

# 추진성을 갖는 부유식 해양생산저장하역설비(FPSO)의 전력계통분석

이충열<sup>1</sup> · 양규현<sup>1</sup> · 윤두오<sup>2</sup> · 권용락<sup>3</sup>

## Study of Power system of Floating Production Storage and Offloading(FPSO) intended to voyage with thrusters between fields

Choong-Yeol Lee<sup>+</sup> · Kyu-Hyeon Yang<sup>1</sup> · Doo-O Yoon<sup>2</sup> · Yong-Rag Kwon<sup>3</sup>

### 1.서론

해양 구조물의 한 종류인 부유식 생산 저장 하역 설비(FPSO, Floating Production Storage and Offloading)는 최근 에너지 수요 상승과 고유가 지속에 따라 수요가 증가하는 Marginal Field 재개발에 있어 가장 적합한 형태의 설비이다. [1].

보통의 FPSO는 한번 Field에 투입이 되면 오랜 기간동안 이동을 하지 않기 때문에 고정식으로 건조되지만, 매장량이 많지 않은 Marginal Field 용 FPSO는 생산을 마친 후 다른 Field로 이동하는 주기가 짧기 때문에 초기 설계 시 자체 추진 성능을 고려하는 경우가 늘고 있다.

본 논문에서는 추진 성능을 갖는 FPSO 초기 설계 시 필수적으로 고려해야 하는 전력 계통(Power System)에 대해 논의한다. 추진을 위한 Thruster가 추가되었을 시 FPSO의 효율적인 전력 운영 조건 및 구성을 제안하고, 전력 계통 해석 프로그램인 ETAP을 통해 그 타당성을 검증한다. 전력 계통의 검증기준은 Harsh Environment 중 North Sea에 설치되는 해양설비에 적용되는 전기 설비 표준인 NORSOK E-001로 정하였다.

### 2.본론

#### 2.1 추진성을 갖는 FPSO

본 논문에서 다룬 FPSO의 기본 사양은 표1과 같다.

No	Issue	Description
1	Type	Ship-Shaped FPSO (Oil)
2	Dimension	270m (L) x 46m (B) x 26m (D)
3	Turret	Internal Turret Mooring
4	Oil Storage	900,000 bbls
5	Generator	Main: 18MW x 3 set (Gas Turbine) Essential: 2.25MW x 2 set (Diesel) Emergency: 1.5MW x 1 set (Diesel)
6	Thruster	4.5MW x 2 set (Azimuth Type)
7	Speed	10 knot

표 1. 추진성을 갖는 FPSO의 전력계통 체원

FPSO의 사항 속도는 10 knot로 Wet Towing 속도의 약 2배로 설정하였다. 이는 추진 기능을 보유한 FPSO (Terra Nova, Sea Rose 등)의 성능과 유사하다. Thruster는 Azimuth Type으로

결정하였다. 이는 Harsh Environment에 투입되는 FPSO의 경우, Positioning 및 Heading 제어 등의 성능을 위해 Azimuth Thruster를 적용하는 것이 효율적이기 때문이다. [5]. Thruster의 용량은 FPSO의 선형을 고려한 Speed-Power Curve를 통하여 도출하였다. 그리고 FPSO의 전체 운전 조건을 고려한 ELA를 통하여 발전기 용량 및 전력계통을 선정하였다.

#### 2.2 추진성을 갖는 FPSO 운전 조건

운전 조건 및 발전기 운용은 표2와 같이 설정하였다.

No	운전조건	발전	비고
1	Production	Main Generator 2 set	Highest Ambient Temp.
2	Production + Offloading	Main Generator 2 set	Heading Control
3	Sea Going	Main Generator 1 set	10 Knot Speed
4	Essential	Essential Generator 2 set	1 GTG restart. Essential Load
5	Emergency	Emergency Generator 1 set	Safety Load

표 2. 추진성을 갖는 FPSO의 운전조건과 발전기 운용

운전조건 1은 석유 생산을 하는 상황이다. 연중 가장 기온이 높은 때에도 운전이 가능해야 하기에 이를 설계 기준으로 선정하였다. Gas Turbine 발전기 성능 감소와 HVAC 최대 가동을 고려하였다. 운전조건 2는 생산을 하면서 Shuttle Tanker에 석유를 하역하는 상황이다. 하역 시에는 Heading Control을 해야 한다. Thruster 부하를 2x50% 혹은 1x100% (1대 Fail시) 상황으로 고려하였다. 운전조건 3은 FPSO가 자항을 하는 상황이다. Thruster 부하는 2x100% 이다. 이 조건에서는 Ship으로서의 기능도 하기 때문에 IMO SOLAS 조약이 적용되어 1대의 Reserve 발전기가 필요하다. 전력 발전은 주 발전기 1대를 이용하는 것이 합리적이다. 운전조건 4는 주 발전기가 모두 Fail 되었을 상황이다. 주 발전기를 다시 운전시키기 위한 부하를 포함한 필수 부하가 고려된다. 운전조건 5은 비상상황이다. 인명과 관련된 Safety부하가 고려된다.

본 논문에서는 최대 전력을 요구하는 운전 조건 2와 특징적인 상황인 운전조건 3의 전력 계통을 분석한다.

<1> 이충열(삼성중공업), E-mail: choongyeol.lee@samsung.com, Tel: 02)3458-7609

1 양규현(삼성중공업)  
2 윤두오(삼성중공업)  
3 권용락(삼성중공업)

### 2.3 추진성능을 갖는 FPSO의 전력조류 분석

ETAP Modeling분석을 통해 얻어진 운전조건2와 운전조건3의 전력 조류 (Load Flow) 해석 결과는 표3, 표4와 같다.

전압변동률은 최대 4.69%로 Norsok E-001에서 인용하는 IEC 61892-1에 명시된 기준인 전압변동률 6%를 만족한다.

Panel	Voltage (% Mag)	MW	Mvar	Amp	% PF
80-EH-001A 11kV Top. SWBD	100.00	7.75	3.25	441.12	92.2%
80-EH-001B 11kV Top. SWBD	100.00	6.41	2.71	365.08	92.1%
80-EH-002A 11kV Hull SWBD	99.97	4.88	1.91	275.07	93.1%
80-EH-002B 11kV Hull SWBD	99.97	0.43	0.26	26.52	85.7%
82-EN-003A 690V Hull SWBD	101.97	1.07	0.64	1020.98	85.8%
82-EN-003B 690V Hull SWBD	101.97	1.07	0.64	1020.98	85.8%
84-EN-003A 690V Emcy SWBD	101.97	0.51	0.30	485.09	85.8%
84-EN-003B 690V Emcy SWBD	101.97	0.51	0.30	485.09	85.8%
Bus 24 VFD SWBD	104.69	4.51	1.68	3738.67	93.7%

표 3. 운전조건2의 전력조류

Panel	Voltage (% Mag)	MW	Mvar	Amp	% PF
80-EH-001A 11kV Top. SWBD	100.00	0.00	0.00	0.00	0.0%
80-EH-001B 11kV Top. SWBD	100.00	0.00	0.00	0.00	0.0%
80-EH-002A 11kV Hull SWBD	99.98	0.00	0.00	0.00	0.0%
80-EH-002B 11kV Hull SWBD	99.98	0.00	0.00	0.00	0.0%
82-EN-003A 690V Hull SWBD	102.85	0.64	0.38	604.28	85.8%
82-EN-003B 690V Hull SWBD	102.85	0.64	0.38	604.28	85.8%
84-EN-003A 690V Emcy SWBD	102.85	0.37	0.22	347.41	85.7%
84-EN-003B 690V Emcy SWBD	102.85	0.37	0.22	347.41	85.7%
Bus 24 VFD SWBD	104.69	4.51	1.68	3738.71	93.7%
Bus 29 VFD SWBD	104.69	4.51	1.68	3738.57	93.7%

표 4. 운전조건3의 전력조류

### 2.4 추진성능을 갖는 FPSO의 단락전류 분석

ETAP Modeling분석을 통해 얻어진 운전조건2, 운전조건3의 단락전류(Short Circuit) 해석 결과는 표5과 같다.

11kV Bus에서 21.57KA(운전조건2) 및 8.85KA(운전조건3), 690V Bus에서 46.33KA(운전조건2) 및 37.52KA(운전조건3)으로써 Norsok E-001의 기준인 11kV Bus에서 40KA, 690V Bus에서 50KA를 만족한다.

Panel	운전조건2		운전조건3	
	KA Symm. rms	Peak Value (KA)	KA Symm. rms	Peak Value (KA)
80-EH-001A 11kV Top. SWBD	21.57	54.28	8.85	22.21
80-EH-002A 11kV Hull SWBD	21.45	53.85	8.84	22.16
82-EN-003A 690V Hull SWBD	46.33	111.53	37.52	91.27
84-EN-001A 690V Emcy SWBD	46.33	111.53	37.52	91.27
Bus 24 VFD SWBD	67.60	162.77	54.13	130.84

표 5. 운전조건2,3의 단락전류

### 2.5 추진성능을 갖는 FPSO의 전력계통의 고조파 분석

ETAP Modeling분석을 통해 얻어진 고조파 THD (Total Harmonic Distortion) 해석 결과는 운전조건2의 경우 0.95%, 운전조건3의 경우 4.98% 로서 Norsok의 규정 5%를 만족한다.

## 3. 결론

본 논문에서는 추진성능을 갖는 FPSO의 운전조건을 고려한 효율적인 발전기 운용을 포함한 전력 계통을 제안하고, ETAP을 통한 해석 결과가 Norsok 규정을 만족함을 확인하였다.

### 참고문헌

- [1] Maryam MADDAHI, " A Review on Offshore Concepts and Feasibility Study Considerations", Society of Petroleum Engineers Oil and Gas Conference, 2011
- [2] Timothy J. McCoy, "Trends in Ship Electric Propulsion", Power Engineering Society Summer Meeting, 2002 IEEE, Volume:1, pp. 343-346 2002.
- [3] 김철호, 윤두오, 이성근, 서동환, 김윤식, "ETAP을 이용한 한나라호의 전력계통분석" 한국마린엔지니어링학회 공동학술대회 논문집, pp. 95-96, 2009.
- [4] Norsok Standard E-001 'Electrical Systems' (Edition 5, 2007)
- [5] Sangsoo R. "Coupled dynamic analysis of thruster assisted thruster-moored FPSO, Oceans 2003, IEEE
- [6] 송길영, "신편 전력계통공학", 東逸出版社, 2008.