

FPSO 다점 계류 시스템의 최적 설계 연구

임유창* · 김경수* · 정준모* · 김재우* · 김진태** · 여승훈*

*인하대학교 선박해양공학과
**대우조선해양(주) 구조기본그룹2

Study on Optimum Design of FPSO Spread Mooring System

Yu-Chang Lim*, Kyung-Su Kim*, Joonmo Choung*, Jae-Woo Kim*, Jin-Tae Kim** and Seung-hoon Yeo*

*Dept., of Naval Architecture & Ocean Engineering, Inha University, Incheon, Korea
**Structure Group 2, Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering Co. Ltd., Seoul, Korea

KEY WORDS: Spread mooring system 다점 계류 시스템, Mooring line length 계류 라인 길이, Mooring line stiffness 계류 라인 강성, Catenary equation 현수선 방정식, Quasi-static analysis 준정적 해석, Time domain analysis 시간 영역 해석

ABSTRACT: For a spread-moored FPSO (Floating Production, Storage, & Off-loading) subjected to environmental excitation from waves, current, and wind, a procedure to determine optimum length and stiffness of mooring lines is suggested using quasi-static frequency domain response analyses. Coupled relations between design parameters are closely examined. In consideration of this, optimized design parameters are proposed based on minimum weight condition. The initial design parameters for numerical analyses are calculated using the static catenary equation of mooring lines. It is demonstrated the line tension and vessel's offset are influenced by the mooring line length and stiffness. Accordingly it is suggested the optimum vessel's offset range should be determined considering line fatigue damage. The availability and limitation of the application of quasi-static analysis method for spread mooring system are explained by comparing the result of time domain analysis with one of frequency domain analysis.

1. 서 론

최근 원유 수요의 꾸준한 증가는 유가의 지속적인 상승을 가속화 시키는 반면 천해에 위치한 대부분의 유전 개발은 완료되어 수심 1,000m 이상의 심해 유전 개발에 대한 관심이 고조되고 있다. 심해에 설치되는 부유식 플랫폼은 비교적 온건한 해상 작업환경 조건에서 지속적으로 해저 유전 운용이 가능해야 함은 물론 매우 거친 생존 조건 하에서도 안전하게 위치를 고수해야 하므로, 플랫폼의 위치 제어기술은 플랫폼 설계에 있어서 상당히 중요한 부분을 차지한다. 위치 제어 기술은 수동형 제어와 능동형 제어로 구분되며, 수동형 제어에는 일점 계류 시스템(Turret mooring system), 다점 계류 시스템(Spread mooring system) 그리고 인장 계류 시스템(Tension leg system) 등이 있으며 능동형 제어에는 자동위치유지 시스템 등이 있다.

통상적으로 해상에 떠 있는 부유체의 운동을 평가 시, 불규칙 해상파 문제를 규칙파의 선형 중첩 문제로 정식화 한다. 이러한 기본적 가정을 기반으로 규칙파 중, 1차 운동 응답(First order motion response) 및 평균 2차 하중 응답(Mean second-order force and moment response)을 도출한다. 특히 후자의 평균 2차 하중 및 모멘트는 풍력 및 조류력과 함께 계류 시스템의 설계 하중인 파랑 표류력으로, 접수면 압력 직접 적분법(Near-field method) (Pinkster, 1979) 또는 무한 원방 방법(Far-field method)

(Maruo, 1960; Newman, 1967)으로 도출할 수 있다(홍도천, 2002).

또한, Huse(1986), Huse and Matsumoto(1988)는 심해 계류 라인의 비선형 특성 중 감쇠 문제에 대해서 라인 자체는 항력에 대해 적은 접촉면을 가짐에도 불구하고 저 주파수 운동에 대해 많은 영향을 받음을 연구하였으며, 많은 모형 테스트 및 완전 연성 시간 영역 해석(Fully coupled time domain analysis)을 통해 이 점을 증명하였다.

계류 라인의 비선형적 특성을 고려한 수치적 접근 방법에 대해 실행된 많은 연구 중, Ansari and Khan(1986)은 정적 주파수 영역 접근 방법과 동적 시간 영역 접근 방법을 비교한 결과, 주파수 영역 해석은 선박과 계류 라인의 비선형 연성 문제를 정확히 다루지 못하기 때문에 정확성이 결여됨을 밝혔다. 그러나 주파수 영역 해석은 동적 시간 영역 해석보다 해석 시간이 매우 짧으며, 많은 환경 하중 조합을 고려한 전반적인 경향 분석에 적절한 방법으로 알려져 있다. 이러한 장점 때문에 산업 현장에서 주파수 영역 해석 방법이 계류 시스템의 초기 전적 및 계류 라인 배치 결정에 유용하게 사용되고 있다. 또한 Ryu et al.(2009)은 일점 계류 시스템을 대상으로 주파수 영역 해석에 최적화 기법(조화 탐색 법, Harmony search)을 적용하여 최적화 연구를 수행한 바 있다.

본 논문에서는 대표적 부유식 해양 플랫폼인 FPSO의 다점

계류 시스템을 대상으로, 계류 라인 설계 변수들의 초기 산정을 위해현수선 방정식(Catenary equation)을 적용하고, 설치해역의 환경 하중 데이터를 이용하여 수치 해석을 실시한 후, 이로부터 최적 설계 변수를 제시하고자 한다.

2. 초기 설계 변수 결정

다점 계류 방식의 위치 제어 운영 성능은 외력에 의한 움직임 범위에 따라 결정 된다. 구조물의 움직임 응답은 라인 길이, 라인 강성에 따라 변화하며, 라인 길이는 FPSO와 앵커 위치에 따라 증속된다. 앵커 위치는 해저면의 특성을 고려하여 가급적 대칭 방식형으로 결정되며, 통상적으로 해저면 선행 탐사 후 앵커의 위치가 결정 된다. 산업 현장에서 계류 시스템 초기 설계 시, 각 계류 라인의 길이와 재료는 같은 것으로 간주하고, 각 라인의 배치는 선수미 및 좌우현에 대한 4면 대칭으로 간주한다.

Fig. 1과 같이 계류 라인의 미소 단위 대한 힘의 평형은 식 (1) 및 식 (2)과 같이 정식화 할 수 있으며 이를 현수선 방정식이라 한다(Faltinsen, 1993).

$$dT - \rho g A dz = [u \sin \phi - F(1 + T/EA)] ds \tag{1}$$

$$T d\phi - \rho g A z d\phi = [w \cos \phi + D(1 + T/EA)] ds \tag{2}$$

T: 계류 라인의 인장력

ϕ : 수평과 계류 라인이 만드는 각도

D: 조류의 법선력

F: 조류의 접선력

E: 계류 라인의 탄성 계수

A: 계류 라인의 단면 면적

하지만 언급된 식 (1)과 식 (2)는 라인의 비선형 거동을 나타내며, 일반적으로 양해법(Explicit method)으로 해를 구하기는 불가능하다. 따라서 초기 접근을 위해 조류력 성분(Current force components) F 및 D와 탄성 효과(Elastic effect)를 무시하면 식 (3)과 같이 현수선 방정식의 간이식을 유도할 수 있으며, 이때 앵커의 위치는 식 (4)로부터 구할 수 있다(Faltinsen, 1993).

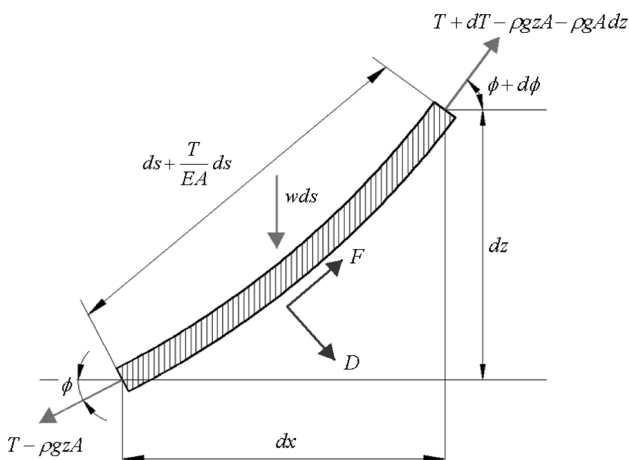


Fig. 1 Free body diagram of mooring component

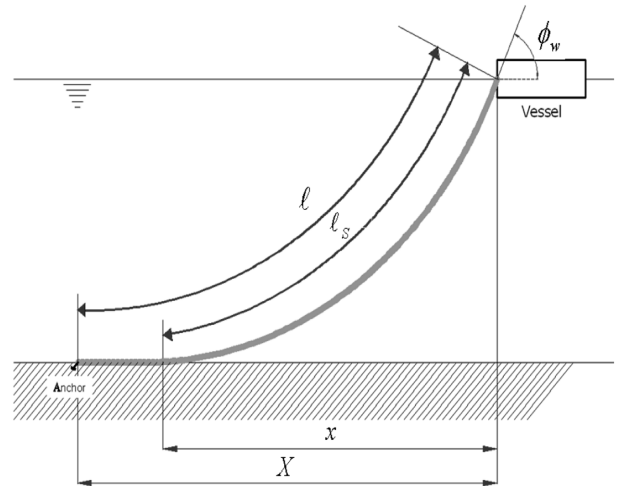


Fig. 2 Configuration of mooring line

$$l_{min} = h(2 \frac{T_{max}}{wh} - 1)^{0.5} \tag{3}$$

l_{min} : 최소 계류 라인의 길이, [m]

T_{max} : 최대 계류 라인 인장력, [kN]

h: 수심, [m]

w: 계류 라인의 수중 중량, [N/m]

$$X = l - h(1 + 2 \cdot \frac{T_H}{w} \cdot \frac{1}{h})^{0.5} + \frac{T_H}{w} \cosh^{-1}(1 + h \frac{w}{T_H}) \tag{4}$$

T_H : 계류 라인의 수평력, [kN]

X, x: 계류 라인의 수평 거리, [m]

앞서 언급된 식 (3), (4)은 계류 라인에 작용하는 항력과 같은 비선형 하중 효과를 배제하고 힘의 평형에 의하여 결정된 식으로서, 이로부터 계류 라인의 길이를 최종적으로 결정할 수는 없다. 즉, 실제 해역에서의 환경 하중과 FPSO 하중 조건에 대한 비선형성을 고려한 계류 라인의 설계가 필요하다.

따라서 계류 라인의 최적 길이를 결정하기 위해 모든 해상 조건 및 하중 조건에 대한 계류 시스템의 응답을 확인해야 하기 때문에 많은 반복 계산이 필요하게 된다. 하지만 반복 계산의 초기값을 최적값에 근접하게 설정함으로써 반복 작업에 의한 설계 공수를 줄일 수 있다.

3. 사례 연구

3.1 FPSO의 제원 및 환경 하중

연구에 적용된 해역은 서부 아프리카 해역으로서 다른 해역 보다 상대적으로 파고가 낮지만 저 주파수 너울(Swell)이 지배적인 해역이며, 설치 해역의 해상 깊이는 785.0m 에 달한다. 대상 FPSO의 선형은 직사각형 형식으로 자세한 제원은 Table 1과 같다. 또한 적용된 FPSO는 파장 및 파 에너지의 크기에 비해 상대적으로 길기 때문에 선박의 운동 응답 R.A.O(Response amplitude operator)는 주파수 영역 해석을 통해 도출하였고,

Table 1 Principal particulars of FPSO

Parameters	Remark
LOA	325.0 [m]
Breadth	61.0 [m]
Depth	32.0 [m]
Draft	24.5 [m]
L.C.G	170.7 [m]
V.C.G	19.1 [m]
G.M	5.8 [m]
Design life	20 [years]

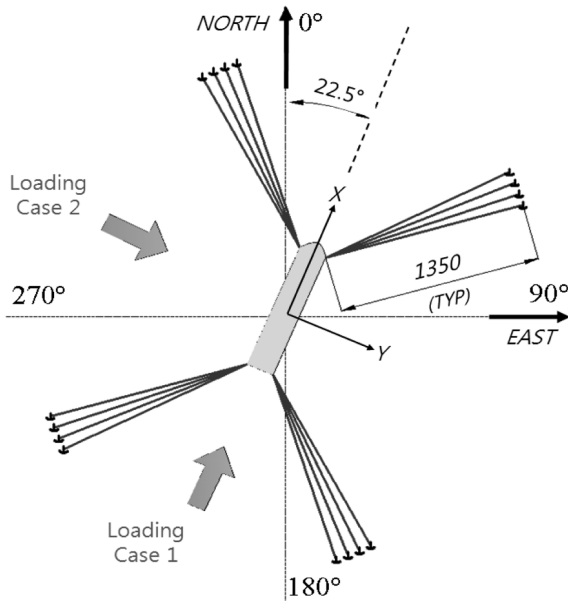


Fig. 3 General arrangement for spread mooring system

계류 라인 자체 거동은 선박의 운동 응답 및 저주파 표류력의 평균치를 고려한 정적 주파수 영역 해석을 이용하였다.

본 FPSO의 선수 방향은 진북에서 시계 방향으로 22.5도 위치에 설치된다. Fig. 3과 같이 4개의 큰 묶음과 각 묶음에는 4개의 계류 라인으로 구성되어 4×4 다점 계류 시스템을 갖추고 있다. 각 계류 라인은 상부부터 체인-와이어-체인으로 구성되며, 이를 통상 복합 구성 계류 라인이라 칭한다. 또한 각 라인의 앵커는 FPSO로부터 수평 방향으로 1,350m 만큼 떨어진 지점에 위치하며, 각 라인은 상호 5도 간격으로 배치된다.

설치 해역에 대한 환경 하중은 1차 너울(Main swell), 2차 너울(Secondary swell), 풍파(Wind-driven sea), 조류 그리고 바람이며, 해당 해역에서의 재현 주기 100년의 최대값을 적용하였다. 본 연구에서는 아래 Table 2 및 Table 3에서 보이는 바와 같이, 대표적인 2가지 하중 조건 조합이 초기 길이 결정에 사용되었다.

너울과 풍파의 조합을 동시에 고려하기 위하여 Ochi-hubble 파 스펙트럼을 적용하였으며, 특히 바람에 대해서는 NPD(Norwegian petroleum directorate)스펙트럼을 이용하여 돌풍(Gust wind)을

Table 2 Environmental condition 1

	H_s [m]	T_p [s]	Direction [degree]
Main swell	4.35	12.0	195.0
2nd swell	1.56	12.6	195.0
Wind wave	1.56	12.6	195.0
Wind	8.1 [m/s]		247.5
Current	0.52 [m/s]		247.5

Table 3 Environmental condition 2

	H_s [m]	T_p [s]	Direction [degree]
Main swell	1.9	13.3	247.5
2nd swell	1.56	12.6	247.5
Wind wave	1.56	12.6	247.5
Wind	22.5 [m/s]		270.0
Current	0.52 [m/s]		270.0

구현하였다.

3.2 설계 변수 시나리오

계류 라인의 수치 해석에서는 라인의 길이를 1차 변수로, 라인의 강성을 2차 변수로 설정하였고, FPSO의 허용 율셋과 최대 인장 하중을 각각 1차 및 2차 제한 조건으로 설정하였으며, 최소 중량을 3차 제한 조건으로 설정하였다.

일반적으로 해양 구조물과 계류 라인의 연결 시 초기 인장 하중(Pre-tension)값은 해양 구조물의 운용 목적에 부합되는 율셋 범위, 설치 해역의 환경 조건 그리고 구조물과 계류 라인의 연결 방법 등을 고려하여 설정 되며, 이 초기 인장 하중 결정 방법은 본 논문에서 연구하고자 하는 계류 라인의 최적 설계의 선행 단계임을 밝힌다. 이러한 점을 고려하여 연구에 적용된 초기 인장 하중 값은 동 해역에 운용중인 실적선의 경험적 수치인 최소 파단 하중(Minimum breaking load, M.B.L.)의 7~12%의 값을 검토하였다. 이 연구 논문에서는 식 (3)에 사용되는 최대 인장력을 최소 파단 하중의 10.0%로 간주하여 라인의 지름에 대한 초기 값을 결정하였다. 또한 라인의 지름은 경험적으로 초기치를 결정하였다. 적용된 최대 인장력에 따른 초기 길이와 초기 지름을 라인의 부재별로 Table 4에 나타내었다.

하부 체인(Bottom chain)과 상부 체인(Top chain)의 길이를 고정으로 간주하고, 중간 와이어(Wire)의 길이를 3.0m 간격으로

Table 4 Initial values of line length and line diameter

	Bottom	Middle	Top
Component	R3 studless	Sheathed spiral strand wire	R3 studless
Length	200 [m]	1291.2 [m]	100 [m]
Diameter	117 [mm]	102 [mm]	117 [mm]
Unit weight	300 [kg/m]	55.3 [kg/m]	300 [kg/m]
M.B.L	1077.5 [MT]	1147.3 [MT]	1077.5 [MT]

Table 5 Design variables of mooring line length

	Total length [m]	Mid-wire length [m]
L1	1570.2	1270.2
L2	1573.2	1273.2
L3	1576.2	1276.2
L4	1579.2	1279.2
L5	1582.2	1282.2
L6	1585.2	1285.2
L7	1588.2	1288.2
L8 ¹⁾	1591.2	1291.2
L9	1594.2	1294.2
L10	1597.2	1297.2
L11	1600.2	1300.2

1) Initial condition

Table 6 Design variables of wire diameter

	Diameter [m]	Unit weight [kg/m]	M.B.L [MT]
D1	90.0	42.9	891.9
D2	92.5	45.3	944.1
D3	95.5	48.1	1004.1
D4	98.0	51.0	1064.7
D5 ¹⁾	102.0	55.3	1147.3
D6	105.5	58.4	1216.6
D7	108.0	61.3	1280.3
D8	111.5	65.0	1360.3

1) Initial condition

Table 7 Design criteria

	Design criteria	Remark
Offset range	24~30	[m]
Tension	3.0	S.F based on M.B.L

로, 21.0m 감소 및 9.0m 증가시켜서 라인 길이에 따른 효과를 고려하였다(Table 5 참조).

중간 와이어의 지름을 수 mm 간격으로 증분하여 최소 90.0mm, 최대 115.5mm 까지 증감시켜 나타내었다(Table 6 참조). 적용된 와이어의 지름은 제작 업체의 표준 제작 규격에 준하여 결정되었다.

본 연구에서는 각 라인 길이 변화에 따라 11회, 라인 강성에 따라 8회, 그리고 하중 조건에 따라 2회를 고려하여, 총 176회 반복 해석을 수행하였다.

최적 설계 변수는 Table 7에 정의된 제한 조건을 만족하여야 한다. 인장력에 관한 제한 조건의 경우 안전계수로 정의하며, 산업 현장에서 일반적으로 적용하는 안전계수 3.0을 적용하였으나, 계류 시스템의 상세설계 시에는 설치 해역의 환경 조건, 플랫폼의 종류, 계류 시스템의 종류 등을 고려하여 결정하여야 한다. 허용 오프셋 범위에 관한 제한 조건의 경우에도 설치 해역,

플랫폼의 종류, 계류 시스템의 종류, 양강기(Riser), 적하역(Off-loading) 등을 고려하여 수심의 3~4%를 사용한다. 본 연구에서는 허용 오프셋의 범위를 24~30m로 결정하였다.

3.3 해석 결과

프랑스 선급(Bureau veritas, BV)의 다점 계류 해석 전용 프로그램인 ARINE7(v7.0 r1781)을 사용하였다. 실제 해역의 환경 조건과 실적선 데이터를 적용한 반복 수치 해석을 수행하였으며, Table 7에 정의된 제한 조건을 만족하는 설계 변수를 도출하였다.

3.3.1 설계 변수 상호 관계 분석

동일한 지름을 가지는 경우, 계류 라인의 길이가 길어짐에 따라 인장력은 감소하며 오프셋의 범위가 선형적으로 증가함을 Fig. 4로부터 알 수 있다. 또한 동일한 길이를 가지는 경우, 구조물의 오프셋 변화는 계류 라인의 지름 변화에 공급의 역수에 따라 나타나며, 본 연구에 적용된 환경 및 구조물의 조건하에서 계류 라인 지름 변화에 따른 오프셋 변화가 크지 않음을 알 수 있다.

계류 라인의 길이가 길수록 인장력은 감소함을 Fig. 4로부터 알 수 있다. 라인이 동일한 경우, 라인의 지름(강성)이 증가하면 인장력도 동시에 증가하는 것을 알 수 있다(Fig. 5 참조). 결국

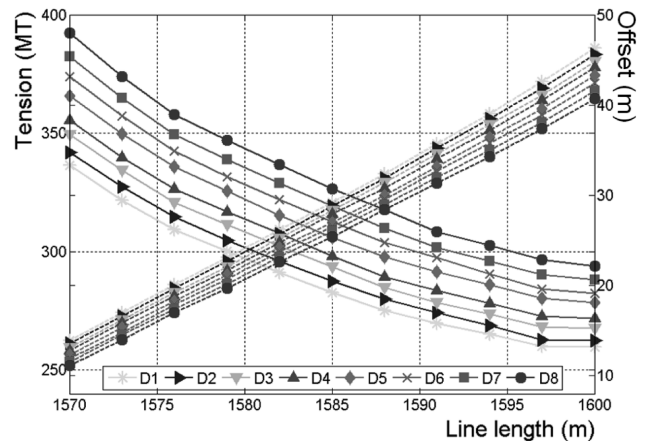


Fig. 4 The relationship of line length with tension and offset

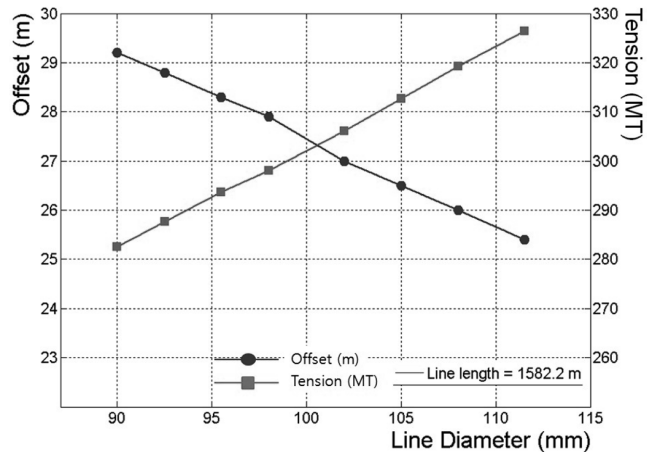


Fig. 5 The relationship of line diameter with offset and tension

Table 8 Optimum design value

Load case	No. 37
Line length	1582.2 [m]
Line diameter	102.0 [mm]
Tension	315.2 [MT]
Offset range	24.2 [m]
Weight per line	158.2 [ton]

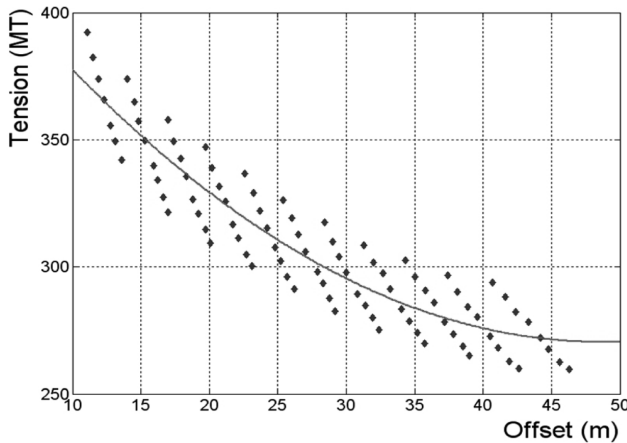


Fig. 6 The relationship between offset and tension

오프셋과 라인의 인장력은 반비례 관계임을 알 수 있으며 플랫폼의 운영 관점에서 최적 설계 변수를 도출할 필요가 있다.

3.3.2 최적 설계 변수의 결정

위의 해석 결과로부터 Table 7의 제한 조건을 만족하는 설계 변수를 1차적으로 추출하고 최소 설계 중량(비용)을 제시하는 설계 변수를 최종적으로 결정하였다(Table 8 참조). 참고로 Table 8에 나타난 설계변수는 결과적으로 실적선 적용 설계 변수와 매우 유사한 경향을 보여 준다.

위 Table 8은 주파수 영역의 준정적 해석 방법을 통해 도출된

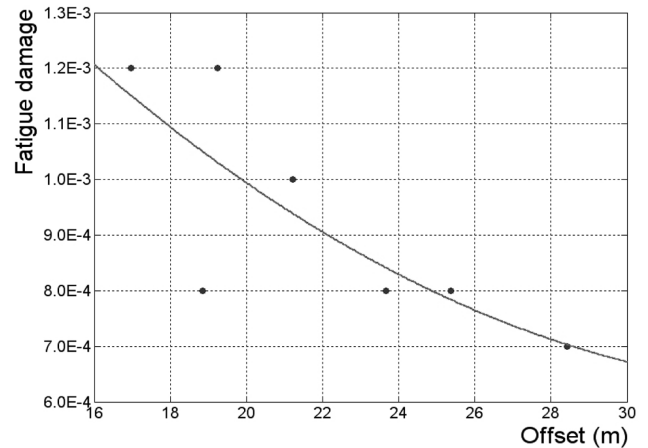


Fig. 7 The relationship between fatigue damage and offset

Table 9 Comparison of max. tension according to analysis methods

	Frequency domain	Time domain
M.B.L	1147.3 [MT]	1147.3 [MT]
Mean tension	315.2 [T]	314.4 [T]
Max. tension	N/A	432.8 [T]
Min. tension	N/A	260.0 [T]
Required S.F	3.00	2.20
Actual S.F	3.64	2.65
S.F Ratio	1.21	1.20

값으로써, 계류 라인의 초기 배치를 결정하는데 있어 이 방법은 비교적 빠른 해석 시간과 많은 변수를 고려할 수 있는 장점이 있다.

3.3.3 인장력 - 피로 손상도 분석

Fig. 6은 오프셋 증가에 따른 인장력의 감소 정도를 나타내고 있으며, 이는 라인의 피로 손상도가 오프셋과 밀접한 관계가 있음

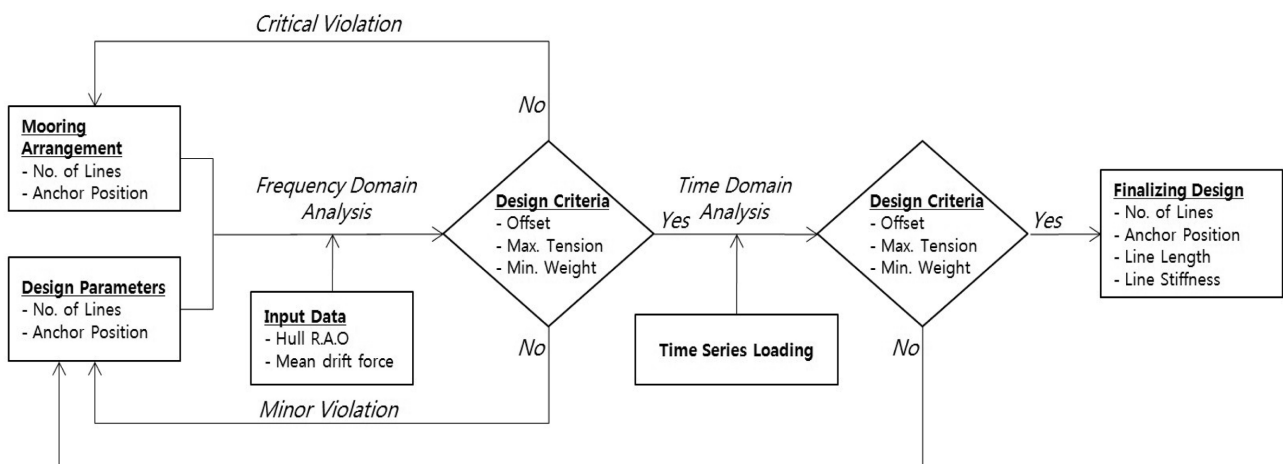


Fig. 8 Mooring design flow chart

을 예시한다. Fig. 7은 읍셋 및 인장력 제한 조건을 만족하는 설계 변수에 대한 계류 라인의 누적 피로를 나타낸다. 읍셋이 작으면 인장력이 증가하여 라인의 피로 손상도가 증가하기 때문에 초기 설계 단계에서 너무 적은 읍셋을 취할 경우 라인의 피로 손상을 유발할 수 있다. 따라서 피로 손상을 고려한 허용 읍셋 범위를 결정하는 것이 중요하다.

3.3.4 해석 방법의 타당성 분석

Table 8에 명기된 라인의 설계 변수에 대하여 시간 영역 해석을 수행하여, Table 9에 결과를 비교하여 나타내었다. 계류 라인의 인장력은 해석 방법에 따라 비교적 큰 차이를 보이지만, API(2005) 및 Bureau Veritas(1998)에서 제시하는 안전 계수를 고려한 인장력의 비는 각각 1.21와 1.20으로서 두 가지 해석 방법에서 거의 유사한 수준으로 나타났다.

Table 9로부터 알 수 있는 사실은, 주파수 영역 준정적 해석 방법은 계류 라인의 감쇠 효과 및 조류로 인한 항력(Drag force) 등의 비선형 거동을 무시한 후, 설계 변수의 변화에 따른 계류 시스템의 거동을 파악할 수 있으므로 건적 설계 단계에서 초기 배치를 신속히 결정할 수 있는 장점이 있다. 그러나 시간 영역 해석을 통한 최대 인장력은 주파수 영역 해석에 의한 인장력과 상당한 차이를 보여주고 있으며, 이는 계류 라인의 비선형 거동으로 인한 차이로 판단된다. 따라서 주파수 영역 해석법은 계류 시스템의 실제 거동을 정확히 표현하지 못하며, 상세 설계 단계에서는 계류 라인의 감쇠 효과 및 거동의 비선형성을 고려할 수 있는 동적 시간 영역 해석과 연성 해석법이 필요하다. Fig. 8은 준정적 해석 방법을 이용한 계류 라인 설계 변수 결정 과정과 시간 영역 해석 방법을 통해 설계 변수를 검증하는 다점 계류 시스템의 설계 과정을 종합적으로 나타내고 있다.

4. 결 론

대표적인 심해용 부유식 플랫폼 FPSO에 사용되는 다점 지지 계류 시스템에 대하여, 실제 해역 조건과 실적선의 데이터를 적용하고, 주파수 영역 준정적 해석을 실시하여, 최적 설계 변수를 도출하는 과정을 제시하였다. 현수선 방정식을 사용하여 초기 라인 길이 및 지름을 선정함으로써 최적 변수 도출을 위한 반복 계산 작업 최소화할 수 있었다. 해석 결과로부터 라인 길이와 강성 간의 상호 관계를 제시하였으며, 인장력 및 허용 읍셋에 대한 제한 조건을 만족하는 설계 변수를 도출한 후, 최소 중량을 나타내는 조건을 최적의 설계 변수로 제시하였다. 또한 설계 변수의 변화에 따른 읍셋의 변동이 라인의 피로 손상에 미치는 영향도를 검토하였다. 동적 시간 영역 해석을 수행하여 인장력을 비교한 결과, 주파수 영역 준정적 해석법은 초기 설계 단계에 적절한 해석 방법임을 확인할 수 있었다. 주파수 영역

해석을 통하여 결정된 계류 시스템 설계 변수는 라인의 비선형 거동을 고려한 시간 영역 해석법과 연성 해석법을 통하여 최종적으로 설계 변수를 결정할 필요가 있음을 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 비손상 조건에서 재현주기 100년의 극한 환경 하중을 설계 하중으로 고려하여 최적 설계 변수를 도출하였으나, 실제 설계 시 재현 주기 100년의 극한 하중과 더불어, 재현 주기 10년의 손상 조건과 돌풍(Squall)과 같은 환경 하중을 적용하여 최적의 계류 시스템을 설계할 필요가 있다.

참 고 문 헌

- 홍도천 (2002). "부유식 해양구조물에 작용하는 시간평균 파표 류력에 관한 고찰", 한국해양공학회지, 제16권, 제3호, pp 8-18.
- API (2005). Design and Analysis of Stationkeeping Systems for Floating Structures, RP-2SK, 3rd Edition.
- Bureau Veritas (1998). Quasi-Dynamic Analysis of Mooring Systems using ARIANE Software, Guidance Note - NI461.
- Huse, E. (1986). Influence of Mooring Line Damping Upon Rig Motions, Proc. 18th Offshore Technology Conf., Paper No. 5204.
- Huse, E. and Matsumoto, K. (1988). Practical Estimation of Mooring Line Damping, Proc. 20th Offshore Technology Conf., Paper No. 5676.
- Ansari, K.A. and Khar, N.U. (1986). "The Effect of Cable Dynamics on the Station-Keeping Response of a Moored Offshore Vessel", Transactions of the ASME, Vol 108, pp 52-58.
- Maruo, H. (1960). "The Drift, a Body Floating on Waves", Journal Ship Research, Vol 4, pp 1-10.
- Newman, J.N. (1967). "The Drift Fore and Moment on Ships in Waves", Journal Ship Research, Vol 11, pp 51-60.
- Faltinsen, O.M. (1993). "Sea loads on Ships and Offshore Structures", Cambridge University Press, pp 257~270.
- Pinkster, J.A. (1979). "Mean and Low Frequency Wave Drifting Forces on Floating Structures", Ocean Engineering, Vol 6, pp 593-615.
- Ryu, S.S., Duggal, A.S. and Heyl, C.N. (2009). "Mooring Cost Sensitivity Study Based on Cost-Optimum Mooring Design", 한국해양공학회지, 제23권, 제1호, pp 1-6.

2009년 8월 18일 원고 접수

2009년 12월 17일 심사 완료

2009년 12월 21일 게재 확정