

초소형자동차의 자동차안전기준에 대한 효과분석

장 정 아*¹⁾ · 심 소 정²⁾

아주대학교 TOD기반 도시교통연구센터¹⁾ · 교통안전공단 자동차안전연구원 첨단안전연구처²⁾

Assessment of Vehicle Safety Standard Requirements for New Micro-mobility Vehicle

Jeong Ah Jang*¹⁾ · Sojung Sim²⁾

¹⁾TOD Based Engineering Research Center, Ajou University, Gyeonggi 16499, Korea

²⁾Advanced Vehicle Safety Research Office, Korea Automobile Testing & Research Institute, 200 Samjon-ro, Songsan-myeon, Hwaseong-si, Gyeonggi 18247, Korea

(Received 2 January 2017 / Revised 16 January 2017 / Accepted 24 January 2017)

Abstract : In general, an assessment of the benefits and costs with regard to vehicle safety standards are validated before regulations are implemented. This paper performs this validation for the mandatory automobile safety devices requirement for new micro-mobility. The reviewed car safety standards involved the installation of seat belts, airbags, ABS, crash speed standards, and pedestrian warning system. The benefit was estimated as the cost of accident reduction due to the installation of vehicle safety standards. As a result, the safety belt showed a B / C of 4.0 or higher, and it was found that the seat belt should be installed from 2017. After the seatbelt regulation in 2017, the results of the scenarios with the airbag, ABS, crash speed of 40 km/h, and the pedestrian warning system showed B / C of 1.0 or more according to the year of regulation. This study can be useful as a tool in the decision-making process with regard to the timing and type of vehicle safety standards requirement of micro-mobility in the future.

Key words : Micro-mobility(초소형자동차), Vehicle safety standard(자동차안전기준), Effectiveness analysis(효과 분석), Benefit-cost analysis(비용편익분석)

1. 서론

하이브리드 자동차, 전기자동차 등의 친환경 자동차 기술의 발달과 자동차 연료소비율의 증대로 다양한 차량들이 개발이 되고 있다. 이중 하나가 초소형 전기차이다. 2015년 7월 초소형 전기차의 첫 번째 사용모델인 르노(Renault)사의 트위지(Twizy)가 서울시, 르노삼성, 치킨전문 프랜차이즈 업체인 BBQ와의 협약¹⁾을 통해 실증 운행을 추진하였으나 현재 국내 자동차 관리법의 자동차 기준에 부합하지 못함으로 운행하지 못하였다. 초소형 자동차는

Micro-mobility, Personal mobility vehicle, Micro car/bubble car(Market 관점), Mini-compact car(미국 EPA), Quadricycle(Euro NCAP class), Kei car(Japan) 등 다양한 용어로 사용되고 있으며, 이들의 차량 기준에 대하여서는 국제적으로 표준화된 기준은 명확하게 합의가 되어 있지 않은 실정이다. 이러한 상황은 초소형 자동차가 자동차 시장에 진입하려는 초기 단계로 앞으로 자동차 시장의 상황에 따라 표준화되고 활성화 될 것으로 예상된다. 초소형 자동차는 현재의 경차보다 중량, 크기 등이 작으나 이륜자동차보다는 큰 형태로 향후 단거리 이동에 적합하며 대중교통을 보완할 수 있는 수단으로 적절하여 수

*Corresponding author, E-mail: azang@ajou.ac.kr

요의 증가가 예상된다.

우리나라의 경우 자동차 관리법상 범위가 명확치 않은 새로운 형태의 차량이 도로를 운행하기 위해서는 정부중심으로 안전도규제와 관련된 법제도 정책이 필요하다. 본 연구에서는 초소형 자동차의 자동차안전장치 설치 기준을 마련하기 위한 한 방법으로 안전과 관련된 주요 자동차안전장치의 설치 전후의 비용과 편익분석을 수행하였다. 자동차 안전기준과 관련된 법적 규제를 적용하기 전에 자동차안전장치 기준에 대한 편익비용의 효과분석을 수행하는 것이 일반적이다.

본 연구에서는 초소형자동차의 자동차안전장치 설치 시점과 기준을 마련하기 위한 효과분석을 수행하였다. 분석결과는 정부 정책시행을 객관적 근거로 활용이 될 수 있고 사회 구성원간의 합의 과정을 위한 의사 결정 자료로 활용이 가능하다.

2. 관련 연구 동향

2.1 초소형 자동차의 자동차 안전기준 연구

우리나라는 국토교통부 자동차관리법 제29조제3항, 제29조의3제1항·제4항, 제32조제1항 및 제50조제2항에 따라 자동차 및 이륜자동차의 구조 및 장치에 적용할 안전기준과 자동차 및 자동차의 부품 또는 장치의 안전 및 성능에 관한 시험에 적용할 기준 및 방법을 정하고 있다.²⁾ 상기 제도에는 차량의 중량, 크기 등의 기준을 제시하고 있는데 새로 국내 시장에 출시되는 초소형 자동차의 경우 상기 법규에 적용하지 않는 새로운 형태의 차량이다. 이에 따라 자동차 기준을 정의하고 이에 대한 자동차안전기준을 통한 안전도 수준을 정의하는 것은 중요하다. 유럽, 일본 등에서는 2008~2009년 사이를 시점으로 초소형자동차의 안전성연구를 진행하고 있다. 유럽의 경우 “Regulation (EU) No 168/2013 on the approval and market surveillance of two- or three-wheel vehicles and quadricycles” 법규³⁾는 일반승용자동차가 아닌, 이륜, 삼륜, 혹은 사륜형 자동차로 구분(L-category) 되는 자동차에 대해 적용되는 자동차안전기준이 상세히 제시되어 있다. 일본은 Ultra small mobility category, Kei car 프로젝트⁴⁾ 등을 통해 초소형자동차의 차종분류 및 안전기준 적용에 관한 연구를 진행

해 오고 있다.

우리나라의 경우도 현재 국토교통부 R&D과제 (초소형 자동차 안전기준 및 인증기술 개발, 2015.12-2017.06)를 통하여 수동안전/능동안전 등의 안전성 기준연구를 진행 중에 있다.

2.2 자동차안전장치별 사고감소 효과

자동차안전장치별 사고감소효과(사망자, 중상, 경상)의 효과 기준치를 도출하기 위해서는 실제 사고 데이터를 활용하는 것이 효과적이다. 그러나, 현재 초소형자동차의 경우 관련 데이터가 부족하여 승용자동차(일부는 경차)의 사고데이터를 이용한 기존 문헌의 결과를 참고하여 본 연구에서 준용하였다. 우리나라의 경우 교통사고가 발생하였을 때 차량안전기준의 설치여부와 인체상해율과의 관계를 데이터베이스로 구축하지 않은 상황이다. 이에 비해 유럽, 미국, 호주 등은 사고가 발생된 차량에 대하여 심층데이터(Accident in-depth data)⁵⁾에서 좌석별 승객의 사망/부상정도와 차량의 장착 안전장치 등을 고려하여 관계성 분석을 수행하고 있다. 그러나 2016년 현재, 유럽에서는 초소형자동차는 약 2만대 정도가 지난 3년 정도 운행하였으나, 심층데이터에는 관련 자료가 충분히 축적되어 있지 않아 초소형자동차만으로 관련 분석을 수행하는데 한계가 있다.

따라서 본 연구에서는 일반적인 승용차 대상의 자동차안전장치별 사고감소효과에 대한 관련 문헌들을 분석하여 그 설치효과를 검토하였고 그 기준을 그대로 준용하여 초소형자동차의 자동차안전장치의 장착 효과분석 자료에 적용하였다.

2.2.1 안전띠 장착효과

안전띠의 장착효과분석은 가장 많은 연구가 진행된 분야이다. 본 연구는 안전띠의 효과에 대하여 집대성한 Elvik 등의 연구⁶⁾의 결과를 준용하였다. 상기 연구에서는 29개의 안전띠 착용효과 분석데이터를 메타 분석하였고 본 연구에서는 사망자수 50%감소, 중상 및 경상 45%와 25%의 감소효과를 적용하였다. 우리나라에서는 안전띠 알람장치의 효과와 관련된 심소정 등⁷⁾의 관련 연구가 있다.

2.2.2 잠금 방지 브레이크 시스템(ABS, Anti-lock Brake System) 장착 효과

ABS는 자동차가 급제동할 때 바퀴가 잠기는 현상을 방지하기 위해 개발된 특수 브레이크이다. Fildes 등⁸⁾에서는 ABS 기술의 효과분석을 위한 것으로 VVSMA(The Validating Vehicle Safety through Meta-Analysis)기반으로 Table 1의 연구들⁹⁻¹⁹⁾에 대한 메타분석을 실시하였다. 본 연구에서는 상기 연구와 Fildes 등⁸⁾을 근간으로 치사율 44 % 감소, 추돌사고 38 % 감소에 따른 부상자 감소 효과를 적용하였다.

2.2.3 충돌속도 기준 효과

차량내 운전자 및 탑승객과 보행자의 피해 정도는 차량의 속도와 크게 연관이 있는데, 본 연구에서 확인하고 싶은 충돌기준의 선정과 관련하여서는 일반적인 차량의 속도와 사망 및 부상의 정도의 확률을 기반으로 충돌속도 선정과의 연관성을 검토하였다. Richards¹⁹⁾는 현장 조사데이터를 이용하여 CCIS (Cooperative Crash Injury Study)에 기록된 사고를 기반으로 충돌속도와 탑승객의 인체 사고 상황과의 관련성에 대한 로지스틱 모형을 구축하였다.

Richards¹⁹⁾에서 제시한 충돌속도기준 48 km/h에서 사망확률 37 %, 부상확률 73 %, 충돌속도기준 40 km/h에서 사망확률 15 %, 부상확률 51 %, 충돌속도기준 32 km/h에서는 사망확률 9 %, 부상확률 27 %이 나타났었다. 이러한 충돌속도에 따른 수치 변화를 이용하여 본 연구의 사고감소비율로 활용하였다.

2.2.4 에어백 장착효과

앞좌석 에어백의 효과를 추정하기 위하여 연구문헌 데이터를 분석하였다.^{21,22)} 그 결과 본 연구에서는 사망사고 56 % 감소, 부상자수 36 % 감소치를 토대로 분석하였다. 물론 Table 2와 같이 기존 연구문헌에서 에어백의 설치위치와 유형이 사고감소효과에 중요한 역할을 하고 있음을 알 수 있으나, 초소형 자동차의 경우 1개의 운전자 보호용 에어백만이 설치기준으로 활용될 가능성이 있기 때문에 일반적인 값을 적용하였다.

2.2.5 보행자 알림장치 장착효과

초소형 자동차가 국지도로 등의 생활도로에 많이 운행할 것으로 보인다. 이 때문에 일본에서는 보행자와의 충돌알림장치의 장착을 추진하였다. 본 연구에서도 보행자 알림장치를 장착할 경우에 대하여 검토하였다. 알림장치의 효과는 Kulmala²³⁾, Milligan 등²⁴⁾에서 제시한 30 %의 사고감소효과를 적용하였다. 우리나라 경우 오철 등²⁵⁾에서는 보행자 안전기준 변수에 대한 연구는 진행한 결과는 존재하나 사고 감소에 대한 결과는 분석된 바가 없다.

3. 안전기준 적용 항목별 효과분석 모델 개발

3.1. 초소형자동차의 시장 및 사고데이터 추정

초소형자동차가 실제 도로에 얼마나 운행될지 그리고, 이로 인한 교통사고가 얼마나 발생할지는 중요한 도로 환경 값이 된다. 본 연구에서는 초소형자동차의 운행대수는 연간 300대~1800대 정도로 가정하였다. 실제 수요예측은 안전장치의 효과분석의

Table 1 Published studies of ABS

Study	Assesment method	Crash reductions	Injury reductions			
			Fatalities	Serious	Slight	Injuries
Sugimoto and Sauer ⁹⁾	Simulation rear-end crashes	38 %	44 %			
Page 등 ¹⁰⁾	Case analysis		7.50 %			11 %
Najm 등 ¹¹⁾	FOT responses	6 % ~ 15 %				
Breuer 등 ¹²⁾	Simulation ped/rear crashes	44 %				
Kuehn 등 ¹³⁾	Case analysis front/rear crash	40.80 %	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
GDV ¹⁴⁾	Case analysis rear-end crashes	13.90 %	2.20 %	9.40 %	35.70 %	
Grover 등 ¹⁵⁾	Case analysis sensitive crashes	30 %				
HLDI ¹⁶⁾	Insurance claims	22 % ~ 27 %				51 %
Döcke ¹⁷⁾	Case analysis rear-end crash	25 % ~ 28 %				
Chauvel ¹⁸⁾	Case analysis pedestrians	4.30 %	15 %	37 %	n.a.	n.a.

Table 2 Published studies of airbags

Study	Number of effect estimates	Study design	Injury severity	Database
Braver 등 ²⁸⁾	2	BA	Fatal	Fatal
Braver 등 ²⁹⁾	1	MV	Fatal	Fatal
Cuerden 등 ³⁰⁾	2	CC	Fatal, injury	Fatal and injury
Cummings 등 ³¹⁾	7	MV	Fatal	Fatal
Cummins 등 ³²⁾	2	MV	Injury	Fatal and injury
Edwards ³³⁾	1	BA	Fatal	Fatal
Ferguson 등 ³⁴⁾	5	BA	Fatal	Fatal
Fildes 등 ³⁵⁾	2	CC	Injury	Fatal and injury
Fildes 등 ³⁶⁾	1	CC	Injury	Fatal and injury
Frampton 등 ³⁷⁾	2	CC	Injury	Fatal and injury
Huere 등 ³⁸⁾	1	CC	Injury	Fatal and injury
Joksch ³⁹⁾	18	CC	Fatal	Fatal
Kahane ⁴⁰⁾	5	CC	Fatal	Fatal
Klanner 등 ⁴¹⁾	1	CC	Injury	Fatal and injury
Lenard 등 ⁴²⁾	2	CC	Fatal, injury	Fatal and injury
Maclennan 등 ⁴³⁾	1	MV	Fatal	Fatal and injury
Malliaris 등 ⁴⁴⁾	2	CC	Fatal	Fatal
Meyer and Finney ⁴⁵⁾	3	MV/CC	Fatal	Fatal and injury
Olson 등 ⁴⁶⁾	4	MV	Fatal	Fatal
Segui-Gomez ⁴⁷⁾	1	MV	Fatal	Fatal and injury
Zador and Ciccone ⁴⁸⁾	1	Case control	Fatal	Fatal

- BA: before and after study; CC: case control study; MV: multivariate study.

B/C에는 영향을 주지 않는다. 이는 초소형자동차에 자동차안전장치가 설치되지 않았을 경우 대비하여 자동차안전장치의 설치후의 사고편익 분석을 추정하여 그 변동비를 확인하기 때문이다. 즉, 실제 운행 대수 규모는 편익 비용 비에는 영향을 주는 요인이 아니며 순현재가치 등의 규모에는 영향을 줄 수 있는 요인이다.

초소형자동차의 초기 사고데이터(사망자수, 부상자수 등)의 추정은 이륜자동차 교통사고데이터²⁶⁾와 승용차사고데이터(경차기준)의 중간의 단위 변수로 가정하였다.

3.2 자동차안전기준 항목의 설정

유럽, 일본 및 우리나라 승용자동차/이륜자동차 안전기준의 항목별 비교하여 초소형 자동차에 적용 및 도입 가능한 안전기준 장치 항목은 Fig. 1과 같이 5가지 사항으로 구분하였고 항목별 적용기준은 아래와 같이 한정하였다. 여기서, 에어백은 반드시 안전띠와 같이 설치하여야 효과가 있기 때문에 에어

백 설치시 안전띠는 같이 장착함을 기본 대안으로 하였다.

- ① ABS: 미장착시/장착시
- ② 안전띠: 미장착시/장착시
- ③ 에어백: 미장착시/장착시
- ④ 충돌속도기준: 48 km/h, 40 km/h, 32 km/h
- ⑤ 보행자 안전장치: 미장착시/장착시

3.3 안전장치 설치 전후에 대한 인체 상해를 평가모형

안전장치의 증가됨에 따라 안전도가 높아져 인체 사상율지표는 점차 증가될 것으로 보이며, 이러한 모형에 대한 연구는 Evans의 연구²⁷⁾가 대표적이다. Evans²⁷⁾는 사상율감소 비율(F)는 초기 활용비율(u_i)과 목표 활용비율(u_f)과의 관계와 상해를 감소효과(E)의 관계를 식 (1)과 같이 모형화하였다.

$$F = \frac{E(u_f - u_i)}{1 - Eu_i} \quad (1)$$



Fig. 1 Vehicle safety standard in Micro-mobility

where F = fractional reduction in casualties

E = vehicle standard effectiveness (Table 3)

- u_f = final using rate (%)

- u_i = initial using rate (%)

3.4 시나리오 설정

평가지표들의 예측은 2017년부터 10년간 예측 분석하였다. 초소형자동차의 일반적인 내구연한은 7년이고 도입연도는 2017~2020년으로 검토하였기에 분석기간은 10년으로 설정하였다.

- 시나리오 설계(안전기준항목별 수준, 도입연도)

- 기준연도: 2017년

- 분석기간: 10년 (2017년~2026년)

여기서 대안 0는 5가지의 항목을 모두 적용하지 않을 경우의 차량을 대상으로 한다. 이후 식 (1)에 의한 사고감소효과를 고려하여 47개의 대안별 사고감소효과 편익을 계산하였다.

비용 항목의 경우, 자동차안전기준 설치에 따른 소요비용은 초소형자동차 개발업체에서 제공받아 활용하였다.

편익 항목은 사고감소효과만을 계량화하였고, 연간 교통사고 비용(사망자/중상자/경상자/부상신

고자 사고비용(건당 연간))은 경찰청²⁶⁾에서 제공하는 자료를 활용하였다.

3.5 시나리오별 자동차안전장치의 사고감소효과

식 (1)에 대하여 ABS, 안전띠, 안전띠/에어백, 충돌속도 기준 설정 및 보행자 알람장치의 5가지의 자동차 안전장치의 설치 전후 효과에 대하여 분석하면 Table 3과 같이 산정할 수 있다. 이때 두 가지 이상의 자동차 안전장치의 효과는 실제로는 독립적인 값이 아니고 서로 연관하여 사고에 영향을 미칠 것으로 판단되나, 데이터의 부족으로 인하여 실제 그 효과를 명확하게 구분하기 어렵다.

이에 두 가지 이상의 자동차 안전장치의 효과는 각각이 독립적으로 사망, 부상 등에 영향을 미친다고 가정하고 식 (2)의 결합 확률을 이용하여 사고감소효과를 계량화 하였다.

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) \quad (2)$$

where, $P(A)$: fractional reduction in casualties of vehicle standard A

$P(B)$: fractional reduction in casualties of vehicle standard B

초소형자동차의 자동차안전기준에 대한 효과분석

Table 3 Accident reduction rate about each scenarios

Scenarios	ABS		Seatbelt		Airbag		Crash speed standard			Pedestrian warning system		Accident reduction rate (%)				
	X	O	X	O	X	O	X	48 km/h	40 km/h	32 km/h	X	O	Fatality	Serious injury	Slight injury	Minor injury
#0	O		O		O		O				O		0.0	0.0	0.0	0.0
#1	O		O		O			O			O		37.0	73.0	73.0	73.0
#2	O		O		O				O		O		15.0	51.0	51.0	51.0
#3			O		O					O	O		9.0	27.0	27.0	27.0
#4		O			O		O				O		44.0	38.0	38.0	38.0
#5	O			O	O		O				O		48.0	55.0	55.0	55.0
#6	O			O		O	O				O		56.0	36.0	36.0	36.0
#7	O		O		O		O					O	30.0	30.0	30.0	30.0
#8		O		O	O		O				O		64.6	69.4	69.4	69.4
#9		O		O		O	O				O		70.1	56.5	56.5	56.5
#10		O	O		O			O			O		57.2	81.6	81.6	81.6
#11		O	O		O				O		O		42.2	66.7	66.7	66.7
#12		O			O					O	O		38.1	50.4	50.4	50.4
#13		O	O		O		O					O	52.4	52.4	52.4	52.4
#14	O			O	O			O			O		67.2	87.9	87.9	87.9
#15	O			O	O				O		O		55.8	78.0	78.0	78.0
#16	O			O	O					O	O		52.7	67.2	67.2	67.2
#17	O			O	O		O					O	63.6	68.5	68.5	68.5
#18	O			O		O		O			O		72.3	82.7	82.7	82.7
#19	O			O		O			O		O		62.6	68.6	68.6	68.6
#20	O			O		O				O	O		60.0	53.3	53.3	53.3
#21	O			O		O	O					O	69.2	55.2	55.2	55.2
#22	O		O		O			O				O	55.9	81.1	81.1	81.1
#23	O		O		O				O			O	40.5	65.7	65.7	65.7
#24	O		O		O					O		O	36.3	48.9	48.9	48.9
#25		O		O	O			O			O		77.7	91.7	91.7	91.7
#26		O		O	O				O		O		69.9	85.0	85.0	85.0
#27		O		O	O					O	O		67.8	77.7	77.7	77.7
#28		O		O	O		O					O	75.2	78.6	78.6	78.6
#29		O		O		O		O			O		81.2	88.2	88.2	88.2
#30		O		O		O			O		O		74.6	78.7	78.7	78.7
#31		O		O		O				O	O		72.8	68.2	68.2	68.2
#32		O		O		O	O					O	79.1	69.5	69.5	69.5
#33		O	O		O			O				O	70.0	87.1	87.1	87.1
#34		O	O		O				O			O	59.5	76.7	76.7	76.7
#35		O	O		O					O		O	56.7	65.3	65.3	65.3
#36	O			O	O			O				O	77.1	91.5	91.5	91.5
#37	O			O	O				O			O	69.1	84.6	84.6	84.6
#38	O			O	O					O		O	66.9	77.0	77.0	77.0
#39	O			O		O		O				O	80.6	87.9	87.9	87.9
#40	O			O		O			O			O	73.8	78.0	78.0	78.0
#41	O			O		O				O		O	72.0	67.3	67.3	67.3
#42		O		O	O			O				O	84.4	94.2	94.2	94.2
#43		O		O	O				O			O	79.0	89.5	89.5	89.5
#44		O		O	O					O		O	77.5	84.4	84.4	84.4
#45		O		O		O		O				O	86.8	91.8	91.8	91.8
#46		O		O		O			O			O	82.2	85.1	85.1	85.1
#47		O		O		O				O		O	77.5	84.4	84.4	84.4

$P(A \cup B)$: fractional reduction in casualties of vehicle standard A or B

$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B)$, fractional reduction in casualties of vehicle standard A and B

4. 효과분석 결과

4.1 1개의 자동차안전장치 도입시나리오

분석연도별 자동차안전장치의 도입시에 대한 대안별 B/C를 분석하였다. 여기서 B/C는 식 (3)과 같이 계산된다.

$$\text{benefit cost ratio} = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}} \quad (3)$$

where, B_t = annual benefit at t,

C_t = annual cost at t, r = social discount rate (5.5%), n = total study period

자동차안전장치의 도입에 따른 연도별 효과분석 결과는 Table 4와 같다. 안전띠는 B/C가 4.0전후로 나타났고 다른 장치는 모두 단일항목만 도입할 경우 B/C가 1.0이하로 나타났다. 이는 안전띠 외에는 다른 장치만 단독적으로 도입하는 것은 경제성이 없다는 것을 의미한다. 여기서 자동차의 충돌 속도기준 32 km/h의 경우 기본적으로 만족하는 수준으로 고려되어 상기 효과분석에서는 제외하였다.

4.2 2개 이상의 자동차안전장치 도입시나리오

안전띠는 기본적으로 2017년부터 도입하고 다른 장치를 추가 도입할 경우에 대하여 평가하였다. 그 결과는 Table 5와 같다.

안전띠와 ABS가 동시 도입할 경우 B/C는 1.4이상으로 나타났다. 안전띠와 에어백은 2018년 이후 B/C는 1.0이상으로 나타났다. 안전띠와 충돌속도기준 40 km/h일 때 2019년 이후 B/C가 1.0이상으로 나타난다. 그리고 안전띠와 보행자알림장치의 경우 B/C가 2017년부터 B/C가 1.0이상으로 나타난 결과를 보이고 있다. 따라서 반드시 안전띠는 도입해야 하며, 다른 자동차 안전장치의 경우 장치의 도입의 경우 ABS, 에어백, 충돌속도기준 조정, 보행자 경고

Table 4 Benefit cost ratio about individual vehicle safety standard

Scenarios		Introduction year in new regulation	B/C
ABS only		2017	0.9
		2018	0.88
		2019	0.87
		2020	0.86
Seatbelt only		2017	4.19
		2018	4.12
		2019	4.05
		2020	3.99
Airbag only		2017	0.92
		2018	0.90
		2019	0.88
		2020	0.87
Crash speed standard	40 km/h	2017	0.66
		2018	0.65
		2019	0.64
		2020	0.63
	48 km/h	2017	0.48
		2018	0.47
		2019	0.47
		2020	0.46
Pedestrian warning system only		2017	0.63
		2018	0.62
		2019	0.60
		2020	0.60

장치를 추가적으로 병행하여 도입하여도 사고감소 편익에 대한 경제성은 충분할 것으로 판단된다.

4.3 3개이상의 자동차안전장치 도입시나리오

안전띠를 2017년 도입을 하고 추가적인 두가지의 자동차안전장치의 도입시나리오를 검토한 결과 Table 6과 같이 시나리오 1, 시나리오 2의 결과에서 B/C가 1.0이상으로 나타났다. 두 가지 경우는 2020년 에어백과 ABS를 동시 도입하는 경우와 2020년 ABS와 보행자 알림 장치를 동시 도입할 경우이다. 이외에 B/C가 1.0 근접한 경우(여기서는 0.95 이상)를 확인한 결과로 시나리오 3~6와 같은 경우가 나타났다. 3가지 이상의 안전기준 도입할 경우 안전띠는 2017년 도입하고 추가적인 안전장치로 에어백과 ABS를 2020년에, 혹은 ABS와 보행자경고장치를 2020년에 도입하는 경우가 가장 경제성이 높을 것으로 판단된다.

Table 5 Benefit cost ratio about added vehicle safety standard with seatbelt

Scenarios		Introduction year in new regulation	B/C
Seatbelts + ABS		2017	1.42
		2018	1.51
		2019	1.62
		2020	1.74
Seatbelts + Airbag		2017	0.92
		2018	1.05
		2019	1.21
		2020	1.38
Seatbelts + crash speed standard	40 km/h	2017	0.89
		2018	0.95
		2019	1.03
		2020	1.12
	48 km/h	2017	0.55
		2018	0.58
		2019	0.63
		2020	0.68
Seatbelts + Pedestrian warning system		2017	1.12
		2018	1.20
		2019	1.29
		2020	1.41

Table 6 Benefit cost ratio about 3 vehicle safety standards categories

Scenarios		Introduction year in new regulation	B/C
#1	Seatbelt	2017	1.02
	Airbag	2020	
	ABS	2020	
#2	Seatbelt	2017	1.02
	ABS	2020	
	Pedestrian warning system	2020	
#3	Seatbelt	2017	0.99
	ABS	2019	
	Pedestrian warning system	2020	
#4	Seatbelt	2017	0.98
	ABS	2019	
	Airbag	2020	
#5	Seatbelt	2017	0.96
	ABS	2018	
	Pedestrian warning system	2020	
#6	Seatbelt	2017	0.95
	ABS	2018	
	Airbag	2020	

5. 결론 및 한계점

자동차 안전장치의 도입에 대한 규제는 나라별로 각각의 교통상황에 따라 다르고 규제년도 등의 차이가 존재한다. 이러한 경우 일반적으로 편익비용을 기반을 둔 경제성 분석을 통하여 그 도입효과에 대한 의사결정 자료를 마련할 수 있다.

본 연구에서는 초소형 자동차의 자동차안전장치의 도입시나리오를 검토하기 위해 편익비용을 통한 효과분석을 수행하였다. 그 결과 안전띠의 설치 필수적으로 판단되었고, 다른 자동차안전장치는 도입년도와 도입안전장치의 개수에 따라 B/C가 1.0 이상으로 나타나서 경제성이 있는 도입시나리오가 확인되었다. 2개 이상의 자동차 안전장치를 도입할 경우는 안전띠는 필수적으로 초기년도부터 도입해야 하고, ABS, 에어백, 40 km/h 충돌기준 만족, 보행자 경고시스템은 도입연도별 B/C가 차이가 있지만 도입하여도 경제성이 충분히 존재할 것으로 보인다. 3개 이상의 자동차 안전장치를 도입할 경우는 안전띠는 2017년 도입하고 추가적인 안전장치로 에어백과 ABS를 2020년에, 혹은 ABS와 보행자경고장치를 2020년에 도입하는 경우가 가장 경제성이 높을 것으로 판단된다. 그러나, 각 안전기준 장치에 대한 도입기술수준, 관련 기업의 현황 혹은 국제기준 조화 등의 다른 요소와 병행하여 검토할 필요성은 존재한다.

본 연구의 경우, 이러한 측면에서 초소형자동차의 자동차안전기준의 도입에 대한 시나리오 검토를 수행하였다. 본 연구의 몇 가지 한계를 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 현재 운행하지 않는 신규 차량의 도입시 시장규모의 추정은 중요한 문제로 보이나, 자동차안전기준과 관련된 편익 비용 효과분석에는 영향을 주지 않았다. 그러나 순현재가치 및 사회적 효과 산정에서는 중요한 변수가 될 수 있기 때문에 시장규모에 대한 검토는 필요하다고 보인다.

둘째, 자동차안전기준의 도입에 따른 사망자, 부상자수 등의 사고 편익을 추정하는 것은 중요하나 현재 관련 자료의 부재로 승용차의 도입 시의 상해율 모형을 그대로 적용하였다. 이에 따라 초소형자동차의 안전도 평가시 오류가 일부 존재한다.

셋째, 경제성분석 결과만을 가지고 자동차안전 장치의 도입 시점을 결정하기는 어렵다. 정량적 효과분석 자료는 기반 자료로 활용하되 기술의 여건(기술실현시기), 기업의 상황 및 국제적 기준 적용 흐름 등의 추가적인 평가지표를 고려하여 자동차안전 도입 시점을 결정하는 것이 중요할 것으로 보인다.

후 기

본 연구는 2015년도 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원의 지원을 받은 “15TLRP-C108635-01” 일환으로 수행하였음.

References

- 1) <http://news.mt.co.kr/mtview.php?no=2015070113363057455&vbg=autom>, 2016.11.30.
- 2) <http://www.law.go.kr>, 2016.11.30.
- 3) EU, Regulation No 168/2013, On the Approval and Market Surveillance of Two- or Three-wheel Vehicles and Quadricycles, 2013.
- 4) https://en.wikipedia.org/wiki/Kei_car, 2016.11.30.
- 5) http://ec.europa.eu/transport/road_safety/specia list/erso/methods_en, 2016.11.30.
- 6) R. Elvik, A. Hoye, T. Vaa and M. Sorensen, The Handbook of Road Safety Measures, 2nd Edn., Emerald Group Publishing, p.89, 2009.
- 7) S. J. Shim, J. A. Jang and S. W. Kim, “Benefit Assessment for Consolidating Fitment of Safety Belt Reminder,” KSAE Annual Conference Proceedings, pp.956-957, 2015.
- 8) B. Fildes, M. Keall, N. Bos, A. Lie, Y. Page, C. Pastor and C. Tingvall, “Effectiveness of Low Speed Autonomous Emergency Braking in Real-world Rear-end Crashes,” Accident Analysis & Prevention, Vol.81, pp.24-29, 2015.
- 9) Y. Sugimoto and C. Sauer, “Effectiveness Estimation Method for Advanced Driver Assistance System and its application to Crash Mitigation Brake Systems,” The 19th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles(ESV), Washington D.C., 2005.
- 10) Y. Page, J. Foret-Bruno and S. Cuny, “Are Expected and Observed Effectiveness of Emergency Brake Assist in Preventing Road Injury Accidents Consistent?,” 19th ESV Conference, Washington D.C., 2005.
- 11) W. G. Najm, M. D. Stearns, H. Hwarth, J. Koopmann and J. Hitz, Evaluation of an Automotive Rear- End crash Avoidance System(Technical Report, DOT HS 810 569), Cambridge, MA: John A. Volpe National Transportation System Center, U.S. Department of Transportation, 2005.
- 12) J. J. Breuer, A. Faulhaber, P. Frank and S. Gleissner, “Real World Safety Benefits of Brake Assistance Systems,” Proceedings of the 20th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles(ESV) in Lyon, 2007.
- 13) M. Kuehn, T. Hummel and J. Bende, “Benefit Estimation of Advanced Driver Assistance Systems for Cars Derived from Real-world Accidents,” The 21st International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles Conference(ESV), Stuttgart, 2009.
- 14) GDV, Advanced Driver Assistance Systems, Research Report FS 03, Unfallforschung der Versicherer (GDV), German Insurance Association Insurers Accident Research, Berlin, 2011.
- 15) C. Grover, I. Knight, F. Okoro, I. Simmons, G. Couper, P. Massie and B. Smith, “Automated Emergency Brake Systems: Technical Requirements, Costs and Benefits,” PPR227, TRL Limited, DG, Enterprise, European Commission, 2008.
- 16) HLDI, Volvo’s City Safety Prevents Low-speed Crashes and Cuts Insurance Costs, Status Report, Vol.46, No.6, 2011.
- 17) S. D. Docke, R. W. G. Anderson, J. R. R. Mackenzie and G. Ponte, “The Potential of Autonomous Emergency Braking Systems to Mitigate Passenger Vehicle Crashes,” Policing and Education Conference, Wellington, 2012.
- 18) C. Chauvel, Y. Page, B. N. Fildes and J. Lahausse, “Automatic Emergency Braking for Pedestrians Effective Target Population and Expected Safety Benefits,” The 23rd International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles(ESV), Seoul, 2013.

- 19) D. C. Richards, Relationship between Speed and Risk of Fatal Injury: Pedestrians and Car Occupants, Road Safety Web Publication, No.16, Department for Transport: London, 2010.
- 20) Høye, A. "Are Airbags a Dangerous Safety Measure? A Meta-analysis of the Effects of Frontal Airbags on Driver Fatalities," Accident Analysis & Prevention, Vol.42, No.6, pp.2030-2040, 2010.
- 21) P. A. MacLennan, W. S. Ashwander, R. Griffin, G. McGwin and L. W. Rue, "Injury Risks between First-and Second-generation Airbags in Frontal Motor Vehicle Crashes," Accident Analysis & Prevention, Vol.40, No.4, pp.1371-1374, 2008.
- 22) D. J. Gabauer and H. C. Gabler, "The Effects of Airbags and Seatbelts on Occupant Injury in Longitudinal Barrier Crashes," Journal of Safety Research, Vol.41, No.1, pp.9-15, 2010.
- 23) R. Kulmala, "Ex-ante Assessment of the Safety Effects of Intelligent Transport Systems," Accident Analysis & Prevention, Vol.42, No.4, pp.359-1369, 2010.
- 24) C. Milligan, A. Kopp, S. Dahdah and J. Montufar, "Value of a Statistical Life in Road Safety: A Benefit-transfer Function with Risk-analysis Guidance based on Developing Country Data," Accident Analysis & Prevention, Vol.71, pp.236-247, 2014.
- 25) C. Oh, B. I. Kim, Y. S. Kang and Y. H. Youn, "Methodology for Optimizing Parameters of Vehicle Safety Regulation on Pedestrian Protection," Transactions of KSAE, Vol.14, No.5, pp.186-194, 2006.
- 26) Transportation Safety Authority, Traffic Accident Analysis System DB, from <https://taas.koroad.or.kr/index.jsp>, 2016. 11. 30.
- 27) L. Evans, Traffic Safety and the Driver, Van Nostrand Reinhold, New York, p.20, 1991.
- 28) E. R. Braver, J. A. Kufera, M.T. Alexander, M. Scerbo, K. Volpini and J. P. Lloyd, "Using Head-on Collision to Compare Risk of Driver Death by Frontal Air Bag Generation: a Matched Pair Cohort Study," American Journal of Epidemiology, Vol.167, pp.547-552, 2007.
- 29) E. R. Braver, S. Y. Kyrychenko and S. A. Ferguson, "Driver Mortality in Frontal Crashes: Comparison of Newer and Older Airbag Designs," Traffic Injury Prevention, Vol.20, pp.24-30, 2005.
- 30) R. Cuerden, J. Hill, A. Kirk and M. Mackay, "The Potential Effectiveness of Adaptive Restraints," In: International IRCOBI Conference on the Biomechanics of Impact, Isle of Man, UK., October, 2001.
- 31) P. Cummings, B. McKnight, F. P. Rivara and D. C. Grossman, "Association of Driver Airbags with Driver Fatality: a Matched Cohort Study," British Medical Journal, Vol.324, pp.1119-1122, 2002.
- 32) J. S. Cummins, K. J. Koval, R. V. Cantu and K. F. Spratt, "Risk of Injury Associated with the Use of Seat Belts and Airbags in Motor Vehicle Crashes," Bulletin of the NYU Hospital for Joint Disease, Vol.66, pp.290-296, 2008.
- 33) W. R. Edwards, "An Effectiveness Analysis of Chrysler Driver Airbags After Five Years Exposure," Proceedings of the Fourteenth International Technical Conference on Enhanced Safety of Vehicles, May 23-26, pp.556-561. 1995.
- 34) S. A. Ferguson, A. K. Lund and M. A. Greene, "Driver Fatalities in 1985-1994 Airbag Car," Insurance Institute for Highway Safety, Arlington, VA., 1995.
- 35) B. Flides, H. Deery, J. Lenard, D. Kenny, K. Edwards-coghill and S. Jacobsen, "Effectiveness of Airbags in Australian," 15th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Melbourne, Australia, 96-S6-O-17, 1996.
- 36) B. Flides, H. Deery and P. Vulcan, "A Preliminary Analysis of the Effectiveness of Airbag Technology in Reducing Seatbelt injuries," Proceedings of the 1997 International IRCOBI Conference on the Biomechanics of Impact, Hanover, Germany, pp.387-397, 1997.
- 37) R. Frampton, R. Sferco, R. Welsh, A. Kirk and P. Fay, "Effectiveness of Airbag Restraints in Frontal Crashes: What European Field Studies

- Tell Us,” Proceedings of the 2000 International IRCOBI Conference on the Biomechanics of Impact Montpellier, France, September, pp.425-438, 2000.
- 38) K. F. Huere, J. Y. Foret-Bruno, G. Faverjo and J. Y. LeCoz, “Airbags Efficiency in Frontal Real World Accidents,” Proceedings of the 17th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Amsterdam, June, 2001-S1-O-193, 2001.
- 39) H. C. Joksche, Update of Airbag Fatalities Approximation for Passenger Car Fleet, University of Michigan, Transportation Research Institute, Report UMTRI-05-33, 1995.
- 40) C. J. Kahane, Fatality Reduction by Airbags: Analyses of Accident Data through Early 1996, NHTSA Technical Report No.DOT HS 808 470, Washington, 1996.
- 41) W. Klanner, R.Ambos and H. Paulus, Accident Injures in Vehicles with Airbags, Report of the Bundesanstalt fur Strabenwesen, Fahrzeugtechnik, Heft F 53, 2004.
- 42) J. Lenard, R. Frampton and P. Thomas, “The Influence of European Airbags on Crash Injury Outcome,” 16th international Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Windsor, Canada, 98-S5-O-01,1998.
- 43) P. A. Maclennan, W. S. Ashwander, R. Griffin, G. McGwin and R. W. Loring III, “Injury Risks Between First-a and Second-generation Airbags in Frontal Motor Vehicle Collisions,” Accident Analysis and Prevention, Vol.40, pp.1371-1374, 2008.
- 44) A. C. Malliaris, J. H. Delois and K. H. Digges, “Airbag Field Performance and Injury Patterns,” SAE 960659, 1996.
- 45) M. Meyer and T. Finney, “Who Wants Airbags?,” Chance, Vol.18, No.29, pp.3-16, 2005.
- 46) C. M. Olson, P. Cummings and F. Rivara, “Association of First- and Second-generation Air Bags with Front Occupant Death in Car Crashes: a Matched Cohort Study,” American Journal of Epidemiology, Vol.164, pp. 161-169, 2006.
- 47) M. Segui-Gomez, “Driver Air Bag Effectiveness by Severity of the Crash,” American Journal of Public Health, Vol.90, pp. 1575-1581, 2000.
- 48) P. L. Zador and M. A. Cicconce, “Automobile Driver Fatalities in Frontal Impacts: Air Bags Compared with Manual Belts,” American Journal of Public Health, Vol.83, pp.661-666, 1993.