

■ 論 文 ■

지체와 사고를 고려한 신호교차로 서비스수준 산정에 관한 연구

Level of Service of Signalized Intersections Considering both Delay and Accidents

박 제 진

(한국도로공사 도로교통연구원
책임연구원)

박 성 용

(광주광역시청 대중교통과
전임연구원)

하 태 준

(전남대학교 토목공학과 부교수)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 배경 및 목적
 - 2. 연구의 범위 및 방법
 - II. 기존 연구문헌 고찰
 - III. 신호교차로 지체시간과 교통사고의 비교
 - IV. 신호교차로 교통사고예측모형 개발
 - V. 지체와 사고를 고려한 신호교차로 서비스수준
 - 1. 신호교차로 교통사고 비용
 - 2. 신호교차로 지체시간과 지체비용
 - 3. 신호교차로 사고비용과 지체비용의 비교
 - 4. 새로운 서비스수준의 제시
 - VI. 신호교차로 평가과정 및 방법 제시
 - 1. 신호교차로 평가과정
 - 2. 신호교차로 평가방법
 - VII. 결론 및 향후 연구과제
 - 1. 결론
 - 2. 향후 연구과제
- 참고문헌

Key Words : 신호교차로, 서비스수준, 지체, 소통, 사고

Signalized intersection, Level of Service, Delay, Smooth traffic operation, Accident

요 약

서비스수준은 통행속도, 통행시간, 통행자유도, 안락감 그리고 교통안전 등 도로의 운행상태를 설명하는 개념으로 도로시설별도 효과적도에 따른 서비스수준이 등급화되어 있고, 이를 이용하여 도로시설의 수행능력을 평가하고 있다. 그러나 도로시설의 안전성에 대한 문제가 대두되어지면서 신호교차로의 v/c 비와 교통사고율은 기존 연구에서 U자형의 2차함수 형태로 나타남을 제시하고 있다. 이는 교통소통에 의한 서비스수준이 우수하다고 하여 교통사고의 위험 측면에서도 안전하다고 말할 수 없음을 시사해 주고 있는 것이다. 즉, 현재 신호교차로 평가는 도로용량과 관련한 효과적도인 서비스수준 개념에 교통안전은 내포되어 있지 않음을 보여주고 있다. 따라서 본 연구에서는 신호교차로를 대상으로 교통소통(지체)과 교통안전(사고)을 동시에 고려한 서비스수준을 개발하여 신호교차로에 대한 새로운 평가과정 및 평가방법을 제시하고자 한다.

첫째, 광주광역시 신호교차로 50개 지점을 대상으로 2002~2004년에 발생한 교통사고와 교통사고관련 자료를 수집하여 평균제어지체시간-EPDO와 평균제어지체시간-사고율의 관계를 분석한 결과, 지체시간이 클수록 EPDO와 사고율은 음지수함수 형태로 감소하는 것으로 나타나 현 신호교차로 수행평가 기준인 서비스수준에 교통안전 측면을 포함시켜 새로운 서비스수준을 개발해야 할 필요성이 있음을 증명하였다. 둘째, 교통류에 따른 사고유형별 사고건수가 음이항분포로 추론됨에 따라 교통사고예측모형으로 차대차의 경우 16개, 차대사람의 경우 4개의 음이항회귀모형을 개발하였다. 셋째, 지점별 연간지체비용과 연간사고비용을 이용하여 운영비용에 대한 확률밀도함수를 추정한 후, 서비스수준 등급에 대한 백분율을 적용시켜 서비스수준 기준을 제시하였다. 마지막으로, 본 연구에서 도출된 교통사고예측모형과 새로운 서비스수준을 활용하여 임의의 신호교차로에 대한 평가과정을 분석표로 제시하였다.

Level of Service (LOS) is one of ways to evaluate operational conditions. It is very important factor in evaluation especially for the facility of highways. However, some studies proved that v/c ratio and accident rate is appeared like a second function which has a U-form. It means there is a gap between LOS and safety of highway facilities. Therefore, this study presents a method for evaluation of a signalized intersection which is considered both smooth traffic operation (delay) and traffic safety (accident).

Firstly, as a result of our research, accident rates and EPDO are decreased when it has a big delay. In that reason, it is necessary to make a new Level of Service included traffic safety. Secondly, this study has developed a negative binominal regression model which is based on the relation between accident patterns and stream. Thirdly, standards of LOS are presented which is originated from calculation between annual delay costs and annual accident cost at each intersection. Lastly, worksheet form is presented as an expression to an estimation step of a signalized intersection with traffic accident prediction model and new LOS.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

교차로는 도로의 중요한 부분으로서 교차로 설계와 운영에 따라서 도로의 서비스수준, 효율성, 안전성이 좌우된다. 또한 도심부 도로에서는 교차로의 형태, 위치, 간격, 구조 등이 도로 전체의 용량 및 안전성을 결정하게 되므로 이에 따라서 도로설계시 교통조건, 도로조건, 교통운영조건 등에 주안점을 두어 교차로를 설계, 운영해야 한다(홍정렬, 2002).

서비스수준이란 통행속도, 통행시간, 통행자유도, 안락감 그리고 교통안전 등 도로의 운행상태를 설명하는 개념이다(건설교통부, 2001). 신호교차로 수행효율을 평가하기 위해서 서비스수준 개념을 도입하고 있는데 서비스수준은 흐름의 질을 평가하는 복합변수로서 단일수치화하기가 용이하지 않다. 교차로의 서비스수준을 구분하는 지표로는 신호등 부하율(Load Factor), 교통량대용량비 (v/c 비), 차량의 평균지체도, 정지율 등이 있다. 1965년 미국 HCM (Highway Capacity Manual)을 시작으로 서비스수준의 개념이 처음 도입되었고, 1985·1994·2000년에 차례로 발간되면서 신호교차로 서비스수준 결정의 효과적으로 v/c 비와 차량의 평균지체도에 의한 방법을 사용하게 되었다.

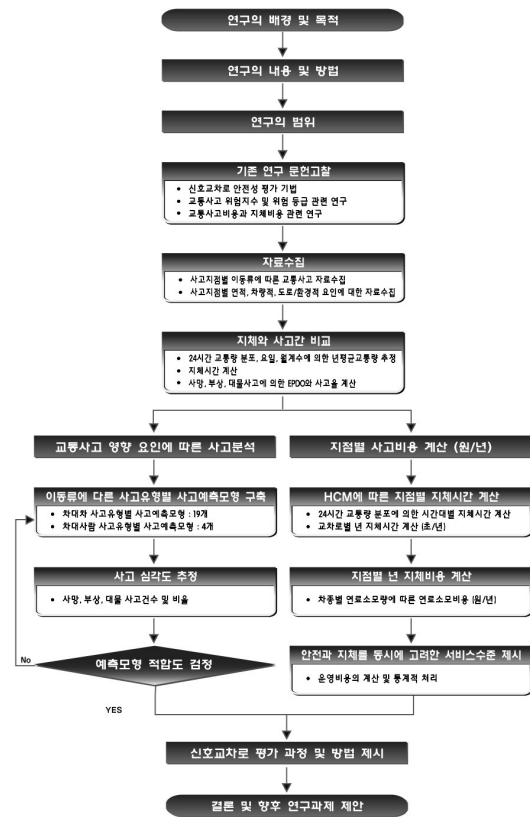
우리나라는 1985년 미국 HCM을 기본으로 하여 우리나라의 특성을 반영한 보정계수 값들을 수정하여 지금까지 v/c 비와 차량의 평균지체도에 의한 방법을 사용하고 있는 실정이다(안계형, 1986·김성득, 2001).

장재남(2000)은 설계속도 100km/hr를 갖는 지방부 고속도로 기본구간을 대상으로 교통소통에 대한 v/c 비와 교통안전에 대한 사고율을 분석한 결과 v/c 비가 0.80일 때 백만대·km 당 사고율이 186.0인 U자형의 2차 함수 형태가 나타남을 제시하였다. 또한, Hall(1992)은 도시부 신호교차로에서 첨두시간대 v/c 비와 사고율을 통계적으로 분석한 결과 U자형의 함수 형태로 서비스수준은 A이지만 서비스수준 B(또는 C)보다 교통사고율이 더 높게 나타남을 제시하였다. 이는 현재 도로평가가 국·내외 모두 도로용량과 관련한 효과적도인 v/c 비와 평균제어지체의 교통소통(지체) 측면만을 기준으로 수행되어지고 있을 뿐 근본적인 서비스수준 개념에 교통안전(사고) 측면은 고려되어 있지 않음을 시사해 주고 있다.

따라서, 본 연구에서는 신호교차로의 도로·교통·신호조건에 따른 교통사고 예측모형을 구축하고, 지체와 사고를 동시에 고려한 서비스수준을 개발한 후, 새로운 신호교차로 평가과정 및 방법을 제시하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구의 공간적 범위는 광주광역시내로 교통혼잡과 교통사고발생이 잦은 신호교차로를 대상으로 신뢰 가능한 50개 지점을 선정하였고, 시간적 범위는 2002~2004년이다. 본 연구의 수행과정은 <그림 1>에 나타내었다.



<그림 1> 연구의 수행과정

II. 기존 연구문헌 고찰

기존 연구문헌은 교통사고의 기술방법과 신호교차로

교통사고 영향요인, 신호교차로 안전성 평가 기법, 교통사고 위험지수 및 위험등급 관련 연구, 그리고 교통사고 비용과 신호교차로 지체비용 관련 연구 등을 고찰하였다.

특히, 신호교차로에서 교통사고(안전)를 고려하여 서비스수준(위험지수 및 위험등급)을 제시한 연구는 Robertson과 Carter(1988), 하태준(1994), 그리고 홍정렬(2002)이 있다. 기존 연구의 한계점은 다음과 같다.

① 교통사고에 대한 위험수준 등급을 결정함에 있어 비합리적인 방법으로 접근하고 있다는 것이다. 즉, 위험수준을 1 또는 100으로 하여 등간격으로 나눈 후 서비스수준(위험수준)을 A, B, C, D, E, F로 부여하고 있고, 전체 대상교차로를 25%씩 나누어 해당하는 교통사고건수를 기준으로 위험범위를 나누고 위험수준을 부여하고 있는데, 이에 대한 근거를 제시하지 못하고 있다.

② 기존 연구문헌들은 지체에 따른 서비스수준과 교통사고(안전)에 따른 서비스수준을 개별적으로 연구한 결과를 제시하고 있는 실정이다. 지체에 따른 서비스수준과 교통사고에 따른 서비스수준의 부호는 동일하지만 그 의미는 상이한 결과를 보이게 된다. 이럴 경우 교통소통과 교통안전 중 어느 부분을 개선할 것인가에 대한 의사결정을 할 수 없게 되는 문제점을 내포하고 있다.

III. 신호교차로 지체시간과 교통사고의 비교

현행 평가기준인 서비스수준이 우수하다면 서비스수준의 근본적인 개념에 의해 교통사고 측면에서도 안전해야 한다. 그러나 장재남(2000)과 Hall(1992)의 연구에서 보듯 지체와 사고는 U자형의 관계가 도출되어 현행의 서비스수준에서는 안전이 고려되어 있지 않음을 알 수 있다. 따라서 신호교차로에서 지체와 사고와의 관계를 규명함으로써 본 연구의 필요성 여부를 확인해 보았다.

신호교차로에서 지체시간을 계산하기 위해 본 연구 대상 신호교차로 50개 지점에서 10개 지점을 추출하였다. 지체시간의 계산방법은 KHCM(2001)의 절차를 따른 것이기 때문에 부연설명은 생략한다.

시간대별(24시간) 차량당 평균제어지체와 EPDO (Equivalent Property Damage Only) 및 사고율을

비교하기 위한 EPDO 및 사고율의 계산식은 다음과 같다. EPDO 산정의 계수는 고속국도, 지방도, 교차로 등의 사고발생 장소에 관계없이 모두 포괄하여 EPDO 계수를 산정하여 계산하고 있다. 본 연구가 신호교차로를 대상으로 하였기에 신호교차로에서 발생한 사고에 대한 EPDO 계수를 사용하여 계산함이 타당하지만 신호교차로에 대한 EPDO 계수가 부재인 관계로 국내에서 가장 널리 사용되고 있는 최재성과 원재무의 EPDO 계산식(지점에 대한 경우)을 사용하며 이는 식(1)과 식(2)와 같다.

$$EPDO_t = \frac{[12(N_R) + 3(N_{At} + N_B + N_C) + (N_{PDO})] \times 10^6}{(T) \times (AADT_t) \times (365)} \quad (1)$$

$$R_{At} = \frac{(N) \times 10^6}{(365) \times (T) \times (AADT_t)} \quad (2)$$

$EPDO_t$: 시간대별 백만진입차량당 EPDO

R_{At} : 시간대별 백만진입차량당 사고율

$N_R, N_{At}, N_B, N_C, N_{PDO}$: 시간대별 총 사망, 중상, 경상, 부상신고, 대물피해사고건수

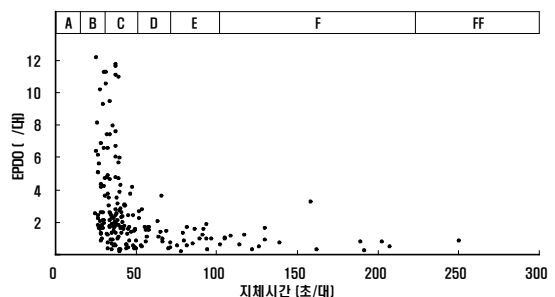
T : 사고조사시간(년)

$AADT_t$: 시간대별 년평균 일교통량

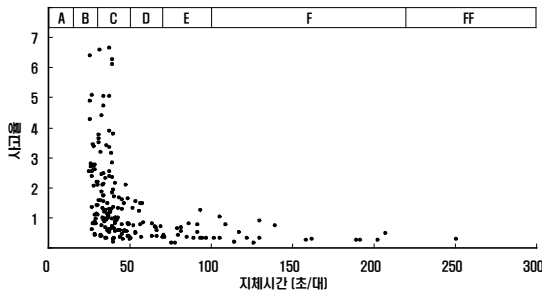
N : 시간대별 총 사고건수

〈그림 2〉와 〈그림 3〉은 KHCM(2001)에 의해 24시간 동안에 대해서 계산된 시간대별 신호교차로의 평균제어지체시간과 EPDO 그리고 사고율을 표현한 산점도이다.

장재남과 Hall이 언급한 2차 함수 형태는 나타나지 않지만 지체시간이 클수록 EPDO와 사고율은 음지수함수 형태로 감소하는 관계를 보여주고 있다. 이는 현 신호교차로 수행평가인 서비스수준은 교통사고에 대한 안전



〈그림 2〉 신호교차로 평균제어지체시간과 EPDO



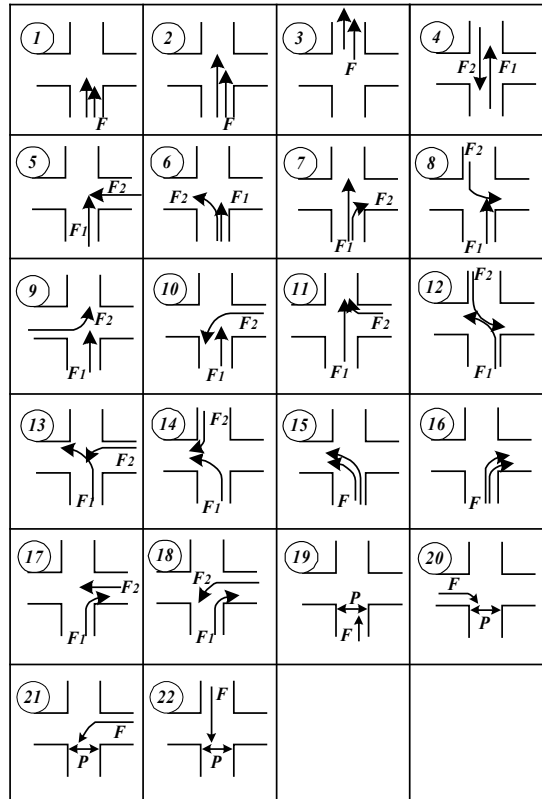
〈그림 3〉 신호교차로 평균제어지체시간과 사고율

성을 충분히 고려하고 있지 않음을 보여주고 있다. 따라서 현 교통소통(지체)에 대한 서비스수준에 교통안전(사고) 측면을 포함시켜 새로운 서비스수준을 개발해야 할 필요성이 있음을 알 수 있다.

IV. 신호교차로 교통사고예측모형 개발

Hauer(1988)와 남궁현(2001)은 ‘교차로에 진입하는 전체교통량을 기준으로 교통사고율을 계산하는 것은 비논리적이다.’ 라고 판단하여 신호교차로 교통류 형태에 따라 교통사고유형을 분류하고, 교통사고 예측모형을 구축하였다. 그러나 Hauer(1988)와 남궁현(2001)은 교통량 변수만을 고려하여 교통사고 예측모형을 구축하였는데 교통량은 차후 개선대책 수립시 통제하기 어려운 변수임을 감안할 때 이외의 도로·교통요인을 고려한 예측모형이 개발되어야 할 것이다. 따라서 본 연구는 교통량과 도로·교통요인을 고려하여 Hauer와 남궁현이 제시한 교통류에 따른 사고유형을 바탕으로 차대차사고와 차대사람사고로 분류하였다. 교통류에 따라 구축된 사고유형별 모형은 〈그림 4〉와 같다.

교통사고 예측모형의 반응변수를 사고건수(건/3년)로 설정하고 연구대상 50개 지점에서 발생한 사고유형별 사고건수에 대한 χ^2 -test 를 실시한 결과 음이항분포로 추론되었다. 이에 따라 본 연구에서는 통계관련 프로그램인 SAS/STAT의 PROC GENMOD(일반화된 선형모형과정)을 이용하여 회귀계수를 추정하고 검증하여 음이항회귀모형을 구축하였다. 음이항회귀모형에 대한 구조는 식(3)와 같다. 교통사고예측모형에 포함된 변수들로는 각 방향의 교통량, 차로폭, 차로수, 전용좌회전차로 여부, 중차량혼입율, 신호교차로의 주기 등이다. 구축된 모형의 검정을 위하여 Deviance와 Pearson’s chi-square통계량을 사



〈그림 4〉 교통류에 따른 교차로 교통사고 유형

용하였으며, Deviance 검정통계량은 1에 가까운 수치를 나타내었으며, Pearson’s chi-square 검정통계량은 0.8~1.2의 범위에 포함되어 모형이 적합함을 알 수 있었다.

$$\log(\mu_i) = \beta_0 + \sum_{j=1}^q \beta_j X_{ij} \rightarrow \mu_i = \text{EXP} \beta_0 + \sum_{j=1}^q \beta_j X_{ij} \quad (3)$$

- μ_i : 3년 동안 i 지점에서 일어난 사고건수
- $X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{iq}$: i 지점의 q 변수들의 고유값
- β_1, \dots, β_q : 모형화 과정에서 추정되는 회귀계수

그러나, 〈그림 4〉의 차대차 (1)~(18), 차대사람 (19)~(22) 사고유형 중 (12)는 사고가 전혀 발생하지 않았고, (13), (17), (18)은 교통사고 발생건수가 교통사고 예측모형을 구축할 수 있는 조건을 만족시킬만큼 충분치 못한 이유로 제외하였다.

〈표 1〉은 본 연구 대상 신호교차로 50개 지점에서 발생한 교통사고를 교통류에 따른 사고유형별 및 사고유형

〈표 1〉 교통류에 따른 교통사고 유형별 심각도

사고유형	대물피해 사고		부상신고 사고		경상사고		중상사고		사망사고		계	
	건	%	건	%	건	%	건	%	건	%	건	%
1	339	60.97	2	0.36	174	31.29	37	6.65	4	0.72	556	100
2	51	68.92	0	0.00	18	24.32	4	5.41	1	1.35	74	100
3	96	70.59	1	0.74	25	18.38	13	9.56	1	0.74	136	100
4	17	39.53	0	0.00	15	34.88	10	23.26	1	2.33	43	100
5	127	46.52	0	0.00	91	33.33	50	18.32	5	1.83	273	100
6	47	66.20	0	0.00	20	28.17	4	5.63	0	0.00	71	100
7	26	61.90	1	2.38	13	30.95	2	4.76	0	0.00	42	100
8	102	52.31	4	2.05	64	32.82	25	12.82	0	0.00	195	100
9	9	56.25	1	6.25	2	12.50	4	25.00	0	0.00	16	100
10	26	55.32	0	0.00	17	36.17	3	4.38	1	2.13	47	100
11	33	68.75	0	0.00	9	18.75	5	10.42	1	2.08	48	100
12	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0
13	2	80.00	0	0.00	2	13.33	1	6.67	0	0.00	15	100
14	18	69.23	0	0.00	5	19.23	3	11.54	0	0.00	26	100
15	118	71.52	0	0.00	43	26.06	4	2.42	0	0.00	165	100
16	87	73.11	0	0.00	28	23.53	4	3.36	0	0.00	119	100
17	1	33.33	0	0.00	1	33.33	1	33.33	0	0.00	3	100
18	5	100.00	0	0.00	0	0.33	0	0.00	0	0.00	5	100
19	2	3.28	1	1.64	25	39.34	31	50.82	3	4.92	61	100
20	1	4.35	0	0.00	12	52.17	10	4.348	0	0.00	23	100
21	0	0.00	0	0.00	15	78.95	4	21.05	0	0.00	19	100
22	1	1.69	1	1.69	26	44.07	27	45.76	4	6.78	59	100
차대차	1114	60.74	9	0.49	527	28.74	170	9.27	14	0.76	1834	100
차대사람	4	2.47	2	1.23	77	47.53	72	44.44	7	4.33	162	100
계	1118	56.01	11	0.55	604	30.26	242	12.12	21	1.05	1996	100

〈표 2〉 교통사고 유형별 심각도

심각도	사고유형		차대차		차대사람		계	
	건	%	건	%	건	%	건	%
대물피해사고	1,114	55.81	4	0.20	1,118	56.01		
부상사고	706	35.37	151	7.56	857	42.93		
사망사고	14	0.70	7	0.35	21	1.05		
합계	1,834	91.88	162	8.11	1,996	100.0		

에 따른 사고심각도를 나타낸 것으로, 사고유형에 따라 사고심각도가 달리 나타남을 보여주고 있다.

차후 교통사고 예측모형[(1)~(22)]으로 예측한 교통사고건수에서 교통사고 심각도별 교통사고건수를 도출하여 교통사고비용을 산정하기 위해서는 교통사고유형[(1)~(22)]별 교통사고 심각도 비율을 적용하여야 함이 타당하다. 그러나 50개 지점이라는 범위의 한계로 인하여 대물피해사고, 부상사고, 사망사고에 해당하는 비율이 0%이거나 어느 한쪽에 치중되어 있는 경향이 있는 것으로 나타났다.

따라서, 본 연구에서는 〈표 2〉의 차대차와 차대사람에 대한 교통사고 심각도 비율을 적용하였다.

V. 지체와 사고를 고려한 신호교차로 서비스수준

본 연구의 목적인 교통소통(지체)과 교통안전(사고)을 동시에 고려한 서비스수준을 제시하기 위해서는 현 신호교차로의 평가기준인 지체시간과 사고위험에 대한 사고건수(또는 사고율, 심각도)를 객관적으로 판단할 수 있는 하나의 매개체로 통일시켜 접근해야 한다. 본 연구에서는 이 매개체를 비용으로 정하였다.

1. 신호교차로 교통사고 비용

교통사고비용은 추계방법에 따라 다양한 산정방식이 있다. 추계방법에는 인적자본법, 교통사고 측면의 접근법, 사고위험 변화의 가치계산방법 등이 있다. 국내의 경우 교통개발연구원에서는 인적자본법의 하나인 총생산손실법과 개인신호법으로 매년 사고비용을 추계하고 있다. 교통비용(PGS)을 포함한 1995~2001년까지의 교통사고 심각도별 발생건당 교통사고비용은 〈표 3〉과 같다.

〈표 3〉 사고심각도별 교통사고비용 (단위:만원/건)

구분	대물피해	부상사고	사망사고
2002	850	4,623	342,623
2003	850	4,527	358,834
2004	872	4,437	364,602

따라서, 본 연구의 교통사고비용은 〈표 3〉에서 2002~2004년까지 심각도별 단위비용을 평균하여 적용하였다. 지점별 연간 교통사고비용은 식(4)와 같다.

$$\begin{aligned} & \text{연간 교통사고비용(만원/년)} \\ & = 857.33N_{PDO} + 4,529N_i + 355,353N_F \end{aligned} \quad (4)$$

N_{PDO} , N_i , N_F : 연간 대물피해, 부상사고, 사망사고 건수(건/년)

2. 신호교차로 지체시간과 지체비용

교통혼잡비용은 차량운행비용과 시간가치비용으로 구분할 수 있다. 차량운행비용은 운행과 관련하여 발생하는 변동비와 운행과 관계없이 일정량 투입되는 고정비로 구분된다. 변동비는 연료소모비를 결정적인 요소로 볼 수 있다. 시간가치비용은 통행에 소요되는 시간을 비용의 개념으로 환산한 것으로 도시근로자의 평균소득을 기준으로 한계임금률법이 많이 사용되고 있다. 국내의 경우 한국교통연구원에서 한계임금률법을 사용하여 통행시간비용을 추정하고 있다. 교통혼잡비용의 구성요소는 〈그림 5〉와 같다.

본 연구에서 신호교차로 지체비용은 〈그림 5〉의 혼잡비용 구성요소 중 변동비인 연료소모비만을 고려하였고, 평균제어지체시간 HCM(2000)에 의거하여 산출하였다. 평균제어지체시간은 가·감속지체, 정지지체 그리고



〈그림 5〉 교통혼잡비용의 구성요소

〈표 4〉 자동차 공회전시 연료소모량

차종	연료소모량 (cc/분)
승용차	25.0
대형경유차	28.4

분석기간 이전에 남아 있는 대기차량에 의한 추가지체까지 고려한 것이므로 연료소모비는 차량의 공회전에 따른 연료소모율이다. 교통개발연구원 등의 연구는 거시적인 관점에서 전체 도로구간에 대한 차량운행속도를 이용하여 차량별 연료소모량을 도출하는 방법이다. 그러나 본 연구의 대상인 신호교차로는 단속류 도로로 교통류가 연속적으로 진행되지 못하고, 신호등이나 교통통제시설에 의하여 교통류가 단절되는 도로이다. 따라서 공회전시 연료소모량은 에너지관련기관에서 공회전규제 방안의 참고자료로 삼고자 정부공인 CVS75 모드, D13 모드 테스트를 기준으로 자동차 공회전시 연료소모량을 산출하였다.

여기에서 1일 연료소모비는 시간대별 차종에 따른 교통량과 유류가격(세전가격)을 이용하여 식(5), 식(6)과 같이 추정하였다.

$$\begin{aligned} & \text{1일 연료소모비(원)} \\ & = \sum_{t=1}^{23} \left[\left[\frac{d_{(t \sim t+1)}}{60} \cdot AADT_{(t \sim t+1), \text{소형차}} \cdot F_{\text{소형차}} \cdot UC_{vol} \right] + \left[\frac{d_{(t \sim t+1)}}{60} \cdot AADT_{(t \sim t+1), \text{대형차}} \cdot F_{\text{대형차}} \cdot UC_{dic} \right] \right] \end{aligned} \quad (5)$$

$$\text{1년간 연료소모비(원)} = \text{1일 연료소모비} \times 365 \quad (6)$$

t : 시간대 0=0:00, =1:00, ..., 23=23:00

$d_{(t \sim t+1)}$: $t \sim t+1$ 시간대 평균제어지체시간(sec/veh)

$AADT_{(t \sim t+1), \text{소형차}}$: $t \sim t+1$ 시간대 소형차에 대한 년평균일교통량(veh)

$AADT_{(t \sim t+1), \text{대형차}}$: $t \sim t+1$ 시간대 대형차에 대한 년평균일교통량(veh)

$F_{\text{소형차}}$: 소형차의 연료소모율 $25.0 \times 10^{-3} \text{ l/min}$

$F_{\text{대형차}}$: 대형차의 연료소모율 $28.4 \times 10^{-3} \text{ l/min}$

UC_{vol} : 휘발유에 대한 세전가격 600.82원/l

UC_{dic} : 경유에 대한 세전가격 604.81원/l

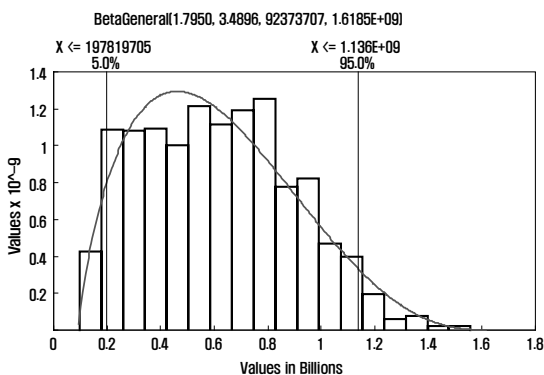
3. 신호교차로 사고비용과 지체비용의 비교

본 연구에서 산출된 지점별 연간 사고비용과 연간 지체비용간에는 어느 정도 차이가 발생하는지 비교하여 보

있으며 이는 <표 5>와 같다. <표 5>에서 [사고비용/지체비용]이 1보다 작은 지점 즉, 사고비용보다 지체비용이 더 많은 지점이 32개로 나타나 신호교차로에서는 지체에 따른 영향이 더 크므로 개선책에 있어 안전보다는 소통을 더 많이 고려해 주어야 한다고 표면적으로는 말할 수 있을 것이다. 그러나 교통사고가 상당한 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있으며, 몇몇 지점의 경우 소통보다는 안전을 더 많이 고려해 주어야 함을 확인할 수 있다.

<표 5> 지점별 사고비용과 HCM에 따른 지체비용의 비교

지점	사고비용/지체비용	지 점	사고비용/지체비용
1	0.28	26	0.49
2	0.46	27	0.29
3	0.22	28	0.51
4	0.23	29	0.27
5	1.26	30	0.37
6	1.40	31	0.12
7	2.58	32	0.78
8	1.73	33	0.98
9	1.72	34	0.29
10	3.04	35	0.46
11	0.14	36	0.53
12	1.30	37	0.16
13	0.15	38	0.20
14	1.42	39	0.39
15	1.27	40	1.63
16	1.24	41	0.43
17	3.38	42	0.96
18	0.72	43	1.35
19	0.33	44	1.22
20	0.48	45	0.15
21	0.72	46	0.34
22	0.66	47	0.23
23	2.20	48	1.38
24	1.27	49	0.77
25	0.80	50	1.26



<그림 6> 운영비용의 적합한 분포

4. 새로운 서비스수준의 제시

연구대상 신호교차로 50개 지점에 대한 연간 지체비용과 연간 사고비용을 이용하여 모든 가능한 조합(50×50=2500가지)으로 운영비용[지체비용+사고비용, (원/년)]을 만든 후, 운영비용에 대한 확률밀도함수를 추론하였다.

운영비용 자료를 @RISK 프로그램(손실액분석프로그램)을 이용하여 자료에 적합한 분포를 찾은 결과, 식(7) 및 <그림 6>과 같이 BetaGeneral 분포를 따르는 것으로 추론되었다.

$$\begin{aligned}
 &Beta\ General(\alpha_1, \alpha_2, \min, \max) \\
 &= Beta\ General(1.7950, 3.4896, 92373707, 1618531259)
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

BetaGeneral 분포에 대한 확률밀도함수는 식(8)이다.

$$\begin{aligned}
 f(x) &= \frac{(x - \min)^{\alpha_1 - 1} (\max - x)^{\alpha_2 - 1}}{B(\alpha_1, \alpha_2) (\max - \min)^{\alpha_1 + \alpha_2 - 1}} \\
 &= \frac{(x - 923737)^{0.795} (1618531259)^{2.49}}{B(1.795, 3.490) (1526157552)^{4.285}}
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

- α_1 : continuous shape parameter ($\alpha_1 > 0$)
- α_2 : continuous shape parameter ($\alpha_2 > 0$)
- min : continuous boundary parameter (min < max)
- max : continuous boundary parameter

$$B(\alpha_1, \alpha_2) = \frac{\Gamma(\alpha_1) \Gamma(\alpha_2)}{\Gamma(\alpha_1 + \alpha_2)}$$

<표 6> 운영비용에 대한 분포의 분석결과

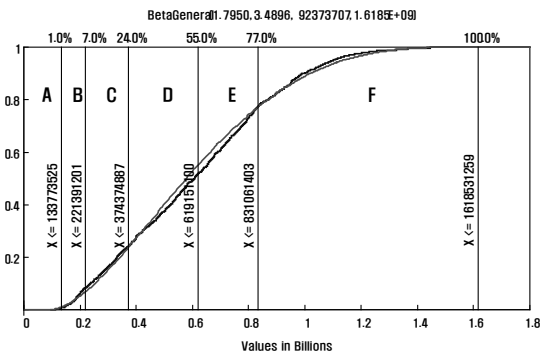
구분	Fit	Input	구분	Fit	Input
Function	=RiskBetaGeneral($\alpha_1, \alpha_2, \min, \max$)	N/A	Diff. X	9.38E+08	9.38E+08
Shift	N/A	N/A	Diff. P	90.00%	90.57%
α_1	1.794990581	N/A	Minimum	92373707	95611288
α_2	3.489601104	N/A	Maximum	1.62E+09	1.56E+09
min	92373706.59	N/A	Mean	610755938	613093538
max	1618531259	N/A	Mode	461759309	769476359
N/A	N/A	N/A	Median	577998438	602963552
Left X	197819705	197819705	Std. Dev.	288315758	285151167
Left P	5.00%	6.02%	Variance	8.31E+16	8.13E+16
Right X	1.14E+09	1.14E+09	Skewness	0.466	0.3153
Right P	95.00%	96.59%	Kurtosis	2.5622	2.4695

HCM(1995)의 서비스수준은 <표 7>에서 보는 바와 같이 William R. Reilly(1980)가 제시한 차량당 평균 정지지체 백분율을 이용하여 등급화 하였고, HCM(2000)은 차량당 평균정지지체를 차량당 평균제어지체로 환산하여 등급화 하였다. KHCM(2001)에서 서비스수준 F의 경계점은 한국의 경우 평균 주기를 120sec로 미국의 평균주기를 80sec 가정하여 분석한 결과 한국이 미국의 지체시간 보다 1.41배 더 증가한다는 결과를 이용하여 100 (sec/veh)로 결정하였고, 서비스수준 FF와 FFF는 서비스수준 F(100sec/veh)에 한국의 평균주기 120sec를 배수만큼 증가시킨 방법에 의해 구분하였다(한국건설기술연구원, 1992·교통개발연구원, 2000).

따라서, 본 연구의 목적인 교통소통(지체)과 교통안전(사고)을 고려한 서비스수준은 국내·외 서비스수준 산출 시 William R. Reilly(1980)가 제시한 백분율에서 출발하였다는 점에 착안하여, 운영비용에 대한 BetaGeneral 분포 확률밀도함수에 이 백분율을 적용하여 구분하였다. 교통소통(지체)과 교통안전(사고)를 동시에 고려한 서비스수준은 <그림 7>, <표 8>과 같다.

<표 7> HCM과 KHCM의 서비스수준 기준

서비스 수준	HCM (1995)			HCM (2000)		KHCM (2001)
	평균정지 지체(초/대)	백분율 (%)	누적 백분율	평균제어 지체(초/대)	평균제어 지체(초/대)	평균제어 지체(초/대)
A	≤5	1	1	≤10	≤15	
B	5.1~15	6	7	10~20	15~30	
C	15.1~25	17	24	20~35	30~50	
D	25.1~40	31	55	35~55	50~70	
E	40.1~60	22	77	55~80	70~100	
F	>60	23	100	>80	100~220	
FF	-	-	-	-	220~340	
FFF	-	-	-	-	>340	



<그림 7> 지체와 사고를 고려한 서비스 수준

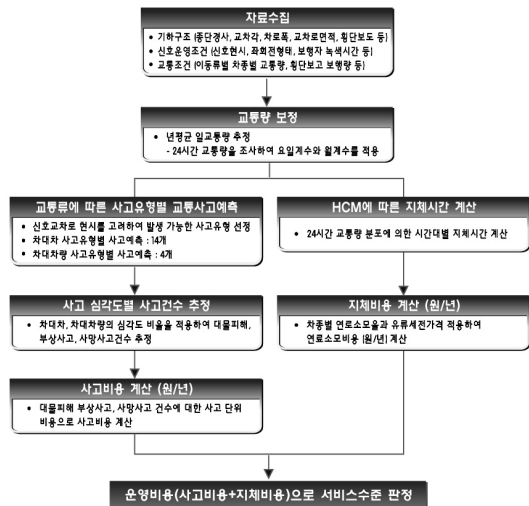
<표 8> 지체와 사고를 고려한 서비스수준

서비스수준	A	B	C	D	E	F
누적백분율 (%)	1	7	24	55	77	100
운영비용 (만원/년)	13,377	22,139	37,437	61,915	83,106	-

VI. 신호교차로 평가과정 및 방법 제시

1. 신호교차로 평가과정

본 연구에서 도출된 결과를 이용해 교통소통(지체)과 교통안전(사고)을 동시에 고려한 신호교차로 서비스수준 평가과정을 <그림 8>에 제시하였다.

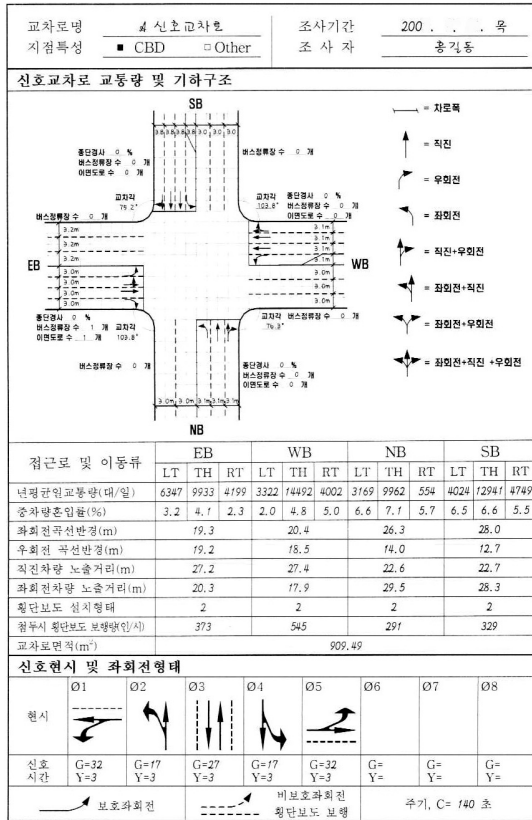


<그림 8> 신호교차로 서비스수준 평가과정

2. 신호교차로 평가방법

임의의 신호교차로에 대해 본 연구에서 도출된 결과를 활용하여 교통소통과 교통안전을 동시에 고려한 신호교차로 서비스수준 평가과정을 제시한다. 자료를 수집하는 과정은 <그림 9>와 같다. 수집된 자료에서 교통사고 발생가능 사고유형을 선정하고 각각의 유형에 따라 사고건수를 예측한다. 이를 통해 추정된 교통사고 비용은 <표 9>와 같다. 그리고 입력자료를 바탕으로 HCM의 절차에 따라 시간대별 평균제어시간을 계산한 후 지체비

용을 계산한다. 산정된 지체비용은 <표 10>과 같다. 세부적인 계산과정은 생략한다. 각각 산정된 사고비용과 지체비용을 합산하여 서비스수준을 판정한다. 그 결과는 <표 11>과 같고 현 서비스수준과 비교시 다소 차이가 있음을 확인할 수 있다.



<그림 9> 분석대상 신호교차로 입력자료

<표 9> 교통사고비용 추정 (단위 : 만원/3년)

총 사고비용	대물피해 사고비용	부상사고 사고비용	경상 사고비용	중상 사고비용	사망 사고비용
79332.46	4002.34	160.48	15566.96	37098.21	22504.47

<표 10> 신호교차로 지체비용 계산

신호교차로 지체비용 계산			
시간대	1일 연료소모비		
	대형차(원/일)	소형차(분/일)	계(원/일)
계	107,796	822,160	929,956
신호교차로 연간 지체비용			
256×929,956=339,433,940(원/년)			

<표 11> 서비스수준 판정 및 기존 서비스수준과 비교

신호교차로 서비스수준 판정							
신호교차로 운영비용 = 264,441,533+339,433,940=603,875,473(원/년) = 60,389(만원/년)							
기준	서비스수준	A	B	C	D	E	F
	운영비용 (만원/년)	13,377	22,139	37,437	61,915	83,106	-
판정					√		
지체시간 산정 = 87.63 (초/대)							
기준	서비스수준	A	B	C	D	E	F
	평균제어 지체(초/대)	≤15	15~30	30~50	50~70	70~100	100~220
판정						√	

Ⅶ. 결론 및 향후 연구과제

1. 결론

본 연구는 신호교차로에서 교통소통(지체)과 교통안전(사고)을 동시에 고려한 새로운 서비스수준이 개발되어야 할 필요성에서 출발하여 다음의 결과를 도출하였다.

- ① 현 신호교차로 수행평가인 교통소통(지체)에 따른 서비스수준이 교통안전(사고) 측면을 포함시키지 않고 있음을 증명하였다.
- ② 신호교차로의 도로·교통·신호조건에서 교통류에 따른 교통사고유형별 교통사고 예측모형을 개발하였다.
- ③ 새로운 신호교차로 효과적도로 교통소통(지체)과 교통안전(사고)을 동시에 고려한 서비스수준을 개발하였다.
- ④ 임의의 신호교차로 조건에서 사고예측모형과 새로운 서비스수준을 이용한 신호교차로의 평가 방법을 제시하였다.

2. 향후 연구과제

신호교차로에서 좌회전금지의 경우 *KHCM*(2001)은 지체시간을 계산할 수 없는 한계가 있는 바, 본 연구에서는 *HCM*(2000)을 적용하였다. 그러나 *HCM*(2000)에 의해 계산된 지체시간은 *KHCM*(2001)에 의한 지체시간보다 3차원 함수형태로 2~8배 가량 크게 계산되어 지체비용이 현실(한국)보다 과다 추정되었다. 따라서 향후 *KHCM* 개선 연구가 진행되어 좌회전 금지의 경우에도 지체시간에 대한 분석이 가능해진다면 한국 실정에

적합한 서비스수준이 산정될 수 있도록 하는 연구가 추가적으로 진행되어야 할 것이다. 또한 본 연구에서는 지체와 사고를 동시에 고려한 서비스수준을 제시하기 위해 지체와 사고를 비용으로 환산하여 서비스수준을 제시하였으며 이는 분명 현 서비스수준과 차이가 있음을 확인하였지만 이로 인한 지체나 v/c 비의 변화 등에 대한 검토가 필요하며, 본 연구에서 제시한 MOE 가 전체 차량에 대한 MOE 를 나타낸 것이므로, 향후 연구에서는 안전 및 소통의 제반 검토를 위해 전체 차량에 대한 MOE 에서 차량별에 대한 MOE 로의 변화에 대한 추가적인 연구가 시행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. Ezra Hauer · Jerry C.N · Jane Lovell(1988), "Estimation of Safety at Signalized Intersections", Transportation Research Record 1185.
2. H. Douglas Robertson · Everett C. Carter, Members(1988), ASCE, "Intersection Ranking Methodology for Pedestrian Safety", Journal of Transportation, Vol.114, No.6.
3. J.W.Hall · Margarita Polanco de Hurtado(1992), "Effect of intersection congestion on accident rates", Transportation Research Board, Vol.1376.
4. Tae-Jun Ha(1994), "Development of Safety-Based Level-of-Service Criteria for Isolated-Signalized Intersections", University of Wisconsin-Madison.
5. Transportation Research Board(2000), "Highway Capacity Manual", HCM2000.
6. William R.Reilly · JHK & Associates : Ronald C.Pfefer(1980), "Urban Signalized Intersection Capacity-NCHRP Project 3-28(2)".
7. 건설교통부(2001), "도로용량편람".
8. 교통개발연구원 · 한국건설기술연구원(2000), "도로용량편람 개선 연구(제2단계)", 대한교통학회 최종보고서, 대한교통학회.
9. 김성득 · 박창수 · 박원규(2001), "한국 도로용량편람과 미국 HCM 2000의 신호교차로 서비스수준 결정에 관한 고찰", 대한교통학회지, 제19권 제5호, 대한교통학회, pp.143~154.
10. 남궁현(2001), "신호교차로 교통사고 예측모형의 개발 및 적용", 전남대학교 석사학위논문.
11. 박제진 · 하태준(2008), "지방부 2차로도로의 새로운 서비스수준 산정에 관한 연구", 대한교통학회지, 제26권 제2호, 대한교통학회, pp.47~56.
12. 손의영 · 모창환 · 이희승 · 주정열(1992), "교통혼잡 비용 예측 연구", 교통개발연구원.
13. 안계형(1986), "신호등이 있는 교차로의 서비스수준의 기준에 관한 연구", 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.
14. 장재남 · 이용택 · 김호덕 · 장명순(2000), "사용자비용최적화를 통한 도로 설계서비스수준 산정방안", 대한교통학회지, 제18권 제2호, 대한교통학회, pp.17~25.
15. 최재성 · 원재무(2000), "개정판 교통공학", 박영사.
16. 한국건설기술연구원 · 교통개발연구원(1992), "도로용량편람 연구조사(제2,3단계) 제3단계 최종보고서".
17. 홍정렬(2002), "신호교차로에서의 교통사고예측모형개발 및 위험수준결정에 관한 연구", 한양대학교 석사학위논문.

✉ 주 작 성 자 : 박제진

✉ 교 신 저 자 : 박제진

✉ 논문투고일 : 2007. 10. 26

✉ 논문심사일 : 2008. 1. 16 (1차)

2008. 4. 18 (2차)

2008. 5. 5 (3차)

✉ 심사판정일 : 2008. 5. 5

✉ 반론접수기한 : 2008. 10. 31

✉ 3인 익명 심사필

✉ 1인 abstract 교정필