



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

가중이동평균법을 이용한 그룹별 버스노선
DB의 버스정류장 서비스시간
예측에 관한 연구

*Predicting the Time-Series BSST of Grouped Route DB
using the Weighted Moving Average Method*

지도교수 김 태 곤

2008년 8월

한국해양대학교 대학원

토목환경공학과

허 인 석

목 차

Nomenclature	iii
List of Tables	iv
List of Figures	v
Abstract	vi
제 1 장 서 론	1
1.1 연구배경	1
1.2 연구목적 및 필요성	2
1.3 연구내용 및 방법	3
제 2 장 문헌 연구	5
2.1 AVL 및 GPS에 의한 운행자료 관측	5
2.2 자료의 이상치 제거	6
2.3 모형에 의한 도착시간 예측	6
제 3 장 자료수집 및 분석	8
3.1 도로 및 정류장 선정	8
3.2 자료수집	13
3.3 운행자료 분석	16

제 4 장	모형구축	22
4.2	자료의 이상치 제거	24
4.3	모형의 상수 도출 및 구축	25
4.4	모형의 적용	26
4.5	모형의 비교 평가	33
제 5 장	결론	38
참고문헌		40

Nomenclature

Y_t	Time-series data at time t
F_{t+1}	Expected data at time $t+1$
F_{bs}	Bus Stop expected data at time $t+1$
ω	Weighted factors
z_t	Observed values at time t
\widehat{z}_t	Expected values at time t
μ	Mean of population
σ	Standard deviation of population
R^2	Determination coefficients
BSST	Bus stop service time
SM	Smoothing method
MAM	Moving average method
ESM	Exponential smoothing method
WMAM	Weighted moving average method
SD	Standard deviation
ITS	Intelligent transportation system
BIS	Bus information system
AVL	Automated vehicle locator
GPS	Global positioning system
ID	Identification
MOE	Measure of effectiveness
M.P.	Morning Period
N.P.	Noon Period
A.P.	Afternoon Period
WMAM1	BSST expected of time-series by the WMAM
WMAM2	BSST expected of Grouped route DB by the WMAM
MAFE	Mean absolute forecasting error
RMSE	Root mean squared error

List of Tables

Table 3. 1	Roadway characteristics of bus routes within the study area	9
Table 3. 2	Bus stops within the study segment of road A	10
Table 3. 3	Bus stops within the study segment of road B	11
Table 3. 4	Bus information system(BIS) characteristics	13
Table 3. 5	Number of buses passed within the study segments(veh)	16
Table 3. 6	Routes and time interval within the study segment of road A	17
Table 3. 7	Routes and time interval within the study segment of road B	18
Table 3. 8	Service time spent within the study segments(sec)	19
Table 3. 9	Service time characteristics at bus stop(sec)	20
Table 4. 1	Weighted factors of WMAM	25
Table 4. 2	Statistics of service time expected(WMAM1)(sec)	26
Table 4. 3	Criteria grouped by the average service time	28
Table 4. 4	Results grouped by periods	28
Table 4. 5	Service time characteristics by periods	29
Table 4. 6	Statistics of service time expected(WMAM2)(sec)	30
Table 4. 7	Statistics of service time expected by groups(sec)	30
Table 4. 8	Measure of effectiveness(MOE) of models	33

List of Figures

Fig. 1. 1	Flowchart of study process	4
Fig. 3. 1	Spatial scope within the study segment of road A	10
Fig. 3. 2	Spatial scope within the study segment of road B	12
Fig. 3. 3	Event data structure of bus information system	14
Fig. 3. 4	Real-time data example observed on the road	15
Fig. 3. 5	Service time distribution at bus stop	21
Fig. 4. 1	Service time distribution before Outlier Filter	24
Fig. 4. 2	Service time distribution after Outlier Filter	24
Fig. 4. 3	Mean and standard deviation of Observed and WMAM1	26
Fig. 4. 4	Service time expected at bus stop(WMAM1-M.P.)	27
Fig. 4. 5	Service time expected at bus stop(WMAM1-N.P.)	27
Fig. 4. 6	Service time expected at bus stop(WMAM1-A.P.)	27
Fig. 4. 7	Mean and standard deviation of Observed and WMAM2	30
Fig. 4. 8	Service time expected(WMAM2-M.P.)	31
Fig. 4. 9	Service time expected(WMAM2-N.P.)	32
Fig. 4.10	Service time expected(WMAM2-A.P.)	32
Fig. 4.11	Service time distribution observed and expected(Ulsan District Court, M.P.)	34
Fig. 4.12	Service time distribution observed and expected(Ulsan District Court, N.P.)	34
Fig. 4.13	Service time distribution observed and expected(Ulsan District Court, A.P.)	34
Fig. 4.14	Service time distribution observed and expected(Ulju County Office, M.P.)	35
Fig. 4.15	Service time distribution observed and expected(Ulju County Office, N.P.)	35
Fig. 4.16	Service time distribution observed and expected(Ulju County Office, A.P.)	35
Fig. 4.17	Service time distribution observed and expected(Hyundai Marine B/D, M.P.)	36
Fig. 4.18	Service time distribution observed and expected(Hyundai Marine B/D, N.P.)	36
Fig. 4.19	Service time distribution observed and expected(Hyundai Marine B/D, A.P.)	36
Fig. 4.20	Service time distribution observed and expected(Dal-dong Jugong Apt., M.P.)	37
Fig. 4.21	Service time distribution observed and expected(Dal-dong Jugong Apt., N.P.)	37
Fig. 4.22	Service time distribution observed and expected(Dal-dong Jugong Apt., A.P.)	37

*Predicting the Time-Series BSST of Grouped Route DB
using the Weighted Moving Average Method*

In Seok, Heo

*Department of Civil and Environmental Engineering,
Graduate School, Korea Maritime University, Busan Korea*

Abstract

Generally, the bus stop service time (BSST) means the time which the bus spends at the bus stop from the time when the bus arrives at the bus stop to the time when the bus departs the bus stop. However, the BSST shows different depending on the bus stop, the time period, or the bus route, because the number of the bus users is changing. So it is very important to predict accurately the BSST for consideration or the bus information system(BIS), one of the most advanced public transportation systems which provide the real-time bus traffic information for the users waiting the buses at the bus stop.

Since 2000's the bus information system(BIS) has been continuously introduced into the bus transportation systems the year of since 2000 in the cities, and also its extension taken into consideration in some of the cities which already imported the bus information system. However, correct bus information data, such as the present bus location, the user waiting time, the bus arrival time, etc., have not been provided for the bus users because the proper BSST are not predicted yet in most of the cities operating the bus information system, including the metropolitan City of Ulsan.

Thus, the purposes in this study are to analyze the real-time BSST data for identifying the bus travel characteristics at the bus stop under the study in the metropolitan City of Ulsan, to compare the BSST of time-series DB by the weighted moving average method(WMAM1) with that of grouped route DB by the weighted moving average method(WMAM2), and finally to suggest the weighted moving average method for more accurately predicting the time-series BSST at the bus stop of the arterial under the study.

As a result, the weighted moving average method(WMAM2) which had been uses to predict the BSST of the grouped route DB depending on the grouped route service time was found to be better than the method(WMAM1) for predicted the BSST of existing DB depending on the time-series sequence.

제 1 장 서론

1.1 연구배경

최근의 도시교통상황은 인구증가 및 소득의 향상으로 차량보유대수가 급격하게 증가하고 있으며, 이에 따른 교통량증가로 인해 교통 혼잡이 가중되고, 물류비용 증가, 에너지 낭비, 환경오염 심화 등 여러 가지 사회적 문제를 야기시키고 있으며, 차량의 이동편의와 교통소통 수준이 도시의 삶의 질과 경쟁력에 많은 영향을 주고 있다.

이러한 도시교통 혼잡을 완화하기 위하여 도로의 건설 및 확장 등 교통시설 확충에 막대한 재원과 노력을 투자해 왔으나, 도로시설의 공급은 미미한 반면 차량보유 및 교통량은 급격하게 증가하여 도시교통 혼잡이 더욱 심화되고 있는 실정이다.

우리나라 주요 도시의 경우, 승용차의 수송 분담률이 20~30%수준이나, 버스의 수송 분담률은 약 30% 수준을 차지하는 것으로 나타나 도시교통 문제를 해결하는 방법 중 하나로 승용차보다는 대중교통수단이 더 효율적이라고 생각되어 도시교통 정책방향의 목표를 수송능력을 향상시킬 수 있는 대중교통정책에 우선순위를 두고 있다.

따라서 이 연구에서는 대중교통 활성화의 일환으로 구축·운영되고 있는 버스정보시스템(bus information system, BIS)의 효율성 향상을 위하여 이 시스템이 운영되고 있는 도시를 대상으로 버스운행 특성파악을 통한 보다 신뢰성 있는 버스정보 제공에 관하여 연구하고자 한다.

1.2 연구목적 및 필요성

일반적으로 버스정보시스템의 중요한 편익 및 효과는 버스 이용자에게 실시간으로 신뢰성 있는 버스 운행정보를 제공함으로써 정류장 대기시간을 최소화시키는 등 버스이용자가 이용할 버스의 위치 및 소요시간 습득을 통하여 버스이용 만족도를 향상시키는 것이다

그러므로 버스정보시스템의 효율성을 향상시키면서 우선적으로 신뢰성 있는 버스정보가 수집·가공 되어야 하며, 제공되는 버스 정보의 신뢰성이 떨어지면 당초 BIS사업을 통해 이루고자 한 버스이용 만족도가 훼손될 수 있다.

대부분의 버스정보시스템은 도로를 버스정류장, 신호교차로, 순행구간 등으로 세분화하고 단위구간별 예측모형을 적용하여 실시간 버스통행 자료를 바탕으로 예측한 후 각각의 예측 값을 합산하여 통행시간을 제공하고 있다.

지금까지 버스통행시간의 신뢰성 향상을 위한 연구들은 실시간 버스통행시간 자료를 토대로 한 예측모형의 적합성에 관한 연구들로서 상당한 발전과 개선이 있었으나, 버스정류장, 순행구간, 신호교차로 등 수집구간 및 수집방법에 관한 연구는 다소 미미했으며, 특히 버스 특성 및 등급에 따른 분류 등 버스의 고급화 및 운행노선의 다양한 토지이용특성에 따른 수집정보의 차별화에 대한 연구는 극히 부족한 실정이다.

이에 획일적인 시계열 버스자료를 기준으로 예측함에 따라 발생하는 예측오차를 최소화 하고자, 수집정보 즉 버스정류장에 도착하는 버스의 노선별 서비스시간 분류에 따른 버스통행시간 예측을 세분화함으로써 버스정보시스템의 신뢰성을 증진하고자 하였다.

1.3 연구내용 및 방법

1.3.1 연구내용

이 연구에서는 도시지역 내 실시간의 버스정보시스템이 운영되고 있는 간선 도로중 상대적으로 대중교통수단의 이용률이 높은 울산광역시의 문수로와 삼산로를 연구대상도로로 선정하여 버스정류장 서비스시간(bus stop service time, BSST)을 분류하여 서비스시간대에 따른 버스노선을 차별화함으로써 버스정보시스템의 예측오차를 최소화하고자 하였다.

이를 위해 연구대상지역의 도로 중에서 주변토지이용 및 버스통행 패턴이 유사하고 상충요인이 적은 구간의 버스정류장을 연구대상으로 선정하였으며, 노선별 버스통행 특성자료를 수집·조사하고, 수집·조사된 버스노선의 평균서비스시간별로 세분화하여, 세분화된 자료를 토대로 버스정류장 서비스시간 예측모형을 구축하고 실측치와 비교·검증함으로써 최적의 버스정류장 서비스시간 예측방안을 제시하도록 한다.

1.3.2 연구방법

이 연구를 위하여 연구대상 구간선정 및 자료수집 그리고 실시간 버스자료의 이상치 제거 및 예측모형의 최적의 상수를 도출하여 가중이동평균모형을 구축하였으며, 버스정류장 서비스시간 예측을 위하여 가중이동평균모형을 적용한 2가지의 예측방안을 제시하였다. 첫째 기존 방식대로 버스도착 순으로 버스정류장 서비스시간을 예측하였고, 둘째 이 연구에서 제시한 그룹별 버스노선 DB를 활용하여 버스정류장 서비스시간을 예측하였다.

그리고 기존방식인 첫 번째 예측결과와 이 연구에서 제시한 두 번째 예측결과를 비교·평가하여 최적의 버스서비스시간 예측방법을 제시하였다.

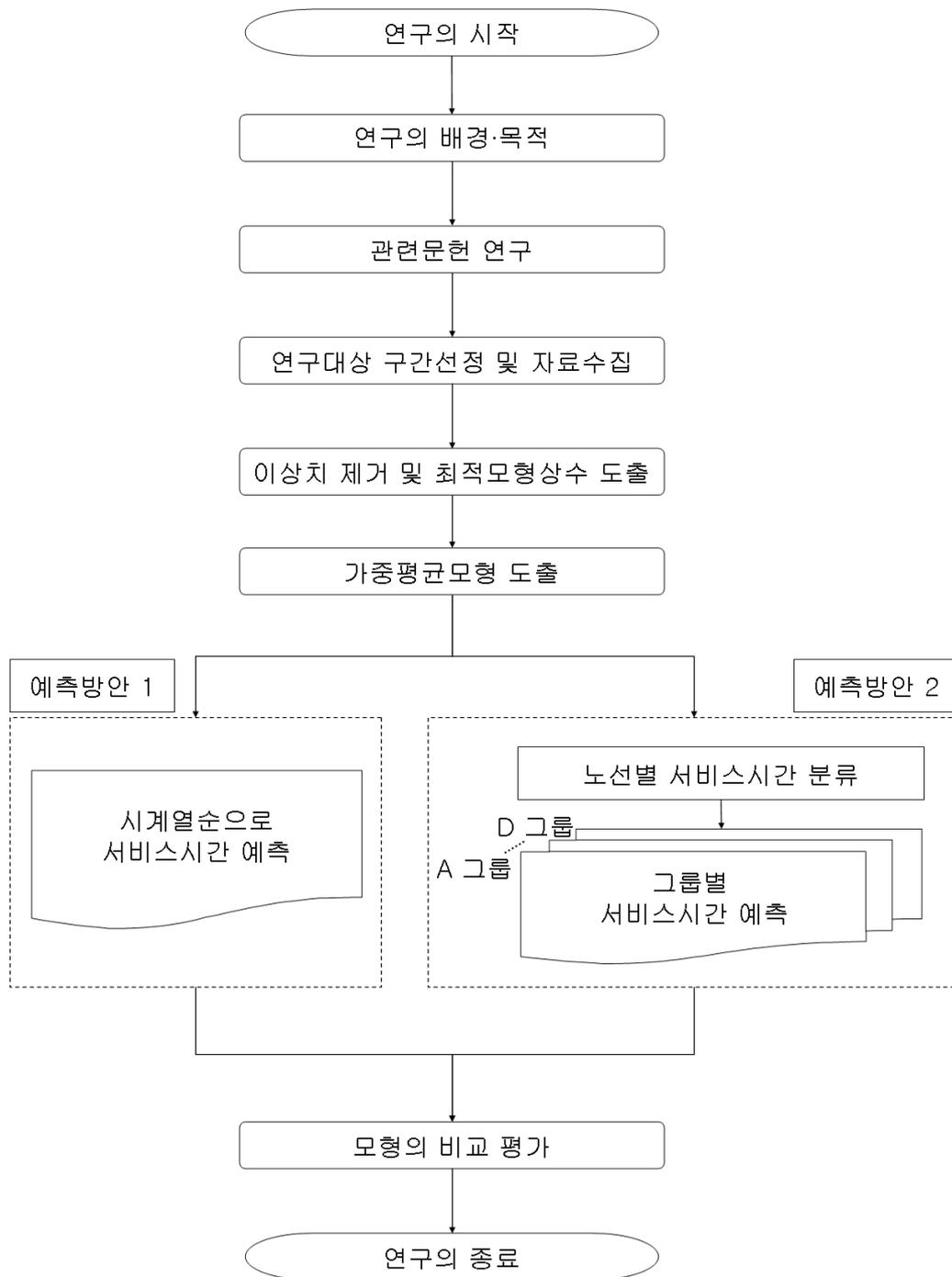


Fig. 1.1 Flowchart of study process

제 2 장 문헌 연구

2.1 AVL 및 GPS에 의한 운행자료 관측

미국의 Lin & Zeng(1999)은 위성항법장치(global positioning system, GPS) 자료를 이용한 실시간의 버스도착시간 예측에 관한 실험적 연구에서 버스의 도착시간은 첨단대중교통체계의 중요한 사항이기 때문에 특정지역의 버스운행특성이 반영된 지체형태에 기초하여 버스 정류장의 체류시간이 알고리즘의 성과지표에 중요한 역할을 담당하는 것으로 보고함으로써 GPS자료를 이용한 버스도착시간의 추정에서 출발도착 시간정보의 중요성을 강조하였다.

미국의 Kikuchi & Chakroborty(2004)는 버스의 통행시간 자료를 이용하여 도시 가로의 통행시간을 추정하기 위한 공동연구에서 자동 위치추적 장치(automated vehicle locator, AVL)를 탑재한 버스와 승용차의 통행시간 상호관계를 조사하고 모형을 구축하였다.

그 결과 통행시간 산정에 시간대별 효과, 지역적인 요인 및 가로구간 길이의 영향을 충분히 고려해야 한다고 보고함으로써 버스의 통행시간자료를 이용한 승용차의 통행시간 예측시 선형모형 구축의 타당성을 역설하였다.

미국의 Jeong(2004)과 캐나다의 Shalaby & Farhan(2004)은 공통적으로 AVL을 이용하여 도로 위를 운행하는 버스의 위치자료를 수집·가공하여 버스통행시간의 예측 가능성을 제시하였고, 버스통행시간의 신뢰성 있는 예측을 위해서는 수집된 버스위치정보의 양과 질, 대상구간의 도로 및 교통여건이 버스의 통행시간예측에 높은 영향을 주었으며, 특히 버스 정류장의 정확한 체류시간정보가 버스의 통행시간예측에 높은 영향을 주었다고 보고함으로써 버스의 위치정보가 버스의 통행시간예측에 중요한 요소임을 강조하였다.

2.2 자료의 이상치 제거

국내의 배상훈 등(2004)은 이상치 관련 연구에서 인접한 하류부(n) 정류장의 도착시간이 결측일 경우, 통행소요시간을 계산할 때 계산과정에서 오류가 발생하므로 오류 값들을 모두 0으로 처리하였고, 하류부(n+1) 정류장의 버스도착시간이 상류부(n) 정류장의 버스도착시간보다 작을 경우 하류부(n) 정류장의 버스통행시간을 0으로 하여 정리하였다.

그리고 n 정류장과 n+1 정류장간의 버스통행시간이 6분 이하 및 20분 이상은 0으로 처리하였으며, 결측자료 보정을 위하여 동일 정류장 구간에 대해 앞서 지나간 3대의 버스통행시간을 이용하였다고 보고하였다.

국내의 김남선 등(2005)은 이상치 관련 연구에서 관리도법(control chart method, CCM)에 기반을 두어 1σ (표준편차)를 지표로 삼아 분포상한(upper bound)을 설정하여 2단계에 걸쳐 이상치를 제거하였다.

분포하한에서는 분산이 극히 적은 반면에 분포상한에서는 상대적으로 광범위한 분산을 갖고 있는 것으로 나타나 분포상한에서 이상치를 제거하였고, 1단계로 이상치를 제거할 경우 분포상한의 분산이 커서 평균과 중위수의 차이가 크게 발생하므로 2단계에 걸쳐 이상치를 제거하였다고 보고함으로써 자료의 신뢰성 증대를 위해 이상치 제거의 중요성을 강조하였다.

2.3 모형에 의한 도착시간 예측

국내의 도명식 등(2004)은 칼만필터모형을 이용한 구간 통행시간 예측에 관한 연구에서 교차로별 통행시간모형(모형1)과 구간별 통행시간 예측모형(모형2)을 구축하여 칼만필터모형을 이용하여 통행시간을 예측한 결과 구간별 통행시간 예측(모형2)이 우수하게 분석되었다.

따라서 단속류의 특성을 보이는 국도구간에서 통행시간의 변동이 신호주기의

영향과 연도토지이용 특성의 영향을 받기 때문에 짧은 구간별로 통행시간을 추정하는 것보다는 교통류의 특성이 비슷한 동질구간별로 구분하여 통행시간을 추정하는 것이 유리하다고 보고함으로써 교차로의 통행시간예측에 칼만필터모형의 상대적 우수성을 역설하였다.

국내의 안현철(2008)은 실시간 BIS자료를 이용한 간선도로의 버스도착시간 예측모형구축에 관한 연구에서 일정구간의 버스도착시간 예측을 위해 버스정류장, 신호교차로, 순행구간으로 예측구간을 세분화하였고, $\pm 1.645\sigma$ 를 초과하거나 미달되는 자료는 평균(μ)을 적용하여 이상치를 제거하였고, 평활화 모형의 최적지수를 산출하였다.

그리고 가중평활모형, 지수평활모형, 칼만필터모형을 적용하여 단위구간별 시간대별 최적모형을 구축하고, 그 결과를 바탕으로 전 구간에 대한 통합예측모형을 구축하여 버스도착시간을 예측한 결과, 높은 설명력($R^2=0.945$)과 유의성 및 유의확률을 확인하였으며, 95% 신뢰수준에서 매우 유효한 것으로 강조하고 있다.

이상의 문헌연구를 요약해보면 버스운행 자료를 이용하여 버스의 통행시간을 예측하기 위해서는 버스의 위치정보 그리고 도로 및 교통여건에 대한 정보가 매우 중요하다는 사실과 버스 정류장의 정확한 체류시간 정보가 버스의 통행시간 예측에 중요하다는 것을 확인할 수 있었으며, 수집된 버스운행 자료에 대한 결측자료 처리 및 이상치의 제거의 필요성을 알 수 있었다.

또한 버스도착시간 예측을 위하여 다양한 모형의 연구에 대한 사례를 확인할 수 있었으며, 구간에 따라 교통류의 특성이 비슷한 동질 구간별로 구분하거나, 정류장 형태 등 일부시설물의 특성과 교통특성을 감안할 경우 버스도착시간 예측시 신뢰도를 향상시킬 수 있다는 것을 알 수 있었다.

제 3 장 자료수집 및 분석

3.1 도로 및 정류장 선정

3.1.1 대상도로의 선정

이 연구에서는 울산광역시 도심지역내에서 버스정보시스템이 운영되고 있고 또한 실시간 버스운행 자료수집이 가능한 주요간선도로를 연구대상지역으로 선정하였다.

그리고 연구대상지역 내 대상도로는 운행되는 버스노선이 많아 버스운행 자료수집이 용이하고, 도로의 굴곡정도나 도로변의 불법주정차량으로 인한 상층영향이 적은 간선도로를 중심으로 선정되었다.

울산광역시 도심지역내 버스정보시스템이 운영되고 있는 30개 이상의 도로 중 도로폭원이 30m 이상인 10개의 주요 간선도로에 대하여 시내버스 운행노선 수 및 도로의 기하구조 특성 등을 살펴본 결과 아래 Table 3.1과 같았다. 특히, 버스노선 수는 삼산로 38개, 대학로 35개, 문수로 23개 순으로 운행되고 있었으며, 도로폭원은 번영로가 50m, 삼산로와 산업로가 40m, 대학로, 수암로, 문수로 및 두왕로가 각각 35m로 나타났다.

따라서 이 연구에서는 버스노선 수가 20개 이상 운행되고, 6차로 이상의 차로를 유지하고 있는 문수로, 삼산로, 대학로 등 총 3개의 도로 중에서 불법주정차량으로 인한 혼잡영향이 극심한 대학교 앞의 대학로를 제외한 문수로, 삼산로 2개 도로를 연구대상도로로 선정하였다.

Table 3.1 Roadway characteristics of bus routes within the study area

No.	Roadway	No. of routes	Length(km)	Width(m)	No. of lanes
1	염포로	21	7.81	30	5
2	산업로	16	21.42	40	8
3	대학로	35	1.82	35	6
4	중앙로	31	2.2	30	5
5	삼산로	38	4.21	40	8
6	북부순환도로	12	10.17	35	6
7	수암로	11	3.68	30	6
8	변영로	9	7.38	50	10
9	두왕로	15	3.38	35	6
10	문수로	23	4.98	35	6

3.1.2 대상 정류장 선정

선정된 연구대상 도로구간 중 버스정류장에 미치는 영향권의 주변토지이용을 분석하여 대상정류장을 선정하였다.

1) 문수로

문수로(A)는 무거삼거리에서 공업탑로타리에 이르는 총 연장 4.98km의 양방향 6차로의 도로로서 시점부인 무거삼거리에서 법원까지는 3.17km에 2개소의 신호교차로를 제외하면 마찰요인이 적은 연속류 특성을 보이고 있으며 자연녹지지역 및 공원지역으로 버스이용객이 거의 없는 구간이므로 연구대상에서 제외하였다.

또한 공업탑로터리~서여자중학교 구간은 로터리와 인접한 구간으로서 교차로 지체로 인한 영향과 신정고, 학성고, 서여자중학교 등 교육시설이 밀집된 구간으로서 등하교시를 제외하면 버스이용객이 거의 없으므로 이 연구에서는 제외하였다.

따라서 울주군청과 법원 등 업무시설과 옥동의 공동주택이 밀집되어 있고, 버스이용객이 충분히 많은 법원앞정류장과 울주군청정류장을 연구대상 정류장으로 선정하였다.

Table 3.2 Bus stops accepted within the study segment of road A

No.	Name of bus stop	Land use characteristics	Accept
①	공원묘지입구	자연녹지, 공원 (옥동공원묘지, 울산대공원)	×
②	법원앞	업무, 주거지역 (울산지방법원, 옥동서광아파트)	○
③	울주군청앞	업무, 주거지역 (울주군청, 문수로I'PARK)	○
④	서여자중학교	교육시설(학성여중, 울산서여중)	×
⑤	신정고등학교앞	교육시설(신정고, 학성고)	×



Fig. 3.1 Spatial scope within the study segment of road A

2) 삼산로

삼산로(B)는 공업탑로타리에서 울산역삼거리에 이르는 총 연장 4.21km의 양방향 8차로이며, 도로 대부분이 단속류구간으로서 공업탑로타리와 현대백화점~울산역 주변지역은 상업밀집지역으로 불법주정차량이 많고 도로변 마찰 영향이 심한 지역이기 때문에 제외하였다.

그리고 현대해상, 동양생명 등의 업무시설과 달동주공아파트, 달동현대2차아파트 등 공동주택이 밀집되어 있고, 도로변 마찰요인이 적은 현대해상과 달동주공아파트앞정류장을 연구대상 버스정류장으로 선정하였다.

Table 3.3 Bus stops accepted within the study segment of road B

No.	Name of bus stop	Land use characteristics	Accept
①	울산역앞	기차역(울산역)	×
②	농산물도매시장앞	상업지역(농산물도매시장, 이마트)	×
③	시외고속버스터미널	상업, 터미널(롯데백화점, 고속버스터미널)	×
④	현대백화점앞	상업지역(현대백화점)	×
⑥	목화예식장앞	상업지역(목화예식장, 뉴코아아울렛)	×
⑦	현대해상앞	업무, 주거지역 (현대해상, 달동현대2차아파트)	○
⑧	달동주공아파트앞	업무, 주거지역 (은행밀집, 달동주공아파트)	○
⑨	굿모닝병원앞	업무, 상업지역 (굿모닝병원, 노변상가 및 오피스)	×
⑩	롯데마트앞	업무, 상업지역 (롯데마트, 노변상가 및 오피스)	×
⑪	공업탑	상업 및 환승시설 (노변상가 밀집, 버스환승지역)	×

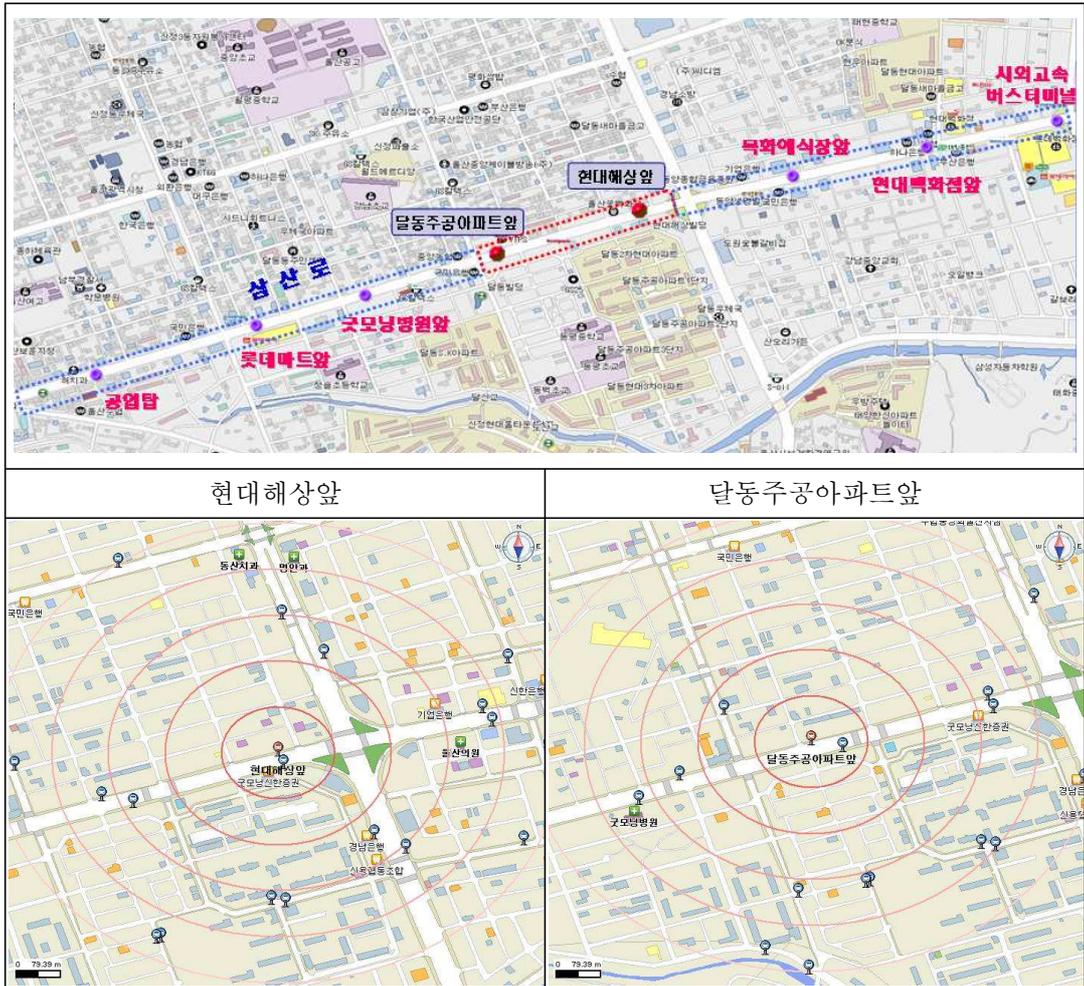


Fig. 3.2 Spatial scope within the study segment of road B

3.2 자료수집

3.2.1 자료수집의 구성 체계

울산광역시의 버스정보시스템은 도로상에서 운행되는 버스의 위치 파악을 위하여 매 20sec 마다 버스위치 정보가 규칙적으로 교통관리센터에 송신되고 있으며, 버스의 통행시간 산정을 위해서 특정지점 즉 버스정류장 혹은 신호교차로를 통과할 때 버스위치 정보가 교통관리센터로 송신되고 있다.

Table 3.4 Bus information system(BIS) characteristics

Division		Function	Cycle
버스위치 정보수집	정주기	각 버스의 위치 파악 및 도착예정시간 산정 기준	20sec
	이벤트	구간별 통행시간 산정 버스의 위치 파악	교차로 또는 정류장 진출입시

연구대상지역내 버스운행 자료는 이벤트 정보에 의하여 수집되고 있는데, 이벤트 정보란 버스정류장과 신호교차로 등 특정지점에 버스와 무선통신을 할 수 있는 장치를 설치하고 각 지점별 ID를 부여하여, 버스가 특정지점을 통과할 경우 전방(n-1)의 진출지점부터 해당지점(n) 진출지점까지의 여행시간과 해당지점(n)의 서비스시간 정보를 아래 Fig. 3.3과 같이 교통관리센터로 송신하고 있다.

여기서 서비스시간 정보는 해당지점(n) 기준점에서 진행방향의 상류부 전방 70m에서 하류부 후방 30m 사이구간의 통행시간으로서, 버스정류장 및 신호교차로의 영향권 내의 통행시간을 나타낸다.

따라서 버스정류장의 경우, 진입을 위한 감속시간, 승하차를 위한 정차시간, 진출을 위한 가속시간을 포함하고 있으며, 교차로의 경우, 교차로 진입시간, 신호 대기시간, 교차로 통과시간을 포함하고 있다.

여행시간 정보는 전방(n-1)지점의 진출부터 해당(n)지점의 진출까지 통행시간 정보로서 서비스시간과 순행시간을 합산한 시간정보이다.

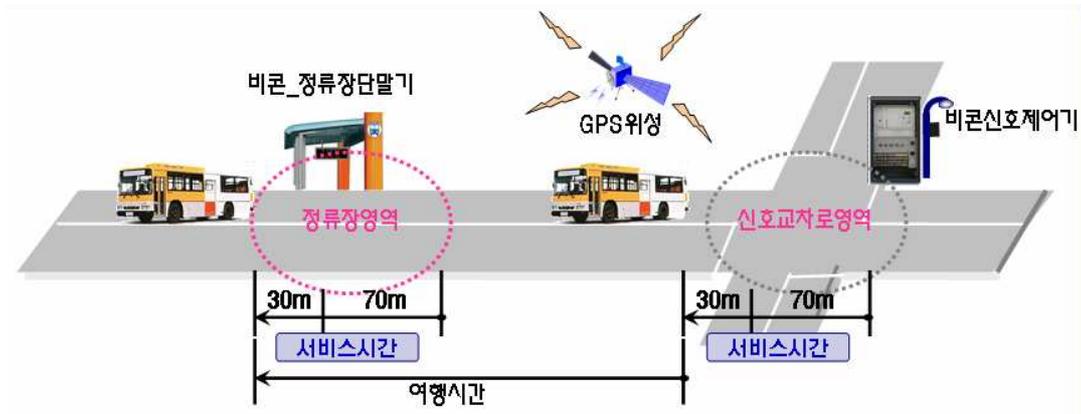


Fig. 3.3 Event data structure of bus information system

3.2.2 운행 자료수집

이 연구대상구간 내 실시간 버스운행 자료는 교통관리센터의 DB서버를 통해 수집되었으며, 연구대상 정류장중 문수로는, 2007년 1월 16일(화)~1월 18일(목) 까지 총 3일 동안, 삼산로는 2007년 3월 27일(화)~3월 29일(목)까지 각 3일 동안 수집되었고, 자료수집 시간대는 오전 출근시간대(07시~09시), 낮 시간대(12시~14시), 오후 퇴근시간대(17시~19시)로 각각 2시간씩 구분하여 수집되었다.

그리고 총 3일 자료 중 2일간의 자료를 버스노선별 서비스시간의 그룹화를 위해 이용되었으며, 마지막 1일 자료를 이용하여 모형구축에 활용되었다.

노선번호	지점ID	지점명	날짜	진입시간	진출시간	여행시간	서비스시간
432	1348	법원앞	20070116	7:00:07	7:00:31	25	24
724	1348	법원앞	20070116	7:00:12	7:00:36	26	25
401	1348	법원앞	20070116	7:00:19	7:00:44	26	25
714	1348	법원앞	20070116	7:00:28	7:00:53	25	25
417	1348	법원앞	20070116	7:00:32	7:00:58	25	26
417	1348	법원앞	20070116	7:00:41	7:01:00	20	19
714	1348	법원앞	20070116	7:02:57	7:03:06	2	9
1114	1348	법원앞	20070116	7:05:53	7:06:27	34	34
1127	1348	법원앞	20070116	7:06:17	7:06:37	20	20
405	1348	법원앞	20070116	7:11:28	7:11:52	25	24
714	1348	법원앞	20070116	7:11:33	7:11:43	11	10
1104	1348	법원앞	20070116	7:11:41	7:12:13	33	32
412	1348	법원앞	20070116	7:11:50	7:12:29	38	39
1402	1348	법원앞	20070116	7:17:11	7:17:23	13	12
307	1348	법원앞	20070116	7:17:14	7:17:38	25	24
1401	1348	법원앞	20070116	7:17:27	7:17:53	27	26
1127	1348	법원앞	20070116	7:17:31	7:17:44	14	13
401	1348	법원앞	20070116	7:17:34	7:17:59	26	25
714	1348	법원앞	20070116	7:17:38	7:18:02	25	24
415	1348	법원앞	20070116	7:19:49	7:20:09	21	20
1114	1348	법원앞	20070116	7:22:42	7:23:04	23	22
503	1348	법원앞	20070116	7:23:05	7:23:27	23	22
411	1348	법원앞	20070116	7:23:20	7:23:39	20	19
406	1348	법원앞	20070116	7:25:34	7:25:56	23	22
412	1348	법원앞	20070116	7:25:45	7:26:24	40	39
1127	1348	법원앞	20070116	7:28:29	7:28:38	9	9
1104	1348	법원앞	20070116	7:31:07	7:31:30	23	22
432	1348	법원앞	20070116	7:31:18	7:31:48	31	30
1124	1348	법원앞	20070116	7:33:57	7:34:20	24	23
472	1348	법원앞	20070116	7:34:21	7:34:47	25	26
401	1348	법원앞	20070116	7:34:26	7:35:05	39	39
1127	1348	법원앞	20070116	7:37:04	7:37:26	22	22
416	1348	법원앞	20070116	7:37:10	7:37:38	29	28

Fig. 3.4 Real-time data example observed on the road

3.3 운행자료 분석

3.3.1 운행대수 분석

연구대상구간을 통과한 일별 시간대별 2시간단위 버스통과대수를 살펴보면 아래 Table 3.5와 같이 문수로 구간은 78대/2시간~90대/2시간, 삼산로 구간은 약 87대/2시간~92.7대/2시간으로 도로별로 거의 유사하게 나타났다.

Table 3.5 Number of buses passed within the study segments(veh)

<i>Road</i>	<i>Bus stop</i>	<i>Period</i>	<i>Day 1</i>	<i>Day 2</i>	<i>Day 3</i>	<i>Average</i>
<i>Road A</i>	법원앞	M.P.(07시 ~ 09시)	88	90	92	90.0
		N.P.(12시 ~ 14시)	89	88	90	89.0
		A.P.(17시 ~ 19시)	89	78	90	85.7
	울주군청앞	M.P.(07시 ~ 09시)	86	76	84	82.0
		N.P.(12시 ~ 14시)	82	79	82	81.0
		A.P.(17시 ~ 19시)	78	71	85	78.0
<i>Road B</i>	현대해상앞	M.P.(07시 ~ 09시)	92	91	95	90.7
		N.P.(12시 ~ 14시)	85	89	89	87.0
		A.P.(17시 ~ 19시)	88	90	88	87.7
	달동주공아파트앞	M.P.(07시 ~ 09시)	90	89	93	92.7
		N.P.(12시 ~ 14시)	86	87	88	87.7
		A.P.(17시 ~ 19시)	85	90	88	88.7

3.3.2 배차간격 및 주요경유지 분석

이 연구대상구간인 문수로 구간의 범원앞 및 울주군청앞 버스정류장에서는 아래 Table 3.6과 같이 23개의 버스노선이 운행되고 있었고, 버스의 배차간격은 최소 9분에서 최대 164분까지 고루 분포되어 있었으며, 평균 43분의 배차간격으로 운행되고 있었다.

Table 3.6 Routes and time intervals within the study segment of road A

No.	Route	Interval	Major stops
계	23	-	-
1	307	46분	천상~구영~울산대~울주군청~삼산동~울산역
2	401	13분	울리~울산대~울주군청~삼산동~현대차~방어진
3	403	60분	천상~구영~울주군청~시청~동강병원~구영~천상
4	405	164분	울리~울산대~울주군청~덕하~남창~진하
5	406	35분	울리~울산대~울주군청~동부아파트~변전소~장생포
6	411	60분	울리~울산대~울주군청~시청~성남동~현대차~남목~주전~정자
7	412	15분	울리~울산대~울주군청~시청~성남동~북구청~모화
8	415	25분	울리~울산대~울주군청~대공원~울산여상~삼일여고
9	416	45분	울리~울산대~울주군청~롯데마트~야음주공
10	417	32분	울리~울산대~울주군청~삼산동~평창리비에르
11	432	27분	울리~울산대~울주군청~삼산동~병영~북구청~쌍용아진
12	452	86분	울리~울산대~울주군청~시청~성남동~북구청~주연동
13	462	47분	울리~울산대~울주군청~산업은행~향교~북구청~연암
14	472	42분	장백아파트~울산대~울주군청~KBS~학성공원~북구청~효문
15	503	85분	천상~구영~울산대~울주군청~대공원~덕하~온산~덕신
16	714	16분	덕계~웅촌~울산대~울주군청~시청~성남동~보람병원~울산역
17	724	100분	신암~웅촌~울산대~울주군청~시청~성남동~보람병원~삼산
18	1104	12분	울리~울산대~울주군청~삼산동~울산역~현대차~방어진
19	1114	12분	울리~울산대~울주군청~삼산동~울산역~현대차~방어진
20	1124	25분	울리~울산대~울주군청~KBS~학성공원~현대차~방어진
21	1127	9분	노포동~웅촌~울산대~울주군청~KBS~학성공원~현대차~방어진
22	1401	22분	울리~울산대~울주군청~삼산동~동구청~방어진
23	1402	27분	울리~울산대~울주군청~삼산동~울산역~북구청~모화

삼산로 구간은 현대해상앞 및 달동현대아파트앞 버스정류장까지 아래 Table 3.7과 같이 18개의 버스노선이 운행되고 있었고, 버스의 배차간격은 최소 8분에서 최대 80분까지 다양하게 분포되어 있었으며, 평균 66분의 배차간격으로 운행되고 있었다.

Table 3.7 Routes and time intervals within the study segment of road B

<i>No.</i>	<i>Route</i>	<i>Interval</i>	<i>Major stops</i>
Sum	18	-	-
1	117	23분	울산역~공업탑~성남동~현대차~남목~방어진
2	126	31분	변전소~공업탑~울산역~현대차~남목~동구청~방어진
3	127	8분	울산역~공업탑~향교~중구청~현대차~남목~방어진
4	327	23분	메가마트~언양~입암~동강병원~시청~삼산동~울산역
5	337	44분	메가마트~언양~구영~남산사~시청~삼산동~울산역
6	401	13분	울리~울산대~울주군청~삼산동~현대차~방어진
7	417	32분	울리~울산대~울주군청~삼산동~평창리비에르
8	704	73분	영산대~웅촌~울산대~동강병원~시청~삼산동~울산역
9	708	58분	녹동~다운동~동강병원~시청~삼산동~울산역
10	718	58분	반용~다운동~동강병원~시청~삼산동~울산역
11	744	80분	장백아파트~덕하~공업탑~삼산동~울산역
12	807	69분	석남사~언양~입암~동강병원~시청~삼산동~울산역
13	827	35분	성안~향교~시청~삼산동~울산역
14	1104	12분	울리~울산대~울주군청~삼산동~울산역~현대차~방어진
15	1114	12분	울리~울산대~울주군청~삼산동~울산역~현대차~방어진
16	1401	22분	울리~울산대~울주군청~삼산동~동구청~방어진
17	1402	27분	울리~울산대~울주군청~삼산동~울산역~북구청~모화
18	1705	20분	울산역~삼산동~공업탑~덕하~남창~울산온천

3.3.3 정류장 서비스시간 분석

일별 시간대별 2시간 단위 버스통과대수를 살펴보면, 아래 Table 3.8과 같이 버스 정류장별 평균서비스시간은 문수로 구간에서 26.3sec~40.9sec, 삼산로 구간에서 18.9sec~28.2sec로 나타났다.

그리고 운행되는 버스정류장의 서비스시간 자료는 아래 Table 3.9에서와 같이 6개의 서비스시간 그룹(10sec 단위)으로 분류하였으며, 분석결과 도로별 시간대별로 다소 차이는 있겠지만 문수로는 30sec~40sec, 삼산로는 20sec~30sec 범위 내에 서비스시간 빈도가 제일 높은 것으로 나타났다.

Table 3.8 Service time spent within the study segments(sec)

<i>Road</i>	<i>Bus stop</i>	<i>Period</i>	<i>Day 1</i>	<i>Day 2</i>	<i>Day 3</i>	<i>Average</i>
Road A	법원앞	M.P.(07시 ~ 09시)	26.7	27.0	25.2	26.3
		N.P.(12시 ~ 14시)	27.6	27.9	29.7	28.4
		A.P.(17시 ~ 19시)	33.7	35.4	36.7	35.3
	울주군청앞	M.P.(07시 ~ 09시)	26.8	29.0	28.1	27.9
		N.P.(12시 ~ 14시)	32.1	30.2	32.7	31.7
		A.P.(17시 ~ 19시)	38.4	37.9	45.5	40.9
Road B	현대해상앞	M.P.(07시 ~ 09시)	28.6	26.9	29.2	28.2
		N.P.(12시 ~ 14시)	22.2	19.9	18.5	20.2
		A.P.(17시 ~ 19시)	23.4	26.5	23.8	24.6
	달동주공아파트앞	M.P.(07시 ~ 09시)	23.6	23.5	24.7	23.9
		N.P.(12시 ~ 14시)	19.0	20.1	17.6	18.9
		A.P.(17시 ~ 19시)	21.9	23.1	20.4	21.8

Table 3.9 Service times distributed at bus stop(sec)

Division			≤10sec	≤20sec	≤30sec	≤40sec	≤50sec	>50sec	Sum
Road A	법원앞	M.P.	24 (8.9%)	42 (15.6%)	117 (43.3%)	66 (24.4%)	15 (5.6%)	6 (2.2%)	270 (100.0%)
		N.P.	20 (7.5%)	61 (22.8%)	77 (28.9%)	67 (25.1%)	28 (10.5%)	14 (5.2%)	267 (100.0%)
		A.P.	14 (5.4%)	18 (7.0%)	72 (28.0%)	76 (29.7%)	43 (16.7%)	34 (13.2%)	257 (100.0%)
	울주군청 앞	M.P.	20 (8.1%)	35 (14.2%)	115 (46.8%)	53 (21.5%)	12 (4.9%)	11 (4.5%)	246 (100.0%)
		N.P.	12 (4.9%)	40 (16.5%)	86 (35.4%)	52 (21.4%)	32 (13.2%)	21 (8.6%)	243 (100.0%)
		A.P.	9 (3.8%)	23 (9.8%)	58 (24.8%)	57 (24.4%)	33 (14.1%)	54 (23.1%)	234 (100.0%)
Road B	현대해상 앞	M.P.	17 (6.1%)	81 (29.1%)	131 (47.2%)	32 (11.5%)	12 (4.3%)	5 (1.8%)	278 (100.0%)
		N.P.	39 (14.8%)	116 (44.1%)	97 (36.9%)	9 (3.4%)	1 (0.4%)	1 (0.4%)	263 (100.0%)
		A.P.	20 (7.5%)	91 (34.2%)	122 (45.9%)	26 (9.8%)	7 (2.6%)	(0.0%)	266 (100.0%)
	달동주공 아파트앞	M.P.	17 (6.3%)	66 (24.3%)	94 (34.4%)	54 (19.9%)	22 (8.1%)	19 (7.0%)	272 (100.0%)
		N.P.	37 (14.2%)	102 (39.0%)	97 (37.2%)	18 (6.9%)	5 (1.9%)	2 (0.8%)	261 (100.0%)
		A.P.	10 (3.8%)	75 (28.5%)	128 (48.7%)	40 (15.2%)	6 (2.3%)	4 (1.5%)	263 (100.0%)

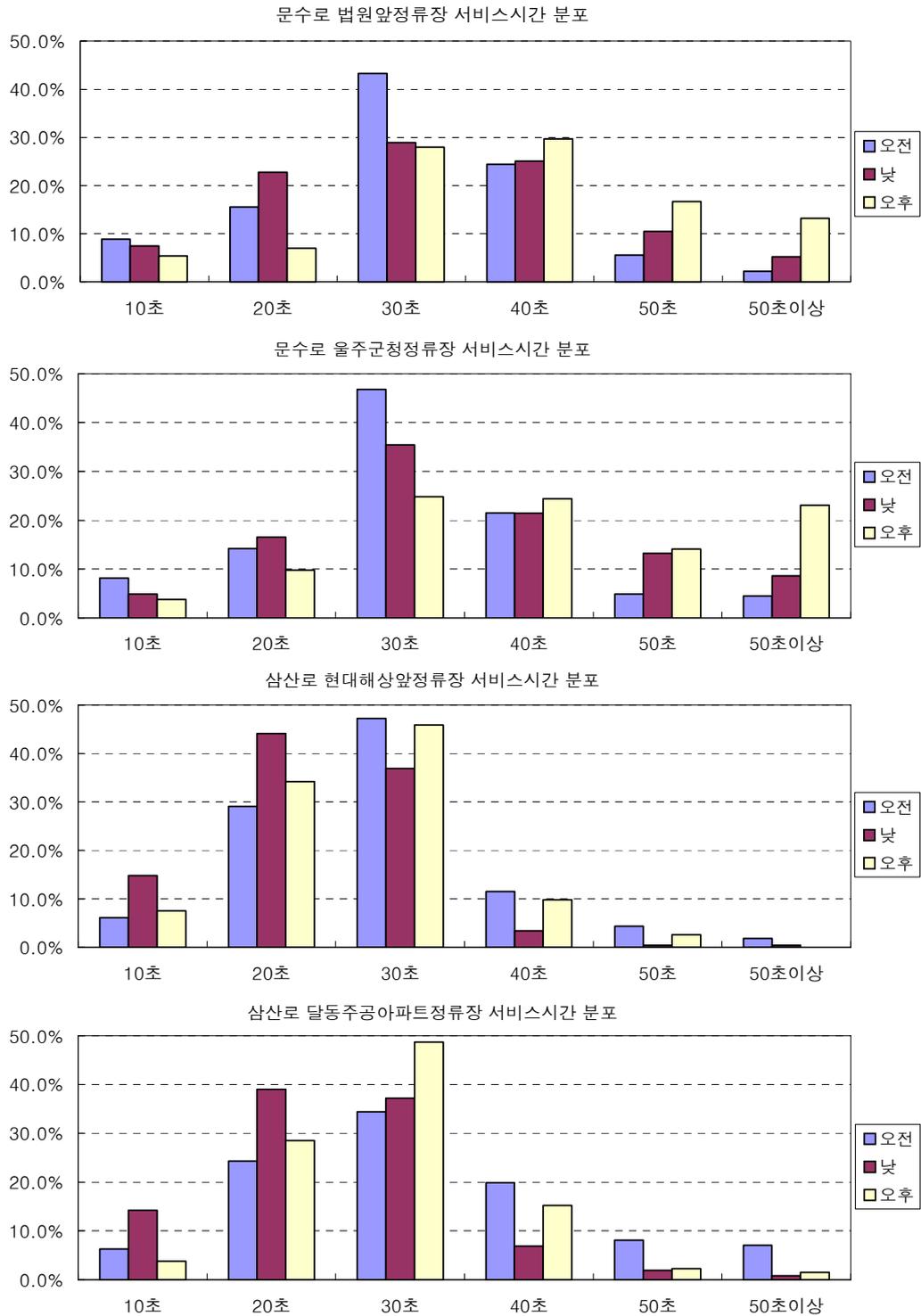


Fig. 3.5 Service time distribution at bus stop

제 4 장 모형구축

4.1 모형의 개요

일반적으로 과거의 시계열자료를 평활화하여 불필요한 요인을 제거하고 간편하게 미래의 시계열자료를 예측하는 방법을 평활화기법(smoothing method, SM) 이라고 하는데, 대표적인 평활화기법으로는 이동평균법(moving average method, MAM)과 지수평활법(exponential smoothing method, ESM)등이 있다.

그러나 버스통행 특성자료는 시간의 변화에 따라 일정한 경향으로 변하는 것이 아닌 비정상적인 특성을 가짐에 따라 실측치와 예측치사이의 간격을 최소화할 수 있는 기법이 필요하므로 이 연구에서는 평활화기법(SM)의 일환으로 적용이 용이하고, 실무적으로 많이 활용되고 있는 이동평균법(MAM)에 대하여 검토하도록 한다.

이동평균법(MAM)이란 시간의 경과에 따라 관측 자료의 평균이나 분산이 변하지 않는 균일한 시계열을 반영하므로 최근에 관측한 임의의 n 개 시계열 관측 자료들로부터 평균을 구하고, 이 평균을 이용하여 미래의 시계열 예측 자료를 예측하는 방법이다.

대부분의 시계열자료는 시간이 경과함에 따라 자료가 구축되므로, 과거의 자료들을 이용하여 미래를 예측하고자 할 때 과거의 모든 시계열자료에 동일한 비중을 부여하기보다는 특정(최근)시점의 시계열자료에 더 큰 비중을 부여함으로써 예측능력을 향상시킬 수 있는 예측모형을 활용하는 것이 타당할 것이다.

따라서 서비스시간 예측시 최적화된 모형적용을 위하여 평활화모형중 가중이동평균법(weighted moving average method, WMAM)을 적용하여 분석하였다.

가중이동평균법(WMAM)에 의한 예측모형은 식 4-1과 같다.

$$\begin{aligned}
 F_{t+1} &= (\omega_0 Y_t + \omega_1 Y_{t-1} + \dots + \omega_{N-1} Y_{t-N+1}) \\
 &= \left(\sum_{i=0}^{N-1} \omega_i Y_{t-i} \right)
 \end{aligned}
 \tag{4-1}$$

여기에서,

- F_{t+1} : $t+1$ 시점에서의 예측값
- ω_i : 가중치
- $\omega_0 + \omega_1 + \dots + \omega_{n-1} = 1$
- Y_t : t 시점에서의 시계열 관측값

관측값과 예측값 사이의 오차를 비교·분석하기 위하여 평균절대 예측오차 (mean absolute forecasting error, MAFE)와 평균 제곱근 오차(root mean squared error, RMSE)가 사용하였다.

N 기간에 대해 z_t 의 값을 예측하였다고 하면, 절대 오차 $|z_t - \hat{z}_t|$ 의 평균을 평균절대 예측오차(MAFE)라 부르며, 다음과 같다.

$$MAFE = \frac{\sum |z_t - \hat{z}_t|}{N}
 \tag{4-2}$$

여기에서,

- z_t : t 시점에서의 관측값
- \hat{z}_t : t 시점에서의 예측값

N 기간에 대해 z_t 의 값을 예측하였다고 하면, 제곱오차 $(z_t - \hat{z}_t)^2$ 의 평균을 평균 제곱오차라 하고, 이것에 제곱근을 적용하면 평균 제곱근 오차(RMSE)라 부르며, 다음과 같다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (z_t - \hat{z}_t)^2}{N}}
 \tag{4-3}$$

4.2 자료의 이상치 제거

이 연구에서는 자료의 이상치를 제거하기 위하여 각 버스노선별로 버스정류장 서비스시간을 분류한 자료를 토대로 평균(μ)과 표준편차(σ)를 산출하였으며, 버스노선별로 정류장서비스시간이 90% 신뢰수준에서 벗어나지 않을 것으로 가정함에 따라 $\mu \pm 1.645\sigma$ 를 초과하는 상한치와 미달되는 하한치를 이상치로 간주하여 제거하였다.

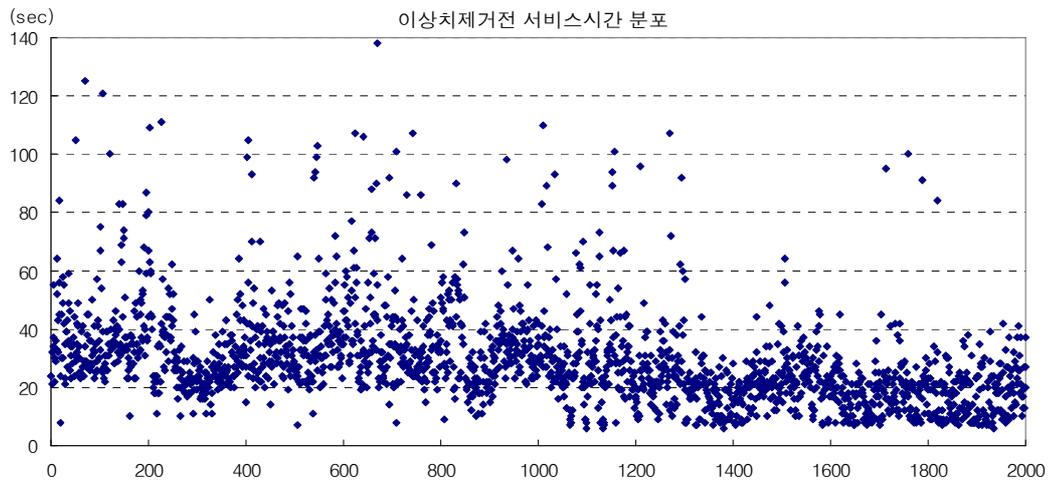


Fig. 4.1 Service time distribution before outlier filter

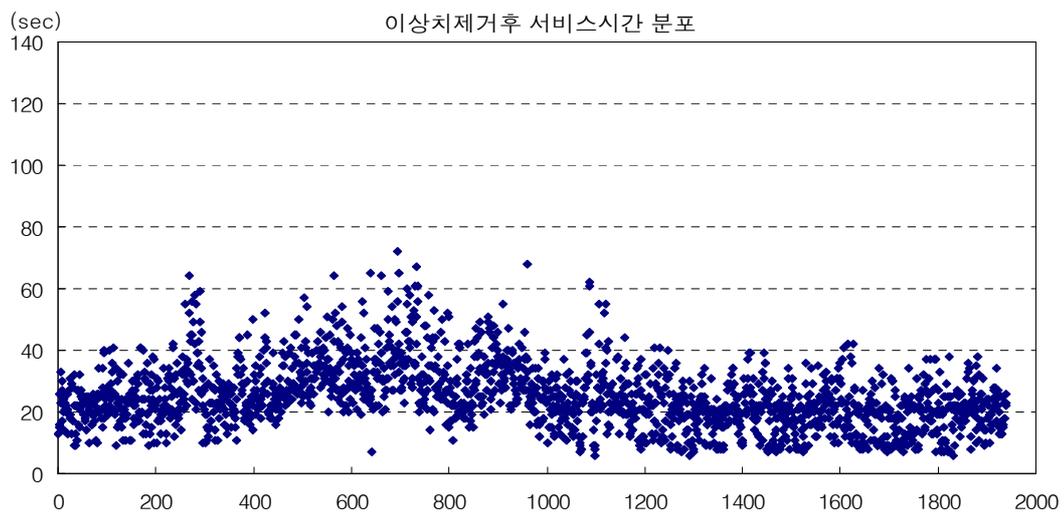


Fig. 4.2 Service time distribution after outlier filter

4.3 모형의 상수 도출 및 구축

가중이동평균법(WMAM)은 최적의 모형상수의 도출하기 위하여 전일 2일간 자료를 바탕으로 모의실험(simulation)을 수행한 결과 Table 4.1과 같은 결과를 도출하였으며, 이중 오차(RMSE)를 최소화 하는 $\omega_0=0.4$, $\omega_1=0.3$, $\omega_2=0.3$ 가중이동평균법의 최적모형 상수를 도출하였으며, 이에 따른 가중이동평균법 예측모형식은 식(4-4)과 같다.

$$F_{bs} = 0.4Y_t + 0.3Y_{t-1} + 0.3Y_{t-2} \quad (4-4)$$

여기에서,

F_{bs} : $t+1$ 시점에서의 버스정류장 서비스시간 예측값

Y_t : t 시점에서의 버스정류장 서비스시간 관측값

Table 4.1 Weighted factors of WMAM

No.	Weighted factors			Error (RMSE)	No.	Weighted factors			Error (RMSE)
	ω_2	ω_1	ω_0			ω_2	ω_1	ω_0	
1	0.1	0.1	0.8	11.85	19	0.3	0.4	0.3	11.01
2	0.1	0.2	0.7	11.48	20	0.3	0.5	0.2	11.24
3	0.1	0.3	0.6	11.26	21	0.3	0.6	0.1	11.61
4	0.1	0.4	0.5	11.18	22	0.4	0.1	0.5	11.13
5	0.1	0.5	0.4	11.25	23	0.4	0.2	0.4	10.99
6	0.1	0.6	0.3	11.46	24	0.4	0.3	0.3	11.00
7	0.1	0.7	0.2	11.81	25	0.4	0.4	0.2	11.16
8	0.1	0.8	0.1	12.29	26	0.4	0.5	0.1	11.47
9	0.2	0.1	0.7	11.45	27	0.5	0.1	0.4	11.20
10	0.2	0.2	0.6	11.16	28	0.5	0.2	0.3	11.15
11	0.2	0.3	0.5	11.01	29	0.5	0.3	0.2	11.24
12	0.2	0.4	0.4	11.01	30	0.5	0.4	0.1	11.48
13	0.2	0.5	0.3	11.16	31	0.6	0.1	0.3	11.44
14	0.2	0.6	0.2	11.46	32	0.6	0.2	0.2	11.46
15	0.2	0.7	0.1	11.89	33	0.6	0.3	0.1	11.63
16	0.3	0.1	0.6	11.21	34	0.7	0.1	0.2	11.82
17	0.3	0.2	0.5	10.99	35	0.7	0.2	0.1	11.92
18	0.3	0.3	0.4	10.92	36	0.8	0.1	0.1	12.34

4.4 모형의 적용

4.4.1 시계열 순의 버스정류장 서비스시간 예측(예측방안1)

예측방안1은 연구대상구간에 위치한 총 4개의 버스정류장을 통합하여 시계열 순으로 도착한 버스 자료에 대하여 최적의 상수를 감안한 가중이동평균법(WMAM)을 적용하여 예측하였다.

예측결과, 1일 기준으로 평균은 관측치가 24.5sec, 예측치는 24.4sec로 나타났으며, 표준편차는 관측치가 10.3sec, 예측치가 6.5sec로 나타났다. 예측방안1의 평균은 관측치와 거의 유사하게 나타났으며, 표준편차는 관측치보다 대체로 낮게 나타났다.

또한 오차분석 결과, 1일 기준으로 MAFE는 8.7, RMSE는 11.4로 분석되었다.

Table 4.2 Service time statistics expected(WMAM1)(sec)

Division	Observed		WMAM1		Analysis of error	
	Mean	SD	Mean	SD	MAFE	RMSE
1 Day	24.5	10.3	24.4	6.5	8.7	11.4
M.P.	24.8	9.3	24.7	6.4	7.7	9.8
N.P.	22.7	10.5	22.6	6.4	9.1	12.0
A.P.	26.1	10.8	26.0	6.4	9.5	12.3

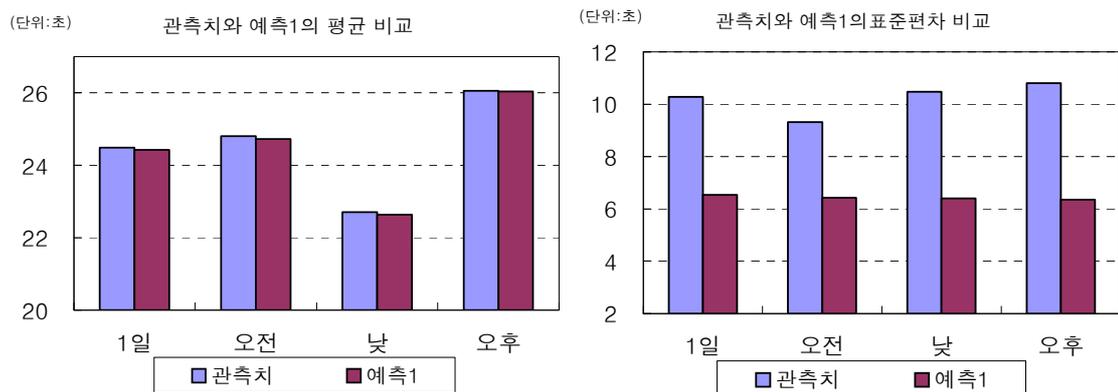


Fig. 4.3 Mean and standard deviation of Observed and WMAM1

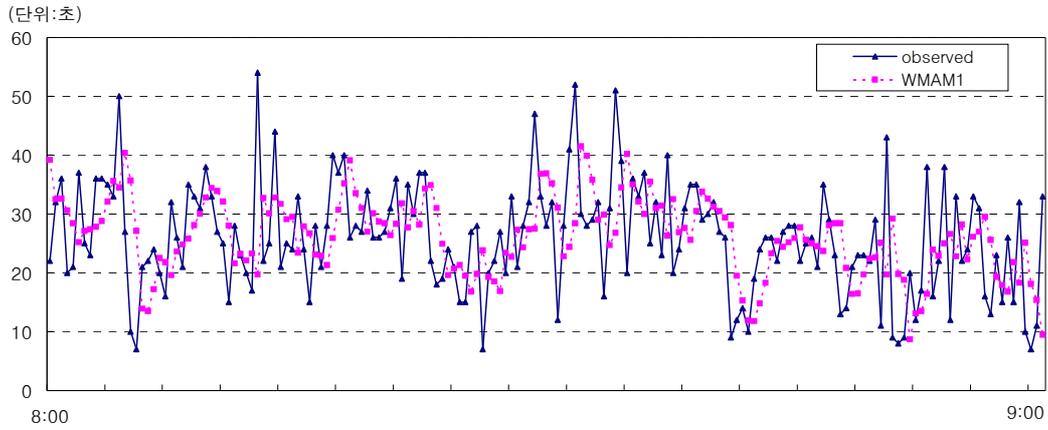


Fig. 4.4 Service time distribution expected at bus stop(WMAM1-M.P.)

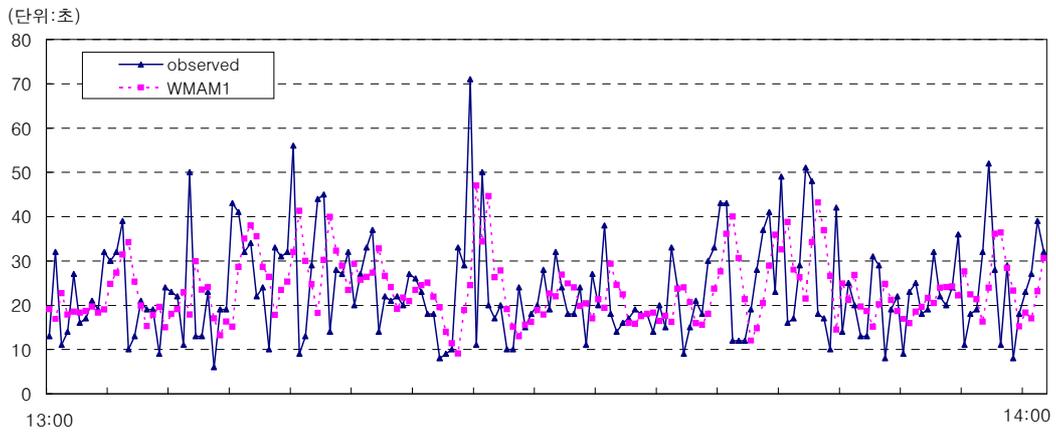


Fig. 4.5 Service time distribution expected at bus stop(WMAM1-N.P.)

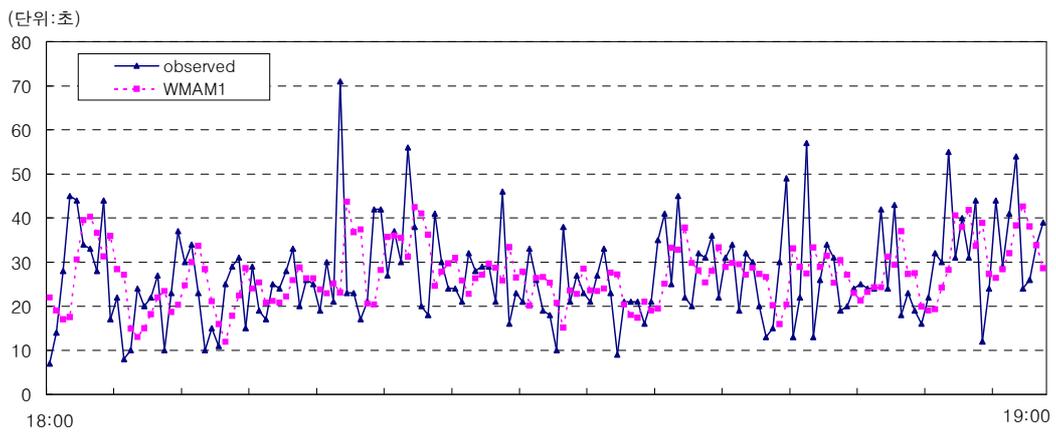


Fig. 4.6 Service time distribution expected at bus stop(WMAM1-A.P.)

4.4.2 노선별 그룹의 버스정류장 서비스시간 예측(예측방안2)

1) 예측방법론

예측방안2는 예측방안1과 달리 자료의 수집단계에서 비슷한 서비스시간 특성을 가진 버스노선을 분류·계층화하여 예측하였다.

즉, 수집된 자료를 토대로 노선별 평균서비스시간을 산출하여 그룹분류 기준에 따라 계층화하여 DB를 구축하였고, 구축된 노선별 DB를 적용하여 그룹분류 기준에 따라 계층화한 시계열 자료를 예측방안1과 같은 최적모형 상수를 적용한 가중이동평균모형(WMAM)을 적용하여 서비스시간 예측을 수행하였다.

2) 노선별 그룹의 구축

이 연구의 대상도로부터 수집된 3일간의 버스정류장 서비스시간 자료 중 전일 2일간 자료(문수로 2007년 1월 16일~17일, 삼산로 2007년 3월 27일~28일)를 이용하여 노선별 평균서비스시간을 산출하였다.

그리고 버스노선별 특성을 반영하기 위하여 15sec 간격으로 평균서비스시간을 A~D등급으로 계층(그룹)화하여 그 결과를 DB로 구축하였다.

Table 4.3 Criteria grouped by the average service time

Average service time	Group	Characteristics
15sec미만	A	서비스시간이 매우 짧음
15sec 이상~30sec미만	B	비교적 서비스시간이 짧음
30sec 이상~45sec미만	C	비교적 서비스시간이 길
45sec 이상	D	서비스시간이 매우 길

Table 4.4 Results grouped by periods

Group	M.P.		N.P.		A.P.	
	Routes	Avg. service time (sec)	Routes	Avg. service time (sec)	Routes	Avg. service time (sec)
A	-	-	1	13.7	-	-
B	25	24.1	24	22.7	20	23.2
C	9	33.5	9	34.6	13	36.1
D	-	-	-	-	1	47.6
계	34	-	34	-	34	-

Table 4.5 Service time characteristics by periods

Route No.	Avg. service time(sec)			Service time group		
	M.P.	N.P.	A.P.	M.P.	N.P.	A.P.
117	22.9	19.6	21.1	B	B	B
126	22.0	20.0	21.3	B	B	B
127	25.2	21.6	25.1	B	B	B
307	37.0	37.5	40.5	C	C	C
327	24.4	19.3	21.1	B	B	B
337	25.8	23.2	18.6	B	B	B
401	30.4	29.2	30.9	C	B	C
403	36.7	27.8	40.9	C	B	C
405	36.0	30.0	34.5	C	B	C
406	32.8	32.6	32.1	C	C	C
411	29.7	33.7	33.9	B	C	C
412	32.1	40.9	47.6	C	C	D
415	29.9	30.9	38.7	B	C	C
416	29.3	29.5	34.8	B	B	C
417	29.4	26.6	30.6	B	B	C
432	32.8	35.3	37.6	C	C	C
452	32.5	33.8	22.0	C	C	B
462	29.7	27.0	24.3	B	B	B
472	31.3	33.1	41.6	C	C	C
503	24.1	20.3	29.0	B	B	B
704	16.5	22.3	24.3	B	B	B
707	25.1	20.6	23.8	B	B	B
708	16.2	24.4	24.6	B	B	B
714	20.5	33.4	37.0	B	C	C
724	26.0	25.5	36.5	B	B	C
744	22.6	18.7	18.1	B	B	B
807	24.1	19.0	22.5	B	B	B
827	27.0	16.6	25.6	B	B	B
1104	20.5	16.6	23.5	B	B	B
1114	21.6	17.1	21.3	B	B	B
1124	22.3	13.7	27.5	B	A	B
1401	24.0	19.2	28.3	B	B	B
1402	19.9	18.1	23.1	B	B	B
1705	22.5	18.7	19.4	B	B	B

3) 서비스시간 예측

노선별 서비스시간 DB(Table 4.5)를 적용하여 그룹으로 계층화한 시계열자료에 대하여 가중이동평균모형 식(4-1)을 적용하여 예측하였다.

예측결과, 1일 기준으로 평균은 관측치가 24.5sec, 예측치는 24.3sec로 나타났으며, 표준편차는 관측치가 10.3sec, 예측치가 7.5sec로 나타났다. 예측방안2의 평균은 관측치와 거의 유사하게 나타났으며, 표준편차는 관측치보다 대체로 낮게 나타났다.

또한 오차분석 결과, 1일 기준으로 MAFE는 7.8, RMSE는 10.2로 분석되었다.

Table 4.6 Service time statistics expected(WMAM2)(sec)

Division	Observed		WMAM2		Analysis of error	
	Mean	SD	Mean	SD	MAFE	RMSE
1 Day	24.5	10.3	24.3	7.5	7.8	10.2
M.P.	24.8	9.3	24.7	6.7	7.4	9.5
N.P.	22.7	10.5	22.6	7.3	8.1	10.9
A.P.	26.1	10.8	25.9	8.1	7.9	10.0

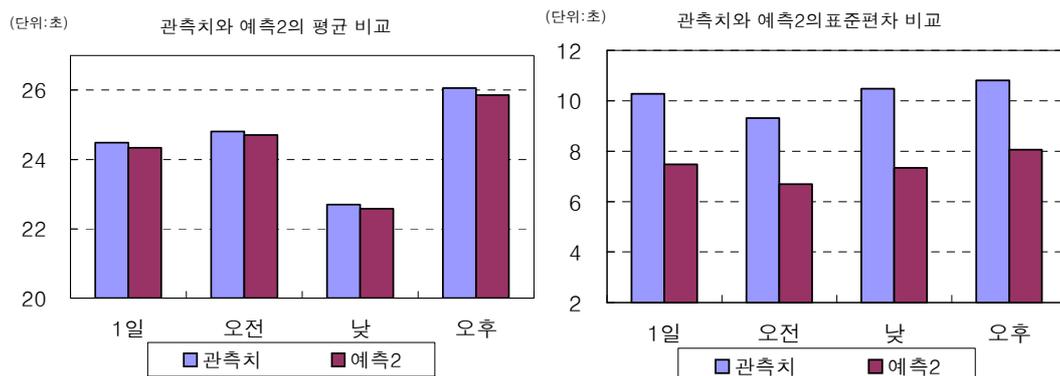


Fig. 4.7 Mean and standard deviation of Observed and WMAM2

Table 4.7 Service time statistics time expected by groups(sec)

Division	Group A				Group B			
	Observed		WMAM2		Observed		WMAM2	
Period	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
1 Day	16.6	6.5	16.0	4.2	22.0	8.7	21.9	5.4
M.P.	-	-	-	-	23.0	8.7	23.0	5.8
N.P.	16.6	6.5	16.0	4.2	21.1	9.5	21.0	5.6
A.P.	-	-	-	-	21.8	7.3	21.6	4.3

Division	Group C				Group D			
	Observed		WMAM2		Observed		WMAM2	
Period	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
1 Day	31.4	9.9	31.3	6.5	48.9	13.3	45.8	5.4
M.P.	30.6	8.8	30.3	6.3	-	-	-	-
N.P.	31.8	10.4	31.8	6.5	-	-	-	-
A.P.	31.8	10.3	31.9	6.7	48.9	13.3	45.8	5.4

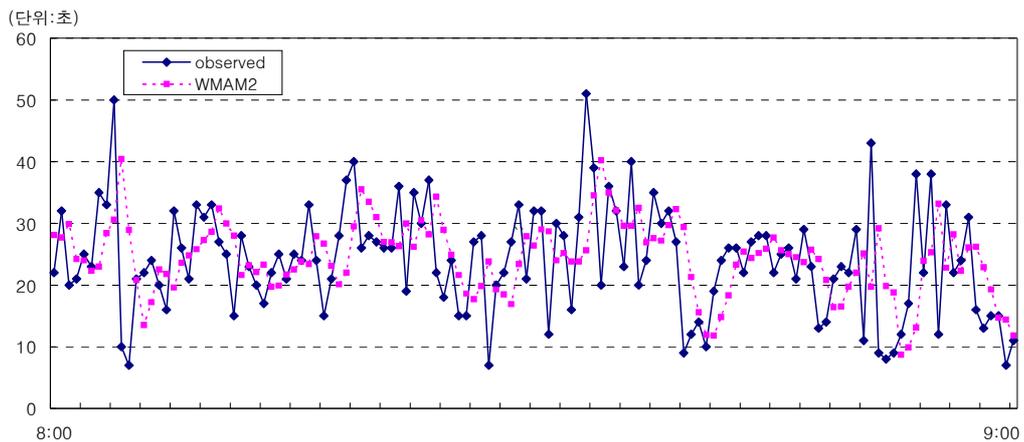


Fig. 4.8 Service time distribution expected(WMAM2-M.P.)

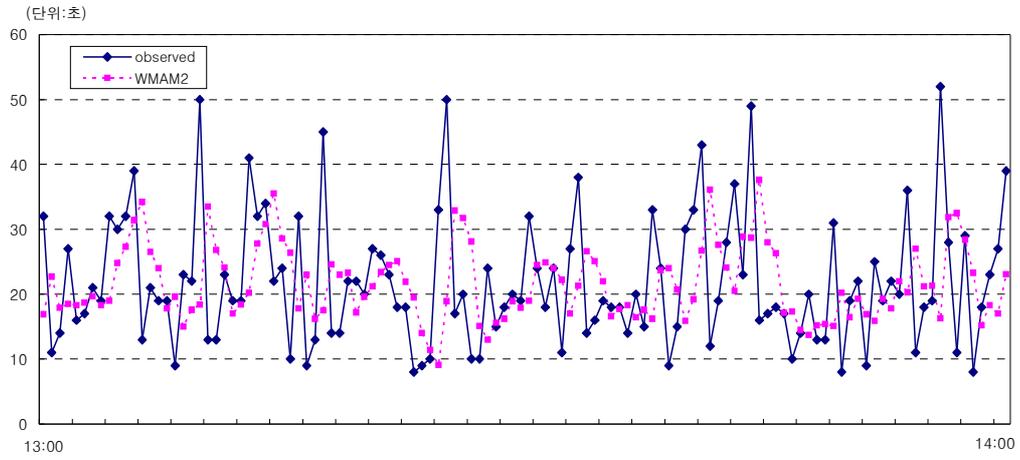


Fig. 4.9 Service time distribution expected(WMAM2-N.P.)

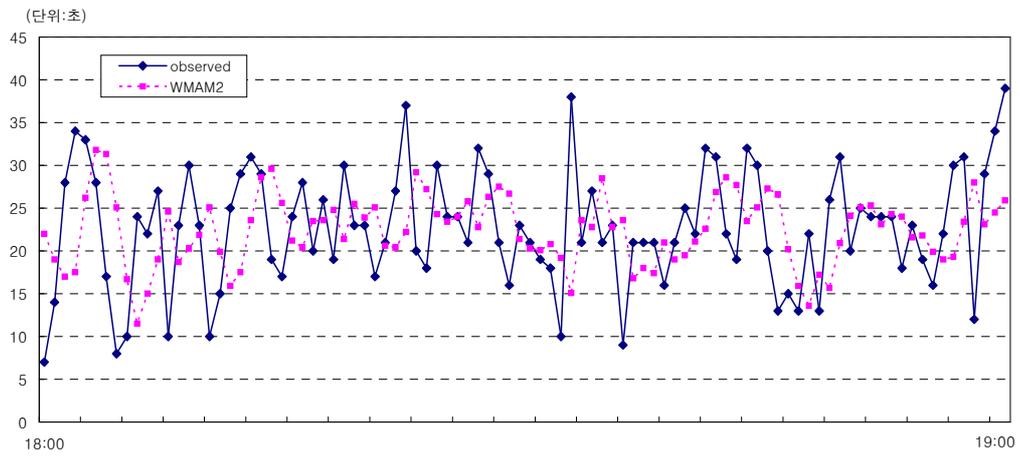


Fig. 4.10 Service time distribution expected(WMAM2-A.P.)

4.5 모형의 비교 평가

예측방안1과 예측방안2에 대한 절대오차를 비교한 결과 예측모형1보다 예측 모형2의 개선효과가 1일 기준으로 MAFE는 10.3%가 개선되었으며, RMSE는 10.5%가 개선되었다. 시간대별로 살펴보면, 오전시간대의 개선효과는 MAFE가 3.9%, RMSE 3.1%가 개선되었으며, 낮 시간대는 MAFE가 11.0%, RMSE가 9.2%가 개선되었고, 오후시간대는 MAFE가 16.8%, RMSE가 18.7% 개선되었다.

Table 4.8 Measure of effectiveness(MOE) of models

<i>Division</i>	<i>WMAM1</i>		<i>WMAM2</i>		<i>Variation</i>		<i>MOE(%)</i>	
	<i>MAFE</i>	<i>RMSE</i>	<i>MAFE</i>	<i>RMSE</i>	<i>MAFE</i>	<i>RMSE</i>	<i>MAFE</i>	<i>RMSE</i>
<i>1 Day</i>	8.7	11.4	7.8	10.2	0.9	1.2	10.3%	10.5%
<i>M.P.</i>	7.7	9.8	7.4	9.5	0.3	0.3	3.9%	3.1%
<i>N.P.</i>	9.1	12.0	8.1	10.9	1.0	1.1	11.0%	9.2%
<i>A.P.</i>	9.5	12.3	7.9	10.0	1.6	2.3	16.8%	18.7%

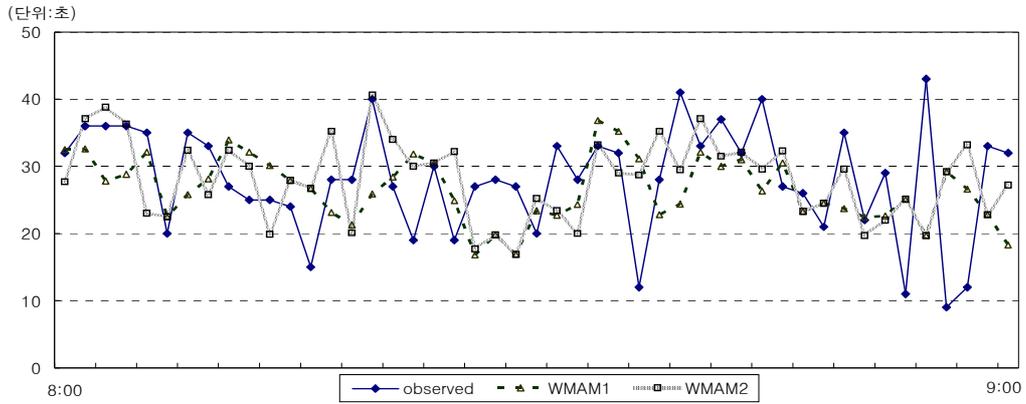


Fig. 4.11 Service time distribution observed and expected(Ulsan District Court, M.P.)

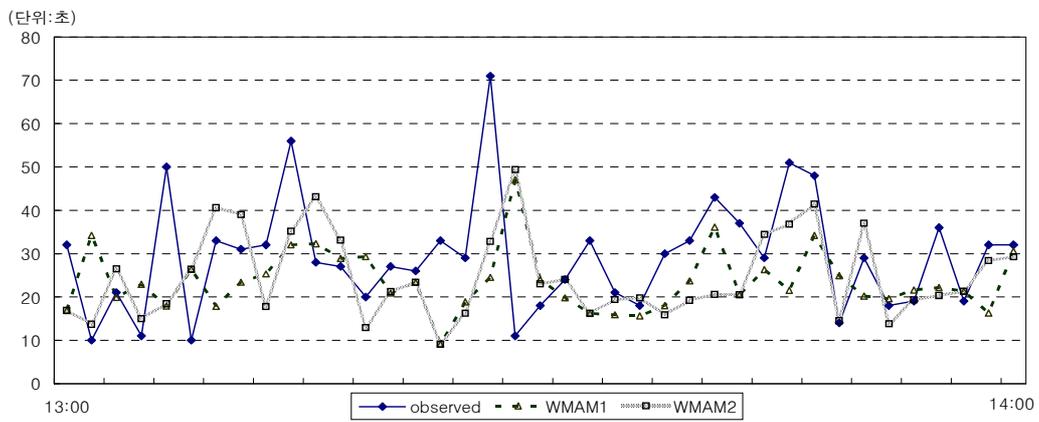


Fig. 4.12 Service time distribution observed and expected(Ulsan District Court, N.P.)

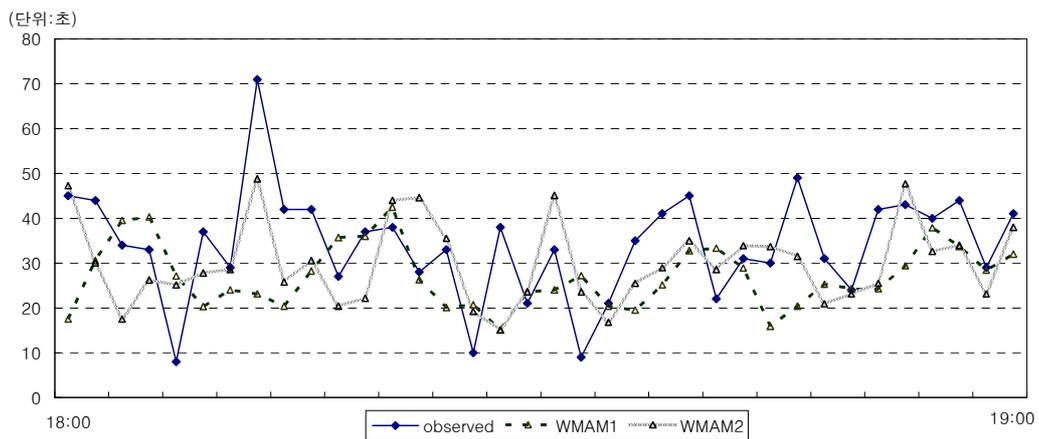


Fig. 4.13 Service time distribution observed and expected(Ulsan District Court, A.P.)

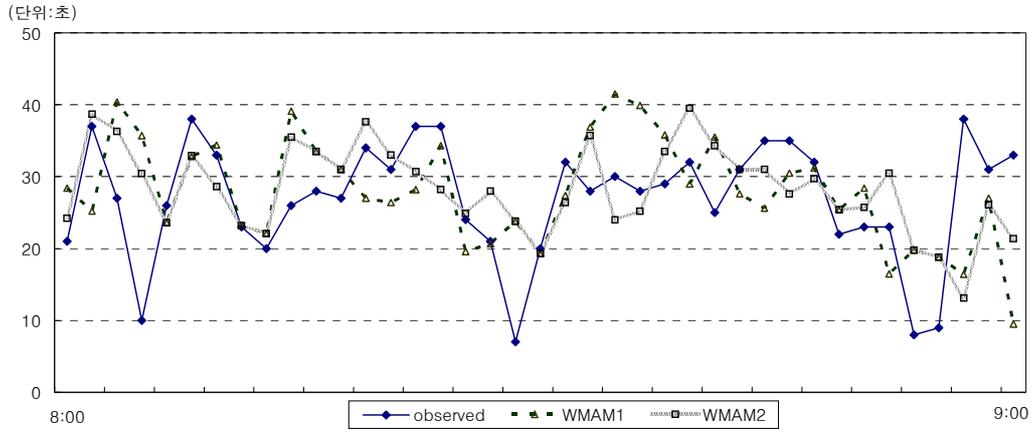


Fig. 4.14 Service time distribution observed and expected(Ulju County Office, M.P.)

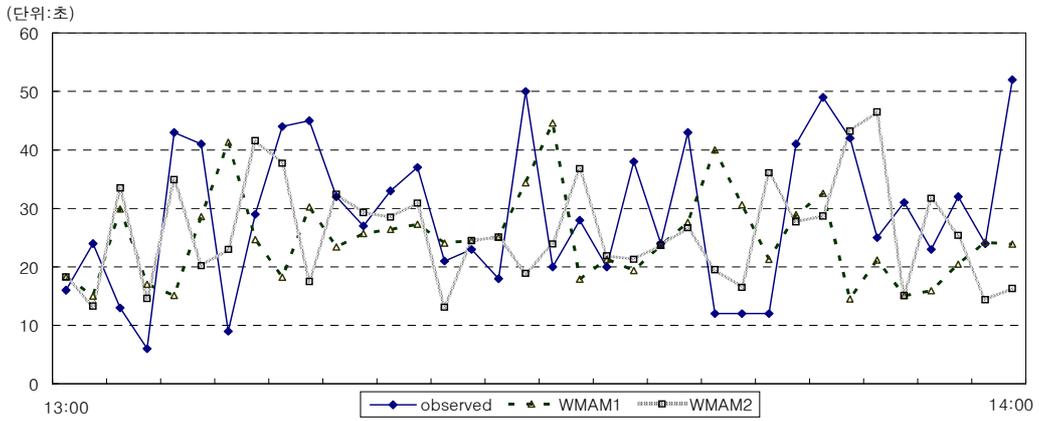


Fig. 4.15 Service time distribution observed and expected(Ulju County Office, N.P.)

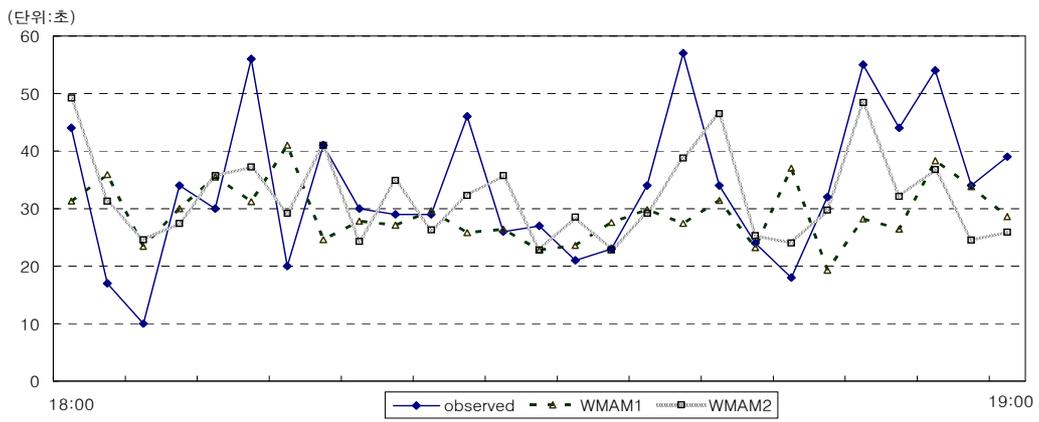


Fig. 4.16 Service time distribution observed and expected(Ulju County Office, A.P.)

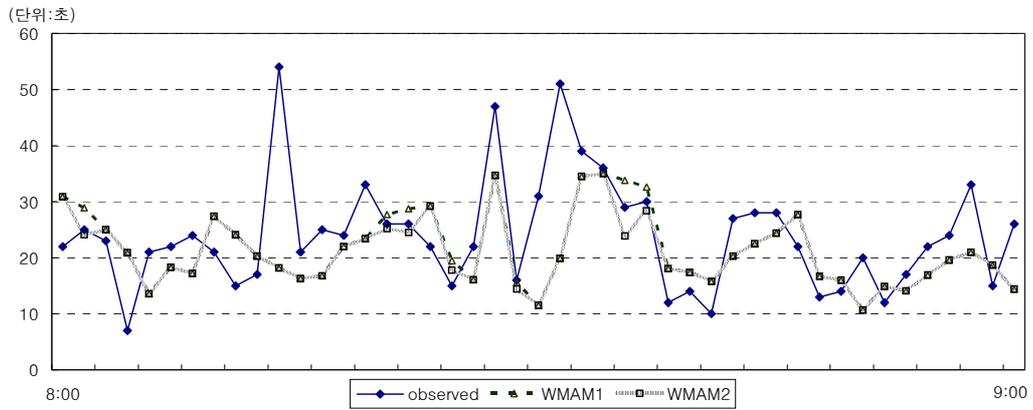


Fig. 4.17 Service time distribution observed and expected(Hyundai Marine B/D, M.P.)

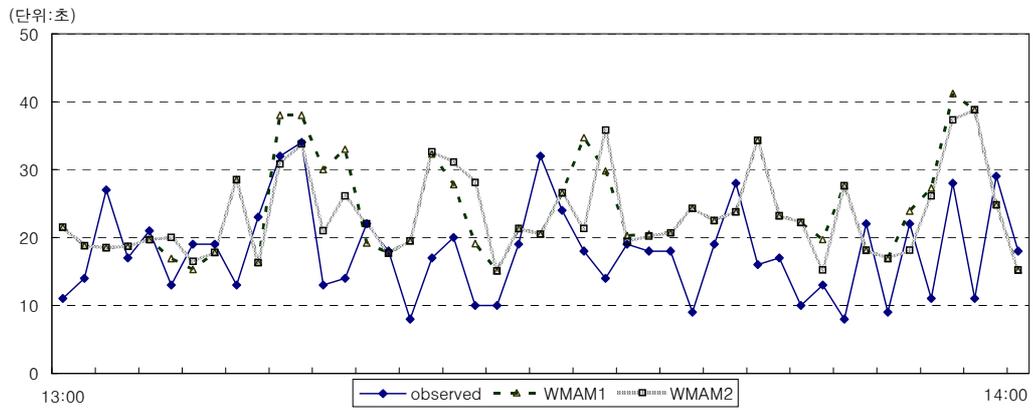


Fig. 4.18 Service time distribution observed and expected(Hyundai Marine B/D, N.P.)

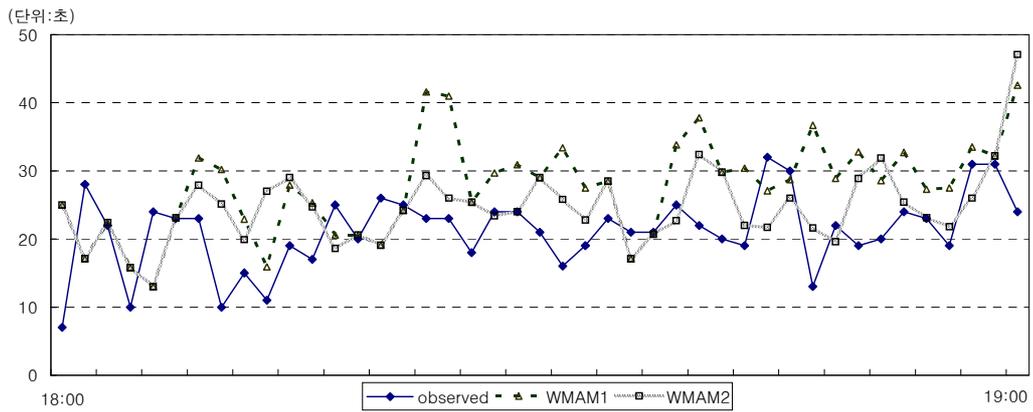


Fig. 4.19 Service time distribution observed and expected(Hyundai Marine B/D, A.P.)

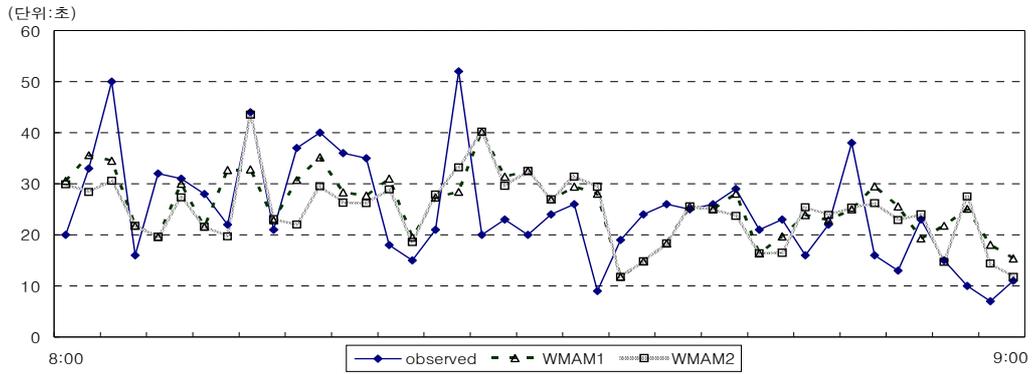


Fig. 4.20 Service time distribution observed and expected(Dal-dong Jugong Apt., M.P.)

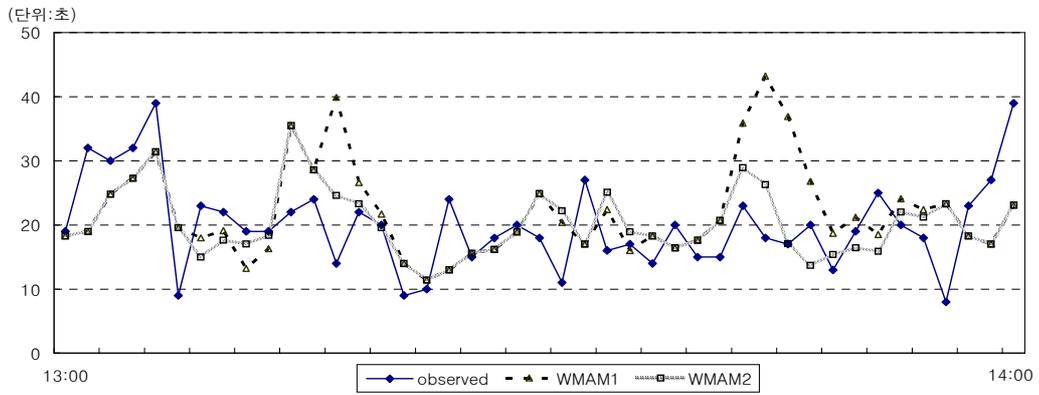


Fig. 4.21 Service time distribution observed and expected(Dal-dong Jugong Apt., N.P.)

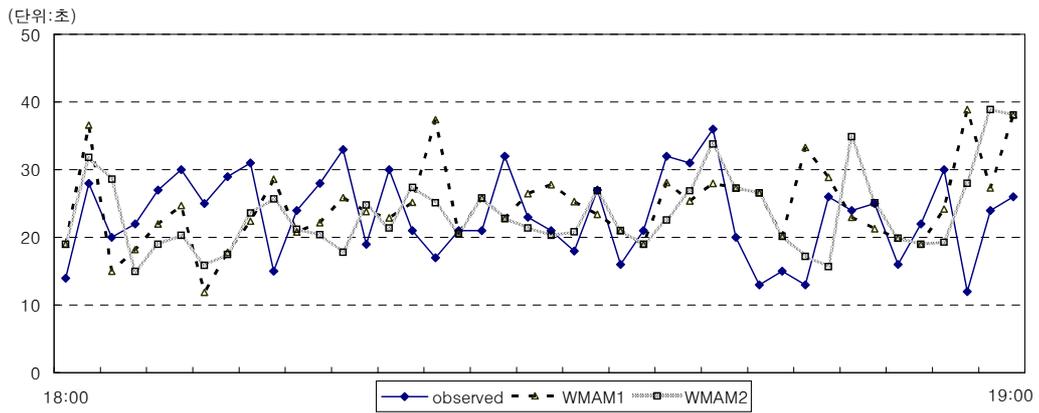


Fig. 4.22 Service time distribution observed and expected(Dal-dong Jugong Apt., A.P.)

제 5 장 결 론

이 연구에서는 버스정보시스템을 운영하고 있는 울산광역시의 주요 간선도로상의 정류장 4개소를 연구대상지점으로 선정하여 연구가 수행되었는데, 연구대상 정류장을 중심으로 실시간의 버스통행특성 자료의 수집 및 조사결과를 바탕으로 시계열 순으로 도착한 버스 서비스시간 자료를 바탕으로 가중평균모형을 적용 예측한 결과(예측방안1)와 버스자료를 서비스시간별로 버스노선을 그룹화 하여 가중평균모형을 적용 예측한 결과(예측방안2)를 상호 비교한 결과 다음과 같은 결론에 도달하게 되었다.

1. 버스정류장에 대한 서비스시간 자료를 살펴보면, 최소 6초에서 최대 72초까지 광범위하게 분포되어 있었으며, 정류장 주변의 토지이용형태에 따라 노선별 버스의 서비스시간이 다르게 나타나는 것을 알 수 있었다.

2. 버스정류장의 실시간 자료를 토대로 가중이동평균법을 적용하여 버스정류장 서비스시간을 예측할 경우(예측방안 1), 버스정류장에 도착하는 버스의 서비스시간 편차에 따라 버스정류장 도착시간의 예측 오차가 비교적 크게 발생하였다.

3. 버스정류장의 서비스시간 자료를 가중이동평균법을 이용한 버스노선 그룹 DB를 적용하여 버스정류장 서비스시간을 예측할 경우(예측방안 2), 예측방안 1보다 개선효과가 1일 기준으로 MAFE는 10.3%, RMSE는 10.5%, 시간대별로는 오전시간대 MAFE가 3.9%, RMSE 3.1%, 낮 시간대는 MAFE가 11.0%, RMSE가 9.2%, 오후시간대는 MAFE가 16.8%, RMSE가 18.7% 각각 개선되었음을 알 수 있었다.

따라서 이 연구에서 제시된 가중이동평균법을 이용한 그룹별 버스노선 DB를 적용하여 버스정류장 서비스시간을 예측하는 것은 실시간의 버스정류장 통행시간을 예측하는데 매우 유효할 것으로 판단되며, 향후에는 도로별 통행속도와 주변 토지이용행태, 교통여건 등을 감안한 DB를 구축하여 신호교차로와 순행구간의 통행시간을 예측하는 연구가 수행될 필요가 있다고 판단되었다.

참 고 문 헌

- 1) 김남선 · 이승환 · 오영태, 신경망을 이용한 고속도로 여행시간 추정 및 예측모형 개발, 대한교통학회지, 제18권 제1호, 대한교통학회, 2000.
- 2) 도명식 · 배현숙, 칼만 필터링을 이용한 구간 통행시간 예측에 관한 연구, 한밭대학교논문집, 제21집, 한밭대학교, 2004.
- 3) 배상훈 · 이상훈, 칼만 필터 기법의 실시간 교통정보적용, 대한토목학회논문집, 제24권 제4호, 대한토목학회, 2004.
- 4) 안현철, 실시간 BIS자료를 이용한 간선도로 버스도착시간 예측모형 구축에 관한 연구, 한국해양대학교 대학원, 박사학위논문, 2008.
- 5) 울산광역시 · 삼성SDS, 울산광역시 지능형교통체계(ITS) 구축사업 실시설계 보고서, 2002.
- 6) Jeong, R.H., The Prediction of Bus Arrival Time Using Automatic Vehicle Location Systems Data, Texas A&M University, 2004.
- 7) Kikuchi, S. and Chakroborty, P. Estimating Travel Times on urban corridors using bus travel time data, TRB, 2004.
- 8) Lin, W.H. and Jian Zeng, An experimental study on real time bus arrival time prediction with GPS data, Virginia Polytechnic Institute & State University, 1999.
- 9) Shalaby, A. and Farhan, A. Prediction Model of Bus Arrival and Departure Times Using AVL and APC Data, Journal of Public Transportation, Vol. 7, No. 1, 2004.

감사의 글

논어의 이인(里仁)편에 “德不孤(덕불고)라 必有隣(필유린)이니라”는 말씀이 있습니다. 직장생활과 학업을 병행하면서 힘들고 지칠 때가 많았으나 논문이 끝나기까지 부족한 저에게 많은 격려와 도움을 주신 주변 여러분들께 감사의 인사를 전하고자 합니다.

무엇보다도 이 논문이 나오기까지 아낌없는 지도편달과 함께 인생의 나침반이 되어 주신 김태곤 교수님과 사모님께 진심으로 감사드립니다. 또 직접 심사를 맡으셔서 여러 가지 조언을 해 주신 이중우 교수님, 경갑수 교수님께도 감사드립니다.

바쁘신 일정에도 마지막까지 가르쳐 주시고 도와주신 현철선배님에게 감사드리며, 항상 주변에서 격려해주시는 주철선배님과 광식선배님, 동수선배님, 은진선배님, 인영선배님, 승길선배님과 후배 종진, 종만, 지영이 연구실에 자주가지 못하지만 항상 따뜻하게 맞아준 후배 미현, 유나, 기홍, 소연, 솔이 에게도 감사를 전합니다.

또한, 업무가 바쁜데도 불구하고 논문작업을 독려해 주신 이탁수사장님과 박진우전무님, 문평래사장님, 울산사랑모임의 은영형님, 우춘형님외 여러분들, 부족한 고참이지만 묵묵히 따라준 상민, 미영, 영진에게도 이 지면으로나마 감사를 전합니다.

무엇보다도 항상 곁에서 훌륭한 조언과 내조로 나를 빛나게 해준 사랑하는 아내 이창희님에게 진심으로 고마움을 전하며, 논문을 쓰는 내내 맘껏 놀아주지 못하였는데도 논문이 끝나기만을 기다려준 사랑하는 지영, 승민이에게도 고마움을 전합니다.

마지막으로 부족한 저를 끝없는 사랑으로 감싸주시고 한평생 자식을 위하여 고생하신 어머님께도 감사드리고, 항상 저의 가슴속에서 흠상하는 분으로 존재하는 아버님 영전에 이 논문을 바치고자 합니다.

2008년 8월