

# Urea-SCR 시스템에서 유동혼합 개선을 위한 혼합기 형상에 관한 수치적 연구

이 종 옥,<sup>1</sup> 최 훈 기,<sup>\*2</sup> 유 근 종<sup>2</sup>

## NUMERICAL STUDY ON THE MIXER TYPES OF UREA-SCR SYSTEM FOR FLOW MIXING IMPROVEMENT

J.W. Lee,<sup>1</sup> H.K. Choi,<sup>\*2</sup> and G.J. Yoo<sup>2</sup>

*To alleviate NOx emission, a variety of approaches has been applied. In marine diesels, the application of SCR systems has been considered an effective exhaust aftertreatment method for NOx emission control. Most current SCR systems use a various catalyst for the reaction of ammonia with NOx to form nitrogen and water. In theory, it is possible to achieve 100% NOx if the NH<sub>3</sub>-to-NOx ratio is 1:1. However, the reaction has a limited non-uniformity of the exhaust gas flow and ammonia concentration distribution. Therefore, it is necessary to investigate the optimum flow conditions. In order to achieve uniform flow at monolith front face, we are equipped with a various mixed devices. In this paper, it is presented that the mixed devices play an important role improvement of flow patterns and particle distributions of NH<sub>3</sub> by numerical simulation.*

**Key Words :** 선택적촉매환원(Selective Catalytic Reduction), 요소(Urea), 혼합기(Mixer), 농도분포 균일도(Concentration Uniformity), 전산유체공학(CFD)

### 1. 서 론

디젤엔진은 가솔린 엔진에 비하여 열효율이 높고 토오크 성능이 우수하므로 운송용 엔진으로 많이 사용되고 있다. 특히 선박과 같이 아주 큰 동력을 필요로 하며 연비 및 운용상의 비용을 고려하면 디젤엔진이 절대적이다. 하지만 디젤엔진은 인체에 유해한 대기오염물질(대표적으로 PM, NOx)을 다량으로 배출하는 단점이 있다.

세계적으로 환경관련 규제가 엄격해지고 있는 실정에서 자동차는 지속적으로 엄격한 환경규제를 통하여 클린엔진으로의 개발을 이끌고 있지만 선박에서는 Table 1에서 보는 바와 같이 최근까지 규제치의 기준이 느슨한 상태였다. 국제해사기

구(IMO)에서는 2016년부터 대형 디젤엔진에 적용되는 환경규제 기준을 대폭적으로 강화한 Tier III를 적용하기로 하였다. Tier III는 Tier I보다 NOx의 배출량을 80 %의 저감을 요구하고 있다. 선박엔진의 NOx 저감방법은 여러 가지 방법이 있으나, 현재 많이 적용되고 있는 방법으로는 다양한 연소조건을 선정하여 엔진연소를 직접적으로 제어하는 방법인 생성제어 방식, 부과 시스템을 부착하여 NOx를 저감하는 방법 그리고 배기후처리시스템을 부착하여 연소 후 배출되는 배기가스를 정제하는 방법으로 나눌 수 있다. Tier III의 환경규제 기준을 만족하기 위하여 생성제어, 부과시스템 부착뿐만 아니라 후처리시스템의 개발도 필수적으로 수행되어야 한다. 후처리시스템의 방법은 여러 가지가 있으나 최근에는 배기가스에 요소수(Urea)를 분사시켜 NOx만을 환원시키는 선택적촉매환원기법(Urea-SCR)이 가장 유력한 기술로 주목받고 있으며, 이에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

Urea분사 노즐의 구경, 분사압력, 개수 및 위치, 모노리스의 형상 및 촉매종류, 배관시스템등은 Urea-SCR시스템의 NOx 저감 성능에 직접적인 영향을 끼치는 설계인자들이므로 이에

접수일: 2010년 6월 7일, 수정일: 2010년 10월 25일,

계재확정일: 2010년 10월 29일.

1 정회원, 창원대학교 대학원 기계설계공학과

2 정회원, 창원대학교 기계설계공학과

\* Corresponding author, E-mail: hkchoi@changwon.ac.kr

대한 연구가 활발히 수행되고 있다. 촉매장치의 형상 변화에 따른 압력손실, 촉매 입구의 유동분포 균일도 향상에 관한 연구를 수행하였으며[1-6], 인젝터의 위치 및 형상, 분사압이 촉매입구의 증발율, 농도분포 균일도에 미치는 영향에 대하여 [7-10]등의 연구가 발표되었다. 또한, NH<sub>3</sub>/NO<sub>x</sub>의 혼합비 및 배기가스의 온도에 따른 NH<sub>3</sub> Slip의 영향에 대한 연구[11]와 NO<sub>x</sub> 변환 효율에 미치는 영향에 관한 연구[12] 그리고 배기가스 조성에 따른 영향평가의 연구[13]가 수행되었다.

Urea-SCR에서 높은 NO<sub>x</sub> 변환성능을 얻기 위해서는 열해리로 인해 요소수가 암모니아 가스로 분해될 수 있는 충분한 가스 잔류시간 및 배기가스와 요소수의 균일혼합이 필요하다. 선박엔진은 대용량의 배기가스 배출을 하게 되지만 배출배기관의 직경과 SCR시스템의 모노리스 직경간의 비가 큰 급확장관이 된다. 배출되는 배기가스의 속도는 약 30 m/sec 이상이므로 모노리스 전단부에서의 유동의 편중현상이 매우 심하게 발생된다. 이로 인하여 배기관내 분사되는 요소수는 잘 혼합되지 못하고 배기관 중심에 집중되는 경향이 있으며 이는 촉매의 수명과 NO<sub>x</sub> 변환성능에 악 영향을 끼친다[7].

본 연구에서는 이러한 모노리스 전단부에서의 유동의 불균일을 해소하기 위하여 배기관내에 각종 형상의 혼합기(swirler, deflector plate 등)를 설치하였다. 이러한 혼합기가 모노리스전단면에서 유동의 편중을 완화시키는 정도를 수치해석을 통하여 구하였다.

## 2. 해석조건

### 2.1 해석대상

본 연구에서 3차원 형상으로 구현한 Urea-SCR 시스템은 Fig. 1과 같다. 노즐의 분사위치는 촉매입구로부터 7D에 위치시켰으며 배기흐름과 같은 방향에 대하여 해석을 수행하였다.

혼합기는 모노리스 전단부의 유동 편중을 완화시키기 위하여 확장관 앞부분에 Deflector Plate(DP판)를 설치하여 유동의 패턴을 규명하였으며, 요소수와 배기가스와의 혼합을 돕기 위하여 swirler를 설치하였다. DP판 혼합기의 경우 형상은 반구

Table 1 NO<sub>x</sub> emission limits (IMO regulation), (g/kWh)

RPM	Tier I (현행)	Tier II (2011.1.1이후)	Tier III (2016.1.1이후)
n<130	17.0	14.36	3.4
130≤n<2000	45.0×n <sup>(-0.23)</sup>	44.0×n <sup>(-0.23)</sup>	9×n <sup>(-0.2)</sup>
n≥2000	9.8	7.66	2.0

Tier II : Approximately 20% reduction compared to Tier I  
 Tier III: Approximately 80% reduction compared to Tier I

와 유선형 2가지 형태를 선정하여 순방향(F), 역방향(R)으로 촉매입구로부터 2.2D에 각각 배열하였다. 수식 (1)과 같이 표현되는 직경비(α)는 배관의 직경과 DP판의 직경비로 정의하며 크기는 직경비의 영향을 파악하기 위하여 α=0.1, 0.15, 0.2의 값을 적용하였다.

$$\alpha = \frac{D_{Mixer}}{D_{Pipe}} \tag{1}$$

스윙러 혼합기의 경우 촉매입구로부터 9D에 위치하고 있으며 15°의 각을 가지는 블레이드수(n)에 따라 촉매입구의 농도분포 균일도의 영향을 비교하기 위하여 n=4, 6, 8을 적용하였다. swirl number는 다음 식 (2)와 식 (3)으로 계산할 수 있으며 블레이드수에 따라 SN=0.34, 0.42, 0.52의 값을 가졌다.

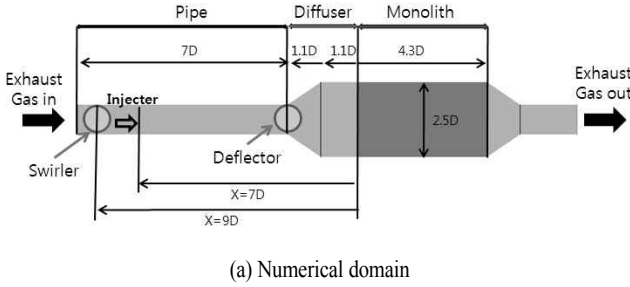
$$S_N = \frac{\int_A r v_\theta (\vec{v} \cdot \hat{n}) dA}{\bar{r} \int_A v_z (\vec{v} \cdot \hat{n}) dA} \tag{2}$$

$$\bar{r} = \frac{1}{A} \int_A r dA \tag{3}$$

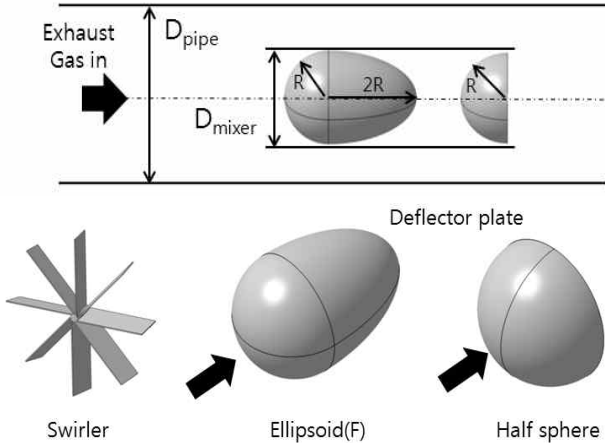
여기서, r는 반지름, v<sub>θ</sub>는 접선방향속도,  $\vec{v}$ 는 속도벡터,  $\hat{n}$ 는 벡터의 수직방향을 나타낸다. 스윙러와 방해판(α=0.1)을 혼용해서 설치했을 경우에 대하여 해석을 수행하여 그 영향을 비교하였다. 해석을 위한 혼합기의 위치 및 직경비를 정리하여

Table 2 Mixer specifications

Mixer	Diameter ratio(α)	Swirler blade number(n)	Location
Without mixer	-	-	-
Half sphere	0.1,0.15,0.2	-	2.2D
Ellipse (Forward:F)	0.1,0.15,0.2	-	2.2D
Ellipse (Reveral:R)	0.1,0.15,0.2	-	2.2D
Swirler	-	4, 6, 8	9D
Swirler +Half sphere	0.1	8	9D
Swirler +Ellipse(F)	0.1	8	swirler: 9D ellipse(F): 2.2D
Swirler +Ellipse(R)	0.1	8	swirler: 9D ellipse(R): 2.2D



(a) Numerical domain



(b) Swirler and deflector

Fig. 1 Definition of calculating domain and mixer

Table 2에 나타내었다.

Fig. 2는 해석대상의 격자계를 나타낸 것이다. Hexa 격자로 구성하였으며 점성저층(viscous sublayer) 영역을 안정적으로 처리하기 위해  $y^+ < 10$  이하로 구성하였다. 약 44만개를 기준으로 1.5배, 2배, 3배로 격자를 증가시켜 구성하여 최종 84만개 로 격자를 구성하여 동일한 격자 독립성을 확보하였다.

## 2.2 수치해석방법

SCR시스템의 내부유동장에 대한 정량적인 해석을 위하여 유체기계계의 내부유동과 성능의 해석에 많이 적용되고 있는 상용프로그램인 ANSYS CFX[14]을 이용하였다.

본 연구에서 적용한 디젤엔진은 750 KW의 출력으로 배기 가스 용량이 120 l 정도이다. 배기가스는 397℃이며 1.28 kg/s의 질량유량으로 SCR시스템으로 유입된다. 따라서 배관의 수력직경 기준으로 산출한 Reynolds 수의 크기는 대략  $1.55 \times 10^5$  이므로 난류영역이다. 난류모델로서는 deflector 혼합기 후방으로 발달하는 2차 유동과 디퓨저에서 발생하는 박리에 대한 비교적 정확한 예측이 가능하다고 알려진 k- $\omega$  SST 모델을 사용하였다[15].



Fig. 2 Grid system of Urea-SCR

분사된 요소수의 액적을 예측하기 위해 Eulerian-Lagrangian 방법을 사용하였다. SCR 시스템의 촉매층의 내부를 다공관(porous media)으로 가정하여 해석하였으며 모든 지배방정식의 잔차(residual)가  $10^{-4}$  이하가 될 때까지 반복계산을 수행하였다.

## 2.3 지배방정식

### 2.3.1 연속방정식

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho U_i) = 0 \quad (4)$$

### 2.3.2 운동량 방정식

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho U_i U_j) = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} - \frac{\partial}{\partial x_j} (\overline{\rho u_i u_j}) \quad (5)$$

### 2.3.3 k- $\omega$ SST 모델

k- $\omega$  SST 모델은 경계층 내부에서는 k- $\omega$  모델이 정확하고, 자유류에서는 k- $\epsilon$  모델이 정확하다는 점에 착안하여, 블렌딩 함수(blending function)  $F_1$ 를 이용 두 난류 모델을 조합한 형태이다.

$$\nabla \cdot (\rho U k) = \nabla \cdot \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{k3}} \right) \nabla k \right] + P_k - \beta' \rho k \omega \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \nabla \cdot (\rho U \omega) &= \nabla \cdot \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{\omega 2}} \right) \nabla \omega \right] \\ &+ (1 - F_1) 2\rho \frac{1}{\sigma_{\omega 2} \omega} \nabla k \nabla \omega \\ &+ \alpha_2 \frac{\omega}{k} P_k - \beta_2 \rho \omega^2 \end{aligned} \quad (7)$$

여기서  $P_k$ 는 점성에 의한 난류생성항,  $F_1$ 는 블렌딩 함수이

며, 이때 사용된 모델링 상수는 다음과 같다.

$$\beta' = 0.09, \quad \alpha_2 = 0.44, \quad \beta_2 = 0.0828, \quad \alpha_{k2} = 1, \\ \alpha_{\omega 2} = 1/0.856$$

**2.3.4 Porous medium**

다공성 매질은 지배방정식에 다음과 같은 운동량 소멸항을 추가함으로써 모델링할 수 있다.

$$S_i = \sum_{j=1}^3 D_{ij} \mu u_j + \sum_{j=1}^3 C_{ij} \frac{1}{2} \rho u_j u_j \quad (8)$$

관성저항에 비해 점성저항 항은 무시할 수 있으므로 내부압력손실은 다음 식 (9)와 같은 방식으로 계산된다.

$$\Delta P_z = C_{ij} \frac{1}{2} \rho u u \Delta n_z \quad (9)$$

여기서,  $C_{ij}$ 는 관성저항계수,  $\Delta n_z$ 는 유동방향에 대한 다공성 매질의 두께이다.

**2.3.5 액적모델**

액적의 궤적은 액적의 위치와 속도로 나타낼 수 있다.

$$\frac{du_p}{dt} = F_D(u - u_p) + \frac{g_x(\rho_p - \rho)}{\rho_p} + F_x \quad (10)$$

여기서  $u$ 는 배기가스 흐름의 속도이고,  $u_p$ 는 액적의 속도,  $F_D(u - u_p)$ 는 한 개의 액적당 항력항,  $\rho$ 는 유체의 밀도,  $\rho_p$ 는 액적의 밀도,  $F_x$ 는 추가 가속도항이다.

**2.4 경계조건**

미소제어체적으로 구성된 해석영역에서 지배방정식을 풀이 하기 위해서는 해석영역 내부 혹은 외부를 둘러싸는 경계에 대한 조건이 정해져야 한다. 따라서 해석영역을 둘러싸고 있는 면들 중 배관의 상류와 하류의 끝은 각각 입구와 출구로 지정하고, 배관과 촉매부분은 열전달이 없는 벽면으로 가정하였다. 해석조건은 배기가스 토출량이 120 l인 디젤엔진이 1000 rpm, 100 %에서 운전되는 경우의 배기가스의 유량, 온도와 동일한 조건에서의 공기로 가정하였다. 출구조건은 대기압을 기준 고정 압력으로 사용하였다. 촉매는 1차원 다공성 물질로 가정하였으며 식 (11)로 압력을 산출하고 이를 Porous 기법을 적용하였다[16]. 계산에 이용된 경계조건은 Table 3에 기술하였다.

$$\frac{\Delta P}{A} = 2.13 \times 10^{-2} (Re_{front} \times 10^{-3})^2 + 1.71 (Re_{front} \times 10^{-3}) \quad (11)$$

여기서  $Re_{front}$ 는 촉매 상류부에서의 평균속도와 시험부의 직경을 이용한 레이놀드수이고,  $\Delta P$ 는 촉매 상하부의 압력 차이이며 그리고 A는 전체 촉매장치에서 공기와 담체의 접촉면적을 나타낸다.

Table 4에는 본 연구에서 사용된 초기 분사 조건을 기술하였다. 분사에는 25℃의 요소수(32.5 wt%)가 사용되었고 노즐로부터 생성된 액적의 직경들은 Rosin-Rammler 분포함수[17]를 적용하여 나타내었다.

**3. 계산결과 및 고찰**

**3.1 해석 모델 타당성 검토**

본 연구에서 해석방법의 신뢰성을 확보하기 위해 분무형태 및 분무압이 본 연구의 경우와 유사한 Ryu 등[17]의 실험 결과와 비교하여 본 연구에 적용한 분무관련 모델들의 타당성을 검증하고자 한다.

분무폭은 분사 압력, 액적 직경, 액적의 분사 속도, 분사 각도, 공기의 유입속도 등에 관계하며, 관내로 유입되는 공기와 인젝터를 통해 분사된 액적간의 혼합특성을 설명하는 지표가 된다. Fig. 3은 각각의 배기가스의 속도와 분사 조건에서 인젝터로부터 100 mm 지점의 분무폭에 대한 실험과 전산해석 결과를 나타낸 것이다.

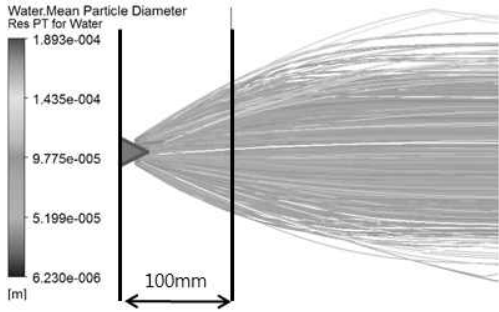
수치해석결과와 실험결과의 분무폭이 전반적으로 잘 일치하고 있으며, 본 연구에 적용된 분무모델이 신뢰성 있는 해석 결과를 보여줄 것으로 판단된다.

Table 3 Boundary conditions

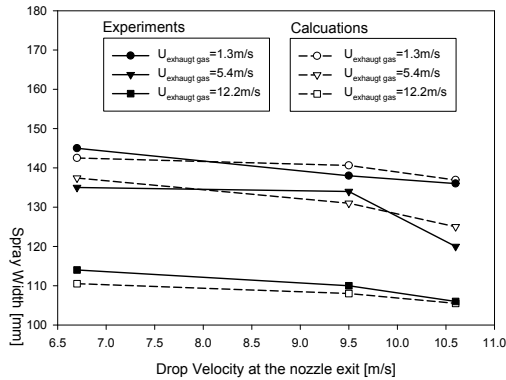
Section	Boundary condition	Value
Inlet	Massflow inlet	1.28 kg/s
Outlet	Pressure outlet	0 Pa
Walls	Adiabatic / No-slip	-
Catalyst	Porous media	-

Table 4 Nozzle conditions

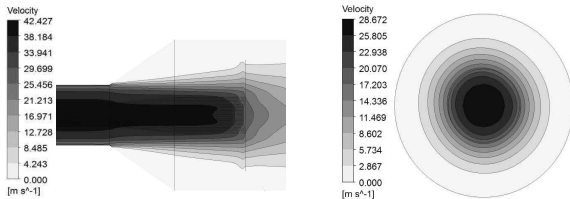
Section	Boundary condition
Spray material	Urea (32.5 wt%)
Velocity	10.6 m/s
Angle	70°
SMD	Rosin-Rammler distribution



(a) Captured of verified domain



(b) Comparison of experimental and numerical results  
Fig. 3 Numerical results verification



(a) Centerline (b) Monolith front face  
Fig. 4 Velocity distribution for without mixer

### 3.2 혼합기 설치에 따른 속도분포도

Fig. 4는 혼합기가 없는 경우의 속도분포를 나타내었다. 집속배관과 모노리스와의 연결이 급속확장상태이고 흐르는 평균유속이 34 m/sec 정도로 매우 빠르므로 혼합기가 없는 경우 (without mixer) 촉매입구의 중심부에 빠른 유속이 집중되어 흐르고 있음을 볼 수 있다.

SCR 후처리 시스템의 정확효율 향상을 위해서는 모노리스 내에서의 균일한 배기 유동분포가 중요한 인자로 알려져 있다. 유동 분포를 평가하기 위한 지표로 유동균일도를 식 (12)와 같은 방법으로 사용하여 나타내었다.

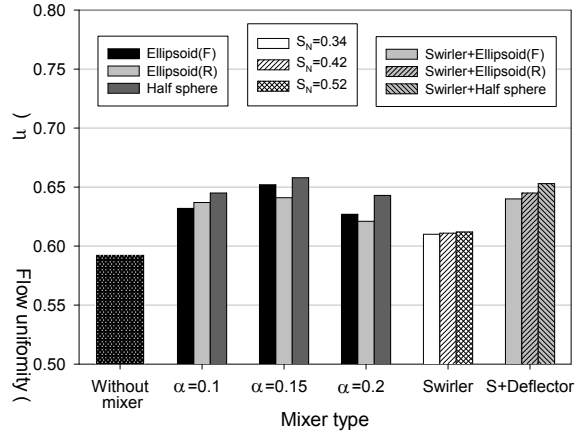


Fig. 5 Comparison of flow uniformity for a various mixer

$$\eta = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |v_i - v_{mean}| \Delta A_i}{2Av_{mean}} \quad (12)$$

$n$ 은 총 셀의 개수를 의미하며  $v_{mean}$ 은 평균속도,  $v_i$ 는 각 셀의 속도,  $\Delta A_i$ 는 단면적을 의미한다. Fig. 5는 혼합기에 따른 유동균일도를 나타내었다. 혼합기의 장착에 의해 유동균일도가 상승하였다. 방해판의 경우 혼합기가 없는 경우에 비해 반구형( $\alpha=0.15$ )에서 최대인 11 %, 타원형(R,  $\alpha=0.2$ )에서 최소 증가폭인 4.7 %이다. 동일한 직경비에서 DP판의 형상변화는 유동의 균일도에 큰 영향을 주지 못함을 알 수 있다. 스월러 장착 시 스월강도에 따른 차이가 거의 나타나지 않았으며 혼합기 형태중 가장 작은 증가폭인 3 %상승하였다. 스월러와 DP판을 혼용하였을 경우 스월러만 설치하였을 때 보다 유동균일도가 평균 6.9 % 증가하였다.

### 3.3 혼합기 설치에 따른 압력강하 특성

혼합기의 설치로 인해 촉매입구에서 농도분포 균일도가 상승하였지만 유동의 흐름에 저항으로 작용하여 압력강하가 발생하게 되며 정도에 따라 엔진의 출력저하에 영향을 줄 수가 있다.

입구에서 촉매입구까지의 압력 강하를 Fig. 6에 나타내어 비교하였다. DP판 장착 시 직경비가 증가하면 유동면적 감소로 인해 유속증가로 인한 압력강하가 상승하였으며 특히, 직경비 0.2일 때 증가 폭이 매우 크게 나타났다. 형상변화에 따른 영향은 직경비 변화에 따른 압력강하보다는 그 영향이 작지만 단면의 변화가 완만한 역타원형의 경우가 가장 적게 나타났다. 스월러의 경우 스월계수 증가에 따른 압력강하는 미비하게 나타났으며 DP판과 혼합 구성시 스월러에 의한 유속

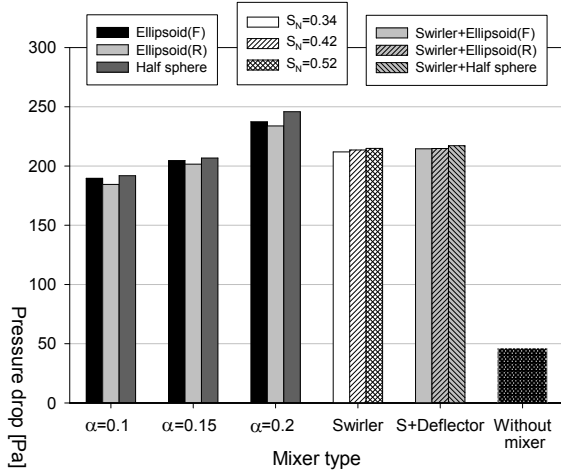


Fig. 6 Comparison of the pressure drop between in letand monolith front face

의 감소로 인해 압력강하 증가는 미미하게 나타났다.

### 3.4 우레아 액적의 궤적

Fig. 7은 혼합기 종류에 따른 액적의 분무궤적과 크기를 나타낸 그림이다. 혼합기가 없는 경우 노즐에서 분사된 액적은 빠른 배기가스의 유속에 의해 확산되지 못하고 중앙에 집중하여 흐르는 것을 볼 수 있다. 액적은 DP판에 의해 발생된 난류 및 에너지의 소산 등으로 혼합이 일어나며 반경방향으로 확산되어 중심에서 집중된 우레아를 분산시켜 농도분포의 불균일도를 완화시켜 준다. 또한 기화하지 못한 액적이 혼합기와 충돌하여 액적의 입자가 미립화 되어 요소수의 증발을 촉진시킨다.

스윙러가 설치된 경우 분사된 액적과 배기가스와의 혼합이 증가되어 요소수의 기화를 촉진시키며 단면의 바깥방향으로 확산되어 촉매입구에 농도분포를 보다 균일하게 해준다.

### 3.5 혼합기 설치에 따른 농도분포 균일도

SCR 촉매입구에서의 농도분포 균일도 지수는 NOx의 변환 효율에 큰 영향을 미칠 뿐만 아니라 NH3 slip, 촉매의 수명과도 밀접한 관계를 가지고 있다. 본 연구에서는 Weltens[4] 등이 제안한 방법을 이용하여 농도분포 균일도는 식 (13)에 의해서 구해진다.

$$\gamma = 1.0 - \frac{\int_{A_0} |C - C_0| dA}{2A_0 C_0} \quad (13)$$

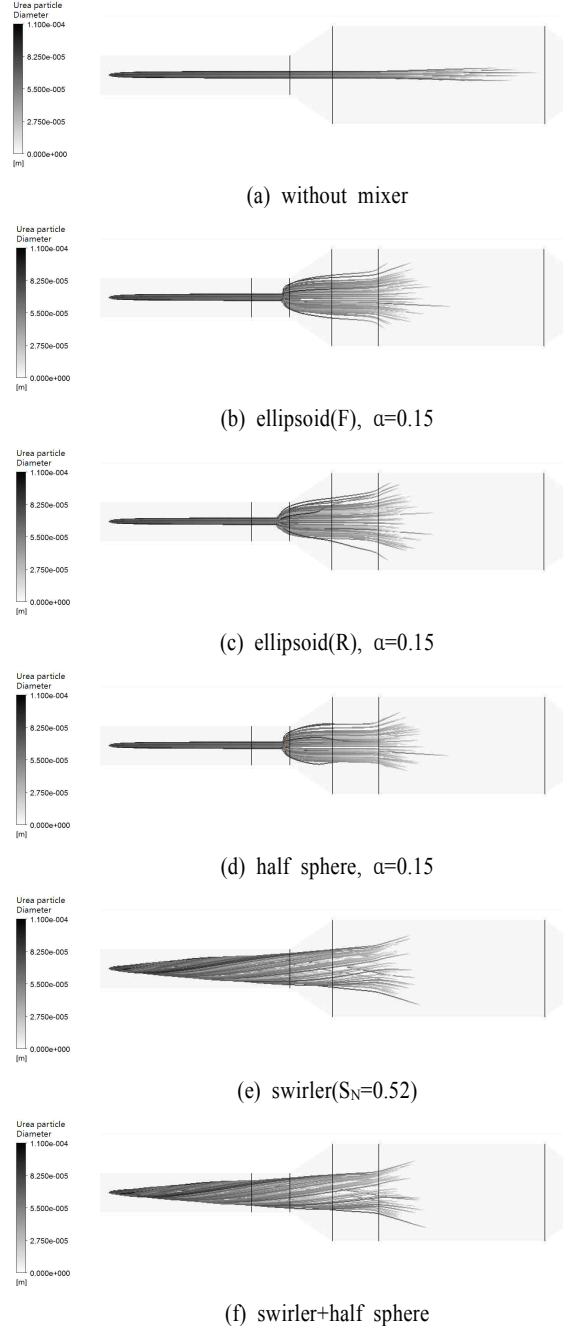


Fig. 7 Plots of the urea droplet tracking lines

여기서, C는 단면적 A를 통과하는 NH3 농도, A0는 단면적, C0는 단면의 평균농도이다.

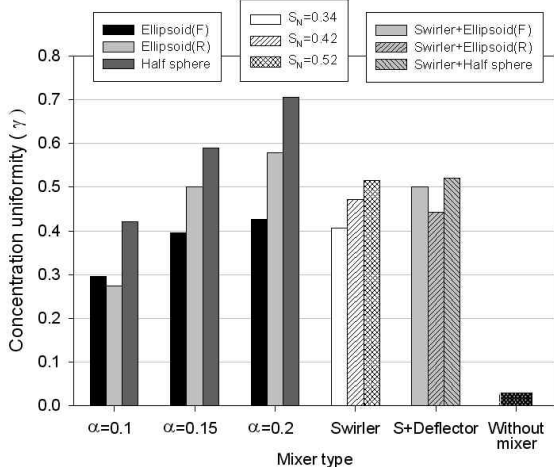


Fig. 8 Comparison of NH<sub>3</sub> concentration uniformity at monolith front face for a various mixer

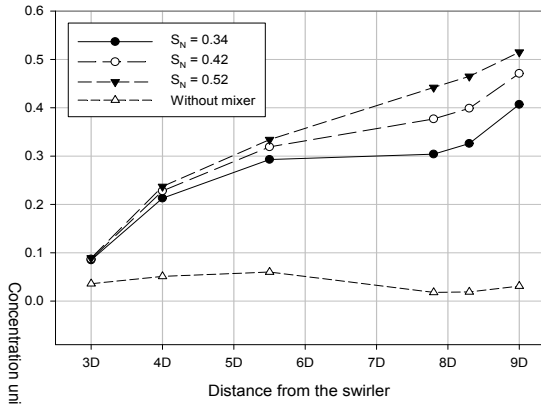


Fig. 9 Plots of concentration uniformity with swirler along the flow direction

Fig. 8은 혼합기 설치에 따른 촉매입구에서의 농도분포 균일도를 비교하였다. 혼합기가 설치된 경우 없는 경우보다 높은 농도분포균일도 향상을 보였으며 반구형( $d=0.2$ )에서 최대 22.7배 증가하였으며 타원형(R)에서 가장 낮은 8.55배 증가하였다. 이는 분사된 액적이 높은 유속으로 인해 중심으로 집중하여 흐르다 DP판에 의해 액적이 충돌하고 산란된 액적이 반경반향으로 퍼져 나갔기 때문이다. DP판이 설치된 경우 직경비가 증가할수록 농도균일도가 증가하였으며 반구형, 타원형(R), 타원형(F)의 순으로 나타났다. 반구형의 경우 직경비 0.2에서 농도균일도 지수가 약 0.7인 가장 높은 균일도를 보였다.

스윙러를 부착한 경우 블레이드의 개수가 증가할수록 스윙러의 강도 증가로 인해 농도분포 균일도가 증가 하였으며 블레

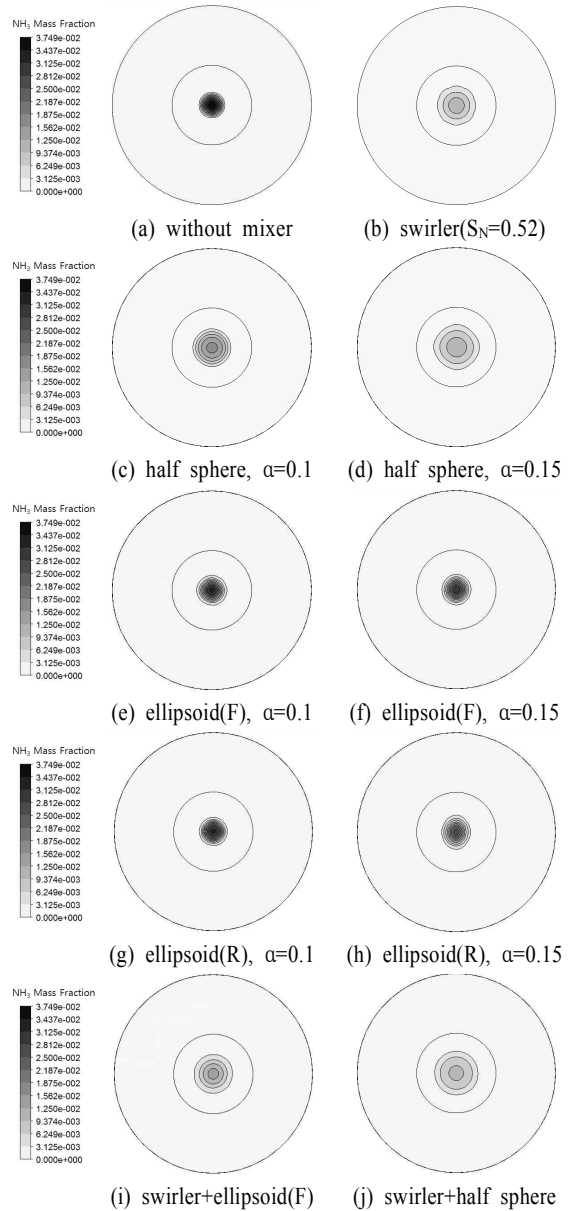


Fig. 10 Distribution of NH<sub>3</sub> concentration at monolith front face

이드 4개에서 8개로 늘어날 경우 26.5 % 증가하였다. DP판과 함께 설치했을 경우는 평균 3.6 % 증가하여 그 영향이 미미한 것으로 나타났다. 이는 배관을 따라 열분해하지 못한 요소수는 관성에 의해 벽면으로 퍼지게 되어 DP판에 의해 충돌하여 발생하는 확산 효과가 스윙러가 없는 경우와 비교해 미비하기 때문에 균일도에 영향이 미미하게 나타났다. Fig. 9는 스윙러의 블레이드 개수에 따른 위치별 농도균일도를 나타낸 것

이다. 스월의 효과로 인해 분사된 요소수는 배관을 지나며 점점 균일도가 상승한다.

Fig. 10은 촉매입구에서 암모니아의 농도를 나타낸 것이다. 혼합기가 없는 경우 암모니아가 중앙에 집중되어 나타났으며 혼합기에 의해 집중된 중앙의 암모니아가 확산되어 농도가 낮아지는 것을 확인 할 수 있다.

## 5. 결 론

Urea-SCR 시스템의 촉매입구에서 암모니아 농도분포 균일도를 향상시키기 위해 혼합기를 장착하여 그 효과를 수치해석을 통하여 분석한 결과 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 혼합기 설치시 촉매입구의 향상된 농도균일도로 인해 배기가스 변환효율의 향상과 담체의 내구성 증가 등의 효과를 기대할 수 있다.
2. DP판의 경우 반구형, 타원(R), 타원(F)의 순으로 균일도가 증가하였으며 직경비 증가에 따라 농도균일도가 상승하였으나 압력강하도 증가하여 설계상 최적의 도출이 요구된다.
3. 스월러는 요소수와 배기가스의 혼합을 촉진시키며 스월수가 증가함에 따라 농도균일도 증가하였다.

## 후 기

본 연구는 “창원대학교 BK사업단” 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- [1] 1991, Wendland, D.W., Sorrell, P.L. and Kreucher, J.E., "Sources of Monolith Catalytic Converter Pressure Loss," *SAE*, 912372.
- [2] 1998, Heibel, A. and Spaid, M.A., "A New Converter Concept Providing Improved Flow Distribution and Space Utilization," *SAE*, pp.57-66.
- [3] 1995, Zhao, F.Q. and Lai, M.C., "An Experimental Study of the Flow Structure inside Catalytic Converter of a Gasoline Engine," *SAE*, 950784.
- [4] 1993, Weltens, H., Bressler, H., Terres, F., Neumaier, H. and Rammoser, D., "Optimisation of Catalytic Converter Gas Flow Distribution by CFD Prediction," *SAE*, 930780.
- [5] 2008, 정석운, 임준형, 김상만, 김해삼, 김경훈, "배기저감 장치의 촉매선단 입구 길이 변화에 따른 성능특성," *한국자동차공학회 30주년 기념 학술대회 논문집*, pp.963-967.
- [6] 2008, 서진원, 이규의, 오정택, 최윤호, 이종화, 박진일, "SCR 시스템의 믹서 구조 특성에 따른 유동 혼합 특성에 관한 연구," *Transactions of KSAE*, Vol.16, No.6, pp.192-199.
- [7] 2004, 정수진, 이상진, 김우승, "대형 디젤엔진용 Urea-SCR 시스템의 NH<sub>3</sub> 슬립 억제를 위한 최적 인젝터의 형상 및 위치에 관한 수치적 연구," *한국자동차학회 추계학술대회논문집*, pp.229-235.
- [8] 2005, Jeong, S.J, Lee, S.J., Kim, W.S. and Lee, C., "Simulation on the Optimum Shape and Location of Urea Injector for Urea-SCR system of Heavy-Duty Diesel Engine to Prevent NH<sub>3</sub> Slip," *SAE* 2005-01-3886.
- [9] 2008, 정수진, 이천환, "대형 디젤 엔진용 요소분사 SCR 촉매의 deNO<sub>x</sub> 성능향상을 위한 요소수용액의 분사특성 연구," *Transactions of KSAE*, Vol.16, No.4, pp.165-172.
- [10] 2008, Zhang, X. and Romzek, M., "Computational Fluid Dynamics (CFD) Applications in Vehicle Exhaust System," *SAE* 2008-01-0612.
- [11] 2003, 최재성, 조권희, 이재현, 이진욱, 김진곤, "선박디젤 기관용 SCR 시스템의 NO<sub>x</sub> 저감율에 관한 연구," *한국박용기관학회지*, 제27권, 6호, pp.832-838.
- [12] 2008, Hong, K.H. et al, "Effect of Oxygen Concentration and Catalyst Temperature using Simulated Diesel Exhaust Gases on DeNO<sub>x</sub> Performance in Urea-SCR System," *KSAE*, Vol.1, pp.354-359.
- [13] 2003, Winkler, C., Florchinger, P., Patil, M.D., Gieshoff, Spurk, J.P. and Pfeifer, M., "Modeling of SCR DeNO<sub>x</sub> Catalyst - Looking at the Impact of Substrate Attributes," *SAE* 2003-01-0845.
- [14] 2007, ANSYS Inc, *CFX-Solver 11.0*.
- [15] 1991, Driver, D.M., "Reynolds shear stress measurements in a separated boundary layer flow," *AIAA*, 1984-0175.
- [16] 1994, 최희탁, 목재균, 이은호, 유재석, 이종화, "모노리스크 촉매 담체내의 유체 유동에 관한 연구," *한국 에너지 공학회지*, pp.288-296.
- [17] 2004, Kim, J.Y., Ryu, S.H. and Ha, J.S., "Numerical prediction on the characteristics of spray-induced mixing and thermal decomposition of urea solution in SCR system," *2004 Fall Technical Conference of the ASME Internal Combustion Engine Division*, Long Beach, California USA.