

선박의 속도 저하를 고려한 운항효율제고에 관한 연구

† 공 길영 · 이 보경* · 이 윤석**


† 한국해양대학교 항해학부 교수, *한국해양대학교 대학원, **한국해양대학교 운항훈련원 교수

요 약 : 최근 국제해사기구(IMO)의 해양환경보호위원회에서(MEPC)는 선박에서 대기로 방출되는 CO2의 양을 최소화 하기 위해서 신조선 설계 건조시 에너지효율지수(EEDI : Energy Efficiency Design Index for new ships), 에너지 효율지표(EEOI : Energy Efficiency Operational Indicator), 그리고 에너지 효율관리 계획(SEEMP : Ship Energy Efficiency Management Plan) 지수들을 이용하여 전 세계 이산화탄소 배출 규제 방침을 운영하고 있다. 이러한 환경규제 강화와 발맞추어 세계 각국은 지속적인 Green-ship의 개발과 저탄소 고효율 선박의 운항을 위해 연구와 노력한다. 본 연구에서는 선박이 움직이는데 있어 동력이 시작되는 부분과 그 힘이 전달되어 운항자의 의식이 반영되어 선체의 이동으로 이어지기까지 흐름에 대해 도식 및 수식으로 정리하였다. 그리하여 해상의 상태와 이에 따른 운항결정이 어떤 결과를 초래할 수 있는지 살펴보고 이 부분에서 운항효율을 증대시킬 수 있는 부분에 대해 모색해 보았다. 또한 엔진의 상태에 따른 연료 절감율에 대해 살펴보고 보다 경제적 운항을 위한 적정 RPM과 속도 등에 대해서 고찰해 보았다. 이 같은 정리를 통해 앞으로의 Echo-ship, Green-ship의 연구방향에 대한 초석으로 삼고자 한다.

핵심용어 : Green-ship, 연료소비율, 운항효율, 자연적 감속, 저탄소 고효율 선박

□ 연구 배경

- IMO MEPC의 해양환경보존규제 강화
 - 에너지효율지표 등장 : EEDI, EEOI, SEEMP
 - CO2 배출 규제
 - 저탄소 녹색선박 (Greenship)으로의 발전
- 현재까지의 선박의 발전 : 전용화 및 고속화
 - 제한된 발전(한계), 환경을 배제한 발전
- Greenship을 향한 국제적 연구동향에 맞추어 운항효율 지표에 대한 분석 필요



□ 연구 목적

- 선박주기관계의 이론적 효율 : 연료 소모량
- 선박운항의 이론적 효율 : 자연적 감속
- 실습선 한바다호의 자연적 감속에 대한 수치계산
- 실습선 한바다호의 항해기록분석
- 연료소모량과 자연적감속이 선박의 운항효율에 미치는 영향
- 적절한 운항지표의 제안으로 선박 운항 효율 제고
- Greenship을 향한 발전의 연구 초석으로 활용

□ 연구 배경

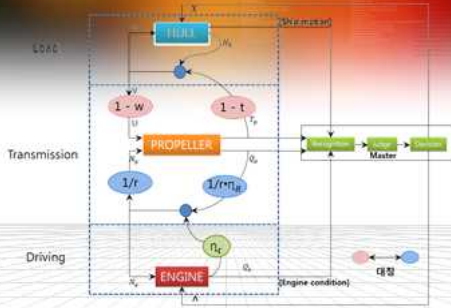


- 2012. 11. 11(일) 서울에서 연비왕선발대회 개최
- 최저 연비 5.5km/ℓ, 최고 연비 10km/ℓ 약 두배 차이
- 고효율엔진 사용 못지 않게 운항자의 역할도 중요

□ 연료 소모량에 영향을 주는 요소

- 실린더의 체적, 실린더수, 회전속도, 평균유효압력, 압축비 증가
 - 출력 증가
- 과급기 사용, 압축비의 증가
 - 열효율 증가 → 출력 증가
- 기관출력증가 $\propto T, n$
기관출력증가율 감소 $\propto T, n$
- 전 출력의 70~75% → 연료소비율 최저
- 기관출력 $\propto n^3, T \propto n^2, p \propto n^2$

□ 선박 운항시스템



□ 선체 서브시스템

- 선박에서 풍파로 인해 발생하는 저항 증가량을 구함
- 평수중의 선박이 파랑중으로 들어가는 경우 선체 저항의 표시

$$- R = R_0 + \Delta R$$

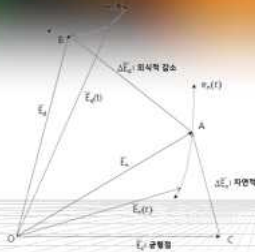
$$- \Delta R = R_{AW}(0) + R_{AW}(1) + R_{wind}$$

$R_{AW}(0)$: 선체 운동에 기인한 저항 증가량

$R_{AW}(1)$: 선수부로부터의 반사파에 기인한 저항 증가량

R_{wind} : 바람에 의한 저항 증가량

□ 운항 작동점의 고찰



- 균형점에 작용하는 힘
 - 선체 저항
 - 프로펠러 주력
 - 프로펠러 토크
 - 주기관 토크
- 균형점에 작용하는 힘의 요소
 - 선박의 속도
 - 프로펠러 유입속도
 - 프로펠러 회전수
 - 1회전당 연료 주입량
 - 선박과 파의 만남각

□ 자연적 감속량의 이론식

- 자연적 감속량을 구하는 식

$$\Delta V = \frac{R_0(\bar{V}_A) + \Delta R(\bar{V}_A, \bar{X}) - R_0(\bar{V}_C)}{(1-t_0)(1-w_0) \left(P_{T0} + \frac{P_{T0} P_{Q0}}{r^2 E_{Q0}} - P_{Q0} \right)}$$

□ 운항 작동점의 고찰

- 균형점 Q에서 자연적 감속을 벡터로 표현

$$E = E_0 + \Delta E + E_w$$

- 균형점에 작용하는 힘의 분석

$$H_R(V, X) = \bar{H}_R(\bar{V}, \bar{X}) + h_R(v, \chi) = H_{R0} + \Delta \bar{H}_R + h_R(v, \chi)$$

$$T_p(U, N_p) = \bar{T}_p(\bar{U}, \bar{N}_p) + t_p(u, n_p) = T_{p0} + \Delta \bar{T}_p + t_p(u, n_p)$$

$$Q_p(U, N_p) = \bar{Q}_p(\bar{U}, \bar{N}_p) + q_p(u, n_p) = Q_{p0} + \Delta \bar{Q}_p + q_p(u, n_p)$$

$$Q_e(r, N_p, \lambda) = \bar{Q}_e(r, \bar{N}_p, \bar{\lambda}) + q_e(r, n_p, \lambda) = Q_{e0} + \Delta \bar{Q}_e + q_e(r, n_p, \lambda)$$

□ 자연적 감속에 대한 수치 계산



- $Fn = 0.2, V = 12.41\text{kts}$
- $Fn = 0.275V = 17.07\text{kts}$

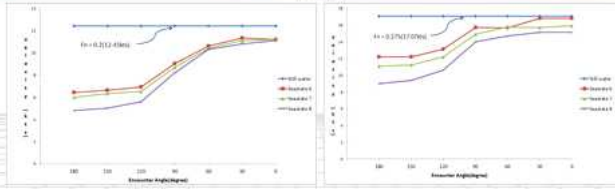
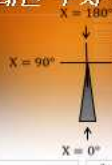
- Froude Number

: 임의의 유체 흐름에서 관성력에 대한 중력의 비

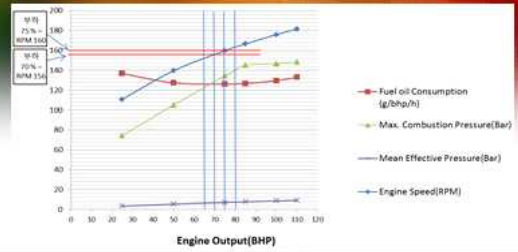
$$F_r = V / \sqrt{gl}$$

V : 선속(m/s), g : 중력가속도(9.8m/s²), l : 선박의 길이(m)

□ 자연적 감속에 대한 수치 계산



□ 항해 기록분석

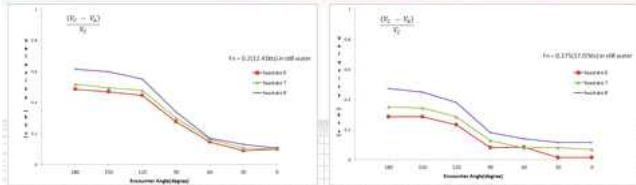


- 연료소모량은 주기관의 부하량에 따라 증가
- 150RPM 이상에서 연료소모량이 급증
- 연료소모량은 고려한 최적 속도 14~15kts
- 연료소모량은 고려한 최적 RPM 140~150

□ 자연적 감속에 대한 수치 계산

$$\frac{V_1 - V_2}{V_0} = \frac{V_1}{V_0} - \frac{V_2}{V_0}$$

V_1 : 전속 좌우당
 V_2 : 해상상태 따른 좌우의 만남각에서의 전속
 V_0 : 정수중에서의 전속



□ 결론 및 기대효과

- 한바다호를 대상으로 수치 계산을 통해 해상상태 6, 7, 8에서 $F_n = 0.2(12.41kts)$ 와 $0.275(17.07kts)$ 일 때 자연적 감속량 계산
- 주기관의 최대정격출력의 75% 부근에서 선박의 연료소모량이 최소
- 실습선 한바다호의 효율적인 운항을 위한 지표 제안
- 운항비 감소 및 저탄소 고효율 선박에 대한 국내 기술 개발 연구의 초석으로 활용

□ 항해 기록분석

