

◎ 論 文

규칙 파중 석유시추보호관의 운동특성에 관한 연구⁺

김 용 철* · 이 판 목*

The Motion Characteristics of a Marine Riser in Regular Wave Condition

Yong C. Kim and Pan M. Lee

Key Words : Marine Riser(석유시추보호관), Oscillation in Water(접수진동), Geometric Nonlinearity(기하학적 비선형성), Vortex Shedding(보오텍스), Jump Phenomena(이력현상)

Abstract

The dynamic behaviour of a marine riser was studied theoretically and experimentally. In linear analysis, the natural frequencies and mode shapes of the riser were obtained from the experiment and they were found to be in good agreement with theoretical results by using a simple asymptotic formula. In nonlinear analysis including viscous drag and large displacement, a numerical-perturbation technique based on the derived linear asymptotic solutions is used to predict the displacements and stresses of the riser in harmonic motion. These results were also compared with experimental data and found to be in general in good agreement.

1. 서 론

최근 세계 각국은 해양 자원 개발을 위하여 여러 가지 형태의 구조물을 설계 건설하고 있으며, 이러한 구조물의 주요 부재로서 원형 파이프가 많이 사용되고 있다. 석유 시추보호관, 해양광물자원채취를 위한 채굴 파이프, 해수의 온도차를 이용하여 에너지를 얻는 설비에서의 cold water pipe 및 해저 송유 등에서 보는 바와 같이 길이가 대단히 긴 파이프가 사용되고 있으며, 크기 또한 매우 다양하다.

이와 같은 구조물 중 석유 시추보호관은 일반적으로 세장비(slender length ratio)가 대단히 큰 부재로서 시추 및 채굴을 하기 위하여 사용되고 있다. 시추봉의 하단은 LBJ(lower ball joint)로 BOP(blow out preventor)에 연결되어 있으며 상단은 UBJ(upper ball joint)로 상하동요 보상시스템에 연결되

어 있다. 이 상하동요 보상시스템은 시추선의 수직 운동에 의하여 유발되는 과도한 응력을 최소화하기 위하여 설치되어 있다.

석유 시추보호관은 해상환경에 의하여 운동하고 있으며, 작업시 시추보호관의 파괴는 부분 구조물의 안정성 뿐만 아니라 전체 구조물에 미치는 영향이 대단히 크므로 시간적으로나 경제적으로 막대한 손실을 초래하게 된다. 석유 시추보호관은 시간에 따라 변화하는 하중, 즉 풍력, 파랑하중, 조류등 동유체력 및 시추선운동에 의하여 움직이고 있다. 이와 같은 기진력들은 그 양상이 매우 불규칙하기 때문에 시추보호관의 운동 또한 불규칙한 특성을 나타내게 된다. 초기 설계단계에서는 흔히 정역학적인 해석에 근거를 두고 있으나 시추보호관의 고유진동수가 기진력의 주파수 영역에 가까울 때에는 반드시 동역학적 해석이 수행되어야 한다.

⁺ 1986년도 한국해양공학회 추계 학술대회 발표(1986년 12월)

* 정회원, 한국기계연구원 수석대덕선박분소 해양공학실

본 논문은 시추보호관의 운동특성을 파악하기 위하여 시추보호관 상단의 규칙적인 운동에 관한 이론 해석 및 실험결과에 대하여 기술하고 있다. 이론해석은 석유 시추보호관을 상하양단이 단순 지지되고 상하동요 보상시스템의 인장력이 상단에 작용하는 Euler Bernoulli type beam으로 가정하여 시추보호관의 변위 및 굽힘응력을 계산하였으며, 이때 유체역학계수의 영향을 파악하기 위하여 sensitivity analysis도 수행하였다. 실험은 네벨란드 MARIN연구소와 한국기계연구소가 공동으로 수행하였다.

2. 이론 해석

석유 시추보호관의 정적 평형방정식이나 운동방정식을 정립하는데 있어서 시추보호관의 길이가 대단히 길기 때문에 중력에 의한 자중의 효과를 반드시 고려해야 한다는 점이 흔히 수행하는 보해석과 크게 다른 점이 된다. 또한 경계조건도 시추선의 운동에 기인하는 시간변화에 따른 경계조건을 사용해야 하며, 또한 시추선의 평균 움직임을 고려하여 문제를 풀어야 한다. 3차원적 대변형에 대한 비선형 운동방정식의 유도는 참고문헌¹⁾에 자세히 유도되어 있으며 정적 평형방정식의 경우에는 그 운동 방정식으로부터 시간 변위에 관련되는 항들을 제거하므로써 얻을 수 있다. 일반적으로 석유 시추 보호관의 운동해석은 정적해석 및 동적해석으로 나누어 생각할 수 있으며, 본 논문에서는 이에 대하여 간략하게 기술하고자 한다. 비선형 문제에 관한 자세한 이론해석 방법은 참고문헌²⁾에 기술되어 있다.

(1) 정적해석

평형방정식을 푸는 데 있어서 수학적으로 보면 미분방정식의 계수가 상수가 아니라 변수(시추보호관의 축방향인 x 의 함수)이므로 일반적인 경우에 대하여, 비록 식 자체가 선형 미분방정식이라 해도 이론해를 구하기는 대단히 어렵다. 따라서, 현재까지는 power series expansion, Rayleigh-Ritz method, F.E.M. 또는 F.D.M.을 이용하여 근사해를 구하였고 closed form solution을 얻지 못하였으나 최근에 굽힘강성 $EI(x)$ 및 유효인장력 $Tc(x)$ 의 계수가 시추보호관 길이에 비하여 서서히 변화한다는 가정 아래 Kim³⁾이 WKB방법을 사용하여 최초로 이론해를 closed form으로 구하였다. 원래 이 이론해는 운동방정식을 풀기위하여 최초로 유도된 Green함수를 사용하여 적분한 형태로써, 거진진동수를 0으로 놓으

면 정역학에서의 해가 된다. 특히 시추보호관의 굽힘 강성이 일정하고 인장력이 선형적으로 변하는 경우에는 Airy함수를 사용하여 완전해를 구할 수 있으나³⁾, 앞서 말한 asymptotic solution으로 손쉽게 구할 수 있다.

(2) 동적해석

시추보호관의 고유진동수 및 고유진동형을 구하는데 있어서 굽힘강성, 유효인장력, 및 단위 길이당 질량이 시추보호관 길이방향의 변수 (x 의 함수)이므로 수치해석을 수행하거나, 해를 굽힘수 또는 적교함수를 사용하여 전개한 후 수치해석을 통하여 구할 수도 있다. 그러나 이러한 방법은 시추보호관 설계시 그 변수의 영향을 알기 위하여 parametric study를 하는 경우에 시간적으로나 경제적인 면에서 손실이 크다. 반면에 Kim⁴⁾이 미소교란법을 이용하여 구한 asymptotic solution을 사용하면 고유진동수 및 진동형을 쉽게 구할 수 있다.

운동해석 방법에 있어서도 크게 선형 해석법과 비선형 해석법으로 나눌 수 있으며 선형 해석법의 경우 해의 중첩원리를 사용할 수 있기 때문에 대단히 큰 이점을 가지고 있다. 따라서 선형해석의 경우 시간 영역 및 주파수 영역에서 해석할 수 있고, 비선형 해석인 경우 비선형 항을 선형화시켰을 때 주파수 영역에서 해석할 수 있으나 그렇지 않은 경우에는 시간 영역에서만 해석이 가능하다. 본 논문은 Kim⁵⁾이 구한 asymptotic solution을 이용하고, 비선형 문제에 대하여 spectral expansion technique를 사용하여 계산하였다.

3. 모형 시험 기법

석유 시추보호관의 모형시험을 하기 위하여는 우선 주요 인자들은 무차원화하여 실선과 모형과의 상관관계를 유도하여야 한다. 만일 모형시험에 있어서 실선에 관계되는 모든 무차원 변수를 동일하게 할 수 있을 때 모형시험의 결과를 바로 실제문제에 적용시킬 수 있으나, 몇 개의 변수라도 동일하게 할 수 없을 때는 크기 효과를 반드시 고려하여야 한다. 경우에 따라서 몇 개의 변수를 맞출 수 없을 때에는 그 변수에 대하여 가정을 하여서 문제를 간단하게 처리할 수도 있다.

일반적으로 모형시험은 실선과 비교하여 기하학적 상사성 뿐만 아니라 동역학적 상사성을 만족해야 하는데, 특히 유체중에 있는 변형할 수 있는 구조물에

대하여서는 유체역학적 상사성과 구조역학적 상사성도 동시에 만족하여야 한다. Fig. 1과 같은 2차원 시추보호관의 운동에 있어서 구하고자 하는 변수가 변위라 하면, 일반적으로 변위 W 는 다음과 같이 표시할 수 있다.

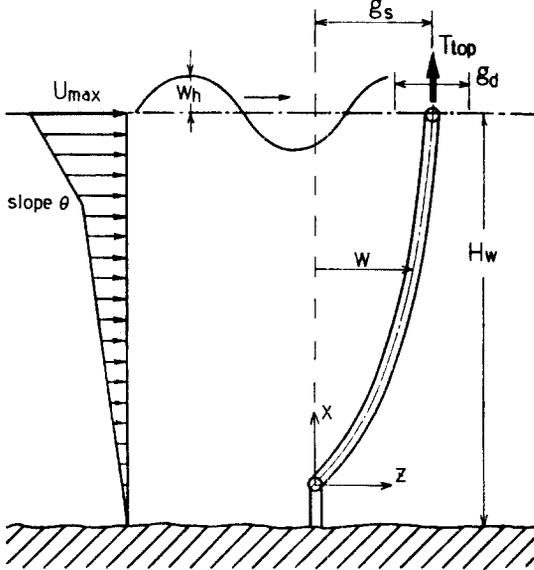


Fig. 1 Marine riser

$$W = F(W_h, \rho, \mu, T_w, T_{top}, g_s, g_d, g, EI, EA, L, M, U_{max}, D_i, D_o, H_w, t, \theta, \text{ etc.})$$

여기서 W_h : 파고

ρ : 물의 밀도

μ : 점성계수

T_w : 파도의 주기

T_{top} : 시추보호관 상단의 인장력

g_s : 부유체의 정적 움직임

g_d : 부유체의 동적 변위

D_o : 시추보호관의 외경

D_i : 시추보호관의 내경

g : 중력가속도

EI : 굽힘강성도

EA : 축방향 탄성강도

L : 시추보호관의 길이

M : 시추보호관의 단위길이당 질량

U_{max} : 최대 조류속도

t : 시간

H_w : 수심

θ : 위치에 따른 조류속도의 경사각

위의 식으로부터 차원해석을 수행하면 다음과 같다.

$$[L] = \left[L^a \left(\frac{M}{L^3} \right)^b \left(\frac{M}{LT} \right)^c T^d \left(\frac{L}{T^2} \right)^e L^f L^g \left(\frac{L}{T^2} \right)^h \right]$$

$$\left(\frac{M^3}{T^2} \right)^i \left(\frac{ML^3}{T^2} \right)^j L^k \left(\frac{M}{L} \right)^l \left(\frac{L}{T} \right)^m L^n L^o L^p T^r$$

여기서 a, b, c, \dots, r 은 차원을 맞추기 위한 지수들이다. 이 식으로부터 차원을 만족시키는 관계식을 구하고, 기본차원 L, M, T 를 포함한 세 변수 D_o, ρ, T_w 를 선택하여 정리하면 최종적으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{W}{D_o} = f \left(\frac{L}{D_o}, \frac{D_i}{D_o}, \frac{H_w}{D_o}, \frac{g_s}{D_o}, \frac{W_h}{D_o}, \frac{g_d}{D_o}, R_e, F_r, \left(\frac{U_{max}}{V_o} \right), \left(\frac{M}{\rho D_o^2} \right), \left(\frac{T_{top} L^2}{EI} \right), \left(\frac{M L^4 w^2}{EI} \right), \left(\frac{M L^2 w^2}{EA} \right), \frac{t}{T_w}, \theta, \text{ etc.} \right)$$

여기서 윗식 중 무차원 변수를 다음과 같이 정의하였다.

$$V_o \equiv W_h \cdot w = W_h \cdot (2\pi f)$$

$$R_e \equiv \frac{U_{max} D_o}{\nu}$$

$$F_r \equiv \frac{U_{max}}{\sqrt{g D_o}}$$

$$K_c \equiv \frac{V_o T_w}{D_o} = 2\pi \left(\frac{W_h}{D_o} \right)$$

$$RV \equiv \frac{U_{max}}{f D_o}$$

무차원변수 W_h/D_o 는 KC(Keulegan-Carpenter) number로 나타낼 수 있으며, RV (reduced velocity)도 무차원변수 U_{max}/V_o 와 W_h/D_o 의 조합으로 표시할 수 있다. 이 식으로부터 모형의 기하학적 형상, 재질, 유체 유동조건, 기진주파수 등을 결정하여야 한다. 만일 정상 상태에 대한 실험이라면, 변수 t/T_w 를 소거할 수 있으며 기하학적 상사성을 만족하는 경우에는 윗식의

$$\frac{g_s}{D_o}, \frac{H_w}{D_o}, \frac{L}{D_o}, \frac{D_i}{D_o}$$

등은 자동적으로 만족하게 된다.

유체동력학적 상사성을 만족시키기 위하여 우선 Froude scaling을 하면 다음과 같다.

$$\left(\frac{U_{max}}{\sqrt{g D_o}} \right)_M = \left(\frac{U_{max}}{\sqrt{g D_o}} \right)_P$$

여기서 첨자 M 은 모형, 첨자 P 는 실선을 나타낸다. 더우기 실선의 가속도와 모형선의 가속도가 같다고 하고 λ 를 축적비라 하면

$$(U_{max})_M = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} (U_{max})_P$$

이 성립하며 시간 T , 주파수 w , 속도 V , 가속도 A 의 상관 관계는 다음과 같다.

$$T_M = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} T_P$$

$$w_M = \sqrt{\lambda} w_P$$

$$V_M = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} V_P$$

$$A_M = A_P$$

이와 같이 Froude scaling과 가속도장을 맞추는 경우에 KC number는 자동적으로 일치하게 되나 Re number는 맞출 수가 없으므로 실선적용시 크기효과를 고려해야 한다.

시추보호관은 시추선이나 배의 운동시험과는 달리 flexible한 부재로서 수중운동을 하기 때문에 유체동력학적인 상사성 뿐만 아니라 탄성학적 상사성도 동시에 만족시켜야 한다. 위와 같은 방법으로 관련무차원변수를 일치시키면 다음과 같은 결과를 얻는다.

$$M_M = \frac{1}{\lambda^2} M_P$$

$$(EI)_M = \frac{1}{\lambda^5} (EI)_P$$

$$(EA)_M = \frac{1}{\lambda^3} (EA)_P$$

$$(T_{top})_M = \frac{1}{\lambda^3} (T_{top})_P$$

4. 모형 제작, 설치 및 실험

일반적으로 모형을 제작하기 위하여서는 우선 축적비 λ 를 결정해야 하며 이 값은 조파기가 만들수 있는 최대 파고, 시험수조의 크기, 수조의 작업면적, 축적효과등을 고려하여 결정해야 한다. 시추보호관, 수중 파이프라인과 같은 경우에는 주로 수조의 깊이가 고려되어야 한다. 모형의 재질은 원식에서 유도된 모형과 실선의 상관관계로부터 선택하기 쉬운 재질로 결정해야 하며 수조의 물 깊이도 조정가능할 수 있으면 좋다.

Table 1 Riser specifications

| Designation | Symbol | Unit | Hard PVC model | Full scale |
|------------------------------------|----------|---------------|-----------------------|--------------------|
| Length | L | m | 3.70 | 148.0 |
| Outer diameter | D | m | 0.010 | 0.40 |
| Moment of inertia | I | m^4 | 0.42×10^{-9} | |
| Young's modules | E | N/m^2 | 3.05×10^9 | |
| EA | EA | N | 1.24×10^5 | 7.9×10^9 |
| EI | EI | $N \cdot m^2$ | 1.27 | 13.0×10^7 |
| Kill and choke line | d_{ck} | m | 0.0025 | 0.10 |
| Weight in air | W | N | 5.8 | 372×10^3 |
| Weight in water | W | N | 3.58 | 253×10^3 |
| Mass inclusive kill and choke line | M | kg | 0.595 | 38×10^3 |

실제와 비슷한 석유 시추보호관을 구현하기 위해서 API 시추보호관[5]을 선택하였다. API 시추보호관을 제작할 수 있도록 하기 위하여 Hoogslagvast PVC를 선택하였다[4]. Table 1에 선택된 PVC와 API 시추보호관의 물리적 성질이 나타나 있으며, 이는 앞절에 기술된 바와같이 굽힘강성에 대한 무차원량의 상사성을 만족시킨다. 시추보호관의 실선 및 모델의 재원이 역시 Table 1에 나타나있다.

시추보호관의 운동에 의한 굽힘응력을 기록하기 위하여 Fig.2와 같이 PVC 모형의 다섯 지점에 종방향(파도 진행 방향)으로 스트레인게이지를 부착하고, 횡방향 응력을 기록하기 위하여 B, F 두 지점에 스트레인게이지를 부착하였다. 시추보호관 상하단에 작용하는 힘을 측정하기 위하여 양단A, G에 스트레인게이지형 3방향 힘변환기를 universal joint로 연결

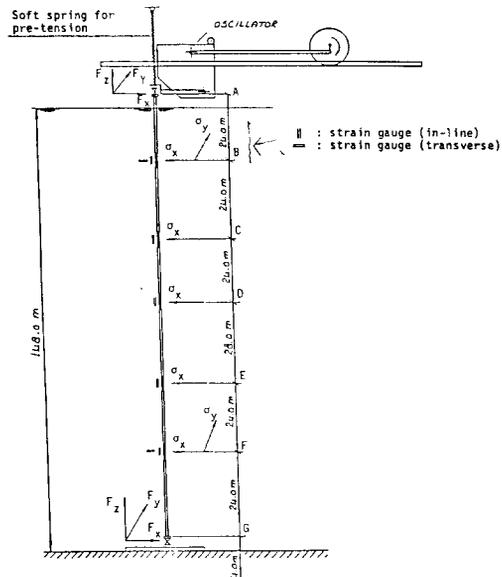


Fig. 2 Test set-up

하였다. 이 힘변환기는 MARIN이 자체 개발한 것으로써 3축방향 힘을 동시에 기록할 수 있고, $\pm 5kg$ 범위에서 선형적이며 독립성이 뛰어나다. 시추보호관 하단의 힘변환기는 수조 바닥에 고정하고 상단의 힘변환기는 강제조화진 동기에 고정하였다. 실험을 수행하는 동안 시추보호관 상단에 초기 인장력(pre-tension)을 갖도록 Fig.2와 같이 스프링으로 연결하여 상단에 변위가 있어도 일정한 인장력을 유지할 수 있게 장치하였다. 시추보호관 상단에 연결된 강제조화진동기는 요구되는 시추선의 운동 및 움직임을 시뮬레이션하는 것으로서 모터의 회전운동을 시추보호관 상단의 왕복운동으로 변환하여 원하는 주파수와 진폭을 만드는 장치이다. 시추보호관 상단의 연결상태가 Photo. 1에 나타나 있다. 시추보호관의 수중 운동변위는 두개의 수중 비디오 카메라로 관측하여 개략적인 변위와 운동형태를 기록하였으며, 시추보호관 상단의 운동은 전위차계 장치를 이용하여 기록하였다.

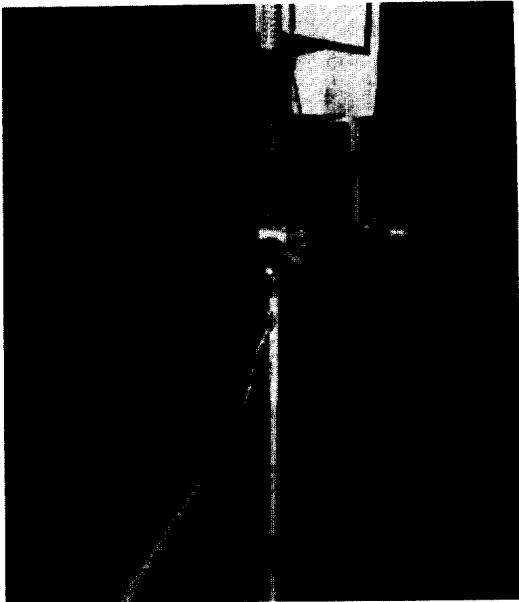


Photo 1 Top section of the riser in water

5. 이론 및 실험결과 검토

석유 시추보호관의 모형 시험의 내용은 다음과 같다.

- 공기중 고유진동수 측정
- 공기중 정적변형 측정

- 공기중 강제 조화 진동시험
- 정수중 고유진동수 측정
- 정수중 강제 조화 진동시험

공기 중에서의 고유진동수 및 정적 변형시험은 모델의 구조적 특성을 파악하기 위하여 수행되었다. Fig.2와 같이 설치된 시추보호관에 대해 공기 중에서 자유진동 감쇠시험을 수행하여 상단인장력이 775 kN (실선에 대한 값)일 때 고유주기가 6.2초, 상단 인장력이 407kN 일 때 고유주기가 9.9초로 얻어졌다. 이때 모델의 kill line과 choke line은 전체 굽힘 강도에 큰 영향을 미치지 않는다. 시추보호관의 정적변형 시험결과와 이론결과가 Fig.3에 나타나 있다.

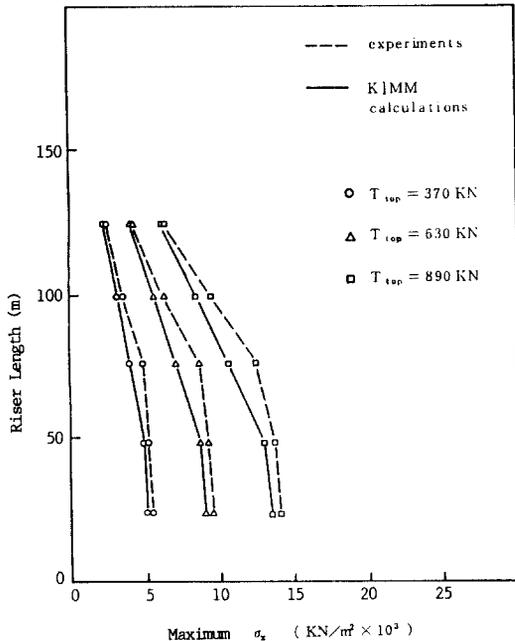


Fig. 3 Static test in air ($T_{top} = 775kN$)

유체의 영향이 없는 상태에서 시추보호관의 응답을 구하기 위하여 공기중에서 강제조화 진동시험이 수행된다. 주어진 모든 실험 데이터는 평균치가 영이고, 인장력은 시추보호관의 자중을 포함하며, 시추보호관의 각 위치에서 측정된 응력값은 굽힘에 의한 응력만을 나타낸다. 강제조화진동시험은 주파수 w 가 0.4 rad/s 부터 1.1 rad/s의 범위에 걸쳐 수행되었다.

정수 중에서의 실험은 Fig.2와 같이 강제 진동기를 설치하여 정수 중에서 수행되었다. 실험 조건은 인장력을 370kN, 630kN, 890kN으로, 행정거리를 0.6m, 1.0m, 2.0m로 강제진동수를 0.0~1.4 rad/s

의 범위로 정하였다. 정수 중에서 인장력이 890kN, 일 때 강제진동수를 서서히 증가시킨 결과 고유주기가 7.5~9초로 늘어났다.

석유 시추보호관의 이론계산을 수행하기 위하여 당연구소가 보유하고 있는 NORID2 프로그램을 사용하였으며, Table 1에 주어진 모델데이터를 이용하여 입력자료를 작성하였다. 시추보호관의 총 중량을 392kN으로 선정할 경우에 공기중 시추보호관의 고유진동수는 인장력이 775kN 일 때 고유주기가 6.16 초, 인장력이 407kN일 때 9.83초로서 실험치와 각각 0.7%, 0.6% 상대오차를 갖는다.

정수 중의 고유진동수를 계산하여 실험치와 비교하면 유체역학적 계수를 결정할 수 있다. kill line 및 choke line의 영향에 의한 유체의 교란을 유효지름으로 변환하기 위하여 유효지름을 0.6m로 선정하였으며, 항력계수 C_D 를 2.0으로 관성력계수 C_M 을 2.2로 선택하였다. 이 경우 인장력이 890kN이면 고유주기가 7.96초로 계산되며, 이는 실험치의 고유주기 7.5초~9초 범의 내에 존재한다. 선정된 유체역학계수를 모든 조건의 석유 시추보호관 계산에 이용하였다. Table 2는 NOKID2로 계산된 시추보호관의 고유진동수를 나타낸다.

정수 중에서 수행된 강제조화진동 실험결과와 계

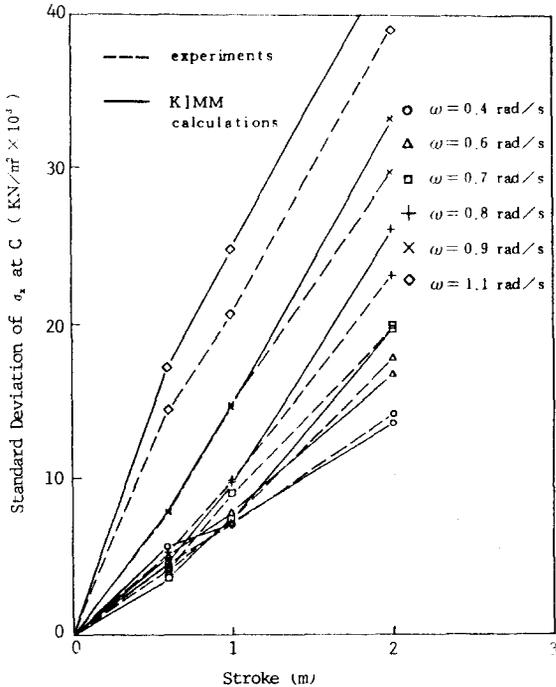


Fig. 4 Effect of stroke on the stress of riser at location C ($T_{top}=370kN$)

Table 2 Calculated natural frequencies of riser unit : rad/s

| State | T_{top} | ω_{n1} | ω_{n2} |
|-------|-----------|---------------|---------------|
| Air | 370 kN | 0.586 | 1.613 |
| | 630 kN | 0.891 | 2.085 |
| | 890 kN | 1.112 | 2.469 |
| Water | 370 kN | 0.482 | 1.199 |
| | 630 kN | 0.654 | 1.488 |
| | 890 kN | 0.789 | 1.730 |

산결과를 비교하였다. Fig.4는 인장력을 370kN으로 일정하게 하고 행정을 0.6m, 1.0m, 2.0m로 변환시킬 때 각각의 주파수에 대한 굽힘응력의 표준편차를 시추보호관의 C 위치에서 관찰한 것이다. 이들 결과로부터 행정을 변화시킴에 따라 이론결과 및 실험결과의 굽힘응력 변화는 각각의 주파수 성분에 대하여 선형적임을 알 수 있다. Fig.5~Fig.7은 주파수가 0.4, 0.7, 1.1 rad/s일 때 행정을 고정시킨 상태에서 인장력의 변화에 따른 시추보호관의 응력분포의 변화를 나타낸다. 이들 그림은 인장력이 응력 크기와 응력 분포에 크게 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 기진주파수가 0.4 rad/s에서는 높은 인장력에서 최대 굽힘응력의 크기는 감소하고 응력 분포가 더 균일해지는 반면, 낮은 인장력에서는 고유진동수가 낮아져 시추보호관 중앙부에 최대 굽힘응력이 결

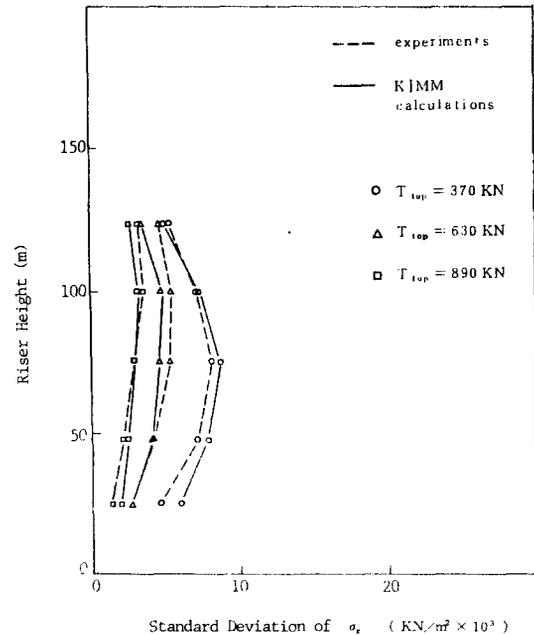


Fig. 5 Distribution of bending stress along the riser ($w=0.4 rad/s$, stroke=1m)

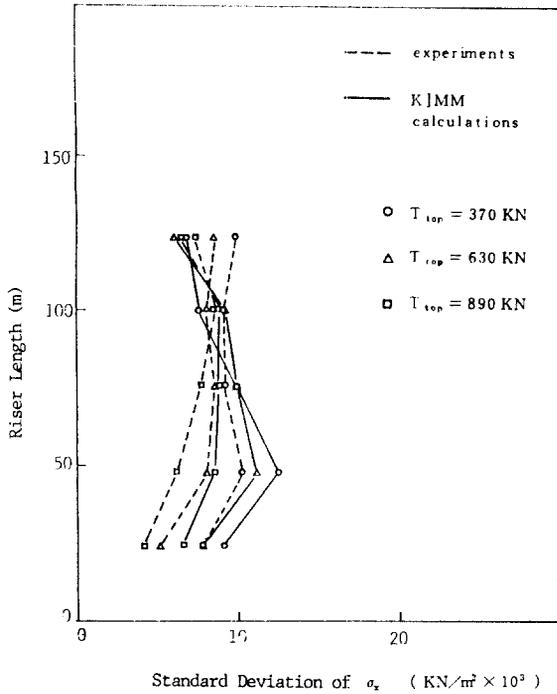


Fig. 6 Distribution of bending stress along the riser ($w=0.7 \text{ rad/s}$, stroke=1m)

린다. 기진주파수가 증가할 수록 최대 굽힘응력은 상부 및 하부에 나타나게 된다. 인장력이 370kN이고 주파수가 1.1 rad/s일 때 계산된 이차 고유진동수가 1.199 rad/s이므로, 조화진동 주파수가 공진영역에 존재하여 계산된 결과가 실험결과보다 큰 값을 나타낸다.

일반적으로 이론계산결과는 실험결과 보다 약간 큰 값을 나타내는데 그 이유는 이론계산 모델이 2차원해석이므로 횡방향 운동으로 인한 in-line운동 감소를 고려하지 않았고, 또한 작은 C_D 값을 사용했기 때문이라고 사료된다. 그러나 시추보호관 상부의 수면위 부분에서는 유체력이 작용하지 않고 횡방향 운동 또한 무시할 수 있기 때문에 실험결과가 약간 크게 나온 것으로 판단된다. 이들 결과로부터 이론결과와 실험결과는 굽힘응력 분포경향 및 시추보호관 각각 위치의 굽힘응력 크기가 대체적으로 일치함을 알 수 있다.

실험으로 얻어진 시추보호관의 B점, F점의 시간 기록으로부터 횡방향 거동이 평면 내 거동과 같은 차원의 크기를 보였다. 유체 역학적-구조적 상호간섭작용과 비선형성으로 인하여 시추보호관의 횡방향운동이 발생하므로 이 신호는 평면 내 운동에 비교하여 부수적인 조화성분이 내포되어 있다. 실험을

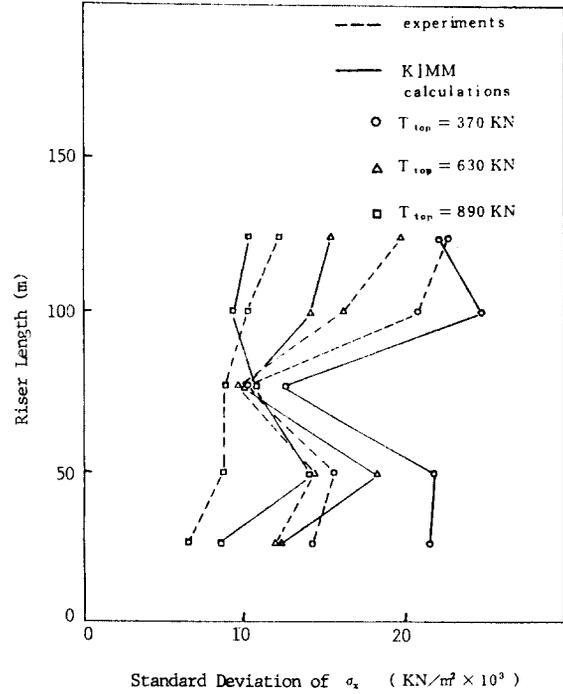


Fig. 7 Distribution of bending stress along the riser ($w=1.1 \text{ rad/s}$, stroke=1m)

수행하는 동안의 횡방향 거동은 강제조화 진동의 크기와 특정 주파수에 한정되어 나타난다. 이것은 강제진동주파수와 시추보호관의 운동변위와 직경의 비에 따라 vortex가 규칙적으로 형성되어서 vortex strength를 증가시키기 때문이다.

6. 결 론

1. 시추보호관의 굽힘응력은 시추선의 1차운동에 따라 선형적으로 변하며 상단인장력의 변화에 영향을 많이 받는다.
2. 시추보호관의 모형시험시 실물과 모든 상사법칙을 동시에 만족시킬 수는 없지만 그 중에서도 가장 중요한 elastic scaling은 축척비를 조정함으로써 적당한 재질을 선택할 수 있다.
3. 시추보호관의 이론해석 결과는 C_D , C_M 값에 영향을 많이 받고 있으나 multiple riser와 같이 복잡한 형상의 시추보호관의 C_M 값의 추정을 위해서는 공기중 및 정수중에서 고유진동수를 측정하는 실험을 거쳐 결정하는 것이 바람직하다.
4. Asymptotic solution을 이용한 비선형 해석결과는 실험결과와 대체로 일치하였으며, 이러한 방법은 시추보호관의 해석이나 설계시 유용히 사

용될 수 있다.

참 고 문 헌

- 1) Kim, Y.C., "Derivation of the Three Dimensional Equation of Motion of a Marine Riser for Large Deflections", Proceedings, Energy-sources Technology Conference and Exhibition, ASME, New Orleans, LA, U.S.A., Feb., 1986
- 2) Kim, Y.C., "Nonlinear Vibration of Long Slender Beams", Ph.D. Thesis, Dept. of Ocean Engineering, M.I.T., Cambridge, MA, U.S.A., May, 1983
- 3) Bernitsas, M.M., Papalambros, P., "Design Optimization of Risers under Generalized Static Load", Intermaritec. '80, Hamburg, W. Germany, Sep., 1980
- 4) MARIN, KIMM, "Data Report on Model Experiments", Cooperative Research Program, Jan., 1986
- 5) American Petroleum Institute, "Comparison of Marine Drilling Riser Analyses", API bull., 2J, First Edition, Jan., 1977



韓 · 美 · 日 共同主催 國際學術會議 參加案内

(KSME · SEM · JSME)

—'88 Ⅵ International Congress on Experimental Mechanics—

대한기계학회와 미국의 SEM(Society for Experimental Mechanics) 및 JSME의 공동 주최로 아래와 같이 개최될 "1988 Ⅵ International Congress on Experimental Mechanics"에 대한기계학회에서는 4개의 발표장에서 16~20편의 논문을 발표하도록 계획되어 있습니다.

특히, 우리 한국해양공학회의 재료 및 파괴역학, 동력학 및 제어공학, 고체역학 전공의 회원께서는 많이 참석하여 주시기 바랍니다.

—아 래—

일 시 : 1988년 6월 4~10일(7일간)

장 소 : 미국 Oregon주, Portland시

공동주최 : SEM(주관) · KSME · JSME

초록마감 : 1987년 8월 31일

※ 기타 자세한 내용은 대한기계학회 사무국 [전화번호 : (02) 879-0186]에 문의 바람.