

선박용 암모니아-디젤 이중연료 혼소 엔진에서 암모니아

분사 전략이 연소 및 배기 배출물 특성에 미치는 영향

김 경 훈¹⁾ · 박 철 웅²⁾ · 박 찬 수²⁾ ·

박 경 태¹⁾ · 장 형 준²⁾ · 김 민 기²⁾ · 이 정 우^{1)*}

충남대학교 자율운항시스템공학과¹⁾·한국기계연구원 친환경모빌리티연구실²⁾

Effects of Ammonia Injection Strategy on Combustion and Emission Characteristics in a Marine Ammonia-Diesel Dual-Fuel Engine

Kyunghoon Kim¹⁾ · Cheolwoong Park²⁾ · Chansoo Park²⁾ ·

Gyeongtae Park¹⁾ · Hyeongjun Jang²⁾ · Minki Kim²⁾ · Jeongwoo Lee^{*1)}

Department of Autonomous Navigating Systems Engineering, Chungnam National University¹⁾,

Department of Eco-friendly Mobility Power, Korea Institute of Machinery and Materials²⁾

Key words : Ammonia(암모니아); Ignition Delay(점화지연); Diesel injection timing(디젤 분사 시기); High Pressure Dual Fuel(고압 이중연료); Low Pressure Dual Fuel(저압 이중연료);

E-mail: jwoo@cnu.ac.kr

암모니아는 탄소를 포함하지 않고 저장 및 운송이 용이하여 해운 산업의 탈탄소화를 위한 유망한 대체 연료로 주목받고 있다. 그러나 낮은 반응성과 높은 증발 잠열로 인해, 내연 기관에 단일 연료 적용 시 연소 안정성 및 배기 배출물 특성에서 한계가 존재한다. 이를 극복하기 위해 고반응성 연료인 디젤의 마이크로 파일럿(Micro-Pilot, MP) 분사에 의한 안정적 착화 전략을 적용한 암모니아-디젤 이중 연료 혼소 전략이 제안되었으며, 암모니아의 공급 방식에 따라 저압 암모니아 분사(Low Pressure Dual-Fuel, LPDF)와 고압 암모니아 분사(High Pressure Dual-Fuel, HPDF) 전략으로 구분된다. 본 연구에서는 12.5L 급 선박용 단기통 디젤 엔진에 암모니아 분사 전략(LPDF, HPDF)과 MP 디젤 분사 시기에 따른 점화지연(Ignition Delay, ID) 기간 변화에 따른 연소 및 배기 배출물 특성을 비교 분석하였다.

연소 특성 분석 결과, HPDF 전략에서는 디젤 예혼합 연소와 암모니아 주 연소가 시간적으로 분리된 이중 피크 형태의 열방출률(Heat Release Rate, HRR)이 나타난 반면, LPDF 전략에서는 예혼합 기반 단일 피크 HRR 특성이 나타났다. 이는 HPDF에서 디젤 화염과 암모니아 분무 간의 시공간적 분리에 의해 연소가 단계적으로 진행되는 반면, LPDF에서는 예혼합 혼합기가 동시에 연소에 참여하기 때문으로 해석된다. 배기 배출물 특성 분석 결과, 질소산화물(NOx) 배출은 LPDF 전략에서 전반적으로 더 높게 나타났으며, 이는 HPDF 전략과 달리 암모니아를 흡기 포트에 분사함으로써 실린더 내부에서 암모니아의 기화 냉각 효과(Charge Cooling Effect)가 존재하지 않아 상대적으로 높은 연소 온도가 형성되기 때문으로 해석된다. 반면 HPDF 전략에서는 액상 암모니아의 증발 잠열에 의한 냉각 효과와 연소 위상(Combustion Phase) 지연으로 인해 실린더 내 평균 온도가 낮아져 NOx 배출이 감소하는 경향을 보였다. 또한 배기 배출물의 전체 지구 온난화 지수(Global Warming Potential, GWP)는 두 암모니아 분사 전략 간 이산화탄소(CO₂) 배출량 차이가 크지 않아 아산화질소(N₂O) 배출 변화에 의해 지배적으로 결정되는 것으로 나타났다. 효율 및 압력 특성 측면에서 두 전략은 유사한 지시열효율(indicated thermal efficiency, ITE)을 보였으나, LPDF 전략은 높은 최대 실린더 압력(Pmax)으로 인해 내구성 측면에서 부하 확장에 제약이 존재하는 반면, HPDF 전략은 상대적으로 낮은 Pmax를 통해 더 높은 허용 출력 범위를 나타냈다.

본 연구는 ID 기반 해석을 통해 암모니아 이중연료 엔진의 연소 메커니즘을 규명하고, 분사 전략 최적화를 위한 기초 자료를 제공한다.