

배기가스 재순환장치 효율 증대 방안

김광수* · 정순석* · 허윤복*

*한국교통대학교 산업경영공학과

The Plan to Increase Efficiency of Exhaust Gas Recirculation System

Kwang Soo Kim* · Soon Suk Chung* · Yun bok Heo*

*Dept. of Industrial and Management Engineering, 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 : Exhaust Gas Recirculation(EGR)

1. 서론

최근 들어 지구의 환경오염은 심각한 사회문제로 대두되고 있으며, 대기오염 및 지구 온난화와 관련하여 자동차에서 발생하는 배기가스가 주범으로 인식되면서, 유럽, 미국, 일본 등 주요 선진국을 중심으로 자동차 배기가스에 대한 규제가 강화되는 추세이며 현재는 지구의 환경오염을 줄이는 추세에 따라 유해 배출물을 저감시키기 위한 연구에 많은 관심이 집중 된다[3].

미국에서 1975년 처음으로 경유를 사용한 승용 및 소형트럭 디젤자동차에 대해 CO, HC, NOx를 규제하고 그 후 1982년부터 입자상 물질의 규제를 시작한 이래 1999년 5월에는 NOx에 대한 규제를 대폭 강화하였다[1].

최근에는 자동차 생산될 당시의 신차에 대한 배기가스 뿐 아니라 출고 후에도 계속해서 배기가스 규제를 만족시켜야 하는 배기가스 보증제도도 추가로 요구하고 있다[2].

미국은 배기가스 보증 제도를 가장 먼저 실시 하였으며, 실제 주행조건과 가까운 주행 모드로 시험하고 있다. 유럽의 경우에는 온실효과에 더욱 민감하여 이산화탄소에 대한 규제를 일찍 강화하였고 미국과 비슷한 시기에 배기가스 보증제도를 도입하였다. 미국과 유럽 모두 가솔린연료의 황 함유량, 디젤연료의 세탄가 등 청정연료에 대한 규제도 시행 중이다. 일본은 미국이나 유럽보다 늦게 규제하기 시작하였지만 일본 자체의 주행모드를 개발하여 배기가스를 규제하고 있다[4].

† Corresponding Author: Kwang-Soo Kim, Korea National University of Transportation, Geomdan-ri, Daesowon-myeon, Chungju-si, Chungcheongbuk-do, Korea Dept. of Industrial and Management Engineering M.P : 010-6433-0729, E-mail : kskim@ut.ac.kr

Received July 8, 2014; Revision Received September 16, 2014; Accepted September 24, 2014.

가솔린 자동차 보다 상대적으로 이산화탄소 발생량이 적은 디젤자동차의 보급률이 증가하고 디젤 엔진의 선호도가 큰 유럽에서는 Euro5 2008년에는 NOx 규제치를 3.5g/kwh에서 2.0g/kwh로 강화하였다.

우리나라에서는 디젤승용차의 경우 1980년부터 매년만 처음으로 규제하였고 1993년부터는 입자상 물질에 대한 규제를 시작하였다. 또한 소형 화물차 및 디젤 대형차의 경우 1996년부터 농도 규제에서 중량 규제로 바뀌면서 규제치를 대폭 강화 시켰다 일본과 같은 시기에 배기가스 규제하였지만 아직 자체 시험모드는 개발되지 않았으며, 미국, 유럽, 일본의 주행모드를 도입하여 배기가스를 규제하고 있다[3].

자동차에 의한 공해문제 해결의 본질은 저공해 기술의 개발과 보급이며, 이러한 기술은 자동차 산업의 선진화를 판단하는 중요한 척도이다. 이를 위해서는 정책적으로 기술보급 및 활용 측면에서 자동차의 환경영향과 더불어 자동차 저공해 기술의 이해와 예측을 기반으로 한 기술개발 동향의 분석 및 방향에 대한 고찰이 요구된다.

배기가스 저감방법은 크게 엔진 자체의 성능개선을 위한 방법과 연료 및 오일의 개량, 배기 후 처리 방법으로 나눌 수 있다. 엔진 자체의 성능개선을 위한 방법으로는 흡기 및 배기장치의 개선, 연소계, 연료분사계 개선과 엔진의 전자제어화, 연소실의 개량, 배기가스 재순환장치 채택 등이 있다. 그리고 후처리 방법으로는 필터, 플라즈마, 환원촉매 방식 등이 있다[4].

디젤기관의 경우, 고압분사 연료 시스템, 디젤산화촉매장치, 매연여과장치 등이 있으나 이는 CO, HC, PM 저감에 효과를 보이고 있다. NOx를 저감시키기 위한 기술로는 배기가스 재순환 방법이 매우 효과적이다.

이 연구에서는 유럽 및 미국의 강화된 배기가스 규제에 맞춰 배기가스 재순환 장치의 효율 증대를 목표로 잡고 실험을 실시하였다.

AHP분석법을 이용하여 배기가스 재순환 장치 성능에 영향을 미치는 주요 인자가 시트리크와 위치 감지 센서편차 라는 것을 확인 할 수 있었다. 개선 목표를 세우기 위해 월별 공정능력을 분석하여 가장 높은 월의 공정능력을 목표로 개선을 실시하였다[5][6].

2. AHP를 활용한 개선인자 도출

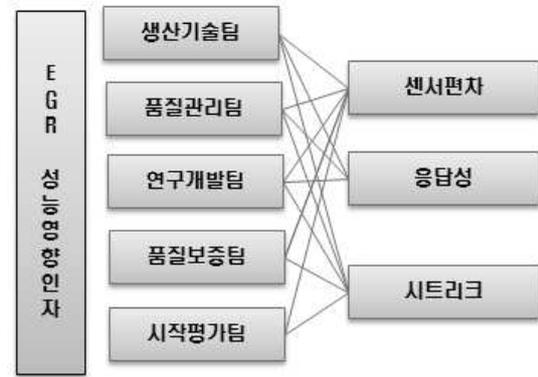
EGR 효율 증대를 위한 개선인자 도출을 각 팀 CFT 인원들에게 설문 조사를 해본 결과 각기 생각하는 인자가 틀리기 때문에 합리 적인 의사결정을 위해 AHP 기법을 단계별로 다음과 같이 실시한다.

단계1) EGR 효율 증대를 위한 개선인자 도출을 위한 브레인 스토밍법 실시

생산기술팀, 품질관리팀, 연구개발팀, 품질보증팀, 시작평가팀 EGR 담당자들 회의를 소집하여 EGR효율 증대를 위한 개선인자 도출이라는 주제를 가지고 브레인 스토밍법을 실시하여 인자를 나열해 본결과 EGR 센서편차, 응답성, 시트리크, 유지전류, 조립부치수, 복원력 등 다양한 의견이 나왔다. 그 중 그동안 발생된 문제점 분석결과를 토대로 EGR 센서편차, 응답성, 시트리크를 개선 후보로 선정하였다.

단계2) 계층구조화 실시

제1계층을 EGR 효율 증대로 제2계층을 생산기술팀, 품질관리팀, 연구개발팀, 품질보증팀, 시작평가팀으로 제3계층을 센서편차, 응답성, 시트리크로 정하여 계층구조를 해본결과 <Table 1>와 같았다.



[Figure 1] EGR factors affecting the performance hierarchy

계층화 구조도를 기준으로 설문지를 작성하여 생산기술팀, 품질관리팀, 연구개발팀, 품질보증팀, 시작평가팀 담당자 에게 중요성 선정 설문을 실시한 결과 다음과 같았다.

<Table 1> Departmental survey form

부서명: 연구개발팀						부서명: 품질관리팀														
평가지표	중요도					평가지표	중요도					평가지표								
센서편차	9	7	5	3	1	3	5	7	9	센서편차	9	7	5	3	1	3	5	7	9	센서편차
센서편차	9	7	5	3	1	3	5	7	9	시트리크	9	7	5	3	1	3	5	7	9	시트리크
센서편차	9	7	5	3	1	3	5	7	9	응답성	9	7	5	3	1	3	5	7	9	응답성
시트리크	9	7	5	3	1	3	5	7	9	센서편차	9	7	5	3	1	3	5	7	9	센서편차
시트리크	9	7	5	3	1	3	5	7	9	시트리크	9	7	5	3	1	3	5	7	9	시트리크
시트리크	9	7	5	3	1	3	5	7	9	응답성	9	7	5	3	1	3	5	7	9	응답성
응답성	9	7	5	3	1	3	5	7	9	센서편차	9	7	5	3	1	3	5	7	9	센서편차
응답성	9	7	5	3	1	3	5	7	9	시트리크	9	7	5	3	1	3	5	7	9	시트리크
응답성	9	7	5	3	1	3	5	7	9	응답성	9	7	5	3	1	3	5	7	9	응답성

부서명 : 연구개발팀							부서명 : 품질관리팀													
평가치표	중요도						평가치표	평가치표	중요도						평가치표					
센서편차	9	7	5	3	1	3	5	7	9	센서편차	9	7	5	3	1	3	5	7	9	센서편차
센서편차	9	7	5	3	1	3	5	7	9	시트리크	9	7	5	3	1	3	5	7	9	시트리크
센서편차	9	7	5	3	1	3	5	7	9	응답성	9	7	5	3	1	3	5	7	9	응답성
시트리크	9	7	5	3	1	3	5	7	9	센서편차	9	7	5	3	1	3	5	7	9	센서편차
시트리크	9	7	5	3	1	3	5	7	9	시트리크	9	7	5	3	1	3	5	7	9	시트리크
시트리크	9	7	5	3	1	3	5	7	9	응답성	9	7	5	3	1	3	5	7	9	응답성
응답성	9	7	5	3	1	3	5	7	9	센서편차	9	7	5	3	1	3	5	7	9	센서편차
응답성	9	7	5	3	1	3	5	7	9	시트리크	9	7	5	3	1	3	5	7	9	시트리크
응답성	9	7	5	3	1	3	5	7	9	응답성	9	7	5	3	1	3	5	7	9	응답성

<Table 2> Departmental survey results

부서명 : 생산기술팀				부서명 : 시작평가팀			
구분	센서편차	시트리크	응답성	구분	센서편차	시트리크	응답성
센서편차	1	1/3	1/5	센서편차	1	1	3
시트리크	3	1	1/3	시트리크	1	1	5
응답성	5	3	1	응답성	1/3	1/5	1

부서명 : 연구개발팀				부서명 : 품질관리팀			
구분	센서편차	시트리크	응답성	구분	센서편차	시트리크	응답성
센서편차	1	1	3	센서편차	1	1	5
시트리크	1	1	3	시트리크	1	1	3
응답성	1/3	1/3	1	응답성	1/5	1/3	1

단계3) 가중치, 일관성 검증

설문 조사 결과를 토대로 가중치 및 일관성 검증을 실시해 본 결과 일관성 검증은 모두 10% 이내로 양호한 결과를 얻을 수 있었다.

<Table 3> Consistency ratio and weight measurement

부서명	센서편차	시트리크	응답성	가중치	일관성 비율
생산기술팀	0.1111	0.0769	0.1304	0.1062	0.033
	0.3333	0.2308	0.2174	0.2605	
	0.5556	0.6923	0.6522	0.6333	
품질관리팀	0.4545	0.4286	0.5556	0.4796	0.025
	0.4545	0.4286	0.3333	0.4055	
	0.0909	0.1429	0.1111	0.1150	
연구개발팀	0.4286	0.4286	0.4286	0.4286	0.000
	0.4286	0.4286	0.4286	0.4286	
	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429	
품질보증팀	0.2308	0.2174	0.3333	0.2114	0.033
	0.6923	0.6522	0.5556	0.6864	
	0.0769	0.1304	0.1111	0.1022	
시작평가팀	0.4286	0.4545	0.3333	0.4055	0.025
	0.4286	0.4545	0.5556	0.4796	
	0.1429	0.0909	0.1111	0.1150	

생산기술팀 가중치 1순위 응답성, 일관성 비율 3.3% 설문결과 양호

품질관리팀 가중치 1순위 센서편차, 일관성 비율

2.5% 설문결과 양호

연구개발팀 가중치 1순위 센서편차, 시트리크, 일관성 비율 0.0% 설문결과 양호

품질보증팀 가중치 1순위 시트리크, 일관성 비율 3.3% 설문 조사 결과 양호

시작평가팀 가중치 1순위 시트리크, 일관성 비율 2.5% 다음으로 부서별 가중치를 정하기 위해 쌍대 비교를 실시해 보았다.

단, 부서별 가중치는 회사 근속년수 및 EGR 담당년수 분석능력 등을 등급으로 나누어 실시하였다.

<Table 4> Pairwise comparison matrix

▶ 쌍비교 행렬					
구분	생산기술팀	품질관리팀	연구개발팀	품질보증팀	시작평가팀
생산기술팀	1	1	3	1/5	1/5
품질관리팀	1	1	3	1/7	1/7
연구개발팀	1/3	1/3	1	1/7	1/7
품질보증팀	5	7	7	1	1
시작평가팀	5	7	7	1	1

<Table 5> Pairwise comparison matrix weight and consistency ratio analysis

▶ 쌍비교 행렬						
생산기술팀	품질관리팀	연구개발팀	품질보증팀	시작평가팀	가중치	일관성비율
0.0811	0.0612	0.1429	0.0805	0.0805	0.0892	0.035
0.0811	0.0612	0.1429	0.0575	0.0575	0.0800	
0.0270	0.0204	0.0476	0.0575	0.0575	0.0420	
0.4054	0.4286	0.3333	0.4023	0.4023	0.3944	
0.4054	0.4286	0.3333	0.4023	0.4023	0.3944	

쌍비교 행렬 측정결과 일관성 비율 3.5%로 분석결과가 양호한 것으로 확인되었다.

단계4) 복합 우선순위 선정

쌍비교 행렬 가중치를 기준으로 복합 우선순위를 선정해 본 결과 시트리크, 센서편차가 영향이 큰 것으로 판단되어 개선인자로 선정하였다.

<Table 6> Composite priorities

▶ 복합우선 순위						
기준	생산기술팀	품질관리팀	연구개발팀	품질보증팀	시작평가팀	종합
	0.0892	0.0800	0.0420	0.3944	0.3944	
센서편차	0.1062	0.4796	0.4286	0.2605	0.4055	0.3285
시트리크	0.2605	0.4055	0.4286	0.6333	0.4796	0.5126
응답성	0.6333	0.1150	0.1429	0.1062	0.1150	0.1589

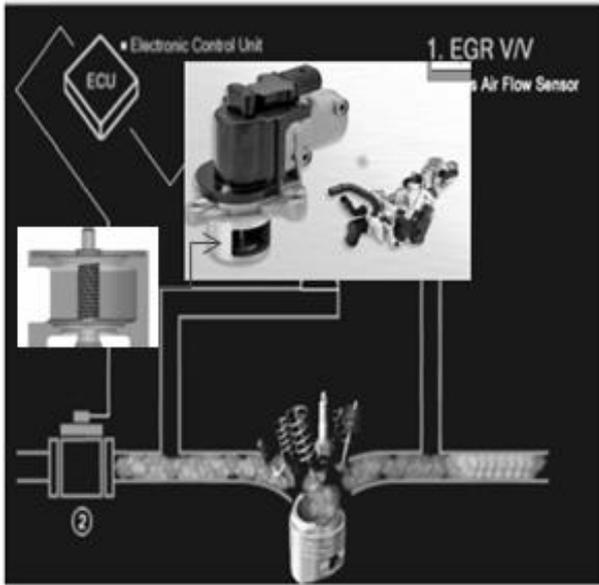
복합우선 순위 확인 결과 시트리크, 센서편차, 응답성 순으로 영향을 많이 끼칠 것으로 판단되었으며 이번 연구에서는 센서편차, 시트리크를 개선인자로 선정하였다.

3. EGR 성능개선

3.1 시트리크 개선

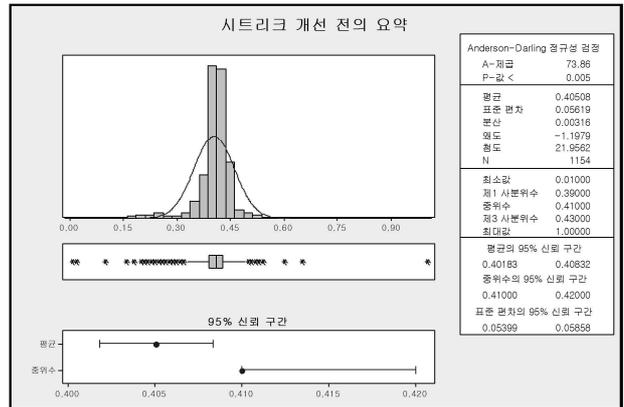
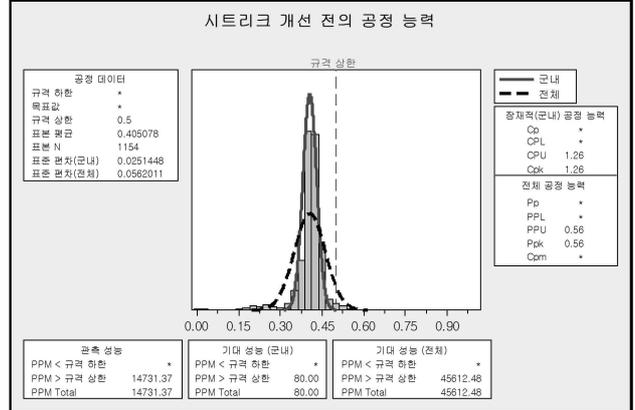
AHP 기법을 이용해 결정된 EGR 성능개선 인자 시트리크에 대해 개선을 실시하였다.

시트리크란 배기가스 재순환 장치가 닫힘 상태에서 배기가스가 엔진으로 재유입 되는 양을 말하며 위 문제가 발생 할 시 엔진 노킹 현상, 시동 꺼짐 등의 문제를 유발 할 수 있으며 엔진 사용량에 따라 카본이 축적되어 점점 증가되는 경향이 있다.



[Figure 2] Definition of EGR seat leakage

시트리크의 현재 관리치는 0.5kg/h at 600mbar로 20일간 100EA 측정데이터를 분석해본 결과 공정능력이 1.25 으로 안정적이었으나 고객 요청 관리치인 1.67에는 다소 부족한 상태였다.

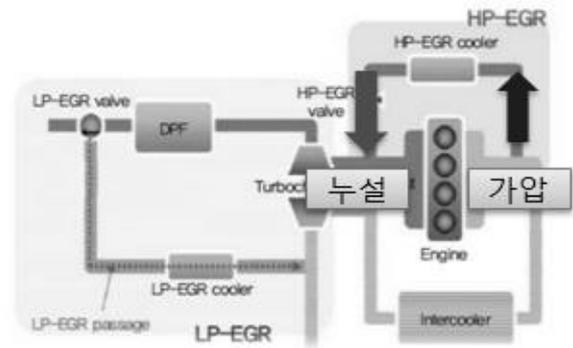


[Figure 3] Process capability of seat leakage, summary graph

최근 1년간 최대 공정능력, 표준편차를 개선목표로 선정
→ 개선목표 : 공정능력 2.0 이상, 표준편차 0.03이내

3.1.1 시트리크 영향인자의 측정

시트리크 값에 영향을 미치는 인자를 파악하기 위해 EGR 시트리크 값을 반복 측정 하여 리크 량 상, 하한 그룹을 각 5EA 선별 후 분해(T/Down) 을 실시하였다. 각 단품을 비교측정 한 결과 다음과 같았다.



[Figure 4] EGR seat leakage measurement method

<Table 7> Compare measurement results #1

항목	SPEC	하단 그룹					상단 그룹				
		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
저항	2.5=0.2	2.54	2.54	2.51	2.50	2.51	2.48	2.51	2.54	2.50	2.51
저항	5.2=0.2	5.21	5.22	5.23	5.21	5.21	5.24	5.23	5.21	5.20	5.23
Stem C값	1.0=0.1mm	0.98	1.01	0.99	1.01	1.02	0.99	0.96	1.02	1.01	1.01
Spring Force	20=5 N	20.8	19.7	18.8	19.6	18.6	19.5	18.9	18.7	19.5	19.4
Stem 돌출 높이	10=0.1mm	10.05	10.06	10.03	10.08	10.06	10.01	10.05	10.03	10.04	10.03
용접 전 리크	-	0.64	0.59	0.54	0.63	0.59	0.43	0.94	0.42	0.79	0.55
Spring Force	10=4 N	11.8	10.7	11.4	11.3	11.6	11.4	11.5	11.4	11.3	11.2

<Table 8> Compare measurement results #2

항목	SPEC	하단 그룹					상단 그룹				
		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
코어 높이	12	12.04	12.03	12.01	11.99	12.01	11.98	12.03	12.04	12.01	12
코어大	10	10.01	10.03	10.04	10.02	10.01	10.03	10.04	10.01	10.01	10.01
코어小	6	5.97	5.96	5.98	5.94	5.96	5.98	5.97	5.98	5.98	5.96
코어 내경	16	16.005	16.004	16.003	16.004	16.003	16.004	16.002	16.004	16.001	16.003
전장	48.5	48.47	48.48	48.46	48.42	48.49	48.45	48.46	48.43	48.42	48.4
태핏 높이	14.2	14.21	14.21	14.22	14.23	14.21	14.2	14.2	14.21	14.22	14.21
용접 깊이	5.3	5.29	5.28	5.31	5.3	5.31	5.3	5.31	5.3	5.29	5.28
진원도	0.05	0.01	0.01	0.02	0.01	0	0.03	0.03	0.04	0.02	0.05
동심도	0.1	0.01	0.02	0.04	0.01	0.03	0.12	0.09	0.08	0.08	0.1
전장 길이	65	65.1	65.11	65.08	65.07	65.09	65.04	65.08	65.07	65.03	65.07

3.1.2 시트릭 상관계수 분석

측정을 통해 찾은 시트릭 추정인자 소켓의 진원도, 소켓의 동심도, 레이저 용접 전 리크 값을 독립변수로 시트릭을 종속변수로 선정하여 상관 분석을 실시한 결과 레이저 용접 전 리크량은 강한 양의 상관관계(+0.937)를 소켓의 진원도는 강한 음의 상관관계(-0.888)를 나타내는 것을 확인 하였고 소켓의 동심도는 무상관 관계임을 알 수 있었다.

항목	상관계수	상관관계	유의확률
 용접 전 리크	-0.888	음의 상관	0.00
 소켓 진원도	0.937	양의 상관	0.00
 소켓 동심도	-0.102	무상관	0.625

		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

[Figure 5] Correlation analysis and significance probability

상관분석 결과 소켓의 동심도는 시트 리크와 영향성이 작은 것으로 판단되어 영향인자 제외 후 레이저 용접 전 리크와 소켓 진원도를 기준으로 회귀 분석을 실시한 결과 결정계수, 유의 수준 수준인 회귀식을 구할 수 있었다.

$$y = 0.212(7.457 \times \text{진원도}) + (0.343 \times \text{용접전리크}) \quad (1)$$

<Table 9> Regression analysis of the coefficient of determination

모형	R	R 제곱	수정된 R 제곱	추정값의 표준오차
1	.936 ^a	.876	.865	.07034

통계량 변화량				Durbin-Watson
F 변화량	df1	df2	유의확률 F 변화량	
78.011	2	22	.000	2.443

<Table 10> Regression analysis, regression estimation results

모형		비표준화 계수		표준화 계수
		B	표준오차	베타
1	(상수)	.212	.104	
	진원도	7.457	1.876	.539
	용접전리크	-.343	.106	-.439

t	유의확률	상관계수		
		0차	편상관	부분상관
2.044	.053			
3.974	.001	.904	.646	.298
-3.234	.004	-.888	-.568	-.242

3.1.3 시트릭 개선 방안 수립

시트릭 최소화를 위해 용접 전 리크량, 소켓 진원도의 조건을 잡기 위해 다음과 같이 실험을 실시하였다. 용접 전 리크량 A, 소켓 진원도 B
A1(0.1), A2 (0.3), A3(0.5), A4(0.7), A5(0.9)
B1(0.01), B2(0.02), B3(0.03), B4(0.04), B5(0.05)

각 5개의 군으로 나눈 후 5회 반복 실험 후 확인결과 99% 유의수준을 만족하는 최적 조건은 A5, B3인 것을 확인 하였다.

※ 측정데이터는 반복측정 후 평균값으로 기입함

<Table 11> Improved experimental design of seat leakage

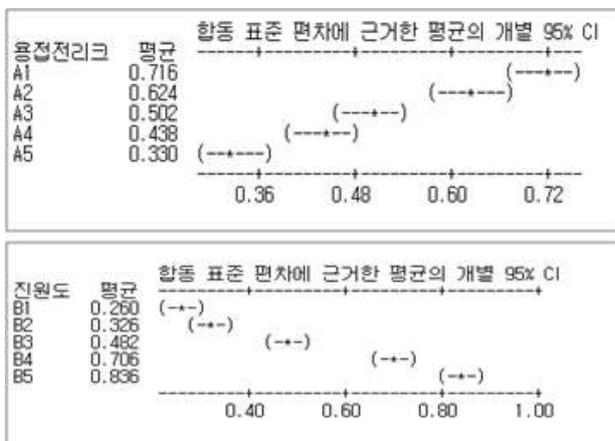
구분	A1	A2	A3	A4	A5
B1	0.49	0.41	0.23	0.14	0.03
B2	0.53	0.41	0.38	0.20	0.11
B3	0.69	0.56	0.45	0.41	0.30
B4	0.89	0.78	0.61	0.69	0.56
B5	0.98	0.96	0.84	0.75	0.65

<Table 12> Analysis of variance results

이원 분산 분석: 시트릭 대 용접전리크, 진원도	DF	SS	MS	F	P
용접전리크	4	0.46180	0.115450	56.25	0.000
진원도	4	1.20556	0.301390	146.84	0.000
총계	24	1.70020			

S = 0.04530 R-제곱 = 98.07% R-제곱(수정) = 97.10%

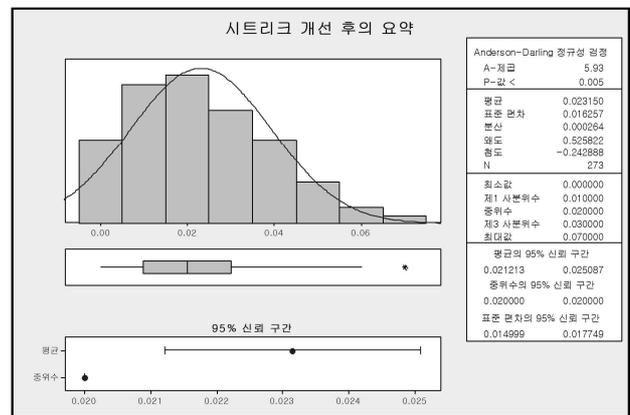
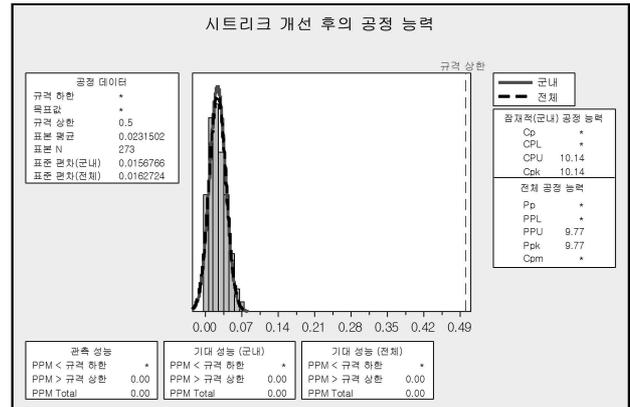
<Table 13> Weld leak, the optimum conditions



소켓 진원도의 경우 B1수준이 가장 좋은 것으로 확인되었으나 양산성이 떨어져 B3수준으로 설정함.

3.1.4 시트릭 개선 효과 분석

최적 조건으로 선정된 소켓의 진원도 0.03이내, 용접 전 리크량 0.9kg/h로 생산 후 시트릭 개선효과를 파악해 보았다 그 결과 개선 전 공정능력 1.25, 표준편차 0.05이상 에서 개선 후 공정능력 10.14, 표준편차 0.016으로 공정이 월등히 높아지는 것을 확인 할 수 있었다.



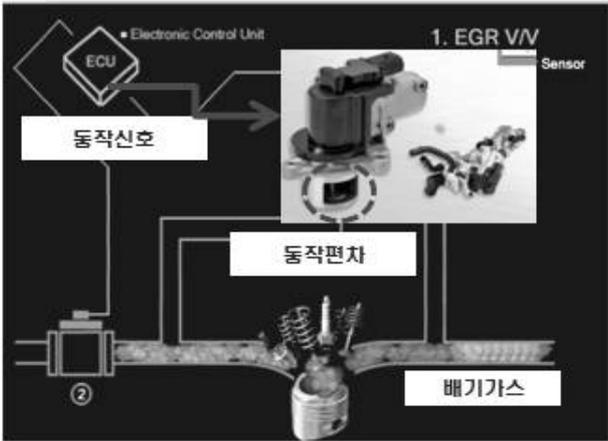
[Figure 6] Improve the process capability, graphical summary

3.2 센서편차의 개선

AHP 기법을 이용해 결정된 EGR 성능개선 인자 센서편차에 대해 개선을 실시하였다.

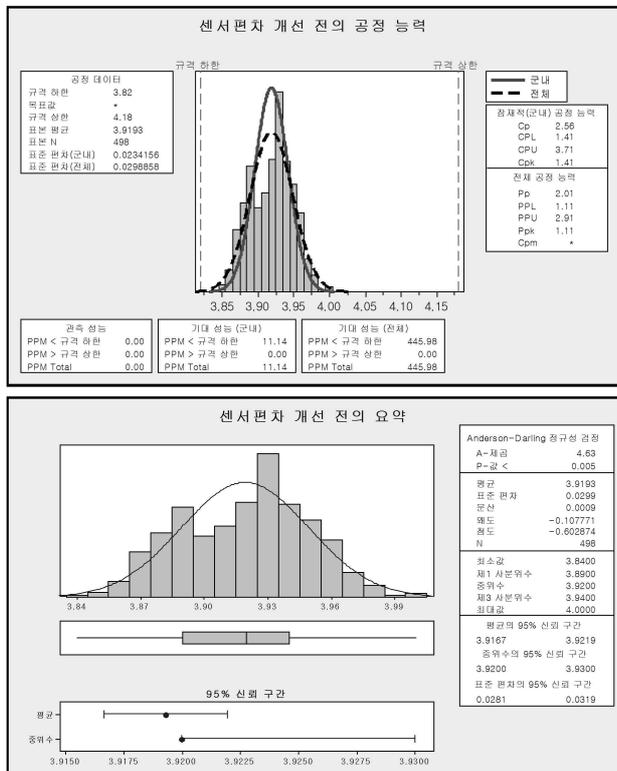
센서편차란 ECU에서 일정한 조건에 만족하게 되면 EGR을 동작시키기 위해 Duty 신호를 보내게 된다. 그때 받은 신호 값 만큼 EGR이 동작하게 되고 그것을 피드백해주기 위해 센서 값을 읽어 들인다. 이때 나오는 편차를 센서편차라고 부른다.

센서편차가 일정양 이상으로 커질시 자동차 엔진 경고등 점등 및 엔진 회전수 제한 등의 문제로 이어진다.



[Figure 7] Definition of EGR sensor range

센서편차를 현재 관리치는 $\pm 0.25\text{Volt}$ 로 20일간 25EA 측정데이터를 분석해 본 결과 공정능력이 1.41, 표준편차 0.03으로 안정적이었으나 고객 요청 관리치인 1.67에는 다소 부족한 상태였다.



[Figure 8] Deviation of the sensor capability, graphical summary

개선 목표 설정을 위해 1년간 공정능력을 분석해 본 결과 월간 최대 공정능력이 1.9로 확인되어 다음과 같은 개선 목표를 설정 하였다.

→ 개선목표 : 공정능력 2.0 이상, 표준편차 0.01이내

3.2.1 센서편차 영향인자의 측정

센서편차에 영향을 미치는 인자를 파악하기 위해 EGR 센서편차 값을 반복 측정 하여 편차량의 상, 하한 그룹을 각 5EA 선별 후 분해(T/Down)을 실시하였다. 각 단품을 비교 측정한 결과 다음과 같았다.

<Table 14> Sensor separately measured deviation

영역	SPEC	하한 그룹					상한 그룹				
		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
플러저 높이	6.1=0.15	6.18	6.14	6.17	6.16	6.14	6.13	6.15	6.17	6.16	6.14
저항	7.8=0.5	7.68	7.69	7.59	7.69	7.65	7.66	7.64	7.69	7.7	7.71
Spring Force	-	26.5	26.4	26.7	25.8	25.9	25.4	23.6	23.4	23.9	24.8
전장 길이	62.1=0.15	62.2	62.2	62.2	62.2	62.2	62.2	62.2	62.2	62.1	62.1
Spring (5mm)	-	18.8	18.4	18.6	19.1	18.3	18.2	18.4	18.6	18.4	18.7
Stem 높이	0.3=0.1	0.28	0.26	0.24	0.25	0.26	0.17	0.14	0.12	0.17	0.16
Socket 두께	2.5=0.1	2.51	2.54	2.56	2.48	2.51	2.54	2.53	2.51	2.54	2.52

3.2.2 센서편차 상관회귀 분석

측정을 통해 찾은 센서 편차 추정인자 스프링 포스와 스템 높이를 독립변수로 센서 편차를 종속변수로 선정하여 상관 분석을 실시 한 결과 스프링 포스는 강한 음의 상관관계(-0.946) 스템 높이는 강한 양의 상관관계를 보였다(0.732).

영역	상관계수	상관관계	유의확률
자력의 힘	-0.946	음의 상관	0.00
스템 높이	0.732	양의 상관	0.00

	force	센서값	stem길이
force	Pearson 상관계수	1	.732**
	유의확률 (양측)	.000	.000
	N	20	20
센서값	Pearson 상관계수	-.946**	1
	유의확률 (양측)	.000	.000
	N	20	20
stem길이	Pearson 상관계수	.732**	-.715**
	유의확률 (양측)	.000	.000
	N	20	20

[Figure 9] Correlation analysis and significance level analysis

스프링 포스와 스템 길이를 이용 회귀 분석을 실시한 결과 상관계수 0.947, 유의수준 0.00, 결정계수 0.885, 추정 값의 표준오차 0.2249의 결과를 얻을 수 있었고 회귀식은 다음과 같았다.

$$y(\text{센서편차}) = 0.6211 + (-0.081 \times \text{스프링포스}) + (-0.071 \times \text{스템의높이}) \quad (2)$$

<Table 15> Correlation coefficient, coefficient of determination analysis

통계량 변화량			
F 변화량	df1	df2	유의확률 F 변화량
73.806	2	17	.000

R	R 제공	수정된 R 제공	추정값의 표준오차
.947 ^a	.897	.885	.02249

모형	비표준화 계수	표준화 계수		
		B	표준오차	베타
1	(상수)	6.211	.229	
	force	-.081	.010	-.912
	stem길이	-.071	.171	-.047

<Table 16> Regression estimation and significance level

모형	제공합	자유도	평균 제공	F	유의확률	
1	회귀 모형	.075	2	.037	73.806	.000 ^a
	잔차	.009	17	.001		
	합계	.083	19			

3.2.3 센서편차 개선 방안 수립

센서 편차 최소화를 위해 스프링 포스와 스템길이의 최적조건을 잡기 위해 다음과 같이 실험을 실시하였다.

스프링 포스 A, 스템 높이 B

A1(26N), A2(25N), A3(24N), A4(23N), A5(22N)

B1(0.3), B2(0.25), B3(0.20), B4(0.15), B5(0.10)

각 5개로 나눈 후 5회 반복 실험을 실시한 결과 99% 신뢰수준을 만족하는 양산 조건은 A2, B2인 것을 확인하였다.

※ 측정데이터는 반복측정 후 평균값으로 기입함

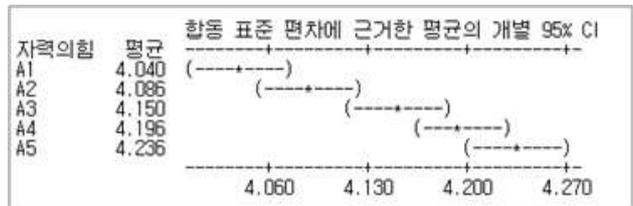
<Table 17> Sensor range and improved experimental design

구분	A1	A2	A3	A4	A5
B1	3.92	3.96	4.06	4.15	4.21
B2	3.96	4.03	4.12	4.15	4.23
B3	4.04	4.10	4.16	4.21	4.23
B4	4.11	4.14	4.18	4.22	4.25
B5	4.17	4.20	4.23	4.25	4.28

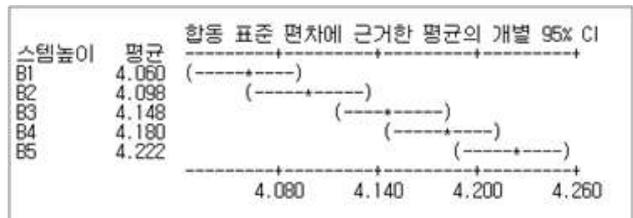
<Table 18> Analysis of variance results

이원 분산 분석: 센서값 대 자력의힘, 스템높이					
출처	DF	SS	MS	F	P
자력의힘	4	0.126776	0.031694	24.31	0.000
스템높이	4	0.082696	0.020674	15.85	0.000
오차	16	0.020864	0.001304		
총계	24	0.230336			

<Table 19> Confidence interval of the optimum magnetic force

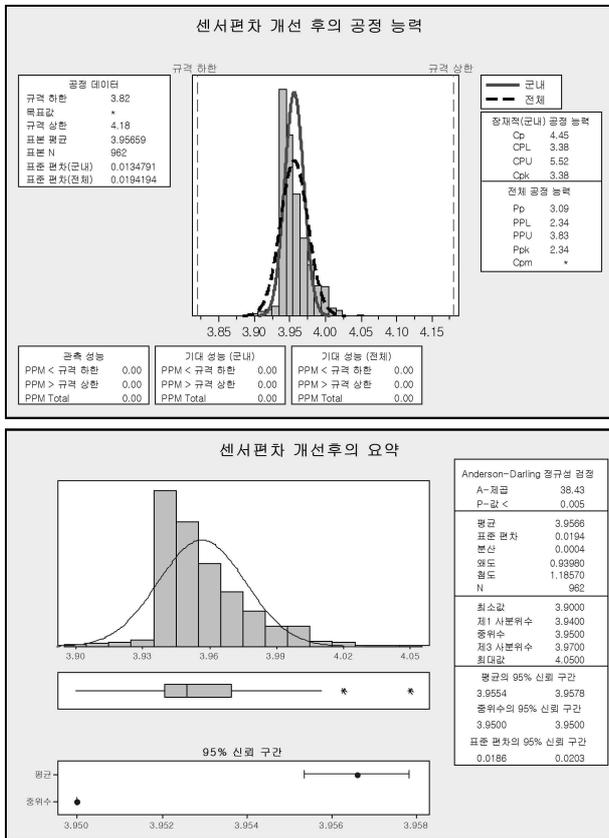


<Table 20> Confidence interval of optimum stem height



3.2.4 센서편차 개선 효과 분석

최적 조건으로 선정된 스프링 포스 25N, 스템높이 0.25mm로 생산 후 센서편차 개선 효과를 파악해 보았다. 그 결과 개선 전 공정능력 1.41에서 개선 후 공정능력 3.38으로 월등히 높아지는 것을 확인 할 수 있었다.



[Figure 10] Improve the process capability after sensor deviation

4. 결론

4.1 결론

이번 연구는 유럽 및 미국의 강화된 배기가스 규제에 맞춰 배기가스 재순환 장치의 효율 증대를 목표로 잡고 실험을 실시하였다.

AHP분석법을 이용하여 배기가스 재순환 장치 성능에 영향을 미치는 주요 인자가 시트리크와 위치 감지 센서편차 라는 것을 확인 할 수 있었다. 개선 목표를 세우기 위해 월별 공정능력을 분석하여 가장 높은 월의 공정능력을 목표로 개선을 실시하였다.

시트리크, 위치 감지센서 편차에 추정원인을 찾기 위해 상/하한 그룹의 제품을 T/Down 하여 각 단품을 추정 편차 발생품에 대해 상관 회귀분석을 실시하였고 2원 실험계획법을 이용 분산분석 및 최적조건을 찾을 수 있었다.

최적 조건을 관리계획서에 추가하여 배기가스 재순환장치를 생산하여 시트리크, 위치감지센서 편차에 대한 공정능력을 분석한 결과 초기 목표했던 공정능력치보다 월등히 높은 값을 얻을 수 있었다.

개선품 적용 후 출고된 차량 5만대에 대한 EGR 오작동을 및 고객 불만 접수사항이 약 84% 감소하는 효과를 확인 할 수 있었다.

4.2 연구 한계

이번 연구를 통해 배기가스 재순환 장치의 성능에 대해서는 만족한 결과를 얻을 수 있었다. 하지만 실제 EGR 효율 증대와 차량의 배기가스 저감량에 상관관계에 대해 분석이 미흡한 아쉬움이 남았다.

차기 연구를 통해 배기가스 재순환 장치의 성능향상과 배기가스 저감량에 대한 비교를 실시하도록 하겠다.

5. References

- [1] Yongil Kim, Performance Analysis in Vehicle Engine with EGR controller, Kyungnam Univer. Graduate School of Industry, master thesis, 2010.
- [2] Gihun Lim, Junhyuk, Young Choi, Sunyoun Lee, Youngmin Kim, Comparison of Combustion Characteristic according to the Dilution Ratio in Diesel Engine equipped with LP EGR, J of KSME Vol 35-5, 2011.
- [3] Seho Jang, The Effect of EGR on Exhaust Emissions in a Direct injection Diesel Engine, Korea Power Machinery Engineering Vol.8, No1, 2004.
- [4] Gyuback Cho, Hong Suk Kim, A Study of the Reduction of Diesel Emissions of Off-Road Vehicles, J of KSME, Vol 35-6, 2011.
- [5] Sanghyuk Seo, Study on the Location Selection on the Specialty Store of Cosmetics using AHP, Hanbat Univer. Graduate School of Industry, master thesis, 2011.
- [6] Satty. T. L., Highlights and Critical Points on the Theory and Application of the Analytic hierarchy Process. European J. of Operational Research Vol. 74, 1994.

저 자 소 개

정 순 석



인하대학교에서 이학사, 이학석사, 이학박사 학위를 취득하였고, 현재 한국교통대학교 공과대학 산업경영공학과 교수, Queslad Univ. of Technology Visiting Scholar, 대한안전경영과학회 이사, 한국공학교육인증원(사) 평가위원, 관심분야는 경영과학 및

AHP를 이용한 의사결정.

주소 : 충북 충주시 대학로 50 한국교통대학교 산업경영공학과

김 광 수

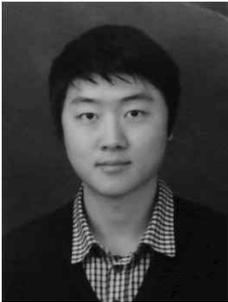


국립한국교통대학교 산업경영공학과에서 근무하고 있으며, 동국대학교 산업공학과에서 학사, 석사, 박사를 취득하였다. 한국표준협회 지도실에서 전문위원으로 근무하였다. 현재 대한안전경영과학회 이사와 한국품질경영과학회 충북지회 부회장을 맡고 있으며, 주요관심분야는 품질경영, 가치공학 등 이다.

주소 : 충북 충주시 대학로 50 한국교통대학교 산업경영공학과

주소 : 충북 충주시 대학로 50 한국교통대학교 산업경영공학과

허 윤 복



국립한국교통대학교에서 공학석사 학위를 취득하였고, 현재 Kamtec 품질관리팀에서 근무하고 있다.

주소 : 충북 충주시 대학로 50 한국교통대학교 산업경영공학과