

■ 論 文 ■

고속도로 교차점 유형과 교통사고의 가설검정

Hypothesis Tests on the Relations Between Interchange Types and Traffic Accidents
in the Case of Korean Expressways

박 병 호

(충북대학교 도시공학과 교수)

류 승 옥

((주)홍익기술단 회장)

박 정 순

(충북대학교 박사과정)

한 상 옥

(충북대학교 석사과정)

목 차

- | | |
|--|---|
| <p>I. 서론</p> <p>1. 연구의 배경과 목적</p> <p>2. 연구의 내용 및 수행과정</p> <p>II. 기존연구의 검토</p> <p>III. 분석틀의 설정</p> <p>1. 기하구조와 사고자료 분석</p> <p>2. 주요자료의 기술통계</p> | <p>IV. 기하구조와 교통사고의 가설검정</p> <p>1. 귀무가설의 설정</p> <p>2. 귀무가설의 검정</p> <p>3. 검정결과와 해석</p> <p>V. 결론 및 향후 연구과제</p> <p>참고문헌</p> |
|--|---|

Key Words : 가설검정, 기하구조, 트럼펫인터체인지, 교통사고, 도로안전

Hypothesis test, Geometric structure, Trumpet interchanges, Traffic accidents, Road safety

요 약

본 연구는 고속도로 교차점의 유형과 교통사고와의 관계를 다루고 있다. 본 연구의 목적은 교통사고가 교차점의 유형과 기하구조 설계요소에 따라 다르게 나타날 수 있다는 가설을 검증하는데 있다. 연구의 주요 결과는 다음과 같다. 첫째, JCT와 IC 그리고 트럼펫 IC와 기타 유형의 IC 간의 사고 비교는 의미를 갖지 못하지만, 트럼펫 IC의 네 가지 유형별 차이는 의미가 있는 것으로 분석되었다. 즉 BO 형태의 트럼펫 IC는 타 형태의 트럼펫 IC보다 월등히 많은 교통사고를 나타내고 있다. 둘째, 가설검정을 통해 본선과의 교차각은 가능한 직각으로 설계하고 연결로 교통량이 많지 않은 한 1차로로 설계하는 것이 바람직하다고 나타났다. 이러한 연구결과는 장래 고속도로의 설계에서 보다 안전한 인터체인지의 유형결정과 기하구조 설계에 반영될 수 있는 방향을 제시할 수 있을 것으로 기대된다. 도로 안전 측면에서 가능한 BO 형태의 인터체인지는 도입하지 않고, 교차각을 90°가 되도록 설계하되, 인터체인지의 경우 연결로 교통량이 아주 많지 않다면 1차로로 설계하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

This research deals with the relations between intersection types and traffic accidents in the case of Korean expressways. The purpose of this research is to test the hypotheses that traffic accidents depend on intersection types and geometric design elements. The main research results are as follows. First, the accident comparisons that are drawn from junctions with interchanges, and trumpet interchanges with other types of interchanges respectively displays no significant meaning. However, the differences among four types of trumpet interchanges are found to be meaningful. In other words, the BO type trumpet interchanges seem to have far more traffic accidents than other types of trumpet interchanges. Second, hypothesis tests show that approximately 90 degree and one lane connection roads have lower accident rates. Based on this research, the following directions can be suggested for the safer types of intersections and geometric design elements in freeway construction. From a road safety point of view, it is advisable not to introduce BO type interchanges. It is also desirable that the intersection angle should be approximately 90 degrees. Furthermore, it would be wise to design one lane roads if the connection road has low traffic volumes.

I. 서론

1. 연구의 배경과 목적

우리나라는 1960년대 후반 경인고속도로 건설을 시작으로 2006년 현재 총 연장 2,968km의 고속도로가 건설되었다. 이에 따라 교차점(JCT나 I.C 포함)의 수도 크게 증가되었고, 그의 종류와 형식도 다양화되었다. 한편 고속도로 인터체인지에서 발생하는 교통사고도 크게 증가하고 있다.

이러한 교통사고는 운전자, 차량, 도로여건 등 여러 가지 측면의 복합적인 요인에 의해 시·공간적으로 발생한다. 고속도로 교차점은 교통류의 분류와 합류가 발생하여 교통사고의 잠재 위험이 매우 높은 지점이다. 이러한 관점에서 고속도로 교차점의 기하구조와 교통사고율 관계에 대한 면밀한 분석을 통해 도로건설·운영에 적절한 기준을 제시하는 것은 매우 의미 있는 일이다.

특히, '도로 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침(건설교통부, 2000)'에 따르면 방향별 교통량이 큰 차이가 없는 경우 A형이 교통의 안전에 유리한 것으로 단순히 규정하고 있다. 또한 일본의 '인터체인지의 계획과 설계(武部健一 등, 1997)'에서는 A형이 오히려 교통사고의 발생률이 높은 것으로 나타나 있으나, 이것은 운전 방향에 따른 것으로 판단된다. 그러나 이러한 기준은 A형이 타 유형에 비해 얼마나 안전한지에 대한 준거가 없고, 연결로의 형태와의 조합에 따른 안전성 분석결과도 없으므로, 인터체인지의 형식과 사고발생의 관계를 규명하는 실증적 연구는 매우 중요한 의미를 지닌다.

본 연구는 고속도로 교차점의 기하구조와 교통사고의 관계에 주 관점을 두고 교차점의 기하구조에 따라 교통사고가 다르게 나타날 수 있다는 가설을 검증하고자 한다. 이 연구는 장래 고속도로의 설계에서 보다 안전한 교차점의 형식결정과 기하구조 설계에 반영될 수 있는 방향을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 연구의 내용 및 수행과정

본 연구는 전국 고속도로 구간의 교차점(JCT와 IC 포

함) 233개소 중 자료획득이 가능한 교차점 195개소(약 83%)를 대상으로 하고 있다. 또한 본 연구에서는 교차점(intersection)의 형식을 우선 JCT(분기점: Junction)와 IC(인터체인지: Interchange)로 구분하고, IC는 트럼펫 인터체인지와 기타 형식으로 구분하여 조사 분석하였다. 또한 트럼펫 인터체인지는 그 형식(A형과 B형)과 연결로 형태(Over-pass와 Under-pass)로 나눈 네 가지(2×2)의 유형으로 구분하여¹⁾, 그에 따른 교통사고를 조사·분석하였다.

교통사고 자료는 고속도로 교통사고기록이 DB로 전산화된 1998년 9월 1일부터 2003년 12월 31일까지의 자료이며, 고속도로의 기본구간을 제외한 도로시설물 중 사고발생률이 가장 높은 교차점에서의 사고를 중심으로 기하구조와 교통사고의 관계를 분석하였다.

본 연구에서는 전국의 고속도로 교차점을 형식별로 구분하고, 해당 교차점의 도면을 수집하여 기하구조의 특성을 조사하였다. 아울러 전국 고속도로교통량 통계로부터 수집된 O/D 교통량을 근거로 EMM/2를 활용하여 링크별 연평균일교통량을 추정하고, 전국 고속도로 교차점 교통사고기록카드로부터 교통사고 기록을 정리하였다.

II. 기존 연구의 검토

고속도로에서의 교통사고는 대부분 대형사고로 이어져, 커다란 인적·물적 자원의 손실을 초래한다. 이에 따라 고속도로가 발달된 선진국에서는 1960년부터 고속도로 교통사고와 기하구조와의 상관성 분석 및 모형개발을 통한 연구가 수행되고 있다.

1960년대 중반 Gwynn(1967)은 고속도로 기본구간에 대한 교통량과 사고율의 관계 분석을 통해, 교통량이 적은 시간대에 사고율이 높고, 교통량과 사고율은 U자형의 곡선을 나타낸다고 주장한다. 이러한 연구는 도로용량과 교통량 비율(V/C)과 교통사고의 분석 등 다양한 분야로 발전되고 있다.

도로의 기하구조 설계요소는 어떤 도로의 교통운영 효율성과 안전성을 규명하는데 중요한 역할을 한다. 교통운영에 영향을 주는 주요 기하구조 설계요소는 차로폭 및 차로 수, 도로의 평면선형과 종단선형 등을 포함하고 있다. 이러한 현상을 보다 정밀하고 과학적으로 규명하

1) 인터체인지의 형식에서 루프연결로를 유입방향으로 설치하는 경우를 A형, 그리고 유출방향으로 설치하는 경우를 B형으로 구분한다. <그림 1> 및 <그림 2> 참조. 또한 일반적으로 인터체인지의 설치에 있어 부지조건이 비슷하면, 교통량이 적은 방향에 루프연결로를 적용하는 것이 교통측면이나 주행비용 측면에서 타당하다. 그러나 A형 혹은 B형의 선택은 차량운행의 경제성, 주행성 및 안전성 측면을 종합적으로 판단하여 결정되어야 한다.

려는 노력은 미연방도로국(FHWA)의 '고속도로사고연구'(ISAR : Interstate System Accident Research)로부터 시작되었다²⁾.

1990년대에는 인터체인지에서 교통안전에 대한 인식이 확대되면서 사고요인에 대한 분석작업이 수행되었다. 최근에는 Bauer와 Harwood(1997)에 의해 보다 다양한 자료를 인용하여 인터체인지 연결로구간과 변속구간에서의 사고율에 관한 모형연구가 이루어져 교차점에서의 사고발생 요인을 수학적으로 규명하는 연구결과가 제시된 바 있다³⁾.

일본에서도 1960년대부터 고속도로 교차점 구간의 교통사고에 대한 조사와 분석이 수행되었다. 앞서 언급한 '인터체인지의 계획과 설계'(武部健一 등, 1997, pp. 146-147)를 보면, 일본의 名神고속도로의 인터체인지 교통사고율 분석결과 트럼펫 A형에서의 교통사고율이 트럼펫 B형보다 약 5배 높은 것으로 분석하였다.

국내에서는 교차점에서의 교통사고에 대한 원인규명을 위한 연구가 매우 부족한 실정으로, 고속도로 본선구간의 교통사고에 대한 연구가 대부분이다. 김경석(1997)은 도로 설계요소와 교통사고의 상호관계에 관한 연구에서 교통사고의 특성을 분류하고, 교통사고와 관련된 도로설계 요소의 특성을 분석하여 이들의 상관관계를 규명함으로써 도로설계요소의 개선점을 제시하였다.

교차점에 대한 연구로서, 박병호·류승옥(2002)은 트럼펫 인터체인지의 기하구조와 교통사고의 상관관계를 규명하고 있다. 그들은 인터체인지의 형식이 교통사고율에 미치는 영향을 검토하였으며, 다중회귀분석을 통해 교통사고에 미치는 독립변수들을 검증하여 적정 회귀식을 제시하고 있다. 성낙문(2002)은 교통사고의 과분산(overdispersed) 현상을 반영하기 위하여 음이항분포에 근거한 비선형 교통사고 예측모형을 제시하고 있다.

강민욱 등(2002)은 사고예측과 예방을 위해서는 실제적으로 도로설계과정에서 제어가 가능한 도로 기하구조 요소에 대한 사고관계를 파악해야 함을 인지하고, 한국도로공사의 호남고속도로 5년(1996~2000)간 자료를 이용하여 음이항회귀모형을 개발하였다. 구간분할법을 이용하여 배향곡선구간과 단일곡선구간에 대하여 사고분석을 하였으며, 기하구조 요소로는 차량노출계수, 곡선반경, 단위거리 당 편경사 변화값 등을 모형에 적용하였다.

이점호 등(2006)은 고속도로에서의 적절한 도로환경을 제공하기 위해서는 설계시 정확한 주행속도의 반영을 필수적으로 보고, 이를 예측할 수 있는 주행속도예측모형을 개발하였다. 영동고속도로를 대상으로 영향을 미치는 요인을 선형요소와 교통운영특성 요소로 분류하고, 분류한 요인을 중심으로 평면직선, 평면곡선 및 종단곡선구간의 구간별 상관분석을 통하여 주행속도에 영향을 미치는 요인을 선정하고 다중회귀모형을 이용하여 주행속도예측모형을 개발하였다.

김태영·박병호(2007)는 트럼펫 IC 연결로의 회진방향과 종단경사와의 조합 및 회진반경과 곡선반경과의 조합에 따른 교통사고와의 관계를 분석하였다. 램프의 운전조건과 교통사고분석을 위해 3가지의 귀무가설을 설정하고 이를 t-검정을 통하여 검정하였으며, 그 결과 우회전 이동류가 좌회전에 비해 더 위험한 것으로 결론내리고 있다.

본 연구는 교차점의 기하구조(교차점의 유형, 회진반경, 종단경사 등)와 교통사고 사이의 귀무가설을 설정하고 이를 검증하는 절차를 통해, 고속도로 교차점의 기하구조 설계에 필요한 몇 가지 방향을 제시한다는 차별성을 가지고 있다. 이것은 국내연구인 박병호·류승옥(2002)의 논문(가설검정을 하지 않았음)과도 차이가 있다. 물론 위의 논문은 고속도로 교차점 중 트럼펫 인터체인지에 중점을 둔 논문이므로 본 논문과는 연구대상에서도 큰 차이가 있다. 아울러 본 연구는 우리나라 고속도로 교차점과 같은 특수한 도로시설물에서 발생하는 교통사고의 원인을 밝히고자 시도된 연구로서, 교차점의 설계에 몇 가지 기준을 제시할 수 있다는 점에서 학문적인 기여와 아울러 실무적인 성과를 거둘 수 있으리라 기대된다.

III. 분석들의 설정

1. 기하구조와 사고자료 분석

1) 분석대상 교차로의 유형

우리나라 고속도로의 교차점은 2003년 말 현재 233개소이다⁴⁾. 이 중 인터체인지는 198개소로 그 형태는 트럼펫, 변형 트럼펫, 준직결 등 다양하며, 분기점은 35개소로 그 형태 또한 클로버, 변형클로버, 준직결, 트럼펫 등 다양하다.

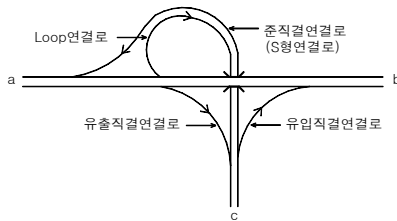
본 연구에서는 위의 교차점 중 교통량, 사고통계기록

2) 최근 진행 중인 미국의 주요 연구과제들로서 NCHRP 20-45(Scientific Approaches for Transportation Research), CHSIM 및 IHSDM을 들 수 있다. NCHRP 20-45 사업의 주 연구결과는 일반적으로 교통연구를 수행하기 위한 통계기법에 관한 인터넷 정보의 형태인 매뉴얼이다.
3) 그들은 보다 진보된 분석 모형식을 이용하여 도로의 기하구조와 교통사고간의 관계를 제시하고 있다. 그들은 사고를 발생시키는 주요 요인이 교통량, 연결로의 형식과 연결로구간의 기하구조 등인 것으로 보고하고 있다.

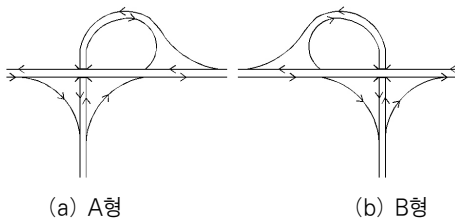
및 기하구조에 관한 자료 획득이 가능한 교차점으로서 인터체인지 198개 중 175개(트럼펫형 인터체인지 156개 중 142개와 기타 인터체인지 42개 중 33개), 그리고 분기점 35개 중 20개를 분석대상 교차점으로 선정(전체 교차로의 약 85%)하였다.

트럼펫 인터체인지는 <그림 1>과 같이 a→c 방향 및 c→b 방향 연결로와 같이 진행방향의 오른쪽으로 분류하여 우회전한 후 오른쪽으로 합류하는 직결 연결로, c→a 연결로와 같이 진행방향에서 좌회전하여 오른쪽으로 합류하는 준직결 연결로(S형), 그리고 b→c 방향과 같이 본선 차도의 우측에서 270°우회전으로 진행되는 루프(loop) 연결로 등으로 구성된다⁵⁾.

아울러 트럼펫 인터체인지의 루프와 S형 방향에 따라 <그림 2>와 같이 A형과 B형으로 구분되며, 위의 연결로가 본선을 위로(O형) 혹은 아래로(U형) 통과하느냐에 따라 그 형태가 결정된다. 본 연구에서는 트럼펫 인터체인지 142개 중 AO형은 38개, AU형 42개, BO형 27개 그리고 BU형 35개이므로, 통계분석에 충분한 관측 수가 되는 것으로 판단된다. 기타 유형의 인터체인지는 다이아몬드, 3지 다이아몬드 등 다양한 형태로 해당 교차점 수는 33개로, 교차점은 클로버, 변형클로버, 준 직결, 트럼펫 등 다양한 형태로 해당 교차점 수는 20개소이다.



<그림 1> 트럼펫 인터체인지의 연결로 구성



(a) A형 (b) B형

<그림 2> 트럼펫 인터체인지의 분류

2) 교차점의 기하구조 설계요소 및 교통사고 자료

본 연구에서는 우리나라 고속도로 교차점의 기하구조에서 발생한 교통사고와 직접 관련된 것으로 판단되는 곡선반경, 종단경사, 차로 수에 중점을 두어 분석한다. 이에 대한 자료는 총 194개의 교차점에 대한 설계도면을 바탕으로 해당 구간(link)별 기하구조를 직접 조사하여 코딩작업을 실시하였다.

여기에서 해당 구간은 JCT의 경우 두 개의 도로가 교차(4지형)하면 12개 구간, T자형(3지형)이면 6개 구간으로 나누고, IC의 경우엔 6개의 연결로와 요금정산소 구간의 양방향 2개 구간 총 8개의 구간으로 구분하였다.

교차점의 교통사고 자료는 본 연구에서 종속변수가 되는 중요한 자료이다. 본 연구의 사고자료는 교차점의 교통사고 DB가 전산화되기 시작한 1998년 9월 1일부터 2003년 12월 31일까지의 사고기록이다. '교통(안전)사고발생속보'라는 기록지를 통해 조사된 램프 교통사고 건수는 667건이며, 본선 사고는 14건이다. <표 1>은 유형별 대상 교차점 수와 램프 사고건수를 나타내고 있다.

<표 1> 유형별 대상교차점 수와 사고건수

교차로 유형 구분		교차점 수(개)	사고건수(건)		
			램프	본선	계
인터체인지(I.C)	트럼펫형	AO	97	4	101
		AU	141	2	143
		BO	132	0	132
		BU	135	4	149
		소계	505	10	515
	기타	32	61	1	62
소계		174	566	11	577
분기점(J.C)		20	101	3	104
계		194	667	14	681

3) 교차점의 교통량 자료

교차점의 교통량 자료는 사고분석에 매우 중요하다. 단순히 사고건수만을 가지고 분석할 경우엔 사고의 위험성을 대변할 수가 없기 때문이다. 즉 교통량이 많으면 당연히 교통사고 건수가 많아질 가능성이 높기 때문에, 사고건수를 교차점의 방향별 교통량으로 나눈 교통사고율 지표가 훨씬 합리적이다.

교통량 자료는 한국도로공사의 '전국고속도로교통량 통계(1998~2003년)'로부터 조사 분류하되, 본 연구에 맞추어 재구성하였다. 위의 통계연보에 기록된 자료는 IC 간 기·종

4) 고속도로 교차점(intersection)은 둘 이상의 도로가 서로 합쳐지거나 분기되는 즉 도로가 만나는 공간 및 그 내부의 도로시설을 말한다. 그리고 교차점은 도로의 중요한 일부분으로서 도로의 효율성이나 안전성, 속도, 운영비용 및 용량은 교차점의 설계에 좌우된다.
 5) 트럼펫 인터체인지의 연결로 특성을 살펴보면, 준직결 연결로는 구조상 루프연결로와 최소곡선반경 부근에서 대부분 접속되므로 그 모양이 S자 형태를 이루게 되어 S형 연결로라 한다. 또한 준직결 연결로의 최소곡선반경은 70~150m로서, 루프연결로 35~70m의 약 2배의 길이를 갖는다.

점 교통량 자료이므로, 본 연구에 필요한 연결로별 교통량을 구하기 위해서는 자료의 가공이 필요하다. 더욱 JCT의 경우엔 방향별 자료가 없어 기종점 자료를 이용하여 산출해야 한다. 따라서 본 연구에서는 EMME/2라는 교통계획 패키지를 이용하여 교차점의 연결로별 교통량을 추정하였다.

이를 위해 우선 도로망 구축(network building), 즉 전국 고속도로의 각 교차점을 노드(node)로, 교차점을 연결하는 노선을 링크(link)로 구축한 후, 통계연보에 제시된 O/D 교통량을 배정(assignment)하는 절차를 거치게 된다. 이때 사용된 자료는 연평균 일 교통량(AADT)이다.

2. 주요자료의 기술통계

보다 높은 차원의 통계분석을 실시하기 전에 자료의

〈표 2〉 교차점 유형별 기술통계량

구분	교차각(°)	사고건수(건)	사고율(AR)
전체 교차점	평균	89.69	0.69
	표준편차	20.79	0.96
	분산	432.29	0.92
	첨도	-0.35	8.11
	왜도	-0.08	2.60
	범위	115	5.44
	최소값	30	0
트럼펫 IC	평균	88.98	0.72
	표준편차	18.34	1.01
	분산	336.36	1.02
	첨도	-0.75	7.77
	왜도	0.09	2.59
	범위	80	5.44
	최소값	50	0
기타 IC	평균	92.50	0.36
	표준편차	20.95	0.48
	분산	438.71	0.23
	첨도	-1.01	0.81
	왜도	-0.21	1.35
	범위	75	1.69
	최소값	50	0
JCT	평균	90.25	0.98
	표준편차	34.08	1.06
	분산	1161.78	1.12
	첨도	-0.96	4.34
	왜도	-0.30	1.94
	범위	115	4.31
	최소값	30	0

주 : AR은 진입차량 백만대당 사고건수를 말하며, 계산식은 (사고건수×1,000,000)/(365×AADT×연수)임

검정과 더불어 주어진 자료의 특성을 파악하기 위하여 자료를 적절히 요약할 필요가 있다. 기술통계 분석은 전술한 바와 같이, ① 전체 교차점, ② 트럼펫 IC, ③ 기타 유형 IC, 그리고 ④ 분기점(JCT)으로 구분하여 실시하고, 이때 사고율이 10.0 이상, 곡선반경이 1,000m 이상인 지점은 자료의 측정오류(measurement errors)로 간주하여 분석에서 제외하였다. 교차점 유형별 연결로의 기술통계량은 다음과 같다.

전체교차점 연결로의 기술통계결과 연평균사고건수 0.69건, 그리고 평균사고율 0.01로 분석되고, 트럼펫 IC만을 분석대상으로 한 기술통계 분석 결과는 연평균사고건수 0.72건, 그리고 평균사고율 0.01로 파악되었다.

Ⅳ. 기하구조와 교통사고의 가설검정

1. 귀무가설의 설정

가설검정(hypothesis test)에서 가장 기본적인 사항은 검정하고자 하는 모집단의 모수에 대하여 가설을 설정하는 것이다. 가설에는 항상 귀무가설(H_0 : null hypothesis)과 대립가설(H_1 : alternative hypothesis)이 있다. 가설검정이란 표본관찰 또는 실험을 통하여 귀무가설과 대립가설 중에서 하나를 선택하는 과정이라 할 수 있다(Washington, et. al., pp.28-37). 본 연구에서 우선 검토하게 될 귀무가설을 설정하면 다음 3가지이다.

- ① 귀무가설 I : 교차점 유형별(JCT와 IC, 트럼펫형과 기타, 그리고 트럼펫 AO, AU, BO 및 BU) 평균사고건수(혹은 평균사고율)는 동일하다.
- ② 귀무가설 II : 교차점의 교차각(교차각의 범위)에 따른 평균사고건수(혹은 평균사고율)는 동일하다.
- ③ 귀무가설 III : 연결로(혹은 분선)별 차로 수에 따른 평균사고건수(혹은 평균사고율)는 동일하다.

이러한 귀무가설의 설정은 전술한 바와 같이 교차점의 기하구조에 따른 교통사고의 차이를 검증하는데 있다. 귀무가설이 채택되면, 기하구조에 따르는 교통사고의 차이는 없다는 의미가 된다. 반면에 귀무가설이 기각되면, 기하구조에 따라 교통사고가 차이가 있다는 것이다.

이와 같은 검정에서 사용되는 것이 유의확률(P값)이며, 이는 최소한의 관측 유의수준이라 말할 수 있다. 즉,

P값이 0.05보다 적으면 95%의 신뢰수준에서 귀무가설을 기각하고, P값이 0.05보다 크면 95%의 신뢰수준에서 귀무가설을 채택한다.⁶⁾ 이러한 검정결과는 우리나라 고속도로 교차점의 설계에 있어 기하구조 요소의 선택에 중요한 의미를 갖게 된다.

2. 귀무가설의 검정

1) 귀무가설 I의 검정

‘교차점 유형별 (JCT와 IC, 트럼펫형과 기타, 그리고 트럼펫 AO, AU, BO 및 BU) 평균사고건수나 평균사고율은 동일하다’라는 귀무가설은 JCT와 IC, 트럼펫 IC와 기타 IC, 그리고 트럼펫형의 AO, AU, BO 및 BU로 구분하여 가설을 검정하였다. 이때 평균사고건수와 평균사고율은 해당 교차점 전체, 연결로, 그리고 본선 등의 세 구간으로 구분하여 다양한 검정을 실시하였다.

분기점(JCT)과 인터체인지(IC)에 대한 가설검정 결과는 <표 3>에 나타나 있다. 분기점 전체의 평균사고건수는 0.975건으로 인터체인지 0.658건에 비해 매우 높다. 이러한 전체 평균사고건수가 동일하다는 귀무가설은 95% 유의확률에서 기각될 수 없다. 즉 JCT와 IC의 전체 평균사고건수는 95%의 신뢰수준에서 차이가 있다고 결론지을 수 없다.

마찬가지로 전체 평균 사고율, 연결로 평균 사고건수와 사고율, 그리고 본선 평균 사고건수의 경우에도 차이가 있다고 결론지을 수 없다. 다만 본선 사고율의 경우엔 IC가 JCT에 비해 적다고 결론지을 수 있을 뿐이다. 따라서 분기점과 인터체인지 간의 교통사고건수나 교통사고율의 비교는 의미가 없는 것(약한 논리: 대부분의 항목을 기각할 수 없으므로)으로 파악되었다.

트럼펫 인터체인지와 기타 유형의 인터체인지에 대한 가설검정 결과는 <표 4>에 나타나 있다. 트럼펫 인터체인지의 사고발생은 기타 유형 보다 높게 나타나 있다.

이러한 전체평균 값이 동일하다는 귀무가설을 검정한 결과, 귀무가설을 기각할 수 없다. 또한 연결로 평균 사고건수의 경우만 귀무가설이 기각될 뿐, 나머지 연결로 사고율, 본선 사고건수 및 사고율의 경우에도 귀무가설이 기각될 수 없다. 따라서 전체 평균값의 측면에서 분석하면, 기타 유형 IC가 트럼펫 유형이 기타 유형에 비해 안전하다(매우 약한 논리: 한 항목에서만 기각)고 결론지을 수 없다.

<표 3> 귀무가설 I-1(JCT와 IC)의 검정결과

(a) 유형별 평균 사고건수와 사고율

구분	전체 평균		연결로 평균		본선 평균	
	사고건수	사고율	사고건수	사고율	사고건수	사고율
IC	0.658409	0.009812	0.152479	0.056058	0.005927	0.000121
JCT	0.975006	0.006911	0.178657	0.087188	0.010417	0.017578

(b) 가설 검정결과

구분	전체 평균		연결로 평균		본선 평균	
	사고건수	사고율	사고건수	사고율	사고건수	사고율
t	-1.399	0.656	-0.868	-1.546	-0.832	-2.752
자유도	192	192	800	800	400	400
유의확률	0.163	0.512	0.386	0.122	0.406	0.006

<표 4> 귀무가설 I-2(트럼펫 IC와 기타 유형 IC)의 검정결과

(a) 유형별 평균 사고건수와 사고율

구분	전체 평균		연결로 평균		본선 평균	
	사고건수	사고율	사고건수	사고율	사고건수	사고율
트럼펫	0.724917	0.010074	0.166704	0.054561	0.006602	0.000136
기타	0.363284	0.008648	0.089356	0.062700	0.002930	0.000053

(b) 가설 검정결과

구분	전체 평균		연결로 평균		본선 평균	
	사고건수	사고율	사고건수	사고율	사고건수	사고율
t	1.968	.372	2.768	-0.517	0.741	0.799
자유도	172	172	694	694	346	346
유의확률	0.051	0.711	0.006	0.606	0.459	0.425

한편, 트럼펫 인터체인지의 네 가지 유형, 즉 AO, AU, BO 및 BU를 대상으로 가설을 검정한 결과, 전체와 연결로 평균 사고건수와 사고율은 BO유형이 가장 높고, 나머지 세 유형은 비슷한 수준을 보이고 있다.

이에 대한 귀무가설 검정결과, 유의수준 0.05%에서 대부분 기각된다. 다만 본선의 사고건수와 사고율의 경우엔 95% 유의확률에서 귀무가설을 기각할 수 없다. 따라서 본선을 제외하면 네 가지 유형별 차이는 의미가 있는 것(매우 강한 논리: 모든 항목에서 기각)으로 분석된다. 이것은 교통안전 측면에서 가능한 BO 형태의 인터체인지는 가능한 도입하지 않은 것이 바람직하다는 것을 의미한다.

6) 유의수준(α)은 고정된 상수 0.01, 0.05, 0.1 등을 주로 사용하며, 유의수준 설정에 따라 신뢰수준($1-\alpha$)은 0.99, 0.95, 0.90 등으로 다르게 된다. 유의확률이 α 값 보다 적으면 귀무가설을 기각하고, α 값보다 같거나 크면 귀무가설을 채택하게 된다.

〈표 5〉 귀무가설 I-3(트럼펫 IC의 네 가지 유형)의 검정 결과

(a) 유형별 평균 사고건수와 사고율

구분	전체평균		연결로평균		본선평균	
	사고 건수	사고율	사고 건수	사고율	사고 건수	사고율
AO	0.53289	0.00593	0.11965	0.03334	0.00986	0.000219
AU	0.67411	0.00661	0.15736	0.05265	0.00446	0.000087
BO	0.98611	0.02063	0.22916	0.09588	0.00000	0.000000
BU	0.79286	0.01057	0.18080	0.04801	0.01071	0.000210

(b) 가설 검정결과

구분	전체평균		연결로평균		본선평균	
	사고 건수	사고율	사고 건수	사고율	사고 건수	사고율
t	7.782	3.228	7.496	4.273	2.500	2.457
자유도	3	3	3	3	3	3
유의 확률	0.004	0.048	0.005	0.024	0.088	0.091

2) 귀무가설 II의 검정

‘교차점의 교차각(교차각의 범위)에 따른 평균사고건수나 평균사고율은 동일하다’라는 귀무가설을 검정하기 위하여, 본 연구는 교차점의 교차각 범위를 네 가지로 구

〈표 6〉 귀무가설 II(교차각)의 검정결과

(a) 유형별 평균 사고건수와 사고율

구분	전체 평균		연결로 평균		본선 평균	
	사고 건수	사고율	사고 건수	사고율	사고 건수	사고율
80<교차각 <90	0.724	.011920	0.676	0.04117	0.0073	0.000094
70<교차각 ≤80	0.768	.009336	0.705	0.04156	0.0225	0.000219
60<교차각 ≤70	0.642	.008245	0.607	0.03623	0.0069	0.000078
교차각≤60	0.656	.008777	0.616	0.04233	0.0197	0.000145

(b) 가설 검정결과

구분	전체 평균		연결로 평균		본선 평균	
	사고 건수	사고율	사고 건수	사고율	사고 건수	사고율
t	23.555	11.748	27.747	29.097	3.470	4.223
자유도	3	3	3	3	3	3
유의 확률	0.000	0.001	0.000	0.000	0.040	0.024

분하여 검정을 실시하였다.

그 결과 검정결과는 전체평균, 연결로평균, 그리고 본선평균 모두 귀무가설을 기각하고 있다. 따라서 교차점의 교차각에 따른 교통사고건수나 교통사고율의 차이는 의미가 있는 것(강한 논리)으로 분석된다. 교차각이 70~80도인 경우 가장 사고율이 높다. 그러나 교차각이 70도 이하인 경우엔 오히려 사고율이 감소하는 것으로 나타난다. 이것은 극심한 예각교차의 경우엔 기하구조적인 조치가 어느 정도 이루어지는 것으로 유추해 볼 수 있다. 따라서 교차각이 90°에 가까울수록 교통사고가 적게 발생하므로, 가능한 직각교차가 바람직한 것으로 분석된다.

3) 귀무가설 III의 검정

‘연결로(혹은 본선)별 차로 수에 따른 평균사고건수나 평균사고율은 동일하다’라는 귀무가설을 검정하기 위하여 본 연구는 검정대상을 전체교차점, IC, 트럼펫 IC, 기타 IC, 그리고 JCT의 5가지로 구분하여 해당 교차점 연결로 및 본선의 차로 수에 따른 평균사고건수와 평균 사고율을 분석하였다.

〈표 7〉 귀무가설 III의 검정결과(유의확률)

구분	연결로		본선	
	사고건수	사고율	사고건수	사고율
전체교차점	0.000	0.562	0.120	0.363
전체 IC	0.000	0.045	0.287	0.289
트럼펫 IC	0.000	0.168	0.249	0.255
기타 IC	0.099	0.005	0.463	0.423
JCT	0.284	0.257	0.266	0.352

분석결과, 전체 교차점, IC 및 트럼펫 IC의 연결로 사고건수와 전체 IC 및 기타 IC의 연결로 사고율에 대한 귀무가설은 기각된다. 따라서 트럼펫 IC 교차점 연결로 구간의 경우 차로 수별 차이는 의미가 있는 것으로 분석된다. 즉 연결로의 차로 수가 2개인 경우에 더 많은 교통사고가 발생하므로, 교통안전 측면 상 교통량이 많지 않으면 가급적 1개의 차로를 이용하는 것이 바람직한 것(약한 논리)으로 분석된다.

3. 검정결과의 해석

전술한 바와 같이 5가지의 귀무가설을 검정한 결과

매우 의미 있는 결과를 도출하였다.

우선 교차점의 유형에 대한 가설검정 결과는 다음 3 가지이다. 첫째, 분기점과 인터체인지 간의 교통사고건 수나 교통사고율의 비교는 의미가 없는 것(약한 논리)으로 분석된다. 둘째, 트럼펫 유형이 기타 유형에 비해 덜 안전한 것(매우 약한 논리)으로 파악된다. 셋째, 트럼펫 인터체인지의 네 가지 유형별 차이는 의미가 있는 것(매우 강한 논리)으로 분석된다.

이러한 세 가지의 결론을 종합 정리하면, 교통안전 측면에서 JCT와 IC의 비교는 무의미하지만, 인터체인지의 형태에서는 트럼펫이 다소 덜 안전하고, 트럼펫 인터체인지 중에서는 BO 형태가 가장 위험하다는 것이다. 따라서 교통안전 측면에서 가능한 BO 형태의 인터체인지는 도입하지 않은 것이 바람직하다고 판단된다.

교차각과 차로 수에 대한 가설검정 결과, 본선과의 교차각이 90°에 가까울수록 사고가 적게 발생(강한 논리)하며, 인터체인지의 경우 연결로가 1차로일 경우 교통사고가 적게 발생(약한 논리)한 것으로 분석된다. 이것을 종합하면, 지형적 제약조건이 없다면, 가능한 교차각을 90°가 되도록 설계하되, 인터체인지의 경우 연결로 교통량이 아주 많지 않다면 1차로로 설계하는 것이 교통안전 관점에서 바람직하다고 판단된다.

V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 고속도로 기하구조와 교통사고의 관계를 다루어 왔다. 연구의 목적은 교차점의 기하구조에 따라 교통사고가 다르게 나타난다는 가설을 검증하는데 있었다. 교차점 유형과 교통사고 차이에 대한 가설검정 결과, JCT와 IC 그리고 트럼펫 IC와 기타 유형의 IC 간의 사고 비교는 의미를 갖지 못하지만, 트럼펫 IC의 네 가지 유형별 차이는 의미가 있는 것으로 분석되었다. 즉 BO 형태의 트럼펫 IC는 타 형태의 트럼펫 IC보다 월등히 많은 교통사고를 나타내고 있다.

또한 교차점의 교차각과 연결로의 차로 수에 따른 교통사고 차이에 대한 가설검정 결과, 직각교차일수록 그리고 연결로의 차로수가 1차로일 경우에 교통사고가 적게 발생하는 것으로 분석된다.

이러한 연구결과를 바탕으로 고속도로의 설계에서 보다 안전한 교차점의 형식과 기하구조 설계에 반영될 수 있는 몇 가지 방향을 제시하면 다음과 같다. 교통안전 관

점에서 루프연결로를 유출방향으로 설치하고 본선을 위로 통과하는 BO형태의 인터체인지는 도입하지 않는 것이 바람직하다. 또한 본선과의 교차각은 가능한 직각으로 설계하고 연결로 교통량이 아주 많지 않는 한 1차로로 설계하는 것이 바람직하다.

최근 교통사고자료는 어느 정도 전산화되고 있어 이 분야의 연구에 진전이라 할 수 있으나, 아직 기하구조의 경우엔 전산화되어 있지 않을 뿐만 아니라 자료 획득 자체도 어렵다는 점이 큰 문제로 지적된다. 따라서 이러한 한계를 고려하여 향후 연구되어야 할 사항들을 제시하면 다음과 같다. 우선, 본 연구에서 감안하지 못한 교차점의 다양한 기하구조를 감안한 연구가 필요하다. 즉, 완화구간, 편경사, 시거, 경사구간의 길이, 종단곡선, 횡단경사, 포장상태, 미끄럼저항, 가·감속차로, 방호시설 등의 기하구조를 조사하여 교통사고와의 관계검토가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 강민욱·도철웅·손봉수(2002), “고속도로 평면선형상 사고빈도분포 추정을 통한 음이향회귀모형 개발 (기하구조요인을 중심으로)”, 대한교통학회지, 제20권 제7호, 대한교통학회, pp.197~204.
2. 건설교통부(2000), “도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침”, 대한토목학회.
3. 김경석(1997), “도로 설계요소와 교통사고의 상호관계에 관한 연구”, 국토연구 제26권, pp.148~160.
4. 김태영·박병호(2007), “트럼펫 IC 램프의 운전조건과 교통사고 분석”, 대한교통학회지, 제25권 제1호, 대한교통학회, pp.73~79.
5. 박병호·류승욱(2002), “트럼펫 인터체인지의 형식과 교통사고율의 관계”, 한국지역개발학회지 제14권 제1호, 한국지역개발학회, pp.107~124.
6. 성낙문(2002), “고속도로 인터체인지에서 교통사고 예측모형의 개발”, 대한토목학회논문집 제22권 제4-D호, 대한토목학회, pp.617~625.
7. 이점호·홍다희·이수범(2006), “고속도로 교통운영 특성 및 도로선형요소를 반영한 주행속도 예측모형 개발”, 대한교통학회지, 제24권 제5호, 대한교통학회, pp.109~121.
8. 장재남·오철·장명순(2000), “교통안전을 고려한

도로 설계서비스수준 적용 연구”, 대한토목학회논문집 제20권 제3-D호, 대한토목학회, pp.293~300.

9. AASHTO(2001), “A Policy on Geometric Design of Highways and Streets.”
10. Bauer, K. M. and D. W. Harwood(1997), “Statistical Models of Accidents on interchange Ramps and Speedchange Lanes”, FHWA-RD-97-105.
11. Fambro, Daniel B., et. al.(2000), “Geometric Design : Past, Present, and Future”, TRB A2A02: Committee on Geometric Design.
12. Gwynn, D. W.(1967), “Relationship of Accident Rate and Accident Involvements with Hourly Volume”, Traffic Quarterly, July, pp.407~418.
13. Harwood, Douglas W., et. al.(2000), “Operational and safety effects of highway geometrics at the turn of the millennium and beyond”.
14. Sung, N., W. Taylor, and V. Melf(2001), “Another look at identifying hazardous sites(based on the negative binomial distribution)”, Presented at the 80th Annual Meeting of the TRB.
15. TRB(2001), “Recent geometric design research for improved safety and operations”, NCHRP Synthesis 299.
16. Washington, Simon P., et. al.(2003), “Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis”, Chapman & Hall/CRC.

✉ 주 작성자 : 박병호
 ✉ 교신저자 : 박병호
 ✉ 논문투고일 : 2007. 3. 10
 ✉ 논문심사일 : 2007. 7. 31 (1차)
 2007. 11. 29 (2차)
 ✉ 심사판정일 : 2007. 11. 29
 ✉ 반론접수기한 : 2008. 4. 30