비배기 미세먼지 규제 법제화 및 기술 상용화 방안 연구: 지속가능한 '무공해자동차' 시대를 향한 로드맵

A Study on the Legislation of Non-Exhaust Particulate Matter Regulations and Technological Commercialization: A Roadmap Towards a Sustainable Era of Zero-Emission Vehicles

김재욱* 피윤아**
아주대학교 기계공학과
아주대학교 행정학과

1.배경 및 필요성

비-배기계 배출가스 : 타이어와 브레이크 마모로 발생

산업화로 인한 대기오염 심화는 전 지구적 환경위기로 대두되었으며, ESG 확산으로 인해 자동차 산업은 내연기관에서 친환경차로의 전환을 가속화하고 있다. 기존 규제는 배기가스 저감에 초점을 맞추었으나, 전기차 보급 확대와 함께 타이어·브레이크 마모로 발생하는 비배기(Non-Exhaust) 미세먼지가 새로운 오염원으로 부상하고 있다. 그러나 현행 법체계는 이를 관리 대상에 포함하지 않아 제도적 공백이 존재한다. 본 연구는 비배기 미세먼지의 환경적 심각성을 규명하고, 법제화 및 기술 상용화를 연계한 지속가능한 무공해자동차 시대 실현 로드맵을 제시하고자 한다.





2. 현황 및 국제 규제 동향

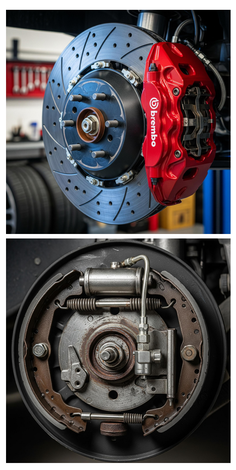
EURO7: 유럽위원회의 비-배기계 배출가스 규제

비배기 미세먼지는 전기차에서도 타이어·브레이크 마모로 발생하는 주요 오염원으로, 배기가스보다 심각한 환경 영향을 미친다. EU는 EURO 7 규제를 통해 비배기 미세먼지를 처음으로 규제 대상에 포함했고, UN ECE는 국제 표준화를 추진 중이다. 영국·독일 등은 관련 저감 기술 연구를 확대하고 있으나, 한국은 여전히 배기가스 중심의 법체계에 머물러 있어 비배기 미세먼지에 대한 독립적 기준이 부재한 상황이다. 이에 따라 국제 기준과의 격차 해소 및 정량적 배출 기준 설정이 시급하다.

국가별 규제 구분	주요 내용	시사점
EU (유럽연합)	EURO 7 규제에 타이어·브레이크 마모 미세먼지 포함	최초의 비배기 규제 도입
UN ECE (유엔 유럽경제위원회)	비배기 입자 측정·평가 방법 국제 표준화 추진	측정 기준의 글로벌 통일 가속
영국·독일 등	타이어 분진 저감 기술 및 소재 연구 확대	국가 차원의 R&D 경쟁 심화
미국 (캘리포니아주)	'비배기 오염원 관리 로드맵' 수립, 기업 지원 강화	정책-기술 연계형 대응 체계 구축
대한민국	「대기환경보전법」은 배기가스 중심, 비배기 규제 부재	환경 정책 공백, 국제 기준 대응 미흡

성공적인 법제화 및 상용화 사례 : 석면 브레이크 패드 규제

과거 브레이크 패드 시장은 가격 및 성능 경쟁력을 가진 석면 소재가 주를 이루었다. 1990년대 이후 석면의 유해성이 과학적으로 입증됨에 따라 사회적 인식이 확산되었다. 초기 자동차 업계는 원가 상승 등의 요인으로 대체재 개발에 소극적 태도를 보였으나, 정부의 석면 전면 사용 금지 조치로 모든 관련 기업이 비석면 대체재를 개발하게 되었으며, 시장은 비석면 제품으로 완전히 전환됨. 본 사례는 규제가 국민 건강 보호 및 신소재 시장 창출에 긍정적 영향을 미친 성공 사례로 평가된다.



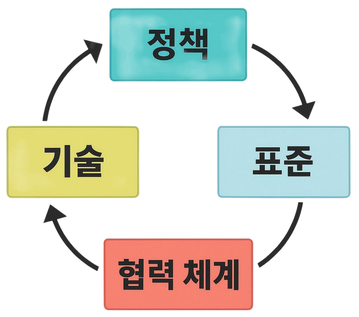
3. 법제화 방안 제안

비배기 미세먼지 규제 법제화 및 기술 상용화

비배기 미세먼지의 실질적 저감을 위해서는 단순한 기술 개발을 넘어, 정책과 기술이 맞물리는 제도적 기반이 필요하다. 정부의 명확한 법적 규제와 인센티브 체계가 마련되면, 기업은 자발적 대응이 아닌 구조적 혁신 경쟁에 나설 수 있다. 또한, 타이어와 브레이크 마모 입자를 정량적으로 측정하고 표준화하는 체계가 구축되어야 한다. 이는 명확한 수치 목표를 통해 기술 개발의 방향성을 제시한다. 마지막으로, 측정과 포집 기술이 실제 차량 환경에 적용될 수 있도록 기술 인증제와 연계된 법적 장치가 필요하다. 결국 '정책–표준–기술'의 선순환 구조가 지속 가능한 환경 규제의 핵심이라 할 수 있다.

4. 통합 프레임 워크

구성 요소	핵심 내용	역할	기대 효과
정책 (Policy)	한국형 비배기 규제 법제화, 저마모 타이어 보조금 제도, 오염자 부담 원칙 적용	기술 개발 촉진 및 산업 변화 유도	기업의 친환경 기술 투자 확대로 신규 시장 형성
표준 (Standard)	실도로측정(K-RDE) 방법론 개발(μg/km 정량 기준), '타이어 마모 등급제' 도입	신뢰가능한 규제 근거 및 정량적 평가 기준 설정	글로벌 친환경 기술 주도권 확보 및 무공해차 시장 선도
기술 (Technology)	능동형 마모먼지 포집장치·저마모 타이어·친환경 브레이크 소재 개발	현실적인 대기오염 저감 솔루션 제시	대기환경 개선 및 환경분야 일자리 형성
협력 체계 (Governance)	산-학-연 공동 R&D 플랫폼 구축 및 운영, 신소재 및 저마모 구조 연구, 시뮬레이션 기반 능동형 포집연구(차량형 집진기)	각 분야별 통합적 문제 해결 구조로 시너지 창출	지속가능한 혁신 생태계 조성



통합적 저감 프레임워크: 정책·표준·기술의 선순환 구조

비배기 미세먼지 문제는 정책·표준·기술이 유기적으로 연결된 선순환 구조를 통해서만 해결될 수 있다.정부는 법적 규제와 정량 기준을 마련해 정책적 기반을 강화하고, 산업계는 이를 충족하는 포집·저감 기술을 개발·상용화함으로써 정책과 기술이 상호 강화되는 체계를 구축해야 한다. 이러한 통합적 접근은 비배기 미세먼지 저감과 함께 국내 친환경 자동차 산업의 지속가능 경쟁력을 높일 것이다.

5. 기술 개발 단계

입자 특정 및 특성 분석 → CFD 기반 유동 해석 → 상용화

1단계: 입자 특성 규명 및 측정 기술 확립

규제의 과학적 근거를 마련하는 단계로, 타이어 마모 시뮬레이터, 실도로 측정 장비(RDE) 등을 활용하여 주행 조건, 타이어 종류별 비배기 미세먼지의 물리·화학적 특성(크기, 성분, 양)을 정확히 측정하고 데이터베이스를 구축한다.

2단계: 유동 해석을 통한 포집 효율 최적화

미세먼지 포집 효율을 극대화할 수 있는 집진 장치의 최적 형상, 크기, 장착 위치 설계를 위해 CFD 시뮬레이션으로 타이어 주변의 복잡한 공기 흐름을 정밀하게 예측하고, 비산정도를 확인한다.

3단계: 차량용 포집 장치 상용화 및 소재 혁신

저감기술과 제품을 실제 자동차산업에 적용하는 단계로, 전기집진기(ESP)의 소형화, 경량화, 내구성 확보 연구를 진행하고, 동시에 마모율이 낮은 신소재 타이어 개발을 병행하여 '발생원 저감'과 '사후 포집' 기술을 상용화한다.

6. 로드맵 및 기대 효과

구분	기간	주요 추진 내용	기대 효과
단기	2025~2027	- 비배기 미세먼지 배출 실태조사 - 정량 기준 및 측정 체계 구축 - 데이터베이스 및 정책 기반 마련	- 과학적 근거 확보 - 규제 설계 기반 강화
중기	2028~2030	- 포집·저감 기술 실증 및 상용화 - 인증·평가 체계 표준화 - 산·학·연 협력 강화	- 기술 실효성 검증 - 산업 적용 및 시장 활성화
장기	2031~이후	- 비배기 미세먼지 전면 법제화 - 국제 표준 연계 및 제도 정착 - 친환경 산업 클러스터 조성	- 대기질 개선 및 건강 보호 - 무공해 모빌리티 국제 경쟁력 확보 - 모빌리티 분야 국제 기준 선도

결론: 변화하는 모빌리티 시대, 진정한 무공해 자동차 시정을 선도하기 위한 시점

내연기관에서 전기차로 모빌리티 산업이 전환되었으나, 완전한 무공해 모빌리티 산업으로 나아가기 위해 비배기계 배출가스(마모먼지)에 대한 해결이 필수적이라고 할 수 있다.

그러나 아직까지 세계적인 규제표준과 해결방안이 미비된 상황이기 때문에, 가장 먼저 효율적이고 경제적인 비배기 미세먼지에 대한 저감 기술과 표준을 확립하는 국가와 기업이 '진정한 무공해 자동차' 시장을 선도할 수 있는 시점으로, 중요성이 높다고 할 수 있으며 국가적 차원의 관심과 지원을 제공할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서 제안하는 '정책-표준-기술'의 통합적 프레임워크를 통해 (1)환경 정책으로 산업의 변화를 유도하고, (2)정량적 표준으로 규제 기준을 설정하고, (3)효율적인 포집 및 저감 기술을 도입해 비배기계 배출가스 저감체계를 구축해야 한다.