

반 잠수식 복수부선의 진수설계

양영태* · 최문길* · 이춘보* · 박병남* · 성석부**
*현대중공업(주) 해양기본설계1부
**테크마린(주)

Development of Float off Operation Design for Multi Semi-submersible Barges with Symmetrical Stability Casings

YOUNG-TAE YANG* · MOON-GIL CHOI* · CHOON-BO LEE* · BYONG-NAM PARK* AND SEOK-BU SEONG**
*Hyundai Heavy Industries Co. Ltd., Ulsan, Korea
**Techmarine Co. Ltd., Busan, Korea

KEY WORDS: Double Barge Unit 복수부선, Load Out 선적, Float Off 진수, Stability 복원성

ABSTRACT: This paper presents the design concept and operation results of float-off for FSO (340,000 DWT Class, ELF AMENAM KRONO Project) built on the ground, without dry dock facilities. It was the first attempt to build FSO, completely, on the ground and launch it using DBU (Double Barge Unit, which was connected by rigid frame structure.) The major characteristics of FSO, which are similar to general VLCC type hull, including topside structure, weigh 51,000 metric ton. In order to have sufficient stability during the deck immersion of DBU, while passing through a minimum water plane area zone, proper trim control was completed with LMC (Load Master Computer). The major features of the monitoring system include calculation for transverse bending moment, shear force, local strength check of each connector, based on component stress, and deformation check during the load-out and float-off. Another major concern during the operation was to avoid damages at the bottom and sides of FSO, due to motion & movement after free-floating; therefore, adequate clearances between DBU and FSO were to be provided, and guide posts were installed to prevent side damage of the DBU casings. This paper also presents various measures that indicate the connector bending moment, damage stability analysis, and mooring of DBU during float off.

1. 서 론

일반적으로 선적(Load Out)과 진수(FLOAT OFF)를 수행하기 위하여 필요한 사항으로는 선적시에 반 잠수바지가 충분한 발라스팅량을 확보하고 있어야하며 진수시에는 FPSO(FSO)가 자기부상(Self floating)한 후에도 복원성(Stability)가 확보되어야한다. 그러나 현존하는 반 잠수바지로는 길이가 298m 폭이 62m가 되는 조건의 FPSO(FSO)의 선적과 진수를 수행할 수 없게 되었다. 이에 따라 한 척으로는 만족할 수가 없게 되었고 FPSO(FSO)와 같은 50000톤 이상의 부유식구조물을 육상에서 건조하여 선적과 진수를 수행하기 위하여서는 두 척의 반 잠수식 바지를 유동(Hinged) 타입이 아닌 고정(Fixed) 타입으로 연결한 후 선적, 진수를 수행하였다. 이에 따라 진수시에 고려하여야 할 사항 중에서 복수부선의 횡강도, 잠수할 시점의 복원성(Stability) 및 FSO가 복수부선으로부터 떨어져나올 시점에서 부력 탱크(Stability casing)와 FSO와의 충돌 가능성 등을 고려하여 복수부선의 진수설계를 수행하였다. 이에 기존의 발라스팅 조정 컴퓨터>Loading computer)에서는 불가능하였던 횡강도의 계산방법 및 FSO가 부력을 받으면서 실시간

으로 감소되는 선하중(Line-load)을 점검하여 전체적인 감독(Monitoring)을 가능도록 설계 하였다.

2. 설계 제원

2.1 복수부선 (Double Barge Unit)

6개의 부력 탱크가 설치된 반 잠수 복수부선의 개별적인 제원으로는 아래와 같고 폭이 37m인 2개의 반 잠수바지를 5곳에 연결장치(Connector)로 연결하여 폭을 76m로 확장하여 FPSO(FSO)의 선적을 가능하게 하였다.

- $l \times b \times d = 140.00m \times 76.00m \times 12.00m$ DBU
 - $l \times b \times h = 8.00m \times 9.01m \times 16.00m$ After Stab. Casing (2ea)
 - $l \times b \times h = 20.00m \times 9.01m \times 16.00m$ Mid Stab. Casing (2ea)
 - $l \times b \times h = 17.50m \times 9.01m \times 16.00m$ Fwd.Stab. Casing (2ea)
- (l : length, b: breadth, d: depth, h: height)

2.2 FSO(Floating, Storage & Offloading)

$L \times B \times D = 298.00m \times 62.00m \times 32.20m$ Weight = 51000 Mt
전체적인 윤곽은 Fig.1 과 Fig.2에 보여주고 있다.

제1저자 양영태 연락처: 울산광역시 동구 전하동 1번지
052-230-1310 ytyang@hhi.co.kr

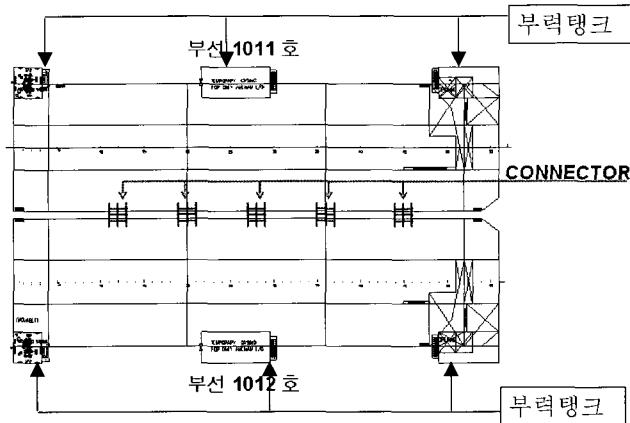


Fig.1 General arrangement of DBU

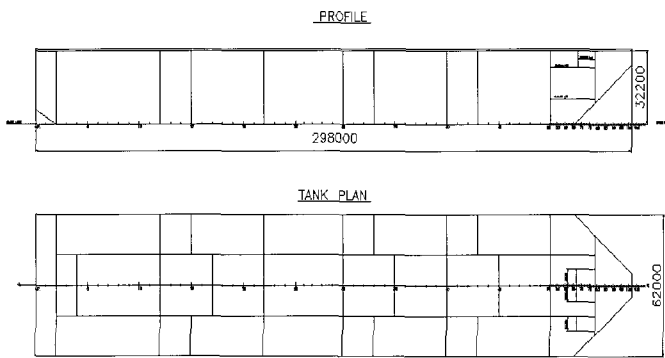


Fig.2 General dimension of FSO

3. 복수부선의 복원성 계산

복수부선의 안정성 측면에서 바지의 복원성은 FSO가 선적되지 않은 상태에서 복수부선이 잠수 되었을 시 충분한 G'M(모든 잠수조건에 1M 이상)을 확보되어야 하며 이에 6개의 부력탱크를 Fig.1과 같이 바깥쪽에 설치하였고 Table 1에서 보는 바와 같이 최소 경심(G'M)이 평형상태(Even Keel)에서도 만족할 수 있도록 복수부선의 복원성을 확보하였다.

Table 1 Stability calculation of DBU only

Step	Draft at Midship (m)	Disp. (mt)	Trim (m)	KG (m)	GGo (m)	KGo (m)	Min.KM (m)	Min.GoM (m)
1	11.00	112,336	0.00	6.01	1.45	7.46	52.20	43.74
2	12.00	122,536	0.00	6.28	1.41	7.69	48.70	40.01
3	13.00	123,586	0.00	6.32	1.15	7.47	16.34	7.87
4	14.00	124,366	0.00	6.35	1.15	7.50	16.34	7.84

복수부선에 FSO가 선적되어 진수가 수행될 시 복원성에서 취약한 부분은 FSO의 일부분이 수선 면에 닿기 직전까지 즉 FSO와 복수부선의 상갑판과 FSO의 하갑판에는 3.02m의 간격이 있으므로 이 구간이 복원성 측면에서는 최소 KM의 급격한 감소로 인하여 가장 취약한 부분임을 Fig.3에서 알 수 있다. 그러므로 진수 시에 복수부선을 선미 쪽으로 경사를 주어 FSO의 하갑판이 수선 면에 접촉할 때까지 복수부선을 경사시

켜 이 부분을 지난 뒤에는 차츰 경사를 줄여 나가도록 하였고 FSO가 부상하기 직전까지는 FSO가 단독으로 부상시의 경사와 일치하도록 복수부선의 경사를 유지하였다.

Fig.3에서 보이는 바와 같이 홀수 13.6m 전후방에서 하갑판으로부터 경심까지의 거리(KMT)가, 급격한 수선면(Water plane Area)의 감소로 인하여, 줄어들게 된다. 그러므로 이 부분을 지날 때에는 최소한 선미 방향으로 3m 정도의 경사를 주어야만 복원성을 확보 할 수 있다.

Fig.3에서 보는 바와 같이 홀수 13.6m의 전후방에서의 KM 값이 트림 0m 및 -2m에 대하여 16.5m를 나타냄으로서 Table 2의 Case1, 2에 나타난 KGo 보다도 작은 값을 나타내고 있어 결국 경심은 마이너스를 나타내게 된다. 그러므로 안정성 확보를 위하여 복수부선의 상갑판이 잠수하는 구간에서는 최소한 -3m의 경사가 필요하다

Table 2 Stability calculation of DBU with FSO

Case	Draft at Midship (M)	Disp. (MT)	Trim (M)	KG (M)	GGo (M)	KGo (M)	Min.KM (M)	Min.GoM (M)
1	12.21	118,894	-3.00	17.34	1.63	19.00	23.90	3.90
2	13.35	125,878	-3.00	16.48	1.56	18.04	23.90	4.85

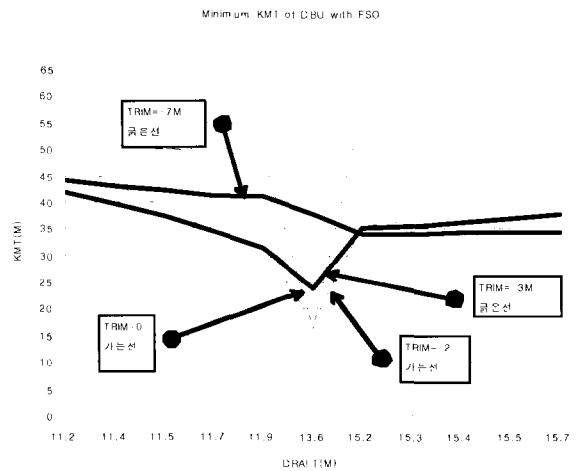


Fig. 3 Trimmed KMT table of DBU with FSO

4. 진수시의 FSO 자중

진수시 복수부선의 상갑판에 설치된 스킵드웨이 위에 FSO의 자중이 전달될 것이며 이 자중은 복수부선의 경사와 홀수에 따라서 변할 것이다 따라서 복수부선에 전달되는 하중분포를 모든 경사와 홀수에 대하여 선적된 FSO의 부력을 고려하여 계산할 수 있는 설계방법을 고안하였다. 계산의 전제조건은 Hydraulic jack system을 이용하여 전체적인 하중분포가 균일 분포 하중으로 작용 되었다고 가정하고 횡경사는 발생하지 않는 것으로 가정하여 계산하는 방법으로 Fig.4에서 보는 바와 같이 종방향으로의 새로운 LCG'를 구하여 스킵드웨이에 길이

중방향으로 분포시켰고 횡방향으로는 Ra, Rb, Rc, Rd의 반력 값을 구하여 W1, W2, W3 와 W4로부터 어느 특정 진수흡수에서 FSO 부력을 고려한 각각의 스킨드웨이에 걸리는 선하중을 구할 수 있다.

$$(W*LCG - B*LCB) / (W-B) = LCG' \tag{1}$$

$$Ra = 0.115*W \tag{2}$$

$$Rb = 0.385*W \tag{3}$$

$$Rc = 0.385*W \tag{4}$$

$$Rd = 0.115*W \tag{5}$$

$$W1' = W1 - Ra \tag{6}$$

$$W2' = W2 - Rb \tag{7}$$

$$W3' = W3 - Rc \tag{8}$$

$$W4' = W4 - Rd \tag{9}$$

W: FSO의 weight (mt)

B: 물속에 잠긴 FSO buoyancy(mt)

LCB: 물속에 잠긴 FSO의 longitudinal center of buoyancy(m)

LCG: FSO의 longitudinal center of gravity(m)

LCC': 새로운 FSO의 부력이 고려된 longitudinal center of gravity(m)

Ra: Skidway-1의 반력

Rb: Skidway-2의 반력

Rc: Skidway-3의 반력

Rd: Skidway-4의 반력

W1: Skidway-1의 loading된 FSO weight

W2: Skidway-2의 loading된 FSO weight

W3: Skidway-3의 loading된 FSO weight

W4: Skidway-4의 loading된 FSO weight

X: 17.5m, Y: 13.5m

5. 발라스팅의 순서

복수부선의 발라스팅 과정에서 중요하게 고려되어야 할 사항은 복수부선 연결장치에 걸리는 횡강도이다. 그 중에서 중요한 발라스팅 순서는 복수부선의 상갑판이 잠수할 시점과 FSO가 자기부상(Self-Floating)하는 부분의 경우이다. 이 부분에서는 발라스팅 순서에 따라 자세히 계산하였으며 모든 결과가 설계 허용치 안에 들어오도록 계산하였다. 또한 잠수바지의 구조적인 이유로 하부 발라스팅 탱크를 먼저 가득 채운 뒤 상부 발라스팅 탱크를 채워야 하며 상부 발라스팅 탱크는 96%이상 채워서는 안 되며 통기구의 역류현상을 방지하기 위하여 절대로 선수 경사가 발생하지 않도록 작성되어야 한다. 이런 모든 조건을 만족시키기 위하여서 전용 발라스팅 조정 컴퓨터를 설치하여 실시간으로 계산될 수 있도록 하였다.

각 흡수별 복원성 계산 및 발라스팅량은 Table 3에서 계산하였고 스텝(Step) 3, 4에서는 복수부선의 상갑판이 잠수하는 구간으로서 각 탱크의 발라스팅량은 Fig.6-1, 6-2에 보여진다.

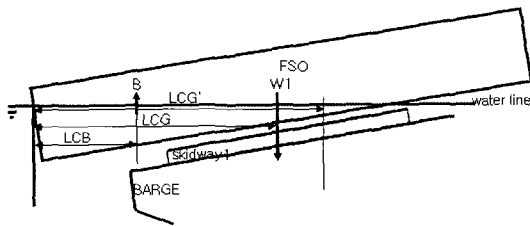


Fig. 4 Longitudinal load distribution on skidway-1

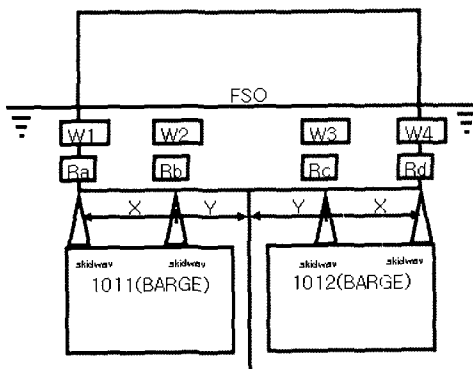


Fig. 5 Transverse load distribution on skidway

위와 같은 계산방법으로 FSO 선체를 모델링 하여 발라스팅 조정 컴퓨터에 저장하여 자동으로 계산될 수 있도록 설계방법을 개발하였고 복수부선 위에 선적되는 모든 타입의 구조물의 부력을 고려할 수 있도록 하였다.

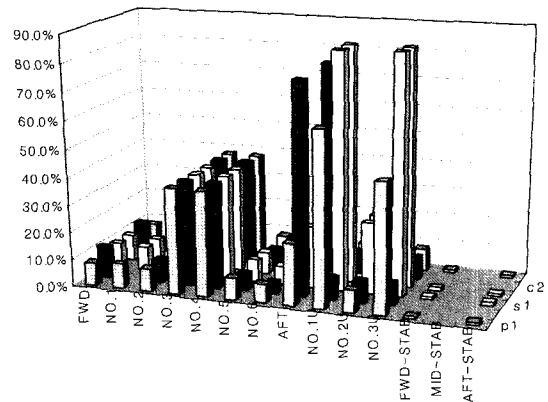


Fig. 6-1 STEP-3

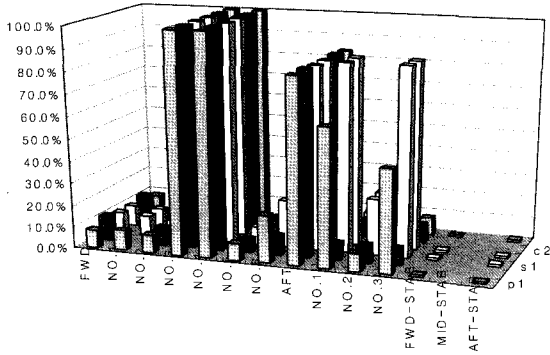


Fig. 6-2 STEP-4

Table 3 Ballasting step for float off

Step	Draft at Midship (M)	Disp. (MT)	Trim (M)	KG (M)	GG0 (M)	KGo (M)	Min.KM (M)	Min.GoM (M)
1	9.52	96,243	0.00	19.94	2.48	22.42	61.38	37.96
2	11.15	113,563	0.00	17.92	1.72	19.65	51.56	30.91
3	12.21	118,894	-3.00	17.34	1.65	19.00	23.90	3.90
4	13.35	125,878	-3.00	16.48	1.56	18.04	23.90	4.85
5	15.41	130,537	-1.00	16.05	1.50	17.56	36.00	17.44
6	16.15	141,153	-0.80	15.36	1.25	16.62	36.00	18.38
7	16.61	149,297	-0.80	14.70	1.19	15.89	36.00	19.10
8	16.96	155,439	-0.80	14.38	1.11	15.49	36.00	19.50
9	17.10	157,896	-0.80	14.27	1.01	15.29	36.00	19.71
10	17.43	163,988	-0.80	14.02	1.00	15.03	36.00	19.97
11	17.60	166,971	-0.80	13.94	0.82	14.77	36.00	20.23
12	17.80	170,388	-0.80	13.87	0.83	14.70	36.00	20.29
13	17.97	173,514	-0.84	13.82	0.82	14.64	36.00	20.35
14	17.99	173,914	-0.84	13.82	0.82	14.64	36.00	20.35

6. 진수 과정

진수과정은 선적이 끝난 뒤 진수 장소까지 예인으로부터 진수 후 FSO를 안벽까지 다시 예인하여 오는 과정까지를 말한다. 선적이 끝난 후 Fig.7과 같이 2대의 예인선을 FSO의 선미에 연결하여 예인하여 진수 장소에 도착 후 복수부선의 선수에 단독계류를 하여 모든 선수에 대하여 바람 방향으로 회전할 수 있게 하였고 발라스팅시 복수부선 상감판이 잠기는 과정에 충분한 복원성을 유지할 수 있도록 적절한 경사를 주고 FSO가 부상된 후에도 약 2m 정도의 여유를 주어 FSO가 자기 부상한 후에 복수부선으로부터 분리 시에 선저손상을 예방하였다. 또한 복수부선에 설치된 6개의 복원성 탱크와의 충돌 가능성이 매우 높으므로 부력탱크 안쪽에 목재방호물(Wooden Fender)을 설치하였고 주변에 안내기둥(Guide Post)을 설치하여 예상되는 모든 충돌에 대비하였다. Fig.8은 FSO가 복수부선으로부터 자기부상한 후 예인선을 이용하여 FSO를 예인하과정을 보여 주는 것이다.

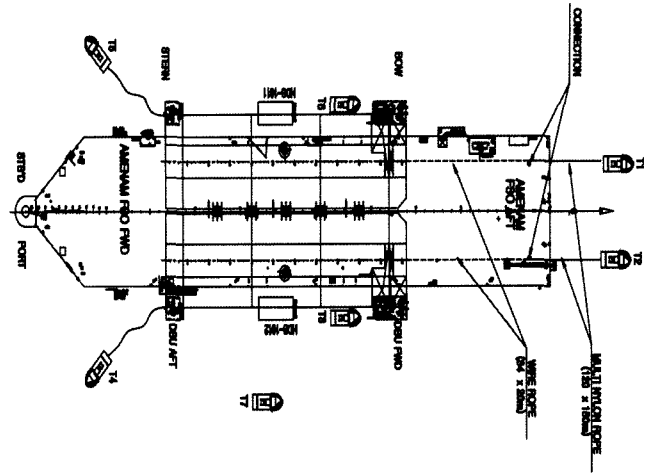


Fig. 7 Tow to float off location

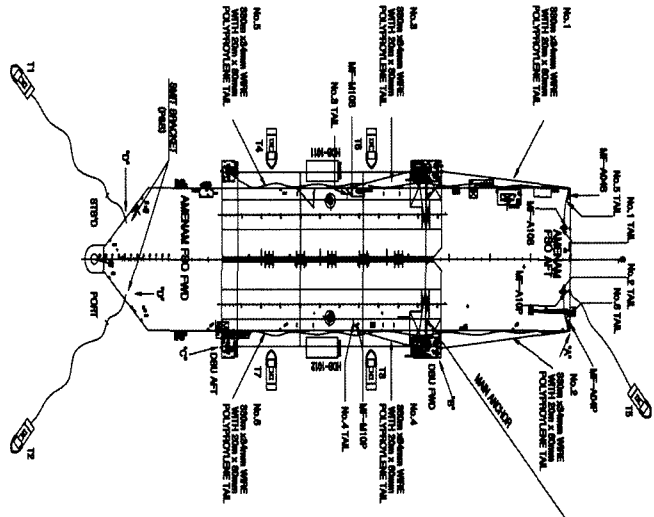


Fig. 8-1 Deck submergence until free floating of FSO

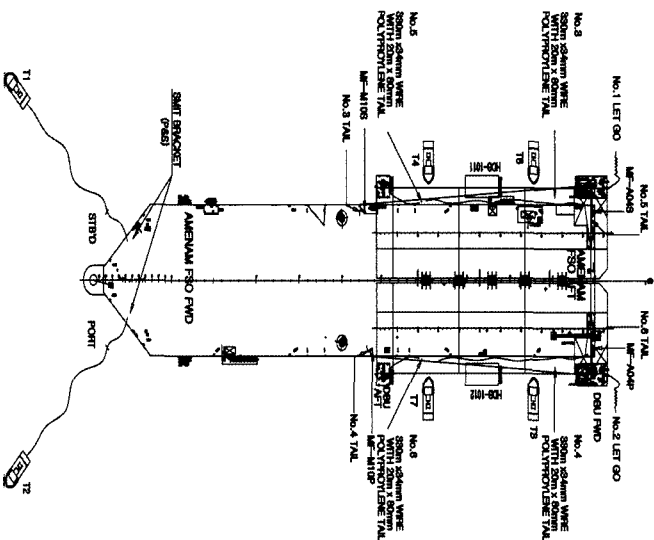


Fig. 8-2 Initial tow from the DBU

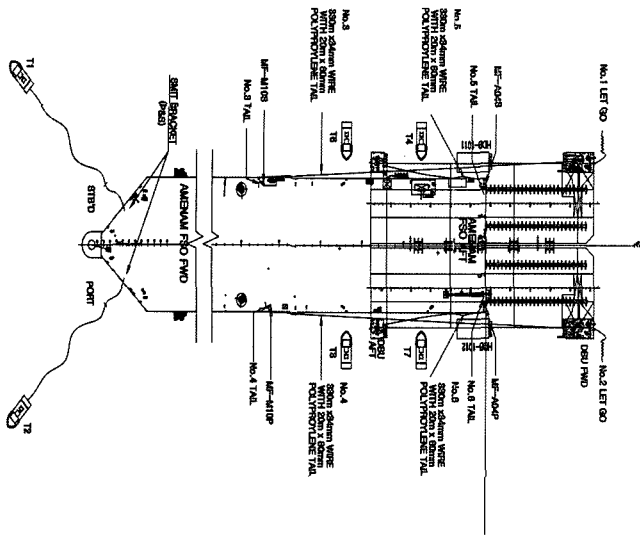


Fig. 8-3 Intermediate tow from the DBU

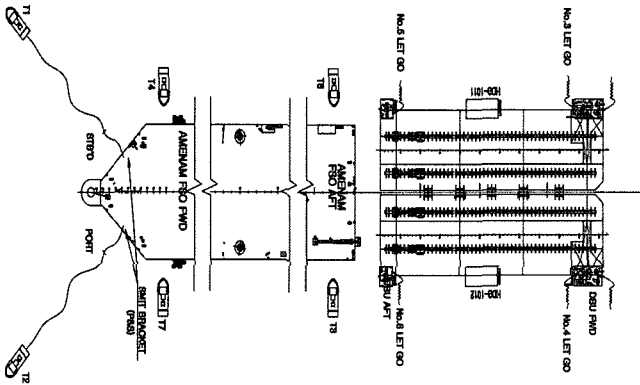


Fig. 8-4 Intermediate tow from the DBU

6. 결 론

1) 복원성 측면에서 FSO가 부력을 받기직전까지가 가장 중요

한 부분이므로 이 부분에서 세밀한 발라스팅을 하여 적절한 경사를 유지하는 것이 중요하다.

- 2) 자기부상시의 FSO의 선저손상 및 FSO의 편심된 스키드웨이가 중심에 의한 움직임으로 선저 및 케이싱의 손상을 방지하기 위하여 안내기둥을 설치하였고 FSO가 자기부상 하고 난 뒤에도 복수부선을 2m정도를 더 깊게 잠수시키는 것이 손상을 예방하는데 효과적임을 알 수 있었다.
- 3) 발라스팅 조정컴퓨터의 적용결과 복수부선의 특성에 의해 반잠수 부선을 연결하는 구조의 횡강도가 각각의 부선의 흡수, 종경사, 횡경사 및 복원성과 연계되므로 실시간 계속적으로 감독하는 것에 효과적임을 알 수 있었다. 독하는 것에 효과적임을 알 수 있었다.
- 4) 향후 고정타입이 아닌 유동타입 또는 와이어로 연결하여 선저 및 진수방법을 연구하여 Disconnection 타입의 연결 방법에 대한 연구 설계가 필요하다.

참 고 문 헌

BV (1988), "Rules and Regulations for the Classification of Ship, Part II Hull Structure, Chapter 4 Subdivision and Intact Stability", pp 1-19.

DNV (1997) "Marine Operations Part II, Chapter I load transfer operation", pp 1-28.

KAIST (1985) "해저 석유 개발을 위한 Offshore Platform 설계 기술개발" 제6권 운송 및 설치 제2절, pp 2-1~2-50.

NAPA (2002) "Intact & Damage Stability Calculation Program".

Noble Denton Co.Ltd, "Guidelines for Marine Operations" Report No. 0014/NDI, pp 1-28.

2003년 2월 28일 원고 접수

2003년 4월 1일 최종 수정본 채택