

한국형 ITS환경을 위한 시뮬레이션 교정 기법

신세정*, 이충산*, 한영탁*, 전수빈*, 서동만**, 정인범*

*강원대학교 컴퓨터정보통신공학과

**대구가톨릭대학교 IT공학부

e-mail:ndyrs1130@kangwon.ac.kr

Calibration for Simulating a ITS Algorithm in Korea Highway

Se-Jeong Shin*, Chung-San Lee*, Young-Tak Han*, Soo-Bin Jeon*,
Dong-Mahn Seo**, In-Bum Jung*

*Dept. of Computer and Communications Engineering, Kangwon National University

**School of Information Technology Engineering, Catholic University of Daegu

요 약

차량의 증가에 따라 다양한 교통문제들이 발생하고 있다. 이러한 문제를 해결하고자 IT기술과 융합된 지능형 교통시스템(ITS)의 연구가 진행되고 있다. 하지만 기존 ITS기술들은 국가별로 도로의 특성이 다양하기 때문에 쉽게 적용하기 어렵다. 그러므로 기존ITS기술들을 실험 및 테스트하기 위한 시뮬레이션 환경이 필요하다. 본 논문에서는 ITS기술들을 한국도로에 적용 할 수 있도록 하는 교정방법을 제안한다. 실험 도로는 항상 정체 현상이 발생하는 서울의곽순환고속도로를 선택하였고 실험 환경은 PTV사의 VISSIM 시뮬레이터를 이용하였다. 실험 결과 실제 속도 등고선 그래프와 시뮬레이션 환경에서의 속도 등고선 그래프의 병목현상이 발생하는 구간이 동일한 것을 확인 하였다. 또한 스테이션별 통행량 그래프를 비교하여 실제 교통량과 유사함을 확인하였다.

1. 서 론

최근 과학 기술과 산업의 급격한 발전으로 과거에 비해 차량이 매우 증가하였다. 이에 따라 교통체증을 비롯한 다양한 교통문제들이 발생하고 있다. 과거에는 교통문제를 해결하기 위해 도로 확충과 같은 물리적¹⁾인 방법을 사용해 왔지만 이러한 방법은 비용 및 공간적 한계가 있다. 따라서 새로운 시설을 건설하기 보다는 기존시설을 활용하여 교통문제를 해결하고자 하는 다양한 방법들이 연구되고 있는데 그 중 대표적인 방법이 IT와 교통 분야가 융합된 지능형 교통 시스템(ITS: Intelligent Transportation Systems)이다. 지능형 교통 시스템은 기존의 교통체계에 각종 지능형 기술을 접목시킨 교통시스템으로 교통의 효율성과 안정성, 쾌적성 증가를 목적으로 연구되고 있다.

도시 고속도로는 대형 도시의 교통량의 대부분을 맡고 있는 가장 중요한 도로 중 하나이다. 현재 도시 고속도로의 교통 환경 개선을 위한 지능형 교통 시스템의 대표적인 방법으로 가변 속도 제한(VSL: Variable Speed Limit)과 램프 미터링(Ramp Metering)등이 있다[1, 2]. 하지만 국가별로 다양한 고속도로의 특성 때문에 특정 국가에서 개발된 ITS 기술들을 다른 국가의 고속도로에 적용하기엔 많은 어려움이 따른다. 그러므로 기존 ITS 기술을 각 국가 도로의 특성에 맞도록 하기 위한 교정 과정과 실험 및

테스트를 위한 시뮬레이션 환경이 필요하다.

본 논문에서는 ITS 기술들을 한국 고속도로에 적용할 수 있도록 하는 교정 방법을 제공한다. 교정(Calibration) 작업은 시뮬레이션 상에 실제 도로 환경 구성을 위한 가장 중요한 작업 중 하나이다. ITS 기술들을 실험하기 위해서는 실제 도로와 똑같은 환경의 시뮬레이션 환경이 필요하다. 그러므로 실제 도로의 정체 구간을 정확히 파악하고 시뮬레이션 환경의 각 구간에 정체 현상을 발생시킬 수 있어야 한다. 하지만 현재 대부분의 교정 방법들은 미국 교통 특성에 가깝게 만들어져 있다. 그러므로 기존 교정 방법을 한국도로에 적용했을 때 이 방법은 예기치 못한 문제를 발생 시킬 수 있다[3]. 한국 고속도로는 미국 고속도로와 다르게 가변도로가 자주 발생하고 도로가 넓은 구간이 많다. 또한 도로 요금을 지불하는 톨게이트 교정방법에 대한 연구가 부족함으로 추가적인 연구가 필요하다.

교정 방법 연구를 위해 교통 시뮬레이터인 PTV사의 VISSIM을 기반으로 한국 고속도로의 시뮬레이션 환경을 구축하였다. 교통데이터의 비교실험을 통해 기존 교정 방법의 매개변수의 값을 가변도로와 넓은 도로, 톨게이트 등과 같은 한국도로의 특성에 맞는 값으로 조정하였다.

2. 기존 calibration 매개변수 값

환경을 쉽게 변경할 수 없는 도로의 특성상 ITS 기술들

· 이 논문은 정보 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2013R1A1A2008811)

을 실제 도로에 적용하기 위해서는 많은 준비 과정이 필요하다. 따라서 각 기술들을 실제 도로에 적용하기 전에 시뮬레이션 환경에 적용하여 안정성과 효율성을 검증해야 한다. 시뮬레이션 상에 실제 도로 환경 구성을 위한 가장 중요한 작업 중 하나는 교정 작업이다.

UC Berkely에서 수행한 Vehicle-Following Behavior 값을 이용한 교정방법은 도로의 타입을 Freeway, Merge, Weaving으로 분류하고 차 사이의 거리 간격, 차 사이의 시간 간격, 앞 차량의 감 가속을 반응하는 정도, Lane Change 전 정지하는 시간을 수정하였다[1, 2, 4]. 하지만 위 교정방법은 미국 교통 특성에 맞게 교정되어 있다. ITS가 연구된 미국의 고속국도는 대부분 3차선 이하이고 무료로 이용할 수 있어 톨게이트가 필요 없다. 하지만 한국 고속도로는 톨게이트가 존재하고 4차선 이상의 도로와 가변도로를 가진 구간이 많기 때문에 기존의 교정방법을 사용하기에는 적합하지 않다.

3. 실험환경

3.1 실험 도로 및 시뮬레이션 환경

실험도로는 그림1과 같이 서울외곽순환고속도로의 South 방향 중 별내IC부터 서하남IC 사이의 구간을 선택하였다. 서울외곽순환고속도로는 서울 외곽 및 근교 도시들을 연계하는 순환형 고속도로이다. 별내IC부터 서하남IC 사이의 구간은 출퇴근하는 차량이 주로 이용하는 도로이며 교통체증이 빈번하게 발생하는 구간이다.

실험 도로는 21개의 진출입 지점이 존재하고 속도제한은 100km/h이며 총 길이는 23.21km이다. 실험 도로는 400~2200m마다 차량정보를 수집하는 디텍터의 묶음이 존재한다. 본 논문에서는 2015년 11월 25일 5:00AM~1:00PM까지의 실제 데이터를 스테이션에서 수집하여 시뮬레이션의 결과와 비교한다.

실험을 위해 교통시뮬레이터인 PTV사의 VISSIM을 사용하여 시뮬레이션 환경을 구축하였다. VISSIM은 미시적인 교통시뮬레이터로서 시간의 변화와 도로의 특성에 따라 다양한 도로환경을 구현 및 실험할 수 있다[5]. 시뮬레이션 환경 구축을 위해 한국도로공사에서 제공하는 데이터를 이용하였다. 시뮬레이션 환경에서의 데이터 수집하기 위해 KHTA(Korea Highway Traffic Analysis Tool)를 VISSIM과 연동하였다. KHTA는 한국 고속도로의 데이터를 가지고 있고 VISSIM을 제어하여 다양한 ITS알고리즘을 시뮬레이션 할 수 있다.

<표 1> 교정된 매개변수 값

Parameter for each station			
Link Type	CC1 Headway time	CC8 Standstill Acceleration	CC9 Acceleration at 80 km/h
Freeway	1.0s	3.50m/s ²	1.5m/s ²
Guri_Exit	1.2s	1.28m/s ²	1.5m/s ²
Toegyewon_Entrance	1.55s	2.28m/s ²	1.5m/s ²
Guri_Entrance	1.85s	2.28m/s ²	1.5m/s ²
Guri_Clover	1.2s	2.28m/s ²	1.5m/s ²
Guri_TG	0.5s	3.28m/s ²	1.8m/s ²
Guri_TG_After	1.0s	4.19m/s ²	1.5m/s ²
Topyong_Entrance	2.3s	1.85m/s ²	1.0m/s ²
Kangil_Entrance	1.75s	2.0 m/s ²	1.5m/s ²
Sangil_Before	1.0s	3.19m/s ²	1.5m/s ²
Sangil_Entrance	2.4s	2.28m/s ²	1.19m/s ²
Sangil_After	1.8s	2.58m/s ²	1.19m/s ²
Hanam_Before	1.8s	3.19m/s ²	1.5m/s ²
Seohanam_Exit	2.5s	1.0 m/s ²	0.95m/s ²
Seohanam_Entrance	2.5s	1.5m/s ²	1.0m/s ²
Seohanam_After	2.8s	1.5m/s ²	1.0m/s ²

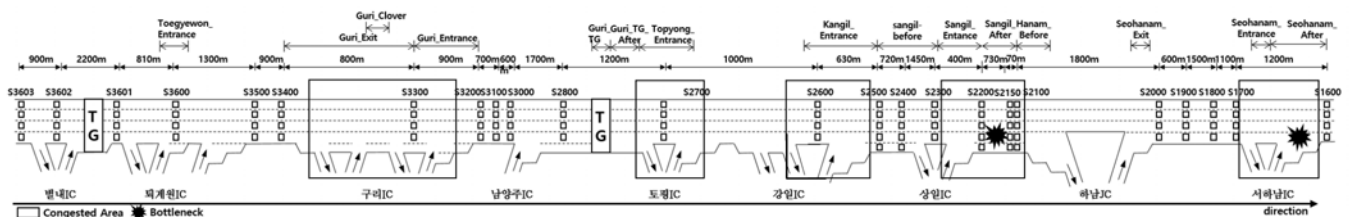
Parameter for Lane Change			
Necessary lane change	Maximum Deceleration	-1m ² per distance	Accepted Deceleration
Own	-3.0m/s ²	77.33m	-0.91m/s ²
Trailing vehicle	-3.25m/s ²	70m	-1.19m/s ²
Waiting time before diffusion		Minimum Headway	
23.13s		0.09m	

3.2 교정(Calibration)

VISSIM에서는 도로에서 차량의 운행 방법 및 규칙에 필요한 기본적인 매개 변수를 제공한다. 시뮬레이션 상의 차량은 매개변수의 값에 따라 전혀 다른 움직임을 보이기 때문에 VISSIM에서의 매개변수 교정은 매우 중요한 과정 중 하나이다. 그러므로 기본적으로 실제 도로 환경에서 발생하는 정체 현상을 시뮬레이션 환경에 그대로 적용할 수 있도록 매개 변수를 수정 해 주어야 한다.

그림 1과 같이 실제 도로 환경에서 병목현상이 발생하는 곳은 구리IC, 토평IC, 강일IC, 상일IC, 서하남IC가 있다. 구리IC, 토평IC, 강일IC, 서하남IC는 진입하는 많은 교통량으로 인해 병목현상이 발생한다. 상일IC-하남JC 사이의 노선에서는 하남JC로 빠져나가는 많은 차량들이 동시에 차선변경을 하면서 정체 현상을 발생 시킨다.

본 논문에서는 실제 도로 환경과 비슷한 시뮬레이션 도로 환경을 구성하기 위해 그림 1과 같이 도로를 여러 타입으로 분류하고 CC값 및 Lane Change Parameter를 수정하였다. VISSIM에서는 운전자의 특성을 입력할 때 도로의 타입을 만들고 추종차량의 모델을 결정해야 한다. 추

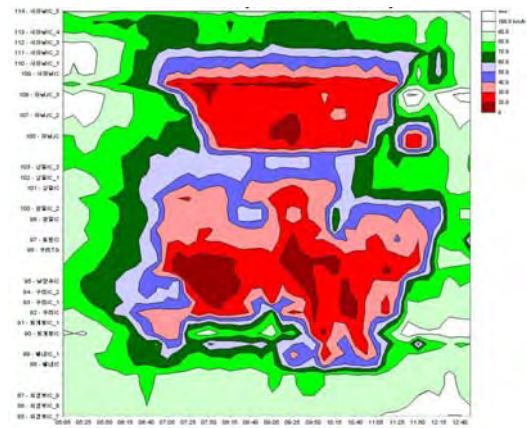


(그림 1) 실험도로 [서울외곽순환고속도로 SB]

중차량의 모델은 Wiedemann 모델을 기본으로 한다. 모델의 종류는 74년에 개발된 모델과 99년에 개발된 모델이 있는데 본 논문에서는 99년에 개발된 모델을 사용한다. 이 모델은 10가지의 calibration 매개변수로 구성되어 매개변수들을 CC로 분류한다. 10가지의 CC 값은 크게 거리, 속도, 가속도에 대한 값으로 분류할 수 있다. 표 1의 Parameter for each station은 병목현상이 발생하는 스테이션의 교통 흐름에 따라 CC값을 수정한 것이다.

CC1(Headway Time)은 운전자가 희망하는 안전거리를 표현할 때 사용하는 변수로 속도를 변화시키는 요소이다. VISSIM에서 CC0, CC1은 도로의 정체에 영향을 주는 안전거리를 계산하는 값이다. 차량 간의 안전거리에 따라 차량들의 정차 횟수가 변하기 때문에 안전거리는 도로 정체에 큰 영향을 준다. 안전거리는 CC1의 값에 따라 민감하게 반응하기 때문에 본 논문에서는 도로의 정체를 위해 CC1의 값을 조정한다. VISSIM의 CC1 기본값은 0.9s 이다. CC1의 기본값은 실제도로에서의 값과 차이가 많이 나기 때문에 기본값을 사용하게 되면 정체현상이 일어나지 않는다. 따라서 CC1의 전체적인 값을 증가시켜 정체현상을 유도하였다. CC8(Standstill Acceleration)은 차량이 정지했다가 다시 움직일 때의 가속도이다. VISSIM의 기본값은 $3.5m/s^2$ 이다. CC8은 실제 가속도에 비해 너무 크기 때문에 정체현상의 해소가 지나치게 빨라져 전체적인 CC8을 감소시켰다. CC9(Acceleration at 80 km/h)는 80km/h부터의 가속도이다. VISSIM의 기본값은 $1.5m/s^2$ 이다. CC8과 같은 이유로 전체적인 값을 감소시켰다.

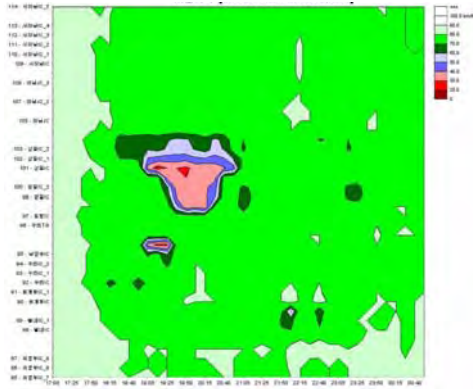
(1) Freeway는 시뮬레이션의 기본 매개변수 값을 가진 Link Type이다. (2) Toegyewon_Entrance는 그림 1에서 보는 것과 같이 고속도로로 진입 하는 차량이 많고 차선의 수가 5차선에서 4차선으로 줄어들기 때문에 병목현상이 발생한다. 그러므로 이곳은 CC1을 1.55s로 증가시켜 정체현상을 발생시킨다. (3) Guri_Entrance는 진입한 차량에 의해 정체현상이 일어나는 구간이다. CC1을 1.85s로 변경하여 정체현상의 발생을 유도한다. (4) Guri_Clover는 도로가 2차선이고 진입한 차량과 나가려는 차량으로 인해 혼잡하다. 하지만 시뮬레이션 환경에서는 지나치게 심각한 교통정체가 발생하여 CC1값을 줄여 혼잡을 완화시켰다. (5) Guri_TG 구간은 톨게이트가 존재하는 도로의 교통흐름을 위한 구간이다. VISSIM에서는 톨게이트를 위한 설정이 존재하지 않아 톨게이트의 특성을 이용하여 새로운 구간을 설정하였다. 톨게이트에서는 차량들이 차선 변경을 하지 않아 각 차선을 독립된 도로로 구성하였다. 또한 하이패스 차선을 제외한 도로에 요금소에서 통행요금을 결제할 때 발생하는 정차를 구현하기 위해 Stop Sign을 추가하였으며 실제 요금소와 같이 차량이 진입하기 전에 감속을 유도하는 구간을 설정하였다. 톨게이트는 도로가 넓어졌다가 좁아지는 구간이기 때문에 도로가 병합되는 부분이 많다. VISSIM에서는 많은 도로가 일시에 병합되면 의도하지 않은 심각한 정체현상이 발생한다. 이러한 현상



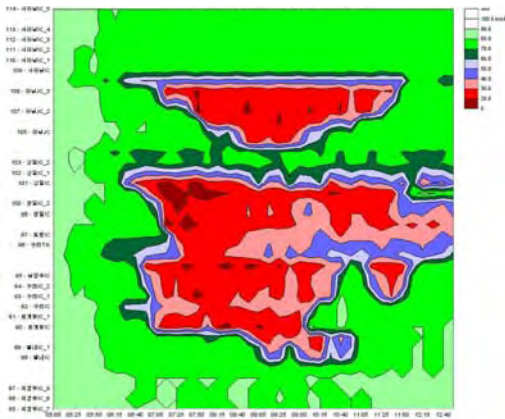
(그림 2) 실제 고속도로 속도 등고선 그래프

을 막아주고자 CC1을 0.5s 까지 크게 줄여 차량 흐름을 원활하게 한다. (6) Guri_TG_After는 시뮬레이션 환경에서 톨게이트를 구성하기 위한 도로의 구성 상 톨게이트를 통과하여 좁아지는 도로로 진입하기 위해 차선 변경을 시도하는 차량과 Exit로 나가기 위해 차선 변경을 시도하는 차량들로 인하여 원활한 흐름을 보이는 실제 데이터는 다르게 매우 혼잡하다. 이 구간의 흐름을 완화시키기 위해 CC8을 $1.8m/s^2$ 까지 증가시켜 구간 내의 차량을 빠르게 가속시켜 신속한 통과를 유도한다. (7) Topyong_Entrance는 주도로로 진입하는 차량으로 인해 병목현상이 발생하는 구간이지만 Freeway의 매개변수 값으로는 교통정체가 발생하지 않아 CC1을 증가시켜 정체현상을 발생을 유도한다. 또한 실제 도로에서는 이 정체 구간이 다음 스테이션까지 이어지게 된다. 하지만 시뮬레이션 환경에서는 차량의 가속도가 지나치게 높아 다음 스테이션에서는 정체현상이 나타나지 않는다. 다음 스테이션의 정체 현상을 유도하기 위해 CC8과 CC9를 추가로 감소시킨다. (8) Kangil_Entrance와 (9) Sangil_Entrance는 실제 도로에서는 진입하는 차량이 많아 정체현상이 일어나는 구간이지만 시뮬레이션 환경에서는 정체현상이 발생하지 않는다. CC1을 증가시켜 정체현상을 유도한다. (10) Sangil_After와 (11) Hanam_Before은 실제 도로상에서 하남JC 방향의 중부고속도로로 빠져나가려는 차량 때문에 정체현상이 발생한다. 그러므로 정체현상을 유도하기 위해 CC1을 1.8s로 증가시킨다. (12) Seohanam_Entrance와 (13) Seohanam_After는 실제 도로에서는 진입하는 차량이 많아 정체현상이 발생하는 구간이다. 따라서 Entrance와 합쳐진 후의 정체현상을 발생시켜주기 위해 CC1을 2.5s와 2.8s로 증가시켜 주었다.

표 1의 Lane Change Parameter는 차량이 차선을 변경할 때의 행동 양식을 의미한다. Lane Change에서 Own은 차선을 변경하여 다른 차선으로 끼어드는 차량이고, Trailing vehicle은 도로를 주행하다 끼어드는 차량에 의해 영향을 받는 차량이다. 표 1에서 Maximum Deceleration은 차량의 최대 감속도이고 $-1m/s^2$ per distance란 속도 감소를 준비하기 위한 거리이다.



(그림 3) 기본 매개변수 값을 이용한 시뮬레이션 속도 등고선 그래프



(그림 4) 교정된 매개변수를 이용한 시뮬레이션 속도 등고선 그래프

Accepted deceleration은 차량의 최소 감속 속도이다[5]. 각 Entrance와 주도로가 합쳐지는 구간은 기본 매개변수 값을 사용하게 되면 Entrance에서 진입하는 차량이 주도로에서 오는 차량에 의해 진입을 하지 못하고 멈추게 된다. Entrance에서 진입하는 차량이 일정 시간 내에 주도로로 진입을 하지 못하게 되면 실제 통행량보다 적은 차량이 진입하여 실제 통행량과 차이가 발생하게 된다. 따라서 Entrance에서 주도로로 진입하는 차량이 원활하게 통행할 수 있도록 이 구간에서는 Trailing vehicle의 Maximum Deceleration을 높여주고 Own의 Maximum Deceleration을 낮춰 주도로로 진입하려는 차량이 원활하게 차선 변경을 할 수 있도록 하였다.

4. 실험 결과

본 논문에서의 교정 방법의 타당성을 검증하기 위해 실제 데이터와 시뮬레이션 결과 데이터의 속도를 비교하였다. 그림 2-4는 각 스테이션 별로 속도를 비교한 그래프이다. 그림 2는 실제 도로에서 측정된 속도의 등고선 그래프이고 그림 3은 VISSIM의 기본 매개변수 값을 이용한 시뮬레이션의 속도의 등고선 그래프이다. 그림 4는 본 논문에서 교정한 매개변수 값을 이용한 결과이다. 그림 2에서 알 수 있듯이 실제 도로는 상일IC와 서하남IC로 인해 정체구간이 나타나고 6시부터 13시까지 유지되는 것을 볼 수 있다. 하지만 그림 3과 같이 기본 매개변수 값을 사용

한 시뮬레이션 결과는 정체현상이 거의 발생하지 않는다. 기본 매개변수 값을 사용하게 되면 실제보다 도로상의 차사이 간격이 좁고 정지 상태에서의 가속도가 높아 차량이 비정상적으로 빠르게 이동하기 때문에 정체가 발생하기 어렵다. 하지만 그림 2, 4와 같이 교정된 매개변수 값을 사용한 경우와 실제 교통량 그래프를 비교해보면 정체가 시작되어 끝나는 스테이션이 비슷하고 정체가 유지되는 시간도 비슷한 것을 알 수 있다.

5. 결론 및 향후 계획

본 논문에서는 ITS기술들을 한국도로의 특성에 맞게 적용시키기 위한 시뮬레이션 환경의 교정방법을 제안하였다. 제안하는 교정방법은 가변도로가 자주 발생하고 도로가 넓은 구간이 많은 한국 고속도로의 특성에 맞게 매개변수 값을 수정하였다. 실제 도로 데이터와 제안한 교정방법의 속도를 등고선 그래프를 이용하여 비교한 결과 정체현상이 일어나는 스테이션과 끝나는 스테이션이 비슷한 결과가 나온 것을 확인하였다.

현재 한국에는 가변 속도 제한과 램프 미터링과 같은 지능형 교통 시스템이 보편화되어 있지 않다. 또한 기존 연구들은 해외의 도로환경에서만 성능이 검증되어 있다. 따라서 향후에는 보편적으로 사용되고 있는 램프 미터링과 가변 속도 제한 알고리즘을 본 논문에서 구상한 서울외곽 순환고속도로 시뮬레이션 환경에 적용하는 연구를 진행할 계획이다.

참고문헌

[1] Youngtae Jo, Yoon Kim, Inbum Jung, "Variable Speed Limit to Improve Safety near Traffic Congestion on Urban Freeways," International Journal of Fuzzy Systems, Vol 14, No 2, pp. 278-288, Jun, 2012

[2] 전수빈, 정인범, "지능형 교통시스템에서 도시 고속도로와 램프의 교통량을 고려한 밀도 기반 램프 미터링 방법," 정보과학회논문지, 42권, 3호, pp. 223-238, 2015년 03월

[3] 김규옥, 신희철, 이재형, 박지은, "인접 신호교차로를 고려한 램프미터링 운영전략 개발," 대한교통학회, 61권, pp.281-286, 2009년

[4] G. Gomes, A. May, R. Horowitz, "Congested Freeway Microsimulation Model Using VISSIM," Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, no.1876, pp.71-81, 2004

[5] PTV, "VISSIM Version 5.2 Manual," Innovative Transportation Concepts. PTV Planung Transport Verkehr AG, Karlsruhe, Germany, 2009

[6] 정희승,이용재,김태완, "VISSIM 에 A1 우회전 차량 패턴에 영향을 미치는 parameter 에 관한 연구" 대한교통학회 학술대회지, 2008년