

버스통행시간을 이용한 구간통행시간 산출 모형 개발

An approach to estimate link travel times from bus travel times

고승영
명지대학교
SOC공학부 교통공학과 부교수

서준석
명지대학교
대학원(교통전공)박사과정

목 차

I. 서론	IV. 방법론 검토
1. 연구의 배경 및 목적	1. 해석적 접근
2. 연구의 방법	2. 다중회귀분석
II. 이론적 고찰	3. 인공신경망
III. 자료조사 및 분석	V. 모형의 적용 및 결과
1. 조사구간 현황	VI. 결 론
2. 자료분석	참고문헌

1. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

최근 첨단교통체계(ITS: Intelligent Transport Systems)의 도입과 함께 GPS수신기를 장착한 probe 차량을 통하여 링크통행시간 정보를 수집하는 방법이 연구개발되고 있다. 지금까지 probe 차량으로서는 일반승용차를 대상으로 하는 경우가 일반적이었으나 우리나라와 같이 버스가 많이 운영되고 도시교통에서 중요한 대중교통수단으로서의 역할이 강조되는 상황을 감안할 때 버스에 GPS수신기를 설치하여 링크통행시간 정보를 수집하는 probe 차량으로 활용함과 동시에 버스의 위치파악도 가능하게 하여 버스도착안내, 운행관리 등의 용도로 병행할 수 있는 방안이 있다면 보다 경제적인 시스템이 될 것이다.

그런데 버스를 일반차량의 링크통행시간 정보를 수집하는 probe 차량으로서 사용하는데 있어서는 버스의 링크통행시간과 일반차량의 링크통행시간이 다른데 문제점이 있다. 버스는 일반차량과 다른 운행 특성을 지니고 있기 때문이다. 이러한 요소를 살펴보면 다음과 같다.

1) 버스의 경우는 정류장에 정차를 하게되고 정류장에서는 승객의 승하차로 인한 소요시간, 버스 차량의 감·가속능력, 속도 등 버스 고유

의 기계적인 특징이 있고, 2) 기타 버스 우선 신호나 우선처리 등의 기법을 적용시에 따른 속도의 차이가 있으며, 3) 버스 전용차선의 유무에 따른 일반 차량과의 속도차이를 나타낼 수 있겠고, 4) 버스전용차선을 실시할 경우 전용차선 교통량과 일반차선 각각의 교통량과 우회전 차량과의 마찰에 따라 속도차이가 날 수 있다. 따라서 이러한 차이를 파악하고 버스의 링크통행시간으로부터 일반차량 통행시간을 추정하는 일이 필요하다.

본 논문은 일반간선도로상에서 버스의 링크통행시간으로부터 일반차량의 평균링크통행시간을 추정하는 모형을 개발하는데 목적이 있다.

2. 연구의 방법

본 연구의 목적은 일반간선도로상에서 버스의 링크통행시간으로부터 일반차량의 평균링크통행시간을 추정하는 모형을 개발하는 것이다. 버스의 링크통행시간을 안다는 가정하에 이를 위해 여기서는 버스의 링크통행시간은 GPS를 이용한 위치파악(AVL)을 통하여 정확하게 실시간으로 수집이 가능하다고 가정하였다. 모형 개발 및 검증에 위한 자료는 현재 버스가 운행 중인 도심지 간선도로의 일정 구간에 대하여 버스의 링크통행시간, 일반차량 링크통행시간, 버스정류장수, 버스 교통량 그리고 일반차량 차

로별 교통량 등을 조사·분석한 자료를 사용하였다.

기존 연구의 내용을 살펴보고, 모형식을 개발하는데 사용된 모형의 이론에 대하여 간단히 설명하였다. 그리고 버스의 링크통행시간으로부터 일반차량의 링크통행시간을 예측하는 해석적인 방법론을 알아본 후 회귀모형식과 신경망 모형을 이용하여 예측모형을 개발하였다.

실제 링크상에서 구한 실측값과 모형식의 예측값과의 결과치의 비교로 통계적 비교·분석하였으며, 마지막으로 버스링크통행시간을 이용하여 기타 일반차량 링크통행시간 예측 개발모형의 장점과 한계 등을 제시하였다.

II. 기존연구검토

본 연구는 버스의 링크통행시간을 이용하여 기타 일반차량의 링크통행시간을 예측하는 기법에 관한 것으로서, 기존에 이에 대한 연구는 거의 이루어진바 없다.

일반적으로 링크통행시간을 예측하는 방법은 과거추세연장법과 수리적 접근에 의한 방법으로 구분되는데 과거추세연장법은 시계열모형에 의한 선형모형, 칼만필터, 회귀모형 그리고 신경망 이론에 의한 방법으로 분류할 수 있다. 수리적 접근방법으로는 Smock식, BPR식, Wardrop에 의한방법 등이 있다.[5] 근래에는 GPS probe 차량을 이용한 AVL(자동차량위치 측정기법)자료, 루프 검지기 자료 등을 활용하여 여기에 카오스 이론, 퍼지이론, 이들의 복합적 융합 등을 사용하여 링크통행시간을 예측하는 새로운 기법들이 제시되기도 하였다.

그 내용들을 살펴보면, 김영찬, 최기주(1997)는 링크통행속도 추정 방법론으로 VPLUSKO 방법, 퍼지제어방법, 신경망이론방법 세가지를 비교·평가하였다. 여기서 VPLUSKO는 평균통행속도와 역수관계가 있음을 밝혔고, 퍼지제어 방법은 교통량과 점유율을 입력변수로 하여 두 변수간의 퍼지 규칙에 따라 통행속도를 추정하였으며, 신경망 방법에서는 학습대상이 되는 검지기에 대해서는 추정능력이 우수한 것으로 나타났다.[8]

김성인, 이영호, 남기효는(1999)는 자동 차량 위치 측정기법(AVL)을 이용해서 수집한 교통상황 자료를 가지고 링크통행시간을 산출하는 알고리즘을 개발하였는데, 검지기를 이용하여 자료를 구하는 기존 연구에 비해 이 연구는 자

료가 없는 구간에 대해 정보를 해석기법, 회귀 분석, 인공지능 및 전문가 시스템, 통계분석을 이용하여 자료를 구하는 방법을 제시하였다.[4]

최기주, 정연식(1999)은 이 논문에서 여러 교통정보 수집체계로부터 수집된 원시자료를 이용하여 교통정보화 하는 과정에서 발생하는 문제점을 효과적으로 처리하기 위해 수집된 통행시간 자료 및 정보에 대하여 링크별 최적 통행시간 정보 추정을 위한 데이터 퓨전 알고리즘을 제시하였다. 사용된 알고리즘에는 가중평균 기법(voting technique 적용), 퍼지회귀기법, Bayesian기법을 적용하였다.[9]

노승만, 이인원(1999)은 기존의 교통류 이론들의 한계와 개선을 위한 새로운 접근방안을 제시하고자 카오스 이론을 이용한 링크통행시간 추정을 하였는데, 이 논문은 연속교통류상에서의 교통현상이 잘 설명될수 있는 자료, 즉 혼잡상태에서의 통행시간을 분석함으로써 설명이 모호한 교통류현상을 카오스 이론으로 접근하고자 하였다.[5]

검지기 자료를 활용하여 도시간선도로의 링크통행시간을 추정하는 연구(오재환, 1998)에서는 번호판 조사법으로 통행시간을 측정하고, 통행시간 추정방법은 두 개의 교차로 사이에서 교차로 신호에 따른 교통류 행태에 따라 각 차량의 통행시간을 추정하는 해석적인 방법을 사용하였다.[7]

III. 자료조사 및 분석

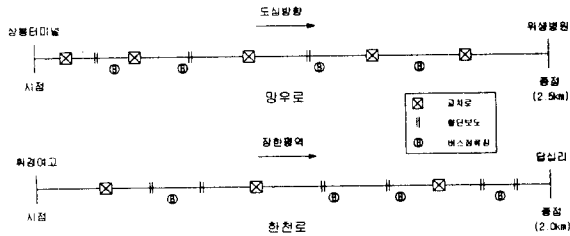
1. 조사구간 현황

조사는 주중 오전 07:00~09:00, 오후 16:00~19:00 로 구분하여 조사하였고. 조사대상 도로는 버스전용차로가 있는 구간과 버스전용차로가 없는 구간을 각각 선정하였으며, 구간내 통행시간 조사방향은 도심방향으로 선정하였다.

교통량 조사 및 링크통행속도조사는 선정된 구간의 두 지점에서 동시에 차량 번호판 조사를 하였다. 조사구간은 서울의 대표적인 방사형 간선도로로서 다른 일반도로와 유사한 교통을 지니고 있다.(<표 1>, <그림 1> 참고)

<표 1> 도로구간 내 조사 내용

구 분	연장 (km)	차선수	전용 차선	정류 장수	신호 교차로	횡단 보도 (개소)	조사시간
망우로	2.5	6차선 (편 : 3)	유	4	4	3	07:00 ~10:00
한천로	2.0	6차선 (편 : 3)	무	4	3	6	16:00 ~19:00



<그림 2> 망우로 및 한천로 도면

2. 자료분석

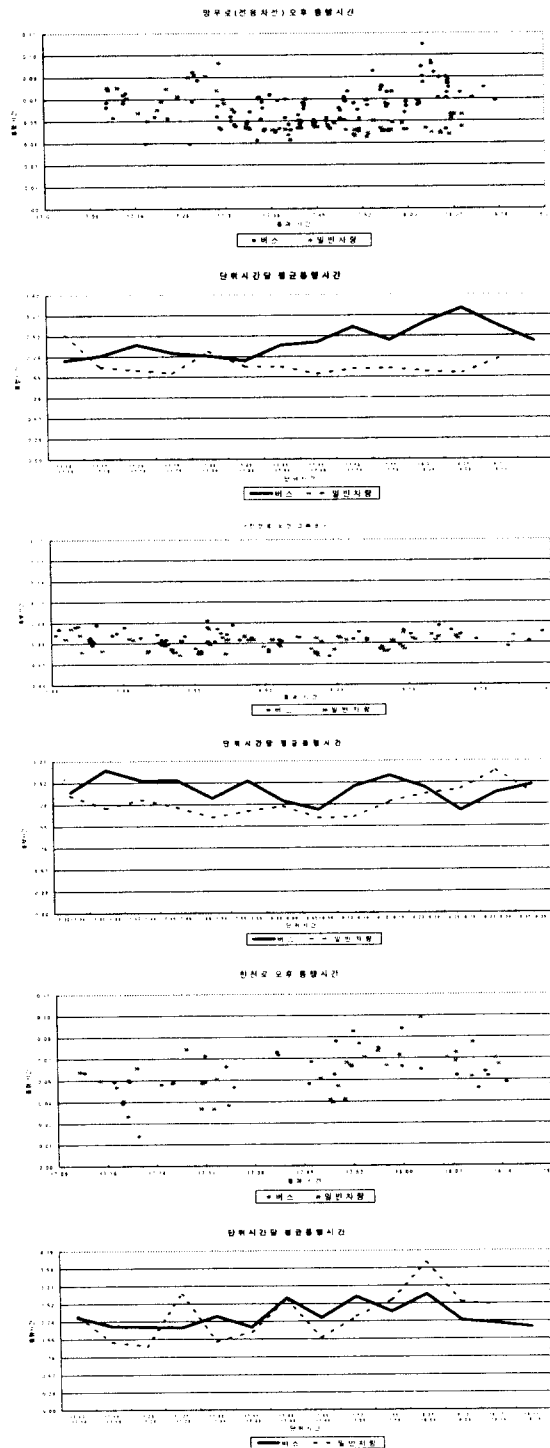
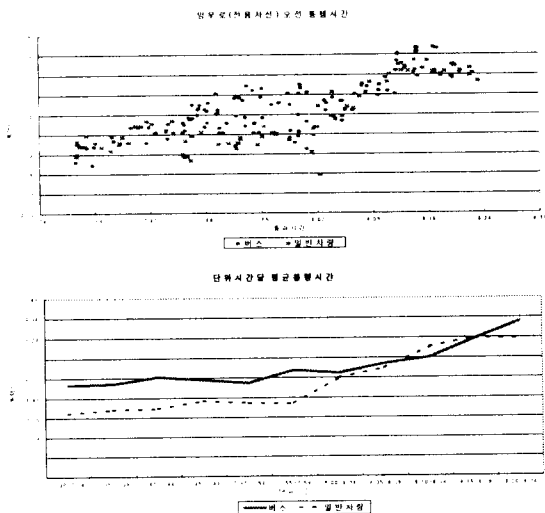
두 구간의 버스와 일반차량에 대한 통행시간의 평균과 분산은 아래의 <표 2>와 같다.

망우로의 경우 오전 버스평균통행시간이 15.27분(0.2546시간)으로 14.6분(0.2437시간)인 일반차량평균통행시간 보다 구간내 통행시간이 더 소요되었다. 오후의 경우도 버스는 1.36분(0.0227시간)이 더 소요되었고, 특히 이 도로의 경우 버스전용차로가 시행되고 있으나, 일반차량보다 평균통행속도가 낮게 조사되었다..

한천로 오후의 경우는 버스의 링크평균통행시간과 일반차량의 링크평균통행시간이 거의 비슷한 분포를 이루고 있는 것으로 나타났다.

<표 2> 버스 및 일반차량 링크통행시간 분석

구분	조사샘플수(대)	평균(시간)	분산
망우로	오전	버스	131, 0.2546, 0.00368
		기타	130, 0.2437, 0.004459
	오후	버스	140, 0.1143, 0.000233
		기타	209, 0.0916, 0.000105
한천로	오전	버스	54, 0.1137, 0.000116
		기타	146, 0.1019, 0.000135
	오후	버스	31, 0.1064, 0.000169
		기타	166, 0.1069, 0.000691
평균	버스	0.1473	
	기타	0.1360	



<그림 2> 각 도로구간별 구간 통행시간

IV. 방법론 검토

기존 연구들은 대부분 검지기나 GPS등을 통하여 일반차량이나 버스의 링크통행속도를 예측하는 경우에 대하여 주로 다루었으나, 자료분석에서와 같이 도로구간에서 버스와 일반차량은 통행시간의 차이를 보여주고 있음을 알 수 있었다. 그러나 본 논문은 버스의 링크통행

시간으로부터 일반차량의 평균링크통행시간을 추정하는 모형을 개발하는것을 목적으로 접근하는 방식이다.

노선버스의 통행시간 예측방법은 GPS위성을 이용하여 이동체를 연속적으로 추적하는 방법이나 타코메타 등을 활용하여 예측하는 방법, 그리고 검지기를 이용하는 방법 등 여러 가지 방법이 있으나, 본 논문에서는 버스의 통행시간을 정확하게 파악이 된다는 가정하에서 안다고 가정하고 버스링크통행시간을 조사로 하였으며 일반차량의 링크통행시간을 예측하는 것이다.

본 연구의 방법론은 크게 3가지로 분류할 수 있는데, 첫째는 해석적인 접근방법론(해석적 모형)이고, 둘째는 회귀분석 모형식, 셋째는 인공신경망 모형식이다. 이러한 방법론을 이용해서 모형식을 개발하였다.

1. 해석적 접근

$$CLTT = (BLTT \times \alpha) - (N \times t)$$

CLTT = 일반차량 링크통행시간

BLTT = 버스 링크통행시간

α = 버스전용차선계수

N = 버스정류장수

t = 정류장 평균정차시간

위의 식은 일반차량의 링크통행시간은 버스 링크통행시간에서 버스정류장의 정차시간을 뺀 값으로 나타낼 수 있다. 이 방법은 교통량이나, 차량의 특성 없이 단순히 나타낼 수 있으며, 버스전용차선에 따른 계수(α)값, 정류장 정차시간 등을 이용하여 간단한 해석적인 접근방법의 예로 볼 수 있다.

2. 다중회귀분석

회귀식에 사용된 독립변수와 종속변수에 대하여 살펴보면, 독립변수로는 버스평균통행시간, 버스정류장수, 신호교차로수, 횡단보도수, 구간길이, 일반차량 교통량, 버스전용차선 교통량이 사용되었으며, dummy 변수로는 전용차선 유무, 오전과 오후를 계수로 사용하였다. 종속변수는 일반차선통행차량의 평균통행시간으로 하였다. 변수간의 상관관계 분석을 통하여 이들 관계가 높은 식을 토대로 회귀분석 모형식을 만들었고, 구해진 원시자료는 회귀분석을 실행하여 도출된 결과에 대하여 분석을 수행하였다.

<표 3> 모형식에 사용된 변수

구분	변수			dummy	
	종속변수	독립변수		오전	오후
	Tc	Tb	Qc		
방우로	0.1643	0.1466	106	1	0
	0.1891	0.1724	105	1	0
	0.2182	0.1970	119	1	0
	0.1919	0.2458	101	1	0
	0.1864	0.2378	114	1	0
	0.1847	0.2694	108	1	0
	0.2494	0.2625	99	1	0
	0.2736	0.2858	107	1	0
	0.3264	0.3008	111	1	0
	0.3489	0.3467	89	1	0
	0.3478	0.3353	105	1	0
	0.1206	0.0961	78	0	1
	0.0894	0.1008	87	0	1
	0.0867	0.1111	82	0	1
	0.0833	0.1033	89	0	1
	0.1050	0.1006	93	0	1
	0.0900	0.0958	76	0	1
	0.0900	0.1108	94	0	1
	0.0828	0.1139	98	0	1
	0.0881	0.1283	97	0	1
0.0883	0.1156	83	0	1	
한천로	0.1083	0.1117	86	1	0
	0.0961	0.1314	90	1	0
	0.1044	0.1219	92	1	0
	0.0972	0.1222	79	1	0
	0.0878	0.1056	90	1	0
	0.0936	0.1217	94	1	0
	0.0981	0.1031	103	1	0
	0.0872	0.0950	102	1	0
	0.0881	0.1164	97	1	0
	0.1022	0.1261	108	1	0
	0.1094	0.1153	80	1	0
	0.1136	0.0939	95	1	0
	0.1058	0.1047	44	0	1
	0.0767	0.0944	41	0	1
	0.0719	0.0939	56	0	1
	0.1306	0.0931	58	0	1
	0.0772	0.1058	55	0	1
	0.1242	0.1264	60	0	1
	0.0811	0.1039	42	0	1
	0.1053	0.1278	43	0	1
0.1239	0.1108	46	0	1	
0.1658	0.1303	37	0	1	

<표 4> 회귀분석 결과

파라미터 추정		
변수명	파라미터추정치	t-value
버스평균통행시간(Tc)	0.775736	12.588
일반차량 교통량/차선(Qc)	-0.000638	-2.500
오전/오후 (d)	0.038626	3.299
설명력		
RMSE	0.02715	R ² 0.8675
회귀식		
$T_C = 0.056215 + 0.775736 T_B - 0.000638 Q_C + 0.038626 d$		

3. 인공 신경망

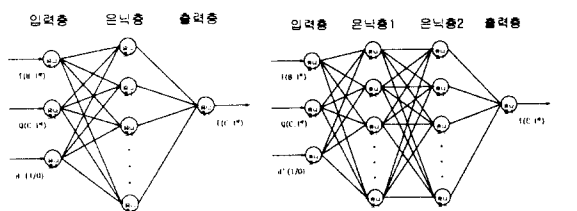
본 연구는 인공신경망 이론을 적용하여 간선도로상의 링크 통행시간을 예측하는 것으로 다층신경망을 이용해서 간선도로 일정 구간에 대하여 일반차량 통행속도를 예측하는 모형으로서 변수를 세분화 하였다.

세분화한 과정을 보면 회귀모형에서 산출한 3가지 변수를 사용한 경우와 그외 조사한 여러변수를 조합한 인공신경망 모형식을 만들었다. 세분화된 모형을 정리해보면,

1) 모형 1은 버스평균통행시간, 일반차량 교통량(대/5분-차선), 오전·오후의 더미변수를 사용하였고, 2) 모형 2는 버스평균통행시간, 일반차량 교통량(대/5분-차선), 오전·오후의 더미변수 그리고 버스정류장수를 3) 모형 3은 버스평균통행시간, 일반차량 교통량(대/5분-차선), 오전·오후의 더미변수, 버스정류장수 그리고 신호교차로수 4) 모형 4는 버스평균통행시간, 일반차량 교통량(대/5분-차선), 오전·오후의 더미변수, 버스정류장수, 신호교차로수 그리고 횡단보도수 5) 모형 5는 버스평균통행시간, 일반차량 교통량(대/5분-차선), 오전·오후의 더미변수, 버스정류장수, 신호교차로수, 횡단보도수 그리고 구간길이 6) 모형 6은 버스평균통행시간, 일반차량 교통량(대/5분-차선), 오전·오후의 더미변수, 버스정류장수, 신호교차로수, 횡단보도수, 구간길이 그리고 버스전용차선 교통량 7) 모형 7은 버스평균통행시간, 일반차량교통량(대/5분-차선), 오전·오후의 더미변수, 버스정류장수, 신호교차로수, 횡단보도수, 구간길이, 버스전용차선 교통량 그리고 더미변수(버스전용차선 유무)를 사용하였다.

따라서 본 연구에서는 각 모형마다 다르게 사용되는 자료를 가지고 은닉층의 수를 1개, 2개로 나누었으며, 나눈 신경망은 학습계수(α)와 모멘텀 계수(β)값을 변화시켜가면서 예측을 하였다. 모형식에 따라 1개의 은닉층을 가진 경우 입력 유닛을 3개에서 9개까지 증가시켜가면서 학습계수값과 모멘텀계수값의 변화에 따른 반복학습을 하였으며, 은닉층이 2개인 경우도 같은 방법으로 하였다. 반복 학습횟수는 5,000회, 10,000회 그리고 20,000회로 하였다.

신경망 모형을 위한 학습 알고리즘은 인공신경망에서 가장 많이 사용되는 것인 역전파법 알고리즘(Backpropagation Algorithm)을 사용하였고, 학습을 위한 프로그램은 C++을 이용하여



입력층-은닉층-출력층 입력층-은닉층-은닉층-출력층

<그림 3> 신경망 모형의 구조 프로그램화한 것을 사용하였다.

위의 7가지 신경망 모형을 이용하여 분석한 결과 회귀식에서 적용한 3가지 변수를 사용한

경우의 모형식이 실측값에 가장 근사한 값으로 도출되었다. 따라서 인공신경망 모형식을 이용하여 일반차량평균통행시간을 예측하는 모형식을 정리하면 아래의 <표 5>과 같다.

<표 5> 인공신경망 모형식

입력 변수	출력 값
$T(B, l_{AB}), Q(C, l_{AB}), d(1/0)$	$T(C, l_{AB})$
$T(B, l_{AB})$: 구간 A, B의 버스 통행시간 $Q(C, l_{AB})$: 구간 A, B의 일반차량 교통량 $d(1/0)$: dummy 변수(오전/오후) $T(C, l_{AB})$: 구간 A,B의 일반차량통행시간 $\alpha = 0.7 \quad \beta = 0.9$ 은닉층 1 = 3 유닛, 은닉층 2 = 3유닛, N = 20,000, 연결강도	

V. 모형의 적용 및 결과

본 장에서는 앞장에서 SAS를 이용해서 구한 회귀 모형식과 신경망 프로그램을 수행하여 도출한 통행시간 예측 모형들을 비교분석 하였다.

이러한 모형들을 비교하는 척도로는 일반적으로 사용하는 MARE(Mean Absolute Relative Error), MAE(Mean Absolute Error), RMS(Root Mean Square), R^2 을 사용했고, 통계적인 검정을 위해 R^2 -test, T-test를 하였다. 사용된 비교척도의 정의는 다음과 같다.

$$X(t) = \text{구간속도 관측치} \quad \hat{X}(t) = \text{구간속도 예측치}$$

$$\bar{X}_1(t) = \text{관측치의 평균} \quad \bar{X}_2(t) = \text{예측치의 평균}$$

$$MARE = \frac{1}{N} \sum \frac{|X(t) - \hat{X}(t)|}{X(t)}$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum |X(t) - \hat{X}(t)|$$

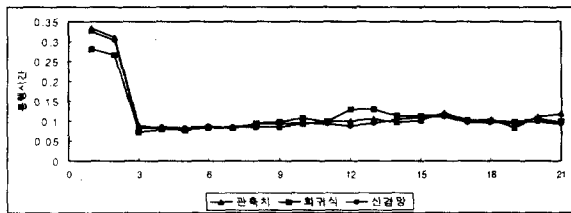
$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (X(t) - \hat{X}(t))^2}$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (X(t) - \hat{X}(t))^2}{\sum (X(t) - \bar{X}_1(t))^2} \quad t = \frac{\bar{X}_1(t) - \bar{X}_2(t)}{\sqrt{S_b(\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2})}}$$

아래의 <표 6>과 <그림 3>은 1차 조사결과에 의해 두 개의 간선도로에 대하여 일반차량 링크통행시간을 예측하는 모형을 두 모형식에 적용하여 분석한 내용으로 모형식의 비교를 위해 2차로 조사된 두 도로 구간의 통행시간과 일반차로 교통량을 이용하여 실측값과 모형식의 예측값을 비교하였다.

<표 6> 두 모형을 이용한 통행시간 비교

구분	조사시간	버스통행시간(시)	일반차량교통량(대/5분)	관측치	예측치	
					회귀식	신경망
망우로	08:30~08:34	0.3275	107	0.3329	0.2806	0.3256
	08:35~08:39	0.3127	110	0.3111	0.2672	0.3032
	13:05~13:09	0.1153	115	0.0897	0.0723	0.08066
	13:10~13:14	0.1014	86	0.0825	0.0800	0.08503
	13:15~13:19	0.0928	79	0.0756	0.0778	0.08422
	13:20~13:24	0.1008	81	0.0879	0.0827	0.08624
	13:25~13:29	0.0997	83	0.0850	0.0806	0.08533
	13:30~13:34	0.1147	79	0.0847	0.0948	0.09259
	18:00~18:04	0.1333	95	0.0853	0.0990	0.09302
	18:05~18:09	0.1467	99	0.0933	0.1069	0.09700
한천로	18:10~18:14	0.1294	92	0.0975	0.0979	0.09291
	8:30~8:34	0.1106	80	0.1008	0.1296	0.08766
	8:35~8:39	0.1175	88	0.1054	0.1298	0.09511
	16:05~16:09	0.1078	43	0.0956	0.1124	0.10427
	16:10~16:14	0.1197	57	0.1025	0.1127	0.10882
	16:15~16:19	0.1242	59	0.1206	0.1149	0.11202
	16:20~16:24	0.1028	53	0.1014	0.1021	0.09639
	16:25~16:29	0.1075	61	0.1031	0.1007	0.09659
	16:30~16:34	0.1017	57	0.0839	0.0987	0.09431
	18:05~18:09	0.1008	45	0.1114	0.1057	0.09737
18:10~18:14	0.0975	53	0.1178	0.0980	0.09285	
구분	MARE	MAE	RMS	R ²	t	
회귀식	0.1123	0.0140	0.0195	0.9163	0.0585	
신경망	0.0766	0.0080	0.0095	0.9788	1.5651	



<그림 4> 실측값과 두 모형식의 통행시간

먼저 다중회귀모형식의 경우는 망우로 오전 첨두시간에는 관측치와 모형식간의 약 3분의 오차를 나타내고 있으며 그 외의 시간대에는 거의 일정하게 통행시간 패턴을 보이고 있다. 그러나 신경망 모형의 예측력은 실측치와 가장 큰 차이를 보이는 경우가 저녁시간대 약 1분 30초 정도의 오차만 나타날뿐 나머지 시간대의 경우는 실측치와 아주 유사한 통행시간을 나타내고 있어, 신경망모형식이 회귀식에 비해 예측력이 더 우수하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

VI. 결론

우리나라의 경우는 버스가 많이 운영되고 도시교통에서 중요한 대중교통으로서의 역할이 강조되고 있음을 감안할 때, 버스에 GPS 수신기를 장착하여 링크통행시간 정보를 수집하는 probe 차량으로 활용한다면 버스의 위치 파악, 도착안내, 운행관리 용도외에 일반차량의 통행시간가치 등을 예측할 수 있어 보다 효과적이고 경제적인 시스템이 될 것이다. 따라서 도시 일반 간선도로상에서 버스의 평균링크통행시간으로부터 일반차량의 평균링크통행시간을 추정하는 모형을 개발하는데 연구의 목적을 두게 되었다. 이러한 목적에 따라 본 논문은 모형식

을 정립하기 위하여 1차 자료수집 및 분석을 통해 다중회귀 모형식과 신경망 모형식을 개발하였으며, 개발된 모형식의 예측력을 분석하기 위해 2차 자료수집 결과를 토대로 모형식의 예측력 검증을 실시하였다.

개발된 모형식은 링크 통행속도에 영향을 주게 되는 여러 변수중 버스의 링크평균통행속도, 일반차량의 차선별 교통량 그리고 오전·오후 계수를 사용하여 5분 단위로 조사하여 모형식을 개발하였다. 예측력 면에서 보면 두 모형식 모두 예측력이 우수함을 보이고 있으며, 신경망 모형식의 경우가 실측치와 예측치간의 오차의 범위가 회귀모형식에 비해 우수함을 나타냈다. 따라서 개발된 두 모형식을 이용한다면 도시 일반간선도로상에서 버스의 평균링크통행시간을 이용하여 5분 단위의 실시간으로 일반차량의 평균통행시간을 예측할 수 있을 것이다.

그러나 모형식의 조사구간과 구간길이가 제한되었으며, 도시내 다른구간내에서의 조사자료를 이용한 충분한 검증이 이루어지지 않아 버스 통행시간이 지역과 노선별로 차이가 있고, 지역별로 교통량의 차이가 있음을 감안할 때 그 예측력면에서 보다 정확한 규명이 이루어지지 못하였다. 따라서 추후 도시내 여러 간선도로를 대상으로 조사 분석하여 개발된 모형식을 개선시킨다면 도시내에서 버스의 평균링크통행시간을 이용하여 경제적이고 편리하게 일반차량의 평균통행시간을 실시간 단위로 예측할 수 있을 것이다.

참고문헌

- 오창석, 뉴로컴퓨터, 지성출판사, 1996
- 김대수, 신경망 이론과 응용(I), 하이테크 정보, 1992
- 김현주, 인공신경망을 이용한 고속도로 실시간 교통량 예측, 1996
- 김성인, 이영호, 남기호, AVL을 이용한 구간통행시간 산출기법 개발, 대한교통학회지 제17권 제2호 1999
- 노승만, 이인원, 카오스 이론을 이용한 링크통행시간 산정, 대한교통학회지 제17권 제2호 1999
- 최기주, 신치현, GPS와 GIS를 이용한 링크통행시간 예측기법, 대한교통학회지 제16권 제2호 1998
- 오재환, 검지기를 활용한 도시가로 링크통행시간 추정에 관한 연구, 명지대 석사학위논문, 1998
- 김영찬, 최기주, 김도경, 오기도, 단일푸르점지기를 이용한 간선도로 실시간 통행속도 추정 방법론, 대한교통학회지 제 15권 제 4호 1997
- 정연식, 최기주, GPS probe 및 루프검지기 자료의 융합을 통한 통행시간 추정 알고리즘 개발, 대한교통학회지 제17권 제3호 1999
- 박병규, 노정현, 정하옥, 신경망 이론에 의한 링크통행시간 예측 모형의 개발, 대한교통학회지 제13권 제1호 1995
- 최기주, 정연식, 링크통행시간 추정을 위한 데이터 퓨전 알고리즘 개발, 대한교통학회지 제16권 제2호 1998
- Bullock, D, J. Garret, Jr, C. Hendrickson and A. Pearce, A Neural Network For Image Based Vehicle Detection, International Conference on Artificial Intelligence Application in Transportation Engineering, June 20-24, 1992