E-EGR Valve 내부 Carbon Deposit 억제를 위한 형상연구

이태곤*, 이현창**, 박우철**, 최신형***, 이봉섭***
*현대자동차
**강원대학교 공학대학 기계자동차공학부, ***전기제어공학부
e-mail:hyunlee@kangwon.ac.kr

Design Change of E-EGR Valve to Suppress Carbon Deposit

Tae Gon Lee*, HyunChang Lee**, Woo Chul Park**,
Sin-Hyeong Choi***, Bong-Sub Lee***
*Hyundai Motors
**Division of Mechanical & Automobile Engineering, Kangwon National University
***Division of Electrical & Control Engineering, Kangwon National University

요 약

본 연구에서는 E-EGR Valve 내에 퇴적물이 쌓여 디젤엔진의 성능을 저하시키는 문제를 해결하기 위하여 CRDI 직분식 4기통 엔진에 장착된 E-EGR 밸브를 대상으로 형상변화에 따른 유동해석을 통하여 퇴적물 축적과 작동불량을 감소 시켜줄 새로운 형상을 제시하고자 하였다.

1. 서론

현재 운행되는 디젤 엔진의 E-EGR Valve 내에서 발생되는 퇴적물들은 주행거리가 증가함에 따라 초기와는 달리 발생 빈도와 발생량이 증대되고 있다. 특정 운전 조건 즉, EGR률이 높은 영역에서 장시간 운행하게 되면 퇴적량이 증가하게 되어 E-EGR Valve 내구성 저하의 원인이 될 뿐만 아니라 E-EGR Valve의 작동불량을 초래하게 된다. E-EGR의 작동불량은 엔진의 성능 저하와 함께 PM과 같은 유해 물질 배출을 증가시키게 된다. 본 연구에서는 퇴적물이 쌓이는 이론적 근거를 토대로 CRDI 직분식 4기통 엔진에 장착된 E-EGR 밸브를 대상으로 형상변화에 따른 유동해석을 통하여 기존 E-EGR 밸브와 비교 분석하여 퇴적물 축적과 작동불량을 최소화 시켜줄 형상을 제시하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 퇴적물 구성 요소

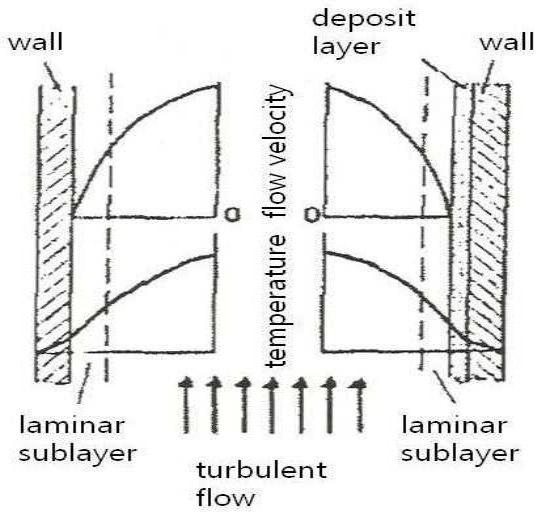
퇴적물에서 큰 비중을 차지하고 있는 것은 온도조건에 따라 탄소, 탄화수소, 산소, 질소 등과 같은 유기물질과 바륨, 칼슘과 같은 금속 성분 및 황과 같은 무기질 성분이다. 첫째, 200℃이하의 낮은 온도 조건에서는 타르와 같은 젖은 상태의 탄화수소 및 연소 후의 탄소 성분을 포함한 어두운 색상의 물질들이 침적되는데 주로 낮거나 혹은 높은 비등점을 가진 탄화수소 및 그을음 성분들로 구성되어 있다. 둘째, 200℃부터 300℃사이의 중간 영역에 해당하는 온도 조건에서는 건조한 투과성 그을음이나 타르와 같은 물질로 구성되며, 윤활유 성분이 퇴적물 생성에 영향을 미치게 된다. 일반적으로 300℃이하의 온도 영역에서는 윤활유로부터 기인한 비금속 잔류물에 의해 퇴적물이 형성되며 이 경우 약간 밝은 색상의 얇은 퇴적층을 형성하게 된다.

2.2 퇴적 위치에서의 물리적 조건

퇴적물 생성에 영향을 미치는 중요한 요소 중의 하나는 벽면 및 가스의 온도, 벽 근처에서의 유동 조건과 농도 구배특성과 같은 물리적인 조건으로서 각각의 물리적인 변수들은 독립적으로 변화한다.

난류성 고온 가스의 유동 방향이 벽면과 평행하다

고 가정한다면 벽 또는 퇴적물 표면에서의 유속은 0 이 되지만 가장 높은 유동 구배특성을 가지게 된다. 이 경우 퇴적물 표면 근처에서는 laminar sub-layer 가 형성되어 열적 절연 효과로 인해 퇴적물의 표면 온도는 퇴적물이 없는 벽면에서의 온도 보다 더 높게 된다.



[그림 1] 유동 특성과 온도에 따른 퇴적층의 효과

2.3 퇴적 성분 이동 메커니즘

퇴적되는 성분은 크게 두 가지 그룹으로 분류할 수 있는데 하나는 가스의 유동과 같이 이동하는 가스상 물질과 고분자 액상 물질들이며 나머지는 가스 유동 방향과 무관한 입자들이다. 이러한 퇴적 성분들은 온도 구배와 유동 현상에 따라 다음과 같은 특성을 나타내며 퇴적물 침적에 큰 영향을 미치게 된다. 벽면 근처의 온도 구배는 벽면으로 입자들을 이동시키는 높은 열적 수반 이동력을 야기시키는데 이러한 효과는 가스 분자의 에너지 레벨 차이를 의미하는 온도차에 의한 것이며 이로 인해 높은 온도를 가지는 가스 분자들이나 입자들은 더 높은 충돌 주파수를 야기 시킨다. 즉 온도 구배가 커질수록 더욱 강한 열적 수반이동 특성을 나타내게 되며 결국 이러한 효과는 벽면 근처에서의 입자농도를 증가시키게 된다. 유동하는 가스의 유속이 느릴수록 가스로부터의 입자 이동이 제한되기 때문에 벽면에 부착되는 입자의 농도 역시 제한된다. 그리고 난류 유동 역시 입자들을 벽면의 laminar sub- layer로부터 난류 유동장으로 이동시키기 때문에 벽면 근처의 입자 농도를 감소시키는 역할을 한다.

2.4 퇴적물 생성 메커니즘

퇴적 과정은 보편적으로 가스상 성분과 입자들의 부착 현상에 영향을 받게 되는데 가스상 성분들은 낮은 벽 온도에 의해 벽면에 응축되거나 흡착되며, 입자의 경우에는 들러붙음, 혼합, 밀착 등에 의해 퇴적이 된다. 여기서 들러붙음 효과는 벽과 입자들 사이의 점착력에 의해 발생되고, 혼합은 액상 표면 경계층에 입자가 부착되어 생기는 현상을 말하며 밀착은 열적 수반이동 현상에 의해 발생된다. 이러한 퇴적물 생성 과정은 크게 유도 단계와 성장 단계로 나눌 수 있다. 퇴적물이 생성되기 위해서는 벽 표면과 입자 사이에 접촉된 중간물질이 필요한데, 이는 대개 탄화수소와 같은 높은 끓는점을 가진 성분들이다. 유도 단계 동안 퇴적물은 벽면에서 탄화수소의 응축과 더불어 형성되기 시작하는데 최초 아주 얇은 점착성 층에서 입자들은 파리잡이 끈끈이와 같은 효과에 의해 점착되어진다

이후 퇴적물은 추가적인 들러붙음 현상과 경계층에서의 입자 혼합에 의해 지속적으로 질량이 증가하게 되어 일정 질량에 도달할 때까지 커지게 된다.

3. 유동 해석

3.1 유동 해석 방법

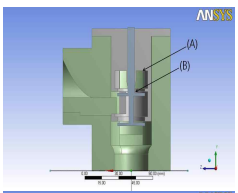
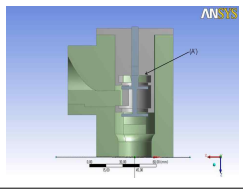
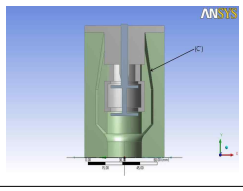
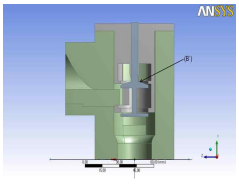
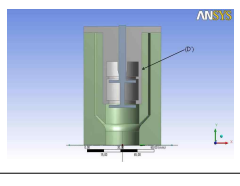
본 연구에서는 E-EGR 내부 유동 특성을 정상상태의 난류 유동으로 standard κ-ε 난류 모델을 사용하였고 유동 벽면에서의 유속은 없다고 가정하였다. 수치해석을 위해 열 유체 해석 프로그램인 ANSYS CFX 11.0 를 사용하였다. 실제 차량에서 배기가스가 E-EGR을 통해 흡기 다기관으로 이동시 E-EGR 내부의 퇴적물은 유동 특성에 따라서 달라진다. 엔진에서 E-EGR Valve 의 열림량이 가장 많은 운전 영역에서 측정된 자료를 토대로 E-EGR 입, 출구의 경계조건을 주었다. 배기압과 부스트압의 차이가 적을 경우에 유속이 느려짐을 고려해 저부하에서만 해석을 수행하였다. 유체 영역의 격자 수는 약 160,000~170,000 개 이고, 절점은 약 37,000~50,000개 이다. 각각의 모델에 대해 state 상태의 조건에서 해석 하였다.

[표 1] 디젤엔진의 제원

항목	제원	항목	제원
Bore (mm)	83	Compression ratio	17.7
Stroke (mm)	92	배기량 (cc)	1998
Max. intake valve lift (mm)	7.86	Max exhaust valve lift (mm)	8.25

3.2 유동 해석 결과

정상상태에서의 E-EGR 내부 속도장을 해석한 결과와 저부하 영역에서 특정 부분의 유속을 살펴 본 결과는 다음과 같다. 즉, 특정 부분은 밸브 로드가 밸브 하우징 사이를 오가는 주변의 평균 유속을 기존 형상과 비교해 보았다. 표 1 은 본 연구에 사용된 엔진의 제원이다. Table 2.에서 형상변경3 의 평균유속이 기존의 형상 대비 약 10% 정도의 유속을 향상시켰으며, 평균유속의 향상은 퇴적물의 퇴적을 줄일 수 있음을 의미한다. Table 3.은 출구의 유량을 나타내며 기존의 것과 유사한 값을 가지는 것이 유량제어에 용이할 것이며, 형상변경3 이 기존 형상과 유량이 유사한 값을 나타 내었다.

모델	
	기존 모델로 Z-Y 축으로 나눈 단면(위)과, X-Y 축으로 나눈 단면(아래)이다. 여기서 (A),(B),(C),(D)는 형상 변경할 부분을 표시 한 것이다.
	형상변경1. (A)부분의 높이를 낮추었다.
	형상변경2. (C)부분에 경사를 주었다.
	형상변경3. (B)부분을 Round로 처리하였다.
	형상변경4. (D)부분을 막았다.

[그림 2] 형상 종류

4. 결론

본 연구에서는 CRDI 방식 디젤기관의 E-EGR Valve 내부 탄소 퇴적물 침적에 대한 이론적 고찰을 토대도 다양한 형상 변경을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 밸브 로드가 밸브 하우징 사이를 오가는 주변 평균 유속의 저하로 탄소 입자들이 로드에 들러붙음 및 밸브 하우징으로 탄소 입자들이 퇴적되게 된다.
2) 다양한 형상에 대하여 동일한 경계 조건일 때 형상3이 기존 형상 대비 밸브 로드 부근 평균유속을 10% 정도 향상 시켰으며, 유량 또한 기존 형상과 비슷하여 유량제어에 용이 함을 알 수 있다.

참고문헌

[1] 이명재,이기춘 “유체-구조 연성해석을 통한 EGR Cooler의 열응력 해석”, 한국자동차공학회 춘계학술대회 논문지, pp.325-330, 2007.
[2] 정수진, “EGR관 형상이 가변형상 과급기를 장착한 디젤엔진의 EGR 특성에 미치는 영향”, 한국자동차공학회, 제15권, 2호 pp.65-73, 2007.
[3] 차학주, “Intake Manifold 에서의 Carbon Deposit 생성원인 규명 및 저감방안에 관한 연구”, 한국자동차공학회 추계학술대회 논문지, pp.266-275, 2005.