

# 실제 통행기록 자료를 활용한 고속도로 Corridor 시간대별 O-D 구축

## Construction Method of Time-dependent Origin-Destination Traffic Flow for Expressway Corridor Using Individual Real Trip Data

유정훈\* · 이무영\*\*

Yu, Jeong Whon · Lee, Mu Young

### Abstract

More practical outputs and insights can be obtained through transportation analysis considering the time-dependent traffic movements. This study proposes a method of constructing time-dependent O-D trip tables for expressway corridor using real-world individual trip data. In this study, time-dependent O-D trip tables for the nationwide highway network are constructed based on toll collection system data. The proposed methodology is to convert nationwide time-dependent O-D trip tables into Korean expressway corridor O-D trip tables in order to deal with the computational complexity arising from simulating a large-scale traffic network. The experiment results suggest that actual individual trip record data can be used to effectively construct time-dependent O-D trip tables. They also imply that the construction of time-dependent O-D trip tables for the national highway networks along with those for Korean expressway developed in this study would make transportation analysis more practical and applicable to real-time traffic operation and control.

**Keywords** : *dynamic, sub-corridor/subarea, highway, FTMS data, O-D trip table*

### 요 지

시간개념을 고려한 교통 분석은 교통류의 이동을 고려함으로써 보다 현실적인 분석 결과를 가져올 수 있다. 본 논문은 실제 개인의 통행기록 자료를 활용하여 고속도로 Corridor를 대상으로 한 시간대별 기종점 통행량 구축 방법론을 개발하였다. 실제 개별 통행기록 자료인 고속도로 TCS 자료를 활용하여 전국 고속도로망을 대상으로 시간대별 O-D를 구축하였으며, 도심지역 분석에 활용도를 높이기 위해 구축된 시간대별 O-D를 Sub-corridor 시간대별 O-D로 전환하기 위한 방법론을 개발하였다. 본 연구는 실제 통행 자료를 활용한 기종점 통행량 구축이라는 점에서 의미를 가지며, 향후 고속도로 이외의 도로를 포함한 동적 기종점 통행량 구축에 관한 연구 및 기존의 통계적 추정을 이용한 O-D 구축방법과의 연계를 통해 교통 분석의 주요 입력 자료인 동적 기종점 통행량의 구축이 가능할 것으로 기대한다.

**핵심용어** : 동적, Sub-corridor/Subarea, 고속도로, FTMS 자료, 기종점 통행량

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

이용자가 경험하는 교통시스템의 서비스 상태는 고정적인 시스템의 물리적 용량과 시간대별 이용수요에 따라 변화한다. 최근 인터넷을 통한 실시간 교통정보의 공급확산은 시간에 따라 시스템의 상태가 변화하는 특성이 교통시스템 이용에 중요한 고려요인을 보여준다.

거시적 네트워크 계획을 위한 정적 분석의 필요성과 달리 향후 첨단교통체계의 도시부 소통상태 분석을 위해서는 시간흐름에 의한 교통류의 이동을 고려하여야 할 것이며

(Mahmassani, 2001), 교통시스템의 동적 분석 기술은 향후 첨단교통체계의 핵심기술이 될 것이다.

지금까지 교통 분석에 활용되는 기종점 통행량 구축은 대부분 표본을 이용한 추정과정을 통해 이루어졌다. 본 연구는 표본을 통한 추정과 전수화라는 O-D 구축과정을 대신하여 시간대별 기종점 통행량 구축을 위해 전체 개별통행자의 통행기록 자료를 이용하였다는 점에서 의의가 있다.

한편, 시스템의 시간대별 상태변화를 고려한 동적분석은 전국 네트워크를 고려하기 보다는 도심지와 같이 주요 관심지역을 대상으로 이루어지는 것이 효과적이며, 이러한 Subarea분석은 신교통 수단의 도입으로 인한 효과분석, 교통시스템의 지역

\*정회원 · 아주대학교 환경건설교통공학부 부교수 (E-mail : jeongwhon@ajou.ac.kr)

\*\*교신저자 · (주)동명기술공단 개발사업부 사원 (E-mail : lmy2thx@naver.com)

별 특성분석, 재난구조 모형 등 다양한 분야에 적용되어 왔다.

본 연구는 시간대별 기종점 통행량 구축의 필요성을 배경으로 전체 개별 통행자의 실제 통행기록 정보인 TCS자료를 활용한 연구이다. 시간흐름에 따른 교통시스템의 상태변화 분석을 위한 미시시뮬레이션 시 프로그램 연산시간이 과다하게 소요되며, 이를 해결하기 위한 전국 고속도로 시간대별 O-D의 Sub-corridor O-D로의 전환 방법론이 연구의 핵심이다.

본 논문에서는 경부고속도로 서울영업소와 천안영업소 구간을 Subarea로 설정하여 시간대별 기종점 통행량을 구축하였으며, 한국도로공사의 2007년 6월 13일 하루동안의 FTMS(Freeway Traffic Management System) 자료를 활용하였다. 제2장에서는, 시간대별 O-D 구축을 위한 방법론을 제시하였으며, 제3장에서는 방법론의 적용 가능성을 살펴보았다. 본 연구의 결과와 앞으로의 연구 방향은 제4장에서 제시하였다.

### 1.2 관련문헌고찰

기존의 교통량 검지 자료를 활용한 연구는 추정된 O-D의 검증과 수정을 위한 연구, 신호교차로의 운영 및 안전 분야 등이 있었으며, 본 연구에서는 동적 O-D 구축을 위하여 통행기록 자료를 활용하였다. 기종점 통행량은 교통 분석의 정확성에 매우 큰 영향을 미치지만 구축 과정의 문제로 오차를 포함하게 된다. 즉, 표본조사를 통한 추정방법론의 한계와 개별 통행자가 선택하는 이동 경로정보 미구축에 따른 어려움을 가지고 있다.

기종점 추정을 위한 대표적인 방법은 관측되는 링크 교통량을 이용하는 방법이다. 다시 말해, 수집이 어려운 각 기종점간 통행량 대신 비교적 쉽게 관측할 수 있는 링크 교통량과 기존의 기종점표를 결합해 새로운 OD를 추정하고자 하는 노력이 1980년대부터 이루어져왔다. 이를 위한 기법은 베이지안 기법을 이용한 통계적 방법, 엔트로피 극대화 방법, 최우추정법, 일반화 최소자승법으로 정리할 수 있으며, 이중 추정의 목적함수로서 OD 표본 조사자료와 관측교통량 자료를 가중 결합하여 이용할 수 있는 최소자승법이 최근 자주 사용되어왔다.

Yang(1995)은 최소자승법의 동일한 목적함수의 해를 찾기 위한 최적화기법에 따라 결과의 차이가 발생함을 주장하였으며, 임용택(2000)은 교통계획 프로그램인 EMME/2에서 사용되는 Gradient Method(Spiess, 1990)가 목적함수의 미분 정보에 기초함으로 해서 갖는 기존 OD 중속성 문제를 해결하기 위해 최소자승법의 목적함수의 해 도출 시 유전자 알고리즘을 접목하였다. 또한, Yin(2000)은 링크교통량과 OD 자료와의 인과관계 설정을 통한 추정문제는 일반적으로 바이레벨(bi-level)형태를 갖게 되지만 대표적 바이레벨 프로그램 풀이 알고리즘인 SAB(Sensitivity Analysis Based) 알고리즘이 통행패턴 추정 시 선형근사화를 가정함에 따라 전역

해를 찾기가 어려움을 지적하였다.

한편, 교통시스템의 보다 현실적인 분석을 위하여 시간 흐름에 따른 교통류의 이동을 반영한 동적모형의 필요성이 점점 커지고 있으며, 이에 따라 동적 기종점 통행량의 구축이 요구된다. 앞서 설명한 정적 OD 추정모형에서 교통류를 평균개념의 상태로 생각한 반면, 동적 모형에서는 시간대별 교통류의 이동을 고려한 모델이 필요하다. 즉, 정적모형에서 기존OD와 링크교통량과의 인과관계를 평균개념의 링크통행 시간을 이용한 전량배분법이나, 이용자균형 등의 통행배분에 의해 설명하였다면, 동적모형에서는 시간 흐름에 따라 교통류의 주행을 설명하는 링크분포비를 산출하여 시간대별 관측 교통량과의 오차를 최소화한다(김주영, 2005). 링크분포비를 추정을 위해 일반적으로 Corsim, Paramics 등 교통시뮬레이터를 적용하거나, 링크 밀도에 근거한 2차원의 교통량-밀도 관계적인 마코프구획모델(MARCOM)을 적용하였다(강정규, 1996). 또한, 정적 모형에서 OD 추정의 목적함수로서 최소자승법에 기초하여 OD조사자료와 관측 교통량을 가중 결합하여 구성하였듯이, 시간개념을 추가한 동적OD 추정에서도 OD조사자료와 시간대별 관측교통량을 결합하여 목적함수를 제안하였다(임용택 등, 2000).

실제 통행기록 자료를 활용한 연구도 이루어졌으며, Zijpp(1997)은 동적 기종점 통행량 추정 시 지점 관측 교통량 뿐만 아니라 자동차량인식장치 자료를(AVI : Automated Vehicle Identification) 활용할 경우 오차가 줄어들음을 전통적 추정방법인 최소제곱법, 칼만필터의 예를 들어 설명하였으며, 베이지안 기법을 변형한 새로운 추정방법을 제안하였다.

최근에는 구축되는 동적 교통정보량이 늘어남에 따라 이를 활용한 연구가 진행되었으며, 임용택 등 (2008)은 개인의 단말기 정보를 표본으로 이를 전수화시키기 위한 표본비율을 구하여 동적 통행배정모형인 DYNASMART-P의 결과값과 시간대별 관측 교통량과의 오차를 최소화시키는 최적화 모형을 개발하였다.

교통시스템의 특정 의사결정을 위한 분석 시 활용되는 Subarea 분석에 관한 연구도 진행되어 다양하게 적용되고 있다.

Ran(1996)은 격자형 네트워크에서 노드와 링크 수의 증가에 따른 특정 존 사이에 경로의 수를 표 1과 같이 제시하였다. 대규모 네트워크 분석을 위한 동적 모형 구축 시 이로 인한 최적해 도출의 어려움을 통해 연산시간 문제를 역설하였으며, Subarea 분석모형의 필요성을 확인할 수 있다.

Zhou(2006)는 동적 교통망의 다양한 분석을 위한 Subarea 분석의 필요성에 착안하여 2단계로 구성된 Time-dependent Subarea O-D 추정 방법론을 개발하였다. 첫 번째 단계에서는 전국 네트워크를 활용한 경로기반 통행배정을 통해 Subarea 네트워크에 적용할 O-D Table을 생성한다. 2단계에서는 Bi-Level 알고리즘을 통해 관측된 통행 패턴에 적합하도록 Time-dependent Subarea O-D를 갱신한다.

표 1. 노드, 링크 수 증가에 따른 경로 수

노드 수	4	9	16	25	36	49	64	100	400
링크 수	4	12	24	40	60	84	112	180	760
경로 수	2	6	20	70	252	924	3432	48,620	$3.5 \times 10^{10}$

## 2. 방법론

동적 분석을 위해서는 정적 분석에 사용되는 입력 자료의 전환 및 개선이 필요하며, 본 논문에서는 고속도로 Corridor를 대상으로 시간대별 기종점 통행량 구축을 위한 방법론을 제시하였다.

먼저, 한국도로공사 폐쇄식 고속도로 구간을 대상으로 TCS(Toll Collection System) 자료를 이용하여 시간대별 기종점 통행량을 구축하였다. 개별 차량의 고속도로 이용 통행료 징수를 위한 TCS 자료는 개별 통행자의 고속도로 진입 시간과 영업소를 포함하고 있다. 이를 이용하여 통행의 시점을 기준으로 15분 간격으로 나누어진 각 영업소간 기종점 통행량을 구축하였다.

둘째, 구축된 전국영업소간 시간대별 기종점 통행량의 Sub-corridor 기종점 통행량 전환 시, Sub-corridor 경계지점인 고속도로 본선지점에서 생성되는 가상의 교통분석 존의 통행량 산정이 필요하다. 본 연구에서는 가상의 교통분석 존이 생성되는 지점에서 검지되는 시간대별 통과 교통량이 가상의 교통분석 존의 시간대별 총발생량·도착량에 착안하여 이를 활용하였다. 또한, 가상의 교통분석 존의 총발생량·도착량(VDS 검지 교통량)의 통행분포 예측을 위하여 이용자 균형 통행배정을 활용한 분포비율을 도출하였다. 기종점 통행량 구축과정 중 사용된 통행배정의 경우 총유출량/총유입량이 파악된 가상존의 기종점 분포 도출을 위하여 사용되었다. 즉, TCS자료를 이용하여 전국 고속도로 영업소를 기종점으로 하는 O-D를 구축하였으며, 이를 고속도로를 대상으로 정적 통행 배정하였다. 이 과정에서 Sub-corridor O-D를 추출하여 이를 가상존의 통행패턴으로 적용하였다.

### 2.1 전국 고속도로 시간대별 기종점 통행량 구축

본 연구의 공간적 범위는 한국도로공사에서 운영 중인 폐쇄식 고속도로 구간이다. 고속도로 개별 통행자의 TCS 통행 기록 자료를 활용하여 폐쇄식 고속도로 내의 248개 각 영업소를 기종점으로 하는 15분 단위 기종점 통행량 자료를 구축할 수 있다.

연구의 대상이 고속도로인 점을 감안하여 15분 이내에 네트워크 상태변화가 크게 나타나지 않을 것으로 판단하였으며, 시간대별 동적 기종점 통행량 구축을 통하여 지역간 통행의 시간대별 특성을 파악할 수 있다. TCS 자료 구축시의 오차를 포함하고 있지만 전체 개별 통행자의 실제 통행 기록 자료를 활용함에 따라 기종점 통행량 구축 시 필수 과정이었던 추정과정에 따른 오차를 배제할 수 있으며, 이를 통해 기종점 통행량의 신뢰성을 높일 수 있다고 판단된다.

구축된 시간대별 기종점 통행량은 TCS 개별 통행자료의 고속도로 진입시간과 영업소를 기준으로 구축되었다. 시간대별 기종점 통행량 구축 과정에서는 진입시점만을 기준으로 하므로, 개별차량의 통행시간은 O-D 구축과정에서는 고려되지 않았으며, 본 연구의 다음 단계에서 고려되어야 할 것이다. 즉, 구축된 시간대별 Subarea O-D를 활용한 미시 시뮬레이션 시 현실설명력 검증에 위한 모형정산(Calibration) 과정에서 기종점간 통행시간이 중요한 요소가 될 것이다.

통행속도 정산을 위해 개별 TCS 자료의 공간평균속도를

관측자료로 활용하게 되며, 이때 개별 TCS 자료 중 이상치를 제거한 공간평균속도 산정이 필요하다(통행시간이 1일을 초과하는 자료 존재). 또한, 관측자료에는 휴게소 정차로 인한 통행시간 증가가 반영되어 있으며, 모형정산 과정에서 이에 대한 고려가 필요할 것이다.

### 2.2 전국 고속도로 시간대별 O-D의 Sub-corridor O-D로의 전환

본 연구에서는 경부선 ‘서울~천안’ 구간을 Sub-corridor로 설정하여 전국 폐쇄식 영업소를 기종점으로 구축된 시간대별 기종점 통행량을 Sub-corridor 기종점 통행량으로 전환하였다. Sub-corridor 경계지점은 고속도로 본선 상에서 형성되며, 이 지점이 가상의 교통분석존으로 형성된다. Sub-corridor 내부에 존재하는 영업소와 이 가상존이 분석을 위한 교통분석존(TAZ : Traffic Analysis Zone)으로 구축된다.

전국 고속도로 각 영업소 간 통행을 Sub-corridor를 기준으로 구분 시 Sub-corridor 내부 통행(S1), 통행의 출발지점과 도착지점이 Sub-corridor 내부와 외부로 다른 통행(S2, S3), Sub-corridor 외부에서 외부로의 통행(S4) 4가지 경우로 나눌 수 있으며, 이중 Sub-corridor 외부존에서 외부존으로의 통행(S4)는 Sub-corridor를 관통하는 경우(S4-1)와 거치지 않는 경우(S4-2)가 발생한다.

[S2], [S3], [S4-1] 통행의 경우, 가상의 존으로 설정한 Sub-corridor 경계지점을 지나며 경계지점인 가상의 존에서의 통행량으로 산정된다. 이를, TCS 자료로부터 도출 시 다음

표 2. Sub-corridor 교통분석 존

NO.	영업소	NO.	영업소	NO.	영업소
1	서울	6	천안	11	경부선
2	수원	7	동수원	12	평택충주선
3	기흥	8	마성	13	영동선(EB)
4	오산	9	송탄	14	영동선(WB)
5	안성	10	서안성		

주) 음영은 Subaraa 경계지점에서 생성된 가상의 존

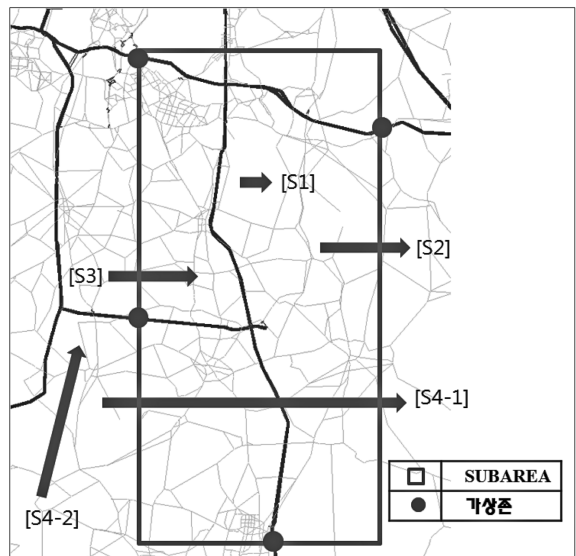


그림 1. Sub-corridor 고려한 통행구분

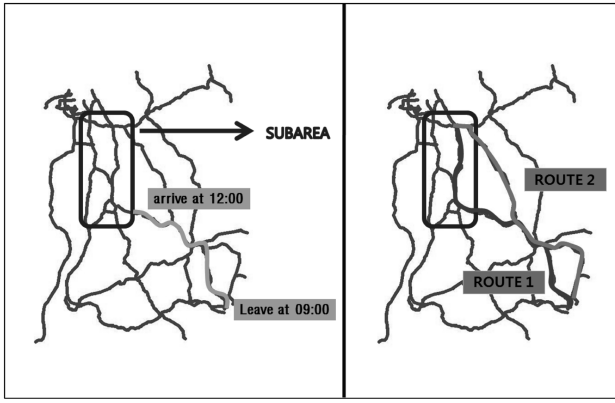


그림 2. Sub-corridor O-D 전환으로 인한 문제

과 같은 2가지 문제가 발생하며 첫째, [S3] 통행의 경우 Sub-corridor 외부 영업소에서 출발시간인 TCS 기록은 알 수 있지만, 외부 영업소에서 Sub-corridor 경계지점까지의 통행 시간을 고려하여야 한다는 문제가 발생한다. TCS 기록 상 am 9시에 고속도로 진입한 차량이지만, Sub-corridor O-D 구축시에는 외부지역인 실제 고속도로 진입 영업소에서 Sub-corridor 도착지점까지의 시간의 시간이 흐른 후 통행이 발생한다. 둘째, 마찬가지로 [S3] 통행을 예로 들면 외부 영업소를 출발한 차량의 경로선택에 따라 Sub-corridor 도착지점이 달라진다는 문제가 발생하며, 이에 따라 Sub-corridor 기중점 통행량으로 전환 시 기점이 변화하게 된다.

본 연구에서는 이에 대한 해결을 위하여 가상의 교통분석존이 생성된 지점의 시간대별 지점 통행량인 VDS 자료와 TCS 통행량의 배정결과인 가상의 통행분포 비율을 활용한 방법론을 개발하였다.

### 2.2.1 시간대별 Sub-corridor O-D 구축

분석구간인 Sub-corridor를 대상으로 한 15분 간격의 기중점 통행량 Table은 그림 3과 같이 나타낼 수 있다. 이중 Sub-corridor 내부존(Inner Centroid)간의 시간대별 통행량과 내부존의 시간대별 총발생량과 유입량은 TCS자료로부터 값을 알 수 있다(TCS[1]영역).

또한, 특정 지점의 시간대별 통과 교통량은 VDS(Vehicle Detection System)에 의해 정보화되며, Sub-corridor 경계지

	내부 존(영업소)										가상 존				합
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1	<b>TCS[1]</b>										<b>TCS[1]</b>				<b>TCS[1]</b>
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11	<b>DISTRIBUTION[3]</b>										<b>VDS[2]</b>				<b>VDS[2]</b>
12															
13															
14															
합	<b>TCS[1]</b>										<b>VDS[S]</b>				

그림 3. Sub-corridor 기중점 통행량 Table

점인 가상존(Imaginary Centroid)의 시간대별 총발생량과 유입량은 그 지점의 시간대별 VDS 검지자료로부터 유추할 수 있다(VDS[2]영역). 이때, 가상 존의 총발생량의 경우 VDS 자료의 직접 적용이 가능하나 총유입량의 경우 Sub-corridor 내부를 통과하여 검지되는 VDS 자료는 Sub-corridor 기중점 통행의 종점으로 도착기준인 되는 반면, 기중점 통행량은 출발 시점을 기준으로 구축된다는 차이가 발생한다. 본 연구에서는 실제 값을 알 수 있는 가상존(11~14)의 총유입량의 합과 (t-t+2) 시점까지의 각 가상존의 VDS 교통량 합을 비율을 이용하여 가상존의 유입량을 산정하였으며, 이는 서울 TG에서 천안IC까지의 통행시간이 약1시간 이내인 점을 고려하여 가정하였다.

$$d_i^t = \left( D^t - \sum_{i=1}^{10} d_i \right) \times \left( \frac{\sum_{n=t}^{t+2} V_i^n}{\sum_{i=11}^{14} \sum_{n=t}^{t+2} V_i^n} \right) \quad (1)$$

여기서,

- $d_i^t$  = i 교통분석존의 t 시점에서의 유입교통량
- $D^t$  = t 시점의 Sub-corridor 기중점 통행량 총합
- $V_i^n$  = n 시점의 i 지점(교통분석존) VDS 교통량

가상존간의 통행과 가상존과 Sub-corridor 내부존간의 통행은 개별 차량의 경로정보를 포함하지 않은 FTMS 자료로부터 직접 도출할 수가 없다(Distribution[3]영역). TCS와 VDS 자료를 이용하여 Sub-corridor 내부존과 경계지점인 가상존의 총발생량과 총유입량은 알 수 있으며, 본 논문에서는 이용자 균형 통행배정에 따른 가상의 분포비율을 도출하여 위의 문제의 해결을 시도하였다. 즉, TCS 자료를 이용한 고속도로 전국 영업소간 하루 통행량의 이용자 균형 통행배정 (User Equilibrium) 을 실시하였으며, Sub-corridor 경계지점을 Counting Station으로 설정한 Sub-corridor O-D를 생성함으로써, Sub-corridor 각 기중점간의 가상의 통행분포 비율을 도출하였다.

‘Distribution[3] 영역’의 통행량 구축 시 기존의 동적 기중점 통행량 추정모형에서는 일반적으로 동적교통류 모형을 적용하여 시간흐름에 따른 교통류의 이동을 고려하였다면, 본 논문에서는 시간대별 실측자료인 VDS 자료를 활용하여 시간흐름에 따른 교통류의 차이를 고려하였다. 통행분포 역시 기중점 통행량 구축 간격인 15분 단위의 시간대별 자료가 필요하지만 본 연구에서는 시간에 따라 각 기중점간의 통행량은 변하지만 연구의 대상이 고속도로인 점을 감안하여 목적지에 도착하기 위해 선택하는 경로의 비율은 시간대에 따라 크게 변하지 않을 것으로 판단하였다. 즉, 부산에서 수원 간 통행량은 시간에 따라 변하지만 오전 통행자가 선택하는 경로선택 비율과 오후 통행자가 선택하는 경로선택은 크게 다르지 않을 것으로 가정하였다.

### 2.2.2 Matrix Balancing

구축된 시간대별 기중점 통행량 각 존의 발생량과 유입량 제약조건을 만족하기 위하여 Matrix Balancing을 수행하게

되며 이때, 가상존을 제외한 Sub-corridor 내부존(그림 3 TCS[1]부분)의 시간대별 통행량은 TCS 자료를 통해 실제 통행량을 알 수 있다.

반복적인 Balancing 과정에서 내부존간의 통행량을 이 참값으로 고정하기 위하여 제약조건으로 추가하여 3-dimensional Balancing을 수행하였다. 표 3의 알고리즘 진행시 내부존인 1~10존의 경우 보정계수  $\alpha^t, \beta^t$ 가 없음을 확인할 수 있으며, 이를 통해서 통행량이 고정된다.

$$g_{pq}^t = \begin{cases} c_{pq}^t & \text{if } p < 11 \text{ and } q < 11 \\ \alpha_p^t \beta_q^t c_{pq}^t & \text{else} \end{cases}$$

for each O-D pair (p, q) (2)

$$\sum_{q \in Q} g_{pq}^t = O_p^t \text{ for each origin } p \quad (3)$$

$$\sum_{p \in P} g_{pq}^t = D_q^t \text{ for each destination } q \quad (4)$$

$$g_{pq}^t \geq 0 \text{ for each O-D pair (p, q)} \quad (5)$$

$c_{pq}^t$  : 시점 t의 Balancing 수행 전 TCS 자료를 통해 구축된 기점p와 종점q간의 통행량

$g_{pq}^t$  : 시점 t의 보정계수  $\alpha, \beta$ 를 통해 Balancing이 된 기점p와 종점q간의 통행량

$O_p^t$  : 시점 t의 기종p의 총 유출량

$D_q^t$  : 시점 t의 종점q의 총 유입량

$\alpha, \beta$  : 시점 t의 Balancing 보정계수

각 시점 t에 대하여 Matrix Balancing을 위한 알고리즘은

표 3. Balancing Algorithm

Step 0 Initialization	$i = 0$ $\alpha_p^{t(0)} = 1$ for the $p^t / \beta_q^{t(0)} = 1$ for the each q
↓	
Step 1 Balancing Rows	$\alpha_p^{t(i+1)} = \frac{O_p^t}{\sum_{q=1}^{10} c_{pq}^t + \sum_{q=11}^{14} \beta_q^{t(i)} c_{pq}^t}$ for the each p
↓	
Step 2 Balancing Columns	$\beta_q^{t(i+1)} = \frac{D_q^t}{\sum_{p=1}^{10} c_{pq}^t + \sum_{p=11}^{14} \alpha_p^{t(i)} c_{pq}^t}$ for the each q
↓	
Step 3 Stopping Test	if $\max \left( \frac{\alpha_p^{t(i+1)} - \alpha_p^{t(i)}}{\alpha_p^{t(i+1)}}, \frac{\beta_q^{t(i+1)} - \beta_q^{t(i)}}{\beta_q^{t(i+1)}} \right)$ then, the stop. otherwise, $i = i + 1$ and go

기종점 p, q에 대하여 총량보존 제약인 (3), (4) 조건을 만족하는 최적의  $\alpha_p^t, \beta_q^t$ 를 찾는 과정이며, 시간대별 Sub-corridor 내부존간 통행은 TCS 자료( $c_{pq}^t$ )를 유지한다.  $\alpha_p^t, \beta_q^t$ 를 구하기 위한 알고리즘은 Step 1, 2의 방정식의 결과값이 Step3의 수렴조건 만족 여부를 확인하는 과정이다.

### 3. 모형적용

#### 3.1 시간대별 Sub-corridor O-D 구축

시간대별 기종점 통행량 구축을 위하여 한국도로공사 2007년 6월 13일 FTMS 자료를 활용하였다. 폐쇄식 고속도로 구간을 대상으로 하였으며, 전국 영업소 248개를 대상으로 15분 간격의 기종점 통행량을 구축하였다.

2007년 6월 13일 한국도로공사 전국 폐쇄식 영업소 248개를 기종점으로 하는 통행은 1,939,393(대/일)이다. 이를 고속

표 4. 전국 고속도로 시간대별 TCS 통행량 (단위: 대/시간)

시간	교통량	비율	시간	교통량	비율
1	10,486	0.5%	13	103,848	5.4%
2	16,350	0.8%	14	115,666	6.0%
3	12,278	0.6%	15	120,522	6.2%
4	11,968	0.6%	16	117,706	6.1%
5	17,327	0.9%	17	118,785	6.1%
6	41,756	2.2%	18	123,089	6.3%
7	82,803	4.3%	19	125,062	6.4%
8	124,239	6.4%	20	98,268	5.1%
9	127,551	6.6%	21	73,350	3.8%
10	121,233	6.3%	22	62,006	3.2%
11	124,903	6.4%	23	44,804	2.3%
12	122,255	6.3%	24	23,138	1.2%

표 5. 이용자 균형 통행배정 정산결과 (단위: 대/시간)

행정구역	VDS 교통량	배정교통량	오차율
경부선	37,885	26,412	-30%
	85,380	67,773	-21%
	171,262	148,883	-13%
서해안선	222,497	179,566	-19%
	176,067	154,474	-12%
중부선	108,023	100,374	-7%
	32,603	26,942	-17%
중부내륙선	42,878	48,460	13%
	47,737	41,740	-13%
중안선	18,789	14,179	-25%
	33,938	27,420	-19%
영동선	27,023	28,072	4%
	10,145	7,714	-24%
	128,926	157,322	22%
	127,018	113,121	-11%
영동선	81,001	84,819	5%
	62,887	60,829	-3%

	1	2	3	4	5	6	7	8	9					합
1	<b>실제 통행량(FTMS)</b>													
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
합														

+

	1	2	3	4	5	6	7	8	9					합
1	<b>이용자 균형 통행분포</b>													
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
합														

||

	1	2	3	4	5	6	7	8	9					합
1	<b>Subarea OD 구축</b>													
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
합														

그림 4. Sub-corridor OD 구축

도로 진입 시점을 기준으로 15분 간격으로 구분하여 총 96개(60/15×24=96)의 시간대별 기종점 통행량을 구축하였다. 전체 통행에서 각 시간대별 교통량이 차지하는 비율은 다음과 같으며, 오전 침두시인 08시부터 오후 침두시 19시까지의 꾸준히 전체 교통량의 6.0~6.5%의 교통량을 나타내었다.

다음으로 시간대별 지점 통과 교통량인 VDS 자료를 활용하여 Sub-corridor 경계지점인 가상존의 시간대별 총발생량과 유입량을 산정하였으며, 가상존에서의 통행분포 도출을 위하여 TCS 하루 통행량의 사용자 균형 통행배정을 이용한 분포 비율을 도출하였다.

가상의 분포 비율 도출을 위한 통행배정 결과의 현실성 확보를 위해 통행배정결과와 관측 교통량과의 비교분석을 수행하였으며, 이용자 균형 통행배정 결과의 Sub-corridor O-D를 생성하여 Sub-corridor 각 기종점간의 가상의 통행분포 비율을 도출하였다.

실제 통행량을 알 수 있는 FTMS 자료(A)와 가상의 통행 패턴 자료(B)를 이용하여 시간대별 Sub-corridor 기종점 통행량을 구축할 수 있다.

### 3.2 3-Dimensional Matrix Balancing

구축된 기종점 통행량 각 존의 유출량과 유입량 뿐만 아

표 6. Sub-corridor 시간대별 TCS 통행량 (단위: 대시간)

시간	교통량	비율	전국 비율	시간	교통량	비율	전국 비율
1	3,869	0.8%	0.5%	13	25,377	5.4%	5.4%
2	4,558	1.0%	0.8%	14	27,276	5.8%	6.0%
3	3,210	0.7%	0.6%	15	28,524	6.1%	6.2%
4	3,152	0.7%	0.6%	16	28,108	6.0%	6.1%
5	4,374	0.9%	0.9%	17	29,478	6.3%	6.1%
6	10,961	2.3%	2.2%	18	29,435	6.3%	6.3%
7	20,821	4.4%	4.3%	19	28,316	6.1%	6.4%
8	25,776	5.5%	6.4%	20	24,139	5.2%	5.1%
9	26,478	5.7%	6.6%	21	17,479	3.7%	3.8%
10	27,969	6.0%	6.3%	22	17,960	3.8%	3.2%
11	29,357	6.3%	6.4%	23	13,842	3.0%	2.3%
12	29,146	6.2%	6.3%	24	8,325	1.8%	1.2%

주) 음영은 시간당 교통량 비율이 전국고속도로가 높은 시간대임

표 7. 05:00~05:15 Balancing 보정계수

ZONE	Pi	Aj	Alpha	Beta
1	416	277	0.00202	0.00271
2	114	68	0.00653	0.01364
3	131	116	0.00645	0.00774
4	27	157	0.0302	0.00744
5	69	98	0.01317	0.00797
6	51	95	0.0193	0.0105
7	73	75	0.01306	0.00683
8	7	7	0.12765	0.08285
9	18	20	0.07603	0.03297
10	13	21	0.0812	0.0364
11	426	150	0.00302	0.0081
12	222	288	0.00403	0.00623
13	183	365	0.00436	0.00389
14	69	82	0.01558	0.00674

나라 TCS 자료를 통해 실제 통행량을 알 수 있는 내부존간의 통행량을 제약 조건으로 추가한 3-Dimensional Matrix Balancing을 15분 간격으로 나누어진 시간대별 기종점 통행량 각각에 대하여 수행하였다. 각 시점  $\alpha'$ ,  $\beta'$ 를 추정하게 되며, 표 3 Balancing Algorithm Step3의 수렴 여부를 96개 시간간격마다 검토하였다. 05:00~05:15 시점의 추정된  $\alpha'$ ,  $\beta'$ 의 결과는 표 6과 같다.

구축된 Sub-corridor 기종점 통행량은 467,930(대)이며, 이는 2007년 6월 13일 전국 폐쇄식 고속도로 이용차량의 24%이다. 전국 고속도로와 Sub-corridor의 각 시간대별 교통량 비율을 비교한 결과 전국 고속도로가 08시~16시 사이의 교통량 집중이 강한 것으로 나타났으며, 이는 Sub-corridor인 수도권 지역의 경우 비침두시간에도 교통량이 상당량 존재하기 때문인 것으로 판단된다.

구축된 15분 간격의 O-D표 입증을 위하여 가상존으로 설정한 14번존(경부선에 설정된 Sub-corridor 경계지역)의 시

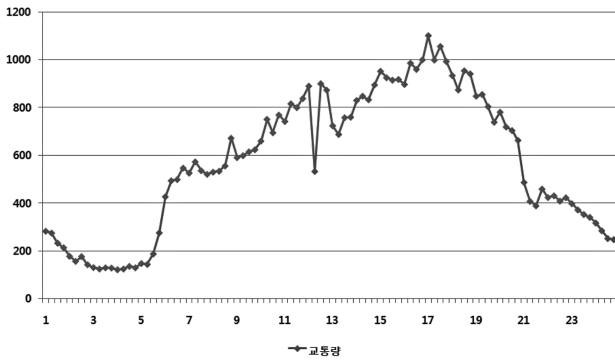


그림 5. 가상존(14번존)의 시간대별 유출량

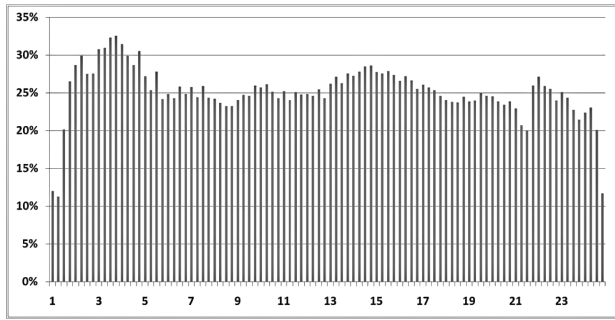


그림 6. 가상존(14번존) 유출량 중 종점이 서울영업소인 차량 비율

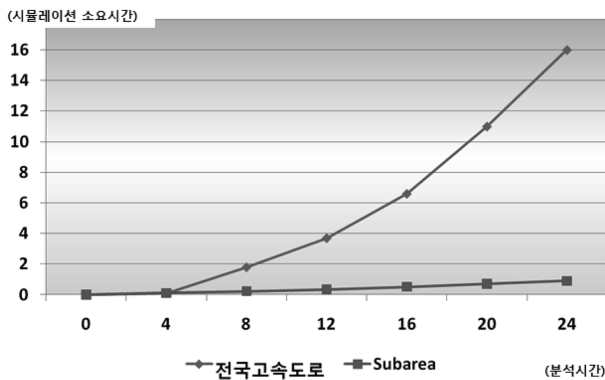


그림 7. 연산시간

간대별 교통량을 그림 5와 같이 제시하였다. 또한 이 통행량 중 서울영업소를 종점으로 하는 통행의 비율을 검토하였으며, 이는 Sub-corridor 외부지역에서 발생한 통행 중 경부고속도로를 이용하여 서울영업소로 향하는 통행이다.

Sub-corridor 외부지역에서 발생하여 경부고속도로를 이용한 차량은 총 55,405(대)이며, 16:00~17:00의 교통량이 하루 통행량 대비 7.5%로 가장 높게 나타났다. 또한, 이 가상존의 통행분포는 본 논문에서 설정한 방법론에 따라 구축되었으며, 이 가상존에서 서울영업소로의 통행비율을 15분 간격으로 검토하였다. 검토결과 대부분 25% 내외의 비율을 나타내었으며, 새벽시간대인 03:00~05:00시에는 30%를 초과하여 서울 방향의 통행이 비교적 높은 것으로 분석되었다.

전국 폐쇄식 고속도로 구간과 Sub-corridor 구간을 대상으로 각각 구축된 시간대별 기종점 통행량을 활용한 Micro-simulation 수행 시, 발생하는 프로그램 연산시간(Run-time)은

전국 고속도로를 대상으로 한 경우 하루 통행량의 시뮬레이션을 위해 16시간 이상이 소요되었으며, 경부고속도로 '서울~천안' 구간으로 설정한 Sub-corridor를 대상으로 한 경우 약 1시간정도 소요되었다.

#### 4. 결 론

기종점 통행량 자료는 교통 분석의 정확성을 좌우하는 가장 기본적인 자료이다. 본 논문에서는 기종점 통행량의 정확성 확보를 위해 실제 통행 자료를 활용하여 시간대별 기종점 통행량을 구축하였다.

전국 폐쇄식 고속도로 구간을 대상으로 실제 개별 통행자의 운행 자료인 2007년 6월 13일 TCS자료를 활용하여 시간대별 기종점 통행량을 구축하였다. 한편, 도시교통망 분석을 위한 Subarea 기종점 통행량 구축의 필요성이 증가하고 있으며, 본 논문에서는 구축된 전국 고속도로 구간의 시간대별 기종점 통행량의 Subarea 구간 통행량으로의 전환 방법론을 제시하였다.

시간대별 Subarea O-D 구축을 위한 가상의 통행분포 도출 시 시간흐름에 따라 각 기종점 간의 통행량은 변하지만 통행자가 선택하는 경로의 비율은 동일하게 가정하였다. 이는 분석대상이 고속도로인 점을 감안하여 설정하였으며, 향후 시간대별 FTMS 자료를 활용한다면 기종점간 방향성 및 시간대별 통행패턴을 고려한 시간대별 통행분포 도출이 가능할 것으로 사료된다. 또한 수단별 경로선택의 차이 또한 존재할 것이며 이에 대한 고려도 보완되어야 할 것이다. 또한 Subarea 경계지점에서 생성된 가상존의 총발생량 산정을 위해 활용한 VDS 검지자료가 근접 위치임에도 불구하고 차이를 보여 VDS 지점 자료에 대한 신뢰성 검토 연구도 필요할 것이다.

본 연구는 기종점 통행량 구축 시 오차발생 원인인 추정 과정을 대신하여 실제 통행기록 자료를 활용하였다는 점에서 의미가 있으며, 고속도로만이 아닌 기타 도로를 포함한 시간대별 기종점 통행량 구축을 위한 연구가 진행된다면 향후 다양한 연구로의 발전이 가능할 것이다.

#### 참고문헌

강정규(1996) 칼만필터를 이용한 도시고속도로 교통량예측 및 실시간 O-D 추정. **대한교통학회지**, 대한교통학회, 제14권, 제3호, pp. 7-26.

김주영, 이승재(2005) 교통관리시스템의 실시간 교통자료를 이용한 고속도로 동적OD 추정기법의 개발. **대한교통학회지**, 대한교통학회, 제23권 제4호.

백승걸, 김현명, 임용택, 임강원(2000) 링크관측교통량을 이용한 도시부 OD 통행행렬 추정. **대한교통학회지**, 대한교통학회, 제18권 제6호.

임용택, 김현명, 백승걸(2000) 유전알고리즘을 이용한 OD 추정 모형의 개발과 적용에 관한 연구. **대한교통학회지**, 대한교통학회, 제18권 제4호.

임용택, 추상호, 강민구(2008) 통행 단말기 정보를 이용한 동적 기종점 통행량 추정모형 개발 및 적용에 관한 연구. **대한교통학회지**, 대한교통학회, 제26권 제6호.

Mahmassani H. S. (2001) Dynamic Network Traffic Assignment and Simulation Methodology for Advanced System Manage-

- ment Application. Network and Spatial Economics, Vol. 1, pp. 267-292.
- Ran B., R. W. Hall and D. E. Boyce (1996) A Link-Based Variational Inequality Model for Dynamic Departure Time/Route Choice. Transpn. Res. part B. Elsevier, Vol. 30.
- Yang H. (1995) Heuristic Algorithm for the Bi-level Origin-destination Matrix Estimation Problem. Transpn. Res. part B. Elsevier.
- Yin Y. (2000) Genetic Algorithm Based Approach for Bilevel Programming Models. Journal of Transportation Engineering, March/April, pp. 115-120.
- Spiess H. (1990) Gradient Approach for the OD Matrices Adjustment Problem. Center for research on Transportation.
- Zhou X., S. erdogan and H. S. Mahmassani (2006) Dynamic Origin-Destination Trip Demand Estimation for Subarea Analysis. Transportation Research Record 1964, Transportaion Research Board, pp. 176-184.
- Zijpp V. D. (1997) Dynamic OD-Matrix Estimation from Traffic Counts and Automated Vehicle Identification Data. Transportation Research Record 1607, Transportaion Research Board.

(접수일: 2010.8.17/심사일: 2010.9.20/심사완료일: 2010.12.9)