

# 버스정보시스템(BIS) 정류장도착예정시간 논리오차 연구

A study on logical error terms of bus arrival time messages on busstops for BIS

김 승 일

(서울시립대학교 교통공학과 박사수료)

김 영 찬

(서울시립대학교 교통공학과 교수)

이 청 원

(서울시립대학교 교통공학과 교수)

Key Words : BIS, 버스도착예정시간, 논리오차, 정보가공주기, 정보제공주기, 버스정류장 단말

## 목 차

- I. 서론
- II. 버스정보시스템의 주요기능
- III. 버스도착예정시간의 논리적 오차분석
  - 1. 버스도착예정시간 가공과정
  - 2. 버스도착예정시간 논리오차
  - 3. 논리오차의 보정방안
- IV. 논리오차의 보정사례
  - 1. 논리오차의 산정
  - 2. 논리오차의 보정결과
- V. 결론 및 향후 연구과제
- 참고문헌

## I. 서론

버스정보시스템(bus information system, BIS)이란 기존의 버스교통에 첨단 정보·통신, 컴퓨터·전자, 제어 등의 기술을 접목시켜 버스를 이용하는 시민들에게 기본적으로 도착 예정정보를 제공하고 나아가 출발상황 등 각종 버스운행정보를 제공하는 서비스를 제공하는 시스템이다. 제공되는 서비스 중 정류장 대기승객을 위한 버스도착예정시간 정보는 버스정보시스템 중에서도 버스이용시민들이 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-제공단계에서 발생하는 논리적인 오차가 포함되어 제공될 가능성이 있다. 본 연구에서는 이러한 오차의 발생 현상을 분석하고 해당 오차를 최소화할 수 있는 방안을 강구하자 한다.

## II. 버스정보시스템(BIS)의 기능

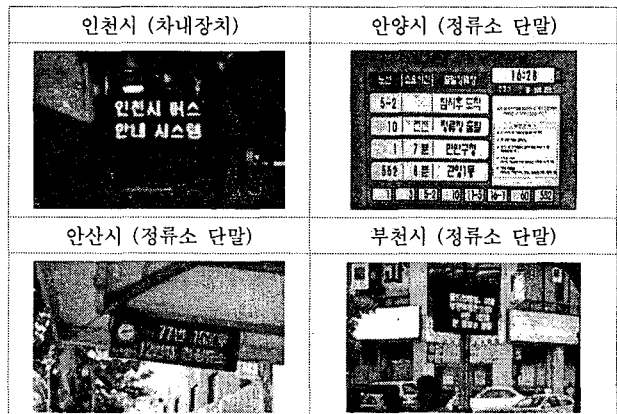
버스정보시스템은 버스이용자에게 도착예정정보를 제공하는 기능뿐 아니라 실시간 운행상태 파악, 출발상황정보 수집, 수치지도를 이용한 실시간 관제 및 버스의 운행에 대한 통계 관리, 앞뒤차 간격정보 제공 등 여러 가지 기능을 가진다.

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 높

은 시스템을 구축하였다.

<표 1> 버스도착예정시간 정보 가공방법

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	첨단교통모델도시
광주	비콘, GPS, 소형무선기지국	시범사업
울산	GPS, RF, 무선데이터통신	-
사당-수원축	GPS, 무선데이터통신	-



<그림 1> 버스정보 제공 사례

## III. 버스도착예정시간 오차 분석

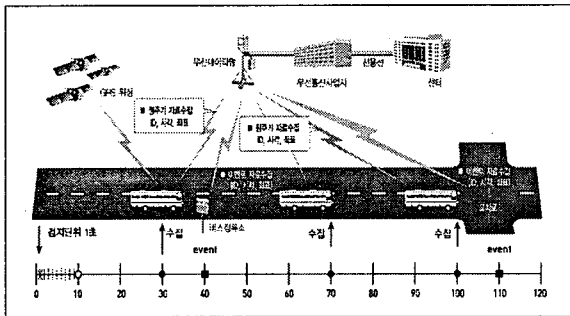
GPS (Global Positioning System)기술의 개발에 따라 위치 추적 빈도가 매우 향상되었으며 이는 구간별 버스통행시간

정보로 가공되어 운행중인 차량별 또는 정류장 기준의 도착 예정시간 또는 앞뒤차 시간 등을 버스정류장단말기 등에 제공한다.

이중 버스 도착예정시간 정보는 버스이용시민의 입장에서 가장 필요성이 큰 정보로 본 연구에서는 버스도착예정시간의 제공 과정에서 발생 가능한 오차를 중심으로 분석을 진행하도록 한다.

### 1. 버스도착예정시간 가공 과정

현재 도입중인 버스정보시스템의 대다수는 정주기 및 이벤트 정보를 활용하는데 정주기 위치정보는 통신부하와 비용의 제약으로 보통 20~30초 이상의 주기로 제공이 되며, 이벤트 정보는 정류장 또는 교차로를 지날 때 송신하게 된다.



<그림 2> GPS를 이용한 정보수집 및 가공 예

센터 시스템에서의 가공방법은 운행버스의 규모와 배차간격, 시스템 성능에 따라 차별로 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.

두 번째 방법은 운행중인 개별 버스의 정주기 위치정보가 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 있다.

<표 2> 버스도착예정시간 정보 가공방법

구분	① 전체 운행버스 시간주기 일괄가공	② 개별 버스 위치정보 수집시마다 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>· 결측노선의 발생시 보정이 어려움</li> </ul>

현재 국내의 시스템에서는 두 방법을 선택적으로 활용하고 있으나 두 방안 모두 도착예정시간에서 일정수준의 논리적으로 발생할 수밖에 없는 오차(logical error term)를 내포하고 있다. 여기서는 특히 정보수집-가공-제공 전체 단계에서 논리오차가 발생하는 '전체 운행버스 일괄가공' 체계로 운영되는 시스템에 대해 이를 분석하고 보정방안을 제시하고자 한다.

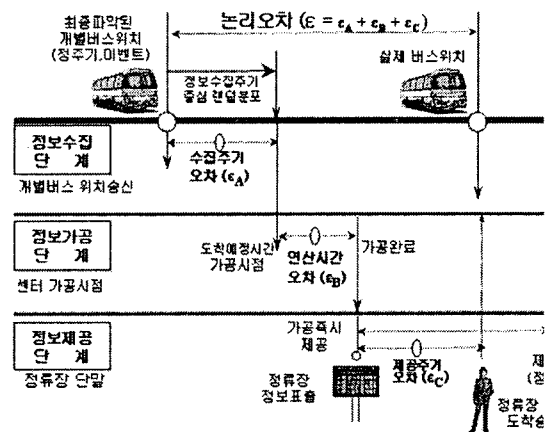
### 2. 버스도착예정시간 논리오차

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.

전술한 버스정보 가공방법을 사용할 경우 개별버스의 도착 예정시간 정보는 다음 그림과 같이 정보수집, 가공, 제공의 3 단계에서 발생한다.

<표 3> 단계별 발생가능한 논리적 오차

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

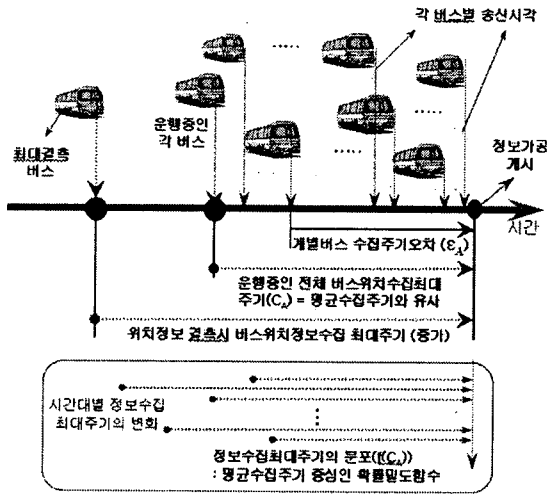


<그림 3> 버스도착예정시간 오차개념(개별버스 및 승객)

#### 1) 정보 수집주기 오차 ( $\xi_A$ )

버스정보시스템에서 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 시각이 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 그림과 같이 오차가 발생하게 된다.



<그림 4> 버스정보수집 주기 오차 개념

이에, 논리적인 수집-가공주기 오차( $\xi_A$ )를 정의하고 이들의 평균값( $E(\xi_A)$ )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 활용 범위를 넓힐 수 있는 장점이 있다.

수집-가공주기 오차( $\xi_A$ )는 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.(이벤트정보를 위치정보로 활용할 경우 해당)

즉, 최대정보수집주기( $C_A$ )의 변화는 평균정보수집주기를 중심으로 결측과 이벤트정보의 불규칙 정도에 따라 분포하게 된다. 이 값의 평균값은 확률밀도함수와 random incidence를 응용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

여기서  $E(\xi_A)$ : 정보수집최대주기 오차의 평균  
 $C_A$ : 버스위치정보 수집 시간 범위

(정주기를 평균값으로 결측 및 이벤트정보 등에 따라  $\xi_C$ 의 분산값으로 분포함)

$\xi_A$ : 수집시각과 가공주기로 인한 버스별 오차

$E(\xi_A|C_A)$ :  $C_A$ 범위 내에서의 개별버스오차의 평균( $C_A/2$ )

$f(C_A)$ : 버스위치정보수집최대주기( $C_A$ )가 발생할

확률밀도 함수

여기서  $E(\xi_A|C_A) = C_A/2$  임을 적용하면

$$= \frac{E(C_A^2)}{2E(C_A)}$$

여기서  $V(C_A) = E(C_A^2) - E^2(C_A)$  을 적용하면

$$= \frac{V(C_A) + E^2(C_A)}{2E(C_A)}$$

$$= \frac{C_A}{2} + \frac{\xi_{C_A}^2}{2C_A} \quad \text{식(1)}$$

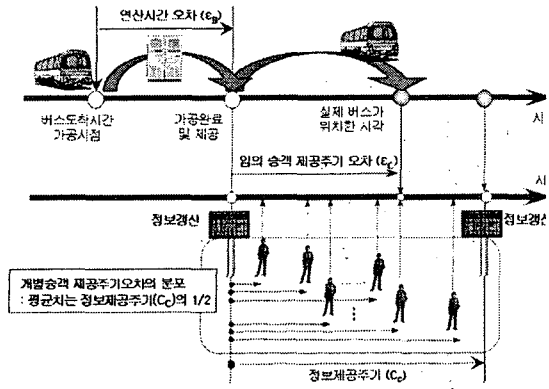
이를 해석하면, 개별버스의 위치정보 수집 범위( $C_A$ )의 분포에서 개별버스의 정보결측이 있다면 그 평균값( $\overline{C_A}$ )은 커지고 오차도 따라서 커지지만 결측이 없고 이벤트 위치정보도 빈번하게 수집될 경우 평균값과 오차는 작아짐을 나타내며 또한 분산값( $\xi_{C_A}^2$ )은 위치정보 송신의 결측이 전혀 없는 이상적인 경우 0에 가까워져 오차는 수집주기 평균의 1/2에 가까워져 최적화됨을 나타낸다.

## 2) 정보가공단계 발생오차 ( $\xi_B$ )

센터의 가공시점에 수집된 버스위치정보를 토대로 센터시스템은 연산과정을 거치게 되는데, 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 따라 최소화하거나 없을 수도 있으나 현재 일반적으로 database 시스템 연산체계에서는 일정수준의 시간이 소요되는 것은 사실이며 이 동안에도 버스는 역시 정류장을 향해 진행하여 가공된 버스도착예정시간과 차이를 보인다. 이는 다음 그림의  $\xi_B$ 로 표현될 수 있는데 시스템마다 일정한 값을 가진다고 볼 수 있다.

## 3) 정보제공단계 발생오차 ( $\xi_C$ )

정보제공주기로 인한 개별버스별 오차는 아래 그림의  $\xi_C$ 로 설명될 수 있다. 가공된 버스별 도착예정시간을 각 버스정류소로 일정 시간주기단위로 전송 및 표출함에 따라 버스정류소에서 표출되는 각 버스정보는 표출주기 동안은 고정된 숫자(도착예정시간)를 표출하게 된다. 그러나 그 표출주기 동안에도 버스는 정류장을 향해 진행하고 있으며 버스정류장에 임의로(random)도착하는 승객은 그만큼의 논리적 오차가 있는 정보를 보게 되는 것으로 역시 보정해야 할 오차를 포함하게 된다.



<그림 5> 버스정보제공 주기 오차 개념

정보제공단계오차의 평균값 역시 확률밀도함수와 Random Incidence 분석방법을 적용할 수 있다.

그러나 정보표출주기( $C_D$ )의 변화는 BIS센터 시스템이 정확한 간격으로 제어하므로 그 가능성은 거의 없다고 할 수 있다. 즉 정보표출주기의 분산( $\sigma_{C_D}^2$ )은 '0'이거나 매우 낮은 수치를 보일 것이며 정보제공주기의 평균치( $\overline{C_C}$ )는 정보제공주기( $C_C$ )를 그대로 적용할 수 있다. 즉, 실제 오차의 평균은 식(3)과 같이 정보제공주기( $C_C$ )의 1/2와 같다고 볼 수 있다.

여기서  $\overline{\epsilon_{\epsilon_D}}$ : 정보표출주기 오차의 평균

$\epsilon_{C_C}$ : 임의로 정류장에 도착하는 개별 대기승객 오차

$\overline{\epsilon_{\epsilon_C}}$ : 표출주기가  $C_C$ 일 때 정류장에 도착하는 승객이 경험하는 평균 오차 ( $C_C/2$ )

$f(C_C)$ : 정보제공주기  $C_C$ 가 발생할 확률밀도 함수

$$= \frac{\overline{C_C}}{2} + \frac{\sigma_{C_C}^2}{2\overline{C_C}} = \frac{C_C}{2} \text{ ----- 식(2)}$$

### 3. 논리오차의 보정 방안

버스도착예정시간의 보정을 위한 논리오차의 평균값은 각 단계별 오차의 평균의 합과 같다고 볼 수 있으며 수식으로 정리하면 다음의 같은 식(3)으로 정리될 수 있다.

평균오차 = 정보수집최대주기 오차평균( $\overline{\epsilon_{\epsilon_A}}$ ) + 정보가공 시간오차( $\epsilon_B$ ) + 정보제공주기오차평균( $\overline{\epsilon_{\epsilon_C}}$ )

$$= \frac{\overline{C_A}}{2} + \frac{\sigma_{C_A}^2}{2\overline{C_A}} + \epsilon_B + \frac{C_C}{2}$$

$$= \frac{1}{2}(\overline{C_A} + C_C + \frac{\sigma_{C_A}^2}{\overline{C_A}}) + \epsilon_B \text{ ----- 식(3)}$$

여기서  $C_A$  = 정보수집 최대주기 (약 10~30초 -시스템에 따라 적용)

$\sigma_{C_A}^2$  = 정보수집최대주기 분포의 분산

$C_C$  = 정보제공주기 (약 1분 -시스템에 따라 적용)

$\epsilon_B$  = 정보가공시간 절대오차 (약 0~20초, 시스템에 따라 상이함)

위의 값은 항상 양(+)의 값을 가지게 됨을 알 수 있는데, 이는 버스도착예정시간 정보가 과다 표출될 확률이 훨씬 많다는 것을 의미하며, 시민의 입장에서는 버스가 안내된 시간보다 일찍 도착하는 오차를 경험할 가능성이 매우 높다는 것이다.

$$\text{버스도착예정시간(보정치)} = \text{계산치} - \left[ \frac{1}{2}(\overline{C_A} + C_C + \frac{\sigma_{C_A}^2}{\overline{C_A}}) + \epsilon_B \right] \text{ ----- 식(4)}$$

동 오차의 규모를 줄여 버스정보시스템의 정확성을 향상시키기 위해서는 오차식에서 보듯이 위치과약용 정주기 추적 빈도를 가능한 높여 평균정보수집주기를 낮춰야 하며, GPS 음영 지역 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. 논리오차 보정사례

이상의 논리오차 보정방안의 실증적 사례로 최근 구축된 'A'시의 버스정보시스템을 분석하였다. 이는 전술한 방법에 의해 보정이 적용된 시스템으로 동 시스템의 버스도착예정시간 정보와 해당버스의 실제도착 로그자료를 토대로 보정효과를 평가하고자 한다.

### 1. 논리오차의 산정

A시 시스템에서 버스는 매 30초마다 정주기로 위치를 센터로 송신하고 교차로와 정류장도착 및 출발시 이벤트정보를 보내는 체계를 갖추고 있다. 또한 센터의 메인서버는 버스의 정보를 가공하는데 약 17초가 소요되는 것으로 측정되었다. 이렇게 가공된 개별 버스의 도착예정시간은 매 1분마다 버스정류장 단말에서 갱신되도록 설계되어 있다.

평균 이벤트 송신빈도 분석결과 정보수집최대주기를 40.1% 단축하는 효과를 보이는 것으로 나타나 ( $\overline{C_A}$ )는 18초를 적용하였으며, 정보의 결측 및 정주기 빈도로 인한 최대주기의 분산값( $\sigma_{C_A}^2$ )은 24.3으로 나타났다. 이를 적용하면 시스템의 논리적 오차의 평균값은 약 56.7초임을 알 수 있다.

<표 4> 'A'시 시스템의 분석항목

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

## 2. 논리오차 보정결과

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

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

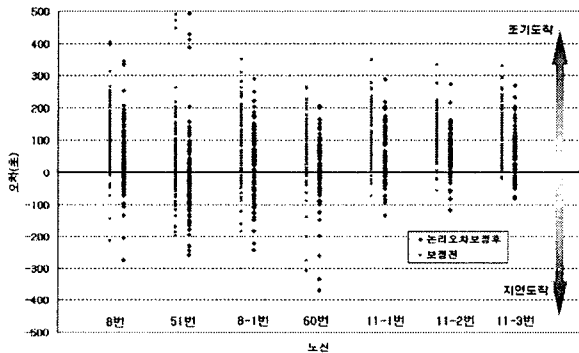
논리오차 보정효과를 측정을 위해 'A'시의 도착예정시간 검증자료를 활용하였다.

- 일자 : 2005년 03월 중 평일 (목) 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 로그 자료 (보정 전, 보정 후)

시스템이 계산한 도착예정시간 정보에 따른 버스도착예정 시간과 실제 해당버스가 도착한 시간을 보정전과 보정후에 대해 각각 비교하여 정보의 정확도 향상정도를 측정하였다.

$$\text{오차(MOE)} = \text{계산된도착예정시간} - \text{해당버스실제도착시간}$$

A시 시스템의 보정전 오차를 분석하면 다음 그림 과 같이 오차값이 양의 값에 상대적으로 집중되어 있음을 알 수 있는데, 이러한 논리오차를 평균값 약 57초를 보정하여 적용한 결과 오차의 분포는 다음에서 보듯이 전체적으로 하향하여 '0'값을 중심으로 균일하게 분포하는 것으로 나타났다.

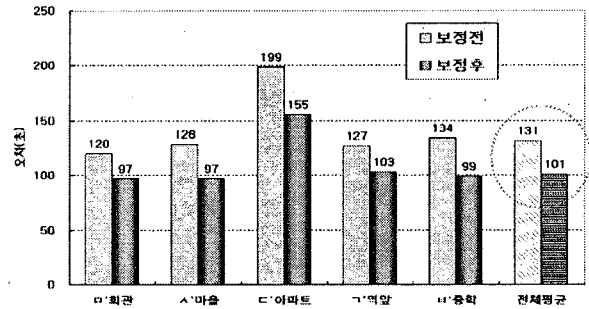


<그림 6> 논리오차 보정 전·후 오차분포 ('S'마을)

논리오차의 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 버스이용 시민이 체감하는 실제 오차의 평균을 의미하는 것으로 높을수록 정확도는 떨어짐을 의미한다.

$$MAE = \sum | \text{계산된도착예정시간} - \text{실제도착시간} | / n$$

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 논리오차의 분석 및 보정이 정확도에 큰 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있다.



<그림 7> 논리오차 보정전·후 절대오차 비교(초)

## V. 결론 및 향후 연구과제

현재 각급 도시의 버스정보시스템(BIS)의 정류장 대기승객을 위한 버스도착예정시간 정보는 버스이용시민들이 가장 필요로 하는 정보로서 그 정확도에 따라 시스템의 성능이 평가받을 수 있다.

그러나 VMS 등의 시설물에 통행예정시간을 제공하는 FTMS나 RTMS에서는 잠시 전 가공된 정보라도 정확성에 큰 차이를 보이지 않으나, 개별버스의 도착예정시간 정보의 경우에는, 가공 및 제공주기 그리고 센터시스템의 연산시간 동안에도 해당버스는 시공간상으로 이동하고 있기 때문에 동 시간대 정보의 정확도에 직접적인 영향을 줄 수 있다.

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

상기 논리오차의 구조를 분석한 결과 최대정보수집주기의 평균과 분산이 낮을수록 작게 나타나며 시스템의 연산시간과 정보제공주기 역시 작을수록 작아지는 것으로 나타났다. 논리오차를 낮추기 위해서는 위치파악용 정주기를 가능한 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.

## 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. 한국ITS학회지 제2권 제2호 (2004), ITS사업 및 지역센터 특집호.
4. 건설교통부 (2004), 첨단교통모델도시 건설사업 효과분석.
5. 안양시(2004), 안양시 버스정보시스템(BIS) 구축 사업 품질 관리 보고서.
6. 울산시(2002), 울산 지능형교통체계(ITS) 실시설계 보고서.