

다중밀집시설의 사회적 거리 유지를 위한 Social Force Model 구축방안

A Study on Establishment of Social Force Model for Maintaining Social Distance on Multi Use Facility

조원철* · 고철진** · 김도균*** · 김춘수**** · 유병영***** · 이선하*****

* 주저자 : 공주대학교 도시·교통공학과 석사과정
 ** 공저자 : 평택대학교 국제무역행정학과 겸임교수
 *** 공저자 : ㈜신화엔지니어링 CM부문 부장
 **** 공저자 : 울산광역시청 교통건설국 국장
 ***** 공저자 : ㈜건화엔지니어링 교통계획부 부장
 ***** 교신저자 : 공주대학교 도시·교통공학과 교수

Woncheol Cho* · ChilJin Ko** · DoGyun Kim*** · Chunsu Kim**** ·
ByungYoung Yu***** · Seonha Lee*****

* Dept. of Urban and Transportation Eng., Kongju University
 ** Pyeongtaek University
 *** Shinwha Engineering & Architecture
 **** Ulsan Metropolitan City Transportation & Construction Bureau
 ***** Kunhwa Engineering & Consulting
 ***** Dept. of Urban and Transportation Eng., Kongju University
 † Corresponding author : Seonha Lee, seonha@kongju.ac.kr

Vol.19 No.4(2020)

August, 2020

pp.1~12

pISSN 1738-0774

eISSN 2384-1729

[https://doi.org/10.12815/kits.](https://doi.org/10.12815/kits.2020.19.4.1)

2020.19.4.1

Received 23 July 2020

Revised 13 August 2020

Accepted 19 August 2020

© 2020. The Korea Institute of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

요약

본 연구에서는 COVID-19 대유행에 따른 다중밀집시설 중 하나인 서울역 역사를 대상으로 사회적 거리(Social Distance) 유지 및 보행동선체계 구축에 따른 효과분석을 진행하였다. 분석을 위해 서울역 CAD 및 철도역사 이용객 수 조사를 통하여 서울역 보행 Network를 구축하였으며, Social Force Model을 활용하여 사회적 거리(Social Distance)를 유지하는 보행자를 구현하였다. 이를 바탕으로 시나리오 분석을 수행하였다. 분석결과, 보행동선체계 도입 시 현황과 비교하여 평균보행속도가 감소하였으나 평균보행밀도의 경우 보행 서비스수준(LOS) 'C'를 유지하는 것으로 분석되어 보행동선체계의 효과가 입증되었으며, 향후 보행계획 시 보행 시뮬레이션 모델로서 활용이 가능할 것으로 기대된다.

핵심어 : COVID-19, 사회적 거리, Social Force Model, 보행행태, 다중밀집시설

ABSTRACT

In this study, the effect of the social distance maintenance and pedestrian route system was analyzed for Seoul Station, one of the multi use facilities according to the COVID-19 pandemic. For analysis, the Seoul Station pedestrian network was established through the survey of the number of passengers and CAD floor plan. A pedestrian that maintaining Social Distance was implemented using the Social Force Model. Based on this, scenario analysis was proceed. As a result, when the walking line system was installed the average walking speed decreased compared to the current situation. but the average density was analyzed that maintain the walking level of service (LOS)'C',

this mean walking line system is effective, and the effect of the walking line system was proved. It can be used as a pedestrian simulation model.

Key words : COVID-19, Social distance, Social force model, Walking behaviors, Multi use facility

I. 서 론

1. 개요

신종코로나바이러스 감염증(이하 COVID-19)은 2019년 12월 중국 우한에서 처음 발생한 이후 중국 전역과 전 세계로 확산된 새로운 유형의 호흡기 감염질환으로써, 전 지구적으로 인명손실 및 재산피해를 일으키고 있다. 현재 COVID-19의 확진자의 수는 계속해서 증가하고 있는 추세이나 COVID-19에 대한 어느 백신이나 치료제는 개발되지 않은 상태이므로 전 세계적으로 사회 전 분야에 걸쳐 경기침체 및 인명손실은 계속될 것으로 각종 매체에서 전망하고 있다.

대한민국의 경우 신천지 및 이태원클럽 등 다중밀집시설에서의 집단감염으로 인하여 COVID-19 확진자가 증가하고 있다. 시민들이 최소한의 경제활동을 지속해 나가기 위해 부득이한 통행을 하는 경우 필연적으로 이용할 수밖에 없는 버스터미널, 역사 등에서의 COVID-19 집단감염이 우려되는 상황이다.

이러한 전염병 대유행에 대해 세계보건기구(World Health Organization, 이하 WHO)는 전염병의 위험도에 따라 전염병 경보단계를 1단계에서 6단계로 나누는데 이 중 최고 위험 등급을 팬데믹(Pandemic)이라고 하며, 스페인독감(1918), 아시아독감(1957), 홍콩독감(1968)과 더불어 COVID-19(2020)에 대해 선언하였다. 이에 따라 COVID-19로 인한 팬데믹(Pandemic) 단계에 따른 방역대책은 국가들 간 여행자제 조치 및 구체적인 전염병 확산 방지를 위한 지침을 내리고 있으며, 대표적인 방역대책 지침은 사회적 거리(Social Distance)가 있다.

사회적 거리(Social Distance)란 COVID-19에 전염된 사람과 전염되지 않은 사람 사이의 접촉 가능성을 최소화시켜 COVID-19 확산을 늦추고 동시에 최종적으로는 사망률을 감소시키는 공중보건학적 전염병 통제 전략이다.

대한민국 또한 COVID-19 대유행에 따라 전염병 경보단계를 관심, 주의, 심각 3단계로 구분하고 있으며, 2020년 2월 23일 COVID-19에 대한 대응 수준을 심각 단계로 격상하였고 이에 따라 휴교령, 집단행사금지, 통행자제, 접촉자에 대한 밀접관리 및 자가격리, 개인위생관념 개선 등 최고 수준의 방역대응을 진행하였으며, 대한민국 정부는 사회적 거리(Social Distance) 유지 강력권고를 통해 지역 간 통행 시에 발생하는 지역사회감염차단에 노력하였다. 이러한 노력의 결과 COVID-19 신규 확진자 수는 크게 감소하였으나, 지역사회감염이 진행됨에 따른 신규 확진자가 지속적으로 나오고 있어 방심 할 수 없는 상황이다. 즉, 현재의 방역대책으로는 다중밀집시설 특히 업무, 대형 쇼핑몰에서의 사회적 거리(Social Distance) 유지함에 있어 실질적으로 효율성의 한계가 있다. 이에 대한 대책으로 정부의 주도 하의 보다 합리적이고 구체적으로 사회적 거리(Social Distance)를 유도 할 수 있는 방역대책 마련이 필요한 상황이다.

따라서 본 연구에서는 다중밀집시설의 사회적 거리(Social Distance) 유지 시에 따른 다양한 시나리오 별 분석을 통해 적정 보행동선체계의 필요성을 제시하고자 한다.

다중밀집시설에 사회적 거리(Social Distance)를 유지하는 보행자를 구현하기 위해 미시적(Microscopic) 교통시뮬레이션 분석 S/W인 VISSIM의 Add on Module인 VISWALK의 Social Force Model를 이용하였다. Social Force Model은 파라미터 조정을 통하여 보행자들의 개인적인 특성, 보행자 간 지체 등 보행자들의 세밀한 물리적 현상 구현이 가능한 모형이다. 이를 활용하여 서울의 대표적인 역사인 서울역의 보행자를 실제 보행자

통행특성과 유사하게 구현하고 사회적 거리(Social Distance) 유지를 위한 보행동선체계 시나리오 설정하여 분석을 수행하였다.

II. 선행연구

1. 다중밀집시설의 사회적 거리/보행유도 관련 연구

COVID-19의 지역사회감염이 확산됨에 따라 다중밀집시설 집단감염의 발생이 우려되는 상황이다. 이를 뒷받침하는 연구로는 대한민국 서울 구로구에 위치한 상업-업무 집단밀집시설인 콜센터에서의 COVID-19 집단 감염 사례를 들어 COVID-19 집단감염이 진행되는 특성을 설명한 연구가 있으며, 콜센터와 같이 복잡한 사무실 환경의 다중밀집시설이 COVID-19 확산의 새로운 진원지가 될 수 있다는 위험성을 제시하였다(Park et al., 2020). 연구에서 언급한 것처럼 다중밀집시설에서의 집단감염을 막기 위한 방역대책이 필요하다.

KOO et al.(2020)는 싱가포르로 확산된 COVID-19으로 인한 다중밀집시설(직장, 학교 등)의 폐쇄 및 건물 내 사회적 거리(Social Distance) 유지 실행 여부에 따른 효과분석을 위해 초기 방역대책 실행에 따른 지역사회 감염 시나리오를 설정하여 시뮬레이션 분석을 수행하였다. 분석결과 지역사회감염 시나리오에서 다중밀집 시설(학교, 건물 등)의 폐쇄 및 건물 내 사회적 거리(Social Distance)를 실행함에 따라 타 시나리오보다 확진자의 수가 99.3% 감소한 것으로 분석되었다. 따라서 다중밀집시설(직장, 학교 등) 폐쇄와 건물 내 사회적 거리(Social Distance) 유지를 통해 COVID-19 확산 방지에 효율성이 있다는 결론을 도출하였다.

이처럼 사회적 거리(Social Distance)가 COVID-19 전염 확산 방지에 중요한 역할을 맡고 있고, 특히 다중밀집 시설에서의 사회적 거리(Social Distance)를 유지할 수 있는 보행계획의 중요성이 대두되는 상황이다. 보다 효과 있는 보행계획 실현을 위해 보행유도시설이 필요할 것으로 판단된다.

Seo.(2011)은 대규모 건축물에서의 화재 발생에 따른 피난유도시설의 효과분석을 위해 지하공간에서의 화재 발생 시에 따른 시야장애를 가정한 대피시나리오를 설정하여 모의실험을 수행하였다. 모의실험결과 피난 유도시설 중 피난유도선(보행동선체계)을 통한 보행유도 시 피난 대피시간이 줄일 수 있다는 것이 입증되었으며, 불특정 다수의 사람들을 체계적으로 대피시킬 수 있다는 결론을 얻었다.

선행연구를 살펴본 결과 다중밀집시설 내 사회적 거리(Social Distance)를 유지함에 있어 여러 보행유도시설 중 보행유도선을 설치하면 효과를 볼 수 있을 것으로 판단된다.

2. 보행행태 분석 시뮬레이션 관련 연구

보행자의 행동은 매우 불규칙하고 예측할 수 없다고 생각되어 왔으나 Helbing et al.(1995)는 이러한 행동은 매우 복잡한 보행상황에서 발견되는 경우이므로 매우 예외적인 경우라고 언급하였고, 따라서 일반적인 보행상황에서 발견 가능한 보행자의 개인적인 특성을 고려한 보행 미시적(Microscopic) 모델인 Social Force Model을 개발하였다. Social Force Model은 개개인의 보행자가 목적지에 도달하기 위해 이동 시 물리적 장애물과 다른 보행자들로부터 ‘Social Force’라는 보이지는 않는 힘(사회적, 물리적, 심리적)의 영향을 받으며, 이를 기반으로 컴퓨터 시뮬레이션 시 보행자들이 같은 방향으로 움직이는 경우 지그재그 형태의 보행행태가 나타나는 것으로 분석되었다. 이러한 연구를 기반으로 보행행태 관한 시뮬레이션 연구가 이루어졌다.

Kibret et al.(2020)은 개발도상국에서의 비공식 경제적인 부분을 담당하고 있는 길거리 자판기 및 노상상점들을 고려한 종합적인 거리 설계를 하기 위해 보행 미시적(Microscopic) 분석프로그램인 VISWALK의 Social Force

Model을 사용하였으며, Social Force Model 파라미터 소개 및 이를 활용한 현실적인 보행 모델을 구축함으로써 노상상점이 보행자 이동행태에 미치는 영향을 분석하였다. 이처럼 Social Force Model을 활용하여 현실적인 보행행태 구현이 가능하며, 다음과 같은 다양한 시나리오에 대한 보행 시뮬레이션 분석이 수행되었다.

Choi et al.(2018)은 세종시의 생활권역을 대상으로 재난상황 발생 시 정보제공 시나리오에 따른 보행자 대피행태를 구현하고자 Social Force Model을 활용하여 분석을 수행하였다. 분석결과 재난상황 발생 시 보행자들 간의 상충으로 인하여 지체시간 및 통행시간이 증가하는 현상이 나타났으나 대피정보를 제공하는 경우 최종 대피시간이 감소하는 것으로 분석되어 효과를 입증하였다. 이처럼 실외에서의 재난상황 발생에 따른 보행행태 뿐만 아니라 실내에서의 재난상황 시 보행행태 분석이 진행되었다. Shin et al.(2010)은 다중밀집시설인 Multiplex를 대상으로 화재 발생에 따른 보행행태를 분석하고자 Social Force Model을 활용하여 비상구 구조에 따른 보행자의 대피 속도 및 시간에 미치는 영향을 분석하고 피난 대책 향상방안을 제시하였다. Cheon et al.(2015)은 철도역사 시설물별 적정면적 산정을 위해 Social Force Model을 활용한 보행행태 반영하여 계단과 보행자통로의 밀도변화에 따른 설계서비스수준을 분석하였다.

또한, VISWALK 이외의 보행 시뮬레이션을 활용한 분석이 이루어졌으며, You et al.(2016)는 도시철도역사 평가용 시뮬레이터를 활용하여 도시철도의 주요 노선들이 만나는 환승역사의 구조, 이동동선, 도시철도 이용에 영향을 끼치는 변수를 고려한 다양한 시나리오 설정을 통해 효과분석을 수행한 연구가 있다. Jang et al.(2010)은 복잡한 보행환경의 묘사가 가능한 NetLogo 프로그램을 사용하여 보행 시뮬레이션 분석을 진행하였고 분석된 데이터와 실제 조사된 보행 데이터를 서로 비교 분석하여 유의성을 판단하였다. Kim et al.(2011)은 미시적(Microscopic) 보행시뮬레이션 중 하나인 Simwalk를 사용하여 보행특성을 반영하였고 이를 토대로 현황 보행로의 문제점 도출 및 개선방안을 제시하였다. 더 나아가 개선방안의 효과를 분석하고 이를 제시함으로써 향후 보행계획의 기초자료를 제공하였다.

앞서 수행된 선행연구로 보아 다양한 시나리오 상황에서의 보행 시뮬레이션이 가능하기 때문에 COVID-19와 같은 전염병 발병에 따른 시나리오 보행 시뮬레이션이 가능할 것으로 생각된다.

3. 기존 연구와의 차이점

본 연구는 다중밀집시설에서의 사회적 거리(Social Distance) 유지하는 보행자를 보행 시뮬레이션 프로그램을 활용하여 보행 모델을 구현함과 동시에 이를 이용하여 보행동선체계 도입에 따른 효과분석을 진행함에 있어 다음과 같은 선행연구와의 차이점이 있다.

선행연구에서는 COVID-19 확산에 따른 다중밀집시설 집단감염의 위험성 제시를 통해 다중밀집시설 내에서의 사회적 거리(Social Distance) 유지의 중요성을 언급하였다. 이처럼 COVID-19 감염방지를 위해 사회적 거리(Social Distance)가 중요하나 이를 유지하기 위한 실질적인 실행 방안을 제시한 연구는 미비하였다.

또한, 기존에 수행되었던 보행 시뮬레이션을 살펴본 결과 다중밀집시설 내 화재, 도심부의 지진 등 재난에 따른 실내·외 보행자 대피행태에 대한 분석과 평상시의 보행행태 관한 분석이 대부분이었으며, COVID-19와 같은 전염병 발병에 따른 보행행태를 시뮬레이션을 통하여 분석한 연구는 이루어지지 않았다.

따라서 본 연구에서는 다중밀집시설 내 사회적 거리(Social Distance)를 유지할 수 있는 보행계획에 관한 연구를 진행하고자 하였다. 이는 미시적(Microscopic) 보행 분석프로그램인 VISWALK를 사용하여 다중밀집시설 구축과 Social Force Model을 활용하여 사회적 거리(Social Distance) 유지하는 보행자를 구현하고자 하며, 이 보행 모델을 기반으로 보행동선체계 도입 시에 따른 시뮬레이션을 통해 정량적, 정성적 비교분석을 수행하여 보행동선체계의 효율성을 확인하고자 한다.

III. 방법론

분석에 앞서 시뮬레이션 상 보행자의 보행행태를 결정하는 힘인 ‘Social Force’의 각 파라미터에 대한 정의 (PTV VISSIM 9-manual)와 Social Force Model 파라미터값의 변화에 따른 보행행태를 정량적 및 정성적으로 표현 가능한 VISWALK를 설명하고자 한다.

1. Social Force Model

Social Force Model은 서로 다른 힘들의 가속력 합으로 설명할 수 있으며, 다음 식 (1)과 같이 ($\vec{f}_a(t)$)는 추진력(Driving Force), 반발력(Repulsive Force) 및 무선흐과(Random Effect)의 합으로 구성된다. 보행자가 목적지까지 원하는 속도로 도달하기 위한 힘을 추진력(Driving Force)이라고 하며 ($\vec{f}_{driving}$)으로 표현된다. 반발력(Repulsive Force)은 보행자가 벽이나 장애물로부터 일정 거리 이상을 유지 시켜주는 힘으로 (\vec{f}_{wall})로 표현된다. (\vec{f}_{social})은 보행자가 다른 보행자와의 충돌 및 보행자 밀집 공간을 피하게 해주며, 마지막으로 (\vec{f}_{noise})는 임의적 요인(Random effect)을 고려하여 보행자 간의 교착상태를 방지하는 힘이다.

$$\vec{f}_a(t) = \vec{f}_{driving} + \vec{f}_{wall} + \vec{f}_{social} + \vec{f}_{noise} \dots\dots\dots (1)$$

1) Tau(τ)

Tau는 반응시간과 관련하여 응답시간 및 관성을 나타내는 파라미터이며, 보행자가 원하는 보행속도와 진행방향을 나타내는 v_0 와 가속을 위한 현재의 보행속도와 진행방향을 나타내는 v 의 결합으로 식 (2)과 같이 표현된다. 여기서 a 는 가속력을 나타낸다.

$$a : a = (v_0 - 0) / \tau \dots\dots\dots (2)$$

2) Lambda_mean(λ_{mean})

Lambda는 보행자의 시선이 닿지 않는 곳에서 일어나는 사건이나 현상에 대하여 보행자에게 심리적, 사회적인 영향을 감소시키는 힘을 나타내는 파라미터이며 식 (3)과 같이 정의된다. ϕ 는 보행자가 진행하려는 방향과 보행자에게 영향을 주는 가속력 a 사이의 각도를 나타낸다.

$$\phi \neq 0, \Lambda <: \omega(\Lambda) = (\Lambda + (1 - \Lambda)(1 + \cos(\phi)))/2 \dots\dots\dots (3)$$

식(3)에 대해 $\omega(\Lambda) = \Lambda(\lambda = \Lambda)$ 이다.

3) A_soc_isotropic, B_soc_isotropic

A_soc_isotropic과 B_soc_isotropic는 파라미터의 값이 커지면 보행자 일 방향 통행 시 병목현상으로 인한 통행량 감소와 보행자 양방향 통행 시에 따른 교착상태 형성 가능성이 높아지며, 다음과 같은 식 (4)와 같이 설명할 수 있다. A와 B는 힘이 작용하는 방향을 나타낸다.

$$F = A_{soc_isotropic} w(\Lambda) e^{(-d/B_{soc_isotropic})n} \dots\dots\dots (4)$$

d 는 보행자 간 거리(보행자 신체부터 다른 신체까지를 기준)를 나타내며, n 은 보행자의 수를 나타낸다.

4) A_soc_mean, B_soc_mean, VD

A_soc_mean과 B_soc_mean는 보행자와 보행자 간 사회적력을 나타내며, 사회적력의 강도를 나타내는 (A)와 작용 범위를 나타내는 (B)로 정의되고 다음과 같은 식 (5)로 계산이 가능하다.

$$F = A \exp(-d/B)n \dots\dots\dots (5)$$

VD는 사회적력 결정하는데 보행자 간 상대속도 나타내며, 값의 크기가 커짐에 따라 반대 방향에서 다가오는 보행자들은 더 빨리 회피함으로써 더 많은 공간을 유지하며 통행할 수 있다. VD가 0인 경우 보행자 간 거리는 간단하게 d 로 나타낼 수 있다. 만약 VD가 0보다 큰 경우, 거리 d 는 다음 식 (6)으로 대체된다. 여기서 VD는 사회적력 결정 시 보행자 간 상대적 속도를 나타내며, 변수 값이 클수록 보행자가 더 빨리 행동하게 해주며 보행자 간 공간을 더 많이 유지하도록 한다. 여기서 a 는 가속력을 나타낸다.

$$\tilde{d}_{01} = \frac{1}{2} \sqrt{(d_{01} + d_{a,01})^2 - |\vec{v}_{rel,01} VD|^2} \dots\dots\dots (6)$$

여기서 d_{01} 은 두 보행자 간의 거리가 0과 1 사이인 경우를 나타낸다. 식 (7)에서 $d_{a,01}$ 은 두 보행자가 보행 속도를 유지하는 경우 VD를 기반으로 두 보행자 간 예상거리를 나타낸다.

$$d_{a,01} = |(\vec{x}_0 + \vec{v}_0 VD) - (\vec{x}_1 + \vec{v}_1 VD)| = |\vec{v}_0 + \vec{v}_{rel,01} VD| \dots\dots\dots (7)$$

5) Noise

Noise는 일정 시간 동안의 보행속도가 보행자가 유지하고자 하는 보행속도보다 이하로 유지되는 경우 계산을 통해 작용하는 임의적인 힘을 나타내는 파라미터이다. 특히 병목현상이 발생하는 보행구간에 대해 적용된다.

6) React_to_N

React_to_N은 보행자에게 영향을 주는 최대 보행자 수(N)를 나타내며, (N)의 값에 따라 사회적력 힘의 크기가 결정된다.

2. VISWALK

VISSIM의 Add on Module인 VISWALK는 미시적(Microscopic) 보행 시뮬레이션으로써 Helbing et al.(1995)이 개발한 보행자 모델인 Social Force Model을 기반으로 하여 실제적인 보행행태(보행의 목적지 도착, 보행자 사이 간격, 장애물 인식정도 등) 분석이 가능한 프로그램으로써 앞서 언급한 6개의 파라미터 조정을 통하여 사용자가 분석하고자 하는 보행 시뮬레이션의 세밀한 보행자 구현이 가능하다.

또한, VISWALK는 Area-based 모형이므로 철도역, 버스터미널, 경기장 등 시설물의 구조 반영을 통해 보행자의 동선계획 구축에 용이하다. 더불어 VISSIM과의 연계를 통해 대중교통(버스, 전철, 기차 등) 환승 및 승·하차 구현이 가능하므로 보다 더 넓은 범위의 보행 분석이 가능한 시뮬레이션이다.

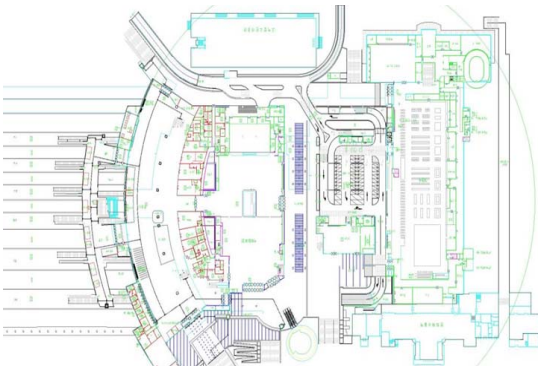
IV. Case study

1. 분석 개요

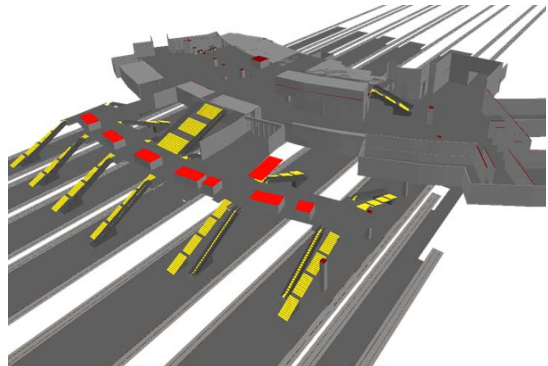
서울역은 대한민국 수도권 서울로 향하는 관문으로서 하루 평균 9만명이 이용하며, 경부선과 경의선의 시·종착역으로 매우 중요한 역할을 맡고 있다. 따라서 시민들이 필연적으로 이용할 수밖에 없는 다중밀집 시설이고 이러한 사실로 미루어 보았을 때 서울역에서의 COVID-19 집단감염의 위험성이 우려되는 시설 중 하나이다. 따라서 본 연구에서는 서울역 KTX 역사를 대상으로 보행 Network 구축을 통해 사회적 거리(Social Distance) 및 보행동선체계 시나리오에 따른 효과분석을 하고자 한다.

2. Network 구축

보다 정확한 분석을 위하여 현실과 같은 서울역 역사 구축을 위해 한국철도시설공단에서 배포하는 역사 시설물 별 CAD 데이터를 <Fig. 1>과 같이 수집하였다. 이를 활용하여 <Fig. 2>와 같이 VISWALK의 Area(보행구역)와 Obstacle(장애물)을 이용하여 서울역 Network를 구축하였다.



<Fig. 1> Seoul Station CAD

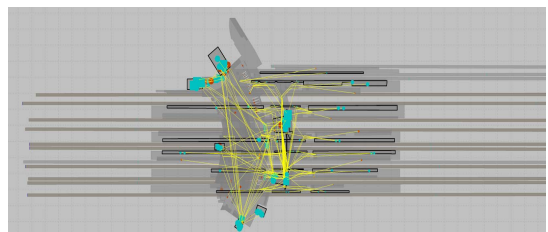


<Fig. 2> Seoul Station Network

또한, 서울역 역사를 이용하는 이용객 수 반영을 하기 위해 <Fig. 3>와 같이 코레일에서 제공하는 철도이용객 승·하차 데이터를 이용하여 역사 내 보행자의 이동행태 설정을 위해 VISWALK의 보행동선(Pedestrians Routes)을 사용하여 다음 <Fig. 4>와 같이 구현하였다. 이번 연구에서는 시간대별 승·하차인원 분석결과를 통해 오전 첨두시는 09시를 기준으로 하여 반영하였다.

정차역	운행일자	운행요일구분	시간대구분	역무명차종	일차인원수 (간선)	행선	승차인원수	하차인원수
			합계				30,719	35,059
			04-05시간대	04-	합계		0	139
					무궁화호	01302	0	139
					합계		528	1,011
					00101		404	0
					00102		0	245
			05-06시간대	05-	KTX	00104	0	217
					00401		122	0
					무궁화호	01202	0	291
					합계	01204	0	258
					합계		808	1,089
					00105		169	0
					00106		0	239
					00108		0	95
					00109		246	0
			06-07시간대	06-	KTX	00252	0	85
					세마울호	01001	89	0
					합계	01501	979	0

<Fig. 3> Number of Passengers

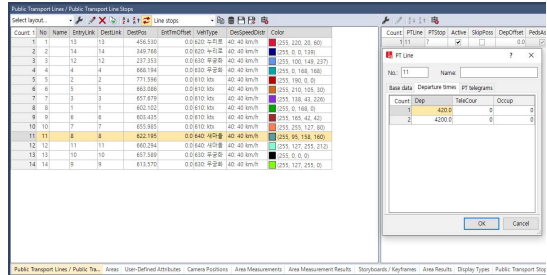


<Fig. 4> Pedestrians Routes

또한, 코레일에서 배포하는 KTX 출·도착 시간표를 오천 침두시인 09시를 기준으로 <Fig. 5>같이 조사하여 시뮬레이션 Network에 다음 <Fig. 6>처럼 플랫폼, 열차 별로 입력하여 구축하였다.

열차번호	출발역	도착역	종류	출발시간	도착시간	출발역	도착역	종류	출발시간	도착시간	출발역	도착역	종류	출발시간	도착시간	출발역	도착역	종류	출발시간	도착시간	출발역	도착역	종류	출발시간	도착시간	
1208	부산	서울	고속	08:27:00	04:27:00	2014-09-03	04:27:00																			
1721	부산	서울	고속	08:30:00	04:30:00	2014-09-03	04:30:00																			
100	부산	서울	고속	08:30:00	04:30:00	2014-09-03	04:30:00																			
1723	부산	서울	고속	08:30:00	04:30:00	2014-09-03	04:30:00																			
103	부산	서울	고속	08:30:00	04:30:00	2014-09-03	04:30:00																			
602	부산	서울	고속	08:30:00	04:30:00	2014-09-03	04:30:00																			
105	부산	서울	고속	08:30:00	04:30:00	2014-09-03	04:30:00																			
1201	부산	서울	고속	08:30:00	04:30:00	2014-09-03	04:30:00																			
104	부산	서울	고속	08:30:00	04:30:00	2014-09-03	04:30:00																			
1715	부산	서울	고속	08:30:00	04:30:00	2014-09-03	04:30:00																			
107	부산	서울	고속	08:30:00	04:30:00	2014-09-03	04:30:00																			
109	부산	서울	고속	08:30:00	04:30:00	2014-09-03	04:30:00																			
1722	부산	서울	고속	08:30:00	04:30:00	2014-09-03	04:30:00																			
1209	부산	서울	고속	08:30:00	04:30:00	2014-09-03	04:30:00																			
111	부산	서울	고속	08:30:00	04:30:00	2014-09-03	04:30:00																			
250	부산	서울	고속	08:30:00	04:30:00	2014-09-03	04:30:00																			
251	부산	서울	고속	08:30:00	04:30:00	2014-09-03	04:30:00																			
1124	부산	서울	고속	08:30:00	04:30:00	2014-09-03	04:30:00																			
1205	부산	서울	고속	08:30:00	04:30:00	2014-09-03	04:30:00																			
113	부산	서울	고속	08:30:00	04:30:00	2014-09-03	04:30:00																			
252	부산	서울	고속	08:30:00	04:30:00	2014-09-03	04:30:00																			
1725	부산	서울	고속	08:30:00	04:30:00	2014-09-03	04:30:00																			
303	부산	서울	고속	08:30:00	04:30:00	2014-09-03	04:30:00																			

<Fig. 5> Train Time Table



<Fig. 6> Train Data Input

3. 시나리오 설정

시나리오 설정에 앞서 모든 시나리오는 KTX 승객이 만석이며, 모두 서울역에서 하차하는 것으로 간주하여 분석을 진행하였다. 또한, 시나리오별 효과분석을 위해 도로용량편람 기준 보행 서비스수준(Level Of Service, 이하 LOS)을 사용하였고 이는 <Table 1>과 같다. 본 연구에서는 사회적 거리(Social Distance)를 1.5m로 설정하였기 때문에 보행밀도가 $1/(1.5m*1.5m) = 0.44Ped/m^2$ 이면 보행 서비스수준(LOS) 'C'에 해당하고 이는 사회적 거리(Social Distance) 유지하는 것으로 판단하였다.

<Table 1> Pedestrian Level Of Service(LOS)

Level Of Service	Pedestrian Density(Ped/m^2)	Walking Speed(m/s)
A	≤ 0.179	> 1.30
B	$< 0.179-0.270$	$> 1.27-1.30$
C	$< 0.270-0.455$	$> 1.22-1.27$
D	$< 0.455-0.714$	$> 1.14-1.22$
E	$< 0.714-1.333$	$> 0.75-1.14$
F	≥ 1.333	≤ 0.75

시나리오는 다음 아래와 같이 시나리오 A(현황), 시나리오 B(사회적 거리 유지), 시나리오 C-1(사회적 거리 유지 및 2열 동선체계), 시나리오 C-2(사회적 거리 유지 및 3열 동선체계)로 설정하였다.

1) 시나리오 A(현황)

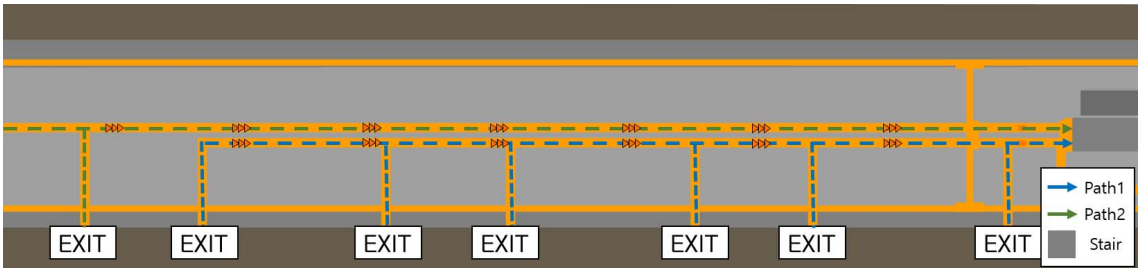
시나리오 A는 사회적 거리(Social Distance)를 유지하지 않고 승객들이 열차에서 하차하여 자유롭게 플랫폼을 통해 서울역을 빠져나가는 시나리오로서 현재 서울역의 '현황'을 구현한 시나리오이다.

2) 시나리오 B(사회적 거리 유지)

시나리오 B는 사회적 거리(Social Distance)를 유지하는 현황으로써 승객들의 보행행태는 시나리오 A와 동일하나 사회적 거리(Social Distance)인 1.5m를 유지하며 이동하는 시나리오이다.

3) 시나리오 C-1(사회적 거리 유지 및 2열 동선체계)

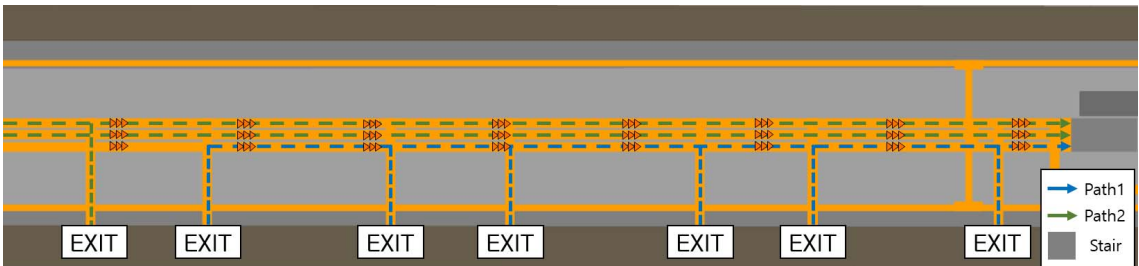
시나리오 C-1은 사회적 거리(Social Distance)를 유지하며, 2열 동선체계를 <Fig. 7>처럼 적용한 시나리오이다. <Fig. 7>의 우측에 위치한 승강장 계단을 기준으로 계단과 인접한 차량의 승객들은 파란색 동선 1(Path 1)을 사용하고, 계단과 멀리 떨어진 차량의 승객들은 바깥쪽 초록색 동선 2(Path 2)를 이용하여 통행하도록 플랫폼에 75cm 굵기로 출입문부터 계단까지 연결되는 보행동선을 표시하였다. 이때 보행동선 1(Path 1)과 2(Path 2) 간 이격거리는 사회적 거리를 유지할 수 있는 1.6m로 설정하였다.



<Fig. 7> Social Distancing + 2 Paths

4) 시나리오 C-2(사회적 거리 유지 및 3열 동선체계)

시나리오 C-2는 사회적 거리(Social Distance)를 유지하며, <Fig. 8>처럼 3열 동선체계를 적용한 시나리오이다. 차량과 인접한 승객들의 동선은 시나리오 C-1과 동일하게 파랑색 동선 1(Path 1)을 사용하지만, 계단으로부터 멀리 떨어진 승객들은 초록색 동선 2(Path 2)를 자유롭게 선택하도록 하였다. 시나리오 C-1과 동일하게 75cm 굵기의 보행동선을 표시하였다. 하지만 보행 동선 간 이격거리의 경우 시나리오 C-1과 동일한 1.6m으로 설정하면 보행자들이 플랫폼을 사용하는 면적이 넓어져 보행동선이 길어지기 때문에 사회적 거리(Social Distance)를 유지하지 못 하는 거리이긴 하나 이를 고려한 이격거리인 1.0m으로 설정하였다.



<Fig. 8> Social Distancing + 3 Paths

4. 시나리오 분석결과

1) 시나리오 A(현황)

시나리오 A 분석결과 승객들은 원하고자 하는 보행방향으로 자유롭게 계단을 향해 이동하며, 평균보행밀도가 <Table 2>에서 볼 수 있듯이 $0.648 \text{ Ped}/\text{m}^2$ 으로 플랫폼에서의 보행 서비스수준(LOS)는 'D'로 분석되며, 플랫폼에서 계단으로 좁아지는 부분은 승객들이 밀집함에 따라 보행 서비스수준(LOS)이 <Fig. 9>에서 볼 수

있듯이 'E~F'로 나타났다. 따라서 특정 부근에서 사회적 거리(Social Distance)를 유지하지 못하는 것으로 분석되었다.

2) 시나리오 B(사회적 거리 유지)

시나리오 B는 Social Force Model을 적용하여 승객들이 자율적으로 사회적 거리(Social Distance)인 1.5m를 유지함에 따라 평균보행밀도가 $0.206 Ped/m^2$ 으로 분석되어 서비스수준(LOS)이 'B'로 낮게 나타났으나, 승객들이 1.5m를 유지하기 위해 플랫폼의 넓은 범위를 활용함으로써 보행동선의 길이가 길어지는 것으로 분석되었다. 또한, 이러한 보행행태는 현실적인 측면에서 바라보았을 때 불가능하다고 판단된다.

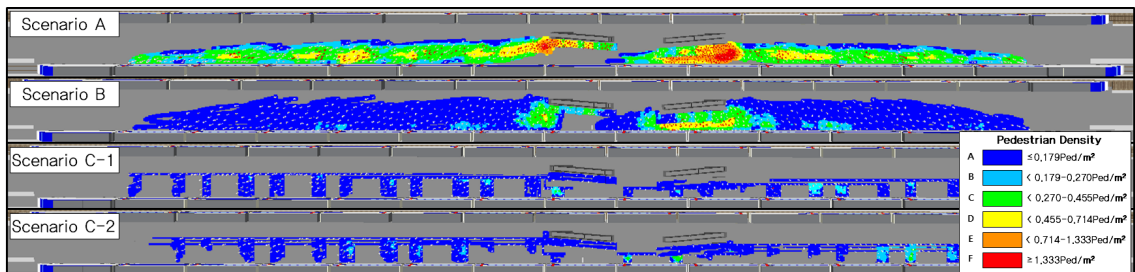
3) 시나리오 C-1(사회적 거리 유지 및 2열 동선체계)

시나리오 C-1은 열차 출구부터 계단까지 플랫폼에 2열 동선을 표시하여 종·횡방향으로의 사회적 거리(Social Distance)를 인위적으로 유도하였다. 분석결과 보행행태는 평균보행밀도가 $0.241 Ped/m^2$ 으로 분석되어 사회적 거리(Social Distance)를 만족하는 서비스수준(LOS)인 'C' 보다 높은 수준인 'B'를 유지하며, 플랫폼에서 계단을 통해 빠져나가는 것으로 분석되었다.

4) 시나리오 C-2(사회적 거리 유지 및 3열 동선체계)

시나리오 C-2는 플랫폼에 3열 동선을 표시하여 횡방향으로의 사회적 거리(Social Distance)를 인위적으로 유도하였다. 분석결과 평균보행밀도는 $0.181 Ped/m^2$ 으로 기존 서비스수준(LOS)은 'B'를 유지하고 시나리오 C-1과 비교 하였을 때 보행밀도는 더 낮은 것으로 분석되었으나, 보행동선 간 이격거리를 1.0m로 구축한 한계점과 3열로 계단 출입 시 폭원을 고려하였을 때 횡방향으로의 사회적 거리(Social Distance)를 유지 못한 한계가 있다.

<Fig. 9>는 시나리오별 평균보행밀도의 시각적 분석결과이다. 먼저 시나리오 A의 분석결과 보행자들이 플랫폼에서 계단을 통해 빠져나가기 위해 계단 출입구 부분에 밀집하여 보행밀도가 높게 나타났으며, 이는 사회적 거리(Social Distance)를 적용하지 않았기 때문이다. 시나리오 B의 경우 타 조건은 시나리오 A와 동일하나 사회적 거리(Social Distance)를 적용하여 분석한 결과 플랫폼의 전반적인 보행밀도는 낮아졌으나, 계단 출입구 인근에서는 보행자가 몰려 보행밀도가 높게 분석되었다. 사회적 거리(Social Distance) 및 보행동선체계를 적용한 시나리오 C-1, C-2의 경우 <Fig. 9>에서 볼 수 있듯이 보행자들이 보행동선을 따라 움직이고 사회적 거리(Social Distance)를 유지하여 보행함에 따라 보행밀도가 전체적으로 낮게 분석되었다.



<Fig. 9> Analysis Result(Graphic)

전반적인 분석결과 시나리오 A를 제외한 나머지 시나리오의 보행 서비스수준(LOS)은 <Table 2>에서 볼 수 있듯이 'B'로 나타났으며, 보행속도는 시나리오 A, B에 비하여 시나리오 C-1, C-2는 보행속도가 낮게 나타나는데 이러한 부분은 보행동선을 따라가는 보행자가 사회적 거리(Social Distance)를 유지하기 위해 가다 서다를 반복하기 때문이다.

<Table 2> Analysis Result

Scenario	Pedestrian Density(Ped/m^2)	Level Of Service(average)	Walking Speed(m/s)
A	0.648	D	0.69
B	0.206	B	0.71
C-1	0.241	B	0.48
C-2	0.181	B	0.51

V. 결 론

본 연구에서는 다중밀집시설에서의 COVID-19 집단감염을 방지하기 위한 사회적 거리(Social Distance) 유지가 가능한 보행동선체계 도입에 따른 효과분석을 VISWALK의 Social Force Model을 통해 시뮬레이션 분석을 수행하였다. 분석을 위한 대상지는 서울역을 대상으로 수행하였으며, 기존에 수행되었던 연구를 활용하여 서울역 Network 및 서울역 내 승객들의 보행행태 구현하였다. 이를 통해 보행자의 피난행태에 대해 수행되었던 기존 보행 시뮬레이션과는 달리 COVID-19와 같은 전염병 발병 시에 따른 보행자들의 이동행태와 보행동선 도입에 따른 효과를 분석하고자 하였다.

효과분석을 위해 시나리오를 설정하였으며, 시나리오는 다음과 같다. 시나리오 A(현황), 시나리오 B(사회적 거리 유지), 시나리오 C-1(사회적 거리 유지 및 2열 동선체계), C-2(사회적 거리 유지 및 3열 동선체계)로 설정하였다. 분석결과 시나리오 A의 경우 계단 입구에서 보행 서비스수준(LOS)이 'E-F'로 나타났으며, 열차의 출입구 부분은 'D'로 나타나 사회적 거리(Social Distance)가 유지되지 않는 것으로 분석되었다. 시나리오 B는 Social Force Model을 적용하여 사회적 거리(Social Distance)를 유지하는 보행행태가 분석되었으나, 이러한 보행행태는 현실적으로 불가능하다고 판단되었다. 시나리오 B의 현실적인 한계점을 고려하여 보행동선체계를 도입한 사회적 거리(Social Distance) 유지 시나리오인 C-1, C-2의 분석결과 2열 동선체계를 도입한 C-1은 3열 동선체계를 도입한 C-2보다 보행밀도가 더 높으나 종·횡방향의 사회적거리(Social Distance)를 유지가 가능하므로 더 효과적인 것으로 분석되었다. 시나리오 분석결과를 통해 다중밀집시설의 COVID-19 집단감염을 방지하기 위한 보행동선체계 도입 시 승객들이 사회적 거리(Social Distance)를 유지하면서 플랫폼을 빠져나가는 것으로 분석되었다. 또한, 승객들이 보행동선을 따라 이동 시 보행속도가 감소한 것을 볼 수 있는데 이것은 승객들이 사회적 거리(Social Distance)를 유지하기 위해 가다 서다를 반복하기 때문에 속도가 감소한 것으로 판단된다. 이와 같이 본 연구를 통해 다중밀집시설 내에서의 보행자들이 상시 사회적 거리(Social Distance)를 유지할 수 있도록 보다 현실적이고 효과적인 보행동선체계의 효과 및 필요성을 확인 할 수 있었다.

다만 본 연구에서는 서울역 보행자 시뮬레이션 분석 시 KTX 플랫폼을 한정으로 분석을 수행하였으며, 승차하기 위해 대기하는 승객을 고려하지 않고 단순 종방향으로 보행하는 열차 하차객만을 분석한 점을 밝힌다. 보행행태를 구축 시 기존의 연구를 활용하여 구축하였으나 향후 현장조사를 통해 COVID-19에 따른 현실적인 보행자 수 및 보행행태 반응을 통하여 보다 신뢰성 있는 연구결과 도출이 가능할 것으로 기대가 되며, 추가적

으로 횡방향, 대각선 등 다양한 보행행태 시 사회적 거리(Social Distance) 적용에 따른 보행자 시뮬레이션 효과 분석은 향후 연구과제로 남긴다. 더 나아가 타 연구와는 달리 전염병 발병에 따른 보행행태 분석을 진행했다는 것에 의의가 있으며, 향후 서울역 역사 이외의 다양한 다중이용시설에서의 COVID-19에 대비한 보행동선계획 시 사전에 효과를 확인할 수 있는 보행 시뮬레이션 모델로서의 활용 가능성이 높을 것으로 판단된다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 공주대학교 연구년(2018.9.1~2019.8.31.) 사업에 의하여 연구되었음

REFERENCES

- Centers for Disease Control and Prevention, https://wwwnc.cdc.gov/eid/article/26/8/20-1274_article, 2020.07.17.
- Cheon C. K.(2015), "Calculation of Optimal scale for each station along simulation-based LOS," *The Korean Society For Railway*, vol. 10, pp.995-1001.
- Choi S. H.(2018), "Analysis of Pedestrian Evacuation Behaviors by the Evacuation Information Scenarios Using Social Force Model: Focusing on Sejong City," *J. Korea Inst. Intell. Transp. Syst.*, vol. 17, no. 1, pp.31-41.
- Helbing D. and Molnar P.(1995), "Social force model for pedestrian dynamics," *Physical Review E*, vol. 51, no. 5, pp.4282-4286.
- Jang S. M.(2010), "Implementation of Microscopic Simulation by using NetLogo," *Journal of the Civil Engineers*, vol. 20, pp.119-125.
- Kibret G. H.(2020), "Effect of sidewalk vendors on pedestrian movement characteristics: A microscopic simulation study of Addis Ababa, Ethiopia," *Cities*, vol. 103.
- Kim J. H.(2011) "Analysis of Improved Pedestrian Environment based on Microscopic Pedestrian Simulation," *Journal of the Korean Society of Road Engineers*, pp.105-115.
- Koo J. R.(2020), "Interventions to mitigate early spread of SARS-CoV-2 in Singapore: A modelling study," *The Lancet Infectious Diseases*, vol. 20, no. 6, pp.678-688.
- Korea Rail Network Authority, <http://www.kr.or.kr/main.do>, 2020.07.17.
- Korea Railroad corp. <http://info.korail.com/mbs/www/index.jsp>, 2020.07.17.
- PTV AG (2016), *VISSIM 9 - Manual*, PTV Group, The mind of movement, pp.745-747.
- Seo M. K.(2011), *A Study on the Refuge Guidance of the Emergency Line Exit-Light*, Master Thesis, Kyungwon University.
- Shin D. S.(2010), "A Study on Emergency Evacuation Plans for Multi-user Facilities by Using Social Force Model," *Journal of Transport Research*, vol. 17, no. 4, pp.63-74.
- You S. Y.(2016), "An Analysis on Evacuation Scenario at Metro-stations using Pedestrian Movement-based Simulation Model," *J. Korea Inst. Intell. Transp. Syst.*, vol. 15, no. 2, pp.36-49.