

전동기 구동 카고펌프의 적용 및 경제성 연구

조 동 주[†], 김 경 배*, 박 명 규**

햄워디(주), *국방기술품질원, **한국해양대학교

A Study on the Application and Economical Efficiency of Electric Driven Cargo Pumping System

Dong-Ju Cho[†], Kyung-Bae Kim*, Myung-Kyu Park**

[†]Hamworthy Korea Ltd, Busan 612-020, Korea

*Defense Technology and Quality/DT&Q, Busan 616-816, Korea

**Korea Maritime University, Busan 606-701, Korea

(Received June 22, 2011; revision received November 21, 2011)

ABSTRACT: This study has been conducted to compare two cargo handling systems on MR tanker and Panamax tanker. Submerged hydraulic cargo pumps with hydraulic power packs and frequency converter controlled electric deepwell pumps will be investigated and compared on all aspects of initial cost, installation, operation and maintenance. The result of investigation shows Electric Systems have less manufacturing costs, higher environmental friendliness and reliable operation compare to Hydraulic Systems. Furthermore, the present experimental data will provide important database for Electric Systems onboard new ships and practical and empirical guidelines are constructed for further determine the design of the Electric Systems.

Key words: MR tanker(핸디탱커), Submerged hydraulic pump(유압모터 구동펌프), Electric deepwell pump(전동기 구동펌프), Hydraulic powerpack(유압전원함), Frequency converter(인버터), Pressure line(압력관)

기 호 설 명

Q : 유량의 단위, 펌프의 용량 (m^3/h)
 Loa : Length of all, 배의 전장
 F/C : Frequency converter, 인버터
 $SWBD$: Switchboard, 전력배전반

상 첨자

* : 무 차원 변수

[†] Corresponding author

Tel.: +82-10-4800-7317; fax: +82-51-741-9981

E-mail address: dong.ju.cho@gmail.com

1. 서 론

기존 카고 펌프에는 통상적으로 유압구동 펌프를 국내 조선소의 경우 표준으로 설계 적용하고 있지만 펌프 및 유압라인 설치에 많은 공수가 추가되고, 운항 중에는 유압장치 관련 추가 유지 보수비가 필연적이다. 이는 많은 중소형 케미컬 탱커선에 전동기 구동형 카고 펌프에 대한 검토 및 실적이 많지 않아 처음 적용하는 조선소의 경우 많은 우려를 예상하여 전동기 구동형 펌프를 적용하지 않은 경향이 있어, 본 연구는 실적선에 적용사례를 비교 검토하여 실제 설계 적용할 수 있도록 안내하는 것이 연구의 목적이고 두 가지 선형에서의 설계 및 생산 그리고 전체 적 비용에 어떠한 영향이 있는지 초기 견적을 진행

하는 기술영업 그리고 생산설계 까지 향후에 적용할 수 있는 안내를 제시하고자 한다.

2. 기본이론 및 설계방식 비교

일반유조선의 경우 펌프룸에서 원유를 하역터미널로 직접 이송하는 방식이 일반적이지만, 펌프 룸 없는 중소형 탱커선인 경우 각각의 저장 탱크 내에 설치된 유압모터 구동형 원유이송 방식과 전동기 구동형 원유이송 방식으로 모두 카고 펌프가 탱크 속에 위치하는 것이 특징이다.

유압모터 구동형 펌프는 전동기나 자체 엔진으로 구동되는 유압 전원함에 의하여 구동되고 유압 전원함은 화물탱크에서 떨어져있는 기관실에 위치하며, 펌프 구동용 유압을 250 bar 이상으로 가압하여 압력관을 통해 공급되며 탱크 아래 부분의 0.5 m에서 2.0 m에 위치한 유압 모터에 공급된 후 저 압력관을 통하여 10 bar 정도의 유압으로 다시 유압전원함으로 돌아온다. 상대적으로 전동기 구동형 펌프는 인버터로 조절되는 전동기에 의해 구동되고, 전력 공급은 화물구역에서 떨어져 있는 기관실 구역에 위치한다.^(1, 5)

2.1 검토대상 선박의 제원 및 특성

검토 선박으로는 소형선으로 대표되는 전형적인 화학운반선 45 K와 75 K를 선정하였으며 이는 국내 조선소에서 많이 건조되는 선형으로 많은 도움이 예상된다. Table 1에 주요 제원을 보인 것처럼 펌프룸

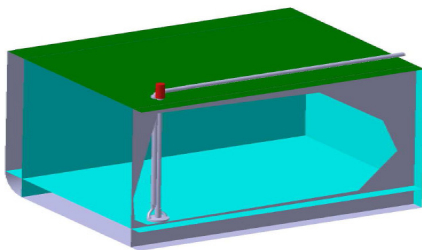


Fig. 1 Electric deepwell pump installation.

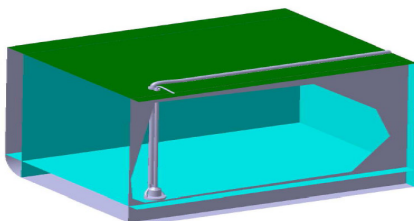


Fig. 2 Hydraulic submersible cargo pump.

Table 1 Main characteristics of vessels

	Vessel A(45 K)	Vessel B(75 K)
Dead weight	46,260 ton	75,300 ton
LOA	183.0 m	228.0 m
Breadth	32.20 m	32.24 m
Depth to main deck	18.00 m	20.80 m
Design draft	12.20 m	14.00 m
Number of cargo tanks	12 tanks	12 tanks
Cargo tank capacity	51,200 m ³	86,300 m ³
service speed	14.7 knots	14.5 knots
Intended cargo	Oil prod., IMO III Chem.	Oil prod., IMO III Chem.

Note) Significant ships+Korean shipyards.

없는 선형으로 모두 독립펌프 적용이 가능하다.⁽¹⁾

모든 제원 및 성능은 한국 조선소 실적선 자료, 조선연감(Significant Ships) 2005~2010년에 실려 있는 자료 등 한국 조선소에서 일반적으로 건조하는 표준 선형의 실적자료를 조사 결과에 인용하였다. 원유 운송 방식관련 아래의 별도 비교표는 Table 2와 Table 3은 전형적인 표준선형의 원유운송 방식으로

Table 2 Dimensioning criteria of cargo handling systems

	Vessel A (45 K)	Vessel B (75 K)
Capacity of cargo pump	600 m ³ /h	900 m ³ /h
Total simultaneous capacity	3,600 m ³ /h	5,400 m ³ /h
Minimum unloading time	11.2 hours	12.5 hours

Note) Deltamarin report+Korean shipyards.

Table 3 Main items of cargo pumping system

	Vessel A(45 K)		Vessel B(74 K)	
Cargo pumps	12 pcs	12 pcs	12 pcs	12 pcs
Cargo pumps e-motors/hyd-motors	12 pcs	12 pcs	12 pcs	12 pcs
Power control of cargo pumps	6F/Cs and SWBD	hyd. power packs	6F/Cs and SWBD	hyd. power packs
Power transmission of cargo pumps	cabling	hyd. piping	cabling	hydro piping

Note) Deltamarin report+Korean shipyards.

펌프 용량의 변화만 있고 서로 유사한 특징이 있다.

2.2 요구 전력량 및 운전조건

카고 펌프 선택은 선형에 미치는 영향은 없고, 일부 경하중량이나 트림에 미미한 영향은 미칠 수 있겠으나 배의 저항에 영향을 미칠 수 없을 정도로 더 이상의 비교는 의미가 없다.

원유운송에 요구되는 전력 소모량은 유압식 펌프의 경우 0.48 kWh/m³이고, 전동기 구동형의 경우 0.41 kWh/m³로 전력 요구량과 최대 소모량의 비를 비교하여 구할 수 있다. Fig. 3은 유압모터 구동과 전동기 구동 펌프의 전력 손실단계 및 구성 품을 보여주고 있다.⁽¹⁾

전력 요구량의 경우 Table 4처럼 유압모터 구동 펌프에 비해 전동기 구동 펌프의 경우 전력 요구량이 적음을 알 수 있고 이는 유압모터 구동 펌프에서 준비된 전력량이 설계변경 없이 전동기 구동 펌프로 설계변경이 가능하고, 같은 디젤엔진 추진방식에서 더 많은 화물의 하역이 가능함을 알 수 있다.

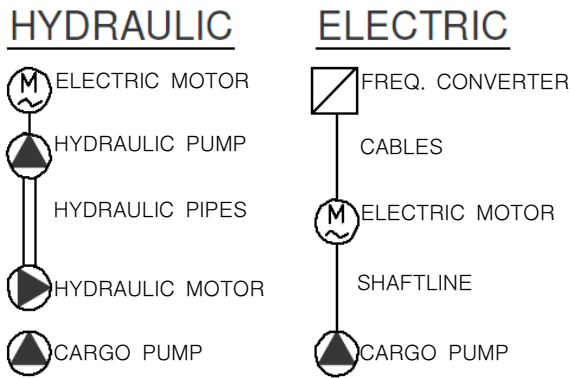


Fig. 3 Different part of the two cargo handling system.

Table 4 Power requirements for generator power

	Vessel(45 K)	Vessel(75 K)
Diesel-electrical propulsion, approx.	7,466 kW	12,240 kW
Hotel and other consumers, approx	430 kW	430 kW
Cargo handling systems-hydraulic vers.	1,432 kW	2,730 kW
Cargo handling system-electric vers.	1,152 kW	2,480 kW

Note) Deltamarin report+Korean shipyards.

Table 5 Annual hours in different operating mode

	Vessel A (45 K)	Vessel B (75 K)
At sea at full power	6,359 h	6,359 h
Closing port, maneuvering	221 h	221 h
Loading cargo	656 h	656 h
Unloading cargo	1,324 h	1,324 h
Off-hire	120 h	120 h
Total annual hours	8,760 h	8,760 h

Note) Deltamarin report+Korean shipyards.

Table 5에 열거된 항목은 예측된 연간 운항화물 펌프의 운항시간을 참고용으로 제시하였으며 이는 정확한 조사와 적용된 실제 상황에 따라 다른 자료가 얻어질 수 있어 참고용으로 제한하였고, 같은 운전이 고려되었다.⁽¹⁾

3. 전동기 구동펌프 선박설계 적용

카고 펌프 선정에 미치는 기술적 요인으로 선박 설계, 운항적 측면, 구조적 측면 그리고 환경적 요인이 있다. 선박설계에 미치는 영향에는 에너지소모량, 공간설계, 그리고 시스템 무게가 있으며, 운항적 측면에는 소음, 운전, 비상펌프, 스트리핑(striping), 예비펌프 그리고 유지 보수 등이 있고, 구조적 측면에는 펌프 시스템의 다양한 구성품, 오염물(contamination) 가능성이 있고 환경적 측면도 카고 펌프 선정의 중요 요소의 하나이다. 유압 모터 구동식 펌프의 경우 다음 세 구역이 추가되어 일반적으로 배 이상의 더 큰 설치 공간이 필요하다. Table 6은 갑판 높이 2800 mm를 기준으로 유압식과 전동기 구동식 펌프의 설치를 위한 격실을 비교한 것으로 전동기 구동 방식이 설치 공간에서 많은 이득이 예상된다.

Table 6 Space requirement

	Vessel A (45 K)	Vessel B (75 K)
Powerpack room	73.0 m ²	105.0 m ²
HFO storage tank	2.2 m ²	3.8 m ²
Hyd.oil waste tank	2.5 m ²	3.2 m ²
Hydraulic version	Approx 80 m ²	Approx 120 m ²
Converter room	40 m ²	60 m ²

Note) Deltamarin report+Korean shipyards.

Table 7 Weight comparison(kg)

	Vessel A(45 K)		Vessel B(75 K)	
	Hyd.	Elec.	Hyd.	Elec.
Hydraulic piping	5,630	250	7,350	270
Designated space	23,900	7,740	26,900	8,740
Cabling	250	12,180	280	14,180
Pumping	49,710	58,010	58,710	65,010
Total	79,480	75,080	93,250	88,200

Note) Deltamarin report+Korean shipyards.

주요 구성요소의 무게는 산출 가능하고 유압식의 경우에 발전기에서 유압전력합실까지 전선 작업이 필요하고 같은 식으로 전동기 구동의 경우에 비상용 유압펌프로 인하여 유압관이 필요하다. 계략적인 무게 검토결과는 Table 7과 같다.⁽¹⁾

4. 경제성 비교

초기 비용은 구매 비용과 설치비용으로 나누어지며 구매 비용은 조선소에서 구매하는 시스템의 총 구매 비용을 말하는데 여기에는 관련 장비비용 일체를 포함하지만 설치비는 포함되지 않는다. 가격은 시장 상황이나 업체 간의 경쟁과 관련이 있지만 조사 시점에 유압식 펌프와 전동기 구동 펌프의 가격을 근거

Table 8 Initial cost(USD)

	Vessel A(45 K)		Vessel B(75 K)	
	Hyd.	Elec.	Hyd.	Elec.
Hydraulic piping	138 534	20 225	185 000	23 225
Building of designated spaces	59 922	13 029	73 800	15 029
Installation of pumps	33 308	5 866	39 308	6 966
Cabling	2 020	162 647	2 220	172 647
Total installation cost	233 785	201 768	300 328	217 867
Purchasing cost	2750000	1687010	3850000	2350000
Total initial cost	3358881	1990545	4150328	2567867
Capex	-1 368 336		-1 582 461	

Note) Deltamarin report+Korean shipyards.

로 사용하였다. 같은 시스템이라도 업체에 따라 차이가 있을 수 있으나 여러 번 가격조정이나 실제 계약가 기준을 사용하였다.

운전비용은 카고 펌프 운전과 직접 관련이 있는 연료유, 윤활유 그리고 유지비로 구분할 수 있고, 비용 산정은 에너지소모량 그리고 운전과 관련 있는 연료나 윤활유의 소모량과 관련이 있다. 유지비는 평균적 장비유지비와 스페어부품 비용 등이 있다. 전동기 구동형의 경우 20,000시간의 최대 펌프운전 후에도 소모 부품 교체가 필요함은 정기적인 유지보수가 필요한 유압모터 구동형 펌프와 비교해 보면 Table 9와 같이 경제적으로 많은 이익이 예상된다.

초기 비용은 8% 이자 차입기준에서 20년 동안 배의 경제적 운항기간을 기준으로 연간 운항 비를 더하여 총 연간 비용을 산출하였고 전기식의 경우 유압식에 비해 Table 10과 같이 초기 비용과 운항비가 모두 더 경제적임을 알 수 있다.⁽¹⁾

Table 9 Annual operating cost(USD)

	Vessel A(45 K)		Vessel B(75 K)	
	Hyd.	Elec.	Hyd.	Elec.
Fuel oil cost	85 851	71 231	108 851	80 231
Lubricating oil cost	2 096	1 739	2 596	1 839
Maintenance cost	6 747	5 598	8 747	7 598
Total power production	94 694	78 569	120 194	89 668
Lub/hyd oil cost	10 069	470	13 069	670
Spare part cost	91 188	42 110	121 188	52 110
Total	101 257	42 580	134 257	52 780
Opex	-58 677		-81 477	

Note) Deltamarin report+Korean shipyards.

Table 10 Total economy as annual cost(USD)

	Vessel A(45 K)		Vessel B(75 K)	
	Hyd.	Elec.	Hyd.	Elec.
Annual capital cost	318 298	182 191	418 300	242 191
Annual operating cost	195 951	121 149	265 000	151 849
Total annual cost	514 249	303 340	683 300	394 040
Total Economy	-210 909		-289 260	

Note) Deltamarin report+Korean shipyards.

5. 결 론

전동기 구동식 카고 펌프의 장점은 아래와 같고, 향후 적용되는 선박에서 설계, 설치 그리고 운전의 측면에서 많은 이익이 예상되어 적극적인 검토와 적용이 기대된다.

(1) 전동기 구동형은 유압 구동식 펌프의 운전에 비해 11%에서 17%의 연료 절감효과가 있어 운항 측면에서 연료비가 절감되었다.

(2) 설치 공간 측면에서는 유압 전력함과 엔진이 있는 유압모터 구동형이 더 넓은 공간이 필요하여 전체 중량 측면에서 전동기 구동형 펌프가 유리함을 알았다.

(3) 전동기 구동형의 경우 소음으로 인한 문제가 전혀 없지만 유압구동형의 경우 현재 많은 개선이 되었음에도 불구하고 운항을 하면 할수록 여전히 문제가 제기되고 있어 선원들에게 쾌적한 작업환경 제공이 불가함을 알 수 있었다.

(4) 두 가지 운전방식은 모두 개별적 운전 그리고 독립적으로 단속(stepless) 운전이 가능하고, 모든 연관된 화물에 대하여 효과적인 하역이 가능하여 두 방식모두 운전방식의 차이는 없었다.

(5) 유압구동 펌프의 경우 친환경과는 거리가 멀고 향후 요구되는 친환경 요건 강화에 전기구동의 경우 친환경적 운전은 명확히 유리하였다.

(6) 전동기 구동형의 경우 20,000시간의 최대펌프

운전 후이나 부품 교체가 필요하여 정기적인 유지보수가 필요한 유압 구동형 펌프와 비교해 보면 경제적으로 많은 이익이 기대된다.

후 기

본 논문은 국내 조선소에서 견적업무와 기자재 회사에서 실제 설계경험을 바탕으로 전동기 구동 카고 펌프 설계적용 사례를 연구한 것으로 국내 조선소에서 설계 및 생산비 실적을 참조하였고, 면담 및 자료 조사를 통하여 수치화하고 정리하였다.

참고문헌

1. Hamworthy, 2007, Study on electrically and hydraulically driven cargo pumps by Deltamarin Report.
2. Lee, C. E., 1985, Ship Design, Daehan, Seoul.
3. Korea maritime research, 1993, CHEMICAL TANKER, Sejong, Busan.
4. Hamworthy, Deepwell Pump leaflet DL, CKL pump, www.hamworthy.com.
5. Hamworthy, Deepwell Pump presentation file www.hamworthy.com.
6. Korean shipbuilding piping design guidance, KSA.