

# AHTS 선박의 특성을 고려한 LNG 연료공급시스템 최적위치 연구

구자원<sup>†</sup>·이원출·유병석  
한진중티엠에스

## Optimum Position Study of LNG Fueled System Considering Characteristics of AHTS Vessel

Ja-Won Koo<sup>†</sup>·Weon-Chul Lee·Byeong-Seok Yu  
HHIC-TMS (Engineering Sales Team)

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

While environmental concern is urging shipbuilding industry to reduce pollutant emission, it is necessary to design environmental friendly vessels. LNG as fuel for ship propulsion is proven to be effective way to reduce pollutant emission. In this study, we find optimum position of LNG fuel supply system on AHTS by considering vessel characteristic. Three different positions of fuel supply system are studied in this paper. Factors such as stability, strength and safety are examined in each position of fuel supply system.

**Keywords** : AHTS (해양시추지원선), LNG Fueled System (LNG 연료 시스템), Optimum Position (최적 위치)

## 1. 서론

북유럽을 중심으로 환경오염 물질 감축방안에 대한 관심이 대두되고 있으며 최근 IMO 협약에 따른 ECA(Emission Control Area)와 SECA(Sulfur Emission Control Area) 통항제한 기준 및 환경규제가 확대되고 있다. 따라서 친환경연료인 천연가스를 이용한 연료 공급 시스템의 선박 적용이 증가하고 있다.

본 논문에서는 AHTS 선박의 특성을 고려하여 LNG 연료 추진 시스템을 선박에 적용하는데 있어 LNG 연료 공급 시스템의 위치변화에 따른 복원력, 종강도 결과를 비교하고자 한다. 또한 LNG 연료 공급 시스템의 위치에 따라 화물탱크용량, 선박평형 수용량, 시스템구성, 폭발안전성을 상호 비교하여 AHTS 선박의 LNG 연료공급시스템 최적 위치를 판단 하고자 한다.

## 2. 본론

### 2.1 초기기본제원선정

Bollard Pull 200ton 급의 범용 제원으로 초기 설계를 계획하였으며 LNG 연료 추진 방식이 아닌 기존 F.O (Fuel Oil) 연료 추진 방식의 Mother Ship을 선정한 후 LNG 연료 추진 방식으로

설계 변경하는 방법으로 연구를 진행하였다. ULSTEIN, 바칠라, Marine Tech 등 유럽 조선 엔지니어링 회사 홈페이지를 통해 초기 제원은 L x B x D = 90m x 19.9m x 8.8m으로 선정하였다.

### 2.2 LNG 연료탱크 용량검토

LNG 연료는 비중이 0.46으로 0.98 비중인 F.O에 비해 Tank 크기가 약 2배 증가한다. 따라서 실제 운항거리를 LNG 연료만으로 추진하기에는 LNG 연료탱크가 무리하게 커지는 결과를 초래 한다. 본 연구에서는 LNG 연료 탱크 설계가 가능한 구획을 검토 한 후 Mother Ship 길이를 3.5m 증가 시키는 범위에서 LNG 연료 탱크 용적을 180m<sup>3</sup> 설계 하였다. 이때 LNG 연료 탱크만으로 항해할 수 있는 거리는 725N.M로 멕시코만 Field 를 약 2회 운항할 수 있는 조건이다.

### 2.3 LNG 연료 탱크 용량을 고려한 기본제원 선정

선박길이는 LNG 연료 탱크 반영으로 Mother Ship의 AHTS 대비 LOA는 3.5m LBP는 4.2m 증가하였다. Deadweight는 LNG 연료의 증가분을 고려하였고 Lightweight는 LNG system 적용으로 300ton (LNG storage tank 100ton, FGSS system

<sup>†</sup> 교신저자 : jwkoo@hhic-tms.com, 010-4523-5077

및 격벽 50ton, 선박길이 증가분 150ton) 증가하는 것으로 추정하여 Mother Ship을 기반으로 선형 설계 및 일반 배치도를 작성하였으며 최종 제원은 Table.1과 같다.

Table. 1 Ship's Dimension

	HHIC-TMS_AHTS-LNG
LOA (m)	89.0
LBP (m)	77.2
Breadth (m)	19.9
Depth (m)	8.8
Design Draft (m)	6.8
Scantling Draft (m)	7.3
DWT (Design) (ton)	3,200
DWT (Scantling) (ton)	3,900

### 2.4 LNG 연료 탱크 Type 선정

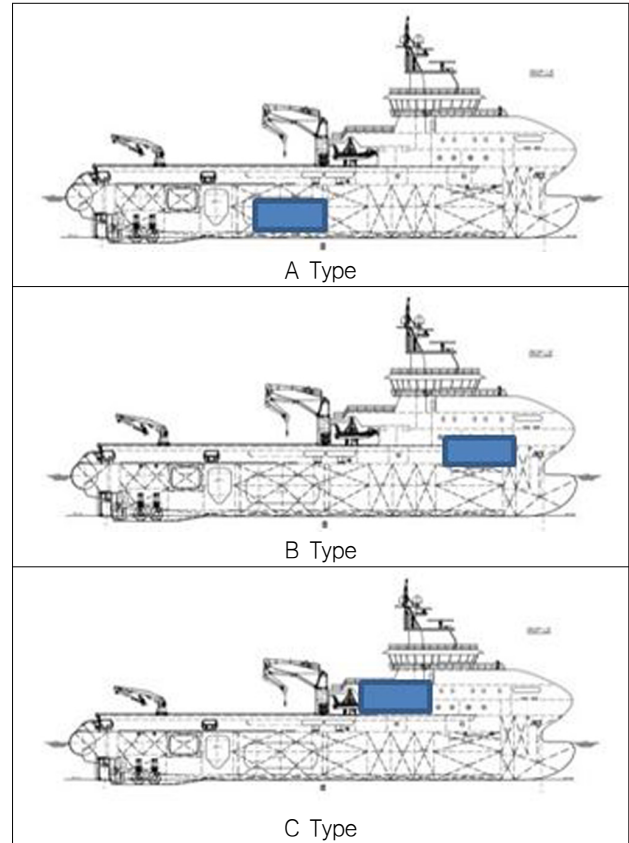
LNG 저장 탱크의 종류에 따라 특성이 다르기 때문에 최적 위치 검토의 결과가 각각 달라지게 된다. 따라서 AHTS 선박에 적합한 LNG 저장 탱크의 종류를 결정하기 위해 Membrane, IMO A,B,C 타입 탱크의 특성과 AHTS 선박에 미치는 영향을 분석하였다. Membrane Type은 중소형 조선소에서 주로 건조되는 AHTS에 적용하기에 중소형 조선소의 설치 제작 기술 미흡이 문제가 되고 슬로싱 또한 발생하므로 AHTS에 적용하는 것은 부적합한 것으로 판단된다. 다음으로 IMO A 타입과 B 타입은 적용 가능하나 BOG 처리 시설 설치가 현재 배치상 여유공간이 없어 불가능하고 거친 해상에서 운항하는 AHTS 특성상 안전에 취약한 부분이 있다. LNG 탱크가 180m<sup>3</sup>의 저용량이고 메이커로부터 구매하기만 하면 설치가 간단하며 안전성이 우수한 IMO C 타입이 본 호선에는 가장 적합한 것으로 사료되어 개발선의 LNG 탱크 종류는 IMO C 타입으로 결정하였다.

### 2.5 LNG 연료 탱크 위치에 따른 영향검토

AHTS LNG 연료 탱크 위치는 Hold 내에 위치하는 경우(A Type), 선수 거주구 공간 하방에 위치하는 경우(B Type), 거주구 후부에 위치하는 경우(C Type)가 실제 선박 배치상 가능한 것으로 판단되고 Table 2.와 같이 배치하였다. 연료 탱크가 Hold내에 위치하는 경우는 화물 용량이 감소하나 배관/전장 설계가 용이하며, 화재/폭발에 대한 안전성이 우수하고, LNG 연료 소모에 따른 선박 트림 변화가 거의 없다는 장점이 있다. 거주구 공간 하방에 위치하는 경우는 화물용량 확보가 가능하나 거주구 공간의 일부에 놓이게 되므로 거주구 공간이 협소해지고, 연료탱크 사고시 거주구 공간에 근접하여 안전에 취약하다. 또한 USCG의 법규상 거주구 하방에 연료 탱크를 설치할 수 없으므로 미국 운항에 제한이 따르는 단점이 있다. 마지막으로 연료 탱크가 거주구 후부에 위치하는 경우는 Winch가 선미 방향으로 밀려나고 그 위치에 연료 탱크가 위치하게 되므로

Deck Space가 감소하고 Winch에 의한 진동 문제가 발생할 수 있으며 연료 탱크와 엔진의 거리가 멀어지므로 배관의 길이가 증가 하는 단점이 발생한다.

Table. 2 LNG Tank Position



### 2.6 종강도 검토

LNG연료탱크 위치가정 A, B, C 타입에 대한 종강도 계산은 IMO Resolution A.469(XII)에서 요구하는 Loading Condition 인 Light Ship, Ballast, Loaded Condition에 대해 수행하였다. 계산 결과 Bending Moment Maximum이 A의 경우 Table.3과 같이 138738 kN-m, B의 경우 Table.4와 같이 142156kN-m, C의 경우 Table.5과 같이 122210kN-m으로 B > A > C로 나타났다. 길이방향의 선체 중앙부가 최대가 되는 Bending Moment와 LNG 연료 탱크 위치 상관 관계는 LNG 연료 탱크의 위치에 따라 크게 상이 할 것으로 판단되었으나 선박의 Loading Condition Departure, Arrival 상태에 따라 LNG 연료 탱크는 Full에서 Empty로 Consumable 되므로 그 차이가 크지 않았다. 또한 같은 위치라 하더라도 Ballast Condition과 Loaded Condition의 화물 적재 상태에 따라 종강도 특성을 달리 보였다.

LNG연료탱크 위치가정 A, B, C 타입에 따른 종강도 차이로 A는 C에 비해 70ton, B는 C에 비해 80ton 부재 Weight 증가가 예상된다.

Table. 3 A Type Shear Force & Bending Moment

Condition	Disp. (ton)	S.F (kN)	B.M (kN-m)
Lightweight	4700	-3154	75248
Ballast Dep.	5773	-4763	104243
Ballast Arr.	5531	-5616	122628
Loaded Dep.	8039	-7059	138738
Loaded Arr.	7426	-5830	117020

Table. 4 B Type Shear Force & Bending Moment

Condition	Disp. (ton)	S.F (kN)	B.M (kN-m)
Lightweight	4700	-3154	75248
Ballast Dep.	5988	-6110	142156
Ballast Arr.	5511	-5646	124016
Loaded Dep.	8034	-6821	121276
Loaded Arr.	7616	-5687	111238

Table. 5 C Type Shear Force & Bending Moment

Condition	Disp. (ton)	S.F (kN)	B.M (kN-m)
Lightweight	4700	-3154	75248
Ballast Dep.	6075	4835	105174
Ballast Arr.	5551	-5558	122210
Loaded Dep.	8034	-5523	97711
Loaded Arr.	7616	-5572	108899

### 2.7 복원력 검토

Opening은 모두 동일한 위치로 가정하여 연료유 탱크 위치 A, B, C에서 비손상복원성을 계산하였다. B, C 타입의 연료저장 탱크 위치가 높고 연료유의 무게중심 또한 높기 때문에 초기 Departure Condition에서 GM이 작다. 그러나 Arrival Condition에서는 10%의 연료만 남으므로 GM은 증가하게 된다. 반대로 A 타입의 경우 연료저장 탱크 위치가 낮으므로 초기 Departure Condition에서 GM이 커서 복원력이 우수하나 Arrival Condition에서 연료가 10% 남았을 시 GM이 작아져 복원력 감소가 나타난다.

연료 저장탱크 위치가 높고 낮음에 따라 무게 중심이 변화되어 복원력 차이가 발생해야 한다. 그러나 Departure / Arrival Condition의 연료유 소비에 따른 GM 변화로 IMO Resolution A.469(XII)를 근간으로 복원력을 계산하면 A, B, C 타입 연료 탱크 위치에 상관없이 복원력 계산 결과는 비슷함을 알 수 있었다.

손상 복원성의 손상은 길이방향으로는 무제한, 높이방향으로는 Depth, 폭 방향으로는 만재흡수에서 760mm 범위로 손상된다. 실제적인 손상 결과는 폭방향으로 손상을 입는 Tank의 수나 범위가 변경될 때 변화가 크고 그 이외의 경우는 손상 결과가 미미하게 변하게 된다. A, B, C 타입 모두 손상되는 Tank의 수나 범위가 거의 동일 하기 때문에 손상 복원성 계산 결과도 거의 같게 도출 되었다.

Table. 6 A Type Intact Stability Result

	unit	Attv	Req	Stat
Area GZ 30 deg.	m-rad	0.151	0.055	ok
Area GZ 40 deg.	m-rad	0.248	0.090	ok
Area GZ 30 - 40 deg.	m-rad	0.098	0.030	ok
Max. GZ 30 deg.	m	0.573	0.200	ok
Max. GZ > 25 deg	deg	32.77	25.00	ok
GoM	m	0.938	0.150	ok

Table. 7 B Type Intact Stability Result

	unit	Attv	Req	Stat
Area GZ 30 deg.	m-rad	0.182	0.055	ok
Area GZ 40 deg.	m-rad	0.269	0.090	ok
Area GZ 30 - 40 deg.	m-rad	0.112	0.030	ok
Max. GZ 30 deg.	m	0.591	0.200	ok
Max. GZ > 25 deg	deg	31.11	25.00	ok
GoM	m	0.999	0.150	ok

Table. 8 C Type Intact Stability Result

	unit	Attv	Req	Stat
Area GZ 30 deg.	m-rad	0.180	0.055	ok
Area GZ 40 deg.	m-rad	0.271	0.090	ok
Area GZ 30 - 40 deg.	m-rad	0.091	0.030	ok
Max. GZ 30 deg.	m	0.579	0.200	ok
Max. GZ > 25 deg	deg	32.56	25.00	ok
GoM	m	0.956	0.150	ok

### 2.8 화물탱크용량 / 선박평형수 / 시스템구성 / 폭발안전성 검토

화물탱크 용량은 A타입 경우 연료 탱크가 Hold 내에 위치하고 엔진룸 구역에 인접한 부분은 IGF 코드에 의거하여 코퍼덱을 설치해야 한다. 따라서 B, C 타입과 비교하여 약 400m<sup>3</sup>의 화물 적재 공간이 손실된다. 반면에 B, C 타입의 경우 화물탱크 용량은 A 타입에 비해 약 400m<sup>3</sup> 추가 확보가능하나 거주구 공간에 놓여 지므로 거주구 공간이 부족하여 선수 거주구 높이를 높여야 한다.

선박평형수는 Ballast Condition에서 A 타입은 300m<sup>3</sup>, B타입은 500m<sup>3</sup>, C타입은 400m<sup>3</sup>이고 Design Condition에서 A 타입은 560m<sup>3</sup>, B타입은 420m<sup>3</sup>, C타입은 420m<sup>3</sup>이 필요하다. 이를

Ballast Condition과 Design Condition으로 합산하면 A 타입은 860m<sup>3</sup>, B타입은 920m<sup>3</sup>, C타입은 820m<sup>3</sup>으로 운항 중 선박평형수 조절로 인한 운항 효율은 거의 같다는 것을 알 수 있다.

시스템 구성은 엔진과 연료 탱크가 가장 인접한 A 타입이 효율적이다. C 타입의 경우 연료 탱크와 Fuel Gas Supply System, 엔진과 거리가 이격 되어 있어 배관, 전장 케이블이 길어져야 하므로 생산 단가를 상승시킨다.

폭발 안전성은 A 타입이 거주구와 가장 멀어서 안전하고 배관 라인이 가장 짧고 시스템 배치가 효율적이라 폭발이 일어나는 또한 가장 낮다. B 타입의 경우 현재 USCG 법규상 거주구 하방으로 LNG 연료 탱크 설치를 불허함으로 USCG의 법령이 적용되는 지역은 운항 불가한 단점이 있다.

### 2.9 검토 결과 비교 분석

연료 탱크 A, B, C 타입의 정량화 분석을 위해 Table.9와 같이 총 100점에 대한 분류 기준을 작성해 보았다. 복원력은 A, B, C 타입 모두 Rule Requirement를 만족하였기 때문에 평가에서 배제 하고 총점 100점에 대해 종강도 30점, 화물탱크용량 30점, 선박평형수용량 10점, 시스템 구성 15점, 폭발안전성 15점으로 대분류 하였다.

Table. 9 Classification Table

Major Categories	Sub-Categories	Point	Sub-Categories	Point
S.F & B.M (kN-m)	100,000 ~ 110,000	30		
	110,000 ~ 120,000	28		
	120,000 ~ 130,000	26		
	130,000 ~ 140,000	24		
	140,000 ~ 150,000	22		
Tank Volume (m3)	Volume Loss		Accommodation	
	0	20	No Change	10
	0~100	18	Minor Change	7
	100~200	16	Major Change	5
	200~300	14		
Ballast Water (m3)	300~400	12		
	0~300	10		
	300~600	8		
System	600~900	6		
	Efficiency	15		
	Suitability	13		
Explosion	Weak	11		
	Safety	15		
	Suitability	13		
	Weak	11		
Total 100 Point				

Table. 10 Quantification Result

	A Type	B Type	C Type
S.F & B.M	24	22	26
Tank Volume	12	18	18
Accommodation	10	5	7
Ballast Water	13	13	13
System	15	13	11
Explosion	15	11	13
Total Point	89	82	88

종강도는 Bending Moment가 강재비 상승의 주요 인자이므로 Bending Moment를 기준으로 100,000~110,000 kN-m 30점을 기준으로 10,000 kN-m 상승 당 2점씩 감점하였다. 화물탱크용량은 총점 30점에 화물적재손실 20점, 거주구 높이를 상승을 10점으로 소분류 하고 화물적재손실은 100m<sup>3</sup> 손실당 2점 감점, 거주구 높이는 수정 없을 시에 10점, 일부 수정 7점, 대수정 5점으로 소분류 하였다. 선박평형수용량은 0~300m<sup>3</sup> 15점, 300~600m<sup>3</sup> 14점, 6~900m<sup>3</sup> 13점으로 분류하였고 시스템 구성과 안전성은 효율(안전), 적절, 취약으로 분류하여 각각 15점, 13점 11점을 부여 하였다.

정량화의 계산을 수행한 결과 Table.10과 같이 A 타입의 경우 89점, B 타입의 경우 82점, C 타입의 경우 88점으로 분류 되었다. A 타입의 경우 종강도가 커서 경하중량이 70ton 증가하고 화물을 실을 수 있는 탱크 용량이 작은 단점이 있지만 시스템 구성, 폭발 안전성, 선박 트림 제어 시간이 가장 작은 특성을 나타내었다. B, C 타입은 거주구에 가깝고 무게 중심이 비교적 높은 곳에 위치하여 그 경향이 유사할 것으로 예상 했으나 C 타입이 B 타입에 비해 시스템구성 이외에는 모두 나은 결과를 나타내었다.

### 3. 결론

본 연구에서는 국내 설계 경험이 부족한 AHTS 선박에 친한 경 LNG 연료 추진방식을 적용하여 설계하였다. 또한 연료공급시스템의 최적 위치를 찾기 위해 최적 위치로 추정되는 공간에 연료 탱크를 배치했을 때 나타나는 복원력, 종강도, 안전성, 시스템 배치 특성을 고찰하였다.

연료공급시스템이 Hold내에 위치하는 A 타입과 선수 거주구 공간에 위치하는 B 타입, 거주구 후부에 위치하는 C타입으로 분류 하여 연구 결과를 도출하였으며 복원력, 종강도, 시스템 구성, 폭발 안전성을 요소로 분류하고 평가기준에 따라 수치로 정량화 했으며 A 타입이 89점으로 수치상 가장 우수한 것으로 판단되었고 그 다음으로 C타입 88점, B타입 82점인 것으로 나타났다. 그러나 이는 정량화된 수치로 나타난 결과 일뿐 A와 C타입의 경우 실제 결과 수치가 거의 같았다. 따라서 선박을 초기 설계할 시 선주의 선호도에 따라 연료공급시스템이 Hold내에 위치하는 A 타입과 거주구 후부에 위치하는 C타입 중 선택하여 설계하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

## References

- Hancox, Michael, Oilfield Seamanship Series, Anchor Handling, M&I, pp. 25-88, 2012.
- Jan Van Os, OSV Design, OSV Conference in Singapore (DamenShipyards), 2014.
- Nautical Institute, Offshore Support Vessels, pp. 49-63, 2008.
- Ole Zahl, Raising Capital for an OSV Fleet, OSV Conference in Singapore (Sinopacific AS), 2014.
- Ritchie Gary, Practical Introduction to Anchor Handling and Supply Vessel Operations 2nd Edition, mandibooks, pp. 20-96,

2008.

MEPC, IGF Code, 2013.

IMO, IMO Resolution A.469(XII), 1981.



구 자원



이 원 출



유 병 석