

■ 論 文 ■

고속도로 TCS 자료를 활용한 동적노선배정의 네트워크 정산과 검증

Network Calibration and Validation of Dynamic Traffic Assignment with Nationwide Freeway Network Data of South Korea

정 상 미

(국토연구원 연구원)

김 익 기

(한양대학교 교통시스템공학과 교수)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 배경 및 범위
- II. 기초자료 구축
 - 1. 시간대별 TCS OD 구축
 - 2. 전국고속도로 네트워크 구축
- III. 네트워크 정산 및 검증
 - 1. 네트워크 정산개념 및 지점선정
 - 2. 네트워크 정산방법
- 3. 네트워크 정산결과 검증
- IV. 버스전용차로제 정책분석 사례연구
 - 1. 경부고속도로 버스전용차로제 현황
 - 2. 버스전용차로제 적용방법
 - 3. 버스전용차로제 적용사례별 효과분석
- V. 결론
참고문헌

Key Words : 동적노선배정, TCS 관측 OD자료, 동적 네트워크 정산, 중앙버스전용차로 정책
Dynamic Traffic Assignment, OD data from Toll Collection System, Dynamic Network Calibration, Exclusive median Bus-Lane Policy

요 약

1980년대 후반부터 선진외국에서 ITS 정책과 연구에 대해 관심을 갖기 시작한 이후 정적 노선배정(Static Traffic Assignment)의 현실 정책 응용에 한계에 직면하면서 동적노선배정(Dynamic Traffic Assignment)에 대한 연구가 초점을 받기 시작하였으며 그 결과 급속한 연구 발전이 있게 되었다. 본 연구에서는 현실적인 정책분석 가능성을 고려하여 노선선택행태(route choice behavior)는 거시적 모형이고, 차량의 네트워크 상 동적위치배정(dynamic network loading)은 미시적 모형 그리고 교통류는 단순화된 미시적 모형(microscopic model)이 적용된 시뮬레이션 기반의 Dynameq 프로그램을 활용한 연구를 수행하였다.

본 연구의 핵심 내용은 우리나라 전국 고속도로 네트워크와 동적 O/D자료로 동적노선배정 분석 한 결과인 추정치와 관측 링크 교통량과의 차이를 비교 검증하는 연구를 수행함으로써 모형의 현실적 정책분석 가능성에 대한 판단 기준을 제시하는 것이다. 이를 위하여 우리나라의 고속도로 체계에 있어 영업소에서 영업소 간의 동적 O/D자료가 TCS(Toll Collection System)자료를 통해 정확하게 확보할 수 있다는 점을 이용하였으며, 순수하게 동적노선배정 모형 자체의 현실적 묘사능력을 시간대별 관측 교통량과 비교 검증함으로써 정책응용 가능성을 확인하고자 한 것이다. 또한 동적노선배정 분석 예제로 버스전용차로 정책에 대한 동적 분석과 정책 효과를 분석하였다.

As static traffic assignment has reached its limitation with ITS policy applications and due to the increase of interest in studies of ITS policies since the late 1980's, dynamic traffic assignment has been considered a tool to overcome such limitations. This study used the Dynameq program, which simulates route choice behavior by macroscopic modeling and dynamic network loading and traffic flow by microscopic modeling in consideration of the feasibility of the analysis of practical traffic policy.

The essence of this study is to evaluate the feasibility for analysis in practical transportation policy of using the dynamic traffic assignment technique. The study involves the verification of the values estimated from the dynamic traffic assignment with South Korea's expressway network and dynamic O/D data by comparing results with observed link traffic volumes. This study used dynamic O/D data between each toll booth, which can be accurately obtained from the highway Toll Collection System. Then, as an example of its application, exclusive bus-lane policies were analyzed with the dynamic traffic assignment model while considering hourly variations.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 범위

1980년대 후반부터 선진외국에서 ITS 정책과 연구에 대해 관심을 갖기 시작한 이후 정적 노선배정(Static Traffic Assignment)의 현실 정책 응용에 한계에 직면하게 되었다. 이와 같은 정적 노선배정의 한계성으로 동적노선배정(Dynamic Traffic Assignment, DTA)에 대한 연구가 초점을 받기 시작하였으며, 그 결과 이 분야의 급속한 연구 발전이 있게 되었다. 동적노선배정의 기법도 다양하게 개발되었다. 동적노선배정 기법을 분석의 접근방법에 따라 크게 구분하면 수학적 완결성을 추구하는 Mathematical Programming 모형과 현실적 통행패턴을 유사하게 묘사하고자 하는 시뮬레이션 기반의 모형으로 분류할 수가 있다. 각 접근방법마다 장단점이 있어 연구의 목적에 따라 적용하는 모형형태가 다를 수는 있다. 하지만 현실적 교통정책에 응용 가능한 동적노선배정 모형은 대부분 시뮬레이션 기반의 모형으로 구축되는 경향이 최근 세계적으로 더욱 확산되고 있으며, 이와 같은 모형을 기초로 한 상용화된 프로그램도 이미 많이 보급되어지고 있다. 시뮬레이션 기반의 동적배정모형 경우에도 여러 가지의 모형형태가 적용 가능하다. 즉 통행자 노선선택 행태(route choice behavior), 네트워크 상 동적 차량위치 배정(dynamic network loading), 교통류(traffic flow)로 구성되는 동적노선배정 분석에 있어 구성모형을 거시적 모형(macroscopic model)을 적용하느냐 혹은 미시적 모형(microscopic model)을 적용하느냐에 따라서 다시 구분될 수가 있다. 본 연구에서는 노선선택행태는 거시적 모형이고, 동적 차량위치 배정은 미시적 모형 그리고 교통류는 단순화된 미시적 모형이 적용된 Dynameq 프로그램을 활용하였다. 즉 현실적인 정책분석 가능성을 고려하여 시뮬레이션 기반의 동적노선배정 모형을 적용하였다.

본 연구의 핵심 내용은 우리나라 전국 고속도로 네트워크와 동적 O/D자료로 동적노선배정 분석 한 결과인 추정치와 관측 링크 교통량과의 차이를 비교 검증하는 연구를 수행함으로써 모형의 현실적 정책분석 가능성에 대한 판단 기준을 제시하는 것이다. 현재까지 연구 중에 동적 O/D를 추정하고 각 연구자가 개발한 동적노선배정모형을 검증하는 연구는 일부 있었으나, 이 경우에는 모형의 오차가 O/D추정에 있는지 동적노선배정 모형에 있는지

구별할 수가 없어 어떤 모형을 어떻게 개선을 하여야 할 것인가에 대한 판단에 어려움이 있었다. 따라서 본 연구에서는 우리나라의 고속도로 체계에 있어 영업소에서 영업소 간의 동적 O/D자료가 TCS(Toll Collection System) 자료를 통해 정확하게 확보할 수 있다는 점을 이용하여, 순수하게 동적노선배정 모형 자체의 현실적 묘사능력을 시간대별 관측 교통량과 비교 검증함으로써 정책응용 가능성을 확인하고자 한 것이다. 즉 본 연구에서는 고속도로 TCS에서 집계된 영업소별 시간대별 자료를 이용하여 실제 고속도로에서 조사된 관측교통량과 시뮬레이션 분석 결과인 노선배정량이 어느 정도로 유사하게 묘사될 수 있는지에 관하여 연구하는데 중점을 두었다. 그리고 이와 같은 동적노선배정 모형이 어떻게 교통정책 분석에 활용될 수 있는가를 예시적으로 보여주기 위해 Off-line 정책분석방법으로 현재의 경부고속도로에서의 중앙버스 전용차로제 적용 구간에 대해 주말 외에 평일에 적용 할 경우의 효과분석을 정책 응용 예제로써 분석 제시하였다.

II. 기초자료의 구축

1. 시간대별 TCS OD 구축

본 연구에서 사용된 시간대별 O/D는 한국도로공사에서 2005년 2월 4일(금요일)에 집계된 TCS 자료를 이용하였다. TCS 자료는 출발·도착지가 같은 통행들에 대해 도착시간을 기준으로 하여 5분 간격으로 일정하게 집합화하여 출발 영업소에서 도착 영업소의 동적 O/D 통행량과 이와 같은 통행들의 최소통행시간, 최대통행시간, 총 통행시간 값들로 구성된 자료를 구축해 놓은 것이다. 본 연구는 동적 분석에 있어 짧은 시간간격(time slice)에 의한 높은 정교성 수준과 단순화 집합화를 통한 계산 속도 향상의 두 가지 상반된 측면을 동시에 고려하여 20분 간격의 동적 O/D자료로 재구성하여 분석에 활용하였다.

일반적으로 DTA분석에서는 출발시각 기준의 동적 O/D를 적용하고 있다. 하지만 TCS 자료가 도착시각 기준으로 자료가 구축되어 있으므로 분석을 위해서는 출발시각 기준의 자료로 변환을 시킬 필요가 있었다. 그래서 본 연구에서는 가장 단순한 방법으로 도착시각 기준의 O/D를 평균통행시간 만큼 시간을 앞 당겨서 출발시각 기준의 O/D로 변환시켰다. 즉 같은 기간 내에 도착한 차량들의 총 통행시간과 차량대수를 이용하여 평균통행

시간을 계산한 후 도착시간대를 평균통행시간 만큼 앞으로 당겨서 출발시간대를 파악한 후에 이 결과를 기준으로 출발시각 기준의 동적 O/D를 구축한 것이다.

분석시간대는 평일의 오후 첨두시를 포함하고 있는 오후 4시~9시로 설정하여, 출퇴근 시간대별로 지체의 생성과 소멸에 대해 시뮬레이션 분석과 현실 관측 자료의 비교가 가능하도록 하였다. 다만, 동적노선배정모형은 정적노선배정모형과는 다르게 분석시간대(오후 4-9시) 이전의 시간대에서 출발한 통행에 대해서는 고려가 되지 않게 되는 단점을 가지고 있으므로 분석 목표가 되는 분석시간대가 되기 이전의 2시간대 교통량(오후 2-4시)을 미리 고속도로에 노선배정 시뮬레이션 분석하는 사전배정을 수행하였다. 그럼으로써 동적배정에 있어 교통량의 시간대별로 연속적 변화가 단절되는 오류를 최소화시키고자 하였다. 따라서 본 연구에서 사전시간대 노선배정을 포함한 실제 분석이 이루어진 시간대는 오후 2시~9시의 시간대가 되며 이 시간대에 대해 20분 간격으로 동적 O/D를 구축하였다. 그리고 분석 결과는 오후 4시~9시의 시간대에 대해서만 정리하고 평가 분석이 이루어졌다.

TCS 자료 자체가 차종별로 분류되어 자료가 구축되어 있으므로 본 연구에서도 TCS 체계에 의해 6개의 차종으로 분류된 차종별 동적 O/D 자료를 이용하여 다차종 동적 노선배정 분석 (Multi-class Dynamic Assignment) 을 수행할 수 있는 자료를 구축하였다.

2. 전국고속도로 네트워크 구축

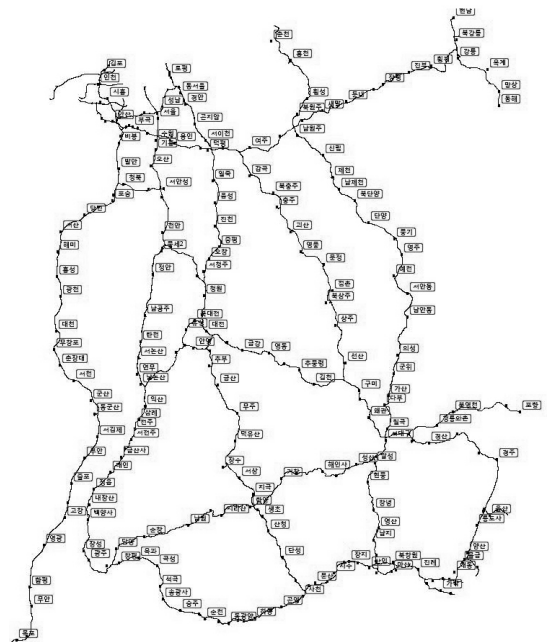
한국도로공사의 TCS 자료를 이용함으로써 인해 전국 고속도로의 영업소 간의 통행 이외에 다른 기종점간의 통행을 파악하는 데는 어려움이 있다. 따라서 전국고속도로 네트워크에서 실제적으로 영업소 간의 O/D가 존재하는 영업소만을 Centroid로 구축하고 그 이외의 경인고속도로, 인천공항고속도로 등과 같은 개방형 요금체계가 적용되는 고속도로 노선들에 대해서는 분석 네트워크에서 삭제하여 분석의 공간적 범위에서 제외시켰다. 즉 요금체계가 폐쇄형으로 되어 있어 고속도로에 진입한 영업소와 진출한 영업소가 TCS 자료로 명확하게 표현될 수 있는 고속도로 구간만을 구성 요소로 하는 네트워크를 구축하였다.

영업소의 위치, 노선의 길이 등 기본적인 네트워크 속성은 한국교통연구원에서 배포한 2005년 기준의 NGIS 자료를 바탕으로 구축하였다. 구축된 전국 고속도로 노선은 총 23개 고속도로 노선으로 <표 1>과 같으며, 교통

중심(centroid)으로 표시되는 256개의 영업소로 구성된 네트워크는 <그림 1>과 같다.

<표 1> 전국 고속도로 노선현황 (2005년 기준)

번호	고속도로	번호	고속도로
1	경부고속도로	50	영동고속도로
10	남해고속도로	55	중앙고속도로
12	88올림픽고속도로	65	동해고속도로
15	서해안고속도로	100	서울외곽순환고속도로
16	울산고속도로	102	마산외곽고속도로
20	익산포항선	104	남해제2고속도로지선
25	천안논산고속도로	110	제2경인고속도로
25	호남고속도로	251	호남고속도로지선
35	중부고속도로	300	대전남부순환고속도로
37	제2중부고속도로	451	구마고속도로
40	평택음성고속도로	551	중앙선의 지선
45	중부내륙고속도로		



<그림 1> 구축된 전국 고속도로 네트워크

III. 네트워크 정산 및 검증

1. 네트워크 정산개념 및 지점선정

본 연구에서는 “동일한 출발지점에서 동일한 시간대에 출발한 통행들이 선택한 어떠한 노선도 동일한 통행시간으로 도착지점에 도착하며, 선택되지 않은 노선은 항상 선

택된 노선보다 통행시간이 크다.”라는 동적 사용자 균형상태(Dynamic User Equilibrium)를 만족시키는 동적노선배정 분석방법을 적용하였다. 즉 동적 사용자 균형상태로 동적 노선배정분석을 하게 되는 INRO의 Dynameq 프로그램을 활용하여 분석이 이루어졌다. 즉 본 연구에서는 동적 사용자 균형 상태를 만족시키는 통행자의 동적 노선선택 행태를 전제로 하고 있는 것이다. 그러므로 본 연구에서는 동적 노선선택에 대한 모형정산에 대한 분석을 할 필요가 없는 것이다. 또한 TCS 실측자료인 동적 O/D를 적용하고 있으므로 통행자의 출발시각 선택에 대한 모형정산도 할 필요가 없음을 의미하는 것이다. 결과적으로 본 연구에서는 모형추정이 아닌 실측 동적 O/D자료를 사용함으로써 동적 O/D 추정의 오류가 없는 상태에서 사용자 균형상태를 만족시키는 동적 노선선택 행태가 얼마나 현실적 교통패턴 현상을 정확하게 복제, 설명할 수 있는가를 검증 분석하는데 연구의 초점을 둘 수가 있게 되는 것이다. 이와 같은 분석에 앞서 동적 노선선택에 영향을 주게 되는 network loading과 교통류를 분석하는 미시적 시물레이션 모형에 포함된 계수 값을 조정하며, 분석된 통행시간이 현실과 유사하며, 관측 링크 교통량과 동적 노선배정 분석 결과가 가능한 유사할 수 있도록 네트워크 정산 분석 과정을 수행하였다. 즉 동적노선배정 분석결과가 현실적 교통패턴 현상에 대한 묘사력이 만족한 수준이 될 때까지 교통류 모형의 계수 값과 네트워크 속성을 반복적으로 수정하며 분석 결과를 관측치와 비교하는 네트워크 정산과정이 최종 분석에 앞서 수행되었다.

256개의 고속도로 영업소-영업소 사이에 해당되는 주요노선의 대부분 구간에서 동적노선배정 분석결과와 관측교통량의 차이를 비교하며 그 오차를 가장 작게 하는 모형 계수의 값과 네트워크 속성을 찾고자 노력을 하였다. 분석비교 지점으로는 고속도로의 구간인 경부선 38개 지점, 남해선 29개 지점, 88고속도로 13개 지점, 서해안선 29개 지점, 호남선 22개 지점, 중부선 31개 지점, 중부내륙선 16개 지점, 영동선 29개 지점, 중앙선 22개 지점, 동해선 6개 지점, 호남선지선 6개 지점, 구마선 4개 지점 등 총 245개 지점을 대상으로 동적 노선배정분석 결과와 관측교통량을 비교 검증하면서 네트워크 정산분석을 수행하였다.

2. 네트워크 정산방법

동적노선배정 분석을 구성하고 있는 각 모형 요소에

대해서 본 연구에서 적용한 분석 방법론은 노선선택(route choice)의 경우는 거시적 모형, 동적 차량위치배정(network loading)은 미시적 모형 그리고 교통류(traffic flow)는 단순화된 미시적 모형의 형태이다. 앞에서 서술한 것과 같이 노선선택과 차량위치 배정은 이미 사용자 균형 상태를 만족하게 배정되는 원칙으로 정해있는 것이다. 따라서 본 연구에서 수행하여야 하는 네트워크 정산은 차량 배정에 따라 각 링크에 배정된 차량들 간에 미시적 교통류 시물레이션 분석을 통해 구해지는 링크 통행시간을 현실과 유사하도록 Dynameq 프로그램의 단순화된 교통류 모형의 계수 값을 찾는 것이 네트워크 정산의 주요한 분석 내용이 되는 것이다. 본 연구에서는 연속류인 고속도로의 특성을 감안하여 자유속도, 혼잡밀도와 최대교통량을 산정하는 유효길이 및 반응시간을 조정하며 네트워크 정산분석을 수행하였다.

Mahut et. al. (2004)에서 설명된 Dynameq의 추종모형은 기존에 알려진 추종모형과는 다르게 유효길이(Effective length)와 반응시간(Response Time)의 개념이 적용된다. 유효길이는 대기행렬에서 정지해 있는 상태일 때의 앞 차의 후미와 뒷 차의 후미간의 거리이며, 반응시간은 차량의 궤도가 변경되었을 경우 반응하는 시간을 의미한다. 즉 유효길이와 반응시간의 두개 요소의 값이 어떤 값을 갖는가에 따라 동적노선배정 분석의 결과가 달라진다. 따라서 이 두 값을 조정하면서 시간대별 링크의 관측 교통량과 동적노선배정 분석 결과가 유사하도록 반복하여 수정하는 작업을 본 연구에서는 네트워크 정산과정에서 수행한 것이다. 본 연구에서 적용한 Mahut et. al. (2004)의 추종모형은 식(1)과 같다.

$$x_f(t) = \text{Min} [(x_f(t-\epsilon) + \epsilon V), (x_l(t-R) - L)] \quad (1)$$

여기서, $x_f(t)$: t시간에 뒤 차량의 위치
 $x_l(t)$: t시간에 앞 차량의 위치
 V : 자유류상태의 속도
 L : 뒤 차량의 유효길이
 R : 뒤 차량의 반응시간
 ϵ : 임의의 아주 짧은 시간 간격

식(1)은 동적 차량위치 배정을 위한 핵심적인 모형으로써 t시간에 특정 차량 n이 뒤 차량 (following vehicle)의 입장에서 기준 지점 $x=0$ 으로 부터의 거리 $x_f(t)$ 는 임의의 짧은 시간간격 이전의 위치에서 그 짧은

시간간격에 자유류 상태로 진행하여 전진된 위치와 특정 차량 n의 앞 차량(leading vehicle)이 t 시간에서 반응 시간만큼 더 전에 위치했던 위치에서 차량의 유효거리를 뺀 위치와 비교할 때 최소 값의 위치가 특정 차량 n의 t 시간에 있어 위치가 된다는 수식이다. 이와 같은 일반적으로 잘 알려진 삼각형 형태의 교통량과 밀도와의 관계를 동일하게 설명하게 되며, 각 링크별 독립적으로 개별 차량에 대해 시간 흐름에 따른 위치변화를 쉽게 추적하여 계산상의 장점을 갖고 있다.

또한 최대교통량, 혼잡밀도 및 충격파속도 역시 식 (2)와 같이 도로의 자유속도, 유효길이, 반응시간을 통하여 추정될 수가 있다.

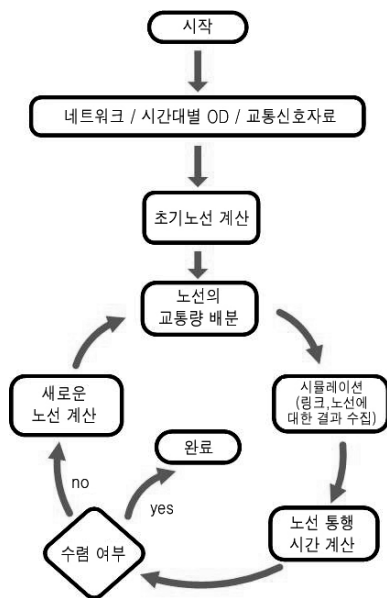
$$Q_{max} = \frac{1}{(R+L/V)} \quad (2)$$

$$K_{jam} = \frac{1}{L}$$

$$V_{wave} = \frac{L}{R}$$

여기서, Q_{max} : 최대교통량 V : 자유속도
 K_{jam} : 혼잡밀도 V_{wave} : 충격파속도
 L : 유효길이 R : 반응시간

INRO(2005)의 Dynameq이 적용한 동적 노선배정 분석기법은 위에서 설명한 동적 노선배정의 구성 요소들 간의 순환적 반복계산 과정의 관계는 <그림 2>와 같으며



<그림 2> DTA 모형 구조

동적 사용자 균형상태의 조건을 만족시킬 때 까지 계산을 계속하게 되는 모형구조를 갖고 있다.

네트워크 정산 및 검증과정에서 노선배정교통량과 비교하기 위한 자료로는 한국도로공사(2005)의 “2005년 고속도로 교통량 조사”가 이용되었다. 그리고 위의 이론을 바탕으로 우리나라의 고속도로 현황을 잘 설명할 수 있도록 조정된 모형 계수 값에 대해서는 자유속도, 차량 유효길이, 반응시간으로 구분하여 설명하고자 한다.

1) 고속도로의 자유속도

현재 우리나라의 고속도로는 개통시기 및 포장상태 등에 따라 종류별로 다른 제한속도를 적용하고 있다. 이와 같이 각 고속도로 노선구간별로 설정된 제한속도를 본 연구의 고속도로 네트워크의 자유속도로 설정하여 분석하였다. 연구 분석에 적용된 고속도로별 제한속도는 <표 2>와 같다.

<표 2> 전국 고속도로 제한속도

속도(vph)	고속도로
80	88울림픽고속도로
110	서해안고속도로, 천안논산고속도로 중부고속도로, 제2중부고속도로 중부내륙고속도로
100	영동고속도로, 중앙고속도로 동해고속도로, 서울외곽순환고속도로 마산의곡고속도로, 남해제2고속도로지선 제2경인고속도로, 호남고속도로지선 대전남부순환고속도로, 구마고속도로 중앙선의 지선, 평택음성고속도로

2) 차량 유효길이 및 반응시간 적용

(1) 유효길이(Effective Length)

도로용량편람에 제시되어 있는 각 차종별 차량길이를 바탕으로 고속도로 영업소의 요금산정 방식에 따라 6가지 차량등급으로 차량길이를 추정하였다. 그리고 그 차량길이를 가지고 정지해 있을 상태의 차간거리를 임의적으로 적용하여 유효길이를 추정하였다. 차량길이 정보가 없는 경우, 국내 자동차 회사의 차량 제원표를 바탕으로 평균적인 값을 적용하여 길이를 산정하였다. 6개 차종으로 재분류된 차량 길이 및 유효길이는 <표 3>과 같다.

〈표 3〉 추정된 차량별 유효길이 (단위: 대수)

차종	종류	길이	평균길이	유효길이
1종	승용차	4.8	4.67	5.40
	소형승합	4.7		
	소형트럭	4.5		
2종	중형승합	6.4	6.23	6.93
	중형트럭	6.1		
3종	대형승합	10.8	9.76	10.46
	대형화물	8.7		
4종	대형화물	18.3	18.31	19.01
5종	특수화물	18.7	18.72	19.42
6종	경차(800cc)	3.5	3.5	4.20

(2) 반응시간(Response Time)

차종별로 다른 반응시간에 관한 연구는 현재까지 미비한 편이며, 이와 같은 반응시간은 차량특성 뿐 아니라 개인의 행태특성에 따라 많은 차이를 보일 수가 있다. 본 연구에서 적용한 네트워크 정산과정에서의 반응시간 설정 방법은 도철웅(2004)을 참조하여 실제 운행 중에 발생하는 PIEV(지각-인지반응)시간인 0.5~4초 사이의 한 값을 가질 것으로 판단되며, 본 연구에서는 이 값이 네트워크 정산을 통해 결정되어지도록 하였다.

앞에서 서술한 것과 같이 기존의 기초 자료를 기반으로 결정된 자유류 속도와 차량 유효길이는 고정된 값으로 분석에 입력되었으므로 정산이 필요가 없다. 그러므로 동적 노선배정 시뮬레이션 분석을 위한 네트워크 정산은 오직 정확한 값을 모르고 있는 반응시간에 대해서만 이루어지면 된다. 그러므로 본 연구에서는 0.5~4초 사이의 범위 내에서 일종의 line search 방법을 통해 관측치와 시뮬레이션 결과치 사이의 오차가 가장 적게 하는 하나의 값을 찾는 것으로 네트워크 정산분석이 이루어졌다. 이때 노선배정 결과와 관측 교통량을 비교하여 오차율을 계산하기 위한 오차 기준은 식(3)과 같이 계산하였다. 즉 식(3)의 오차율을 최소화하는 반응시간을 찾는 것이 네트워크 정산의 핵심이 되게 된다. 이와 같은 네트워크 정산과정을 거치면서 최종적으로 얻어진 반응시간은 1.5초이다. 이렇게 네트워크 정산을 거쳐 최종적으로 구한 반응시간을 1.5초를 적용하였을 때의 실측 관측치와의 오차율 분석 결과는 〈표4〉와 같다.

$$\text{오차율} = \frac{(\text{노선배정량} - \text{관측교통량})}{\text{관측교통량}} \times 100 \quad (3)$$

시간대별로 전국 245지점의 오차율 비교 결과 약

〈표 4〉 오차율 비교 결과

시간대	오후 4시-5시	오후 5시-6시	오후 6시-7시	오후 7시-8시	오후 8시-9시	
오차율(R) 비교	비율(%)	비율(%)	비율(%)	비율(%)	비율(%)	
과대 추정	R)=300	0.0	2.9	1.2	0.4	0.0
	100<=R<300	6.1	3.3	5.3	6.6	6.1
	60<=R<100	1.2	2.0	2.4	2.9	3.3
	30<=R<60	8.2	6.5	13.9	15.2	15.1
	10<=R<30	12.7	20.0	21.6	23.0	23.6
과소 추정	0<=R<10	19.3	14.7	15.1	20.1	13.1
	-10<=R<0	22.1	23.3	21.2	15.6	15.1
	-30<=R<-10	23.0	20.8	12.7	10.2	11.4
	-60<=R<-30	3.7	2.9	2.9	2.5	3.7
	-100<=R<-60	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7
R<-100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
합계	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	

68%~78%사이의 지점들이 관측교통량과 30%이내의 오차율을 보이는 것으로 나타나 고속도로의 동적노선배정이 비교적 합리적으로 이루어졌다고 판단할 수가 있었다.

관측교통량과 가장 비슷하게 노선배정이 되는 시간대는 193개의 지점수가 30%이내의 오차율을 보인 오후 5시~6시 사이 이었다.

3. 네트워크 정산결과 검증

1) 영업소구간별 통행시간, 속도 비교

동적노선배정이 현실의 교통흐름과 유사하게 묘사되고 있는지 판단하기 위하여 서울영업소와 다른 대도시 영업소 간의 속도 및 통행시간에 대해 동적 노선배정 분석 결과 값과 TCS 자료의 실제 값을 비교하여 보았다. 이와 같이 비교검증 분석해 본 결과는 〈표 5〉에 요약 정리되어 있다.

TCS 실측 통행시간과 동적노선배정 시뮬레이션 결과 통행시간을 서로 비교해 보면, 서울-대전, 서울-동대구,

〈표 5〉 서울-대도시 영업소 사이의 속도, 통행시간 (거리:km, 속도:kph)

기점	종점	오후 4시~오후 9시의 평균값			
		시뮬레이션 결과			TCS 실측자료
		평균 거리	평균 속도	평균 통행시간	평균 통행시간
서울	북수원	24	47	31분	15분
서울	대전	160	100	1시간36분	1시간16분
서울	동대구	290	105	2시간46분	2시간56분
서울	광주	267	93	2시간52분	3시간10분
서울	울산	377	104	3시간37분	3시간54분
서울	서부산	402	104	3시간51분	4시간40분

서울-광주, 서울-울산 간의 통행시간은 시뮬레이션 결과가 비교적 실측치와 유사한 결과가 나왔다. 하지만 서울-북수원 경우는 시뮬레이션 분석이 비교적 체증이 크게 분석이 되어 실측 통행시간보다 통행시간이 오래 걸리는 것으로 분석이 되었다. 반면에 서울-서부산 간은 시뮬레이션 분석결과가 약 50분 정도 더 빠르게 분석이 이루어졌다. Dynameq에 의한 동적노선배정 시뮬레이션 분석에 있어 단점 중 하나는 장거리 통행의 경우 여행 중의 휴게소에서 휴식 시간을 반영할 수가 없다는 점이다. 반면에 TCS 실측 통행시간 자료에는 출발 영업소에 진입하여 도착 영업소를 진출하는 시점간의 통행시간이 관측된 것으로 이 시간에는 휴게소에서의 휴식시간이 함께 포함되어 있는 시간이다. 이와 같은 이유에서 시뮬레이션에서 장거리 통행의 경우 실측 통행시간보다 짧게 추정되는 것이 아닐까 추정이 된다.

동적노선배정 시뮬레이션에서의 개별 통행자들의 노선선택에 있어서의 실제 선택노선과의 차이, 세부적 지점에서의 통행시간과 속도 등에서 차이는 있을 수가 있으나, 본 연구에서는 시뮬레이션에 의한 동적노선배정이 현실에서의 두 영업소 간 고속도로 교통량과 통행시간에 있어 비교적 유사한 결과가 나왔기 때문에, 동적 사용자 균형상태의 원칙을 기준으로 하는 동적 노선배정 모형이 현실적 교통정책 분석에 적용이 가능하다고 판단하였다.

2) 동적O/D와 시뮬레이션 유출량 비교

동적 노선배정의 경우 정적 노선배정과는 달리 시간대별 O/D가 도로의 혼잡 여부 및 속도 등에 따라 출발점(Origin)에서 유출 교통량이 조절되고 있으므로, 시뮬레이션 분석 상 출발점에서 시간대별 출발한 교통량이 입력된 시간대별 O/D 교통량과 차이가 있을 수가 있다. 하지만 본 연구의 동적 O/D 자료가 실측 조사된 TCS 자료라는 점을 고려한다면 각 출발점에서의 시뮬레이션 유출 교통량과 동적 O/D의 유출량이 동일해야 하는 것이 옳을 것이다. 하지만 시뮬레이션의 출발점 유출량 조절모형 특성에 의해 시뮬레이션의 분석 결과가 입력된 시간대 O/D 교통량과 차이가 발생할 수가 있으므로 본 연구에서는 분석 결과와 관측 입력 O/D 교통량의 차이를 검증 비교하여 보았다. 시뮬레이션 분석 결과 유출량과 O/D 유출량과의 차이를 비교해 보기 위해 오후 4시~9시 사이의 시간대별 TCS O/D의 총량과 실제 동적노선배정이 되었을 때의 교통존 중심에서의 총 유출량을 비교 검증 분석하였

〈표 6〉 O/D 유출량과 시뮬레이션 유출량의 비교

(단위: 대)

시간	교통량		차이비율
	TCS OD 총량	시뮬레이션 유출량	
오후 4시-5시	128,483	127,237	-0.97%
오후 5시-6시	128,423	127,314	-0.86%
오후 6시-7시	127,920	126,714	-0.94%
오후 7시-8시	103,526	102,718	-0.78%
오후 8시-9시	79,759	79,950	0.24%
총합	568,111	563,933	-0.74%

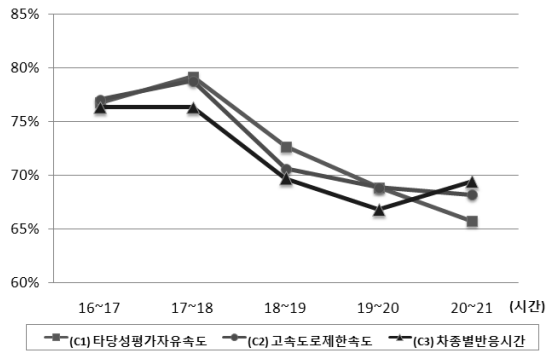
으며, 그 분석 결과는 〈표 6〉과 같다.

시뮬레이션 결과의 유출량은 시간대별로는 동적O/D의 98~99% 정도의 범주에서 분석 결과가 나왔으며, 평균적으로는 약 99.3%가 나왔다. 즉 시뮬레이션 기반의 동적노선배정에 의해 시간대별 O/D 교통량 대부분이 네트워크에 배정되었음을 알 수 있어 비교적 합리적인 분석 결과가 나왔다고 본 연구에서는 판단하였다.

3) TCS 자료와 검증자료의 일치 여부

본 연구에서 사용한 검증자료로써의 관측 링크 교통량은 도로공사에서 2005년 10월 13일 목요일 오전 7시부터 24시간동안 조사한 자료이다. 그에 반해, 시간대별 동적O/D 자료는 2005년 2월 4일 금요일에 집계된 TCS 자료이다. 따라서 네트워크 정산 비교 시에 발생한 교통량 차이는 검증시점과 자료수집시점의 불일치로 인하여 계절별, 요일별, 시간대별 변동을 정확하게 반영하지 못함에 따라 시뮬레이션 분석 결과와 관측 교통량 간에 차이가 있을 수가 있는 것이다. 따라서 이와 같은 계절별, 요일별 변동 요인에 의한 오차까지 동적 노선배정 시뮬레이션 분석 결과와 관측 교통량의 차이에 내포되어 나타나 있는 것이라고 해석할 수가 있으므로, 앞에서 서술한 관측 교통량과의 비교분석 결과로 판단할 때 사용자 균형상태를 기반으로 하는 동적 노선배정 분석의 결과가 비교적 현실적인 교통패턴 설명을 잘 설명하고 있다고 판단할 수가 있을 것이다. 〈그림 3〉은 본 연구의 사례분석에서 관측교통량과의 오차율 차이가 30%이하인 지점수의 비율을 나타낸 것이다. 이 분석에 의하면 시간대가 뒤로 갈수록 30%이하의 지점수도 점차 감소하는 경향을 보인다. 이는 통상적으로 우리나라의 금요일의 통행은 다른 평일에 비해 여가통행이 많은 통행패턴 현상이 있으므로 평일 입력 자료의 분석 결과와 금요일 검증자료를

비교함에 따라 초저녁 시점에서 분석 오차가 더 크게 나왔다고 해석할 수가 있다고 고려되어진다. 즉 동적 노선배정 분석 자체의 오차와 함께 TCS 입력 자료와 링크 관측 자료의 조사 시점의 불일치로 인한 오차가 발생할 수 있음을 보여주는 분석 결과라고 판단되어진다.



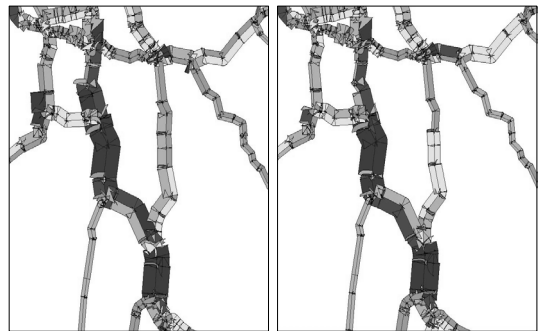
〈그림 3〉 정산시 오차율 30%이하인 지점 비율

IV. 버스전용차로제 정책분석 사례연구

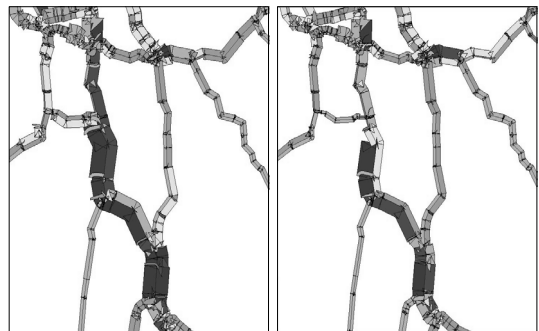
1. 경부고속도로 버스전용차로제 현황

현재 경부고속도로의 중앙버스전용차로제는 서초IC~신탄진IC까지 137.4km구간을 서울, 부산 양방향에서 주말 또는 공휴일에만 운영이 되고 있다. 그러나 여가통행이 많은 주말에 버스전용차로제 적용이 적합한 것인지, 아니면 출퇴근 및 업무통행이 많은 주중 평일에 버스 전용차로제를 적용하는 것이 적합한 것인지에 대한 논의도 필요하다. 따라서 본 연구의 분석 입력자료인 금요일 TCS자료를 활용하여 현재 주말에 적용하고 있는 고속도로 버스전용차로제를 평일에 적용할 경우의 정책효과에 대해 동적 노선배정 시뮬레이션 분석을 통해 분석하고자 한다. 버스전용차로 정책 적용 구간 대상은 판교IC~신탄진IC로 하였으며, 버스전용차로 정책적용의 분석에 앞서 버스전용차로제가 적용되지 않은 상태에서의 첨두시간대 시간대별 교통량 패턴 파악을 우선 분석하였다.

〈그림 4〉~〈그림 7〉는 Dynameq을 활용하여 분석한 결과로써 버스전용차로를 적용하지 않은 평일 첨두시간대의 교통량 혼잡생성 및 감소를 시간대별로 보여주는 그림이다. 이와 같은 분석결과에서 파악할 수가 있듯이 하루 교통량으로 정적 분석한 결과에서는 파악할 수 없었던 교통패턴 분석이 동적 분석에서는 가능함을 알 수



〈그림 4〉 오후5시~6시 노선배정량 〈그림 5〉 오후6시~7시 노선배정량



〈그림 6〉 오후7시~8시 노선배정량 〈그림 7〉 오후8시~9시 노선배정량

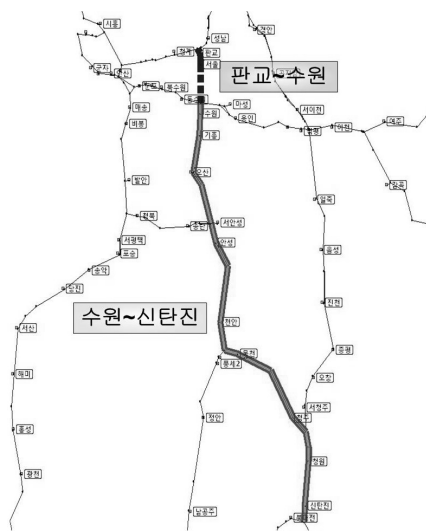
가 있다. 즉 동적 노선배정 시뮬레이션 분석에서는 시간대별로 각 교통량의 변화 뿐 아니라 같은 도로 구간이라도 방향별로 교통량이 크게 차이가 나는 현상도 분석되고 있어 동적 분석의 장점을 보여주고 있다. 분석 결과에 따르면 평일에 버스전용차로 정책을 적용하지 않았을 경우 교통패턴은 오후 5시부터 생성된 지체가 오후 7시를 기점으로 점차 소멸되고 있음을 보여주고 있다. 따라서 본 연구에서는 위와 같이 혼잡이 심한 평일 첨두시간대에 중앙버스전용차로제를 실시했을 경우의 정책 효과지표를 분석하였다.

다만 중앙버스전용차로제 실시로 인한 승용차에서 대중교통으로 전환되는 수요에 대한 반영은 분석의 단순화를 위해 10%, 20%, 30%, 35%의 승용차 통행자가 버스로 교통수단 전환을 한다고 단순히 가정하고 각각의 경우에 대해 정책 효과분석을 하였다.

2. 버스전용차로제 적용방법

첨두시간을 포함하고 있는 오후 4시~9시에 중앙버스전용차로제를 적용하였으며, 구간은 영업소가 있는 판교

IC~신탄진IC사이에 적용하는 것으로 가정하였다. TCS 자료에서 차량타입이 3종인 차량은 대형승합차와 2축 대형화물차로 구성되어 있어 있으므로 버스전용차로를 이용하게 될 대형승합차와 대형화물차 교통량을 구분할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 도로공사의 『2005년 고속도로 교통량 조사』의 시간대별 자료를 기준으로 하여 3종 차량에서의 대형버스 및 대형화물의 비율을 추정하여 대형버스 O/D를 구한 후에 이 O/D에 대해서만 중앙버스차로에 배정되도록 하였다. 중앙버스전용차로제 정책대안으로 정책 1(판교IC~신탄진IC 구간), 정책 2(판교IC~수원IC 구간), 정책 3(수원IC~신탄진IC 구간)의 3가지 구간에 대한 정책 대안을 분석하였다. 각 대안 정책들에 대해서는 버스전용차로제의 미시행시 분석 결과와 비교하여 효과지표를 계산하였다. <그림 8>은 분석에서 적용된 중앙버스전용차로의 구간을 나타내는 그림이다.



<그림 8> 적용된 중앙버스전용차로 구간

3. 버스전용차로제 적용사례별 효과분석

각 대안별 정책효과 분석은 오후 4시~9시 시간대를 대상으로 하였다. 버스전용차로정책을 시행하는 가장 큰 목적은 교통 시스템 상의 통행자들에 의해 소요되는 총 통행시간을 감소시키기 위한 것이라 할 수 있다. 즉 차량 통행의 총 통행시간의 최소화가 아니고 차량을 이용하는 통행자의 총 통행시간을 최소화하는 것이 사회적

차원의 정책 목표가 되는 것이다. 따라서 본 연구에서는 정책효과 지표로 승용차와 버스의 통행자의 총 통행시간으로 하고 정책 대안별로 효과 분석을 하였다. TCS 자료의 경우 차량 단위의 O/D로 자료가 구축되어 있으므로 승용차와 버스의 통행자 수를 알아내기 위해서는 승용차와 버스의 평균 재차인원을 적용하여야 한다. 본 연구에서 적용한 평균 재차인원은 버스가 22명/대, 승용차가 2명/대로 가정하고 분석을 하였다.

버스전용차로제 정책의 핵심은 차량 한 대에 많은 통행자를 탑승시킬 수 있는 버스에게 별도로 분리된 통행권을 제공함으로써 출발지에서 목적지까지 적은 수의 차량으로 많은 승객을 승용차에 비해 빠른 속도로 수송하고자 하는 것이다. 그럼으로써 고속도로 상에 승용차의 교통량을 감소시킴으로써 교통체증을 완화시켜 버스 이용객 뿐 아니라 승용차 이용객에게도 가능한 긍정적 효과가 있게 유도하는 것이 정책의 근본적인 목적일 것이다. 이와 같은 정책적 목적을 달성하기 위해서는 버스전용차로를 이용하는 버스가 침두시에 승용차보다 큰 차이로 빠르게 하고, 버스의 정시성(reliability)을 높임으로써 승용차 이용자가 버스로 많이 전환하도록 유도하여야 할 것이다. 본 연구에서는 이와 같은 교통수단선택 모형에 의한 승용차에서 버스로의 교통수단 전환비율을 예측 분석하는 대신에 일정 비율의 전환율을 가정한 각 시나리오에 대해 버스전용차로의 정책 효과를 분석하였다. 그것은 고속도로 이용 통행자들의 교통수단선택 행태분석에 관한 연구로서 신뢰할 수 있는 정확성을 갖는 모형정산 결과가 부족하다는 것이 한 이유이며, 다른 이유는 정확한 출발지점과 도착지점의 위치 파악이 안 되는 상태에서 교통수단별 서비스 속성을 정확하게 규명하기가 매우 어렵기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 분석의 단순성을 위해 주어진 교통수단 전환율 값의 시나리오를 전제로 하여 분석을 수행하였다.

분석에 적용한 승용차에서 버스로의 전환율 시나리오는 10%, 20%, 30%, 35%로 정하여 분석을 수행하였다. 이때 승용차의 통행자가 버스로 전환되어도 버스의 배차간격은 그대로 유지하여 버스 교통량에는 변화가 없다고 가정하고 분석을 하였다. 승용차와 버스 통행자들의 총 통행시간은 식(4)와 같이 계산을 하였다.

$$T = \sum_l \sum_m (t_l^m \times V_l^m \times O^m) \quad (4)$$

- 여기서, O^m : 교통수단 m의 차량 평균 재차인원
- T : 총 통행자의 통행시간
- t_l^m : 링크 l 구간에서 교통수단 m의 소요 통행시간
- V_l^m : 링크 l 구간에서 교통수단 m의 차량 교통량

식(4)에 의해 대안의 정책효과를 분석할 때 동적 노선배정 분석결과가 시간대별 도로구간별 교통상태에 따라 고속도로 이용자들의 노선선택에 차이가 있어 시간대별 도로구간 교통량 총량이 같지 않다는 점에 주의할 필요가 있다. 이것은 교통 환경이 좋아져서 경부고속도로 축의 이용 교통량이 증가할 경우 경부고속도로 구간의 총 통행시간이 오히려 증가하는 분석 결과가 나올 수가 있다는 것을 의미하는 것이다. 즉 차량이 아닌 통행자들의 총 통행시간을 가지고 버스전용차로제 정책 효과분석을 할 때 버스로 교통수단을 전환하여 실제적으로는 통행시간이 단축되었다 할지라도 승용차 이용자의 수도 함께 증가하게 동적노선배정 분석이 나왔다면 미시행시보다 실제적 통행자 수가 많아지게 됨에 따라 통행자들의 총 통행시간은 오히려 증가할 수도 있다는 것을 의미하는 것이다. 본 연구에서는 노선변경에 의한 시간대별 차종별 교통량 변화에 대한 영향은 고려하지 않고 단순히 경부고속도로 버스전용차로제 적용 가능 구간을 이용하는 총 통행자의 통행시간의 합으로 정책효과를 분석 비교하였다.

승용차에서 버스로의 다양한 전환율과 함께 정책 대안 1, 2, 3에 대한 정책 효과분석의 결과는 <표 7>에 요약 정리되어 있다. 분석 결과를 보면 버스로의 전환율이 30%까지가 되더라도 버스전용차로제를 실행할 경우 승용차의 체증으로 전체 통행자들의 통행시간 합계는 오히려 커지는 것으로 분석 결과가 나왔다. 판교 IC에서 신탄진 IC의 전체 구간에 대해 버스전용차로제를 적용하는 정책 1이 가장 총 통행시간의 합이 커지게 분석 결과가 나왔으며, 그리고 판교 IC에서 수원 IC의 구간에만 버스전용차로제를 적용하는 정책 2가 그 다음으로 많이 총 통행시간이 증가하는 것으로 분석되었다. 이것은 판교 IC에서 수원 IC은 교통량이 많아 승용차에서 버스로의 전환율이 아주 크지 않고서는 총 통행시간의 감소현상보다는 오히려 통행시간 증가현상의 결과가 나올 수 있는 분석 결과이다. 본 연구에서 설정한 가정 하에서 총

통행시간이 감소하는 현상은 정책 3으로서 수원 IC에서 신탄진 IC의 구간에 버스전용차로제를 적용하고 승용차에서 버스로 교통수단 전환율이 35%이상 될 때 정책 미시행시 1,179,474시간이었던 것이 1,169,607시간으로 약 0.84% 감소하는 것으로 분석되었다. 본 연구에서 실행한 추가적인 다양한 전환율을 사용하여 분석해 본 결과 정책 1, 2, 3의 모든 경우에서 총 통행시간이 감소되기 위해서는 승용차에서 전환율이 46.1% 이상이 되어야 하는 것으로 분석되었다.

<표 7> 승용차 전환율 적용시 여객 총통행시간 (단위: 시간)

수단 전환율	정책	통행자총 통행시간	미시행 대비변화 비율
미시행		1,179,474	
10%	정책 1	1,729,140	+ 46.60%
	정책 2	1,617,246	+ 37.12%
	정책 3	1,481,528	+ 25.61%
20%	정책 1	1,576,643	+ 33.67%
	정책 2	1,488,673	+ 26.21%
	정책 3	1,356,760	+ 15.03%
30%	정책 1	1,424,146	+ 20.74%
	정책 2	1,360,100	+ 15.31%
	정책 3	1,231,991	+ 4.45%
35%	정책 1	1,347,897	+ 14.28%
	정책 2	1,295,813	+ 9.86%
	정책 3	1,169,607	- 0.84%

주) 정책1:판교IC~신탄진IC, 정책2:판교IC~수원IC, 정책3:수원IC~신탄진IC

위와 같은 분석 결과는 버스전용차로제를 경부고속도로의 판교~신탄진 구간에서 전체 구간 또는 복단 일부 구간이나 남단 일부구간에 적용할 경우 승용차 통행자의 30% 이상이라는 높은 비율이 버스로 전환되어야 시스템 차원에서 총 통행시간의 감소 현상이 겨우 가능하다는 것을 의미하는 것이다. 이와 같이 높은 버스로의 전환 비율이 나오기 위해서는 현재 상태에서 보다 통행자들의 만족도가 승용차에 비해 버스가 더 높아져야만 가능하다는 것을 또한 의미하는 것이다. 승용차에 비해 버스의 서비스 수준을 높이기 위해서는 각 통행자들의 출발점과 도착점을 편리하게 연결시켜 줄 수 있는 버스노선체계 및 환승체계 그리고 효율적 운영체계를 갖추어야 할 것이다. 또한 승용차가 교통체증에 의한 지체로 정시성에 대한 불확실성이 높은 것에 비해 버스는 안정적인 정시성과 신속한 이동성의 체계가 갖추어져야만 높은 버스분담율을 달성할 수가 있을 것이다. 그러므로 종합적인 버스정책이 병행되기 전에 단순히 고속도로의 버스전용

차로제 정책만을 독립적으로 평일 오후 침두시간대의 전후 기간에 수행할 경우 도로공사가 바라는 정책적 효과를 얻기가 어렵다는 것이 본 연구에서 분석한 결과에 의한 판단이다.

V. 결론

본 연구는 시간대별 교통변화를 반영한 동적노선배정 기법을 현실적 교통정책 분석에 응용하는 것이 향후 실무에서 매우 중요하게 될 것이라 판단하여, 동적 노선배정의 정책분석 가능성을 실측 자료와 함께 비교 검증하는 연구를 수행하였다. 이 연구에서 적용한 동적 노선배정 기법으로는 노선선택행태는 거시적 모형, 동적 차량위치 배정은 미시적 모형, 그리고 교통류는 단순화된 미시적 모형이 적용된 Dynameq 프로그램을 활용하였다. 그리고 우리나라의 고속도로 체계에 있어 영업소에서 영업소 간의 동적 O/D자료가 도로공사의 TCS 자료를 통해 정확하게 확보할 수 있다는 점을 이용하여, 순수하게 동적노선배정 모형 자체의 현실적 묘사능력을 시간대별 관측 교통량과 비교 검증함으로써 정책응용 가능성을 확인하고자 한 것이다.

또한 동적 노선선택에 영향을 주게 되는 network loading과 교통류를 분석하는 미시적 시뮬레이션 모형에 포함된 계수 값을 조정하며, 분석된 통행시간이 현실과 유사하며, 관측 링크 교통량과 동적 노선배정 분석 결과가 가능한 유사할 수 있도록 네트워크 정산분석 과정을 수행하였다. 즉 동적노선배정 분석결과가 현실적 교

통패턴 현상에 대한 묘사력이 만족한 수준이 될 때까지 교통류 모형의 계수 값과 네트워크 속성을 반복적으로 수정하며 분석 결과를 관측치와 비교하는 네트워크 정산 과정이 최종 분석에 앞서 수행되었다.

네트워크 정산을 통해 시간대별 관측 링크 교통량과 동적 노선배정 분석 결과가 유사함을 확인한 후에 정책 분석 가능성의 예로 경부고속도로 판교~신탄진 구간에 대한 평일의 버스전용차로제 정책분석을 수행하고 각 대안정책과 시나리오별로 정책 효과를 분석하였다. 본 연구에서는 승용차에서 버스로의 교통수단 전환율을 아주 높일 수 있는 종합적 대중교통체계 개선이 동반하지 않고서는 고속도로의 버스전용차로제 정책만으로는 만족할 만한 정책 효과를 달성하기가 어렵다는 분석 결과가 나왔다.

참고문헌

1. 도철웅(2004), 교통공학원론(상), 청문각.
2. 건설교통부(2001), 도로용량편람.
3. 한국도로공사(2005), 고속도로교통량 조사.
4. Mahut, M ; Florian, M ; Tremblay, N ; Campbell, M ; Patman, D ; McDaniel, Z K(2004), "Calibration and Application of a Simulation-Based Dynamic Traffic Assignment Model", Transportation Research Record, No. 1876, pp.101~111.
5. INRO(2005), "Dynameq User's Manual Release 1.1".

- ☞ 주 작 성 자 : 정상미
- ☞ 교 신 저 자 : 김익기
- ☞ 논문투고일 : 2008. 2. 23
- ☞ 논문심사일 : 2008. 4. 16 (1차)
2008. 7. 17 (2차)
- ☞ 심사판정일 : 2008. 7. 17
- ☞ 반론접수기한 : 2008. 12. 31
- ☞ 3인 익명 심사필
- ☞ 1인 abstract 교정필