

개별 차량 주행 자료를 이용한 통행 시간 예측 방법론 개발

박재홍*, 노창균
한국건설기술연구원 도로교통연구본부

The Development of Travel Time Forecast Methodology using Individual vehicle Speed of Dedicated Short-Range Communication (DSRC)

Jaehong Park*, Chang-Gyun Roh

Department of Highway & Transportation Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

요약 교통정보센터에서는 도착 시간을 기준으로 통행 시간 정보를 제공하고 있지만, 운전자는 시간 경과에 대한 신뢰도와 유용성을 판단하고 실제 체감하는 정보에 따라 통행 시간 정보의 차이가 발생한다. 본 연구에서는 패턴 인식 및 실시간 데이터 모델 기반의 K-Nearest Neighbor(K-NN) 알고리즘을 적용하고, Dedicated Short-Range Communication(DSRC)에서 수집되는 개별 차량 속도 데이터와 국도의 실시간 교통 정보를 매칭하여 미래의 통행 시간을 예측하였다. 이를 위해, K-NN 알고리즘을 구현하고 데이터 수집 시스템을 개발했으며, 신뢰성을 테스트하고 예측 데이터를 검증하는 연구를 수행하였다. 주행 데이터의 정확성을 검증하는 지표는 평균 절대 백분율 오차(Mean Absolute Percentage Error, MAPE)를 사용하였으며, 분석 구간의 오차율은 1.0~14.0%로 86% 이상의 정확도가 나타났다. 비첨두시의 정확도가 보다 높게 나타나는 것을 확인하였다. 데이터 수집 체계의 보안을 통한 개별 차량 데이터의 추가 보강을 통해 첨두시의 정확도를 보다 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

Abstract Most traffic information centers provide travel time information based on the arrival time, the driver's reliability, and the usability of the passage of time. The difference is caused by the actual experience deterioration information. This study applied the pattern recognition and real-time data model-based K nearest neighborhood (K-NN) algorithm and predicted the travel time in the future by matching the dedicated short-range communication (DSRC) individual vehicle speed information and real-time traffic information on the National Highway. For these predicted travel time estimates, the K-NN algorithm was implemented systematically. The DB and system were developed, and research on the prediction data of the reliability test was carried out. The error rates of the section of target roads showed greater than 86% accuracy from 1.0 to 14.0%. In addition, the mean error rate of the information express section in the test demonstration route based on the actual field test was 10.3%. The accuracy in non-peak hours was higher. Nevertheless, the accuracy of peak hours can be improved further through additional reinforcement of individual vehicle data by supplementing the data collection system.

Keywords : Dedicated Short Range Communication(DSRC), K-NN(K Nearest Neighborhood) Algorithm, Mean Absolute Percentage Error (MAPE), Travel Time Forecast System

본 논문은 한국건설기술연구원의 연구비 지원((23주요-대3-임무(산업진흥)농촌 지역 대상 지속가능한 MaaS 3.0+ 기술 개발)에 의해 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Jaehong Park(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)
email: jhpark@kict.re.kr

Received October 5, 2023

Revised November 2, 2023

Accepted November 3, 2023

Published November 30, 2023

1. 서론

도로를 주행하는 차량의 통행 시간과 목적지에 도착하는 시간을 정확하게 예측하고, 예측 시간 정보를 운전자에게 실시간으로 제공하는 것은 교통 운영 상태를 점검하고 관리하는 입장에서 중요하다[1,2]. 또한, 차량의 통행 속도 및 도착 시간을 정확하게 예측하는 것은 도로의 서비스 수준을 향상시킬 수 있고, 운전자의 주행 쾌적성을 높일 수 있는 이점이 있다. 또한, 차량의 지정체가 원인이 되어 교통 혼잡 상황이 발생하는 경우, 차량 상충에 의한 교통 사고를 야기하거나 추가적인 도로 인프라 구축 및 확장에 따른 사회·경제적 비용을 유발시킨다. 또한, 이러한 현실은 예산 제약에 한계가 있고, 도로 정책 측면에서 한계 상황을 초래하는 상황을 발생시킨다[3].

교통 혼잡 상황 등에 대비하기 위하여, 고속 도로 또는 국도의 관리 및 운영 기관에서는 시스템을 운영하고 있다. 예를 들어, 교통 분석 및 예측 시스템에서는 통행 시간, 도착 시간, 구간별 지정체 상황 등의 정보를 운전자에게 제공하고 있으며[4,5], 시스템에서 제공되는 예측 정보는 운전자가 출발 시간을 결정하고, 주행 경로를 선택하는데 많은 영향을 미친다. 따라서, 정확한 통행 시간을 운전자에게 제공할 수 있어야 하며, 이러한 관점에서 본 연구에서는 교통 정보를 제공하는 서비스에서 수집되는 자료를 분석하여 통행 시간 정보를 예측하는 연구를 수행하였다.

차량의 통행 시간 예측 정보는 예측 목표 시간에 따라 단기와 장기 예측로 구분할 수 있으며, 본 연구에서는 시스템에서 전처리된 데이터를 이용하여 단기 예측 통행 시간의 정확도를 향상하는 모형을 만드는 연구를 수행하였다. 또한, 패턴 인식 기반의 알고리즘과 차량의 실시간 주행 데이터를 사용하여 통행 시간을 예측하는 모형을 개발하고 정확도를 분석하였다. 통행 시간 예측에는 K-Nearest Neighbor (K-NN) 알고리즘을 사용했으며, 기존 이력 자료인 Dedicated Short Range Communication (DSRC)과 실시간 교통 정보를 매칭하는 방식으로 통행 시간을 예측하였다.

본 연구에서는 국도에 설치된 관측 장비에서 수집된 데이터를 사용했으며, 전처리가 완료된 센터에서 수집되는 자료를 사용함으로써 예측 정보의 신뢰도를 향상시켰다. 실제 차량이 주행한 국도 3호선(가남 IC ~ 곤지암 IC, 약 35km)과 39호선(평택 ~ 안산, 약 37km)에서 수집된 자료를 사용하였다. 또한, 시간대별 특성

분석을 위해 차량의 통행량에 차이가 존재하는 오전·오후 첨두시, 오후 비첨두시로 구분하여 결과를 비교하였다. 예측 결과에 대한 정확도를 검증하는 지표로써, 평균 절대 백분율 오차(Mean Absolute Percentage Error, MAPE)를 사용하였으며, 대상 구간과 시간대를 비교하여 제시하였다.

본 연구에서 분석한 결과는 안전과 교통 개선을 위해 도로 교통 혼잡을 모니터링하는 기초 연구에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

2 기존 문헌 고찰

본 장에서는 알고리즘을 이용하여 통행 시간을 예측한 기존의 연구를 고찰하였다.

통행 시간 예측 시스템에 적용하기 위해 이동 시간 예측 방법을 비교 평가하였으며, 분석한 K-NN 방법은 실시간 이동 시간 예측 방법을 사용했으며[6], K-NN 방법으로 분석되었으며, 일별 시간별 교통 변화에 대한 단기 교통 흐름 예측 방법을 가장 잘 반영하는 것으로 제시하였다[7]. 기존의 실시간 이동 시간 평가에서 대부분의 평가 기준을 예측 기법, K-NN과 비교하여 만족스러운 성능을 보이는 것으로 분석하였다. 비모수적 방법인 K-NN 방법이 추가적인 가정이나 매개변수 보정이 필요하지 않기 때문에 실시간 교통 관리 시스템에 적합하다고 분석하였다. 평균 절대 백분율 오차(Mean Absolute Percentage Error, MAPE)와 변동 계수(Coefficient of Variation, CV)를 기반으로 다양한 모델의 성능을 비교하였다. 실제 적용에서 국내 국도에서 수집된 실제 교통 데이터를 분석한 결과, 제안된 모델이 과거 평균 모델, 칼만 필터 모델 등 다른 예측 모델보다 우수한 성능을 보이는 것으로 제시하였다. 또한, 제안된 모델의 이동 시간과 검지기의 이동 시간을 유연하게 활용함으로써 이동 시간의 신뢰도를 향상시킬 수 있다는 결과를 제시하였다[8]. 교통 소통 정보를 시계열로 예측하기 위하여 Kernel-K-NN 기반 알고리즘을 개발하였다. 알고리즘을 개발하기 위하여 차량의 데이터를 추출하고, 정보를 비교할 수 있는 단계를 구축하였으며, 교통 소통 정보의 단계를 구성하는 커널 함수를 구축하였다. 참조 데이터를 기준으로 가장 가까운 정보를 참조하여 교통 상황을 예측 하였다. 결론적으로 Kernel-K-NN을 기반으로 도로 교통 상태 예측 접근 방식이 가능할 수준의 정확도를 달성하였다[9- 11]. 교통 소통 상황을 예측하는 모형을

개발하기 위하여 Adaptive-STK-NN을 제안하였다. 본 모형에서는 도시 교통의 공간적 이질성을 종합적으로 고려했으며, 기존의 정형화된 예측 모델 구조와 정량적으로 불분명한 시공간 관계의 문제를 극복하였다. 도로 구간을 구분하여, 공간적 크기와 인접하는 영향권을 결정하였다. 분석 결과, 정확도와 일반화 측면에서 Adaptive-STK-NN는 침투 시간 동안에 모델의 성능이 우수한 것으로 나타났다[12]. 통행 시간 예측 모델 개발에는 PWSL(Switched Linear Traffic) 모델링 접근 방식과 칼만 필터가 사용되었다. 교통 소동 변화를 평가하기 위한 가상 센서를 활용했으며, PWSL-Kalman Filter 모델의 잔차를 K-NN 방식으로 사용하였다. K-NN 기반 슈와트 및 지수 평활화를 사용하여 분석하였다. 교통 상황을 정체와 비정체 상황으로 구분하여 분석하였으며, 정체 상황에서 효과적인 것으로 나타났다[9]. 교통 정보의 예측 정확도를 향상시키기 위하여, 공간적으로 지체 상황을 스크린하였으며, 회귀와 K-NN을 사용한 프레임워크를 개발하였다. 평가 지표는 평균 제곱근 오차(Root Mean Squared Error, RMSE) 및 Mean Absolute Percentage Error(MAPE)를 사용하여 모델의 성능을 분석하였다[13]. 도로 교통 상황을 추정하기 위해 Kernel k-Nearest Neighbor 알고리즘을 사용하였다. 교통 상황을 다양하게 구분하였으며, 도로 주행의 대표성을 나타내는 구간의 Reference Sequences of Road Traffic Running characteristics (RSRTRC)를 설정하였다. 커널 기능에 지역적 교통 인자를 선택하고, 이를 통해 고차원 공간에 매핑하는 방식을 사용하였다. 각각의 참조점에는 유클리드 거리를 적용하였으며, 도로 교통 상태는 K개의 가장 작은 유클리드 거리에 해당하는 선택된 K개의 도로 교통 상태의 가중 평균으로부터 추정하였다. 분석 결과, Kernel-K-NN 매칭을 기반으로 한 도로 교통 상태 측정 접근 방식이 실현 가능하고 높은 정확도를 달성할 수 있음을 입증하였다[14].

기존 연구에서는 통행 시간의 예측 정확도를 향상시키기 위하여 알고리즘 또는 모형을 개발하거나, 차량 데이터를 가공하였다. 그러나, 예측 시간의 제공에서 나타나는 차이를 고려하지 못한 한계가 존재한다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위해 Dedicated Short-Range Communication(DSRC)에서 수집되는 개별 차량의 속도 데이터와 국도의 실시간 교통 정보를 매칭하여 비교하였다. 이러한 점에서 본 연구의 차별성이 존재한다.

3. 분석 방법론

차량의 이동 시간은 도로의 한 지점에서 목표 지점까지의 이동에 필요한 시간으로써, 신호에 의한 지체, 교통 혼잡 및 지연 시간 등이 포함된다. 따라서, 본 연구에서는 차량이 구간을 이동하는데 소요된 시간을 구분하지 않고 전체 통행 시간을 예측하였다.

우선적으로, 차량의 통행 시간 예측 시스템에서 수집한 개별 차량의 원시 자료에서 출발 시간에 기준하여 DSRC의 구간별 이동 시간을 추출하고, 해당 데이터를 참값으로 정의하여 예상 이동 시간과의 오차를 비교 분석하였다. 다음으로, DSRC에서 수집한 통행 시간 및 도착 시간을 계산하였으며, 이를 이용하여 차량의 출발 시간과 도착 시간을 산출하였다.

개별 차량(출발시간 기준) 이동 시간 데이터와 예측 시스템에서 생성된 예상 이동 시간 데이터 간의 이동 시간 오류율을 분석하였다. 또한, 개별 차량의 이동 시간 데이터를 추출하기 위해서는 시스템에서 비교하고 분석하였다. 이러한 절차에는 각 개별 차량의 데이터를 추출한 후, 분석 구간에서 차량을 선택했으며, 출발 시간에 기준하여 이동 시간의 오차를 계산하는 방식을 사용하였다.

본 연구에서는 통행 시간을 예측하는 알고리즘으로써 K-Nearest Neighborhood (K-NN)을 사용하였다. K-NN은 비교적 간단하고 구현하기 쉬운 머신러닝 알고리즘으로써, 지도 학습에 해당한다. 과거 이력 자료에서 관측된 패턴을 이용하여 미래를 예측하며, 과거 자료에서 교통 상태가 가장 유사한 패턴을 탐색한다[11]. 데이터간의 유사도 거리를 측정하는 지표로는 유클리디안 거리가 이용되며, 여러 개의 K를 사용하여 분류한다[12]. 또한, 비슷한 특성이나 속성을 가진 데이터를 구분하며, 거리 기반의 분류 분석 모델이다. 특히, 시스템의 실시간 이동 시간 추적을 통해 시스템의 과거 이동 시간의 유사성을 탐색하며, 기준 시간으로부터 예상 소요 시간을 산출하는데 사용된다.

통행 시간 예측에 사용된 데이터는 관측 일시, 구간, 예측 정보 등으로 구성되어 있다. 본 연구에서는 분석 구간의 구간의 주행 속도의 유사성을 기준으로 매칭되는 날짜를 선택하며, 시스템에서 매핑된 데이터와 날짜, 구간 ID별 DSRC의 속도 변화 유형을 비교하여 K-NN 알고리즘에 적용하여 예측 시간을 산출하였다. 또한, 예측 정보의 생성 방법은 DSRC의 구간에서 선택한 후보 날짜의 속도를 DSRC와 시간 단위로 집계하여 예측 속도 및

데이터를 생성하였다. 조화 평균을 적용하여 평균 속도를 산출하였다. 관측치와 예측치의 통행 시간의 오차를 비교하는 방법으로, Mean Absolute Percentage Error(MAPE)를 사용하였으며, Eq.1에 수식을 제시하였다.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \quad (1)$$

Where,

A_t : Observation Value at t

F_t : Prediction Value at t

n : Number of data

본 연구에서는 통행 시간 예측 모형의 정확도를 검증하는 대상 구간은 국도 3호선과 39호선으로써, 국도 3호선은 가남 IC ~ 곤지암 IC(35km), 국도 39호선은 평택 ~ 안산(37km)으로 선정하였다. 상행과 하행을 구분하여 분석하였다. DSRC의 평균 간격은 1.7km, 2.2km이며, Table 1에는 분석 대상 구간의 정보를 제시하였다.

Table 1. The analysis section

National Highway	Section	Distance
No. 3	Ga-nam IC - Gonjiam IC	35km
No.39	Pyeongtaek - Ansan	37km

차량의 지정체는 통행 시간에 직접적인 영향을 미치며, 교통 소통에 영향을 미치는 시설(신호 교차로, 버스 정류장, 유출입 램프)에 대한 현황 파악이 요구된다 [13,14]. DSRC는 상행 방향과 하행 방향에 설치되어 있으며, 대상 구간을 크게 4개로 구분하였다. 각 구간에서의 검지기의 평균 간격은 1,856m(A), 1,371m(B), 1,888m(C), 1,840m(D)으로 나타났으며, 최소 간격은 613m, 최대 간격은 3,247m로 구성되어 있다. 또한, 통행 시간에 영향을 미칠 수 있는 주요 시설물을 신호 교차로, 버스 정류장, 유출입 분기점의 경우, 각 구간별로 최대 8개, 4개, 6개가 존재하는 것으로 나타났다. Table 2에는 국도 3호선에 존재하는 주요 시설물의 정보를 제시하였다.

Table 2. Road infrastructure characteristic of No.3

Section	DSRC	Distance (m)	Number		
			Signal Intersection	Bus Station	Ramp
A	1	1,943	3	2	0
	2	3,247	4	4	4
	3	1,619	4	4	2
	4	613	3	1	0
B	1	1,540	6	3	4
	2	1,430	7	3	1
	3	1,182	1	0	0
	4	1,333	4	1	4
C	1	1,886	6	1	5
	2	3,246	8	4	4
	3	2,382	5	3	1
	4	1,188	2	2	2
	5	1,209	1	2	1
	6	2,213	3	2	1
	7	1,910	4	2	2
	8	1,073	2	2	3
D	1	1,588	3	2	3
	2	2,443	3	3	6
	3	1,488	2	1	2

국도 39번의 도로 시설물의 설치 현황을 Table 3에 제시하였다. DSRC는 상행 방향과 하행 방향에 설치되어 있으며, 대상 구간을 크게 4개로 구분하였다. 각 구간에서의 검지기의 평균 간격은 1,925m(A), 2,394m(B), 2,149m(C), 2,432m(D)으로 나타났으며, 최소 간격은 613m, 최대 간격은 3,247m로 구성되어 있다. 또한, 통행 시간에 영향을 미칠 수 있는 주요 시설물을 신호 교차로, 버스 정류장, 유출입 분기점의 경우, 각 구간별로 최대 4개, 3개, 5개가 존재하는 것으로 나타났다.

Table 3. Road infrastructure characteristic of No.39

Section	DSRC	Section Distance (m)	Number		
			Signal Intersection	Bus Station	Ramp
A	1	1,313	1	0	0
	2	2,238	3	2	5
	3	2,089	4	3	4
	4	2,061	3	1	3
B	1	2,458	2	2	5
	2	1,870	0	2	3
	3	2,272	0	1	4
	4	2,975	3	2	2
C	1	1,929	0	0	4
	2	1,402	0	0	2
	3	1,565	0	0	3
	4	2,822	0	0	5
	5	3,226	0	0	3
	6	1,950	0	0	1
D	1	3,046	0	0	1
	2	1,990	0	0	1
	3	2,260	0	0	1

4. 분석 결과

본 연구에서는 실제 차량들이 대상 구간을 주행한 통행 시간과 예측 알고리즘을 이용하여 산출된 통행 예측 시간을 비교하여 분석하였다.

국도 3호선에 대한 분석 결과, 상행 방향의 MAPE의 평균은 0.068(A 구간), 0.039(B 구간), 0.034(C 구간), 0.058(D 구간), 하행 방향은 0.049(A 구간), 0.100(B 구간), 0.034(C 구간), 0.104(D 구간)로 분석되었다.

Table 4. The analysis result for No.3

Section	Time	07	08	12~	13~	17~	18~
		~08	~09	13	14	18	19
A (UP)	True	582	597	621	659	716	949
	Forecast	606	626	598	652	825	1060
	MAPE	0.040	0.050	0.037	0.011	0.153	0.117
B (UP)	True	436	536	492	529	639	867
	Forecast	467	514	487	498	610	860
	MAPE	0.069	0.040	0.009	0.060	0.045	0.008
C (UP)	True	1118	1169	1154	1197	1301	1296
	Forecast	1129	1249	1147	1239	1378	1327
	MAPE	0.010	0.068	0.007	0.035	0.059	0.024
D (UP)	True	613	519	614	599	946	1227
	Forecast	494	532	615	596	1009	1294
	MAPE	0.194	0.025	0.002	0.004	0.066	0.055
A (DN)	True	589	616	554	580	622	626
	Forecast	576	645	589	544	583	601
	MAPE	0.022	0.048	0.063	0.061	0.062	0.04
B (DN)	True	473	563	485	599	612	703
	Forecast	525	576	455	517	685	599
	MAPE	0.11	0.023	0.063	0.138	0.118	0.148
C (DN)	True	1031	1081	1106	1071	1095	1137
	Forecast	1056	1084	1150	1121	1140	1195
	MAPE	0.024	0.002	0.04	0.047	0.041	0.051
D (DN)	True	1108	1105	1211	736	657	717
	Forecast	1076	1201	872	848	647	677
	MAPE	0.03	0.087	0.28	0.153	0.015	0.057

또한, 국도 39호선에 대한 분석 결과, 상행 방향의 MAPE의 평균은 0.130(A 구간), 0.053(B 구간), 0.024(C 구간), 0.053(D 구간), 하행 방향은 0.044(A 구간), 0.049(B 구간), 0.032(C 구간), 0.134(D 구간)으로 분석되었다. Table 4와 Table 5에는 통행 시간 예측 결과를 정리하여 제시하였다.

Table 5. The analysis result for No.39

Section	Time	07	08	12~	13~	17~	18~
		~08	~09	13	14	18	19
A	True	482	474	543	721	482	480
	Forecast	455	445	438	431	479	450
	MAPE	0.056	0.061	0.194	0.402	0.006	0.061
B	True	433	429	442	573	514	468
	Forecast	438	442	456	469	537	476
	MAPE	0.013	0.029	0.031	0.182	0.045	0.017
C	True	512	558	561	578	2438	2740
	Forecast	525	538	559	577	2369	2874
	MAPE	0.026	0.037	0.002	0.002	0.028	0.049
D	True	264	281	292	302	589	678
	Forecast	293	294	298	307	537	701
	MAPE	0.109	0.048	0.019	0.017	0.088	0.034
A	True	466	470	478	530	529	472
	Forecast	455	463	485	479	484	485
	MAPE	0.023	0.015	0.015	0.096	0.085	0.027
B	True	571	464	517	502	486	478
	Forecast	565	480	449	471	474	465
	MAPE	0.011	0.035	0.132	0.062	0.024	0.028
C	True	700	644	545	548	548	538
	Forecast	727	712	557	554	545	544
	MAPE	0.038	0.106	0.021	0.012	0.005	0.011
D	True	1078	606	303	305	297	301
	Forecast	1126	1051	306	305	299	302
	MAPE	0.044	0.735	0.009	0.001	0.007	0.006

Table 6. National road No.39

Division	Peak Time(07~09)			Off Peak Time (12~14)			Peak Time (17~19)				
	Forecast	Experimental	MAPE	Forecast	Experimental	MAPE	Forecast	Experimental	MAPE		
No.3	Ssanghak Int. ~ YangchonIC	Up	257	260	0.012	264	297	0.111	564	504	0.119
		Down	908	652	0.393	268	268	0.000	262	285	0.081
	Baran Int. ~ Ssanghak Int.	Up	522	563	0.073	550	615	0.106	1768	1699	0.041
		Down	868	1058	0.180	561	561	0.000	547	603	0.093
	Chungbuk.Int. ~ Baran Int.	Up	469	545	0.139	471	479	0.017	549	711	0.228
		Down	698	840	0.169	481	507	0.051	491	572	0.142
No.39	Ssanghak Int. ~ YangchonIC	Up	439	445	0.013	463	518	0.106	744	637	0.168
		Down	1058	1096	0.035	554	536	0.034	554	602	0.080
	Baran Int. ~ Ssanghak Int.	Up	1342	1504	0.108	1210	1490	0.188	1490	1382	0.078
		Down	1157	1271	0.090	1236	1179	0.048	1284	1257	0.021
	Chungbuk.Int. ~ Baran Int.	Up	404	656	0.384	397	417	0.048	458	483	0.052
		Down	433	379	0.142	408	426	0.042	474	424	0.118

도로기하구조가 동일한 구간에서도 첨두시와 비첨두 시에는 교통류의 특성이 상이하므로, 오전 첨두시(07시~09시), 오후 비첨두시(12시~14시), 오후 첨두시(17시~19시)로 구분하여 분석하였다. Table 6에는 국도 3호선의 상행(UP)과 하행(DN)의 통행 시간 예측 결과를 정리하여 제시하였다. 국도 39호선의 시간대별 평균 MAPE는 0.161(첨두), 0.048(오후 비첨두), 0.117(오후 첨두), 국도 3호선의 시간대별 평균 MAPE는 0.152(첨두), 0.072(오후 비첨두), 0.070(오후 첨두)로 나타났다. Table 6에는 구간별, 시간대로 구분한 MAPE를 제시하였다.

5. 결론 및 향후 연구 과제

통행 시간을 정확하게 예측하고, 예측된 정보를 운전자에게 제공하는 것은 교통 소통 측면에서 중요하다. 이러한 관점에서 본 연구에서는 통행 시간 예측 정보의 정확도 향상을 위한 연구를 진행했으며, DSRC를 위해 선택된 실증 경로를 기반으로 K-NN 알고리즘을 사용하여 예측하였다. 모델의 예측값과 실제값의 차이를 나타낸 MAPE 기준으로 도출한 분석 결과로는 국도 39호선의 예측값이 보다 정확한 것으로 나타났다. 또한 비첨두 시간의 예측값이 첨두시보다 상대적으로 우수한 것을 확인하였다. 이는 교통량과 차량의 움직임을 가정 할 때, 교통량이 많을수록 및 차량 속도의 가감속이 빈번하게 발생할수록 예측 모델의 정확도는 낮아질 수 있음을 의미한다.

국도 3호선 및 국도 39호선의 C 구간이 예측 모델의 정확도가 가장 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었으며, 구간의 정보 수집 체계가 상대적으로 조밀하게 설치되어 있고 구간 길이가 짧은 경우에 해당한다. 이러한 결과는 수집 정보가 예측 정확도에 미치는 영향이 높다는 것을 의미하며, 정보 수집 체계가 추가되는 경우 통행 시간의 예측 정확도를 향상시킬 수 있음을 의미한다. MAPE 기준의 예측 정확도는 평균 90% 수준으로, 차량 검지기 성능 기준의 A등급(정확도 90% 이상)에 해당하는 등 결과의 활용에 있어서는 활용성이 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서 적용한 예측 알고리즘의 정확도를 향상시키기 위한 향후 연구 과제는 다음과 같다.

첫째, K-NN 알고리즘을 이용하여 예측한 결과의 정확도는 높은 것으로 분석되었다. 그러나, 개별 차량의 주행 데이터에 대한 추가적인 분석이 필요하며, 예측 시간

에 따른 분석 정확도를 비교할 필요성이 존재한다. 특히, 결과의 활용 측면에서 혼잡도가 상대적으로 높게 나타나는 첨두 시간대의 예측 정확도를 향상시킬 수 있는 연구가 수행되어야 한다. 둘째, DSRC에서 수집되는 전체 데이터를 활용하여 통행 시간을 예측하였다. 그러나, 일부 구간에서 발생한 결측치, 이상치에 대한 데이터를 해결할 수 있는 알고리즘의 개선과 적용이 요구된다. 또한, 통행 시간 예측 프로세스 중 데이터 전처리 및 가공과 관련한 데이터 품질을 확인하는 절차를 추가하여 예측 결과의 정확도를 향상시킬 수 있는 연구가 수행되어야 한다. 셋째, 본 연구에서는 단기적인 관점에서 차량의 통행 시간을 예측하였다. 추가적으로 통행 시간 정보를 시스템에서 활용하기 위해서는 데이터의 집계 간격(5분, 10분, 15분 등), K값에 따른 성능의 차이를 검토하여 정보 제공의 신뢰성, 탄력성 등이 확보될 수 있는 연구를 수행해야 한다.

본 연구에서 분석한 결과는 안전과 교통 개선을 위해 도로 교통 혼잡의 모니터링과 관련된 기초 연구에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] Yan, He, Zhnag, Tian'an, Qi, Yong, and Yu, Dong-Jun, "Short-term traffic flow prediction based on a hybrid optimization algorithm", *Applied Mathematical Modeling*, Vol.102, pp.385-404, 2022
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2021.09.040>
- [2] Li, Jinjian, Boonaert, Jacques, Doniec, Arnaud, and Lozenguez, Guillaume, "Multi-models machine learning methods for traffic flow estimation from Floating Car Data", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol.132, 103389, 2021
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103389>
- [3] Han, Xiao, Yu, Yun, Gao, Zi-You, and Zhang, H. Michael, "The value of pre-trip information on departure time and route choice in the morning commute under stochastic traffic conditions", *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol.152, pp. 205-226, 2021
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2021.08.006>
- [4] Cheng, Anyu, Jiang Xiao, Li, Yongfu, Zhang, Chao, and Zhu, Hao, "Multiple sources and multiple measures based traffic flow prediction using the chaos theory and support vector regression method", *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Vol.466, pp.422-434
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2016.09.041>
- [5] George, Shiju, and Santra, Ajit Kumar, "Traffic prediction

using multifaceted techniques: A survey”, *Wireless Personal Communications* 115, 2020
 DOI: <https://doi.org/10.1007/s11277-020-07612-8>

- [6] Xu, Dongwei, Wang, Yongdong, Peng, Peng, Beilun, Shen, Deng, Zhang, and Haifeng Guo, “Real-time road traffic state prediction based on kernel-K-NN”, *Transportmetrica A Transport Science*, Vol.16, No.1, pp.104-118, 2020
 DOI: <https://doi.org/10.1080/23249935.2018.1491073>
- [7] Cheng, Shifen, Lu, Feng, Peng, Peng and Wu, Sheng, “Short-term traffic forecasting: An adaptive ST-K-NN model that considers spatial heterogeneity”, *Computers, Environment and Urban Systems* 71, pp.186-198, 2018
 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2018.05.009>
- [8] Harrou, Fouzi, Zeroual, Abdelhafid, and Sun, Ying, “Traffic congestion monitoring using an improved K-NN strategy”, *Measurement*, Vol.156, pp.1-12, 2020
 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107534>
- [9] Lin, Guancen, Lin, Aijing, and Gu, Danlei, “Using support vector regression and K-nearest neighbors for short-term traffic flow prediction based on maximal information coefficient”, *Information Sciences*, Vol.608, pp. 517-531, 2022
 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2022.06.090>
- [10] Dong-wei, Xu, Yong-dong, Wang, Li-min, Jia, Li, Hai-jian, and Gui-jun, Zhang, “Real-time road traffic states measurement based on Kernel-K-NN matching of regional traffic attractors”, *Measurement*, Vol.94, pp.862-872, 2016
 DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2016.08.038>
- [11] Lim, Sung-Han, Lee, Hyang-Mi, Park, Seong-Lyong, and Heo, Tae-Young, “A study of travel time prediction using K-Nearest neighborhood method”, *The Korean Journal of Applied Statistics*, Vol.26, No.5, pp.835-845, 2013
 DOI: <http://dx.doi.org/10.5351/KJAS.2013.26.5.835>
- [12] Tom, M.L, and Lam, W.H.K., “Short-term travel time prediction for congested urban road networks”, *Transportation Research Board 88th Annual Meeting 2009*
- [13] Chow, Andy H.F., Santacreu, Alex, Tsapakis, Ioannis, Tanasaranond, Garavig, and Cheng, Tao, “Empirical assessment of urban traffic congestion”, *Journal of Advanced Transportation* 48, pp.1000-1016, 2014
 DOI: <https://doi.org/10.1002/atr.1241>
- [14] Ranwa, Al Mallah, Alejandro, Quintero, and Bilal, Farooq, “Distributed classification of urban congestion using VANET”, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol.18, pp.2435-2442, 2017
 DOI: <https://doi.org/10.1109/TITS.2016.2641903>

박 재 흥(Jaehong Park)

[정회원]



- 2011년 2월 : 한양대학교 교통공학과 (교통공학석사)
- 2021년 2월 : 한양대학교 교통물류공학과 (교통공학박사)
- 2011년 1월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 수석연구원

<관심분야>

교통 운영, 교통 안전, 자율 주행

노 창 균(Chang-Gyun Roh)

[정회원]



- 2008년 2월 : 연세대학교 도시공학과 (공학석사)
- 2012년 2월 : 연세대학교 정보산업도시공학과 (도시) (공학박사)
- 2012년 2월 ~ 2016년 2월 : 연세대학교 도시공학과 강사
- 2014년 5월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 연구위원

<관심분야>

교통류, 모빌리티 서비스, 자율주행 지원 인프라