

대전시 신호운영체계 개편에 따른 효과분석

Analysis of the Effects of Traffic Signal Operation Methods

이 정 범*
(Jung-Beom Lee)

이 범 규**
(Beom-Kyu Lee)

요 약

꾸준히 증가하는 차량으로 인한 교통문제를 적절한 신호운영 전략을 이용하여 교통흐름을 효율적으로 배분하고 교통군의 흐름을 향상시키기 위한 노력이 시행되고 있다. 최근 국가경쟁력 강화위원회에서는 「기초 법질서 확립을 위한 교통운영체계 선진화 방안」을 발표하여 교통사고, 혼잡비용, 온실가스, 법규위반 등의 문제점을 해결하기 위하여 한국 교통운영 체계를 국제표준에 맞게 수정하는 안을 제시하였다. 본 연구에서는 교통운영체계 개편시 나타나는 효과를 분석하기 위하여 대전시를 사례로 중심으로 좌회전금지, 보호/비보호 혼용 사용시 나타나는 효과를 다양한 시나리오를 통해 정량적으로 분석하였다. 좌회전 금지는 신호현시수를 줄여 신호주기를 줄이는 장점이 있다. 좌회전 금지 지점의 좌회전교통량을 하류부로 이동시켜 U턴을 주어 현시수를 줄인 결과 제어지체는 54.2초에서 22.7초로 크게 향상되었으며, 줄어든 현시로 인하여 농도원네거리방향은 제어지체가 122.2초(F)에서 16.9초(B)로 크게 향상되었다. 또한, 보호/비보호 좌회전을 도입한 결과 좌회전 교통량에 대한 제어지체가 27.0초에서 12.1초로 크게 감소하였다. 향후 좌회전 베이 유무에 따른 비보호 좌회전 허용 기준마련에 대한 연구가 필요하다.

Abstract

Delay reduction of vehicles at the intersection is highly dependent on the signal operation method. Most previous traffic operations have focused on minimizing delay by adjust traffic offset. However, these methods have limitation in solving traffic problem if the volume reaches or exceeds the capacity. In this paper, it was analyzed that the effectiveness of various signal operation methods such as left-turn prohibition, and using protected mixed with permitted left turn using the traffic data from Daejeon city. In case of the left-turn prohibition of a intersection, the control delay reduced from 54.2 seconds to 22.7 seconds and especially, the delay of the southbound was drastically reduced. In addition, the delay was highly reduced from 27.0 seconds to 12.1 seconds when the operation system was changed to use protected mixed with permitted left turn.

Key words: SPSA Algorithm, permitted left turn, delay, calibration, corsim

* 주저자 : 대전발전연구원 연구위원
** 공저자 및 교신저자 : 대전발전연구원 연구위원
† 논문접수일 : 2010년 4월 2일
† 논문심사일 : 2010년 6월 14일(1차), 2010년 7월 20일(2차)
† 논문접수일 : 2010년 7월 26일

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

꾸준히 증가하는 차량으로 인한 교통문제가 계속적으로 제기되고 있으나 도로건설 등과 같이 양적으로 용량을 늘리는 정책은 한계가 있다. 따라서, 적절한 신호운영 전략은 교통흐름을 효율적으로 배분하고 교통군의 흐름을 향상시키며, 많은 재원을 수반하지 않으면서 교통상황에 능동적으로 대처할 수 있는 점에서 그 중요성이 부각되고 있다.

최근 국가경쟁력 강화위원회에서는 2009년 4월 29일 「기초 범질서 확립을 위한 교통운영체제 선진화 방안」을 발표하여 한국 교통운영 체계를 국제표준에 맞게 수정하는 안을 제시하였으며, 향후 우리나라 신호체계 및 교통운영에 전반적으로 영향을 미칠 전망이다. 교통운영체제 선진화 방안은 교통사고, 혼잡비용, 온실가스, 법규위반 등의 문제점을 해결하기 위하여 비엔나 협약 등의 국제표준에 맞는 신호체제로 개편하는 것을 추진하는 것으로 현재 비보호좌회전, 선행직진, 회전교차로, 등 다양한 연구가 수행되고 있으나 포괄적이고 방대한 교통정책에 대한 효과가 아직까지는 미진한 상태이다.

본 연구는 대전시의 사례를 중심으로 보호/비보호 좌회전 및 좌회전 금지에 대한 여러 가지 시나리오를 분석하여 그 효과를 살펴보는 것에 초점을 맞추었다. 또한, 현실을 충실히 반영하기 위하여 최적화 알고리즘인 Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation(SPSA) 알고리즘을 이용하여 분석특의 파라미터를 정산하였다 [1, 2].

2. 연구의 범위 및 방법

교통량 자료는 2009년 9월 조사된 자료를 이용하였으며 조사지점은 보조간선도로중 하나인 용문역 부근 남선공원 네거리에서 농도원 네거리 축을 분석하였다.

모델링은 Corsim을 이용하였으며, 신호, 옵셋 등의 자료는 경찰청의 교통정보센터로부터 구한 자료를



<그림 1> 연구방법 및 과정
<Fig. 1> Overall procedure

이용하였다. 다음으로 정확한 도로상황을 구현하기 위하여 파라미터 정산작업을 수행한 후 다양한 시나리오를 구현하여 효과를 분석하였다.

II. 관련이론 및 알고리즘

1. 관련이론

김진태(2003)는 비보호 좌회전의 지체도 추정 수리모형을 제안하였다[3]. 김원호(2007)는 비보호 좌회전 도입은 약 65%의 지체감소 효과가 있다고 하였으며, 이광훈(2006)은 좌회전 및 직진 지체가 각각 48%와 39%가 감소되는 것으로 연구한 바 있다[4, 5]. 김운수(2006)는 좌회전 신호운영 전략의 변화에 따른 대기환경 개선효과를 평가한 바 있다 [6]. 최병국(2007)은 인천광역시시의 운영 실태를 연구하여 인천시 주요 교차로의 교통량 및 서비스 수준을 신호개선시 2004년을 기준으로 2006년 지체감소 효과를 분

석하였다. 또한 연동화개선 및 비보호 좌회전과 같은 전문적인 운영의 중요성에 대해서도 검토하였다 [7]. 임용택(2005)은 기존 제어시스템의 문제점을 분석하고 교통신호제어시스템의 새로운 접근방법과 재정립의 기회 제공을 목적으로 진행대 길이를 최대화하는 고정식 제어기법을 소개하였다[8]. 그러나, 보호/비보호 혼용은 좌회전 교통량을 좀 더 탄력적으로 운영할 수 있는 장점이 있음에도 불구하고 이에 대한 연구는 아직까지 되어있지 않다. 또한 좌회전 교통량의 처리방법에 따른 연구도 미진한 상태이므로 이에 대한 효과분석이 필요하다.

2. SPSA Algorithm

교통관련 프로그램은 복잡한 교통문제를 평가하기 위한 분석수단으로 폭 넓게 이용되고 있다. 그러나 다양한 분석 프로그램은 복잡한 교통현황을 구현하는데 제약이 따르기 때문에 교통상황에 영향을 줄 수 있는 파라미터 값을 현실에 맞게 조절할 수 있도록 되어있다. 이때 가장 쉽게 조절할 수 있는 방법이 시행착오법(trial and error)이나 이는 논리적 근거가 약하기 때문에 일반적으로 genetic 알고리즘과 simplex 알고리즘이 많이 쓰이며, 이를 이용하여 최적의 파라미터를 찾는 연구가 많이 되어왔다.

Lee et al.(2001), Park and Qi(2005)와 Kim et al.(2005)은 genetic 알고리즘을 이용하였으며, Kim and Rilett(2003)은 simplex 알고리즘을 이용하여 다양한 모형의 파라미터를 정산(calibration)하였다[9-12].

본 연구에서는 정확한 모델링을 위하여 SPSA 알고리즘을 적용하였다. SPSA 알고리즘은 최적화를 하기위한 방법중 하나이며, Spall(1992, 2003)에 의하여 처음으로 소개되었다. 최적화 방법은 무작위검색방법(random search method), 패턴검색방법(pattern search method), 경로검색방법(path search method)로 나눌 수 있으며, SPSA 알고리즘은 경로검색방법중 하나이다. SPSA 알고리즘을 이용한 이유는 genetic 알고리즘에 비해서 결과값의 정확도가 더 높기 때문이다[13]. Lee and Ozbay(2008)와 Ding(2003)은 Paramics의 정산 작업을 위하여 SPSA 알고리즘을 사용하였으며, 차두

시간과 반응시간을 파라미터로 이용하였다[14, 15]. 기본적인 SPSA의 알고리즘의 식은 다음과 같다[7].

$$\hat{\theta}_{k+1} = \hat{\theta}_k - a_k \hat{g}_k(\hat{\theta}_k) \quad (1)$$

여기서,

a_k 는 step size로써 이 값이 크면 수렴(converge)하는데 시간이 적게나 정확도가 떨어지며 값이 작으면 정확한 값의 도출이 가능하나 수렴하는데 시간이 오래 걸리게 된다.

$\hat{g}_k(\hat{\theta}_k)$ 은 gradient $g(\theta) = \partial L(\theta) / \partial \theta$ 을 조사하는데 쓰이게 되며 각 반복중 θ 값은 업데이트되게 된다. 여기서, $\hat{g}_k(\hat{\theta}_k)$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{g}_k(\hat{\theta}_k) = \begin{bmatrix} \frac{\hat{L}(\theta + c_k \Delta_k) - \hat{L}(\theta - c_k \Delta_k)}{2c_k \Delta_{k1}} \\ \vdots \\ \frac{\hat{L}(\theta + c_k \Delta_k) - \hat{L}(\theta - c_k \Delta_k)}{2c_k \Delta_{pk1}} \end{bmatrix} = \frac{\hat{L}(\theta + c_k \Delta_k) - \hat{L}(\theta - c_k \Delta_k)}{2c_k} [\Delta_{k1}^{-1}, \Delta_{k2}^{-1}, \dots, \Delta_{kp}^{-1}]^T \quad (2)$$

여기서,

Δ_k : random perturbation vector

c_k : 양수(positive scalar)

3. Random Seed

난수는 simulation 결과에 영향을 줄 수 있는 중요한 요소로 stochastic 분석에서 측정잡음을 줄이기 위한 방법으로 이용된다. 따라서 난수의 효과를 고려하여 분석하는 것이 필요하다. Spall(2003)은 난수의 적용 전·후에 대한 결과를 분석하였다[7].

III. 사례연구

1. 현황조사

조사대상 지역은 용문역 주변 남선공원 네거리에서 농도원 네거리로 계룡로와 계백로를 남북으로 잇는 3.6km, 왕복 6차로 도로를 선정하였다. 조사대상 지역은 오전오후 피크시간에 정체가 심하게 일어나며 방향에 따라 많게는 차량당 제어지체가 210초까지 나올 정도로 상습 정체구간이다.

도로의 교통실태를 파악하기 위하여 분석축 주요 교차로의 각 방향별, 차종별 교통량을 조사하였다. 오전피크(07:00~09:00)와 오후피크(18:00~20:00)로 나누어 각각 2시간씩 모두 4시간 동안 조사하였다. 교통량은 원칙적으로 주중과 주말 모두를 조사하여야 하나, 본 연구에서는 주중 교통량만을 조사하였고, 가장 일반적으로 주중 교통량을 대표할 수 있는 목요일에 조사를 실시하였다. 4시간동안 조사된 교통자료가 조사지역의 대표성을 갖는다고 할 수는 없으나 본 연구에서는 평일 첨두시간에 조사된 교통량을 가장 일반적인 교통상황이라 가정을 하였다. 교통량 조사 결과 교차로별 교통량이 가장 많은 지점은 용문네거리로 피크시 최대 5,620대/hr 이며 피크시간은 08:00~09:00사이로 나타났다. 주방향과 부방향의 교통량비는 주방향이 약 4배 정도 높게 나타났다.

2. 기하구조 및 신호현황

신호주기는 140~180초로 TOD로 운영되고 있으며 본 연구에서는 오전 7:00~8:00 사이의 교통량과

<표 1> 교차로 진입 총 교통량
 <Table 1> Traffic volume of peak time
 단위: 대/시간

교차로명	용문역 네거리	성원주유소 네거리	가장 네거리
07~08시	4,273	1,805	2,179
08~09시	5,620	2,510	3,371
18~19시	5,370	2,519	3,414
19~10시	5,212	2,423	3,060
교차로명	변동 오거리	변동 네거리	농도원 네거리
07~08시	3,372	2,032	1,882
08~09시	4,300	3,509	2,402
18~19시	4,954	3,164	2,921
19~10시	3,874	3,123	2,336



<그림 2> 분석에 이용된 교통축
 <Fig. 2> Study segment

신호주기를 이용하였다. 탄방주공네거리에서 가장초 교네거리까지는 170초의 주기로 운영되고 있으며 가장네거리에서부터 도마네거리까지는 150초로 운영되고 있다. 따라서, 경찰청의 자료에는 연동축으로 묶여있으나 축의 주기가 서로 다르다는 것은 실제적으로는 연동이 되지 않는다고 봐도 무방하다. 이는 잦은 정지와 가·감속을 야기하여 지체 및 통행시간을 증가시키는 결과를 가져오고 있다.

3. 분석결과

첫 번째, 기존의 신호주기 및 현시를 바탕으로 현황을 분석한 후 최적주기를 산출하였다.

두 번째, 좌회전 차량이 많지 않은 곳의 교차로에 좌회전을 금지하고 하류부로 이동시켜 유턴을 유도함으로써 변화하는 지체를 분석하였다. 이는 한 교차로에 집중되는 지체를 하류부로 분산 이동시켜 전체 교차로의 서비스 수준을 균등히 배분할 수 있는 방법 중 하나이다.

세 번째, 대부분의 교차로에서 4현시로 운영되고 있는 신호체계를 대향 직진 차량이 많지 않은 곳에 보호/비보호 혼용 좌회전을 줌으로써 운영형태를 바꿨을 때 효과를 비교 분석하였다.

1) 현황분석

먼저, 현황분석을 하기 위하여 현장에서 얻어진 기하구조, 교통량과 경찰청으로부터 구한 신호자료를 바탕으로 시뮬레이션 분석을 하였다. 교통량은 각 교차로에 방향별로 U턴 교통량을 포함하여 조사하였으며, 시간은 오전 7:00~8:00시 사이로 1시간을 분석하였다. 그 결과 용문역 네거리와 변동오거리 지체가 상대적으로 크게 나타났다. 각 교차로별 지체는 <표 2>와 같다.

2) 최적화 분석

본 연구에 이용된 용문역 주변은 양방 6차로로 1차로는 직·좌 동시로 움직이도록 노면 표시가 되어 있다. 이러한 이유로 신호는 현시 시간을 조정하는 것 이외에는 조정이 사실상 불가능한 현실이다.

본 연구에서는 단순한 비보호 좌회전의 효과만을 분석하기 보다는 도로를 직·좌 동시에서 독립적인 좌회전 베이를 줌으로써 다양한 신호현시 구현이 가능하도록 하였다.

좌회전 베이를 양방에 독립적으로 주기에는 도로의 폭이 충분치 않은 관계로 한 개 차로를 공용 좌회전으로 사용하였다. (도로폭 20m) 피크시간의 교통량이 용량을 초과하지 않는 이유로 한 차로를 줄이더라도 충분히 교통량을 처리할 수 있었다.

<표 2> 방향별 직진교통류 제어지체 현황(초/대)
<Table 2> Control delay of present condition for each direction

지점	주기	방향별 지체				LOS
		→	←	↑	↓	
용문역	170	47	38	84	59	E
성원주유소	170	60	40	49	17	D
가장네거리	150	2	54	32	49	D
변동오거리	150	58	59	29	276	F
변동네거리	150	55	55	44	11	C
농도원네거리	150	15	19	47	52	D

<표 3> 최적화된 방향별 직진교통류 제어지체(초/대)

<Table 3> Control delay after optimization for each direction

지점	주기	방향별 지체				LOS
		→	←	↑	↓	
용문역	100	50	28	16.4	38	D
성원주유소	100	17	10	14	17	B
가장네거리	100	22	22	20	22	C
변동오거리	100	39	39	12	122	D
변동네거리	100	34	34	12	8	B
농도원네거리	100	11	13	31	7	C

따라서 현황으로부터 좌회전 전용 베이를 사용하여 다양한 신호 조합이 가능하도록 한 후 신호최적화를 수행하였다. 최적화는 Corsim과 같이 사용이 가능한 Synchro 프로그램을 이용하여 신호, 현시, 윽셋 등을 구하였다. 최소 녹색시간은 보행자 보행속도와 교차로 넓이를 고려해 계산하여 적용하였다. 시뮬레이션 결과 주기는 기존의 170초와 150초의 두 가지로 되어 있는 것보다 100초로 통일되었을 때 지체가 최소화 되었다.

3) 좌회전 금지

신호주기를 최적화 한 후 교통량이 많지 않은 교차로에 좌회전 금지를 주어 좌회전 및 U턴 차량을 하류부 교차로에서 U턴을 하도록 유도하였다. 이는 신호현시를 3현시 또는 2현시로 줄임으로써 정지선에서 정차하는 시간이 줄어들며 직진 신호를 늘려주어 주방향 교통량을 보다 원활히 해결할 수 있는 장점이 있다.

6개의 교차로축 중 지체가 D 값이 나오는 변동오거리에 용문역 방향으로 좌회전을 금지시켜 보았다. 좌회전 교통량은 89대로 이 교통량을 하류부에 더하였을 때 하류부의 좌회전 및 U턴 교통량은 128대에서 217대로 증가하였다. 이때 최적 신호주기는 100초이며 교차로별 지체값은 <표 4>와 같다.

<표 4> 좌회전 금지후 방향별 직진교통류 제어지체 (초/대)

<Table 4> Control delay after prohibit left turn for each direction

지점	주기	방향별 지체				LOS
		→	←	↑	↓	
용문역	100	50	28	24	38	D
성원주유소	100	17	10	13	17	B
가장네거리	100	22	22	21	22	C
변동오거리	100	39	39	10	17	C
변동네거리	100	34	34	8	19	B
농도원네거리	100	11	13	31	8	C

변동오거리 좌회전교통량을 하류부로 이동시켜 U턴을 주고 현시수를 줄인 결과 지체는 54.2초(D)에서 22.7(C)초로 크게 향상되었으며, 줄어든 현시로 인하여 특히 농도원네거리방향은 지체가 122.2초(F)에서 16.9초(B)로 크게 향상되었다. 반면 하류부인 가장네거리의 경우 서비스 수준을 그대로 C로 유지함으로써 한 교차로에 집중되어 있는 지체를 분산하는 효과가 있었다. 이는 과포화 전략에서도 중요한 문제로 어느 한 지점에 지체를 집중할 것인지 교차로 전반에 지체를 분산할지를 결정하는 중요한 요소이다.

처음 현황은 도로축의 흐름이 전반적으로 좋지 못했으며 각 교차로별 서비스 수준은 C부터 F까지 교차로 간 편차가 심했다. 그러나 최적화와 좌회전 금지와 같은 신호운영으로 용문역 네거리를 제외한 나머지 교차로에서 서비스 수준이 B와 C로 고르게 향상 되었다. 이는 적절한 신호운영이 얼마나 중요하고 교통흐름에 큰 영향을 주는지를 알 수 있다. 따라서 좌회전 교통량이 많지 않은 곳은 좌회전을 금지시키고 하류부로 U턴을 유도함으로써 신호현시 및 주기를 줄여 지체를 줄일 수 있는 방법을 고려할 필요가 있다.

4) 보호/비보호 혼용 좌회전

비보호좌회전은 직진 신호에서 대향 차량이 없을 때 좌회전을 허용하는 방법으로 4색등화의 신호를 3색등화로 바꾸어 신호주기를 짧게 하고 교통흐름을 원활히 하는 방법 중 하나이다. 우리나라의 경우 국지도로와 같이 이동성 보다는 접근성이 높은 곳에 부분적으로 비보호 좌회전을 사용하고 있다.

본 연구에서는 보호 좌회전과 비보호 좌회전을 혼용하여 사용하는 보호/비보호 좌회전의 효과에 대한 연구를 공학적으로 계산하였다. 가장네거리에서 용문역 방향이동류 중 좌회전 차량 217대와 변동오거리에서 변동네거리 방향 교통류 중 좌회전 차량 474대를 보호/비보호 좌회전 신호를 주어 지체를 분석하였다.

분석결과 서비스 수준은 기존의 두 교차로 모두 C에서 변동이 없었다. 하지만 좌회전 차량의 지체는 가장네거리의 경우 7.7초에서 6.6초로 1초가 감소하였으며 변동오거리는 27.0초에서 12.1초로 크게 감소하였다. 가장네거리의 경우 효과가 크게 나타나지 않은 이유는 교통량이 많지 않기 때문으로 상대적으로 변동오거리의 지체감소 효과가 크게 나타났다.

<표 5> 보호/비보호 혼용후 방향별 직진교통류 제어지체(초/대)

<Table 5> Control delay after protected/permitted left turn for each direction

지점	주기	방향별 지체				LOS
		→	←	↑	↓	
용문역	100	50	28	17	38	D
성원주유소	100	17	10	13	17	B
가장네거리	100	22	22	21	22	C
변동오거리	100	39	39	10	17	C
변동네거리	100	34	34	8	18	B
농도원네거리	100	11	13	31	8	C

IV. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 신호선진화 방안의 일환인 좌회전 금지 및 비보호좌회전의 효과에 대해 분석하였다. 좌회전 금지와 보호/비보호 좌회전 도입에 따른 효과를 공학적으로 정량화하여 계산하였다. 좌회전 금지는 일부 운전자에게는 불편이 있으나 교통소통 측면에서 상당한 효과를 볼 수 있다. 특히 과포화 된 교차로에 직진 신호를 늘려 줌으로써 지체를 분산시키는 효과가 있다. 좌회전 금지의 경우 회전차량이 많지 않은 교차로의 회전교통량을 하류부로 이동시켜 U턴을 유도한 결과 서비스 수준이 D에서 C로 향상되었다. 또한, 보호/비보호 좌회전을 혼용하여 사용한 결과 변동오거리의 경우 좌회전 차량의 지체가 27.0초에서 12.1초로 크게 감소하였다. 따라서, 보호/비보호 좌회전은 양방 4차로와 6차로에서 선별적으로 도입을 한다면 보조간선급에서 상당한 효과가 기대된다.

본 연구에서 이용된 교통량이 대표성을 갖는다고 할 수는 없으므로 좀 더 다양한 교통데이터를 가지고 연구하는 것이 필요할 것으로 보인다. 또한, 좌회전 배이 유무 및 대향 교통량의 비율에 따른 비보호 좌회전 허용에 대한 기준 마련을 위한 다양한 연구가 향후 수반되어야 한다.

참 고 문 헌

[1] J. C. Spall, "Introduction to stochastic search and optimization," Wiley-Interscience, 2003.
 [2] J. C. Spall, "Multivariate stochastic approximation using a simultaneous perturbation gradient approximation," *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 37, no. 3, pp.332~341, March 1992.
 [3] 김진태, "비보호 좌회전 지체도 추정모형의 개선," *대한교통학회지*, 제21권, 제2호, pp.107~118, 2003. 4.
 [4] 김원호, "외국 사례를 통해 본 서울시 교통신호 운영 개선방향," 서울시정개발연구원, 2007.
 [5] 이광훈, "교통신호 제어시스템의 최근 동향과 전망," 한국교통연구원, 2006. 9.
 [6] 김운수, "좌회전 신호운영전략의 변화에 따른 대기

환경 개선효과 평가," 서울시정개발연구원, 2006. 6.
 [7] 최병국, "인천광역시 교통신호시스템 운영실태 및 발전방향," 인천발전연구원, pp.78, 2007. 12.
 [8] 임용택, "양방향연속진행 교통신호제어시스템," 서울시정개발연구원, 2005.
 [9] D. H. Lee, X. Yang and P. Chandrasekar, "Parameter calibration for PARAMICS using genetic algorithm," Paper presented at the 80st Transportation Research Board Meeting, no. 01-2339, pp.7-11, Jan. 2001.
 [10] B. Park and H. Qi, "Development and evaluation of a procedure for the calibration of simulation models," *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board*, no. 1934, pp. 208~217, 2005.
 [11] S. J. Kim, W. Kim and L. Rilett, "Calibration of microsimulation models using Non-Parametric statistical techniques," *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board*, no. 1935, pp.111~119, 2005.
 [12] K. O. Kim and L. R. Rilett, "Simplex-based calibration of traffic Micro-Simulation models with intelligent transportation systems data," *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board*, no. 1855, pp.80~89, 2003.
 [13] J. Ma, Y. Nie and H. M. Zhang, "Solving the integrated corridor control problem using simultaneous perturbation stochastic approximation," *Paper presented at the 86th Transportation Research Board Meeting*, Jan. 2007.
 [14] J. Lee and K. Ozbay, "Calibration of a macroscopic traffic simulation model using enhanced simultaneous perturbation stochastic approximation methodology," *Paper presented at the 87th Transportation Research Board Meeting*, Jan. 2008.
 [15] L. Ding, "Evaluation of ITS technologies in south jersey priority corridor project," Master Thesis, Rutgers, The State University of New Jersey, 2003.

저자소개



이 정 범 (Lee, Jung-Beom)

2009년 4월 ~ 현재 : 대전발전연구원 도시기반연구실 연구위원
2009년 3월 ~ 2009년 4월 : 서울시립대학교 연구교수
2008년 : Rutgers, The State University of New Jersey, 토목공학과 (교통공학박사)
2001년 : 단국대 토목과 (교통공학석사)
1999년 : 단국대 토목과 (공학사)



이 범 규 (Lee, Beom-Kyu)

2001년 3월 ~ 현재 : 대전발전연구원 도시기반연구실 연구위원
2000년 4월 ~ 2001년 3월 : 대전광역시 교통국 전임연구원
2010년 : 목원대 도시공학과 (교통공학박사)
1999년 : 목원대 도시공학과 (교통공학석사)
1997년 : 목원대 도시공학과 (공학사)