

프로브 차량 표본 OD의 전수화

An Expansion of Probe Car Sample OD

정 소 영

(한국도로공사, 교통연구팀,
연구원, youstech@hanmail.net)

백 승 결

(한국도로공사, 교통연구팀,
책임연구원, bsktrans@ex.co.kr)

목 차

- | | |
|------------------------------|-----------------|
| I. 서론 | IV. 전수화 알고리즘 개발 |
| II. 기존 문헌 검토 | 1. 목적함수 설정 |
| 1. 추가정보를 이용한 OD 행렬 추정 | 2. 알고리즘 작성 |
| 2. 표본조사자료를 이용한 OD 추정 연구 | V. 전수화 분석사례 |
| 3. 표본링크이용비를 이용한 OD 추정 모형 | 1. 입력자료 생성 |
| III. 프로브 차량으로부터의 정적 표본 OD 산정 | 2. 분석 결과 |
| 1. 프로브 차량 수집 정보 | V. 결론 및 향후 연구과제 |
| 2. 프로브 차량 OD의 장·단점 | |
| 3. 표본 OD 산정 | 참고문헌 |

I. 서론

OD는 통행의 출발지 및 목적지에 대한 정보로서 이는 경로 선택 및 통행 배정 등 교통계획 측면에서 필수적인 교통정보이다. OD 수요 추정을 위하여 수많은 접근법들이 활용되었으며, 최근 경로 안내 시스템이나 교통관리시스템 등 교통운영 및 평가를 위한 수요예측의 중요성이 높아짐에 따라 정적 OD 예측에서 동적 OD로의 전환이 요구되고 있다.

OD는 일반적으로 행정동을 기반으로 예측되며, 해당 지역에서 표본을 추출하여 표본 OD를 작성한 후 이를 전수화하여 예측하는 것이 일반적이었다. 그러나 전통적인 OD 추정기법은 비용, 노동력, 시간이 많이 소요되며, 표본 추출상의 오차, 전수화 과정에서의 오차 등을 내포하고 있었다.

이러한 문제점들을 보완하기 위하여 링크 교통량으로부터 통행과정을 역으로 거슬러 OD를 추정하는 기법들이 지속적으로 연구되고 있다.

링크 교통량으로부터 OD를 추정하는 방법은 직접 관측이 불가능한 OD 자료와 관측된 링크 교통량과의 인과관계를 설정하여 링크 교통량으로부터 OD를 추정하는 것으로 목적통행별로 구분하지 않아도 되며, 자동 수집기술을 이용하여 용이하게 구할 수 있다는 장점을 지닌다. 그러나 관측 교통량을 이용한 OD 추정은 초기 해에 영향을 많이 받으며, 유일 해를 선정하기가 어려워 이를 해결하기 위해 target OD를 추가 정보로 요구한다. 일반적으로 target OD로 활용되는 기존 OD도 조사 오차나 사회·경제적 변화로 인하여 신뢰도가 저하되는 경우가 많다. 해의 정확도를 높이기 위해서는 비용이 비교적 소요되더라도 링크 교통량과 target OD 외에 추가 정보를 확보할 필요가 있다. 이러한 추가 정보는 가능해의 범위를 좁혀 추정 OD의 정확도를 증진시키며, GPS/휴대폰, 프로브 차량을 통한 교통정보 등이 이에 해당한다.

프로브 차량을 이용한 OD 추정 기법은 리더기를 통해 수집되는 프로브 차량의 경로 정보를 추가 정보로 활용하여 차량 기·종점을 파

악하는 기법으로 단위시간대별 OD 확보가 가능하므로 대규모 자료 확보와 시간 변동에 대한 고려가 가능하다. 또한 통행배정 map을 이용하지 않아도 되며, 실시간 자료를 활용할 수 있으므로 교통관리, 교통정보 제공 목적뿐만 아니라 실시간 OD를 시간대별 OD로 전환하여 기존 OD 조사를 보완, 강화할 수 있게 된다. 이에 반해 통행 목적을 파악하기 어려우며, 사회·경제지표를 이용한 장래 통행수요 예측이 어렵다는 단점도 지닌다.

프로브 차량을 통하여 수집된 교통정보는 동적 정보로서 이를 교통계획용으로 활용하기 위해서는 시간적·공간적으로 집적할 필요가 있다. 전통적 OD 추정기법들은 특정일에 조사를 통해 표본 데이터를 수집하였기 때문에 모든 OD 쌍에 대하여 일정한 표본율을 유지할 수 있어 시간적으로만 전수화가 필요하였으나, 프로브 차량을 통하여 수집된 정보는 OD 쌍별로 표본율이 다르기 때문에 공간적인 전수화가 우선된다. 본 연구는 일부 차량을 대상으로 하는 표본 OD를 전수화하는 것을 목적으로 하며, 이를 위해 링크별 조사 교통량과 비교하여 적정 표본율을 산정하는 전수화 알고리즘을 개발하였다.

본 연구는 기존 문헌 검토, 실시간 교통정보를 활용한 표본 OD 작성, 표본 OD 전수화 알고리즘 개발, 사례 분석을 통한 알고리즘 검증으로 이루어지며, 실제 데이터를 통한 전수화 알고리즘의 수정 및 보완을 향후 연구로 제시하고 있다.

II. 기존 문헌 검토

1. 추가정보를 이용한 OD 행렬 추정

OD 추정 문제는 본질적으로 자료수집 비용과 도출 결과의 정확성 간에 상충(trade-off) 관계를 갖는다(Kuwahara 등, 1987). 가정방문조사와 링크관측교통량 자료만을 이용하는 기법은 이러한 상충관계의 극단적인 두 예이다.

관측교통량만을 이용한 OD추정은 과소설정 문제로 인해 유일한 해를 선정하기가 어렵다.

또한 관측교통량은 상이한 관측시간으로 인한 변동(variation)과 관측오차가 존재한다. 또한 이 기법은 해가 존재하는 경우 관측교통량을 재도출하는 네트워크 균형교통량 해를 결정하도록 설계되는데, OD를 통행배분하여 링크교통량을 계산하는 경우 이용자균형 가정을 적합한 배분원칙으로 이용할 수 있지만, 역으로 교통량으로부터 OD를 추정하는 경우에도 이러한 통행배분기법을 그대로 적용하기는 어렵다. 왜냐하면 관측된 교통량을 재발생시키는 여러 개의 OD가 존재할 수 있고, 관측교통량의 변동과 불일치(inconsistency), 관측오차 등으로 인해 균형교통량 자체도 완전한 경우가 거의 없기 때문이다.

과소설정문제를 해결하기 위해 추가정보를 이용하거나 중력모형 또는 엔트로피 극대화 모형과 같이 모형의 구조를 제약하는 기법을 이용한다. 대부분의 관측교통량을 이용한 OD 추정모형은 (식 1)의 일반화 최소자승법(General Least Square method)과 같이 링크교통량과 OD에 대해 각각의 자료와 추정치간의 차이를 최소화하는 것이다.

$$\text{Min } \sum_1 F(v - \bar{v}) + \sum_2 F(t - \bar{t}) \quad (1)$$

여기서, v : 추정링크교통량

\bar{v} : 관측링크교통량

t : 모형을 통해 구한 추정 OD

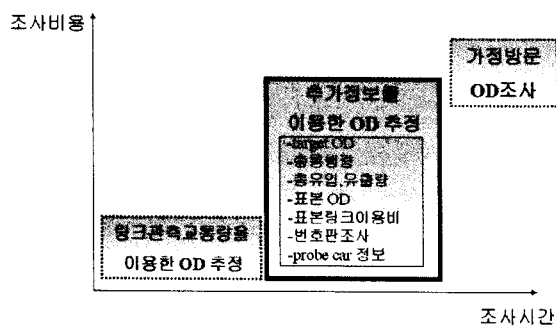
\bar{t} : target OD

\sum_1, \sum_2 : 교통량자료와 OD자료의 신뢰도

일반적으로 target OD로 이용되는 기존 OD는 대규모 조사대상지역, 낮은 표본율, 조사 및 응답의 부정확성 등으로 오차나 신뢰도의 범위가 상대적으로 크다. 또한 기존 OD는 대부분 정기적인 대규모 조사를 통해 구하는 것으로, 해당지역의 사회경제적 변수가 안정적이지 못한 곳에서는 신뢰성이 낮다. 따라서 추정해의 정확도를 높이기 위해서는 조사비용이 다소 소요되더라도 관측교통량과 target OD외에 “추가정보(additional information or data)”를 확보하여 OD를 추정하는 것이 필요하다. 이 경우 해의 정확도 증가정도와 조사비용의 증가수준이 추가로 정보를 확보하여야 하는지의 판단기준이 될 수 있다.

관측교통량을 이용한 OD 추정연구는 추가정

보로 기존OD만 이용하였으나, 최근 여러 가지 다른 추가정보를 이용하는 연구가 진행 중이다. OD통행 추정치에 이용된 추가정보는 Tamin 등(1989)의 존별 사회경제적 변수, Cascetta 등(1984)의 표본 OD, Carey 등(1981)과 Spiess(1987)의 존별 유입·유출량, Kuwahara 등(1987)의 도로변 면접조사자료, Landau 등(1982)의 코든라인 조사자료 등이 있다. Watling(1994)은 차량번호판 조사를 통해 기종점을 파악하였으며, 김시곤 등(2005)은 휴대폰 기지국 정보를 이용하여 OD를 추정하였다.



<그림 1> 이용정보에 따른 OD 추정기법 구분

2. 표본조사자료를 이용한 OD 추정 연구

링크 상에서의 표본조사기법에는 도로변 면접조사(roadside interview)와 코든라인조사(cordonline survey)가 있다. 이는 대상지역의 특정지점들(일반적으로 “screenline” 또는 “cordonline”에 위치)에서 운전자 면접조사를 통해 일부 링크의 링크이용비 행렬, 즉 표본링크이용비를 구하는 것이다.

Landau 등(1982)은 코든라인조사에 의해 구한 관측교통량과 코든라인을 통과하는 표본OD를 이용한 최우추정법에 의해 전체 OD를 추정하였다.

Kuwahara 등(1987)은 도로변의 특정지점에서 OD조사와 교통량관측으로 수집된 자료들을 결합하여 분석지역 전체에 대한 OD를 추정하는 기법을 제시하였다. Kuwahara 등(1987)의 기법은 조사된 부분링크이용량과 모형에서 구한 링크이용비의 비교를 통해 OD를 추정하고, 링크이용비에 의한 추정교통량과 관측교통량의 차이를 최소화하여 표본OD를 추정하는 것이다. 그러나 관측교통량보다 더 자세한 정보인 표본

링크이용비를 링크교통량을 추정하는 데에만 이용하여 확보된 정보를 비효율적으로 이용한다는 문제를 가지고 있다.

Lo 등(1996, 1999)은 관측교통량으로부터 OD를 추정하는 모형들이 대부분 링크선택비(link choice proportion)를 상수로 가정하고 통행배분 모형으로부터 OD를 추정하기 때문에, 잘못된 링크선택비의 영향이 매우 중요하며 상당한 추정오차를 발생시킬 수 있다는 점을 지적하였다. 이러한 문제를 줄이기 위해 Lo 등은 확률적 링크선택비와 OD통행량 정보, 관측교통량을 결합하여 OD추정을 하는 통계적 기법(최우추정법, 베이저안 추론기법)을 제안하였다.

그러나 Lo 등(1996, 1999)이 언급한 표본 OD와 링크선택비는 실제로는 거의 확보가 불가능한(전통적인 OD조사외의 방법으로는) 대상지역 전체에 대한 자료이다.

또한 링크선택비는 non-redundant 링크에서 구해야 하기 때문에, 네트워크관계를 이용하여 링크선택비의 관계를 설정하는데, 이때 링크선택비 보존법칙(conservation of link choice proportion)으로 정의할 수 있는 다음 조건들을 이용한다. (1) 한 개의 OD쌍(pair)에 대해 출발지와 목적지에 연결된 모든 링크선택비의 합은 1이다. (2) 한개의 OD쌍에 대한 특정 노드의 유출, 유입링크선택비의 합은 같다. 하지만 위의 조건은 균형통행배분을 필요로 하며 대규모 네트워크에서는 경로계산(path enumeration)을 이용하지 않고는 설정하기 어렵다.

Hyodo 등(2001)은 각 링크에서의 설문조사자료와 관측교통량의 차이를 최소화하는 최소자승법을 제시하였는데, 이는 조사된 각 경로별 교통량이라는 상세한 정보를 제대로 이용하지 않고 링크교통량으로 집단화시켜서 정보이용의 비효율문제를 초래한다. 또한 OD 통행량 표본오차와 링크교통량 관측오차를 고려하지 않아 일반적인 상황에서의 모형추정력을 보인다고 하기 어렵다.

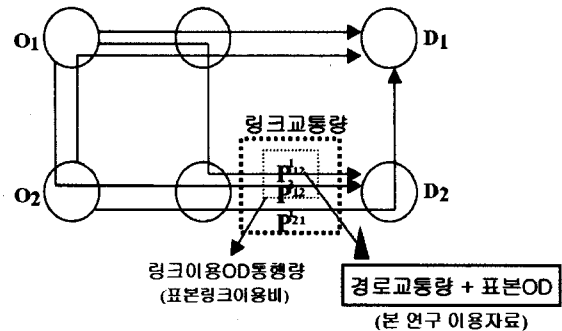
표본조사자료를 이용한 OD 추정 연구들은 백승걸 등(2002)에 자세히 기술되어 있다.

3. 표본링크이용비를 이용한 OD 추정 모형

<그림 2>는 링크 상에서 도출가능한 정보들

을 나타내는 사례네트워크로, O_1, O_2 는 기점, D_1, D_2 는 종점을 나타낸다.

P_{12}^1, P_{12}^2 는 기점 O_1 에서 출발하여 종점 D_2 로 가는 통행의 경로 1,2의 통행량이며, P_{21}^1 은 기점 O_2 에서 출발하여 종점 D_1 로 가는 통행의 경로 1의 통행량을 나타낸다. 여기서 P_{12}^1, P_{12}^2 은 OD쌍 O_1, D_2 간의 링크이용 OD 통행량이며, $P_{12}^1, P_{12}^2, P_{21}^1$ 은 모두 합하여 관측교통량을 나타낸다. 따라서 링크 상에서 도출 가능한 정보들은 관측교통량, 링크이용OD 통행량(표본링크이용교통량), 경로교통량 순으로 세부적인 정보가 된다.



<그림 2> 링크에서 도출가능한 정보(예)

<그림 3>은 표본링크이용비를 이용한 OD 추정기법의 이용정보유형을 예로써 비교한 것이다. 여기서 행은 OD쌍, 열은 링크를 나타내며, 각 셀은 각 OD통행량이 관측링크를 통행하는 비율을 나타낸다. 행의 합은 각 OD쌍의 통행량, 열의 합은 각 링크의 교통량을 나타낸다. 이론적으로 모든 링크에서 모든 OD통행량을 조사한다면 OD통행량을 직접 구할 수 있다. 그러나 현실적으로는 <그림 3>처럼 일부 링크에 대해서만 관측교통량과 링크이용비를 조사할 수 있으며, 조사링크의 OD통행량도 전체 OD통행량 중 일부 OD통행량이다. 따라서 이러한 표본자료를 이용하여 전체 OD를 추정하는 기법이 필요하게 된다.

<그림 3>에서 음영부분은 교통량 관측 또는 표본링크이용비 조사가 이루어진 곳을 나타내는데, <그림 3>에서는 총 6개 링크 중 4개 링크(2번, 3번, 5번, 6번 링크)에서 교통량이 관측되었으며, 2개 링크(2번, 5번 링크)에서 표본링크이용비가 조사되는 것을 가정하였다.

| P matrix | | Trips by OD pairs | | | | | |
|---------------------|---|-------------------|---|---|---|---|-----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | sum |
| Link Traffic Counts | 1 | | | | | | |
| | 2 | | | | | | |
| | 3 | | | | | | |
| | 4 | | | | | | |
| | 5 | | | | | | |
| | 6 | | | | | | |

<그림 3> 표본링크이용비로부터의 OD추정

III. 프로브 차량으로부터의 정적 표본 OD 산정

1. 프로브 차량 수집 정보

프로브 차량을 이용한 교통정보는 교통량, 지점속도, 구간속도 등 지점·구간 교통정보와 실시간 OD, 정적 OD, 통행시간, 통행경로 등 네트워크 교통정보로 나눌 수 있다. 이러한 교통정보들은 출퇴근 시간과 같은 혼잡 시간대에 구간 통행시간 정보를 제공하여 집중되는 교통량을 분산시키거나, 텔레매틱스나 유비쿼터스와 같은 정보제공 시스템과의 연계를 통하여 이용자에게 통행시간 서비스를 제공할 수 있게 한다. 또한 계절이나 요일 등 시간대별 통행 패턴을 파악하여 통행발생 빈도가 높은 시간대를 추정한다거나, 각 지역별로 추출된 OD를 이용하여 차량들의 통행 패턴을 분석·활용하여 차종별 차량통행 분포 현황 및 통행량이 많은 지역 간의 도로 교통수단 간 부담율의 추정도 가능하다.

2. 프로브 차량 OD의 장·단점

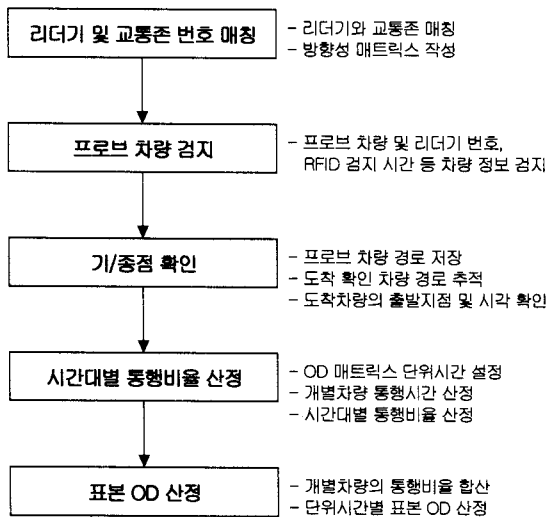
프로브 차량을 이용한 OD 추정기법은 특정 시간동안 네트워크 내 여러 지점에서 차량 번호판을 조사하여 동일 번호를 가지는 차량을 매칭시켜 해당 시간대동안의 통행 기·종점을 파악하는 기법으로 차량의 경로 확보가 가능하므로 차량 추적이 가능하며, 실시간 OD의 대규모 자료 확보나 시간 변동이 가능하다는 장점을 지닌다. 또 실시간 OD 행렬의 수집·가공을 통해 OD를 산정하므로 통행배정 map을 이용하

지 않아도 되며, 실시간 자료를 확보할 수 있으므로 교통관리, 교통정보 제공 목적뿐만 아니라 기존 OD의 보완 및 강화도 가능하다.

반면 차량 기반의 자료이므로 통행목적을 파악하기 어려우며, 통행발생이 포함되지 않아 사회·경제지표를 이용한 장래 통행수요 예측이 어렵다는 단점도 지닌다. 또 기·종점 쌍 간 출발, 도착 통행을 정의하는 과정에서 오차가 발생할 가능성이 있으며, 미관측 오차, 프로브 차량의 표본 오차, 전수화 오차 등 많은 오차 발생 가능성도 지니고 있다. 구축비용이 소요되며, 실제 OD가 아닌 시설 기반의 OD이므로 리더기가 설치된 통제 권역에서만 기·종점 추정 이 가능하다는 점도 고려해야 한다.

3. 표본 OD 산정

프로브 차량 데이터로부터 표본 OD를 산정하는 과정은 <그림 4>와 같이 5단계로 구성된다.



<그림 4> 표본 OD 산정 과정

1단계는 리더기와 교통존의 번호를 일치시키고, 방향성 매트릭스를 작성하는 단계로 본 연구에서는 네트워크를 기반으로 하는 블록 단위의 교통존을 설정하였으며, 표본 OD의 기·종점 데이터를 수집하기 위하여 방향성 매트릭스를 작성하였다.

2단계는 프로브 차량 및 리더기 번호, 검지시간을 기록하는 과정으로 통행을 순차적으로 기

록하다가 차량이 일정시간 미관측되거나, 관측 구역 외부로 나가는 경우 통행을 종료하고, 경로를 추적하여 기·종점을 확인한다(3단계).

산정된 OD는 통행시간에 따라 시간대별로 달라지는 통행 특성을 반영할 수 있도록 단위시간을 정의하여 이에 맞추어 통행시간을 배분하였다. 단위시간별로 배분된 통행시간은 전체 통행시간에 대한 비율을 산정하여 표본 OD에 적용하였으며(4단계), 이러한 개별차량별 통행비율을 합산하여 최종적으로 표본 OD를 산정하게 된다.

IV. 프로브 차량 표본 OD의 전수화 알고리즘 개발

1. 전수화의 필요성

<그림 5>는 전통적인 OD조사기법을 나타낸 것으로 행정동을 기반으로 예측되는 OD 쌍별로 일정 표본율을 추출하여 표본조사를 수행한 후 전수화하는 것이 일반적이었다. 이는 일별로 대표되는 표본OD를 시간적으로 전수화하는 과정이라 할 수 있다.

| | | | | | |
|---|---|---|---|-----|---|
| | 0 | 1 | 2 | ... | i |
| 0 | | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 1 | ■ | | ■ | ■ | ■ |
| 2 | ■ | ■ | | ■ | ■ |
| : | ■ | ■ | ■ | | ■ |
| i | ■ | ■ | ■ | ■ | |

<그림 5> 전통적인 OD조사기법

그러나 대상지역 전체에 대한 표본OD조사(sample OD survey)는 표본율을 일정수준 이상으로 하는 경우 조사비용과 시간이 전통적인 기법만큼 소요되며, 표본율이 낮을 경우에는 추가정보로서의 신뢰성이 크게 저하된다는 문제를 가지고 있다. 따라서 대상지역 전체에 대한 표본OD를 추가정보로 이용하는 것은 현실적으로 적합하지 않다. 링크상에서의 표본OD조사는 부분적인 링크이용비만 도출하기 때문에, 대상

지역 전체에 대한 표본OD조사와는 구별된다.

본 연구에서는 프로브 차량의 경로 정보를 추가정보로 활용하여 표본 OD를 산정하였다. 그러나 산정된 OD는 전통적인 조사기법과는 달리 교통존별로 일정 표본율을 확보하기 어려우며, 시간대에 따라 표본율이 변동되므로(<그림 6> 참조) 이를 공간적으로 집적화하는 과정이 필요하다. 본 연구에서 개발한 전수화 알고리즘은 각 교통존별로 적합한 표본율을 산정하는 것을 목적으로 하며, 프로브 차량의 경로 정보를 활용하여 링크별 이용비를 산정하였다. 이를 기반으로 현장에서 조사한 링크별 교통량과의 편차를 조정하여 목표 오차율 이내로 수렴하도록 한다.

| | | | | |
|---|---|---|-----|---|
| 0 | 1 | 2 | ... | j |
| 0 | | | | |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| : | | | | |
| l | | | | |

<그림 6> 프로브 차량을 이용한 표본OD 표본율

2. 목적함수

링크의 적정 표본율은 현장 조사를 통한 조사 교통량과 프로브 차량 정보를 활용한 각 링크의 배분 교통량의 편차를 최소화할 수 있어야 한다. 같은 크기의 편차이더라도 교통량이 많은 경우 오차율은 감소하므로 교통량을 고려한 오차율을 목적함수로 설정하되, 편차는 서로 합산하면 상쇄되는 경우가 있으므로 오차율을 제공한 다음 식을 목적함수로 설정하였다.

$$L(\rho^{ij}) = \sum_a \phi_a \cdot \left\{ \sum_{ij} \frac{t^{ij} \cdot R_a^{ij}}{\rho^{ij}} - \bar{x}_a \right\}^2$$

$$= \sum_a \frac{1}{(\bar{x}_a)^2} \cdot \left\{ \sum_{ij} \frac{t^{ij} \cdot R_a^{ij}}{\rho^{ij}} - \bar{x}_a \right\}^2 \quad (2)$$

여기서, $L(\rho^{ij})$: ρ^{ij} 에 따른 오차율

ρ^{ij} : 시/종점 ij 간 표본율

ϕ_a : 링크별 계수

t^{ij} : 표본 OD

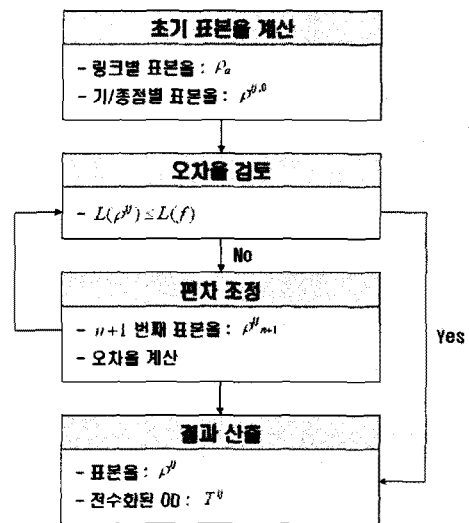
R_a^{ij} : ij 통행량의 링크 a 이용비

\bar{x}_a : 링크 a 의 조사 교통량

조사 교통량과 배분교통량의 편차 조정은 Newton-Raphson method를 적용하였다.

3. 전수화 알고리즘

<그림 7>는 전수화 과정을 나타내는 것으로 표본 OD와 표본 링크이용비를 이용하여 산정된 표본 교통량에 표본율을 적용하여 배분 교통량을 산정하게 된다. 배분 교통량과 조사 교통량의 편차는 Newton-Raphson method를 통하여 조정되며, 목적함수인 오차율이 일정 범위 내에 수렴할 때 알고리즘이 종료된다.



<그림 7> 전수화 알고리즘

1) 초기 표본율 계산

조사 교통량은 링크를 단위로 하여 설정되므로 독립변수인 기/종점 간 표본율은 재산정되어야 한다. 링크별 표본율을 기/종점별로 전환하기 위해서는 링크에 대한 정보와 기/종점에 대한 정보가 모두 포함되어야 하므로 표본 링크 이용비인 R_a^{ij} 를 적용하였으며, 과정은 다음과 같다.

① 링크 a 의 표본율 ρ_a 계산

$$\rho_a = \hat{x}_a / \bar{x}_a = \frac{\sum_{ij} t^{ij} \cdot R_a^{ij}}{\bar{x}_a} \quad (3)$$

여기서, ρ_a : 링크 a 의 표본율

\hat{x}_a : 링크 a 의 표본 교통량

\bar{x}_a : 링크 a 의 조사 교통량

t^{ij} : 표본 OD

R_a^{ij} : ij 통행량의 링크 a 이용비

② 초기 표본율 $\rho^{ij,0}$ 계산

초기 표본율 $\rho^{ij,0}$ 는 ρ_a 의 링크별 가중 평균을 활용하여 (식 4)과 같이 산정한다.

$$\rho^{ij,0} = \frac{\sum_a \rho_a \times R_a^{ij}}{\sum_a R_a^{ij}} = \frac{\rho_1 \times R_1^{ij} + \rho_2 \times R_2^{ij} + \dots}{R_1^{ij} + R_2^{ij} + \dots} \quad (4)$$

2) 오차율 검토

목적함수인 오차율을 산정하여 일정 범위 내에 수렴하는지 여부를 검토하였다. 수렴하지 않는 경우 $n+1$ 번째 표본율을 산정하여 편차를 조정하며, 수렴하는 경우 적정 표본율 및 전수화된 OD를 산정하게 된다.

$$L(\rho^{ij}) = \sum_a \phi_a \cdot \left\{ \sum_{ij} \frac{t^{ij} \cdot R_a^{ij}}{\rho^{ij,0}} - \bar{x}_a \right\}^2 \leq L(f) \quad (5)$$

3) 편차 조정

목적함수가 일정 범위 내에 수렴하지 못하는 경우 Newton-Raphson method에 따라 ρ_{n+1}^{ij} 이 산정된다.

$$\rho_{n+1}^{ij} = \rho_n^{ij} - \frac{L(\rho_n^{ij}) - L(\rho^{ij})}{L'(\rho_n^{ij})} \quad (6)$$

여기서, ρ_{n+1}^{ij} : $n+1$ 번째 표본율

ρ_n^{ij} : n 번째 표본율

$L(\rho_n^{ij})$: n 번째 오차율

$L(\rho^{ij})$: 오차율을 0으로 하는 참값

목적함수는 편차를 최소화 하는 것이 목적이므로 $L(\rho^{ij})=0$ 을 만족하며, 목적함수인 $L(\rho^{ij})$ 의 편미분은 다음과 같다.

$$L'(\rho^{ij}) = 2 \sum_a \phi_a \left[\left(\sum_{ij} \frac{t^{ij} \cdot R_a^{ij}}{\rho^{ij}} - \bar{x}_a \right) \times \left(- \sum_{ij} \frac{t^{ij} \times R_a^{ij}}{(\rho^{ij})^2} \right) \right]$$

여기서, $L'(\rho^{ij})$: 목적함수의 편미분

ϕ_a : 링크별 계수

t^{ij} : 표본 OD

ρ^{ij} : 시/종점 ij 간 표본율

R_a^{ij} : ij 통행량의 링크 a 이용비

\bar{x}_a : 링크 a 의 조사 교통량

따라서 $n+1$ 번째 표본율은 다음과 같이 산정된다.

$$\rho_{n+1}^{ij} = \rho_n^{ij} - \frac{\sum_a \phi_a \cdot \left\{ \sum_{ij} \frac{t^{ij} \cdot R_a^{ij}}{\rho_n^{ij}} - \bar{x}_a \right\}^2}{L'(\rho_n^{ij})} \quad (7)$$

4) 결과 산출

목적함수가 일정 범위 내에 수렴하게 되면 ρ^{ij} 에 따라 전수화된 OD를 산정하게 된다.

$$T^{ij} = \frac{t^{ij}}{\rho^{ij}}$$

여기서, T^{ij} : 전수화된 OD

t^{ij} : 표본 OD

ρ^{ij} : 기/종점 ij 간 표본율

V. 사례분석

1. 입력 자료 생성

표본 OD를 상수로 설정한 후 표본율을 적용하여 실제 OD를 생성하였다. 표본율이란 전체 자동차 등록대수에 대한 프로브 차량대수를 의미하는 것으로 상수로 설정되나, 기/종점 간의 통행량은 이러한 표본율이 그대로 적용되는 것이 아니라 기/종점에 따라 차이가 있으므로 20%의 오차율을 적용하여 표본율을 조정하였다. <표 1>은 표본 OD, 표본율, 실제 OD를 나타낸 것으로 실제 OD는 전수화 후 알고리즘의 이상 여부를 검토하는 데 이용된다.

<표 1> 표본 OD

| | | | | |
|------|--------|--------|---------|---------|
| 기점 | 1 | 1 | 1 | 5 |
| 종점 | 3 | 5 | 9 | 3 |
| 표본OD | 1,183 | 1,472 | 2,278 | 3,060 |
| 표본율 | 3.13% | 2.85% | 3.08% | 3.06% |
| 실제OD | 37,759 | 51,615 | 73,893 | 100,148 |
| 기점 | 5 | 7 | 7 | 7 |
| 종점 | 9 | 3 | 5 | 9 |
| 표본OD | 2,006 | 1,250 | 3,091 | 1,687 |
| 표본율 | 2.86% | 3.03% | 2.82% | 3.10% |
| 실제OD | 70,259 | 41,271 | 109,298 | 54,443 |

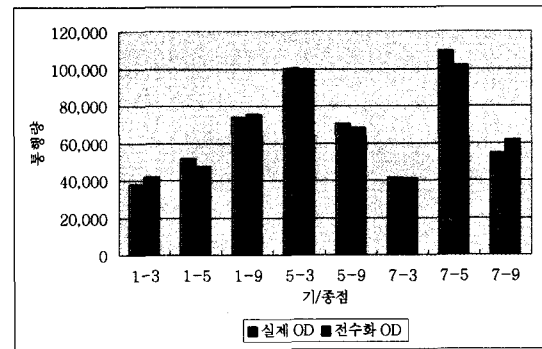
<표 2>는 표본 OD를 이용하여 산정한 표본 링크이용비로 경로 기반의 유전 알고리즘을 이용하여 다양한 경로 선택비의 조합 최적화를 수행하였다. 본 연구에서 이용한 표본 링크이용비로부터의 OD 추정에 대한 상세한 알고리즘은 백승걸(2002)에 기술되어 있다.

<표 2> 표본 링크이용비

| 기/종점 | 1-3 | 1-5 | 1-9 | 5-3 | |
|----------|-----|-------|-------|-------|-------|
| 링크 번호 | 1 | 1.000 | 0.299 | 0.299 | 0.000 |
| | 2 | 0.947 | 0.000 | 0.000 | 0.706 |
| | 3 | 0.000 | 0.701 | 0.701 | 0.000 |
| | 4 | 0.053 | 0.299 | 0.299 | 0.000 |
| | 5 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.706 |
| | 6 | 0.053 | 0.000 | 0.000 | 0.294 |
| | 7 | 0.000 | 0.701 | 0.701 | 0.000 |
| | 8 | 0.053 | 0.000 | 0.642 | 0.294 |
| | 9 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 10 | 0.000 | 0.000 | 0.358 | 0.000 |
| | 11 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 12 | 0.000 | 0.000 | 0.642 | 0.000 |
| | 13 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 14 | 0.000 | 0.000 | 0.358 | 0.000 |
| 기/종점 | 5-9 | 7-3 | 7-5 | 7-9 | |
| 링크 번호 | 1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 2 | 0.000 | 0.706 | 0.000 | 0.000 |
| | 3 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 4 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 5 | 0.000 | 0.706 | 0.000 | 0.000 |
| | 6 | 0.000 | 0.294 | 0.000 | 0.000 |
| | 7 | 0.000 | 0.776 | 0.776 | 0.000 |
| | 8 | 0.642 | 0.294 | 0.000 | 0.000 |
| | 9 | 0.000 | 0.776 | 0.776 | 0.000 |
| | 10 | 0.358 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 11 | 0.000 | 0.224 | 0.224 | 0.000 |
| | 12 | 0.642 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 13 | 0.000 | 0.224 | 0.224 | 1.000 |
| | 14 | 0.358 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |

<표 4> 전수화 결과

| 기점 | 1 | 1 | 1 | 5 |
|--------|---------|--------|---------|---------|
| 종점 | 3 | 5 | 9 | 3 |
| 표본율 | 2.81% | 3.10% | 3.02% | 3.07% |
| 표본 OD | 1,183 | 1,472 | 2,278 | 3,060 |
| 전수화 OD | 42,151 | 47,551 | 75,459 | 99,777 |
| 실제 OD | 37,759 | 51,615 | 73,893 | 100,148 |
| 오차율 | -11.63% | 7.87% | -2.12% | 0.37% |
| 기점 | 5 | 7 | 7 | 7 |
| 종점 | 9 | 3 | 5 | 9 |
| 표본율 | 2.94% | 3.05% | 3.03% | 2.72% |
| 표본 OD | 2,006 | 1,250 | 3,091 | 1,687 |
| 전수화 OD | 68,182 | 40,993 | 101,952 | 61,929 |
| 실제 OD | 70,259 | 41,271 | 109,298 | 54,443 |
| 오차율 | 2.96% | 0.67% | 6.72% | 13.75% |



<그림 8> 전수화 결과

관측교통량은 실제 OD를 활용하여 산정한 배정교통량을 이용하였다. 본 연구에서는 가상 네트워크에 대한 자료를 이용하였으나, 실제 네트워크에서는 교통량 조사일자와 OD 조사일자가 다를 수 있으므로 2% 정도의 오차를 주어 조사 교통량을 수정하였다.

<표 3> 관측교통량

| 링크 번호 | 교통량 | 링크 번호 | 교통량 |
|-------|---------|-------|---------|
| 1 | 89,591 | 8 | 130,881 |
| 2 | 131,882 | 9 | 106,923 |
| 3 | 75,199 | 10 | 60,694 |
| 4 | 51,505 | 11 | 46,660 |
| 5 | 95,897 | 12 | 85,584 |
| 6 | 47,012 | 13 | 96,965 |
| 7 | 177,563 | 14 | 115,484 |

2. 분석 결과

분석 결과는 <표 4>와 같다. 오차율은 <표 1>에서 제시한 실제 OD에 대한 전수화된 OD의 편차를 백분율로 나타낸 것으로 15% 이내로 수렴한다.

VI. 결론 및 향후 연구과제

OD는 교통계획 측면에서 필수적인 교통정보로 최근 경로안내시스템이나 교통관리시스템 등 교통운영 및 평가를 위한 수요예측의 중요성이 높아짐에 따라 정적 OD에서 동적 OD로의 전환이 요구되고 있다. OD 추정을 위해 수많은 접근법들이 활용되었으며, 링크 교통량으로부터 통행과정을 역으로 거슬러 추정하는 방법은 전통적인 추정기법에 비하여 비용, 노동력, 오차 등의 문제를 보완할 수 있다는 점에서 지속적으로 연구가 수행되고 있다. 그러나 이러한 추정기법은 유일해를 선정하기 어렵기 때문에 신뢰도가 저하되는 경우가 많아 이를 보완하기 위하여 추가 정보가 요구된다.

본 연구에서는 프로브 차량을 이용한 교통정보를 활용하였으며, 블록 단위의 교통존을 바탕으로 시간대별 통행비율을 산정하여 정적 OD를 추정하였다. 그러나 OD 쌍별로 일정한 표본율을 유지할 수 없으므로 링크별 조사 교통량

과 비교하여 적정 표본율을 산정하는 알고리즘을 개발하였다. 전수화 알고리즘은 가상의 네트워크를 대상으로 하는 사례분석을 통하여 검증하였다.

향후 연구는 다음과 같다. 첫째, 본 연구에서 산정된 표본 OD를 기존의 OD 조사에 보완하여 신뢰도를 향상시키는 방안이다. 프로브 차량 정보를 이용하여 산정된 OD는 통행 목적이 불분명하며, 장래 수요예측이 어렵다는 단점을 지니기 때문에 기존 OD와의 결합을 통하여 이러한 단점을 보완하는 방안을 연구하고자 한다. 둘째, 가상의 네트워크가 아닌 실제 교통 데이터를 기반으로 하여 알고리즘의 적용 영역을 확대하고자 한다. 이는 제주시를 대상으로 수행된 “유비쿼터스 환경의 차세대 국가 교통정보 수집체계 개발 및 시범사업”의 연구 결과를 활용할 예정이다. 셋째, 본 연구와 같이 실제 OD가 없어 데이터의 정확도를 검증할 수 없는 경우 이를 보완하는 방법이 필요하다.

참 고 문 헌

- 김시곤, 유병석, 강승필, 「휴대폰 기지국 정보를 이용한 OD 추정기법 연구」, 대한교통학회지, 23권 제1호, 2005
- 백승걸, 김현명, 신동호, 「표본링크이용비를 추가정보로 이용한 OD 행렬 추정」, 대한교통학회지 제20권 4호, 2002.8
- 백승걸, 임강원, 이승재, 「기종점 추정을 위한 최적관측위치로서의 존 코든라인」, 대한국토 및 도시계획학회지, 제33권 제6호, 1998
- 백승걸, 「유전알고리즘을 이용한 링크관측교통량으로부터의 기종점 통행행렬 추정」, 서울대학교 대학원 박사학위논문, 2001
- 백승걸, 김현명, 임용택, 임강원, 「관측링크교통량을 이용한 도시부 OD 통행행렬 추정 - GA와 SAB 알고리즘의 비교를 중심으로-」, 대한교통학회지, 제18권 제6호, 2000
- 백승걸, 김현명, 임용택, 임강원, 「관측교통량을 이용한 다차종 OD 통행량 추정」, 대한교통학회지, 제19권 제2호, 2001
- 손기민, 「Mobile 위치정보를 이용한 동적OD 생성방안 기초연구」, 서울시정개발연구원, 2004
- Bruce Hellinga, 「Comparative assessment of AVI tag matching algorithms for estimating vehicle travel times」. Transportation Research 80th, 2001
- Cascetta E. and Nguyen S., 「A unified framework for estimating or updating OD matrices from traffic counts」, Transpn. Res. 22B, 437~455, 1988
- Carey, M.C. Hendrickson K. Siddharthan, 「A Method for Direct Estimation of Origin/Destination Trip Matrices」, Transp. Sci. 32-49, 1981
- Hyodo T., Takahashi Y. and Tsuboi T., 「A study on estimation method of table by traffic count data and on-street questionnaire survey」, journal of EASTS 2001, Vol.4. No.3, 2001
- Kuwahara M, Sullivan E. C., 「Estimating OD matrices from roadside survey data」, Transpn. Res. 21B, 233~248, 1987
- Landau U., Hauer E., and Geva I., 「Estimation of cross-cordon OD flows from cordon studies」, Transportation Research Record, 891, 5~10, 1982
- Lo H. P. and N. Zhang and Lam W. H. K., 「Estimation of and OD matrix with random link choice proportions : a statistical approach」, Transpn. Res. 30B, 309~324, 1996
- Lo H. P. N. Zhang, and W. H. K. Lam, 「Decomposition Algorithm for statistical estimation of OD matrix with random link choice proportions from traffic counts」, TR33B, 369-385, 1999
- Spiess H., 「A Maximum likelihood model for estimating O-D matrices」, Transpn. Res. 21B, 395~412, 1987
- Tamin O. Z. and Willumsen G., 「Transport demand model estimation from traffic counts」, Transpn. Vol.16 3-2, 1989
- Watling D. P., 「Maximum likelihood Estimation of OD matrices from a partial registration plate number」, Transpn. Res. 28B, 289-314, 1994