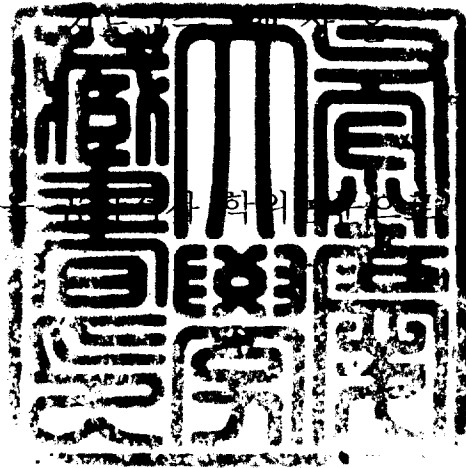


공학석사 학위논문

첨단 버스 도착안내 시스템
기능 고도화 연구

이 논문은 공학석사 학위논문으로 제출함.



2005년 2월

부경대학교 대학원

위성정보과학과

이 희 종

이희종의 공학석사 학위논문을 인준함.

2004년 12월 일

주 심 공학박사 윤 홍 주



위 원 공학박사 최 철 응



위 원 공학박사 배 상 훈



목 차

1장. 서론	1
1. 연구의 배경 및 목적	1
2. 연구범위	3
3. 연구수행방법	4
2장 국내외 연구사례	6
1. 국내사례	6
가. 국내연구사례	6
나. 국내구축사례	7
2. 국외사례	9
가. 국외연구사례	9
나. 국외구축사례	10
3. 시사점	12
3장 최적 버스도착안내시스템 선정	13
1. 자료의 전처리	13
가. 자료수집 및 특성	13
나. 자료의 전처리 및 구축	21
2. 모형의 구축	23
가. 가중 이동평균법 모형의 구축	23
나. 칼만필터 모형의 구축	25
다. 신경망 모형의 구축	29

라. 뉴로퍼지 모형의 구축	37
3. 모형의 검증	48
4. 최적알고리즘	56
 4장. 첨단버스안내시스템 운영전략	57
1. 설문 조사 및 분석	57
가. 설문조사 개요	57
나. 설문조사 결과	58
다. 설문조사 분석	62
 5장. 결론	63
 참고문헌	65

List of Figures

Fig 1.1 Research Area	3
Fig 1.2 Research Method	5
Fig 3.1 Configuration of Raw Data	14
Fig 3.2 Total Travel Time	17
Fig 3.3 Travel Time on Peak Period	18
Fig 3.4 Travel Time on Nonpeak Period	19
Fig 3.5 Dispatch Time at the Bus Stop	20
Fig 3.6 Abnormal Value of Raw Data	21
Fig 3.7 Weighted Moving Average Model	24
Fig 3.8 Kalman Filter Algorithm	26
Fig 3.9 Flowchart of Kalman Filter Model	27
Fig 3.10 Structure of Backpropagation Algorithm	30
Fig 3.11 Configuration of Sigmoid Function $f(I)$	31
Fig 3.12 Flowchart of Neural Network Model	33
Fig 3.13 Flowchart of Neuro Fuzzy Model	40
Fig 3.14 Configuration of Membership Function	41
Fig 3.15 Configuration of FIS Editor	44
Fig 3.16 Structure of Membership Function	45
Fig 3.17 Structure of If-Then Rule	45
Fig 3.18 If-Then Rule: Rule Viewer	46
Fig 3.19 Surface Viewer	46
Fig 3.20 Import of Training Data	47
Fig 3.21 Estimated Arrival Time at Peak Period(Weighted Moving Average Model)	49

Fig 3.22 Estimated Arrival Time at Nonpeak Period(Weighted Moving Average Model)	49
Fig 3.23 Estimated Arrival Time at Peak Period(Kalman Filter Model)	51
Fig 3.24 Estimated Arrival Time at Nonpeak Period(Kalman Filter Model)	51
Fig 3.25 Estimated Arrival Time at Peak Period(NN Model)	53
Fig 3.26 Estimated Arrival Time at Nonpeak Period (NN Model)	53
Fig 3.27 Estimated Arrival Time at Peak Period(NF Model)	55
Fig 3.28 Estimated Arrival Time at Nonpeak Period(NF Model)	55
Fig 4.1 Result of Survey	58
Fig 4.1 Result of Survey(continue)	59
Fig 4.1 Result of Survey(continue)	60
Fig 4.1 Result of Survey(continue)	61

List of Tables

Table 1.1 A Case of Domestic BIS	8
Table 1.2 A Case of foreign BIS	11
Table 3.1 Feature of Route Number 80	13
Table 3.2 Field Data of Route Number 80	15
Table 3.2 Field Data of Route Number 80(continue)	16
Table 3.3 Travel Time on Peak, Nonpeak Period	18
Table 3.4 Travel Time on Day of Week	19
Table 3.5 Component of Neural Network	29
Table 3.6 Training Result of Neural Network	35
Table 3.7 Comparison of Fuzzy and Neural Network	37
Table 3.8 Construction of If-Then Rule	42
Table 3.8 Construction of If-Then Rule(continue)	43
Table 3.9 Estimated Errors by Weighted Moving Average Model	48
Table 3.10 Estimated Errors by Kalman Filter Model	50
Table 3.11 Estimated Errors by Neural Network Model	52
Table 3.12 Estimated Errors by Neuro Fuzzy Model	54
Table 3.13 Evaluation of Each Model	56
Table 4.1 Summary of Survey	57

Study on Enhancing Algorithm for Advanced Bus Information System

Hui-Jong Lee

*Department of Satellite Information Sciences, Graduate School
Pukyong National University*

Abstract

One of the core issues in providing services by Bus Information System is to inform the arrival time of buses by predicting the traffic time of buses. There are partial problems in the precision of prediction in the case of the domestic Bus Arrival Time Informing System(BATIS) that is constructed operated recently, however, so it is difficult to reflect the changeable traffic condition using BATIS.

This investigation is for proposing the predicting model of the bus arrival time and presenting the way of providing the predicted information effectively to offer the predicted Information of the real-time Bus Arrival Time to users.

The appropriate prediction was analyzed by comparing with the field data using the method of Weighted Moving Average, Kalman Filter model, Neural Network model, and Neuro Fuzzy model to propose the reliable predicting model of the real-time Bus Arrival Time.

The best suited strategy of management based on the examination of user's favorite information by questionnaires for offering the effective

information to users was also proposed in this study.

주 제 어: 버스정보시스템, 버스도착시간, 칼만필터, 신경망모형,
뉴로퍼지모형

Keyword: BIS, Bus Arrival Time, Kalman Filter, Neural
Network , Neuro Fuzzy

1장. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

자동차의 급증과 차량이용의 증가로 인하여 교통혼잡, 교통사고, 대기 오염 등과 같은 교통문제가 날로 심각해짐에 따라 '80년대 중반부터 선진국을 중심으로 교통·전자·통신·제어 등 첨단기술을 도로·차량·화물 등 교통체계의 구성요소에 적용하여 실시간 교통정보를 수집·관리·제공함으로써, 교통시설의 이용효율을 극대화하고, 교통 이용편의와 교통 안전을 제고하고 에너지 절감 등 환경친화적 교통체계를 구현하는 지능형 교통시스템(ITS: Intelligent Transport System)의 연구 및 기술개발이 활발히 추진되어 왔다.

국내에서도 ITS사업의 추진효율성을 높이고 활성화를 유도하기 위하여 '99년 2월에 「교통체계효율화법」이 제정되었고, 2000년 12월에 「지능형교통체계 기본계획 21」이 수립됨에 따라 국내 ITS구축의 기본 틀이 마련되었으며, 이에 따라 주요 ITS 사업은 법적 근거 하에 추진이 가능하게 되었다(지능형교통체계 기본계획 21, 2000).

이러한 배경 하에 국내에서도 각 지자체를 중심으로 버스의 정시성 확보와 보다 효율적인 버스운행을 실시하기 위하여 ITS 사업의 한분야인 버스정보시스템(BIS: Bus Information System)을 적극 도입하고 있는 실정이다.

버스정보시스템(BIS)은 버스이용자들에게 버스의 도착시간, 노선정보 등을 제공함으로써 무작정 기다려야하는 비합리성을 해결할 수 있고 버스운영자에게는 센터를 통해 버스의 운영상태, 배차간격 등을 조절함으로써 버스의 정시성과 효율성을 향상시킬 수 있다

버스정보시스템(BIS)을 통한 서비스 제공에 있어 핵심사안중 하나는 버스의 통행시간을 예측하여 버스도착시간 안내를 하는데 있다. 그러나 버스도착안내시스템은 수시로 변하는 교통상황을 적절히 반영하는데 어려움이 있어 최근 구축되어 운영되고 있는 국내의 버스도착안내시스템의 경우, 예측의 정확성 측면에서 부분적인 문제점을 내포하고 있다.

현재 운영중인 버스정보시스템(BIS)의 경우 비컨(Beacon)이나 GPS(Global Positioning System)자료를 수집하여 과거의 구간 통행시간이 현재에도 유사한 패턴으로 나타날 것이란 가정 하에 수집된 과거 시계열자료를 바탕으로 미래에 대해 예측하는 시계열 예측기법이 주류를 이루고 있다. 그러나 수시로 변하는 도심지의 교통상황을 적절히 반영하는데 어려움이 있어 예측의 정확성 측면에서 문제가 되고 있다. 때문에 실시간의 신뢰성 있는 교통정보를 생성·제공 할 수 있는 모형의 개발과 이를 효과적으로 제공할 수 있는 서비스가 요구되고 있는 실정이다.

본 연구는 버스이용자에게 실시간의 버스도착시간 예측정보를 제공하기 위해 도착시간 예측모형을 제안하고 예측된 정보를 효율적으로 제공하는 방안을 제시함을 목적으로 하고 있다. 그리하여 궁극적으로는 버스의 서비스 향상을 통해 대중교통 이용증가로 인한 자가차량 이용감소를 목적으로 한다.

2. 연구범위

본 연구의 주 범위는 현재 버스정보시스템(BIS)을 운영중인 부산시 80번 노선이다.

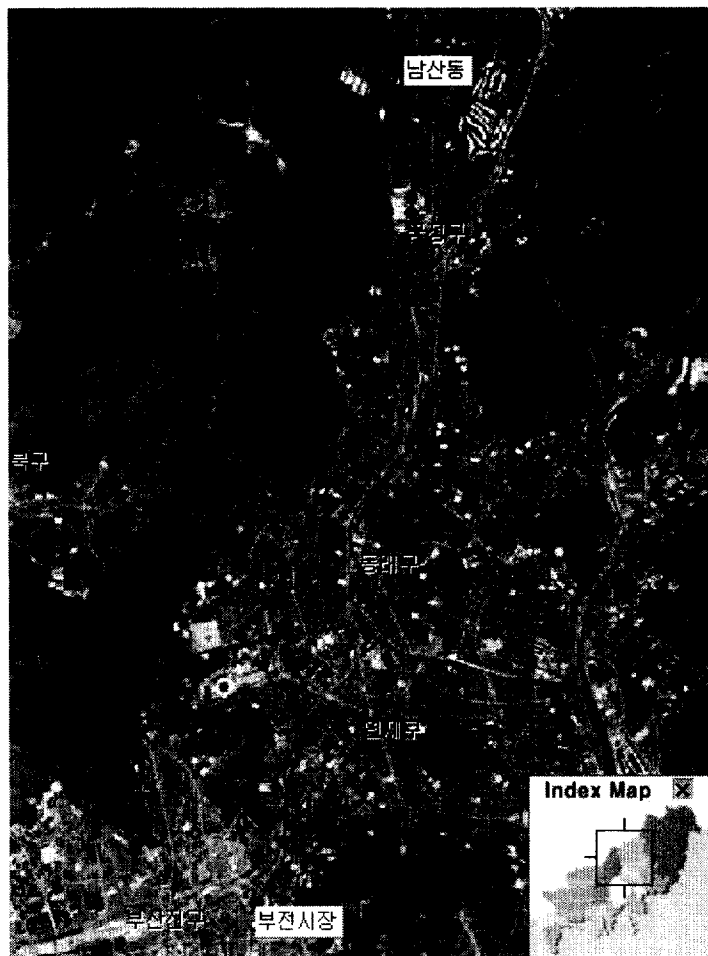


Fig 1.1 Research Area

3. 연구수행방법

본 논문은 교통상황에 따라 실시간의 신뢰성 있는 버스도착시간 예측모형을 제안하기 위하여 가중 이동평균법, 칼만필터모형, 신경망모형, 뉴로-퍼지 모형을 이용하여 실측자료와의 비교를 통해 예측의 적합성을 비교 분석하였다. 또한 이용자에게 효율적 안내정보를 제공하기 위하여 설문조사를 통한 이용자의 선호 정보조사를 토대로 최적의 운영전략을 제시하였다.

본 연구의 전체적인 구성은 2장 국내외 연구사례, 3장 최적버스도착시간 예측모형 선정, 4장 첨단버스안내시스템 운영전략, 5장 결론으로 이루어진다.

2장 문헌고찰에서는 버스정보시스템의 국내·외의 연구사례를 통한 예측기법의 선행 연구사례를 검토하고 국내·외의 구축사례를 검토한다.

3장 최적버스도착시간 예측모형 선정에서는 수집자료의 지점특성 및 통계적 특성을 분석한 후 자료의 전처리 단계로써 결측치 및 이상치 제거 작업을 실시한다. 또한 가중이동평균 기법, 칼만필터 모형, 신경망모형, 뉴로퍼지모형의 기본이론을 설명하고 각각의 예측모형을 구축한 후 예측모형의 평가 척도로는 MARE (Mean Absolute Relation Error), RMSE (Root Mean Square Error)를 사용하였다. 마지막으로 예측결과에 따른 최적알고리즘 제시한다.

4장 첨단 버스안내시스템 운영전략에서는 설문조사를 통한 버스이용자의 선호정보조사를 실시한다. 그리하여 설문조사 결과를 적극 반영하여 상황에 유연하게 대처하고 이용자의 요구에 부응하는 버스안내시스템 운영전략을 제시한다.

5장 결론에서는 논문의 전반적인 내용을 정리하고 3장, 4장에서 도출

된 결과의 평가를 실시하며 향후연구 과제를 제시한다.

본 논문의 전체 연구 수행과정은 다음 그림과 같다

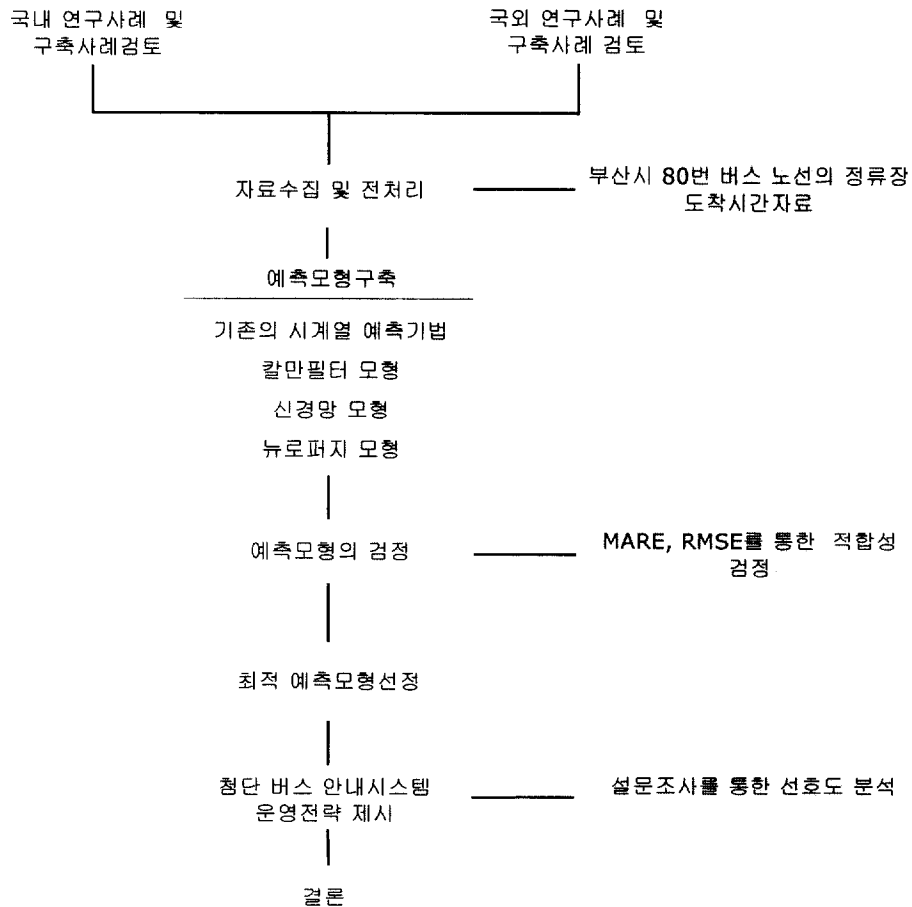


Fig 1.2 Research Method

2장 국내외 연구사례

1. 국내사례

가. 국내연구사례

버스도착시간 예측의 기본개념은 정류장을 노드로 하여 노드와 노드를 연결하는 각 링크의 통행시간을 예측해 현재버스의 위치로부터 도착예정 정류장까지의 각 링크별 예측 통행시간에 대한 누적시간을 의미한다.

정영훈(2001)의 연구결과를 요약하면 GPS를 통한 위치자료와 요일, 시간, 돌발상황 등의 패턴자료로 구분해 상황에 따른 패턴자료를 이용하여 링크 통행시간을 예측함으로써 교통상황에 변화에 따른 통행시간 변화를 반영하였다.

배덕모(2001)의 연구결과를 요약하면 부천시의 버스정보시스템 운영사례를 통하여 도착시간 정보의 신뢰도 평가와 버스정보시스템 도입에 대한 이용자의 만족도에 대하여 분석하였다.

김은길(2001)의 연구결과를 요약하면 버스도착시간 안내를 위한 도착시간 예측알고리즘을 제안하고 GPS에 의한 위치데이터와 비디오촬영에 의해 조사·수집된 데이터와 시뮬레이션 결과 값의 비교를 통해 버스도착시간 안내시스템의 적용 가능성을 검토하였다.

전병규(2001)의 연구결과를 요약하면 GPS를 통한 지점도착시간 자료, 조사원을 통한 실측 지점도착시간 자료, 신호교차로의 신호 스케줄 자료를 이용하여 칼만필터 모형을 구축하였다.

나. 국내구축사례

부산광역시는 2004년 현재 3개 노선의 시범사업을 구축하고 버스 3개 노선, 마을버스 1개 노선에 1단계사업을 추진 중에 있다. 버스위치추적 방식으로는 비콘+GPS방식, 통신방법으로는 비콘망을 채택하고 있다.

서울특별시 2004년 현재 427개 노선에 대하여 버스의 배차간격 및 정시성을 확보하기 위하여 BIS개념을 확장한 버스운행정보시스템(BMS)을 실시하여 GPS와 무선통신을 기반으로 실시간으로 버스운행을 파악하고 있다. 유무선 인터넷 서비스, 운전자 단말기, ARS, Mobile Phone 등을 통하여 실시간 정보를 제공하고 있다.

대전광역시는 2004년 현재 111개 노선에 대하여 첨단교통모델 도시 구축사업의 일환으로 시내버스정보시스템, 시내버스운행관리시스템, 버스전용차로관리시스템 등을 설치하였다. 시내버스 정보시스템은 구간별 예상 소요시간, 정류장별 도착예정시간, 배차정보, 버스 운행위치과약 등을 활용한 실시간 버스위치 정보와 운행상태에 관한 정보를 제공한다.

광주광역시는 광역시 단위로는 최초로 버스정보시스템(BIS)을 구축하였다. 2004년 현재 송산유원지~장등동 구간의 60번 노선에 대해 시범사업을 실시하였으며 제공서비스에는 버스도착시간 및 버스위치, 버스전·후 위치, 버스노선 안내가 있다.

울산광역시는 2004년 현재 태화로 주변구간에 대하여 구축 중에 있다. 정류소단말기와 신호제어기를 이용한 차량단말기와의 RF모듈의 적용으로 회선수를 최소화하였다. GPS와 타코미터를 이용한 도착예정시간, 운행거리 등의 버스운행정보를 제공한다.

부천시 2004년 현재 도시전체규모로 버스정보시스템(BIS)을 최초로 시행한 도시

로써 2004년 현재 시스템 업그레이드 및 기능을 확대 중에 있다. 제공서비스에는 실시간 버스정보안내, 버스노선 및 정류소 안내 등이 있다.

국내에서 실시간 버스도착안내시스템(BIS) 구축사업을 이미 완료하여 운영 중에 있는 사례와 현재 시스템 구축사업을 추진 중에 있거나 계획을 가지고 있는 사례를 전체적으로 요약하면 다음 표와 같다.

Table 1.1 A Case of Domestic BIS

구분	구축내용			
	시스템규모	위치추적 및 통신기술	도착시간 예측방법	주요기능
부산시	시내버스 6개노선 마을버스 1개노선	비콘, GPS	가중이동 평균법	버스운행정보 버스운영관리
서울시	427개 노선	GPS, 무선통신	이력자료 활용	버스운행정보 버스운영관리
대전시	시 전역	DSRC	이력자료 활용	버스운행정보 버스운영관리
광주시	60번 노선	비콘, GPS	가중이동 평균법	버스운행정보 버스배차관리
울산시	태화로 주변	비콘, GPS, CDMA	이력자료 활용	버스운행정보
부천시	전 구간	비콘	가중이동 평균법	버스운행정보
용인시	영통~에버랜드구간	비콘, GPS	가중이동 평균법	버스운행정보 버스환승정보
과천시	종합청사~서울대공원	비콘, GPS	가중이동 평균법	버스운행정보 버스운영관리
전주시	시 전역	DSRC	이력자료 활용	버스운행정보 버스운영관리
안산시	3개구간	비콘, GPS	가중이동 평균법	버스운행정보 버스운영관리
시흥시	1개노선	비콘, GPS	가중이동 평균법	버스운행정보 버스운영관리
군포시	마버스 4개노선	비콘, GPS	가중이동 평균법	버스운행정보 버스운영관리
안양시	22개노선	GPS, 무선데이터망	이력자료 활용	버스운행정보 버스운영관리

3. 국외사례

가. 국외연구사례

Simon Cohen 외(1997)의 연구결과를 요약하면 신경망을 이용하여 경로에 따른 통행시간을 예측함으로써 통행시간 예측에 영향을 미치는 요인을 연구하였다. 신경망의 입력 자료로는 용량, 점유율, 정지시간, 정지빈도, 평균주행속도 등을 이용하였다. 그러나 각 경로 특성이 확연히 구분되지 않음으로써 예측의 정확도 면에서 한계가 있다.

Lin(1999)의 연구결과를 요약하면 GPS와 정류장 배차시간을 통해서 버스도착시간을 예측하였다. 버스 이용자가 특정노선의 버스도착시간 정보를 요청했을 경우에 버스의 위치를 파악해 정보요청 정류장까지의 각 정류장마다 정해진 버스 도착시간을 통해 나오는 통행시간을 누적해 도착시간정보를 제공하도록 하는 방법이다. 그러나 교통상황에 따라 정류장마다 배차시간의 차를 고려하지 못한 한계가 있다.

D.J. Daily(2000)는 칼만필터 기법을 활용하여 검지기로부터 수집된 자료를 바탕으로 웹 기반의 실시간 버스통행시간예측 모형을 제시한 바 있다. 그러나 버스위치자료의 갱신주기가 일정하지 않은 문제점을 내포하고 있다.

Shalaby(2003)의 연구결과를 요약하면 GPS와 APC(Auto Passengers Counters)를 이용하여 수집된 통행시간자료와 정류장별 승객수요는 동적 예측모형인 칼만필터 모형을 이용한 링크통행시간 예측모형과 승객수요 예측에 따른 정류장 dwell time 예측모형 기초 자료로 사용하였다. 버스 이용자가 도착시간 정보를 요청하면 버스위치로부터 정보요청 정류장까지의 각 링크별 통행시간과 dwell time을 예측모형을 통해서 예측해 도착예측 시간으로써 예측된 시간들의 누적시간을 제공하도록 하였다.

나. 구축사례

미국은 1980년대 초부터 AVL 시스템을 도입하여 버스위치확인에 활용하고 있으며, 최근 80여개 지자체에서 버스운행관리시스템을 운영 또는 구축 중에 있고 75개 지자체에서는 계획 중에 있다. 버스운행관리시스템을 도입한 대표적인 도시는 뉴욕, 시카고, 시애틀, 휴스턴 등이 있다.

대중교통관리시스템의 추진정도를 나타내는 지표로는 버스정보시스템(CBIS)을 통한 정보제공, 버스운행관리시스템(BOMS)으로 운영되는 버스, 모니터링 기능이 있는 대중교통, 그리고 AVL(Automatic Vehicle Location)을 장착한 준 대중교통 등이 있는데 미국에서는 이 중에서 CBIS를 통한 정보제공이 가장 많이 이용되고 있다.

유럽에서 버스운행관리시스템은 1980년대 중반 이후부터 영국, 프랑스, 독일, 스위스, 이탈리아, 벨기에 등을 중심으로 부분적으로 시스템이 구축되어 서비스를 제공하고 있다. 영국 런던에서는 COUNTDOWN 이라는 실시간 버스도착안내시스템을 운영중에 있다. 이 시스템은 비콘 방식에 의해 차량위치를 추적하여 정보를 수집, 처리하여 실시간 정보를 제공하고 있으나 정확도는 다소 떨어진다.

아시아에서는 1990년대 이후 일본, 대만, 홍콩을 중심으로 하여 버스운행관리시스템이 구축되어 운영 중이며, 타 지역으로 확장되고 있다.

Table 1.2 A Case of Foreign BIS

구분	시스템명	내용
미국	Chicago Transit Authority	버스도착안내, 비상정보 메시지, 지연정보안내 각 정류장에서 음성과 시각정보를 동시에 제공함
	Houston Smart Commuter	실시간 대중교통정보시스템 대중교통정보수집 및 제공체계 구축방안 모색 각종 첨단기술 활용을 위한 구현가능성 검토
	New York MATIS	GPS를 통한 위치파악 및 정류장의 Kiosk를 통한 정보제공 정류장, 환승지점의 모니터를 통한 정보제공 버스내 정보표시장치 설치
유럽	영국/Countdown	서비스 오류정보 안내, 노선안내, 음성정보서비스 대기시간안내, 최종목적지 안내
	벨기에/Phoebus	노선안내, 종점안내, 대기시간안내 서비스오류정보안내, 버스위치안내 정류장안내 단말기의 높은 식별성
	독일/DFI	노선안내, 종점안내, 대기시간안내, 버스위치정보안내 서비스 오류정보안내, 관광정보안내, 교통상황안내 식별성 향상을 위해 큰 폰트의 글자사용, 음성안내실시
	이탈리아/VIA	노선안내, 대기시간안내 현재시간안내, 서비스 오류정보안내 정류장안내 단말기의 높은 식별성
아시아	동경/BOIS	버스도착시간, 목적지 도착시간 안내, 운행정보송신 운행거리판독, 승객계수기
	홍콩/PIDS	종점안내, 대기시간안내, 현재시간안내 서비스오류정보안내, 광고

4. 시사점

국내외 연구사례를 고찰한 결과 실시간으로 변하는 도로의 상황을 정확하게 반영하는 예측 모형은 아직까지 개발되지 못하고 있는 실정이다. 따라서 다양한 예측모형을 개별 또는 결합을 통하여 발전된 형태의 예측모형을 개발이 필요하다.

그리고 국내외 구축사례를 고찰한 결과 정보제공의 정확성, 신뢰성, 경제성 측면에서 최적의 시스템이 구축되지 못하고 있는 실정이다. 따라서 최적의 위치추적기술 및 알고리즘 개발, 정보구현의 최적화가 요구된다.

3장 최적 버스도착안내시스템 선정

1. 자료의 전처리

가. 자료수집 및 특성

(1) 개요

부산시는 2003년~2006년 까지 시내버스 전체노선에 대하여 버스정보 시스템(BIS) 사업을 추진 중에 있다. 2004년 현재 3개 노선(80번, 80-1번, 583번)을 대상으로 시범사업이 완료되었으며 시내버스 3개 노선(131번, 131-1번, 142번), 마을버스 1개 노선(남구 1번)을 대상으로 1단계 사업을 추진하고 있다.

본 논문에서는 시범사업 구간인 80번 버스노선 자료를 이용하였으며 운행거리, 정류장수, 배차간격, 운행횟수, 소요시간 등의 노선 특성은 다음과 같다.

Table 3.1 Feature of Route Number 80

노선번호	노선특성					
	운행거리	정류장수	운행대수	배차간격	운행횟수	소요시간
80	36.2km	78개소	17대	9분	98(회/일)	135(분/회)

(2) 자료수집

본 논문에 사용된 자료는 크게 80번 노선의 2004년 9월16일~2004년 10월16까지의 1달간 정류장 도착시간 자료와 노선현황 자료로 구분된다.

(가) 정류장 도착시간자료

정류장 도착시간 자료는 각 정류장에 설치된 비컨(Beacon)으로부터 수집된 것이며 노선번호, 차량번호, 입력날짜, 등록율, 시작시간, 종료시간, 정류장별 도착시간의 자료를 포함하고 있다. 자료의 평균 등록율은 94%이다.

순서	노선 번호	차량 번호	등록율	시작시간	종료시간	순복음 교회	예비군 훈련소	.....
1	80	3104	93%	09:45:05	11:56:49	09:48:40	09:49:06	.....
2	80	3104	91%	15:37:39	17:20:44	15:08:08	15:08:41	.....
3	80	3104	93%	17:54:59	20:23:21	17:56:14	17:56:54	.....
4	80	3104	92%	19:33:14	21:26:39	19:33:43	19:34:08	.....
5	80	3104	91%	20:08:50	22:34:13	20:42:29	20:43:00	.....
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.

Figure 3.1 Configuration of Raw Data

(나) 노선 현황자료

예측모형의 입력자료와 노선의 현황을 파악하기 위하여 2004년 10월12일 하루 동안 정류장간 통행시간에 영향을 미치는 주요 요인을 조사하였다.

조사된 자료로는 차로수 신호등수, 교차로수, 구간거리, 전용차로유무, 회전수 등을 포함하고 있다.

Table 3.2 Field Data of Route Number 80

정류장	차로수	신호등수	교차로수	구간거리 (km)	전용차로 유무	회전수	
						좌	우
한샘학원					무		
남산고교	2			0.3	무		
순복음 교회	2			0.2	무		
남산동 예비군교장	2			0.2	무		
남산소방파출소	2	1	1	0.4	무	1	
선경 3차 apt 입구	1		1	0.3	무		1
신동아 apt	1	2		0.2	무		
구서주공 apt	1	2		0.3	무		
구서주공 apt입구	1	2		0.2	무		
구서시장	1		1	0.4	무		
구서동 주택은행	1	1		0.3	무		
에그린 apt	1			0.2	무		
장전초등학교	1	2		0.3	무		
장전어린이 놀이터	1		1	0.2	무		
장전중앙교회	2			0.3	무		
장전현대 apt	2			0.2	무		
부산대 정문	2			0.2	무		

Table 3.2 Field Data of Route Number 80(continue)

정류장	차로수	신호등수	교차로수	구간거리 (km)	전용차로 유무	회전수	
						좌	우
부산대 구정문	2		1	0.4	무		
금정초등학교	1		1	0.2	무		
식물원입구	1		2	0.3	무		
온천소방서	1		1	0.4	무	1	1
온천장	1		1	0.5	무	1	1
금강원입구	2		1	0.3	무		
원예고등학교	2	1	2	0.6	무		1
온천초등학교	2	1	1	0.3	무		
미남농협	2	1	1	0.3	무	1	
미남교차로	4	2	1	0.3	무		
구 부산백화점	4	1	1	0.3	무		
사직 1파출소	3	1		0.5	무		1
사직 주공apt	1	1	2	0.7	무	1	1
부산 종합운동장	2		3	0.6	무	2	1
창신초등학교	4		2	0.5	무		
거성교차로	3	1	1	0.5	무		
화랑아파트	3	2		0.4	무		
거제제일교회	3	1		0.2	무		
거제역	5	1		0.5	무		1
하마정	5	3	1	1	무		
양정스카이멘션	3	1	1	0.4	무		
부전역	4	2	2	1	유		1
부전시장	4		1	0.3	유		
서면파고다학원	4		1	0.8	유	1	
범내골	3		2	0.6	유		
중앙시장	3	1	1	0.5	유		
자유시장	3	1	1	0.4	무	1	

(3) 자료의 특성

(가) 전체 통행시간 특성

정류장 통행시간은 평균 77.01초 표준편차는 33.65초를 나타내었다. 대부분의 정류장간 통행시간이 100초 이내의 값으로 나타났으나 부산대 주변, 사직종합운동장 주변, 서면주변에서는 이보다 많이 걸리는 것을 알 수 있다.

부산대 주변의 경우 구간거리는 짧으나 차로 폭이 좁고 많은 유동인구로 인하여 통행시간이 지체되는 것으로 판단된다. 사직종합운동장 주변은 많은 상가와 다수의 신호교차로에 영향을 받는 것으로 판단되며, 서면 주변의 경우 교통량, 신호주기, 정류장의 승하자 인원수에 통행시간이 지체되는 것으로 판단된다.

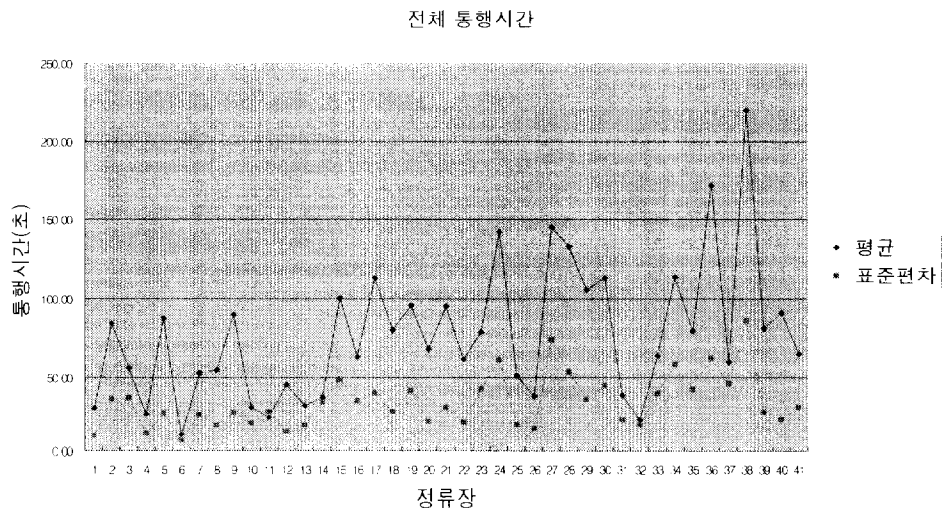


Figure 3.2 Total Travel Time

(나) 첨두시, 비첨두시 통행시간 특성

전체구간에 대한 첨두시, 비첨두시로 나누어 정류장간 통행시간의 특성을 분석하였다. 통행시간 특성은 첨두시의 정류장간 통행시간 및 표준편차의 값이 전체평균에 비하여 높게 나타났다.

Table 3.3 Travel Time on Peak, Nonpeak Period

구분	평균	표준편차
첨두시	77.43	33.97
비첨두시	74.37	30.45

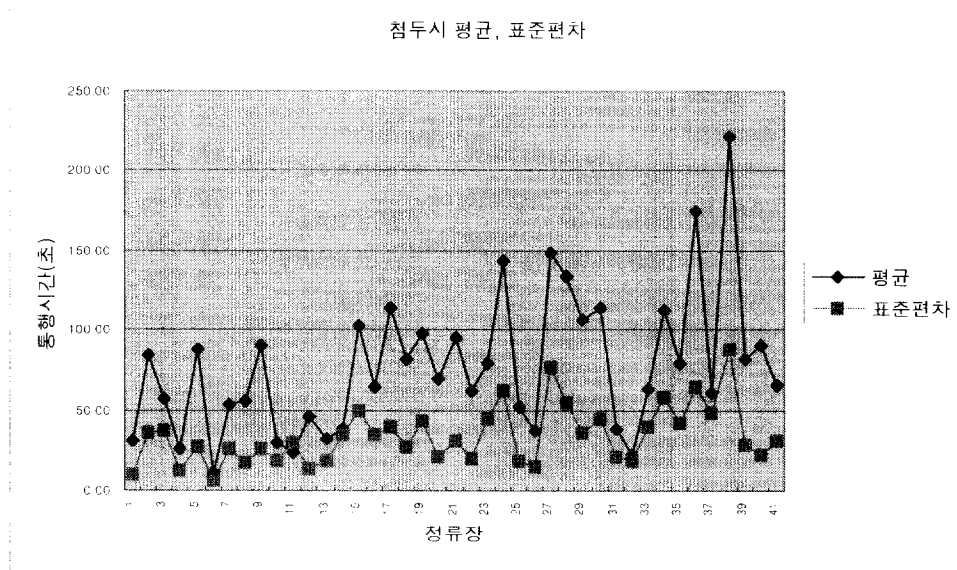


Fig 3.3 Travel Time on Peak Period

비점두시 평균, 표준편차

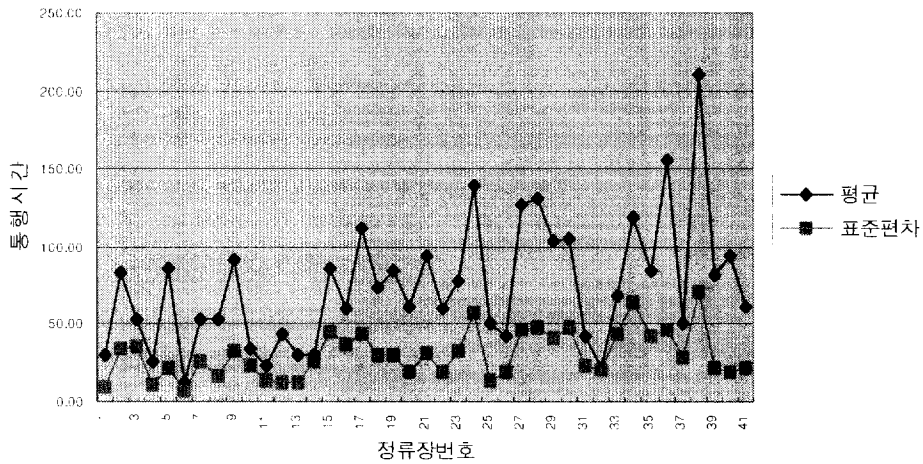


Fig 3.4 Travel Time on Nonpeak Period

(다) 요일별 통행시간 특성

전 구간에 대하여 요일별 정류장간 통행시간을 분석하였다. 금요일의 통행시간이 가장 높게 나왔으며, 공휴일 통행시간이 가장 낮은 값을 나타내었다.

Table 3.4 Travel Time on Day of Week

구분	월요일	화요일	수요일	목요일	금요일	공휴일
평균(분)	53.65	52.64	53.16	52.61	55.19	50.74
표준편차	22.31	21.02	21.05	20.81	25.93	22.43

(라) 배차간격 특성

버스의 배차간격 준수여부를 알아보기 위하여 신동아 아파트 정류장, 서면파고다 학원 정류장을 추출하여 배차간격 특성을 분석하였다.

신동아 아파트 정류장의 경우 규정 간격 9분에 대하여 최대 6분44초 가량 늦게 도착했으며 서면 파고다학원 정류장의 경우 최대 8분 47초 가량 늦게 도착하였다. Fig 3.5에서와 같이 대부분의 정류장에서 규정 배차간격을 지키지 않는 것으로 나타났다.

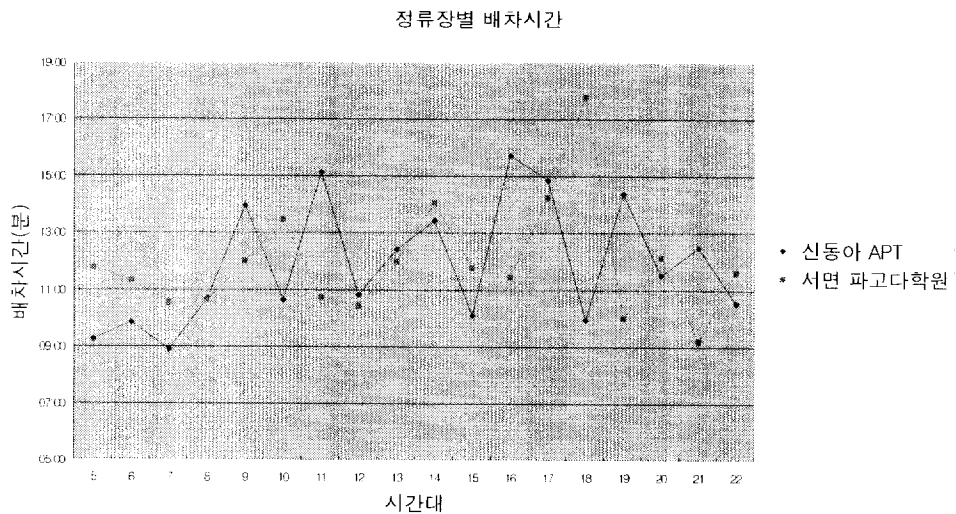


Fig 3.5 Dispatch Time at the Bus Stop

나. 자료의 전처리 및 구축

(1) 이상치 제거

원시자료에 포함된 이상치를 제거하기 위하여 다음과 같은 과정을 수행하였으며 계산된 버스통행시간은 시간단위를 하나로 통일하기 위해서 모든 시간단위를 초로 변환하였다.

- n+1정류장의 도착시간이 없을 경우 마이크로 소프트 엑셀의 계산과정에서 에러가 발생하므로 에러 값들을 모두 0으로 처리하였음.
- n-1정류장의 버스도착시간이 n정류장의 버스도착시간 보다 적을 경우 n+1정류장의 버스도착시간은 0으로 하여 제거함.
- n정류장에서 n+1정류장간의 버스 도착시간이 현저하게 지연 될 때, 30분을 최대치로 한정하였고 이 경우 0으로 처리함.
- n정류장에서 n+1정류장간의 버스 도착시간이 현저하게 짧은 경우(초 이하) 0으로 처리함

순서	노선 번호	차량 번호	등록율	시작시간	종료시간	순복음 교회	예비군 훈련소	.....
1	80	3104	93%	09:45:05	11:56:49	30	-3521	.....
2	80	3104	91%	15:37:39	17:20:44	6845	2	.....
3	80	3104	93%	17:54:59	20:23:21	13	13	.....
4	80	3104	92%	19:33:14	21:26:39	45	35	.....
5	80	3104	91%	20:08:50	22:34:13	23	39	.....
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.

Fig 3.6 Abnormal Value of Raw Data

(2) 결측치의 보정

버스도착시간 예측을 하기 위하여 이상치가 제거된 자료를 바탕으로 0으로 처리된 자료에 대하여 구간의 패턴을 고려한 의미있는 값으로의 보정이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 결측자료에 대하여 결측이 발생한 자료의 요일을 파악한 후 동일한 시간대의 버스도착시간자료의 평균값을 이용하여 결측치를 보정하였다.

(3) 자료의 구축

각 예측모형에 입력값으로 이상치 처리와 결측치 보정이 끝난 자료에 대하여 전체 통행시간 자료와 요일별자료, 공휴일자료를 구축하였다

2. 모형의 구축

가. 가중 이동평균법 모형의 구축

(1) 가중 이동평균법의 개요

버스도착시간 예측을 위하여 이벤트 또는 임의의 주기로 수집된 정보 중 최근접한 과거정보를 시간대에 따라 가중치를 적용하는 방식을 가중 이동평균법(Weighted Moving Average)이라 한다. 가중치 산정은 시간의 흐름에 따라 역순으로 줄여나가며 계산하는 선형 가중 이동평균(Linearly Weighted Moving Average)을 적용한다.

$$F_t = \alpha_1 D_{t-1} + \alpha_2 D_{t-2} + \cdots + \alpha_N D_{t-N}$$

단, 여기서 α_i 는 가중치이며

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \cdots + \alpha_N = 1 \text{이다.}$$

(2) 모형의 구축

가중 이동평균법은 현재 대부분의 버스정보시스템(BIS)에서 버스도착 시간 예측 알고리즘으로 사용되고 있는 방식이다. 예측 대상이 되는 정류장의 먼저 지나간 3대의 버스의 통행시간을 추출한 후 전 버스에 50%, 전전 버스에 30%, 전전전 버스에 20%의 가중치를 부여하여 예측을 실시하였다.

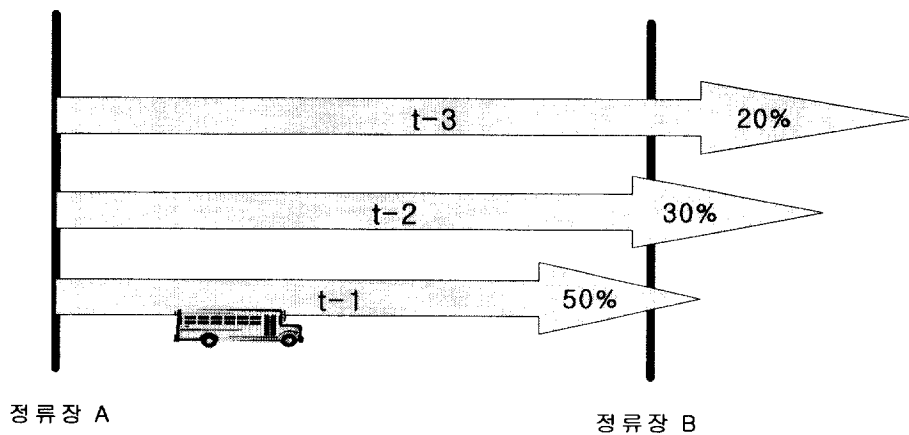


Fig 3.7 Weighted Moving Average Model

나. 칼만필터 모형의 구축

(1) 칼만필터 모형의 기본이론

칼만필터 모형(Kalman Filter Model)은 공정 제어(Engineering Control)를 위하여 R.E. Kalman(1960)에 의하여 제안된 알고리즘으로, 시간의 흐름에 따라 모형식이 변화하는 동적모형으로 선형과 비선형의 중간 형태를 지니고 추정문제도 칼만필터링 으로 해결하는 등 여러 가지 장점이 있어, 경제예측, 신호처리, 기상예보 등 응용범위가 매우 넓은 모형이다.

$F_t, G_t, W, V, m_0, C_0, t=1,2,\dots$ 가 주어진 경우 다음의 생성식 으로 이루어진 모형식을 칼만필터 모형이라 한다.

$$\theta_0 \sim N(m_0, C_0) \quad : \text{초기분포}$$

$$\theta_t = G_t \theta_{t-1} + w_t, \quad w_t \sim N(0, W) \quad : \text{상태방정식}$$

$$Y_t = F_t \theta_t + v_t, \quad v_t \sim N(0, V) \quad : \text{관측방정식}$$

여기서 θ_t 는 상태벡터(State Vector), G_t 는 전 상태 θ_{t-1} 를 현 상태 θ_t 로 변화시키는 전이행렬(Transition Matrix), w_t 는 내적오차벡터(Innovation Error Vector), Y_t 는 관측치(Measurement), F_t 는 상태벡터가 관측치에 영향을 주는 출력행렬(Output Matrix), v_t 는 출력오차(Output Error)이다. θ_{t-1} 과 w_t 는 독립이며, θ_t 는 v_t 와 독립이고, 두 오차는 서로 독립이다.

칼만필터 알고리즘은 다음과 같은 단계로 이루어진다.

F_t, G_t, W_t, V_t 가 모든 시간에 대하여 주어져 있는 상태에서 다음의 과정을 수행한다.

[단계 1] 초기치 부여: m_0, C_0 를 알맞은 범위에서 임의로 잡는다

[단계 2] 반복단계(최신화 및 예측치 생성단계): $t=0, 1, 2, \dots$

$$a_t = G_t m_{t-1}$$

$$R_t = G_t G_{t-1} G_t' + W_t$$

$$f_t = F_t a_{t-1} \quad : \text{일단계 전방예측}$$

$$Q = F_t R_{t-1} F_t' + V_t$$

$$e_t = Y_t - f_t \quad : \text{예측오차}$$

$$A_t = R_t^{-1} F_t' Q^{-1} \quad : \text{칼만이득(Kalman Gain)}$$

$$m_t = a_t + A_t e_t \quad : \text{최신화된 상태벡터의 평균벡터}$$

$$C_t = R_t - A_t Q A_t' \quad : \text{최신화된 상태벡터의 공분산행렬}$$

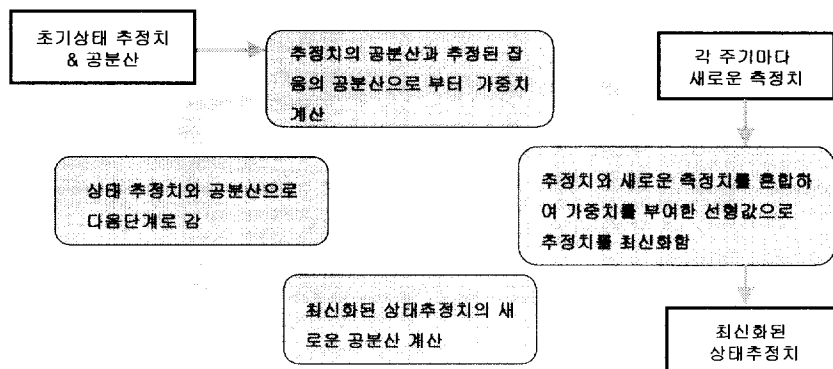


Fig 3.8 Kalman Filter Algorithm

(2) 칼만필터 모형의 구축

칼만필터 모형의 구축은 Matlab 6.5의 Kalman Filter Function을 사용하였으며 다음과 같은 알고리즘을 구현하였다.

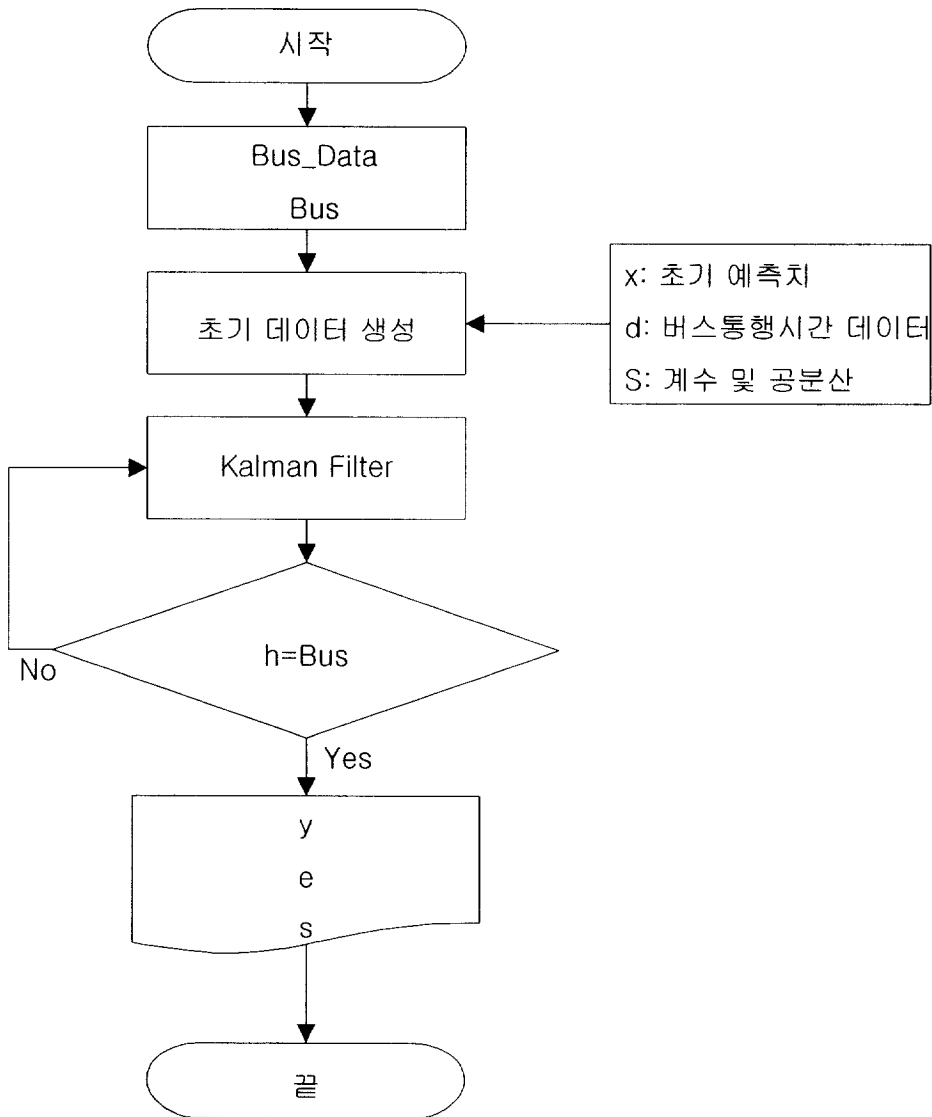


Fig 3.9 Flowchart of Kalman Filter Model

모형의 입력값은 버스통행시간 데이터와 예측하고 싶은 버스의 위치자료이다. Matlab에서 제공하는 Kalman Filter Function(adaptkalman.m)은 초기치 생성 시 예측하고자 하는 버스의 데이터 상의 위치를 결정하게 하므로 초기치 생성 전에 입력하여야 한다.

본 연구에서 입력 자료는 1달간의 자료 중 같은 요일의 데이터만을 사용하였다.

Matlab에서 지원하는 Kalman Filter Function(adaptkalman.m)에서는 초기 데이터의 크기에 의해 예측하려는 버스가 결정된다. 즉, 초기 예측 데이터(x)를 $1 \times n$ 행렬로 구성하고 K_0 (초기오차의 상관행렬)와 q_m (측정된 노이즈의 공분산) 그리고 q_p (필터 내부 노이즈의 공분산) 를 $n \times n$ 행렬로 구성 할 경우 입력 자료에서 n번째 버스의 통행시간까지 예측하게 된다. 그러나 생성된 초기 예측치에서 실제 칼만필터에 영향을 끼치는 원소는(1,1)에 위치한 원소 뿐 이다. 그래서 초기 예측치 데이터(x)의 경우 난수 생성기를 이용하여 1~500 사이의 양의 정수형 무작위 값을 사용하였으며, W_0 , K_0 , q_m , q_p 의 경우 칼만필터의 수렴속도에 영향을 끼치므로 여러 번 수행과정 중에 적당한 값($K_0=0.3$, $q_m=1$ $q_p=0.1$)으로 결정하였다.

칼만필터의 수행결과 y(버스통행시간 예측치), e(예측된 값의 실측치에 대한 오차), S(마지막 수행에서 사용된 계수 및 공분산) 출력된다.

다. 신경망 모형의 구축

(1) 신경망의 기본이론

신경망 이론은 1943년 수학자인 맥컬릭(Mcculloch)과 피츠(Pitts)에 의한 최초의 뉴런모델로 시작되었다. 신경망은 인간 두뇌와 같이 생각하고 판단하며, 인식할 수 있는 능력을 구현하기 위해서 뇌의 정보처리 과정을 수학적 측면에서 관찰하여 컴퓨터로 실현시킨 것이다. 따라서 신경망은 적응성, 학습성, 병렬구조를 가진다. 이러한 신경망의 특성으로 인하여, 신경망은 음성 또는 영상인식, 진단 및 예측으로 인한 의사결정시스템, 학습알고리즘을 이용한 비선형계의 예측 등의 분야에 이용된다.

신경망의 기본구조를 정리하면 입력층, 은닉층, 출력층으로 구성되며 각층을 구성하는 기본적인 요소는 신경소자인 뉴런과 연결 두 가지이다. 층을 구성하고 있는 각 뉴런은 활성화함수에 의해 정보를 처리하고 연결은 학습에 의해 조절되는 가중치를 가진다.

Table 3.5 Component of Neural Network

구분	정의
뉴런 또는 신경세포	· 신경망 동작에 중심적 역할을 하는 요소이며 입력층, 은닉층, 출력층으로 구분됨
연결	· 뉴런들 사이를 연결하고 다른 층 사이의 뉴런들을 연결함 · 각 연결은 가중치를 가지며 신경망의 학습은 가중치의 조절로써 수행됨
활성함수	· 신경망에 비선형적인 특성을 가지게하고 뉴런의 출력을 조절해줌 · 활성화함수로 시그모이드 함수가 가장 많이 사용됨
학습규칙	· 신경망이 학습할 수 있도록 하는 규칙이며 뉴런들 사이를 연결해주는 연결의 가중치를 조절함 · 학습규칙으로는 오류역전파 알고리즘이 가장 많이 사용되며 헤브의 규칙, 델타 규칙 등이 있음

오류역전파 알고리즘(Error Backpropagation Algorithm)은 일반화된 델타규칙이라고도 불리며 오늘날 가장 유명한 신경망 학습규칙중의 하나

이다. 초기 신경망 모형이었던 퍼셉트론즈(Perceptrons)의 단점을 극복하기 위하여 입력과 출력층 사이에 한개 이상의 은닉층(Hidden Layer)을 두는 새로운 모형이다. 이것은 출력층 뉴런에서의 출력패턴과 목표패턴의 오차를 바로 아래층뿐만 아니라 그것에 달린 더 아래층 뉴런에게까지 전달함으로써 연결가중치를 조절해 주는 것이다.

Backpropagation Network는 훈련을 하는 동안 두 가지 단계의 절차를 실시한다. 첫 번째 단계에서는 입력패턴이 네트워크의 입력층에 입력되며 네트워크의 응답이 있기까지 레이어간 네트워크상의 결과 활성화 흐름이 출력층에서 생성되어진다. 두 번째 단계에서는 네트워크의 출력값이 특정 입력 패턴에 대해 원하는 출력값과 비교하고 만약에 값이 틀리다면, 네트워크를 통해서 에러값을 다시 뒤로(출력층에서 입력층으로)전파시키게 된다. 그리하여 에러값을 이용하여 연결상에서의 가중치를 조정하여 Backpropagation 오차를 수정한다.

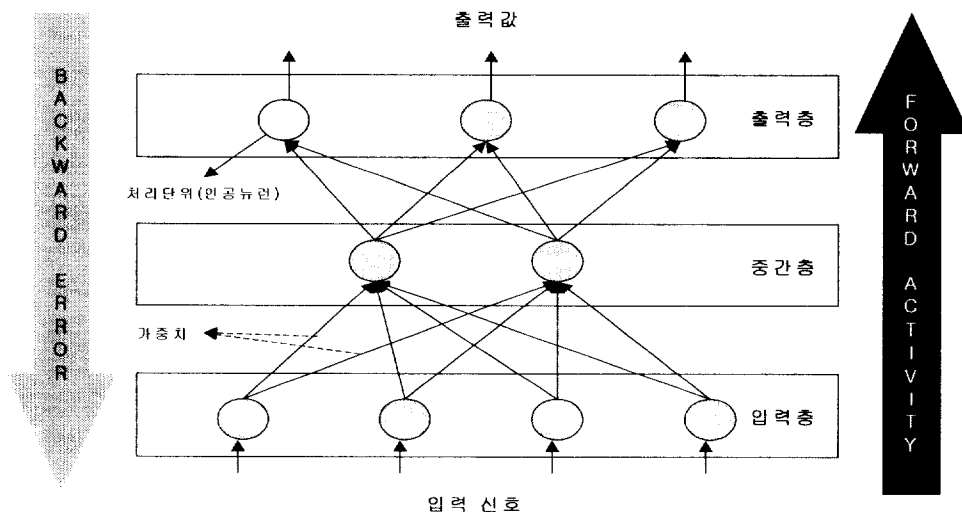


Fig 3.10 Structure of Backpropagation Algorithm

Backpropagation 뉴런은 변환 함수로 시그모이드 함수(S 형태)를 이용하고 각 뉴런은 각자의 형태에 따라서 자신의 출력값을 결정한다.

Backpropagation Network 계산과정은 다음과 같다.

- Net 입력값 계산. (가중 입력치)

$$I_i = \sum_{j=1}^n w_{ij} x_j$$

- 입력값이 Squashing 함수라고 불리는 활성화 식을 통과한다.

$$f(I) = \frac{1}{1 + e^{-I}}$$

- 이 식은 0과 1.0 사이의 값에 제한되어져 있으며, 기울기(도함수)는 항상 양의 값을 가진다.
- 이 식은 도함수일 때 계산하기가 아주 편한 특징을 보인다.

$$\begin{aligned} \frac{df(I)}{dI} &= \frac{e^{-I}}{(1 + e^{-I})^2} = \frac{((1 + e^{-I}) - 1)}{(1 + e^{-I})^2} \\ &= \frac{1}{(1 + e^{-I})} \left(1 - \frac{1}{(1 + e^{-I})}\right) \\ &= f(I)(1 - f(I)) \end{aligned}$$

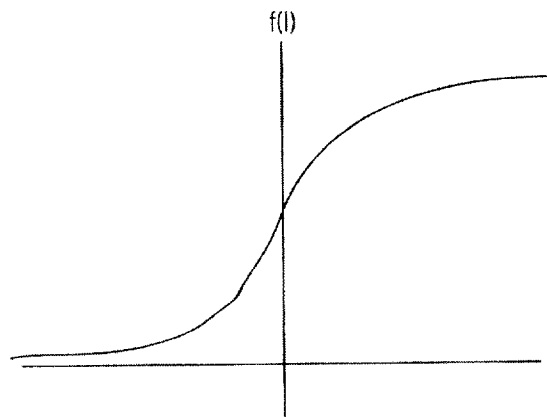


Fig 3.11 Configuration of Sigmoid Function f(I)

○ 가중치 변화 법칙(학습 법칙)

: 일반화된 delta 법칙은 주어진 연결강도에서 다음 식으로 구체화 시킨다.

$$\Delta w_{ij} = \beta E f(I)$$

여기서 : E=특정 뉴런에서의 오차

: β =학습 상수($0 < \beta < 1$)

: $f(I)$ =이전 계층의 뉴런에서의 출력값(유입 신호)

Backpropagation Network에서 출력층에서의 오차값의 계산은 adaline에서 쓰이는 방법과 같으나, 중간층에서의 오차값은 원하는 값을 알 수가 없으므로 보다 복잡하게 된다. 출력층에서의 오차가 중간층 뉴런으로 전달되고 원래 방향으로 수정되었던 활성화 흐름대로 똑같은 연결강도가 주어진다. 각각의 중간 레이어 상에서의 Net 오차는 각 출력층 뉴런으로부터 오차의 가중합계가 된다. Net 가중 오차는 중간층 뉴런에서의 활성화 함수의 미분값을 곱해서 구해진다.

○ 오차 계산 식

$$E_j^{output} = y_j^{desired} - y_j^{actual}$$

$$E_i^{middle} = \frac{df(I_i^{middle})}{dI} \sum_{j=1}^n (w_{ij} E_j^{output})$$

여기서 : 뉴런 j=출력층에서의 임의의(arbitrary) 뉴런

: 뉴런 i=중간층에서의 임의의 뉴런

: w_{ij} =(중간층)뉴런 i에서 출력층 뉴런 j로의 연결강도

(2) 신경망 모형의 구축

뉴로퍼지 모형의 구축은 Matlab 6.5의 NN(Neural Network) toolbox를 사용하였으며 다음과 같은 순서에 의하여 모형을 구축하였다.

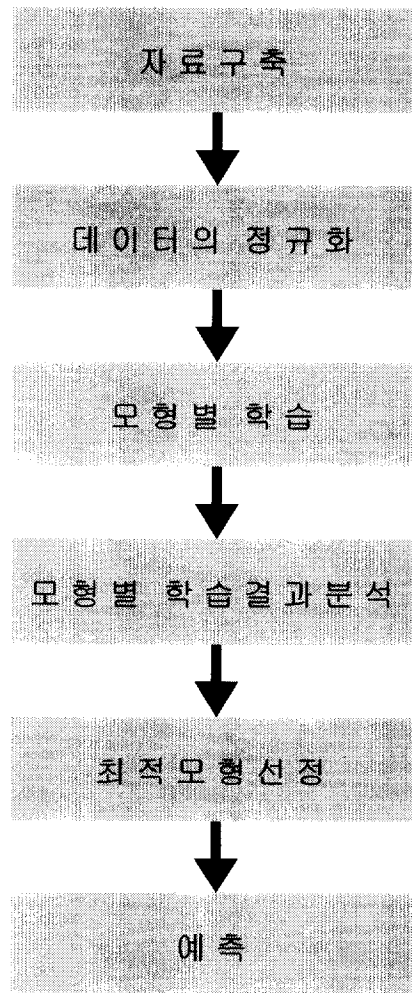


Fig 3.12 Flowchart of Neural Network Model

본 연구에서 버스통행시간 예측을 위해 역전파(Back Propagation) 알고리즘을 이용하였다. 역전파 알고리즘을 이용한 모형의 예측력은 입력된 자료에 대해 은닉층수, 은닉층 유니트수, 학습계수, 목표오차, 초기연결강도, 전이함수 형태, 학습반복횟수, 임계치 등의 네트워크 구조를 어떻게 설정하느냐에 따라 달라진다.

모형의 입력자료로는 1달간 자료 중 같은 요일대의 통행시간 자료와 차로수, 신호등수, 교차로수, 좌회전수, 우회전수, 전용차로유무, 배차시각, 구간거리 등의 노선현황자료 자료를 사용하였다.

신경망 모형의 출력치는 변환함수인 시그모이드 함수를 통해 0~1사이의 값으로만 주어지기 때문에 입력자료 또한 0~1사이사이의 값으로 정규화(Normalization)가 필요하다.

$$t = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

여기서 t = 정규화 값, $x_{\max}$ = 최대값

x = 데이터 값, $x_{\min}$ = 최소값

위의 정규화 식을 이용하면 자료는 0~1 사이의 값을 가지게 된다.

본 연구에서는 동일한 자료를 가지고 학습계수, 목표오차, 은닉층 유니트수가 변함에 따라 변하는 예측력을 실험하여 예측력을 최대로 하는 즉, 오차를 최소화하는 모형을 설정하였다. 모형의 형태는 은닉층 유니트수를 5개, 10로 목표오차를 0.005, 0.007, 0.05, 0.01로 학습계수를 0.5, 0.1, 0.05로 두어 총 24개 모형을 반복횟수 50,000번으로 하여 학습을 진행하였다

Table 3.6 Training Result of Neural Network

은닉층 유니트수	목표오차	학습계수	MARE	RMSE
10	0.005	0.5	0.5003	39.0319
		0.1	0.6849	39.0323
		0.05	0.6403	39.0323
	0.007	0.5	0.5036	46.1823
		0.1	0.8822	46.1826
		0.05	0.9263	46.1833
	0.01	0.5	0.6279	55.1881
		0.1	0.9363	55.1856
		0.05	1.1488	55.1534
	0.05	0.5	1.6710	74.3802
		0.1	2.5620	108.6580
		0.05	2.0904	122.9901
5	0.005	0.5	0.5012	39.0322
		0.1	0.5978	39.0328
		0.05	0.7282	40.9557
	0.007	0.5	0.8713	46.1810
		0.1	0.8788	46.1814
		0.05	0.8114	46.1836
	0.01	0.5	1.3964	54.8557
		0.1	0.9549	55.1191
		0.05	0.9348	55.1955
	0.05	0.5	2.7451	97.8526
		0.1	2.1712	120.7148
		0.05	2.2462	121.4146

모형의 예측력을 비교하는 척도로는 MARE(Mean Absolute Relative Error), RMSE(Root Mean Square Error)를 사용하였다

$$\text{MARE} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|X(i) - \hat{X}(i)|}{X(i)}$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N |x(i) - \hat{x}(i)|^2}{N}}$$

여기서, $X(t)$: 실측값

$\hat{X}(t)$: 예측값

각 모형별 신경망의 학습결과를 비교분석하면 학습계수가 클수록 예측력이 떨어지는 것을 볼 수 있다. 이론적으로 학습계수가 크면 모형이 지역 최소점에 빠지는 경우가 생길 수 있고, 학습계수가 너무 작으면 학습시간이 길어지는 단점이 있으므로 적절한 학습계수를 찾는 과정이 필요하다.

또한 같은 조건에서 은닉층 유니트수가 10개 일 때와 5개 일 때의 예측결과는 은닉층의 유니트수가 많을수록 전반적으로 우수한 결과를 나타내었다.

그리고 동일한 조건에서 목표오차의 값이 작을수록 예측결과가 우수한 것으로 분석되었다.

최종적으로 24개의 모형 중 학습계수 0.5, 은닉층 유니트 수 10개, 목표오차 0.05 일때의 모형이 가장 좋은 예측력을 가진 것으로 분석되었다.

라. 뉴로퍼지 모형의 구축

(1) 뉴로퍼지의 기본이론

뉴로퍼지 모형은 퍼지 시스템의 언어적 논리를 규칙의 형태로 표현할 수 있는 능력과 신경회로망의 오류 역전과 알고리즘을 사용한 학습기능이 서로 결합한 형태로 양 이론의 장점을 이용하여 서로의 단점을 보완한 구조를 가지고 있다. 퍼지 시스템은 애매함이 있는 시스템을 이해하기 쉽도록 정성적인 표현이 용이하고 불확실한 정보를 가지고 있는 시스템에 강인성을 발휘할 수 있다. 그러나 학습기능을 가지고 있지 않기 때문에 퍼지규칙을 얻기 위해 전문가나 경험에 의존해야 하는 어려움이 있다. 반면에 신경망은 시스템의 입출력 관계를 학습을 통해 추출할 수 있으며 병렬처리 기능을 가지고 있어 빠른 처리능력을 지닌다. 그러나 신경망은 주어진 시스템에 대해 정성적인 표현이 어려워 사용자가 시스템을 이해하기에는 어려움을 가진다. 이러한 두 시스템의 장점을 결합하고 단점을 해결하기 위해 퍼지 시스템과 신경망의 유사성과 상호보완관계를 이용하여 융합 및 결합을 시도한 모형이 뉴로퍼지 모형이다.

Table 3.7 Comparison of Fuzzy and Neural Network

구분	장점	단점
퍼지 시스템	· 애매한 정도에 대한 값을 정성적인 값으로의 표현이 용이함 · 불확실한 정보를 갖는 시스템에 강인성을 발휘함	· 학습기능이 없어 전문가나 경험에 의존한 퍼지규칙을 이용하여 결과 값을 출력함
신경망	· 입출력 관계를 학습을 통해 추출할 수 있음 · 병렬처리능력이 있음	· 정성적 표현이 어려워 애매한 시스템에 대한 이해도가 떨어짐

뉴로퍼지 시스템은 혼합형(Hybrid) 구조를 기초로 이루어진 모형으로, 본 논문에서는 퍼지 시스템의 슈게노-퍼지 시스템(Sugeno-type fuzzy system)과 인공신경망의 5계층 역전파 신경망(Backpropagation Neural Networks)을 혼합한 뉴로퍼지 모형을 이용하였다. 뉴로퍼지 시스템은 인공신경망 이론에서 이용된 기본 학습절차를 적용하여 5개 계층의 각 계층마다 각기 다른 학습 함수를 적용하였다.

○ 1레이어

이 레이어에서 모든 노드는 적응노드로서 다음의 노드식을 가진다.

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x) \quad \text{for } i=1,2, \text{ or}$$

$$O_{1,i} = \mu_{B_{i-2}}(y) \quad \text{for } i=3,4,$$

여기서 $O_{1,i}$ 는 퍼지 집합의 소속도를 나타내주는 멤버십 함수로서 주어진 입력값에 대한 구체적인 식별값들을 나타내준다. 여기서 멤버십 함수로는 주어진 입력값의 필요에 따라 가오시안 함수, 시그모이드 함수 등이 이용된다. 가오시안 함수 또는 시그모이드 함수의 변수들을 변화시킴으로써 입력값에 따른 멤버십 함수의 형태 또한 다양하게 변화시킬 수 있다.

○ 2레이어

이 레이어에서 모든 노드는 고정된 노드 표지(Fixed node label: Π)로, 모든 입력 신호에 대해 곱한 값을 출력값으로 나타낸다.

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_i}(x)\mu_{B_i}(y) \quad \text{for } i=1,2.$$

각 노드에서의 출력값 들은 각 룰 에 대한 강도를 나타낸다.

○ 3레이어

이 레이어에서 모든 노드는 고정된 노드 표지(Fixed node label: N)로,

i 번째 노드는 모든 룰의 강도에 대한 i 번째 룰에 해당하는 룰의 강도의 비율을 계산한다.

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2} \quad \text{for } i=1,2.$$

○ 4레이어

이 레이어에서 모든 노드 i 는 다음의 노드식을 가지는 적응 노드 (Adaptive node)이다.

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i x + r_i)$$

여기서 $\bar{w}_i$ 는 레이어 3에서 정규화되어진 강도이고 $\{p_i, q_i, r_i\}$ 는 변수이다.

○ 5레이어

이 레이어에서 1개 노드는 고정된 노드 표지(Fixed node label: Σ)로 다음의 식을 이용하여 모든 입력값에 대한 전체 출력값을 계산한다.

$$\text{overall output} = O_{5,1} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i}$$

(2) 뉴로퍼지 모형의 구축

뉴로퍼지 모형의 구축은 Matlab 6.5의 ANFIS(Adaptive Neuro-fuzzy Inference System) toolbox를 사용하였다. 뉴로퍼지 모형에 이용된 입력 자료의 형태는 신경망모형에서 이용된 자료와 같은 형태로 버스정류장별 통행시간, 차로수, 신호등수, 교차로수, 좌회전수, 우회전수, 전용차로유무, 배차시간, 구간거리가 이용되었다.

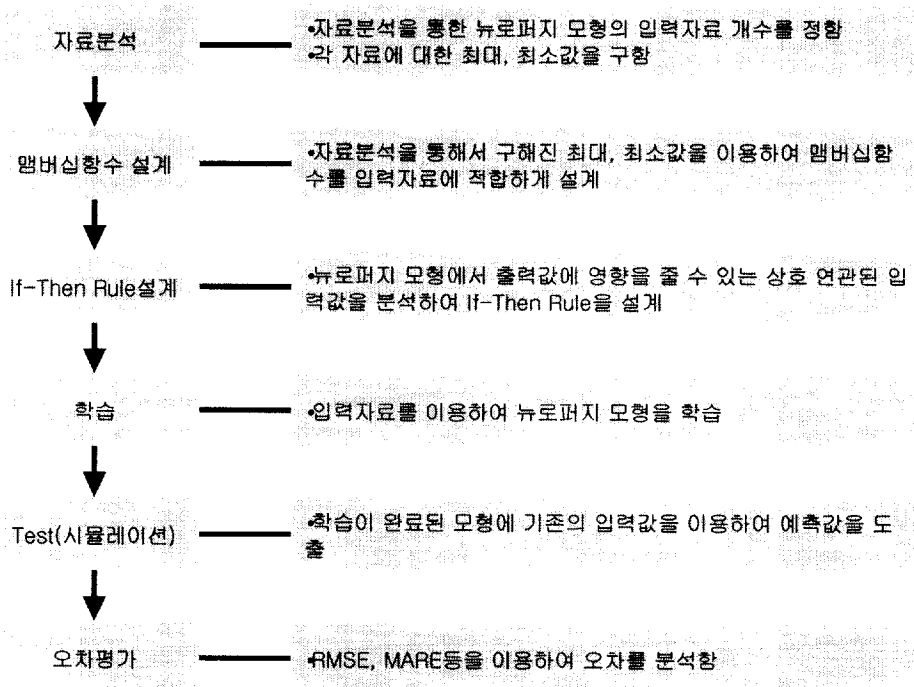


Fig 3.13 Flowchart of Neuro Fuzzy Model

각 입력값에 따른 멤버십 함수(Membership Function)의 형태는 다음과 같이 구성되었다.

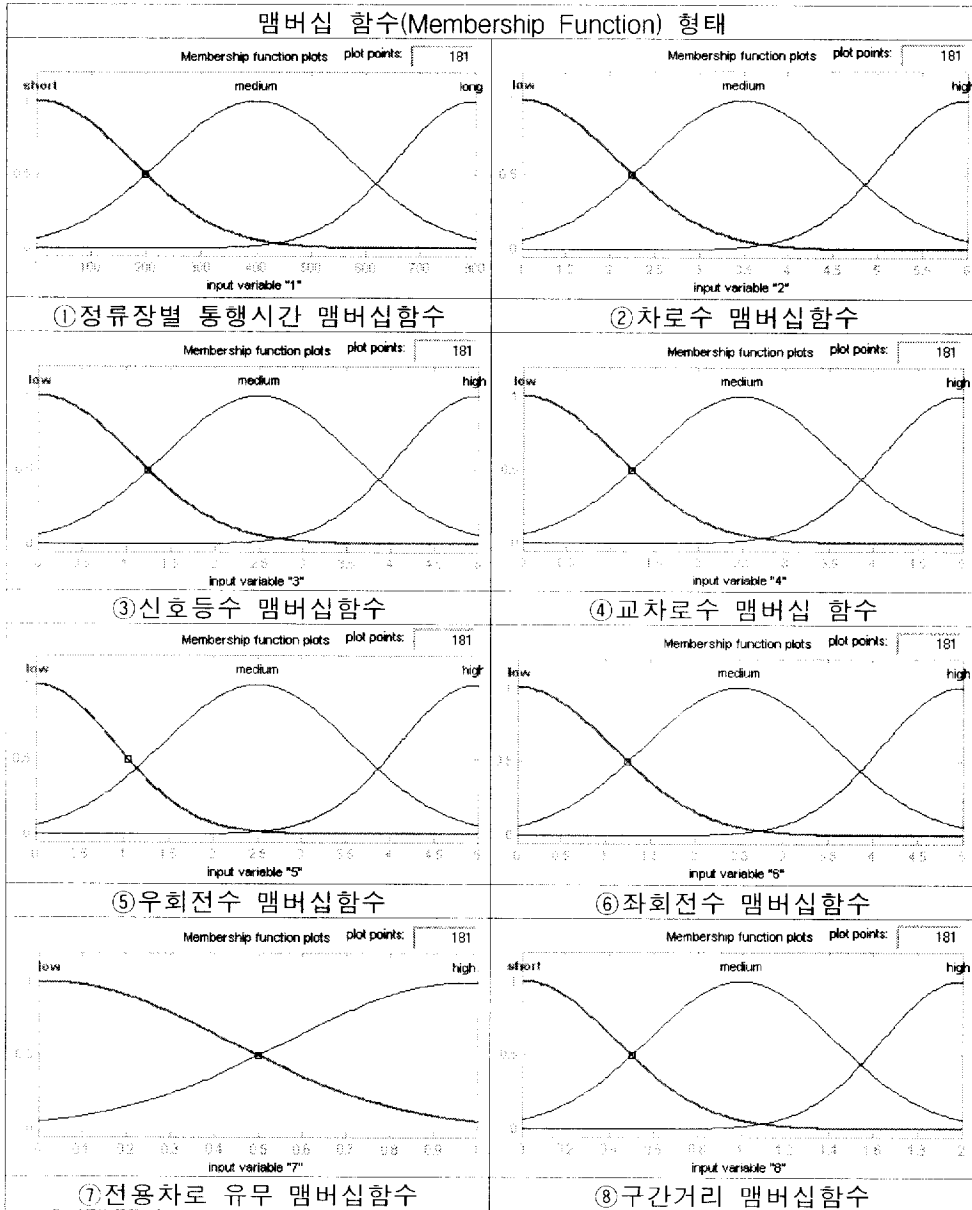


Fig 3.14 Configuration of Membership Function

본 뉴로퍼지 모형에 이용된 If-Then Rule의 구성형태는 다음 표와 같다.

Table 3.8 Construction of If-Then Rule

Rule No.	If	Then
1	① is Short and ② is High	Bus travel time is Short
2	① is Short and ② is Low	Bus travel time is Medium
3	① is Medium and ② is Medium	Bus travel time is Medium
4	① is Medium and ② is High	Bus travel time is Short
5	① is Medium and ② is Low	Bus travel time is Long
6	① is Long and ② is High	Bus travel time is Medium
7	① is Long and ② is Medium	Bus travel time is Long
8	① is Long and ② is Low	Bus travel time is Long
9	② is High and ③ is Low	Bus travel time is Short
10	② is High and ③ is Medium	Bus travel time is Medium
11	② is High and ③ is High	Bus travel time is Long
12	② is Medium and ③ is Low	Bus travel time is Short
13	② is Medium and ③ is Medium	Bus travel time is Medium
14	② is Medium and ③ is High	Bus travel time is Long
15	② is Low and ③ is Low	Bus travel time is Medium
16	② is Low and ③ is High	Bus travel time is Long
17	② is High and ④ is Low	Bus travel time is Short
18	② is High and ④ is Medium	Bus travel time is Short

Table 3.8 Construction of If-Then Rule(continue)

Rule No.	If	Then
19	② is High and ④ is High	Bus travel time is Medium
20	② is Medium and ④ is Low	Bus travel time is Short
21	② is Medium and ④ is Medium	Bus travel time is Medium
22	② is Medium and ④ is High	Bus travel time is Long
23	② is Low and ④ is Low	Bus travel time is Short
24	② is Low and ④ is Medium	Bus travel time is Long
25	② is Low and ④ is High	Bus travel time is Long
26	② is High and ⑤ is Low and ⑥ is Low	Bus travel time is Short
27	⑤ is Medium and ⑥ is Medium	Bus travel time is Medium
28	⑤ is High and ⑥ is High	Bus travel time is Long
29	② is Medium and ⑤ is Low and ⑥ is Low	Bus travel time is Short
30	② is Low and ⑤ is Low and ⑥ is Low	Bus travel time is Short
31	⑦ is Low	Bus travel time is Medium
32	⑦ is High	Bus travel time is Short
33	⑧ is Short	Bus travel time is Short
34	⑧ is Medium	Bus travel time is Medium

Matlab 6.5 ANFIS(Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System)을 이용하여 본 예측모형을 설계한 형태는 다음 그림과 같다.

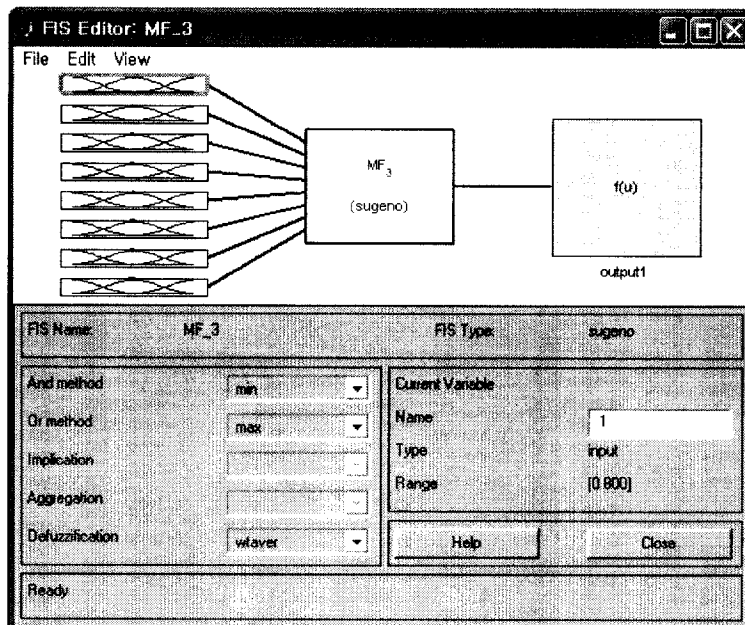


Fig 3.15 Configuration of FIS Editor

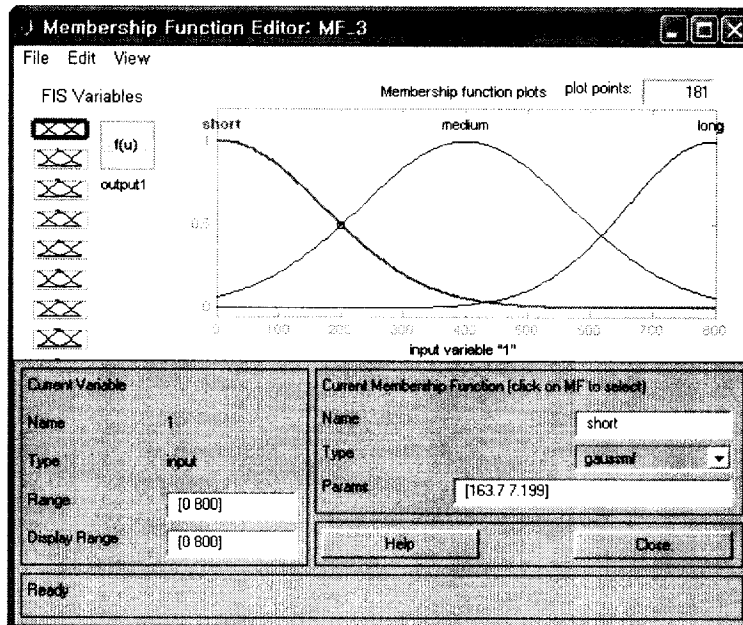


Fig 3.16 Structure of Membership Function

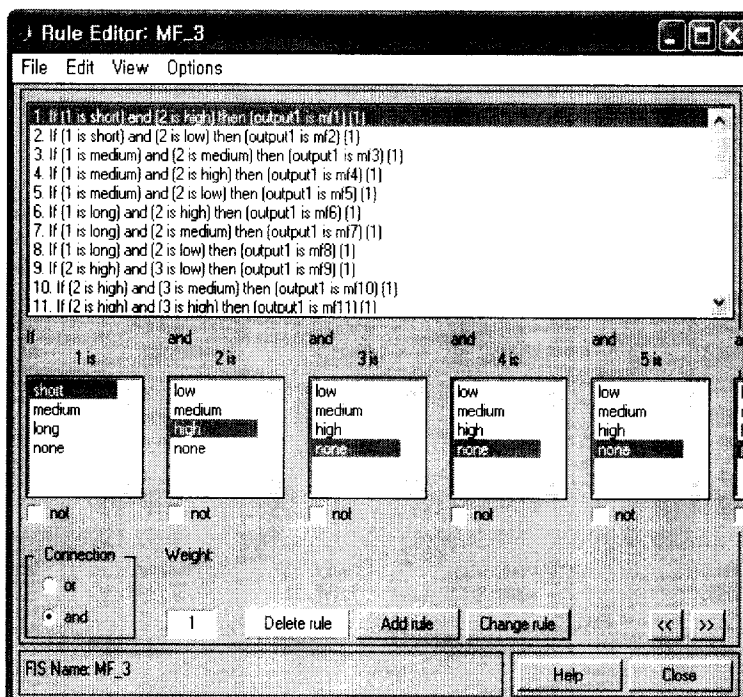


Fig 3.17 Structure of If-Then Rule

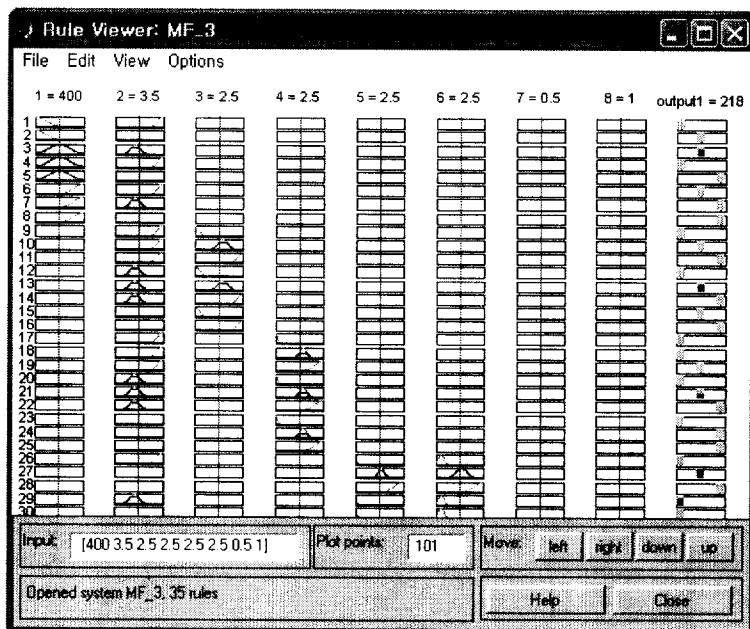


Fig 3.18 If-Then Rule: Rule Viewer

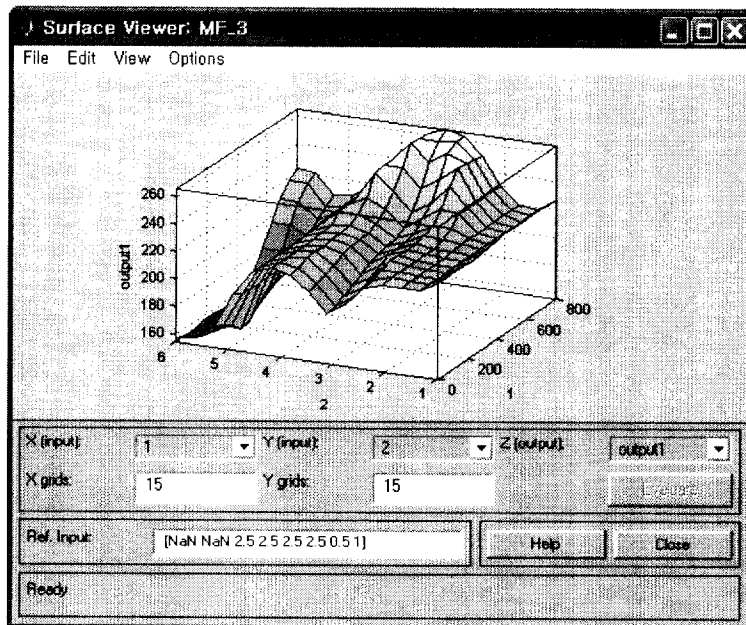


Fig 3.19 Surface Viewer

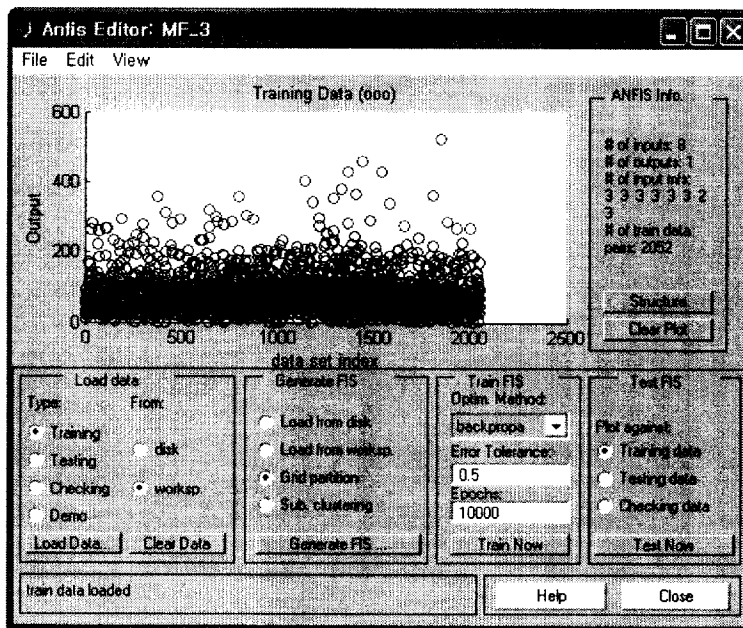


Fig 3.20 Import of Training Data

3. 모형의 검증

(1) 가중 이동평균법 예측결과

2004년 10월7일 침두시, 비침두시 종점에서 출발한 버스에 대하여 모든 정류장에 각 모형의 통행시간을 예측하였다. 가중이동평균법을 이용한 통행시간 예측결과를 살펴보면 침두시보다는 비침두시에 예측력이 높게 나오는 것을 볼 수 있다. 이것은 통행시간의 변동이 비교적 적을 때에 나타나는 가중 이동평균법의 특징이라 할 수 있다. 그러나 침두시의 경우 현재 예측하고자 하는 버스의 통행시간이 앞서 지나간 3대의 버스보다 큰 변동을 보일 때에는 예측력이 떨어지는 것을 알 수 있다. 그리고 통행시간이 많이 소요되는 구간에서 과대 예측된 것을 볼 수 있다.

Table 3.9 Estimated Errors by Weighted Moving Average Model

구분	MARE	RMSE
침두시	54.7272	0.4814
비침두시	46.0098	0.4414

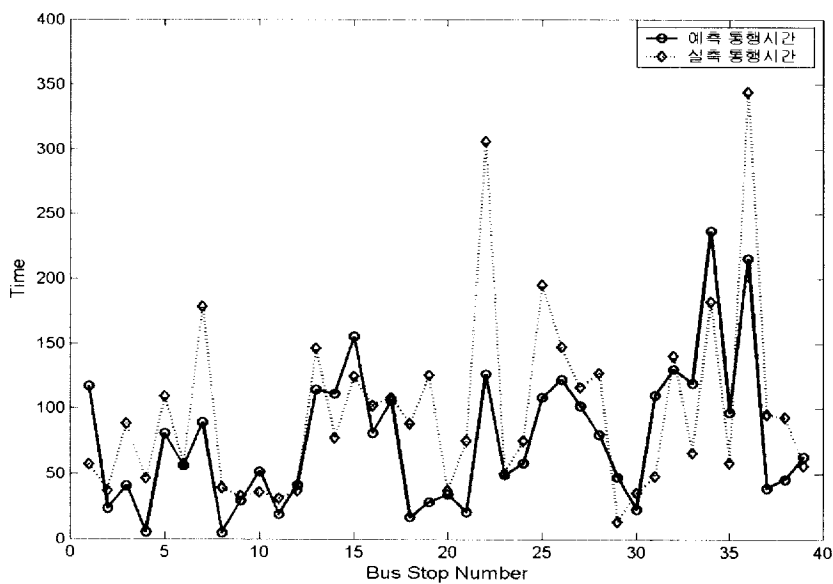


Fig 3.21 Estimated Arrival Time at Peak Period(Weighted Moving Average Model)

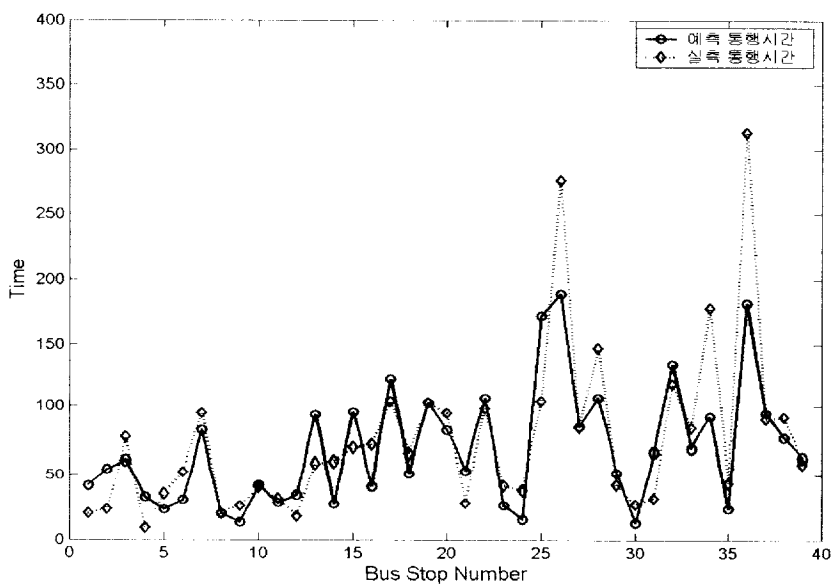


Fig 3.22 Estimated Arrival Time at Nonpeak Period(Weighted Moving Average Model)

(2) 칼만필터 모형의 예측결과

2004년 10월7일 첨두시, 비첨두시 종점에서 출발한 버스에 대하여 모든 정류장에 각 모형의 통행시간을 예측하였다. 칼만필터 모형을 이용한 통행시간 예측결과를 살펴보면 첨두시, 비첨두시에 걸쳐 비교적 고르게 나오는 것을 볼 수 있다.

Table 3.10 Estimated Errors by Kalman Filter Model

구분	MARE	RMSE
첨두시	40.7315	0.3952
비첨두시	41.9594	0.4020

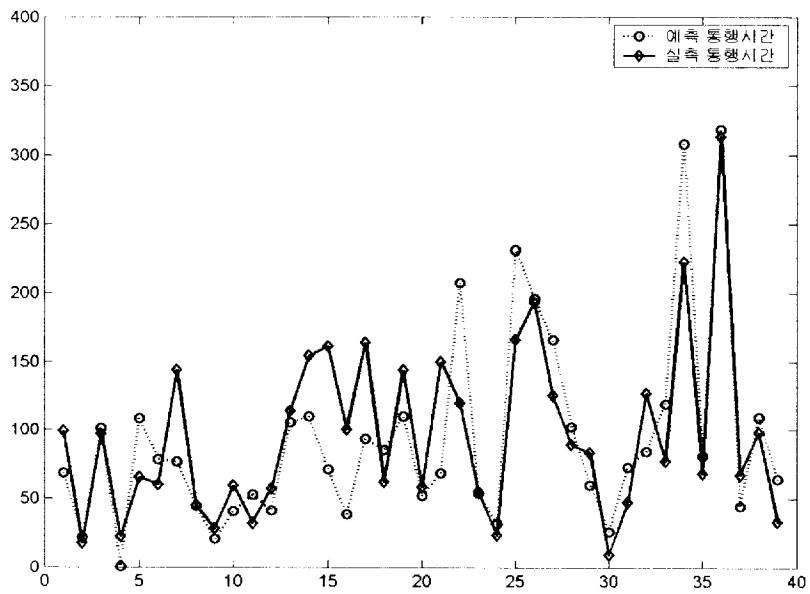


Fig 3.23 Estimated Arrival Time at Peak Period(Kalman Filter Model)

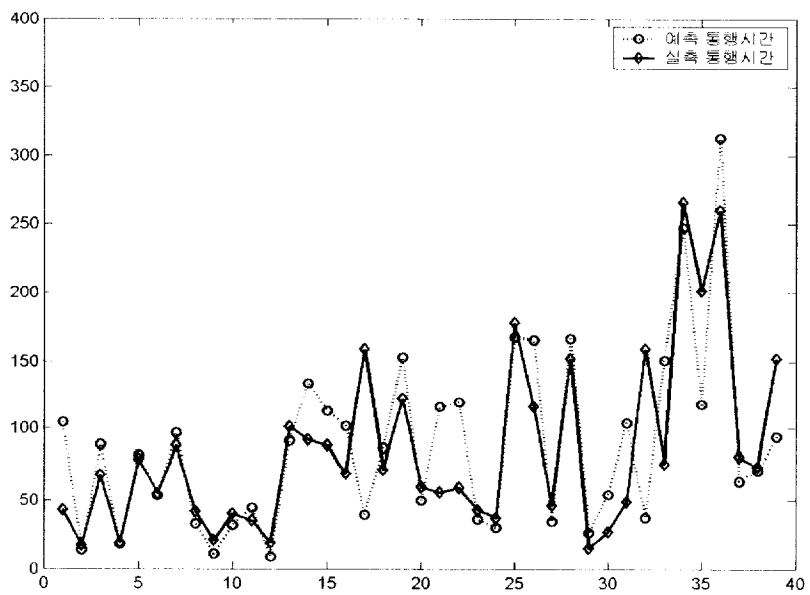


Fig 3.24 Estimated Arrival Time at Nonpeak Period(Kalman Filter Model)

(3) 신경망 모형의 예측결과

2004년 10월7일 침두시, 비침두시 종점에서 출발한 버스에 대하여 모든 정류장에 각 모형의 통행시간을 예측하였다. 신경망 모형을 이용한 통행시간 예측결과를 살펴보면 침두시보다는 비침두시에 예측력이 높게 나오는 것을 볼 수 있다. 그리고 통행시간이 많이 소요되는 구간에서 과소 예측된 것을 볼 수 있다. 이것은 통행시간에 영향을 미치는 적절한 변수를 추가적으로 입력 한다면 보다 나은 결과를 얻을 것이라고 판단된다.

Table 3.11 Estimated Errors by Neural Network Model

구분	MARE	RMSE
침두시	59.7026	0.4003
비침두시	50.3380	0.4148

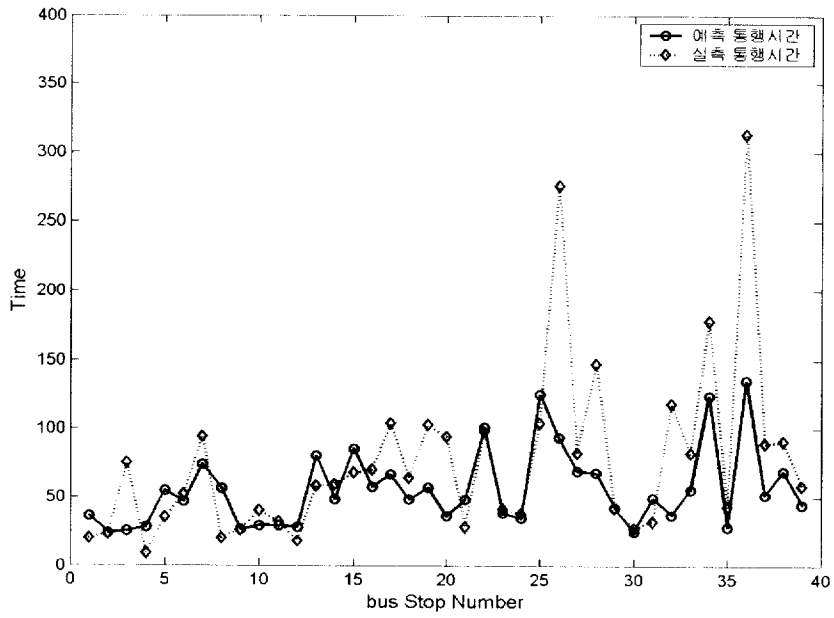


Fig 3.25 Estimated Arrival Time at Peak Period(NN Model)

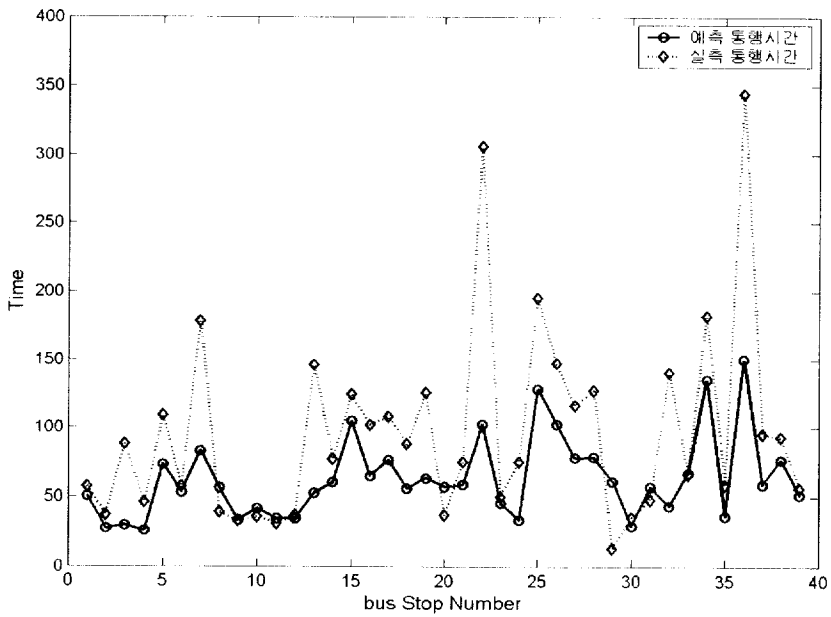


Fig 3.26 Estimated Arrival Time at Nonpeak Period (NN Model)

(4) 뉴로퍼지 모형의 예측결과

2004년 10월7일 첨두시, 비첨두시 종점에서 출발한 버스에 대하여 모든 정류장에 각 모형의 통행시간을 예측하였다. 뉴로퍼지 모형을 이용한 통행시간 예측결과를 살펴보면 첨두시보다는 비첨두시에 예측력이 높게 나오는 것을 볼 수 있다. 그러나 첨두시와 비첨두시간의 예측력이 상당히 차이가 나는 것을 볼 수 있다. 따라서 멤버쉽 함수와 IF-THEN 룰을 정류장별 통행시간 특성을 면밀히 분석하여 재 설정할 경우 보다 나은 결과를 얻을 것 이라 판단된다.

Table 3.12 Estimated Errors by Neuro Fuzzy Model

구분	MARE	RMSE
첨두시	49.6914	0.4086
비첨두시	37.7544	0.5475

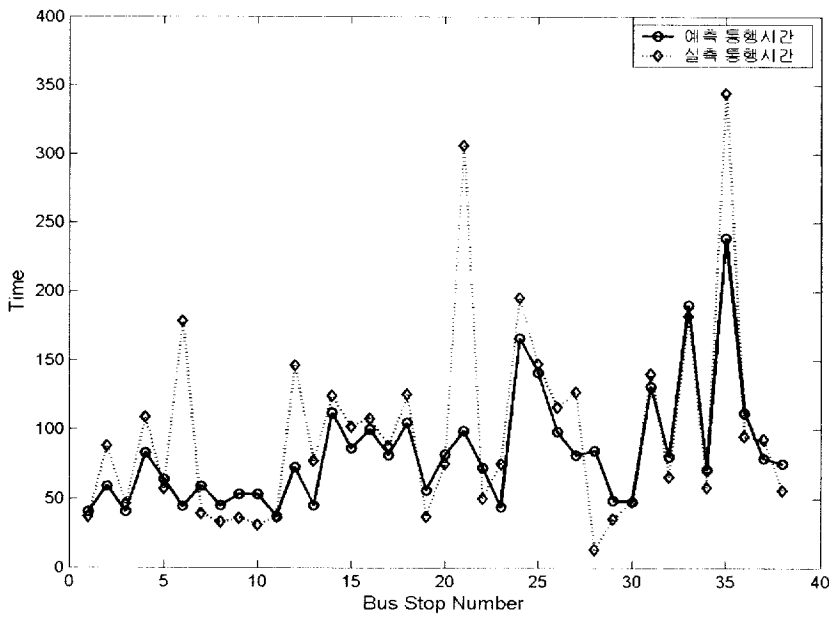


Fig 3.27 Estimated Arrival Time at Peak Period(Neuro Fuzzy Model)

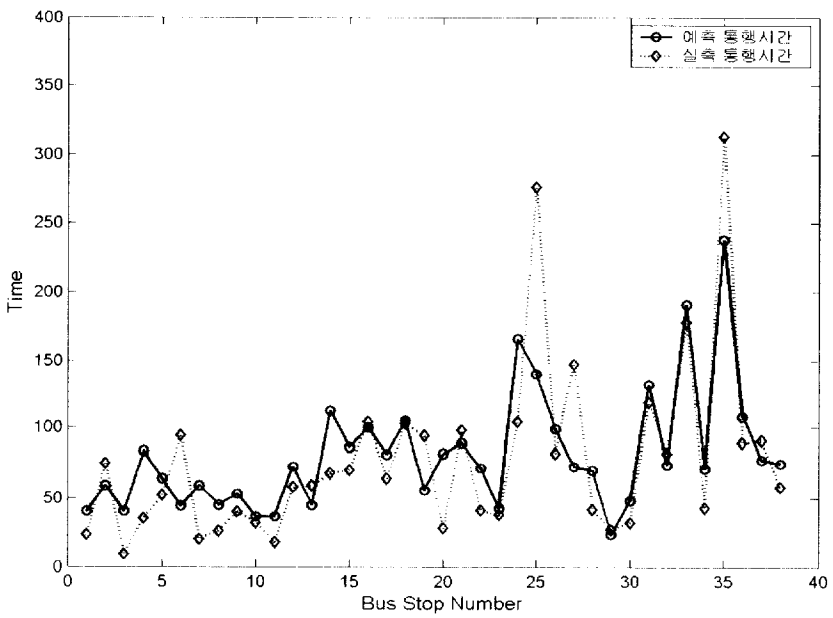


Fig 3.28 Estimated Arrival Time at Nonpeak Period(Neuro Fuzzy Model)

4. 최적알고리즘

가. 최적 알고리즘선정

각 모형의 예측편차를 살펴보면 칼만필터 모형, 신경망 모형, 가중 이동평균 모형, 뉴로퍼지 모형의 순으로 칼만필터 모형이 가장 적은 오차를 보였다. 가중 이동평균법과 비교하여 칼만필터 모형이 RMSE의 경우 16.92%, MARE의 경우 13.61% 개선된 결과를 보였다. 따라서 현재 대부분의 버스정보시스템(BIS)의 도착안내 예측모형으로 적용되고 있는 가중 이동평균모형보다 칼만필터 모형이 우수한 예측력을 가지고 있는 것으로 나타났다

Table 3.13 Evaluation of Each Model

구분		RMSE	MARE
가중이동평균 모형	첨두시	54.7272	0.4814
	비첨두시	46.0098	0.4414
신경망 모형	첨두시	59.7026	0.4003
	비첨두시	50.3380	0.4418
뉴로퍼지 모형	첨두시	49.6914	0.4086
	비첨두시	47.7544	0.5475

4장. 첨단버스안내시스템 운영전략

1. 설문 조사 및 분석

가. 설문조사 개요

버스정보시스템(BIS) 이용자를 대상으로 현재 구축되어있는 시스템의 신뢰도를 분석하고 향후 확장에 대비하여 정보제공에 대한 사전 요구 사항을 파악하여 정보제공범위 및 전략수립에 반영하기 위하여 설문조사를 실시하였다.

Table 4.1 Summary of Survey

구분	내용
주요설문 내용	버스이용 빈도 통행목적 버스정보시스템의 인지도와 필요성 분석 버스정보시스템의 이용도분석 선호정보 및 추가제공정보 요구분석 시스템 이용 장소 안내방식 선호도
설문방법	2004년 10월 28일 하루 동안 버스정류장 및 버스 내 승객을 대상으로 직접설문
설문 조사대상	80번 및 131번 버스이용자
설문 참여자 분석	총 설문 대상자 100명(남57명/여43명) 10대 : 12% 20대 : 24% 30대 : 30% 40대 : 50대 : 13% 60대 : 1%

나. 설문조사 결과

버스정보시스템의 신뢰도 분석과 사용자 요구사항을 분석하기 위하여 일반시민을 대상으로 한 버스정보시스템(BIS) 정보선호도 조사결과는 다음과 같다.

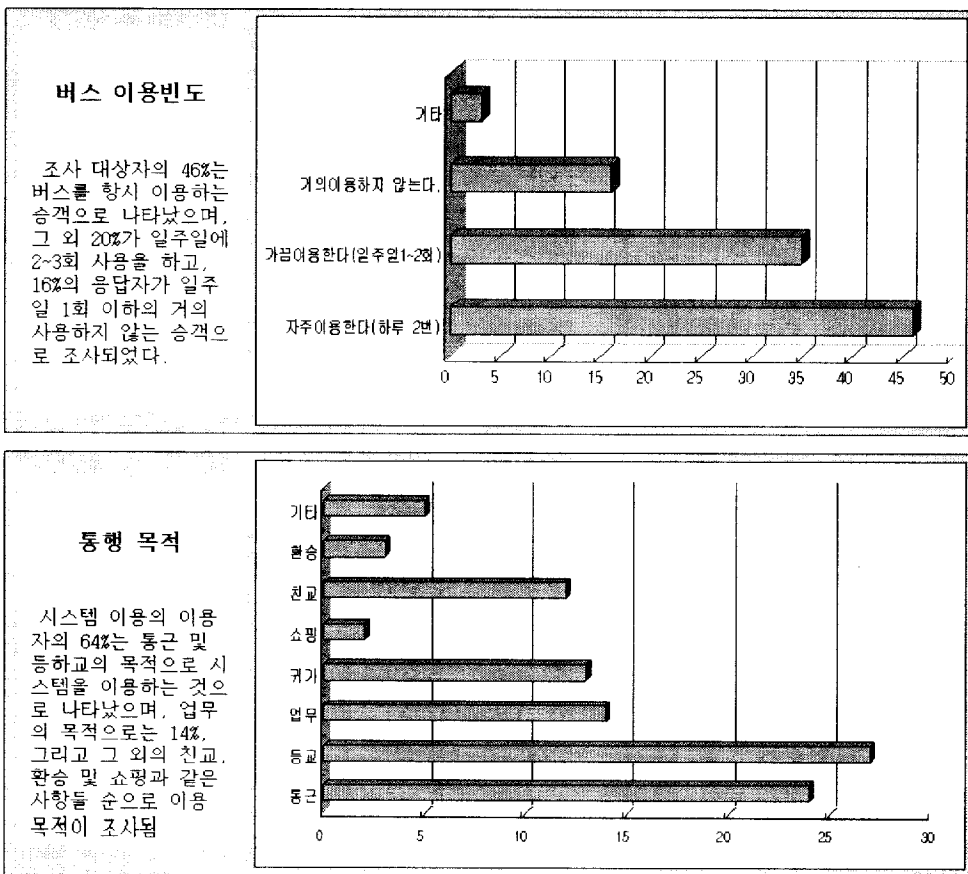


Fig 4.1 Result of Survey

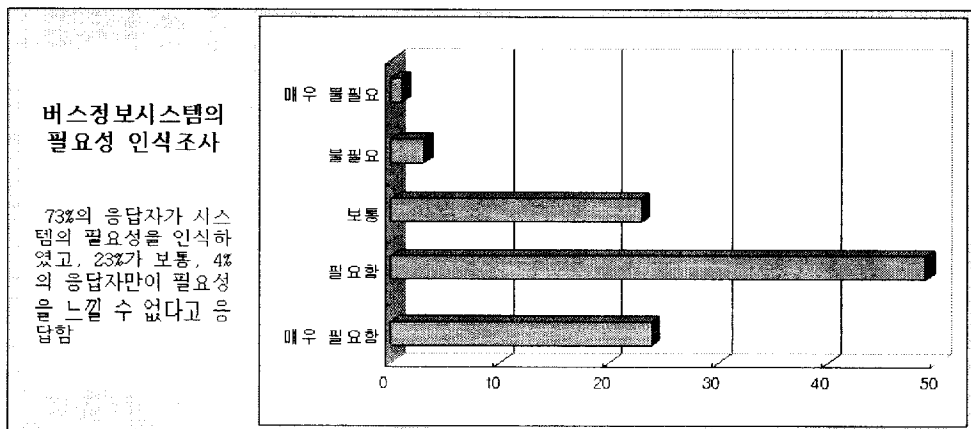
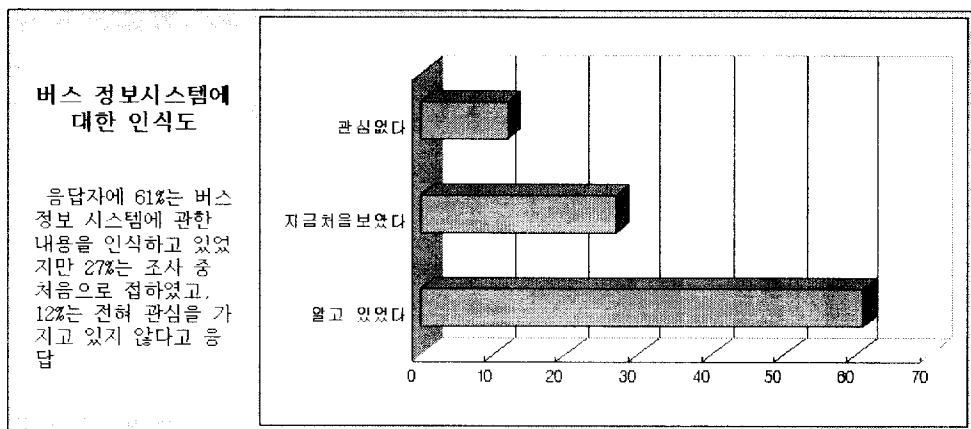
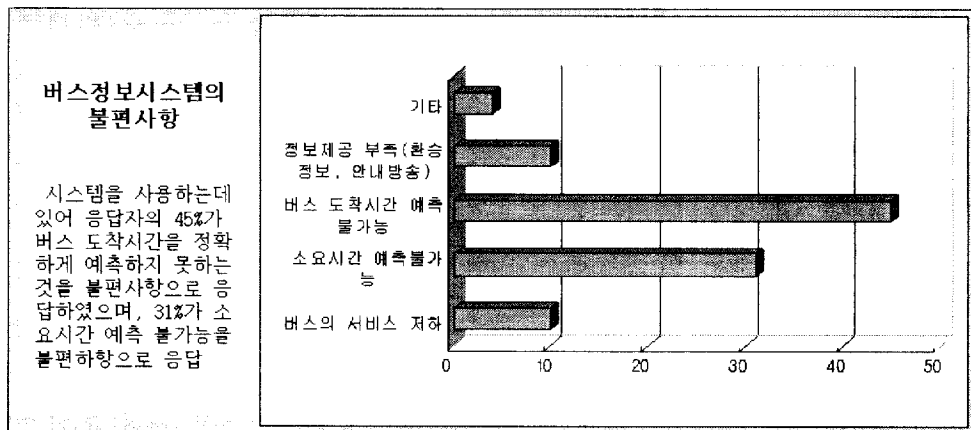


Fig 4.1 Result of Survey(continue)

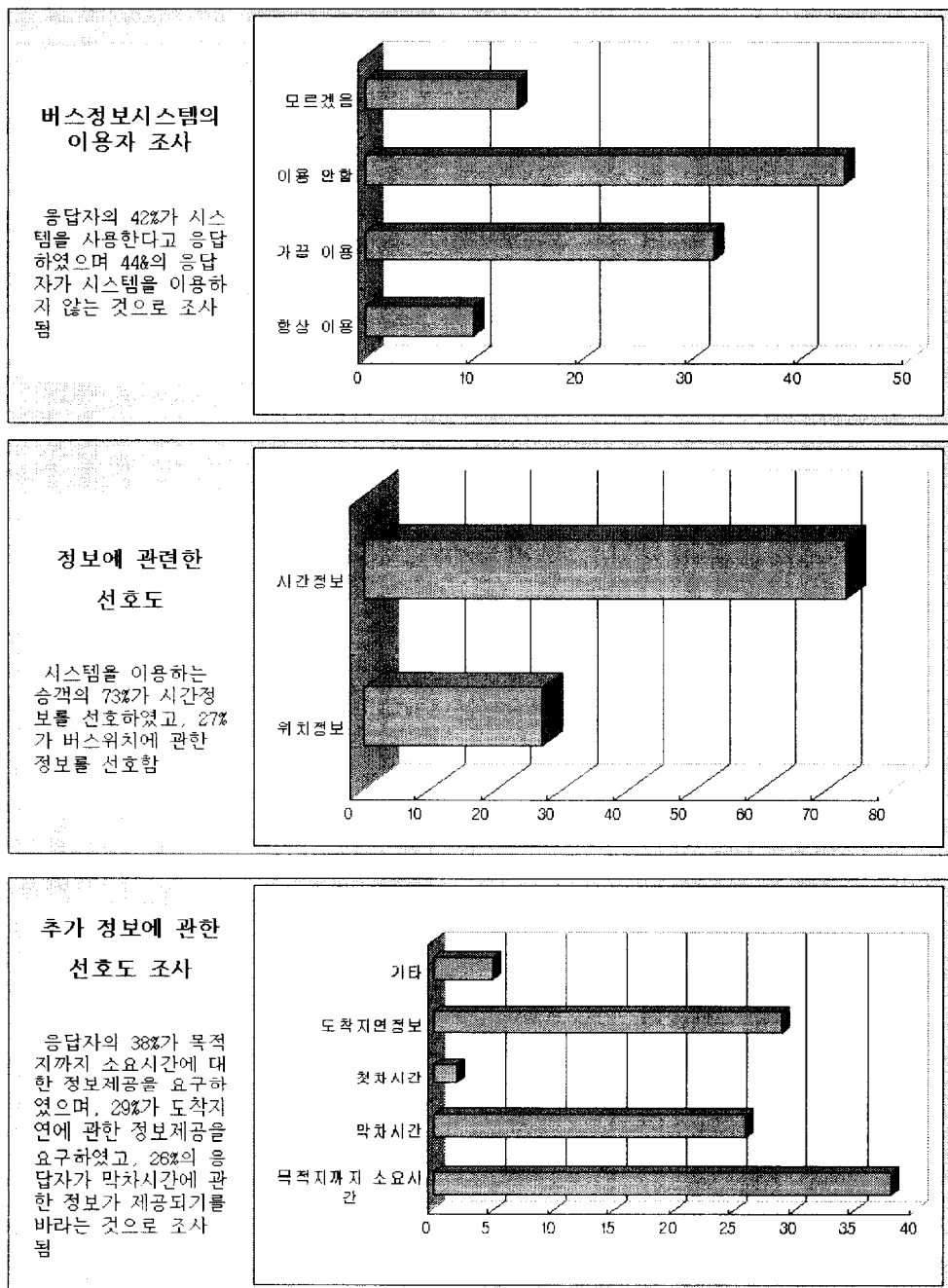
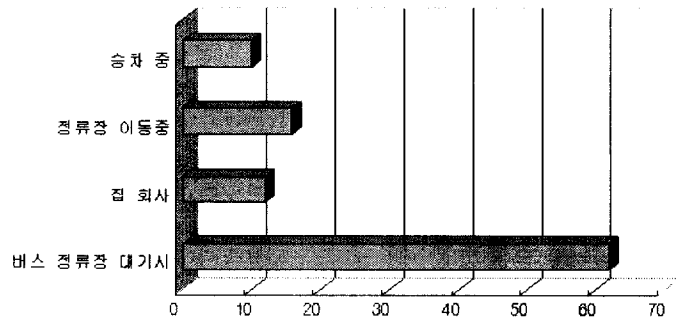


Fig 4.1 Result of Survey(continue)

시스템 이용 장소

전체 응답자의 62%가 버스 정류장에서 대기 시에 시스템을 사용한
다고 응답하였고, 정
류장이동 중 16%, 집
또는 회사에서 출발
전 12%, 승차 중이
10%로 각각 나타남



안내방식에 관한 선호도

48%의 응답자가 버스 정류장의 문자형 전광
판을 25%의 응답자가
VMS형 전광판, 20%가
승객용 안내기를 7%가
인터넷을 이용한 정보
제공으로 나타남

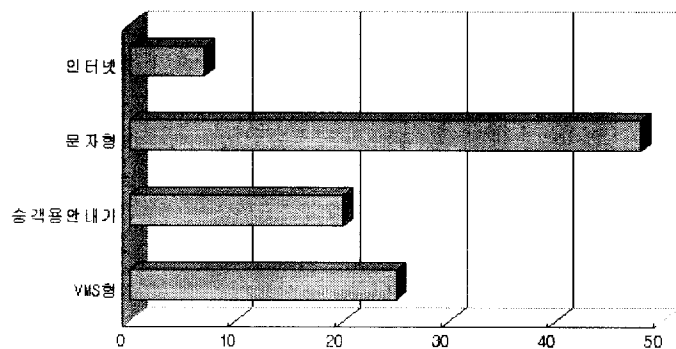


Fig 4.1 Result of Survey(continue)

다. 설문조사 분석

버스 이용불편사항 분석결과 버스도착시간 예측불가 소요시간 예측불가 등이 가장 많아 신뢰성 있는 실시간 운행정보 제공이 시급한 것을 알 수 있다. 응답자의 대부분은 시스템을 인지하고 있으며 버스 정보시스템이 필요하다고 생각하고 있다. 또한 버스정보시스템은 버스정류장 대기시에 가장 많이 사용하고 있으며 시간정보를 선호하는 것으로 나타났다.

5장. 결론 및 향후과제

버스정보시스템(BIS)을 통한 서비스 제공에 있어 핵심사안 중 하나는 버스의 통행시간을 예측하여 버스도착시간 안내를 하는데 있다. 그러나 버스도착안내시스템은 수시로 변하는 교통상황을 적절히 반영하는데 어려움이 있어 최근 구축되어 운영되고 있는 국내의 버스도착안내시스템의 경우, 예측의 정확성 측면에서 부분적인 문제점을 내포하고 있다.

본 연구에서는 실시간의 통행시간 정보를 예측하기 위하여 가중이동 평균법과 칼만필터 모형, 신경망 모형, 뉴로퍼지 모형들에 대하여 비교분석을 실시하고 설문조사를 통해 시스템의 신뢰도 분석과 사용자 요구사항을 분석하였다.

그 결과, 칼만필터 모형이 다른 모형들에 비하여 예측의 정확성과 적합성을 가진 것으로 판단되어진다. 이는 관측방정식과 오차 공분산으로 계속적으로 값을 갱신하며 오차를 줄여나가는 칼만필터 모형의 특징을 적절한 패턴데이터의 구축으로 교통상황을 반영한 결과라 사료된다.

신경망 모형의 경우 정류장간 통행시간에 영향을 주는 적절한 변수를 입력값으로 학습시키면 보다 향상된 결과를 나타낼 것으로 판단된다.

또한 버스이용자들에 대한 설문조사 결과 신뢰성 있는 실시간 운행정보 제공과 버스정류장 안내 단말기에 대한 다양한 정보제공 전략이 시급한 것으로 판단된다.

향후 실제적인 실시간 버스도착안내 시스템을 위하여 버스위치추적 및 통신기술의 향상을 통한 버스도착시간 자료의 정확성과 실시간의 대용량 자료처리 기술이 요구된다. 또한, 버스 이용객의 증가, 도로 교통량의 증가 등의 변화요인을 적극 반영하는 모형의 개발이 연구되어야 할 것이다. 그리고 더 나은 예측 결과를 얻기 위해서 실제교통상황을 정확히 반

영할 수 있는 칼만필터링 기법의 보완이 필요하며 적용범위를 확대하여 예측모형의 적합성을 검증하는 것이 필요할 것이다 .

참고문헌

- 강태구(2003), “신호교차로를 감안한 실시간 버스도착시간 예측기법 개발에 관한 연구”, 경기대학교 대학원, 석사학위논문.
- 김은길(2001), “버스안내시스템 구축을 위한 도착시간예측에 관한 연구”, 대구대학교 대학원, 석사학위논문.
- 도용태(2001), “인공지능”, 사이텍미디어.
- 배덕모(2002), “부천시 사례를 통한 버스정보시스템 운영효과 분석”, 대한교통학회지, 제 20권 제 1호, pp.7~18.
- 배상훈, 김영섭, 이희종, 김민아(2003), “버스도착시간 예측의 고도화를 위한 모형개발, 한국LBS학회 추계학술대회.
- 배상훈, 이희종(2004), “칼만필터 기법의 실시간 교통정보적용” 대한토목학회 논문집, 제 24권 제 4호, pp.543~547.
- 실시간 버스도착 안내시스템 기능 고도화 사업(2003), 교통개발연구원.
- 이현엽, 문경일(1999), “MATLAB을 이용한 퍼지-뉴로”, 아진.
- 임재현, 배상훈(2003), “인공신경망을 활용한 실시간 버스도착시간 예측 모형” 대한교통학회 추계학술대회.
- 전병규(2001), “BIS 최적 도착시간 안내정보에 관한 연구”, 명지대학교 대학원, 석사학위논문.
- 정영훈(2001), “GPS를 이용한 버스 안내시스템 개발에 관한 연구”, 안양대학교 첨단산업기술 대학원, 석사학위논문.
- 지능형교통체계 기본계획 21(2000), 건설교통부.

최장욱(2001), “BIS 자료를 이용한 버스통행시간에 대한 연구”, 명지대학교 대학원, 석사학위논문.

<http://www.busan.go.kr>

<http://bus.seoul.go.kr>

Corinne Ledoux(1998), “Predicting queue lengths at urban intersection using Neural Networks, Engineering of intelligent systems; EIS '98: Vol 2; Neural networks”, EIS -INTER.

D.J.Dailey(2000) “An Algorithm and Implementation to Predict the Arrival of Transit Vehicles” , ITSC.

Hongbin. Yin, S.C. Wong, Jianmin Xu, C.K. Wong(2002), “Urban traffic flow prediction using a fuzzy-neural approach”, Transportation Research Part C 10.

J.-S. R. Jang, C.-T. Sun, E. Mizutani(1997), “Neuro-Fuzzy and Soft Computing”.

Kalman. R.E.(1960), “A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems,” Transaction of the ASME.Journal of Basic Engineering, pp.35-45.

Li Weigang, Marlon W(2002), “Algorithm for Estimating Bus Arrival Times using GPS Data”, IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems.

Mohinders Grewal(1993), “Kalman Filtering Theory and Practice” Prentice Hall, pp.142~146.

Maurcen Caudill, Charles Butler(1993), “Understanding Neural

Networks: Computer Explorations".

N. Messai, P. Thomas, D. Lefebvre, A. El Moudni(2002), "A Neural Network Approach for Freeway Traffic Flow Prediction", IEEE International Conference on Control Applications.

Sanghoon Bae(1995), "Dynamic Estimation of Travel Time on Arterial Roads by Using Automatic Vehicle Location(AVL) Bus as a Vehicle Probe", a Thesis of Degree of Doctor in Civil Engineering, Blacksburg, Virginia.

Simon Cohen, Christophe Nouveliere(1997), "Travel Time on Urban Controlled Links: A Neural Network Approach", ITS World Congress.

Steven I Jy Chien, Yuqing Ding, Chienhung Wei(2002), "Dynamic Bus Arrival Time Prediction with Artificial Neural Networks", Journal of Transportation Engineering, vol.128, No.5.

Rui Wang, Hideki Nakamura(2002), "Short Term Prediction Works in Traffic Engineering: The State-of-The-Art", ITS World Congress.

Wei-Hua Lin, Jian Zeng(1999), "An Experimental Study on real time bus arrival time prediction with GPS data", Virginia Polytechnic institute and state university.

감사의 글

이 논문이 완성되기까지 결코 쉽지 않았던 시간이었음을 떠올리며 그동안 사랑과 포용으로 저를 아껴주시고 격려해주신 모든 분들께 한없는 감사를 드립니다.

부족한 저에게 지도교수로서 많은 학문적 가르침과 인생의 선배로서 삶에 대한 길을 열어주신 배상훈 교수님께서는 글로 다하지 못하는 감사의 마음을 전합니다.

대학원 생활동안 항상 격려해 주시고 학문의 길을 가르쳐주신 김영섭 교수님, 그리고 바쁘신 중에도 제 논문 심사를 맡아주시고 조언을 아끼지 않으신 윤홍주 교수님, 최철웅 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

또한 항상 격려와 충고를 아끼지 않으시며 저에게 힘을 보태주었던 토목공학과 손인식 교수님께도 감사의 마음을 전합니다.

대학원 생활동안 제 삶의 버팀목이 되어주고 항상 묵묵히 최선을 다해준 ITS 연구실의 정희진, 임재현 후배님들에게도 깊은 감사의 말을 들이며, 학부생 임에도 불구하고 부족한 선배를 잘 따라준 박성환, 김민아, 여태동 류병용, 신원제, 박희제 후배님들에게도 감사의 말을 전합니다.

또한 제 논문에 귀중한 자료를 제공해주시신 BNG로티스의 유영창 이사님, 진재엽 과장님께도 감사의 마음을 전합니다.

그리고 대학원동기로써 연구 분야는 다르지만 많은 조언과 도움을 준 창현이형, 호용이, 미숙이, 은경이에게도 고마움을 전합니다.

또한 대학원 생활하면서 물심양면으로 도와준 장승, 성관, 대우, 종표, 해주 등을 비롯한 토목공학과 동기들에게도 깊은 감사의 마음을 전합니다. 그리고 오랜 시간동안 저를 도와주고 격려해준 남수, 현주, 호현, 태수, 충일, 성명, 현복, 동효, 일민 등 절친한 고향친구들에게도 고마움을 전합니다.

끝으로, 이 논문을 내기까지 모든 면에서 모자랐던 저를 끊임없는 사랑으로 지켜봐 주시고 크게 이해해 주시고 격려해 주셨던 어머님께 한없이 감사드리며 학위과정 중 불의의 사고로 먼저 세상을 등지신 아버님께 작지만 이 소중한 결실을 바칩니다.