신호교차로를 감안한 실시간 버스도착시간 예측기법 개발

A BUS ARRIVAL TIME PREDICTION MODEL INCORPORATING THE IMPACT OF SIGNALIZED INTERSECTIONS

강 태 구 ([주]제일엔지니어링, 사원)

정 갑 채 (경기대학교, 학·석사연계과정)

신 치 현 (경기대학교, 부교수)

Key Words : 버스도착시간예측, 신호교차로, 예측기법, 칼만필터, 링크통행시간

목 차

Ⅰ. 서론
1. 연구의 배경및 목적
2. 연구의 범위
Ⅱ. 기존 이론고찰
1. 링크통행시간 예측기법
2. 국내외 버스 도착시간 예측 기법
Ⅲ. 자료수집
1. 링크통행시간 예측을 위한 지점별 버스통행자료
2. 신호대기 여부 예측을 위한 교차로 신호스케줄
3. 링크통행시간 예측을 위한자료 정리
Ⅳ. 버스도착시간 예측기법 개발
1. 기존 버스도착시간 예측기법의 한계점
2. 신호교차로를 감안한 실시간 버스도착시간 예측기법
Ⅴ. 버스도착시간 예측기법별에 따른 예측 비교
Ⅵ. 결론 및 향후과제
1. 결론
2. 향후과제
참고문헌

Ⅰ. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

우리나라는 급속한 경제발달에 따라 승용차가 도로상에서 심각한 교통문제를 발생시키고 있는 실정이다. 이런 교통문제를 해결하기 위하여 도로확장이나 교통시설 증설 등과 같은 물리적인 방안을 통해 노력하고 있으나 여전히 심각한 수준이다. 더구나 물리적인 해결방안은 도심의 공간적 한계와 이에 따른 고지가로 인해 막대한 비용부담을 초래해 보다 근본적이며 효과적인 해결방안이 필요하게 되었다.

그래서, 도심 교통문제의 주 요인인 많은 승용차 교통량을 감소시키는 방안으로써 승용차 이용자들을 대중교통으로 수단전환 시키는 방안이 대두되었다. 수단전환을 유도하기 위해 버스이용의 감소에 대한 원인을 살펴보면 버스도착시간의 부정확, 정시성 결여, 환승정보 부족, 교통상황의 불분명 등으로 나타나고 있다.

이런 문제의 해결을 통해 버스로의 수단전환을 유도하기 위한 BIS(Bus Information System) 사업들이 이루어졌거나 추진 중에 있지만 BIS에서 핵심 요소인 버스도착시간 예측에 있어서 아직까지 신뢰성 있는 예측정보의 수집이 부족한 실정이다.

이에 본 연구에서 버스도착시간 예측기법을 개발하여 신뢰성 있는 버스도착시간 예측정보를 제공함으로써 승용차 이용자들을 버스로 수단전환 시키고자 하는데 목적이 있다.

2. 연구의 범위

1) 연구의 범위

본 연구의 범위는 GPS를 통해서 버스통행 자료를 얻는 것을 기초로 신호교차로를 감안한 버스도착시간 예측기법을 개발하고자 하므로 다음과 같은 선정기준에 근거하여 연구 범위를 선정한다.

- GPS를 통해서 버스통행 자료를 수집함으로 GPS 수신에 문제가 없는 구간
- 구간 내 신호교차로는 TOD(Time of Day)방식으로 운영되는 구간 (신호등의 수동 작동은 하지 않음을 전제함)
- 링크통행시간 예측을 위한 자료 수집을 위해서 운행하는 버스들 간의 headway가 적어도 신호교차로의 녹색현시시간이하인 구간

위 선정기준에 근거하여 공간적 범위는 성남시 분당구에 위치한 성남대로에서의 야탑역 정류장으로부터 이매저수지 정류장까지 약 2Km 구간을 선정하였으며, 시간적 범위는 첨두·비첨두 시간에 따른 연구를 위해서 2003년 10월 14일부터 2003년 10월 16일까지 3일간 오전 8시부터 10시, 오전 10시 30분부터 12시까지를 선정하였다.

2) 연구의 방법 및 수행절차

본 연구는 동적 교통상황에 따라 신뢰성 있는 버스도착시간 정보를 제공할 수 있는 장점이 있도록 신호교차로를 감안한 실시간 버스도착시간 예측기법을 개발한다.

연구에서 사용된 자료는 GPS를 통한 지점도착시간 자료와 지점에 조사원을 배치시켜 실측한 지점도착시간 자료, 신호교차로 관할경찰서에서 수집한 신호스케줄 자료이며, 본 연구에서의 버스도착시간 예측을 위한 링크통행시간 자료로 정리해 예측기법을 개발한다.

예측기법에는 실시간 동적예측 모형으로 우수한 칼만필터 모형을 이용한 링크통행시간 예측과 신호교차로에서의 신호스케줄 비교를 통한 신호대기 여부에 따른 신호대기 시간 감안을 고려하도록 하였다.

II. 기존 이론고찰

1. 링크통행시간 예측기법

링크통행시간 예측기법에 관한 연구는 AVI(Auto Vehicle Identification)를 이용하여 링크통행시간을 계측하는 연구와 계측된 링크통행시간을 바탕으로 예측모형을 이용해 링크통행시간을 예측하는 연구로 나눠진다.

1) GPS를 이용한 링크통행시간 계측 기법

Quiroga외의 연구에서는 GPS를 이용하여 링크의 기·종점 노드 좌표를 정확히 산정한 후 보간법을 통하여 GPS Point가 노드를 통과한 시점을 파악하였다. GPS Point가 노드를 지난 최초 신호와 해당 노드를 지나지 않은 신호의 거리를 구하여 지도상의 노드와 매칭한 후 보간법을 이용하여 산정하였다. GPS의 오차와 지도의 오차 등을 고려하는 것에 대한 어려움과 수집되는 모든 GPS 신호에 대하여 계산을 해야 하는 효율성에 대한 문제가 단점이다.

신치현외의 연구에서는 GPS를 이용하여 링크 통행시간을 산정하였다. 단순히 좌표값과 시간만을 제공하는 GPS의 신호를 인접노드와 연관시켜 일정범위 안에 신호가 수신된 점이 존재할 시에 차량이 해당 노드에 존재하던지 통과하였다고 가정하였다. 각 노드를 통과한 GPS 신호는 각 노드에 대한 최종 통과 시각이 기록되어 데이터베이스의 테이블 형태로 저장디고 각 노드의 통과시간과 노드와 노드의 연결로 이루어진 링크의 통과속도를 얻어 링크단위의 통행시간을 산출하였다. 허용반경 50m, 75m, 100m 중 75m의 허용반경에서 오차율 10%로써 가장 높은 정확도를 보였다.

이상의 기존 연구들은 통행시간을 산정하기 위하여 GPS를 이용하였으며, Quiroga의 연구와 신치현의 연구는 GPS 신호를 노드와 매칭시키는 방법에서 차이를 보인다.

2) 예측 모형을 이용한 링크통행시간 예측기법

기존의 링크통행시간 예측기법들을 적용한 통행시간 예측에 관한 연구들을 살펴보면, 초기의 통행시간예측 연구는 분석구간을 몇 개의 링크로 다시 나누어 각 링크를 주행하는데 걸린 시간이 현재에도 거의 동일하게 구현될 것이라는 가정하에 이들 통행시간을 합산하여 추정하는 방식이 연구되었는데 이는 과거의 교통상황이 미래까지 지속되는 경우에 비교적 잘 맞는다고 할 수 있으나, 실제로 변화가 많은 교통현상을 충분히 설명하지 못하는 단점을 가지고 있다.

이러한 단점을 보완하기 위해 보다 정밀한 예측기법의 적용에 관한 연구가 수행되었는데 일반적으로 많이 사용하고 있는 시계열분석기법을 적용한 경우와 최근 각광받고 있는 칼만필터, 신경망이론 등을 이용하여 통행시간을 예측하는 연구들이다

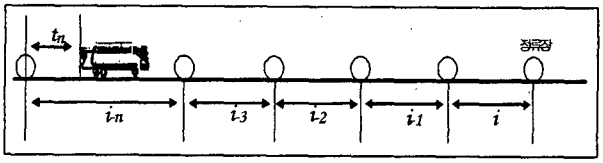
시계열분석기법을 통한 연구에는 다중회귀분석, 자귀회귀분석법을 이용하였다. 다중회귀분석법의 경우 교통량과 점유율을 이용하여 회귀식을 구축하여 예측을 하였는데 실측통행시간의 추세를 비교적 잘 반영하고 있으나 정확한 예측을 위해서 각 시간대별로 회귀식을 구축하거나 지속적이고 충분한 관측 통행시간자료를 필요로 하는 단점을 가진 것으로 연구되었다. 자귀회귀에 의한 예측법은 자귀회귀모형의 특성상 변화가 없는 교통현상에는 잘 맞지만 변동이 있을 경우에 자귀회귀계수가 설명력이 낮아지는 문제점을 가지고 있다. 즉, 자귀회귀모형의 전제조건인 정상성을 만족하지 못하는 시계열인 경우에는 모형설정 자체가 의미가 없으며 돌발적인 교통사고와 같은 불규칙한 상황이 발생하였을 경우 모형의 예측결과는 무의미하게 되는 결과가 나왔다.

반면, 칼만필터와 신경망이론의 경우에는 예측과정에 있어서 많은 수의 자료를 필요로 하지 않으며, 실제 교통상황의 변화를 능동적으로 반영할 수 있는 것으로 연구되었다. 칼만필터 모형은 예측에 관계하고 있는 상태방정식을 항상 최신의 것으로 개선하여 예측에 사용하기 때문에 보다 정확한 결과를 나타내는 것으로 알려져 있으며, 신경망의 경우 교통사고와 같은 상황발생시 이를 반영할 수 있도록 사전에 상황에 따른 고려계수를 입력함으로써 예측을 수행하도록 되어있다.

이상과 같은 연구들은 단일 링크에 대한 통행시간예측 모형을 구성하여 이들의 예측력을 비교함으로서 어떠한 모형이 통행시간예측에 합리적인 모형인가를 제시하였다. 본 연구는 적은 과거자료를 가지고 정보제공의 신속한 예측에 따라 적시성이 높다는 칼만필터 모형을 이용하여 링크통행시간을 예측해 다른 모형과 비교·평가하려한다.

2. 국내외 버스도착시간 예측기법

버스도착시간 예측의 기본개념은 <그림 1>처럼 정류장을 노드로 하여 노드와 노드를 잇는 각 링크의 통행시간을 예측해 현재 버스의 위치로부터 도착예정 정류장까지의 각 링크별 예측통행시간에 대한 누적시간을 의미한다.



<그림 1> 버스도착시간 예측 개념도

버스도착시간 예측을 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\text{버스도착시간 예측} = \sum_{i}^{i-n} LTT - t_n$$

여기서, i : 직전 정류장 링크

$i-n$: 도착버스가 위치한 정류장 링크

LTT: 정류장 링크별 예측통행시간

t_n : 버스가 해당 링크를 출발한 이후 경과시간

위와 같이 버스도착시간의 예측기법은 버스위치 파악과 통행시간자료 수집방법에 따라 많은 연구들이 연구됐지만, 본 연구에서는 버스위치 파악과 통행시간자료를 수집하는 GPS를 이용하므로 GPS를 활용한 연구들에 대해서만 고찰하였다.

Lin의 연구는 GPS를 이용한 버스위치파악과 노선별로 사전에 정류장마다 정한 버스스케줄 시간을 통해서 버스도착시간을 예측하였다. 버스 이용자가 특정노선의 버스도착시간 정보를 요청했을 경우에 버스의 위치를 파악해 정보요청 정류장까지의 각 정류장마다 정해진 버스도착시간을 통해 나오는 통행시간을 누적해 도착시간정보를 제공하도록 하는 방법이다. Lin의 연구는 교통상황에 따라 정류장마다 스케줄된 시간이 차이난다는 것을 고려하지 못한 한계가 있다.

정영훈의 연구는 버스위치 파악과 통행시간 자료를 GPS로 수집함과 동시에 링크의 통행시간 자료를 요일, 시간, 돌발상황 등의 패턴자료로 구분해 상황에 따른 패턴자료를 이용 링크통행시간을 예측함으로 교통상황 변화에 따른 통행시간 변화를 반영하였다. 하지만, 패턴자료를 이용하기 위해서는 노선들의 장기간의 상황별 통행자료 수집이 필요하므로 시스템을 구축하기 위한 준비 기간이 길어진다.

Shalaby외 연구는 GPS를 이용해 버스위치 파악과 통행시간자료를 수집함과 동시에 APC(Auto Passengers Counters)를 이용해 정류장별 승객수요를 수집하였다. 수집된 통행시간자료와 정류장별 승객수요는 동적 예측모형인 칼만필터 모형을 이용한 링크통행시간 예측모형과 승객수요예측에 따른 정류장 dwell time 예측모형 기초 자료로 사용하였다.

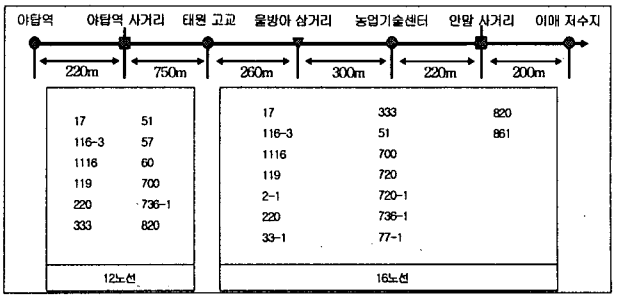
버스 이용자가 도착시간 정보를 요청하면 버스위치부터 정보요청 정류장까지의 각 링크별 통행시간과 dwell time을 예측모형을 통해서 예측해 도착예측시간으로써 예측된 시간들의 누적시간을 제공하도록 하였다. 기존의 예측기법들에 비해서는 우수한 예측력을 보이는 연구였으나 신호교차로에서의 통행시간 변화를 반영하지 못하였다.

III. 자료수집

1. 링크통행시간 예측을 위한 지점별 버스통행자료

1) GPS 자료 수집

링크통행시간 예측을 위한 GPS 자료의 수집은 <그림 2>에서처럼 연구지역을 운행하는 노선버스들에 GPS 수신기를 장착시켜 버스통행자료를 수집해야 한다. SK(주) 엔트릭에서 GPS를 통한 버스통행자료 수집에 위한 버스위치정보 및 정류장 도착시간 정보를 제공하는 노선들 중 연구지역을 운행하고 있는 임의의 3개 노선들에 GPS 자료를 수집하였다.



<그림 2> 연구지역을 운행하는 버스 노선들

2) 조사원을 통한 실측자료수집

GPS 자료 수집만으로는 버스도착시간 예측을 위한 링크통행시간 예측모형을 구축하는데 필요한 시간별 지점도착시간 자료가 부족함으로 조사원을 정류장, 신호교차로(정지선 기준) 등에 배치시켜 지점에 도착하는 모든 노선들의 도착시간을 조사하도록 하였다.

2. 신호대기 여부 예측을 위한 교차로 신호스케줄

TOD방식으로 운영되는 신호교차로에서의 신호스케줄은 신호대기 여부 예측을 위해서 신호교차로 관할경찰서인 분당경찰서와 신호교차로에 위치한 조사원이 신호현시 조사를 통한 실측자료를 통해서 수집하였다. TOD방식의 신호교차로 신호등은 신호제어기에서 시간 오차가 발생하지만, 본 연구지역에 설치된 신호제어기(TSAC-9506)에서는 위성통신 모듈이 장착되어 시간오차 발생시 위성시간과 매칭해 시간을 재설정함으로써 오차를 보정한다.

3. 링크통행시간 예측을 위한 자료 정리

GPS와 조사원을 통해 수집한 버스 지점도착시간 자료를 버스도착시간 예측에 필요한 링크통행시간 예측을 위해서 <표 1>처럼 조사 지점간 통행시간 자료로 정리하였다.

<표 1> 정류장과 신호교차로간의 통행시간

야탑역 정류장		야탑역 사거리		통행시간
노선번호	버스도착시간	노선번호	버스도착시간	
333	8:00:10	333	8:02:06	0:01:56
51	8:00:28	51	8:02:19	0:01:51
820	8:00:37	820	8:02:20	0:01:43
57	8:00:56	57	8:02:28	0:01:32
736-1	8:03:27	736-1	8:05:27	0:02:00
700	8:04:58	700	8:05:38	0:00:40
1116	8:05:40	1116	8:06:00	0:00:20
333	8:06:03	333	8:08:18	0:02:15
220	8:06:22	220	8:08:27	0:02:05
51	8:08:53	51	8:09:16	0:00:23
17	8:11:39	17	8:14:18	0:02:39
220	8:11:54	220	8:12:09	0:00:15
820	8:12:11	820	8:14:23	0:02:12
116-3	8:12:29	116-3	8:14:30	0:02:01
57	8:14:37	57	8:14:56	0:00:19
119	8:15:06	119	8:15:26	0:00:20
1116	8:15:11	1116	8:17:17	0:02:06
51	8:15:20	51	8:17:26	0:02:06
736-1	8:15:35	736-1	8:17:28	0:01:53
333	8:16:03	333	8:17:37	0:01:34

Ⅳ. 버스도착시간 예측기법 개발

1. 기존 버스도착시간 예측기법의 한계점

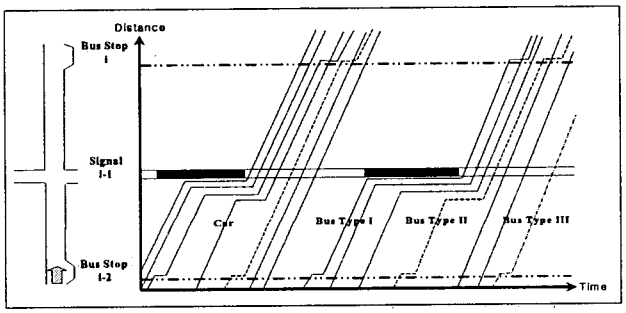
기존의 버스도착시간 예측기법은 정류장간을 링크로 해 링크별 예측통행시간을 통해서 정류장 버스도착시간을 예측하였다. 하지만, 링크에 신호교차로가 포함됐을 경우에는 신호교차로에서의 신호대기 여부에 따라 링크통행시간이 크게 변화함으로써 통행시간 예측오차가 크게 나타나 버스도착시간의 예측력을 떨어트렸다.

이에 본 연구에서는 신호교차로에서의 버스 신호대기 여부를 예측하므로 링크통행시간의 예측오차를 제거해 버스 이용자들이 신뢰할 수 있는 예측력 높은 버스도착시간 예측기법을 개발하고자 하였다.

1. 신호교차로를 감안한 실시간 버스도착시간 예측기법

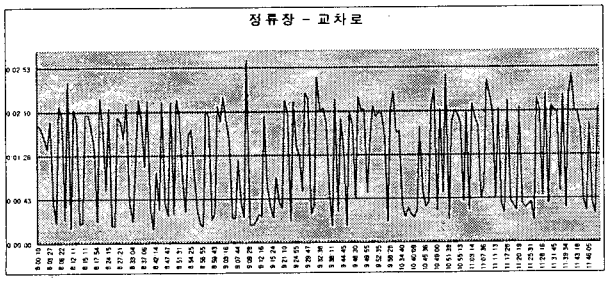
1) 신호대기 여부 예측을 위한 링크개념 정립

신호교차로에서의 신호대기 여부에 따른 버스통행시간 변화를 예측하기 위해서 <그림 3>을 살펴보면 다음과 같았다.

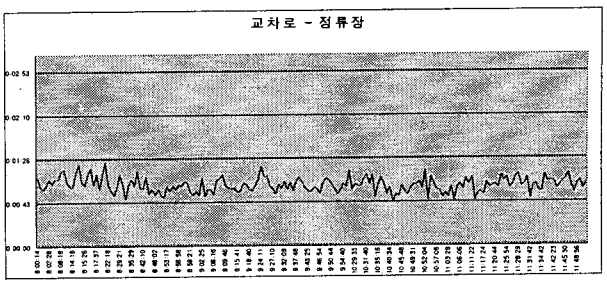


<그림 3> 버스통행 시공도

<그림 3>에서 정류장과 신호교차로간의 링크는 신호교차로의 신호운영 상태에 따라서 신호대기를 한 버스통행과 신호대기를 하지 않은 버스통행 사이에 통행시간 차이가 크게 나타나는 것을 볼 수 있었다. <그림 4>는 정류장과 신호교차로의 링크로 신호대기 여부에 따른 버스통행시간 변화를 나타낸 것이며, 신호교차로와 정류장간의 링크는 신호교차로의 신호운영 상태에 영향을 받지 않아 버스통행시간 변화가 크게 나타나지 않음을 <그림 5>를 통해 볼 수 있다.

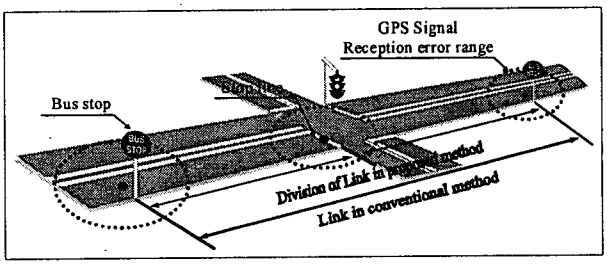


<그림 4> 정류장과 신호교차로간의 버스통행시간 변화



<그림 5> 신호교차로와 정류장간의 버스통행시간 변화

따라서 신호교차로에서의 신호대기 여부 예측을 위한 신호교차로 도착예측시간을 예측하기 위해서 기존 예측기법에서의 정류장간 링크통행시간 개념에서 정류장과 신호교차로간의 링크와 신호교차로와 정류장간의 링크로 <그림 6>과 같이 구분하였다.



<그림 6> 링크의 세분화

2) 버스도착시간 예측범위

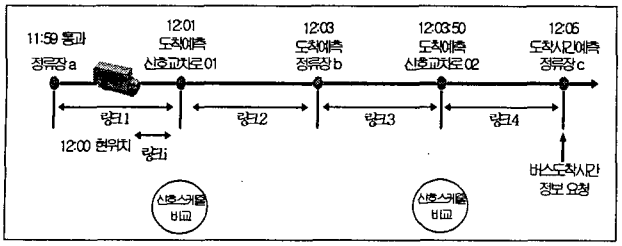
버스도착시간 예측은 버스 이용자가 버스 도착예정시간을 요청하면 현재 버스위치로부터 정보요청 정류장까지의 링크별 예측통행시간에 누적시간으로 버스 도착예정시간 정보를 제공하였다. 하지만, 현재 버스의 위치로부터 정보요청 정류장까지의 거리가 멀리 떨어져 있는 상태에서는 시간경과에 따라 교통상황이 변해 링크별 예측통행시간에 오차가 생겨 버스 도착예정시간이 큰 차이를 보인다.

하지만, 현재 버스위치부터 정보요청 정류장까지 거리가 먼 경우의 버스도착시간 예측오차는 그만큼 버스도착시간을 수정할 시간적 여유가 존재하므로 계속적인 버스도착시간 정보의 갱신이 가능하다.

따라서 본 연구에서의 버스도착시간 예측은 시간 경과에 교통상황이 변하지 않을 범위인 정류장 3~4개(약 2Km)에서 높은 예측력을 갖는 버스도착시간을 예측하는 버스도착시간 예측기법을 개발하였다.

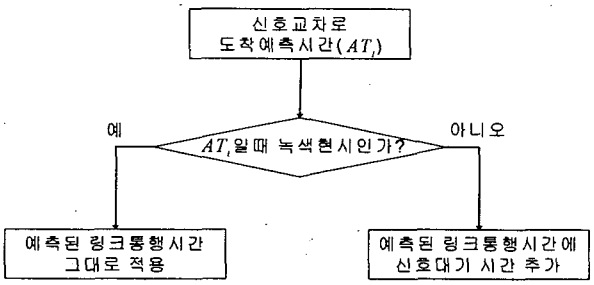
3) 신호교차로를 감안한 버스도착시간 예측기법의 구성

본 연구의 버스도착시간 예측기법은 크게 두 가지로 구성된다. 첫째는 신호교차로에서의 신호대기 여부에 따른 링크통행시간 예측이며, 둘째는 정류장과 신호교차로간의 링크에서 링크통행시간 예측에 따른 신호교차로 도착예측시간을 신호교차로의 신호스케줄과 비교하는 것이다.



<그림 7> 버스도착시간 예측기법의 구성도

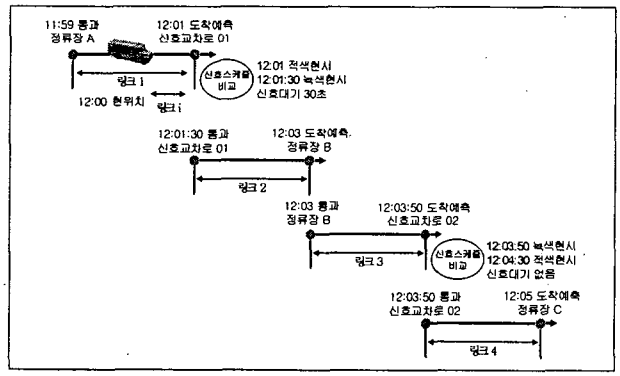
여기서, 신호교차로 도착예측시간을 신호교차로의 신호스케줄과 비교하는 것은 다음과 같다.



<그림 8> 신호교차로 도착예측시간과 신호스케줄의 비교

<그림 8>에서처럼 신호교차로 도착예측시간(AT_I)때의 신호스케줄이 녹색현시이면 예측한 링크통행시간을 그대로 적용하고 적색현시이면 적색현시가 끝나는 시간에서 도착예측시간(AT_I)을 뺀 시간을 링크통행시간에 합하도록 하였다.

버스도착시간을 예측하기 위한 예측과정을 살펴보면 다음과 같다.



<그림 9> 버스도착시간 예측과정

버스 이용자가 정류장 C에서 12시에 버스 도착예측시간 정보를 요청하면 GPS를 통해서 버스의 현 위치를 파악한 후 버스가 운행하는 링크부터 정류장 C까지의 링크별 통행시간들을 정보요청 시점인 12시를 기준으로 예측하고 신호교차로에서의 도착예측시간과 신호스케줄 비교로 인한 신호대기 시간을 누적해 버스 도착예측시간을 제공한다.

현재 버스의 위치에서 링크i 통행시간은 링크1의 예측통행시간을 통한 신호교차로01의 도착예측시간 12시 1분에서 정보요청 시간 12시를 빼서 1분이라는 시간을 구한 이후 신호교차로01의 도착예측시간 12시 1분 일때의 신호스케줄과 비교한다. 이때 신호스케줄은 적색현시로 녹색현시로 바뀌기 까지 30초가 남았으므로 버스는 30초 동안 신호대기를 한 이후에 신호교차로 01을 12시 1분 30초에 통과하는 것이다. 링크2의 예측통행시간은 1분 30초로 정류장 B 도착예측시간은 12시 3분이고, 링크3의 예측통행시간은 50초로 신호교차로02 도착예측시간은 12시 3분 50초이다. 이때의 신호교차로 02의 신호스케줄과 비교시 녹색현시로 신호대기 없이 통과하므로 신호대기 시간을 감안할 필요없이 링크4의 예측통행시간은 1분 10초로 정류장 C에 버스가 도착하는 시간이 12시 5분으로 예측됐다. 따라서 정류장 C에서 버스 도착예측시간 정보를 요청한 이용자에게 5분 이후 버스가 도착한다고 정보를 제공한다.

V. 버스도착시간 예측기법별에 따른 예측비교

본 장에서는 개발된 버스도착시간 예측기법의 예측력을 검증하기 위해서 버스 GPS자료(지점도착시간)를 수집하였다. 수집된 자료 중 특정 임의의 한개 노선의 첨두·비첨두 시간 동안의 버스도착시간을 예측해 실측 버스도착시간과 비교·평가하였다. 또한 기존의 예측기법인 평활화 기법(단순이동평균, 단순지수평활법), ARIMA 모형, 칼만필터 모형 등에 의한 버스 도착예측시간과도 비교함으로 본 연구의 버스도착시간 예측기법의 예측력을 검증하였다.

본 연구의 신호교차로를 감안한 실시간 버스도착시간 예측기법과 기존 버스도착시간 예측기법들에 의한 특정노선의 도착예측시간 오차를 첨두/비첨두시로 나눠 비교하였다.

<표 2> 버스도착시간 예측기법에 따른 오차 및 정확도 비교

	실측 도착시간	이동 평균	지수 평활	ARIMA	칼만 필터	본연구 기법
AM Peak (08:00 -09:00) period (sec)	0 : 04 : 10	-41	-46	-30	25	-22
	0 : 04 : 37	24	25	14	3	-15
	0 : 05 : 29	74	97	68	13	8
	0 : 04 : 10	-26	-35	-28	10	-35
	0 : 04 : 00	-41	-41	-23	69	-1
	0 : 05 : 40	71	52	66	56	-35
	0 : 04 : 05	-44	-37	-25	-32	15
	0 : 03 : 39	-35	-9	-45	-32	2
	0 : 04 : 45	-10	2	5	19	0
	Avg.|Error|	41	38	34	29	15
	MRE	0.1814	0.1809	0.1929	0.1280	0.0416
	RSE	0.2163	0.2220	0.2232	0.1584	0.0586
	ξ_{max}	0.5703	0.5849	0.6424	0.3256	0.1400
off Peak (10:30 -11:30) period (sec)	0 : 04 : 22	37	28	-5	9	-6
	0 : 03 : 37	-41	-34	-47	15	6
	0 : 05 : 35	57	60	44	76	23
	0 : 05 : 38	56	74	56	29	17
	0 : 03 : 18	-57	-60	-63	-42	-3
	0 : 04 : 55	0	22	40	-7	-26
	Avg.|Error|	41	46	43	30	14
	MRE	0.2118	0.2121	0.2022	0.1395	0.0430
	RSE	0.2461	0.2461	0.2416	0.1727	0.0546
	ξ_{max}	0.6503	0.6056	0.6289	0.4449	0.1069

Ⅵ. 결론 및 향후 연구과제

1. 결론

오늘날 교통혼잡은 가장 큰 사회적 문제로 대두될 만큼 악화일로를 거듭하고 있으며 이로 인한 사회경제적 손실비용도 수 조원에 달하는 엄청난 결과를 초래하고 있다. 이와 관련하여 본 연구에서는 교통혼잡의 주 요인인 승용차 이용자들의 대중교통 수단으로의 전환을 유도하고자 대중교통 문제들 중 한 가지인 부정확한 버스도착시간 예측을 해결하기 위한 신호교차로를 감안한 실시간 버스도착시간 예측기법을 개발해 버스도착시간 예측력에 대한 검증을 시도하였다.

개발된 버스도착시간 예측기법의 예측력을 비교하고자 기존에 연구된 평활화 기법과 ARIMA 모형 그리고 칼만필터 모형 등을 이용한 버스도착시간 예측기법과 개발한 예측기법을 실제 GPS자료(지점도착시간)를 이용하여 모형을 구축한 후 첨두시간과 비첨두시간 동안의 특정 노선에 대한 버스도착시간을 예측해 비교하였다.

특정 노선의 첨두·비첨두시간의 버스도착시간 예측오차는 본 연구에서 개발한 예측기법이 기존에 제일 우수한 칼만필터 모형을 이용한 예측보다 첨두·비첨두시간의 최대·평균·최소오차 모두 평균 50% 정도 줄어든 것을 볼 수가 있었으며 예측력을 비교하기 위한 평균상대오차(MRE ; Mean Relative Error), 제곱근 제곱상대오차(RSE ; Root Squared Relative Error), 최대상대오차(ξ_{max};Maximum Relative Error) 등의 예측력 비교분석에서도 기존 예측기법들 보다 첨두·비첨두시간 모두 평균 3배 정도 향상된 우수한 예측력을 보였다. 이는 본 연구에서 개발한 예측기법이 기존 버스도착시간 예측기법에서 감안하지 못한 신호교차로에서의 신호대기 여부에 따른 통행시간 변화를 예측함으로써 얻어진 결과라고 할 수 있다.

따라서, 본 연구에서 개발한 신호교차로를 감안한 예측기법은 칼만필터 모형을 이용한 링크통행시간 예측을 사용하였기 때문에 기존 칼만필터 모형이 가지고 있는 장점인 계산의 용이함으로 인해 적시성이 중요한 동적 교통정보제공에 우수한 장점을 지님과 동시에 버스도착시간 예측오차의 주 요인인 신호교차로에서의 신호대기를 감안한 예측기법으로써 승용차 이용자들의 수단전환을 유도할 수 있을 것이다.

2. 향후 연구과제

본 연구에서 개발한 신호교차로를 감안한 실시간 버스도착시간 예측기법의 링크통행시간 예측모형에서 대기행렬의 영향에 따른 통행시간의 변화를 반영하는데 미흡했기 때문에 향후 신호교차로에서의 대기행렬 영향권 조사를 통한 세밀한 통행시간자료의 수집으로 대기행렬 영향에 따른 링크통행시간 예측을 통한 버스도착시간 예측기법 개발과 TOD방식의 신호교차로만을 고려한 기법이기에 감응식 또는 신신호 시스템과 같은 신호교차로에서도 신호교차로를 감안한 실시간 버스도착시간 예측이 가능한 예측기법의 개발도 향후 연구과제로 남기도록 한다.

참고문헌

1. 이광훈·신성일, "실시간 교통정보제공을 위한 여행시간 추정기법의 개발", 도로교통안전협회, 1993.
2. 박병규, "신경망이론에 링크통행시간 예측모형의 개발", 한양대학교, 1995.
3. "지능형 교통시스템 기본계획(안)수립을 위한 첨단대중교통 시스템 연구", 대한교통학회/교통개발연구원, 1996
4. 신치현·최기주, "GPS와 GIS를 이용한 링크통행시간 예측기법", 대한교통학회지 제16권 제2호, 1998.
5. 정영훈, "GPS를 이용한 버스안내시스템 개발에 관한 연구", 안양대학교 첨단산업기술대학원, 2001.
6. 박지영·고승영·이청원, "칼만필터를 이용한 경로통행시간예측", 대한토목학회지 제22권 제5호, 2002.
7. Wei-Hua Lin and Jian Zeng, "An Experimental Study on Real Time Bus Arrival Time Prediction with GPS Data", Virginia Polytechnic Institute and State University, 1999.
8. Amer Shalaby and Ali Farhan, "Bus Travel Time Prediction Model for Dynamic Operations Control and Passenger Information Systems", Transportation Research Board, 2003.
9. Grewal, M.S. & Andrews, A.P., Kalman Filtering Theory and Practice, Prentice Hall, 1993.