

미소기포 분할 분출장치에 의한 점성 마찰저항 감소화 연구

권순영 · 김시영* · 홍봉기*

(양양 여자 중학교 · *부경대학교)

I. 서 론

경계층내에 미소 기포를 분출시켜 점성 마찰 항력을 감소시킬수 있는 많은 연구[1~6]가 보고 되었다. 이들의 연구결과는 벽면에 부착된 다공질 평판을 통하여 미소 기포를 경계층내에 분출시키는 장치를 사용하여 미소기포의 분출양과 자유흐름 속도의 적절한 조정에 의하여 그 하류에서 점성 마찰 항력을 감소시킬수 있었다. Madavan 등[5,6]과 Mercle 등[7]의 연구에서는 점성 마찰항력 감소화를 위하여 자유 흐름 속에 적당량의 미소 기포 분출량을 혼합시켜 매우 효과적인 결과를 얻었다. 그러나 그들의 연구들은 난류 혼합장 이론으로 계산해야 하는등 복잡한 계산과정을 사용하고 있다. 그리고 Mercle 등[7]의 연구는 다공질 평판으로부터 분출되는 미소 기포의 유속은 평판전체에 걸쳐서 균일하게 분출되도록 장치하여 평판하류 위치별로 미소 기포 유량 변화에 따라 마찰 항력 감소 비율을 측정한 것이 특징이다. 그런데 그들의 연구는 미포기포를 다공질 평판의 전체 면적으로부터 균일한 속도로 경계층내에 분출시키면 대부분의 미소 기포는 지수 법칙이 성립하는 경계층의 외층쪽으로 밀리어 그 영역에서 대부분 점성 마찰 항력을 감소시키는데 기여하고 있어 그 효율은 매우 낮다.

본 연구에서는 Mercle[7]의 미소 기포 분출에 의한 점성 마찰력 감소화 비율을 더욱 증대 시키기 위하여 미소기포 분출방법을 층상의 분할 형태로 분출시키도록 그장치를 개선하였다.그리고 본실험을 정리할수 있는 간단한 실험식을 유도하고 Mercle[7] 실험결과와의 비교 검토에서 그 유효성을 확인하였다.

II. 실험 장치및 방법

본 실험에서 사용된 캐비테이션터널[8 - 10]은 Fig.1과 같다. 미소 기포로는 상온의 공기를 사용하였으며, 시험부 단면은 높이가 120mm, 폭이 50mm, 그리고 축정부 길이는 350 mm 이다. 계측부는 사각 단면으로서 사방이 투명유리로 되어 있고, 아랫벽면에 다공질 평판을 설치하였다. 계측영역이 완전히 난류영역이 되도록 하기 위하여 입구측에 난류 촉진 장치(stimulator)로서 $\phi 5$ mm의 철사(wire)를 설치하고, 다공질 평판을 벽면으로부터 20mm 높게 설치하였다. 미소기포는 다공질 평판면적을 상류측에 20mm, 하류측에 10mm 되게 하고 그 간격을 5mm로 하였다. 그리고 하류방향에 위치별로 전단 응력계 5개를

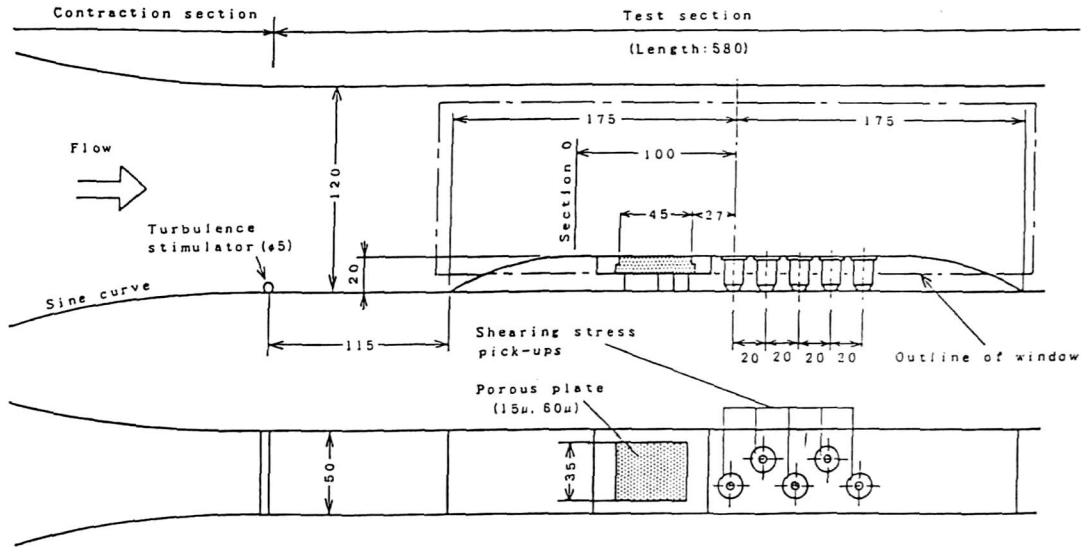


Fig. 1. Experimental device.

위치(Station, st.1 : $x=72\text{mm}$, st.2 : $x=92\text{mm}$, st.3 : $x=112\text{mm}$, st.4 : $x=132\text{mm}$, st.5 : $x=152\text{mm}$) 별로 각각 설치 하였다. 그리고 계측값들을 얻기 위한 장치 개략도는 Fig.2와 같다. 실험장치에서 미소기포를 분출할 수 있는 평판부분은 교환이 가능하도록 하였다. 미소 전단 응력계는 간섭을 피할 수 있도록 상류로부터 하류방향으로 엇갈리게 설치하였다. 전단 응력측정 장치는 직경 5mm, 정격 용량은 1gf, 응답 주파수는 30Hz 이며 보정(calibration)도 실시 하였다. 정확한 전단응력 측정을 위하여 미소 전단응력계의 설치에 의한 형상 영향, 센서(sensor)부분의 이물질 부착, 센서에 의한 진동, 계측 전압 변동, 실험 중의 측정값의 변동 오차, 센서와 주위의 높이에 의한 영향, 주유속, 그리고 기포 분출에 의한 유속 측정 오차 등은 레이저 유속계에 의한 계측값과의 비교 검정을 통하여 편차를 최소한($\pm 1\sim 2\%$ 이내)으로 하였다. 그리고 다공질 평판(미소직경 $\epsilon=60\mu\text{m}$ 및 $15\mu\text{m}$, 길이 45mm, 폭 35mm)의 면적을 상류로부터 하류 방향으로 분리하여 각각에 공기를 적당한 유량으로 경계층내에 미소 기포로서 분출되도록 하였다. 그리고 상류부분의 미소기포 분출 유속을 하류 영역보다도 빠르게 하면 하류에서 분출되는 미소기포는 벽면 쪽으로 밀리게 하여 천이영역(buffer layer)이 넓어지고 벽면 가까이 쪽으로 미소기포가 머무르는 등의 유리한 조건이 형성되도록 하여 점성저층 부근 벽면에서 속도기울기가 감소시켜 점성 마찰력 감소화를 더욱 증대시킬 수 있도록 평판을 부착하였다.

본 실험의 계측 자료를 추출하기 위하여 상온의 공기를 Fig.2[10] 에서와 같이 압축기(compressor)를 이용하여 압력을 단계별로 높여 공기의 압력을 높일 수 있도록 하였고, 이 때 높여진 압력공기는 유량계를 통하여 분리된 미소기포 평판에 각각 일정량 공급이 되도록 하였다. 측정은 완전히 발달한 난류 및 미

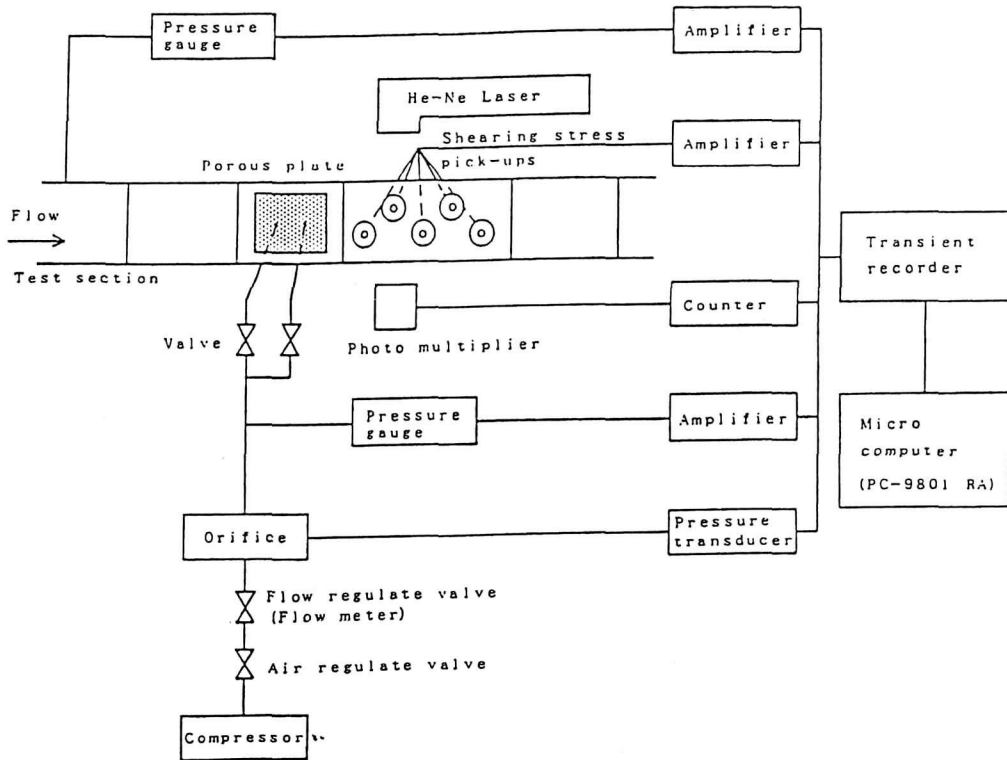


Fig. 2. Schematic of flow loop.

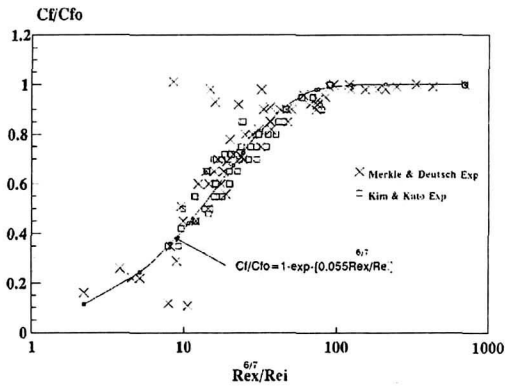


Fig. 3. Persistence of local skin friction reduction.

소기포의 분출이 정상 상태가 되도록 한 후 실시하였다. 그리고 분출되는 기포와 터널 내부에 흐르는 물의 수온 특성변화에 의한 영향이 없도록 하였다. 기포 분출의 유무별로 자유 흐름 속도를 8m/s, 10m/s, 12m/s로 하였으며, 각각의 자유 흐름속도에 대하여 미소 기포의 상류 유량은 각각 0.14, 0.28, 0.517m³/s와, 하류 유량은 각각 0.0224, 0.048, 0.083m³/s로 하였다.

III. 실험자료 분석

난류 경계층내의 속도분포, μ^+ 가 기울기 $K(0.41)$ 의 대수법칙이 성립하는 영역을 생각한다. 다공질 평판 벽면으로부터 미소기포 분출속도를 v_i , 그점에서 법선 방향 위치를 y , 하류 방향의 유속을 u , 그 점의

위치를 x 라 하면 $u^+ \propto \epsilon y^+$ 의 관계가 성립한다. 그리고 $x : y \approx u : v_i$ 의 관계로서 $y^+ 100$ 에서는 $u^+ \sim 15$ 이므로 $x \sim \frac{1500}{w_i}$ 가 된다. 그러므로 $Re_x \sim \frac{1500}{Q_a} / SU_\infty$ 가 된다. 단 S 및 U_∞ 는 각각 미소 기포분출 단면적 및 자유

흐름 속도이다. 그리고 $Q_a = \frac{C_v}{1 - C_v} Q_w$ 이고, $Q_w = 0.122 b U_\infty x Re_x^{-1/7}$ [7] 이므로 $C_v = \frac{1}{1 + 0.122 \frac{Re_x^{6/7}}{R_{vi}}}$ 의

관계식이 성립하고 실험 측정 자료를 정리할 수 있다. 여기서 C_v 는 기포 비율이다. 그리고 $\frac{C_f}{C_{f0}}$ 의 값은 미소 기포분포비율[2,4]에 의하여 구할 수 있으므로 복잡한 난류 확산 모델, 와점성 모델 및 혼합장 방정식을 사용하지 않고 간단히 하류위치 x 와 미소기포 분출 유속에 의한 각각의 레이놀즈수의 변수 $Re_x^{6/7} / R_{vi}$ 의 함수로서 도표로 표시 할 수 있다. 그리고 본실험의 결과를 커브피팅(curve fitting) 하면 $\frac{C_f}{C_{f0}} = 1 - \exp[0.055 Re_x^{6/7} / R_{vi}]$ 의 식으로 최적화할 수 있다. 이것은 실험과 비교 검토를 해보면 그 측정치가 매우 근사식에 접근하고 있음을 알 수 있다. 그리고 불안정한 몇몇의 부분을 제외하면 Mercle 등[7]의 실험결과에 매우 잘 접근하고 있다.

IV. 결 론

이상은 균일하게 미소기포를 분출시키는 다공질 평판보다도 분할형상의 미소기포평판을 이용하여 상류 미소 기포 분출 유속을 하류측보다도 빨리하면 점성 마찰력 감소화 비율을 더욱 증대 시킬 수 있다. 그리고 분할된 미소기포 분출 장치를 이용한 경우 측정자료를 $Re_x^{6/7} / Q_a$ 로서 정리할 수 있고, 점성 마찰력 감소화 비율은 $C_f / C_{f0} = 1 - \exp[0.055 Re_x^{6/7} / Re_i]$ 의 식으로 최적화할 수 있으며 다른 보고된 것보다도 매우 간단히 그 값을 구할 수 있다.

참 고 문 헌

- 1) Bandyopadhyay, P.R., 'Review - Mean Flow in Turbulent Boundary Layers Disturbed to Alter Skin Friction,' J. Fluids Engineering, Vol. 108, pp.127 - 140, 1986.
- 2) Bogdevich, V.G. and Evseev, A.R. 'Gas Saturation Effect on Near Wall Turbulence Characteristics,' Proc. Second Intl. Conf. on Drag Reduction, 31 - Aug., Cambridge, U.K., pp. D2 : 25 - 37, 1977.
- 3) Johansson, A.V. and Alfredsson, P.H., 'Recent Developments of Drag Reduction Methods for Ships,' Second Intl. Symposium on Ship Viscous Resistance, pp 24 : 1 - 13, 1985.
- 4) Legner, H.H., 'A Simple Model for Gas Bubble Drag Reduction,' Phys., Fluids, Vol.27(12), pp.2788 - 2790, 1984.
- 5) Madavan, N.K., Deutsch, S. and Mercle, C.L., 'Reduction of Turbulent Skin Friction by Microbubbles,' Phys. Fluids, Vol.27(2), pp.356 - 363, 1984.
- 6) Madavan, N.K., Merkle, C.L. and Deutsch, S., 'Numerical Investigations into the Mechanisms of Microbubble Drag Reduction,' J. of Fluids Engineering, Vol.107, pp.370 - 377, 1985.
- 7) Merkle, C.L. and Deutsch, S., 'Drag Reduction in Liquid Boundary Layers by Gas Injection,' Viscous

Drag Reduction in Boundary Layers, AIAA, Washington., pp.351 - 412, 1990.

- 8) 加藤洋治, 藤井雄作, 山口 一, 宮永 大, '高粘性流體の噴出による摩擦抵抗低減(第1報),' 日本造船學會論文集, 第168號, pp.39 - 50, 1991.
- 9) 加藤洋治, 藤井雄作, 山口 一, 宮永 大, '高粘性流體の噴出による摩擦抵抗低減(第2報),' 日本造船學會論文集, 第170號, pp.45 - 54, 1993.
- 10) Kim, S.Y. and Kato, H., 'Frictional Drag Reduction by Injecting Microbubble into Buffer Layer of Turbulent Boundary Layer,' Proc. Second Japan - Korea Joint Workshop on Ship and Marine Hydrodynamics, 28 - 30 June, Osaka, Japan, pp.257 - 292, 1993.

A Study on the Viscous Frictional Drag Reduction by a Split Microbubble Injection System

Sun-Young KWON, Si-Young Kim* and Bong-Ki HONG*
(Yangyang Girls Middle School, *Pukyong National University)

Abstract

The microbubble splits injection system are improved for the enhancement efficiency of viscous frictional drag reduction. It was confirmed that the experimental results is effective more than Mercle' s[7] using the present system in the comparisons. And the new experimental equation is derived to get viscous frictional drag reduction useful for the present experimental data. The new experimental equation approaches Mercle' s[7] experimental data wel