

자동차검사제도 편익 산정에 관한 연구

박정수^{1,2)} · 김도경^{*1,3)} · 김용달⁴⁾ · 한창평⁵⁾

서울시립대학교 교통공학과¹⁾ · 한국교통안전공단 감사처²⁾ · 서울시립대학교 도시빅데이터융합학과³⁾ · 한국교통안전공단 검사정책처⁴⁾ · 상지대학교 스마트자동차공학과⁵⁾

A Study on the Benefits Estimation Derived from Vehicle Inspection Scheme

Jungsoo Park^{1,2)} · Do-Gyeong Kim^{*1,3)} · Yongdal Kim⁴⁾ · Chang-Pyoung Han⁵⁾

¹⁾Department of Transportation Engineering, University of Seoul, Seoul 02504, Korea

²⁾Audit Office, Korea Transportation Safety Authority, 17 Hyeoksin 6-ro, Gimcheon-si, Gyeongbuk 39660, Korea

³⁾Graduate School, Department of Urban Big Data Convergence, University of Seoul, Seoul 02504, Korea

⁴⁾Department of Inspection Policy, Korea Transportation Safety Authority, 17 Hyeoksin 6-ro, Gimcheon-si, Gyeongbuk 39660, Korea

⁵⁾Department of Automotive Engineering, Sangji University, Gangwon 26339, Korea

(Received 7 June 2022 / Revised 16 June 2022 / Accepted 16 June 2022)

Abstract : The benefits derived from the implementation of the vehicle inspection scheme can be divided into two: prevention of traffic accidents and improvement of air quality. In terms of preventing accidents, it is possible to estimate the number of potential casualties prevented by analyzing the fail for safety inspection directly related to accidents using Bayes' theorem. The costs of medical loss, material damage, accident administration, PSG(pain, suffering and grief), congestion and insurance increase can also be estimated. In terms of improving air quality, the total amount of exhaust gas reduction that can be attributed to the inspection scheme can be evaluated by comparing the difference between before and after(failed and re-test) exhaust gas levels. Results show that in terms of safety benefits, 7,603 traffic accidents, 135 fatalities and 11,511 injuries were prevented. When it comes to the environment, reductions amounting to 9,632 tons of carbon monoxide(CO), 1,025 tons of hydrocarbons(HC), 917 tons of nitrogen oxides(NOx) and 2,652 tons of particulate mass(PM) were noted. The social benefits of the vehicle inspection scheme was estimated at 1.68 billion KRW annually.

Key words : Vehicle inspection(자동차검사), Periodical technical inspection(정기기술검사), Vehicle inspection effectiveness(자동차검사효과), Social benefit(사회적 편익), Bayes' theorem(베이즈 정리)

1. 서론

자동차검사제도는 교통사고 예방과 대기환경 개선과 관련한 운행적합성(Roadworthiness)을 확인하고 불법개조 차량을 일정 주기마다 확인하여 사회적 손실을 최소화하여 공공의 복리를 증진하는 목적으로 운영 중인 국가 자동차관리제도 중 하나이다. 2021년 국내 등록 자동차는 약 2,500만 대이고 이 중 절반인 약 1,290만 대가 매년 자동차검사를 받고 있다. 자동차검사 불합격률은 20.9%로 전체 등록대수를 기준으로 약 520만 대가 자동차검사를 통해 크고 작은 결함이 시정되고 있다.¹⁾

자동차검사의 종류는 신규 등록을 하고자 할 때 실시하는 신규검사, 신규 등록 후 일정 기간마다 정기적으로 실시하는 정기검사, 사용자의 목적에 따라 자동차의 구조 또는 장치를 변경하는 경우에 실시하는 튜닝검사, 불법자동차 단속 시정명령 등 법에 따라 비정기적으로 실시하는 임시검사, 전손처리 자동차를 수리한 후 다시 운행하려는 경우에 실시하는 수리검사로 구분한다.²⁾

국민의 생명과 재산을 보호하고자 실시하는 자동차검사제도는 그동안 제도 시행에 따른 효과 평가 방법론이 정립되어 있지 않아 제도의 실효성을 판단하는데 한계

*Corresponding author, E-mail: dokkang@uos.ac.kr

¹⁾This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

가 있었다. 본 연구는 정기적으로 실시하는 정기(종합) 자동차검사 결과 자료, 관련 연구 및 통계 자료를 활용하여 자동차검사제도 시행에 따른 사회적 편익을 추정하여 제도 시행에 따른 효과성을 검증하고자 하였다.

2. 관련문헌 검토

CTR(2019)³⁾에서는 미국 텍사스주에서 시행하는 승용 자동차 안전검사에 대한 효과 분석을 실시한 결과, 3년 동안 6명의 교통사고 사망자와 1,344건의 교통사고를 예방하는 것으로 나타났다. 자동차검사는 국민의 생명을 살리고 운행안전성이 강화되는 것으로 나타나 자동차검사 사업을 유지하는 것으로 정책 방향을 제시하였다.

Oezen 등⁴⁾은 터키의 교통사고 발생에 따른 총 사회적 비용은 연간 4,300백만 달러로 추산하였고 2008년부터 2013년까지 자동차검사 도입으로 인해 82,925건의 교통사고가 감소한 것으로 분석하였다. 이에 대한 편익은 277백만 달러로 산정되었고, 교통사고는 매년 9%씩 감소시킨다고 보았다. 또한, Schulz⁵⁾의 추가 연구에서는 터키에 자동차검사(PTI)가 새로 도입됨에 따라 분석된 교통안전 효과를 유럽 전역에 적용한 결과, 연간 약 2조 2천억 원의 사회적 편익이 발생한다고 추정하였다.

강광규 등⁶⁾은 실도로 배출허용기준 도입의 필요성과 당위성을 제시하는 것을 목적으로 실도로 배출기준이 도입될 때 예상되는 사회적 편익을 산정하였고, 2017년 9월부터 2021년 약 5년 사이의 전국 누적 편익이 약 7,280억 원에 달하는 것으로 추정하여 실도로 기준을 도입하는 것이 배출가스 저감장치 임의설정에 따른 부정적 사회적 피해를 막고 대기환경을 개선하는데 크게 기여하는 것으로 보았다.

조한선 등⁷⁾은 자동차검사제도가 차량 결함으로 인해 발생한 교통사고의 사전 예방에 어느 정도 기여하는지에 대한 효과를 측정하였다. 자동차검사제도 시행을 통한 교통사고 감소건수는 약 23,735건으로 이는 총 214,171 교통사고 건수(2005)의 약 11.1%에 해당한다고 보았다.

한국자동차안전학회⁸⁾는 자동차 안전도 검사제도의 효과 분석을 수행한 결과, 자동차검사로 발생하는 사회적 편익은 연간 최소 653억 원에서 최대 3,021억 원으로 분석하였다.

3. 편익항목 선정 및 분석방법

3.1 편익 선정 및 자료 구성

자동차검사 시행에 따른 편익은 교통사고 예방, 대기환경 개선, 교통지체 개선, 국민 재산 보호, 불법차 근절,

Table 1 Benefit items derived from vehicle inspection

Classification	Contents
Safety	- Reducing the casualty to check the defects - Being psychological stability
Environment	- Reducing exhaust gases and noise
Traffic flow	- Prevention for traffic congestion due to malfunction or accident
Protecting property	- Prevention for the fraud of verification identification number (registration)
Illegality	- Banning illegal vehicle
Reduction of social cost	- Improving fuel consumption - Reducing total insurance fee
People benefits	- Reducing maintenance cost - Prolonging vehicle expectancy

사회적 비용 감소, 국민 편의 향상 등 다양하게 나타나며 Table 1과 같다.

이처럼 자동차검사 시행에 따른 사회적 편익은 다양하지만 공식 통계 활용이 가능하고 계량화 또는 화폐가치화 가능한 항목은 제한되어 있으므로 객관적으로 데이터 수집이 가능하고 타당한 분석이 가능한 항목을 선정하는 것이 중요하다. 자동차검사는 원동기, 동력전달장치, 제동장치, 조향장치, 휠 및 타이어 등을 검사하는 안전 검사와 일산화탄소(CO), 탄화수소(HC), 질소산화물(NOx), 매연(PM) 등을 검사하는 배출가스 검사로 구분한다.

분석과 계량화가 용이하고 자동차검사 시행 목적에 부합하는 교통사고 예방과 대기환경 개선 항목을 자동차검사 시행에 따른 사회적 편익으로 선정하고, 2018년 12월부터 2019년 11월까지 1년간 자동차검사 결과 자료를 활용하여¹⁾ 자동차검사 시행에 따른 편익을 추정하고자 하였다(기준연도 2019년).

3.2 산정 방법

3.2.1 교통사고 예방 편익 산정 방법

교통사고 예방 편익은 자동차검사를 통해 불합격된 차량이 재검사를 통해 개선되어 결함으로 인한 사고가 예방되는 것을 의미한다. 차량 결함 개선을 통해 예방된 사고건수를 추정하기 위해 베イズ 정리(모델)을 활용하여 불합격된 자동차가 운행 중 교통사고가 날 확률을 추정하였다.

베イズ 정리는 토머스 베イズ(Thomas Bayes)가 정의한 것으로, 두 확률 변수의 사전 확률과 사후 확률 사이의 관계를 나타내는 정리이다. 즉, 결과인 사후확률에 대하여 사전 확률로서 새로운 근거가 제시될 때 사후 확률이 어떻게 변하는지를 설명하며 식 (1)로 표현된다.

$$P(A | B) = \frac{P(B | A) \times P(A)}{P(B)} \quad (1)$$

$P(A | B)$: 사건 B가 발생하였을 때 사건 A가 발생하는 조건부 확률
 $P(B | A)$: 사건 A가 발생하였을 때 사건 B가 발생하는 조건부 확률
 $P(A)$: 사건 A가 발생할 확률
 $P(B)$: 사건 B가 발생할 확률

자동차 결함(불합격)이 교통사고에 미치는 영향을 살펴보기 위해 차량 요인 교통사고 발생 시 구분 인자로 사용하는 주행장치, 조향장치, 제동장치, 전기장치, 원동기, 동력전달장치, 기타장치, 총 7개 장치의 자동차검사 불합격 결과 자료를 활용하였다. 모든 장치는 독립적으로 교통사고에 영향을 미치는 것으로 가정하고 결함 $D_1 \sim D_7$ 이 발생할 확률을 베イズ 이론을 통해 추정하였으며 그 개념은 Fig. 1과 같다.

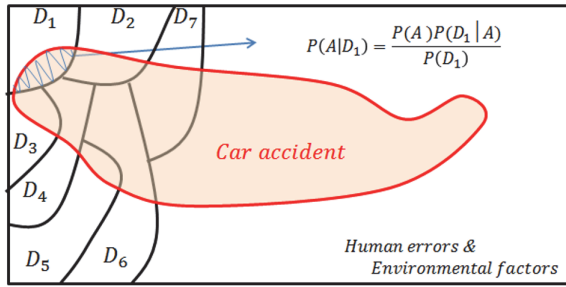


Fig. 1 Explanation of the probability for accident when failed in vehicle inspection

예방 항목은 자동차검사시 결함이 발생했을 때 교통사고와 직접적으로 연관이 있는 7가지 검사 항목의 시행으로부터 얻을 수 있는 편익을 의미한다. 베イズ 이론을 활용한 안전도 검사 불합격 자료를 통해 예방된 교통사고 건수, 사망자 수, 부상자 수를 추정하고, 이를 교통사고 추계 비용 등을 적용하여 화폐가치화 하면 교통사고 예방에 대한 최종 편익을 추정할 수 있다.

3.2.2 대기환경 개선 편익 산정 방법

대기환경 개선 항목은 자동차검사 중 배출가스 검사를 통해 과다배출 차량을 억제하여 발생하는 편익을 말한다. 배출 불합격 자동차의 재검사 전후 배출량의 차이를 비교하여 저감 총량 산정하고 이를 배출계수 · 제거비용 등을 활용하고 계량화하면 최종 대기환경 개선 편익을 산정할 수 있다.

4. 편익 산정

4.1 교통사고 예방 편익 산정

4.1.1 예방된 교통사고 건수 산정

장치 i 의 결함 개선으로 인한 교통사고 예방 건수는 자동차검사로 인해 발견된 장치 i 의 불합격 건수와 장치 i 의 불합격된 차량의 개선 확률(불합격 판정 후 재검사 시 적합 비율)과 장치 i 의 결함이 있을 때 사고 발생 확률의 곱으로 설명이 가능하고 식 (2)와 같다.

$$AA_i = Fail_i \times P_i(C) \times P(A | D_i) \quad (2)$$

AA_i : 장치 i 의 결함개선으로 인한 교통사고 예방건수
 $Fail_i$: 검사에서 발견된 장치 i 의 불합격 건수
 $P_i(C)$: 장치 i 의 불합격된 차량 개선 확률
 A : 교통사고(Accident)
 D_i : 장치 i 의 결함
 $P(A|D_i)$: 장치 i 의 결함시 사고 확률

차량요인 교통사고 집계시 분류항목(Table 4)에 따라 구분한 자동차검사 장치별 불합격 건수($Fail_i$)는 Table 2와 같다.^{1,9)}

Table 2 The number of failed cases sorted by devices

Classification	The number of failed items (case)
Wheel and tire	55,884
Steering	12,161
Brake	467,639
Electronic	22,519
Engine	86,623
Powertrain	2,277
Others	3,050,148

장치별 불합격이 개선될 확률($P(C)$)은 자동차검사에서 불합격 판정 후 재검사 시 적합을 받을 확률이며, 개선 확률은 신뢰성을 높이기 위해 기준연도(2019) 이전 5개년 평균 자료를 사용하였고, 그 결과는 Table 3과 같다.¹⁾

Table 3 The probability of the portion for inspection improvement

Classification	Total (case)
The number of failed items	8,447,884
The number of improved items	8,101,003
The portion for inspection improvement ($P(C)$)	95.89 %

장치 i 의 결함이 발생되었을 때 사고가 날 확률 $P(A | D_i)$ 은 베イズ 이론에 따라 식 (3)과 같다.

$$P(A | D_i) = \frac{P(D_i | A) \times P(A)}{P(D_i)} \quad (3)$$

$P(A | D_i)$: 장치 i 의 결함 시 사고 확률
 $P(D_i | A)$: 사고 중 장치 i 에 의해 사고가 날 확률
 $P(A)$: 당해 운전자에게 교통사고가 발생할 확률
 $P(D_i)$: 장치 i 의 결함 발생확률

교통사고 중 장치 i 에 의해 사고가 발생할 확률 ($P(D_i | A)$)은 13년간(2001 ~ 2013) 국내 고속도로 차량 요인 교통사고 통계 자료를 활용하였고, 이 자료는 차량 요인을 휠 및 타이어, 조향장치, 제동장치, 전기장치, 엔진고장, 동력계통 고장, 기타항목 총 7개 항목으로 구분하여 집계하였고 그 결과는 Table 4와 같다.⁹⁾

Table 4 Probability of accident classified by type of defects

Classification	Total (case)	$P(D_i A)$ (%)
The number of accidents	57,580	-
Wheel and tire	2,445	4.25
Steering	73	0.13
Brake	598	1.04
Electronic	39	0.07
Engine	431	0.75
Powertrain	36	0.06
Others	533	0.93
Total	4,155	7.22

교통사고 발생 확률($P(A)$)은 교통사고 건수를 자동차등록대수로 나누어 산정하였고 식 (4)와 같다.¹⁰⁾

$$P(A) = \frac{\text{교통사고 건수 (2018)}}{\text{자동차등록대수 (2018)}} \quad (4)$$

Table 5 Probability of accident

The number of traffic accident (case)	The number of registered vehicle	$P(A)$ (%)
217,148	23,202,555	0.936

장치 i 의 결함 발생확률($P(D_i)$)은 자동차검사 결과를 활용하여 장치별 불합격률을 식 (5)와 같이 산출할 수 있으며 기준연도(2019) 장치 i 의 결함 발생확률($P(D_i)$)은 Table 6과 같다.

$$P(D_i) = \frac{\text{장치 } i \text{의 부적합건수}}{\text{검사대수}} \quad (5)$$

Table 6 Probability of defects sorted by items

Classification	The number of fail (vehicle)	$P(D_i)$ (%)
Wheel and tire	55,884	0.476
Steering	12,161	0.104
Brake	467,639	3.984
Electronic	22,519	0.192
Engine	86,623	0.738
Powertrain	2,277	0.019
Others	3,050,148	25.987

$P(D_i | A)$, $P(A)$, $P(D_i)$ 을 고려하여 식 (3)에 따라 장치별 결함이 발생되었을 때 장치별 교통사고 발생 확률 ($P(A | D_i)$)은 Table 7과 같이 산정할 수 있다.

Table 7 Probability of accident according to defects sorted by items

Classification	$P(A D_i)$ (%)
Wheel and tire	8.346
Steering	1.147
Brake	0.244
Electronic	0.311
Engine	0.949
Powertrain	3.039
Others	0.033

최종적으로 식 (5)에 따라 자동차 안전 검사 시행에 따른 예방된 교통사고 건수(AA)는 총 7,603건으로 산정되었다.

$$AA = \left(\sum_{i=1}^7 \text{Fail}_i \times P(C) \times P(A | D_i) \right) \quad (6)$$

AA : 검사로 인한 교통사고 예방 건수
 Fail_i : 자동차검사로 인해 발견된 장치 i 의 불합격 건수
 $P_i(C)$: 장치 i 의 불합격된 차량 개선 확률
 $P(A | D_i)$: 장치 i 의 결함 시 사고 확률

Table 8 The number of accident prevention due to defect improvement

Classification	$P_i(C)$	Fail_i (case)	$P(A D_i)$ (%)	AA _i (case)
Wheel / tire	95.89	55,884	8.346	4,472
Steering		12,161	1.147	134
Brake		467,639	0.244	1,094
Electronic		22,519	0.332	72
Engine		86,623	0.950	789
Powertrain		2,277	3.039	66
Others		3,050,148	0.033	975
The number of accident prevention (AA)				7,603

4.1.2 예방된 교통사고 사상자수 산정

기준연도 교통사고 현황을 기준으로 사고 한건 당 사망, 부상 발생 비율을 계산 후 예방된 교통사고건수(AA)와 곱하여 식 (7)과 식 (8)과 같이 예방된 사망자수(AF)와 예방된 부상자수(AI)를 산출할 수 있다.

$$AF = AA \times \frac{NF}{NA} \quad (7)$$

$$AI = AA \times \frac{NI}{NA} \quad (8)$$

AF : 자동차검사로 인해 예방된 사망자수
 AA : 자동차검사로 인해 예방된 사고건수
 NF : 총 사망자수
 NA : 총 교통사고 건수
 AI : 자동차검사로 인해 예방된 부상자수
 NI : 총 부상자수

교통현황 자료(기준연도-1)는 Table 9와 같고 사망자수(NF)는 총 3,781명, 부상자수(NI)는 총 323,036명, 부상사고 건수(NA)는 총 213,367건이다.¹⁰⁾

Table 9 Traffic accident status(2018)

Fatality (NF) (person)	Injury (NI) (person)	The number of accident (NA) (case)
3,781	323,036	213,367

자동차검사에 따른 교통사고 예방 건수(AA)는 총 7,603건이며, 이를 기준으로 교통사고 발생 현황을 고려하여 식 (7)과 식 (8)에 따라 산정된 예방된 사망자수(AF)와 부상자수(AI)는 Table 10과 같이 각각 135명과 11,511명인 것으로 추정되었다.

Table 10 Estimation for AF and AI

The number of accident prevention (AA) (case)	The number of fatality prevention (AF) (person)	The number of injury prevention (AI) (person)
7,603	135	11,511

4.1.3 화폐가치화

자동차검사로 인해 예방된 교통사고 건수 및 사상자수의 편익을 화폐가치로 계량화하기 위해 각 사고별 사회적 비용을 도로교통사고 추계 비용으로 Table 11과 같이 적용하였다. 추계 비용 자료(2011)는 기준연도(2019)와 시간적 차이가 있어 기준연도까지의 물가상승률(할

Table 11 Social cost as traffic accident(10 k KRW)

Classification	Fatality accident	Injury accident	Fatality	Injury
Human compensation	-	-	45,342	366
Material damage	118	118	-	-
PSG(pain, suffering, grief)	-	-	13,508	1,577
Administration	15	15	190	144
Insurance extracharging	54	14	-	-
Congestion	2,183	2,183	-	-
Total	2,371 (C _D)	2,330 (C _I)	59,040 (C _{DM})	2,088 (C _{IM})

인율)을 반영하여 적용하였다.¹¹⁾

교통사고 예방 편익의 합은 교통사고 감소 건수, 예방된 사망자수 및 부상자수 각각의 사회적 비용의 합이다. 교통사고에 따른 사회적비용이란 인적피해비용, 물적피해비용, 사회기관비용으로 나누어서 추계한 사회적 손실 비용을 말한다. 사고당사자의 직접손실은 의료비, 사상자의 소득상실, 간호비, 장례비, 정신적 피해 등 심리적 비용, 가해차량의 파손, 도로구조물·상품 등 재물의 손괴, 피해차량의 파손과 차량·재물파손의 간접손해 등을 들 수 있다. 공공적·공동적 지출로는 도로관서 사고처리비, 재판비, 경찰관서 초동사고 처리비 및 사고조사비, 119긴급구조 활동에 따른 구조·구급비용과 보험기관 사고처리비가 있으며, 제3자의 손실은 차량지정체로 인한 시간과 연료손실, 문병을 위한 시간·교통 비용과 정신적 피해 등 사회 심리적 약화가 있다.¹¹⁾ 최종 예방된 교통사고감소 건수(AA), 예방된 사망자수(AF), 예방된 부상자수(AI)의 원단위 편익은 식 (9), 식 (10) 및 식 (11)과 같다.

$$B_{AA} = AA \times \frac{NA_F}{NA} \times C_D + AA \times \frac{NA_I}{NA} \times C_I \quad (9)$$

B_{AA} : 예방된 교통사고 건수의 원단위 편익
 AA : 자동차검사로 인해 예방된 사고건수
 NA_F : 총 사망사고 건수
 NA : 총 교통사고 건수(부상사고)
 NA_I : 총 부상사고 건수
 C_D : 사망사고 사회적비용(Table 11)
 C_I : 부상사고 사회적비용(Table 11)

$$B_{AF} = AF \times C_{DH} \quad (10)$$

B_{AF} : 예방된 사망자수의 원단위 편익
 AF : 자동차검사에 따른 예방된 사망자 수
 C_{DH} : 사망자 사회적비용(Table 11)

$$B_{AI} = AI \times C_{IH} \quad (11)$$

B_{AI} : 예방된 부상자수의 원단위 편익
 AI : 자동차검사로 인해 예방된 부상자 수
 C_{IH} : 부상자 사회적비용(Table 11)

4.1.4 최종 산정된 교통사고 예방 편익

자동차검사제도 시행에 따른 예방된 교통사고 편익(B_{AA})은 총 1,741억 원이며, 예방된 사망자수(B_{AF})와 부상자수(B_{AI})의 편익은 각각 795억 원과 2,403억 원으로 추산되어 최종 교통사고 예방 편익은 총 4,939억 원으로 Table 12와 같이 산정되었다.

Table 12 Total benefits derived from traffic accident prevention

B_{AA} (100M KRW)	B_{AF} (100M KRW)	B_{AI} (100M KRW)	Total (100M KRW)
1,741	795	2,403	4,939

4.2 대기환경 개선 편익 산정

4.2.1 개요

자동차검사 시행시 배출가스 검사는 의무적으로 시행하고 있으며 차량 유종별 오염물질을 측정하여 일정 기준치 이상일 경우 시정조치를 통해 대기환경을 개선하고 있다. 배출가스에서 불합격 된 경우 다른 항목 불합격은 최대 72일의 재검사 기한이 주어지는 반면 배출가스 불합격의 재검사 기한은 10일밖에 주어지지 않는다.

대기환경 개선 편익을 산정하기 위해 오염물질별 저감량을 산출한 후 제거를 위해 소요되는 비용을 적용하여 화폐가치화 하였다.

자동차검사에서 차량 연료에 따라 측정되는 배출가스의 종류는 Table 13과 같고, 일산화탄소(CO), 탄화수소

Table 13 Air pollutants sorted by fuel type

Fuel type	Pollutants
Petrol and LPG	Carbon monoxide (CO)
	Hydrocarbon (HC)
	Nitrogen oxide(s) (NOx)
Diesel	Particulate Matter (PM)

(HC), 질소산화물(NOx) 및 매연(PM)의 배출 저감량을 분석하여 화폐가치화 하였다.

4.2.2 휘발유 및 LPG 차량의 저감량 산정

자동차검사에서 휘발유 및 LPG 차량의 배출 저감량을 추정하기 위해 측정된 부피 농도(% 또는 ppm)를 중량농도(g/km)로 환산하고, 오염물질의 부피 농도를 질량 농도로 변환이 가능한 함수를 활용하여 오염물질별 저감량을 추정하였다. 이는 식 (12)와 Table 14와 같다. 여기서 성능보정계수(CF_i)는 운행차 정밀검사용 측정 장비의 성능보정계수로서 실험적으로 산출된 값으로 부피 농도를 질량 농도로 변환이 가능한 환산 방안 선행 연구에서 사용한 장비에 대한 값을 의미한다. 변환 함수는 부하 검사(ASM2525)이므로 휘발유 및 LPG 차량의 무부하 검사의 경우 부하 검사를 받은 것으로 가정하여 분석하였다.¹²⁾

$$EM_i = EC_i \times CF_i \times F(i, IW) \quad (12)$$

(단, $F(i, IW) = [(A_i \times IW^2) + (B_i \times IW) + C_i]$)

EM_i : i 배출가스 중량농도 산출값(g/km)

EC_i : 검사시 측정되는 i 배출가스 농도

CF_i : i 측정장치의 성능보정계수

IW : 차량의 관성중량(kg)

Table 14 Mass conversion function $F(i, IW)$

i	CF	$F(i, IW)$ constant		
		A	B	C
CO	1.22	3.493×10^{-6}	-3.493×10^{-3}	7.844
HC	2.05	1.075×10^{-9}	-1.075×10^{-6}	2.1413×10^{-3}
NOx	1.03	5.738×10^{-10}	-5.738×10^{-7}	1.288×10^{-3}

휘발유 및 LPG 차량이 배출하는 대기오염의 배출량을 추정하기 위해 합격 차량과 불합격 차량의 평균 부피 농도 통계 값을 활용하여 평균 저감 부피농도를 계산하여 저감량을 추정하는 방식을 적용하였고 이는 식 (13)과 식 (14)와 같다.¹²⁾

$$\text{평균저감부피농도} = \text{불합격차량의 평균 농도값} - \text{합격차량의 평균 농도값} \quad (13)$$

$$CO, HC, NO_x \text{ 저감량} = \Sigma[\text{식}(EC_i \text{에 저감농도차이값}) \times \text{일평균주행거리} \times 365]$$

휘발유 및 LPG 차량의 연간 배출 저감량을 산정한 결과, Table 15와 같이 일산화탄소(CO) 9,632톤, 탄화수소(HC) 1,025톤, 질소산화물(NOx) 917톤으로 나타났다.

Table 15 Exhaust gas reduction of petrol and LPG vehicles

CO (ton/year)	HC (ton/year)	NOx (ton/year)
9,632	1,025	917

4.2.3 경유 차량의 저감량 산정

경유 차량의 배출가스 검사는 매연(PM)의 농도를 기준으로 결과 판정을 진행한다. 매연(PM)의 농도로는 매연(PM)의 양을 확인할 수 없으므로 매연(PM)의 농도를 질량 기준으로 환산할 필요가 있다. 이를 위해 변환 함수를 활용하여 불합격 차량의 검사 전후 배출량의 차이를 식 (15), 식 (16) 및 식 (17)을 통해 산정하였다. 변환 함수는 부하 검사에 해당하므로 경유 차량의 무부하 검사의 경우 부하 검사를 받은 것으로 가정하여 분석하였고, 이때, n 은 부하 검사시 예열구간을 제외한 실제 매연 측정 시간을 의미하고 KD147 모드에서는 147초이다.^{13,14)}

$$Soot_j = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ER_{i,j} \right] \times \frac{EVF_j}{60} \times \frac{n}{Dist} \quad (15)$$

$$ER_{i,j} = 0.126 (Smk_{i,j})^2 + 2.665 Smk_{i,j} + 3.03 \quad (16)$$

$$EVF_j = 0.4229 (Disp_j)^2 - 1.022 Disp_j + 1.59 \quad (17)$$

- $Soot_j$: 차량 j의 추정된 배출량
- n : 검사 시간(147s)
- $ER_{i,j}$: 식 (16)으로 추정된 시간 i에서 차량의 순간 배출량
- EVF_j : 식 (17)로 추정된 차량의 평균 주기 배출 부피
- $Dist$: 검사 차량 주행거리
- $Smk_{i,j}$: 시간 i에서 차량의 측정기에서 검출된 매연
- $Disp_j$: 차량의 배기량

분석 결과, 자동차검사 경유(PM) 차량의 배출가스 저감량은 연간 2,652톤으로 추정되었다.

4.2.4 최종 산정된 대기환경 개선 편익

대기환경 편익을 산출하기 위해 각 오염물질별 저감

Table 16 Pollutants elimination cost sorted by fuel type

Air pollutants	Cost for elimination (100 M KRW/ton)
Carbon monoxide (CO)	0.02986
Hydrocarbon (HC)	0.03470
Nitrogen oxide(s) (NOx)	0.06941
Particulate Matter (PM)	4.32080

량의 단위당 제거 비용을 적용하여 최종 대기환경 편익을 산출하였다. 단위당 오염물질의 제거비용은 환경부에서 정한 기준(2011)을 반영 후 연도별 물가상승률을 고려하여 기준연도(2019)로 변환하여 Table 16과 같이 적용하였다.¹⁵⁾

대기오염물질별 저감량과 제거비용을 고려하여 대기환경 편익(B_E)을 산출하는 대기환경 개선 편익 원단위는 식 (18)과 같다.

$$B_E = \left(\begin{array}{l} CO저감량 \times 0.02986 \\ + HC총저감량 \times 0.03470 \\ + NOx총저감량 \times 0.06941 \\ PM저감량 \times 4.32080 \end{array} \right) \quad (18)$$

분석 결과, 자동차검사에 따른 대기환경 개선 편익은 일산화탄소(CO) 288억 원, 탄화수소(HC) 36억 원, 질소산화물(NOx) 64억 원, 매연(PM) 1조 1,459억 원, 연간 총 1조 1,847억 원으로 산출되었고 Table 17과 같다.

Table 17 Total benefit derived from air improvement

Pollutants	Amount of exhaust gas reduction (ton/year)	Elimination cost (100 M KRW/ton)	Environmental benefits (100 M KRW)
CO	9,632	0.02986	288
HC	1,025	0.0347	36
NOx	917	0.06941	64
PM	2,652	4.3208	11,459
Total (100M KRW)			11,847

5. 결론 및 향후과제

자동차검사 제도 시행으로 발생하는 계량화 가능한 사회적 편익(Benefit)은 교통사고 예방 편익과 대기환경 개선 편익으로 선정하였다.

교통사고 예방 편익의 경우 제동장치(브레이크), 주행장치(타이어) 등 교통사고와 직접적으로 연관이 있는 장치의 안전도 검사 불합격 자료를 베이스 이론을 통해 예방된 교통사고 건수와 사상자를 추정하였다. 이를 의료비용, 생산손실 비용, 물적피해 비용, 사고행정처리 비용, 교통과 심리적 피해비용(PGS; Pain, Grief, and Suffering), 사고 후 처리로 인한 지·정체 혼잡비용, 보험요율 상승 비용을 적용하여 최종 교통사고 예방 편익을 산정하였다.

대기환경 개선 편익의 경우 배출가스 검사에서 불합격된 차량은 배출가스관련 센서, 노후 배기관 등을 정비하여 배출가스 기준치 이내로 주어진 기간 내 적합 판정

을 받아야 하므로 배출가스 검사항목이 불합격 되었을 때의 배출량과 정비 후 재검사에 적합 되었을 때의 배출량의 차이를 비교하여 저감 총량을 추정할 수 있다. 저감 총량은 오염물질별 제거 비용을 적용하여 최종 대기환경 개선 편익을 추정하였다.

그 결과, 교통사고 예방 편익의 경우 교통사고 7,331건, 사망자 172명, 부상자 11,119명의 교통사고 사상자를 예방하여 교통사고 건수로부터 1,741억 원, 사망자 예방으로부터 795억 원, 부상자 예방으로부터 2,403억 원, 교통사고 예방 편익은 4,939억 원으로 추산되었다.

대기환경 개선 편익의 경우 일산화탄소(CO) 9,632톤, 탄화수소(HC) 1,025톤, 질소산화물(NOx) 917톤, 매연(PM) 2,652톤을 저감하여 일산화탄소(CO) 저감을 통해 288억 원, 탄화수소(HC) 저감을 통해 36억 원, 질소산화물(NOx) 저감을 통해 64억 원, 매연(PM) 저감을 통해 1조 1,459억 원, 대기환경 개선 편익은 1조 1,847억 원으로 산정되었다.

본 연구는 자동차검사 시행에 따른 다양한 사회적 편익 중 가장 비중이 큰 교통사고 예방과 대기환경 개선 편익을 산정 방법론을 제시하고 편익 항목을 계량화하였다. 기초 자료를 통해 향후 자동차검사제도를 모니터링 하고 개선 방안을 수립하는데 있어 좀 더 합리적인 접근이 가능할 것으로 기대된다.

또한, 대기환경 개선 편익의 경우, 본 연구에서 제시한 산정 방법론을 발전시켜 차종별 차량연식별 오염물질별 검사종류별 세부사항에 대한 저감 효과 산정방법론 개발을 향후 과제로 제안한다. 이는 향후 배출저감기술 및 전기동력 자동차의 도입 등으로 감소하는 대기환경 개선 효과를 직간접적으로 산정하여 자동차검사제도뿐 아니라 환경부문 자동차관리제도 개선에 긍정적인 영향을 미칠 수 있을 것으로 사료된다.

References

- 1) Korea Transportation Safety Authority (KOTSA), Result of vehicle inspection, <https://vims.kotsa.or.kr>, 2014~2021.
- 2) Korean Law Information Center, Motor Vehicle Management Act, <https://www.law.go.kr>, 2022.
- 3) M. Murphy, N. Jiang, Z. Han, D. Hazlett, C. Baumanis, A. Ahsan, R. B. Machemehl and Z. Zhang, "Economic and Safety Considerations: Motor Vehicle Safety Inspection for Passenger Vehicles in Texas," Center for Transportation Research at the University of Texas at Austin, 2018.
- 4) E. Öezen, E. Genç and Z. Kaya, "Estimation of The Costs of Traffic Accidents in Turkey: An Evaluation in Terms of the Insurance and Financial System," Journal of Yasar University, Vol.9, No.33, pp.5649-5673, 2014.
- 5) W. H. Schulz, Impact Study to Estimate the Economic Effects of the Introduction of PTI in Turkey, Institute for Economic Research & Consulting, 2016.
- 6) K. Kang, J. Han, E. Seo and K. Cho, Korean Environment Institute, Social Costs Caused by Excessive Emission of Air Pollutants from EURO-5 Diesel Passenger Vehicles on the Road, Sejong, 2016.
- 7) H. Jo, J. Shim and J. Kim, "Quantitative Effectiveness Analysis of Vehicle Inspection," Journal of Korean Society of Transportation, Vol.25, No.3, pp.65-74, 2007.
- 8) The Report for Economic Effectiveness Analysis of Vehicle Inspection, Korean Auto-Vehicle Safety Association, 2010.
- 9) Korea Expressway Corporation (EX), <https://www.ex.co.kr/>, 2015.
- 10) National Police Agency, www.police.go.kr, 2018.
- 11) Korea Road Traffic Authority (KoROAD), <http://taas.koroad.or.kr>, 2011.
- 12) T. Lee, M. Um, J. Han, J. Lim, J. Park, J. Gil and J. Kim, "A Study on the Optimal Inspection and Maintenance Program for In-Use Vehicle (II)," National Institute of Environmental Research, pp. 45-51, 2008.
- 13) T. Lee, S. Kwon, J. Park, J. Sohn, J. Hwang, Y. Lim, J. Ko, S. Kim, J. Kim, J. Lee, Y. Park, J. Kim, M. Um, S. Jeon, K. Ahn and D. Lim, "Estimation of Particulate Mass Emissions from Diesel Vehicles using Inspection and Maintenance Results," National Institute of Environmental Research, pp. 14-16, 2013.
- 14) S. Choi, Y. Kim, J. Lee, H. Kim, K. Noh and J. Park, "Effects of Regular Inspection Facility Standards Improvement on Particulate Matter (PM10) Emissions," Journal of Auto-vehicle Safety Association, Vol.11, No.1, pp.36-39, 2019.
- 15) K. Kang, J. Choo, K. Cho, S. Han and J. Lee, Interim Evaluation Study for Diesel Vehicle Emission Reduction Project in the Metropolitan Area, Ministry of Environment, p.107, 2011.