

박용고속엔진의 프로판 개조를 위한 점화시기 분석 Ignition Timing Analysis for Propane Conversion of High Speed Marine Engine

강정구* · 류명록** · 박권하***†

Chung-Goo Kang*, Myeong-Rok Ryu** and Kweonha Park***†

(Received 19 April 2022, Revision received 17 June 2022, Accepted 17 June 2022)

Abstract : Regulations on exhaust emissions of marine engines are being strengthened, and many related technologies are being developed. In this study, the combustion characteristics of the engine were analyzed for the propane conversion of a 225 kW high-speed engine. The movement of the piston was simulated using a variable grid from 120 degrees before TDC to 120 degrees after TDC, and the ignition timing was analyzed by changing the ignition timing from 20 degrees before TDC to five degrees after TDC at intervals of five degrees. Residual fuel mass fraction was rapidly reduced to 80% during ten degrees of crank angle after ignition, and then decreased slowly thereafter. After combustion, the amount of residual fuel increased significantly when the ignition timing was later than five degrees before TDC. Nitrogen oxide was greatly reduced as the ignition timing was delayed. The engine output was highest at five degree before TDC and decreased when the ignition timing was earlier or later. Considering performance and exhaust emissions, the optimal ignition timing is five degrees before TDC under this engine operating condition.

Key Words : Marine engine, Propane, Ignition timing

1. 서 론

박용기관에서 배출되는 오염물질에 대한 규제가 강화되면서 환경 친화적 엔진기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

국제해사기구(IMO)에서는 선박에서 배출되는

질소산화물, 황산화물, 이산화탄소에 대한 규제를 점진적으로 강화하고 있으며, 입자상물질의 배출 규제도 준비하고 있다. IMO MARPOL Annex VI의 질소산화물 규제는 2000년 적용된 1단계 규제와 비교하여 80%가 강화된 3단계 규제가 2016년 시행되었다. 규제만족을 위하여 많은 기술들이 개발되고 적용되었지만 설치공간과 고비용의 문제

***† 박권하(ORCID:https://orcid.org/0000-0001-9460-8399) : 교수, 한국해양대학교 기계공학부
E-mail : khpark@kmou.ac.kr, Tel : 051-410-4367
*강정구(ORCID:https://orcid.org/0000-0001-7336-1251) : 학사, 한국해양대학교 기계공학부
**류명록(ORCID:https://orcid.org/0000-0001-5244-0081) : 박사, 한국해양대학교 기계공학부

***† Kweonha Park(ORCID:https://orcid.org/0000-0001-9460-8399) : Professor, Division of Mechanical Engineering, KMOU.
E-mail : khpark@kmou.ac.kr, Tel : 051-410-4367
*Chung-Goo Kang(ORCID:https://orcid.org/0000-0001-7336-1251) : BSc, Division of Mechanical Engineering, KMOU.
**Myeong-Rok Ryu(ORCID:https://orcid.org/0000-0001-5244-0081) : Ph. D, Division of Mechanical Engineering, KMOU.

가 계속되고 있다.¹⁾ 황산화물규제 역시 단계적으로 강화되고 있다. 전 해상에서 선박연료 중의 황산화물 규제가 2005년 4.5%에서 2020년 0.5%로 강화되었고 배기규제지역(ECA)에서는 0.1%로 제한되었다.²⁾ 현재 사용하는 중유를 연료로 사용하기 위해서는 배기 중의 황산화물을 제거하기 위하여 고비용이 발생하는 스크리버시스템을 적용해야 한다. 혹은 고가의 초저유황연료를 사용해야 하지만 운항비용이 추가로 발생하는 문제가 있다. 온난화가스인 이산화탄소 역시 2011년 Annex VI, Chapter 4에서 에너지효율에 대한 규제를 시행하였다.^{3,4)}

국내에서는 환경친화적 선박의 개발 및 보급에 관한 법률(친환경선박법)을 2018년 신규로 제정하였다. 친환경선박법은 IMO에서 제정한 국제규제에 대응하면서 국내의 내항선, 여객선, 어선, 예선 등 연안 선박에 대한 친환경 기술개발을 위하여 제정되었다.

선박에서 배출되는 주요 배기가스인 질소산화물, 황산화물, 이산화탄소, 입자상물질의 저감을 위한 장치들은 대부분 각각의 배출물에 대하여 별도의 기술이 적용되고 고가의 설치비용과 공간이 필요하다. 그러나 가스연료를 사용하면 유해배출가스를 동시에 저감할 수 있으며, 후처리 장치를 줄일 수 있다는 장점이 있다.

엔진에 적용되는 가스연료는 압축천연가스(CNG), 액화천연가스(LNG), 수소(H₂) 및 액화 석유가스(LPG)가 주로 사용되고 있으며, 암모니아(NH₃)는 엔진사용을 위한 연구가 진행되고 있다.

국내의 연안선박과 같은 중소형 선박에서는 천연가스나 수소와 같이 연료의 저장이 어려운 가스연료는 사용하기 어렵다. LPG연료는 상온에서 낮은 압력에도 액화가 가능하기 때문에 소형 연안선박에 가장 적합한 연료이다. LPG 연료는 유통을 위한 충분한 인프라가 갖추어져 있어 잠재적 해양 시장 수요를 충족하기에 충분하다. 이 보고서는 LPG는 환경 및 경제적 측면에서 기존의 선박연료에 비해 강점을 가지고 있다고 말한다. 또한 화학종이 상대적으로 단순하기 때문에 정확한 연료와 공기의 혼합 비율을 맞추기가 쉬우며,

이를 통해 연료를 완전 연소시킴으로써 배기가스 배출을 줄이는 친환경적인 연소가 가능하다. 또한 손쉬운 액화특성으로 압력 용기의 제작이 간편하며 연료의 유통이 용이하고 안전성이 우수하다. LPG를 대체 연료로 사용하기 위한 다양한 실험적, 해석적 연구도 진행되었다.⁴⁾ Nayak⁶⁾는 4기통 가솔린 엔진에 LPG연료를 듀얼모드로 사용했을 때의 연료 특성을 실험적으로 확인하였다. 해당 연구에서 LPG의 좋은 연소 특성을 확인하였지만 출력변화율이 크다는 문제점을 밝혔다. Pundkar⁷⁾는 LPG연료 내연기관의 작동 조건 및 엔진제어 조건을 상세하게 파악하기 위하여 다양한 매개변수를 종합적으로 검토하였다. Bayraktar⁸⁾는 가솔린과 LPG로 구동되는 SI 엔진의 연소, 사이클, 엔진성능 및 배기가스 배출에 대한 광범위한 연구를 수행하였다. Kang⁹⁾의 논문에서는 LPG 연소에 대한 다양한 매개변수에 대한 실험과 계산적 연구를 동시에 진행하였다.

SI엔진의 점화 시기는 엔진의 연소특성에 큰 영향을 미치기 때문에 많은 연구가 진행되고 있다. Gong¹⁰⁾은 메탄올 엔진의 희박연소 시 점화 시기별 특성에 대해서 연구하였다. Wang¹¹⁾은 직분사 천연가스 엔진에서 착화가 지연될 때 발생하는 영향에 대하여 연구하였다. J. Zareei¹²⁾의 연구에서는 점화 타이밍이 엔진의 배기가스 배출과 엔진 성능에 미치는 영향을 평가하였다. Gao¹³⁾는 ORP엔진의 점화시기에 따른 연소 특성을 해석적으로 분석하였다.

본 연구는 가솔린 연료를 사용하는 어선용 고속엔진의 사용연료를 프로판으로 변경할 경우의 최적 점화시기를 찾고자 한다. 이를 위하여 점화시기를 변화시키면서 연소 및 질소산화물 생성 거동을 분석하고자 한다.

2. 수학적 모델 및 계산조건

2.1 수학적 모델

전산유체해석에 사용된 프로그램은 ANSYS FLUENT V17.2이고 지배 방정식은 다음과 같다.¹⁴⁾ 연속방정식은 식 (1)과 같다.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U) = 0 \quad (1)$$

운동량 방정식은 식 (2)와 같다.

$$\frac{\partial(\rho U)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U \otimes U) = -\nabla \rho + \nabla \cdot \tau + S_M \quad (2)$$

응력 텐서 τ 는 식 (3)과 같다.

$$\tau = \mu[\nabla U + (\nabla U)^T - \frac{2}{3} \delta \nabla \cdot U] \quad (3)$$

에너지 방정식은 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho h_{tot})}{\partial t} - \frac{\partial p}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U h_{tot}) \\ = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + \nabla \cdot (U \cdot \tau) + U \cdot S_M + S_E \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, U 는 속도 벡터, S_M 은 운동량 생성항, τ 는 응력 텐서, S_E 는 에너지 생성항, λ 는 열전도도를 나타낸다.

연소해석을 위한 수학적모델은 임의의 화학종 i 에 대하여 주어진다. 화학종 i 의 질량분율에 대한 전달방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_i) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} Y_i) = \nabla \cdot \vec{J}_i + R_i + S_i \quad (5)$$

여기서, R_i 는 화학 반응에 의한 종의 순 생산 속도이고, S_i 는 분산 단계와 사용자 정의 생성항으로부터 추가로 주어지는 생성 속도이다.

화학종 i 에 대한 질량 확산방정식은 다음과 같다.

$$\vec{J}_i = -(\rho D_{i,m} + \frac{\mu_t}{Sc_t}) \nabla Y_i - D_{T,i} \frac{\nabla T}{T} \quad (6)$$

여기서, Sc_t 는 난류 슈미트 수(μ_t 은 난류 점도, D_t 은 난류 확산도)이다. 난류 확산은 일반적으로 층류확산을 압도한다.

화학종의 순 생성속도는 아래의 두 식 중 더 작은 값으로 계산된다.

$$R_{i,r} = v'_{i,r} M_{w,i} A \rho \frac{\epsilon}{k} \min_R \left(\frac{Y_R}{v''_R M_{w,R}} \right) \quad (7)$$

$$R_{i,r} = v'_{i,r} M_{w,i} A B \rho \frac{\epsilon}{k} \left(\frac{\sum_P Y_R}{\sum_J v''_J M_{w,j}} \right) \quad (8)$$

방정식 (7)과 (8)에서 화학 반응 속도는 와류동 혼합 시간 척도인 k/ϵ 에 의해 결정된다.

순반응률(R)은 다음 식으로 계산된다.

$$\widehat{R}_{i,r} = \Gamma(v''_{i,r} - v'_{i,r}) (k_{f,r} \prod_{j=1}^N [C_{j,r}]^{\eta_{j,r}} - k_{b,r} \prod_{j=1}^N [C_{j,r}]^{\eta_{j,r}}) \quad (9)$$

- $C_{j,r}$: 반응 r에서 종 j의 몰 농도 ($kmol/m^3$)
- $\eta'_{j,r}$: 반응 r에서 반응물 중 j에 대한 속도 지수
- $\eta''_{j,r}$: 반응 r에서 생성물 중 j에 대한 속도 지수
- $v'_{j,r}$: 반응 r에서 반응물 i에 대한 화학양론계수
- $v''_{j,r}$: 반응 r에서 제품 i에 대한 화학양론계수
- $k_{b,r}$: 반응 r에 대한 역방향 속도 상수

여기서, 반응 r에 대한 순방향 속도 상수($k_{f,r}$)는 아레니우스식에 의하여 계산된다.

$$k_{f,r} = A_r T^{\beta_r} e^{-E_r/RT} \quad (10)$$

- A_r : 반응상수
- β_r : 온도 지수
- E_r : 반응에 대한 활성화 에너지(J/kmol)
- R : 표준 기체 상수(J/kmol-K)

2.2 계산조건

점화시기에 따른 프로판연료의 연소특성을 분석하기 위하여 가변격자에 의한 실린더 내부 연소해석을 수행하였다. Table 1은 분석을 위한 엔진사양을 나타낸다. 2톤급 선박에 적용되고 있는

Table 1 Target engine specification

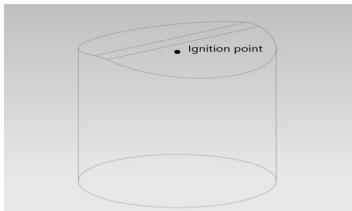
Displacement volume (cc)	6,200
Number of cylinder	4
Bore × Stroke (mm)	101.6 × 95.25
Maximum Speed (rpm)	5,000
Rated Output (kW)	225

가솔린 선내기 엔진을 대상으로 하였다. Fig. 1은 해석에 사용된 실린더의 형상과 격자를 나타낸다. 펜트루프형의 연소실형상을 하고 있으며, 사용된 격자수는 1,100,300개이다. 가변격자(Dynamic mesh)를 사용하여 BTDC 120°에서 ATDC 120°까지의 피스톤 움직임을 모사하였다.

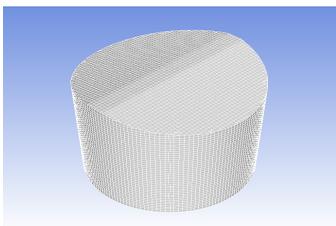
Table 2는 계산에 사용된 조건을 나타낸다. 난류 계산은 K-epsilon 모델을 적용하였고 화학 반응은 Finite-Rate/Eddy-Dissipation 모델을 선택하였다. 작동 유체는 프로판과 공기의 혼합기체이며 이상

Table 2 Calculation conditions

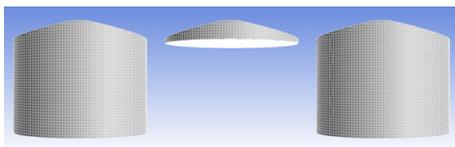
Turbulence model		k-epsilon
Analysis type		Transient
Species Model	Model	Species Transport
	Turbulence-Chemistry Interaction	Finite-Rate/Eddy-Dissipation
NOx model		Thermal NOx
Mixture(Ideal gas)		Propane-air
Initial conditions	Pressure (atm)	1
	Temperature (K)	400
	Equivalence ratio	1
Spark	Duration (s)	0.00005
	Energy(J)	0.015
	Location (x,y,z)	0, 0, 100 mm
	Spark ignition angle (CA)	-20, -15, -10, -5, 0, 5
Calculation condition	Time step size	0.0000925926
	Number of Time step	240
	iteration	10



(a) Chamber with ignition point



(b) Calculation grids



(c) Shapes with crank angles

Fig. 1 Combustion chamber shape and grids

기체로 설정하였다. 질소산화물 생성모델은 연료에 질소가 포함되어 있지 않고, 희박 연소가 아닌 것을 고려하여 열적생성모델(Thermal NOx)을 적용하였다. 계산시간단계(Time Step Size)는 1,800 rpm 기준 1 CA 회전하는데 걸리는 시간인 0.0000925926초로 설정하였다. 점화 시작 시간을 상사점으로부터 각 -20°, -15°, -10°, -5°, 0°, 5° 시점의 6가지 경우에 대해 해석을 수행하였다. 점화 시작을 위한 스파크의 위치는 실린더의 중심축상에서 헤드 밑면의 아래로 8.46 mm 거리에 위치한다. 스파크 에너지는 0.015 J이다. 초기값은 압력 1기압, 온도 400 K, 당량비(equivalent ratio) 1을 기준으로 설정하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 실린더 내부의 잔류 연료의 질량분율을 점화가 시작되는 시점부터 나타내는 그래프이다. 연소 시작 전 연료의 질량분율은 0.060이다. 점화 시기에 관계없이 모든 경우에 점화가 시작된 직

후 잔류질량분율은 급격히 감소하여 0.00093초(크랭크각 10도 회전) 후에 0.012가 된다. 이후부터는 느린 감소율을 나타낸다. 즉 점화 직후 급속한 연소를 나타내며 이후에는 느린 반응을 나타낸다.

Fig. 3은 점화시기에 따른 연소가 완료된 후의 잔류 연료량을 나타낸다. 점화시기가 BTDC 15도인 경우가 잔류 연료량이 최소가 된다. 점화시기 BTDC 20도에서 BTDC 5도까지는 비교적 낮은 값을 나타낸다. 그러나 점화시기가 더 늦어져서 TDC가 되면 매우 증가되고, ATDC 5가 되면 더욱 증가되어 최소잔류량을 나타낸 BTDC 15와 비교하여 7배가 증가된다.

Fig. 4는 연소 과정 중에 실린더 내부의 압력변화와 최고 압력을 분사시기에 따라 나타낸 그래프이다. 점화시기가 빠른 경우 높은 압력을 나타내며, 점화시기가 늦은 경우 낮은 압력을 나타낸다. 점화시기가 상사점후 5도인 경우는 상사점전

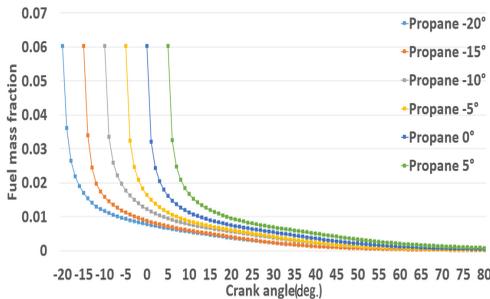


Fig. 2 Fuel mass fraction in cylinder with spark ignition timing

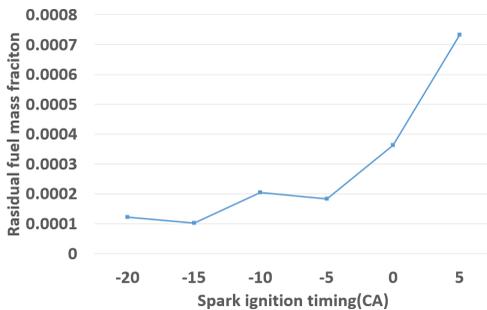
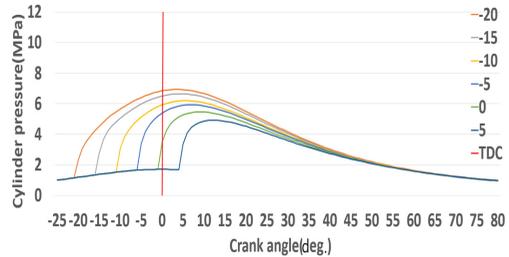


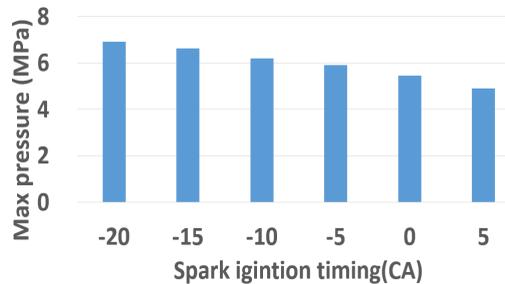
Fig. 3 Residual fuel mass fraction after combustion finished

20도에 비해 29% 낮은 값을 나타낸다. 점화시기가 매우 빠른 상사점전 20도의 경우에는 피스톤이 상승하고 있는 상사점까지의 구간에서 압력이 급격하게 상승하여 압축일이 크게 증가할 것으로 생각되며, 점화시기가 매우 늦은 상사점후 5도인 경우는 너무 늦게 압력이 발생하고 낮은 압력을 유지하기 때문에 출력이 크게 저하될 것으로 예상된다.

Fig. 5는 연소과정 중에 연소실 압력이 피스톤에 하여진 일량을 나타낸다. 일량은 실린더 내의 압력과 피스톤의 면적을 곱하고 피스톤의 순간이동거리(올라올 때는 음수, 내려갈 때는 양수)를 곱하여 계산하였다. 점화시기가 BTDC 5도일 때 최대값을 나타내며 BTDC 10도에서 유사한 값을 나타낸다. 이후 점화시기가 빨라지거나 늦어지게 되면 낮아진다. BTDC 20도의 경우 피스톤이 상승하는 과정에서 실린더 압력이 크게 증가하기 때문에 가장 높은 최대압력에도 불구하고 압축일이 크게 증가하여 낮은 일량을 나타낸다. ATDC 20도의 경우 가장 낮은 일량을 나타내는데, 이는 연소



(a) Pressure variation with crank angle



(b) Maximum pressure with ignition angle

Fig. 4 Cylinder pressure during the combustion process

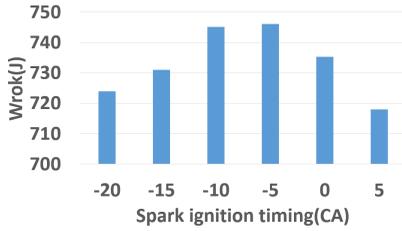
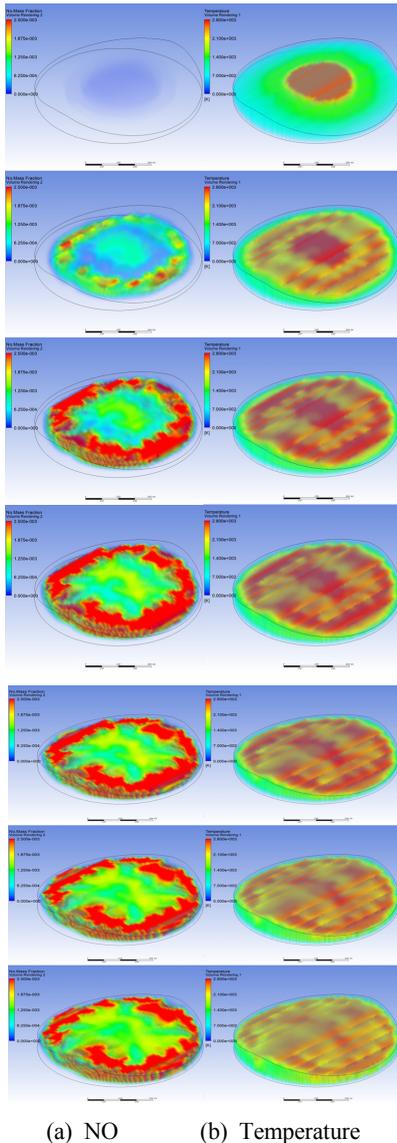


Fig. 5 Work during combustion process



(a) NO (b) Temperature

Fig. 6 Comparison of NO fraction with temperature during the crank angle from -5 to 30 degree

시작이 너무 늦어서 실린더 압력이 크게 낮아지는 데에 기인한다.

Fig. 6은 점화시기가 상사점전 10도인 경우의 질소산화물과 온도분포를 비교한 것이다. 화염의 시작과 함께 연소실 중앙 상부의 점화점을 중심으로 온도가 급격하게 상승하며, 화염의 전파와 함께 실린더 벽면까지 온도가 급격하게 증가한다. 질소산화물 역시 온도가 증가하는 화염영역에서 높은 농도를 나타내며, 연소가 끝나가는 기간 동안에는 전체 연소실로 확산되는 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 연소가 끝난 후의 질소산화물의 농도를 나타낸다. 점화시기가 상사점전 15인 경우에 가장 높은 값을 나타내며, 상사점후 5도에서 최소 값을 나타낸다. 그 값은 상사점전 15도의 경우보다 35% 낮다.

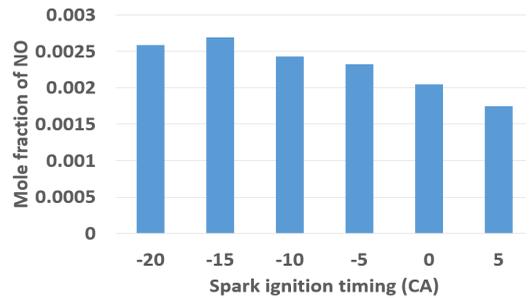


Fig. 7 : NO mole fraction at combustion end

3. 결 론

2톤급 어선용 고속엔진의 프로판 개조를 위하여 점화시기에 따른 연소특성을 분석한 본 논문은 다음과 같이 요약된다.

- 1) 연소특성은 전체 연료의 80%까지 급속히 연소된 후에 느리게 연소되었으며, 연소가 종료되는 크랭크각 80도에서 미연 연료량은 점화시기가 상사점전 5도보다 늦은 경우에 급격히 증가되었다.
- 2) 출력에 미치는 영향은 압력선도에 큰 영향을 받으며 점화시기가 상사점전 10도와 5도 사이에서 가장 높은 값을 나타내며, 이 값보다 빠르거나 늦어지면 출력이 낮아진다.
- 3) 질소산화물의 발생은 연소실 온도와 큰 관련

이 있으며, 점화시기에 따라서는 상사점전 15도에서 가장 높은 값을 나타내고, 상사점후 5도에서 가장 낮은 값을 나타낸다.

이상의 잔류연료량과 출력 및 질소산화물의 특성을 고려할 때 본 대상엔진 조건에서는 점화시기가 상사점전 5인 경우가 최적으로 판단된다.

후 기

이 논문은 2022년 해양수산부 재원으로 해양수산과학진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임. (2톤급 어선용 친환경 250 HP급 LPG 선내기 추진 시스템 개발; PJT201416)

Author contributions

K. Park; Conceptualization. J. G. Kang; Data curation. J. G. Kang; Formal analysis, K. Park; Funding acquisition. K. Park; Investigation. K. Park; Methodology. K. Park; Project administration. M. R. Ryu; Resources. J. G. Kang; Software. K. Park; Supervision. M. R. Ryu; Validation. M. R. Ryu; Visualization. J. G. Kang; Writing-original draft. K. Park; Writing-review & editing.

References

1. A. Azzara, D. Rutherford and H. Wang, 2014, "Feasibility of IMO Annex VI Tier III implementation using Selective Catalytic Reduction", The International Council on Clean Transportation, Vol. 4.
2. F. Adamchak, and A. Adede, 2013, "LNG as a Marine Fuel", Proc 17th Int Conf Exhib Liquefied Nat Gas, Houston, TX, USA, International Gas Union, pp. 767-776.
3. IMO Marine Environment Protection Committee (MEPC), 2011, "Amendments to the annex of the protocol of 1997 to amend the international convention for the prevention of pollution from ships, 1973, as modified by the protocol of 1978 relating thereto", IMO, London, Resolution MEPC, Vol. 203, No. 62.
4. S. I. Hwang, S. S. Chung and J. K. Yeom, 2015, "A Study on the Spray and Combustion Characteristics of Direct-injection LPG", Journal of the Korea Society for Power System Engineering, Vol. 19, No. 2, pp. 40-48. (<https://doi.org/10.9726/kspse.2015.19.2.040>)
5. IMO Marine Environment Protection Committee (MEPC), 2012, "Guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency design index (EEDI) for new ships. MEPC 63/23", IMO, London, Resolution MEPC, Vol. 212, No. 63.
6. V. Nayak, G. S. Rashmi, P. Chitragar and P. Mohanan, 2016, "Combustion Characteristics and Cyclic variation of a LPG fuelled MPFI Four cylinder Gasoline Engine", Energy Procedia 90, pp. 470-480. (<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.214>)
7. A. H. Pundkar, S. M. Lawankar, S. Deshmukh, 2012, "Performance and Emissions of LPG Fueled Internal Combustion Engine: A Review", International Journal of Scientific & Engineering Research, Vol. 3.
8. H. Bayraktar and O. Durgun, 2005, "Investigating the effects of LPG on spark ignition engine combustion and performance", Energy Conversion and Management Vol. 46, pp. 2317-2333. (<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2004.09.012>)
9. Y. H. Kang, Q. H. Wang, X. F. Lu, X. Y. Ji, S. S. Miao, H. Wang, Q. Guo, H. H. He, J. Xu, 2015, "Experimental and theoretical study on the flow, mixing, and combustion characteristics of dimethyl ether, methane, and LPG jet diffusion flames", Fuel Processing Technology, Vol. 129 pp. 98-112. (<https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2014.09.004>)

10. C. Gong, Z. Li, Y. Chen, J. Liu, F. Liu and Y. Han, 2019, "Influence of ignition timing on combustion and emissions of a spark-ignition methanol engine with added hydrogen under lean-burn conditions", *Fuel*, Vol. 235, pp. 227-238. (<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.07.097>)
11. T. Wang, X. Zhang, J. Zhang and X. Hou, 2017, "Numerical analysis of the influence of the fuel injection timing and ignition position in a direct-injection natural gas engine", *Energy Conversion and Management*, Vol. 149, pp. 748-759. (<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.03.004>)
12. J. Zareei and A. H. Kakaee, 2013, "Study and the effects of ignition timing on gasoline engine performance and emissions", *Eur. Transp. Res. Rev.*, pp. 109-116.
13. J. Gao, G. Tian, C. Ma, S. Xing and L. Huang, 2021, "Three-dimensional numerical simulations on the effect of ignition timing on combustion characteristics, nitrogen oxides emissions, and energy loss of a hydrogen fuelled opposed rotary piston engine over wide open throttle conditions", *Fuel*, Vol. 288, pp. 119-122. (<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119722>)
14. ANSYS, 2013, "ANSYS Fluent Theory Guide.; Release 15.0".