

저층 트롤선의 유효마력 산정에 관한 실험적 연구

왕 우 경
여수대학교 실습선

Experimental study on the estimating effective horse power of a bottom trawl ship

Woo-Kyung WANG

Training Ship, Yosu National University, Jeonnam 550-749, Korea

In order to estimate the effective horse power(EHP) in towing net of a bottom trawl ship, the ship's resistance was calculated by using a series data of Yamagata and Wigley formula. Also the effective horse power for a ship(EHP_s) was estimated versus the ship speed in sailing and the propulsive efficiency was calculated with the brake horse power and the effective horse power. Then the effective horse power for a ship and a trawl net were estimated in the application of the propulsive efficiency in towing net. The total effective horse power(EHP_T) was average 187.6kW and the effective horse power for a trawl net(EHP_n) was average 176.7kW at a smooth sea state in towing net. The ratio of EHP_n to EHP_T was about 94.0% and the value was higher slightly than was already informed at a smooth sea state. The power for keeping up a townet speed was required more about 20% of a maximum continuous power at a rather rough sea state than a smooth sea state. In the future, if the residual resistance is considered with a sea state, EHP_n will be estimated more correctly. Also the data of EHP estimated by this method will be used as the basic data to design a trawl net.

Key words : Effective horse power, Ship's resistance, Propulsive efficiency, Maximum continuous power, Towntnet speed

서 론

트롤어선에서의 어구 규모(Kim, 1999)는 대상어류의 행동과 습성, 어선의 크기 및 형태에 따라 다르지만, 근본적으로는 어선의 추진성능에 의해 결정된다. 선박이 단독으로 항해할 때는 추진기에서 발생하는 추력은 선체저항을 이겨내는 데만 쓰이나, 어구 같은 물체를 끌 때에는 선체 이외의 어구 저항을 이겨내는데도 사용되어지며 이에 요하는

추력을 예망마력이라 한다. 그리고 어구의 규모는 어선의 예망마력에 상응해야 어구의 목적을 이룰 수 있으므로 어선의 추진성능에 대해 항상 적합해야 한다. 그러므로 어구의 규모를 결정하기에 앞서 기관의 출력을 고려해야 하며 그로부터 예망마력을 산출하여 예망마력에 적응할 수 있는 어구를 설계해야 한다.

기관 출력은 실린더내의 연소압력을 측정하

여 구하는 도시마력(IHP)으로부터 선체를 일정한 속도로 추진하는데 요하는 유효마력(EHP) 까지 그 측정위치에 따라 다르며, 유효마력을 산정하기 위해서는 일정한 속도에서의 선체저항을 알아야 한다. 그러나 선체저항은 여러 가지 요인에 지배되므로 실제의 저항을 정확하게 계산하기가 쉽지 않으며, 또한 트롤러선의 예망시에는 선체와 어구를 동시에 움직이므로 유효마력을 산정하기 위한 실제의 선체저항과 어구저항을 계산하기가 더욱 어렵다. 그러므로 이들 유효마력과 저항들을 산정하기 위해 몇 가지 추정방법(Kim, 1990)을 이용하고 있으며, 그 중 계통자료를 이용하는 방법은 물리적 의미가 약하지만 어느 정도까지는 정확하게 추정할 수 있으며 시간과 경비를 절약할 수 있는 장점이 있다.

따라서, 본 연구에서는 실습선의 항해 및 조업 중에 측정 수집된 자료를 Yamagata 계통자료(Lee, 1989)에 적용하여 실험대상의 선체 요목과 가장 상사형인 배를 선정하여 저항계수를 구하고, Wigley 식(Muckle, 1978)을 이용하여 선체저항을 개략적으로 추산하여 선박의 항해 속도에 따른 유효마력을 산정하였다. 그리고 항해시의 제동마력에 대한 유효마력의 비율을 적용하여 예망시의 제동마력으로부터 유효마력을 구하고, 선체를 움직이는데 필요한 선체저항마력과 어구만을 움직이는데 필요한 예망마력을 평가하여 트롤조업시의 기관운전 및 기관출력에 따른 어구 규모를 설정하기 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

장 치 및 방 법

실험에 사용된 선박 및 어구

실험에 사용된 선박은 여수대학교 실습선 동백호로서 총톤수 1,057G/T, 기관의 연속최대출력은 1,618.1kW로서 가변피치 프로펠러를 장착한 저층 트롤선으로 전장이 70.0m, 선폭이 12.0m 이다. Table 1은 동백호의 선체요목과 Yamagata의 계통자료중 동백호와 가장 상사형인 선박의 선체요목을 나타낸다. 어구는 그물, 전개판 및 각종 줄로서 구성되어 있으며 그물은 6매식으로 뜰줄의 길이가 53.0m 뜰의 부력이 351.0kg이고, 발줄의 길이가 62.7m, 발줄의 중량은 438.4kg이며, 그물전체의 길

Table 1. Geometric characteristics of the ship

Particular	Yamagata ref. ship	Experimental ship
Length between perpendiculars (m)	54.0	62.5
Overall breadth (m)	9.432	12.0
Full load draft (m)	3.333	4.40
Block coefficient	0.584	0.585
Prismatic coefficient	0.648	0.648
Displacement (t)	1,000	1,766
Wet surface area (m ²)	627.0	865.5

이는 69.7m 이다. 전개판은 VR-type이며, 가로 2.04m×세로 3.44m로 수중 중량은 1,610kg 이다.

저항과 유효마력의 산정

선체저항은 물저항과 공기저항으로 나뉘며, 물저항은 마찰저항, 조파저항 및 와류저항으로 구분하며 조파저항과 와류저항을 합하여 잉여저항으로 표현하기도 한다. 그리고 공기저항은 바람에 의한 마찰저항과 그 상대적인 방향에서의 와류저항으로 구분되나, 바람이 없는 상태에서는 물저항의 2-3%에 지나지 않으므로 계산에 고려하지 않았다. 선체저항 R_s (kg)는 여러 가지 요인에 영향을 받으므로 엄밀히 계산하려면 여러 가지 성분으로 나누어 계산해야 하나, 여기서는 마찰저항과 잉여저항을 포함하는 하나의 간단한 식으로 표현되는 Wigley 식을 이용하였다.

$$R_s = \frac{1}{2} C \cdot \rho \cdot \nabla^{\frac{2}{3}} \cdot V^2 \quad (1)$$

(1)식에서 C 는 저항계수, ρ 는 해수밀도(kg/m³), V 는 선박의 속도(m/s) 및 ∇ 는 선박의 배수용적(m³)을 나타낸다. 그리고 C 는 유체역학적 상사법칙에 의해 측정 산출되는 값으로 Yamagata의 실험대상 선박 중에서 본 실험 선박과 가장 상사형인 선박을 선정하여 Froude number에 따른 그 선박의 저항계수를 구해 적용했다. 또한 선박의 배수용적을 계산하기 위해 선수 및 선미의 흘수를 측정하여 평균흘수와 트림을 구한 후, 평균흘수와 선체 설계시에 그려진 Hydrostatic curves를 이용하여 구한 배수량과 트림에 의해 증감된 배수량을 합산한 값에 해수 비중(1.025)을 나누어 계산하였다.

저충 트롤그물은 유수저항 R_w 와 해저와의 마찰 저항 R_f 를 동시에 받으므로, 저충 트롤그물의 예상 저항 R_n 은 다음식과 같이 나타낼 수 있다(Kim, 1997).

$$R_n = R_w + R_f \quad (2)$$

(2)식에서 R_w 는 그물의 벽 면적을 S (m^2), 유속을 v (m/s), 저항계수를 k_w ($kg \cdot sec^2/m^4$)라 할 때

$$R_w = k_w \cdot S \cdot v^2 \quad (3)$$

로 표현되며, R_f 는 해저와의 동마찰계수를 μ , 단위 길이당의 밧줄에 작용하는 법압력을 P , 밧줄 길이의 예상 방향에 수직인 성분을 G 라 할 때

$$R_f = \mu \cdot P \cdot G \quad (4)$$

로 표시할 수 있다.

따라서 트롤어선의 예상시의 전체저항 R_t 는 선체저항 R_s 와 어구저항 R_n 의 합으로서 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_t = R_s + R_n \quad (5)$$

한편, 선박의 전체유효마력(EHP_T)은 선박이 모든 저항을 극복하고 항주하는데 필요한 동력으로서 선박의 전체저항과 선속의 곱으로 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$EHP_T = \frac{R_t \cdot V}{75} (ps) \quad (6)$$

그리고 저충 트롤어구의 예상시에는 선박의 기관이 선체와 그물을 동시에 움직여야 하므로 유효마력은 배만을 움직이는데 필요한 마력(선체저항 마력, EHP_s)과 어구만을 움직이는데 필요한 마력(예망마력, EHP_n)으로 나누어지며 예망마력은 다음 식과 같이 표현될 수 있다.

$$EHP_n = EHP_T - EHP_s \quad (7)$$

기관운전 및 출력 측정

기관운전은 주기관 육상시운전 및 해상시운전 성적표의 부하에 따른 fuel oil rack 값을 기준으로 주기관의 회전수와 프로펠러의 피치를 조정하였다. 그리고 각각의 운전조건에서 연소압력을 측정

하여 도시마력을 계산하였으며, 본 실험 선박에는 제동마력을 측정할 수 있는 동력계가 없으므로 육상시운전시와 현재의 기관 상태가 동일하다는 가정 하에서 동일한 fuel oil rack에서 육상시운전시에 측정된 제동마력을 적용하였다.

실린더내의 연소압력을 측정하기 위한 장치는 압력변환기(KISTLER 6061B), 증폭기(KISTLER 5011), 디지털 오실로스코프(TDS 2014) 및 휴대용 컴퓨터로 구성되어 있으며, 디지털오실로스코프의 자동 트리거 신호에 의해 $100\mu s$ 간격으로 수집된 2500개의 p-t 데이터를 5번 반복 수집하고 p- θ 데이터로 환산 평균하여 각 실린더의 도시마력을 계산하였다. 한편, 기관의 T.D.C. 외부 트리거 신호(T.D.C. trigger signal)를 이용하지 않아 데이터 수집 시작점이 일정치 않으므로, 동일 운전조건에서 연소압력과 연료를 차단한 압축압력을 수집하여 p- θ 선도 상의 압축선이 일치하도록 데이터를 재배열하였다.

결과 및 고찰

기관출력

Fig. 1은 fuel oil rack에 따른 도시마력과 제동마력을 나타낸다. 그림에서 보면, 제동마력은 주기관 육상시운전시의 자료를 이용한 것으로 fuel oil rack의 증가와 함께 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 도시마력은 실제 운항 중에 실린더 내의 압력을 측정하여 계산된 것으로 liner fitting curve에서 조금 벗어나는 데이터들도 있지만 fuel oil rack의 증가에 따라 거의 선형적으로 증가한다고 볼 수 있다. 이는 육상시운전시에는 외력에 의한 기관의 부하변동이 없지만, 실제 운항 중에는 연료조정팬들로서 fuel oil rack를 일정하게 설정하여도 조류, 파도 및 바람에 의한 외력의 변화가 조속기를 작동하여 fuel oil rack를 미세하게 조절하기 때문이라 생각된다.

Fig. 2는 부하에 따른 기관출력과 기계효율(η_m)을 나타낸다. 4행정 디젤기관의 전부하 시의 기계효율(Nagatanikawa, 1999)은 통상 75-84% 정도로 알려져 있으며, 본 실험에서는 약 84.5%로 약간 높게 나타났다. 이것은 기관의 장기간 사용으로 인한 마모 및 누설 등의 기계적인 성능저하로 육상시운전시와 동일한 fuel oil rack에서 도시마력은 적게

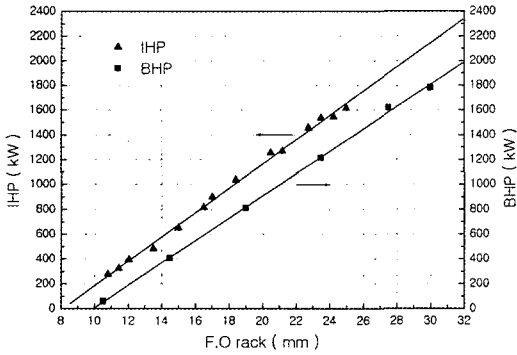


Fig. 1. Variation of indicated horse power and brake horse power versus fuel oil rack.

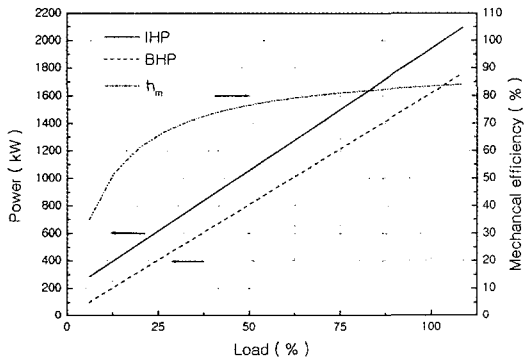


Fig. 2. Variation of power and mechanical efficiency versus engine load.

되나, 제동마력은 시운전시의 자료를 적용하여 기계효율을 계산했기 때문에 실제보다 높게 나타나는 것으로 생각된다.

선속과 기관출력

Fig. 3은 여러 가지 해상상태에서 선박의 항해 중에 측정된 fuel oil rack과 선속과의 관계를 나타낸다. 동일한 fuel oil rack에서 선속이 약 4knots 정도 까지 차이를 보이는 경우는 파도, 조류 및 바람 등의 외력이 선속에 영향을 주기 때문이라 생각된다. 그리고 실선은 자료들을 curve fitting 한 값으로 fuel oil rack에 대한 평균선속을 나타내고 있다고 볼 수 있다.

Fig. 4는 선속과 제동마력 및 어떤 속도에 있어서 선속을 1knot 증가시키는데 소요되는 제동마력을

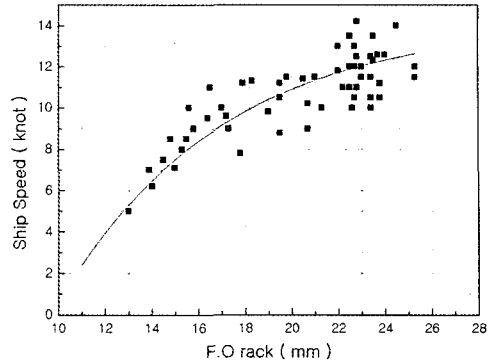


Fig. 3. Distribution of ship speed according to fuel oil rack.

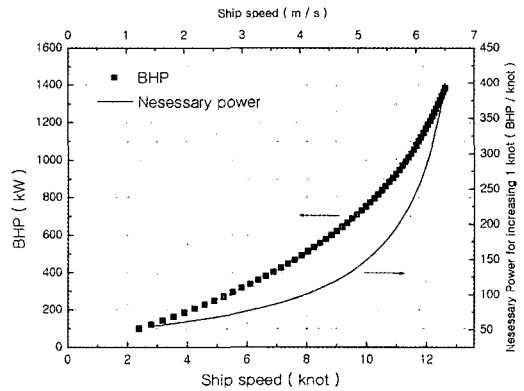


Fig. 4. Variation of brake horse power and necessary power for increasing 1 knot versus ship speed.

나타낸다. 그림에서 보면, 선속이 8-9knots (4.12-4.63m/s)까지는 선속의 증가에 따라 제동마력도 완만하게 증가하나, 선속이 약 10knots (5.14m/s) 이상이 되면 선속이 증가함에 따라 제동마력의 증가가 보다 크고, 선속을 1knot 증가시키는데 필요한 동력도 크게 증가하였다. 즉, 9knots에서 10knots로 선속을 1knot 증가시키는데 필요한 동력은 약 148kW인 반면에 11knots에서 12 knots로 증가시키는데 소요되는 동력은 약 284kW로서 거의 2배가 되며 연속최대출력의 17.6%에 해당하였다. 또한 그 이상의 선속에서는 소요동력이 급격히 증가한다는 것을 보여주고 있으며, 이는 저속에서는 선체저항이 작아 속도 증가에 따른 소요마력이 적으나 어느 속도 이상이 되면 선체저항이 크게 증가하기 때문이라 생각된다. 특히 해상상태가 거칠 때에는 외력에 의한 소요동력의 증가가 더욱 크게

될 것으로 예상된다.

항해시의 선체저항과 유효마력

Fig. 5는 선속에 대한 선체저항과 그 증가율을 나타낸다. 그림에서 보면, 선속의 증가에 따라 선체저항이 점점 더 증가하는 경향을 보이고 있으며, 특히 선속이 약 11knots (약 5.66m/s) 이상에서는 선체저항이 보다 급히 증가하였다. 일반적으로 마찰저항은 선속의 2승 미만에 비례하고 조파저항은 선속이 빨라지면 선속의 3승 또는 4승의 비율로 증가한다고 알려져 있으며, Froude의 실험에 의하면 선박의 속도가 증가하면 저항은 속도의 2승-3승에 비례하여 증가한다고 보고하고 있다(SNAK, 1998).

Fig. 6은 선속에 대한 제동마력, 유효마력 및 제

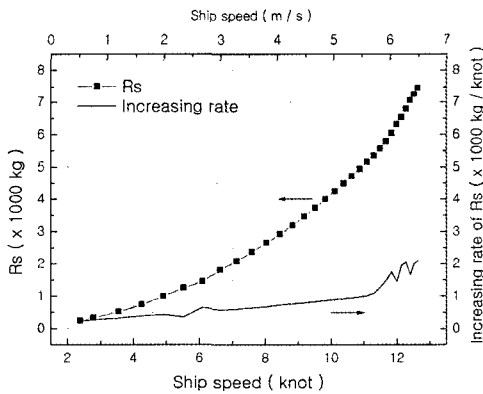


Fig. 5. Variation of ship's resistance and increasing rate of Rs versus ship speed.

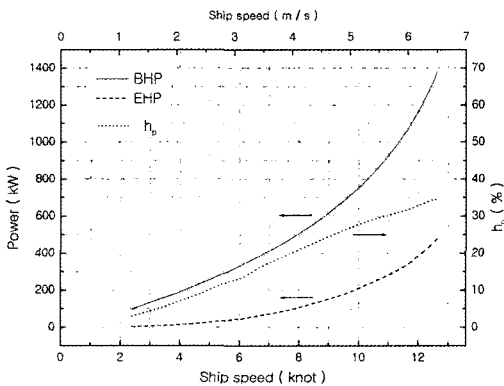


Fig. 6. Variation of power and propulsive efficiency versus ship speed.

동마력에 대한 유효마력의 비율(Propulsive efficiency : η_p)을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 4knots (2.0m/s) 미만의 저속에서는 유효마력이 약 10kW 미만으로 선속의 증가에 따른 유효마력의 증가도 작았다. 그러나 실험선박의 항해속력인 약 10 - 12.5 knots (5.14 - 6.43m/s)에서는 유효마력이 약 200 - 480 kW 정도로 크며, 선속의 증가에 따라 유효마력의 증가가 더 크게 됨을 알 수 있다. 그리고 추진효율은 실험선박의 항해속력 범위에서 약 27 - 34%로서 평균 30.5% 정도로 평가 되었다. 따라서 항해 중에 기관에서 발생한 동력은 약 30.5% 정도만 선박을 전진시키는데 소요되고 나머지는 기계적 손실과 프로펠러 주위의 물을 회전시키는데 소비된다고 생각된다. 일반적으로, 300 - 5,000 G/T의 선박으로부터 직접 측정된 제동마력에 대한 유효마력의 비율은 0.15 - 0.3 정도로 알려져 있다 (Masatsune and Tomeyoshi, 1977).

트롤조업시의 유효마력

Table 2는 트롤조업시의 예망속도, 풍향과 풍속, 조류의 방향과 유속 및 해상상태를 나타낸다. 여기서 풍속은 상대풍속이며, 해상상태는 Douglas sea state 분류에 의한 것이다. Table 3은 예망속도, 제동마력, 추진효율, 전체유효마력(EHP_T), 선체저항마력(EHP_s), 예망마력(EHP_n) 및 전체유효마력에 대한 예망마력의 비율을 나타낸다. 전체유효마력은 예망시의 제동마력에 Fig.6의 항해시 동일한 제동마력에 해당하는 추진효율을 적용하여 추산하였다. Table 2와 3에서 보면, 예망속도는 3.4 - 4.0 knots (1.75 - 2.058 m/s) 정도이며 조업번호 1 - 6까지는 해상상태가 1.0 - 3.0의 비교적 온화한 상태 (smooth sea)로서 바람은 최대 7.0m/s, 조류는 최대 0.4knots의 차이를 보이고 있으며, 선속 및 해상상태에 따른 제동마력의 변화는 연속최대출력의 1.8%로서 큰 변화는 없었다. 그러나 조업번호 7과 8은 해상상태가 4.0 정도의 약간 거친 상태 (rather rough sea)로서 예망속도가 비교적 낮음에도 불구하고 제동마력은 조업번호 1에 비해 연속최대출력의 약 18 - 20% 정도가 높게 되었다. 이는 파도 및 바람의 영향으로 물저항과 공기저항이 증가할 뿐만 아니라 선수 측에서 흘러오는 조류의 영향 등으

Table 2. Ship speed and state of sea in towing net of trawl ship

Run No.	Ship speed (knot) (m/s)	Wind dir. (deg.)	Wind speed (m/s)	Curr. dir. (deg.)	Curr. speed (m/s)	State of sea
1	3.5 (1.8005)	180	4.3	0	0.0514	2.0
2	3.5 (1.8005)	P 60	6.0	0	0.1029	3.0
3	3.76 (1.929)	P 150	4.0	S 30	0.0514	2.0
4	3.8 (1.955)	P 150	4.0	S 30	0.0514	2.0
5	3.95 (2.032)	S 30	3.1	0	0.0514	1.0
6	4.0 (2.058)	P 90	7.0	P 150	0.0514	3.0
7	3.55 (1.8262)	180	10.0	P 60	0.3601	4.0
8	3.4 (1.7491)	P 30	9.2	S 30	0.4115	4.0

로 인해 예망속도를 유지하기 위한 유효동력이 크게 증가하기 때문으로 생각된다. 따라서 트롤어구를 설계할 때는 예망시의 제동마력에 연속최대출력의 20% 정도의 여유치를 부여하는 것이 바람직하며, 본 실험시의 트롤조업조건에서는 예망시의 최고 제동마력이 약 1010kW 정도로서 연속최대출력의 약 62.5%에 해당하였으며, 예망마력의 여유치가 있었다.

그리고 조업번호 1 - 6까지의 선체저항마력은 약 9.0 - 13.5 kW 정도이며, 예망마력은 171 - 180 kW 정도로서 평균 176.7kW로 평가되었다. 일반적으로 해상 평온 시에 그물을 예인하는데 사용되는 예망마력은 전체유효마력의 약 93% 정도로 알려져 있으며(Kim, 1999), 여기서는 92.9 - 95.2% 정도로 평균 94.0%로 약간 높게 나타났다. 이는 선체저항을 계산할 때 공기저항이 무시되었고, 또한 해상상태에 대한 잉여저항의 증가를 고려치 않아 선체저항이 작게 산정되었기 때문이라 생각된다. 조업번호 7, 8에서의 선체저항마력은 전체유효마력으로부터 비교적 온화한 해상상태에서 산정된 평균 예망마력을 그대로 적용하여 추산하였다. 이는 해상상태가 나빠지므로 인해 물저항 및 공기저항의 증가로 인해 선체저항은 크게 증가하나, 잠항상태에 있는 어구는 파랑에 의한 부가저항의 영향을 거

Table 3. Ship speed, BHP, η_p and EHP in towing net of trawl ship

Run No.	Ship speed (knot) (m/s)	BHP (kW)	η_p (%)	EHP _T	EHP _s	EHP _n	EHP _n /EHP _T
1	3.5 (1.8005)	687	26.19	179.92	8.99	170.93	0.950
2	3.5 (1.8005)	712	26.53	188.86	8.99	179.87	0.952
3	3.76 (1.929)	714	26.57	189.7	11.07	178.63	0.942
4	3.8 (1.955)	712	26.53	188.86	11.53	177.33	0.939
5	3.95 (2.032)	716	26.61	190.54	12.93	177.61	0.932
6	4.0 (2.058)	713	26.55	189.28	13.44	175.84	0.929
7	3.55 (1.8262)	984	31.44	309.33	132.93	176.34	0.57
8	3.4 (1.7491)	1010	31.72	320.35	144.01	176.34	0.55

의 받지 않는 것으로 취급하였다(Lee, 1979). 따라서 해상상태가 나빠지므로 인해 선체저항이 크게 증가하는 반면, 예망마력은 전체유효마력의 55% 정도까지 감소하는 것으로 평가되었다.

결 론

트롤어선의 예망마력을 평가하기 위하여 Yamagata 계통자료와 Wigley 식으로부터 선체저항을 구하고 선박의 항해속도에 따른 유효마력을 산정하였다. 그리고 항해시의 제동마력에 대한 유효마력의 비율을 적용하여 예망시의 제동마력으로부터 유효마력을 구하고, 선체를 추진하는데 필요한 선체저항마력과 어구만을 움직이는데 필요한 예망마력을 추산하였다. 그 결과 온화한 해상상태에서의 전체유효마력은 평균 187.6kW 정도이며 어구를 움직이는데 필요한 예망마력은 평균 176.7kW 정도로 평가되었다. 그리고 전체유효마력에 대한 예망마력의 비율은 94.0% 정도로서 실험시의 해상상태를 고려해 볼 때 약간 높게 나타났으며, 해상상태가 약간 거친 상태 하에서 예망속도를 유지하기 위해 필요한 제동마력은 평온할 때 보다 연속최대출력의 18 - 20% 정도가 더 증가했다. 따라서 예망마력의 여유치는 연속최대출력의 20% 정도를 부여하는 것이 타당하다고 생각되었다. 앞으로 선

체저항의 계산에 있어서 해상상태의 변화에 따른 잉여저항이 고려된다면 보다 정확한 예망마력을 추산할 수 있을 것으로 생각된다. 또한 이와 같이 예망마력을 추산함으로써 예망속도에 있어서의 어구 전체의 예망저항을 계산하여 어구설계시의 기초 자료로서 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

- Kim, D.A., 1997. Flow resistance and modeling rule of fishing nets, 5. Total resistance of bottom trawl nets subjected simultaneously to the water flow and bottom friction. J. Kor. Fish. Soc. 30(5), 700 - 707.
- Kim, D.A., 1999. Fishing gear design. Pyungwha press, Suncheon, pp. 143 - 152.
- Kim, E.C., 1990. A statistical method for prediction of resistance and propulsion characteristics and its application to full-form ships. Ph.D. Thesis, Inha University, Korea, pp. 113.
- Lee, B.G., 1989. Modern fishing method of trawl. Taewha press, pp. 27 - 33.
- Lee, S.H., 1979. On the added resistance of a submerged spheroid. Master Thesis, Seoul University, Korea, pp. 50.
- Masatsune, N. and Tomeyoshi, Y., 1977. Fishing techniques (1). Japan International Cooperation Agency, pp. 189.
- Muckle, M., 1978. Naval architecture for marine engineers. Kim, G.C. et al. ed., Moonundang, Seoul, pp. 213 - 233.
- Nagatanikawa, S., 1999. Textbook of marine diesel engine. Sungsandang, Sowoen press, Tokyo, pp. 73.
- SNAK(The Society of Naval Architects of Korea), 1998. Instruction to naval architecture and ocean engineering. Kim, S.J. et al. ed., Dongmyeongsa, Seoul, pp. 70 - 71.

2005년 6월 21일 접수

2005년 7월 29일 수리