

덕트 유동에서 증발을 수반하는 액상 스프레이의 혼합 특성에 대한 실험적 연구

김영봉* · 최상민†

An experimental study on the mixing of evaporating liquid spray in a duct flow

Y. B. Kim, S. M. Choi

Key Words: spray(분무), mixing(혼합), evaporation(기화), CO₂ concentration(이산화탄소 농도), static mixer(고정식 혼합기)

Abstract

High temperature furnaces such as power plant and incinerator contribute considerable part of NO_x generation and face urgent demand of De-NO_x system. Reducing agent is injected into the flue gas flow to activate de-NO_x system. Almost SCR system adopt vaporized ammonia injection system. Vaporizer, dilution system and additional space are needed to gasify and inject ammonia. Liquid spray injection system can simplify and economize post-treatment system of flue gas. In this study, mixing caused by gas or liquid injection of reducing agent into flue gas duct was investigated experimentally. Carbonated water was used as tracer and simulated agent and mixing of liquid spray in a duct flow was studied. To achieve that, the angle of attack of static mixer is simulated and CO₂ concentration is measured.

기호설명

α	aspect ratio
AIG	Ammonia Injection Grid
CV	Coefficient of Variation
Cp	Pressure coefficient based inlet velocity
CR	Contraction ratio
FNU	Flow Non-Uniformity
MS	Margin of Safety

L non-dimensionalized contraction length

SMD Sauter Mean Diameter

Zip Position of inflection point

1. 서 론

최근 환경에 대한 관심이 증대되면서 오염물질에 대한 규제가 심해짐에 따라 고온의 로를 사용하는 시설에서 탈질장치에 대한 관심이 높아지고 있다. 열기관에서 효율을 높이기 위해 고온의 분위기를 유지하려는 노력이 NO_x 즉, 질소산화물의 발생을 증가시키는 부작용을 야기하게 된다.⁽¹⁾ 대부분의 화력발전소나 소각시설에서는 비선택적 촉매 환원법(Non Selective Catalytic Reduction,

* 한국과학기술원 기계공학과 대학원

† 책임저자, 회원, 한국과학기술원 기계공학과

E-mail : smchoi@kaist.ac.kr

TEL : (042)869-3030 FAX : (042)862-1284

SNCR)보다 효율이 높은 선택적 촉매 환원(Selective Catalytic Reduction, SCR)설비를 채택하여 사용하고 있다. SCR에는 환원제로 암모니아(NH_3)나 요소($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$)를 분사하고 있다. 이 경우 암모니아를 사용하는 시설에서는 보통 20~30% 액상의 암모니아수로 보관하고 있다가 필요량을 기화시켜서 연소 후처리에 사용한다. 즉, 보관과 연소가스가 흐르는 덕트로 분사시키는 작업을 나누어서 진행하기 때문에 부가적인 설비가 필요하게 된다.

본 연구는 환원제를 기화시켜서 주입하는 현행의 시스템의 개선안으로 제시되고 있는 액상의 환원제를 직접 주입하여 SCR 설비를 간단히 제작, 설치 가능성을 살펴보기 위해 수행하였다. 액상 환원제를 직접 분사하더라도 가스 상태로 분사할 때와 비슷한 효과를 얻을 수 있다면 가스 상태로 분사할 때 필요한 시설을 줄여 처리비용을 절감할 수 있을 것이다.

실험 장치는 실규모 화력발전소의 SCR 설비를 기준으로 하였다. 분사와 혼합이 동시에 이루어지기 때문에 축소 규모 실험의 적용범위가 제한되어 있으므로 실 스케일 규모의 장치로 제작을 하여 실험이 가능하도록 하였다. 즉, 환원제의 주입이 일어나는 암모니아 주입 장치(Ammonia Injection Grid, AIG)의 일부분을 상사를 유지하면서 측정을 수행할 수 있도록 떼어내어 실험실에서 측정할 수 있도록 한 것이다. 상사성 유지를 위해 실제 덕트 유동은 $Re > 106$ 인 난류이기 때문에 비슷한 수준의 Re 를 가진 유동이 되도록 설계/제작하였다.

실제 SCR설비의 적정 운전온도는 최고의 효율을 보이는 3~400°C 정도가 되는데, 분진의 영향을 배제한 연소가스에 평균 100 μm 자름의 암모니아 수용액 액적(spray)을 분사한다. 실제로 유동 중에 분사된 액적의 거동에 절대적인 영향을 미치는 요인은 기체장의 속도가 있다. 기체장의 온도는 액적의 수명(lifetime)을 결정하는 요소이다.⁽²⁾ 따라서 상온에서 실험을 수행하더라도 기체장의 속도를 맞추면 유사한 액적의 거동을 얻을 수 있을 것이다.

실험에는 농도 측정이 용이한 CO_2 가 다량 녹아있는 탄산수를 사용하였다. 실 규모 발전설비의 가동 환경과 비슷한 유동조건을 제공할 수 있다면 고온에서의 암모니아의 기화를 상온에서의

압력 차이에 의한 CO_2 의 기화로 상사할 수 있을 것이다.

2. 실험 장치 및 모델링 방법

2.1. 실험 장치

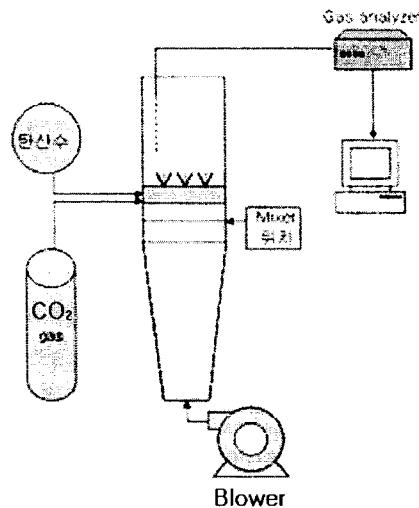


Fig. 1 Schematics of experiment system

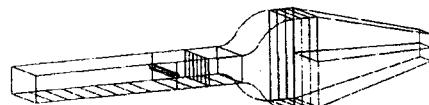


Fig. 2 Design of assembled duct and stabilizer

Fig. 1은 본 연구를 위해 제작된 풍동 모형이다. 풍동은 크게 송풍기(blower), 유동 안정화 장치(stabilizer), 덕트(duct), 분무장치(atomizer)로 구성되어 있다.

Fig. 2는 유동 안정화 장치로 디퓨저(diffuser), 허니콤(honeycomb), 가는 철망(screen), 수축부(contraction part)로 구성되어 있으며, 송풍기에서 발생되는 강한 난류의 유동을 안정화시키는 역할을 수행한다. 실험실의 크기에 맞게 유동 안정화 장치의 길이를 줄이기 위해 디퓨저에 이격판을 설치하여 박리현상(separation)의 가능성을 줄였다. 안정화 구역(settling part)에서는 가는 철망, 허니콤, 가는 철망의 순서로 설치하여 유동의 불균일

성을 줄이도록 하였다. 수축부는 유동을 균일하게 만들고, 박리현상을 방지하면서 효과적으로 덕트로 인도하도록 제작되었다.⁽¹⁾ 유동 안정화 장치에서 빠져나오는 유동의 상태를 측정하기 위해 유동 불균일도 (FNU, Flow Non Uniformity), 안전 여유 (MS, Margin of Safety)를 정의하였다. FNU는 최고 유속과 벽면에서 발생되는 최저 유속간의 차이를 최고 유속에 대한 비율이다.

$$FNU = \frac{U_{\infty} - U_w}{U_{\infty}} \quad (1)$$

안전여유는 B. F. Stratford⁽⁴⁾의 방법을 따랐다. Stratford에 의하면 난류유동에서 박리현상이 일어나는 부분에서는

$$C_p(x \frac{dC_p}{dx})^{0.5} = C(10^{-6} Re)^{0.1} \quad (2)$$

$$\text{where } \begin{cases} C = 0.35 \text{ when } d^2 p / dx^2 \geq 0 \\ C = 0.39 \text{ when } d^2 p / dx^2 < 0 \end{cases}$$

의 관계가 얻어진다.⁽¹⁾ 다음과 같이 MS를 정의하여 $MS \neq 0$ 이라면 박리현상이 일어나지 않는다고 보았다.

$$MS = C(10^{-6} Re)^{0.1} - C_p(x \frac{dC_p}{dx})^{0.5} \quad (3)$$

유동 안정화 장치의 설계인자는 수축비, Zip, L이 있다. 수축비 (CR, Contraction Ratio)은 다음과 같이 정의된다.

$$CR = \frac{\text{inlet area}}{\text{exit area}} = \frac{1000 \times 600}{570 \times 270} = 3.89 \quad (4)$$

또한 Zip 는 유동 안정화 장치 수축부의 변곡점의 위치로 전체 수축부 길이에 대한 유동 방향으로의 수축부의 위치의 비율이다. L은 수축부 지름에 대한 전체 길이의 비율이다.

$$L = \frac{\text{contraction length}}{\text{inlet radius}} = \frac{645}{500} = 1.29 \quad (5)$$

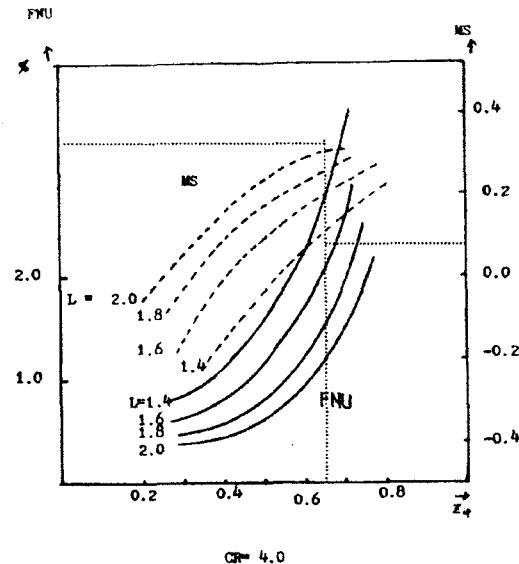


Fig. 3 Design chart for $CR=4.0$ ⁽⁵⁾

제작된 유동 안정화 장치는 $CR=3.89$, $Zip=0.65$, $L=1.3$ 으로서 계산 결과 Fig. 3에서 양의 MS와 3% 이내의 FNU로 균일한 유동을 얻을 수 있었다.⁽¹⁾

다음은 덕트와 유동 안정화 장치의 설계도이다.

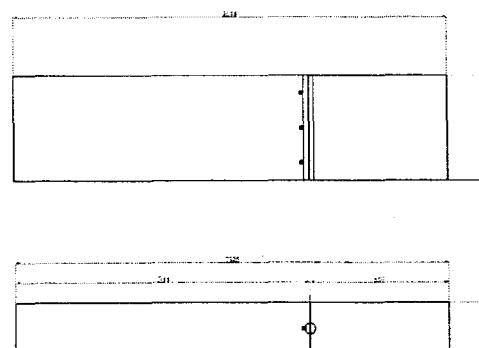


Fig. 4 Design of the duct

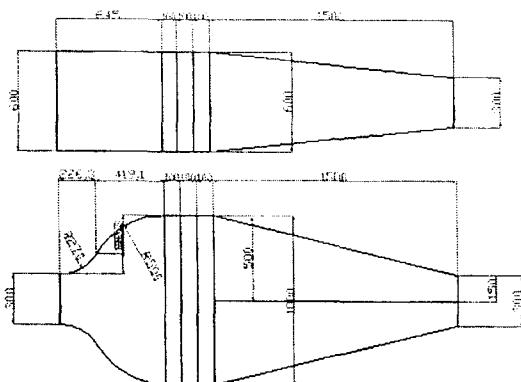


Fig. 5 Design of the stabilizer

-스프레이 분무장치

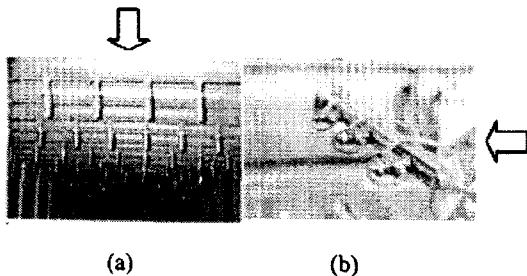


Fig. 6 Overview of AIG and atomizer in duct (a)
 In real plant (200MW thermal power plant)
 (b) In experimental device (\Leftrightarrow : main gas flow)

스프레이의 분사와 가스 성분의 측정이 이루어지는 덕트는 $30 \times 60\text{cm}$, 길이 2.5m 의 아크릴로 제작하였다. 상사성을 유지하기 위해 $\text{Re} > 106$ 인 난류는 유사한 거동을 보인다는 사실을 이용해 최소 덕트 유동속도를 4m/s 로 정하고 $6, 8\text{m/s}$ 로 유속을 조정하며 측정을 실행하였다.

분무장치(atomizer)는 유동방향으로 설치를 하여 충분한 분사각을 확보하기 위해 6개의 분사구가 있는 광각 분사 모델을 사용하였다. Fig. 6과 같이 실제 AIG처럼 덕트를 가로질러 설치한 직경 44mm의 실린더에 3개의 분무장치를 부착하였다. 사용한 모델은 (주)한미노즐⁽¹⁾에서 제작한 AD100 set을 분무장치로 사용하였다. 매 실험에서 분무장치에 균일한 수압/기압이 걸리도록 하였다. 이 경우 액적의 지름 분포를 Fig. 7에서 나타내었는데 100μm에서 액적의 분포가 가장 많았다.

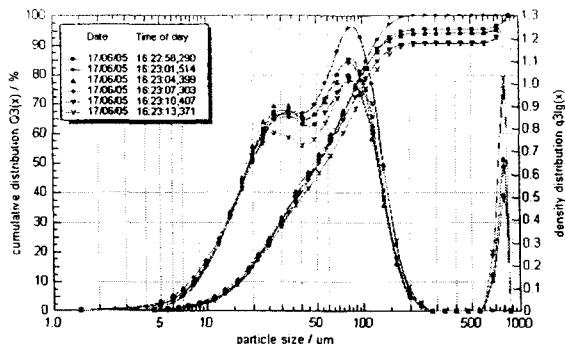


Fig. 7 size distribution of the spray droplet

$$\overline{d_{qp}^{q-p}} = \frac{\Sigma(d^q \Delta n)}{\Sigma(d^p \Delta n)} \quad (6)$$

Sympatec의 Helos Vario를 사용하여 액적의 지름을 측정하였다. 액적의 지름 d를 측정하여 식 (6)과 같이 구한 SMD(Sauter Mean Diameter)는 32~37 μm 로 측정되었다. SMD는 액적균의 총 체적에 대한 총 표면적의 비율이므로 분사된 액체가 주위 기체와 표면을 통해 접촉하기 위하여 얼마나 잘 미립화하였는가를 보여주는 유용한 척도이다⁽¹⁾.

-샘플링/분석

샘플링은 덕트 단면을 16구간으로 나누어 각 구간에서 일정 시간 샘플링 후 이동하는 방식으로 덕트 출구 근처에서 측정을 하였다. 또한 같은 자리에서 마노미터로 동압과 정압의 차이를 측정하여 유속을 측정하였다. 이렇게 측정된 결과를 각 구간의 유속을 고려하여 농도를 산정하였다. 또한 유동방향에 따른 혼합 진행 정도를 측정하기 위해 분무장치에서 가까운 0.6m 거리에서 측정하였다. CO_2 농도 측정에는 Rosemount사의 880A model을 사용하였다. 측정된 데이터는 NI사의 DAQcard - AI - 16XE - 50 model 을 PC에 연결하여 획득하였다.

3. 실험 및 측정 data

3.1 측정 방법 및 보정

덕트 단면을 가로질러 유속이 일정하지 않기 때문에 유속이 빠른 부분과 느린 부분은 같은 높

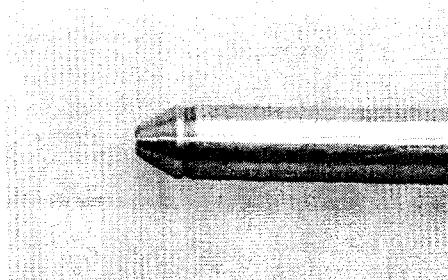


Fig. 8 Head of the probe

도가 측정되어도 실제 CO₂의 양은 차이가 생기게 된다. 따라서 각 부분의 유속을 측정하여 가중치를 두어 획득한 데이터에 반영시켰다.

샘플링에서는 유동의 유선을 왜곡시키지 않는 범위에서 샘플링을 하기 위해 등속 샘플링(iso-kinetic sampling)을 하였다.⁽¹⁾ 이를 위해 Fig. 8과 같이 프로브 선단에 30°로 테이핑 가공한 팁을 부착하였다.

매 경우 측정된 자료로 혼합 정도를 비교하기 위해 변동계수(Coefficient of Variation, CV)를 도입하였다.

$$CV = \frac{\text{Standard Deviation}}{\text{Average}} = \frac{S}{\bar{x}} \quad (7)$$

CV는 무차원수로써 표본의 산술평균에 대한 표준편차의 크기로써 평균의 차이가 있더라도 상대적인 분산도를 비교할 수 있다.⁽¹⁾ 이 실험에서는 덕트 각각의 단면에서 측정된 CO₂의 농도에 대한 산술평균과 표준편차를 구해서 평균 농도가 다르더라도 혼합의 균일도를 비교할 수 있도록 각각의 case에 대해 CV를 구하였다.

3.2 가스 상의 CO₂ 분사 및 측정

먼저 가스 상태 CO₂의 혼합정도를 측정해보았다. 덕트 내부의 유속을 4, 6, 8m/s로 바꾸면서 일정량의 CO₂ 가스를 주입하여 혼합정도를 측정하였다. 측정은 덕트 단면을 16부분으로 나누어 일정 시간동안 농도를 측정하여 각 부분의 면적 속도를 반영하여 다시 계산해 낸다.

각각의 유속에서 완전히 혼합되는 경우 0.01%, 0.02%의 농도가 측정되도록 계산된 양의 CO₂를 주입하였다. 다음은 측정 결과이다.

Table 1 CO₂ concentration distribution at 4m/s

distance	concentration	CV
0.6m	0.0094%	1.288542
	0.0230%	1.052611
1.4m	0.0114%	0.812637
	0.0251%	0.58395

Table 2 CO₂ concentration distribution at 6m/s

distance	concentration	CV
0.6m	0.0107%	1.081467
	0.0221%	0.983541
1.4m	0.0119%	0.754019
	0.0193%	0.601317

Table 3 CO₂ concentration distribution at 8m/s

distance	concentration	CV
0.6m	0.0106%	1.031706
	0.0218%	0.953082
1.4m	0.0091%	0.698116
	0.0194%	0.57657

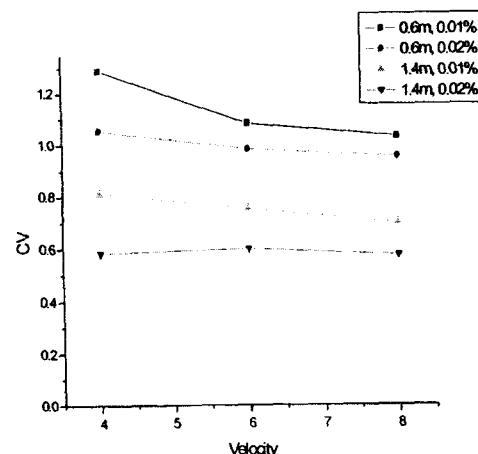


Fig. 9 CV behavior at various condition

유속을 바꾸며 CO_2 가스를 분사한 경우 풍동 출구와 분사장치에서 0.6m 떨어진 지점에서 측정한 결과를 Table 1, 2, 3과 Fig. 9에 나타내었다. 가스 상태의 CO_2 를 분사한 경우의 측정에서는 유동의 유속과 분사 후 이동 거리가 혼합에 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 또한 예상농도가 낮은 경우에 유속이 혼합에 미치는 영향이 크며, 예상농도가 높은 경우는 혼합이 유동의 이동거리에 크게 의존함을 알 수 있다.

3.3 탄산수 분사 및 측정

3.3.1 고정식 혼합기(static mixer)가 없는 경우의 혼합

탄산수를 분사할 때는 액적의 지름을 정하는 것이 중요하다. 최상균⁽²⁾은 '증발 현상을 수반하는 분무 액적의 거동에 관한 수치적 연구'를 통해 액적의 궤적과 수명에 큰 영향을 미치는 것은 각각 기체장의 속도와 온도임을 밝힌 바 있다. 액적의 지름이 큰 경우는 유동 중에서 가속과 용질의 기화가 느리게 되어 혼합 효과가 좋게 나오기 어렵다. 액적의 지름이 100 μm 로 400°C의 덕트로 분사된다면 분사 직후 온도 상승이 급격히 이루어지기 때문에 액적의 기화에는 비교적 짧은 시간이 소요된다. 고온의 연소가스 중으로 분사된 액적의 온도 거동은 평행유동 열교환기의 온도분포와 비슷한 거동을 하게 된다. 액적과 연소가스의 온도 거동은 Fig. 10과 같이 일어나게 된다.

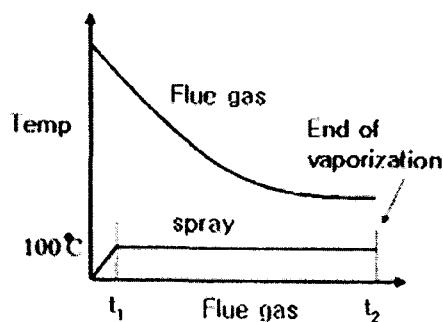


Fig. 10 Temp. behavior of flue gas and spray

이때 t_1 은 분사직후부터 액적이 끓는점에 도달하는 시간이고, t_2 는 끓는점에서 완전히 증발이 이루어질 때까지의 시간으로 액적의 증발에 소요되는 총 시간은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$t_1 = \frac{\rho_p C_p d_p^2 \Delta T_p}{12 k_g \Delta T_{LMTD}} \quad (8)$$

$$t_2 = \frac{\rho_p \lambda d_p^2}{8 k_g \Delta T_{LMTD}} \quad (9)$$

$$t_{evap} = t_1 + t_2 \quad (10)$$

where,

ΔT_1 : 분사 직후의 유동과 액적의 온도 차이

ΔT_2 : 증발 직전의 유동과 액적의 온도 차이

T_p : 액적의 온도

ρ_p : 액적의 밀도

d_p : 액적의 초기 지름

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln(\Delta T_2 / \Delta T_1)}$$

λ : 물의 증발 잠열

고온의 공기에 직경이 100 μm 로 물 액적을 분사한다고 가정하고 이 식을 적용시키면 $t_{evap} = 1.7 \times 10^{-7}\text{s}$ 의 시간이 소요된다. 즉 입경이 작은 액적의 경우 분사 즉시 가속과 함께 증발이 일어난다. 이 경우 연소가스의 온도변화는 크지 않다. 액적의 지름이 1mm인 경우도 증발에는 10-5s정도로 큰 차이가 없다. 이와 유사하게 탄산수를 분사하는 경우는 대기압과 저장용기에서의 압력차이로 인해 대부분의 CO_2 가 분사 즉시 기화가 일어나서 덕트 유동과의 혼합이 일어난다.

실험에는 시중에서 쉽게 구할 수 있는 탄산수를 구매하여 사용하였다. 탄산수의 용존하는 CO_2 가스 함량을 정밀하게 측정하기 어렵기 때문에 제조당시 환경을 고려하여 정하였다. 즉, 탄산수의 제조는 4°C, 4기압의 분위기에서 병입이 이루어지기 때문에 제조된지 1~2개월 이내의 신선한 탄산수를 확보하여 실험한다면 제조 당시의 분위기로 탄산의 농도를 계산해 낼 수 있다고 보고 탄산가스의 함량을 계산하였다.⁽¹⁾

Table 4 CO_2 concentration distribution of the spray case at 6m/s

distance	concentration	CV
0.6m	0.019%	0.488
1.4m	0.017%	0.417

6m/s 유속의 덕트 유동에 탄산수를 분사한 경우의 가스 조성을 측정하여 Table 4에 나타내었다.

3.3.2 고정식 혼합기를 설치한 경우

액적과 유동간의 혼합과 충발이 원활히 이루어지도록 평판으로 이루어진 고정식 혼합기를 설치하여 종횡비를 바꿔가면서 측정하였다. 실제 현장에서는 혼합기에 의한 압력강하도 중요한 설계인자가 되고, 측매 중에 진입할 때 유동이 균일한 상태가 되지 않으면 측매 중의 수명에도 영향을 미치기 때문에 종횡비의 선택 시 신중해야 한다.

고정식 혼합기는 지름 14mm의 봉에 46×40mm의 평판 48개를 붙여 유동을 교란시켜 혼합을 촉진시킬 목적으로 유동 중에 설치하였다. Fig. 11은 혼합기의 모습을 앞, 뒤 모습과 설치한 모습이다.

Fig. 12는 고정식 혼합기를 분무장치 상류에 설치하고 덕트 유속은 4, 6, 8m/s로 한 상태에서 분무장치에서 1.4m 하류방향에서 측정을 실행하였으며, 평판 하나하나를 익형(air foil)로 생각하고 반음각을 10°, 20°, 30°로 할 때 종횡비는 각각 0.86, 0.9, 1 이 되고 이 경우의 측정결과이다. 종횡비(α)는 다음과 같이 구하였으며, Fig. 12에 평판의 크기와 반음각 θ 에 대해 나타내었다.

$$\alpha = \frac{40}{46\cos\theta} \quad (11)$$

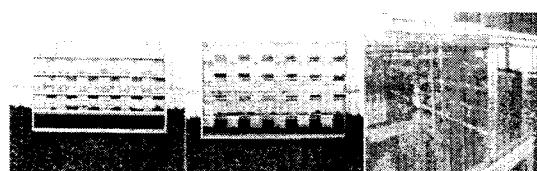


Fig. 11 Static mixer (front, rear, setup)

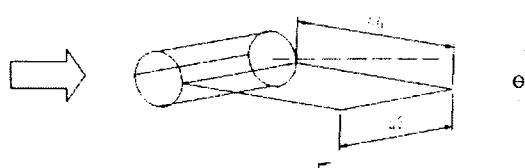


Fig. 12 Size of each flat plate (\Rightarrow :main flow)

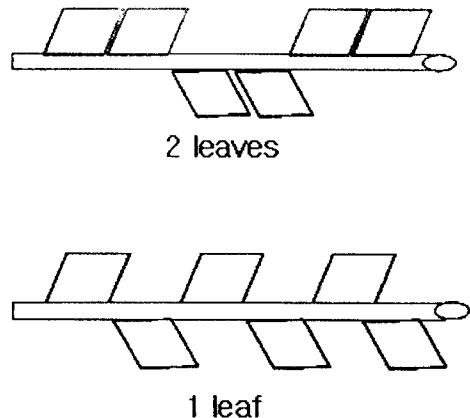


Fig. 13 Width of the mixer

Table 5 CO₂ concentration distribution w.r.t. aspect ratio at 6m/s

α	concentration	CV
0.86	0.021%	0.698806
0.9	0.022%	0.713862
1	0.021%	0.805465

평판의 각도가 증가하게 되면 박리현상이 발생하기 때문에 평판의 각도를 10, 20, 30°로 하였다. Fig. 13과 같이 평판의 폭을 넓혀 종횡비를 바꾸며 유속이 6m/s에서의 측정결과를 Table 5에 나타내었다. 혼합기의 반음각이 증가해서 종횡비가 커지면 변동계수가 증가한다. 이것은 혼합이 잘 일어나지 않는다는 것이다.

종횡비가 증가할 경우 해당 유속에서의 압력강하가 증가한다. 피토관과 마노미터로 측정한 압력손실은 측정이 실행된 범위에서는 유속이 작을 경우는 선형적으로 증가하였고, 유속이 큰 경우는 비선형적으로 증가하는 경향을 보였다. Fig. 14는 개도를 20°로 맞추고 4, 6, 8m/s로 유속을 바꾸면서 압력 강하를 측정한 결과이고, Fig. 15는 6m/s에서 평판 개도와 평판의 폭을 바꾸면서 측정한 결과이다.

고정식 혼합기의 폭을 늘려서 종횡비를 변화시켜서 측정하였다. 2장 쪽 같이 움직여서 종횡비가 두 배가 되도록 설정하여 측정한 결과를 Table 6와 Fig. 16에 나타내었다.

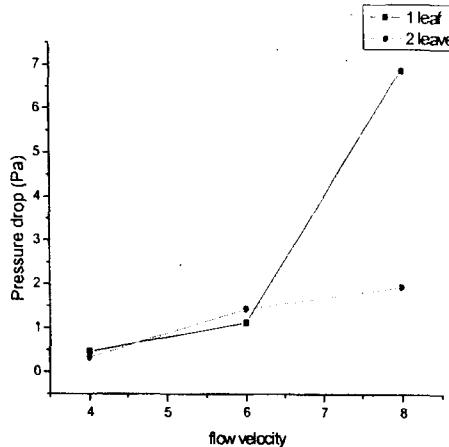


Fig. 14 Pressure drop w.r.t. width of the mixer at 20°

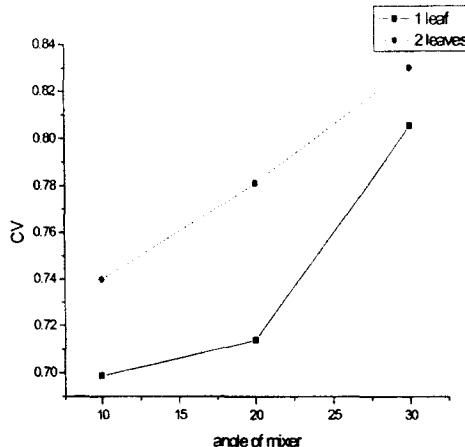


Fig. 16 CV behavior w.r.t. angle of the mixer at 6m/s

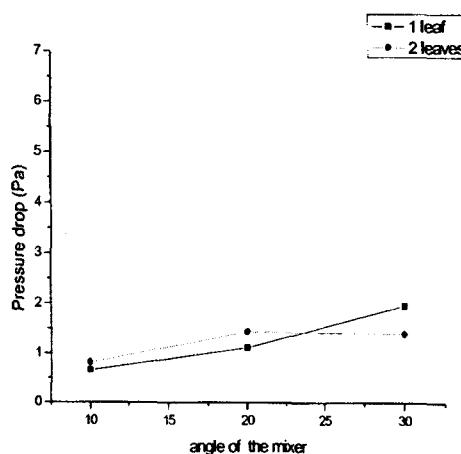


Fig. 15 Pressure drop w.r.t. angle of the mixer at 6m/s

Table 6 Case of 2 leaves of the mixer at 6m/s

α	concentration	CV
1.72	0.022	0.739823
1.8	0.021	0.781038
2	0.021	0.830347

Fig. 16은 혼합기 개도를 달리한 경우의 측정 결과이다. 혼합기의 각도가 작은 경우 CV가 작게 측정되었다. 혼합기의 각도를 크게 한 경우 나타나는 CV의 증가는 유동에 큰 요동을 준 경우 탄산수에서 발생한 CO_2 와 유동간의 혼합이 잘 이루어지지 않는다고 볼 수 있다. 즉, 혼합기에 의해 단면 유속 분포가 불균일해지는 정도가 커지면 액적의 분포가 편중되기 때문에 CO_2 분포가 불균일해지는 것으로 보인다.

3.4 가스분사와 액적 분사의 비교

Fig. 17은 8m/s의 유속과 비슷한 수준의 농도 (0.019%, 0.017%)가 측정된 가스분사와 탄산수 분사의 경우에 대한 그래프이다. CO_2 가스를 분사한 경우 CO_2 가스 제트의 자체 운동량이 작고, 연속적인 확산으로 혼합이 이루어지기 때문에 측정된 그래프가 부드러운 곡선을 이루고 있지만, 탄산수 분사의 경우 분무 액적 자체의 질량으로 인해 큰 운동량을 가지게 되어 유동에 침투가 원활하게 된다. 그 결과 탄산수 액적이 유동에 불연속적으로 분포하게 되어 탄산수 분사의 경우 가스분사의 경우보다 불연속적인 분포가 특징적이다.

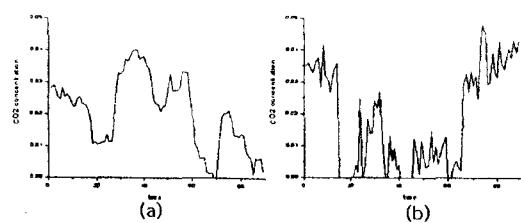


Fig. 17 CO₂ gas concentration profile of (a)gas and (b)spray injection

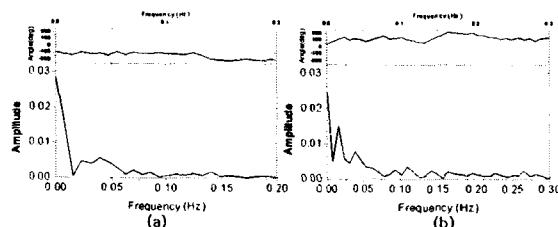


Fig. 18 FFT of each profile

Fig. 18은 두 경우를 FFT변환을 통해 특징적인 주파수의 분포를 살펴본 결과이다. 두 경우를 비교해 보았을 때, 탄산수 분사의 경우 주파수가 넓은 범위에서 분포하고 있었다. 이 때문에 측정된 농도 그래프의 기동이 심하게 요동하는 것이다. 이것은 탄산수 액적이 불연속적으로 분포하게 되기 때문으로 판단된다. 이 문제를 해결하기 위해서는 분무장치의 분사각도나 유속과 분사압력의 관계를 살펴 볼 필요가 있다고 생각된다.

4. 결 론

이 연구를 통해 덕트 유동과 농도를 측정 가능한 가스(tracer), 수용액의 증발에 의한 혼합을 측정하였다. 유동방향으로 진행하면서 혼합이 진행되는 정도를 살펴보았다. 수용액의 증발과 혼합을 촉진시키기 위해 작은 평판을 붙인 고정식 혼합기의 종횡비를 바꿔가면서 향상 정도를 측정해 보았다.

고정식 혼합기의 개도와 유동을 샘플링 하는 위치를 바꿔면서 측정을 실시하였다. 샘플링 위치를 바꾸는 경우는 분사 후 유동과 함께 이동한 거리가 길수록 균일하게 혼합되기 때문에 유동 진행 방향인 출구 쪽으로 갈수록 분포편차가 줄

어드는 것을 알 수 있었다. 고정식 혼합기의 개도를 바꾸는 경우에는 종횡비가 가장 작은 경우가 변동계수가 가장 작은 것으로 측정되었다. 이것은 액적 분포가 덕트 유동의 유속에 영향을 크게 받기 때문이라고 생각된다.

실험을 수행하는데 있어서 연소 가스 유동에서 분진의 영향을 고려하지 않은 점은 향후 보완 실험 측정을 통해 그 영향을 측정해야 할 것으로 보여 진다.

참고문헌

- (1) John Zink, "The John Zink Combustion Handbook," CRC PRESS, 2001, pp.190~192.
- (2) 최상균, "증발 현상을 수반하는 분무 액적의 거동에 관한 수치적 연구," 한국과학기술원 석사 학위 논문, 1990, pp.21~28.
- (3) Pope Alan, Rae William H, "Low-speed wind tunnel testing," Wiley, New York, 1984, pp.43~48.
- (4) B. F. Stratford, "The prediction of separation of the turbulent boundary layer," Journal of Fluid Mechanics, Vol. 5, Jan. 1959, pp.1~16.
- (5) 홍철희, "풍동 수축부의 간결한 최적설계 방법," 한국과학기술원 석사 학위 논문, 1982, pp.23~25.
- (6) 한미노즐 매뉴얼, pp.44
- (7) 이상용, "액체의 미립화," 민음사, 1996, pp.109~132.
- (8) Richard D. Cradle, "The measurement of airborne particles," Wiley, New York, 1975, pp.319~329.
- (9) 유지성, "통계학," 희중당, 1985, pp.58~59.
- (10) William F. Linke, "Solubilities," American Chemical Society, Vol. 1, 1958, pp.459~463.