

선박 윤활유 온도 변화에 따른 트로코이드 기어 펌프 이송성능에 관한 연구

-군산대학교 실습선 해림호를 중심으로-

이 태 호[†]
(전북대학교)

A Study on the Performance of Transportation Using of Trochoid Gear Pump According to the Change of Ship Lubrication Oil Temperature

Tae-Ho LEE[†]
(Jeonbuk National University)

Abstract

Among the coastal areas in Korea, the west coast has a frequent stranding of ships on the stratum especially at low tide due to the high tidal range. Since this phenomenon causes an inflow of sea water from the bottom of ship, it is very hard for ships to operate normally at low tide. Especially, ships supplying lubricating oil have a temporal difficulty with transferring methods, because lubricating oil can be transferred only at high tide. Therefore, the ship of this experiment model supplies 200liters(drum) of lubricating oil each year. In this study, lead time, power consumption, and ampere were measured under five temperature conditions and the transfer efficiency depending on the change in temperature was analyzed when the ship of the experiment model supplied drum-unit lubricating oil through a transfer pump. As a result, transfer lead time, power consumption(Kwh), and ampere decreased by nearly 60.5%, 73.3% and 12% respectively at the highest temperature rather than at the lowest temperature.

Key words : Oil temperature, Ship lubricating oil, Trochoid pump, Lead time, Kwh

I. 서론

국내의 연안구역 중 서해안은 다른 지역보다 조수간만 차이가 크고 절기에 따른 편차가 비교적 크다(Korea Hydrographic and Oceanographic Agency, 2017). 그 중 군산항 1부두는 계절에 따른 조수간만의 차이가 커질수록 간조 시 부두에 접안하고 있는 선박이 해수면에 정상적으로 부상

하지 못하고 지층에 좌초되는 현상이 자주 발생한다. 이는 부두의 지리적 특성상 인근 토사 및 피복석의 다량 퇴적으로 인한 원인이 크며, 군산 지방해양수산청에서는 이 피복석 및 지층 퇴적물을 제거하는 개선공사인 ‘군산항 및 장항항 유지 준설공사’를 정기적으로 실시하고 있다(Gunsan Regional Office of Oceans and Fisheries, 2017).

[†] Corresponding author : 개인정보 표시제한 leeth4798@naver.com

<Table 1> Properties of Lubricating Oil Material

Oil Brand and Type	Density (kg/m ³)	Flash Point (°C)	Initial Boiling Point (°C)	Vapour Pressure (kPa/20°C)	Viscosity (cSt/100°C)
SK SUPERMAR 13TP40	900	≥230°C	≥290°C	≤0.1	14.4

Source: SK lubricant, Material Safety Data Sheet, Supermar-13TP40, 2015.

<Table 2> Specification of Experimental Gear Pump

Pump Model and Type	Theoretical Displacement (cm ³ /rev)	Theoretical Discharge (ℓ/min, 1800rpm)	Max. Discharge Pressure (MPa)	Max. Revolution (min)	Approx. Weight (kg)
Trochoid TOP-220HB	20	36.0	1.2	1800	5.0

Source: Nippon Oil Pump Co., Ltd, Trochoid Pump Catalog, 2007.

이러한 서해안의 조수간만의 차이는 선저로부터 해수를 공급하는 수냉각 방식의 각종기기가 탑재된 선박에 악영향을 미치며, 특히 간조시기에 선저로 유입되는 냉각해수 흡입배관을 통해 지층 토사 및 이물질 유입이 많아 정상적인 24시간 상시운전이 매우 어려운 실정이다.

군산항 지역의 해수면이 최고조에 도달하는 만조 근접 시기는 약 3~4시간 이내이다(Korea Hydrographic and Oceanographic Agency, 2017). 따라서 선박으로 유류를 공급하는 역할인 급유선은 이 만조 근접 시기에만 접안 및 이송작업이 가능하므로 짧은 시간 내에 다량의 유류 이송을 신속히 처리해야 하는 시간적 어려움이 있다.

특히 평균기온이 낮은 동절기의 경우, 윤활유 온도저하에 따른 점도 상승 및 이송 성능의 급격한 감소로 인해, 동일 유량의 공급시간이 상온보다 많이 소요되며 소비되는 전력도 상승할 것으로 추측된다.

군산항 1부두는 공급선박을 통한 벌크상태의 윤활유를 동절기에 수급할 경우, 공급선박이 접안한 뒤 수면이 가장 높은 만조 근접 시기에 모든 이송작업이 어려우며, 또 이송 효율을 높이기 위해 공급 선박 내 유류의 온도를 상온으로 유지

해야 하므로 공급열원장치(Heating Coil)의 가열에너지가 소비되어야 하지만 이는 난방비용 및 수급비용등의 운임이 일부 상승하는 문제점이 발생할 수 있다.

본 실험 모형으로 사용된 군산대학교 실습선 해림호의 경우, 이러한 환경적 요인을 고려하여 벌크상태의 윤활유가 아닌 드럼(200ℓ/drum) 단위로 수급을 실시하고 있으며, 연간 소비량은 약 5,000ℓ이고 수급 횟수는 1~2회 이내이다. 또한 본 선박의 관리운영의 측면 이외에도 승선실습생의 기초실무지식 향상을 위한 목적으로 이송실습작업을 자주 실시한다. 본 실습선은 승선관련 전공학생이 연간 상시 거주하며 선박실무에 관한 실습을 실시하고 전공능력을 습득함에 그 목적이 있다(Kunsan National University, 2011). 그러나 실습선박에 탑재되어 있는 장치로써 유류를 이송할 경우 온도에 따른 이송성능의 변화를 예측할 수는 있더라도, 실제 어느 정도 범위에서 어떻게 성능이 달라지는지에 대한 구체적인 데이터 자료는 확보되어 있지 않은 실정이다.

따라서 본 연구는 실험모형 선박으로 윤활유 이송 시 대기온도 및 윤활유 온도변화에 따른 여러 조건을 선정하여 실험을 통해 데이터를 측정

하고, 과도한 에너지의 소비를 줄이고 성능효율을 최대한 높이기 위한 선박 윤활유 이송 성능을 실험을 통해 분석하고자 한다.

II. 실험 방법

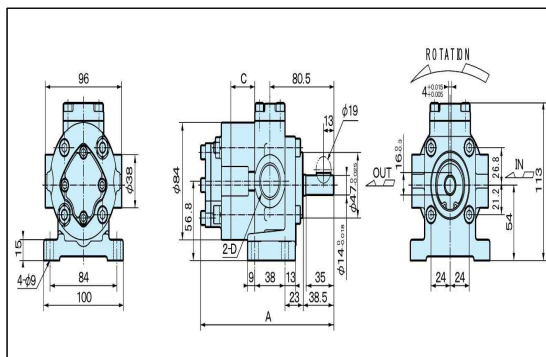
1. 실험 장치

본 연구의 실험 윤활유는 SK사의 SUPERMAR 13TP40이며 선박 엔진 전용 윤활유로 선정하였다. 윤활유의 물리적 특성은 <Table 1>과 같다 (SK lubricants, 2015).

본 실험모형인 실습선에 탑재되어 있는 장치 중 실험 윤활유의 이송장치로서 트로코이드 기어 형태의 (Trochoid Gear type) 윤활유 전용 펌프를 선정하여 사용하였다.

트로코이드 펌프는 로터리 펌프의 일종으로 케이싱의 중심면과 편심된 트로코이드 곡선의 내부 회전자, 케이싱과 동심원이며 내부 회전자보다 톱니가 1개 더 많은 외부 회전자로 구성되어 있는 특징이 있으며 효율이 좋아 널리 사용되고 있다 (Motor Terminology Association, 2012).

이송펌프의 성능특성은 <Table 2>에 나타내었다 (Nippon Oil Pump, 2007).



[Fig. 1] Schematic diagram of Gear Pump Section

이송펌프의 전면, 후면, 측면의 설계 및 형상은 [Fig. 1]과 같다. 윤활유의 이송 성능 및 효율을 분석하기 위해 이송펌프의 공급전원 측에 소비

전력 측정 장치(KEM-2500)를 사용하였다(Korins, 2017). 전력 측정 장치는 대기온도 및 윤활유 온도변화에 따른 펌프 성능변화를 측정하였고, 소요시간은 타이머를 설치하여 초단위로 기록하였다. 전력 측정 장치의 사양은 <Table 3>에 나타내었다.

<Table 3> Specification of Experimental Equipment

Measurement Item	Value
Allowable Current (A)	16.0
Voltage Range (V)	190~270
Ampere Range (A)	0.01~19.999
Wattage Range (W)	1~3,680
Line Frequency (Hz)	46~65
Resolving Power (W)	0.5
Maximum Timer (h)	9,999h 59min

Source: Korins Industry, Manual of KEM-2500, 2017.

2. 실험 조건 및 방법

본 연구에서 수행한 실험조건을 <Table 4>에 보여주고 있다. 대기온도와 윤활유의 온도가 서로 동일한 상태일 때, 실험조건으로 각각 (-10℃, 0℃, 10℃, 20℃, 30℃) 5개의 온도를 설정하여 실험을 실시하였다. 실험 배경은 군산시의 1년간의 온도변화를 관찰하여 상기 5개 조건으로 10회 실시하였고, 1회 이송량은 200 l (drum)이다.

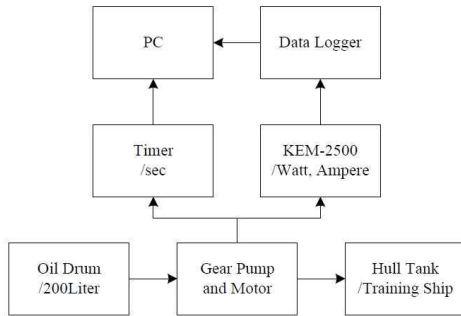
<Table 4> Experiment Conditions of Ambient Temperature

Experiment Item	Condition (± 0.1℃)				
	1	2	3	4	5
a Time (200 l /sec)					
b Wattage (Kwh)	-10	0	10	20	30
c Ampere (A)					
Trimmed mean (%)	± 20				

실험방법은 상기의 실험에 따른 동일 조건 시 대기온도 및 윤활유 온도의 변화에 따라 펌프의 이송 소요시간 200 l/sec, 소비전력 Kwh, 전류량 A의 3항목으로 측정하였으며, 대기온도와 윤활유

온도가 서로 일치할 때 실시하였다.

실험과정에 발생하는 미세한 오차 등은 총 실험 데이터의 $\pm 20\%$ 절사 평균(Trimmed mean)방법을 사용하여 도출하였다.



[Fig. 2] Schematic diagram of Apparatus

본 실험구성의 개략도를 [Fig. 2]에 나타내었다. 실험조건 온도에 도달한 윤활유 드럼으로부터 기어펌프를 통하여 실습선내 Hull Tank로 이송을 실시하는 과정을 진행하고, 각 장치를 통해 측정된 데이터를 데이터 로거로 확보하여 PC를 통해 저장하였다.

Ⅲ. 실험 결과

본 연구의 실험조건을 토대로 실시한 실제 실험결과 통계 데이터를 <Table 5~7>에 요약하여 나타내었다. 공급온도와 동일한 실험조건으로 10 회당 총 누적 데이터를 평균 합산하여 소수점 2 째 자리까지 절삭하였다. [Fig. 3~5]는 조건별 실험결과를 그래프로 도식화 한 것이다.

1. 소요시간에 따른 영향

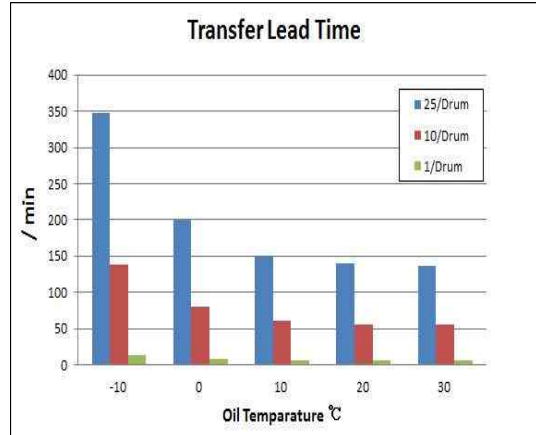
대기온도 및 윤활유 온도가 서로 같은 5개 조건에서 소요시간에 따른 이송성능은 <Table 5>와 같다. 최저온도조건(minimum)인 -10°C 에서 1드럼의 소요시간은 약 833.48/sec이고 최고온도조건(maximum)인 30°C 에서 평균 소요시간은 약

329.62/sec이다. 동일 조건에서 온도차에 따라 소요시간의 최대 편차가 약 60.5%로 크게 단축되었음을 알 수 있었다. 결과 데이터는 [Fig. 3]에 그래프로 나타내었고 단위 조건 당 편차는 상온 10°C 조건 이상부터 비교적 안정되게 유지하였다. 본 실험모형의 연평균 소모량은 5000 l이다.

<Table 5> Results of Experimental Data (unit: sec)

/sec Temp	1Drum	10Drum	25Drum
-10	13m54s	2h18m54s	5h47m15s
0	08m01s	1h20m08s	3h20m20s
10	06m02s	1h00m21s	2h30m52s
20	05m37s	0h56m13s	2h20m32s
30	05m29s	0h54m56s	2h17m20s

이를 단위 시간으로 환산하면 최저온도 일 때보다 최고온도일 때 총 이송 소요시간을 약 3시간 30분가량 단축할 수 있는 것으로 확인되었다.



[Fig. 3] Experiment Result and Arithmetic mean of Lead Time Graph

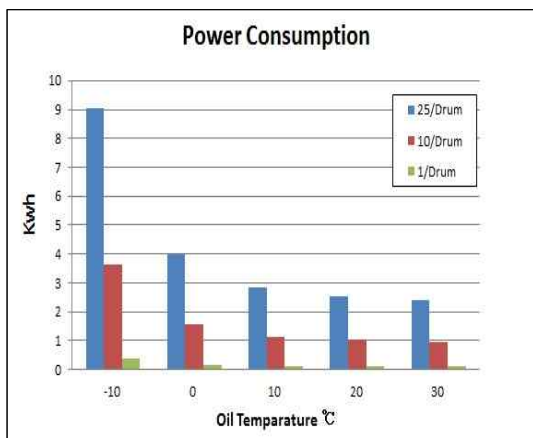
2. 소비전력에 따른 영향

대기온도 및 윤활유 온도가 서로 같은 5개 조건에서 소비전력에 따른 이송성능은 <Table 6>과 같다.

<Table 6> Results of Experimental Data (Kwh)

Kwh Temp	1Drum	10Drum	25Drum
-10	0.361	3.614	9.034
0	0.158	1.582	3.963
10	0.114	1.144	2.859
20	0.101	1.016	2.541
30	0.095	0.954	2.384

최저온도조건인 -10℃에서 1드럼의 소비전력은 약 0.361/Kwh이고 최고온도조건인 30℃에서 평균 소비전력은 약 0.095/Kwh이다. 이는 동일 조건에서 온도차에 따라 소비전력의 최대 편차가 약 73.3%까지 크게 감소되었음을 알 수 있다. 본 결과 데이터를 [Fig. 4]에 그래프로 나타내었고 특히 실험조건 중 유온이 10℃이하 구간에서 소비 전력량이 급격히 상승하였는데, 이는 낮은 유온으로 인해 윤활유의 점도가 높아짐으로 인해 펌프의 흡입 및 토출저항이 커진 부하 상승 원인으로 볼 수 있다. 본 실험모형의 최대 단위인 5000ℓ를 기준으로 총 누적 전력량을 산술적 환산하면 최저 온도일 때보다 최고 온도일 때 총 소비 전력을 약 6.650Kwh 가량 단축할 수 있는 것으로 확인되었다.



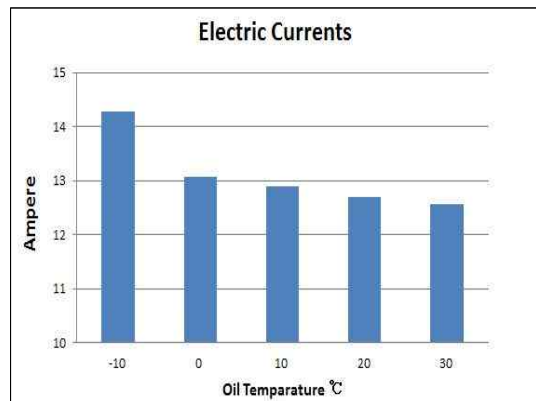
[Fig. 4] Experiment Result and Arithmetic mean of Power Consumption Graph

3. 전류량에 따른 영향

대기온도 및 윤활유 온도가 서로 같은 5개 조건에서 전류량에 따른 이송성능은 <Table 7>과 같다.

<Table 7> Results of Experimental Data (Ampere)

Temp Load	-10	0	10	20	30
Ampere	14.28	13.08	12.89	12.70	12.57



[Fig. 5] Experiment Result and Arithmetic mean of Electric Currents Graph

최저온도조건인 -10℃에서 1드럼의 이송 과정에서 흐르는 전류량은 약 14.28A이고 최고온도조건인 30℃에서 흐르는 전류량은 약 12.57A이다. 이는 동일 조건에서 온도차에 따라 펌프에 흐르는 전류량의 최대 편차가 약 12% 가량 감소되었음을 알 수 있다. 본 결과 데이터를 [Fig. 5]에 그래프로 나타내었고 단위 조건 당 편차는 상온 0℃조건 이상부터 비교적 안정되게 유지하였다. 또한 본 전류량에 관한 영향은 실험결과를 총 누적 전류량의 적산이 아닌 해당 실험조건에서의 순간 전류량만을 고려하였으므로 단위 시간당 누적 전류량이 아닌 순간 유지되는 최대 전류량만을 측정하였다. 그러므로 이송량의 유량과는 무관하게 전류량은 동일한 것으로 알 수 있다. 또한 최저 온도 일 때보다 최대 온도 일 때 순간

전류량은 약 1.71A 단축할 수 있는 것으로 확인되었다.

IV. 결론 및 고찰

본 연구를 수행하여 대기온도 및 윤활유 온도가 서로 동일할 때 5개 조건에서 소요시간, 소비전력, 전류량에 따른 트로코이드 펌프의 이송 성능 및 효율에 관한 실험을 실시하였고, 그 데이터를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

(1) 실험 범위 내에서 최고 온도 조건인 경우, 소요시간은 최저 온도 조건보다 약 60.5%로 매우 크게 단축되었으며, 이를 토대로 본 실험모형 선박의 연간 이송량으로 환산할 시 총 소요 시간의 약 3시간 30분 감축할 수 있음을 알 수 있었다.

(2) 소비전력은 최저 온도 조건보다 최고 온도 조건일 때 약 73.3%으로 매우 크게 감소하였으며, 특히 유온이 10℃이하 구간일 때 소비전력이 급격히 상승하는 것으로 나타났다. 이는 10℃이하 구간부터 온도저하에 따른 점도의 상승으로 인해 펌프의 흡입 및 토출저항이 높아져 부하가 상승한 원인으로 볼 수 있다. 또한 온도조건이 상온 10℃ 이상일 때 편차가 비교적 안정되었으므로 적정 온도 조건임을 알 수 있었다.

(3) 이송시 순간 전류량은 최저 온도 조건일 때보다 최고 온도 조건일 때 약 12% 감소하였음을 알 수 있으며, 단위 조건 당 편차는 유온이 0℃ 지점부터 비교적 안정됨을 알 수 있었다. 또한 전류량의 증가는 소비전력과 마찬가지로 점도의 상승으로 인한 부하 상승의 원인으로 알 수 있었다.

본 실험을 통해 군산항에 정박중인 실습선 내 탑재된 트로코이드 펌프 장치로 윤활유를 이송할 때 온도에 따른 이송성능 변화가 어떻게 나타나는지 연구하여 5개의 온도조건 중 전반적으로 상온 10℃이상에서부터 성능이 안정되는 것을 명확

히 확인할 수 있었다. 이 구간을 본 선박 이송펌프의 최적효율 구간으로 설정하고, 본 실습선의 승선실습과정을 이수하는 기관전공 실습생을 대상으로 실시하는 유류 이송 실무교육에서 적절한 용도로 활용할 수 있을 것이다.

향후 본 연구에서 수집된 데이터를 기반으로 전산유체역학을 활용한 펌프의 성능 및 유동해석을 실시할 계획이다(Kim Jin-Young et al., 2004). 또한 본 연구에서는 윤활유의 온도를 증감할 수 있는 별도의 항온조가 설치되지 않아 오로지 대기온도의 변화에 따른 윤활유 온도변화 조건일 경우만 실험이 가능하였으므로 향후 항온조 탱크를 구비하여 다양한 온도변화에 따른 실험을 실시할 계획이다.

References

Gunsan Regional Office of Oceans and Fisheries (2017). Notice of Harbor Construction Execution Plan.

Korea Hydrographic and Oceanographic Agency (2017). A Tide Tables 2017.

Kunsan National University(2011). Training Ship a Manual of Business.

Korins Industry(2017). Manual of KEM-2500.

Kim Jin-Young et al (2004). A Study for the Performance Improvement of the Main Lubrication Oil Pump, Korean Society for Fluid Machinery, 660~664.

Motor Terminology Association(2012). Automobile Dictionary. Iljinsa. Co, Ltd

Nippon Oil Pump Co., Ltd(2007), Trochoid Pump Catalog.

SK lubricants(2015). Material Safety Data Sheet.

- Received : 20 February, 2018
- Revised : 29 March, 2018
- Accepted : 04 April, 2018