

Set Covering Model을 이용한 입체교차로 형식 결정 방법론 개발

Development of Method for Determination of the Interchange Type

최재성* · 김상엽** · 민경찬*** · 최현호**** · 이재호***** · 김현수*****

Choi, Jaisung · Kim, Sangyoup · Min, Kyung Chan · Choi, Hyunho · Lee, Jaeho · Kim, Hyunsoo

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

입체교차로는 고속도로 등 고규격 출입제한 도로의 접근성을 위한 연결로들로 구성되는 도로의 부분으로 도로 구간 중 가장 복잡한 형태이며, 서비스 및 안전성, 경제성 측면에서 매우 중요한 시설이다. 이러한 입체교차로는 단순 입체교차, 다이아몬드형, 트럼펫형, 클로버형, 직결형 등의 여러 가지 형식이 있고, 형식의 결정에는 설계속도, 교통수요, 안전성, 경제성 등의 요소들이 영향을 준다.

현재 “도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침”, “입체교차로 설계 지침”에서는 네갈레 교차로에 대해 164개 기본 형식을 언급하고 있으나, 제시된 기준만으로 인터체인지 형식을 결정하기 어렵기 때문에 설계자의 주관적 판단에 의존해야 하는 문제점이 있다. 그리고 언급된 164개의 입체교차로 기본형식이 실제 우리나라에서 적용되는 형식이 몇 개나 존재하는지 의문을 가질 수 있으며, 실제 설계자에게 입체교차로 형식을 결정하는데 있어 현실적인 형식을 제시해야 할 필요성이 있다.

따라서 본 연구에서는 우리나라에서 설계된 입체교차로의 형식을 조사·정리하고 정형화된 형식을 제시하므로 현실적으로 입체교차로 형식을 선정하는 과정에서 설계자가 받는 혼란을 최소화 하고자 한다. 그리고 더 나아가 Set Covering Theory를 이용한 입체교차로 형식을 결정하는 방법론을 개발하여 향후 입체교차로 설계에서 객관적인 형식 선정에 방향을 제시하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 내용

본 연구에서는 입체교차로의 비용과 편익을 고려하여 최적의 입체교차로 형식을 결정하는 방법론을 제시하였다. 먼저 국내의 관련 문헌을 고찰하여 기존 입체교차로의 형식 결정 기준 및 평가 방법론을 검토하였고, 국내의 다양한 입체교차로 형식을 단순화할 필요성이 있다. 국내 설치된 고속도로 입체교차로 218개와 국도 입체교차로 515개를 조사하여 12개의 기본 형식으로 구분하였고, 교차로 형식 선정 고려 요소를 편익측면과 비용측면에서 검토하였다. 그리고 Set Covering Theory를 이용하여 연결로 별 교차로 형식을 행렬화하여 입체교차로 형식 선정 방법론을 제시하였다.

2. 관련 문헌 고찰

2.1 입체교차로 설계 기준 문헌 고찰

도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침에서는 평면교차와 입체교차의 방식만을 구분하고자 할 때, 국도 유형별 주도로 또는 부도로의 등급, 차로 수, 교통량을 고려하여 교차 방식을 결정하였다.

* 정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 교수 · 공학박사(E-mail : traffic@uos.ac.kr)
** 정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 박사수료 · 공학석사(E-mail : road@uos.ac.kr)
*** 정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 석사과정 · 공학사(E-mail : minkc1000@uos.ac.kr)
**** 정회원 · 한국도로공사 기술심사처 책임연구원 · 공학박사(E-mail : padre@freeway.co.kr)
***** 정회원 · 바우컨설팅 도로부 전문 · 도로및공항기술사(E-mail : bravehrt@nate.com)
***** 바우컨설팅 도로부 차장(E-mail : hskim@bau.co.kr)

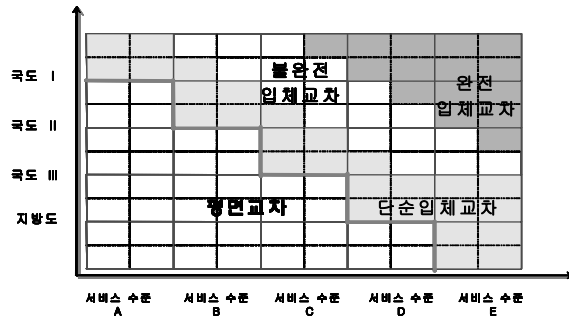


그림 1. 교차방식의 결정에 대한 개념도

여기서 국도의 노선계획·설계지침에 따르면 국도 I은 2개 도 이상에 걸쳐 도시를 연결하며, 통과 교통 위주의 지역 간 간선기능을 갖는 국도이다. 또한 국도 II는 2개 도 이상의 주요 도시를 연결하며, 통과 교통 위주의 지역 간 간선기능을 갖는 국도이나 국도 I에 비하여 통행 길이가 비교적 짧고 통행밀도도 비교적 높지 않은 국도를 의미한다. 끝으로 국도 III은 건설되었거나 현재 건설중인 또는 건설계획이 확정된 고속도로 노선과 인접하여 동일 방향의 교통을 담당하는 국도와 지역 간 간선기능이 약하여 주로 국도 I, 국도 II를 보조하는 도로로서 통과 교통량의 비율이 적은 국도를 뜻한다.

보편적인 이 방식은 평면교차와 입체교차의 방식을 결정할 경우는 필요하나, 단순히 국도의 등급과 서비스 수준만으로 단순입체와 불완전입체, 완전입체를 결정짓기에는 형식 결정 요소가 미흡하다.

2.2 국내의 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 있다. 예비타당성조사지침의 교통준 기반의 거시적 수요예측모형은 입체교차로 형식에 따른 수요분석에 적절하지 않기 때문에 경제성 분석을 통해 입체교차로 형식을 결정하는 것은 부적절하다.

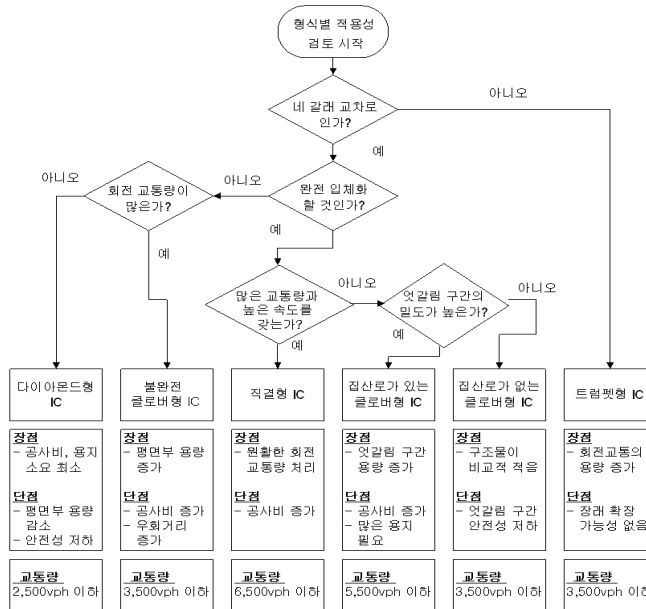


그림 2. 입체교차로 형식 선정 검토 순서도

도로구조형 및 입체교차로 설계 지침에서는 그림2와 같은 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 도시 간선도로 및 서비스 입체교차로 형식 결정에 적합하다고 판단된다.

Garber(1999)는 전문가 설문 및 사고, 운영성 분석을 통해 몇 가지 가이드 라인을 제시하였으나 다이아몬드형, SPUI형, 트럼펫형, 클로버형, 변형클로버형, 직결형 등 총 6개의 기본형식만을 고려하여 변형된 입체교차로 형식을 다양하게 고려하지 못하는 한계가 있다.

3. 자료 수집

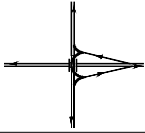
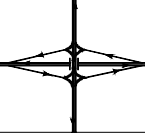
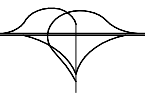

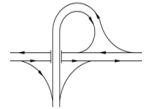
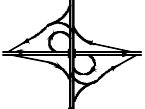
실제 현실에서 적용되는 형식을 선정하기 위해 「입체교차로 설계지침 연구」에서 조사한 자료를 토대로 우리나라에서 최소 2개 이상의 같은 유형을 총 12개로 통합·정리하였다. 크게 세갈래 교차로와 네갈래 교차로로 나뉘며 세부적으로 완전입체교차와 불완전입체교차로 구분하였다.



그림 3. 입체교차로 정리

세갈래 교차로는 트럼펫형 입체교차로(A-3)가 215로 집계되어 83.7%의 높은 비중을 차지하는 것으로 나타났다. 반면 네갈래 교차로는 다이아몬드형 입체교차로(B-1)이 총 306개로 조사되었고 64.3%를 차지하는 것으로 나타났다.

표 1. 입체교차로 기본형식 선정 결과

순번	형식	국도	고속도로	합계	비율 (%)	순번	형식	국도	고속도로	합계	비율 (%)
A-1		30	1	31	4.2	B-1		294	12	306	41.7
A-2		2	9	11	1.5	B-2		2	14	16	2.2
A-3		55	160	215	29.3	B-3		2	1	3	0.4

<표 계속>

순번	형식	국도	고속도로	합계	비율 (%)	순번	형식	국도	고속도로	합계	비율 (%)
B-4		1	5	6	0.8	B-7		7	0	7	1.0
B-5		90	13	103	14.1	B-8		15	0	15	2.0
B-6		9	3	11	1.6	B-9		8	0	8	1.1

4. 입체교차로 형식 선정 방법론 제시

경제적으로 최적의 입체교차로 형식을 결정하는 척도로 비용-편익비(B/C ratio)를 사용하였다. 먼저 편익요인적 측면의 고려요소와 비용항목의 고려요소를 검토하고, 연결로의 형식을 정형화하여 각 연결로의 편익과 비용을 산정하는 과정이 필요하다. 최종적으로 Set Covering Theory를 사용하여 편익과 비용을 변수로 하여 12개 입체교차로 중 최적의 형식을 결정한다.



그림 4. 본 연구의 입체교차로 형식결정 방법

4.1 입체교차로 형식 선정 고려요소

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 예비타당성조사에서 편익을 계산하기 위한 평가 항목인 통행시간절감, 차량운행비용절감, 환경비용, 사고비용 편익과 공사비, 용지보상비 유지관리비를 고려요소로 결정하였다. 즉, 실질적으로 입체교차로가 설치되었을 때 운전자들은 편안함과 주행 중 쾌적성을 느낄 수 있고, 이는 분명 편익이 분명하나 계량화가 불가능하기 때문에 이런 요소들은 제외하고 선정하는 것이 적절하다.

4.2 연결로의 형식 구분

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. 좌회전 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 비용의 차이가 존재하며, 용량과 설계속도 차가 있어 편익도 상이하게 발생한다. 6개의 연결로는 네갈래 교차로의 경우 24개의 연결로 형식이 존재하게 되고, 세갈래 교차로의 경우 18개의 연결로 형식이 존재한다.

표 2. 연결로 형식

우회전	좌회전				
우직결연결로	준직결 연결로		좌직결 연결로		루프 연결로
RC	SS	SD	DD	DS	L

4.3 방법론의 구조

하나의 입체교차로에는 방향별 연결로를 구성하는 방법에 따라 연결로의 형식이 결정되며, 주변 환경을 고려하여 입체교차로를 결정하게 된다. 그러나 개략적인 입체교차로 형식 결정단계에서 정확한 입체교차로 형태를 예측하는 것은 적절하지 않고, 형식 선정 요소를 고려하여 편익을 최대화 하고 비용을 최소화 하는 즉 연결로 형태에 따라 B/C를 최대화 하는 최적 형식 결정 과정에 대해 고려한다.

본 연구에서는 최소의 설치비용으로 많은 지역에 서비스를 제공하기 위한 최적 위치설정 문제를 다루는 모형인 지역담당모형(Set Covering Theory)를 이용하여 편익이 극대화가 되는 연결로 형태를 분석하고, 4×6의 행렬화하여 최적의 입체교차로 형식을 결정하였다.

$$Max Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m ((WB_{ij} - C_{ij})A_{ij}) \quad (1)$$

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

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

$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{if 인터체인지 } j \text{가 배치되면} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$

C_{ij} : 연결로 j가 입체교차로 i에 배치됨에 따른 비용

B_{ij} : 연결로 j가 입체교차로 i에 배치됨에 따른 편익

W : j편익의 가중치

4.4 최적의 입체교차로 형식 결정

하나의 교차로를 설계할 때 도로구조령 및 입체교차로 설계지침에 따르면 교차로 교통량의 서비스수준이 기준치 이상이면 입체교차로로 설계하게 제시되어 있다. 따라서 최우선적으로 평면인지 입체인지를 결정해야



하고, 세갈래 교차로인지 네갈래 교차로인지를 파악하는게 선행되어야 한다. 그 후 세부적으로 교차하는 도로의 높이차와 도로의 교각을 고려하고, 방향별 교통량과 단위면적당 단가를 고려하여 최적의 입체교차로 형식을 결정하는 알고리즘을 제시한다.

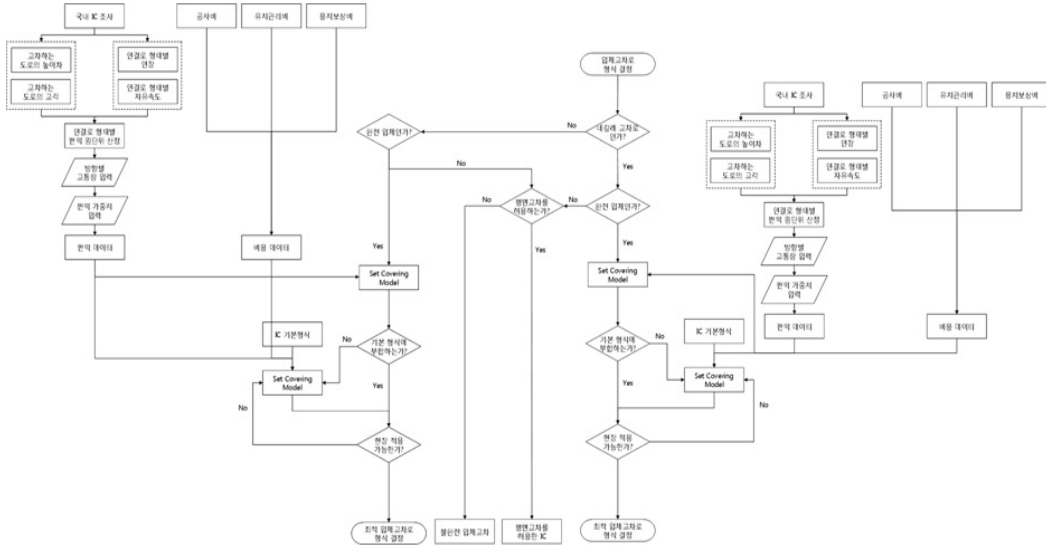


그림 5. 최적의 입체교차로 형식 결정 알고리즘 순서도

표 3. 최적의 입체교차로 형식 결정 알고리즘

Step 1	네갈래 교차로 인가?(Yes:0 / No:1)	0
Step 2	완전입체인가?(Yes:0 / No:1)	0
Step 3	Pass	
Step 4	Pass	
Step 5	교차하는 도로의 높이차	10 m
	교차하는 도로의 교각	90 도
Step 6	방향별 교통량	
	NB TH	1,000 대/시
	NB RT	1,000 대/시
	NB LT	1,000 대/시
	SB TH	1,000 대/시
	SB RT	1,000 대/시
	SB LT	1,000 대/시
	EB TH	1,000 대/시
	EB RT	1,000 대/시
	EB LT	1,000 대/시
Step 7	WB TH	1,000 대/시
	WB RT	1,000 대/시
	WB LT	1,000 대/시
Step 7	m ² 당 단가	100 만원

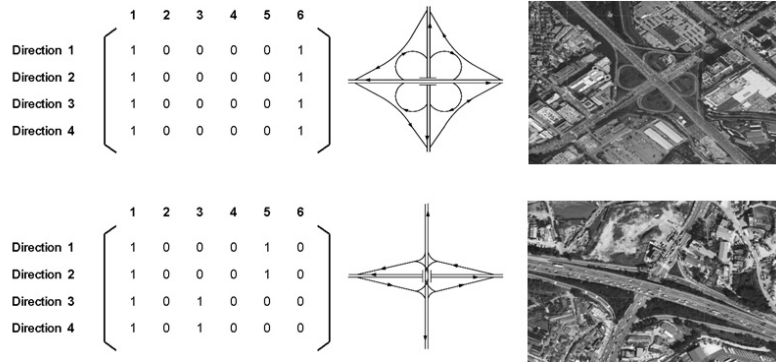


그림 6. Set Covering을 이용한 행렬화 예시

5. 결론 및 맺음말

본 연구에서는 우리나라에서 설계된 입체교차로의 형식을 정리하였고, 정형화된 형식 12개를 제시하였다. 또한 Set Covering Theory를 활용하여 입체교차로 형식을 결정하는 방법론을 제시하였다. 본 연구에서 제시한 방법은 현재 예비타당성지침에서 제시한 교통수요분석과정 뒤에 활용가능하며, 연결로의 형식을 이용하여 비용과 편익을 산정하고 입체교차로의 형식을 비교적 간단히 결정하는 방법을 제시하였다.

본 연구에서는 입체교차로 형식 결정을 위한 형식평가 요인으로 통행시간절감비용, 차량운행비용절감비용, 환경비용, 사고비용 편익과 공사비, 용지보상비, 유지관리비를 사용하였으나 연결로의 비용, 편익 화폐가치화를 위한 원단위 산정 등에 대한 연구가 부족하여 이에 대한 향후 연구가 필요하다. 그럼에도 불구하고 본 연구에서 제시된 입체교차로 형식 결정 방법론은 실제 설계자들이 객관적으로 입체교차로의 형식을 반영하는 방향을 제시하였다는데 의의가 있다.

감사의 글

본 연구는 친환경·지능형 도로설계 기술개발 연구단(건설핵심D05-01)을 통하여 지원된 국토해양부 건설기술혁신사업에 의하여 수행되었습니다. 연구 지원에 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. 이승재, 최재성, 백혜선 (1999), “Set Covering Theory 이론을 이용한 시내버스 최적노선망 구축에 관한 연구”, 대한교통학회지 제17권 제2호
5. 이의은, 이재용 (2006), “도시간선도로에서의 인터체인지 성능 비교 연구”, 대한교통학회지, 제24권 3호, pp.51-61.
6. 최재성, 유재상 (2008), “Set Covering Theory를 활용한 인터체인지 형식 결정 방법론 개발”, 대한교통학회 제59회 학술발표대회, pp.784-792.
7. Nicholas J. Garber (1999), “Guidelines for preliminary selection of the optimum interchange type for a specific location”, Virginia Transportation Research Council
8. Rubalcaba, R. R (2005), “Fractional Domination, Fractional Packings, and Fractional Isomorphisms of Graphs.”, Ph.D. dissertation. Auburn, Alabama: Auburn University.