약 이젝터는 펌프의 일종으로서 고압의 유체가 지닌 압력에너지를 이용하여 흡입 유체를 빨아들여 이송하는 기계장치이다. 본 논문은 유한체적법 기반의 CFD 분석을 이용하여 이젝터의 성능에 영향을 미치는 혼합실 형상에 따른 영향을 조사하였다. 혼합실 내부의 노즐 직경과 노즐목 길이, 그리고 노즐 끝단과 유체가 외부로 빠져나가는 디퓨저 입구까지의 거리를 변화시키면서 성능을 좌우하는 흡입유체가 가장 잘 흡입되는 최적의 조건을 조사하였다. 연구 결과 이젝터의 성능은 노즐의 직경이 가장 큰 영향을 나타내는 것을 확인하였다. 혼합실 내부 노즐의 직경이 감소함에 따라 혼입율이 증가하는 것을 확인하였고 노즐 직경이 증가할수록 혼입율이 감소되는 것을 확인하였다. 반면 노즐목 길이, 노즐끝단과 디퓨저 입구까지의 거리에 대한 영향은 미비한 것으로 확인되었다. 마지막으로 CFD 분석 자료를 토대로 인공신경망을 이용하여 더욱 구체적인 이젝터 혼합실 형상, 노즐 직경 23.8mm를 제시하였다.

Abstract An ejector is a kind of pump which is using pressure energy of high pressure fluid. This study aims to investigate performance influencing according to change the ejector mixing section shape using CFD simulation by Finite Volume Method. Optimum conditions were suggested 3 kind of variable such as nozzle diameter, nozzle length, distance from nozzle tip to the diffuser inlet. The results, It was confirmed that the diameter of the nozzle was the greatest effect in performance of the ejector. The diameter of the nozzle get smaller, mixing ratio was increased. On the other hand, nozzle length, distance from nozzle tip to the diffuser inlet had little effect on performance. It was proposed specific Mixing section, Nozzel diameter 23.8mm using the Artificial Neural Network.

Key Words : Artificial neural network, Liquid-Gas Ejector, Mixing section, Suction port

1. 서론

일반적으로 이젝터는 고압의 유체가 지닌 압력에너지를 이용하여 흡입 유체를 빨아들여 이송하는 기계장치로서 오늘날 많은 공업 분야에 널리 적용되고 있다. 이젝터는 노즐(Nozzle), 혼합실(Mixing section), 디퓨저

(Diffuser)로 구성되어 있다. 이젝터는 구동장치가 따로 필요 없고 설치비가 적게 드는 장점이 있으며, 또한 기계적 운동 부분이 없기 때문에 비교적 고장의 거의 없이 반 영구적으로 쓸 수 있는 장점이 있다. 이젝터는 구동유체와 흡입유체의 따라 증기-증기, 액체-액체, 액체-가스, 액체-증기 이젝터로 나뉜다. 주로 증기-증기 이젝터는

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

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

Tel: +82-51-200-7652 email: parkyc67@dau.ac.kr

Received April 10, 2014

Revised May 7, 2014

Accepted May 8, 2014

여러 산업현장에서 혼합, 흡수, 탈수 등의 목적으로 사용되고 있으며, 액체-가스 이젝터는 부식가스, 독가스, 방사능 가스 제거와 같은 높은 진공을 요구하는 장치 및 염소처리와 오존처리 등의 화학적 처리를 통해 살균 처리하는 장치에 쓰이고 있다.

지금까지 이젝터의 유동 특성 및 성능 개선에 대한 연구는 무수히 진행되어 왔다. Fluegel은 액체-액체 이젝터와 증기-증기 이젝터를 베르누이 방정식을 적용해 기본적인 해석방향을 제시하였다. Sun and Eames는 증기-증기 이젝터의 흡입유체와 구동유체의 혼합에 관한 이론을 다루었으며, Witte는 액체-가스 이젝터의 전반적인 설계 방안을 이론적으로 제시하였다.

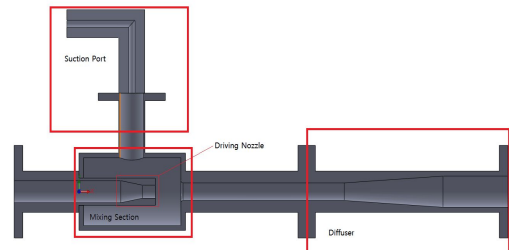
본 연구에서는 염소처리와 오존처리 등 화학적 처리를 통해 세균을 살균 처리하는 액체-가스 이젝터로서 성능 개선을 위해 유한체적법을 근거한 CFD 분석을 통해 액체-가스 이젝터 유동특성에 대한 전반적인 내용분석과 더불어 성능에 영향을 크게 미칠 수 있는 혼합실 형상을 변경하여 흡입유체가 가장 잘 흡입되는 형상을 제시하였다. 혼합실 내부의 노즐 직경, 노즐 목길이, 노즐 끝단과 디퓨저 입구 거리에 대한 영향을 파악하고 흡입유체의 흡입량을 측정하여 기존의 액체-가스 이젝터 성능의 개선방안을 제시하는데 목적을 두고 있다.

2. 이젝터 해석과정

2.1 이젝터 구동원리

이젝터의 구동은 고에너지를 가지는 구동유체가 상대적으로 저에너지 상태인 흡입유체와의 운동량 교환을 통하여 이루어진다. 고압의 구동유체가 노즐을 통해 혼합실로 유입되면 압력에너지가 속도에너지로 변환되며 구동압력이 이젝터 혼합실 내부의 압력까지 팽창되어 고속 제트를 형성시키게 된다. 제트의 팽창으로 인해 부압이 발생되고 이러한 부압은 흡입유체의 압력보다 이하로 형성되기 때문에 흡입유체를 흡입할 수 있게 된다. Fig. 1과 같이 이젝터는 세부적으로 혼합실(Mixing section), 구동노즐(Driving nozzle), 흡입부(Suction port), 스로트(Throat), 디퓨저(Diffuser)로 구성되어 있다. 노즐입구에서 고압의 구동유체가 고속으로 분출되면 Suction Port 내에 있던 흡입유체가 혼합실에서 구동유체와 혼합된 후 Throat로 분출되고 에너지 교환이 이루어져 두 유체의

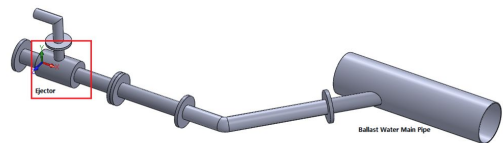
속도는 같게 된다. Throat내의 흐름이 고속이므로 이를 디퓨저에서 감속시켜 압력에너지를 회복한 후 혼합된 유체를 송출시킨다.



[Fig. 1] Liquid-Gas Ejector Constitution

2.2 이젝터 모델링 및 해석조건

본 연구의 장치는 염소처리 및 오존처리 등의 화학적 처리에 사용되는 액체-가스 이젝터를 참고 모델로 하여 모델링을 생성하였다[4]. Fig. 2는 이젝터에 대해 3차원 모델링으로 모델링 전용 소프트웨어인 ‘Solid Works’를 이용하여 조립도를 나타낸 것이다. 형상 변수로 적용할 구동 노즐의 내경은 28.2mm이며 외경은 58.8mm이다. 또한 혼합실의 치수는 길이 225mm, 높이 147mm이다. 흡입관은 54.9mm, 구동 노즐과 디퓨저 입구까지의 거리는 59mm로 하여 모델링을 생성하였다.



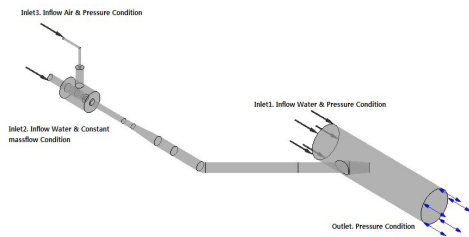
[Fig. 2] Liquid-Gas Ejector (3D Modeling)

이젝터 유동해석을 실시하기 위해 본체 부분을 모델링 한 후 내부 유동이 이루어지는 유동 영역을 얻어야 한다. 이젝터 내부 유동장을 형성하기 위해서 ANSYS-Workbench가 지원하는 ‘Enclosure’ 기능을 사용하여 이젝터 내부 유동장을 추출하였다. Fig. 3은 이젝터 구조를 제외시킨 후 내부 유동장만을 추출한 모습이다. 유동해석의 수렴성 및 정확성을 확보하기 위해 출구부분은 밸리스트 처리장치용 배관으로 유출된다고 가정하여 이젝터 뿐만 아니라 밸리스트 수 처리장치의 메인 배관 및 흡입관을 포함시켜 유동장을 형성하였다.

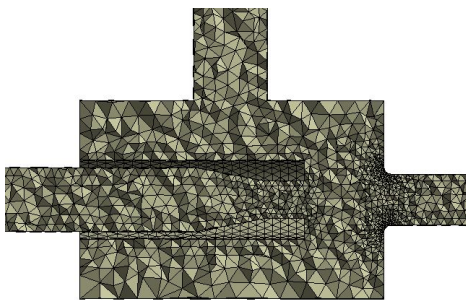


[Fig. 3] 3D modeling of flow region of Liquid-Gas Ejector.

Fig. 4는 모델의 경계조건을 나타내었고 Fig. 5는 모델의 격자구조를 나타내었다. 수치해석을 수행하기 위해서 구동노즐 입구, 흡입유체입구, 메인 배관 입구와 출구로 구성하였다. 메인 배관 입구(Inlet1)와 메인 배관 출구(Outlet)는 배압 상태 유지를 위해 압력조건 사용하였고 그 수치는 실제 실험에서의 압력에 근거하여 3.5bar를 적용하였다. 구동노즐 입구(Inlet2)는 실험에서 측정된 압력 계이지 유량조건을 적용하였다. 흡입유체입구(Inlet3)는 대기압과 동일한 압력 상태로 적용하였다. 작동유체는 공기와 물을 사용하였고 free surface model을 적용하였다. CFD 모델 격자는 Tetrahedral & prizm을 사용하여 총 114,186 nodes로 구성하였다. ‘Relevance’ 기능을 이용하여 격자를 더욱 조밀하게 적용하였고, 또한 ‘Advanced size functions’ 기능 중 표면곡률이 심한 영역에 격자 조



[Fig. 4] Boundary condition of CFD model

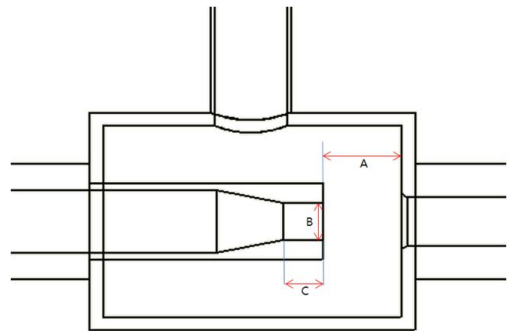


[Fig. 5] FVM model of Liquid-Gas Ejector

밀성을 갖게 하는 ‘Curvature’ 기능으로 구동노즐 출구 근처 및 혼합실 내부에서 강한 전단력과 충격파가 생길 것으로 예상되는 부분에 격자를 집중시켰다. 한편 경계 층 유동을 고려하기 위해 ‘Inflation’ 기능을 활용하였다.

2.3 이젝터 형상 변수 선정

본 연구에서는 혼합실 형상을 변경하여 CFD 시뮬레이션을 통하여 흡입유체의 흡입량에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 이젝터 혼합실의 내부 구조는 복잡한 형태이고, 이젝터의 성능과 혼합실 내부 구조의 형상 변수들과의 관계가 명확히 정의 되지 않았기 때문에 임의로 성능이 영향을 미칠 것으로 판단되는 혼합실 내부의 구동노즐 직경, 구동노즐의 목 길이, 구동노즐 끝단과 디퓨저 입구까지의 거리를 Fig. 6과 같이 형상 변수로 두어 해석을 실시하였다. 형상 변수 3가지, 수준수를 3으로 두었다. 본 연구에서는 형상을 최적화하기 이전에 우선 각 형상 변수들의 영향력을 찾고자 함이 목적이기 때문에 각 설계인자의 범위는 2mm 간격으로 설정하여 총 Case 27의 이젝터 유동해석을 실시하였다.



[Fig. 6] 3Types of Geometrical parameter

[Table 1] Geometrical parameter

	0	1	2
Distance	57mm	59mm	61mm
Diameter	26.2mm	28.2mm	30.2mm
Neck length	28mm	30mm	32mm

2.4 해석결과

이젝터의 성능은 이젝터 구동노즐을 통과하는 구동유체와 흡입부를 통과하는 흡입유체의 비에 의해 결정되며, 관계식은 다음과 같이 표현된다.

$$M = Q_s / Q_n$$

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

$$\eta = M \cdot N$$

구동노즐의 구동유체의 유량 Q_n 과 흡입부의 흡입유체의 Q_s 의 비를 유량비 M 이라 하며 구동노즐의 구동유체의 압력과 메인 파이프에 걸리는 배압 P_d 의 차에 대한 압력, 그리고 흡입유체의 압력과 차에 대한 비를 압력비 N 이라한다. 유량비와 압력비의 곱은 효율이며, 가스-액체 이젝터 성능을 평가하기 위하여 쓰이는 관계식이다. 이는 이젝터 효율은 흡입유체의 흡입되는 유량에 비례하며, 구동유체의 압력과 흡입유체의 압력간의 차에 반비례 한다는 것을 알 수 있다. 즉 이젝터 성능은 구동유체의 유입량과 메인 파이프의 배압은 고정 값이며 흡입유체의 흡입량과 구동유체와 흡입유체 간의 압력차가 결정적인 요인으로 볼 수 있다.

Table은 총 27가지 Case의 구동노즐의 구동유체의 유량 Q_n , 흡입유체의 Q_s , 그리고 구동유체의 압력 P_n , 흡입유체의 압력 P_s 를 다음과 같이 나타내었다. 노즐-디퓨저 거리 59mm, 구동노즐 직경 28.2mm, 구동노즐 목 길이 30mm를 가진 Case14의 모델은 기존의 참고 모델로써 350kPa 배압에서 구동유체 유량 90m³/h, 흡입유체 유량 8.87m³/h 그리고 구동유체 압력 1110.7kPa, 흡입유체 압력 97.709kPa로 나타났다.

다음 Table 2은 해석조건에서 각각 설정한 구동노즐의 구동유체의 유량, 흡입 유체가 흡입되는 유량, 그리고 구동유체의 압력과 흡입유체의 압력을 나타낸다. 이젝터 효율에서 가장 중요한 요소인 흡입유체의 흡입량은 이와 같이 Case1, Case2, Case3, Case10, Case11, Case12, Case19, Case20, Case21이 대체적으로 평균 62.14m³/h로 많은 양이 흡입되는 것을 알 수 있다. 또한 구동유체와 흡입유체의 압력차는 평균 1011.31kPa로 나타났다.

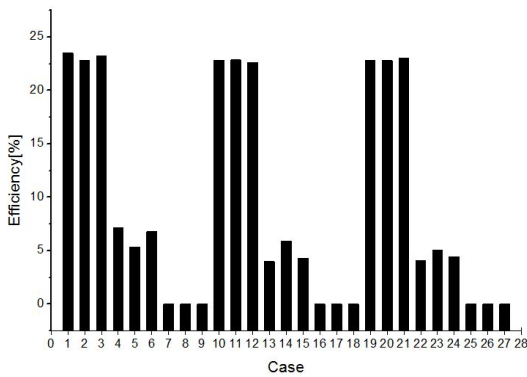
이를 다시 이젝터 효율 관계식을 이용하여 다음과 같이 총 27 Case의 모델의 효율이 나타났다. 보는 바와 같이 흡입유체의 흡입유량이 많은 9가지의 Case가 효율 또한 월등한 것으로 나타났다. 기존 모델인 Case14의 경우는 효율이 5.9%로 나타났으며 가장 높은 효율은 가진 모델은 Case1로서 그 효율은 23.52%로 나타났다. 이는 약 4배의 효율 증대를 가져온 결과이다.

구동노즐의 직경이 30.2mm일 경우는 흡입유체가 전

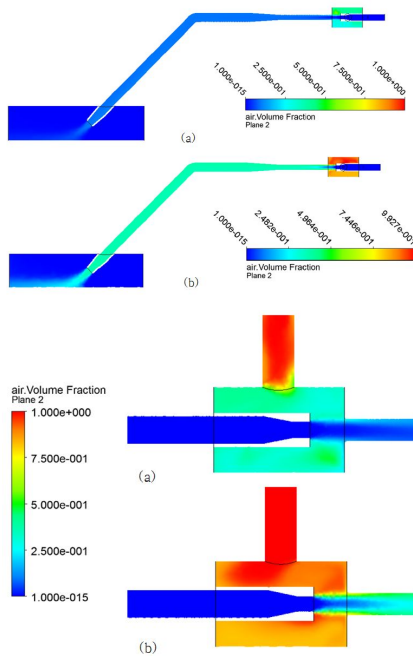
혀 흡입이 되지 않는 결과를 가져왔으며 반대로 구동노즐의 직경이 감소하면 흡입유체가 큰 폭으로 많은 양이 흡입되는 것을 알 수 있다. 또한 구동유체의 압력과 흡입유체의 압력의 차가 커지는 것을 알 수 있다. 허나 구동노즐 목 길이와 구동노즐과 디퓨저 간의 거리 차에 대한 형상변수들은 이젝터 성능에 크게 영향을 주지 않는 것으로 판단된다. Fig. 7은 24가지 모델의 효율을 나타낸 그래프이다. Fig. 8은 기존 모델과 성능이 가장 뛰어난 모델이 Case1의 Air Volume Fractions을 나타내며 확연히 흡입되는 흡입유체의 유량의 차이가 나타난다.

[Table 2] CFD simulation results

	(pressure-kPa, Q-m ³ /h)						
	A	B	C	In_p2	In_p3	In_Water	In_Air
Case1	0	0	0	1110	97.7	90	63.8
Case2	0	0	1	1109	97.7	90	61.8
Case3	0	0	2	1111	97.7	90	63.1
Case4	0	1	0	769.6	97.7	90	10.7
Case5	0	1	1	771.3	97.8	90	8.04
Case6	0	1	2	649.9	97.8	90	10.2
Case7	0	2	0	677.4	208	90	0
Case8	0	2	1	647.7	237	90	0
Case9	0	2	2	1112	206	90	0
Case10	1	0	0	1109	97.7	90	62.1
Case11	1	0	1	1109	97.7	90	61.9
	A	B	C	In_p2	In_p3	In_Water	In_Air
Case12	1	0	2	1109	97.7	90	61.3
Case13	1	1	0	769.3	97.8	90	5.95
Case14	1	1	1	771.1	97.8	90	8.87
Case15	1	1	2	768.6	97.8	90	6.43
Case16	1	2	0	644.4	217	90	0
Case17	1	2	1	647.3	208	90	0
Case18	1	2	2	653.4	212	90	0
Case19	2	0	0	1111	97.7	90	61.9
Case20	2	0	1	1100	97.7	90	61.0
Case21	2	0	2	1110	97.7	90	62.4
Case22	2	1	0	769.1	97.8	90	6.05
Case23	2	1	1	769.6	97.8	90	7.53
Case24	2	1	2	769.7	97.8	90	6.65
Case25	2	2	0	657.4	213	90	0
Case26	2	2	1	655.2	218	90	0



[Fig. 7] Efficiency of Cases



[Fig. 8] Air Volume Fractions (a)Case1 (b)Case14

3. 인공신경망 적용

3.1 인공신경망 개요

인공신경망이란 인간의 신경조직 세포를 모델로 간단한 기능을 하는 단위기들을 서로 대규모로 연결시킨 네트워크이다. 인공신경망은 입력력변수간의 관계를 대수 방정식으로 표현하기 어려운 비선형 시스템의 식별에 많이 활용되고 있다. 본 연구의 이젝터 또한 이젝터의 성능과 내부 구조의 설계변수들간의 관계가 명확히 정의되기

어렵기 때문에 인공신경망을 활용하여 이젝터 성능의 영향을 미치는 구동노즐의 직경을 예측하고자 한다. 또한 인공신경망은 설계변수가 가지는 목적 값을 예측할 수 있을 뿐 아니라 설계변수 다수준 영역에서의 실험 및 시뮬레이션 효과를 가져오는 장점을 활용하여 CFD 분석을 통해 결과를 도출하는데 많은 시간이 소비되는 어려움을 극복하고자 하였다.

본 연구에 사용되는 인공신경망은 가장 널리 사용되고 있는 다층 퍼셉트론 신경망 구조를 활용되며, 크게 입력층, 은닉층, 출력층으로 이루어져 있으며 감독학습의 역전과 학습 알고리즘에 의해 학습되어진다. 또한 역전과 학습 알고리즘은 입력 값으로 실제 출력값을 계산하는 전향단계, 출력 값과 목적 값의 오차를 계산 한 후 가중치와 임계치를 조절하는 후향 단계로 이루어져있다.

3.2 CFD 유동 해석 및 인공신경망 활용

앞서 수행한 유동해석을 토대로 구동 노즐 직경을 감소를 통한 이젝터 성능 향상 여부를 추가적으로 확인하기 위하여, 기존의 모델의 구동 노즐 직경만을 4mm, 5mm, 6mm, 7mm, 8mm를 감소시켜 총 5가지 모델에 대한 해석을 추가로 실시하였다. 그 결과 4mm를 줄인 노즐 직경 24.2mm의 흡입유체 유량은 122.53m³/h, 구동유체의 압력과 흡입유체의 압력은 각각 1611.6kPa, 97.52kPa로 나타났다.

노즐직경 23.2mm는 흡입유체 유량 157.71m³/h, 각 압력은 1960.3kPa, 97.36kPa로 나타났고 직경 22.2mm는 186.52m³/h, 압력은 각각 2377.9kPa, 97.21kPa로 나타났다. 그리고 직경 21.2mm에선 유량 205.7m³/h, 압력은 2906.4kPa, 97.22kPa로 나타났다. 마지막으로 8mm를 줄인 노즐 직경 20.2mm의 흡입유체 유량은 216.64m³/h, 구동유체 압력과 흡입유체 압력은 각각 3585.1kPa, 97.02kPa로 나타났다. 관계식을 이용한 이젝터 효율은 구동 노즐 직경 24.2mm에선 27.2%, 직경 20.2mm는 18.8%로 나타났다. 구동 노즐 직경 24.2mm는 앞서 수행한 총 27가지 해석 모델 중 가장 높은 효율을 보였던 Case1의 경우보다 높은 효율을 약 4% 증가된 모습을 보였다. 반대로 8mm를 감소시킨 모델에선 효율이 떨어지는 것으로 나타났다. 이는 구동노즐의 직경을 감소시킴으로써 흡입유체의 흡입량을 증가시키지만 반대로 구동유체 압력과 흡입 유체 압력 차가 큰 폭으로 증가하여 효율을 감소시키는 것으로 나타났다.

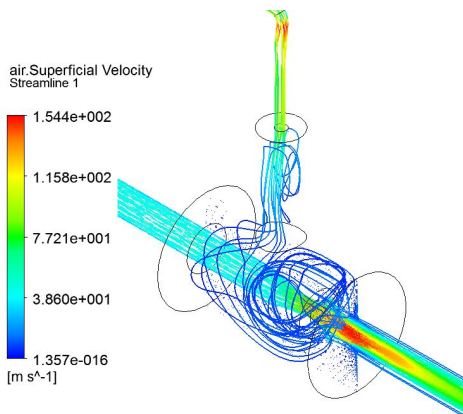
[Table 3] Artificial Neural Network predictive value

Diameter	In_Air [m^3/h]	Efficiency[%]
24.1mm	128.48	27.33
24.0mm	130.97	27.41
23.9mm	133.44	27.52
23.8mm	136.18	27.60
23.7mm	138.34	27.52
23.6mm	140.78	27.26
23.5mm	143.20	26.94

Table 3은 인공신경망을 활용하여 예측된 값들 중 효율이 최대치를 보이고 있는 24.1mm에서 23.5mm까지의 값들을 나타내었다.

본 연구에서는 앞서 수행한 총 27가지의 유동해석 데이터와 직경을 형상변수로 추가로 실시한 5가지의 유동해석 데이터를 토대로 인공신경망을 통하여 이젝터 효율을 예측하였다. 구동노즐 직경 변수와 흡입유체의 흡입량, 구동유체 압력, 흡입유체 압력, 그리고 각각의 효율 결과 값을 인공신경망 Input 데이터로 활용하였다. 그 결과 가장 성능이 좋은 모델로 구동노즐 직경 23.8mm에서 흡입유체 유량 $136.18m^3/h$, 이젝터 효율 27.6%를 예측하였다.

인공신경망에서 예측한 23.8mm 직경을 가진 모델을 검증하기 위해 CFD 시뮬레이션을 통하여 해석을 실시하였다. 해석한 결과 인공신경망이 예측한 결과와 비슷한 흡입유량 $136.04m^3/h$, 이젝터 효율 27.4%로 나타났다. 이는 직경 23mm~24.2mm구간은 모두 27%대의 효율을 나타냈다. Fig. 9는 구동노즐 직경 23.8mm인 최종모델의 유동흐름을 나타내며 구동유체와 흡입유체가 원활히 혼합되는 모습을 볼 수 있다.



[Fig. 9] Air - Streamline and Water- Vectors of Final Model

4. 결론

액체-가스 이젝터 성능에 미칠수 있는 혼합실 형상변수를 변화시켜 가면서, CFD시뮬레이션을 실시하였다. 또한 최적의 설계구현을 위해 인공신경망을 활용하여 형상변수중의 하나인 직경의 수치를 예측하였고 CFD시뮬레이션을 재해석하여 신뢰성을 확보하였다. 구체적인 결론은 다음과 같다.

1) 이젝터 구동노즐의 직경은 감소시키면 흡입유체의 유량이 증가하고 또한 구동유체 압력과 흡입유체 압력의 차도 증가한다. 흡입유체 유량의 증가는 이젝터 효율을 증가시키나 압력차의 증가는 효율을 감소시킨다. CFD 시뮬레이션 결과 흡입유체 유량의 증가와 압력차의 증가에 따른 최대 효율 지점은 직경 23.8mm로 나타났다. 이젝터 최대 효율은 27.4%로 나타났다.

2) 이젝터 구동노즐의 목 길이, 구동노즐 끝단과 디퓨저 입구까지의 거리를 형상변수로 두고 실시하였다. 흡입량의 미세한 차이는 있었으나 이젝터 성능에는 영향의 거의 없는 것으로 판단된다.

3) CFD 시뮬레이션과 인공신경망 적용을 통해 이젝터 구동노즐 직경의 변화시키면서 적정 흡입유체의 유량 및 압력차를 찾아내어 이젝터 성능이 가장 뛰어난 직경 23mm~24.2mm 구간을 제시하였다.

References

- [1] Fluegel, G., Berechnung von Stahlapparaten, VDI Forschungsheft 395 Ausgabe B Band 10. 1939.
- [2] Sun, D. W. and Eames, I. E., "Recent Developments in the Design Theoreis and Applications of Ejectors-a Review," Journal of the Institute Energy, Vol. 68, pp.665-676, June, 1995.
- [3] Witte, J. H., "Efficiency and Design of Liquid-Gas Ejector," British Chemical Engineering, Vol. 10, No.9,pp. 602-607. 1995.
- [4] Kang, S. H., " A Numerical Study of the Characteristics of Internal Flow in Gas-Liquid Ejector of Ballast Water Treatment System" A master's thesis, Dong-A university, 2012.
- [5] Kim, D. H., Kim, D. J., Kim, H. K., Kim, B. M., Choi, J. C., "Process Design of a Hot Forged product using the Artificial Neural Network and the Statistical

Design of Experiments." Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 15, No. 9. September 1998.

- [6] Kim, Y. J., "A study on the effect of Nozzle Geometry on the Suction Flow Rate in a Jet Pump." A master's thesis, Dong-A university, 2008.

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

김 민 우(Min-Woo Kim)

[정회원]



- 2012년 2월 : 동아대학교 기계공학과 (학사)
- 20013년 2월 ~ 현재 : 동아대학교 기계공학과 대학원 (석사과정)

<관심분야>

전산유체, 구조설계