

■ 政策研究 ■

DSRC를 이용한 첨단교통정보시스템 구축 (대전광역시 첨단교통모델도시 건설사업 사례)

Implementing Advanced Traffic Information System
Using Dedicated Short Range Communication
(Case Study of Daejeon)

오 기 도

((주)LG CNS 공공사업본부 과장) (목원대학교 건축도시공학부 조교수)

박 은 미

김 소 연

(윤익데이터케이(주))

목 차

- I. 서론
- II. 대전ITS사업 교통정보시스템의 기술적 특성
- III. DSRC를 이용한 구간소통정보 수집 및 가공
- IV. 시스템 평가 및 결론
- V. 향후과제
- 참고문헌

Key Words : 구간소통정보, DSRC, ATIS, ITS, 대전광역시

요 약

본 고는 대전광역시 첨단교통모델도시 건설사업의 일환으로 구축된 DSRC(Dedicated Short Range Communication) 기술을 활용한 교통정보시스템 구축 사례를 소개함을 목적으로 한다. 공공부문에서의 구간정보 수집 및 가공 체계 구축은 본 대전 ITS 사업이 처음이며, 더욱이 DSRC 기술을 구간정보 수집에 적용한 최초의 시도이다. 이에 시스템 구축과정에서 적지 않은 쟁점이 도출되었고, 많은 시행착오를 통해 그 해법을 찾아가며 현재 운영중인 시스템을 완공하게 되었다. 노변기지국(RSE)과 차량장치(OBE)간의 통신에 의해 수집된 자료는, 필터링, 검지기 지점정보, 패턴데이터 등과의 자료합성, 평활화, 통계정보 및 패턴정보 생성 등의 과정을 거쳐 구간소통정보가 산출된다. 현재 운영중인 본 시스템은 향후 지속적으로 보완 발전시켜 나가야 하며, 이를 위해 프로브 수집체계 보완, 시스템의 성능평가, 패턴데이터의 적절한 유지관리, 알고리즘의 지속적 발전 등을 향후과제로서 제시하였다. 본 고는 ITS사업에 있어 중요 쟁점중에 한 분야인 소통정보의 가공 절차를 공유함으로써, 관련 분야의 기술개발 촉진과 향후 유사시스템 구축의 시행착오를 줄이는데 기여할 수 있으리라 판단된다.

I. 서론

대전광역시 첨단교통모델도시 건설사업(이하 대전 ITS사업)에서는 국내 최초로 능동형 DSRC(Active Dedicated Short Range Communication) 기술에 의한 구간교통정보 수집체계를 구축하였고, 이를 활용하여 교통정보시스템과 시내버스 정보제공 및 운행관리 시스템을 동시에 구축하여 운영 중에 있다.

구간교통정보 수집체계란 루프검지기와 같은 직접 정보를 구간화하여 교통정보를 생성하는 것이 아니라, 프로브 차량에 의해 구간 교통정보를 직접 수집함을 의미한다. 구간교통정보 수집체계는 일정규모 이상의 시설투자를 통하여 가로망 전체의 교통정보를 비교적 정확하게 수집할 수 있으며, 이처럼 기 투자된 시설을 활용하여 시내버스 정보제공 및 운행관리시스템이나 긴급차량운행지원시스템과 같은 부가 서비스를 쉽게 확장할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 프로브 수집체계는 프로브 차량이 운행되는 상황에 따라 수집되는 원시자료의 양이 확률적으로 결정되어, 새벽시간과 같이 교통량이 적은 시간에서는 그 수집능력이 매우 떨어진다. 또한 프로브 차량으로 주로 사용되는 택시의 운행특성에 따라 수집자료가 일부구간에 편중되는 단점도 있다.

대전ITS사업의 시스템과 같이 구간교통정보 수집체계를 이용하는 시스템은 우리나라 ITS 구축사례에서 흔하지 않으며, 공공부문 사업으로는 최초이다. 구간교통정보수집체계를 사용하는 시스템은 국내의 경우 서울 및 수도권 지역을 대상으로 하는 (주)로티스와 SK(주)에서 구축한 시스템이 있고, 미국에는 ADVANCE가 있다.

(주)로티스 시스템은 위치비콘(Beacon)과 224MHz 대역의 소형무선기지국을 이용하며, 차량장치는 위치비콘과의 통신을 통하여 차량의 위치를 파악하여 이 위치정보를 소형무선기지국으로 송신하고, 소형무선기지국은 이 정보를 다시 전용선 등을 통하여 센터로 전송하게 된다. 소형무선기지국의 통신반경은 300~500m 정도로 ITS에서 사용되는 여러 가지 통신 수단 중 중간정도의 수준이며, 기지국 1개소당 4800bps의 대역을 제공하므로 멀티미디어 서비스를 제외한 대부분의 서비스가 가능하다. 최근에는 위치비콘의 관리상 어려움과 위치 추적의 불연속성 문제를 극복

하기 위하여 GPS장치를 차량내에 탑재하는 방향으로 시스템이 진화되고 있다.

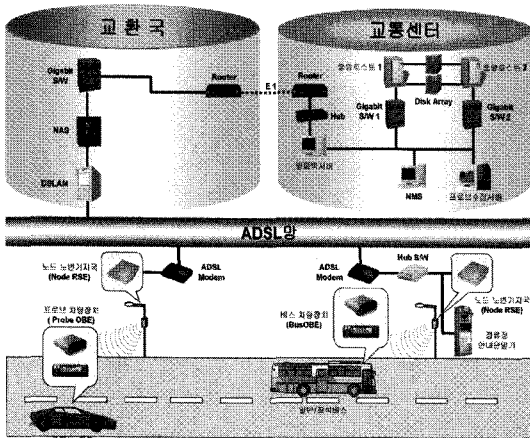
DSRC를 적용한 구간교통정보수집체계는 RSE와 센터사이에 1Mbps이상의 유선망이 필요하다는 것(무선상에서 1Mbps의 대역을 제공하므로 기반 유선망은 최소한 이보다 큰 대역을 제공하여야 함)을 제외하면, OBE에 GPS나 위치비콘과 같은 별도의 장비의 도움없이, OBE와의 통신 및 위치추적을 동시에 수행할 수 있다는 것과, 무선상에서 1Mbps의 비교적 광대역을 제공함으로써 다양한 부가 서비스 확장이 가능하다는 장점을 가진다. OBE와 RSE의 통신 결과에 의한 위치추적의 정확도는 오차범위 10m정도로 교통정보 수집에 적절하다. 필요에 따라 OBE와 GPS 장치 등을 연계하고 이에 적합한 RSE 배치 방식을 채택할 경우 연속적인 위치정보 수집도 가능하다. 최근 DSRC 기술을 이용하여 OBE에서의 인터넷 접속 및 멀티미디어 서비스를 위한 각종 연구가 진행되고 있으며 연구결과에 따라 OBE의 활용도가 다양화될 것으로 예상된다.

본 논문은, 이러한 DSRC 방식의 잠재력을 바탕으로 구축된 대전ITS사업의 구간교통정보 수집과 가공 사례를 소개함을 목적으로 한다. 시스템 구축과정에서 발생하였던 주요 쟁점들과 시행착오를 겪으며 찾은 해법들을 제시함으로써, 향후 유사 시스템 구축시 참고자료로 활용되며 관련 기술 진보에 기여하고자 한다. 본 논문의 제II장에서는 구간정보 수집에 활용한 DSRC의 기술적 특성과 이를 포함한 교통정보시스템의 전체적 구성을 소개하고, 제III장에서는 정보의 수집 및 가공의 알고리즘을 단계별로 제시한다. 제IV장에서는 정보수집 및 가공의 정확도에 대한 연구결과에 대하여 소개하고, 제V장에서는 향후과제를 제시하도록 한다.

II. 대전ITS사업 교통정보시스템의 기술적 특성

대전ITS사업에 적용된 시스템은, <그림 1>과 같이 노변장치인 RSE(Road Side Equipment), 차량내 장치인 OBE(On Board Equipment), 그리고 RSE로부터 자료를 수집/가공하는 센터시설로 구성된다. 능동형 DSRC는 5.8GHz대역(5.795~5.875GHz)를 사용하며 각 채널당 대역폭은 10MHz이고 ASK¹⁾ 변조

1) ASK(Amplitude Shift Keying, 진폭변이변조방식) : 데이터 통신에서, 디지털 데이터를 먼 곳까지 전송하기 위한 변조 방식의 한 가지. 디지털 신호의 1과 0을 소리의 크기로 구분하는 방식처럼 반송파의 진폭을 변화시키는 방법.



〈그림 1〉 대전ITS사업의 구간교통정보 시스템 구성도

방식을 사용한다. 노변 RSE와 차량내 OBE 사이의 통신은 TDMA/TDD²⁾방식으로 수행된다(최광주 외, 2001).

RSE는 지향성 안테나와 무지향성 안테나를 적용한 2가지 종류가 사용되었으며, 무지향성 안테나는 교차로에 설치되어 교차로 전방향의 OBE와의 통신이 가능하며, 경제성을 극대화하였다. 무지향성 RSE의 통신반경은 대략 100m 이내이며, RSE를 동일 채널로 운영시 통신반경이 중첩되지 않도록 RSE를 배치하여야 한다. RSE의 배치는 DSRC의 채널 운영 방식에 따라 달라질 수 있으나, 무지향성 안테나를 사용한 기지국이 설치될 경우 기지국간 동일채널 간섭영향이 무시될 수 있도록 기지국의 통신반경은 한 기지국의 통신반경의 3~4배 이상이 되어야 한다(최광주 외, 1998).

그러나 이는 이상적인 통신환경을 가정한 것으로 실제 기지국의 설계 및 운영에 있어서는 다소 편차가 존재한다. 실제 기지국 운용시에는 통신반경이 주변 건물이나 지형지물에 따라 영향을 받아 원형을 유지할 수 없는 경우가 대부분이며, 온도 및 습도에 따라 통신반경의 변화가 발생하므로 이러한 고려가 필요하다.

그러나, 최근 DSRC 기술은 통화의 연속성을 보장하기 위한 방향으로 발전하고 있어 향후에는 이러한 통신 가능 영역을 확보하는 차원에서 RSE 배치가 고려될 것으로 예상된다.

대전ITS사업에서는 399개의 교차로에 무지향성 RSE

가 설치되었으며, 191개의 버스정류장에 지향성 RSE가 설치되어 버스내 OBE와의 통신을 통해 버스정류장에서의 버스의 위치를 수집하도록 구성되어 있다. 버스내 OBE는 590개의 모든 RSE와의 통신을 위한 멀티스캔(multiscan) 기능이 구현되어 있어 전체 RSE와의 통신이 가능하다.

III. DSRC를 이용한 구간소통정보 수집 및 가공

본 시스템에서 수행하는 구간 소통정보의 수집 및 가공 절차는 〈그림 2〉에 제시된 바와 같다. 이는 시스템 구축 내용을 주기적인 정보 처리 관점에서 재구성하여 흐름도로 표현한 것이다.

본 시스템에서의 정보의 수집원은 프로브 차량에 의해 수집되는 구간자료이다. 그러나 앞서도 언급한 바와 같이, 프로브 차량에 의해 수집되는 자료의 양과 분포가 신뢰성있는 구간정보생성에 충분치 못할 경우 대한 대책이 필요하다. 따라서 수신호시스템의 대기행렬 검지기로부터 수집되는 지점자료와 운영자 입력정보도 함께 활용할 수 있도록 구축하였다. 또한 패턴정보를 생성하여 실시간 정보가 수집되지 않을 경우 자료 합성(data fusion) 단계에서 활용 가능하도록 하였다.

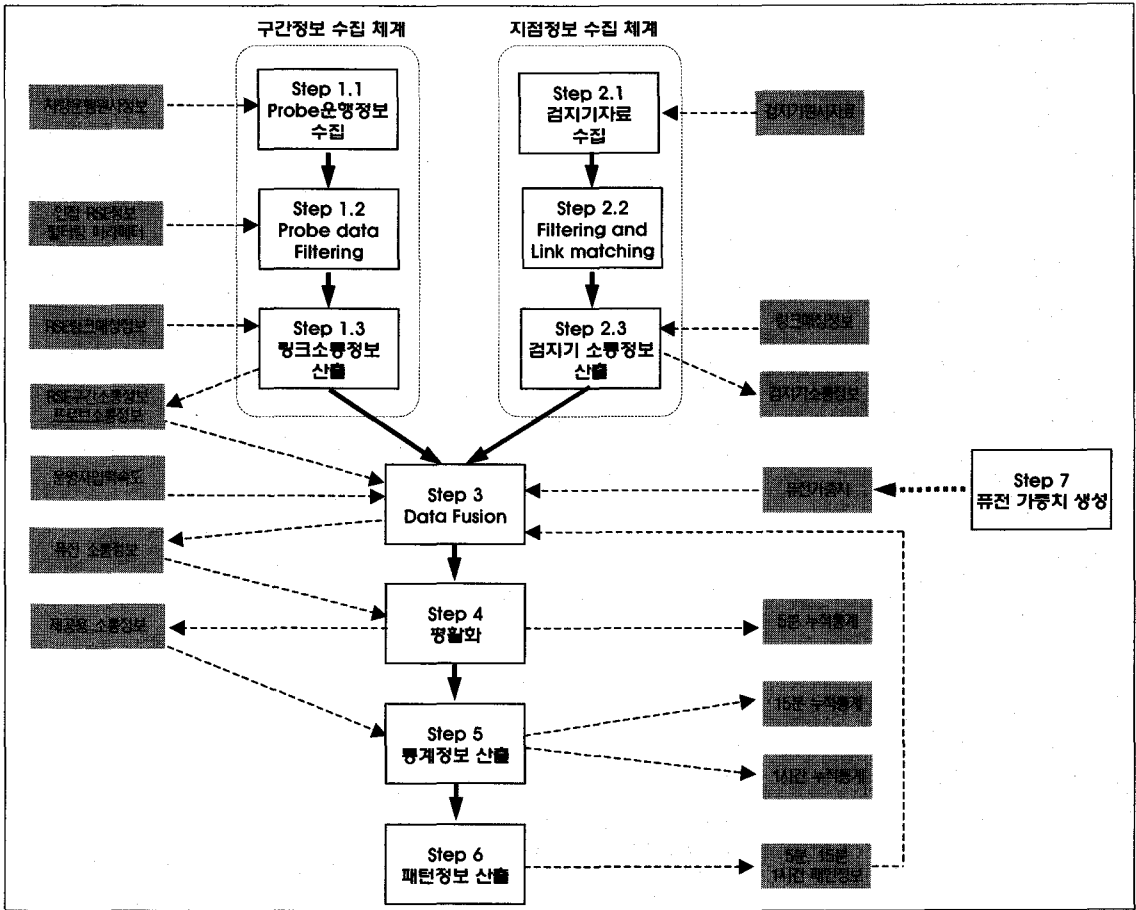
전체적인 정보가공 단계는, 프로브 운행정보 수집/검지기자료 수집, 필터링, 링크소통정보 산출/검지기 소통정보 산출, 자료합성, 평활화, 통계정보 산출, 패턴정보 산출 과정으로 이루어지는데(〈그림 2〉 참고), 이에서는 이들 각각에 대하여 구체적으로 설명하도록 한다.

[Step 1.1 프로브 운행정보 수집]

프로브 차량내에 설치된 OBE에서는 RSE와의 통신결과를 실시간 센터로 전송하며, 이때 전전(前前) 통과RSE, 전(前) 통과RSE와 현재RSE에서의 통신시각과 RSE id 등을 센터로 전송하게 된다(〈그림 3〉 참고). 전 통과 RSE 뿐만 아니라 전전 통과RSE와의 통신시각까지 전송하는 이유는 다음과 같다.

- 1) GPS 장치와 같은 위치정보 수집 장비 없이 OBE 단독으로 운영되는 경우, 위치정보 수집의 정확성이 떨어지고 이로 인해 구간통행시간 산정에 편차

2) TDMA/TDD(Time-Division Multiple Access/Time Division Duplex, 시분할다중접속) 정해진 주파수 대역을 주기적으로 일정한 시간간격으로 나누어서 각 단말이 차례대로 자기에게 할당된 시간동안 신호를 전송하고, 수신자는 역시 자기시간에 해당하는 동안만 수신정보를 수집하는 방식.

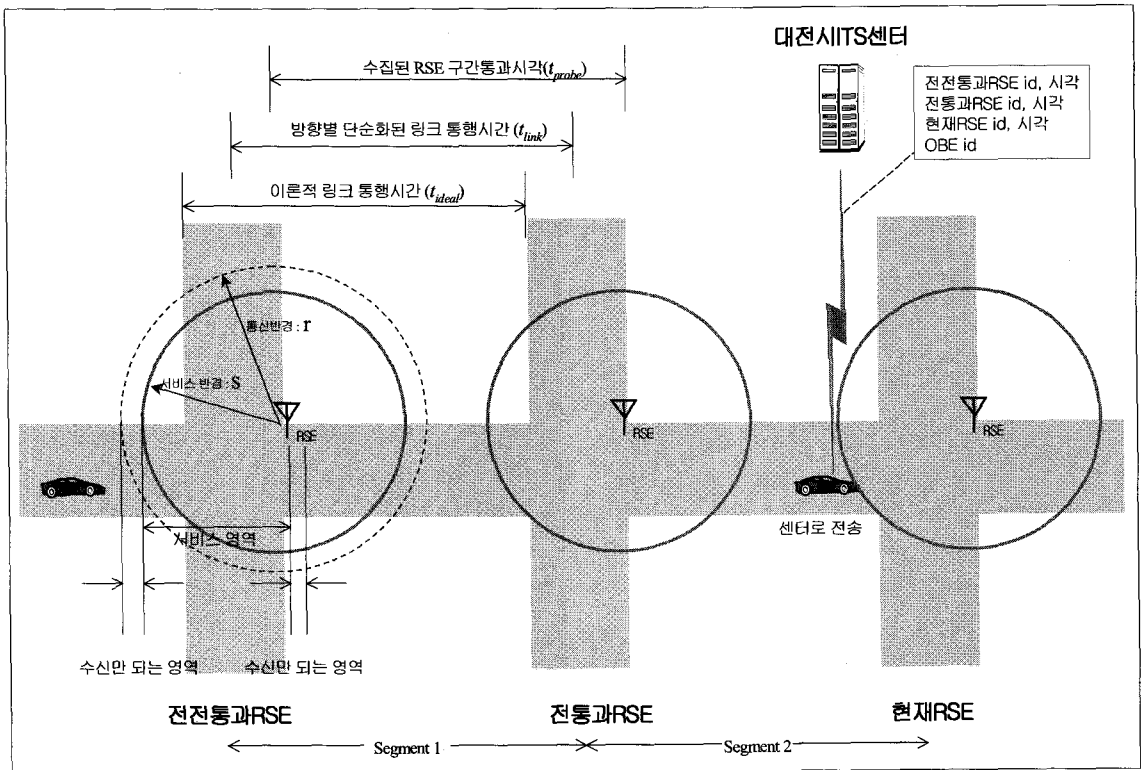


〈그림 2〉 구간교통정보 생성 과정 흐름도

- 가 발생하는 문제를 해결하는 데 필요하다. 이는 아래에서 구체적으로 설명하도록 하겠다.
- 2) 수집된 원시자료를 정보가공단위의 링크와 매치시키는 데에 따르는 연산 량을 줄이고 서버의 연산 방식을 단순화할 수 있다.
 - 3) 통과 이력을 바탕으로 수집된 차량운행원시정보 자료가 교차로에서의 회전위반 차량인지 아닌지를 판단하는 필터링의 근거가 된다.

대전ITS사업에서 GPS장치와 같은 별도의 위치정보 수집 장비가 없이 OBE가 단독으로 운영되는 경우에는, OBE와 RSE의 통신 결과에 의한 위치정보 수집의 정확성 문제에 대한 고찰이 필요하다. 또한, 이로 인해 이론적인 링크 통행시간과 수집되는 프로브 차량의 구간통행시간 사이에 편차가 발생하며, 이러한 문제에 대한 명시적 고려가 필요하다. 〈그림 3〉과 같은

이상적인 무선통신 환경을 가정할 때, OBE내에 탑재된 지향성 안테나의 특성으로 인하여 OBE와 RSE의 통신은 RSE의 통신반경내 전체에서 지속되는 것이 아니라, RSE를 마주보고 주행하는 서비스 영역에서만 통신이 일어나고 서비스영역을 벗어나면 더 이상 통신을 할 수 없다, 따라서 이러한 통신환경의 특성을 감안할 때, OBE와 RSE와의 최종통신시각을 기록하고 이 최종통신시각에 의해 RSE 구간 통과시간을 산정하면, 시스템을 구축할 때 일반적으로 목표로 하는 방향별 단순화된 링크통행시간(t_{link})과 매우 근소한 값을 얻을 수 있게 된다. 왜냐하면, 도시부 교통류에서 중요한 교차로의 신호대기시간이 반영된 값이 생성되고, 교차로내에서의 통행시간은 대개 동일할 것으로 가정할 수 있기 때문이다. 〈그림 3〉에서 어떤 프로브차량에서 센터로 전송된 하나의 프로브 자료를 보았을 때, Segment 1에서 대해서는 정확한 정보가



〈그림 3〉 DSRC 통신특성과 수집정보

지만, Segment 2에 대한 자료는 교차로의 지체가 반영되지 않은 상황이므로 정확한 값이 아니다. 이러한 맥락에서 현재RSE에서 전통과 RSE 뿐 아니라 전전 통과 RSE의 최종통과시각을 전송하도록 구축하여 Segment 2의 자료를 정보생성에 활용하도록 하였다. 그러나, Segment 2에 혼잡이 극심할 경우, 정확한 통행시간을 반영하고 있는 Segment 1의 통신시간을 센터로 전송되는데 지연이 발생하게 되며, Segment 1에 대한 자료는 실시간 정보생성에 활용하지 못하는 경우가 발생한다(실시간 가공 시스템이므로 수집된 Segment 1의 정보가 이미 과거의 자료가 되어버린 경우). 이 경우, 센터에서는 Segment 2의 통과시간에 보정치를 가산하여 실시간 교통정보 생성에 활용하고, Segment 1의 자료는 통계정보와 패턴정보 생성에 사용한다. 보정치는 과거 프로브 차량에 의해 수집된 구간통과시간에서 발생하였던 평균적인 편차를 구하여 산출한다. 이러한 보정 방법은, 서비스영역 내 최초통신이 이루어진 지점에서부터 교차로를 통과하는 데까지 걸리는 시간은 과거 차량의 시간과 유사할 것이라는 가정에 기반하고 있다.

[Step 1.2 Probe Data Filtering]

이 단계에서는 수집된 통과시간 정보를 링크에 매치시킨 후 정상적인 통과시간이 수집되었는지 검사하여, 이를 이하의 정보처리 과정에서 자료로 활용할 것인가 여부를 결정하게 된다. 이때 본 시스템에서 사용되는 필터링의 조건은 다음과 같다.

- 1) 회전위반에 해당하는 자료
- 2) 택시미터기와 연계하여 승객의 승차차 유무를 판단할 때, 승객이 링크 도중에서 하차한 자료
- 3) 구간통과시간을 속도로 환산했을 때, 속도가 3kph 이하이거나 80kph이상인 자료

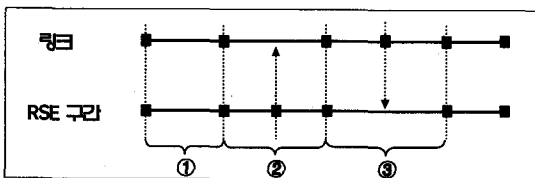
위의 세 번째 조건에서, 하한값과 상한값은 통행속도 관측결과에 의한 경험치를 기초로 설정한 것이다. 3kph 정도의 통행속도가 관측되기 위해서는 각 교차로에 Spill-back 현상이 발생하여 축전체가 정체된 상태에 이른 것을 의미한다. 물론 하한값이하의 통행속도가 실제 관측될 수는 있으나 이와 같은 교통상황이 흔하지 않으며, 이와 같은 값을 필터링하지 않을 경우, 프로브

차량인 택시가 승객을 태우기 위해 기다리는 시간까지 포함된 자료 등 의도하지 않은 자료가 과도하게 포함될 수 있다. 아울러 본 시스템에서 향후 자료가 누적된 후에는, 속도자료는 정규분포를 따른다고 가정하여 각 링크마다의 속도 분포특성에 맞는 상·하한 값을 적용할 수 있도록 구축하였다.

[Step 1.3 링크소통정보 산출]

이 단계는 5분 동안 수집된 구간통과시간을 평균 하는 과정이다. 본 시스템에서는 5분 동안 동일 구간을 3대 이상의 프로브 차량이 통과한 경우, Step 3. Data Fusion과정을 거치지 않고 직접 소통정보로 제공될 수 있도록 정의하였다. 이와 같은 이유는 자료합성으로 인한 자료의 왜곡을 최소화하여 교통상황을 좀 더 정확하게 제공하기 위함이다. 몇 대 이상의 프로브 차량이 통과한 경우에 이를 직접 소통정보로 활용할 것인가는 가로 또는 축의 연동정도에 따라 달라지며 매우 복잡한 상호작용에 의해 결정될 수 있다. 연동이 잘 맞는 링크에서는 차량간의 통과시간의 편차가 줄어들어 적은 수의 샘플로도 신뢰도 있는 정보를 제공/가공할 수 있으나, 그렇지 않은 경우는 많은 수의 샘플이 필요하게 된다. 부족한 샘플 수에 의해 가공한 정보는 소통정보로서 대표성도 떨어지며, 운전자에게 제공되었을 경우 운전자가 체감하는 실제 통과 속도와 상대적으로 큰 편차를 발생하여 시스템의 서비스 신뢰도를 저하시키는 원인이 될 수 있다. 본 시스템에서는 일반적인 연동상태일 경우 상류에서 회전하여 진입하는 차량의 편차를 고려하여, 3대 이상이라는 경험적인 수치를 도출하였다.

이때 자료의 수집은 RSE가 설치된 구간(RSE 구간) 단위로 이루어지는데, 이는 정보의 가공/제공 단위가 되는 링크 구간과 일치하지 않을 수 있다. <그림 4>는 이러한 RSE 구간과 링크와의 관계를 보여주고 있다. <그림 4>의 Case ②와 ③처럼 일대일 매치가 되지 않는 경우는, 공간적인 자료 합성이 수행된다.



<그림 4> RSE 구간과 정보가공/제공 단위 링크

Case ①은 링크와 RSE 구간이 1:1의 관계이므로, RSE구간 통과시간을 그대로 링크의 통행시간으로 계산한다. Case ②는 링크와 RSE 구간이 1 : N 관계의 관계이며, N개의 RSE 구간의 통행시간을 더하여 링크의 통행시간을 계산한다. Case ③는 링크와 RSE 구간이 N : 1 관계이며, 1개의 RSE 구간 통행시간을 N개의 링크의 통행시간으로 나누어 산정한다.

[Step 2.1~2.3 검지기 자료 수집 및 가공]

이들 단계에서는, 대전시 ITS사업의 일환으로 구축된 신호제어시스템의 대기행렬 검지기의 지점 정보를 구간 정보화 과정을 수행한다. 이들은 Step 1.1~Step 1.3 프로브 정보 수집 및 가공 절차와 평행하게 진행되는 과정으로서, 프로브 차량으로부터 수집되는 샘플수가 정보의 신뢰성 확보에 충분치 못할 경우 이들 과정을 통해 생성된 정보를 함께 활용하도록 구축되었다.

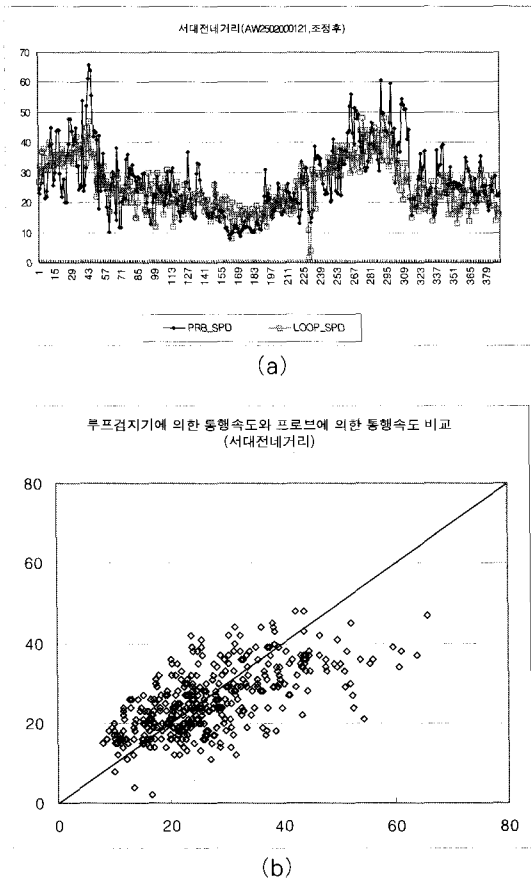
이들 대기행렬검지기로부터 수집되는 교통량과 점유율자료의 필터링은 신호제어시스템에서 적용되는 방식을 그대로 따르도록 하였고, 필터링을 거친 후 소통정보로 가공하는 식은 식(1)과 같다.

$$Travel\ Speed = \frac{VVol \cdot VLen}{Vocc} \quad (1)$$

- Vocc : 1주기 동안의 유효점유시간의 합
- VVol : 1주기 동안의 유효 교통량의 합
- VLen : 72(검지기길이+차량길이) · 0.89

여기서 VLen은 환산차량길이계수로 검지기 길이 및 차량길이를 시간단위로 환산한 값, 여기서 72는 msec를 시간으로 환산하기 위한 값(20×3600/1000)이며, 검지기 길이는 1.8m이고, 차량길이 3.5m이다. 0.89는 일종의 보정계수로 차량이 루프검지기 위를 통과할 때 차량길이와 동일한 길이로 검지가 되지 않으므로, 이를 보정하기 위하여 사용한다.

대기행렬 검지기의 지점정보를 엄밀한 의미에서의 구간정보로 바꾸기에는 부족한 점이 있다. 그러나 대기행렬 검지기의 자료와 프로브 수집정보에 대한 광범위한 비교 분석을 통하여 둘 사이의 일관성 있는 상관관계를 발견할 수 있었고, 이를 식(1)에 스케일 조정변수 형태로 반영하여 지점정보의 구간정보화에



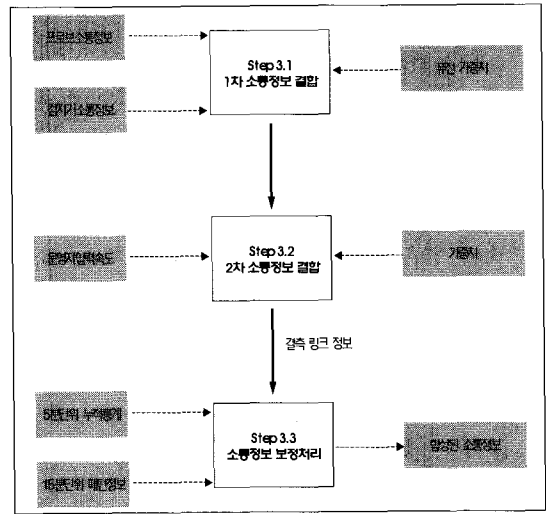
〈그림 5〉 루프검지기에 의한 통행속도 추정

신뢰성을 제고하였다. 프로브 차량정보가 충분히 많이 수집된 구간에 대해서 비교 분석하여 본 결과, 식(1)에 의한 통행속도 추정 결과가 프로브 차량에 의한 것보다 5-6kph정도 높게 추정하는 것으로 나타났다. 이에 식(1)의 스케일 조정변수인 V_{Len} 을 조정하여 통행속도 추정에 정확도를 제고하였다.

〈그림 5〉는 V_{Len} 을 조정한 검지기에 의한 추정된 통행속도와 프로브 수집자료가 5분내에 5대 이상 충분히 관측된 통행속도를 비교한 것으로, 원활한 상태에서 추정력이 다소 떨어짐을 확인할 수 있으나 전반적으로 소통상황의 추세를 잘 반영하고 있는 것을 알 수 있다.

[Step 3. Data Fusion]

자료합성은 〈그림 6〉에 제시된 바와 같이 3단계의 과정을 거쳐 수행된다. Step 3.1 1차 소통정보 결합, Step 3.2 2차 소통정보 결합, Step 3.3 소통정보의 보정처리 단계이다.



〈그림 6〉 자료합성의 3단계

Step 3.1 1차 소통정보 결합은 검지기 소통정보와 프로브 차량에 의한 소통정보가 결합 대상이 되며, 수집원에 따른 신뢰도를 기록한 가중치를 이용한 가중평균이 적용된다. 현재는 동일 구간 내에 프로브 차량 샘플수가 3개 이상일 경우 검지기 정보와 합성하지 않고 직접 소통정보로 제공할 수 있도록 구축되어 있다.

Step 3.2는 시스템의 유연성을 부여하기 위하여 운영자의 입력속도가 반영될 수 있도록 하는 것이며, 정해진 가중치에 의해 반영된다. 운영자 입력속도의 가중치는 운영 초기 운영자의 소통상황 관독 능력에 따라 가중치 0.3을 적용하고 있으며, 실시간 정보가 전혀 없는 경우는 운영자의 입력속도를 선택하도록 한다. 운영자 입력속도의 부정확성에 대한 염려에도 불구하고 운영자가 소통정보 가공단계에 개입할 수 있도록 하는 이유는 도로의 차로를 점유하는 돌발상황 및 수집장치의 일시적인 장애 등 시스템의 일시적인 수집 불가 상황을 극복하고 지속적으로 서비스가 가능하도록 하기 위함이다.

Step 3.3 소통정보 보정처리는 프로브 차량을 이용하는 시스템에서 흔히 발생할 수 있는 실시간 정보 결측 구간에 대한 연속적인 교통정보 서비스를 보장하기 위한 과정이다. 3시점(15분 동안)까지의 결측은 5분 단위의 누적통계를 이용하여 보정한다. 이는 일반적인 교통공학적 판단에 기초한, 15분까지는 과거의 소통상황이 어느 정도 유지될 것이라는 가정에 의한 것이다. 4시점(20분) 이후부터의 결측은 15분 패턴정보를 이용하여 보정한다.

[Step 4. 평활화]

수집되는 자료가 충분할 경우에는 평활화를 통하여 정보를 일부 왜곡시킬 가능성도 있다. 그러나 본 시스템에서는 확률적으로 수집되는 프로브 차량의 Sampling에 따른 정보의 신뢰도 문제를 보완하고 이용자에게 서비스되는 교통정보의 일관성을 위하여 평활화를 수행하도록 하였다. 식(2)와 같은 지수이동평활법을 채택하였고, 이를 통해 통행속도를 평활화 한다.

$$S_t = \alpha_1 \cdot S_{f,t} + (1 - \alpha_1) \cdot S_{f,t-1} \quad (2)$$

- S_t : 현재시점(t) 1차 퓨전 및 누적통계 결합 소통정보
- α_1 : 평활계수 ($0 \leq \alpha_1 \leq 1$)
- $S_{f,t}$: 현재시점(t) 1차퓨전 소통정보
- $S_{f,t-1}$: 전시점(t-1) 5분 누적통계정보

현재 통계학적으로 권고하는 평활계수는 0.05~0.3의 범위이나, 본 시스템에서는 권고치 보다 높은 평활계수 0.5를 적용하고 있다. 이는 통행속도의 급격한 변화를 잘 반영할 수 없는 평활화의 단점을 줄이고, 프로브 차량에 의해서 실시간 수집된 소통정보의 질이 다소 우수할 것으로 예상하여 결정한 값이다.

[Step 5. 통계정보 산출]

이 단계에서는 5분, 15분, 1시간 단위로 통행속도의 산출평균을 요일별로 산출하고 저장한다. 이렇게 생성된 통계 정보는 보고서를 작성하거나 운영자에게 각종 통계정보를 제공하는데 사용된다. 또한, Step 3에서 결측치를 보정하는데 사용되며, 패턴정보를 가공하는 데 입력 정보가 된다.

[Step 6. 패턴정보 산출]

이 단계에서는 Step 5. 통계정보의 생성단위와 동일하게 5분, 15분, 1시간 단위의 패턴정보가 생성되며, 용도에 따라 2가지의 패턴정보 산출방식이 사용된다. 식(3)은 새로이 누적된 K개의 통계정보에 의해 패턴 정보를 생성하는 방식으로, 이 경우는 초기 통계정보가 우수하다고 판단되는 경우에 적용될 수 있다. 이와 같은 방식은 패턴정보를 주기적으로 새롭게 작성하는 경우에 적합하다.

$$p_{ij} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K s_{ijk} \quad (3)$$

- p_{ij} : i요일 j시간대 패턴정보
- s_{ijk} : i요일 j시간대 k번째 단위주기 누적통계
- K : 처리된 데이터 개수

또 다른 방식의 패턴정보의 갱신 방법은 식(4)와 같으며, 일반적으로 흔히 사용되는 방식이다. 새로운 누적 통계치에 의해서 계수를 조정함에 따라 패턴정보의 시간에 따른 변화의 속도를 조정할 수 있는 방식이다. 이 방식은 초기 구축된 패턴 정보의 신뢰도가 낮고, 교통류의 변동패턴이 일정하지 않은 경우에 사용될 수 있다.

$$p_{i,t} = \alpha s_t + (1 - \alpha) p_{i,t-1} \quad (4)$$

- $p_{i,t}$: i요일 j시간대 t시점 추가패턴정보
- $p_{i,t-1}$: i요일 j시간대 t-1시점 추가패턴정보
- s_t : t시점 링크통행속도
- α : 계수 ($0 \leq \alpha \leq 1$)

본 시스템에서는 시스템 시험운영기간의 프로브 차량의 수집자료에 의해 초기 패턴정보를 식(3)에 의해 구축하고, 이를 갱신하는 방식으로는 식(4)를 사용한다.

[Step 7. 퓨전 가중치 생성]

프로브 차량 및 검지기로부터 소통정보가 수집되는 링크에 대하여, 요일그룹 범주와 침두 및 비침두시간 대별로 동일한 패턴을 보이는 시간대를 그룹화하고 그룹별 퓨전 가중치를 산정하는 단계이다. 이 단계는 실시간 소통정보 생성 프로세스와 같이 항상 구동되는 것은 아니며 필요에 따라 가중치를 변경하고자 할 때 수행한다.

프로브 차량의 i요일그룹범주의 t시점 링크통행속도와 t-1시점 통행속도 비 $\ln(PS_{i,t}/PS_{i,t-1})$ 와 i요일그룹범주에 대한 5분 단위 검지기의 t시점 링크통행속도와 t-1시점 통행속도 비 $\ln(DS_{i,t}/DS_{i,t-1})$ 를 입력받아, 생성된 2개의 변수에 대하여 군집분석(cluster analysis)을 실시한 후 대상 전체 시간대와 링크에 대하여 k개의 군집을 생성한다. k개의 군집으로 나누

기 위해 *k*-means clustering 기법을 사용하며, 초기 그룹 수는 linkage method와 ward's method를 통하여 결정한다. *k*-Means Clustering에 따른 군집 절차는 다음과 같다.

- 1) [단계 1] 클러스터링 변수생성 프로세스를 통하여 생성된 각 링크의 두 변수(프로브 차량 및 검지기 링크소통정보의 전시점과의 통행속도 비)를 이용하여 *k*개의 그룹에 초기 할당한다.
- 2) [단계 2] 초기 그룹에 대해 각 변수의 평균을 계산한다.
- 3) [단계 3] 각 그룹에 대한 거리(그룹에 대한 인접성)를 식(5)에 의해 계산한다.

$$D(i, l) = \left(\sum_{j=1}^k [X(i, j) - \bar{X}(l, j)]^2 \right)^{1/2} \quad (5)$$

D(i, l) : *i*번째 시간대의 *j*번째 변수의 그룹 *l*에 대한 거리

X(i, j) : *i*번째 시간대의 *j*번째 변수의 값

$\bar{X}(l, j)$: 그룹 *l*의 *j*번째 변수의 평균

- 4) [단계 4] 각 시간대중 현재 속해 있는 그룹보다 유사성이 인정되는 그룹이 생기면 시간대를 그 그룹으로 이동시키고 단계 2로 간다. 더 이상 현재 그룹보다 유사성이 인정되는 그룹이 없으면 군집 절차를 마친다.

프로브차량 링크통행속도 그룹별 퓨전 가중치는, 군집분석 과정에서 도출된 그룹에 대해서 식(6)에 의해 산출되며, 수집원의 분산에 의해 각 정보제공원의 퓨전 가중치를 생성하게 된다.

$$w_{probe,j} = \frac{1/\hat{\sigma}_{probe,j}^2}{1/\hat{\sigma}_{probe,j}^2 + 1/\hat{\sigma}_{loop,j}^2} \quad (6)$$

w_{probe,j} : *j*그룹에 속한 프로브차량 링크통행속도 퓨전 가중치

$\hat{\sigma}_{probe,j}^2$: *j*그룹에 속한 프로브차량 링크통행속도 비의 분산

$\hat{\sigma}_{loop,j}^2$: *j*그룹에 속한 검지기 링크통행속도비의 분산

또한, 검지기 링크통행속도 그룹별 퓨전 가중치는 상기 식(6)에서 계산된 *w_{probe,j}*를 이용하여 식(7)과 같이 간단히 계산한다.

$$w_{loop,j} = 1 - w_{probe,j} \quad (7)$$

w_{loop,j} : *j*그룹에 속한 검지기 링크통행속도 퓨전 가중치

N. 시스템 평가 및 결론

본 논문에서는 대전광역시 첨단교통모델도시 건설사업의 일환으로 구축된 DSRC 기술을 활용한 교통정보시스템 구축 사례를 기술하였다. 공공부문에서의 구간정보 수집 및 가공 체계 구축은 본 대전 ITS 사업이 처음이며, 더욱이 DSRC 기술을 구간정보 수집에 이 적용한 최초의 시도이다.

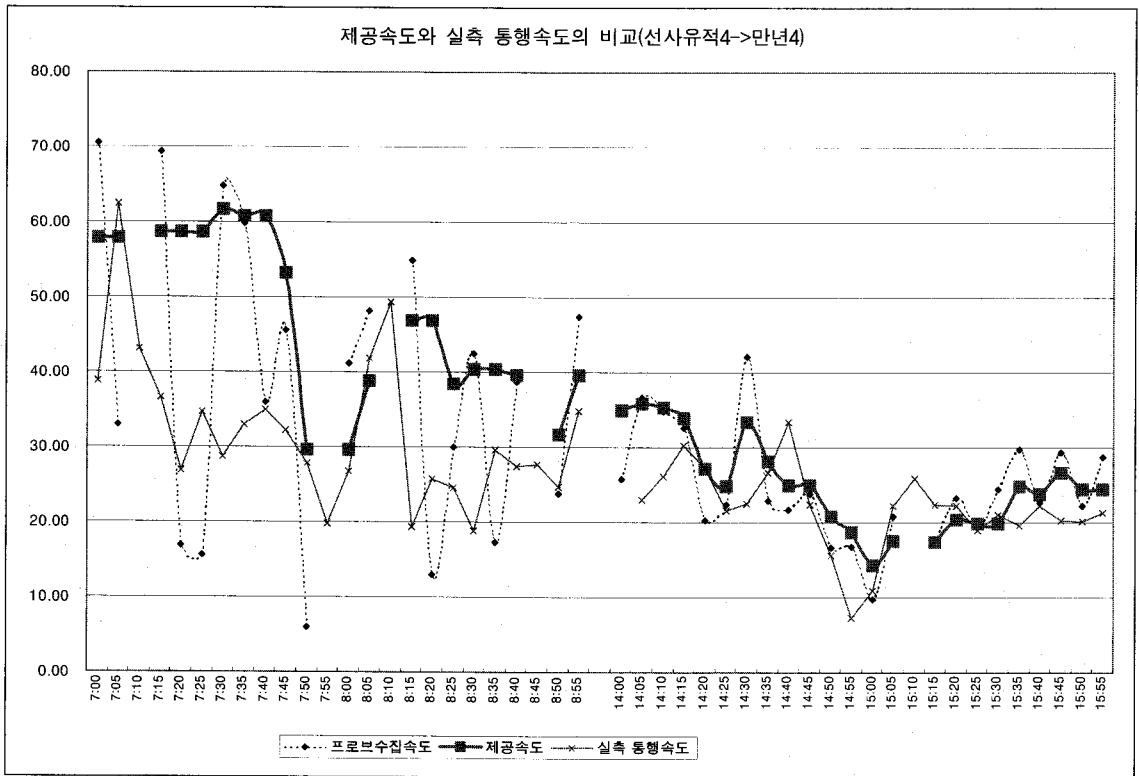
국토연구원과 ITS Korea(2003)에서 수행한 구간소통정보 산출 및 교통정보 융합 알고리즘 개발 1단계에 의하면, 본 시스템에 의한 제공속도와 실측 통행속도와의 비교결과는 <표 1>과 같다. 이 자료는 번호판 조사를 통하여 대덕대로에서 실시한 것이다.

<표 1>에서 제공속도는 시스템에서 최종가공된 제공속도와 실측 통행속도와의 비교를 나타내며, 프로브수집속도는 프로브수집자료만에 의한 평균통행속도와 실측 통행속도와의 비교를 나타낸다. 실제 추이관

<표 1> 제공속도와 실측 통행속도 비교

분포비교	제공속도	프로브수집속도
진행방향	선사유적4→만년4	
자료수	42.00	42.00
RMSE	14.18	15.44
진행방향	만년4→대덕4	
자료수	42.00	42.00
RMSE	16.88	19.59
진행방향	대덕4→대덕대교4	
자료수	44.00	44.00
RMSE	9.08	12.05
진행방향	대덕대교4→과학공원4	
자료수	41.00	41.00
RMSE	11.80	15.69

* 자료 출처 : 국토연구원, ITS Korea(2003).



* 자료 출처 : 국토연구원, ITS Korea(2003).

〈그림 7〉 제공된 통행속도의 추세 분석

측에 있어서는 프로브수집속도가 현실을 좀더 잘 반영하는 경우도 있으나, 전반적으로는 제공속도가 좀더 좋은 추정력을 보여주고 있어 현재 구축된 시스템에 의해 수집된 프로브차량의 정보보다 신뢰도 높은 정보가 제공됨을 알 수 있다.

〈그림 7〉에서는 다소 한산한 07:00~08:00에서는 충분한 수의 프로브차량이 수집되지 않아 프로브수집속도의 변동이 심한 상태이며, 시스템에 의한 보정에 의해 정보가 제공됨으로써 실측 통행속도와 차이가 발생하였다. 08:00~09:00까지는 프로브수집속도가 실측 통행속도와는 대략적으로 유사하나 여전히 프로브수집속도의 변동이 심하므로 평활화에 의한 제공속도와 실측 통행속도에 다소 차이가 있음을 알 수 있다. 14:00부터는 충분한 프로브차량이 관측됨으로써 비교적 정확한 정보가 제공됨을 알 수 있다. 이러한 프로브 차량수가 부족함으로 발생하는 제공정보의 오차는 추후 패턴정보를 지속적으로 업데이트하고 관리함으로써 해결될 수 있을 것이라고 판단된다.

V. 향후과제

앞서도 언급한 바 있듯이, 구축을 완료하고 운영 중에 있는 본 시스템은 향후 지속적으로 보완 발전되어 가야 한다. 시스템의 지속적 보완 발전을 위해, 본 시스템의 구축 및 운영 과정에서 현재까지 도출된 향후과제를 정리해 보면 다음과 같다.

첫째, 프로브 차량에 의한 수집 능력의 제고이다. 대부분 택시가 프로브 차량으로 선정됨으로써 수집구간 편중문제가 심각하게 나타나고 있다. 신호제어시스템의 대기행렬 검지기도 중요요차로에만 설치하게 되므로, 프로브 차량의 결측 구간 대부분은 대기행렬 검지기도 존재하지 않고 있다. 따라서 프로브 차량을 택배회사 차량으로 확대하는 방안, 결측 구간에 대한 지점검지기 확충방안 등의 수집체계 보완 대책이 마련되어야 할 것이다. 아울러 OBE를 적용한 부가 서비스의 개발 및 상품화를 통하여 OBE의 자연적 확산을 유도하고, 이 결과로 광범위한 교통정보 수집능력을 확보하는 노력도 필요하다고 판단된다.

둘째, 시스템 성능평가 부분이다. 시스템 구축과 운영초기에 파라미터 조정 등을 목적으로 부분적인 분석 및 검증은 시행되었으나, 체계적이고 종합적인 성능평가는 이루어지지 못하고 있다. 시스템을 개선하기 위해서는 정확한 진단이 선행되어야 한다는 맥락에서 이러한 성능평가가 센터 내에서 정기적으로 이루어질 수 있는 체계가 갖추어져야 할 것이다.

셋째, 패턴정보의 유지관리 문제이다. 패턴정보는 실시간 정보수집에 결측이 발생할 때에 중요한 역할을 하는 정보이다. 앞서 국토연구원과 ITS KOREA(2003)의 연구결과에서도 제시되었듯이, 정보생성의 정확도와 신뢰도를 높이기 위해서는 실제상황과 근사한 패턴데이터를 유지하는 것이 중요하다. 이를 위해 정기적으로 실측치와 비교하여 패턴데이터를 보정해 주는 것이 필요하며, 이때 실측치로서 프로브 차량으로부터 수집되는 정보를 활용하는 것도 가능하다.

넷째, 알고리즘의 기술적 진화이다. 향후 시스템의 진화를 위하여 필요한 과제를 제시하면 다음과 같다:

- 1) 우선, 현재 설정되어 있는 파라미터들을 평가해 보고 미흡한 부분은 보완해 나가야 한다.
- 2) 본 논문에서는 링크단위의 구간통행시간 생성에 초점을 두어 논하였는데, 향후 축 단위 예측통행시간 생성방법도 발전시켜 가야한다. 이는 VMS 등 제공매체의 정보제공 신뢰도 향상에 크게 기여 하리라 판단된다.
- 3) 링크의 방향별 회전을 고려한 교통정보 가공 및 제공 알고리즘의 개발이다. 지금까지는 도시부 도로의 교차로와 교차로 사이를 단순히 하나의 링크로 간주하였으나, 실제 도로의 소통상황은 회전교통류별로 상이하고 각 방향별로 링크통행시간에 분명한 차이가 발생한다. 따라서, 현재까지의 직진교통류 중심의 정보가공 및 제공방식을 직진, 좌회전 및 우회전 교통류를 별개의 링크처럼 인식하여 가공하여 제공하는 방식으로 개선하게 된다

면, 최단시간 경로안내의 질적인 향상에 결정적인 기여를 하게 될 것이다. 제Ⅲ장에서 설명한 바와 같이 본 시스템은 OBE가 3개의 RSE 통과정보를 센터로 송신하므로 방향별 교통정보(통행속도) 제공 시스템을 구축하는데 매우 유리하다.

- 4) OBE의 수집원시자료의 활용도 제고이다. OBE에서 전송하는 승·하차 정보를 가공하여 택시 통행수요의 OD를 추정할 수 있는 알고리즘의 개발도 생각해 볼 수 있다.

참고문헌

1. 국토연구원·(사)ITS Korea(2003), "구간소통정보 산출 및 교통정보 융합 알고리즘 개발(I)".
2. 김기영·전명식(1999), "다변량 통계자료분석", 자유아카데미.
3. 서울지방경찰청(1995), "신전자교통제어시스템 개발 현장종합실험 신호제어 및 검지기체계 알고리즘 상세설명서".
4. 성용현(1997), "응용 다변량 분석", 도서출판 탐진.
5. LG컨소시엄(2001), "대전광역시 첨단교통모델도시 건설사업 실시설계, 제1, 2, 3권".
6. 최광주·김동현·김수경·배태웅·현영균·이병현(2001), "DSRC를 이용한 무선인터넷서비스", 한국통신학회지 제18권 제8호, pp.1201~1210.
7. 최광주·염지운·김동현·박두일·곽옥문·오성환·이정률(1998), "LMDS시스템에서 기지국의 위치선정을 위한 Cell Planning에 관한 연구", '98하계종합학술대회 논문집, 제21권 제1호.
8. 최광주·곽옥문·오성환·이정률(1998), "LMDS 시스템에서 편파특성을 고려한 Cell Planning에 관한 연구", '98하계종합학술대회논문지, 전자공학회.
9. Tarko Andrzej·Rouphail Nagui(1993), "Travel Time Data Fusion in ADVANCE", Proceedings Pacific Rim TransTech Conference. Vol.1, pp.36~42.