

Float off operation of Semi-Submersible Barge with symmetrical stability casings

양 영태 (Member)*, 최 문길*, 이 춘보* 박 병남* 성 석부**
 * 현대중공업 해양기본설계 1 부 Techmarine**

FPSO(FSO)같은 대형 구조물을 육상에서 건조하여 LOAD-OUT 과 FLOAT-OFF 를 수행하기 위해 한 척의 반 잠수바지로는 불가능하였다. 그래서 두 척의 반 잠수식 바지를 HINGED TYPE 이 아닌 FIXED TYPE 으로 연결하였고 이에 따라 FLOAT OFF 시에 고려하여야 할 사항 중에서 횡강도 및 바지가 잠수 할 시점의 STABILITY 가 중요시 되었다 또한 FSO 가 잠수바지로부터 떨어져 나올 시점에서, STABILITY CASING 과 FSO 와의 충돌가능성도 고려 하여야 할 사항이다. 이 논문에서는 안정성 측면에서의 반 잠수식 바지의 BALLASTING 과 충돌방지 차원에서 전체적인 OPERATION 에 대하여 언급하였다.

1. Introduction

FPSO(FSO)와 같은 초대형 부유식구조물을 육상에서 건조하여 LOAD-OUT 과 FLOAT-OFF 를 수행하기 위하여서는 한 척의 반 잠수바지로는 불가능 하였다. 그래서 두 척의 반 잠수식 바지를 Hinged Type 이 아닌 Fixed Type 으로 연결하였고 이에 따라 Float Off 시에 고려하여야 할 사항 중에서 횡강도 및 바지가 잠수 할 시점의 Stability 가 중요시 되었다 또한 FSO 가 잠수바지로부터 떨어져 나올 시점에서 Stability Casings 과 FSO 와의 충돌가능성도 고려 하여야 할 사항이다. 이에 기존의 Loading computer 에서는 불가능하였던 횡 강도의 계산과 FSO 가 Buoyancy 를 받으면서 실시간으로 감소되는 Line-load 를 점검하여 전체적인 Monitoring 을 가능하게 하였다 또한 충분한 복원성을 확보하기 위하여 6 개의 Stability Casings 을 사용하였다. 충돌 방지 차원에서는 각각의 Stability Casings 에 Wooden Fender 를 좌우에는 Guide Post 를 설치하여 충돌에 대비하였다.

l x b x d = 140m X 76m X 12m - DBU
 l x b x h = 8m X 9.01m X 16m - After Stab. Casing (2ea)
 l x b x h = 20m X 9.01m X 16m - Mid Stab. Casing (2ea)
 l x b x h = 17.5m X 9.01m X 16m - Fwd. Stab. Casing (2ea)
 (l: length, b: breadth, d: depth, h: height)

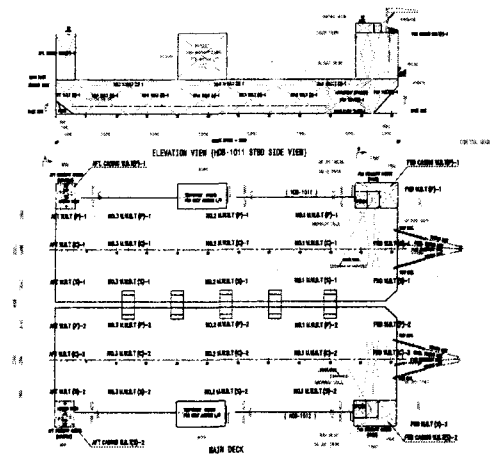
(b) FSO (Floating, Storage & Offloading)
 LXBXD = 298m X 62m X 32.2m
 Weight = 51000 Mt

DBU 와 FSO 의 전체적인 Outline 은 그림 1 과 그림 2 에서 보여진다.

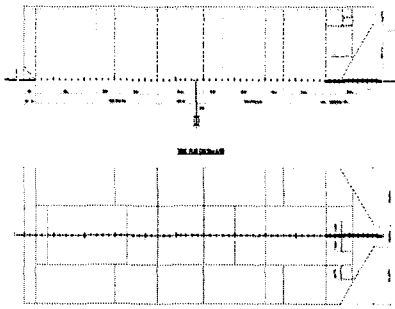
2. Calculation Condition

반 잠수바지와 FSO 의 제원은 아래와 같다.

(a) DBU (Double Barge Unit)
 6 개의 Stability Casings 이 설치된 반 잠수 바지



<그림 1 DBU>



<그림 2 FSO>

3. Stability Calculation

첫째로 Stability 측면에서의 바지의 복원성은 FSO 가 선적되지 않은 상태에서 DBU 가 잠수 되었을 시 충분한 GM(모든 잠수조건에 1M 이상)을 확보되어야 하며 이에 6 개의 Stability Casing 을 그림 1 과 같이 바깥쪽에 설치하였고 Table 1 에서 보는 바와 같이 Min. GM 이 Even Keel 상태에서도 만족함을 알 수 있다. 그러므로 단독으로 잠수할 때 DBU 의 복원성은 확보 되었다.

Case	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	0.0	8.01	1.45	7.46	52.2	6.01
2	12.00	122,536	0.0	6.28	1.41	7.69	48.7	6.28
3	13.00	123,586	0.0	6.32	1.15	7.47	16.34	6.32
4	14.00	124,366	0.0	6.35	1.15	7.50	16.34	6.35

Table 1 DBU 의 단독 복원성계산

둘째로 DBU 에 FSO 가 선적되어 Float Off 가 수행될 시 복원성에서 Critical 한 부분은 FSO 의 일부분이 수선 면에 닿기 직전까지 즉 Buoyancy 의 역할을 할 때 까지가 가장 위험한 부분임을 알 수 있다. FSO 의 Float-off 수행 시에 DBU 의 Deck 와 FSO 의 Bottom 에는 3.02m 의 Gap 이 있으며 이 구간이 Stability 측면에서는 가장 취약한 부분임을 알 수 있다.

그러므로 Float-Off 시에 DBU 의 선미 쪽으로 Trim 을 주어 FSO 의 Bottom 이 수선 면에 접촉할 때까지 DBU 를 경사시키며 이 부분을 지난 뒤에는 차츰 Trim 을 줄여 나가도록 하였고 FSO 가 부상하기 직전까지는 FSO 가 단독으로 부상시의 Trim 과 일치하도록 DBU 의 Trim 을 유지하였다.

그림 3 에서 보이는 바와 같이 Draft 13.6m 전후방에서 KMT 가, 급격한 Water plane Area 의

감소로 인하여, 줄어들게 된다. 그러므로 이 부분을 지날 때에는 최소한 선미 방향으로 3m 정도의 Trim 을 주어야만 복원성을 만족시킬 수 있다. 그림 3 에서 보는 바와 같이 ③, ④ Case 인 경우에는 최소한 -3m 의 trim 이 필요하다

Case	Draft at Mid m	Disp. mt	Trim m	KG m	GGo m	KGo m	Min.KM m	Min.GoM m
1	9.52	96,243	0.0	19.94	2.483	22.423	61.38	37.96
2	11.15	113,563	0.0	17.92	1.727	19.65	51.56	30.913
3	12.21	118,894	-3.0	17.34	1.657	19.00	23.9	3.903
4	13.35	125,878	-3.0	16.48	1.564	18.04	23.9	4.856
5	15.41	130,537	-1.0	16.05	1.509	17.56	36	17.441
6	16.15	141,153	-0.8	15.36	1.259	16.62	36.00	18.381
7	16.61	149,297	-0.8	14.70	1.191	15.89	36.00	19.109
8	16.96	155,439	-0.8	14.38	1.112	15.49	36.00	19.508
9	17.10	157,896	-0.8	14.27	1.019	15.29	36	19.711
10	17.43	163,988	-0.8	14.02	1.006	15.03	36.00	19.974
11	17.60	166,971	-0.8	13.94	0.827	14.77	36	20.233
12	17.80	170,388	-0.8	13.87	0.831	14.70	36.00	20.299
13	17.97	173,914.75	-0.84	13.82	0.822	14.642	36	20.358
14	17.99	173,914.75	-0.84	13.82	0.821	14.641	36	20.359

Table 2 DBU with FSO 의 복원성계산

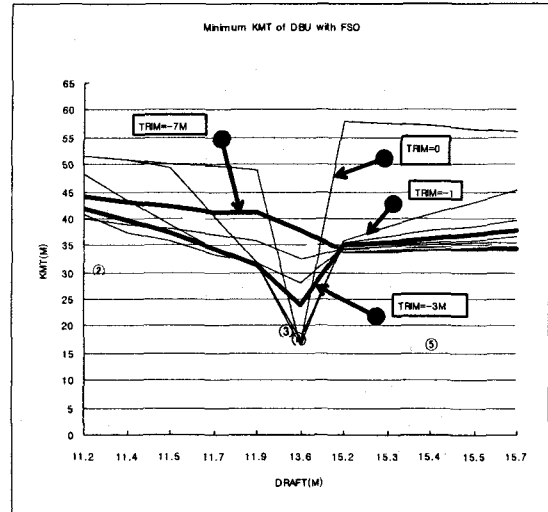


그림 3 Trimmed KMT Table of DBU with FSO

4. Loads on skid way during the Float-off

Float off 시 DBU 의 Deck 에 설치된 Skid way 위에 FSO 의 Weight 가 전달될 것이며 이 Weight 는 DBU 의 Trim 과 Draft 에 따라서 변할 것이다. 이에 새로운 Loading Computer 에서는 자동적으로 DBU 에 전달되는 Load 를 모든 Trim 과 Draft 에 대하여 선적된 Cargo 의 부력을 고려하여 계산할 수 있는 방법을 고안하였다.

계산의 전제조건은 Hydraulic jack system 을 이용하여 전체적인 Load 분포가 균일분포 하중으로 작용

되었다고 가정하고 Heeling 은 발생하지 않은 것으로 계산된 것이다. 그림 4 에서 보는 바와 같이 종 방향으로의 새로운 LCG'를 구하여 Skid way 에 길이방향으로 분포시켰고 횡 방향으로는 Ra, Rb, Rc, Rd 의 반력값을 구하여 W1, W2, W3 와 W4 로부터 어느 특정 Float-off draft 에서 FSO 부력을 고려한 각각의 Skid way에 걸리는 Line load 를 구할 수 있다.

$$(W*LCG - B*LCB) / (W-B) = LCG' \quad (1)$$

$$Ra = 0.115*W \quad (2)$$

$$Rb = 0.385*W \quad (3)$$

$$Rc = 0.385*W \quad (4)$$

$$Rd = 0.115*W \quad (5)$$

$$W1 = W - Ra \quad (6)$$

$$W2' = W2 - Rb \quad (7)$$

$$W3' = W3 - Rc \quad (8)$$

$$W4' = W4 - Rd \quad (9)$$

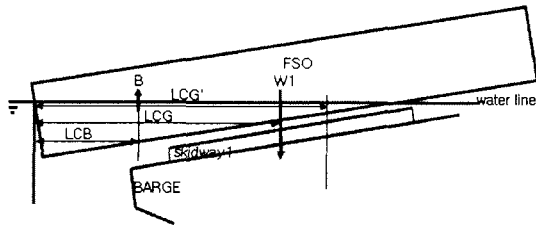


그림. 4 종 방향 Skid way-1 load 분포

위와 같은 계산방법으로 FSO Hull 을 Modeling 하여 Loading computer 에 저장하여 자동으로 계산될 수 있도록 Program 을 개발하였고 DBU 위에 선택되는 모든 Type 의 구조물의 부력을 고려할 수 있도록 하였다.

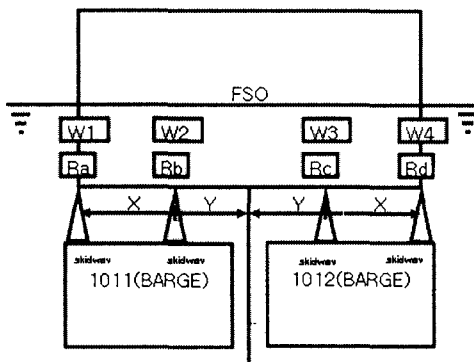


그림. 5 횡 방향 Skid way load 분포

W: FSO 의 Weight (mt)

B: 물속에 잠긴 FSO Buoyancy(mt)

LCB: 물속에 잠긴 FSO 의 longitudinal center of Buoyancy(m)

LCG: FSO 의 longitudinal center of Gravity(m)

LCG': 새로운 FSO의 부력이 고려된 longitudinal center of Gravity(m)

Ra: Skidway-1 의 반력

Rb: Skidway-2 의 반력

Rc: Skidway-3 의 반력

Rd: Skidway-4 의 반력

W1: Skidway-1 의 Loading 된 FSO weight

W2: Skidway-2 의 Loading 된 FSO weight

W3: Skidway-3 의 Loading 된 FSO weight

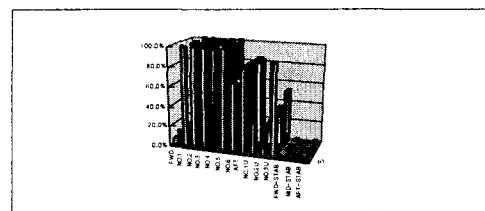
W4: Skidway-4 의 Loading 된 FSO weight

X: 17.5m, Y: 13.5m

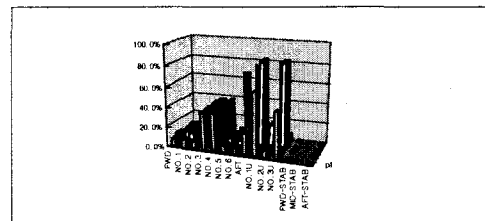
5. Ballasting Sequence

DBU 의 Ballasting operation 에서 중요하게 고려되어야 할 사항은 Connector 에 걸리는 횡강도 이다. 그 중에서 중요한 Sequence 는 DBU 의 Deck 가 잠수할 시점과 FSO 가 자기부상 (Self-Floating) 하는 부분의 경우이다. 이 부분에서는 Detail 하게 Sequence 를 계산하였으며 모든 결과가 허용치 안에 들어오도록 Plan 을 작성하였다. 또한 탱크의 구조적인 이유로 Lower water ballast tanks 를 먼저 Full ballasting 을 한 뒤 Upper water ballast tanks 를 채워야 하며 Upper water ballast tanks 는 96%이상 채워서는 안되며 절대로 선수 trim이 발생하지 않도록 작성되어야 한다. 이런 모든 조건을 만족시키기 위하여서 전용 Loading computer 를 설치하여 실시간으로 계산될 수 있도록 하였다.

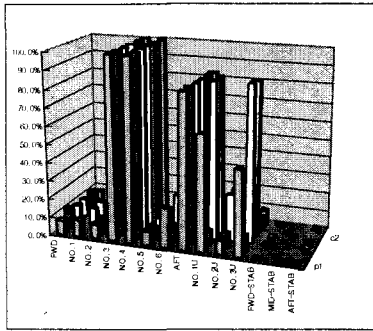
그림 6 은 전체적인 Ballasting Sequence 를 보여준다.



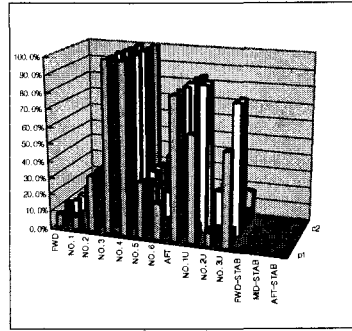
STEP-1



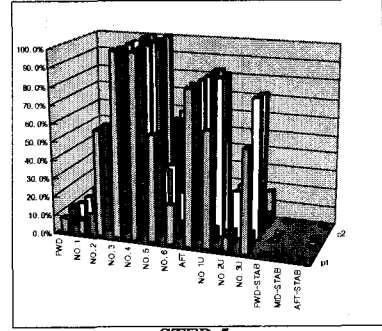
STEP-2



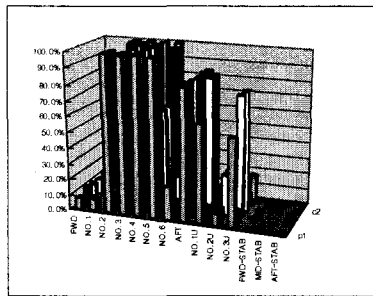
STEP-3



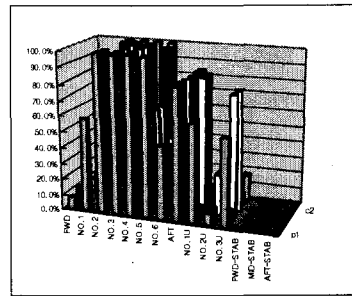
STEP-4



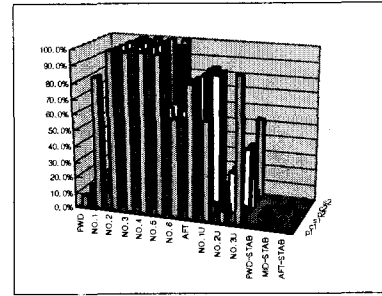
STEP-5



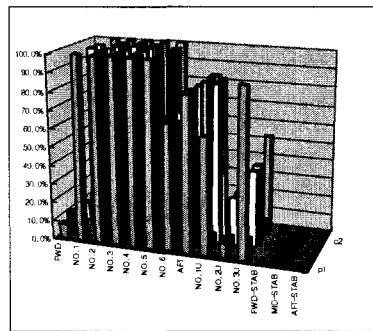
STEP-6



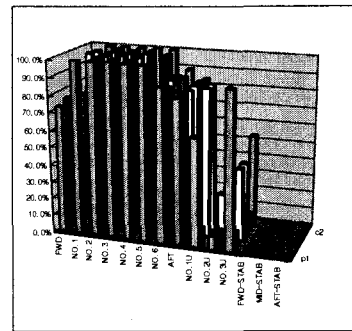
STEP-7



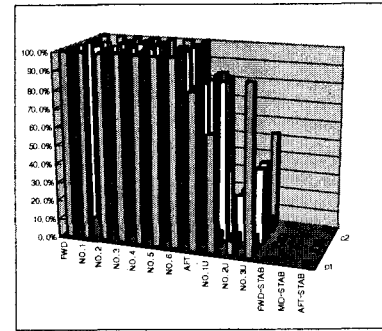
STEP-8



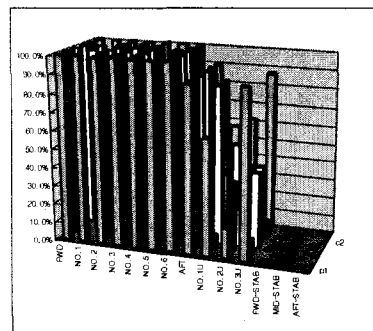
STEP-9



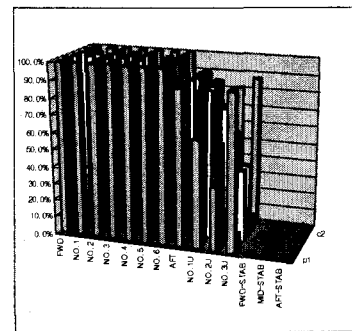
STEP-10



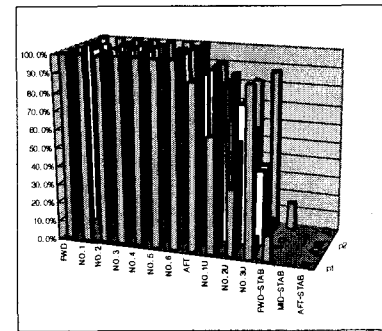
STEP-11



STEP-12



STEP-13

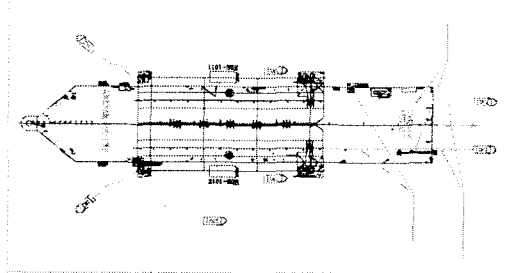


STEP-14

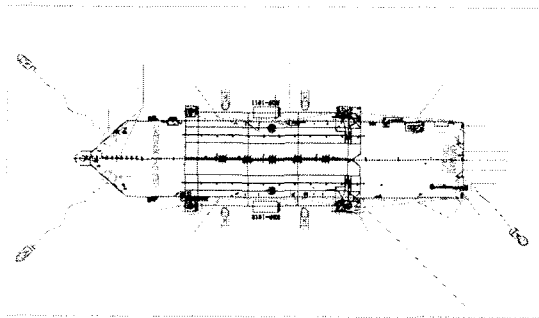
그림 6. Float Off Ballasting Sequence

6. Float off Operation

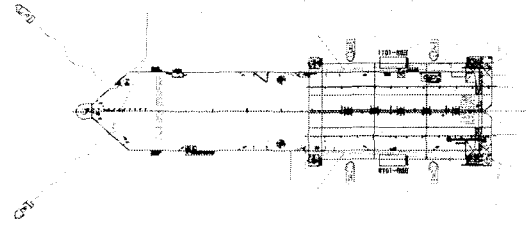
Float off operation 은 load-out 이 끝난 뒤 float off site 까지 Towing 으로부터 Float Off 후 FSO 를 안벽까지 다시 Towing 하여 오는 과정까지를 말한다. Load out 이 끝난 후 그림과 같이 2 대의 TUG 를 FSO 의 선미에 연결하여 Towing 하여 Float off Location 에 도착 후 DBU 의 선수에 Single point mooring 을 하여 모든 Heading 에 대하여 wind 방향으로 rotation 할 수 있게 하였고 Ballasting 시 DBU Deck 가 잠길 시에 충분한 복원성을 유지할 수 있도록 적절한 Trim 을 주어야 하며 FSO 가 부상된 후에도 약 2m 정도의 Bottom clearance 를 주어 FSO 가 Self-floating 한 후에 DBU 로부터 분리 시에 Bottom damage 를 예방하였다. 또한 DBU 에 설치된 6 개의 Stability Casing 과의 충돌 가능성이 매우 높으므로 Casing 안쪽에 Wooden fender 를 설치하였고 주변에 Guide Post 를 설치하여 예상되는 모든 충돌에 대비하였다.



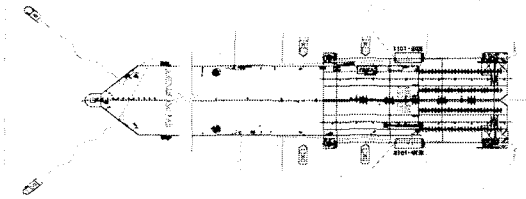
Tow to float off location



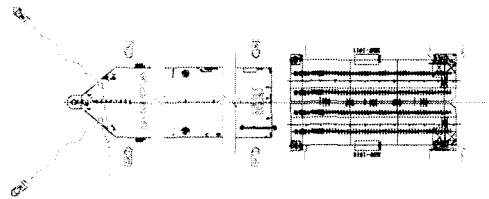
Stage1



Stage2



Stage3



Final

6. Conclusion

1. 복원성 측면에서 FSO 가 부력을 받기 직전까지가 가장 중요한 부분이므로 이 부분에서 세밀한 Ballasting 을 하여 적절한 Trim 을 유지하는 것이 중요하다. 또한 횡강도를 Loading computer 를 보면서 실시간으로 지속적인 Monitoring 이 필요 했다.
2. FSO 가 Free floating 하고 난 뒤에도 DBU 를 2m정도를 더 깊게 잠수시켜 분리 시 FSO 의 Bottom damage 를 감소 시켰다.
3. 현재 종방향으로 Load out 및 Float off 를

수행하였으며 향후 현재 진행중인 공사는 횡 방향으로 수행할 예정이다.

References

- 1) DNV Rules & Requirements for MODU
- 2) NAPA: Intact & damage Stability Calculation program
- 3) Borland Delphi6 Mastering
- 4) SACS