

■ 論 文 ■

지방부 교차로의 도로설계 안전성 판단 알고리즘 구축을 위한 AMF 개발 (신호교차로를 중심으로)

Development of Accident Modification Factors for Road Design Safety Evaluation Algorithm of Rural Intersections

김 응 철
(인천대학교 조교수)

이 동 민
(한국교통연구원 책임연구원)

최 은 진
(인천대학교 석사과정)

김 도 훈
(한국교통연구원 연구원)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 배경 및 목적
 - 2. 연구의 범위 및 방법
 - 3. 기존문헌 고찰
- II. 본론
 - 1. 방법론
 - 2. AMF 항목선정
 - 3. AMF 산출
- III. 결론 및 향후 연구과제
- 참고문헌

Key Words : 사고예측계수(AMF), 교차로 설계, 안전성 평가, 사고빈도, 지방부 교차로
Accident Modification Factor, Intersection Design, Safety Evaluation, Accident Frequency, Rural Intersection

요 약

도로설계 안전성을 평가하기 위해서는 도로의 설계 요소변화가 사고에 미치는 영향을 예측할 수 있어야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 통계적 방법, 사고이력, 전문가의 판단, 그리고 기존문헌고찰 등 다양한 방법을 통하여, 설계요소의 특징과 사고율 및 사고빈도의 관계를 반영할 수 있는 AMF(Accident Modification Factor)를 개발하고자 하였다. 본 연구에서는 AMF를 좌회전전용차로, 우회전전용차로, 시거, 교차각 등의 항목을 대상으로 개발하였다. 개발된 AMF를 적용한 경우의 사고 예측값, 사고예측모형을 통한 예측값을 실제 사고데이터와 비교분석함으로써 적정성을 검토하였다. 분석결과, AMF를 적용한 예측값이 사고예측모형을 통한 예측 값보다 예측력이 우수함을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 사고를 예측함으로써 도로설계 안전성을 평가하는 알고리즘에 있어 AMF가 도로의 설계요소의 특성을 보다 효과적으로 반영하며, 지방부 교차로에서 각각의 해당요소가 사고에 미치는 영향을 판단할 수 있는 지표가 될 수 있음을 의미한다.

A traffic accident prediction model developed using various design variables(road design variables, geometric variables, and traffic environmental variables) is one of the most important factors to safety design evaluation system for roads. However, statistical accident models have a crucial problem not applicable for all intersections. To make up this problem, this study developed AMFs(Accident Modification Factors) through statistical modeling methods, historical accident databases, judgment from traffic experts, and literature review by considering design variable's characteristics, traffic accident rates, and traffic accident frequency. AMFs developed in this study include exclusive left-turn lane, exclusive right-turn lane, sight distance, and intersection angle. Predictabilities of the developed AMFs and the existing accident prediction models are compared with real accident historical data. The results showed that performances of the developed AMFs are superior to the existing statistical accident prediction models. These findings show that AMFs should be considered as a important process to develop safety design evaluation algorithms. Additionally, AMFs could be used as an index that can judge the impact of corresponding design variables on accidents in rural intersections.

본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업의 연구비지원(06교통핵심C01)에 의해 수행되었습니다.

1. 서론

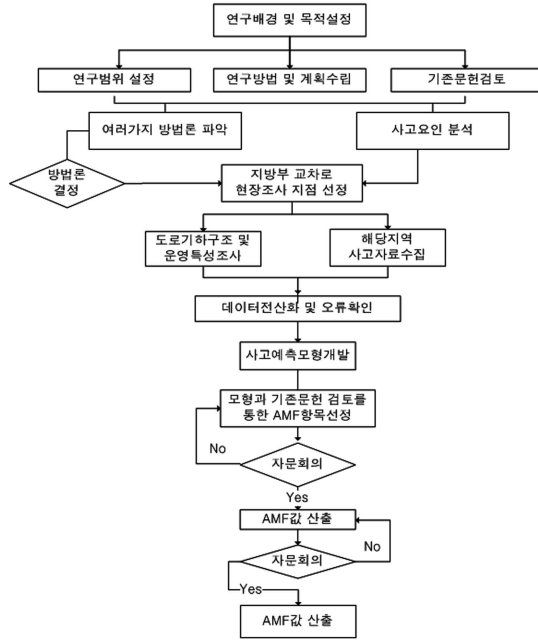
1. 연구의 배경 및 목적

2007년 도로교통사고로 인한 사회적 비용은 전년대비 약 7.1% 증가한 10조 3,441억원으로 국가예산의 6.6%에 해당하는 막대한 규모를 차지하고 있다. 이러한 교통사고의 발생요인은 크게 인적요인, 도로환경적요인, 차량요인으로 분류되는데 교통사고 분석 자료집에 의하면 인적요인으로 인해 발생하는 교통사고가 전체 발생건수의 98%, 치사율이 2.8인 것으로 나타난다. 반면 도로 환경적요인으로 인한 교통사고의 경우 사고발생률이 1%에 불과하나 치사율이 6.6에 달하는 것으로 분석되었다. 즉 도로 환경적 요인으로 인하여 발생하는 사고의 경우 사고 심각도가 매우 높음을 알 수 있다.

도로환경적 요인으로 인해 발생하는 교통사고를 감소시키기 위해 정부 및 지자체는 개선사업을 계획, 시행하고 있다. 국토해양부의 ‘2008년 국가교통안전 시행계획’에 의하면 사고 잦은 곳 개선사업 대상으로 일반국도 100개소에 213억원, 지방도 479개소에 424억원을 투자하며, 위험도로 개선 사업으로 지방부 247개소에 1,655억원을 투자 하여 도로를 개선 정비한다. 이는 현재 도로설계 지침이나 시설 기준만으로 도로설계의 안전 여부를 평가하는 것이 어려우며 도로설계의 안전성을 평가할 수 있는 정확한 근거가 마련되어야 함을 시사하고 있는 것이다. 설계단계에서 설계된 구간의 안전성을 평가 할 수 있는 시스템의 구축은 시공이전에 안전상의 문제점을 해결하여 불안정한 도로설계로 인한 교통사고를 최소화함으로써 인적, 물적 피해를 줄여 사회·경제적 비용을 절감시킬 수 있을 것이다.

도로설계 안전성 평가 시스템을 구축하기 위해서는 설계하고자 하는 도로구간에서의 사고예측이 가능해야한다. 또한 대안간 안전성 비교를 가능하게 하기 위해서 도로기하구조나 교통운영특성의 변화가 분석구간의 안전에 미치는 영향을 반영할 수 있어야 한다. 이러한 역할을 하는 것이 Accident Modification Factor (AMF)이다. AMF는 도로의 특성 변화가 도로의 안전에 미치는 독립적인 영향을 사고예측 알고리즘에 표현하기 위한 값으로 특정 도로요소를 변화 시켰을 때, 해당요소가 안전도에 미치는 개별적인 영향을 평가하여 도로설계를 최적화시킬 수 있도록 도와주는 역할을 한다.

AMF는 기하구조나 교통특성 등의 개별적 특성을 사



<그림 1> 연구수행 흐름도

고예측 알고리즘에 반영하기 위한 사고예측계수로 기본적인 기하구조, 교통제어 특성을 가질 때는 1.0의 값을 가진다. 사고를 증가시키는 특성을 가질 때는 1보다 큰 값을, 사고를 감소시키는 특성을 가질 때는 1보다 작은 값을 가지게 된다.

AMF에 관한 연구는 미국의 Interactive Highway Safety Design Model(IHSDDM) 개발을 위한 연구에서 최초로 적용한 이후, 미국의 Highway Safety Manual (HSM), Roadway Safety Design Synthesis(RSDS) 등의 많은 연구에서 활발히 진행되고 있다. 하지만 국내에서는 ‘AMF’라는 개념 자체가 생소하고 관련된 연구가 제대로 이루어지지 않고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 국외의 선행된 연구를 참고하고 국내 실정에 맞는 방법을 선택하여 도로설계 안전성 평가 시스템에 적용하기 위한 AMF를 개발하여 도로설계 안전성 평가 시스템 구축에 기여하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 지방부 교차로의 도로설계 안전성 평가를 위한 AMF를 산정하고자 하며, 지방부 교차로는 수도권 외곽지역과 지방부 교차로를 대상으로 한다. 연구의 기반이 되는 사고데이터는 2004년 한 해 동안 지

방부 도로의 교차로의 사고 데이터와 현장조사 자료를 바탕으로 하였다.

연구에서 제시하는 AMF는 지방부 교차로 특성을 반영하는 값으로 선정된 AMF의 항목과 값은 반복적인 자문회의를 통하여 검증하였다.

최종적으로 모형을 통해 예측한 사고빈도와 AMF를 적용하여 예측한 사고 빈도를 실제 사고빈도와 비교분석하였으며 그 결과는 평균, 표준편차등과 같은 기초통계량과 실측값과 예측값의 오차를 판단하기 위한 MAD(Mean Adjusted Deviation)과 MPB(Mean Prediction Bias)를 통해 판단하였다.

한편, 기존에 미국에서 개발된 AMF 값의 국내도로 적용성과 본 연구로부터 개발된 값의 AMF 적용성 비교는 국외 AMF 개발시 기반이 되는 모형구축 데이터가 시간적, 공간적 전이성을 가지지 않아 의미 있는 분석이 될 수 없으므로 수행하지 않았다.

3. 문헌고찰

AMF에 관한 연구는 도로설계 안전성 평가 시스템인 미국의 IHSDM에서 지방부 양방향 2차로도로 설계의 안전성을 평가하기 위해 AMF를 개발하였다. 이후 이와 같은 AMF를 통한 도로안전성 평가방법은 미국의 HSM와 텍사스 주의 RSDS연구 등을 통해 확장되어 가고 있다. HSM과 RSDS에서 제시하는 AMF의 항목과 값은 방법적 측면이나 항목에 있어서도 차이를 보이기도 하지만 일부 항목에 대해서는 동일한 값을 사용하기도 한다. 미국은 AMF에 관련한 연구가 활발히 이루어지고 이에 대한 중요성이 커지자 일부 주의 교통국에서 다양한 항목에 대하여 AMF값을 산출하고 보고서, 홈페이지에 게재하여 사용하도록 하고 있다.

IHSDM의 6가지 세부 모듈 중 사고예측을 통해 안전성을 판단하는 Crash Prediction Module은 도로 및 교차로에 설계 대안에 대하여 충돌 잠재성을 예측하고, 사고의 심각도 및 충돌 횟수를 정량적으로 예측하도록 되어 있다. 또한 다수 대안간의 사고심각도비교도 가능하며 기하구조에 변화에 따른 충돌 빈도의 변화를 예측한다.

RSDS(Roadway Safety Design Synthesis, 2005)는 안전한 설계 지침과 평가 Tool을 개발하기 한 연구로 기존 사고 모형 및 AMF에 관한 연구와 사전·사후 평가 등의 연구 및 조사결과를 바탕으로 지방부 및 도시부의 도로 유형별로 다양한 사고예측모형과 AMF를 제시하고 있다.

<표 1> RSDS의 AMF

	신호교차로				비신호 교차로			
	3지		4지		3지		4지	
좌회전	0.85	-	0.82	0.67	0.56	-	0.76	0.58
우회전	0.77		0.59		0.91		0.83	
교차각	1				exp(0.019X)		exp(0.021X)	
시거	교차로 1사분면의 시거 제한 : 1.05 교차로 2사분면의 시거 제한 : 1.10 교차로 3사분면의 시거 제한 : 1.15 교차로 4사분면의 시거 제한 : 1.20 신호교차로, 전방향정지 교차로 : 1.00							
간선도로수	exp(0.056d _n)				exp(0.046d _n - 3)			
중차량 구성비	exp(-0.030(P _t - 9))				exp(0.028(P _t - 9))			
속도	exp(0.019(V - 55))							
길이깨	-				exp(-0.030(W _s - 8))			
중앙 분리대	-				형	Undivided	0.73	
					태	divided	1	
					폭	exp(-0.012(W _m - 16))		
					AMF _{형태} × AMF _폭			
차로수	주	≤3	1.00		주	≤3	1.00	
		4 or 5	0.83			4 or 5	1.01	
	부	≥6	0.69		부	≥6	1.03	
		≤3	1.00			≤3	1.00	
					≥4			
					≥4			

때문에 RSDS 해당 유형도로 또는 교차로에 대하여 다양한 연구 사고예측모형을 제시하고 모형의 예측력을 비교분석하고 있다. AMF항목에 관하여서도 HSM에서 제시하고 항목과 달리 좌회전차로, 우회전차로, 차로수, 교차각, 시거, 중차량, 속도 등으로 보다 다양한 항목에 대하여 AMF를 제시하고 있다. <표 1>는 RSDS에서 제시하는 AMF항목과 그 값이다. 비신호 교차로의 경우 추가적으로 시거, 교차각과 중앙분리대의 형태 및 폭을 고려하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 일부 AMF항목은 HSM에서 사용하고 있는 값과 동일한 값을 제시하고 있다.

HSM(Highway Safety Manual, 2004)은 지방부 2차로 도로의 안전성을 예측하기 위해 개발된 분석방법으로 사고예측모형과 AMF를 제공하고 지역마다 Calibration 방법을 제시함으로써 미국 전지역에 대하여 도로의 안전성을 평가할 수 있는 기준을 제공하고 있다. 지방부를 도로구간과 교차로로 분류하며, 지방부 교차로는 운영특성에 따라 3가지(Three - leg STOP Controled Intersections, Four - leg STOP Controled Intersections, Three - leg Signalized Intersections) 유형으로 분류하고 각각의 유형에 따라 사고예측모형을 개발하였다. HSM은 사고데이터를 통한 회귀분석으로 유형별 사고예측모형을 구축

<표 2> Highway Safety Manual의 AMF

	3지				4지			
	신호		비신호		신호		비신호	
교차각	1		exp(0.004X)		1		exp(0.0054X)	
좌회전	0.85	-	0.78	-	0.82	0.67	0.79	0.58
우회전	0.93	0.87	0.86	0.74	0.97	0.87	0.86	0.74
시거	교차로 1사분면의 시거가 제한된 경우 : 1.05 교차로 2사분면의 시거가 제한된 경우 : 1.10 교차로 3사분면의 시거가 제한된 경우 : 1.15 교차로 4사분면의 시거가 제한된 경우 : 1.20 신호교차로, 전방향정지 교차로 : 1.00							
교통제어	양방향 정지에서 전방향 정지방식으로 전환 : 0.53							

하고 전문가의 판단을 통하여 AMF를 산출하였다. 교차로의 각 유형별 AMF 항목은 좌회전 전용차로, 우회전 전용차로, 시거, 교차각, 교통제어 특성이다. 각 항목에 대하여 제시한 AMF값은 <표 2>와 같다. 제시한 항목의 값 중 <표 1>과 <표 2>에서 좌회전 및 우회전 항목에 2가지의 값이 포함된 것은 교차로의 주도로 및 부도로 어느 한쪽에만 좌회전 또는 우회전 차로가 설치된 경우와 양방향 모두에 설치된 경우를 구별하고 있다.

II. 본론

1. 방법론

AMF를 개발하기 위해서는 보유하고 있는 데이터를 최대한 이용 하면서 국내 실정에 적합한 방법론을 선택하는 것이 가장 중요한 일이다. 더욱이 AMF 관련 분야에 대한 연구는 국내에서는 거의 전무하므로 해외의 기존 선행연구방법을 국내 상황에 맞게 적용하였다. AMF를 개발하기 위한 사용한 방법은 다음과 같은 5가지 방법이 있다.

1. 사고 자료를 이용하는 방법
2. 사고예측모형을 이용하는 방법
3. 사전-사후평가를 통한 방법
4. 전문가 판단에 의한 방법
5. 기존문헌을 이용하는 방법

첫 번째 방법은 기존의 사고 자료를 이용하여 장래의 사고를 예측하는 방법인데 1~3년 정도의 단기간 샘플을 이용한 장기간의 사고예측은 그 과정에 있어서도 힘들뿐 아니라 결과의 신뢰도를 떨어뜨리는 결과를 초래할 수 있다.

사고 예측 모형을 통한 방법은 전체적인 사고 예측에

<표 3> 각 AMF 산정 방법의 한계점

방법론	한계점
사고 자료를 이용하는 방법	1~3년 정도의 단기간 샘플로 장기간의 사고예측은 과정에 있어서도 힘들 뿐 아니라 부정확한 결과를 초래함
모형을 통한 방법	전체적인 사고 예측에는 유용하나 각각의 변수의 coefficient를 신뢰하기 힘들뿐 아니라 각각의 변수가 사고에 미치는 독립적인 영향을 알 수 없음
사전-사후평가를 통한 방법	Regression to the mean의 문제 자료의 신뢰도 문제가 발생함
전문가 판단에 의한 방법	사고이력, 통계적 모형, 사전사후 평가 결과 등 많은 자료가 필요함
기존문헌을 이용하는 방법	분석방법, 데이터 가공 등 여러가지 조건이 부합하는 동일한 문헌의 확보가 힘들

는 유용하나 모형 내 개별적인 변수의 계수를 신뢰하기 힘들 뿐 아니라 변수들이 유기적인 관계를 맺고 있음으로서 각각의 변수가 사고에 미치는 독립적인 영향을 알 수 없다는 한계점을 가진다.

사전 사후평가를 통한 방법은 개별적 효과를 분석하기 위해서 가장 정확한 방법이나 현재 우리나라에서는 이와 관련된 연구가 부족한 실정이며 신뢰할 수 있는 AMF산출을 위한 사전-사후 평가는 최소한 10년 이상의 많은 데이터가 필요하므로 현실적으로 이를 실행하는 것은 불가능하다. 또한 사전-사후평가를 하기 위한 실험 설계과정을 검증할 수 없기 때문에 자료의 신뢰도 문제, Regression to the mean의 문제가 발생한다.

각각의 설계요소와 사고의 관련성에 대한 기존문헌을 이용할 수 있는 방법은 기존의 연구가 주로 국외 문헌이므로 우리나라의 지방부 교차로 사고특성과 일치한다고 보기 힘들며 데이터를 가공하는 단계에 있어서 각각의 방법이 서로 달라 한 가지 요소에 대하여 여러 가지 결과값들을 취합하여 한 가지 값으로 결정지을 수 없는 문제가 발생한다.

마지막으로 관련분야의 전문가판단을 이용하는 방법은 사고 이력, 통계적 모형, 사전 사후 평가 결과 등 많은 자료가 확보되어야 할 뿐 아니라 다년간의 데이터가 필요하다는 한계점이 있다. 이와 같은 각각의 방법들이 가지는 한계점을 상호 보완하기 위하여 본 연구에서는 모형을 이용하는 방법을 기본으로 하되 앞서 언급한 방법을 복합적으로 사용하였다.

2. AMF 항목 선정

<표 4>과 <표 5>의 기존문헌 검토를 통해 분석한 결

과 <표 6>와 같은 요소가 지방부 교차로의 사고에 영향을 미치는 요소들로 판단되며 각 항목과 사고율과의 관계는 기존문헌 고찰에 자세히 제시되어 있다.

기존문헌 검토와 현재 현장조사를 통한 도로 기하구조 및 교통특성 조사자료, 사고 자료, 이를 통해 구축한 사고예측 모형 등 활용 가능한 데이터를 바탕으로 <표 6>와 같이 AMF 항목의 후보군을 설정하였다. 그 중 지방부 교차로의 사고 빈도에 영향을 미치는 주요 요소를

<표 6> 사고에 영향을 미치는 요인

<ul style="list-style-type: none"> • 좌회전 전용차로 • 우회전 전용차로 • 교차로 형태 • 조명시설 • 시거 • 접근로 폭/수 • 통제방식 • 차로 수 	<ul style="list-style-type: none"> • 주도로 교통량 • 부도로 교통량 • 횡단보도 설치유무 • 버스정류장 유무 • 접근로 진출입구수 • 중앙분리대 • 제한속도 차 • 접근로종단구배
---	--

<표 4> 교통사고의 도로기하구조적 요인분석

변수	연구	내용
교차각	Harwood	사고모형을 통하여 AMF 값 도출 $\exp(0.0040 SKEW) - 3$ 지 정지표지 $\exp(0.0054 SKEW) - 4$ 지 정지표지
교차로 형태	Bauer & Harwood	지방부와 도시부 정지표지 4지교차로는 3지 교차로에 비해 2배의 사고율을 보임 지방부 4지 정지표지 교차로에서 연평균 1.1건, 3지 연평균사고건수 0.6건
접근로 폭	김경석	차로 폭은 3.3m내외의 경우에 사고율이 가장 많으며, 3m이하에서는 사고율이 낮다. 또한 차로 폭이 3.6m이 넘으면 다시 교통사고가 많이 발생하며, 이로써 적절한 도로 설계 폭은 3.3m ~ 3.5m
접근로 수	Bauer & Harwood	지방부와 도시부의 비신호 교차로에서는 접근로수가 증가함에 따라 사고가 감소하는 경향이 있으나, 도시부의 신호 교차로에서는 오히려 사고가 증가하는 경향

<표 7>과 같이 AMF항목으로 선정하고 기본조건을 설정하였다.

선정된 항목은 교차각과 좌회전 전용차로, 우회전 전용차로, 시거 네 가지 항목이다.

교차각의 경우 주도로와 부도로가 직각을 이루지 않는 경우 직각교차로에 비하여 정지선 간의 거리가 길고 교차로 면적이 넓어지기 쉬워 교차로 내부를 고속으로 통과하려는 현상이 발생한다. 따라서 좌, 우회전 차량과 횡단보행자 사이에 사고가 발생하기 쉬우며, 시거와 교통처리 능력에 문제를 발생시킨다는 점에서 사고에 영향을 미치는 중요한 요소로 판단하였다. 교차각은 선행연구에서 교차로의 주요 AMF항목으로서 선택되었을 뿐만 아니라, 모형에 변수로 포함되어 있어 모형을 활용할 수 있다는 이점을 가지므로 AMF 항목으로 선정되었다.

좌회전 전용차로가 설치되어 있지 않는 경우 좌회전 대기차량으로 인해 직진하고자 하는 후속차량이 진로를 변경해야만 하므로 교차로 처리능력이 저하되고 교통정체가 발생될 뿐 아니라 교통사고 위험이 커진다. 따라서 좌회전 차량의 영향을 제거하기 위하여 직진과 좌회전 차로를 분리한다. 이때 좌회전 차로는 좌회전 교통류에 의한 영향을 최소화 하고 좌회전 차량이 대기할 수 있는 공간을 확보함으로써 교통신호 운영을 돕고, 좌회전 교통류의 감속을 원만하게 하여 추돌사고를 줄이는 효과를 발생시킨다. 따라서 좌회전 차로의 설치가 교차로의 사고에 미치는 영향이 크다고 판단하여 AMF 항목으로 선정하였다. 또한 기존의 연구에서 좌회전 차로의 설치가 최소 18%에서 최대 77%까지 사고감소효과가 있음(McCoy&Malone)을 연구 결과로 밝혔으며, HSM과 RSDS 에서도 이 항목을 AMF항목으로 선정하였다.

우회전 전용차로는 주로 우회전 차량에 의한 영향이 크게 발생하는 경우에 설치하는데 우회전의 경우 적색신호에도 비보호 우회전이 가능하고, 좌회전 차로와 우회전 차로를 모두 설치함으로써 발생하는 용지 및 비용 문제가 있다. 따라서 우회전 차로의 설치는 융통성을 가지

<표 5> 교통사고의 교통공학적 요인분석

변수	연구	내용
통제방식	Poch&Mannering	통과 차량이 적은 교차로에서 교통 통제가 없는 경우 전체사고와 직각충돌사고는 감소
	Hauer	비통제에서 양보방식으로 변경하면 2%~63% 교통사고 감소
	Agent&Deen	정지 표시 방식 교차로에서는 50% 이상의 사고가 직각 충돌 사고인 반면 양보 방식의 경우 50%이상이 추돌사고
	Hanna et al.	신호등을 운영하면 추돌사고는 많아지는 반면 직각 충돌 사고는 감소한다. 전체적으로는 사고율이 약간 높아짐
좌회전 차로	McCoy&Malone	좌회전 차로의 설치가 교차로 전체사고감소에 효과가 있음. 특히 추돌사고, 접촉사고, 좌회전 사고는 6%~77% 감소
	Foody&Richardson	신호 교차로: 38% 감소 비신호 교차로: 76% 감소
우회전	Harwood et al.	우회전전용차로의 설치가 비신호 교차로에는 2.5~10%의 감소효과, 비신호 교차로에는 5%의 감소효과
시거	Hanna et al.	시거가 확보되지 못한 경우 진입 차량 백만대당 1.33의 사고율을 보이며, 시거가 확보되는 경우 1.13의 사고율을 보임

<표 7> AMF 항목과 기본값

AMF	기본조건
교차각	교차각은 90°
좌회전 전용차로	없음
우회전 전용차로	없음
시거	110m(좌), 130m(우)

고 설계하도록 하고 있다. 하지만 교통소통과 안전의 측면에서 우회전차로의 설치가 유리하며, 기존의 연구에 의해 우회전 차로의 설치가 최소 5%에서 최대 27%까지 사고를 감소효과가 있어 AMF항목으로서 적정성을 가지다고 판단하여 AMF항목으로 선정하였다.

마지막으로 운전자에게 시거확보는 복잡한 운행 특성과 기하 구조적으로 발생하는 물리적 특성을 가지는 교차로에서 안전상 매우 중요한 요소로 교차로 진입시 도로의 상황을 인지하는데 무엇보다 중요한 요소이다. 기존문헌에서도 시거를 방해하는 장애물의 개선이 사고율을 67%까지 감소(Michell, 1972)키며, 반대로 시거가 빈약한 경우 진입차량 백만대 당 1.33의 사고율을 보일 정도로 시거는 매우 중요한 요소 이다. 이에 시거를 AMF항목으로 선정하고 ‘A Policy on Geometric Design of Highways and Streets(2004)’ 에 의해 시거의 기본조건을 설정하였다. 이는 현장 조사시 사용한 좌측시거와 우측 시거에 대한 수치적인 최소 기준이 우리나라에는 제시되어 있지 않아 위 문헌의 값을 사용하였다.

지방부 교차로의 이상적인 조건은 최소 조건으로 AMF가 ‘1’이 될 수 있는 값을 의미한다. 지방부 교차로의 이상적인 조건은 ‘도로용량편람’의 내용을 기초로 구성하였다.

3. AMF 산출

AMF는 교차로 유형별로 교차각, 좌회전 차로, 우회전 차로, 시거의 각 항목에 대하여 산출하였다. AMF 산출은 모형을 사용하는 것을 기본으로 하되 모형 내에 해당변수가 포함되어 있지 않는 경우는 기존문헌 고찰 및 사고데이터와 전문가 자문회의를 통하여 산출한다.

본 연구에서 사용된 모형 및 사고데이터는 「안전지향형 교통 환경 개선 기술 개발」 과제의 2세부_3세세부 과제인 ‘사고정보 분석 및 도로환경 안전성 평가 시스템 개발’ 의 2차년도 연구수행결과 수집된 사고데이터와 사고 예측모형을 이용하였다. 사고데이터 수집과 사고모형 구축관련 구체적인 내용은 본 논문에서는 생략하였다.

<표 8> 유형별 기본 모형

유형	기본모형
3지 신호	$\hat{Y} = \exp(-2.3131 + 0.3151X_4)$ (1)
4지 신호	$\hat{Y} = \exp(-4.3972 + 0.6219X_8)$ (2)

모형을 통해 산출하는 방법은 유형별 교차로의 사고 모형에서 ADT를 제외한 모든 변수에 기본 값을 부여함으로써 ADT만을 변수로 가지는 기본모형으로 변형한다. 이 기본모형의 종속변수는 오직 ADT에 의한 사고빈도를 의미하며 신호교차로 두 가지 유형에 대한 기본 모형식은 <표 8>의 식(1),(2)와 같다.

모형을 통하여 AMF를 산출하기 위해서는 해당 항목이 모형 내 변수로 고려되어야만 한다. 또한 모형 내 변수가 포함되어 있더라도 ‘유/무’로서 판단하는 경우 세부적인 AMF 값의 산출이 어려우며, 사고에 미치는 변수의 영향이 기존문헌과 상이한 현상을 나타내는 경우도 있어 모형을 통한 AMF의 산출은 다음과 같은 과정에 의해 산출되었다.

- Step1. 사고예측모형에 기본 값을 적용하여 기본 모형(N_B)을 산출함.
- Step2. 산출하고자 하는 AMF항목과 ADT를 제외한 나머지 변수에 기본 값을 적용한 모형을 산출함(N_X)
- Step3. Step1과 Step2로부터 산출한 모형에서 계산된 사고빈도의 비($\frac{N_X}{N_B}$)를 AMF값으로 함.

위와 같은 과정을 통해 산출된 AMF값은 산출된 AMF를 적용한 결과 예측된 사고빈도의 기초통계량과 예측값과 실측값의 차이를 통해 예측값의 분포와 평균적인 예측오차를 판단하는 척도가 되는 MBP(Meas Prediction Bias)와 MAD(Mean Adjusted Deviation)의 산출을 통해 비교분석하였다.

<표 9>는 신호4지 교차로와 신호3지 교차로의 모형에서 선정된 항목을 포함하고 있는지 여부를 표로 정리한 내용이다.

<표 9> AMF항목 포함 여부

	교차각	좌회전	우회전	시거
4지 신호	○	○		
3지 신호		○		○

1) 교차각

교차각 항목은 선행된 연구결과에 의하면 신호교차로에서는 사고에 미치는 영향이 없다고 판단하였다. 따라서 3지, 4지 신호교차로의 AMF는 기존문헌에 따라 기본 값 '1'이 대안이 되었다. 하지만 본 연구결과 4지 신호교차로 내에 교차각이 변수로서 모형에 포함되어 모형을 통해 산출한 교차각의 AMF를 산출하여 두 가지 대안 중 적합한 것을 선택하였다. 먼저 4지 신호교차로 모형 내에 포함된 교차각을 모형을 통한 방법으로 AMF를 산출하였다.

Step1. 4지 신호 교차로의 교차각 AMF는

$$\hat{Y} = \exp(-5.1488 - 0.2209X_1 - 0.5297X_2 + 0.3758X_3 - 0.6197X_4 + 0.5409X_5 - 0.3060X_6 + 0.0088X_7 + 0.6219X_8) \quad (3)$$

- X_1 : 주도로 좌회전 전용차로 수[개수]
- X_2 : 주도로 횡단보도 유무[무=0, 유=1]
- X_3 : 주도로 제한속도[km/h]
- X_4 : 주도로 조명시설[무=0, 유=1]
- X_5 : 부도로 접근로에서의 종단변화[무=0, 유=1]
- X_6 : 주도로 버스정류장 유무[무=0, 유=1]
- X_7 : 교차각[90-예각]
- X_8 : ADT[lnADT(주+부)]

let $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6 = 0$

$$\therefore \hat{Y} = \exp(-4.3972 + 0.6219X_8) \quad (4)$$

Step2. 산출하고자 하는 항목은 교차각(skew)이므로 기본 모형에 교차각 변수를 추가함 ($X_7 = skew, X_8 = ADT$)

$$\exp(-4.3972 + 0.0088skew + 0.6219ADT) \quad (5)$$

Step3. step1과 2의 값의 비를 AMF값으로 함

$$\frac{\exp(-4.3972 + 0.0088SKEW + 0.6219ADT)}{\exp(-4.3972 + 0.6219ADT)} \quad (6)$$

$$\therefore AMF = \exp(0.0088SKEW) \quad (7)$$

산출한 AMF값은 기존문헌과 비교가 필요하다고 판단하여, 모형을 통해 산출한 $AMF = \exp(0.0088skew)$ 를 대입한 경우를 AMF[1], AMF를 1로 대입한 경우를

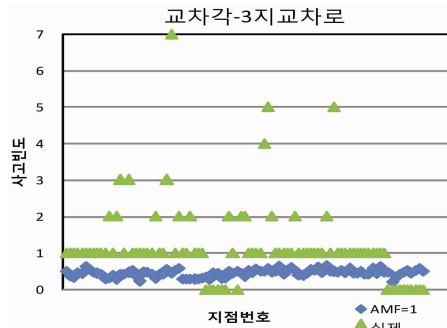
AMF[2]로 하여 각각의 결과를 비교해 보았다.

먼저 <그림 2>는 4지 신호교차로에 교차각 AMF를 기본값 '1'을 대입한 경우 예측되는 사고 빈도와 실제 사고 빈도를 비교한 그래프이며, <그림 3>은 $\exp(0.0088SKEW)$ 를 대입하여 예측한 값이다. 그래프를 통해서 보면 <그림 2>, <그림 3>의 예측사고 분포가 크게 차이가 나지 않음을 볼 수 있다. 실제 기술통계량의 평균과 표준편차를 살펴봐도 두 경우가 큰 차이를 보이지는 않는다. 때문에 보다 정확한 통계적 분석을 위하여 MPB와 MAD값을 산출하여 비교해보았다. 그 결과 MPB값이 음수를 보임으로서 두 예측값 모두 실제 사고 값에 비하여 다소 크게 예측하는 것으로 나타났으며, AMF[2]의 경우가 AMF[1]에 비하여 작은 값을 가져 예측력이 좋은 것으로 나타났다. 따라서 AMF[2]의 경우가 보다 안정적인 예측을 하는 것으로 판단하여 AMF=1로 결정하였다.

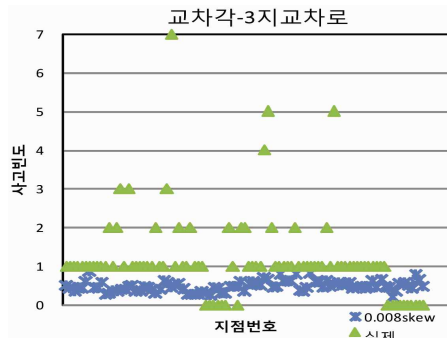
(N : 표본수, Avg : 평균, Std : 표준편차)

<표 10> 4지 신호교차로의 사고빈도 비교

	N	Min	Max	Avg	Std.	MPB	MAD
AMF[1]	103	1.3	7.2	3.4	1.4	-1.5	1.9
AMF[2]	103	1.2	6.9	3.1	1.2	-1.2	1.6
실제사고	103	0	9.0	1.9	1.6	-	-



<그림 2> AMF=1적용한 결과

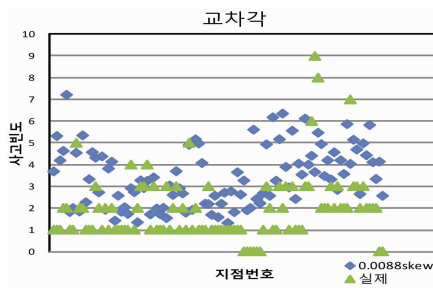


<그림 3> AMF=exp(0.0088skew)적용결과

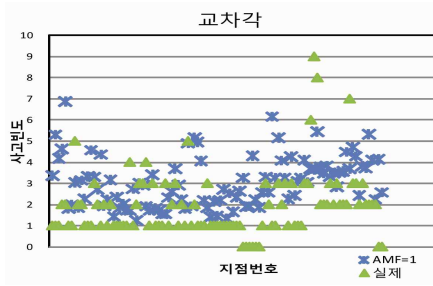
<표 11>의 AMF[1]은 $AMF = \exp(0.008SKEW)$ 를 적용한 값이며, AMF[2]는 AMF=1을 적용한 값이다. 신호교차로 이므로 선행연구에서는 사고에 영향을 미치지 않는 것으로 판단하고 있으나 4지 신호교차로 및 선행된 연구의 교차로 항목에 대한 교차각 변수를 참고하여 가중 평균함으로써 계수를 산출해보았다. 산출한 AMF를 적용한 예측사고건수인 AMF[1], AMF[2] 두 집단간에 평균과 표준편차는 거의 동일하였다. 또한 두 집단과 실제 사고의 평균과도 거의 차이를 보이지 않았다. 실제 값과 각각의 계수 적용 경우에 예측값 사이의 예측력을 비교하기 위하여 MPB, MAD를 산출한 결과 두 집단 모두 1보다 작은 값을 보임으로서 평균적인 예측 오차가 1건 미만인 것으로 나타났다. 최종적인 교차각의 AMF는 작은 차이지만 보다 예측력이 좋은 것으로 판단되는 $AM[1]=\exp(0.008SKEW)$ 로 결정하였다.

<표 11> 3지 신호교차로의 교차각 AMF적용 결과

	N	Min	Max	Avg	Std.	MPB	MAD
AMF[1]	93	0.6	2.8	1.3	0.4	0.69	0.86
AMF[2]	93	0.6	2.3	1.4	0.4	0.74	0.89
실제사고	93	0	7	1.2	1.1		



<그림 4> AMF=exp(0.008skew)적용결과



<그림 5> AMF=1을 적용한 결과

<표 12> 교차각의 AMF

교차각		신호교차로
3지	지방부	$\exp(0.008SKEW)$ (8)
4지	지방부	1

2) 좌회전 전용차로

좌회전 전용차로는 4지 신호교차로와 3지 비신호 교차로의 모형에서 변수로 포함하고 있으므로 좌회전 전용차로 모형을 통한 AMF는 산출이 가능하다. 4지 신호교차로의 경우 모형 내 변수를 이용하여 좌회전 전용차로의 AMF를 구하는 식을 산출하고 차로수를 대입하여 AMF를 산출하였으며 그 결과는 다음과 같다.

<표 13> 좌회전 전용차로의 AMF

좌회전		신호교차로	
		한방향	양방향
3지	지방부	0.83	-
4지	지방부	0.80	0.64

3) 우회전 전용차로

3지 신호교차로와 4지 신호교차로 모두 모형에서 우회전 차로에 대한 변수를 가지지 않으므로 모형을 통한 AMF 산출은 불가능 하다. 따라서 우회전 전용차로는 RSDS와 HSM 그리고 'safety Effectiveness of Intersection Left-and Right -Turn Lane'등의 문헌에서 제시한 값을 이용하여 가중 평균한 값을 AMF 값으로 하였다.

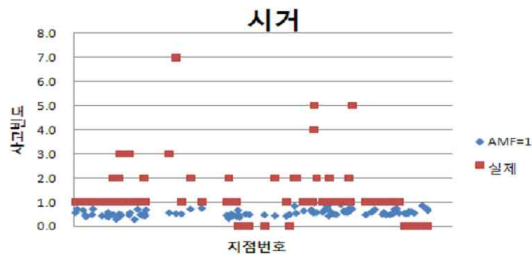
<표 14> 우회전 차로의 AMF

우회전 차로	한방향	양방향
지방부 교차로	0.94	0.88

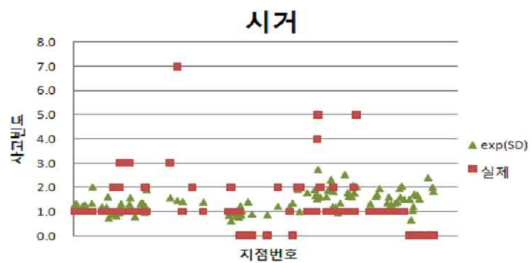
4) 시거

시거의 확보를 판단하는 여러 가지 기준 중 본 연구에서의 시거 확보여부를 판단하는 기준은 좌, 우측 시거로서 'A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2004'에서 제시하는 값을 기준으로 하였다. 3지 신호교차로에서 모형내 변수로서 시거 항목을 포함하고 있지만, 기존문헌을 통해 시거 역시 교차각 항목과 마찬가지로 신호교차로에서 영향을 미치지 않는다는 연구결과가 있었으므로 3지 신호교차로는 모형을 통한 AMF값과 영향을 미치지 않는 경우의 1의 값을 비교 분석하였다. AMF[1]은 시거의 AMF=1을 적용한 예측건수이며, AMF[2]는 모형을 통해 산출한 AMF를 적용한 경우이다. 그래프와 예측된 값의 평균값을 비교 분석한 결과 시거에 의한 영향을 고려하는 AMF[2]의 경우 AMF=1을 적용한 경우 보다 평균값이 가까울 뿐만

아니라 그래프 상에서 전체적인 분포가 실제 사고 빈도를 잘 반영하는 것으로 나타났다. 또한 예측값과 실측값의 차이를 판단하는 기준이 되는 MPB, MAD값을 비교해 볼 때 AMF[1]이 1건 이상의 오차를 보이는 반면 AMF[2]의 경우가 1건 미만의 예측오차를 보이므로 3지 신호 교차로의 시거AMF는 모형을 통해 산출한 값을 사용하였다. 4지 신호 교차로의 경우는 시거에 의한 영향을 고려하지 않는 것이 사고예측에 안정적인 영향을 미치는 것으로 판단하여 1을 적용하였다.



<그림 6> AMF=1적용한 결과



<그림 7> AMF=exp(SD)적용결과

<표 15> 3지 신호교차로 시거 AMF적용 결과

	N	Min	Max	Avg	Std.	MPB	MAD
AMF[1]	93	0.2	0.9	0.5	0.1	1.01	1.07
AMF[2]	93	0.1	2.8	1.4	0.4	0.69	0.86
실제사고	93	0	7	1.2	1.1		

따라서 시거는 기존문헌과 전문가 의견 반영 등의 앞서 제시한 방법을 복합적으로 사용하여 판단한 결과 값을 사용하였다.

<표 16> 시거의 AMF

시거	신호교차로
3지	$\frac{\exp(-2.5010 - 0.2052X_{SI})}{\exp(-3.527)}$ (9)
4지	1

산출한 AMF값을 통하여 분석한 결과 AMF산출에 이용한 예측모형 2가지 유형 중 시거의 변화에 따라 큰 영향을 받는 것은 3지 신호 교차로이며 4지 신호교차로의 경우 큰 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다.

5) 사고예측

사고모형 및 산출한 AMF의 값이 실제 사고건수를 대표하여 안전성을 판단할 만한 설명력을 갖는 지 여부를 확인하기 위해 실제 지방부 교차로의 지점별 사고건수와 예측 사고건수를 비교 하였다. 데이터는 교차로 유형별로 다루어 졌으며, ‘예측모형’은 모형을 통해 산출한 사고 빈도이며, ‘AMF적용’은 AMF값을 적용하여 산출한 사고 빈도이다.

평균 사고빈도 및 MPB(Mean Prediction Bias)를 살펴보면 4지 신호교차로는 예측모형, AMF적용하여 산출한 사고 빈도가 실제 사고빈도와 비교분석한 결과 MPB값이 음의 값을 가져 예측 값이 실제 값보다 높은 값을 가짐을 알 수 있었다. 3지 신호교차로는 예측모형은 MPB값이 0.4로 예측값이 실제 사고빈도에 비하여 낮게 예측되었으며, AMF적용 예측값의 경우는 MPB 값이 -0.3을 보여 실제 사고빈도보다 높게 예측함을 알 수 있었다.

3지 신호교차로의 경우 평균사고빈도로 비교하는 경우 AMF를 적용하여 예측한 경우가 실제사고를 잘 반영하는 것으로 판단하였지만, MAD(Mean Absolute Deviation)를 통해 확인한 결과 아주 작은 차이를 보이는 것으로 나타났다. 이에 비해 평균비교에서 4지에 비해 큰 차이를 보이지 않았던 3지 신호교차로의 경우 오히려 모형예측과 AMF적용 사이의 MAD 값이 뚜렷한 차이를 보여AMF 적용을 통해 예측한 결과가 실제 사고를 잘 반영함을 보여준다.

모형예측과 AMF를 적용한 예측 사이에 뚜렷한 차이를 나타내는 것은 4지 신호교차로 인 것으로 판단되나, 실제사고와의 차이를 나타내주는 MBP 및 MAD값을 통해 판단할 때 3지 신호교차로가 실제사고 반영도가 높은 것으로 나타났다.

<표 17> MAD와 MPB를 활용한 예측결과 비교분석

	3지 신호교차로		4지 신호교차로	
	모형예측	AMF적용	모형예측	AMF적용
MPB/year	0.4	-0.3	-1.8	-1.5
MAD/year	0.7	0.8	2.3	1.9

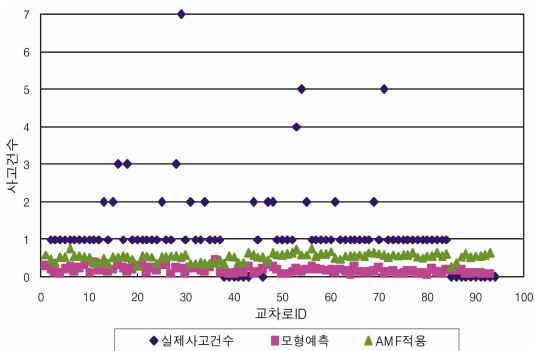
교차로 지점별 사고빈도를 나타내는 그래프의 사고분포와 실제 및 예측 사고건수의 기술통계량 분석을 통해 살펴보았을 때 AMF를 적용한 경우 예측모형이 실제 사고에 미치지 못하면 예측 모형 값을 상승시켜주고, 반대로 예측모형 값이 실제사고 보다 큰 경우에는 예측모형 값을 감소시켜주면서 AMF가 모형을 통한 사고예측 건수를 실제 사고 건수와 가깝게 보정하는 역할을 하는 것을 볼 수 있다.

<표 18> 4지 신호교차로의 사고빈도 비교

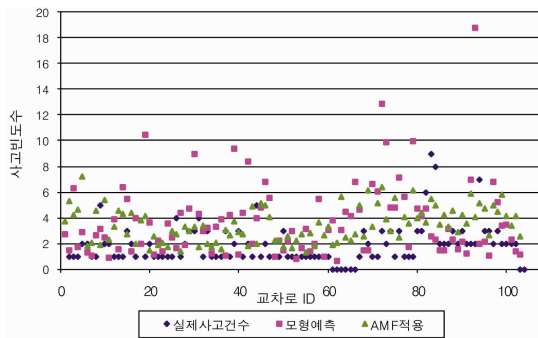
	N	Min	Max	Avg	Std.
예측모형	103	0.6	18.8	3.7	2.9
AMF	103	1.3	7.2	3.4	1.4
실제사고	103	0	9.0	1.9	1.6

<표 19> 3지 신호교차로의 사고빈도 비교

	N	Min	Max	Avg	Std.
예측모형	93	0.3	1.9	0.7	0.4
AMF	93	0.6	2.8	1.4	0.4
실제사고	93	0	7	1.2	1.1



<그림 8> 3지 신호교차로 사고빈도



<그림 9> 4지 신호 교차로 사고빈도 비교

비록 연구에서 사용한 1년의 데이터로는 사고의 임의성까지 고려하여 지방부 교차로의 사고경향을 고려하는 것이 어려울지라도 지점 선정에 있어서 사고지점과 비사고 지점을 모두 포함함으로써 공간 대표성에 약점은 보완 할 수 있을 것이라고 판단한다.

III. 결론

본 연구의 궁극적인 목적인 도로설계 안전성 평가 시스템은 설계된 도로 기하구조 및 교통특성의 정보를 이용하여 계획 및 설계된 도로의 안전성을 평가한다. 이는 신설하는 도로 및 기존의 도로의 위험구간을 판단하고 개선사업의 우선순위를 결정할 수 있는 객관적인 근거를 마련해줄 수 있다. 따라서 해당 시스템의 활성화는 설계자 및 감리자 등 사용자에게 설계 단계에서 설계된 도로의 교통 특성 및 기하구조의 조합에 의한 위험요소를 확인할 수 있는 편의성을 제공할 수 있다.

도로설계 안전성 평가 시스템은 지방부 교차로를 대상으로 하였으므로 다양한 지형적 특성을 반영할 수 있어야 한다. 따라서 지방부 교차로의 특성을 대표할 수 있는 특징을 찾기 위하여 비사고지점을 포함하여 다양한 지점의 지방부 교차로 현장조사, 사고데이터 수집, 모형 개발 등의 일련의 과정을 수행하였다.

도로설계 안전성 평가 시스템에서 도로의 기하구조적 특성과 교통공학적 특성을 반영하기 위한 AMF는 분석하고자 하는 대상 교차로의 예측사고빈도를 안정적으로 제시하기 위한 값이다.

AMF의 개발은 모형을 이용하는 방법을 기본으로 하여 기존문헌 검토를 통한 결과, 사고데이터, 자문회의를 통한 전문가 판단 등의 다양한 방법을 통해 선정된 항목과 산출한 값의 적정성을 판단하였다. 그 결과 주도로와 부도로가 이루는 교차각과 좌회전 전용차로, 우회전 전용차로, 좌·우측 시거가 AMF를 산출하기 위한 항목으로 선정되었다. 앞서 언급했듯이 모형과 기존 문헌 등을 이용하여 값을 산출하였으나 모형을 활용할 수 없는 경우가 많아 정량적인 값의 산출에 있어서 어려움이 있었다. 이 경우 기존문헌에서 제시하는 설계요소의 사고 영향도를 반영하여 AMF를 산출하였다. 이 과정에서 필요한 많은 자료 특히 사전-사후 평가를 통해 설계요소와 사고의 정량적 관계를 알 수 있는 문헌이 주로 국외 자료 이므로 국내실정을 반영하는데 있어서 신뢰성이 문제가 될 수 있다고 판단되어 이는 전문가 판단의 과정을 거쳤다.

4지 신호교차로 시거의 AMF는 기본 값으로서 설정되었는데, 기본 값으로의 설정은 4지 신호교차로에서 시거의 영향이 없음을 의미한다. 실제적으로 이 값이 적합하지 않을 수 있다고 판단할 수도 있으나, 이는 실제 사고건수와 예측 사고건수의 비교 결과 기본 값으로의 설정이 안전도를 판단하기 위한 사고 예측에 적절한 것으로 판단되어 '1'로 설정하였다.

지방부의 교차로의 경우 사고에 가장 주요한 영향을 미치는 요소는 교통량이므로 사고 예측시 독립변수는 교통량(ADT)만을 적용하였고 그 외적인 요소인 기하구조특성과 교통특성은 AMF로서 적용하였다. 개발된 AMF는 실제 사고데이터와 AMF를 적용한 예측사고건수를 비교하는 것으로 개발된 AMF의 적정성을 검토하였다. 그 결과 3지 및 4지 신호교차로 모두 AMF를 적용한 경우 실제 사고분포 및 빈도를 잘 반영하는 것으로 나타났다.

개발된 AMF의 적용이 실제 사고분포 및 빈도를 적절히 반영하므로 해당 계수가 향후 개발될 도로설계 안전성 평가 시스템의 알고리즘에서 도로의 기하구조, 교통공학특성을 반영할 수 있는 역할을 수행할 수 있을 것으로 기대한다.

AMF의 개발은 국내에서 활성화된 분야가 아니므로 관련 연구를 시작함에 있어서 방법론의 결정에서부터 모든 과정이 다양한 연구를 통하여 이루어진 결과이다. 현재의 연구결과가 사고의 임의성 까지 고려할 수는 없으나, 지방부 교차로의 거시적인 안전성을 판단하기 위한 기초 연구 자료로서는 충분히 가치가 있다고 판단된다.

다만 연구과정에서 AMF 값을 결정하고, 결정된 값의 적정성을 평가 하는 데 있어서 국내 특성을 반영할 수 있는 기존의 연구자료가 부족하다는 어려움이 있었는데 이 같은 문제가 해결된다면 이는 좀 더 객관적인 사고예측을 가능하게 할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 사고 데이터의 체계적인 관리와 이를 이용한 많은 연구의 수행은 향후 실용화 할 수 있는 도로 안전성 평가 시스템을 완성 시킬 수 있을 것이다.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제59회 학술발표회(2008. 10.24)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

참고문헌

1. A Policy on Geometric Design of Highways and

Streets. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C..

2. Charles V. Zegeer, J. et al(2005), "Safety Effects of Marked Versus Unmarked Crosswalks at Uncontrolled Location: Final Report and Recommended Guidelines" FHWA-HRT-04-100.

3. Craig L et al.(2003) "Empirical Investigation of th IHSDM accident prediction algorithm for rural intersections" Transportation research board annual meeting.

4. David Harkey(2004), "Crash reduction factor for traffic engineering and ITS improvements", NCHRP project 17-25, Transportation research board of the national academies, Washington, D.C..

5. Dominique Lord.(2008), "Methodology for estimating the variance and confidence intervals for the estimate of the product of baseline models and AMFs" Accident analysis & Prevention.

6. "Guidance for Implementation of the AASHTO Strategic Highway Safety Plan, Volume 9: A Guide for Reducing Collisions Involving Older Drivers" NCHRP Report 500, 2004.

7. Harwood(2002), "Safety Effectiveness of Intersection Left-and Right-Turn Lanes" FHWA-RD-02-089.

8. Harwood(2000), "Prediction of the expected safety performance of rural two way lane high-way" Publication FHWA - RD-9-207. FHWA, U.S. Department of transportation.

9. J. Bonneson et al.(2007), "Procedure For Using Accident Modification Factors In The Highway Design Process" FHWA/TX-07/0-4703-P5.

10. Kay Fitzpatrick(2008), "Accident Modification Factors For Medians On Freeways And Multi lane Rural Highway In Texas", Transportation Research Board annual meeting.

11. Matthew G et al.(2000), "Effects of road geometry and traffic volumes on rural roadway accident rates." Accident Analysis and Pre-

- vention 34 pp.357~365.
12. Reginald R. et al(2005), "Guidelines for Removal of Traffic Control Devices in Rural Areas" IHRB Project TR-527.
 13. "Roadway Safety Design Synthesis"(2005), Texas Transportation Institute, The Texas A&M University System, College Station, Texas.
 14. T.H. Maze et al(1994), "Impact on safety of left-turn treatment at high speed signalized intersection." Iowa Highway Research Board Project HR-347.
 15. Vogt, A.(1999), "Crash Models for Rural Intersections: Four - Lane by Two - Lane Stop Controlled and Two - Lane by Two-Lane Signalized." Report No. FHWA - RD - 99 - 128.
 16. Vogt, A., and J. Bared.(1998), "Accident Models for Two-Lane Rural Roads: Segments and Intersections." Report No. FHWA - RD - 98 - 133.
 17. Warren Hughes et al.(2004), "Development of a Highway Safety Manual" NCHRP 17-18.
 18. 김경석 외(1996), "도로의 기하구조와 안전성의 상관관계 분석 연구", 국토개발연구원.

✉ 주 작 성 자 : 김응철

✉ 교 신 저 자 : 김응철

✉ 논문투고일 : 2008. 10. 24

✉ 논문심사일 : 2008. 12. 18 (1차)

2009. 4. 9 (2차)

2009. 4. 27 (3차)

✉ 심사판정일 : 2009. 4. 27

✉ 반론접수기한 : 2009. 10. 31

✉ 3인 익명 심사필

✉ 1인 abstract 교정필