



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

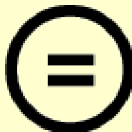
다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



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

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공 학 석 사 학 위 논 문

GIS 기반 지하공간 안전설비 및 대피정보 시스템의 설계와 구현



2009년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

정보보호학 협동과정

이 정 은

공 학 석 사 학 위 논 문

GIS 기반 지하공간 안전설비 및 대피정보 시스템의 설계와 구현

지도교수 김 창 수

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2009년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

정보보호학 협동과정

이 정 은

이정은의 공학석사 학위논문을 인준함.

2009년 2월 25일



주 심 이학박사 이 경 현 (인)

위 원 이학박사 신 상 욱 (인)

위 원 공학박사 김 창 수 (인)

<차 례>

그림 차례	ii
표 차례	iii
Abstract	iv
 I. 서 론	1
1. 연구배경	1
2. 연구내용 및 구성	2
II. 관련연구	4
1. 지하공간의 위험성	4
2. 지하공간 정보 시스템	6
3. 경로 탐색 연구	12
4. 맵 뷰어 시스템	15
III. 지하공간 안전설비 및 대피정보 시스템의 설계	18
1. 시스템의 구성	18
2. 공간 데이터 구성	24
3. 대피경로 탐색 알고리즘	26
IV. 시스템 프로토타입 구현	31
1. 시스템 구성 및 개발 환경	31
2. Database 구조	33
3. 시스템 구현	38
V. 시스템 효과 분석	49
1. 지하공간 정보 시스템과의 비교	49
2. 대피알고리즘 연구 비교	51
VI. 결 론	54
 참고문헌	55

〈그림 차례〉

[그림 1] 역사 주변 지형도 - 서울메트로	8
[그림 2] 역사 주변 지형도 및 역사 내부 구조도 - 서울도시철도공사	10
[그림 3] Shape 파일의 공간 데이터베이스 변환 과정	17
[그림 4] 지하공간 설비 및 대피정보 시스템의 계층 구조	20
[그림 5] Raw Data 계층으로부터 DB Management 계층 생성	21
[그림 6] 지하공간 재난영역 구획의 예	25
[그림 7] 시작점으로부터 각 출입구로의 경로탐색과정	30
[그림 8] 지하공간 설비 및 대피정보 시스템 구성	32
[그림 9] Database 구조	34
[그림 10] 맵 뷰어 시스템의 사용자 인터페이스	40
[그림 11] 두 지점 사이의 거리 측정 및 대피시간 측정	41
[그림 12] 지하공간 안전설비 및 대피정보 시스템의 인터페이스	42
[그림 13] 설비위치 선택을 통한 설비정보 확인	45
[그림 14] 설비검색을 통한 설비정보 확인	45
[그림 15] 대피경로 탐색과정	46
[그림 16] 평소의 대피경로 탐색 결과	47
[그림 17] 재난영역을 순차적으로 적용하여 우회 대피경로를 탐색한 결과	48

<표 차례>

<표 1> 지하공간 안전설비/장비의 분류	7
<표 2> Shape Type별 입력 쿼리 형식	17
<표 3> 시스템 계층의 구성요소 별 기능	23
<표 4> 공간 데이터 설명	24
<표 5> 주요 변수, 함수 설명	27
<표 6> 우회 대피경로 탐색 알고리즘	28
<표 7> 시스템 개발 환경	33
<표 8> 맵 뷰어 시스템 데이터베이스의 세부 구성	35
<표 9> 지하공간 정보 시스템 데이터베이스의 세부 구성	37
<표 10> 시스템의 메뉴 구성	39
<표 11> 지하공간 정보 시스템 비교	50
<표 12> 경로탐색 관련 연구 내용의 비교	53

Design and Implementation of the Safety Facility and Evacuation Information System in the Underground Space based on GIS

Jeong Eun Lee

Interdisciplinary Program of Information Security, The Graduate School,
Pukyong National University

Abstract

The accidents in underground spaces occurs the big disaster like fire, breakdown and explosion because of its spatial attributes. The disaster like the accidents of fire in the subway station, Dae-gu, is recorded the big man-made disaster and related to careless of the management. Wariness about the disaster management is increasing and progressing the standards of safety management, research in the process of correspondence. It is important that user must know the information of its spatial space for decreasing the damage in the underground space and are able to correspond the following the accidents.

In this paper, we designed and implemented that the information of the disaster management. This information system consists of two points of the following manner. First, user can recognize the spatial information in the underground space by our proposed system. Second, the administrator can manage the facilities and devices like spring-cooler by this information system.

Our proposed model is able to apply the general underground space and we've tested by implementation of the prototype system.

I. 서 론

1. 연구배경

급격한 산업화로 대도시로의 인구유입이 지속적으로 증가함에 따라 토지가격이 상승하고 지상공간의 이용이 포화상태에 이르게 되었다. 그 결과 지하공간에 대한 이용이 늘게 되어 대중교통수단인 지하철이 개발되고, 도시전역으로 확장되었다. 그리고 이러한 지하역사를 중심으로 하여 백화점, 지하상가 등의 지하층 연결통로 및 주변 건물의 지하공간 활용이 증대되고 있다. 또한 주차공간 확보를 위한 지하주차장의 활용도 늘고 있으며, 지하통행로가 단순한 이동 중심의 공간에서 지하상가, 만남의 광장 등 일반 시민들의 생활공간 중심으로 활용됨에 따라 앞으로도 지속적으로 지하공간을 이용하는 사람들의 수는 늘 것으로 예상되고, 지하공간의 수와 규모 또한 증대될 것으로 보인다.

지하공간의 활용이 증대됨에 따라 그 위험성 또한 문제가 되고 있다. 2003년 대구 중앙로역에서 발생한 지하철 방화사건으로 인해 많은 사상자가 발생하였으며, 그 이후로 지하철 및 지하공간의 안전에 대한 관심이 대중적으로 증가하였다. 이 사건 이후로 정부 및 관리기관에서는 지하철의 안전성 확보를 위해 기존의 안전설비에 대한 재검토 및 개선을 위한 연구 진행, 환경 측면에서의 안전성 확보를 위한 접근, 관련 법령의 개선 및 강화 등의 노력을 기울여왔다[1].

또한 2006년 서울 종로2가의 종각 지하상가에서의 일산화탄소 누출 사고와 같이 지하공간에서의 크고 작은 재난들이 지속적으로 발생

하고 있어 지하공간 전반에 대하여 안전설비/장비의 개발과 함께 관련 법령의 개선 등 다양한 측면에서 재난 발생요인을 사전에 배제하기 위한 노력을 기울이고 있는 실정이다[2] [3] [4] [5] [6] [7] [8].

그러나 이러한 지하공간의 재난 발생요인을 배제하기 위한 노력 이외에도 재난 발생 이후의 피해 규모를 줄일 수 있도록 신속하고 효율적인 대응이 가능하게 하기 위한 연구가 필요하다. 법령과 규제, 최신 기술의 도입 등으로 단시일 내에 재난의 발생을 막을 수는 없으며, 따라서 재난 발생 이후에 그 피해를 최소화하기 위해 인간행동 심리와 재난상황에서의 다양한 요인들을 감안하여 시민을 대상으로 한 사전 교육과 관리방법 및 대응매뉴얼 개선 등의 방법 등에 대한 연구를 수행해야 한다[9].

따라서 본 연구에서는 재난 발생 이후의 피해규모를 줄이기 위해 지하공간의 이용자들이 자신이 자주 이용하는 지하공간에 대한 사전정보를 습득하고 이를 재난 상황에서 활용할 수 있도록 인터넷을 통해 각 지하공간들의 공간적 정보와, 재난 상황에 따른 대피경로 정보, 그리고 활용 가능한 설비정보를 제공할 수 있는 시스템을 제안하고자 한다.

2. 연구내용 및 구성

본 논문에서는 지리정보시스템(Geographic Information System: GIS) 기반의 지하공간의 안전설비와 공간적인 구조에 대한 정보, 그리고 대피경로 및 재난상황별 우회 대피경로를 제공해주는 시스템을 설계한다. 또한, 설계된 시스템을 기반으로 사용자의 접근성을 향상시키

기 위해 인터넷을 이용하여 정보 시스템을 제공하기 위한 웹서비스 형태의 프로토타입(Prototype) 시스템의 구현을 연구 범위로 한다.

프로토타입 시스템은 기존 시스템과 비교를 위해 지하역사를 대상으로 하여 구현하였으며, 기존에 지하철 관리 기관에서 제공하고 있던 역사 정보와 안전설비 정보가 부족하여 보다 실효성이 있는 정보를 제공하도록 안전설비의 위치정보와 유효일자 등의 속성정보, 그리고 지하역사의 각 영역에서의 재난 발생을 고려한 대피경로를 제공하는 것을 목표로 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 지하공간의 위험성과 현재 제공되고 있는 지하공간의 공간정보와 안전설비 정보에 대한 내용을 다루고, 기존 최단경로 탐색 방법에 대한 연구내용과 맵 뷰어(Map Viewer) 시스템에 대해 다룬다. 3장에서는 지하공간의 안전설비 및 대피 정보 제공을 위한 GIS 기반의 시스템 구조를 제안하고, 4장에서는 제안한 시스템을 기반으로 웹 서비스 환경에서 지하역사를 대상으로 한 프로토타입의 구현 내용을 다룬다. 5장에서는 기존 연구된 시스템들과의 비교에 대한 내용을 다루고, 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

II. 관련연구

1. 지하공간의 위험성

지하공간에서의 재난 발생은 지상공간에서의 재난에 비해 그 공간적 특성으로 더욱 큰 인적·물적 피해를 야기한다. 이러한 피해를 경감시키기 위한 방법으로는 사전에 위험요소에 대한 제어를 통해 재난 발생 확률을 줄이는 것과 재난 발생 이후의 대처를 신속하고 효율적으로 하는 두 가지가 있으며, 본 연구에서는 재난 발생 이후의 신속한 대처를 위한 방법에 대해 알아보하고자 한다.

재난 발생 이후 인명 피해를 줄이기 위해서는 지하공간 이용자의 신속한 대피가 이루어져야 한다. 현재의 지하공간에서는 경보방송을 통한 재난상황 전달 및 유도등을 통한 대피경로 정보 제공이 이루어지고 있지만 대피경로의 경우 미리 정해진 일정경로로 고정되어 있어 대피경로 상에 위험요인이 존재할 경우 이용자가 무방비 상태로 위험상황에 빠지게 된다.

지하공간은 지상에 비해 폐쇄적인 공간이고, 일반적으로 자연광이 직접적으로 도달하지 못하므로 재난 발생 시 정전과 유독가스 등으로 인해 이용자들은 다음과 같은 심리적인 문제점을 가지게 된다 [10][11][12].

- 지하공간은 시야의 제한 때문에 건물 전체에 대한 구조를 상상하는 것이 불가능하다. 건물의 전체 규모나 내부 통행로의 윤곽을 쉽게 파악할 수 없기 때문에 재난 발생 시 심한 심리적

압박감과 공황 상태에서 방향 감각을 유지하는 것이 매우 어렵고, 그로 인해 실제 피난을 위한 행동으로 일정한 영역에서 탈출하지 못하는 경우가 발생한다.

- 지하공간에서 재난 발생 시 맹목적으로 타인의 행동을 따라하는 것이 일반적이다. 따라서 긴급한 상황에서 최소한 정보 또는 유도할 수 있는 방향을 제시함으로써 사람들의 심리적 공황을 예방할 수 있는 방법이 필요하다.
- 지하공간의 출입구는 이동 동선이 지하계단이나 엘리베이터를 이용하기 때문에 잠정적으로 폐쇄적인 연상 작용과 막연한 두려움을 가질 수 있다. 화재, 가스폭발, 방화/테러 등 갑작스러운 재난 및 붕괴의 위험이 발생할 경우 사람들은 고도의 두려움에 휩싸인다.
- 대부분의 지하공간 시설물은 사용의 편리성과 상업적인 측면이 강조되어 구축되어 있어 피난이나 친환경적인 요소에 대한 고려가 부족하다.

이러한 심리적 문제점으로 인해 지하공간에서의 재난상황 발생을 인지한 이후에도 사람들이 몰려가는 방향으로 따라서 움직이게 되고, 전체적인 지하공간의 구조에 대한정보가 없어 광장형태의 공간에서 제자리를 빙글빙글 돌다가 사망하는 등의 문제가 발생하며, 대피경로 상에 재난 발생위치가 존재하거나 방화셔터가 내려지고 문이 잠겨있는 등 경로가 차단될 경우 우회경로를 알지 못해 당황하게 된다.

만약 일부의 이용자가 사전에 자주 이용하는 지하공간에 대한 전체 구조와 설비에 대한 정보를 학습하여 기초적인 지식이 있는 상태라면 위와 같은 돌발 상황에서도 광장의 형태를 미리 파악하거나 우회경로의 존재 여부를 알아서 다른 경로로의 대피가 가능해지고, 이는 이

용자들의 생존확률 향상으로 이어지게 된다.

지하공간의 재난요인으로 화재, 가스폭발, 붕괴, 침수, 테러 등의 다양한 요인이 있을 수 있으나 재난발생 현황을 조사해 본 결과 가장 큰 피해를 유발하고, 그 발생빈도가 높은 재난요인은 화재인 것으로 분석되었다[13]. 따라서 본 논문에서의 주요 재난요인으로 화재상황을 고려하고자 한다.

2. 지하공간 정보 시스템

일반적으로 보행자는 자신이 자주 이용하는 지하공간에 대해서도 일정한 동선에 따른 구조 정보는 인지하고 있어도 전체적인 공간적 정보는 알지 못한다. 따라서 재난 상황에서 재난의 영향으로 자주 이용하는 경로로의 접근이 제한되게 되면 우회경로를 찾지 못해 당황하게 되고 시간 지연으로 치명적인 상황에 이르게 된다. 지하공간에 대한 공간적인 구조와 다양한 대피 경로에 대한 정보를 사전에 인지하고 있는 것은 매우 중요하다.

또한, 지하공간의 구조와 대피 경로 정보를 제공하는 것과 함께 대피에 활용할 수 있는 소화기, 방독면 등의 안전설비에 대한 위치정보와 수량 등을 미리 알고 있다면 재난상황에서 이러한 설비를 사용하여 생존확률을 더욱 높일 수 있다.

가. 지하공간 안전설비

지하공간의 재난과 관련된 안전설비의 분류[11]는 크게 피난설비, 소화설비, 방화시설, 전기설비, 가스설비, 정보통신설비 등으로 구분할

수 있으며, 각 분류별로 많은 수의 설비들이 포함된다. 하지만 본 논문의 연구 범위로 사용자의 대피와 화재상황에 대한 내용을 다루고 있으므로 여기서는 지하공간에서 사용하는 피난설비, 방화시설, 소화설비의 설비정보를 한정하여 다룬다.

<표 1> 지하공간 안전설비/장비의 분류

분류	장비의 종류
피난설비	피난계단, 비상탈출구, 환기통, 비상용승강기, 인명구조기구, 인명구조용 공기호흡기 및 인공소생기, 피난구유도등, 통로유도등 및 유도표지, 비상조명등, 휴대용비상조명등, 피난사다리, 구조대, 방열복, 경보설비
소화설비	자동식소화기, 간이소화용구, 옥내소화전설비, 스프링클러설비, 간이스프링클러, 물 분무 등의 소화설비, 옥외소화전설비, 제연설비, 연결송수관설비, 연결살수설비, 자동소화설비, 포소화설비, 포소화약제
방화시설	방화문, 자동방화셔터, 방화벽, 연소방지설비
전기설비	누전경보기, 누전차단기, 비상콘센트설비
가스설비	인화성가스감지기, 유독가스감지기
정보통신설비	무선보조통신설비, 방송시설, 통합방제실

나. 지하역사 정보 시스템

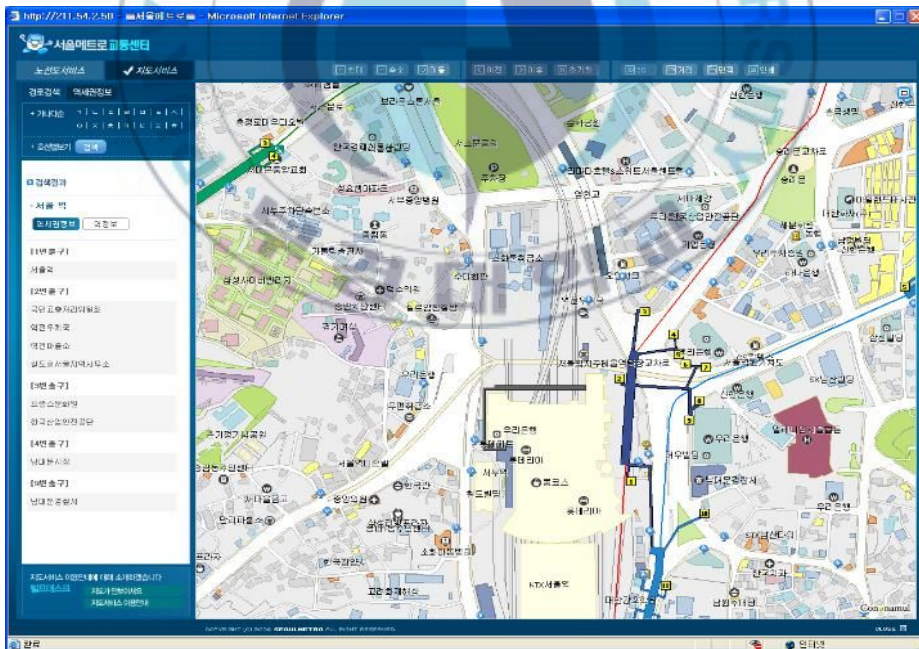
현재 지하공간에 대한 구체적인 정보는 지하역사에 대한 정보만 인터넷의 지하철 관리기관의 홈페이지에 접속하여 확인할 수 있다. 하지만 제공되고 있는 정보가 빈약하여 세부 역사별 검색, 최소 환승구간 검색 등 지하철 이용을 위한 정보들만 제공하고 있는 실정이다. 역사 내 정보 또한 역의 유래, 특징 등의 일반적인 내용을 제공하고 있

으며, 안전장비의 사용법과 비치 현황 정보를 제공하고 있지만 안전설비의 비치 위치와 관련된 정보는 제공하고 있지 않다.

(1) 서울메트로

서울메트로[14]에서는 홈페이지를 통해 역사 주변 지형도, 안전장비의 위치정보 및 사용법, 긴급 상황 행동요령 및 일반안전수칙 등의 정보를 제공하고 있다.

각 역사의 주변 지형도는 [그림 1]과 같이 서울메트로 교통센터 페이지에서 서비스되고 있으며, 특정 역사를 클릭하면 '역세권 정보'를 통해 각 역사의 정보를 알 수 있다.



[그림 1] 역사 주변 지형도 - 서울메트로

서울메트로의 홈페이지에서는 역사별 내부 구조를 세부적으로 표시한 별도의 페이지는 존재하지 않으며, 교통 센터에서 노선도 서비스, 최단거리 검색, 최소시간 검색, 최소 환승구간 검색 등의 서비스만을 제공하고 있다. 또한 지도서비스에 표시된 역 정보에서는 역의 유래, 특징 등의 일반적인 내용만을 지도로 표시하고 있다.

웹사이트 상단의 '안전&환경 > 안전관리 > 안전장비' 메뉴를 통해 역사 내에 비치된 안전장비와 열차 내에 비치된 안전장비 정보를 확인할 수 있다. 이 또한 역사의 세부 구조 및 안내도를 나타낸 페이지가 없어 비치장소를 텍스트 형태로 제공할 뿐 안전장비의 비치장소를 사용자가 쉽게 확인할 수 없다. '안전&환경 > 안전가이드 > 안전장비취급요령'에서 소화기 사용법, 소화전 사용법, 비상코크 개방법, 열차 내 버저 사용법 등의 안전장비 사용법을 간단한 예시 그림과 함께 제공하고 있다.

서울메트로의 긴급 상황 행동 요령은 비교적 자세히 소개되어 있으며, 열차 화재, 역사 화재, 지진 발생, 선로 추락, 지하철 테러의 카테고리별로 구분하여 세부적인 대처방법을 순서대로 예시 그림과 함께 제시하고 있다. 또한 열차 내 안전 수칙, 역사 내 안전수칙, 에스컬레이터 이용방법, 엘리베이터 이용방법 등의 일반안전수칙 정보도 제공하고 있다.

(2) 서울도시철도공사

서울도시철도공사[15]에서는 각 역의 상세 정보를 별도 정보 시스템을 통해 제공하고 있다. 이는 서울도시철도공사의 홈페이지 내에 링크를 통해 접근할 수 있으며, 역 정보, 내부시설안내, 주변지역 및

교통 안내, 열차 시각 등의 정보를 제공하고 있다. 다만 역사 내에 비상시 사용할 수 있는 안전장비(방독면, 비상조명등 등)의 위치 정보를 표시해줄 필요성이 있다.

서울도시철도공사의 정보시스템에서는 [그림 2]와 같이 역사 주변 지형도를 GIS 형태가 아닌 그래픽 파일로 표시하고 있으며 역사 내부 구조도를 2D¹⁾ 플래시 형태로 제공하고 있다.



[그림 2] 역사 주변 지형도 및 역사 내부 구조도 - 서울도시철도공사

역사 내부 구조도는 단순히 2D 플래시 형태로 역 구조를 표시하고, 그마저도 해상도가 낮아 가독성이 매우 떨어지며, 안전설비의 위치 정보나 비치장소, 수량 등의 정보가 제공되고 있지 않다. 또한 안전장비 사용법에 대해서도 정보가 없다.

'안전한 열차 이용 체험' 페이지에서 열차 화재 사고 모의 훈련 내용에 대해 소개하고 있으며, 일반 안전수칙은 '안전/환경 > 안전가이드'에서 일반, 에스컬레이터 이용, 승강장, 교통 약자 이동 편의시설 이

1) 전체 역의 구조를 측면 상단에서 내려다 본 형태로 제공하고 있다.

용, 선로 추락, 열차 내, 화재에 대해 각각의 안전 가이드를 제시하고 있다.

(3) 부산교통공사

부산교통공사[16] 홈페이지 내에 사이버 스테이션 코너에 역사 정보를 소개하고 있다. 역 정보 코너에서 역 정보, 각 역사의 첫차, 막차, 열차 시간표, 역세권정보, 역내 시설 안내도 등을 표시하고 있다.

역세권 정보에 주변 지형도를 표시하고 있으며 각 출구와 주변 정보를 표시하고 있으나 GIS 형태로 표시하고 있지는 않다. 역사 내부 구조도 또한 서울도시철도공사와 동일한 형태로 2D 플래시 형태로 제공하고 있어 가독성이 떨어진다. 마찬가지로 안전장비의 위치에 대해 세부적으로 표시하고 있지 않으며, 안전장비 수량, 비치정보에 대한 언급이 없다. 따라서 내부 구조도 상에 안전설비의 비치 위치와 수량에 대한 정보를 표시할 필요가 있으며 구조도의 가독성을 높여야 한다.

방독면, 비상 조명등과 같은 안전장비 사용법에 대한 구체적 내용은 제공하고 있지 않으며, 긴급 상황 행동지침이 소개되어 있으며 화재발생, 출입문 수동개방, 선로에 떨어졌을 시, 출입문 안전사고, 승차 방법, 지진발생 시 동영상으로 각각의 대책 요령을 제공하고 있다. 여기에 추가로 역사 화재 발생 시 행동요령에 대한 내용도 추가가 필요하다.

일반안전수칙의 경우 애니메이션 형태로 제작되어 있고, 애니메이션 아래에 주요 내용이 소개되어 있는 형태로 접속 이용자의 다양한 연령층을 고려하여 제작한 것으로 보인다.

3. 경로 탐색 연구

지하공간에서의 대피경로 정보 제공을 위해서는 사용자가 선택한 지점으로부터 지상으로의 출입구에 이르는 최단경로를 선택하기 위한 경로 탐색 방법에 대한 이해가 필요하다. 최단경로 탐색은 시작과 끝 두 지점 사이에 존재하는 수많은 경로 중에서 그 가중치가 가장 작은 경로를 선택하는 방법을 말한다. 최단경로 탐색을 수행하는 알고리즘의 종류에는 여러 가지가 있으나 일반적으로 Dijkstra 알고리즘과 A* 알고리즘이 가장 널리 사용된다[17].

- Dijkstra 알고리즘 : Dijkstra 알고리즘은 시작지점으로부터 다른 모든 지점으로의 경로 중에서 최단거리를 구하는 알고리즘이다. 이 방법은 각 지점간의 네트워크를 인접행렬 형태로 표현하고, 각 단계별로 시작지점으로부터 다른 각 지점들까지의 주어진 최단거리를 구하고, 새로이 구해진 최단거리를 다음 단계에 누적 적용하여 최종적으로 최단거리를 구하는 방식으로 진행된다[18].
- A* 알고리즘 : A* 알고리즘은 지향성 알고리즘으로 가장 적합한 탐색방향을 선택하여 탐색하면서 탐색된 지점들의 목표, 휴리스틱, 적합도 값에 대해 위치정보와 함께 저장하고, 닫힌 목록과 열린 목록을 두고 이를 최단경로 탐색에 활용한다. 추정방향으로의 경로탐색으로 전체적인 탐색횟수가 적어 알고리즘의 수행시간이 단축될 수 있다[17].

김주백 [19]은 출발지와 목적지 사이에 구축해 둔 최단경로 상에 변경사항이 발생하여 최단경로에 대한 재탐색이 필요한 경우를 재구성 문제로 정의하고 있다. 그리고 이 문제를 해결하기 위한 방법으로 처음부터 다시 Dijkstra 알고리즘을 적용하여 최단경로 탐색을 재수행하는 방법과 보다 효율적인 해결을 위해 기존 그래프에 대한 최단경로 정보를 최대한 이용하여 효율적으로 처리하는 레거시 정보이용 알고리즘을 제시하고 있다.

최단경로 탐색을 단순히 재수행할 경우 경로 구축이 단순하고 용이하다는 이점이 있으나 자원의 이용 측면에서는 비효율적이다. 이를 해결하기 위해 이전에 수행한 레거시 정보(이전에 수행하여 구한 최단경로 정보)를 이용하여 변경된 에지(Edge) 이전까지의 레거시 정보는 그대로 이용하고, 변경된 에지부터 이후의 목적지까지의 최단경로에 대해서만 Dijkstra 알고리즘을 적용하여 새로이 구하는 방법을 제시하였다.

이도영 [18]은 출발점에서 목표점까지의 최단경로를 구하기 위해 탐색영역을 설정하여 탐색을 수행하고, 탐색영역의 설정을 두 지점을 포함하는 최소사각영역(Minimum Boundary rectangle: MBR)으로 하여 진행이 되며, 노드 탐색이 이루어질 때마다 탐색영역은 줄어들게 된다.

출발점에서 목표점까지 존재할 수 있는 최단경로는 두 점 사이의 직선거리라는 점을 이용하여 우회허용 비율과 임계값을 두고 현재노드와 이웃한 다음노드(탐색영역 이내에 존재한 노드만 고려)에서의 목표점까지의 거리를 비교하여 우회 임계값 이내인지를 확인하여 진행하고, 임계값을 넘는다면 이전 노드로 돌아가서 재탐색하는 방법으로 진행된다. 우회허용 비율에 따른 탐색 정확도와 최단경로 탐색을 위해

탐색한 노드의 수를 파악한 결과 일정 허용비율 이상의 경우 100%의 탐색 정확도를 보였으며, Dijkstra 알고리즘에 비해 보다 적은 노드로 탐색할 수 있음을 보였다.

김혜영[17]은 일반적인 차량안내에 이용되는 최단경로 알고리즘을 보행자의 성향을 고려한 보행 최단경로 알고리즘으로 개선하여 최단경로를 산출하는 방법을 제시하고 있다. 여기서는 Space Syntax 이론을 이용하여 보행자들이 공간적 접근성, 또는 인식성이 높은 경로를 주로 선호한다는 점에 근거하여 경로 내에 인식성이 높은 길 위주로 최적경로를 안내해주는 알고리즘을 제안하였다.

알고리즘을 적용하여 실험한 결과 최단경로에 비해 보행 최적경로로 산출한 경로는 조금 더 먼 거리를 우회하여 이동함을 확인할 수 있었지만, 최적경로의 경우 최단경로에 비해 그 공간적 접근성이 높음을 제시하고 있다.

본 논문에서는 두 지점 사이의 최단경로 정보만을 제공하기보다 재난상황과 방화셔터, 방화문 등 대피경로 상에 존재하는 다양한 장애물들의 인자들을 고려한 우회경로 정보 제공을 위해 존재하는 모든 경로에 대한 고려가 필요하며, 따라서 모든 경로에 대하여 최단경로 탐색을 수행하는 Dijkstra 알고리즘에 재난 발생위치와 방화문, 방화셔터 등의 장애 요인을 인자로 추가하여 변형한 알고리즘을 통해 경로가 봉쇄되었을 경우 우회하여 대피할 수 있는 경로 정보를 제공해 줄 수 있어야 하므로 그에 적합한 알고리즘의 개발이 필요하다.

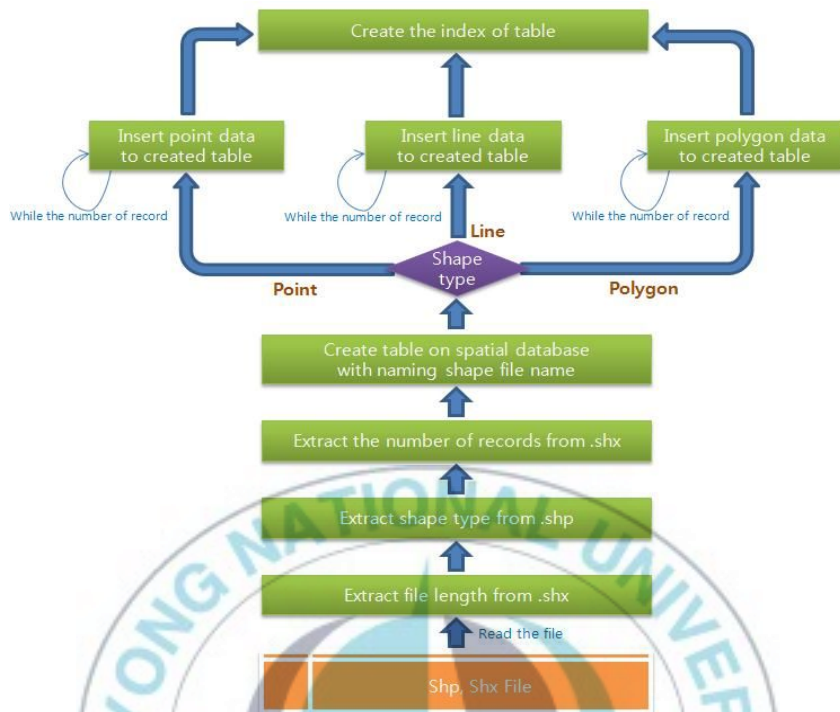
4. 맵 뷰어 시스템

도시에는 지하역사, 지하상가, 지하주차장 등의 다양한 지하공간이 존재하며, 지리정보를 이용한 시각적인 표시로 도시의 지하공간에 대한 위치정보를 확인할 수 있다면 사용자의 지하공간 정보에 대한 접근성을 높일 수 있다. 또한 지하공간의 출구와 다른 지점을 선택하여 두 지점 사이의 거리 계산과 일반적인 보행속도를 고려한 대피시간 측정 등의 추가적인 정보 제공이 가능하다. 따라서 본 논문에서는 이러한 지하공간에 대한 지리정보를 표현하기 위해 맵 뷰어 시스템을 적용하였고, 그 세부적인 내용은 다음과 같다.

맵 뷰어 시스템은 맵 변환 모듈과 맵 공간 데이터베이스, 데이터베이스 접속 모듈, 맵 제어 모듈, 정보 분석 모듈로 구성된다. 맵 변환 모듈은 ESRI 사의 수치지도 파일 포맷인 Shape 포맷 형식으로 저장된 지도를 읽어와 지형 및 속성정보를 관리자의 화면에 표시하고 간단한 지도 확대/축소/이동 등의 기본 맵 뷰어 기능을 제공한다. 그리고 파일 형식의 지리정보를 분석하여 데이터베이스 접속 모듈을 통해 맵 공간 데이터베이스에 접속한 후 지리정보 테이블을 생성하고 공간정보를 저장한다[20]. 맵 제어 모듈은 클라이언트 환경에서 지도의 확대/축소/이동 등의 기본적인 맵 뷰어 기능을 수행한다. 정보분석 모듈은 두 지점 사이의 직선거리 측정과 일반적인 보행자의 보행속도를 고려한 대피시간 측정 등의 기능을 가진다. 맵 뷰어 시스템의 사용목적은 여러 지하공간의 정보를 사용자가 접근하기 쉽도록 표시해주는 데 있으며, 따라서 본 시스템에서는 간단한 지도의 조작 및 지하공간을 선택했을 경우 정보 시스템을 실행하여 선택된 지하공간 정보를 넘겨주게 된다.

Shape 포맷은 지리형상에 대한 기하학적 위치, 특성, 속성정보를 제공해주는 비 위상구조의 데이터 포맷으로 GIS에서 벡터데이터 교환을 위해 광범위하게 사용되고 있는 포맷이다. Shape 포맷은 메인파일인 .shp 파일과 인덱스 파일인 .shx, 그리고 실제 속성정보를 가지고 있는 .dbf 파일들로 구성된다. shp 파일은 직접적인 액세스가 가능하고 정해진 형식의 geometry 정보를 가지는 가변길이 레코드를 포함하며, shx 파일의 각 레코드들은 shp 파일의 레코드의 오프셋(offset)을 가진 속성을 포함한다. Geometry와 속성은 일대일 관계를 가지고, dbf 파일의 속성 레코드와 shp 파일의 레코드들은 같은 순서를 가진다.

[그림 3]은 Shape 포맷 파일에서 지리정보를 추출하여 맵 공간 데이터베이스에 테이블을 생성하고 지리정보를 저장하는 변환 과정을 나타낸 것이다. shp, shx 파일을 읽은 후 shx 파일에서 파일의 길이 정보를 추출하고, shp 파일에서 shape type을 추출한다. 그리고 해당 shape 파일의 이름과 동일한 테이블을 공간 데이터베이스에 생성하고 shape type이 포인트, 라인, 폴리곤인가에 따라 각각 <표 2>의 형식으로 테이블에 데이터를 입력한다. 데이터 입력 과정은 추출된 레코드 수 정보만큼 반복하여 수행되며 이 과정을 마치면 테이블에 대한 인덱스를 생성하고 파일정보 공간 데이터베이스 변환 과정을 마치게 된다.



[그림 3] Shape 파일의 공간 데이터베이스 변환 과정

<표 2> Shape Type별 입력 쿼리 형식

Shape Type	Insert Query
Point	INSERT into TABLE values (object id, MDSYS.SDO_GEOMETRY(2001, null, MDSYS.SDO_POINT_TYPE(X, Y, null), null, null));
Line	INSERT into TABLE values (object id, MDSYS.SDO_GEOMETRY(2002, null, null, MDSYS.SDO_ELEM_INFO_ARRAY(1,2,1), MDSYS.SDO_ORDINATE_ARRAY(X1, Y1, X2, Y2, ...)));
Polygon	INSERT into TABLE values (object id, MDSYS.SDO_GEOMETRY(2003, null, null, MDSYS.SDO_ELEM_INFO_ARRAY(1,1003,1), MDSYS.SDO_ORDINATE_ARRAY(X1, Y1, X2, Y2, ...)));

III. 지하공간 안전설비 및 대피정보 시스템의 설계

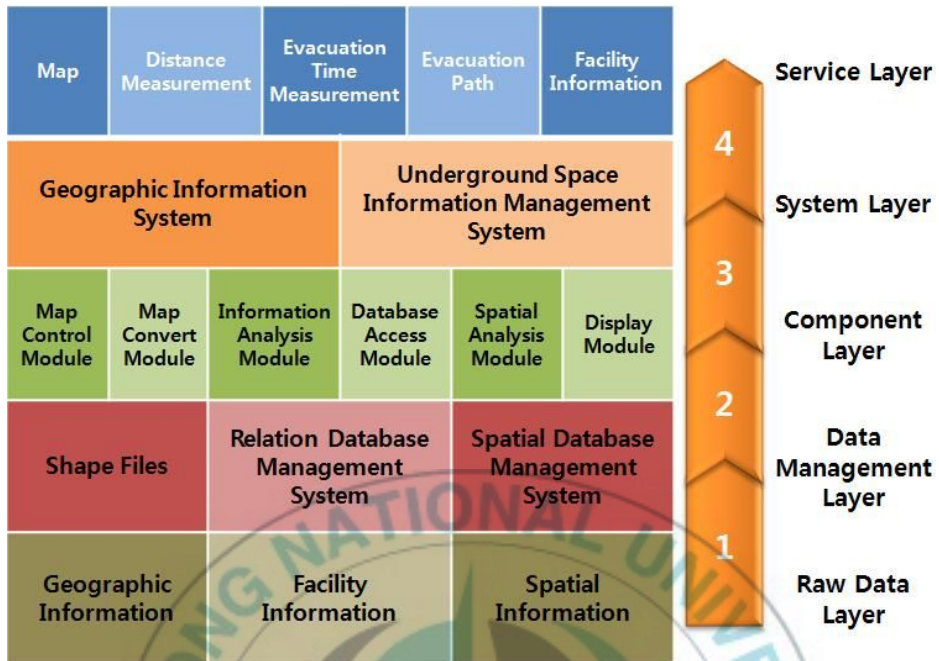
본 장에서는 지하공간 안전설비 및 대피정보 시스템에 대해 설계하고자 한다. 본 논문에서 제안하는 정보 시스템은 사용자가 위치를 선택하면 해당 위치를 기준으로 하여 일반 상황에서의 대피경로, 각 지점에서 화재가 발생했을 경우의 가능한 대피경로들을 순차적으로 사용자에게 보여줌으로써 우회경로의 존재 여부를 인지시키고, 재난 상황에서 대피경로 상에 장애가 존재할 때 우회경로를 이용할 수 있도록 하는 데 그 목적이 있다. 또한 지하공간의 설비 위치정보를 제공하여 긴급 상황에서 주변의 설비들을 이용할 수 있도록 돕고자 한다.

1. 시스템의 구성

지하공간 안전설비 및 대피정보 시스템은 최하위 계층인 Raw Data 계층부터 데이터관리 계층, 컴포넌트 계층, 시스템 계층을 거쳐 최상위의 서비스 계층으로 구성되며 그 구조는 다음 [그림 4]와 같다.

현실에 존재하는 다양한 속성들의 집합으로 정의되는 Raw Data 계층에는 지하공간과 관련된 지리정보, 안전설비의 위치정보 및 다양한 속성정보, 그리고 지하공간 내부의 복도, 출입구, 엘리베이터, 에스컬레이터 등의 공간정보들이 있다. 이러한 다양한 정보들 중에서 시스템에서 필요로 하는 중요 속성들만 따로 뽑아서 데이터베이스를 구축하고 이를 관리하는 것을 Data Management 계층이 담당한다.

그리고 데이터베이스의 자료들을 이용하여 특정 기능을 수행하는 모듈들을 만들게 된다. 제안 시스템에서는 지도 관리 모듈, 파일 접속 모듈, 정보 분석 모듈, 데이터베이스 접속 모듈, 공간정보 분석 모듈, 표현 모듈 등이 있으며, 이러한 모듈들의 집합을 Component 계층이라 한다. 하나의 목적을 이루기 위해 이러한 여러 모듈들을 조합하여 구축한 것을 시스템이라고 하고, 이러한 시스템들의 집합이 System 계층이다. 여기서는 도시의 지리정보 표시와 지리정보 기반으로 다양한 정보를 제공해주기 위한 목적의 GIS 시스템, 그리고 지하공간 내부의 공간적 정보와 대피경로 정보, 안전설비의 위치와 속성정보를 제공해주기 위한 목적의 지하공간 정보 시스템이 System 계층에 해당한다. 최종적으로 이러한 시스템을 실제 활용하여 사용자들에게 지리정보 표현 서비스, 대피경로 제공 서비스, 안전설비 정보 제공 서비스와 같이 다양한 서비스를 제공해주기 위한 계층이 Service 계층이다.



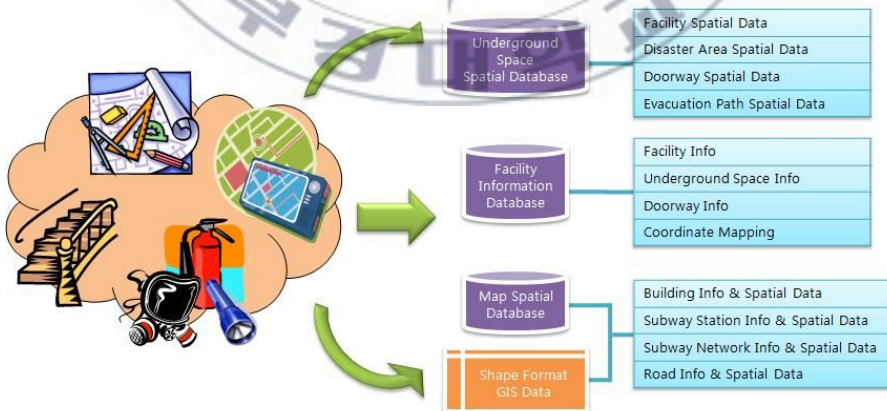
[그림 4] 지하공간 설비 및 대피정보 시스템의 계층 구조

가. Raw Data 계층

Raw Data 계층은 현실 도시의 지리적인 정보, 지하공간 안전 관련 설비에 대한 정보, 그리고 지하공간의 공간적인 정보를 말한다. 설비정보로는 설비의 종류, 위치정보, 제조일, 설치일, 수량 등의 다양한 정보가 있고, 지리정보로는 도시의 건물, 하천, 다리, 지하공간 등 주요 지형지물에 대한 형태 및 위치정보 등이 있으며, 공간정보로는 지하공간들의 통로, 출입구, 계단 등의 위치 및 구조 정보 등이 있다. 이러한 Raw Data 계층의 속성정보들은 그 상위계층인 Data Management 계층의 Raw Data로 활용된다.

나. Data Management 계층

데이터 관리 계층에서는 하위 계층인 Raw Data 계층의 다양한 속성정보 중에서 지하공간의 정보 시스템 구축에 필요한 중요 속성들만 추출하여 정보의 특성에 맞게 관계형 데이터베이스, 공간 데이터베이스 및 Shape 파일 구조로 데이터를 구축하고 관리한다. Shape 파일은 ESRI의 표준 Shape 파일 구조를 따라 도시의 지형정보 및 건물정보, 지하공간에 대한 정보 등 필요한 레이어들과 인덱싱을 위한 파일들로 구성된다. 관계형 데이터베이스로 구축될 데이터들은 맵 뷰어에서 검색을 위한 데이터들, 맵 뷰어의 절대좌표와 지하공간 정보 시스템의 상대좌표를 맵핑하기 위한 데이터들, 그리고 지하공간 정보 시스템의 설비 및 구조적인 속성 데이터들이 있고, 공간 데이터베이스에 들어갈 데이터들은 지하공간의 재난 범위를 고려하기 위한 재난영역에 대한 공간정보, 대피경로를 고려하기 위한 복도의 공간정보, 설비들의 공간정보, 출입구의 공간정보 등이 있다.



[그림 5] Raw Data 계층으로부터 DB Management 계층 생성

다. Component 계층

컴포넌트 계층은 데이터관리 계층에서 목적별로 테이블로 구성된 데이터들을 활용하여 실제 각각의 역할별로 모듈화 시켜 구현한다. 모듈화로 인해 동일 기능을 외부 프로그램에서 활용하기 쉬워지는 장점이 있다. 모듈들은 각 기능에 따라 Map Convert, Map Control, Information Analysis, Database Access, Spatial Analysis, Display Module로 구성이 되며 이들은 상위 시스템 계층의 핵심 구성요소로 사용된다.

- Map Convert 모듈은 Shape 파일 형식의 도시 지리정보를 읽어와 분석한 후 데이터베이스에 해당 Spatial Table과 Property Table을 생성하고, 각 테이블에 지리정보와 속성 값을 입력한다.
- Map Control 모듈은 Map Convert 모듈이 구축한 지리정보 데이터베이스에서 지리정보를 읽어와 화면에 표현하고, 사용자의 제어에 따라 지리정보의 확대, 축소 등의 표현내용 변환을 수행한다.
- Information Analysis 모듈은 사용자가 선택한 두 지점 사이의 거리 측정과, 사람들의 평균 보행속도를 이용하여 두 지점 사이의 대피시간 측정에 대한 정보 분석을 수행한다.
- Database Access 모듈은 지리정보 데이터베이스와 지하공간 데이터베이스에 대한 접근과 데이터 읽어오기, 저장, 삭제 등의 역할을 수행한다.
- Spatial Analysis 모듈은 지하공간의 공간정보를 이용하여 두 공간정보 사이의 상관관계 분석을 통해 대피경로 탐색에 필요한 분석을 수행한다.

라. System 계층

시스템 계층은 컴포넌트 계층의 특정 모듈들을 모아 원하는 시스템으로 구축한다. 전체 시스템은 Shape 파일 형태의 자료를 화면에 표시해주고 지리정보에 대한 속성을 표시하는 GIS 시스템과 GIS 시스템에 연동되어 사용자가 선택한 지하공간에 대한 설비 정보와 대피경로에 대한 정보를 제공하는 지하공간 정보 시스템 두 가지로 구분된다.

GIS 시스템은 도시의 지리정보를 담고 있는 Shape 파일을 이용하여 사용자가 확인할 수 있도록 시각적으로 표시해주고, 지하공간 정보 시스템은 구축된 관계형 및 공간 데이터베이스의 정보를 바탕으로 선택된 지하공간의 시각화 및 속성정보, 공간정보를 제공한다.

〈표 3〉 시스템 계층의 구성요소 별 기능

시스템	기능	설명
GIS 시스템	지도 확대, 축소, 이동, 전체화면, 선택 취소	기본적인 GIS의 기능
	두 지점간 거리 측정, 대피시간 측정, 검색	시스템 특성에 따른 추가 기능
정보 시스템	지하공간 평면도 표시, 설비 위치 및 속성 표시, 선택지점으로부터의 상황별 대피경로 표시	지하공간 정보 제공

마. Service 계층

서비스 계층은 시스템 계층의 시스템을 이용하여 사용자가 원하는 서비스를 제공한다. GIS 시스템을 통해 도시의 지리정보를 시각적으로

표시하고, 사용자는 이를 확대/축소/이동 등의 기본적인 지도 컨트롤 방식으로 확인할 수 있다. 또한 사용자가 선택한 두 지점 사이의 거리 측정 서비스를 통해 출입구로부터 선택한 지점까지의 거리 확인이 가능하고, 이렇게 구해진 거리를 일반 사람들의 보행속도로 계산하여 선택된 지점까지 대피에 걸리는 시간을 확인해 볼 수 있다.

2. 공간 데이터 구성

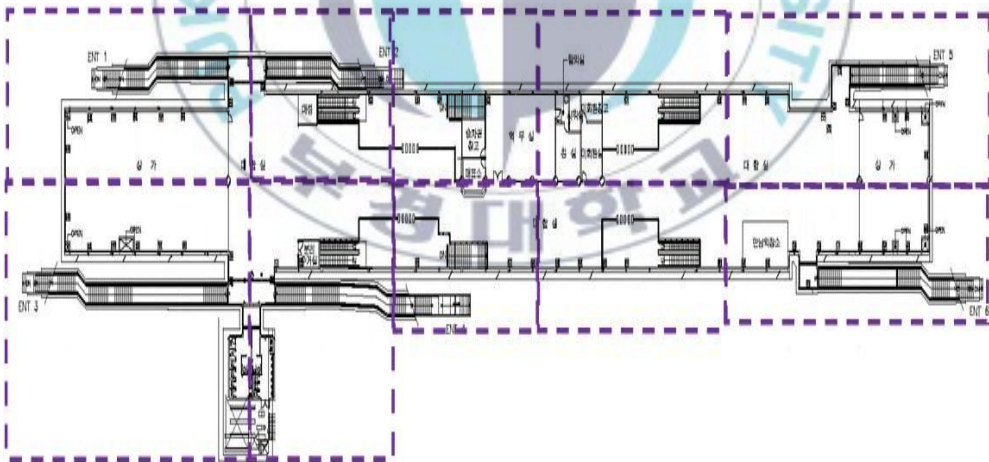
지하공간 안전설비 및 대피정보 시스템에서는 지하공간의 구조와 대피경로 표시, 안전설비의 위치 표시 등을 위해 공간 데이터를 구성하여 활용한다. 활용되는 데이터 속성은 Point, Line, Polygon 형식으로, 다음의 <표 4>는 시스템에서 사용되는 주요 데이터와 속성, 그리고 그에 대한 설명을 나타내고 있다.

<표 4> 공간 데이터 설명

데이터명	속 성	설 명
시작지점	Point	
출입구	Point	
경로	Line	복도의 중앙을 기준으로 가능한 전체 경로를 Line 데이터로 구성
재난영역	Polygon	전체 공간에 대해 대피경로에 영향을 미칠 수있는 재난영역을 구획화한 후 경로산출에 적용
방화문	Polygon	경로와 방화문 폴리곤이 만나는지 탐색, 잠김/열림 속성 정보 활용하여 가중치 계산
방화셔터	Polygon	경로와 방화셔터 폴리곤이 만나는지 탐색, 내려짐/올려짐 속성 정보 활용하여 가중치 계산
안전설비	Point	안전설비 위치표시에 활용

시작지점, 출입구, 안전설비는 모두 Point 형식으로 저장되며, 각각 사용자가 선택한 시작지점의 위치, 지하공간의 출입구들의 위치정보, 안전설비들의 위치정보를 가진다. 경로는 Line 형식으로 저장되며, 지하공간 구조 중 사용자가 이동할 수 있는 통로와 방 등의 중앙지점을 대상으로 하여 관리자에 의해 구축된다.

재난영역과 방화문, 방화셔터는 각각 Polygon 형식으로 저장되며, 시스템에서 사용자가 선택한 시작지점으로부터 각 출입구로의 경로와 겹치는지 여부를 다음 절에서 설명할 탐색 알고리즘을 통해 탐색함에 있어 인자로 활용되는 데이터들이다. 재난영역의 경우 [그림 6]과 같이 전체 지하공간 중에서 해당 영역에 재난이 발생하였을 경우 경로에 장애가 발생하는 것을 기준으로 하여 지하공간의 구획을 나누고, 이를 Polygon 형식으로 저장한 데이터이다.



[그림 6] 지하공간 재난영역 구획의 예

3. 대피경로 탐색 알고리즘

대피를 위한 경로탐색 알고리즘은 다음 <표 6>과 같다. 사용자로 부터 시작지점을 입력받으면 경로탐색이 시작된다. 우선 지하공간의 전체 영역에 대해 재난 영향을 고려하여 나눈 각 재난 영역별로 재난이 발생했을 경우를 고려하여 순차적으로 경로탐색을 하게 된다. 재난 발생위치가 결정되면 시작지점으로부터 각각의 출입구로의 경로들을 순차적으로 탐색하게 된다. 탐색과정에서 경로와 재난발생위치가 겹치는지, 경로 상에 방화문, 방화셔터가 존재하고 이들이 잠겨있는지를 공간정보와 설비정보를 통해 분석하여 해당 출입구로의 대피경로를 경로 후보리스트에 추가한다.

각 출입구에 대한 경로 후보리스트가 정해지면 이 중에서 가장 작은 값을 가지는 경로를 재난 영역을 고려한 대피경로로 선택하고, 이를 사용자의 모니터 상에 표시해주게 된다. 그리고 다음 재난 영역을 선정하여 다시 경로 탐색을 수행하고, 표시하는 행위를 반복 수행하게 된다. 재난 영역의 선택에 있어 사용자의 종료 신호를 입력받아 멈출 수 있도록 구성하였다.

<표 5> 주요 변수, 함수 설명

변수/함수/상수명	설 명
startPoint	사용자가 선택한 경로탐색의 시작지점
sName	지하역사 명
floor	사용자가 선택한 지하역사의 해당 층 수
MAXIMUM	최단거리 계산을 위해 설정한 가능한 최대 값
getNumOfArea()	지하역사 해당 층에 설정된 재난영역의 수를 읽어오는 함수, Database에 접근하여 재난영역의 수를 읽어옴. - 인자 : sName (역사명), floor (선택된 지하층 수)
getNumOfDoorway()	지하역사 해당 층에 있는 출입구의 수를 읽어오는 함수, Database에 접근하여 출입구의 수를 읽어옴. - 인자 : sName (역사명), floor (선택된 지하층 수)
readQuitSignal()	사용자의 종료 신호를 읽어오는 함수
getPath()	시작지점과 특정 출입구 사이에 가능한 경로의 리스트를 읽어오는 함수, Database에 접근하여 경로정보를 읽어옴. - 인자 : sName (역사명), floor (선택된 지하층 수), startPoint (시작지점), curDoorway(출입구 번호)
isIntersectArea()	경로와 재난영역이 겹치는지 여부를 확인하기 위한 함수, Database의 공간쿼리를 통해 polyline과 재난영역 polygon이 만나 는지를 판단하여 그 결과를 bool 값으로 리턴함. - 인자 : sName (역사명), floor (선택된 지하층 수), curPath (경로), curArea (재난영역 번호)
isIntersectFireproofDoor()	경로 상에 방화문이 존재하고 잠겨있는지를 확인하기 위한 함수, Database의 공간쿼리를 통해 polyline과 방화문 polygon이 만나 는지, 만난다면 해당 방화문의 속성을 확인하여 잠김여부를 bool 값 으로 리턴함. - 인자 : sName (역사명), floor (선택된 지하층 수), curPath (경로)
isIntersectFireShutter()	경로 상에 방화셔터가 존재하고 내려졌는지를 확인하기 위한 함수, Database의 공간쿼리를 통해 polyline과 방화셔터 polygon이 만나 는지, 만난다면 해당 방화셔터의 속성을 확인하여 내려짐여부를 bool 값으로 리턴함. - 인자 : sName (역사명), floor (선택된 지하층 수), curPath (경로)
insertCandidateList()	경로 후보리스트의 마지막에 현재의 경로를 삽입하는 함수, 경로 후보리스트에 경로정보를 추가함. - 인자 : curShortestPath (현재 도출된 경로)
minInCandidateList()	후보리스트에서 가장 작은 값을 가지는 경로를 찾는 함수, 경로 후보리스트를 처음 값부터 확인하여 그 경로길이가 가장 작 은 경로를 리턴함.
displayPath()	화면에 경로를 표시하는 함수, 인자로 입력받은 경로를 화면상에 표시. - 인자 : optimalPath (최종 도출된 경로)

<표 6> 우회 대피경로 탐색 알고리즘

```
void searchOptimalPath (point startPoint, string sName, int floor) {

    bool quitSignal;
    int curArea, curDoorway;
    Path curPath, curShortestPath, optimalPath;
    int numOfArea = getNumOfArea(sName, floor);
    int numOfDoorway = getNumOfDoorway(sName, floor);

    FOR (curArea = 0 ; curArea < numOfArea; curArea++) {
        quitSignal = readQuitSignal();
        IF (quitSignal == TRUE) RETURN;

        FOR (curDoorway = 1; curDoorway < numOfDoorway; curDoorway++) {
            curShortestPath.weight = MAXIMUM;
            pathList = getPath(sName, floor, startPoint, curDoorway);

            DO {
                curPath = pathList.thisPath;
                IF (isIntersectArea(sName, floor, curPath, curArea)) curPath.area = MAXIMUM;
                IF (isIntersectFireproofDoor(sName, floor, curPath)) curPath.fdoor = MAXIMUM;
                IF (isIntersectFireShutter(sName, floor, curPath)) curPath.fshutter = MAXIMUM;

                curPath.weight = curPath.length + curPath.area + curPath.fdoor +
                                curPath.fshutter;

                IF (curPath.weight < curShortestPath.weight) {
                    curShortestPath = curPath;
                }
                pathList = pathList.next;
            } WHILE (pathList != NULL);

            insertCandidateList(curShortestPath);
        }

        optimalPath = minInCandidateList();

        displayPath(optimalPath);
    }
}
```

<표 6>의 알고리즘은 최단경로 탐색 알고리즘인 Dijkstra 알고리즘을 시스템의 특성에 맞게 적용하여 의사코드로 나타낸 것이다. Dijkstra 알고리즘에 있어서 가중치가 중요한데, 일반적으로 가중치가 단순히 두 지점 사이의 거리 값이라 한다면 본 논문에서는 재난상황과 그로 인한 방화문, 방화셔터 등 경로 상에 존재하는 장애물을 고려해야 하므로 이를 위한 인자가 추가되어 가중치 weight를 결정하는 식은 (1)과 같아진다.

$$\text{가중치 weight} = \text{distance}(i, j) + \text{area} + \text{fdoor} + \text{fshutter} \cdots (1)$$

- i, j : 경로 line의 양 끝에 해당하는 point 값
- area : 재난영역에 대한 인자
- fdoor : 방화문에 대한 인자
- fshutter : 방화셔터에 대한 인자
- i 와 j 사이의 line이 재해영역과 겹친다면 $\text{area} = \infty$, 아니라면 $\text{area} = 0$
- i 와 j 사이의 line에 해당하는 공간정보와 방화문의 공간정보가 겹치고, 해당 방화문의 잠김 속성이 true일 때 $\text{fdoor} = \infty$, 아니라면 $\text{fdoor} = 0$
- i 와 j 사이의 line에 해당하는 공간정보와 방화셔터의 공간정보가 겹치고, 해당 방화셔터의 잠김 속성이 true일 때 $\text{fshutter} = \infty$, 아니라면 $\text{fshutter} = 0$

[그림 7]은 앞에서 설명한 대피경로 알고리즘의 탐색방법을 그림으로 예를 들어 표현한 것이다. 사용자가 선택한 시작점을 기준으로

하여 기존 경로들 중 가장 가까운 p_1 (경로를 이루는 point 중 하나)을 찾게 된다. 다음으로 p_1 에서 연결된 $p_2, p_3, \dots, p(n-1)$ 과 출입구로 이어지는 많은 경로들을 탐색하게 된다. 경로 탐색 과정에서 가중치 계산은 식 (1)을 따르며 탐색 중간에 장애요인으로 인하여 대피가 불가능함을 파악하게 되면 이전으로 돌아가 다른 경로로의 재탐색을 수행하게 된다.

이러한 시작점과 전체 출입구 만큼에 해당하는 경로 탐색 과정을 통해 시작점을 기준으로 하여 대피가 가능한 경로들을 찾을 수 있고, 그 경로들 중에서 가장 작은 가중치를 가지는 경로 정보를 사용자에게 제공하게 된다.



[그림 7] 시작점으로부터 각 출입구로의 경로탐색과정

IV. 시스템 프로토타입 구현

1. 시스템 구성 및 개발 환경

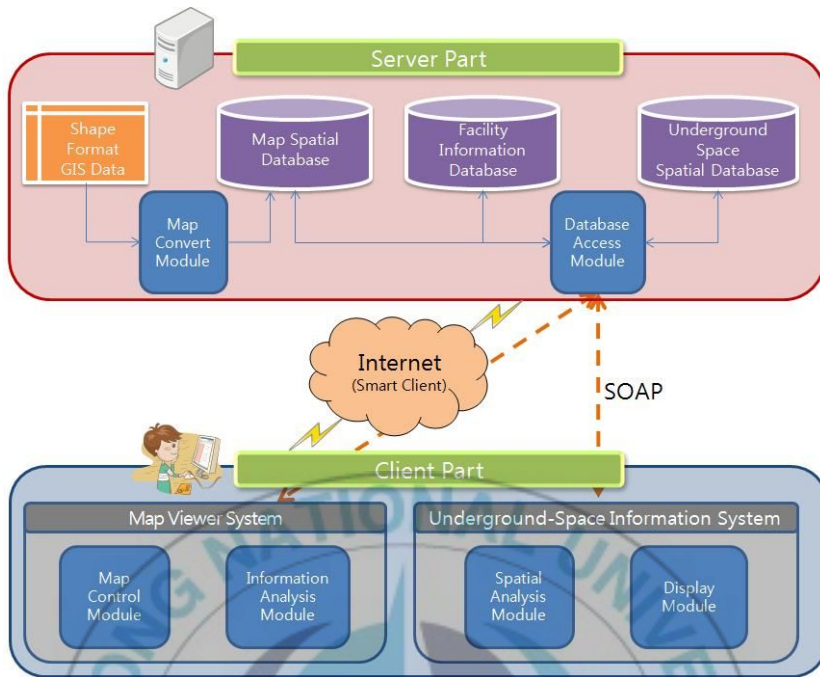
본 논문에서 제안한 시스템은 지도정보와 관계형 데이터베이스, 공간 데이터베이스 등의 시스템 정보는 서버 측에서 관리하고, 사용자는 자신의 컴퓨터를 통해 웹페이지에 접속하여 서비스를 이용하는 형태로 구성된다.

사용자가 클라이언트 컴퓨터를 통해 ASP.NET으로 작성된 웹페이지에 접속하면 이 웹페이지에서는 서버 측으로부터 DLL 형식으로 된 맵 뷰어 시스템과 지하공간 정보 시스템을 자동으로 다운로드 받은 후 실행하게 되고, 두 시스템은 SOAP 방식으로 서버와 클라이언트 사이에 필요한 데이터를 주고받으면서 서비스를 수행하게 된다.

맵 뷰어 시스템은 Map Control 모듈과 Information Analysis 모듈을 통해 지리정보의 표시 및 이동/축소/확대 등의 조작, 그리고 두 지점 사이의 거리 및 대피시간 측정 등의 서비스를 제공한다.

지하공간 정보 시스템은 Display 모듈과 Spatial Analysis 모듈을 통해 지하공간의 구조와 설비의 위치 및 속성 정보들을 표시, 이동/축소/확대 등의 조작, 대피경로 탐색 및 그 결과를 제공한다.

서버 측에서는 도시의 지리정보를 Shape 형식의 파일로부터 Map Convert 모듈을 통해 맵 공간정보 데이터베이스로 변환하고, 구축되어 있는 설비정보 데이터베이스와 지하공간 공간정보 데이터베이스를 통해 클라이언트에서 필요로 하는 정보들을 제공한다. 이러한 시스템의 전체 구성은 다음 [그림 8]과 같다.



[그림 8] 지하공간 설비 및 대피정보 시스템 구성

지하공간 설비 및 대피정보 시스템의 프로토타입 구현을 위해 사람들의 이용이 많은 지하역을 고려하였고, 부산광역시 지하철 2호선의 경성대/부경대역을 그 대상지역으로 선택하였다. 프로토타입 시스템에서는 앞 장에서의 설계 내용을 바탕으로 GIS와 정보 시스템과의 연계, 지하역사에서 안전설비 위치정보 및 속성정보의 제공 및 재난 발생위치를 고려한 다양한 우회 경로 정보의 제공을 중심으로 하여 구현하였다. 본 논문에서의 전체적인 개발 환경은 <표 7>과 같다.

〈표 7〉 시스템 개발 환경

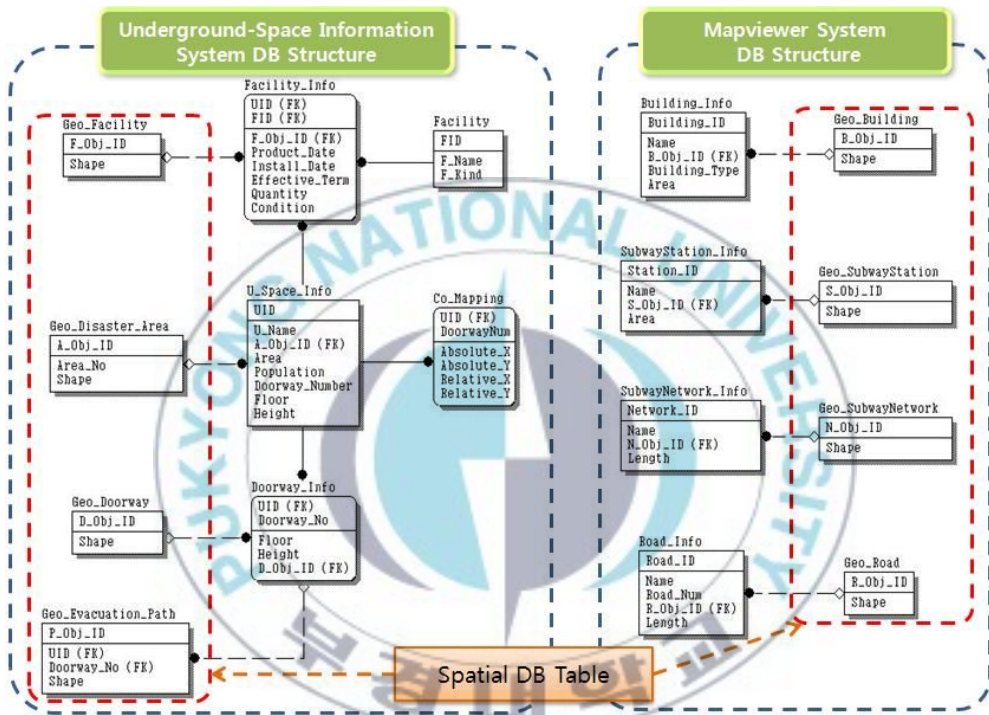
구 분	개발 환경
개발 툴	Visual Studio .NET 2005
DBMS	Oracle 9i
웹 구현방법	ASP .NET, Smart Client
클라이언트 운영체제	Windows XP
서버 운영체제	Windows Server 2003
지리정보	부산광역시 남구 데이터
지도형식	ESRI Shape 파일포맷
대상 지하공간	부산 지하철 2호선 경성대·부경대 역

2. Database 구조

지하공간의 설비 및 대피정보 시스템에서 사용하는 데이터베이스의 전체 구조는 [그림 9]와 같다. 전체 데이터베이스는 맵 뷰어 시스템에 사용되는 데이터베이스와 지하공간 정보 시스템에 사용되는 데이터베이스로 구분할 수 있으며, 맵 뷰어 시스템에서는 건물, 지하역사, 지하철망, 도로에 대한 정보를 각각의 테이블로 하여 저장하고 있다. 각 정보들은 속성 정보를 저장하고 있는 테이블과 지리정보를 저장하고 있는 테이블 두 가지로 각각 나누어지며, 두 테이블은 ID로 매치된다.

지하공간 정보 시스템에서는 설비와 지하공간, 출입구의 속성정보

를 저장하기 위한 테이블들과 설비, 재해영역, 출입구, 대피경로의 공간정보를 저장하기 위한 테이블들, 그리고 지하공간 정보 시스템과 맵 뷰어 시스템 각각의 상대좌표와 절대좌표를 맵핑하기 위한 좌표 맵핑 테이블로 구성이 된다.



[그림 9] Database 구조

맵 뷰어 시스템의 테이블 별 상세 정보를 살펴보면 다음과 같다. 건물의 속성 정보로는 건물 ID, 건물 이름, 건물의 종류, 면적을 가지고, 공간 정보는 폴리곤(Polygon) 형식으로 저장된다. 지하역사의 속성 정보로는 역사 ID, 역사명, 면적을 가지고, 공간 정보는 폴리곤 형식으로 저장된다. 그리고 지하철망의 속성 정보로 호선 ID, 지하철 호선이름, 해당 호선의 전체 연장길이를 가지고, 공간 정보는 폴리라인

(Polyline) 형식으로 저장된다. 도로의 속성 정보로는 도로 ID, 도로 명, 국가 또는 지방자치단체에서 부여한 도로번호, 해당 도로의 총 연장길이를 가지고, 공간 정보는 폴리곤 형식으로 저장된다. 각각의 공간 정보 테이블의 식별자로 Object ID가 존재하며, 연결되는 속성 테이블에 동일한 항목이 외래키로 존재하여 두 값으로 Join이 수행된다. <표 8>은 맵 뷰어 시스템에 사용되는 각 테이블들의 세부 구성에 대하여 나타낸 것이다.

<표 8> 맵 뷰어 시스템 데이터베이스의 세부 구성

테이블 구분	데이터 항목	데이터 타입	비 고
Building_Info	<u>Building_ID</u>	Number(4)	Primary Key
	Name	Varchar(50)	
	B_Obj_ID	Number(4)	Foreign Key
	Building_Type	char(4)	
	Area	Number(10)	
Geo_Building	<u>B_Obj_ID</u>	Number(4)	Primary Key
	Shape	Polygon	Spatial Type
SubwayStation_Info	<u>Station_ID</u>	Number(4)	Primary Key
	Name	Varchar(50)	
	S_Obj_ID	Number(4)	Foreign Key
	Area	Number(10)	
	<u>S_Obj_ID</u>	Number(4)	Primary Key
Geo_SubwayStation	Shape	Polygon	Spatial Type
	<u>Network_ID</u>	Number(4)	Primary Key
SubwayNetwork_Info	Name	Varchar(50)	
	N_Obj_ID	Number(4)	Foreign Key
	Length	Number(10)	
	<u>N_Obj_ID</u>	Number(4)	Primary Key
Geo_SubwayNetwork	Shape	Polyline	Spatial Type
	<u>Road_ID</u>	Number(4)	Primary Key
Road_Info	Name	Varchar(50)	
	Road_Num	Varchar(10)	
	R_Obj_ID	Number(4)	Foreign Key
	Length	Number(10)	
	<u>R_Obj_ID</u>	Number(4)	Primary Key
Geo_Road	Shape	Polygon	Spatial Type

* ID는 각 테이블들의 식별자를 표시한 것임

지하공간 정보 시스템의 테이블 별 상세 정보를 보면 다음과 같다. 지하공간의 속성 정보로는 지하공간 ID, 지하공간명, 면적, 일일이 용인구, 전체출입구 수, 층수, 지하의 깊이가 있다. 출입구의 속성 정보로는 출입구가 포함된 지하공간 ID와 출입구 번호, 출입구가 위치한 층수, 그리고 지하의 깊이가 있으며, 공간 정보는 포인트(Point) 형식으로 저장된다. 설비에 대한 속성 정보는 설비가 위치하는 지하공간 ID, 설비 ID, 설비명, 설비 종류, 생산일, 설치일, 유효기간, 수량, 그리고 설비의 상태를 가지며, 공간 정보는 포인트 형식으로 저장된다. 재난영역의 속성 정보는 지하공간 ID와 영역 번호를 가지며, 공간 정보는 폴리곤 형식으로 저장된다. 또한 대피경로의 속성 정보는 지하공간 ID와 출입구 번호, 목적지 출입구를 가지며, 폴리곤 형식으로 저장된다. 지하공간 정보 시스템과 맵 뷰어 시스템 사이의 상대좌표와 절대좌표 매핑을 위한 속성 정보로는 지하공간 ID와 출입구 번호, X축 절대좌표와 Y축 절대좌표, 이에 매핑되는 X축 상대좌표와 Y축 상대좌표가 있다. 동일하게 각각의 공간정보 테이블의 식별자로 Object ID가 존재하며, 연결되는 속성 테이블에 동일한 항목이 외래키로 존재하여 두 값으로 Join이 수행된다. <표 9>는 지하공간 정보 시스템에 사용되는 각 테이블들의 세부 구성에 대하여 나타낸 것이다.

〈표 9〉 지하공간 정보 시스템 데이터베이스의 세부 구성

테이블 구분	데이터 항목	데이터 타입	비 고
U_Space_Info	<u>UID</u>	Number(4)	Primary Key
	U_Name	Varchar(50)	
	A_Obj_ID	Number(4)	Foreign Key
	Area	Number(10)	
	Population	Number(10)	
	Doorway_Number	Number(2)	
	Floor	Number(2)	
	Height	Number(5)	
Doorway_Info	<u>UID</u>	Number(4)	Foreign Key
	<u>Doorway_No</u>	Number(2)	Primary Key
	Floor	Number(2)	
	Height	Number(5)	
	D_Obj_ID	Number(4)	Foreign Key
Geo_Doorway	<u>D_Obj_ID</u>	Number(4)	Primary Key
	Shape	Polygon	Spatial Type
Facility	<u>FID</u>	Number(4)	Primary Key
	F_Name	Varchar(50)	
	F_Kind	Varchar(50)	
Facility_Info	<u>UID</u>	Number(4)	Foreign Key
	<u>FID</u>	Number(4)	Foreign Key
	F_Obj_ID	Number(4)	Foreign Key
	Product_Date	Date	
	Install_Date	Date	
	Effective_Term	Date	
	Quantity	Number(5)	
	Condition	Varchar(10)	
Geo_Facility	<u>F_Obj_ID</u>	Number(4)	Primary Key
	Shape	Point	Spatial Type
Geo_Disaster_Area	<u>A_Obj_ID</u>	Number(4)	Primary Key
	Area_No	Number(5)	
	Shape	Polygon	Spatial Type
Geo_Evacuation_Path	<u>P_Obj_ID</u>	Number(4)	Primary Key
	UID	Number(4)	Foreign Key
	Doorway_No	Number(2)	Foreign Key
	Shape	Polyline	Spatial Type
Co_Mapping	<u>UID</u>	Number(4)	Foreign Key
	<u>DoorwayNum</u>	Number(2)	Primary Key
	Absolute_X	Number(20)	
	Absolute_Y	Number(20)	
	Relative_X	Number(20)	
	Relative_Y	Number(20)	

3. 시스템 구현

본 논문에서 제안하는 전체 시스템은 지하공간의 위치정보를 쉽게 확인하고 안전설비 및 대피정보 시스템을 실행시키기 위한 맵 뷰어 시스템과 안전설비들의 정보와 대피경로 정보를 제공하기 위한 지하공간 안전설비 및 대피정보 시스템으로 구성된다.

맵 뷰어 시스템은 부산광역시 남구의 지리정보를 바탕으로 구현하였으며, 지리정보의 표현은 데이터베이스에서 속성정보와 공간정보를 읽어와 화면에 표시하게 된다. 이 때, 지리정보 데이터의 갱신과 관리의 효율성을 위해 시스템 관리자는 주기적으로 업데이트 된 Shape 형식의 지리정보 데이터 파일의 정보를 데이터베이스로 변환하게 된다.

맵 뷰어 시스템에서 지하공간을 검색하여 선택한 후 지하공간 안전설비 및 대피정보 시스템을 실행시키는 버튼을 누르면 선택된 지하공간 정보를 바탕으로 지하공간 안전설비 및 대피정보 시스템이 실행된다. 지하공간 안전설비 및 대피정보 시스템의 구현 대상으로 많은 사람들이 이용하는 지하역을 선택하였고, 부산 지하철 2호선의 경성대,부경대역을 대상 지하공간으로 하여 구현하였다.

가. 메뉴 구성 및 맵 뷰 기반 인터페이스

맵 뷰어 시스템과 지하공간 안전설비 및 대피정보 시스템의 전체 메뉴의 구성은 다음 <표 10>과 같다.

〈표 10〉 시스템의 메뉴 구성

구 분	메 뉴	하위메뉴	설 명
맵 뷰어 시스템	Map Control	Zoom In	지도 중심좌표를 기준으로 1.6배로 확대
		Zoom Out	지도 중심좌표를 기준으로 0.6배로 축소
		Move Map	마우스 커서를 이동 형태로 바꾸어 이후 클릭하는 위치로 중심좌표를 이동함
		Drag Map	마우스 커서를 끌기 형태로 바꾸어 이후 드래그 하는 행위에 따라 지도를 이동함
		Init Map	지도화면을 처음 불러온 상태로 돌림
	Analysis	Select Point	시작/종료지점 설정
		Measure Distance	두 지점 사이의 거리 측정
		Mesaure Evacuation Time	두 지점 사이의 대피시간 계산
	System	Call UIS	지하공간 정보 시스템 실행
		Exit	맵 뷰어 시스템 종료
지하 공간 안전 설비 및 대피 정보 시스템	View Control	Zoom In	현재 뷰의 중심을 기준으로 1.6배로 확대
		Zoom Out	현재 뷰의 중심을 기준으로 0.6배로 축소
		Move View	마우스 커서를 이동 형태로 바꾸어 이후 클릭하는 위치로 뷰를 이동함
		Drag View	마우스 커서를 끌기 형태로 바꾸어 이후 드래그 하는 행위에 따라 뷰를 이동함
		Init View	뷰를 처음 실행한 상태로 돌림
	Analysis	Select Start Point	경로탐색 시작지점 설정
		Start Path Analysis	시작지점으로부터 경로 탐색 실행
		Stop Analysis	경로 탐색 중지
	Facility	Search Facility	안전설비 검색
		Facility Info	선택한 안전설비 정보 확인
	System	Exit	지하공간 안전설비 및 대피정보 시스템 종료

맵 뷰어 시스템은 이상의 메뉴에서 보듯 맵에 대한 기본적인 조절 기능 및 간단한 거리 측정과 평균 보행속도로 유추한 대피시간 계산 등의 기능들을 제공하고 있다.

지하공간 안전설비 및 대피정보 시스템은 지하공간 내부 구조에 대한 뷰 조절 및 경로탐색 기능, 안전설비 정보 검색 기능 등의 기능을 제공하고 있다.

[그림 10]은 맵 뷰어 시스템의 사용자 인터페이스 화면이다.



[그림 10] 맵 뷰어 시스템의 사용자 인터페이스

맵 뷰어 시스템 상단에는 메뉴 툴바와 아이콘이 있으며, 이를 통해서 맵 컨트롤, 거리 및 대피시간 분석 서비스를 사용할 수 있다.



[그림 11] 두 지점 사이의 거리 측정 및 대피시간 측정

[그림 11]은 사용자가 선택한 두 지점 사이의 직선거리 측정 및 대피시간을 측정한 화면이다. 두 지점 사이의 거리 측정을 위해서는 다음의 (3)의 식을 이용하면 되고, 두 지점 사이의 대피시간 측정을 위해서는 거리 측정으로 구한 두 지점 사이의 거리를 일반 사람들의 평균 보행속도로 나눈 (4)의 식을 이용하게 된다. 두 지점 사이의 거리 측정과 대피시간 측정을 통해 지하공간 재난 발생을 가정하였을 때 지하공간의 각 출입구 위치에서 선택한 지점까지의 실제 직선거리와 평균 보행 속도를 고려한 대피시간을 알 수 있어 지상에서의 이동경로에 대한 고려를 할 수 있다.

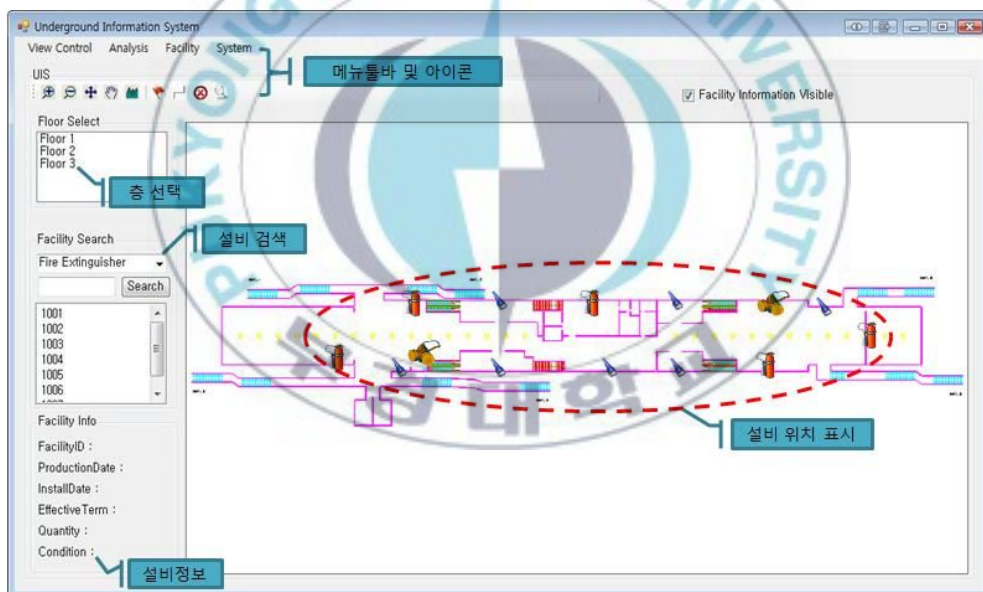
$$distance = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2} \dots\dots\dots (3)$$

$$Evacuation\ Time = distance / 4.5\ (Km/h) \dots\dots\dots (4)$$

좌측 상단의 지하공간 종류에서 지하역사, 지하상가, 지하주차장 등의 지하공간 종류를 선택할 수 있으며 현재는 지하역사에 대해서만 구현하고 있다.

지하공간 종류를 지하역사로 선택하면 좌측 중앙의 리스트 박스에 해당 지하공간들의 리스트가 표시되며, 리스트 박스 상단의 검색창을 통해 지하공간 명칭을 직접 검색할 수도 있다. 지하공간을 선택한 상태에서 하단의 View 버튼을 클릭하면 해당 지하공간의 좌표를 기준으로 오른쪽 맵 뷰어 창에서 지리정보를 확인할 수 있으며, 옆의 Call UIS 버튼을 클릭하여 해당 지하공간의 대피경로 등의 정보를 확인하기 위한 지하공간 안전설비 및 대피정보 시스템을 실행하게 된다.

다음 [그림 12]는 지하공간 안전설비 및 대피정보 시스템의 인터페이스를 나타낸 것이다.



[그림 12] 지하공간 안전설비 및 대피정보 시스템의 인터페이스

시스템 상단에는 메뉴 툴바와 아이콘이 있으며, 이를 통해서 뷰 컨트롤, 대피경로 분석, 설비 검색 등의 서비스를 사용할 수 있다. 좌측 상단의 층 선택 영역을 통해서 해당 지하공간의 각 층별 구조와 대

피경로를 확인할 수 있으며, 좌측 중앙의 설비 검색 부분의 드롭다운 메뉴에서는 설비 종류를 선택하여 아래쪽 리스트에 해당 설비를 확인할 수 있고, 또한 텍스트 바를 통해 직접적으로 검색할 수도 있다.

좌측 하단의 설비정보는 뷰 영역을 통해 직접 설비를 선택하여 확인할 수 있으며, 설비 검색 영역의 설비 리스트에서 선택하여 설비정보를 확인할 수도 있다.

나. 안전설비/장비 정보 확인

사용자가 지하역사의 안전설비/장비 정보를 확인하기 위해서는 우선 지하공간 안전설비 및 대피정보 시스템을 실행시켜야 한다. 이를 위해서 웹페이지에 접속하고 맵 뷰어 시스템을 이용하여 원하는 지하역사를 선택한 후 Call UIS 버튼을 누르면 선택된 지하공간의 정보를 인자로 하여 지하공간 안전설비 및 대피정보 시스템을 실행시키게 된다.

지하 공간 정보시스템은 사용자가 맵 뷰어 시스템에서 자주 이용하는 지하공간을 선택할 경우 연결되어 실행되며, 인자로 넘겨받은 지하공간에 대한 정보를 통해 해당 지하공간의 평면도와 설비정보 등을 읽어 들이게 된다. 맵 뷰어 시스템의 절대좌표와 정보 시스템의 상대좌표는 둘의 접점인 지상으로의 출입구 부분에 한하여 좌표 맵핑(Mapping) DB를 통해 일대일 맵핑이 이루어지게 되고, 지하공간 정보 시스템 초기 실행 시 화면에 표시되는 지하공간 평면도의 위치를 정하게 된다.

지하공간의 평면적 표현을 위해 CAD 프로그램으로 작성된 지하공간 구조를 C#으로 개발한 프로그램으로 불러와서 배경으로 표시한다. CAD의 상대좌표 정보를 공간 데이터베이스로 구축해두고, 설비를

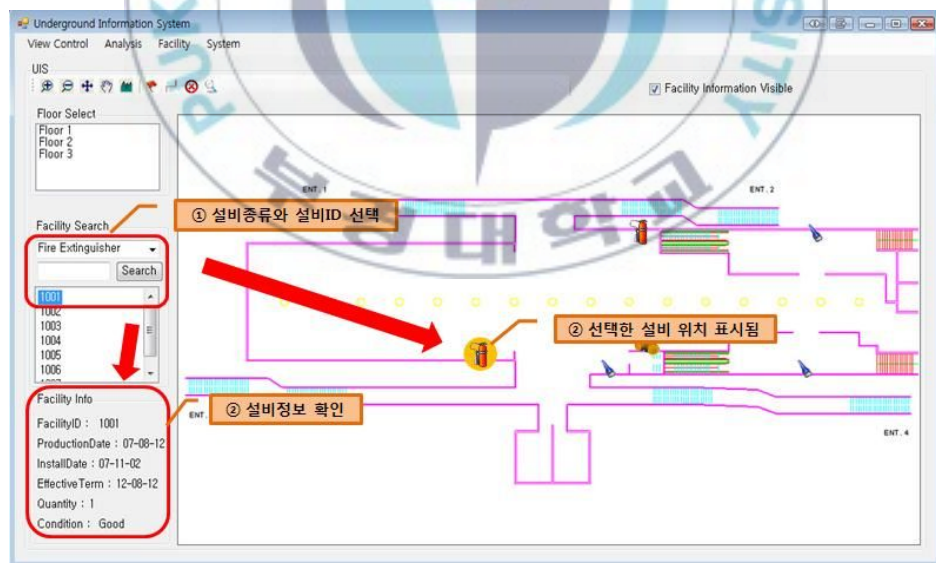
해당 위치에 표시하여 전체적인 지하공간의 구조와 설비 위치를 사용자에게 시각적으로 보여준다.

지하공간 정보 시스템에서 안전설비의 정보를 확인하는 과정은 다음과 같다. 지하공간의 선택 층에 대한 평면도와 설비 위치정보가 표시된 상태에서 사용자는 두 가지 방법으로 설비의 속성정보를 확인할 수 있다. 첫 번째 방법으로는 뷰 영역에서 직접 화면을 움직이면서 원하는 설비를 선택하여 좌측 하단의 설비정보 영역을 통해 선택한 설비의 정보를 확인하는 방법이고, 두 번째 방법으로는 좌측 중앙의 설비 검색 영역을 통해 설비의 종류, 혹은 설비 ID로 직접 선택하여 설비 정보를 확인할 수 있다.

[그림 13]과 [그림 14]에서는 두 가지 방법으로 설비 정보를 확인하는 방법에 대해 각각 보여주고 있다. [그림 13]은 첫 번째 방법으로 직접 뷰 상의 설비 위치를 선택한 후 아이콘 바의 정보확인 버튼을 눌러 정보확인을 하였다. 그리고 [그림 14]에서는 설비 종류로 소화기를 선택하고 소화기의 ID 리스트에서 첫 번째 1001을 선택하여 나타난 설비정보를 보여주고 있다. 프로토타입 시스템에서 제공되는 설비 정보로는 설비ID와 제조일, 설치일, 유효기간, 수량, 그리고 설비의 상태가 있다.



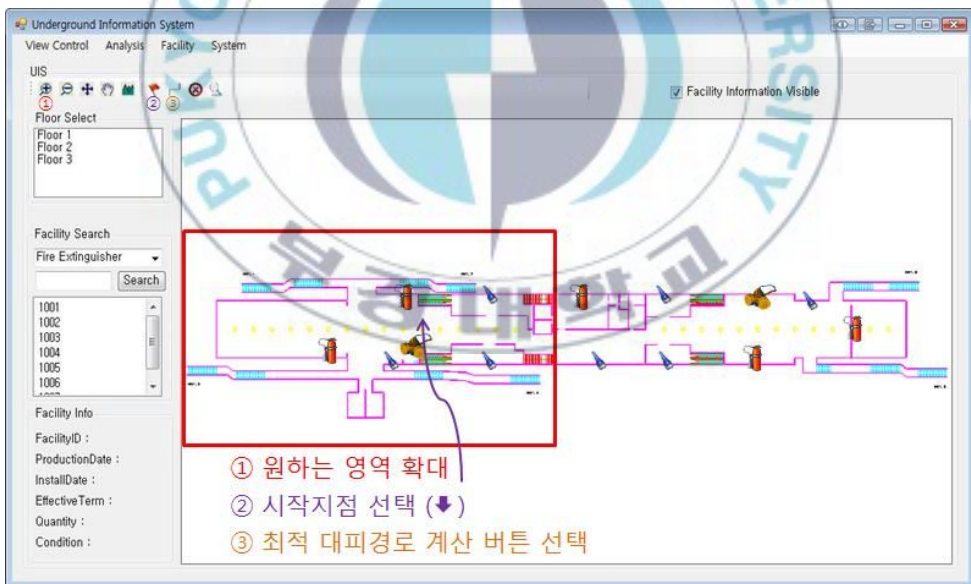
[그림 13] 설비 위치 선택을 통한 설비정보 확인



[그림 14] 설비 검색을 통한 설비정보 확인

다. 대피경로 탐색

사용자가 지하공간 정보 시스템을 이용하여 대피경로 탐색을 수행하는 과정은 다음과 같이 진행된다. 우선 사용자는 좌측의 층 선택 영역에서 원하는 층을 선택한다. 그러면 해당 층의 평면도와 안전설비 위치가 뷰 영역에 표시되고, 화면 확대/축소 등을 통해 시작지점으로 선택할 영역을 조정한 후 상단의 깃발 형태의 시작지점 설정 버튼을 선택하여 시작지점을 선택한다. 그리고 오른쪽의 대피경로 계산 버튼을 클릭하면 시스템이 시작지점으로부터 해당 층의 각 출입구로의 대피경로를 탐색하기 시작한다. [그림 15]는 사용자가 대피경로 탐색을 수행하는 과정을 나타낸 것이다.

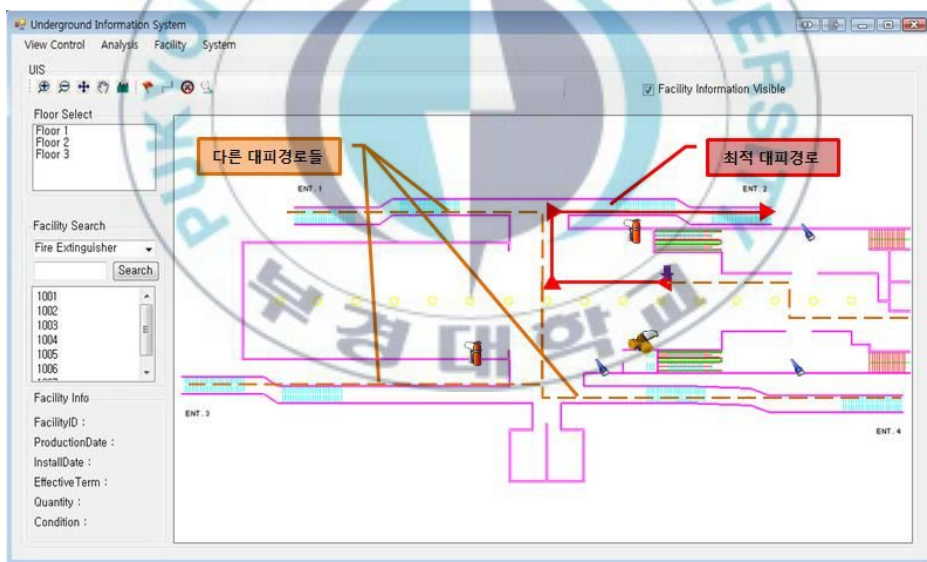


[그림 15] 대피경로 탐색 과정

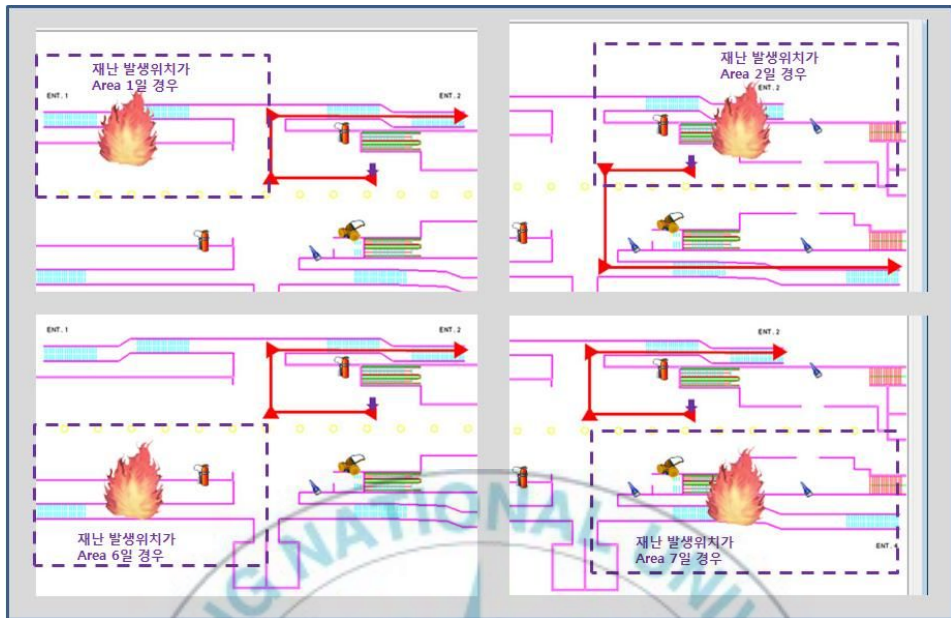
대피경로 탐색 알고리즘은 3장의 3절에서 설명한 바와 같으며, 재난상황을 고려하여 분할된 재난영역별로 재난상황 발생을 가정하여 평

상시, 영역1에서 재난상황 발생, 영역2에서 재난상황 발생... 의 순서로 계산하게 된다. 이 때, 출입구로의 경로와 재난영역이 겹치는지 여부를 오라클 9i Spatial의 공간분석 기능으로 확인하게 되며, 그 결과 겹치는 것으로 확인되면 식(1)의 area 인자를 ∞ 로 설정하게 된다. 또한 방화문, 방화셔터와 경로의 겹침 여부 또한 동일한 형식으로 오라클 9i Spatial의 공간분석 기능으로 확인하고, 그 결과를 식(1)의 fdoor, fshutter 인자의 값으로 설정한다.

[그림 16]과 [그림 17]에서는 각각 평소의 대피경로 탐색 결과, 그리고 재난 발생위치를 Area 1부터 순차적으로 적용하며 우회 대피경로를 탐색한 결과를 보여주고 있다.



[그림 16] 평소의 대피경로 탐색 결과



[그림 17] 재난영역을 순차적으로 적용하며 우회 대피경로를 탐색한 결과

V. 시스템 효과 분석

1. 지하공간 정보 시스템과의 비교

기존의 지하공간 정보 시스템은 주로 지하철 관리 기관의 홈페이지를 통해 시민에게 제공되고 있다. 인터넷을 통한 정보의 제공은 인터넷이 매우 널리 보급되어 있는 국내 특성 상 시민들이 가장 손쉽게 정보에 접근할 수 있는 방법 중 하나이다. 본 논문에서 제안하고 있는 정보 제공 방법 또한 인터넷을 통해 정보를 제공한다.

하지만 기존에 제공되고 있는 정보 시스템은 역사 내부의 공간적인 구조에 대해 상세한 정보를 제공하고 있지 않거나 가독성이 떨어져 사용자가 원하는 정보를 얻기 힘들다. 또한 지하공간 내에 설치되어 있는 안전장비 및 설비에 대한 위치 정보와 제조일, 설치일, 유효기한, 수량, 용량 등의 상세한 속성 정보를 제공하지 않는다.

이러한 문제점을 개선하고자 본 논문에서 제안하는 시스템은 지하공간의 내부 구조를 사용자가 직접 조작하여 확인할 수 있다. 또한 재난 상황 발생 시 대피경로 상에 장애요인(재난 요인이 존재하거나 방화셔터, 방화문이 잠겨 진행이 불가피한 상황 등)이 존재하는 경우를 가정하여 우회할 수 있는 경로를 순차적으로 알려주어 실제 재난상황에서의 생존 확률을 높일 수 있을 것으로 기대된다. 그리고 소화기, 방독면, 비상조명등과 같이 재난상황에서 유용하게 사용할 수 있는 안전설비/장비에 대한 위치 정보를 제공하여 대피 시 이용할 수 있도록 한다. 관리자의 측면에서도 안전설비의 설치일, 유효기한, 수량 등의 정보를 통해 관리상에 도움이 될 수 있다.

〈표 11〉 지하공간 정보시스템 비교

구분 항목	서울메트로 [14]	서울도시 철도공사[15]	부산교통공사 [16]	제안 시스템
역사주변 지형도	GIS 형태	그래픽 파일	그래픽 파일	GIS 형태
	역세권 정보, 출입구, 등 주요건물 등 표시	역세권 정보, 출입구, 등 주요건물 등 표시	역세권 정보, 출입구, 등 주요건물 등 표시	출입구, 등 주요건물 등 표시
역사 내부 구조도	페이지 없음	3D 플래시 파일로 제공 (확대, 축소 가능)	3D 플래시 파일로 제공(확대, 축소 가능)	2D 구조도 표시 (확대, 축소, 이동 가능)
		가독성 떨어짐	가독성 떨어짐	가독성 높음
안전설비/ 장비	역사 내, 열차내로 구분	관련내용 없음	안전장비의 일반적 비치 위치 설명 없음	안전설비 위치정보 제공
	전체적인 장비현황만을 소개		지하철 전체운영의 설비만을 제시하고 있음	장비의 제작일, 설치일, 유효기한, 수량 등의 정보 제공
안전장비 사용법	소화기(전) 사용법, 열차 내 비상코크 개방법 소개	관련내용 없음	방독면, 비상조명등과 같은 안전장비가 있음에도 사용법 제시가 되어 있지 않음	관련내용 없음
긴급상황 행동요령	열차화재, 역사화재, 지진, 선로추락, 테러 등 비교적 자세히 수록	화재사고 모의훈련내용 소개되어있음	행동지침이 소개되어 있으나, 좀 더 단순화하여 기억하기 쉽도록 개선할 필요가 있음	역사 내 각 지점에서 재난상황 발생 시 대피 가능한 경로 정보 제공
일반안전 수칙	열차 내, 역사 내, 에스컬레이터, 엘리베이터 이용방법 소개	일반, 에스컬레이터, 승강장, 선로추락, 열차 내 화재 시 안전수칙 설명되어 있음	애니메이션과 텍스트를 적절히 조합하여 다양한 계층이 이용할 수 있도록 함	관련내용 없음
			일반 안전 수칙의 내용이 소개되어 있음	

2. 대피알고리즘 연구 비교

2003년 대구 중앙로역 지하철 방화사건 이후로 지하공간의 안전성 향상을 위한 많은 연구들이 수행되고 있다. 초기에는 지하공간의 기존 안전설비/장비들의 안전성 확보를 위한 개선방안 및 새로운 설비/장비의 도입과 관련된 연구[21][22][23][24][25][26], 화재특성에 대한 시뮬레이션[27][28], 그리고 법 규제의 강화 및 개선의 측면에 한정하여 연구가 진행되었으나, 현재는 사용자들의 인간행동심리를 고려한 효율적인 대피를 위한 방법[29][30], 대피경로가 집중되는 것을 분산시키는 방법, 그 밖에 지하공간의 공기 질[31][32][33][34][35]이나 기타 부가적인 안전성 확보를 위한 연구들이 추가적으로 진행되고 있다. 이러한 다양한 연구 중에서 경로탐색 알고리즘과 관련된 최근의 연구들은 다음과 같다.

서울시립대학교 연구팀의 Stochastic process와 Space Syntax를 이용한 Mobile GIS 기반 다중 경로제공 시스템 개발에 대한 연구[36]에서는 2차원 GIS 기반으로 하여 사람의 공간 인지도 분석인 Space Syntax를 적용하여 기존 Heuristic 방법의 최단경로가 아닌 대안 경로를 개발하였고, A* 및 Dijkstra 알고리즘을 수정 적용하여 최단경로 탐색시간과 알고리즘의 성능을 향상시켰다. 이렇게 개발한 다중정보 제공 시스템을 현실에 적용, 캘리브레이션 하였으며 설문지 검증으로 정확성 평가를 수행하였다.

류근원 등의 내부공간 대피 시뮬레이션을 위한 3차원 GIS 데이터 모델링에 대한 연구[37]에서는 2차원 GIS 레이어와 3차원 모델링 방식을 결합하여 3차원 모델에 대한 위상관계를 부여하는 방법을 제시하였고, Dijkstra 알고리즘 기반으로 시작점, 종료점 선택 시 최단거리

탐색과 재난상황을 고려하여 시작지점에서 가장 가까운 출구로의 최단 거리 탐색 기능을 제공하고 있다.

김상미는 공간 네트워크 데이터베이스에서 시공간제약을 고려한 In-Route Nearest Neighbor 질의처리 알고리즘 개발이라는 연구 [38]를 통해 기존의 IRNN 질의처리 알고리즘을 수정하여 시간적 제약과 공간적인 제약을 동시에 고려하는 알고리즘을 개발하고 그에 대한 성능을 평가하였다.

박인혜 등은 CA 모델을 이용한 GIS 기반 화재 대피 시뮬레이션에 대한 연구[39]에서 2차원 GIS 데이터를 기반으로 기존의 Cellular Automata 알고리즘을 적용하여 응급상황 발생 시 실내 이동자의 움직임을 표현하였고, 시뮬레이션을 통해 최적의 출구위치를 산출하였다.

권정일 등은 센서 네트워크를 이용한 대피경로 안내시스템에 대한 연구[40]에서 센서를 활용한 화재위치 정보를 기반으로 유도등의 대피경로를 수정하여 전달하는 시스템을 설계/구현하였다.

이상의 경로탐색과 관련된 연구와 본 논문에서 제안한 시스템의 특징을 비교한 내용은 다음의 <표 12>과 같다. 일부 연구들에서 실외의 2차원 GIS 정보와 실내의 정보를 제공하기 위한 방법에 대해 고민하고 있으며, 연구 대상 시스템의 특성에 맞는 고려요소들을 고려하고 있다.

본 논문에서 제안한 시스템의 경우 2장에서 설명한 바와 같이 기존의 지하공간 정보제공 시스템의 부족한 정보를 보완하고 재난상황에서의 지하공간 이용자의 생존확률 향상을 위해 다양한 지점에서 재난 발생을 고려한 우회경로 정보를 제공한다. 그리고 지하공간의 재난상황에서 가장 문제가 될 수 있는 재난위치와 대피 시 장애요인들을 고려하여 다양한 우회경로 정보를 제공하고자 하였다. 또한 안전설비/장

비들의 위치정보와 속성정보를 제공하여 이용자가 재난상황에서 이를 활용할 수 있고, 관리자의 경우도 설비 관리에 이러한 정보를 활용할 수 있다.

<표 12> 경로탐색 관련 연구 내용의 비교

구분 (논문명)	모델링	경로탐색 알고리즘		시설/ 설비정보 고려
		알고리즘	고려요소	
Stochastic Process와 Space Syntax를 이용한 Mobile GIS 기반 다중 경로제공 시스템 개발[36]	2차원 GIS 기반	A*, Dijkstra 알고리즘 기반	교통량, 도로폭, 인지도	고려되지 않음
내부공간 대피 시뮬레이션을 위한 3차원 GIS 데이터 모델링[37]	3차원 모델 + 2차원 GIS 혼합방식	Dijkstra 알고리즘 기반	최단경로	고려되지 않음
공간 네트워크 데이터-베이스에서 시공간제약을 고려한 IRNN 질의처리 알고리즘 개발[38]	2차원 데이터	IRNN 알고리즘 기반	시간, 공간적 제약	고려되지 않음
CA 모델을 이용한 GIS 기반 화재 대피 시뮬레이션[39]	2차원 GIS 데이터	Cellular Automata 알고리즘	대피자 수, 대피자 위치	고려되지 않음
센서 네트워크를 이용한 대피경로 안내시스템[40]	2차원 데이터	제시되어 있지 않음	화재위치	유도등 방향
본 논문의 제안 시스템	2차원 GIS 기반	Dijkstra 알고리즘 기반	재난위치, 방화문, 방화셔터의 등의 장애요인	위치 및 속성정보 제공

VI. 결론

본 논문에서는 기존에 제공되고 있던 지하공간 정보 시스템이 지하공간 내부 구조와 위치정보 등에 대한 정보를 제공하지 않는 것을 개선하고자 하였다. 그리하여 GIS와 연계하여 지하공간 안전설비 및 대피경로 정보를 제공할 수 있는 시스템을 설계하였고, 경성대·부경대역을 대상으로 한 프로토타입을 구현하여 보았다.

제안한 지하공간 정보시스템은 지하공간 주변의 지리정보와 지하공간의 출입구, 복도, 에스컬레이터, 개찰구 등의 구조 및 공간정보, 안전설비의 위치 및 속성정보, 재난상황에서의 우회 대피경로 정보를 제공한다. 대피경로 탐색을 위해서 기존의 Dijkstra 알고리즘에 재난영역과 방화문, 방화셔터에 대한 인자를 추가하여 실제 재난상황에서 발생할 수 있는 여러 가지 요인들을 고려하였다. 그리고 안전설비의 위치정보와 설치일, 유효기한, 수량, 용량 등의 속성정보를 제공해주어 이를 바탕으로 지하공간 이용자가 유사 시 안전설비를 활용하는 데 도움이 될 수 있을 것이다.

본 시스템을 통해 2차원적인 형태의 지하공간 구조를 표시해주고 그 위에서 다양한 공간 및 속성정보를 서비스하고 있으나, 앞으로는 3차원 형태로 지하공간 구조를 제공해주어 보다 알기 쉽도록 할 필요가 있다. 또한, 인간행동심리를 고려한 대피경로 탐색 알고리즘의 개선이 필요하며, 재난상황에서 사람들의 대피경로를 분산시켜 보다 효율적인 대피가 이루어질 수 있도록 하는 방법에 대한 연구도 추가적으로 진행되어야 한다.

참고문헌

- [1] 이원구, “지하철 화재시 안전성능 확보대책에 관한 연구”, 중앙대학교 석사 학위논문, 2005. 6.
- [2] 나옥정, 전규엽, 홍원화, “지하공간 비상 유도등의 성능평가 및 피난 유도 향상에 관한 연구”, 대한건축학회논문집, 제22권, 제10호, pp.295-302, 2006.
- [3] 옥의수, 김성호, “무선 센서 네트워크 기반 기능형 화재 감지/경고 시스템 설계”, 한국퍼지및지능시스템학회 07 춘계학술대회 논문집, pp.367-371, 2007. 4.
- [4] 윤명오, 송철호, 김태운, 최윤수, 최연이, “유비쿼터스 기법을 적용한 실시간 피난유도 시스템 : RFID를 이용한 효율적 피난유도시스템”, 한국화재소방학회 논문지, 제21권, 제4호, pp.115-122, 2007.
- [5] 손봉세, 박동하, 박세화, “지하공간전용 소방방재 통합시스템 구축에 관한 연구”, 한국화재소방학회 07 춘계학술논문발표회 논문집, pp.403-410, 2007. 4.
- [6] 박형주, 이영제, 신동철, 백동호, “스크린도어가 설치된 지하철 승강장의 대피안전성 평가를 통한 제연환기구의 방재성능 개선방안 연구”, 한국철도학회 논문집, 제10권, 제5호, pp.511-519, 2007.
- [7] 박명길, 이정은, 서태웅, 황현숙, 김창수, “지하공간 시설물 관리를 위한 GIS 활용방안 연구”, 한국멀티미디어학회 추계학술대회, pp. 247-231, 2007. 11.
- [8] 서태웅, 이정은, 김창수, “지하공간 안전관리규정 개선에 관한 연구”, 한국멀티미디어학회 춘계학술대회, pp. 187, 2008. 5.

- [9] 이정은, 황현숙, 김창수, “지하공간 안전성 향상을 위한 개선방안에 대한 연구” , 멀티미디어학회지, 제12권 제1호, pp. 81-91, 2008.
- 3.
- [10] 서울시정개발연구원, 서울시 지하공간개발에 관한 연구, 1992.
- [11] 소방방재청, 지하공간 안전관리 시스템 구축, 2008.
- [12] J.S. Kroll-Smith, S.R. Couch, "The real disaster is above ground. A mine fire and social conflict", University Press of Kentucky, Lexington, KY, 1989.
- [13] 소방방재청, 2006 재해연보, 2006.
- [14] <http://www.seoulmetro.co.kr>
- [15] <http://www.smrt.co.kr>
- [16] <http://www.subway.busan.kr>
- [17] 김혜영, “위상구조기반 접근성을 고려한 보행경로탐색 알고리즘” , 서울시립대학교 석사학위논문, 2008.
- [18] 이도영, “GIS기반 길안내 정보시스템에서의 효율적인 최단경로탐색 알고리즘” , 환경대학교 석사학위논문, 2007.
- [19] 김주백, “레저시 정보를 이용한 최단경로의 재구성 및 최적 경로 구성 알고리즘에 관한 연구” , 선문대학교 박사 학위논문, 2008.
- [20] 신성현, “온톨로지 기반 LBS/GIS 플랫폼 설계와 개인화 서비스 구현” , 부경대학교 석사 학위논문, 2008.
- [21] 나옥정, 전규엽, 홍원화, “지하공간 비상 유도등의 성능평가 및 피난유도 향상에 관한 연구” , 대한건축학회논문집, 제22권, 제10호, pp.295-302, 2006.
- [22] 육의수, 김성호, “무선 센서 네트워크 기반 기능형 화재 감지/경고 시스템 설계” , 한국퍼지및지능시스템학회 07 춘계학술대회 논문

- 집, pp.367-371, 2007. 4.
- [23] 윤명오, 송철호, 김태운, 최윤수, 최연이, “유비쿼터스 기법을 적용한 실시간 피난유도 시스템 : RFID를 이용한 효율적 피난유도시스템”, 한국화재소방학회 논문지, 제21권, 제4호, pp.115-122, 2007.
- [24] 손봉세, 박동하, 박세화, “지하공간전용 소방방재 통합시스템 구축에 관한 연구”, 한국화재소방학회 07 춘계학술논문발표회 논문집, pp.403-410, 2007. 4.
- [25] 박형주, 이영제, 신동철, 백동호, “스크린도어가 설치된 지하철 승강장의 대피안전성 평가를 통한 체연환기구의 방재성능 개선방안 연구”, 한국철도학회 논문집, 제10권, 제5호, pp.511-519, 2007.
- [26] **Title** : Disaster prevention system and construction for an underground space, **Inventer** : Mori, Kei, **Publication Date** : 1991. 4. 16.
- [27] 채한식, 석창목, 김이성, 이지희, 김화중, “화재하중에 따른 지하생활공간의 화재성상 예측”, 한국화재소방학회 논문지, 제21권, 제1호, pp.51-59, 2007.
- [28] 김영노, 석창목, 김화중, “지하생활공간 화재시 풍속에 따른 열유동 특성 연구”, 한국화재소방학회 논문지, 제21권, 제3호, pp.61-68, 2007.
- [29] 박명희, 전규엽, 홍원화, “지하공간의 보행자 이동패턴과 경로선택 요인에 관한 연구”, 한국주거학회 05 추계학술대회 논문집, pp.311-314, 2005. 11.
- [30] 원슬기, 김영옥, 최안섭, “공간구문론을 이용한 지하공간 비상유도 등의 효율적인 위치선정 방법론 검토”, 한국조명전기설비학회 논

- 문지, 제20권, 제10호, pp.1-9, 2006.
- [31] 한태식, “지하주거공간의 실내공기환경 (IAQ) 측정 연구”, 중앙대학교 석사 학위논문, 2005.
- [32] 홍중호, 오형나, “다중이용시설 실내공기질 개선의 경제적 가치 추정 : 서울시 지하역사를 중심으로”, 한국경제연구, 제17권, pp.169-198, 2006.
- [33] 김기태, 양성수, 손부순, “백화점 지하 주차장의 실내 공기질에 관한 연구”, 대한위생학회지, 제21권, 제1호, pp.44-51, 2006.
- [34] 송지한, 이희관, 김신도, “지하역사내 실내공기질 예측을 위한 모델 개발”, 한국대기환경학회 06 춘계학술발표대회 논문집, pp.189-190, 2006. 4.
- [35] 조영민, 박덕신, 박병현, “지하역사의 실내공기질 정화시스템 적용성 연구”, 한국철도학회 06 춘계학술대회 논문집, pp.115-120, 2006. 5.
- [36] 한국과학재단 특정기초연구사업, Stochastic Process와 Space Syntax를 이용한 Mobile GIS 기반 다중 경로제공시스템 개발, 2005.
- [37] 류근원, 박인혜, 김혜영, 전철민, “내부공간 대피 시뮬레이션을 위한 3차원 GIS 데이터 모델링”, 한국인터넷정보학회 학술발표대회 논문집, 제7권, 제2호, pp.207-212, 2006. 11.
- [38] 김상미, “공간 네트워크 데이터베이스에서 시공간제약을 고려한 In-Route Nearest Neighbor 질의처리 알고리즘 개발”, 전북대학교 석사 학위논문, 2007.
- [39] 박인혜, 전철민, 이지영, “CA 모델을 이용한 GIS 기반 화재 대피 시뮬레이션”, 한국GIS학회 학회지, 제16권, 제2호, pp.157-171,

2008. 7.

- [40] 권정일, 노영섭, “센서 네트워크를 이용한 대피경로 안내시스템”,
한국컴퓨터정보학회 논문지, 제13권, 제5호, pp.237-246, 2008.

9.



감사의 글

석사 학위 논문을 이렇게 마무리하면서 지금까지의 저에게 많은 도움을 주신 모든 분들께 감사하는 마음을 담아서 이렇게 인사를 드립니다.

먼저 지도교수님이시자 참된 스승으로 저의 앞길을 지도해주시고 때론 꾸짖어 주시며 항상 올바른 길로 나아갈 수 있도록 지도해주신 김창수 교수님께 감사의 말씀을 드립니다. 부족한 제가 교수님의 지도로 이렇게 무사히 학업을 마치고 사회에 첫 발을 내딛을 수 있게 되었습니다. 그리고 교수님께서 항상 하신 우선 인성을 쌓아 올바른 사람이 되도록 하라는 말씀 가슴에 깊이 새기고 교수님의 제자로 부끄럽지 않도록 항상 자신을 돌아보도록 하겠습니다.

그리고 정신일 교수님, 이경현 교수님, 신상욱 교수님, 김영봉 교수님, 송하주 교수님, 권기룡 교수님, 조성진 교수님, 정목동 교수님을 비롯한 정보보호학협동과정 교수님들께도 감사의 인사를 올립니다. 2년 반의 기간 동안 저를 아껴주시고 조언과 격려를 해주시며 함께 해준 연구실 선배배, 동기 여러분 정말 감사합니다. 논문과 학업에 많은 도움을 주신 황현숙 박사님, 많은 조언을 주셨던 전태건 선생님과 정명균 선생님, 장세현 선생님, 정경훈 박사님, 김기욱 선생님, 김주연 선생님, 박성우 선생님, 김봉제 박사님, 동아리 선배님이자 연구실 선배님이신 나호준 박사님 감사합니다. 친형처럼 옆에서 저를 챙겨주고 같이 보냈던 이석철 선배님, 박성석 선배님, 신성현 선배님, 홍경순 선배님, 그리고 동기로 곁에서 지켜봐주고 격려해줬던 김선미, 심혜인, 최옥란, 김대언, 힘든 프로젝트를 진행하면서도 열심히 도와줬던 서태웅, 박명길 모두들 감사드립니다. 함께 졸업하는 은석이형, 원영이형, 태식이형, 도희형 모두 멋진 앞날이 펼쳐질길 기원합니다. 항상 웃는 요섭이형, 이쁜 수완누나, 수도선생님, 수미선생님 앞으로 건강하시고, 함께 대학원 입학한 인제형도 마지막 학기 마무리 잘하시길! F.U.C.C. 17기 동기 여러분 사랑합니다. 앞으로도 계속 자주 만나요~! 저를 많이 챙겨주신 동아리 선배님들 및 잘 따라주신 후배 여러분도 모두 감사드리고 건강하세요.

그 누구보다도 오늘의 제가 있기까지 묵묵히 고생하시며 뒷바라지 해주신 할머니, 아버지, 어머니, 하늘에 계신 할아버지, 지금도 임용고시 준비에 바쁜 동생 현정이 및 친지 여러분 모두 감사합니다.