

상호작용효과에 의한 고령자 사고 추가발생비용 추정에 대한 연구

윤병조*

A Study of the Estimation of Additional Costs on the Car Accident for Senior People Due to Interaction Effects

Yoon, Byoung-Jo*

Abstract: Studies on the calculation of accident costs include the approach on calculating damage costs covering all accidents regardless of first or secondary party and the one calculating damage costs generated by a single victim. These two approaches have a limitation of considering a subject for costs analysis as a single entity. In addition, research on estimating the interaction effects caused in the relationship between diverse traffic accident features and factors remains inadequate since most studies focused on calculating costs incurred in a single entity such as a victim, damaged building, or social organization in charge of managing car accident. This study intends to identify the expected range of old age where a specific interaction effect would remain, compare accidents between old age section and the entire age section, and discover an exogenous variable to be applied in accident drop effects in senior people and reduced benefits by calculating and testing additional accident costs in case the first party and the second party all pertain to the senior age section. By classifying the entire accidents caused by old drivers according to the types of cars, significant coefficients representing the influence that affects car accidents according to the characteristics are calculated and set them as the representative variables by selecting top variable in accordance with from low to high order. Furthermore, characteristics on five age groups such as a group of over 65 and less than 70, a group of over 70 and less than 75, a group of over 75 and less than 80, a group of over 80 and less than 85, and a group of over 85 are elicited and compared them with these preselected accident characteristics variables, thereby identifying what changing effects come out.

키 워 드: 상호작용 효과, 고령운전자 사고, 사고비용

Key Words: Interaction Effect, Elderly Driver Accident, Accident Costs

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

교통사고는 인적피해, 물적피해, 사회적피해와 거시적으로는 심리적 피해까지 일으키며 많은 비용을 발생시킨다. 이처럼 교통사고로 인해 발생하는 다양한 피해요소를 비용으로 환산하여 추정하는 것은 교통안전사업의 절감편익을 산정하거나 기타 교통관련사업의 효과를 적용하기 위하여 활용할 수 있다.

하지만 현재까지 이루어진 사고비용 산출에 대한 연구론은 1당사자와 2당사자 구분없이 사고 전체를 아우르는 피해비용을 산출하는 방식의 접근 방법과, 사상자 1인 기준으로 발생하는 피해비용을 산출하는 방식의 접근 방법으로 나뉘며, 두 접근방법 모두 비용분석의 대상을 단일 객체로 간주하고 분석하는 한계를 지니고 있다.

또한, 교통사고가 일어났을 경우 피해를 입는 사람이나 손상된 시설, 교통사고를 수습하는 사회적 기관 등 개별 단위에서 발생하는 비용이나

각 비용을 산출하는 과정에만 중점적으로 연구가 진행되었기 때문에 다양한 교통사고 특성 및 요소들의 관계속에서 발생하는 상호작용효과를 추정하는 연구는 미비한 실정이며, 차대차사고, 차대사람사고, 가해자와 피해자, 1당사자와 2당사자의 관계와 같이 단독사고를 제외한 교통사고는 두 명 이상의 당사자에 의해 발생되므로 이런 관계속에 상호작용효과가 내재되어 있을 수 있기에 외생변수를 발견하는 것은 매우 중요하다.

특히 고령자 사고에 대한 대부분의 연구들은 만 65세 이상의 고령운전자 혹은 고령보행자 관점에서 사고특성을 분석하였으나, 1당사자가 고령자인 경우 2당사자의 연령과, 2당사자가 고령자인 경우 1당사자의 연령은 고려되지 않음으로써 1당사자와 2당사자의 연령 특성의 관계속에서 발생될 수 있는 상호작용효과는 거의 고려되지 않았다고 볼 수 있다.

이에 본 연구에서는 특정한 상호작용효과가 있을 것으로 예상되는 고연령 구간을 확인한 뒤

* 인천대학교 도시과학대학 도시공학과 교수, 교신저자(bjyoon63@inu.ac.kr).

고연령 구간과 전체 연령 구간 사이에서 발생된 사고를 비교분석하여 1당사자와 2당사자가 모두 고연령 구간일 때 추가로 발생하는 사고비용을 산출 및 검정함으로써 고령자 사고감소효과 및 절감편익에 활용될 수 있는 외생변수를 발견하며 고령자 비율에 따른 사고절감편익의 분포와 추이를 분석하고자 한다.

1.2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서 활용될 평균피해비용은 전국 교통사고 데이터에 도로교통공단에서 제공하는 도로교통 사고비용의 추계와 평가 자료를 적용하여 2013년-2015년 전국 교통사고 자료 중 차대차 사고에 해당되는 317,258건의 각 사고별 피해비용을 산출하여 사고별 경중률을 비교할 수 있도록 한다.

1당사자와 2당사자에 따라 정렬한 교통사고의 평균비용과 사고건수를 Z값으로 표준화하여 상호작용효과가 있을 것으로 추정되는 고령구간을 산출하였으며 고령구간은 65세 이상인 것으로 나타났다. 해당 연령구간을 기준으로 사고의 유형을 전체 사고, 1당사자가 고령자인 사고, 2당사자가 고령자인 사고, 1·2당사자 모두 고령자인 사고 등 총 네가지로 분류한다.

1·2당사자 모두 고령자인 사고에서 발생하는 당사자간 상호작용효과에 의한 추가발생비용을 확인하기 위해서 사망, 중상, 경상, 부상없음 등 상해정도에 따른 평균피해비용을 확인하고 사고별 비용을 산출하여 비교한다.

네 유형의 분포의 차이를 검정하기 위해 모수분석인 ANOVA와 사후분석을 수행했다.

2. 기존 문헌고찰

2.1 사상자 피해종별 평균비용 추정

구체적인 각종 교통안전사업의 예산책정 및 사업시행 전후의 경제성을 평가하기 위해서 사회기관비용이 반영된 사상자 피해종별 평균비용이 필요하며, 도로교통 사고비용의 추계와 평가 보고서에서 사상자 피해종별 평균비용을 제시하고 있다. 본 연구에서는 2013년~2015년의 도로교통 사고비용의 추계와 평가 보고서를 참조하여 사상자 피해종별 평균비용을 활용해 2013년부터 2015년까지 사고 데이터에 적용하여 사고별 총비용을 산정하였다. 현재 산업재해에 의한 경제적 손실은 노동부, 자연재해에 의한 피해는 행정안전부에서 집계하고 있으며 도로교통사고비용에 대한 추계는 도로교통공단과 한국교통연구원에서 추계하고 있다.

도로교통공단에서는 경찰청의 교통사고통계를 기초로 자동차 손해배상대행기관이나 법원의 지급보험금과 손해배상실태를 자료로 활용하여 객관적으로 교통사고비용을 추계하고 있다.

2.1.1 물적피해비용

교통사고로 손상을 입은 차량과 적하(Cargo), 차량 이외의 물적 손실과 도로의구조물 등의 손실을 비용화한 것이 물적피해비용이다.

물적피해비용은 물적피해로부터 재물을 원상 회복하기 위한 수선비를 포함하여 자가용 차량의 파손 또는 고장으로 다른 교통수단을 이용하거나 사업용 차량이나 영업상 필요한 재물의 손상으로 인한 영업 손실 등을 포함한다. 특히 자동차보험에서도 2003년 1월 1일부터 탑승자 및 동행인의 소지품 손실에 대해서도 보상하고 있어 물적피해비용의 범위가 확대되었다.

그러나 교통사고가 전혀 발생된 사실이 없는 상태에서 단지 교통사고의 잠재적 발생 가능성 때문에 사고예방을 위해 소요된 비용은 제외한다.

2.2 인적 피해비용

부상자의 경우 의료비, 휴업으로 인한 시간비용, 후유장애로 인한 노동력 상실(국가적으로는 인적 자원손실), 본인과 가족들의 정신적 피해 등을 비용으로 들 수 있으며 사망자의 경우에는 장례비를 추가하여야 한다.

그리고 사상자의 노동력 상실을 추계하는 것이 중요하다. 사상 당시의 소득수준을 고려한 사후 잔여 근로가능기간 동안의 총소득을 일정한 할인율을 고려해서 산출해 내고 있는 현행 손해배상 대행기관이나 법원의 판결을 기준으로 했을 때 교통사고비용이 사회적 비용이라는 논리에 타당 하느냐 하는 것이다.

여기에 대해 Hartunian은 사상자의 미래소득의 상실은 곧 사회의 인적자본의 생산력 손실로 보아야 하기 때문에 인간의 기대수명을 85세로 가정한 인적자본 비용 산출 일반 공식(General Formulations)을 제안했다.

$$HCC_s^a = \sum_{n=a}^{85} P_{a,s}^n \cdot E_s^n \cdot Y_s^n \cdot \left(\frac{1+T}{1+r} \right)^{(n-a)}$$

여기에서 HCC_s^a : s성별과 a연령의 인적자본비용(Human Capital Costs)
 a : 사고당시의 연령($a \leq n$) T : 노동생산성 변화율
 s : 사상자의 성별 r : 할인율
 $P_{a,s}^n$: a연령의 s성별 사람이 n연령에서 생존가능확률
 E_s^n : s성별의 사람이 n연령에 취업할 수 있는 확률
 Y_s^n : s성별의 사람의 n연령에서의 연간 소득

이러한 Hartunian의 수식에 대해 Rice와 Cooper는 고의로 근로소득을 기피하는 사람에 대해서 후한 반면에 고소득의 노인이나 어린이에 대해서는 실제보다 낮게 평가된다는 부정적인 견해를 보이고 있다. 즉 노인들의 취업률은 낮고 어린이들의 장래소득에 대해서 장기간의 할인율이 적용되기 때문이다. 그러나 현재 미국의 NSC(국가안전위원회, National Safety Council)나 NHTSA(도로교통안전국, National Highway Traffic Safety Administration)에서는 Hartunian의 일반 공식을 응용하고 있다. 또한 교통사고로 인해 사고당사자나 친척, 친구, 가족뿐만 아니라 모든 사회 구성원들의 고통, 불안, 좌절 등과 같은 정신적 피해 등 사회 심리적 비용은 정확한 추계방법이 없고 비가시적인 항목으로 정책결정자나 조사연구자들이 경시 또는 무시하여 왔으나 최근에는 손해배상대행기관이나 법원의 판결에 의해 지급되는 위자료를 최소한의 비용으로 인정하여 인적 피해비용에 합산하고 있다.

2.2.3 사회기관비용

교통사고로 인해 사회에서 지출되는 각종비용 중 사고당사자나 그의 대행자가 아닌 거의 전 사회인이 공동으로 부담하는 비용을 말한다.

구체적으로 교통 및 소방경찰비용, 보험행정비용, 사회복지기관비용과 교통관계기관비용을 들 수 있다. 현재 미국의 NSC(국가안전위원회, National Safety Council)에서는 화재로 인한 비용을 포함하지 않고 있다.

보험행정비용은 보험회사가 교통사고로 인해 손해배상을 대행하기 위해 교통 사고를 조사하고 피해자와의 화해, 소송 등을 수행하면서 발생하는 비용을 말한다. 이러한 비용은 보험회사가 아닌 가해자 본인의 직접적인 사고처리에 소 요 되는 최소한의 비용으로 간주하고 전체적 교통사고 피해상황에 적용하여 사고처리 비용으로 추계한다.

그 밖의 사회복지기관비용과 교통관련기관비용은 객관성과 미세성으로 인해 전체적인 도로 교통사고비용 추계에는 제외하고 있다.

2.2 기존 사고비용 산출 연구와 비교

본 연구는 기존에 누락된 새로운 교통사고 비용을 산출하는 방법론이나 시도되지 않은 분류법을 제시하는 연구로 해석되기 보다, 기존에 나타난 교통사고 비용 및 절감편익을 해석하는 방법과 사고비용의 변화 및 거동을 새롭게 해석하는 연구라고 봐야 할 것이다. 이를 확인하기 위해 기존 문헌을 고찰하고 차별성을 제시하고자

하며 내용은 다음과 같다.

손의영(2008)은 심리적비용 산정모형으로 국내 심리적비용을 산출하였으며 2004년 기준 약 5조 1천억 원으로 전체 교통사고비용의 37.1%를 점유하는 것으로 분석했다. 국외의 경우를 고려하여 국외 연구의 심리적비용이 전체비용의 60%에서 80% 정도의 수준으로 해당 연구의 연구의 비용이 다소 낮게 산정되었다고 하였으며, 국외의 경우 해당 연구의 심리적비용 개념보다 심리적비용의 범위를 광범위하게 설정하였기 때문에 해당 연구에서의 결과를 합리적이라 판단했다.

하지만 심리적 비용은 현재 발생하는 사고비용의 추이와 변화를 설명하는 비용이라기 보다, 기존에 없었던 비용평가 방법을 적용하여 새로운 교통사고 비용을 산정하는 방법을 수립한 것이라 볼 수 있다. 본 연구에서는 새로운 비용을 산정하는 것이 아닌, 현재까지 발생된 사고비용의 구조와 움직임을 해석하는데 의의가 있다.

이상욱(2011)은 연구에서 국도사후평가구간에 대하여 2차로에서 4차로로 확장 전·후 교통사고자료를 비교분석하였고, 교통사고건수가 47.9% 감소, 사망자수 62.8% 감소, 부상자 수 55.6% 감소한 것으로 분석했다. 또한, 도로교통공단 의 교통사고자료를 이용하여 왕복2차로, 왕복4차로 이상의 일반국도의 경우 교통사고 원단위를 재 분석했고, 왕복4차로 이상의 도로가 왕복2차로 도로보다 교통사고발생건수가 51.5% 감소하고, 교통사고 사망자수가 56.7% 감소하는 효과가 있는 것으로 분석했다.

이러한 분석결과를 토대로 교통사고절감편익을 재검토했고, 음(-)으로 산출되던 편익이 양(+의 편익으로 전환되거나 음(-)편익이 감소하는 것으로 분석했다. 또한, 교통사고절감편익의 개선 효과로 B/C, NPV, IRR도 개선되는 것으로 분석되었다. 즉, 도로의 신설 및 확장에 따른 교통사고절감편익을 보다 정확하게 반영하기 위해 도로 등급, 차로수, 도로형태, 지역 등의 특성을 반영한 교통사고 원단위 개선 노력이 필요하다고 주장하고 있다.

하지만 해당 연구도 기존의 사고비용 원단위 분석에 대해 미비하고 부족한 부분을 보완하고 추가적인 분석 기준을 마련한 것으로 볼 수 있으며, 본 연구는 기존 사고비용의 거동을 추가적인 외생변수를 통해 해석하는 연구로 차별성이 있다.

2.3 자율주행자동차와 사고 절감편익 고찰

본 연구에서 제시하는 고령운전자의 상호작용 효과에 의한 추가발생비용은 활발하게 연구되고 있는 자율주행자동차 도입과 밀접한 연관이 있다.

자율주행자동차는 지속가능한 교통이라는 세계적인 메가트렌드와 함께 현재 진행되고 있는 고령화의 해결책으로 제시되었다. 따라서 자율주행자동차의 도입은 고령운전자 사고 감소에 큰 기여를 할 것으로 보이며 본 연구의 목적이 무의미한 것으로 해석될 여지가 있다.

하지만 본 연구는 자율주행자동차의 도입에 따른 사고절감편익을 산출하는데 활용되는 새로운 해석 방법론으로 활용될 수 있다. 특히 고령운전자의 상호작용효과에 따른 고령운전자 사고에 대한 해석 방법론을 제시하므로 자율주행자동차에 도입에 대한 연구와 본 연구의 연관성은 두드러지게 나타날 것이다. 이에 대한 내용은 아래와 같다.

고용석(2017)은 자율주행자동차 도입에 따른 용량 개선효과 및 사고절감 효과를 분석하였다. 국내 전체 지역 간 네트워크를 대상으로 통행시간 절감량을 비교 분석하여 제시한 내용으로, 도로교통공단(2017)에 의하면 1990~2013년 사이 교통 사고 사망자수가 1만 2,603명에서 5,092명으로 줄어 드는 데(59.6%) 23년 정도의 시간이 걸렸고, 미국의 경우도 1960~2011년까지 20년을 주기로 교통사고 사망자 수가 절반으로 줄었으나, 분석결과에 따르면, 자율주행자동차 도입에 따른 사고비용 절감 편익이 빠르게 증가함을 나타냈다. 사고비용 절감 편익이 교통사고 사망자에 의한 처리비용의 절감까지 포함하므로 사고비용 절감 편익과 사망자수가 비례한다고 볼 때, 자율주행자동차를 도입함으로써 교통사고에 의한 사망자수도 매우 빠른 속도로 줄어들 것으로 예상하였다.

하지만 본 연구를 통해서 해당 연구는 보다 상세히 분석될 수 있다. 본 연구는 고령운전자의 상호작용효과에 따른 사고 증감의 거동에 대한 해석 방법론이므로 분석결과에 따라 보다 완만하거나 급격한 절감편익을 산출할 수 있다.

3. 자료수집 및 분석방법

3.1 교통사고별 총 사고비용 산출

2013년~2015년 전국 교통사고 자료에서 차대차 사고에 해당되는 317,258건의 각 사고별 피해비용을 산출하여 사고별 경중률을 비교할 수 있도록 하였다.

Table 1. 사상자 피해종별 평균비용

연도	사망	중상	경상	부상신고
2013	440,976.1	49,301.4	2,875.9	1,325.3
2014	429,084.9	52,930.2	3,397.5	1,674.3
2015	430,964.4	59,712.4	3,728.1	1,749.7

(단위: 천 원)

Table 1에서 나타내는 비용은 도로교통 사고비용의 추계와 평가를 참조하여 사상자 피해종별 평균비용을 나타낸 것이며, 2013~2015년도 도로에서의 교통사고발생상황, 교통사고피해 보상대행기관의 보상수준, 교통사고처리기관의 비용수준, 사상자들의 노동생산력과 취업률 등이 반영된 것이다.

본 연구에서 사상자 피해종별 평균비용은 피해종별 사고 위험에 대한 경중률을 산정하기 위한 도구로 활용되었으며, 사상자 피해종별 평균비용이 적용되어 산출된 각 사고별 총 비용은 해당 사고의 상대적 위험성을 나타낸다고 볼 수 있다.

3.2 연령별 총 사고비용 및 사고건수 표준화

317,258건의 데이터를 연령별로 구분하여 연령별 총사고비용과 사고건수를 비교하기 위해 척도가 다른 두 변수를 표준화를 통해 동일한 척도로 변환하였다. 만일 사고비용이 연령별로 특성이 나뉘지 않고 사고의 심각도에 큰 차이가 없을 경우, 일어난 사고건수에 비례하여 사고비용이 발생될 것이다. 하지만 연령별로 사고 심각도에 차이가 있고 특정 연령이 추가적인 사고요인을 내재하고 있다면 사고비용과 사고건수는 불합치한 모습을 보일 것이다.

Figure 1과 Figure 2는 각각 1당사자, 2당사자의 연령별 총사고비용과 사고건수의 표준화 점수를 비교하여 나타낸 그래프이다.

Figure 1의 1당사자는 65세 이상부터, Figure 2의 2당사자는 63세 이상부터 총사고비용의 Z값이 사고건수의 Z값을 상회하는 것으로 나타났다.

따라서 본 연구에서는 1당사자와 2당사자 동시에 사고비용 표준화 점수가 사고건수 표준화 점수를 상회하는 65세 이상을 상호작용효과가 발견될 수 있는 고연령으로 정의하고 유형을 분류하도록 한다.

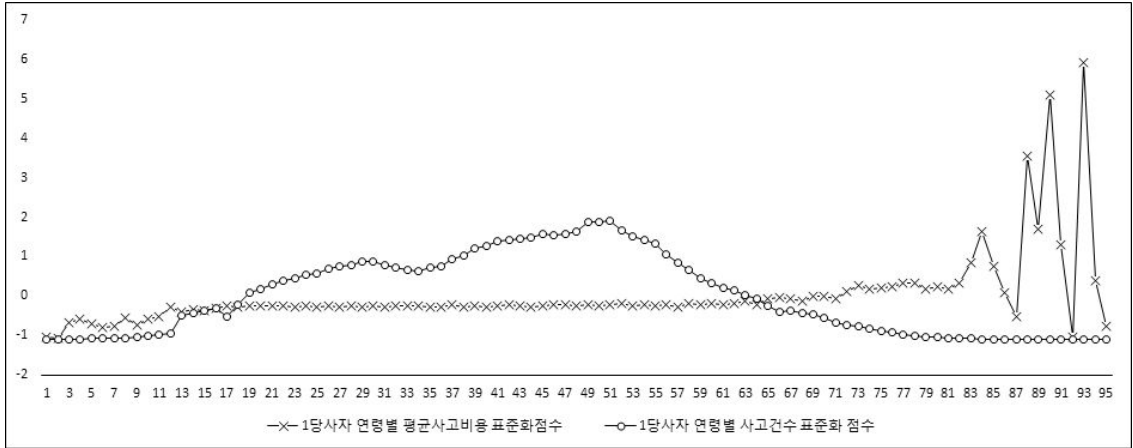


Figure 1. 1당사자 연령별 표준화 점수

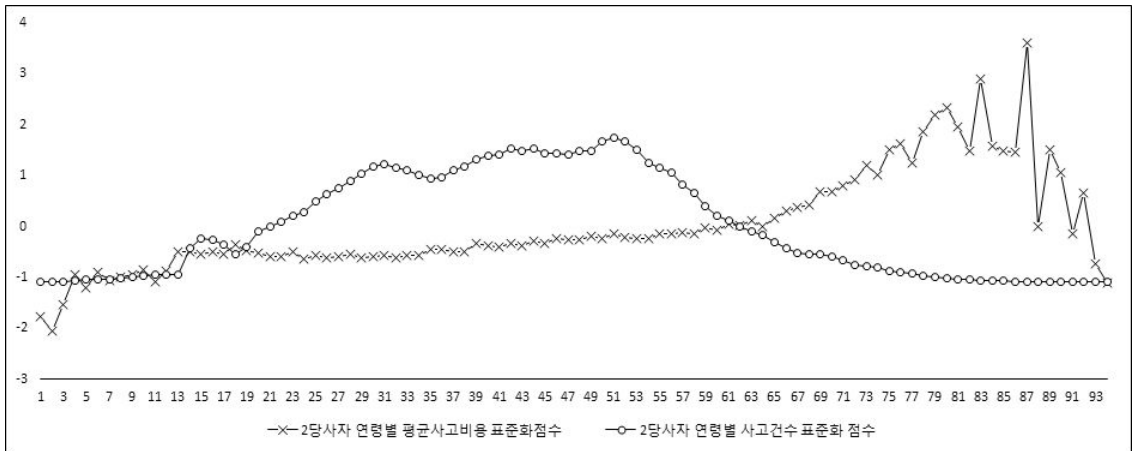


Figure 2. 2당사자 연령별 표준화 점수

3.3 고연령위험군 유형 분류

1당사자 연령과 2당사자 연령을 기준으로 65세 이상인 경우와 그 외의 경우를 구분하여 유형을 구분하였으며, 317,258건의 전체 교통사고를 Table 2와 같이 비교령자 조합사고, 1당사자가 고령자인 사고, 2당사자가 고령자인 사고, 1·2당사자 모두 고령자인 사고 등 총 네가지로 분류했다.

유형 1은 1당사자와 2당사자 모두 65세 이상인 고령자인 사고 유형으로 총 사고건수는 3,122건이고 해당 사고들의 평균사고피해비용은 약 5,407만원으로 나타났다.

유형 2는 1당사자만 고령자이고 2당사자는 비고령자로 구분된 사고 유형이며 총 사고건수는 26,646건, 해당 사고들의 평균사고피해비용은 약 3,656만원으로 나타났다.

Table 2. 고연령위험군 유형 분류

유형	1당사자	2당사자	사고건수	평균사고 피해비용 (천 원)
1	고령자	고령자	3,122	54,068.02
2	고령자	비고령자	26,646	36,560.24
3	비고령자	고령자	21,561	45,072.45
4	비고령자	비고령자	265,929	29,861.25
합계			317,258	31,695.86

유형 3은 2당사자만 고령자이고 1당사자가 비고령자인 사고 유형으로 총 사고건수는 21,561건, 평균사고피해비용은 약 4,507만원으로 나타났다.

유형 4는 1당사자와 2당사자 모두 비고령자인 사고 유형으로 전체 교통사고 데이터 317,258건 중 265,929건에 해당되며 평균사고피해비용은 2,986만원으로 나타났다.

3.4 유형별 사고특성

수집된 전국 사고자료 317,258건에 대해 분류한 유형별 사고특성을 Table 3부터 Table 6까지 나타냈다. Table 3에선 요일별 사고발생 건수를 유형별로 구분하여 나타냈다. 1당사자와 2당사자 모두 고령자인 유형 1의 경우 월요일 발생한 사고 건수는 569건으로 일주일 중 18.2%를 차지하며 가장 많은 사고비율을 나타냈다. 유형 2와 유형 3은 월요일 및 금요일에 상대적으로 높은 사고건수 비율을 보였다.

비고령자 사고조합인 유형 4의 경우 유형 1과 반대로 월요일의 사고건수 비율은 13.7%로 일요일 사고건수 비율인 12.5% 다음으로 낮았고 토요일의 사고건수 비율이 15.7%로 상대적으로 높은 값을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

Table 4의 사고유형별 사고발생 건수를 살펴보면 유형 1의 경우 측면직각충돌에 의한 사고건수 비율이 65.6%로 다른 사고유형에 비해 가장 많은 비율을 차지하고 있으며 다른 유형 2, 3, 4에 비해서도 높은 값을 나타냈다. 특히 1·2당사자 모두 비고령자인 유형 4는 측면직각충돌 사고가 차지하는 비율이 52.7%로 다른 유형 1, 2, 3에 비해 가장 낮은 값으로 나타났다. 이를 비교하면 측면직각충돌 사고에 대해서 1당사자와 2당사자 모두 고령자인 경우 비고령자인 경우에 비해 약 12.9%p 높은 값으로 나타났다.

이와 반대로 주정차중 추돌에 대해서는 유형 4의 경우 16.6%로 가장 높은 비율, 유형 1의 경우 7.0%로 가장 낮은 비율을 나타냈으며 약 9.6%p 차이가 있는 것으로 나타났다.

Table 3. 요일별 사고발생 건수

		월	화	수	목	금	토	일
유형 1	사고건수	569	439	446	469	504	401	294
	비율(%)	18.2	14.1	14.3	15.0	16.1	12.8	9.4
유형 2	사고건수	4,172	3,941	3,914	3,990	4,134	3,760	2,735
	비율(%)	15.7	14.8	14.7	15.0	15.5	14.1	10.3
유형 3	사고건수	3,308	3,192	3,208	3,134	3,339	3,033	2,347
	비율(%)	15.3	14.8	14.9	14.5	15.5	14.1	10.9
유형 4	사고건수	36,367	37,547	37,912	38,024	40,974	41,838	33,267
	비율(%)	13.7	14.1	14.3	14.3	15.4	15.7	12.5

Table 4. 사고유형별 사고발생 건수

		정면충돌	주정차중 추돌	진행중 추돌	측면직각충돌
유형 1	사고건수	268	220	567	2047
	비율(%)	8.6	7.0	18.8	65.6
유형 2	사고건수	2,222	3,035	4,770	16,619
	비율(%)	8.3	11.4	17.9	62.4
유형 3	사고건수	1,689	2,136	4,742	12,994
	비율(%)	7.8	9.9	22.0	60.3
유형 4	사고건수	20,492	44,220	61,023	140,194
	비율(%)	7.7	16.6	22.9	52.7

Table 5. 1당사자 차종별 사고발생 건수

		건설기계	농기계	승용차	승합차	원동기장치	이륜차	자전거	특수차	화물차
유형 1	사고건수	11	58	1612	136	191	291	175	5	642
	비율(%)	.4	1.9	51.6	4.4	6.1	9.3	5.6	.2	20.6
유형 2	사고건수	94	265	16208	1299	1354	2151	1453	25	3787
	비율(%)	.4	1.0	60.8	4.9	5.1	8.1	5.5	.1	14.2
유형 3	사고건수	383	30	13847	1349	453	826	453	146	4074
	비율(%)	1.8	.1	64.2	6.3	2.1	3.8	2.1	.7	18.9
유형 4	사고건수	3154	137	189320	14393	6148	12352	4781	1244	34397
	비율(%)	1.2	.1	71.2	5.4	2.3	4.6	1.8	.5	12.9

Table 6. 2당사자 차종별 사고발생 건수

		건설기계	농기계	승용차	승합차	원동기장치	이륜차	자전거	특수차	화물차
유형 1	사고건수	7	108	1326	111	327	485	381	1	376
	비율(%)	.2	3.5	42.5	3.6	10.5	15.5	12.2	.0	12.0
유형 2	사고건수	277	82	17129	1718	1045	2040	1017	92	3246
	비율(%)	1.0	.3	64.3	6.4	3.9	7.7	3.8	.3	12.2
유형 3	사고건수	31	578	10234	747	1913	2881	3235	20	1922
	비율(%)	.1	2.7	47.5	3.5	8.9	13.4	15.0	.1	8.9
유형 4	사고건수	1521	438	180857	14290	11297	22775	11027	847	22877
	비율(%)	.6	2	68.0	5.4	4.2	8.6	4.1	.3	8.6

Table 5와 Table 6은 차종별 사고발생건수를 나타낸 것이다. 1당사자 차종별 사고발생 건수를 살펴보면 각 유형 모두 승용차 다음으로 화물차의 사고발생 비율이 높은 것으로 나타났다. 승용차 사고의 경우 유형 1은 51.6%를 차지했고, 유형 2는 60.8%, 유형 3은 64.2%, 유형 4은 71.2%를 차지해 고령자에 비해 비고령자의 승용차 사고건수 비율이 상대적으로 높음을 확인할 수 있다.

특히 원동기장치자전거와 이륜차, 자전거는 고령자 조합사고인 유형 1이 비고령자 조합사고인 유형 4에 비해 높은 것을 확인했다. 그리고 유형 2가 유형 3에 비해 높은 비율을 나타냈으며 1당사자 차종이 원동기장치자전거, 이륜차, 자전거인 경우 상대적으로 높은 사고 비율을 가진다는 것을 의미한다. 1당사자가 화물차인 경우에도 유형 1이 유형 4에 비해 약 7.7%p 높은 사고 비율을 나타내고 있다.

특히 1당사자가 화물차인 경우 2당사자가 고령자인 유형 3이 유형 2에 비해 상대적으로 높은 사고 비율을 나타내어 화물차 운전자가 고령자가 아니더라도 간접적으로 화물차가 고령운전자 사고에 영향을 주는 것으로 생각된다.

Table 6은 2당사자 차종별 사고발생 건수를 나타낸 표이다. Table 5와 마찬가지로 Table 6의 원동기장치자전거와 이륜차, 자전거 모두 유형 1이 유형 4에 비해 높은 사고 비율을 나타냈다. 단, 고령자가 2당사자인 유형 3이 Table 5의 유형 2에 비해 사고 비율이 높은 것을 살펴보았을 때, 원동기장치자전거와 이륜차, 자전거를 이용하는 고령운전자의 경우 가해자보다 피해자일 때 더욱 피해가 큰 것으로 보인다.

2당사자가 화물차 사고인 경우는 Table 5의 유형 1에 비해, Table 6의 유형 1이 낮은 사고 비율을 나타냈으며 Table 6의 다른 유형과도 상대적으로 큰 차이를 보이지 않았다.

3.5 상호작용효과에 의한 추가발생비용

1당사자와 2당사자 모두 고령운전자 위험군인 65세 이상일 경우 상호작용효과가 존재한다면, 유형 4에 비해 유형 2와 유형 3이 가지는 증가폭의 합 뿐만 아니라 유형 1이 가지는 추가발생비용이 존재할 것이다.

$$C_{T1} - C_{T4} \neq (C_{T2} - C_{T4}) + (C_{T3} - C_{T4})$$

$$C_{T1} \neq C_{T2} + C_{T3} - C_{T4}$$

$$C_{T1} = C_{T2} + C_{T3} - C_{T4} + IEC$$

C_{Tn} : 유형 n의 평균사고피해비용

IEC : 상호작용효과에 따른 추가발생비용

일반적으로 비고령자에 비해 고령자의 사고 위험성이 높고 사고 피해가 상대적으로 심각하게 나타나며, 이에 따라 Table 2에서 제시한 것처럼 유형 4에 비해 유형 1, 2, 3의 평균사고피해비용이 높은 것을 알 수 있다.

상기된 식에서 제시된 상호작용효과에 따른 추가발생비용은 일반적으로 알려진 비고령자에 비해 고령자가 가지는 높은 사고 심각도 뿐만 아니라, 1당사자와 2당사자 모두 고령자일 경우 발생하는 추가적인 사고 심각도를 의미한다.

유형 2가 유형 4에 비해 추가로 보이는 사고비용은 1당사자가 고령자인 것에 기인한 추가비용이며, 유형 3이 유형 4에 비해 추가로 보이는 사고비용은 2당사자가 고령자인 것에 기인한 추가비용이다.

1당사자와 2당사자 각각이 고령자인 경우 비고령자에 비해 추가적으로 발생시키는 비용의 합이, 1당사자와 2당사자 모두 고령자인 사고인 경우 발생하는 추가발생비용과 다를 경우, 1당사자와 2당사자가 모두 고령자인 사고인 유형 1이 가지는 외생적인 특성이 있다고 볼 수 있으며 이를 다른 추가발생비용과 구분하기 위해 IEC(Interaction Effect costs)로 정의한다.

3.6 유형별 평균사고피해비용 차이 검정

IEC를 검정하기 위해서 유형 집단별 차이가 있음을 확인해야 하며 분석방법으로 분산분석과 사후검정을 실시했다.

분산분석(ANOVA : analysis of variance)은 F 검정을 활용하는 분석으로 표본집단을 범주화해 주는 설명변수의 차이에 따른 집단 간 분산과, 동일한 설명변수를 갖는 집단 내에서의 분산을 비교하여 집단들이 통계적으로 유의미한 차이를 보이는 가를 검정하는 것이다.

즉 두 개 이상의 집단들의 평균을 동시에 비

교하고자 할 때 사용되는 분석기법으로서 가설 검증절차에 의한 대립가설은 k개의 모집단 평균들 중에서 “적어도 한쌍의 평균은 다르다”이다. 즉 “어느 평균이 어느 평균과 다르다”라는 것이 아니라 전체 평균을 동시에 포함하여 분석하는 전반적(omnibus) 검증이며 분산의 비율인 F-통계치에 의해 통계적 유의성이 결정된다. 따라서 전반적 F-검증이 유의미(예, $p < .05$)하여 귀무가설이 기각되면 상식적으로 가장 큰 평균과 가장 작은 평균은 통계적으로 차이가 있을 것이라고 짐작할 수 있지만 그 외의 다른 평균들 중에서 어느평균들이 유의한 차이가 있는지를 알 수 없으므로 추가적인 분석이 요구된다. 이러한 추가분석과정을 사후검정(multiple or post-hoc comparison)이라 한다. 집단이 k개인 일원변량분석의 후속분석으로 사용할 수 있는 사후검정의 짝비교(pair-wise comparison)방법은 매우 다양하며 이러한 방법들의 분석절차 및 각 방법의 장단점은 관련분야의 기초서적에 매우 잘 정리되어 있다.

본 연구에서 집단은 Table 2에서 제시되는 유형 1부터 유형 4까지 해당 유형에 속하는 사고들의 총사고비용 데이터 집단을 의미하며, 사후분석 중 Scheffe 검정은 제1종 오류를 줄이기 위해 사용하기 때문에 모든 사후 검정 중에서 보수적이다. 본 연구에서는 ANOVA의 사후분석을 위해 Scheffe 및 Tukey 방법을 사용하였다.

만일 분산분석 및 사후검정이 유의하다면 유형별로 가지는 평균사고피해비용이 해당 유형을 대표할 수 있는 평균값으로 활용될 수 있으며, 상호작용효과에 의한 추가발생비용을 산출할 수 있다.

3.7 고령운전자 조합 사고 추세 분석

1당사자와 2당사자가 모두 고령운전자인 고령운전자 조합사고는 시간의 흐름에 따라 증가하는 고령인구 비율에 영향을 받는다. 고령인구는 꾸준히 증가했으며 고령인구의 증가는 고령운전자의 증가에 영향을 미치고, 이는 1당사자와 2당사자가 고령운전자로 조합된 사고도 증가한다는 의미이다. 만일 상호작용효과에 의한 추가발생비용이 존재한다면, 고령인구 증가에 따른 시계열적인 고령운전자 조합사고건수 및 사고비용 증가 추세에 영향을 미칠 것이므로 이를 추세선을 통해 분석하고 확인한다.

4. 분석 결과

4.1 ANOVA 결과

유형별 ANOVA를 실시한 결과를 Table 7에 나타냈다. 제시된 표를 확인하면 F값이 546.814으로 나타났고 P-value가 0.000으로 유의확률 0.05 수준에서 유의하게 산출되었다. 즉 집단별 유의한 차이가 적어도 하나의 집단 간에 존재한다는 의미이다. 따라서 각 유형별 차이를 확인하기 위해서 사후검정을 실시해야 한다.

4.2 사후검정 결과

각 집단별로 유의한 차이가 있는지 확인하기 위해 Scheffe 및 Tukey 방법을 실시한 결과를 Table 8에 나타냈다.

사후검정 결과 Scheffe 및 Tukey 방법에서 모두 각 유형별 평균사고피해비용의 차이가 유의하게 나타났으며 따라서 상호작용효과에 따른 추가발생비용(IEC)를 산출할 수 있다.

Table 7. 분산분석(ANOVA) 결과

	제곱합	df	평균 제곱	F	P-value
집단-간	6946138255019.960	3	2315379418339.980	546.814	0.000
집단-내	1343351863187040.000	317,254	4234310247.269		
합계	1350298001442060.000	317,257			

Table 8. 사후검정 결과

사후검정	유형 구분	평균차(I-J)	표준오차	P-value	
Tukey	1	2	17507.7812	1230.9310	.000
		3	8995.5708	1246.0613	.000
		4	24206.7627	1171.4111	.000
	2	1	-17507.7812	1230.9310	.000
		3	-8512.2104	596.0682	.000
		4	6698.9815	418.1298	.000
	3	1	-8995.5708	1246.0613	.000
		2	8512.2104	596.0682	.000
		4	15211.1919	460.7713	.000
	4	1	-24206.7627	1171.4111	.000
		2	-6698.9815	418.1298	.000
		3	-15211.1919	460.7713	.000
Scheffe	1	2	17507.7812	1230.9310	.000
		3	8995.5708	1246.0613	.000
		4	24206.7627	1171.4111	.000
	2	1	-17507.7812	1230.9310	.000
		3	-8512.2104	596.0682	.000
		4	6698.9815	418.1298	.000
	3	1	-8995.5708	1246.0613	.000
		2	8512.2104	596.0682	.000
		4	15211.1919	460.7713	.000
	4	1	-24206.7627	1171.4111	.000
		2	-6698.9815	418.1298	.000
		3	-15211.1919	460.7713	.000

4.3 상호작용효과에 따른 추가발생비용 산출

ANOVA와 사후검정에 따라 확인된 상호작용 효과에 따른 추가발생비용을 산출한 식은 다음과 같다.

$$C_{T1} = C_{T2} + C_{T3} - C_{T4} + IEC$$

$$54,068.02 = 36,560.24 + 45,072.45 - 29,861.25 + IEC$$

$$IEC = 2,298.58 \text{천 원}$$

즉, 유형 1의 경우 일반적으로 1당사자와 2당사자가 고령운전자인 경우 예상되는 사고피해비용에 비해 사고 케이스마다 약 2,296.58천 원의 피해비용이 추가적으로 발생되었고, 2013년부터 2015년까지 해당 사고 케이스는 약 3,122건이므로 3년 간 약 71.7억의 피해비용이 IEC로 고령운전자 조합사고에 의해 추가로 발생되었다고 볼 수 있다.

4.4 추세선 확인 결과

확인된 상호작용효과에 따른 추가발생비용을 시계열적으로 확인하기 위하여 회귀분석을 실시하였다.

1당사자와 2당사자가 모두 고령운전자인 고령운전자 조합사고는 시간의 흐름에 따라 증가하는 고령인구 비율에 영향을 받기 때문에 시간의 경과에 따라 고령운전자 조합사고의 누적사고건수와 누적사고비용의 추세는 단순한 누적분포 형태인 선형이 아닌 추가적인 증가요인에 따른 다항식으로 설명된다.

전체 사고 데이터 중 유형 1에 해당되는 1·2당사자 모두 고령운전자 조합사고인 사고 케이스들의 누적사고빈도를 2013년 1월 1일을 기준으로 경과한 일 수에 따라 나타낸 그래프에 추세선을 확인했고, 이를 Figure 3에서 Figure 5까지 나타냈다.

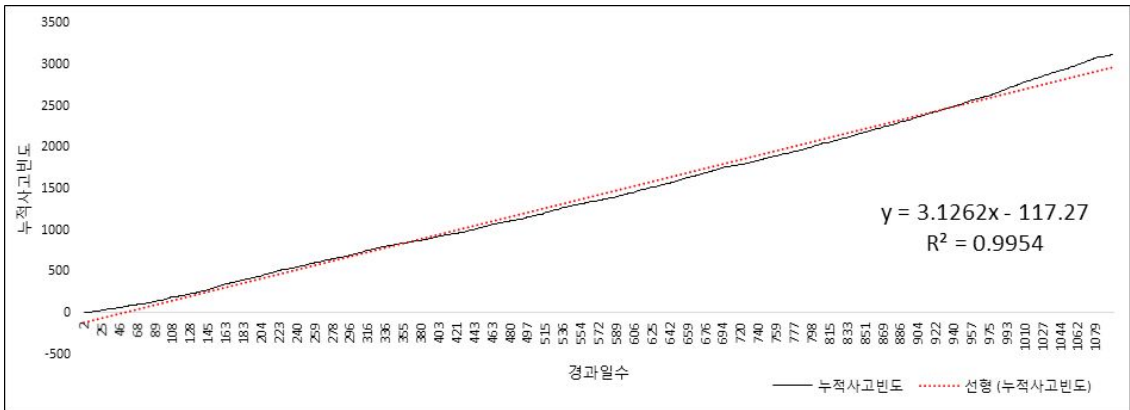


Figure 3. 고령운전자 조합사고 누적사고빈도 선형 추세선

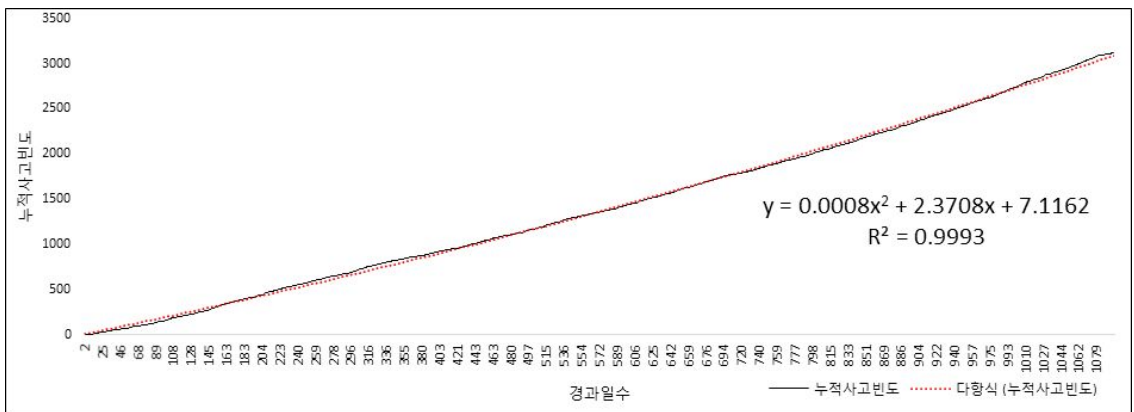


Figure 4. 고령운전자 조합사고 누적사고빈도 2차식 추세선

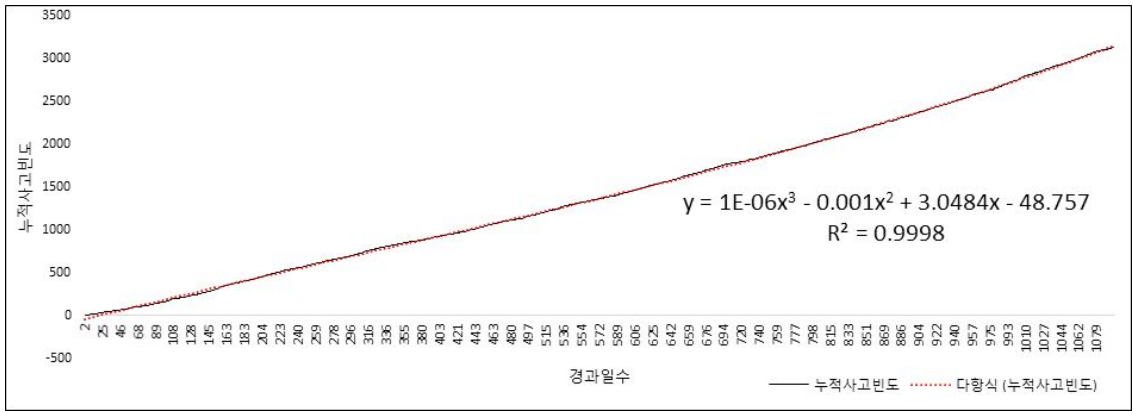


Figure 5. 고령운전자 조합사고 누적사고빈도 3차식 추세선

확인 결과 2차식 추세선의 설명력은 0.9993이고 3차식 추세선의 설명력은 0.9998로 보다 높은 설명력을 나타내는 것을 확인하여 경과일수에 따른 고령운전자 조합사고 누적사고빈도는 3차 추세선이 적합함을 알 수 있다.

즉, 단순히 고령인구 증가에 따라 사고발생빈도가 증가하는 것 뿐만 아니라, 추가로 1·2당사자 모두 고령운전자인 사고가 발생할 확률이 증가함에 따라 나타나는 상호작용효과라는 추가적인 요인이 내재되어 있음을 알 수 있다.

시간의 경과에 따라 IEC는 누적사고비용에 대해 확인한 결과에서 보다 두드러지게 나타나며 이를 Figure 6부터 Figure 8까지 나타냈다.

Figure 6에서 선형 추세선을 통해 누적사고비용의 경향을 설명하고자 하였으며 분석결과 설명력은 0.8965로 사고건수에 대한 선형 추세식을 나타낸 Figure 3의 설명력보다 상대적으로 낮은 모습을 나타냈다.

이를 시계열적으로 고령 인구가 증가함에 따라서 고령운전자 사고 증가를 설명할 수 있는 2차 곡선으로 확인한 결과 Figure 7에서 나타난 것처럼 설명력은 0.9968로 나타났다. 또한, 3차 곡선으로 설명한 Figure 8의 설명력은 더 높아져 0.9996으로 나타났다. 앞서 살펴본 누적사고건수 그래프에 비해 IEC가 더욱 두드러지게 나타났다고 볼 수 있다.

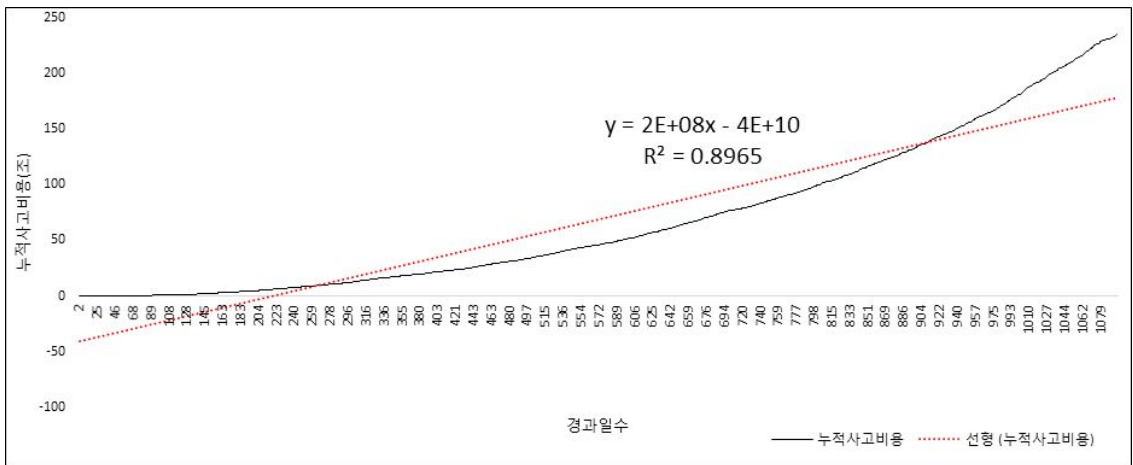


Figure 6. 고령운전자 조합사고 누적사고비용 선형 추세선

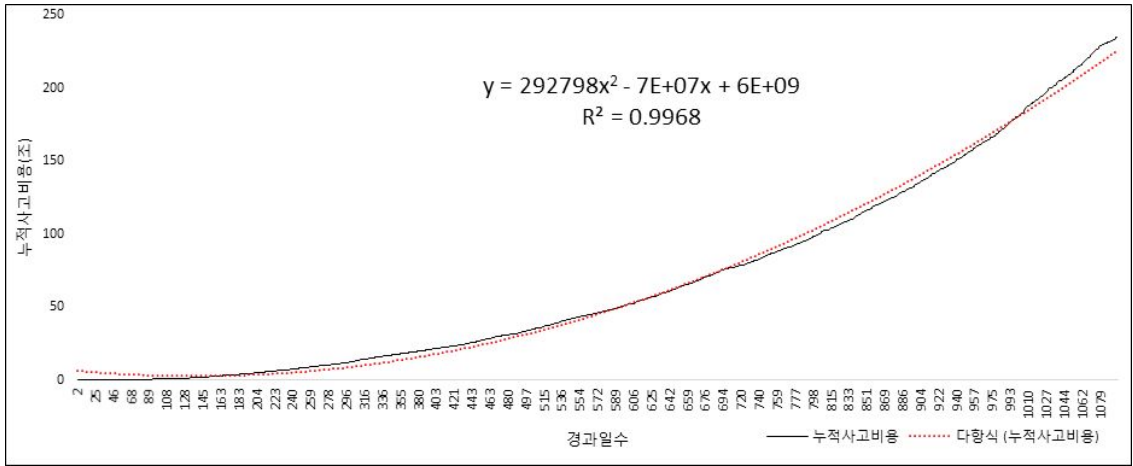


Figure 7. 고령운전자 조합사고 누적사고비용 2차식 추세선

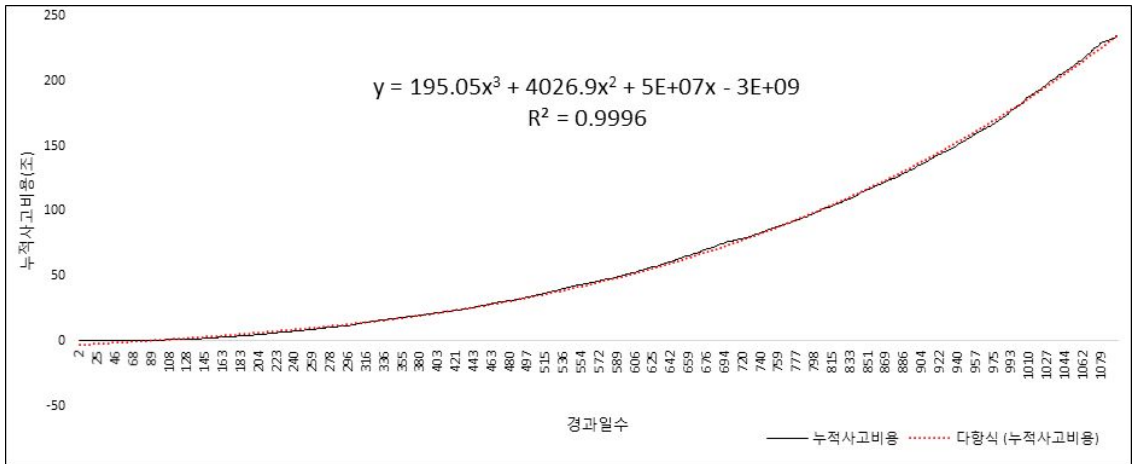


Figure 8. 고령운전자 조합사고 누적사고비용 3차식 추세선

Figure 5에서 고령운전자 조합사고 누적사고 건수 3차식 추세선의 이계도함수를 통해 변곡점을 살펴보면 333.3일을 기준으로 기울기의 변화가 음적 변화에서 양적 변화로 바뀌었다. 즉 333.3일을 기준으로 IEC가 나타나기 시작했다는 의미이다. 하지만 사고발생건수는 시계열적으로 수치적으로 급격한 변화를 보이지 않으므로 3차 곡선이 설명력이 높다 하더라도 IEC를 가시적으로 확인하였다고 보기 어렵다.

하지만 Figure 8의 이계도함수를 통해 변곡점을 살펴보면 -6.88일을 기준으로 기울기의 양적 변화가 발생되었으며, 이는 1·2당사자 모두 고령자인 2013년 1월 1일부터 시작하는 사고 데이터의 시작 기준일부터 이미 3차식에 의한 급격한 기울기 상승을 나타냈다는 의미이다.

특히 Figure 7의 약 1010일을 기점으로 2차식 추세선이 누적사고비용을 설명하지 못하는 부분이 두드러지게 나타났으며 이 부분은 Figure 8의 3차식 추세선의 급격한 증가율로 설명되었기 때문에 시계열적으로 고령인구의 증가가 단순한 고령운전자 사고 증가를 야기하는 것 뿐만 아니라, 고령운전자가 1당사자와 2당사자로 만나는 사고 조합이 발생할 확률이 증가함에 따라서 나타나는 IEC로 인해 급격한 증가폭을 나타냈다고 볼 수 있다.

이러한 급격한 증가폭은 앞으로 고령화가 진행되면서 더욱 심화될 것이며 이에 따라 다른 사고특성을 유발할 수 있을 것이다.

5. 결론

본 연구에서는 2013년부터 2015년까지 전국 차대차 사고를 대상으로 자료를 수집하였고, 고령에 따른 추가적인 사고피해비용이 발생하는 연령 구간을 기준으로 유형을 분류하였다.

유형을 분류하고 유형별 사고비용을 산출한 뒤 ANOVA와 사후검정을 통해 유형별 사고피해비용 차이의 유의성을 검증하였다. 또한, 추세선을 통해 시간의 경과에 따른 상호작용 효과를 살펴보고 급격한 사고피해 비용증가를 설명할 수 있는 모형을 확인하였다.

상호작용 효과에 의한 추가 발생비용이 존재한다는 것은 고령자가 늘어날수록 고령 운전자 조합사고 발생 건수의 증가로 이어져 사고피해비용이 기하급수적으로 늘어난다는 것을 의미하기도 하지만, 이와 반대로 어떤 고령 운전자 사고에 대한 개선대책을 수립하여 사고피해 절감편익을 산출하고자 할 때 활용될 수 있다. 특히, 자율주행 자동차 등과 같이 사고개선사업의 도입을 위해 사업의 타당성을 확보해야 하고 여러 가지 편익을 고려하게 되는데, 고령 운전자 사고 건수의 감소는 고령 인구의 증가와 고령 운전자 조합사고 발생 건수의 증가로 시간의 흐름에 따라 피해비용이 선형이 아닌 3차 모형으로 증가한다고 예상되는바, 이를 감소시키는 사업의 절감편익은 단순한 원단위법이 아니라 3차 모형을 고려하여 장래에 있을 추가적인 절감편익도 고려할 수 있다는 의미다.

이러한 절감편익은 일반적인 원단위법으로 예상되는 편익에서 상호작용 효과로 인한 추가 발생비용을 고려하여, 2013년부터 2015년까지 고령 운전자 조합사고 케이스마다 약 2,296.58천 원의 피해비용이 추가로 발생하였고, 해당 사고 케이스는 약 3,122건으로 3년간 약 71.7억의 피해비용이 IEC로 고령 운전자 조합사고에 의해 추가로 발생하여 이에 대한 절감편익을 고려할 수 있다. 특히 고령 운전자 조합사고는 비고령 운전자 조합사고보다 24,206.77천 원의 비용을 더 발생시키는데 이는 약 사고 3건당 중상자 한 명이 추가로 발생하였다는 의미다. 원인으로는 고령 운전자 사고조합에 의한 유형 1의 경우 화물차, 이륜차, 자전거 등의 비율이 높았다는 점과 측면적각 충돌의 사고비율이 높아 이런 점이 영향을 주었다고 추측된다.

하지만 본 연구는 1 당사자인 운전자 연령과 2 당사자인 운전자 연령을 제외한 이 외 탑승자나 추가적인 피해자에 대한 연령을 고려할 수 없었고, 이에 대한 세부적인 사고피해비용을 산정하지 못했다는 한계가 있다. 본 연구에 적용된 사상자 피해종별 평균비용도 사회적 비용이나

생산력 손실 등이 고려된 비용이긴 하지만, 연령별로 생산력에 관련된 비용이 다를 뿐만 아니라 심리적 비용까지 고려한다면 사상자 피해종별 비용은 더욱 세분되어야 할 것이다.

이러한 한계 속에서 본 연구는 실질적인 비용산정과 구체적인 절감편익에 대한 연구라기보다, 상대적인 피해 규모와 피해비용과 사고 건수의 거동을 살펴보고 향후 절감편익에 대한 연구 방향을 제시했다고 볼 수 있다.

REFERENCES

- Chung, Y. S. The Korea Transport Institute (2011). A Study on Transportation Safety to Reduce Traffic Accident of Elderly Drivers. (in Korean)
- Goodpaster, B. H., Carlson, C. L., Visser, M., Kelley, D. E., Scherzinger, A., Harris, T. B., ... & Newman, A. B. (2001). "Attenuation of skeletal muscle and strength in the elderly: The Health ABC Study." *Journal of Applied Physiology*, 90(6), 2157-2165.
- Hong, J. C. (2010). "Analysis and Application of Bicycle Traffic Accident Statistics." *Journal of the Korean Data & Information Science Society*, Vol. 21, No. 6, pp.1081-1090.
- Jang, J. M. (2017). "Analyzing Driving Environment Effects on Severity of Elderly Driver's Traffic Accidents." *Journal of Transport Research*. Vol. 24, No. 1, pp.79-94.
- Jeong, D. S. (1998), "The change of physical fitness and cognitive structure according to the age increase of the elderly women." *Proc. of 36th Int. Conf. on Physical Education, KAHPERD, Korea*, Vol. 1998, No. 12, pp.521-525.
- Jung, M. M. (2011), "Understanding and Interpretation of Interaction Effects in Mutli-factor ANOVA Designs", *Journal of Korean Society of Measurement and Evaluation for Physical Education and Sports Science* Vol.13 No.2, pp.1-15.
- Kang, K. W., Kwon, J. T., & Kook, W. K. (2007). "Reconsideration The Relationship Between The Rapid Aging of The Societies and The Older Driver's Traffic Accidents." *Journal of the Korean Society of Civil*

- Engineers, 27(1D), 19-26.
- Kim, C. K. (2000). "A changes of the upper and lower Extremity muscle function in the elderly." *Exercise science*, Vol. 9, No. 2, pp.405-415.
- Kim, S. W. (2015). "Age-related differences in body composition, arterial stiffness, functional fitness and physical activity level between elderly men and women." Kyung Hee University
- Ko, Y. S. (2017), "Assessing Benefits of Autonomous Vehicle System Implementation through the Network Capacity Analysis", *The Korea Spatial Planning Review*, 2017.6, pp.17-24.
- Ku, H. J. (2004), "Comparative Analyses of Health Related Physical Fitness in Chronological Elderly Population." *The Korean Society of Living Environmental System*, Vol. 11, No. 4, pp.241-247.
- Lardelli-Claret, P., Jimenez-Moleon, J. J., de Dios Luna-del-Castillo, J., García-Martín, M., Bueno-Cavanillas, A., & Gálvez-Vargas, R. (2005). "Driver dependent factors and the risk of causing a collision for two wheeled motor vehicles." *Injury Prevention*, 11(4), 225-231.
- Lee, H. J., & Kahng, S. K. (2011). "Age and gender differences in cognitive functioning among elderly. *Ment Health Soc Work*", 37(37), 255-278.
- Lee, S. C. (2005). "The Character of Elderly Drivers' Traffic Accidents : Comparison of Elderly Drivers and Young Drivers." *Journal of Social Science*, Vol. 22, No. 2, pp.171-192.
- Lee, S. O. (2011), "A Method of Quantifying Unit Traffic Accidents Cost for Estimating Accident Reduction Benefits", *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 59, No. 4, pp.62-72.
- Lyman, S., Ferguson, S. A., Braver, E. R., & Williams, A. F. (2002). "Older driver involvements in police reported crashes and fatal crashes: trends and projections." *Injury prevention*, 8(2), 116-120.
- Park, J. T. (2009). "The Analysis of Older Driver's Traffic Accident Characteristic at Express-way using Logit model." *International Journal of Highway Engineering*, Vol. 11, No. 4, pp.1-7.
- Rolison, J. J. (2017). "Risk exposure density explains mileage bias in older driver crash risk." *American Journal of Epidemiology*.
- Son, U. Y. (2008), "A Study on the Development of an Estimation Model : The Psychological Cost of Traffic Accidents", *Journal of Korean Society of Transportation* Vol.26 No.3, pp.211-221.

논문투고일: 11월 30일
논문게재일: 12월 31일