

<학술논문>

DOI <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-B.2015.39.2.183>

ISSN 1226-4881(Print)
2288-5324(Online)

액체상 이젝터의 2차측 액체 송출량 특성 전산해석

권귀성* · 윤진원* · 손인석** · 서영교*** · 유상석**
* 충남대학교 기계공학과, ** 코아비스, *** 자동차부품연구원

Secondary Flow Patterns of Liquid Ejector with Computational Analysis

Kwisung Kwon*, Jinwon Yun*, Inseok Sohn**, Yongkyo Seo*** and Sangseok Yu**†

* Dept. of Mechanical Engineering Chungnam Nat'l Univ.

** COAVIS, *** Korea Automotive Technology Institute,

(Received July 29, 2014 ; Revised September 25, 2014 ; Accepted October 30, 2014)

Key Words: Nonpower-Pump(무동력펌프), Ejector(이젝터), Cavitation(공동현상), CFD Analysis(CFD 해석), Flux Ratio(유량비)

초록: 무동력펌프의 일종인 이젝터는 압력을 갖는 유체를 노즐에서 분사하여 주위의 유체를 흡입 후 혼합유체를 외부 동력 없이 송출하는 장치이다. 구조가 간단하고 고장이 적어 여러 산업분야에서 이용되고 있으며, 자동차 산업에서는 연료주입용으로도 이용되고 있다. 대부분 이젝터는 가스상을 사용하기 때문에, 가스상 이젝터는 오래전부터 연구되어 왔다. 액체상 이젝터는 그 용도에 비해 아직 연구가 활발하지 못하다. 가스상 이젝터와 달리, 액체상 이젝터는 노즐목에서 부분적인 압력강하에 의한 공동현상이 발생되고 이러한 공동현상은 부품파손을 유발하며, 소음을 발생시키는 원인이 되고 있다. 본 연구는 액체-액체상 이젝터의 최대 유량비와 공동현상 발생영역 비교를 위해 5가지 인자를 변경하여 2차원 축대칭 전산해석을 진행하였다. 액체 이젝터의 공동현상에서는 특히 노즐각도가 중요한 역할을 하였으며, 유량비 성능 특성은 혼합챔버각도 35°가 가장 유리한 것으로 판단된다. 이를 통해 공동 현상을 최소화시키면서 성능 최적화를 달성할 수 있는 조합을 얻을 수 있음을 확인하였다.

Abstract: An ejector is a type of non-powered pump that is used to supply a secondary flow via the ejection of a primary flow. It is utilized in many industrial fields, and is used for fueling the vehicle because of less failures and simple structure. Since most of ejectors in industry are gas-to-gas and liquid to gas ejector, many research activities have been reported in optimization of gas ejector. On the other hand, the liquid ejector is also applied in many industry but few research has been reported. The liquid ejector occurs cavitation, and it causes damage of parts. Cavitation has been observed at the nozzle throat at the specified pressure. In this study, a two-dimensional axisymmetric simulation of a liquid-liquid ejector was carried out using five different parameters. The angle of the nozzle plays an important role in the cavitation of a liquid ejector, and the performance characteristics of the flow ratio showed that an angle of 35° was the most advantageous. The simulation results showed that the performance of the liquid ejector and the cavitation effect have to be considered simultaneously.

- 기호설명 -

v_x : 축방향 속도 (m/s)

v_r : 방사방향 속도 (m/s)

v_z : 소용돌이 속도 (m/s)

ρ : 밀도 (kg/m^3)

P: 압력 (N/m^2)

1. 서론

무동력 펌프의 일종인 이젝터는 압력을 갖는 물, 증기, 공기 등을 분출구에서 고속도로 분출하

† Corresponding Author, sangseok@cnu.ac.kr

© 2015 The Korean Society of Mechanical Engineers

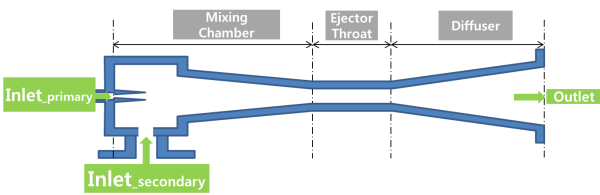


Fig. 1 Typical structure of ejector and description of components

여 주위의 유체를 고속유체 주위로 유입시켜 혼합 후 운송하는 장치이다. 구조가 간단하고, 운동 부분이 없어 고장이 적기 때문에 여러 산업분야에서 널리 이용되고 있다. 압력을 가진 유체(1차측 액체)를 노즐에서 고속 분사시키면 유체의 압력에너지는 속도에너지로 바뀌고 이 빠른 속도에 의하여 흡입실내에 진공이 형성되어 저압의 유체(2차측 액체)를 이젝터 내부로 유입시킨다. 노즐로 분사된 1차측 액체와 흡입된 저압유체는 혼합 챔버와 이젝터 목에서 혼합되고, 디퓨저를 거치면서 속도에너지가 압력에너지로 환원되어 분출되는 과정을 거친다. Fig. 1은 이젝터의 구조와 각 부의 명칭을 나타낸다.⁽¹⁾

이젝터의 입구부에서는 관경을 가늘게 하여 2차측 액체가 1차측 액체와 잘 섞이도록 하고, 이젝터 후단에서는 혼합된 유체의 속도에너지가 압력에너지로 바뀌도록 디퓨저를 설치해 관경을 넓힌다.

Fig. 2는 액체-기체상 이젝터 각 부의 압력과 속도 변화그래프를 보여주고 있으며, 1과 3사이에서는 1차측 액체(Primary fluid)가 노즐을 통해 이젝터 관 내부로 유입되는 과정에서 압력에너지가 속도에너지로 변환되는 것을 보여주고, 2와 3 사이에서는 저압의 2차측 액체(Secondary fluid)가 1차측 액체의 고속 분출에 의해 혼합챔버 안으로 유입되게 되며 압력과 속도는 증가한다. 3과 4사이에서는 1차측 액체와 2차측 액체가 섞이고 관의 지름변화에 영향을 받아 압력의 변화가 생긴다. 4와 5사이에서는 디퓨저 관 지름의 영향을 받아 혼합유체의 속도에너지가 압력에너지로 변환되어 분출된다.⁽²⁾

기체상 이젝터에 대한 연구는 오랜 기간 진행되어 왔으며, 주로 이젝터 내부의 압력변화와 압력회복 등에 대한 연구가 주로 진행되었다.⁽³⁻⁵⁾ Jeong 등은 액체-기체상 이젝터의 혼합챔버에서 혼합충격에 대한 연구를 진행했고, 목비가 5.5보다 작을 경우 혼합챔버 내에서 두 유체의 혼합이 완

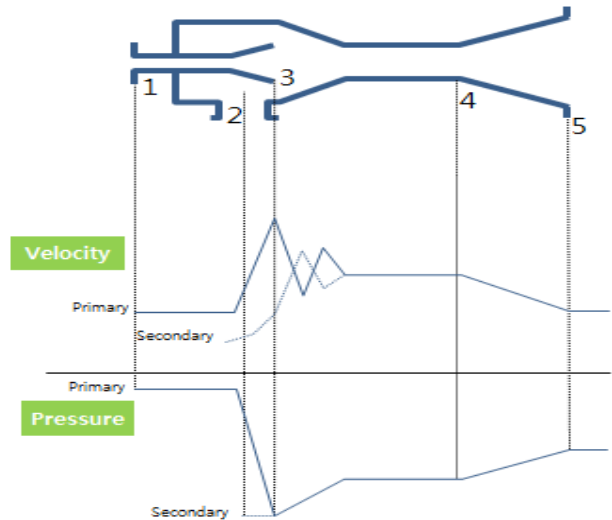


Fig. 2 Velocity and pressure alteration along the ejector

전히 일어나지 못함을 확인했다.⁽³⁾ Long 등은 이젝터 내에서 공동현상의 세기가 증가하면 한계작동에 이르러, 이 이상에서는 흡입유량이 출구압력의 감소에 반응하지 않게 되어 이젝터의 작동 범위를 제한하고 이젝터의 효율감소를 야기한다고 발표했다.⁽⁴⁾ Ji 등은 공기구동 이젝터 목비가 2인 경우, 최대효율을 달성함을 확인했으며, 디퓨저 목의 길이가 4d 이하인 경우 디퓨저의 압력회복이 원활히 일어남을 확인했다.⁽⁵⁾ Hwang 등은 담수장치에 사용된 액체-가스 이젝터의 노즐 지름과 구동유량에 따른 성능을 Fluent를 이용해 분석하였고, 노즐 직경이 증가할수록 흡입유량이 증가하지만 압력강하의 영향으로 역류발생 가능성이 높아짐을 확인하였다.⁽⁶⁾ Mun 등은 이젝터의 구동노즐을 원형구멍을 가공한 다공성 오리피스 타입의 노즐을 사용하여 기존 이젝터 노즐에 비해 흡입실 내에서 1차측 액체와 2차측 액체의 접촉시간과 면적이 증가하여 2차측 액체를 흡입하는 능력이 뛰어난을 확인하였다.⁽⁷⁾

액체상 이젝터는 가스상 이젝터와 달리, 공동현상이 발생한다. 공동현상은 유체의 속도가 증가해 진공상태에 가까워지면 유체가 증발하여 수증기가 되고, 수증기에 녹아있던 공기가 공동(Cavity)을 형성하는 현상이다. 공동현상은 베르누이의 원리로 설명 가능하다. 유속과 압력의 변화는 서로 반비례 관계에 있어 구동노즐 목을 통과하는 1차측 액체의 유속이 급격히 높아지면 압력이 급격하게 낮아져 유체의 상이 기화되어 공동현상이 발생한다.⁽⁸⁾ 압력차에 의해 발생하는 공동

현상은 부식과 소음을 유발하기 때문에, 공동현상 발생영역을 최소화하는 것이 필요하다.

기존 연구는 가스상 이젝터 연구를 주로 진행하여 다양한 연구 업적들이 보고되어 지고 있으나, 아직 액체상 이젝터에 대한 연구는 희박하다. 이젝터는 두 유체의 혼합이라는 목적 외에도 하나의 펌프를 이용한 경우에 비해 유체의 송출량을 증가시켜주는 역할을 한다.

상기와 같이 유체의 상에 따라 설계변수에 따른 성능 특성이 달라지기 때문에, 액체상 이젝터 특성에 대한 구체적인 연구가 필요하다. 본 연구에서는 액체상 이젝터의 설계변수에 따른 이젝터 성능 특성을 이해하기 위해 2차원 축대칭 해석 모델을 개발하고자 한다. 1차측 액체의 노즐 분사 속도에 따라 구동 노즐 목에서 공동현상이 관측되기 때문에 해석모델을 이용해 설계 변수에 따른 공동현상도 함께 확인하고자 한다. 이를 통해 성능 특성과 1차측 구동노즐 공동현상 사이의 상관성을 조사하고자 한다.

2. 이젝터 전산 해석

본 연구에서는 $\frac{\text{2차측 유량(Secondary flow)}}{\text{1차측 유량(Primary flow)}}$ 을 유량비로 정의하고 이젝터 성능 지수로 사용하였다. 이젝터 내구특성은 노즐 목에서 발생하는 공동현상영역의 길이로 표시하였다.

2.1 2차원 축대칭 이젝터 모델

Fig. 3의 Case 1은 본 연구의 이젝터 유동 3차원 형상이며, 여러 인자별 결과비교를 위한 시간적 효율성을 높이고자, Case 2와 같이 2차측 액체가 혼합챔버 주위 360°에서 유입된다는 가정하에 2차원 축대칭 모델로 변형하였다. Fig. 4는 전산해석을 위한 격자생성으로 구동노즐과 혼합챔버 부분의 격자를 보여준다. 각 인자에 따른 형상이 변하기 때문에 58486개에서 69683개까지 격자를 생성하였으며, Orthogonal Quality가 평균 0.99, Skewness의 평균이 0.07 등으로 원활한 전산해석 진행이 가능했다.

인자별 해석을 위한 경계조건은 압력조건으로 설정하였다. 1차측 액체의 압력은 400kPa_g, 흡입구와 출구 압력은 대기압으로 설정하여 1차측 액체의 흐름에 따른 이젝터 내부의 유동 특성을 분석하였다. Fluent 13.0을 사용하였으며 이젝터를

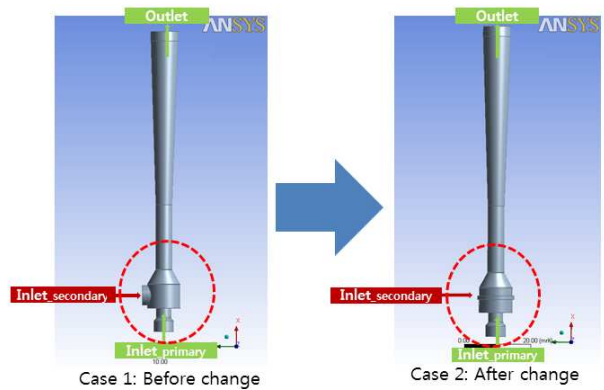


Fig. 3 3-D ejector vs. 2-D axisymmetric ejector

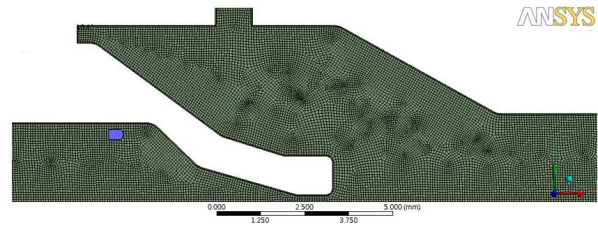


Fig. 4 Mesh generation of axisymmetric ejector

흐르는 유동은 난류모델인 Realizable k-ε Model을 사용하였다. 이젝터를 흐르는 유체는 가솔린이다.

2.2 지배방정식

본 연구에서 이젝터 형상은 2차원 축대칭으로 모델링 하였으며, 정상상태로 가정하였다. 모델 해석에서 사용되는 보존 방정식은 다음과 같다.

- Mass conservation equation

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho v_x) + \frac{\partial}{\partial r}(\rho v_r) + \frac{\rho v_r}{r} = 0 \quad (1)$$

- Axial momentum conservation equations

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t}(\rho v_x) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial x}(r \rho v_x v_x) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(r \rho v_r v_x) \\ &= -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial x} \left[r \mu \left(2 \frac{\partial v_x}{\partial x} \right) - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \vec{v}) \right] \\ &+ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial x} \left[r \mu \left(\frac{\partial v_x}{\partial r} + \frac{\partial v_r}{\partial x} \right) \right] \end{aligned} \quad (2)$$

- Radial momentum conservation equations

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t}(\rho v_r) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial x}(r \rho v_x v_r) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(r \rho v_r v_r) \\ &= -\frac{\partial p}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r \mu \left(2 \frac{\partial v_r}{\partial r} \right) - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \vec{v}) \right] \\ &+ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial x} \left[r \mu \left(\frac{\partial v_r}{\partial x} + \frac{\partial v_x}{\partial r} \right) \right] \\ &- 2\mu \frac{v_r}{r^2} + \frac{2}{3} \frac{\mu}{r} (\nabla \cdot \vec{v}) + \rho \frac{v_z^2}{r} \end{aligned} \quad (3)$$

2.3 실험적 검증

해석 모델의 결과 신뢰성을 얻기 위해 주관기관에서 제공하는 실험데이터와 본 연구의 2차원 축대칭 형상의 해석결과를 비교하였다. 200-500 kPa_g의 구동압력별 구동유량 실험데이터와 해석 결과의 구동유량은 Fig. 5의 차트에 나타냈으며, 구동압력의 증가에 따라 오차율은 9.7%에서 18.8%까지 증가하였지만, 데이터 증가 경향은 일치하였다. 본 실험적 검증을 통해 변경된 형상의 해석과 실험적 결과의 경향성 변화추이가 일치함을 확인하였다. 이에 따라 2차원 축대칭 전산해석을 위해 변경한 형상이 본 연구에서 각 인자의 해석을 진행하기에 충분한 것으로 판단된다.

2.4 인자 선정

이젝터의 목적이 1차측 액체를 이용하여 주변의 유체를 다른 곳으로 보내는 것인 만큼, 구동유량 비 흡입유량이 많을수록 높은 성능을 갖는다. 이젝터 성능지표인 유량비는 혼합챔버 내부의 공간, 혼합챔버의 각도, 혼합챔버 내부에서 발생하는 재순환현상 등에 영향을 받기 때문에 이에 영향을 주는 인자들을 선정하였다.

공동현상은 이젝터의 구동노즐 목에서 심하게 발생하기 때문에 그 영역이 최소화 되어야 한다. 기준이 되는 형상의 노즐 목 길이는 1mm 이며, 노즐 목 유입부에서 공동현상이 시작되고 전파되기 때문에, 노즐 목에서 공동현상 영역에 영향을 주는 인자를 선정하였다.

Fig. 6은 높은 유량비 효율과 노즐 목에서의 공동현상 영역의 최소화를 위해 선정된 5가지 인자를 나타낸다. 인자는 ①목비, ②구동노즐의 각도, ③노즐직경 비, ④혼합챔버의 각도를 나타낸다. ⑤번 인자는 이젝터 목 입구 대비 구동노즐 출구와의 거리를 변경하며 연구를 수행했다. 노즐 목에서 발생하는 공동현상의 특성 비교를 위해 노즐 목 후단에서 길이방향으로 진행되는 공동현상 발생 영역의 크기를 비교하였다.

3. 전산해석 결과

3.1 목비 변화에 대한 해석

목비는 이젝터의 고정된 목 직경에 따른 목 길이의 비로 무 차원화한 변수이다. Fig. 7은 목비 0.5-5 범위에서 각 유량비의 변화를 나타낸다. 목비가 1인 경우 유량비가 15.84 LPH로 가장 높았

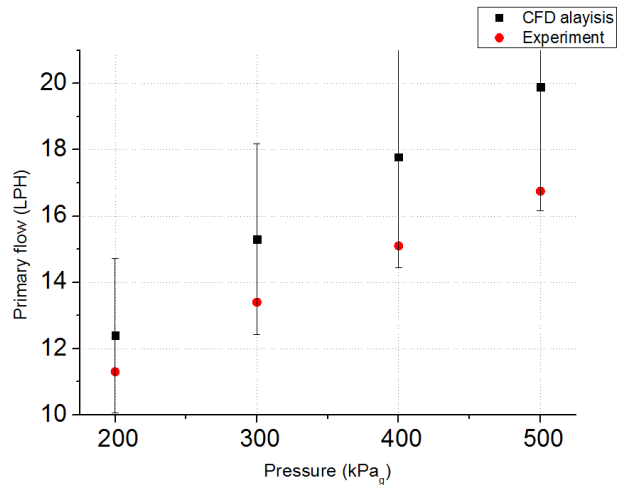


Fig. 5 Comparisons of experimental and CFD analysis

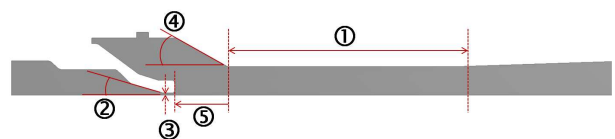


Fig. 6 Geometric parameters in axisymmetric ejector

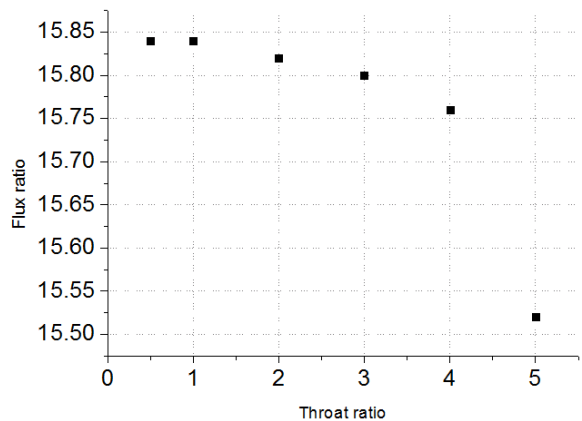


Fig. 7 Secondary flow suction capacity in terms of throat ratio

으며 이는 목비 5와 비교하여 2%의 효율이 상승되었다. Fig. 8-10은 목비가 1, 4, 5일 때 혼합챔버 내부의 압력분포를 나타낸다. Fig. 8과 9의 비교를 통해 목비가 1일 때, 혼합챔버 내의 압력이 낮게 형성되어 흡입유량이 증가하게 된다. 목비가 4인 경우를 기준으로 유량비 효율이 급격하게 변함을 확인 할 수 있었는데, 이는 Fig. 9, Fig. 10을 비교하면 목비가 5인 경우 혼합챔버 내부 압력이 더 증가하여 흡입유량이 감소되는 것으로 판단된다. 목비의 변화는 구동노즐의 속도 변화량에 영향을 주지 못해 공동현상 발생 영역은 변

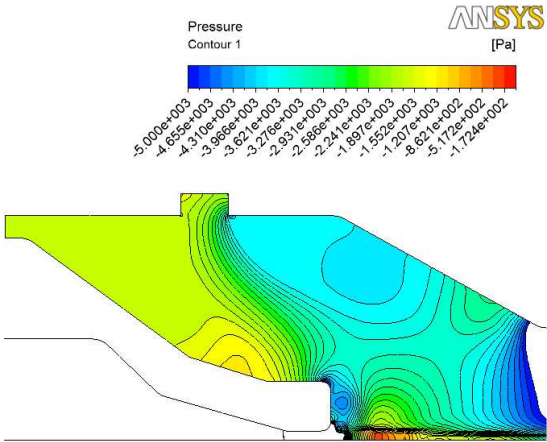


Fig. 8 Pressure contour in suction chamber at throat ratio=1

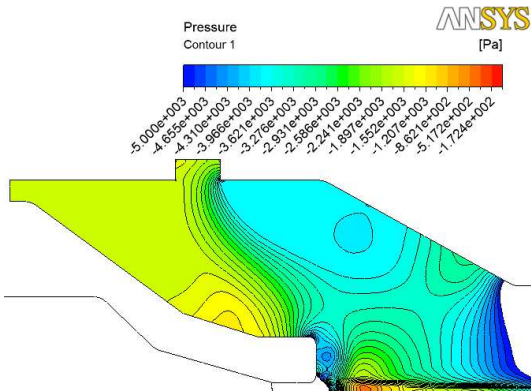


Fig. 9 Pressure contour in suction chamber at throat ratio=4

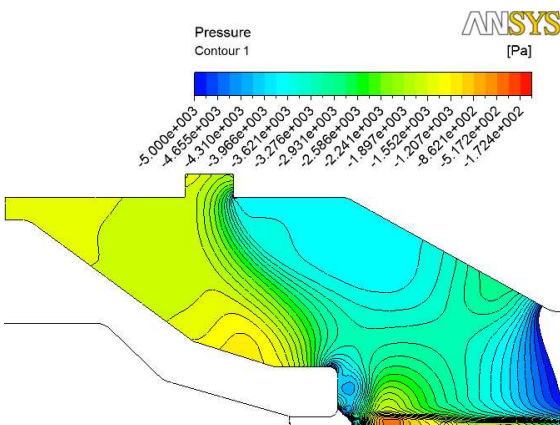


Fig. 10 Pressure contour in suction chamber at throat ratio=5

하지 않았다.

3.2 구동노즐 각도 변화에 대한 해석

구동노즐의 각도는 노즐 목에서 발생하는 공동

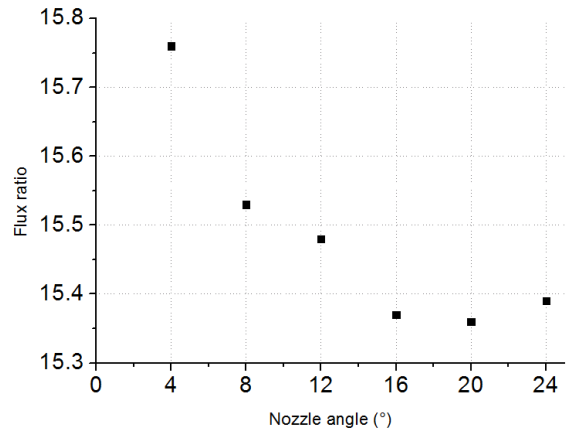


Fig. 11 Secondary flow suction capacity in terms of nozzle angle(°)

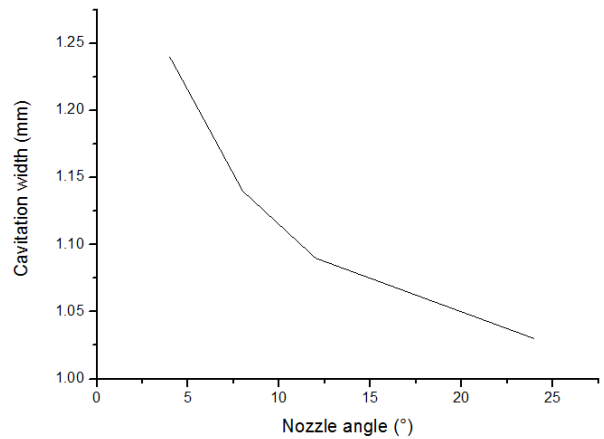


Fig. 12 Width of cavitation area in terms of nozzle angle (°)

현상 영역을 감소시키는 주요한 인자가 된다. 구동노즐 목에서 급격히 감소하는 압력의 변화를 낮추는 원인을 찾아 노즐 목에서 발생하는 공동 현상 범위를 감소시킬 수 있다. 본 연구에서는 노즐 각도를 4-24° 까지 변화하며 해석을 수행하였다. Fig. 11에는 각도별 유량비 변화를 나타내고 있으며, 16~20° 사이에 최소 유량비를 나타내는 것으로 판단되어진다. Fig. 12는 각도별 공동 현상 발생영역 변화를 나타내었다. 노즐 각도가 작을수록 유량비는 증가하지만, 공동현상 발생영역이 늘어나는 결과를 얻었다. 노즐 각도가 높을수록 흡입구 주변 재순환 현상이 심해지고, 벽전단응력이 증가하여 흡입유량의 유입을 방해하기 때문에 유량비가 저해되는 것으로 판단된다. 또한, 노즐 각도가 작을수록 노즐 목이 연장되는 효과를 보여 공동현상 발생영역이 증가하였다.

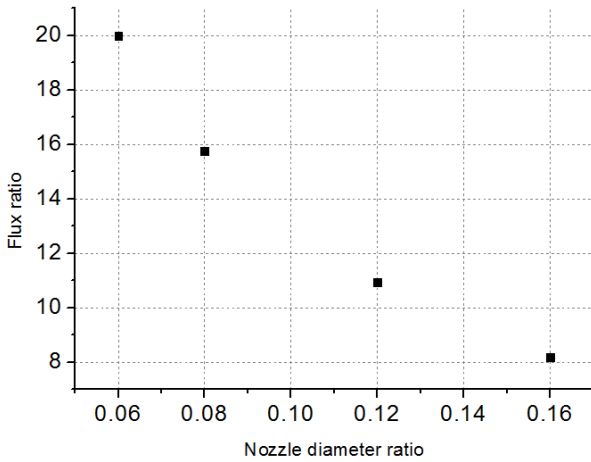


Fig. 13 Secondary flow suction capacity in terms of nozzle diameter ratio

3.3 노즐직경 비 변화에 대한 해석

노즐직경 비는 이젝터의 고정된 목 직경에 따른 구동노즐 직경의 비로 무 차원화한 변수이다. 구동노즐의 직경은 1차측 액체의 유량과 2차측 액체의 유량, 그리고 공동현상 발생영역까지 영향을 주는 중요한 파라미터가 된다. 구동노즐의 직경을 0.3-0.8mm까지 변화하여, 노즐직경 비 0.06-0.16의 범위에서 해석을 진행했다. Fig. 13은 노즐직경 비의 유량비 변화 그래프를 나타내고 Fig. 14는 노즐직경 비에 따른 노즐 목에서의 공동현상 영역 변화를 나타낸다. 노즐직경 비가 0.06에서 0.16까지 증가할수록 구동유량은 700%, 흡입유량은 287%까지 증가하였다. 절대량의 증가와 달리 유량비로 비교 시, 노즐직경 비가 작을수록 유량비효율이 증가하였다. 그리고 공동현상 발생 시점도 노즐직경 비가 작을수록 감소하는 결과를 얻었다. 노즐직경 비가 증가할수록, 혼합 챔버에서의 재순환 현상의 세기가 증가하였다. 또한, Fig. 15의 그래프에서 보이는바와 같이 흡입구 주변의 벽 전단응력은 노즐직경 비에 비례하여 증가하고 이는 흡입유량의 유입을 방해하며 재순환을 증가시키는 것으로 판단된다. 그러므로 노즐 목에서 발생하는 공동현상의 단면적 증가로 인해 전체적인 공동 현상 영역 또한 증가한 것으로 판단되어진다.

3.4 혼합챔버 각도 변화에 대한 해석

혼합챔버의 각도변경은 공동현상 발생영역에는 영향을 미치지 못하지만 유량비 변화폭을 늘릴

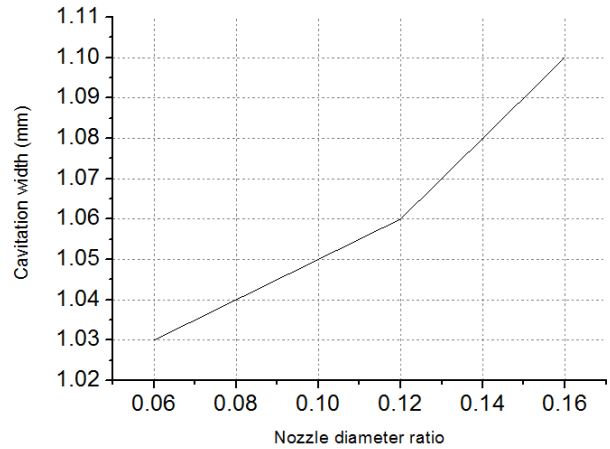


Fig. 14 Cavitation width in terms of nozzle diameter ratio

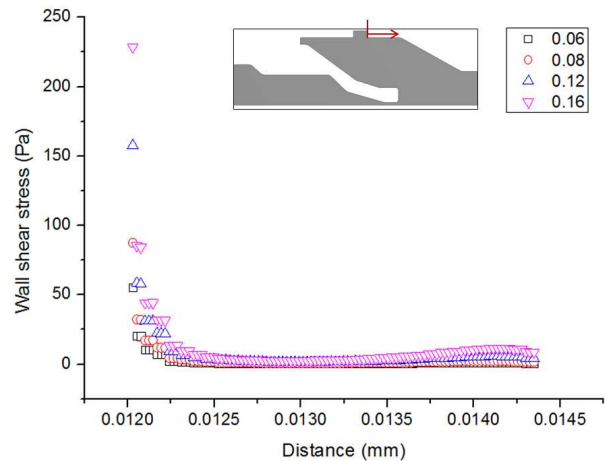


Fig. 15 Wall shear stress around secondary inlet

수 있다. 혼합챔버 유입 각도를 25-39° 범위에서 변경하면서 해석을 진행하였다. Fig. 16은 혼합챔버 유입 각도별 유량비 변화를 보여주고 있다. 35°를 정점으로 유량비 효율이 가장 높은 결과를 얻었다. Fig. 17-19에 각 31, 35, 39°의 혼합챔버 내부 압력 분포를 나타내는 것으로 동일한 범례를 사용하여 비교한 결과, 혼합 챔버 내의 압력 분포가 35°에서 가장 낮고, 이로 인해 압력차로 유입되는 2차측 액체의 흡입유량이 가장 큰 것으로 판단된다.

3.5 구동노즐 출구위치 변화에 대한 해석

구동 노즐의 출구위치는 이젝터 목의 입구대비 구동노즐 출구와의 거리로서, 3-7 mm까지 해석을 수행했다. Fig. 20은 구동노즐의 거리별 유량비 비교 그래프이다. 노즐 거리 5 mm를 정점으로

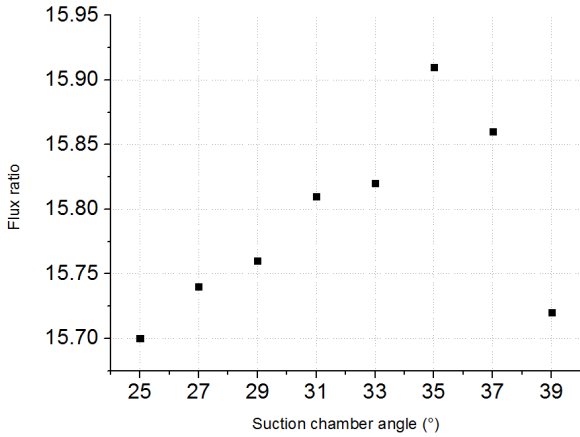


Fig. 16 Secondary flow suction capacity in terms of suction chamber angle(°)

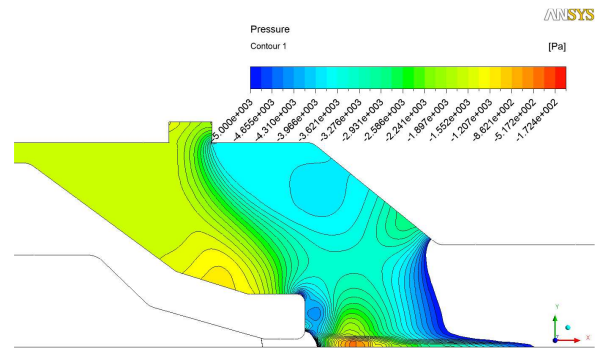


Fig. 19 Pressure contour in suction chamber at suction angle=39°

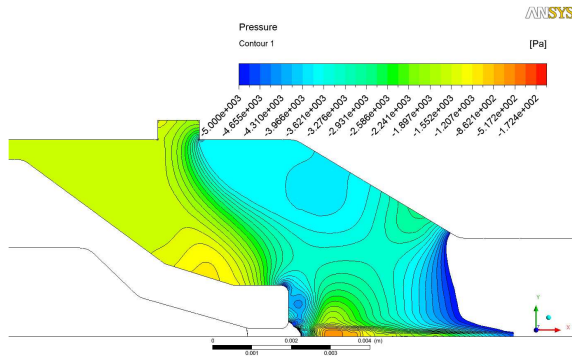


Fig. 17 Pressure contour in suction chamber at suction angle=31°

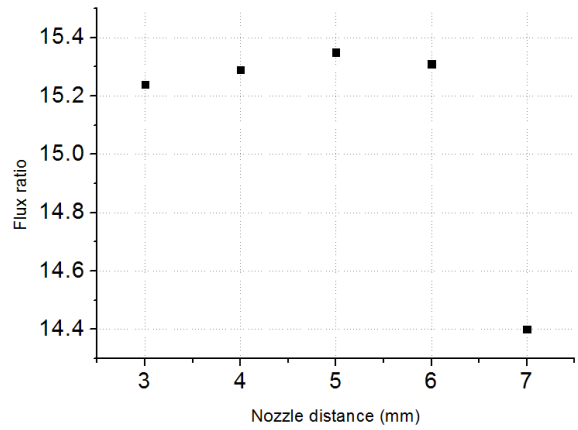


Fig. 20 Secondary flow suction capacity in terms of nozzle distance(mm)

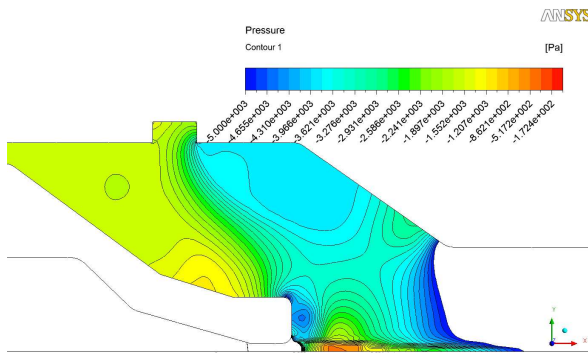


Fig. 18 Pressure contour in suction chamber at suction angle=35°

최대의 유량비를 얻었고, 노즐 거리가 7 mm 인 경우 유량비가 급격히 감소하는 결과를 얻었다. 이는 구동노즐의 거리가 멀어지게 되어 혼합 챔버의 벽이 재순환 유동을 유입시키는 기능을 정상적으로 수행하지 못해 1차측 액체가 2차측 액체를 끌어오는 성능이 저하되었기 때문으로 판단된다. 혼합챔버 내부의 압력은 3 mm 인 경우 가

장 낮은 결과를 보였지만 혼합챔버 내부의 공간이 충분하지 못해 2차측 액체의 유입이 방해되므로 유량비가 감소된다. 공동현상 발생영역의 변화는 없었다.

4. 결론

본 연구에서 가솔린 이젝터의 최대 성능을 갖는 파라미터들을 찾기 위해 유량비와 공동현상영역에 영향을 주는 인자 5가지를 선정하여 독립적으로 전산해석을 이용해 비교하였다. 각 최적 인자를 선정, 종합하여 3차원 전산해석과 실험적 검증을 하는 것은 추후 진행사항이다. 본 연구에서는 액체형 이젝터 2차원 축대칭 전산해석을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 인자별 결과 비교를 통해 노즐직경 비가 0.06인 경우 최대 유량비를 보였고, 공동현상 발생영역 또한 가장 적었다. 이를 통해 노즐직경 비가 유량비와 공동현상 발생영역에 가장 큰 영

향을 주는 인자로 판단된다. 노즐직경 비가 낮을 수록 높은 효율을 나타내지만, 노즐에서 압력강하의 크기가 커지기 때문에 역류발생 가능성이 있다.

(2) 혼합챔버 각도가 35°일 때 유량비가 15.9까지 증가하며, 노즐 반지름에 이어 고효율 유량비를 만족하는 인자로 판단된다.

후 기

본 연구는 중소기업청의 기술혁신개발사업[S2092396, 플렉스퓨얼 자동차용 E90이상의 연료펌프 기술개발]과 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업(2010-0021304)의 일환으로 수행하였음.

참고문헌 (References)

- (1) Chen, X., Omer, S., Worall, M. and Riffat, S., 2013, "Recent Developments in Ejector Refrigeration Technologies," *Renewable Sustainable Energy Reviews*, Vol. 12, pp. 629~651.
- (2) Robert B. Power, 1994, *Steam Jet Ejectors for the Process Industries*, McGraw-Hill, New York, pp.1~498.
- (3) Jeong, H. M., Utomo, T., Jin, Z. H. and Chung, H. S., 2008, "A CFD Analysis on the Gas-Liquid Ejector," *The Korean Society for Power System Engineering*, Vol. 12, No. 1, pp. 28~34.
- (4) Long, X., Yao, H. and Zhao, J., 2009, "Investigation on Mechanism of Critical Cavitating Flow in Liquid Jet Pumps Under Operating Limits," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 52, No. 9-10, pp. 2415~2420.
- (5) Ji, M. K., Tony, U. M., Park, G. T., Jeong, H. M. and Chung, H. S., 2008, "Study on the Performance Characteristics of the Ejector Along the Diffuser Throat Length," *The Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol. 6, pp.575~580.
- (6) Hwang, I-S., Joo, H-J. and Kwak, H-Y., 2010, "Analysis of the Ejector for Low-pressure Evaporative Desalination System Using Solar Energy," *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 30, No. 6, pp. 137~143.
- (7) Mun, S.-B., Choi, H.-K., Choi, J.-H., Kwon, H.-J., Kim, K.-K. and Choi, S.-H., 2006, "Experimental Study for the Development of New Type Water Ejector," *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, Vol. 30, No. 6, pp. 667~684.
- (8) Caupin, F. and Herbert, E., 2006, "Cavitation in Water: a Review," *Comptes Rendus Physique*, Vol. 7, No. 9-10, pp. 1000~1017.