

〈논 문〉 SAE NO. 96370016

다각주사법에 의한 비대칭 분무 구조의 토모그래피 재구성

Tomographic Reconstruction of Asymmetric Liquid Spray from Multi-angular Scanning

이 충 훈,* 정 석 호**
C. H. Lee, S. H. Chung

ABSTRACT

A convolution algorithm combined with Fourier transformation is applied to the tomographic reconstruction of the asymmetric spray structure to identify the local drop size and volume concentration. The line of sight integrated data from Malvern particle analyzer with multiangular scanning form a basic information for the deconvolution. Linear interpolation is tested to obtain the effect of increasing number of scanning angles. This transformation method predicts well the structure of asymmetric spray. The technique can be extended to other line of sight combustion diagnostics.

주요기술용어 : spray(분무), tomography(토모그래피), SMD(평균입경), air shroud injector(에어슈라우드인젝터), multi-angular scanning(다각주사)

1. 서 론

분무는 내연기관, 가스터빈 등의 동력 발생 장치, 산업용로 등의 열발생 장치, 분무건조, 분무냉각, 금속 분말의 제조 및 분무 페인팅 등의 공정 산업 등, 넓은 분야에서 이용되고 있다. 액체 분무 연소에서 높은 연소효율을 얻기 위해서는 분사된 액체의 분산길이, 분무각, 칩투 거리와 더불어 미립화 특성 및 액적의 공간적 분포 등의

분무 구조 파악이 중요하며 공정 산업 분야에서 는 분무 입자의 증발 특성 및 응고율 결정과 관련하여 분무 구조파악이 중요하다.

최근에는 국소적 교란을 미치지 않는 사진 촬영법과 레이저계측방법 등이 입경 측정 방법으로 많이 사용되고 있다^{1),2)}. 사진 촬영법은 시간이 많이 소요되며 이미지를 분석하는데 어려움이 있다. 레이저를 이용한 계측 장비로는 PDPA (Phase Doppler Particle Analyzer)^{3),4)}와 Malvern⁵⁾(멜번) 입경 측정장치가 많이 사용되고 있다. PDPA에 의한 계측은 단일 입자에 대한 점 계측(point measurement)으로 입자가 구형렌즈

* 서울대학교 대학원

** 정회원, 서울대학교 기계공학과

와 같은 역할을 수행한다고 보고 입자에 레이저가 입사되었을 때의 굴절 특성을 이용한 방식이다. PDPA를 사용하면 국소점에서의 입경 분포 파악은 양호하나 분무의 체적비(volume fraction)의 정도(accuracy)가 떨어지며, 가장 중요한 단점은 투명한 액체 분무(spherical drop)에만 적용이 가능하다는 점인데 증유, 고체 입자 및 금속 용액 등의 분무와 같이 입자가 투명하지 않을 경우에는 적용할 수 없다. 반면에 멜번 입경 측정 장치는 분무의 투명도와 무관하게 측정이 가능하고 분무 측정에 널리 이용되는 장비로 관측선(line of sight) 측정 기법으로 경로상의 정보가 적분되어 계측되는 특징이 있다.

분무의 구조를 파악하기 위해서는 공간적 정보가 중요하므로 멜번 시스템으로 측정한 경로적분 데이터를 국소점 정보로 변환할 필요가 있다. 단공 분무와 같이 축대칭인 경우 측정 단면을 일회 주사(scanning)하고 Abel 변환을 통해 국소점 정보를 얻을 수 있으므로 측정 시간과 노력을 줄일 수 있는 장점이 있으며 이와 관련된 연구는 Yule등⁶⁾, Zhu등⁷⁾, Hammond등⁸⁾, Hughey등⁹⁾에 의해 제시되었다. 국내에서는 축대칭 분무의 멜번 경로 적분 데이터를 공간 데이터로 변환하는 연구를 정 등¹⁰⁾과 박¹¹⁾이 수행한 바 있다.

실제 산업용으로 사용하는 분무는 많은 경우 다공 노즐로 구성되어 있어 비대칭 분무 구조를 가진다. 비대칭 분무 구조를 파악하기 위해서는, 다각주사법(multi-angular scanning)에 의한 경로적분데이터를 측정하여야 한다. 비대칭 토모그래피에 관한 연구는 의료 진단 분야로부터 처음으로 시작되었으며 x-선을 인체에 투사하여 컴퓨터 토모그래피(computerized axial tomography)¹²⁾를 구하는 것을 주목적으로 하였다. Cormack¹³⁾이 최초로 이와 관련된 연구를 시작했고, Rammachandran¹⁴⁾등은 x선에 의한 shadowgraphs로부터 주어진 물체의 토모그래피를 컨벌루션 알고리즘을 적용해서 구한 바 있다. 의학 분야로부터 발전된 토모그래피 기법은 최근에는 연소 분야에 적용되어 Santro등¹⁵⁾이 매탄-공기 혼합유동장에서 매탄 농도장의 토모그래피를 구한 바 있고, Goulard 등¹⁶⁾은 다각 흡수

(multi-angular absorption) 측정 데이터로부터 토모그래피 재구성을 통하여 연소 현상을 진단하는 기법을 연구한 바 있다. 한편 이러한 토모그래피 기법을 비대칭 분무에 적용하여 분무 구조를 파악하는 연구는 거의 이루어지지 않았다.

따라서, 본 연구에서는 비대칭 분무의 토모그래피 재구성(tomographic reconstruction) 방법을 적용하여 비대칭 다공 분무 구조를 파악할 수 있는 기법을 제시한다. 멜번입경측정장치를 사용하여 다각 주사법으로 경로 적분 데이터를 측정하였으며 컨벌루션 알고리즘을 적용하여 토모그래피 변환을 하였다. 여기에 사용된 노즐은 가솔린 엔진용 액체 분무 2공 노즐로서 에어슈라우드 노즐(air shroud nozzle)이다. 이 노즐에 에어 슈라우드 유무에 따른 분무의 구조를 파악하였다.

2. 실험

2.1 실험장치 및 방법

실험 장치는 분무 인젝터, 연료 공급 계통, 측정부로 구성되어 있다. 실험에 사용한 노즐은 2공의 에어슈라우드 가솔린 인젝터(Bosch)이다. 에어슈라우드에 압축 공기를 공급할 경우 분무의 미립화를 촉진하여 가솔린 엔진의 배출 가스 성분 중 탄화수소를 저감하는 효과가 뛰어난 것으로 알려져 있다¹⁷⁾. Fig.1에 나타낸 바와 같이 분무각은 22° 이고 분공경은 0.3mm 정도이다. 공기는 에어슈라우드를 통하여 노즐 중심축 방향으로 흐르며 2개의 분공에서 분사되는 액체 제트와 충돌하며 미립화가 촉진된다. 에어슈라우드에의 압축 공기 공급 압력은 0.3atm이다.

실험에 사용된 액체는 물이며, 공급 압력은 4.4atm(계기압력)으로 분무는 대기 중으로 분부하였다.

분무 측정에는 멜번 시스템을 사용하였다. 이 장치는 단색 평행광이 경로 중의 액적에 의한 Fraunhofer 회절을 이용한 것이다. 평행광이 액적에 입사되면 액적의 크기에 따라 회절 패턴이 달라지고, 이를 동심 링(ring)의 광검출기들이

용하여 측정하는데 검출기 신호의 반경 방향 강도 분포로부터 입경 분포 및 농도 분포를 구한다. 멜번 시스템은 측정을 원활하게 하기 위해 높이가 1.2m의 벤치를 제작하여 90° 회전하여 설치되었다. 수광부 렌즈의 초점 거리는 300mm, 레이저 빔의 직경은 9mm이며 체적농도 분포 계산에 필요한 빔산란 길이 (beam length)는 10mm로 일정하게 하였다. 흐려짐 (Vignetting)의 영향을 없애기 위해 분무가 수광부 초점거리에 의한 추천 측정 위치 범위에 위치하도록 하였다.

측정 장치는 Fig.1에 나타난 바와 같이 다각 주사 측정이 가능하도록 인젝터 고정대가 회전할 수 있도록 설계하였고, 고정대는 스텝모터로 구동되는 수평 이송 장치 위에 설치하여 2mm 간격으로 이동하면서 측정할 수 있도록 하였다. 수평 이송 장치의 펄스당 이송 거리는 0.05mm이며 PC를 이용하여 제어하였다.

측정 단면의 위치는 노즐 출구 하부 18.5cm로 하였다. 액적이 부유하여 수광부 렌즈를 오염 시키거나 측정 오차 유발을 방지하기 위해 송풍기를 이용하여 분무 주위에 축방향으로 균일 유동장을 형성하였다. 하나의 측정 각도에 대해 수평

방향으로 2mm씩 51회 이동하면서 측정하였고, 15도 간격으로 인젝터를 돌리면서 12방향에 대해서 동일한 방법으로 측정하였다. 하나의 측정 위치에 대해 정상 상태에서 5번 측정된 데이터의 평균치를 사용하였으며, 측정 데이터 분석에서 로진렘러 (Rosin-Rammler) 모델을 적용하여 SMD (Saunter 평균 입경)¹¹⁾ 및 체적 농도를 계산하였다.

2.2 실험결과

멜번 시스템에서 제공되는 경로 적분 데이터 중 토모그래피 변환에 사용되는 것은 SMD와 체적농도 분포 V_{∞} 이다. 에어슈라우드에 공기를 공급하지 않은 조건에서 15° 간격으로 다각 주사하면서 측정된 체적 농도 및 SMD분포 측정 예를 Fig.2에 각각 나타내었다. 주사 각도가 변화함에 따라 체적 농도 및 SMD분포가 점진적으로 달라진다. 각각의 2개 제트를 중심으로 반경 방향으로의 체적 농도 분포가 감소하며, 주사 각도 변화에 따라 두 개의 체적 농도의 피크점 사이 거리가 멀어져 있다가 점점 가까워져서 하나로 합쳐진다. SMD 역시 주사 각도의 변화에 따라 체

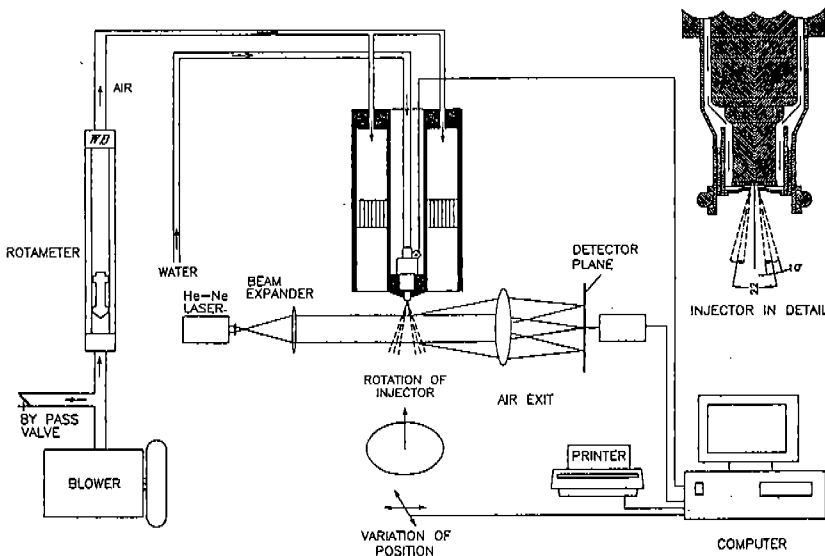


Fig.1 Experimental Set-Up

적 농도 분포와 유사한 경향을 보이고 있는데, 분무 중심에서 가장 크고 중심에서 멀어질수록 점점 작아짐을 알 수 있다. 주사 위치 변화에 따른 전체 액적 표면적 밀도(volume concentration/SMD)도 체적 농도 분포와 유사한 경향을 보이고 있다.

에어슈라우드를 통해서 압축 공기를 공급하여 액체 제트와의 충돌을 통해서 미립화를 촉진시키는 것이 에어슈라우드 인젝터의 목적이다. 따라서, 에어슈라우드에 공급되는 압축 공기 압력을 0.3기압으로 공급하였을 경우에 대해서도 다각 주사법으로 경로 적분된 SMD 및 체적 농도 분포를 측정하였다. 압축 공기 제트와 액체 제트의 충돌로 인해서 액체의 미립화가 촉진될과 동시에 공기 제트의 영향을 받아서 액적이 공간적으로 폭넓게 분포하는 결과를 얻었다. 특히 에어슈라우드에 압축 공기를 공급하지 않은 경우에 비해, 두개의 분공에서 분무되는 액체 제트 중심선 사이의 공간에 미립화된 액적이 폭 넓게 분포함을 확인하였으며 액적의 증발과 관련한 중요한 인자의 하나인 전체 액적 표면적 밀도가 크게 증가한다는 것을 알 수 있다. 이로부터 에어슈라우드 인젝터의 탄화 수소 저감 효과는 미립화 촉진을 통한 액적 증발 속도 증가에 의한 것으로 판단할 수 있다.

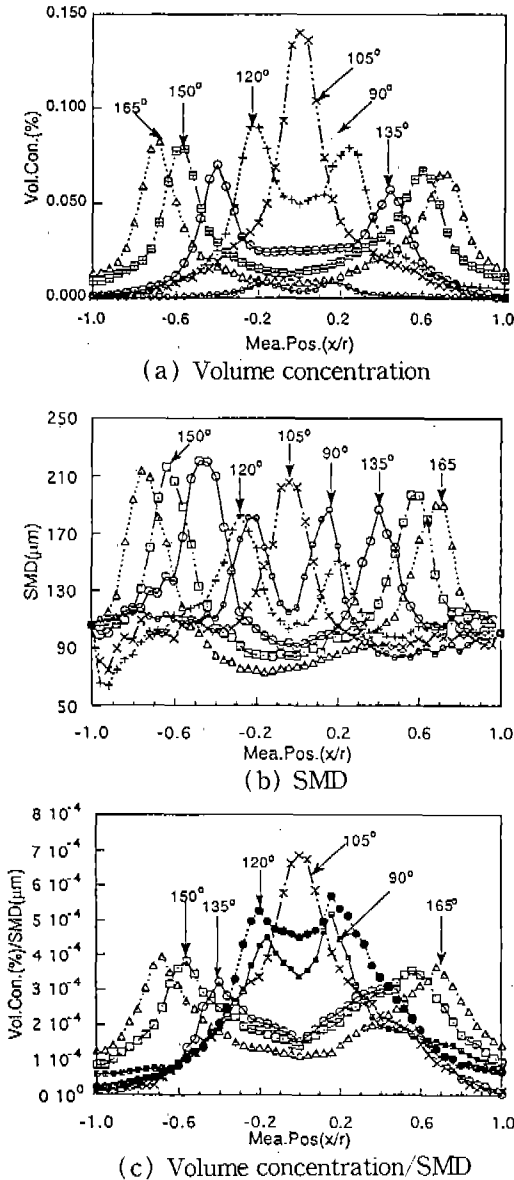


Fig.2 Examples of line of sight integrated data by multi-angular scanning

3. 토모그래피 재구성

다각 주사 측정의 개념도를 Fig.3에 나타내었다. 여기서 x, y는 직교 좌표계상에서 위치를 나

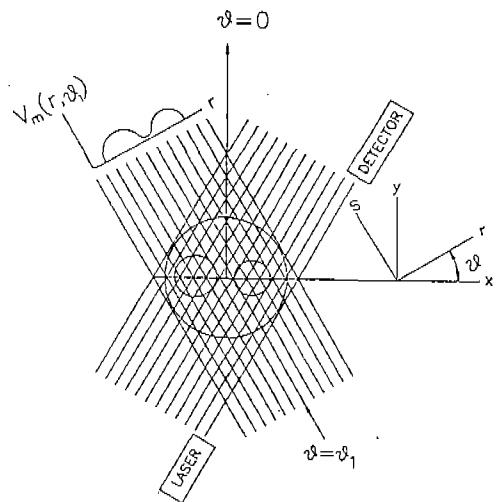


Fig.3 Concept of multi-angular scanning measurements

타내며 θ 는 주사각, x, y 좌표계를 θ 만큼 회전 하였을 때 주사각 방향 좌표를 s 그 직각 방향을 r 로 나타내었다.

컨벌루션 알고리즘을 사용하면 체적 농도, SMD, 전체 액적 표면적 밀도의 경로 적분 데이터를 각각 국소(local)체적 농도, 국소 SMD, 국소 액적표면적밀도(surface area density)분포로 변환할 수 있다. 여기서 구하고자 하는 것은 국소 체적 농도 분포 $V(x,y)$, 국소 액적 표면적 밀도 $V(x,y)/SMD(x,y)$, 국소 $SMD(x,y)$ 등이며, 델버시스템에서 구할 수 있는 적분 체적농도 $V_m(r,\theta)$ 및 적분 $SMD(r,\theta)$ 분포이다. 체적 농도와 액적표면적 밀도는 보존량이므로 이들 국소값과 경로 적분 데이터 사이에는 다음의 관계식이 성립한다⁷⁾.

$$V_m(r,\theta) = \frac{1}{L_b} \int_{-\infty}^{\infty} V(r,s) ds \quad (1)$$

$$\frac{V_m(r,\theta)}{SMD(r,\theta)} = \frac{1}{L_b} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{V(r,s)}{SMD(r,s)} ds \quad (2)$$

여기서 L_b 는 빔산란 길이이다⁵⁾.

$V_m(r,\theta)$, $V_m(r,\theta)/SMD(r,\theta)$ 를 Fourier 변환을 하면²⁶⁾,

$$\widehat{V}_m(\omega, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i\omega r} V_m(r,\theta) dr \quad (3)$$

$$\frac{\widehat{V}_m(\omega, \theta)}{SMD(\omega, \theta)} = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i\omega r} \frac{V_m(r,\theta)}{SMD(r,\theta)} dr \quad (4)$$

구하려는 국소 체적농도 분포 $V(x,y)$ 및 국소 액적표면적 분포 $V(x,y)/SMD(x,y)$ 에 대한 2차 Fourier 변환을 하면 다음과 같다.

$$\widehat{F}_V(\omega, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} V(x,y) \exp(-i\omega(x\cos\theta + y\sin\theta)) dx dy \quad (5)$$

$$\widehat{F}_{V/SMD}(\omega, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{V(x,y)}{SMD(x,y)} \exp(-i\omega(x\cos\theta + y\sin\theta)) dx dy \quad (6)$$

Fourier 변환의 중앙단면정리(central slice theorem)¹²⁾를 적용하면 다음의 관계식이 성립한다.

$$\widehat{V}_m(\omega, \theta) = \widehat{F}_V(\omega, \theta) \quad (7)$$

$$\frac{\widehat{V}_m(\omega, \theta)}{SMD(\omega, \theta)} = \widehat{F}_{V/SMD}(\omega, \theta) \quad (8)$$

먼저 국소 체적 농도 $V(x,y)$ 를 계산하면, 식 (7)로부터 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$V(x,y) = \frac{1}{4\pi^2} \int_0^\pi d\theta \int_{-\infty}^{\infty} \widehat{V}_m(\omega, \theta) \exp[i\omega(x\cos\theta + y\sin\theta)] |\omega| d\omega \quad (9)$$

$P(r, \theta)$ 를 다음과 같이 정의하면,

$$P(r,\theta) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \widehat{V}_m(\omega, \theta) |\omega| e^{i\omega r} d\omega \quad (10)$$

다음의 관계식을 만족하는 함수 ϕ 를 정의하면

$$\widehat{\phi} = |\omega| \quad (11)$$

컨벌루션 관계로부터

$$P(r,\theta) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \widehat{V}_m(\omega, \theta) \widehat{\phi}(\omega) e^{i\omega r} d\omega = \int_{-\infty}^{\infty} V_m(r,\theta) \widehat{\phi}(r-\tau) d\tau \quad (12)$$

로 쓸 수 있다.

식 (9), (10)의 Fourier변환 관계식과 식 (11), (12)의 컨벌루션 관계로부터 구한 국소 체적 농도 분포는 식 (13)과 같이 쓸 수 있다.

$$V(x,y) = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi d\theta \int_{-\infty}^{\infty} V_m(r,\theta) \phi(x\cos\theta + y\sin\theta - \tau) d\tau \quad (13)$$

식 (13)은 다음의 이산(discrete)함수로 나타낼

수 있다.

$$V(x,y) = \frac{1}{MN} \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^M V_m(r_k, \theta_j) \phi(x \cos \theta_j + y \sin \theta_j - r_k) \quad (14)$$

$V(x,y)/SMD(x,y)$ 를 동일한 방법으로 계산하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{V(x,y)}{SMD(x,y)} = \frac{1}{MN} \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^M \frac{V_m(r_k, \theta_j)}{SMD(r_k, \theta_j)} \phi(x \cos \theta_j + y \sin \theta_j - r_k) \quad (15)$$

$$\phi(0) = \frac{M^2}{\pi} \quad (16)$$

$$\phi(r_k) = -\frac{M^2}{\pi} (4k^2 - 1)^{-1}, \quad k=1, 2, 3, \dots \quad (17)$$

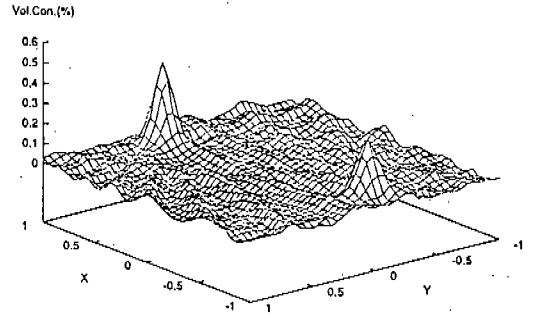
여기서 $\theta_j = (j-1)\pi/N$, $r_k = -1 + 2k/M$ 이며, $\phi(r)$ 은 (11)의 관계식으로부터 구한 Shepp and Logan 필터^{18,19)}이다. 구하고자 하는 국소점(x, y)에서의 체적 농도 분포와 액적표면적 밀도를 식 (14), (15)의 이산함으로부터 구하게 되는 데, 실험을 통해서 구한 경로 적분 데이터 위치 (r_k, θ_j) 로부터 국소점(x,y)까지의 거리를 r이라고 하였을 때, $\phi(r)$ 값은 (r_k, θ_j) 위치에서의 경로 적분 데이터에 곱하여 주는 가중치(weighing factor)로 볼 수 있으며 이것을 식 (16), (17)으로부터 구할 수 있다. 또한 식 (14)와 (15)로부터 국소 평균입경분포 $SMD(x, y)$ 를 구할 수 있다.

4. 계산 결과 및 검토

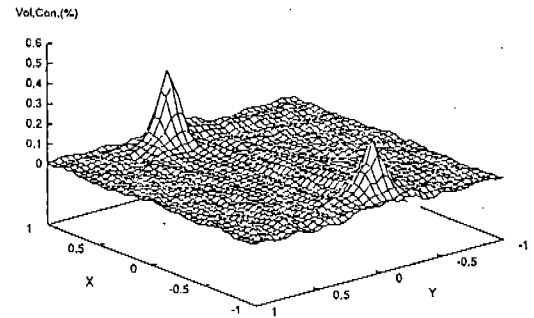
4.1 내삽 계산 결과

식 (14)으로부터 구한 국소 체적 농도 분포를 Fig.4에 나타내었다. 두 제트의 중심이 지나가는 부분에 액적들이 집중되어 있음을 잘 나타내고 있다. 이로부터 Fourier 변환과 컨벌루션을 이용하면 체적 농도 분포의 토모그래피가 가능함을 알 수 있다.

토모그래피의 해상도를 높이기 위해서는 주사



(a) 12 scanning angles



(b) 24 scanning angles by interpolation

Fig.4 Tomographic reconstruction of volume concentration by multiangular scanning.

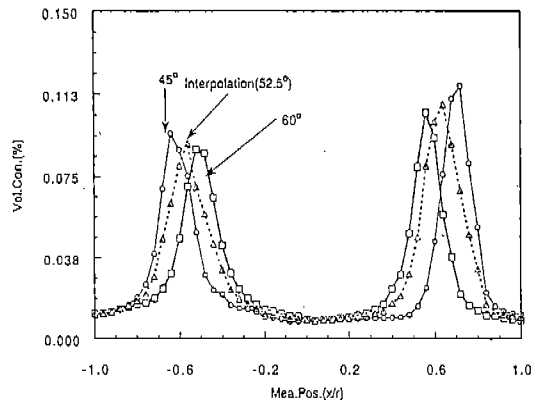


Fig.5 Interpolation example of Vol. Con. between 45° and 60° Scanning Data

각도 방향 및 수평 방향 측정점의 수를 크게 해야한다. 그러나 측정 횟수를 늘리려면 많은 시간 및 공간적 제약이 따른다. 따라서 주사 방향 횟수를 증가시키는 효과를 얻기 위해서, 12방향에서 측정된 결과 내삽(interpolation)을 통하여 추가로 12방향의 데이터를 얻었고, 결과적으로 24방향의 데이터를 입력하였다.

Fig.5에 측정된 인접한 두 개 방향에 대한 데이터로부터 내삽(interpolation)방법을 사용하여 추가로 1개 방향의 데이터를 얻는 예를 제시하였다. 내삽 방법은 측정된 두 방향 데이터로 곡선을 구한 후, 인접 두 개 곡선의 최대값을 연결하는 직선의 중간 측정점에 내삽 곡선의 최대값을 위치시키고, 인접 두 개 최대값의 평균값을

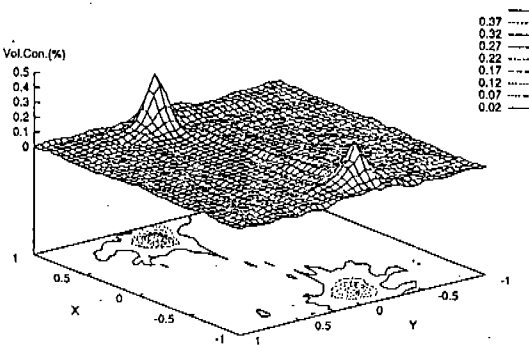
내삽 곡선의 최대값으로 하였다. 내삽 곡선의 최대값과 y방향의 선형내삽곡선이 부드럽게 연결 되도록 내삽 곡선을 구하였다.

Fig.4b는 내삽을 통해 24방향의 데이터에 대해 토모그래피한 것이다. 내삽을 함으로써 체적 농도 분포가 작은 영역에서의 굴곡진 부분이 상당히 제거되었음을 보여준다.

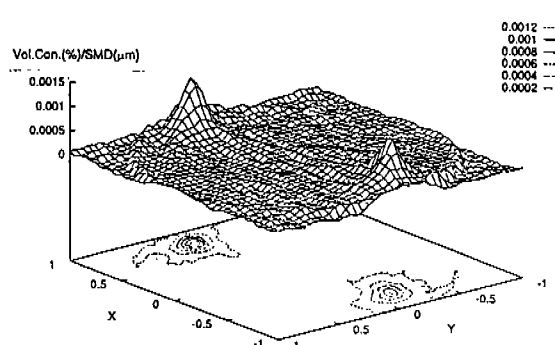
4.2 재구성 계산 결과

4.2.1 체적 농도 분포 토모그래피 재구성 결과

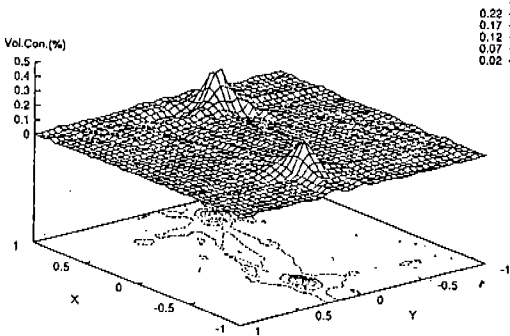
Fig.6에는 에어슈라우드에 압축 공기 공급 유무에 따른 국소 체적 농도 토모그래피 계산 결과를 나타내었다.



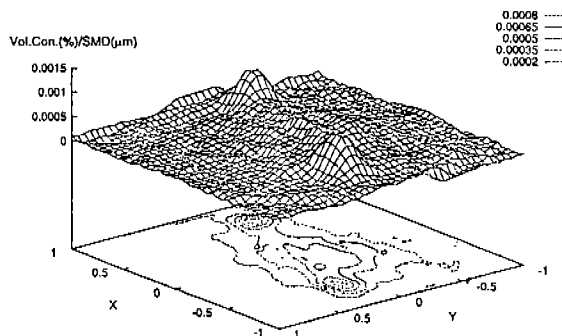
(a) without air shroud



(a) without air shroud



(b) 0.3kg/cm³ air shroud



(b) 0.3kg/cm³ air shroude

Fig.6 Tomographic reconstruction of volume concentration(24 scanning angles)

Fig.7 Tomographic reconstruction of drop surface area density(24 scanning angles)

에어슈라우드에 압축 공기를 차단한 경우에 토모그래피 계산을 통해 구한 국소 체적 농도 분포를 Fig.6a에 나타내었다. 두 제트의 중심축에서 최대값을 나타내고 있으며 제트 중심축에서 반경 방향으로 멀어질수록 작아지고 있다. 그래프의 베이스(base)에 나타낸 등체적 농도 분포 곡선은 제트의 중심에서 최대치를 나타내고 중심에서 멀어지면 농도가 점점 작아지는 것을 잘 나타내고 있다. 두 개의 제트의 최대값이 다르게 나타난 것은 각각의 분공이 약간 다르기 때문인 것으로 생각된다.

에어슈라우드에 0.3기압의 압축 공기를 공급하여 동일한 실험 및 계산을 하였다. 0.3기압으로 압축 공기를 공급한 것은 0.3기압을 초과하면 미립화 촉진 효과가 크게 증가하지 않기 때문이다.

국소 체적 농도 분포를 Fig.6b에 나타내었으며, 액체 제트의 중심선을 중심으로 농도가 높게 나타난 결과는 에어슈라우드에 압축 공기를 공급하지 않은 경우와 비슷하나 액체 제트의 중심선 사이의 공간 즉, 인젝터 중심축 부근에서는 압축 공기를 공급하지 않은 경우에는 액적이 거의 존재하지 않은 것으로 나타난 반면, 공급하였을 때에는 작은 체적 농도이지만 폭넓게 분포함을 나타내고 있다.

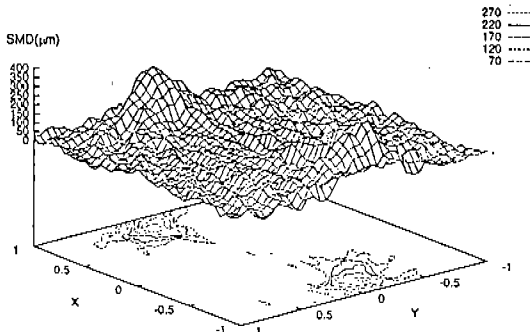
4.2.2 액적 표면적 밀도 토모그래피 재구성 결과

에어슈라우드에 공기를 차단한 경우, 토모그래피 계산을 통해 구한 국소 액적 표면적 밀도($V(x, y)/SMD(x, y)$) 분포를 Fig.7a에 나타내었다. 그래프 베이스에 나타낸 등표면적 밀도 분포는 등체적 농도 분포와 유사하게 제트 중심축에서 최대값을 나타냈으며 제트 중심축에서 멀어질수록 감소하였다.

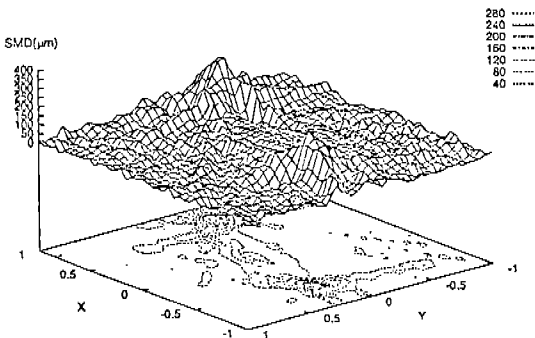
에어슈라우드에 압축 공기를 공급한 경우, 국소 액적 표면 밀도를 Fig.7b에 나타내었으며, 체적 농도 분포와 비슷한 경향을 보이고 있다. 특히 액체 제트 중심선 사이의 공간에 액적 표면적 밀도가 높게 나타났는데 이와 같은 표면적 밀도의 증가는 증발을 보다 빨리 일어나게 할 것으로 생각된다.

4.2.3 국소 평균 입경 토모그래피 계산 결과

국소 평균 입경 분포 $SMD(x, y)$ 를 구하기 위해서는 식(14)를 식(15)로 나누어야 한다. 그러나 액적 표면적 밀도의 공간분포의 값이 분무의 중심에서 멀어질수록 0에 접근하며 또한 0을 중심으로 플러스값과 마이너스값으로 진동하는(oscillation)하는 경향이 있다. 이로 인해 분무 중심에서 멀어질수록 SMD(x, y) 값에 많은 잡음(noise)을 발생시킨다. 실제로 액체 제트의 중심부에서 멀어질수록 액적이 거의 존재하지 않으며 따라서 이 위치에서의 공간 분포는 큰 의미가 없다. 이와 같은 계산상의 문제점을 극복하기 위해서 액체 제트의 중심부로부터 멀어져 국소 액적 표면적 밀도가 최대값의 일정비율(25%) 이하일 경우, 액적 표면적 값을 최대값의 25%로 대체하여 계산함으로써 액체 제트 중심으로부터 멀어질



(a) without air shroud



(b) 0.3kg/cmf air shroud

Fig.8 Tomographic reconstruction of SMD (24 angle scanning angles)

때 발생하는 잡음을 제거하였다.

에어슈라우드에 압축 공기를 공급한 경우, 국소 평균 입경 분포를 Fig.8b에 나타내었다. 액체 제트와 공기 제트와의 충돌로 미립화가 촉진됨을 알 수 있다. 토모그래피 변환을 통해 액체 제트 중심선사이의 공간에 액적이 미립화되어 폭 넓게 분포함을 알 수 있다.

5. 결 론

컨벌루션 알고리즘을 적용해서 2공 에어슈라우드 노즐로부터 분사되는 액체의 국소 체적 농도, 국소 액적표면적 밀도, 국소 평균 입경(SMD)을 토모그래피 재구성을 통해 구할 수 있었다. 또한 주사 방향 수를 늘리는 효과를 얻기 위해서 측정된 결과를 내삽함으로써 토모그래피 재구성 결과의 정확성을 높일 수 있었고, 따라서 측정횟수를 늘리는 효과를 얻을 수 있었다. 에어슈라우드로의 압축 공기 공급 여부에 따른 액적의 체적농도, SMD 그리고 액적표면적밀도의 공간적 분포를 파악함으로써 에어슈라우드 인젝터의 미립화 촉진 효과를 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 터보동력기계연구센터의 연구비 지원으로 이루어졌으며, 아울러 에어슈라우드 인젝터를 제공하여 주신 기아자동차 기술센터의 최규훈 박사님과 노석홍 박사님께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 김상수, 서용재, "입자크기 및 온도측정을 위한 광학적 방법", 대한기계학회지, pp. 1069-1075, 1992.
2. ILASS-KOREA '93 Workshop, "Measurement of spray characteristics", pp.1-13, 1993.
3. Lee G. Dodge, Dehborah J. Rhodes, and Rolf D. Reitz, "Drop-size measurement techniques for sprays: comparison of

- Malvern laser-diffraction and Aerometrics phase/Doppler", Applied Optics, Vol. 26, No.11, pp.2144-2154, 1987.
4. W. D. Bachalo, M. J. Houser, "Phase/Doppler spray analyzer for simultaneous measurements of drop size and velocity distributions", Optical Engineering, Vol. 23, No.5, pp.583-590, 1984.
5. Malvern Instruments Ltd., Malvern System 2600 Instruction Manual, 1991.
6. A. J. Yule, C. Ah Seong, P. G. Felton, A. Ungut and N. A. Chigier, "A laser tomographic investigation of liquid fuel sprays", Eighteenth Symposium(International) on combustion, pp.1501-1510, 1981.
7. H. M. Zhu, T. Y. Sun, and N. Chigier, "Tomographical Transformation of Malvern Spray Measurements", Atomization and Spray Technology, Vol.3, pp.89-105, 1987.
8. Dean C. Hammond, Jr, "Deconvolution technique for line-of-sight optical scattering measurement in axisymmetric sprays", Applied Optics, Vol.20, No.3, 1981.
9. B. J. Hughey, D. A. Santavica, "A comparison of techniques for reconstructing axisymmetric reacting flow fields from absorption measurements", Combustion Science and Technology, Vol.29, pp.167-190, 1982.
10. 정선재, 이상용, "제한된 공간내 분무의 유동특성 실험", 대한기계학회논문집 제16권 제5호, pp.1011-1018, 1992.
11. 박병규, "이유체 미립화과정에서의 분무특성 실험 및 분무액적의 응고과정 해석", 서울대학교 박사학위논문, 1994.
12. William Swindell, Harrison H. Barrett, "Computerized tomography:taking sectional x rays", Physics Today, pp.32-40, December, 1977.

13. A. M. Cormack, "Representation of a function by its line integrals, with some radiological applications", *Journal of Applied Physics*, Vol.34, No.9, pp.2722-2727, 1963.
14. G. N. Ramachandran, A. V. Lakshminarayanan, "Three-dimensional reconstruction from radiographs and electron micrographs Application of convolutions instead of Fourier transforms", *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, Vol.68, No.9, pp.2236-2240, 1971.
15. R. J. Santro, H. G. Semerjian, P. J. Emmerman, R. Goulard, "Optical tomography for flow field diagnostics", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol.24, No.7, pp.1139-1150, 1981.
16. R. Goulard and P. J. Emmerman, "Combustion Diagnostics by multianular scanning", *Inverse Scattering Problems in Optics*, Springer Verlag, Berlin, pp.215-235, 1980.
17. 이충훈, 정석호, "탄화수소 저감을 미립화 촉진에 관한 연구", 제 2 회 G7 차세대 자동차 기술 Workshop, pp.79-82, 1994.
18. L. A. Shepp and B. F. Logan, "Reconstructing interior head tissue from X-ray transmissions", *IEEE Trans.*, Vol.NS-21, pp.228-236, 1974.
19. S. Reed, Y. S. Kwok, T. K. Truong, E. L. Hall, "X-ray Reconstruction by finite field transformations", *IEEE Trans.* Vol. NS-24, No.1, pp.843-849, 1977.