

Mooring Layout Angle and Maximum Tension for Spread Moored FPSOs in Various Metocean Conditions

Sung-Boo Park*, Seung-Jae Lee**, Yun-Suk Chung***, Min-Kyeong Lee**** and Kwang-Hyo Jung****

*Sungdong Shipbuilding and Marine Engineerings, Tongyoung, Korea

**Naval Architecture and Ocean Systems Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan, Korea

***Bureau Veritas Korea, Busan, Korea

****Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Pusan National University, Busan, Korea

다점계류식 FPSO의 해양환경별 계류선 각도와 최대 장력에 대한 연구

박성부* · 이승재** · 정윤석*** · 이민경**** · 정광효****

*성동조선해양

**한국해양대학교 조선해양시스템공학부

***프랑스선급

****부산대학교 조선해양공학과

KEY WORDS: Floating production storage and offloading (FPSO) 부유식 원유 생산저장하역 설비, Spread mooring 다점 계류, Mooring layout angle 계류선 각도, Metocean condition 해양환경조건, Mooring tension 계류선 장력

ABSTRACT: This study demonstrates the result of mooring analysis for five spread-moored FPSOs having different length-to-breadth (L/B) ratios from 4.5-6.5. FPSOs are subjected to four metocean conditions, ones from the Gulf of Mexico (Hurricane/Loop current condition), West Africa, Nigeria, and Brazil Campos Basin, which are amongst the most typical offshore oil and gas fields. With change in design parameters of OBA (Outer bundle angle) and IBA (Inner bundle angle) combinations, a change in the line tension is demonstrated and the OBA-IBA combinations having the smallest line tension are presented for each L/B ratio and sea, respectively. This study is expected to influence the preliminary design layout of an FPSO spread-mooring system as a function of the L/B ratio and metocean conditions.

1. 서 론

석유·가스와 같은 해저 자원을 개발하는 영역이 천해에서 심해로 옮겨감에 따라 거친 해양 환경을 극복하고 자원을 시추·생산할 수 있는 부유식 해양구조물의 적용이 확대되고 있다. 부유식 해양구조물은 위치유지시스템(Station-keeping system)을 이용해 해상에서의 위치를 유지할 수 있어야 하고, 라이저나 계류선에 과도한 하중이 발생하지 않도록 파도, 바람, 조류와 같은 해양환경하중에 의한 6자유도 운동의 크기를 조절할 수 있어야 한다. 부유식 원유 생산·저장·하역 설비(FPSO, Floating production storage and offloading)는 비교적 투자 비용이 저렴하고 건조 기간이 짧아 경제적이면서도 수심에 대한 제약이 거의 없다는 장점을 가지고 있어 전 세계 해역에서 널리 적용되고 있다. 현재까지 다양한 해역의 해양환경조건 하에

서 FPSO의 위치유지 성능에 관한 연구가 수행되어 왔으며, 대표적으로 Wichers and Devlin(2001)는 멕시코 만(Gulf of Mexico, GoM)에서 허리케인 조건(Hurricane condition)과 순환해류 조건(Loop-current condition)의 해양환경자료를 바탕으로 터렛 계류된 FPSO의 라이저와 계류선의 항력계수의 변화에 따른 장력 및 오프셋의 변화를 연구했다. Codiglia et al.(2002)는 서아프리카 나이지리아(West Africa Nigeria) 해역의 해양환경자료를 바탕으로 다점 계류된 FPSO와 서틀탱커를 Tandem 방식으로 배치하고, 실험을 통해 계류선의 장력 및 오프셋의 변화를 연구했다. 2001년 이후 FPSO 설치가 허가된 멕시코 만을 포함해 브라질(Brazil), 서아프리카, 북해(North Sea), 남중국(South of China), 북서부 오스트레일리아(Northwest Australia) 등의 해역에 151척의 FPSO가 운영 중에 있다(Achmad, 2015). 그 중 약 140척의 주요 제원을 조사한 결과 길이는 약 250m~

Received 23 May 2016, revised 11 August 2016, accepted 18 August 2016

Corresponding author Kwang-Hyo Jung: +82-51-510-2343, kjung@pusan.ac.kr

© 2016, The Korean Society of Ocean Engineers

350m, 폭은 약 40m~60m 사이에 분포하고 있고, 길이·폭 비율(L/B)은 대체로 4.5~6.5 사이에 분포하고 있다. 동일한 해양환경조건 하에서도 FPSO의 주요 제원에 따라 위치유지 성능에 차이가 있을 것으로 예상되므로 다양한 변수를 고려한 성능 평가가 요구된다.

일반적으로 FPSO는 위치를 유지하기 위해 일점 계류(Single point mooring), 다점 계류(Spread mooring), 터렛 계류(Turret mooring), 동적 위치제어 시스템(Dynamic positioning system) 등을 이용한다. 계류시스템의 설계 변수로는 부유식 해양구조물의 초기 위치, 계류선과 앵커의 종류 및 개수, 계류선 레이아웃, 페어리드와 앵커의 위치, 초기 인장력(Pretension) 등이 있으며, 다양한 설계 변수가 계류 성능에 미치는 영향을 파악하기 위한 다수의 연구들이 수행되어 왔다(Choung et al., 2013). 특히 Lim et al.(2009)는 다점 계류된 FPSO의 계류선 두께와 길이에 관한 최적화 설계를 수행한 바 있다. 하지만 계류시스템의 설계변수를 선정하는 과정은 대체로 경험에 의존하거나, 기존에 수행했던 프로젝트의 자료를 차용하고 있는 실정이다. 따라서 계류시스템 설계 변수와 해양 구조물의 제원, 해양환경조건 등의 영향을 규명하는 연구의 필요성이 높아지고 있다. 본 연구에서는 다점 계류시스템 설계 시의 주요 설계변수인 계류 레이아웃, 즉 계류선 각도를 적절하게 결정하기 위해 다양한 FPSO L/B 와 해양환경에 대해 계류 해석을 수행하고, 계류선에 걸리는 장력의 크기의 변화를 검토했다.

2. 운동 해석

대상 FPSO의 운동 응답 및 하중을 도출하기 위해 BV(Bureau Veritas, 프랑스 선급)의 Seakeeping 해석 소프트웨어인 Hydrostar v7.22를 사용했다. Hydrostar는 3D 패널법을 기반으로 하여 주파수 영역에서 선형 및 2차 Radiation/diffraction 해석을 수행하며, 그 결과로 6 자유도 운동에 대한 RAO(Response amplitude operator), 유체 동역학적 계수(부가 질량 및 감쇠 계수), 1차 및

2차 파랑 하중 등을 계산한다.

2.1 운동 해석 조건

L/B 의 변화에 따른 FPSO의 유체동역학적 특성과 계류 성능을 검토하기 위해 길이 285m, 폭 63m인 FPSO를 기준으로, 배수량은 가능한 일정하게 유지시키는 동시에 길이는 증가시키고 폭은 감소시키면서 L/B 가 5.0, 5.5, 6.0, 6.5인 4척의 FPSO를 추가적으로 선정했다(Table 1). 추가적인 FPSO들의 x, y, z 축에 대한 관성 반경(Radius of gyration)은 기준선과 같이 각각 $0.31B, 0.275L_{pp}, 0.25L_{pp}$ 를 적용했고, 길이 방향 무게중심(Longitudinal center of gravity) 위치는 기하학적 상사 법칙을 적용해 구할 수 있다. 평면 운동에 해당하는 전후동요(Surge motion), 좌우동요(Sway motion) 및 선수동요(Yaw motion)에서의 표류를 방지하기 위해 다른 운동에 영향을 미치지 않을 목적으로 저 주파수의 고유주기에 부합하는 외부강성을 부과했다. 또한 계산 시간과 정확도를 검토하기 위해 경계요소법의 계산을 위한 격자의 개수를 약 1,000개에서 4,000까지, 1,000개 단위로 변화시키면서 6 자유도 운동에 대한 부가 질량, 감쇠 계수, 운동 RAO의 수렴성을 확인했다. 이를 통해 본 연구에 사용된 격자의 개수는 약 4,000개이고, 이때 실선 배수량과 오차는 1% 미만이므로 해석에 적합한 격자계라고 판단했다. 해석에 사용된 파 주파수는 0.04rad./s부터 2.0rad./s까지 0.04rad./s 간격으로 총 50개이다.

2.2 운동 해석 결과

대상 FPSO의 운동 해석 결과는 선형연구의 모형실험 결과(Lee, 2008)와 비교하여 검증했다. 일반적으로 부유체의 운동을 해석할 경우 조파 감쇠력만을 고려해도 좋은 결과를 주지만, 횡동요 운동에는 조파 감쇠력보다 점성 감쇠력이 더 크게 작용하는 것으로 알려져 있다. 따라서 수치해석에서 점성 감쇠력을 감쇠계수의 형태로 고려함으로써 모형실험 결과와 일치시킨다. 속도의 제곱 또는 세제곱에 비례하는 비선형 감쇠계수를 고려

Table 1 Main particulars of FPSOs

Description		Magnitude				
Length to breadth ratio	L/B	4.5	5	5.5	6	6.5
Length between perpendiculars	L_{pp}	285 m	300 m	315 m	330 m	345 m
Breadth	B	63 m	60 m	57 m	55 m	53 m
Draft	D	13 m				
Mass	-	225,518 ton	224,536 ton	223,972 ton	226,412 ton	228,093 ton
Longitudinal center of gravity	LCG	142.26 m	149.75 m	157.23 m	164.72 m	172.21 m
Vertical center of gravity	VCG	16.71 m				
Longitudinal center of buoyancy	LCB	141.46 m	148.91 m	156.35 m	163.80 m	171.24 m
Mass radius of gyration in X axis	$K_{xx} = 0.31B$	19.49 m	18.60 m	17.67 m	17.05 m	16.43 m
Mass radius of gyration in Y axis	$K_{yy} = 0.275L_{pp}$	78.42 m	82.50 m	86.63 m	90.75 m	94.88 m
Mass radius of gyration in Z axis	$K_{zz} = 0.25L_{pp}$	71.25 m	75.00 m	78.75 m	82.50 m	86.25 m

해주기 위해 Molin(2002)이 제안한 식 (1)을 이용해 2차 비선형 감쇠계수를 적용했다. 이때 C_D 값은 0.2를 사용했고, 이 식은 바지선 또는 FPSO에 대해 적용할 수 있다.

$$B_Q = \frac{1}{2} C_D L B^4 \quad (1)$$

3. 계류 해석

BV의 계류해석 소프트웨어인 Ariane을 이용하여 선박·해양 구조물의 6 자유도 운동에 대한 RAO, 유체동역학적 계수, 파랑 하중 등을 바탕으로 계류시스템에 대한 준동적 해석(Quasi-dynamic analysis)을 수행했으며, 시간 영역 시뮬레이션 결과를 도출했다. 시뮬레이션은 총 3시간 동안 1초 간격으로 수행하며, 동일한 해석 조건에서 30개의 서로 다른 파 위상(Wave phase)에 대한 시뮬레이션을 수행하고, 통계적인 기법을 적용해 보다 신뢰성 높은 결과를 도출한다.

3.1. 계류선 구성 및 배치

3개의 계류선으로 이루어진 계류선 다발이 총 4개이고, 이 계

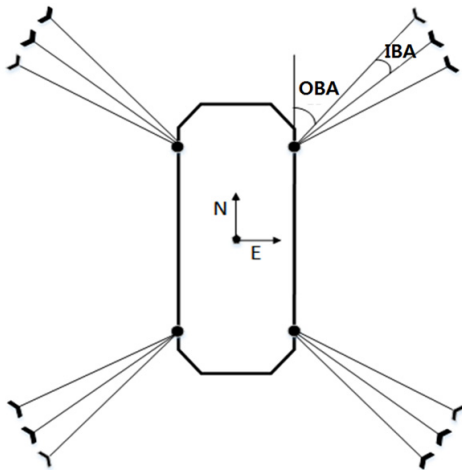


Fig. 1 Schematic drawing of mooring layout

Table 3 Metocean data for each field

Description	GoM	GoM	West Africa Nigeria		Brazil Campos basin		
			Hurricane	Loop current		Swell	Local sea
Wave (JONSWAP Spectrum)	Significant wave height	H_s	12.9 m	6.1 m	3.62 m	2.89 m	7.8 m
	Wave peak period	T_p	14 s	11 s	15.9 s	6.8 s	15.4 s
	Peak shape parameter	γ	2.5	2.0	15	3.3	1.7
	Wave direction	-	270°	0°	180°	202.5°	202.5°
Wind (API Spectrum)	1 hour mean win speed at 10 m	-	41.12 m/s	22.35 m/s	16.1 m/s		28.3 m/s
	Wind direction	-	240°	0°	202.5°		22.5°
Current	Current speed at surface	-	1.1 m/s	2.1 m/s	0.92 m/s		1.75 m/s
	Current direction	-	300°	270°	157.5°		225°

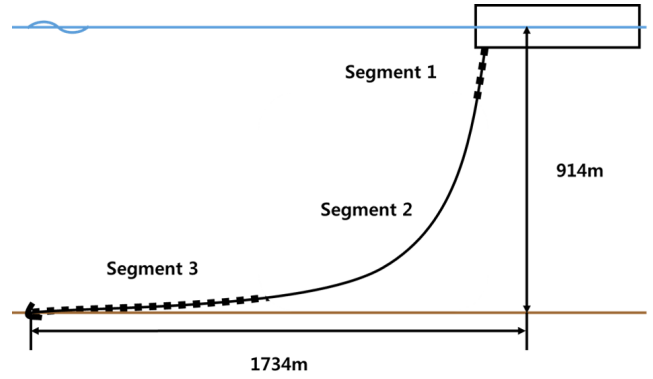


Fig. 2 Sketch of mooring line

Table 2 Mooring line properties

	Segment 1	Segment 2	Segment 3
Type	R4K4 studless chain	Spiral strand wire	R4K4 studless chain
Length	45.7 m	1,127.8 m	914.4 m
Diameter		88.9 mm	
Weight in air	159.6 kg/m	41.3 kg/m	159.6 kg/m
Weight in water	138.8 kg/m	33 kg/m	138.8 kg/m
Stiffness	643,605 kN	962,112 kN	643,605 kN
Minimum breaking load (MBL)	7,988 kN	7,080.5 kN	7,988 kN

류선 다발들이 선수와 선미, 좌현과 우현에 대해 대칭 방사형으로 배치된다(Fig. 1).

다점 계류시스템을 구성하는 계류선들의 상단부와 하단부는 각각 부유체의 페어리드(Fairlead)와 해저면의 앵커(Anchor)에 고정된 상태에서 체인의 중량 등에 의해 현수선(Catenary)형상을 이루게 된다. BV Ariane에서는 페어리드와 앵커 사이의 수평 및 수직 거리(수심)와 초기 장력에 대한 정보를 이용해 계류선의 전체 길이(Paid out length)를 계산한다. 각 페어리드에서 앵커까지의 수평거리는 1,734m이고 해저면은 평탄하며, 모든

해역에서 수심은 914m으로 동일하다고 가정했다. 계류선의 초기 인장력은 최소 파단 하중의 약 15%에 해당하는 1,201kN으로 설정했고, 이로부터 계산된 계류선 전체 길이는 2,088m이다 (Fig. 2). 계류선 구성은 Wichers and Devlin(2001)의 연구를 참고했으며, 계류선을 구성하고 있는 체인과 와이어의 제원은 Table 2와 같다.

3.2. 해석 조건

다점 계류시스템을 적용한 FPSO의 대다수가 분포하고 있는 멕시코 만, 서아프리카 나이지리아, 브라질 캄포스 해역의 해양 환경조건을 고려했다. 멕시코 만의 경우 허리케인 조건과 순환 해류 조건으로 특징지을 수 있는 두 가지 종류의 해양환경자료 (Wichers and Devlin, 2001)를 사용했고, 서아프리카는 상대적으로 유의 파고가 낮으면서도 저 주파수 너울(Swell)이 존재하는 것이 특징적이므로 너울에 대한 정보가 포함된 나이지리아 해역의 자료(Codiglia et al., 2002)를 사용했다. 브라질의 경우 캄포스 해역의 자료(Zhang et al., 2013)을 사용했다.

Table 3에서 파도, 바람, 조류의 방향은 북쪽을 기준으로 시계 방향으로 각도가 증가하는 것으로 정의한다. 선박형 또는 상자형 선체를 가지는 FPSO는 파의 방향에 매우 민감하므로 선체의 안정성을 확보하기 위해 초기의 선수 각(Heading angle)이 극한 해양환경에 대한 선수파(Head sea)조건이 되도록 설정해야 한다. 즉, 멕시코 만의 경우 허리케인 조건에서 선수파 조건으로 설정하면 순환해류 조건에서는 횡파(Beam sea)조건이 된다. 모든 해역에 대해 JONSWAP(Joint North Sea Wave Project) 스펙트럼과 API(American Petroleum Institute) 스펙트럼을 각각 파도와 바람 스펙트럼으로 사용했고, 풍력과 조류력 계수는 OCIMF(Oil Companies International Marine Forum, 2013) 자료를 이용했다.

다점 계류에서는 계류선의 각도에 따라 계류 성능이 달라질 수 있다. 따라서 선체와 계류선 다발이 이루는 각도인 OBA (Outer Bundle Angle)와 각 계류선이 이루는 각도인 IBA (Inner Bundle Angle)를 다양하게 변화시키면서 계류선에 걸리는 장력의 변화를 살펴보았다. 이때 L/B가 각각 4.5~6.5인 총 5척의 FPSO를 이용해 멕시코 만에서 허리케인 조건, 순환해류 조건, 서아프리카 나이지리아, 브라질 캄포스 해역 등 총 4개 해양환경조건에 대한 계류 해석을 수행했다.

계류선 장력은 BV 선급 규정(NR 493, 2012)에 의해, 식 (4)와 같이 각 시뮬레이션마다 얻은 최대값의 평균과 표준편차를

함께 고려한 값(T_D)으로 검토할 수 있다.

$$T_m = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n T_k \tag{2}$$

$$T_s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (T_k - T_m)^2} \tag{3}$$

$$T_D = T_m + aT_s \tag{4}$$

여기서, T_k 는 각 시뮬레이션에서의 최대값이고, T_m 와 T_s 은 모든 시뮬레이션에서의 최대값 T_k 의 평균과 표준편차이다. 또한 a 는 시뮬레이션 횟수에 따른 보정계수로서, 시뮬레이션 횟수가 30회 이상일 경우 0.4를 사용한다. 이때 동일한 해석 조건에서 여러 회 시뮬레이션을 수행하는 이유는 어떤 파 에너지 스펙트럼으로부터 불규칙파의 시간 이력을 얻어 시뮬레이션을 수행할 때, 각 시뮬레이션 마다 서로 다른 파 위상(Wave phase)을 가지도록 하여 결과의 신뢰성을 높이기 위해서이다.

3.3. 해석 결과

각 해역별로 FPSO의 L/B에 따른 최대 장력을 나타냈으며, 이때 OBA가 30°~ 75°이고 IBA가 2°~ 4°인 조합에 대한 결과를 도시했다. 단, Fig. 3의 범례를 Fig. 4~ 6에서도 참조한다. Fig. 3와 4로부터 멕시코 만에서는 다른 해역과 비교해 최소 3,000kN 이상의 비교적 큰 장력이 발생하는 것을 알 수 있는데, 이 결과는 허리케인 조건의 높은 유의 파고와 빠른 풍속, 순환해류 조건의 파향, 빠른 표층 해류 속도 및 해류 방향 등의 해양환경조건이 반영된 것임을 유추할 수 있다. 특히 Fig. 4에는 표현되지 않았지만, 멕시코 만 순환해류 조건의 OBA 30°-IBA 10°조합에서는 계류선의 최소 파단 하중(7,988kN)과 모든 계류선이 온전한 조건(Intact condition)에 대한 안전계수 1.75(NR 493, 2012)를 곱해 얻어진 계류선의 파단하중 13,979kN을 초과하는 최대 장력이 발생하기도 한다.

반면, 서아프리카 나이지리아(Fig. 5)와 브라질 캄포스 해역(Fig. 6)의 경우 멕시코 만과 비교해 상대적으로 작은 장력이 발생한다. 서아프리카 나이지리아는 다른 해역에 비해 낮은 파고와 풍속, 해류 속도를 가진 해양환경조건이다. 다른 해역에서는 OBA가 작을수록 최대 장력이 작은 경향을 보이는 것에 반해, 서아프리카 나이지리아에서는 OBA가 클수록 최대 장력이 작은 경향을 보인다. 이는 파고, 파주기, 파향이 서로 다른 Swell과 Local Sea가 동시에 FPSO의 운동에 영향을 주기 때문으로 생각된다. 브라질 캄포스 해역은 허리케인 조건을 제외하면 가장 높은 파고와 풍속을 가지는 조건이며, 파향과 풍향이 180도 차이 나는 특징이 있다. 브라질 캄포스 해역의 결과에 해당하는 Fig. 6에서는 L/B 변화에 따른 최대 장력의 변화를 살펴볼 수 있다. 대체로 L/B가 커질수록, 즉 선체의 폭에 비해 길이가 길어질수록 최대 장력이 커지므로, 브라질 캄포스 해역에서는 L/B가 작은 FPSO가 유리하다고 할 수 있다.

Table 4 Mooring analysis conditions(Total 560)

L/B	Region	OBA	IBA
			2°
4.5	Gulf of Mexico	30°	3°
5			4°
5.5	(Hurricane / Loop current)	45°	5°
6			6°
6	West Africa Nigeria	60°	6°
6.5	Brazil Campos Basin	75°	8°
			10°

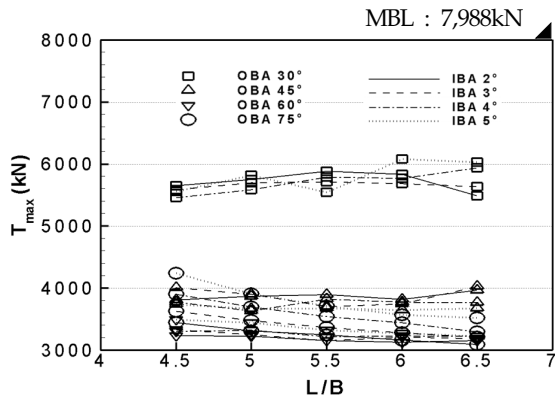


Fig. 3 Maximum tension at hurricane condition in GoM

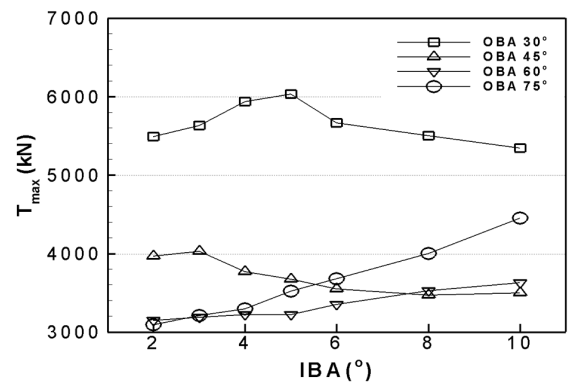


Fig. 7 Maximum tension at hurricane condition in GoM(L/B 6.5)

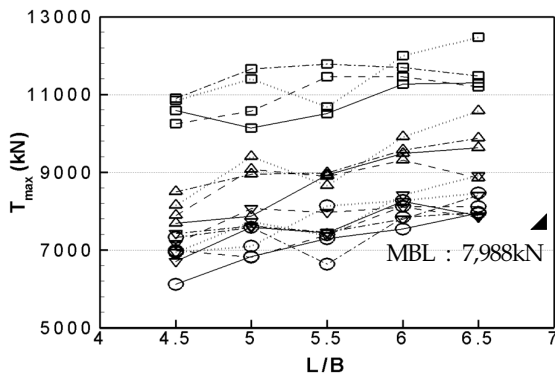


Fig. 4 Maximum tension at loop current condition in GoM

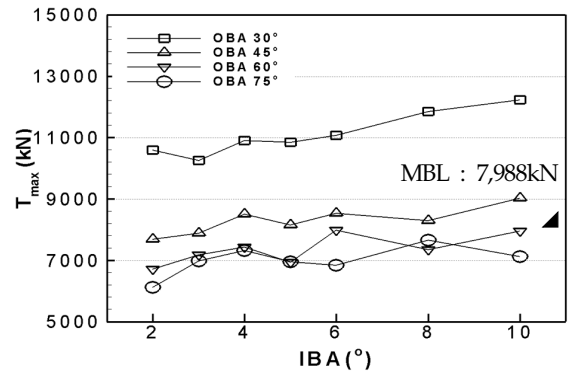


Fig. 8 Maximum tension at loop current condition in GoM(L/B 4.5)

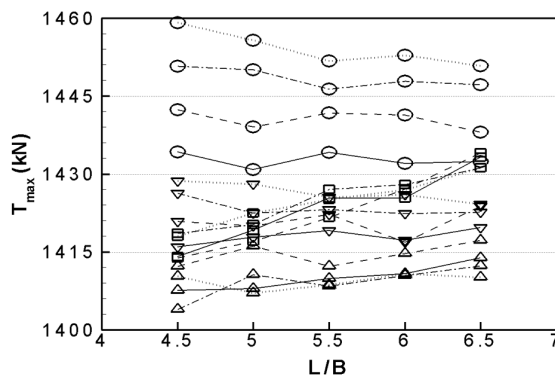


Fig. 5 Maximum tension in West Africa Nigeria

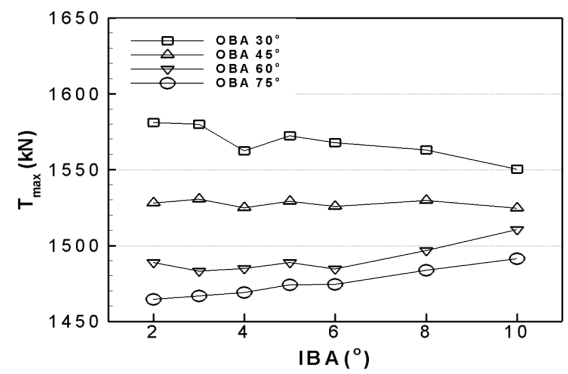


Fig. 9 Maximum tension in West Africa Nigeria(L/B 4.5)

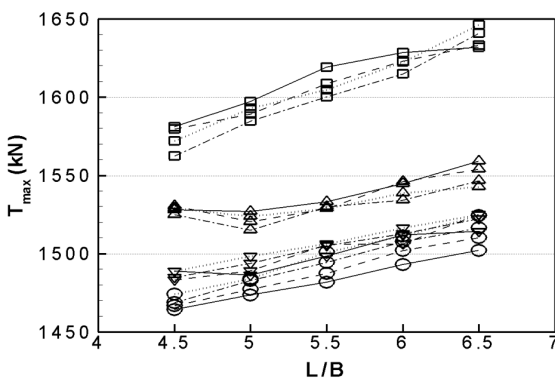


Fig. 6 Maximum tension in Brazil Campos Basin

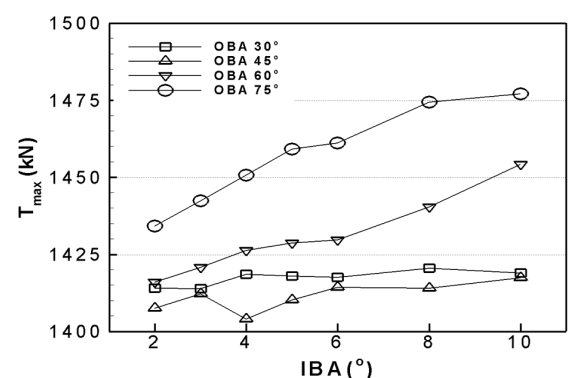


Fig. 10 Maximum tension in Brazil Campos Basin(L/B 4.5)

Table 5 OBA-IBA for the smallest maximum tension

<i>L/B</i>	Bundle Angle	Gulf of Mexico		West Africa	Brazil
		Hurricane	Loop		
4.5	OBA	60°	<u>75°</u>	<u>45°</u>	<u>75°</u>
	IBA	2°	<u>2°</u>	<u>4°</u>	<u>2°</u>
5.0	OBA	60°	75°	45°	75°
	IBA	2°	3°	5°	2°
5.5	OBA	60°	75°	45°	75°
	IBA	2°	4°	4°	2°
6.0	OBA	60°	75°	45°	75°
	IBA	2°	2°	4°	2°
6.5	OBA	<u>75°</u>	60°	45°	75°
	IBA	<u>2°</u>	3°	5°	2°

위 결과로부터 해석에서 FPSO의 *L/B* 별로 가장 작은 장력이 발생하는 OBA-IBA 조합을 제시했고(Table 5), 이 표에서 굵게 표시한 부분은 각 해역에서 가장 작은 장력이 발생한 *L/B*를 나타낸 것이다. 멕시코 만 허리케인 조건에서는 *L/B*가 4.5~6.0인 FPSO에 대해 OBA 60°-IBA 2°조합을 우선적으로 고려할 수 있지만, *L/B*가 6.5일 때에는 OBA 75°-IBA 2°조합에서 가장 작은 장력이 발생함을 알 수 있다. 그러나 *L/B*가 6.5일 때 OBA-IBA 조합에 따른 장력의 변화를 나타낸 Fig. 7를 참고하면, OBA 60°-IBA 2°조합과 OBA 75°-IBA 2°조합에 대한 장력에 큰 차이가 없음을 알 수 있으므로 두 조합을 모두 고려해 설계를 검토해야 한다. 반면 순환해류 조건의 멕시코 만에서는 *L/B*가 6.5인 경우를 제외하고는 OBA 75°-IBA 2~4°조합을 우선적으로 고려할 수 있다. 따라서 멕시코 만의 경우, 대상 해역에서 어떤 해양환경조건의 영향이 더 지배적인지를 고려해 계류선 각도 조합을 결정해야 한다. 서아프리카 나이지리아 해역에서 가장 작은 장력이 발생하는 조합은 각각 OBA 45°-IBA 4~5°에 해당하며, 다른 해역에 비해 OBA는 상대적으로 작고 IBA는 상대적으로 클 때 더 작은 장력이 발생함을 것을 알 수 있다(Fig. 9). 브라질 캄포스 해역의 경우 모든 *L/B*에 대해 OBA 75°-IBA 2°조합을 우선적으로 고려할 수 있으며, 같은 IBA에 대해 OBA가 커질수록 더 작은 장력이 발생하는 경향을 보인다(Fig. 10).

4. 결 론

본 연구에서는 다점 계류시스템 설계 시의 주요 설계변수인 계류 레이아웃, 즉 계류선 각도를 적절하게 결정하기 위해 3개 해역에 대한 4가지의 해양환경자료와 5가지의 FPSO의 *L/B*에 대한 계류 해석을 수행하고, 계류선에 걸리는 장력의 최대값을 검토했다(Fig. 3~6). 이 결과로부터 각 해역과 FPSO의 *L/B* 별로 가장 작은 장력이 발생하는 OBA-IBA 조합을 제시했으며(Table 5), 이와 함께 가장 작은 장력이 발생하는 *L/B*에 대해 OBA-IBA 조합에 따른 장력의 변화를 검토했다(Fig. 7~10).

본 연구 결과를 통해 FPSO 계류시스템의 초기 설계 시의 공

수를 줄일 수 있을 것으로 기대한다. 하지만 위치유지에 사용되는 계류선에 발생하는 장력뿐만 아니라, 자원의 생산에 사용되는 라이저에 발생하는 피로 하중 등을 고려하기 위해서는 다양한 설계 변수들이 계류된 부유체의 오프셋에 미치는 영향에 대한 연구가 필요하다.

또한, Ariane과 같은 준정적 해석 방법은 해류의 수직방향 유속 분포에 의해 라이저와 계류선에 작용하는 하중과 각각의 항력계수, 그에 따른 동적 거동과 부유체 운동과의 연성 등을 고려하지는 않지만, 단순화된 가정을 통해 해석 시간을 단축시킬 수 있으므로 다양한 설계 변수를 변화시키면서 그에 따른 결과를 예측하고 분석하기 적합하다는 장점을 가지고 있다. 따라서 준정적 해석을 통해 초기 설계 변수를 결정하고, 결정된 값에 대한 민감도(Sensitivity) 해석을 수행함으로써 초기 설계 변수에 대한 신뢰성을 확보할 수 있을 것이다. 라이저와 계류선의 동적 거동과 부유체 운동과의 연성을 고려해 계류선의 장력과 부유체의 오프셋을 함께 검토하는 연구는 향후 추가적으로 필요하다.

후 기

이 논문은 부산대학교 기본연구지원사업(2년)에 의하여 연구되었음.

References

- Achmad, S.M., 2015. Offshore Structure-Mari Mengenal FPSO. [Online] (Updated December 2015) Available at : <<https://achmadsya.wordpress.com/tag/offshore-structure/>> [Accessed 23 May 2016]
- Codiglia, R., Contento, G., D'Este, F., 2002. Experimental Study on a Spread Catenary Mooring for FPSO, International Society of Offshore and Polar Engineering Conference
- Choung, J., Jeon, G.-Y., Kim, Y., 2013. Study on Effective Arrangement of Mooring Lines of Floating-Type Combined Renewable Energy Platform. Journal of Ocean Engineering and Technology, 27(4), 22-32.
- Lee, S.J., 2008. The Effect of LNG-Sloshing on the Global Responses of LNG-Carriers. Dissertation for Doctor of Philosophy, Texas A&M University.
- Lim, Y.C., Kim, K., Choung, J., Kim, J.W., Kim, J.T., Yeo, S., 2009. Study on Optimum Design of FPSO Spread Mooring System. Journal of Ocean Engineering and Technology, 23(6), 61-66.
- Molin, B., 2002. Hydrodynamique des Structures Offshore. NR 493 DT R02 E, 2012. Classification of Mooring System for Permanent Offshore Units. Bureau Veritas.
- OCIMF(Oil Companies International Marine Forum), 2013. Mooring Equipment Guidelines. 3rd Ed., "Wind and Current Drag Coefficients for VLCCs and Gas Carriers and

example Force Calculation”

- Wichers, J.E.W., Devlin, P.V., 2001. Effect of Coupling of Mooring Lines and Risers on the Design Values for a Turret Moored FPSO in Deep Water of the Gulf of Mexico. International Offshore and Polar Engineering Conference, 3, 17-22.
- Zhang, W., Jeong, C., Spreenken, A.v., 2013. Float-over Feasibility in Brazilian Sea Water. Offshore Technology Conference.