

<학술논문>

## 차실내 Defrost 노즐 분류의 충돌각 변화에 따른 유동특성에 관한 실험적 연구

김덕진\* · 김현주\*\* · 이지근<sup>†</sup> · 노병준\*\*\*  
(2007년 8월 28일 접수, 2007년 10월 12일 심사완료)

### An Experimental Study on the Flow Characteristics with the Impinging Angles of Defrost Nozzle Jet Inside a Vehicle Passenger Compartment

Duckjin Kim, Hyunjoo Kim, Jeekeun Lee and Byungjoon Rho

**Key Words:** Defrost Duct(성에 제거 덕트), Impinging Angle(충돌각), Vehicle Compartment(차량탑승부), Windshield(앞유리)

#### Abstract

The flow characteristics with the impinging angles of defrost nozzle jet inside a commercial vehicle passenger compartment were investigated experimentally by using the two-dimensional duct-nozzle model. The shape of the nozzle contraction was designed according to the curved line of cubic equation to the vertical plan of the flow direction. The impinging angles, defined as the angle between nozzle axis and a vertical line to the windshield, were varied from the  $0^\circ$  to  $80^\circ$ . The mean velocity distributions, the half-widths, and the momentum distributions with the cases of both the free jet and the impinging jet onto the dummy windshield were measured. The impinging jet flows similarly with wall jet from  $X/b_0=20$ , and the impinging angle has an effect on the half-width of the impinging jet. The momentum distributions onto the windshield increased with the increase of impinging angle, and then their inflection point was observed around the impinging angle of  $60^\circ$ .

#### 1. 서 론

겨울철에 버스나 트럭과 같이 앞면이 비교적 넓은 차량의 경우, 윈드셴드에 성에 또는 얼음이 형성되어 안전운전에 문제가 발생한다. 따라서 주요 선진국에서 자동차의 제상성능을 법적(MVSS103, ECC, KAP 등)으로 규제하여 차량 시동 후 일정한 시간 이내에 윈드셴드에 형성된 성에 제거를 의무화 하고 있다.<sup>(1-3)</sup> MVSS103에서는 일정량의 물을 윈드셴드에 분무한 후  $-20^\circ\text{C}$ 에서

30~40분간 방치하여 성에를 생성한 후, 전체 윈드셴드의 1/6에 해당하는 운전석의 시계확보영역이 20분 이내에 80%, 그리고 윈드셴드의 상하를 제외한 전체 윈드셴드의 2/3에 해당하는 영역이 45분 이내에 95% 이상이 제거되도록 규정하고 있다.

이러한 규제를 만족하기 위해서는 덕트 형상을 좌우 대칭으로 구성하여 윈드셴드 전단면에 데워진 공기를 균일하게 공급하는 것이 가장 이상적인 방법이다. 그러나 디프로스트 덕트 시스템은 차실내 공간 확보를 위한 설계상 제약으로 인하여 좌우 비대칭 구조를 갖는 매우 복잡한 형상으로 구성되는 경우가 대부분이어서 시험을 거쳐 최적화해야 하는 문제점을 안고 있다.<sup>(4)</sup> 일반적으로 윈드셴드의 보다 신속한 디프로스팅을 위해 덕트 내로 공급되는 데워진 공기를 가속시키기

<sup>†</sup> 책임저자, 회원, 전북대학교 기계항공시스템공학부  
E-mail : leejk@chonbuk.ac.kr

TEL : (063)270-2369 FAX : (063)270-2388

\* 자동차부품연구원 환경부품연구센터

\*\* 삼성전자(주)

\*\*\* 전북대학교 기계항공시스템공학부, RCIT

위한 노즐이 부착되어 있다. 각 디프로스트 노즐은 출구 단면에서 요구되는 유량과 속도분포가 얻어질 수 있도록 설계되어야 하며, 이러한 일련의 과정은 디프로스트 덕트-노즐의 최적화를 의미하며 신속한 디프로스팅과 보다 쾌적하고 안전한 운전 조건을 확보하는데 있어서 매우 중요하다.<sup>(5,6)</sup>

최근 들어 윈드셸드 제상 성능과 관련된 수치 해석적 연구가 활발히 수행되고 있으나 해석대상이 삼차원 형상의 매우 복잡한 구조로 되어 있어 모델링 및 계산에 많은 시간이 소요된다. 또한 윈드셸드의 성에 제거 특성을 고찰하기 위해서는 디프로스트 노즐의 출구유동에 대한 실험결과를 필요로 하기 때문에 수치계산결과를 실차 설계에 직접 반영하는 데는 아직도 많은 문제점이 남아 있다. 특히 Kim<sup>(7)</sup> 등은 성에 제거 성능을 향상시키기 위해서는 디프로스트 덕트와 노즐의 해석을 통해 유동분포를 개선하고, 노즐의 충돌각 변화에 따른 윈드셸드 면의 유동특성 고찰에 대한 중요성을 강조한 바가 있다.

본 연구에서는 디프로스트 덕트의 각 부분들 기능에 따라 모델화 하고, 성에제거 성능에 직접적인 영향을 미치는 덕트 노즐 형상 및 노즐 분류의 충돌각 변화에 따른 유동특성을 중점적으로 조사하였다.

## 2. 실험장치 및 측정방법

### 2.1 실험장치

디프로스트 덕트 시스템은 Fig. 1과 같이 블로어로부터 공급되는 공기를 운전석과 조수석으로 분배하는 분지관, 분리된 공기를 분지점으로부터 덕트 노즐까지 보내기 위한 연결 덕트, 덕트 내에 형성된 압력에너지로 운동에너지로 바꾸어 주는 노즐, 그리고 공기의 유동방향을 제어하는 노즐 베인 등으로 구성되어 있다. 디프로스트 덕트 시스템의 설계 주안점은 양호한 분배 특성을 유지하며 짧은 시간에 윈드셸드의 전 단면이 균일하게 제상이 되도록 하는 것이다. 따라서 윈드셸드에 형성되는 유동장은 다소 차이가 있지만 덕트 시스템 각 구성 부품의 조합된 결과로 생각할 수 있다.

본 연구에서는 디프로스트 덕트 시스템을 기능에 따라 Model I과 Model II로 구분하고 두 모델

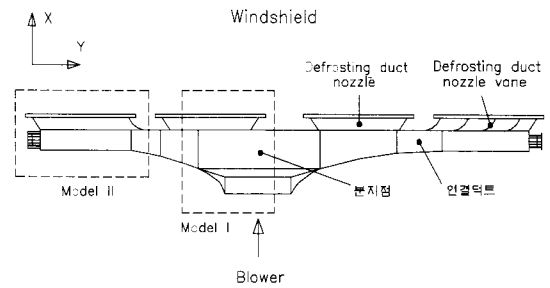
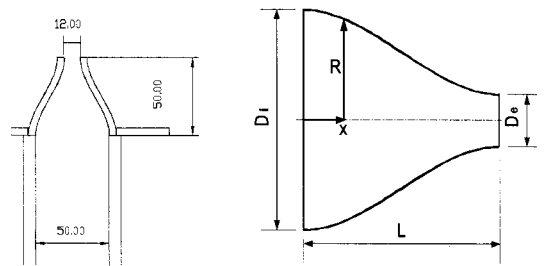


Fig. 1 Defroster duct and definition of models



(a) Nozzle model

(b) Nozzle shape

Fig. 2 Schematic diagram of duct-nozzle model

의 최적화를 통하여 디프로스트 덕트 시스템의 성능을 향상시키고자 하였다. Model I은 디프로스트 덕트-노즐 형상, 노즐-윈드셸드 설치 위치, 충돌거리 및 충돌각 등이 주요 설계 변수이며, 블로어로부터 공급되는 공기가 유동방향 변화 없이 노즐 출구방향(X-direction)과 일치하게 유동하는 부분을 모델화 한 것이다. Model II는 노즐 베인 형상, 위치 및 개수 등이 주요 고려대상이다. 본 연구는 Model I의 유동특성 평가에 초점을 맞춰 수행되었다.

디프로스트 덕트-노즐 부분은 다양한 형태의 형상을 생각할 수 있으나 유동 손실에 가장 많은 영향을 끼치는 부분은 노즐부분이다. 특히 노즐 수축부 형상은 노즐의 유동저항에 많은 영향을 끼치는 지배변수로 알려져 있어, 윈드셸드의 원활한 제상을 위해 높은 유출계수와 확산폭이 작은 분류를 형성하도록 설계하는 것이 무엇보다 중요하다. 본 연구에서는 Fig. 2에 나타난 바와 같이 노즐 수축부가 3차식의 곡선 형상을 갖도록 설계·제작하였다.

Fig. 2(a)에 나타난 치수는 디프로스트 덕트의

형상을 모델화하기 위해 선정된 디프로스트 시스템의 기준값에 해당한다. Fig. 2(b)에 나타난 수축부의 형상은 다음과 같은 3차식으로 표현된다.

$$R = \frac{D_i}{2} - \frac{3}{2}(D_i - D_e)\left(\frac{x}{L}\right)^2 + (D_i - D_e)\left(\frac{x}{L}\right)^3 \quad (1)$$

여기서  $D_i$ 는 노즐 입구의 폭,  $D_e$ 는 출구의 폭, 그리고  $L$ 은 수축부의 길이이다.

## 2.2 실험방법

디프로스트 덕트 입구에 균일한 속도분포를 형성하기 위해 아음속풍동을 이용하였다. 아음속풍동은 15 kW DC모터에 의해 구동되는 원심형 송풍기를 동력원으로 이용하며, 시험부의 크기는  $200 \times 200 \text{ mm}^2$ 로 최대 50 m/s의 평균속도를 낼 수 있다. 시험부 앞에는 폭 50 mm, 길이 230 mm의 2차원 디프로스트 덕트 모델을 설치한 후 노즐을 부착하여 실험을 수행하였다. 실험은 노즐 출구의 유동이  $Re=6 \times 10^4$  (40 m/s)의 일정한 조건에서 수행되었다. 노즐의 유출계수 계산은 노즐 양단에 걸리는 압력차로부터 계산된 이론유량과 노즐 출구에서 1/1000 mmH<sub>2</sub>O까지 측정 가능한 마이크로 마노미터와 피토판을 이용하여 측정한 실제유량과의 비를 이용하여 구하였으며 0.84로 평가되었다.

노즐에 의해 형성되는 유동특성을 파악하기 위하여 유동장의 평균속도분포 및 분류반폭 등을 측정하였다. 이때 유동방향 (X-direction) 측정위치는 노즐출구를 2  $b_o$  (12 mm)라 할 때, 절반에 해당하는  $b_o$ 를 이용하여 무차원화 하였으며,  $X/b_o = 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80$  위치에서 속도분포를 측정하였다. 또한 축방향 속도의 감쇠정도를 알아보기 위하여 노즐 출구부터 2 mm간격으로 80  $b_o$ 까지 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 덕트-노즐 모델의 유동특성

#### 3.1.1 유동장 평균속도분포

디프로스트 덕트-노즐로부터 방출된 분류는 윈드셸드에 충돌하기 전까지 자유평면분류의 구조를 갖고 발달되므로 Fig. 2에 나타난 덕트-노즐 모델의 자유평면분류의 유동특성을 고찰할 필요

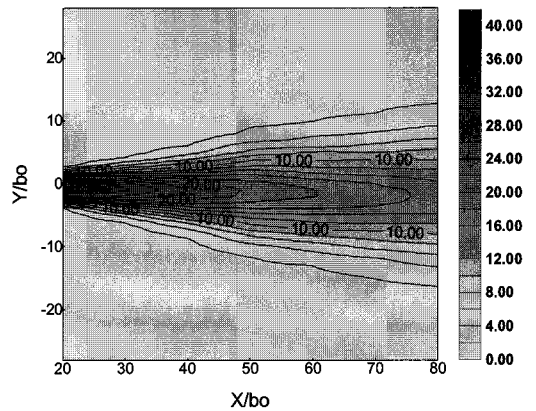


Fig. 3 Iso-velocity contour of axial mean velocity

가 있다. Fig. 3은 노즐에 의해 형성된 유동장의 유동구조를 가시화 하고자 축방향 평균속도의 등속도분포 선도를 나타낸 것이다.

유동 구조가 확대정을 이루고 있으며 분류 중심부에서 비교적 높은 속도분포가 관찰되고 있다. 또한 반경방향으로 확산과정은 유동방향을 따라 거의 선형적으로 이루어지고 있음을 알 수 있다. 이러한 자유평면분류는 윈드셸드의 제상측면에서 가급적 유동반폭이 좁게 형성되어 윈드셸드에 많은 에너지를 전달할 수 있어야 한다. 또한 높은 중심속도를 유지함과 동시에 유동방향 거리변화에 따른 감쇠기울기가 작아 블로어로부터 공급된 에너지를 먼 곳까지 전달하여 윈드셸드 전단면의 신속한 제상에 유리한 구조를 형성해야 한다. 이와 같은 유동구조의 특성을 보다 상세히 관찰하기 위하여 등속도분포 선도를 이용하여 축방향 평균속도분포, 분류반폭, 중심속도 변화 등을 측정하였다.

#### 3.1.2 유동반폭

Fig. 4는 자유평면분류의 확산 현상을 알아보기 위하여 유동중심축의 최대 평균속도의 1/2이 되는 위치로 정의되는 분류반폭을 나타낸 것이다. 분류의 확산폭은 유동방향 거리 변화에 대하여 다음과 같은 선형적인 관계식을 만족하고 있다.

$$b/b_o = 0.091(X/b_o) - 0.134 \quad (2)$$

분류 반폭과 관련하여 Tollmien<sup>(8)</sup>은 자유평면분류 반폭의 기울기( $db/dx$ )를 0.097로 그리고 Görtler<sup>(9)</sup>는 0.114로 제시한 바가 있다. 또한 Hinze<sup>(10)</sup>는

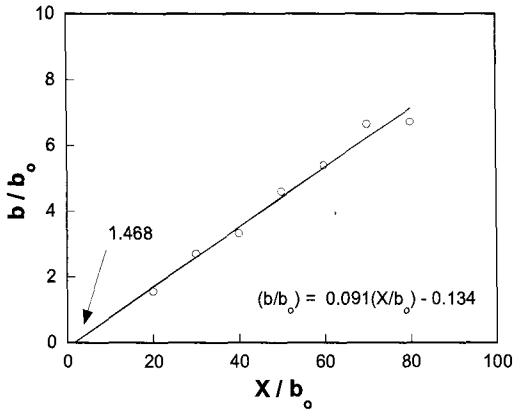


Fig. 4 Variation of half-width along the centerline

자유원형분류 반폭의 기울기를 0.08로 얻었으며, Bradbury<sup>(11)</sup>는 평면분사유동에서 분류반폭의 기울기를 0.109로 얻었다. 본 연구에 사용된 노즐분류의 반폭 기울기는 0.091로서, Tollmien<sup>(8)</sup>의 자유평면분류와 거의 유사한 결과를 나타냄을 알 수 있다.

자유평면분사 유동의 가상원점은 위 식으로부터  $X=1.468b_0$ 로 추정할 수 있다. 일반적으로 확산폭의 기울기나 가상원점의 위치는 노즐의 형상비나 노즐 출구의 기하학적 조건에 영향을 받지만, 특히 노즐 내의 난류정도에 매우 강한 영향을 받는 것으로 알려져 있다.<sup>(12)</sup> 한편 자유원형분류의 가상원점에 대해 Wagnanski 등<sup>(13)</sup>은  $X/d < 50$ 인 영역에서 측정된 자료를 통해 노즐 출구로부터  $3d$  위치에 존재함을 밝혔으며,  $X/d > 50$  영역에서 측정된 자료를 통해서 노즐 출구로부터  $7d$  위치에 가상원점이 존재함을 밝힌바 있다. 본 연구에서 자유평면분류의 분류반폭의 측정위치는  $(X/b_0) < 60$ 이었으며, 얻어진 가상원점은 노즐 출구로부터  $3b_0$  이하의 위치에서 얻어져 Wagnanski 등<sup>(13)</sup>이 얻은 자유원형분류에 대한 결과보다 작게 나타남을 알 수 있다.

### 3.1.3 유동 중심축 평균속도분포

Fig. 5는 자유평면분사 유동에서 분류 중심의 축방향 거리에 따라 측정된 축방향 평균속도분포를  $\overline{U}_m/\overline{U}_0 = f(X/b_0)$ 로 무차원화하여 나타낸 것이다. 일반적으로 자유분류의 유동중심에서 축방향 평균속도의 감소는 원형분류의 경우 유동축거리의  $X^{-1}$ 에 비례하고, 평면분류의 경우는 유

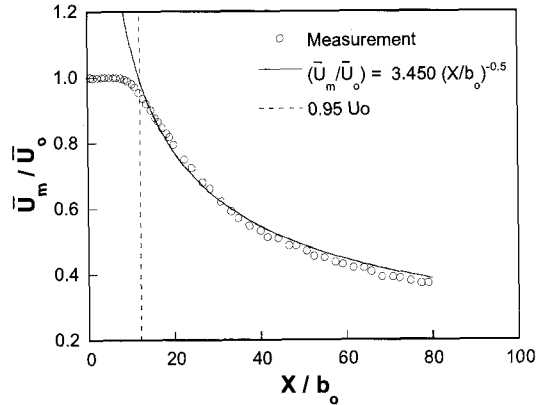


Fig. 5 Axial mean velocity along the centerline

동축 거리의  $X^{-1/2}$ 에 비례한다.

축방향 평균속도성분의  $\overline{U}_m/\overline{U}_0$  분포는 축방향 거리 증가에 따라 퍼텐셜 코어의 위치까지 일정하게 유지되고, 그 이후부터 급격한 감소를 보이거나  $X/d > 40$ 에서는 비교적 완만하게 감소되어 간다. 퍼텐셜 코어 이후의 감소부분은 다음과 같은 식을 만족하고 있음을 알 수 있다.

$$\overline{U}_m/\overline{U}_0 = 3.45(X/b_0)^{-0.5} \quad (3)$$

축방향 속도의 감쇠계수는 3.45로 평가되어 Tollmien<sup>(8)</sup>이 제시한 3.78보다 약간 낮은 값을 나타내고 있으며 Görtler<sup>(9)</sup>가 제시한 3.39와 비교적 유사한 값을 나타내고 있다.

## 3.2 충돌각 변화에 따른 유동특성

### 3.2.1 유동구조

디프로스트 덕트 노즐에서 분사되는 분류는 자유평면분류 형태로 발달된 다음 윈드셴드에 충돌하여 벽면분류(wall jet) 형태로 발달되는 일종의 경사충돌-벽면분류(inclined impinging and radial jet) 형태의 복잡한 구조를 가지고 있다. 따라서 윈드셴드에 형성되는 벽면분류의 유동장은 노즐의 기하학적 형상에 영향을 받으며, 충돌각( $\theta$ ), 충돌거리(H) 등에 따라 달라진다. 여기서 충돌각은 Fig. 6에 나타낸 바와 같이 노즐과 윈드셴드가 수직으로 설치된 경우를  $0^\circ$ , 그리고 서로 평행하게 설치된 경우를  $90^\circ$ 로 정의하였다.

일반적으로 충돌각이 커지면 분류의 상당부분

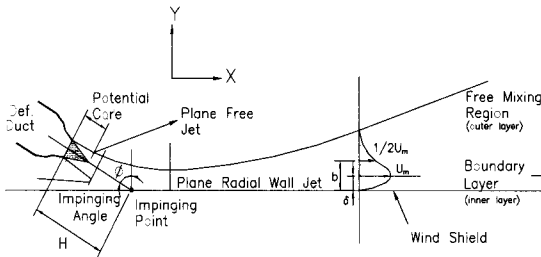


Fig. 6 Schematic description of impinging and radial wall jet

을 윈드실드 쪽으로 보낼 수 있지만, 이에 따라 분류 반폭이 증가하여 분류가 빨리 확산되어 버린다. 따라서 분류반폭이 작고 높은 축방향 속도 분포를 갖는 유동장이 윈드실드에 형성되어 최적의 제상 성능을 나타낼 수 있도록 충돌각 및 충돌거리 등을 조절할 필요가 있다.

본 연구에서는 노즐로부터 충돌거리를 고정 (164 mm) 한 상태에서 충돌각을 0°, 30°, 60°, 67°, 75°, 80°로 변화시켜 가면서 윈드실드에 형성되는 유동장의 특성을 고찰하여 최적의 변수를 도출을 하고자 하였다.

3.2.2 유동장의 평균속도분포

Fig. 7은 윈드실드에 형성되는 벽면 분류의 구조를 가지적으로 이해하기 위하여 유동방향 평균 속도분포를 충돌각 변화에 따라 측정된 결과를 등속도분포선도 형태로 나타낸 것이다. 윈드실드와 수직으로 충돌하는 0°의 경우 분류의 반절에 해당하는 유량이 윈드실드를 따라 흐르므로 비교적 작은 분류폭이 형성되고 있으며, 속도분포 또한 다른 충돌각의 경우와 비교하여 낮은 분포를 나타내고 있다. 충돌각이 증가함에 따라 유량이 증가하여 분류폭이 증가함과 동시에 비교적 높은 속도분포가 나타나고 있다.

디프로스트 노즐 분류의 거동은 충돌전의 자유 분류와 윈드실드에 충돌한 후 발달되어 가는 벽면충돌분류가 혼합된 형태로서, 충돌각에 따라 윈드실드에 형성되는 분류의 운동량이 달라진다. 또한 분류반폭, 최대속도의 감쇠 정도 등이 달라져 결국 제상 성능에 많은 영향을 끼치게 되므로 분류 충돌조건 최적화가 요구된다.

3.2.3 유동반폭

Fig. 8은 윈드실드에 형성되는 충돌-벽면 분류

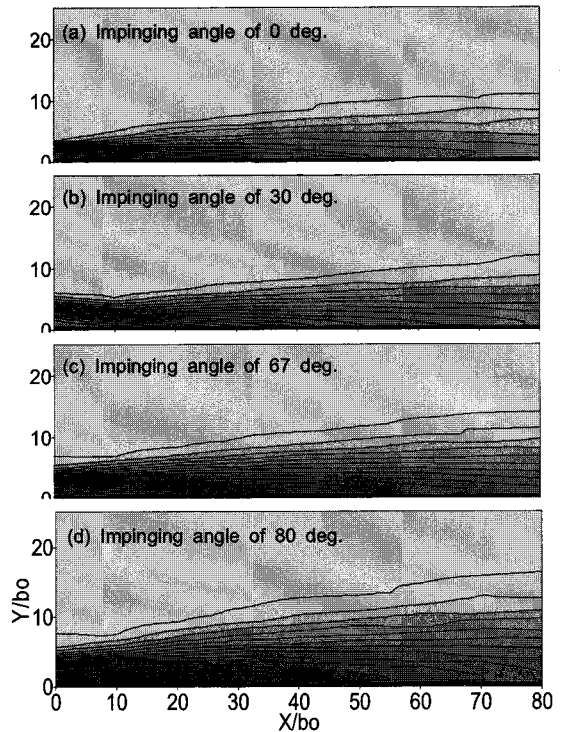
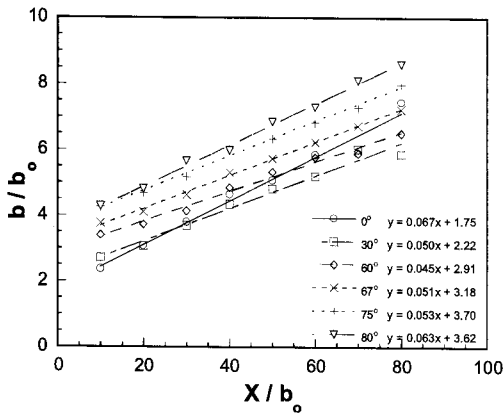


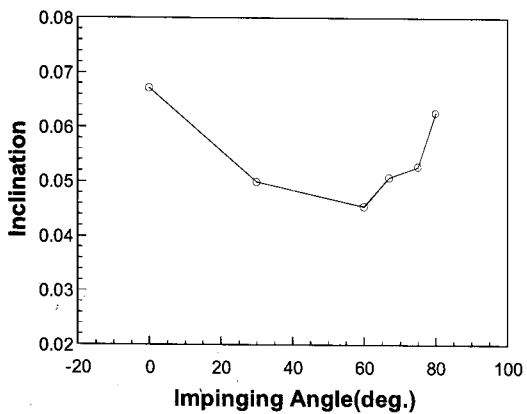
Fig. 7 Iso-velocity contours of axial mean velocity

의 확산현상을 알아보기 위하여 분류의 충돌각 변화에 따른 분류반폭을 유동방향 측정위치에 따라 나타낸 것이다. Fig. 8(a)에서 충돌벽면분류의 유동방향 분류반폭은 유동방향에 따라 거의 선형적으로 증가하며, 반폭의 절대값은 충돌각에 비례하여 커짐을 알 수 있다. 또한 수직 충돌에 해당되는 충돌각 0°의 경우는 경사 충돌에 비해 다소 높은 기울기를 보여주고 있다. Fig. 8(b)는 분류반폭의 유동방향 거리에 따른 증가 기울기를 충돌각 변화에 대하여 나타낸 것이다. 충돌각이 0°인 수직충돌의 경우 가장 높은 기울기를 나타내며, 충돌각이 증가할수록 점점 기울기가 작아지다가 60°근처를 기준으로 다시 증가한다. 따라서 분류를 윈드실드 먼 곳까지 보내기 위해서는 비교적 작은 분류반폭을 나타내는 60°근처의 충돌각이 유리한 설계 조건임을 알 수 있다.

한편 평면난류벽면분류(plane turbulent wall jet)에 대한 Schwarz 등<sup>(14)</sup>의 연구에서 분류반폭의 증가 기울기를 0.068로 얻었고, 반경벽면분류(radial wall jet)에 대한 Bakke<sup>(15)</sup>의 연구에서 분류반폭의 증가 기울기는 0.078, 그리고 Poreh 등<sup>(16)</sup>의 충돌 반경벽면분류(impinging radial wall jet)에 대한 연



(a) Jet half-width



(b) Inclination

Fig. 8 Jet half-width along the centerline with impinging angle

구에서 분류반폭의 증가 기울기를 0.087로 얻은 바 있다. 본 연구에 이용된 노즐에 대한 분류반폭의 증가 기울기는 0.051과 0.063 사이의 값을 갖으며, 평면벽면분류에 대하여 Schwarz 등<sup>(14)</sup>이 제시한 0.068과 유사한 값을 나타내고 있어 충돌분류에 의한 벽면분류보다 평면난류벽면분류에 가까운 증가 기울기를 나타냄을 알 수 있다.

### 3.2.4 벽면분류의 중심축 평균속도분포

Fig. 9는 노즐로부터 분사된 자유평면분류의 충돌에 의해 형성된 벽면분류의 축방향 최대속도분포를  $\overline{U}_m/\overline{U}_0 = f(X/b_0)$ 의 형태로 무차원화하여 나타낸 것이다. 그림에서  $X/b_0=0$ 은 자유평면분류의 충돌지점을 의미하며, 충돌지점을 근처로 완전히 발달된 벽면분류가 형성되기 전까지는 충돌

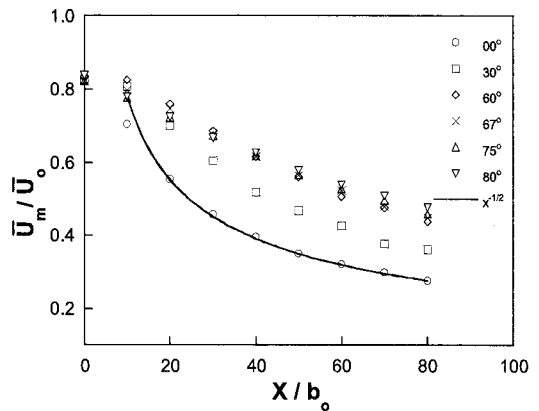


Fig. 9 Variation of mean velocity along the centerline with impinging angle

분류의 특성을 나타낼 것이다. 평면난류벽면분류의 경우  $\overline{U}_m \propto 1/\sqrt{X}$ 의 관계가 성립되며, 축대칭 반경방향벽면분류(axisymmetric radial wall jet)와 원형분류의 충돌에 의해 형성된 반경방향벽면분류(radial wall jet produced by impinging circular jet)의 경우  $\overline{U}_m \propto 1/X$ 관계가 성립되는 것이 이론적으로 알려져 있다. 충돌각이 0°인 수직 충돌의 경우  $\overline{U}_m \propto 1/\sqrt{X}$ 과 거의 유사한 분포 특성을 나타내고 있어, 축대칭 반경방향벽면분류보다 오히려 평면난류벽면분류에 가까운 특성을 나타내고 있음을 알 수 있다.

또한 충돌각이 증가할수록  $\overline{U}_m \propto 1/X$ 에 가까운 특성을 나타내고 있어, Fig. 9에 나타낸 충돌각 변화에 따른 분류반폭의 기울기와 더불어 생각해 볼 때 경사충돌에 의한 벽면분류는 수직 충돌에 의한 벽면분류의 특성보다는 평면난류벽면분류의 특성을 나타냄을 알 수 있다.

Fig. 10은 충돌각 변화에 따른 X방향 중심축 평균속도분포의 감쇠특성을 보다 상세히 고찰하기 위하여 Fig. 9에 나타낸 결과 중, 충돌에 의한 영향 사라지고 벽면분류에 의한 영향이 지배적으로 나타나리라고 생각되는  $X/b_0 < 20$ 의 측정값을 다항식 형태의 함수로 표현하였을 때, 다항식의 지수 값을 충돌각 변화에 대하여 나타낸 것이다. 충돌각이 증가함에 따라 지수 승이 점점 감소하며, 충돌각 30° 이후에서는 거의 선형적인 경향을 나타내고 있다. 이러한 선형적인 관계를 알아보기 위하여 충돌각 30° 이후, 즉 경사 충돌의 경우

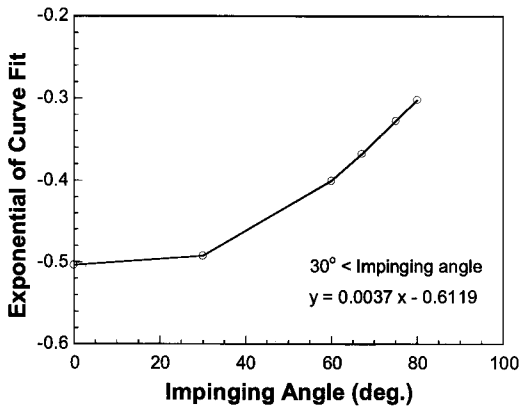


Fig. 10 Variation of the decrease inclination with impinging angle

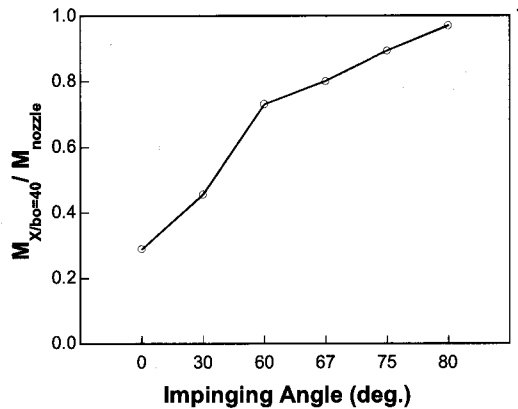


Fig. 12 Momentum distributions with impinging angle

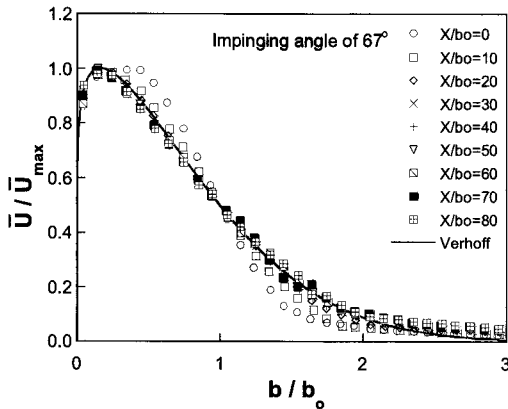


Fig. 11 Axial mean velocity profiles on the windshield with impinging angle

에 대한 지수 승을 1차식으로 보간 하여 그림에 함께 나타내었다.

3.2.5 벽면 위의 유동방향 평균속도분포

Fig. 11은 벽면분류의 각 축방향 위치에서 반경방향에 따라 측정된 축방향 평균속도성분을  $\bar{U}/\bar{U}_{max} = f(b/b_0)$ 로 무차원화하여 나타낸 것으로, 이와 비교하기 위하여 Verhoff<sup>(17)</sup>의 실험식과 함께 나타내었다.

완전히 발달된 유동영역에서 Verhoff<sup>(17)</sup>는 평면난류벽면분류에 의해 형성된 벽면분류의 유동방향 속도분포에는 상사성이 존재하며 다음과 같은 실험식으로 표현할 수 있음을 제시한 바가 있다.

$$\bar{U}/\bar{U}_m = 1.48\eta^{1/7} [1 - \text{erf}(0.68\eta)] \quad (4)$$

여기서,  $\eta = b/b_0$ 이다. 또한 Förthmann<sup>(18)</sup>은 평면 벽면분류의 유동방향 속도분포에 대한 상사성이 20  $b_0$  이후부터 존재함을 실험적으로 밝힌 바 있다. 충돌각 변화에 따라 다소 차이가 있기는 하지만 전반적으로  $X/b_0 > 20$ 에서 X방향 평균속도분포에 상사성이 존재하는데, 이러한 결과는 평면 벽면분류에 대한 Förthmann<sup>(18)</sup>의 결과와 일치하는 것이다. 또한  $X/b_0 > 20$ 에서 Verhoff<sup>(17)</sup>의 실험식과도 비교적 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 따라서 축방향 평균속도분포로만 판단할 때,  $X/b_0 > 20$ 부터 발달된 벽면분류의 구조를 형성한다고 생각할 수 있다.

3.2.6 충돌각 변화에 따른 운동량 분포

Fig. 12는 충돌각이 변화할 때 노즐로부터 방출되는 운동량의 윈드셸드 쪽으로의 이동량을 알아 보기 위하여,  $X/b_0=40$ 에서 윈드셸드에 형성되는 단위폭 당 운동량을 노즐출구 운동량으로 무차원화하여 나타낸 것이다.

결과를 살펴보면 윈드셸드 쪽으로의 이동한 운동량은 충돌각이 증가할수록 거의 선형적으로 증가하다가 60°근처에서 변곡점을 형성한 후, 보다 완만한 기울기를 갖고 증가함을 관찰 할 수 있다. 이것은 윈드셸드의 보다 신속한 제상을 위해서는 윈드셸드와 노즐의 충돌각이 적어도 60° 이상을 갖도록 설계되어야 함을 의미하는 것이다. 또한 Fig. 8에 나타낸 충돌각 변화에 따른 유동방

항 분류반쪽의 절대값과 증가기울기를 함께 고려해 볼 때 60° 근처가 비교적 양호한 충돌각임을 유추 할 수 있는데, 이것은 충돌각이 증가 할수록 윈드셸드로 공급되는 운동량의 절대값은 증가하지만 분류반쪽이 증가하여 에너지 손실이 커지게 되며 또한 실차의 경우 디프로스트 덕트 시스템의 구조와 설계 제약사항 등을 고려 해 볼 때 90° 충돌각을 갖도록 노즐을 설치하는 것이 불가능하기 때문이다.

#### 4. 결 론

디프로스트 덕트의 각 부분을 기능에 따라 모델화 하고, 선정된 모델의 노즐분류의 충돌각 변화에 따른 유동특성이 실험적으로 조사되었다. 주요 결과가 해석적 연구에 활용 가능하도록 노즐의 형상정보와 함께 제시되었으며 요약하면 다음과 같다.

디프로스트 덕트-노즐 모델로부터 형성된 분류가 윈드셸드에 충돌 전에는 자유평면분류와 유사성을 나타내며 분류 반쪽 기울기는 0.091, 축방향 속도의 감쇠계수는 3.45로 평가되었다. 분류가 윈드셸드에 충돌한 후 형성되는 유동장의  $X/b_0=20$  이후부터 벽면유동(wall jet)과 유사성을 나타내며, 충돌각이 변화함에 따라 분류반쪽의 증가기울기는 0.051~0.053 범위를 나타내며, 60° 근처에서 최소값을 나타낼 수 있었다. 또한 충돌분류의 윈드셸드 위의 운동량 이동은 충돌각 변화에 따라 거의 선형적으로 증가하며, 충돌각 60° 근처를 경계로 변곡점이 형성됨을 알 수 있었다. 따라서 90°의 충돌각이 실차 적용이 불가능한 점을 고려해 볼 때 60° 근처의 충돌각은 비교적 양호한 설계조건이 될 수 있음을 알 수 있었다. 충돌각 변화에 따른 분류반쪽의 기울기와 벽면분류의 중심축 평균속도분포의 감쇠 기울기로부터 경사충돌에 의한 벽면분류는 수직충돌에 의한 벽면분류보다 오히려 평면벽면분류의 형태와 유사한 경향을 나타냄을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

- (1) "Surface Vehicle Recommended Practice," *SAE J902*, April 1993.
- (2) "Surface Vehicle Recommended Practice," *SAE*

*J381*, April 1994.

- (3) "Surface Vehicle Recommended Practice," *SAE J382*, June 1994.
- (4) Kim, C. J. and Kim J. B., 1993, "Investigation of Bus Duct System for Optimum Cooling Performance," *SAE Technical Papers*, IPC-7-1993.
- (5) Park, W. G., Park, M. S. and Jang, K. L., 2006, "Flow and Temperature Analysis within Automobile Cabin Discharged Hot Air From Defrost Nozzle," *International Journal of Automotive Technology*, Vol. 7, No. 2, pp. 139~143.
- (6) Hur, N. G. and Cho, W. K., 1993, "3-D Numerical Simulation of Flow Inside a Passenger Compartment of a Model Vehicle for Heating, Air-Conditioning and Defrosting Modes," *Transactions of KSAE*, Vol. 1, No. 2, pp. 60~68, SAE NO.933751,
- (7) Kim, D. H., Lee, J. I., Roh, S. K. and Lee, M. S., 1995, "Performance Improvement of Automotive Defrost Duct Using CFD," *Proceedings of KSAE Spring Conference*, pp.177~185.
- (8) Tollmien, W., 1926, "Berechnung Turbulenter Ausberit Tungsvorgange," *ZAMM* 6, pp.468~478.
- (9) Görtler, H., 1957, "A New Series for the Calculation of Steady Laminar Boundary Layer Flow," *J. of Math.*, Vol. 16, p. 1.
- (10) Hinze, J. O., 1959, "Turbulence," *McGraw-Hill*, New York.
- (11) Bradbury, L. J. S., 1965, "The Structure of a Self-Preserving Turbulent Plane Jet," *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 23, part 1, pp. 31~64.
- (12) Flora Jr., J. J. and Gildschmidt, V. W., "Virtual Origins of a Free Plane Turbulent Jet," *Journal of AIAA*, Vol. 7, pp. 2344~2346.
- (13) Wygnanski, I. and Fiedler, H., 1969, "Some Measurements in the Self-Preserving Jet," *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 38, part 3, pp. 577~612.
- (14) Schwarz, W. H. and Cosart, W. P., 1961, "The Two-dimensional Turbulent Wall Jet," *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 10, pp. 481~495.
- (15) Bakke, P., 1957, "An Experimental Investigation of a Wall Jet," *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 2, pp. 467~472.
- (16) Poreh, M., Tsuei, Y. G. and Cermak, J. E., 1967, "Investigation of a Turbulent Radial Wall Jet," *Trans*



*ASME, Journal of Applied Mechanics*, pp. 457-463.

(17) Verhoff, A., 1963, "The Two-dimensional Turbulent Wall Jet with and without an External Stream,"

*Princeton University*.

(18) Förthmann, E., 1936, "Turbulent Jet Expansion,"

*N.A.C.A. TM-789*.

(19) Rho, B. J. and Kim, J. K., 1984, "An Experimental Study on the Characteristics of the Turbulent Flow in 45° Cross Jet," *Transactions of KSME*, Vol. 8, No. 5, pp. 442-499.