

입체교차로 형식 선정 알고리즘 개발

Development Algorithm of Selection Interchange Types

김성민* · 최재성** · 김상엽***

Kim, Seong Min · Choi, Jai Sung · Kim, Sang Youp

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 교통사고의 약 60%는 교차로에서 발생되고 있으며 교통정체의 대부분은 교차로 전방에서 일어나고 있다. 이러한 교차로의 문제를 교차로 자체만의 문제로 파악하는 경우가 많으나 그 파급효과는 해당도로뿐만 아니라 연계 노선 전체에 커다란 영향을 미치게 되므로 그 계획과 설계 및 운영에 특히 유의 하여야 한다. 일반적으로 교차로는 평면교차로와 입체교차로로 구분되는데, 특히 평면교차로는 이러한 문제에 더욱 쉽게 노출되어 있으며 때로는 교차로의 기능을 적절히 수행해 내지 못하기도 한다. 이러한 평면교차로의 한계를 극복하기 위한 여러 가지 대책 중 입체교차로 연구의 중요성이 대두되고 있다. 이는 입체교차로로 인해 용량이 증가하고, 안전성이 높아지며 교통이 원활해지는 교차로의 효율성이 최대의 능력으로 발휘될 수 있기 때문이다.

현재 국내 입체교차로의 관련 기준은 각 요소에 대한 설계지침을 제시하고 있지만 현장여건(도로선형, 교통량)과 교통안전, 경제성을 연계하여 입체교차로 형식을 선정할 수 있는 방법이 상세히 제시되어 있지 않다. 또한 구체적인 입체교차로 형식의 적용성에 대한 지침제시가 아닌 입체교차로의 일반적인 설계 지침만 제시하고 있어, 다양한 유형의 입체교차로를 설계 및 선정하는데 어려움이 따른다. 더욱이 교차로 설계원리와 기법이 주로 선진국의 경험과 기준을 따른 것으로, 국내 도로 및 교통여건에 맞는지에 대한 검증이 부족하고, 국내 설계 기술과 경험을 반영하지 못하고 있다. 특히, 입체교차로를 설계하는데 있어 형식 선정 과정이 가장 중요하지만 제시된 기준만으로 형식을 결정하기는 한계가 있어 설계자의 주관적인 판단에 의존해야 한다는 문제점이 있다. 이에 설계자들에게 입체교차로 형식을 결정하는데 있어 구체적이고 현실적인 형식을 제시해야 할 필요성이 있다.

따라서 본 연구에서는 우리나라에서 설계된 입체교차로의 형식을 조사하여 정형화된 기본형식을 제시하여 입체교차로 형식을 선정하는 과정에서 설계자가 받는 혼란을 최소화 하고자 한다. 그리고 더 나아가 입체교차로 연결로 별 비용 항목과 편익 항목을 구체화하여 최적 유형을 탐색하는 기법을 정립하였다. 이를 통하여 입체교차로 형식 선정 과정에서 합리적인 형식비교를 통해 향후 실무에서 객관적인 입체교차로 형식 선정에 방향을 제시하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

1.2.1 연구의 범위

본 연구의 공간적 범위는 우리나라 고속도로 입체교차로 218개와 국도 입체교차로 515개를 대상으로 한다. 본 연구의 내용적 범위는 입체교차로의 비용을 고려한 최적의 입체교차로 형식을 결정하는 방법론을 제시하

* 서울시립대학교 교통공학과 석사과정 · 공학사 · 010-9908-7261(E-mail: mj10105@uos.ac.kr)

** 서울시립대학교 교통공학과 교 수 · 공학박사 · 010-2361-8110(E-mail: traffic@uos.ac.kr)

*** 서울시립대학교 교통공학과 박사과정 · 공학석사 · 010-3251-4302(E-mail: road@uos.ac.kr)

였다. 먼저 국내외 관련 문헌을 고찰하여 기존 입체교차로의 형식 결정 기준 및 평가 방법론을 검토하였고, 국내외 다양한 입체교차로 형식을 조사하여 정형화 하였다. 그리고 교차로 형식 선정 고려 요소를 비용측면에서 검토하고, 연결로 별 교차로 형식을 행렬화 하여 총 비용을 최소화하는 입체교차로 형식 선정 방법론을 제시하였다.

1.2.2 연구의 방법

본 연구에서는 입체교차로 유형을 객관적으로 결정하여 입력조건이 같다면 항상 일정한 유형을 찾아내는 형식 선정 알고리즘을 개발하였다. 이를 위한 본 연구의 방법은 다음과 같다.

첫째, 관련문헌 검토를 통해 국내 입체교차로 형식 선정 기준 상의 문제점을 도출한다.

둘째, 국내 입체교차로 현황을 조사하여 정형화된 입체교차로 기본형식을 선정한다.

셋째, 기존 연구방법 및 기준을 바탕으로 입체교차로 기본형식을 1차 분류한다.

넷째, 연결로 형식을 numbering하여 입체교차로 형식을 2차 분류한다.

다섯째, 입체교차로 설계 시 비용측면을 검토하며 각 연결로 형태별 비용을 추정하여 총 비용이 최소화되는 입체교차로 형식을 선정하는 방법론을 정립한다.

2. 기존 문헌 고찰

2.1 입체교차로 설계기준 관련 문헌 고찰

우리나라의 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침(2000)에서는 4차로 이상의 도로가 상호 교차 시 입체교차, 자동차 전용도로와 다른 도로 교차 시 입체교차, 불완전 출입하는 도로와 다른 도로와의 교차는 입체교차가 원칙으로 제시되어 있다. 또한 교차하는 도로 상호의 교통량 조합이 신호교차점의 용량 이상인 경우 입체교차를 계획하는 것으로 기준이 명시되어 있다.

미국의 AASHTO(2004)에서는 교차로 종류별 사용되는 영역은 있지만 한계는 정확하게 정의되지 않았다. 입체교차로 계획시 고려사항으로 교통 및 운행, 현장조건, 도로 유형 및 교차시설, 안전성, 단계건설, 경제적 요소를 언급하였다. 경제적 요소로는 초기비용, 유지비용, 차량 운행비용 등으로 입체교차로 설계 시 고려할 요소로 제시하였다.

일본의 도로구조령의 해설과 운용(2004)에서는 완전 출입 제한하는 제1종의 고속도로와는 입체교차, 불완전 출입 제한하는 제1종 도로와 다른 도로와의 교차는 입체교차가 원칙, 제2종 도로와의 교차는 모두 입체교차, 4차로 이상의 도로 교차는 입체교차 하는것으로 기준이 제시되어 있다. 그리고 우리나라와 마찬가지로 신호 처리에 의하여 용량이 초과하는 경우 입체교차하는 것으로 명시되어 있다.

독일의 RAL-K-2(1976)에서는 고속도로 상호 간 그리고 하급 도로망이 있는 고속도로들의 연결지점에 입체교차하고 평면교차점들이 없는 동급 도로에 입체교차 구간으로 기준되어 있다.

2.2 입체교차로 형식 관련 문헌 고찰

현재 입체교차로 형식 결정 과정에서 참고 가능한 기준서로는 예비타당성조사지침, 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침(이하 도로구조령), 입체교차로 설계 지침 등이 있지만 예비타당성조사지침의 교통준 기반의 거시적 수요예측모형은 입체교차로 형식에 따른 수요분석에 적절하지 않기 때문에 경제성 분석을 통해 입체교차로 형식을 결정하는 것은 부적절하다.

도로구조령 및 입체교차로 설계 지침에서는 입체교차로 형식 선정 과정을 제시하였으나 개략적인 기본개념만을 표현한 것으로 실무에서 적용하기가 어렵다. 또한 네갈래 교차로에 대해 164개 기본 형식을 언급하고 있으나, 제시된 기준만으로 입체교차로의 형식을 결정하기에 뚜렷한 기준이 없으며 단순히 164개 형식만을 제시하고 있어 다분히 설계자의 주관적 판단에 의존해야 한다.

이의은, 이재용(2006)은 상대지체를 기준으로 최적 형식을 선정하는 방법론을 제시하고 있으나, 이는 도시간선도로 및 서비스 입체교차로 형식 결정에 적합하다고 판단된다.

Garber(1999)는 전문가 설문 및 사고, 운영성 분석을 통해 몇 가지 가이드 라인을 제시하였으나 다이아몬

드형, SPUI형, 트럼펫형, 클로버형, 변형클로버형, 직결형 등 총 6개의 기본형식만을 고려하여 변형된 입체교차로 형식을 다양하게 고려하지 못하는 한계가 있다.

3. 자료 수집 및 분석

실제 현실에서 적용되는 형식을 선정하기 위해 아래 표 1.과 같이 실제 현실에서 적용되는 형식을 선정하기 위해 고속도로 218개소, 국도 515개소의 입체교차로 설치 현황을 조사하였다.

표 1. 교차로 유형별 자료수집

도로 구분	고속도로	국도	합계
세갈래	170	87	257
네갈래	48	428	476
합계	218	515	733

그리고 「입체교차로 설계지침 연구」에서 조사한 자료를 토대로 우리나라에 설치되어있는 유형을 아래의 표 2.에 총 10개로 통합·정리하였다. 크게 세갈래 교차로와 네갈래 교차로로 나뉘며 세부적으로 완전입체교차와 불완전입체교차로 구분하였다.

표 2. 입체교차로 기본형식 선정 결과

순번	형식	국도	고속도로	합계	비율 (%)	순번	형식	국도	고속도로	합계	비율 (%)
A-1		30	1	31	4.2	B-3		5	20	25	0.4
A-2		2	9	11	1.5	B-4		0	49	49	0.8
A-3		55	111	166	29.3	B-5		90	13	103	14.1
B-1		294	7	301	41.7	B-6		9	3	12	1.0
B-2		0	5	5	2.2	B-7		30	0	30	2.0

4. 입체교차로 형식선정 방법론

4.1 입체교차로 형식 1차 분류

제 2장에서 살펴본 입체교차로 설계지침에서는 교차로의 용량을 기준으로 교차로의 입체화 여부를 고려하였고, 그밖에 관련문헌에서는 교통량과 도로등급 등을 변수로 입체교차로의 형식을 개략적으로 분류하였다. 본 연구에서는 기존 연구를 최대한 반영하고 객관적인 변수들을 추가 반영하여 입체교차로의 기본형식을 1차적으로 구분짓는 알고리즘을 개발하였다. 먼저 설계될 교차로의 유형과 도로등급, 요금소의 존재 및 지역 특성, 방향별 교통량 등 그림 1.과 같은 기초 입력변수를 설정하였다.

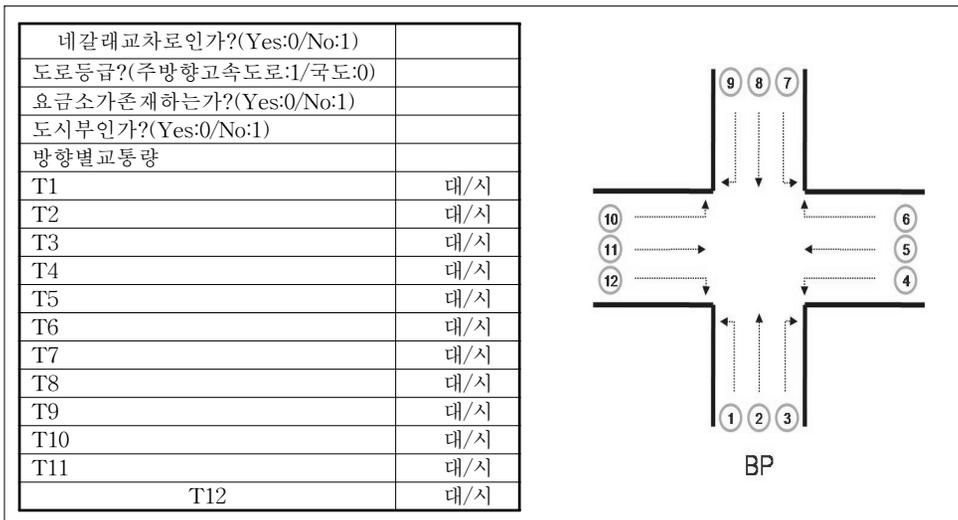


그림 1. 입체교차로 형식 선정 검토 순서도

다음으로 입체교차로 형식을 세부적으로 분류하기 위해서 표 3.과 같이 주방향 교통량과 부방향 교통량, 좌회전 교통량비, 입체교차로 기준 교통량, 부방향 교통량 비를 설정하였다.

표 3. 교차로형식 구분을 위한 계산

구분	단위	산정식
주방향 교통량(MT)	대/시	$T1 + T2 + T3 + T7 + T8 + T9$
부방향 교통량(mT)	대/시	$T4 + T5 + T6 + T10 + T11 + T12$
좌회전 교통량비(L)	%	$\frac{T1 + T7}{MT} \times 100$
입체교차로 기준교통량(ST)	대/시	$\frac{L - 96.46}{-0.03288}$
부방향 교통량 비	%	$\frac{mT}{MT + mT} \times 100$

먼저 도로등급으로 고속도로와 국도의 입체교차로 형식을 구분하였다. 고속도로의 경우 부도로나 고속도로이거나 국도일 경우에도 지침에 의하면 교차로를 입체화해야하므로 입체교차로 형식만 분류하였고, 국도의 경우 평면교차와 단순입체교차의 경우도 동시에 고려하여 교차로형식을 구분하였다. 그리고 요금소의 유무와 교차로유형에 따라 각 형식을 분류하였고, 주방향의 교통량*에 따라 형식을 선정하는 그림 2와 같은 알고리즘을 개발하였다.

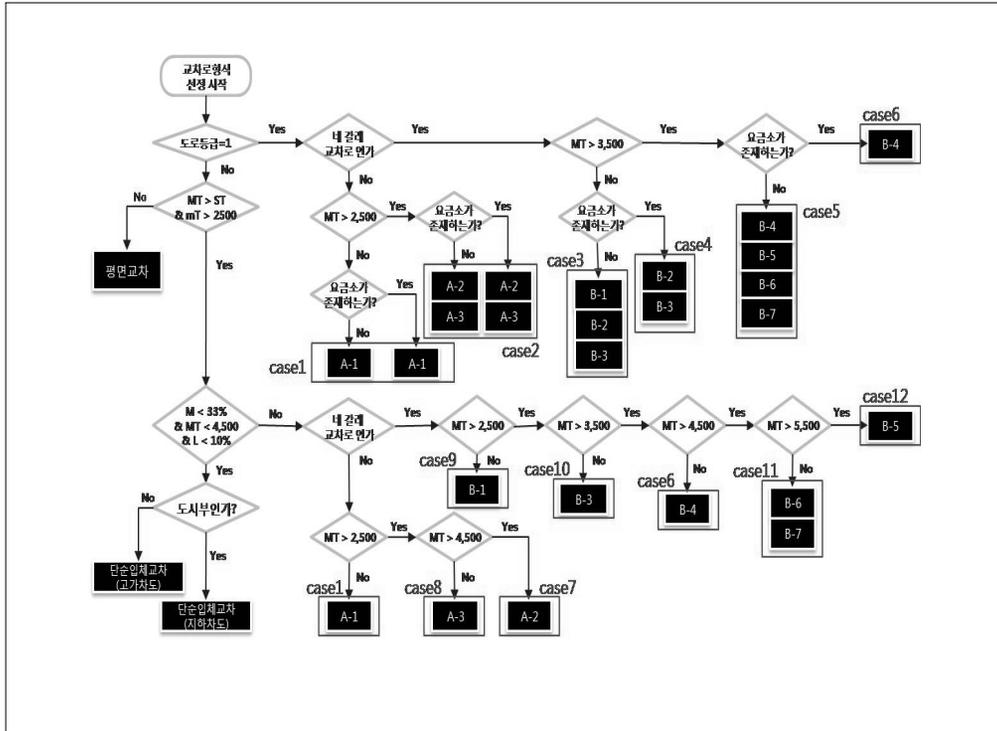


그림 2. 교차로형식 선정 1차 알고리즘

4.2 입체교차로 형식 2차 분류

입체교차로의 기본형식이 1차 분류에 의해 결정되지만, 그림 3.의 A-1형식만 보더라도 연결로 위치에 따라 다양한 교차로 형식이 존재하게 된다. 또한 두 개 이상의 기본형식이 존재하는 경우도 존재하므로 본 연구에서는 입체교차로의 비용을 추정하여 최소 비용의 입체교차로 형식을 선정하는 방법을 개발하고자 한다. 본 연구에서는 입체교차로의 비용을 추정하기 위한 방법으로 연결로 형식을 바탕으로 입체교차로 형식을 행렬화하여 총 비용을 산출하였다.

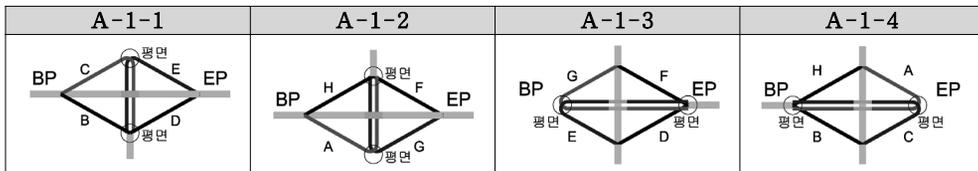


그림 3. A-1 세부 형식

표 4.에서처럼 연결로의 형식은 크게 우회전 및 좌회전 연결로로 구분되며, 우회전 연결로는 본선 차도의 우측에서 유출하여 교차 도로 우측으로 유입하는 우직결 연결로가 기본형식이다. 좌회전 연결로의 경우에는 준직결 연결로, 좌직결 연결로, 루프 연결로로 구분되며, 준직결 연결로는 본선 차도의 우측에서 유출하여 교차로 우측으로 유입하는 형식이다. 좌직결 연결로는 본선 차도의 좌측에서 직접 유출하여 교차도로의 좌측차선에서 유입하는 형식이고, 루프 연결로는 본선 차도의 우측에서 유출한 후 약 270° 우회전하여 교차도로 우측에 유입하는 형태이다. 연결로의 형태는 1방향에 총 6개 형태의 연결로가 존재하며 각각의 연결로마다 비

* 한국건설기술연구원(2005), 입체교차로 설계 지침 연구보고서, p.133~155

용의 차이가 발생한다. 6개의 연결로는 네갈래 교차로의 경우 24개의 연결로 형식이 존재하게 되고, 세갈래 교차로의 경우 18개의 연결로 형식이 존재하며 본 연구에서는 표 4와 같이 연결로를 numbering하여 행렬화 하였다.

표 4. 연결로 형식 및 연결로 numbering

우회전	좌회전				
우직결 연결로	준직결 연결로		좌직결 연결로		루프 연결로
RC	SS	SD	DD	DS	L
No. 01 (RC)	No. 02 (SS)	No. 03 (SD)	No. 04 (DD)	No. 05 (DS)	No. 06 (L)
No. 07 (RC)	No. 08 (SS)	No. 09 (SD)	No. 10 (DD)	No. 11 (DS)	No. 12 (L)
No. 13 (RC)	No. 14 (SS)	No. 15 (SD)	No. 16 (DD)	No. 17 (DS)	No. 18 (L)
No. 19 (RC)	No. 20 (SS)	No. 21 (SD)	No. 22 (DD)	No. 23 (DS)	No. 24 (L)

입체교차로의 행렬화는 그림 4와 같이 연결로 numbering을 이용하여 이루어진다.

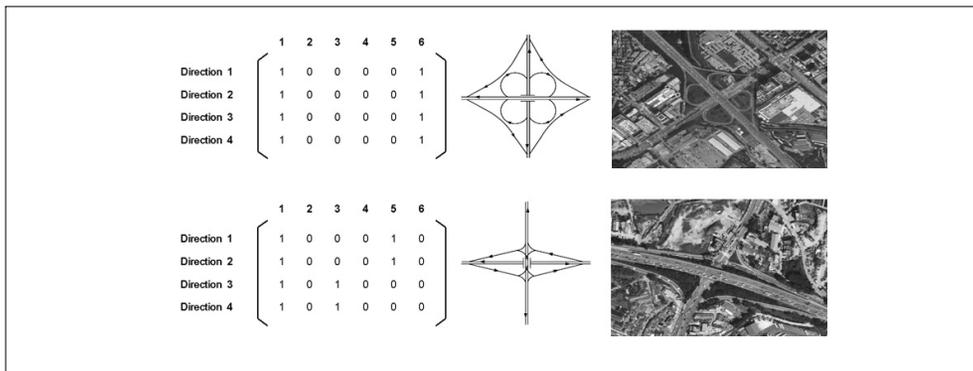


그림 4. 입체교차로 행렬화 예시

4.3 입체교차로 형식별 비용 추정 방법론

앞선 방법을 통하여 입체교차로의 형식이 분류되었다면 입체교차로 형식별 비용을 추정하여 최적의 대안을 선정하여야 한다. 본 연구에서는 행렬화된 형식에 연결로 별 통행시간비용, 차량운행비용, 대기오염비용, 공사비, 용지보상비 등을 추정하여 총 비용이 최소화되는 입체교차로 형식을 선정하는 방법론을 제시하였다. 식 (1)은 연결로 j가 입체교차로 i에 배치되었을 경우의 총 비용(목적함수 Z)을 산출하는 방법을 표현한 식이다.

$$Min Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (C_{ij}A_{ij}) \tag{1}$$

$$s.t \sum_{j=1}^m A_{ij}X_j \geq 1$$

여기서, $A_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{if 연결로 } i \text{가 입체교차로 } j \text{에 설치되면} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$

$X_j = \begin{cases} 1, & \text{if 입체교차로 } j \text{가 배치되면} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$

C_{ij} : 연결로 j가 입체교차로 i에 배치됨에 따른 비용

입체교차로의 형식평가 요인으로 교통용량, 안전성, 편리성, 속도, 주행거리, 종단경사 등의 편익요인적 측면과 공사비, 용지보상비, 용지면적, 용지비, 관리비 등의 비용요인적 측면이 있다. 본 연구에서는 안전성 등 계량화가 어려운 항목들을 제외하고, 일반적으로 예비타당성조사*에서 편익을 계산하기 위한 평가 항목인 통행시간비용, 차량운행비용, 환경비용** 등의 사회적 간접비용과 토공공사비, 교량공사비, 용지보상비 등의 입체교차로 설치에 직접적인 연결로 공사비용을 고려요소로 결정하였다.

▪ 통행시간 비용

$$VOT = \left\{ \sum_{k=1}^3 (T_{kl} \times P_k \times Q_{kl}) \right\} \times 365 \tag{2}$$

여기서, T_{kl} = 링크 l의 차종별 통행시간

P_k = 차종별 시간가치

Q_{kl} = 링크 l의 차종별 통행량

k = 차종 (1: 승용차, 2: 버스, 3: 화물차)

각 연결로 별 통행시간 비용을 산출하려면 연결로 교통량, 통행시간, 시간가치가 필요하다. 연결로의 교통량은 1차알고리즘의 입력변수를 활용하여 계산이 가능하며 통행시간은 vdf를 계산하는데 활용되는 BPR함수***를 적용하여 다음 식(3)을 적용하여 산출이 가능하다. 끝으로 통행시간 가치는 승용차 통행시간가치 14,990원****을 적용하며 이 값은 입체교차로 설치권역과 기준년도에 따라 변동된다.

$$T = (L/1000/40) \times 60 \times (1 + 0.5 \times V/1600)^2 \tag{3}$$

여기서, T : 통행시간(분)

L : 연결로의 연장(m)

V : 교통량(대/시)

* 한국개발연구원(2008), 도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구 제5판, p.289~291

** 입체교차로의 사고비용은 기존연구 및 자료 부족으로 본 연구에서 제외하였음.

*** 한국개발연구원(2008), 도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구 제5판, p.264

**** 한국개발연구원(2008), 도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구 제5판, p.313~315

• 차량운행 비용

$$VOC = \left\{ \sum_l \sum_{k=1}^3 (D_{kl} \times VT_k) \right\} \times 365 \quad (4)$$

여기서, D_{kl} = 링크별(l), 차종별(k)대 · km

VT_k = 차종별(k) 해당 링크 주행속도의 km 당 차량운행비용

k = 차종(1: 승용차, 2: 버스, 3: 화물차)

각 연결로 별 차량운행 비용을 산출하려면 연결로 교통량, km 당 차량운행비용이 필요하다. 통행시간비용 추정과 마찬가지로 연결로의 교통량은 1차알고리즘의 입력변수를 활용하여 계산이 가능하고, km 당 차량운행비용은 예비타당성조사지침에서 제시된 차량운행비용을 이용한 회귀모형으로 산출하였고, 회귀모형식은 식(5)와 같다.

$$VT = 367.5 + 0.026 \times u^2 - 4.777 \times u \quad (5)$$

VT : km 당 차량운행비용(원)

u : 연결로 설계속도(km/h)

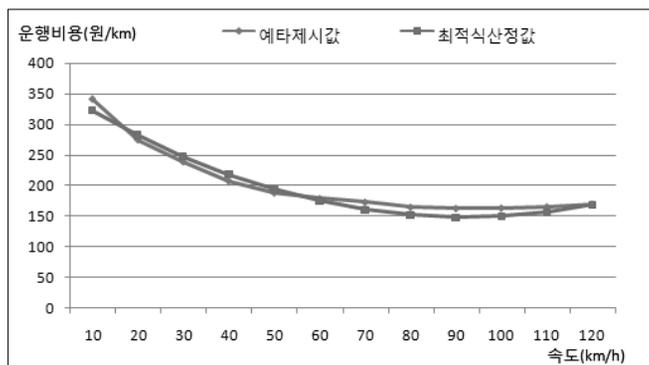


그림 5. km 당 차량운행비용 추정 모형식

• 대기오염 비용

$$VOPC = \left\{ \sum_l \sum_{k=1}^3 (D_{kl} \times VT_k) \right\} \times 365 \quad (6)$$

여기서, D_{kl} = 링크별(l), 차종별(k)대 · km

VT_k = 차종별(k) 해당 링크 주행속도의 km 당 대기오염비용

k = 차종(1: 승용차, 2: 버스, 3: 화물차)

비용항목 중 환경비용은 대기오염비용과 소음비용으로 구분되며, 본 연구에서는 입체교차로에서 소음비용 산출은 무의미한 것으로 판단하여 제외하고 대기오염비용 산출방법론에 관하여 제시한다. 각 연결로 별 대기오염비용을 산출하려면 연결로 km 당 교통량, km 당 대기오염비용이 필요하다. 연결로의 교통량은 초기입력변수를 활용하여 계산이 가능하고, km 당 차량운행비용은 예비타당성조사지침에서 제시된 대기오염비용을 이용한 회귀모형 식(7)을 이용하여 산출한다.

$$VT = 506.8 \times u^{-0.89} \tag{7}$$

VT : km당 대기오염비용(원)

u : 연결로 설계속도(km/h)

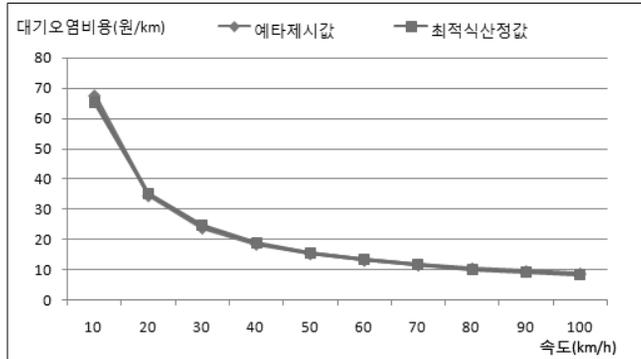


그림 6. km당 대기오염비용 추정 모형식

• 공사비

공사비 산정에 앞서 입체교차로에서 교차하는 도로의 높이차와 도로의 교각을 고려하고, 방향별 교통량과 단위면적당 단가를 고려하여 연결로별 공사비 추정에 필요한 기초자료를 구축하여야 한다. 입체교차로 설계 시 토공공사비, 교량공사비, 용지보상비 등을 고려할 수 있고, 토공공사비를 산정하기 위해서 각 연결로 별로 단위 거리별 단가와 연장이 필요하다. 토공공사비는 식(8)로 표현할 수 있다.

$$EPC = \sum (L_i \times UC_i) \tag{8}$$

여기서, EPC=입체교차로 토공공사비

L_i =연결로 별 연장 (m)

UC_i =연결로 별 m당 단가

교량공사비를 산출하기 위해서는 교량설치면적과 단가가 필요하고, 교량설치면적은 교량설치연장과 폭원으로 계산이 가능하다. 입체교차로에서 교량공사비는 식(9)와 같다.

$$BPC = \sum (L_i \times W \times UC_i) \tag{9}$$

여기서, BPC=입체교차로 교량공사비

L_i =연결로 별 연장 (m) W =교량설치폭원 (m)

UC_i =연결로 별 m당 단가

5. 결론 및 향후연구 과제

본 연구에서는 우리나라에서 설계된 입체교차로의 형식을 정리하였고, 정형화된 형식 10개를 제시하였다. 또한 기존 입체교차로 형식선정 방법을 토대로 기본형식을 선정하는 알고리즘을 개발했으며, 연결로 별 비용

추정과 행렬화를 이용해 총 비용을 산정하는 방법을 개발하였다. 그리고 각 비용의 추정방법 및 연결로 차로 수에 관하여 검토하였고, 사례분석을 통한 입체교차로 형식선정 방법론을 적용함으로써 본 연구의 효과를 분석하였다.

차량운행비용, 통행시간비용, 대기오염비용, 토공공사비, 교량공사비 등 연결로의 비용요소들을 검토하였으나, 입체교차로에서 사고비용과 소음비용에 대한 사전연구가 미흡하여 향후 연구가 필요하다. 그럼에도 불구하고 본 연구에서 제시한 입체교차로 형식선정 방법론은 실제 설계자들이 입체교차로 형식을 선정하는 과정에서 참고할 만하며, 향후 입체교차로 형식 선정 기준을 확립하는데 매우 유용한 연구결과가 될 것이다.

감사의 글

이 성과는 건설교통부 건설핵심기술연구사업 친환경·지능형 도로설계 기술개발 연구단 과제의 연구결과와 일부입니다. 연구지원에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 건설교통부 (2000), “도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침”, 건설교통부
2. 건설교통부 (2005), “입체교차로 설계 지침”, 건설교통부
3. 한국개발연구원 (2008), “도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구 (제5판)”
4. 한국건설기술연구원 (2005), “입체교차로 설계 지침 연구보고서”, 건설교통부
5. 일본도로협회(2004), “도로구조령의 해설과 운용”
6. FGSV(1974), “지방부 도로 설비 규정(RAL-K-2)”
7. 이의은, 이재용 (2006), “도시간선도로에서의 인터체인지 성능 비교 연구”, 대한교통학회지, 제24권 3호, p.51-p61.
8. 최제성, 유제상 (2008), “Set Covering Theory를 활용한 인터체인지 형식 결정 방법론 개발”, 대한교통학회 제59회 학술발표대회, p.784-p792.
9. ASSHTO(2004), A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, Washington, D.C.
10. Nicholas J. Garber (1999), “Guidelines for preliminary selection of the optimum interchange type for a specific location”, Virginia Transportation Research Council
11. Rubalcaba, R. R (2005), “Fractional Domination, Fractional Packings, and Fractional Isomorphisms of Graphs.”, Ph.D. dissertation. Auburn, Alabama: Auburn University.