

## 디젤엔진 배기가스의 저감에 관한 연구

허윤복 정순석 김광수  
한국교통대학교 산업경영공학과

### A Study on the Reduction of Diesel-Engine Emissions

Youn-Bok Hur Soon-Suk Chung Kwang-Soo Kim  
Korea National University of Transportation

#### Abstract

Internal engine is the main power source of vehicle and is the main source of air pollution. To satisfy this getting rigorous emission regulation, it must be solved simultaneously the dilemma of reducing emission gas and increasing heat efficiency.

Diesel engine is preferred compare with gasoline engine in aspect of energy consumption but it must be solved reducing the containing of NOx, CO and HC.

In this study

1. Looking for alternative of performance improvement of Exhaust Gas Recirculation(EGR) which is emission gas reduction system,
2. Reducing malfunction of controlling emission gas
3. Made possible precision control

Keywords : EGR

#### ▣ 디젤엔진 배기가스의 저감에 관한 연구

목차	▷ 서론
	1. 연구배경
	2. 배기가스 유해장치 저감장치
	3. 연구목적
	▷ 본론
1. 배기가스 누설 문제점과 측정방법	
2. 원인분석	
3. 개선방안 수립	
▷ 결론	
1. 개선사항	
2. 개선효과	
▷ 참고문헌	

▣ 디젤엔진 배기가스의 저감에 관한 연구

서론

**1. 연구배경**

내연기관은 자동차의 주 동력원으로 대기오염의 원인 중 하나로 알려져 있으며 이를 규제하기 위한 각국의 배기가스 제한 규정이 시행되고 있다. 점차 엄격해지는 배기규제를 만족시키기 위해서는 배기 가스의 저감과 열효율 증가에 대한 요구를 동시에 만족시켜야 하는 난제가 해결되어야 한다.

디젤엔진은 가솔린엔진에 비해 고효율을 달성할 수 있는 장점이 있어 최근 각광 받고 있으나, Nox (질소산화물), 탄소(CO), 탄화수소( HC) 등 배기 가스 저감이 해결해야 할 과제로 남아있다.

2014년 유로6 적용예정

□ 유럽 배기가스 규제 변화추이

□ 자동차 연비와 유해물질 배출량

▣ 디젤엔진 배기가스의 저감에 관한 연구

서론

**2. 배기 가스 유해물질 저감장치**

디젤엔진의 배기가스에 질소화합물을 저감하는 방법인 EGR (Exhaust Gas Recirculation) 장치와 미세입자(PM, HC등) 저감하는 DPF (Diesel Particulate Filter) 장치가 있다

▷ EGR (Exhaust Gas Recirculation)

배기 매니 폴드로 나오는 가스의 일부를 다시 흡기계로 보내어 공급되는 산소량을 줄이고 실린더 내부 온도 및 압력을 낮추어 질소 화합물 (Nox)을 저감하는 장치

▷ DPF (Diesel Particulate Filter)

배기관로에 필터를 이용하여 미세입자(PM, HC등)를 포집하고 일정시간에 한번씩 배기관로 압력 체크 후 규격 범위 넘을시 포집된 입자를 고온을 이용하여 태워 없애는 장치

\* 질소 화합물과 미세입자 생성조건이 반비례 하므로 EGR과 DPF는 함께 쓰여진다

▣ 디젤엔진 배기가스의 저감에 관한 연구

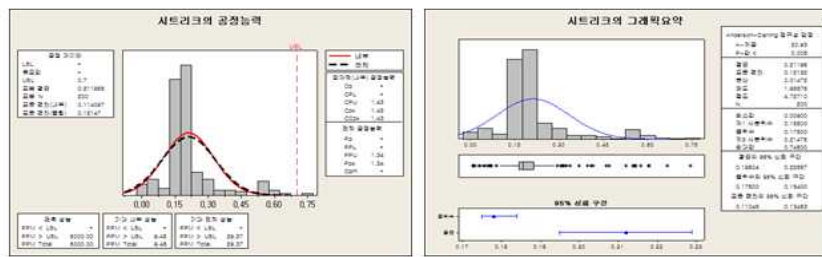
서론

3. 연구 목적

: 이번 연구에서는 배기가스 저감장치 중 하나인 EGR의 성능(정밀도) 향상방안 수립하여 차량의 배기가스 제어 오작동을 줄이고 정밀한 제어가 가능토록 하는 것에 목적을 두고 실험 하였습니다. EGR 정밀제어에 영향을 줄수 있는 대표적인 인자는 리크량을 들수 있는데 리크란 배기가스가 흡기관로 쪽으로 재공급되어 실린더 내부 온도를 저하시키는 현상을 말한다

▷ 실험 목표설정

: 리크량 최소화 방안 수립에 대해서 목표를 설정하기로 하고 현재수준을 파악해 보았다 최근 10주간 일일 생산된 제품 각 1CEA 샘플링 하여 측정해본 결과 다음과 같았다



위 자료를 근거로 현재 공정관리능력(Cpk) 1.5배인 향상을 목표로 실험을 실시 하였습니다

▣ 디젤엔진 배기가스의 저감에 관한 연구

본론

1. 배기가스 누설의 문제점과 측정방법

: EGR(배기가스 재순환 장치)의 누설의 문제점과 누설량 측정방법에 대해서 알아 보도록 하겠다

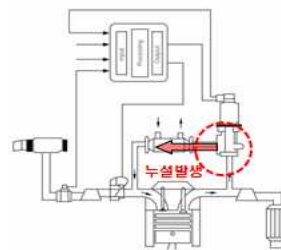
1-1. EGR 배기가스 누설의 문제점

: EGR에서 배기가스가 누설되어 발생하는 문제점은 다음과 같다

- ① 차량의 출력저하
- ② 주행 중 노킹 발생
- ③ 공인 연비감소
- ④ 탄화수소(HC) 배출을 증가 등

1-2. 누설량 측정방법

: 배기가스 리크누설량 측정방법은 배기 관로에 최대 압력인 0.5bar를 EGR에 가압 후 유량 측정계를 이용 누설량을 “kg/h 단위” 로 측정한다.



▣ 디젤엔진 배기가스의 저감에 관한 연구

본문

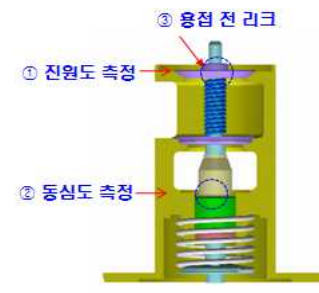
**2. 원인 분석**

: 리크량에 영향을 미치는 추정 원인을 나열하고 그 인자들을 평가해보도록 하였다

**1-1. 추정원인**

: EPI 각 분야 담당자와 브레인 스토밍법 이용 토론 결과 리크량에 영향을 줄수 있는 추정 인자는 다음 네가지로 요약되었고 인자들의 현수준을 파악해 보았다

- ① 하우징 진원도 (규격 만족)
  - 관리규격 : 0.05 이내
  - 현수준 : 0.00 ~ 0.04
- ② 하우징 동심도 (규격 만족)
  - 관리규격 : 0.10 이내
  - 현수준 : 0.01 ~ 0.08
- ③ 용접 전 리크값 (규격 만족)
  - 관리규격 : 0.0~0.5 kg/h 이내
  - 현수준 : 조건 준수



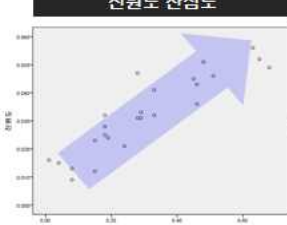
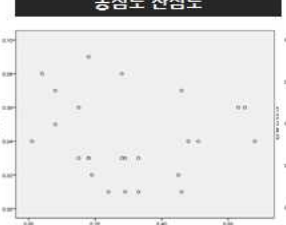

※ 용접 조건도 리크량에 영향을 미칠수 있으나 조건 변경시 이탈력 부족으로 인한 파손이 발생할 수 있어 테스트 인자에서 제외 됨

▣ 디젤엔진 배기가스의 저감에 관한 연구

본문

**1-2. 산도정도 분석**

: 리크량에 영향을 줄것으로 판단되는 ① 하우징의 진원도 ② 동심도 ③ 용접전 리크량 과 용접 후 리크량의 산점도 분석해본 결과 다음과 같았다

진원도 산점도	동심도 산점도	용접 전 리크 산점도
		
<p>▣ 산점도 해석</p> <p>: 진원도 &amp; 리크량 양의 상관</p>	<p>▣ 산점도 해석</p> <p>: 동심도 &amp; 리크량은 무상관</p>	<p>▣ 산점도 해석</p> <p>: 용접 전 리크량과 용접 후 리크량 음의 상관</p>

※ 산점도를 이용하여 분석결과 리크량에 영향을 미치는 인자는 진원도와, 용접 전 리크량인 것을 확인하였다

▣ 디젤엔진 배기가스의 저감에 관한 연구

1-3. 상관 회귀 분석

: 추정인자 세가지에 대한 상관 회귀분석을 실시 해본 결과 다음과 같다

		상관계수			
		누설량	용접전리크	진원도	동심도
누설량	Pearson 상관계수	1	-.888**	.937**	-.102
	유의확률 (양쪽)		.000	.000	.626
	N	25	25	25	25
용접전리크	Pearson 상관계수	-.888**	1	-.860**	.019
	유의확률 (양쪽)	.000		.000	.927
	N	25	25	25	25
진원도	Pearson 상관계수	.937**	-.860**	1	-.133
	유의확률 (양쪽)	.000	.000		.527
	N	25	25	25	25
동심도	Pearson 상관계수	-.102	.019	-.133	1
	유의확률 (양쪽)	.626	.927	.527	
	N	25	25	25	25

\*\* 상관계수는 0.01 수준(양쪽)에서 유의합니다.

▷ 상관계수 및 유의확률 확인

① 상관계수

- 용접 전 리크 : -0.888 (음의 상관)
- 진원도 : + 0.937 (양의 상관)
- 동심도 : - 0.102 (무상관)

② 유의확률

- 용접 전 리크, 진원도는 유의하나 동심도는 유의하지 않다

모형 요약

모형	R	R 제곱	수정된 R 제곱	조정된 R 제곱	통계량 변화량				Durbin-Watson	
					R 제곱 변화량	F 변화량	df1	df2		
1	.936 <sup>a</sup>	.876	.865	.87034	.876	78.011	2	22	.000	2.443

a. 예측값: (상수), 용접전리크, 진원도

b. 종속변수: 누설량

▷ R, R제곱값

: 상관계수 0.936, 결정계수 0.865로 이 시험인자와 리크 누설량과 영향도 높다

본문

▣ 디젤엔진 배기가스의 저감에 관한 연구

1-4. 분산분석 및 회귀분석

: 실험의 정확도를 판단해 보기 위해 분산분석을 실시 하였다

분산분석 <sup>b</sup>						
모형	제곱합	자유도	평균 제곱	F	유의확률	
1	회귀 모형	.772	2	.386	78.011	.000 <sup>a</sup>
	간차	.109	22	.005		
	합계	.881	24			

▷ 분산분석 결과

: 유의확률 0.00 < 0.05 유의수준 보다 작으므로 회귀식에 의미가 있다고 할수 있겠다

모형	비표준화 계수		표준화 계수	t	유의확률	상관계수		
	B	표준오차	베타			0차	편상관	부분상관
1	(상수)	.212	.104	2.044	.053			
	진원도	7.457	1.876	3.974	.001	.904	.646	.298
	용접전리크	-.343	.106	-3.234	.004	-.888	-.568	-.242

a. 종속변수: 누설량

▷ 회귀식 모형

: 위 분석결과를 토대로 회귀식을 추정해 보면 다음과 같다

- 리크량(y) = 0.212 + (7.457 \* 진원도) + (-0.343 \* 용접 전 리크)

예) 진원도 0.02, 용접 전 리크 0.5 적용시 리크량(y)는 약 0.19kg/h 이다

각 인자별 유의확률 역시 매우 낮은편으로 회귀식에 정확도 역시 매우 높을 것으로 판단된다

본문

▣ 디젤엔진 배기가스의 저감에 관한 연구

본문

**3. 개선 방안 수립**

**3-1. 용접 전 리크량 조건 수립**

: 용접 전 리크량은 확인결과 음의 상관관계를 보이는 것을 알수 있었다. 최적 조건을 확인하기 위해 용접 전/후 리크량 변화를 0.1kg/h 단위로 나누어 실험해 보았다  
(단, 하우징 진원도는 0.02 이내의 제품만 선별하여 테스트)

반복	용접 전 리크								
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
1회	0.61	0.48	0.37	0.31	0.25	0.15	0.15	0.17	0.06
2회	0.62	0.56	0.36	0.32	0.26	0.16	0.16	0.11	0.04
3회	0.58	0.45	0.39	0.28	0.21	0.14	0.14	0.12	0.03
4회	0.51	0.55	0.34	0.26	0.28	0.12	0.19	0.17	0.02
5회	0.64	0.58	0.41	0.31	0.27	0.18	0.16	0.13	0.08

**▣ 테스트 결과**

: 용접 전 리크 조정량은 0.4~0.8kg/h 으로 관리 되고 있으며 진원도 규제가 진행될시 0.7~0.8kg/h로 변경이 필요할 것으로 판단됨

▣ 디젤엔진 배기가스의 저감에 관한 연구

본문

**3-2. 진원도 최적조건**

: 하우징 진원도는 리크량과 양의 상관 관계를 보이는 것을 알수 있었다. 최적 조건을 찾기 위해 하우징 진원도를 0.01단위로 구분하여 반복 5회 조합 테스트를 실시 해보았다  
(단, 용접 전 리크량은 0.8로 고정)

반복	진원도						
	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06
1회	0.01	0.06	0.10	0.21	0.38	0.54	0.89
2회	0.04	0.07	0.11	0.14	0.49	0.67	0.88
3회	0.02	0.04	0.10	0.21	0.47	0.63	0.94
4회	0.04	0.06	0.08	0.23	0.46	0.51	0.76
5회	0.03	0.09	0.09	0.17	0.41	0.63	0.58

**▣ 테스트 결과**

: 진원도 규격은 낮으면 낮을 수록 좋은 것으로 확인 되었다 그러나 현 선반 가공시 0.030이내 관리가 한계 인것으로 확인 되었으며 그 기준 적용 결과 0.25 이내의 리크량을 확보 할수 있을 것으로 판단됨

▣ 디젤엔진 배기가스의 저감에 관한 연구

**1. 개선사항**  
 : 리크 불량 원인 인자로 확인된 인자들의 관리 규격 변경 전/후를 비교해 보았다

1) 하우징 진원도 규격 변경  
 - 변경 전 : 0.05 이내  
 - 변경 후 : 0.03 이내

2) 용접 전 리크 조정값 변경  
 - 변경 전 : 0.4~0.5 kg/h  
 - 변경 후 : 0.7~0.8 kg/h

**2. 개선효과**  
 1) 개선 전/후 공정 능력 비교

개선전리크의 공정능력

공정능력: 0.211

최소값: 0.009

최대값: 0.745

평균: 0.211

표준편차: 0.12

개선후리크의 공정능력

공정능력: 3.87

최소값: 0.005

최대값: 0.310

평균: 0.05

표준편차: 0.06

▣ 디젤엔진 배기가스의 저감에 관한 연구

2) 개선 전/후 리크의 요약

개선전리크의 요약

공정능력: 0.211

최소값: 0.009

최대값: 0.745

평균: 0.211

표준편차: 0.12

개선후리크의 요약

공정능력: 3.87

최소값: 0.005

최대값: 0.310

평균: 0.05

표준편차: 0.06

: 리크량의 개선 전/후 데이터를 비교해본 결과 다음과 같았다

구분	공정능력	최소값	최대값	평균	표준편차	분산
개선 전	1.43	0.009	0.745	0.211	0.12	0.014
개선 후	3.87	0.005	0.310	0.05	0.06	0.003

처음 목표로 잡았던 공정능력 1.5배 향상을 달성 및 최대값, 평균, 표준편차등 모든 부분에서 개선된 사항을 확인 할 수 있었다

▣ 디젤엔진 배기가스의 저감에 관한 연구

참고문헌	<ol style="list-style-type: none"><li>1. 김용일, "배기가스 재순환 제어방식 차량용 기관의 성능해석", 경남대학교 산업대학원, 석사학위 논문, 2010</li><li>2. 임기훈 외 4인, "저압 EGR을 적용한 디젤엔진의 희석비에 따른 연소 특성 비교", 대한기계학회논문집 B권 제 35권 5호, PP.525-531, 2011</li><li>3. 장세호, "EGR 시스템이 직접 분사식 디젤 엔진의 배기 배출물에 미치는 영향에 관한 연구", 한국동력기계공학회, 2004춘계학술대회논문집, PP223-228, 2004</li><li>4. 조규백외 2인, "비 도로 차량용 디젤엔진의 배기가스 저감에 관한 연구", 대한기계학회논문집 B권, 제 35권 6호, PP577-584, 2011</li></ol>
------	--