

해양부유 구조물의 풍동실험

이 동 환* · 신 현 경** · 김 기 은***
(96년 3월 19일 접수)

Wind Tunnel Test of Floating Offshore Structure

Dong-Hwan Lee* · Hyun-Kyoung Shin** · Gie-Un Kim***

Key Words : Floating offshore structure(해양 부유 구조물), Wind loads(풍 하중), Ground effects(지면 효과)

Abstract

Experimental wind tunnel tests have been attempted to investigate the aerodynamic characteristics of floating offshore structure using some types of scaled models. The static behaviors of lift, drag forces and pitching moment of its models are measured to examine the relationship between wind loads and incidence angle, wind velocity, shape of models. The effect of solid ground has been obtained also.

< 기호표 >

A : Perspective area on normalwise of deck
 A_P : Perspective area of streamwise on
 b : Deck length
 h : Height from ground to center of deck
 h/b : Nondimensional height
 C_L : Nondimensional lift coefficient
 C_D : Nondimensional drag coefficient
 C_M : Nondimensional moment coefficient
 L : Lift
 D : Drag

M : Pitching Moment
 M_b : Moment due to bar
 M_d : Cantilever Moment due to drag with bar
 M_p : Pure Pitching moment
 M_T : Total moment
 q : Dynamic pressure ($\frac{1}{2} \rho V^2$)
 V : Velocity of free stream
 ρ : Density of air

1. 서 론

해상에 반잠수식으로 떠있는 원유시추구조물이

* 울산대학교 항공우주공학과
 ** 울산대학교 조선해양공학과
 *** 울산대학교 항공우주공학과 석사과정

나 해상공항, 이와 유사한 해양구조물은 바람이나 파도, 조류 및 지진 등 여러가지 자연현상의 영향에 민감하여 복잡하게 움직인다. 이와같은 복잡한 운동을 정확히 분석하여야 구조물의 안정성을 적절히 제어할 수 있고, 구조강도를 유지할 수 있을 것이다. 그러나, 이러한 자연현상에 의한 하중들이 동시에 발생하여 복잡한 현상으로 구조물에 영향을 미치기 때문에, 각각의 하중에 대한 영향을 분리시켜 해석한다는 것은 거의 불가능에 가깝다.

공기의 밀도와 물의 밀도는 통상 약 1 : 820으로, 해양구조물에 가해지는 외력 중에 공기역학적 하중이 차지하는 부분은 파도에 의한 것과 비교해서 상대적으로 매우 작으나, 자유해면의 영향 때문에 반잠수식 해양구조물에서는 무시할 수 없고 그 영향 또한 복잡하기 때문에 부유식 해양구조물과 육상 고층구조물의 설계와 안정성 문제에서, 공력하중이 매우 중대한 의미를 가진다는 것은 이미 잘 알려져 있다.

일반적으로 해양구조물의 설계시 공력하중의 영향 때문에 필연적으로 고려해야 할 문제는 다음과 같다.

1. 구조물의 국부적 파손.
2. 안정성에의 영향
3. 계류 체인에 미치는 동적영향
4. 파도와 바람과의 상호작용

이상의 문제점을 정확히 분석하기 위해서는 풍동실험과 수조실험을 동시에 실시 하여야 하지만, 적절한 수조를 보유하고 있지않은 본 대학에서 우선 풍동실험에 의한 바람의 영향만을 측정하였다.

2. 실험내용 및 목적

2.1 실험의 목적

본 실험의 목적은, 반잠수식 해양구조물의 공기역학적 하중의 특성을 측정하기 위해, 구조물의 수면 위의 노출 부분을 축소 모형으로 만들어 풍동실험을 통하여, 공기 역학적 하중 특성이 갑판부 영각의 변화, 모형 형상의 변화 및 풍속의 변화에 따라 어떻게 변화하는가를 분석하는데 있다.

2.2 실험내용 및 방법

2.2.1 측정장비

풍동으로는 본 대학이 보유하고 있는 600×450 mm

의 개방형 풍동이 사용되었고, 본 실험에 사용된 다른 측정장비는 다음과 같다.

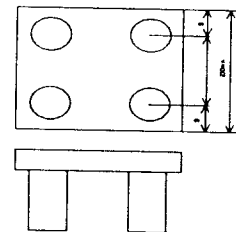
- 3-Comp. balance, LMC-3520, NISSO : 양력, 항력, 피칭 모우먼트 측정
- Pressure sensor, PDCR810, Druck : 압력 측정
- Pressure Indicator, DPI420, Druck : 압력 측정
- Amp., DPM-305A, KYOWA : 증폭기
- S/W, DT5712-PGM, DATA TRANSLATION : DATA 처리 S/W
- Digital Inclinator, Clinotronic, WYLER : Digital 경사각도계
- 2 Ch, Hot-Wire Anemometer, KANO-MAX : 유속 측정
- 3-Pen Recorder : DATA 기록계

2.2.2 사용된 모형

실험에 사용한 모형은 기둥을 가진 탁자모양으로 Table 1과 같은 모양이며, 기둥의 갯수에 따라 Fig. 1a와 같이 배열하였다.

Table 1 Configuration of model

- * Model NO. 1
- Deck의 면적 : 200×200
- Deck의 두께 : 21mm
- 기둥 높이 : 46mm
- d : 기둥직경



모델번호	칼럼수 (개)	칼럼간격 s(mm)	칼럼직경 d(mm)	e(mm)	비고
1	4	160	32	4	POSEIDON 기준모델
2	9	85	17	6.5	"
3	16	60	12	4	"
4	25	45	9	5.5	"
5	36	35	8	3.5	"
S	4	156	44	0	DK두께 : 23 DK길이 : 200 DK폭 : 200 Leg 높이 : 83

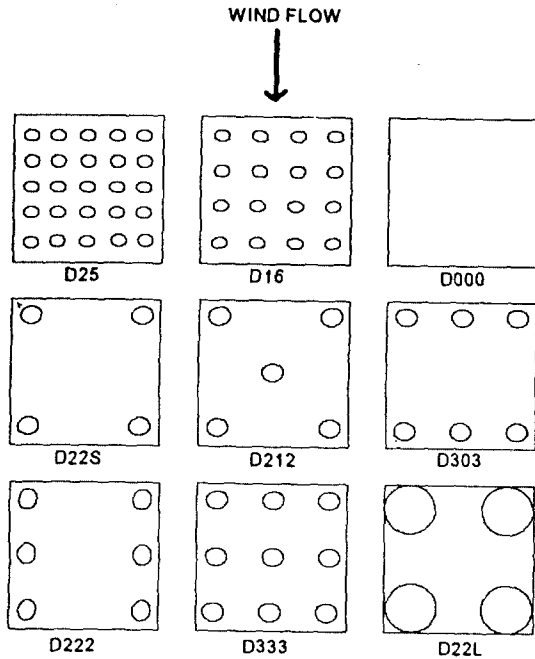


Fig. 1a Arrangement of Leg

즉, 갑판부 밑에 25개의 기둥을 가진 모형을 D25, 16개 기둥을 가진 모형을 D16, 9개의 기둥을 가진 모형을 D333이라 하고, D333 모형에서 중간 기둥 3개를 제거시킨 모형을 D303, D303모형을 90° 회전시킨 모형을 D222, D222모형에서 중간 기둥 2개를 제거시킨 후 다시 기둥 1개를 갑판부 중앙에 결합시킨 모형이 D212, D212 모형에서 다시 중간 기둥 1개를 제거시킨 모형이 D22S, 기둥을 모두 제거시킨 갑판부 모형이 D000이다.

D22L은 4개의 기둥을 D22S와 같이 배열하였으나, 기둥의 직경 및 길이가 Table 2와 같이 D22S보다 상당히 크다.

Table 2 Deck and Leg Size of Models

Model	Deck	Leg Size(mm)		Number of Leg
		Diameter	Length	
D25	200×200	9	46	25
D16	200×200	12	46	16
D333	200×200	17	46	9
D303	200×200	17	46	6
D222	200×200	17	46	6
D212	200×200	17	46	5
D22S	200×200	17	46	4
D000	200×200	·	·	0
D22L	200×200	44	83	4

2.2.3 실험 조건

각 모형은 표면조도영향을 줄이기 위해 알루미늄재로 만들었으며, 3-분력 천평과는 알루미늄재의 지지봉으로 연결하였고, Fig. 1b와 같이 작업하기 쉽게 모형을 거꾸로 지지봉위에 부착시켰다. 지지봉과 모형 사이는 모형의 영각을 임의로 조절할 수 있도록 결합되어 있고, 영각은 모형위에 디지털 경사각도계를 올려 놓고 수동으로 조절하였다. 지면효과를 측정하기 위해 지면판을 제작하였으며, 지면판은 길고 넓은 베니어판 위에 두꺼운 발포스티폼을 부착시키고, 기둥이 파묻힐 곳은 필요한 부분은 파낸 후, 실험 중에는 흡 주위를 테이프로 덮어서 불필요한 공간을 메꾸었다. 지면판위에 경사각도계 2개를 가로와 세로 방향으로 직각이 되게 동시에 올려놓고, 전후 및 좌우 수평을 확인한 후 실험을 실시 하였고, 지면효과를 확실히 하기 위해 지면판을 하류방향으로 길게 제작하였다.

측정할 공력하중의 방향은 Fig. 1b의 아래 그림과 같이, 바람이 부는 방향과 연직 윗방향을 (+)양력, 하류방향을 (+)항력, 고개속이는 방향을 (+)모우멘트로 정의하고, 모형과 지면판사이의 깊이를 h로 하였다.

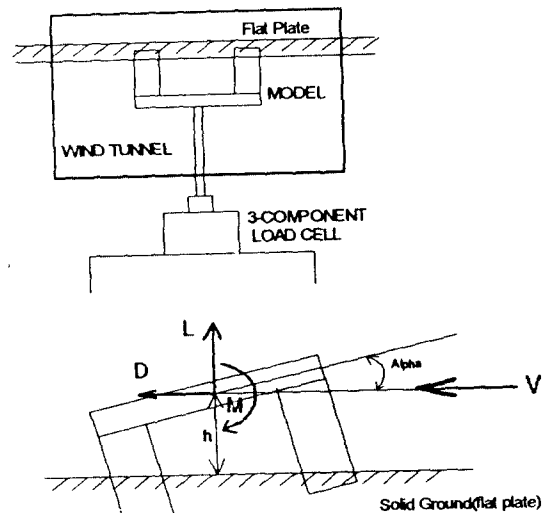


Fig. 1b Experimental setup and Notation

풍속은 16.7 m/s로 고정, Deck 폭을 기준으로 하

면 $R_c = 2.4 \times 10^5$ 이며, 디지털 경사각도계를 사용하여 $-9^\circ \sim +9^\circ$ 사이에서 변화시켰다.

2.2.4 실험방법

풍동이 개방형이기 때문에, 외풍의 영향을 최소화 하기 위해 가능한 한 바람이 적은 날 오전 및 야간을 택하여 실험하였고, 모형을 최대한 측정부가 가까이 설치하였으며, 풍속은 송풍기의 RPM으로 조절하여 일정한 풍속을 유지하도록 하였다.

모형실험에 앞서 풍동 측정부위의 일정유동(Uniform Flow) 상태를 점검하기 위해 피토판을 풍동 입구에 설치하고, 풍동입구 전면 내부를 일정간격으로 9개의 지점을 등분하여 전 지점에서 압력센서와 열선 유속계를 사용하여 정압과 동압을 측정된 결과, 풍속 10~20m/s 사이에 풍속편차 10%이내, 난류강도 0.5% 이내임을 확인하였다.

3-분력 천평은 항공공학 실험에서 공력하중 측정에 주로 사용되는 것으로 정밀도가 높고, 선형성이 우수하며, 3-분력(양력, 항력, 피칭 모우먼트)을 서로 간섭받지 않고 동시에 측정할 수 있는 정밀 측정장비이다.

측정치는 증폭기를 통하여 적절한 범위까지 증폭시킨 후 판단의 실수를 없애기 위해서 3-Pen Recorder를 사용하여 별도의 기록용지에 기록하였다.

공력하중의 정확한 정량치를 알기 위해 바람이 전혀 없는 상태에서, 무게를 이미 알고 있는 추를 이용하여 양력, 항력, 모우먼트를 측정하여 하중과 출력전압의 상관관계를 미리 구하였다.

3. 결과 및 토론

실험결과를 기둥의 개수에 대한 영향, 기둥의 배열에 대한 영향과 지면효과(Ground effect)의 영향으로 나누어 고려하고, 각각의 영향에 의한 양력, 항력, 피칭 모우먼트의 변화를 분석하기로 한다.

이 풍동실험에선 모형과 3-분력 천평을 알루미늄봉으로 제작한 지지봉으로 고정시켰기 때문에 측정결과는 시간에 따라 발생하는 비정상력을 고려하지 않고, 정상력만 취급하기로 한다.

3.1 실험결과의 보정방법

측정한 모든 실험 데이터는 모형을 지지한 지지

봉 영향을 포함하므로, 이를 제외시키는 보정작업이 필요하다.

① 양력의 보정

양력에 대하여 지지봉이 미치는 영향은 모형과 지지봉 자체의 중량을 제외시킴으로써 보정된다.

② 항력의 보정

기둥을 부착하지 않은 평판(갑판부)을 Fig. 1c에서 보는 바와 같이 지지봉에 부착한 후 바람이 불어오는 방향에 대하여 (-)영각, (+)영각일 경우 유동장이 판이하게 다르다.

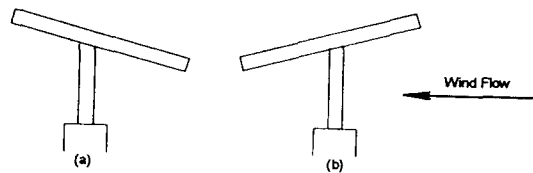


Fig. 1c Deck and supporting bar

Fig. 1c에서 (b)의 경우 즉, 영각 0° 를 제외한 (+)영각에서는 항력이 지지봉 위 전 투영면적에 작용하므로 지지봉 전체에 걸리는 항력만을 따로 측정하여 실험결과에 대해 보정하였고, (a)의 경우와 같이 (-)영각에서는 모형의 영각에 따라 지지봉의 투영면적이 감소 하므로 이에 따른 지지봉만의 항력을 보정하였다.

결과적으로 지지봉과의 (+) (-)영각의 절대값이 같다면 갑판부의 저항값은 같아야 한다.

③ 피칭 모우먼트의 보정

Fig. 1c에서는 본 모형을 설치한 결과로 인하여 천평에 걸리는 전체 모우먼트는, 갑판부 면적중심의 순수한 피칭 모우먼트와 항력과 지지봉의 길이에 의해 발생하는 외팔보(Cantilever) 모우먼트도 작용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$M_T = M_d + M_b + M_P \quad (1)$$

그러므로 구하고자하는 피칭 모우먼트의 값은 다음과 같이 된다.

$$M_P = M_T - M_d - M_b \quad (2)$$

3.2 기둥갯수에 관한 영향

3.2.1 양력

Fig. 2a에서는 D22L, D212, D222, D000, D333, D16, D25, D000의 모형을 일정풍속 ($V = 16.7m/s$) 하에 영각의 변화에 따른 양력 크기와 양력계수를 나타낸 것이고 Fig. 2a-1에서는 양력의 절대값을 나타낸 것이다.

무차원 양력계수는 갑판부의 투영단면적을 이용하여 다음과 같이 정의한다.

$$C_L = \frac{L}{\rho A V^2} \quad (3)$$

Fig. 2a에서 D000 모형 즉, 상하 대칭인 갑판부만의 경우는 영각 0° 중심으로 좌우 대칭성을 보여주고 있다. 그 밖의 기둥을 갖는 다른 모형은 기둥의 갯수가 많을 수록 양력의 크기는 달라진다.

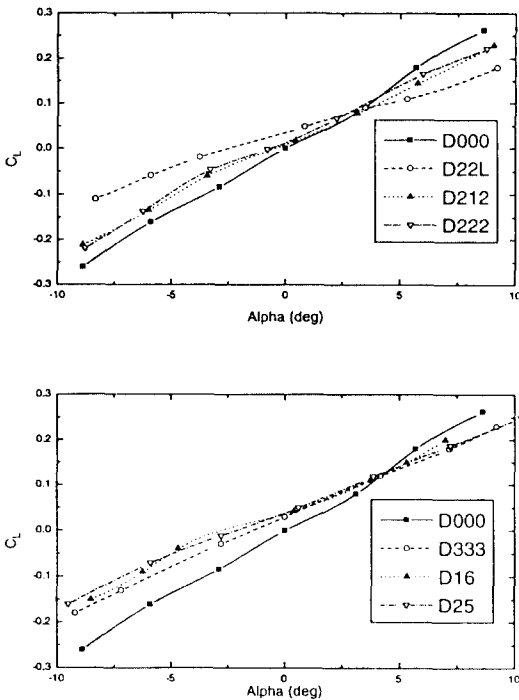


Fig. 2a 기둥 갯수에 의한 영향

그러므로, (-)양력을 발생시키는 영각의 범위가 기둥의 갯수에 따라 차이가 나며, D25와 D16일 경

우 (-) 2.5° 에서부터 (+)양력을 발생함을 알 수 있고 D333의 경우 (-) 1.5° 부근에서부터 (+)양력을 발생함을 알 수 있다.

그 이유는 기둥에 의한 유동장의 변화 즉, 모형의 상하 비대칭에 의해 서로 다른 압력분포를 형성하여 양력이 발생된다고 볼 수 있다.

각 모형의 양력의 크기를 비교해 보면 (+) 4° 이하에서는 위로 들어올리려는 힘이 갑판부에 비해 다른 기둥을 갖는 모형이 윗방향으로 작용하는 힘이 크다고 볼 수 있고, 반대로 (+) 4° 이상에서는 위로 들어 올리려는 힘이 갑판부에 비해 작다는 결과를 보여주고 있다.

각 모형의 경우에 대해 살펴보면 기둥의 갯수가 적을수록 양력의 절대치가 크다고 볼 수 있는데, 영각이 (+)4° 이하로 변할 때 내리누르는 힘이 점점 증가하고, 반대로 (+)4° 이상으로 영각이 커질 경우 들어올리려고 하는 힘이 커지는데, 기둥의 수가 작은 D22L의 경우 Fig. 2a에서 D22L은 다른 모형보다 전 영각에서 양력의 절대값이 작다.

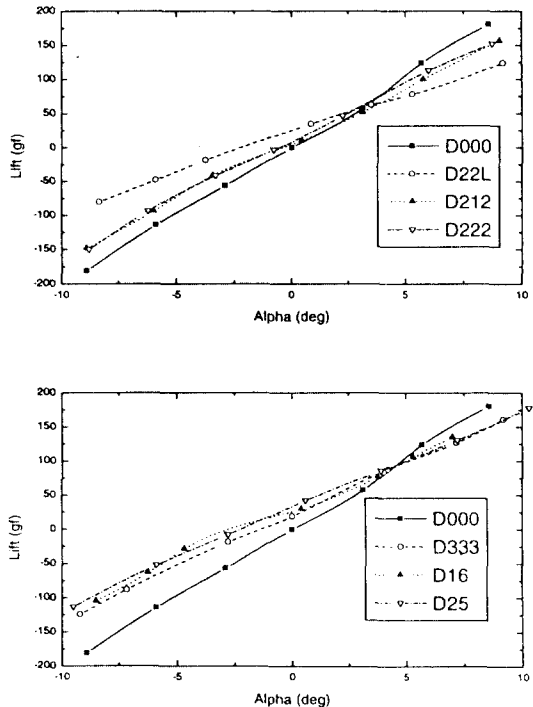


Fig. 2a-1 기둥 갯수에 의한 영향

D25, D16, D333은 양력의 값이 크게 차이가 나지 않음을 볼 수 있으며, 이는 세 모형이 기둥의 갯수는 차이가 있지만, 기둥의 크기가 매우 작기 때문에, 서로의 차이값이 정확히 구분될 정도로 크지 않기 때문이다.

따라서, 단순히 기둥의 수에 따라서만 양력이 변하는 것이 아니라, 기둥의 크기에 따라서도 매우 다른 결과를 갖는다는 것을 알 수 있다.

3.2.2 항력

Fig. 2b는 D22L, D212, D222, D000 D333과 D16, D25, D000모형을 일정유속하에 영각을 변화함에 따라 항력의 변화와 항력계수를 나타낸 것이고 의 모형실험 결과이고, Fig. 2b-1은 항력의 절대값을 나타내고 있다.

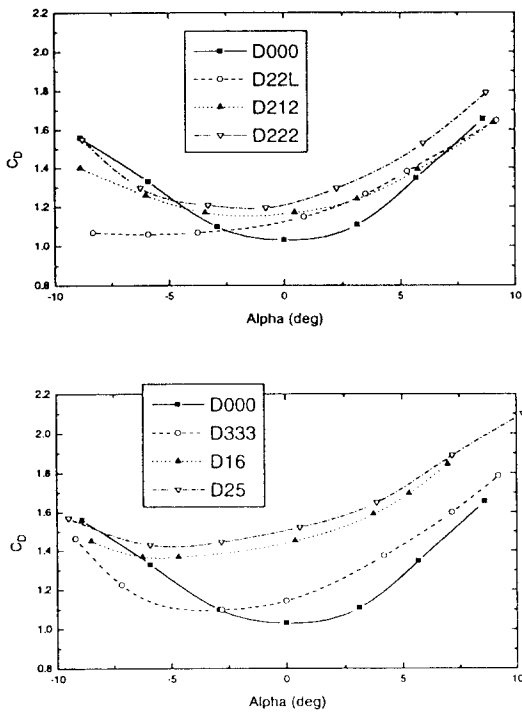


Fig. 2b 기둥 갯수에 의한 영향

항력에 있어서 무차원계수는 기둥의 증가에 따라 유동장이 달라지므로 각 모형의 바람부는 방향에서 본 투영면적과 동압으로서 무차원 하였으므로 무차원 항력계수는 다음과 같다.

$$C_D = \frac{D}{qA_P} \quad (4)$$

Fig. 2b에서 대부분의 모형(D333, D16, D25, D22S)이 (-)영각에서 0°까지는 항력이 점점 감소하다가, (+)영각으로 변하면서 급격히 증가하는 것을 볼 수 있는데, 이러한 이유는 기둥의 크기에 비례해서 그만큼 큰 항력을 받기 때문이라고 추정 할 수 있다.

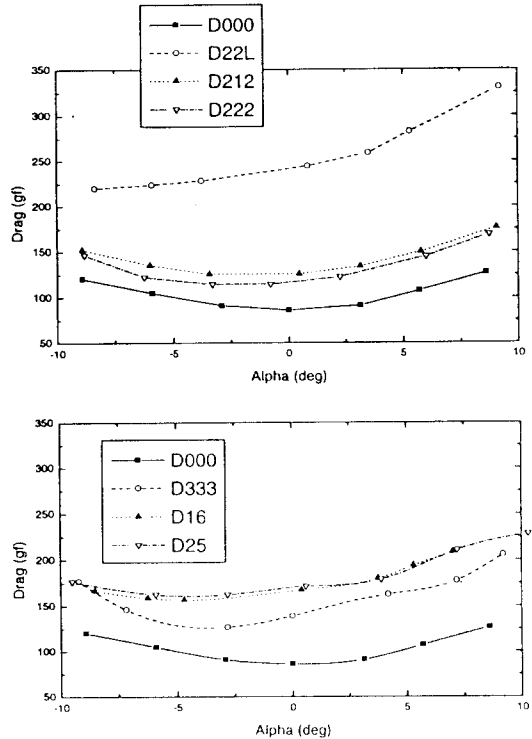


Fig. 2b-1 기둥 갯수에 의한 영향

또, 기둥의 갯수와 항력은 비례하며, Fig. 2b-1에서 보듯이 D000, D222, D212, D22L 순으로 항력의 절대치가 커지는 것을 볼 수 있고, D000, D333, D16, D25의 순으로 항력이 커지는 것을 알 수 있다.

또한, 동일한 절대치를 가지는 영각에서는 (-)영각에서보다 (+)영각에서 항력의 값이 크게 나타나고 있는 현상을 보이고 있는데 이는 바람에 노출된 기둥의 표면적이 (-)영각에서는 감소하고 (+)영각에서는 증가하기 때문에, 항력이 (+)영각에서 더 크게 나타난다고 볼 수 있다.

3.2.3 피칭 모우먼트

피칭 모우먼트의 발생원인은 모형의 무게중심과 압력중심이 일치하지 않는 결과이다.

무차원 피칭 모우먼트 계수는 다음과 같다.

$$C_M = \frac{M}{qAb} \quad (5)$$

Fig. 2c와 2c-1에서와 같이 모우먼트의 절대값과 계수의 변화는 각 모형에 따라 복잡한 현상을 보이고 있다.

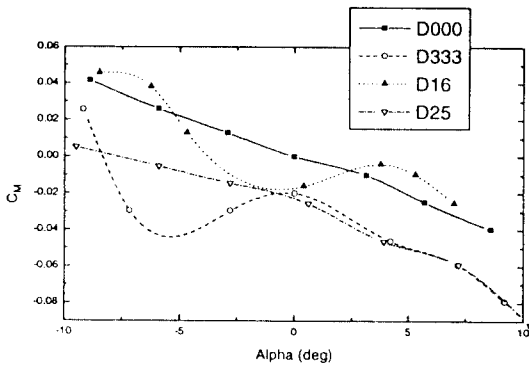
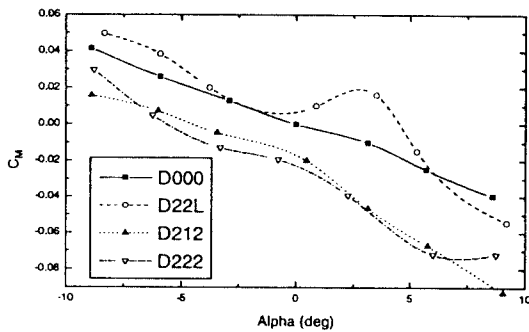


Fig. 2c 기둥 갯수에 의한 영향

Fig. 2c에서 D000, D25는 (-) 영각에서 (+)영각으로 변화함에 따라, (+)모우먼트에서 (-)모우먼트로 단순히 변화하는 것을 알 수 있으나, D16, D333은 두개의 극점을 가지면서 복잡하게 변화한다.

그러나, 공통점은 영각 0°에서 전 모형이 고개를 드는 (-)모우먼트를 가지며, (+) 영각의 값이 커짐에 따라 고개를 드는 모우먼트의 절대치가 커지고, (-)영각이 커지면 고개를 숙이는 (+)모우먼트

가 발생한다는 점이다.

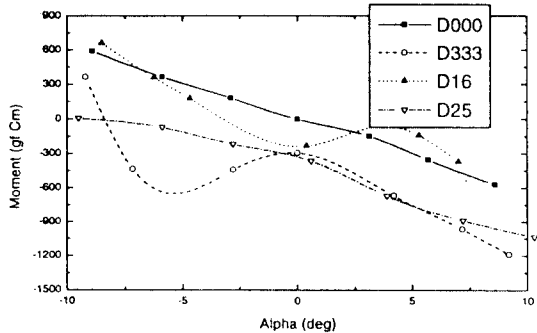
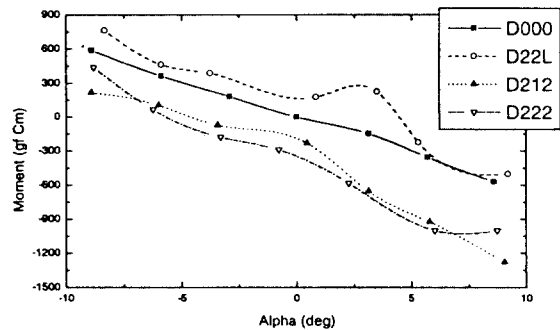


Fig. 2c-1 기둥 갯수에 의한 영향

Fig. 2c에서 D212, D222, D000는 단순한 변화를 보이지만, D22L은 역시 두개의 극점이 보이는 복잡한 현상이다. 이는 D16, D333과 유사한 경향이고 다른 모형과의 차이점은 영각 0°에서 고개를 숙이는 (+)모우먼트가 발생하는 것이 특징이며, 이는 참고문헌(2)에서도 확인되었다.

이러한 극점이 생긴다는 것은, 영각의 변화에 따라 압력중심의 전후 이동이 교대로 일어난다고 볼 수 있으며, 기둥의 갯수와 배열이 그 원인으로 추정된다.

정확한 분석을 하기 위해서는, 갑판부 밑부분의 압력분포를 정확히 측정하여야만 가능하리라 보며 차후 연구과제로 남긴다.

3.3 기둥의 배열에 의한 영향

Fig. 2a, b, c에서는 기둥의 갯수에 따라 공력하

중의 특성을 알아보았다.

같은 갯수의 기둥에서도 그 배열에 따라 공력하중은 다르게 변하리라 보고 배열에 따른 특성을 조사하기로 했다.

제작한 모형중에서 기둥의 갯수가 9개인 D333을 기본으로 하고 기둥의 배열을 바꾸면서 양력, 항력, 피칭 모우멘트의 변화를 측정하였다.

3.3.1 양력

Fig. 3a는 D000, D22L, D22S, D212, D000, D222, D303, D333의 양력의 무차원계수를 나타낸 것이고 Fig. 3a-1에서는 양력의 절대 값을 나타낸 것이다.

Fig. 3a에서는 기둥의 배열에 따라 양력의 큰 차이는 없으나, 모형에 따라 D333, D303과 D222 모형의 양력이 같은 경향을 보이고 있다.

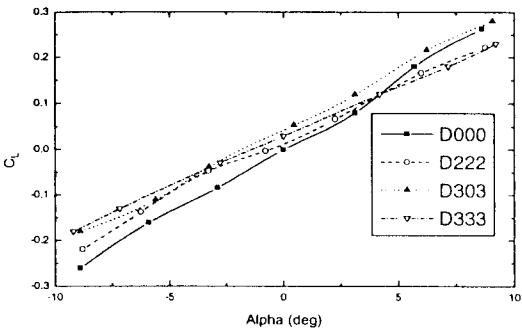
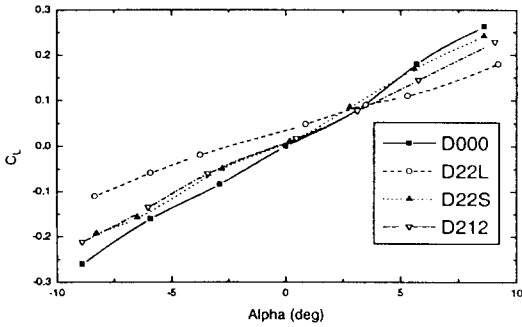


Fig. 3a 기둥 배열에 의한 영향

D333, D222양력의 절대치가 (-)영각에서는 기둥의 영향이 뚜렷하게 나타나지만, (+)영각으로 증가하면서 서로 비슷한 크기로서 증가하는 것을 볼 수 있다. 이러한 원인은 (-) 영각에서는 갑판 상부

의 유동보다는 기둥의 영향을 받는 갑판 하부의 유동이 더욱 크게 변화함에 의한 것으로 추정 할 수 있다.

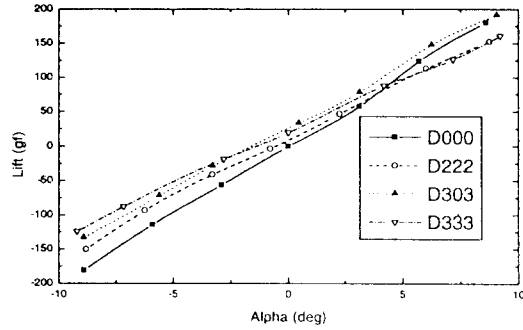
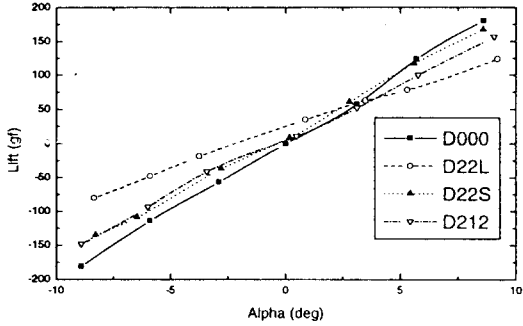


Fig. 3a-1 기둥 배열에 의한 영향

또한, D303을 90° 회전시킨 D222 모형은, D303과 전 영각의 변화에 따라 일정한 양력의 차이를 가지고, 거의 평행하게 변화하고있는 것을 볼 수 있다.

즉, D303과 D222는 기둥의 갯수는 같지만, 나타난 양력의 차이가 배열에 의한 차이로서 나타난 것이다.

기둥갯수는 같지만 D22L과 D22S의 양력차이를 보여주는데 이 원인은 D22L과 D22S의 기둥의 체적비가 12.6 : 1의 결과로 인해 D22L의 경우 유동장의 변화가 D22S에 비해 상당히 크다는 원인이다.

즉, 기둥의 배열과 기둥의 갯수의 차이가 양력의 변화에 미치는 영향이 크지 않다는 것을 알 수 있고, 반대로 기둥크기의 차이는 양력의 변화에 매우

큰 영향을 미친다.

3.3.2 항력

Fig. 3b는 D000, D222, D303, D333 D000, D22L, D22S, D212 모형의 무차원계수를 나타내고, Fig. 3b-1에서는 항력의 정량적 결과를 나타내고 있다.

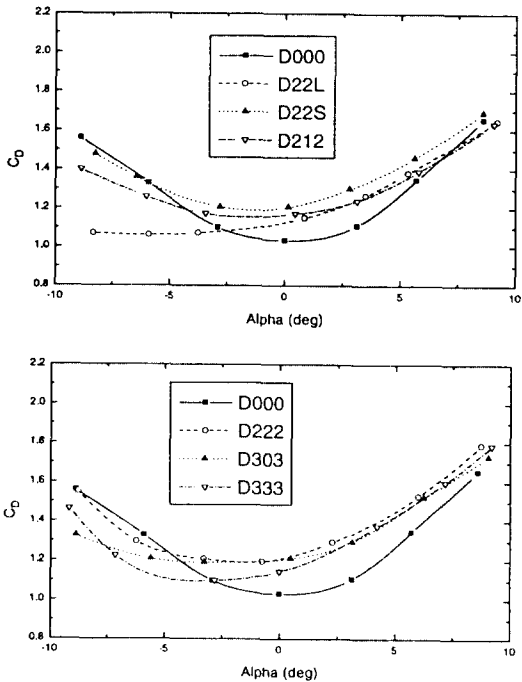


Fig. 3b 기둥 배열에 의한 영향

각 모형들간의 항력의 차이가 크지는 않지만, 양력에 비해서 차이가 뚜렷함을 알 수 있다.

(-)영각에서 D333, D303이 D222 보다 항력이 크고 D000모형이 가장 작은 항력값과 무차원 계수를 나타내고 있다.

또한, Fig. 3b의 두 그림을 비교해 볼 때 D333, D303이 한 그룹을 이루고 D222, D22S이 한 그룹을 형성하는데 D212의 경우 이 두 그룹 사이에 놓인 것을 알 수 있다. 이 원인은 전방 기둥과 후방 기둥사이와의 간섭에 의한 영향이라고 볼 수 있다. 또한, 각 모형에서 배열에 의한 변화는 크지 않지만 D000보다는 모든 영각에서 항력이 상당히 증가

한 것을 알 수 있고, 이러한 항력의 차이가 생긴 원인은 기둥의 배열 즉, 바람에 노출된 기둥의 투영면적의 변화에 따라서 발생된다고 볼 수 있다.

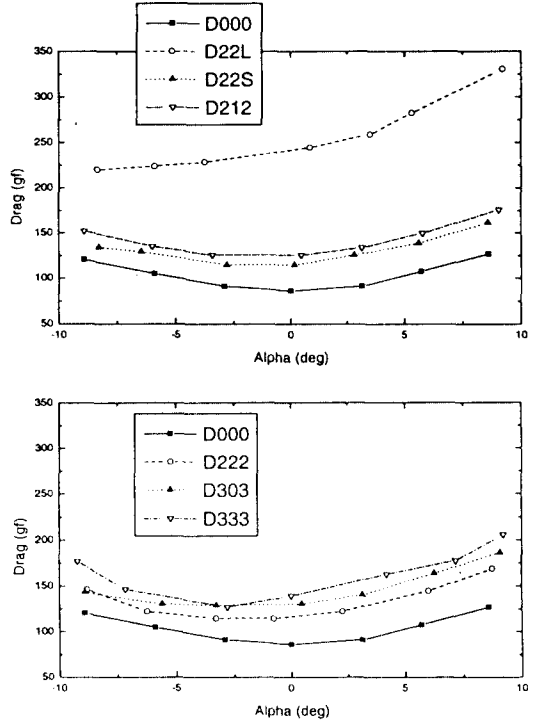


Fig. 3b-1 기둥 배열에 의한 영향

또한, D212와 D22S 모형은 항력의 절대치가 뚜렷하게 차이가 나는 것을 볼 수 있다. 이 또한 모형의 투영면적에 비례하여 나타난 것으로 볼 수 있다. 즉, 일정 풍속하에 항력이 미치는 원인 중에 전면 투영면적이 일차적으로 작용하고, 이차적으로 기둥과 기둥사이의 간격의 대소로 인한 간섭의 영향이 크게 작용함을 추정할 수 있다.

3.3.3 피칭 모우먼트

Fig. 3c는 D000, D222, D303, D333, D000, D22L, D22S, D212의 무차원 계수와 피칭 모우먼트를 나타낸 것이다.

대부분의 모형이 (-)영각에서 (+)영각으로 변화함에 따라, (+)모우먼트에서 (-) 모우먼트로 단순

히 변하고 있으나, D333모형만이 복잡한 곡선을 보여주고 있다.

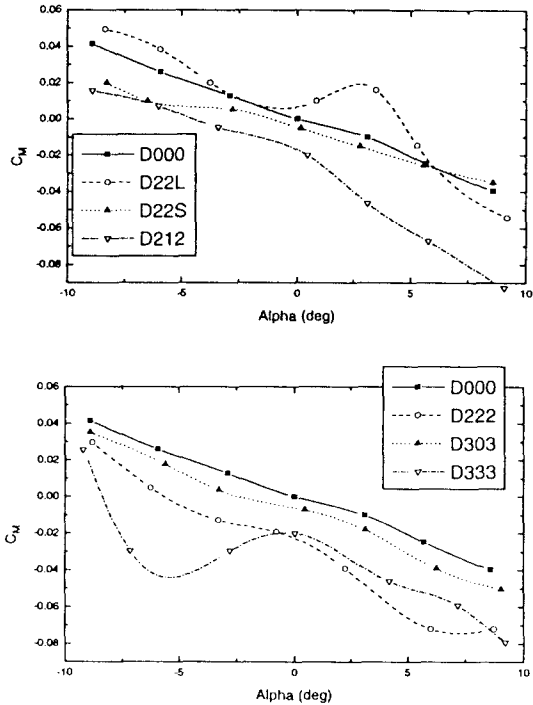


Fig. 3c 기둥 배열에 의한 영향

대부분의 모형이 영각 0° 에서 (-) 모우멘트를 발생시키고 있으며, D303과 D22S와 같이 상, 하류 2열 배열보다 D333, D222, D212와 같이 3열 배열이 더 큰 (-) 모우멘트를 발생시킨다. 즉, D000, D22S, D212, D303, D222, D333의 순으로 아래로 내려와 있는 것을 볼 수 있으며, D333이 (-)모우멘트 즉 고개를 돌려하는 모우멘트의 값이 가장 크고, 그 다음으로 위의 모형순서의 역순(D333, D222, D303, D212, D22s, D000)으로 (-)모우멘트 값이 작아진다.

기둥수에 따른 모우멘트의 변화와 마찬가지로, 기둥의 배열에 따른 변화도 단순한 변화와 복잡한 변화의 두종류의 곡선이 보이며, 이는 양, 항력의 발생되는 압력중심의 위치가 복잡하게 변화하는 결과로 짐작할 수 있다.

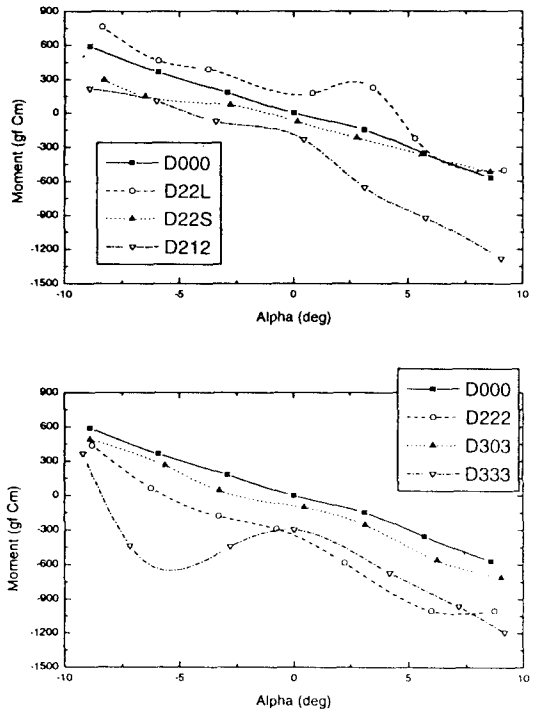


Fig. 3c-1 기둥 배열에 의한 영향

3.4 지면효과(Ground Effect)

갑판부에 비해 기둥의 크기가 커서, 기둥의 영향이 가장 확실하게 나타나는 D22L 모형을 이용하여 지면효과를 측정하였다.

지면이 없는 완전 외부유동과, 지면에 기둥이 파묻힌 깊이 즉, 지면으로부터 갑판부 중심까지의 높이가 $h/b=0.265$ 와 0.325 둘로 나누어 (+)영각 (-)영각 0° 부근에서 풍속을 증가시키면서 실험을 하였다.

실제 상황에서, 해양구조물은 해수면 위에 떠있고 해수면과 구조물 사이에 그림(1-a)와 같이 폭 h 의 공간이 존재하며, 지면효과 발생이 예상된다.

본 실험에서는 자유표면인 해수면 대신에, 고체상태의 지면판을 설치하였다.

풍속은 10.2, 13.4, 16.7 m/s 3종류로 변화시키면서 실험하였으나 모든 힘은 속도의 제곱에 비례하므로 인해 실험결과가 가장 뚜렷한 속도인 16.7 m/s 의 결과만 제시하였다.

3.4.1 양력

Fig. 4a에서 지면효과를 전혀 받지않는 완전외부유동 ($h/b = \infty$)에 있는 모형의 경우 뚜렷하게 0° 부근을 중심으로 (+)양력, (-)양력으로 양분되어 나타나고 있다.

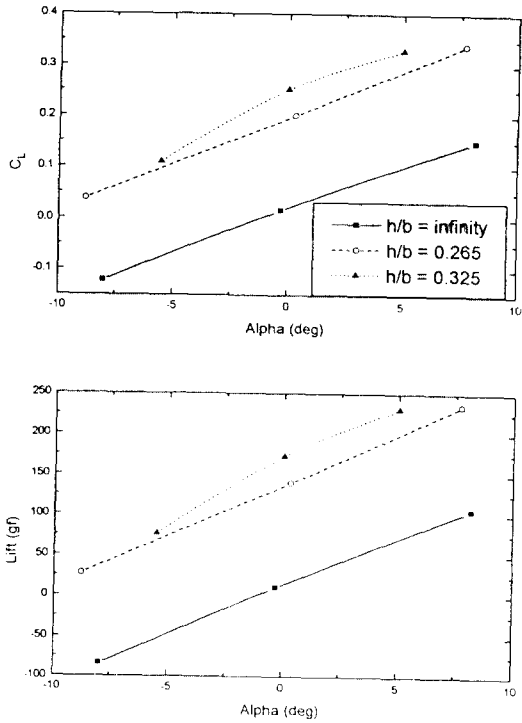


Fig. 4a Ground Effect

그러나, 지면판을 설치 후 실험 측정값은, (-)영각에서도 (+)양력 즉, 위로 들어 올리려고 하는 힘을 발생시켰고 (-)영각과 0° 부근에서는, 모형과 지면판사이의 공간이 작은 것 보다 큰 쪽이 양력증가가 더 컸으나, (+)영각 8° 부근에서는 틈사이의 폭 영향은 작아졌다.

즉, (+)영각보다 0° 부근이나 (-)영각에서 폭 h 에 의한 양력의 증가가 더 크기 때문에, (-)영각에서의 h 의 영향이 민감하다. 또한, 0° 부근의 영각에서 완전 외부유동속에 있는 모형의 경우, 지면 설치 후 매우 큰 양력 증가를 보이고 있다. 즉, 밀면 기둥의 영향에 의해 공기 유속이 감소하면서, 윗면보다 높은 압력분포가 형성되고, 유속이 점점 증가하면서 이러한 압력증가현상이 현저히 커진다는 사실이 확인되었다. 따라서, 지면효과는 양력이 현저하게 증가하는 결과를 가져온다.

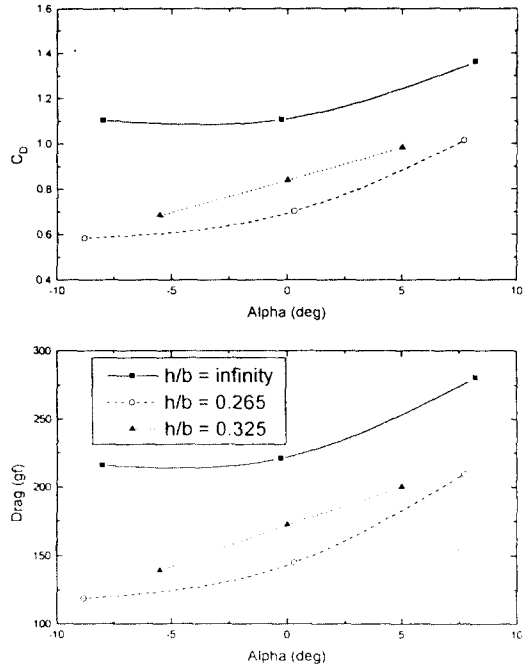


Fig. 4b Ground Effect

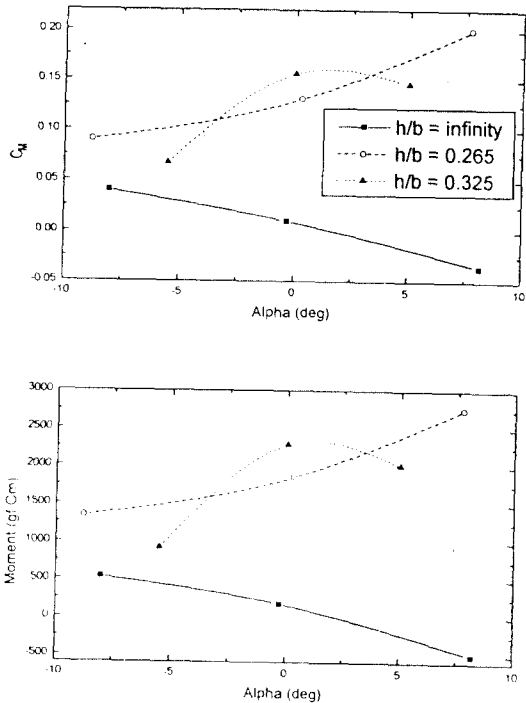


Fig. 4c Ground Effect

3.4.2 항력

항력은 완전 외부유동상태의 모형보다 지면효과를 받으며 상대적으로 항력이 작아진다는 것을 Fig. 4b에서 알 수 있다.

즉, 지면판에 의해 기둥가 바람에 노출되는 투영면적이 감소하여, 항력을 받는 면적이 그만큼 작아지고, 좁은 공간사이의 기둥들이 항력의 감소 결과를 가져온다는 것을 알 수 있고, 이는 전 영역에서 공통현상이다. 지면과 갑판부 사이의 거리에 대한 효과는, 양력에서와 같이 (+)영각 보다는 (-)영각 일때 더 크다.

그러므로 지면효과는, 전 영역에서 항력의 감소를 가져온다는 것을 알 수 있다.

3.4.3 피칭 모우먼트

피칭 모우먼트의 경우, 지면효과로 모두 (+) 모우먼트 즉, 고개를 숙이는 모우먼트를 갖는 결과를 Fig. 4c에서 잘 보여주고 있다.

이 피칭 모우먼트의 경우, 앞에서 언급한대로 양력과 항력의 중심 즉, 압력의 중심과 모형의 질량 중심이 일치하지 않으므로 발생되는데, 이러한 (+) 모우먼트의 발생으로 추정하건데, 지면효과를 받을 경우 압력중심이 모형의 후방에 위치한다고 볼 수 있다. 또한, 지면효과로 모우먼트의 절대값이 크고 또, 영각의 변화에 민감하며 영각이 약 2° 이상 기울어지면 지면효과는 더욱 복잡한 모우먼트의 변화를 초래함을 알 수 있다.

이러한 결과로 피칭 모우먼트의 경우 지면효과로 인한 항력, 양력의 영향이 매우 큰 것을 알 수 있다.

4. 결 론

4.1 기둥의 배열과 갯수의 영향

4.1.1 양력

기둥의 갯수에 따라 양력의 발생현상은, 갯수가 증가함에 따라 양력의 절대치가 작아졌다. 또한 기둥의 배열에 따른 영향은 그다지 큰 영향을 미치지 않는다. D000모형을 제외한 전 모형에 작용하는 양력은 0° 부근에서 (+)양력을 발생시키는 것이 확인되었고 또한, 영각 4° 부근을 전후로 양력 발생

현상이 뒤바뀐다.

4.1.2 항력

항력은 각 모형의 기둥의 개수, 즉 투영면적에 비례해서 큰 영향을 받고, 기둥의 배열간격에도 영향을 받지만 그다지 크지 않다.

4.1.3 피칭 모우먼트

대부분영역에서 고개를 드는 (-)피칭 모우먼트가 발생하며, 기둥의 갯수와 배열에 따라 복잡하게 변화하며, 기둥의 갯수가 많을수록 (-)모우먼트를 발생하는 영각의 범위가 넓다.

모우먼트가 매우 복잡하게 변화한 영역에서는 기둥의 배열과 갯수에 의한 개별영향을 명확하게 구분하기에는 미흡하다.

4.1.4 동일 속도에서 영각의 변화에 따른 영향

영각의 변화에 따라 양력과 모우먼트는 Zero Lift 점과 Zero Moment를 기준으로 좌우로 영각이 커질수록 절대치가 증가하였고, 힘의 작용방향도 바뀌었다.

항력은 대체로 영각 0° 에서 가장 작은 값을 가졌고, 영각이 커질수록 증가한다.

4.2 지면효과의 영향

지면효과의 영향으로, 양력과 피칭 모우먼트는 매우 큰 증가를 보였으며 반대로 항력은 감소하였다.

기둥이 Deck 상.하부에 존재하는 석유시추형 구조물에서는 또다른 양상의 풍력하중이 발생하리라 예상되나 차후의 연구과제로 삼겠다. Deck 하부에만 기둥이 존재하는 구조물의 모형실험이지만 이상의 결론은 실제상황과는 달리 모형이 고정되어 동적유동장 현상을 분석하기는 불가능하며, 지면판 또한 자유해면이 아닌 고정판을 사용하여 실제 상황과는 차이가 나지만, 차후 동적운동실험을 위한 정적실험의 기초 자료로 제시한다.

후 기

본 연구는 과학기술처 특정 연구개발사업(한일 국제 공동 연구사업)의 일부분으로, 주관기관인 울

산대학교 해양공간이용 프로그램(OSURP)의 연구
비 지원으로 수행되었다. 지면을 빌려 지원해준 관
계당국에 감사드린다.

참 고 문 헌

1) Mobil Offshore Units, Part. 6, July, 1989,

NORWAY

2) 有馬 俊郎 : “TLP 風荷重評價 と 運動 推定”
동경대학 석사논문, 1986

3) INSTRUCTION MANUAL : 3 COMPONENT
LOAD CELL (MODEL LMC-3520) NISSHO
ELECTRIC WORKS CO. LTD, 1990