

# RFID 기반의 통행시간 추정 기법 개발 및 교통정보수집 적용가능성 평가

## Link Travel Time Estimation and Evaluation of Applicability to Traffic Information Collection Based RFID Probe Data

심상우\*

(Sangwoo Shim)

최기주\*\*

(Keechoo Choi)

이규진\*\*\*

(Kyujin Lee)

### 요 약

본 연구는 RFID를 활용하여 교통정보를 수집 및 제공하기 위해 RFID 방식에 적합한 링크통행시간 추정 기법 개발 및 교통정보 수집체계로서의 적용가능성 평가를 목적으로 하였다. 이를 위해 기존 교통정보 수집 방식을 검토하여 RFID 수집 체계와의 차이점 및 특성을 파악한 후 교통정보생성구간 설정 및 통행시간 추정 기법을 개발하였으며, 현재 교통정보 수집을 위해 많이 이용되고 있는 GPS 방식과 비교분석하여 적용가능성을 평가하였다. 교통정보생성구간은 마스터 리더기를 기반으로 구축하였으나 실제 링크가 너무 길 경우 교통정보생성구간과 차이가 발생하여 이를 해결하기 위해 판단 로직을 추가하였다. 제주 시범사업지역의 조사 자료를 기반으로 통행시간 추정 기법에 대한 정확도 분석 결과 평균 88% 정도의 정확도를 보이는 것으로 나타났으며, GPS 방식(93%)과 비교할 때 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한 t검정으로 분석한 결과 p-value가 0.68로 통행시간의 차이가 통계적으로 없다고 나타났다. 이러한 결과로 볼 때 RFID 방식을 새로운 교통정보 수집체계로 적용가능한 것으로 사료된다.

Keyword: RFID, 적용가능성, 링크통행시간, GPS, 교통정보생성구간

### Abstract

This paper aims at testing the applicability of RFID (radio frequency identification) based link travel time estimation algorithm in urban street settings in Jeju island Korea. For this, we developed algorithm and compared link travel times derived from the RFID probe based algorithm with those from (already available) GPS based link travel time estimation algorithm and with the actual link travel times from survey. RFID readers are composed of master reader and slave reader and the participating passenger cars were supposed to be equipped with RFID tag inside the vehicle. The data were sent to traffic information center and we used those data in comparison. The algorithm produced link travel times in a successful manner and the accuracy of those link travel times was about 88%. For the same link segments, the accuracy of GPS based link travel times was 93%. The t-test showed that both RFID and GPS based link travel times were not different in accuracy from statistical point of view. The applicability of RFID was tested successfully and the algorithm proposed seemed to be used in similar urban settings. Some limits and future research agenda have also been presented.

Key Words : RFID, Applicability, Link Travel Time, GPS, Link segment

\* 주저자 : 아주대학교 건설교통공학과 박사과정(교신저자)

\*\* 공저자 : 아주대학교 환경건설교통공학부 교수

\*\*\* 공저자 : 아주대학교 건설교통공학과 박사과정

논문접수일 : 2007년 6월 1일

본 연구는 국가교통핵심기술사업인 유비쿼터스 환경의 차세대 국가 교통정보 수집체계 개발 및 시범사업의 지원으로 수행하였습니다.

## I. 서 론

### 1. 연구 배경 및 목적

전 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 있으며, 국내에서도 유비쿼터스 네트워크의 핵심응용 분야로 예측되는 교통·물류 분야에서 교통정보 수집기술 및 이를 응용한 서비스 개발의 필요성이 제기되고 있으며, 현재의 교통정보 수집 체계는 Loop 검지기, 영상 비콘, DSRC 등을 이용하기에 설치 및 유지관리에 소요되는 비용이 많아 전국적인 확산이 어려운 실정으므로 RFID(Radio Frequency Identification)와 휴대인터넷 기술을 교통기술에 접목하여 비용이 저렴한 신개념 교통정보 수집체계를 구축할 필요성이 제기되고 있다.

또한 RFID/USN의 전체 세계시장이 2010년에 총 540.8억 달러(IDTechEx)에 이를 것이며, 국내시장은 2010년에 39억 달러로 증가할 것으로 전망되며 [1], 유비쿼터스 사회의 기반 인프라인 신속하고 정확한 교통정보의 수집 및 제공은 텔레매틱스 서비스, 차량항법장치, 위치기반 서비스, 물류관리 서비스 등 다양한 ITS 서비스 및 시스템들의 기술 발전에 이바지 할 것으로 기대되고 있으며, 특히, IT강국인 대한민국에서 휴대인터넷과 같은 저렴한 통신망과 RFID 네트워크를 연계하여 ITS기반 실시간 교통정보수집이 가능하고, 맞춤형 교통정보의 제공이 가능하다면 국내는 물론 국제적인 텔레매틱스 산업의 활성화에 이바지할 것으로 기대된다.

그리고 첨단 기술이 발전함에 따라 교통이용자들은 실시간 교통정보 제공, 친환경적 교통 수요의 발생, 안전하고 편리한 교통체계로의 전환을 요구하고 있으며, 이러한 사회·문화적인 변화 욕구에 대응하고 새로운 교통수요에 대처할 수 있는 신개념의 기술 개발 필요성이 제기되고 있으며, RFID를 활용한 교통정보 수집체계의 개발은 교통체계의 효율적 운영

과 교통 혼잡의 완화로 운전자에게 쾌적하고 안전한 여행을 제공할 수 있으며, 다양한 교통정보의 서비스로 운전자의 편익을 증대시킬 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 성장가능성이 높은 RFID 방식을 교통정보 수집 체계로 적용하기 위해 적합한 통행시간 추정 기법 개발하고 이에 대한 평가를 통해 새로운 수집 체계에 대한 적용가능성 여부를 판단하는 것을 목적으로 한다.

### 2. 연구 내용 및 절차

본 연구에서는 RFID 방식을 이용한 링크통행시간 추정 및 적용가능성 평가를 위한 내용은 다음과 같다.

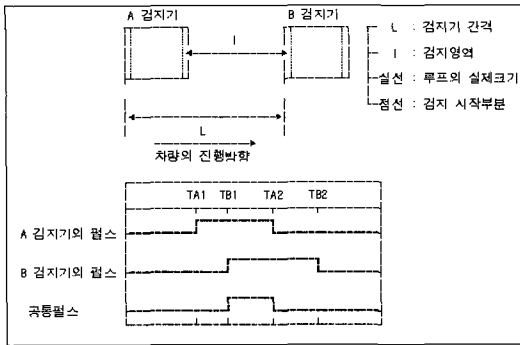
- 현재 링크통행시간을 추정하는 기법들에 대한 방식을 검토하여 RFID 수집체계 특성과 비교함
- RFID 특성을 반영한 교통정보생성구간 설정 및 통행시간 추정 기법을 개발함
- 현장 실측 조사 자료를 기반으로 정확도 및 통계 분석을 통해 RFID 방식의 적용가능성을 평가함

## II. 교통정보 수집체계 검토

현재 교통정보를 생성하기 위해 하나의 지점에서 수집된 자료를 공간화하여 정보를 생성하는 지점검지체계와 링크 및 구간을 대상으로 자료를 수집하여 정보를 생성하는 구간검지체계를 이용하고 있다.

### 1. 지점검지체계-루프검지기

현재 지점검지체계로 사용되고 있는 것은 루프검지기, 영상검지기, 적외선 검지기, 초음파 검지기 등 다양하나 교통정보 수집용으로 루프검지기를 가장 많이 이용하고 있다. 루프검지기를 이용하여 속도데이터를 산출해내는 방법은 복수검지기(Dual Loop Detector)를 통과한 시간을 이용하여 속도를 추정하는 방법과 단일검지기(Single Loop Detector)의 여



<그림 1> 복수검지기 속도 검지 개념도

<Fig. 1> Concept of detecting speed in dual loop detection

러 변수들을 이용하여 속도를 추정해내는 2가지 방법으로 분류할 수 있다.

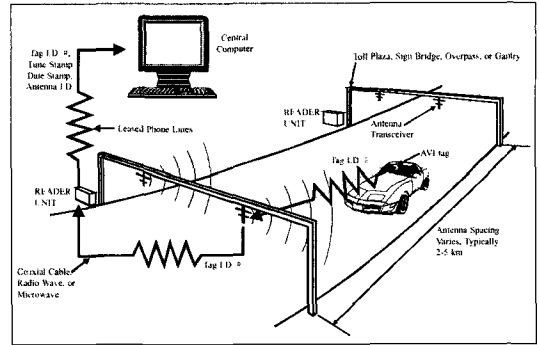
단일검지기를 이용하는 경우는 검지기 길이와 차량 길이를 점유시간으로 나누어 속도를 산출하나 차량의 정확한 길이를 알 수 없어 일반적으로 평균차량길이를 적용하여 산출하며, 복수검지기는 두 루프 검지기 사이의 거리와 각 검지기에 인식된 시간 차이를 이용하여 산출하고 있다.[2]

지점검지체계는 다수의 차량을 대상으로 하기 때문에 생성되는 교통정보는 해당 교통류를 잘 반영할 수 있는 장점이 있다.

반면 교통정보를 제공하기 위해서는 지점속도를 공간평균속도로 환산하여 통행시간 및 속도를 산출하기 때문에 교통류의 진행을 방해하는 요인이 없는 연속류 구간에서는 정확도가 높으나 도시부와 같이 신호로 인해 교통류의 진행에 방해를 받을 경우 신호대기시간 등이 반영되지 못하기 때문에 정확도가 많이 떨어지는 단점이 있다.

## 2. 구간검지체계

현재 구간검지체계로 많이 이용되고 있는 것은 AVI(Automatic Vehicle Identification), Beacon, DSRC (Dedicated Short Range Communication), GPS(Global Positioning System) 방식이다.



<그림 2> AVI 방식 통행시간 추정 개념도

<Fig. 2> Concept of estimating the travel time in AVI

### 1) AVI

AVI는 국토관리시스템에서 교통정보를 수집하는데 이용되고 있는 방식으로 영상장비를 설치한 두 지점에서 촬영한 차량번호판을 매칭한 후 촬영된 시간 차이를 이용하여 통행시간을 산출하고 있다.

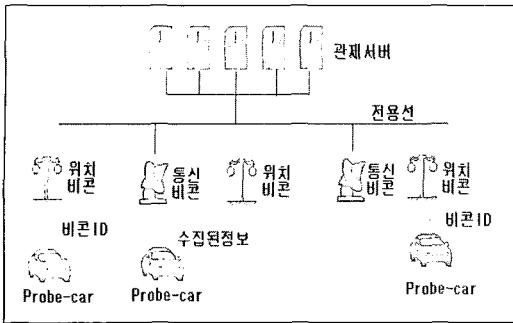
이 방식의 경우 설치지점을 통과하는 모든 차량을 촬영하기 때문에 매칭되는 차량이 많아 대표성이 높으며, AVI 촬영 자료를 기반으로 개략적인 차량의 궤적을 추적할 수 있다는 장점이 있다.

반면 영상 장비가 고가이기 때문에 다수의 장비를 설치하기 어려워 교통정보 수집을 위한 구간길이가 너무 길다는 단점이 있다. 또한 긴 수집 구간길 이로 인해 통행 시점과 제공 시점이 다른 문제점(시간차점: Time Lag)이 발생하고 있으며, 이 문제를 해결하기 위해 칼만필터를 이용한 다주기 예측으로 그 문제를 해결하고 있다.[3]

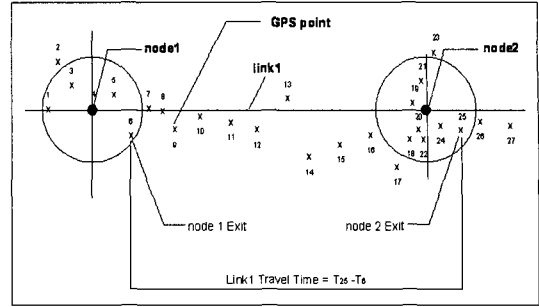
### 2) Beacon

Beacon 방식은 위치 Beacon과 통신 Beacon으로 구성되어 있으며, 교통정보 수집은 다음과 같이 이루어진다.

- 차량내장치를 장착한 차량이 위치 Beacon을 통과하면서 위치 및 시간을 저장함
- 통신 Beacon을 통과할 때 위치 Beacon에서 송신받아 저장한 자료를 통신 Beacon에 송신함
- 통신 Beacon에서 송신한 자료를 센터로 보내고

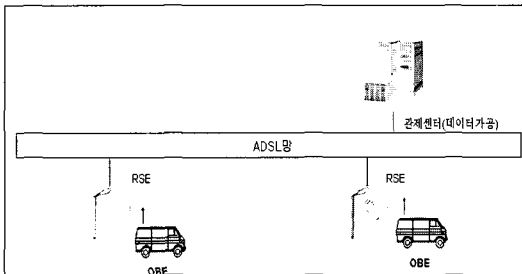


<그림 3> Beacon 방식의 통행시간 추정 개념도  
<Fig. 3> Concept of estimating the travel time in Beacon



<그림 5> Circle-X 알고리즘의 통행시간 추정 개념도

<Fig. 5> Concept of estimating the travel time of Circle-X algorithm



<그림 4> DSRC 방식의 통행시간 추정 개념도  
<Fig. 4> Concept of estimating the travel time in DSRC

센터에서는 각 Beacon간의 수신시간의 차이를 이용하여 통행시간을 산출함

Beacon 방식은 AVI에 비해 수집 구간이 짧기 때문에 시간차집은 덜하고 차량의 궤적을 추적할 수 있다는 장점은 있으나 고가의 장비이므로 많은 지점에 설치하기 힘들어 교통정보 수집구간과 제공구간이 차이가 발생하는 단점이 있다. 또한 위치 Beacon 사이에서는 궤적 추적이 힘들고 위치의 정확도 역시 Beacon 수신반경과 동일하여 위치 정밀도가 떨어진다는 단점이 있다. 또한 노변장치와 차량내장치의 다중접속이 불가능하다는 단점도 가지고 있다.[4]

### 3) DSRC

DSRC 방식은 그 원리가 Beacon 방식과 유사하다. DSRC 방식은 차량내장치에서 순간속도를 저장하고 있다가 노변장치를 통과할 때 노변장치에 저장

된 자료를 송신하고 노변장치는 수신된 자료를 센터에 송신하면 센터에서는 수신된 자료의 평균통행속도 및 시간을 산출하게 된다.

이 방식 역시 장비가 고가이기 때문에 많은 지점에 설치할 수 없어 시간차집이 발생하고 시스템 확장이 어려우며, 노변장치간에서의 차량 위치를 확인할 수 없다는 단점이 있다.[4]

### 4) GPS

GPS 방식은 차량의 위치만 확인할 수 있기 때문에 차량의 위치 정보와 수치지도를 이용하여 통행시간을 추정하고 있으며 기본 원리는 Circle-X 알고리즘을 사용하고 있다. Circle-X 알고리즘은 GPS 오차 및 수치 지도의 오차를 고려한 버퍼를 생성한 후 버퍼내에 존재하는 GPS 포인트의 최종점의 시간 차이를 이용하여 통행시간을 추정한다.[5]

현재는 Circle-X 알고리즘을 기반으로 2가지 방식으로 통행시간 자료를 수집하고 있는데 하나는 노드매칭 방식이고 다른 하나는 링크매칭 방식이다. 노드매칭 방식은 차량이 통과한 노드의 통과시간을 차량내장치에서 센터로 송신하면 센터에서 통과시간의 차이를 이용하여 통행시간을 산출하는 방식이고 링크매칭 방식은 GPS 궤적을 맵매칭 기법을 이용하여 해당 링크에 매칭시키고 차량내장치에서 매칭된 GPS 포인트를 이용하여 통행시간을 산출한 후 이를 센터에 송신한다.[6]

노드 매칭 방식의 경우는 센터에서 자료를 처리하기 때문에 차량내장치에 맵이 필요하지 않으며, 업데이트 등이 용이하다는 장점이 있으나 차량의 궤적을 정확하게 추정할 수 없다는 단점이 있다. 반면 링크매칭 방식의 경우는 차량의 궤적을 추적할 수 있기 때문에 정확한 자료를 수집할 수 있다는 장점이 있으나 차량내장치에 맵이 필요하므로 비용이 상대적으로 많이 들고 업데이트가 어렵다는 단점이 있어 이를 해결하기 위해 차량내장치에서 GPS 궤적을 센터로 송신하면 센터에서 이를 처리하는 방법을 이용하고 있다.

### 3. RFID

기존 수집 체계와 비교해 볼 때 RFID 방식은 리더기와 차량내 설치된 Tag와의 송수신을 통해 자료를 수집하기 때문에 Beacon 방식과 유사하다고 할 수 있다.

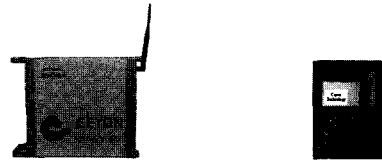
그러나 Beacon(900MHz)에 비해 주파수 대역(2.45GHz)이 높아 많은 정보를 송신할 수 있으며, 리더기 및 태그의 비용이 적어 교차로 기반으로 리더기 설치가 가능하다는 장점이 있다. 이를 통해 Beacon에서는 불가능한 회전 교통류에 대한 통행시간 추정도 가능하다는 장점이 있다. 또한 리더기와 차량내 Tag와의 다중접속 및 수집 구간이 짧아 시간 처짐 현상도 작다.

반면에 RFID 방식 역시 리더기 사이에서의 위치는 파악이 힘들어 GPS 방식과 같이 정확한 차량 궤적을 추적하기는 힘들다는 문제점은 여전히 존재한다.

## III. RFID 기반의 통행시간 추정 및 평가

### 1. RFID 수집체계

RFID 수집체계는 태그와 차량의 태그 정보를 수신하는 리더기로 구성되어 있으며, RFID 신호가 무방향성이기 때문에 방향성 파악을 위해 2개의 리더기(Master, Slave Reader)가 쌍으로 구성되어 있



<그림 6> RFID 리더기 및 차량내태그  
<Fig. 6> RFID reader and Tag in vehicle

며, 차량의 위치를 개략적으로 파악하기 위해 2개의 리더기는 수신반경(75m)이 중첩되도록 설치되었다.

태그 신호의 경우 첫 리더기 수신 반경에 진입할 때 한 번, 2개의 리더기 모두 수신될 때(중첩지역) 한 번, 두 번째 리더기 수신 반경을 진출할 때 한 번 총 3번 송신하게 된다.

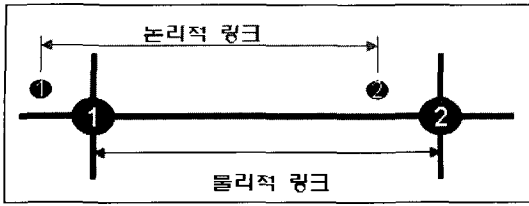
센터에서 리더기로부터 수신하는 정보는 리더기 ID, 차량 태그 ID, 수신시간, 리더기 위치, 태그 수신 각도 등이다.

### 2. 교통정보생성구간 설정

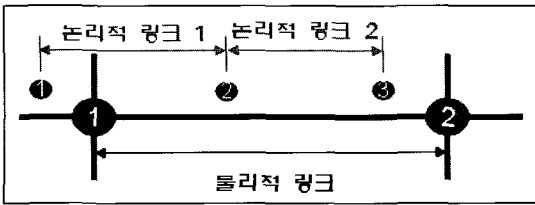
RFID를 이용할 때 리더기를 기반으로 자료를 송수신하기 때문에 교통정보 생성은 리더기를 기반으로 이루어지며, 교통정보 생성은 실제 링크와 다른 가상의 논리적 링크 단위로 이루어진다.

보다 빠른 교통정보를 제공하기 위해서는 차량 이동 방향에 따라 가장 가깝게 설치된 리더기를 기준으로 논리적 링크를 설정하여야 되나 이 경우 방향에 따라 기준 리더기가 변경되기 때문에 논리적 링크 구성이 복잡하다는 문제점이 있다. 따라서 논리적 링크 구성을 용이하게 하기 위해 2개의 리더기 중 하나를 기준으로 결정해야 한다. 본 연구에서는 두 개의 리더기 중 센터와 송신하는 리더기가 마스터 리더기이므로 마스터 리더기를 기반으로 논리적 링크를 구축하는 것을 기본 원칙으로 하였으며, 각 마스터 리더기 속성 정보에 실제 노드 정보를 입력하여 논리적 링크와 물리적 링크(실제 링크)가 매칭되도록 하였다.

그러나 리더기 설치 지점은 한 쌍의 리더기의 수신 범위(225m)를 고려하여 수신범위가 중첩되지 않



<그림 7> 논리적 링크 구성 기본 원칙  
 <Fig. 7> A ground rule of organizing logical link



<그림 8> 기본 원칙 적용이 어려운 사례  
 <Fig. 8> A case of not applying to a ground rule

도록 선정되었기 때문에 교차로마다 설치 지점이 다르며, 물리적 링크가 길 경우에는 리더기를 2개 지점 이상 설치해야 되므로 이러한 기본 원칙을 적용하지 못하는 경우가 발생하였다.

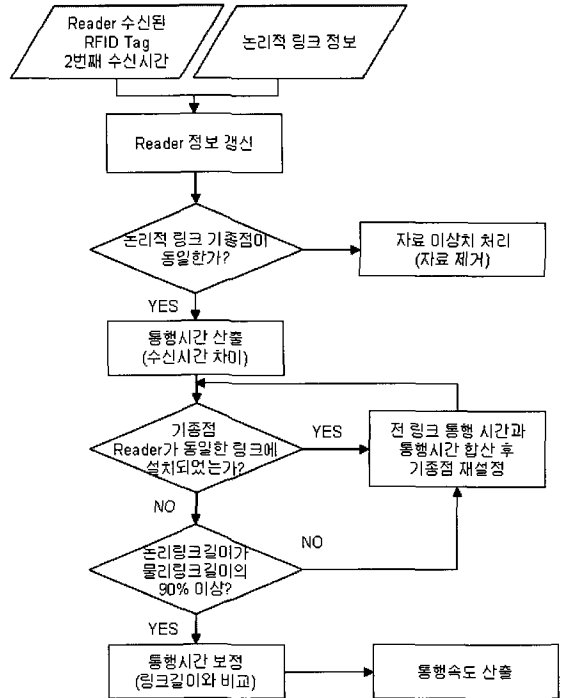
이러한 문제점을 해결하기 위해 리더기가 동일한 실제 링크에 존재할 경우 리더기 속성 정보에 입력된 노드 정보와 링크 길이 자료를 기반으로 유형을 판단할 수 있도록 하였다.

### 3. RFID 기반의 통행시간 추정 알고리즘

RFID는 리더기와의 송수신을 통해 자료를 수집하기 때문에 통행시간은 2개 리더기 사이의 수신 시간의 차이를 이용하면 쉽게 산출할 수 있다. 본 연구에서 통행시간 추정은 마스터 리더기를 기반으로 구축된 논리적 링크와 리더기에서 수신하는 차량내 태그 정보 중 위치 파악 및 정확도가 가장 높은 자료인 2번째 수신 자료를 입력자료로 이용하며, 이러한 입력 자료를 기반으로 통행시간을 추정하는 단계는 다음과 같다.

#### Step1. 리더기 정보 갱신

- 논리적 링크와 수신한 Tag 자료를 통해 리더기



<그림 9> RFID를 활용한 통행시간 추정 순서도  
 <Fig. 9> Flow chart of estimating the link travel time using RFID

속성 정보를 갱신함

#### Step 2. 정상 통행 여부 판단

- RFID 역시 리더기 사이에서의 위치는 알 수 없기 때문에 수신된 자료가 정상적으로 논리적 링크를 통과한 자료인지를 확인해야 하므로 수신된 리더기가 논리적 링크의 기준점이 맞는지 판단함

#### Step 3. 통행 시간 산출

- 두 개의 리더기에서 수신된 시간 차이를 이용하여 통행시간 산출

#### Step 4. 2개 이상의 논리적 링크 구성 여부 판단

- 리더기 설치 링크 동일 여부 및 논리적 링크 길이와 실제 링크 길이 비교를 통해 판단함

#### Step 5. 통행시간 보정

- 논리적 링크와 실제 링크의 차이를 최소화하기 위해 링크 길이를 기반으로 보정을 실시함

#### Step 6. 통행속도 산출

- 산출된 통행시간과 링크길이를 기반으로 통행속

<표 1> 실측 조사 개요  
<Table 1> Scheme of examination

항 목	내 용
조사구간	연삼로(신광사거리~제주은행사거리:4.2Km)
기상상태	맑음
주변지형	대부분 녹지 지역으로 고층건물이 없어 RFID 및 GPS 수신에 양호한 지역
수집시간	2007년 5월 4일 15:00~21:00 (총 6시간)
주행방법	교통류의 흐름과 유사하게 주행 (차로변경 없음)
조사장비	차량 2대, GPS 수신기 2대, 초시계 2개
조사인원	4명(운전자 2명, 통행시간 조사 2명)
조사표본	총 5회 왕복

도를 산출함

#### 4. RFID 기반의 통행시간 추정 기법 평가

RFID 기반의 통행시간 추정 기법을 평가하기 위해 실측 통행시간, RFID 추정 통행시간, GPS 추정 통행시간을 비교분석하였다.

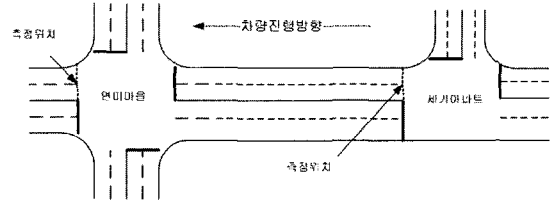
##### 1) 실측 조사 개요

실측 조사 지역은 제주도 시범사업 지역 중 교통량이 많으며, 주변 지형 지물에 의한 간섭이 적은 연삼로를 대상으로 하였으며, 조사는 Floating Test Car 방식을 이용하였으며, 조사 인원은 4명(운전자 2명, 교차로 통과시간 측정요원 2명)으로 수행하였으며, 교차로 통과시간은 반대 방향의 접근로 정지선을 기준으로 측정하였다.

데이터 수집은 GPS의 경우 GPS 수신기를 차량에 장착한 후 이를 노트북에 연결하여 일괄 저장하고 이를 후처리하여 통행시간을 산출하였으며, RFID의 경우는 태그를 장착한 후 해당 태그의 가공된 자료를 센터에서 제공받았다.

##### 2) 정확도 평가 지표

추정치에 대한 정확성을 측정하는 지표로는



<그림 10> 교차로 통과시간 측정 위치 예  
<Fig. 10> Example of survey location for passing time to intersection

MAPE(Mean Absolute Percentage Error)와 절대오차평균(Mean Absolute Error: MAE)를 사용하였다.[7]

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{x_i - f_i}{x_i} \right|}{n} \quad (1)$$

여기서,  $x_i$  : 실측치

$f_i$  : 추정치

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - f_i|}{n} \quad (2)$$

여기서,  $x_i$  : 실측치

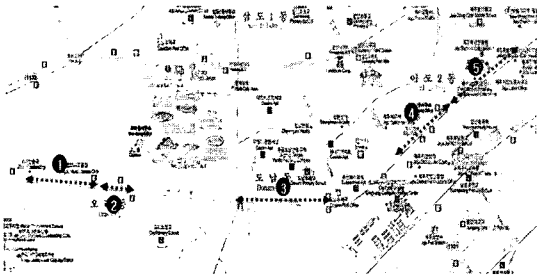
$f_i$  : 추정치

##### 3) 제안 기법 평가

실측 조사는 연삼로 전체에 대하여 이루어졌으나 리더기 유지 보수 등으로 인해 일부 리더기에서의 자료가 수집되지 않아 지속적으로 올라온 5개 링크를 대상으로 평가하였으며, 그 대상은 다음과 같다.

<표 2> 제안 기법 평가 대상 링크  
<Table 2> Link for evaluating proposed method

링크 #	구간	구간길이 (m)
1	세기아파트~연미마을	719
2	연미마을~사평마을	253
3	보건소사거리~도남주유소	770
4	8호광장~변전소사거리	464
5	변전소사거리~제주은행사거리	617



<그림 11> 제안 기법 평가 대상 링크 위치  
 <Fig. 11> Location of link for evaluating proposed method

신광사거리→제주은행사거리 방향의 경우 세기아 파트~연미마을 구간이 MAPE 77.2%, MAE 9.8초

로 타구간에 비해 많이 떨어지는 것으로 나타났으나 전반적으로 실측 통행시간과의 차이는 10초 이내, 정확도는 80% 이상으로 보였다. 반면 GPS 방식은 주변 방해 여건이 없어 실측 통행시간과 3초 이내의 차이가 나며, 정확도는 90% 이상 높게 나타났다. 제주은행사거리→신광사거리 방향의 경우 연미마을~사평마을 구간이 MAPE 69.8%로 타구간에 비해 많이 떨어지나 이는 4회차에서 발생한 차이 때문이며, MAE가 4.8초인 것을 볼 때 이는 주변 여건 변화로 인한 일시적인 현상으로 판단된다. 전반적으로 RFID 방식의 MAE는 6초 이내, MAPE는 90% 이상으로 나타났으며, GPS의 역시 4회차에서 발생한

<표 3> 신광사거리→제주은행사거리 방향 링크통행시간 비교  
 <Table 3> Comparison of link travel time from Shin-gwang intersection to Jeju-bank intersection

링크 ID	회수	RFID 통행시간	GPS 통행시간	실측 통행시간	RFID 절대오차	GPS 절대오차	RFID MAE	GPS MAE	RFID MAPE	GPS MAPE
1	1	35	42	45	10	3	9.8초	1.6초	77.2%	96.3%
	2	50	44	42	8	2				
	3	33	42	41	8	1				
	4	32	43	42	10	1				
	5	31	43	44	13	1				
2	1	26	27	24	2	3	1.6초	2.0초	91.7%	89.1%
	2	14	15	13	1	2				
	3	18	19	17	1	2				
	4	22	18	20	2	2				
	5	23	20	21	2	1				
3	1	138	140	144	6	4	7.2초	2.4초	91.7%	97.2%
	2	31	36	38	7	2				
	3	122	136	137	15	1				
	4	98	101	105	7	4				
	5	86	86	85	1	1				
4	1	43	42	41	2	1	5.8초	1.6초	83.3%	95.4%
	2	35	37	38	3	1				
	3	46	38	36	10	2				
	4	36	38	39	3	1				
	5	20	28	31	11	3				
5	1	45	58	57	12	1	6.4초	2.6초	87.8%	94.9%
	2	50	46	44	6	2				
	3	61	53	54	7	1				
	4	59	46	53	6	7				
	5	45	48	46	1	2				



<표 4> 제주은행사거리→신광사거리 방면 링크통행시간 비교

<Table 4> Comparison of link travel time from Jeju-bank intersection to Shin-gwang intersection

링크 ID	회수	RFID 통행시간	GPS 통행시간	실측 통행시간	RFID 절대오차	GPS 절대오차	RFID MAE	GPS MAE	RFID MAPE	GPS MAPE
1	1	34	42	40	6	2	5.4초	4.2초	89.7%	92.6%
	2	40	41	44	4	3				
	3	55	68	61	6	7				
	4	73	58	66	7	8				
	5	60	57	56	4	1				
2	1	19	18	17	2	1	4.8초	2.8초	69.8%	83.4%
	2	17	20	19	2	1				
	3	17	15	18	1	3				
	4	32	21	15	17	6				
	5	18	17	20	2	3				
3	1	41	38	41	0	3	2.4초	3.2초	95.1%	92.7%
	2	41	38	40	1	2				
	3	43	47	41	2	6				
	4	45	52	49	4	3				
	5	50	53	55	5	2				
4	1	47	53	54	7	1	4.6초	1.6초	90.6%	96.6%
	2	39	45	48	9	3				
	3	42	44	47	5	3				
	4	42	43	44	2	1				
	5	44	44	44	0	0				
5	1	46	58	60	14	2	5.2초	3.2초	90.5%	94.2%
	2	43	48	50	7	2				
	3	56	60	57	1	3				
	4	56	50	58	2	8				
	5	38	41	40	2	1				

<표 5> 평가구간 양방향 평균 MAE와 MAPE

<Table 5> 2-way average of MAE and MAPE for the evaluating link

링크 ID	RFID MAE(초)	GPS MAE(초)	RFID MAPE(%)	GPS MAPE(%)
1	7	2	86	95
2	4	2	88	93
3	5	3	92	95
4	3	2	88	89
5	5	3	87	94
평균	4.8	2.4	88	93

일시적인 현상 때문에 연미마을~사평마을 구간이 83.4%로 낮게 나타났으나 대부분 90% 이상의 높은 정확도를 보이는 것으로 나타났다.

평가구간의 전체적인 평균 정확도를 파악하기 위해 양방향에 대하여 MAE와 MAPE의 평균을 산출한 결과 RFID 방식의 평균 MAE는 4.8초, MAPE는 88%로 GPS 방식에 비해 정확도가 떨어지나 추정 기법의 정확도는 상당히 좋은 것으로 나타났다.

그러나 이러한 조사 자료는 조사차량에 한정된 자료이며, 조사 표본수 역시 5개 구간 5회 조사로 총 25개 이므로 통계적 유의성 검정을 통해 평균 통행 시간의 차이 여부를 확인하였다. 일반적으로 소표본

<표 6> RFID와 GPS 방식 T 검정 결과  
 <Table 6> Results of T-test for RFID and GPS for real travel time

항목 \ 비교대상	RFID	GPS
T 통계량	-0.414	-0.093
P-Value	0.68	0.93

(30개 이하)의 경우 T 검정을 사용하여 평균의 차이를 검정하므로 본 연구에서도 T 검정을 실시하였으며 그 가설은 다음과 같다.

$$H_0 : \mu = \mu_0 \quad H_1 : \mu \neq \mu_0$$

여기서,  $\mu$  : 실측통행시간 평균

$\mu_0$  : RFID 또는 GPS 통행시간 평균

T 검정 결과 <표 6>과 같이 RFID, GPS 방식 모두 귀무가설을 채택하여 실측 통행시간과 차이가 없는 것으로 나타났다.

#### IV. 결론 및 향후 연구 과제

본 연구는 새로운 교통정보 수집 체계로서 RFID 방식을 적용하기 위해 RFID 수집체계에 적합한 통행시간 추정 기법을 개발하였다. RFID는 리더기를 중심으로 통행시간이 생성되기 때문에 이에 적합하도록 교통정보생성구간을 생성하고 통행시간을 추정하였다.

RFID 기반의 통행시간 추정 기법에 대한 평가 결과 MAE 4.8초, MAPE 88%로 실측치와 차이가 많이 나지 않는 것으로 나타났으며, GPS(MAE 2.4초, MAPE 93%)와 비교해도 크게 차이나지 않는 것으로 나타났다. 또한 평균 통행시간 차이 여부를 통계적으로 확인하기 위해 T 검정을 실시한 결과 RFID, GPS 모두 귀무가설을 채택하여 통행시간의 차이가 없는 것으로 나타났다. 이러한 소표본의 테스트 결

과로 볼 때 RFID는 아직 정확도 면에서 GPS에 비해 떨어지나 알고리즘 및 기능 개선이 좀 더 이루어진다면 새로운 교통정보 수집체계로서 적용이 가능할 것으로 판단된다.

그러나 이러한 결과는 소수의 테스트 차량의 분석 결과이므로 보다 정확한 평가를 하기 위해서는 번호 판 조사 기법과 같은 대단위 조사를 통해 추가적인 평가가 이루어질 필요가 있다. 또한 제주 시범사업 지역의 경우 고층빌딩 및 교통량이 많지 않은 이상적인 조건을 가진 지역인 반면 대도시 지역은 이와 다른 환경을 가지고 있기 때문에 대도시 지역에 확장하기 위해서는 대형차량 교통량 및 고층 빌딩이 많은 환경에서 시스템을 평가할 필요가 있을 것이다.

#### 참고문헌

- [1] KT, "유비쿼터스 환경의 차세대 국가 교통정보 수집체계 개발 및 시범사업 1차년도 보고서," 2006.
- [2] 서울지방경찰청, "교통정보 수집체계 신뢰성 검증(서울지방경찰청 종합교통정보시스템) 중간 보고서," 2004.
- [3] 김성현, *일본국도의 동질구간 내 지점 및 구간검지기 자료의 융합을 통한 통행시간 추정 알고리즘 개발*, 서울대학교 환경대학원, 박사학위 논문, 2005.
- [4] 한국건설기술연구원, "복합형검지기 개발 연구," 2006.
- [5] 최기주, 신치현, "GPS와 GIS를 이용한 링크 통행 시간 예측기법," *대한교통학회지*, 제16권, 제2호, pp. 197-207, 1998. 6월.
- [6] SK 주식회사, "TSD 교통정보 제공 시스템 구축 자문 보고서," 2000.
- [7] 심상우, 최기주, "혼잡상황에서 링크미통과 GPS 프로브데이터를 활용한 링크통행시간 추정기법 개발," *대한교통학회지*, 제24권, 제5호, pp. 7-18, 2006. 8월.

저자소개



심 상 우 (Shim, Sangwoo)

1995년 3월~2002년 2월 : 아주대학교 교통공학과 학사  
2002년 9월~2004년 8월 : 아주대학교 건설교통공학과 석사  
2004년 8월 아주대학교 건설교통공학과 교통공학 석사  
2004년 9월~현재 : 아주대학교 건설교통공학과 박사과정 재학중



최 기 주 (Choi, Keechoo)

1991년 8월~1992년 8월 : 미국 일리노이주 어버나-삼페인 대중교통부 체계분석가  
1992년 University of Illinois(Urbana-Champagin) 교통계획박사  
1992년 12월~1994년 9월 : 서울시정개발연구원 도시교통연구부 책임연구원  
1994년 8월~2003년 8월 : 아주대학교 환경도시공학부, 교통공학전공 부교수  
2003년 9월~현재 : 아주대학교 환경건설교통공학부, 교통공학전공 교수  
2003년 9월~현재 : 아주대학교 ITS대학원 부원장



이 규 진 (Lee, Kyujin)

1997년 3월~2001년 2월 : 아주대학교 교통공학과 학사  
2003년 9월~2005년 8월 : 아주대학교 건설교통공학과 석사  
2005년 8월 아주대학교 건설교통공학과 교통공학 석사  
2005년 9월~현재 : 아주대학교 건설교통공학과 박사과정 재학중