

대기행렬 소거시간에 따른 Preemption 제어전략에 관한 연구

(A Study on the Preemption Control Strategies considering Queue Clearance Time)

이재형

(한국교통연구원 육상교통연구본부, 연구원)

이상수

(아주대학교 환경건설교통공학부, 교수)

Key Words : Preemption, 대기행렬 소거시간

목 차

- I. 서론
 - II. 이론적 고찰
 - 1. 국내 Preemption 관련 연구 고찰
 - 2. 해외 Preemption 관련 연구 고찰
 - 3. 시사점
 - III. 대기행렬길이를 고려한 Preemption 제어 전략 수립
 - 1. 대기행렬 소거시간 산출
 - 2. 긴급차량 합류시간 산출
 - 3. Preemption 제어시점 산출
 - IV. 비교 분석 및 평가
 - 1. 시뮬레이션 선정
 - 2. 시뮬레이션 환경 구성
 - 3. 시뮬레이션 분석 결과
 - V. 결론 및 향후 연구과제
 - 1. 결론
 - 2. 향후 연구과제
- 참고문헌

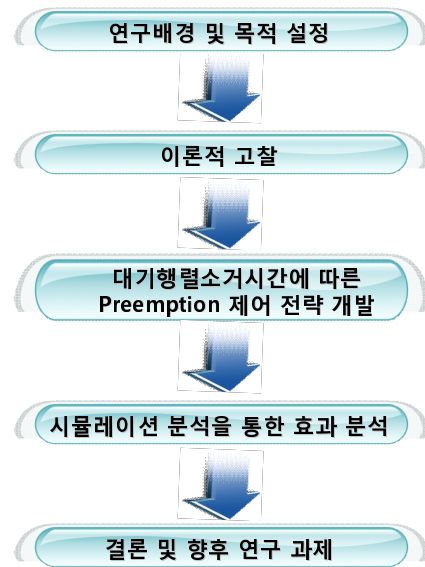
I. 서론

긴급 상황이 발생할 경우 이에 대처하는 과정에서 신호교차로의 혼잡 상황으로 인해 긴급차량의 사고 위험성이 증가할 뿐만 아니라 일반차량 및 보행자의 사고 위험성도 존재하고 있는 실정이다. 이에 신호교차로의 차량 및 보행자 사고를 예방하고 교차로의 지체를 최소화하며, 긴급차량의 대응시간을 단축하기 위해서는 긴급차량 진입 시 교차로에 접근하는 교통류를 고려한 Preemption 제어 전략이 구축되어야 한다.

따라서 대기행렬길이 제약조건 중 대기행렬소거시간 알고리즘을 비교분석하여 Preemption 제어 전략의 긴급차량 연속주행 확보와 일반차량의 지체 최소화를 동시에 구현해야한다.

본 연구는 신호교차로에서의 대기행렬길이 제약조건을 고려한 Preemption 제어 전략을 수립을 위해 국내·외 Preemption 제어 전략에 관한 연구를 분석하여 개선된 Preemption 제어 전략을 수립한 후 교통상황에 따른 시뮬레이션 수행을 통한 효과평가를 실시하여 기존의 Preemption 제어 전략을 개선하는 데 그 목적을 두고 있다.

본 연구는 다음 <그림 1>과 같은 절차로 수행되었다.



<그림 1> 연구수행절차

II. 이론적 고찰

1. 국내 Preemption 관련 연구 고찰

국내 연구 중 조한선(2006) 등은 철도 건널목에 대한 Signal preemption 적용 시 신호운영의 효율성을 높일 수 있다는 것을 현장조사 및 시뮬레이션을 통해 제시하였고, 연구

대상지점을 선정하여 실제 열차, 차량 및 보행자 교통량을 조사하여 Signal preemption의 효과를 검증하였다. Signal preemption을 적용하였을 경우 차량당 지체시간을 약 9초가량 감소한 것으로 나타났으며, 총지체 절감시간은 약 17시간의 결과를 나타내고 있다.

양윤호(2008)는 긴급차량 Preemption 적용 시 긴급차량 운영효율을 증대할 수 있다는 것을 시뮬레이션 및 현장 적용성 평가를 통해 제시하였다. 긴급차량 Preemption 제어의 국내 적용성 평가를 위하여 시뮬레이션 환경과 유사한 지점에 대해 현장 적용성 평가를 실시하였으며, 평가결과 긴급차량 주행방향인 동→서 방향의 경우 97.23초/대에서 26.47초/대로 72.78% 개선 효과를 나타냈고, 통행속도는 29.14%가 증가하였다.

2. 국외 Preemption 관련 연구 고찰

Jinwoo Lee(2005) 등은 실시간 교통상황에 대응하는 개선된 TSP방법을 제시하였다. 교차로 접근로로 진입하는 대중교통수단의 통행시간 예측을 목적으로 하는 microscopic simulation 모형을 개발하였으며, 버스정류장이 있는 가상의 교차로를 대상으로 일반 신호운영 및 전통적 TSP신호운영시의 성능과 비교하였다. 이에 대한 결과로 제안 모형은 위의 두 개 운영방식보다 효율적이었으며, 대중교통의 지체뿐만 아니라 부도로 일반교통류의 지체도 감소효과를 보이고 있다.

대기행렬 점프 차로(Queue Jumper Lanes; 이하 QJLs)는 버스가 우회전 전용 베이를 통해 다른 대기행렬 차량들을 지나쳐 통과하게 한 후 조기 녹색시간을 부여함으로써 대기행렬의 앞으로 이동하게 하는 특별한 형태의 버스우선 처리 기법이다. Guangwei Zhou and Albert Gan(2005)은 다양한 TSP 전략, 교통량, 버스 교통량, dwell time, 버스 정류장 및 버스 검지기 위치 등의 교통 환경 하에서 QJLs 성과를 평가하였으며 TSP 전략으로는 녹색시간 연장(green extension), 적색신호종결(red truncation), 현시 생략(phase skip)과 현시 추가(phase insertion)를 고려하고 있다.

Obenberger, J. and Collura, J.(2001)는 preemption 신호제어에 초점을 둔 우선신호 제어지역에서 현재의 적용에 대한 포괄적인 검토를 수행하였으며, preemption 신호제어, 현재의 표준 및 지침, preemption 신호제어 진입 및 탈출에 있어서 전이를 위한 신호연동 제어기술, preemption의 영향도 등을 설명하고, 이러한 영향을 평가할 수 있는 방법들을 제시하고 있다.

Francois Dion and Hesham Rakha(2005)는 Columbia Pike arterial의 21개 교차로를 이용하여 감응신호제어 시스템 내에서 통합 Transit Signal Priority simulation을 개발하였고, priority를 하지 않았을 경우, express bus만 priority를 실행하였을 경우, 모든 bus에 priority를 실행하였을 경우를 고려하여 실험하였다. 실험 결과 bus는 Transit Signal Priority에서 이익을 가져왔지만, 일반상황에서는 불이익을 초래한다고 제시하고 있다.

3. 시사점

기존연구는 국내에서는 사례가 드물며, 국외의 경우 대중교통 우선신호와 철도 Preemption에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으나, 긴급차량 Preemption 제어에 관한 연구는 활발히 이루어지고 있지 않고 있다.

Preemption 제어가 긴급차량의 연속적인 이동성 확보에 목표를 두고 있기 때문에 Preemption 제어에 의한 일반차량의 지체도 증가 및 통행속도 감소 부분에 관한 연구는 부족하다. 따라서 대기행렬 소거시간을 고려한 Preemption 제어에 관한 연구를 통해 긴급차량 연속주행 확보를 보장하고, 일반차량의 지체 최소화 및 통행속도 개선을 이룰 수 있도록 해야 한다.

III. 대기행렬 소거시간에 따른 Preemption 제어전략 수립

1. 대기행렬 소거시간 산출

대기행렬 소거시간 산출방식에 따라 2개의 CASE를 선정하였다. CASE 1은 Queue clearance time을 통해 대기행렬 소거시간을 산출하였으며, CASE 2는 포화차두시간과 출발손실시간을 통해 산출하였다. 대기행렬 소거시간 산출 방법은 아래와 같다.

<CASE 1>

○ Queue clearance time

$$- Gq = [q(C-g) / (s-q)] + l$$

Gq = average queue clearance time (s)

C = average cycle length (s)

g = effective green of the subject phase (s)

q = critical lane flow rate (vps)

s = saturation flow rate (= 1900vps)

l = start-up lost time (= 2.0s)

$$q(C-g) = Nr$$

$$Nr = ql / (vl+vs)$$

Nr = 적색 및 황색 신호시간에 도착한 차량대수 (veh)

ql = 일반검지기에서 수집되는 대기행렬길이 (m)

vl = 일반차량의 평균 길이 (= 4.5m)

vs = 일반차량의 평균 차간간격 (= 1.8m)

○ 대기행렬 소거시간 산출

$$- Gq = [ql / (6.3*(1900-q))] + 2.0$$

<CASE 2>

○ 차량점유길이 산정

- 평균 차량 길이(I1) = 4.5m

- 평균 차간간격(I2) = 1.8m

- 차량점유길이(l) = 평균 차량길이+평균 차간간격
= l1 + l2 = 6.3(m)

○ 대기차량대수(n) 추정
- 대기차량대수(n) = 대기행렬길이 / 차량점유길이
= ql / 6.3(대)

○ 대기행렬길이 소거시간 계산
- 출발손실시간 : 2.0초
- 이상적인 도로조건과 승용차로만 구성된 교통류에서의 차두시간 h는 1.89초
(즉 포화교통류율 s=1900vphgpl을 사용)
- 대기행렬 소거시간(t1) = 교차로에 대기하고 있는 n대의 차량이 정지선을 벗어나는데 소요되는 시간
t1=1.89n+2.0

○ 대기행렬 소거시간(t1)=1.89×(ql / 6.3)+2.0

이를 통해 산출된 CASE별 대기행렬 소거시간은 다음 <표 2>와 같다.

<표 2> CASE별 대기행렬소거시간

	10 m	50 m	100m
CASE 1	5.51	22.02	44.05
CASE 2	5.00	17.00	32.00

2. 긴급차량 합류시간 산출

긴급차량 합류시간 산출방법은 긴급차량 순행속도를 60 km/h로 설정하고 링크길이에서 대기행렬길이를 뺀 값을 긴급차량 순행속도로 나누면 긴급차량이 대기행렬에 합류하는 시간이 된다. 이를 통해 산출된 CASE별 긴급차량 합류시간은 다음 <표 3>과 같다.

<표 3> CASE별 긴급차량 합류시간

	10 m	50 m	100m
CASE 1	29.40	27.00	24.00
CASE 2	29.40	27.00	24.00

3. Preemption 제어시점 산출

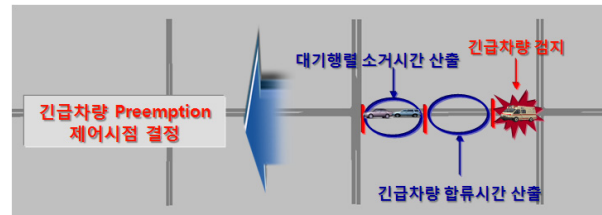
Preemption 제어시점 산출은 대기행렬 소거시간과 긴급차량 합류시간의 차이를 계산하여 산출한다. 대기행렬 소거시간이 긴급차량 합류시간보다 크면, 긴급차량 검지 즉시 긴급차량 주행방향의 현시시간을 배분하더라도 대기행렬이 해소되기 전에 긴급차량이 도착하게 된다. 따라서 위와 같은 경우 긴급차량 검지 즉시 Preemption 제어를 시행해야 한다.

대기행렬 소거시간이 긴급차량 합류시간보다 작으면 긴급차량 합류시간과 대기행렬 소거시간의 차이만큼 지난 후, 신호교차로 소거 현시(황색시간)를 제공한 다음 긴급차량 주행

방향의 현시를 시작하여 Preemption 제어에 의한 부도로의 지체를 최소화한다.

○ 대기행렬 소거시간 = t1
긴급차량 합류시간 = t2
○ t1 ≥ t2 : 긴급차량 검지 즉시 Preemption 제어 시행
t1 < t2 : t2 - t1 시간 경과 후 Preemption 제어 시행

Preemption 제어시점 결정은 다음 <그림 3>과 같다.



<그림 3> Preemption 제어시점 결정방안

CASE별 Preemption 제어시점 산출 결과는 다음 <표 4>와 같다.

<표 4> CASE별 Preemption 제어시점 산출결과

	10 m	50 m	100m
CASE 1	20	2	0
CASE 2	21	7	0

IV. 비교 분석 및 평가

1. 시뮬레이션 선정

본 연구에서는 각 시뮬레이션의 주요 특징을 검토한 후 VAP(Vehicle Actuated Programming) 모듈의 지원이 가능한 VISSIM을 미시적 시뮬레이션 모형으로 선정하였다.

VISSIM은 긴급차량과 일반차량과의 시뮬레이션이 가능하고 Preemption signal logic을 구현하기 위한 VAP (Vehicle Actuated Programming) 모듈의 지원이 가능하여 Preemption 신호제어 모드를 구성할 수 있는 장점이 있다.

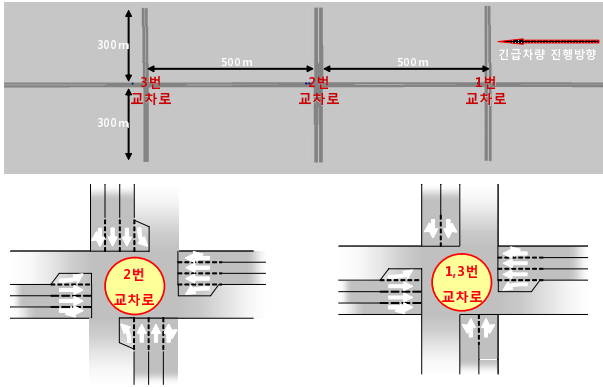
또한 Preemption 제어 전략 적용 시 최적화된 신호 주기 및 현시시간을 분석하기 위해서 교통상황에 따른 적정신호시간 산정 및 최적화가 가능한 TRANSYT-7F 모형을 이용하여 신호시간 및 주기, 업셋값을 최적화 하여 VISSIM 신호시간 자료에 적용하였다.

2. 시뮬레이션 환경 구성

시뮬레이션 분석시간은 900~2700초로 1800초(30분)에 걸쳐 분석을 실시하였고, 효과적도는 지체도와 통행속도로 선정하

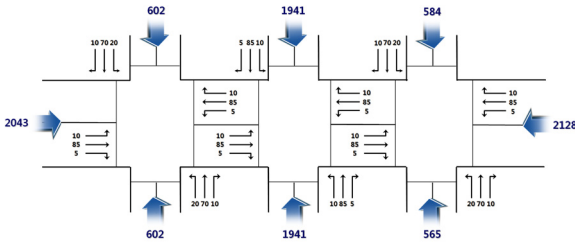
였다.

기하구조는 주도로의 링크길이를 500m, 부도로의 링크길이를 300m로 구성하였으며, 주도로는 양방향 6차로에 50m 길이의 좌회전 전용 배이를 설치하였다. 2번 교차로의 부도로는 주도로와 동일한 환경으로 구성하였고, 1, 3번 교차로의 부도로는 양방향 4차로에 좌회전 전용 배이를 설치하지 않았다.



<그림 4> 시뮬레이션 기하구조 구성

교통조건은 비포화, 근포화, 과포화로 나누어 v/c가 0.6, 0.8, 1.0이 되도록 구성하였으며, 직진:좌회전 비율은 80:20 또는 90:10이 되도록 구성하였다.



<그림 5> v/c 0.8에서의 교통량 및 회전비율

신호조건은 TRANSYT-7F 모형을 이용하여 150초 주기로 최적화된 현시 및 offset 값을 산출하였다.

<표 5> 2번 교차로 신호조건 구성

CASE	phase(초)				off set
	Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	
1	22(3)	49(3)	24(3)	43(3)	86
2	23(3)	48(3)	24(3)	43(3)	97
3	22(3)	49(3)	24(3)	43(3)	87
4	24(3)	42(3)	26(3)	46(3)	72
5	24(3)	42(3)	26(3)	46(3)	72
6	24(3)	42(3)	26(3)	46(3)	72
7	22(3)	49(3)	24(3)	43(3)	54
8	22(3)	49(3)	24(3)	43(3)	54
9	22(3)	49(3)	24(3)	43(3)	60

3. 시뮬레이션 분석 결과

일반신호제어 대비 지체도 및 통행속도 증감율을 비교/분석해보면 다음 <표 6,7>과 같다. <표 6, 7>은 주도로와 부도로의 지체도 평균값을 가중평균하여 일반신호제어와 비교한 것이며, <표 8, 9>는 주도로와 부도로의 통행속도 평균값을 가중평균하여 일반신호제어와 비교한 것이다.

<표 6> 일반신호제어 대비 지체도 증감율

구분	일반차량		긴급차량	
	기존 Preemption 제어	개선 Preemption 제어	기존 Preemption 제어	개선 Preemption 제어
CASE 1	-16.63	-19.86	-70.90	-70.70
CASE 2				

<표 7> 일반신호제어 대비 통행속도 증감율

구분	일반차량		긴급차량	
	기존 Preemption 제어	개선 Preemption 제어	기존 Preemption 제어	개선 Preemption 제어
CASE 1	0.87	3.18	30.44	25.12
CASE 2				

음영으로 표시된 부분(CASE 2, 3, 5, 6)은 일반차량의 일반신호제어 대비 기존 Preemption 제어 효과 보다 개선 Preemption 제어 효과가 높게 나타난 CASE이다. 해당 CASE의 일반차량 지체도는 0.60%~3.23%, 통행속도는 1.65%~2.39%의 개선효과가 나타난 것으로 분석되었다. 시뮬레이션 분석시간 1800초이며, 이 중 긴급차량 발생횟수가 2회임을 감안한다면, 본 논문에서 제시하고 있는 대기행렬길이를 고려한 Preemption 제어가 해당 CASE에서 효과가 있다고 판단할 수 있다. 개선효과가 발생한 CASE는 v/c가 0.6, 0.8이며, 주도로 링크길이가 500, 800m인 경우에 해당한다.

v/c 1.0의 경우 해당 링크 및 하류부 링크의 극심한 정체현상으로 인해 본 연구에서 제안한 Preemption 제어방식이 기존 Preemption 제어방식과 같아지게 되어 개선효과가 미비하였다. 일반신호제어와 비교해보면 대기행렬 소거시간의 증가와 좌회전 이동류가 직진 이동류에 영향을 미치는 현상에 따라 긴급차량의 연속주행의 확보가 어려웠으며, 또한 긴급차량 진행방향 현시 시간이 길어지게 되어 부도로의 일반차량의 지체가 증가하게 되었다.

주도로 링크길이가 200m인 경우 다른 신호제어 CASE에 비해 개선효과가 낮게 나타나는 현상은 링크길이가 짧아짐에 따라 offset 효과가 크게 나타나 일반차량이 platoon을 이루며 이동하는 현상을 발견할 수 있었다. 따라서 Preemption 제어로 인한 효과가 offset 효과로 인해 상쇄되었다고 분석 가능하다.

따라서 본 연구에서 제시하고 있는 대기행렬길이를 고려한

Preemption 제어 전략은 근포화 이하의 상황에서 주도로 링크길이가 500m 이상인 경우에 보다 높은 효과가 기대된다고 할 수 있다.

V. 결론 및 향후 연구과제

1. 결론

본 연구에서 제안한 대기행렬길이 제약조건을 고려한 Preemption 제어 적용 시 긴급차량 운영효율이 높아지고, Preemption 제어로 인해 발생하는 일반차량의 지체를 감소할 수 있다는 것을 시뮬레이션을 통해 제시하였다.

시뮬레이션 분석결과 Preemption 제어로 인해 긴급차량에 미치는 긍정적인 영향이 있는 것으로 분석되었으며, v/c가 1.0인 과포화 상황이나 주도로의 링크길이가 200m 이하인 경우에 긴급차량의 지체도 및 통행속도의 개선효과가 감소하는 것으로 나타났다. 일반차량의 경우 일부 CASE에서 Preemption 제어로 인해 지체가 증가하고 통행속도가 감소하는 현상이 발생하지만, 네트워크 전체적으로는 크게 차이가 나타나지 않는 것으로 분석되어 긴급차량 Preemption 제어의 운영 효과는 충분한 것으로 판단된다.

시뮬레이션 평가결과 9개 CASE 모두 긴급차량의 지체도는 일반신호제어와 비교하여 44.26%~96.13% 감소하였고, 통행속도는 8.77%~41.96% 증가하는 효과를 나타냈다. v/c 1.0 이상인 과포화 상황이거나 주도로 링크길이가 200m 이하인 경우 기존 Preemption 제어가 보다 우수한 것으로 분석되었고, v/c 0.8 이하의 근포화 이하의 상황에서 주도로 링크길이가 500m 이상인 경우 기존 Preemption 제어에 비해 본 연구에서 개발한 Preemption 제어가 개선효과가 있는 것으로 나타났다. 이 경우 일반차량 지체도는 기존 Preemption 제어에 비해 0.60%~3.23%, 통행속도는 1.65%~2.39%의 개선효과가 나타난 것으로 분석되었다.

시뮬레이션 분석 결과에서 나타나듯 Preemption 제어 수행 전/후의 v/c와 주도로 링크길이에 따라 지체도, 통행속도는 다소 차이가 발생하나 대부분의 CASE에서 그 차이가 크게 발생하지 않는다고 판단된다.

따라서 본 연구에서 제시하고 있는 대기행렬길이 제약조건을 고려한 Preemption 제어 전략으로 인해 긴급차량의 연속 주행 확보 및 일반차량의 지체 감소 등 운영자와 이용자의 시간비용 절감효과 및 안전증대 효과를 기대할 수 있으며, 궁극적으로는 긴급차량의 대응시간 단축으로 인해 인명구호율의 최대화와 재물파손율의 최소화라는 경제적 가치로 환산할 수 없는 사회적 편익을 창출할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 향후 연구과제

현재 신호교차로에서의 불법 주·정차, 유턴, 버스정차 등으로 인한 대기행렬길이 추정이 어려우므로, 이와 같은 요인들을 고려한 대기행렬 소거시간 및 긴급차량 합류시간 산출을

해야 한다. 현재 신호교차로 환경을 반영한 대기행렬길이 및 긴급차량의 순행속도 산출방법에 관한 지속적인 연구를 통해 대기행렬 소거시간 및 긴급차량 합류시간 산출 알고리즘을 개선하여 대기행렬길이 제약조건을 고려한 Preemption 제어 전략의 완성도를 높여야 하리라 판단된다.

또한 시뮬레이션 분석기간 중 긴급차량을 2회에 나누어 발생하여 그 효과와 영향도를 평가하였으나, 긴급 상황은 특별 이벤트로서 긴급차량이 동시다발적으로 통과하는 상황 등 여러 상황을 고려한 Preemption 제어 전략에 대한 연구가 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 3개의 연속된 교차로를 대상으로 Preemption 제어 전략에 대한 연구를 수행하였지만, Preemption 제어 전략의 효율성을 높이기 위해서는 긴급차량이 통과 가능한 하류부 교차로의 소통 정보를 수집 및 분석하여 긴급차량에 최적 경로안내가 가능한 Preemption Network 제어 전략의 수립이 필요하다고 판단된다. 이를 통해 긴급차량의 도착시간 감소효과를 기대할 수 있을 것이라 사료된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 국가교통핵심기술개발사업의 연구비 지원(과제번호 06-교통핵심 A01)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 조한선, 오주택, 이재명, 박동주, "VISSIM을 이용한 Signal Preemption 전략도입 및 효과분석", 『대한교통학회지』 제24권 제4호, pp. 93-101, 2006.
2. 양원호, "긴급차량 우선신호(preemption) 제어 적용성 평가에 관한 연구", 아주대학교, 2008.
3. 건설교통부, 도로용량편람, 2004.
4. Jinwoo Lee, Amer Shalaby, John Greenough, Mike Bowie, and Stanley Hung, "Advanced Transit Signal Priority Control Using On-Line Micro simulation-based Transit Prediction Model", Transportation Research Record 1925, TRB, pp. 185-194, 2005.
5. Guangwei Zhou and Albert Gan, "Performance of Transit Signal Priority with Queue Jumper Lanes", The 84th TRB Annual Meeting CD-ROM, TRB, pp. 265~271, 2005.
6. Obenberger, J. and Collura, J., "Transition Strategies to Exit Preemption Control: State-of-the-Practice Assessment", Transportation Research Record 1748, TRB, pp. 72-79, 2001.
7. Francois Dion and Rakha H., "Integration of Transit Signal Priority within Adaptive Traffic Signal Control Systems", The 84th Annual Meeting CD-ROM, TRB, 2005.