



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 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](#)

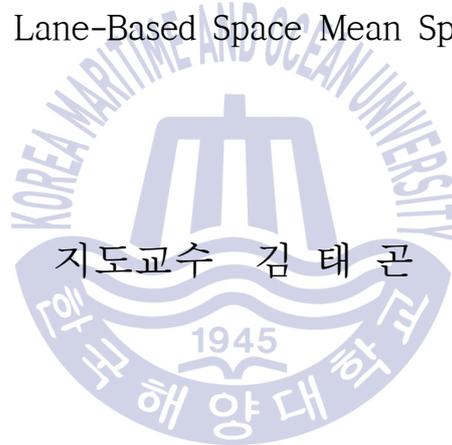
공학박사 학위논문

통행시간 신뢰성을 고려한 고속도로의 계획통행시간
추정모형 구축에 관한 연구

-차로중심의 공간평균속도를 이용하여-

Predictive Models of Planning Time In Expressways By
Travel Time Reliability

-By Lane-Based Space Mean Speed-



지도교수 김태곤

2015년 8월

한국해양대학교 대학원

토목환경공학과 정연우

本 論文을 鄭然宇의 工學博士 學位論文으로 認准함.

위원장 이 중 우



위원 경갑수

(인)

위원 이재하

(인)

위원 이상국

(인)

위원 김태곤

(인)



2015년 6월 22일

한국해양대학교 대학원

목 차

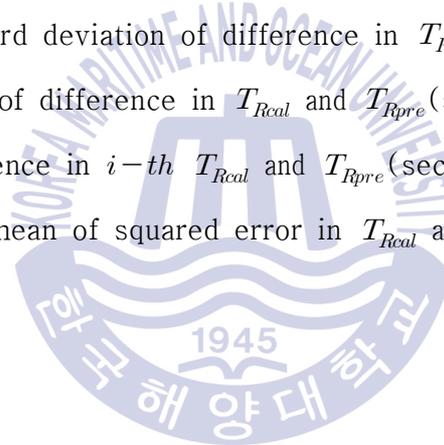
목 차	i
Nomenclature	iii
List of Tables	v
List of Figures	vii
Abstract	xi
제 1 장 서 론	1
1.1 연구 배경	1
1.2 연구 목적	4
1.3 연구 수행과정	4
제 2 장 문헌 및 사례연구	6
2.1 문헌연구	6
2.1.1 국외 문헌연구	6
2.1.2 국내 문헌연구	13
2.2 사례연구	16
2.2.1 국외 사례연구	16
2.2.2 국내 사례연구	18
제 3 장 자료수집 및 분석	20
3.1 자료 수집	20
3.2 자료 분석	22

3.2.1 교통량 분석	22
3.2.2 속도 분석	37
3.2.3 밀도 분석	51
3.2.4 통행시간 신뢰성분석	65
제 4 장 차로별 공간평균속도(U_i)와 계획통행시간(T_R)의 상관관계분석	77
4.1 상관관계분석의 개념	77
4.2 차로별 공간평균속도(U_i)와 계획통행시간(T_R)의 상관관계분석	77
제 5 장 모형 구축 및 검증	100
5.1 모형 구축	100
5.2 모형 검증	116
제 6 장 결론 및 향후 연구과제	135
6.1 결론	135
6.2 향후 연구과제	137
참 고 문 헌	138

Nomenclature

Q	Flow rate for 1hour(veh/h/l)
N	No. of vehicles observed for unit time(veh)
t	Unit time(1hour)
h_i	Time headway of each vehicle i (sec)
q_i	Each vehicle i (veh)
U	Space mean speed(km/h)
N_i	No. of vehicles observed at station i (veh)
n_i	No. of stations within segment
u_i	Spot mean speed observed at station i (km/sec)(km/h)
\bar{t}_h	Mean time headway(sec)
d_h	Mean distance headway(m)
K	Density(veh/km)
BI	Buffer index
PI	Planning time index
T_{95}	95th percentile travel time(sec)
T_{sl}	Travel time by regulatory speed of expressways(sec)
U_l	Regulatory speed of expressways(100km/h)
T_B	Additional travel time(sec)
L	Distance of segment(15km)
U_{95}	95th percentile speed in ascending order(km/h)
T_R	Planning time(sec)
r	Correlation coefficients for paired samples
$S_{U_i T_R}$	Covariance of U_i and T_R for paired samples
S_{U_i}	Standard deviation of U_i for paired samples

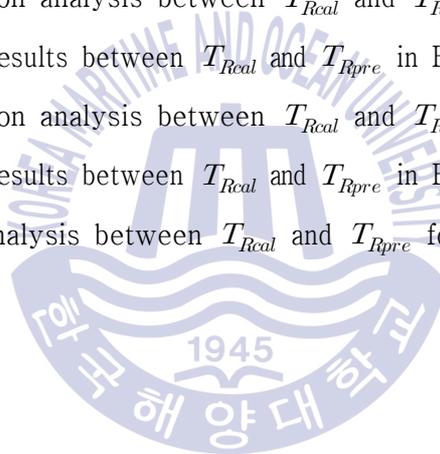
S_{T_R}	Standard deviation of T_R for paired samples
U_{ij}	Space mean speed lane calculated at i -th lane and j -th hour(km/h)
T_{Rj}	Planning time by reliability calculated at j -th hour(%)
m	No. of paired samples
U_3	Space mean speed at the 3 rd lane(km/h)
β_j	Regression coefficients($j=0, 1$)
T_{Real}	Planning time(T_R) calculated(sec)
T_{Rpre}	Planning time(T_R) expected(sec)
t_s	t statistic of matched paired samples
s_D	Standard deviation of difference in T_{Real} and T_{Rpre} (sec)
\bar{D}	Mean of difference in T_{Real} and T_{Rpre} (sec)
D_i	Difference in i -th T_{Real} and T_{Rpre} (sec)
$RMSE$	Root mean of squared error in T_{Real} and T_{Rpre} (sec)



List of Tables

Table 3. 1	Geometry of expressways under the study	20
Table 3. 2	Stations selected for analyses in EX-1(unit: km)	21
Table 3. 3	Stations selected for analyses in EX-10(unit: km)	21
Table 3. 4	Flow analysis in EX-1(NB)(veh/h/l, %)	27
Table 3. 5	Flow analysis by lane in EX-1(NB)(veh/h/l)	27
Table 3. 6	Flow analysis in EX-1(SB)(veh/h/l, %)	29
Table 3. 7	Flow analysis by lane in EX-1(SB)(veh/h/l)	29
Table 3. 8	Flow analysis in EX-10(EB)(veh/h/l, %)	32
Table 3. 9	Flow analysis by lane in EX-10(EB)(veh/h/l)	32
Table 3.10	Flow analysis in EX-10(WB)(veh/h/l, %)	34
Table 3.11	Flow analysis by lane in EX-10(WB)(veh/h/l)	34
Table 3.12	Speed analysis in EX-1(NB)(km/h, %)	41
Table 3.13	Speed analysis by lane in EX-1(NB)(km/h)	41
Table 3.14	Speed analysis in EX-1(SB)(km/h, %)	43
Table 3.15	Speed analysis by lane in EX-1(SB)(km/h)	43
Table 3.16	Speed analysis in EX-10(EB)(km/h, %)	46
Table 3.17	Speed analysis by lane in EX-10(EB)(km/h)	46
Table 3.18	Speed analysis in EX-10(WB)(km/h, %)	48
Table 3.19	Speed analysis by lane in EX-10(WB)(km/h)	48
Table 3.20	Density analysis in EX-1(NB)(veh/km, %)	55
Table 3.21	Density analysis by lane in EX-1(NB)(veh/km)	55
Table 3.22	Density analysis in EX-1(SB)(veh/km, %)	57
Table 3.23	Density analysis by lane in EX-1(SB)(veh/km)	57
Table 3.24	Density analysis in EX-10(EB)(veh/km, %)	60
Table 3.25	Density analysis by lane in EX-10(EB)(veh/km)	60
Table 3.26	Density analysis in EX-10(WB)(veh/km, %)	62
Table 3.27	Density analysis by lane in EX-10(WB)(veh/km)	62

Table 3.28	Planning time analysis in EX-1(sec, %)	69
Table 3.29	Buffer analysis in EX-1(sec, %)	69
Table 3.30	Planning time analysis in EX-10(sec, %)	73
Table 3.31	Buffer analysis in EX-10(sec, %)	73
Table 4. 1	Correlation analysis between U_i and T_R in EX-1	80
Table 4. 2	Correlation analysis between U_i and T_R in EX-10	90
Table 5. 1	Linear models of T_R in EX-1	103
Table 5. 2	Power models of T_R in EX-1	103
Table 5. 3	Linear models of T_R in EX-10	109
Table 5. 4	Power models of T_R in EX-10	110
Table 5. 5	Correlation analysis between T_{Rcal} and T_{Rpre} in EX-1	119
Table 5. 6	t-Test results between T_{Rcal} and T_{Rpre} in EX-1	120
Table 5. 7	Correlation analysis between T_{Rcal} and T_{Rpre} in EX-10	127
Table 5. 8	t-Test results between T_{Rcal} and T_{Rpre} in EX-10	128
Table 5. 9	<i>RMSE</i> analysis between T_{Rcal} and T_{Rpre} for LIN model	134



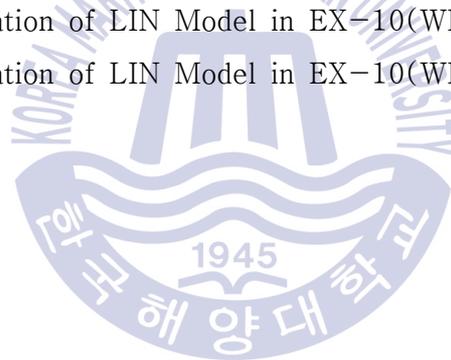
List of Figures

Figure 1. 1	Expressways under the study	3
Figure 1. 2	Process of study	5
Figure 2. 1	Weekday Travel Times: 5:00–6:00 p.m., on State Route 520 Eastbound, Seattle, Washington(FHWA, 2006)	7
Figure 2. 2	Reliability measures are easy to calculate with continuous data(FHWA, 2006)	7
Figure 2. 3	Averages don't tell the full story(FHWA, 2006)	8
Figure 2. 4	Reliability measures capture the benefits of traffic management (FHWA, 2005)	8
Figure 2. 5	Reliability measures compared to average congestion measures (FHWA, 2006)	9
Figure 2. 6	A reliability measure is included in FHWA's Monthly Congestion Dashboard Report(FHWA, 2006)	16
Figure 2. 7	WSDOT commuter reliability information(FHWA, 2006) ·	17
Figure 3. 1	Expressway segments under the study	22
Figure 3. 2	3D Flow graph by lane in EX-1(NB)	24
Figure 3. 3	3D Flow graph by lane in EX-1(SB)	24
Figure 3. 4	3D Flow graph by lane in EX-10(EB)	25
Figure 3. 5	3D Flow graph by lane in EX-10(WB)	25
Figure 3. 6	Flow distribution in EX-1(NB)	28
Figure 3. 7	Flow distribution in EX-1(SB)	30
Figure 3. 8	Flow distribution in EX-10(EB)	33
Figure 3. 9	Flow distribution in EX-10(WB)	35
Figure 3.10	3D Speed graph by lane in EX-1(NB)	38
Figure 3.11	3D Speed graph by lane in EX-1(SB)	38
Figure 3.12	3D Speed graph by lane in EX-10(EB)	39
Figure 3.13	3D Speed graph by lane in EX-10(WB)	39

Figure 3.14	Speed distribution in EX-1(NB)	42
Figure 3.15	Speed distribution in EX-1(SB)	44
Figure 3.16	Speed distribution in EX-10(EB)	47
Figure 3.17	Speed distribution in EX-10(WB)	49
Figure 3.18	3D Density graph by lane in EX-1(NB)	52
Figure 3.19	3D Density graph by lane in EX-1(SB)	52
Figure 3.20	3D Density graph by lane in EX-10(EB)	53
Figure 3.21	3D Density graph by lane in EX-10(WB)	53
Figure 3.22	Density distribution in EX-1(NB)	56
Figure 3.23	Density distribution in EX-1(SB)	58
Figure 3.24	Density distribution in EX-10(EB)	61
Figure 3.25	Density distribution in EX-10(WB)	63
Figure 3.26	Travel time graph in EX-1	67
Figure 3.27	Travel time graph in EX-10	67
Figure 3.28	Travel time distribution in EX-1(NB)	70
Figure 3.29	Travel time distribution in EX-1(SB)	71
Figure 3.30	Travel time distribution in EX-10(EB)	74
Figure 3.31	Travel time distribution in EX-10(WB)	75
Figure 4. 1	Correlation between U_1 and T_R in EX-1(NB)	81
Figure 4. 2	Correlation between U_2 and T_R in EX-1(NB)	82
Figure 4. 3	Correlation between U_3 and T_R in EX-1(NB)	83
Figure 4. 4	Correlation between U_4 and T_R in EX-1(NB)	84
Figure 4. 5	Correlation between U_1 and T_R in EX-1(SB)	85
Figure 4. 6	Correlation between U_2 and T_R in EX-1(SB)	86
Figure 4. 7	Correlation between U_3 and T_R in EX-1(SB)	87
Figure 4. 8	Correlation between U_4 and T_R in EX-1(SB)	88
Figure 4. 9	Correlation between U_1 and T_R in EX-10(EB)	91
Figure 4.10	Correlation between U_2 and T_R in EX-10(EB)	92

Figure 4.11	Correlation between U_3 and T_R in EX-10(EB)	93
Figure 4.12	Correlation between U_4 and T_R in EX-10(EB)	94
Figure 4.13	Correlation between U_1 and T_R in EX-10(WB)	95
Figure 4.14	Correlation between U_2 and T_R in EX-10(WB)	96
Figure 4.15	Correlation between U_3 and T_R in EX-10(WB)	97
Figure 4.16	Correlation between U_4 and T_R in EX-10(WB)	98
Figure 5. 1	Models of T_R in EX-1(NB) for week	104
Figure 5. 2	Models of T_R in EX-1(NB) for weekday	104
Figure 5. 3	Models of T_R in EX-1(NB) for weekend	105
Figure 5. 4	Models of T_R in EX-1(SB) for week	105
Figure 5. 5	Models of T_R in EX-1(SB) for weekday	106
Figure 5. 6	Models of T_R in EX-1(SB) for weekend	106
Figure 5. 7	Models of T_R in EX-1 for week	107
Figure 5. 8	Models of T_R in EX-1 for weekday	107
Figure 5. 9	Models of T_R in EX-1 for weekend	108
Figure 5.10	Models of T_R in EX-10(EB) for week	110
Figure 5.11	Models of T_R in EX-10(EB) for weekday	111
Figure 5.12	Models of T_R in EX-10(EB) for weekend	111
Figure 5.13	Models of T_R in EX-10(WB) for week	112
Figure 5.14	Models of T_R in EX-10(WB) for weekday	112
Figure 5.15	Models of T_R in EX-10(WB) for weekend	113
Figure 5.16	Models of T_R in EX-10 for week	113
Figure 5.17	Models of T_R in EX-10 for weekday	114
Figure 5.18	Models of T_R in EX-10 for weekend	114
Figure 5.19	Verification of LIN Model in EX-1(NB) for week	121
Figure 5.20	Verification of LIN Model in EX-1(NB) for weekday	121
Figure 5.21	Verification of LIN Model in EX-1(NB) for weekend	122

Figure 5.22	Verification of LIN Model in EX-1(SB) for week	122
Figure 5.23	Verification of LIN Model in EX-1(SB) for weekday	123
Figure 5.24	Verification of LIN Model in EX-1(SB) for weekend	123
Figure 5.25	Verification of LIN Model in EX-1 for week	124
Figure 5.26	Verification of LIN Model in EX-1 for weekday	124
Figure 5.27	Verification of LIN Model in EX-1 for weekend	125
Figure 5.28	Verification of LIN Model in EX-10(EB) for week	129
Figure 5.29	Verification of LIN Model in EX-10(EB) for weekday	129
Figure 5.30	Verification of LIN Model in EX-10(EB) for weekend	130
Figure 5.31	Verification of LIN Model in EX-10(WB) for week	130
Figure 5.32	Verification of LIN Model in EX-10(WB) for weekday	131
Figure 5.33	Verification of LIN Model in EX-10(WB) for weekend	131
Figure 5.34	Verification of LIN Model in EX-10(WB) for week	132
Figure 5.35	Verification of LIN Model in EX-10(WB) for weekday	132
Figure 5.36	Verification of LIN Model in EX-10(WB) for weekend	133



Predictive Models of Planning Time in Expressways By
Travel Time Reliability
–By Lane–Based Space Mean Speed–

Yeon Woo Jeong

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

Abstract

Since Gyeongin expressway was firstly built between Seoul and Incheon in Korea in 1968, around 32 routes of expressways have built based on the metropolitan cities including Seoul and Busan in Korea until now open. However, most expressways in Korea are suffering from transportation problems with increased traffic volumes and high proportions of heavy vehicles in the traffic, because they are based on a few metropolitan cities and are not properly linked with the small cities in the country. Thus, it is strongly needed to improve the expressway traffic management system with traffic characteristics–related studies at the basic expressway segments.

The purpose of this study is to identify the lane traffic characteristics(volume, speed, and density) at the 8–lane basic segments of Gyeongbu and Namhae expressways, conduct correlation analysis between lane–based space mean speed and planning time by travel time reliability at the basic expressway segments, and finally select the most appropriate regression model between the space mean speed by lane and

the planning time by travel time reliability at the basic expressway segments.

From the traffic characteristic analysis, correlation analysis between the space mean speed by lane and the planning time by travel time reliability, and modeling between lane-based space mean speed and planning time at the basic expressway segments, the following conclusions were drawn:

i) Traffic analyses appeared to show a distinct difference in traffic characteristics by the direction, the lane, the day of the week and the time of day. So, they proved that the expressway traffic management system(ETMS) such as advanced traveler management systems/advanced traveler information systems(ATMS/ATIS) by the direction, the lane, the day of the week and the time of day could be very effective in improving the effectiveness of expressways.

ii) Correlation analyses appeared to show a high correlation between the space mean speed(SMS) by lane and the planning time by travel time reliability. So, they proved that the SMS at the 3rd lane for the medium-sized vehicles could have the highest correlation with the planning time, and the SMS at the 1st lane for the passing vehicles had the lowest one with the planning time regardless of the direction, weekday and weekend in the basic expressway segments.

iii) Regression analyses appeared to show the highest coefficient of determination between the SMS at the 3rd lane and the planning time by the travel time reliability. So, they proved that linear model based on the SMS at the 3rd lane could be more effective in predicting the planning

time by the travel time reliability with the high explanatory power and validity at the 95 percent confidence level, regardless of the direction, weekday and weekend.



제 1 장 서 론

본 장에서는 국내 고속도로에 대한 연구의 필요성을 포함하여 연구배경, 연구목적 및 연구수행과정 등을 소개한다.

1.1 연구 배경

국내 고속도로는 지난 1968년 경인고속도로(서울과 인천사이)가 처음 개통된 이후 지금까지 방향별로 총 32개 노선에 약 4,000km이상의 고속도로망이 구축되어 지역과 지역사이의 상호 연계체계가 구축됨으로써 국가의 경제발전에 일익을 담당해왔다. 더구나 본 연구대상이 되고 있는 경부고속도로(EX-1)와 남해고속도로(EX-10)는 1970년대 초에 각각 남북방향과 동서방향의 핵심 교통축으로 지역의 균형개발에 촉매제 역할을 해왔고, 또한 국내 최대의 부산항을 중심으로 발생하는 수출입화물의 주요 수송로로 국가의 경제성장에 가교역할을 해왔다.

그러나 국가경제발전과 더불어 가속화된 인구의 도시집중은 도시권역을 점차 확대시키는 상황을 초래하였고, 또한 개개인의 생활수준의 향상과 활동영역의 확대 등으로 차량을 이용한 통행수요가 급증함으로써 본 연구대상 고속도로를 포함하여 대부분의 고속도로에서 여러 가지 교통문제가 발생하고 있다. 특히, 고속도로 EX-1에서는 수도권역과 부산지역사이에 건설되어 수도권역과 주요 거점지역에서 발생하는 통행량으로 교통문제가 심화되고 있고, 또한 고속도로 EX-10에서는 서남권역과 부산지역사이에 건설되어 주요 연계 및 거점지역에서 발생하는 통행량으로 역시 교통문제가 가중되고 있어서 국가차원에서 지속적으로 새로운 고속도로의 확충과 함께 차량의 이동성(mobility)향상과 수출입화물의 수송능력 증진에 막대한 투자를 하고 있음에도 불구하고 날로 급증하는 통행량으로 인하여 고속도로가 겪고 있는 심각한 교통문제는 국가경제에 막대한 지장을 초래하고 있는 상황이다.

이러한 고속도로의 교통문제를 해결하기 위해서 새로운 고속도로의 건설이나

추가적인 도로확충이 시급하게 요구되겠지만, 새로운 도로건설 및 확충에는 막대한 예산과 시간이 소요되기 때문에 단 기간 내에 고속도로의 교통문제를 해결하는 데에는 한계에 직면할 수밖에 없고, 또한 고속도로의 건설 및 확충에 따른 토지이용수요의 증가와 함께 고속도로의 통행량 증가로 교통문제는 한층 더 심화되고 있기 때문에 재정여건이 허용되는 범위 내에서 시설확충과 더불어 기존 시설에 대한 교통특성연구를 통해 고속도로의 관리체계를 개선하는 방안을 모색할 필요성이 날로 증가하고 있는 실정이다.

그리하여 본 연구에서는 아래 Figure 1.1에서 보여주듯이 국내 경부고속도로와 남해고속도로의 양방향 8차로 기본구간을 대상으로 차로별 통행특성을 비교 분석하고, 특히 차로별 통행특성 중 공간평균속도와 통행시간 신뢰성을 고려한 계획통행시간(planning time)과의 상관특성연구를 통해 고속도로 이용자의 95% 이상이 계획통행시간 내 목적지에 도달할 수 있도록 계획통행시간 추정모형을 검토함으로써 향후 고속도로의 교통관리체계개선 연구에 조금이나마 기여하고자 한다.



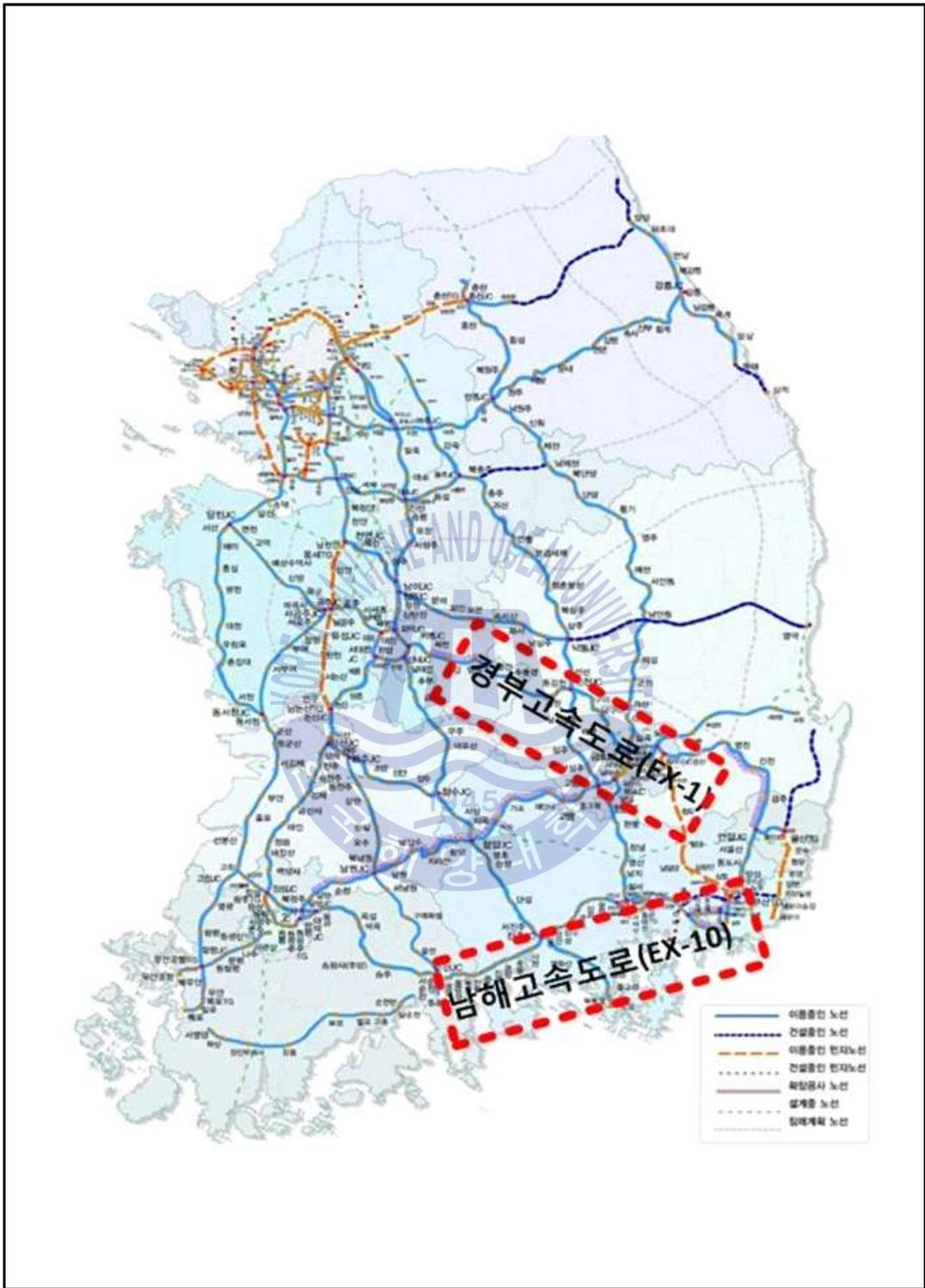


Figure 1.1 Expressways under the study

1.2 연구 목적

대부분의 국내 고속도로(expressways)는 자동차 전용도로로서 지역과 지역 사이의 상호 연계교통체계를 구축하고 있고, 또한 주요 거점지역으로부터 발생하는 대량의 교통량을 신속하게 처리하기 위하여 첨두시간대를 제외하고는 거의 자유흐름속도(free flow speed)를 유지하고 있다. 이러한 국내 고속도로 중에서 남북방향의 고속도로 EX-1은 수도 서울과 국내 최대 무역항인 부산항을 연결하고 있고 동서방향의 고속도로 EX-10은 서부 광양과 부산항을 연결하고 있으며 이러한 거점지역의 접근 및 수출입화물수송을 위한 통행량이 집중됨으로써 교통 문제가 종종 발생하고 있다.

그리하여 본 연구에서는 고속도로 EX-1과 고속도로 EX-10의 8차로 기본구간을 연구대상구간으로 하여 차로별 통행특성 VDS자료(교통량, 속도, 밀도)를 수집/가공/분석하고, 연구대상구간 내 통행시간 신뢰성기준의 95번째 백분위통행속도를 토대로 산정된 계획통행시간과 추가통행시간(buffer time)을 비교/분석하며, 통행시간 신뢰성기준의 95번째 백분위통행속도를 토대로 산정된 계획통행시간과 차로별 공간평균속도와의 상관분석을 통해 설명력과 유의성이 높은 계획통행시간 모형을 구축함으로써 95%이상의 고속도로 이용자가 계획된 통행시간 내에 목적지에 도착할 수 있도록 고속도로의 통행시간을 추정하는데 목적이 있다.

1.3 연구 수행과정

본 연구가 위의 연구목적을 중심으로 계획대로 수행되어 기대되는 연구결과를 얻기 위해서는 다음과 같은 단계적 연구수행과정을 필요로 한다.

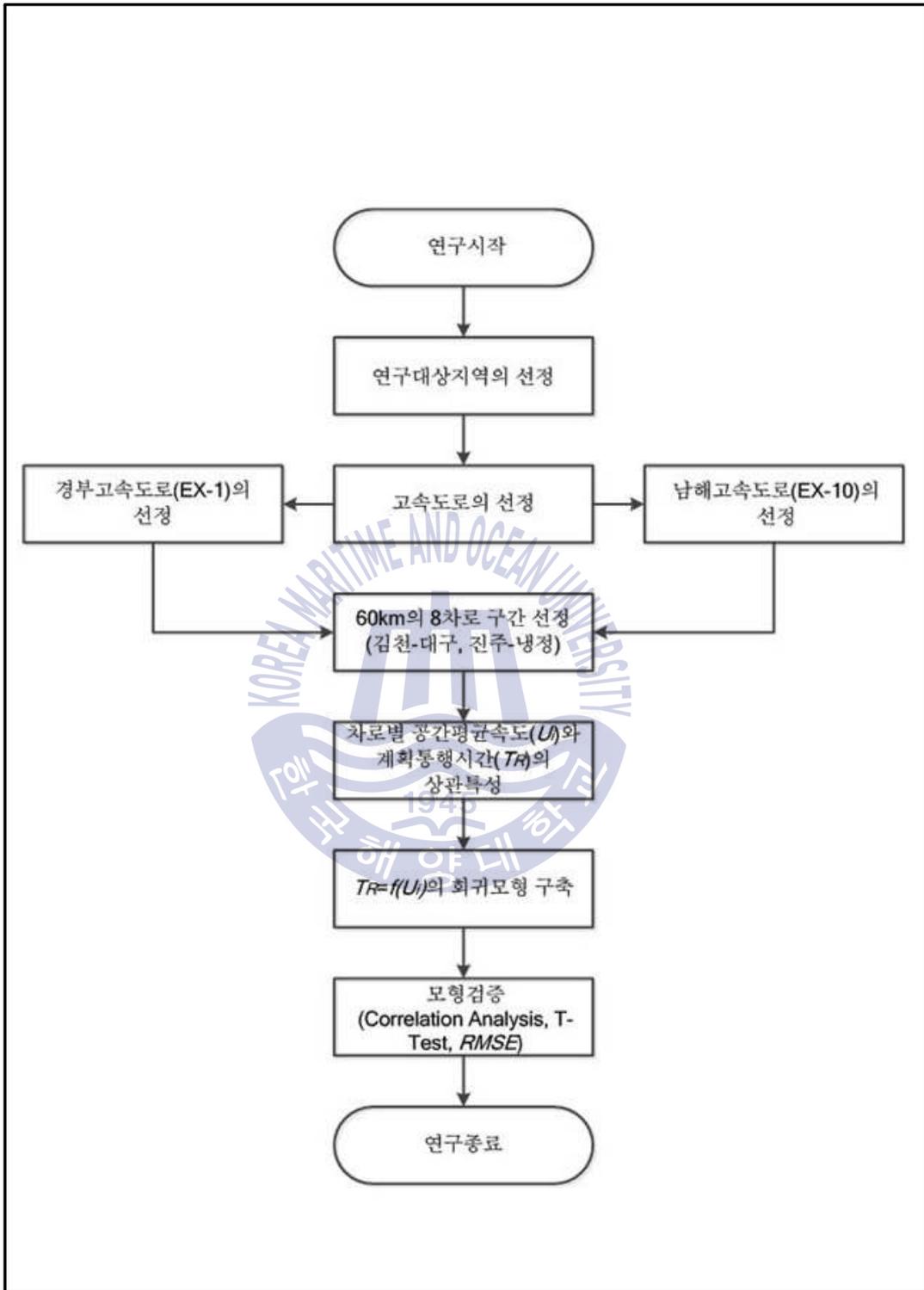


Figure 1.2 Process of study

제 2 장 문헌 및 사례연구

본 장에서는 통행시간 신뢰성과 속도에 관하여 그동안의 국내외 관련 문헌과 사례들에 대하여 소개한다.

2.1 문헌연구

2.1.1 국외문헌연구

우선적으로 통행시간 신뢰성(travel time reliability)과 관련하여 미국의 FHWA(2006)에서는 “통행시간 신뢰성이란 시간이 경과함에 따라 발생하는 통행시간의 변화라고 정의하고, 매일 발생하는 통행시간의 변화는 기본적으로 통행여건의 변화에 기인하고 있다(참조 Figure 2.1). 특히, 통행여건의 변화요인(도로의 병목현상, 교통사고, 공사구간, 날씨, 교통제어장치, 특별행사, 정상적인 교통량 변화)중 특히, 교통사고, 날씨 그리고 공사구간 등의 차량통행에 영향을 미치는 변화요인들은 매일 동일하지 않기 때문에 신뢰할 수 없는 통행시간을 유발하게 되어서 교통 전문가들은 몇 년 전부터 이와 같이 매일 달리 발생하는 통행여건의 변화요인을 비 반복성 혼잡요인으로 규정해왔다. 그때부터 통행시간 신뢰성이란 비 반복성 혼잡이라고 공식적으로 언급하게 되었다. 그리고 통행시간 신뢰성은 시간경과에 따른 통행시간의 변화이기 때문에 통행시간의 변화가 얼마나 많이 발생하는 지를 파악하기 위한 빈도분포를 개발하는 것이 매우 유용하고, 통행시간 신뢰성 지표로는 계획통행시간(planning time)으로서 95번째 백분위의 계획통행시간(planing time), 95번째 백분위의 계획통행시간과 이상적인 통행시간과의 비율로서 계획통행시간지수(planning time index), 95번째 백분위 통행시간과 평균통행시간의 차이로서 추가통행시간(buffer time) 그리고 추가통행시간과 평균통행시간의 비율로서 추가통행시간지수(buffer index)등을 포함하고 있다(참조 Figure 2.2). 또한 대부분의 통행자들은 예기치 않은 지체에 대해 덜 관대한 편이다. 왜냐하면 이러한 지체가 통행자에게는 일상적으로 겪는 교통 혼잡보다 더 큰 결과를 초래할 수 있기 때문이다.

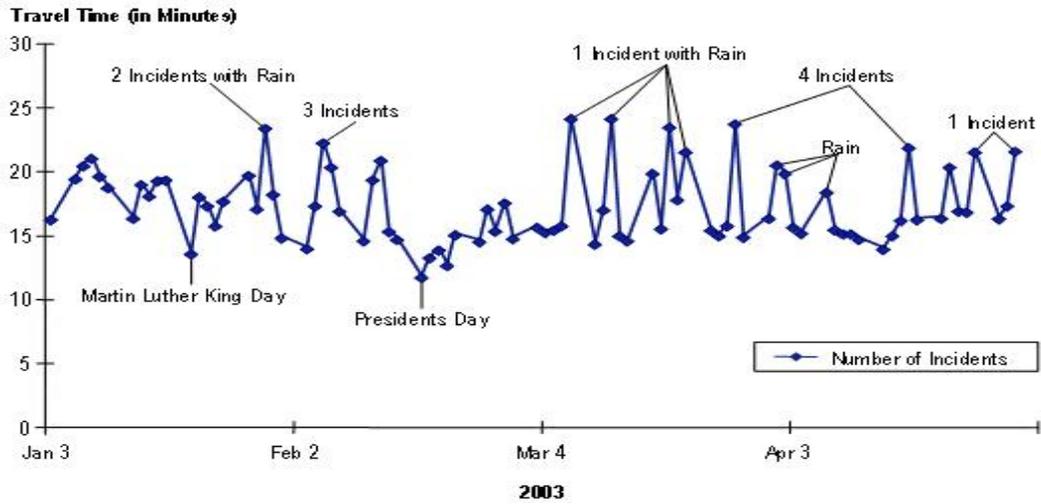


Figure 2.1 Weekday Travel Times: 5:00–6:00 p.m., on State Route 520 Eastbound, Seattle, Washington(FHWA, 2006)

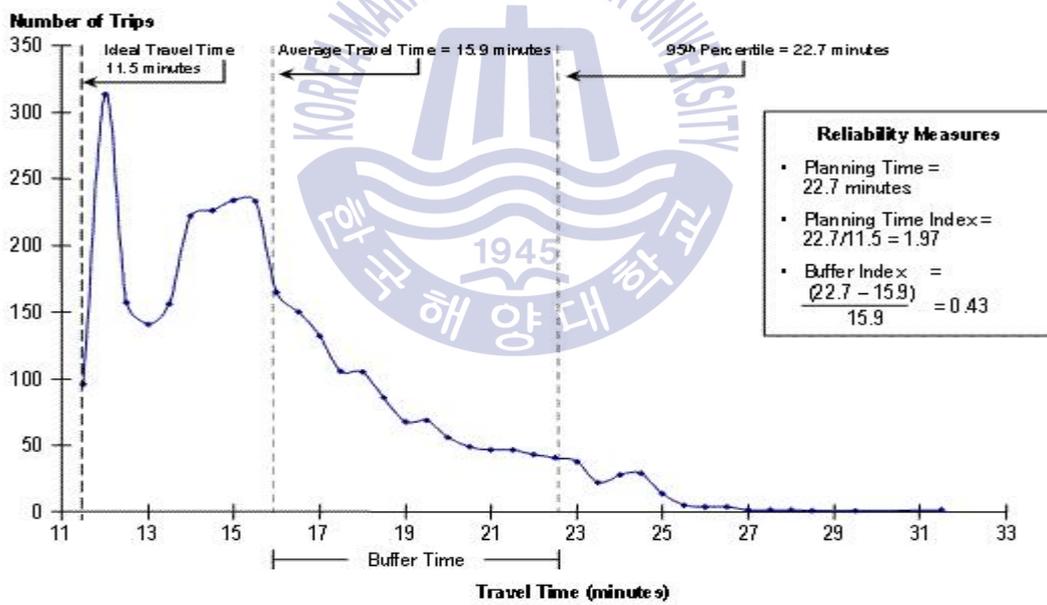


Figure 2.2 Reliability measures are easy to calculate with continuous data(FHWA, 2006)

따라서 통행자들은 일 년 내내 통행하면서 겪은 통상적인 통행시간보다 심한 교통정체로 인해 겪은 몇몇 최악의 통행시간들을 기억하는 경향이 있다(참조 Figure 2.3). 왜냐하면 통행시간 신뢰성을 개선하기 위해서는 우선적으로 통행시간의 신뢰성을 관측하는 것인데, 통행시간 신뢰성의 관측이 단순한 평균통행시간보다 출퇴근자의 통행경험을 더 잘 나타내기 때문이다. 예를 들면, 돌발 상황 관리 프로그램의 장점을 보여주기 위해 전형적인 프로그램 시행 전·후 연구를 비교한 결과(참조 Figure 2.4), 평균통행시간의 비교에서는 왼쪽그림과 같이 적은 시간감소를 보였으나, 통행시간 신뢰성의 비교에서는 오른쪽 그림과 같이 상당한 시간감소를 보였기 때문에 통행시간 신뢰성이 더 중요한 의미를 갖게 된다.

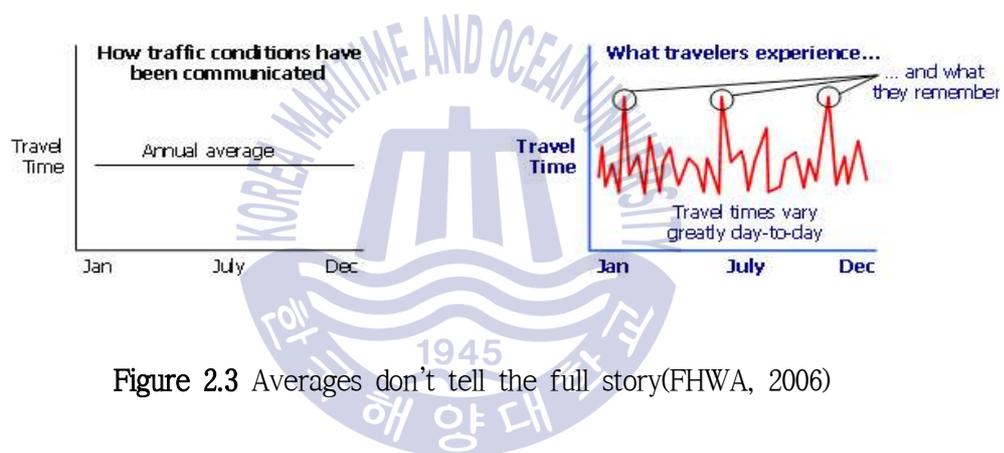


Figure 2.3 Averages don't tell the full story(FHWA, 2006)

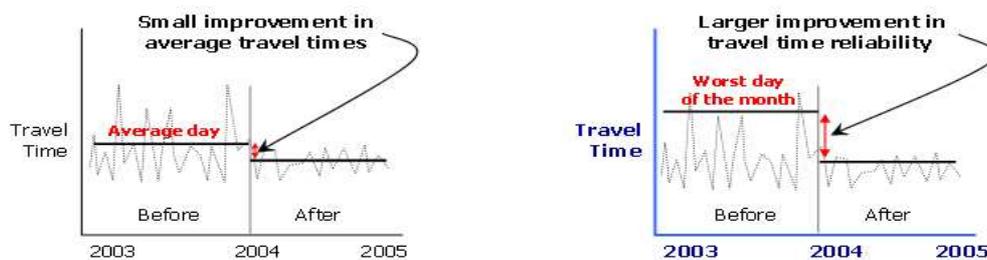


Figure 2.4 Reliability measures capture the benefits of traffic management(FHWA, 2006)

그리고 통행시간 신뢰성의 지표관측 새로운 사례는 비전문가도 이해할 수 있을 정도로 기술적인 장점을 가지고 있는데, 지체가 심한 날들과 평균 지체를 보인 날들의 지표들을 다음 그림과 같이 상호 비교하는 것이다(참조 Figure 2.5).” 라고 통행시간 신뢰성의 개념, 통행여건의 변화요인, 신뢰성 지표의 기준 및 관측 사례 등에 대해서 상세하게 비교 기술하고 있다.

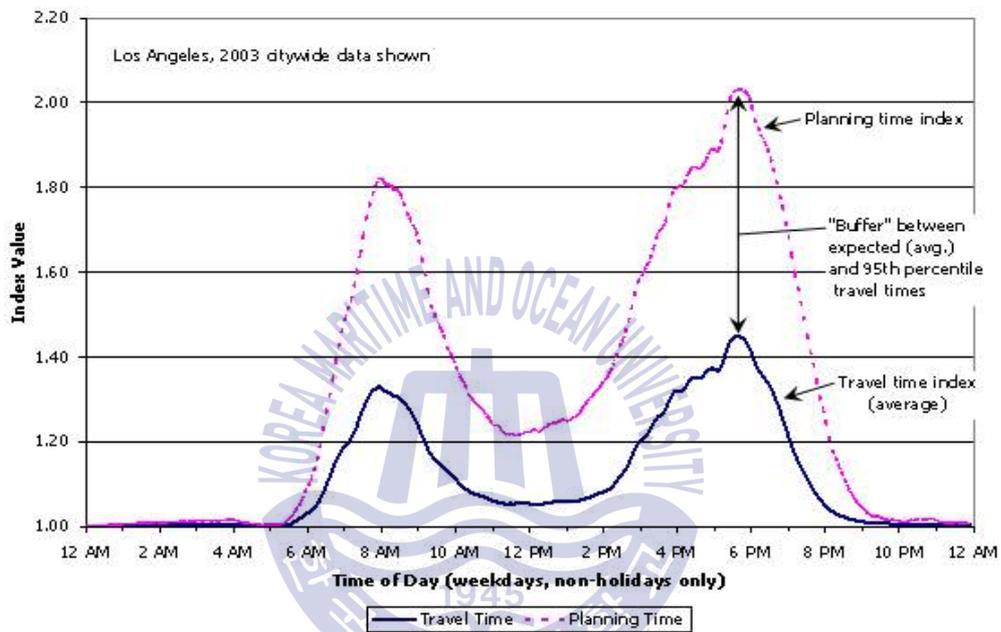


Figure 2.5 Reliability measures compared to average congestion measures(FHWA, 2006)

미국의 NCHRP(TRB, 2008)에서는 “통행시간, 지체 및 신뢰성을 서비스수준의 성과척도(measures of performance)로 활용하기 위해서는 방대한 자료가 요구되고, 또한 자료의 정확도와 계획수립에서도 성과척도의 통합과정에 상당한 어려움에 직면하게 된다. 이러한 성과척도가 널리 시행되지 않았던 이유는 많은 비용이 들고 성과척도를 달성하기가 쉽지 않았기 때문에 상대적으로 일부 대중교통부서에서 성과척도의 신뢰성 있는 추정치를 생성할 수 있는 프로그램이나

분석 및 추정능력을 활용하고 있다. 반면 대부분 주정부에서는 통행시간 관련 자료가 몇몇 간선도로에 대해서 활용되고 있고, 보다 광범위한 자료 수집을 위해서는 많은 비용이 요구되기 때문에 그에 대한 투자를 주저하고 있다. 최근에 대부분의 주정부와 대도시 교통계획부서(metropolitan planning organization, MPO)에서는 통행시간, 지체 및 신뢰성의 성과척도를 개발하기 위해 루프 검지기 자료와 지능형교통체계(intelligent transportation systems, ITS)나 교통관리체계(traffic management systems, TMS)에 의한 자료를 이용하고 있지만, 복잡하고 자료규모에서 제약이 있으며 많은 비용이 요구되기 때문에 상대적으로 사용하기 쉽고 쉽게 활용할 수 있는 자료를 이용하여 통행시간의 성과척도를 생성할 수 있는 방법을 강구하게 되었다.” 라고 서비스수준의 성과척도 개발을 위한 신뢰성 자료수집의 제약과 통행시간 성과척도를 생성하는 방법에 대해서 역설하고 있다.

미국의 SHRP(TRB, 2013)에서는 “통행시간 신뢰성(travel time reliability)이란 매일 반복적으로 실시하는 동일 통행(same trip)에 대한 통행시간의 변화라고 정의하고, 여기에서 동일 통행(same trip)이란 동일 노선(same route)에 대해서 동일 목적(same purpose)을 가지고 동일 시간(same time)에 동일 교통수단(same mode)을 이용하여 반복적으로 통행하는 것을 의미한다. 그런데 통행시간 신뢰성에서 통행시간의 변화가 크다면, 통행시간에 대해 일관되고 보다 정확한 통행시간을 추정하기가 어렵기 때문에 통행시간을 신뢰할 수가 없으나, 동일 통행의 통행시간이 전혀 또는 거의 변화가 없다면, 통행시간은 신뢰할 수 있다고 할 수 있다. 그러므로 통행시간의 변화가 심하고 추정할 수 없다면 통행을 계획하는 사람들에게 통행 계획을 더욱 어렵게 만들고, 도착시간의 불확실성에 대해 예상되는 초과시간을 더욱 강요하게 되며, 이러한 통행의 불확실성으로 하여금 시간과 돈을 낭비하게 함으로써 통행이 비효율적이라고 생각되거나 오히려 역효과를 낼 수도 있어서 통행시간 신뢰성은 매우 중요하다.” 라고 통행시간 신뢰성의 개념 및 중요성에 대해서 역설하고 있다.

미국의 Lyman and Bertini(2007)는 “통행시간 신뢰성(travel time reliability)이란 어느 주어진 시간에 교통체계를 이용하는 사람들이 경험하는 지체수준의 척도라고

정의하고, 통행시간 신뢰성의 척도는 서로 다른 날(day)이나 달(month)의 동일 시간에 통행시간의 변화와 어느 날의 서로 다른 시간(time)에 통행시간의 변화를 양적으로 나타내는 것이다. 그리고 높은 서비스수준(level of service, LOS)의 도로망은 높은 서비스수준의 통행시간 신뢰성을 가지고 있다고 할 수 있는데, 신뢰성(reliability)이란 외적인 요인에 의해 통행시간에 영향을 미치는 서비스수준의 척도로서 동일한 평균지체수준에서 더 낮은 척도의 신뢰성을 갖는 시설이나 통행은 여러 가지 요인에서 가장 취약한 시설이나 통행이라고 말할 수 있다.” 라고 시설이나 통행의 서비스수준 척도로 통행시간 신뢰성을 강조하고 있다.

다음으로 속도와 관련하여 미국의 AASHTO(2001)에서는 “속도(speed)란 대체 도로나 교통수단을 선택하는데 있어서 통행자에게 고려되는 중요한 요인 중의 하나가 된다. 통행자들은 사람이나 상품을 이동시키는데 있어서 속도와 직접 관련이 있는 교통시설의 가치를 교통시설의 편리함과 경제성으로 평가하고 있다. 지점속도(spot speed)란 어느 위치에서의 속도를 의미하고, 지점평균속도(average spot speed)란 도로의 어느 특정 지점에서 관측된 모든 차량속도의 산술평균속도가 된다. 실제 속도가 변하지 않는 짧은 도로구간에서 지점평균속도는 대체적으로 주행속도의 평균이다.” 라고 지점속도의 관측방법에 대해서 기술하고 있다.

미국의 NCHRP(TRB, 2003)에서는 “제한속도(posted speed limit)란 실제 운용 측면에서 운전자가 사용할 수 있는 최대속도를 의미하는 것이 아니라 대략적으로 일정한 규모의 관측된 차량속도로부터 85번째 백분위(85th percentile)속도로 결정되는데, 이러한 제한속도는 운전자가 이용할 수 있는 페이스속도(pace speed; 10km/h의 단위속도나 15km/h의 단위속도)의 범위 안에 있다. 여기에서 85번째 백분위(85th percentile)속도란 제한속도(posted speed limit)를 설정하기 위하여 사용되며 일반적으로 자유롭게 주행하는 운전자의 85%가 85번째 백분위(85th percentile)속도범위 내에서 주행할 때의 속도를 의미한다. 또한 평균통행속도(mean travel speed)란 일정한 도로구간에 대해 모든 정지지체시간을 포함하는 평균통행시간으로 나누어 산정되는 속도를 의미한다.” 라고 제한속도의 기준

및 평균통행속도의 산정방법 등에 대해서 제시하고 있다.

미국의 Gerlough and Huber(1975)는 “지점속도란 어느 지점에서 관측된 속도의 산술평균에 의해 산정되기 때문에 시간평균속도로 정의하고, 공간평균속도란 일정한 구간에서 관측된 속도로 조화평균에 의해 산정되기 때문에 조화평균속도라 정의한다.” 라고 지점속도와 공간속도를 비교 서술하고, Homburger and Kell(1988)은 “지점속도란 일정한 시간동안 어느 한 지점에서 관측된 속도로 평균속도를 시간평균속도라고 하고, 공간속도란 일정한 도로구간에 대해 연속적으로 관측된 속도로 평균속도를 공간평균속도라고 한다.” 라고 지점속도와 공간속도를 비교 기술하며, McShane et al.(1998)는 “시간평균속도란 일정한 시간동안 어느 지점을 통과하는 차량들의 평균속도로 시간평균속도라고 정의하였고, 공간평균속도란 일정한 시간동안 도로의 특정구간을 점유하고 있는 차량들의 평균속도라고 정의하였으며 고속도로의 구간특성을 파악하는데 적용된다.” 라고 시간평균속도와 공간평균속도를 비교 제시하고 있다.

미국의 Garber and Hoel(1988)은 “시간평균속도란 일정한 시간동안 도로의 어느 지점을 통과하는 차량의 산술평균속도이고, 공간평균속도란 주어진 시간동안 도로의 어느 한 지점을 통과하는 차량의 조화평균속도다.” 라고 시간평균속도와 공간평균속도를 통계적으로 정의하고, Khisty(1990)는 “평균통행시간은 근본적으로 개개의 차량이 공간에서 소비하는 평균시간에 가중되어야하기 때문에 공간평균속도라고 하고 시간평균속도란 주어진 시간동안 어느 지점에서 관측된 지점평균속도이다.” 라고 공간적 시간적 평균속도를 비교 기술하며, May(1990)는 “어느 선택된 시간동안 어느 지점이나 짧은 구간을 통과하는 개개의 차량의 평균속도를 시간평균속도라 하고 개개의 속도를 개개의 통행시간 비율로 전환하여 속도를 산정한다면 이는 공간평균속도다.” 라고 시간평균속도와 공간평균속도의 산정방법에 대해서 서술하고 있다.

2.1.2 국내 문헌연구

우선적으로 통행시간 신뢰성과 관련하여 국토해양부의 교통시설 투자평가 지침(2009)에 따르면 “통행시간 신뢰성은 도로투자 사업에 따른 편익분석 항목으로 대중교통수단 및 개인교통수단의 통행시간 정시성과 신뢰성을 모두 포함하는 개념으로 정의하였다. 또한 통행시간 신뢰성을 계량화하기 위해 신뢰성 지표는 도로와 철도로 구분하였고, 계량화와 중복 추정을 피하기 위해 통행시간보다 더 늦게 도착한 통행규모는 통행시간의 불확실성으로 측정하였으며, 통행시간의 불확실성은 계획통행시간과 실제 통행시간의 차이로 산정하였다. 특히, 도로의 신뢰성 지표산정에서 계획통행시간을 실제 통행시간분포의 평균값으로 하고, 실제 통행시간은 각 통행시간분포의 평균값으로 정의하여 계획 통행시간보다 더 늦게 도착한 통행규모는 통행시간 불확실성으로 측정하였다.” 라고 통행시간 신뢰성의 지표와 불확실성의 산정방법에 대해서 제시하고 있다.

장 등(2008)은 “통행시간 신뢰성을 측정할 수 있는 지표를 개발하고, 국내 도로 및 철도 이용의 실적자료를 바탕으로 통행시간 신뢰성 지표의 원단위 산정을 위한 통행시간 신뢰성의 수정된 추가통행시간지표를 제안하였다. 또한 통행시간 신뢰성과 비 신뢰성의 임계점으로는 통행시간의 로그정규분포를 기반으로 한 계획통행시간과 실제통행시간사이의 차이를 측정함으로써 철도는 상수형의 통행시간 신뢰성 지표함수가 개발되었고, 도로는 음(-)의 포물선형 통행시간 신뢰성 지표함수가 개발되었다.” 고 통행시간 신뢰성의 측정지표 및 통행수단별 지표함수를 제안하고 있다.

이향미(2009)는 “경부고속도로의 통행료징수시스템(toll collection system, TCS)데이터와 통행시간 신뢰성을 기반으로 반복정체의 발생확률을 추정하였고, 추정된 발생확률을 기반으로 신뢰성의 여부를 판단하여 확률적 정보제공 방안을 제시하였다. 특히, 반복정체가 발생하는 오후시간대에는 시간이 점차 증가 할수록 지정체의 발생확률이 증가하였으나, 발생확률이 변동 없이 일정하다면 비 정체 시간대나 정체시간대에도 통행시간의 신뢰도가 높다는 사실을 확인하였다. 또한 통행시간 신뢰성을 고려한 특정 경로의 통행시간 분포에서 통행시간의 값은 같더라도 신뢰구간과 도착확률의 90%값은 각각 다르다는 사실을 확인하였고,

통행구간이나 통행시간이 증가할 때 정보제공 값의 폭이 커진다는 사실을 확인하였다.” 라고 신뢰성 기반의 확률적 정보제공방안을 제시하고 있다.

허은진(2009)은 “통행시간의 신뢰성가치를 산정하기 위하여 통행목적에 따른 개인의 잠재선호도조사에 적합하도록 선택실험법(choice experiments)의 SP조사 데이터를 사용하였다. 이러한 SP데이터를 기반으로 통행시간, 통행비용, 예상치 못한 지체 등을 속성변수로 하는 통행목적별 모형을 구축한 후 한계대체율법을 적용한 통행시간 신뢰성의 가치를 추정하였다. 특히, 통행목적별 신뢰성 가치 추정을 위해 통행시간 가치와 비율을 비교한 결과, 업무, 출근, 등교 등과 같이 의무 목적통행에서 신뢰성 가치는 통행시간 가치와 거의 일치하였고 의무 목적 통행이 아닌 귀가, 쇼핑 및 여가통행에서 신뢰성 가치와 통행시간 가치가 일치하지 않음으로써 지체보다는 통행시간 가치 자체가 그 통행에 영향을 준다는 사실을 확인할 수 있었다.” 라고 통행목적별 신뢰성가치를 추정하기 위한 모형으로 비교 제시하고 있다.

최아름(2012)은 “통행시간 신뢰성(travel time reliability)가치는 여행자의 의사 결정에 영향을 미치게 된다. 일반적으로 통행시간 신뢰성가치를 추정하기 위한 신뢰성가치의 평균값은 여행자가 선택하는 선호다양성을 반영하기 어렵다. 왜냐하면 여행자의 통행특성을 정확하게 파악하는 데 한계가 있고, 또한 실제 모든 개별 여행자의 통행시간 신뢰성가치는 동일하지 않기 때문이다. 이러한 문제는 교통정책 및 교통시설 투자평가의 과다 또는 과소추정 결과를 야기하게 되며, 이는 심각한 사회적 손실을 초래할 수도 있다. 그러므로 여행자가 선호하는 동질성 문제를 극복하기 위해서는 통행특성에 따라 경로선택과 수단선택으로 구분하는 분할 구조를 적용하여 선호다양성을 반영할 필요가 있다.” 라고 여행자의 선호다양성에 기초한 신뢰성가치를 비교 분석하고 있다.

조한선(2013)은 “통행시간 신뢰성의 가치를 추정 하는 방법을 개발하기 위해 고속도로의 유형(지방부와 도시부 고속도로) 및 교통류의 유형(단속류와 연속류)이 검토되었다. 특히, 우발평가방법(contingent valuation method, CVM)에서 두 경계 양분선택은 통행시간 신뢰성이 개선되었을 때 운전자가 기꺼이 지불할 의사

(willingness-to-pay)가 있는지에 대한 설문조사의 결과로 업무통행의 통행시간 신뢰성가치가 비업무통행의 통행시간 신뢰성가치보다 높게 나타났고, 시간제약성 통행시간 신뢰성가치는 비 시간제약성 통행시간 신뢰성가치보다 역시 높게 나타났다. 그리고 도시지역의 통행시간 신뢰성가치가 농촌지역의 통행시간 신뢰성가치보다 높게 나타났다.” 라고 시간제약성 신뢰성가치와 비 제약성 신뢰성가치를 비교 분석하고 있다.

다음으로 속도와 관련하여 국내의 장정아와 김현숙(2010)은 “실시간의 도로 상황정보를 토대로 개발된 안정권 고속도로의 속도모형에서 차량사이의 안전거리, 속도, 노면상황 정보와 미시적 시뮬레이터(VISSIM) 기반의 교통상황(원활, 정체), 유고상황(미발생, 발생) 및 노면상황(건조, 습윤, 적설)에 따른 권장속도의 관계를 통해 교통상황, 유고상황 및 노면상황과 권장속도사이의 유의한 관계가 있음이 확인되었다. 또한 안정권 고속도로의 속도모형에서는 고속도로의 속도가 평균 속도보다 높게 유지되지만, 유고상황의 발생, 노면상황의 변화에 따라 실시간의 안전속도를 변경할 필요가 있다.” 라고 고속도로의 속도모형에서 교통상황, 유고상황 및 노면상황과 속도관계에 유의성을 비교 제시하고 있다.

윤병조(2010)는 “교통류속도는 고속도로의 설계와 운영에 있어서 주요한 요소 중의 하나이다. 서비스수준별 시간대별 속도분포와 백분위(percentile)속도의 미시적 분석결과, 속도분포는 교통량과 시간대에 따라 서로 다른 행태를 보였고, 아침, 저녁, 심야시간대에 85번째 백분위(85th percentile)속도는 교통량이 증가함에 따라 감소하였지만 오전과 오후시간대에 85번째 백분위(85th percentile)속도는 큰 변화를 보이지 않았으며, 시간대에 따른 85번째 백분위(85th percentile)속도는 교통량의 증가와 함께 급격하게 변화하였다.” 고 서비스수준별 시간대별 백분위 속도를 비교 서술하고 있다.

2.2 사례연구

2.2.1 국외사례연구

통행시간 신뢰성의 활용사례로 미국의 FHWA(2006)의 운영부서에서는 “신뢰성 지표를 포함하는 국가 교통모니터링프로그램을 지원하고 있는데, 이 프로그램에서는 전국 30개 이상의 도시에서 발생하는 계획통행시간지수와 추가통행시간지수와 같은 신뢰성 지표를 추적하고 있다(참조 Figure 2.6).

Status: Green Progress: Green	NATIONAL CONGESTION INDICATORS								
	Hours of Congested Travel Per Day			Travel Time Index			Planning Time Index		
Current Quarter	4.8			1.28			1.69		
Same Quarter, Previous Year	5.2			1.29			1.71		
Change, vs. Previous Year	6.9% ↓			0.8% ↓			1.0% ↓		
NATIONAL CONGESTION PATTERN	# of Cities DOWN =5%	# of Cities, NO CHANGE	# of Cities UP =5%	# of Cities DOWN =5%	# of Cities, NO CHANGE	# of Cities UP =5%	# of Cities DOWN =5%	# of Cities, NO CHANGE	# of Cities UP =5%
Total Cities:19	9	4	6	2	17	0	4	13	2

Figure 2.6 A reliability measure is included in FHWA’s Monthly Congestion Dashboard Report(FHWA, 2006)

또한 워싱턴주 교통부(WSDOT)의 회색 노트인 분기별 실적 보고서는 국가의 선도적인 실적모니터링사례 중의 하나인데, 워싱턴주 교통부에서는 지속적으로 분기별 실적 보고서를 토대로 개선하여 주 교통문제를 해결하려고 노력하고 있고, 2002년에는 통행시간 신뢰성 개념을 도입하여 반복적인 혼잡과 비 반복적인 혼잡을 구분하여 정보를 제공하고 있으며, 통행시간 신뢰성이 통행하는 사람들의 가장 주요한 관심사라는 것을 인식하고 있다(참조 Figure 2.6). 특히, 워싱턴주 교통부에서는 Seattle지역에 대해 통행시간 신뢰성을 포함한 몇몇 혼잡대책을 강구하기 위해서 기존의 고속도로 자료를 활용하고 있다.” 라고 통행시간의 신뢰성지표를 비교 제시하고 있다.

2.2.2 국내사례연구

통행시간 신뢰성의 활용사례로 국내의 이현석(2009)은 “신뢰성 있는 고속도로의 추정정보를 제공하기 위해 통행료징수시스템(toll collection system, TCS) 자료를 활용하여 고속도로의 기·종점 영업소 간에서 실제 소요된 통행시간을 추정하였다. 원시자료를 교통정보로 변환하기 위해 구간거리와 지·정체 상황에 따른 통행시간 변동비의 특성을 파악한 후 데이터 이상치 제거, 대푯값 선정, 평활화 등의 처리과정을 수행하였다. 또한, Off-line통행시간 추정에서는 TCS처리 과정을 통해 구한 경로 내의 링크통행시간을 조합하여 고속도로의 경로통행시간을 추정하였고 On-line통행시간 산정에서는 Off-line통행시간 추정에서 검증된 모형을 적용하여 대상경로의 기점을 출발한 차량 중 가장 최근에 경로의 종점에 도착한 차량의 통행시간을 실시간으로 추정하였다.” 라고 고속도로의 TCS자료를 이용한 통행시간 경로추정모형에 대해서 비교 서술하고 있다.

심상우(2011)는 “통행료지불수단인 하이패스시스템이 단거리 전용통신(dedicated short range communication, DSRC) 기반의 교통정보로 활용될 수 있음에 착안하여 하이패스 DSRC자료의 전 처리방안을 토대로 실시간의 통행시간 경로 추정방법을 제시하였다. 특히, 하이패스 DSRC자료는 구간길이가 짧아 실시간으로 해당 구간의 소통상황 파악이 가능하고, 최근 하이패스 이용률의 증가로 표본수가 타 구간점지기보다 월등히 많은 장점이 있으므로 이상치를 제거한 후 사용하면 교통자료로서 사용이 가능하며, 이상치 제거는 하이패스 DSRC자료의 특성을 고려하여 중위절대편차법(표본자료의 중위값을 이용하여 특정범위를 초과하는 자료를 제거하기 위한 방법)을 이용하였는데, 버스전용차로가 존재할 경우 승용차의 이상치로 제거되는 것을 방지하기 위하여 버스와 승용차를 구분하는 것이 적절한 것으로 판단하였다. 또한 링크통행시간을 추정하기 위하여 베이지안 모형과 회귀모형을 적용하여 통행시간을 분석한 결과, 도착차량만을 이용하여 통행시간을 추정하는 것보다 모형을 적용하여 통행시간을 추정하면 모든 차량이 도착할 때까지 기다리지 않아도 되므로 시간지체를 줄일 수 있을 것으로 판단하였다.” 라고 고속도로의 DSRC자료를 이용한 통행시간 경로추정모형에 대해서 비교 분석하고 있다.

지금까지 대부분의 연구는 통행시간 신뢰성의 개념과 지표설정, 신뢰성가치와 지표산정, 고속도로의 통행시간 정보제공 그리고 속도 추정 등에 대해서 연구가 집중되어 왔으나, 통행시간 신뢰성에 기초한 고속도로의 기본구간에서 계획통행시간(planning time)의 추정 관련 연구는 거의 없었다. 그러므로 본 연구에서는 국내 고속도로의 기본구간에 대해 통행시간 신뢰성의 95번째 백분위통행속도에 기초한 계획통행시간과 차로별 공간평균속도와의 상관특성 연구를 통해 95%이상의 고속도로 이용자가 계획된 통행시간 내에 목적지에 도착할 수 있도록 고속도로 기본구간에서 계획통행시간을 추정하고자 한다.



제 3 장 자료 수집 및 분석

본 장에서는 연구대상 고속도로의 8차로 기본구간에 대한 자료수집 및 특성 분석에 대하여 소개한다.

3.1 자료 수집

연구대상 고속도로로 경부고속도로와 남해고속도로가 선정되었다. 경부고속도로는 서울과 부산을 기·종점(origin-destination, O-D)으로 하는 총 연장 416.05km에 양방향 4~10차로로 운행되고 있는 남북방향의 고속도로 EX-1이고, 남해고속도로는 전남 영암과 부산사이의 총 연장 273.1km로 양방향 4~8차로로 운행되고 있는 동서방향의 고속도로 EX-10이다(참조 Table 3.1). 또한 연구대상 고속도로의 양방향 8차로 기본구간(경부고속도로: 대구와 김천구간과 남해고속도로: 진주와 냉정구간)중 약 60km구간(방향별 36개 지점씩 총 144개 지점)을 4개 단위구간으로 구분하여 매15분 단위로 1일 24시간씩 3주일(2014년 6월 16일~7월 6일)동안 VDS자료가 수집되었다(참조 Tables 3.2~3.3과 Figure 3.1).

자료 분석을 위하여 차로구간별 교통특성분석, 공간평균속도와 계획통행시간의 상관분석, 계획통행시간의 모형구축 및 검증에 위해 MS OFFICE 2010, SPSS 19 및 SIGMA PLOT 12 등의 소프트웨어가 사용되었다.

Table 3.1 Geometry of expressways under the study

	Gyeongbu(EX-1)		Namhae(EX-10)	
	Total	Segment	Total	Segment
Length(km)	416.0	4×15=60	273.1	4×15=60
Number of Lanes	4 to 10	8	4 to 8	8
Regulatory Speed (km/h)	100	100	100	100

Table 3.2 Stations selected for analyses in EX-1(unit: km)

Station No.	EX-1(NB)				EX-1(SB)			
	Seg 1	Seg 2	Seg 3	Seg 4	Seg 1	Seg 2	Seg 3	Seg 4
Station 1	121.90	137.50	151.30	166.07	123.60	137.50	151.30	167.07
Station 2	122.70	139.80	152.14	167.95	125.60	138.60	152.14	169.81
Station 3	124.50	140.84	155.02	168.84	126.50	139.80	155.02	170.84
Station 4	126.50	143.12	157.14	172.50	128.40	143.12	157.14	172.72
Station 5	127.40	144.11	158.46	173.61	129.40	144.11	161.29	174.89
Station 6	128.40	145.60	159.94	174.89	131.30	145.60	162.46	176.72
Station 7	131.30	147.54	161.29	176.72	133.20	148.50	163.31	177.62
Station 8	122.30	148.50	162.46	178.51	134.50	148.97	164.25	179.53
Station 9	133.20	149.92	164.25	179.53	135.70	149.92	165.22	181.53

Table 3.3 Stations selected for analyses in EX-10(unit: km)

Station No.	EX-10(EB)				EX-10(WB)			
	Seg 1	Seg 2	Seg 3	Seg 4	Seg 1	Seg 2	Seg 3	Seg 4
Station 1	69.80	86.60	96.20	132.25	69.80	86.60	98.80	132.25
Station 2	71.40	86.90	98.80	133.20	71.40	87.40	99.70	133.20
Station 3	72.30	87.40	100.40	134.90	72.30	88.50	100.40	134.90
Station 4	74.90	88.50	102.20	136.85	74.90	89.40	102.20	136.85
Station 5	75.60	90.55	104.50	138.30	75.60	91.60	103.35	138.30
Station 6	81.50	91.60	105.70	139.05	81.50	92.60	104.50	139.05
Station 7	82.75	92.60	106.70	140.95	82.75	93.60	105.70	140.95
Station 8	83.70	93.60	108.70	142.00	83.70	94.60	106.70	142.00
Station 9	84.60	94.60	111.30	144.00	84.60	96.20	108.70	144.00

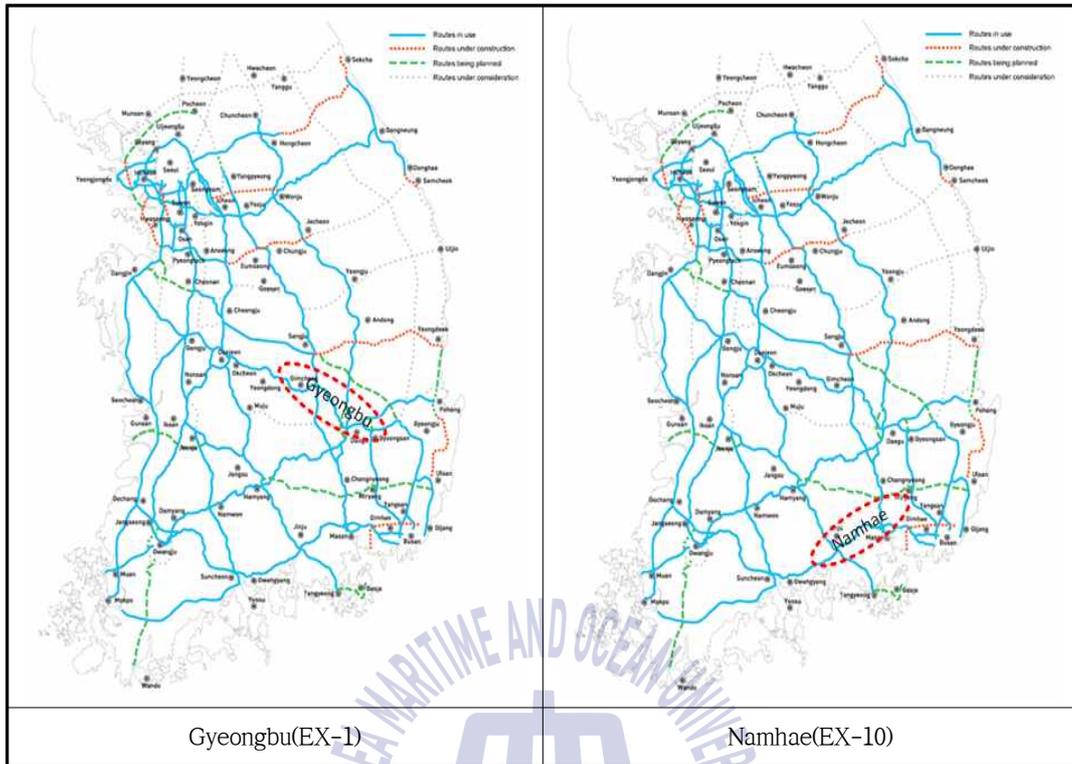


Figure 3.1 Expressway segments under the study

3.2 자료 분석

연구대상 단위구간(15km)에서 수집된 자료 중 교통량(volume)은 1시간단위의 교통류율로 전환하였고, 속도(speed)는 공간평균속도(space mean speed)로 전환하였으며, 밀도(density)은 1시간단위의 평균밀도로 전환하였다. 또한 통행시간은 연구대상 단위구간을 통행시간 신뢰성 기준의 차로별 95번째 백분위(95th percentile) 공간평균속도로 주행할 때 요구되는 평균통행시간으로 전환하였다.

3.2.1 교통량 분석

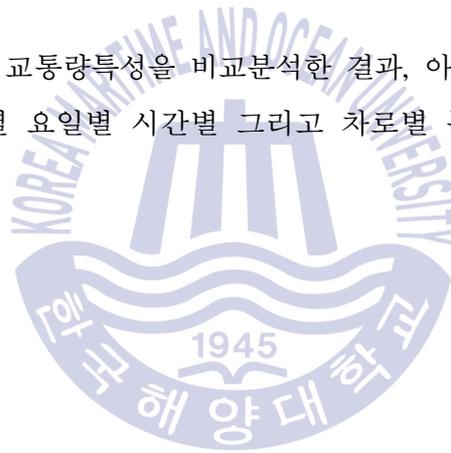
교통량(flow)이란 단위시간동안 수집된 차량대수를 의미하고, 단위는 vehicle per hour per lane(veh/h/l)으로 표현되며, 다음과 같은 계산과정을 통해 특성 분석에 사용하였다(TRB, 1975).

$$Q = \frac{N}{t} = \frac{\sum_{i=1}^N q_i}{\sum_{i=1}^N t_{hi}} \quad (3.1)$$

여기서,

- Q : flow rate for 1hour(veh/h/l)
- N : no. of vehicles observed for unit time(veh)
- t : unit time(1hour)
- t_{hi} : time headway of each vehicle i (sec)
- q_i : each vehicle i (veh)

연구대상 고속도로의 교통량특성을 비교분석한 결과, 아래의 Figures 3.2~3.5에서 보는 바와 같이 방향별 요일별 시간별 그리고 차로별 특성에서 뚜렷한 차이를 확인할 수 있었다.



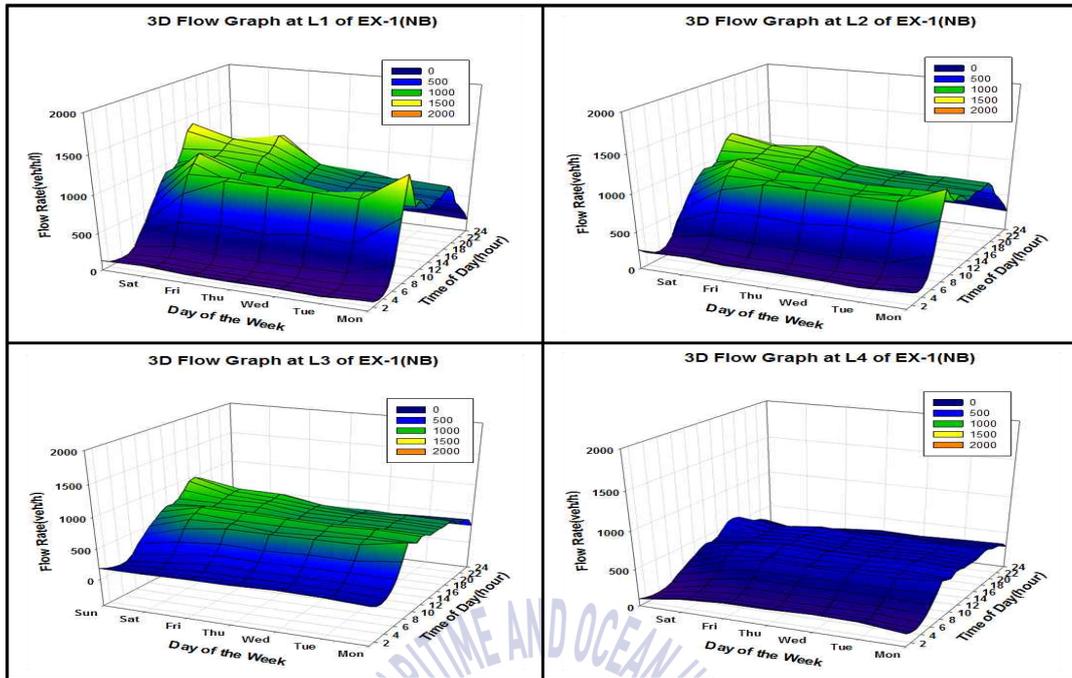


Figure 3.2 3D Flow graph by lane in EX-1(NB)

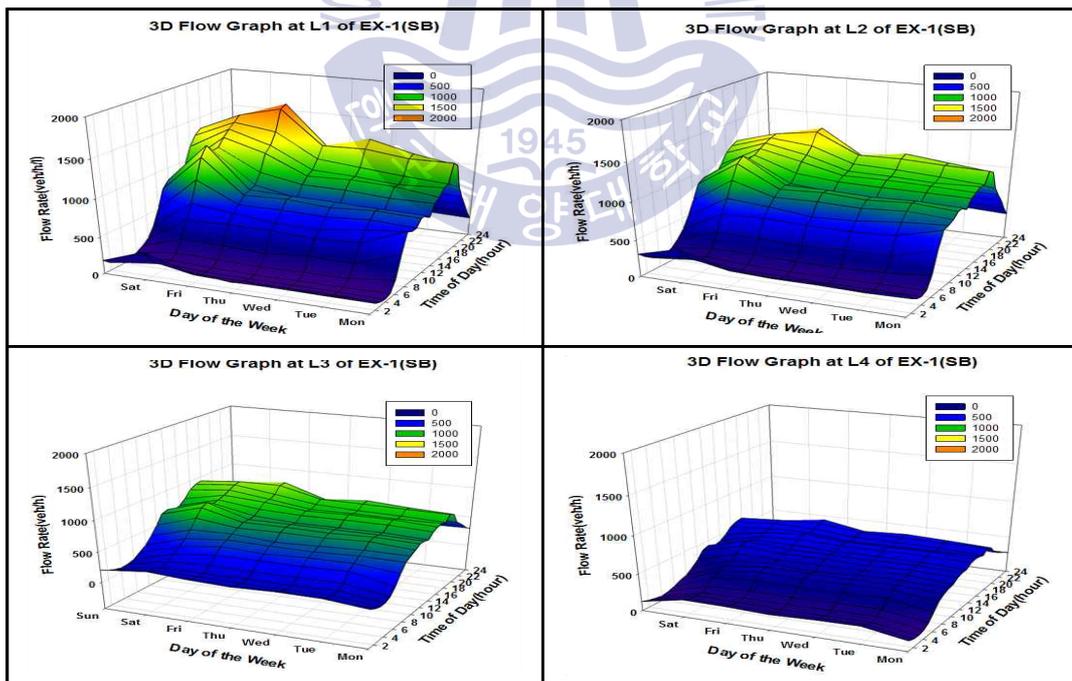


Figure 3.3 3D Flow graph by lane in EX-1(SB)

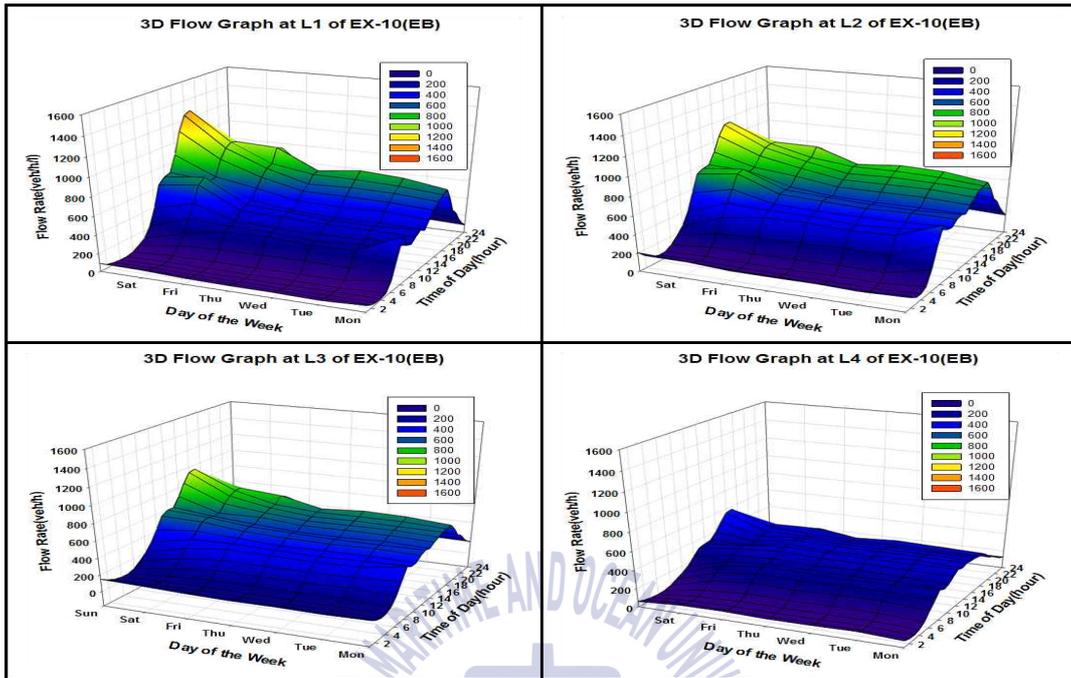


Figure 3.4 3D Flow graph by lane in EX-10(EB)

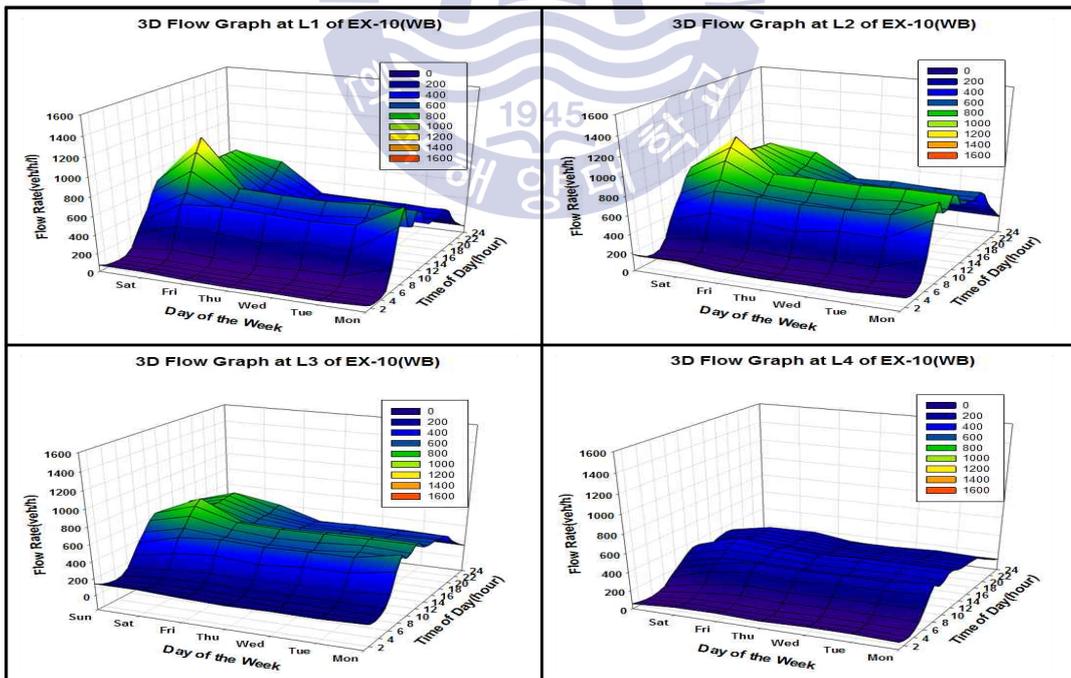


Figure 3.5 3D Flow graph by lane in EX-10(WB)

우선적으로 고속도로 EX-1의 북쪽방향(northbound, NB)에서는 오후에 통행량이 집중하면서 첨두 통행량이 829대로 평균통행량 546대에 비해 약 52%정도 높게 나타났다. 또한, 차로별 첨두 통행량에서는 추월차로인 1차로에서 1,061대, 소형차로인 2차로에서 1,024대, 중형차로인 3차로에서 747대 그리고 대형차로인 4차로에서 500대로 뚜렷한 차이를 보였다. 주중에는 오전에 통행량이 집중하면서 차로별 첨두 통행량이 1차로에서는 1,110대, 2차로에서는 1,029대, 3차로에서는 751대 그리고 4차로에서는 508대로 통행량집중에서 비슷하게 나타났으나, 주말에는 오후에 통행량이 집중하면서 차로별 첨두 통행량이 1차로에서는 1,312대, 2차로에서는 1,189대, 3차로에서는 895대 그리고 4차로에서는 526대로 다소 높게 나타남으로써 주중 오전보다는 주말 오후에 통행량 집중을 확인할 수 있었다(참조 Tables 3.4~3.5과 Figure 3.6).

반면 고속도로 EX-1의 남쪽방향(southbound, SB)에서는 오후에 통행량이 집중하면서 첨두 통행량이 1,031대로 평균통행량 571대에 비해 약 81%정도 높게 나타났다. 또한, 차로별 첨두 통행량에서는 추월차로인 1차로에서 1,384대, 소형차로인 2차로에서 1,255대, 중형차로인 3차로에서 884대 그리고 대형차로인 4차로에서 601대로 뚜렷한 차이를 보였다. 주중에는 오전에 통행량이 집중하면서 차로별 첨두 통행량이 1차로에서는 1,362대, 2차로에서는 1,239대, 3차로에서는 855대 그리고 4차로에서는 597대로 통행량집중에서 비슷하게 나타났으나, 주말에는 오후에 통행량이 집중하면서 차로별 첨두 통행량이 1차로에서는 1,467대, 2차로에서는 1,297대, 3차로에서는 958대 그리고 4차로에서는 613대로 다소 높게 나타남으로써 역시 주중 오전보다는 주말 오후에 통행량 집중을 확인할 수 있었다(참조 Tables 3.6~3.7과 Figure 3.7).

Table 3.4 Flow analysis in EX-1(NB)(veh/h/l, %)

Direction	Statistics	Week		Weekday		Weekend	
		Flow	Shift	Flow	Shift	Flow	Shift
EX-1 (NB)	Max	829	+52	825	+52	981	+76
	Min	101	-82	105	-81	86	-85
	Avg	546	-	542	-	558	-
	AM-Peak	-	-	825	+52	-	-
	PM-Peak	829	+52	-	-	981	+76

Table 3.5 Flow analysis by lane in EX-1(NB)(veh/h/l)

Direction	Statistics	1st Lane	2nd Lane	3rd Lane	4th Lane
Week	Max	1,061	1,024	747	500
	Min	33	103	116	134
	Avg	634	678	509	365
	AM-Peak	-	-	-	-
	PM-Peak	1,061	1,024	747	500
Weekday	Max	1,110	1,029	751	508
	Min	32	99	122	153
	Avg	614	664	505	383
	AM-Peak	1,110	1,029	751	508
	PM-Peak	-	-	-	-
Weekend	Max	1,312	1,189	895	526
	Min	36	115	97	87
	Avg	684	713	518	319
	AM-Peak	-	-	-	-
	PM-Peak	1,312	1,189	895	526

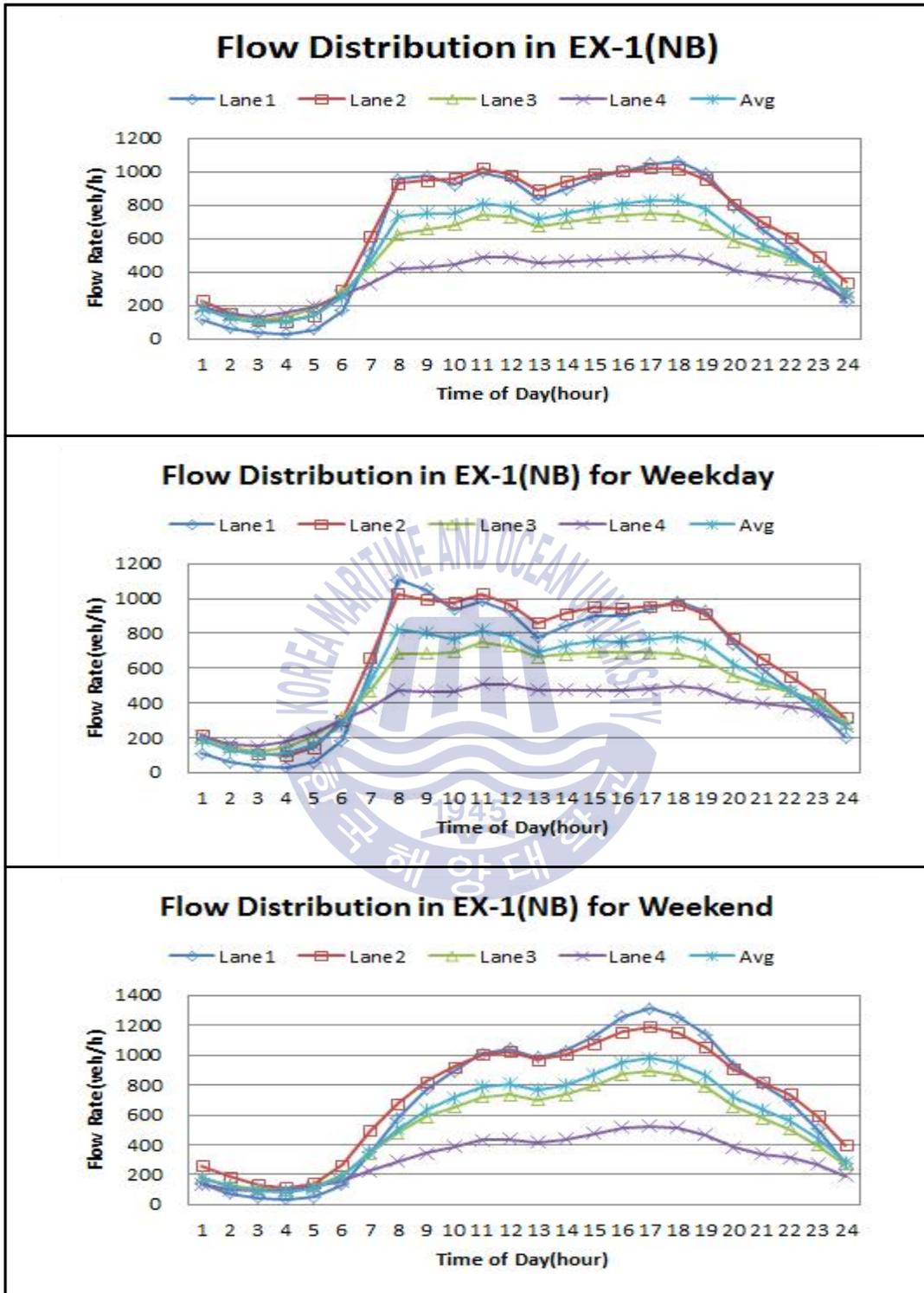


Figure 3.6 Flow distribution in EX-1(NB)

Table 3.6 Flow analysis in EX-1(SB)(veh/h/l, %)

Direction	Statistics	Week		Weekday		Weekend	
		Flow	Shift	Flow	Shift	Flow	Shift
EX-1 (SB)	Max	1,031	+81	1,010	+78	1,084	+88
	Min	123	-78	126	-78	115	-80
	Avg	571	-	568	-	576	-
	AM-Peak	-	-	-	-	-	-
	PM-Peak	1,031	+81	1,010	+78	1,084	+88

Table 3.7 Flow analysis by lane in EX-1(SB)(veh/h/l)

Direction	Statistics	1st Lane	2nd Lane	3rd Lane	4th Lane
Week	Max	1,384	1,255	884	601
	Min	46	124	155	159
	Avg	653	706	527	395
	AM-Peak	-	-	-	-
	PM-Peak	1,384	1,255	884	601
Weekday	Max	1,362	1,239	855	597
	Min	41	113	155	168
	Avg	637	697	527	412
	AM-Peak	-	-	-	-
	PM-Peak	1,362	1,239	855	597
Weekend	Max	1,467	1,297	958	613
	Min	58	149	126	124
	Avg	692	729	530	354
	AM-Peak	-	-	-	-
	PM-Peak	1,467	1,297	958	613

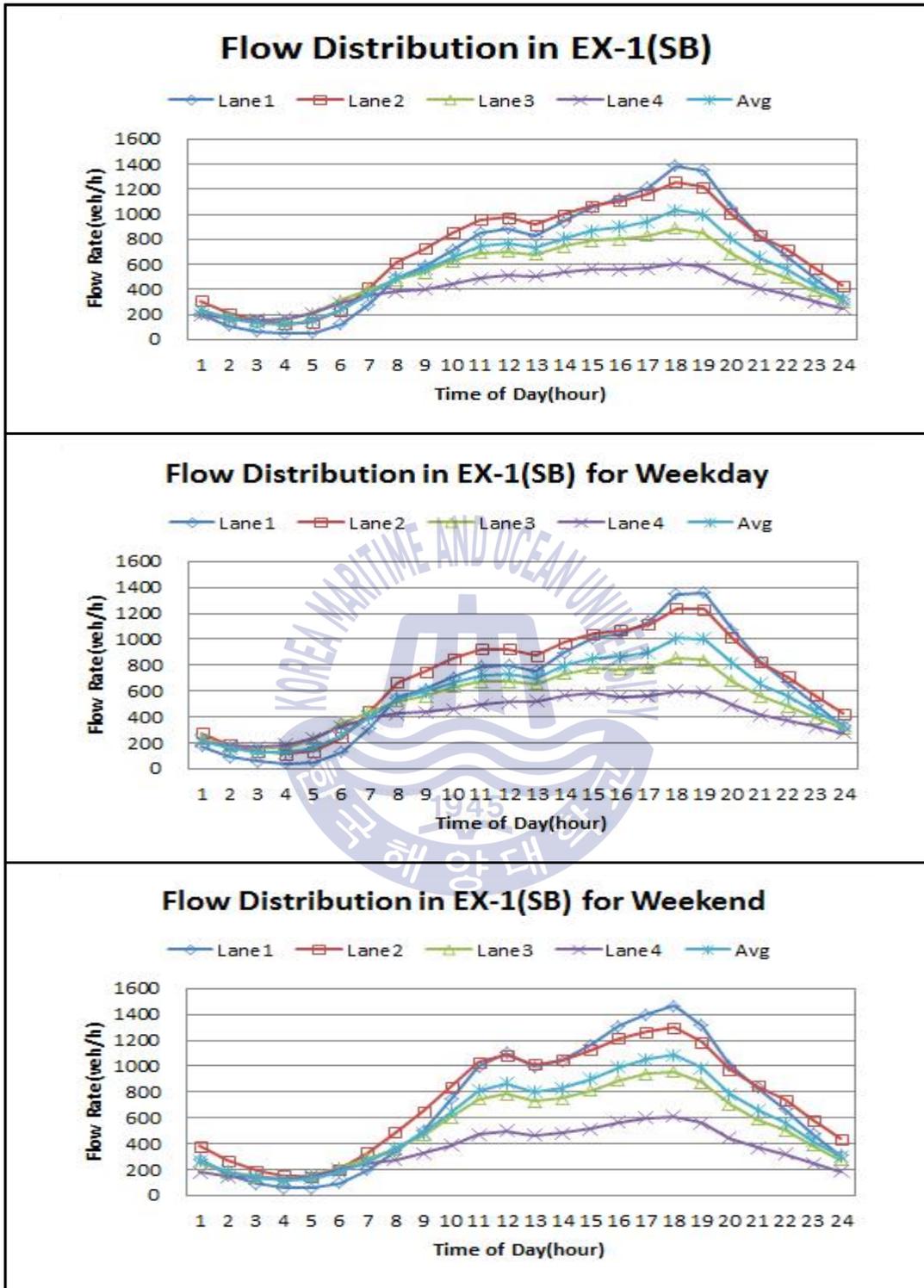


Figure 3.7 Flow distribution in EX-1(SB)

다음으로 고속도로 EX-10의 동쪽방향(eastbound, EB)에서는 오후에 통행량이 집중하면서 첨두 통행량이 703대로 평균통행량 370대에 비해 약 90%정도 높게 나타났다. 또한, 차로별 첨두 통행량에서는 추월차로인 1차로에서 855대, 소형차로인 2차로에서 877대, 중형차로인 3차로에서 670대 그리고 대형차로인 4차로에서 414대로 다소 차이를 보였다.

주중에는 오전에 통행량이 집중하면서 차로별 첨두 통행량이 1차로에서는 777대, 2차로에서는 828대, 3차로에서는 616대 그리고 4차로에서는 403대로 통행량집중에서 거의 비슷하게 나타났으나, 주말에는 오후에 통행량이 집중하면서 차로별 첨두 통행량이 1차로에서는 1,126대, 2차로에서는 1,050대, 3차로에서는 842대 그리고 4차로에서는 491대로 상당히 높게 나타남으로써 주중 오후보다는 주말 오후에 통행량 집중을 확인할 수 있었다(참조 Tables 3.8~3.9과 Figure 3.8).

반면 고속도로 EX-10의 서쪽방향(westbound, WB)에서는 오전에 통행량이 집중하면서 첨두 통행량이 660대로 평균통행량 375대에 비해 약 76%정도 높게 나타났다. 또한, 차로별 첨두 통행량에서는 추월차로인 1차로에서 727대, 소형차로인 2차로에서 865대, 중형차로인 3차로에서 646대 그리고 대형차로인 4차로에서 408대로 다소 차이를 보였다. 더구나 주중에는 오전에 통행량이 집중하면서 차로별 첨두 통행량이 1차로에서는 678대, 2차로에서는 834대, 3차로에서는 624대 그리고 4차로에서는 410대로 통행량집중에서 거의 비슷하게 나타났으나, 주말에는 오후에 통행량이 집중하면서 차로별 첨두 통행량이 1차로에서는 906대, 2차로에서는 978대, 3차로에서는 729대 그리고 4차로에서는 404대로 주중보다 상당히 높게 나타남으로써 주중 오전보다는 주말 오전에 통행량 집중을 확인할 수 있었다(참조 Tables 3.10~3.11과 Figure 3.9).

Table 3.8 Flow analysis in EX-10(EB)(veh/h/l, %)

Direction	Statistics	Week		Weekday		Weekend	
		Flow	Shift	Flow	Shift	Flow	Shift
EX-10 (EB)	Max	703	+90	652	+86	877	+111
	Min	52	-86	52	-85	48	-88
	Avg	370	-	352	-	416	-
	AM-Peak	-	-	-	-	-	-
	PM-Peak	703	+90	652	+86	877	+111

Table 3.9 Flow analysis by lane in EX-10(EB)(veh/h/l)

Direction	Statistics	1st Lane	2nd Lane	3rd Lane	4th Lane
Week	Max	855	877	670	414
	Min	14	59	69	54
	Avg	377	477	369	256
	AM-Peak	-	-	-	-
	PM-Peak	855	877	670	414
Weekday	Max	777	828	616	403
	Min	12	56	67	59
	Avg	341	452	351	261
	AM-Peak	-	-	-	-
	PM-Peak	777	828	616	403
Weekend	Max	1,126	1,050	842	491
	Min	17	68	63	42
	Avg	466	540	414	244
	AM-Peak	-	-	-	-
	PM-Peak	1,126	1,050	842	491

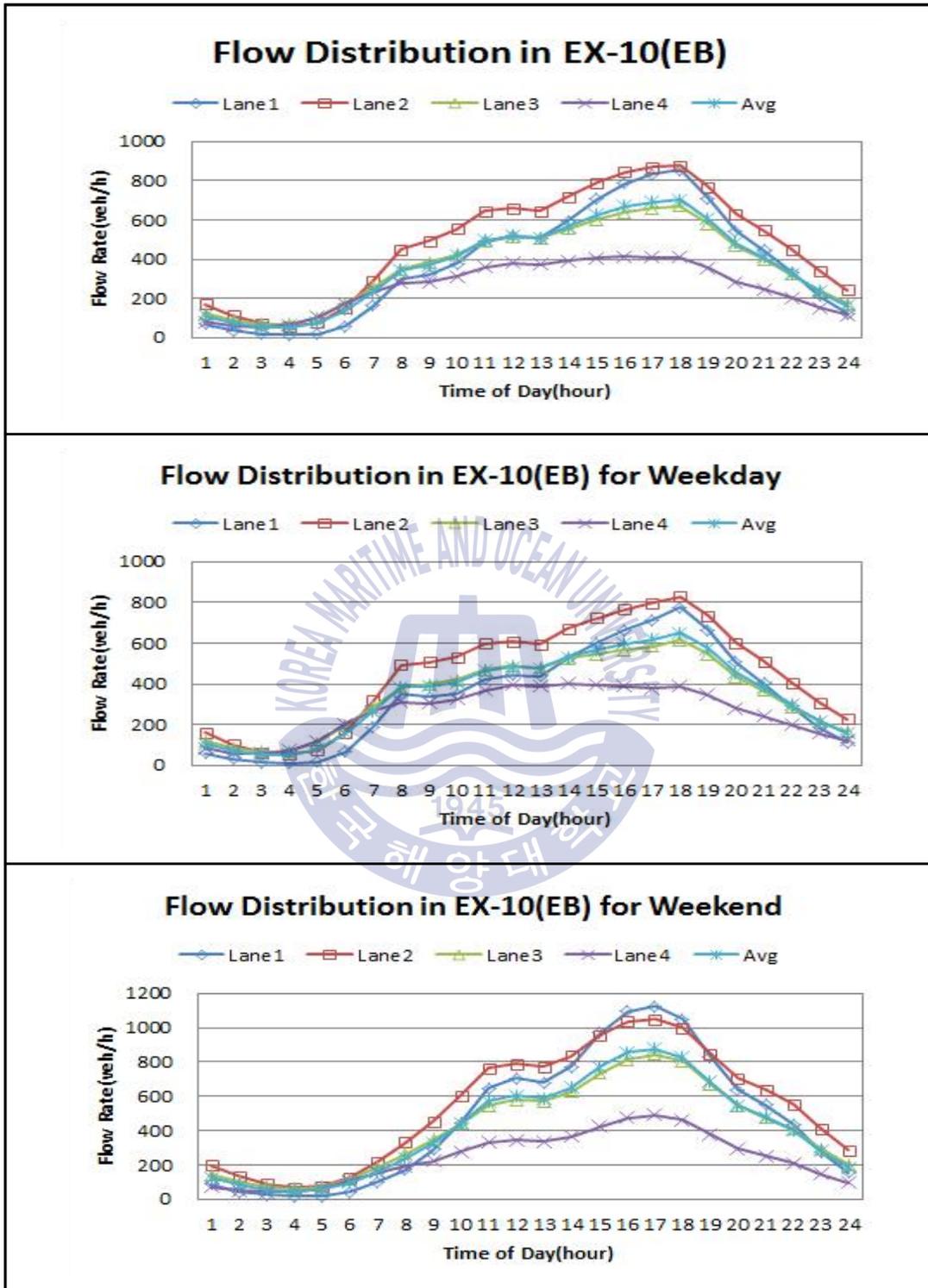


Figure 3.8 Flow distribution in EX-10(EB)

Table 3.10 Flow analysis in EX-10(veh/h/l, %)

Direction	Statistics	Week		Weekday		Weekend	
		Flow	Shift	Flow	Shift	Flow	Shift
EX-10 (WB)	Max	660	+76	636	+76	754	+83
	Min	52	-86	51	-86	53	-87
	Avg	375	-	361	-	413	-
	AM-Peak	660	+76	636	+76	754	+83
	PM-Peak	-	-	-	-	-	-

Table 3.11 Flow analysis by lane in EX-10(WB)(veh/h/l)

Direction	Statistics	1st Lane	2nd Lane	3rd Lane	4th Lane
Week	Max	727	865	646	408
	Min	17	65	72	51
	Avg	370	497	383	253
	AM-Peak	727	865	646	408
	PM-Peak	-	-	-	-
Weekday	Max	678	834	624	410
	Min	15	60	70	56
	Avg	342	473	368	260
	AM-Peak	678	834	624	410
	PM-Peak	-	-	-	-
Weekend	Max	906	978	729	404
	Min	19	77	73	40
	Avg	440	557	420	234
	AM-Peak	906	978	729	404
	PM-Peak	-	-	-	-

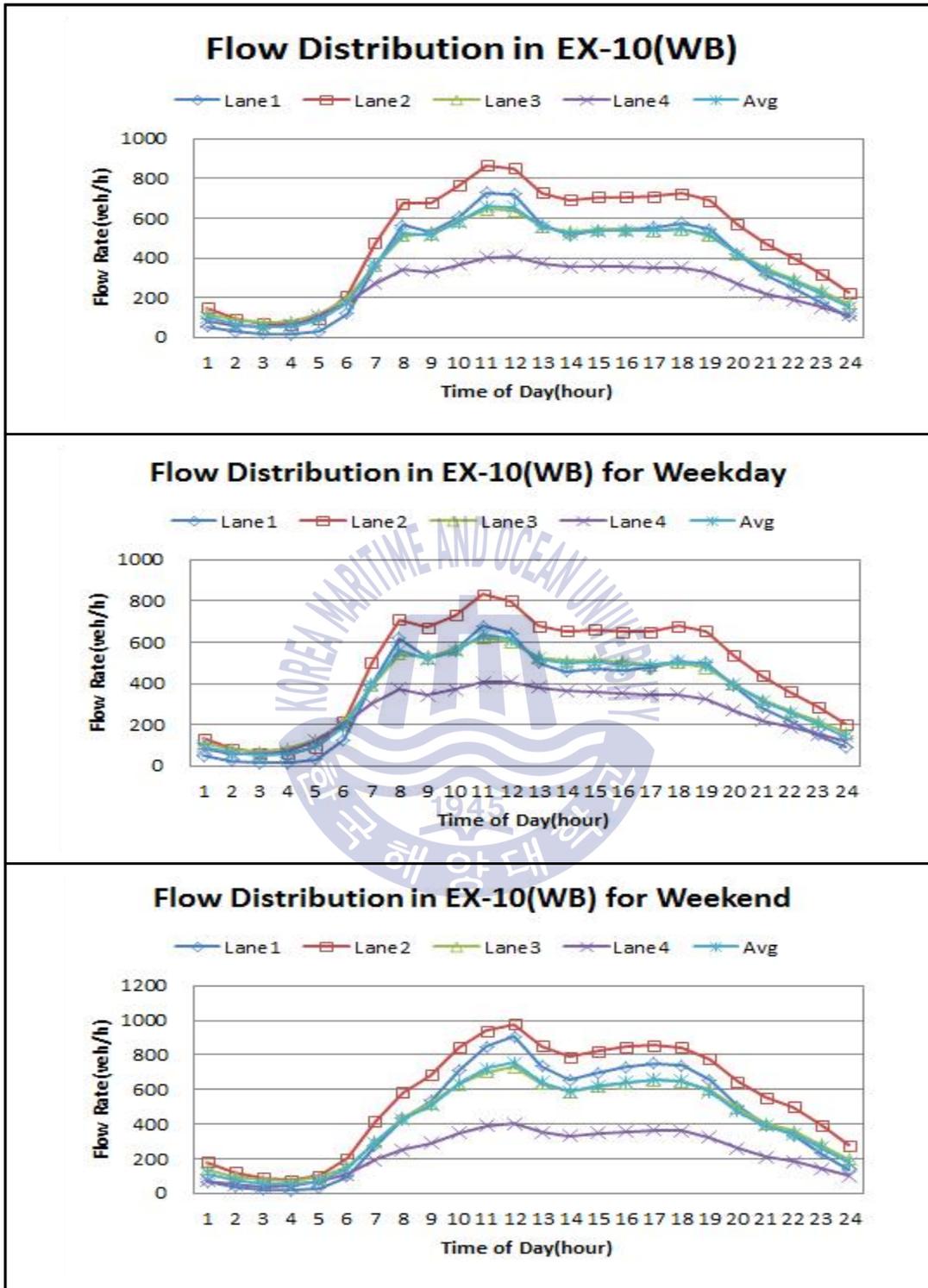


Figure 3.9 Flow distribution in EX-10(WB)

결과적으로 고속도로 EX-1과 고속도로 EX-10에서는 방향별 요일별 시간별 그리고 차로별 통행량 집중에서 뚜렷한 차이가 확인되었다. 특히, 고속도로 EX-1의 북쪽방향에서는 오후에 통행량이 집중하면서 주중과 주말에 서로 다른 첨두 통행특성을 보였으나 남쪽방향에서는 오후에 통행량이 집중하면서 주중과 주말에 관계없이 첨두 통행특성을 보였다. 반면, 고속도로 EX-10의 동쪽방향에서는 주중과 주말에 관계없이 오후에 통행량이 집중하면서 첨두 통행특성을 보였고 서쪽방향에서는 주중과 주말에 관계없이 오전에 통행량이 집중하면서 첨두 통행특성을 보였다. 그러므로 고속도로의 효율성을 극대화시키기 위해서는 고속도로의 방향별 요일별 시간별 그리고 차로별 실시간의 통행량 집중정도에 기초하여 첨단 여행자 정보체계(advanced traveler information systems, ATIS)와 첨단 여행자 관리체계(advanced traveler management systems, ATMS)를 포함한 고속도로 교통관리체계(expressway traffic management system, ETMS)를 구축할 필요가 있다고 생각하였다.



3.2.2 속도 분석

속도(speed)란 단위시간동안에 차량이 주행한 거리를 의미하고, 단위는 kilometers per hour(km/h)로 표현되며, 자료의 상호 비교를 위해서 1시간 단위의 공간평균속도로 전환하여 분석에 사용하였다(May, 1990; Garber and Hoel, 1988).

$$U = \frac{\sum_{i=1}^n N_i}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{N_i}{u_i}\right)} \quad (3.2)$$

여기서,

- U : space mean speed(km/h)
- N_i : no. of vehicles observed at station i (veh)
- n : no. of stations within segment
- u_i : spot mean speed observed at station i (km/h)

연구대상 고속도로의 공간평균속도특성을 비교한 결과, 아래의 Figures 3.10~3.13에서 보는 바와 같이 요일별 시간별 그리고 차로별 특성에서 상당한 차이를 확인할 수 있었다.

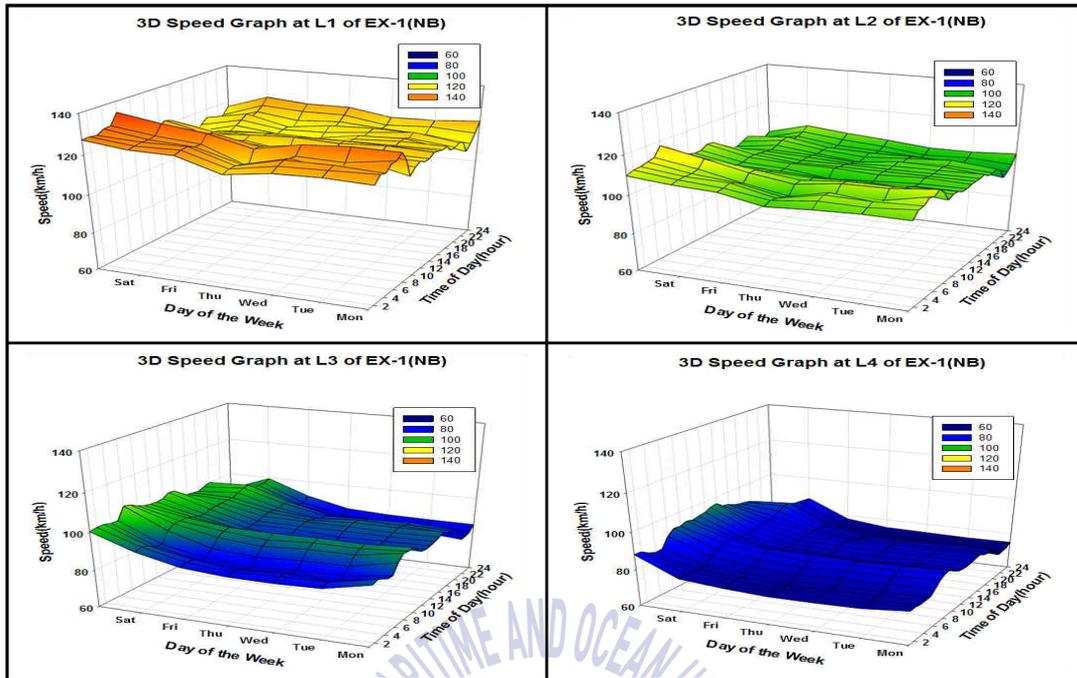


Figure 3.10 3D Speed graph by lane in EX-1(NB)

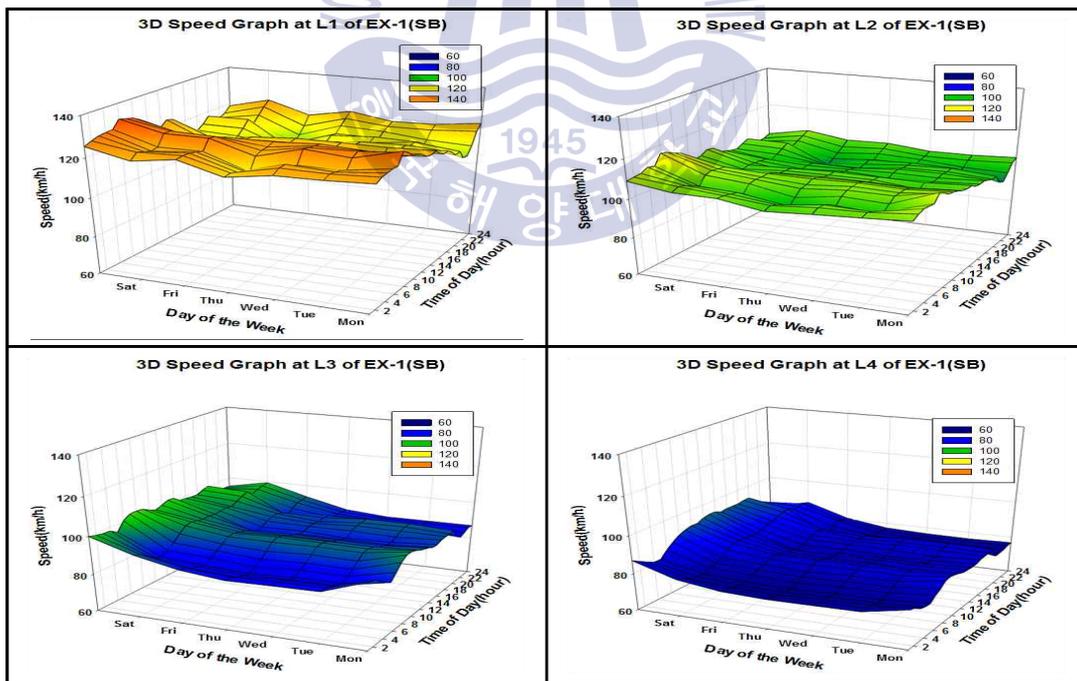


Figure 3.11 3D Speed graph by lane in EX-1(SB)

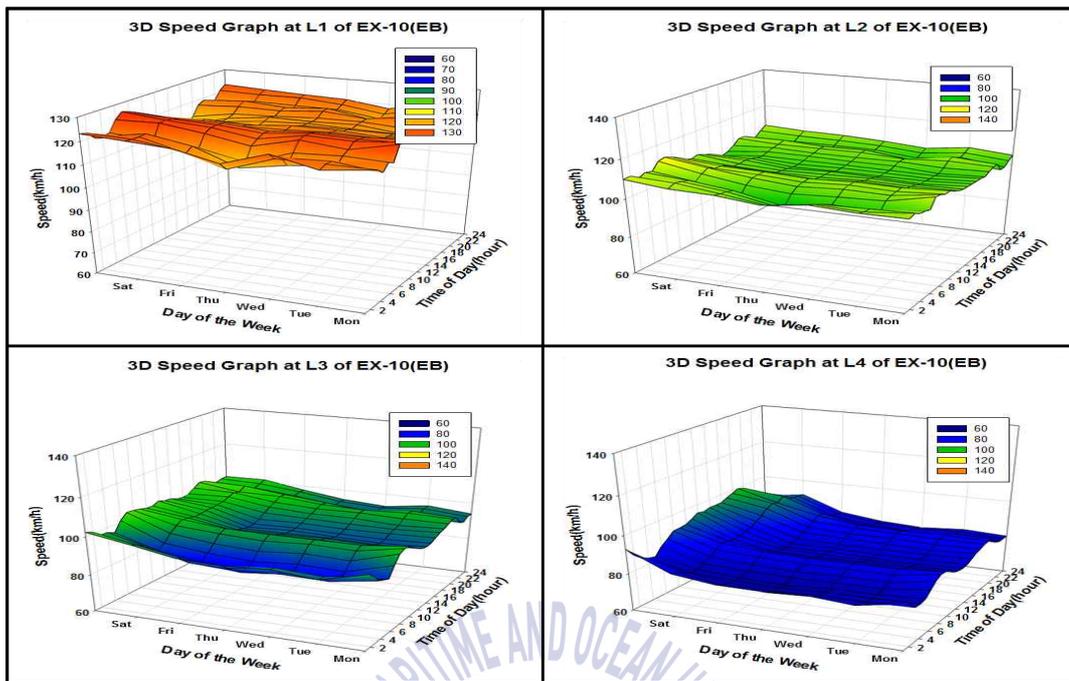


Figure 3.12 3D Speed graph by lane in EX-10(EB)

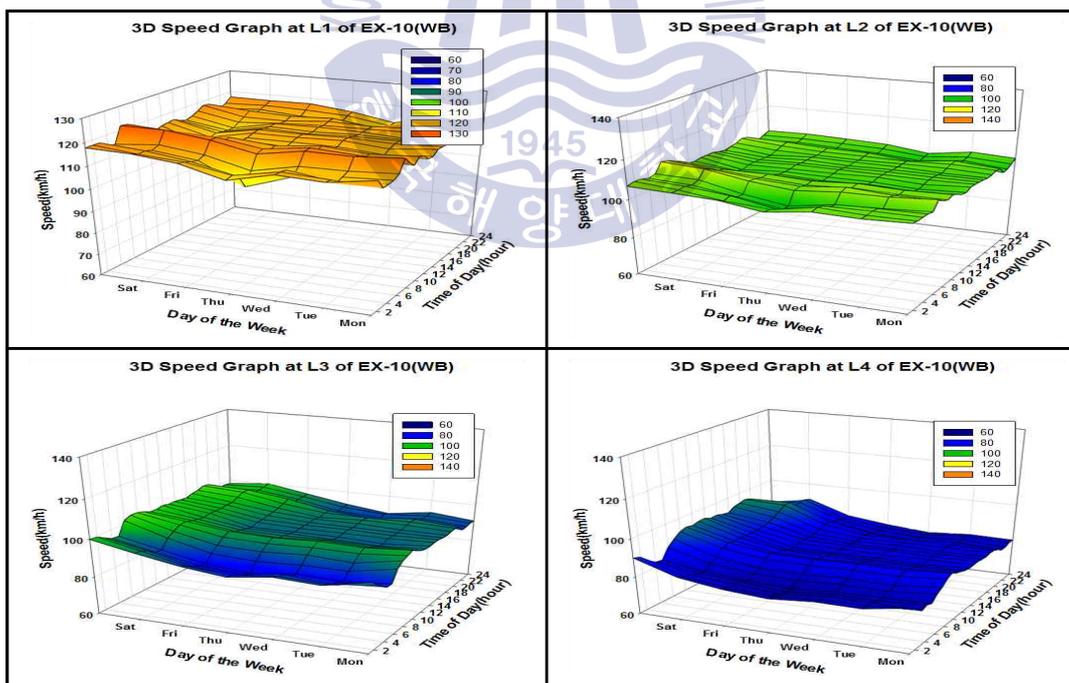


Figure 3.13 3D Speed graph by lane in EX-10(WB)

우선적으로 고속도로 EX-1의 북쪽방향에서는 오후에 통행량이 집중하면서 최대 속도가 106km/h로 평균속도 100km/h에 비해 약 6%정도 높게 나타났는데, 차로별 속도편차에서 추월차로인 1차로는 4.1km/h, 소형차로인 2차로는 2.8km/h, 중형차로인 3차로는 2.7km/h 그리고 대형차로인 4차로는 6.9km/h로 3차로에서 가장 작은 속도편차를 보였다. 특히, 95% 신뢰수준의 방향별 평균속도에 대한 차로별 평균속도의 F-test에서 1차로는 0.587, 2차로는 0.179, 3차로는 0.148 그리고 4차로는 0.111로 모두 수락영역에 포함되는 것으로 나타났고, 주중에 차로별 평균속도의 F-test에서 1차로는 0.409, 2차로는 0.012, 3차로는 0.135 그리고 4차로는 0.022로 1차로와 3차로는 수락영역에 포함되는 것으로 나타났으며, 주말에 차로별 평균속도의 F-test에서 1차로는 0.000, 2차로는 0.131, 3차로는 0.199, 4차로는 0.392로 2차로, 3차로와 4차로는 수락영역에 포함되는 것으로 나타났다(참조 Tables 3.12~3.13과 Figure 3.14).

반면 고속도로 EX-1의 남쪽방향에서는 오후에 통행량이 집중하면서 최대 속도가 104km/h로 평균속도 99km/h에 비해 약 5%정도 높게 나타났는데, 차로별 속도편차에서 추월차로인 1차로는 5.0km/h, 소형차로인 2차로는 2.5km/h, 중형차로인 3차로는 2.0km/h 그리고 대형차로인 4차로는 2.1km/h로 3차로에서 가장 작은 속도편차를 보였다. 특히, 95% 신뢰수준의 방향별 평균속도에 대한 차로별 평균속도의 F-test에서 1차로는 0.049, 2차로는 0.179, 3차로는 0.019 그리고 4차로는 0.042로 2차로는 수락영역에 포함되는 것으로 나타났고, 주중에 차로별 평균속도의 F-test에서 1차로는 0.217, 2차로는 0.040, 3차로는 0.008 그리고 4차로는 0.000로 1차로는 수락영역에 포함되는 것으로 나타났으며, 주말에 차로별 평균속도의 F-test에서 1차로는 0.000, 2차로는 0.273, 3차로는 0.356 그리고 4차로는 0.041로 2차로와 3차로는 수락영역에 포함되는 것으로 나타났다(참조 Tables 3.14~3.15와 Figure 3.15).

Table 3.12 Speed analysis in EX-1(NB)(km/h, %)

Direction	Statistics	Week		Weekday		Weekend	
		Flow	Shift	Flow	Shift	Flow	Shift
EX-1 (NB)	Max	106	+6	104	+6	110	+5
	Min	92	-7	89	-9	100	-4
	Avg	100	-	98	-	105	-
	SD	3.7	-	4.3	-	2.7	-
	Var	13.6	-	18.3	-	7.2	-

Table 3.13 Speed analysis by lane in EX-1(NB)(km/h)

Direction	Statistics	1st Lane	2nd Lane	3rd Lane	4th Lane
Week	Max	129	111	97	85
	Min	113	100	87	77
	Avg	119	104	92	81
	SD	4.1	2.8	2.7	6.9
	F-test	0.587	0.179	0.148	0.111
Weekday	Max	127	109	95	83
	Min	113	99	85	74
	Avg	119	104	90	78
	SD	3.6	2.5	3.1	2.6
	F-test	0.409	0.012	0.135	0.022
Weekend	Max	133	116	101	91
	Min	112	102	95	81
	Avg	120	107	98	87
	SD	6.0	3.7	2.1	3.2
	F-test	0.000	0.131	0.199	0.392

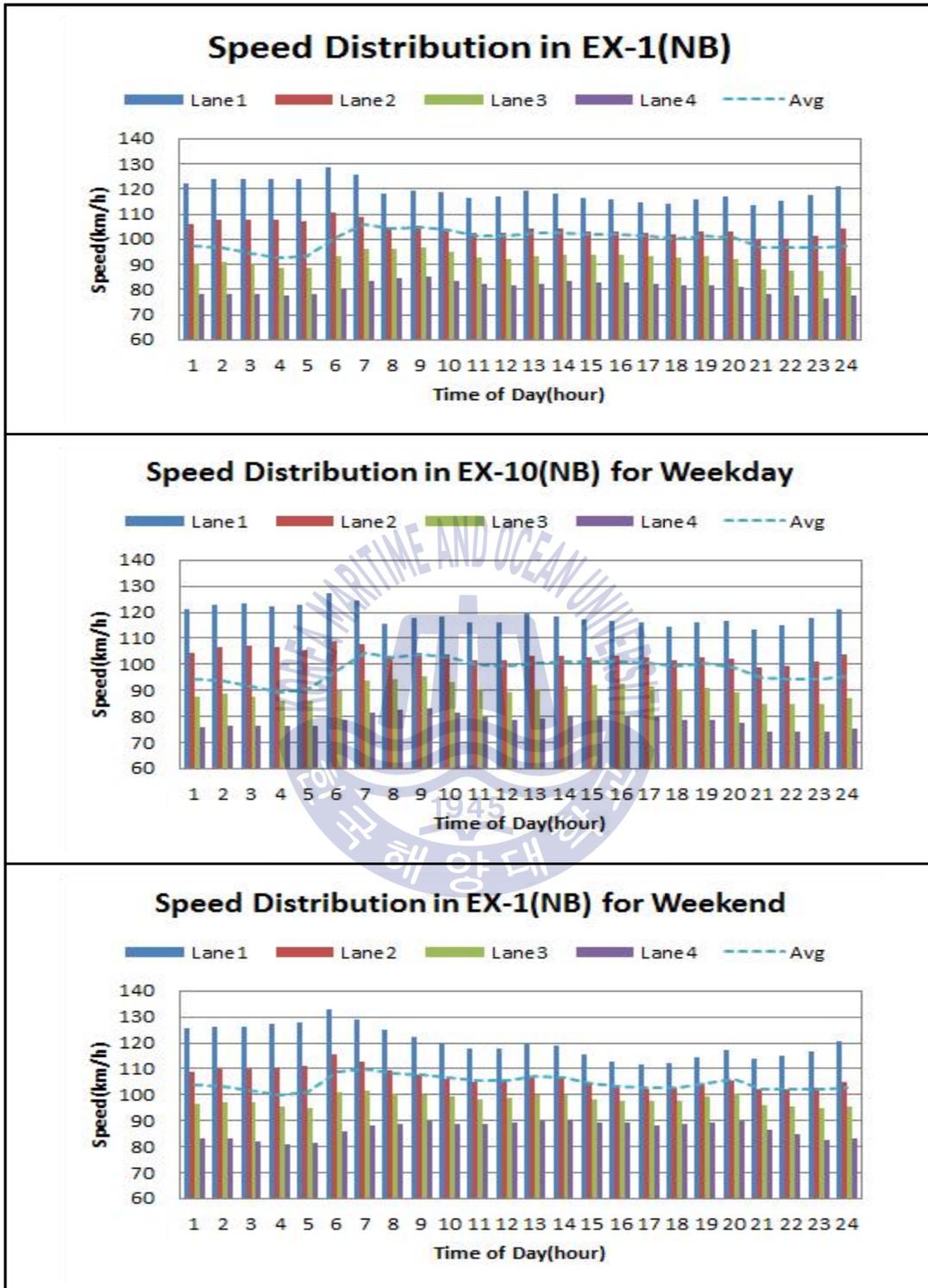


Figure 3.14 Speed distribution in EX-1(NB)

Table 3.14 Speed analysis in EX-1(SB)(km/h, %)

Direction	Statistics	Week		Weekday		Weekend	
		Flow	Shift	Flow	Shift	Flow	Shift
EX-1 (SB)	Max	104	+5	102	+5	107	+3
	Min	90	-9	88	-10	96	-7
	Avg	99	-	97	-	103	-
	SD	3.3	-	3.8	-	2.4	-
	Var	10.8	-	14.2	-	5.6	-

Table 3.15 Speed analysis by lane in EX-1(SB)(km/h)

Direction	Statistics	1st Lane	2nd Lane	3rd Lane	4th Lane
Week	Max	127	107	94	83
	Min	111	99	86	76
	Avg	119	104	91	80
	SD	5.0	2.5	2.0	2.1
	F-test	0.049	0.179	0.019	0.042
Weekday	Max	126	106	93	81
	Min	110	98	84	75
	Avg	118	103	89	78
	SD	4.9	2.4	2.1	1.7
	F-test	0.217	0.040	0.008	0.000
Weekend	Max	130	111	99	91
	Min	111	101	91	78
	Avg	120	106	96	86
	SD	5.7	3.0	1.9	3.7
	F-test	0.000	0.273	0.356	0.041

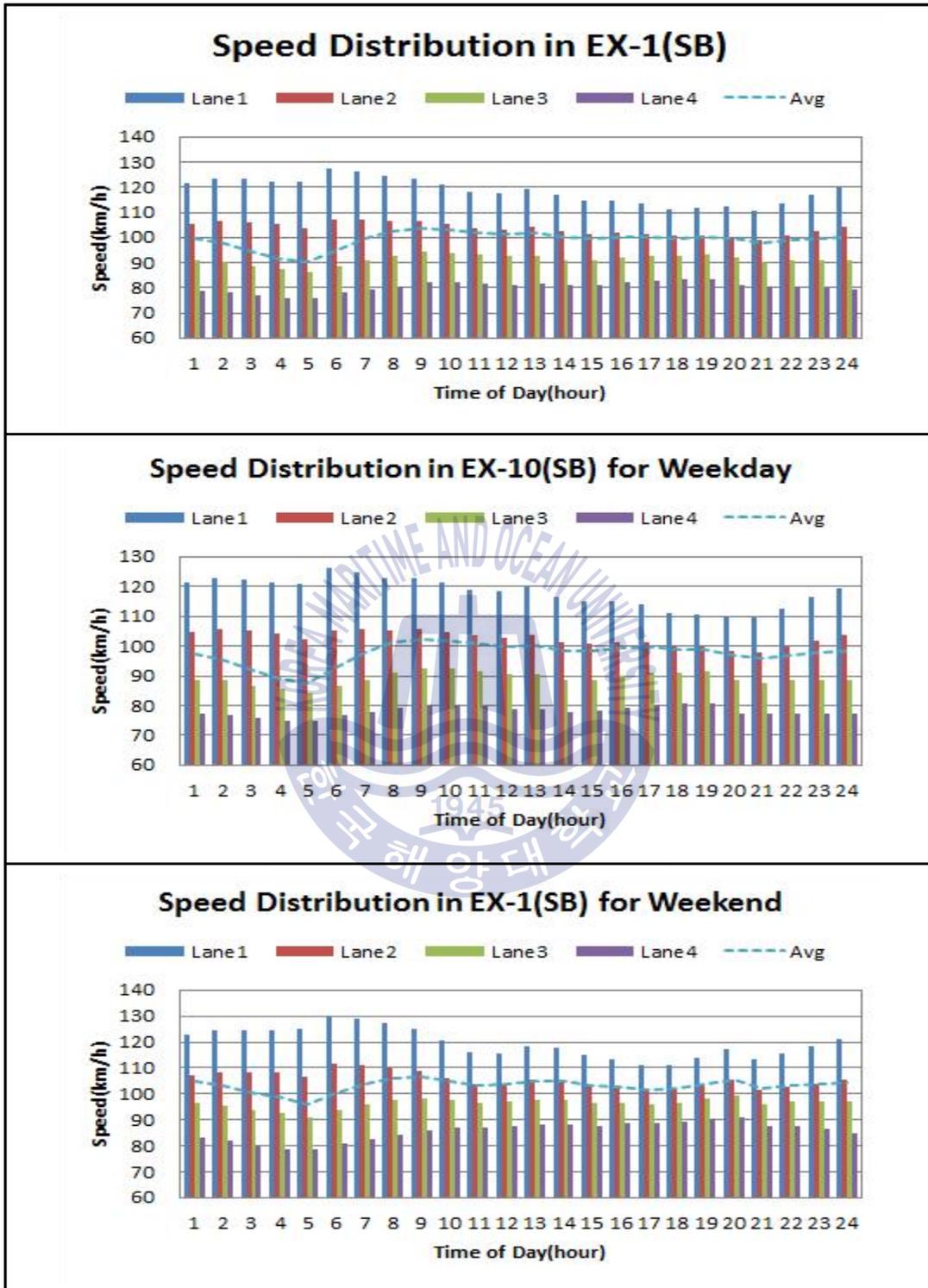


Figure 3.15 Speed distribution in EX-1(SB)

다음으로 고속도로 EX-10의 동쪽방향에서는 오후에 통행량이 집중하면서 최대 속도가 105km/h로 평균속도 100km/h에 비해 약 5%정도 높게 나타났는데, 차로별 속도편차에서 추월차로인 1차로는 2.5km/h, 소형차로인 2차로는 1.7km/h, 중형차로인 3차로는 2.8km/h 그리고 대형차로인 4차로는 3.0km/h로 2차로에서 가장 작은 속도편차를 보였다. 특히, 95% 신뢰수준의 방향별 평균속도에 대한 차로별 평균속도의 F-test에서 1차로는 0.078, 2차로는 0.000, 3차로는 0.188 그리고 4차로는 0.296로 1차로, 3차로와 4차로는 수락영역에 포함되는 것으로 나타났고, 주중에 차로별 평균속도의 F-test에서 1차로는 0.012, 2차로는 0.000, 3차로는 0.140 그리고 4차로는 0.014로 3차로는 수락영역에 포함되는 것으로 나타났으며, 주말에 차로별 평균속도의 F-test에서 1차로는 0.416, 2차로는 0.168, 3차로는 0.429 그리고 4차로는 0.020으로 1차로, 2차로와 3차로는 수락영역에 포함되는 것으로 나타났다(참조 Tables 3.16~3.17과 Figure 3.16).

반면 고속도로 EX-10의 서쪽방향에서는 오전에 통행량이 집중하면서 최대 속도가 103km/h로 평균속도 100km/h에 비해 약 4%정도 높게 나타났는데, 차로별 속도편차에서 추월차로인 1차로는 1.8km/h, 소형차로인 2차로는 1.4km/h, 중형차로인 3차로는 2.5km/h 그리고 대형차로인 4차로는 2.4km/h로 2차로에서 가장 작은 속도편차를 보였다. 특히, 95% 신뢰수준의 방향별 평균속도에 대한 차로별 평균속도의 F-test에서 1차로는 0.007, 2차로는 0.000, 3차로는 0.228 그리고 4차로는 0.163으로 3차로와 4차로는 수락영역에 포함되는 것으로 나타났고, 주중에 차로별 평균속도의 F-test에서 1차로는 0.003, 2차로는 0.000, 3차로는 0.123 그리고 4차로는 0.008로 3차로는 수락영역에 포함되는 것으로 나타났으며, 주말에 차로별 평균속도의 F-test에서 1차로는 0.688, 2차로는 0.354, 3차로는 0.918 그리고 4차로는 0.040로 1차로, 2차로와 3차로는 수락영역에 포함되는 것으로 나타났다(참조 Tables 3.18~3.19과 Figure 3.17).

Table 3.16 Speed analysis in EX-10(EB)(km/h, %)

Direction	Statistics	Week		Weekday		Weekend	
		Flow	Shift	Flow	Shift	Flow	Shift
EX-10 (EB)	Max	105	+5	104	+5	108	+4
	Min	90	-10	88	-11	95	-8
	Avg	100	-	99	-	104	-
	SD	3.7	-	4.1	-	2.9	-
	Var	13.8	-	16.7	-	8.5	-

Table 3.17 Speed analysis by lane in EX-10(EB)(km/h)

Direction	Statistics	1st Lane	2nd Lane	3rd Lane	4th Lane
Week	Max	122	107	99	89
	Min	113	101	88	78
	Avg	117	104	95	84
	SD	2.5	1.7	2.8	3.0
	F-test	0.078	0.000	0.188	0.296
Weekday	Max	121	106	98	86
	Min	112	100	87	77
	Avg	116	104	93	81
	SD	2.4	1.6	3.0	2.4
	F-test	0.012	0.000	0.140	0.014
Weekend	Max	123	110	103	97
	Min	111	102	92	80
	Avg	117	106	99	89
	SD	3.5	2.2	2.5	4.8
	F-test	0.416	0.168	0.429	0.020

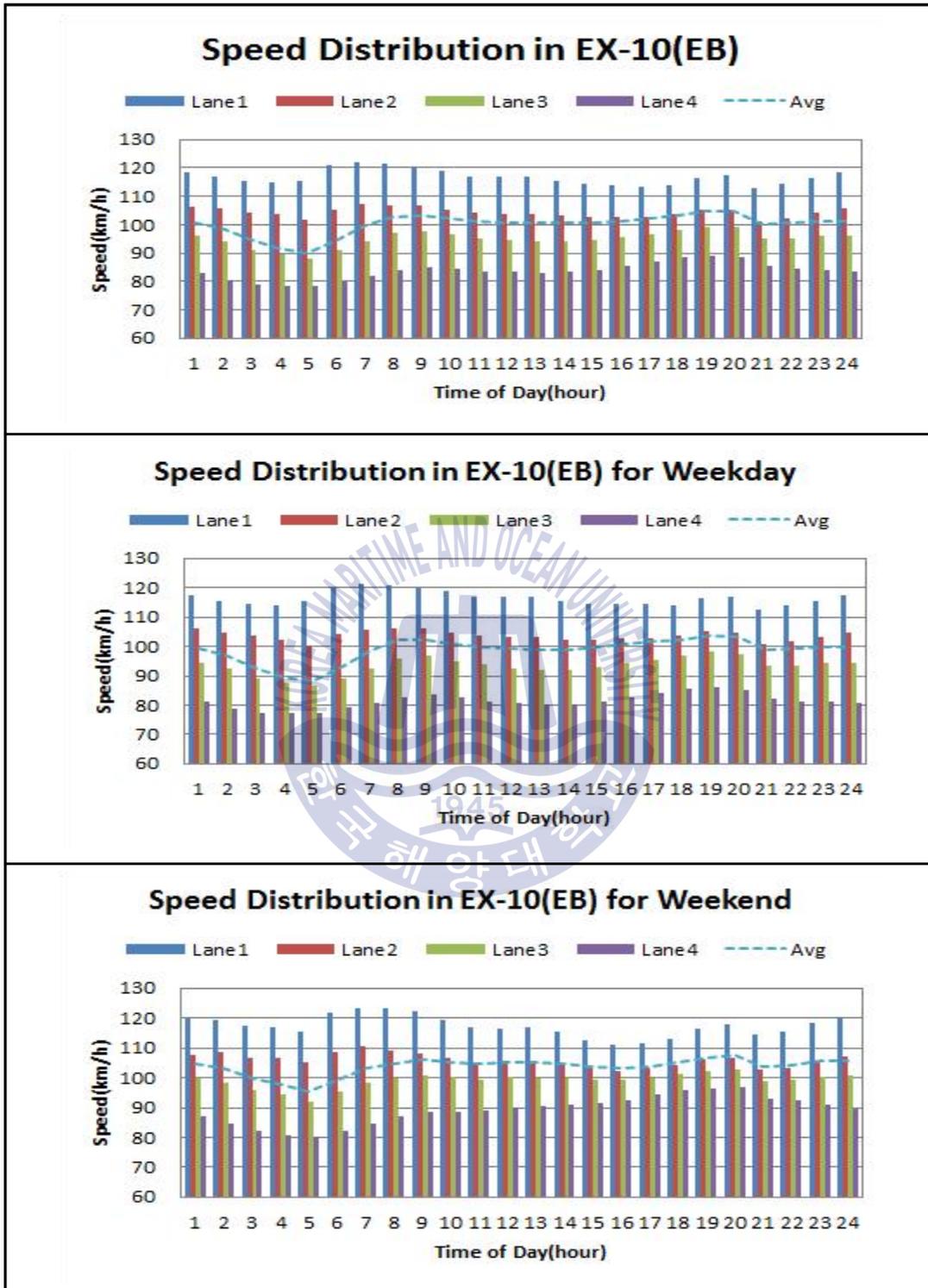


Figure 3.16 Speed distribution in EX-10(EB)

Table 3.18 Speed analysis in EX-10(WB)(km/h, %)

Direction	Statistics	Week		Weekday		Weekend	
		Flow	Shift	Flow	Shift	Flow	Shift
EX-10 (WB)	Max	103	+4	103	+5	106	+3
	Min	91	-8	89	-9	97	-6
	Avg	99	-	98	-	103	-
	SD	3.3	-	3.7	-	2.4	-
	Var	10.7	-	13.5	-	5.8	-

Table 3.19 Speed analysis by lane in EX-10(WB)(km/h)

Direction	Statistics	1st Lane	2nd Lane	3rd Lane	4th Lane
Week	Max	118	107	98	87
	Min	111	101	88	78
	Avg	114	104	94	83
	SD	1.8	1.4	2.5	2.4
	F-test	0.007	0.000	0.228	0.163
Weekday	Max	117	106	97	85
	Min	109	101	86	77
	Avg	114	103	92	81
	SD	1.9	1.4	2.6	2.1
	F-test	0.003	0.000	0.123	0.008
Weekend	Max	122	111	102	95
	Min	112	103	93	80
	Avg	115	105	99	89
	SD	2.6	2.0	2.4	3.7
	F-test	0.688	0.354	0.918	0.040

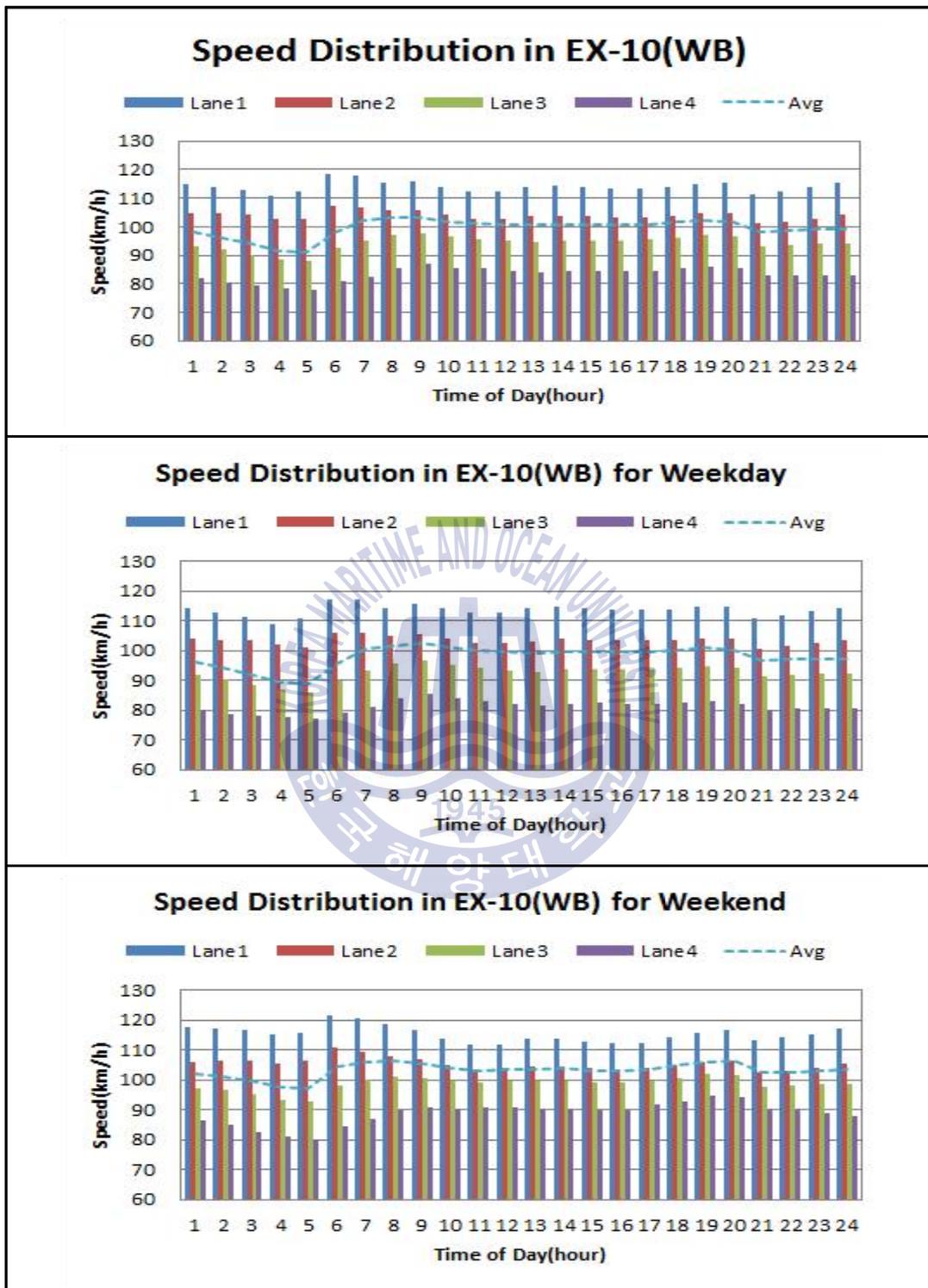


Figure 3.17 Speed distribution in EX-10(WB)

결과적으로 고속도로 EX-1과 고속도로 EX-10에서는 요일별 시간별 차로별 속도특성에서 뚜렷한 차이가 확인되었고, 고속도로의 차로별 속도편차에서도 뚜렷한 차이가 확인되었다. 특히, 고속도로 EX-1의 북쪽방향에서는 방향별 평균속도에 대한 차로별 평균속도의 F-test에서 모든 차로가 수락영역에 포함되었으나 남쪽방향에서는 2차로가 수락영역에 포함되었다. 반면 고속도로 EX-10의 동쪽방향에서는 방향별 평균속도에 대한 차로별 평균속도의 F-test에서 1차로, 3차로 및 4차로가 수락영역에 포함되었으나 서쪽방향에서는 3차로와 4차로가 수락영역에 포함되었다. 그러므로 고속도로의 방향별 요일별 시간별 차로별 속도특성에 기초한 고속도로교통관리시스템(ETMS)을 구축하여 고속도로의 효율성 증대를 위한 개선방안을 강구할 필요가 있다고 생각하였다.



3.2.3 밀도 분석

밀도(density)란 단위구간 내 통행하고 있는 차량대수이고, 단위는 vehicles per kilometer(veh/km)로 표현되며, 속도와 차두시간의 관계로부터 밀도를 산정하여 특성분석에 사용하였다(TRB, 1975).

$$d_h = \frac{\bar{t}_h \times U}{3.6} \quad (3.3)$$

$$K = \frac{1,000}{d_h} \quad (3.4)$$

여기서,

\bar{t}_h : mean time headway(sec)

d_h : mean distance headway(m)

U : space mean speed(km/h)

K : density(veh/km)

연구대상 고속도로의 밀도특성을 비교한 결과, 아래의 Figures 3.18~3.21에서 보는 바와 같이 방향별 요일별 시간별 그리고 차로별 특성에서 뚜렷한 차이를 확인할 수 있었다.

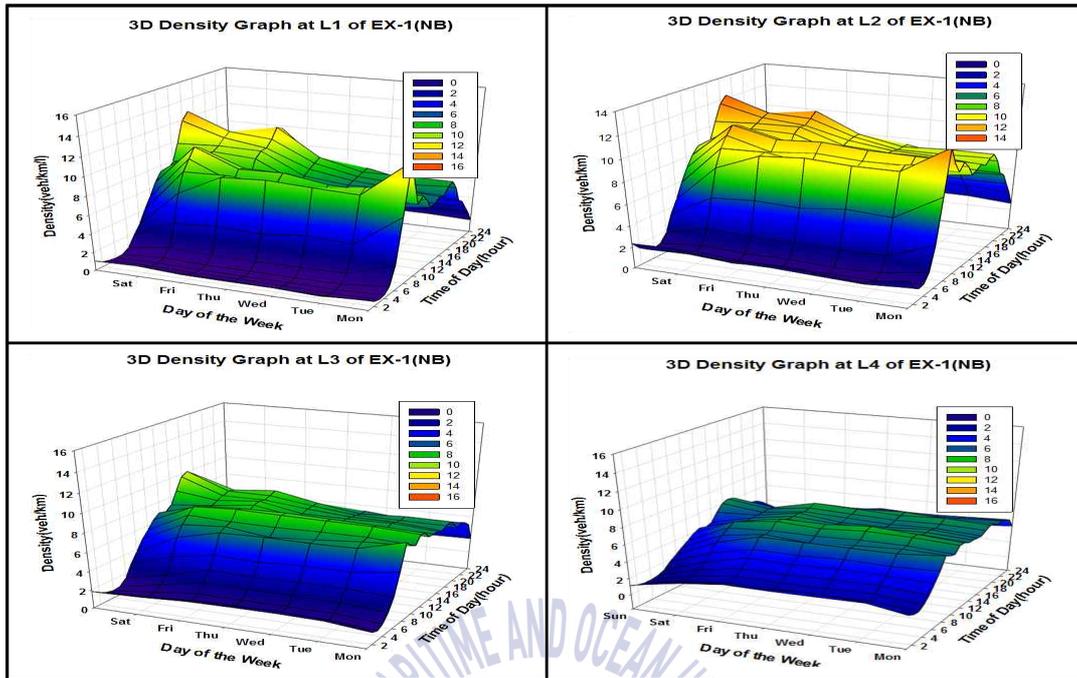


Figure 3.18 3D Density graph by lane in EX-1(NB)

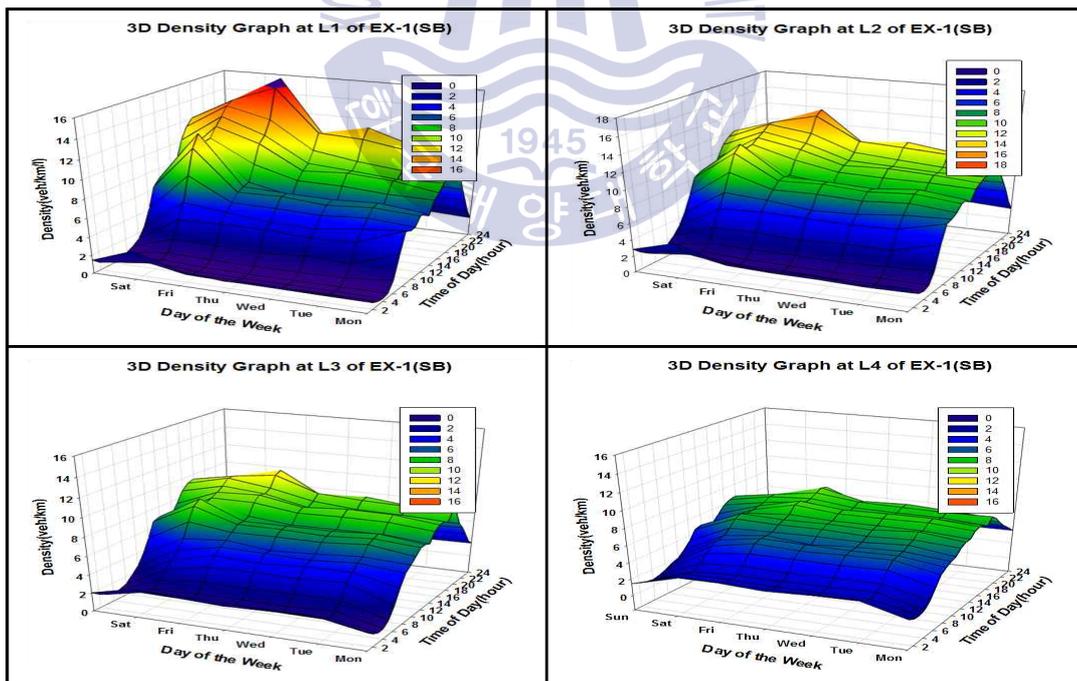


Figure 3.19 3D Density graph by lane in EX-1(SB)

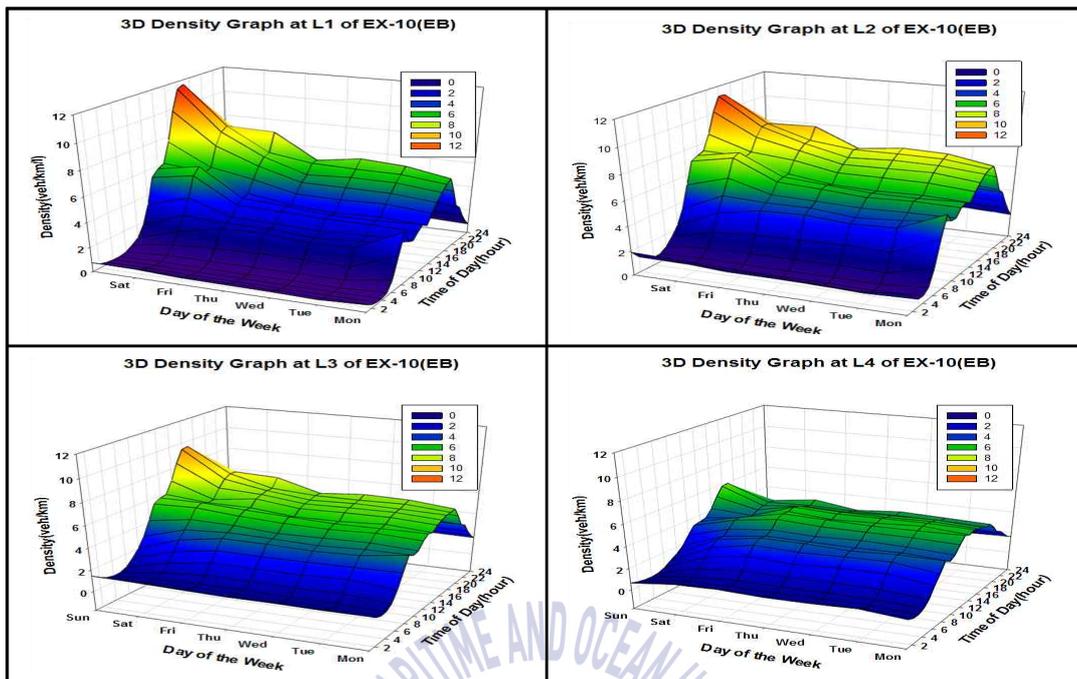


Figure 3.20 3D Density graph by lane in EX-10(EB)

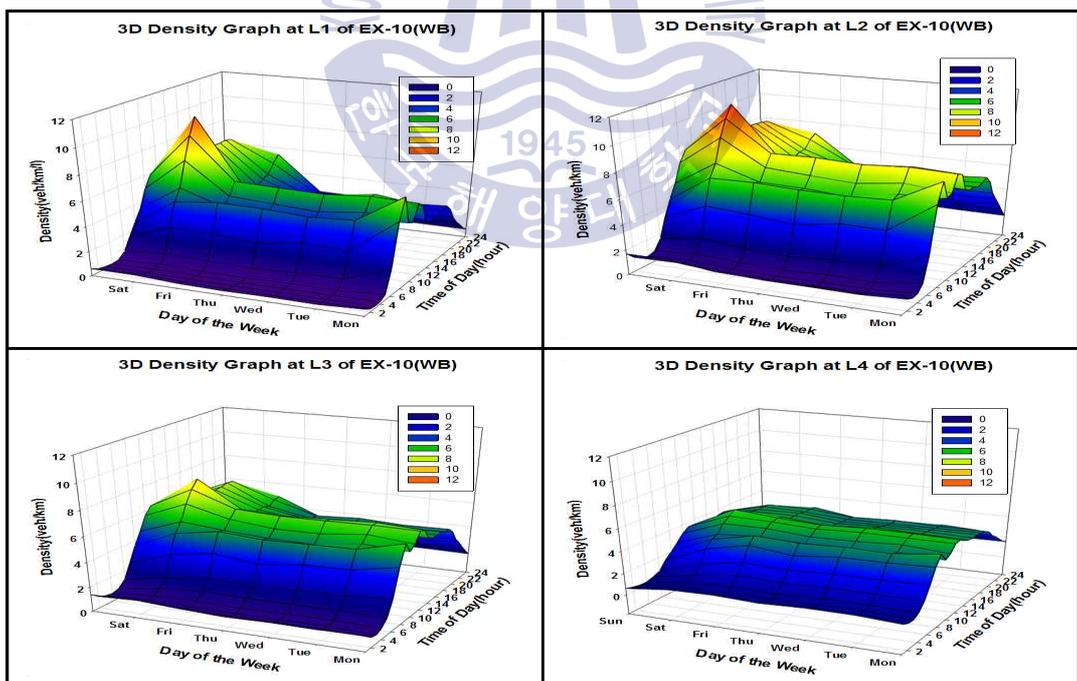


Figure 3.21 3D Density graph by lane in EX-10(WB)

우선적으로 고속도로 EX-1의 북쪽방향에서는 오후에 통행량이 집중하면서 첨두시간대 밀도가 8.3대로 평균밀도 5.4대에 비해 약 53% 높게 나타났는데, 차로별 첨두시간대 밀도에서 추월차로인 1차로에서는 9.3대, 소형차로인 2차로에서는 10.0대, 중형차로인 3차로에서는 8.0대 그리고 대형차로인 4차로에서는 6.1대로 차로별로 뚜렷한 차이를 보이면서 시간대별 평균밀도분포는 3차로의 평균밀도 분포와 거의 일치하는 것으로 나타났다. 특히, 주중에는 오전에 통행량이 집중하면서 차로별 첨두시간대 밀도에서 1차로에서는 9.6대, 2차로에서는 10.0대, 3차로에서는 8.3대 그리고 4차로에서는 6.4대로 나타났다. 반면 주말에는 오후에 통행량이 집중하면서 차로별 첨두시간대 밀도에서 1차로에서는 11.8대, 2차로에서는 11.6대, 3차로에서는 9.2대 그리고 4차로에서는 6.0대로 다소 높게 나타나면서 주중 오전보다는 주말 오후에 밀도가 증가하는 것으로 나타났다(참조 Tables 3.20~3.21과 Figure 3.22).

반면 고속도로 EX-1의 남쪽방향에서는 오후에 통행량이 집중하면서 첨두시간대 밀도가 10.3대로 평균밀도 5.7대에 비해 약 81% 높게 나타났는데, 차로별 첨두시간대 밀도에서 추월차로인 1차로에서는 12.5대, 소형차로인 2차로에서는 12.5대, 중형차로인 3차로에서는 9.5대 그리고 대형차로인 4차로에서는 7.2대로 차로별로 뚜렷한 차이를 보이면서 시간대별 평균밀도분포는 3차로의 평균밀도분포와 거의 일치하는 것으로 나타났다. 특히, 주중에는 오후에 통행량이 집중하면서 차로별 첨두시간대 밀도에서 1차로에서는 12.3대, 2차로에서는 12.4대, 3차로에서는 9.4대 그리고 4차로에서는 7.4대로 나타났다. 그리고 주말에는 오후에 통행량이 집중하면서 차로별 첨두시간대 밀도에서 1차로에서는 13.2대, 2차로에서는 12.7대, 3차로에서는 9.9대 그리고 4차로에서는 6.9대로 다소 높게 나타나면서 주중 오후보다는 주말 오후에 밀도가 증가하는 것으로 나타났다(참조 Tables 3.22~3.23과 Figure 3.23).

Table 3.20 Density analysis in EX-1(NB)(veh/km, %)

Direction	Statistics	Week		Weekday		Weekend	
		Flow	Shift	Flow	Shift	Flow	Shift
EX-1 (NB)	Max	8.3	+53	8.2	+51	9.6	+80
	Min	1.1	-80	1.1	-79	0.9	-84
	Avg	5.4	-	5.4	-	5.3	-
	AM-Peak	-	-	8.0	+48	-	-
	PM-Peak	8.3	+53	-	-	9.6	+80

Table 3.21 Density analysis by lane in EX-1(NB)(veh/km)

Direction	Statistics	1st Lane	2nd Lane	3rd Lane	4th Lane
Week	Max	9.3	10.0	8.0	6.1
	Min	0.3	1.0	1.3	1.7
	Avg	5.4	6.5	5.5	4.5
	AM-Peak	-	-	-	-
	PM-Peak	9.3	10.0	8.0	6.1
Weekday	Max	9.6	10.1	8.3	6.4
	Min	0.3	0.9	1.4	2.0
	Avg	5.2	6.5	5.6	4.9
	AM-Peak	9.6	10.0	8.3	6.4
	PM-Peak	-	-	-	-
Weekend	Max	11.8	11.6	9.2	6.0
	Min	0.3	1.0	1.0	1.1
	Avg	5.9	6.8	5.3	3.6
	AM-Peak	-	-	-	-
	PM-Peak	11.8	11.6	9.2	6.0

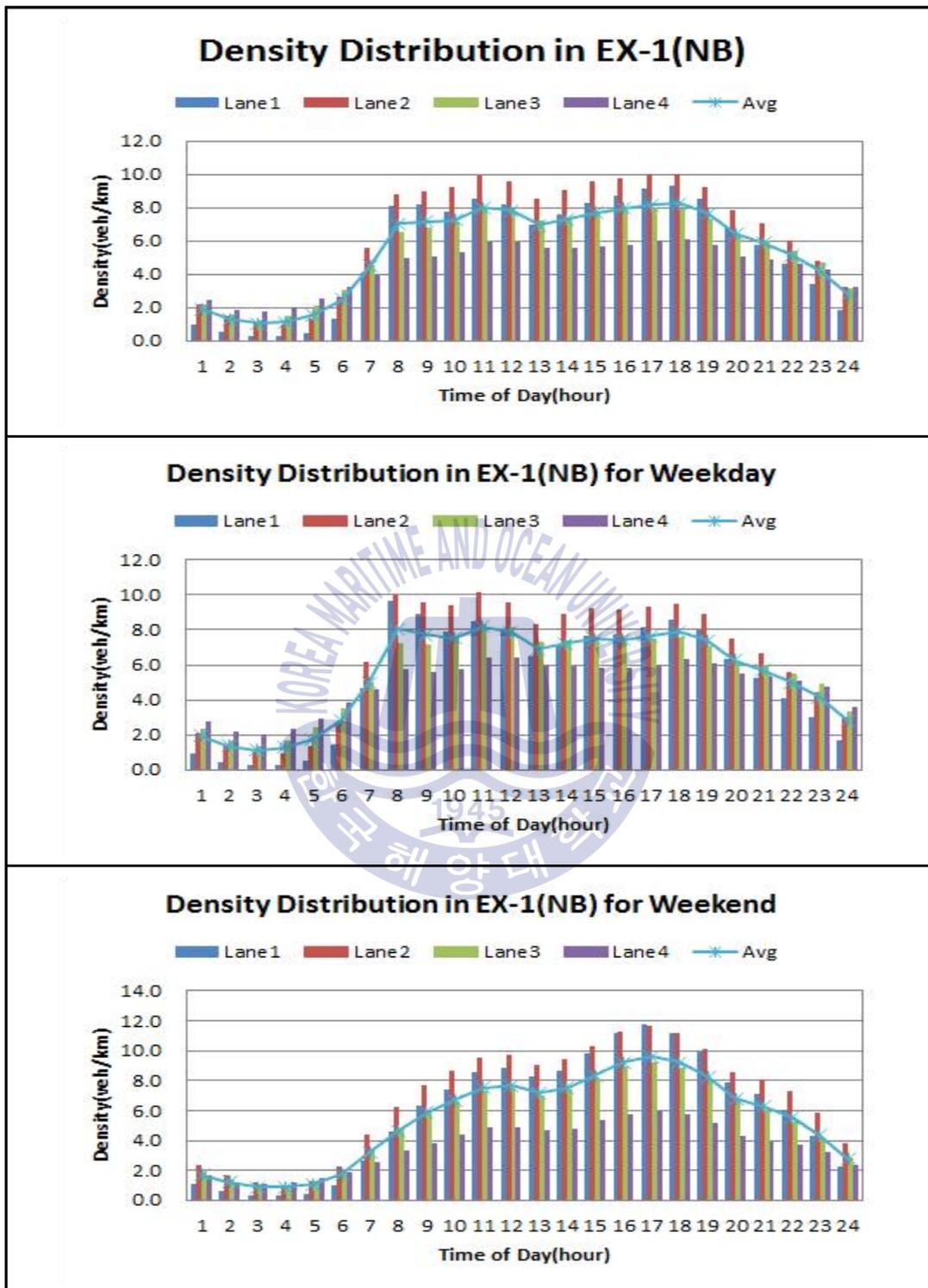


Figure 3.22 Density distribution in EX-1(NB)

Table 3.22 Density analysis in EX-1(SB)(veh/km, %)

Direction	Statistics	Week		Weekday		Weekend	
		Flow	Shift	Flow	Shift	Flow	Shift
EX-1 (SB)	Max	10.3	+81	10.2	+77	10.6	+91
	Min	1.3	-76	1.4	-76	1.2	-79
	Avg	5.7	-	5.8	-	5.6	-
	AM-Peak	-	-	-	-	-	-
	PM-Peak	10.3	+81	10.2	+77	10.6	+91

Table 3.23 Density analysis by lane in EX-1(SB)(veh/km)

Direction	Statistics	1st Lane	2nd Lane	3rd Lane	4th Lane
Week	Max	12.5	12.5	9.5	7.2
	Min	0.4	1.2	1.7	2.1
	Avg	5.6	6.9	5.8	4.9
	AM-Peak	-	-	-	-
	PM-Peak	12.5	12.5	9.5	7.2
Weekday	Max	12.3	12.4	9.4	7.4
	Min	0.3	1.1	1.8	2.2
	Avg	5.5	6.8	5.9	5.2
	AM-Peak	-	-	-	-
	PM-Peak	12.3	12.4	9.4	7.4
Weekend	Max	13.2	12.7	9.9	6.9
	Min	0.5	1.4	1.4	1.6
	Avg	6.0	7.0	5.5	4.1
	AM-Peak	-	-	-	-
	PM-Peak	13.2	12.7	9.9	6.9

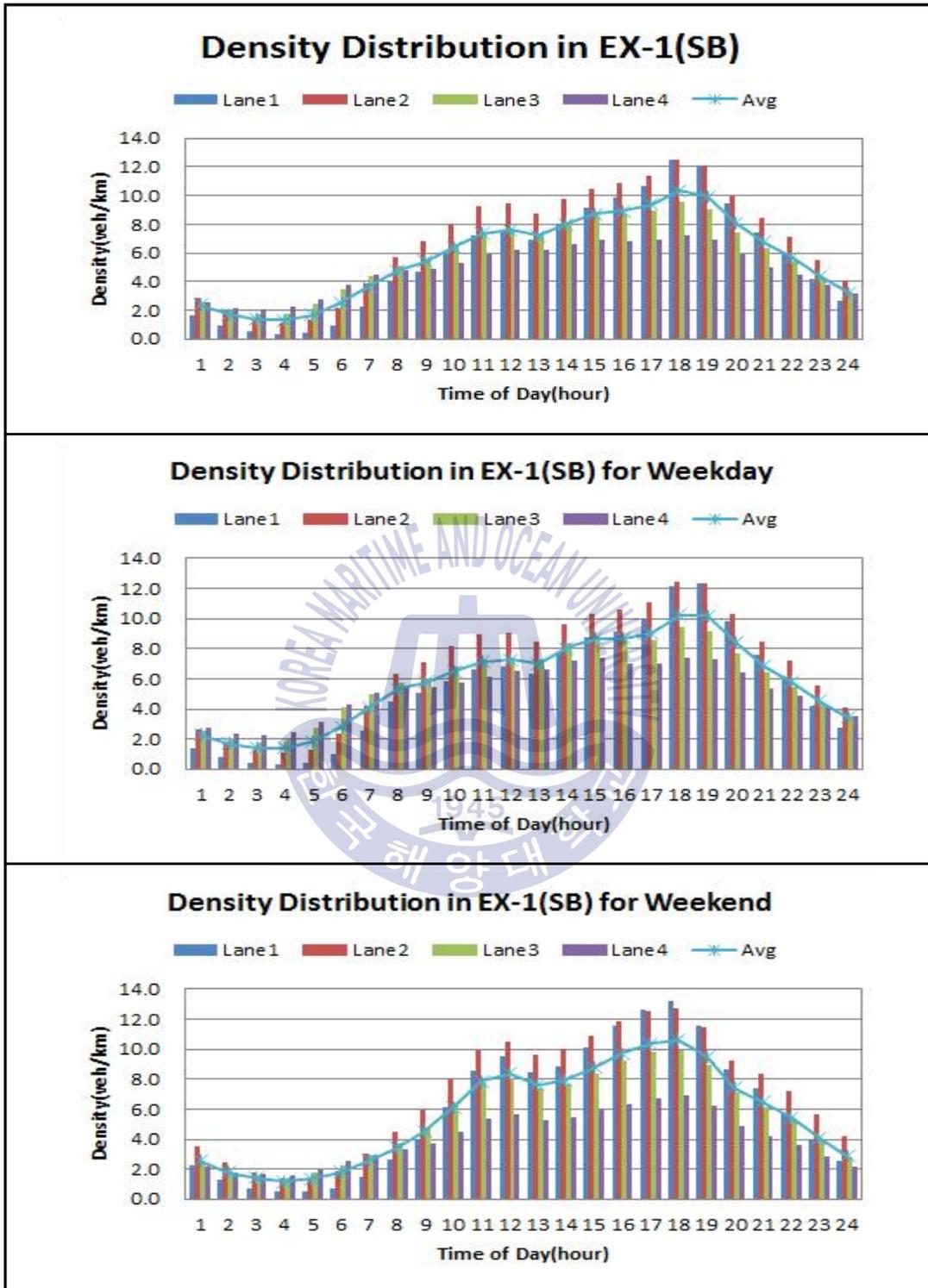


Figure 3.23 Density distribution in EX-1(SB)

다음으로 고속도로 EX-10의 동쪽방향에서는 오후에 통행량이 집중하면서 첨두시간대 밀도가 6.8대로 평균밀도 3.6대에 비해 약 87% 높게 나타났는데, 차로별 첨두시간대 밀도에서 추월차로인 1차로에서는 7.5대, 소형차로인 2차로에서는 8.4대, 중형차로인 3차로에서는 6.8대 그리고 대형차로인 4차로에서는 4.8대로 차로별로 뚜렷한 차이를 보이면서 시간대별 평균밀도분포는 3차로의 평균밀도 분포와 거의 일치하는 것으로 나타났다. 특히, 주중에는 오전에 통행량이 집중하면서 차로별 첨두시간대 밀도에서 1차로에서는 6.8대, 2차로에서는 8.0대, 3차로에서는 6.4대 그리고 4차로에서는 5.0대로 나타났다. 그러나 주말에는 오후에 통행량이 집중하면서 차로별 첨두시간대 밀도에서 1차로에서는 10.1대, 2차로에서는 10.2대, 3차로에서는 8.4대 그리고 4차로에서는 5.2대로 상당히 높게 나타나면서 주중 오후보다는 주말 오후에 밀도가 증가하는 것으로 나타났다(참조 Table 3.24~3.25와 Figure 3.24).

반면 고속도로 EX-10의 서쪽방향에서는 오전에 통행량이 집중하면서 첨두시간대 밀도가 6.5대로 평균밀도 3.7대에 비해 약 75% 높게 나타났는데, 차로별 첨두시간대 밀도에서 추월차로인 1차로에서는 6.5대, 소형차로인 2차로에서는 8.4대, 중형차로인 3차로에서는 6.8대 그리고 대형차로인 4차로에서는 4.8대로 차로별로 뚜렷한 차이를 보이면서 시간대별 평균밀도분포는 3차로의 평균밀도분포와 거의 일치하는 것으로 나타났다. 특히, 주중에는 오전에 통행량이 집중하면서 차로별 첨두시간대 밀도에서 1차로에서는 6.0대, 2차로에서는 8.1대, 3차로에서는 6.6대 그리고 4차로에서는 5.0대로 나타났다. 그러나 주말에는 오후에 통행량이 집중하면서 차로별 첨두시간대 밀도에서 1차로에서는 8.1대, 2차로에서는 9.4대, 3차로에서는 7.3대 그리고 4차로에서는 4.5대로 다소 높게 나타나면서 주중 오전보다는 주말 오후에 밀도가 증가하는 것으로 나타났다(참조 Tables 3.26~3.27과 Figure 3.25).

Table 3.24 Density analysis in EX-10(EB)(veh/km, %)

Direction	Statistics	Week		Weekday		Weekend	
		Flow	Shift	Flow	Shift	Flow	Shift
EX-10 (EB)	Max	6.8	+87	6.4	+81	8.5	+113
	Min	0.6	-85	0.6	-84	0.5	-88
	Avg	3.6	-	3.5	-	4.0	-
	AM-Peak	-	-	-	-	-	-
	PM-Peak	6.8	+87	6.4	+81	8.5	+113

Table 3.25 Density analysis by lane in EX-10(EB)(veh/km)

Direction	Statistics	1st Lane	2nd Lane	3rd Lane	4th Lane
Week	Max	7.5	8.4	6.8	4.8
	Min	0.1	0.6	0.8	0.7
	Avg	3.3	4.6	3.9	3.0
	AM-Peak	-	-	-	-
	PM-Peak	7.5	8.4	6.8	4.8
Weekday	Max	6.8	8.0	6.4	5.0
	Min	0.1	0.5	0.8	0.8
	Avg	2.9	4.4	3.7	3.2
	AM-Peak	-	-	-	-
	PM-Peak	6.8	8.0	6.4	5.0
Weekend	Max	10.1	10.2	8.4	5.2
	Min	0.1	0.6	0.7	0.5
	Avg	4.0	5.1	4.1	2.7
	AM-Peak	-	-	-	-
	PM-Peak	10.1	10.2	8.4	5.2

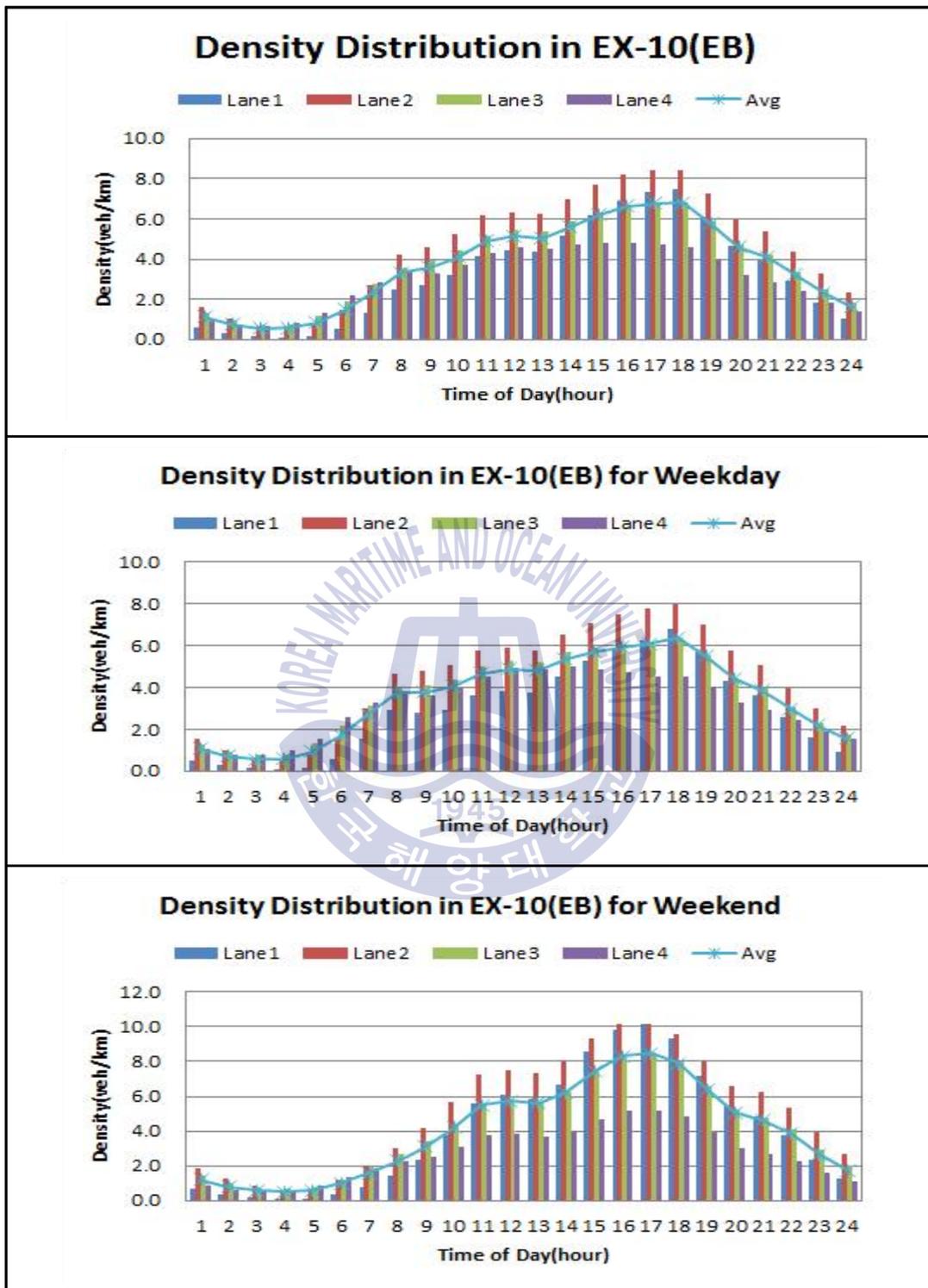


Figure 3.24 Density distribution in EX-10(EB)

Table 3.26 Density analysis in EX-10(veh/km, %)

Direction	Statistics	Week		Weekday		Weekend	
		Flow	Shift	Flow	Shift	Flow	Shift
EX-10 (WB)	Max	6.5	+75	6.3	+75	7.3	+84
	Min	0.6	-85	0.6	-85	0.5	-86
	Avg	3.7	-	3.6	-	4.0	-
	AM-Peak	6.5	+75	6.3	+75	7.3	+84
	PM-Peak	-	-	-	-	-	-

Table 3.27 Density analysis by lane in EX-10(WB)(veh/km)

Direction	Statistics	1st Lane	2nd Lane	3rd Lane	4th Lane
Week	Max	6.5	8.4	6.8	4.8
	Min	0.2	0.6	0.8	0.6
	Avg	3.2	4.8	4.0	3.0
	AM-Peak	6.5	8.4	6.8	4.8
	PM-Peak	-	-	-	-
Weekday	Max	6.0	8.1	6.6	5.0
	Min	0.1	0.6	0.8	0.7
	Avg	3.0	4.6	3.9	3.2
	AM-Peak	6.0	8.1	6.6	5.0
	PM-Peak	-	-	-	-
Weekend	Max	8.1	9.4	7.3	4.5
	Min	0.2	0.7	0.8	0.5
	Avg	3.9	5.3	4.2	2.6
	AM-Peak	8.1	9.4	7.3	4.5
	PM-Peak	-	-	-	-

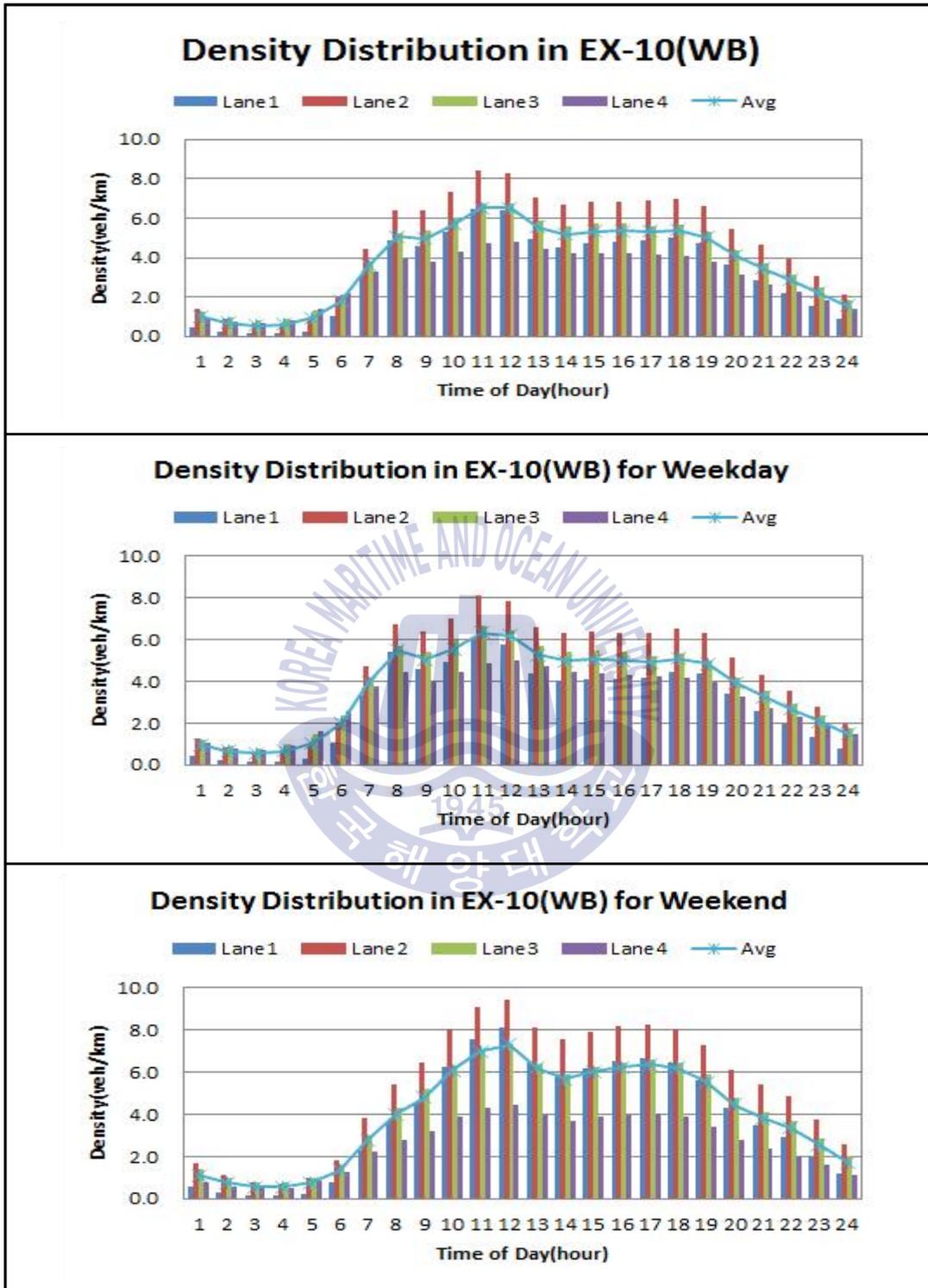


Figure 3.25 Density distribution in EX-10(WB)

결과적으로 고속도로 EX-1과 고속도로 EX-10에서는 방향별 요일별 시간별 그리고 차로별 통행량집중에서 뚜렷한 차이를 보이면서 시간대별 평균밀도분포는 3차로의 평균밀도분포와 거의 일치하는 것으로 나타났다. 특히, 고속도로 EX-1의 북쪽방향에서는 오후에 통행량이 집중하면서 주중과 주말에 서로 다른 첨두시간대 밀도증가를 보였으나 남쪽방향에서는 오후에 통행량이 집중하면서 주중과 주말에 관계없이 첨두시간대 밀도증가를 보였다. 반면, 고속도로 EX-10의 동쪽방향에서는 주중과 주말에 관계없이 오후에 통행량이 집중하면서 첨두시간대 밀도증가를 보였고 서쪽방향에서는 주중과 주말에 관계없이 오전에 통행량이 집중하면서 첨두시간대 밀도증가를 보였다. 그러므로 고속도로의 효율성을 극대화시키기 위해서는 고속도로의 방향별 요일별 시간별 그리고 차로별 실시간의 통행량 집중정도에 기초하여 첨단 여행자 정보체계(ATIS)와 첨단 여행자 관리체계(ATMS)를 포함한 고속도로 교통관리체계(ETMS)를 구축할 필요가 있다고 생각하였다.



3.2.4 통행시간 신뢰성 분석

통행시간 신뢰성(travel time reliability)이란 도로구간을 통행하는 차량들에 있어서 변함없는 지체를 반영하여 일관되게 예상되는 통행시간이다. 통행시간의 단위는 second(sec)로 표현되며, 95번째 백분위(95th percentile)속도를 고려한 추가통행 시간지수(buffer time index, BI) 또는 계획통행시간지수(planning time index, PI)로부터 추가통행시간이나 계획통행시간을 산정하여 통행시간 신뢰성분석에 사용하였다.

$$BI = \frac{\left(\frac{L}{U_{95}} - \frac{L}{U}\right)}{\frac{L}{U}} \times 100\% \text{ if } U > U_{95} \quad (3.5)$$

$$PI = \frac{\frac{L}{U_{95}}}{\frac{L}{U_i}} = \frac{T_{95}}{T_{sl}} \quad (3.6)$$

$$T_B = 3,600 \times \frac{BI}{100} \times \left(\frac{L}{U}\right) \quad (3.7)$$

$$U = \frac{\sum_{i=1}^n N_i}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{N_i}{u_i}\right)} \quad (3.8)$$

$$T_R = 3,600 \times \frac{PI}{100} \times \left(\frac{L}{U_i}\right) \quad (3.9)$$

여기서,

BI : buffer index

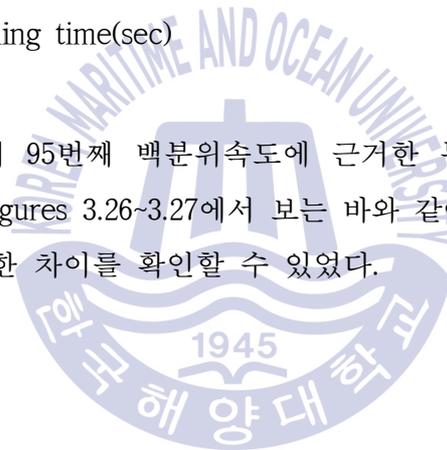
PI : planning time index

T_{95} : 95th percentile travel time(sec)

T_{sl} : travel time by regulatory speed of expressways(sec)

- U_i : regulatory speed of expressways(100km/h)
 T_B : additional travel time(sec)
 L : distance of segment(15km)
 U_{95} : 95th percentile speed in ascending order(km/h)
 U : space mean speed(km/h)
 N_i : no. of vehicles observed at station i (veh/h)
 n : no. of stations within segment
 u_i : spot mean speed observed at station i (km/h)
 T_R : planning time(sec)

연구대상 고속도로의 95번째 백분위속도에 근거한 통행시간 신뢰성 특성을 비교한 결과, 아래의 Figures 3.26~3.27에서 보는 바와 같이 방향별 요일별 그리고 시간별 특성에서 뚜렷한 차이를 확인할 수 있었다.



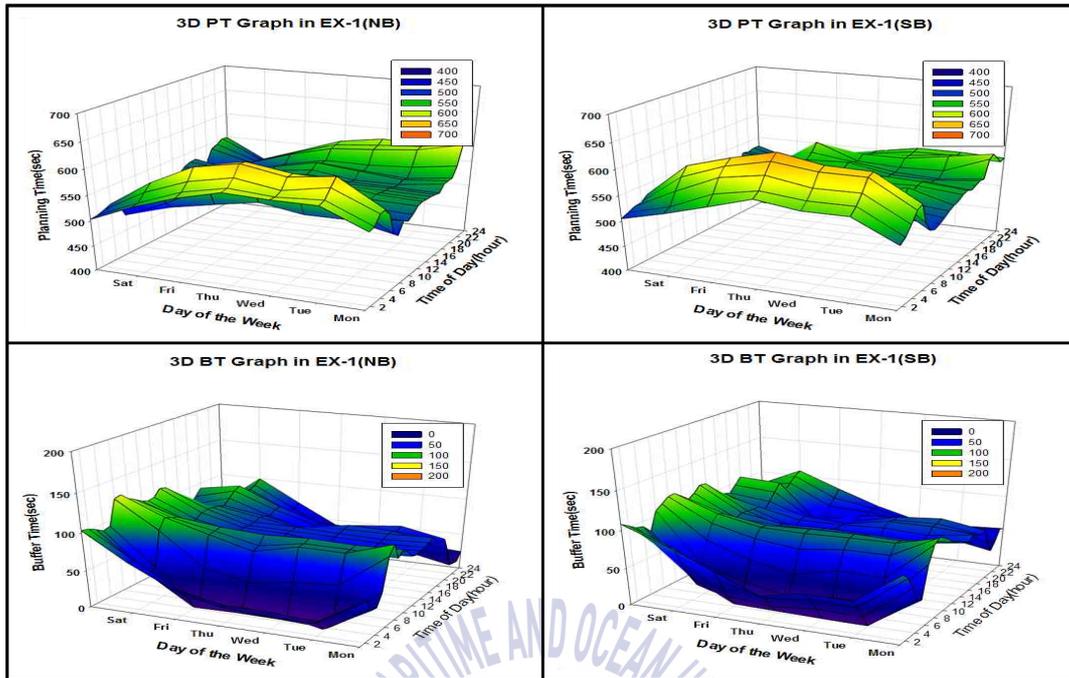


Figure 3.26 3D Travel time graph in EX-1

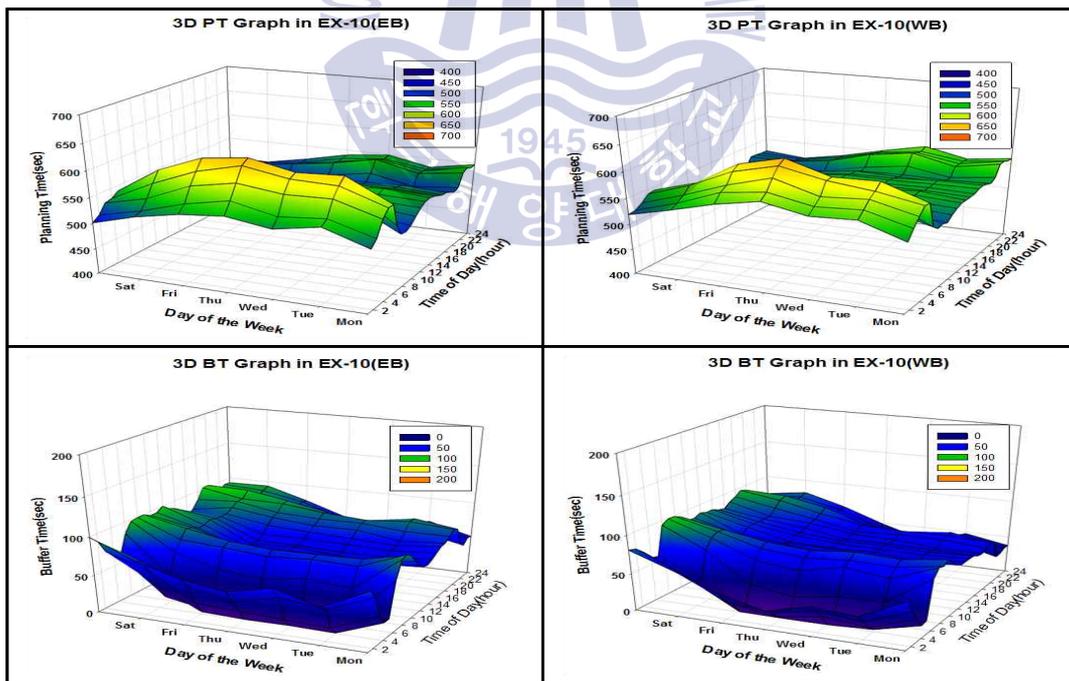


Figure 3.27 3D Travel time graph in EX-10

우선적으로 고속도로 EX-1의 북쪽방향에서는 통행시간 신뢰성기준에 의한 계획통행시간이 최대 587sec로 평균통행시간 542sec에 비해 약 8%정도 높게 나타났고 추가통행시간은 최대 96sec로 추가통행시간 평균 65sec에 비해 약 46%정도 높게 나타났다. 특히, 통행시간 신뢰성기준에 의한 계획통행시간이 주중에는 최대 605sec로 평균통행시간 541sec에 비해 약 10%정도 높게 나타났으나 주말에는 계획통행시간이 최대 541sec로 평균통행시간 517sec에 비해 약 5%정도 높게 나타났다. 반면, 통행시간 신뢰성기준에 의한 추가통행시간도 주중에는 최대 89sec로 평균통행시간 65sec에 비해 약 60%정도 높게 나타났으나 주말에는 추가통행시간이 최대 116sec로 평균통행시간 89sec에 비해 약 30%정도 높게 나타나면서 주중 오후나 주말 오전에 통행을 계획할 때 계획통행시간과 추가통행시간의 감소가 예상될 수 있음을 확인할 수 있었다(참조 Tables 3.28~3.29와 Figure 3.28).

반면 고속도로 EX-1의 남쪽방향에서는 통행시간 신뢰성기준에 의한 계획통행시간이 최대 601sec로 평균통행시간 545sec에 비해 약 10%정도 높게 나타났고 추가통행시간은 최대 95sec로 추가통행시간 평균 69sec에 비해 약 38%정도 높게 나타났다. 특히, 통행시간 신뢰성기준에 의한 계획통행시간이 주중에는 최대 616sec로 평균통행시간 554sec에 비해 약 11%정도 높게 나타났으나 주말에는 계획통행시간이 최대 563sec로 평균통행시간 523sec에 비해 약 8%정도 높게 나타났다(참조 Table 3.21). 반면, 통행시간 신뢰성기준에 의한 추가통행시간도 주중에는 최대 90sec로 평균통행시간 60sec에 비해 약 49%정도 높게 나타났으나 주말에는 추가통행시간이 최대 109sec로 평균통행시간 90sec에 비해 약 21%정도 높게 나타나면서 주중이나 주말 오전에 통행을 계획할 때 계획통행시간과 추가통행시간의 감소가 예상될 수 있음을 확인할 수 있었다(참조 Tables 3.28~3.29와 Figure 3.29).

Table 3.28 Planning time analysis in EX-1(sec, %)

Direction	Statistics	Week		Weekday		Weekend	
		Travel Time	Shift	Travel Time	Shift	Travel Time	Shift
EX-1 (NB)	Max	587	+8	605	+10	541	+5
	Min	510	-6	517	-6	490	-5
	Avg	542	-	552	-	517	-
	AM-Peak	-	-	522	-5	-	-
	PM-Peak	536	-1	-	-	526	+2
EX-1 (SB)	Max	601	+10	616	+11	563	+8
	Min	518	-5	524	-6	504	-4
	Avg	545	-	554	-	523	-
	AM-Peak	-	-	-	-	-	-
	PM-Peak	539	-1	544	-2	527	+1

Table 3.29 Buffer time analysis in EX-1(sec, %)

Direction	Statistics	Week		Weekday		Weekend	
		Travel Time	Shift	Travel Time	Shift	Travel Time	Shift
EX-1 (NB)	Max	96	+46	89	+60	116	+30
	Min	25	-62	9	-84	65	-28
	Avg	65	-	56	-	89	-
	AM-Peak	-	-	84	+51	-	-
	PM-Peak	71	+9	-	-	80	-10
EX-1 (SB)	Max	95	+38	90	+49	109	+21
	Min	20	-71	8	-87	50	-44
	Avg	69	-	60	-	90	-
	AM-Peak	-	-	-	-	-	-
	PM-Peak	74	+8	70	+16	86	-5

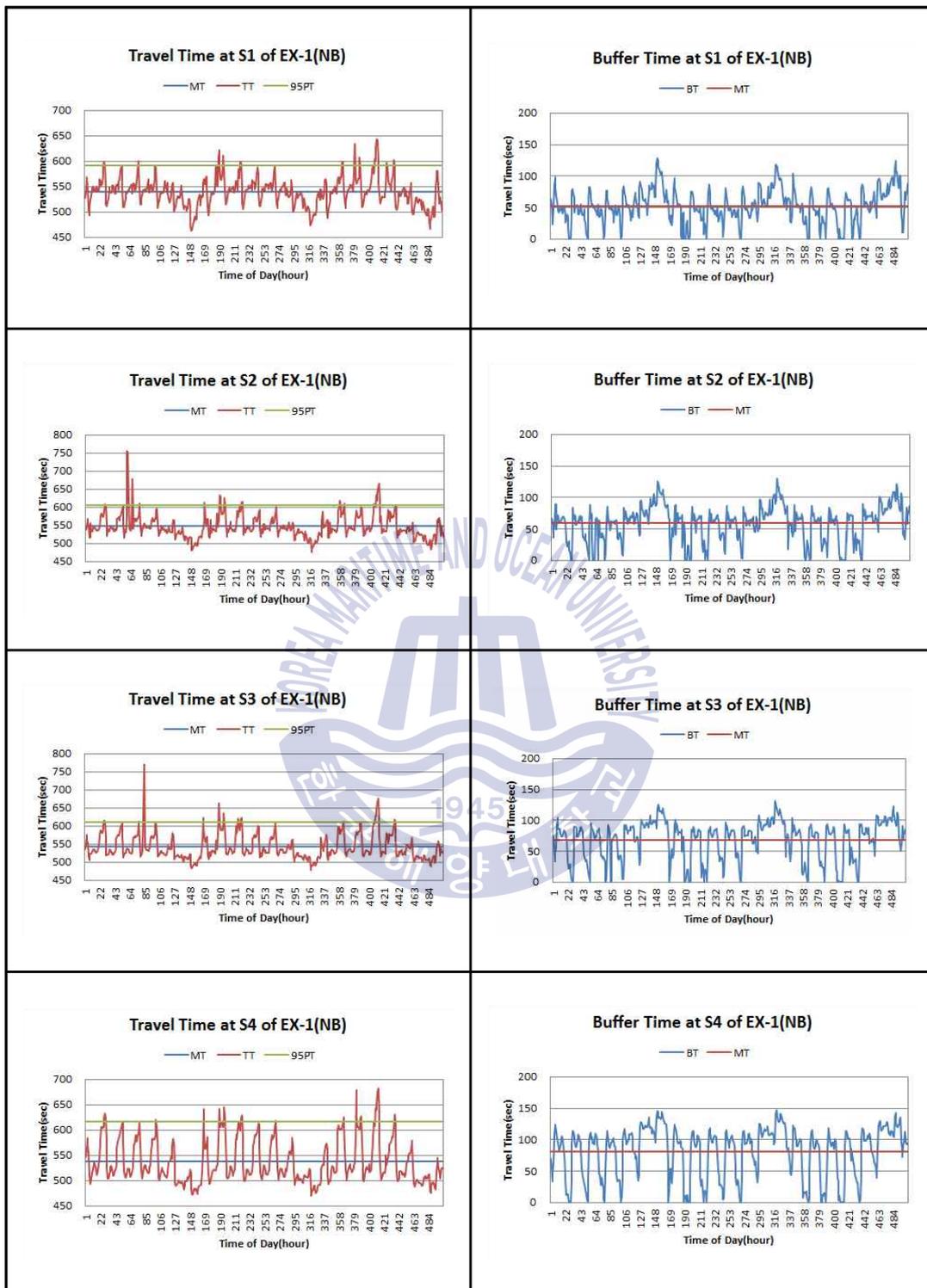


Figure 3.28 Travel time distribution in EX-1(NB)

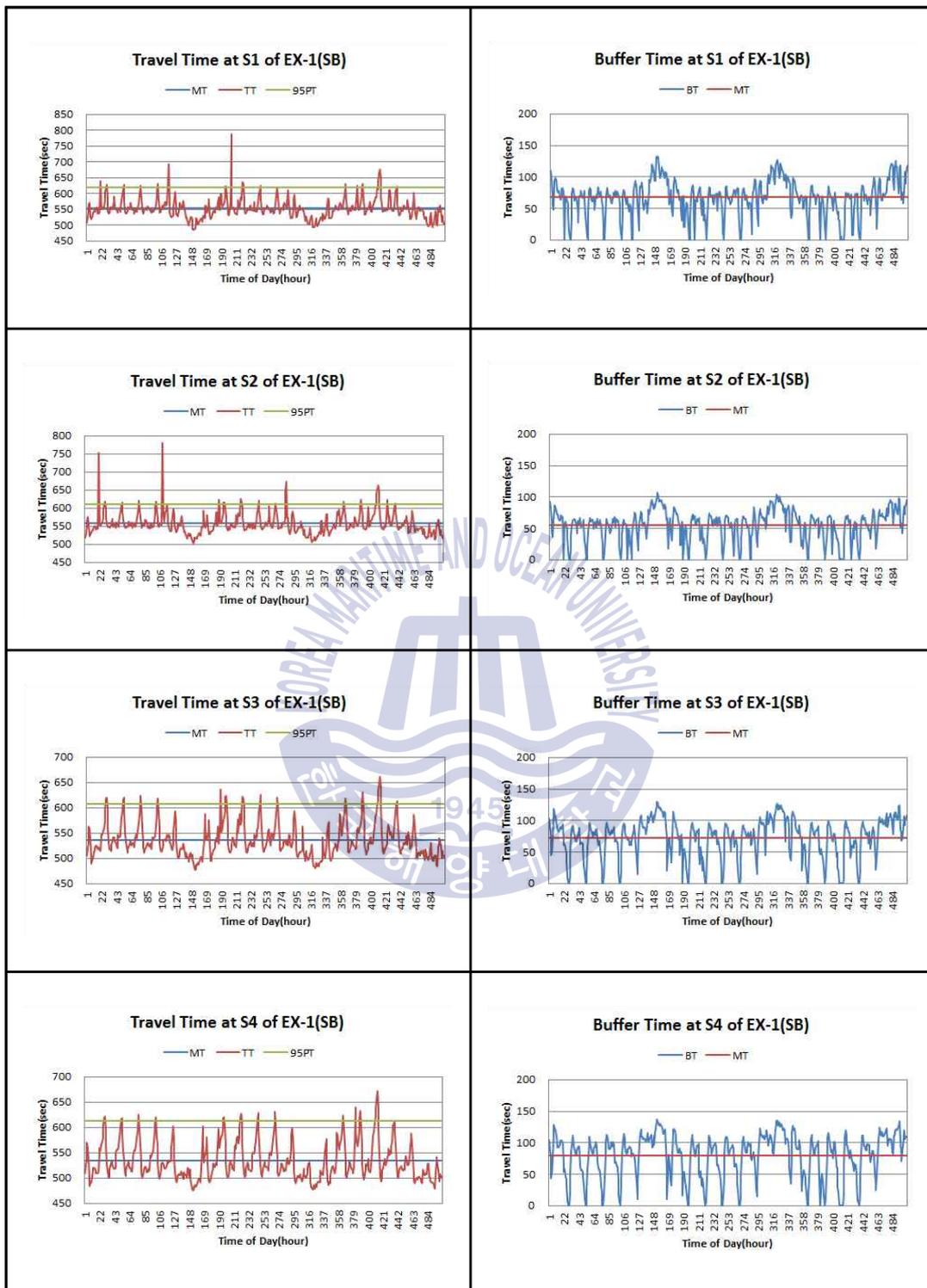


Figure 3.29 Travel time distribution in EX-1(SB)

다음으로 고속도로 EX-10의 동쪽방향에서는 통행시간 신뢰성기준에 의한 계획통행시간이 최대 599sec로 평균통행시간 537sec에 비해 약 11%정도 높게 나타났고 추가통행시간은 최대 88sec로 추가통행시간 평균 64sec에 비해 약 38%정도 높게 나타났다. 특히, 통행시간 신뢰성기준에 의한 계획통행시간이 주중에는 최대 612sec로 평균통행시간 544sec에 비해 약 12%정도 높게 나타났으나 주말에는 계획통행시간이 최대 565sec로 평균통행시간 518sec에 비해 약 9%정도 높게 나타났다. 반면, 통행시간 신뢰성기준에 의한 추가통행시간도 주중에는 최대 85sec로 평균통행시간 57sec에 비해 약 49%정도 높게 나타났으나 주말에는 추가통행시간이 최대 101sec로 평균통행시간 82sec에 비해 약 24%정도 높게 나타나면서 주중이나 주말 오전에 통행을 계획할 때 계획통행시간과 추가통행시간의 감소가 예상될 수 있음을 확인할 수 있었다(참조 Tables 3.30~3.31과 Figure 3.30).

반면 고속도로 EX-10의 서쪽방향에서는 통행시간 신뢰성기준에 의한 계획통행시간이 최대 593sec로 평균통행시간 543sec에 비해 약 9%정도 높게 나타났고 추가통행시간은 최대 78sec로 추가통행시간 평균 57sec에 비해 약 37%정도 높게 나타났다. 특히, 통행시간 신뢰성기준에 의한 계획통행시간이 주중에는 최대 609sec로 평균통행시간 551sec에 비해 약 10%정도 높게 나타났으나 주말에는 계획통행시간이 최대 555sec로 평균통행시간 523sec에 비해 약 6%정도 높게 나타났다(참조 Table 3.21). 반면, 통행시간 신뢰성기준에 의한 추가통행시간도 주중에는 최대 74sec로 평균통행시간 50sec에 비해 약 50%정도 높게 나타났으나 주말에는 추가통행시간이 최대 92sec로 평균통행시간 76sec에 비해 약 20%정도 높게 나타나면서 주중이나 주말 오후에 통행을 계획할 때 계획통행시간과 추가통행시간의 감소가 예상될 수 있음을 확인할 수 있었다(참조 Tables 3.30~3.31과 Figure 3.31).

Table 3.30 Planning time analysis in EX-10(sec, %)

Direction	Statistics	Week		Weekday		Weekend	
		Travel Time	Shift	Travel Time	Shift	Travel Time	Shift
EX-10 (EB)	Max	599	+11	612	+12	565	+9
	Min	512	-5	515	-5	499	-4
	Avg	537	-	544	-	518	-
	AM-Peak	-	-	-	-	-	-
	PM-Peak	518	-4	521	-4	518	+0
EX-10 (WB)	Max	593	+9	609	+10	555	+6
	Min	521	-4	525	-5	508	-3
	Avg	543	-	551	-	523	-
	AM-Peak	533	-2	537	-3	522	+0
	PM-Peak	-	-	-	-	-	-

Table 3.31 Buffer time analysis in EX-10(sec, %)

Direction	Statistics	Week		Weekday		Weekend	
		Travel Time	Shift	Travel Time	Shift	Travel Time	Shift
EX-10 (EB)	Max	88	+38	85	+49	101	+24
	Min	13	-79	5	-92	35	-57
	Avg	64	-	57	-	82	-
	AM-Peak	-	-	-	-	-	-
	PM-Peak	82	+28	79	+38	82	+1
EX-10 (WB)	Max	78	+37	74	+50	92	+20
	Min	16	-73	4	-92	44	-42
	Avg	57	-	50	-	76	-
	AM-Peak	67	+17	63	+26	77	+1
	PM-Peak	-	-	-	-	-	-

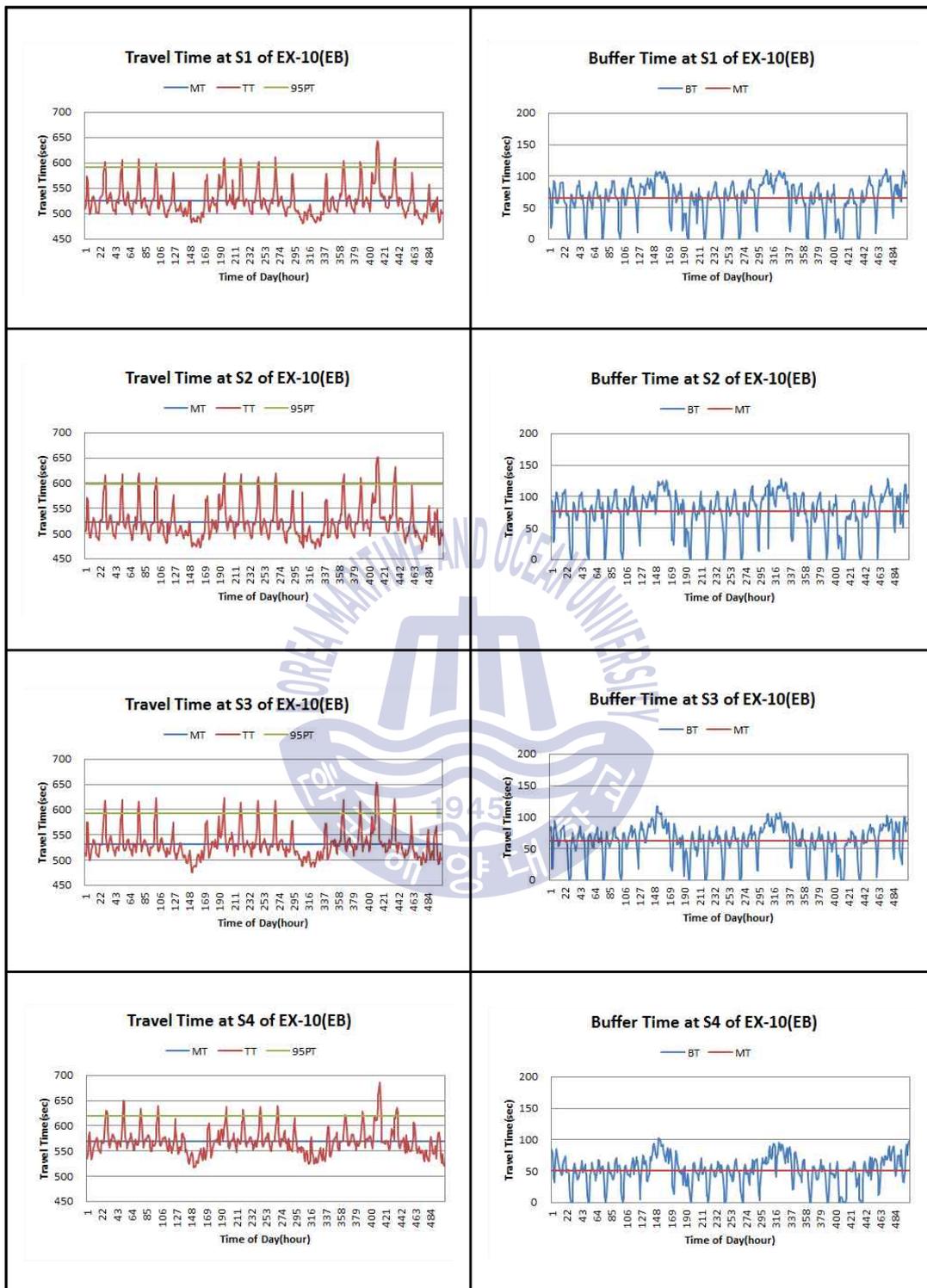


Figure 3.30 Travel time distribution in EX-10(EB)

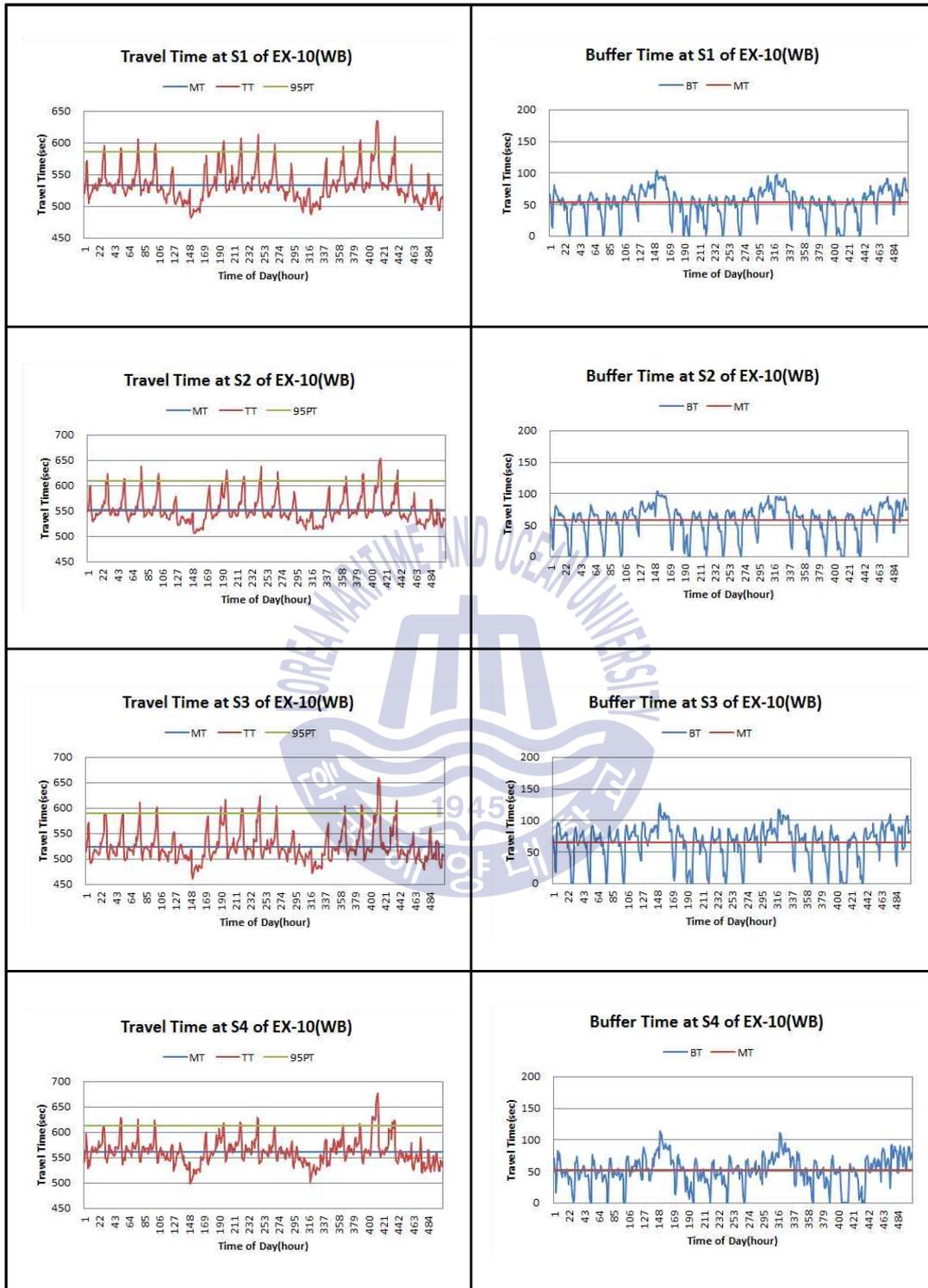


Figure 3.31 Travel time distribution in EX-10(WB)

결과적으로 고속도로 EX-1과 고속도로 EX-10에서는 방향별 요일별 시간별 그리고 차로별 통행시간에서 뚜렷한 차이가 확인되었다. 특히, 고속도로 EX-1의 북쪽방향에서는 통행시간 신뢰성기준에 의해 주중 오후나 주말 오전에 통행을 계획할 때 통행시간의 감소가 확인되었으나 남쪽방향에서는 주중과 주말 오전에 통행을 계획할 때 통행시간의 감소가 확인되었다. 반면, 고속도로 EX-10의 동쪽방향에서는 통행시간 신뢰성기준에 의해 주중과 주말 오전에 통행을 계획할 때 통행시간의 감소가 확인되었으나 서쪽방향에서는 주중과 주말 오후에 통행을 계획할 때 통행시간의 감소가 확인되었다. 그러므로 고속도로의 효율성을 극대화시키기 위해서는 고속도로의 방향별 요일별 시간별 그리고 차로별 실시간의 통행량 집중정도에 기초하여 첨단 여행자 정보체계(ATIS)와 첨단 여행자 관리체계(ATMS)를 포함한 고속도로 교통관리체계(ETMS)를 구축할 필요가 있다고 생각하였다.



제 4 장 차로별 공간평균속도(U_i)와 계획통행시간(T_R)의 상관관계분석

본 장에서는 연구대상 고속도로의 차로별 공간평균속도 U_i 와 계획통행시간 T_R 사이의 상관관계분석에 대해서 소개한다.

4.1 상관관계분석의 개념

일반적으로 상관관계분석(correlation analysis)이란 두 변수사이에 어떠한 선형적 관계가 있는지를 분석하는 방법으로서 두 변수가 서로 독립적인 관계로부터 서로 상관될 수 있고, 이때 두 변수사이의 관계의 강도를 상관관계(correlation)라 하며, 상관관계의 정도를 나타내는 단위로 모 상관계수(r)를 사용한다. 그리하여 연구대상 고속도로 EX-1과 고속도로 EX-10의 8차로 기본 구간에서 수집된 교통특성자료 중에서 차로별 공간평균속도 U_i 와 계획통행시간 T_R 사이의 상관관계를 검토하기 위하여 상관관계분석을 실시하였다.

4.2 차로별 공간평균속도(U_i)와 계획통행시간(T_R)의 상관관계분석

교통특성자료 중에서 차로별 공간평균속도 U_i 는 연구대상구간을 통행하는 차량들의 평균속도(km/h)이고, 계획통행시간 T_R 은 통행시간 신뢰성에 기초하여 연구대상구간에 대해 차량들의 예상통행시간(sec)으로서 통행량의 집중과 상호관련성이 있기 때문에 각 차로별 공간평균속도 U_i 와 계획통행시간 T_R 사이의 관계를 파악하기 위해 다음과 같은 상관관계의 식 (4.1)을 사용하였다.

$$r = \frac{S_{U_i T_R}}{S_{U_i} \times S_{T_R}} \quad (4.1)$$

$$S_{U_i T_R} = \sum_{j=1}^m (U_{ij} \times T_{Rj}) - \left(\frac{1}{m}\right) \left(\sum_{j=1}^m U_{ij}\right) \left(\sum_{j=1}^m T_{Rj}\right) \quad (4.2)$$

$$S_{U_i} = \sqrt{\left[\sum_{j=1}^m U_{ij}^2 - \left(\frac{1}{m}\right) \left(\sum_{j=1}^m U_{ij}\right)^2 \right]} \quad (4.3)$$

$$S_{T_R} = \sqrt{\left[\sum_{j=1}^m T_{Rj}^2 - \left(\frac{1}{m}\right) \left(\sum_{j=1}^m T_{Rj}\right)^2 \right]} \quad (4.4)$$

여기서,

- r : correlation coefficients for paired samples
- $S_{U_i T_R}$: covariance of U_i and T_R for paired samples
- S_{U_i} : standard deviation of U_i for paired samples
- S_{T_R} : standard deviation of T_R for paired samples
- U_{ij} : space mean speed lane calculated at i -th lane and j -th hour(km/h)
- T_{Rj} : planning time by reliability calculated at j -th hour(%)
- m : no. of paired samples

위와 같이 연구대상 고속도로의 각 차로별 공간평균속도 U_i 와 계획통행시간 T_R 사이에 상관분석을 실시한 결과, 주중과 주말에 관계없이 음(-)의 상관특성을 보이면서 차로별 상관계수 r 에서 뚜렷한 차이를 확인할 수 있었다.

우선적으로 고속도로 EX-1에서 주중과 주말을 분리하지 않을 경우 북쪽방향에서 차로별 공간평균속도 U_i 와 계획통행시간 T_R 사이의 상관계수를 비교해보면, 추월차로인 1차로의 공간평균속도 U_1 와 계획통행시간 T_R 사이의 상관계수 r 은 -0.2370으로 가장 낮게 나타났고, 소형차로인 2차로의 공간평균속도 U_2 와 계획

통행시간 T_R 사이의 상관계수 r 은 -0.4633 으로 역시 낮게 나타났다.

반면, 중형차로인 3차로의 공간평균속도 U_3 와 계획통행시간 T_R 사이의 상관계수 r 은 -0.9030 으로 가장 높게 나타났고, 대형차로인 4차로의 공간평균속도 U_4 와 계획통행시간 T_R 사이의 상관계수 r 은 -0.8031 로 다소 높게 나타남으로써 북쪽방향 4차로구간 내 중형차로인 3차로에서 공간평균속도 U_3 와 계획통행시간 T_R 사이에 높은 음(-)의 상관특성이 존재하고 있음을 확인할 수 있었다(참조 Table 4.1과 Figures 4.1~4.4). 또한, 고속도로 EX-1의 남쪽방향에서 차로별 공간평균속도 U_i 와 계획통행시간 T_R 사이의 상관관계를 비교해보면, 추월차로인 1차로의 공간평균속도 U_1 와 계획통행시간 T_R 사이의 상관계수 r 은 -0.2156 으로 가장 낮게 나타났고, 소형차로인 2차로의 공간평균속도 U_2 와 계획통행시간 T_R 사이의 상관계수 r 은 -0.5124 로 역시 낮게 나타났다. 반면, 중형차로인 3차로의 공간평균속도 U_3 와 계획통행시간 T_R 사이의 상관계수 r 은 -0.9045 로 가장 높게 나타났고, 대형차로인 4차로의 공간평균속도 U_4 와 계획통행시간 T_R 사이의 상관계수 r 은 -0.7726 으로 다소 높게 나타남으로써 남쪽방향에서도 4차로구간 내 중형차로인 3차로에서 공간평균속도 U_3 와 계획통행시간 T_R 사이에 높은 음(-)의 상관특성이 존재하고 있음을 확인할 수 있었다(참조 Table 4.1과 Figures 4.5~4.8).

더구나 고속도로 EX-1에서 주중과 주말을 분리할 경우 차로별 공간평균속도 U_i 와 계획통행시간 T_R 사이의 상관특성에서 역시 뚜렷한 차이를 보이는 것으로 나타났다. 특히, 주중에 고속도로 EX-1의 북쪽방향과 남쪽방향 추월차로인 1차로에서 공간평균속도 U_1 과 계획통행시간 T_R 사이의 상관계수 r 은 각각 -0.1226 과 -0.1606 으로 가장 낮게 나타났고, 소형차로인 2차로에서 공간평균속도 U_2 와 계획통행시간 T_R 사이의 상관계수 r 은 각각 -0.2868 과 -0.4049 로 낮게 나타났다.

반면, 중형차로인 3차로에서 공간평균속도 U_3 와 계획통행시간 T_R 사이의

상관계수 r 은 각각 -0.8948 과 -0.9189 로 가장 높게 나타났고 대형차로인 4차로에서 공간평균속도 U_4 와 계획통행시간 T_R 사이의 상관계수 r 은 각각 -0.8301 과 -0.8595 로 다소 높게 나타남으로써 방향에 관계없이 4차로구간 내 중형차로인 3차로에서 공간평균속도 U_3 와 계획통행시간 T_R 사이에 높은 음(-)의 상관특성이 존재하고 있음을 확인할 수 있었다(참조 Table 4.1과 Figures 4.1~4.8).

또한, 주말에 고속도로 EX-1의 북쪽방향과 남쪽방향 추월차로인 1차로에서 공간평균속도 U_1 과 계획통행시간 T_R 사이의 상관계수 r 가 각각 -0.4627 과 -0.3046 으로 가장 낮게 나타났고, 소형차로인 2차로에서 공간평균속도 U_2 와 계획통행시간 T_R 사이의 상관계수 r 은 각각 -0.5893 과 -0.5117 로 낮게 나타났다.

반면, 중형차로인 3차로에서 공간평균속도 U_3 와 계획통행시간 T_R 사이의 상관계수 r 은 각각 -0.9487 과 -0.9531 로 가장 높게 나타났고 대형차로인 4차로에서 공간평균속도 U_4 와 계획통행시간 T_R 사이의 상관계수 r 은 각각 -0.7623 과 -0.7327 로 다소 높게 나타남으로써 역시 방향에 관계없이 4차로구간 내 중형차로인 3차로에서 공간평균속도 U_3 와 계획통행시간 T_R 사이에 높은 음(-)의 상관특성이 존재하고 있음을 확인할 수 있었다(참조 Table 4.1과 Figures 4.1~4.8).

Table 4.1 Correlation analysis between U_i and T_R in EX-1

Expressway/Direction		Correlation Coefficients(r)			
		1st Lane	2nd Lane	3rd Lane	4th Lane
Week	NB	-0.2370	-0.4633	-0.9030	-0.8031
	SB	-0.2156	-0.5124	-0.9045	-0.7726
Weekday	NB	-0.1226	-0.2868	-0.8948	-0.8301
	SB	-0.1606	-0.4049	-0.9189	-0.8595
Weekend	NB	-0.4627	-0.5893	-0.9487	-0.7623
	SB	-0.3046	-0.5117	-0.9531	-0.7327



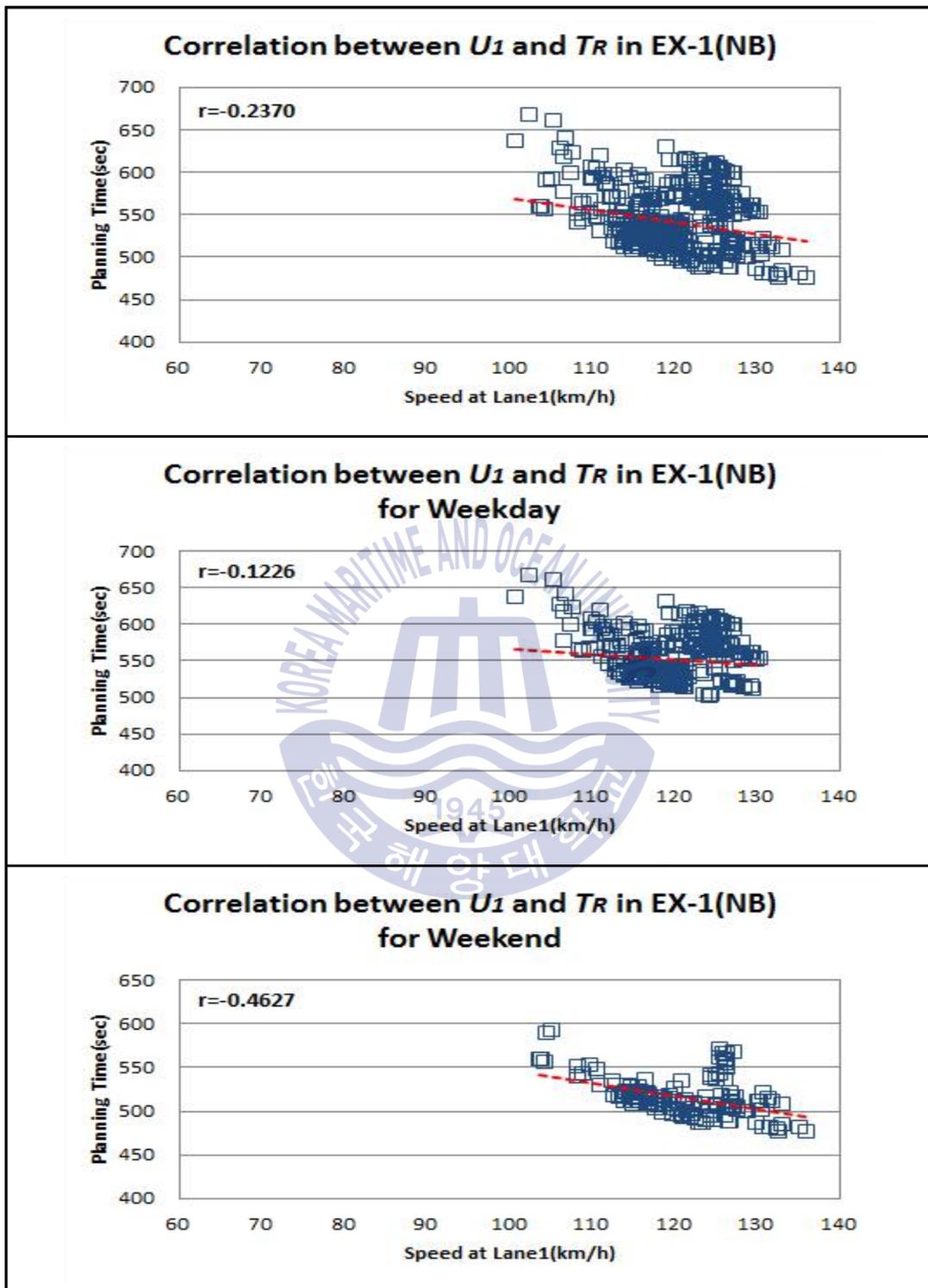


Figure 4.1 Correlation between U_1 and T_R in EX-1(NB)



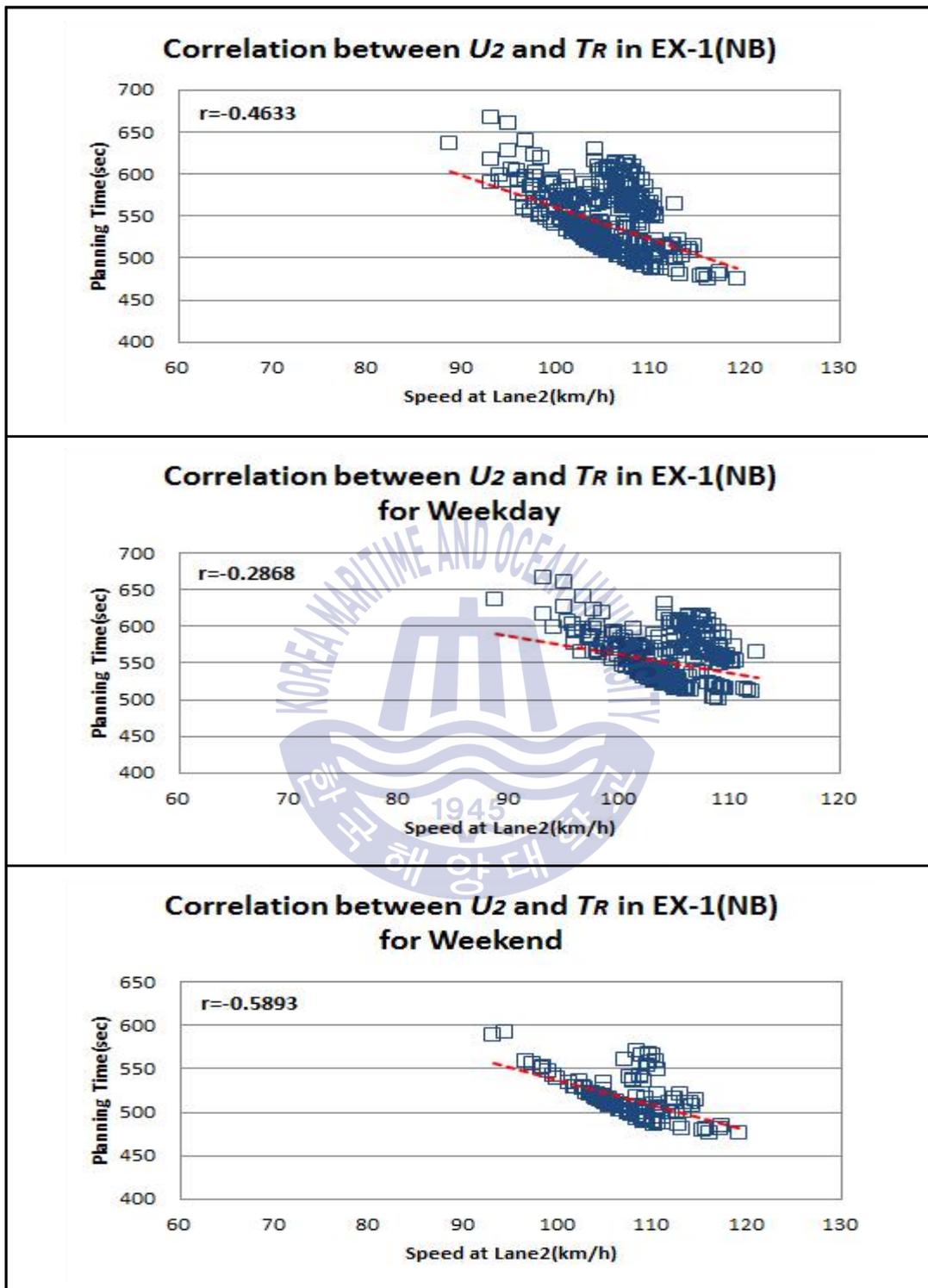


Figure 4.2 Correlation between U_2 and T_R in EX-1(NB)



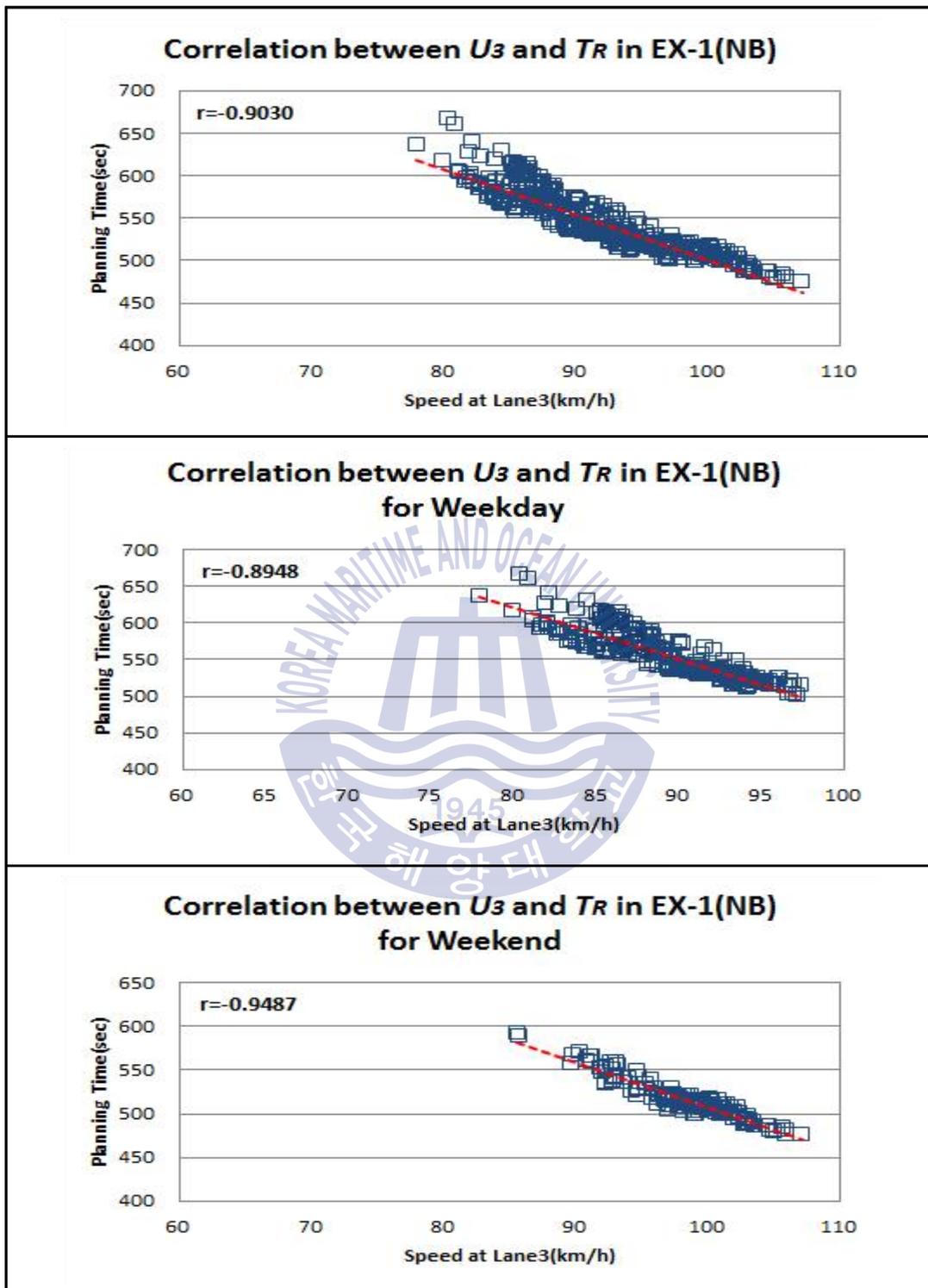


Figure 4.3 Correlation between U_3 and T_R in EX-1(NB)



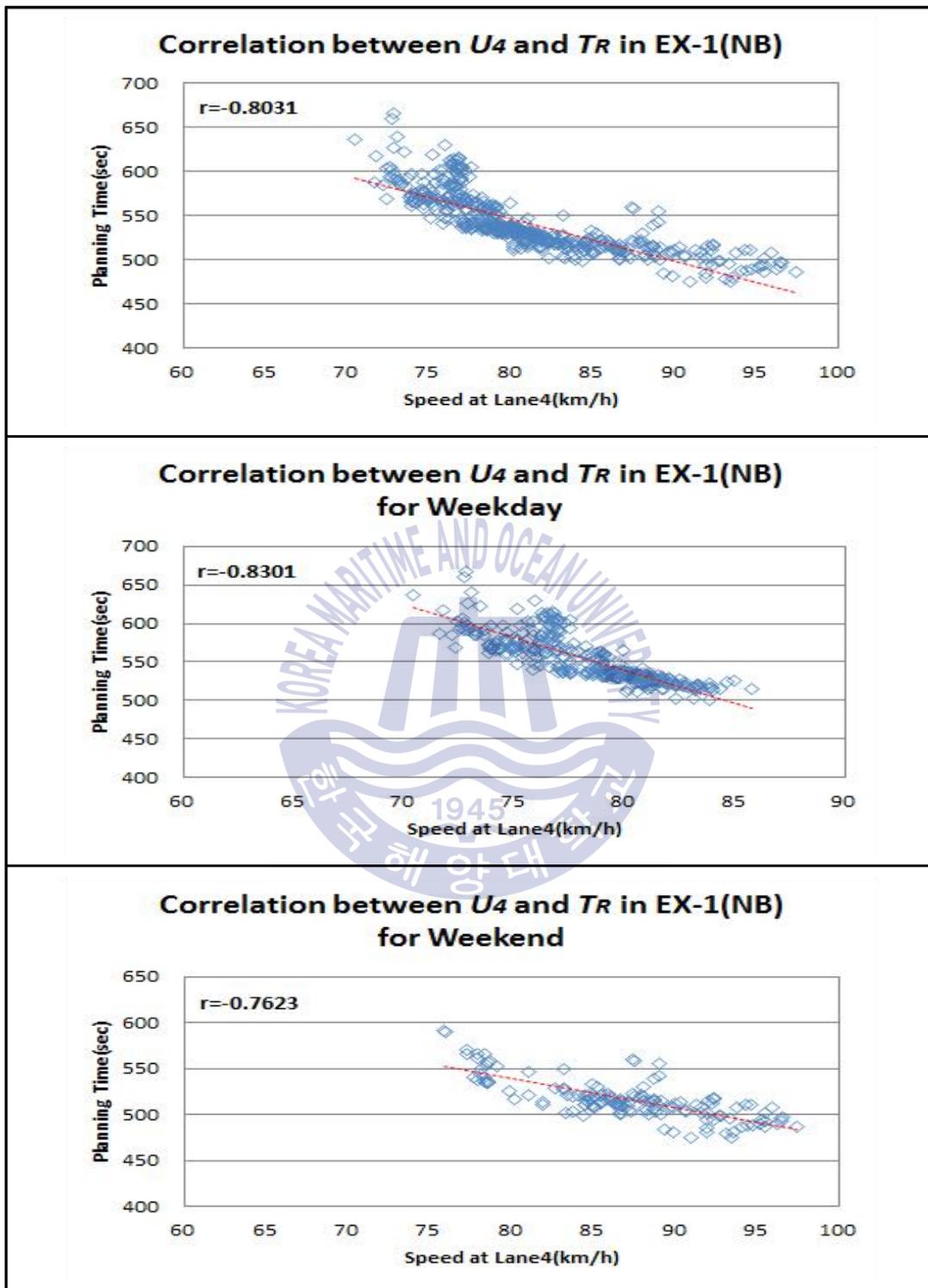


Figure 4.4 Correlation between U_4 and T_R in EX-1(NB)



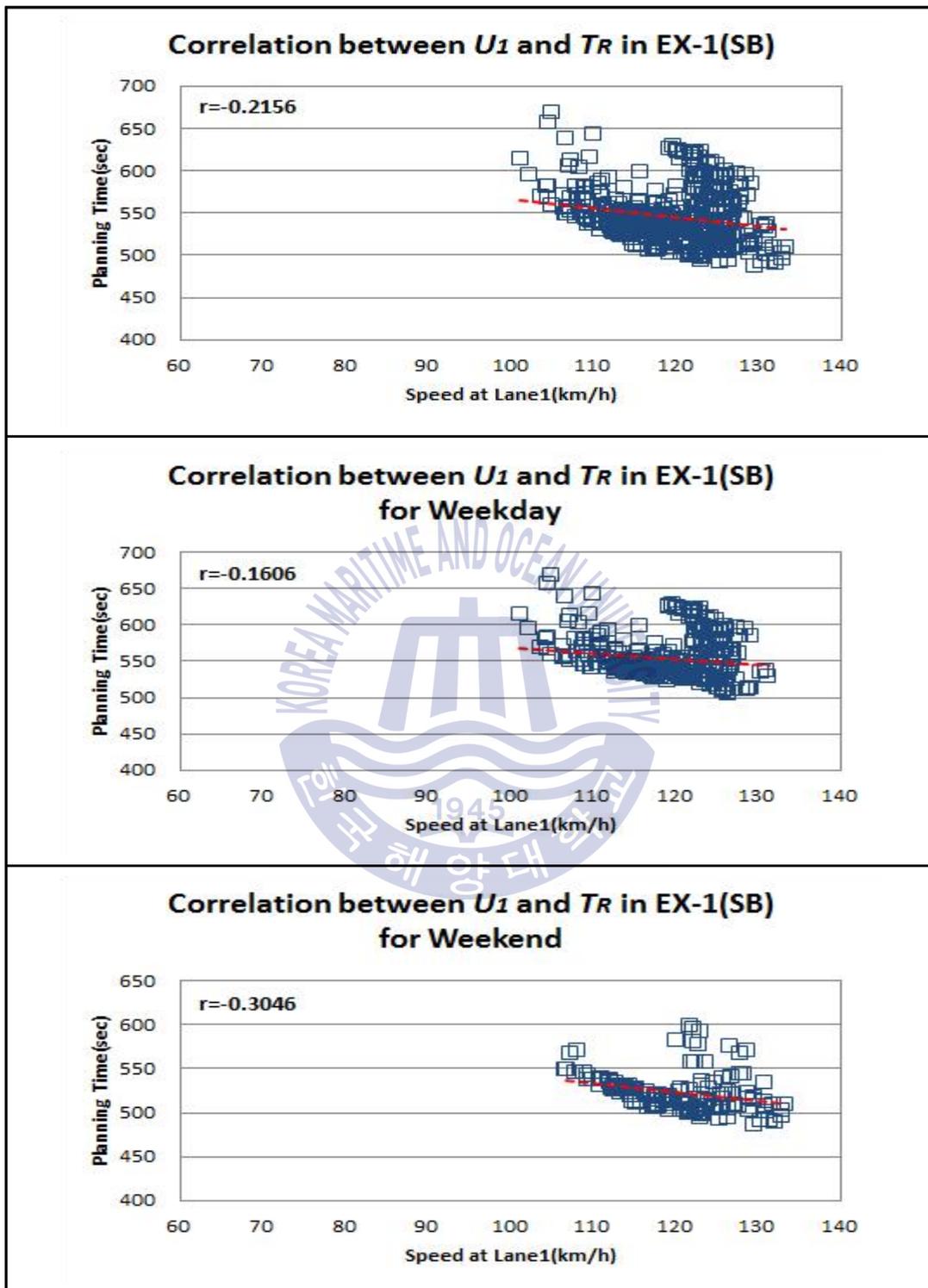


Figure 4.5 Correlation between U_1 and T_R in EX-1(SB)



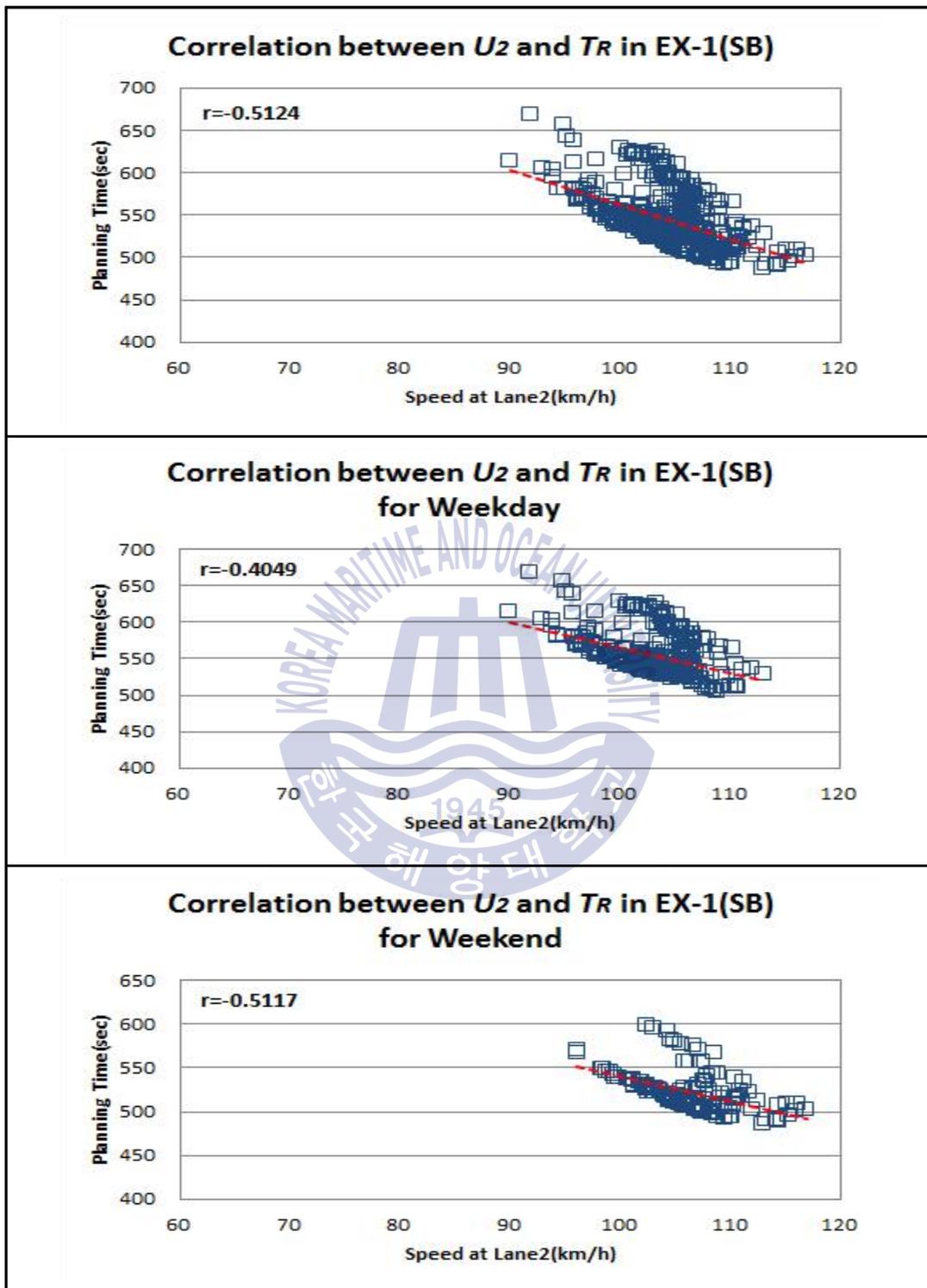


Figure 4.6 Correlation between U_2 and T_R in EX-1(SB)



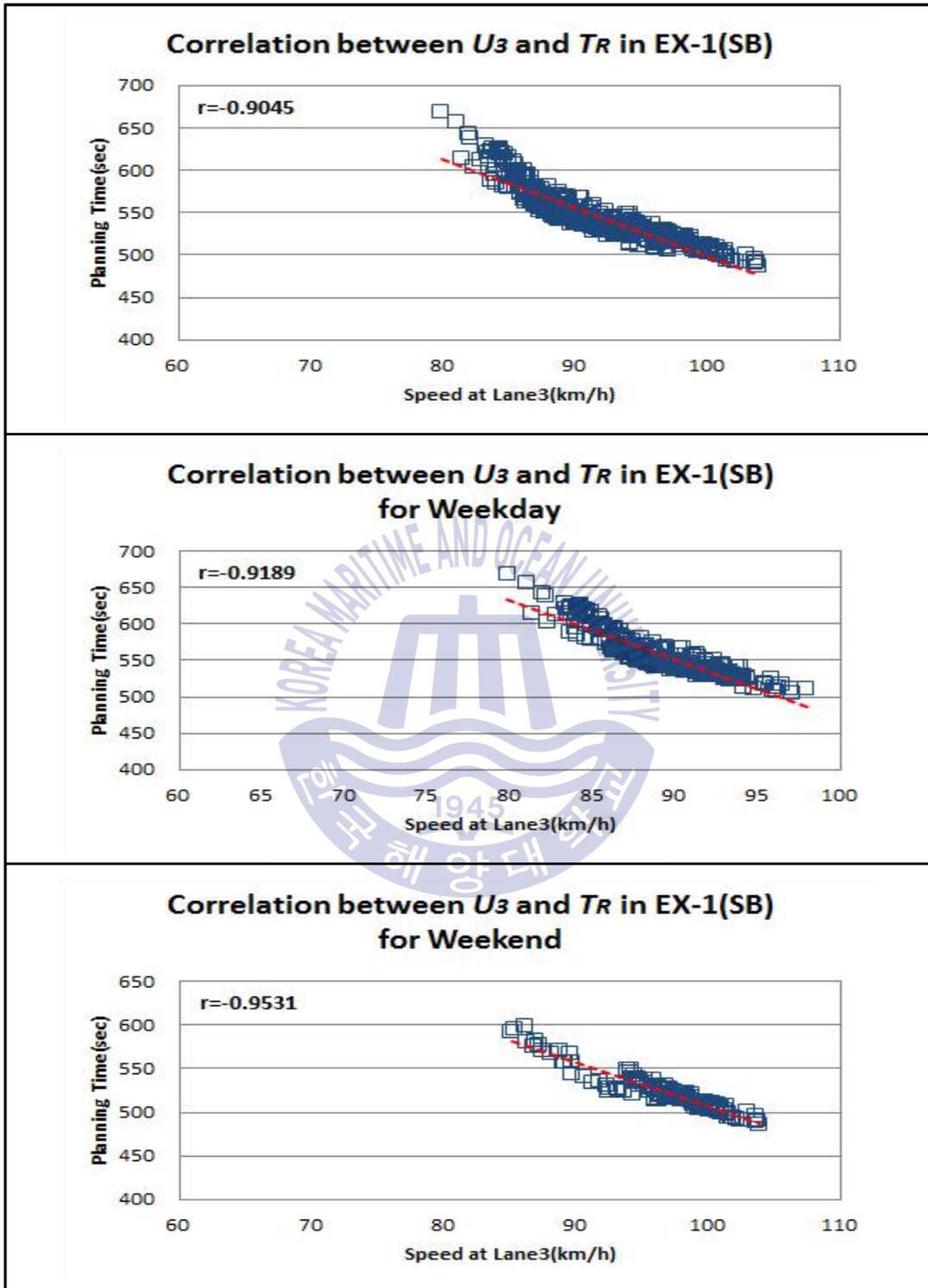


Figure 4.7 Correlation between U_3 and T_R in EX-1(SB)



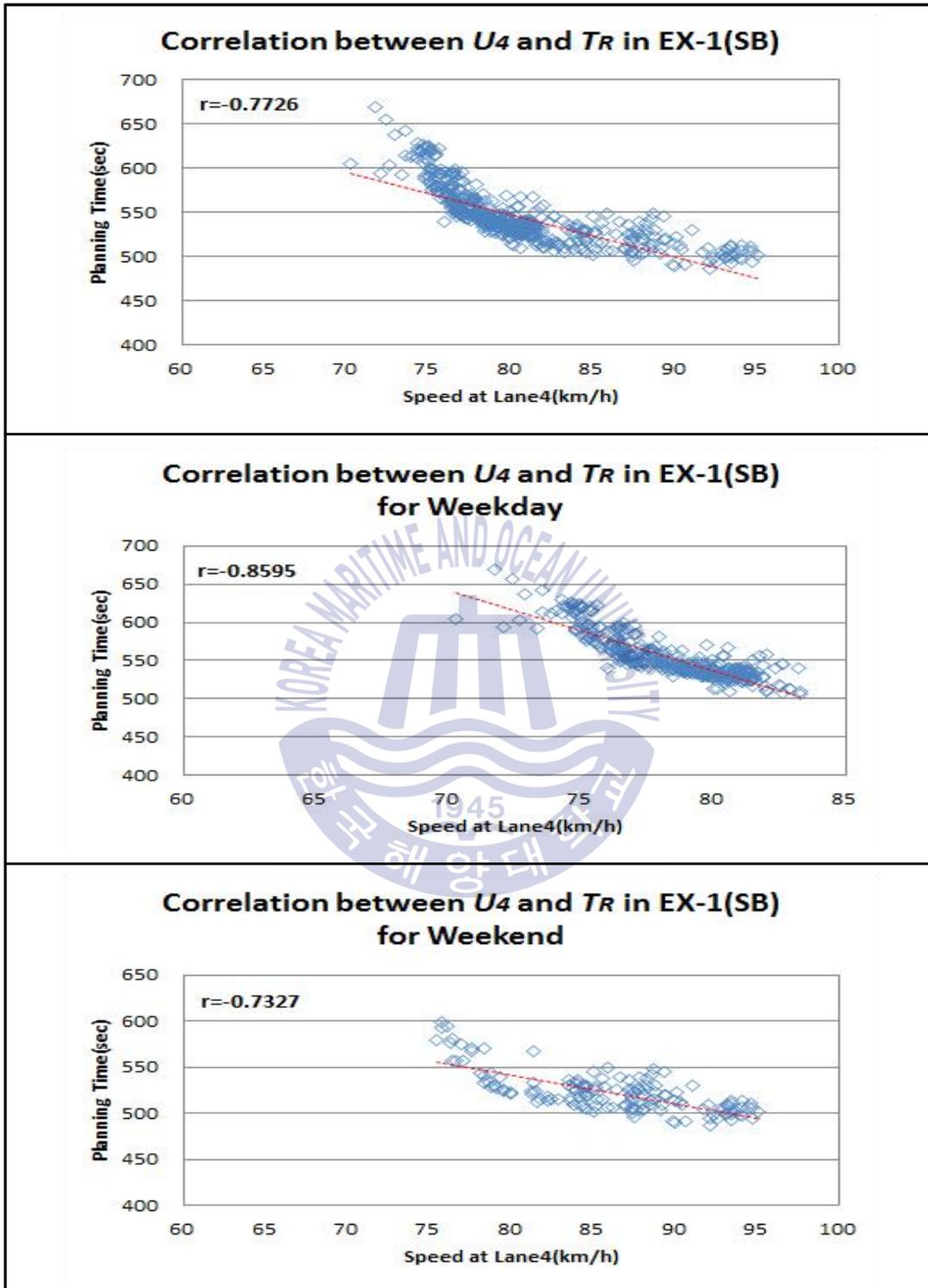


Figure 4.8 Correlation between U_4 and T_R in EX-1(SB)

다음으로 고속도로 EX-10에서 주중과 주말을 분리하지 않을 경우 동쪽방향에서 차로별 공간평균속도 U_i 와 계획통행시간 T_R 사이의 상관계수를 비교해보면, 추월차로인 1차로의 공간평균속도 U_1 와 계획통행시간 T_R 사이의 상관계수 r 은 -0.3542로 가장 낮게 나타났고, 소형차로인 2차로의 공간평균속도 U_2 와 계획통행시간 T_R 사이의 상관계수 r 은 -0.5364로 역시 낮게 나타났다. 반면, 중형차로인 3차로의 공간평균속도 U_3 와 계획통행시간 T_R 사이의 상관계수 r 은 -0.9480으로 가장 높게 나타났고, 대형차로인 4차로의 공간평균속도 U_4 와 계획통행시간 T_R 사이의 상관계수 r 은 -0.7694로 다소 높게 나타남으로써 동쪽방향 4차로구간 내 중형차로인 3차로에서 공간평균속도 U_3 와 계획통행시간 T_R 사이에 높은 음(-)의 상관특성이 존재하고 있음을 확인할 수 있었다(참조 Table 4.2와 Figures 4.9~4.12).

또한, 고속도로 EX-10의 서쪽방향에서 차로별 공간평균속도 U_i 와 계획통행시간 T_R 사이의 상관관계를 비교해보면, 추월차로인 1차로의 공간평균속도 U_1 과 계획통행시간 T_R 사이의 상관계수 r 은 -0.5357으로 가장 낮게 나타났고, 소형차로인 2차로의 공간평균속도 U_2 와 계획통행시간 T_R 사이의 상관계수 r 은 -0.5802로 역시 낮게 나타났다. 반면, 중형차로인 3차로의 공간평균속도 U_3 와 계획통행시간 T_R 사이의 상관계수 r 은 -0.9550으로 가장 높게 나타났고, 대형차로인 4차로의 공간평균속도 U_4 와 계획통행시간 T_R 사이의 상관계수 r 은 -0.8268로 다소 높게 나타남으로써 서쪽방향에서도 4차로구간 내 중형차로인 3차로에서 공간평균속도 U_3 와 계획통행시간 T_R 사이에 높은 음(-)의 상관특성이 존재하고 있음을 확인할 수 있었다(참조 Table 4.2와 Figures 4.13~4.16).

더구나 고속도로 EX-10에서 주중과 주말을 분리할 경우 차로별 공간평균속도 U_i 와 계획통행시간 T_R 사이의 상관특성에서 역시 뚜렷한 차이를 보이는 것으로

나타났다. 특히, 주중에 고속도로 EX-10의 동쪽방향과 서쪽방향 추월차로인 1차로에서 공간평균속도 U_1 과 계획통행시간 T_R 사이의 상관계수 r 은 각각 -0.4309와 -0.5741로 낮게 나타났고, 소형차로인 2차로에서 공간평균속도 U_2 와 계획통행시간 T_R 사이의 상관계수 r 은 각각 -0.5358과 -0.5389로 역시 낮게 나타났다. 반면, 중형차로인 3차로에서 공간평균속도 U_3 와 계획통행시간 T_R 사이의 상관계수 r 은 각각 -0.9578과 -0.9694로 가장 높게 나타났고 대형차로인 4차로에서 공간평균속도 U_4 와 계획통행시간 T_R 사이의 상관계수 r 은 각각 -0.8776과 -0.9159로 다소 높게 나타남으로써 방향에 관계없이 4차로구간 내 중형차로인 3차로에서 공간평균속도 U_3 와 계획통행시간 T_R 사이에 높은 음(-)의 상관특성이 존재하고 있음을 확인할 수 있었다(참조 Table 4.2와 Figures 4.9~4.16).

또한, 주말에 고속도로 EX-10의 동쪽방향과 서쪽방향 추월차로인 1차로에서 공간평균속도 U_1 과 계획통행시간 T_R 사이의 상관계수 r 가 각각 -0.2473과 -0.4559로 가장 낮게 나타났고, 소형차로인 2차로에서 공간평균속도 U_2 와 계획통행시간 T_R 사이의 상관계수 r 은 각각 -0.3349과 -0.4680으로 낮게 나타났다. 반면, 중형차로인 3차로에서 공간평균속도 U_3 와 계획통행시간 T_R 사이의 상관계수 r 은 각각 -0.9702와 -0.9791로 가장 높게 나타났고 대형차로인 4차로에서 공간평균속도 U_4 와 계획통행시간 T_R 사이의 상관계수 r 은 각각 -0.7353과 -0.8355로 다소 높게 나타남으로써 역시 방향에 관계없이 4차로구간 내 중형차로인 3차로에서 공간평균속도 U_3 와 계획통행시간 T_R 사이에 높은 음(-)의 상관특성이 존재하고 있음을 확인할 수 있었다(참조 Table 4.2와 Figures 4.9~4.16).

Table 4.2 Correlation analysis between U_i and T_R in EX-10

Expressway/Direction		Correlation Coefficients(r)			
		1st Lane	2nd Lane	3rd Lane	4th Lane
Week	EB	-0.3542	-0.5364	-0.9480	-0.7694
	WB	-0.5357	-0.5802	-0.9550	-0.8268
Weekday	EB	-0.4309	-0.5358	-0.9578	-0.8776
	WB	-0.5741	-0.5389	-0.9694	-0.9159
Weekend	EB	-0.2473	-0.3349	-0.9702	-0.7353
	WB	-0.4559	-0.4680	-0.9791	-0.8355



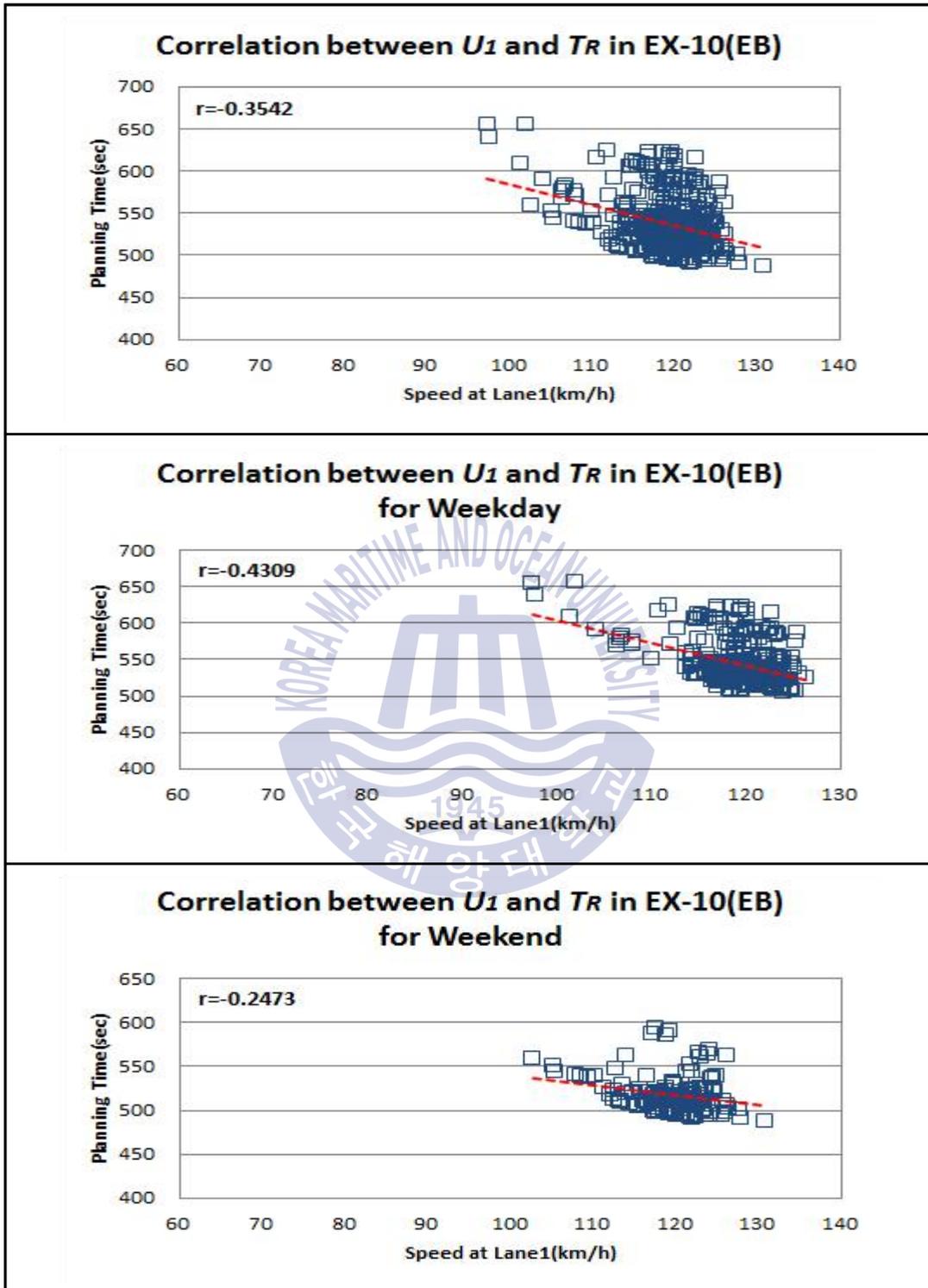


Figure 4.9 Correlation between U_1 and T_R in EX-10(EB)



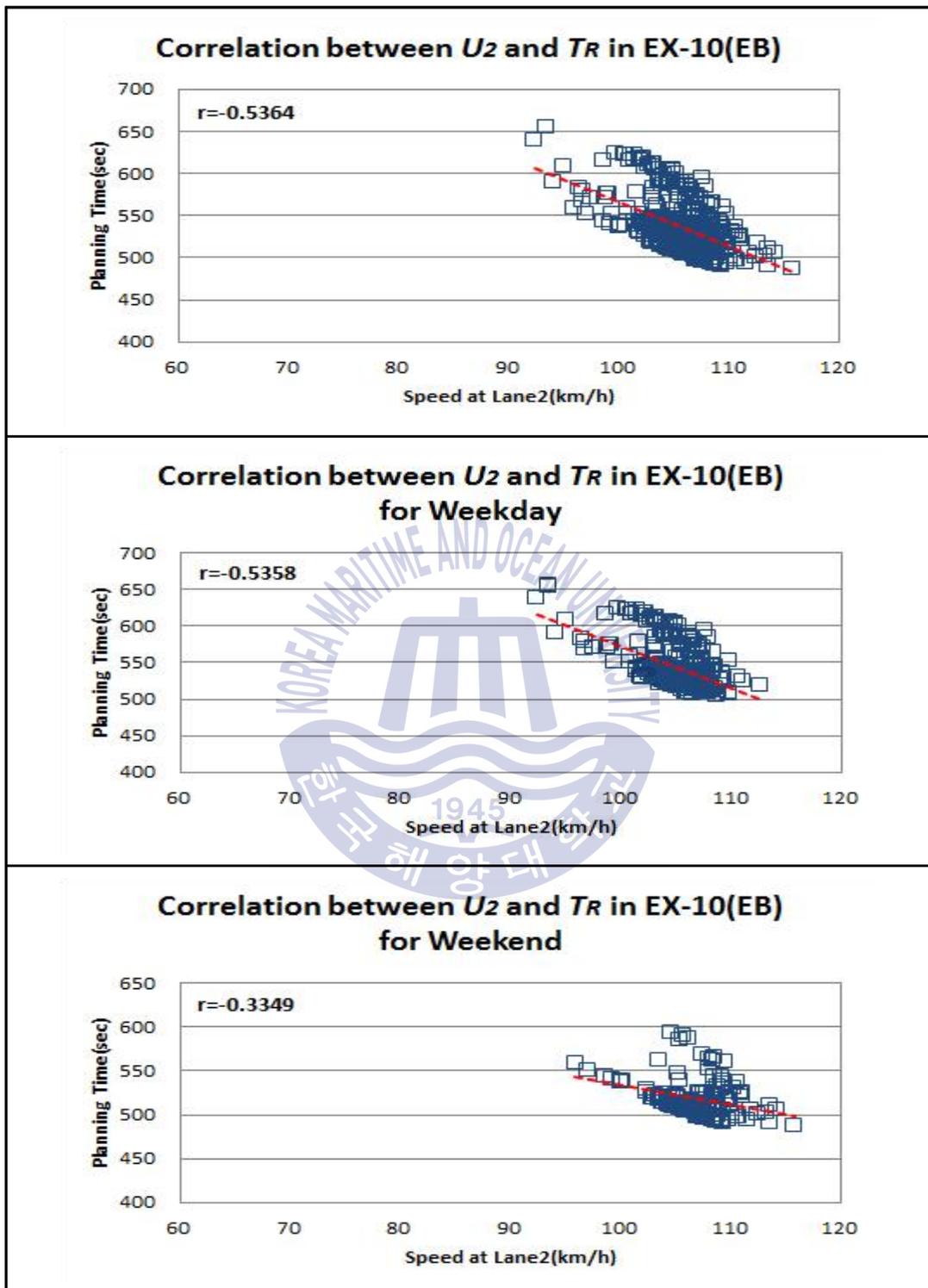


Figure 4.10 Correlation between U_2 and T_R in EX-10(EB)



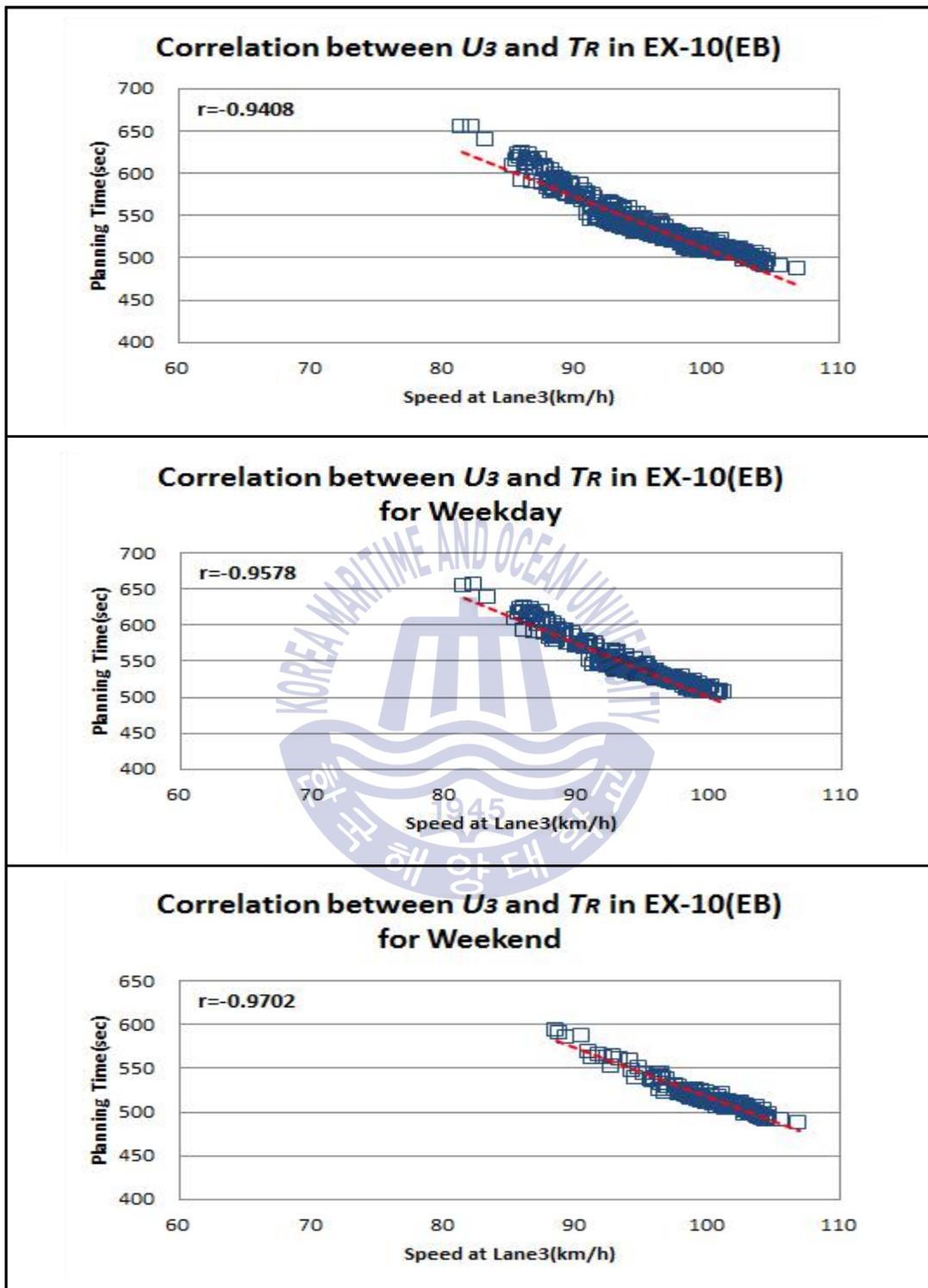


Figure 4.11 Correlation between U_3 and T_R in EX-10(EB)



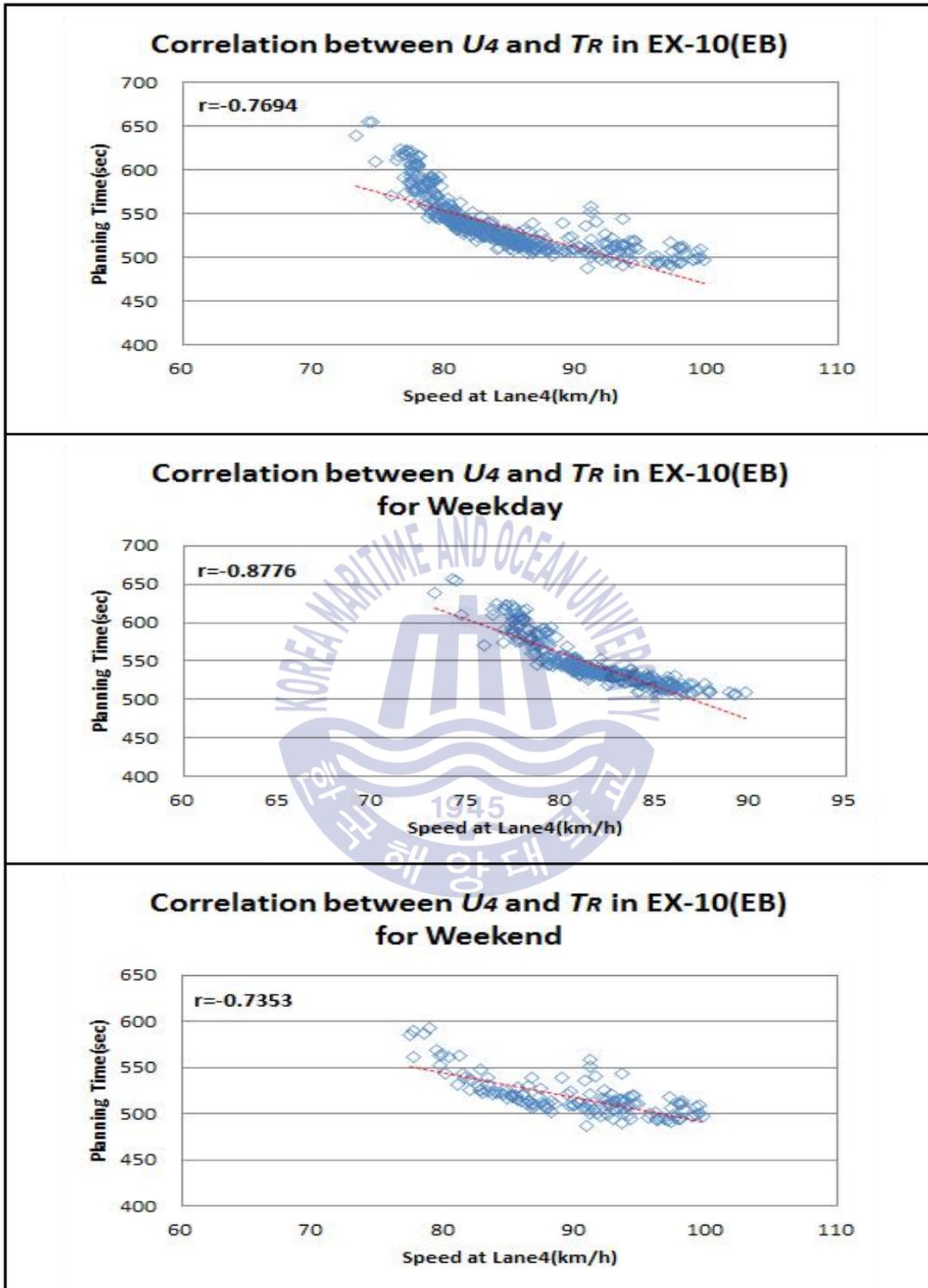


Figure 4.12 Correlation between U_4 and T_R in EX-10(EB)



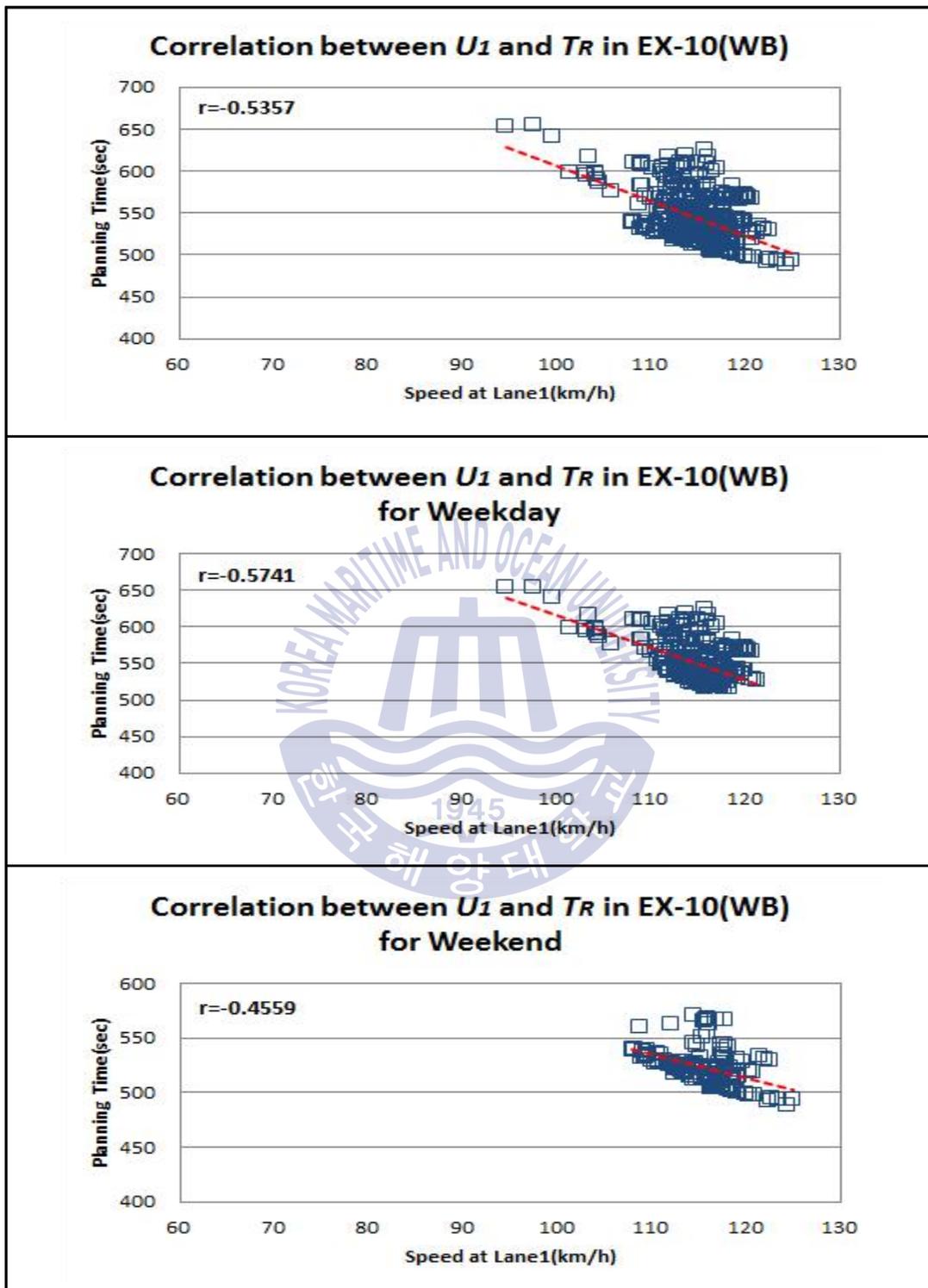


Figure 4.13 Correlation between U_1 and T_R in EX-10(WB)



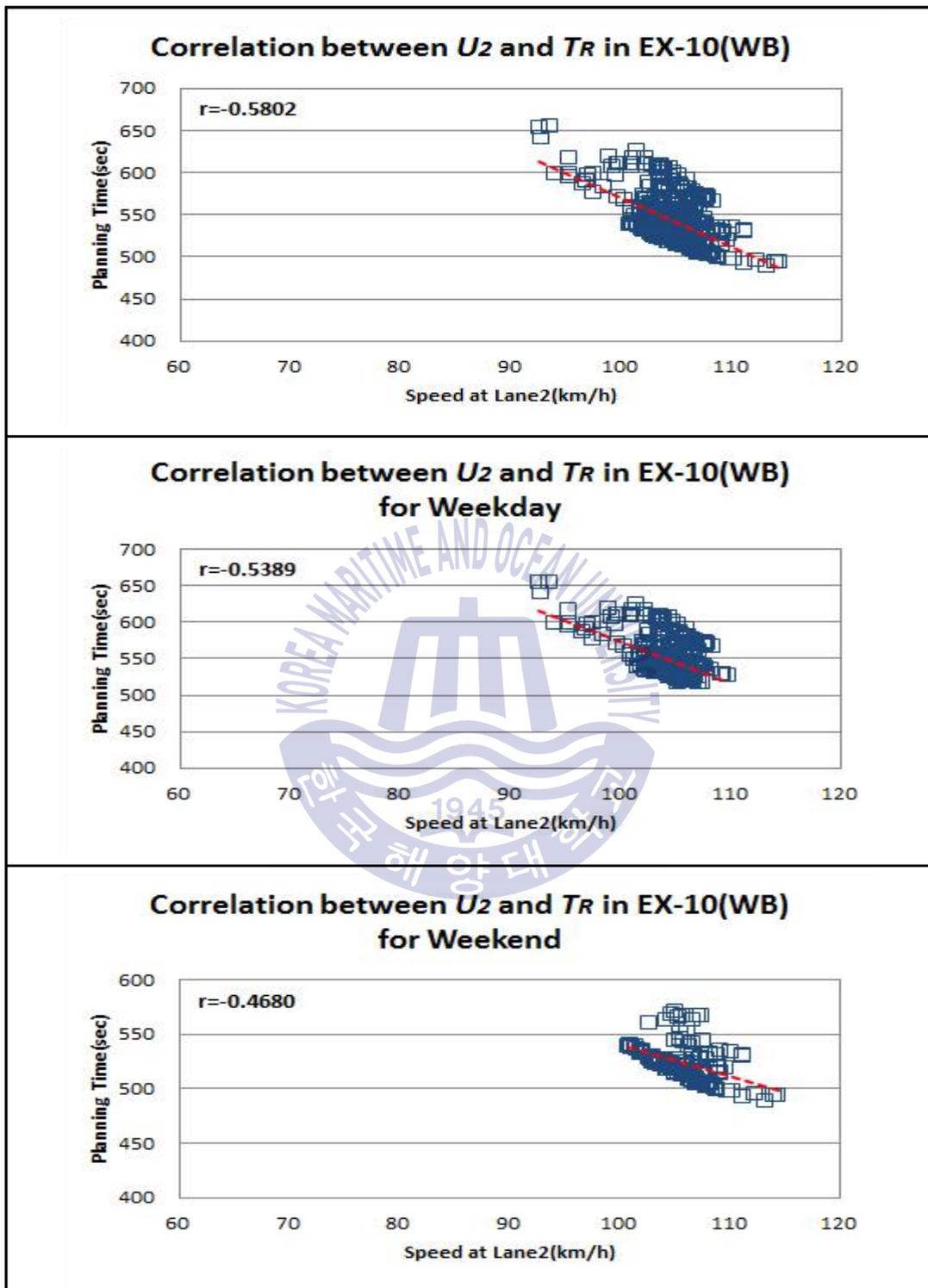


Figure 4.14 Correlation between U_2 and T_R in EX-10(WB)



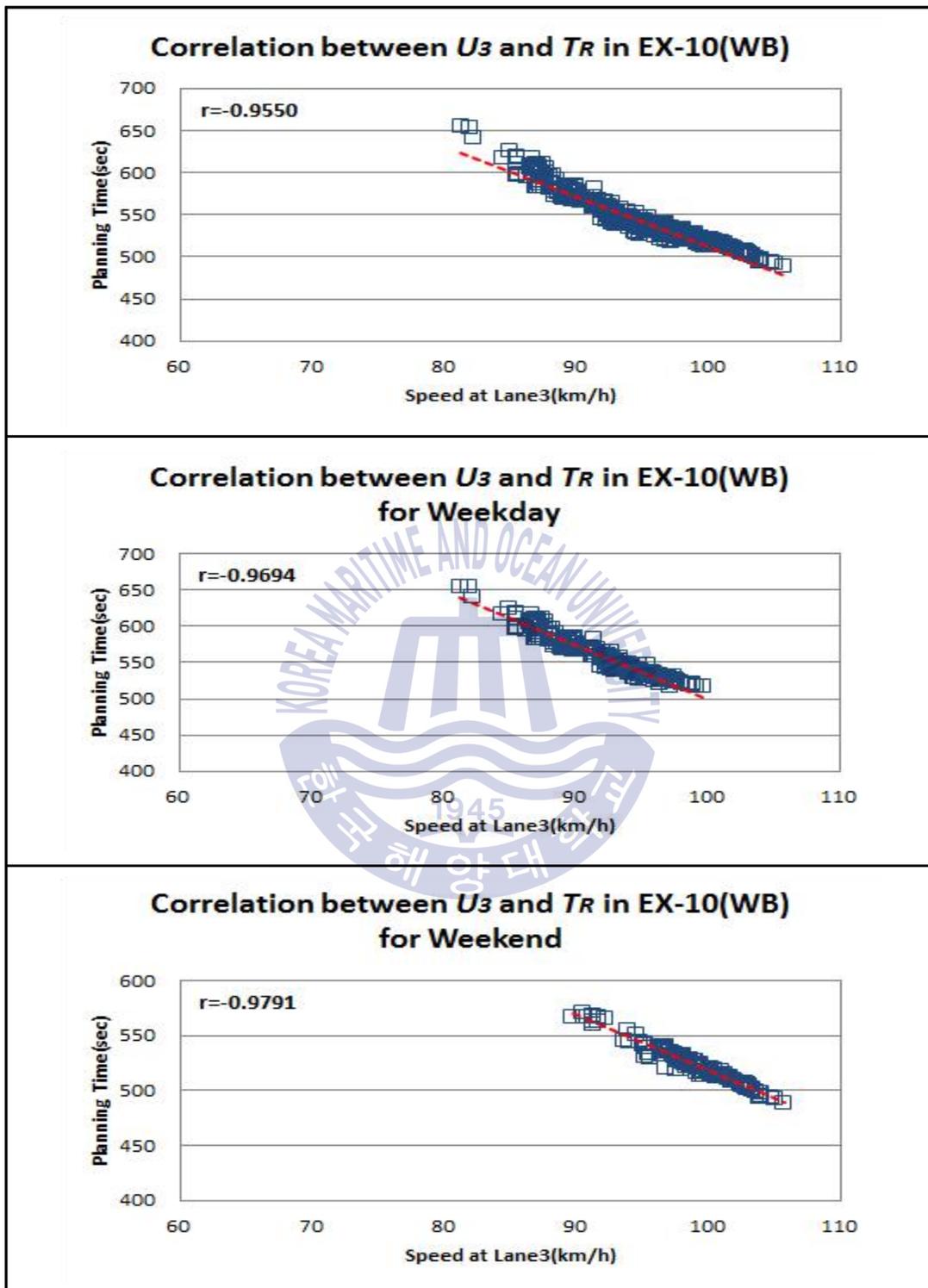


Figure 4.15 Correlation between U_3 and T_R in EX-10(WB)



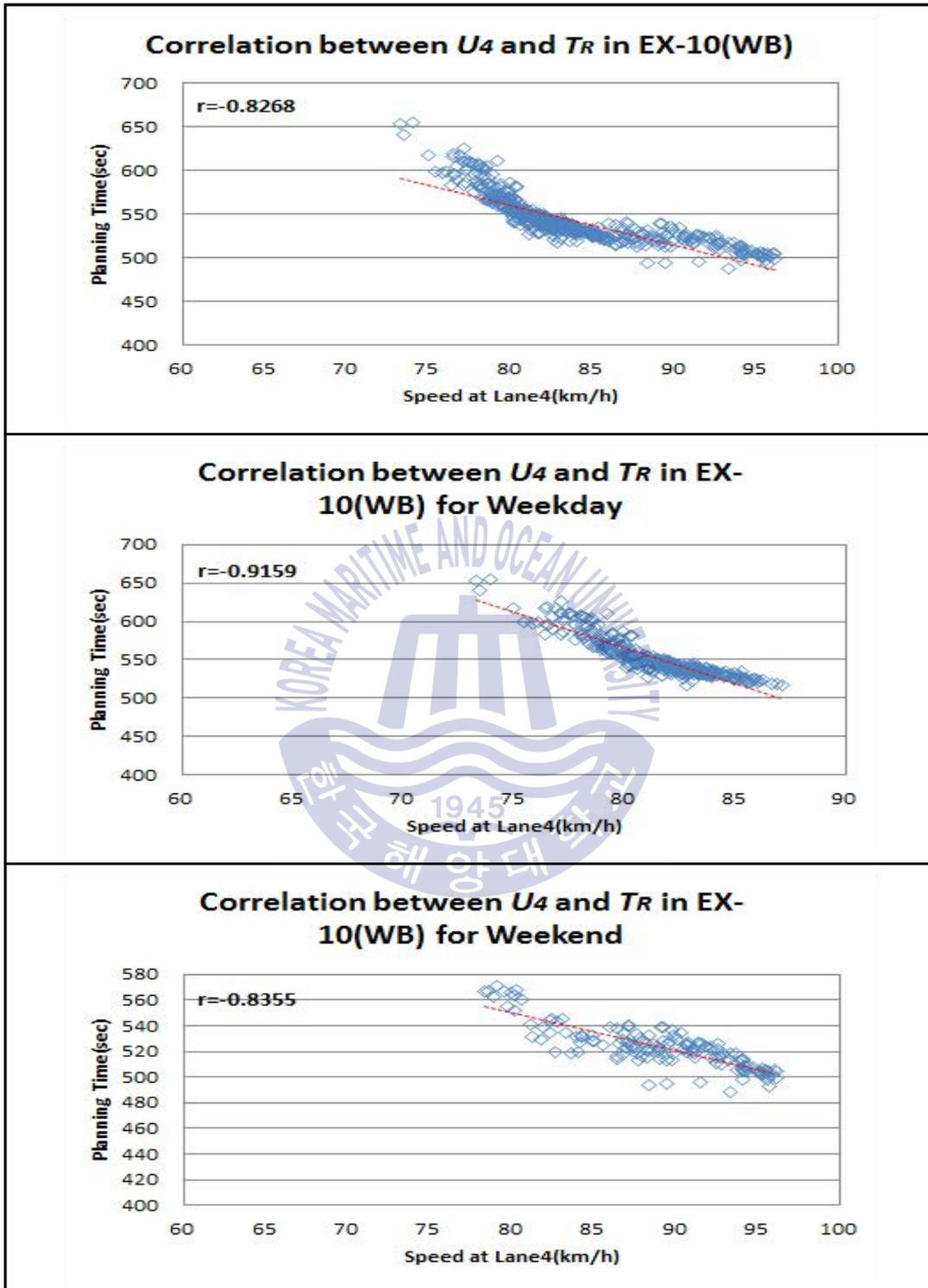


Figure 4.16 Correlation between U_4 and T_R in EX-10(WB)

결과적으로 연구대상 고속도로의 차로별 공간평균속도 U_i 와 계획통행시간 T_R 사이의 상관관계를 요약해보면, 고속도로 EX-1과 고속도로 EX-10의 8차로 기본구간 내에서는 방향에 관계없이 중형차로인 3차로에서 높은 상관특성을 보이는 것으로 나타났다. 그러므로 고속도로의 중형차로인 3차로의 공간평균속도 U_3 와 계획통행시간 T_R 사이의 높은 상관특성을 이용하여 계획통행시간 T_R 을 추정할 수 있을 것으로 생각하였다.



제 5 장 모형 구축 및 검증

본 장에서는 연구대상 고속도로에서 3차로의 공간평균속도 U_3 와 계획통행시간 T_R 사이의 모형구축 및 검증과정에 대하여 소개한다.

5.1 모형 구축

연구대상 고속도로의 차로별 공간평균속도 U_i 와 계획통행시간 T_R 사이에는 높은 상관특성을 확인하였고, 특히 3차로의 공간평균속도 U_3 는 계획통행시간 T_R 과 가장 높은 상관특성을 보이는 것으로 나타남으로써 3차로 공간평균속도 U_3 와 계획통행시간 T_R 사이에는 상호 함수관계는 다음과 같았다.

$$T_R = f(U_3) \quad (5.1)$$

여기에서,

T_R : planning time(sec)

U_3 : space mean speed at the 3rd lane(km/h)

그리고 위의 함수관계를 토대로 다음과 같은 선형모형(linear model, LIN), 대수모형(logarithmic model, LOG), 역 모형(inverse model, INV), 2차 모형(quadratic model, QUA), 3차 모형(cubic model, CUB), 파워모형(power model, POW), 복합모형(compound model, COM), S-곡선모형(S-curve model, SCV), 로지스틱모형(logistic model, LGS), 성장모형(growth model, GRH) 및 지수모형(exponential model, EXP) 등의 회귀모형이 검토되었다.

LIN	:	$T_R = \beta_0 + \beta_1 \times U_3$
LOG	:	$T_R = \beta_0 + \beta_1 \times \ln(U_3)$
INV	:	$T_R = \beta_0 + \beta_1 / U_3$
QUA	:	$T_R = \beta_0 + \beta_1 \times U_3 + \beta_2 \times U_3^2$
CUB	:	$T_R = \beta_0 + \beta_1 \times U_3 + \beta_2 \times U_3^2 + \beta_3 \times U_3^3$
POW	:	$T_R = \beta_0 \times U_3^{\beta_1}$
COM	:	$T_R = \beta_0 + \beta_1^{U_3}$
SCV	:	$T_R = e^{\beta_0 + \beta_1 / U_3}$
LGS	:	$T_R = 1 / (\frac{1}{u} + \beta_0 \times \beta_1^{U_3})$ (u : 양의 상한계값)
GRH	:	$T_R = e^{\beta_0 + \beta_1 \times U_3}$
EXP	:	$T_R = \beta_0 + e^{\beta_1 \times U_3}$

모형의 구축과정에서 독립변수로는 3차로의 공간평균속도 U_3 를 사용하였고 종속변수로는 계획통행시간 T_R 을 사용하였으며 높은 결정계수 R^2 값을 보이는 회귀모형 중에서 선정된 모형은 다음과 같았다.

$$\text{LIN} \quad : \quad T_R = \beta_0 + \beta_1 \times U_3 \quad (5.2)$$

$$\text{POW} \quad : \quad T_R = \beta_0 \times U_3^{\beta_1} \quad (5.3)$$

여기에서,

T_R : planning time(sec)

U_3 : space mean speed at the 3rd lane(km/h)

β_j : regression coefficients($j=0, 1$)

연구대상 고속도로에서 3차로의 공간평균속도 U_3 와 계획통행시간 T_R 에 의해 구축된 모형의 결정계수 R^2 값은 대체적으로 0.8이상으로 방향이나 주중과 주말에 따라 설명력에서 다소 차이를 보이는 것으로 확인되었다.

우선적으로 경부고속도로의 북쪽방향에서 계획통행시간 T_R 모형의 결정계수 R^2 값은 LIN모형과 POW모형에서 각각 0.8038과 0.8209로 POW모형이 다소 높은 설명력을 보였고, 남쪽방향에서도 각각 0.8172와 0.8470으로 역시 POW모형이 다소 높은 설명력을 보였으며, 방향과 관계없이 계획통행시간 T_R 모형의 결정계수 R^2 값은 LIN모형과 POW모형에서 각각 0.8100과 0.8333으로 POW모형이 다소 높은 설명력을 보였다(참조 Tables 5.1~5.2와 Figures 5.1, 5.4, 5.7).

특히, 주중에 북쪽방향에서 계획통행시간 T_R 모형의 결정계수 R^2 값이 LIN모형과 POW모형에서 각각 0.8046과 0.8164로 POW모형이 다소 높은 설명력을 보였고, 남쪽방향에서도 각각 0.8313과 0.8526으로 POW모형이 다소 높은 설명력을 보였으며, 방향과 관계없이 계획통행시간 T_R 모형의 결정계수 R^2 값은 LIN모형과 POW모형에서 각각 0.8177과 0.8341로 POW모형이 다소 높은 설명력을 보였다(참조 Tables 5.1~5.2와 Figures 5.2, 5.5, 5.8). 또한 주말에 북쪽방향에서 계획통행시간 T_R 모형의 결정계수 R^2 값이 LIN모형과 POW모형에서 각각 0.8751과 0.8859로 POW모형이 다소 높은 설명력을 보였고, 남쪽방향에서도 각각 0.9122와 0.9179로 POW모형이 다소 높은 설명력을 보였으며, 방향과 관계없이 계획통행시간 T_R 모형의 결정계수 R^2 값은 LIN모형과 POW모형에서 각각 0.8990과

0.9074로 POW모형이 높은 설명력을 보임으로써 고속도로의 계획통행시간 T_R 추정에서는 주중이나 주말에 관계없이 LIN모형이나 POW모형의 높은 설명력을 확인할 수 있었다(참조 Tables 5.1~5.2와 Figures 5.3, 5.6, 5.9).

Table 5.1 Linear models of T_R in EX-1

Expressway		T_R model	R^2	F-sig.
Week	NB	$T_R = 1,026.4 - 5.2579 \times U_3$	0.8038	0.000
	SB	$T_R = 1,077.9 - 5.8157 \times U_3$	0.8172	0.000
	NS	$T_R = 1,051.0 - 5.5229 \times U_3$	0.8100	0.000
Weekday	NB	$T_R = 1,161.0 - 6.7839 \times U_3$	0.8046	0.000
	SB	$T_R = 1,174.4 - 6.9264 \times U_3$	0.8313	0.000
	NS	$T_R = 1,167.6 - 6.8546 \times U_3$	0.8177	0.000
Weekend	NB	$T_R = 998.97 - 4.9133 \times U_3$	0.8751	0.000
	SB	$T_R = 1,019.8 - 5.1369 \times U_3$	0.9122	0.000
	NS	$T_R = 1,007.0 - 4.9992 \times U_3$	0.8990	0.000

NB : northbound SB : southbound NS : north-south bounds

Table 5.2 Power models of T_R in EX-1

Expressway		T_R model	R^2	F-sig.
Week	NB	$T_R = 26,058 \times U_3^{-0.857}$	0.8209	0.000
	SB	$T_R = 39,337 \times U_3^{-0.948}$	0.8470	0.000
	NS	$T_R = 31,715 \times U_3^{-0.900}$	0.8333	0.000
Weekday	NB	$T_R = 67,827 \times U_3^{-1.071}$	0.8164	0.000
	SB	$T_R = 78,828 \times U_3^{-1.104}$	0.8526	0.000
	NS	$T_R = 73,039 \times U_3^{-1.087}$	0.8341	0.000
Weekend	NB	$T_R = 33,812 \times U_3^{-0.912}$	0.8859	0.000
	SB	$T_R = 34,696 \times U_3^{-0.918}$	0.9179	0.000
	NS	$T_R = 33,842 \times U_3^{-0.912}$	0.9074	0.000

NB : northbound SB : southbound NS : north-south bounds

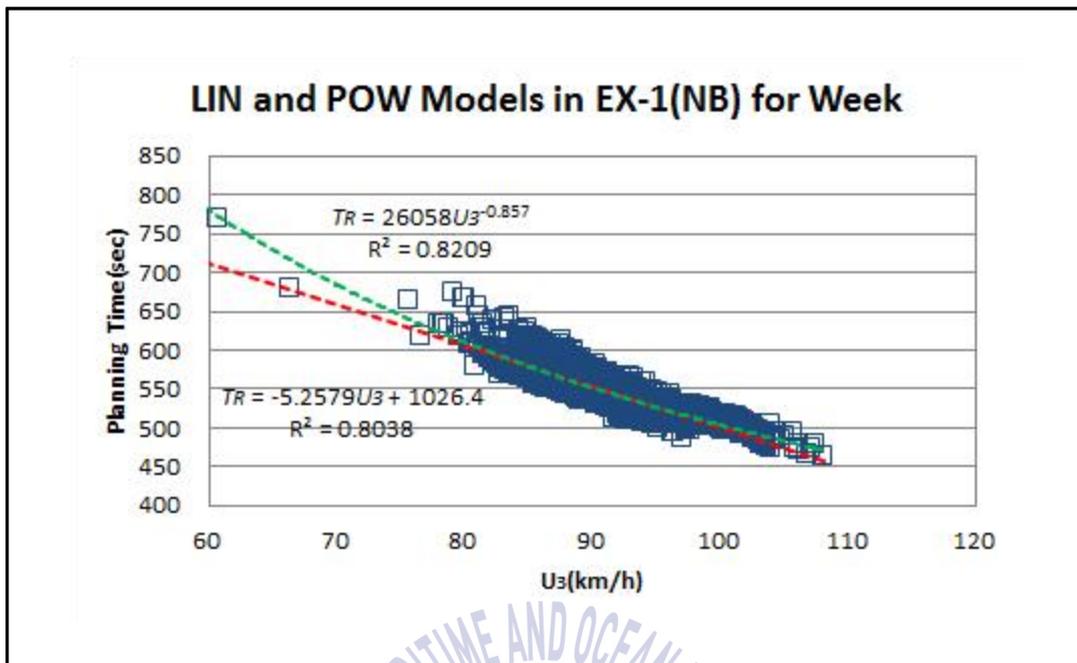


Figure 5.1 Models of T_R in EX-1(NB) for week

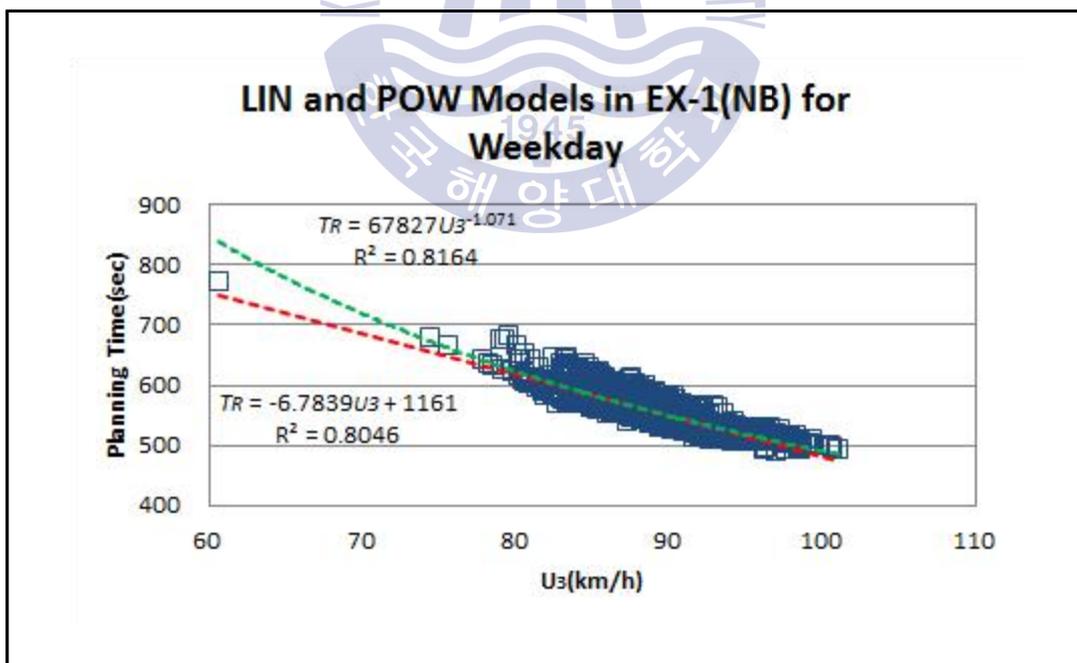


Figure 5.2 Models of T_R in EX-1(NB) for weekday

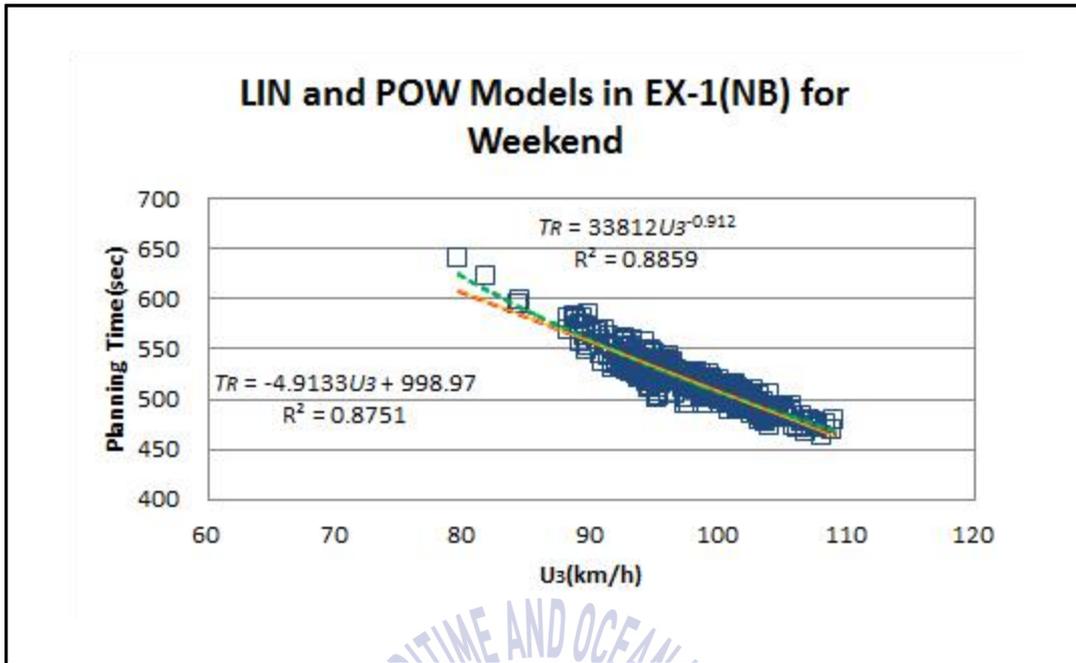


Figure 5.3 Models of T_R in EX-1(NB) for weekend

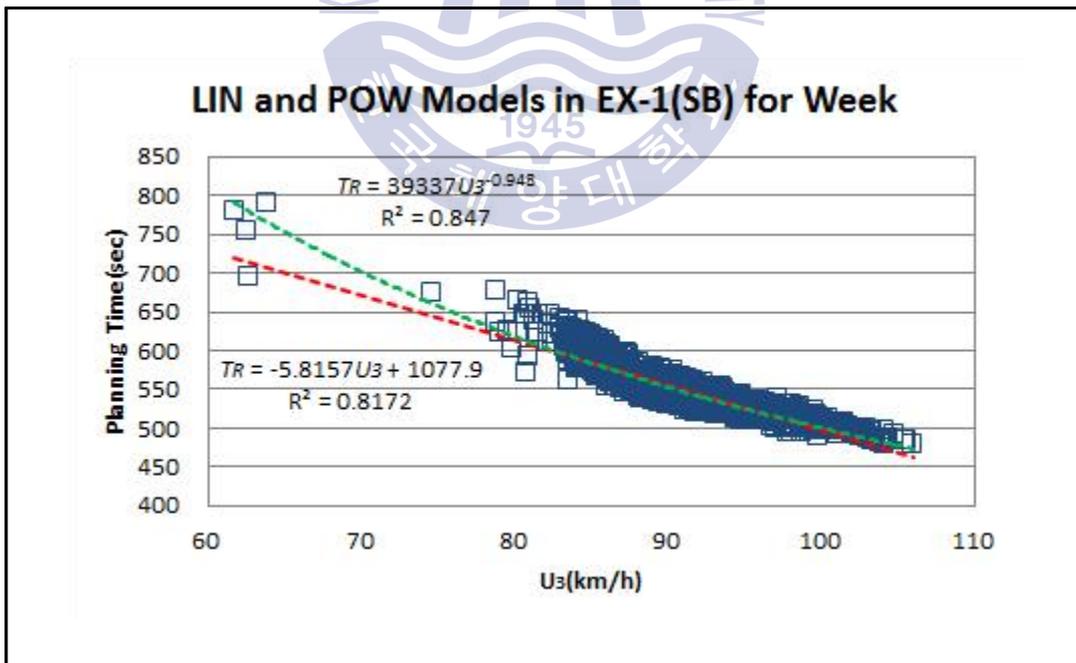


Figure 5.4 Models of T_R in EX-1(SB) for week

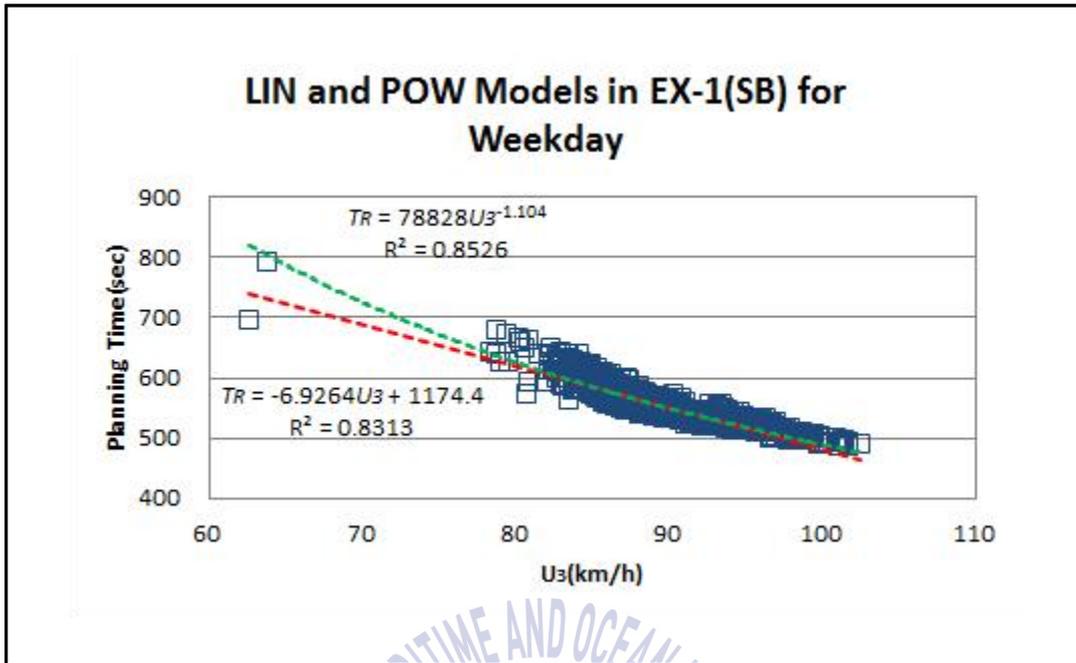


Figure 5.5 Models of T_R in EX-1(SB) for weekday

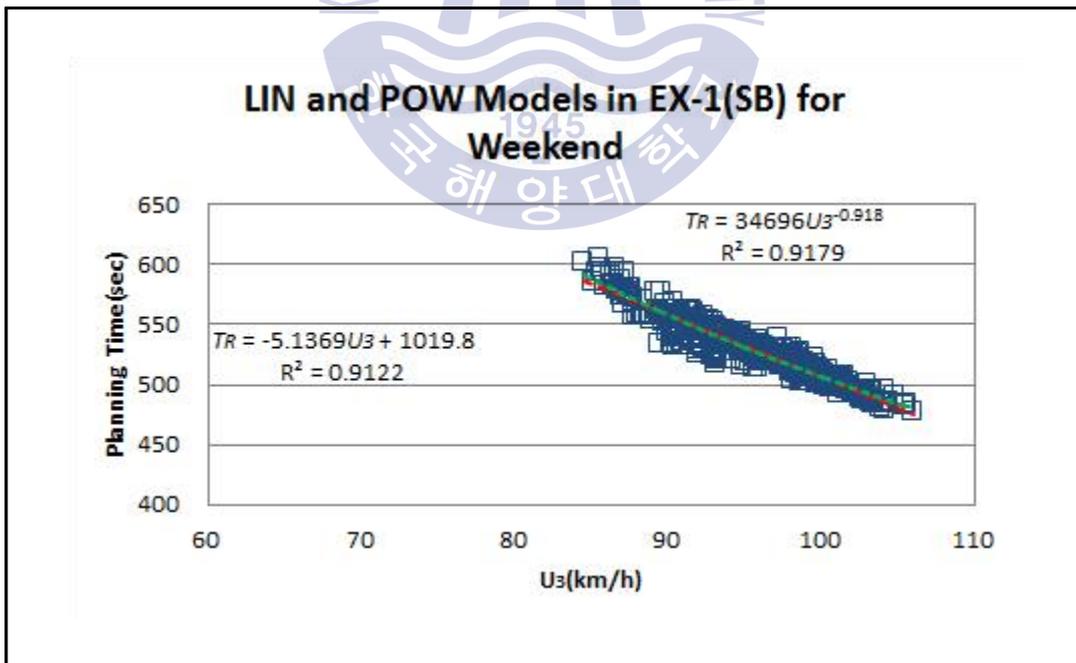


Figure 5.6 Models of T_R in EX-1(SB) for weekend

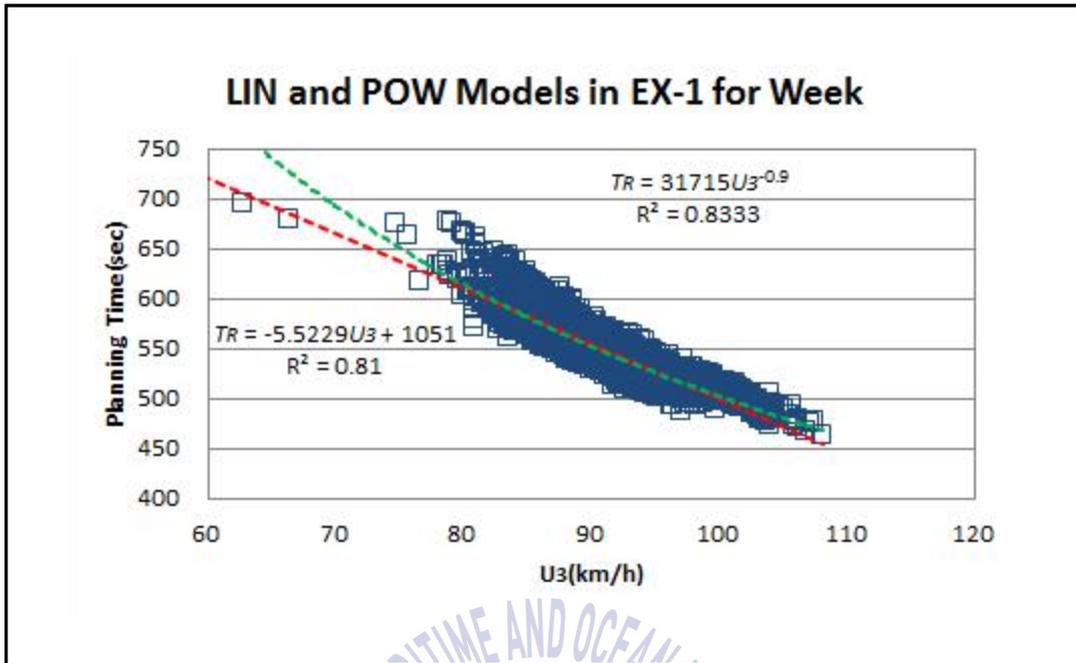


Figure 5.7 Models of T_R in EX-1 for week

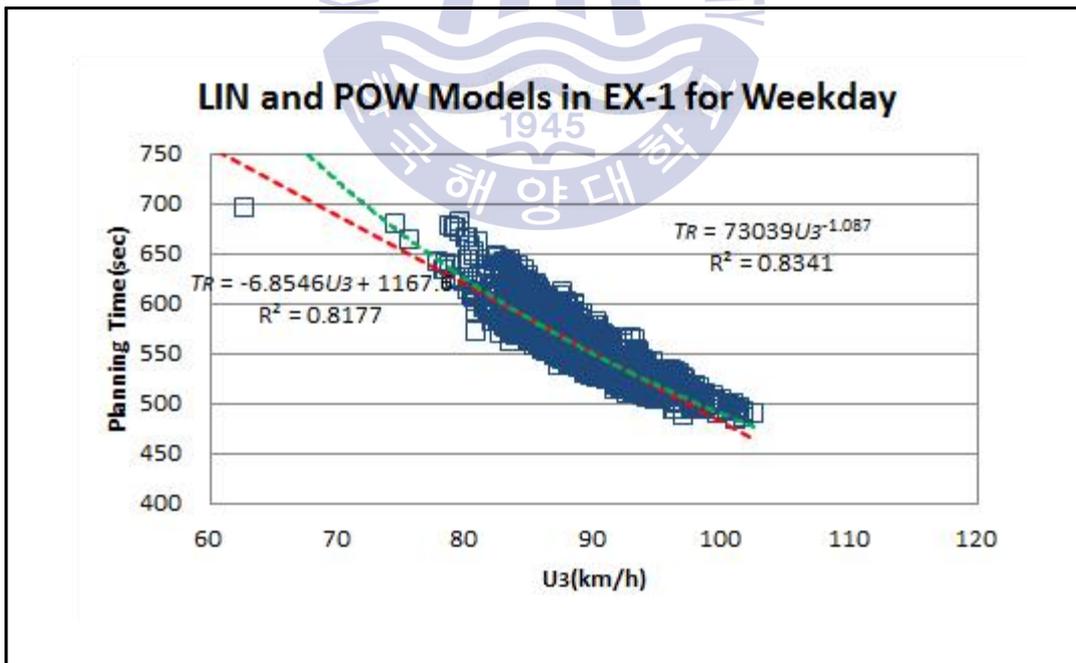


Figure 5.8 Models of T_R in EX-1 for weekday

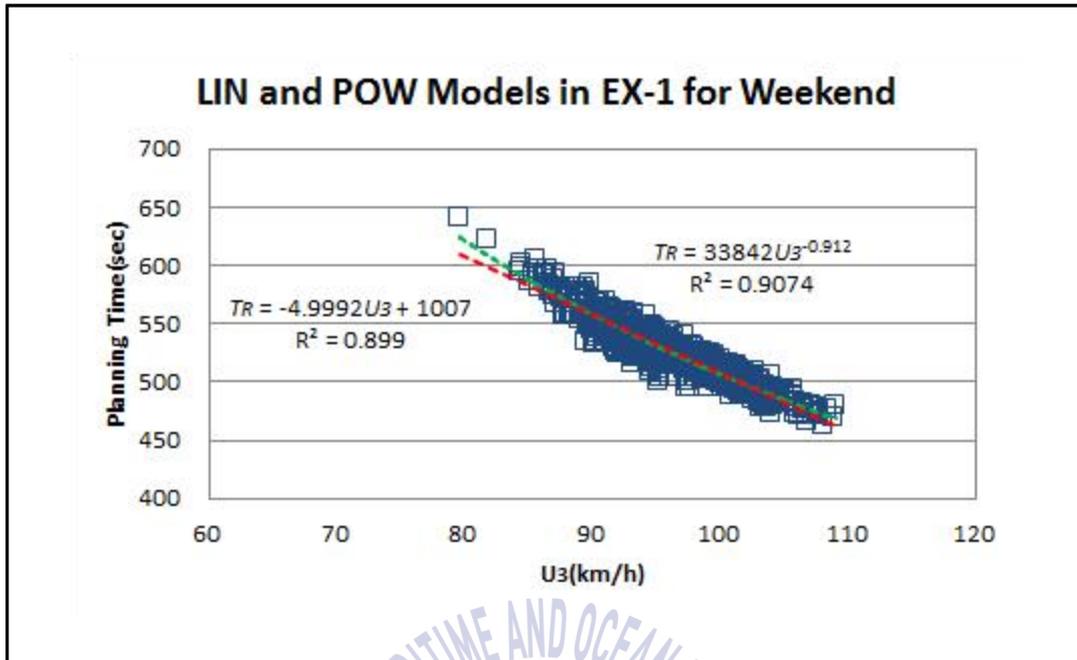


Figure 5.9 Models of T_R in EX-1 for weekend

다음으로 남해고속도로의 동쪽방향에서 계획통행시간 T_R 모형의 결정계수 R^2 값은 LIN모형과 POW모형에서 각각 0.8949와 0.9108로 POW모형이 다소 높은 설명력을 보였고, 서쪽방향에서도 각각 0.8515과 0.8607로 역시 POW모형이 다소 높은 설명력을 보였으며, 방향과 관계없이 계획통행시간 T_R 모형의 결정계수 R^2 값은 LIN모형과 POW모형에서 각각 0.8724와 0.8845로 POW모형이 다소 높은 설명력을 보였다(참조 Tables 5.3~5.4와 Figures 5.10, 5.13, 5.16).

특히, 주중에 동쪽방향에서 계획통행시간 T_R 모형의 결정계수 R^2 값이 LIN모형과 POW모형에서 각각 0.8924와 0.9070으로 POW모형이 다소 높은 설명력을 보였고, 서쪽방향에서도 각각 0.8215와 0.8275로 POW모형이 다소 높은 설명력을 보였으며, 방향과 관계없이 계획통행시간 T_R 모형의 결정계수 R^2 값은 LIN모형과 POW모형에서 각각 0.8562과 0.8659로 POW모형이 다소 높은 설명력을 보였다(참조 Tables 5.3~5.4와 Figures 5.11, 5.14, 5.17). 또한 주말에 동쪽방향에서 계획통행

시간 T_R 모형의 결정계수 R^2 값이 LIN모형과 POW모형에서 각각 0.9234와 0.9264로 POW모형이 다소 높은 설명력을 보였고, 서쪽방향에서는 각각 0.8849와 0.8793으로 LIN모형이 다소 높은 설명력을 보였으며, 방향과 관계없이 계획통행 시간 T_R 모형의 결정계수 R^2 값은 LIN모형과 POW모형에서 각각 0.8999와 0.9000으로 POW모형이 미미하게 높은 설명력을 보임으로써 고속도로의 계획통행 시간 T_R 추정에서는 주중이나 주말에 관계없이 LIN모형이나 POW모형의 높은 설명력을 확인할 수 있었다(참조 Tables 5.3~5.4와 Figures 5.12, 5.15, 5.18).

Table 5.3 Linear models of T_R in EX-10

Expressway		T_R model	R^2	F-sig.
Week	EB	$T_R = 1,112.8 - 6.018 \times U_3$	0.8949	0.000
	WB	$T_R = 1,053.0 - 5.3832 \times U_3$	0.8515	0.000
	EW	$T_R = 1,082.2 - 5.6939 \times U_3$	0.8724	0.000
Weekday	EB	$T_R = 1,168.7 - 6.6418 \times U_3$	0.8924	0.000
	WB	$T_R = 1,093.7 - 5.8352 \times U_3$	0.8215	0.000
	EW	$T_R = 1,129.8 - 6.2251 \times U_3$	0.8562	0.000
Weekend	EB	$T_R = 1,108.5 - 5.917 \times U_3$	0.9234	0.000
	WB	$T_R = 1,008.4 - 4.9018 \times U_3$	0.8849	0.000
	EW	$T_R = 1,058.8 - 5.4136 \times U_3$	0.8999	0.000

EB : eastbound WB : westbound EW : east-west bounds

Table 5.4 Power models of T_R in EX-10

Expressway		T_R model	R^2	F-sig.
Week	EB	$T_R = 61,227 \times U_3^{-1.039}$	0.9108	0.000
	WB	$T_R = 35,324 \times U_3^{-0.918}$	0.8607	0.000
	EW	$T_R = 46,156 \times U_3^{-0.977}$	0.8845	0.000
Weekday	EB	$T_R = 83,607 \times U_3^{-1.109}$	0.9070	0.000
	WB	$T_R = 42,433 \times U_3^{-0.959}$	0.8275	0.000
	EW	$T_R = 58,744 \times U_3^{-1.031}$	0.8659	0.000
Weekend	EB	$T_R = 77,000 \times U_3^{-1.087}$	0.9264	0.000
	WB	$T_R = 34,278 \times U_3^{-0.911}$	0.8793	0.000
	EW	$T_R = 51,689 \times U_3^{-1.000}$	0.9000	0.000

EB : eastbound WB : westbound EW : east-west bounds

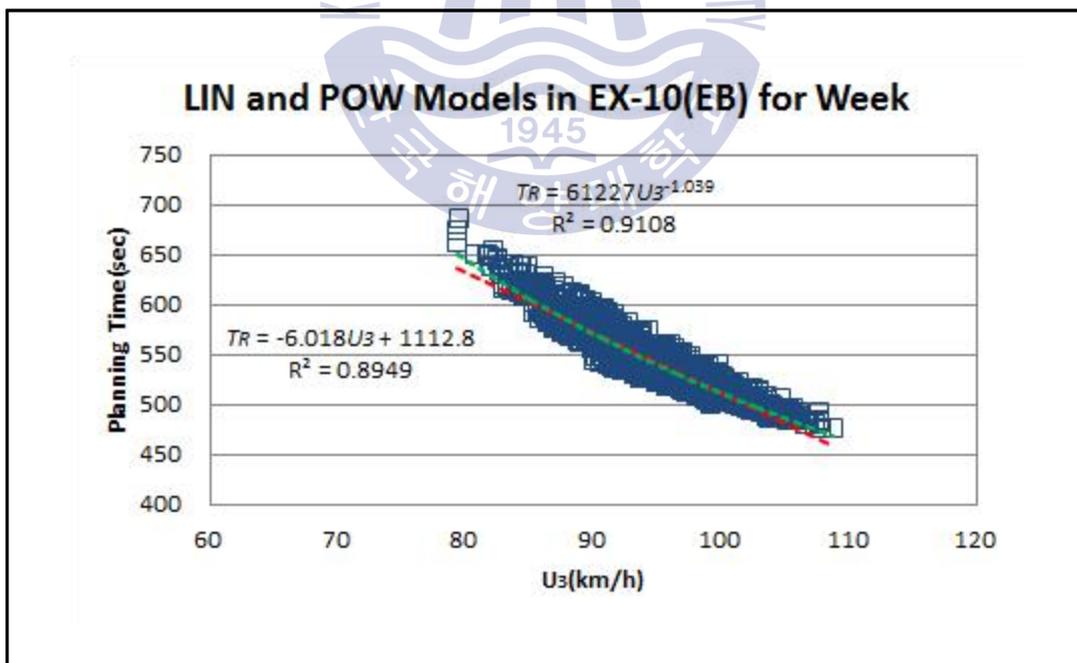


Figure 5.10 Models of T_R in EX-10(EB) for week

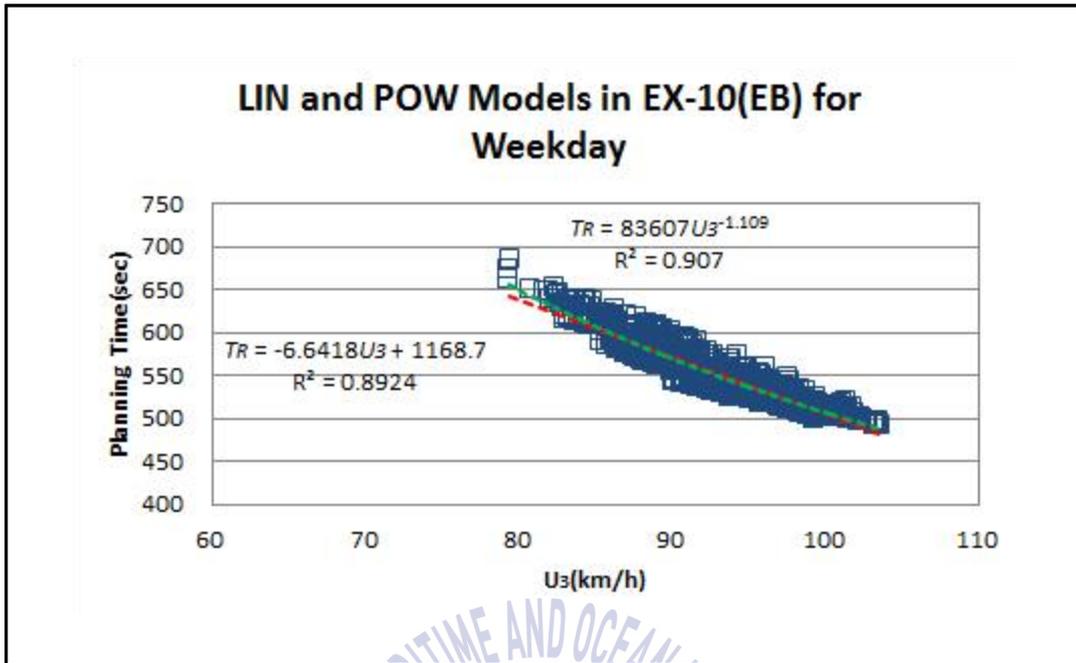


Figure 5.11 Models of T_R in EX-10(EB) for weekday

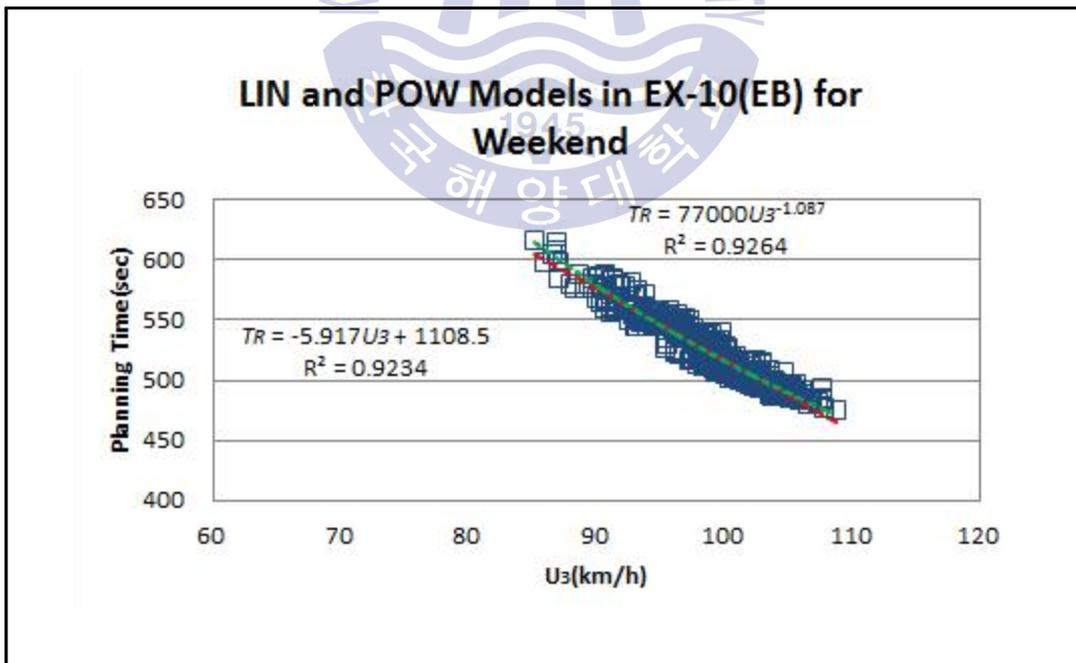


Figure 5.12 Models of T_R in EX-10(EB) for weekend

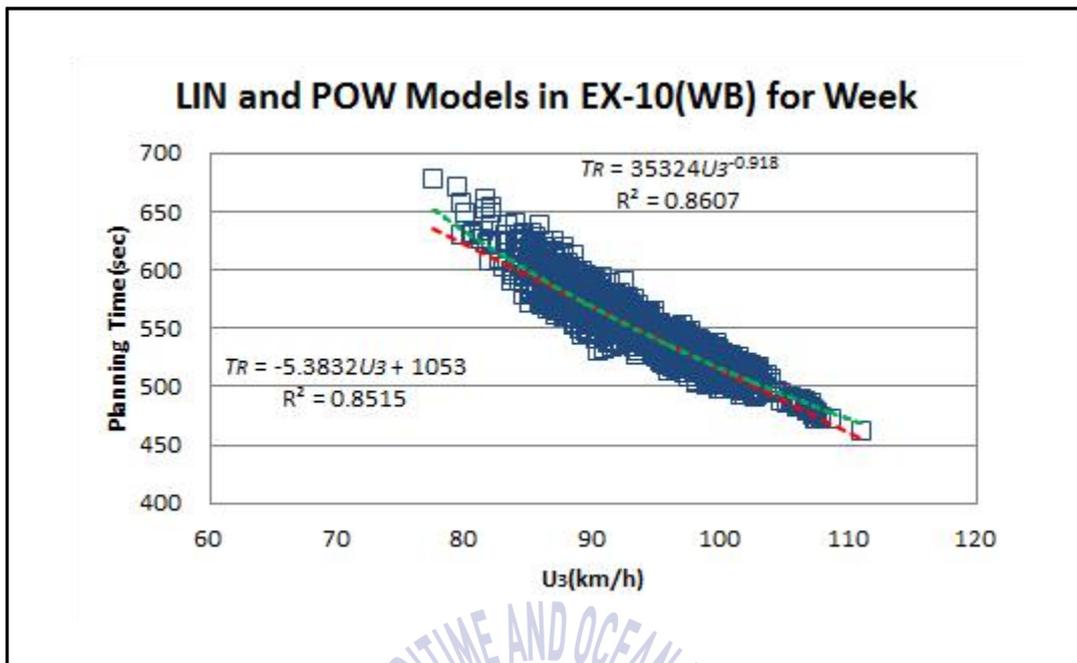


Figure 5.13 Models of T_R in EX-10(WB) for week

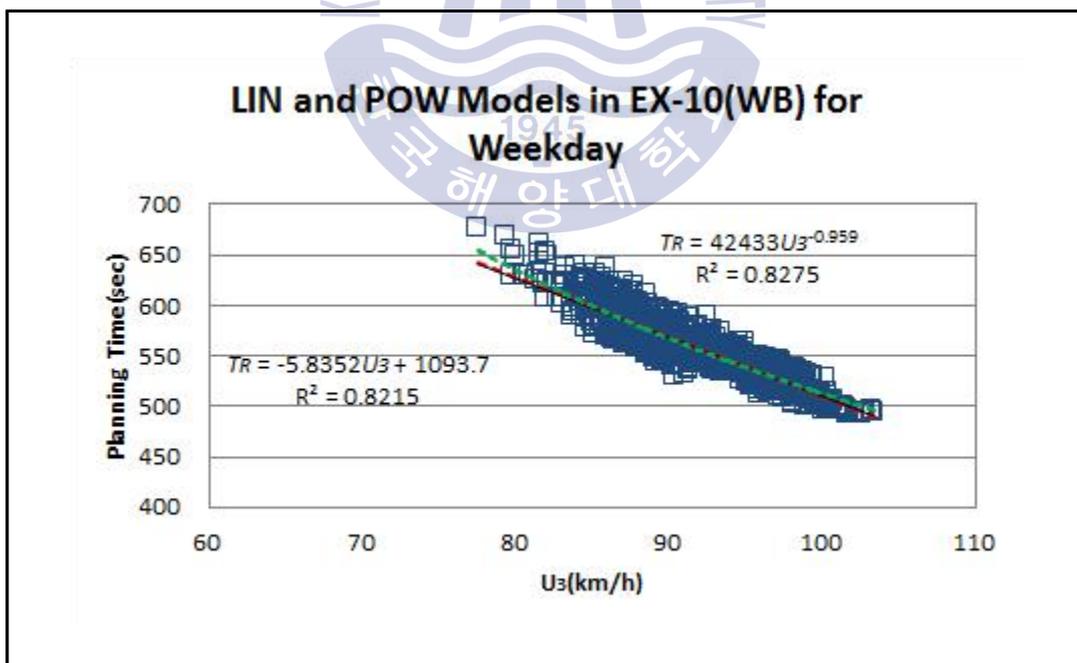


Figure 5.14 Models of T_R in EX-10(WB) for weekday

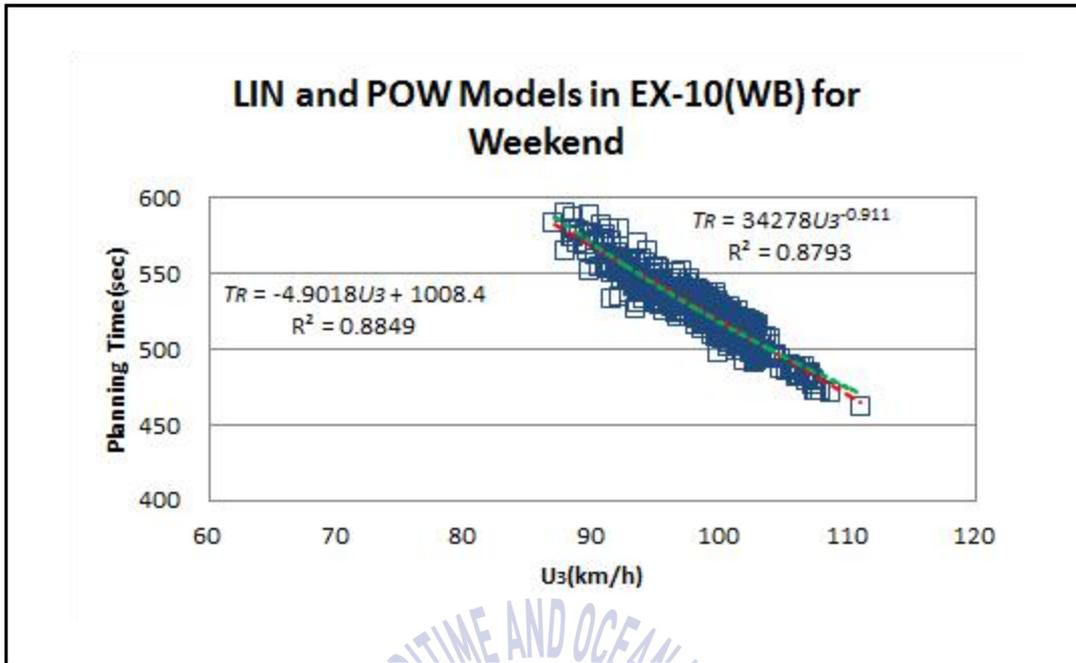


Figure 5.15 Models of T_R in EX-10(WB) for weekend

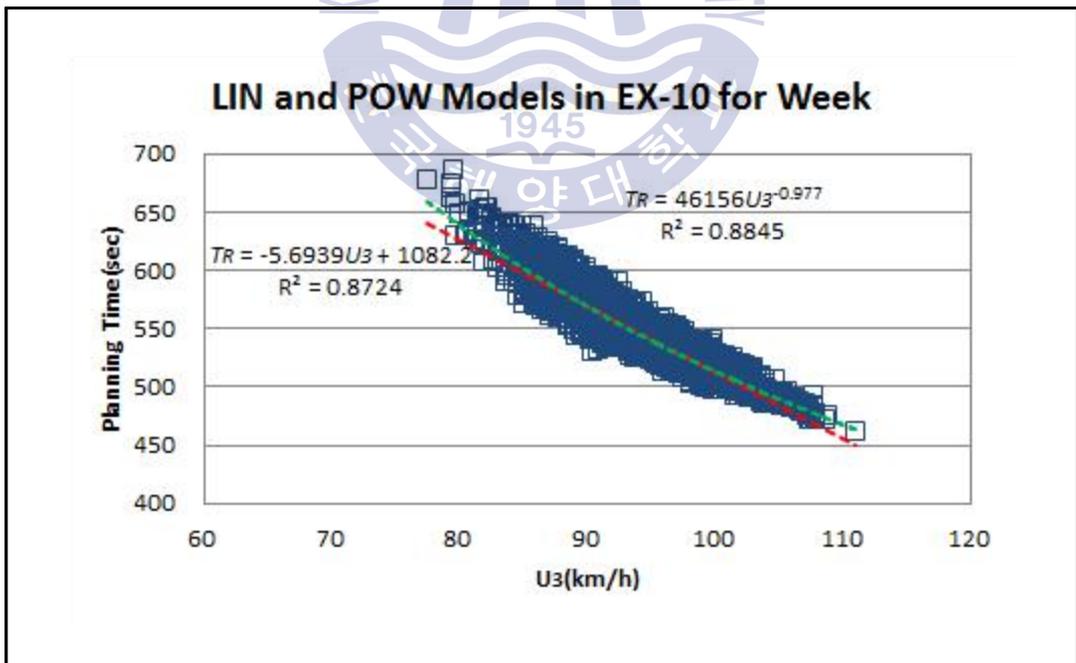


Figure 5.16 Models of T_R in EX-10 for week

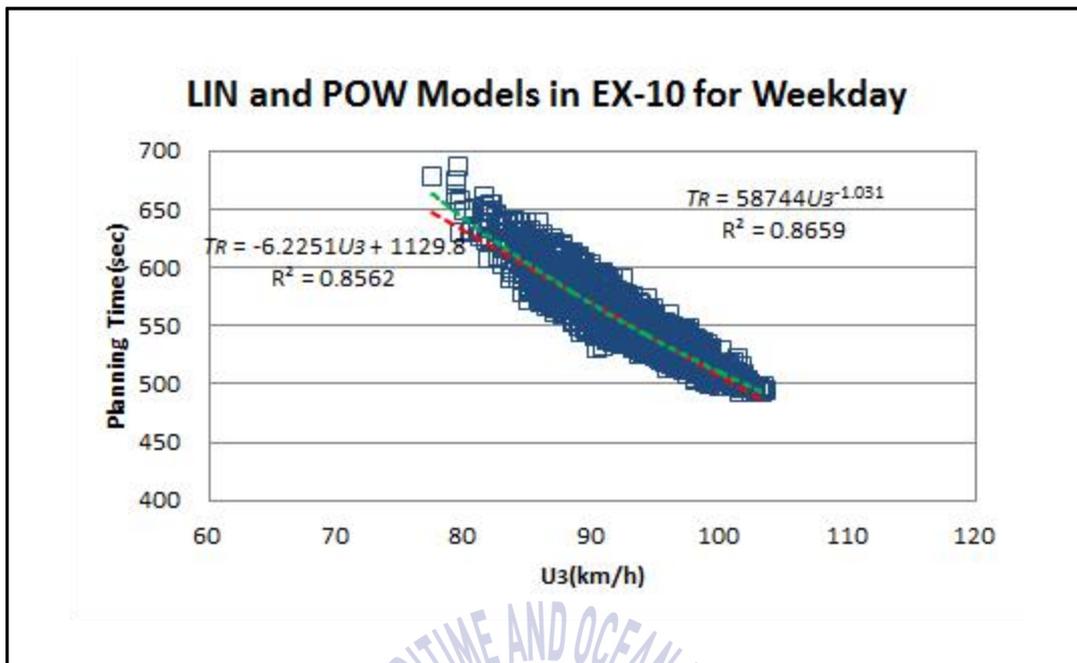


Figure 5.17 Models of T_R in EX-10 for weekday

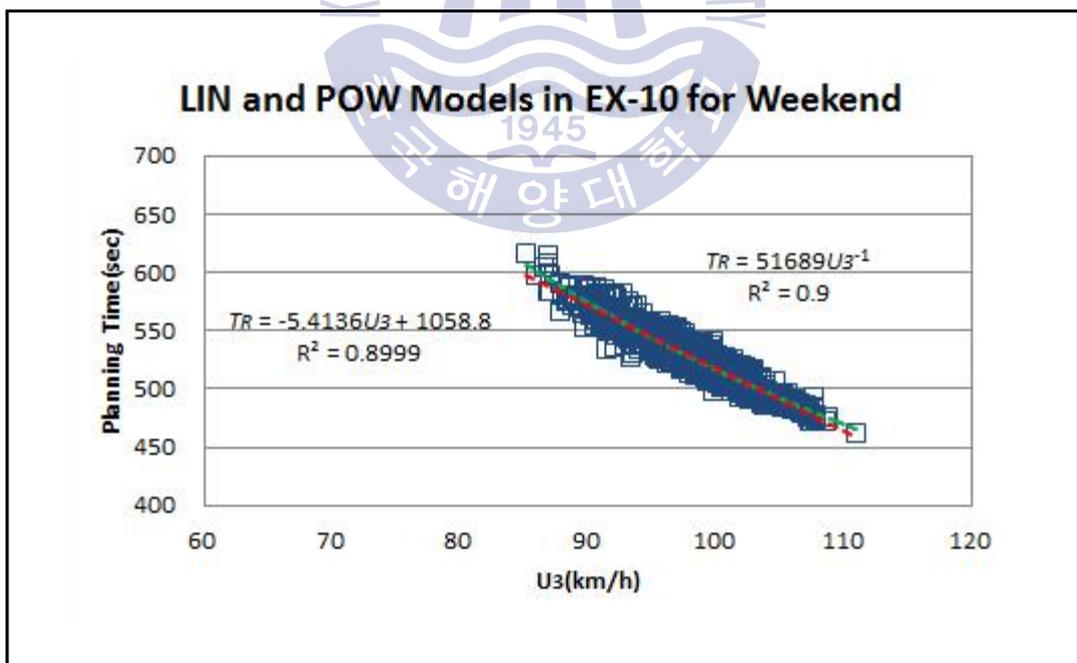


Figure 5.18 Models of T_R in EX-10 for weekend

결과적으로 연구대상 고속도로에서 방향이나 주중과 주말에 관계없이 계획통행 시간 T_R 모형의 결정계수 R^2 가 LIN모형과 POW모형에서 각각 0.8038~0.8949와 0.8209~0.9108로 높은 설명력을 보였고, 주중에는 계획통행시간 T_R 모형의 결정계수 R^2 가 LIN모형과 POW모형에서 각각 0.8046~0.8924와 0.8164~0.9070으로 높은 설명력을 보였으며, 주말에도 계획통행시간 T_R 모형의 결정계수 R^2 가 LIN모형과 POW모형에서 각각 0.8751~0.9234와 0.8793~0.9264로 높은 설명력을 보임으로써 고속도로의 3차로 공간평균속도 U_3 을 이용한 계획통행시간 T_R 모형에서 LIN모형이나 POW모형의 높은 설명력을 확인할 수 있었다.



5.2 모형 검증

연구대상 고속도로의 기본구간에 대해 계획통행시간 T_R 모형의 유효성을 검증하기 위해 모형구축에 사용되지 않은 나머지 교통특성자료를 중심으로 검증을 실시하였으며, 모형검증을 위해 추정된 계획통행시간 (T_{Rpre})과 산정된 계획통행시간(T_{Rcal})사이에 다음과 같이 i) 상관관계분석, ii) 대응표본 t-검정 (Test) 그리고 iii) 평균 제곱근 편차(root mean square error, RMSE)분석을 실시하였다.

$$i) \text{ 상관관계분석 } r = \frac{Cov(T_{Rcal}, T_{Rpre})}{\sqrt{Var(T_{Rcal})} \times \sqrt{Var(T_{Rpre})}} \quad (5.4)$$

여기에서,

r : correlation coefficients

T_{Rcal} : planning time(T_R) calculated(sec)

T_{Rpre} : planning time(T_R) predicted(sec)

$$ii) \text{ 대응표본 t-검정 } t_s = \frac{\bar{D}}{\frac{s_D}{\sqrt{m}}} \quad (5.5)$$

$$\bar{D} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m D_i \quad (5.6)$$

$$D_i = (T_{Rcal})_i - (T_{Rpre})_i \quad (5.7)$$

$$s_D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (D_i - \bar{D})^2}{m-1}} \quad (5.8)$$

검증된 모형에 대해

$$\text{iii) 평균 제곱근 편차분석 } RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (T_{Real} - T_{Rpre})^2}{m}} \quad (5.9)$$

여기에서,

t_s : t statistic of matched paired samples

s_D : standard deviation of difference in T_{Real} and T_{Rpre} (sec)

m : no. of paired samples

\bar{D} : mean of difference in T_{Real} and T_{Rpre} (sec)

D_i : difference in i -th T_{Real} and T_{Rpre} (sec)

RMSE : root mean of squared error in T_{Real} and T_{Rpre} (sec)

우선적으로 경부고속도로의 계획통행시간 T_R 모형에 대해 상관관계분석을 실시한 결과, 주중과 주말에 관계없이 북쪽방향에서 LIN모형과 POW모형의 상관계수 r 은 각각 0.9208과 0.9350으로 높은 상관성을 보였고, 남쪽방향에서 LIN모형과 POW모형의 상관계수 r 도 각각 0.9287과 0.9430으로 역시 높은 상관성을 보였으며, 방향과 관계없이 LIN모형과 POW모형의 상관계수 r 가 각각 0.9201과 0.9223으로 역시 높은 상관성을 보이는 것으로 나타났다. 특히, 주중에 북쪽방향에서 LIN모형과 POW모형의 상관계수 r 가 각각 0.9051과 0.8830으로 높은 상관성을 보였고 남쪽방향에서도 LIN모형과 POW모형의 상관계수 r 도 각각 0.9187과 0.9010으로 역시 높은 상관성을 보였으며, 방향과 관계없이 LIN모형과 POW모형의 상관계수 r 가 각각 0.9040과 0.9011로 역시 높은 상관성을 보이는 것으로 나타났다.

주말에 북쪽방향에서 LIN모형과 POW모형의 상관계수 r 은 각각 0.9372와 0.9390으로 높은 상관성을 보였고 남쪽방향의 LIN모형과 POW모형의 상관계수 r 도 각각 0.9605와 0.9670으로 역시 높은 상관성을 보였으며, 방향과 관계없이 LIN모형과 POW모형의 상관계수 r 가 각각 0.9537과 0.9544로 역시 높은 상관성을 보이는 것으로 나타났다(참조 Table 5.5 그리고 Figures 5.19~5.27).

또한, 경부고속도로의 계획통행시간 T_R 모형에 대해 대응표본 t-검정을 실시한 결과, 주중과 주말에 관계없이 북쪽방향에서 LIN모형과 POW모형의 양측 유의확률 P-value이 각각 0.180과 0.834로 수락영역에 포함되었고 남쪽방향에서 LIN모형과 POW모형의 양측 유의확률 P-value이 각각 0.244와 0.808로 모두 수락영역에 포함되었으며, 방향과 관계없이 LIN모형과 POW모형의 양측 유의확률 P-value이 각각 0.409와 0.117로 모두 수락영역에 포함되는 것으로 나타났다.

특히, 주중에 북쪽방향에서 LIN모형과 POW모형의 양측 유의확률 P-value이 각각 0.419와 0.052로 모두 수락영역에 포함되었고, 남쪽방향에서 LIN모형과 POW모형의 양측 유의확률 P-value이 각각 0.175와 0.000으로 LIN모형만 수락영역에 포함되었으며, 방향과 관계없이 LIN모형과 POW모형의 양측 유의확률 P-value이 각각 0.094와 0.008로 LIN모형만 수락영역에 포함되는 것으로 나타났다.

주말 북쪽방향의 경우 LIN모형과 POW모형의 양측 유의확률 P-value이 각각 0.131과 0.041로 LIN모형만 수락영역에 포함되었고, 남쪽방향에서도 LIN모형과 POW모형의 양측 유의확률 P-value이 각각 0.816과 0.043으로 LIN모형만 수락영역에 포함되었으며, 방향과 관계없이 LIN모형과 POW모형의 양측 유의확률 P-value이 각각 0.567와 0.184로 모두 수락영역에 포함되는 것으로 나타났다(참조 Table 5.6).

Table 5.5 Correlation analysis between T_{Real} and T_{Pre} in EX-1

Expressway/Model			Correlation Coefficient(r)
Week	NB	LIN	0.9208
		POW	0.9350
	SB	LIN	0.9287
		POW	0.9430
	NS	LIN	0.9201
		POW	0.9223
Weekday	NB	LIN	0.9051
		POW	0.8830
	SB	LIN	0.9187
		POW	0.9010
	NS	LIN	0.9040
		POW	0.9011
Weekend	NB	LIN	0.9372
		POW	0.9390
	SB	LIN	0.9605
		POW	0.9670
	NS	LIN	0.9537
		POW	0.9544

Table 5.6 t-Test results between T_{Real} and T_{Rpre} in EX-1

Expressway/Model			t-value	p-value	Result
Week	NB	LIN	1.344	0.180	Accept
		POW	0.2100	0.834	Accept
	SB	LIN	1.167	0.244	Accept
		POW	-0.243	0.808	Accept
	NS	LIN	1.094	0.409	Accept
		POW	-1.569	0.117	Accept
Weekday	NB	LIN	0.808	0.419	Accept
		POW	1.951	0.052	Accept
	SB	LIN	1.359	0.175	Accept
		POW	3.692	0.000	Reject
	NS	LIN	1.679	0.094	Accept
		POW	2.674	0.008	Reject
Weekend	NB	LIN	1.523	0.131	Accept
		POW	2.071	0.041	Reject
	SB	LIN	-0.232	0.816	Accept
		POW	-2.043	0.043	Reject
	NS	LIN	0.574	0.567	Accept
		POW	-1.334	0.184	Accept

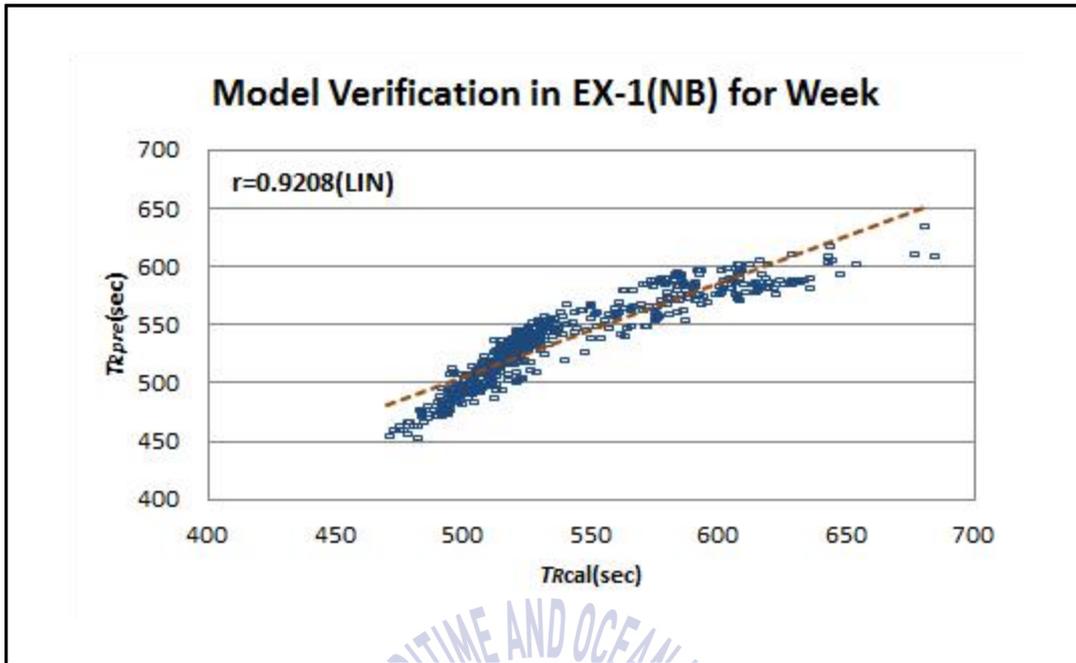


Figure 5.19 Verification of LIN Model in EX-1(NB) for week

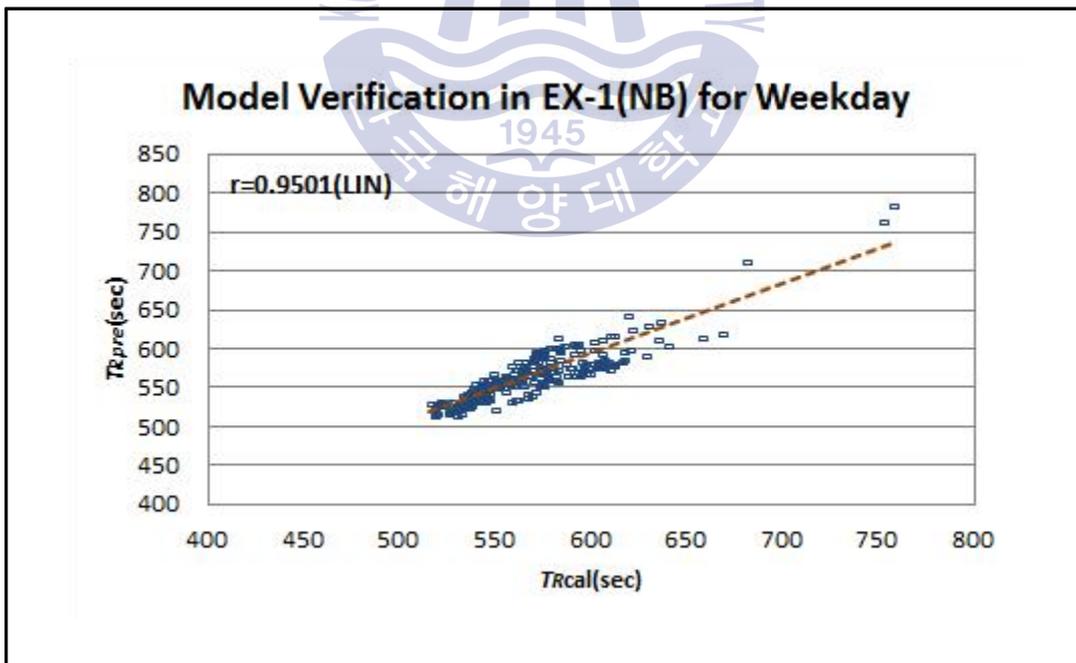


Figure 5.20 Verification of LIN Model in EX-1(NB) for weekday

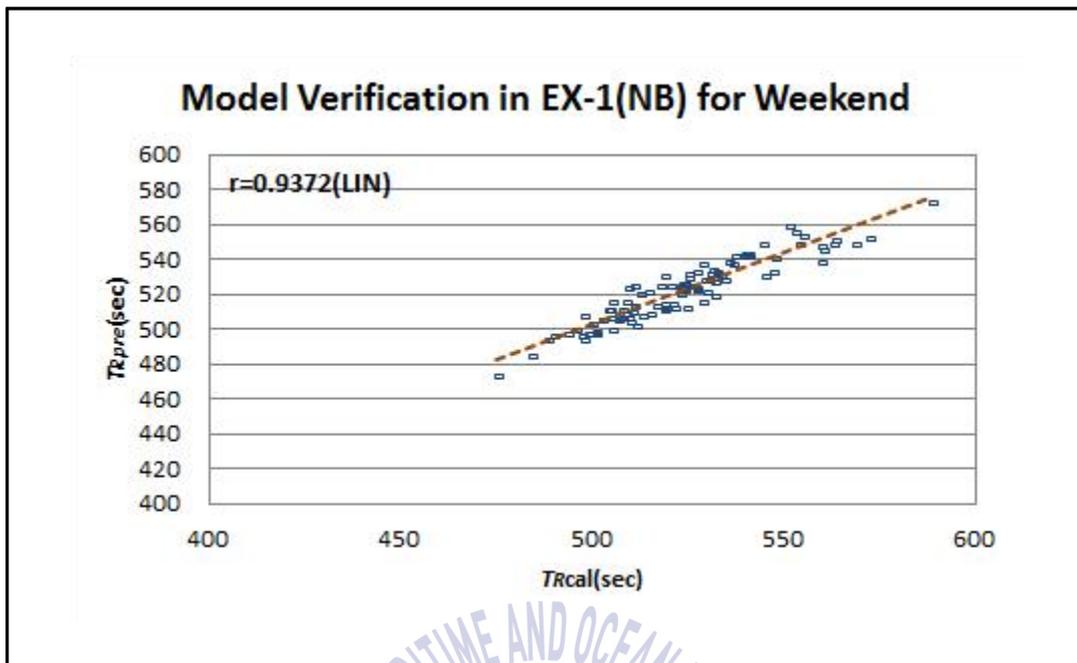


Figure 5.21 Verification of LIN Model in EX-1(NB) for weekend

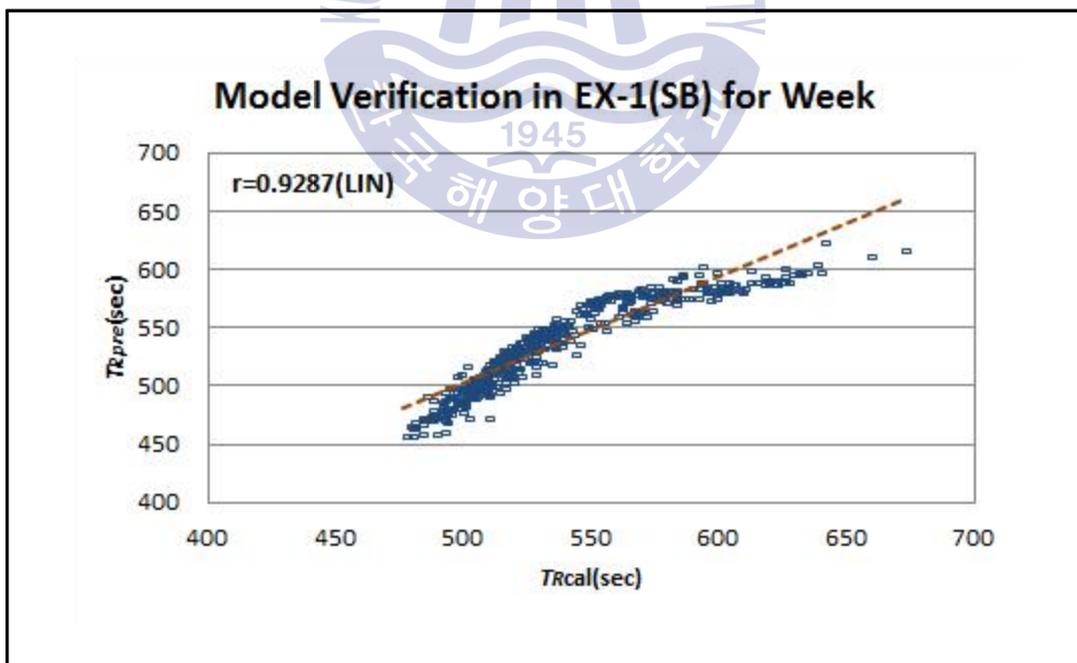


Figure 5.22 Verification of LIN Model in EX-1(SB) for week

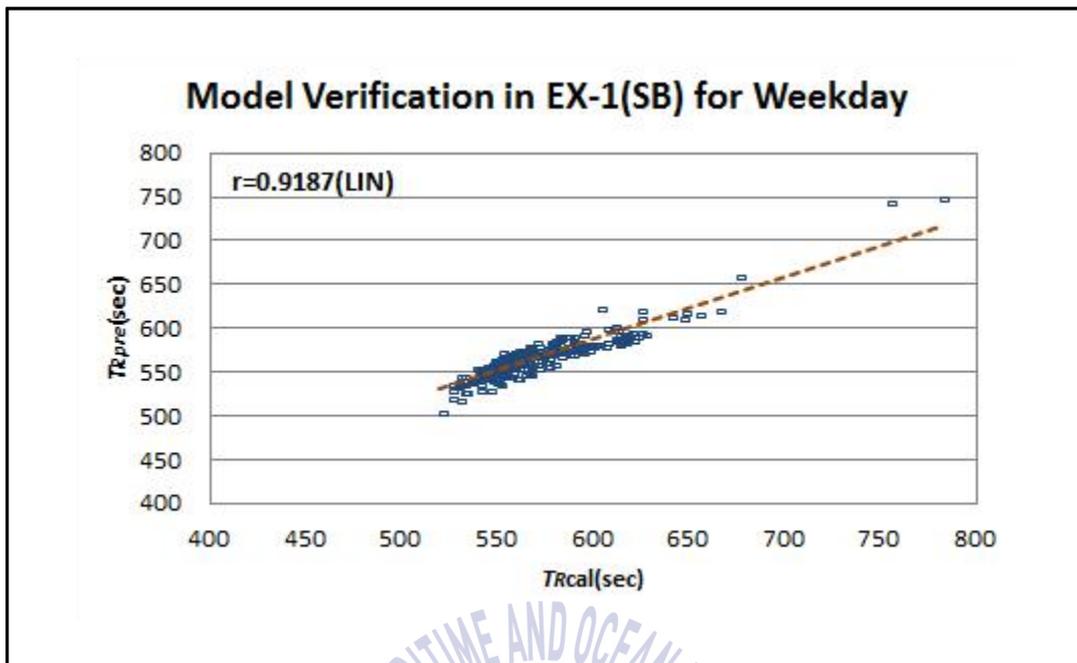


Figure 5.23 Verification of LIN Model in EX-1(SB) for weekday

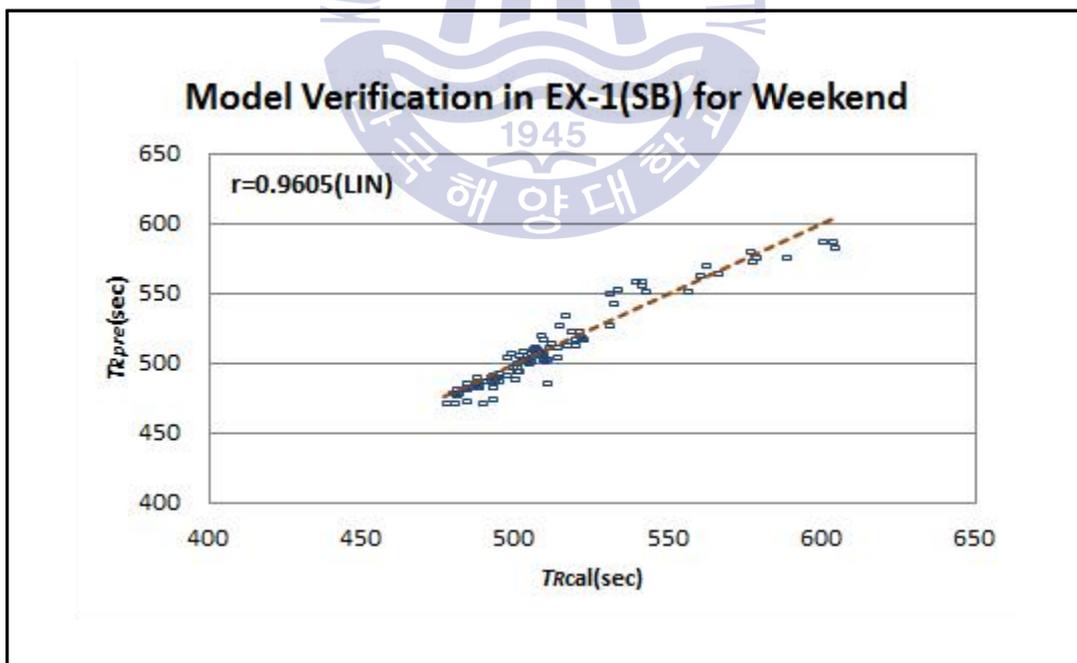


Figure 5.24 Verification of LIN Model in EX-1(SB) for weekend

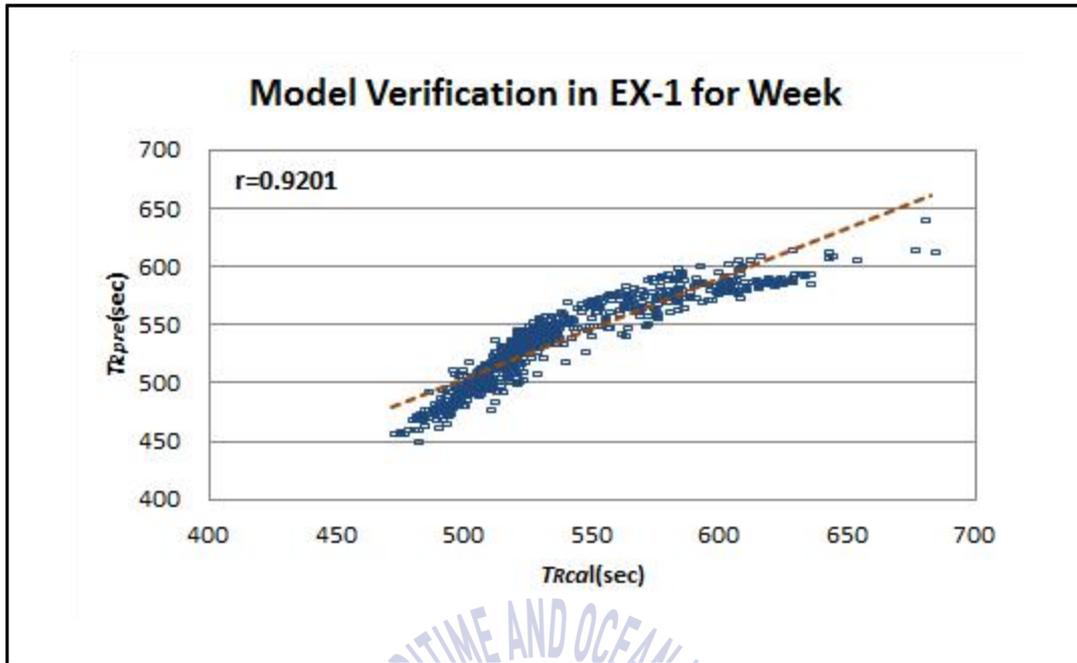


Figure 5.25 Verification of LIN Model in EX-1 for week

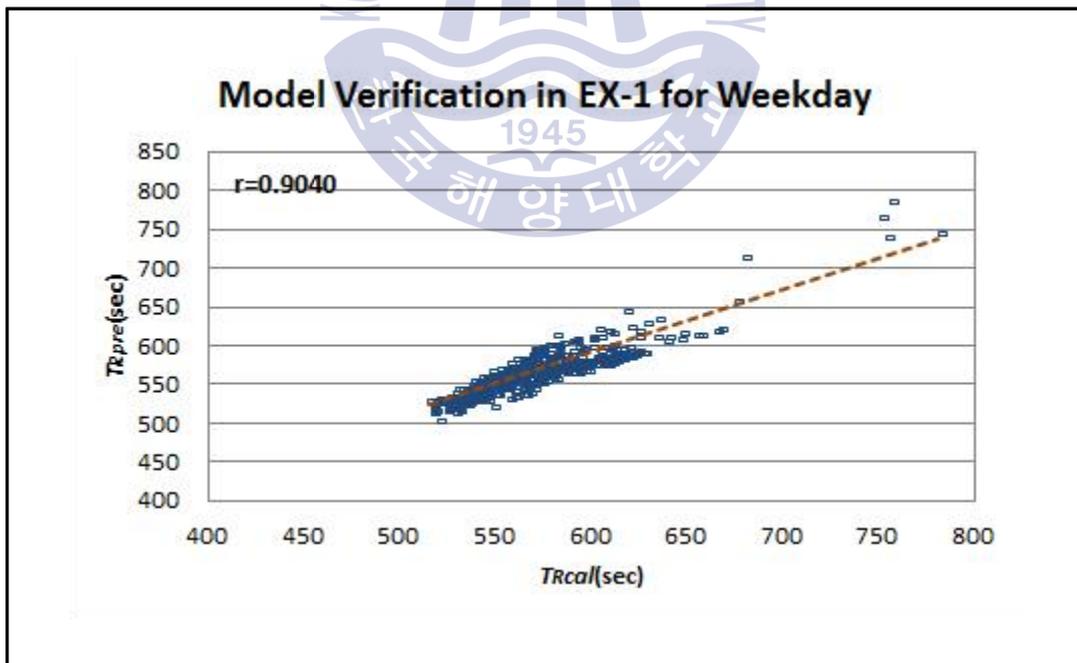


Figure 5.26 Verification of LIN Model in EX-1 for weekday

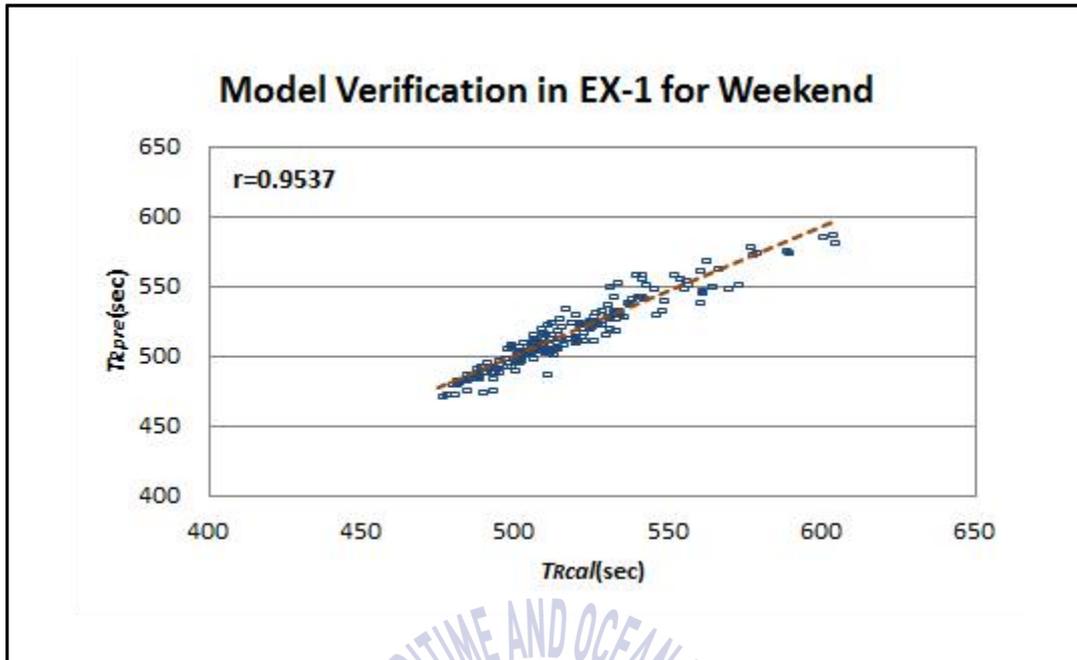


Figure 5.27 Verification of LIN Model in EX-1 for weekend

다음으로 남해고속도로의 계획통행시간 T_R 모형에 대해 상관관계분석을 실시한 결과, 주중과 주말에 관계없이 동쪽방향에서 LIN모형과 POW모형의 상관계수 r 은 각각 0.9539와 0.9660으로 높은 상관성을 보였고, 서쪽방향에서도 LIN모형과 POW모형의 상관계수 r 도 각각 0.9349와 0.9470으로 역시 높은 상관성을 보였으며, 방향과 관계없이 LIN모형과 POW모형의 상관계수 r 도 각각 0.9470과 0.9481로 역시 높은 상관성을 보이는 것으로 나타났다. 특히, 주중에 동쪽방향에서 LIN모형과 POW모형의 상관계수 r 가 각각 0.9558과 0.9650으로 높은 상관성을 보였고, 서쪽방향에서 LIN모형과 POW모형의 상관계수 r 도 각각 0.9376과 0.9440으로 역시 높은 상관성을 보였으며, 방향과 관계없이 LIN모형과 POW모형의 상관계수 r 도 각각 0.9465과 0.9470으로 역시 높은 상관성을 보이는 것으로 나타났다. 그리고 주말에 동쪽방향에서 LIN모형과 POW모형의 상관계수 r 가 각각 0.9374와 0.9460으로 높은 상관성을 보였고, 서쪽방향에서 LIN모형과 POW모형의 상관계수 r 도 각각 0.9628과 0.9640으로 역시 높은 상관성을 보였으며, 방향과 관계없이

LIN모형과 POW모형의 상관계수 r 도 각각 0.9410과 0.9415로 역시 높은 상관성을 보이는 것으로 나타났다(참조 Table 5.7 그리고 Figures 5.28~5.36).

남해고속도로의 계획통행시간 T_R 모형에 대해 대응표본 t-검정을 실시한 결과, 주중과 주말에 관계없이 동쪽방향에서 LIN모형과 POW모형의 양측 유의확률 P-value이 각각 0.230과 0.000으로 LIN모형만 수락영역에 포함되었고, 서쪽방향에서 LIN모형과 POW모형의 양측 유의확률 P-value이 각각 0.943과 0.644로 모두 수락영역에 포함되었으며, 방향과 관계없이 LIN모형과 POW모형의 양측 유의확률 P-value이 각각 0.160과 0.274로 모두 수락영역에 포함되는 것으로 나타났다.

특히, 주중에 동쪽방향에서 LIN모형과 POW모형의 양측 유의확률 P-value이 각각 0.209와 0.241로 모두 수락영역에 포함되었고, 서쪽방향에서 LIN모형과 POW모형의 양측 유의확률 P-value이 각각 0.067과 0.004로 LIN모형만 수락영역에 포함되었으며, 방향과 관계없이 LIN모형과 POW모형의 양측 유의확률 P-value이 각각 0.137과 0.087로 모두 수락영역에 포함되는 것으로 나타났다. 그리고 주말에 동쪽방향에서 LIN모형과 POW모형의 양측 유의확률 P-value이 각각 0.150와 0.010으로 LIN모형만 수락영역에 포함되었고, 서쪽방향에서 LIN모형과 POW모형의 양측 유의확률 P-value이 각각 0.349와 0.178로 모두 수락영역에 포함되었으며, 방향과 관계없이 LIN모형과 POW모형의 양측 유의확률 P-value이 각각 0.118과 0.008로 LIN모형만 수락영역에 포함되는 것으로 나타났다(참조 Table 5.8).

Table 5.7 Correlation analysis between T_{Real} and T_{Pre} in EX-10

Expressway/Model			Correlation Coefficient(r)
Week	EB	LIN	0.9539
		POW	0.9660
	WB	LIN	0.9349
		POW	0.9470
	EW	LIN	0.9470
		POW	0.9481
Weekday	EB	LIN	0.9558
		POW	0.9650
	WB	LIN	0.9376
		POW	0.9460
	EW	LIN	0.9465
		POW	0.9470
Weekend	EB	LIN	0.9374
		POW	0.9440
	WB	LIN	0.9628
		POW	0.9640
	EW	LIN	0.9410
		POW	0.9415

Table 5.8 t-Test results between T_{Real} and T_{Rpre} in EX-10

Expressway/Model			t-value	p-value	Result
Week	EB	LIN	-1.202	0.230	Accept
		POW	-3.600	0.000	Reject
	WB	LIN	-0.071	0.943	Accept
		POW	0.462	0.644	Accept
	EW	LIN	-1.405	0.160	Accept
		POW	-2.015	0.274	Accept
Weekday	EB	LIN	1.263	0.209	Accept
		POW	1.179	0.241	Accept
	WB	LIN	1.834	0.067	Accept
		POW	2.939	0.004	Reject
	EW	LIN	1.492	0.137	Accept
		POW	1.719	0.087	Accept
Weekend	EB	LIN	1.523	0.131	Accept
		POW	2.071	0.041	Reject
	WB	LIN	-0.232	0.816	Accept
		POW	-2.043	0.043	Reject
	EW	LIN	-1.579	0.118	Accept
		POW	-2.702	0.008	Reject

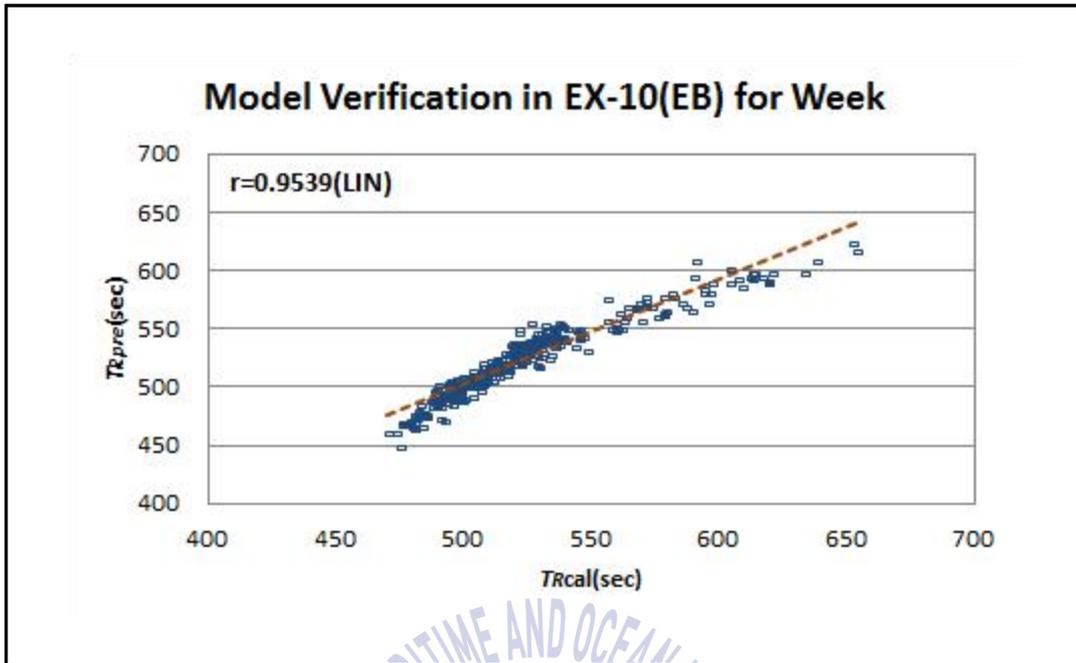


Figure 5.28 Verification of LIN Model in EX-10(EB) for week

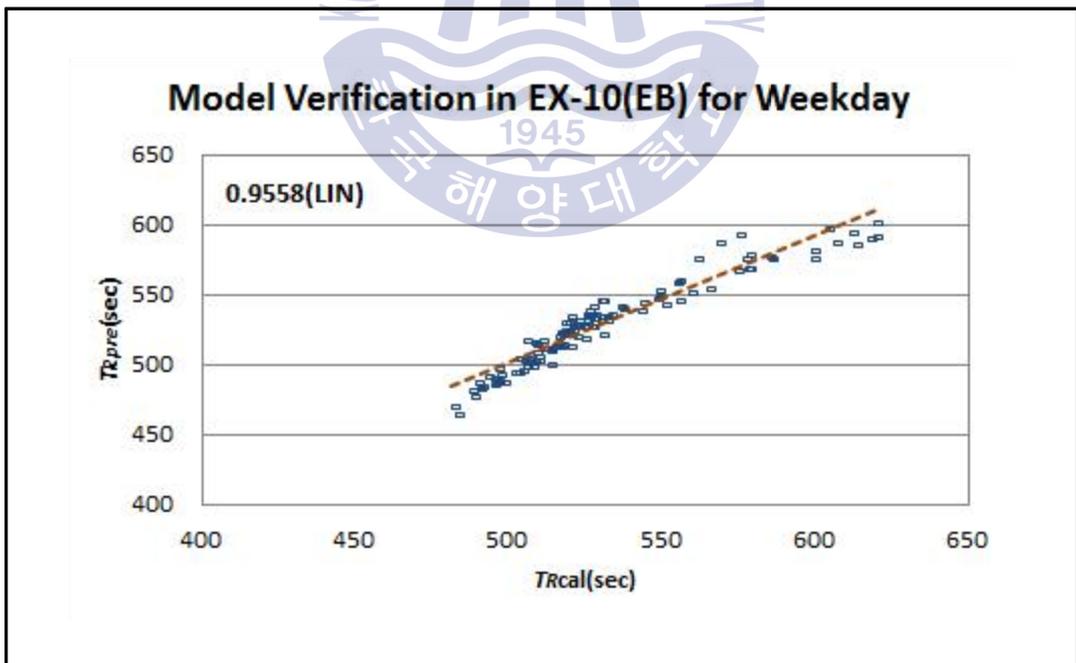


Figure 5.29 Verification of LIN Model in EX-10(EB) for weekday

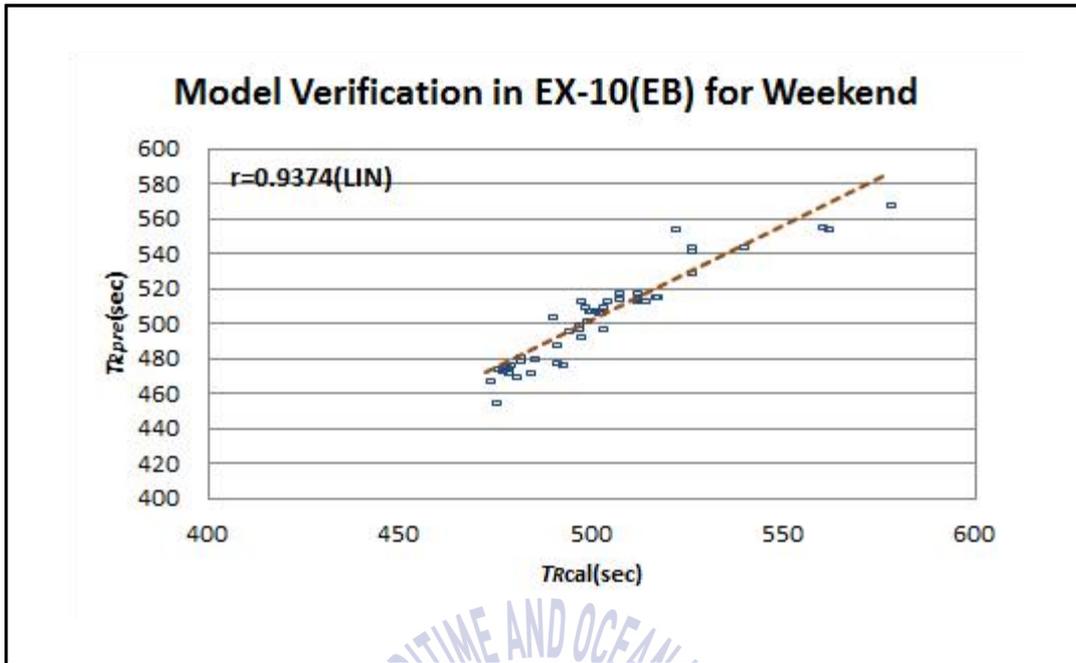


Figure 5.30 Verification of LIN Model in EX-10(EB) for weekend

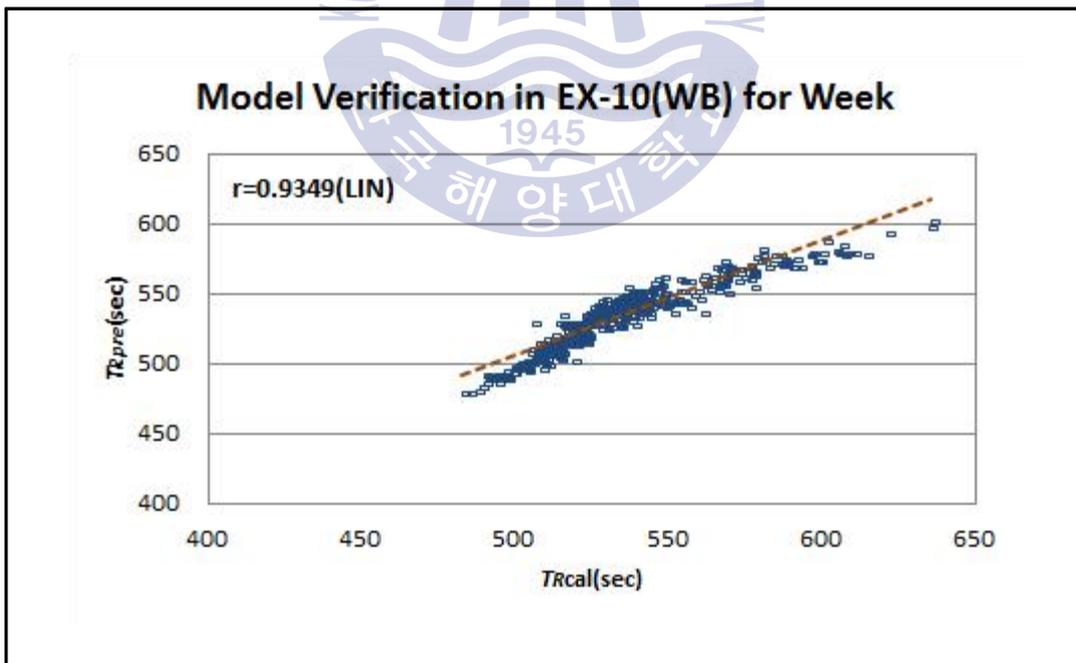


Figure 5.31 Verification of LIN Model in EX-10(WB) for week

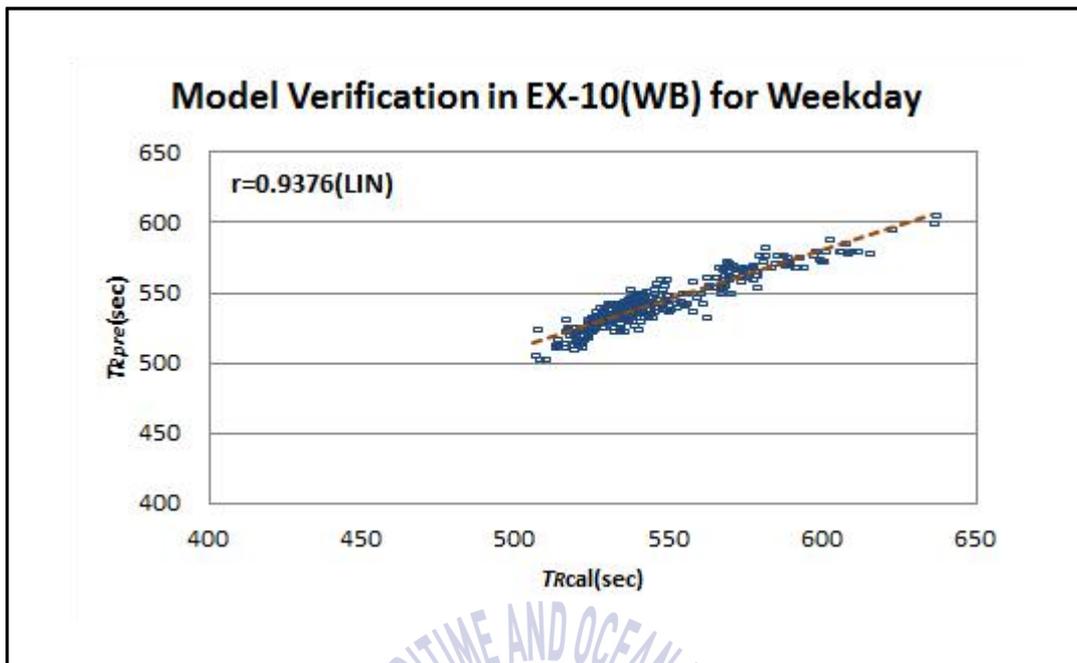


Figure 5.32 Verification of LIN Model in EX-10(WB) for weekday

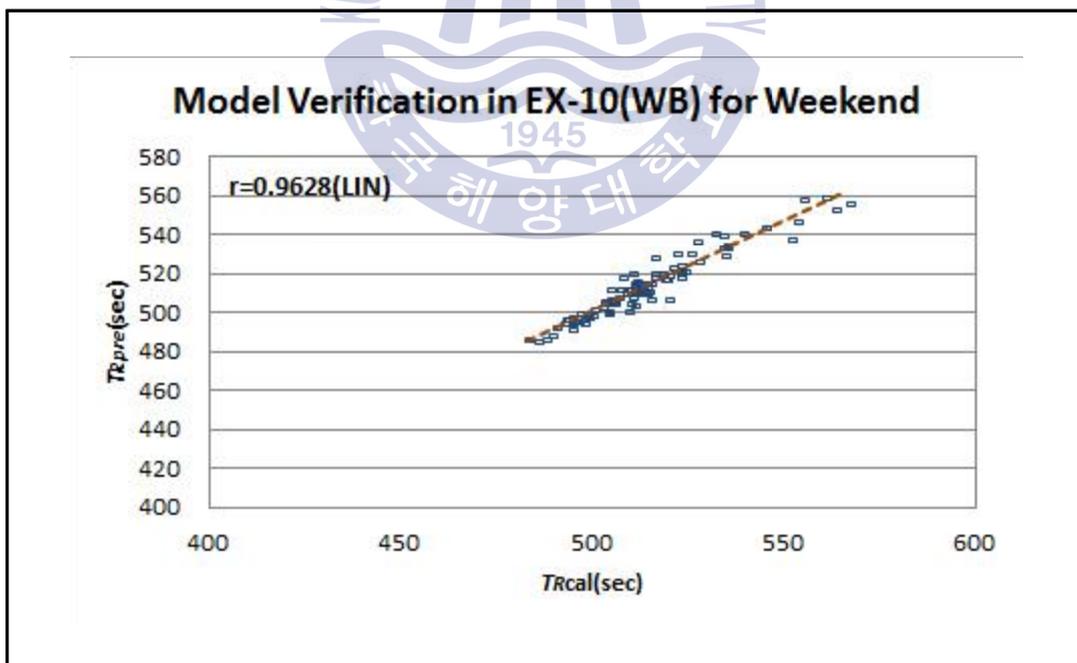


Figure 5.33 Verification of LIN Model in EX-10(WB) for weekend

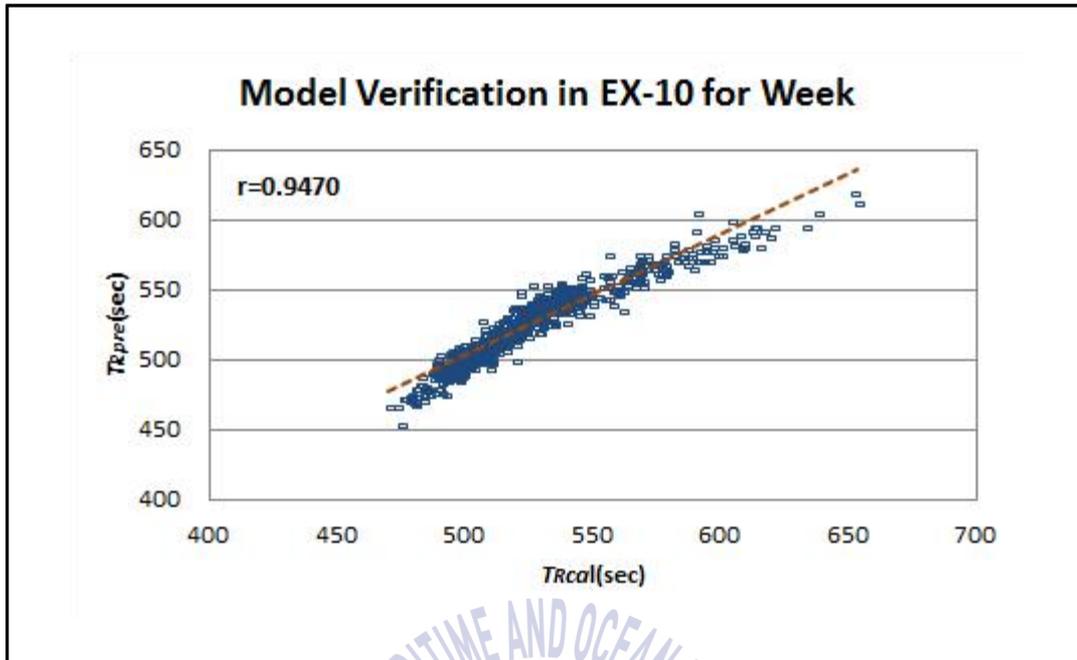


Figure 5.34 Verification of LIN Model in EX-10 for week

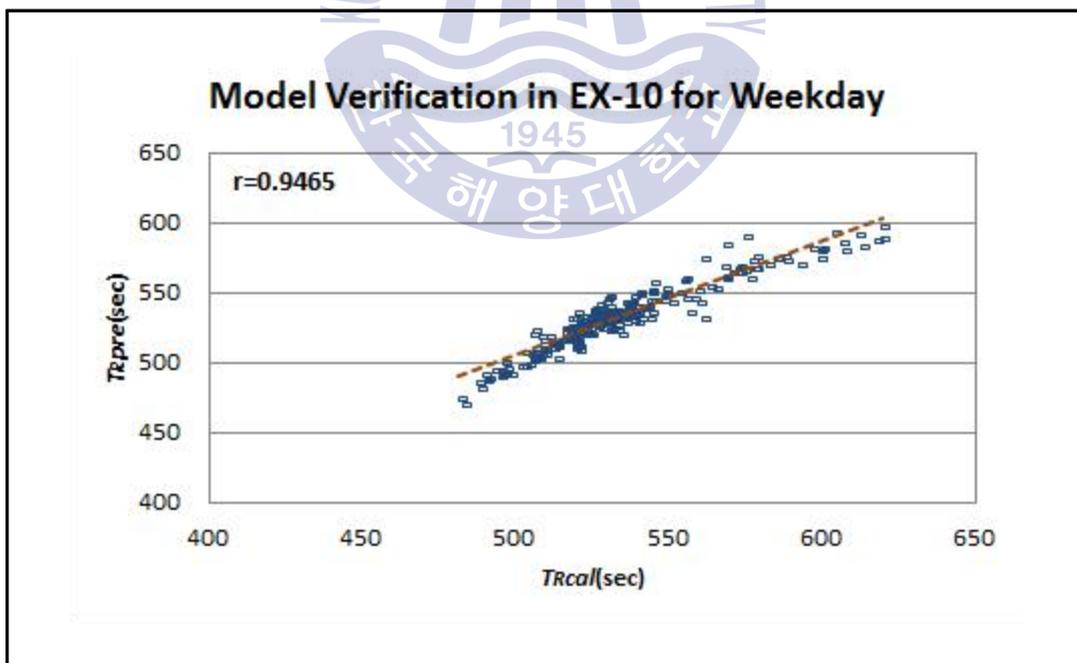


Figure 5.35 Verification of LIN Model in EX-10 for weekday

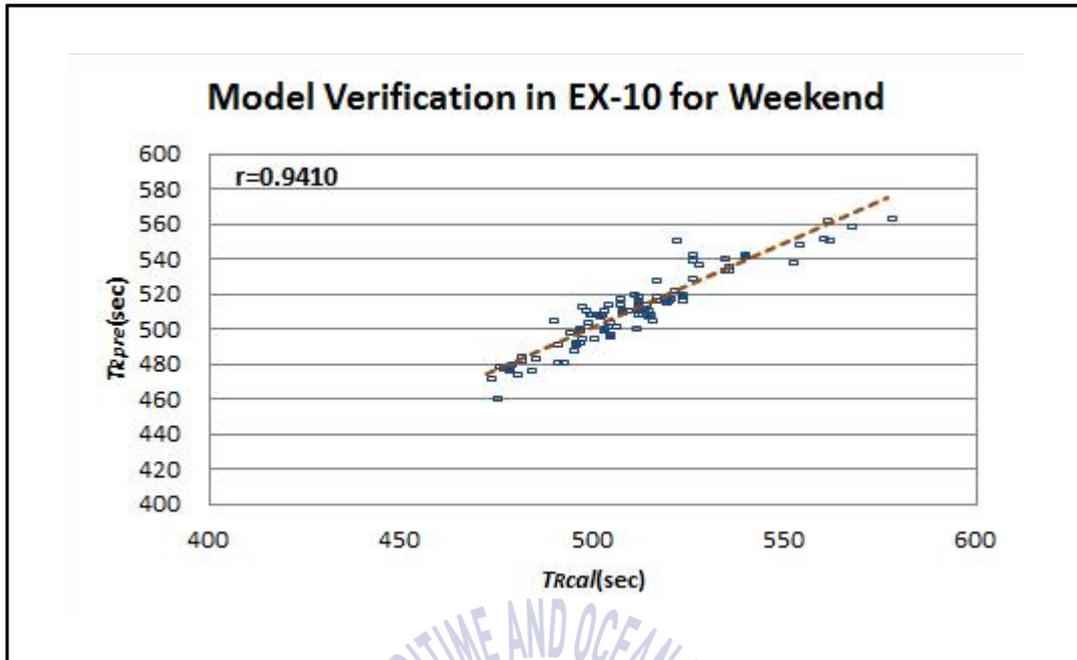


Figure 5.36 Verification of LIN Model in EX-10 for weekend

그리고 LIN모형의 계획통행시간 T_R 에 대해 평균 제곱근 편차(RMSE)분석을 실시한 결과, 경부고속도로의 대상 기본구간에서는 주중과 주말에 관계없이 약 14초~17초의 추정오차가 발생하였고, 주중에는 약 12초~13초의 추정오차가 발생하였으며, 주말에는 약 7초~8초의 추정오차가 발생하는 것으로 나타났다.

반면에 남해고속도로의 대상 기본구간에서는 주중과 주말에 관계없이 약 9초~10초의 추정오차가 발생하였고, 주중에는 약 9초~10초의 추정오차가 발생하였으며, 주말에는 약 5초~10초의 추정오차가 발생하는 것으로 나타났다 (참조 Table 5.9).

Table 5.9 RMSE analysis between T_{Real} and T_{Pre} for LIN model

Expressway/Direction			RMSE (sec)	Expressway/Direction			RMSE (sec)
EX-1	Week	NB	17	EX-10	Week	EB	10
		SB	14			WB	9
		NS	16			EW	10
	Weekday	NB	13		Weekday	EB	10
		SB	12			WB	9
		NS	13			EW	9
	Weekend	NB	7		Weekend	EB	10
		SB	8			WB	5
		NS	8			EW	7

결과적으로 방향이나 주중과 주말에 관계없이 8차로 고속도로에서는 3차로 공간평균속도 U_3 와 계획통행시간 T_R 사이에 LIN모형은 높은 설명력과 유의성이 확인되었으나 POW모형은 높은 설명력을 보였으나 유의성이 확인되지 않았다.

또한 주중과 주말을 구분할 경우에도 고속도로의 방향과 관계없이 3차로 공간평균속도 U_3 와 계획통행시간 T_R 사이에 LIN모형은 높은 설명력과 유효성이 확인됨으로써 8차로 고속도로의 계획통행시간 T_R 을 추정하기 위한 모형으로 LIN모형이 가장 부합된다고 생각하였다.

제 6 장 결론 및 향후 연구과제

본 장에서는 제1장부터 제5장까지의 결과를 토대로 결론 및 향후 연구과제에 대하여 소개한다.

6.1 결론

연구대상 고속도로의 8차로 기본구간 내 교통특성분석을 실시하였고, 95번째 백분위통행속도에 기초한 계획통행시간과 추가 통행시간 등의 통행시간 신뢰성 분석을 실시하였으며, 계획통행시간 T_R 과 차로별 공간평균속도 U_i 사이의 상관 특성을 토대로 모형을 구축/검정한 결과 다음과 같은 결론에 도달할 수 있었다.

i) 고속도로의 8차로 기본구간에서 방향별 요일별 시간별 차로별 통행 특성에서도 뚜렷한 차이를 보였기 때문에 방향별 요일별 시간별 차로별 통행 특성에 기초한 고속도로교통관리시스템(ETMS)구축이 고속도로의 효율성 증대에 효과적일 것으로 판단된다.

ii) 고속도로의 8차로 기본구간에서 중형차로인 3차로의 공간평균속도(U_3)와 계획통행시간 T_R 사이에는 가장 높은 음(-)의 상관관계를 보였기 때문에 중형차로인 3차로의 공간평균속도 U_3 가 계획통행시간 T_R 추정에 효과적일 것으로 판단된다.

iii) 고속도로의 8차로 기본구간에서 주중이나 주말 그리고 방향에 관계없이 중형차로인 3차로의 공간평균속도 U_3 를 이용한 LIN형태의 계획통행시간 T_R 추정모형이 높은 결정력 R^2 과 유의성(P-value)을 보였기 때문에 LIN모형이 계획통행시간 T_R 추정에 효과적일 것으로 판단된다.

iv) 고속도로의 6차로나 4차로 기본구간에서도 통행시간 신뢰성의 계획통행시간 T_R 을 추정하기 위해서는 중형차량의 이용이 집중하는 차로의 공간평균속도와

함께 LIN형태의 모형을 구축할 경우 보다 높은 설명력과 유의성을 보일 것으로 판단된다.

본 연구를 통한 기대효과는 다음과 같았다.

i) 고속도로의 기본구간에서 통행특성이 방향별 요일별 시간별 차로별로 뚜렷한 차이를 보이고 있기 때문에 고속도로교통관리시스템(ETMS)의 첨단 여행자 관리 시스템(ATMS) 또는 첨단 여행자 정보 시스템(ATIS)에 방향별 요일별 시간별 차로별 통행특성이 반영된다면 실시간의 여행자 자료구축 및 특성분석효과를 기대할 수 있다.

ii) 95%이상의 고속도로 이용자가 계획된 통행시간 내에 목적지에 도착할 수 있도록 통행시간 신뢰성의 계획통행시간정보를 휴대폰 문자서비스(cellular message service, CMS)와 같은 예보시스템을 통해 미리 제공한다면 고속도로 이용자가 여행계획에 참고할 수 있으므로 고속도로의 통행량 분산과 지체감소의 효과를 기대할 수 있다.

iii) 고속도로 및 간선도로 이용자가 계획통행시간 내에 목적지에 도착할 수 있도록 통행시간 신뢰성기반의 노선안내시스템(route guidance system, RGS)과 교통정보를 내비게이션이나 방송으로 제공한다면 이용자가 여행계획을 수립할 때 미리 참고할 수 있으므로 고속도로 및 간선도로의 통행량 분산과 지체감소의 효과를 기대할 수 있다.

6.2 향후 연구과제

본 연구는 고속도로의 8차로 기본구간에 설치된 VDS검지기에서 추출된 지점 자료로부터 차로별 공간평균속도를 산정하여 신뢰성기반의 계획통행시간 추정에 대한 연구로서 여기에서 제시한 선형모형을 활용하여 유사한 기하구조와 교통 특성을 가지는 고속도로에 대한 계획통행시간 T_R 을 추정하기 위해서는 다음과 같은 연구가 추가적으로 필요할 것으로 생각되었다.

i) 연구대상 고속도로는 8차로 기본구간에서 구축된 모형이므로 계획통행시간 모형의 일반화를 위해서는 다양한 차로의 고속도로 기본구간에 대해서도 자료를 추가적으로 수집하여 보다 현실성 있는 계획통행시간 추정모형의 구축이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

ii) 구간자료수집의 어려움으로 차로별 지점자료를 토대로 계획통행시간 모형의 구축/검증을 수행하였지만, 고속도로의 차로별 구간관측이 가능한 AVI(automatic vehicle identification)의 관측 자료가 모형의 구축/검증에 사용된다면 보다 신뢰도를 높일 수 있을 것으로 생각된다.

iii) 고속도로의 특정구간이나 특정기간에 통행특성자료를 확보하여 특정구간이나 특정기간의 추정모형이 추가적으로 구축된다면 고속도로 여행의 신뢰성 있는 교통예보를 통해 정시성 확보 및 통행량 분산에도 상당한 효과가 있을 것으로 생각된다.

iv) 고속도로의 이용차량이 증가하고 중대형차량의 비율이 높을수록 차량 상층으로 통행시간 신뢰성을 확보하기 위한 계획통행시간 T_R 에는 변화가 많을 것으로 예상되므로 계획통행시간 T_R 에 따른 비용 산정 및 그 파급효과에 대한 연구도 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

- 국토해양부, 2009. *교통시설 투자평가지침*.
- 국토해양부, 2013. *도로용량편람*.
- 심상우, 2011. *하이패스 DSRC 교통자료를 이용한 고속도로 경로통행시간 추정 모형 개발*. 박사학위논문. 수원; 아주대학교
- 윤병조, 2010. 고속도로 자유교통류 속도의 미시적 특성에 관한 연구. *대한토목학회논문집*, 30(2D), pp.105-111.
- 이향미, 2009. *통행시간 신뢰성을 고려한 반복정체 발생확률 및 정보제공방안*. 석사학위논문, 대전; 한밭대학교.
- 이현석, 2009. TCS 링크통행시간을 이용한 고속도로 경로통행시간 추정. *대한교통학회지*, 27(5), pp.209-221.
- 장수은, 강지혜, 이승준, 2008. 통행시간 신뢰성 지표 개발 및 산정에 관한 연구. *대한교통학회지*, 26(5), pp.217~226.
- 장정아, 김현숙, 2010. 실시간 차량정보를 이용한 안전권고속도 산정방안에 관한 연구. *대한토목학회논문집*, 30(5D), pp.443-451.
- 조한선, 2013. 통행시간 신뢰성 가치에 관한 연구. *한국도로학회 논문집*, 15(4), pp155~165.
- 최아름, 2012. *통행시간 신뢰성이 교통수단 및 통행경로 선택에 미치는 영향*. 석사학위논문, 서울; 서울대학교.
- 허은진, 2009. *도시 내 통행시간 신뢰성의 가치 추정*. 석사학위논문, 서울; 서울대학교.
- AASHTO, 2001. *A Policy On geometric Design of highways and Streets*. American Association of State Highway and Transportation Officials; Washington, D.C.

- FHWA, 2006. *Travel Time Reliability*. US Department of Transportation Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- Garber, N. J., Hoel, L. A., 1988. *Traffic and Highway Engineering*. West Publishing Company, St. Paul, MN 55164–1003.
- Gerlough, D. L., Huber, M. J., 1975. *Traffic Flow Theory*. A Monograph, TRB Special Report 165, Transportation Research Board; Washington, D.C.
- Homburger, W. S., Kell, J. H., 1989. *Fundamentals of Traffic Engineering*. 12th ed., Course Notes, Institute of Transportation Studies. University of California at Berkeley.
- Kate Lyman, Robert L. Bertini., 2007. Using Travel Time Reliability Measures to Improve Regional Transportation Planning and Operations. *Proceedings of the 87th Annual Meeting of the Transportation Research Board*.
- Khysty, C. J., 1990. *Transportation Engineering, An Introduction*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632
- May, A. D., 1990. *Traffic Flow Fundamentals*, Prentice–Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632.
- McShane, W. R., Roess, R. P., Prassas, E. S., 1998, *Traffic Engineering*. 2nd ed., Prentice Hall, Upper Saddle River; New Jersey.
- NCHRP, 2003. *Providing a Highway System with Reliable Travel Times Study 3–Reliability*. National Cooperative Highway Research Program(NCHRP), Project 20–58(3), Transportation Research board(TRB).
- NCHRP, 2008. *Cost–Effective Performance Measures for Travel Time Delay, Variation, and Reliability*. National Cooperative Highway Research Program(NCHRP), Report 618, Transportation Research board(TRB).
- SHRP2, 2013. *Evaluating Alternative Operations Strategies to Improve Travel Time Reliability*. Strategic Highway Research Program(SHRP), Report S2–L11–RR–1, Transportation Research board(TRB).