

## 거리에 따른 수직 충돌 제트의 표면 평균압 측정

정우원\*(명지대 대학원 기계공학부), 이계한(명지대 기계공학부), 장안식(명지대 대학원 기계공학부), 박경열(한국생산기술연구원), 전경진(한국생산기술연구원)

### Measurement of the Average Surface Pressure by a Vertical Impinging Jet for the Different Distances

W. W. Jeong(Mech. Eng. Dept., MJU), K. H. Rhee(Mech. Eng. Dept., MJU), A. S. Jang(Mech. Eng. Dept., MJU), K. R. Park(KITECH), K. J. Chun(KITECH)

#### ABSTRACT

When a water jet is injected on the body surface, the pressure and shear stress on the surface are important physical parameters in determining the body surface wash out and physical stimulus. We used the force plate in order to measure the surface average pressure for different nozzle types and distances between a nozzle and a plate. We used the nozzles with a hole diameter of 1.8, 2.9, 3.2mm, and the shower heads with 10 holes (hole diameter, 1mm) and 20 holes (hole diameter, 1mm). The distances between a nozzle and a plate was 10, 20, 30, 40cm. The results showed that the surface forces were not affected by the distances between a nozzle and a plate. Further numerical studies will be performed to predict wall shear stress based on the measured pressure data.

**Key Words** : Impinging jet(충돌제트), Surface average pressure(표면평균압력), Force Plate(힘판)

#### 1. 서론

일반적으로 목욕은 피부를 청결히 하기 위한 목적 외에 건강증진의 효과를 위해 자주 행해지고 있다. 목욕 및 샤워는 인체에 온열 및 수압의 자극으로 다양한 생리적, 감성적 변화가 발생하며, 이로 인해 피로회복, 스트레스 해소 외에 다양한 치료 효과를 기대할 수 있다[1]. 고령화 사회를 대비해 노인이 사용할 수 있는 독립적이고 사용하기 편리하며, 안전한 무인 지능형 샤워 시스템 개발이 요구된다. 물줄기가 신체 표면에 분사될 경우, 신체 표면에서의 압력 및 전단력은 수압에 의한 인체 자극 및 표면의 세정을 결정하는 중요한 물리적 변수이다. 분사 제트의 표면 충돌은 다양한 물리적 현상에 응용이 가능하므로, 다양한 연구가 산업적 응용을 위해 수행되어오고 있다.

수직 충돌 제트는 제트를 표면 특성은 표면의 열전달 및 표면 질량 전달에 큰 영향을 미치므로, 가열 및 냉동, 표면 코팅 및 반응 등 다양한 산업 분야에 응용되고 있다[2,3]. 제트의 표면 충돌 정체점에서 누셀수가 매우 높게 나타나므로 이에 관한 다양한 실험 및 수치해석 연구가 수행되고 있다[4]. 또한 제트 분사를 이용한 표면 모멘텀 전달에 관한 연구는 V/STOL 제트 항공기 연구에 응용되고 있다[5]. 제트 분사 및 충돌에 의한 표면 유동은 충돌 표면의 압력 및 전단력을 변화시키며, 이는 표면의 열 및 물질 전

달에 큰 영향을 미친다. 실험적 표면 압력의 측정은 비교적 용이하나, 표면의 전단력 측정은 다양한 어려운 문제를 발생할 수 있다. 표면 전단력은 프레스톤 튜브나 열필름, 전기화학적 방법 등으로 측정이 가능하나[6], 실험 장치 등의 제한적 요인이 있다. 유동가시화를 이용한 정성적 표면전단력의 측정이 가능하며[7], 액정코팅을 이용한 정량적 측정 등이 가능하나[8] 측정 결과의 정량화 및 정당화가 어렵다. 다양한 수치해석적 방법이 충돌 제트의 해석에 시도되고 있으나, 난류 및 표면의 벽 함수 처리를 위한 모델링이 어려우며, 수치해석 결과의 정당화를 위한 실험적 자료의 보완이 요구된다. 단순 수직 충돌 제트의 경우 Hiemenz의 정체 유동 해석을 이용한 이론적 해석이 가능하므로[9], 표면 압력의 측정하여 전단응력을 계산할 수 있다. 복잡한 충돌 제트의 경우 수치해석을 통하여 압력 해를 구하여 측정된 압력과 비교함으로써, 수치해석 모델링을 정당화할 수 있으며, 수치해석 결과를 이용하여 전단응력을 예측할 수 있다.

샤워에서 여러 개의 노즐을 통하여 분사되는 복잡한 충돌 제트의 경우 표면 압력의 변화가 심하며, 피부에서 느끼는 감각점의 공간 민감도가 크지 않으므로, 표면의 평균 압력과 전단응력이 피부 감각 및 세정에 영향을 미치는 물리적 변수이다. 따라서 본 연구에서는 다양한 크기의 노즐 및 분사거리에 따른 충돌 평판의 평균 압력을 측정하고자한다.

## 2. 실험방법

충돌제트 실험을 하기 위하여 장치는 다음과 같이 구성하였다. 노즐에서의 토출 압력과 속도를 계산하기 위하여 공급압력별로 유량계(Seba)를 이용하여 유량을 측정하였고, 토출 시 배관의 공급압력을 압력계(Greensensor)를 통해 측정하였다. 로드셀(큐리오텍) 위에 평판을 장착하여 노즐에서 토출되어 나오는 물이 평판에 부딪칠 때의 힘을 측정하였다. 노즐은 노즐의 직경이 1.8mm (N1), 2.9mm(N2), 3.2mm(N3) 인 단공(single hole) 노즐과, 직경이 1mm 인 10개의 hole이 있는 샤워기(N4)와 직경이 0.5mm 인 20개의 hole이 있는 샤워기(N5)를 사용하여 노즐 분사실험을 하였다. 로드셀이 부착된 평판의 크기는 단공 노즐의 경우 직경이 20mm, 30mm, 50mm인 평판으로 실험을 하였고, 샤워기의 경우 분사 범위가 넓어 직경이 500mm의 평판을 이용하여 실험을 하였다. 평판과 노즐 사이의 거리는 거리에 따른 힘의 차이를 측정하기 위해 10, 20, 30, 40cm의 간격을 두고 실험을 하였다.

## 3. 결과 및 결론

공급압력을  $1\text{kgf/cm}^2$ (오차범위  $\pm 10\%$ )로 동일하게 해주었을 때 노즐의 직경이 커질수록, 손실이 감소하여 유량이 증가하였다. 측정된 유량은 N1, N2, N3, N4, N5의 경우 각각 25, 43, 46, 61, 104 ml/s 이었고, 분사속도는 10, 6.6, 5.7, 7.7, 26 m/s 이었다. 단공형 노즐을 이용하여 평판에서의 힘을 측정한 결과 거리별로 평판크기를 달리하여도 평판크기의 영향이 거의 없었다. (오차범위  $\pm 1\%$ ) 거리에 따라 평판에 닿는 힘의 값의 측정된 결과, 측정된 힘은 노즐과 평판과의 거리에 관계없이 거의 같은 값을 나타냈다. 이는 분사시 모멘텀 플럭스가 거의 유사한 값을 나타내므로, 평판에 가해지는 힘이 거의 같게 나타나기 때문이다. 샤워기(N4)를 사용할 경우, 단공형 노즐에 비해 모멘텀 플럭스가 약 2배 증가하였으므로 평판에 가해지는 힘도 2배 이상 증가하였다. 그러나 샤워기의 경우 분사면적이 증가함으로 평균 분사 압력은 단공형에 비해 현저히 적었다. N5의 경우 모멘텀 플럭스가 단공형 노즐에 비해 10배 정도 증가하였으나, 평판에 가해지는 힘은 약 5배 정도 증가하였다. 이는 작은 노즐에서 분사된 유체가 공기와 혼합되며 큰 모멘텀 손실이 발생하기 때문으로 추정된다.

노즐을 통한 물 분사시 표면 평균압력과 전단응력 측정은 샤워시 안마 및 세척효과를 결정하는 물리적 변수이다. 향후 평판의 압력 분포가 측정될 계획이며, 측정된 충돌제트에 의한 표면 압력을 수치 해석 결과와 비교하여, 표면 전단 응력을 예측하는 연구가 수행될 것이다.

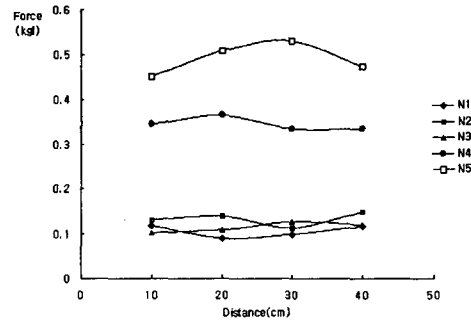


Figure 1. Force measured on the plate surface for different nozzles and ejection distances

## 후기

본 연구는 실버의료기기 핵심기술 개발 사업의 지원을 받아 진행되었음.

## 참고문헌

1. 민경옥, "온열 및 수치료", 대학서림, 1985
2. Gardon, R. and Akfirat, J.C., "Heat transfer characteristics of impinging two-dimensional air jets", J Heat Transfer, vol. 88, pp. 101-108, 1966
3. Martin, H., "Heat and mass transfer between impinging gas jets and solid surfaces", Adv. Heat Transfer, vol. 13, pp. 1-59, 1977.
4. Cooper, D., Jackson, D.C., Launder, B.E., and Liao, G.X., "Impinging jet studies for turbulence model assessment-I: Flow-field experiments", Int. J of Heat Mass Transfer, vol. 36, pp. 2675-2684, 1993.
5. Knowles, K. and Myszko, M., "Turbulence measurements in radial wall-jets", Exp Thermal Fluid Science, vol. 17, pp. 71-78, 1998.
6. Holman, J. P., Gajda, W. J. Jr., "Experimental Methods for Engineers" 3rd ed, McGraw-Hill, New York, pp. 213-259, 1978
7. Haritonidis, J.H., "The measurement of wall shear stress", Adv in Fluid Mechanics Measurements, New York, Springer, pp. 229-261, 1989.
8. Fujisawa, N., Aoyama, A., and Kosaka, S., "Measurement of shear-stress distribution over a surface by liquid-crystal coating", Meas Sci Technol, vol 14, pp. 1655-1661, 2003.
9. Schlichting, H., "Boundary Layer Theory", 7th ed, McGraw-Hill, New York, pp. 94-111, 1979.
10. 박경열, 정우원, 이계한, 전경진, "연령별 목욕 선호도 및 부분침수욕이 인체에 미치는 영향", 한국정밀공학회 2005년도 춘계학술대회논문집, 919-922, 2005