

18CTA
P-C116
368-03

보안 과제(), 일반 과제(○) / 공개(), 비공개(○) 발간등록번호()

국토교통기술촉진연구사업 제3차 연도 최종보고서

R&D / 18CTAP-C116368-03

회복탄력성 극대화기반 테러/재난 극복 시뮬레이터 개발 최종보고서

회복탄력성
극대화기반
테러/재난
극복
시뮬레이터
개발

2019. 5. 28.

2019

주관연구기관 / 디토닉 주식회사
협동연구기관 / 서울시립대학교

국토교통과학기술진흥원
국토교통과

국토교통부
국토교통과학기술진흥원

제출문

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘회복탄력성 극대화기반 테러/재난 극복 시뮬레이터 개발’(연구개발 기간 : 2016. 6. 27 ~ 2019. 4. 27) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

주관연구기관명 : 디토닉 주식회사 (대표자)
협동연구기관명 : 서울시립대학교 (대표자)
참여기관명 : (대표자)



2019. 5. 28.



주관연구기관책임자: 전 용 주
협동연구기관책임자: 이 승 재
참여기관책임자:

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

보고서 요약서

과제 고유 번호	18CTAP-C116 368-03	해당 단계 연구 기간	2018. 04. 28 - 2019. 04. 27	단계구분	3/3
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업			
	세부사업명				
연구과제명	대과제명	회복탄력성 극대화기반 테러/재난 극복 시뮬레이터 개발			
	세부과제명				
연구책임자	전 용 주	해당단계 참여연구원 수	총: 19명 내부: 19명 외부: 명	해당단계 연구비	정부:261,000천원 민간: 87,333천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계:348,333천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 19명 내부: 19명 외부: 명	총 연구비	정부:840,000천원 민간:280,500천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계:1,120,500천원
연구기관명 및 소속 부서명	디토닉 주식회사			참여기업명:	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	
※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음					
연구개발성과의 보안등급 및 사유	일반. 국내 및 세계 시장의 기술 수준 대비하여 시장 선두적인 기술 개발 확보 과제 이나, 단일 제품에 대한 특화된 기술만이 아닌 전후방 관련 업계 및 사업의 지원을 위해 수반되어야 하는 기술 영역이므로 일반과제 분류로 결정하였음.				

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 · 장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기 탁 번호	5	4				6					

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설 · 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

본 연구는 개별 보행자의 행동특성을 반영한 테러/재난상황 대피 알고리즘을 개발하고 대규모 실내공간의 공간구조를 반영한 GIS 기반의 시뮬레이터로 개발하여 다양한 테러/재난상황에서 실제 이용자들에게 모바일 애플리케이션, 웹 서비스 등을 제공하는 이용자 친화형 플랫폼 개발을 목적으로 수행되었다.

- 테러/재난 대피 시뮬레이터 개발
- 테러/재난 대피 플랫폼 개발
- CA기반 보행자 대피 알고리즘 개발
- 대규모 건물의 공간 네트워크 모델링 기술 개발

보고서 면수 : 119

요약문

연구의 목적 및 내용	개별 보행자의 행동특성을 반영한 테러/재난상황 대피 알고리즘을 개발하고 대규모 실내공간의 공간구조를 반영한 GIS 기반의 시뮬레이터로 개발하여 다양한 테러/재난상황에서 실제 이용자들에게 모바일 애플리케이션, 웹 서비스 등을 제공하는 이용자 친화형 플랫폼 개발 - 테러/재난상황에서 회복탄력성을 높이고, 피해를 줄이는 공간구조와 테러/재난 상황 발생 시 보행자의 개별 행태를 반영하여 피해를 최소화 시키는 알고리즘의 개발 - 대규모 실내공간에서 테러/재난상황 대피 알고리즘 기반의 보행자 행동특성을 반영한 모델을 개발하고 공간구조를 고려한 대안 대피 경로 제공 모형을 개발 - 구축된 알고리즘에 부합하는 현실감 있는 시뮬레이션 프로그램을 개발하여 이용자 친화형 플랫폼을 통한 맞춤형 정보 제공				
연구개발성과	- 가상 시뮬레이션 프로그램을 통하여 대규모 실내공간의 테러/재난상황을 현실감 있게 재현 가능하며, 미시적 보행자의 행태를 반영하여 보행약자의 대피를 고려한 새로운 모형을 마련 - 과학적 분석과 공간정보 분석을 통해 체계적인 실내공간의 테러/재난 대피 시스템을 구축하여 테러/재난상황의 회복탄력성을 증가시키는데 기여				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	현실적인 시뮬레이션과 이용자 친화형 플랫폼 제공을 통해 테러/재난의 선제적 대응과 신속한 후속 대처로 현실적인 테러/재난 관리 및 극복에 도움을 줄 것으로 기대				
국문핵심어 (5개 이내)	회복탄력성	대피	테러	재난	시뮬레이션
영문핵심어 (5개 이내)	Resilience	Evacuation	Terrorism	Disaster	Simulation

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
2. 연구수행내용 및 성과	7
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	101
4. 연구개발성과의 활용 계획 등	105
붙임. 참고 문헌	114

1. 연구개발과제의 개요

1-1. 연구목적

가. 연구배경

(1) 대형화되는 건물, 복잡해지는 실내 공간구조에 따른 안전성 문제 증가

- 대형 건물은 내부 구조가 복잡하고, 사람들이 모일 수 있는 방문자를 위한 편의 시설이 다수 존재함
- 테러/재난상황 발생 시, 사용자의 대피 경로 인지가 어렵고, 일부 출입구 병목현상으로 인하여 취약성이 존재함

(2) 국제 테러 사건의 급증과 지진 등 테러/재난 사고에 따른 도시 안전 문제 증가

- 프랑스 파리 극장 테러, 벨기에 브뤼셀 지하철역 테러 등 대중 이용 시설물에 대한 국제적인 테러 위협이 증가함에 따라, 테러 상황에 따른 대피 문제가 부각됨. 한국 또한 테러 가능성이 있는 국가로 외교부는 밝히고 있음
- 최근 지진, 건물 붕괴 등 도시 재난재해도 증가하고 있어, 이러한 상황에 대한 철저한 대비와 함께 재난 후 도시 회복탄력성을 높이기 위한 확실한 재난 극복 대비가 요구됨

(3) 고령화되는 사회, 테러/재난상황 발생 시 건물 대피시간 증가

- 국내 인구 추이는 전체 인구 중 65세 이상 고령 인구의 비중이 2014년 기준 13%이며, 2026년부터는 고령자 비중이 20% 이상인 초 고령화 사회의 진입이 예상되고 있음
- 기존 연구에서는 고령자는 대피시간인 6분 이내에 대피하지 못하는 것으로 나타남. 또한, 고령화 혹은 보행약자를 대상으로 대피경로 예측 연구가 미비하였으며, 그에 해당하는 경로 제공을 수행하지 못하였음

(4) 실내공간의 테러/재난상황 발생 시 회복탄력성(Resilience)의 강화 방안 필요

- 테러/재난상황에서 선제적 대응조치를 취하는 것은 테러/재난에 따른 전체적인 피해를 줄이는데 매우 중요함. 또한 적절한 후속 대처 방안으로 피해지역의 회복탄력성을 강화시켜 피해를 최소화 할 수 있게 하는 순기능이 필요함
- 따라서, 본 연구과제에서 제시하는 실내공간의 테러/재난 극대화 시뮬레이션 및 경로제공을 통하여 테러/재난에 대비한 대형 건물의 회복탄력성 향상을 유도하는 것이 필요함
- 회복탄력성(Resilience)은 다양한 학문분야에서 여러 가지 의미로 해석되고 있으며, 본 연구에서는 현대 사회에서 피할 수 없는 재난 및 재해를 일어나지 않도록 관리하는 것뿐 아니라 발생한 이후 ‘사회 공동체가 경제적·사회적·심리적으로 극복할 수 있는 능력’의 의미로 사용됨

- 또한 회복탄력성은 시스템이 내·외부의 간섭에 의해 본래의 기능을 상실하였을 경우 정상상태로 되돌아가는 능력으로도 설명 가능하며, 회복탄력적인 기반시설의 효과는 잠재적 재해에 대한 예상 능력, 충격 흡수 능력, 적응력 및 빠른 회복력에 의존함
- 즉, 회복탄력성이 확보된 사회 기반시설은 각종 재해로 인한 피해 규모를 경감시킬 뿐만 아니라 복구에 소요되는 시간을 줄여 사회적 손실을 최소화 하는 것임. 이에 본 연구과제에서의 ‘회복탄력성’은 테러/재난 상황 발생 시 빠르고 정확한 탈출 경로의 제공을 통한 피해 저감을 일컫음

나. 연구개발 대상의 국내외 현황

(1) 국내 현황

S/W명	개발국가	기술 개발 현황	특이사항
K-Evac (PalladiON safety)	한국 (버추얼 빌더스)	· 최초 국산화 상용 재난 대피 S/W · 3D 기반 공간정보 지원	· 한국인의 체형 및 문화를 반영한 S/W · 아직 보편적으로 사용되지 않음

- 국내 재난 상황 대피 시뮬레이션은 ‘15년 첫 개발되었으며, 1960년대부터 관련 소프트웨어가 개발되어 온 해외 수준에 비해 기초 단계 수준임
- 그러나 안전에 대한 사회적 관심이 높아지면서 피난 소프트웨어의 수요처가 증가하고 있음
- 현재는 건축물의 피난 계획을 수립하기 위해 건설사, 정부 부처, 방재 전문가들은 해외 소프트웨어에 절대적으로 의존하고 있음
- 최초 개발된 K-Evac은 피난 계획 수립에 이용될 수 있으나 건물 내부에 이용자에게 정보를 제공할 수 없는 한계가 있으며, 사람들의 움직임에서 심리적인 요소에 대한 반영 없이, 공간 구조적으로만 해석하는 한계점이 존재함

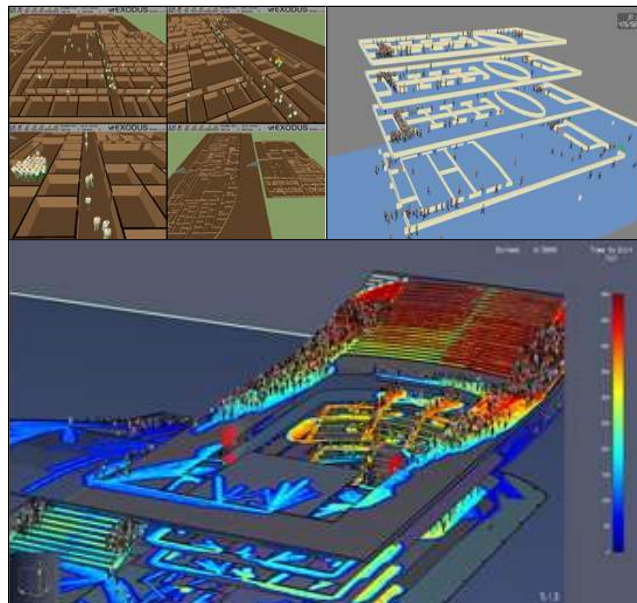


<국내 재난 대피 시뮬레이션 S/W K-Evac>

(2) 국외 현황

S/W명	개발 국가	기술 개발 현황	특이사항
Building EXODUS	영국	· 건축물 외 특정 대상물에 대한 피난 모델 존재 · 거대 건축물에서 수 천 명의 피난자 간의 상호작용	· 건축물 외 특정 대상물에 대한 피난 모델 존재 · 거대건축물에서 수 천 명의 피난자 간의 상호작용
Simulex	영국	· 여러 층에 대한 피난 해석 가능 · 국내에서 높은 인지도	· 2D 관련 그래픽만 가능하여 가시적인 효과가 떨어짐 · 유동적인 피난 속도의 증감 지원 불가
Pathfinder	미국	· 그래픽 가시성 우수 · 다양한 이동 모델 선택 가능	· 피난자에 대한 심리적 요소의 반영 불가
EVACNET4	미국	· 다양한 건축물에 구현 가능	· 피난 시간 최적화에만 시스템의 목적이 집중되어 있어 다양한 시나리오 분석에 부적합

- 해외에서는 재난에 대한 연구가 1960년대부터 활발하게 이뤄지고 있으며, 그에 따라 재난 대피 소프트웨어도 다양하게 개발되어 이용되고 있으며, 건물 설계 시 적극 활용되고 있음
- 현재는 건축물의 피난 계획을 수립하기 위해 건설사, 정부 부처, 방재 전문가들은 해외 소프트웨어에 절대적으로 의존하고 있음



<국의 재난 대피 시뮬레이션 소프트웨어
(BuildingEXODUS, Simulex, Pathfinder)>

(3) 기술개발 성숙도

구분		연구 착수	연구 종료	단계별 설명	
기초연구단계	TRL 1	☐	☐	TRL 1	이론적 연구단계
	TRL 2	☐	☐	TRL 2	기술적 개념정립 단계
실험 단계	TRL 3	☐	☐	TRL 3	실험적 증명 단계
	TRL 4	☐	☐	TRL 4	실험실 성능평가 단계
시작품 단계	TRL 5	☒	☐	TRL 5	유사환경 시험 단계
	TRL 6	☐	☒	TRL 6	유사환경 기술시범 단계
실용화 단계	TRL 7	☐	☐	TRL 7	실제환경 시작품 데모 단계
	TRL 8	☐	☐	TRL 8	시제품 설치 및 성능시험 단계
사업화 단계	TRL 9	☐	☐	TRL 9	현장적용/사업화 단계

(가) 최초 기술 성숙도 설정 근거

- ① 선행 연구 경험을 통한 보행자 대피 알고리즘의 구현 경험 및 능력
- ② 실험실 규모의 테스트 결과를 보유
- ③ 연구 종료까지 실제 현장에서 요구하는 수준의 기술력 구비 능력 보유
- ④ 각 연구기관의 연구 분야별 전문 인력 보유
- ⑤ 구조화된 공간 정보 관리 기술력 보유
- ⑥ 보행자 행동 분석을 위한 빅데이터 처리·분석 경험 및 기술력 보유
- ⑦ 모바일 애플리케이션, 웹 페이지 등 이용자 친화형 플랫폼을 통한 사업 경험 및 기술력 보유

(나) 최종 기술 성숙도 설정 근거

- ① 국내·외 특허 출원으로 기술의 독창성 및 성숙도 제고
- ② 보행 알고리즘과 시뮬레이션 통합을 통해 실제 환경과 조건에서 사용 가능
- ③ 사회가 요구하는 미래 테러/재난에 대한 안전을 위한 기술 개발
- ④ 이용자친화형 서비스 강화를 위해 수요자의 의견 적극 반영
- ⑤ 복잡한 공간구조를 실제와 유사한 조건의 네트워크로 모델링하여 알고리즘 적용 및 구현

1-3. 연구목표 및 목적

가. 연구목표

- 개별 보행자의 행동특성을 반영한 테러/재난상황 대피 알고리즘을 개발
- 대규모 실내 공간 구조 반영 및 회복탄력성을 극대화시킨 시뮬레이터 개발
- 다양한 테러/재난 상황에서 실제 이용자에게 모바일 애플리케이션, 웹 서비스, 키오스크 등을 제공하는 이용자 친화형 플랫폼 제공

※ 본 연구 개발에서 의미하는 테러 상황이란 테러 후 발생하는 2차 재난 상황으로 정의

나. 연구목적

- 인명피해의 최소화 및 건물의 안전 관리에 기여
- 테러/재난 피해 및 피해 복구의 사회적 비용 감소에 기여
- 국제 테러 위협 · 자연 재해에 대한 대응 방안 마련 및 신속한 테러/재난 대응
- 이용자 친화형 플랫폼 개발을 통한 신속한 테러/재난 대응에 기여
- 국내 실정에 맞는 플랫폼 개발로, 해외 상용 프로그램 대체에 기여



<연구개발 목표>

1-4. 연구의 필요성

- 본 연구에서 목표로 하는 테러/재난 극복 극대화 시뮬레이션 플랫폼은 인간의 탈출 심리행동을 반영하여 특정 출구에 가중되는 병목현상을 조기에 차단함으로써, 건물 내 재실자의 대피 시간을 줄일 수 있음. 또한 테러 및 재난에 대응하여 대안 및 우회경로 안내를 통해 회복탄력성을 올릴 수 있는 특·장점을 가지고 있음. 이를 통해 관련 분야 국산 소프트웨어의 경쟁력을 높일 것으로 전망됨
- 따라서 테러/재난 극복을 위한 대피 소프트웨어의 국산화가 필요하며 본 연구에서 목표로 하는 이용자를 위한 소프트웨어의 개발이 이뤄진다면, 세계 시장에서 선도할 수 있는 기술력을 이룰 수 있음
- 또한 재난재해 상황이 이전보다 빈번하게 발생하고 있음에 따라 사회적 관심과 성숙도가 높아지고 있으며, 이로 인해 본 연구 결과에 대한 사업화 가능성은 높아지고 있음



〈연구의 필요성 및 연구의 전략 방안〉

2. 연구수행내용 및 성과

2-1. 연구 방법

가. 연구개발 추진전략 및 방법

(1) 최적 연구 성과 확산을 위한 학계-산업계 공동 연구 개발 체계 구축

(가) 긴밀한 산학 협력 체계 구축

- ① 국내 공간 구조, 보행자 네트워크 연구를 주도하고 있는 유수의 기업/연구소와 공동 연구를 통한 연구 능력 배가
- ② 유관 기관과 관련 기술 현황에 대한 교류를 주기적으로 실시하여 효율적인 연구 체계 구축
- ③ 산업체 및 연구기관을 대상으로 관련 핵심기술 및 표준화 동향분석에 대한 워크숍 개최
- ④ 긴밀한 산학연 협력체계를 바탕으로 이론과 실무를 겸비한 고급인력 양성

(나) 기관별 역량 기반 핵심 요소기술 선점 및 사업화 시나리오 진행

- ① 각 기관의 공간 관리 및 보행자 관련 다수의 특허 및 연구 결과와 대규모 연구 사업의 성공적 추진 경험 등 축적된 기반 기술 및 풍부한 관련 경험을 적극 활용하여 신속한 연구 개발을 통해 기술 선점 및 특허 취득
- ② 선점한 기술 및 특허를 바탕으로 사업화 시나리오 진행

(2) 체계적 연구 개발 환경 구축 및 프로젝트 일정 관리

(가) 체계화된 연구 개발 환경의 구축

- ① 관련 분야의 전문 지식을 보유한 연구진과 협력 체계 구축
- ② 기관별 취합된 자료 기반 문제점 파악 및 관련 참여기관 간 협력 체계 형성
- ③ 해결 방안에 대한 성능 분석 수행 시 공동의 성능 분석 환경 이용 및 성능 분석 환경의 고도화
- ④ 정기적인 IoT 서비스 및 기술 관련 뉴스레터를 제공함으로써 연구 개발에 활용 가능한 공개 IoT 기술 동향 및 유용한 정보를 지속적으로 공급할 수 있는 체계 구축

(나) 프로젝트 일정관리 전략

- ① 전 구성원들이 참석하는 전체 회의를 분기마다 주최하여, 연구 진행 상황의 점검과 주요 이슈에 대해 논의하고, 다음 단계의 연구 개발 진행 방향을 결정
- ② 각 기관은 월 1회 정기 회의를 개최하여 향후 연구 개발 추진계획의 수립 및 조정

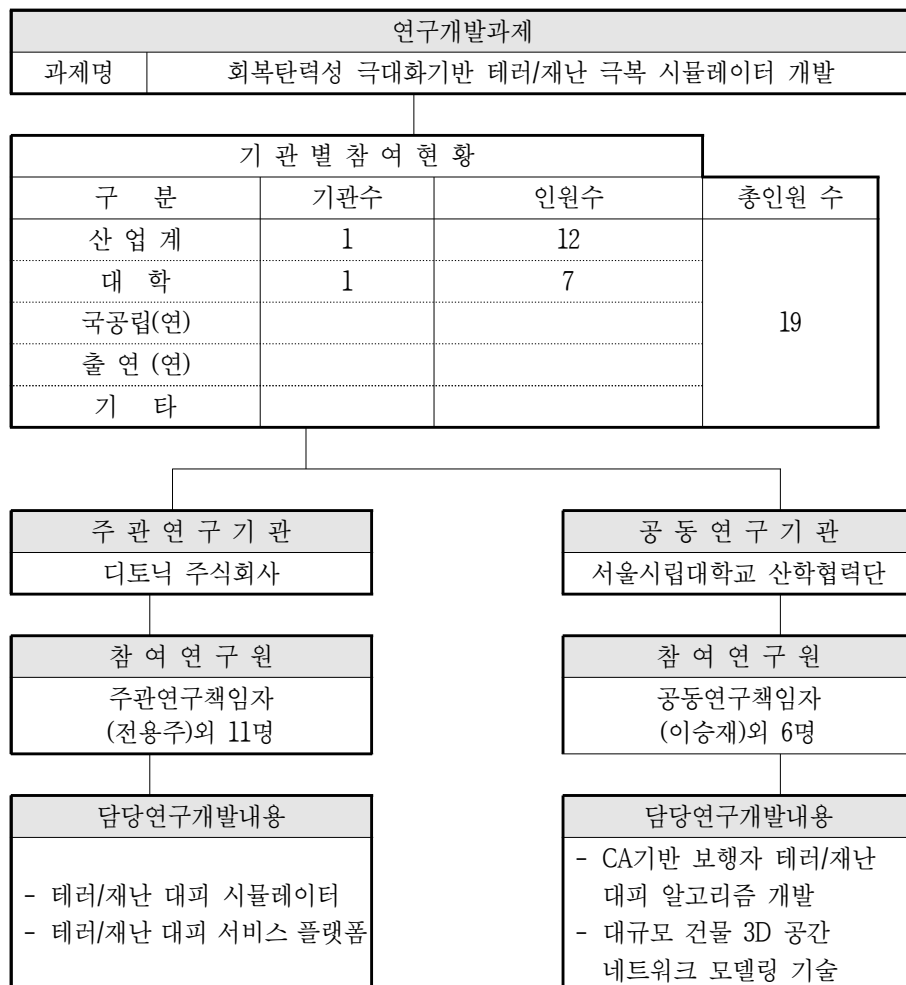
- ③ 각 기관의 참여연구원간의 아이디어 공유, 산업 협력 및 사업화를 위한 전문가초청 세미나 및 워크숍의 정기적 개최
- ④ 참여 연구원의 연구의욕을 고취를 위해 우수 연구 개발 실적을 홍보하는 등의 적극적인 성과 프로그램 마련

(3) 테스트베드/데모를 통한 기술 검증 및 고도화

- ① 실제 환경의 테스트베드 적용 및 데모를 통해 기술 검증 및 서비스 성능 고도화
- ② 결과를 기반으로 실제 사업화 시나리오 가능성 타진

나. 추진체계

(1) 연구수행 체계도



다. 추진일정

구분	연구과제명 (연구 수행기관)	관련 성과목표/지표			세부추진내용 (연구수행 Activity)	Activity별 산출물	소요 연구비 (백만원)	1차년도				2차년도				3차년도			
		핵심성과	단위성과	질적 성과지표				1/	2/	3/	4/	1/	2/	3/	4/	1/	2/	3/	4/
총괄							1120.5												
주관	테러/재난 대피 시뮬레이터 (디토닉 주식회사)	A	A-1	A-1-①	자료 조사	보고서	35.8												
				A-1-②	설계	설계서	71.6												
				A-1-③	설계	설계서, 특허	53.7												
			A-2	A-2-①	구축	DB	28.4												
				A-2-②	모델링, 특허 출원	DB, 특허	28.4												
			A-3	A-3-①	개발 및 성능 검증	S/W, 보고서	170.1												
			A-4	A-4-①	개발 및 성능 검증	S/W	64.0												
			A-5	A-5-①	시제품 제작, 매뉴얼 제작	시제품	42.6												
	테러/재난 대피 플랫폼 (디토닉 주식회사)	B	B-1	B-1-①	자료 조사	보고서	35.8												
				B-1-②	설계	설계서	71.6												
			B-2	B-2-①	설계	설계서	28.4												
				B-2-②	자료 조사	보고서	28.4												
			B-3	B-3-①	설계, 특허 출원	특허, 설계서	21.3												
				B-3-②	개발 및 성능 검증	S/W	85.3												
			B-4	B-4-①	설계	설계서	21.3												
				B-4-②	성능 검증	시제품	64.0												
공동	CA기반 보행자 대피 알고리즘 개발 (서울 시립 대학교)	C	C-1	C-1-①	자료 조사	보고서	22.5												
			C-1	C-1-②	자료 조사	전문가 평가서	30.0												
			C-1	C-1-③	이론적 아이디어 개발	보고서	22.5												
		C	C-2	C-2-①	이론적 아이디어 개발	보고서	36.0												
			C-2	C-2-②	특허 출원	보고서	18.0												
			C-2	C-2-③	이론적 아이디어 개발	보고서	18.0												
	대규모 건물의 공간 네트워크 모델링 기술 개발 (서울 시립 대학교)	C	C-3	C-3-①	이론적 아이디어 개발	보고서	37.5												
		D	D-1	D-1-①	이론적 아이디어 개발	보고서	15.0												
				D-1-②	이론적 아이디어 개발	전문가 평가서	15.0												
		D	D-2	D-2-①	이론적 아이디어 개발	보고서	18.0												
		D	D-3	D-3-①	이론적 아이디어 개발	전문가 평가서	37.5												

2-2. 연구 내용

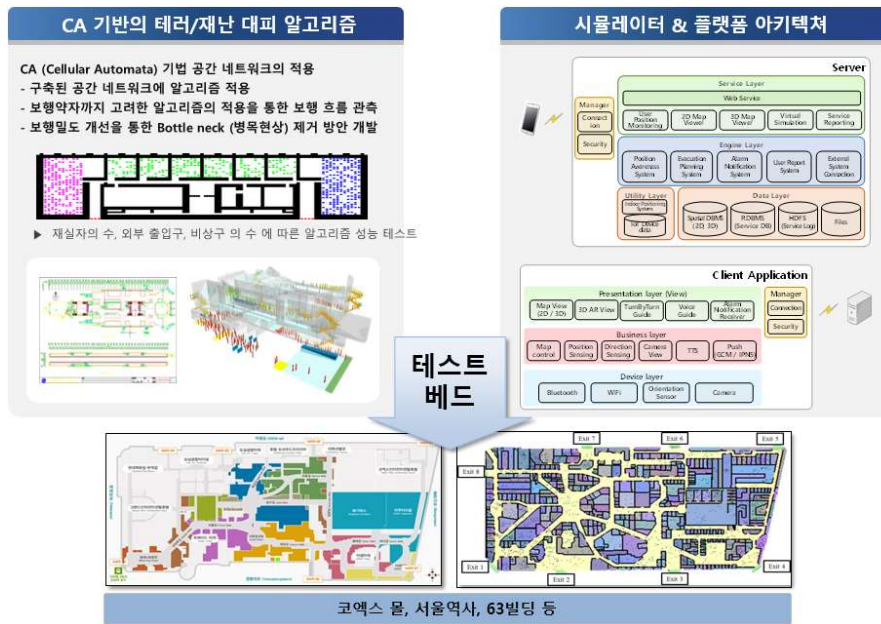
가. 연구개발 목표 및 내용

(1) 연구개발의 최종 목표

구분	내용
최종 목표	· 연구개발 목표 - 개별 보행자의 행동특성을 반영한 테러/재난상황 대피 알고리즘을 개발 - 대규모 실내공간 구조 반영 및 회복탄력성을 극대화시킨 시뮬레이터 개발 - 다양한 테러/재난 상황에서 실제 이용자에게 모바일 애플리케이션, 웹 서비스, 키오스크 등을 제공하는 이용자 친화형 플랫폼 제공 ※ 본 연구개발에서 해결하고자 하는 목표의 테러 상황이란 테러 후 발생하는 2차 재난 상황으로 정의 · 목표 달성에 따른 기여 - 인명피해의 최소화 및 건물의 안전 관리에 기여 - 테러/재난 피해 및 피해 복구의 사회적 비용 감소에 기여 - 국제 테러 위협·자연 재해에 대한 대응 방안 마련 및 신속한 테러/재난 대응
세부 목표	· 각 개별 보행자의 행태 분석 및 행태 반영 분석 방법 개발 - CA기반 보행자 대피 알고리즘의 이론적 아이디어 개발 및 알고리즘 구현 · 실제 공간구조와 일치하는 공간네트워크 모델링을 위한 공간구조 및 DB분석 - 대규모 건물의 공간 네트워크 모델링 기술의 이론적 아이디어 개발 및 구현 · 현재 위치에서 최종목적지까지 지속적인 대피 대안경로 안내 서비스 제공 - 테러/재난상황 대피 시뮬레이션 소프트웨어 개발 · 스마트폰, 키오스크 등 이용자 친화형 서비스 플랫폼 지원 환경 개발 - 이용자 친화형 서비스 플랫폼 지원 소프트웨어 개발

(2) 연차별 연구개발 목표 및 내용

- 본 연구에서 개발하는 시뮬레이터 및 플랫폼 아키텍처와 이를 구성하는 알고리즘 및 실증 테스트베드를 그림으로 표현하면 다음과 같음



<연구개발 목표 및 개요>

- 본 과제는 ‘회복탄력성 극대화기반 테러/재난 극복 시뮬레이터’를 위해 실시간 최적 대피 경로 제공을 위한 알고리즘과 플랫폼의 개발을 위해 총 3차년도로 진행하였으며, 각 년차별 개발 목표 및 내용은 다음과 같음

(가) 1차 연도

① 개발 목표

기술구분	개발목표	세부 연구 목표	수행기관
테러/재난상황 대피 시뮬레이터	테러/재난 대피 시뮬레이터 기술 조사, 프레임워크 설계 및 환경 정의	· 선행 연구 사례조사 · 테러/재난 대피 시뮬레이터 프레임워크 설계 및 구성 · 테러/재난 대피 환경 정의 및 특성 모델링	디토닉 주식회사 (주관기관)
테러/재난상황 대피 플랫폼	테러/재난상황대피 플랫폼 기술 조사 및 프레임워크 설계	· 선행 연구 사례조사 · 테러/재난 대피 플랫폼 프레임워크 설계 및 구성	
CA기반 보행자 대피 알고리즘 개발	인간의 물리적·심리적 행태가 반영된 알고리즘 설계	· 국내·외 연구 관련 정보 수집 및 DB 구축 · 보행자 행태별 Human factor 모델링 기법 개발	서울시립대 (공동 연구기관)
대규모 건물의 공간 네트워크 모델링 기술	2차원 단일 층 기반의 공간 모델링 기법 개발	· 국내·외 연구 관련 정보 수집 및 DB 구축 · 2차원 단일 층 기반의 공간 모델링 기법 개발	

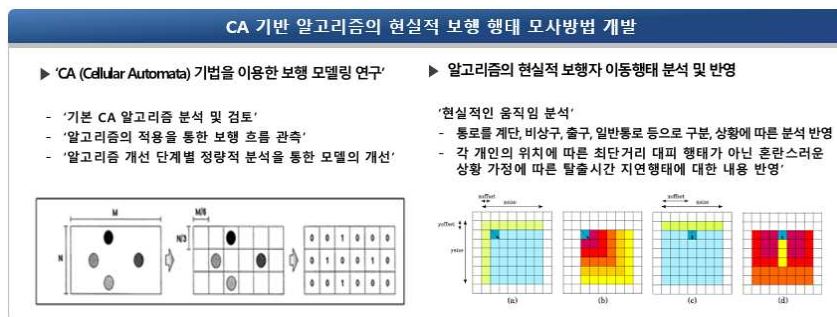
② 개발 내용 및 범위

㉓ 주관연구기관(디토닉 주식회사)

- a. 테러/재난 대피 시뮬레이터 기술 조사, 프레임워크 설계 및 환경 정의
 - 현존 테러/재난 대피 시뮬레이터 관련 국내·외 관련 문헌 검토 등 선행 연구사례, 기술 동향 조사 및 분석 (장·단점 등)
 - 분석된 자료 및 공동연구기관과의 협의를 통한 시뮬레이터 프레임워크 요구 사항 및 기능 도출
 - 시뮬레이터 개발 프레임워크 오픈소스 조사 및 아키텍처링
 - Identity 정의 및 특성 모델링 : 테러/재난 상황 (화재, 지진, 테러 등), 공간 구조 (층, 경자, 복도, 대피처 등), 이용자 (인원, 연령대 등)
- b. 테러/재난 대피 플랫폼 기술 조사 및 프레임워크 설계
 - 현존 테러/재난 대피 플랫폼 관련 국내·외 관련 문헌 검토 등 선행 연구 사례, 기술 동향 조사 및 분석 (장·단점 등)
 - 플랫폼 개발 프레임워크 오픈소스 조사 및 아키텍처링

㉔ 공동연구기관(서울시립대학교)

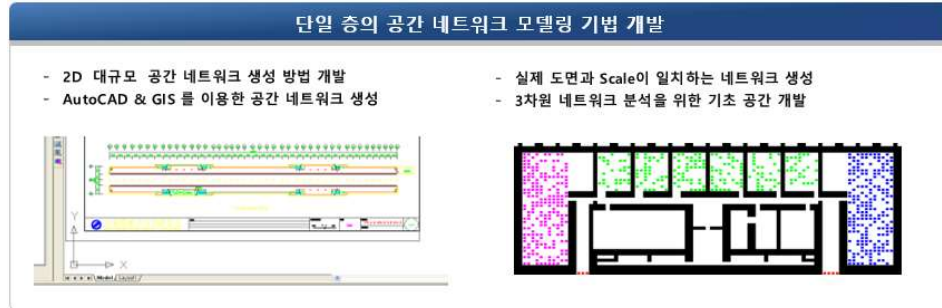
- a. 인간의 물리적·심리적 행태가 반영된 알고리즘 설계
 - 국내·외 실내 보행자 대피 관련 알고리즘의 문헌 검토 및 최신 연구 동향 등 관련 정보 수집 및 DB 구축
 - 국내·외 인체 표준 및 특성 조사, 국제 표준 및 지역별 특성 정보 수집 및 DB 구축
 - 국내·외 도시 테러/재난 사고 중 실내 테러/재난과 관련한 인간의 심리적 행태(광본능, 군집본능, 귀소본능) 등 분석 및 연구사례 조사



b. 2차원 단일 층 기반의 공간 모델링 기법 개발

- 국내·외 공간 모델링 관련 각종 기법의 문헌 검토 및 최신 연구 동향 등 관련 정보 수집 및 DB 구축

- 3차원 모델링을 위한 복잡한 구조의 실측과 같은 2차원 모델링 기법 개발
- AutoCAD, ArcGIS를 이용한 공간 네트워크 생성 방법 개발



(나) 2차 연도

① 개발 목표

기술구분	개발목표	세부 연구 목표	수행기관
테러/재난 대피 시뮬레이터	테러/재난 대피 시뮬레이터 개발	· 수집 데이터 구축 및 공간 모델링 · 2차원 복수 층 시뮬레이터 S/W 개발 (분석, 설계, 구현 및 테스트) · 테러/재난 상황 별 시뮬레이터 시연 · S/W 고도화를 위한 개발 및 성능 검증	디토닉 주식회사 (주관기관)
테러/재난 대피 플랫폼	테러/재난 대피 플랫폼 서비스 설계	· 테러/재난 대피 서비스 플랫폼 시나리오 설계 · 이용자 친화형 UI/UX 조사 · 테러/재난 대피 서비스 플랫폼 초기 설계 · 데모 구현을 위한 단위 모듈 개발	
CA기반 보행자 대피 알고리즘 개발	교통약자의 Human factor가 반영 된 CA 알고리즘 개발	· 교통약자의 Human factor가 반영된 모듈 개발 · 테러상황의 대안 경로 제시 알고리즘 개발 · 테러/재난 상황 별 대피 시나리오 알고리즘 모듈 개발 · 테스트베드 모의실험을 통한 알고리즘 고도화	서울시립대 (공동 연구기관)
대규모 건물의 공간 네트워크 모델링 기술	3차원 복수 층 공간 네트워크 모델링 기법 개발	· CA알고리즘의 Cell 단위의 좌표를 부여한 공간 네트워크를 구축하며 실제와 유사한 현실적인 건물 내부 공간 모델링 기법 개발	

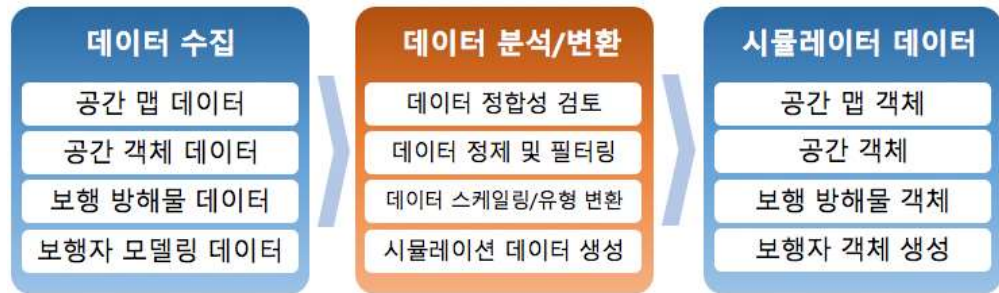
② 개발 내용 및 범위

㉠ 주관연구기관(디토닉 주식회사)

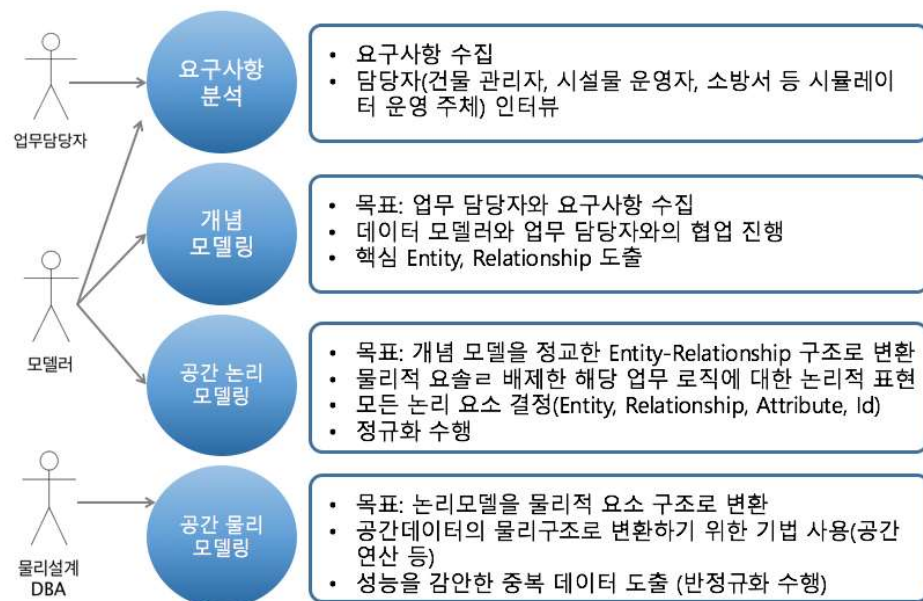
a. 테러/재난 대피 시뮬레이터 개발

· 수집 데이터 구축 및 공간 모델링

- 수집 데이터 구축 : 수집된 대규모 건물의 공간 및 보행 방해물 데이터, 네트워크 데이터에 대해 하기 도식과 같이 데이터 분석/변환 과정을 통해 시뮬레이터에서 사용되는 데이터화 함



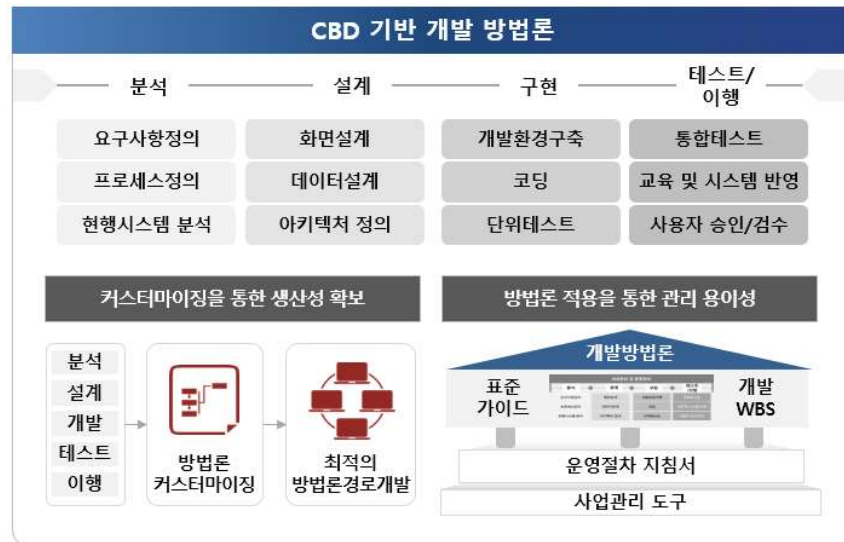
- 공간 모델링 : 데이터화 할때 논리 및 물리 DB를 다음의 프로세스로 모델링 함



· 시뮬레이터 S/W 개발 (분석, 설계, 구현 및 테스트)

- 모델링된 CA 기반 알고리즘 분석과 1차년도 진행한 선행 연구 조사 사례 및 공동연구기관인 시립대와 협력을 통해 테러/재난 대피 시뮬레이터 S/W의 요구사항을 도출함

- 상기 도출된 요구사항을 기초로 테러/재난 대피 시뮬레이터 아키텍처링, 상위 및 상세설계를 진행함
- 개발 시 관리 용이성과 커스터마이징을 통한 생산성 확보 등을 기대할 수 있는 CBD기반 개발방법론을 기본 개발 수행 방향으로 적용하고 이에 부합하는 전략을 수립하여 진행하며, 단위 테스트 및 통합 테스트를 수행함



· 테러/재난 상황 별 시뮬레이터 시연

- ‘화재 상황에 따른 대피 시나리오’, ‘지진과 그에 따른 건축물의 일부 붕괴에 따른 가상 재난 시나리오’, ‘테러에 의해 발생하는 2차 재난상황에서 발생하는 출구 폐쇄 및 특정 통로의 폐쇄 상황 시나리오’ 등 재난 상황 시나리오에 따른 시뮬레이터 시연을 수행함.

b. 테러/재난 대피 시뮬레이터 개선 및 상용화 추진

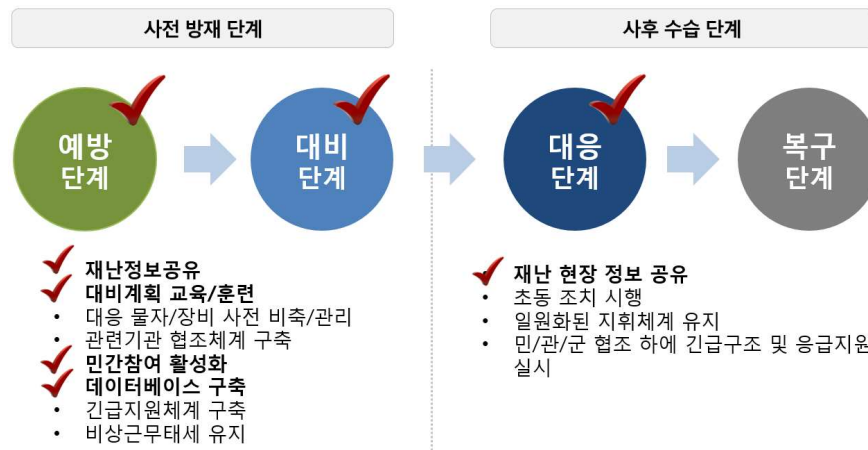
· 시뮬레이터 S/W 개선

- S/W 고도화를 위한 개발 및 성능 검증 연구 수행

c. 테러/재난 대피 플랫폼 서비스 설계

· 테러/재난 대피 서비스 플랫폼 시나리오 설계

- 테러/재난 관리 흐름은 사전 방재 단계와 사후 수습단계로 나누며 본 연구에서 진행할 테러/재난 대피 플랫폼에 해당되는 범위는 다음과 같음



- 이러한 범위에 대해 UML(Unified Modeling Language) 방법론을 통한 서비스 시나리오 도출하여 설계를 진행함. 이때 위치 정보 획득, 재난 감지 등의 다양한 전제 사항도 함께 고려하여, 플랫폼 설계 시 Gateway 형태로 반영함

· 이용자 친화형 UI/UX 조사

- 테러/재난 상황에서 서비스를 받는 이용자의 상황을 고려하여 빠른 인지와 가독성이 높은 UI/UX를 제공해야 하며, 이를 위해 이용자 친화형 UI/UX 조사를 수행함

· 테러/재난 대피 서비스 플랫폼 초기 설계

- 시뮬레이터의 테러/재난 대피 알고리즘을 이용하여 서버 기반 對 고객 서비스의 요구사항을 서버와 단말로 구분하여 도출하고 플랫폼의 초기 설계를 수행함

· 데모 구현을 통한 서비스 검증 및 평가·개선

- 실제 물리적 공간을 대상으로 공간데이터를 구축하여 서비스 검증 및 평가·개선을 위한 데모 시스템을 구현하기에 앞서 필요한 단위 모듈 개발 연구 수행

④ 공동연구기관(서울시립대학교)

a. 교통약자의 Human factor가 반영된 CA 알고리즘 개발

· 교통약자의 Human factor가 반영된 모듈 개발

- 교통약자(Traffic Vulnerable) “은 ” 교통약자 이동편의 증진법 “에 의하면 ‘고령자, 임산부, 영유아를 동반한 사람, 어린이 등 일상생활에서 이동에 불편을 느끼는 사람’ 을 칭함. 따라서 교통약자는 이동상의 불편과 제약을 가지기 때문에 실내 테러/재난 상황에서 일반인과는 다른 특성을 정의하여 분석해야하는 것으로 판단됨

- 그러나 기존 연구에서는 전체 실내 재실자의 이동속도를 평균적인 사람의 보행속도로 간주하여 분석하였기 때문에 교통약자의 특성이 반영되지 못하는 한계가 있었음
- 따라서 본 연구에서는 교통약자의 종류별 Human factor를 반영하여 알고리즘의 연산을 제시함
- 교통약자의 대체 경로를 제시하는 정보 제공 방법 개발
 - 일반인과 다르게 교통약자의 경우 계단을 이용하기 힘들거나 비상계단과 같이 좁은 계단을 이용하지 못하는 제약이 존재할 수 있다. 따라서 교통약자에게는 개별 특성에 맞는 대체 경로를 제공해줄 수 있는 방법을 개발하여 모델에 적용함
- 부상자의 보행속도 조사 및 실내 보행자 유형 반영
 - 테러/재난 상황에서 발생할 수 있는 부상자의 유형을 정의하며 국내·외 재난관련 연구에서 부상자 중 보행가능자, 보행 불가능자 등 유형을 구분하여 보행속도 및 특성을 조사하여 보행행태 DB에 추가 반영함



- 테러/재난 상황 별 대피 시나리오 모듈 개발
 - 도시에서 발생하는 다양한 테러/재난에 대한 신속한 대응을 위해 시나리오를 통한 대피 알고리즘의 모듈 개발을 진행함. 각 시나리오 별 특징에 따라 다른 대피 특성 변수를 모듈화 하여 회복탄력성을 극대화하기 위한 모듈을 제작함
- 테러/재난 시나리오 정의
 - 테러/재난 발생 시 피해를 입을 수 있는 건물은 그 형태와 종류가 다양하며, 이는 현행법에 의해 구분되어 있으며 각 유형별 건축 형태와 소방 시설에 대한 안전 기준이 법제화 되어 있음. 따라서 건축법에서 규정하고 있는 건축물의 종류와 형태 및 소방법 등을 포함한 관련 법제도에 대한 사전 조사를 수행함. 사전 조사 결과를 통해 연구 대상을 정의하고, 이를 바탕으로 테러/재난 상황 시 대피 시나리오 수립

- 테러/재난 발생 위치는 현장 시민의 제보 또는 건물 내 IoT 센서 등을 통한 수집이 가능하며 이는 시나리오 수립 단계에서 정의
- 테러/재난 상황은 각 상황별 재난 특성이 다르게 나타남. 따라서 테러와 재난 상황을 각각 정의하여 각 상황별 보행자의 대응 방안을 마련하는 전략 수립이 필요함
- 본 연구에서는 테러/재난 상황을 테러 상황, 재난의 경우 화재 상황으로 각각 구분하여 시나리오를 정의함
- 테러 상황의 경우 테러범죄자들의 동선을 파악하여 재실자들에게 안전하게 대피할 수 있는 경로 및 피난처를 제시하여 재실자의 안전을 도모함
- 재난 상황의 경우 화재상황을 가정하여 화재의 발생 위치를 제시하고 최단 시간 내 대피할 수 있는 경로를 제시하여 재실자의 안전을 도모함

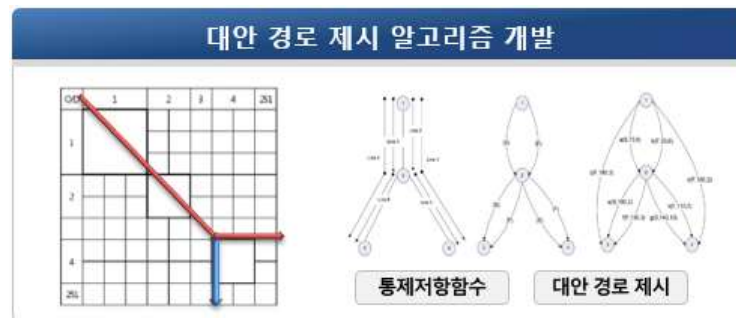


- 테러/재난 상황 대피 모의 실험을 통한 알고리즘 검증
 - 실제 건물을 기반으로 분석 네트워크를 구축하여 임의로 피난자를 무작위로 배치하여 시뮬레이션을 수행하고 총 대피시간을 관측함
 - 또한 실제건물에서 실험자를 모집하여 시뮬레이션과 똑같은 실험환경을 설계하고 시뮬레이션과 동일한 피난자 위치를 배정하여 대피훈련을 수행함
 - 피난자는 약 30명 내외이며 복도, 비상계단, 일반적인 룸 등 다양한 환경에서 고령자, 영유아, 일반인 등 각각의 역할을 부여하여 실험을 수행함
 - 실제실험과 시뮬레이션의 분석 결과를 비교하여 시뮬레이션의 값을 실제와 유사하도록 파라미터 조정 등을 통하여 현실적인 모형을 구축함



· 대안 경로 제시 알고리즘 개발

- “도시 방재학”에서는 건물 내에서 재난 상황이 발생하면 보행자는 귀소 본능을 보이며 들어온 입구로 다시 나가려는 경향을 보이는 것으로 정의함. 그러나 해당 출구가 이용 불가의 상태를 보일 수 있기 때문에 대안 경로(alternate pathway)의 제시가 필요함. 또한 대피상황에서 일부의 출구로 편중되는 상황이 발생한다면 피해자의 수가 급증할 것으로 예상됨. 따라서 본 연구에서는 실내공간에서의 통행 저항함수를 고려한 최적 대안 경로 제시를 목표로 함.



<대안 경로 제시 알고리즘>

b. 3차원 복수 층 공간 네트워크 모델링 기법 개발

· 실제와 유사한 현실적인 건물 내부 공간 모델링

- 2차원 기반의 공간 모델링은 사실적이지 못한 문제가 있기 때문에 실제로 이용자가 이용할 때 편리하지 않음. 따라서 시뮬레이션을 위한 3차원의 현실적인 공간 모델링 제작이 필요함. 1차 년도에 개발된 2차원 모델링을 이용하여 Z-value를 Join한 3차원 공간 모델링을 제작하여 알고리즘 구현을 위한 이용자의 시각적 편리성을 제고함

· CA알고리즘의 Cell 단위의 좌표를 부여한 공간 모델링

- 대다수의 3D 공간 모델링은 시각화를 목적으로 제작되어 내부공간의 분석에 대한 어려움이 존재함. 따라서 2차원 GIS 모델과 3차원 GIS 모델을 연동

하여 좌표값이 부여된 3차원 네트워크 분석이 가능하도록 모델링 구현

· 테스트베드의 실험 설계 및 상황 정의

- 실험 대상지의 상황을 국제회의장에서 행사 중 상황으로 가정하여 시나리오를 설정하는 등 재실자가 가장 많은 상황으로 설정하여 최악의 상황을 가정한 실험을 설계함
- 또한 피 실험자를 모집하여 피 실험자에게 각각 보행자 특성에 맞는 역할을 부여한 실험을 설계하여 개발된 시뮬레이터와 현실과의 결과를 비교함

3차원 복수 층 공간 네트워크 모델링 기법 개발

▶ 3차원 공간 네트워크 구축방법 개발

- 2차원 공간의 구조를 3D화
- 실측과 일치하는 공간 모델 기법 개발
- 복잡한 공간 구조 반영
- 피난 선권(sunken)등 실내 모델링 기법 개발



c. CA 기반 보행자 대피 알고리즘과 GIS기반 공간 네트워크의 통합 시스템 구현

- 개별 핵심성과를 통합하여 하나의 시스템으로 구축하는 방법을 개발한다. 통합된 시스템은 실제로 개별 건축물에서 보행자의 대피 상황을 구현할 수 있으며 Cell 단위의 네트워크에서 현실적인 움직임을 보일 수 있기 때문에 긴급 상황에서 사용할 수 있는 피난 전략 수립에 활용 가능할 것으로 판단됨

핵심성과 C

재난 상황 별 대피 시나리오 모듈 개발

▶ '재난 상황의 종류별 특성 분석'

- 재난 상황의 각 종류를 분석하고 각 특성이 반영된 시나리오 모듈 개발



〈화재상황시나리오〉



〈건물일부붕괴시나리오〉



〈태리시나리오〉

실내 열 확산

일부 출구 폐쇄

특정 경로 폐쇄

2차년도

**공간 모델링과 보행 알고리즘
융합 시뮬레이션 개발**

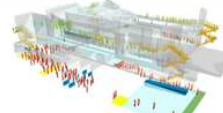
- 실제와 유사한 공간 네트워크 모델링 기법 개발
- CA 모형과의 통합 모듈 개발
- 실제와 예측의 비교를 통한 모형의 정확도 검증

핵심성과 D

3차원 복수 층 공간 네트워크 모델링 기법 개발

▶ 3차원 공간 네트워크 구축방법 개발

- 2차원 공간의 구조를 3D화
- 실측과 일치하는 공간 모델 기법 개발
- 복잡한 공간 구조 반영
- 피난 선권(sunken)등 실내 모델링 기법 개발



(다) 3차 연도

① 개발 목표

기술구분	개발목표	세부 연구 목표	수행기관
테러/재난 대피 시뮬레이터	테러/재난 대피 시뮬레이터 개선 및 상용화 추진	· 시뮬레이터 S/W 개선 · 패키지 작업	디토닉 주식회사 (주관기관)
테러/재난 대피 플랫폼	테러/재난 대피 플랫폼 서비스 구현	· 테러/재난 대피 서비스 플랫폼 개발 (분석, 설계, 구현 및 테스트) · 데모 구현을 통한 서비스 검증 및 평가·개선	
CA기반 보행자 대피 알고리즘 개발	구축된 모듈과 CA 알고리즘의 고도화	· 3차원 공간 네트워크와 구축된 교통약자 알고리즘 모듈을 적용한 CA 알고리즘의 고도화	서울시립대 (공동 연구기관)
대규모 건물의 공간 네트워크 모델링 기술	테스트 베드 성능 분석을 통한 시뮬레이션 고도화	· 구축된 CA 알고리즘과 공간 모델링 기법을 이용한 테스트 베드 성능 분석	

② 개발 내용 및 범위

㉠ 주관연구기관(디토닉 주식회사)

a. 테러/재난 대피 시뮬레이터 개선 및 상용화 추진

- 다양한 종류의 건축물을 시뮬레이터에 적용
 - 기존 테스트베드인 시립대학교 21세기관을 비롯하여 대규모 병원, 전철·기차의 역사, 복합 쇼핑몰 등 규모와 용도 등에 있어 다양한 유형의 건축물중 3종의 건축물을 선택하여 시뮬레이터에 적용하는 연구 수행
- 시뮬레이터 S/W 개선
 - 2차년도에 수행된 테스트베드에서의 모의실험 결과를 바탕으로 파라미터를 추가하여 시뮬레이터 설정 범위를 확대함에 따라 정확성 개선
 - 2차년도 연구에 이어서 교통약자의 Human Factor 반영 기법과 CA 기반 공간 네트워크를 적용하여 시뮬레이터 고도화 진행

교통약자의 Human Factor 반영
• 교통약자의 종류 별 특성 분석 • 테러/재난상황에서 교통약자의 효과적인 대피를 위한 방법 개발
CA 기법 공간 네트워크 적용
• 구축된 공간 네트워크에 알고리즘 적용 • 알고리즘 적용을 통한 보행 흐름 관측 • 보행 밀도 개선을 통한 병목현상 제거 방안 개발

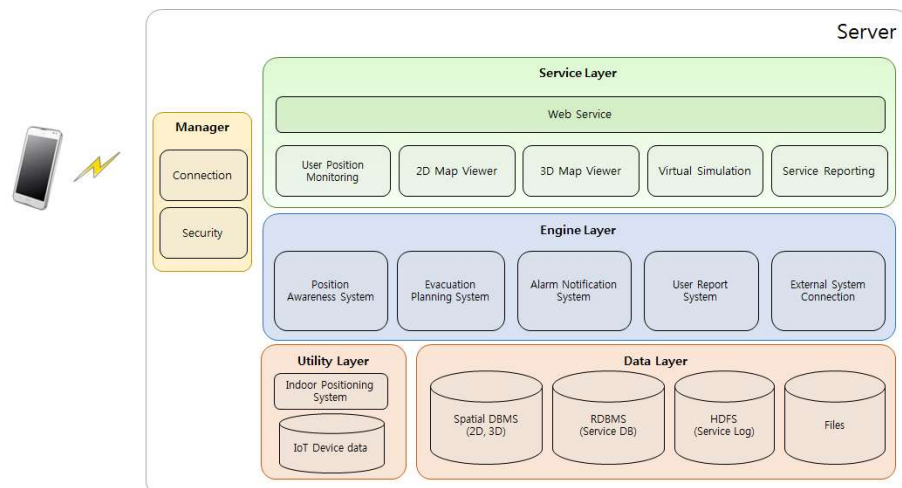
〈시뮬레이터 고도화 항목〉

- 패키지 작업 : 시뮬레이터 S/W의 상용화를 위하여 다음과 같이 서비스 패키지를 준비함
 - 시뮬레이터 라이선스 및 비용 구조
 - 구동 환경(시스템) 및 설치 매뉴얼
 - 각종 메뉴 및 기능 사용 매뉴얼
 - 입/출력 Data 관리 매뉴얼
 - ‘Universal Design’ 을 통한 접근성 향상방안 마련
 - 고령자 및 이용 제약자 위한 개발 플랫폼의 시인성 강화 및 음성안내 기능 제공
- b. 테러/재난 대피 플랫폼 서비스 구현
 - 테러/재난 대피 서비스 플랫폼 개발 : 2차 년도에 구현한 시뮬레이터의 테러/재난 대피 알고리즘을 이용하여 서버 기반 對 고객 서비스의 요구사항을 서버와 단말로 구분하여 도출함.
 - 서버 기능 요구사항

분류	세부 항목	설명
서버 기능 요구 사항	Map Viewer	공간 정보를 이용하여 view 제공
	Evacuation Planning System	대피 경로 계산 시스템 : 개선된 CA 알고리즘(Advanced CA Algorithm)을 이용하여, 테러/재난 발생 시 해당 공간 안에 있는 개별 사용자별로 최적의 대피 경로를 계산
	Position Awareness System	Mobile 단말의 Bluetooth 또는 WiFi 신호 기반의 실내 측위 기술 (IPS - Indoor Positioning System)을 이용하여, 현재 건물 내 사용자의 위치를 파악할 있는 기능 제공
	User Position Monitoring System	Position Awareness System을 이용하여 사용자가 해당 건물(또는 해당 층) 내 진입 후의 이동 경로와 현재 어디에 있는지 실시간으로 모니터링할 수 있는 기능 제공
	Alarm Notification System	테러/재난 발생 상황을 사용자에게 전달하는 기능 제공
	User Report System	사용자로부터 테러/재난 발생 신고 및 재난 현장의 상황 신고를 받을 수 있는 기능 제공. (신고를 보낸 사람이 인증된 사용자인지 여부를 확인하여 Alarm Notification system에 전달)
	Virtual Simulation	현재 공간에 테러/재난 발생 상황을 가정하여 사용자별 대피 경로를 확인하는 기능 제공
	Reporting System	서비스 운용 결과를 제공

<서버 기능 요구사항>

- 이러한 요구사항을 기반으로 서버 아키텍처는 다음과 같이 도식화 되며, 이렇게 도식화 된 아키텍처를 구현함.



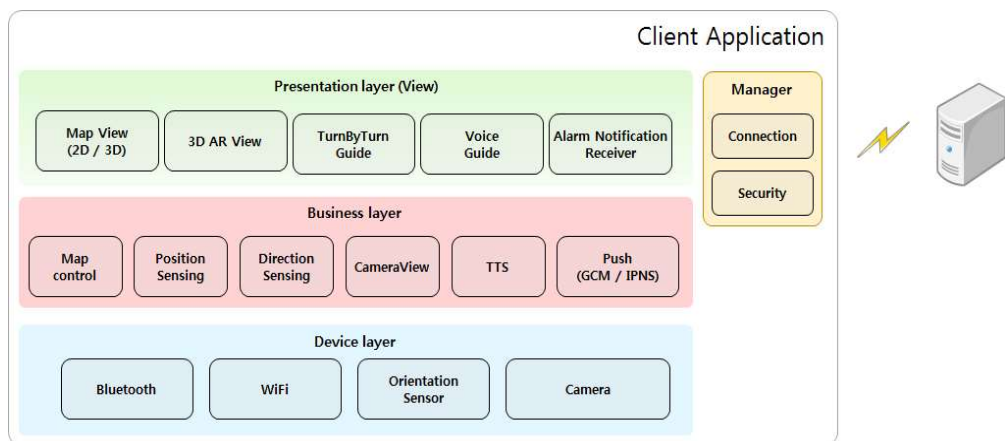
<서버 아키텍처>

- 단말 기능 요구사항

분류	세부 항목	설명
단말 기능 요구 사항	Map Viewer	사용자가 위치한 공간의 실내 지도 제공
	AR Viewer	3D 증강현실(Augmented Reality) Viewer : 공간 정보와 스마트폰의 Camera View, Direction Sensing 기능을 이용하여 3차원 증강현실 View를 제공
	Position Sensing	IPS(Indoor Positioning System)를 이용하여, 사용자(스마트폰)의 위치를 파악하고 서버에 전송하는 기능
	Direction Sensing	스마트폰의 방향 센서(Orientation Sensor)를 이용하여 2D(또는 3D) Map Viewer상에 사용자의 이동 방향을 알려주는 기능
	Alarm Notification Receiver	테러/재난 발생 시 서버로부터 테러/재난 상황 정보를 수신하여 사용자에게 알려주는 기능
	Reporting	사용자가 자신의 실내 위치를 기반으로 ‘테러/재난 신고’를 하는 기능

<단말 기능 요구사항>

- 이러한 요구사항을 기반으로 단말 아키텍처는 다음과 같이 도식화 되며, 이렇게 도식화 된 아키텍처를 구현함.



<단말 아키텍처>

· 데모 구현을 통한 서비스 검증 및 평가 · 개선

- 2차년도 연구에 이어서 실제 물리적 공간을 특정하여 IoT 기반 실내 측위

기술을 적용하고, 공간 데이터를 구축하여 서비스 검증 및 평가·개선을 위한 데모 시스템을 구현함.



〈데모 구현을 통한 서비스 개선 프로세스〉

④ 공동 연구기관(서울시립대학교)

a. 구축된 모듈과 CA 알고리즘의 고도화

- 대피 집단 특성 제시
 - 2차년도에서 교통약자에게 서로 다른 대피경로를 제시함으로 전체 대피 시간을 줄이고자 하였으나, 교통약자에게 대피경로를 제시하지 못하는 경우가 발생 확인함
- 즉, 교통약자와 일반인이 동일한 대피 조건을 형성한 상황에 대한 고려된 상황
 - 이전 연구에서는 개인을 기준으로 일반인과 교통약자의 피난 특성을 파악하고 적용하였다면 3차년도에서는 약점을 개선하여 교통약자와 개인이 혼합 대피 집단을 이루었을 경우 교통약자의 Human factor가 집단에 끼치는 영향과 피난 특성 변화를 반영한 알고리즘을 고도화함
- 상황에 따른 개인 특성 변화 적용
 - 테러상황은 화재상황과 직결될 확률이 매우 높으며 시계(視界) 제약은 화재 상황 시 발생할 수 있는 가장 보편적인 경우이므로 이를 고려하고자 함. 여기서 시계 제약이란 시각적으로 파악할 수 있는 정보가 급격히 줄어드는 상황을 말하며 시계 제약으로 인해 개인의 행동 패턴변화를 반영하여 알고리즘을 고도화함
- 위의 경우와 동일하게 먼저 개인의 통행 특성이 어떻게 변화하는지 살펴봄

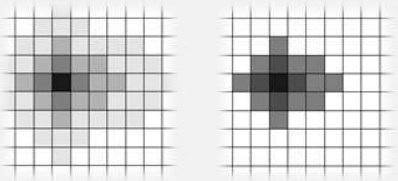
고 이후 대피 집단의 통행 특성이 어떻게 변화하는지, 교통약자를 포함한 대피 집단의 피난특성이 어떻게 변화하는지 파악한 후 개선점을 보완함

CA 알고리즘의 성능 평가 및 알고리즘 고도화

▶ 교통약자 Human Factor 반영 기법 고도화



▶ 시계(視界) 제약 상황 반영



‘교통약자가 포함된 집단별 특성 분석’

- 교통약자가 포함된 집단을 교통약자 집단으로 정의
- 분석된 교통약자의 각 특성이 집단에 끼치는 영향 분석
- 재난 상황에서 교통약자 집단의 효과적인 대피를 위한 방법 개발

‘보편적 화재 상황 적용’

- 화재 발생 시에는 개인의 행동 제한
- 시계(視界) 제약 상황에서의 행동 패턴 변화 파악
- 새로운 행동 패턴을 적용한 대피경로 제시 방법 개발

b. 구축된 CA 알고리즘 보완

· 상충지점 Delay 문제

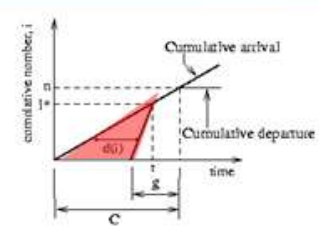
- 서로 다른 특성을 가진 피난집단이 상충함에 따라 상충 지점에서 Delay Time 발생함에 따라 상충에 따른 Delay Time을 감소시키는 방안을 반영한 알고리즘 고도화 작업 수행

CA 알고리즘에 Delay Time 반영

▶ 수요와 용량 차이에서 발생하는 Delay Time

‘수요와 용량 차이에 의한 Delay Time 발생’

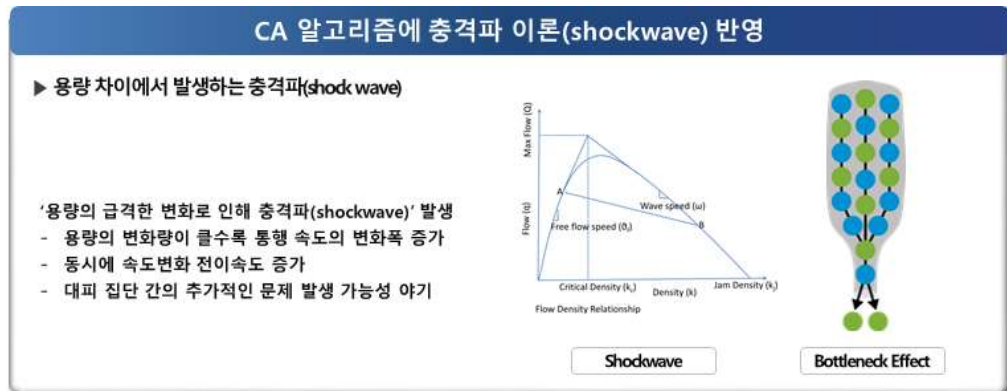
- 서로 다른 통행 집단 상충으로 인한 Delay Time 발생
- 대피 상황 시 제한된 경로에 많은 인원 밀집
- 대피 수요와 용량의 불균형으로 인한 Delay Time 발생



· 용량 불균형으로 인한 상충 문제

- 대피경로에 소화할 수 있는 용량은 제한적이며 이를 초과하는 수요(대피 인원)가 발생하였을 시에는 Delay Time이 발생함. 대피경로로 접근하는 과정에서 소화할 수 있는 용량이 커서 비교적 수월했던 소통능력을 가짐.
- 하지만 대피경로에 접어들면서 이 용량은 급격히 감소하고, 대피집단이 모이면서 수요(대피 인원)는 급격히 증가함. 이때 대피 인원과 용량의 불균형으로 인한 과포화 상태에 놓이게 되며 이로 인해 발생하는 Delay Time을 확인할 수 있음.

- 용량이 급격히 줄어드는 현상을 병목현상(Bottleneck effect)이라고 부르며 이 경우 병목지점 이전의 통행 집단은 급격한 통행 속도 감소를 겪게 됨. 이때 이 속도 감소가 전이되는 현상을 ‘충격파(shockwave)’라고 함. 용량의 변화량이 심해질수록 통행 속도의 변화폭은 증가하며, 전이속도 또한 급격하게 증가함. 대피 속도의 급격한 변화는 대피 집단 간의 추가적인 문제를 발생시킬 수 있음. 따라서 접근-통행 속도를 제시함으로써 안전성을 확보하고자 함.



c. 구축된 CA 알고리즘과 공간 모델링 기법을 이용한 테스트 베드 성능 분석

· CA기반 보행자 알고리즘의 테스트 베드 적용 및 분석

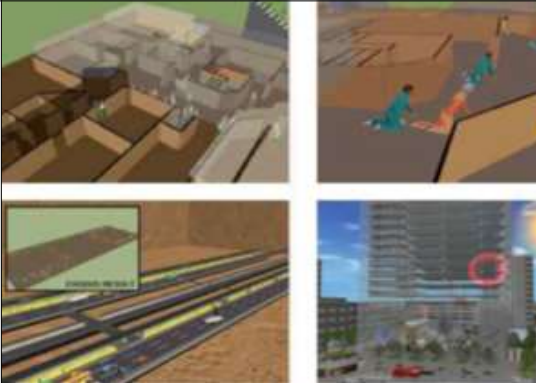
- 실제와 유사한 환경의 테스트 베드 분석을 위해 실제 건물의 도면에 맞는 실측 공간을 모델링하여 알고리즘을 적용한 성능 구현.
- 테스트 베드 분석을 통해 알고리즘의 보완점을 찾아 알고리즘의 성능 검증 및 신뢰도 제고 방안 마련

나. 핵심성과별 연구 결과

(1) 핵심성과 A : 테러/재난 상황 대피 시뮬레이터

(가) 테러/재난 대피 시뮬레이터 기술조사

- ① 국내 외 학술 논문, 연구보고서, 학위논문 및 상용 시뮬레이터를 대상으로 선행 연구사례 문헌 조사
- ② 조사 결과, 건축물 내에서 재실자의 피난 안정성 확보가 이슈화 됨에 따라 국내, 외에서 피난 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 건축물의 안전성을 평가하고, 이를 상용화하기 위한 노력이 구체화되고 있는 실정임. 또한 아직까지 국내에서는 독자적인 상용 프로그램보다는 외국의 주요 프로그램이 일반적으로 사용되고 있음

구분	특징	프로그램 시연 화면
Simulex	- 재실자의 신체 치수는 나이 및 성별에 따라 대표값 규정 - 장애물을 고려한 직선 거리 계산 - 최단 거리 출구 및 사용자 정의에 따라 루트 선택 가능 - FDS 구조 연동	
building EXODUS	- 인간 행동 모델의 다양한 구성 요소 - 거주 한계성에 대한 고려 - 문경합 처리 방식(CA)	
Pathfinder	- 각 데이터의 분포 설정 기능 - 승강기 구현 - 에이전트 점유 면적의 중복 허용 기법 - 문 앞 정체에서의 처리 기법 3D 가시화 부분 - FDS 구조 연동 (Pyrosim포함)	

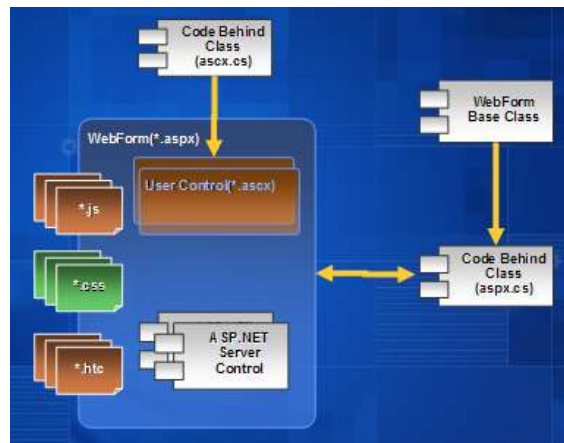
- ③ 피난 시뮬레이션은 건물 내부의 물리적 환경을 규정하는 공간 모델, 재실자의 행동 패턴을 규정하는 재실자 이동 모델, 재실자의 보행에 관한 변수를 규정하는 재실자 움직임 모델, 화재 발생 시 실내 공기의 흐름 및 에너지 이동 등에 대한 변수를 규정하는 화재 모델로 구성됨.

- ④ 과거엔 공간 내부 조건, 물리적 환경 등에 의한 시뮬레이션이 주였다면 현재는 공간적인 환경뿐만 아니라 인물의 다양한 행동 변수 및 심리적-사회적 조건에 의한 영향 역시 시뮬레이션의 변수로 작용하며 화재 시뮬레이션과의 연계가 요구되는 추세
- ⑤ 주요 입력 변수로 재실자 특성인 성별, 연령, 몸무게, 신체 사이즈 등의 신체 속성, 수평/수직 보행 속도 및 변화 양상을 반영한 보행 속성 등이 해당됨
- ⑥ 기 구축 시뮬레이터들의 특징 및 시사점

- 매쉬 트라이앵글로 공간을 규정하는 Pathfinder는 각각의 개체에 매개 변수의 집합을 사용하여 피난 이동을 결정하여 피난 행동의 충돌, 회피, 병목 현상 등의 세부 묘사가 가능하며 에이전트의 모션을 2종류 모드를 통해 제 공함
- 방, 복도, 계단 등으로 실내를 규정하는 Simulex는 건물 공간의 정의, 피난 경로의 선정, 개인별 특성 및 위치 지정, 주변 사람과의 밀집 상태에 따라 밀치기, 앞지르기에 의한 보행 속력의 감소 등을 해석에서 고려할 수 있지만 화재에 의한 에이전트의 대응 행동을 고려할 수 없고, 피난 상황에서 나타나는 사람들의 사회적 행동이 반영할 수 없으며 개별 에이전트에 행동 특성을 부여할 수 없기 때문에 공간의 친숙성, 성향 등 피난 행동에 중요한 영향을 미치는 인자 반영 불가
- 노드로 공간 구성을 하며 5개의 서브 모델로 구성되어 있는 buildingEXODUS의 경우, 인간 행동 모델의 다양한 구성 요소를 반영할 수 있지만 너무 많은 입력 변수들로 인하여 피난 시뮬레이션 사용에 있어 진입 장벽이 높음. 또한 장애물 회피, 인원 비율 설정의 자유성, 개인별 특성 반영, 해저드에 대한 반응 등 현실적인 변수를 도입하여 현실성을 높이고자 하지만, 각 입력 변수들 사이의 상관성의 이해가 없다면 피난 안전성 평가가 올바르게 수행하기가 어렵다는 한계 존재
- 국내에서는 개발된 K-Evac과 GongEgress의 경우, 각각의 장점이 존재하였음에도 불구하고 아직 상용화와 그에 따른 검증이 제대로 되어 있지 않으며 관련 연구는 주로 앞서 언급한 Pathfinder, Simulex, building EXODUS 등의 국외 프로그램들을 통해 진행된 사례들이 많아 보편화를 위해서 극복해야 할 부분이 많다고 사료됨

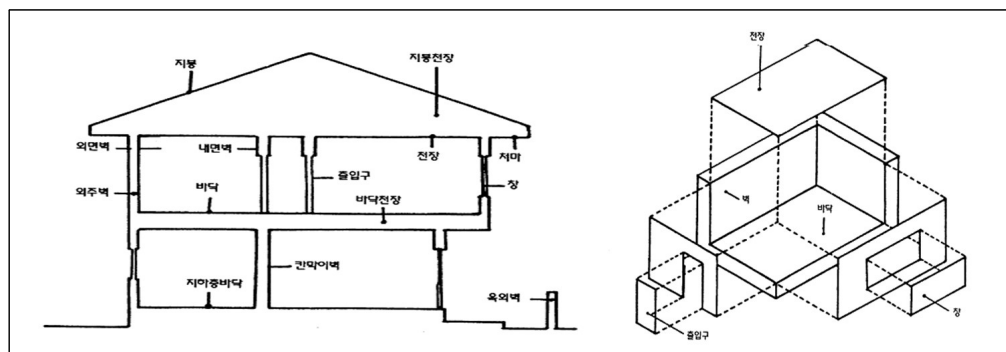
(나) 테러/재난 대피 프레임워크 설계 및 환경 정의

- ① 구현단계 : 테러/재난 대피 프레임워크를 활용한 애플리케이션 개발 단계로 구성원간의 공동작업
- ② 실용적 단계 : 테러/재난 대피 프레임워크를 활용한 애플리케이션 개발 후 실 적용하고 유지보수 및 관리를 위한 단계
- ③ 프레임워크 아키텍처



〈프레임워크 아키텍처〉

- ④ 테러와 재난의 상황에서 위험을 효율적으로 극복하고 인명 피해의 최소화를 위한 재난의 다양한 환경을 시뮬레이션하기 위한 환경변수와 고려사항으로 테러/재난 상황(화재, 지진, 테러 등), 공간구조(층, 경자, 복도, 대피처 등), 이용자(인원, 연령대 등) 등을 조사하고 영역별로 구분하여 특성을 모델링함
- ⑤ 건물의 정의와 특성 모델링



〈건물의 구조 및 구성도〉

- 건물의 Identity 정의 및 특성 모델링 : 천장, 바닥, 벽, 창, 계단, 엘리베이터, 실내 등 건물을 구성하는 항목들에 대한 정의를 선행한 뒤 크기, 통행 가능한 인원 수 등 항목별 특성 모델링

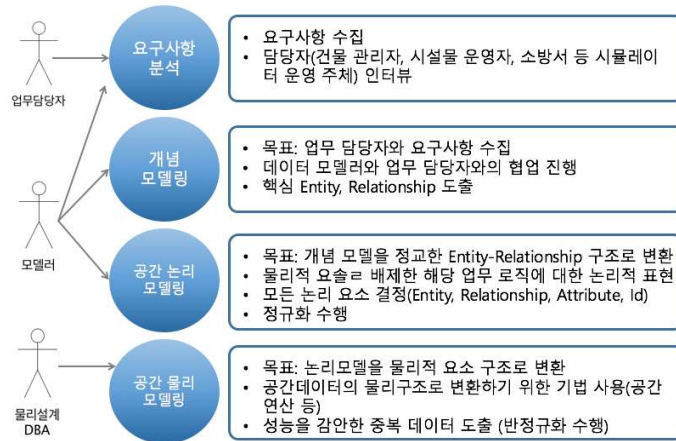
⑥ 사람의 정의와 특성 모델링

- 사람의 정의와 특성 모델링 : 테러/재난의 상황이 발생했을 때 건물 내부를 탈출하여 외부까지 가장 빠르고 안전하게 대피할 수 있는 방법을 찾고자하는 사람의 특성을 정의하고 모델링하여 시뮬레이터 개발에 활용
- 연령대, 교통약자들을 포함한 보행 행태 등을 기준으로 사람을 구분하고 각각의 분류에 따라 이동 속도, 이동 시 점유 공간 등에 대한 사전 정의

(다) 테러/재난 대피 시뮬레이터 개발

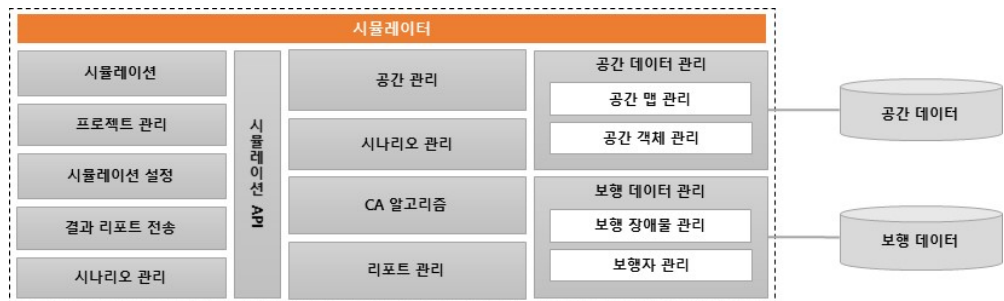
① 수집데이터 구축 및 공간모델링

- 수집데이터 구축 : 수집된 대규모 건물의 공간 및 보행 방해물 데이터, 도로 네트워크 데이터에 대하여 다음과 같은 데이터 분석/변환 과정을 통해 시뮬레이터에서 사용할 수 있는 DB를 구축함
- 공간 모델링 : 다음의 프로세스를 바탕으로 모델링을 수행함

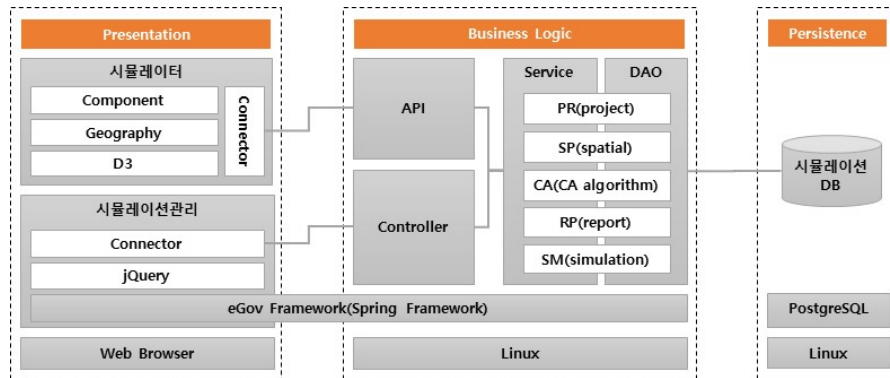


② 2차원 복수 층 시뮬레이터 S/W 개발(분석, 설계, 구현 및 테스트)

- 무작위로 보행자를 배치하며 시뮬레이션 결과는 매번 다르게 얻을 수 있다.
- 공간 및 보행자, 시뮬레이션에 대한 개념 모델링 및 논리 및 물리데이터 모델링(수집데이터 구축 및 공간 모델링 항목에 해당됨)
- 시뮬레이터 아키텍처링

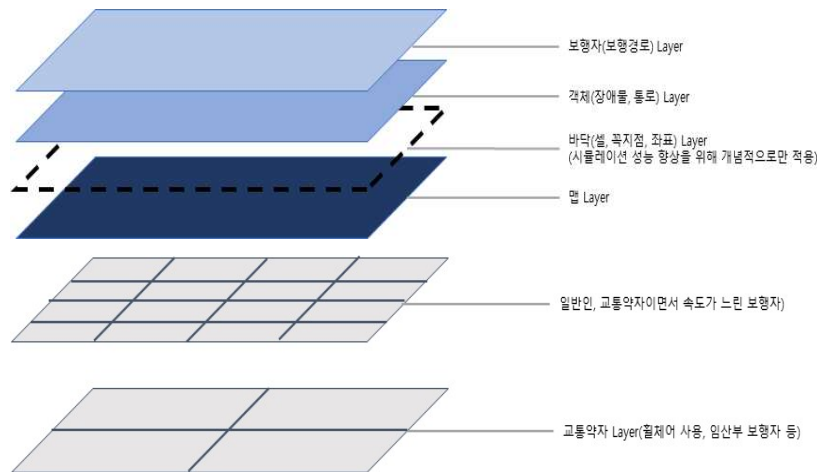


<시스템 구성도>



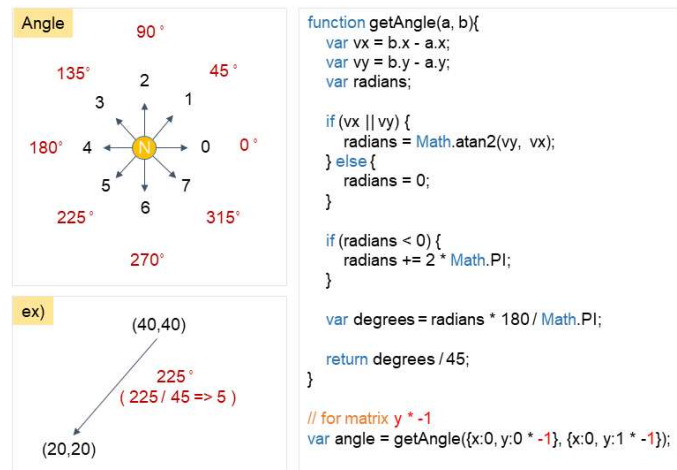
<소프트웨어 구성도>

- 공간 구성 요소 : 바닥과 장애물, 이동통로, 유형별 보행자, 예상 보행 경로 등으로 구성하였으며, 각각의 요소에 따른 다층 공간 Layer로 구축



<다층 공간 Layer 및 바닥 Layer 상세도>

- 시뮬레이션 보행 알고리즘 : 다양한 보행자 유형(속도, 크기)에 대한 충돌 감지 및 보행 경로 최적화를 위해 셀 기반의 최단 거리 알고리즘과 시뮬레이터 내 시각적 요소 간의 거리 계산을 혼용하여 다양한 형태의 결과 도출
 - 사전에 충돌을 감지하기 위한 Ray 개념 도입
 - 보행자 간 충돌을 감지하여, 발생 예상 시 보행경로 최적화를 수행하며 이는 보행자가 셀과 셀을 이동하는 주기에 따라 반복적으로 수행
 - 보행자 간 충돌 시 우선순위 선정

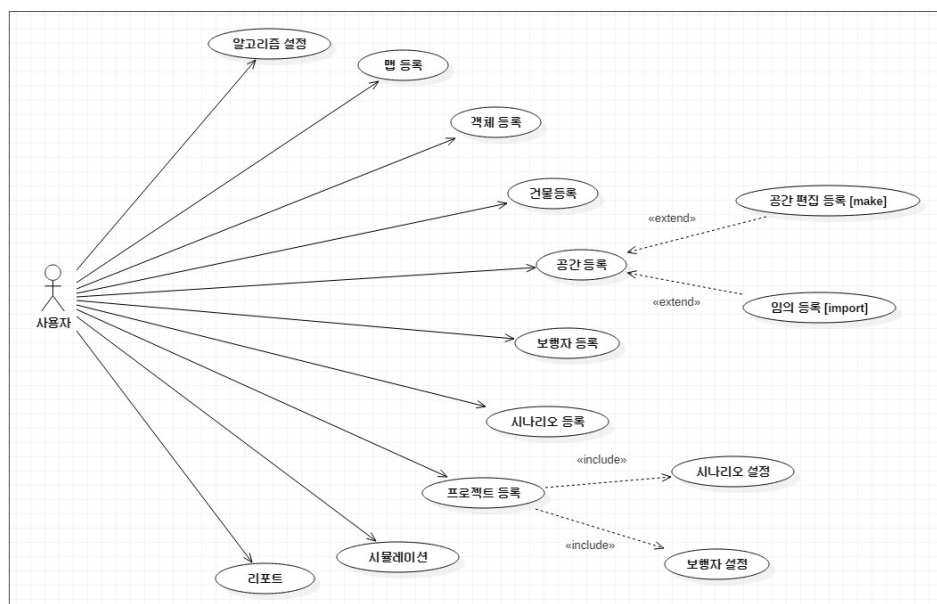


<충돌 예상 시 우선 순위 선정을 위한 기준>

- 병목 현상 회피 전략 : 셀 기반 추월, User Interface 기반 추월 방법 등의 적용

③ 테러/재난 상황 별 시뮬레이터 시연

- 시뮬레이터 구축 과정에서 Use Case Diagram을 생성하였으며, 재난 상황 및 이에 의해 발생하는 2차 재난 상황 등 여러 상황을 가정하고 각각의 상황에 따른 시뮬레이터 시연 수행



<Use Case Diagram>



〈테러/재난 상황 별 시뮬레이션 시연 예시〉

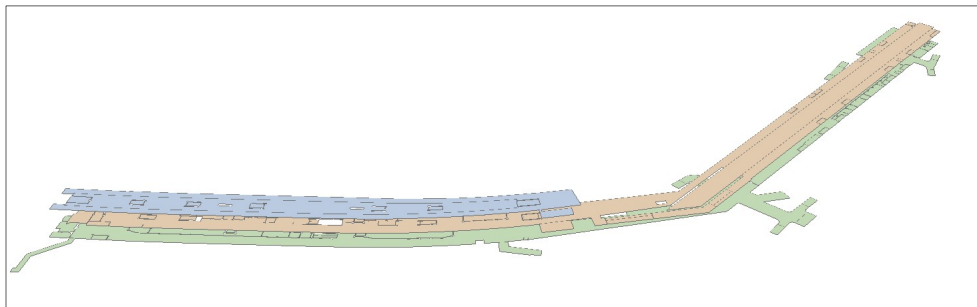
④ S/W 고도화를 위한 개발 및 성능 검증

- 데이터 관리 기능, 뷰 기능, 시뮬레이션 기능 등 각각의 기능 및 세부 항목들을 대상으로 작동 여부에 대한 내부 테스트를 수행하였으며, 대부분의 기능에서 큰 문제가 없는 것으로 나타났으나 일부 항목에 있어서 사용자의 편의성이 떨어진다는 결론을 도출하고 SW 고도화를 위한 추가 개발 작업 수행

(라) 테러/재난 대피 시뮬레이터 개선 및 상용화 추진

① 2차년도에는 테스트베드를 시립대학교 21세기관에 한정된 연구를 진행했다면, 3차년도에는 다양한 유형의 건물에도 본 연구의 적용 가능성을 검증하기 위하여 서울시청역사(지하철역사), 부천 드림모아빌딩(고층복합쇼핑몰)을 추가 테스트 베드로 선정하여 적용 연구 수행

- 3개의 지하철노선이 환승하는 서울시청역사는 일반 건물과 달리 얇고 긴 형태의 공간 구조임에 따라, 일반적인 형태의 웹시스템에서는 한 눈에 대피 경로를 알아보기 힘들다는 애로점이 있었지만, 층간 이동을 비롯하여 대피 경로 탐색에는 문제가 없었음



<서울시청역사 3D 공간 네트워크>

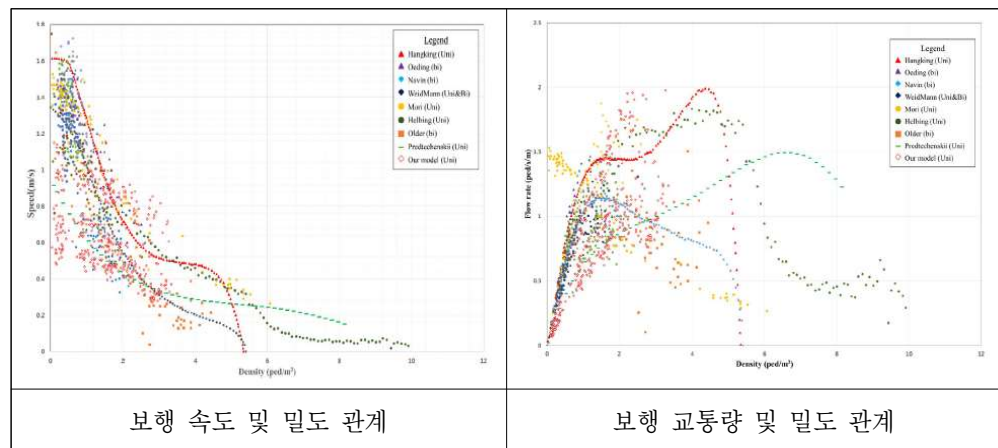
- 부천 드림모아 빌딩의 경우, 지하 4층, 지상 10층 규모의 고층 쇼핑몰로써 지하층과 1층, 2~6층, 영화관이 존재하는 7~8층 등 층별로 공간 구성에 특이점이 있었으나 서울시청역사와 마찬가지로 대피 경로 탐색은 유용하게 가능하였음



<부천 드림모아 빌딩>

② 시뮬레이터 S/W 개선

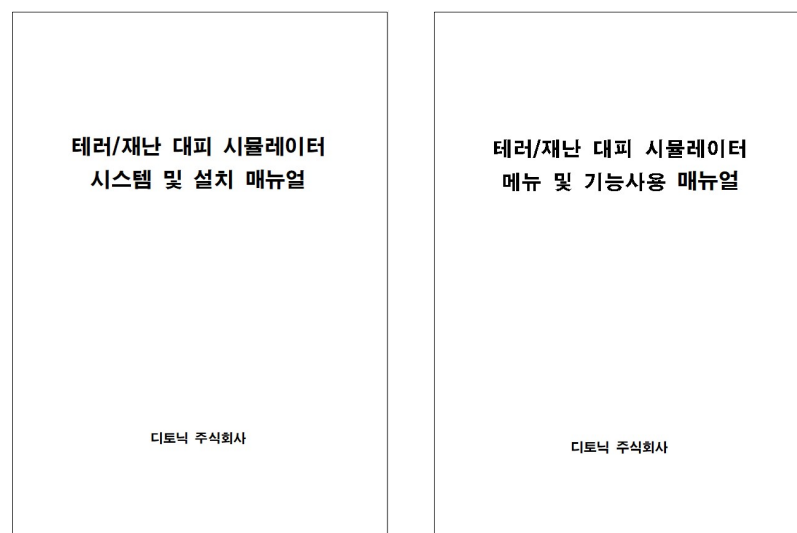
- 2차년도에 테스트베드인 서울시립대학교 21세기관에서 시행된 모의시험 대 피 결과를 바탕으로 파라미터를 추가하며, 시뮬레이션 설정 범위를 확대하여 정확성 개선
- 협동연구기관의 3차년도 연구 결과인 고도화된 CA알고리즘의 반영
- 고도화된 CA 알고리즘 반영 후 보행교통류 Fundamental Diagram과의 Equation 비교를 통한 정확도 향상 확인



〈보행교통류를 Fundamental Diagram을 이용한 정확성 분석〉

③ 패키지 작업

- 향후 추진될 시뮬레이터 S/W의 상용화를 위하여 사용자 설치 및 이용에 필요한 구동 환경(시스템) 설치 매뉴얼과 메뉴/기능 사용 매뉴얼 등을 작성하였으며, 실제로 처음 이용해보는 사용자에게도 실제로 용이하게 사용 가능한지 내부 검증 수행



(2) 핵심성과 B : 테러/재난 상황 대피 플랫폼

(가) 테러/재난 대피 플랫폼 기술 조사

- ① 국내 외 학술 논문, 연구보고서, 학위논문 등을 대상으로 선행 연구사례 문헌 조사
- ② 기술조사 결과에 따르면 테러와 재난 상황에서 선제적 대응 조치를 취하는 것은 테러/재난에 따른 피해를 줄이는 측면에서 매우 중요하며 실내 공간의 대 테러/재난 시뮬레이션 및 경로 제공을 이용한 적절한 후속 대처 방안 제시를 통해 회복 탄력성을 강화시켜 피해를 최소화 할 수 있게 하는 순기능이 요구됨. 이러한 상황에 대처하기 위하여 이용자 친화형 플랫폼 개발이 필요한 실정임

구분	국내 프로그램 시연 화면
RFID를 이용한 피난유도시스템	
CA 모델을 이용한 GIS 기반 화재 대피 시뮬레이션	
승객 위치정보 기반 지하철 분산대피 안내 시스템	
스마트 장치 기반의 재난대피 시스템	



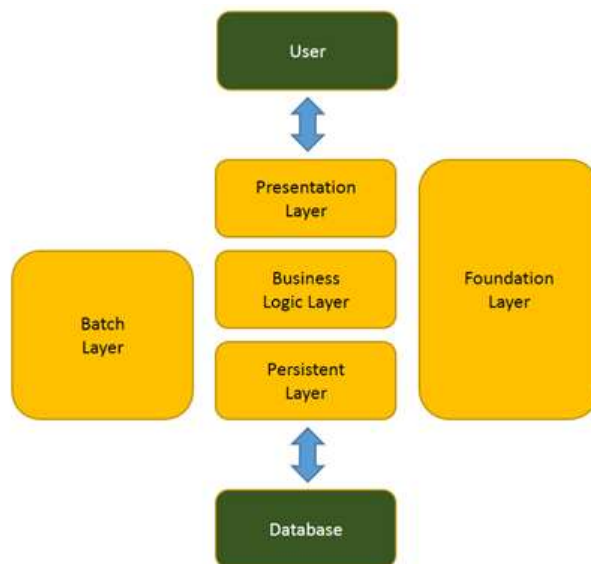
〈대만의 Active Disaster Response System〉

- 대만의 ADRS는 대응과 대피를 용이하게 하고 충분한 시간 제공을 위해 개발되었으며 이 시스템은 건물 내부 관리 시스템과의 탁월한 연계를 통해 건물 출입구, 전력 및 가스 등 자원 시스템을 컨트롤하고, 이를 통하여 신속한 대피와 2차 피해 예방을 가능하게 하지만, 건물 내 재실자가 실제로 어떠한 경로를 통해 건물 밖으로 탈출하는 지에 대한 구체적인 방향성을 제시하지 못 한다는 한계점 존재
- 국내에서는 건물 내부에 기 설치된 센서들을 이용하여 화재 발생 상황과 피난자의 실시간 위치를 파악하고, 중앙 통제 서버에서 정보를 종합하여 피난자를 유도할 출구를 결정하고 이에 따라 가변 유도등과 안내 방송 시스템을 동작시켜 감시 카메라를 화재의 방향으로 향하게 하여 피난자의 대피를 용이하게 하는 RFID 기반의 피난 유도 시스템 및 CA 모델을 적용하여 실내 이동자의 움직임을 나타내고 실내 데이터가 지리적으로 참조된 데이터를 이용하는 GIS 기반의 화재 대피 시뮬레이션이 개발되어 향후 개발 될 실시간 방재 시스템에 GIS 데이터를 적용한 시뮬레이션을 적용할 수 있게 지원하는 연구가 진행됨
- 이동 로봇의 경로 탐색에 사용되는 퍼텐셜 필드 방식을 이용하여 화재 상황에서 대피자를 로봇에, 화재가 발생한 위치를 장애물로 비유하여 최적의 대피 경로를 탐색하는 연구 또한 진행되었으며 탐색된 최적 경로를 적용한 유도등의 대피 방향 동작 및 모바일 단말에 무선으로 정보 제공 등의 향후 과제가 남아있음

- FDS와의 연계를 통해 진행된 화재 피난 시뮬레이션 구축 연구의 경우, 건축 설계에서 사용되는 DXF 파일과의 연동 등을 통해 실무 활용도가 높으며, 3차원 객체 기반 모델을 활용하여 공간 구축이 용이하다는 장점이 있지만 실제 화재 상황 시 발생할 수 있는 병목 현상 및 우회현상을 비롯하여 재실자의 심리적 상황, 건축물 재실 속성 등에 대한 반영이 되지 않는다는 한계가 존재
- 객차 및 역차에 설치되어 있는 AP와 스마트폰을 이용하여 승객 수를 추정하고, 이를 기반으로 대피 경로 안내를 통해 승객을 적절하게 분산하여 대피시킬 수 있는 시스템이 개발되었으며 이는 빌딩 내 탈출을 대상 상황으로 하는 본 과제에서도 참고할 만한 점이 있다고 사료됨

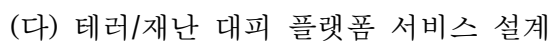
(나) 테러/재난 대피 플랫폼 프레임워크 설계

- ① 현실감 있는 시뮬레이션 프로그램으로 이용자 친화형 플랫폼을 통한 맞춤형 정보를 제공하기 위한 플랫폼을 개발하기 위한 실행환경, 개발환경을 정의하고 설계함
- ② 플랫폼 프레임워크 구성요소
 - ㉠ Runtime environments : 플랫폼 프레임워크의 실행환경은 다음 그림과 같이 5개의 Layer로 구성됨

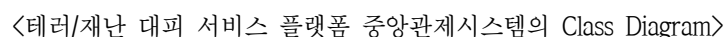


- Presentation Layer(화면처리)
- Business Logic Layer(업무처리) : 업무 프로그램의 업무 로직을 담당하는 서비스로 업무 흐름 제어, 트랜잭션 관리, 에러 처리 등의 기능 제공
- Foundation Layer(기반처리) : 실행 환경 서비스 간에 공통적으로 사용되는 기능 제공

- ④ Development environments : 테러/재난 대피 플랫폼 프레임워크의 개발환경은 다음 그림과 같이 4개의 도구로 구성됨

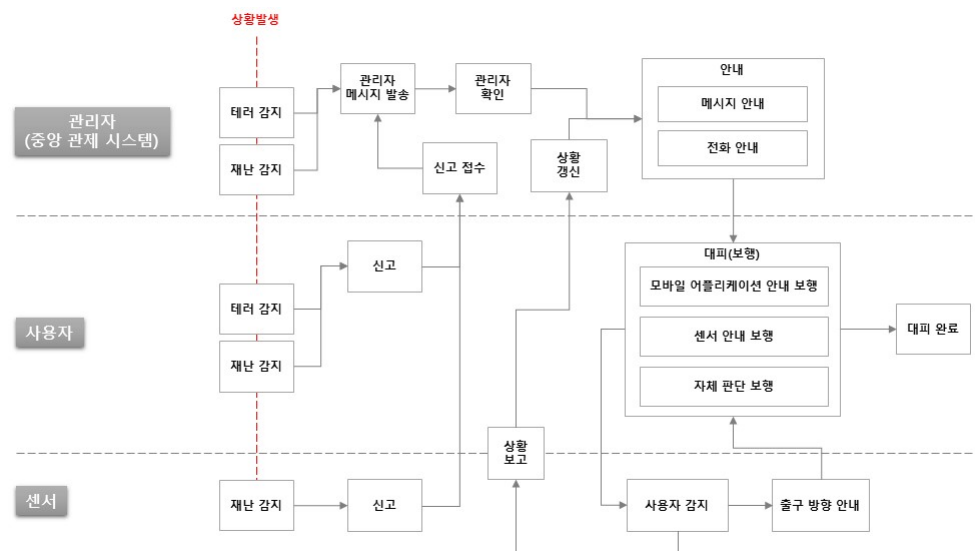


- UML(Unified Modeling Language) 방법론을 통한 서비스 시나리오를 도출하여 설계를 진행하였으며, 이때 위치 정보 획득, 재난 감지 등의 다양한 전제 사항도 함께 고려하여 플랫폼 설계 시 Gateway 형태로 반영함
- 중앙관제시스템, 키오스크, 모바일 어플리케이션, 감지 및 알림 시스템을 대상으로 각각의 Use Case Diagram, Sequence Diagram, Class Diagram들을 설계함



② 테러/재난 대피 서비스 플랫폼 초기 설계

- 스크린, 햅틱), 물리적 체험 장비(모션 및 플랫폼) 기술 등 플랫폼 구성 요소들에 대한 기술 연구 및 플랫폼의 1단계 수준의 설계 산출물을 도출하고, 지속적인 연구를 수행
- 플랫폼 구성 요소 정의 및 스토리 보드 작성
 - 공간 구축 프로세스
 - 센서 장비 정보 구축 프로세스
 - 모니터링 프로세스
 - 테러/재난 상황 대응 프로세스



〈테러/재난 상황 대응 프로세스〉

- 중앙관제시스템
- 키오스크
- 모바일 어플리케이션
- 플랫폼 기능 정의서 작성
 - 통합 관제, 공간DB 관리, 보행자 관리, 장비 정보 관리, 테러/재난 대응 준비, 재난 자동 감지, 테러/재난 신고, 테러/재난 대응 등 8개의 1 level 위계의 기능을 기준으로 2 level 단의 기능 총 28개의 세부 기능에 대한 정의서 작성
- 시스템 아키텍처링
 - 오프라인 통신 장애 상황을 위한 MFSA(Mobile Field Service Application) 제공을 기반으로 사전 공간 정보 및 최단 경로 DB를 선 구축하고 시야 미

확보 상태 대응을 위한 센서 활용 안내 제공 등의 특징을 목표로 함

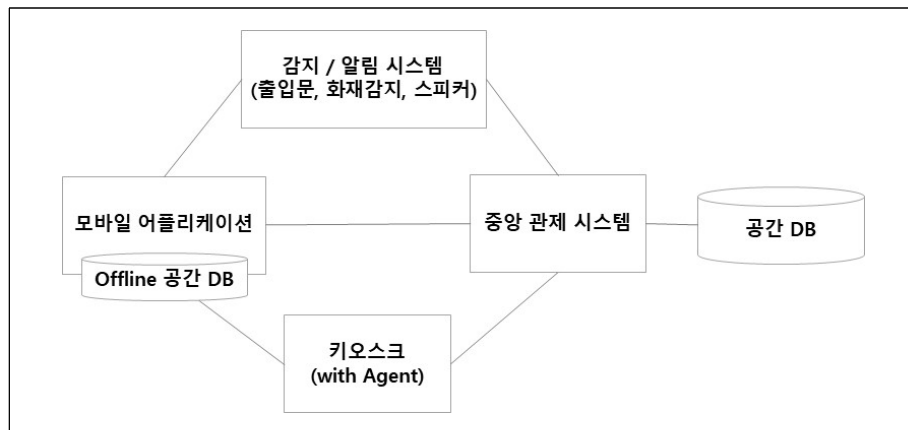
- 중앙 관제 시스템, 키오스크 시스템, 모바일 어플리케이션 시스템, 감지/알림 시스템에 대한 아키텍처링

· 소프트웨어 아키텍처링

- MSA(Micro Service Application)기반 플랫폼으로 중앙 관제 시스템 및 건물 내 키오스크와 센서, 스마트폰과의 연동 퍼포먼스 향상 및 서비스 확장, S W Load Balancing 처리를 목적으로 함
- 주요 구성 항목 : Spring Boot, Lombok, Ribbon(Client Side Load Balancer), Eureka(Dynamic Service Discovery), Spring Cloud Config, Zipkin

(다) 테러/재난 대피 플랫폼 서비스 구현

① 구축하고자 하는 플랫폼의 구성 요소 및 요소별 관계 정의



<시스템 관계도>

구분	inbound / outbound
공간 DB	건물 데이터 정보 연동
	공간 형태 정보 연동
	공간 객체 정보 연동
	이동(보행) 경로 정보 연동
	센서 정보(위치, 상태) 연동
	관리자 정보 연동
	보행자 위치 정보 연동
	보고서 정보 연동

<관제시스템과 공간DB간의 연동>

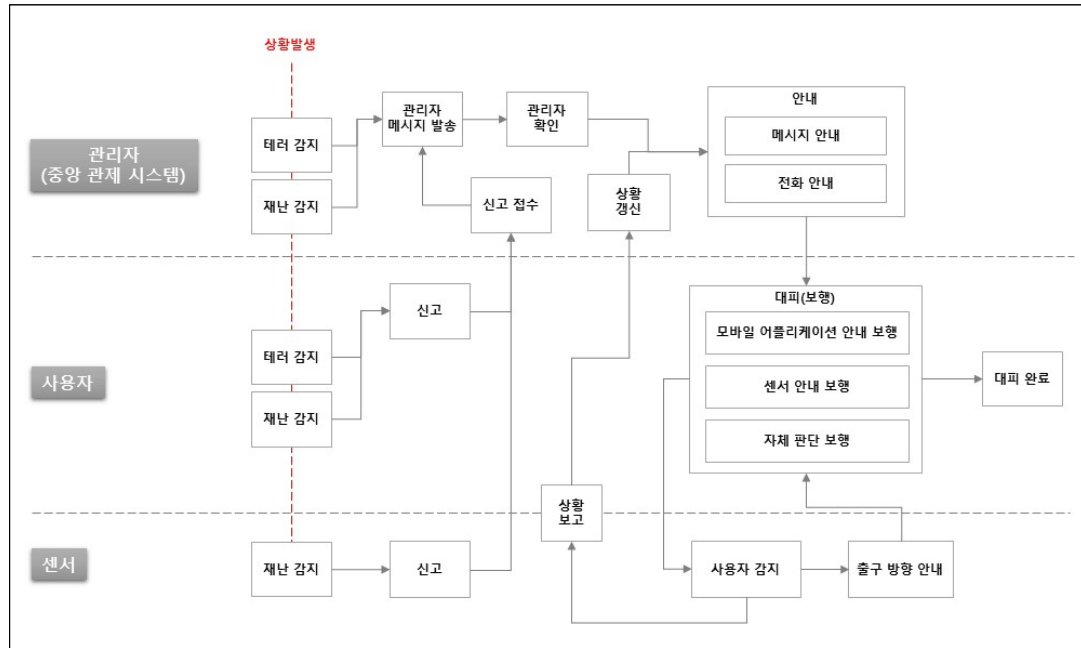
- ② 기능 정의 : 2차년도에 구축한 시뮬레이터의 대피 경로 제공 알고리즘을 활용하였으며 설문을 통한 요구사항 분석을 통해 재실자에게 대피 경로를 제공하며 현황 관리의 역할을 하는 관제시스템, 재실자가 자신의 위치를 기반으로 대피 경로를 제공받을 수 있는 스마트폰 애플리케이션, 건물 내 위치하여 해당 위치에서의 대피 경로 및 실내 맵을 확인할 수 있게 지원하는 키오스크 등 3가지 항목에 대한 기능 정의

LEVEL1	LEVEL2	상세
모바일 애플리케이션	보행자 정보 등록하기	- 보행자의 나이, 성별, 질병 유무 등 보행에 영향을 미치는 정보를 입력하고 서버에 해당 정보 전송
	건물관리	- 중앙관제시스템에 등록된 건물들을 목록으로 표출 - 해당 건물의 정보 및 공간 목록 표출 - 공간 목록을 통한 층별 실내맵 확인.
	시뮬레이션	- 재실자의 건물, 공간, 위치정보를 취합하여 관제시스템에 전송하면 현재위치로부터 출구까지의 대피 경로를 평면도 상에 나타냄
	대피안내	- 재실자의 건물, 공간, 위치정보를 취합하여 관제시스템에 전송하면 스마트폰의 카메라 화면에서 대피 경로를 화살표 형태로 표출하여 경로 제공
	재난 신고	- 재난(화재, 테러) 상황에 따라서 신고하기 버튼을 눌러 관제시스템에 신고

〈모바일 애플리케이션의 기능 정의 예시〉

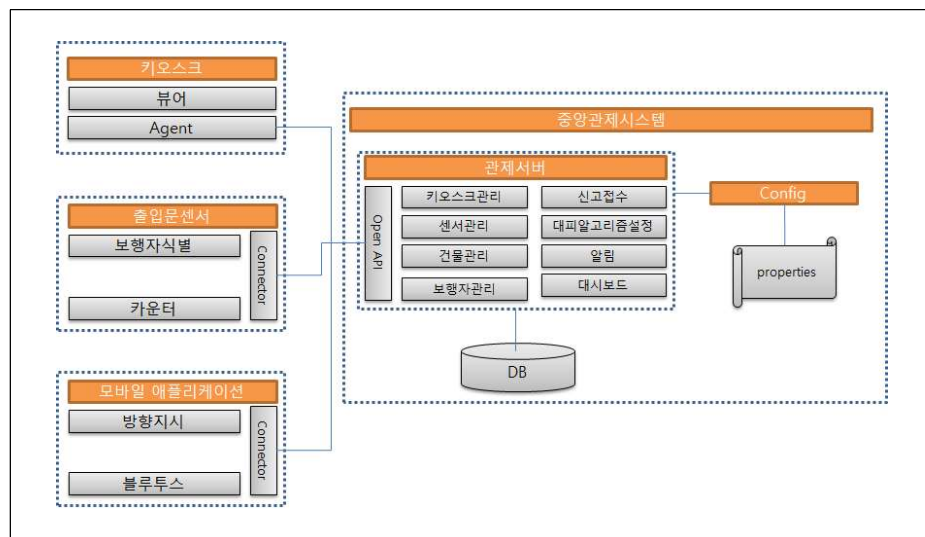
- ③ 플랫폼 서비스의 스토리보드 작성 및 프로세스 정의 : 정의된 기능을 바탕으로 스토리 보드 작성 및 다음의 프로세스들에 대해 세부 내용 정의 수행

- 공간 구축 프로세스
- 센서 장비 정보 구축 프로세스
- 모니터링 프로세스
- 테러/재난 상황 대응 프로세스
- 중앙관제시스템
- 키오스크
- 모바일 애플리케이션



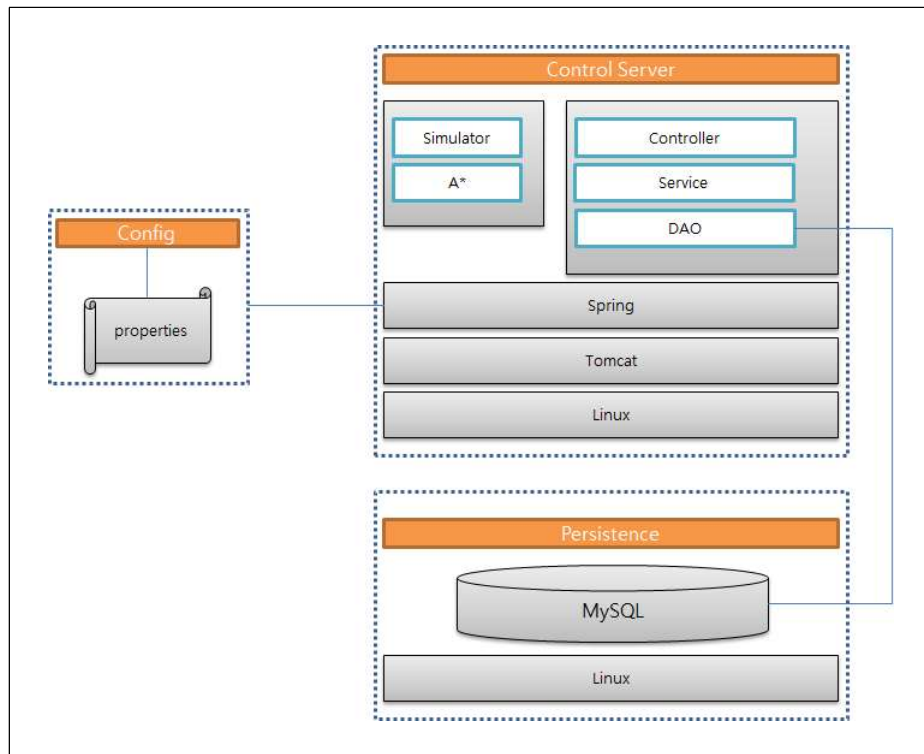
<테러/재난 상황 대응 프로세스>

- ④ 플랫폼 시스템 아키텍처 : 중앙 관제시스템, 키오스크, 모바일 어플리케이션을 비롯하여 재난 감지 및 알림 시스템 등에 대한 시스템 아키텍처를 다음 그림들과 같이 구축함



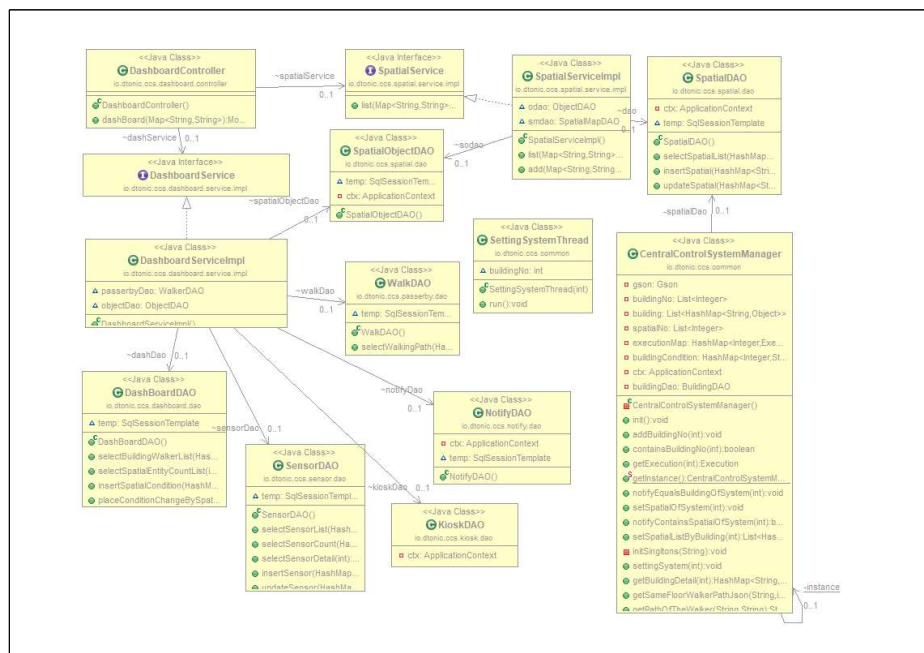
<중앙 관제 시스템 아키텍처 구성도>

- ④ 플랫폼 소프트웨어 아키텍처 : 중앙 관제시스템, 키오스크, 모바일 어플리케이션을 비롯하여 재난 감지 및 알림 시스템 등에 대한 소프트웨어 아키텍처를 다음 그림들과 같이 구축함



<중앙 관제 시스템 소프트웨어 구성도>

- ⑤ 플랫폼 UML 설계 : 중앙 관제시스템, 키오스크, 모바일 어플리케이션의 Use case diagram, Sequence diagram, Class diagram 설계 수행



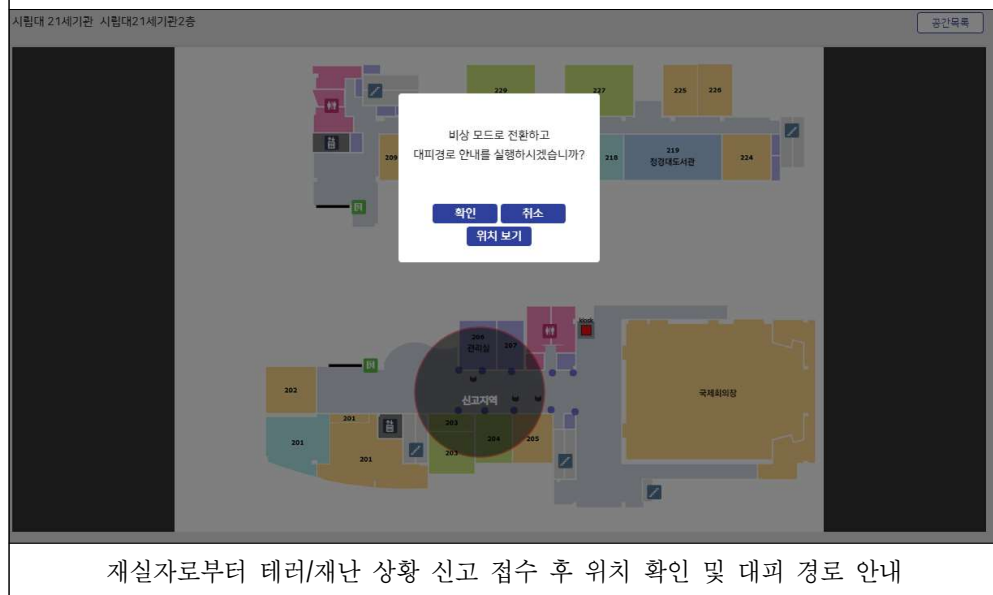
<관제시스템 : 실시간 관제 기능의 Class diagram>

⑤ 플랫폼 실 구현 : 상기의 설계 내용을 바탕으로 테러/재난 대피 플랫폼 서비스를 실제로 구현하였으며 구현 결과는 다음과 같음

㉓ 중앙 관제 시스템 : 중앙 관제 시스템은 재난/테러 상황에 따른 대응을 위한 대시보드, 즉 모니터링 메인 화면과 가상의 사용자와 실제보행자를 기반으로 가상 시뮬레이션을 산출하는 시뮬레이터로 나눌 수 있으며, 이를 위해 관제를 위한 기준 데이터 관리와 실시간 모니터링을 위한 데이터 관리 영역으로 나뉨



메인 화면 : 평면도 및 건물과 공간 목록 표출



재실자로부터 테러/재난 상황 신고 접수 후 위치 확인 및 대피 경로 안내

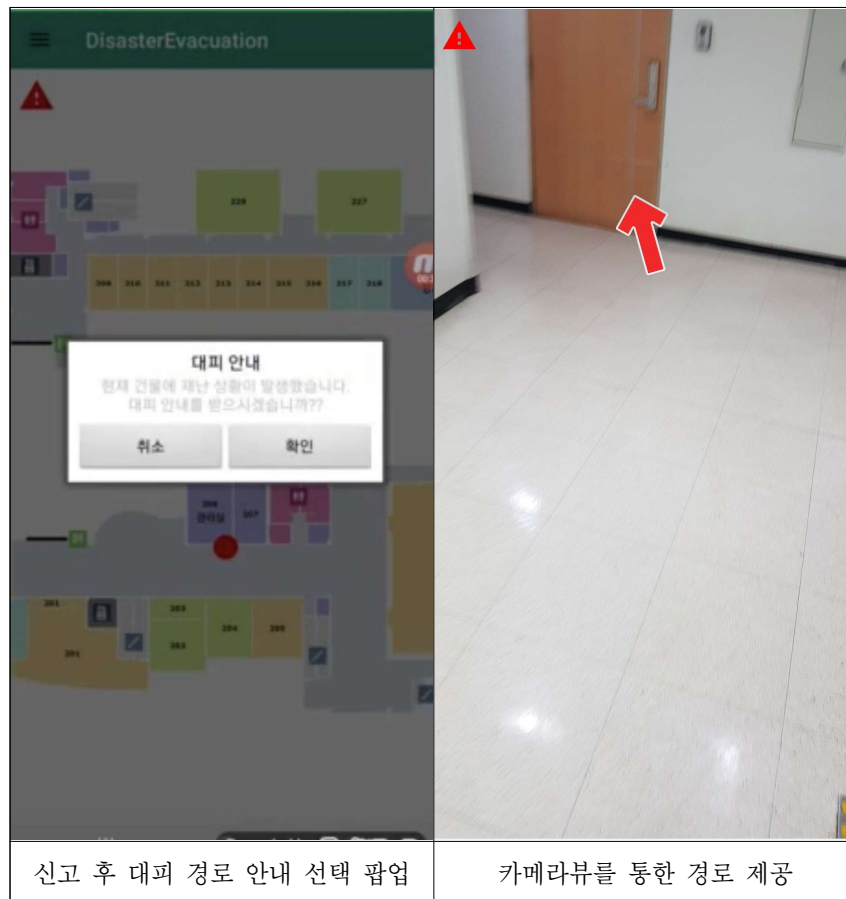
<테러/재난 대피 플랫폼 - 관제시스템 사용 화면>

- ㉠ 키오스크 : 키오스크는 일반인과 교통약자가 쉽게 접근하고 간편하게 이용을 해야 하므로 복잡하지 않고 어렵지 않은 UI와 스크린 터치 방식을 이용하여 누구나 쉽게 조작이 가능하도록 제공. 평시 또는 대피 상황에서 스마트폰이 없거나 있어도 사용하지 못 하는 보행자를 위해 사용되며, 중앙 관제 서버와의 통신을 통해 대피 상황의 가변적인 공간 정보를 업데이트하여 변경된 경로를 실시간으로 계산하여 제공함



〈테러/재난 대피 플랫폼 - 키오스크 사용 화면〉

- ㉔ 애플리케이션 : 재실자로 하여금 보행에 영향을 미치는 나이, 성별, 장애 유무 등에 대한 정보를 입력받고, 이를 서버로 전송한 뒤 재실자의 유형에 알맞은 대피 경로를 제공받기 위한 시스템. 또한 재실자의 현 위치 기반으로 해당 구역에 비상 상황 발생 시 신고하기 기능을 통해 관제 시스템에서는 해당 공간에 대한 실시간 현황 관제가 가능함



〈테러/재난 대피 플랫폼 - 애플리케이션 사용 화면〉

(3) 핵심성과 C : CA기반 보행자 대피 알고리즘 개발

(가) 연구수행 전략 및 방법론

① 기존 CA 모형 검토

- ㉠ CA기반 보행 모형의 이동 규칙은 다음과 같이 정의되며 상세한 구조는 아래와 같음
- ㉡ CA 모형은 미시적이고 분리 된 구조로 구성되며, 또한 정적 및 동적 플로어 필드 모델에도 포함됨
- ㉢ 대피 과정에서 정적 바닥 필드 $S_{i,j}$ 는 출구까지의 최단 거리를 나타내며, 전체 강도는 셀 (i, j)에서 출구까지의 거리에 반비례하여 설정됨.
- ㉣ 다이내믹 플로어 필드 $D_{i,j}$ 는 보행자가 남긴 가상 트레이스이며 확산과 부식이 라는 자체 역 동성이 있기 때문에 확산의 확대, 희석에 따라 추적이 사라짐
- ㉤ 각각의 보행자는 특정 전이 확률 $P_{i,j}$ (equ. 1)에 따라 각각의 이산 시간 단계 $t \rightarrow t + 1$ 에서 비어있는 하나의 이웃 셀 (i, j) 정적 및 동적으로 결정됨
- ㉥ Agent의 전이 확률은 아래식에 따라 계산됨.

$$P_{i,j} = N \exp(k_s S_{i,j}) \exp(k_D D_{i,j}) (1 - \eta_{i,j}) \epsilon_{i,j} \quad (1)$$

Where, k_s = Sensitive parameter of static floor field

$S_{i,j}$ = Static value

k_D = Sensitive parameter of dynamic floor field

$D_{i,j}$ = Dynamic value

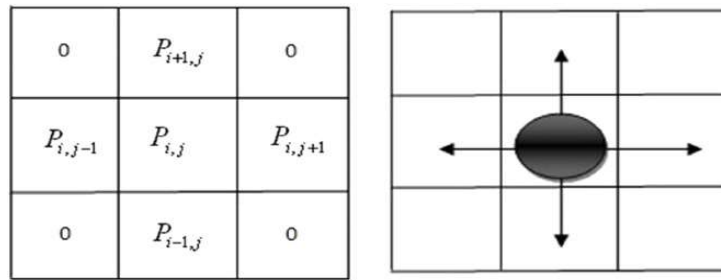
$$\eta_{i,j} = \begin{cases} 0, & \text{if the cell}(i,j) \text{ is empty,} \\ 1, & \text{if the cell } (i,j) \text{ is occupied by a boundary} \end{cases} \quad (2)$$

$$\epsilon_{i,j} = \begin{cases} 0, & \text{if the cell}(i,j) \text{ is occupied by a pedestrian} \\ 1, & \text{if the cell } (i,j) \text{ is empty} \end{cases} \quad (3)$$

With the normalization

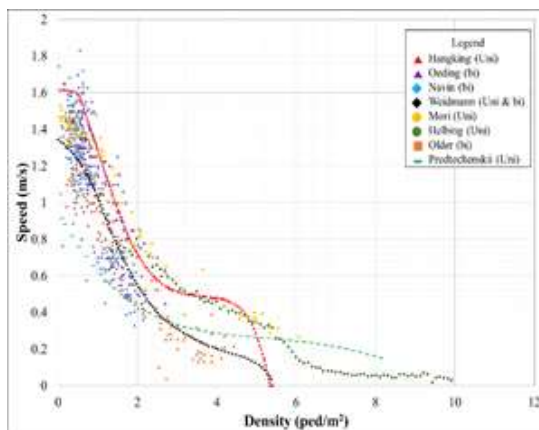
$$N = [\sum \exp(k_s S_{i,j}) \exp(k_D D_{i,j}) (1 - \eta_{i,j}) \epsilon_{i,j}]^{-1} \quad (4)$$

- ㉦ 기존 연구의 이동규칙에 따라 시행된 선행연구에서는 그림 5와 같은 이동규칙에 따라 Agent가 이동하게 됨

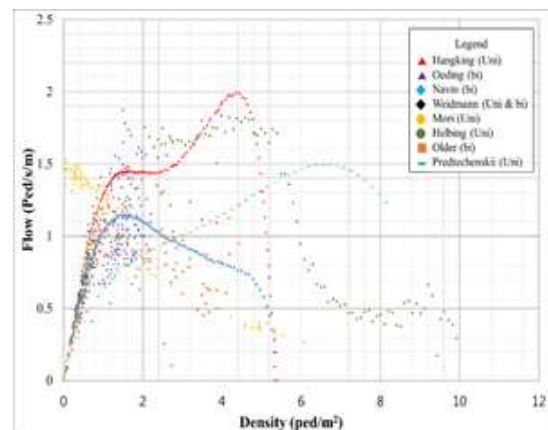


<CA target cells at the next time step.(The von Neumann model)>

- ㉠ 또한 추가적으로 본 연구에서 제시하는 모형의 결과 값과 기존 연구의 결과 값을 비교하여본 모형의 결과를 검증함
- ㉡ 모형을 검증하기 위한 메타 데이터는 (www.asim.uni-wuppertal.de/en/database.html)에서 제공하였음
- ㉢ 아래의 연구자들의 연구 데이터를 이용하여 분석하였음
- Hanking and Wright
 - Helbing
 - Mori and Tsukaguchi
 - Navin and Wheeler
 - Oeding
 - Older
 - Predtechenskii and Milinskii
 - Weidmann



Velocity-density relations



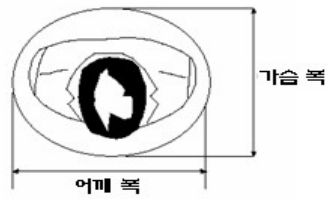
flow-density relations

<Uni- and bi-directional pedestrian flow from some previous studies.

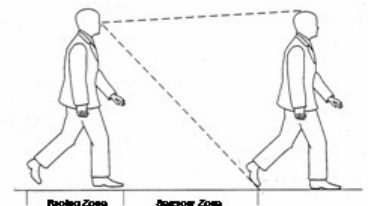
(Acknowledgement:The data are from www.asim.uni-wuppertal.de/en/database.html)>

② Mixed pedestrian CA model

- ㉓ 이 모델에서 정의되는 물리적 요소는 단위 셀, 이웃 및 보행자로 구성됨
- ㉔ 먼저 단위 셀을 정의하며 본 연구에서 단위 셀의 크기는 50cm x 50cm로 정의됨.
- ㉕ 단위 셀의 크기는 사람의 가슴 둘레, 어깨 넓이 및 완충 면적을 고려하여 결정됨.
- ㉖ 보통의 보행자의 경우, 단일 유닛 셀이 사용되지만 교통약자는 정상적인 보행자와 동일한 구역의 셀을 차지하지 않음

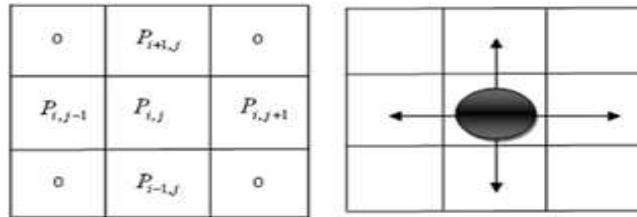


<인체타원>



<보폭대와 지각대>

<보행공간 영역>



<Cellular automata target cells at the next time step.

(The von Neumann neighborhood is used for this model)

- ㉗ 예를 들어, 휠체어 사용자의 최소 통로 폭은 80cm이고 유효 폭은 최소 90cm로 조사됨 (Kim et al. 2009)
- ㉘ 따라서 본 연구에서는 교통약자의 물리적 특성을 반영한 혼합 보행자 이동 규칙을 포함한 CA 모델을 제시하였음



[그림 80] Concept of mixed pedestrian traffic flow in CA

Step 1: Forward movement rule

$$P_{i,j} = N \exp(k_s S_{i,j}) \exp(k_D D_{i,j}) (1 - \eta_{i,j}) \epsilon_{i,j} \quad (5)$$

$$\text{Max}(P_{i,j+1}, P_{i,j+1} + P_{i+1,j+1}) \quad (6)$$

Step 2: Side movement rule

$$P_{i,j} = N \exp(k_s S_{i,j}) \exp(k_D D_{i,j}) (1 - \eta_{i,j}) \epsilon_{i,j} \quad (7)$$

With the normalization,

$$N = \left[\sum \exp(k_s S_{i,j}) \exp(k_D D_{i,j}) (1 - \eta_{i,j}) \epsilon_{i,j} \right]^{-1} \quad (8)$$

$$P_l = \max(P_{i-1,j}, P_{i-1,j-1} + P_{i-1,j}) \quad (9)$$

$$P_r = \max(P_{i+1,j}, P_{i+1,j-1} + P_{i+1,j}, P_{i+2,j} + P_{i+2,j-1}) \quad (10)$$

If $P_l < P_r$ then move right side

Else move left side

Where, α = left side movement factor of each agent group

β = right side movement factor of each agent group

LEGEND

Movable cell
Current cell
Immovable cell

WEST → EAST DIRECTION

0	$P_{i-1,j}$	0
$P_{i,j-1}$	$P_{i,j}$	$P_{i,j+1}$
0	$P_{i+1,j}$	0

Agent group 1
Normal / Children

0	$P_{i-1,j}$	0
$P_{i,j-1}$	$P_{i,j}$	$P_{i,j+1}$
$P_{i+1,j-1}$	$P_{i+1,j}$	$P_{i+1,j+1}$
0	$P_{i+2,j}$	0

Agent group 2
Holding crutches

0	$P_{i-1,j-1}$	$P_{i-1,j}$	0
$P_{i,j-1}$	$P_{i,j-1}$	$P_{i,j}$	$P_{i,j+1}$
0	$P_{i+1,j-1}$	$P_{i+1,j}$	0

Agent group 3
Senior with stick

0	$P_{i-1,j-1}$	$P_{i-1,j}$	0
$P_{i,j-2}$	$P_{i,j-1}$	$P_{i,j}$	$P_{i,j+1}$
$P_{i+1,j-2}$	$P_{i+1,j-1}$	$P_{i+1,j}$	$P_{i+1,j+1}$
0	$P_{i+2,j-1}$	$P_{i+2,j}$	0

Agent group 4
Wheelchair

<modeling the movement of each agent>

(나) 보행약자 모의 피난 실험

① 모의 피난실험 개요

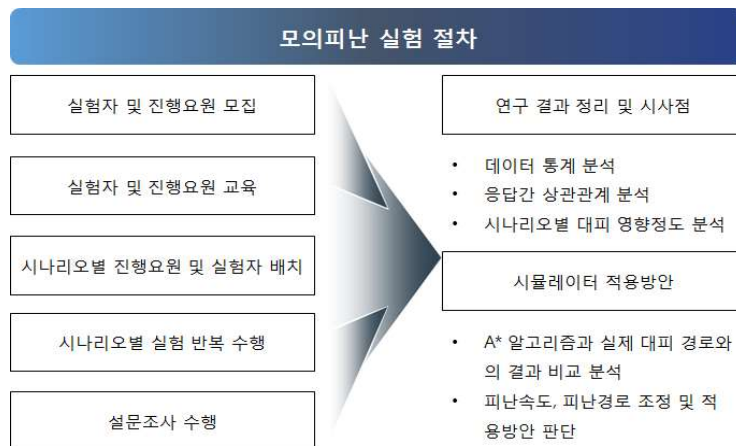
㉠ 모의피난 실험 배경 및 목적

- 현장 모의실험을 통한 시뮬레이터의 현실적 묘사 강화
- 현장 실험을 통한 인간의 실제 심리 분석 및 반영
- 설문조사를 통한 실제 대피상황의 심리적 데이터 수집

㉠ 실제 실험을 통해 현실적인 피난 대피 시뮬레이션 개발 수행에 기여

구분	내용
개요	실제 실험을 통해 현실적인 피난 대피 시뮬레이션 개발 수행
목적	보행약자 비율에 따른 대피시간 측정 및 보행속도 분석
실험일시	2018.02.04. & 2018.02.11. & 2018.02.18.
실험장소	서울시립대학교 21세기관
피실험자 인원	200명 (일반 120명, 교통약자 80명)
진행요원 인원	20명(서울시립대학교 재학생 구성)

<모의 피난실험 개요>



[그림 83] 모의피난 실험 절차

㉠ 실험목적에 부합하도록 대피시 이동 규칙 및 이동방법에 대한 사전교육 진행

- 앞 보행자 추월 금지
- 피실험자는 진행요원에게 대피 및 우회경로에 대한 정보요청 불가
- 진행요원은 피실험자에게 대피 및 우회경로에 대한 정보제공 불가

② 모의 피난실험 시나리오

- ㉓ 실내 재난상황에서는 다양한 시나리오가 발생할 수 있으며, 본 실험에서는 발생 가능한 시나리오를 선정하여 3개의 시나리오를 최종 선정하였으며 시나리오의 구성은 다음과 같음
- ㉔ 시나리오의 작성은 소방시설 등의 성능위주설계방법 및 기준 제 4조의 『화재 및 피난시물레이션의 시나리오 작성 기준』에서 제시하는 방법을 참고하였으며 선정된 시나리오 및 세부 내용은 아래와 같음

구분	시나리오 내용
시나리오1	보행자 90%, 교통약자 10%
시나리오2	보행자 60%, 교통약자 40%
시나리오3	보행자 30%, 교통약자 70%

〈모의 피난실험 시나리오〉

③ 모의 피난실험 구축

- ㉕ 피난실험은 시나리오 구성에 따라 각 층 진행요원 및 피실험자를 배치하며, 아래 그림은 각 층별 구조와 진행요원 및 피실험자의 배치를 나타냄
- ㉖ 진행요원은 출구와 경로를 폐쇄하는 진행요원과 이동 인원을 카운트하는 진행요원으로 역할을 각각 구분함
- ㉗ 층별 피실험자는 저층부보다 고층부에 더 많이 배치하여 심각한 피해가 예상되는 상황을 가정



2층	진행요원별 역할 진행요원 : 이동 인원 카운트 진행요원 : 출구 및 경로 폐쇄 진행요원 : 진행 안전 요원 Scenario #1 Normal pedestrian ratio(%) 90:10 Scenario #2 Normal pedestrian ratio(%) 60:40 Scenario #3 Normal pedestrian ratio(%) 30:70 
3층	진행요원별 역할 진행요원 : 이동 인원 카운트 진행요원 : 출구 및 경로 폐쇄 진행요원 : 진행 안전 요원 Scenario #1 Normal pedestrian ratio(%) 90:10 Scenario #2 Normal pedestrian ratio(%) 60:40 Scenario #3 Normal pedestrian ratio(%) 30:70 
4층	진행요원별 역할 진행요원 : 이동 인원 카운트 진행요원 : 출구 및 경로 폐쇄 진행요원 : 진행 안전 요원 Scenario #1 Normal pedestrian ratio(%) 90:10 Scenario #2 Normal pedestrian ratio(%) 60:40 Scenario #3 Normal pedestrian ratio(%) 30:70 

5층	진행요원별 역할 진행요원 : 이동 인원 카운트 진행요원 : 출구 및 경로 폐쇄 진행요원 : 진행 안전 요원 Scenario #1 Normal pedestrian ratio(%) 90:10 Scenario #2 Normal pedestrian ratio(%) 60:40 Scenario #3 Normal pedestrian ratio(%) 30:70 
6층	진행요원별 역할 진행요원 : 이동 인원 카운트 진행요원 : 출구 및 경로 폐쇄 진행요원 : 진행 안전 요원 Scenario #1 Normal pedestrian ratio(%) 90:10 Scenario #2 Normal pedestrian ratio(%) 60:40 Scenario #3 Normal pedestrian ratio(%) 30:70 
7층	진행요원별 역할 진행요원 : 이동 인원 카운트 진행요원 : 출구 및 경로 폐쇄 진행요원 : 진행 안전 요원 Scenario #1 Normal pedestrian ratio(%) 90:10 Scenario #2 Normal pedestrian ratio(%) 60:40 Scenario #3 Normal pedestrian ratio(%) 30:70 

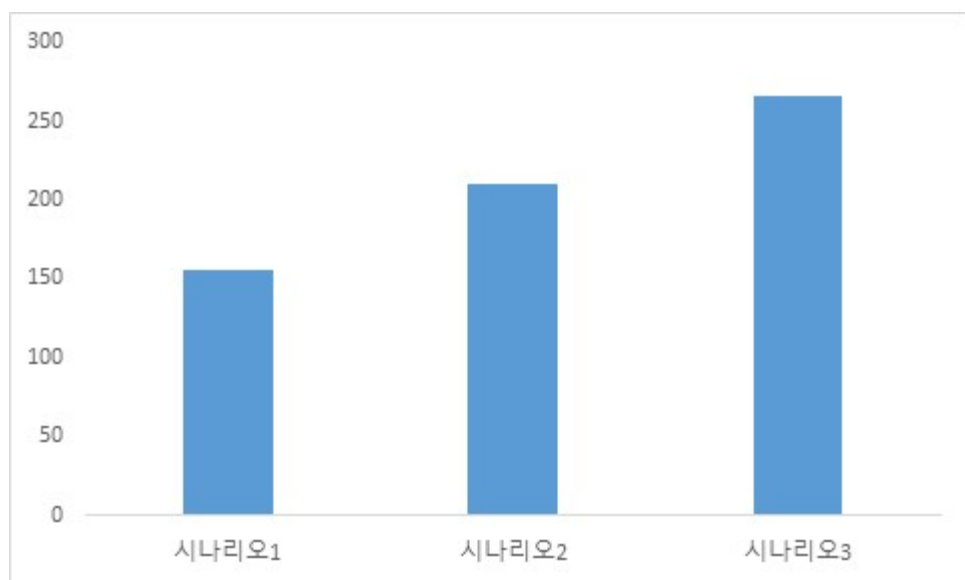
④ 모의 피난실험 결과

㉠ 총 대피시간 분석

- 총 대피시간은 시나리오1에서 2:36초로 분석됐었으며 시나리오에 따라 증가하는 경향을 보임
- 기본 시나리오인 시나리오1에 대비하여 시나리오2는 10%, 시나리오3은 66% 증가하는 경향을 보임
- 따라서 교통약자 비율이 높을수록 대피시간이 증가함
- 특히 시나리오 3의 교통약자 70%에서 가장 큰 대피시간이 관측되었는데, 관련 연구에서 5분 이내의 대피가 매우 중요하다고 설명함
- 모의피난실험 결과 평균대피시간은 5분 이상으로 교통약자가 존재할 때 대피에 대한 정보가 없을 경우 5분 이내의 대피가 어렵다는 결과 도출
- 특히 교통약자의 비율이 증가할수록 평균대피시간이 증가하여 이에 대한 대책이 필요함

구분	시나리오 내용	평균 대피시간
시나리오1	보행자 90%, 교통약자 10%	5:12 (312s)
시나리오2	보행자 60%, 교통약자 40%	6:02 (362s)
시나리오3	보행자 30%, 교통약자 70%	6:52 (412s)

〈총 대피시간 비교〉



〈시나리오별 총 대피시간〉

⑤ 모의 피난실험 설문조사 결과

- 피난 실험의 결과해석을 위해 피난 실험 사후 설문조사 수행함
- 설문조사 내용은 기본신상정보, 피난관련 사전지식, 피난실험 내용 이해, 개발과제 내용 등 4개 파트로 구성함

㉠ 피실험자 신상정보

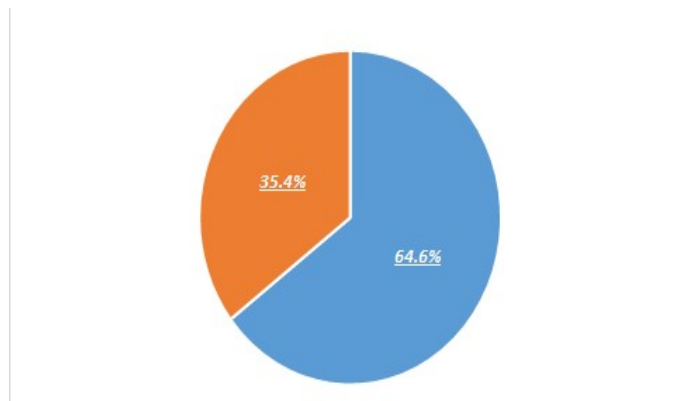
- 피실험자의 경우 일반인 120인(69%), 교통약자80인(31%)으로 수행하였으며, 교통약자 비율이 70%인 시나리오 3 구현은 일반인을 교통약자와 비슷한 상태로 가정하여 분석을 수행함
- 평균연령의 경우 평균 44세, 최대 69세, 최소 19세로 분석됨
- 신장의 경우 평균 168.4cm, 최대 184.1cm, 최소 161.3cm로 분석됨

구분	일반인		교통약자	
	120인		80인	
	60%		40%	
연령	평균	최대	최소	
	44세	69세	19세	
신장	평균	최대	최소	
	168.4cm	184.1cm	161.3cm	

<총 대피시간 비교>

㉡ 피난관련 사전지식 분석

- 피 실험자 중 사전에 피난 관련 교육을 이수한 여부는 64.6%가 피난 교육을 사전에 받았다고 응답하였으며 35.4%는 받지 않았다고 응답함

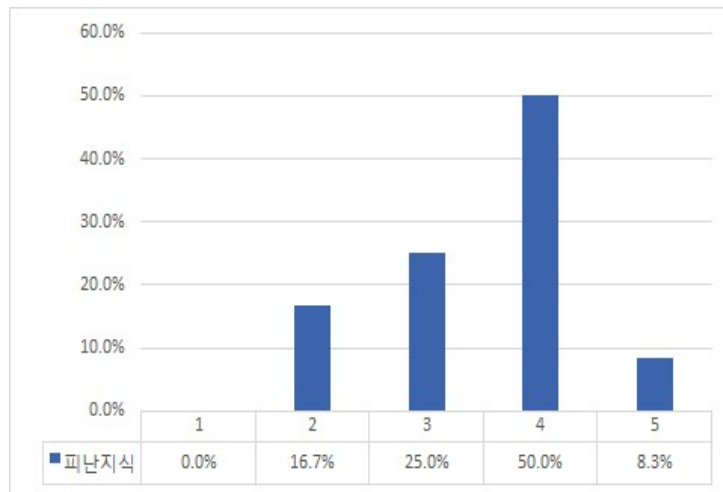


<피 실험자의 사전 교육 이수 여부>

- 피 실험자 중 실제 화재나 기타 조건에서 대피를 겪어본 경험이 있는지에 대한 질문에서는 전원이 대피 경험이 없다고 응답함

- 재난에 대한 사전지식을 리커트 척도에 의해 매우 잘 알고 있음~매우 잘 모름의 5점 척도에 의한 응답으로 50%가 어느 정도 알고 있다고 응답하였으며 8.3%가 매우 잘 알고 있다고 응답함
- 즉, 과반 이상이 재난에 대해 사전지식이 있다고 응답한 것으로 나타남
- 한편 사전지식이 전혀 없다고 응답한 결과는 0%로, 재난 관련 사전 교육 이수 여부가 높은 것 과 연관이 있는 것으로 판단됨

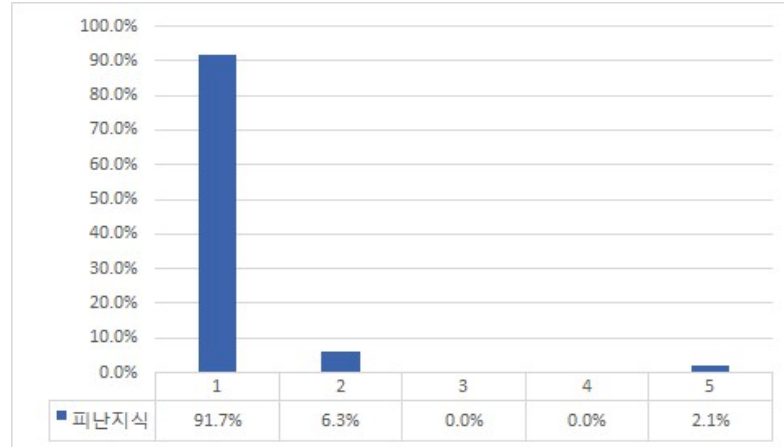
응답 구분	1	2	3	4	5
피난 사전지식	전혀 모른다	조금 모른다	보통	어느정도 알고 있다	매우 잘 알고 있다



<피난관련 사전지식 정도>

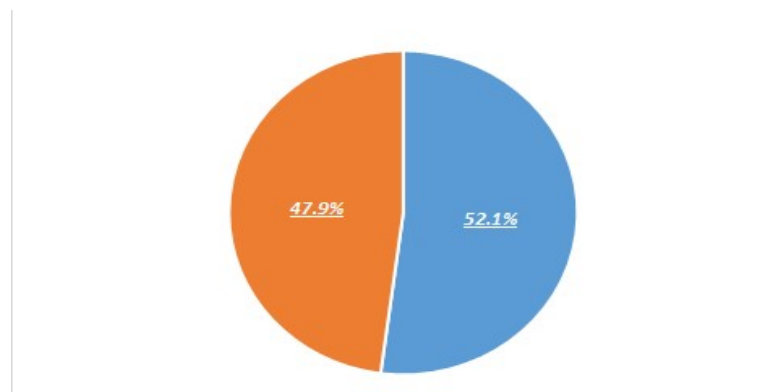
- 실제 화재가 발생하면 탈출을 어떻게 할지 묻는 질문에 91.7%가 비상계단을 이용하여 지상으로 대피한다고 응답했으며, 약 6.3%는 옥상으로 대피한다고 응답함
- 한편 기타 의견으로 현재 자신의 위치에 따라 결정하겠다는 응답이 존재함
- 그러나 승강기를 이용한다고 응답하는 인원은 0%로 분석됨

응답 구분	1	2	3	4	5
피난 방법	비상계단 지상층	비상계단 옥상	엘리베이터 지상	엘리베이터 옥상	기타



〈화재 시 피난 방법〉

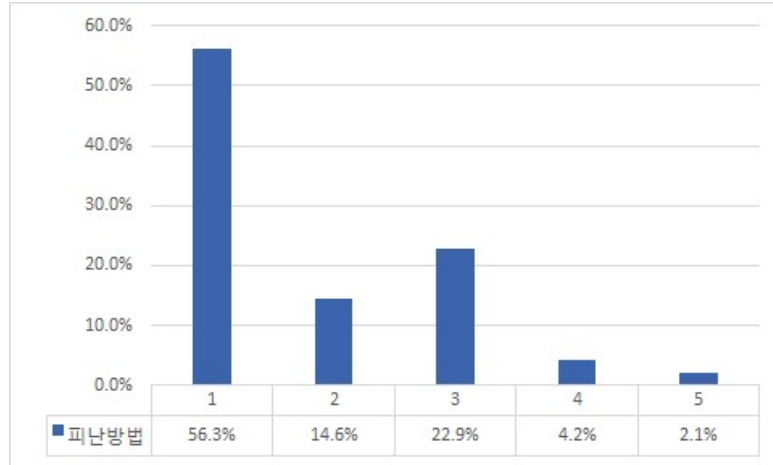
- 평소 건물 내 부착된 피난안내도에 대한 인지여부는 약 52.1%가 알고 있다고 응답하였으며 47.9%는 모른다고 응답한 것으로 나타남



〈피난안내도 인지 여부〉

- 평소 건물 내 부착된 피난안내도에 대한 인지여부는 약 56.3%가 안내판과 표지를 찾아서 확인한다고 응답했으며 22.9%는 들어왔던 길을 기억하며 찾아간다고 응답함
- 그러나 화재상황에서는 시야가 확보가 힘든 경우가 많기 때문에 피난 방법에 대한 새로운 방법이 필요함

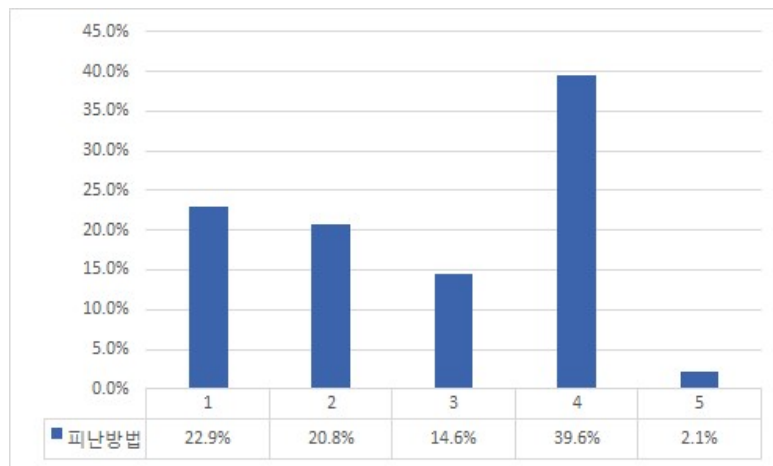
응답 구분	1	2	3	4	5
출구 탐색 방법	안내판과 표지를 찾아서 확인하기	사람들이 가는 방향으로 따라가기	들어왔던 길을 기억하며 찾아가기	직감에 의존하여 나가기	기타



〈화재 시 피난 방법〉

- 화재 시 피난의 방해요소에 대한 응답으로 39.6%의 응답자가 호흡곤란으로 응답했으며 시야 장애가 22.9%로 뒤를 이음
- 기타의견으로 심리적 불안감이 가장 큰 방해요소가 된다는 의견이 존재함

응답 구분	1	2	3	4	5
피난 방해요소	시야 장애	방향 상실	구조물	호흡곤란	기타

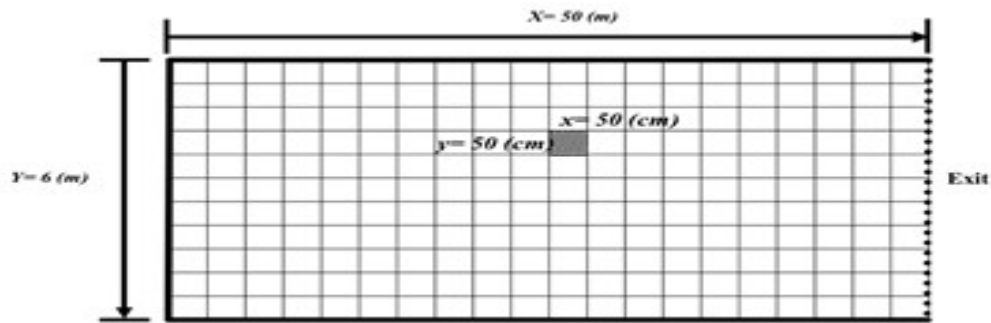


〈화재 시 피난 방해 요소〉

(다) 모형 검증 및 이론 연구

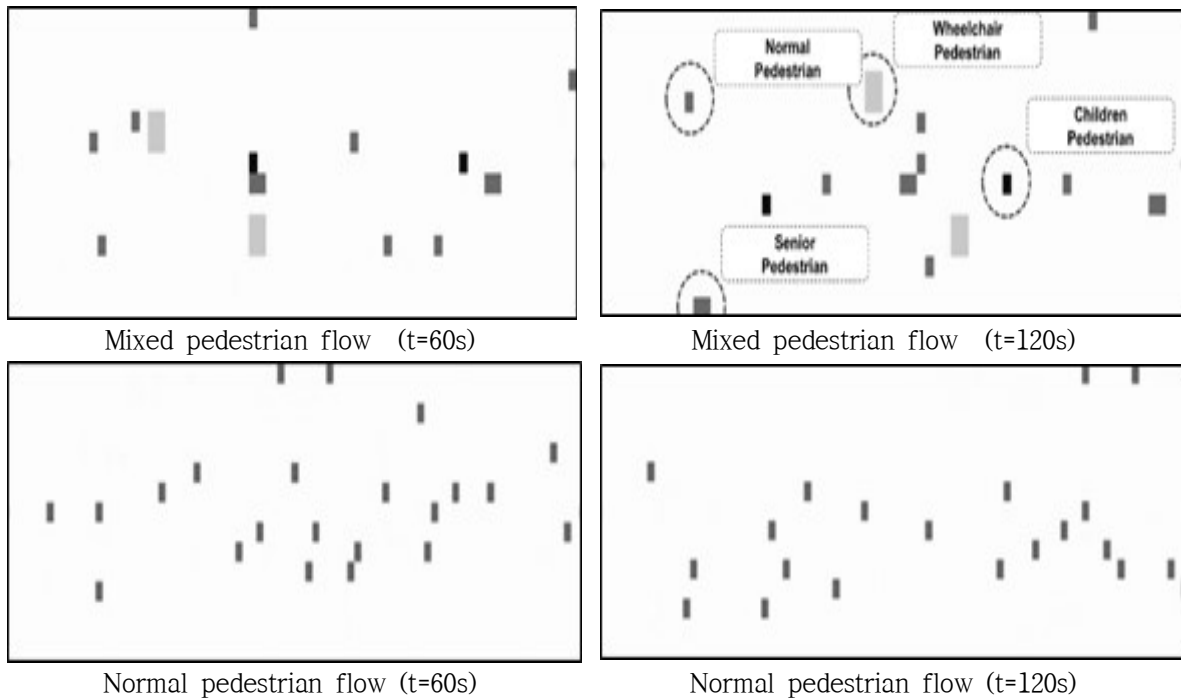
① 모형의 검증

- ㉓ 모형의 검증을 위해 모의 네트워크를 제작하여 모의 시뮬레이션을 수행함
- ㉔ 폭 6m, 너비 50m의 가상의 복도 네트워크를 제작하였음



<Schematic illustration of the spatial configuration for a case study>

- ㉕ 모형 구동 결과 같은 보행량을 Input하였을 때, 같은 Time step에서 교통약자가 포함된 모형에서 밀도가 높은 것을 확인할 수 있었음.
- ㉖ 다음 그림은 교통약자의 존재에 따른 시뮬레이션 네트워크의 보행자 밀도를 나타냄
- ㉗ 교통약자의 밀도를 10% ~ 70% 까지 30%씩 변화시켜 보행교통류의 변화를 관측
- ㉘ 모형 구동 결과 같은 보행량을 Input하였을 때, 같은 Time step에서 교통약자가 포함된 모형에서 밀도가 높은 것을 확인할 수 있었음
- ㉙ 교통약자 비율의 변화에 따라 네트워크의 보행교통류율이 낮아지는 것을 확인



<Comparison of mixed and normal pedestrian simulation>

Traffic flow		Pedestrian ratio(%)	90:10	60:40	30:70
Flow rate (ped/s/m)	Mean		0.31	0.17	0.09
	Variance		0.0195	0.006	0.0016
Speed (m/s)	Mean		1.01	0.83	0.73
	Variance		0.0045	0.0044	0.0058
Density (ped/m ²)	Mean		0.05	0.07	0.08
	Variance		0.0002	0.00003	0.0001

② 보행교통류 이론 연구

㉠ 기본개념

- 보행교통류의 기본 변수인 보행교통류율, 보행속도, 보행밀도의 기본관계식은 다음과 같으며, 이는 차량 교통류에서의 기본식과 동일함.

$$V = S \times D$$

- 보행 교통류에서는 차량교통류와 달리 보행밀도(D)의 역수 개념인 보행공간(M)이라는 변수를 이용하기도 하는데 보행공간은 보행밀도에 대한 역수에 해당하는 개념으로서 보행자 1인이 점유 가능한 공간의 크기를 의미하며, 보행교통류율, 보행속도, 보행공간 사이의 관계는 다음과 같음.

$$V = \frac{S}{M}$$

여기서, V : 보행교통류율 (인/분/m)

S : 보행속도 (m/분)

D : 보행밀도 (인/m²)

M : 보행공간 (m²/인)

㉞ 보행교통류 기본 변수간의 관계

㉞ 보행속도-보행밀도 관계

- 보행속도와 보행밀도와의 관계는 차량의 흐름과 마찬가지로 보행밀도가 증가하게 되면 보행자 개개인이 점유할 수 있는 보행공간이 감소하게 되고 이에 따라 보행동작이 부자연스러워지고 보행속도가 감소함.
- 이러한 보행속도와 보행밀도간의 관계는 다음 식과 같은 선형(Linear)곡선을 나타냄.

$$S = a - bD$$

여기서, S : 보행속도 (m/분)

D : 보행밀도 (인/m²)

Dj : 한계밀도 (인/m²)

a : 자유보행속도 (m/분)

a/b : 한계밀도 (인/m²)

- 상수 a는 자유보행속도(S_f)를 나타낸다. 즉 보행밀도가 0인 상태 즉, 보행밀도에 의한 영향이 없는 이론적 최고 보행속도를 의미하고 a/b는 밀도가 높아져 보행자 흐름이 멈추게 되는 한계밀도 (Dj)를 의미함.

㉞ 보행교통류율-보행공간 관계

- 보행교통류율과 보행공간과의 관계는 다음 식으로 표현됨.

$$V = S \times D$$

$$V = (a - bD)D$$

$$V = aD - bD^2$$

$$V = a\left(\frac{1}{M}\right) - b\left(\frac{1}{M}\right)^2$$

- 보행 교통류율이 최대가 되는 보행공간 (Mmax) 을 구하기 위해 M에 관해서 1차 미분을 하면,

$$\frac{dV}{ds} = -a\left(\frac{1}{M}\right)^2 + 2b\left(\frac{1}{M}\right)^3$$

$$\frac{dV}{ds} = -a\left(\frac{1}{M}\right)^2 + 2b\left(\frac{1}{M}\right)^3 = 0 \text{ 에서 } M = \frac{2b}{a} \text{ 일 때,}$$

- 보행교통량이 최대가 됨을 알 수 있으며, 그 값은 $V_{\max} = \frac{a^2}{4b}$ 이며 이때의 보행밀도를 임계밀도(Dmax)라고 한다. 그리고 보행교통량(V)이 0이 되는 보행공간(M) 값은 b/a 이며, 이 값은 보행밀도가 한계밀도(Dj)의 역수임을 알 수 있음.
- 보행속도-보행교통류율 관계
- 위의 식을 이용하여 보행속도와 보행교통류율과의 관계식을 유도하면 (식 1-6)과 같음.

$$V = \frac{aS - S^2}{b}$$

- 보행교통량이 최대가 되는 보행속도(Smax)을 구하기 위해 S에 관해서 1차 미분을 하면,

$$\frac{dV}{ds} = a - 2\frac{S}{b} = 0 \text{ 에서 } S = \frac{a}{2} \text{ 일때, } V_{\max} = \frac{a^2}{4b} \text{ 임}$$

- 보행속도와 보행교통류율과의 관계는 차량교통류에서와 마찬가지로 임계속도(Dmax)까지는 보행속도가 증가함에 따라 보행교통량이 증가하지만 임계속도를 초과하면 보행자 1인이 확보할 수 있는 보행공간이 감소함에 따라 보행교통량과 보행속도 모두 감소하게 됨.

㉠ 보행속도 - 보행공간 관계

- 보행속도와 보행공간과의 관계는 다음과 같음.

$$S = a - \frac{b}{M}$$

- 여기에서 a는 자유속도, -b/M은 보행공간 감소에 따른 보행속도의 감소를 뜻한다. 즉, 보행공간이 너무 작아서 더 이상 보행이 불가능할 상태는 $a = -b/M$ 인 경우를 의미하는데 이때의 보행자 1인당 보행공간은 b/a 이며 이것은 한계밀도와 같음.
- 따라서 보행자는 어느 정도 이상의 보행공간만 확보가 되면 일정한 속도

즉, 자유속도를 희망하게 되고 보행공간이 작아짐에 따라 보행속도는 감소하며, 한계밀도 이하의 수준으로 보행공간이 감소하면 보행속도는 0으로 나타남.

- 각 시나리오의 결과로부터 추정된 임계밀도 및 보행교통류율은 교통약자 비율이 낮은 시나리오의 임계밀도 및 보행교통류율이 높은 비율 시나리오보다 높게 추정됨을 알 수 있음.
- 따라서 90:10 시나리오의 임계밀도와 보행교통류율은 가장 낮으며, 원인은 교통약자의 비율이 매우 낮기 때문으로 분석됨
- 표 7은도 8에 도시 된 보행 밀도 - 보행교통류율 추정 그래프에서, 임계밀도와 임계 보행 교통류율 사이에 큰 편차가 있음을 알 수 있음.
- 따라서 본 연구에서는 교통약자가 보행 공간에 존재할 때 일반적인 보행자 교통 흐름에 비해 보행자 혼잡도가 다른 것으로 분석됨
- 따라서 보행 시뮬레이션을 수행 할 때 교통약자를 모델링하는 것이 매우 중요하며 특히, 보행자 시뮬레이션을 통해 임계 밀도 이상의 보행 공간을 만드는 것이 매우 중요한 것임을 알 수 있음

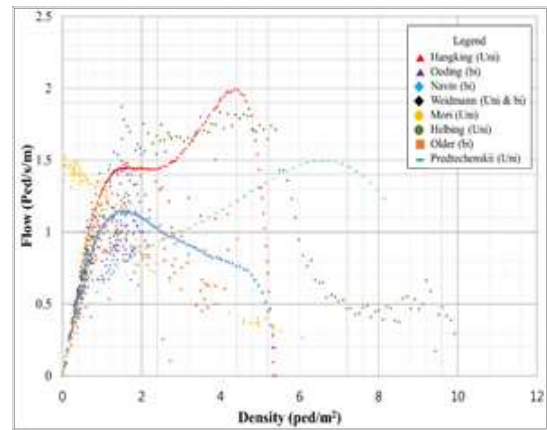
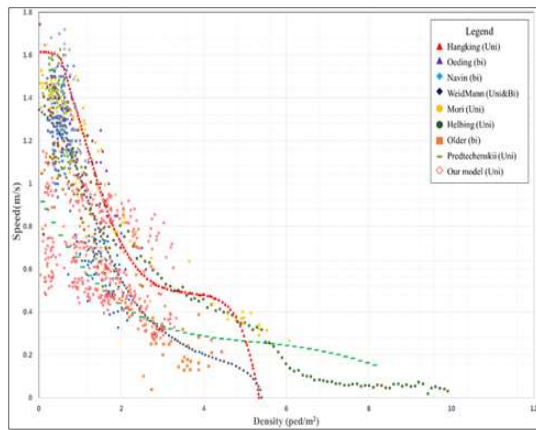
<Equation according to the flow rate ratio>

Normal and Handicapped rate (%)	Flow rate - Density Equation	Flow rate - Speed Equation
90:10	$V=1.0421D - 0.5798D^2$	$V=1.7973S - 1.7247S^2$
60:40	$V=0.8904D - 0.7616D^2$	$V=1.1691S - 1.3130S^2$
30:70	$V=0.6163D - 0.7175D^2$	$V=0.8589S - 1.3937S^2$

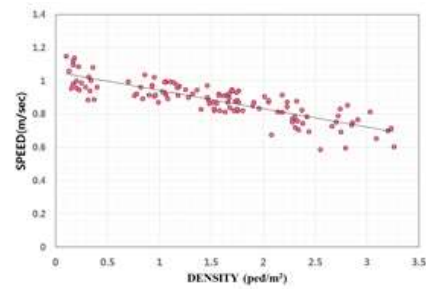
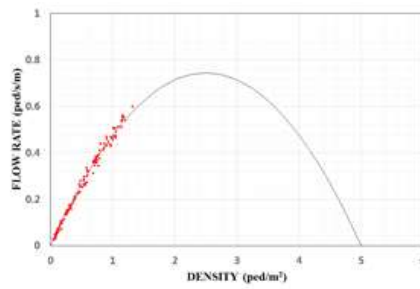
<Pedestrian flow rate according to the flow rate ratio>

Normal and Handicapped rate (%)	Sf (m/s)	So (m/s)	Do (ped/m2)	Dj (ped/m2)	Qm (ped/s/m)
90:10	1.04	0.52	0.90	1.79	0.47
60:40	0.89	0.45	0.59	1.17	0.26
30:70	0.62	0.31	0.16	0.86	0.13

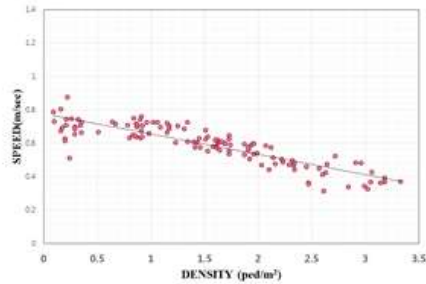
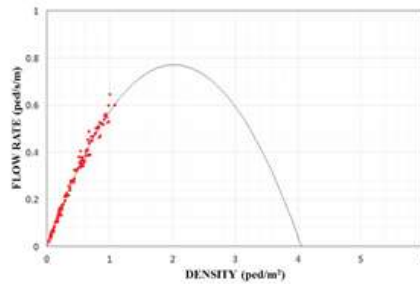
- 보행자 흐름에 따른 Fundametal Diagram(FD)는 보행교통류율 - 보행밀도 관계와 보행속도 - 보행밀도 관계로 구성됨
- 그림22는 각 혼합 교통류(Mixed pedestrian model) 흐름의 FD를 나타냄
- 그림 22a는 가장 높은 임계 밀도 및 자유 속도를 갖으며 정상 보행자의 비율이 가장 크며 평균 속도가 가장 높게 나타남
- 그러나 정상 보행자의 비율이 작을수록 자유 속도와 임계 밀도가 낮아짐
- 따라서 보행자 교통 흐름은 기존 모형과는 다른 결과를 나타내는 것을 알 수 있음



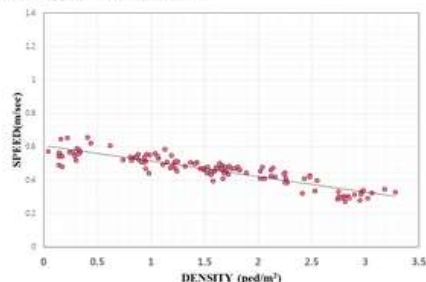
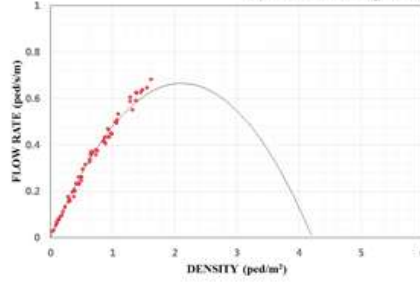
The relation of speed and density The relation of flow rate and density
 <Fundamental diagrams of speed-density and flow-density about previous studies and simulation data in this study>



(a) Fundamental diagram of Normal : Handicapped = 90 : 10 condition



(b) Fundamental diagram of Normal : Handicapped = 60 : 40 condition



(b) Fundamental diagram of Normal : Handicapped = 30 : 70 condition

<Fundamental diagram of Flow-Density and Flow-Speed in each conditions>

- Fundamental Diagram을 통해 관련 연구의 Meta data와 본 연구의 Mixed flow의 보행교통류 데이터를 비교함
- 관련 연구와 유사한 형태를 보여 보행교통류이론에 부합하는 결과를 얻었으며 교통약자의 존재로 인해 평균 속도, 자유속도가 모두 낮아지는 현상을 잘 반영된 결과로 나타남

(라) 보행교통류 이론 기반의 CA모형 구축

① CA 모형 구축 기본 가정

㉠ 보행자 특성

- 다양한 계층(Multi class, 빠른 보행자, 보통 보행자, 느린 보행자)가 존재함.
- 보행자는 차량과 달리 일직선으로 통행하지 않으며 진로 변경시 후방 보행자를 고려하지 않음
- 보행자는 대향 보행자의 유무에 따라 충돌을 피하려는 행동을 취함
- 보행자 1인 기본 점유공간을 $0.25\text{m}^2(0.5\text{m} \times 0.5\text{m})$ 로 고려하였음. (변경가능)

㉡ 전방이동 모형

- 보행자는 선행 보행자를 추종하면서 최적속도로 보행하고자 하지만, 일정 범위내의 좌-우측 전방에 보행자가 있을 경우 심리적으로 속도를 낮추면서 보행함.
- 보행 중 발생하는 무작위적인 가-감속은 확률이라는 하나의 변수로 축약하여 설명함

㉢ 측방이동 모형

- 전방의 보행자가 대향 보행자일 경우 충돌을 피하기 위해 보행자는 진로를 변경
- 최대속도에서도 일직선으로 보행하지 않으며 좌우로 움직이면서 보행
- 통행시간을 최적화하기 위해 진로를 변경
- 인지-판단-진로변경수행-완료의 과정을 2초로 가정하였음
- Time step $\rightarrow$ 홀수 : 좌측진로변경
- Time step $\rightarrow$ 짝수 : 우측진로변경

• 후방이동 모형

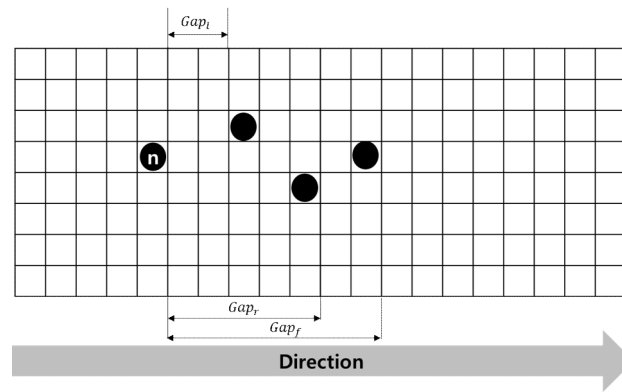
- 전방의 통행로가 차단되어 있을 경우 충돌을 피하기 위해 보행자는 진로를 변경
- 측방이동과 달리 전방이 장애물일 경우 측방이동과 후방이동으로 진로를 변경
- 후방이동으로 진로를 변경한 보행자는 후방 진로를 유지하며(C_m 1 유지), 진로변경 후 기존 보행자 특성을 적용하여 전방이동(기존 보행자의 반대방향) 및 측방이동 수행

㉔ 시계제약 모형

- 시계제약 상황 시 보행자는 최적속도보다 낮은 속도로 보행하며, 인지할 수 있는 범위가 감소함
- 시계제약 상황 시 시야각 감소로 인해 측방이동의 확률이 감소하며, 상대적으로 전방이동의 확률이 증가함

<CA보행자 이동행태모형의 변수 및 변수 내용>

변수	내용 및 단위
C_m	보행자 진로 방향 (0:전방, 1:후방)
C_v	시계제약에 따른 유효공간 계수 ($0 \leq C_v \leq 1$, 평시:1)
$f(C_v)$	시계제약에 따른 방향전환 계수 $f(C_v) = C_v^2$
Gap_f	전방보행자와의 셀 개수(cell)
Gap_l	좌측 전방 보행자와의 셀 개수(cell)
Gap_r	우측 전방 보행자와의 셀 개수 (cell)
$V(t)$	시각(t)에서 보행자 속도 (cell/단위시간)
V_{max}	보행자 최대속도(cell/단위시간)
$X(t)$	시각(t)에서 보행자 셀 위치
$Gap_A(t)$	보정 된 전방보행자와의 셀 개수 (cell)
P_{noise}	불규칙적인 감속확률
Pr	무작위적인 추출확률
Dp	전방 인식거리 (20cell)
Pdg	전방 gap 감속확률
P_o	강압적 측방진로변경확률 (기존 진로변경 확률)
P_b	강압적 후방진로변경 확률(후방 진로변경 확률 추가)
P_m	최대속도에서 진로변경확률
P_l	최대속도 미만에서 진로변경확률



<Gap_l, Gap_l, Gap_r 개념도>

㉞ CA 보행자 모형 알고리즘 구축

㉞ 기본모형 가정

- CA 보행자 모형은 추종보행자의 심리적 상태를 고려한 선행보행자와의 유효공간에 따라 가·감속 규칙에 의해 속도를 갱신하고 이후 Pnoise를 통해 보행자의 무작위적인 감속을 설명한다. 따라서 이러한 가·감속 규칙과 불규칙적인 감속 확률규칙을 통해 결정된 속도만큼 전방으로 이동하게 되는 총 4단계의 과정으로 구성됨

㉞ 자료입력 및 초기화 모듈

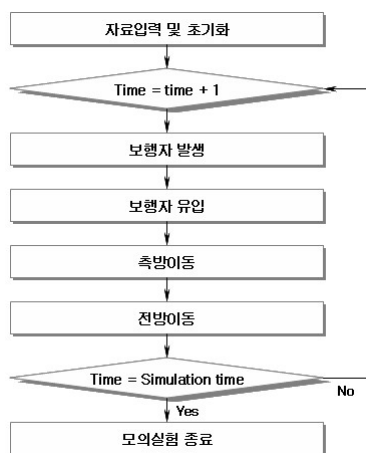
- 본 연구에서의 CA 보행자 이동행태모형은 1초 단위로 시뮬레이션 하는 미시적 모형이기 때문에 초기화 단계에서 많은 입력 자료를 요하나 cell 기반 모형이기 때문에 복잡한 자료입력구조를 지니지 않음
- 초기화 모듈에서의 입력 자료는 네트워크 구축을 위한 입력 자료와 보행자 속성 자료 그리고 어떠한 방식으로 결과 값을 도출할 것인지를 결정하는 출력 방식으로 구성

<CA보행자 이동행태모형의 변수 및 변수 내용>

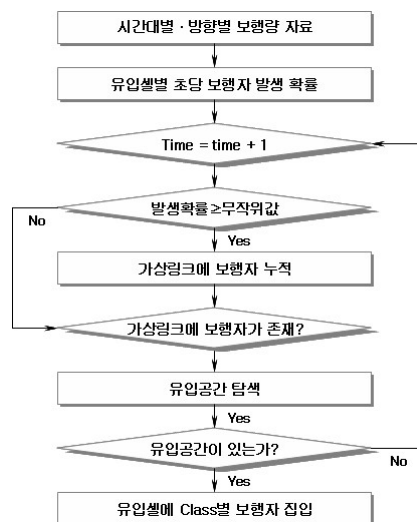
구분	입력자료	단위
네트워크 구축	단위셀 길이	m
	단위셀 면적	m ²
	네트워크 길이	m
	네트워크 면적	m ²
	시뮬레이션 시간	s(초)
	Interval time	s(초)
	Time step	s(초)
보행자 속성	방향별 진입 보행자 교통량	인/시/m
	보행자 그룹별 구성비	%
	보행자 그룹별 최대속도	m/s
	보행자 그룹별 용량	인/시/m
자료	Interval 별 보행자 공간이용분포 시공도	
	Interval 별 방향별 평균 통행속도	m/s
	개별셀 점유율/개별셀 중 최대 점유율	%

㉔ 보행자 발생 및 유입 모듈

- 보행자 발생확률조건을 만족하여 보행자가 발생하면 먼저 가상링크에 보행자가 누적되며 가상링크에 대기하고 있는 보행자는 유입공간을 탐색하여 유입공간이 있으면 네트워크에 진입하게 됨
- 보행자 발생 및 유입 모듈에 대한 상세한 수행과정은 아래와 같음



<모의실험 수행과정도>



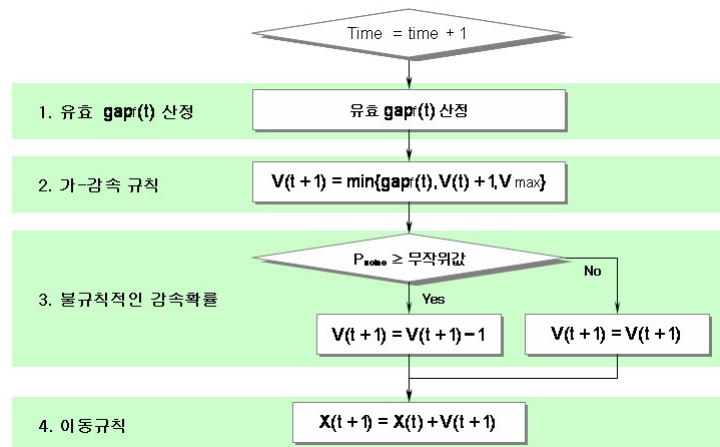
<보행자 발생 및 유입 모듈 수행도>

㉠ 전방이동 모듈

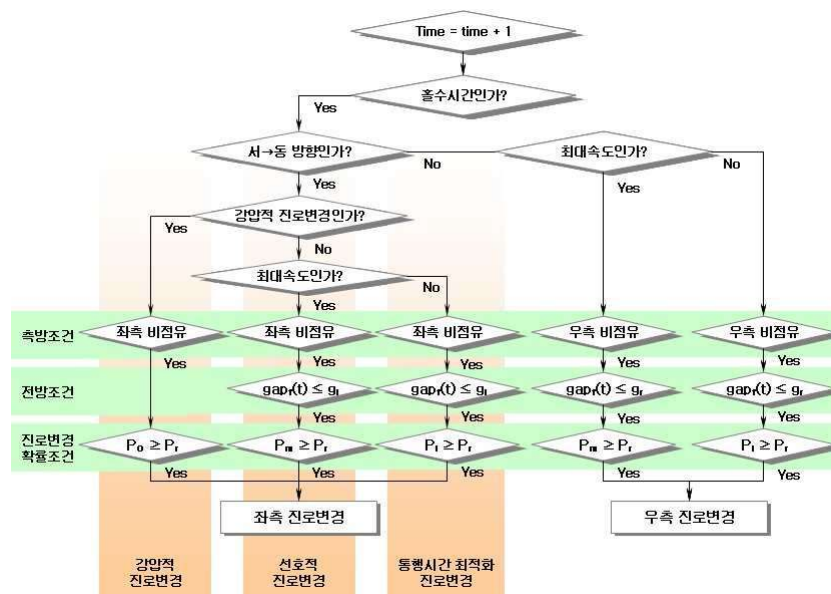
- 보행자는 좌·우측 전방에 보행자 있을 경우 자신의 속도를 낮추려는 심리적인 상태를 가짐
- 이러한 심리적인 공간 개념을 고려한 유효공간산정과 가·감속 규칙 및 불규칙적인 감속확률 규칙에 의해 속도를 갱신하여 전방으로 이동

㉡ 측방이동 모듈

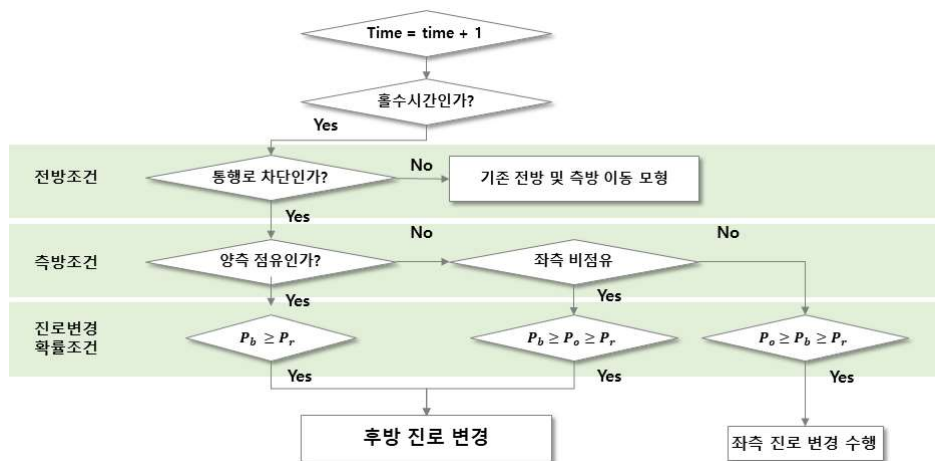
- 측방이동모듈에서는 3가지 유형에 의해 진로변경을 수행하게 되는데 인식 거리내에 대향보행자가 존재할 경우, 보행자의 선호적인 판단에 의한 경우, 통행 시간 최적화를 목적으로 하는 경우임
- 또한, 진로변경을 위해서는 측방조건, 전방조건, 진로변경확률조건 3가지 조건을 모두 만족하여야 가능하며 어느 한 조건이라도 만족하지 못하면 진로변경을 수행하지 못함
- 측방이동모형에서의 수행과정을 2초로 가정하였으며 시뮬레이션상의 Time step이 홀수이면 좌측 진로변경을 수행하고 짝수이면 우측 진로변경을 수행하도록 함
- 측방이동모형의 수행과정을 Time step이 홀수시간일 때와 짝수시간일 때로 구분하여 살펴보면 다음과 같음



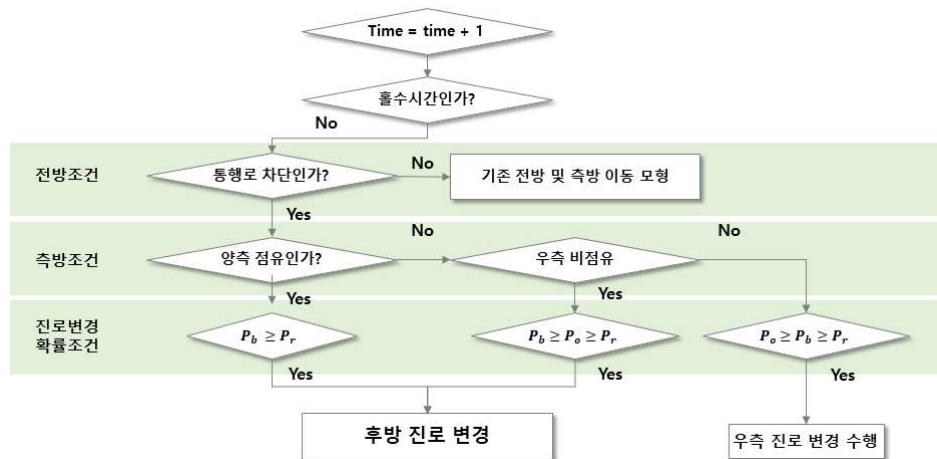
<전방이동 모듈 수행도>



④ 후방이동 모듈



〈후방이동모듈 수행도〉



〈후방이동모듈 수행도 (Time step = 짝수시간)〉

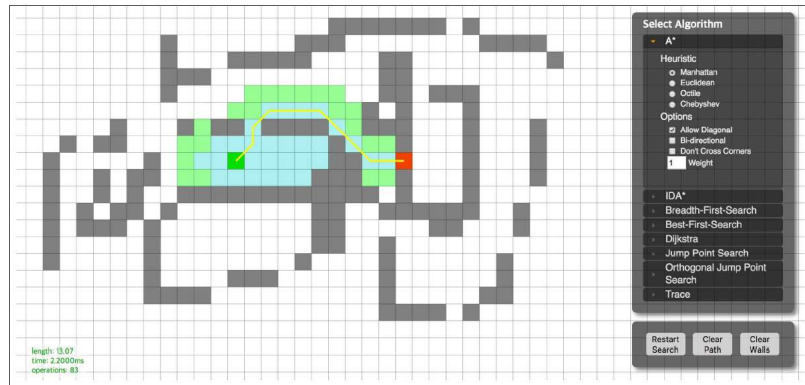
㉠ 시계제약 모듈

- 보행자는 시계제약 상황에서 인지할 수 있는 거리가 감소하며, 그에 따라 자신의 속도를 낮추려는 심리적인 상태를 가진다. 이러한 심리적인 공간개념을 고려한 시계제약을 적용한 유효공간산정과, 그에 따른 가·감속 규칙에 의해 속도를 갱신하며 전방으로 이동함
- 또한 시계제약 상황 시 보행자는 시야각이 감소하여 측방이동의 확률이 감소하고, 그에 따라 보행자는 상대적으로 전방이동을 할 확률이 증가함

(마) 대안 경로 제공 모듈 개발

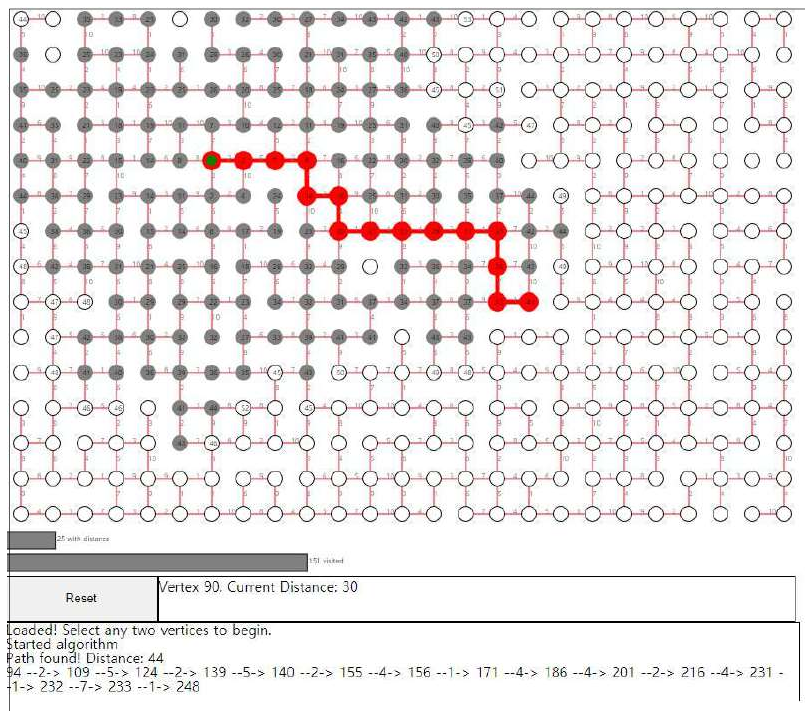
㉑ 보행 경로 생성 선행 연구

- 개별 보행경로는 보행 알고리즘의 최단경로 탐색 알고리즘을 이용하여 생성함
- 자신의 현재 위치에서 최단경로의 출구까지의 거리를 탐색하여 최적 경로를 생성함



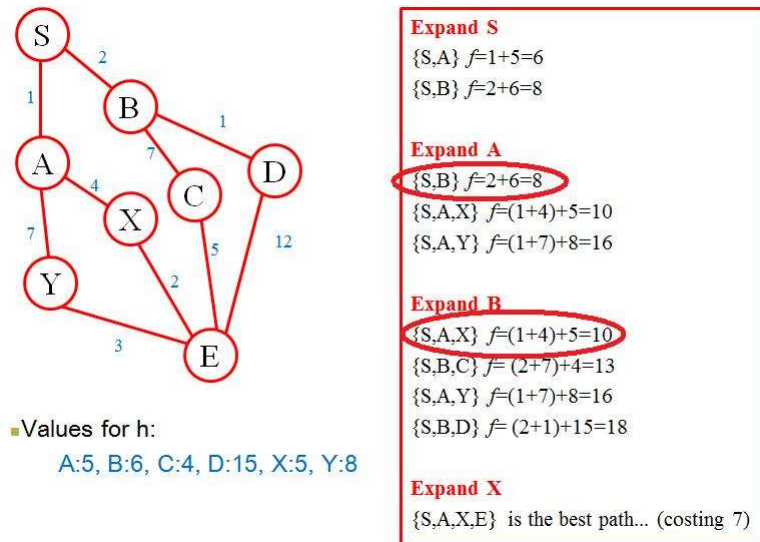
<A* algorithm 기반 최적 경로 생성 사례

(<https://qiao.github.io/PathFinding.js/visual/>)>

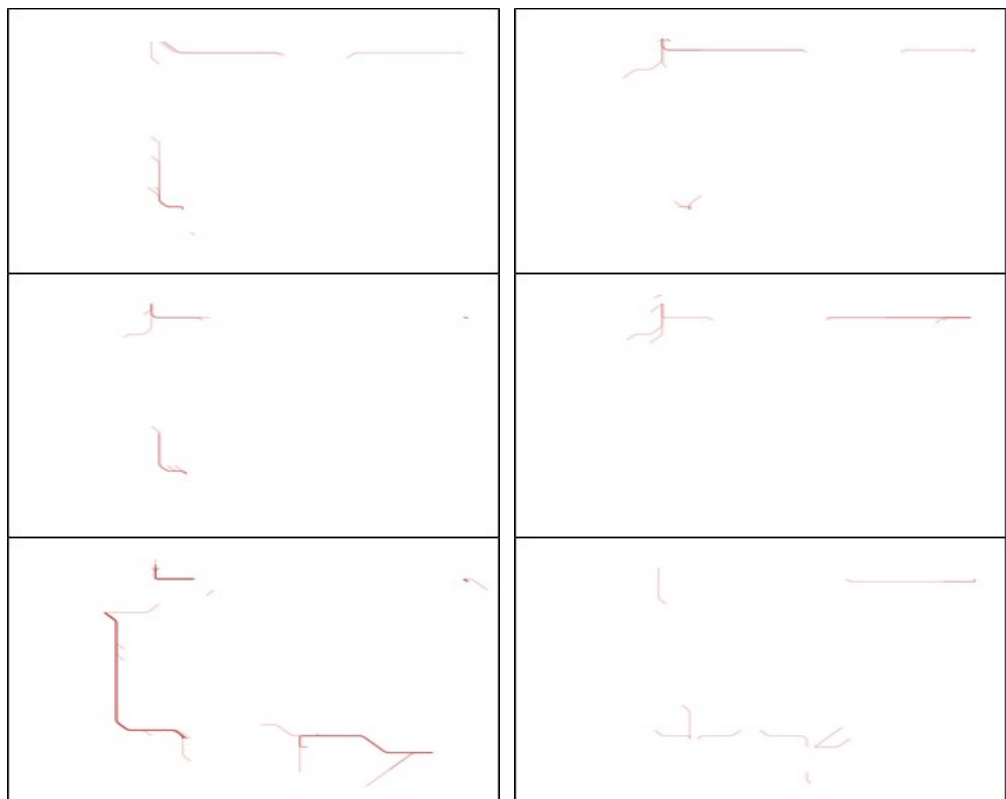


<Dijkstra' s algorithm 기반 최적 경로 생성 사례>

- 본 연구에서는 A* 알고리즘을 이용하여 각 Agent의 위치별 최단 경로를 생성하였으며 생성된 최단경로는 프로그램 구동 후 시뮬레이션의 리포트 결과로 확인 가능함



<A* algorithm의 구현 예제>



<경로 생성 리포트 결과(충돌 주요 경로 표현)>

- 시뮬레이션 리포트 기능은 다음과 같이 구성되며 프로젝트 정보, 프로젝트명, 단위 셀의 크기, 건물정보, 보행자 Agent의 정보 등의 결과로 구성됨

리포트 상세

프로젝트 정보

프로젝트명

서울시립대 21세기관 화재

셀크기

8 x 8

건물 정보

건물명

서울시립대 21세기관

층수

7층

보행자 정보

보행자수

25명

공간명

보행자 수

오

보행 결과 보기

21세기관 1층

일반인 69명, 교통약자 0명

화재 1차

보기

21세기관 2층

일반인 59명, 교통약자 0명

보기

21세기관 3층

일반인 50명, 교통약자 0명

보기

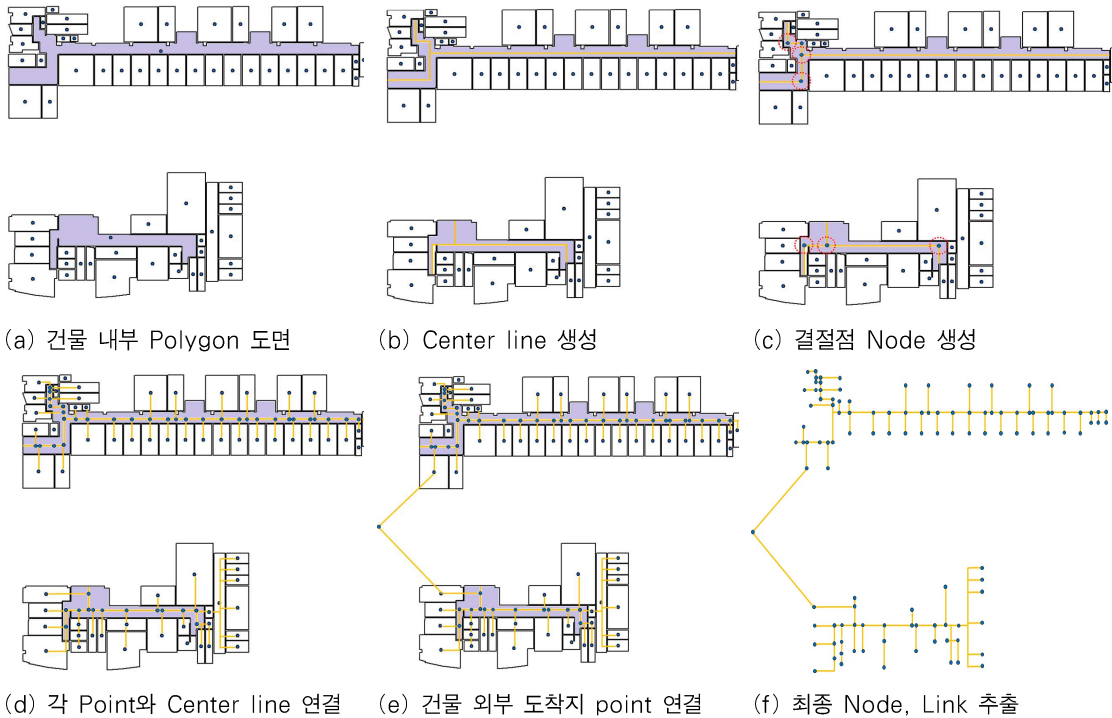
〈시뮬레이션 리포트 기능〉

- 추후 다양한 기능이 리포트로 추가될 예정이며 Fundamental Diagram (FD)을 결과로 제시하여 네트워크의 피난 중 보행교통류율을 시·공간적으로 분석할 수 있는 기능이 추가됨
- 또한 시나리오별 Agent의 총 이동거리, 총 이동시간이 계산되어 시나리오별 효과에 대해 분석할 수 있게됨
- 현재는 총 대피시간 및 보행 경로가 생성되는 기능을 구현할 수 있음

(바) CA기반 모형 검증

㉑ CA기반 모형 구현

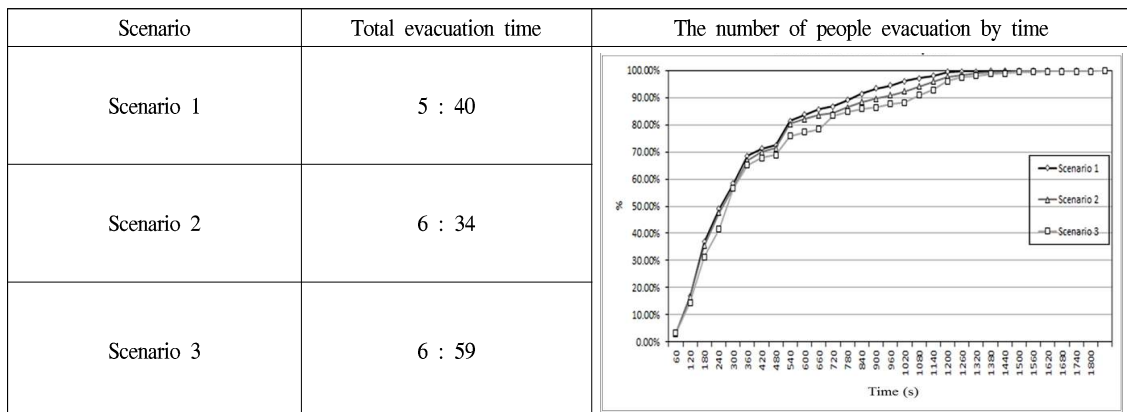
- MATSim을 활용한 피난시물레이션 구현
- 활동기반모형과 CA모형을 적용하여 실제 재난대피상황 구현 및 대피시간 계산 모듈 개발
- Node와 Link로 연결된 실내 Network 구현



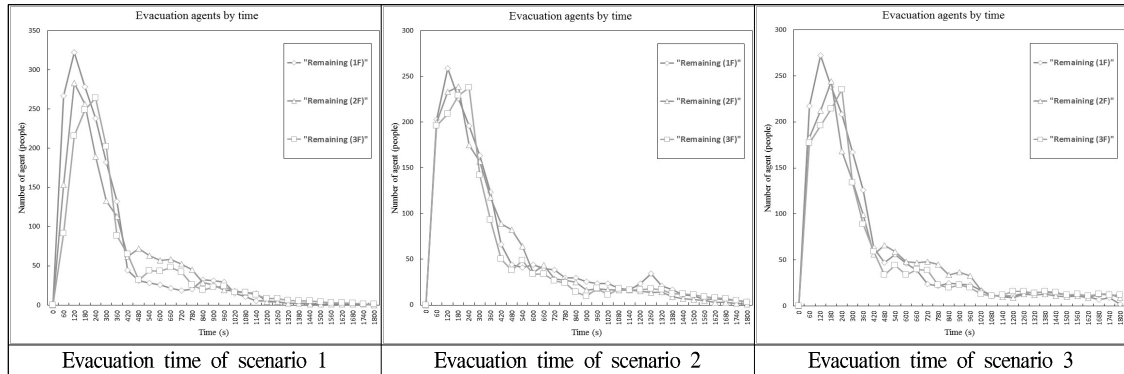
〈The sequence of MATSim indoor network build〉

㉒ CA기반 모형 결과 및 검증

- MATSim을 활용한 모형 구축 결과 교통약자 시나리오에 따라 통행시간이 증가하는 것으로 분석됨



- 분석결과 교통약자 비율이 높을수록 평균대피시간이 증가하였으며, 구체적으로 계단을 이용해야하는 고층에서의 평균대피시간이 증가한 것으로 분석됨



〈Fig. 12〉 Evacuation time of each floor

〈Table 4〉 Result of scenario 1

Division	Total Evacuees (ped)	Avg. Evacuation Volume (ped/min)	Avg. Evacuation Time (min)
Floor 1	1,756	56.0	4:56
Floor 2	1,677	54.0	5:57
Floor 3	1,567	50.0	6:09
Avg.	1,666	53.5	5:40
Total	5,000	-	-

〈Table 5〉 Result of scenario 2

Division	Total Evacuees (ped)	Avg. Evacuation Volume (ped/min)	Avg. Evacuation Time (min)
Floor 1	1,756	56.0	6:57
Floor 2	1,677	54.2	6:16
Floor 3	1,567	50.5	6:31
Avg.	1,666	53.5	6:34
Total	5,000	-	-

〈Table 5〉 Result of scenario 3

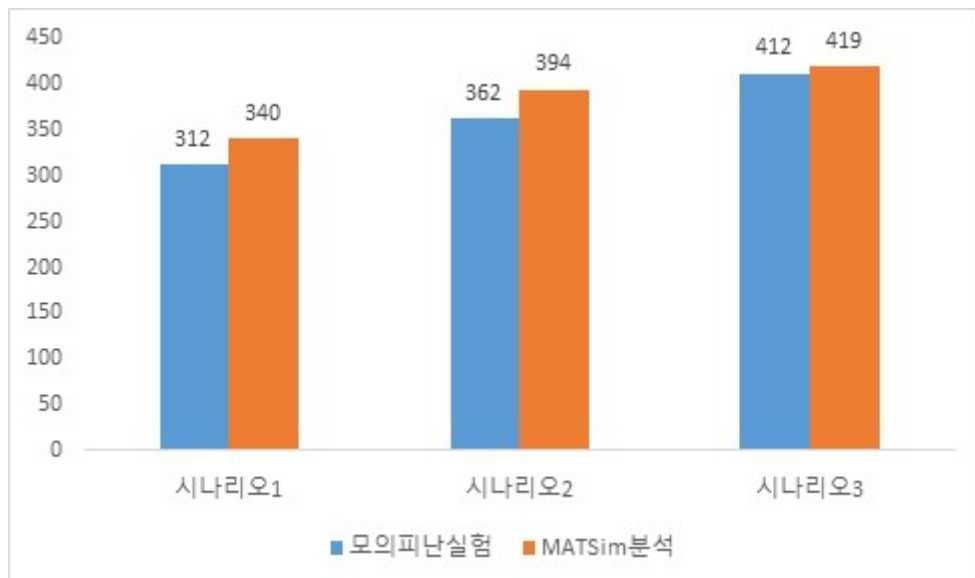
Division	Total Evacuees (ped)	Avg. Evacuation Volume (ped/min)	Avg. Evacuation Time (min)
Floor 1	1,756	56.0	6:28
Floor 2	1,677	54.2	7:07
Floor 3	1,567	50.5	7:22
Avg.	1,658	53.5	6:59
Total	5,000	-	-

- 모의 대피실험과의 대피시간 검토 결과, 모의피난실험의 경우 교통약자 비율이 증가할수록 대피시간 증가율이 크게 증가함
- MATSim을 활용한 분석 결과 모의피난실험과 같이 교통약자 증가에 따른 대피시간이 증가하지만, 모의피난실험 대비 교통약자 비율 증가에 따른 통행시간 증가 비율은 상대적으로 낮은 것으로 분석됨

(단위: 초)

	시나리오1	시나리오2	시나리오3	증가율
모의피난실험	312	362	412	32.1%
MATSim분석	340	394	419	23.2%

<총 대피시간 비교>



<모의실험 및 MATSim 분석 결과 비교>

- 한편 모형 검증을 위해 T-test를 통한 모의 대피실험결과와 MATSim 분석 결과간의 상관관계 분석을 수행
 - 두 분석의 평균대피시간이 동일하다는 귀무가설 하에 분석

$$t = \frac{\overline{X_1} - \overline{X_2}}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (1)$$

$$DF = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1}\right)^2}{n_1 - 1} + \frac{\left(\frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{n_2 - 1}} \quad (2)$$

여기서 s^2 : unbiased estimator of the variance, n_1 : the number of auto,
 n_2 : the number of bus, DF : the degree of freedom

- 분석결과 세 시나리오에서 모두 t-statics가 t 기각치 이내로 나타나 평균 대피시간이 동일 (통계적 검증)
- 특히 교통약자 비율이 증가할수록 통계적으로 동일한 정도(t-statics)가 증가하는 것으로 분석됨

(단위: 초)

Null hypothesis: 모의피난실험과 MATSim분석의 평균대피시간은 같다.						
	시나리오1(90:10)		시나리오2(60:40)		시나리오3(30:70)	
	모의피난	MATSim	모의피난	MATSim	모의피난	MATSim
평균	312	340	362	394	412	419
관측수	200	5,000	200	5,000	200	5,000
자유도	5,198		5,198		5,198	
t-statics	-1.69		-1.22		-0.82	
Pr>t	<.0001		<.0001		<.0001	
t 기각치	1.96		1.96		1.96	

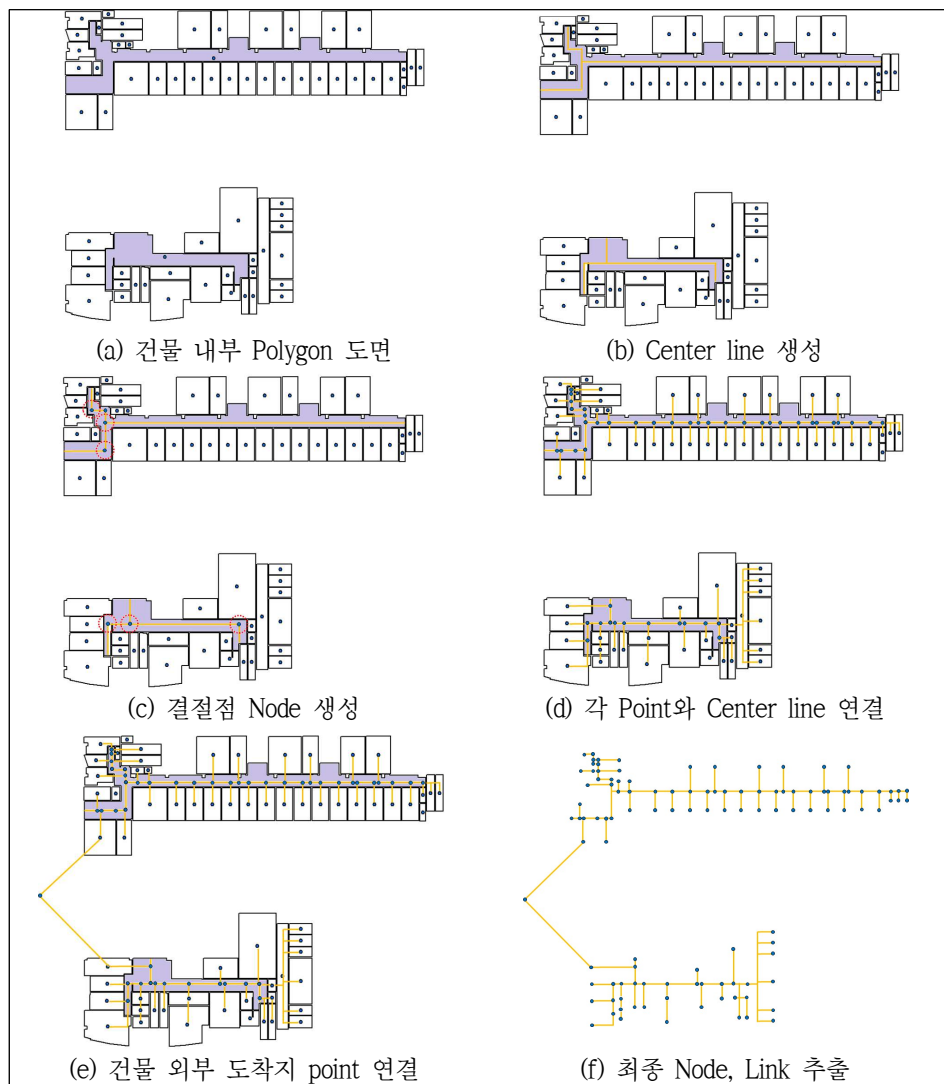
<총 대피시간 비교>

(4) 핵심성과 D : 대규모 건물의 공간모델링 기법 개발

(가) 연구수행 전략 및 방법론

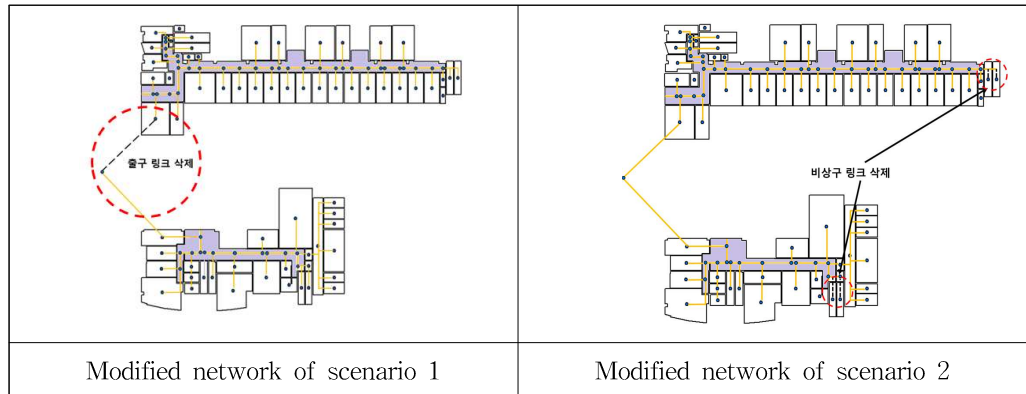
① 2차원 단일 층 기반의 공간 모델링 기법 개발

- 연구의 내용은 2D 설계도면 기반의 GIS 네트워크의 구축 방안을 제시했음
- 연구의 보완사항으로 제시 받은 내용은 아래와 같으며 2차년도 연구에서 충실히 보완하였음
- 시나리오에 따라 네트워크 단절 상황 구현 기능 필요
- 네트워크 링크의 용량 반영 필요
- Dummy node 구현을 통한 현실적인 네트워크 모사 방안 필요



<1차년도 수행 연구 네트워크 구축 단계>

- 네트워크 단절 상황은 시나리오 수행 전 단계에서 분석 네트워크의 링크를 삭제하거나 용량을 0으로 부여한다면 보행자가 통행할 수 없는 링크로 설정됨



〈시나리오에 따른 네트워크 수정 방법〉

- 또한 링크의 용량을 Capacity 속성을 부여하여 정의함
- Dummy node의 구현은 아래 그림과 같이 주요 결절점 Node에 Dummy node를 추가하여 현실적인 네트워크를 모사함



〈Dummy node를 통한 Network 생성〉

- Network의 속성은 다음 그림과 같으며 노드와 링크로 구성된 네트워크에서 링크의 속성으로 링크의 길이, 속도, 용량, 방향 등으로 구성됨

```

<links capperiod="00:00:00" effectivecellsize="0.5" effectivecellwidth="1.50">
<link id="10001" from="110050" to="110051" length="50" freespeed="7.2" capacity="6360" perlanes="1" oneway="1" modes="walk" />
<link id="10002" from="110051" to="110050" length="50" freespeed="7.2" capacity="6360" perlanes="1" oneway="1" modes="walk" />
<link id="10003" from="110051" to="110052" length="50" freespeed="7.2" capacity="6360" perlanes="1" oneway="1" modes="walk" />
<link id="10004" from="110052" to="110051" length="50" freespeed="7.2" capacity="6360" perlanes="1" oneway="1" modes="walk" />

```

〈네트워크 링크 구축〉

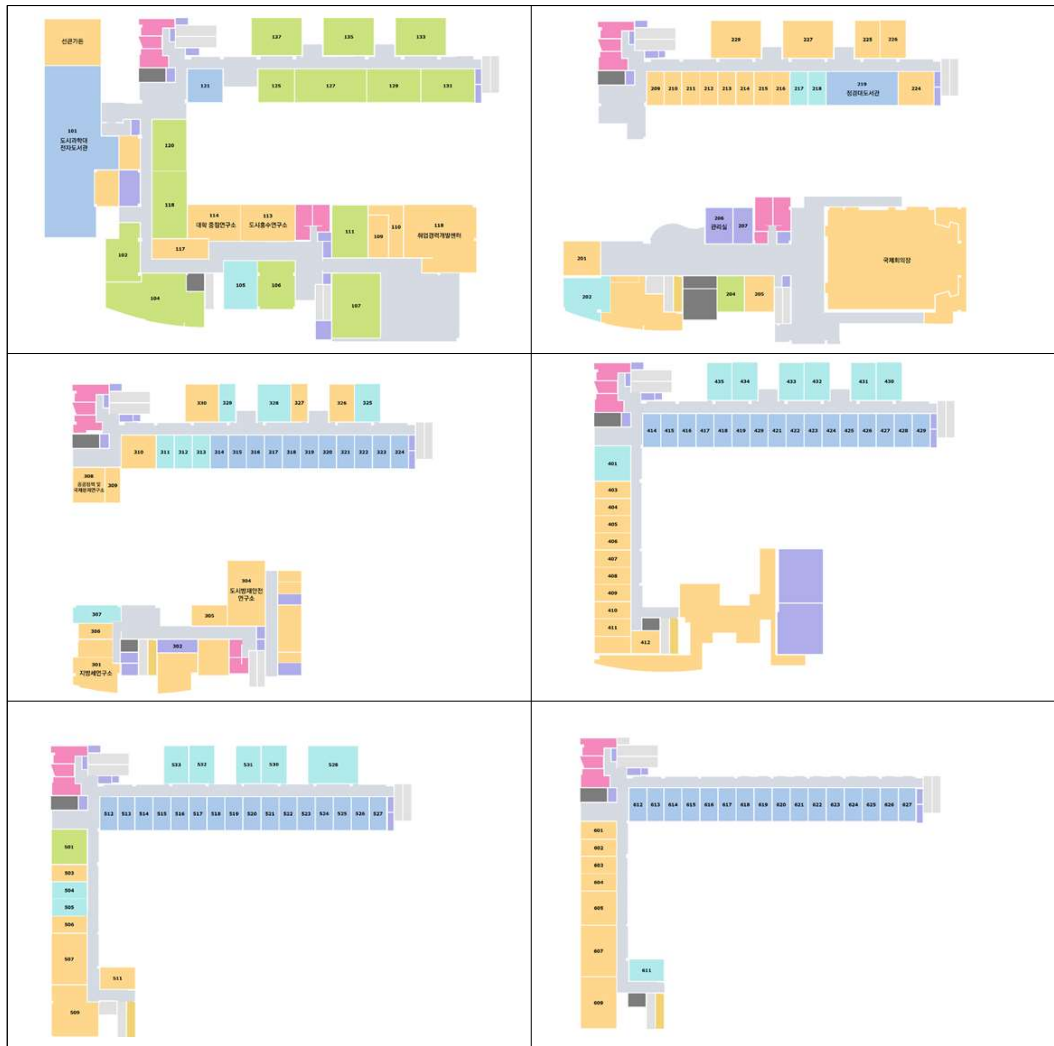
- Network 구축단계에서 계단 네트워크는 Length를 조절하여 심리적인 특성을 반영하였으며 상층으로 올라가는 계단은 실제 Length에 1.2배, 하층으로 내려가는 계단은 0.8배를 적용하여 계단을 모델링함
- 본 연구에서는 위와 같은 파라미터 조정범위를 설정한 후 실험을 수행하였다. Cell Size의 경우 Sizekorea DB 7차 한국인인체치수 데이터를 이용하여 0.5m2으로 설정함
- 보행속도는 Sizekorea DB 2016년 보행패턴 측정 보고서에서 제시하는 한국인의 평균 보행속도를 설정하였음
- Capacity의 경우 국토교통부 2013 도로용량편람에서 제시하는 보행자 서비스 수준의 용량 값으로 설정하였다.

〈Network 파라미터 설정 근거〉

구분	입력 범위	입력 근거
Cell size (m2)	0.5 (가슴폭, 어깨폭, 완충영역 포함)	사이즈코리아 한국인인체치수 7차 조사 자료
Speed (m/s)	평균 : 0.73 ~ 1.10 남성 : 1.13 , 여성 : 1.06	사이즈코리아 2016년 보행 패턴 조사 자료
Capacity (ped/hour)	6,360	도로용량편람 2013

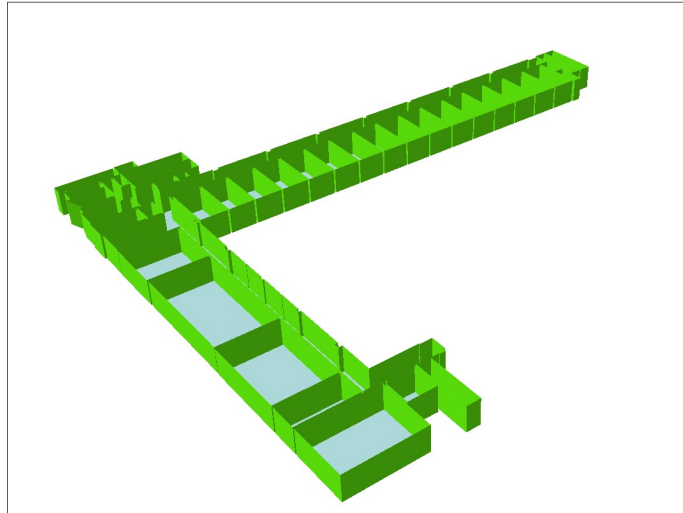
② 3차원 복수 층 공간 네트워크 모델링 기법 개발

- 연구 목표 및 주요 연구내용은 아래 표6과 같음
- 기 수행한 2차원 평면에서의 도면을 3차원으로 전환하여 현실적인 네트워크를 모사하는 것이 핵심 내용이며, 보행자 이동 모형인 Cellular automata 알고리즘과 결합하기 위한 Cell기반의 네트워크를 제작하는 것이 핵심 내용임

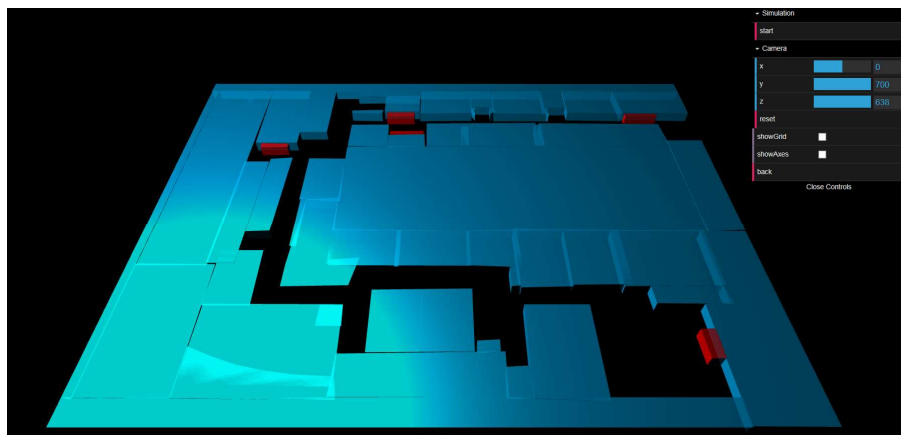


〈테스트베드 건축물의 GIS 기반 모델링〉

- 그림14는 내부공간의 활용 용도에 따른 Layer의 표현에 따라 건물 모델링을 시각화한 결과이며 각 층간 높이(Elevation), 벽의 높이에 따라 3차원으로 모델링 한 결과는 그림 15와 같음
- 그림 16의 3차원 네트워크에서 적색 직육면체는 외부 출구(Exit)이며 내부 공간은 청색으로 표현함
- ArcScene 10.3을 이용하여 2D 도면을 3D화 하였으며 이를 JavaScript를 이용하여 Web기반 3D로 모델링함

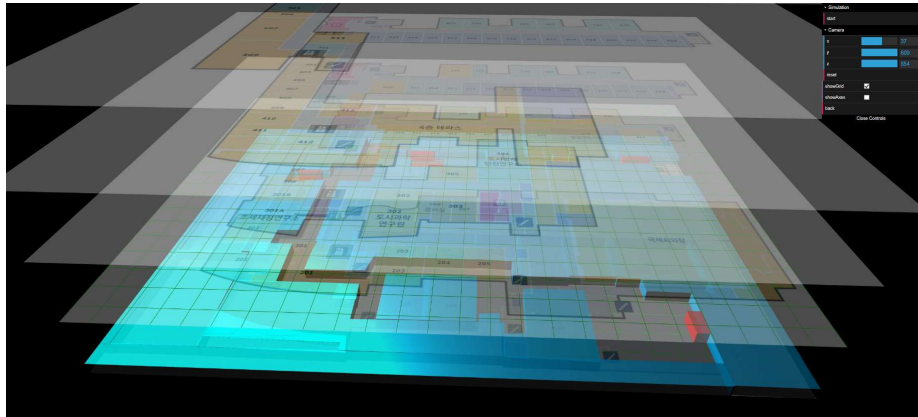


〈3D ArcScene을 이용한 3D 모델링〉



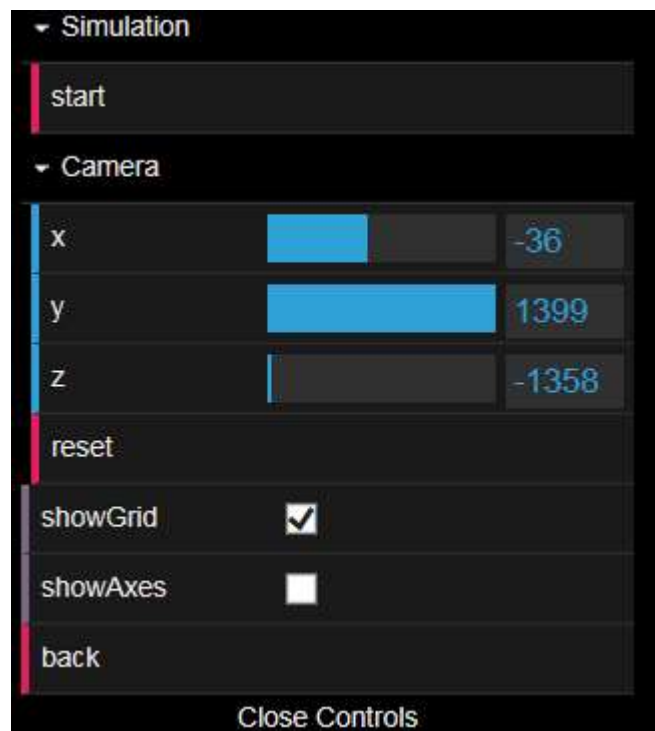
〈Web기반 3차원 네트워크 구현 상황〉

- 또한 건물의 평면도면을 Background Layer로 설정하여 건물 내부 공간에 위치에 따라 보행자의 움직임을 시각적으로 확인할 수 있음
- 3차원 네트워크는 2차원 연구의 주요 연구내용인 Cell기반 3차원 네트워크 생성에 따라 수행되었으며 Grid기능의 On/Off에 따라 보행자가 Cell 단위로 이동하는 것을 확인할 수 있음
- 다음 그림은 Grid기능을 On으로 활성화하였을 때 보여지는 3차원 Network를 시각화한 결과임

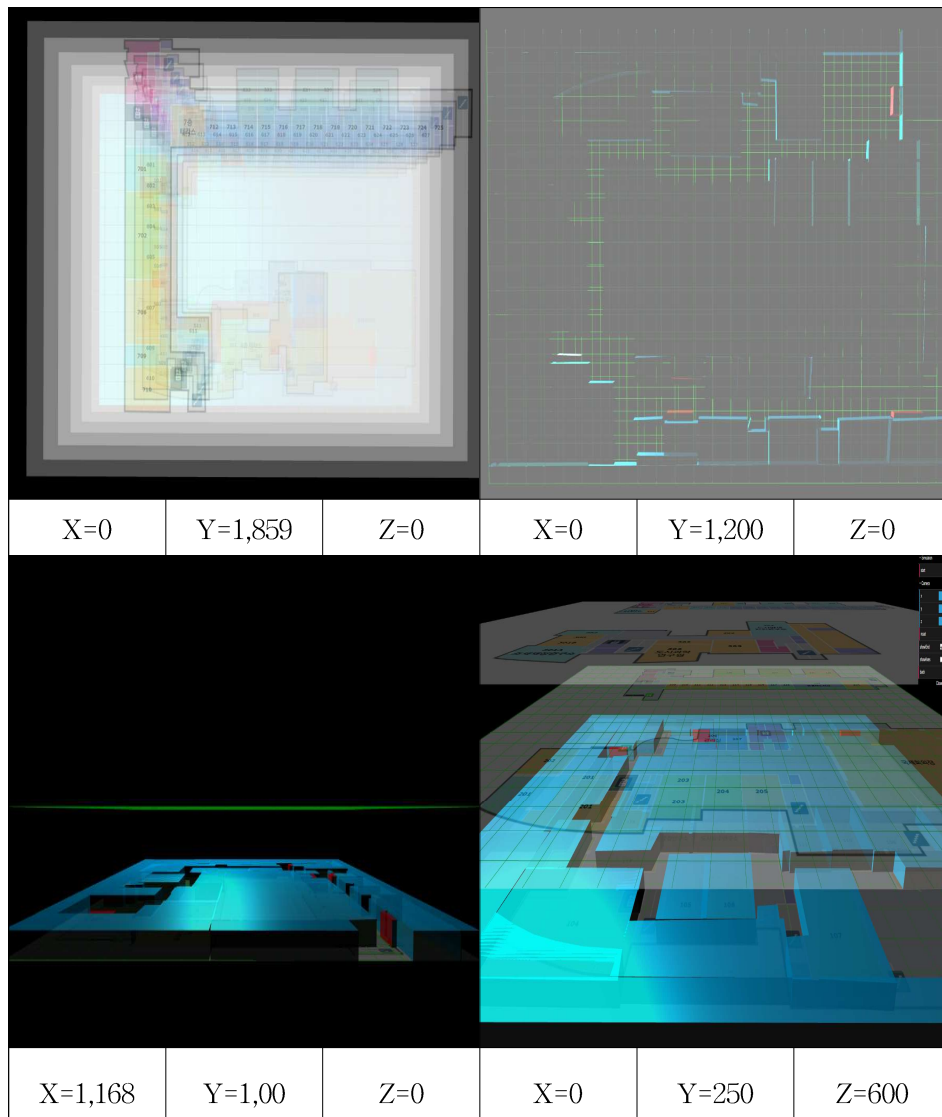


<Cell기반 Grid 활성화 기능>

- 한편 3차원 네트워크를 효과적으로 컨트롤하기 위해서 카메라 컨트롤 기능이 있으며 카메라 컨트롤의 인터페이스는 그림 12와 같음
- 카메라 컨트롤은 X, Y, Z axis를 자유롭게 조절할 수 있으며 Zoom in/out을 통해 효과적으로 보행자의 움직임을 확인할 수 있음



<3D 네트워크의 카메라 컨트롤 기능>



〈시점에 따른 3D 공간 네트워크〉

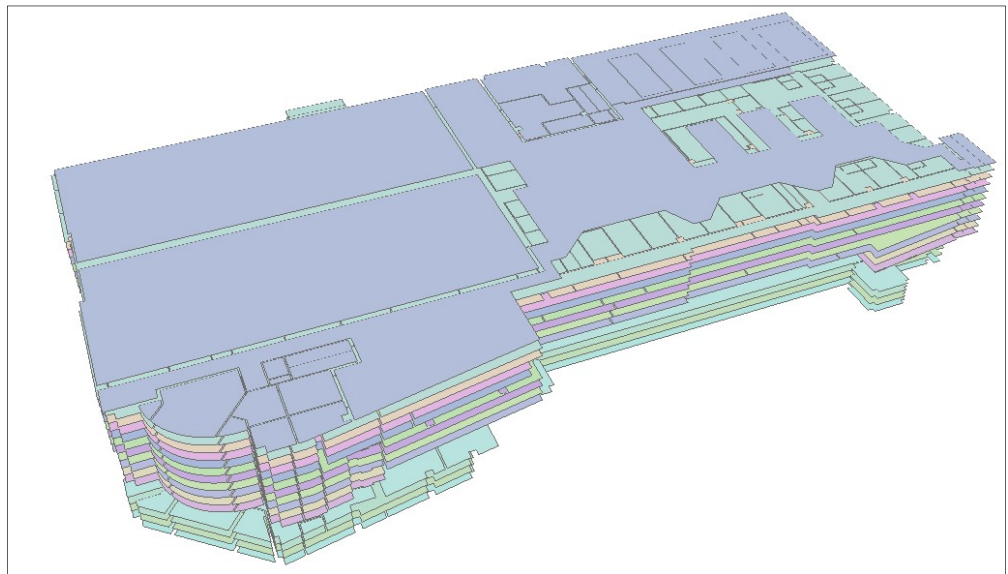
③ 테스트베드 구축 및 성능 분석

㉓ 테스트베드 구축

- 본 분석은 실제와 유사한 환경의 테스트 베드 분석을 위해 실제 건물의 도면에 맞는 실측 공간을 모델링함
- 실측공간 모델링을 위해 부천드림모아멀티플렉스 도면과 시청역 도면을 확보함
- 확보한 도면을 대상으로 3차원 복수 층 공간 네트워크 모델링 기법, CA기반 보행자 대피 알고리즘과 GIS 기반 공간 네트워크의 통합 시스템 구현을 통해 테스트베드를 구축함

㉦ 부천드림모아멀티플렉스

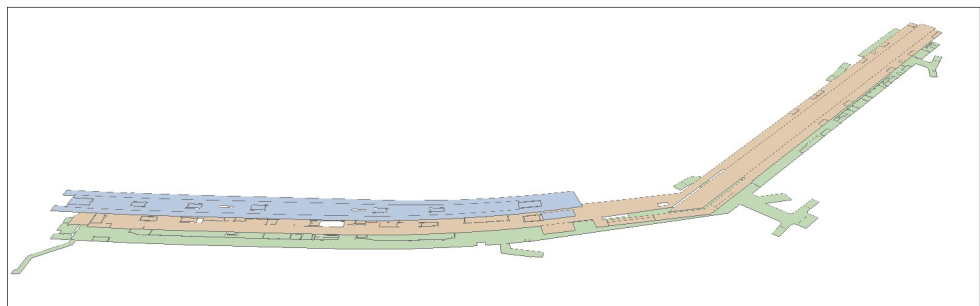
- 부천드림모아멀티플렉스의 경우 지하 4층, 지상 10층 및 옥탑 1층으로 구축되어있으며, 공간의 특성에 따른 Layer의 구분, 3D 모델에 Node 및 Network를 구축하여 CA기반 보행자 대피 알고리즘을 구현할 수 있도록 설계함
- 건물 내의 대피로(계단, 엘리베이터, 에스컬레이터)를 구현하였으며, 기존에 구축한 21세기관과 달리 외부 비상대피로를 함께 구현하여 분석을 수행함



〈부천드림모아멀티플렉스 시점에 따른 3D 공간 네트워크〉

㉧ 시청역

- 시청역의 경우 지하3층으로 구성되어 있으며, 일반 건물과 달리 환승통로, 각 호선별 출입구, 각 호선에서의 탈출지점(출입구)의 거리차이가 존재하여 그에 맞는 분석을 수행함
- 또한 지하철이라는 특수한 상황에 맞게 대피경로 제공 시, 대피경로 제공 불가능 시에 따른 효과분석을 수행하여 CA 보행 알고리즘을 검증함



〈시청역 시점에 따른 3D 공간 네트워크〉



<테스트베드 건축물의 3D 공간 모델링>

2-3. 연구 결과

가. 기술적 측면

(1) 테러/재난 상황 시 심리학적 인간 행동 분석이 가능한 플랫폼 기술 구현

- 건축물의 피난계획에서 고려하는 인간의 행동은 대표적으로 3가지로 분류할 수 있음. (“건축방재학”, 권인규 저, 2014) 대표적으로 귀소본능, 지광본능, 군집심리이며 이는 재난 상황에서 필수적인 요소임. 본 연구에서는 위 3가지 요소를 반영한 플랫폼을 제작하여 보다 실제적인 테러/재난 상황에서의 인간의 행동을 분석할 수 있음.

(2) 대형 건물의 피난 설계에 활용, 테러/재난상황 탈출 시간 산정의 기초 자료 확보

- 본 연구는 국민의 안전과 직결되는 방재·안전적 측면에서 첨단시스템의 사용을 통해 방재 시스템의 고도화를 이룰 수 있으며, 사회적인 요구에 따라 생명의 시간 골든타임 이내에 건물 내 재실자의 안전한 대피에 기여하는 것은 물론, 테러/재난상황의 복구를 신속하게 만들며 회복탄력성을 증가시킬 것으로 예상됨.

(3) 보행자 행태 및 공간 데이터 플랫폼의 융합 연구 분야 확대

- 방재·안전, 공간정보, 교통 알고리즘의 융·복합적 연구를 통해 학계가 시대의 요구에 대해 반응하는 연구를 진행할 수 있으며, 그에 따른 방재·안전 전문 인력의 양성을 통해 사회 안전에 기여할 수 있음.

나. 경제적·산업적 측면

(1) 도시 재난의 회복탄력성 증가에 따른 테러/재난으로 인한 사회적 비용 감소 효과

- 본 연구의 결과물은 대형화되는 건물의 규모에 따라 다양한 사회적 수요를 가질 것으로 예상되며, 이용자 관점에서 쉽고 편리한 시뮬레이션 제공을 통해 현대인들의 도시 테러/재난 불안감을 해소할 수 있을 것으로 판단됨.

(2) 고가의 수입 상용프로그램을 대체할 수 있는 국산 시뮬레이션 플랫폼

- 건축물의 피난 계획에 사용되는 국산 프로그램의 발전이 빠르지 않아서, 그에 따라 고가의 수입 상용프로그램이 주류로 사용되고 있기 때문에 본 연구를 통해 국내 실정에 맞는 프로그램의 개발이 수입 프로그램을 대체할 수 있음.

다. 사회적 측면

(1) 다양한 플랫폼을 통한 쉽고 편리한 정보 제공에 따른 이용 활용성 증가

- 본 연구의 핵심 성과인 CA기반 알고리즘 및 이용자친화형 플랫폼을 통해 보행약자에 대한 테러/재난대응책을 마련할 수 있으며, 다양한 대피경로 제공을 통해 사회가 지향하는 “Universal Design”, 즉 사회적 약자들의 물리적, 심리적인 접근장벽을 없애는 것에 기여할 수 있음.

(2) 안전한 사회 건설을 원하는 국민적 요구에 부응하는 정책적 판단 근거 제공

- 본 연구를 통해 사회가 지향하는 테러/재난에 안전한 사회에 대한 국민적 요구에 부응할 수 있으며, 연구 결과를 통해 새로운 정책 자료를 만드는데 판단 근거를 제공할 수 있음.

(3) 안전에 대한 불안감을 제거할 수 있는 사회적 요구 충족

- 본 연구의 결과물은 대형화되는 건물의 규모에 따라 다양한 사회적 수요를 가질 것으로 예상되며, 이용자 관점에서 쉽고 편리한 시뮬레이션 제공을 통해 현대인들의 도시에서 발생할 수 있는 테러/재난에 대한 불안감을 해소할 수 있을 것으로 판단됨.

(4) 안전의식을 높이는 도시생활의 테러/재난 인식 프레임 전환

- 건축물의 테러/재난상황 발생 시 재실자가 스마트폰을 이용하여 손안에서 이동정보를 알 수 있으므로 테러/재난에 대한 안전의식을 높일 수 있음

2-4. 연구 성과

가. 국내외 논문 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCI 여부 (SCI/비SCI)	게재일	등록 번호
1	Walk-ability Evaluation of Pedestrian Facilities	International Journal of Transportation(IJT)	Jooyoung Kim & Seungjae Lee	Vol.6, NO.1	호주	SERSC Australia	ESCI	2018.04.06.	2207-6433
2	활동기반 교통모형 MATSim을 이용한 실내 피난 분석	한국ITS학회지	김주영, 이승재, 안치원	Vol.17	한국	한국ITS학회	비SCI	2018.02.18.	1738-0774
3	Comparative analysis of traveler destination choice models by method of sampling alternatives	Transportation Planning and Technology	김주영, 이승재	Vol.40	영국	Routledge	SCIE	2017.07.03.	1029-0354
4	Modeling handicapped pedestrians considering physical characteristics using cellular automaton	Physica A	김주영, 안치원, 이승재	Vol.510	네덜란드	Elsevier	SSCI	2018.11.15.	0378-4371
5	Congestion Pricing Policy in Europe: Milan, Rome and London Cases	International Journal of Transportation(IJT)	Donggyun Ku, Madiha Bencekri, Shinhae Lee and Seungjae Lee	Vol.7, No.1	호주	SERSC Australia	ESCI	2019.04.04.	2207-6433

나. 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	2017년 한국ITS학회 춘계학술대회	안치원	2018.04.20.	제주한라대학교 한라컨벤션센터	대한민국
2	2018년 추계 대한교통학회	김주영	2018.09.13.	카이스트 문지캠퍼스	대한민국
3	2018년 추계 대한교통학회	나성용	2018.09.13.	카이스트 문지캠퍼스	대한민국
4	HE 23RD INTERNATIONAL CONFERENCE OF HONG KONG SOCIETY FOR TRA NSPORTATION STUDIES	정상철	2018.12.09.	홍콩	홍콩

다. 지식재산권

(1) 특허

번호	명칭	국명	출원				등록				기 여율
			출원인	출원일	출원번호	등록번호*	등록인	등록일	등록번호	등록번호*	
1	회복탄력성을 극대화하는 대피 경로 안내 시스템 및 방법	KR	디토닉 주식회 사	2017. 05.02	10-2017- 0056545	10-18846 67	디토닉 주식회 사	2018. 07-27	10-18846 67	10-18846 67	100 %
2	보행자 유형별 이동경로 산출 장치 및 방법	KR	디토닉 주식회 사	2018. 03.23	10-2018- 0033876	10-19436 10	디토닉 주식회 사	2019. 01.23	10-19436 10	10-19436 10	100 %
3	대피자 그룹 생성을 통한 대피 경로 안내 시스템 및 방법	KR	디토닉 주식회 사	2018. 07.18	10-2018- 0083721	10-19718 92	디토닉 주식회 사	2019. 04.18	10-19436 10	10-19718 92	100 %
4	대피 지원 시스템 및 방법	KR	디토닉 주식회 사	2019. 04.12	10-2019- 0043155						100 %
5	특허(셀룰러 오토마타 알고리즘을 이용한 보행 상황 시뮬레이션 방법 및 장치)	KR	서울시 립대학 교 산학협 력단	2018. 03.14.	10-2018- 0029933						100 %
6	교통 네트워크에 기반하여 질병 위험 지역을 감시하고 정보를 제공하는 장치 및 방법	KR	서울시 립대학 교 산학협 력단	2017. 05.24.	10-2017- 0064134						100 %

7	교통 네트워크에 기반하여 질병 위험 지역을 감시하고 정보를 제공하는 장치 및 방법	KR	서울시립대학교 산학협력단	2017. 05.24.	10-2017-0064134	10-1885031	서울시립대학교 산학협력단	2018. 07.27.	10-1885031	10-1885031	100%
---	---	----	---------------	--------------	-----------------	------------	---------------	--------------	------------	------------	------

(2) 프로그램

번호	명칭	국명	저작물 종류	법인번호	저작자	창작일	기여율
1	회복탄력성 극대화 기반 테러/재난 극복 시뮬레이터	KR	컴퓨터프로그램 저작물	C-2018-005606	디토닉 주식회사	2018-02-26	100%
2	회복탄력성 극대화 기반 테러/재난 극복 시뮬레이터 v1.0	KR	컴퓨터프로그램 저작물	c-2019-011776	디토닉 주식회사	2019-04-19	100%
3	테러/재난 대피 플랫폼 서버 S/W	KR	컴퓨터프로그램 저작물	c-2019-011774	디토닉 주식회사	2019-04-19	100%
4	테러/재난 대피 플랫폼 클라이언트 S/W	KR	컴퓨터프로그램 저작물	c-2019-011775	디토닉 주식회사	2019-04-19	100%
5	테러/재난 대피 경로 안내 키오스크 S/W	KR	컴퓨터프로그램 저작물	c-2019-011777	디토닉 주식회사	2019-04-19	100%
6	대중교통 전염병 안전경로 탐색 시스템	KR	컴퓨터프로그램 저작물	264171-0006273	서울시립대학교 산학협력단	2018.03.01.	100%

라. 전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황										
			학위별				성별			지역별			
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1	연구인력양성	2017		3			3		3				
2	연구인력양성	2018		2			2		2				
3	연구인력양성	2019		1			1		1				

마. 기타

구분	명칭	비고
연구보고서	테러/재난 대피 시뮬레이터 기술 동향 보고서	1차년도
	테러/재난 대피 플랫폼 기술 동향 보고서	1차년도
	이용자친화형 UI/UX 조사 보고서	2차년도
	테러/재난 대피 시뮬레이터 적용을 위한 관계법령 조사보고서	2차년도
	국가 경쟁력 향상 및 수출 기대효과에 대한 보고서	3차년도
기술보고서	테러/재난 시뮬레이터의 Identity 정의 및 특성 모델링	1차년도
	테러/재난 대피 시뮬레이터 프레임워크 설계서	1차년도
	테러/재난 대피 플랫폼 프레임워크 설계서	1차년도
	테러/재난 대피 시뮬레이터 개발 보고서	2차년도
	테러/재난 대피 시뮬레이터 데이터 설계서	2차년도
	테러/재난 대피 플랫폼 개발 설계서	2차년도
	테러/재난 대피 플랫폼 개발 보고서	3차년도
기타 보고서	인간의 물리적·심리적 요소가 반영된 CA 기반 보행자 알고리즘 개발 보고서	1차년도
	인간의 물리적·심리적 요소가 반영된 CA 기반 보행자 알고리즘 개발 보고서	2차년도
	인간의 물리적·심리적 요소가 반영된 CA 기반 보행자 알고리즘 개발 보고서	3차년도
	실내 공간 모델링 및 실내 공간 DB 구축 보고서	1차년도
	실내 공간 모델링 및 실내 공간 DB 구축 보고서	1차년도
	대규모 건물의 공간네트워크 생성 보고서	2차년도
	대규모 건물의 공간네트워크 생성 보고서	3차년도
전문가 평가	테러/재난 대피 시뮬레이터 S/W 전문가 평가보고서	2차년도
	테러/재난 대피 시뮬레이터 S/W 전문가 평가보고서	3차년도
	테러/재난 대피 플랫폼 S/W 전문가 평가보고서	3차년도
	전문가 평가 의견서	1차년도
	전문가 평가 의견서	2차년도
	전문가 평가 의견서	3차년도

2-5. 결론 및 고찰

가. 핵심성과 A: 테러/재난 대피 시뮬레이터

(1) 테러/재난 대피 시뮬레이터 기술 조사

- 테러/재난 대피 시뮬레이터의 선행연구 및 상용화사례를 대상으로 조사·분석 수행
- 기존 연구 사례의 경우 비상 상황에서 재실자의 특이 이동 패턴을 반영할 수 없거나, 입력 변수들에 따른 한계, 변수들과의 상관성을 비롯하여 상용화 및 검증이 이루어지지 않은 경우들이 많았음

(2) 테러/재난 대피 시뮬레이터 프레임워크 설계 및 환경 정의

- 테러/재난 상황에서 회복탄력성을 높이고, 피해를 줄이는 공간구조와 테러/재난상황 발생 시 보행자의 개별 행태를 반영하여 피해를 최소화 시키며, 보행자 행동 특성을 반영한 모델을 개발하고 공간구조를 고려한 대안 대피 경로를 제공할 수 있는 프레임워크를 설계함
- 테러와 재난의 상황에서 위협을 효율적으로 극복하고 인명피해의 최소화를 위한 재난의 다양한 환경 정의. 다양한 환경변수와 고려사항으로 테러/재난 상황(화재, 지진, 테러 등), 공간구조(층, 경자, 복도, 대피처 등), 이용자(인원, 연령대 등) 등을 기술하여 설계함

(3) 테러/재난 대피 시뮬레이터 개발 및 개선

- 시뮬레이터 구동을 위한 DB 구축 및 공간모델링을 수행하였으며, 2차년도에는 CA기반 보행자 대피 알고리즘을 적용하여 테스트베드인 서울시립대학교 21세기관을 대상으로 시뮬레이터 실 구축을 수행함
- 3차년도에는 2차년도에 수행된 모의실험 결과를 바탕으로 시뮬레이터의 개선을 수행하였으며, 다양한 유형의 건물에서도 본 연구의 결과과 통용되는지 검증하기 위해 추가 테스트베드로 서울시청역사 및 복합쇼핑몰 건물을 선정 및 적용

나. 핵심성과 B: 테러/재난 대피 플랫폼

(1) 테러/재난 대피 플랫폼 기술 조사

- 테러/재난 대피 플랫폼의 선행연구 사례를 대상으로 조사 및 분석 수행
- 기존 연구 사례의 경우 실제 화재 상황에서 발생할 수 있는 병목현상 및 우회현상을 비롯하여 재실자의 심리적 상황 등이 반영될 수 없다는 한계점 존재

(2) 테러/재난 대피 플랫폼 프레임워크 설계

- 개별 보행자의 행동특성을 반영하여 회복탄력성을 높이고, 피해를 최소한으로 줄일 수 있는 시뮬레이터 플랫폼을 개발하기 위한 실행환경, 개발환경을 정의하고

설계함

(3) 테러/재난 대피 플랫폼 서비스 설계 및 구현

- 사용자 편의성을 고려한 UI/UX 조사 결과를 반영한 플랫폼의 설계 결과를 바탕으로 테러/재난 대피 플랫폼 서비스 구현.
- 본 연구로 개발된 플랫폼은 재실자의 현 위치 정보를 바탕으로 현황을 관리하고 대피 경로를 제공하는 관제시스템, 재실자에게 대피 경로를 제공하고 비상 상황 발생 정보를 관제시스템에 신고할 수 있는 기능 등을 제공하기 위한 스마트폰 애플리케이션, 건물 내 배치되어 건물 내 공간 정보 및 해당 위치 상에서의 대피 경로를 제공하는 키오스크 등 3부분으로 구성됨
- 개발된 플랫폼 서비스를 활용하여 재실자의 유형에 따른 특징 및 상황 정보 등을 반영한 최적의 대피 경로 제공이 가능하며, 실시간으로 재실자의 위치를 파악하고 관리할 수 있어 비상상황 발생 시 모든 재실자의 안전한 탈출을 지원함

다. 핵심성과 C: CA기반 보행자 대피 알고리즘 개발

(1) CA기반의 보행자 특성 도출

- 보행자의 전방이동, 후방이동, 시계제약 등 일반적인 보행자 특성에 대해 cell 단위의 현실화를 수행함. 각각의 보행자 특성에 대해 Flow Chart를 구성하여 대피 시뮬레이터 상에서 보행특성을 반영한 대피시나리오가 구현되도록 함
- CA 기반의 보행자 특성 반영의 시뮬레이션을 통해 전방의 장애물 인지 시 다른 출입구로의 이동, 시계제약에 따른 보행속도 감소 및 보행밀도 증가 등을 반영한 시뮬레이션 구현으로 다양한 대피시나리오에서의 결과 도출

(2) 최적경로 알고리즘 적용을 통한 최적 대피경로 도출

- 대피 상황에서 최적경로(Shortest path)만을 찾는 보행자 특성을 교통 Traffic Assignment 이론에 접목하여 대피 시 보행자 대피의 경로 예측 및 대피 시간 도출
- 출입구 폐쇄, 계단 폐쇄 등의 장애물이 존재하는 상황에서 본 연구를 통해 분석한 후방이동, 시계제약 등 CA 모형에서의 보행최적경로 도출을 통해 보행교통흐름(Pedestrians traffic flow) 결과를 도출함
- CA 기반의 최적경로 알고리즘 적용을 통해 보행밀도, 보행속도, 보행경로를 예측함. 보행교통계획 측면에서 출입구, 계단 등의 통행 공간 넓이를 반영하여 보행지체(Pedestrians Queuing)을 반영한 시뮬레이터 전략을 수립함

라. 핵심성과 D: 대규모 건물의 공간 네트워크 모델링 기술 개발

(1) 건물 내 Network 구축을 통한 보행시뮬레이터 개발

- 건물 내 표준 Node 및 Link 생성을 통한 Network 구축으로 최적경로 알고리즘을 적용할 수 있는 건물 공간 네트워크 모델링 기술 개발
- 기존 CA 모형 기반의 보행시뮬레이션에서 최적경로 알고리즘을 구축할 수 있는 보행 Network를 생성하여, 보행자가 최적경로(Shortest Path)를 이용하여 대피할 수 있는 Tool을 개발함. 이를 통해 실제 건물 내외의 재난 상황 시 보행자가 일반적으로 자신이 들어온 출입구로 대피하는 결론을 도출하였으며, 따라서 특정 출구에 다량의 인원이 집중되는 현상을 보임
- 또한 실제 대피상황에서 선도자를 추종하는 본능이 있어, 특정 출구에 가중되는 보행밀도 증가로 실제 대피 속도가 매우 느려짐

(2) 3차원 복수 층 공간 네트워크 모델링 기법 개발

- 평면(2D) 구현의 기존 CA모형 기반 보행시뮬레이터에 상층 계단과 하층 계단을 연결할 수 있는 Network를 구축하여 실제 건물 내 대피모듈을 적용시킬 수 있는 기법 개발
- 기존의 3D 모델은 시각화를 목적으로 하는 것이 대부분이며, 실내 대피 시나리오의 경우 한 층에서의 대피 분석이 대부분임. 따라서 본 연구는 2D 기반의 CA 알고리즘에 좌표값을 부여해 3D 구축을 하였으며, 각 층에서의 보행자가 상하로 이동 시 이동된 상하층에서 보행자가 다시 표출될 수 있게 표현하여 실제 대피상황을 분석함

(3) 초고층 및 특수건물의 3D 공간 네트워크 구축을 통한 회복탄력성 극대화기반 테러 재난 시뮬레이터 활용성 증대

- 15층 이상의 건물의 3D 공간 네트워크 구축으로 비상구 존재 상황에 대한 분석을 수행하여 대피상황 시 비상구 유무에 따른 보행통행패턴의 변화를 분석함
- 지하철과 같이 보행자의 입구와 출구가 다른 상황의 특수건물에 대한 3D 공간 네트워크 구축을 통해 지하철에서의 대피시나리오 분석을 수행하였으며, 기존의 보행자가 주로 계단과 에스컬레이터를 이용하고, 엘리베이터 이용이 적어 대피상황에서도 일반 건물 대비 대피시간이 단축되는 결과를 도출함. 하지만 보행자는 최적경로의 대피경로보다 선도자에 의지하는 상황이 나타남을 분석함. 따라서 대피 출입구 직전까지의 대피시간은 단축되나, 출입구 앞 계단에서의 보행밀도 집중으로 총 대피시간은 오히려 증가하는 것으로 분석됨

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

3-1. 목표

가. 연차별 연구 목표



〈각 연차별 연구 계획 및 연구 목표〉

(1) 1차년도

기술구분	개발목표	세부 연구 목표	수행기관
테러/재난상황 대피 시뮬레이터	테러/재난 대피 시뮬레이터 기술 조사, 프레임워크 설계 및 환경 정의	• 선행 연구 사례조사 • 테러/재난 대피 시뮬레이터 프레임워크 설계 및 구성 • 테러/재난 대피 환경 정의 및 특성 모델링	디토닉 주식회사 (주관기관)
테러/재난상황 대피 플랫폼	테러/재난상황대피 플랫폼 기술 조사 및 프레임워크 설계	• 선행 연구 사례조사 • 테러/재난 대피 플랫폼 프레임워크 설계 및 구성	
CA기반 보행자 대피 알고리즘 개발	인간의 물리적·심리적 행태가 반영된 알고리즘 설계	• 국내·외 연구 관련 정보 수집 및 DB 구축 • 보행자 행태별 Human factor 모델링 기법 개발	서울시립대 (공동 연구기관)
대규모 건물의 공간 네트워크 모델링 기술	2차원 단일 층 기반의 공간 모델링 기법 개발	• 국내·외 연구 관련 정보 수집 및 DB 구축 • 2차원 단일 층 기반의 공간 모델링 기법 개발	

(2) 2차년도

기술구분	개발목표	세부 연구 목표	수행기관
테러/재난 대피 시뮬레이터	테러/재난 대피 시뮬레이터 개발	· 수집 데이터 구축 및 공간 모델링 · 2차원 복수 층 시뮬레이터 S/W 개발 (분석, 설계, 구현 및 테스트) · 테러/재난 상황 별 시뮬레이터 시연 · S/W 고도화를 위한 개발 및 성능 검증	디토닉 주식회사 (주관기관)
테러/재난 대피 플랫폼	테러/재난 대피 플랫폼 서비스 설계	· 테러/재난 대피 서비스 플랫폼 시나리오 설계 · 이용자 친화형 UI/UX 조사 · 테러/재난 대피 서비스 플랫폼 초기 설계 · 데모 구현을 위한 단위 모듈 개발	
CA기반 보행자 대피 알고리즘 개발	교통약자의 Human factor가 반영 된 C A 알고리즘 개발	· 교통약자의 Human factor가 반영된 모듈 개발 · 테러상황의 대안 경로 제시 알고리즘 개발 · 테러/재난 상황 별 대피 시나리오 알고리즘 모듈 개발 · 테스트베드 모의실험을 통한 알고리즘 고도화	서울시립대 (공동 연구기관)
대규모 건물의 공간 네트워크 모델링 기술	3차원 복수 층 공간 네트워크 모델링 기법 개발	· CA알고리즘의 Cell 단위의 좌표를 부여한 공간 네트워크를 구축하며 실제와 유사한 현실적인 건물 내부 공간 모델링 기법 개발	

(3) 3차년도

기술구분	개발목표	세부 연구 목표	수행기관
테러/재난 대피 시뮬레이터	테러/재난 대피 시뮬레이터 개선 및 상용화 추진	· 시뮬레이터 S/W 개선 · 패키지 작업	디토닉 주식회사 (주관기관)
테러/재난 대피 플랫폼	테러/재난 대피 플랫폼 서비스 구현	· 테러/재난 대피 서비스 플랫폼 개발 (분석, 설계, 구현 및 테스트) · 데모 구현을 통한 서비스 검증 및 평가·개선	
CA기반 보행자 대피 알고리즘 개발	구축된 모듈과 CA 알고리즘의 고도화	· 3차원 공간 네트워크와 구축된 교통약자 알고리즘 모듈을 적용한 CA 알고리즘의 고도화	서울시립대 (공동 연구기관)
대규모 건물의 공간 네트워크 모델링 기술	테스트 베드 성능 분석을 통한 시뮬레이션 고도화	· 구축된 CA 알고리즘과 공간 모델링 기법을 이용한 테스트 베드 성능 분석	

3-2. 목표 달성여부

구분	세부 연구 목표	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
A	테러/재난 대피 시뮬레이터 개발	40	100	성과 점검 기준에 준용한 질적 양적 성과 달성함
B	테러/재난 상황 대피 플랫폼 서비스 설계	10	100	上同
C	교통약자의 Human factor가 반영된 CA 알고리즘 개발	45	90	박사인력양성 : 2020년 2월 예정 / SCI 논문 : 1건 심사중, 1건 투고예정. 상기의 3건을 제외한 질적 양적 성과 달성함
D	3차원 복수 층 공간 네트워크 모델링 기법 개발	5	100	성과 점검 기준에 준용한 질적 양적 성과 달성함
합계		100점	95.5	

3-3. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책

구분	세부 연구 목표	구분	미달성 원인	차후대책
C	CA 알고리즘의 테스트 베드 적용 및 분석	박사인력양성	논문주제 변경에 따른 박사학위취득 연기	2020년 2월 학위취득 예정
		SCI 논문	Physica A 심사중	A Study on the indoor evacuation using cellular automaton 으로 Physica A 게재
		SCI 논문	기본 고층건물 대피 시뮬레이션과 더불어 지하 건물(지하철) 대피 시뮬레이션 추가에 따른 논문 내용 추가	고층건물 및 지하건물의 대피 시뮬레이션 주제 논문 IJTS(International Journal of Sustainable Transportation) 투고 예정

3-4. 관련분야 기여도

가. 재난·방재 분야

- 테러/재난 상황 시 심리학적 인간 행동 분석이 가능한 플랫폼 기술 구현
 - 건축물의 피난계획에서 고려하는 인간의 행동은 대표적으로 3가지로 분류할 수 있음. (“건축방재학” , 권인규 저, 2014) 대표적으로 귀소본능, 지광본능, 군집 심리이며 이는 재난 상황에서 필수적인 요소임. 본 연구에서는 위 3가지 요소를

반영한 플랫폼을 제작하여 보다 실제적인 테러/재난 상황에서의 인간의 행동을 분석할 수 있음.

- 대형 건물의 피난 설계에 활용, 테러/재난상황 탈출 시간 산정의 기초 자료 확보
 - 본 연구는 국민의 안전과 직결되는 방재·안전적 측면에서 첨단시스템의 사용을 통해 방재 시스템의 고도화를 이룰 수 있으며, 사회적인 요구에 따라 생명의 시간 골든타임 이내에 건물 내 재실자의 안전한 대피에 기여하는 것은 물론, 테러/재난상황의 복구를 신속하게 만들며 회복탄력성을 증가시킬 것으로 예상됨.

나. 교통공학 분야

- 보행자 행태 및 공간 데이터 플랫폼의 융합 연구 분야 확대
 - 방재·안전, 공간정보, 교통 알고리즘의 융·복합적 연구를 통해 학계가 시대의 요구에 대해 반응하는 연구를 진행할 수 있으며, 그에 따른 방재·안전 전문 인력의 양성을 통해 사회 안전에 기여할 수 있음.

다. IT 분야

- 고가의 수입 상용프로그램을 대체할 수 있는 국산 시뮬레이션 플랫폼
 - 건축물의 피난 계획에 사용되는 국산 프로그램의 발전이 빠르지 않아서, 그에 따라 고가의 수입 상용프로그램이 주류로 사용되고 있기 때문에 본 연구를 통해 국내 실정에 맞는 프로그램의 개발이 수입 프로그램을 대체할 수 있음.

4. 연구개발성과의 활용 계획

4-1. 사업화 계획

가. 생산 계획

구분		(2019 년) 개발 종료 후 1년	(2020 년) 개발 종료 후 2년	(2021 년) 개발 종료 후 3년
국 내	시장점유율(%)	고층건물의 0.01%	고층건물의 0.1%	고층건물의 0.5%
	판매량(단위:)	2	18	90
	판매 단가(원)	20,000,000	20,000,000	20,000,000
	국내 매출액(백만원)	40	360	1,800
해 외	시장점유율(%)	-	일본 극장건물의 2%	일본/중국 극장건물의 2.5%
	판매량(단위:)	-	12	65
	판매 단가(달러)	-	20,000	20,000
	해외 매출액(백만달러)	-	0.2	1.3
당사 생산 능력 ¹⁾		3	45	233

※ 생산 능력은 판매량의 150% 수준 유지 (커스터마이징 고려)

(1) 국내 대상 시장 : 21층 이상 고층 건물 대상 (약 20,000 동)

- 1차년도 : 시장 조사 및 판매 시작
- 2차년도 : 유동인구 많은 영화관 입주 건물 주 대상 (약 300개)
- 3차년도 : 고층 건물로 점차 확대

(2) 해외 대상 시장

- 1차년도 국내 검증을 거쳐 2, 3차 년도에 아시아권을 우선으로 해외 시장 진출.
- 2차년도 : 일본 영화관 입주 건물 대상 공급 (대상 시장 : 약 600 개)
- 3차년도 : 중국 영화관 입주 건물로 확대 (약 2,000개 추가 가능)

나. 투자 계획

(단위: 백만원)

항목		(2019 년) 개발 종료 후 1년	(2019 년) 개발 종료 후 2년	(2019 년) 개발 종료 후 3년
매출원가		17	184	902
판매관리비		300	880	1,875
자본적 지출	토지	-	-	-
	건물/구축물	-	-	-
	기계 장치 등	-	-	-
자본적 지출 합계		-	-	-

※ 자본적 지출 없음. 설비 투자 없이, IDC 활용 계획임 (매출원가에 포함)

(1) 매출원가 내역

(단위: 백만원)

	2019년	2020년	2021년
IDC비용	12	24	60
Agent수수료	5	160	842
계	17	184	902

※ Agent 수수료 : 국내 매출 50%의 30% 및 해외매출 전체의 40% 가정

(2) 판매관리비 내역

(단위: 백만원)

	2019년	2020년	2021년
인건비	150	400	750
기타관관비	150	480	1,125
계	300	880	1,875

※ 급여 평균은 50백만원 가정, 기타 관관비는 연도별로 인건비의 100%, 120% 및 150%로 산정함

다. 사업화 전략

구분	구체적인 내용																					
형태/규모	영업 형태	o 직영 및 Agent를 활용 영업 겸행 - 직영 : 당사 B2B 거래처 소재 빌딩 대상 영업 - Agent 활용 : 보안, 통신/인터넷 등 건물관리 유관업체																				
	수요처	o 국내 : 21층 이상 고층 건물 대상 (약 18,000 동) (참고) 국토교통부 건축물 층별 통계현황 (2017년) (단위: 천 동) <table><tr><th>부문</th><th>5층 이하</th><th>6-10층</th><th>11-20층</th><th>21-30층</th><th>31층 이상</th><th>합계</th></tr><tr><td>건축물</td><td>6,909</td><td>86</td><td>86</td><td>19</td><td>1.1</td><td>7101.1</td></tr></table>						부문	5층 이하	6-10층	11-20층	21-30층	31층 이상	합계	건축물	6,909	86	86	19	1.1	7101.1	
	부문	5층 이하	6-10층	11-20층	21-30층	31층 이상	합계															
	건축물	6,909	86	86	19	1.1	7101.1															
	예상 단가	o 국내 : 연간 사용료 2천만원 o 해외 : 연간 사용료 US\$ 20,000 (근거) 스위스 SMWALK社의 SmWalk 서비스 연간 사용료가 US\$ 22,500 수준(보행자를 중심으로 한 교통량 시뮬레이션 서비스)																				
	투입 인력	(단위: 명) <table><tr><th>분야</th><th>1차년도</th><th>2차년도</th><th>3차년도</th></tr><tr><td>개발</td><td>2</td><td>5</td><td>8</td></tr><tr><td>영업</td><td>1</td><td>3</td><td>7</td></tr><tr><td>계</td><td>3</td><td>8</td><td>15</td></tr></table>						분야	1차년도	2차년도	3차년도	개발	2	5	8	영업	1	3	7	계	3	8
분야	1차년도	2차년도	3차년도																			
개발	2	5	8																			
영업	1	3	7																			
계	3	8	15																			
개발 투입 기간	커스터마이징이 동반되므로 상용화 기간 중 계속 투입																					
상용화 능력 및 자원 보유	상용화 능력	o 공간기반 빅 데이터 분석, 플랫폼 기술 등을 보유하고 있으며, 이를 B2C서비스에 적용, 상용화를 통한 서비스 진행 중 o 연구 관련 기술을 공공, 기업을 대상으로 제공 경험 보유 o 자사 운영 중인 위치정보 서비스와 결합해, 건물 안전도 정보 제공 지원 및 홍보·마케팅 수행 가능																				
	자원 보유	o 자체 개발한 빅데이터 분석 플랫폼 보유(공간 기반 분석에 강점) o 전자 지도 기반의 공간 DB 플랫폼(건물도 DB화) o 홍보, 마케팅에 활용 가능한 위치기반 B2C서비스 운영 중																				
상용화 계획 및 일정			2019년	2020년	2021년																	
	국내	개발	상용화 준비 (패키징 등)	인증기관 평가 및 표준 추진	VOC 통한 지속적 개선																	
		영업	Agent 활용 (동행 영업 포함)	직영 본격 가동	직영 : Agent 50% 비중 유지																	
	해외	개발	다국어 지원	표준 추진 및 VOC 통한 개선	VOC 통한 개선																	
		영업	시장조사	일본	일본 + 중국 확대																	

라. 사업화 모형 제시

(1) 사업화 모형 수립(BM) 배경

(가) 사업화 모형(BM)은 과제 기간 중 개발되는 이용자친화형 플랫폼을 고객에게 제공하고, 그에 대한 대가를 “연간 사용료” 형태로 청구하는 모델임. 이는, 플랫폼에 데이터가 지속적으로 업데이트 되어야 하고, 실제 테러/재난 발생 시 보행자에게 상황 및 대피로를 정확하게 알려줘야 하므로, 지속적인 테러/재난 모니터링이 필요함에 기인함

(나) 연간 사용료 수준은 스위스 SMWALK社의 SimWalk 서비스를 벤치마킹 하였는데, 보행자를 중심으로 한 교통량 시뮬레이션 서비스의 연간 사용료가 US\$ 22,500 수준임. 그러므로 빅데이터 분석을 통한 데이터 업데이트 및 알림 서비스까지 추가되어 연간 2천 만원 (USD 20,000)은 국내외 모두 적절한 수준이라 판단됨.

(다) 대상 고객은 고층 건물 中 영화관, 미술관 등이 소재하여 일반인이 많이 운집하는 가운데 테러/재난에 가장 주의를 요구하는 곳을 선정함

(2) 사업화 모형의 목표 및 핵심 경쟁 요인

(가) 사업화 모형의 목표

- ① 국내 목표는 전국 고층건물 약 18,000동 중에서 특히 일반 보행자가 많이 모이는 건물을 대상으로 시장점유율 0.5~3.0%를 목표로 함. 2차년도의 목표수가 약 270개인데, 이는 전국 영화관 포함 건물이 약 300개 임을 감안할 때 달성 가능한 수치임
- ② 해외 목표는 일본과 중국을 대상으로 영화관이 포함된 고층 건물을 타겟으로 함. 상용화 첫해는 시장 탐색 기간으로, 2차년 10%, 3차년 15%를 목표로 집중 영업 전개

(나) 핵심 경쟁 요인

① SWOT 분석을 통한 경쟁력 도출

	기회	위협
강점	- 보행자 안전에 대한 요구가 증가하는 반면, 경쟁사가 많지 않음 - 자체 개발한 플랫폼 자원 보유 - 빅 데이터 분석 플랫폼 - 지도 기반 공간 DB 플랫폼 - 홍보, 마케팅에 활용 가능한 LBS 서비스 운영 중 - 연구 관련 기술을 공공 및 기업 대상으로 제공 경험 보유	- 빅 데이터 분석을 통한 다양한 종류의 유사 서비스 파생 가능 (단, 공간을 DB화하여 데이터와 연계한 플랫폼 개발은 용이하지 않음) - 위험 대피에 대한 서비스만 제공할 경우, 사용빈도가 낮아서 단조로운 서비스로 인식될 수 있음
약점	기업 수요처를 대상으로, 신생 기업에 따른 브랜드 인지도 활용 어려움	IT 대기업군 및 건설 관계사의 시장 진입 가능성

② 핵심 경쟁 요인

- ㉔ 공간에 특화된 데이터베이스를 활용한 분석 및 서비스가 플랫폼의 근간이 되어, 보행자가 이용하기 쉽도록 서비스로 연결 가능함
- ㉕ 공공 및 민간의 다양한 빅 데이터 분석 경험을 활용한 테러/재난 대피 알고리즘은, 향후 다양한 내·외부 데이터를 지속적으로 포함하면서 업데이트 가능함
- ㉖ 현재 제공 중인 LBS서비스는 보행자 안전 서비스의 자연스런 홍보 역할을 담당할 뿐만 아니라, 필요 시 보행자용 앱 서비스로도 활용 가능함
- ㉗ 또한, 보행자가 단순히 재난 시에만 서비스를 사용할 경우, 앱을 삭제하여 필요 시 서비스를 받지 못할 가능성도 존재하므로 기존 LBS서비스 내에서 활용하는 방법도 구상 가능함

(3) 목표 시장 구조

(가) 경쟁 기업 현황

① 국내 시장

- ㉔ 국내 재난대피프로그램 시장은 건물 안전성에 대한 수요는 증가 중.
 - 대형건물 증가세와 더불어, 화재, 지진 및 테러와 같은 테러/재난 발생 환경도 증가 추세(대형건물 화재 건수는 2010년부터 연평균 9.9% 증가. 지진은 90년대 19.2회에서 2000년대 47.8회로 급격히 증가).
 - 시설물 안전관련 데이터를 합쳐 사고 예방 및 관리하는 빌딩정보모델링(BIM)이 부상 중. 2013년 완공된 동대문 디자인 플라자에도 BIM이 적용됨.
- ㉕ 재난 시 피난을 위한 안전 분야 특허, 2010년 5건에서 2013년 33건으로 6.6배 증가하고 있으며, 관련 특허를 보유한 회사들이 솔루션 개발을 통해 경쟁 기업으로 나타날 수 있음.
 - ‘PallaiON 플랫폼’이라는 상품의 ‘Safety’ 파트로 포함되어 있음.
- ㉖ 국내 기술로 상용화한 업체는 ‘버추얼빌더스’가 유일하며, 2015년 1월 상용화되었으나, 아직은 보급이 많이 되지 않은 편이며, 대부분이 해외 소프트웨어에 의존하고 있음.
 - 국내 소프트웨어는 ‘버추얼빌더스’가 2015년 ‘PalladiON Platform - Safety’를 출시하고 영업 중
 - ‘코리아엘레베이터컨설팅’은 엘리베이터 설비와 연결지어, 신축건물에 대한 재난대비시물레이션 및 관련 컨설팅을 해 주고 있음. 재난대비시물레이션은 미국포춘사와 해외 재난대피 전문가와 협업해 작업
 - 그 외 해외 소프트웨어를 기반으로 재난대피 컨설팅을 제공 중인 회사가 다수 존재하나, 해외제품이라는 특성 상 한국인의 체형과 문화를 반영하는 데

는 한계가 있음

㉔ 그러나, 시뮬레이션 시스템 제공 중심으로 이용자 편의를 위한 기능 제공하는 곳은 없음

- 안전행정부에서 최근 재난안전 앱을 공개하였으나, 재난 발생 시 대처 방법에 대한 정보 제공 수준
- 코엑스와 같은 일부 대형 건물에서 건물에 대한 자체 앱을 제공하고 있으나, 비상구 위치 정보 제공 수준

② 해외 시장

㉕ 국내와 마찬가지로 화재, 테러 등으로 인해 건물 내 재난 대피 시뮬레이터의 요구가 건물 설계부터 후속조치에 이르기까지 높아지고 있음.

- BuildingEXODUS, SIMULEX 등 기존 강자들이 관련시장을 주도하고 있으나, 관련 시장의 성장과 함께, 경쟁업체도 증가할 것으로 예상됨.

㉖ 주요경쟁기업 현황은 다음과 같음

회사명	국가	내용	경쟁제품명
그리니치대학	영국	• 대학 내 연구 후 상용화 • 빌딩, 해양 등 다양한 환경에서의 재난 피해 시뮬레이션 소프트웨어 제공 중.	buildingEXODUS
IES	영국	• 영국 에버그린 교수 2인 개발 후 상용화 • 학교, 병원, 컨퍼런스홀, 교통시설 및 대형건물 내 보행 시뮬레이션을 제공하며, 대피 상황에 특화됨. 또한 소프트웨어 판매 및 컨설팅 제공	SIMULEX
Thunderhead	미국	• 건물 내 보행 시뮬레이션에 특화되어 있으며, 시각화 모델이 뛰어나고 라이선스 기반의 솔루션 판매 및 교육 제공	Pathfinder
SIMWALK	스위스	• 보행자 시뮬레이션을 기반으로 건물 내 재난대피를 주요 애플리케이션으로 제공 • 대중교통과 공항은 특화하여 제품으로 제공 • 커스터마이징 및 컨설팅 제공.	SIMWALK
PTV	독일	• 교통, 물류 기술을 바탕으로 보행자에 대한 재난대피시뮬레이션 제공. 대중교통시설에 포커스를 두고 개발됨.	VISWALK

㉗ 일부 시뮬레이터의 경우, 화재 센서 등에 정보를 연결하여 스프링클러 작동 등과 연계한 수준까지 발전되어 있음.

㉘ 그러나, 테러/재난 발생 시 실시간 시뮬레이터를 통해, 이용자에게 상황에 맞는 안전한 대피 경로를 즉각적으로 알려주는 서비스는 현재 없음.

- 미국 버지니아주에서는 홍수 발생 시 이용자 피난 경로를 앱 및 웹 서비스로

제공하고 있음. 한계점은, 시뮬레이션 결과에 따라 사전에 제작된 데이터로 현재 이용자의 상황을 반영한 피난 경로는 아님.

(나) 시장 진입 장벽

- 국내 시장의 경우 큰 장벽은 없는 것으로 조사되었음.
단, 개인 안전에 대한 집단 피해 보상 등 Risk 회피 방안에 대해서는 별도의 장치를 마련할 계획임
- 해외의 경우는 약 3년 후 해당 국가 (일본, 중국)의 법적, 제도적 상황을 확인하여 진행 계획이나, 안전을 목표로 진행하는 것이므로 큰 장애는 없을 것으로 판단됨
- 브랜드 경쟁력에서 본 과제에서 목표로 잡고 있는 대상시장에서 건물주 및 이용자들에게 확실히 포지셔닝되어 있는 브랜드는 없어, 브랜드 진입장벽도 크게 없을 것으로 판단됨.
- 기존 전통적인 강자들과 비교해 시뮬레이터 부분의 상대적으로 약한 부분을, 이용자 친화형 플랫폼을 강자로 내세워 기술적 진입 장벽을 극복할 수 있을 것으로 판단됨.

(4) 수익 확보 전략

(가) 주요 고객군

- 국내 주요 고객은 전국 고층건물 약 18,000동 중에서 특히 일반 보행자가 많이 모이는 건물을 대상으로 하며, 자체 보유한 영업인력 및 건물주와 긴밀한 협의가 많은 Agent (보안, IT, MRO 등)를 동시에 활용함
- 해외 주요 고객은 일본과 중국을 대상으로 영화관이 포함된 고층 건물을 타겟으로 함.
해외의 경우는 현지 Agent를 적극 활용하여 영업을 진행하는 전략을 추진함

(나) 사업화 모형(BM)을 통한 수익 창출 방안

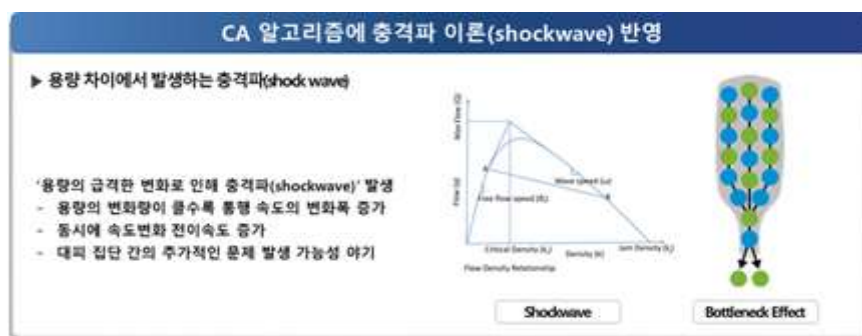
- 상용화의 가장 중요한 Key Factor는 고객이 테러/재난 대피에 대한 필요성의 공감과 함께, 이용자가 재난 상황만이 아닌 평상시에도 서비스를 잘 활용할 수 있도록 재난 알람이 왔을 때 앱을 친숙하게 활용할 수 있는 환경을 만들어 주는 것이 필요함
- 당사는 플랫폼 기술을 통하여 평상 시 LBS서비스를 통하여 고객에게 다가갈 수 있는 역량을 보유함으로써 고객에게 소구할 수 있는 중요한 요소를 보유하고 있다고 판단됨

4-2. 추가 연구의 필요성 및 타 연구에의 응용

가. CA기반 보행자 대피 알고리즘 개발

- 후속 연구년도인 사후 연구연도에는 과제 수행에서 발견된 CA 모형의 현행화 방안 마련을 위해 Wi-fi data 등을 이용한 실내 보행자 통행패턴 기반의 Calibration 수행
- 지적된 문제점은 상충지점 및 병목지점에서 Delay가 길어져 피난시간이 증가하는 문제가 발생됨
- 이러한 문제점을 해결하기 위해 교통류 이론인 shockwave 이론을 적용하여 병목 현상에서의 보행 딜레이 분석을 수행함

연 차	연구목표	주요 연구내용
사후연구	구축된 모듈과 CA 알고리즘의 현행화	· Wifi data 등을 이용한 실내 보행 통행패턴 Calibration · Shockwave 이론을 적용한 CA 알고리즘 개발

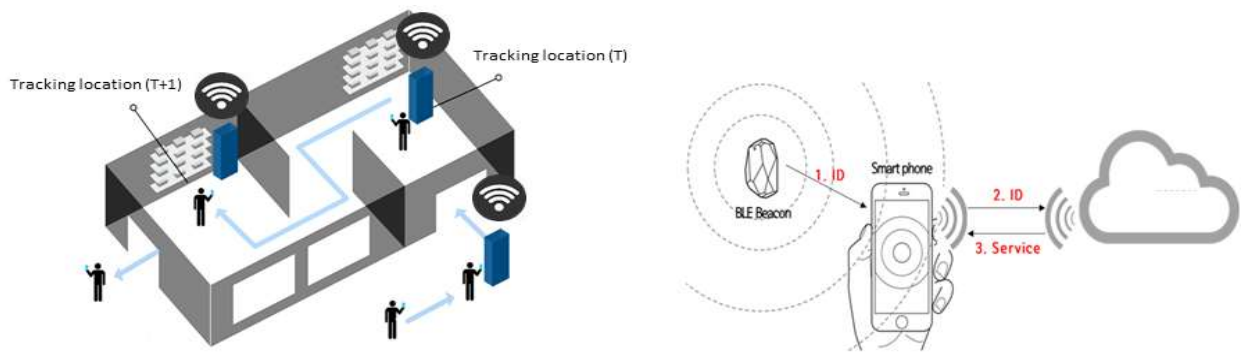


〈CA 알고리즘에 충격파 이론(Shockwave) 반영 적용〉

나. 대규모 건물의 공간 네트워크 모델링 기술 개발

- 실제 건물 적용의 정확도 향상을 위해 보행류 특성에 맞는 CA 모형 구축 고도화
- Wifi data 수집 및 분석을 통해 건물 내부 보행자의 통행패턴 분석 및 Calibration 연구

연 차	연구목표	주요 연구내용
사후연도	테스트 베드 성능 분석을 통한 시뮬레이션 고도화	· 고층 및 복합건물 대상 CA 보행 이동 알고리즘 정확도 향상 · 보행 통행패턴 파악을 위한 wifi 기반 Data 수집 및 Calibration



<Wifi data 기반 보행 이동패턴 분석 예시>

붙임. 참고문헌

강정아, 염재홍, and 이동천. “CAD 도면을 이용한 건축물 내부 공간의 3 차원 GIS 네트워크 모델링.” 한국측량학회지 24 (2006): 375-384.

구석모(2007), CA모형을 이용한 환승계단의 보행자 행태모형 구축 및 평가, 서울시립대 석사학위논문

김남문 외, 승객 위치정보 기반 지하철 분산대피 안내 시스템, 한국산학기술학회논문지 제15권 제7호, 2014년 7월

김동은, et al. “성능적 피난안전설계를 위한 수직적 보행속도에 관한 연구.” 한국화재소방학회 학술대회 논문집 (2009): 311-316.

김응식, 이정수, and 김수영. “초등학생의 피난 훈련 상황하에서의 이동속도 측정 및 분석에 관한 연구.” 한국화재소방학회 논문지 17.4 (2003): 1-6.

김정현, 오영태, 손영태, 박우신(2002), 보행자 시설 서비스 수준 산정에 관한 연구, 대한교통학회지 제20권 제1호

김정현, 오영태, 손영태, 박우신(2002), 보행자 시설 서비스 수준 산정에 관한 연구, 대한교통학회지 제20권 제1호

김종성 외, 피난 시뮬레이션을 이용한 안전성 평가 수행시 재해약자의 반영에 따른 영향 분석 연구, 대한건축학회 논문집 - 계획계 27(12), 2011년 12월

김주영, 방재기술동향 - buildingEXODUS 소개, 화재안전점검 제99호, 2003년 9월.

김지수, and 이진국. “BIM과 그래프를 기반으로 한 건물 동선의 표현과 분석 접근방법.” 한국 건설관리학회 논문집, Vol.16 No.5(2015-09)

김혜영, 전철민, and 권재현. “3 차원 내부공간에서의 Syntax 기반의 접근성 산출.” 한국지형공간정보학회지 15.3 (2007): 11-18.

김혜진, 초고층 주상복합 아파트의 피난시뮬레이션 시나리오 평가에 관한 연구, 경북대학교 대학원 석사학위논문, 2013년 12월

남현우, 곽수영, and 전철민. “보행자의 물리적 특성을 반영한 CA 기반 보행모델.” 한국공간정보학회지 22.2 (2014): 53-62.

남현우, 곽수영, and 전철민. “한국인의 보행특성을 적용한 보행모델.” 한국지형공간정보학회 학술대회 (2012): 219-220.

대한교통학회, 『도로용량편람』, 국토해양부, 2013.

박동주(1993), 보행목적에 따른 보행교통류 특성에 관한 연구, 서울대 석사학위논문

박동주(1993), 보행목적에 따른 보행교통류 특성에 관한 연구, 서울대 석사학위논문

박세진, et al. “연령에 따른 보행속도 및 보폭에 대한 고찰.” 대한인간공학회 학술대회논문집

(2007): 430-434.

박인혜 외, CA 모델을 이용한 GIS 기반 화재 대피 시뮬레이션, 한국공간정보학회지, Vol. 16, No. 2, 2008년 7월

박인혜, 전철민, and 최윤수. “건물 내부공간의 최적경로 탐색을 위한 3 차원 GIS 네트워크 모델링.” 한국지형공간정보학회지 15.3 (2007): 27-32.

박재성. “계단에서 올라가는 군집보행의 속도에 관한 조사 및 특성에 관한 연구.” 한국화재소방학회 논문지 25.1 (2011): 72-77.

배영훈, et al. “지하공간 피난 시 연기에 따른 군집 보행속도 분석.” 대한건축학회 학술발표대회 논문집 34.1 (2014): 215-216.

서동구, 황은경, and 권영진. “성능적인 피난안전설계를 위한 군집형성시 보행속도 조사연구.” 대한건축학회 논문집-계획계 26.12 (2010): 99-106.

소방방재청, 피난안전성 평가기술개발을 위한 대규모 복합건축물 피난 시뮬레이션 국산화 연구보고서, 2014년 6월

손영태, et al. “CA 기반 보행교통류 Simulation 모형 개발.” 대한토목학회논문집 D 24.4D (2004): 563-568

유성훈, 김성수, and 이영신. “노인의 인지와 보행속도에 대한 교통 체계의 영향.” 대한인간공학회 학술대회논문집 (2015): 320-331.

유희권, et al. “한국 노인의 보행속도 연구.” 한국화재소방학회 학술대회 논문집 (2003): 407-414.

윤명오 외, 유비쿼터스 기법을 적용한 실시간 피난유도 시스템: RFID를 이용한 효율적 피난유도시스템, 한국화재소방학회 논문지 제 21권 제 4호, 2007년 12월

윤호주 외, 국내 건축물 피난 프로그램(K-evac)의 신뢰성 검증 연구, 한국방재학회지 제12권 제6호 통권58호, 2012년 12월

윤호주 외, 피난 프로그램(K-evac)의 세부알고리즘 고도화, 한국화재소방학회 학술대회 논문집, 2012년 11월

윤호주 외, 피난시뮬레이션 프로그램 개발을 위한 Exodus와 Simulex의 알고리즘 비교분석에 관한 연구, 한국화재소방학회 학술대회 논문집, 2009년 11월

이동호, and 박종승. “화재시 가시도 변화에 따른 대피속도 산정에 관한 연구.” Journal of the KOSOS 22.5 (2007): 22.

이민구 외, 퍼텐셜 필드를 이용한 화재 응급 대피 시스템 설계, 전자공학회 논문지 제48권 IE 편 제3호, 2011년 9월

이보영, 피난시뮬레이션 'buildingEXODUS'에 관하여, 화재안전점검 제97호, 2003년 3월.

이소희, et al. “도로경사와 연령별 보행속도 차이를 고려한 자연재난 대피소의 입지분석.” 한

국지형공간정보학회지 23.2 (2015): 69-77.

이수경, and 이상준. “피난 모델을 이용한 대형할인매장의 화재시피난에 관한 연구.” 한국화재소방학회 논문지 14.4 (2000): 17-22.

이수호, 보행 및 시지각 행동 특성을 반영한 피난시뮬레이션의 그룹이동 알고리즘 개발, 경북대학교 대학원 박사학위논문, 2015년 12월

이수호, 최준호, and 홍원화. “계단실 연기층 구간의 감광계수별 수직적 피난보행속도 분석.” 대한건축학회 논문집-계획계 27.11 (2011): 357-364.

이준. “보행교통류에서의 PSO 를 고려한 회전육각격자모형 개발.” 교통연구 19.3 (2012): 35-45.

이현진 외, 일본 동경소방청의 피난안전성평가 시뮬레이션 기술개발 사례연구, 한국화재소방학회 수제학술논문발표회 논문집, 2008년 11월

임현식, 김역욱(2003), Space Syntax를 활용한 보행네트워크 분석에 관한 기초연구, 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집, 제23권 1호

임현식, 김영욱(2003), Space Syntax를 활용한 보행네트워크 분석에 관한 기초연구, 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집, 제23권 1호

장규현, et al. “건축물 내 보행 특성 도출을 위한 코너 보행 속도 분석.” 한국주거학회 학술대회논문집 (2013): 203-206.

장민수 외, BLE 환경에서 실내 위기관리를 위한 스마트 장치 기반의 재난대피 시스템, 대한임베디드공학학회논문지 제10권 제5호, 2015년 10월 국토교통부, 『도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 일부개정』, 2013.\장현호(2002), CA모형을 이용한 대규모 가로망 구간통행시간 예측에 관한 연구, 서울시립대학교 석사학위논문

정석환, and 윤명오. “업무용 고층건물 계단실의 보행속도에 관한 연구.” 한국화재소방학회 논문지 29.3 (2015): 13-20.

정장윤, and 염재홍. “GIS 표준 웹 서비스 적용을 위한 3 차원 실내모델의 효율적 시각화.” 한국측량학회지 27.1 (2009): 57-67.

정진엽, et al. “정상 한국인의 3 차원 보행 분석.” 대한정형외과학회지 40.1 (2005): 83-88.

최석근, 송해화, and 박경식. “네트워크기법을 이용한 구제역 확산 속도 분석.” 한국지형공간정보학회지 20.2 (2012): 101-107.

최준호 외, 초고층 건축물에 대한 피난 시뮬레이션 모델의 신뢰성 평가에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 - 계획계 31(2), 2015년 2월

최준호, and 홍원화. “고층 건축물 재실자의 계단 이동 시간 예측을 위한 시뮬렉스 피난모델의 보행속도 보정계수 제안.” 대한건축학회 논문집-계획계 29.3 (2013): 285-292.

최준호, and 홍원화. “초고층 건축물 재실자의 피난계단 이동 소요 시간 예측모델 개발.” 대한건축학회 논문집-계획계 28.11 (2012): 375-382.

최준호, et al. “초고층 건축물의 피난 시뮬레이션 실행을 위한 피난자의 계단이동방향별 보행 속도 보정계수 산정.” 대한건축학회 학술발표대회 논문집-계획계 29.1 (2009): 649-652.

홍해리, et al. “고령자 피난안전을 위한 군집형성시 수평적 보행속도 조사연구.” 한국화재소방학회 학술대회 논문집 (2010): 311-316.

황광일, 구재혁, and 전병청. “연안여객선 일반 승선자의 보행속도 실측 (I).” 한국항해항만학회 학술대회논문집 (2012): 33-34.

황연정 외, 3차원 공간 기반의 화재피난 시뮬레이션 시스템 개발, 한국화재소방학회 논문지, 제25권 제6호, 2011년 12월

황은경, 해외 건축물 피난시뮬레이션 개발 동향, 한국건설기술연구원, 2010년 12월

Avgoustinos Filippopolitis 외, Emergency Response Systems for Disaster Management in Building, NATO Symposium on C3I for Crisis, Emergency and Consequence Management, 2009년 5월

Chun-Yen Lin 외, Active Disaster Response System for a Smart Building, Sensors Vol. 14 No. 9, 2014년 9월

Fruin, J. (1971), “Designing for Pedestrians: A Level of Service Concept”, Highway Research Record 355, pp.1~.15.

Fruin, J. (1971), “Designing for Pedestrians: A Level of Service Concept”, Highway Research Record 355, pp.1~.15.

Gipps, P.G. and Marksjo, B. (1985) “A Micro-Simulation Model for Pedestrian Flows”, Mathematics and Computer in Simulation 27, pp.95~.105.

Gipps, P.G. and Marksjo, B. (1985) “A Micro-Simulation Model for Pedestrian Flows”, Mathematics and Computer in Simulation 27, pp.95~.105.

Helbing, D and Molnar, P (1995), “Social force model for pedestrian dynamics”, Physical Review E, pp.4282~.4286.

Helbing, D. (1992), “A Fluid-dynamic Model for the Movement of Pedestrians”, Complex Systems 6, pp.391~.415.

Jamali, Ali, Alias Abdul Rahman, and Pawel Boguslawski. “A hybrid 3D indoor space model.” International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2016.

Okazaki, S (1979), “ A Study of Pedestrian Movement in Architectural Space, Part 1: Pedestrian Movement by the Application of Magnetic Models”, Trans. of A.I.J., No.281, pp.111~.119.

Tang, Fangqin, and Aizhu Ren. “GIS-based 3D evacuation simulation for indoor fire.” Building and Environment 49 (2012): 193-202.

Teknomo, K (2006) “Application of Microscopic Pedestrian Simulation Model”, Transportation Research Part F, pp.15~.27.

Teknomo, K and Takeyama, Y. and Inamura, H, (2000) “Review on Microscopic Pedestrian Simulation Model“, Proceeding Japan Society of Civil Engineering Conference, Morika, Japan.

Teknomo, K, (2002) Microscopic Pedestrian Flow Characteristics: Development of an Image Processing Data Collection and Simulation Model, Ph. D. thesis, Department of Human Social Information Sciences, Graduate School of Information Sciences, Tohoku University, Japan.

Teo, Tee-Ann, and Kuan-Hsun Cho. “BIM-oriented indoor network model for indoor and outdoor combined route planning.” *Advanced Engineering Informatics* 30.3 (2016): 268-282.

You, Lei, et al. “A three-dimensional cellular automata evacuation model with dynamic variation of the exit width.” *Journal of Applied Physics* 115.22 (2014): 224905.

Zhao, Daoliang, Lizhong Yang, and Jian Li. “Occupants’ behavior of going with the crowd based on cellular automata occupant evacuation model.” *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 387.14 (2008): 3708-3718.

Zheng, Ying, et al. “Evacuation dynamics with fire spreading based on cellular automaton.” *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 390.18 (2011): 3147-3156.

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.