

Equity offset 전이시각 및 효율성 분석에 관한 연구

Study on analysis of equity offset transition time and efficiency

박 창 수

(경주대학교 도시공학과 교수)

목 차

<p>I. 서론</p> <p>1. 연구배경</p> <p>2. 문제제기</p> <p>3. 연구범위 및 목적</p> <p>II. 연구방법</p> <p>1. Equity offset 소개</p> <p>2. 연구 수행방법</p> <p>III. 분석 및 평가</p> <p>1. 단순비교</p>	<p>2. Progression offset에서 Equity offset으로의 전환시각</p> <p>3. Equity offset의 효율성</p> <p>IV. 회전교통을 고려한 Equity offset formula</p> <p>V. 결론</p> <p>참고문헌</p>
--	---

I. 서 론

1. 연구배경

현재의 대부분의 연구나 신호체계는 아침저녁 첨두 시간에 나타나는 한 방향의 신호제어 방법을 주로 다루워왔다. 과거에는 아침에는 도심 외곽에서 도심 지역으로, 또 저녁에는 도심지역에서 도시외곽지역으로의 교통류흐름이 확연하게 구별되어졌기 때문에 그러한 신호제어 방법이 효율적이었으나, 오늘날은 자동차 공업의 발달과 환경에 대한 관심의 증가로 주거지역이 좀더 외곽지역으로 확장되고 또한 주거지역의 외곽 이동과 함께 산업계나 대형백화점들도 좀 더 넓고 쾌적하며 주차공간이 충분한 외곽지역으로 이동하고 있다. 미국의 경우를 살펴보면 제2차 세계대전 이후 인구의 대 이동이 이루어 졌다. <표 1>에서 보는 바와 같이 고용측면에서도 대거이동이 이루어지고 있다. 다른 세계 주요도시와 같이 서울 또한 인구와 자동차가 폭발적으로 증가하고 있으며 그 수요를 충족시키기 위해 새로운 신도시의 건설과 도시의 확장으로 인접도시와의 거리가 점점 가까워지고 있다. 이러한 관계로 서울은 전시간 전지역이 전방향으로 교통혼잡이 가중되어 지고 있다.

<표 1> 도심과 외곽지역 사이의 고용증대 비교(참고6)

지 역	도 심	도 심 외 곽
Atlanta	+ 10.2%	+ 22.6%
Chicago	+ 4.0%	+ 20.0%
Detroit	+ 2.1%	+ 14.4%
Washington, DC	+ 3.4%	+ 17.1%
St. Louis	- 4.1%	- 14.8%
New York	+ 3.5%	+ 5.5%

또 이러한 모든 현상들이 기본적으로 교통의 흐름을 변화시키고 있는데 과거에는 교통체증현상이 주요 도심 출퇴근과 연계되어 도심내부 도로와 도심으로 들어오는 도로선상에서 일어났으나 오늘날에는 도심지역과 주변고속도로 및 간선도로 도심외곽센터에서도 대기행렬이 인접 교차로에 가지 늘어서는 Spillback(앞막힘) 현상에 의한 체증이 심각하게 나타나고 있다. 이와 같은 현상을 해결하기 위해서 나타난 신호 제어방법이 Equity offset이다. Equity offset의 개념이 이미 이론적으로 제시된바 있지만 아직 Equity offset이 체계적으로 연구되어지지 않아 이를 시행하는데 어려움이 있고 실제로 사용하고 있다하더라도 그 적용 방법이 연구되지 않았다. 그래서 여기서 Equity offset의 적용타당성과 사용 방법을

체계적으로 조사 분석하였다.

2. 문제제기

도심지역에서 교통혼잡 요인은 여러 가지가 있는데 기본적으로 교통용량이 부족하거나 기존 도로의 부적절한 활용으로 인해 주로 일어난다. 도심지 도로에서 가장 많이 나타나는 3 가지 형태의 요인을 제기 하면 다음과 같다.

- 주로 간선도로와 간선도로가 교차하는 곳이라든가 도심지, 교량, 평면 교차로 및 교통류 합류부분 즉 주요교차로인 병목지점에서의 용량 감소
- 주변교차로 보다 회전차량이 많을 경우 현시의 다원화로 인한 녹색시간의 감소
- Network에서 발생하는 Spillback으로 교차로의 다른 방향 교통류 흐름을 막는 경우

물론 실제 상황에는 여러가지 다른 요인들도 복합적으로 나타나지만, 위 3가지가 주요 혼잡요인이다.

본 연구에서는 혼잡도로 구간에서 자주 발생하는 Spillback으로 녹색시간 손실을 제거하기 위한 방법 중 하나인 Equity offset을 분석하고 대안을 제시하려 한다.

<표 2> 수작업에 의한 Offset값

대기행렬 (vpl.25pf/대)	L = 400ft		L = 600ft	
	Progression offset	Equity offset	Progression offset	Equity offset
0	8.0sec		12.0sec	
4	0.0sec		4.0sec	
8	-8.0sec		-4.0sec	
12	-16.0sec	-1.0sec	-12.0sec	-15.0sec
16	-24.0sec	-1.0sec	-20.0sec	-15.0sec
20			-28.0sec	-15.0sec
24			-36.0sec	-15.0sec

(c=60sec, g/c0.4, v=50fts, Vacc=12.5sec)

위 표에서 보듯이 많은 경우에서 progression offset은 대기행렬이 길어지더라도 상부교차로의 녹색시간이 빨리 터져서 하부교차로의 대열이 상부 교차로내에 있기 때문에 녹색시간이라 하더라도 진행하지 못하므로 실제적인 지체시간과 정지가 가중된다. 그러므로 하부교차로의 대열후단이 움직이기 시작할 때 상부교차로의 녹색을 부여함으로써 Equity offset을 적절히 활용하면 좀더 효과적인 신호 시간을 활용할 수 있을 것이다.

3. 연구범위 및 목적

이 연구의 주요목적은 주요교차로에서의 대기행렬의 길이를 조절하여 Spillback을 막아줌으로써 간선

도로 및 이면도로를 보다 효과적으로 사용하여 기존 도로의 용량을 최대한으로 사용하기 위함이다.

교통체증이 심한 지역에서 기존 사용하고 있는 Progression offset을 Equity offset으로 바꾸는 시기 및 방법을 분석하는데 주요요점을 두었다. Equity offset의 주요구조 및 선택시기 그리고 양방향 교통류의 흐름이 동시에 많을 경우에 Equity offset의 사용방법도 검토하였다. 연구결과에 의한 기대효과를 오목별로 요약해 보면 아래와 같다.

- 간선도로의 Spillback을 막아줌으로써 이면도로의 녹색시간을 효과적으로 사용
- 전체 Networkdmf 균형적으로 운영
- 지체시간이나 정지를 줄인다.
- 통과교통량을 증가시킨다.
- 교통혼잡 범위의 증가율을 줄인다.
- 현존도로의 대기용량을 효과적으로 사용
- 교차로에서 Spillback을 막기 위해 대기행렬 조절

실제로 균형적인 시스템을 구축하기 위해서는 아래와 같은 종합적인 대책이 강구되어야 하나 본 연구에서는 Spillback 대응 방향만 분석하고자 한다.

II. 연구방법

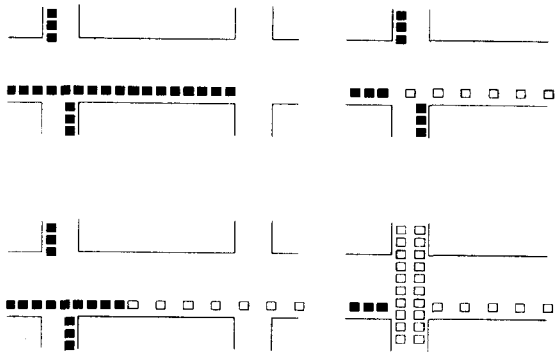
1, Equity offset소개

현재까지 운영하고 있는 신호 offsets은 주로 간선 도로를 따라 Progression offset으로 설정되어 있다. 주요 간선도로를 따라 설계된 Progression offset은 도로길이에 비해 상대적으로 대기행렬이 짧아 여러 주기가 지나도 Spillback이 일어나지 않을 경우에 적절하나, 대기행렬 길이를 고려하지 않고 주기를 반복하면 대기행렬이 길어지게 되고 Spillback이 일어나 반드시 교통혼잡을 가중시키게 된다.

이러한 Spillback에 의한 교통혼잡을 막기 위하여, Equity offset은 매우 효율적이고 그 방법은 $gC-L/Vacc$ 이다. Equity offset을 사용할 때 대기행렬이 직진녹색 시간을 경우에 교차로에 대기행렬을 형성하지만, 반대방향 녹색시간 시작과 동시에 교차에 대기행렬이 없다. 그것을 그림으로 보면 아래 <그림1>과 같다. Equity offset을 실제적용에 있어서 보다 효과적으로 사용하기 위해서는 아래 몇 가지를 첨가하는 것이 좋다.

- 과포화 상태에서 회전차량의 유입을 적절하게 조절하기 위해서 이면도로의 녹색시간을 길게 주지 말아야 한다.

• 만약에 회전차량이 많으면 직진차량의 움직임을 저해하므로 회전 전용차선을 주는 것이 바람직하다.



<그림 1> Equity offset의 모형도

- 회전차량이 많으며 동시에 전용차선을 확보하고 있는 경우에는 회전신호를 분리해서 사용한다.
- 이면도로의 직진신호도 간선도로의 직진에 가능한 영향을 덜 줄 수 있도록 신호를 조정하는 것이 필요하다.
- 이면도로의 직진이 회전차량에 의해 영향을 받지 않도록 하기 위해서는 회전금지도 고려해야 한다.

2. 연구수행 방법

실제 상황에서 자기가 원하는 교통류 흐름을 관찰하기가 쉽지가 않으므로 Simulation Model을 사용하여 현상을 재현하거나 가정을 통하여 자기가 원하는 방향으로 교통류를 제어할 수 있다. 그러한 교통행태를 분석할 수 있는 컴퓨터소프트웨어는 여러 가지가 있다. 그러나 양방향으로 혼잡하고 Spillback을 해결할 수 있으며 그래픽으로 교통류를 조정할 수 있는 program으로서 TRAF-NETSIM이 있다. 그래서 이 연구에서는 TRAF-NETSIM을 주요 분석도구로 사용하였다. Simulation 작업에 들어가기에 앞서, 보다 효과적인 작업을 하기 위한 작업계획은 아래와 같다.

- 도심의 교통 혼잡지역에서 Equity offset은 Progression offset보다 이면도로나 다른 Phase의 교통류의 소통 면에서나 지체시간에서 더 효과적인 것이라는 결과를 예상한다.
- 정확한 결과를 얻기 위하여 Simulation시간은 처음 Network을 원하는 상태로 끌어올리기 위한 10분과 그 이후 20분을 사용하고 한 상황마다 Random seed numbers를 바꾸어서 43번씩 Simulation을 할 것이다. 그래서 전체 171번의 Simulation을 하였다.
- 아래 조건을 설정한 후에 Simulation 작업을 하였다.

<표 3> Equity offset 분석을 위한 시나리오설정

Case1. : 적은 교통류를 위한 Progression Offset	Case2. : 적은 교통류를 위한 Equity offset
Case3 : 많은 교통류를 위한 Progression Offset	Case4. : 많은 교통류를 위한 Equity offset

III. 분석 및 평가

1. 단순비교

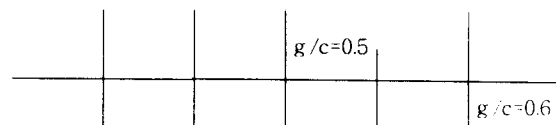
Offset 최적화작업은 속도와 교차로 구간길이, 뒷교차로의 녹색시간에 의해 결정되어진다. NETSIM Simulation에 의하면 Equity offset은 가로망에서 앞막힘현상을 예방하고 시스템 교통류 흐름을 원활하게 한다.

그래서 단순히 두 Offset이 교통량에 따라 지체도가 어떻게 변하는지를 알아보기 위해 다음 <그림2>와 같은 도로 및 교통조건을 4경우를 설정하여 Simulation하였다.

< 표 4> 단순비교분석을 위한 시나리오 설정

요 인	횟수	설 명
단순비교	4	Progression : V/C 0.5, 1.0 Equity : V/C 0.5, 1.0
Offset교체지점	2	Progression, Equity
효과 비교	2	Progression, Equity
양방향 교통류에서의 효과	7	방향별로 교차로 간격, Split

주요교차로



L=400ft, v/c=0.5와 1.0

차선 수 : E-W 3

: N-S 2

< 그림 2 >단순한 Simulation 모형 구조

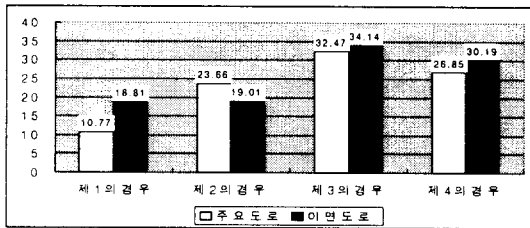
<표5>경우에 따른 지체시간의 변이 (sec/veh)

구 분	주요도로	이면도로	비 고
제1의 경우	10.77	18.81	
제2의 경우	23.66	19.01	
제3의 경우	32.47	34.14	
제4의 경우	26.85	30.19	

< 표 5 >에서 보는 바와 같이 교통량이 적을 경우 Progression Offset이 Equity offset보다 지체시간이 적지만 교통량이 많은 경우에는 Equity Offset이

Progression Offset보다 지체시간에 있어서 매우 효과적이다. 특히 다른 Phase의 교통류 흐름에 있어서 효과적으로 녹색시간을 사용할 수 있어 용량은 증대시키며 기존 도로 용량을 효과적으로 사용해 Network에서 교통류 전체흐름을 부드럽게 하여 주며, 주요간선 도로의 진입을 Metering으로 억제해서 도심전역의 교통체증을 완화해 준다.

그러나 교통량이 상대적으로 적을 경우에 간선도로에서의 연동 신호제어를 할 수 없는 고로 교통류의 흐름을 차단함으로써 지체 시간이 길고 멈춤이 잦아 전체소통에 비능률적이다.



< 그림 3 > 두 Offset의 단순비교

2. Progression offset에서 Equity offset으로의 전환시각

위의 두 Offset의 단순비교에서와 같이 동일한 용량에서 교통량의 증가에 따라 Progression offset의 사용과 Equity offset의 사용은 그 효과가 비례하지 않는다. 즉 교통량과 용량의 비가 어느 정도 이상이 되면 분명히 progression offset 보다 Equity offset이 더욱 더 효율적일 것이다. 즉 Spillback이 발생하기 이전에 Progression Offset에서 Equity offset으로 Offset을 전환시켜 주는 것이 Network을 효율적으로 사용할 수 있을 것이다. 그러므로 Spillback이 생기기 시작하는 점을 찾기 위하여 교통량과 도로용량의 비율 0.5에서 1.0까지 변화시키면서

교차로수 : 주요(1), 비주요(3)
 g/c : 주요 교차로(CI) 0.5
 비주요 교차로 0.6
 차선수 : 주요 간선도로 3차선, 양방향
 비주요 교차로 2차선, 양방향
 v/c : 0.5에서 1.9, 회전금지, 이상적인 상태
 S : 1800vphpl

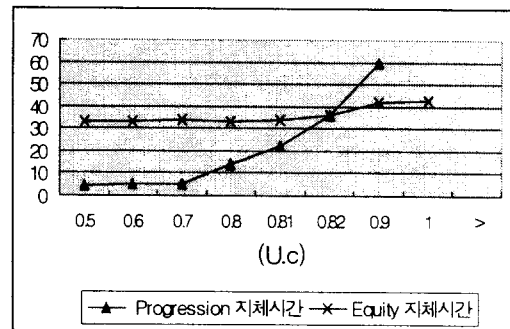
NETSIM Simulation을 한 결과 <그림 4>에서 보는바와 같이 Progression offset은 주어진 상황속에서 교통량과 도로용량비 0.82부터 Spillback이 생기기 시작하였고 교통량과 도로 용량비의 증가에 비해 상대적으로 지체시간이 급속히 증가하는 추세를 보였다. 그리고 실제 상황에서는 주요 교차로 이전 교차로의 Spillback으로 인해 Simulation을 통해 볼 수 없는 다른 교차로의 Soillback을 가중시켜 교통체증을 더욱 가중시킨다.

반대로 교통량과 용량의 비가 0.82이상인 상태에서

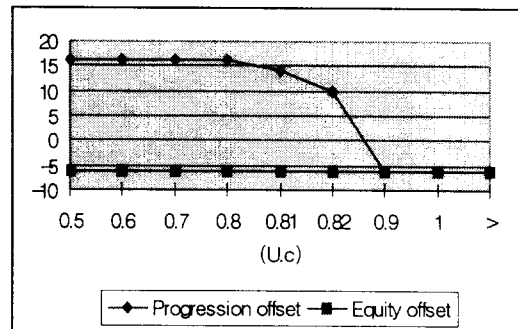
교통량의 증가로 인한 지체 시간의 급속한 증가를 완만하게 하며 Spillback으로 인한 다음 Phase의 녹색시간을 효율적으로 이용할 수 있게 한다.

<표 6> 교통량의 변이에 따른 옴셋의 변이와 지체시간의 변이

v/c	Progression offset	Equity offset	Progression 지체시간	Equity 지체시간
0.5	16	-6	4.75	32.8
0.6	16	-6	4.94	32.9
0.7	16	-6	5.15	33.9
0.8	16	-6	14.26	33
0.81	14	-6	22.38	34.2
0.82	10	-6	35.83	35.87
0.9	-6	-6	60	42.22
1		-6		42.99
>		-6		



<그림 4> 옴셋 변화에 따른 지체시간의 변화



<그림 5> 옴셋 전이과정 모형도

3. Equity offset의 효율성

Equity offset의 효율성을 제고하기 위해서 다양한 교통량 조건하에, 특히 Spillback이 일어나는 지점부터 도로교통용량까지 조건하에서의 주요교차로의 Upstream 교통흐름을 분석해 본 결과 Progression offset은 지체시간이 급속히 증가하는 반면에 Equity offset은 지체시간 증가율이 완만하며, 또한 Upstream link의 지체시간을 거의 일정하게 유지하도록 교통량의 유입을 통과할 수 있을 만큼 조절하는 약간의 Metering의 효과를 가지고 있으므로 전체

시스템을 효율적으로 사용할 수 있게 해준다

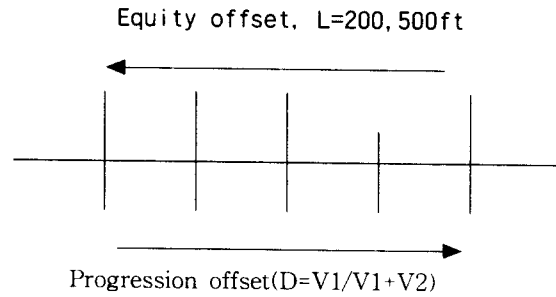
특히 Equity offset은 다음 Phase의 녹색시간을 부도로의 교통류가 효과적으로 사용할 수 있도록 하므로, 비록 Metering으로 주도로의 유입 교통량이 제한된다고 하더라도 실질적인 총통과 차량은 더욱 많은 것으로 나타났다 그래서 Equity offset은 대기행렬의 길이를 관리하고 도심의 혼잡을 감소시키기 위한 하나의 Technic으로 간주되어질 수 있다

교차로의 Upstream에 Equity offset을 사용하면, 주요교차로의 직진을 위한 녹색시간은 항상 비주요 교차로의 직진을 위한 녹색시간보다 적으며, 주요교차로의 Downstream은 항상 Progression을 받기 때문에 오히려 정지나 지체시간이 줄어든다.

따라서 Equity offset은 도심에서 Spillback을 막기 위한 도구뿐만 아니라 양방향 교통류가 많은 경우에 더욱 효과적으로 사용할 수 있다.

<표7>교통량의 변화에 따른 지체도 결과

v/c	주요도로 지체도	이면도로 지체도	상류부 지체도
0.82	54.71	39.24	75.13
0.85	57.27	39.52	78.74
0.9	57.8	41.48	101.88
0.95	58.5	46.71	106.15

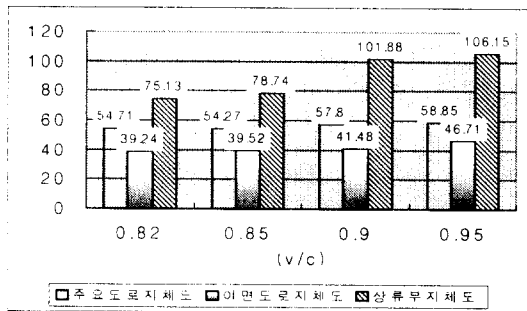


<표8>교통량의 변이에 따른 통과교통량

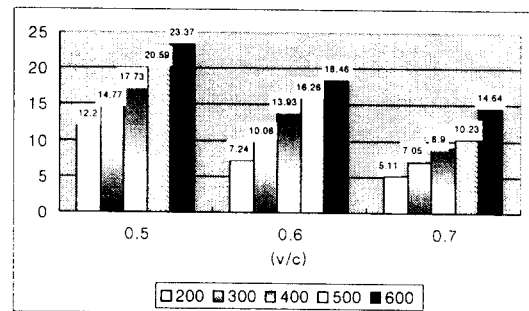
v/c	주요도로 통과교통량	이면도로 통과교통량
0.82	2214vph(3 lane)	1428vph(2 lane)
0.85	2220vph(3 lane)	1488vph(2 lane)
0.9	2214vph(3 lane)	1494vph(2 lane)
0.95	2226vph(3 lane)	1500vph(2 lane)

<표 9> 양방향 읍셋변수에 따른 지체도 변화

	200	300	400	500	600
0.5	12.2	14.77	17.73	20.59	23.37
0.6	7.24	10.08	13.93	16.26	18.46
0.7	5.11	7.05	8.9	10.23	14.64



<그림 6> 교통량의 변이에 따른 주요, 이면, 상류부도로 지체도



<그림 7> 양방향 교통량비의 변화와 링크길이에 따른 지체도의 변화

4. 양방향 교통류를 위한 Equity offset

신호조정을 위해 여러 컴퓨터 프로그램이 개발되었는데, 그 중에(가로축) 선형도로의 신호를 중심으로 개발된 프로그램에는 PASSETR II, MAXBAND가 있다. 두 프로그램 모두 방향별 Bandwidth split을 조정하기 위해서 개발되었다. 그러나 두 프로그램 모두 방향별 최적 값을 얻지 못하고 다만 방향별 직진 교통량의 비로 Bandwidth값을 구하는데, 사실 그러한 방법이 지체시간을 최소화할 수 있는지는 아직 미지수이다. 더군다나 도로용량이나 녹색시간과 각 방향별 사용 가능한 Bandwidth는 거의 무시되어졌다. 그런데 도심의 교통혼잡지역에 양방향으로 주요

IV. 회전교통량을 고려한 Equity Offset Formula

실제로 기존의 Equity offset은 앞막힘현상(Spillback) 방지하여 이면도로의 효과적인 녹색시간 활용에 주요 목적이 있었다. 그런데 이면도로에서는 실제적으로 좌회전 Pocket이 없기 때문에 좌회전 차량으로 인해 교통혼잡이 가중되는 경우가 많다. 따라서 기존의 Equity offset을 좀더 개량하여 유입좌회전과 유출좌회전을 고려한 새로운 알고리즘

(Algorithm)의 개발이 필요하다.
 새로운 알고리즘을 위한 변수를 살펴보면

유입교통량의 변이 :

$$\text{교통량} : Nvi \times Pi$$

$$\text{교통량/차선 수} : \frac{Nvi \times Pi}{NL}$$

$$\text{대기행렬 증가} : \frac{Nvi \times Pi}{NL} \times VL$$

여기서,

Nvi : 이면도로에서 주기당 유입하는 차량수

Pi : 주도로에서 유입되는 회전차량의 비율

NL : 주도로의 차선 수

VL : 자동차 길이

유출교통량의 변이 :

$$\text{교통량} : Nvo \times Po$$

$$\text{교통량/차선 수} : \frac{Nvo \times Po}{NL}$$

$$\text{대기행렬 증가} : \frac{Nvo \times Po}{NL} \times VL$$

여기서 :

Nvo : 주도로에서 주기당 유출되는 차량수

Po : 이면도로에서 유출되는 회전차량의 비율

NL : 주도로의 차선 수

VL : 자동차 길이

따라서 주요도로로 유입되는 회전차량의 수가 유출되는 회전차량보다 많을 경우 ;

$$Equity\ offset =$$

$$gc - \frac{L - \frac{(Nvo \times Po - Nvi \times Pi)}{NL}}{Vacc} \times VL$$

만약에 유입차량이 유출차량보다 적을 경우는 기존의 Equity offset인

$$T\ equity\ offset = gc - \frac{L}{Vacc}$$

을 사용한다. 앞의 두 옵션을 교통량의 변이에 따라 사용함으로써 Metering의 효과는 물론이고 이면도로의 교통류 흐름을 효과적으로 만들 것이다.

V. 결론

위에서 살펴보았듯이 Equity offset은 도심에서 Spillback을 막아 줄뿐 아니라 현존 도로를 보다 효과적으로 능률적으로 사용할 수 있게 하여준다. 도심에서의 Spillback 예방은 전체 System을 균형적으로 운영할 수 있게 하여주며 이는 교통혼잡을 사전에 방지하는 또는 혼잡을 좀더 늦게 일어나게 하는데 도움이 될 것이다. 그리고 우리 나라와 같이 신호 주기를 길게 하면 황색 시간이나 차두간격으로 인한

손실시간으로 교통량이 조금 증가하지만 교통체증이 심한 지역에서는 대기행렬이 길어져서 Spillback 현상이 일어나 이면도로에서 실질 녹색시간을 충분히 사용할 수 없으므로, 대기행렬을 줄이기 위해서는 주기를 줄이고 Equity offset을 사용함으로써 도심혼잡을 줄일 수 있다.

참고문헌

1. Traffic engineering, Prentice Hall, 1990, William R. Mcshane, Roger P. Roess
2. NCSHRP Report 194, "Traffic control in oversaturated street networks", "Transportation research board, Washington, D.C., 1978
3. NCHRP Project 3-38(3), KLD Associates, Inc. and Texas A&M university, "Internal metering policy for oversaturated networks"
4. Urban traffic congestion : What does the future hold?, Institute of transportation engineers
5. TRAF-NETSIM, 1985 July, Federal highway administration
6. Peak-period traffic congestion, NCHRP 169, Transportation research board
7. Traffic signal systems, TRR1057, Transportation research board
8. Selecting traffic signal control at individual intersections, NCHRP 233
9. Manual of traffic signal design, second edition, Institute of Transportation Engineering
10. Traffic control systems handbook, Institute of Transportation Engineering