

< 논 문 >

평판에 충돌하는 원형분류의 공력소음에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Aerodynamic Noise by a Circular Jet Impinging on a Plate

이 동 훈* · 권 영 필** · 한 희 갑***

Dong-Hoon Lee, Young-Pil Kwon and Hee-Kab Han

(1996년 9월 16일 접수; 1996년 10월 22일 심사완료)

Key Words : Aerodynamic Noise(공력 소음), Impinging Tone(충돌음), Impinging Jet(충돌분류), Dipoles(쌍극자), Directivity(지향성), Free Jet(자유분류), Quadrupoles(4 극자)

ABSTRACT

The objective of this study is to investigate experimentally the effect of surface conditions of the plate on the impinging jet noise. The experimental results about the spectrum, the sound pressure level and the directivity are presented and discussed in relation with the surface conditions. Regardless of the surface conditions, the pure tones of high level are generated at the same frequency band and the overall sound power level of impinging jets is much higher than that of the free jet. However, the velocity dependence of the sound pressure level and the directivity are different between smooth surfaces and rough surfaces. The dependence of sound pressure level on the jet velocity shows that the smooth surface generates quadrupole-type sound like free jets. However, the perforated or the rough surface radiates sound power exactly proportional to the sixth power of the jet velocity, indicating that the source is fixed dipole type. The directivities of 1/3 octave band sound pressure level for both the free and impinging jet show the peak directivity at 115° upstream, probably due to the refraction associated with velocity gradient.

1. 서 론

공력소음(aerodynamic noise)은 난류유동 자체에 의해서 발생하는 소리와 유동과 고체의 상호작용을 통하여 발생하는 소리로 나눌 수 있다. 각종 유체기계나 자동차의 공력소음은 와류가 고체면에 충돌하거나 이탈에 의하여 고체면에 맥동적인 반력을 유도하여 방사되는 소음이 지배적인 음원역할을 한다. 와류이탈이나 충돌에 의한 소음은 난류소음이 광대

역 주파수특성을 갖는데 비하여 특정주파수대역에서 강한 소음을 유발한다.

분류(jet)가 자유공간으로 방출될 때 발생하는 자유분류음에 관해서는 Lighthill⁽¹⁾이래로 수많은 연구가 있어 왔으며 소음파워(noise power)가 분류속도의 8승에 비례한다는 Lighthill⁽¹⁾의 이론모델이 널리 이용되고 있다. 분류가 수직평판에 충돌하여 발생하는 충돌소음(impinging noise)에 관하여 Marsh⁽²⁾는 분류의 마하수(Mach number)가 0.66인 경우 노즐과 판과의 거리에 따른 충돌소음의 레벨을 구하여 거리가 노즐지름의 2배일 때가 가장 높은 소음파워를 발생하며 판이 없는 경우인 자유분류의 소음파워에 비하여 10dB이상 크게 됨을 보였다. 특히, 마하수가 0.74일 때 강한 순음성의 충돌소음이 발생하는 것을

*정회원, 서울산업대학교 기계공학과

**정회원, 숭실대학교 공과대학 기계공학과

***숭실대학교 대학원

처음으로 보고하였다. Marsh 이후 충돌소음에 관한 주목할 만한 연구로는 Ho와 Nosseir^(3,4)의 연구를 들 수 있다. 이들은 순음성 충돌음(impinging tone)의 발생 기구에 관한 실험을 통하여 Powell⁽⁵⁾이 제시한 피먹임모델(feedback model)을 입증하였다. 최근, Krothapalli⁽⁶⁾, Umeda et al⁽⁷⁾, Powell⁽⁸⁾, Henderson et al⁽⁹⁾ 등의 충돌음의 발생기구 및 주파수특성에 주안점을 둔 연구들이 있다. 그러나, 충돌면의 표면조건이 충돌음에 미치는 영향에 관한 연구는 없었다. 충돌음의 특성에 관한 이해를 넓히고 충돌음의 억제를 위하여 충돌면의 영향에 관한 연구가 필요하다. 본 연구는 충돌면의 표면조건에 따른 충돌분류의 소음특성의 변화에 관한 실험적 연구로서 분류가 매끄러운 판(smooth plate), 거친판(rough plate) 그리고 다공판(perforated plate)에 충돌할 때 발생하는 소음의 음압레벨, 스펙트럼 분포, 지향성(directivity), 그리고 소음과워 등의 제반 소음특성을 구하고자 한다.

2. 실험

실험장치는 Fig. 1과 같이 소음기(muffler), 서지탱크(surge tank), 원형노즐(circular nozzle), 그리고 평판(flat plate)과 3차원 이송대(3D-traverse)로 구성된다. 소음기는 상류측의 관로와 유량조절용 밸브에서 발생하는 자생소음(self-noise)을 억제하기 위한 것으로 길이 1000 mm, 지름 200 mm인 판의 내부에 지름 76 mm인 다공판(perforated tube)을 설치하고 다공판과 바깥판사이에는 흡음재인 스텔레스울(stainless wool)을 채웠다. 서지탱크는 길이 700 mm, 지름 76 mm인 원통형 빈관으로 소음기에서 나온 분류를 안정화시키기 위하여 길이 100 mm인 하니콤(honey comb)을 장착하였다. 서지탱크의 끝에 부착된 원형노즐은 상류단의 지름 76mm, 출구단 지름 10mm인 축소비(contraction ratio) 57.76의 축소노즐(convergent nozzle)로서 축소각은 9.3° 이며 내부는 정밀하게 가공되었다. 실험에 사용한 시험편은 분류가 충돌하는 유효면의 표면조건이 다른 매끄러운판, 거친판 그리고 다공판으로서 그 크기는 한번의 길이가 290 mm, 두께 4 mm인 장방형 강판이다. Fig. 2는 다공판과 거친판의 치수를 도시한 것으로 먼저, 다공판은 판의 중심부로부터 반지름 32 mm영역까지 지름 5 mm인 구멍 57개를 원주상에 일정한 간격으로 뚫은 경우이다. 또한, 거친판은 다공판의 구멍에 지름 6 mm인 쇠구슬 57개를 박은 것으로 둘

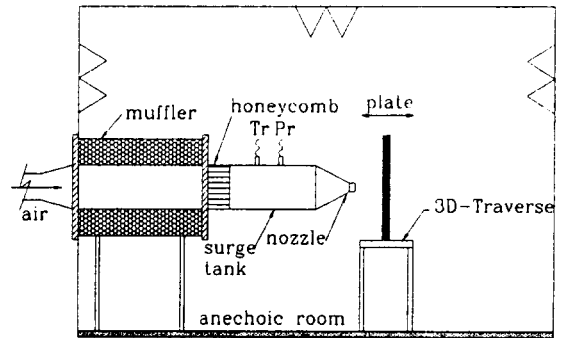


Fig. 1 Schematic of the experimental apparatus in an anechoic room.

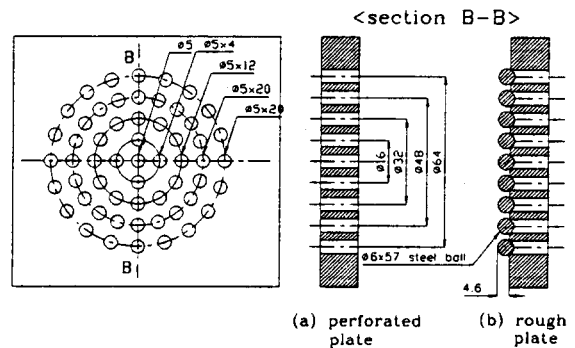


Fig. 2 Configurations of the plates.

출부의 높이는 4.6 mm이다. 시험편의 고정에는 판의 진동을 방지하고 분류축과 정확히 수직이 되도록 판의 각 모서리를 이송대의 고정장치를 이용하여 고정하였다. 이송대는 분류축방향과 분류축을 기준으로 좌우 및 상하방향으로 판의 이동이 가능한 3차원 이송대를 사용하였다.

음압의 측정은 무향실(anechoic room)에서 1/2인치 콘덴서형 마이크로폰(B & K 4155)을 이용하고 신호는 소음계(B & K 2230)를 거쳐 주파수분석기(ONO SOKKI CF-350)에 입력된다. 입력된 신호는 해상도를 50 Hz로 하여 20 kHz까지 4회 평균을 취하여 분석하였다. 노즐의 출구속도를 구하기 위하여 서지탱크에 U형 수은액주계를 설치하였다.

먼저, 노즐의 유량계수를 구하기 위하여 노즐하류측에 관을 연결하고 반지름방향으로 5점의 유속을 측정하여 질량유량을 구한 후 압력비에 의한 이론유량과의 비로서 유량계수를 구하였다. 이 때 서지탱크의 압력은 0.05 atg부터 최고 0.4 atg까지 0.05 atg씩 증가시키면서 실험하였다. 소음실험은 Fig. 3에 도시된 바와 같이 원형노즐의 지름을 d 라 할 때 판과 노즐과의 거리 h 를 일정하게 하고 노즐상류측에

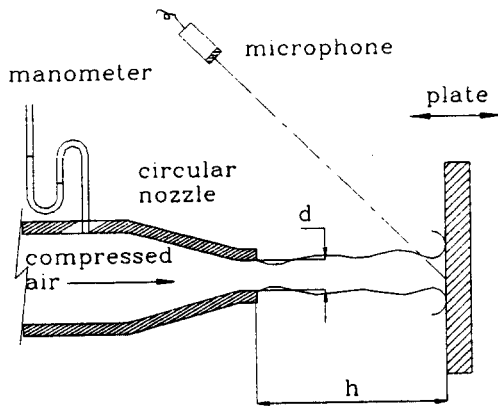


Fig. 3 Configuration of the impinging jet system.

있는 서지탱크의 압력이 1.5 atg에 도달한 상태에서 0.1 atg씩 강하할 때마다 음압레벨을 측정하고 다시 h 를 변화시켜가며 반복적으로 실험하였다. h 는 5 mm, 10 mm 그리고 10 mm부터 100 mm까지는 10 mm씩 이동하였다. 음압레벨의 측정위치는 바닥면으로부터 높이 1080 mm인 분류축의 수평면상에서 분류의 방향과 수직인 판의 중심점선면으로부터 반지름 800 mm 그리고 분류축에서 상류측으로 105°가 되는 곳에서 측정하였다. 또한, 자유분류음은 분류축의 수평면상에서 노즐끝으로부터 반지름 800 mm 이고, 분류축을 기준하여 상류측으로 45°와 90°가 되는 위치에서 각각 측정하였다.

지향성은 서지탱크의 압력을 0.4 atg로 일정하게 하고 거리 h 에 대하여 판의 중심 점선면으로부터 800 mm를 반경으로 한 원주상의 음압레벨을 측정하고 다시 h 를 이동시키면서 반복적으로 실험하였다. h 의 이동범위는 5 mm, 10 mm 그리고 10 mm부터 80 mm까지는 10 mm씩 이동하였다. 음의 측정위치는 분류축과 90°를 이루는 판의 점선면을 기준으로 하여 상류측으로 10°씩 각도를 크게 하면서 최고 170°까지 측정하였다. 그러나, 다공판이나 자유분류에 의한 소음의 지향성은 분류하류측을 기준으로하여 15°부터 10°씩 상류측으로 회전시키면서 최고 170°범위까지 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Table 1은 분류의 압력 0.05 atg와 최고 0.4 atg 사이에서 식 (1)과 같이 정의된 속도계수 C_v 를 구한 결과이다.

$$M_j = C_v \cdot \left[\left(\frac{2}{\gamma - 1} \right) \left\{ R^{(\gamma-1)/\gamma} - 1 \right\} \right]^{1/2} \quad (1)$$

Table 1 Measured velocity coefficient (C_v) vs. pressure ratio (R)

R	1.048	1.097	1.145	1.194	1.242	1.29	1.339	1.387
C_v	0.989	0.978	0.955	0.955	0.950	0.948	0.939	0.934

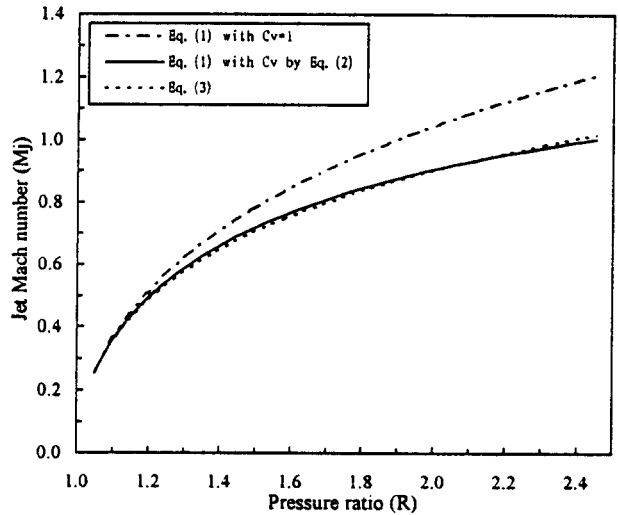


Fig. 4 Jet Mach number vs. pressure ratio for the converging circular nozzle of diameter 10mm

식 (1)에서 공기의 경우 비열비 $\gamma=1.4$ 이며, R 는 압력비로서 서지탱크의 절대압력에 대한 대기압의 비를 나타낸다. 표에서 보는 바와 같이 압력비가 커짐에 따라 속도계수 값이 점차 감소하는 것을 알 수 있으며 압력비 R 와 속도계수 C_v 의 관계를 구하면 다음과 같다.

$$C_v = 0.995545 \cdot R^{-0.201825} \quad (2)$$

Fig. 4는 식 (2)의 속도계수를 식 (1)에 대입하여 구한 분류의 마하수를 이론 단열팽창 속도($C_v=1$) 및 Maa Dah-you 등⁽¹⁰⁾이 제시한 식 (3)의 결과와 비교 도시한 것이다.

$$M_j \approx (R-1)^{1/2} / (R-0.5)^{1/4} \quad (3)$$

속도계수로부터 구한 분류의 마하수가 전압력비에 걸쳐서 식 (3)과 잘 일치하므로 식 (1)에 식 (2)를 대입하여 실제분류의 마하수를 구할 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 5는 분류의 마하수 $M_j=0.87$ 인 조건에서 $h/d=3$ 과 $h/d=8$ 인 곳에 판을 고정하고 상류측 105°위치에서 측정한 충돌분류의 소음 스펙트럼을 충돌면의 표면조건에 따라 비교 도시한 것이다. 참고로 그

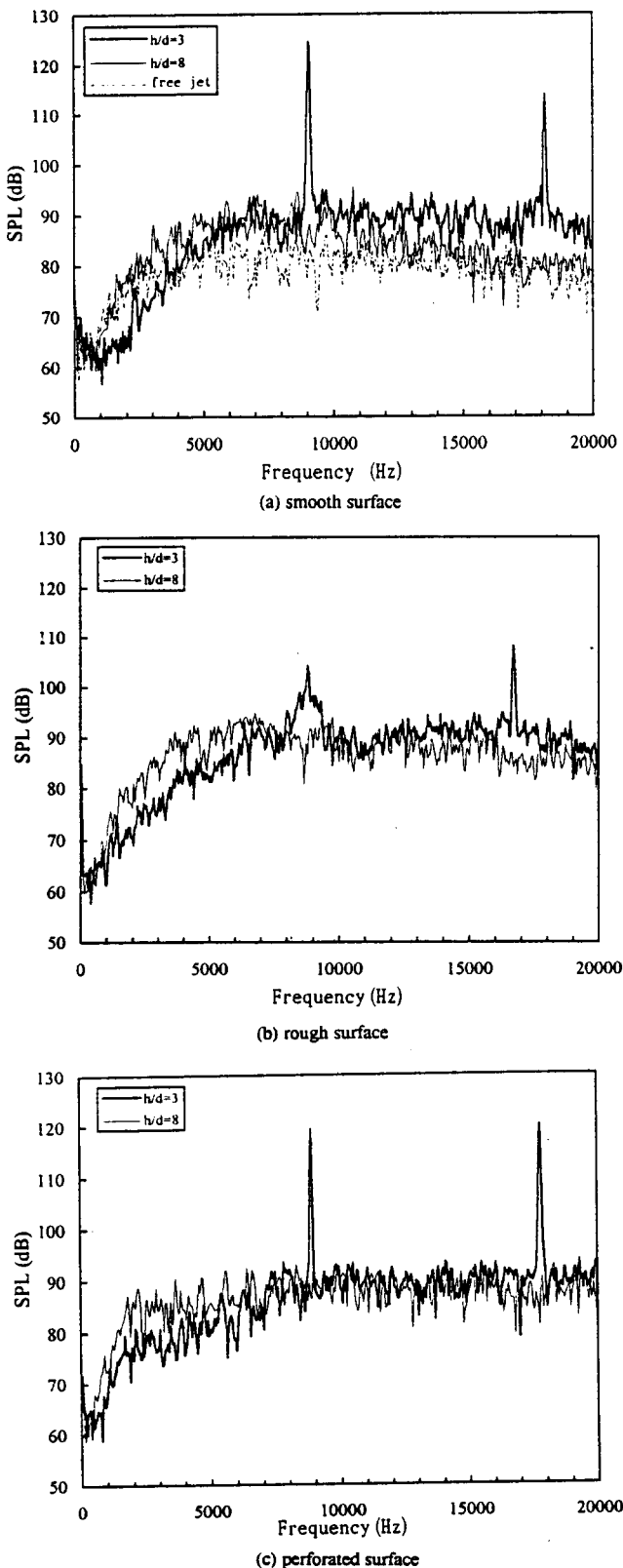


Fig. 5 Sound pressure level spectra from the impinging jet at $M_j=0.87$

림(a)에는 분류축으로부터 45° 상류방향에서 측정된 자유분류음의 스펙트럼을 함께 도시하였다. 그림(a)에서 판에 충돌된 분류의 소음 스펙트럼 분포는 자유분류음에 비하여 높은 레벨을 갖는 광대역음과 최고 40 dB까지 높은 강한 순음성의 충돌음이 발생하는 것을 볼 수 있다. 특히, 충돌면의 표면조건이 다른 거친판이나 다공판에서도 강한 순음성 충돌음이 같은 주파수대역에서 발생하는 것을 볼 수 있다. 이러한 순음성 충돌음은 췌기음(edge tone)의 경우와 같이 노즐에서 분출되는 분류의 불연속적인 와동이 고체면에 충돌할 때 발생하여 방사되고, 이 음이 상류로 전파하여 분류를 교란하므로써 대류되는 와동을 증폭시키고 증폭된 와동이 다시 고체면에 충돌하는 일련의 되먹임기구에 의하여 발생하는 것으로서 그 발생기구나 주파수 특성에 대하여 지금까지 많은 연구가 발표되었다^(3,6-9). 또한, 순음성 충돌음이 발생하지 않는 $h/d=8$ 일 때는 분류자체의 난류에 기인된 높은 레벨을 갖는 광대역음이 발생하는데 특이한 것은 그림(a)의 매끄러운 판인 경우의 스펙트럼 형상은 저주파수 및 고주파수영역에서의 음압레벨이 낮게 되어 자유분류음의 스펙트럼과 유사한 형태를 보이는데 반하여 그림(b) 및 그림(c)와 같이 거친판이나 다공판의 경우는 분류가 구멍이나 돌출부에 부딪쳐서 발생하는 고주파수 성분의 소음때문에 저주파수영역을 제외하면 소음분포가 전반적으로 주파수와 관계없이 일정한 음압레벨을 갖는 백색잡음(white noise) 형태를 보여주고 있다.

한편, Fig. 5의 음압스펙트럼에서 보는 바와 같은

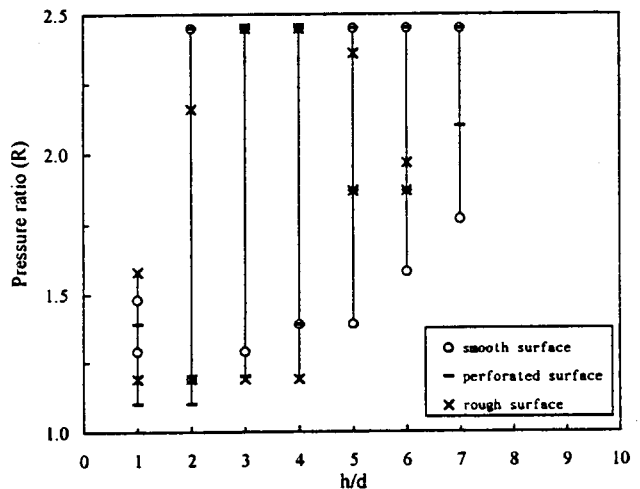


Fig. 6 Ranges of the pressure ratio and the nozzle-to-plate distance for the generation of impinging tones.

순음성 충돌음이 발생하는 압력비 R 및 h/d 의 범위를 판의 표면조건에 따라 도시하면 Fig. 6과 같다. 도시된 결과로부터 순음성 충돌음은 충돌면의 표면조건과 관계없이 적어도 판의 거리가 노즐지름과 같거나 커야만 발생하는 것을 알 수 있으며 $h/d=1$ 에서는 압력비가 낮은 범위에서만 발생하나 h/d 가 커지면서 넓은 압력비에 걸쳐서 발생되고 $h/d=8$ 이상 이 되면 순음의 발생은 볼 수 없다. 즉, 판의 조건에 따라서 충돌음이 발생하는 압력비범위에 다소간의 차이는 있으나 h/d 가 2이상인 경우 그 영향은 미미한 것임을 알 수 있다.

Fig. 7은 분류의 마하수 $M_j=0.65$ 인 일정한 분출조건에서 h/d 에 따른 충돌분류의 소음파워를 구한 결과이다. 소음파워는 분류축에 대한 대칭성을 고려하여 각 방향에서 측정된 음압레벨을 에너지평균하여 구하였다. 그림에서 충돌분류의 소음파워가 자유분류보다 크게 되고 노즐로부터 판이 멀어질수록 소음파워는 최대치에 도달한 후 점차 감소하는 것을 볼 수 있다. 이와 같이 특정구간에서 강한 소음파워를 나타내는 것은 주로 이 구간에서 강한 순음성의 충돌음이 발생되기 때문이며 $h/d=2$ 에서 가장 강한 소음파워를 갖는 것은 Marsh⁽²⁾의 실험결과와도 잘 일치하는 결과라 할 수 있다. 특히, 같은 충돌분류에 의한 경우라도 다공판의 하류측 소음파워가 상류측의 소음파워보다 다소 크게 되고 판이 노즐로부터 멀어질수록 소음파워의 감소폭도 작게 되는 것은 분류와 구멍과의 상호작용에 의한 소음발생이 주된 요인이라 할 수 있다.

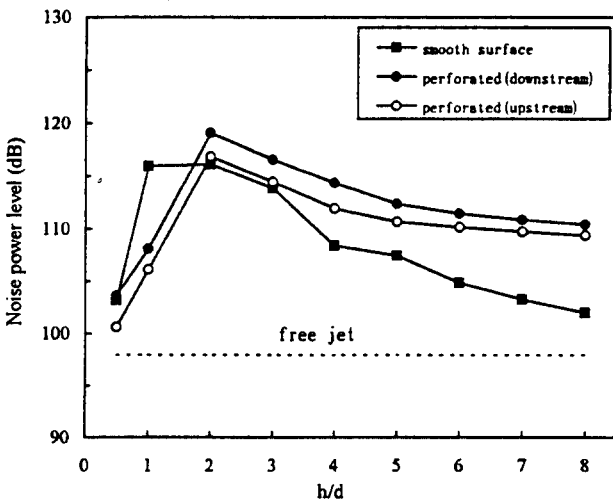
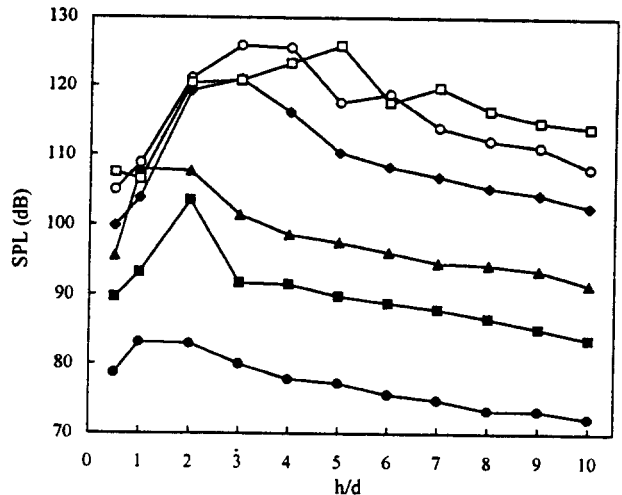
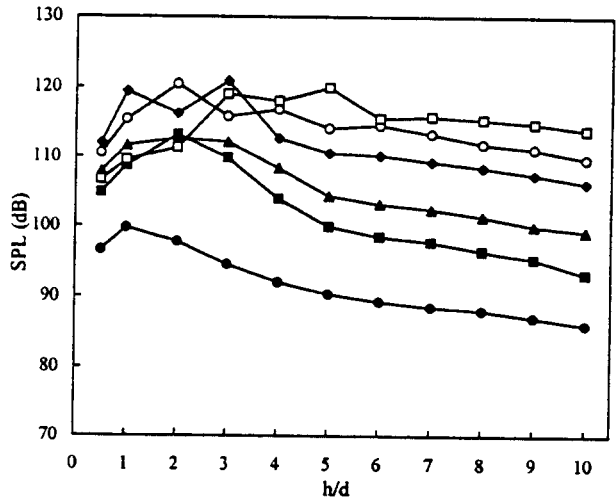


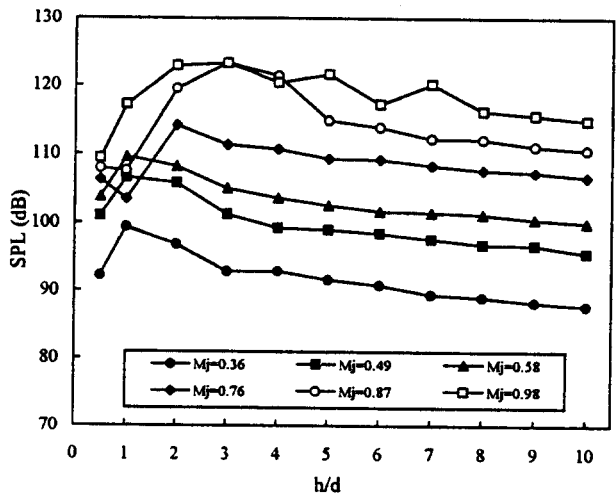
Fig. 7 Comparison of the noise power level from impinging jets at $M_j=0.65$



(a) smooth surface



(b) rough surface



(c) perforated surface

Fig. 8 Effect of the nozzle-to-plate distance on the sound pressure level at $\theta=105^\circ$ for various Mach numbers.

Fig. 8은 h/d 에 따른 충돌분류의 소음레벨을 분류의 마하수 단계별로 도시한 것이다. 측정위치는 분류축을 기준하여 상류측 105° 방향이며 판을 고정된 상태에서 서지탱크의 압력을 낮추면서 측정한 결과이다. 먼저, 그림(a)는 매끄러운 판인 경우로서 최고의 음압레벨을 갖는 h/d 는 분류의 마하수에 따라 변화되는 것을 볼 수 있다. 즉, 마하수가 높아질수록 최대 음압레벨을 나타내는 h/d 는 증가하게 되는데 이것은 순음성 충돌음의 소음특성이 h/d 와 분류 속도에 따라 변하기 때문이다. 또한, h/d 에 따른 음압레벨의 전반적인 변화를 보면 분류의 마하수 0.87이하에서는 마하수변화에 따라 음압레벨이 큰 폭으로 변화하나 그 이상의 마하수에서는 음압레벨의 증가폭이 크지 않음을 볼 수 있다. 한편, 충돌면의 표면조건이 다른 그림(b)의 거친판과 그림(c)의 다공판의 결과에서는 전반적으로 마하수 증가에 따른 음압레벨의 증가폭이 작은 것을 제외하고는 매끄러운 판의 결과와 유사한 경향을 보여준다.

Fig. 9는 자유분류의 경우에 상류측으로 각각 45° 와 90° 위치에서 측정한 음압레벨을 계산결과와 비교 도시한 것이다. 자유분류에 관한 음향세기(acoustic intensity) I_q 에 관한 이론식은 Lighthill의 분류 속도의 8승에 근거한 식 (4)와 같다.

$$I_q = \eta_q \cdot \frac{\rho_0 \cdot U_j^3 \cdot d^2}{32 \cdot r^2} \cdot \frac{D(\theta)}{(1 - M_c \cdot \cos \theta)^5} \quad (4)$$

식 (4)에서 M_c 는 분류의 대류속도(convection velocity)를 음속으로 나눈 값이며, θ 는 분류축에 대한 방위각, r 는 분류로부터 관측점까지의 거리, d 는 노즐지름, ρ_0 는 유체의 밀도, U_j 는 분류속도, $D(\theta)$ 는 음원의 지향특성, 그리고 η_q 는 음향효율(acoustic efficiency)로서 분류의 파워에 대한 소음 파워의 비를 나타낸다. 본 실험에서는 원형분류를 이용하였으므로 $M_c = 0.62M_j$ 를 취하였으며⁽³⁾ 또한, 분류속도가 음속이하에서는 음원을 무지향성으로 간주하여 $D(\theta)$ 는 1로 하였다⁽¹¹⁾. 식 (4)에 기준음원의 음향세기 $I_0 = 10^{-12} \text{ w/m}^2$ 과 자유분류음의 음향효율 $\eta_q = 0.76 \times 10^{-4} \cdot M_j^5$ 를 대입하고, $\rho_0 = 1.2 \text{ kg/m}^3$, $d = 0.01 \text{ m}$ 및 $r = 0.8 \text{ m}$ 를 대입하여 원음장에서 자유분류음의 음압레벨(L_p)을 구하면 식 (5)와 같으며, 이 때 분류의 마하수는 식 (1)에 식 (2)의 속도계수를 대입하여 구하였다.

$$L_p = 102.5 + 80 \log M_j - 50 \log (1 - 0.62 M_j \cdot \cos \theta) \quad [\text{dB}] \quad (5)$$

Fig. 9에서 자유분류소음은 예측한 값보다 작지만

최고 5dB이내의 오차로 그 경향이 잘 일치하는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 Lighthill의 4극자(quadrupoles) 음원모델에 분류의 대류효과 인자 $(1 - M_c \cdot \cos \theta)^{-5}$ ⁽¹¹⁾를 고려하고 Lush⁽¹¹⁾의 연구에서와 같이 자유분류의 음원을 무지향성으로 간주하고 계산한 것이 타당하였음을 확인해 주는 결과라 하겠다.

Fig. 10은 유속에 따른 충돌분류의 음압레벨을 각각의 h/d 에 대하여 도시한 것이다. 먼저, 그림(a)의 실선은 식 (5)의 두번째 항인 유속만을 고려한 것과 세번째 항인 분류의 대류인자를 함께 고려하여 계산한 결과로서 순음성 충돌음이 발생하지 않는 $h/d = 9$ 를 기준으로 한 음압레벨과 비교한 것이다. 또한 식 (5)에서 θ 는 판의 접선면으로부터의 각도인 15° 를 대입하였다. 그림에서 분류가 고체면에 충돌하였음에도 불구하고 유속의 6승에 비례하는 쌍극자 음원(dipole sound source)의 특성⁽¹²⁾을 따르지 않고 오히려 4극자 특성인 유속의 8승에 비례하는 것은 분류가 무한평판에 충돌하기 때문이며, 아울러 충돌분류의 음압레벨은 유속만을 고려한 것보다 유속과 더불어 분류의 대류효과(convection effect) 인자를 함께 고려하여 계산한 결과와 그 경향이 유사한 것을 알 수 있다. 또한, 강한 순음성 충돌음 역시 분류의 대류효과 인자를 고려한 결과와 유사한 경향을 나타내고 있다. 한편, 그림(b)의 거친판이나 그림

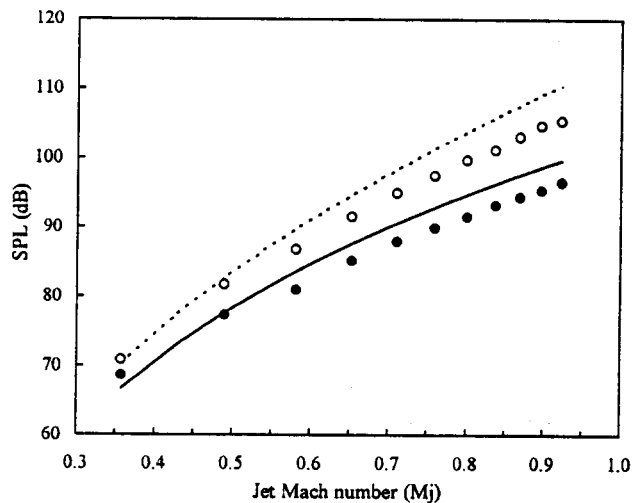


Fig. 9 Comparison of the measured and the estimated sound pressure level vs. Mach number for the free jet; estimated(—) and measured(•) for $\theta = 90^\circ$, estimated(⋯) and measured(o) and for $\theta = 45^\circ$

(c)의 다공판은 순음성 충돌음이 발생하지 않는 $h/d=8\sim 10$ 범위에서 측정된 음압레벨이 저속에서부터 고속에 이르기까지 쌍극자 음원모델에서 유속만을 고려하여 구한 결과인 6승곡선과 잘 일치하는 것을 알 수 있다. 이것은 분류가 쇄구슬과 같은 돌출부나 판에 뚫린 구멍과 같은 유한한 고체경계면에 충돌될 때 발생한 충돌소음은 명백히 쌍극자에 의한 것임을 확인시켜 주는 결과라 하겠다. 또한, 강한 충돌음이 발생한 경우도 분류의 마하수 0.8이하까지는 비교적 6승 곡선과 같은 기울기를 나타내는 것을 볼 수 있다. 결과적으로 매끄러운 평판인 경우에 음원은 유동을 따라 이동하는 4극자이므로 자유분류와 같이 대류효과 $(1 - M_c \cdot \cos\theta)^{-5}$ 이 나타나지만 판이 거친 경우의 쌍극자 음원은 음원이 돌출면에 정지하여 있기 때문에 이러한 대류인자가 없이 다만 M_j^6 에 비례하는 것을 알 수 있다. 한편, Fig. 10에서 언급한 결과를 뒷받침 해주는 또 다른 증거로는 Fig. 8의 결과를 들 수 있다. 즉, Fig. 8에서 매끄러운 판에 비하여 거친판과 다공판의 음압레벨이 마하수 증가에 따라 그 증가폭이 작게 되는 것을 볼 수 있다.

Fig. 11은 분류의 마하수 0.65인 분출조건에서 1/3 옥타브대역 중심주파수가 10 kHz인 경우에 대하여 자유분류의 지향성과 강한 충돌음이 발생하는 $h/d=2$ 일 때의 충돌음의 지향성을 각각 도기한 결과이다. 그림에서 실선은 측정된 값이며 점선은 측정값을 분류축을 기준하여 투영한 값이다. 실험결과로부터 충돌소음의 지향특성은 주파수범위와 단의 위치에 크게 영향을 받지 않음을 확인하였다. 먼저, 그림(a)의 자유분류인 경우를 보면 분류의 대류효과로 인하여 분류의 하류측으로 강한 지향성을 보이고 있음을 알 수 있다. 특히, 분류의 하류측에서 분류의 속도구배로 인하여 음선이 분류의 바깥으로 휘어지는 굴절효과(refraction effect)가 대류효과에 중첩되어 분류축에 가까워질수록 음의 세기가 작아지는 것을 볼 수 있다. 충돌분류인 그림(b)의 매끄러운 판, 그림(c)의 거친판 그리고 그림(d)의 다공판에 의한 소음의 지향성은 상류측 115°방향으로 8자형의 강한 지향성을 보이고 있다. 이것은 매끄러운 무한평판에서의 소음은 이동하는 4극자음원에 의한 것이지만 거친판에서의 소음은 축이 충돌면에 평행인 고정된 쌍극자들에 의한 것이기 때문으로 보인다. 거친판과 충돌분류의 상호작용은 면에 평행인 반경방향으로 강한 마찰력, 즉 전단력을 유발하기 때문에 면상에서 반경방향으로 맥동하는 전단력에 의한 쌍극자음원들이 생겨나서 그림과 같은 지향특성을 나타내는

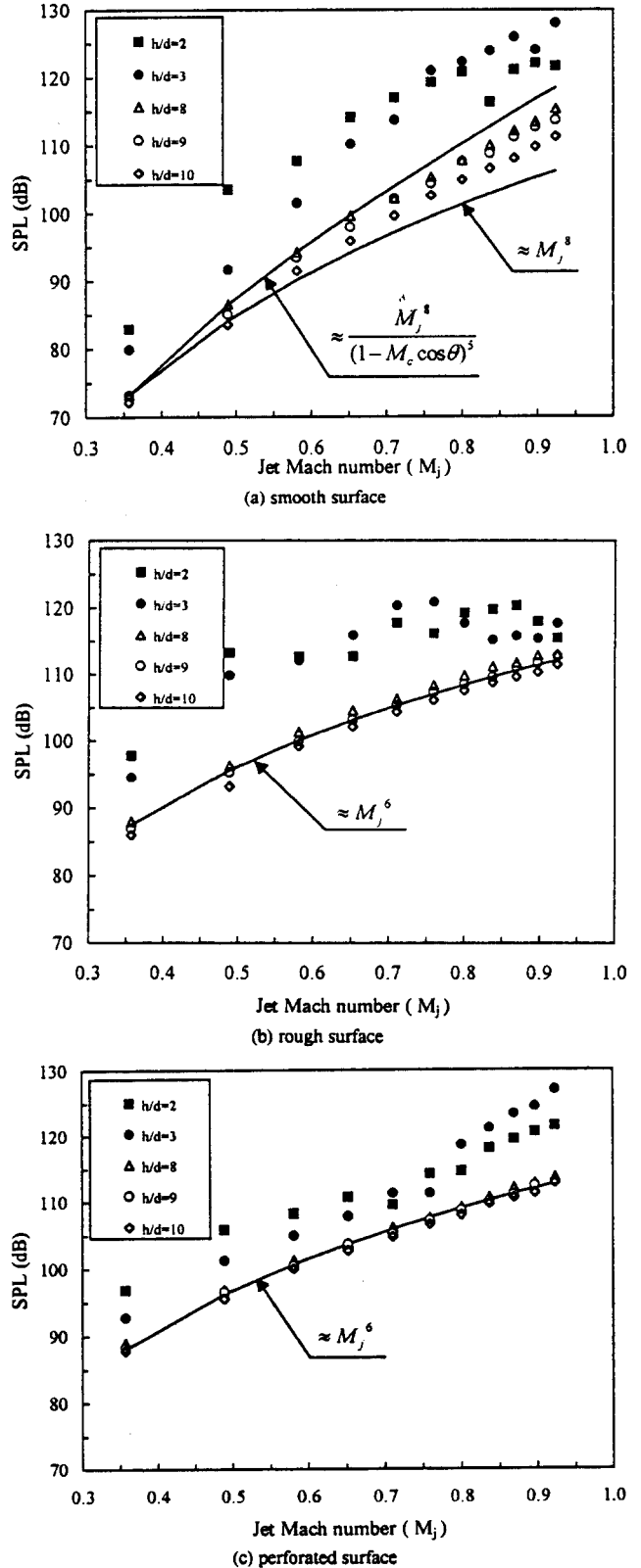


Fig. 10 Jet-velocity dependence of sound pressure level for various nozzle-to-plate distances.

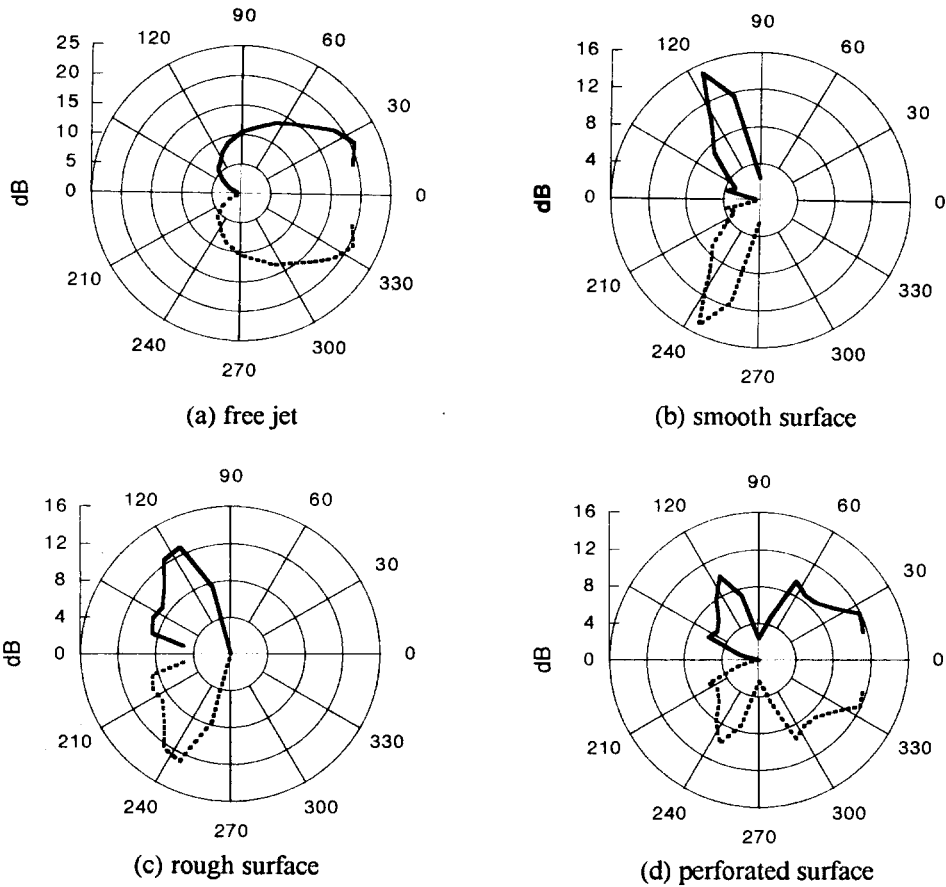


Fig. 11 Directivities of 1/3 octave band sound pressure level at center frequency 10 kHz for $M_j=0.65$; measured (—), projected (.....).

것으로 생각할 수 있다. 이 경우 음압세기의 크기는 면으로부터의 편이각 θ 의 $\cos^2\theta$ 에 비례하는 것으로 될 것이다. 이러한 특성을 자유분류가 대류효과로 인하여 $(1 - M_c \cdot \cos\theta)^{-5}$ 에 비례하는 것에 비교하여

도시하면 Fig. 12와 같다. 그러나 어떤 경우에는 Fig. 11과 같이 실측한 지향성이 면과 평행인 방향 즉, 분류방향으로 지향성이 약한 것은 분류의 속도 구배로 인한 음선의 굴절에 의한 결과로 해석할 수 있다.

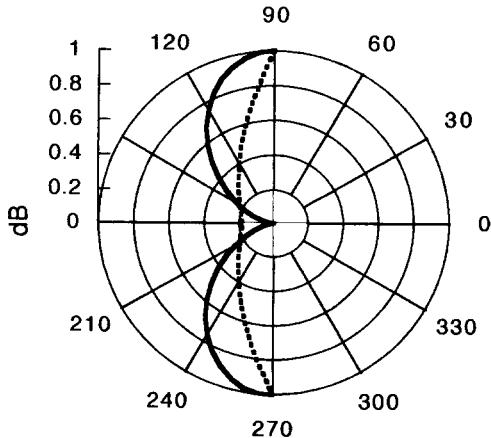


Fig. 12 Directivities of free jet (.....) and dipoles (—)

또한, 실측결과에서 매끄러운 판의 경우가 거친판에 비하여 지향곡선의 폭이 좁으면서 날카로운 것을 볼 수 있는데 이것은 돌출부를 갖는 거칠은 판에 비하여 매끄러운 판의 경우가 분류의 대류효과가 더 한층 크게 작용하기 때문이라 생각된다. 또한, 다공판인 경우 하류방향의 지향특성은 자유분류의 지향특성에 더하여 구멍에서 생성되는 쌍극자음원에 의한 영향이 중첩된 것으로 볼 수 있다.

4. 결 론

이상과 같이 원형분류가 판에 충돌하여 발생하는 공력소음에 관한 연구결과로부터 다음의 결론을 얻

을 수 있다.

(1) 충돌분류는 면의 상태에 관계없이 자유분류에 비하여 현저히 높은 음압의 소음을 발생하며 순음성 충돌음을 동반한다.

(2) 충돌음이 가장 크게 되는 판의 위치는 h/d 가 2정도일 때이며 이 때가 순음성 소음이 가장 크게 될 경우이다.

(3) 표면이 매끈한 경우 충돌소음은 이동하는 4극 자음원의 특성을 갖으나, 매우 거칠거나 다공판의 경우는 분류속도의 6승에 비례하는 정지된 쌍극자음원의 특성을 나타낸다.

(4) 방사음의 지향특성은 굴절효과에 의하여 평판으로부터 15°정도 편이된 방향에서 가장 강한 음압을 나타낸다.

참고 문헌

- (1) Lighthill, M. J., 1963, "Jet Noise," AIAA Journal, Vol. 1, No. 7, pp. 1507~1517.
- (2) Marsh, H. A., 1961, "Noise Measurements around a Subsonic Air Jet Impinging on a Plane Rigid Surface," J. Acoust. Soc. Am., Vol. 33, pp. 1065~1066.
- (3) Ho, C. M. and Nossier, N. S., 1981, "Dynamics of an Impinging Jet, Part 1: The Feedback Phenomenon," Journal of Fluid Mechanics, Vol. 105, pp. 119~142.
- (4) Nossier, N. S. and Ho, C. M., 1982, "Dynamics of an Impinging Jet, Part 2: The Noise Generation," Journal of Fluid Mechanics, Vol. 116, pp. 379~391.
- (5) Powell, A., 1961, "On the Edge Tone," J. Acoust. Soc. Am., Vol. 33, pp. 395~409.
- (6) Krothapalli, A., 1985, "Discrete Tones Generated by an Impinging Underexpanded Rectangular Jet," AIAA Journal, Vol. 23, No. 12, pp. 1910~1915.
- (7) Umeda, Y., Maeda, H. and Ishii, R., 1987, "Discrete Tones Generated by the Impingement of a High-Speed Jet on a Circular Cylinder," Phys. Fluids, Vol. 30, No. 8, pp. 2380~2388.
- (8) Powell, A., 1988, "The Sound-Producing Oscillations of Round Underexpanded Jets Impinging on Normal Plates," J. Acoust. Soc. Am., Vol. 83, No. 2, pp. 515~533.
- (9) Henderson, B. and Powell, A., 1993, "Experiments Concerning Tones Produced by an Axisymmetric Choked Jet Impinging on Flat Plates," Journal of Sound and Vibration, Vol. 168, No. 2, pp. 307~326.
- (10) Maa, D. Y. and Li, P. Z., 1981, "Pressure Dependence of Jet Noise and Silencing of Blow-offs," Noise Control Engineering, Vol. 17, No. 3, pp. 104~112.
- (11) Lush, P. A., 1971, "Measurements of Subsonic Jet Noise and Comparison with Theory," J. Fluid Mech., Vol. 46, part 3, pp. 477~500.
- (12) Curle, N., 1955, "The Influence of Solid Boundaries upon Aerodynamic Sound," Proc. R. Soc. London, Ser. A 231, pp. 505~514.