

■ 論 文 ■

# 버스정보시스템(BIS) 정류장도착예정시간 시스템오차 연구

## Systematic Error Term Analysis on Bus Arrival Time Estimation

**김 승 일**

(서울시립대학교 교통공학과  
박사수료)

**김 영 찬**

(서울시립대학교 교통공학과 교수)

**이 청 원**

(서울시립대학교 교통공학과 교수)

### 목 차

- I. 서론
  - II. 버스정보시스템 개요
  - III. 버스도착예정시간의 시스템 오차분석
    - 1. 버스도착예정시간 가공과정
    - 2. 버스도착예정시간 시스템오차
    - 3. 시스템오차의 보정방안
  - IV. 시스템오차의 보정사례
    - 1. 시스템오차의 산정
    - 2. 시스템오차의 보정결과
  - VI. 결론 및 향후 연구과제
- 참고문헌

**Key Words :** BIS, 버스도착예정시간, 시스템오차, 정보가공주기, 정보제공주기, 버스정류장 단말  
BIS, bus arrival time, systematic error, bus location update cycle time, message  
update cycletime, bus information terminal

### 요 약

국내외 각급 도시에서 시행중인 실시간버스정보시스템(BIS)에 있어 버스도착예정시간 정보의 정확도는 시스템에 대한 가치평가의 가장 중요한 요소중 하나이다. FTMS나 RTMS에서의 VMS정보와는 달리 개별버스의 도착예정시간 정보의 경우는, 가공 및 제공주기 그리고 시스템의 가공과정에서 불가피한 오차가 발생한다. 이를 '시스템 오차'라 규정하고 이들 오차의 평균값을 통계적 기법으로 도출하여, 버스도착예정시간 정보에 보정하는 방안을 제시하였다. 또한 검증을 위해 'A'시의 버스정보시스템에 동 기법에 따라 보정을 수행한 결과, 보정전보다 오차율이 23%감소한 것으로 나타났다. 이처럼 버스도착예정시간 정보의 정확도의 제고를 위해서는 시스템오차를 낮추는 방안이 적용해야 하는데 특히, 위치정보수집 빈도를 높이고, GPS 음영지역 해소 등 분산값에 영향을 미치는 결측을 줄이기 위한 노력을 강구해야 한다.

Many large cities in Korea have implemented or planed to implement a bus information system(BIS) to improve service quality for bus passengers, mainly by providing bus arrival time at bus stations. In those systems, similar systematic errors to estimate the bus arrival time occur, which are caused by the cycle time to identify each bus location, the information processing time of the center system, and the cycle time to update the bus arrival information on each terminal. This paper investigated each cause sequentially and estimated three expectations related to the above three causes, respectively using the random incidence concept. Through a validation using real data from a BIS in a city in Korea, fairly amount of improvements on the bus arrival time estimation have been observed.

### 1. 서론

버스정보시스템(bus information system, BIS)이란 기존의 버스교통에 첨단 기술의 정보·통신, 컴퓨터·전자, 제어 등의 기술을 접목시켜 버스를 이용하는 시민들에게 기본적으로 도착예정정보를 제공하고 나아가 출발상황 등 각종 버스운행정보를 제공하며 운수회사나 행정부서 측면에서 모니터링 및 관리에 사용되는 운행내역을 관리할 수 있는 서비스를 제공하는 시스템이다. 현재 국내의 각급 도시에서도 버스정보시스템(BIS)을 통한 대중교통체계 서비스의 향상을 도모하고 있으며, 제공되는 서비스 중 정류장 대기승객을 위한 버스도착예정시간 정보는 버스정보시스템 중에서도 버스이용자들이 가장 필요로 하는 정보로서 그 정확도에 따라 시스템의 성능이 좌우된다고 할 수 있다.

그러나 일정 시간주기 간격으로 버스위치정보를 수집과 제공을 처리하는 버스정보시스템에서는 정류장 이용자에게 제공되는 버스도착예정시간에 수집-가공-제공 단계에서 발생하는 논리적인 오차가 포함되어 제공될 가능성이 있다. 본 연구에서는 이러한 오차의 발생 현상을 분석함으로써 해당 오차를 최소화할 수 있는 방안을 강구하고, 보완에 따른 성능개선효과를 실측자료를 통해 규명하여 향후 유사한 체계의 버스정보시스템 구축시 버스도착예정시간 정보의 신뢰도를 제고할 수 있도록 하고자 한다.

### II. 버스정보시스템(BIS) 도입 현황

버스정보시스템은 위치추적 시스템을 통해 버스에 장착된 단말기에서 통신단말기에 위치 등 정보를 제공하고 센터에서는 통신단말기로부터 정보를 수집하는 체계로 구성된다. 일반적으로 정류장 대기승객 또는 차내의 승객에게 정류장 도착예정시간 등을 중심으로 하는 버스정보시스템(BIS) 기능과 버스의 정시성 향상, 운행상태 관리 등 관리측면을 중시하는 버스관리시스템(BMS) 기능이 있고 국내에서는 양측 기능을 모두 구축중에 있으나 대시민 정보서비스의 중요성이 부각되어 BIS로 통칭되고 있다.

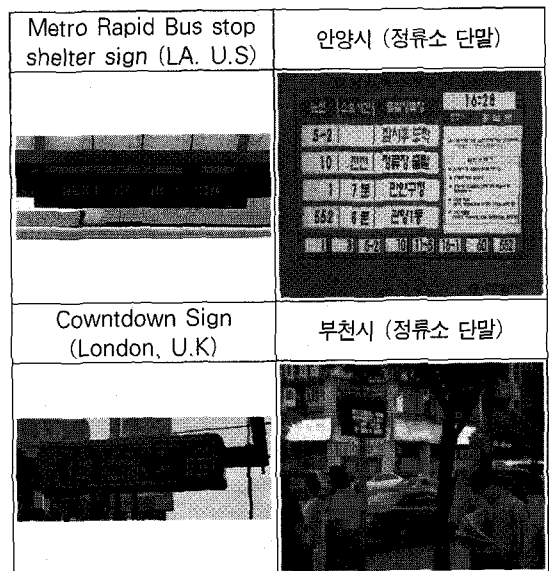
버스정보시스템은 버스이용자에게 도착예정정보를 제공하는 기능뿐 아니라 실시간 운행상태 파악, 출발상황정보 수집 및 버스의 운행에 대한 통계관리, 앞뒤차 간격정보 제공 등 여러 가지 기능을 가진다.

국내 대중교통관련 ITS시스템은 1997년의 ITS 기본계획에서 우선순위를 두고 구축해야 하는 시설로 규정하고 있으며, 과천시에서 국내최초의 대중교통정보시스템을 구축하였고, 이후 대전 등의 첨단교통모델도시로 본격화되었다. 2003년 이후 서울, 안양 등에서는 버스정보시스템이 활발히 구축되었는데 서울시는 2004년 7월 버스체계 개편에 맞추어 버스운행관리 서비스를 실시하였고, 안양시는 확장사업을 포함 2차에 걸쳐 완성도 높은 시스템을 구축하였다.

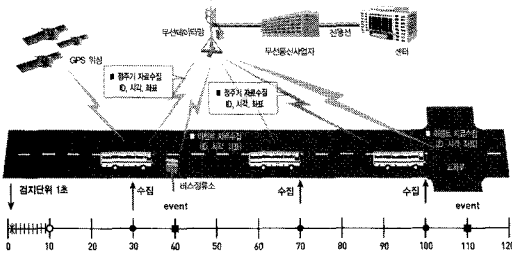
〈표 1〉 국내 버스정보시스템 개요

도시	적용기술	비고
서울	GPS, 무선데이터통신	BMS 위주
과천	비콘, 소형무선기지국	국내 최초
안양	GPS, 무선데이터통신	2단계 구축
부천	비콘, GPS, 소형무선기지국	-
안산	비콘, GPS, 소형무선기지국	시범사업
대전	DSRC, 소형무선기지국	첨단교통 모델도시
광주	비콘, GPS, 소형무선기지국	시범사업
울산	GPS, RF, 무선데이터통신	-
사당-수원축	GPS, 무선데이터통신	-

유럽에서는 1990년대 초부터 도입되어 온 대표적인 영국 London의 Countdown system이 정류장 정보를 제공해 왔으며, 미주에서도 2002년 을 기준으로 L.A. 등 88개 지자체에서 BIS를 운영중이며, 142개의 지자체에서 시스템을 구축중이다.



〈그림 1〉 버스정보 제공 사례

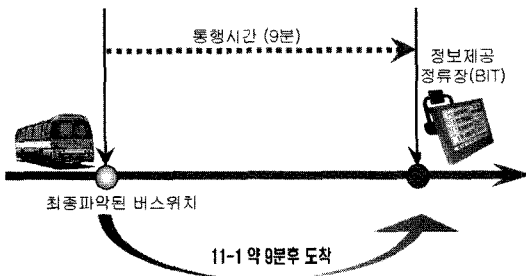


〈그림 3〉 GPS를 이용한 정보수집 및 가공 예

대부분 우리와 마찬가지로 위치추적 체계로 GPS를 사용하고 있으며, 주요 서비스로는 정류소 및 차내에 설치된 단말기를 통한 버스도착예정시간, 근접 버스의 위치 등 다양한 관련정보가 제공되어 많은 호응을 얻고 있다.

### III. 버스도착예정시간 오차 분석

버스의 위치 파악을 위해 과거에는 정류장 또는 교차로 등 특정 지점에 설치된 비컨 등의 노변장비를 통해 버스의 위치를 파악하였으나 최근 GPS (Global Positioning System)기술의 개발에 따라 특정위치에 도달하지 않더라도 일정시간 주기로 버스의 위치추적이 가능해져 위치 추적 빈도가 매우 향상되었으며 정체나 돌발상황에서도 버스의 위치를 추적가능하게 되었다. 이렇게 수집된 위치 정보는 구간별 버스통행시간 정보로 가공되어 운행중인 차량 또는 정류장 기준의 도착예정시간과 앞뒤차 시간을 버스내, 버스정류장단말기에 제공하게 된다. 본 연구에서는 그중 버스도착예정시간의 제공 과정에서 발생 가능한 오차에 대한 분석을 진행하도록 한다.



〈그림 2〉 버스도착예정시간 정보제공 개념

#### 1. 도착예정시간 가공 방법 및 문제점

전술한 바와 같이 현재 도입중인 버스정보시스템의 대다수는 각 버스에 GPS장비를 장착하여 센터에 일정

시간 간격(정주기) 및 특정위치를 지날 때(이벤트) 개별 버스의 위치를 센터로 송신하도록 되어 있다. 정주기 위치정보는 통신부하와 비용의 제약으로 보통 20~30 초 이상의 주기로 제공이 되며, 이벤트 정보는 정류장 또는 교차로를 지날 때 송신하게 된다.

실시간으로 수집된 위치정보는 각 구간 단위 버스의 평균 통행시간 가공과, 해당 버스 위치로부터 진행방향에 있는 각 정류장으로의 도착예정시간을 도출하는데 활용된다. 이렇게 산정된 정보는 차내 또는 정류장에 설치된 단말기에 제공이 되는데 정류장 단말의 경우 대다수의 시스템에서 접근하는 최근접 노선 순으로 표출함을 원칙으로 일정시간 주기마다 표출정보를 갱신하는 체계를 일반적으로 적용중이다.

시스템의 규모와 위치정보 수집주기는 통신비용과 직결되므로 도입 지역의 버스노선 규모, 입지적 특징에 따라 달라지게 된다.

〈표 2〉 국내 BIS시스템 수집 및 제공 주기

구분	주요기능	시간(갱신)주기	
버스위치 정보수집	정주기	· 각 버스의 위치 파악 및 도착예정시간 산정 기준 · 구간별 버스통행시간 산정	20~30초 적용중
	이벤트	· 버스의 위치 파악	교차로 또는 정류장 진출입시
정보제공	· 버스정류장 단말 제공 · 버스 차내 단말 제공	1~5분 내외	

센터 시스템에서의 가공방법은 운행버스의 규모와 배차간격, 시스템 성능에 따라 따라 차별적으로 적용할 수 있는데 첫 번째 방법은 일정시간 간격으로, 최근 수집된 개별버스의 위치를 가공하는 체계로, 구축이 비교적 용이하며 데이터베이스 시스템에 일정시간 간격으로 접근하여 일괄 처리하므로 시스템의 부하를 줄일 수 있다. 또한 전체 노선에 대한 주기적인 점검이 가능하므로 일부 노선의 위치정보 결측시 이를 비교적 빨리 파악하여 보정할 수 있어 다수의 시스템에서 이 방법을 이용하고 있다. 이렇게 가공된 개별버스 정보는 즉시 전체 버스정류장 단말기에 전송 및 표출되는데 이때 제공시간 단위는 가능한 일치시켜 운행중에 있다.

두 번째 방법은 운행중인 개별 버스의 정주기 위치 정보가 전송될 때마다 해당버스의 하류 정류장 도착예정시간을 계산하는 방법으로, 이 경우 개별버스의 가장 최근위치를 기준으로 정보를 가공한다는 장점이 있으나 시스템의 연산횟수와 데이터베이스 접근횟수는 운행중인 차량수와 위치정보 송신횟수에 비례하여 증가하게

되어 시스템이 불안정할 우려가 있으며, 통신장애 등으로 위치추적이 불가능한 버스가 있을 경우 신속한 확인 및 보정이 어려운 문제가 있다. 이 방법 역시 일정 시간주기로 각 정류장 단말에 제공중에 있는데, 이는 만약 접근하는 전체 버스가 위치정보를 갱신할 때마다 표출정보를 갱신할 경우 노선수가 많은 정류장에서는 그 잦은 갱신 빈도로 인해 이용자의 이해도가 매우 떨어질 우려가 있기 때문이다. 일반적으로 시스템의 제공정보 갱신주기는 1~5분을 적용하고 있다.

현재 국내의 시스템에서는 두 방법을 선택적으로 활용하고 있으나 이동중인 버스의 위치를 기준으로 계산을 해야 하는 BIS의 특성상 두 방안 모두 도착예정시간에서 일정수준의 논리적으로 발생할 수밖에 없는 오차(systematic error term)를 내포하고 있다.

본 연구에서는 특히 정보수집-가공-제공 전체 단계에서 시스템오차가 발생하는 '전체 운행버스 일괄가공' 체계로 운영되는 시스템에 대해 이를 분석하고 보정방안을 제시하고자 한다.

〈표 3〉 버스도착예정시간 정보 가공방법

구분	① 전체 운행버스 시간주기 일괄가공	② 개별 버스 위치정보 수집 시마다 가공
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>구축이 비교적 용이</li> <li>시스템 및 D/B의 부하 적음</li> <li>결측 노선 파악 및 보정에 유리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>최근 버스위치를 활용한 분석이 가능</li> <li>시스템 및 D/B의 부하 상대적으로 높음</li> <li>결측 발생시 보정 어려움</li> </ul>

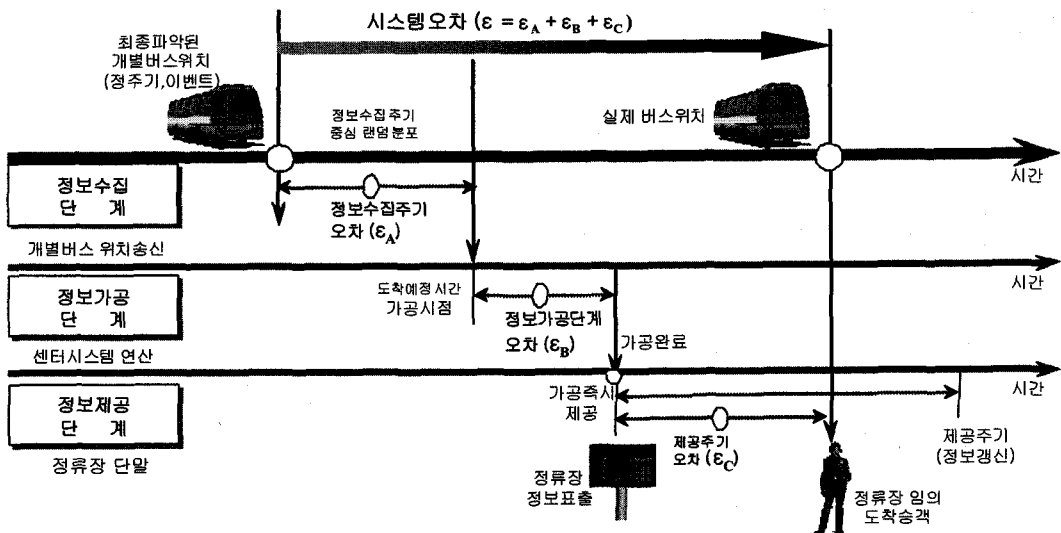
## 2. 버스도착예정시간 시스템오차

버스도착예정시간 정보는 임의의 승용차 등을 대상으로 도로전광표지(VMS) 등 고정된 위치에 목적지까지의 통행시간 정보를 표출하는 FTMS나 RTMS 시스템과는 달리 움직이는 특정 버스의 도착예정시간을 도출하는 개념으로, 버스위치를 수집 및 가공하는 시간 동안에도 버스는 정류장을 향해 주행하기 때문에 정류장이나 차내의 승객에게는 시간이 과다 표출되는 현상이 발생할 확률이 매우 높다. 물론 FTMS에서도 시스템과 통신계약으로 가공과 제공시점의 차이가 발생하지만 교통상황은 사고 등 돌발상황이 발생하지 않고는 단기간에 급변하는 경우는 상대적으로 드물기 때문에 그 영향은 크지 않다.

버스정보의 생성과정에 있어 개별버스의 도착예정시

〈표 4〉 단계별 발생가능한 시스템적 오차

오차의 종류	내용	비고
정보수집주기 오차 ( $\xi_A$ )	가공시점 기준 운영중인 개별버스의 최근위치정보(수집주기)를 사용하므로 발생하는 오차	확률밀도 함수 분포
정보가공주기 오차 ( $\xi_B$ )	시스템의 연산시간으로 인한 오차	절대치
정보제공주기 오차 ( $\xi_C$ )	정보제공 주기동안 정류장에 무작위 도착하는 승객이 경험하는 오차	확률밀도 함수 (분산=0에 가까움)



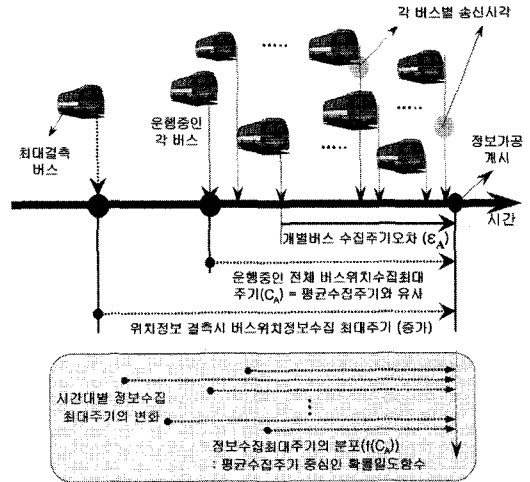
〈그림 4〉 정보 수집-가공-제공 단계별 발생가능한 시스템오차 개념

간 정보는 <그림 4>와 같이 정보수집, 가공, 제공의 3 단계에서 발생한다. 이에 단기에측기법과 같은 통행시간 가공 알고리즘의 정확성과는 별도로 시스템적으로 발생하는 단계별 오차를 분석하여 버스도착예정시간을 보정한다면 버스도착시간 정보의 정확도를 제고할 수 있을 것이다.

1) 정보 수집주기 오차 ( $\xi_A$ )

버스정보시스템에서 운영중인 각 버스는 자신의 위치정보를 센터 시스템으로 전송하여 전방의 버스정류장에 도착예정시간 정보를 표출하도록 하는데, 운행 중인 수십 또는 수백대의 버스는 각각 일정한 시간 간격인 정주기 또는 교차로, 정류장 통과시에 자신의 위치를 센터에 송신하게 된다. 만약 정주기 정보 송신에 있어 전체 버스의 송신 시점이 완벽하게 동기화 되고 통신과정의 오차도 없다면 모든 차량은 동시에 위치정보를 센터로 전송하겠지만, 기지국 및 비컨 등 무선데이터 통신용량의 제한으로 이러한 시스템은 구축이 어려우며 가능하다 해도 이벤트 위치정보에서 교차로 및 정류장을 통과하는 시점이 버스마다 같을 수가 없다. 국내의 중소도시의 경우 등록된 버스는 약 400~500대 규모로, 이중 절반이 운행한다면 200~250대의 버스가 20~30초 간격으로 BIS센터로 각자의 위치 정보를 전송하는 것이며 이 형태는 시간의 연속선상에서 볼 때 매우 불규칙한 분포를 보이며 센터로 전송될 것이다. 센터시스템은 이를 일정시점에 수신된 개별버스의 최근 위치 정보를 토대로 도착예정시간을 가공하게 되므로 개별차량 정보수집시각과 가공시각에 <그림 5>와 같이 오차가 발생하게 된다.

각 버스의 위치를 수신시마다 즉시 도착예정시간으로 가공하는 버스정보시스템(<표 3>의 ②에 해당)의 경우에는 수집주기의 개념이 없기 때문에 정보수집주기 오차는 발생하지 않으나, 수신된 위치정보를 일정 시간 주기로 가공하는 시스템(<표 3>의 ①)에서는 불가피하게 발생하게 되는 것이다. 따라서, 논리적인 수집-가공 주기 오차( $\xi_A$ )를 정의하고 이들의 평균값( $\bar{\xi}_A$ )을 분석하여 버스도착예정시간에 보정 적용하여 정보의 신뢰성을 높이고자 한다. 물론 개별차량의 오차를 산정하여 보정하는 방법이 있겠으나 오차의 평균값을 사전에 도출하여 산정된 도착예정시간에 일괄 보정 적용하는 방법이 구축이 용이하며, 오차에 대한 일반화를 통해 그



<그림 5> 버스정보수집 주기 오차 개념

활용범위를 넓힐 수 있는 장점이 있다.

수집-가공주기 오차( $\xi_A$ )는 <그림 5>에서처럼 개별버스의 정주기 및 이벤트정보 송신 시점과 센터 시스템의 정보가공시점의 차이에 따르며 이 값들은 일정 범위 내에서 매우 불규칙하게(random) 분포할 것이다. 또한, 이들이 분포하는 범위는 평균 정보수집주기(약 20~30초)를 중심으로 개별버스 위치정보가 결측될 수록 늘어나고 이벤트정보 송신빈도에 따라 줄어들 것이다.

즉, 최대정보수집주기( $C_A$ )의 변화는 평균정보수집주기를 중심으로 결측과 이벤트정보의 불규칙 정도에 따라 분포하게 된다. 이 값의 평균값( $\bar{\xi}_A$ )은 확률밀도함수와 random incidence를 응용하여 다음의 식(1)과 같이 구할 수 있다.

$$E[\xi_A] = \int_0^{(C_A)^{max}} E[\xi_A|C_A] f(C_A) dC_A$$

- 여기서  $\xi_A$  : 개별 버스별 정보수집주기 오차
- $E[\xi_A]$  : 정보수집주기오차의 평균 ( $\bar{\xi}_A$ )
- $C_A$  : 버스위치정보 수집 최대범위 (정주기를 평균값으로 결측 및 이벤트정보 등에 따라  $\delta_{C_A}$ 의 분산값으로 분포함)
- $E[\xi_A|C_A]$  :  $C_A$ 범위 내에서의 개별버스오차의 평균( $C_A/2$ )
- $f(C_A)$  : 버스위치정보수집최대주기( $C_A$ )가 발생할 확률밀도 함수

$$\begin{aligned} \text{여기서 } \int_0^{C_A^{\max}} f(C_A) dC_A &= \frac{\int_0^{C_A^{\max}} C_A f(C_A) dC_A}{E(C_A)} = 1 \text{ 이므로} \\ f(C_A) dC_A &= \frac{C_A f(C_A) dC_A}{E(C_A)} \text{이며,} \\ E(\xi_A | C_A) &= C_A/2 \text{ 임을 적용하면} \\ &= \frac{1}{2E(C_A)} \int_0^{\infty} C_A^2 f(C_A) dC_A \\ &= \frac{E(C_A^2)}{2E(C_A)} = \frac{\overline{C_A^2}}{2C_A} \end{aligned}$$

여기서 정보수집최대주기( $C_A$ ) 분포의 분산값( $\delta_{C_A}^2$ )의 특성인  $\delta_{C_A}^2 = \overline{C_A^2} - (\overline{C_A})^2$  을 적용하면

$$\begin{aligned} &= \frac{\delta_{C_A}^2 + \overline{C_A^2}}{2C_A} \\ &= \frac{\overline{C_A}}{2} + \frac{\delta_{C_A}^2}{2C_A} \end{aligned} \quad (1)$$

정보수집단계 평균오차는 위의 식(1)로 정의할 수 있다. 이를 해석하면, 개별버스의 위치정보 수집 범위 ( $C_A$ )의 분포에서 개별버스의 정보결측이 있다면 그 평균값( $\overline{C_A}$ )은 커지고 오차도 따라서 커지지만 결측이 없고 이벤트 위치정보도 빈번하게 수집될 경우 평균값과 오차는 작아짐을 나타내며 또한 분산값( $\delta_{C_A}^2$ )은 위치정보 송신의 결측이 전혀 없는 이상적인 경우 0에 가까워져 오차는 수집주기 평균의 1/2에 가깝게 최적화됨을 나타낸다.

예를 들어 버스의 정주기 정보를 30초마다 한번씩 송신하는 시스템이 교차로나 정류장에서 위치자료(이벤트정보에 해당)를 송신한다면 오차는 이 빈도에 따라 평균이 낮아지며 (20~30초로 직관적으로 추측됨) 위치정보의 센터 통신실패 등 결측 정도에 따라 분산이 결정되는 분포를 보일 것이다.

2) 정보가공단계 발생오차 ( $\xi_B$ )

센터의 주(main)·부(sub)시스템은 가공시점을 수집된 버스위치정보를 토대로 버스도착 통해 센터시스템은 연산과정을 거치게 되는데, 도시 전역에서 운행중인 개별버스의 도착예정시간을 가공하기에는 다소의 시간이 소요된다. 이 시간은 센터시스템의 성능에 좌우되며, sub-system과의 tuning 여부에도 영향을 받아 수초에서 수십초에 이를 수도 있다. 물론 이 시간은 향후 기기 성능의 발전 및 시스템 합리적 구축여부에 따

라 최소화하거나 없을 수도 있으나 현재 일반적으로 database 시스템 연산체계에서는 일정수준의 시간이 소요되는 것은 사실이며 이 시간동안에도 버스는 역시 정류장을 향해 진행하여 가공된 버스도착예정시간과 차이를 보이게 된다. 이는 <그림 6>에서  $\xi_B$ 로 표현될 수 있는데 시스템별로 모든 차량에 대하여 일정한 값을 가진다고 볼 수 있다.

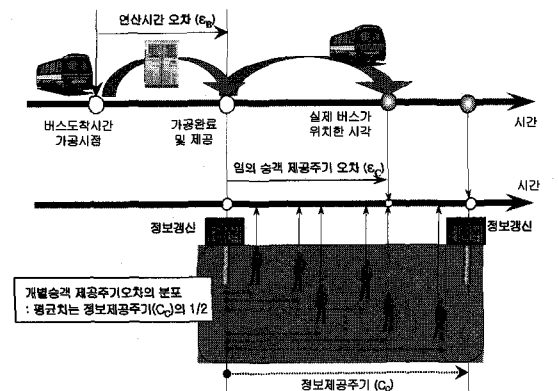
각급 BIS센터는 그 규모와 장비의 성능에 따라 각각의 고유한 절대적 연산오차시간을 가지게 되며 이는 장비 설치 후 튜닝 단계에서 파악이 가능하다. 경험적으로 중소도시 BIS 시스템에서 0~20초 정도가 소요되는 것으로 나타났다.

3) 정보제공단계 발생오차 ( $\xi_C$ )

정보제공주기로 인한 개별버스별 오차는 <그림 6>의  $\xi_C$ 로 설명될 수 있다. 가공된 버스별 도착예정시간은 버스정류소 단말에서 표출주기동안 고정된 숫자(도착예정시간)을 표출하게 된다. 그러나 그 표출주기 동안에도 버스는 정류장을 향해 진행하고 있으며 버스정류장에 임의로(random)도착하는 승객은 그만큼의 시스템적 오차가 있는 정보를 보게 된다.

물론 개별버스의 정보를 가공 즉시 각각 갱신하는 방안도 있으나 이 경우 통신부하 문제와 함께, 접근차량 순서대로 일괄 표출하는 버스정류장 단말시스템에서는 이용자의 혼란을 유발할 우려가 있어 대다수의 시스템에서 일정 주기동안 같은 정보를 표출하는 방식을 채택하고 있다.

이에 정보제공단계오차의 평균값( $\overline{\xi_C}$ )은 정보수집주기오차의 평균( $\overline{\xi_A}$ )를 구하는 방법과 같이 확률밀도함



<그림 6> 버스정보 제공주기 오차 개념

수와 Random Incidence를 이용한 분석방법을 적용하여 도출할 수 있다.

그러나 정보표출주기( $C_c$ )의 변화는 BIS센터 시스템이 정확한 간격으로 제어하므로 통신상태에 따라 약간의 변화는 있을 수 있으나, 그 가능성은 거의 없다고 할 수 있다. 즉 정보표출주기의 분산( $\delta_{C_c}^2$ )은 '0'이거나 매우 낮은 수치를 보일 것이며 정보제공주기의 평균치( $\bar{C}_c$ )는 정보제공주기( $C_c$ )를 그대로 적용할 수 있다. 따라서 식을 정리하면 정보제공 단계에서의 실제 오차의 평균은 식(3)과 같이 정보제공주기( $C_c$ )의 1/2와 같다고 볼 수 있다.

$$E[\xi_c] = \int_0^{C_c^{max}} E[\xi_c|C_c] f(C_c) dC_c$$

여기서  $E[\xi_c]$  : 정보표출주기 오차의 평균 ( $\xi_c$ )  
 $\xi_c$  : 임의로 정류장에 도착하는 개별 대기승객 오차  
 $E[\xi_c|C_c]$  : 표출주기가  $C_c$ 일 때 정류장에 도착하는 승객이 경험하는 평균 오차 ( $C_c/2$ )  
 $f(C_c)$  : 정보제공주기  $C_c$ 가 발생할 확률 밀도 함수

$$= \frac{\bar{C}_c}{2} + \frac{\delta_{C_c}^2}{2\bar{C}_c}$$

$$\approx \frac{C_c}{2} \quad (2)$$

### 3. 시스템 오차의 보정 방안

시스템오차의 평균값은 각 단계별 오차의 평균의 합과 같다. 개별 승객이 경험하는  $\xi_A$ ,  $\xi_B$ , 그리고  $\xi_c$ 는 <그림 4>처럼 시스템의 구조상 서로 상관관계가 없이 독립적으로 발생하므로 공분산에 대한 고려가 필요치 않고 평균의 산술적 합산으로 가능한 것이다.

$$\begin{aligned} \text{평균오차} &= \text{정보수집최대주기 오차평균}(\bar{\xi}_A) + \\ &\quad \text{정보제공시간오차}(\xi_B) + \text{정보제공주기} \\ &\quad \text{오차평균}(\bar{\xi}_c) \\ &= \frac{\bar{C}_A}{2} + \frac{\delta_{C_A}^2}{2\bar{C}_A} + \xi_B + \frac{C_c}{2} \end{aligned}$$

$$= \frac{1}{2}(\bar{C}_A + C_c + \frac{\delta_{C_A}^2}{\bar{C}_A}) + \xi_B \quad (3)$$

- 여기서  $C_A$  : 정보수집 최대주기  
(약 10~30초 -시스템에 따라 적용)
- $\delta_{C_A}^2$  : 정보수집최대주기 분포의 분산
- $C_c$  : 정보제공주기  
(약 1분 -시스템에 따라 적용)
- $\xi_B$  : 정보가공시간 절대오차  
(약 0~20초, 시스템에 따라 상이함)

식(3)의 평균오차식을 보면 항상 양(+)의 값을 가지게 됨을 알 수 있는데, 이는 버스도착예정시간 정보가 과다 표출될 확률이 상존한다는 것을 의미하며, 이는 버스정류장에서 정보를 접하는 시민의 입장에서는 버스가 안내된 시간보다 일찍 도착하는 오차를 경험할 가능성이 매우 높다는 것이다. 또한, 상기 식의 버스도착예정시간의 시스템오차의 구조를 살펴보면 정보수집최대주기의 평균( $\bar{C}_A$ )과 제공주기( $C_c$ )가 짧을수록, 정보수집최대주기 변화의 분산( $\delta_{C_A}^2$ )이 낮을수록 작게 된다.

따라서 도착예정시간 정보 제공 전에 산정된 계산치에 동 오차의 평균값을 일괄적으로 보정하여 버스이용자들이 체감하는 오차를 최소화하는 방안을 강구함이 타당하다.

$$\begin{aligned} \text{버스도착예정시간(보정치)} &= \\ \text{계산치} &= \left[ \frac{1}{2}(\bar{C}_A + C_c + \frac{\delta_{C_A}^2}{\bar{C}_A}) + \xi_B \right] \quad (4) \end{aligned}$$

또한, 동 오차의 규모를 줄여 버스정보시스템의 정확성을 향상시키기 위해서는 오차식에서 보듯이 위치과 악용 정주기 추적 빈도를 가능한 높여 평균정보수집주기를 낮춰야 하며, GPS 음영지역 등으로 인한 자료 결측을 줄이는 방안을 강구하여 수집주기의 분산을 최소화해야 한다. 또한 정보가공 및 제공주기 또한 가능한 한 짧게 하고, 시스템 측면에서 성능을 최적화하여 연산시간으로 인한 절대적인 오차를 낮추는 노력도 병행해야 할 것이다.

### IV. 시스템 오차 보정방안의 검증

이상의 시스템오차 보정방안의 실증적 사례 검토를

위해 국내 버스정보시스템 설치도시에 대한 자료를 토대로 분석하고자 한다. 최근 구축된 'A시의 버스정보시스템'은 전 단계에서 시스템오차를 가지는 <표 3>의 ① 형식으로 구축되었는데, 전술한 방법에 의해 보정이 적용된 시스템이다. 이에 동 시스템의 산정된 버스도착예정시간 정보와 해당버스의 실제도착 로그자료를 토대로 보정효과를 평가하고자 한다.

**1. 시스템 오차의 산정**

A시의 버스정보시스템은 개별버스의 위치정보 수집을 위해 GPS와 무선데이터 통신방식을 사용하고 있으며, 정류장 단말기에 버스도착예정시간 정보를 제공하고 있다. 개별 버스는 매 30초마다 정주기로 위치를 센터로 송신하고 교차로와 정류장도착 및 출발시 이벤트정보를 보내는 체계를 갖추고 있다. 또한 센터의 메인서버는 D/B를 이용한 연산방식으로 정보를 가공하는데 버스의 정보를 가공하는데 약 17초가 소요되는 것으로 측정되었다. 이렇게 가공된 개별 버스의 도착예정시간은 매 1분마다 버스정류장 단말에서 갱신되도록 설계되어 있다.

도시내에서 운행중인 전체 버스의 상황에 따라 가변적인 정보수집최대주기( $C_A$ )의 평균값은 시스템 로그자료로 추출하는 방안이 있으나 일정기간 운행중인 전체 버스의 원시정보에 대한 백업이 이루어지지 않아 임의의 노선의 버스의 위치정보(정주기 및 이벤트) 송신빈도 평균을 활용하였다. 오전 8~10시에 수신된 임의의 노선 22대로부터 수신한 위치추적정보 1,171건을 분석한 결과, 이중 이벤트정보는 470개로서 정주기만 적용시 30초에 해당하는 정보수집최대주기를 40.1% 단축하는 효과를 보이는 것으로 나타나 정보수집 최대주기의 평균치( $\overline{C_A}$ )는 18초를 적용할 수 있는 것으로 나타났다.

또한 정보의 결측 및 정주기 빈도로 인한 최대주기의 분산값( $\sigma_{C_A}^2$ )은 24.3로, 표준편차가 약 5초임을 나타낸다. A시의 모니터링 결과 버스와 센터간 통신결측률은 2.58% (통신성공률 97.42%)로 매우 양호한 것으로 나타나 분산값에 매우 적은 영향을 주는 것으로 나타났으며, 노선별 이벤트정보의 송신 분포에 의한 기본적 분산 및 편차인 것으로 판단된다.

메인서버의 연산시간 17초는 정보시간 가공 절대오차( $\xi_B$ )로 적용할 수 있고, 정보제공주기( $C_C$ )는 매 1분

으로 적용할 수 있다. A시 시스템의 각 항목들을 식 (3)에 적용하면 시스템의 시스템적 오차의 평균값은 다음 <표 5>와 같이 약 56.7초임을 알 수 있다.

<표 5> 'A'시 시스템의 분석항목

항목	적용치	비고
정보수집최대주기 평균 ( $\overline{C_A}$ )	18초	정주기(30초)×0.599 (이벤트정보로 최대주기 단축)
정보제공주기분산 ( $\sigma_{C_A}^2$ )	24	임의 노선 운행차량 (22대) 표본 활용 분산치 분석
연산시간 ( $\xi_B$ )	17초	시스템 수행시간 측정결과
정보제공주기 ( $C_C$ )	60초	정류장단말 정보갱신주기
$\frac{1}{2}(\overline{C_A} + C_C + \frac{\sigma_{C_A}^2}{C_A}) + \xi_B = \frac{1}{2}(18 + 60 + \frac{24}{18}) + 17 = 56.7$ 초		

**2. 시스템오차 보정결과**

'A'시의 버스정보시스템은 구축단계에서 이와 같은 시스템오차를 보정하여 시스템에 적용하였다. 즉 산정된 버스도착예정시간에 식(4)와 같이 시스템오차를 가산하여 제공함으로써 정확도를 제고하였다.

$$\text{버스도착예정시간(보정치)} = \text{계산치} - 56.7\text{초}$$

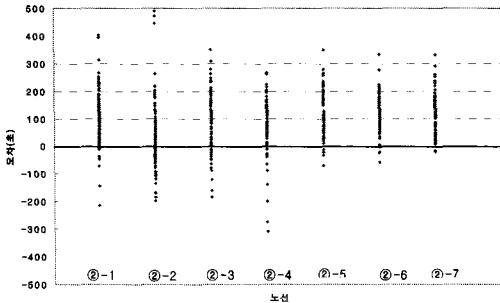
사업구간의 도착예정정보의 신뢰성을 평가하기 위한 방법은 조사원 목측에 의한 실측자료와 센터에서 수집·가공한 제공자료를 보정전·후 자료를 비교분석하는 현장테스트 방법을 적용하였다.

- 일자 : 2005년 03월 중 평일 (목)
  - 시간 : 07~09시, 12~14시, 17~19시, 6시간/일
  - 장소 : 5개 주요 가로별 1개 정류장 무작위 선정
  - 대상 : 해당 정류장을 경유하는 모든 노선
  - 조사자료 (도착예정시간 정보 2,570개)
    - 조사원목측에 의해 실측된 버스도착시간 실측자료
    - 동 시간대, 센터에서 정류장에 제공한 예정정보 로그자료 (보정 전, 보정 후)

각각의 정보에서 이 오차가 양(+의 값)을 가질 경우, 해당버스는 정류장 단말기에서 제시한 도착예정시간보다 그만큼 일찍 도착했음(조기도착)을 의미하며 음(-)의 값을 가질 경우 그보다 늦게 도착(지연도착) 했음을 뜻한다.



A시 시스템의 보정전 오차를 분석하면 다음 <그림 7>과 같이 오차값이 양의 값에 상대적으로 집중되어 있음을 알 수 있는데, 이는 시스템오차로 인해 버스가 시스템이 제시한 예정시간보다 대부분 일찍 도착함을 의미하는 것이다. 물론 이 분포는 도착예정시간 산정 알고리즘의 성능과 지역특성에도 영향을 받으나 이는 오차분포의 분포정도에 영향을 줄 뿐 전체적 분포위치에는 크게 영향을 미치지 않는다고 판단된다.



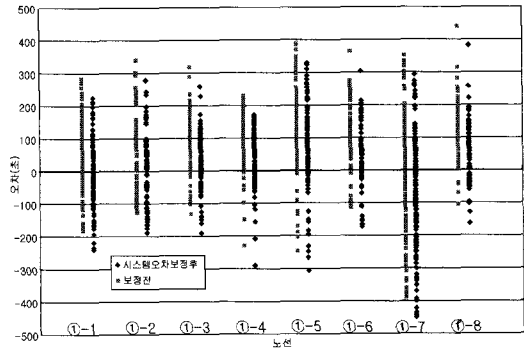
<그림 7> ② 정류장 오차분포 (보정전)

이에 시스템이 내포하고 있는 시스템오차 평균값 약 57초를 보정하여 적용한 결과 오차의 분포는 다음 <그림 8>에서 보듯이 전체적으로 하향하여 '0'값을 중심으로 균일하게 분포하는 것으로 나타났다. 버스도착예정시간 정보의 정확도는 정보가공 알고리즘, 지역 특성뿐에도 만 아니라 이러한 시스템오차에도 상당한 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

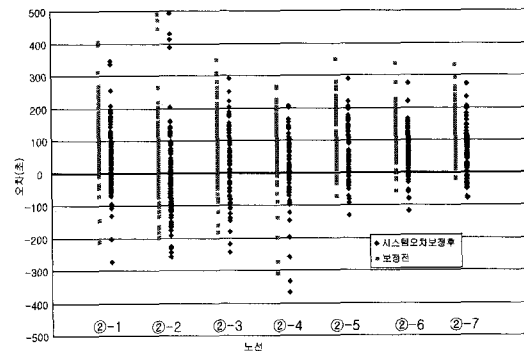
시스템오차의 보정은 정보의 정확도를 높이는 결과를 보여주게 되는데, 이는 조기·지연오차의 절대치 (MAE: Mean Absolute Error)를 분석함으로써 알 수 있다. 이는 표출된 도착예정시간 정보에 대해 버스 이용 시민이 체감하는 실제 오차의 평균을 의미하는 것으로 높을수록 정확도는 떨어짐을 의미한다.

$$MAE = \sum_{i=1}^n |\text{계산된도착예정시간} - \text{실제도착시간}| / n$$

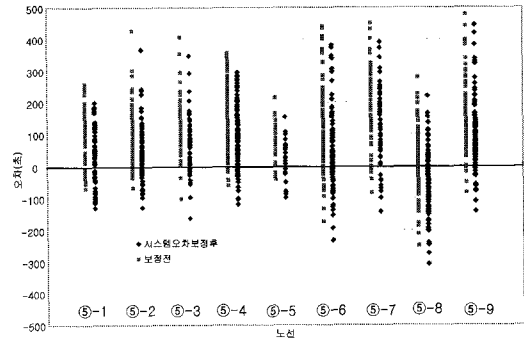
보정전·후의 2,570개 정보에 대한 절대오차를 분석한 결과 보정전에는 131초였으나 보정후 101초로 오차가 약 23% 감소한 효과를 나타냈다. 즉 BIS시스템의 구축형태에 따라 이와 같은 시스템오차의 분석 및 보정이 정확도에 큰 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있다.



<①> 정류장 단말



<②> 정류장 단말

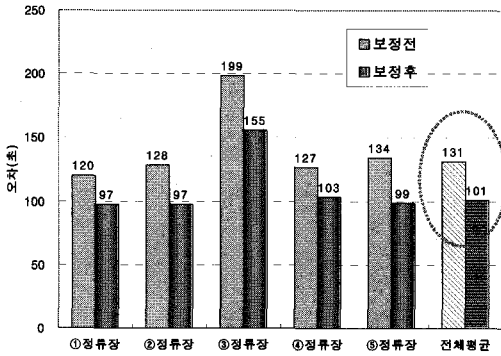


<⑤> 정류장 단말

<그림 8> 시스템오차 보정 전·후 오차분포

<표 6> 시스템오차 보정전후 절대오차 변화(초)

정류장 구분	①	②	③	④	⑤	전체평균(초)
보정전	120	128	199	127	134	131초
보정후	97	97	155	103	99	101초 (23%감소)
표본수	853	682	149	166	720	2,570



〈그림 9〉 시스템오차 보정전·후 절대오차 비교(초)

### V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 버스정보시스템의 정류장기준 버스도착예정시간 정보에 시스템오차가 존재함을 증명하였으며, 이 오차의 평균값 구조를 통계적으로 규명하고 이에 대한 간략한 보정방안을 제시하고자 하였다.

고정된 VMS 등의 시설물에 통행예정시간을 제공하는 FTMS나 RTMS에서는 교통상황이 급변하지 않는 이상 잠시 전 상황의 정보라도 정확성에 큰 차이를 보이지 않으나, 개별버스의 도착예정시간 정보의 경우에는, 가공 및 제공주기 그리고 센터시스템의 연산시간 동안에도 해당버스는 시공간상으로 이동하고 있기 때문에 동 시간은 정보의 정확도에 직접적인 영향을 줄 수 있는 것이다.

이에 시스템 특성상 수집-가공-제공단계에서 불가피하게 발생하는 오차를 '시스템 오차'라 규정하고 이들 오차의 평균값을 확률밀도함수와 random incidence를 응용한 통계적 기법으로 도출하여, 산출된 버스도착예정시간 정보에 보정하는 방안을 제시하였다. 동 식의 검증을 위해 현재 운행중인 'A'시의 버스정보시스템에 이같은 보정과정을 수행한 결과 보정전보다 오차가 약 23% 감소한 것으로 나타났다.

물론 버스별 정보의 개별 오차는 각 버스의 위치 및 특성에 따라 평균값을 중심으로 불규칙한 분포로 존재하므로 이에 대한 보정을 수행함이 가장 이상적이고 정밀한 보정이나, 평균값을 이용한 보정방법론은 시스템 전반에서 발생하는 이론적 평균값을 적용하는 간단법으로, 기 구축 운영중인 시스템에서는 구축된 시스템을 전면 수정하지 않고도 이론식만으로 적용이 가능하고 수행단계에서 시스템 부하가 크지 않은 장점이 있다. 또한, 이

방법만으로도 보정사례에서 제시한 것처럼 오차를 크게 줄일 수 있었음을 확인할 수 있었다. 이에 '조기도착'과 같은 현상이 나타나는 시스템을 포괄적으로 보정할 수 있는 방법론으로 의미가 있다고 판단된다.

단, 향후 개별 버스 오차의 실시간 보정이 궁극적으로 시스템 오차를 최소화할 수 있으며, 이를 위해 '버스정보 개별가공'방식을 권장할 수 있다. 단, '일괄가공' 방식 시스템이라도 버스내 송신단말의 시각을 동기화한다면, 센터의 위치수신시각과, 가공시각을 토대로 수집주기오차( $\xi_s$ ) 개별보정이 가능할 것이다. 그러나, 정보제공주기오차( $\xi_p$ )의 경우 정보 제공주기 동안 고정된 정보에 노출된 정류장 승객이 평균적으로 체감하는 오차이므로, 개별 정보별 보정은 현실적으로 불가능하며, 표출주기를 줄이는 데도 한계가 있다. 이에 버스정류장 단말의 최적-최소 표출주기를 도출하는 연구가 필요하리라 판단된다.

무엇보다 본 연구에서는 오차 평균값의 구조를 정립함으로써, 수집 및 제공주기, 음영지역으로 인한 결측상황이 시스템의 정확도에 직접적 영향을 미침을 규명하였다. 오차 평균값은 최대정보수집주기의 평균과 분산이 낮을수록 작게 나타나며 시스템의 연산시간과 정보제공주기 역시 작을수록 작아지는 것으로 나타났다. 즉, 버스정보시스템의 정확성을 향상시키기 위해서는 위치파악용 정주기를 가능한 한 높여 정보수집주기를 낮춰야 하며, GPS 음영지역 해소 등 분산값에 큰 영향을 미치는 결측을 줄이기 위한 노력을 강구해야 한다. 또한 시스템의 성능을 최적화하여 연산시간을 낮추는 노력을 병행해야 할 것이다.

여기에서는 시스템의 구축방식 및 튜닝여부에도 영향을 받는 시스템오차에 대한 연구를 중심으로 다루었으나 버스도착예정시간 정보의 정확도는 통행속도 예측 기법에 큰 영향을 받으며, 예측알고리즘의 정확도 제고를 통해 오차를 현저히 낮출 수 있다. 따라서 향후 단기미래 예측기법 등에 대한 적극적 연구가 추진되어야 할 것으로 판단된다.

### 참고문헌

1. TRB, TCRP Report 90(2003), "Bus Rapid Transit Vol.1 CaseStudies in BRT".
2. Richard C.Larson, Amedeo R. Odoni, (1981), "Urban Operation Research".

3. Hu, K. and C.K. Wong(2002), "Deploying Real-Time Bus Arrival Information and Transit Management Systems in Los Angeles", Proceedings of the ITS America 12th Annual Meeting, Long Beach, Calif., April 29-May 2.
4. 국토개발연구원(1998), "국가 ITS 아키텍처 확립을 위한 연구".
5. 교통개발연구원(1998), "과천지역 지능형교통시스템 시범운영사업의 평가".
6. 울산시(2002), "울산 지능형교통체계(ITS) 실시설계 보고서".
7. 한국ITS학회지 제2권 제2호 (2004), "ITS사업 및 지역센터 특집호".
8. 건설교통부(2004), "첨단교통모델도시 건설사업 효과분석".
9. 김승일 외 3인 (2006), "Error Correction of Arrival Time Estimation in Realtime Bus Information System", 2006 대중교통국제세미나, 서울시립대학교.

✻ 주 작 성 자 : 김승일

✻ 교 신 저 자 : 이청원

✻ 논문투고일 : 2006. 1. 8

✻ 논문심사일 : 2006. 4. 21 (1차)

2006. 5. 2 (2차)

✻ 심사판정일 : 2006. 5. 2

✻ 반론접수기한 : 2006. 10. 31