

고속도로 IC간 교통수요 추정과 이를 통한 교통정보 제공 알고리즘 개발

Development of A Estimation Method of Traffic Demand Between ICs and An Algorithm for Providing Traffic Information

이 준 Lee, Jun	정회원 · 동경대학교 사회기반학과 박사과정 (E-mail : lee@trip.t.u-tokyo.ac.jp)
조 한 선 Cho, Hanseon	정회원 · 한국교통연구원 도로연구실 연구위원 (E-mail : h-cho@koit.re.kr)
권 영 인 KWON, Young-in	정회원 · 한국교통연구원 도로연구실 연구위원 (E-mail : ykwon@koit.re.kr)

ABSTRACT

The objective of VMS(Variable Message Sign) is to provide the traffic information downstream to drivers upstream so that they can choose their routes or expect the travel time to arrive the destination. Because there is not enough time and space to show the message, VMS message should be selected carefully. However, the message of VMS has been simply selected among the pre-designed message sets based on the priority rule of events. If the traffic demand between origin and destination is identified along the freeway, message can be selected to provide the information of a route that more drivers will use. In this study, a time sliced OD(Origin/Destination) estimation method will be developed using the detector information of the on-ramp, exit ramp, and the main lanes. And the strategy of a priority rule of message was planned.

KEYWORDS

VMS, order priority of message, route choice, time-sliced O/D estimation, traffic demand

요지

VMS(Variable Message Sign)는 도로의 이용자에게 하류부의 교통정보를 제공하여 운전자의 경로선택을 위한 의사결정정보와 목적지까지 이동하기위하여 소요되는 통행시간정보를 제공한다. 하지만, VMS에 표출할 수 있는 정보의 개수는 표출면에 의한 제약이 있기 때문에 신중하게 결정되어야 한다. 지금까지 기 구축된 이벤트의 메시지 표출우선순위는 발생한 이벤트의 심각도만을 고려하여 우선순위 규칙을 적용하고 있다. 하지만 VMS를 더욱 효율적으로 운영하기 위해서는 통행수요가 많은 경로에 교통정보를 우선적으로 제공할 때 그 정보의 수혜자가 가장 많을 것이다. 그러므로 실시간으로 기중점을 파악하여 더욱 많은 운전자가 경로선택이 가능한 정보를 제공받을 수 있도록 정보제공 전략을 수립할 필요가 있다.

본 연구에서는 주도로와 진출입 램프의 검지기 데이터를 이용하여 시간분할 기중점 추정방법론으로 통행수요를 추정하였으며, 추정된 기중점자료를 바탕으로 정보제공 우선순위를 결정할 수 있는 정보제공 전략을 소개하였다.

핵심용어

VMS, 표출우선순위, 경로선택, 시간분할 OD, 통행수요

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

도시고속도로 및 일반국도에 설치되고 있는 VMS(Variable Message Sign)는 운전자에게 전방도로의 소통상황, 이벤트 발생여부, 기타 안내 및 홍보를 위한 정보가 가변적으로 제공되고 있다. 이렇게 제공되는

정보는 도로상에 설치된 검지기를 이용한 정보수집과정과 업데이트 주기를 반영한 정보가공과정을 통하여 생성되며, VMS의 각 위치별로 적절한 정보를 표출면(Phase)수 이내에서 제공하게 된다. 하지만, 일부 VMS의 정보제공 범위에 다량의 이벤트가 발생하게 된다면 표출면수보다 제공해야 하는 정보가 많아지는 경우가

발생가능하다. 이런 경우 운영자는 필연적으로 가장 중요한 정보를 결정하여 정보를 제공하게 되며 일부 정보는 누락되어 운전자에게 정보를 제공할 수 없다. 물론 정보제공시간의 대부분을 차지하는 반복지체상황발생시의 시스템운영은 이미 자동화되어 있기 때문에 표출면수의 한계를 극복할 수 있도록 VMS설치위치와 표출면수를 고려하여 설계되고 있다. 하지만 발생시점과 위치, 그리고 종류를 짐작하기 어려운 불규칙한 이벤트 상황(각종사고, 기상악화, 도로침수, 화재, 행사홍보 등)의 정보들은 현재 수집가능한 ITS시스템 체계에 비해서 VMS표출면수의 한계상황에 의하여 많은 제약을 갖게 되므로 이러한 상황에서 표출정보의 우선순위 결정은 시스템 운영을 위하여 매우 중요한 기준이 아닐 수 없다 (이준 외, 2006; 장정아, 2004; LG-CNS, 2004).

하지만 이런 요구에도 불구하고 정보제공의 우선순위 결정에 대한 연구들은 아직까지 시스템전체의 효율성보다는 임의로 정해진 이벤트의 심각도에 의해서 정체상황이 가장 나쁜 정보를 최우선순위를 가지고 표출되도록 설계되어 있다. 시스템의 효율성을 위해서는 흥미 또는 운전자의 지적욕구를 만족시킬 수 있는 심각한 이벤트 상황보다는 가장 많은 운전자가 필요로하는 정보가 우선적으로 제공되어 적절한 대안도로로의 우회를 유도하고 도착시간 등을 예측할 수 있어야 할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 이러한 취지에서 정보제공우선순위전략을 수립하고자 하였다. 현 검지체계에서 교통수요가 많은 방향을 실시간으로 검지하여 정보수혜자가 가장 많은 방향을 예측하고 이 방향에 대한 이벤트의 심각도를 이용하여 정보를 제공하여 가장 많은 운전자가 자신의 목적지까지의 도로상황에 대한 정보를 수혜할 수 있도록 설계하였다. 이 때, 실시간 교통량은 검지기로부터 수집되는 정보를 시간분할 기종점 추정방법(Time-Sliced OD Estimation)을 활용하여 추정하였다.

1.2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 ATMS(Advanced Traffic Management System)의 정보제공체계 단계에서 VMS 설치위치가 결정된 이후의 메시지 전략이므로 설치위치에 대한 논의는 연구범위에서 제외한다. 그리고 VMS의 설치 위치에 따라 제공하여야 하는 정보는 정보제공의 방향에 따라서 구분된다. 즉, 본선하류부의 소통상황을 제공하기 위한 단방향 VMS와 램프를 이용하여 진출이 가능한 본선이외(주요 연결 고속도로와 대체도로 등)의 정보를

제공하여야 하는 다방향정보제공용 VMS로 구분된다.

본 연구에서는 본선과 연결도로 등의 교통정보를 제공하는 다방향 VMS를 연구대상으로 한다. 이 VMS는 여러 진행방향의 제공해야하는 다수의 정보를 제한된 표출면 내에서 제공하게 되기 때문에 단위이벤트의 심각도와 영향정도를 고려하여 표출정보의 우선순위를 결정하여야 한다. 하지만 특정목적(행사, 지역설명 등)으로 설치된 VMS는 구축 당시에 우선순위가 결정되어 있으므로 본 연구에서 제시한 우선순위 결정규칙이 적용되지 않을 수 있다.

본 연구에서는 정보제공의 우선권을 교통량(수요량)이 가장 많은 방향에 정보제공 우선권을 부여하는 방법을 제시한다. 실시간으로 그 수요량이 가장 많은 곳을 판단하기 위하여 연평균일교통량(AADT) 기준의 기종점 자료가 아닌 검지기를 통해서 얻는 실시간 자료를 이용하여 분석목적의 단위시간별(수집단위는 5분) 실시간 기종점 자료 구축 방법론을 제시한다. 이 방법은 시간에 대한 연속성이 있지만 이전의 상황에 대하여 독립적으로 추정되고 있으므로 동적기종점 추정(Dynamic OD Estimation)방법론과는 차이가 있으며 시간분할 기종점추정(Time-Sliced OD Estimation)으로 정의한다.

2. 정보제공전략

2.1. VMS 정보제공

일반적인 정보제공전략의 경우 제약된 VMS의 표출면(Phase)이 존재하기 때문에 표출면 이상의 이벤트가 추가적으로 발생하면 필연적으로 가장 중요한 정보를 선별하여 제공하게 된다(한국교통연구원, 2005). 그러므로 정보제공의 우선순위, 정보제공의 방향 등의 정보 제공 효과를 고려하기 위하여 여러 가지 교통정보 제공 기법 연구(김정연 외, 2005; 임관수 외, 2007)가 이루어지고 있으며, VMS에 표출된 정보들에 의하여 운전자들이 네트워크에 미치는 영향에 대한 연구들 또한 이 청원(2003)에 의하여 연구되기도 하였다. 그 밖에도 본선의 경로인지특성을 고려한 전략적 정보제공 방안에 대한 연구로 이창우(2003)와 조종석 외(2005)의 연구들이 진행되었다. 운전자에게 선택 노선에 대한 정보를 제공하여 교통량 분산효과를 기대할 수 있는 서우석(2001)의 연구와 함께 장정아(2004)는 관리자의 운영 목적으로 통행정보를 제공함으로써 운전자의 경로선택 과정에 개입하여 도로망의 교통량 분산효과를 유도할 수 있음을 제시하기도 하였다.

교통 수요측면으로 거시적 관점의 시스템 운영에 대한 전략적 방법론으로 체계최적(SO: System Optimization)과 이용자평형(UE: User Equilibrium)을 비교한 이상건(1997)의 연구에서는 교통량이 증가할수록 시스템 최적측면의 경로안내가 이용자평형상태의 경로 안내에 비해 총 통행 시간을 절약하는 것으로 나타나기도 하였다. 그러므로 교통 수요 관리는 시스템 최적화를 목표로 설계하게 되며, 이를 위한 적절한 우회 전략과 분산 전략이 필요하다고 지적하기도 하였다. 정보제공에 대한 운전자들의 반응을 연구한 이경순(2004)은 설치된 검지기를 통하여 정보제공에 따라 터널 이용량의 증감을 분석하였으며, 설치 후 정보제공에 의하여 교통량이 우회함을 관찰하였다. 그리고 최기주와 장정아(2004)는 정보제공 수준을 결정하기 위하여 게임이론을 적용하여 균형점을 도출하고, 이를 통하여 메시지 내용과 표출시간을 제시하기도 하였다. 정보제공에 우회·분산 효과와 달리 김숙희(2004)는 향상된 정보의 잠재적인 역효과를 들어 정보제공에 의한 이용자들의 집중화 현상(Concentration), 정보의 과포화(Over-saturation), 정보의 과민반응(Overreaction)을 지적한 바 있으며, 이와 같은 역효과와 함께 정보제공의 목적에 적절한 메시지 셋 설계 방법론을 제시하기도 하였다.

시스템 최적의 목적 및 통행의 분산효과를 목적으로 이 준, 정진혁(2006)의 연구에서는 다방향(방향성) 정보제공 전략을 제시하였다. 이는 교통량 분산을 위해서 이벤트가 발생하지 않은 노선의 소통원활의 정보도 누락되어서는 안 될 중요한 정보로서 가치가 있다고 판단하였다. 이는 광역교통망과 같은 거대한 시스템에 효과적으로 통행분산을 시키고 시스템 최적의 통제를 위해서 다방향의 노선정보를 고려한 정보제공전략도입의 필요성을 제시하기도 하였다.

그밖에도 운전자의 전략적인 노선선택을 위한 정보제공과 함께 표출정보에 대한 운전자의 반응을 고려하여 운영자의 전략적인 노선배정을 위한 다양한 연구가 진행되었다. 이와 같은 연구들은 운전자와 운영자의 전략적인 노선선택에 있어서 완전정보와 균형상태를 가정하는 등 이상적인 조건에서의 연구가 대부분 진행되고 있다. 하지만 운전자의 완전정보수혜가 불가능한 현실과 운영자의 전략적인 정보제공의 효율극대화를 고려할 때, 현실에 적용 가능한 정보제공 전략이 필요할 것이다. 특히, 검지기로부터 자료의 수집과 가공과정을 거쳐 생성된 정보들의 표출우선권 결정은 중요한 정보제공 전략이 될 것이다.

현재 구축된 시스템은 수집된 정보를 그 이벤트의 종류에 따라 심각도¹⁾를 나누어 우선순위를 단순히 결정하고 있다. 하지만 가능한 많은 운전자에게 정보제공을 하기 위해서는 가장 많은 진행방향에서 발생한 정보를 제공하는 것이 효율적일 것이다. 그러므로 운영자가 실시간으로 도로상의 교통량에 대한 기준점 자료를 추정할 수 있어야 실현 가능할 것이다. 다음 절에서는 정보제공 과정의 논의를 진행한다.

2.2. VMS 정보제공 프로세스

정보제공 프로세스는 검지단계부터 최종메시지 표출까지의 일련의 과정을 말하며, 도로관리자가 해당 도로의 이용자들에게 필요한 정보를 전달하는 과정을 의미한다.

VMS에서의 정보제공은 정보수집 체계로부터 수집된 데이터를 적절한 분석의 시간단위로 가공하고 표출정보를 생성하게 된다. 즉, 도로상에 설치되어 있는 수많은 검지기를 통하여 정보를 수집하며, 이런 수집된 정보는 그 종류와 특성에 따라 특정 이벤트로 결정된다. 이때 표 1의 이벤트 중심의 정보제공과 같이 VMS의 정보제공영역과 표출가능한 표출면수를 결정하고 이벤트를 심각도에 따라 우선순위 결정 과정을 거치며 최종 표출 정보를 결정한다. 이때 표출하여야 할 정보는 이벤트 정보만이 아니라 관리자의 필요에 따라 안내와 홍보 또는 운전자가 필요로 하는 유용정보(기상정보, ARS 정보안내 등)에 대한 메시지로 구성될 수도 있다. 하지만 이때, 정보제공 우선순위에 의해 결정된 표출 메시지는 VMS의 표출면수만큼의 정보만을 제공할 수 있기 때문에 우선순위가 낮은 경우 일부 이벤트는 표출되지 못하게 된다.

표 1. 이벤트 중심의 정보제공 프로세스와 수요를 고려한 정보제공 프로세스

구분	이벤트 중심의 정보제공	교통수요를 고려한 정보제공
Step1	VMS 정보제공 영역 설정	VMS 정보제공 영역 설정
Step2	표출 가능한 Phase 설정	표출 가능한 Phase 설정
Step3	영역내의 이벤트 정보 LIST-UP	검지기 데이터로부터 실시간으로 시간분할 기준점 추정
Step4	우선순위에 의해 LIST-UP 정보 중 표출 정보 선별	영역내의 이벤트 정보 LIST-UP
Step5	선별된 메시지를 VMS에 표출	LIST-UP 정보 중 목적지 방향의 수요량 순위별로 표출 정보 선별
Step6		선별된 메시지를 VMS 표출

1) 도시고속도로 3단계 실시체계에서는 대기행렬의 길이와 지속시간을 이용하여 상, 중, 하의 3단계의 심각도를 제시함 (LG-CNS, 2004).

이 표출면수는 운전자의 운전작업 중 정보의 인지능력을 고려하여 운행속도, 문자 판독 능력에 의한 표현제약²⁾을 받게 된다. 이와 같이 여러 정보제공 단계와 다양한 제약조건 속에서 메시지 표출안을 결정하여야 하므로 잦은 환류(feedback) 과정과 수정이 이루어지며 이벤트 중심의 정보제공 과정을 따르게 된다. 하지만 표 1의 교통량을 고려한 정보제공 방법론은 검지기로부터의 실시간 수집된 검지데이터를 이용하여 시간분할 기준점 추정을 하게 되며, 추정된 기준점 자료로부터 통행량이 가장 많은 방향으로 정보제공 우선순위를 결정할 수 있다.

2.3. 정보제공 방법론 비교

기존의 이벤트 중심의 정보제공방법과 교통량을 반영한 정보제공방법론의 차이점은 표 2와 같다. 즉, 이벤트 중심의 정보제공은 발생한 이벤트의 심각도에 따라 순위를 결정하고 표출우선순위를 결정하게 된다.

소통원활상황과 같이 이벤트가 발생하지 않은 경우, 또는 제한된 표출면 이하의 이벤트가 발생한 경우는 운전자의 지적욕구를 충분히 반영할 수 있도록 전방상황의 이벤트와 소통상황을 제공할 수 있는 장점을 가지고 있다. 하지만 이벤트 발생건수가 표출면의 수를 초과하게 되면, 우선적으로 심각한 이벤트(사고정보, 고장차량 발생 등)를 제공하게 된다. 그러므로 통행량이 적은 도

표 2. 이벤트 중심의 정보제공 프로세스와 수요를 고려한 정보제공 프로세스 특징비교

구분	이벤트 중심의 정보제공	수요를 고려한 정보제공
특징	<ul style="list-style-type: none"> 이벤트 중심의 정보제공을 목적으로 함 이벤트 발생이 없을시 VMS OFF 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 수요를 기반으로 정보를 제공
장점	<ul style="list-style-type: none"> 가용한 표출면에 이벤트 정보를 최대한 표출시켜 운전자에게 정보 제공 	<ul style="list-style-type: none"> 이벤트 발생 시 가장 많은 운전자에게 필요한 정보가 우선적으로 제공 주요교통량에 대한 정보제공 우선권이 발효 대규모 교통량의 신속한 우회/노선선택의 기회를 부여하여 교통량 부하 감소
단점	<ul style="list-style-type: none"> 개개인의 운전자가 필요로 하는 정보를 제공하지 못할 수 있음 운전자가 익숙한 도로를 가정하여 정보가 제공 될 제공되지 않는 곳의 도로상황은 운전자의 경험에 의존 	<ul style="list-style-type: none"> 통행량이 적은 방향의 심각한 이벤트가 누락될 수 있음

2) 본 논문에서는 시속 80Km의 운행 차량 운전자가 12초 동안 VMS의 가시거리를 가정하고 3초의 정보판독시간을 가정하여 4개의 표출면수를 가정하였다(LG-CNS, 2004).

로에서의 심각한 이벤트가 복수 개 발생하여도 이 정보들이 우선적으로 VMS를 통하여 제공되므로 다수의 이용자에게는 불필요한 정보가 제공될 가능성이 있다.

이와 달리 교통량을 고려한 정보제공 전략의 경우 운전자에게 필요한 정보는 그 발생 이벤트의 개별적인 심각도 이전에 가장 많은 이용자에게 필요한 정보를 제공하게 되는 것이다. 이와 같은 정보제공 방법론은 주요교통량에 대하여 수해정보의 우선권을 주는 것이며, 수요가 많은 교통량에 대한 신속한 우회와 노선 선택에 가장 큰 영향을 줄 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

2.4. 정보제공전략의 적용

그림 1은 강북방면의 주요 결절점에 발생 가능한 예시 상황으로 강변북로와 올림픽대로 모두가 지체와 정체가 발생하고 있다. 이와 같은 경우 차량의 진행방향에 설치된 본선 VMS에 표출될 수 있는 정보는 다음과 같다.

- 【① 강변북로 일산방면 지체, ② 강변북로 구리방면 정체, ③ 올림픽대로 일산방면 정체, ④ 올림픽대로 강일방면 정체, ⑤ 청담대교 정체, ⑥ 영동대교 정체】

하지만 VMS가 표출할 수 있는 표출면수는 일반적으로 3개~4개로 한정되어 있기 때문에 6개의 정보 중 일부를 선택하여 표출하여야 한다. 본 예시에서는 표출면수를 4개로 한정한다. 그림 1의 경우 임의의 운전자에게 정보제공을 해야하는 상황으로 수요가 가장 많은 방향의 정보를 우선적으로 제공하는 것이 가장 많은 정보 수혜자를 만들 수 있는 방법이 된다. 그러므로 정보제공의 효율성을 극대화하기 위해서는 실시간으로 기준점을 예측하는 기술이 필수적인 것이다. 다음 절에서는 기존의 시스템을 그대로 활용하여 기준점을 예측하는 교통수요 추정방법론에 대한 논의를 진행한다.

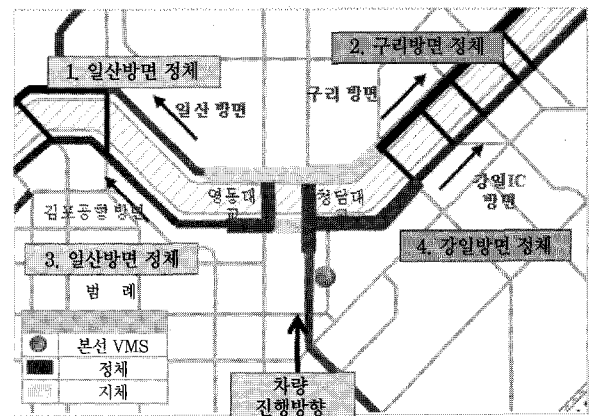


그림 1. 강변북로와 올림픽대로 접근로의 예시

3. 교통수요 추정

3.1. 교통수요 추정방법론

기종점 추정을 위한 방법은 크게 정적 기종점 추정방법과 동적 기종점 추정방법으로 나눌 수 있다. 최근 교통수요 분석에 있어서 연평균일교통량(AADT)을 반영한 정적기종점 통행량을 가정함으로써 발생하는 모형의 한계를 보다 현실적으로 적용하기 위하여 동적 기종점 통행량 추정방법의 적용이 시도되고 있다.

Nihan(1987)은 해당 시간 간격의 진입 통행량이 그 시간 간격 내에 진출 통행량으로 관측되어야 하는 짧은 교차로 구간에서 유의한 기종점 패턴자료를 이용하여 단위 시간별 기종점 수요예측을 하였다. 또한 Casetta(1993)은 시간에 따른 기종점 통행을 과거자료를 바탕으로 하는 최소자승법(Least Square Method)을 사용하기도 하였다. 이 방법론은 Cremer와 Keller(1987)가 단독교차로에서 동적 기종점 교통량을 추정하기 위해 사용한 방법으로 목적함수가 관측 교통량과 분할비를 통해서 계산되는 교통량과의 오차를 이용하여 최소화시키는 분할비 행렬을 이용한 것이다. 이후로 Ashock(1993)은 시간에 따른 동적 기종점 통행을 칼만필터(Kalman Filter) 방법론을 이용하여 시간 간격에 따른 링크 통행시간의 변화를 고려하여 진입시간을 계산하기도 하였다. 그리고 기존의 최소자승법의 방법론들이 파라미터를 추정하여 최적 계수를 찾아가는데 비하여 Nihan과 David(1987)는 최우추정방법을 이용하는 엔트로피 극대화 알고리즘을 이용하기도 하였다.

또한 궤적정보(Trajectory data)와 지점데이터를 적절히 이용하기 위한 연구들로 AVI 시스템을 이용한 동적 OD 추정 방법론들이 제시되기도 하였다. Van der Zijpp(1997)은 본선 구간에 설치된 AVI 시스템에서 수집되는 차량궤적정보와 VDS에서 수집되는 교통량 정보를 복합적으로 적용하는 방법론을 제안하기도 하였다. 또한 Dixon과 Rilett(2000)은 AVI를 통한 수집 가능한 링크 교통량, 링크 선택확률, OD 관측치 등의 정보를 이용하여 OD의 비율을 계산한 방법론을 제시하기도 하였다. 국내의 연구로서는 김주영 외(2005)는 VDS와 AVI 자료를 활용하여 칼만필터 방법론으로 동적 OD 추정을 하기도 하였다. 하지만 대규모 교통량에 대한 전역의 교통량 수요 추정방법에 중점을 두고 있으므로, VMS의 정보제공을 위한 단구간의 국지적 분석을 위한 방법론들이 아니며, 과다한 추정과정과 복잡한 연산과정을 가지고 있다. 또한 넓은 권역의 기종점 자료를 추정하고 있으므로, 특정 지역만의 기종점 추정에는 큰 오차를 보

일 수 있는 한계를 가지고 있다.

본 연구에서는 정보제공 시 VMS표출면수 보다 표출 정보가 더욱 많아지는 경우 표출정보의 우선순위를 결정하기 위한 정보제공전략이다. 이때 표출정보의 우선권은 수요량을 기준으로 수요가 많은 방향에 우선권이 부여되는 표출전략을 가정하게 되는데, 전략수행을 위해서는 수요량의 추정이 필수이며, 본 연구에서는 단구간(6개 이내의 입출입구)의 기종점에 대하여 간단한 방법으로 실시간 기종점 추정이 가능한 시간분할 기종점 추정방법론을 제시하고 있다.

수요를 고려한 정보제공을 하기 위해서는 실시간 이용자의 기종점을 파악하는 것이 가장 중요한 단계가 된다. 실제 도로환경에서는 실시간으로 변화하는 OD량을 정확히 알 수 없으므로, 본 연구에서는 미시적 시뮬레이션 모형(Microscopic Simulator)인 VISSIM을 이용하여 총 6.5km의 본선구간에 3개의 입출입구를 가정하였고 임의로 OD량을 입력값으로 설정하여 시뮬레이션 하였다. 총 10개 지점(본선 4지점, 램프 6지점)의 검지기에서 관측된 실시간 교통량 자료를 이용하여 시간분할 OD추정방법으로 OD량을 추정하였으며, 이 추정값은 시뮬레이션에 입력하였던 OD량과 비교하였다. 시뮬레이션 환경은 그림 2와 같은 기하구조를 가정하였다(D1, ..., D10은 검지기 위치).

3.2. 과소식별의 문제와 평가

도로의 연장이 길어질수록 검지기의 개수도 많아지게 되며, 통행을 위한 기종점의 조합수도 많아지게 된다. 그러므로 특정 순간부터 추정해야하는 파라미터의 개수 ($x_{n,t}, \dots, x_{m,t}$)보다 검지기로부터 발생하는 정보의 개수 ($A_{n,t}, \dots, E_{m,t}$)가 부족하게 되는데, 이는 과소식별의 문제로 시간분할 OD를 추정하는 방법에서도 해결해야 할 중요한 문제 중에 하나일 것이다. 본 연구에서는 과소식별의 문제가 시작되는 네트워크의 규모를 찾기 위하여 다음과 같이 연립방정식으로 추정하였다.

$$L = \sum_{i=1}^{n-1} i = \frac{n(n-1)}{2} \quad (1)$$

$$X = 2(n-2) \quad (2)$$

$$Y = n-1 \quad (3)$$

L = 기종점표의 미지수 개수

n = 기종점의 개수

X = 입출입구의 검지지점 개수

Y = 본선의 검지지점 개수

그림 2와 같은 도로의 기하구조에서 표 3은 이 때 추정해야하는 OD표이다. 우선 존(Zone)의 개수에 따른 OD 순서쌍($x_{1,t}, \dots$)의 미지수와 검지기수($A_{o,t}, \dots$)의 조합으로 연립방정식의 해를 찾기 위해서는 변수의 수보다 연립방정식의 개수가 많거나 같을 때 유일한 해를 찾을 수 있는 것으로 알려져 있다. 기종점의 수(n)에 따른 OD쌍의 미지수($x_{1,t}, \dots$)의 개수(L)는 식(1)과 같으며, 입출입구의 검지기 수(X:식 (2))와 본선의 검지기 수(Y:식 (3))의 합으로 검지를 통해 알 수 있는 식의 개수를 구할 수 있다.

$$L \leq X + Y$$

$$\frac{n(n-1)}{2} \leq 2(n-2) + (n-1) \quad (4)$$

$$n^2 - 7n + 10 \leq 0$$

$$\therefore 2 \leq n \leq 5$$

식(4)는 해를 찾을 조건으로 변수의 수가 식의 수보다 작아지는 존의 개수를 구하면 존의 개수가 2개 이상이며 5개 이하인 경우 연립방정식의 해를 구할 수 있는 것을 알 수 있다. 하지만 식(4)와 같이 연립방정식을 이용하여 미지수를 찾더라도 실시간으로 검지기를 통하여 수집된 통행량은 표 3과 같이 나타낼 때 가로·세로 셀의 합이 정확하게 일치하지 않을 것이다. 이것은 차량 개별 속도 차이(random variation of speed)에 의하여 발생하는 것이다. 연립방정식의 특성상 변수간의 합이 정확하게 일치하지 않는 경우 해를 구할 수 없다. 그러므로 조건을 만족하는 가장 근접한 해를 찾아가는 방법론이 필요하다. 본 연구에서는 최적화 기법을 이용하여 근

표 3. 시뮬레이션에서 구축되는 시점 t의 OD표

Zone	A	B	C	D	E	Sum
A		$x_{1,t}$	$x_{2,t}$	$x_{3,t}$	$x_{4,t}$	$A_{o,t}$
B			$x_{5,t}$	$x_{6,t}$	$x_{7,t}$	$B_{o,t}$
C				$x_{8,t}$	$x_{9,t}$	$C_{o,t}$
D						$D_{o,t}$
E						$E_{o,t}$
Sum	$A_{d,t}$	$B_{d,t}$	$C_{d,t}$	$D_{d,t}$	$E_{d,t}$	total

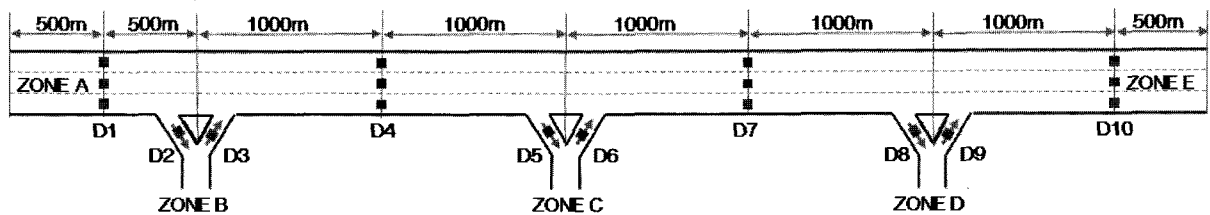


그림 2. 시뮬레이션을 위하여 설정된 도로기하구조와 검지기 위치

사해(Optimal Solution)를 찾아가는 방법론을 제시하였다.

3.3. 시간분할 기종점 통행량 추정방법

표 3은 A~E까지 5개의 존의 기종점 행렬이다. 내부 통행과 역방향의 통행량은 0이며 다음과 같이 10개 ($x_{1,t}, \dots, x_{10,t}$)의 미지수가 발생하게 된다. 이때 발생량의 합과 도착량의 합은 검지기 자료를 통하여 알 수 있다. 표 3과 검지기 자료를 이용하여 이용할 수 있는 연립방정식은 다음 식 (5)와 같다.

$$x_{1,t} + x_{2,t} + x_{3,t} + x_{4,t} = d_{1,t} + \epsilon_{1,t} = A_{o,t}$$

$$x_{5,t} + x_{6,t} + x_{7,t} = d_{3,t} + \epsilon_{2,t} = B_{o,t}$$

$$x_{8,t} + x_{9,t} = d_{6,t} + \epsilon_{3,t} = C_{o,t}$$

$$x_{10,t} = d_{9,t} + \epsilon_{4,t} = D_{o,t}$$

$$x_{1,t} = d_{2,t} + \delta_{1,t} = B_{d,t}$$

$$x_{2,t} + x_{5,t} = d_{5,t} + \delta_{2,t} = C_{d,t}$$

$$x_{3,t} + x_{6,t} + x_{8,t} = d_{8,t} + \delta_{3,t} = D_{d,t}$$

$$x_{4,t} + x_{7,t} + x_{9,t} + x_{10,t} = d_{10,t} + \delta_{4,t} = E_{d,t}$$

$$x_{2,t} + x_{3,t} + x_{4,t} + x_{5,t} + x_{6,t} + x_{7,t} = d_{4,t} + \theta_{1,t} = \text{본선검지기}^{1)}$$

$$x_{3,t} + x_{4,t} + x_{6,t} + x_{7,t} + x_{8,t} + x_{9,t} = d_{7,t} + \theta_{2,t} = \text{본선검지기}^{2)}$$

여기서,

$$d_{1,t} + \epsilon_{1,t} + d_{3,t} + \epsilon_{2,t} + d_{6,t} + \epsilon_{3,t} + d_{9,t} + \epsilon_{4,t} = d_{2,t} + \delta_{1,t} + d_{5,t} + \delta_{2,t} + d_{8,t} + \delta_{3,t} + d_{10,t} + \delta_{4,t}$$

여기에서 검지기(D1, ..., D10)의 t시간대의 통행량 ($d_{1,t}, \dots, d_{10,t}$)에 임의의 수($\epsilon_{1,t}, \epsilon_{2,t}, \epsilon_{3,t}, \epsilon_{4,t}, \delta_{1,t}, \delta_{2,t}, \delta_{3,t}, \delta_{4,t}, \theta_{1,t}, \theta_{2,t}$)가 추가된 것은 가로와 세로의 합이 정확하지 못한 현실의 교통상황을 반영하기 위한 것이다. 이는 특정 목적지를 향해 움직이는 차량이 검지기를 너무 빨리 지나가거나 지나가지 못하기 때문에 발생한 오차들로 설명할 수 있다. 본 연구에서는 오차를 포함한 검

3) A로 진입한 차량 중에서 B로 진출을 하고 남은 교통량으로 목적지가 C, D, E인 교통량

4) A, B, C에서 진입하였으며, B, C로 진출하는 교통량을 제외한 목적지가 D, E인 교통량

지기 자료를 이용하여 기종점자료를 구축하기 위하여 임의의 오차들을 최소화하고 검지기에 측정된 실측 자료를 최대한 신뢰하여 연립방정식의 해를 구하도록 설계하였다. 먼저 시스템 안으로의 진입/진출한 검지기 자료는 오차가 없다고 가정하였다(즉, $\epsilon_{1,t}=\epsilon_{2,t}=\epsilon_{3,t}=\epsilon_{4,t}=\delta_{1,t}=\delta_{2,t}=\delta_{3,t}=0$). 하지만 검지기를 지나지 못하고 본선에 잔류하는 차량이 분명히 존재하므로 본선에 설치된 검지기(d6, d7, d10)의 오차들($\delta_{4,t}, \theta_{1,t}, \theta_{2,t}$)은 OD량의 가로와 세로의 합을 일치시키기 위해서 오차로 인정하였다. 이때, 본선 검지기로 부터의 오차들은 본선에 잔류하는 교통량으로 해석할 수 있으며, 진출입부의 경우 오차들이 없다고 가정한 것은 진출입부에는 잔류교통량이 없다고 가정하였기 때문이다. 그러므로 이것을 본선에 잔류하는 통행량으로 보고 최대화시켜 본선에 대기할 수 있는 통행량을 반영하였다.

목적함수는 이 세가지($\delta_{4,t}, \theta_{1,t}, \theta_{2,t}$) 잔류교통량을 최대화시키면서 검지기에 수집된 교통량자료들을 제약조건으로 사용하였으며 다음 식 (6)과 같다. 즉, 방정식을 만족시키기 위해서 부족하거나 초과하는 교통량을 처리하는 과정에서 진입과 진출부에 있는 오차는 없으며 발생하는 모든 오차를 본선상의 검지기에에서만 발생한다는 가정으로 수식을 정리한 것이다.

$$\begin{aligned}
 \text{Max } Z &= \delta_{4,t} + \theta_{1,t} + \theta_{2,t} \\
 \text{s. t.} \\
 x_{1,t} + x_{2,t} + x_{3,t} + x_{4,t} &= d_{1,t} \\
 x_{5,t} + x_{6,t} + x_{7,t} &= d_{3,t} \\
 x_{8,t} + x_{9,t} &= d_{6,t} \\
 x_{10,t} &= d_{9,t} \\
 x_{1,t} &= d_{2,t} \\
 x_{2,t} + x_{5,t} &= d_{5,t} \\
 x_{3,t} + x_{6,t} + x_{8,t} &= d_{8,t} \\
 x_{4,t} + x_{7,t} + x_{9,t} + x_{10,t} - \delta_{4,t} &= d_{10,t} \\
 x_{2,t} + x_{3,t} + x_{4,t} + x_{5,t} + x_{6,t} + x_{7,t} - \theta_{1,t} &= d_{4,t} \\
 x_{3,t} + x_{4,t} + x_{6,t} + x_{7,t} + x_{8,t} + x_{9,t} - \theta_{2,t} &= d_{7,t} \\
 \forall x_{i,t} &\geq 0
 \end{aligned} \tag{6}$$

계수의 추정은 선형계획법(Linear Programming)의 일종인 Simplex Method를 이용하였다. 본 연구에서는 VISSIM의 시뮬레이션 환경에서 그림 2와 같은 기하구조를 설정하고 임의로 발생시킨 OD 표에 의해서 시뮬레이션을 진행하였다. 그리고 시뮬레이션 환경에 가상으로 설치된 검지기 데이터를 이용하여 지속적으로 OD표를 추정하였다.

시뮬레이션은 총 60분 동안 진행되었으며, 5분 간격으로 가상의 검지기로부터 자료를 취합하였다. 이중 임의의 5분 동안 분석자가 시뮬레이션에 부여한 기종점은 표 4와 같으며, 총 401대의 차량이 진입과 진출을 하도록 설정하였다.

표 4. Vissim에 입력한 OD Matrix(5min)

Zone	A	B	C	D	E	Sum
A	.	24	35	47	129	235
B	.	.	5	9	33	47
C	.	.	.	6	50	56
D	63	63
E
Sum	.	24	40	62	275	401

이때 가상의 검지기에 수집된 자료를 시간분할 기종점 추정방법에 적용하여 기종점을 추정한 결과는 표 5와 같다.

표 5. 추정된 OD Matrix(5min)

Zone	A	B	C	D	E	Sum
A	.	240	34.5	44.0	132.5	235.0
B	.	.	5.5	5.7	35.8	47.0
C	.	.	.	12.3	43.7	56.0
D	63.0	63.0
E
Sum	.	24.0	40.0	62.0	275.0	401.0

4. 시뮬레이션 결과 비교

기존의 연구에서 사용된 기종점 자료와 정확한 기하구조를 반영하여 비교할 수는 없지만 개략적인 분석결과와의 차이는 판단할 수 있었다. 추정결과를 검증하기 위하여 실제 OD량과 추정된 OD량을 비교하였다.

다음과 같이 RMSE(Root Mean Square Error)를 이용하여 오차량을 비교하였으며 연산과정은 식 (7)과 같다. n 은 추정하는 OD쌍의 개수가 되며, \bar{v}_i 는 추정량 v_i 는 실제 값이다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{v}_i - v_i)^2}{n}} \tag{7}$$

표 6은 김주영(2005)이 제시한 링크 교통기반 모형과 링크진출 및 AVI기반모형 그리고 본 연구에서 제시한 시간분할 기종점 추정방법론의 RMSE를 나타내고 있

다. 같은 조건에서 현실데이터를 활용하여 분석하지는 않았지만, 시뮬레이션 결과를 통하여 시간분할 기중점 추정방법을 사용할 경우 링크 교통기반 모형과 AVI 기반 모형보다 정확한 OD 추정이 되고 있음을 알 수 있다.

표 6. 모형과 결과비교

모 델	평가척도	결 과	비 고
링크교통 기반모형	RMSE	12.8	VDS AVI 실측자료
링크진출램프 및 AVI 기반모형 ⁵⁾	RMSE	6.8	
시간분할 기중점 추정방법론 ⁶⁾	RMSE	2.6	시뮬레이션 검지기자료

물론, 절대적으로 비교할 수 있는 지표로 RMSE를 사용할 수 없는데, 기존의 두 모형이 반영한 네트워크와 교통량의 규모가 다르기 때문이다. 하지만 국소 지역의 OD량을 추정함에 있어서 VDS와 루프 검지기 체계에서는 보다 사용이 간편하고, 연산과정이 복잡하지 않은 점에서 보다 효율적이라 판단된다. 본 연구를 통하여 추정된 기중점표와 실제 초기값으로 주어진 기중점 표와 비교할 때 RMSE는 2.62로 나타났다.

추가적으로 본 연구에서는 동일한 조건에서 수요의 변화에 따른 RMSE값의 변화를 그림 3과 같이 비교하였다. 수요량이 많은 경우 RMSE값이 점진적인 감소를 보이고 있으며, 수요량이 300(대/시)이하인 경우는 RMSE값이 큰 폭으로 증가하는 것을 알 수 있었다. 이는 본 모형이 검지기를 이용하여($d_{i,t}$, $i=1, \dots, 10$) 모형의 제약조건을 만들게 되는데, 통행량이 현저히 적은 경우 진입/진출한 차량들로부터 오차가 상대적으로 크게 발생하기 때문이다. 식(5)로부터 식(6)을 유도하는 과정에서 진입/진출부 검지기에서 발생한 자료의 오차($\epsilon_{1,t}=\epsilon_{2,t}=\epsilon_{3,t}=\epsilon_{4,t}=\delta_{1,t}=\delta_{2,t}=\delta_{3,t}$)를 없다고 가정하였지만, 검지된 차량의 수가 충분히 많다면, 오차는 상대적으로 작아 가정에 큰 무리가 없게 된다. 하지만, 검지된 차량의 수가 작아지면 오차의 영향이 커지기 되며, 이는 통행수요가 너무 작은 경우(300대/시 이하) 기중점의 예측능력은 다소 감소하는 것으로 나타났다.

수요가 작은 경우 소통원활상태이기 때문에 수요관리의 필요성이 상대적으로 작은 시점에는 오차를 가지고

있지만, 수요가 증가하면서 모형의 예측력은 높아지는 것으로 판단된다.

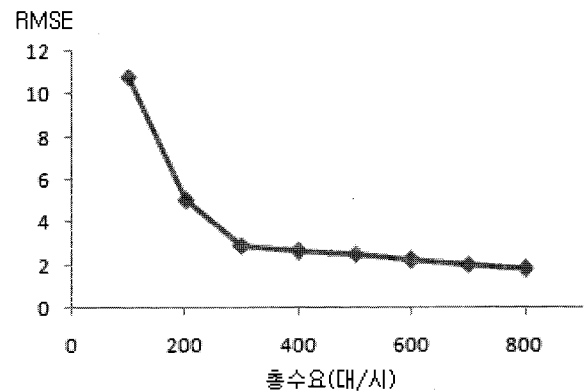


그림 3. 총수요량에 따른 RMSE값

5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 ATMS 정보제공체계의 VMS 정보제공전략의 정보제공효율을 향상시키기 위해서 수요를 반영한 정보제공전략을 제시하였다. 수요를 반영한 정보제공을 위해서는 실시간으로 차량들의 기중점을 파악할 수 있어야 하는데, 기존의 대규모 네트워크에서 사용되었던 동적 기중점 추정방법론 들은 과대한 연산과정과 검지체계를 필요로 하였다. 본 연구는 시간분할 기중점 추정방법론으로 소규모 네트워크 즉, 5개 이하의 기중점으로 구분될 수 있는 네트워크에서 실시간으로 검지되는 도로의 교통량을 이용하여 시간단위로(Time-Sliced) 전체 기중점을 추정하는 방법론을 소개하였다. 최적화 방법론을 사용하여 검지기에서 수집된 자료를 이용하여 제약조건을 설정하였다.

본 연구에서 제시한 정보제공전략을 수행하기 위해서는 다음과 같은 정보제공 프로세스를 수행하게 된다. 첫 번째는 정보수집단계로 VMS의 정보제공영역 안에서 발생하는 표출가능한 이벤트의 수를 판단하게 된다. 두 번째는 수집된 정보의 개수와 VMS에 표출가능한 표출면수를 정하게 되는데 이때 표출정보가 표출면수를 초과하게 된다면, 우선순위를 결정해야할 필요성을 가지게 된다. 세 번째는 우선순위결정 단계로, 본 연구에서 제시한 시간분할 기중점 추정방법론을 이용하여 단위시간당 통행수요를 예측하여 가장 많은 통행수요방향의 정보에 우선권을 부여하게 된다. 네 번째는 정보표출단계로 우선순위 순서대로 표출정보가 VMS에 최종 표출되며 동시에 다음 정보를 제공하기 위한 시간분할 기중점 추정과정도 함께 진행되게 된다.

5) 링크교통량과 평균통행속도를 기반으로 하고 있으며, AVI에 의한 선두차량의 제적을 이용한 김주영의 연구에서는 41.4km 구간의 33개 검지기 자료를 이용해서 5분 집계자료를 사용하였다.

6) 본 연구에서 제시한 시간분할 기중점추정 방법은 시뮬레이션 환경으로 6.5km구간에 10곳의 검지기를 이용하여 추정한 결과이다.

본 전략은 그림 2와 같은 기하구조의 도로에서 검지 기 D1보다 상류부에 설치된 VMS에 정보를 수해하고 하류부로 이동하는 운전자에게 적용되며, 본선 방향인 Zone E로의 통행수요와 하류로도 Zone B, C, D로의 통행수요에 따라 가장 많은 이용자에게 필요한 정보가 전달되게 되며, 어느 위치에 어떤 이벤트정보(사고, 램프소통, 본선소통정보 등)를 제공하여야 하는지에 대한 우선순위 결정의 많은 문제점을 수요측면에서 결정해 줄 수 있을 것이다.

기존의 방법론과 비교할 때, 넓은 지역을 보다 정밀한 자료수집 체계를 이용하여 기종점을 추정하는 방법론보다 국소지역의 5방향 이하의 시간분할 기종점 추정방법은 기존의 링크교통기반 모형보다 적은 검지 시스템을 이용하여도 오차량을 현저히 줄일 수 있는 것을 알 수 있었다. 이와 같이 적용과 연산이 간편한 소규모 네트워크의 기종점이 적은 오차량으로 추정될 경우 VMS의 정보제공 전략에 수요를 고려할 수 있는 전략수립이 가능할 것이다.

하지만 기종점 자체가 실시간으로 변하는 상황을 연속적(continuous)이 아닌 이산적(discrete)인 5분간격으로 추정되는 한계를 가지고 있다. 그러므로 VMS 업데이트 주기가 짧아진다면 더욱 검지기의 교통량 수집 주기를 줄여야 할 것이며, 향후 연구에서는 수집주기의 변화에 따른 기종점수요 예측능력에 대한 민감도 분석이 이루어져야 할 것이다.

또한, VMS가 특정정보를 제공하기 위한 목적을 가지는 경우는 본 연구에서 제시한 우선순위를 적용하지 않고, 설치목적에 따르는 정보제공이 이루어져야 할 것이다.

참고 문헌

김숙희, 2004, "도로교통망의 효율적 운영을 위한동적 VMS 메시지 셋 최적화에 관한 연구", 아주대학교, 석사학위논문

김정연, 이영인, 2005, 제공정보 수준선정을 위한 VMS 제어 방법에 관한 연구, *한국ITS학회 제4회 추계학술대회*, pp.203-208

김주영, 이승재, 이영인, 손봉수, 2005, VDS 및 AVI 자료를 이용한 고속도로 동적OD 추정, *대한교통학회지*, 제23권, 제7호, pp.125-136

서우석, 2001, "도로전광표지의 정보내용에 관한 연구", 명지대학교, 석사학위논문

이경순, 2004, "도로전광표지(VMS) 교통정보제공에 따른 교통량 변화분석", 연세대학교, 석사학위논문

이상건, 1997, "돌발적 교통혼잡하에서 적응형 경로안내전략의 수립 및 평가에 관한 연구", *대한교통학회지*, v15, Issue 1, pp. 175-175

이준, 정진혁, 2006, "방향성을 고려한 가변정보 표지판의 정보제공 전략", *대한교통학회 제53회 학술발표회집*

이창우, 2006, 운전자 행태를 고려한 VMS의 실시간 경로안내 정보제공에 관한 연구, *대한교통학회지*, v.24, no.7, pp.65-79

이청원, 2003, 실시간 교통정보 제공수준향상에 의한 경로통행시간의 안정화, *한국ITS학회논문지*, 제2권, 제1호, pp.101-108

임관수, 남두희, 2007, 가젯을 이용한 교통정보 제공기법 기초연구, *한국ITS학회논문지*, 제6권, 제2호, pp.26-33

장정아, 2004, "게임이론을 이용한 동적 VMS 교통정보수준 결정 모델의 개발", 아주대학교, 석사학위논문

조종석, 손기민, 신성일, 2005, ATIS에서 기종점의 경로인지 특성을 반영한 경로정보제공방안, *한국ITS학회논문지*, 제4권, 제3호, pp.9-22

최기주, 장정아, 2004, "게임이론에 기반한 VMS운영모형", *대한토목학회*, 24(2), pp 155-165

한국교통연구원, 2005, 『2004 KOTI 연구결과 요약집』

LG-CNS, 2004, 『도시고속도로 3단계 실시계획』 보고서

Ashock, K. and Ben-Achiva, M.E., 1993, Dynamic Origin-destination Matrix Estimation and Prediction for Real-Time Traffic Management Systems. In *Oroceedings of 12th international Symposium of Transproation and Traffic Theory*, Berkley, CA

Cremer M, Keller H., 1987, A new class of dynamic methods for the identification of O-D flows, *Transpn. Res.* 21B, pp.117-132

Dixon, M, and Rilett, L. R., 2000, Real-Time Origin-Destination Estimation Using Automatic Vehicle Identification Data, *TRB 79th Annual Meeting*.

Ennio Cascetta, 1993, Dynamic Estimators of Origin-Destiantion Matrices Using Traffic Counts, *Transportation Scinece*, Vol.27, No. 4

Nancy L. Nihan and Gary A. Dacis, 1987, Recursive Estimation of Origin-destination Matrices from Input/Output Counts, *Transpn, Res-B*, Vol. 21B, pp. 149-163

Ven Der Zijpp, N., 1997, Dynamic OD matric Estimation From Traffic Counts and Automated Vehices Identification Data, *TRB* 1607.

접 수 일 : 2010. 9. 6
 심 사 일 : 2010. 9. 12
 심사완료일 : 2011. 5. 20