

평면교차로 손실비용 산정에 관한 사례연구 (지방부 4차로 국도 중심)

김태호, 이기영

I. 서론

- 자동차증가는 물론 경제발전에 의한 국민의 생활수준 향상 및 생활권의 확대 등으로 교통 혼잡, 교통사고, 환경오염은 날로 극심해지고 이로 인한 사회·경제적 손실은 기하급수적으로 늘어나고 있다. 이러한 교통관련 사회적 문제를 해소하기 위하여 정부 및 지방자치단체에서는 각급 규모의 도로들을 건설하는 공급정책을 시행하였지만, 이는 오랜 공사로 인한 사회경제적 비용 손실발생, 새로운 교통수요의 유발 등으로 그 효과가 다소 미흡한 경우가 많다 할 수 있다.
- 이에 반해, 주어진 교통시설을 효율적으로 활용하기 위한 교통운영기법(Traffic Operation), 교통체계개선사업(TSM : Transportation System Management)은 적은 투자비로 단기간에 교통문제의 효과를 거둘 수 있는 해결책이라 할 수 있다.
- 이러한 교통정책의 기조변화와 함께 최근 건설 및 개선되어 운영 중인 지방부 국도의 경우 연속된 흐름을 위해 평면교차 보다는 입체교차를 많이 도입하고 있는 추세이며, 어느 정도 효과가 있는 것으로 판단된다.¹⁾
- 따라서 본 연구에서는 다양한 효과분석 기준 중에서 통행시간, 차량운행비용을 기준으로 상대적인 손실을 계량화하여 평면교차로와 입체교차로 운영 시 비용을 산정하고 민감도 분석을 통하여 손실비용을 도출하여 제시하였다.

김태호 : 한국도로공사 도로교통연구원 박사후연구원, traffix@hanmail.net, 직장전화:031-371-3399, 직장팩스:031-371-3319
 이기영 : 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원, kylee@ex.co.kr, 직장전화:031-371-3314, 직장팩스:031-371-3319

1) 평면교차로는 입체교차로에 비해 상대적으로 통행시간 및 차량운행비용 증가, 대기오염 과 같은 사회적인 손실이 발생하고 있음.

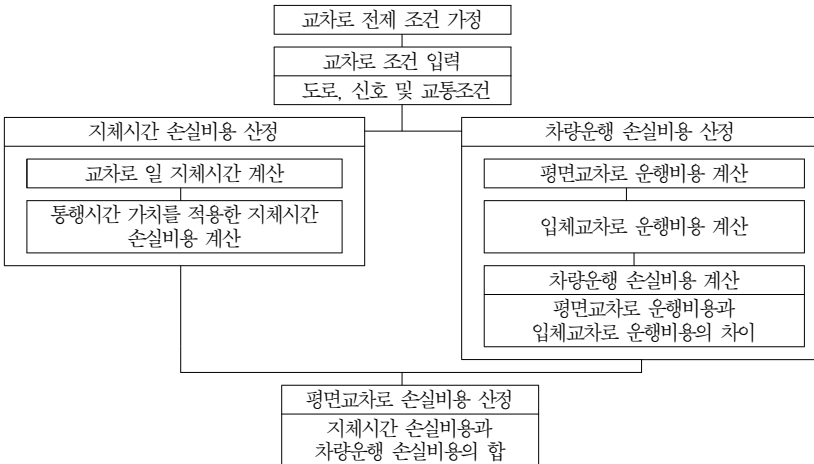
자료 : 구승완, 일반형 다이아몬드 교차로(CDI)와 변형 다이아몬드 교차로(SPUI)효율성 비교 연구, 서울산업대학교 석사논문, 2003.

II. 사례연구의 접근방법 및 전제

1. 사례연구의 접근방법 및 흐름

- 평면교차로 손실비용을 산정하기 위해 도로 조건, 신호 조건 및 교통 조건 등의 교차로의 전제 조건들을 가정함.
- 교차로 지체시간 손실비용 산정은 교차로 일 지체시간을 계산 후, 통행시간 가치를 적용하여 산정, 입체교차로의 지체 시간은 없는 것으로 전제함.
- 평면교차로에서 차량 평균 통행속도 운행비용과 입체교차로에서의 차량 평균 주행속도 운행비용을 구한 후 두 비용의 차이로 차량운행 손실비용 산정함.
- 최종적인 평면교차로 손실비용은 지체시간 손실비용과 차량운행 손실비용을 종합하여 산정함.

■ 사례연구의 전반적인 흐름도



2. 분석대상지역의 전제 조건

- 분석 대상구간은 양방 4차로 지방부 국도로 하고, 주도로의 교통량만을 고려해서 분석. 그 밖에 다른 전제 조건들은 아래와 같음.

도로 조건	<ul style="list-style-type: none"> •설계 속도 : 80km/h •양방향 모두 좌회전 전용 차로가 있음. 우회전은 직진 차로와 공용 •분석 구간 : 2km 가정 (교차로 전후 1km) 																	
신호 조건	<ul style="list-style-type: none"> •주기(C) : 120초 •직진 유효녹색시간비(g/C) : 0.62 (교통량에 따라 변할 수 있음) •교차로에는 횡단보도 및 보행신호 없음 																	
교통 조건	<ul style="list-style-type: none"> •일교통량 : 20,000(대/일) •설계시간계수(K) : 0.08* •중방향 계수(D) : 0.6* •첨두시간계수(PHF) : 0.95* •중차량비 : 30%(버스2%, 트럭28%)* •손실비용 주도로 직진 교통량만 고려 •방향별 교통량 비율** 																	
	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <th colspan="3">중방향</th> <th colspan="3">반대방향</th> </tr> <tr> <th>좌회전</th> <th>직진</th> <th>우회전</th> <th>좌회전</th> <th>직진</th> <th>우회전</th> </tr> <tr> <td>5%</td> <td>88%</td> <td>7%</td> <td>7%</td> <td>86%</td> <td>7%</td> </tr> </table>	중방향			반대방향			좌회전	직진	우회전	좌회전	직진	우회전	5%	88%	7%	7%	86%
중방향			반대방향															
좌회전	직진	우회전	좌회전	직진	우회전													
5%	88%	7%	7%	86%	7%													

주 : * 설계시간계수(K), 중방향계수(D), 첨두시간계수(PHF), 중차량비(HVR)는 국토상의 상시 조사 3개 지점의 값을 평균해서 구한 값

** 방향별교통량 비율은 아래 4개 과업의 현장 조사 값을 이용

자료 1 : 안양-성남간 민자고속도로 건설사업 교통분석보고서, (주)현대산업개발, 2005. 7.

자료 2 : 부산-거제간 연결도로 민간투자사업 교통영향평가, 지케이해상도로(주), 2003. 5.

자료 3 : 김천시 관내 국도대체우회도로(양천-월곡) 건설공사 교통영향평가(최종보고서), 부산지방국토관리청, 2003. 9.

자료 4 : 밀양시 관내 국도대체우회도로(연금-다죽1) 건설공사 교통영향평가, 부산지방국토관리청, 2003. 9.

III. 사례연구를 위한 산정방법고찰

1. 지체 손실비용 산정 방법

- 지체시간 손실비용은 도로용량편람에서 제시한 지체시간 계산식을 이용해서 차량군별 제로지체를 산정하고, 이를 기초로 일 지체시간 및 지체시간 손실비용을 산정 (지체비용은 주도로의 직진 교통량만으로 한정함)

$TTS = TT_{\text{평면교차로}} - TT_{\text{입체교차로}}$	<ul style="list-style-type: none"> • TTS : 지체시간손실비용(원/일) • $TT_{\text{평면교차로}}$: 평면교차로 지체시간손실비용(원/일) • $TT_{\text{입체교차로}}$: 입체교차로 지체시간손실비용(원/일)
$TT = \sum_{k=1}^3 (Td \times Pk)$	<ul style="list-style-type: none"> • TT : 지체시간손실비용(원/대 · 일) • Td : 주도로 일 지체시간 (시간/일) • Pk : 차종별 평균 통행시간 가치(원/대 · 시간) • k : 차종(1 : 승용차, 2 : 버스, 3 : 트럭)

- 차량 당 평균제어지체²⁾는 교차로 각 접근로의 차로군별로 계산

$d_i = [d_1(PF) + d_2 + d_3]$	<ul style="list-style-type: none"> • dI : i 차로군의 차량당 평균제어지체(초/대) • d_1 : 균일 제어지체(초/대) • PF : 신호연동에 의한 연동보정계수 • d_2 : 증분지체(초/대) • d_3 : 추가지체(초/대)
-------------------------------	--

- 각 접근로의 차로군별 차량 당 평균제어지체가 결정되면, 차로군별 제어지체를 교통량에 관한 가중평균 하여 접근로별 차량 당 평균제어지체를 산정

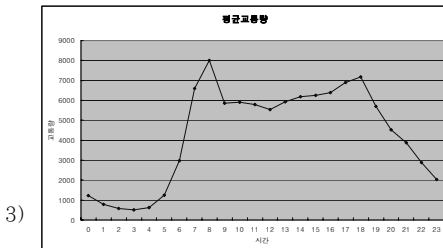
$d_A = \frac{\sum d_i V_i}{\sum V_i}$	<ul style="list-style-type: none"> • d_A : A 접근로의 차량당 평균제어지체(초/대) • d_i : A 접근로 i 차로군의 차량당 평균제어지체(초/대) • V_i : i 차로군의 보정교통량(vph)
---------------------------------------	--

■ 주도로 일 지체시간

- 접근로별 차량 당 평균제어지체와 주도로 직진 교통량을 곱한 후 합산 하여 주도로 일 지체시간 산정

$Td = \left(\sum_{A=1}^2 [dA \times VA] \right) \times 12 \text{시간}^3)$	<ul style="list-style-type: none"> • Td : 주도로 일 지체시간 (시간/일) • d_A : A 접근로의 차량당 평균제어지체(초/대) • VA : A 접근로의 교통량(대/시) • A : 방향(1 : 중방향, 2 : 반대방향)
--	---

- 2) 차량 당 평균제어지체란 신호교차로를 통과하기 위해 차량들이 교차로에 접근하면서부터 교차로를 벗어나 속도를 낼 때까지 걸린 추가적인 시간손실의 평균값임.
 자료 : 도로용량편람, 건설교통부, 2005의 신호교차로 분석편 참조.



※ 일 지체시간 산정을 위한 분석시간대는 국도의 상시조사 3개 지점의 주중시간대별 평균 교통량의 추이를 참조하여, 오전 7시부터 오후 19까지 12시간을 일일 분석시간으로 선정함.

■ 주도로 지체시간 손실비용⁴⁾

- 주도로 지체시간 손실비용은 주도로 일 지체 시간(Td)과 아래 표에 제시된 차종별 대당 평균 통행시간 가치를 곱해서 산정함.
- 트럭의 평균 통행시간 가치는 11,311원(2002년 기준) 사용함.
- 화물에 대한 통행시간 가치는 본 분석에서는 제외함.

$TT = Td \times Pk$	<ul style="list-style-type: none"> • TT : 주도로 지체시간 손실비용 (원/일) • Td : 주도로 일 지체시간 (시간/일) • Pk : 차종별 평균 통행시간 가치(원/대) • k : 차종(1 : 승용차, 2 : 버스, 3 : 트럭)
---------------------	---

〈표 1〉 승용차와 버스 대당 평균 통행시간 가치(2002년 기준)

구분	승용차		버스	
	업무	비업무	업무	비업무
재차 인원(인)	0.39	1.61	3.6	18.4
시간가치(원/인·시)	12,029	3,934	10,941(1인) 12,029(2.6인)	2,199
시간가치(원/대·시)	4,691	6,334	42,218	40,461
평균시간가치(원/대·시)	11,025		82,679	

자료 1 : 공공교통시설개발사업에 관한 투자평가지침, 건설교통부, 2004.

자료 2 : 도로철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정보완 연구(제4판), 한국개발연구원, 2004. 9

2. 차량운행 손실비용 산정 방법

- 통행 속도 감소로 인한 손실 비용은 교차로의 지체가 포함된 평균 통행속도 운행시 평면교차로와 주행속도로 운행할 경우 입체교차로의 차량 운행비를 각각 구해서 두 비용의 차이에 의해서 차량운행 손실비용을 산정
- 중차량의 차량 운행비는 버스는 대형버스의 값을 트럭은 중형트럭의 값을 적용

$VOCS = VOC_{\text{평면교차로}} - VOC_{\text{입체교차}}$	<ul style="list-style-type: none"> • VOCS : 차량운행손실비용(원/일) • $VOC_{\text{평면교차로}}$: 평면교차로 차량운행비용(원/일) • $VOC_{\text{입체교차로}}$: 입체교차로 차량운행비용(원/일)
$VOC = \sum_{k=1}^3 (Vk \times VTk)$	<ul style="list-style-type: none"> • VOC : 차량운행비용(원/일) • Vk : 차종별 교통량(대/일) • VTk : 차종 및 주행속도별 차량운행비용(원/km) • k : 차종(1 : 승용차, 2 : 버스, 3 : 트럭)

자료 1 : 공공교통시설개발사업에 관한 투자평가지침, 건설교통부, 2004.

자료 2 : 도로철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정보완 연구(제4판), 한국개발연구원, 2004. 9

4) 자료 1 : 공공교통시설개발사업에 관한 투자평가지침, 건설교통부, 2004.

자료 2 : 도로철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정보완 연구(제4판), 한국개발연구원, 2004. 9

3. 평면교차로 차량 운행비용 산정방법

- 차량 평균통행속도는 순행시간 및 교차로 접근지체를 이용해서 계산하고, 차량 운행비용은 교통량과 산정된 통행속도별 차량 운행비를 곱해서 산정

$$\text{평균통행속도} = \frac{3600 \times \text{구간길이}}{\text{km 당 순행시간} \times \text{구간길이} + \text{교차로총접근지체}}$$

자료 1 : 도로용량편람, 건설교통부, 2005.

〈표 2〉 차종 및 주행속도별 차량운행비용(2002년 기준) (단위 : 원/km)

주행속도(km/h)	승용차	소형버스	대형버스	소형트럭	중형트럭	대형트럭
10	226.7	257.12	728.07	204.49	279.79	560.43
20	183.49	205.81	613.32	164.20	233.67	469.32
30	160.19	170.83	489.28	137.74	207.73	388.19
40	139.63	149.32	399.78	122.18	187.19	328.97
50	127.46	131.65	351.03	117.94	180.97	298.23
60	121.52	124.13	323.03	116.66	178.64	293.91
70	117.93	118.49	309.35	120.34	184.30	294.19
80	113.12	113.72	297.06	134.14	199.88	305.54
90	111.98	113.07	285.79	136.12	204.65	340.71
100	113.04	112.93	283.52	148.436	219.98	370.08
110	115.47	115.29	289.22	-	-	-
120	119.79	119.30	-	-	-	-

자료 1 : 공공교통시설개발사업에 관한 투자평가지침, 건설교통부, 2004.

자료 2 : 도로철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정보완 연구(제4판), 한국개발연구원, 2004. 9

Ⅳ. 평면교차로 손실비용 산정

- 전제 조건에서 가정한 평면교차로를 대상으로 도로용량편람에 의해 주도로의 지체 시간을 산정하고 이를 토대로 손실비용을 산정

1. 접근로별 차량당 평균제어지체 산정

- 교차로에 진입하는 각 접근로의 이동류별 한시간 교통량, 차로이용률 계수 및 우회전 교통량 보정계수를 고려해서 보정교통량을 산정

- 회전 및 노변차로의 직진환산계수 산정 및 차로군 분류
- 산정된 차로군 교통량, 중차량 및 도로 조건들에 의해서 결정된 보정 계수를 적용하여 포화교통량을 산정. 포화교통량과 신호자료 등을 이용하여 교차로 각 접근로의 차로군별로 차량 당 평균제어지체를 계산
- 각 차로군별 차량 당 평균 제어지체를 교통량에 의한 가중평균하여 접근로별 차량 당 평균 제어지체를 산정하며, 세부적인 내용은 다음의 운영분석표 참고

〈표 3〉 지체시간 산정 분석표(예시)

1. 교통량 보정 및 차로군 분류						
교통량 보정	중방향			반대방향		
	LT	TH	RT	LT	TH	RT
교통량 $V_{(vph)}$	48	845	67	45	550	45
차로이용률계수	1.00			1.00		
RTOR 보정	0.5			0.5		
보정 교통량 $V_{(vph)}$	51	889	35	47	579	24
차로군 분류(O)	LT	TH	RT	LT	TH	RT
2. 포화교통량 계산						
접근로	중방향			반대방향		
이동류교통량 $V_{(vph)}$	51	889	35	47	579	24
차로군교통량 $V_{i(vph)}$	51	924		47	217	386
회전 직진환산계수 EL, ER	1.0 / 1.16			1.0 / 1.16		
회전교통량비 PL, PLT, PR, PRT	1.0 / 0.04			1.0 / 0.06		
회전보정계수 fLT, fRT	1.0 / 0.994			1.0 / 0.990		
차로폭 보정계수 f_w	1.0			1.0		
경사 보정계수 f_g	1.0			1.0		
중차량 보정계수 fHV	0.81			0.81		
포화교통량 S_i	1,782	3,543		1,782	1,782	1,764
3. 각 차로군별 평균 제어지체시간 계산						
접근로	중방향			반대방향		
균일지체, d_1	47.5	11.5		47.4	9.7	10.9
중분지체, d_2	2.5	0.6		2.2	0.4	0.9
추가지체, d_3	0			0		
순행시간, T_c	45			45		
오피셋 편의율, TVO	0			0		
연동계수, PF	1.0	1.0		1.0	1.0	1.0
평균제어지체, d_i	50.0	12.1		49.6	10.1	11.8
차로군 서비스 수준	C	A		C	A	A
4. 각 접근로별 차량당 평균 제어지체시간 계산						
접근로 지체, d_A	14.1			14.0		
접근로 서비스 수준	A			A		

자료 1 : 도로용량편람, 건설교통부, 2005.

2. 지체시간 손실비용 산정

- 입체교차로는 지체시간이 없는 것으로 보고, 평면교차로의 지체시간 비용만을 산정하여 이를 평면교차로 손실비용으로 간주함
- 방향별 교통량, 지체시간 및 지체시간 손실비용은 다음과 같음

구분		교통량 (대/시)		지체시간 (초/대)	일 지체시간 (시간/일)	지체시간 손실비용 (원/일)		합 계 (원/일)
중방향	승용차	591	845	14.1	27.8	306,428	498,123	826,517
	버스	18				66,143		
	트럭	236				125,552		
반대 방향	승용차	384	550	14.0	17.9	197,348		
	버스	12				49,607	328,394	
	트럭	154				81,439		

3. 차량 운행손실비용 산정

- 전제 조건에서 가정한 평면교차로 조건(교통량 20,000(대/일), 중차량비 0.3)들에 의해서 차량 운행 손실비용을 산정

■ 차량 평균통행속도 산정

- 승용차와 버스의 주행속도는 80km/h, 트럭의 주행속도는 60km/h로 설정
- 입체교차로에서의 차량 평균통행속도는 승용차와 버스는 80km/h, 트럭은 60km/h를 그대로 적용
- 평면교차로는 위에서 설정한 주행속도와 (식 2-9)를 이용하여 평균통행 속도를 계산하면 다음과 같음

구분		교통량 (대/시)		지체시간 (초/대)	평균통행속도(km/h)
중방향	승용차	591	845	14.1	69.2
	버스	18			69.2
	트럭	236			53.7
반대방향	승용차	384	550	14.0	69.2
	버스	12			69.2
	트럭	154			53.7

4. 평면교차로 차량 운행 손실 비용

- 차량 평균통행속도와 앞에서 제시된 속도별 차량운행비용을 이용해서 입체 교차로와 평면교차로의 운행비용을 계산 후 두 비용의 차이를 차량 운행 손실 비용으로 산정

구분	교통량(대/시)		평면교차로 차량운행비용 (원/일)	입체교차로 차량운행비용 (원/일)	평면교차로 차량운행손실비용 (원/일)
	중방향	반대방향			
승용차	591	384	2,722,618	2,651,460	121,158
버 스	18	12	218,491	208,887	9,604
트 릭	236	154	1,681,962	1,668,901	13,061
합 계	845	550	4,673,071	4,529,248	143,823

5. 평면교차로 손실 비용

- 평면교차로의 손실비용은 지체시간 손실비용과 속도차에 의해 발생하는 운행 손실비용의 합으로 산정
- 교통량에 따른 평면교차로의 총 손실 비용을 살펴보면 교통량이 35,000(대/일)이상이면 손실비용이 크게 증가함을 알 수 있음.

교통량(AADT)	지체시간 비용(원/일)	운행손실비용(원/일)	총 손실 비용(원/일)
10,000	390,000	70,000	460,000
15,000	600,000	100,000	700,000
20,000	820,000	140,000	960,000
25,000	1,390,000	250,000	1,640,000
30,000	2,240,000	330,000	2,570,000
35,000	3,490,000	420,000	3,910,000
40,000	5,060,000	540,000	5,600,000
45,000	7,010,000	680,000	7,690,000
50,000	9,650,000	820,000	10,470,000

주 1 : 만원미만 절삭한 결과임.

V. 결론

- 평면 교차로의 손실비용을 산정해본 결과 교통량이 25,000(대/일) 및 중차량비가 0.3(30%)일 경우에는 1,640,000(원/일) 임. 이를 월 손실비용(20일 기준)으로 산정하면 32,800,000(원/월)이고, 연간 손실비용(240일 기준)으로 산정해보면 대략 3.9억 원임을 알 수 있음.
- 교통량과 중차량 비율에 따른 평면교차로 손실비용을 살펴보면 중차량 비율이 증가함에 따라 손실비용이 증가함을 알 수 있고, 교통량이 35,000(대/일)이상이면 손실비용이 급격히 증가하는 것을 알 수 있음.
- 본 사례연구를 바탕으로 제한적이지만 지체에 대한 상대적인 손실비용을 산정할 수 있었으며, 향후 교통사고, 환경, 도로운전자의 개별적인 비용을 합산한다면 더욱 증가할 것으로 판단됨.

〈표 4〉 중차량비와 교통량 변화에 따른 손실비용 비용 (단위 : 원/일)

교통량 중차량비	10,000	15,000	20,000	25,000	30,000	35,000	40,000	45,000	50,000
10%	290,000	370,000	520,000	870,000	1,280,000	1,930,000	2,990,000	3,650,000	4,520,000
20%	320,000	490,000	690,000	1,210,000	1,620,000	2,520,000	3,920,000	5,140,000	6,590,000
30%	460,000	700,000	960,000	1,640,000	2,570,000	3,910,000	5,600,000	7,690,000	10,470,000
40%	710,000	1,290,000	1,780,000	2,480,000	3,380,000	4,580,000	6,870,000	9,140,000	13,270,000
50%	1,250,000	1,730,000	2,360,000	3,020,000	4,110,000	5,270,000	7,960,000	11,543,000	17,880,000

주 : 교통량은 대/일이며, 중간단위의 경우 보간법을 적용할 수 있음.

참고문헌

1. 건설교통부(2004), “공공교통시설개발사업에 관한 투자평가지침”.
2. 구승완(2003), “일반형 다이아몬드 교차로(CDI)와 변형 다이아몬드 교차로(SPUI)효율성 비교 연구, 서울산업대학교 석사논문”.
3. 도로용량편람(2005), “건설교통부”.
4. 부산지방국토관리청(2003), “김천시 관내 국도대체우회도로(양천-월곡) 건설공사 교통영향평가(최종보고서)”.
5. 부산지방국토관리청(2003), “밀양시 관내 국도대체우회도로(연금-다죽1) 건설공사 교통영향평가”.
6. 지케이해상도로(주)(2003), “부산-거제간 연결도로 민간투자사업 교

통영항평가”.

7. 한국개발연구원(2004), “도로철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정보완 연구(제4판)”.
8. (주)현대산업개발,(2005). 안양-성남간 민자고속도로 건설사업 교통 분석보고서”.
9. TRB National Research Council(2000), “Highway Capacity Manual”.



김태호



이기영