

■ 論 文 ■

연속교차로의 설계 및 평가에 관한 연구

A study on Design and Evaluation of The Continuous Flow Intersection

박 창 수

(경주대학교 도시공학과 교수)

목 차

- | | |
|-----------------|-------------|
| I. 서론 | 2. 설계시 고려사항 |
| 1. 연구의 필요성 및 목적 | 3. 평가 |
| 2. 연구 내용 및 방법 | III. 결론 |
| II. 본론 | 참고문헌 |
| 1. 연속교차로의 개념 | |

요 약

우리 나라의 교통정체현상을 면밀히 분석해 보면 근본적으로는 차량에 비해 상대적으로 부족한 도로에 기인 하지만, 도로의 용량 일관성 부재에서 교통정체현상이 발생하는 경우를 볼 수도 있다. 주요 간선도로가 만나는 교차로에서 인접교차로와의 교통류 패턴의 차이로 인해 주기, 같은 방향 현시의 길이 및 현시수의 변화로 인해서 발생한다. 특히 주요교차로에서 회전교통량으로 인한 현시수의 증가는 전체 간선도로의 용량 저하 및 간선도로의 연동효과를 저해해서 평균통행속도 및 용량을 감소시키는 주요 요인이다. 이와 같은 주요교차로의 병목현상이 인접교차로 및 전체 네트워크의 효율을 저하시키는 요인이 되고 있기 때문에 이에 대한 해결 방안으로 본 논문에서는 연속교차로의 개념을 소개하고, 이의 효율성을 분석하였다. 주요 연구내용으로는 우선 연속교차로의 개념 및 설계시 고려사항을 소개하고, 연속교차로의 효율성을 평가하기 위하여 NETSIM을 사용하여 평면 다현시 교차로와 연속교차로 및 입체교차로의 단순비교 분석을 실시하여, 지체도, 연료소모량 및 배기가스의 변화를 분석하였고, 좌회전 교통량의 변화에 따른 지체도 변화에 대한 민감도를 분석하였으며, 또한 경제성 분석을 통하여 연속교차로 설치 타당성을 분석하였다.

1. 서론

1. 연구의 필요성 및 목적

우리 나라는 '85년 자동차 100만대를 돌파한 이래 지난 '97년 자동차 1,000만대의 보유국으로 발전한 반면에, 도로는 '88년 5만 5,778km에서 '96년 8만 2,342km의 증가에 머물고 있다. 이와 같이 자동차의 보급은 폭발적으로 증가한 반면에 도로의 건설은 정체되어 있어 교통문제는 심각한 상황에 직면해 있다. 물론 IMF의 영향으로 한때 자동차의 증가가 주춤하였고, 승용차 이용이 감소하기도 하였으나, 대중교통시설의 부재와 국민들의 자가용 선호현상으로 인해 다시 이전의 상황으로 되돌아가고 있다. 그런데 우리 나라의 교통정체현상을 면밀히 분석해 보면 근본적으로는 차량에 비해 상대적으로 부족한 도로에 기인하지만, 그 외에도 여러 가지 요인을 발견할 수 있다. 특히 그 중에 도로용량의 일관성 부재에서 교통정체현상이 발생하는 경우를 볼 수 있는데, 이러한 이유 중 하나는 간선도로가 만나는 주요교차로에서 인접교차로와의 교통류 패턴의 차이로 인해 주기, 같은 방향 현시의 길이 및 현시수의 차이로 인해서 발생한다. 특히 주요교차로에서 회전교통량으로 인한 현시수의 증가는 전체 간선도로의 용량 저하 및 간선도로의 연동효과를 저해해서 평균통행속도 및 용량을 감소시키는 주요 요인이다.²⁾ 이와 같은 주요교차로의 병목현상이 인접교차로 및 전체 네트워크의 효율을 저하시키는 요인이 되고 있기 때문에 이에 대한 해결 방안이 시급히 요구되어진다. 따라서 본 논문은 주요교차로에서 좌회전으로 인한 현시수의 증가 및 현시길이의 변화로 인한 도로 용량의 일관성 부재를 해결하기 위한 목적으로 새로운 개념의 교차로, 즉 연속교차로의 설계 및 평가를 연구하였다.

2. 연구 내용 및 방법

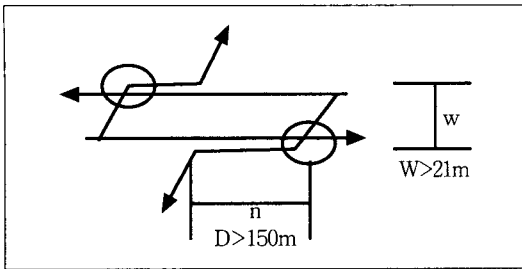
간선도로상에서 주요교차로 좌회전 교통량으로 인한 교통정체를 해결하기 위해서 본 논문에서는 링크 길이가 충분히 길며, 주행차로와 접근차로가 분리된 간선도로의 링크 중간부분에서 간선도로의 접근차로를 이용하여 좌회전 교통량을 처리할 수 있는 새로운 개념의 연속교차로(Continuous flow intersection)

를 제시하고자 한다.¹³⁾ 주요 연구내용으로는 연속교차로의 설계 방법 및 설계시 고려사항, 즉 좌회전 포켓의 길이, 우회전 교통량 대기공간, 직진 교통류와의 상충제거, 보행자를 위한 안전섬, 설치 적정 장소, 안전상의 고려사항 등을 제시하고, 또한 연속교차로의 타당성을 제시하기 위해서 3가지 형태의 교차로(전통적인 4지 교차로, 입체교차로, 연속교차로) 각각의 지체도, 연료소모량 및 배기가스를 단순 비교 분석하였다. 그리고 전통적인 4지 4현시 교차로와 입체교차로 및 연속교차로(Continuous flow Intersection)에 회전 교통량을 각각 5%, 10%, 20%씩 변화시켜 지체도의 변화를 통한 민감도를 분석하였다. 마지막으로 3가지 시나리오(평면+연속교차로, 연속교차로, 입체교차로)를 설정하여 각각의 경제성 분석을 통하여 연속교차로의 설치 타당성을 제시하였다. 그리고 연구방법으로는 TRAF-NETSIM을 사용하여 분석하였는데, 분석시 각각의 case별로 random seed number를 변경하여 3회 이상의 시뮬레이션을 수행하여 오차를 최소화하였고 simulation 시간을 20분으로 설정하여 분석하였다.

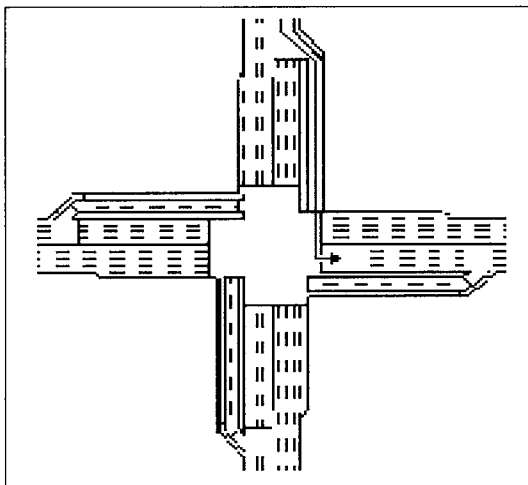
II. 본론

1. 연속교차로(CFI)의 개념

우리 나라 대부분의 교차로는 교차로 기하구조 및 교통류의 특성상 동시신호 및 2현시 이상의 신호 현시를 가지고 있으며, 또한 신호주기도 교통선진국의 신호주기 길이에 비해 상대적으로 길다. 따라서 교차로 서비스 수준 평가시 미국의 HCM 서비스 평가 척도를 준용하기 때문에 상대적으로 지체도가 높게 나타난다. 특히 간선도로가 교차하는 주요 교차로에서는 양방향 직진 및 회전 교통량이 과다하여 g/C 비가 인접교차로에 비해서 적게 할당되므로, 병목을 유발하게 되고, 이로 인해 전체 네트워크를 교통정체로 악순환시킨다.¹¹⁾ 그런데 회전교통류에 의한 현시를 제거하면 주기길이가 짧아지고, 직진 현시를 증가시켜 대기행렬길이를 감소시킬 수 있으며, 인접교차로와의 g/C 비를 같게 하여 네트워크의 균형적인 용량 운영이 가능하다. 연속교차로는 여기에 착안하여 주요교차로에서 좌회전 교통류를 직진교통류와 동시에



〈그림 1〉 연속교차로의 개념



〈그림 2〉 연속교차로의 형태

상충없이 이동하게 하며, 좌회전으로 인한 현시를 제거하는 것이다. 상대적으로 간선도로는 링크길이가 길고 접근차로가 있기 때문에 좌회전 교통류를 링크 중간에서 회전시켜 접근차로를 이용하여 주요교차로에서 직진과 좌회전 교통류의 상충없이 동시에 이동시키는 것이다.^{3,5,8,11)} 설계개념은 전통적인 다현시 교차로는 주요 교차로에서 좌회전시키지만 연속교차로는 〈그림 1〉과 같이 링크 중앙에서 좌회전시켜 주요교차로에서 직진과 좌회전을 별도의 현시추가 없이 동시에 이동시키며, 교차로의 형태는 〈그림 2〉와 같다.

〈그림 2〉와 같이 연속교차로는 링크상에서 좌회전하여 직진과 좌회전이 상충하지 않기 때문에 2현시체제를 유지하며 같은 현시에 직진, 좌회전 교통류를 동시에 이동시키는 장점이 있으나 다음과 같은 조건이 주어져야 가능하다. 도로의 폭이 최소 21m(양복 4차선) 이상이어야 하며, 직진과 좌회전을 대기시키기 위해 150m이상의 링크길이가 확보되어야 한다.

그리고 연속교차로는 상대적으로 좌회전 교통량이 많은 주요교차로에 설치하며, 용량 증가와 지체도 감소, 연료소모 감소 등의 다양한 효과가 예상되나 기존의 전통적인 교차로의 개념과 상이하기 때문에 교통사고의 증가를 초래할 가능성을 배제할 수 없다. 따라서 연속교차로 설치시 교통사고 예방을 위한 충분한 고려가 되어져야 한다.

2. 설계시 고려사항

1) 대기공간 확보

연속교차로는 전통적인 4지 교차로와 다르게 링크 중앙에서 미리 좌회전을 허용하기 때문에 각 주기별 좌회전교통량을 고려하여 충분한 링크 길이를 확보해야 링크중앙에 좌회전 spillback현상을 예방할 수 있다. 산술적으로 주기별 좌회전 교통량을 환산해보면 다음과 같다.

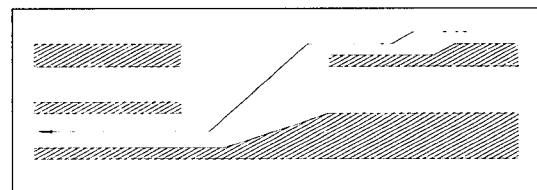
$$\text{좌회전교통량} = \frac{V_{LT} \times C}{3600}$$

〈표 1〉 주기길어와 좌회전교통량에 따른 주기당 좌회전 교통량

	$V_{left} = 150V5PH$	200 VPH	250 VPH	300 VPH
C=90초	7.5대	10.0	12.5	15.0
120초	10.0	13.3	16.7	20.0
150초	12.5	16.7	20.8	25.0

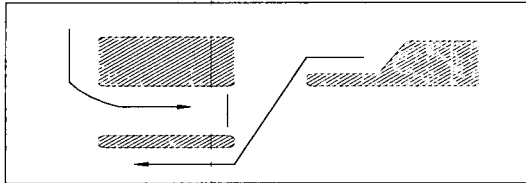
(일반적으로 좌회전 Bay의 길이는 위 공식에서 산정된 교통량의 2 배로 설계)

〈표 1〉과 같이 좌회전 교통량을 직진교통량에 영향을 미치지 않게 하기 위해서는 〈그림 3〉과 같이 링크 중앙에서 좌회전하기 직전과 좌회전 후에 교차로 부근에서 위와 같은 교통량을 대기시킬 대기공간이 반드시 확보되어야 한다.



〈그림 3〉 링크 중앙 및 교차로에서의 좌회전 대기공간

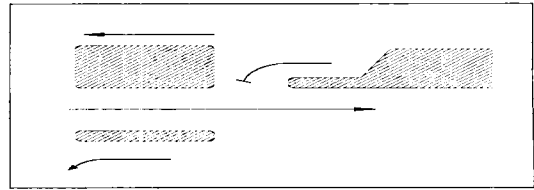
또한 <그림 4>와 같이 링크 중앙에서 좌회전 교통류가 좌회전시 주요교차로에서 우회전 교통류가 우회전하여 대기할 수 있는 충분한 대기공간이 확보되어야 한다.



<그림 4> 우회전 교통량을 위한 대기공간

2) 안전시설물 설치, 운영 및 홍보

새로운 개념의 연속교차로는 전통적인 4지 교차로 형태와 다르기 때문에 운전자들이 기존의 시스템에 익숙하여 직진교통류가 맞은편 좌회전 차로에 역류하기 쉽다. 따라서 가변차로제와 같은 overhead 신호의 설치가 필수적이며, 차로 marking을 하여야 하는데, 특히 야간 통행자를 위해 고휘도급의 반사재를 사용하거나 조명장치를 설치하여야 한다. 그리고 차로 marking시는 반드시 도류 marking을 설치하고 교차로에서의 좌회전 bay는 전체 차로를 황색으로 기존의 도로와는 대별되는 형태를 취해야 직진 교통류의 역류를 예방할 수 있을 것이다. 또한 버스정류장은 반드시 교차로 좌회전 bay를 벗어난 지역에 설치하여야 하며, 우회전 교통량이 많을 시는 좌회전 bay 좌측에 우회전 bay를 설치하는 것이 바람직하는데, 이와 같이 우회전 bay가 설치된 지역은 우회전 bay를 이용하여 버스 bay를 설치할 수도 있다. 그리고 운영시 <그림 5>와 같이 좌회전 교통량이 직진 교통류에 영향을 미치지 않게 신호운영을 하여야 한다. 또한 보행자를 위해서는 보행자를 차량과 완전 분리할 수 있는 지하도나 육교를 설치하는 것이 바람직하다. 그리고 본 교차로의 기본적인 개념은 차량 교통류의 소통에 중점을 두기 때문에 보행자가 적으며, 주행차로와 접근차로가 분리된 주요간선도로에 설치하는 것이 적합하다. 그리고 안전시설물의 설치도 중요하나, 연속교차로 설치전 각종 언론 매체를 통하여 대국민 및 운전자에게 충분히 홍보하여야 하며, 사전 안내 표지판을 통해서 운전자들에게 충분한 정보를 제공해 주는 것이 연속교차로로 인한 교통사고의 위험을 예방할 수 있는 방법일 것이다.



<그림 5> 좌회전 교통류와 직진 교통류의 상충방지를 위한 신호운영

3. 평가

1) 교차로 형태별 단순비교 분석

연속교차로의 효과 분석을 위해서 전통적인 다현시 체제 평면교차로와 연속교차로(좌회전 bay 150m) 및 입체교차로와의 단순 운행상황 비교를 TRAFF-NETSIM을 통하여 분석하였다.⁷⁾ 연속교차로의 특성을 반영하기 위해서 상대적으로 좌회전 교통량이 많은 전형적인 다현시 4지교차로를 가정하여 분석하였다. 그리고 입체교차로는 직진교통량이 많은 지역에 직진(N-S방향)을 위한 underpass도로를 개설하는 것으로 간주하였으며, 차로는 남북방향 좌회전 bay 1개와 직진 및 우회전 차로 구룹의 2개차로로 구성되어 있으며, 교통량 및 현시는 브루클린 다리(Brooklyn Bridge)와 Brooklyn쪽 교차로 현재상태로 <표 2>와 같다. 기타 기하구조는 이상적인 조건으로 간주하였다. 3가지형태의 교차로의 지체도, 배기가스 및 연료소모

<표 2> 교통량 및 현시 순서

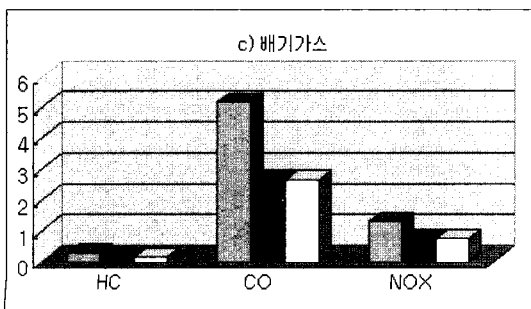
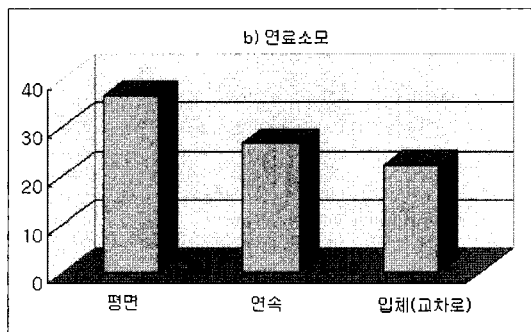
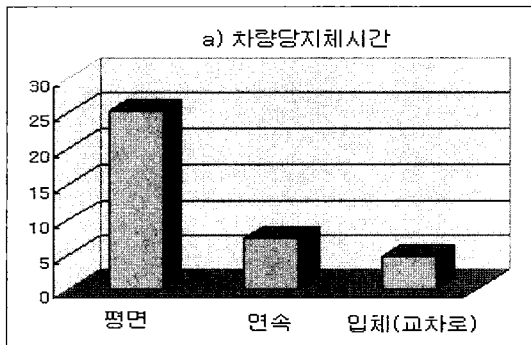
방향	회전 방향	교통량 (VPH)	현시 순서	차선수 (평면)	차선수 (연속)	차선수 (입체, 9%)
EB	좌회전	600	1현시	1	1	1
	직진	320	2현시	2(1개 차로는 직좌)	2	2
	우회전	145				
WB	좌회전	65	1현시	1	1	1
	직진	310	2현시	2	2	2
	우회전	320				
NB	좌회전	100	3현시	1	1	1
	직진	1285	4현시	3	3	2개차로 (입체) 1개차로 (우회전)
	우회전	100				
SB	좌회전	190	3현시	1	1	1
	직진	740	4현시	3(1개 차로는 직좌)	3	2개차로 (입체) 1개차로 (우회전)
	우회전	45				

량의 변화를 NETSIM을 이용하여 분석하였으며, 분석의 정확도를 기하기 위하여 random seed number를 변경하여 3번의 simulation을 통한 평균값을 설정하였다. 분석 결과는 <그림 6> 및 <표 3>에서 나타난바와 같이 연속교차로와 입체교차로가 주어진 좌회전 교통량을 원활하게 소통시키며, 지체도, 배기가스 및 연료소모량이 상대적으로 낮게 나타나는 것으로 분석되어졌다. 그러나 평면 다현시체제의 교차로는 지체도, 연료소모량, 배기가스가 상대적으로 높게 나타났다. 분석 결과와 같이 입체교차로가 상대적으로 가장 낮은 지체도를 보이고 있으나, 입체교차로는 공사비용이 현저하게 고가이며, 공사기간 동안 교통류 처리로 인한 심각한 부작용이 초래할 가능성이 연

속교차로에 비해 크다는 것이다. 반면에 연속교차로는 현존도로의 차로변경 및 안전시설물의 설치를 통하여 손쉽게 접근할 수 있다는 장점이 있다. 물론 차로 확장을 위한 보조적인 노력이 필요하나, 기존의 주요 간선도 중에서 주행차로와 접근차로가 분리된 지역에서는 이러한 보조적인 노력도 필요하지 않다. 그리고 분석결과와 같이 연속교차로는 좌회전 교통량이 상대적으로 많은 지역에서는 평면교차로와 비교하여 지체도, 연료소모⁹⁾, 배기가스 등에서 개선 효과가 크게 나타났다.

<표 3> 3가지 형태 교차로의 단순비교에 따른 서비스의 차이

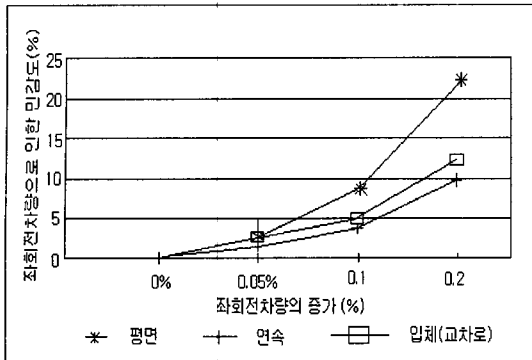
	전통적인 교차로	연속 교차로	입체 교차로
지체도(초/대)	25.24	7.31	4.74
연료소모량(liters)	36.6	26.8	22.3
배기가스			
HC(grams/km)	0.292	0.153	0.155
CO(grams/km)	5.165	2.687	2.66
NOX(grams/km)	1.297	0.741	0.754



<그림 6> 3가지 형태 교차로의 단순비교에 따른 서비스의 차이

2) 좌회전 교통량에 따른 민감도 분석

연속교차로의 좌회전 교통량에 대한 민감도를 분석하기 위하여 <표 2>의 좌회전 교통량을 5%, 10%, 20%씩 증가시켜 지체도의 변화에 대한 민감도를 분석하였다. 교차로의 형태는 단순비교분석에서 사용되었던 기하구조 및 현시방법을 공통으로 사용하였으며, 분석방법도 NETSIM을 사용하여 단순비교와 같은 방법으로 수행하였다. 분석결과 <그림 7>에서 나타난 것과 같이 평면 다현시체제의 교차로는 좌회전 교통량에 대한 지체도의 변화가 현저하게 증가하여 민감도가 높게 나타났으며, 연속교차로는 오히려 입체교차로보다 좌회전 교통량 변화에 대한 지체도의 변화가 적어 민감도가 낮게 나타났다. 이는 연속교차로가 회전교통량의 변화가 심한 지역에서는 오히려 입체교차로보다 더욱 교통류를 효과적으로 소통시키는 것으로 받아들일 수 있다. 물론 이는 좌회전 교통량에 대한 전체 교차로의 지체도 증감을 나타내는 것으로 입체교차로에서 Underpass하는 주방향 교통류인 직진교통류의 지체도와는 관계가 없다. 단지 좌회전 교통량이 증가함에 따라 입체교차로 전체의 지체도가 증가하는 비율을 나타낸 것이다.



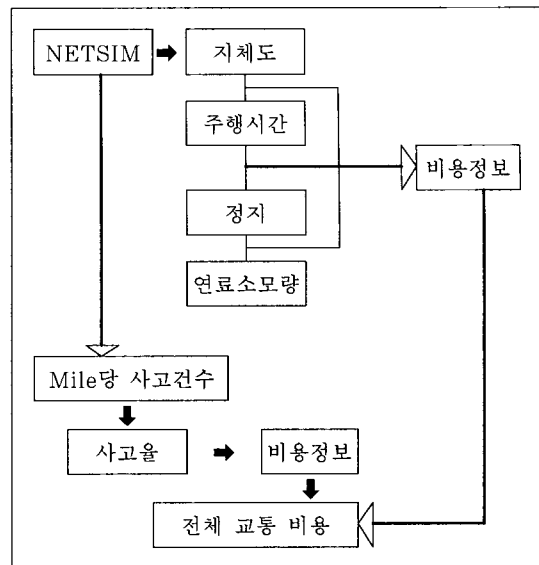
〈그림 7〉 최화점 교통량 변화에 따른 지체도의 민감도

3) 경제성 분석

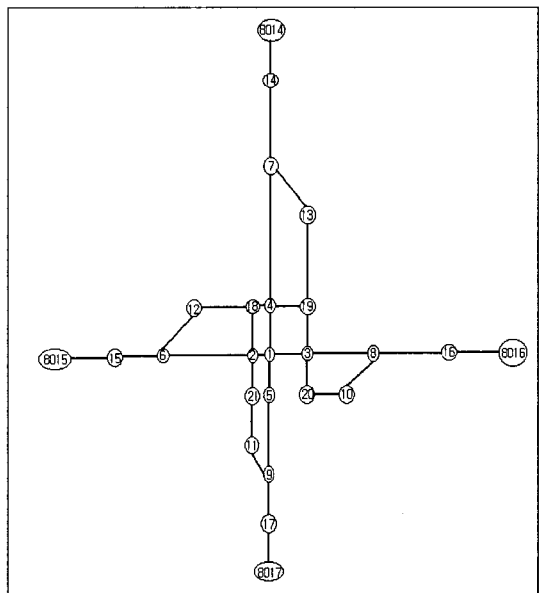
연속교차로의 설치 타당성을 분석하기 위해서 시나리오 3가지를 설정하였다. 첫째는 현재의 평면 다현시 교차로의 형태를 유지하다가 교통량 <표 2>의 현재교통량이 매년 3%씩 증가한다는 가정하에 교통량이 포화상태에 도달하면 연속교차로의 형태로 대체하는 방법, 둘째는 초기에 연속교차로를 채택하는 방법, 셋째는 초기에 입체교차로를 선택하는 방법을 시나리오로 설정하였다. 교통량 및 교차로의 형태는 <표 2> 및 단순비교 분석시의 평면 다현시 체제 교차로, 연속교차로 및 입체교차로(N-S방향 2차로 입체화)를 사용하였다. 본 분석을 수행하기 위한 5가지 고려사항은 다음과 같다.

- ① 교통량의 증가는 매년 3%씩 증가한다.
- ② 도시 하부 시스템의 일반적인 변화 상황을 고려하여 분석기간을 15년으로 하였다.
- ③ 배기가스로 인한 대기오염은 고려하지 않았다.
- ④ 본 분석을 위한 분석 Tool은 NETSIM을 사용하였고 신뢰성 확보를 위하여 random seed number를 변형하여 3번씩의 simulation을 수행하였고, 각각의 simulation 시간은 20분으로 설정하였다.⁷⁾
- ⑤ 투자비용 산정은 소비자비용 자료를 참고로 산정하였으며, 산정방법은 다음과 같다.^{4,6)}

NETSIM분석을 위한 기본 자료는 <표 2>를 사용하였고, headway는 2초로 가정하였으며, 연속교차로의 NODE는 <그림 9>와 같으며, 입체교차로는 남북방향 underpass로 구배는 9%로 설정하였다.



〈그림 8〉 교통 운영 비용의 산정 방법



〈그림 9〉 연속교차로 Node 설정

NETSIM을 통한 분석결과 첫번째 시나리오는 8년이 지나면, 방향별 특히 좌회전 교통량의 증가로 인하여 전체 교차로가 용량에 이르게 된다. 따라서 8년후에는 연속교차로로 대체하여야 하는데, 이에 따른 교통지체 및 교통운영상의 비용은 고려하지 않았으나 연속교차로의 설치를 위한 시설비용은 추가하였다. 그리고 평면 교차로는 기존의 시설로서 시설비용은 고려하지 않았다. 그리고 시나리오 2와 3은 15년

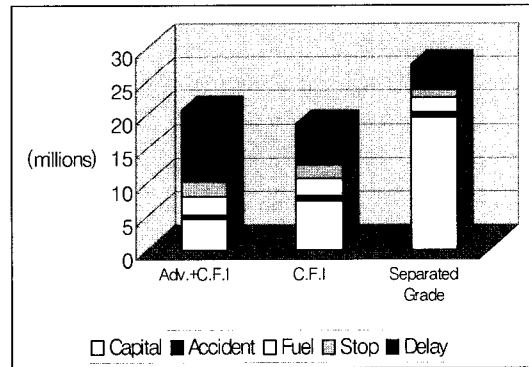
동안의 교통량 증가를 충분히 수용 가능한 것으로 분석되었으며, 각각을 초기투자비용에 15년 동안 운행 비용을 추가하여 전체 교통비용으로 산정하였다. 교통사고비용은 여행거리당 교통사고건수를 산정하여 평균 교통사고비용을 적용하여 총 비용으로 환산하였다¹⁰⁾. 단 연속교차로의 교통사고 발생율의 증가는 고려하지 않았다. 3개의 시나리오를 NETSIM을 통해 분석해 본 결과 시나리오 1은 초기 8년 동안의 지체도, 주행시간, 정지 및 연료소모량의 증가로 인하여 두 번째, 세번째 시나리오보다 전체 교통비용이 증가하는 것으로 나타났다. 또한 시나리오 1은 8년이 지난 후 연속교차로로 대체시 교통량의 증가로 인해 지체비용이 증가할 것으로 간주되나 이는 비용으로 산정하지 않았다.(단 비용의 가정치는 <표 4>와 같다.) 그리고 연속교차로와 입체교차로와는 <표 5> 및 <그림 10>에서 나타난 것처럼 입체교차로의 초기투자비용의 과다로 지체도, 주행시간, 정지 및 연료소모량에서는 비용이 적게 나타났으나 총 교통비용은 오히려 입체교차로가 많은 것으로 나타났다. 본 분석의 결과 주요 간선도로가 만나는 주요 교차로에서 연속교차로의 설치는 충분히 타당성이 있는 것으로 분석되어졌다.

<표 4> 비용 산정을 위한 기초자료 (뉴욕시 DOT의 평균비용)¹²⁾

항목	비용
시간당비용	\$7
이자율	6%
침두시간	4시간
근로일자	260일
분석기간	15년
사고비용	\$7.720/건
연료비	\$1.30/gal.
정지비용	\$41.39/1,000정지

<표 5> 시나리오별 비용 분류 (단위:U.S. dollars)

	Scenario 1: 평면+연속교차로	Scenario 2: 연속교차로	Scenario 3: 연속교차로
초기투자비용	4480032	7272959	19628920
사고비용	705616	755678	723384
연료 비용	2752056	2595718	2190740
정지비용	2289269	2109288	1230061
지체비용	10603730	6086901	3856686



<그림 10> 시나리오별 총 비용(단위:U.S. dollars)

III. 결론

대도시의 주요 교차로는 항시 병목지점으로 전체 네트워크의 교통흐름을 저해하는 요인으로 이를 해결하기 위해서 TSM 사업을 통하여 좌회전 등 현시 수를 줄여 운영하고 있으나 교통이용자들은 여행거리의 증가로 인해 불편을 겪고 있다. 이를 해결하기 위해서 교통류의 상충을 줄일 수 있는 입체교차로를 건설하고 있으나, 본 연구 결과와 같이 회전교통량이 상대적으로 많은 교차로에서는 초기투자비용이 엄청나 경제성이 없는 것으로 분석되어졌다. 따라서 주행차로와 접근차로가 분리된 주요간선도로가 만나는 교차로, 특히 회전교통량이 많은 곳에서는 연속교차로의 도입이 절실하며 이는 주요교차로에서의 병목현상을 해결할 뿐만 아니라 경제적으로도 타당성이 있는 것으로 분석되어졌다. 물론 연속교차로의 개념이 전통적인 교차로와는 상충되는 부분으로 인한 교통사고의 위험과 보행자 및 버스정류장 등의 어려움이 있으나, 이는 충분한 교통안전시설 및 대체시설의 확보와, 설치전 운전자 및 대국민 홍보를 통하여 해결할 수 있을 것이다. 또한 연속교차로는 주요교차로의 좌회전을 링크 중앙에서 좌회전시켜 교차로에서 동시에 이동시키기 때문에 분석과정에서 링크 중앙 좌회전 지체도가 반영이 되지 않은 것이 사실이나, 이는 전체 네트워크의 측면에서 주요교차로의 현시길이는 인접교차로의 현시길이보다 상대적으로 짧기 때문에, 오히려 네트워크 전체가 현시수 및 길이를 균형적으로 운영하는 연속교차로가 효과적인 것으로 간주되어진다. 그러나 연속교차로의 설치를 위해서는 좀더 심도있는 현장 실험을 통한 분석, 교통안전시설물 설치 및 홍보 등이 충분히 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

1. Traffic engineering, William R. McShane, Roger P. Roess.
2. NCHRP Report 194, "Traffic control in oversaturated street networks", Transportation research board, Washington, D.C., 1978.
3. A policy on geometric design of highways and streets, American association of state highway and transportation officials.
4. Life-cycle analysis of pavements, NCHRP 122, Transportation research board, Dale E. Peterson.
5. Guidelines for urban major street design, ITE.
6. Methods of cost-effectiveness analysis for highway projects, NCHRP 142, Transportation research board.
7. TRAF user guide, Federal highway administration, July 1985.
8. "New combinations of old techniques to rejuvenate jammed suburban arterials," ITE 1987 national conference.
9. Energy impacts of geometric-A symposium, TRR 901, TRB.
10. Accident Facts, National safety council, 1996 edition.
11. Intersection channelization design guide, NCHRP 279, TRB.
12. Average price list for FY' 96 projects, NYC DOT.
13. ITE news letter spring 1992, volume no.2, Continuous flow intersection, Joel Friedman.