

운행 휘발유 자동차의 배출가스 검사 부적합 원인 분석 및 대책연구

남상호, 김성호, 김기홍
서정대학교 스마트모빌리티과

sangho7861@naver.com, 8902ksh@daum.net, khkim@seojeong.ac.kr

Analysis of causes of non-conformity and study on countermeasures in exhaust gas emission inspection from gasoline-powered vehicles

Nam Sang Ho, Kim Seong Ho, Kim KiHong
Department of Smart Mobility, Seojeong University

본 연구는 실제 운행 중인 휘발유 자동차를 대상으로 배출가스 검사를 실시하고, 그 결과를 분석하여 항목별 부적합 요인을 규명하고 실무적 개선대책을 제시하는 것을 목적으로 한다. 기존의 시험실 기반 연구와 달리, 실제 자동차 검사 주행 조건에서 수집한 실측 데이터를 활용하여 현장 여건을 반영한 배출 특성 및 부적합 원인을 실증적으로 규명하였다. CO·HC·NOx·공기과잉률(λ) 등 주요 항목의 부적합은 산소센서 불량, 촉매변환기 효율 저하, 배기파이프 크랙·누설 등 후처리시스템의 성능 저하 및 기계적 결함에 기인하는 것으로 확인되었다. 이를 토대로 검사소·정비업체·수검자가 활용할 수 있는 항목별 부적합 원인을 찾았고 검사 전 도로주행(warm-up) 실시 및 주요 부품 사전점검 등 배출가스 적합률 제고 방안을 제시하였다. 이러한 실증적 분석은 대기질 개선과 자동차검사제도의 실효성 강화를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract

This study conducted emissions tests on gasoline-powered vehicles in operation, analyzed the results, and identified the causes of non-conformances by item and proposed practical improvement measures. Unlike existing laboratory-based research, this study utilized actual data collected under automobile inspection running conditions to empirically identify emission characteristics and the causes of non-conformances that reflect real-world conditions. Non-conformances in key items such as CO, HC, NOx, and the excess air ratio (λ) were identified as being due to oxygen sensor failure, reduced catalytic converter efficiency, exhaust pipe cracks and leaks, and mechanical defects in the aftertreatment system. Based on this, the study identified the causes of non-conformances for each item that can be utilized by inspection stations, maintenance companies, and inspectors. Measures to improve emissions compliance rates, such as pre-inspection warm-up and pre-inspection of key components, were also proposed. This empirical analysis is expected to serve as fundamental data for improving air quality and strengthening the effectiveness of the automobile inspection system.

Key words : 배출가스, 부적합, CO, HC, NOx, 공기과잉률, 산소센서, 촉매변환기

제1장 서론

1. 서론

자동차의 사용 증가는 교통사고, 대기오염, 에너지 소비 등 다양한 사회적 문제를 유발한다. 이를 최소화하기 위해 자동차 검사 제도가 마련되었으며, 특히 배출가스 검사는 대기질 개선에 핵심적이다. 그러나 운행 휘발유 자동차의 배출가스 부적합 원인에 대한 체계적 연구는 아직 부족하다. 따라서 본 연구는 실제 검사 결과를 분석하여 주요 원인을 규명하고 개선대책을 제시하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 자동차 검사제도

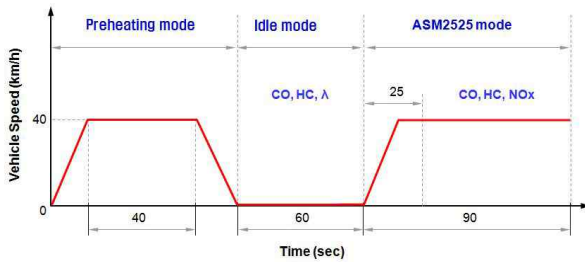
자동차검사는 운행 중 안전성 확보와 환경오염 저감을 목적으로 하며 동일성 확인, 책임보험 확인, 불법튜닝억제 등 교통질서 확립에도 기여한다.

우리나라는 「자동차관리법」과 「대기환경보전법」을 근거로 정기검사 및 정밀검사(종합검사)를 실시하고 있으며, 종합검사는 정밀한 배출가스 측정을 포함하며, 지정된 대상지역과 차령 요건에 따라 적용된다.

2.2 배출가스 검사제도

휘발유차는 검사의 종류에 따라 종합검사의 경우에는 주로 부하 ASM2525 검사모드로 정기검사의 경우에는 무부하 Idle(TSI)모드로 병용된다. 부적합 차량은 법정 기한내 재검을 받아야 하고 기한 경과시 과태료가 부과된다.

2.2.1 부하검사모드(ASM2525 모드)



[그림1] 부하 검사모드 (ASM2525모드)의 시간에 따른 속도 변화 선도

도로부하마력의 25%에서 시속 40km 속도로 일정시간(약90초 이상) 주행하며 배출가스를 측정하는 운행차 정밀검사 방법으로 검사모드가 안정된 이후 10초 동안 측정한 각 검사항목별 배출가스 측정값이 측정대상 자동차의 배출허용기준 이내인 때에는 적합으로 판정하며, 검사모드는 즉시 종료된다.

2.2.2 무부하 정지가동 검사모드(TSI 모드)

차대동력계상에서 부하검사 방법에 의하여 배출가스 검사가 불가능한 휘발유, 가스, 알콜 사용 자동차의 일산화탄소, 탄화수소 및 공기과잉률(λ)을 측정하는데 적용된다.

무부하 정지가동(아이들링)시의 엔진 회전수가 500~1,000rpm 이내로 안정되고 나서 5초 후부터 검사모드가 시작되어 10초 동안 배출되는 일산화탄소, 탄화수소 및 공기과잉률을 측정하여 각각 산술 평균값을 최종 측정값으로 한다.

2.3 가솔린자동차 배출가스의 특성

가솔린 차량의 배출 특성은 연소 제어(공연비, 점화시기), 후처리 성능(삼원촉매), 센서·구동계 상태(특히 산소센서) 등에 의해 좌우된다. 일반적으로 CO·HC 증가는 농후 혼합, 점화 불량, 냉간 시동 구간(촉매 활성화 이전)에서 두드러지며, NOx는 고온·고부하 조건과 촉매 환원 성능 저하 시 증가한다.

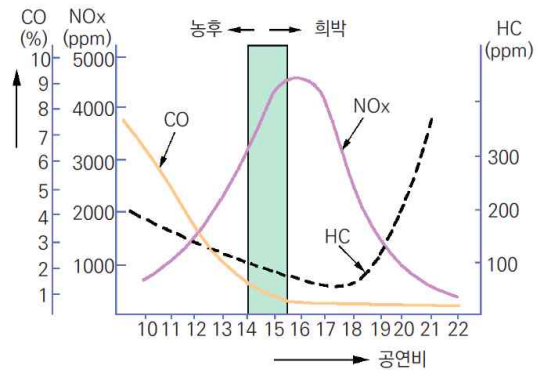
실무 조사와 선행연구를 종합하면, 검사 부적합의 상당 비율이 산소센서 성능저하(피드백 제어 불능으로 λ 이탈)와 삼원촉매 열화(정화효율 저하)에 기인한다. 이들 부품

을 적정 정비·교환할 경우 재검 적합률이 높은 편으로 보고되며, 이는 센서-연소제어-후처리의 연계적 진단·정비가 중요함을 시사한다.

2.4 가솔린자동차 배출가스 영향 분석 및 대책

영향요인으로는 공연비와 산소센서 및 촉매변환기 및 기타 점화시기, 흡기온도 및 압력, 연소실 잔류가스량, 연소실 형상 등의 영향을 받는다.

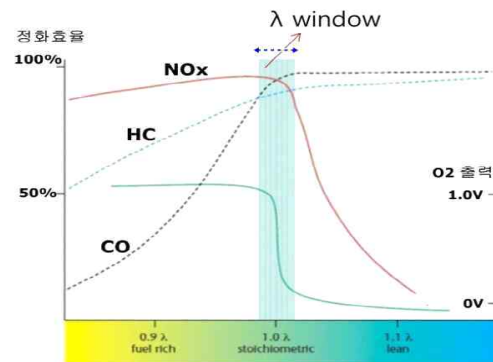
2.4.1 공연비와 배출가스와의 관계



[그림2] 혼합비에 따른 유해 배출가스 농도

CO는 농후한 상태, HC는 농후하거나 희박할 때, NOx는 이론공연비일 때 가장 많이 배출됨.

2.4.2 촉매변환기의 정화효율과 배출가스 관계

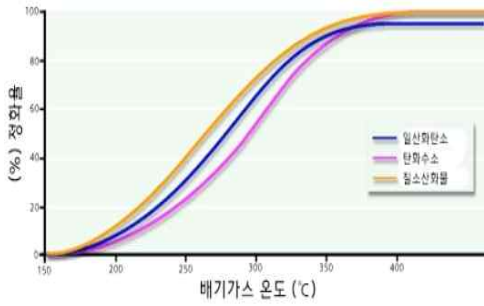


[그림3] 혼합비에 따른 삼원촉매의 정화효율

2.4.3 배기가스 온도에 따른 삼원촉매정화효율

“촉매의 정화 효율이 50%가 되는 시점의 온도를 light-off temperature(LOT)라 하며 삼원 촉매의 LOT는 약 300℃이고 400~800℃ 유지가 바람직하다.”

→ 엔진냉간시 배출가스 검사 부적합의 원인



[그림4] 배기가스 온도에 따른 삼원촉매 정화효율

2.4.4 산소센서와 촉매변환기의 역할



[그림5] 산소센서와 촉매변환기의 위치와 구조

3. 실험

3.1 실험 대상 및 차량조건

본 실험은 2025년 6월부터 7월까지 수도권 소재 자동차 검사소에서 검사된 운행 휘발유자동차 91대를 표본으로 하여 각 차량에 대한 배출가스 검사를 실시하였다.

3.2 실험 항목

운행차 배출가스 검사 시행 요령 등에 관한 규정(환경부고시 제2019-255호)에 의거하여 휘발유자동차의 정기검사 및 종합검사 대상 차량에 대해 CO, HC, NOx, 공기과잉률(λ) 4가지 항목의 허용값에 대한 측정값을 실제 차량을 검사함으로써 이를 도출하고 비교 분석하였다.

3.3 실험 방법

- 실험 기간 : 2025년 6월 16일 ~ 7월 29일
- 실험 장소 : 수도권 검사소
- 실험 대상 : 휘발유 차량 91대 (1994~2024년식)
종합검사 73대, 정기검사 18대
- 실험 항목: CO, HC, NOx, 공기과잉률(λ)
- 실험 기준 : 환경부 고시 제2019-255호
 - － 종합검사 : ASM2525 모드
 - － 정기검사 : TSI 방식

3.4 장치 구성 및 실험 화면

· 차대동력계, 배출가스 측정기, 전자장치진단기 등



[그림6] 차대 동력계



[그림7] 배출가스 측정기



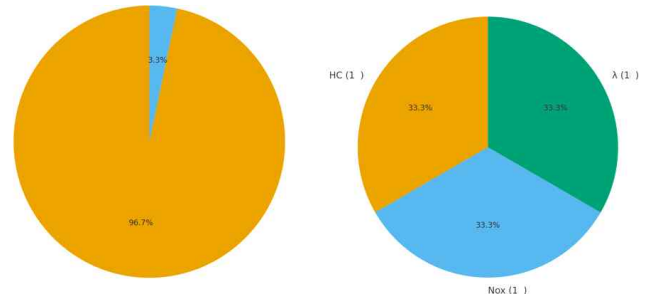
[그림8] 전자장치진단기

4. 실험 결과

4.1 요약

[표1] 배출가스 검사 결과 부적합 건수

검사 대수	검사 구분	부적합 건수
91대	종합 : 73대	2건
	정기 : 18대	1건
	계	3건(3.3%)



[그림9] 전체 검사결과 분포(총91대) 적합96.7%,부적합 3.3% 및 부적합 항목별 HC/NOx/공기과잉률(λ) 각 33.3%

4.2 부적합 분석

[표2] 배출가스 부적합 분석

부적합항목	건수	차량년식	원인
HC	1건	1999년	산소센서, 촉매변환기 성능저하
NOx	1건	1997년	
공기과잉률(λ)	1건	1994년	배기파이프 크랙, 누설
계	3건		

부적합 항목별 원인으로 HC, NOx의 경우 산소센서 또는 촉매변환기의 노후 차량에 의한 성능 저하가 원인으로 공기과잉률(λ)은 배기 파이프의 크랙에 의한 누설 등의 흡기계통의 문제인 것으로 실차 확인되었다.

4.3 부적합 조치

HC : 산소센서 교환 후 재검사

NOx : 촉매변환기 교환 후 재검사

공기과잉률(λ) : 배기파이프 크랙부 확인, 수리 후 재검사

제3장. 결론

5. 결론

5.1 부적합 항목별 원인 및 개선대책

본 연구는 운행 휘발유 자동차의 자동차 배출가스 검사를 실증적인 방법으로 시행하고 그 결과를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

[표3] 배출가스 부적합 원인-대책

검사항목	부적합 원인	개선 대책
CO	불완전 연소	산소센서/촉매변환기/에어크리너/점화코일/점화플러그 점검
HC	미연소	산소센서/촉매변환기 점검
NOx	고온 연소	촉매변환기/EGR 점검
공기과잉률(λ)	배기파이프 크랙	배기파이프 누설 여부 점검

5.2 검사 전 도로주행(예열) 권고

검사 직전 도로주행으로 엔진을 충분히 예열하면 산소센서와 삼원촉매 효율이 정상화되어 합격률 상승·재검률 감소에 효과적이다.

5.3 재검률 저감을 위한 방안

사전 인지 프로토콜: 예열, 산소센서·흡배기·점화점검 간이 예측 규칙: 2000년 이하 노후차량은 산소센서·촉매변환기 우선 점검 필요

표준절차 확립: 예열 안내 → 고위험 차량 사전점검 → 검사 → 재검 원인·조치 DB 관리

5.4 정책 제언

자가점검 안내: 검사 전 체크리스트·예열 안내 제공
노후차량 차등검사: 고연식차는 정밀검사 등 맞춤형 적용
정보공유 체계: 검사결과를 DB화해 정비업체와 공유

6. 연구 한계성

본 연구는 제한된 지역과 표본 차량을 대상으로 수행되었기 때문에 모든 차종과 주행 조건을 일반화하는 데에는 한계가 있다. 운전자의 주행 습관, 정비 이력, 계절적 요인 등 외부 변수 역시 완전히 통제하지 못한 한계가 있다. 정기 및 종합검사 항목차이(NOx 비대상)이 결과 비교에 영향을 줄 수 있다는 점이다. 따라서 향후 연구에서는 대상 차량과 지역 범위를 확대하고, 실제 도로 주행 환경과 다양한 변수들을 반영하여 보다 종합적인 분석을 수행할 필요가 있다.

참고문헌

- [1] 환경부, “대기환경보전법 시행령” 및 “시행규칙”
- [2] 국립환경과학원, “자동차 배출가스 관리체계 개선방안 연구”, 2022.
- [3] 국토교통부, “자동차 종합검사 업무 매뉴얼”, 2023.
- [4] 한국교통안전공단, “자동차검사기술자료집”, 2022.
- [5] 오상엽, 박원덕, “운행 휘발유 자동차의 배출가스 검사 시스템비교” 한국자동차공학회논문집, 2022
- [6] 김민수, “차량기술사” 2018. 골든벨
- [7] 박경택 외, “차량기술사” 성안당 2018
- [8] 이일권 외, “가솔린 엔진 배출가스 제어장치에 대한 고장사례 고찰” 한국가스학회지 2020.
- [9] 교육부, “NCS 학습모듈, 엔진정비, 배출가스장치정비”
- [10] 김민룡 외, “SI기관의 산소센서 고장이 배기가스에 미치는 영향” 한국 정밀공학회 2021