

◎ 論 文

계류된 반잠수식 시추선의 운동특성에 관한 실험적 고찰⁺

홍사영* · 이판목* · 김용철** · 홍도천*
(1988년 4월 6일 접수)

An Experimental Analysis on the Motion Response of a Moored Semi-Submersible Platform in Regular Waves

Sa Y. Hong, Pan M. Lee, Yong C. Kim and Do C. Hong

Key Words : Semi-submersible Platform(반잠수식 시추선), Resonance(공진), Mooring System(계류시스템), Pre-tension(초기인장력)

Abstract

This paper presents the results of motion tests of a moored semi-submersible platform in regular waves. To investigate the effects of mooring system on the motion characteristics, the tests were performed under the various mooring conditions in regular head and beam waves. Two types of mooring system were employed: one is composed of soft springs and the other is of chains. In the case of chains the pretensions were varied to investigate the dynamic effects of mooring forces as well as the motion responses of the semi-submersible.

The motion responses and mooring tensions were measured and analyzed by the double amplitude method. The measured motion responses were also compared with the results of calculation from three-dimensional potential theory. Finally, the dynamic behaviors of mooring chains were studied.

1. 서 론

해저 석유 개발이 심해로 확대되어 감에 따라 심해에서 시추 작업이 가능한 반잠수식 시추선이 개발되었으며 최근에는 시추, 생산 겸용의 대형 시추선이 개발되었다.

반잠수식 시추선과 같은 부유구조물은 해상 환경

으로 부터 파력, 풍력, 조류력 등의 하중을 견디며 일정한 해역에서 작업을 수행하여야 하므로 해상과에 의한 운동성능이 우수해야 한다. 따라서 설계된 선형의 운동 특성 파악은 투입해역에서의 조업일수에 예측된 작업조건 설정에 중요한 자료이다.

설계된 선형의 제성능을 입증하기 위하여는 다음과 같은 모형시험을 수행하게 된다. 운동특성, 파랑

⁺ 1987년도 한국해양공학회 춘계 학술대회 발표(1987년 6월)

* 한국 기계연구소 대덕산박분소

** 정회원, 영남대학교 공과대학 정밀기계과

하중, 작업해역에서의 예상되는 최대가속도 및 air-gap 등의 추경을 위해서는 규칙 또는 불규칙파중 시험이 수행된다. 또한 조류력 및 풍하중의 추경을 위해서는 각 홀수에 따른 예인시험이 요구되며 이 결과는 풍동 시험결과와 비교 검토된다. 이밖에도 파랑표류력 추정을 위한 파랑표류력 계측시험이 있으며 필요에 따라 또다른 시험을 추가할 수 있겠다. 이때 예인시험, 풍동시험 및 파랑표류력 계측시험으로부터 얻어진 자료는 위치유지를 위한 계류삭 또는 자동위치 확보장치 (DPS: dynamic positioning system) 설계에 이용된다.

본 논문에서는 계류된 반잠수식 시추선의 규칙파중 운동시험 결과를 보이하고자 한다. 반잠수식 시추선의 종규칙파 및 횡규칙파중 운동시험을 수행하여 운동특성을 파악하였으며 계류삭의 인장력을 측정함으로써 계류삭의 동특성도 고찰하였다. 운동시험 결과는 3차원 포텐셜 이론 계산결과와 비교되었다¹⁾.

2. 모형 시험

2.1 모형설계

운동시험을 위한 모형은 배수량 56,300톤으로 수심 148m 지역에 설치된 시추, 생산겸용의 반잠수식 시추선이다. 모형선의 축척비(λ)는 40이며 모형선의 재질은 가공성이 좋으며 철판에 비금가는 강도를 지닌 FRP로 되어 있고 제작된 모형선은 중량을 조절할 수 있도록 주기둥(main column)에 공간을 두었다. 또한 앞뒤 4개의 주기둥에 계류삭 가이드(guide)를 부착하였다. 시추선의 제원은 Table 1과 같으며

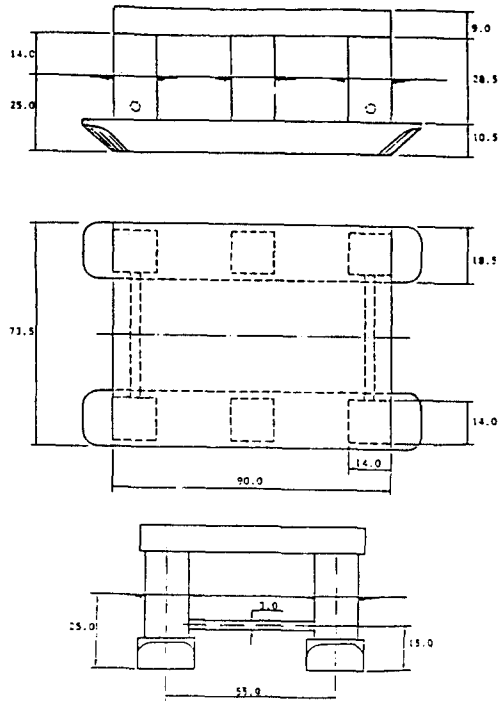


Fig. 1 General arrangement

일반배치도는 Fig.1과 같다²⁾.

계류체인 설계는 Table 2와 같다. 실제 계류체인의 크기는 스테드가 있고 직경이 80mm인(Fig.2) 체인이다. 계류삭의 길이는 선형축척비를 따르며 카테나리 계류삭의 경우 중요한 인자인 단위 길이당 무게는 $W_m = \lambda^{-2} W_p$ 관계를 만족하도록 한다. 모형 체인은 스테드가 없고 가운데가 열린 체인을 사용하였고 재질은 steel로 되어 있다. 제작된 시추선 및

Table 1 Main particulars of semi-submersible

Model No6250
Model Scale: 40

Designation	Symbol	Unit	Magnitude	
			Model	Proto-type
Length	L	m	2.75	110.0
Breadth	B	m	1.84	73.5
Depth	D	m	1.20	48.0
Draft	T	m	0.625	25.0
Displacement weight	Δ	kN	8.417	552157
Centre of gravity above base	KG	m	0.45	18.0
Metacentric height	GM	m	0.186	7.45
Longitudinal radius of gyration	K_{yy}	m	0.845	33.80
Transverse radius of gyration	K_{xx}	m	0.750	30.00

Table 2 Anchor chain

Designation	Symbol	Unit	Magnitude	
			Model	Proto-type
Chain type	—	mm	2mm Special chain without stud one side open	80(Stud link)
Diameter	D	m	0.0020	0.080
Effective hydrodyn. diameter	dc	m	0.0036	0.144
Mass per length	M	kg/m	0.080	128
Submerged weight per unit Length	M	N/m	0.690	1104
Elasticity	EA	N	.11*10 ⁵	0.70*10 ⁹
Min. breaking strength(MBS)	MBS	kN	—	Approx 5000
Max. tension allowed in survival Condition according N. M. D. (50% MBS)	F _{MAX}	kN	0.0391	2500
Pre-tension (10% MBS)	F ₀	kN	0.0078	500
Line Length(water depth×4.2)	L	m	15.58	623

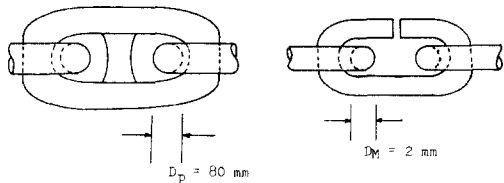


Fig. 2 Mooring chain

계류삭 모형의 기하학적 및 동적 특성을 실선에 상사시키기 위하여 시추선의 경우 경사시험을 통하여 무게 중심(KG)을 조정하였고 관성능률 시험을 통하여 횡동요 관성 반경(Kxx) 및 종동요관성 반경(Kyy)을 조정하였다³⁾. 계류삭의 무게는 공기중과 수중에서의 무게를 측정하였다. 측정된 모형의 물리적 특성은 다음과 같다.

(Model scale)				
Item	Desired	Measured	Error (%)	Comment
KG	45.0cm	44.45cm	-1.3	Semi-submersible platform
Kxx	0.750m	0.770	+2.7	
Kyy	0.845 ²³	0.851m	+1.0	
W air	80.0g/m	75.9g/m	-5.1	Mooring chain
W water	70.4g/m	69.3g/m	-1.6	

또한 계류삭의 수중에서의 정하중 특성곡선(static load-displacement curve)도 측정되었으며 이는 Fig.3에 나타내었다. 정하중 특성곡선은 계류삭의 설계에 있어서 매우 중요한 자료이다^{4,5)}.

2.2. 실험장비 및 기기

(1) 선형 시험 수조

반잠수식 시추선의 운동시험은 길이 110m, 폭 8m, 깊이 3.6m인 서울대학교 조선공학과 선형시험 수조에서 수행되었다. 계류된 시추선의 운동시험은 수심이 측정에 따라 결정되어야 하므로, 국내수조중

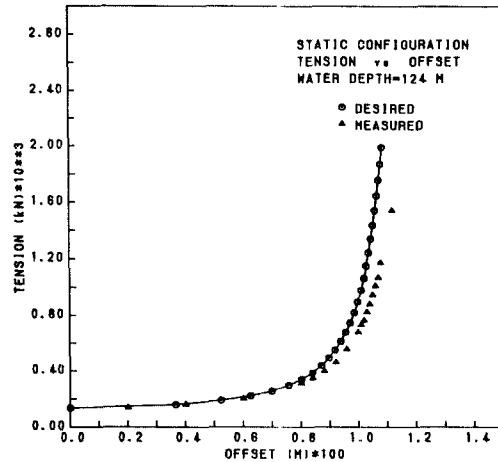


Fig. 3 Static load-displacement curve of mooring chain

수조의 수심이 설계조건(148m, model scale 3.7m)과 가장 유사한 것으로 나타난 서울대학교 수조를 시험 수조로 선택하였다.

(2) 조파장치

조파장치는 시험수조 내에서 실험목적에 맞는 파도

를 생성시키는 기구로 운동시험에 필수적인 장비이며, 조파방식 및 구동방식은 수조의 크기, 형태 및 실험목적에 따라 여러가지가 있으나 크게 plunger방식과 flap방식이 있다. 본 실험에서 사용된 조파기의 특성은 다음과 같다.

- 형 식: flap type
- 규칙파 범위: 파장: 0.2~20m
파고: 최고 0.372m
주기: 0.5~3.6s

(3) 포텐시오미터 운동 변위 측정기

이 장비는 시험수조 내에서 파도에 의해 유기되는 선체운동의 변위를 측정하는 기구다.

선체운동변위 측정기는 surging carriage, swaying carriage, heaving rod 및 회전운동변위를 측정하기 위한 gimbal로 구성성되어 있으며 예인전차의 계측레일에 취부하게 되어 있다. 변위검출은 potentiometer로 하며 모형선의 6자유도 운동변위(surge, sway, heave, roll, pitch, yaw)를 측정하게 되어 있으며 필요에 따라 전후동요(surge), 좌우동요(sway), 상하동요(heave)를 구속시킬 수도 있다.

(4) 환형 힘 변환기(ring type force transducer)

환형 힘 변환기를 이용하여 계류삭에 걸리는 인장력을 계측하였다. 사용된 환형 힘 변환기의 재질은 알루미늄으로 되어 있으며 환의 양끝에 고리등으로 연결이 가능하게 되어 있다. 인장력의 계측은 계류

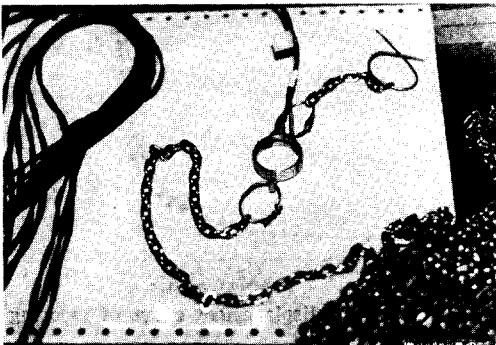


Fig. 4 Ring type force transducer and mooring chain

삭과 시추선의 연결 상부에서 이루어 졌으며, 계류삭의 접선방향 힘을 계측하기 위하여 계류삭 가이드에 길이 약 10cm정도의 강선으로 연결하였다. 환형 힘 변환기와, 모형선에 장치된 상태를 Fig. 4와 Fig. 5에 나타내었다.

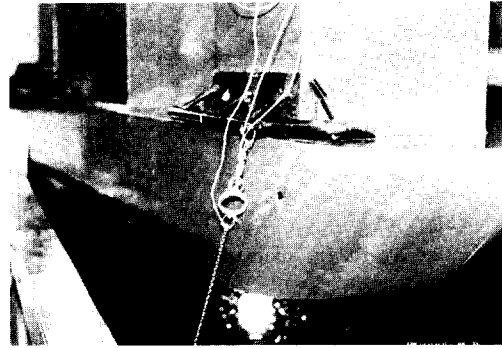


Fig. 5 Ring type force transducer attached to mooring guide

2.3 시험조건 및 계측항목

모형선의 흘수는 작업흘수(operating draft)이며 선속은 정지상태로 정하였다. 모형선에 대한 입사파의 진행각은 180°(head sea) 90°(beam sea)의 2가지로 하였으며 각 입사파에 대해 부드러운 스프링 또는 모형 계류삭으로 계류시스템을 구성하였다. 입사파에 대한 모형선의 계류 상태를 다음과 같이 정하였다

(Ship scale)

Heading	Mooring System	Notice	Symbol
180°	with 4 springs	Spring constant = 9.76kN/m	W/S
180°	with 4 chains	Pretension = 259kN	W/M-1
180°	with 4 chains	Pretension = 475kN	W/M-2
90°	with 4 springs	Spring constant = 9.76 W/S	KN/m
90°	with 4 chains	Pretension = 284kN	W/M-1

이때 스프링은 표류에 의해 계측범위를 벗어나지 않는 범위에서 파진동수로 나타나는 운동을 구속하지 않도록 충분히 부드러운 스프링을 선택해야 한다. 본 실험에서 선택한 스프링은 스프링 계수 $K = 6.1N/m$ (실선 단위인 경우 $9.76kN/m$)로 병렬로 연결 하였을때 예상되는 최대표류력에 대해 약 40cm 정도의 표류를 허용하도록 되어 있다. 본 연구에서 사용한 운동 계측기기의 전후 운동 허용범위는 50cm이다. 스프링으로 계류시스템을 구성한 경우는 4개의 스프링을 방사형으로 구성하여 전후동요 및 선수동요의 표류를 방지하도록 하였다. 이때 스프링은 모형선의 갑판 내 귀퉁이에 고착하였다. Fig. 6-a에

스프링을 사용한 계류시스템의 배치도를 나타내었다. 모형 계류삭을 사용한 경우의 계류시스템은 모형선의 앞과 뒤에 2줄씩 4줄로 파의 입사방향과 평행하도록 구성되었으며 각 계류삭의 상단은 환형 힘 변환기로 연결모형선의 계류삭 가이드에 부착되었으며 하단은 수조 바닥에 무게 10kg의 추에 연결되었다. 계류삭 모형을 이용한 계류시스템은 Fig.

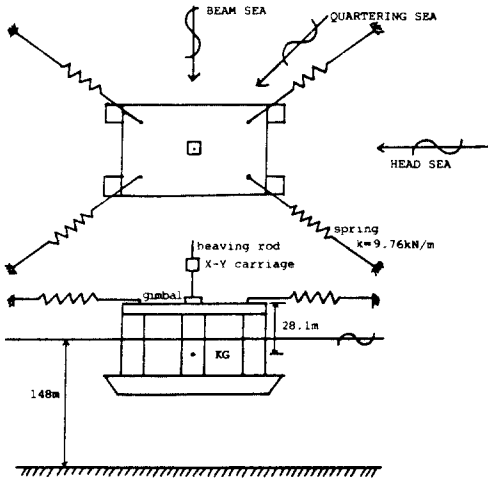


Fig. 6-a Test arrangement mooring system with spring

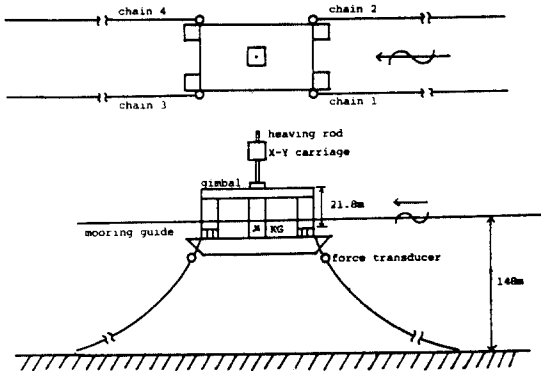


Fig. 6-b Test arrangement mooring system with chain

6-b에 나타내었다. 초기인장력(pretension)은 4줄에서 계측한 인장력을 평균하여 나타내었다.

운동시험에서 계측하여야 하는 항목은 파고, 6자유도 운동변위 및 위상각이 있다. 계류부유체의 경우는 각 계류삭에 걸리는 장력이 추가로 계측되어야 하며 필요에 따라 국부가속도, 상대운동등을 계측할

수 있다.

본 연구에서는 선수파(180°)에 대해서는 전후동요, 상하동요, 중동요를, 횡파(90°)에 대해서는 좌우동요 상하동요, 횡동요를 계측하였다. 또한 계류삭에 작용하는 인장력도 계측하였다. 또한 계류삭의 강제동요 시험을 수행하여 그때의 계류삭의 인장력 변화를 계측하였다(Fig. 7). 6자유도 운동의 계측위치는 무게중심 상방 54.5cm(실선 단위로 21.8m)의 갑판위이며, 인장력은 시추선의 전후 주기동의 내군데 설치한 계류삭 가이드에서 계측하였다. 파고의 계측은 모형선이 정지하였을때 무게 중심에서 4m전방에서 이루어졌다. 계측시 신호의 부호는 우수좌표계를 따랐으며 상방을 양의 z축으로 하였다(Fig. 8)

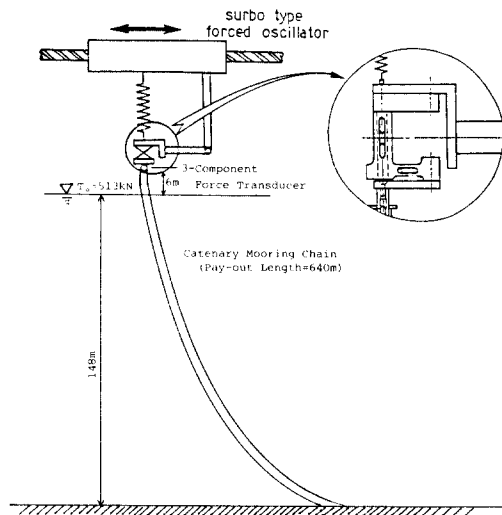


Fig. 7 Test set-up (forced oscillation test of a mooring chain)

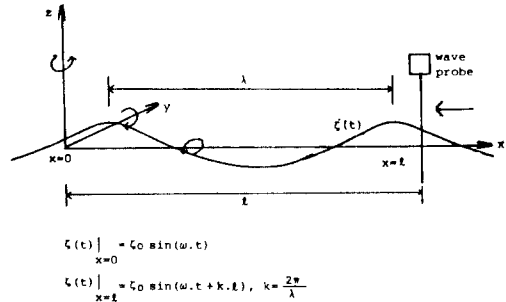


Fig. 8 Coordinate system and phase relation

2.4 데이터 취득 및 해석

자료취득 시스템은 Fig.9과 같이 계측을 위한 운동계측기, 포텐시ومي터 증폭기, 환형 힘 변환기,

스트레인 증폭기, 파고계, 용량형 증폭기와 데이터 취득을 위한 A/D(analog to digital) 변환기 및 퍼스날 컴퓨터로 구성되었다. 계측기를 통한 신호는 증폭기로 증폭되어 A/D변환기를 통하여 퍼스날 컴퓨터에 디지털로 기록된다. 이 디지털 데이터는 다음의 과정을 통해 해석된다.

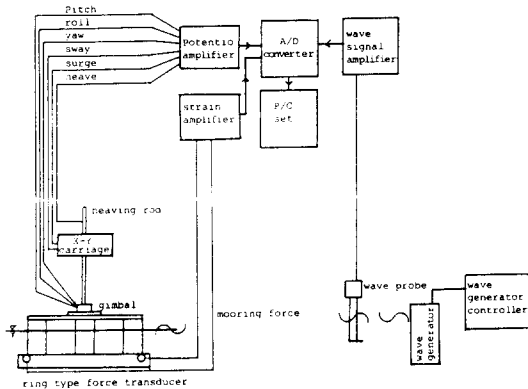


Fig. 9 Data acquisition procedure

(1) 변위검출

규칙파중에서 계류부유체의 수평면상에서의 운동은 복원력이 계류시스템에 의한것 뿐이며 이 양이 미소하므로 입사파의 주기보다 훨씬 큰 과도적인 장주기 운동을 포함하게 된다(Fig.10). 따라서 파진동수에 의한 운동응답을 구하기 위해서는 이러한 장주기 신호를 제거하여야 한다. 본 연구에서는 Butterworth digital high pass filter를 사용하여 장주기 신

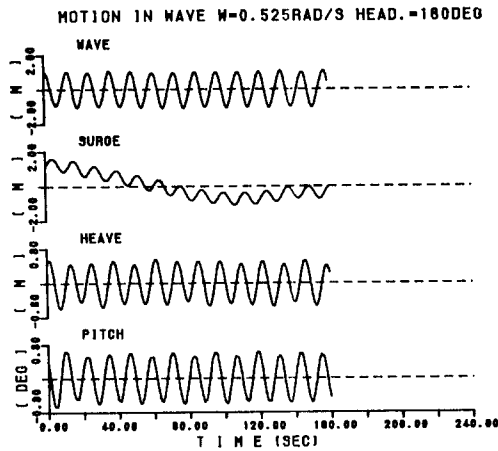


Fig.10 Recorded signal before filtered

호를 제거하였다. 그러나 이 필터를 사용하게 되면 필터링후 신호의 위상이 원래의 신호와 바뀌고 신호의 앞부분이 왜곡되므로 주의하여야 한다. 따라서 각 운동간의 위상관계를 알기 위해서는 비교하려는 모든 운동을 같은 조건으로 필터링 해야하며 왜곡된 신호를 제거해야 한다⁶⁾. 이와같이 장주기 신호를 제거하고 왜곡된 부분의 신호를 버리면 Fig.11과 같은 신호를 얻게된다. 이 신호에 대해 zero up-crossing (double amplitude method)법을 적용하여 평균주기와 평균변위를 구하였다⁷⁾. 평균주기로 부터 입사파의 주기를 검증하였고 각 평균 변위들을 입사파의 평균변위로 나누어 운동응답을 구하였다.

(2) 위상검출

진후운동이나 좌우운동이 구속되지 않고 특히 장주기 운동을 포함할 때 6자유도 운동의 입사파에 대한 위상을 구하는 것은 입사파에 대해 무게중심이 움직이게 되므로 어려움이 있다. 본 연구에서는 파진동수에 의해 움직이는 운동은 장주기 운동에 비해 무시할만 하므로 계류시추선의 평형위치에서의 중심 이동만을 고려하여 다음과 같이 위상을 산출하였다.

운동계측점의 좌표를 원점(0,0)으로 하고 파고 계측점의 좌표를(l,0)으로 하자(Fig.8).그러면 운동계측점에서의 파고는 계측된 파고에 대해 $k \cdot l$ 의 위상차를 갖는다. 여기서 k 는 파수이다. 따라서 6자유도 운동의 위상을 각 신호의 부호가음에서 양으로 바뀌는 첫번째 시간(T_1)을 계측하여 위상을 구하고 $k \cdot l$ 의 위상차만큼 수정된 입사파에 대해 위상을 구한다. 즉 예를들어 주기가 T_w 인 입사파의 $T_1 = T_1$ 이고 상하운동의 $T_1 = T_2$ 이며 원점에서의 파의 위상

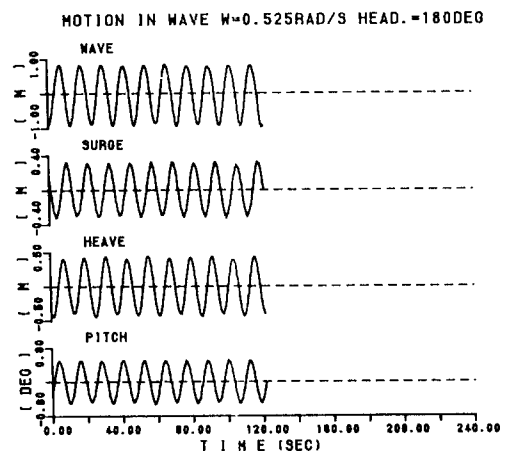


Fig.11 Recorded signal after filtered

을 E_w , 상하운동의 위상을 E_h 라 하자. 그러면 다음의 관계가 성립한다.

$$E_w = k \cdot l + 2\pi \cdot \frac{T_w}{T_1} \quad E_h' = 2\pi \cdot \frac{T_w}{T_2}$$

따라서 얻고자하는 상하운동의 위상선행(phase-lead)은 다음으로부터 구한다.

$$D_h = E_w - E_h'$$

3. 결과정리 및 고찰

3.1 실험결과

반잠수식 시추선의 운동시험 결과는 다음과 같이 정리하였다.

(1) 고유주기

Table 3에 시추선 모형에 대한 고유주기 측정결과를 정리하였으며 Fig. 12~Fig. 13에 시계열 데이터를 나타내었다.

Table 3 Natural periods of semi-submersible platform

Item	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
W/O Spring (Test 1)	—	—	20.08 s	30.53 s	25.03 s	—
W/O Spring (Test 2)	—	—	19.97 s	30.66 s	25.11 s	—
W/Spring	236 s	252 s	20.14 s	30.21 s	—	—
W/M ¹	365 s	405 s	—	30.19 s	24.55 s	—
W/M ²	212 s	—	20.14 s	—	24.51 s	—
Calculation	—	—	20.94 s	31.42 s	25.13 s	—
Error	—	—	-4%	-4%	-2.3%	—

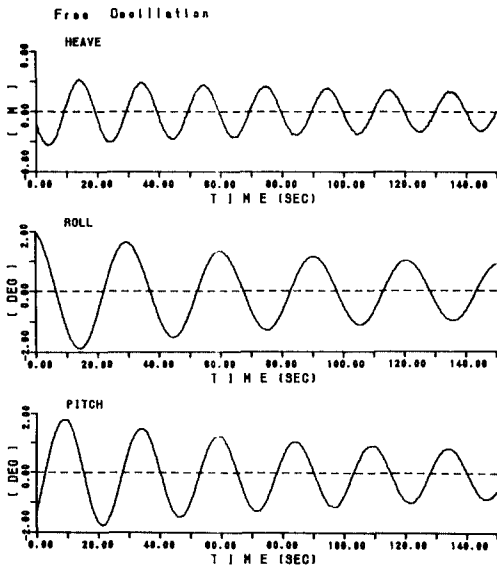


Fig. 12 Free oscillation (Test 1)

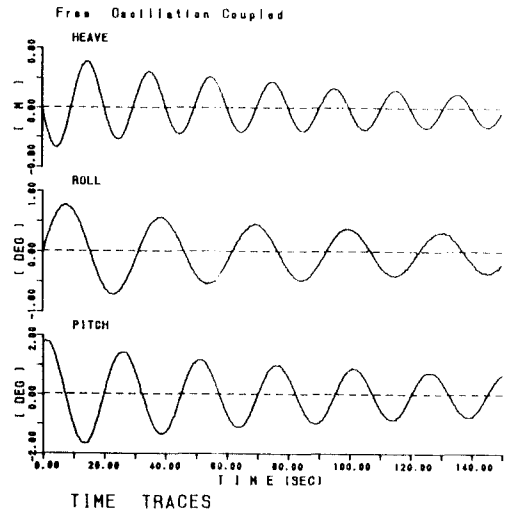


Fig. 13 Free oscillation (Test 2)

(2) 운동응답

시추선의 규칙파중 운동응답을 다음과 같이 정리하였다.

Regular wave response (Heading = 180°)	Operating draft
Surge	Fig. 14
Heave	Fig. 15
Pitch	Fig. 16

Regular wave response (Heading = 90°)	Operating draft
Sway	Fig. 17
Heave	Fig. 18
Roll	Fig. 19

(3) 계류인장력

인장력의 동특성은 다음과 같이 정리하였다.

Dynamic tension (Heading = 180°)	W/M-1 $T_0 = 259kN$ W/M-2 $T_0 = 475kN$
Amplitude of dynamic tension/ wave amplitude	Fig. 20
Amplitude of dynamic tension/ surge amplitude	Fig. 21
Amplitude of dynamic tension/ heave amplitude	Fig. 22
Amplitude of dynamic tension/ pitch amplitude	Fig. 23
Forced oscillation tests of a mooring chain	Fig. 24, 25

To: Pre-tension

3.2 실험결과 고찰

(1) 고유주기

각 시험상태에 따른 운동의 고유주기 측정결과를 Table 3에 나타내었다. 먼저 상하동요, 종동요, 횡동요의 연성효과를 알아보기 위하여 다음과 같은 두 가지의 시험을 통하여 고유주기를 측정하였다.

- Test 1: 상하동요, 종동요, 횡동요를 독립적으로 기진시켜 고유주기를 측정
- Test 2: 상하동요, 종동요, 횡동요를 동시에 기진시켜 고유주기를 측정

계측결과 두 경우에 대하여 매우 좋은 일치율을 보여 주었다. 따라서 서로 독립적인 거동(mode)에 대해서도 연성된 거동으로부터 고유주기를 정밀하게 추정할 수 있을 것으로 판단된다. 모형선이 파중에서 운동하는 동안 표류를 방지하기 위한 장치로 여러가지 계류시스템을 구성하였으며 각 상태에 대하여 고유주기의 변화를 계측하였다. 계측결과 계류시스템의 변화로 인한 고유주기의 변화는 전후동요 및 좌우동요의 경우는 크게 나타났으나 상하동요, 종동요 및 횡동요의 경우는 거의 무시할 만한 것으로 나타났다. 이는 수평면상운동의 경우는 복원력이 계류시스템에 의존하나 수직면상 운동에서는 반잠식 시추선의 중량이 계류시스템의 중량에 비해 매우 크고(계류사의 무게가 시추선의 0.6%정도), 계류사의 부착위치가 무게 중심에서 멀리 떨어져 있으나 계류시스템의 스프링 상수가 미미하여 고유주기에 거의 영향을 주지 않은 것으로 생각된다. 전반적으로 측정된 모형선의 고유주기가 계산값과의 상대오차가 약 4% 이내로 나타났다.

(2) 운동응답

Fig. 14~Fig. 16에는 선수각 180°에 대하여 전후동요, 상하동요 및 종동요를 각각 나타내었다. 이때 횡축은 파진동수 $\omega(rad/s)$ 를 나타내고 종축은 운동응답으로 운동 진폭을 입사파의 진폭으로 나눈 값과 위상각을 나타낸다. 또한 실험결과와는 3차원 포텐셜 이론에 의한 계산결과와 비교하였다.

Fig. 14에는 전후동요 응답을 나타내었다. 전반적으로 파진동수가 증가하면서 운동응답이 감소하는 경향을 보이고 있으며 계산치나 실험치가 대체로 좋은 경향을 보이고 있으나 $\omega = 0.25rad/s$ 에서 계산치는 극대값을 보이고 있으며 계측치는 반대로 극소값을 보이고 있다. $\omega = 0.25rad/s$ 에서 전후동요의 현격한 변화는 종동요의 공진에 기인하는 연성효과로 생각되며 실험치와 계산치가 다르게 나타나는 것은 Fig. 16에서 볼 수 있듯이 공진점에서 종동요의 위상이 차이를 보여서 나타난 결과로 생각된다. 계류시스템의 인장력 변화에 따른 운동응답의 변화는 크지 않은 것으로 보인다.

Fig. 15에서는 상하동요 응답을 나타내었다. 계산치와 실험치가 대체로 좋은 일치율을 보이고 있으며 계류상태의 변화에 따른 운동응답은 큰 차이를 나타내지 않고 있다. 공진점 부근에서 계산치와 계측치의 위상이 차이를 보이고 있으며 그 차이는 계류상태의 변화와는 무관한 것으로 보인다.

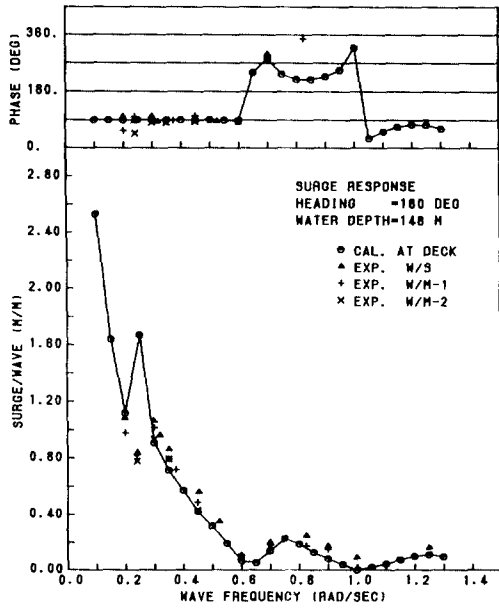


Fig. 14 Surge response of semi-submersible (Heading = 180°)

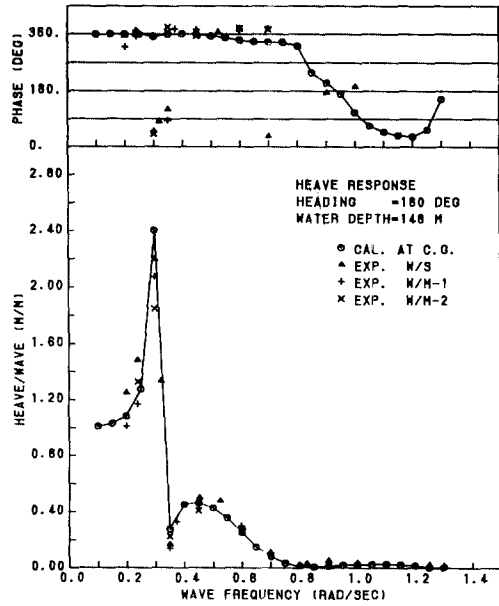
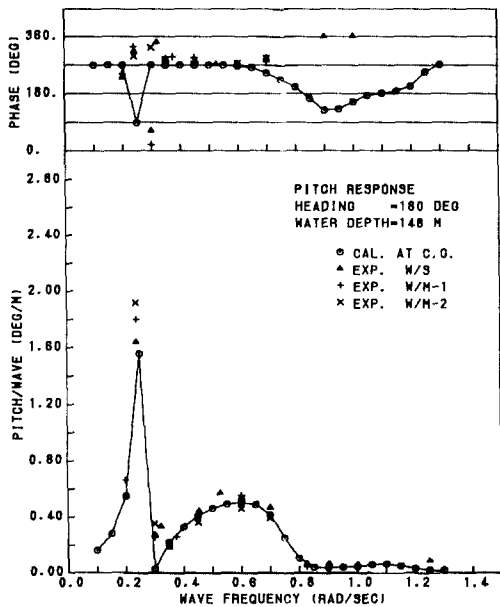


Fig. 15 Heave response of semi-submersible (Heading = 180°)



Fi. 16 Pitch response of semi-submersible (Heading = 180°)

Fig. 16에서는 중동요 응답을 나타내었다. 운동응답은 실험치와 계산치가 대체로 좋은 일치를 보이고 있으나 공진점 부근에서 위상이 차이를 보이고 있다. $\omega = 0.3 \text{ rad/s}$ 에서 운동응답이 계산치는 거의 나타

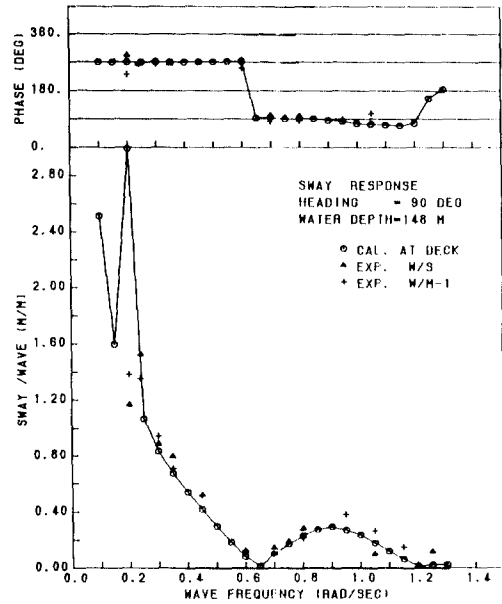


Fig. 17 Sway response of semi-submersible (Heading = 90°)

나지 않고 있으나 계측치는 상대적으로 크게 나타나고 있다.

Fig. 17~Fig. 19에서는 선수와 90°에서의 운동응답을 나타내었다.

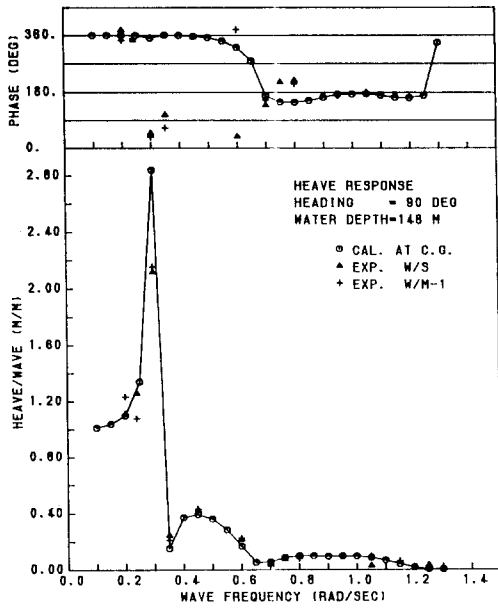


Fig. 18 Heave response of semi-submersible (Heading = 90°)

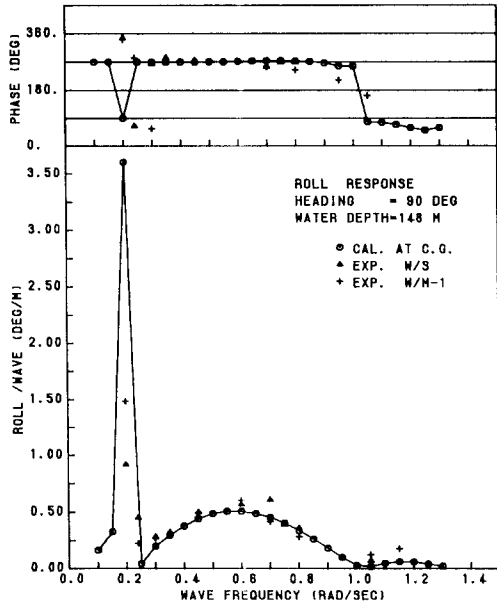


Fig. 19 Roll response of semi-submersible (Heading 90°)

Fig. 17에서는 좌우동요 응답을 나타내었다. 실험치와 계산치가 대체로 좋은 일치율을 보이고 있다. 실험치의 경우에는 횡동요 공진에 의한 연성효과가 크지 않은 것으로 나타나고 있으며 계류상태의 변화에 대해서도 큰 변화를 보이지 않고 있다.

Fig. 18에는 상하동요 응답을 나타내었다. 실험치와 계산치가 대체로 좋은 일치율을 보이고 있으나 공진점 근처에서 위상 차이를 보이고 있다.

Fig. 19에서는 횡동요 응답을 나타내었다. 실험치

와 계산치가 대체로 일치하는 경향을 보이고 있다. $\omega = 0.2 \text{ rad/s}$ 에서 운동응답의 실험치가 계산치보다 작게 나타나고 위상도 270°의 차이를 보이고 있다. 이 결과가 좌우동요에서 $\omega = 0.2 \text{ rad/s}$ 일때의 연성효과를 줄여 준 것으로 생각된다.

(3) 계류사의 인장력 변화

Fig. 20~Fig. 23에서는 선수각 180°일 때 계류사의 초기인장력(pretension)이 259kN과 457N의 두가

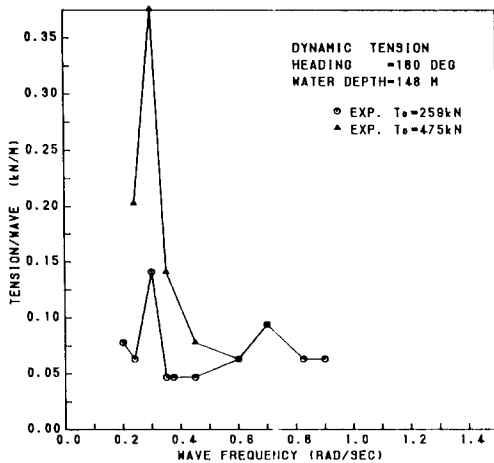


Fig. 20 The ratio of dynamic amplitude of tension to wave amplitude

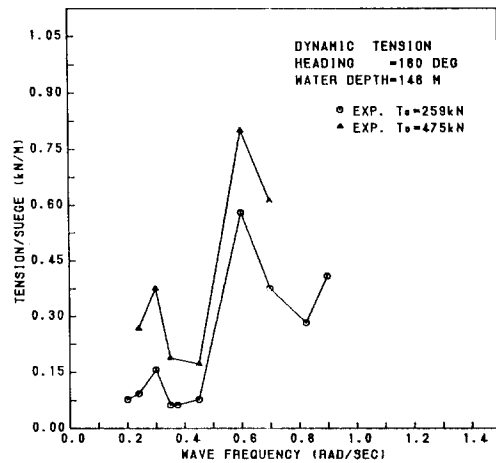


Fig. 21 The ratio of dynamic amplitude of tension to surge amplitude

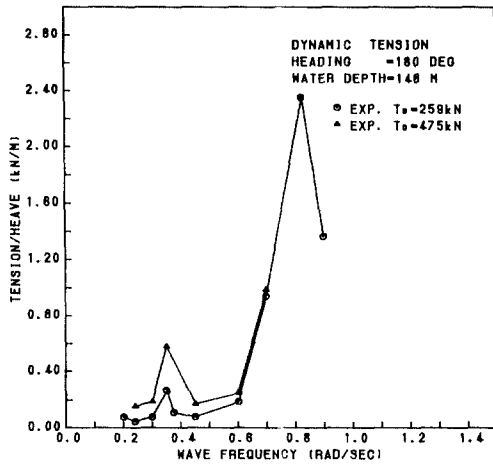


Fig. 22 The ratio of dynamic amplitude of tension to heave amplitude

지 경우에 대하여 나타내었다.

Fig. 20에는 장력의 변화를 입사파의 진폭으로 나누어 그 특성을 나타내었다. 장력의 변화율을 정적으로 고려하면 초기 인장력이 475kN일 때의 인장력 변화율이 259kN일 때의 변화율 보다 2배가 넘음을 Fig. 3의 경하중 특성곡선으로부터 쉽게 알 수 있다. 따라서 계류삭이 준정적(quasi-static) 거동을 한다면 초기 인장력이 475kN일 때의 인장력 변화율이 초기 인장력이 259kN일 때의 변화율보다 2배가 넘게 나타날 것이다. Fig. 20를 살펴보면 $\omega = 0.45 \text{ rad/s}$ 까지는 이러한 거동을 보이다가 $\omega = 0.6 \text{ rad/s}$ 가 되면서 초기 인장력의 차이에 관계없이 변화율의 차이가 거의 나타나지 않음을 알 수 있다. 따라서 $\omega \geq 0.6 \text{ rad/s}$ 에서는 카테나리 (catenary) 계류삭의 인장력 변화율은 무시할 수 없는 동적 거동의 영향을 받는다고 볼 수 있다. 같은 특성을 알아보기 위하여 Fig. 21에서는 인장력의 변화를 전후동요의 진폭으로 나누어서 나타내었다. 마찬가지로 $\omega \geq 0.6 \text{ rad/s}$ 에서 인장력의 변화율 차이가 두드러지게 감소함을 볼 수 있다. 그리고 인장력의 변화가 계류삭 끝점의 수평이동에만 관계한다면 인장력의 변화율이 일정하게 나타날 것이나 Fig. 21을 보면 $\omega = 0.3 \text{ rad/s}$ 와 $\omega = 0.6 \text{ rad/s}$ 에서 극대값을 보이고 있다. 이는 계류삭 끝점의 수직이동에 의한 영향을 나타내는 것으로 전자의 극대값은 상하동요의 공진효과로 판단되나 후자의 변화율 증가는 계류삭의 동적 거동에 기인하는 것으로 생각된다.

Fig. 22에서는 인장력의 변화를 상하동요의 진폭으로

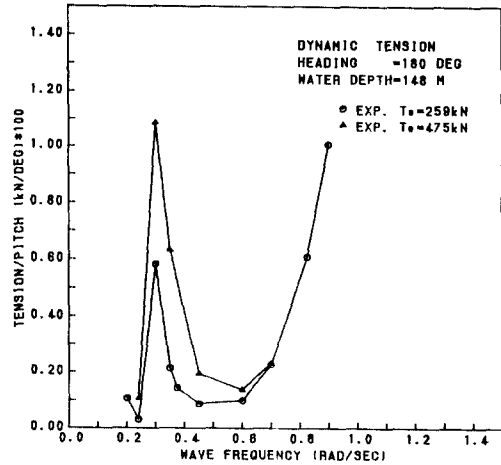


Fig. 23 The ratio of dynamic amplitude of tension to pitch amplitude

로 Fig. 23에서는 인장력의 변화를 종동요의 진폭으로 나누어 표시하였다. 마찬가지로 $\omega \geq 0.6 \text{ rad/s}$ 에서 초기 인장력 증가에 따른 인장력 변화율의 차이가 급격히 감소하고 변화율이 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 $\omega \geq 0.6 \text{ rad/s}$ 에서는 계류삭의 인장력 변화는 계류삭 끝점의 위치변화에 의한 정적 영향보다는 계류삭의 동적 거동에 지배적인 영향을 받는 것으로 판단된다.

같은 특성을 알아보기 위하여 계류삭의 강제동요 시험결과를 Fig. 24에 나타내었으며 시계열 데이터의 예를 Fig. 25에 도시하였다. 강제동요 시험조건은 실선단위로 수심이 148m, 계류삭의 길이 640m이며 초

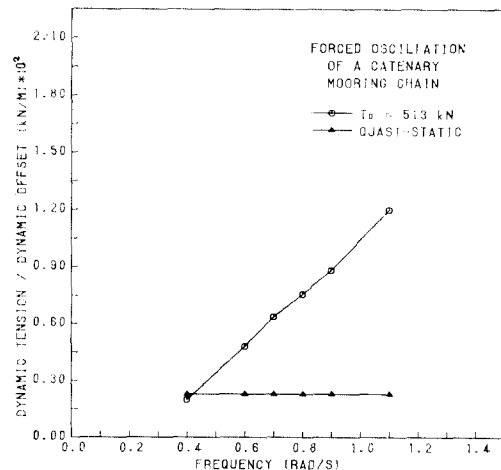


Fig. 24. The ratio of dynamic tension to dynamic offset (Water depth = 148m, Chain length = 640m $T_0 = 513 \text{ kN}$)

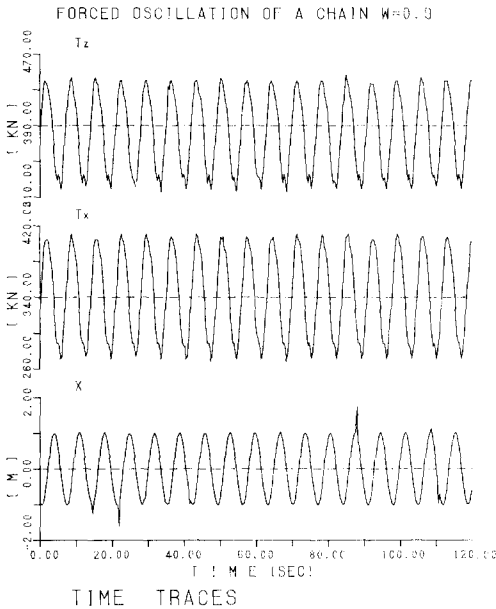


Fig. 25 Dynamic tension behavior of catenary mooring chain obtained from forced oscillation tests ($\omega=0.9 \text{ rad/s}$, $T_0=513 \text{ kN}$, Water depth=148m)

기인장력이 514 kN 이었다. 장력의 계측은 3방향힘변환기를 이용하여 측정하였다(Fig.7). 이때 강제동요 진폭은 1 m 로 고정하였다.

Fig. 24에서는 횡축을 강제동요 주파수(rad/s)로 종축을 장력변화진폭을 강제동요 진폭으로 나눈 비로 하여 계측치를 나타내었다. 준정적 거동을 가정할 장력의 변화율을 Fig.3으로부터 약 23 kN/m 로 추정할 수 있으나 강제동요 실험결과는 $\omega \geq 0.6 \text{ rad/s}$ 에서는 이 값보다 최소 100%이상 큰 값을 보여주고 있다. 카테나리 계류삭 끝점의 장력변화는 동요주파수가 증가함에 따라 커지는 경향을 보이고 있으며 이로부터 주파수가 증가함에 따라 계류삭 끝점의 위치변화에 의한 정적인 장력변화보다 계류삭의 동적 거동에 의한 영향이 장력변화에 지배적으로 나타나는 것으로 생각된다. 따라서 계류된 반잠수식시추선에서 계류삭 끝단의 장력변화는 선수와 상태에서, 파주파수 $\omega \leq 0.45 \text{ rad/s}$ 의 저주파수 구간에서는 계류삭 끝점의 위치 변화에 기인하는 준정적 거동을 보이거나 $\omega \geq 0.6 \text{ rad/s}$ 이후의 고주파수 영역에서는 계류삭 자체의 동적거동이 인장력변화의 주요 원인으로 생각된다.

4. 결 론

본 실험적 연구를 통하여 얻은 결과는 다음과 같다.

- 1) 반잠수식 시추선의 규칙파중 운동시험 결과는 3차원 포텐셜 이론에 의한 계산결과 비교하여 대체로 좋은 일치를 보였다.
- 2) 계류삭의 초기 인장력 변화는 시추선의 운동응답에 거의 영향을 주지 않았다.
- 3) 상하동요, 횡동요, 종동요의 고유주기는 각각의 자유감쇠진동 실험으로 부터 구할 수 있으나 한번에 형성된 거동을 유발시켜 각각의 고유진동수를 쉽게 구할 수 있다.
- 4) 계류된 반잠수식 시추선에서 계류삭의 인장력 변화는 파주파수 0.45 rad/s 까지는 시추선의 거동에 따른 계류삭의 동적거동의 영향이 작으나 파주파수 0.6 rad/s 이후에서는 동적거동의 영향이 크게 나타났다.

5. 후 기

본 논문은 과학기술처의 지원을 받아서 한국기계연구소에서 수행한 86년 국가 특정연구사업 중 “반잠수식 시추선의 선계 기술 개발”¹⁾ 과제의 일부 결과임을 밝혀둔다.

참 고 문 헌

- 1) 홍도천외 “반잠수식 시추선의 선계 기술 개발[1]”, 한국기계연구소 보고서, UCN076-929.D, 1987
- 2) 김용철, 이상무, 이관복, 홍사영, “반잠수식 시추선의 운동특성 연구”, 한국기계연구소 연구보고서, UCN350-701.D, 1986
- 3) 양순일, 홍석원, 이상무 외, “비항성에 관한 선형시험법 개발”, 한국기계연구소 연구보고서, UCN106-180.D, 1982
- 4) 김훈철, 김용철, 홍석원 외, “계류부유체의 운동특성 연구”, 한국기계연구소 연구보고서, UCN200-501.D, 1984
- 5) Berteaux. H.O., “Buoy Engineering”, John Wiley & Sons, 1976
- 6) Stearns, D. Samuel, “Digital Signal Analysis”, Hayden Book Company, Inc., Rochelle Park, New Jersey, 1975
- 7) Report of Seakeeping Committee, “Proceedings of 17 th ITTC”, Vol. 1, 1984