

해양 원주구조물에 작용하는 파력에 관한 연구 (i)- 2개의 수직원주-

A Study of Wave Forces Working on Oceanic Cylinder Structures

민 병 평 (동아대학교 교수)

한 건 로 (동아대학교 소교수)

이 승 취 (동아대학교 대학원)

I 서 론

1. 연구목적 및 범위

최근 200해리 경제수역의 설정과 영해의 확대로 세계의 동양은 해양공간의 신유에 접하고 있다. 이러한 해양의 점유는 식유자원을 주로하여 해양광물 자원의 개발확보 또한 수산자원의 보호증산에 있어서 중요한 의미를 갖고 있으며, 이러한 인식은 공물복식개성성을 반영시켜 주고 있다.

우리나라에서도 7 광구와 인도네시아의 마두라 유전개발을 위하여 노력하고 있다.

이와같이 해양개발을 추진하는데에는 개발의 거점으로서의, 역할을 하는 해양구조물의 설치가 제일 중요하다고 말할 수 있다.

이런 해양구조물을 설치할 해양공간은 자연조건상 가장 어려운 환경에 있으므로 안전하고 합리적인 해양구조물의 설계법 확립이 요망된다.

이러한 사회적 배경에 따라서 본 연구에서는 해양구조물의 설계외력에 중요한 인자인 작용파력의 특성을 고려하고자 한다.

이러한 해양구조물에 있어서는 그의 지지방법에는 부채식 해양구조물과 접직식 해양구조물의 2 종류로 분류할 수 있다.

본 연구에서는 식유의 생산용 Platform 에서 많이 쓰고있는 원주 Pile 의 접직식 해양구조물을 대상으로 하였다.

2. 종래의 연구

MacCamy와 Fuchs¹⁾의 단원주에 대한 회절이론과 Morriison 등의 실험식을 원주로 복의 원주형상을 중심으로 많은 연구가 행해져 왔다.

Keulegan - Carpenter²⁾는 U 형관을 사용하여 Standing Wave 가 원주에 가하는 압송을 실험에 의해 규명하였으며, Morrison 식의 계수들 (관성계수 C_M 과 저항계수 C_D) 이 하나의 무차원수 즉 $K - C$ (Keulegan- Carpenter) 의 함수인 것을 밝혔다.

Spring 과 Monkmeier³⁾ Chakrabarti⁴⁾는 2개의 원주에 작용하는 파력을 회절이론에 의해 구하였으며, McIver 와 Evans⁵⁾는 같은 문제에 대하여 더욱 단순화된 계산식을 유도하였다. Chakrabarti^{6,7)}는 비교적 큰 $K - C$ 에 있어서 C_M, C_D 값을 복수원주의 실험으로 구하였으며, Chakrabarti 는 항력을 원주와 그 아중계수상 구하였다.

매수에삽긴 Pile 은 보통 4개 또는 그 이상의 복수로 되어 있으며, 그 배치에 많은 차이가 있어서는 이러한 제 조건들을 충분히 고려하여야 할 것이다.

본 연구에서는 2개의 원주 Pile 로 단순화시켜 Pile 의 직경, Pile 간의 거리 및 파도

제 조건(방향, 주기, 파고등) 등을 변화시켜 가면서 실험을 행하고 외절이론에 따른 여러가지의 형태를 갖고있고, 작용하는 파의 진행방향도 일정하다고 할수없는 실제실험계의 수직적산결과와 비교하여 항력 및 양력계수등을 구하여 보았다.

II 원주 구조물에 작용하는 파력특성

1. 단원주의 경우

MacCamy 와 Fuchs¹⁾의 외절이론에 의하면, 단원주에 작용하는 파진행방향의 파력 F_x 는 다음과 같은 식으로 표시될 수 있다.

$$F_x = \frac{\pi}{2} \rho R H a^2 \tanh Kh e^{-i(\omega\pi - \alpha)} C_x$$

여기서

ρ : 물의 밀도

g : 중력 가속도

H : 파고

a : 원주의 반경

K : wave number; $gK \tanh Kh = \omega$

h : water depth

ω : wave 의 angular frequency = $\frac{2\pi}{T}$

α : 시간 t 의 기준에 따른 위상

C_x : 마중계수 (진행방향)

$$C_x = \frac{4}{\pi} \frac{1}{Ka^2} \frac{1}{\sqrt{J_1(Ka)^2 + Y_1'(Ka)^2}}$$

J_1 : Bessel function of the first kind of order 1

Y_1 : Bessel function of the second kind of order 1

T : Period of wave

J_1 과 Y_1 의 성질인

$$\lim_{ka \rightarrow 0} J_1'(Ka) = \frac{1}{2}$$

$$\lim_{ka \rightarrow 0} Y_1'(Ka) = \frac{2}{\pi (Ka)}$$

를 이용하면 C_x 은 작은 ka 에 대하여 다음과 같은 수렴치를 가짐을 알 수 있다.

$$\lim_{ka \rightarrow 0} C_x = 2$$

2. 2원주의 경우

Chakrabarti⁴⁾의 이론에 따르면 F_x 와 F_y (파진행에 대하여 수직방향의 파력)는

$$F_x = \frac{\pi}{2} \rho R H a^2 \tanh kh e^{-i(\omega t - \alpha)} C_x^2$$

$$F_y = \frac{\pi}{2} \rho g H a^2 \tanh kh e^{-i(\omega t - \beta)} C_y^p$$

여기서

$$C_x^p = \frac{1}{k a} \left[i (A^p - A_{-1}^p) H_1(ka) + i \sum_{q=1}^N \sum_{n=-N}^N A_n^q \left\{ H_{n+1}(kr_{pq}) \exp(i\theta_{pq}) - H_{n-1}(kr_{pq}) \exp(-i\theta_{pq}) \right\} J_1(ka) \exp(in\theta_{pq}) \right]$$

$$C_y^p = \frac{1}{k a} \left[-(A_1^p + A_{-1}^p) H_1(ka) + \sum_{q=1}^N \sum_{n=-N}^N A_n^q \left\{ H_{n+1}(kr_{pq}) \exp(-i\theta_{pq}) + H_{n-1}(kr_{pq}) \exp(i\theta_{pq}) \right\} J_1(ka) \exp(in\theta_{pq}) \right]$$

여기서

A_1^p, A_{-1}^p 다음과 같은 $2 \times (2N + 1)$ 개의 연립 1차 방정식을 풀면 구할 수 있다.

$$\sum_{q=1}^N \sum_{n=-N}^N \left[A_n^q H_{n-m}(kr_{pq}) J_{-m}'(ka) \exp \left\{ i(n\theta_{pq} - m\theta_{pq}) \right\} + A_n^p H_m'(ka) \right] \\ = -J_m'(ka) \exp(ikr_{op} \cos\theta_{op}) \exp \left(\frac{i}{2} m \pi \right)$$

$m : -N, -(N-1), \dots, 0, \dots, N-1, N,$

$p : 1, 2$

$r_{op}, r_{pq}, \theta_{pq}, \theta_{qp}$ 의 관계는 그림. 1에 보여져 있다.

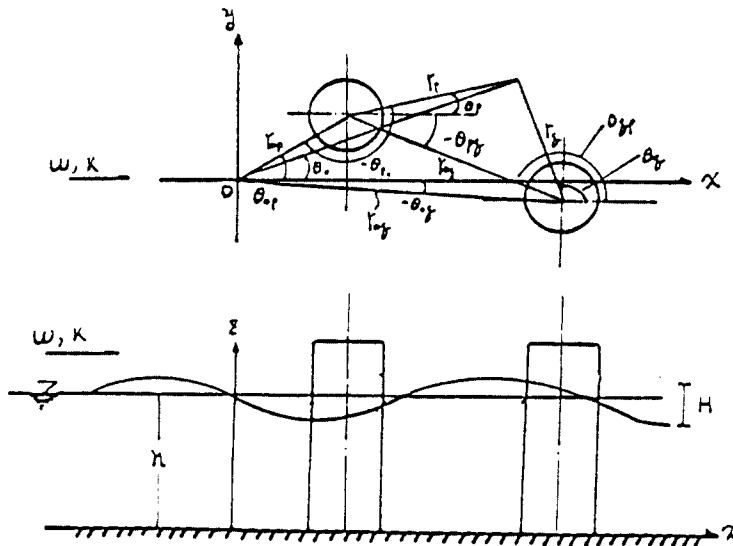


FIG. 1 Geometry of the problem the Coordinate System

III 실험 방법

수조의 상부에 원주의 수와 위치 그리고 방향을 자유로이 선택할 수 있도록 회전판을 설치하고, 파력측정원주의 상부에 4 개의 Strain Gauges 를 부착하고, 어미까지 심본을 진동하여 측정한다.

파력측정에 쓴 원주직경은 $D = 7.6\text{cm}, 4.0\text{cm}, 2.0\text{cm}$ 이고, 수조는 수심을 수평상위로 37cm, 60cm로 하고, 파고측정은 용량식 파고계를 사용하였으며, 파고계는 조파판에서 8.5m 원주는 10m 에 설치해서 수면변동을 측정하였다.

수조는 길이 25.20m, 폭 0.6m 깊이 1.0m 이다.

실험 Case 는 파고 (H) 4.0, 6.0, 8.0, 10.0cm, 주기 (T) 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6sec

원주간격비는 직경에 거리비로 하여 1.1 - 3 으로 두고, 각도 $0^\circ, 22.5^\circ, 45^\circ, 67.5^\circ, 90^\circ$ 로 하여 측정하였다.

IV 실험결과 및 고찰

본 실험은 $K - C$ 의 2 - 22의 범위에서 수행하였으며, 이듬 위하여 원주직경, 파고 및 주기를 변화시켰다.

그림. 2, 그림. 3 및 그림. 4 는 직경 7.6cm의 경우 거리비 및도 쓴 마중계수 C_x 의 값을 각도 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ 에 대하여 Plotting한 것이다 (수치해석과 더불어).

수치해석결과를 보면 파진행방향에 대한 각도가 45° 보다 클 때 마중계수는 거리가 감소할수록 커지며, 그것이 45 보다 작을 때 마중계수는 감소할수록 작아짐을 알 수 있다.

실험결과를 수치해석의 결과와 그런대로 잘 맞고 있다.

실험결과에 있어서 data의 폭이 다소 큰 것은 파가 완전한 정상파가 아니라는 점,

주기의 정수배에 해당하는 파가 중복된 점, 실험에 사용된 원주에 있어서 진동에 따른 문제점, data의 판독상에서 발생하는 오차, 원주의 우류에 발생하는 vortex 등에 그 원인이 있는 것으로 사료된다.

그림. 5 - 그림. 9 은 각도 및 거리등 일정하게 둔 상태에서 $K - C$ number에 따른 C_x 의 변화를 보여 준 것이다.

원칙적으로는 Morrison 식에서의 소위 질량계수 C_m 과 관성계수 C_d 를 구해서 $K - C$ number에 따른 변화를 구해야 하나, 파의 마중의 기록상의 오차로 그것이 불가능하였고,

대신 퇴질이론에 의한 C_x 값의 $K - C$ number 에 따른 변화들 구하였다.

거리가 작은 경우에는 낮은 $K-C$ 에서 C_x 가 각도에 민감한 반응(각도가 증가할수록 C_x 의 값도 증가)을 보이고 있음을 알 수 있다.

그리고 낮은 거리비에서 45° 이상에서는 C_x 가 $K-C$ number 가 증가할수록 감소하고,

그 이상에서는 $K-C$ number가 증가할수록 증가한다.

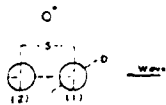
V 결론

본 논문은 해양원주구조물이 작용하는 파력을 수치계산과 실험에 의해서 규명하였다. 두개의 원주가 각도 및 거리를 변화시켜 가면서 여러가지 파를 맞이할 때 발생하는 마중을 Strain gage를 사용하여 측정하고, 이것들을 회절이론에 따른 수치해석결과와 비교검토했다. 검토결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 마중계수는 각도가 45° 보다 클 때 거리가 감소할수록 커진다.
- 2) 마중계수는 각도가 45° 보다 작을 때 거리가 감소할수록 작아진다.
- 3) 마중계수는 낮은거리비에서 각도가 45° 이상에서는 K - C number 가 증가할수록 감소한다.
- 4) 마중계수는 낮은거리비에서 각도가 45° 이하에서는 K - C number가 증가할수록 증가한다.

참 고 문 헌

1. McCamy, R. R. , and Fuchs, R.A. , "Wave forces on pile: A Diffraction Theory", U.S Army Corps of Engineers, Beach Erosion on Board, Tech. Memo. No 69,1954
2. Keulegan, G. H., and Carpenter, L.H., "Forces on Cylinder and Plates in an Oscillating Fluids", J. Research, National Bureau of Standards, Vol. 60, No. 5, Mag. 1968, pp. 423-440.
3. Spring, B.H., and Monkmeyer, P. L., " Interaction of Plane Waves with a Row of Cylinder", Proc. Third Spec. Conf. Civil Eng. in the Oceans, ASCE, Newark, Del., 1975
4. Chakrabarti, S.K., "Wave Forces on Multiple Vertical Cylinders", J. Waterway, No.104, 1978, pp.147-161.
5. Melver P, and Evans, D.V. " Approximation of Wave Forces on Cylinder Arrays", Appl. Ocean Research, Vol. 6, No.2 pp. 101-107, 1974
6. Chakrabarti, S. K., " Wave Forces on vertical Array of Tubes", Proc.Civil Engin in the Ocean, ASCE, Sept., 1979, pp. 241-259
7. Chakrabarti, S.K., " Hydrodynamic Coefficients for a Vertical Tube in an Array", Appl. Ocean Research, Vol. 3 No.1, 1981, pp. 2 - 12



1-12mm	H	C _x	C _y
40	0	0	0
80	0	0	0
80	0	0	0
100	0	0	0

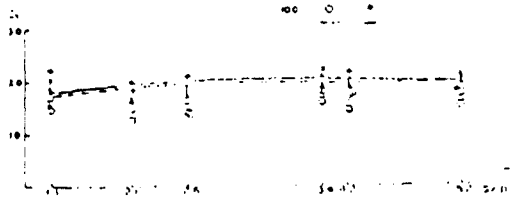
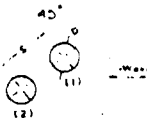


Fig. 2 Relation between C_x and S/D



1-12mm	H	C _x	C _y
40	0	0	0
80	0	0	0
80	0	0	0
100	0	0	0

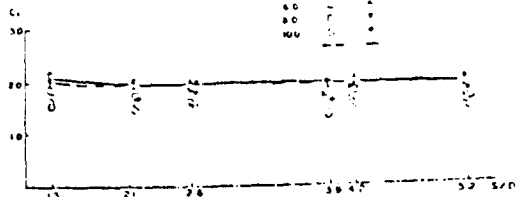
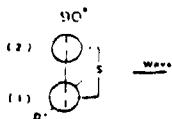


Fig. 3 Relation between C_x and S/D



1-12mm	H	C _x	C _y
40	0	0	0
80	0	0	0
80	0	0	0
100	0	0	0

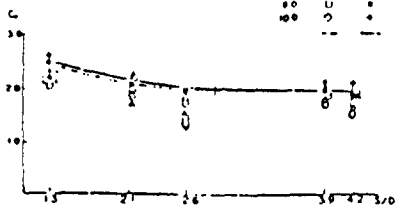
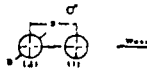


Fig. 4 Relation between C_x and S/D



S/D=1.2	DIAMETER	H	C _x	C _y
0.40mm	0.40mm	0	0	0
0.80mm	0.80mm	0	0	0
1.20mm	1.20mm	0	0	0
1.60mm	1.60mm	0	0	0
2.00mm	2.00mm	0	0	0

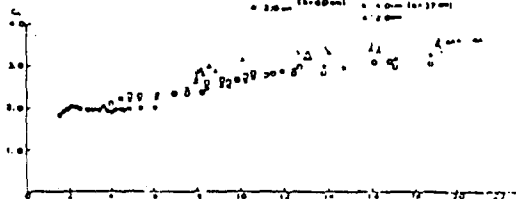
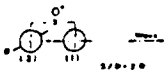


Fig. 5 Relation between C_x and $K-C$



S/D=1.0	DIAMETER	H	C _x	C _y
0.40mm	0.40mm	0	0	0
0.80mm	0.80mm	0	0	0
1.20mm	1.20mm	0	0	0
1.60mm	1.60mm	0	0	0
2.00mm	2.00mm	0	0	0

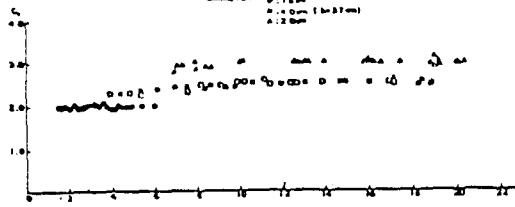


Fig. 6 Relation between C_x and $K-C$



S/D=1.2	DIAMETER	H	C _x	C _y
0.40mm	0.40mm	0	0	0
0.80mm	0.80mm	0	0	0
1.20mm	1.20mm	0	0	0
1.60mm	1.60mm	0	0	0
2.00mm	2.00mm	0	0	0

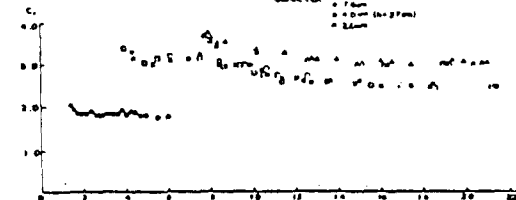
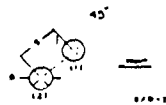


Fig. 7 Relation between C_x and $K-C$



S/D=1.0	DIAMETER	H	C _x	C _y
0.40mm	0.40mm	0	0	0
0.80mm	0.80mm	0	0	0
1.20mm	1.20mm	0	0	0
1.60mm	1.60mm	0	0	0
2.00mm	2.00mm	0	0	0

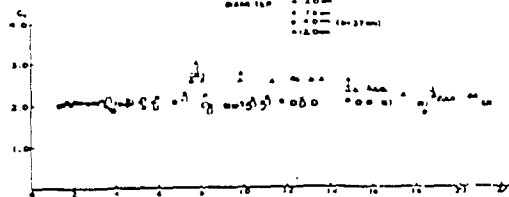


Fig. 8 Relation between C_x and $K-C$



S/D=1.0	DIAMETER	H	C _x	C _y
0.40mm	0.40mm	0	0	0
0.80mm	0.80mm	0	0	0
1.20mm	1.20mm	0	0	0
1.60mm	1.60mm	0	0	0
2.00mm	2.00mm	0	0	0

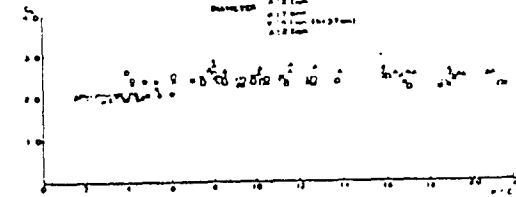


Fig. 9 Relation between C_x and $K-C$