

스마트횡단시스템 활성화를 위한 교통약자의 횡단속도 추정

A Study on Estimating the Crossing Speed of Mobility Handicapped for the Activation of the Smart Crossing System

김형규* · 변상철** · 윤여환*** · 김재석****

* 주저자 : 한국건설기술연구원 도로교통연구본부 수석연구원
 ** 교신저자 : 한국건설기술연구원 도로교통연구본부 연구위원
 *** 공저자 : 한국건설기술연구원 도로교통연구본부 선임연구위원
 **** 공저자 : 한국건설기술연구원 도로교통연구본부 선임연구위원

Hyung Kyu Kim* · Sang Cheal Byun** · Yeo Hwan Yoon*** · Jae Seok Kim****

* Dept. of Highway & Transportation Research, Korea Institute of Civil Eng. and building Technology
 ** Dept. of Highway & Transportation Research, Korea Institute of Civil Eng. and building Technology
 *** Dept. of Highway & Transportation Research, Korea Institute of Civil Eng. and building Technology
 **** Traffic Information Team, Paju City Hall

† Corresponding author : Sang Cheal Byun, sang@kict.re.kr

Vol. 21 No.6(2022)
 December, 2022
 pp.87~96

pISSN 1738-0774
 eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2022.21.6.87>

Received 14 October 2022
 Revised 25 October 2022
 Accepted 2 November 2022

© 2022. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

요약

고령보행자를 포함한 교통약자는 신체적 능력이 저하되어 보행속도가 상대적으로 낮으며, 인지반응시간이 느린 특성을 가지고 있지만, 현재 교통약자를 위한 보행신호는 0.8m/s로 일률적으로 적용하고 있다. 문제점을 개선하기 위하여 스마트 횡단시스템이 개발되어 운영되고 있지만, 보행자별 적정 보행속도를 반영한 신호운영이 이루어지지 못하고 있다. 본 연구에서는 교통약자비율이 높은 지역에서 수집된 영상정보를 활용하여, 교통약자의 종류, 보행자의 수, 도로의 기하구조 등을 고려한 신경망모형과 다중회귀모형기반의 횡단속도 추정모형을 개발하였다. 이를 통해 개발된 모형을 스마트횡단시스템에 적용하여 실시간 교통약자에 따른 최적 보행신호 제어를 지원하고자 하였다. 경기도 파주시의 도시 교통 네트워크에서 수집된 실제 교통 상황 데이터 2,400개를 사용하였다. 모델의 성능은 상관계수, 평균 절대오차 등 7개의 선택된 지표를 통해 평가되었다. 다중선형회귀모델은 상관 계수가 0.652이고 MAE가 0.182였으며, 신경망모델은 상관계수가 0.823이고 MAE가 0.105로 나타나. 신경망모델이 더 높은 예측력을 보였다.

핵심어 : 교통약자, 신경망모델, 다중선형회귀모델, 스마트횡단, 횡단속도

ABSTRACT

The traffic vulnerable, including elderly pedestrians, have a relatively low walking speed and slow cognitive response time due to reduced physical ability. Although a smart crossing system has been developed and operated to improve problem, it is difficult to operate a signal that reflects the appropriate walking speed for each pedestrian. In this study, a neural network model and a multiple regression model-based traversing speed estimation model were developed using image information collected in an area with a high percentage of traffic vulnerability. to support the provision of

optimal walking signals according to real-time traffic weakness. actual traffic data collected from the urban traffic network of Paju-si, Gyeonggi-do were used. The performance of the model was evaluated through seven selected indicators, including correlation coefficient and mean absolute error. The multiple linear regression model had a correlation coefficient of 0.652 and 0.182; the neural network model had a correlation coefficient of 0.823 and 0.105. The neural network model showed higher predictive power.

Key words : Mobility Handicapped, Neural Network Model, Multiple Linear Regression Model, Smart Crossing, Crossing Speed

I. 서 론

도로교통(승용차, 화물차, 버스 등)은 지하철, 광역급행철도 등의 확산보급에도 불구하고 60% 이상의 수단 분담률을 가지고 있는 국가 교통체계의 핵심수단이다. 특히 수도권 외곽 및 지방지역의 경우 도로교통의 수단 분담율이 높다. 수단분담율은 교통량과 연관되며, 교차로 및 횡단보도의 설치 빈도도 증가한다.

신호 횡단보도는 적색·녹색 신호등이 있는 보행자 전용 보행로이다. 횡단보도는 교통량이 많은 도로에서 널리 사용되며 보행자가 도로의 안전하게 횡단할 수 있도록 자동차를 정지시키는 역할을 한다. 횡단보도는 보행자와 운전자가 안전하게 통행할 수 있도록 하는 것이지만, 이를 위반할 경우 역효과가 발생할 수 있다. 즉, 보행자나 운전자가 이유를 불문하고 횡단보도 신호를 위반하여 통행할 경우 충돌로 이어질 수 있다 (Bendak et al., 2020).

고령보행자를 포함한 교통약자는 신체적 능력이 저하되어 보행속도가 상대적으로 낮으며, 인지반응시간이 느린 특성을 가지고 있다. 현재 교통약자를 위한 보행신호는 0.8m/s로 일률적으로 적용하고 있다(Korea National Police Agency, 2012). 미국의 경우에도 0.8-0.9m/s로 적용하고 있다(AASHITO, 2011). 이렇게 일률적인 보행신호시간 산정방식은 횡단보도를 통행하려는 보행자의 특성을 반영하지 못하여, 일부 교통약자에게는 횡단시간이 부족할 수 있다. 특히 휠체어, 목발, 지팡이 등의 보조수단 없이는 보행이 어려운 교통약자들에게 0.8m/s의 보행시간은 매우 부족한 상황이며, 개선하기 위하여 스마트 횡단시스템이 개발되어 운영되고 있다. 하지만, 현재 운영 중인 스마트 횡단시스템도 영상감지기를 이용하여 보행자의 종류를 분류할 수는 있지만, 보행자의 종류에 따른 적정 보행신호 연장을 제공하지는 못하고 있는 실정이다. 스마트 횡단시스템 운영기관에 따라 상이하지만 교통약자 보행시 보행신호시간을 정해진 시간만큼만 일률적으로 증가시키고 있다. 즉, 보행자별 적정 보행속도를 반영한 신호운영이 이루어지고 있지 못한 현실이다.

신호횡단보도에서 보행자의 특성을 고려한 정확한 보행신호를 제공한다면, 보행안전확보를 통한 교통사고 감소뿐만 아니라 불필요한 보행신호 연장을 최소화하여 교통운영 효율화에 일조할 수 있다.

본 연구에서는 교통약자비율이 높은 지역에서 수집된 영상정보를 활용하여, 교통약자의 종류, 보행자의 수, 도로의 기하구조 등을 고려한 다중회귀모델과 신경망모델을 이용하여 교통약자의 횡단속도를 추정하였으며, 이를 통해 횡단속도 추정모델을 스마트 횡단시스템에 적용하여 실시간 교통약자에 따른 최적 보행신호 제공을 지원하고자 한다.

II. 기존연구 고찰

국내 횡단보도의 보행신호시간 산정방법은 경찰청에서 제시하고 있는 교통신호기 설치 및 관리 매뉴얼에 따르고 있으며, 전체 보행시간(녹색시간과 녹색전멸시간을 합친 시간)은 다음 식(1)에 따라 설정한다.

$$T = T_s + T_f = t + L / V_1 \dots\dots\dots (1)$$

- where, T = pedestrian green time(s)
- T_s = green fixed time(s)
- T_f = green flashing time(s)
- t = initial entry time(s)
- L = crossing distance(m)
- V_1 = walking speed(m/s)

초기 진입시간은 보통 7초를 할당하며 인지반응시간을 고려하여 최소한 4초 이상으로 할당하고 있다. 보행속도는 보행자의 안전을 고려하여 1.0m/s를 적용하되, 어린이 및 노인 보호구역 등에서는 0.7m/s의 보행속도를 제공한다.

보행자 횡단속도 연구와 관련하여 고령자의 실제 보행속도를 조사하여 분석한 결과, 일반인의 평균보행속도는 1.29m/s, 노인은 1.13m/s로 일반지역의 기준인 1.0m/s 보다 높게 나타났다. 또한 하위 15th percentile속도를 살펴보면 일반인은 1.01m/s, 노인은 0.85m/s로 분석되어 노인의 경우 일반지역 기준보다 낮은 보행속도를 가지며 보호구역 기준인 0.8m/s 보다는 높은 속도가 나타났다. 하지만 지팡이나 휠체어를 사용하는 노인의 경우 하위 15th percentile속도가 0.73m/s로 나타나 현재 보호구역 기준보다 낮은 보행속도를 가진 것으로 분석되었다(Han et al., 2020).

국외의 경우 신호교차로에서 횡단보도 속도의 변화와 영향요인을 알아보기 위해 모형을 만들었다. 상관분석 결과 횡단보도 속도는 횡단보도 폭, 횡단보도 길이, 보행자 대기공간의 폭, 도로분류, 평균 교통흐름, 평균 보행지연과 유의한 음의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 백분위수 횡단 속도의 편차는 연령 그룹, 그룹 크기 및 횡단 패턴 간에 존재하지만 통계적 분석은 성별 간에 유의한 차이가 없음을 나타냈다(Bansal et al., 2019).

보행자의 전체 횡단 속도는 보행자 특성영향 분석에 중점을 두어 미시적 수준에서 연구자에 의해 광범위하게 분석되었다. 대만에서는 신호횡단보도의 보행자 속도 영향 요인을 현장조사 결과에 기초하여 분석하였다(Chang et al., 2011). 회귀분석 결과 성별, 기온, 날씨, 횡단보도 폭, 신호유형이 보행자의 보행속도에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이 연구에서 모델의 신뢰도는 약 18%였다. 또한, 횡단보도 속도에 영향을 미치는 요인을 알아보기 위해 요르단에서는 27개 횡단보도의 보행자 횡단 데이터를 분석했다(Tarawneh, 2001). 다중 요인 ANOVA 결과, 속도에 영향을 미치는 요인은 성별, 연령, 보행량 및 횡단보도의 횡단거리 및 너비가 횡단보도 속도에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 멜버른 시내 4개 신호 교차로에서 보행자의 횡단 속도를 분석한 연구에서는 일반적으로 주중 횡단 속도가 주말보다 낮고 횡단 중인 보행자의 속도가 보도를 통행중인 보행자보다 느린 것으로 나타났다(Fitzpatrick et al., 2006).

보행자 신호 시간의 설계 값을 결정하기 위해 다른 기하구조를 가진 미국의 42개 횡단보도에서의 횡단 속도를 활용하였다. 통계 분석 결과 성별과 연령 그룹의 15번째 백분위수 속도가 통계적으로 다른 것으로 나타났다. 즉, 실제로 속도는 연령, 그룹 크기에 따라 다른 것으로 분석된 것이다(Alhajyaseen and Iryo-Asano, 2017). 미국 위스콘신 주의 11개 횡단보도에서 보행자의 움직임을 녹화하여 횡단보도 속도와 관련된 다양한

요인을 파악했던 결과, 횡단 속도가 장애 및 연령, 보행량, 보행자 신호 길이에 따라 다른 것으로 나타났다 (Iryo-Asano and Alhajyaseen, 2017).

Ⅲ. 분석방법론

1. 자료의 수집

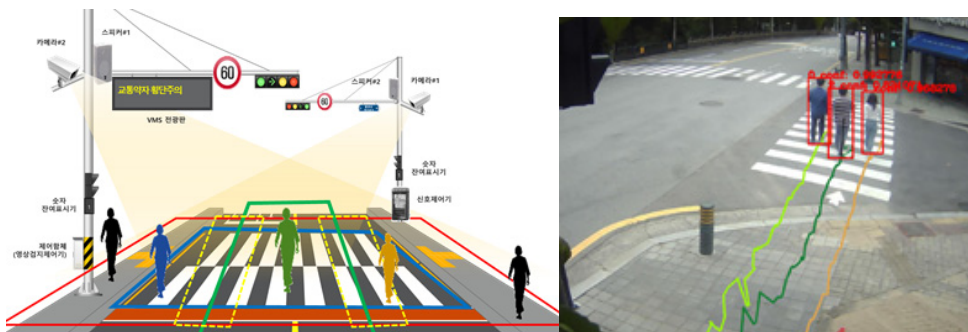
본 연구에서는 이전에 수행된 연구결과를 기반으로 9개의 독립변수를 선택하였다. 선정된 영향 매개변수는 관찰된 교통약자의 특성(연령, 성별), 보행자 흐름 변수(총 보행자 수 및 횡단보도 교통약자 수), 이동 방식(휠체어, 목발, 유모차)으로 그룹화하였다. 또한, 기반 시설(보행자 횡단보도의 길이 및 너비, 신호등 주기의 길이 및 녹색 보행자 시간)도 측정하여 분석에 포함시켰다.

<Table 1> Independent Variables

Group	Variable
Characteristics of the mobility handicapped	Age (Older=0, Non-Elder=1)
	Gender (Male=0, Female=1)
Pedestrian traffic flow	Total number of pedestrians
	Number of mobility handicapped in crosswalks
How to walk for the mobility handicapped	Use of walking aids (No=0, Wheelchair=1, Crutches=2, Strollers=3)
Crossing facility	Length of crosswalk (m)
	Width of crosswalk (m)
	Traffic signal cycle(s)
	Green Pedestrian Time(s)

여기서, 보행자의 연령 및 성별분류의 경우 개인정보보호법에 따라 보행자별 추적조사가 불가능하기 때문에 모니터링 인력의 판단에 따라 고령자, 비고령자 구분 및 남성, 여성을 분류하였다.

현장데이터는 파주시내 스마트 횡단시스템이 설치된 총 4개의 횡단보도(금촌 11안전센터, 파주시노인복지관, 자운학교, 파주병원)에서 총 100일간(2022년 5월 18일~2022년 8월 25일)의 자료이며, 수집방식은 스마트 횡단시스템에 장착된 영상기기에서 수집된 영상정보를 기반으로 파주시 교통정보센터에서 제공받았다.



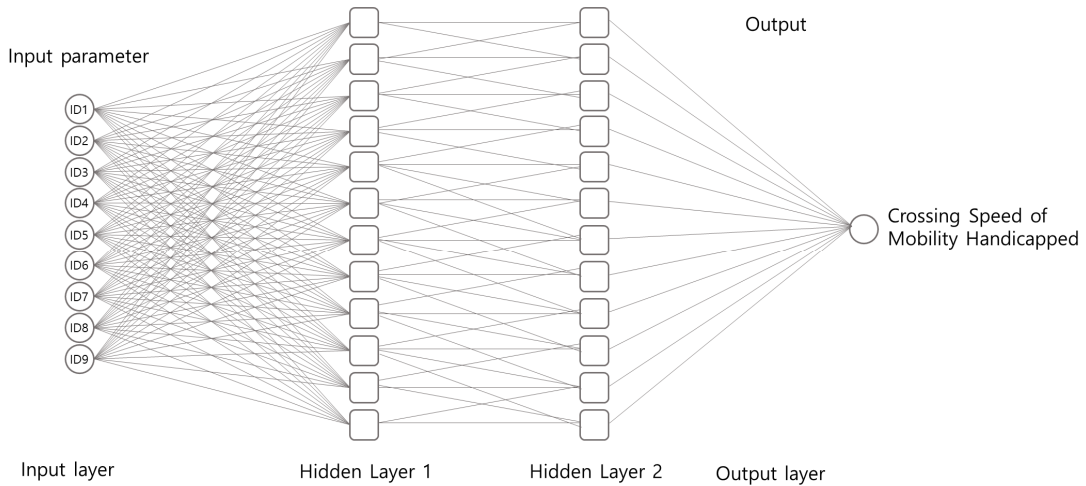
<Fig. 1> Image information collection method using smart crossing system

다음 <Fig. 1>은 파주시에서 제공받은 현재 운영중인 스마트횡단보도의 개념도로 횡단보행자의 객체분류, 객체 추적 등의 영상분석이 이루어지고 있다.

2. 모형 선정

횡단보도를 통행하는 교통약자의 통행시간을 추정하기 위한 분석기법으로 다중선형 회귀분석과 신경망모델(Neural Network Model)을 선정하였다. 실제 교통 상황에서 측정된 2400개의 데이터 데이터베이스를 사용하여 훈련했습니다. 전체 데이터베이스는 두 세트로 나누었는데, 데이터의 80%(1,920)는 훈련에 사용되었고 데이터의 20%(480)는 모형 검증에 사용되었습니다.

신경망모델은 다음 <Fig. 2>와 같이 2개의 hidden layer와 각 hidden layer에 27개의 뉴런이 있는 구조망으로 설계하여, 최적 결과를 도출하였다.



<Fig. 2> Optimized neural network model structure

다중선형 회귀모형은 종속변수와 여러 독립변수들의 상관관계를 나타내는 모형으로 종속변수가 독립변수에 선형 함수의 관계를 가진다고 가정한다. 모형의 일반적인 구조는 식 (2)와 같다.

$$y = \alpha + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \beta_4x_4 + \beta_5x_5 + \dots + \beta_nx_n + \epsilon \dots\dots\dots (2)$$

where, α = A constant term that affects the dependent variable

β = Coefficient of independent variable

ϵ = The error term

본 연구에서는 다중선형회귀모형의 입력변수를 선정하기 위해 단계적 회귀방법을 사용하였다. 즉, 모델 차원의 점진적 확장과 축소 방법을 사용하였다. 이 방법은 상관관계의 수치에 관계없이 모든 입력 변수를 고려하며 각 단계에서 각 변수의 중요성을 재검토하는 방식으로, 단계적 회귀분석법을 이용한 모형 개발을 위하여 <Table 1>과 같이 개별 입력변수를 하위변수로 나눔으로써 변수의 영향을 보다 자세히 분석할 수 있다.

다중선형회귀모형에 사용된 변수에 대한 분석값은 다음 <Table 2>와 같다.

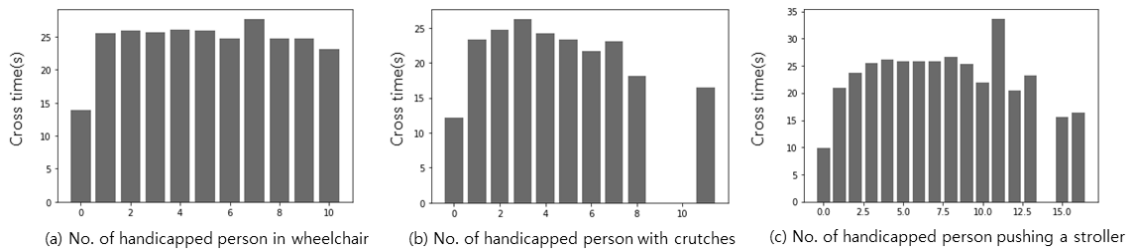
<Table 2> Independent variables of the multiple linear regression model

Variable	Standard Error	Coefficient Value	t	Pr> t
Age	0.075	0.442	5.878	<0.0001
Gender	0.059	0.027	2.187	0.030
Total number of pedestrians	0.005	-0.024	-4.526	<0.0001
Number of mobility handicapped in crosswalks	0.014	0.031	2.142	0.003
Use of walking aids	0.041	0.175	4.250	<0.0001
Length of crosswalk	0.004	0.061	13.941	<0.0001
Width of crosswalk	0.014	0.031	2.142	0.033
Traffic signal cycle	0.040	-0.479	-11.857	<0.0001
Green Pedestrian Time	0.041	0.219	5.296	<0.0001

IV. 모형 구축결과

1. 기초 통행행태분석

교통약자의 유무와 이동방식(휠체어, 목발, 유모차)에 따른 평균 보행시간을 분석해본 결과, 교통약자가 없는 경우는 횡단에 소요되는 총 시간은 평균 12.3초였지만, 을 때보다 교통약자가 있을 경우 평균 24.3초가 소요되었다. 교통약자의 수가 증가하더라도 전체 횡단 소요시간은 변화하지 않았으며, 교통약자의 이동방식에 따라 다소 차이가 발생하였다. 목발을 사용한 교통약자의 평균 보행시간이 가장 짧았으며, 다음으로 휠체어와 유모차를 사용한 교통약자 순이었다.



<Fig. 3> Average walking time according to the number of mobility handicapped

2. 구축 결과

1) 다중선형회귀모델

모델에서 예측된 결과와 실제 수집된 데이터와의 비교를 통해 모델 정확도를 평가하였다. 예측치와 실측치의 상관계수, 평균 절대오차(MAE : Mean Absolute Error), 최소 절대오차(minAE : Minimum Absolute error), 최대 절대오차(maxAE : Maxium Absolute error)를 분석하였다. 그 외에도 예측모델의 정확도를 평가할 수 있는 통계방법을 추가하였다. RMSEp(Root-mean-squared error of prediction)는 예측치와 실측치 간의 차이를 제곱근으로 정의한 수치이며, \overline{AC} 는 모델의 평균정확도로 0에 가까울수록 모델이 정확하다고 판단한다.

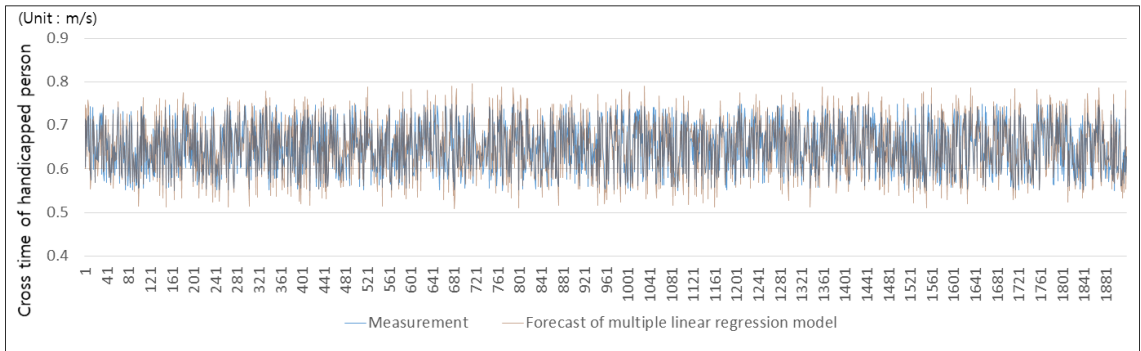
AM은 모델의 총 정확도로 $\overline{AC-AC}$ 의 표준편차이다.

측정된 다중선형회귀모델에 의해 예측된 결과는 실제 수집된 데이터와 72.3%의 정확도를 보이며, 표준 오차는 0.16m/s인 것으로 나타났다.

<Table 3> Rating indicators of multiple linear regression model

Classification	Correlation coefficient	MAE	min AE	max AE	RMSEP	Ac	Am
Multiple linear regression model	0.723	0.159	0.000	0.637	0.205	0.019	-0.123

모델 개발에 사용된 1,920개의 데이터베이스에 대한 예측치와 실측치를 비교할 경우 다음 <Fig. 4>와 같다.



<Fig. 4> Comparison of measured values and predicted values of multiple linear regression models

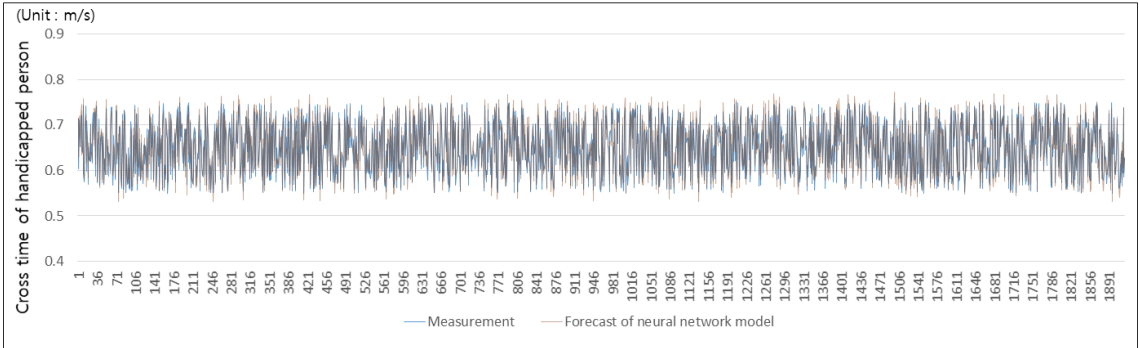
2) 신경망모델(Neural Network Model)

측정된 다중선형회귀모델에 의해 예측된 결과는 실제 수집된 데이터와 80.1%의 정확도를 보이며, 표준 오차는 0.12m/s인 것으로 나타났다.

<Table 4> Rating indicators of neural network model

Classification	Correlation coefficient	MAE	min AE	max AE	RMSEP	Ac	Am
Neural etwork model	0.801	0.118	0.000	0.531	0.142	0.015	-0.107

모델 개발에 사용된 1,920개의 데이터베이스에 대한 예측치와 실측치를 다중 선형회귀분석과 동일하게 그래프로 비교할 경우 다음 <Fig. 5>와 같다.



<Fig. 5> Comparison of measured values and predicted values of neural network models

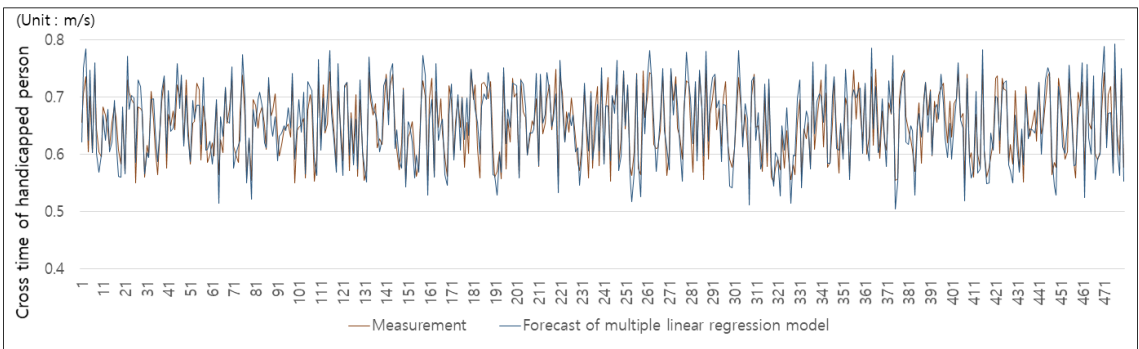
3. 모델 검증

측정된 데이터베이스 2,400개에서 모델 개발에 사용된 1,920개를 제외한 480개의 데이터베이스를 활용하여 모델 검증을 진행하였다. 모델 검증 결과 신경망 모델의 정확도는 82.3%로 다중선형회귀모델의 정확도 65.2%보다 약 17.1% 높게 나타나, 신경망 모델이 교통약자의 보행속도 예측에 더 우수하다고 판단된다.

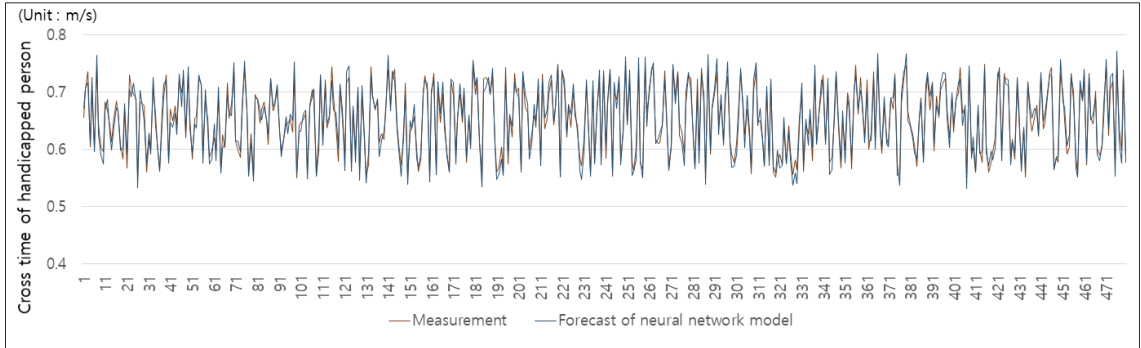
<Table 5> 모델 검증 결과

Classification	Correlation coefficient	MAE	min AE	max AE	RMSEP	Ac	Am
Multiple linear regression model	0.652	0.182	0.000	0.675	0.255	0.029	-0.134
Neural network model	0.823	0.105	0.000	0.482	0.135	0.014	-0.087

다음 <Fig. 6>과 7은 모델 검증에 사용된 480개 데이터베이스와 2개 모델의 예측치를 비교한 그래프로 <Table 5>에 나온 통계적 수치와 같이 <Fig. 7>의 신경망모델의 실측치와 예측치의 차이가 적은 것을 확인할 수 있다.



<Fig. 6> Result of verification of multiple linear regression model



<Fig. 7> Result of verification of neural network model

V. 결 론

본 논문은 실제 교통 상황에서 수집된 데이터를 기반으로 신호 횡단보도에서 교통약자의 속도 모델을 개발하였다. 모델은 경기도 파주시의 도시 교통 네트워크에서 수집된 2,400개의 측정 데이터 데이터베이스를 사용하여 개발되었으며, 신호횡단보도에서 교통약자의 횡단 속도를 예측하기 위해 다중선형회귀모델과 신경망모델 두 가지로 개발되었다. 모델의 성능은 상관계수, 평균 절대오차 등 7개의 선택된 지표를 통해 평가되었다. 다중선형회귀모델은 상관 계수가 0.652이고 MAE가 0.182였으며, 신경망모델은 상관계수가 0.823이고 MAE가 0.105로 나타나. 신경망모델이 더 높은 예측력을 보였다. 더 나은 성능지표를 가진 신경망 모델은 실제 도로환경에 적용할 수 있을 것이다. 다중선형회귀모델도 다소 예측력이 떨어지지만, 적용이 쉽다는 장점이 존재하기 때문에 필요에 따라 적용이 가능하다.

개발된 모델에서는 모든 독립변수가 영향력이 있다고 분석되지만, 가장 큰 가중치 계수는 교통약자의 나이와 보행보조기 사용 유무였다. 교통약자가 고령자에 속하고 휠체어나 목발 등을 사용할 경우 보행시간이 증가하여, 평균 보행속도가 감소하게 된다. 현재 운용되는 스마트횡단시스템의 경우 운영기관에 따라 상이하지만 교통약자 보행시 보행신호시간을 정해진 시간만큼만 일률적으로 증가시키고 있다. 즉, 보행자별 적정 보행속도를 반영한 신호운영이 이루어지고 있지 못한 현실이다. 고령자 및 보행이 불편한 교통약자를 대상으로 인식하여 횡단에 필요한 녹색 보행자 시간을 일률적으로 증가시켜 주는 것이 아니라 본 연구에서 제시한 모델을 적용하여 필요한 보행시간만큼만 정확하게 연장을 시켜줄 경우 시스템의 효율성이 크게 증가할 것으로 판단된다.

단, 본 연구에서는 기상환경에 대한 변수를 반영하지 못하여, 향후 보행환경 데이터베이스에 기온, 강우 및 강성 유무 등을 추가할 경우 횡단보도 기하구조뿐만 아니라 기상환경에 따른 보행자의 횡단시간 예측이 가능할 것이며, 이를 스마트횡단시스템에 적용할 수 있을 것이다. 지속적인 데이터베이스 축적을 통해 경찰청에서 제시하고 있는 보행신호 산출방법에서 교통약자의 평균보행속도를 지역특성에 맞는 최적화된 속도로 제시하여 교통신호운영의 효율화를 추구할 수 있을 것이다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 파주시청 남북철도교통과 지원 사업으로 수행되었습니다(과제명 : 파주시 ITS 구축사업 사업관리 용역).

REFERENCES

- Alhajyaseen, W. K. and Iryo-Asano, M.(2017), “Studying critical pedestrian behavioral changes for the safety assessment at signalized crosswalks”, *Safety Science*, vol. 91, pp.351-360.
- American Association of State Highway and Transportation Officials(2011), *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets* (6th ed.).
- Bansal, A., Goyal, T. and Sharma, U.(2019), “Modelling the pedestrian speed at signalised intersection crosswalks for heterogeneous traffic conditions”, *Promet-Traffic& Transportation*, vol. 31, no. 6, pp.681-692.
- Bendak, S., Alnaqbi, A. M., Alzarooni, M. Y., Aljanaahi, S. M. and Alsuwaidi, S. J.(2020), “Factors affecting pedestrian behaviors at signalized crosswalks: An empirical study”, *Journal of Safety Research*, vol. 76, pp.269-275.
- Chang, C. Y., Woo, T. H. and Wang, S. F.(2011), “Analysis of pedestrian walking speeds at crosswalks in Taiwan”, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, vol. 9, pp.1186-1200.
- Fitzpatrick, K., Brewer, M. A. and Turner, S.(2006), “Another look at pedestrian walking speed”, *Transportation Research Record*, vol. 1982, no. 1, pp.21-29.
- Han, E., Cho, H. R., Mun, S. C., Yun, S. B. and Park, S. Y.(2020), “Improvement of Pedestrian Speed Criteria for the Pedestrian Green Interval at Silver Zone”, *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 19, no. 4, pp.45-54.
- Iryo-Asano, M. and Alhajyaseen, W. K.(2017), “Modeling pedestrian crossing speed profiles considering speed change behavior for the safety assessment of signalized intersections”, *Accident Analysis & Prevention*, vol. 108, pp.332-342.
- Korea National Police Agency(2012), *Manual of Installation and Management of Traffic Signal*.
- Tarawneh, M. S.(2001), “Evaluation of pedestrian speed in Jordan with investigation of some contributing factors”, *Journal of Safety Research*, vol. 32, no. 2, pp.229-236.