

해저면에 설치된 2차원 복합해저관로 주위의 유동특성에 관한 실험적 연구

나인삼* · 조철희* · 정우철** · 김두홍*

* 인하대학교 선박해양공학과, ** 인하공업전문대학 조선과

A Study of Flow Pattern around the Two-Dimensional Dual Subsea Pipeline on Sea Bottom

In-Sam Na*, Chul-Hee Jo*, Uh-Chul Jeong** AND Doo-Hong Kim*

* Inha University, Korea, ** Inha Technical College, Korea

KEY WORDS: Dual Subsea Pipeline 복합해저관로, Flow Pattern 유동특성, Manometer 마노미터, Pressure Coefficient 압력계수, Flow Visualization 유동가시화

ABSTRACT: As pipelines are often used to transport gas, oil, water and oil products, there are more than one pipeline installed in the offshore field. The size and space of pipelines are various depending on the design specifications. The pipelines are to be designed and installed to secure the stability to external loads during the installation and operation period. The flow patterns are very complex around the pipelines being dependent on incoming flow velocity, pipelines size and space. To investigate the flow patterns, number of experiment are conducted with visualization equipment in a circulating water channel. The flow motion and trajectory were recorded from the laser reflected particles by camera. From the experiment the flow patterns around spaced pipelines were obtained. Also pressure gradient was measured by mano-meter to estimate the hydrodynamic forces on the behind pipeline. The results show that the various sizes and spaces can be affected in the estimation of external load. The complex flow patterns and pressure gradients can be effectively used in the understanding of flow motion and pressure gradient

1. 서론

해저관로는 주로 연안에서 하나 이상의 복합해저관로로 설치되어 가스나 오일등을 운반하기 위한 용도로 자주 사용되어져 왔다. 해저관로의 크기와 간격 등은 관로의 설계조건들에 대하여 여러 연관성들을 갖게된다 (Jeong et al., 1999; Hong, 2000). 해저관로는 설치기간 동안 외부의 하중으로부터 충분한 안정성을 갖도록 설계되어야 할 뿐 아니라 설치 후 시스템의 역할을 안정적으로 수행하여야 한다. 이렇게 설치된 해저관로의 주위에는 해류의 유입속도와 해저관로의 크기 및 간격등에 의하여 복합적인 유동특성이 나타난다. 이러한 유동특성들은 해저관로의 안정성에 영향을 미치므로 유동특성들을 고려하여 해저관로의 안정성을 유지할 수 있는 설계가 이루어져야 한다. 지금까지 선행되어온 연구들은 대부분 원형실린더의 상하이동에 의한 평판사이와의 간극비(Gap Ratio)에 따른 원형실린더의 유동특성을

실험을 통하여 측정하고 해석하는데 중점적으로 수행되어져 왔다(Bearman et al., 1978). 공학적인 관점에서 볼 때 이러한 유동특성들은 원형실린더의 진동을 발생시키고 유체력등에 대해서도 큰 연관성을 갖게된다(Lei et al., 1999).

본 연구는 평판 위에 상류쪽 실린더의 직경과 같은 간격을 둔 2개의 실린더의 직경과 유체의 유입속도를 변화시켜가며 상류쪽 실린더에 의하여 발생하는 하류쪽 실린더의 압력변화 및 상호간섭에 의한 유동특성을 인하공업전문대학의 회류수조에서 모형실험을 통하여 분석하였다. 실린더 주변의 유동 특성은 입자를 주입시키고 레이저 시트(Laser Sheet)를 주사하여 관찰하였다. 실린더에 작용하는 압력은 마노미터를 이용하여 측정하였다

2. 실험방법

2.1 실험 조건 및 모델

본 연구는 $0.4\text{m/s}(Re=1.34 \times 10^4)$ 와 $0.7\text{m/s}(Re=2.35 \times 10^4)$ 의 유속에서 상류쪽 실린더의 직경을 30, 60, 90 mm로 변화 시켜가며 수행하였다. 평판의 리딩 엣지(leading edge)에 의한 영향을 줄이기 위하여 30° 의 탭(Tap)을 주었고, 리딩 엣지로부터 1.5 m 떨어진 곳에 설치하였다. 실린더간의 거리는 외경과 외경사이가 상류쪽 실린더의 직경(D)과 같은 거리인 1D의 거리를 두고 수행하였다. 실린더 주위의 압력측정은 하류쪽 실린더에 마노미터를 설치하여 측정하였다. 그림 1은 실험 장면을 나타내며 그림 2는 개략적인 실린더의 배열상태를 나타낸다.



그림 1 압력계측 실험장면

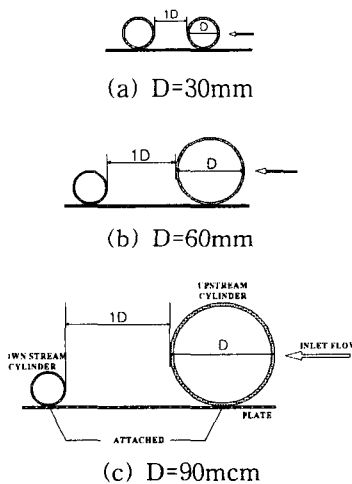


그림 2 실험모델 설치 개략도

2.2 압력 계측 장비

실린더 주위의 압력 분포를 계측하기 위하여 실린더를 평판 위에 고정시킨 후 유동의 간섭 효과를 배제하기 위하여 평판 지지대를 하부에서 고정하도록 설치하였다. 고속의 유체 흐름으로 발생 가능한 진동 또한 고려하여 모형을 제작 및 설치하였다. 압력은 실린더 주위에 45° 간격으로 8개의 홀에 압력 탭(TAP)을 부착하여 연결된 마노미터로 계측하였다. 270° 에 위치한 홀은 평판에 접합되는 홀로서 압력계측에서 제외하였다. 그림 3과 그림 4는 각각 실린더의 각 압력 탭(TAP)의 위치와 각 압력 탭(TAP)과 연결되어 압력을 측정하는 마노미터를 보여준다.

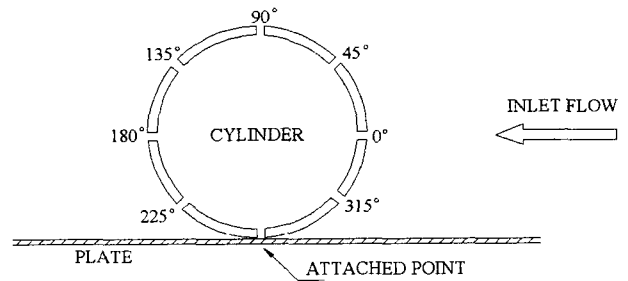


그림 3 실린더의 각 압력 탭(TAP)의 위치

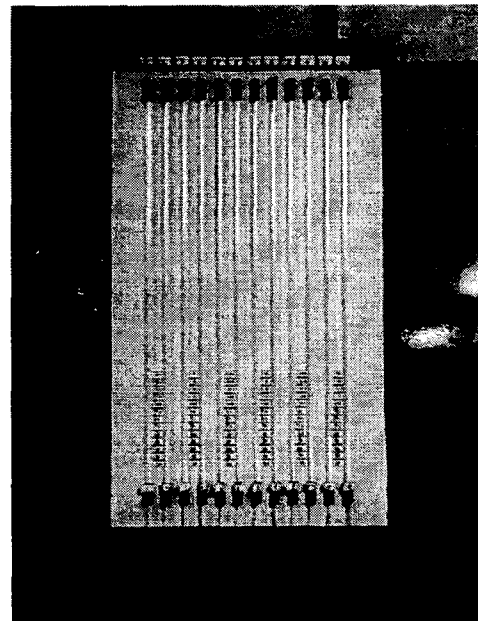


그림 4 마노미터(Manometer)

2.3 가시화 장치

유동가시화를 위하여 레이저 시트 빔(Laser Sheet Beam)을 주사하고 이 유동장의 정보를 획득하기 위해 물과 비중이 동일한 입자(Polyvinyl Chloride, 직경: 100~200 μ m)를 주입하고 이를 카메라로 촬영하였다. 사용된 장비의 제원은 다음의 표 1과 같으며 실험 촬영 조건은 표 2와 같다.

표 1 장비의 세부 제원

Devices	Specification
Ar-ion Laser	Omnichrome 社, 543-499MA, 454~514 nm, 9 lines, 500mW
VTR	Panasonic 社, AG-7350

표 2 유동특성 촬영조건

필름	셔터스피드	노출
ASA400	1/4 sec	2.8

그림 5는 유동가시화 촬영을 위한 시스템의 개략적인 구성도를 나타낸다.

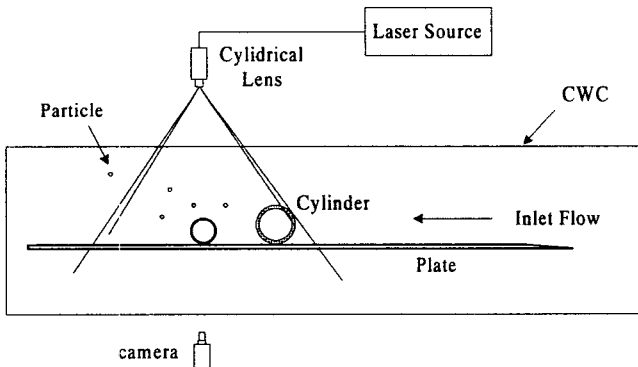


그림 5 가시화 실험장비의 개략도

3. 실험의 검증

본 연구에서 계측된 압력은 (1)식으로 무차원화하여 평균압력(time-averaged pressure)을 사용하였다(신, 1994).

$$C_P = P / \frac{1}{2} \rho V^2 \quad (1)$$

본 연구는 직경이 30 mm인 실린더에 대하여 레이놀즈 수 $1.34 \times 10^4 \sim 2.35 \times 10^4$ 범위에서 실험을 수행하였으며 검증을 위하여 Bearman(1978)이 수행하였던 실험과 동일한 평판위의 단일 실린더주위의 압력분포를 비교하였다. 그림 6은 본 실험의 레이놀즈 수 2.35×10^4 에서 나타난 결과와 비교한 그래프로써 여기에서 보는 바와 같이 두 결과가 유사한 경향을 나타냄을 알 수 있다.

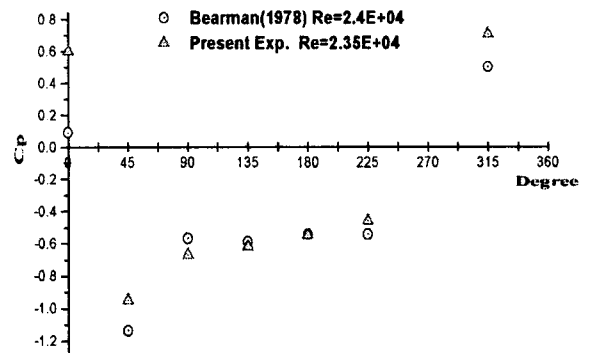


그림 6 실험의 검증

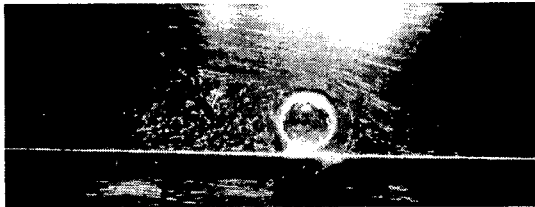
4. 결과 및 토론

그림 7~10은 각각의 유속에 대한 실린더주위의 유동특성을 보이고 그때의 압력분포는 그림 11에 나타내었다. 그림 7의 단일 실린더주위의 유동특성에서 보는 바와 같이 유속 0.4m/s에서는 유동박리현상이 실린더의 90° 부근에서, 그리고 유속 0.7m/s에서는 135° 부근에서 나타나는 것을 볼 수 있다. 또한 유속이 증가할수록 후류 영역이 가늘고 길게 뻗어나가는 경향을 나타낸다. 그림 8은 상류쪽 실린더의 직경이 30mm인 경우로 두 실린더 사이에서 후류 영역이 형성된다. 유속이 0.4m/s일 경우에는 상류쪽 실린더에서 떨어져 나온 vortex가 실린더에 부딪치는 현상이 발생한다. 0.7m/s일 경우에는 하류쪽 실린더가 상류쪽 실린더의 후류 영역 내에 놓여지는 현상이 발생한다. 그림 9는 직경이 60mm인 경우로 0.4m/s에서는 후류영역이 넓게 형성되고 변화가 심한 유동특성이 나타난다. 0.7m/s에서는 좁은 후류 영역이 형성되며 저속에 비해 유동특성의 변화가 감소하는 경향이 나타난다. 그림 10은 직경이 90mm인 경우로서 0.4m/s에서는 넓은 후류 영역이 형성되며 상류쪽 실린더에서 떨어져 나온 vortex에 의해 심한 간섭을 받게 된다. 0.7m/s에서는 후류 영역이 좁아지면서

상류쪽 실린더에 의한 간섭이 영향을 저속에 비해 감소하는 현상이 나타난다.

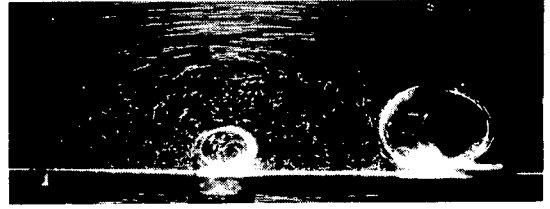


(a) $V=0.4\text{m/s}$

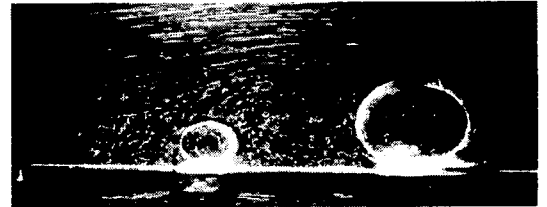


(b) $V=0.7\text{m/s}$

그림. 7 실린더주위의 유동특성 (단일 실린더)

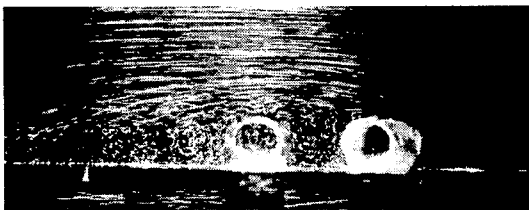


(a) $V=0.4\text{m/s}$

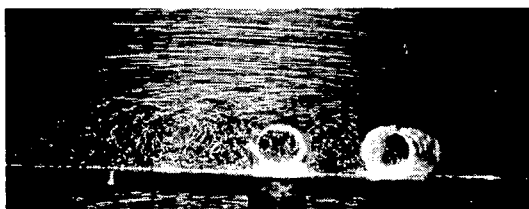


(b) $V=0.7\text{m/s}$

그림. 9 실린더주위의 유동특성(D=60mm)



(a) $V=0.4\text{m/s}$

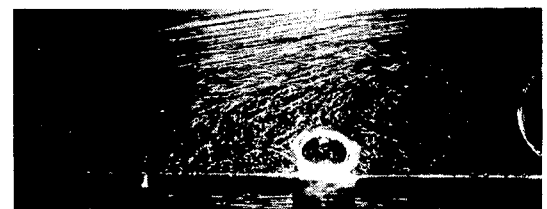


(b) $V=0.7\text{m/s}$

그림. 8 실린더주위의 유동특성 (D=30mm)



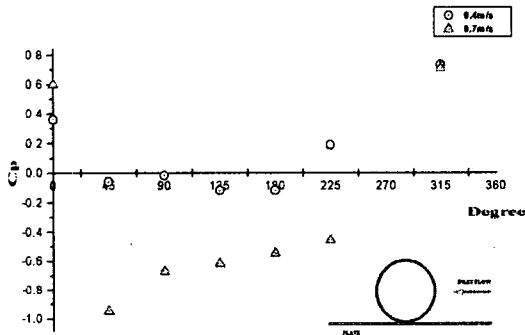
(a) $V=0.4\text{m/s}$



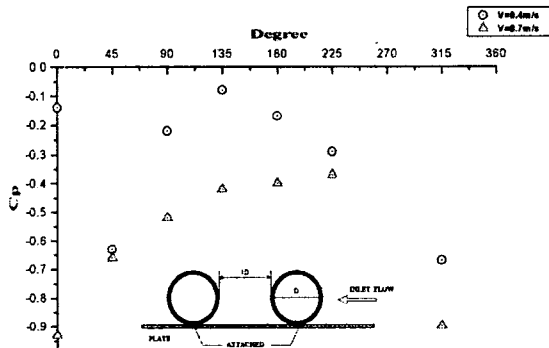
(b) $V=0.7\text{m/s}$

그림. 10 실린더주위의 유동특성(D=90mm)

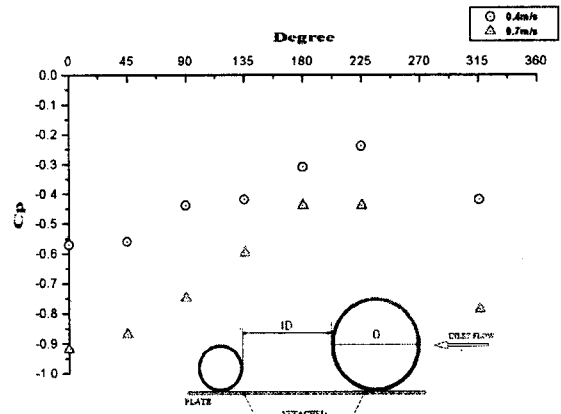
그림 11은 각각의 경우에 대한 하류쪽 실린더에서의 압력분포이다. 일반적으로 유속이 증가할수록 압력은 낮아지는 경향을 나타낸다. (a)는 단일 실린더의 유속에 대한 압력변화를 나타내며 0.7m/s일때 그림 7에서 보는 바와 같이 45° 부근에서 빠른 유속으로 인하여 그 위치에서의 압력이 가장 낮아지는 경향이 나타난다. (b)는 상류쪽에 직경이 30mm인 실린더가 놓여져 있는 경우로 유속 0.4m/s에서 45° 부근의 압력값이 낮아지는데 그림 8과 같이 상류쪽 실린더에서 떨어져 나온 vortex의 직접적인 영향으로 인한 간섭현상 때문으로 보여진다. (c)는 직경이 60mm인 실린더가 놓여진 경우로 그림 9와 같이 저속에서 간섭의 영향을 많이 받는다. (d)는 실린더 직경이 90mm인 경우로 저속에서 고속에 비해 압력변화가 많이 나타나는데 그 이유는 그림 10과 같이 저속에서 나타나는 보다 많은 간섭에 의한 영향때문인 것으로 판단된다. 전체적으로 볼 때 상류쪽 실린더의 직경과 유속이 증가할수록 하류쪽 실린더의 전체적인 압력은 낮아진다. 또한 유속이 증가할수록 상류쪽 실린더의 직경변화로 인한 하류쪽 실린더의 압력변화가 상대적으로 감소하는 경향을 나타낸다.



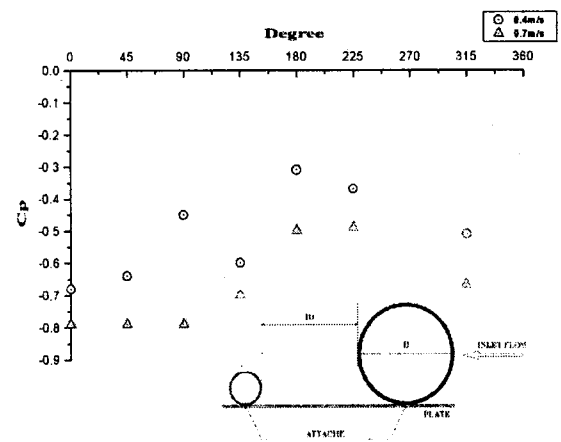
(a) 단일 실린더



(b) 직경 30mm



(c) 직경 60mm



(d) 직경 90mm

그림 11 유속에 따른 Cp값의 변화

5. 결론

본 연구에서는 유동가시화 장치를 이용하여 실린더의 주위의 유동 특성을 분석하였고 마노미터를 이용하여 평판위의 실린더 주위의 압력분포를 계측하였다. 그에 따른 결론은 다음과 같다.

1. 상류쪽 실린더의 직경과 유속이 증가할수록 하류쪽 실린더 주위의 압력은 낮아진다.
2. 고속에서는 상류쪽 실린더의 직경변화가 하류쪽 실린더의 압력변화에 주는 영향이 저속에 비하여 상대적으로 적어진다.

평판위 실린더의 간섭에 의한 유동특성 및 압력변화는 일정 범위내에서 해저 파이프라인 설계에 중요한 설계인자가 될 것으로 사료되며, 향후 수치해석 및 PIV를 통한 세밀한 분석이 요구된다.

참고문헌

- 신수철(1994). "회류수조에서 원주주위의 압력측정", 보고서, 삼성중공업 대덕중앙 연구소
- 홍성근(2000). "PIV를 이용한 매설 구간의 해저 파이프라인 안정성 해석", 석사논문, 인하대학교 선박공학과.
- Bearman, P. W. and Zdravkovich, M. M.(1978). "Flow around a circular cylinder near a plane boundary", J. Fluid Mech, Vol. 89, part 1, pp. 33-47.
- Cheng, C. Lei. and Kavanagh, K.(1999). "Numerical Flow Visualization of Vortex Shedding Flow Over a Circular Cylinder Near a Plane Boundary", Vol.II, Proc. of the 9th. International Offshore and Polar Engineering. Conference.
- Jeong, W. C., Park, C. W., Jo, C. H. and Hong, S. G.(1999). "Experimental Study of Flow Pattern around Circular Body on Seabed", 7th Symposium on Non-linear and Free Surface Flows, pp. 21-24, Hiroshima, Japan.