

E-EGR Valve 내부 Carbon Deposit 억제를 위한 형상연구

이현창^{1*}, 이태곤¹, 박우철¹
¹강원대학교 자동차공학과

Design Change of E-EGR Valve to Suppress Carbon Deposit

HyunChang Lee^{1*}, Tae Gon Lee¹ and Woo-Cheul Park¹

¹Department of Automobile Engineering, Kangwon National University

요 약 E-EGR Valve 고장의 원인이 되는 내부 퇴적물 축적을 최소화하기 위한 새로운 Valve 형상을 제안하고자 한다. 전산유체 해석을 통하여 다양한 형상에 대하여 유속과 유량을 관찰하였으며, 밸브 상부에 라운드를 추가한 Valve 디자인 변형을 통하여 유량손실 없이 Valve 내의 유속을 약 10% 향상시킬 수 있었다.

Abstract New E-EGR valve design to suppress a carbon deposit causing a trouble in the valve by improving gas flow velocity is proposed. With CFD simulations of various shapes of valve disk and rod, the velocities and quantities of flowing fluid are observed. The proposed unique design of having round grooves on the disk head shows the improved performance of flow velocity about 10 % without sacrificing the flow quantity.

Key Words : E-EGR, Carbon Deposit, Flow Velocity, Valve Disk, Round Grooves.

1. 서론

디젤기관은 열효율이 높고 연료 소모율이 적어 소비자들의 지속적인 관심을 받고 있다. 유해 배출가스로 규제되는 PM(Particle Material)과 매연, NOx(Nitrogen Oxide)의 배출은 아직도 디젤기관에서 개선이 요구되는 과제이다. 특히 NOx는 대기오염의 주된 원인이며, 호흡기를 통하여 체내에 침투할 경우 호흡기 질환을 유발시킨다. 최근 디젤기관의 유해가스를 줄이고 연비향상을 위하여 정교한 전자제어 시스템과 과급기, E-EGR (Electronic-Exhaust Gas Recirculation) Valve의 기술개발에 많은 노력을 기울이고 있다. 이중 EGR 시스템은 NOx를 감소시키는 효과가 뛰어나 가솔린엔진 및 소형디젤 엔진에 폭넓게 적용되고 있다.[1-4]

E-EGR Valve내에 퇴적되는 퇴적물의 양은 주행거리가 증가함에 따라 증대된다. 특정 운전 조건 즉, EGR률이 높은 영역에서 장시간 운행하게 되면 퇴적물의 양이 증가하게 되어 E-EGR Valve 작동부위에 붙게 되며 내구

성 저하의 원인이 된다. 또한 퇴적물의 증가는 E-EGR Valve의 작동불량을 초래하게 되고 시동지연 및 변속감 불량 등의 문제를 일으키며 PM과 같은 유해물질의 배출을 증가시키게 된다.

본 연구에서는 퇴적물이 쌓이는 이론적 근거를 토대로 CRDI(Common Rail Direct Injection) 직분식 4기통 엔진에 장착된 E-EGR 밸브를 대상으로 형상변화에 따른 유동해석을 통하여 퇴적물 축적의 감소와 작동불량을 최소화 시켜줄 새로운 E-EGR 밸브의 형상을 제시하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 Soot(그을음) 생성 메커니즘

디젤 엔진에서 Soot 발생 시점은 확산연소가 개시되는 시점이다. 즉, 폭발행정에서 많은 양의 Soot가 생성된다. Soot의 입자는 연료의 분자들로부터 산화와 열분해를

*교신저자 : 이현창(hyunlee@kangwon.ac.kr)

접수일 10년 09월 06일

수정일 (1차 10년 11월 29일, 2차 10년 12월 01일)

게재확정일 10년 12월 17일

통해 개시되어, 표면성장, 산화, 응결의 4단계에 걸쳐 생성된다.

개시 단계에서는 연료 분자가 불완전 연소되어 Soot 핵의 기본요소가 되는 전구체 분자의 과포화가 발생하게 된다. 핵이 형성되고 나면 분자의 응축이 지속되어 합체 응결과 표면성장이 동시에 진행된다, 이는 연쇄형성 응결과 표면성장으로 이어진다. 이러한 현상들은 탈수소반응과 산화반응이 동시에 일어나게 되며, 표면성장이 끝나면 Soot는 응집 등의 과정을 거치면서 입자의 크기가 커진다.[5-6]

Soot는 고온에서 배출되는 탄소입자 덩어리의 Dry Soot와 저온에서 배출되는 Wet Soot로 나누어 진다. Wet Soot는 저온에서 SOF(Soluble Organic Fraction)가 입자상 물질에 흡착되어 생성된다.

2.2 Soot의 퇴적 매커니즘

엔진을 통해 생성된 Soot는 배기계를 통하여 배출이 되는데 그중의 일부가 E-EGR Valve를 통해 흡기계로 재유입된다. 고온에서 발생하는 Dry Soot와 같이 미세 입자들은 유체의 흐름에 따라서도 이동하지만 온도 차이에서도 이동한다.

배기가스 온도는 약 500 ℃정도의 고온이며 EGR관 및 EGR Valve의 주변온도는 약 60 ℃정도이다. 이처럼 온도 구배가 생기면 입자가 고온에서 저온으로 이동하게 되는 열영동(Thermophoretic) 현상이 발생하게 된다. 열영동 현상과 함께 유속의 저하로 저온의 벽면에 입자의 부착이 되며 Dry Soot 부착의 주된 메커니즘이 된다.

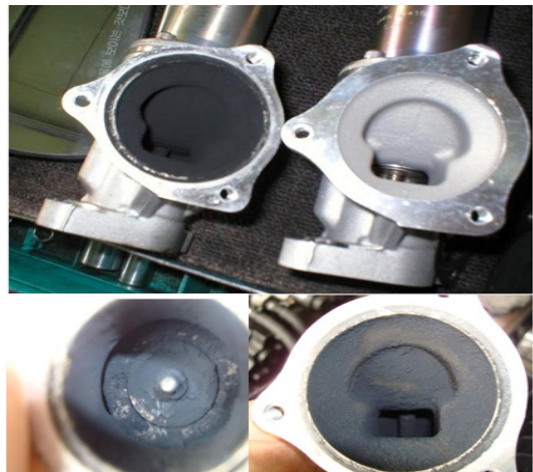
2.3 E-EGR Valve 작동불량 고찰

그림1은 실차(현대 산타페)의 예를 통하여 EGR률이 높은 조건인 저속 주행 및 주정차 횟수가 많은 E-EGR Valve의 탄소 퇴적물 침적 현상을 보여주고 있다. 그림 1과 같이 탄소 퇴적물은 유속이 느린 밸브 로드 주변에서 로드와 하우징 슬리브 사이에 퇴적되어 밸브가 닫혀야 하는 시점에서 닫히지 못하고 열린 상태로 소착된다.

이때 로드와 하우징 사이 슬리브 사이의 퇴적물을 제거하게 되면 정상작동을 하며 로드와 하우징 슬리브 사이의 탄소 퇴적물이 E-EGR Valve의 작동불량 및 성능저하의 가장 큰 원인임을 의미한다.

E-EGR Valve의 작동이 불량하게 되면 EGR 가스 중 불활성 가스가 흡입공기의 일부로 치환되어 흡입산소량이 감소하게 되며 불완전연소 및 미연소로 인하여 PM과 같은 유해물질이 EGR 관로를 통해 재유입되거나 그대로 배기계를 통하여 대기로 배출되기도 한다.

재유입된 EGR 가스는 연결된 타 부품에도 크게 영향을 미친다. 그림 2는 EGR 가스 중 Soot와 무기탄소, 탄화수소, 유기탄소, 황산입자 및 윤활유의 연소에 의한 회분 등에 포함되어 있는 탄소 입자들이 점착되거나 액상 성분의 반응성과 증발 특성 등에 의해 침적이 발생된 흡기 다기관내의 실제 모습이다. 이후 추가적인 들러붙음 현상과 입자혼합 등에 의해 두꺼운 퇴적물이 형성되며, 흡기 다기관내 퇴적물의 부피만큼 엔진으로 들어가는 흡입산소량이 줄어들어 기관 성능저하 및 다량의 배출가스를 배출하는 주된 원인이 된다.



[그림 1] EGR Valve내의 카본 퇴적물 (현대 산타페)



[그림 2] 흡기 다기관내의 카본 퇴적물 (현대 산타페)

3. 유동 해석 및 현상 고찰

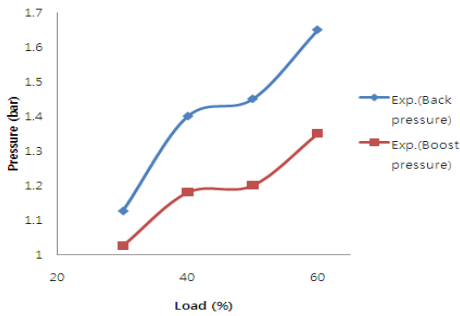
3.1 유동 해석 방법

본 연구에서는 E-EGR 내부 유동 특성을 정상상태의 난류 유동으로 Standard k-ε 난류 모델을 사용하였고 유

동 벽면에서의 유속은 없다고 가정하였다. 수치해석을 위해 열 유체 해석 프로그램인 ANSYS CFX 11.0 를 사용하였다. 실제 차량에서 배기가스가 E-EGR을 통해 흡기다기관으로 이동시 E-EGR 내부의 퇴적물은 유동 특성에 따라서 달라진다. 그림 3은 엔진에서 E-EGR Valve 의 열림량이 가장 많은 운전영역에서 측정된 자료로서 E-EGR 입, 출구의 경계조건으로 사용되었다.[7] 배기압과 부스트압의 차이가 적을 경우에 유속이 느려짐을 고려해 저부하에서만 해석을 수행하였다. 유체 영역의 격자 수는 약 160,000~170,000 개 이고, 절점은 약 37,000~50,000개이다. 각각의 모델에 대해 Steady State의 조건에서 해석하였다. 표 1은 본 연구에 사용된 엔진의 제원이다.

[표 1] 디젤엔진의 제원

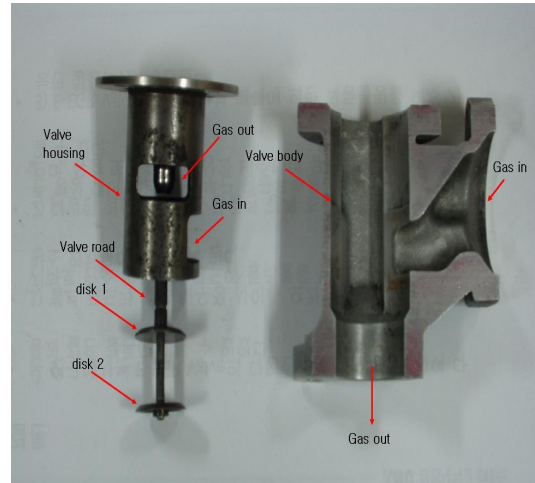
항목	제원	항목	제원
Bore (mm)	83	Compression ratio	17.7
Stroke (mm)	92	배기량 (cc)	1998
Max. intake valve lift (mm)	7.86	Max exhaust valve lift (mm)	8.25



[그림 3] Experimental data of back pressure and boost pressure

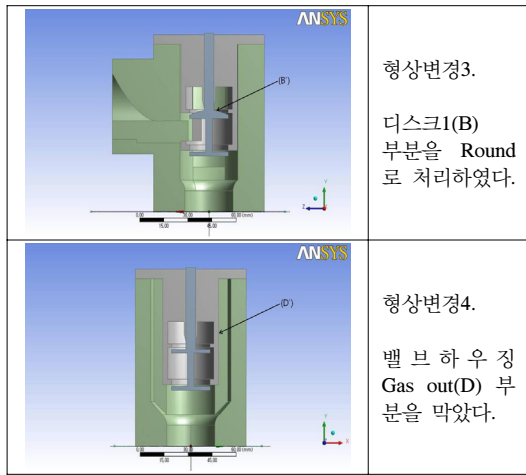
3.2 유동 해석 결과

정상상태에서의 E-EGR 내부 속도장을 해석하여 저부하 영역에서 특정 부분의 유속을 살펴 본 결과는 다음과 같다. 퇴적양을 결정하는 데에는 밸브로드가 밸브하우징을 오가는 곳에서의 유속이 가장 중요하므로 그 곳의 평균유속을 여러 가지 형상에 대해서 비교 검토하였다. 그림 5는 제안된 몇 가지 형상을 현재 사용되고 있는 E-EGR Valve와 비교하여 구조변경의 위치를 보여 주고 있다. 그림4는 실제 EGR Valve의 분해도이다.



[그림 4] EGR Valve 분해도

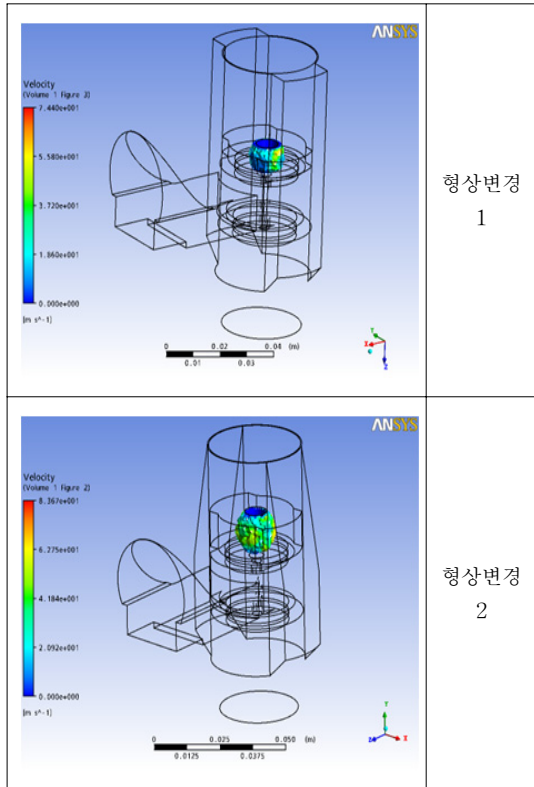
모델	
	<p>기존 모델로 Z-Y 축으로 나눈 단면(위)과, X-Y 축으로 나눈 단면(아래)이다.</p> <p>여기서 (A),(B),(C),(D)는 형상 변경할 부분을 표시한 것이다.</p>
	<p>형상변경1.</p> <p>밸브하우징(A)부분의 높이를 낮추었다.</p>
	<p>형상변경2.</p> <p>밸브바디(C)부분에 경사를 주었다.</p>



형상변경3.
디스크1(B)
부분을 Round
로 처리하였다.

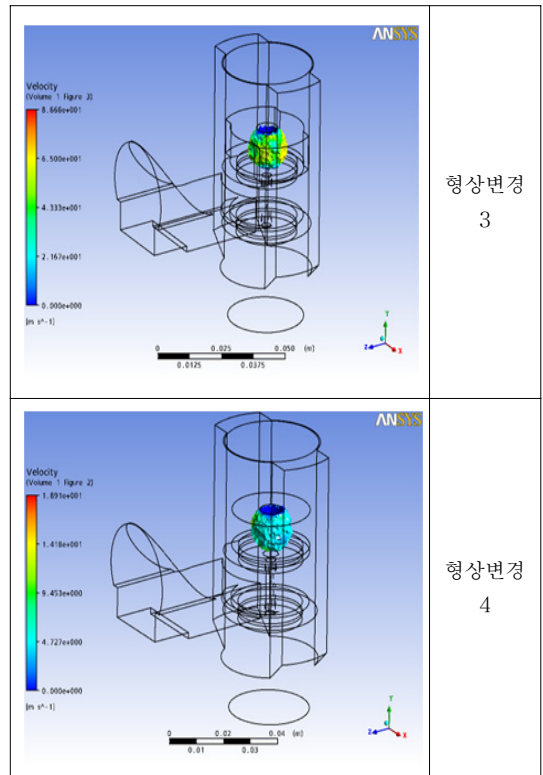
형상변경4.
밸브 하우징
Gas out(D) 부
분을 막았다.

[그림 5] 형상 종류



형상변경
1

형상변경
2



형상변경
3

형상변경
4

[그림 6] 특정부위 유속 분포 해석결과

[표 2] 해석 결과

	평균 유량(kg/s)	평균유속(m/s)
기존 형상	4.056e-05	4.610e+01
형상 변경1	3.895e-05	3.159e+01
형상 변경2	3.989e-05	4.621e+01
형상 변경3	4.106e-05	5.229e+01
형상 변경4	2.833e-05	7.660e+00

그림 6에 나타난 해석결과에 따르면 그림 5의 형상변경을 위한 여러 시도 중에서 형상변경3의 평균유속이 기존의 형상 대비 약 10 %의 가장 큰 유속 향상을 보여주었으며 밸브 디스크와 로드 에 라운드를 추가함으로써 배기가스가 라운드를 따라 빠르게 이동할 수 있는 여건을 만들었기 때문이라고 생각된다. 평균유속의 향상은 퇴적물의 퇴적을 줄일 수 있음을 의미한다. 표 2는 출구의 평균 유량과 유속을 나타내며 기존의 것과 유사한 값을 가지는 것이 유량제어에 용이할 것이며, 형상변경3 이 기존 형상과 유량이 유사한 값을 나타내었다.

4. 결론

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

- 1) E-EGR Valve 기능 저하는 Valve 내부 유속 저하에 따른 탄소 퇴적물이 로드와 슬리브 사이의 침적현상에 기인한 것이라고 생각된다. 이에 착안하여 동일한 경계 조건일 때 다양한 형상에 대하여 유동해석을 시도한 결과, 형상3이 기존 형상 대비 밸브 로드 부근 평균유속을 10 % 정도 향상 시켰으며, 유량 또한 기존 형상과 비슷하여 유량제어에 용이함을 알 수 있었다. 형상3은 밸브 디스크와 로드 에 라운드를 추가함으로 배기가스가 라운드를 따라 빠르게 이동할 수 있는 여건을 만들었기 때문이라고 생각된다.
- 2) 형상3은 로드와 하우스링 주변의 평균유속을 향상시킴으로서 탄소 퇴적을 최소화 할 수 있는 형상이라고 생각된다. 그러나 로드를 따라서 올라가는 입자상 물질들이 유속이 증가하면 침적현상이 줄어들지는 실차에서 실험을 해보아야 할 것이다.
- 3) 디젤 기관의 특성상 배기가스중 PM의 생성을 막을 수는 없으므로, E-EGR Valve로 유입되기 전 PM 제거를 위한 전용필터를 설치하거나, Valve 로드를 스프링 장력에 의한 복귀 보다는 직접 구동시킬 수 있는 장치가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] 함윤영, 전광민, “직분식 디젤엔진에서 EGR이 연소 특성 및 배출가스에 미치는 영향에 대한 시뮬레이션 연구”, 한국자동차공학회, 제10권, 제4호, pp.51-59, 2002.
- [2] 한영철, 오용석, 오상기, “EGR을 제어에 따른 유동 및 NOx 특성에 관한 시뮬레이션”, 한국자동차공학회, 제10권, 제1호, 2002.
- [3] 백두성, “디젤기관에서 산소과급과 EGR에 의한 기관 성능 및 배출특성에 미치는 효과”, 한국산화기술학회, 제7권, 제5호, pp.778-783, 2006.
- [4] 남정길, 최재성, “디젤기관의 내장형 EGR시스템 적용 가능성에 관한 연구”, 한국마린엔지니어링학회, 제23권, 제3호, pp. 398-404, 1999.

- [5] Gary L. Borman, Kenneth W. Ragland, "Combustion Engineering", McGraw-Hill, 2002.
- [6] 송창훈, 정용일, 차경욱, “소형디젤엔진용 E-EGR 밸브의 개발 및 차량적용에 관한 실험적 연구”, 한국에너지공학회, 제11권, 제3호, pp.203-209, 2002.
- [7] 정수진, 정재우, 강정호, 강 우, “배기계 형상이 VGT를 장착한 디젤엔진의 EGR 특성에 미치는 영향에 관한 연구”, 한국자동차공학회, 춘계학술대회논문집, pp.242~249, 2006.

이 현 창(Lee HyunChang)

[종신회원]



- 1981년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학사)
- 1989년 5월 : University of Maryland 기계공학과 (공학석사)
- 1995년 5월 : Old Dominion University (공학박사)
- 1996년 9월 ~ 현재 : 강원대학교 자동차공학과 교수

<관심분야>

System Identification, ELV Recycling, 진동제어, 구조해석

박 우 철(Park Woo-Cheul)

[정회원]



- 1987년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학사)
- 1989년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학박사)
- 1997년 8월 ~ 현재 : 강원대학교 자동차공학과 교수

<관심분야>

지능형 구조물 및 시스템설계, 시스템제어, 진동 및 소음 제어, 친환경 기계설비

이 태 곤(Lee Tae Gon)

[정회원]



- 2009년 2월 : 강원대학교 자동차 공학과 (공학사)
- 2009년 3월 : 강원대학교 자동차 공학과 대학원

<관심분야>

디젤엔진, 자동차 소음 및 진동