

유비쿼터스 환경에서 교통계획기술의 변화상

최기주

(아주대학교 환경건설교통공학부 교수)

I. 서론

1. 연구 배경 및 목적

현재 세계 주요 선진국가가 유비쿼터스(Ubiquitous) 사회를 선도하기 위해 IT 산업뿐만 아니라 교통, 환경, 행정, 유통물류, 공항·항만관리 등 산업 전 분야에 걸쳐 유비쿼터스 사회의 구축을 서두르고 있는 상태이다. 이러한 흐름에 발맞춰 국내에서도 유비쿼터스 교통 체계(u-Transportation) 구현을 위한 기반 기술 연구가 시작되고 있다.

유비쿼터스 교통 체계는 기존 ITS(Intelligent Transport Systems)의 차세대 형태라고 볼 수 있으며, 특히 현재 수집할 수 없는 형태의 교통자료수집이 가능하기 때문에 이를 이용한 교통계획 기술의 변화가 기대되어 지고 있다.

먼저 현재 교통계획분야의 중요자료인 기종점 통행 자료는 그동안가정방문실태조사나 노측면접을 통해 정적인 기종점 통행 자료만을 수집하였으며, 실제적인 교통 혼잡이나 지·정체관리를 위한 실시간 기종점 통행 자료의 수집은 한계를 가지고 있었으나 유비쿼터스 환경하에서는 차량의 통행에 관련한 보다 상세한 자료 수집이 가능하므로(실시간 궤적자료등) 실시간 OD 추정이 가능해질 것이며, 이러한 자료를 기반으로 실시간 교통수요예측을 통한 교통수요관리도 가능해질 것이다.

또한 현재 상황에서 대부분의 ITS의 이력자료는 효율적인 DB 관리 기술의 부재로 인해 단순히 저장자료를 보관하기만 하고 이러한 자료를 활용하지는 않는 상태이다. 유비쿼터스 환경하에서는 현재보다 더 많은 양의 실시간 및 과거이력 자료 수집이 이루어지며, 이력 자료 역시 그 양이 크게 증가할 것이므로 이를 효율적으로 관리할 수 있는 기술이 개발되어야 다양한 교통계획 정책 입안시 도움이 될 것이며 이미 시작된 ADUS(Archived Data User Service)는 좋은 한 예이다.

마지막으로 이러한 기술 개발이 완료될 경우 개발 기술을 토대로 현재 약 20년 주기로 진행되는 교통계획프로세스 역시 개선할 필요가 있을 것이다. 이는 보다 동적으로 교통체계와 사회의 목표를 실현하기 위한 토대로서 계획체계의 수정을 요구받기 때문이며 이를 위한 제반 평가체계 역시 다소의 수정이 불가피하기 때문이다.

따라서 본 연구에서는 유비쿼터스 기술을 교통기술에 접목하여 비용이 저렴한 새로운 실시간 교통정보 수집체계를 통해 실시간 OD 추정 및 교통수요예측 모형 개발을 통한 실시간 교통수요관리, 유비쿼터스 환경하에서 수집되는 다양한 교통정보를 효율적으로 관리하고 활용할 수 있는 ADUS기술을 개발을 통해 교통계획 프로세스의 혁신방안을 강구하여 교통계획 수립을 위한 막대한 비용 절감 및 효율성 증대를 구현하기 위해서 연구되는 기술이라고 볼 수 있다.

* 본 연구는 국가교통핵심기술사업인 u-Transportation Planning 기술 개발의 지원으로 수행하였습니다.

II. 기존 기술 검토 및 현황

1. OD 추정

현재 OD를 추정하는 방법은 대규모 방문조사 및 교통계획 모형 활용하거나, 개인통행수요의 직접 샘플링, 링크 교통량으로부터의 간접 추정과 같은 3가지로 구분할 수 있다.

1) 대규모 방문조사 및 교통계획 모형

현재 국가교통DB센터나 수도권 OD 추정은 노측 면접 조사 및 교통량 조사, 가구통행실태조사를 통한 표본을 기반으로 전수화하여 OD를 추정하고 있다. 또한 장래 OD의 경우는 통행발생, 수단 선택, 통행배분, 그리고 경로 배분으로 구성되어 있는 전통적인 4단계 통행수요 예측기법을 이용하여 추정하고 있다.

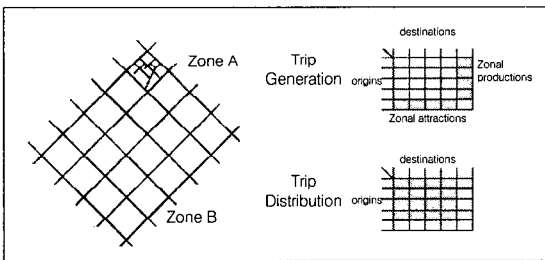


그림 1. 교통계획 조사 기법

2) 개인통행수요의 직접 샘플링

개인통행수요의 직접 샘플링은 차량 번호판 등을 이용하여 해당 차량의 관측을 통해 기종점을 매칭시키는 방법이다. 관측자는 네트워크상의 많은 존에 위치하고, 차량번호판은 관측지점을 통과하는 총 교통량의 일부로 기록된다. 관측과정이 완료된 후, 각기 다른 존에서 관측된 번호판은 차량의 기점과 종점을 매칭시키는데 사용된다. 그러나 관측시간의 제약 때문에 흔히 차량번호의 일부만 밖에 기록할 수 없으며, 표본오차를 반드시 고려하여야 할 뿐만 아니라 차량번호의 기록된 부분이 동일한 차량 감지가 아닌 부정확한 차량 감지 때문에 오차는 증가할 수밖에 없다.

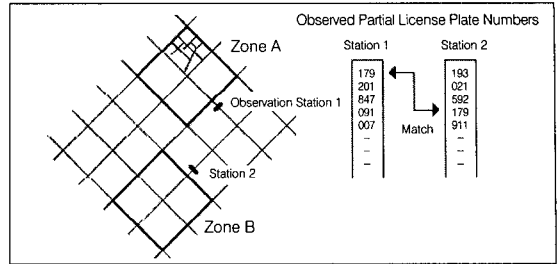


그림 2. 개인통행수요 직접 표본 추출 기법

3) 링크교통량으로부터의 간접 추정

전통적인 OD 추정방법은 비용, 노동력, 시간이 많이 소요된다. 특히 토지이용과 인구가 급격하게 변하는 지역에서는 이러한 문제가 더욱 커짐에 따라 링크관측교통량으로부터 OD를 추정하는 기법이 70년대부터 연구되고 있다. 이는 관측교통량은 목적통행별로 구분하지 않아도 되며, 용이하게 구할 수 있고, 수집비용이 크지 않으며, 자동수집기술이 발전되고 있기 때문이다.[1]

링크교통량으로부터 OD추정은 기존 OD자료가 시간경과, 토지이용 변화 등으로 현재의 OD와 부하되지 않을 것을 판단되는 경우 현재의 교통량 자료로부터 OD를 기존 OD자료를 갱신, 보완하는 것으로, 장래OD를 직접 예측하는 것은 아니며, 관측교통량은 기종점통행과 노선선택이 결합된 결과로, 링크선택비율과 OD교통량의 곱으로 나타낼 수 있는데, 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$v_a = \sum_{ij} p_{ij}^a t_{ij} \quad (1)$$

여기서,

v_a : 링크 a의 관측교통량

p_{ij}^a : 존 i-j 간 통행중 링크 a를 이용하는 비율

t_{ij} : 존 i-j 간 OD교통량

OD행렬 추정방법을 p_w^a 에 따라 구분하면, 링크이용비에 따라 통행배분에 초점을 두어 노선선택비율은 고정된 것으로 보는 비례배정과 통행배정에 초점을 두며 노선선택비율은 가변적인 것으로 보는 균형통행배정으로 구분 가능하

다. 링크교통량으로부터의 OD 추정방법은 직접 관측이 불가능한 OD자료와 관측된 링크교통량과의 인과관계를 설정하여 링크교통량으로부터 OD자료를 추정해 내는 것이다. OD 추정방법은 대부분 유일 해를 구하기 위해 링크교통량 외에 추가적인 정보를 필요로 하며 통행수요모형 정산기법과 OD행렬추정기법으로 구분된다. 통행수요정산모형은 중력모형 또는 직접수요모형 등과 같은 기존 통행수요모형의 특정한 구조를 추정해에 부과하는 것이며, OD행렬추정방법은 엔트로피 최대화, 정보최소화, 일반화최소자승, 최우추정법, 베이지안 추정법 등이 있다.[2]

또한 관측교통량으로부터의 OD행렬 추정문제는 활용 가능한 입력자료에 따라 구분될 수 있다. 즉 관측교통량이라는 새로운 정보, 과거의 OD행렬이라는 과거정보, 추정될 새로운 OD행렬이며, 행렬 추정과정은 과거의 OD행렬을 갱신하기 위해 관측교통량을 이용하는 것이다. 따라서 문제는 다양한 과거정보와 새로운 정보를 이용하여 새로운 OD행렬을 추정하는 적합한 메커니즘을 찾는 것이다.[3]

그러나 동적OD추정의 경우 기본이 되는 이론이 다시 DTA (dynamic traffic assignment)기법과 결합되어질 필요가 있으며 이에 적절한 도구의 선택이 요구된다고 할 수 있다.

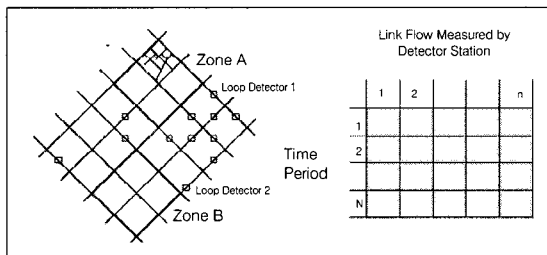


그림 3. 링크교통량으로부터의 간접 추정 기법

2. ADUS

미국 교통부에서는 1990년부터 지능형교통시스템 운영으로 발생하는 교통이력자료가 교통정보제공 및 교통운영·관리뿐만 아니라 중요한 교통정책 자료로 활용될 수 있

음을 인지하고, 교통관리센터 구축 시 ADUS, ADMS (Archived Data Management System)를 구축·운영토록 하여 서비스 분야별 교통행정 목적별로 누적교통데이터를 체계적으로 관리, 활용토록 하고 있다.[4]

반면 국내에서는 ITS 구축을 통해 시간적·공간적·내용적으로 많고 다양한 실시간 교통데이터를 수집하고 있으나 한국교통연구원의 연구결과에 따르면, 국내 교통관리센터에서는 이력교통데이터를 저장하지 않았거나 저장하더라도 그 활용이 미흡한 것으로 나타났으나 작년에 한국도로공사에서 고속도로 교통정보 이력자료 관리시스템을 구축하였으며, 현재 한국도로공사 수집 자료를 지속적으로 저장하고 있으며, 이를 이용하여 의사결정 등을 위한 관련 내용 연구가 계속 수행 중에 있으며 대표적인 시스템이 OASIS (Operational Analysis and Supportive Information Systems) 라고 할 수 있다.[5]

3. 교통수요예측 및 교통계획

현재까지 장래의 네트워크상의 교통수요예측은 그간의 DTA기반의 제반 연구 (TRANSIMS또는 기타 아류의 패키지개발) 에도 불구하고 통행발생, 통행분포, 수단선택, 통행배정과 같은 4단계 모형을 이용하고 있다. 이는 우리나라도 예외가 아니며 아직 실시간 자료를 기반으로 하는 것이 아닌 한국교통연구원의 국가교통DB센터의 OD 및 Network 자료를 이용한 장기 교통수요예측에 주로 의존하고 있다. 한편, 수요예측을 위한 정산은 기준년도 OD 및 Network를 기반으로 실제 관측된 교통량과 비교를 통해 이루어지나 이 역시 개별적으로 실교통량을 측정하던지 아니면, 한국건설기술연구원을 중심으로 제공하는 도로교통량통계연보를 중심으로 이루어 지다보니 연구대상지역의 실제 교통량이 부족한 것이 다반사이다. 따라서 실시간 교통량의 구득이 가능하게 되면 이 또한 정산절차에 있어서 상당한 노력이 절감되어질 것이 기대되어진다.

국내 교통계획은 기간별, 특성별, 공간별로 다양한 계획이 수립되고 있다. 그러나 이러한 계획은 주로 5년, 10년,

20년 단위로 이루어지고 있다. 이러한 계획 수립은 주로 통행태변화를 기반으로 하는 것이 아니라 토지개발계획, 도로 신설 등으로 인한 교통수요예측 자료를 기반으로 하고 있다.

〈표 1〉 교통관련 계획 유형

기간별	특성별	공간적 범위
장기계획 중기계획 단기계획	운영·관리계획 가로망계획 간선도로계획 대중교통계획 교차로계획 보행시설계획 주차시설계획	지역교통계획 도시교통계획 지구교통계획 교통총계획

Ⅲ. 유비쿼터스 환경에서 교통계획 기술

1. OD 추정

OD라 함은 그간의 교통계획의 입력요소중핵심이나 시간대별 구분이 필요하고, ITS등의 환경이 조성되면서 정적, 동적, 실시간 OD등에 대한 구분이 필요해지게 되었다.

우선 이를 구분해 보기로 한다. 동적 OD는 정적 OD를 시간을 고려해 확장한 개념으로서 정적 OD의 경우 통행을 기점과 종점으로 정의하는 것이며, 동적 OD의 경우 여기에 시간 dimension을 추가하여 기점, 종점, 통행기준시간으로 정의하는 방법으로 생각할 수 있다. 이때 가장 많이 쓰이는 시간 기준은 출발시간이다. 이론적으로는 도착시간을 정의하는 것이 가장 올바른 방법이지만, 이렇게 OD를 정의하는 경우 통행배정 모형에 적용하기가 어렵게 되는 단점이 있다. 또 다른 경우 정적OD표 구성을 위해 통행이 실제 교통망에 머물러있는 시간을 이용할 수도 있으나 이 또한 현실적으로 어려움이 있다. 이렇게 세 가지 차원으로 정의되는 모든 기종점표는 동적 OD로 볼 수 있다.

이에 반해 실시간OD는 현실에서 실시간으로 수집되는

OD를 의미하나 실제로는 통행이 끝날 때까지 현재 시점에서 차량의 종점을 확인할 수 없으므로 실시간 OD는 차량의 도착시간에 수집되는 통행을 수집한 기종점표라 할 수 있다. 물론 차량이 도착해 종점이 보고되면 해당 통행의 기점과 출발시간을 확인해 동적 OD를 만들 수 있지만, 현실에서는 모든 차량 통행을 관측할 수 없으므로 대부분의 경우 실시간 OD는 엄밀히 말해 실시간 표본 동적 OD라고 정의하는 것이 정확한 표현이 될 것 같다. 정리하면 실시간 표본 OD는 동적 OD의 한 종류라고 할 수 있겠고, 동적 OD는 OD표의 형식을 정의하는 것이라고 말할 수 있겠다. 물론 동적 OD를 특정 시간대의 정적 OD로 Convert 할 수는 있을 것이다.

1) 실시간 OD 추정 기술

전술한바와 같이 현재 교통계획에서 사용되는 OD는 기본적으로 AADT기반의 정적 하루OD를 이용하고 있다. 고속도로 TCS데이터에 기반한 OD는 있기는 하나 trip의 시작과 끝이라기보다는 IC간의 그것이라는 한계를 가지고 있다. 향후 uT환경하에서는 기존의 ITS장비는 물론 mobile 환경하에서의 차량의 궤적 즉, 이동 경로 파악이 가능하기 때문에 (링크 교통량을 이용하여 추정하는 과거의 방법과 다른) 실시간 OD 추정이 가능해질 것으로 판단된다.

그러나 단말을 이루는 차량에 GPS가 설치되어 있지 않은 경우에는 다른 방법으로 차량의 궤적이 수집되므로 (RFID와 같은 AVI장치의 경우 station에서의 이동체자료가 수집) 차량의 출발지 및 도착지를 추정해야 하고 이들의 시간도 추정해야 한다. 출발, 이동, 정지, 도착 통행 판단 알고리즘으로는 존간 최대통행시간 임계치 설정기법, 통행의 출발, 완료 판단기법 등이 개발되어야 한다. 또한 통행기종점이 관측권역의 외부에 위치하는 통행을 관측하기 위해서는 관측지역 외부통행 유출입 판단기법이 필요하다. 실시간 OD의 시간적 공간적 집적화는 차량번호 관측(기종점통행 관측장비별 시간대별, 차종별), 기종점통행 관측장비간 차량번호 매칭과정을 통해 이루어진다.

또한 전자태그부착차량 등 차량인식기법을 통해 일부 차

량의 궤적을 관측하는 기법은 실시간 OD 추정의 새로운 기법이나 표본추출이기 때문에, 정확한 OD 추정은 한계가 있으므로 Seed OD 추정 및 전수화와 같은 통계적 모형 개발이 필요하며, 실시간 OD가 교통관리 등 실시간적으로 적용할 수 있어야 하므로 이러한 모형은 정확성뿐만 아니라 신속성도 요구된다.

2) 실시간 OD의 정적 OD 변환 기술

현재 교통계획분석용으로 이용되는 정적 OD는 가구통행 실태조사 등의 자료를 기반으로 전수화하여 구축하고 있다. 그러나 실시간 OD 추정이 가능해지면 정적 OD는 이러한 실시간 OD 자료 집적화를 통해 생성할 수 있을 것이다. 이를 위해서는 먼저 실시간 OD와 정적 OD의 관계를 정의해야 할 필요가 있다. 왜냐하면 실시간 OD는 관측지점을 기반으로 설정되나 정적 OD는 경로의 기점과 종점이 포함되는 교통존을 기반으로 하기 때문이다. 전술한 바와 같이 실시간OD는 정적OD의 특수형태로 볼 수 있으며, 또한 실시간 OD의 경우는 아직 통행중인 자료가 포함된 반면 정적 OD는 통행이 종료된 자료만을 이용하는 점이 다른만큼 실시간 OD를 이용한 정적 OD 변환은 차량의 실제 통행이 끝난 자료를 기반으로 집적화하여야 하는 프로세스가 첨가되어야 한다.

2. 교통수요예측

현재 교통수요예측은 정적 OD를 기반으로 첨두시간과 비첨두시간의 비율을 적용하여 분석을 수행하고 있다. 좀 더 나아가 TOD (time of day) spreading방법이 사용되어진 것은 최근의 일로서 좀 더 진보된 방식으로 볼 수 있다.

그러나 실시간 OD가 수집 가능해질 경우 이러한 비율 적용이 아닌 실제 시간대의 OD를 활용한 분석이 가능할 것이다. 즉, 현재와 같이 장기적인 교통수요예측 이외에 교통운영에서 활용할 수 있는 단기 교통수요예측이 가능해질 것이다.

그러나 이를 위해서는 실시간 OD 자료와 이력자를 활용

한 장래 OD 예측 기술, 장래 OD 통행배정용 네트워크 구축, 실시간 교통상황에 따라 네트워크의 파라미터를 변화시킬 수 있는 실시간 정산 모형이 개발되어야 한다.

3. ADUS

현재 국내에서는 ADUS를 도입하고 있는 시기이기 때문에 이에 대한 명확한 아키텍처가 구성되지 않은 상태이다. 또한 유비쿼터스 환경에서는 기존 수집되는 교통량, 속도, 사고 등의 자료 외에도 차량 궤적 등과 같은 추가적인 자료도 수집되므로 자료의 양이 상당히 크기 때문에 이를 효율적으로 저장 관리할 수 있는 기술이 요구된다. 이를 위해서는 현재와 다른 DW(Data Warehouse)를 구성하여야 할 것이다. 또한 자료 이용자들의 원하는 정보를 빠르게 제공할 수 있는 Data Mining 기술들도 개발하여야 한다.

4. 교통계획 및 동적 교통수요관리

1) 교통계획

현재는 정적 OD를 기반으로 장래 OD 예측 및 수요예측 자료를 기반으로 교통계획을 실시하고 있으며, 수립된 계획에 대한 평가는 초기 타당성 평가만이 이루어지고 있는 상태이다.

그러나 실시간 OD 추정 및 교통수요예측, ADUS 기술 개발이 이루어지면 보다 효율적이고 시간적으로 탄력적인 교통계획이 이루어질 수 있을 것이다. 또한 조사위주가 아닌 수집자료 분석을 중심으로 대중교통 노선 최적화 등과 같은 계획도 가능하며 혼잡처리계획등 시간적으로 단기, 중기간의 실천가능한 계획들이 off-line분석을 통해서 개발될 수 있을 것이며 다음과 같은 것을 포함할 수 있을 것이다.

- 동적 대중교통체계간 연계 환승 및 최적이동경로 제공
- 교통상황에 따른 탄력적인 교통수요관리
- 경로계획정보 기반의 미시적 교통계획 수립 방안
- 각종 통행선택에 대한 행태분석(수단, 경로, 목적지 선택 등)

- 수단간 통합 교통수요예측모형
- 장기교통수요 예측모형 및 활동기반(activity-based) 교통수요 예측모델
- 실시간 OD를 활용한 재난대비 교통관리 : 실시간 최적경로정보 제공
- 긴급구난시 구난차량 실시간 경로 제공

2) 동적 교통수요관리

현재 국내 교통수요관리는 버스전용차로, 승용차 요일제, 혼잡통행비용 등을 이용하고 있다. 그러나 이러한 것들은 모두 정적으로 이루어지고 있는 현실이다. 유비쿼터스 환경에서는 자동요금징수 및 실시간 교통수요예측이 가능해지기 때문에 DCC (Dynamic Congestion Charging) 및 탄력적인 HOT (High Occupancy Toll)차로의 운영등이 가능해진다. DCC의 경우 현재 실시간 교통수요예측을 통해 산출되는 혼잡도 및 유입 교통량에 따라 혼잡비용을 차등 적용하는 방법이며, 탄력적인 HOT 운영은 버스전용차로 이용 차량의 차량 간격 자료를 기반으로 그 이용이 떨어질 경우 다른 차로의 일반 차량을 버스전용차로에 진입을 허용하는 대신 다른 차선 이용 차량보다 많은 비용을 부과하여 전체적인 도로의 활용성을 높일 수 있는 기법 등이 된다. 이것모두 실시간으로 교통상황을 파악한 뒤 적용이 가능한 실시간 교통관리계획이 될 것이다.

IV. 결론

유비쿼터스 환경에서는 현재 수집할 수 없는 새로운 형태의 자료 수집이 저가로서 가능할 것이며, 그 양 역시 현재에 비해 크게 증가할 것으로 판단되어지고 있다. 따라서 이러한 자료를 교통계획분야에 활용할 수 있는 실시간 OD 추정 및 교통수요예측 기술, ADUS, 교통계획 및 수요관리 기술 개발이 요구된다.

실시간 OD 추정의 경우는 차량 궤적 정보를 이용하여 생성하나, 이를 위해 출발, 도착 판단 등과 같은 알고리즘 개발 및 정적 OD 변환을 위해서는 교통존 설정 등과 같은 집

적화 기술이 요구되며, 실시간 교통수요예측의 경우는 장래 OD 예측 및 실시간 정산 모형 개발이 요구된다.

ADUS의 경우는 대용량 데이터를 효율적으로 저장 관리할 수 있는 DW 설계 및 이용자들의 원하는 자료를 빠르게 생성할 수 있는 Data Mining 기술이 요구되며, 교통계획 및 동적 교통수요관리의 경우는 위의 기술 모두 활용하여 적용이 가능한바 이러한 유비쿼터스 환경에서 교통계획기술이 모두 개발될 경우 교통계획의 효율성 증대가 기대되며 바람직한 3C 프로세스 (continuing지속적인, comprehensive포괄적인, cooperative협동적인)가 보다 수월하게 진행되어질 수 있지 않을까 하는 기대를 해 본다.

참고문헌

- [1] Ortuzar, J.D., Willumsen, L.G., Modelling Transport, Wiley & Sons, 1994
- [2] Yang H. "Optimal traffic counting locations for O-D estimation", Transportation Research 32B, 109~126, 1998
- [3] Oh, J. H, "Estimation of trip matrices from traffic counts : An equilibrium approach", thesis of Ph.D, University College London, 1991
- [4] 한대회, 이용택, "지능형교통체계의 데이터관리시스템 개선방안 (미국 ADUS/ADMS 사례를 중심으로)", 대한교통학회, p179~189, 2006
- [5] 한국교통연구원, "TTS 현황분석과 대책수립을 위한 기초 연구", p75, 2006