

4. 디젤기관의 피스톤 크라운 캐비티 형상에 따른 배기 배출 특성에 관한 실험적 연구

기관공학과 정 태 평
지도교수 배 종 욱

지금까지 박용 디젤기관의 개발과제는 주로 연료의 경제성, 기관의 신뢰성, 출력 및 내구성의 향상에 주력하여 왔으나, 환경단체의 압력이나 국제협약 규정에 의하여 선박용 기관에도 관심의 초점이 변화를 보이게 되었다.

날로 심각해져 가는 대기오염을 방지하기 위해 국제사회는 대기오염에 대한 규제를 강화해 나가고 있다. 전 세계적으로 환경오염 규제가 크게 강화되고 있는 가운데, 해상에서도 국제해사기구 IMO(International Maritime Organization)가 MARPOL 73/78에 『선박으로부터 대기오염 방지』에 관한 신 부속서 VI를 채택하였다. 그 중에서 130 kW 이상의 엔진을 탑재하고, 국제항해에 종사하는 선박에 대하여 기관의 배기가스 중 지구 온난화, 광화학 스모그, 암 유발 등 각종 질병을 유발시키는 질소산화물(NOx)에 대한 배출규제가 단계적으로 강화될 예정이다.

- 1) 130 rpm 이하인 경우 : 17.0 g/kWh
- 2) 130 이상 2000 rpm 이하인 경우 : $45.0 \times n^{(-0.2)}$ g/kWh
- 3) 2,000 rpm 이상의 경우 9.8 g/kWh

단, n 은 기관의 Crankshaft 1분당 회전수를 의미한다.

이에 따라 기관제조사들도 기관의 출력을 증가시키면서 대기오염 물질을 적게 배출하는 환경 친화적 기관을 개발하는데 주력하고 있다.

일반적으로 내연기관의 배기가스 오염물질에는 질소산화물(NOx), 유황산화물(SOx), 탄화수소(HC), 일산화탄소(CO), 미립자 물질(PM, Particulate Matter)등이 있다. 디젤기관은 모든 열기관 중에서도 가장 CO₂ 배출율이 적으며 평균 공기과잉율이 높기 때문에 불꽃점화기관에 비해 HC와 CO의 배출이 낮다. SOx는 전적으로 연료유 중의 유황 함량에 의해 좌우되고 연소과정에서 조절할 수 없으며 석유의 정제과정에서 탈황과정을 거쳐, 저유황유를 사용할 수밖에 없다. 그러므로 선박용 디젤기관에서는 NOx와 PM의 배출억제가 가장 중요한 문제로 취급된다. 따라서 이들의 저감을 위한 연구가 중점적으로 진행되고 있으나, NOx와 PM의 저감방법은 서로 교환관계에 있기 때문에 효과적인 동시 저감 방법의 개발이 어려운 실정이다.

질소는 연소과정에서 대부분이 반응하지 않고 배출 되지만 소량은 산화하여 여러 가지 형태의 질소산화물 NO, NO₂ 등을 형성하는데 그 양은 연소온도가 높을수록, 잔존 산소농도가 높을수록 발생률이 높아지며, 이러한 조건에 잘 맞는 디젤기관에서 많이 발생한다. 즉, 이론

공연비($\lambda=1.0$) 부근에서 발생율이 최대가 되며 공기과잉율 λ 가 0.8 이하의 과농 연소상태 또는 λ 가 1.4 이상의 희박한 연소상태에서는 그 발생율이 현저히 감소되는 특징이 있다. 이러한 점을 이용한 2단 연소법은 1차 공기를 $\lambda < 1.0$ 에서 공급하여 연료 과농상태에서 1차적으로 연소시켜 질소화합물이 NO로 전환되는 것을 막고 2차 공기에 의해서 잔존하는 미연성분의 연소완결과 질소산화물의 분해를 촉진하는 방법이다.

2단연소의 실현을 위해서 피스톤 캐비티 형상을 개조하여 크라운 정부 중앙부에 분무 충돌방식에 의하여 혼합기의 균일화를 이루고 연소실의 구획을 과농 연소영역과 희박 연소영역으로 나누어 연소실내에서의 연소가스 유동을 유효하게 유도하는 방법에 대해서 실험하였다. 또한, 분사된 연료가 크라운 돌출면에 충돌하여 연료 액적이 더욱 작은 액적들로 분쇄되면서 튀어나가거나 충돌면에 유막을 형성함으로써 혼합을 촉진시키고 연소가스의 충돌스월에 의한 희박연소에 의해서 질소산화물(NOx)을 저감시킬 수 있는 방법에 대하여 여러 가지 피스톤 크라운 캐비티 형상에 분사각도, 분사압력의 변화를 주어 실험을 통하여 연구하였다.

2단연소를 위하여 분무의 과농영역을 가지는 연소실에서는 심한 와류의 저하로 인하여 CO, 매연 및 BSFC의 증가를 초래하는 것으로 추정된다. 충돌 후 과농영역을 통과하게 하는 충돌 2단연소형 피스톤의 연소실에서는 충돌에 의한 횡방향 분산으로 매연은 무충돌 2단연소형 피스톤에 비하여 감소하였으나 벽면 접촉의 증가로 추정되는 CO의 증가, 관통력의 저하로 추정되는 BSFC의 증가를 초래하였다. 다만, NOx는 무충돌 2단연소형 및 충돌 2단연소형 피스톤에서 불완전 연소에 기인하는 탓도 있겠지만 2단연소의 효과가 가세하여 현저히 감소하는 것으로 관찰되었다.

CO 배출률, 매연 배출량 및 연료소비율에 있어서 I.S 10 및 I.S 00 피스톤이 I.S 05 피스톤보다 양호한 값을 나타내면서 NOx 배출률에서도 낮은 값을 나타내었다. 이는 I.S 00에서는 충돌 후 강한 와류에 의한 혼합에 기인하며 I.S 10에서는 충돌 후 스퀴시 흐름쪽으로 흐르면서 혼합되며 관통력의 저하가 상대적으로 적은 데에 기인하는 것으로 추정된다. 고와류형에 비교할 때 관통력 저하에 의한 성능의 저하를 피할 수 없었던 것으로 판단된다.

NOx 배출률을 CO 배출률 및 매연 배출량과 동시에 저감시키는 방법으로써 과농연소를 위한 통로가 있는 피스톤 크라운 캐비티와 충돌 후 와류에 의한 신속 혼합을 꾀하는 피스톤 크라운 캐비티로 시도 하였다. 그러나 본 실험에 사용된 2단연소형 및 충돌 스월형 피스톤 크라운 캐비티 형상은 와류 감소 및 관통력 저하로 좋은 결과를 얻지 못했다. 2단연소 또는 신속 혼합 희박연소는 일반적으로 NOx를 저감시키는 명백한 방법이므로, 와류를 저하시키지 않으면서 동시에 2단연소를 시킬 수 있는 다른 새로운 피스톤 크라운 캐비티의 설계 및 연구가 필요하다고 생각된다.