

# 유연재 코팅 평판의 난류 변동압력 특성에 관한 실험적 연구

## Experimental Study on the Characteristics of Turbulent Wall Pressure Fluctuation Over Compliant Coatings

박 경 훈\*, 이 승 재\*\*, 신 구 균\*  
(Kyung-Hoon Park\*, Seung-Jae Lee\*\*, Ku-Kyun Shin\*)

\*국방과학연구소, \*\*삼성중공업

(접수일자: 2007년 6월 17일; 수정일자: 2007년 7월 25일; 채택일자: 2007년 8월 16일)

수중운동체가 주행할 때 수중운동체의 표면에는 난류 경계층이 형성되고, 난류 경계층 내 벽면 변동압력은 탄성체인 수중운동체의 표면을 가진시켜 유동 유기 소음을 발생시킨다. 이러한 유체 소음을 감소시키기 위한 하나의 방법으로 수중운동체 표면에 유연재를 부착하여 수중운동체의 유동 유기 방사 소음을 감소시키는 방법이 제안되기도 한다. 본 논문에서는 유연재 부착에 따른 수중에서의 유체소음의 변화 특성을 살펴보기 위하여 유연재가 코팅되지 않은 강판 시편과, 고무 재질의 Neoprene 및 폴리우레탄 재질의 유연재가 부착된 강판시편을 저소음 공동수조에 설치한 후 여러 가지 유속 조건에서 유체소음의 주요 소음원인 난류 경계층 내 벽면 변동압력을 측정하고 그 결과를 비교 분석하였다. 그 결과 유연재를 코팅한 경우에는 유연재로 인하여 난류 경계층의 두께가 두꺼워지는 등 경계층 유동이 변화하지만, 유연재에서의 난류 에너지의 소산으로 인하여 고주파수 대역에서 약 10dB의 벽면 변동압력의 감소 효과를 확인할 수 있었다.

핵심용어: 난류 경계층, 유연재, 벽면 변동압력, 유동 유기 소음

투고분야: 수중음향 분야 (5.4)

Turbulent boundary layer over an underwater vehicle is formed when it moves underwater and wall pressure fluctuation within the turbulent boundary layer generates flow induced noise by exciting the elastic hull of the underwater vehicle. One of the methods to reduce this flow noise is to attach a compliant layer on the surface of the vehicle. In order to observe the possibility of noise reduction in the water when the compliant layer treatments are applied on the surface, three types of specimens those are a bare steel plate, a steel plate coated with neoprene and a steel plate with polyurethane coating material are tested at various flow speeds in a low noise cavitation tunnel. This paper presents the results of measurements and analysis of wall pressure fluctuations which is a main source of flow noise, within the turbulent boundary layer on three specimens. Its results could be shown that about 10dB reduction of wall fluctuation pressure at high frequencies was achieved due to the dissipation of turbulent energy by the compliant coating while it makes the turbulent boundary layer thicker and changes the behavior of turbulent flow in the layer.

*Key words:* Turbulent boundary layer, Compliant layer, Wall pressure fluctuation, Flow-induced noise

*ASK subject classification:* Underwater Acoustics (5.4)

## I. 서론

체 유동은 운동체 표면에 변동압력을 발생시킨다. 이 때 수중운동체의 속력이 수중 음속에 비하여 현저하게 낮을 경우, 난류 경계층 내 변동압력이 직접 음원으로 작용하여 방사되는 소음은 방사 효율이 낮아 그 크기가 작지만, 운동체의 표면이 탄성체이면 변동압력은 탄성체에 기진력으로 작용하여 탄성체 표면을 가진시켜 소리를 발생시킨다. 이를 유체소음이라 하며, 이를 감소시키기 위한 방법들 중 하나로 강체 표면에 유연재를 도포하여 천이 경계층에서의 Tollmien-Schlichting파 에너지를 흡수함으로써 층류에서 난류로의 천이를 지연시키거나, 난류 경계층에서의 마찰저항을 감소시키고 나아가 유체소음을 저감시키는 것이다. 이러한 노력은 1957년 Kramer의 연구로부터 시작하여 현재까지 많은 이론적, 실험적 연구가 수행되어 왔으며 [1], 국내에서는 이 [2] 등이 풍동에서의 실험 결과를 바탕으로 다공성 컴플라이언트 코팅된 벽면에서의 벽면 변동압력의 고주파수 에너지 준위가 3dB 감소한다는 연구 결과를 제시하였다. 그러나 유연재 벽면이 난류 경계층에 미치는 영향이나 난류 경계층 내에서의 구조-유체 상호 작용에 대한 이해가 아직 명확하지 않을 뿐만 아니라 그 효과 역시 필요에 가장 최적화된 조건에서만 나타나고 다른 특성은 오히려 악화되기도 한다. 즉 마찰저항 감소를 위해 유연재를 강체 표면에 코팅하면 난류 경계층 내 비정상 압력과 전단 응력에 의해 유연재 표면 변형이 생기고, 이 변형에 의해 난류 구조가 변하게 되며 이 응답 특성이 안정적 혹은 불안정하게 된다 [3].

본 연구에서는 수중에서 유연재 코팅된 평판에서의 난류 경계층 내 벽면 변동압력의 변화 특성을 알아보기 위하여 유연재가 부착되지 않은 강판과 일반 감쇠재인 Neoprene 및 폴리우레탄 재질의 유연재를 코팅한 강판 등 모두 3종류의 시편을 제작하고 저소음 공동수조에서 난류 경계층 내 변동압력을 측정하고 그 결과를 비교 분석하여 보았다.

## II. 시험장치 구성

시험은 (주)삼성중공업 내덕선박연구센터 저소음 공동수조의 소형 시험부에서 수행되었다. 소형 시험부의 단면은 가로, 세로의 길이가 1.2m인 정방형이며 시험부의 길이는 6.0m이다. 터널의 최대 유속은 28m/s이며, 중앙부 단면 근처에서의 유속 불균일도는 1.0% 미만이다.

표 1. 유연재 물성치

Table 1. Material Properties.

물성치	유연재	Neoprene	PU19
밀도( $kg/m^3$ )		1330	1090
표면조도( $\mu m$ )		2.41	3.67
탄성계수(MPa)		13.9	21.2
손실계수( $\eta$ )		1.20	0.35
경도(Shore A)		82	84



그림 1. 삼성중공업(주) 공동수조의 소형 시험부  
Fig. 1. Test Section of cavitation tunnel.

### 2.1. 시험시편

수중운동체의 표면에 부착되는 유연재의 재질에 따른 유체소음 감소 특성을 실험적으로 확인하기 위하여 다음과 같은 시험시편을 제작하였다. 시험시편은 사각평판의 표면에 유연재가 코팅되지 않은 단순한 강판시편, 강판시편의 한쪽 표면에 Neoprene 고무를 유연코팅재로 부착한 Neoprene 코팅시편, 그리고 폴리우레탄 재질의 유연코팅재를 부착한 PU19 코팅시편으로 구성된다. 강판시편은 551mm×569mm의 크기와 5mm의 두께의 스테인리스 스틸이며, 유연코팅재는 강판시편과 동일한 크기를 가지며 두께는 9.6mm로 이루어져 있다. 코팅시편 제작 시 강판시편과 유연코팅재는 접착제를 사용하였으며, 접촉면 내부에 공기가 포함되지 않도록 주의하였다. 사용된 유연재의 물성치는 표 1과 같다.

### 2.2. 측정시스템의 구성

난류 경계층 내의 유속 분포는 TSI사의 Argon-Ion 방식의 LDV (Laser Doppler Velocimetry)시스템을 사용하여 측정하였으며, LDV 렌즈의 초점거리는 1100mm, 빔 간격은 50mm이다. 시험시편 위 난류 변동압력을 측정하기 위해서 유동의 흐름방향으로 6개의 압력 센서(E1~E6)를 40mm 간격으로 설치하였으며, 모든 센서는 유동 흐름의 수직방향으로 시편의 중심부에서 50mm 떨어져 위치되어 있다 (그림 2). 압력센서는 strain-gauge

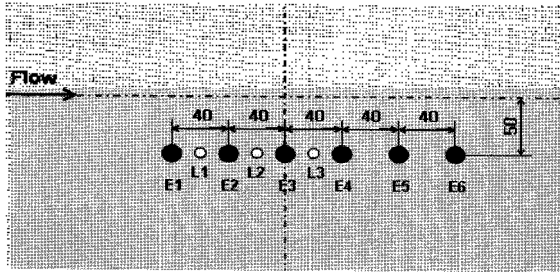


그림 2. 시험시편 내 계측지점  
Fig. 2. Measurement positions on the tested plates.

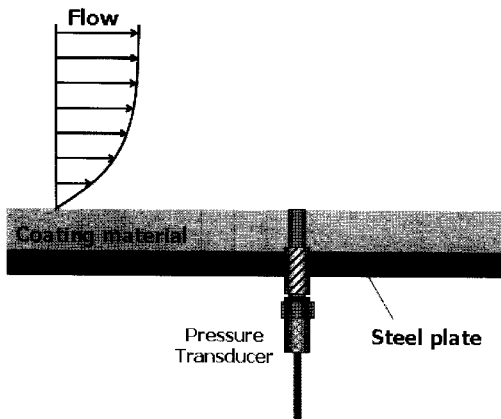


그림 3. 난류 변동압력 센서 설치  
Fig. 3. Positioning of a wall fluctuation pressure sensor.

타입으로 Entran사의 모델 EPE-L1로써 flush-mount 방식으로 그림 3과 같이 설치되었다.

압력센서의 계측신호는 Procom사의 앰프로 증폭되고, Nicolet사의 Compass 신호분석기에 의해 벽면 변동압력을 20kHz까지 분석하였다.

### III. 시험결과

#### 3.1. 난류 경계층 내 유속 분포 계측

시험시편은 그림 4와 같이 공동수조 내 소형 시험부의 시작점으로부터 유동 후류 방향으로 5m 떨어진 지점의 벽면에 설치되었으며, 시편 위의 경계층 유속 분포 및 경계층 두께는 LDV 시스템을 사용하여 측정하였다. 경계층 내 유속은 시험시편 벽면에서 100mm 이내의 유속변화가 급격한 영역에서는 1mm 간격으로 계측하고, 유속변화가 작은 영역에서는 5mm 이상의 간격으로 계측하였다. 3종류의 시험시편에 대한 계측은 4, 8, 12m/s의 3가지 유속 조건에 따라 그림 2에 표시된 바와 같이 압력센서 사이에 위치한 L1, L2, L3 3지점에서 이루어졌다. 동일한 시험시편에 대해서는 그림 5와 같이 유속 분포가 동일하게 측

정되었으므로, 시편의 표면에는 난류 경계층이 균질하게 발달한 것으로 판단할 수 있다.

유연제의 종류별 난류 경계층 특성을 알아보기 위하여 강판시편, Neoprene 코팅시편 및 PU19 코팅시편의 유속 12m/s에서의 경계층 내 유속을 시험 유입속도로 무차원화하여 logarithmic scale로 표시하고 그 결과를 그림 6에 나타내었다. 이 그림에서 살펴보면 시편의 종류에 따라 logarithmic layer 영역은 뚜렷하게 구별되지만, laminar sublayer 영역은 확인되지 않았다. 유속 분포 계측에 사용된 LDV 렌즈의 초점거리가 약 1100mm이며, 투명 아크릴 창을 굴절률 (1.34)을 고려한 한계 초점거리 (렌즈 초점거리×굴절률)가 약 1474mm가 되고, 공동수조 내 시험시편의 설치 위치와 LDV 시스템 사이의 거리가 약 1500mm이므로, 3종류의 시험시편 표면에서부터 약 20mm 떨어진 위치 내의 경계층 유속 분포 측정이 불가능하였다. 따라서 LDV에 의해 계측되지 않은 영역의

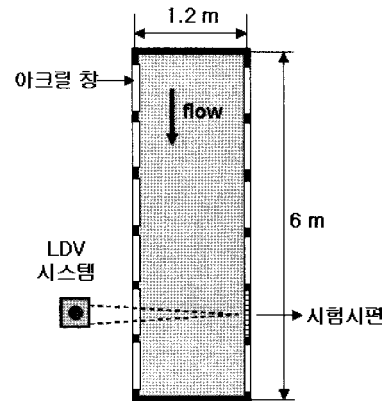


그림 4. 공동수조 내 시험시편의 경계층 유속 분포 측정  
Fig. 4. Measurement of velocity profile of boundary layer on plates in the cavitation tunnel.

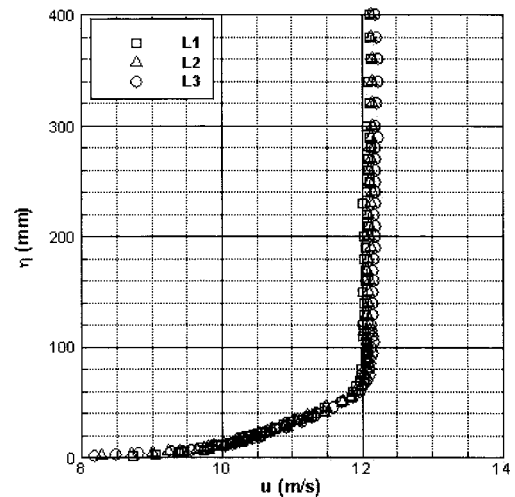


그림 5. 강판시편의 경계층 내 유속 분포 (12m/s)  
Fig. 5. Velocity profile of boundary layer on a steel plate.

표 2. 난류 경계층 파라미터

Table 2. Turbulent layer parameters.

	$U_{\infty}$ (m/s)	$\delta$ (mm)	$\delta^*$ (mm)	$u^*$ (m/s)	$\tau$ (Pa)
w/o coat	4.112	78.50	9.64	0.1754	30.72
Neoprene	4.106	78.50	9.64	0.1752	30.63
PU19	4.137	78.50	9.64	0.1765	31.09
w/o coat	8.173	71.16	8.24	0.2930	85.68
Neoprene	8.171	76.08	9.16	0.3314	109.6
PU19	8.079	76.08	9.16	0.3277	107.2
w/o coat	12.10	66.74	7.45	0.3807	144.6
Neoprene	12.25	82.14	10.4	0.5541	306.4
PU19	12.11	93.11	9.75	0.5946	352.9

유속 분포를 예측할 필요가 있다. 강판시편의 경우 기준이 되는 시편으로써 전체적인 경계층 내 유속 분포가 필요하며, 공동수조 내 설치된 투명 아크릴 창의 표면조건과 동일한 것으로 볼 수 있다. 따라서 시험시편 설치 위치의 반대쪽인 LDV 시스템 바로 앞쪽의 투명 아크릴 창에서 경계층 내 유속을 계측하였고, 강판시편에서 계측된 20mm 이상의 경계층 영역에서의 유속과 잘 일치함을 확인하여 그 결과를 이용하였다. 유연재 코팅 시험시편의 경우 표면조건이 아크릴 창과 다르므로 Reichardt-Clauser 난류모델 [4]을 사용하였으며, LDV에서 계측된 경계층 유속 분포와 사용된 난류모델에 의한 분포가 일치하도록 국부 레이놀즈수를 조절하여 유연코팅재 시험시편에서 20mm 이내의 경계층 유속 분포를 추정하였다.

그림 7은 12m/s 유속조건에서 3종류의 시험시편에 대한 경계층 내 유속 분포 시험 결과와 난류모델을 이용해 예측된 유속 분포 계산결과를 비교한 것으로 모델과 실험치가 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 이를 바탕으로 표 2와 같이 경계층 두께, 마찰속도 및 벽면 전단응력과 같은 유동 요소들을 구하였다. 표 2에서  $U_{\infty}$ 는 유동 유입속도,  $\delta$ 는 경계층 두께,  $\delta^*$ 는 변위 두께,  $u^*$ 는 마찰 속도,  $\tau$ 는 벽면 전단응력이다. 유연재가 부착되지 않은 강판을

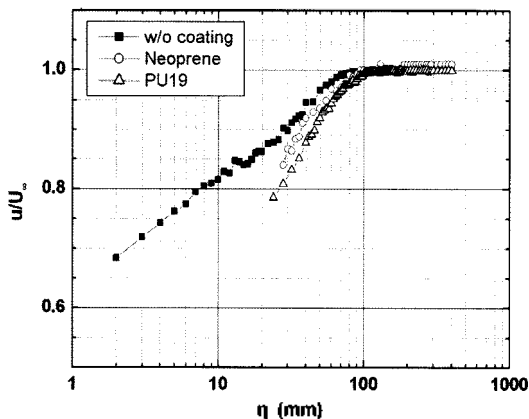


그림 6. 시편의 경계층 내 유속 분포(12m/s)  
Fig. 6. Velocity profiles of boundary layers on tested plates.

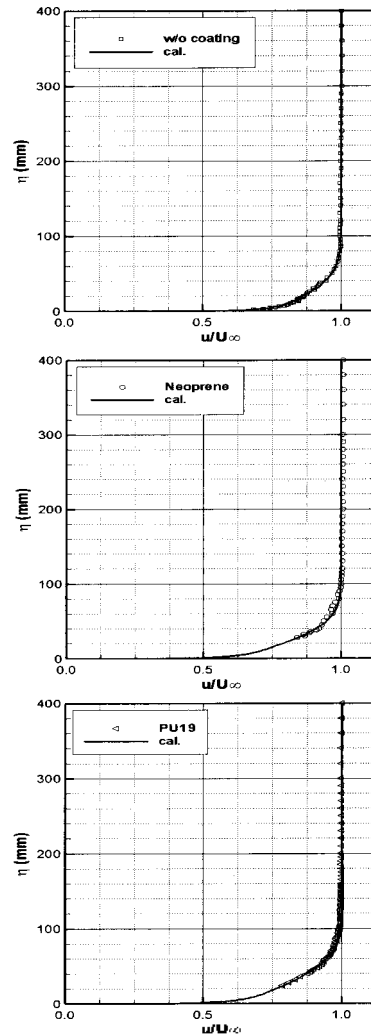


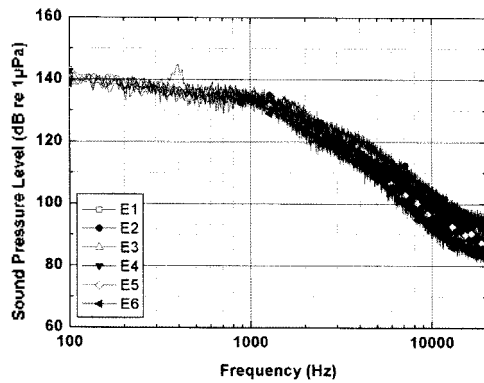
그림 7. 난류모델 및 시험 경계층 유속 분포 비교  
Fig. 7. Comparison of turbulence modeling and measured velocity profiles of steel plate and 2 compliant-layered plates.

기준으로 하여 유연재코팅 시편의 난류 요소 특성을 살펴 보면 경계층은 유연재코팅 시편에서 두꺼워지고, 유연재 표면이 강판에 비하여 매끄럽지 못함으로 인하여 마찰저항이 크게 증가함을 알 수 있다. 이때 표면조건이 경계층 유동에 영향을 미치기 위해서는 어느 정도 이상의 유속에서 가능한 것으로 판단되며, 저속인 4m/s에서는 표면조건이 유동에 미치는 영향이 적음으로 인하여 재질에 따른 경계층 파라미터의 뚜렷한 차이를 확인하기 어려웠다.

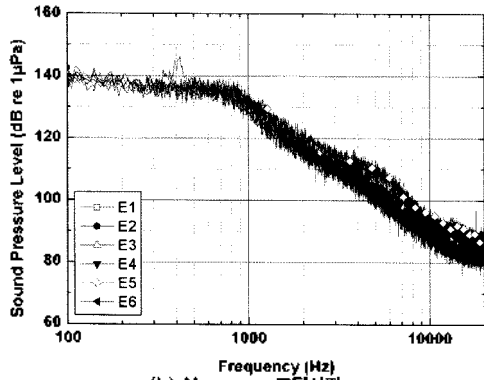
### 3.2. 난류 경계층 내 벽면 변동압력 계측

유속의 변화에 따른 각 시험시편의 난류 유동에 의한 경계층 내부 벽면 변동압력의 측정을 통해 유연재 변화에 따른 유체소음 특성을 비교하기 위해 압력센서를 유동 흐

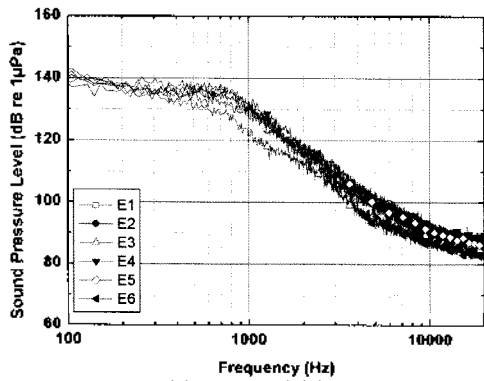
를방향으로 6지점에 등간격으로 설치하고, 각 지점에서 변동압력을 재측하여  $1\mu Pa$ 의 기준음압을 가지는 1Hz 대역폭의 음압 수준 (Sound Pressure Level)으로 표시하였다. 그림 8은 유입 유속 8m/s에서의 측정 결과로 대체적으로 동일한 스펙트럼 형상과 준위를 보이고 있음을 알 수 있다. 난류 경계층 내 벽면 변동압력은 랜덤 성향이 강하여 동일 조건이라 하더라도 특히 고주파수 영역에서는 일반적으로 4~5dB의 차이를 보이고 있으므로, 이들 다수의 압력센서에서 얻어진 벽면 변동압력 특성으로부터 충분히 발달되고 공간적으로 균질한 난류 조건으로 추정할 수 있다.



(a) 강판 시편



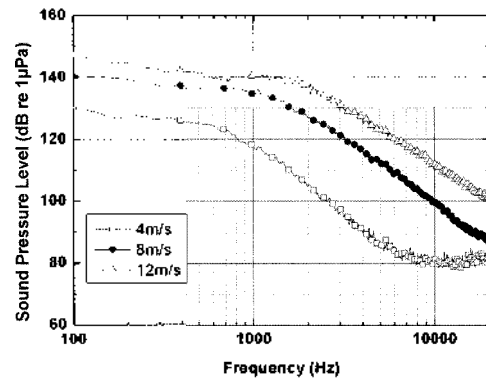
(b) Neoprene 코팅시편



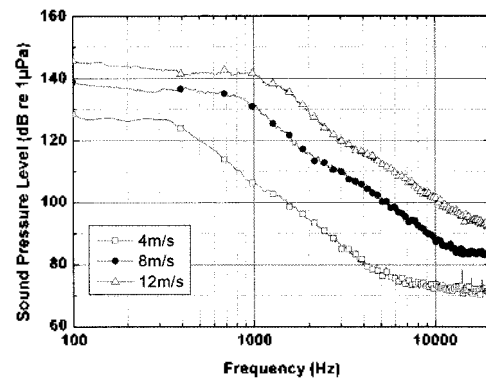
(c) PU19 코팅시편

그림 8. 압력센서 위치에서의 벽면 변동압력 (8m/s)  
Fig. 8. Wall pressure fluctuations at each pressure sensor (8m/s).

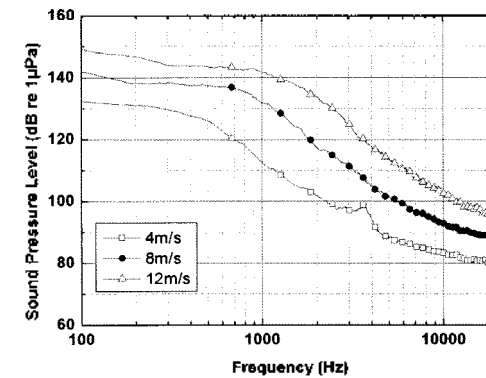
다음으로 각 시편에 대한 변동압력의 유속에 따른 변화 특성을 알아보기 위하여 6지점의 센서 중에서 중앙에 위치한 4번 센서에서의 음압 수준을 그림 9에 나타내었다. 그림에서 음압 수준은 시험 유속이 빨라짐에 따라 변동압력의 준위는 증가한다. 또한 1kHz 부근을 기점으로 저주파수 영역은 일정한 준위를 유지하면서 평평한 형태를 보이고, 그 이상의 고주파수 영역에서는 일정한 기울기를 가지며 압력 준위가 감소한다. 이는 평판위의 균질한 난류 경계층에서의 변동압력의 일반적 경향과 일치한다. 여기서 변동압력의 음압 수준이 평탄한 구역과 기울기를 가지는 구역 사이의 전이 주파수  $f_0$ 는 다음의 관계를 가진다.



(a) 강판시편



(b) Neoprene 코팅시편



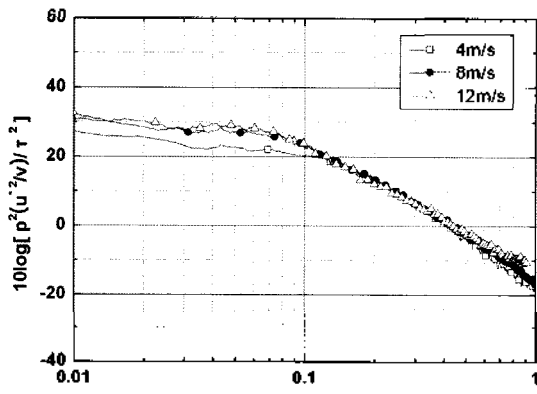
(c) PU19 코팅시편

그림 9. 시험시편에 따른 벽면 변동압력  
Fig. 9. Wall pressure fluctuations of tested plates.

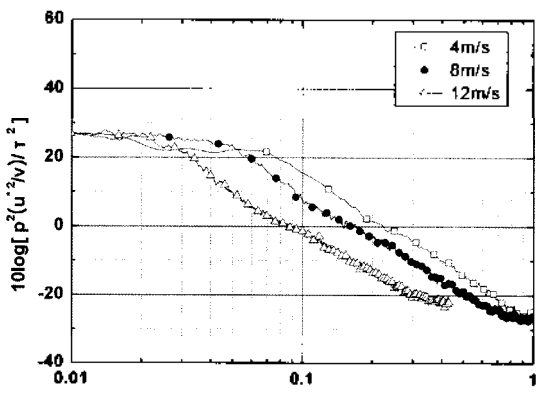
$$f_0 \propto \frac{U_\infty}{\delta}$$

즉 천이 주파수는 난류경계층 두께가 작을수록, 유입유속이 빠를수록 증가한다. 시편 종류별 천이 주파수의 변화 특성을 살펴보면, 동일한 유입유속에서 강판 시편에서의 천이 주파수를 기준으로 할 때, Neoprene 코팅시편과 PU19 코팅시편에서 천이 주파수가 낮아졌다. 이는 표 2에서 알 수 있는 바와 같이 유속별 시편의 경계층 두께는

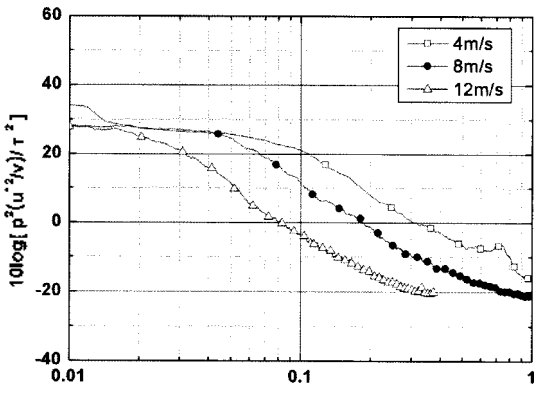
강판에 비하여 유연재 재질에서의 경계층 두께가 두꺼워졌으므로 경계층 두께에 반비례하여 Neoprene과 PU19 코팅시편에서 천이 주파수가 낮아진 것으로 판단할 수 있다. 유체의 유입속도가 낮은 경우에는 모든 시험시편에서의 경계층 내 유속 분포가 유사한 형태를 보이나, 유입속도가 증가할수록 표면 코팅재의 재질에 따라 유속 분포에 차이를 보이는 것은 코팅재에 따라 난류 구조가 영향을 받고 있음을 의미한다. 따라서 경계층 표면 유연재 코팅



(a) 강판시편

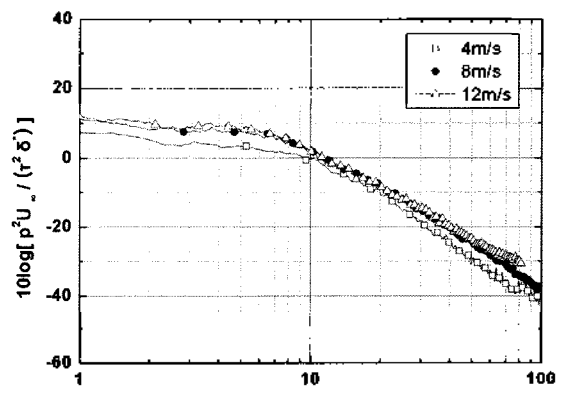


(b) Neoprene 코팅시편

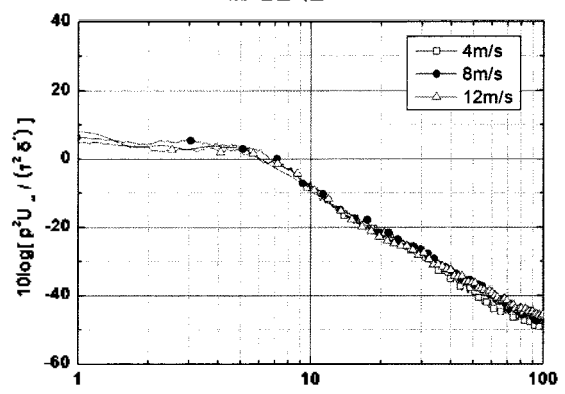


(c) PU19 코팅시편

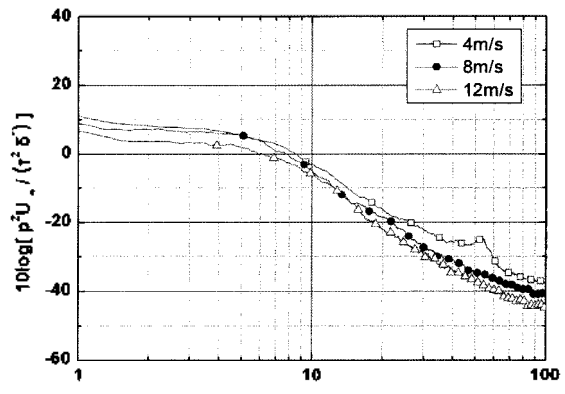
그림 10. 내부변수에 의한 변동압력 무차원화  
Fig. 10. Normalized fluctuation pressure using inner variables.



(a) 강판시편



(b) Neoprene 코팅시편

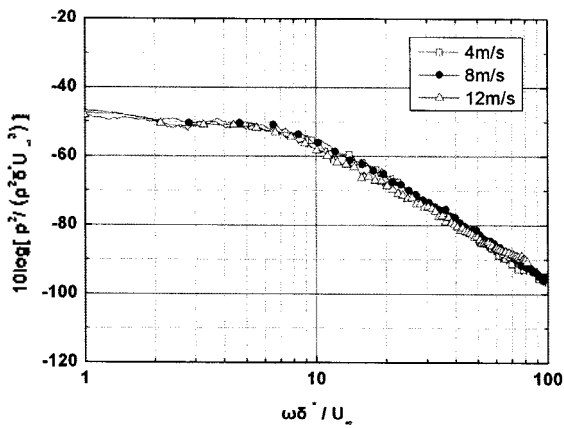


(c) PU19 코팅시편

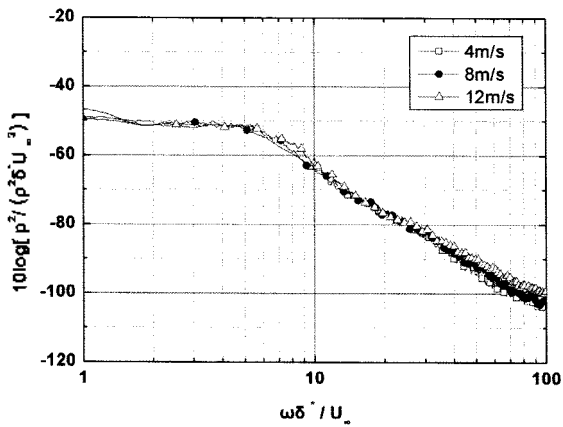
그림 11. 혼합변수에 의한 변동압력 무차원화  
Fig. 11. Normalized fluctuation pressure using mixed variables.

재질에 따른 난류 요소와 난류 변동압력 특성의 상관관계를 알아보기 위하여 표 2의 난류 요소들 이용하여 벽면 변동압력 스펙트럼을 다음의 3가지 종류로 무차원화 하였다 [5].

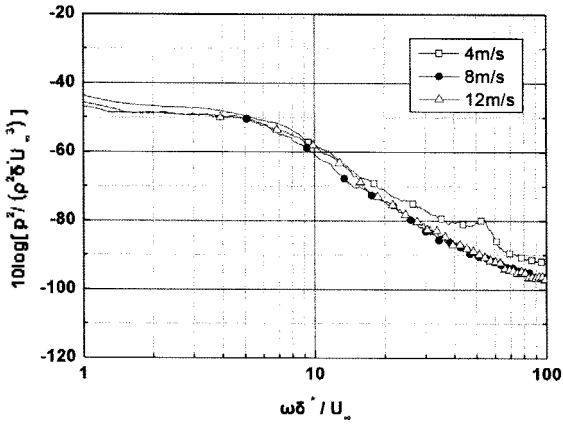
첫째는 난류 경계층 내부변수인 마찰 속도와 벽면 전단 응력을 이용한 무차원화, 둘째는 내부변수인 벽면 전단 응력과 외부변수인 변위 두께의 혼합변수를 이용한 무차원화, 마지막으로 외부변수인 변위 두께와 유체 유입속도를



(a) 강판시편



(b) Neoprene 코팅시편

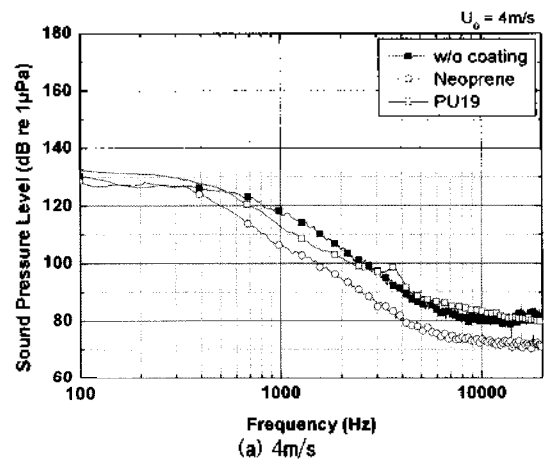


(c) PU19 코팅시편

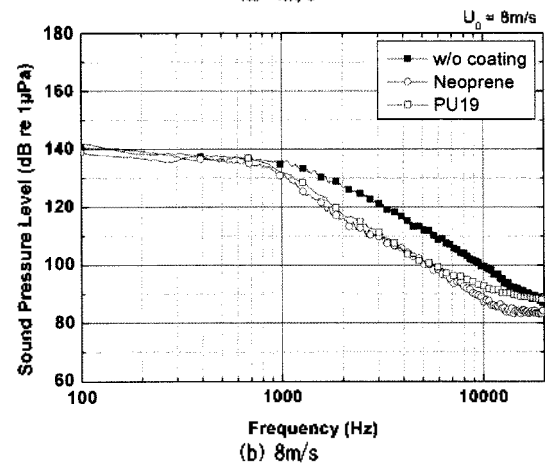
그림 12. 외부변수에 의한 변동압력 무차원화  
Fig. 12. Normalized fluctuation pressure using outer variables.

이용한 무차원화를 수행하고 그 결과를 그림 10, 11, 12에 각각 나타내었다.

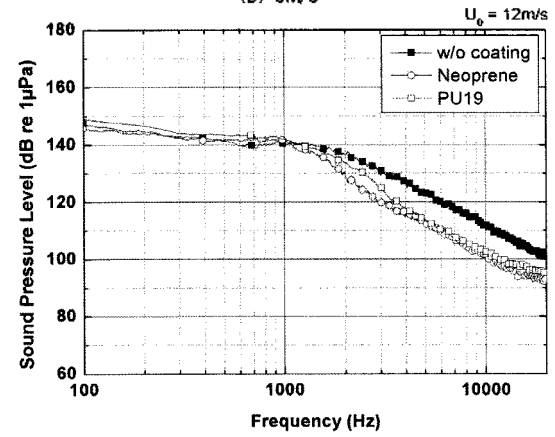
그림 11과 12의 혼합변수 및 외부변수로 무차원화 한 경우는 시편의 종류에 상관없이 곡선들이 잘 수렴한다. 그러나 내부변수 즉 난류 경계층의 지층 요소를 사용하였을 때는 강판시편은 곡선이 잘 수렴하지만, 유연재코팅 시편은 곡선이 수렴하지 않고 상당한 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 이는 유연재 코팅시편은 매끈한 표면 조



(a) 4m/s



(b) 8m/s



(c) 유속 12m/s

그림 13. 유속별 변동압력 준위  
Fig. 13. Wall pressure fluctuations at various flow speeds.

간을 가지는 강판과 다르게 고주파수 대역의 벽면 변동압력을 유발하는 난류 경계층의 저층 구조에 직접적인 영향을 미치어 난류 경계층 저층에서의 유동 구조와 벽면 변동압력과 이상적 상관관계가 더 이상 유지되기 어렵기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 이상적인 표면 조건이 아닌 경우에는 난류 경계층 구조에 직접적인 영향을 미치는 난류 경계층의 저층 구조를 대표하는 내부변수로 무차원화 하는 것이 곤란하고, 오히려 난류의 대형 구조를 대표하는 외부변수를 사용하여 벽면 변동압력을 무차원화 하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

그림 13은 유연재 코팅에 의한 난류 경계층 내 벽면 변동압력의 효과를 분석하기 위하여 동일 유속에서 코팅재 종류별 변동압력의 음압 수준을 비교한 것이다. 여기서 천이 주파수 이하의 저주파수 대역에서는 코팅재와 상관없이 거의 동일한 변동압력 준위를 나타내고 있다. 4m/s 의 유속에서는 표면조건이 난류 경계층의 구조에 영향을 미치는 못하여 강판시편에 비해 유연재코팅 시편의 변동압력 감소 효과를 명확히 구분하기 어려웠다. 그러나 8m/s 이상 유속 시험조건인 천이 주파수 이상의 영역에서는 Neoprene 코팅시편과 PU19 코팅시편은 코팅하지 않은 강판 시편에 비하여 약 10dB 정도 변동압력의 준위가 낮음을 알 수 있다.

이는 Neoprene과 PU19와 같은 내부 감쇠 특성이 있는 재료로 코팅을 하면 코팅을 하지 않았을 때와 비교하여 난류 경계층의 두께는 증가하지만, 천이 주파수 이상의 고주파수 대역에서는 작은 구조의 난류 에너지 일부가 유연재 표면에서 소산됨으로써 변동압력 준위가 낮아지므로 유연재 코팅에 의한 유체소음 저감에 대한 가능성을 확인할 수 있다.

#### IV. 결론

유연재가 코팅된 평판의 수중에서의 유체소음 감소 효과를 분석 파악하기 위하여 유연재가 코팅되지 않은 강판 시편, Neoprene 코팅시편 및 PU19 코팅시편을 제작하고 캐비테이션 터널을 이용하여 시편별 경계층 내 유속 분포 측정 시험과 난류 변동압력 측정시험을 수행하였다.

충분히 발달된 난류 조건하에서 LDV 시스템을 이용한 경계층 내 유속 분포는 4m/s에서는 유연재질에 따른 큰 차이를 보이지 않았지만, 8m/s, 12m/s의 유입 속도에서는 강판시편에 비하여 유연재 시편의 경계층 두께와 벽면

전단응력 등이 증가하였다. 이러한 난류 요소들의 변화가 유체소음에 미치는 영향을 살펴보기 위해 측정된 난류 변동압력 시험 결과, 유연재가 난류 저층 구조에는 영향을 미치지만 유연재의 내부 감쇠 효과로 고주파수 대역에서의 변동압력 준위를 감소시킬 수 있음을 확인하였다.

#### 참고 문헌

1. Mohamed Gad-el-Hak, "Compliant coatings : A decade of progress," ASME Appl. Mech. Rev. 49, 1996.
2. 이창준, 이승배, 권오섭, 전우평, "난류 경계층에서 컴플라이언트 코팅된 벽면과 점탄성 벽면의 방사 소음에 관한 실험적연구," 대한기계학회논문집 B권 제 27권, 제3호, 2003.
3. Mohamed Gad-el-Hak, Ron F. Blackwelder and James J. Riley, "On the interaction of compliant coatings with boundary-layer flows," J. Fluid Mech. 140, 1984.
4. J. A. Schertz, *Boundary Layer Analysis* (Prentic-Hill, 1993)
5. W. K. Blake, *Mechanics of Flow-Induced Sound and vibration* (Academic Press, 1986)

#### 저자 약력

##### • 박 경 훈 (Kyung-Hoon Park)



2002년 : 부산대학교 기계공학부 졸업  
 2004년 : 한국과학기술원 기계공학과 석사  
 2004년~현재 : 국방과학연구소 연구원

##### • 이 승 재 (Seung-Jae Lee)



1998년 : 서울대학교 조선해양공학과 졸업  
 2000년 : 동대학원 조선해양공학과 석사  
 2005년 : 동대학원 조선해양공학과 박사  
 2005년~현재 : 삼성중공업(주) 조선해양연구소 책임연구원

##### • 신 구 균 (Ku-Kyun Shin)



1980년 : 부산대학교 조선공학과 졸업  
 1982년 : 동대학원 조선공학과 석사  
 1988년~1991년 : 동대학원 조선공학과 박사  
 1982년~1987년 : (주)대한조선공사 (현, 한진중공업) 근무  
 1992년~현재 : 국방과학연구소 책임연구원