

# 자유수면에 접한 원형실린더 주위의 유동계측

손창배\* · † 김옥석 · 오우준\*\* · 이창우\*\* · 이경우\*\*\*

\*한국해양대학교 해양공학과, † 목포해양대학교 연구원, \*\*목포해양대학교 대학원,

\*\*\*목포해양대학교 해양시스템공학부 조선해양공학과 교수

## Flow Characteristics around a Circular Cylinder according as the Depth from Free Surface

Chang-Bae Shon\* · † Ok-Sok Gim · Woo-Jun Oh\*\* · Chang-Woo Lee\* · Gyoung-Woo Lee\*\*\*

\* Division of Ocean Engineering, Korea Maritime University, Busan, 606-791, Korea

† Researcher, Mokpo National Maritime Uni., Mokpo, 530-729, Korea

\*\* Graduate student, Mokpo National Maritime Uni., Mokpo, 530-729, Korea

\*\*\* Division of Ocean System Engineering, Mokpo National Maritime Uni., Mokpo, 530-729, Korea

**요약** : 자유수면에 접한 원형실린더는 후류유동에 변화를 초래한다. 이를 위해 회류수조의 수면하 깊이를 변화시키며  $Re=1.0 \times 10^3$ 에서 순간유동장을 계측하여 실험을 통하여 그 영향을 조사하였다. 계측된 결과는 상호상관 PIV기법을 이용하여 원형실린더의 2차원 유동특성을 알아보기 위하여 상호 비교하였다. 자유수면에 의한 원형실린더 주변유동은 후류에 영향을 미친다. 특히  $d=1.0D$ 의 경우에 있어서 경계층은 전체 영역에 걸쳐 분포하였다. 원형실린더의 박리점과 경계층은 수심의 깊이에 따라 제어가 가능하였다.

**핵심용어** : 원형실린더, 유동장, 자유수면, 입자영상유속계,

**ABSTRACT** : The Free surface influenced the wake behind a circular cylinder and its effects were investigated experimentally in a circulating water channel with the variation of water depth. Instantaneous velocity fields were measured in this paper. The measured results has been compared with each other to investigate the flow characteristics of the circular cylinder's 2-dimensional section at  $Re=1.0 \times 10^3$  using 2-frame grey level cross correlation PIV method. The flow around the circular cylinder with free surface affected the wake structure. especially, in case of  $d=1.0D$ , the boundary layer was measured in the whole area. The separation point and boundary layer of the circular cylinder could be controlled by the water depth.

**KEY WORDS** : Circular cylinder, Flow field, Free surface, Particle Image Velocimetry

### 1. 서론

원형실린더는 기하학적 형상이 단순하지만 실제 응용면에서 많은 해양구조물에 적용되기 때문에 주위 유동에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. PIV기법을 적용하여 원형실린더에 크기가 다른 제어봉을 부착하여 제어봉에 따른 근접 후류 유동제어 효과를 계측하였다.(강 등(2008);

김 등(2008); Lee et al(2004)

본 연구에서는 자유수면으로부터 깊이에 따른 원형실린더 주위의 유동특성을 PIV기법을 적용하여 계측하였다. 이를 통해 자유수면에 접한 원형실린더가 경계층 형성에 미치는 영향, 와열의 형성에 미치는 영향 및 깊이에 따른 유동분포를 이해하고자 하였다.

### 2. 실험장치 및 조건

Fig. 1은 원형실린더 모델 주변 유동정보 계측을 위한 PIV시스템의 개략적인 구성도이다. 직진성과 반사성이 우수한 레이

† 교신저자(정회원), domingo@mmu.ac.kr 016-614-3001

\* 정회원 : kaigan@hanmail.net 051-410-4350

\*\* 정회원 : woojunoh@mmu.ac.kr 061-240-7142

\*\* 정회원 : cwlee@mmu.ac.kr 061-240-7142

\*\*\* 정회원 : kwlee@mmu.ac.kr 011-9339-3589

저의 2차원 광원을 계측영역에 조사하여  $1.0^T \times 0.3^B \times 0.3^D$  m<sup>3</sup>의 회류수조영역에서 실험을 수행하였다. 세부적인 실험조건은 table 1과 같이 설정하였다. 실험에 사용된 모델은 Fig. 2와 같이 자유유동(U), 원형실린더 지름(D) 자유수면으로부터 수심(d)을 그림과 같이 정의하였다.

원형실린더 후류의 계측영역은 원형실린더의 지름의 5배 후방까지 유동정보를 계측하였다. 원형실린더 지름에 기초한 레이놀즈수는  $Re=1.0 \times 10^3$ 로 회류수조와 모델형상에 따라 성능 평가에 적합한 자유유동을 적용하였다.

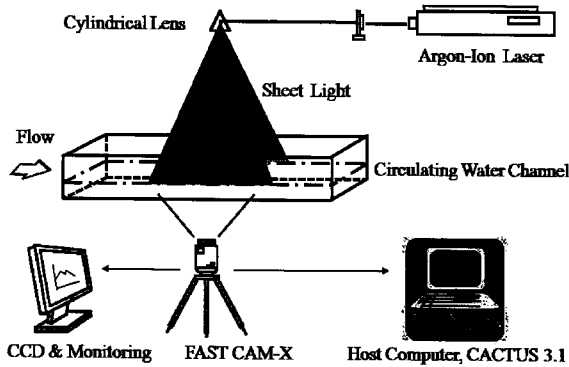


Fig. 1 Schematic arrangement of PIV system

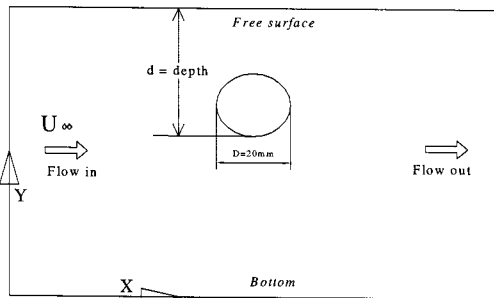


Fig. 2 Coordinate system and model setup

Table 1 Experimental condition

Light source	SLOC laser(GL532H-500mW)
Sheet light	Cylindrical lens(Width=2mm)
Working fluid	Fresh water (13±1 °C)
Time resolution	125 FPS
Grid(X*Y)	100*60
Particle	PVC( $\rho$ : 1.02, $\phi$ : 150 $\mu$ m)
Dimension	Circular Cylinder Diameter : 20mm
Algorithm	2-frame grey-level cross correlation CACTUS v.3.1

### 3. 실험결과 및 고찰

Fig. 3은 원형실린더 주위의 유동가시화한 결과를 나타낸 것이다. Fig. 3(a)는 자유수면에 원형실린더가 50% 노출된 상태에서 유동가시화한 결과이다. 유입되는 자유유동이 원형실린더의 아래 하부를 지나 후방에 작은 경계층을 형성하였다. 유동박리에 의한 실린더 후방에서 경계층 내에서 난류가 발생하는 영역을 확인 할 수 있다. Fig. 3(b)는 자유수면에 원형실린더의 상부가 접하여 완전히 침수된 상태의 유동가시화 결과이다. Fig. 3(a)에 비하여 상당히 넓은 영역의 경계층 영역을 나타냈다. 가시화 영역의 끝단까지 길고 두꺼운 경계층은 자유수면에 접하여 후방으로 갈수록 일정거리까지는 커지는 형상을 나타냈다. 경계층 내의 활발한 유동의 분포는 자유유동이 실린더를 지나면서 박리에 의한 교란성분이 자유수면과 상호작용에 의해 경계층이 증가하는 결과를 보였다. Fig. 3(c)는  $d=1.5D$ 인 경우의 유동가시화 결과이다. 원형실린더 후방에서 발생하는 일정규모의 상하 대칭적인 와의 생성과 후방으로 발달하는 칼만와류의 열이 시작되는 영역으로 나타났다. Fig.

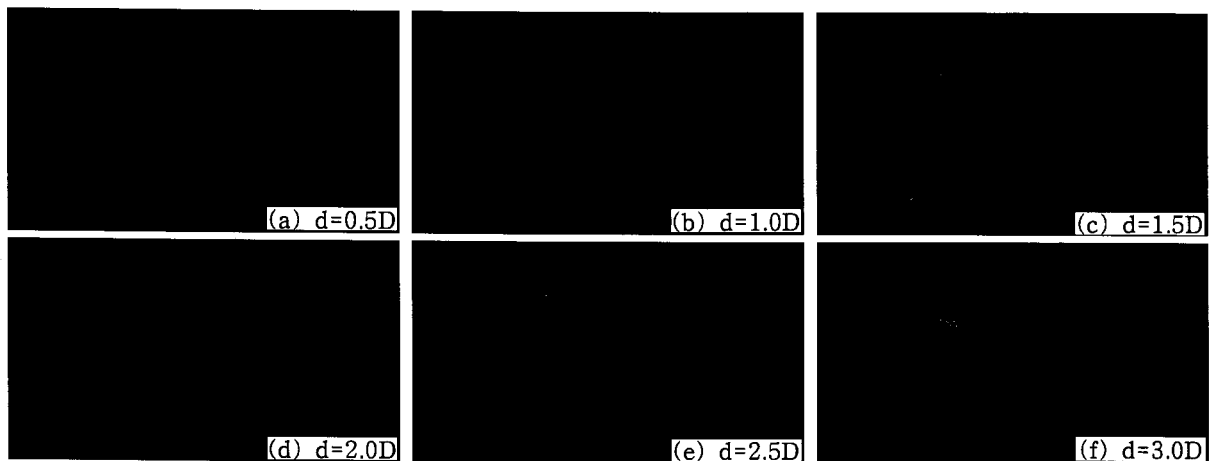


Fig. 3 Flow visualization

3(d)는  $d=2.0D$ 인 경우로 칼만 와류의 열이 선명하게 후방까지 발달하고 있다. 또한 후방에서 발달된 와류에 의한 경계층 영역이 크게 증가하고 있다. 자유수면의 점성마찰에 의한 칼만 와류 흐름에 영향을 미치는 구간으로 나타났다. Fig. 3(e)는  $d=2.5D$ 인 조건에서 유동가시화 결과를 나타낸 것이다. 실린더 후방에서 생성되는 상하 대칭적인 와의 형상과 경계층이 안전된 형태는 보이고 있다. 또한 자유수면의 영향이 미소한 영역으로 나타났다. Fig. 3(f)는  $d=3.0D$ 의 경우의 유동가시화 결과를 나타낸 것이다. 상하로 반복적으로 나타나는 칼만 와류의 형상이 자유수면으로부터 자유로워져 고유의 주파수 영역으로 접어들었다.

#### 4. 결 론

레이놀즈수  $Re=1.0 \times 10^3$ 에서 자유수면으로부터 깊이에 따른 원형실린더 주위의 순간유동 특성을 PIV기법을 적용하여 해석하였다. 이를 통해 자유수면에 접한 원형실린더가 경계층 형성과 와열의 생성과 소멸 메커니즘의 이해를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

자유수면으로부터 깊이  $d=1.0D$ 에서는 경계층의 형성이 뚜렷하게 증가하였으며 난류경계층에 의한 원형실린더 후류에서 음(-)의 분포가 폭 넓게 형성되었다.

원형실린더 후류에서 주기적인 와열의 내부에서는 진동하는 와열의 크기가 큰 부근에서 강한 양(+)의 성분이 발생하였다.

자유수면에 근접할수록 실린더 후류에서는 강한 난류가 발생하였다.

본 연구에서는 원형실린더가 자유수면 부근에 놓여 있을 경우 자유수면에 따른 영향을 집중 고찰하기 위해 일정한 유입 유동에서 순간유동장의 해석을 통해 깊이 단계별로 비교해석하였다. 주기적으로 반복되는 실린더 후류 특성상 평균하여 난류의 세부구조의 이해가 필요하나 본연구에서는 이에 대한 접근은 하지 못하였다. 또한 본연구는 원형실린더형의 해양구조물에 대한 접근시 기초자료로 활용이 가능하리라 이해된다.

#### 후 기

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임

#### 참 고 문 헌

- [1] 강승희, 권오준(2008), "회전 진동하는 원형실린더 주위 유동의 폐쇄효과 연구", 한국전산유체공학회지 제13권 제4호, pp. 33-38.
- [2] 김태운, 현범수(2008), "자유수면을 포함한 슈퍼요트 주위의 점성유동 해석", 대한조선학회논문집 제45권 제3호, pp. 337-343.
- [3] Lee, S. J., Lee, S. I. and Park, C. W.(2004), "Reducing the drag on a circular cylinder by upstream installation of a small control rod", J. Fluid Dynamics Research, Vol 34, pp. 233~250.

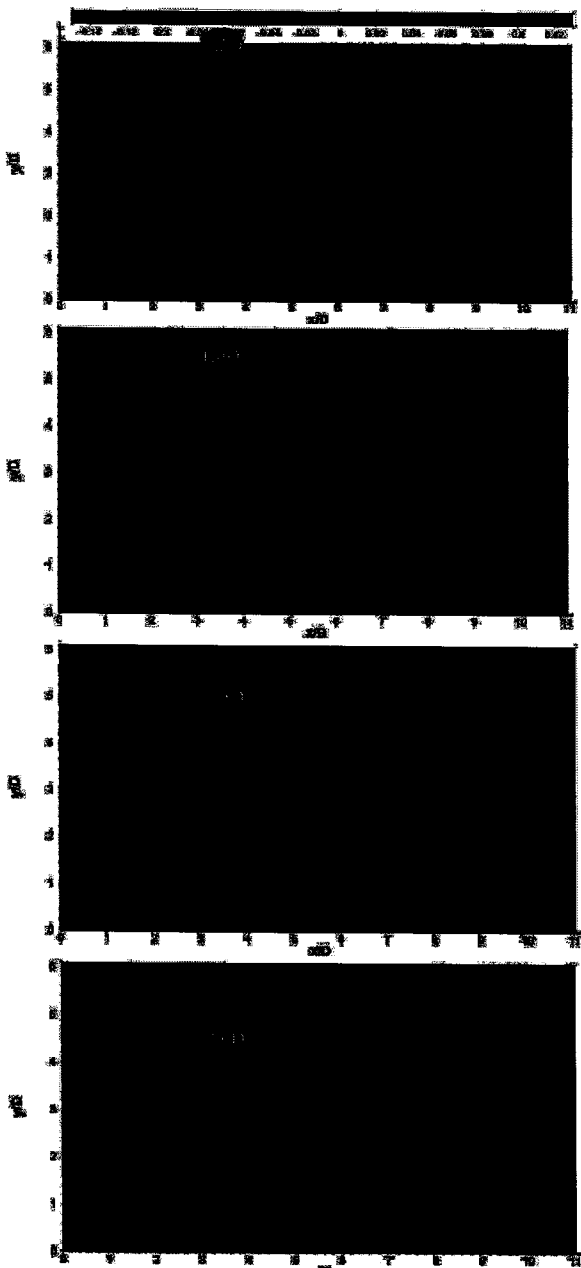


Fig. 4 Velocity field around a cylinder