

## 이유체노즐의 액체이송공기 공급방법에 따른 어댑터 내부유동특성에 관한 해석적 연구

박설혜\* · 조민호\* · 김덕진\*\* · 이지근\*\*\* · 노병준\*\*\*

### Effects of Carrier Air Supplying Parameter on the Internal Flow Characteristics of an Adaptor in Two-Fluid Nozzle

S. H. Park\*, M. H. Cho\*, D. J. Kim\*\*, J. K. Lee\*\*\*, B. J. Rho\*\*\*

**Key Words** : Two-Fluid nozzle(이유체노즐), adaptor(어댑터), Carrier air(이송공기), CFD(전산유체역학)

#### Abstract

The numerical simulation on the internal flow characteristics of the adaptor in a two-fluid nozzle has been performed to investigate the effects of carrier air supplying parameters using a commercial code. The four adaptor models with the different positions in the carrier air supplying port were considered at the fixed conditions of urea-water solution and carrier air supplying. As the results from the numerical analysis, the internal pressure of the adaptor was varied with the port position for carrier air supplying, and it shows lower pressure value than the atmospheric pressure. Consequently, the flowrate of urea-water solution issuing from the feeding injector with the adaptor varied up to 30% with the port positions for the carrier air supplying. When the carrier air is supplied from the side from the feeding injector axis and the upper part from the feeding injector tip, the flowrate of urea-water solution issuing from the feeding injector with the adaptor show higher value than other carrier air supplying conditions.

#### 1. 서론

최근 자동차 배기 가스 저감을 위한 연구가 활발히 진행되고 있는 가운데 질소산화물(NOx) 저감대책으로 Urea SCR 시스템이 각광을 받고 있다. Urea SCR 시스템에서 Urea 수용액을 배기관 까지 이송시키고 미립화 시키기 위해 미립화기가 이용된다. 여러 종류의 미립화기 중에서 한곳에 일정시간이상 머무르면 Urea 염을 발생하여 이송 파이프를 막히게 하는 Urea의 특성을 극복하기 위하여 Urea 이송에 주로 내부혼합형 이유체 노즐을 사용한다.

내부혼합형 노즐의 경우 노즐 내부에서 액체와 기체의 흐름이 만나게 되므로 혼합 지점 하류의 2상 유동 양식에 따라 혼합 지점 상류의 유동이 영향을 받게 된다. 다시 말해서 분사압력이 일정할 경우 혼합 지점의 하류의 2상 유동 양식과 이에 따른 압력 강하량의 변화에 따라서 기체와 액체의 공급 유량이 변하게 된다.

내부혼합형 이유체 노즐에 대한 연구를 살펴보면, Mullinger와 Chigier<sup>(2)</sup>는 내부 혼합형 노즐의 일종인 Y-jet 노즐에 대하여 연구하였다. 연구 결과를 살펴보면 노즐 체인 및 분사 유량에 따른 평균 입경을 실험적으로 구하고 이를 근거로 노즐 설계

에 필요한 기준 데이터를 제시하고 있다. Sakai<sup>(3)</sup> 등은 내부 혼합형 이유체 미립화기의 분무 특성과 혼합실의 유동 특성이 미립화에 미치는 영향에 대하여 연구하여 혼합실 내부 유동 양식은 미립화 특성에 직접적인 영향을 주고 있음을 확인하였다. Song과 Lee<sup>(4)</sup>에 의해서 혼합관 내부의 유동 특성과 혼합관 길이가 미립화 특성에 미치는 직접적인 연관성에 대해서 연구가 진행되었다. 미립화 기구에 대한 이해를 바탕으로 평균 입경에 대한 실험식을 제시하였다. Kim과 Lee<sup>(5)</sup>는 기체 주입 노즐에서 혼합실 내부 이상 유동 양식이 미립화에 미치는 영향에 관하여 연구하였다. Kim과 Lee는 혼합실 내부 유동 양식은 기포류, 천이류, 환상류가 나타나며 이중 환상류에서 가장 좋은 미립화 성능이 나타남을 확인하였다.

Urea가 필요한 양보다 많이 분사되었을 경우 여분의 Urea가 암모니아로 분해되어 대기 중에 배출되어 악취를 발생하는 문제를 방지하기 위하여 Urea SCR 시스템에서 정량 분사는 중요한 설계 목표 중 하나이므로 본 논문에서는 액체가 일정한 압력으로 분사될 경우 이송공기의 공급 위치에 따른 내부 혼합형 이유체 노즐의 내부 압력 및 유동 특성에 관하여 연구하였다.

#### 2. 노즐의 구조 및 종류

##### 2.1 이유체 노즐의 구조 및 이송공기 공급 방법

본 연구에서 사용되는 Urea 수용액 분사를 위한 이유체 노즐 시스템은 Fig. 1에 나타난 것과 같이 Urea 수용액을 공급하는 Feeding Injector와 이유체 노즐의 특성상 보조 공기 주입을 위해 필요한 Adaptor, 촉매를 배기관까지 이송하기 위한 이송과

\* 전북대학교 대학원, risesun82@chonbuk.ac.kr  
\* 전북대학교 대학원, mino@chonbuk.ac.kr  
\*\* 자동차부품연구원, djkim@katech.re.kr  
\*\*\* 전북대학교 정밀기계공학과, leejk@chonbuk.ac.kr  
\*\*\* 전북대학교 정밀기계공학과, rhobj@chonbuk.ac.kr

이프(Delivery Pipe), 배기관 내에서 촉매의 미립화를 위한 Main Injector로 구성되어 있다.

이유체 노즐의 경우 일반적으로 보조 공기만을 사용하여 노즐의 미립화를 향상시키는데 본 논문에서 사용된 이유체 노즐은 배기관에 있는 Main Injector까지 촉매를 공급하고 이송 파이프 내에 우레아 염이 생기는 것을 방지하기 위하여 보조공기 외에 이송 공기를 추가적으로 주입하는 구조를 가지고 있다.

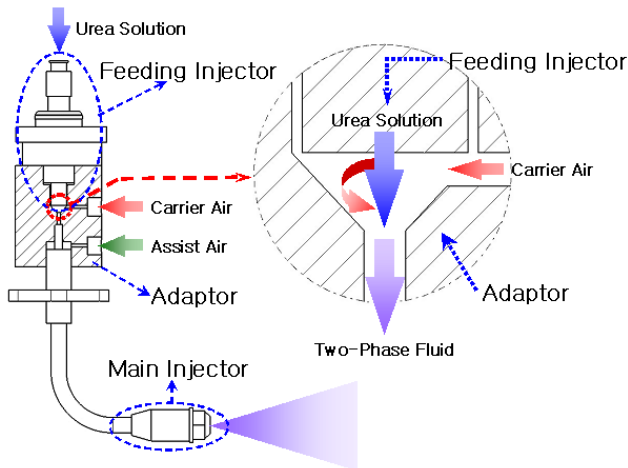


Fig. 1 Schematics of injector system and adaptor configuration

### 2.1 이송공기 공급위치 변화

공기 공급부의 위치 변화에 따른 Urea 수용액의 공급 특성을 보기 위하여 수평, 수직 방향으로 변화시킨 어댑터의 공기 공급 포트 형상을 Fig. 2와 같이 나타내었다.

이송 공기의 수직 방향 공급 위치는 챔버 직경의 1/10배, 10/10배 되는 위치로 그 높이를 변경시켜가며 공급하였으며, 수평 방향 공급 위치는 같은 높이에서 챔버의 중심부로 공급되는 이송 공기 포트를 center라하고 챔버의 접선 방향으로 공급되는 이송 공기 포트를 side라 명하여 해석을 진행하였다. 그리고 이송 공기가 포트 3번 중심에서 공급되는 경우 3-C, 포트 3번 접선 방향에서 공급되는 경우를 3-S라 명하였으며 포트 5번도 동일한 방법으로 5-C, 5-S라 표기하기로 한다.

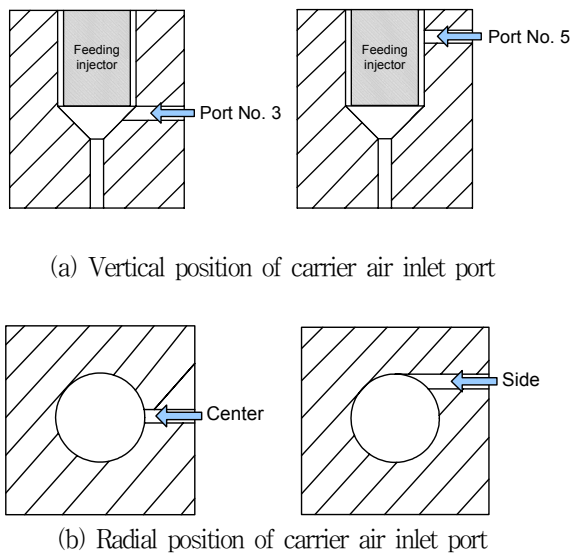


Fig. 2 Positions of air inlet port

## 3. 수치해석

Urea SCR system 이유체 노즐에서 Urea수용액과 Carrier Air가 공급되는 어댑터 부분의 내부 유동 특성을 해석하기 위하여 전산유동 상용 프로그램인 Fluent v6.3을 이용하여 비정상 상태에서 내부 유동 현상에 대해서 수치해석을 수행하였다. 오일러인 이상 유동 해석 방법은 라그랑지안 이상 유동 해석 방법과 비교할 수 있으나 넓게 분산되거나, 분산되는 상의 체적률이 높을 때 수치해석을 하는데 있어 오일러인 이상 방법이 더 효율적이기 때문에 이 방법을 택하고 이 중 VOF 모델을 선정하여 해석하였다.

### 3.1 지배방정식

오일러인 이상 유동 모델을 각 phase의 유동 특성과 분포에 따라 해석하기 위해 연속방정식, 운동량 방정식을 이용하여 풀어주고 열교환은 고려하지 않았으므로 에너지 방정식은 생략하기로 한다. 기본 지배 방정식을 다음에 나타내었다.

- Continuity equation :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_q \rho_q) + \nabla \cdot (\alpha_q \rho_q \vec{v}_q) = \sum_{p=1}^n (\dot{m}_{pq} - \dot{m}_{qp}) + S_q$$

- Momentum equation :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_q \rho_q \vec{v}_q) + \nabla \cdot (\alpha_q \rho_q \vec{v}_q \vec{v}_q) = -\alpha_q \nabla p + \nabla \cdot \vec{\tau}_q + \alpha_q \rho_q \vec{g} + \sum_{p=1}^n (\vec{R}_{pq} + \dot{m}_{pq} \vec{v}_{pq} - \dot{m}_{qp} \vec{v}_{qp}) + (\vec{F}_q + \vec{F}_{lift,q} + \vec{F}_{vm,q})$$

### 3.2 격자형상 및 경계조건

본 연구에서 Urea 분사 시스템에서 전산 해석을 수행한 부분은 Urea 수용액과 Carrier air가 혼합되는 adaptor 부분으로서, 각 포트 위치에 따른 유동 체적 모델들은 Gambit 2.3을 이용하여 Fig. 3.3 과 같이 3D 정렬격자로 유동 체적을 구성하였고 격자수는 약 40만개에서 50만개로 구성되었다.

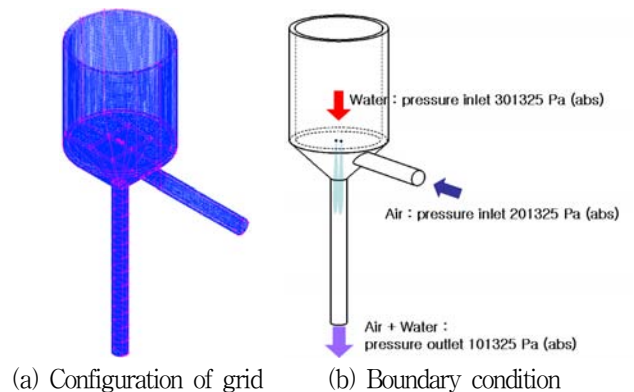


Fig. 3 Grid system and boundary conditions

공기와 액체가 동시에 공급되는 이유체 해석을 VOF 모델, 비정상 상태로 수행하여 피딩 인젝터에서 분사된 물의 거동과 어댑터 내의 유동 분포 특성을 확인하였다.

경계조건은 실험조건과 동일하게 하였으며 이송 공기와 물은 각각 201325 Pa과 301325 Pa(absolute pressure)로 공급되어지고 온도 변화는 고려하지 않았다. 경계조건은 Table 1과 Fig. 3 (B)에 나타내었다.

**Table 1 Boundary conditions**

	Supply port	Air supply position	Liquid condition	Air condition	Exit condition
Single phase flow	3	Center (3-C)	-	Pressure inlet 201325 Pa	Pressure outlet 101325 Pa
		Side (3-S)			
	5	Center (5-C)			
		Side (5-S)			
Two phase flow	3	Center (3-C)	Pressure inlet 301325 Pa	Pressure inlet 201325 Pa	Pressure outlet 101325 Pa
		Side (3-S)			
	5	Center (3-C)			
		Side (3-S)			

#### 4. 결과 및 고찰

본 연구에서는 이송 공기가 네 가지의 서로 다른 위치에서 공급될 때 어댑터 내부 유동 특성에 관하여 전산유동해석을 수행하여 Urea SCR 시스템에 적용된 이유체 노즐의 내부 유동 특성에 대해 연구하였다.

##### 4.1 이유체 공급 시 어댑터 내부 유동 특성

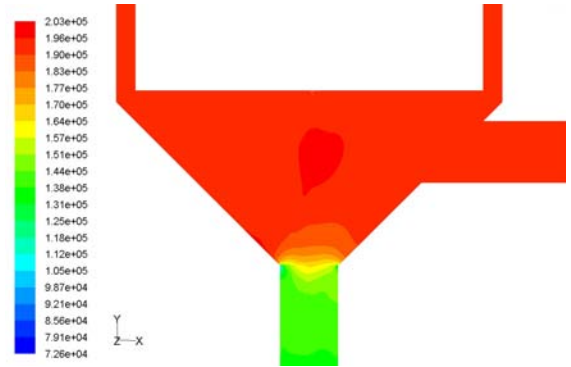
Fig. 1~7은 3-C 위치로 이송 공기가 2 bar로 공급되고 인젝터 출구로 물이 3 bar로 공급될 때 어댑터 내부 유동 특성을 나타낸다. 내부 압력은 대체적으로 고른 분포를 나타내고 좁아지는 유로로 인해 속도가 빨라져 그 부분의 압력이 낮음을 확인할 수 있다. 오른쪽에서 비교적 높은 속도로 유입되던 공기는 분사되는 물줄기와 충돌하여 공기는 아래 방향으로, 물줄기는 왼쪽으로 유동 방향이 변하게 되는 것을 Fig 6을 통해 알 수 있다. Fig 7에서는 수직 방향으로 분사되던 물이 이송 공기 주입으로 인해 왼쪽으로 치우쳐 왼쪽 관 벽을 따라 낙하하는 것을 확인할 수 있다.

Fig 8~11은 3-S 위치로 이송 공기가 공급되고 동시에 인젝터 출구로 물이 3 bar로 분사될 때 어댑터 내부 유동 특성을 나타낸다. 3-S로 공급되는 이송 공기는 반시계 방향으로 선회를 하며 유동하고, 인젝터에서 분사된 물줄기는 공기의 유동에 영향을 받아 역시 반시계 방향으로 꼬이는 형상으로 낙하하는 것을 확인할 수 있다.

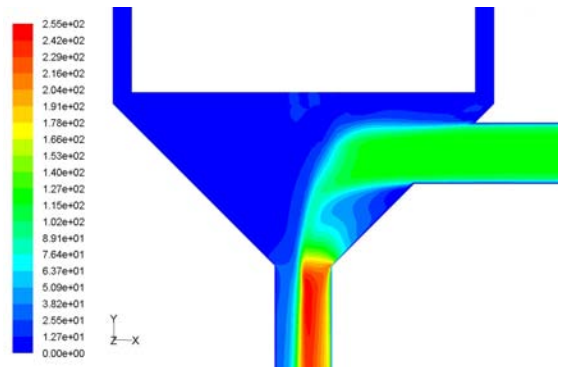
Fig 12~15는 5-C 위치로 이송공기가 2 bar로 공급되고 인젝터로 물이 3 bar로 공급될 때의 유동 특성을 나타낸다. 5-C로 공급된 공기가 좁은 어댑터 틈새를 순환하여 챔버의 좌측으로 유입되면서 인젝터에서 분사된 물줄기는 오른쪽으로 약간 치우쳐 낙하하게 된다. 하지만 위에서 언급한 이송 공기 공급방법보

다는 물줄기에 적은 영향을 준다.

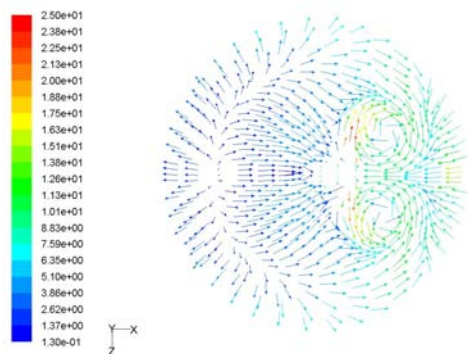
Fig 16~19는 5-S 위치로 2 bar의 이송공기가 공급되는 동시에 물이 3 bar로 분사될 때 어댑터 내부의 유동 특성을 나타낸다. 접선 방향으로 공급된 공기는 반시계 방향으로 유동하고 분사된 물은 이송 공기에 영향을 받아 반시계 방향으로 꼬이면서 낙하하는 것을 Fig 19에서 확인할 수 있다.



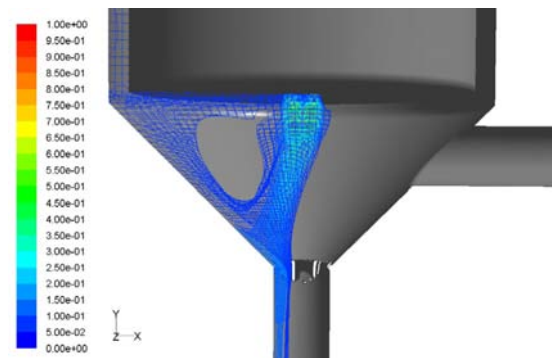
**Fig. 4 Pressure distribution in adapter (3-C)**



**Fig. 5 velocity distribution in adapter (3-C)**



**Fig. 6 velocity vectors in adapter (3-C)**



**Fig. 7 volume fraction of water in adapter (3-C)**

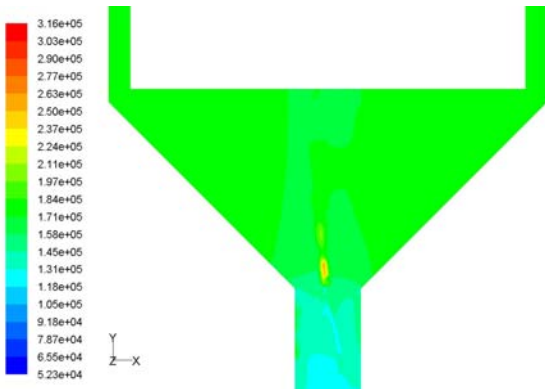


Fig. 8 Pressure distribution in adapter (3-S)

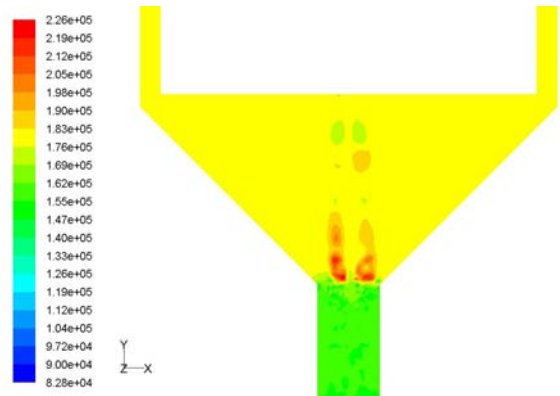


Fig. 12 Pressure distribution in adapter (5-C)

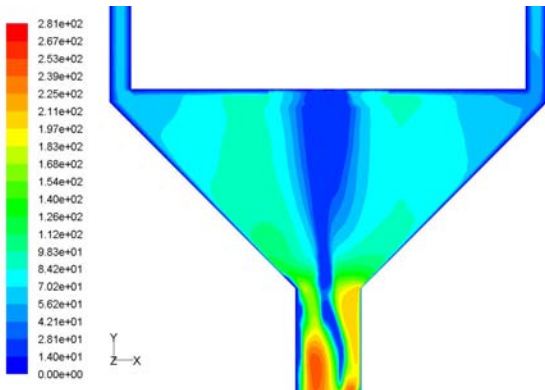


Fig. 9 velocity distribution in adapter (3-S)

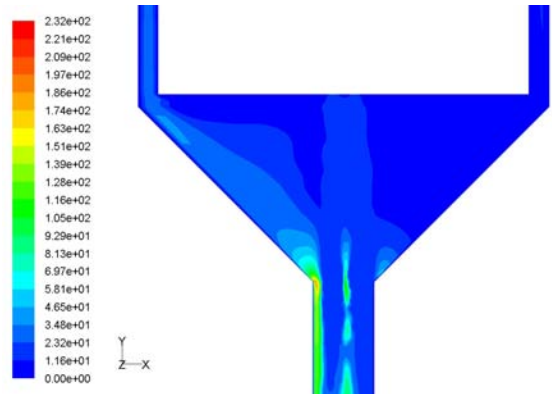


Fig. 13 velocity distribution in adapter (5-C)

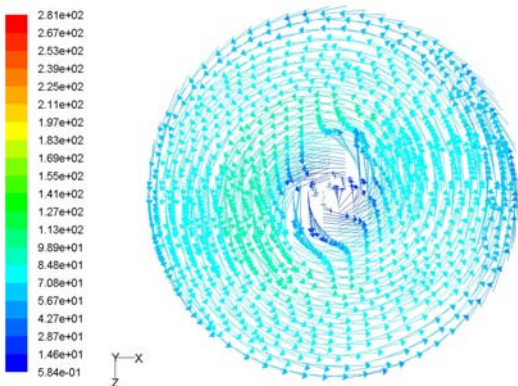


Fig. 10 velocity vectors in adapter (3-S)

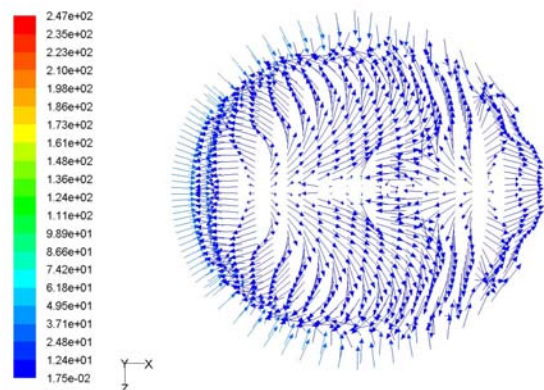


Fig. 14 velocity vectors in adapter (5-C)

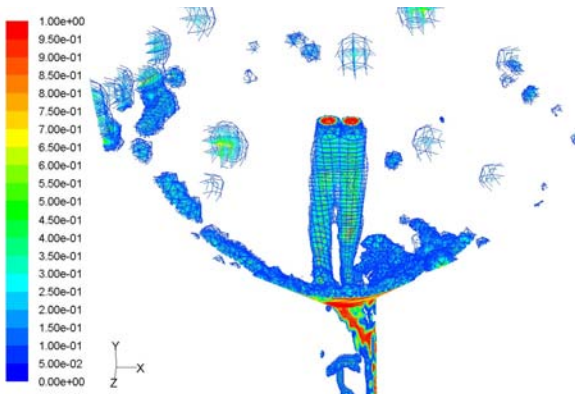


Fig. 11 volume fraction of water in adapter (3-S)

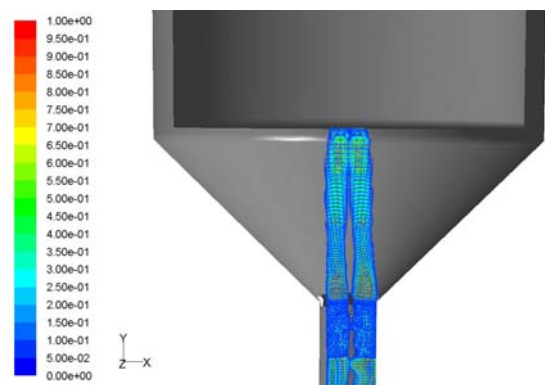


Fig. 15 volume fraction of water in adapter (5-C)

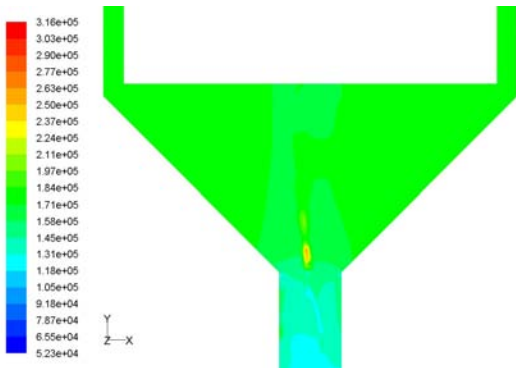


Fig. 16 Pressure distribution in adapter (5-S)

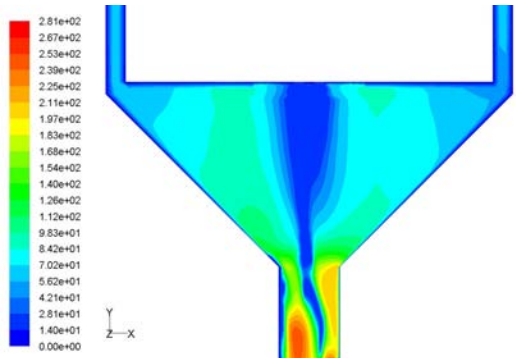


Fig. 17 velocity distribution in adapter (5-S)

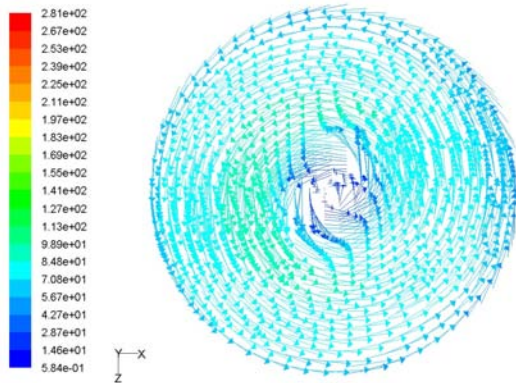


Fig. 18 velocity vectors in adapter (5-S)

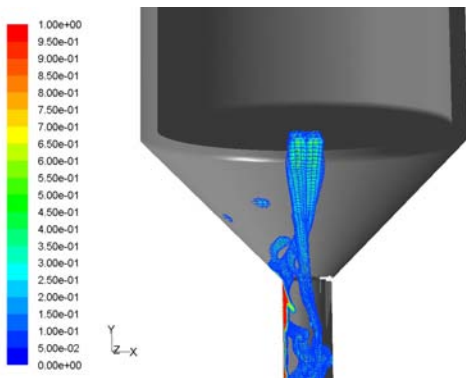


Fig. 19 volume fraction of water in adapter (5-S)

#### 4.2 어댑터 내부 압력 변화

물과 공기를 동시에 공급 하였을 경우 피딩 인젝터 연료 분사에 영향을 미치는 인젝터 분공에서 정압을 측정 한 결과를

Fig. 20에 나타내었다. 공기만 공급하였을 경우 어댑터 내부 압력 결과와 유사한 경향을 나타내었다. 이송 공기를 접선 방향으로 공급하였을 경우 선회의 영향으로 중심부에서 낮은 압력을 나타낸다. 그리고 중심 방향으로 공기를 공급하였을 경우에는 포트 3번에서 공급하였을 경우보다 5번에서 공급하였을 경우 어댑터의 중심에서 더 낮은 압력이 나타난다.

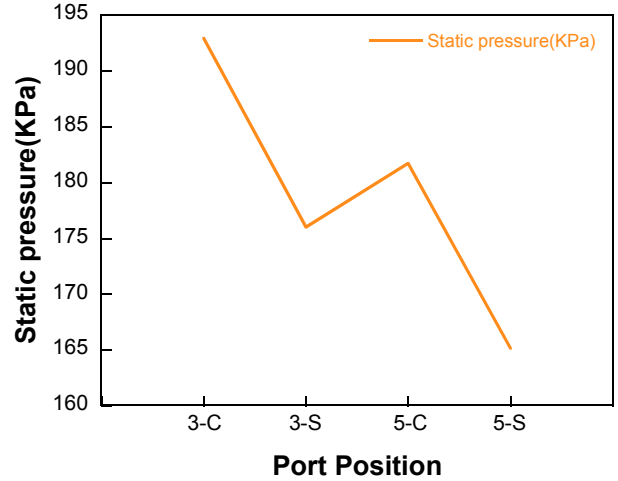


Fig. 20 Static pressure at the air port (3-C)

#### 4.3 피딩 인젝터 방출 유량 변화

Fig. 21는 이송 공기 공급 방법에 따른 피딩 인젝터의 분사 유량을 비교한 그래프이다. Fig 20의 압력 그래프와 비교해보면 공기 분사 압력인 201325 Pa과 압력차이가 가장 작은 3-C에서 분사 유량이 가장 적고 압력 차이가 가장 큰 5-S에서 공급 유량이 가장 큰 것을 확인할 수 있다. 이송 공기가 5번 포트, 접선 방향으로 공급될 때 피딩 인젝터에서의 유량이 가장 높고 3번 포트, 중심 방향으로 공급될 때 유량이 가장 낮음을 알 수 있다.

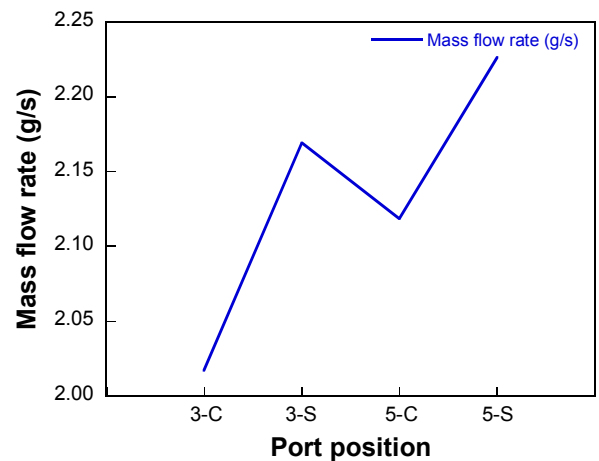


Fig. 21 Mass flow rate at the air port (3-C)

#### 5. 결론

본 연구에서는 이유체 노즐 어댑터의 액체이송 공기 공급 위치 및 방법 변화에 따른 어댑터 내부 압력 및 유량 변화에 대한 고찰을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 어댑터에 접선 방향으로 이송 공기를 공급하였을 경우 선회 효과로 인해 중심부에 낮은 압력이 발생하였고 중심방향으로

공기를 공급하였을 경우 접선 방향 공급에 비해 전반적으로 균일한 압력 분포를 보였다.

2. 포트 3번 중심부로 공급하였을 경우 포트 5번 중심부로 이송 공기를 공급할 경우보다 어댑터의 내부 압력이 높다. 즉 공기 공급 압력과 차이가 적다.
3. 물과 공기를 동시에 공급할 경우 어댑터의 내부 압력이 가장 높은 포트 3번 중심부 공급에서 feeding injector의 유량이 가장 작게 나왔다.
4. 현재 이송 공기 공급 위치 중 포트 5번 접선방향(5-S)에서 공급할 때 어댑터의 내부 압력이 가장 낮음에 따라 피딩 인젝터의 유량이 높아짐을 확인하였다.
5. 이송 공기 공급 위치는 피딩 인젝터의 분사 유량에 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 하지만 어댑터의 내부 압력을 최소화 할 수 있는 어댑터 형상에 관한 추가적인 연구가 필요하다.

## 후 기

본 연구는 지역혁신인력양성사업에 의한 지원을 받아 수행되었습니다. 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

- [1] Lefebvre, A. H., "Atomization and Sprays", Hemisphere Publishing, 1989.
- [2] Mullinger, P. J., Chigier, N. A., "The Design and Performance of Internal Mixing Multijet Twin Fluid Atomizers", J. Inst. Fuel, vol. 47, pp. 251~261, 1974.
- [3] Sakai, T., Zhao, D. Q., Iijima, M., "Relation of Spray Structure and Turbulence of Air within Spray Ejected from Internal Mixing Twin Fluid Atomizer of Orifice-Type", Proc. ICLASS-94 Rouen, France, paper XI-3, pp. 914~921, 1994.
- [4] Song, S. H., Lee, S. Y., "Study of Atomization Mechanism of Gas/Liquid Mixtures Flowing through Y-jet Atomizer", Atomization and Sprays, vol.6, pp 193~209, 1996.
- [5] Kim, J. Y., Lee, S. Y., "Dependence of Spraying Performance on the Internal Flow Pattern in Effervescent Atomizers", Atomization and Sprays, vol. 11, pp 735~756, 2001.
- [6] Marc Lorcher, Florian schmidt, "Effervescent Atomization of Liquids", Atomization and Sprays, vol. 15, pp 145~168, 2005.
- [7] T. Kowatari, Y. Hamada, K. Amou, I. Hamada, "A Study of a New Aftertreatment System(1):A New Dosing Device for Enhancing Low Temperature Performance of Urea-SCR", SAE, 2006-01-0642, 2006.
- [8] A. Nishioka, Y. Sukegawa, K. Katogi, "A Study of a New Aftertreatment System(2):Control of Urea Solution Spray for Urea-SCR" SAE, 2006-01-0644, 2006.
- [9] S. D. Sovani, P. E. Sojka, A. H. Lefebvre, " Effervescent atomization", Progress in Energy and Combustion science 27 pp. 483~521, 2001.
- [10] 이상용, "이상 유동 열전달", 대영사, 1993
- [11] 송시홍, 이상용, "Y-jet 노즐에서의 혼합관 길이 변화에 따른 분무 특성 연구", 대한기계학회논문집 제 18권 제 11호, pp. 3021~3031, 1994.
- [12] 김병문, 김혁주, 이충원, "이유체 분사 노즐의 혼합영역 형상에 따른 분무특성" 대한기계학회논문집 제 15권 제 6호, pp. 2147~2159, 1991.
- [13] 김주연, 이상용, "기체주입노즐의 내부 유동 양식의 구분", 대한기계학회 논문집 B권, 제 24권 제 2호, pp. 306~315, 2000
- [14] J. O. Medwell, 장태현, 권순석, "수평 원통관내에서 Swirling Flow의 유동에 관한 연구(I)", 공기조화, 냉동공학 논문집 제 1권 제 4호, pp. 265~275, 1989.