



지방부 교차로의 도로설계 안전성 판단 알고리즘 구축을 위한 AMF개발 (비신호 교차로를 중심으로)

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

김응철* 이동민** 최은진*** 김도훈****
 Kim Eung-cheol Lee Dong-min Choi Eun-jin Kim Do-hun

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

도로 교통 발달은 사용자에게 접근성 및 이동성을 향상 시켜 지역 간 연계를 가능하게 하고 효율적인 물류 수송을 가능하게 함으로서 사회적 경제적 발전에 기여한다. 하지만 교통안전을 배제한 도로 교통의 발달은 교통사고로 인한 인적 물질 피해를 증가 시켜 막대한 사회 경제적 비용을 지출하게 한다. 따라서 도로 교통을 위한 기술개발도 중요하지만 이에 못지않게 교통안전을 향상 시키는 것도 중요하다.

교통사고는 운전자, 도로의 기하구조, 교통운영 특성의 복합적인 작용으로 발생한다. 이 중 도로의 기하구조와 교통조건은 계획 및 설계 단계에서 제어가 가능한 요소 이므로 설계 단계에서 사고요인을 제어 한다는 것은 근본적인 교통사고 감소 방안이 될 수 있다.

국토해양부는 '2008년 국가교통안전 시행계획' 을 통해 위험도로구간 및 사고 다발지점 등 도로관련 개선사업에 투자 계획된 예산이 약 1조 2천억 원 이상임을 밝혔다. 개선 사업대상은 물론 수요증가로 인한 증설과 노후로 인한 개선사업도 포함이 되어 있지만 이 중 상당부분이 잦은 사고로 인한 선형개량을 목적으로 하는 사업이었다. 기존에 설계 안전성을 판단할 수 있는 프로그램 또는 기준이 마련되어 있었다면 많은 경제적 손실을 감소시킬 수 있었을 것이다.

〈표 1〉 2008년 교통안전 투자계획 중 도로시설 부분 예산 (단위 : 억원)

도로교통안전		2008년 예산
국토해양부	교통 안전과	290
	도로 정책관	1,435
행정안전부(지방도)		3,906
경찰청		2,323
한국도로공사		2,682
교통안전공단		1,444
도로교통공단		7,85

* 정회원 · 인천대학교 공과대학 토목환경공학과 교수 (eckim@incheon.ac.kr)
 ** 정회원 · 한국교통연구원 육상교통본부 책임연구원 (dmlee@koti.re.kr)
 *** 준회원 · 인천대학교 공과대학 토목환경공학과 석사과정 (toryjin1532@naver.com)
 **** 정회원 · 한국교통연구원 육상교통본부 연구원 (dhkim1120@koti.re.kr)



계획 및 설계 단계에서 사고 요인을 제어하기 위해서는 각각의 도로의 기하구조, 교통운영특성과 사고의 인과 관계를 파악하여 각 설계 요소의 조합이 사고에 미치는 영향을 파악할 수 있어야 한다. 하지만 국내의 도로설계 프로그램은 안전성을 판단할 수 있는 기능을 가지고 있지 않은 상태이며, 도로설계 지침이나 도로용량 편람 등도 설계시 지켜야할 최소 수치만 제시할 뿐 안전을 확보하기 위한 어떠한 준거도 제시해주지 못하고 있다. 이로 인한 연간 수십 만 건의 교통사고와 이로 인한 수천 명의 사망자, 구조원의 예산 등이 도로설계의 안전성을 판단할 수 있는 객관적이고 정확한 기준이 마련되어야 함을 시사하고 있는 것이다. 이에 본 연구에서는 도로 설계시 설계된 도로구간의 기하 구조적 특징, 교통운영특성 등을 통해 안전성을 판단할 수 있는 프로그램의 알고리즘을 구축하기 위한 AMF를 개발하고자 한다.

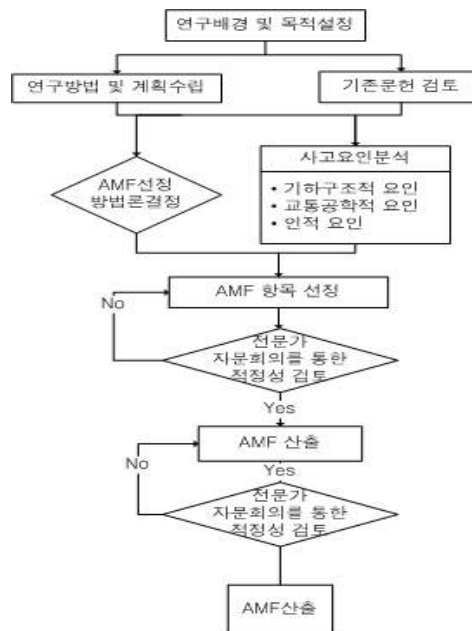
AMF(Accident Modification Factor)는 특정 설계요소의 변화가 전체 설계 구간의 안전도에 미치는 개별적인 영향을 판단하여 도로설계를 최적화 할 수 있도록 도와주는 역할을 한다. AMF는 미국의 도로설계 안전성 판단 프로그램인 IHSDM(Interactive Highway Safety Design Model)에서 최초로 적용된 이후, 미국의 HSM(Highway Safety Manual), RSDS(Roadway Safety Design Synthesis) 등의 많은 연구에서 활발히 진행되고 있다. 하지만 국내에서는 'AMF'라는 개념 자체가 생소하고 AMF를 개발하기 위해 필요한 국내 관련연구가 많이 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 국외의 선행된 연구를 참고하고 국내 실정에 맞는 방법을 선택하여 도로설계 안전성 판단 시스템에 적용하기 위한 지방부 비신호 교차로의 AMF를 개발하여 도로설계 안전성 판단 시스템 구축에 기여하고자 한다.

1.1.1 연구범위 및 방법

본 연구에서는 지방부 교차로의 도로설계 안전성 판단을 위한 AMF를 산정하고자 하며, AMF는 기하구조나 교통특성 등의 개별적 특성을 사고예측 알고리즘에 반영하기 위한 보정계수로 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.

연구의 공간적 범위는 지방부 비신호 교차로로 수도권 외곽지역과 지방부 교차로를 대상으로 한다. 본 연구에서 제시하는 AMF는 지방부 교차로 특성을 가지는 모든 교차로를 대상으로 하는 값으로 연구를 통해 선정되는 AMF의 항목과 값은 반복적인 자문회의를 통하여 검증하였다.

본 연구에서 사용된 사고예측모형 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



(그림 1) 연구수행 흐름도

2. 문헌고찰

2.1. 기존 연구 고찰

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 Crash Prediction Module은 도로 및 교차로에 설계 대안에 대하여 충돌 잠재성을 예측하고, 사고의 심각도 및 충돌 횟수를 정량적으로 예측하도록 되어있다. 또한 다수 대안간의 사고심각도비교도 가능하며 기하구조에 변화에 따른 충돌 빈도의 변화를 예측한다.

HSM은 지방부 2차로 도로의 안전성을 예측하기 위해 개발된 분석방법으로 지방부를 도로구간과 교차로로 분류하였으며, 지방부 교차로는 운영특성에 따라 3가지(Three - leg STOP Controlled Intersections, Four - leg STOP Controlled Intersections, Three - leg Signalized Intersections) 유형으로 분류하고 각각의 유형에 따라 사고예측모형을 개발하였다. HSM은 회귀분석을 통한 사고데이터로 유형별 사고예측모형을 구축하고 전문가의 판단을 통하여 AMF를 산출하였다. 교차로의 각 유형별 AMF 항목은 좌회전 전용차로, 우회전 전용차로, 시거, 교차각, 교통제어 특성(2004)이다. 각 항목에 대하여 제시한 AMF값은 다음과 같다.

〈표 2〉 HSM의 AMF

	3지				4지			
	신호		비신호		신호		비신호	
교차각	1		exp(0.004Skew)		1		exp(0.0054Skew)	
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 전환하는 경우 : 0.53							

* Skew=90° -Angle

Safety Analyst(2002) 는 특정도로의 안전을 관리하는 프로그램으로 개선사업평가를 위한 단계를 중심으로 효과를 분석하고 개선사업의 투자 우선순위를 결정할 수 있도록 도와주는 분석 Tool이다. IHSDM과 달리 개선사업의 효과 분석을 주요 내용으로 하고 있다. Safety Analyst 는 Network Screening, Diagnosis and countermeasure selection, Economic appraisal and priority-ranking, Evaluation의 4가지 모듈로 구성되어 있다. 이 중 세 번째 모듈인 Economic appraisal and priority-ranking에서 특정지점의 개선으로 인한 안전상을 이익을 현재가치로 표현하기 위한 식에서 AMF를 도입하고 있다.

RSDS는 안전한 설계 지침과 평가 Tool을 개발하기 한 연구로 기존 연구와 조사결과를 바탕으로 도로유형별 사고예측 모형과 AMF를 제시하고 있다. 지방부 교차로의 경우 신호교차로와 비신호 교차로 각각 여러 가지 사고예측모형을 제시하고 비교분석하였으며, 좌회전차로, 우회전차로, 차로수, 교차각, 시거, 중차량, 속도의 항목에 대하여 AMF를 개발하였다. 〈표 2〉는 RSDS에서 제시하는 AMF항목과 그 값이다.



〈표 3〉 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, 전 방향정지 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	$\exp(0.019(V - 55))$							
길어깨	-				$\exp(-0.030(W_s - 8))$			
중앙분리대	-				형태	Undivided	0.73	
						divided	1	
					폭	$\exp(-0.012(W_m - 16))$		
	$AMF_{\text{형태}} \times AMF_{\text{폭}}$							
차로수	주	≤3	1.00		주	≤3	1.00	
		4 or 5	0.83			4 or 5	1.01	
		≥6	0.69			≥6	1.03	
	부	≤3	1.00		부	≤3	1.00	
		≥4	0.83			≥4	1.01	

3. 연구 방법론 및 사고예측모형 개발

3.1. 연구 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 예측에는 유용하나 모형 내 개별적인 변수의 coefficient를 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 실험설계과정을 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 결과 값들을 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.

〈표 4〉 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-사후 평가를 통한 방법	Regression to the mean의 문제, 자료의 신뢰도 문제가 발생함
전문가 판단에 의한 방법	사고이력, 통계적 모형, 산전사후 평가 결과 등 많은 자료가 필요함
기존문헌을 이용하는 방법	분석방법, 데이터 가공 등 여러가지 조건이 부합하는 동일한 문헌의 확보가 힘들

4. AMF 항목 선정 및 산출

4.1. AMF 항목 선정

기존문헌 검토를 통해 분석한 결과 〈표 5〉와 같은 요소가 지방부 교차로의 사고에 영향을 미치는 요소들로 판단되며 각 항목과 사고율과의 관계는 「안전지향형 교통 환경 기술 개발」 과제의 2세부 3세세부 과제인 ‘사고정보 분석 및 도로환경 안전성 평가 시스템 개발’ 의 2차년도 연구수행결과 분석된 기존 문헌 고찰에 자세히 제시되어 있으며 본 논문에서는 생략하였다.

기존문헌 검토를 통한 자료와 현재 현장조사 및 사고 자료를 통한 사고예측 모형 등, 활용 가능한 데이터를 바탕으로 〈표 5〉와 같이 AMF 항목의 후보군을 설정하였다. 그 중 지방부 교차로의 사고 빈도에 영향을 미치는 주요 요소를 〈표 6〉과 같이 AMF항목으로 선정하고 기본조건을 설정하였다.

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



〈표 5〉 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 •횡단보도설치유무 •버스정류장 유무 •접근로 진출입구수 •중앙분리대 •제한속도 차 •접근로종단구배
---	---

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 최소화하고 좌회전 차량이 대기할 수 있는 공간을 확보함으로써 교통신호 운영의 적정화를 피하며, 좌회전 교통류의 감속을 원만하게 하여 추돌사고를 줄이는 효과를 발생시킨다. 따라서 좌회전 차로의 설치가 사고에 미치는 영향이 크다고 판단하여 AMF 항목으로 선정하였다. 또한 Harwood et al(2000), Vogt(1999), Maze(1994), Griewe(1986), McFarlane(1970) 등의 많은 연구에서 좌회전 차로의 설치가 최소 18%에서 최대 77%까지 사고감소효과가 있음을 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 가지고 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 백만대당 1.33의 사고율을 보일정도로 시거는 매우 중요한 요소이다. 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.

〈표 6〉 AMF항목과 기본 값

AMF	기본조건
교차각	교차각은 90°
좌회전 전용차로	없음
우회전 전용차로	없음
시거	좌측 시거: 110m 우측 시거: 130m



4.2. 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.

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 비신호 교차로의 두 가지 유형에 대한 기본 모형은 다음과 같다.

〈표 7〉 유형별 기본 모형

유형	기본모형
4지 비신호 교차로	$\hat{Y} = \exp(-3.3218 + 0.1865X_6)$
3지 비신호 교차로	$\hat{Y} = \exp(-2.7053 + 0.3190X_7)$

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. 〈표 10〉은 유형별 모형에서 선정된 항목을 포함하고 있는지 여부를 표로 정리한 내용이다.

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.

〈표 8〉 모형 내 AMF항목 포함 여부

	교차각	좌회전	우회전	시거
4지 비신호 교차로	○			
3지 비신호 교차로		○	○	

4.2.1. 교차각

교차각 항목은 주도로와 부도로가 이루는 교차각으로 ‘90° -Angle’ 로서 판단한다. 주도로와 부도로가 직각인 경우 교차각은 0° 으로 이때 AMF는 ‘1’ 기본 값으로 한다. 선행 연구에 의하면 교차각이 신호교차로의 사고에는 영향을 미치지 않으나, 비신호 교차로에서는 교차각이 0° 보다 큰 경우 사고를 증가시키는 경향이 있는 것으로 판단하였다. 본 연구의 비신호 교차로 사고모형에서는 4지 교차로에서 교차각의 항목을 포함하므로 모형을 통한 AMF산출 방법으로 AMF를 산출하였다. 3지 교차로에 대해서는 선행연구에 의하여 교차각이 사고에 주요한 영향을 미친다고 판단하여, 기존문헌 및 자문회의를 통해 값을 산출하였다.

4지 비신호 교차각의 AMF를 산출한 과정은 다음과 같다.



Step1. 4지 비신호 교차로의 교차각 AMF는

$$\hat{Y} = \exp(-2.3131 - 0.1986X_1 - 0.2396X_2 + 0.0064X_3 + 0.3151X_4)$$

X_1 : 부도로 횡단보도[무=0, 유=1]

X_2 : 주도로 조명시설[무=0, 유=1]

X_3 : 교차각[90-예각]

X_4 : ADT[lnADT(주+부)]

let $X_1=0, X_2=0, X_3=0,$

$$\therefore \hat{Y} = \exp(-2.3131 + 0.3151X_4)$$

Step2. 산출하고자 하는 항목은 교차각(skew)이므로 기본 모형에 교차각 변수를 추가함 ($X_3=skew, X_4=ADT$)

$$\hat{Y} = \exp(-2.3131 + 0.0064skew + 0.3151ADT)$$

Step3. Step1과 Step2의 값의 비를 AMF값으로 함

$$\frac{\exp(-2.3131 + 0.0064SKEW + 0.3151ADT)}{\exp(-2.3131 + 0.3151ADT)}$$

$$\therefore AMF = \exp(0.0064SKEW)$$

3지 비신호 교차로의 교차각 AMF는 본 연구에서 개발한 주모형 부모형 모두에 포함되어 있지 않아 모형을 이용한 AMF산출이 불가능하므로 미국의 HSM과 RSDS에서 제시하고 있는 비신호 3지 교차로의 AMF값을 가중 평균함으로 AMF를 산출하였다. 두 문헌에서 제시하고 있는 AMF값 역시 회귀식으로부터 도출된 값이므로 두 문헌의 중간 값을 산출하여 3지 비신호 교차로의 교차각 AMF로 결정하였다.

$$\text{Weighted average} : \left(\frac{1}{0.0040} + \frac{1}{0.019} \right) / \left(\frac{1}{0.0040^2} + \frac{1}{0.019^2} \right) = 0.0046$$

$$\therefore AMF = \exp(0.0046SKEW)$$

〈표 9〉 교차각의 AMF

교차각		AMF
3지 비신호 교차로	HSM	$\exp(0.0040skew)$
	RSDS	$\exp(0.019skew)$
	지방부	$\exp(0.0046skew)$
4지 비신호 교차로	HSM	$\exp(0.0054skew)$
	RSDS	$\exp(0.021skew)$
	지방부	$\exp(0.0064skew)$



4.2.2. 좌회전 전용차로

좌회전 전용차로는 3지 비신호 교차로의 모형에서 변수로 포함하고 있으므로 해당유형에 대한 좌회전 전용차로 AMF는 산출가능하나 4지 비신호 교차로에서는 기존문헌 고찰 및 전문가 판단에 의하여 산출하였다. 3지 비신호 교차로의 경우 모형 내 변수를 이용하여 좌회전 전용차로의 AMF를 구하는 식을 산출하고 차로수를 대입하여 AMF를 산출하였으며 그 결과는 다음과 같다.

$$\hat{Y} = \exp(-2.7053 + 0.0508X_1 + 0.2000X_2 - 0.1709X_3 - 0.1179X_4 - 0.2426X_5 + 0.1938X_6 + 0.3190X_7)$$

- X_1 : 진출입구수(주+부)[개수]
- X_2 : 주도로 좌회전 전용차로 유무[무=0, 유=1]
- X_3 : 주도로 우회전 전용차로 유무[무=0, 유=1]
- X_4 : 부도로 중앙분리대 유무[무=0, 유=1]
- X_5 : 주도로 조명시설 유무[무=0, 유=1]
- X_6 : 주도로 길어깨 폭[m]
- X_7 : ADT[lnADT(주+부)]

$$AMF = \frac{\exp(-2.7053 + 0.2000X_2 + 0.3190X_7)}{\exp(-2.7053 + 0.3190X_7)}$$

$$AMF = \exp(0.2000X_2)$$

3지 비신호 교차로의 경우 모형을 이용하여 AMF 산출한 결과 좌회전 차로의 설치가 교차로에서 사고를 22%증가시키는 효과가 있는 것으로 나타났다.

〈표 10〉 3지 비신호 교차로의 좌회전 AMF

좌회전 전용차로	AMF
0 (무)	1
1 (유)	1.22

좌회전 차로의 설치가 오히려 사고를 증가시킨다는 결과는 실제 지방부의 3지 비신호 교차로에서의 좌회전 차로가 그러한 효과를 나타낸다고 판단할 수도 있으나, 분석된 데이터가 2004년의 데이터로 샘플 수가 부족하여 지방부 교차로의 사고형태를 대표할 수 없었던 것으로 판단하였다. 따라서 3지, 4지 비신호 교차로의 좌회전 전용차로에 대한 AMF는 기존문헌의 값을 평균하고 그 비(ratio)를 이용하여 산출하였다.

〈표 11〉 좌회전 전용차로의 AMF

좌회전 전용차로		한방향	양방향
3지	HSM	0.56	-
	RSDS	0.56	-
	지방부	0.54	-
4지	HSM	0.72	0.52
	RSDS	0.72	0.52
	지방부	0.70	0.49



4.2.3. 우회전 전용차로

우회전 전용차로는 3지 비신호 교차로에서 해당변수를 포함하고 있어 3지 비신호 교차로의 우회전 전용차로 AMF는 모형을 통하여 변수를 산정하였다. 그 결과 우회전 전용차로의 설치가 미설치시 보다 15%정도 사고를 감소하는 것으로 나타나 3지 비신호 교차로의 우회전 전용차로 AMF는 0.85를 값으로 하였다. 우회전 전용차로가 양방향에 모두 설치되는 경우 각각이 서로 독립적인 효과를 나타내는 것으로 판단하여 제공한 값을 사용하였다.

$$AMF = \frac{\exp(-2.7053 - 0.1709X_3 + 0.3190X_7)}{\exp(-2.7053 + 0.3190X_7)}$$

(X_3 = 우회전 전용차로, X_7 = ADT)

$$AMF = \exp(-0.1709X_3)$$

4지 비신호 교차로는 우회전 전용차로 변수를 모형에서 포함하고 있지 않으므로 모형을 통한 별도의 AMF산출이 불가능하다. 따라서 3지 비신호 교차로에 대한 우회전 전용차로의 AMF산출은 기존문헌 고찰 및 전문가 자문회의를 통해 결정하였다. 그 결과 3지 비신호 교차로에서 제시한 값을 공통으로 사용하는 것으로 하였다. 이는 우회전 차로의 설치가 좌회전 차로의 설치에 비해 사고 감소 효과도가 작을 뿐만 아니라 3지와 4지 비신호 교차로간의 우회전 차로 설치로 인한 효과가 큰 차이가 있지 않을 것이라는 판단에 따른 것이다.

기존 문헌 고찰을 통하여 HSM, IHSDM, 'Safety Effectiveness of Intersection Left-and Right -Turn Lane'의 세 문헌에서 우회전 전용차로의 AMF는 신호, 비신호를 분류하였는데 해당 연구에서는 지방부 비신호 교차로와 도시부 신호교차로를 통해 AMF를 산출하여 이를 모든 유형의 지방부 및 도시부 교차로에 적용하도록 하였다. 이는 분류하여 산출한 값보다 지방부 비신호, 도시부 신호교차로를 대상으로 하여 산출한 결과가 더 낮은 추정을 가능하게 하기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 3지 비신호 교차로의 모형을 통해 산출한 우회전 전용차로 AMF를 지방부의 비신호 교차로 AMF로 결정하였다.

〈표 12〉 우회전 차로의 AMF

우회전 전용차로	비신호 교차로	
	한방향	양방향
RSDS	0.77	0.59
HSM	0.86	0.74
지방부 교차로	0.85	0.72

4.2.4. 시거

시거의 확보를 판단하는 기준은 여러 가지가 있으며 그 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. 시거의 경우 모형을 이용한 산출에 있어서 모형 내 시거 변수를 반영하고 있는 모형이 없어 모형을 통한 AMF산출이 불가능 하다. 뿐만 아니라 본 연구에서 제시한 좌, 우측의 시거는 기존에 선행된 연구가 부족하고, AMF를 산출할 수 있는 정량적인 값이 제시 되어 있지 않아 기존문헌을 이용하는 방법도 어렵다. 따라서 시거는 기존문헌과 전문가 의견 반영 등의 여러 가지 방법을 복합적으로 사용하여 판단한 결과 값을 사용하였다.



〈표 13〉 시거의 AMF

시거		AMF	
3지 비신호 교차로	HSM	1/4시거제한	1.05
		2/4시거제한	1.10
	RSDS	3/4시거제한	1.15
		4/4시거제한	1.20
	지방부	1	
4지 비신호 교차로	HSM	1/4시거제한	1.05
		2/4시거제한	1.10
	RSDS	3/4시거제한	1.15
		4/4시거제한	1.20
	지방부	1	

4.3. AMF값을 적용한 사고예측

비신호 교차로의 사고예측모형을 통한 사고예측 값과 AMF를 적용한 예측 값이 실제 설계된 도로의 안전성을 판단할 만한 설명력을 갖는지 여부를 판단하기 위해 지방부 교차로의 지점별 실제 사고 데이터와 예측사고건수를 비교해 보았다. 안전도를 판단하기 위한 예측 값은 실제 사고 빈도를 정확히 예측하기 보다는 안전도를 확보하기 위해 실제 사고 빈도보다 다소 높은 값을 가지는 것이 적절하다고 판단하였다.

‘모형예측’은 비신호 교차로의 두 가지 모형을 통해 산출한 예측 사고건수이며, ‘AMF’적용은 기본모형에 4가지 AMF항목에 대한 값을 적용하여 산출한 예측사고 건수이다.

〈그림 2〉와 〈표 16〉은 비신호 4지 교차로의 실제 사고 빈도 및 예측 값을 그래프와 표로 나타낸 것이며, 〈그림 3〉과 〈표 17〉은 비신호 3지 교차로의 실제 사고 빈도 및 예측 값을 나타낸 것이다. 두 유형 모두 모형을 통한 예측 값과 AMF를 적용하여 예측한 값이 모두 실제 사고건수보다 대체로 높은 값을 보임으로서 안전성을 판단하기에 적절한 것으로 판단된다. 특히 3지 비신호 교차로의 경우 실제 사고빈도에 보다 가까운 예측 값을 나타내는데 이는 3지 비신호 교차로의 사고예측 기반이 되는 모형이 4지 비신호 교차로에 비하여 설명력이 높기 때문인 것으로 판단된다.

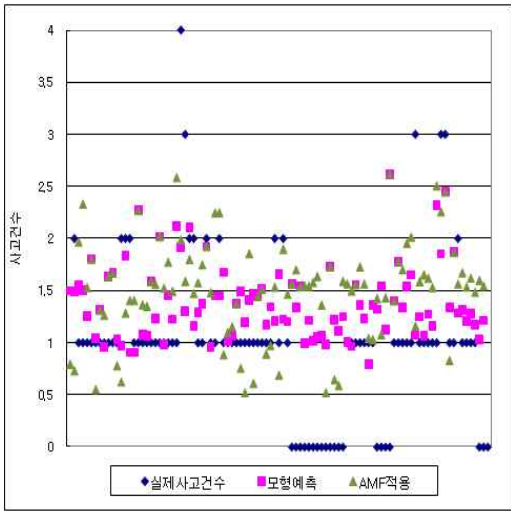
AMF를 적용하여 산출한 예측 값은 모형을 변형한 기본 모형을 기반으로 하므로 예측 값의 분포에 있어서 유사한 경향을 보이지만, AMF를 적용함으로써 특정 기하구조나 교통공학적 요소로 인하여 큰 편차를 보이는 부분을 보정해주는 역할을 하는 것으로 보인다.

〈표 14〉 4지 비신호교차로의 사고빈도 비교

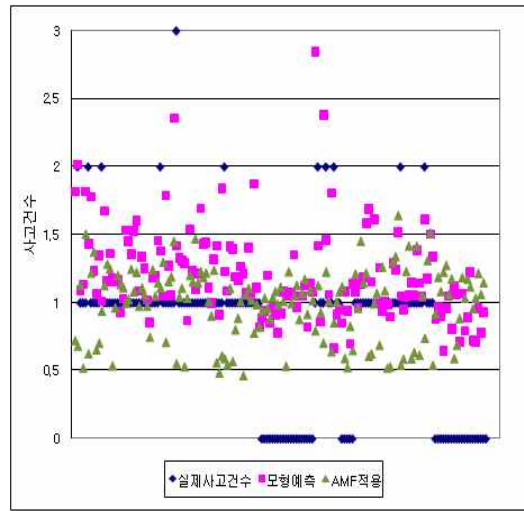
	표본수	비사고지점	최소값	최대값	평균	표준편차
모형예측	98	20	0.8	2.6	1.4	0.4
AMF적용			0.5	2.6	1.5	0.5
실제사고			0	4.0	1.0	0.8

〈표 15〉 3지 비신호 교차로의 사고빈도 비교

	표본수	비사고지점	최소값	최대값	평균	표준편차
모형예측	154	45	0.6	2.8	1.2	0.3
AMF적용			0.5	1.6	1.0	0.2
실제사고			0.0	3.0	0.8	0.6



〈그림 2〉 4지 비신호 교차로



〈그림 3〉 3지 비신호 교차로

5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 설계 및 계획 단계에서 안전에 위협이 될 만한 요소를 제어함으로써 근본적인 사고 발생요인을 차단하고자 하는데 궁극적인 목적을 둔다. 이를 위해서는 도로 설계 안전성을 판단하기 위한 객관적이고 일관적인 기준이 마련되어야 한다.

도로설계 안전성 시스템을 구축하기 위해서는 도로의 설계 요소를 통해 안전성을 판단할 수 있는 알고리즘이 구축되어야 하며, 이러한 알고리즘은 설계 요소의 변화가 전체 설계 구간에 미치는 개별적인 영향을 판단할 수 있어야 한다. 본 연구에서 개발한 AMF가 바로 이러한 역할을 하는 도구이다.

교통사고는 도로의 선형, 신호, 날씨, 인적 요인등의 많은 요소들의 복합적 작용으로 인하여 나타남으로서 도로기하구조나 교통공학적 특정요소의 변화가 전체 교차로에 미치는 절대적인 영향을 판단할 수 없다. 때문에 본 연구에서 AMF의 개발은 특정 설계 요소가 사고에 미치는 절대적인 영향을 나타내어 정확한 사고빈도를 예측하기보다는 설계 요소가 미칠 영향이 안전에 부정적인 영향을 미치는지를 판단하는 것에 더 적합하다고 할 수 있다. 따라서 정확한 값을 예측할 수 있는 값의 산출보다는 설계하고자 하는 구간의 안전도를 안정적으로 제시하기 위해 필요한 값을 산출하는데 주력하였다.

지방부 전체에 적용할 수 있는 AMF개발을 위해 이에 기반이 될 모형 구축시 필요한 데이터에서부터 공간적 약점을 보완하도록 노력하였다. AMF 항목을 선정하기 위해 지방부 비신호 교차로의 사고에 영향을 미치는 도로설계 요소를 기존문헌을 통해 조사하였고, 조사한 항목을 바탕으로 선정한 항목들을 전문가 자문회의를 통해 평가 받았다.

AMF 값의 산출시 기본적으로 모형을 기반으로 하였으며, 기본적으로 산출하고자 하는 항목을 모형 내에 포함하고 있지 않은 경우가 많아 모형을 통해 산출할 수 없었던 AMF항목에 대해서는 사고이력 데이터, 사전-사후 평가, 설계요소가 사고에 미치는 영향에 대해 연구한 기존문헌을 근거로 하여 값을 산출하고 이 값에 대해서 자문회의를 통해 평가 받았다.

그 결과 좌회전 전용차로, 우회전 전용차로, 교차각, 시거 네 가지 항목이 교차로 사고에 주요한 영향을 미치는



요소로서 판단되었으며, 4가지 항목에 대해 산출한 유형별 AMF는 직접 실제 교차로의 현장조사 자료를 통해 예측 값을 도출하여 실제 해당 교차로의 사고 빈도와 비교해 봄으로서 적정성을 판단하였다. 3지 비신호 교차로와 4지 비신호 교차로의 예측 값은 실제 사고빈도보다 다소 높은 값을 나타냄으로서 설계 요소를 바탕으로 설계된 교차로의 안전성을 판단하는데 무리가 없다고 판단되었다.

국내의 도로설계 프로그램은 단지 설계도면을 그리기 위한 설계 프로그램이 대부분이며, 안전성을 판단할 수 있을 만한 시스템이 구축되어 있지 않다. 그렇기 때문에 설계 지침에서 제공하는 최소 수치만으로는 설계상의 안전성을 확보하기 어려운 것이 현실이다. 부조화를 이루는 설계요소로 인한 사고를 감소시키고, 개선사업 등에 투자되는 막대한 예산을 감소하기 위해서는 안전성을 판단할 수 있는 객관적이고 신뢰할 수 있는 기준이 필요하다.

AMF의 개발은 방법론의 결정에서부터 모든 과정이 다양한 연구와 시행착오를 통해 이루어진 결과이다. 또한 현재의 연구결과가 사고의 임의성까지 고려할 수 없으나, 지방부 교차로의 거시적 안전성을 판단하기 위한 기초 연구 자료로서는 충분한 가치가 있다고 판단된다. 이를 바탕으로 다년간의 데이터를 확보하여 연구를 진행한다면 더 좋은 연구 결과를 통하여 활용화 될 수 있는 도로 안전성 평가 시스템을 완성 시킬 수 있을 것이다.

감사의 글

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

참고문헌

도로교통안전관리공단, 통계연보, 2007
 성낙문,오주택,오재학(2005), “교차로의 안전도 평가에 관한 연구”, 대한토목학회지, 제25권 제1D호, 대한토목학회, pp. 1-8.
 임운택(1993), “도로특성이 교통사고에 미치는 영향분석”, 연세대학교 석사학위 논문, 2006
 하태준, 강정규, 박제진(2001), “신호교차로 교통사고 예측모형의 개발 및 적용”, 대한교통학회지, 제19권 제6호, pp207-218
 홍정열, 도철웅(2002), “신호교차로에서의 사고예측모형개발 및 위험수준결정 연구”, 대한교통학회지, 제20권 제7호, pp.155-166
 박종욱(2003), “교차로 교통사고 감소방안에 관한연구” 홍인 대학교 건축 도시 대학원 석사 학위논문
 유두선 외 (2007), “도로종류에 따른 지방부 교차로의 특성분석 및 사고모형 개발 : 청주권 지방부 신호교차로를 중심으로”, 대한국토·도시계획학회 추계정기 학술대회
 Warren Hughes, "Development of a Highway Safety Manual" NCHRP 17-18, May 2004
 Harwood, "Safety Effectiveness of Intersection Left-and Right-Turn Lanes" FHWA - RD - 02 - 089, 2002
 Harwood, "Prediction of the expected safety performance of rural two way lane high-way" Publication FHWA - RD-9-207. FHWA, U.S. Department of transportation, December 2000
 "Roadway Safety Design Synthesis" Texas Transportation Institute, The Texas A&M University System, College Station, Texas, 2005
 Vogt, A. "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, Federal Highway Administration, Washington, D.C., October 1999



Vogt, A., and J. Bared. "Accident Models for Two-Lane Rural Roads: Segments and Intersections." Report No. FHWA - RD - 98 - 133. 1998

Bauer, K.M. and D.W. Harwood(1996), "Statistical Models of At-grade Intersection Accidents", Final Technical Report, FHWA-RD-96-125, November

Bonneson, J.A. and McCoy, P.T.(1993), "Estimation of Safety at Two-Way Stop-Controlled Intersections on Rural Highways". TRR 1401.

Joshua, S.C and Garber, N.J(1990), "Estimating Truck Accident, Rate and Involvements Using Linear and Poisson Regression Models", Transportation Planning and Technology, Vol15, pp41-58, 1990

Sheffer, C. and Janson, B.N.(1999), "Accident and Capacity Comparisons of Leading and Lagging Left-Turn Signal Phasings", January 1999, TRB

Melcher et al.(2001), "Beysian analysis development : the feasibility of 'subjective' Engineering Evaluation for Assessing Road Safety Improvement" 80th annual meeting Transportation Research Board

Craig L et al. "Empirical Investigation of the IHSDM Accident Prediction Algorithm for Rural Intersections" Transportation research board annual meeting, October 2003

Policy on Geometric Design of Highways and Streets, American Association of State Hihgway and Transportation Officials, Washington, D.C., 2004

"Guidance for Improvement of the AASHTO Strategic Highway Safety Plan, Volumn 9: A Guide for Reducing Collision Involving Older Drivers" NCHRP Report 500, January 2004