철도 역사에서의 여객 유동 평가 프로그램 개발

2008. 06

한국철도기술연구원

제 출 문

국토해양부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

본 보고서를 “철도 역사에서의 여객 유동 평가 프로그램 개발” 연구과제의 최종보고서로 제출합니다.

2008. 6. 29.

주관연구기관 : 한국철도기술연구원

원장 : 최 성 규

■ 총괄연구책임자	/ 책임연구원 남 성 원	시스템 및 연구총괄
참 여 연 구 원	/ 책임연구원 김 형 진	DEM 해석
	/ 선임연구원 권 혁 빈	DEM 해석
	/ 선임연구원 고 태 환	DEM 해석
	/ 연 구 원 김 경 수	DEM 해석
■ 협동연구책임자	/ 수석연구원 김 영 욱	Space Syntax
참 여 연 구 원	/ 연 구 원 신 행 후	Space Syntax
	/ 연 구 원 김 아 현	Space Syntax
	/ 연 구 원 정 지 희	Space Syntax
	/ 연 구 원 공 은 미	Space Syntax
■ 협동연구책임자	/ 선임연구원 허 남 건	Pre-Post 프로그램
참 여 연 구 원	/ 연 구 원 원 찬 식	Pre-Post 프로그램
	/ 연 구 원 이 명 성	Pre-Post 프로그램
	/ 연 구 원 양 성 진	Pre-Post 프로그램
	/ 연 구 원 이 상 혁	Pre-Post 프로그램
	/ 연 구 원 김 치 겸	Pre-Post 프로그램
■ 위탁연구책임자	/ 수석연구원 이 승 재	CA 해석
참 여 연 구 원	/ 연 구 원 이 승 준	CA 해석
	/ 연 구 원 박 정 수	CA 해석
	/ 연 구 원 김 주 영	CA 해석
	/ 연 구 원 박 대 운	CA 해석

요 약 문

Ⅰ. 제목

철도 역사에서의 여객 유동 평가 프로그램 개발

Ⅱ. 연구 개발의 목적 및 필요성

과거의 철도역 건물은 주로 철도 여행객들의 승하차용 시설로만 이용되어 왔으나, 최근에는 대도시 철도 역사의 복합화, 대형화로 인하여 철도역은 철도 영업 및 서비스 거점으로서의 중요한 위치뿐만 아니라 지역을 대표하는 도시 시설중 하나로서 여러 가지 부가 기능을 담당하는 장소로 바뀌고 있다. 일반적으로 역사가 복합화 대형화되면, 역사가 갖추어야 할 기본적인 역할 즉, 안전하고 이용하기 편리하며 쾌적한 역사를 만들기 위한 여러 가지 조건이 요구된다. 특히, 도시 철도 일부 환승역의 경우, 복수의 철도 노선이 교차하여 그 구조가 심층 지하화 되고 여객 이동 동선이 길어져 화재와 같은 재해 발생시에는 여객들의 대피에 장애가 되며, rush hour때는 승객 과밀 상태로 사고 발생의 요소를 내포하고 있다. 본 연구에서 개발하는 철도 역사에서의 Virtual 여객 유동 해석 프로그램 개발을 통하여 현재 철도 역사에서의 여객 유동 현상을 파악하고, 최적 여객 동선 구축과 역사 구조 개선안을 제시함으로서 재해 발생 시 효율적인 여객 대피 유도로 안전을 확보하고, 역 혼잡도를 경감시켜 대국민 서비스 향상을 기할 수 있다.

기술적 측면에서 여객 유동 해석 프로그램 기술 개발은 철도 역사 내에서의 여객 유동을 가상적으로 해석하는데 필요한 DEM (Discrete Element Method) 또는 CA(Cellular Automata)기법의 응용 연구와 건축의 기본계획 및 설계와 평가에 사용되는 SS(Space Syntax) 연구를 융합한 Virtual Fusion Engineering의 한 분야로서 매우 중요한 선진 연구개발 주제로서, 세계 최초로 DEM, CA 및 SS이론을 접목한 여객 유동 시뮬레이션 시스템 개발로 인하여 경쟁력 있는 첨단기술을 확보할 수 있다.

경제 산업적 측면에서는 여객 유동 해석 프로그램 기술 개발은 궁극적으로는 철도 역사를 이용하는 여객들에게 평상시에는 쾌적한 공간과 편리성을 제공하고, 재해 발생과 같은 유사시에는 여객들의 신속한 대피 및 안전 확보에 일조하는 중요

한 기술 개발이며, 기존의 재난 대피시스템은 주로 시설물의 설계 완료단계 또는 거주 초기단계 및 평가단계에 있어서 피난 동선과 시간을 예측하는데 사용하지만, 본 연구에서 개발하고자 하는 통합시스템은 교통 및 건축 등 다양한 분야의 이론을 기반으로 하고 있어, 공간구조로부터 여객 유동 특성에 대한 정보를 계획 초기단계에 신속하게 예측할 수 있어서 시설물의 설계 초기과정에서부터 적용할 수 있고, 그 결과를 설계에 즉각 반영할 수 있으므로 철도역 건축물 계획 및 최적 여객 동선 개발과 동시에 Cost Impact 효과가 있다. 따라서 이러한 다목적 기능을 가진 실용적인 여객 유동 해석 프로그램 개발이 필요하다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

그동안 국내에서는 여객유동에 관한 연구가 교통공학 측면으로만 간헐적으로 이루어져 왔으나 교통-건축-유동을 묶은 체계적인 연구를 수행한 바가 없어 종합적인 여객 유동 해석 방법에 대한 축적된 경험이 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 전국 주요 도시철도의 철도 역사 건물에 대한 2D 및 3D CAD DB 구축과 DEM, CA 및 Space Syntax에 기초한 여객 유동 시뮬레이션 프로그램 개발을 통하여 주요 철도역에서의 최적 여객 동선 개발, 여객 유동에 근거한 기존역의 구조개선 방안 및 신설역 설계 지침안을 제시하는 것을 주요 연구 내용으로 하고 있다. 주요 철도 혼잡역, 심층 지하역, 환승역의 여객 유동 현황 DB 구축과 철도역사 건물의 2D 및 3D CAD DB 구축은 여객 유동 시뮬레이션 프로그램 개발을 위한 기본 데이터가 되며, pre-post 프로그램에 직접 활용될 것이며, 여객 유동 시뮬레이션 프로그램은 철도 역사에 대하여 공간 분석 기법인 Space Syntax 기법을 적용한 여객 이동 패턴 및 방향 설정과 이를 바탕으로 DEM 및 CA기법을 적용한 여객 이동 알고리즘을 융합하여 해석 프로그램을 개발하며, 최종 연구기간이 종료되는 시점에는 Windows GUI 기반의 프로그램을 개발하여 철도 현장에 적용할 수 있도록 한다. 또한, 철도 역사에서의 최적 여객 동선 개발과 여객 유동에 근거한 기존역의 구조개선 방안 및 신설역 설계 지침안을 제시하는 것은 특수한 환경에 놓인 철도 역사를 이용하는 여객들의 안전성 확보 및 쾌적성 증대에 주요한 파라메터가 되며, 철도 역사 개보수 및 신축시의 건설비용과도 직접 관계되는 기술 개발이므로 철도, 교통, 건축 분야의 관련 전문 기술을 통합하여 개발하며 주요 내용은 다음과 같다.

(1차년도)

① 여객유동 관련 이론 자료 조사 및 분석

② 운영 Data 및 현장 조사를 통한 여객 유동 현황 DB구축

③ 주요 철도역 구조의 2D 및 3D CAD DB구축

④ DEM, CA, Space syntax 해석 이론 정립,
알고리즘 및 상호 연계 적용 방안 개발

⑤ 기본 모델에 대한 source 프로그램 개발(1)

(2차년도)

① DEM, CA, Space syntax를 이용한 통합 해석시스템 모듈 개발

② 해석 대상인 주요 철도 역사 모델링

③ 여객 유동 시뮬레이션 모델 개발 및 기본 현상 해석 및 검증

④ 여객 유동 2D 및 3D 가시화 프로그램 개발 pre-post 프로그램 개발

⑤ full-scale 모델에 대한 source 프로그램 개발 : pre-post 프로그램과 링크

(3차년도)

① 여객 유동 해석과 관련된 파라메타 특성에 대한 분석

② 여객 유동 해석 프로그램 현장 적용 및 보완

③ 기존역 구조개선 방안 및 신설역 설계 지침안 작성

④ 최적 역사 구조안 및 여객 유동 동선안 개발

Ⅳ. 연구개발 결과

본 연구는 철도 역사에서의 여객 유동 해석 프로그램을 개발하기 위한 과제로 1차년도에는 개별 해석 모듈 개발(DEM, CA, Space Syntax 및 pre-post)을 통하여 전후처리 프로그램의 개념설계, source 프로그램의 구축을 통한 기본 모델에 대한 해석을 검토하였다.

(1) DEM을 이용한 여객 유동 해석 프로그램 개발

○ 多相유동 해석의 체적분율, 유체-입자 속도 커플링의 개념을 여객유동에 있어서의 인구밀도, 여객 이동방향벡터, 포텐셜의 개념으로 상사시켜 이론 개발함.

○ 여객 유동 해석을 위하여 개발된 알고리즘

- Potential Map 작성 알고리즘 (출구부터 등고선 개념)
- 각 cell별 단위 방향 벡터 설정 알고리즘

- 개별 여객이 어떤 cell에 속하는지를 계산하는 알고리즘
- 각 cell에 있는 여객들에 번호 부여 알고리즘
- 계산 영역내의 I,J sweep 방향 설정 알고리즘
- 주방향을 대체할 차순위 방향셀 찾기 알고리즘
- 입출구에서의 유입 및 유출 여객 처리 알고리즘
- 평지 이외 구역의 block 처리 알고리즘 등

○ 주요 철도 역사(혼잡역, 환승역, 심층지하역)에 대한 구조 DB구축

(2) Space Syntax 기법의 이론 분석 및 지하공간에서 적용방안 연구

- Space Syntax 기법이 이용자의 행태와 관련된 선행연구 고찰 (길찾기, 보행)
- 지하 공간인지와 Space Syntax 분석기법과의 상호관련성
- 보행네트워크에서 Space Syntax 분석기법적용 선행연구 고찰
- 공간인식에 영향을 주는 공간형태요소 검토 (Depth와 공간인식과의 상호관련성)
- 길찾기와 Space Syntax 분석기법과의 상호관련성 검토
- Egress Simulation 기법의 이론 분석
- 기존 Egress Simulation 프로그램의 문제점 진단
- 지하공간에서 Space Syntax 적용방안 연구
- 적용 가능한 Toll(Axman, Pash, Depthmap)검토
- 보행량 관찰(지하철 역사 출입구, 환승통로, 개찰구등에서 보행량 관찰)
- 지하철 역사 보행네트워크 분석을 위한 분석 범위 설정 연구
- 여객유동평가에 적용 가능한 공간 가중치 분석
- DEM모델에 여객유동 경로선택에 공간통합도(Integration)에 의한 보행 방향 설정의 비율 분석

(3) 보행 시뮬레이션에서의 CA모형

○ 시뮬레이션 적용 네트워크 모델 구성

○ 시나리오의 구성

- 좌우방향 보행량 및 구성비 설정
- 전방 gap감속확률, 충돌 시 진로 변경확률 설정
- 최대속도 및 최대속도이하에서 진로변경확률 설정
- 대향보행자 인식거리 가정

○ 분석결과

- 보행량이 대소에 따라 보행자가 자유속도 변화 해석.
- 보행자들은 혼잡 속에서 서로의 진로를 찾아가면서 공간적으로 안정을 찾게 됨.

(4) 여객유동 전후처리 프로세서 및 통합 인터페이스 설계

- 객체기반 모델링 시스템의 사용자 요구사항 분석
- 현장 조사를 통한 공간 조사와 공간 요구사항 분석
- 공간 부재와 공간 간의 연결 관계 조사
- 타 연구팀과의 협업을 위한 고려 사항 조사
- 철도역사 모델링을 위한 전처리 프로세스 개발

Ⅴ. 연구개발결과의 활용계획

본 연구는 여객유동 해석 프로그램을 개발하는 것을 주요 연구내용으로 하고 있다. 이 프로그램을 이용하여 주요 환승역, 혼잡역, 심층 지하역의 여객 유동 분석과 향후에는 6대 도시 철도(서울, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전) 각 노선별로 확대 적용하여 철도 역사에서의 재해 발생시, 효율적인 여객 피난 경로 설정 도구 및 rush hour시의 여객 혼잡도 저감 방안 구축 자료로 활용할 계획이다. 철도역의 다양한 공간 배치와 수직 및 수평 동선 계획 평가 도구로 사용하여 기존 철도 역사 구조 개선 또는 신설역 공사시 설계 기준 자료로 활용하며, 타 교통시설 및 복합 건축물에서의 이용객 이동 평가와 철도역사 및 기타 건축물의 가상 현실 시뮬레이션 도구로 확장 활용한다. 이러한 활용에 따른 기대 효과로서 기술적 측면으로는 DEM 및 CA 모형을 이용한 여객 이동 모델 적용 기술 향상, Space Syntax 기법을 이용한 여객 공간 사용 예측 기술 향상, Space Syntax와 DEM 및 CA 이론의 접목으로 인한 신기술 개발에 따른 세계적인 기술 경쟁력 확보, 철도역사의 공간 배치와 수직 및 수평동선에 대한 평가기술 확보를 들 수 있으며, 경제·산업적 측면으로는 해외 기술에 대한 의존도가 거의 100%인 해당 산업분야의 기술 자립도 향상 및 수입의존도 저감 효과, 도시 철도차량의 승하차 시간 단축으로 차량 표정속도 향상을 가져오며 그 결과 차량 운영 효율 증대, 역사의 복합화로 인한 철도 역사의 증가상태에 본 연구에서 개발된 기술을 적용하여 효율적인 공간배치•동선계획, DB 구축 및 설계 기준 제공, 시뮬레이션을 통한 다중 이용 시설물의 안정성 평가가 가

능하므로 기존 시설물의 개선을 통한 역사 화재 사고 및 기타 위급 상황시 이용자들의 안전한 대피와 인명 피해를 최소화하는데 활용할 수 있다. 타 산업에 대한 활용으로는 공간구조를 고려한 신기술 피난시뮬레이션 모델 개발로 인한 방재산업에 활용하여 대규모 공간에서의 보행자 움직임을 예측함으로써 게임산업 및 애니매이션 산업에서 사람들의 유동패턴 예측 요소기술 제공하고, 유동인구에 대한 정확한 해석으로 대형 도시 복합 시설의 상권예측, 유통산업에의 수익극대화를 위한 분석 및 예측 기법으로 활용가능하다. 그리고, 보행자의 행동 특성에 관한 정량적 기초연구를 통하여 공간 사용패턴 및 보행자 행동특성과 밀접한 관련이 있는 타 분야(도시학, 지리학, 인지과학, 사회학, 건축학 등) 연구에도 활용할 계획이다.

SUMMARY

Ⅰ. Title

Development of Railroad Passenger Flow Analysis Software

Ⅱ. Purpose and necessity of the research

Railroad stations have been used only for the entraining and detraining places. However, in recent years, as railroad stations have become more complex and larger in size, the stations are often considered as one of the representative urban facilities of the local areas as well as railroad business footholds. In general, several construction conditions are required for building safe, convenient and pleasant railroad stations. Complicated station structures and long transfer paths of several urban railroad junctions may act as obstacles to instant passenger escape in case of a fire. In this study, we have developed a railroad passenger flow analysis code in order to simulate passenger flows in many cases of station structures, and to suggest basic ideas for the improvements of station structures and for the designs of optimum passenger paths to secure effective passenger escape in case of a disaster.

From the technical point of view, the integrated passenger flow software combining the Discrete Element Method (DEM) and the Cellular Automata (CA) for the analysis of virtual passenger movements, and the Space Syntax (SS) for the configurational analysis of urban forms or designs has been developed for the first time in the world.

Since the developed software in this study is based on the variety of fields such as transportations and constructions, the software can predict the characteristics of the railroad passenger flows quickly with reliability at the beginning of the station layout design. Therefore, the software eventually can contribute to the design of a railroad station having optimum paths in well accordance with passenger movements and structures enabling the passengers to escape immediately in case of a disaster.

Ⅲ. Scope of the research

Researches concerned about the characteristics of passenger flows in Korea have been performed intermittently only from the traffic engineering side without consideration of systematic studies combined traffic, civil architectures and passenger flows. In this study, we have established the database of two or three dimensional CAD drawings that can be used as basic input data for pre and post processors and developed a Windows GUI based passenger flow code combining the DEM, CA(passenger movement algorithm) and the SS(space

analysis program) theories for providing optimum passenger traveling paths, improvement schemes of railroad station layouts considering passenger movements, and design criteria for new railroad stations.

Follows are main contents of the study.

(First year)

1. Investigations & analyses of related theories and data concerned passenger flows

2. Passenger flow database obtained by field investigations

3. Establishment of two or three dimensional railroad station CAD database

4. Establishment of the DEM, CA, SS theories

5. Development of analysis algorithms and combining schemes of the DEM, CA and SS

6. Development of a source program for basic passenger flow models

(Second year)

1. Development of combined passenger flow analysis modules using the DEM, CA and SS methodologies.

2. Modeling of railroad stations

3. Development of passenger flow simulation models

4. Development of pre and post processors with two and three-dimensional view expressions

5. Development of a source program that can be linked with pre and post programs for full scale models

(Third year)

1. Analysis of parameter characteristics related passenger flows

2. Applications and modifications of the passenger flow analysis code

3. Improved schemes of existing railroad station structures and design guidelines of new railroad stations

4. Development of optimum structure designs of railroad stations and passenger traveling paths

Ⅳ. Results of the research

(1) Development of the passenger flow analysis program

◇Development of related theories

◇Algorithm development

- Potential map algorithm

- Directional vector creation algorithm

- Passenger positioning and numbering algorithm

- Direction creation algorithm

- Lower rank directional cell finding algorithm

- Inflow and out flow passenger treatment algorithm

- Block treatment for stairways

◇Database establishment of important railroad station structures

(2) Analysis of the Space Syntax(SS) methodologies and applications to underground spaces

- Literature survey related SS researches

- Correlations between underground space recognition and SS analysis methodology

- Investigation of space forming parameters influencing space recognition

- Correlations between searching path and SS analysis methodology

- Review of the Egress Simulation methodology and theory

- SS application to underground space

- Review of an applicable tool such as a Depth-map

- Passenger traffic volumes

- Analysis of passenger traffic networks of railroad stations

- Review of spatial weight factors applicable to the passenger flow evaluations

(3) CA modeling in passenger flow simulations

◇ Development of network models for simulations

◇ Development of scenarios

- Passenger traffic volumes in right and left directions and composition ratios of the traffic volumes

- Probabilities of forward gap decelerations

- Probabilities of changing paths in case of head-on collisions

- Probabilities of changing paths at (or below) the maximum velocity

- Recognition of distances between passengers moving oppositely each other

◇ Analysis results

- Analysis of passenger walking speeds due to passenger traffic volume changes

(4) Development of pre and post processors and the program interface

- Analysis of modeling system user requirements

- Analysis of space requirements

- Development of pre and post processors for railroad station modeling

Ⅴ. Plan for the practical use of the results

In this study, we have developed the passenger flow analysis code that can be used in simulating passenger flows of major junctions, congested and deep underground urban railroad stations in Korea. In consequence of the development of the integrated passenger flow software based on the Discrete Element Method, Cellular Automata (for the analysis of passenger movements) and the Space Syntax (for the spatial analysis of urban forms), technical competitions with other relevant foreign software in the field of passenger flow analysis have been acquired.

In the near future, we expect that the software contributes to the structure designs and reformations of urban railroad stations in six major cities(Seoul, Pusan, Daegu, Incheon, Kwangju, Dawjeon), and to establishment of effective passenger escape paths in case of a disaster and schemes reducing passenger congestion rate at rush-hour by means of reviewing variety of conditions such as station structures, other transportation facilities and multiple-purpose buildings nearby the stations, in advance.

목 차

제 1 장 서론 1

제 1 절 연구배경 3

제 2 절 연구 목적 및 범위 4

제 3 절 연구수행 내용 5

제 2 장 국내외 기술개발 현황 11

제 1 절 국내 기술동향 11

제 2 절 국외 기술동향 12

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과 47

제 1 절 Space syntax를 이용한 철도 역사에서의 공간이용 효율성 피난계획 평가 및 예측 49

1. 서론 49

2. 국내외 기술개발 현황 53

3. 연구 개발 수행 내용과 결과 73

4. 연구개발 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 156

5. 연구개발 결과의 활용 계획 158

6. 참고 문헌 159

제 2 절 CA모형을 이용한 보행자 이동 시뮬레이션 모델 개발 163

1. 연구 개요 163

2. CA모형의 이론적 고찰 166

3. 당해연도 실적 174

4. 연구수행 내용 및 결과 175

5. 결론 225

제 3 절 DEM을 이용한 여객유동 해석 프로그램 개발 227
1. DEM에 의한 여객 유동 해석 227
2. 참고 문헌 292

제 4 절 여객 유동 분석용 Pre-post 프로그램 모듈개발 299
1. 서 론 299
2. 연구 개발수행 내용 및 결과 301
3. 연구 개발목표 달성도 및 관련분야 기여도 326
4. 연구개발 결과의 활용계획 327
5. 참 고 문 헌 328

제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 관련분야 기여도 329

제 5 장 연구개발 결과의 활용계획 335

부록 주요 역사구조 DB 339

CONTENTS

Chapter 1 Introduction 1

Section 1 Research background 3

Section 2 Purpose and scope of research 4

Section 3 Contents of research 5

Chapter 2 Present Status of Domestic/Overseas Development 11

Section 1 Domestic Status 11

Section 2 Overseas Status 12

Chapter 3 Contents and Results of the research 47

Section 1 valuation and prediction of efficient refuge plan in Railroad station using Space syntax 49

1. Introduction 49

2. Present Status of Domestic/Overseas Technology Development 53

3. Contents and Results of the research 73

4. achievement of development goal and contribution of reference field 156

5. Plan for the practical use of the results 158

6. Bibliography 159

Section 2 development of passenger flow simulations using CA modeling 163

1. Introduction 163

2. abstract consideration of CA modeling 166

3. result of this year 174

4. Contents and Results of the research 175

5. conclusion 225

Section 3 development of passenger flow simulations using DEM 227
1. passenger flow analysis by DEM 227
2. Bibliography 292
Section 4 development of Pre-post program module for passenger flow simulations 299
1. Introduction 299
2. Contents and Results of the research 301
3. achievement of development goal and contribution of reference field 326
4. Plan for the practical use of the results 327
5. bibliography 328

Chapter 4. achievement of development goal and contribution of reference field 329

Chapter 5. Plan for the practical use of the results 335

Supplement. Main station building structure DB 339

표 목 차

<표 2-1> Egress Model 32
<표 2-2> Movement Models 38
<표 2-3> Behavior models 39
<표 2-4> Behavior models 40

<표 3-1> 연구계획서상의 연구내용 및 연구수행 결과 50
<표 3-2> cell 2,000 HH 값 분석 90
<표 3-3> cell 1,000 HH 값 등 분석 표 91
<표 3-4> 보행량 조사 방법 95
<표 3-5> 조사지점별 보행량 조사결과표(출근보행량) 96
<표 3-6> 조사 지점별 보행량 조사결과표(주말 전야 보행량) 98
<표 3-7> 지하 승강장 및 개찰구 출근 보행량 101
<표 3-8> 지하 승강장 부분 주말 전야 보행량 103
<표 3-9> 지하 승강장 보행량 조사결과 103
<표 3-10> 충무로역의 공간구조명료도 상관계수분석 (r2=0.4059) 114
<표 3-11> 동대문운동장역의 공간구조명료도 상관계수분석(r2=0.0795) 116
<표 3-12> cell 500 HH 값 등 분석 표 123
<표 3-13> 지하 승강장 보행량 조사결과표 124
<표 3-14> 승강장에서 개찰구 이전까지의 분석지점 특성 129
<표 3-15> 동·서측 개찰구별 보행량 131
<표 3-16> 우리나라의 도시철도 정거장 계획 관련기준 147
<표 3-17> 도시철도 정거장내 시설 정의 및 구성요소 147
<표 3-18> 도시철도 정거장 설계 방향 148
<표 3-19> 도시철도 정거장 대합실 계획에 관한 설치기준 150
<표 3-20> 도시철도 정거장 승강장 계획에 관한 설치기준 150
<표 3-21> Space Syntax를 활용한 도시철도 정거장의 배치 및 동선체계 분석 152
<표 3-22> 도시철도 정거장 설계기준과 공간구조의 상호관련성을 고려한
건축가이드라인 제시 153

<표 3-23> 연구개발 목표 달성도 156
<표 3-24> CA모형을 기반으로 한 보행자 모형의 변수 및 변수 내용 171
<표 3-25> 조사치와 모형치의 비교 183
<표 3-26> 시나리오 설정을 위한 방향별 분포 비 184
<표 3-27> 한국도로용량편람에서 제시하는 서비스 수준별 보행 교통류 율 185
<표 3-28> 계단에서의 서비스 수준(한국도로용량 편람) 185
<표 3-29> 시뮬레이션 결과 186
<표 3-30> 모형구축을 위한 30개역 선정 204
<표 3-31> 토지이용계획 자료의 개요 205
<표 3-32> 지하철역별 거리 연장 계 206
<표 3-33> 지하철역별 Total Depth 206
<표 3-34> 지하철역별 버스 노선 수 자료 207
<표 3-35> 지하철역별 시간대별 하차 자료 208
<표 3-36> 지하철 하차인원과 상관관계 분석 209
<표 3-37> 출구 선택 모형 구축 결과 210
<표 3-38> 강남역 및 양재역 시간대별 출구별 유출 보행량 213
<표 3-39> 검증대상지역 출구별 상업지역 연상면적(균등) 215
<표 3-40> 검증대상지역 출구별 상업지역 연상면적(보행가능 범위1) 216
<표 3-41> 검증대상지역 출구별 상업지역 연상면적(보행가능 범위2) 217
<표 3-42> 강남역 출구별 Total Depth 217
<표 3-43> 양재역 출구별 Total Depth 217
<표 3-44> 강남역 출구별 버스노선 수 218
<표 3-45> 양재역 출구별 버스노선 수 219
<표 3-46> 강남역 모형 검증 결과(균등) 221
<표 3-47> 양재역 모형 검증 결과(균등) 221
<표 3-48> 강남역 모형 검증 결과(보행 가능 범위1) 222
<표 3-49> 양재역 모형 검증 결과(보행 가능 범위1) 222
<표 3-50> 강남역 모형 검증 결과(보행 가능 범위2) 223
<표 3-51> 양재역 모형 검증 결과(보행 가능 범위2) 223
<표 3-52> 영향권 설정에 따른 모형 검증 결과 224

<표 3-53> 다상유동과 여객유동의 相似性 230
<표 4-1> 화재 시뮬레이션에 Space Syntax 적용에 따른 추가적인 반영요소 333

그 림 목 차

<그림 2-1> Axial maps(축선도) 작성과정 16
<그림 2-2> Axman에서 자료 입력 과정 21
<그림 2-3> Space Syntax 모델 : 공간구조 분석결과 21
<그림 2-4> 공간구조 분석결과 자료표 22
<그림 2-5> Space Syntax 모델의 통계적 분석 22
<그림 2-6> Depthmap에서 분석할 CAD파일 불러오기 24
<그림 2-7> 분석할 CAD평면의 분석할 단위공간(Cell)의 크기 지정 24
<그림 2-8> Depthmap으로 분석할 범위 설정 25
<그림 2-9> Depthmap 프로그램에 의한 Cell단위 공간 분석 결과 25
<그림 2-10> Axman프로그램에 의한 각 공간의 보행 접근성 분석 28
<그림 2-11> Axman프로그램에 의한 공간의 접근성 분석 29
<그림 2-12> Detphmap 프로그램에 의한 공간의 접근성 분석 30
<그림 2-13> London king's cross 2등 당선안 31
<그림 2-14> London king's cross 1등 당선안 31

<그림 3-1> Axial maps(축선도) 작성과정 56
<그림 3-2> Axman에서 자료 입력 과정 61
<그림 3-3> Space Syntax 모델 : 공간구조 분석결과 61
<그림 3-4> Space Syntax 모델의 통계적 분석> 62
<그림 3-5> Clustering Coefficient 65
<그림 3-6> control 65
<그림 3-7> Mean Depth 66
<그림 3-8> point depth entropy 68
<그림 3-9> Depthmap에서 분석할 CAD파일 불러오기 69
<그림 3-10> 분석할 CAD평면의 분석할 단위공간(Cell)의 크기 지정 69
<그림 3-11> Depthmap으로 분석할 범위 설정 70
<그림 3-12> Depthmap 프로그램에 의한 Cell단위 공간 분석 결과 70

<그림 3-13> VGA분석방법에의한 노드와 링크[Turner; Ibid, p.108] 74
<그림 3-14> 74
<그림 3-15> 분석할 CAD평면의 분석할 단위공간(Cell)의 크기 지정 75
<그림 3-16> Depthmap으로 분석할 범위 설정 76
<그림 3-17> Depthmap 프로그램에 의한 Cell단위 공간 분석 76
<그림 3-18>층간연결후 Depthmap 프로그램에 의한 Cell단위 공간 분석 76
<그림 3-19> cell 크기 조정과정(1000→500) 77
<그림 3-20> 전체 프로그램 자료 구조도 80
<그림 3-21> m_nTotDep 구하는 알고리즘 83
<그림 3-22> 가시성 분석 알고리즘 84
<그림 3-23> Depthmap(cell크기 2,000mm)에 의한 공간구조 분석 89
<그림 3-24> Depthmap(cell크기 1,000mm)에 의한 공간구조 분석 90
<그림 3-25> 강남역 기존도면(변경부분○) 92
<그림 3-26> 강남역 개찰구 실사 도면 92
<그림 3-27> 현장 조사 이전 강남역 1000cell 분석 93
<그림 3-28> 현장 조사 이후 강남역 500cell 분석 93
<그림 3-29> 컨벡스 스페이스 분할 및 보행량 조사 지점 선정 95
<그림 3-30> 보행 관찰 지점 선정 96
<그림 3-31> 강남역 보행량 현황 (출근 보행량) 97
<그림 3-32> 강남역 보행량 조사 분포도 (주말 전야 보행량) 98
<그림 3-33> 출근보행량과 주말 보행량 비교 분석 99
<그림 3-34> 출근보행량과 주말 보행량 비교 도면 99
<그림 3-35> 개찰구 조사 범위(좌측-서측, 우측-동측) 100
<그림 3-36> 지하 승강장 및 개찰구 출근 보행량 도면 102
<그림 3-37> 지하 승강장 및 개찰구 주말 전야 보행량 104
<그림 3-38> 강남역 개찰구 보행량 비교 분석 104
<그림 3-39> 지하 승강장 보행량 관찰 지점 105
<그림 3-40> 출근 보행량과 주말 전야 보행량의 비교 107
<그림 3-41> 지하 승강장계단부터 외부출입구까지 보행패턴 조사결과 108
<그림 3-42> 지하 승강장계단 부터 외부출입구까지 보행패턴 비교 109

<그림 3-43> 시청역 지하철 1호선 평면 110
<그림 3-44> 시청역 지하철 2호선 평면 110
<그림 3-45> 시청역 지하철 1호선 Depthmap 분석 111
<그림 3-46> 시청역 지하철 2호선 Depthmap 분석 112
<그림 3-47> 시청역 1,2호선 연결된 지하 2층 113
<그림 3-48> 시청역 1,2호선 연결된 지하 1 113
<그림 3-49> 충무로역의 Intelligibility 분석 114
<그림 3-50> 충무로역의 Global Integration 115
<그림 3-51> 동대문운동장역의 Intelligibility 분석 116
<그림 3-52> 동대문운동장역의 Global Integration 117
<그림 3-53> 수유역 Depthmap 분석 118
<그림 3-54> 한성대역 지하철 4호선 평면 119
<그림 3-55> 한성대역 Depthmap 분석 119
<그림 3-56> 녹번역 지하철 3호선 평면 120
<그림 3-57> 녹번역 Depthmap 분석 120
<그림 3-58> 경복궁역 Depthmap 분석 121
<그림 3-59> 고속터미널역의 Global Integration 122
<그림 3-60> 고속터미널역 Depthmap 분석 (센트럴시티 및 지하상가 포함) 122
<그림 3-61> 강남역 실사 후 depthmap 분석(500cell) 123
<그림 3-62> 강남역 개찰구부분 500cell 분석(좌측-서측, 우측-동측) 124
<그림 3-63> 강남역 승강장 8개부분(지하 2층) 500cell 분석 124
<그림 3-64> 지하 승강장 보행량 관찰 지점 124
<그림 3-65> 공간구조 분석치(HH)와 보행량 값의 평면도 상 비교 126
<그림 3-66> 보행량과 HH값 비교 그래프 126
<그림 3-67> 강남역 조사지점의 특성별 표시 128
<그림 3-68> 보행량과 HH값 상관성 그래프 129
<그림 3-69> 개찰구(a) 보행 분포 130
<그림 2-70> 개찰구(b) 보행 분포 130
<그림 3-71> 개찰구(a) 공간 구조값 분포 130
<그림 3-72> 개찰구(a) 공간 구조값 분포 130

<그림 3-73> Potential map sample 133
<그림 3-74> Depthmap sample 133
<그림 3-75> 최단거리(Potential map)와 보행패턴 비교 135
<그림 3-76> 최적 최단거리 경로(승강장계단~3,6번 출입구) 135
<그림 3-77> 최적 최단거리 경로와 보행패턴 비교 (승강장계단~3번 출입구) 136
<그림 3-78> 최적 최단거리 경로와 보행패턴 비교(승강장계단~6번 출입구) 136
<그림 3-79> 가시성(Depthmap)과 보행패턴 비교 137
<그림 3-80> 최적 가시성 경로(승강장계단~3,6번 출입구) 137
<그림 3-81> 최적 가시성경로와 보행패턴 비교(승강장계단~3번 출입구) 138
<그림 3-82> 최적 가시성경로와 보행패턴 비교(승강장계단~6번 출입구) 139
<그림 3-83> 보행패턴과 최적 최단거리경로 및 가시성경로 비교 도면
(승강장계단~3번 출입구) 140
<그림 3-84> 보행패턴과 최적 최단거리경로 및 가시성경로 비교 도면
(승강장계단~6번 출입구) 140
<그림 3-85> 보행패턴과 최적 최단거리경로 및 가시성경로 비교 도면
(승강장계단~6번 출입구) 141
<그림 3-86> 보행패턴과 최적 최단거리경로 및 가시성경로 비교 도면
(승강장계단~6번 출입구) 141
<그림 3-87> 역사 계획/ 설계 work low 142
<그림 3-88> 승객 동선흐름 현황 148
<그림 3-89> 정거장 공간 Zoning 개념도 149
<그림 3-90> CA이론의 객체 이동방식 167
<그림 3-91> 예 170
<그림 3-92> 개념도 171
<그림 3-93> CA이론의 공간 표현방식 175
<그림 3-94> 인체타원 176
<그림 3-95> 시뮬레이션 수행과정도 177
<그림 3-96> 시뮬레이션 적용 네트워크 178
<그림 3-97> 시나리오 구성도 179
<그림 3-98> 조사대상지역과 기하구조 180

<그림 3-99> 비디오촬영 화면 181
<그림 3-100> 보행군들의 계단점유 상황 181
<그림 3-101> 보행 군들의 계 182
<그림 3-102> 모형 수행도 183
<그림 3-103> 시뮬레이션 단계 184
<그림 3-104> 계단의 기하구조 187
<그림 3-105> Fence 시뮬레이션단계 188
<그림 3-106> Fence연장 시뮬레이션단계 188
<그림 3-107> Fence부분설치 시뮬레이션단계 189
<그림 3-108> 신주쿠 역사 191
<그림 3-109> 신주쿠 역사전경 192
<그림 3-110> 각기 다른 계단펜스위치 193
<그림 3-111> 환승 통로 195
<그림 3-112> 좁은 계단에서의 혼잡 195
<그림 3-113> 상충 극대화 지점 195
<그림 3-114> 모든 구간 펜스 설치 196
<그림 3-115> 펜스 부분 설치(아랫부분) 197
<그림 3-116> 펜스 부분 설치(윗부분) 197
<그림 3-117> 모든 구간 펜스 설치 199
<그림 3-118> 펜스 부분 설치(아fot부분) 199
<그림 3-119> 펜스 부분 설치(윗부분) 200
<그림 3-120> 연구 수행 방법론 203
<그림 3-121> 모형구축을 위한 30개역 선정 204
<그림 3-122> 강남역 지하 공간 도면 211
<그림 3-123> 양재역 지하 공간 도면 211
<그림 3-124> 강남역 지하 공간 기하구조 212
<그림 3-125> 강남역 지상 공간 기하구조 212
<그림 3-126> 양재역 지상 공간 기하구조 213
<그림 3-127> 검증대상지역 GIS Data 214
<그림 3-128> 균등한 영향권 설정 215

<그림 3-129> 보행 가능 범위를 고려한 영향권 설정1 216
<그림 3-130> 보행 가능 범위를 고려한 영향권 설정2 217
<그림 3-131> Walking Velocity of Passenger 229
<그림 3-132> Passenger Density in a Cell 229
<그림 3-133> 해석 프로차트 231
<그림 3-134> 계산 Mesh 구성 232
<그림 3-135> Cell 구조 233
<그림 3-136> 셀의 여객 일련 번호 235
<그림 3-137> Direction Vector of Cell 237
<그림 3-138> Eight adjacent direction 237
<그림 3-139> Degree of Main Direction 238
<그림 3-140> Direction Vector of Cell 238
<그림 3-141> Sub Direction Vector of Cell 239
<그림 3-142> Visibility calculation between two cells 243
<그림 3-143> Boundary Block in Calculation Domain 245
<그림 3-144> Simulation Model for Comparison 246
<그림 3-145> Simulation Results by using P*Flow
(a)4sec, (b)10sec, (c)16sec 247
<그림 3-146> Simulation Results by using Exodus
(a)4sec, (b)10sec, (c)16sec 248
<그림 3-147> Simulation Results by using Pynamics
(a)4sec, (b)10sec, (c)16sec 249
<그림 3-148> Model of Kangnam station 251
<그림 3-149> Calculation Model A 252
<그림 3-150> Calculation Model B 252
<그림 3-151> Calculation Model C 252
<그림 3-152> Results for Model A
(a)5sec, (b)10sec, (c)20sec 253
<그림 3-153> Results for Model B (a)5sec, (b)10sec, (c)20sec 254

<그림 3-154> Results for Model C
(a)5sec, (b)10sec, (c)20sec 255
<그림 3-155> Calculation Model for Simplified Station 257
<그림 3-156> Results for Calculation Model 261
<그림 3-157> 해석 격자 생성 방법 303
<그림 3-158> 해석 격자 생성 알고리즘 306
<그림 3-159> 강남역 지하철 역사의 해석 공간 모델링 309
<그림 3-160> 해석 격자의 수정 310
<그림 3-161> 강남역 지하 1층과 지하 2층에 대한 복수 층 모델링 312
<그림 3-152> 강남역 지하 1층과 지하 2층에 대한 경계조건 설정 316
<그림 3-153> 경계조건일 설정된 해석 격자에 대한 유닛 벡터 318
<그림 3-154> 여객 유동 해석 모듈과의 연동 과정 320
<그림 3-155> Calculation Model for Simplified Station 323
<그림 3-156> Results for Calculation Model 325
<그림 5-10> 여객 유동 해석 모듈과의 연동 과정 293

제 1 장 서 론

제 1 장 서 론

제 1 절 연구 배경

철도역 건물은 과거에는 철도 여행객들만의 승하차용으로 이용되는 것으로 인식되어 왔으나, 최근에는 대도시의 철도역 건물의 복합화, 대형화로 인하여 철도 영업 및 서비스 거점으로서의 중요한 위치뿐만 아니라 지역을 대표하는 도시 시설중 하나로 여러 가지 부가 기능을 담당하는 장소로 바뀌고 있다. 일반적으로 철도역이 복합화 대형화되면, 역이 갖추어야 할 기본적인 역할 즉, 안전하고 이용하기 편리하며 쾌적한 환경을 만들기 위한 여러 가지 조건이 요구된다.

특히, 도시 철도인 지하철의 일부 환승역의 경우, 여러개의 철도 노선이 교차하여 그 구조가 심층 지하화 되기 때문에 이용객들의 이동 동선이 길어져 러시아워 때의 극심한 혼잡성 문제뿐만 아니라 화재와 같은 재해 발생시에는 이용객들의 피난 및 안전 확보 문제가 발생하여, 철도역 건축물의 구조 설계의 주요 파라메터로 떠올랐다.

이와 같이 복잡 다양화되는 철도역의 여러 가지 요구조건을 만족시키기 위해서는 철도역 건축물 설계의 하드웨어적 요소뿐만 아니라 철도역을 이용하는 사람들의 이동 형태를 동적으로 해석하여 역사의 시설 계획에 반영하는 여객 유동 해석과 같은 소프트웨어적 요소도 고려되어야 한다.

일반적으로 여객 유동은 넓은 의미의 교통류(traffic flow)의 한 부류이며 건축공학 및 교통공학에서는 보행자 유동 또는 승객 유동으로 부르기도 한다. 그러나 철도역을 이용하는 사람들은 교통공학에서 말하는 가로망에서의 단순 보행자와는 목적이 다르고, 협의의 승객 유동은 차량을 탑승한 사람들을 일컬으므로 본 연구에서는 열차를 타고 내리려는 목적을 가진 사람들의 일련의 행동 패턴, 즉, 보행, 티켓팅, 열차승강 등과 같은 움직임을 나타내는 여객유동으로 표현하였다.

여객 유동 해석용 상용 프로그램으로서 Simulex나 Exodus가 개발되어 일부에서 사용되고 있으나 이들 프로그램은 다른 상용 프로그램과 마찬가지로 사용자들의 User Input 기능과 후처리 그래픽 기능만 있을 뿐 핵심코드는 공개하지 않고, 게다가 사용자가 다양한 특별 상황에 맞게 프로그램을 개조할 수 없는 단점이 있다. 따

라서 본 연구에서는 다양한 철도 역 모델에 대하여 각각의 여객 유동 해석 목적에 따라 자유로이 모델 설정을 할 수 있는 프로그램을 개발하기 위하여 CFD 기법중 하나인 기체 또는 액체 유동에 고체 입자가 혼입되는 다상유동 해석 방법으로 널리 사용되고 있는 DEM 기법과 교통류 해석에 사용되어 온 CA기법 및 공간구조 분석에 널리 사용되는 space syntax의 장점들을 융합한 windows GUI 기반의 여객 유동 해석 프로그램 개발을 주요 연구목표로 설정하였으며, 이를 위하여 여객유동에 관한 관련 문헌 및 자료 분석, 여객 유동 해석 기본 알고리즘들의 개발, 전후처리 프로그램의 개발을 하게 되었다.

제 2 절 연구 목적 및 범위

그동안 국내에서는 여객유동에 관한 연구가 교통공학 측면으로만 간헐적으로 이루어져 왔으나 교통-건축-유동을 묶은 체계적인 연구를 수행한 바가 없어 종합적인 여객 유동 해석 방법에 대한 축적된 경험이 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 전국 주요 도시철도의 철도 역사 건물에 대한 2D 및 3D CAD DB 구축과 DEM, CA 및 Space Syntax에 기초한 여객 유동 시뮬레이션 프로그램 개발을 통하여 주요 철도역에서의 최적 여객 동선 개발, 여객 유동에 근거한 기존역의 구조개선 방안 및 신설역 설계 지침안을 제시하는 것을 주요 연구 내용으로 하고 있다. 주요 철도 혼잡역, 심층 지하역, 환승역의 여객 유동 현황 DB 구축과 철도역사 건물의 2D 및 3D CAD DB 구축은 여객 유동 시뮬레이션 프로그램 개발을 위한 기본 데이터가 되며, pre-post 프로그램에 직접 활용될 것이며, 여객 유동 시뮬레이션 프로그램은 철도 역사에 대하여 공간 분석 기법인 Space Syntax 기법을 적용한 여객 이동 패턴 및 방향 설정과 이를 바탕으로 DEM 및 CA기법을 적용한 여객 이동 알고리즘을 융합하여 해석 프로그램을 개발하며, 최종 연구기간이 종료되는 시점에는 Windows GUI 기반의 프로그램을 개발하여 철도 현장에 적용할 수 있도록 한다. 또한, 철도 역사에서의 최적 여객 동선 개발과 여객 유동에 근거한 기존역의 구조개선 방안 및 신설역 설계 지침안을 제시하는 것은 특수한 환경에 놓인 철도 역사를 이용하는 여객들의 안전성 확보 및 쾌적성 증대에 주요한 파라메터가 되며, 철도 역사 개보수 및 신축시의 건설비용과도 직접 관계되는 기술 개발이므로 철도,

교통, 건축 분야의 관련 전문 기술을 통합하여 개발하며 주요 내용은 다음과 같다.

(1차년도)

① 여객유동 관련 이론 자료 조사 및 분석

② 운영 Data 및 현장 조사를 통한 여객 유동 현황 DB구축

③ 주요 철도역 구조의 2D 및 3D CAD DB구축

④ DEM, CA, Space syntax 이론 정립, 알고리즘 및 상호 연계 적용 방안 개발

⑤ 기본 모델에 대한 source 프로그램 개발(1)

(2차년도)

① DEM, CA, Space syntax를 이용한 통합 해석시스템 모듈 개발

② 해석 대상인 주요 철도 역사 모델링

③ 여객 유동 시뮬레이션 모델 개발 및 기본 현상 해석 및 검증

④ 여객 유동 2D 및 3D 가시화 프로그램 개발 pre-post 프로그램 개발

⑤ full-scale 모델에 대한 source 프로그램 개발 : pre-post 프로그램과 링크

(3차년도)

① 여객 유동 해석과 관련된 파라메타 특성에 대한 분석

② 여객 유동 해석 프로그램 현장 적용 및 보완

③ 기존역 구조개선 방안 및 신설역 설계 지침안 작성

④ 최적 역사 구조안 및 여객 유동 동선안 개발

제 3 절 연구수행 내용

본 연구는 철도 역사에서의 여객 유동 해석 프로그램을 개발하기 위한 과제로 1차 년도에는 개별 해석 모듈 개발(DEM, CA, Space Syntax 및 pre-post)을 통하여 전후처리 프로그램의 개념설계, source 프로그램의 구축을 통한 기본 모델에 대한 해석을 검토하였다. 각 부문별 연구수행 내용은 다음과 같다.

(1) DEM을 이용한 여객 유동 해석 프로그램 개발

○ 多相유동 해석의 체적분율, 유체-입자 속도 커플링의 개념을 여객유동에 있어서의 인구밀도, 여객 이동방향벡터, 포텐셜의 개념으로 상사시켜 이론 개발함.

○ 여객 유동 해석을 위하여 개발된 알고리즘

- Potential Map 작성 알고리즘 (출구부터 등고선 개념)
- 각 cell별 단위 방향 벡터 설정 알고리즘
- 개별 여객이 어떤 cell에 속하는지를 계산하는 알고리즘
- 각 cell에 있는 여객들에 번호 부여 알고리즘
- 계산 영역내의 I,J sweep 방향 설정 알고리즘
- 주방향을 대체할 차순위 방향셀 찾기 알고리즘
- 입출구에서의 유입 및 유출 여객 처리 알고리즘
- 평지 이외 구역의 block 처리 알고리즘 등

○ 주요 철도 역사(혼잡역, 환승역, 심층지하역)에 대한 구조 DB구축

(2) Space Syntax 기법의 이론 분석 및 지하공간에서 적용방안 연구

- Space Syntax 기법이 이용자의 행태와 관련된 선행연구 고찰 (길찾기, 보행)
- 지하 공간인지와 Space Syntax 분석기법과의 상호관련성
- 보행네트워크에서 Space Syntax 분석기법적용 선행연구 고찰
- 공간인식에 영향을 주는 공간형태요소검토(Depth와 공간인식과의 상호관련성)
- 길찾기와 Space Syntax 분석기법과의 상호관련성 검토
- Egress Simulation 기법의 이론 분석
- 기존 Egress Simulation 프로그램의 문제점 진단
- 지하공간에서 Space Syntax 적용방안 연구
- 적용 가능한 Toll(Axman, Pash, Depthmap)검토
- 보행량 관찰(지하철 역사 출입구, 환승통로, 개찰구등에서 보행량 관찰)
- 지하철 역사 보행네트워크 분석을 위한 분석 범위 설정 연구
- 여객유동평가에 적용 가능한 공간 가중치 분석
- DEM모델에 여객유동 경로선택에 공간통합도(Integration)에 의한 보행 방향 설정의 비율 분석

(3) 보행 시뮬레이션에서의 CA모형

○ 시뮬레이션 적용 네트워크 모델 구성

○ 시나리오의 구성

- 좌우방향 보행량 및 구성비 설정
- 전방 gap감속확률, 충돌 시 진로 변경확률 설정
- 최대속도 및 최대속도이하에서 진로변경확률 설정

- 대향보행자 인식거리 가정

○ 분석결과

- 보행량이 대소에 따라 보행자가 자유속도 변화 해석.

- 보행자들은 혼잡 속에서 서로의 진로를 찾아가면서 공간적으로 안정을 찾게 됨.

(4) 여객유동 전후처리 프로세서 및 통합 인터페이스 설계

- 객체기반 모델링 시스템의 사용자 요구사항 분석

- 현장 조사를 통한 공간 조사와 공간 요구사항 분석

- 공간 부재와 공간 간의 연결 관계 조사

- 타 연구팀과의 협업을 위한 고려 사항 조사

- 철도역사 모델링을 위한 전처리 프로세스 개발

이상과 같이 2차 년도에는 DEM(Discrete Element Method)법을 이용한 철도 역사의 기본 모델에 대한 해석 프로그램 개발 및 이에 대한 적용과 타 프로그램과의 비교 검토, CA(Cellular Automata)법을 이용한 여객 유형별 해석, Space Syntax를 이용한 공간구조 분석 그리고 pre-post 프로그램에 대한 개념설계 및 LOD(Level of Design)단계별 모델 구축을 하였다. 3차 년도에는 각각 개발된 개별 프로그램의 인터페이스 설계 및 통합 프로그램 구축과 이를 활용한 Windows 기반의 여객(보행류) 유동 해석 프로그램을 개발할 예정이다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내 기술동향

- Cellular Automata 연구동향

교통분야에서 CA이론은 차량 움직임의 미시적 분석이 가능하므로 최근 많은 연구가 진행되고 있다. 조중래 “CA모형을 이용한 미시적 교통류 시뮬레이션 시스템 개발에 관한 연구(2001)”에서는 우리나라의 가로망구조에 기반을 두고 개발되었기 때문에 기존에 외국에서 개발된 미시적 시뮬레이션 모형이 표현하지 못했던 가로망에 대한 교통류 시뮬레이션이 가능한 것으로 분석되었다. 또한 노정현, 천승훈의 “CA모형을 이용한 고속도로 돌발상황 영향분석 교통 시뮬레이션 모형 개발”에서는 CA(Cellular Automata)규칙을 이용하여, 돌발상황의 영향을 분석할 수 있는 시뮬레이션 모형을 구축하고, 실시간 자료인 VDS자료와 현장측정 자료를 이용하여 시뮬레이션 모형을 검증하였다.

또한, 미시적 분석이 가능한 CA이론은 교통분야의 차량뿐만 아니라 보행자의 행태모형 분석에도 사용되어 많은 연구가 진행되고 있다. 윤종현의 “CA 이론 기반 양방향 보행자 이동행태모형에 관한 연구(2003)”에서는 다양한 보행자 행태를 반영할 수 있는 CA모형을 기반으로 보행자 이동행태모형을 구축하였으며, 보행속도를 효과척도로 보행자 도로의 서비스 수준과 적정 시설용량을 결정하는 것이 현실적인 보행자 도로의 보행여건을 판정할 수 있을 것으로 분석하였다.

- Space Syntax 연구동향

피난경로선택 관련 연구로는 박재성외1인(2004)‘대규모 미로형 다중이용공간에서의 피난경로선택 특성에 관한 연구’가 있으며, 실제 운영 중인 대규모 판매시설에서 피험자를 대상으로 피난 행동실험을 하였고 실험을 통해 공간 및 시각적 조건에 따른 경로선택과 출구까지 이동거리 특성을 파악함으로서 재실자의 피난행동을 예측하였으며, 보행자의 경로선택에 관한 연구로는 안은희 외 2인(2004)의‘대규모 지하 상업공간에서의 보행자의 움직임과 경로선택 특성에 관한 연구’가 선행되었으며 본 연구는 공간구조와 공간이용행태가의 관계를 분석함과 동시에 경로 선택점에서의 의사결정에 영향을 미치는 국부요인을 분석

함으로써 대규모 지하공간에서의 움직임 패턴에 대한 이해를 주목적으로 하였다. 또한, 신승철외2인(2004)은 '피난 시뮬레이션의 검토 및 공간분석기법의 응용가능성'이 있으며, 사람들의 행태 및 습성에 관한 정보들을 고려하고 있는 기존의 피난시뮬레이션 패키지를 정리하고 공간분석요소의 적용가능성을 이론고찰로 제기하였다.

- Pre-post processor 개발 동향

RPG의 경우, 스토리를 저작하는 관점이 아니라 주어진 스토리 하에 특정 역할(role)을 맡아 스토리를 진행시켜나가게 하며, 여러 이벤트와 시나리오를 통해 플레이어 캐릭터를 변화시킨다. Massively Multi-player Online 프로그램의 경우, 리니지, 세피로스 등 다수의 프로그램이 개발되고 세계 수준의 기술을 보유하고 있으나, 대개 RPG 로서 스토리텔링 요소는 극히 미약하고 사용자들에 의한 스토리 발생 요인은 존재하는 실정이다.

- Discrete Element Method 연구 동향

DEM을 이용한 granular flow, multi-phase flow 해석은 주로 기계공학 응용분야에 적용되어 왔으나, 최근에는 환경공학의 입자 이동, 토목공학의 soil flow에 적용되는 등 이 기법의 적용 분야가 다양화 되고 있으며, 본 연구에서는 개개의 여객을 moving particle로 간주하여 이 기법을 응용 적용하였다.

제 2 절 국외 기술동향

- Cellular Automata 연구동향

Victor J. Blue와 Jeffrey L. Adler는 "Cellular Automata Microsimulation of Bidirectional Pedestrian Flows(1999)"에서 CA모형을 기반으로 한 보행자 모형에서 보행자의 전방이동 및 진로변경의 수행과정을 총 6단계의 기본 규칙을 적용하여 정립하였다. 보행자 모형에서는 보행자가 행동할 수 있는 모든 상황을 고려하여 총 7개의 변수를 사용하여 보행자의 행동 특성을 파악하였다. 국제적 보행자 관련 모임으로는 "International Conference on Pedestrian and Evacation Dynamics"가 있으며 보행자의 행동 특성 및 시뮬레이션에 관한 연구, 위급 상황시 보행자 행동 특성을 고려한 안정적 대피 등 보행자 관련 연구에 대해 연구발표가 활발히 이루

어지고 있다. Agent-Based Modeling과 CA이론을 연계한 연구를 하는 Centre for Advanced Spatial Analysis는 기차역, 경기장 등 복잡한 장소 혹은 심리적 두려움을 가진 군중의 움직임을 예측하는 모형을 제시하고 있으며, 화재관련 연구를 하고 있는 Greenwich Fire Safety Group은 다양한 장소에서의 화재로 인한 대피 상황을 시뮬레이션 S/W에 적용하였다.

- Space Syntax 기법의 이론분석 및 선행연구 고찰

1. 개요

1980년대 런던대의 Bill Hiller교수팀이 개발한 Space Syntax 이론 및 프로그램은 건축 및 도시공간을 분석하고 평가하는 주요한 도구로서 사용되어 왔음

Space Syntax는 단순히 공간자체에 대한 물리적인 속성을 기술하는 것이 아닌 사람의 공간 인식 및 공간사용 행태와 패턴등과 관련한 공간구조 속성을 분석함으로 공간계획단계에서 미리, 향후 예상되는 이용행태 및 공간의 잠재성을 도출함

특히, 공간구조 속성과 사람의 행태와 관련이 깊어 본 연구에서 화재 Simulation에 적용 가능한 이용행태와 관련이 깊은 공간형태요소를 고찰함으로 타당한 이론적 배경을 마련함

이를 위해 다음과 같은 배경에 의해 분석함

첫째, 공간형태요소의 각각 특성을 파악해 관련이 깊은 이용행태에 관한 연구문헌을 고찰함

둘째, 공간형태요소를 도출하기 위한 정확한 이론 및 프로그램의 숙지를 통해 연구과정의 신뢰도를 높임

셋째, 프로그램 개발을 위한 알고리즘 개발을 위해 Space Syntax의 공간형태 요소 도출 과정을 숙지함

넷째, 사례대상지를 통한 보행량 관찰에 있어 검증된 공간형태요소에 따른 관찰방법을 도출하여 적용함

다섯째, Space Syntax의 실제 적용된 프로젝트 및 연구사례를 통해 프로그램 개발의 범위 및 가능성을 파악함

2. Space Syntax 이론

가. Space Syntax 기본개념

(1) 개념

공간구조를 분석하여 각 공간의 속성을 정량적으로 제시하는 이론이자 이를 토대로 개발된 일련의 컴퓨터 프로그램임

1980~90년대에 걸쳐 영국의 런던대학교의 Hillier 교수 연구팀이 개발함

공간구조상 중요도를 분석대상지역의 전체 공간에서의 접근성에 의하여 계산함

분석대상 범위내의 모든 공간이 기점이자 종점이 되는 가정아래 각 공간의 접근성을 분석하게 되며 이 접근성을 전체 공간을 통합하여 주는 통합성 혹은 공간구조상의 위계성을 의미하는 통합성(Integration)이라 정의함

Space Syntax 분석 결과에 의한 통합성이 큰 공간은 다른 모든 공간으로부터의 접근성이 양호하다는 것을 의미함

Space Syntax는 도로망의 속성을 정량적으로 계산하게 되는데 먼저, 도로망을 연속된 공간의 집합으로 가정하고, 분석범위내의 모든 공간을 대상으로 최소한의 최대한 긴 직선으로 디지타이징하며 이를 축선도(axial map)라 정의함

각 축선은 네트워크에서 노드(node)가 되고 축선의 교차점은 링크(link)가 되는데 이러한 방식으로 공간구조모델은 전통적인 교통모델에서의 네트워크 개념의 역으로 구성됨

네트워크가 구성되면 네트워크의 속성을 계산하고 통계적 방법을 사용하여 분석대상지역의 전체적 특성 혹은 공간별 지역별 부분적인 속성과 전체지역과 부분지역간의 상호관련성을 분석하게 됨

(2) 관련이론

계산 결과로 산출되는 도로망의 형태적 속성은 물리적 거리나 비용에 대한 고려없이도 도시공간구조의 특성을 보여주게 됨

지난 20여 년간의 많은 학술적 연구와 실무적용사례에 의하면 통합성은 인간(보행자 및 차량)의 공간이용패턴과 밀접한 관련성이 있는 것으로 분석되었음

사회·문화·경제·정치적 현상은 필연적으로 공간구조와 상호관련성을 지니게 되고 공간구조에 대한 이해는 이를 분석하는데 기본적인 근거를 제시하게 됨

따라서 공간구조는 사회적 관계와 커뮤니케이션에 큰 영향을 끼침

Hillier(1984, 1996)는 이를 공간구조가 지닌 사회적 속성이라 정의하고 공간구조가 공간이용패턴을 규정하는 기본적인 인자임을 제시

본 이론은 공간을 사용하는 패턴은 공간구조형태(spatial configuration)가 가장 중요한 인자임을 밝히고, 도시에서의 인간의 이동 특성도 공간구조에 의해서 가장 큰 영향을 받게 됨을 입증

또한 도시에서의 인간의 공간이용행태는 공간구조에 내재되어 있는 기회와 제약요소를 최적화해가게 되는데 이를 'Movement economy'라 정의

예를 들어 토지이용의 경우 공간구조상의 가장 중요한 지역에 상업지역이 형성된다는 것은 좋은 예임

또한 사람들의 이동이 많은 것을 요구하는 백화점이나 상점들은 공간구조상 중요한 지역에 위치하게 되고 이러한 결과로 더욱 더 많은 사람들의 행위가 그 지역에서 발생하게 됨

이를 'Multiplier effect'라고 정의

나. Space Syntax 공간구조모델 구축방법

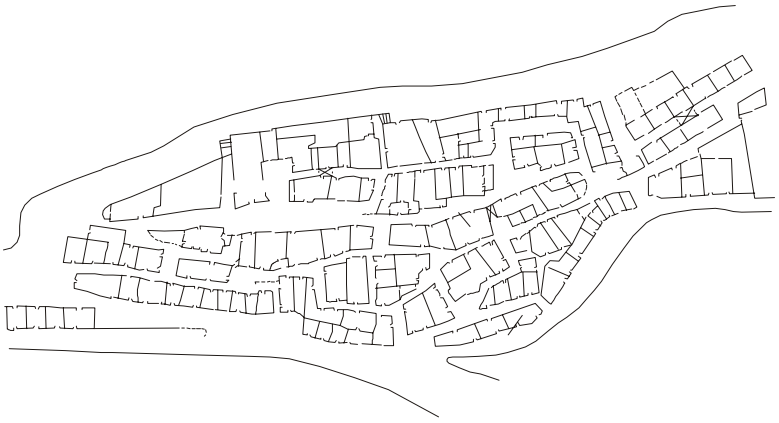
Space Syntax를 활용하여 공간구조를 분석하기 위해서는 분석대상 공간의 오픈스페이스 체계를 바탕으로 자료를 입력하게 됨

이를 축선도(axial maps)라 하며, 축선도는 건물내부나 혹은 도시공간에 시선과 접근성을 토대로 분석대상 건물 혹은 지역의 모든 공간을 포함하는 직선들로 이루어짐

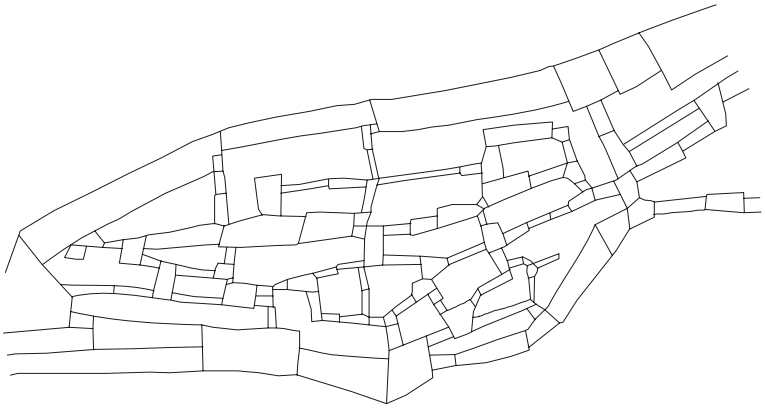
축선도를 구축하는 과정

- 첫째, 분석대상 도시 혹은 건물을 컨벡스공간(convex space)으로 분절하며 Convex 공간은 단위공간으로서 그 공간 경계의 모든 지점에서 접선을 그렸을 때 그 내부를 통과하는 단 하나의 접선도 발생하지 않는 공간을 말함(그림 2-2-1a와 그림2-2-1b)
- 둘째, 축선도를 그리며, 이때 축선도는 위에서 그린 모든 Convex 공간을 포함하는 최소한의 개수의 최대한 긴 직선들로 구성되고, 이 축선도는 Convex 공간을 바탕으로 그려지며 접근성을 의미하는 동적인 개념을 내포함(그림 2-2-1c)

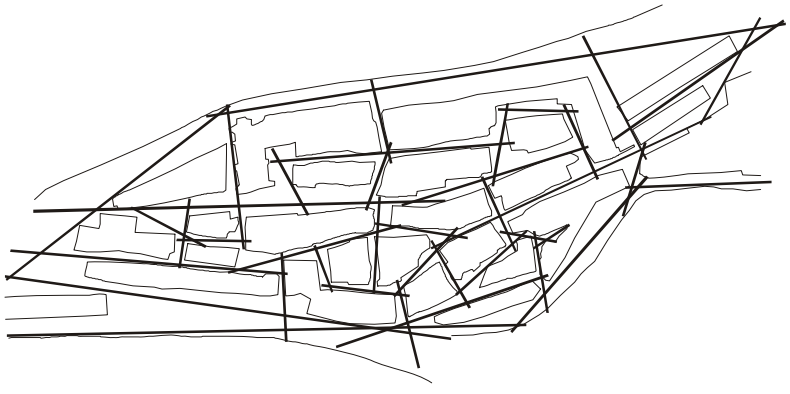
- 셋째 축선도가 완성되면 공간구조 특성을 Space Syntax 프로그램인 액스맨 (Axman)을 활용하여 계산



(a) G마을의 배치도



(b) G마을의 최대공간영역도



(c) G마을의 축선도

<그림 2-1> Axial maps(축선도) 작성과정

다. 기본용어 및 프로그램

(1) 공간구조속성산출

공간구조 특성을 계산하는데 가장 기본적인 개념은 depth(공간깊이)임

공간깊이는 공간형태 개념에서의 거리를 나타내며 일반적인 물리적 거리의 개념과는 다름

즉, 어느 지역의 도로망에 대한 축선도를 작성하였다고 가정할 경우, 기점과 종점이 주어지면 기점에서 종점을 가기위해 축선도상에서 거치게 되는 축선의 수를 depth라 칭함

인접한 공간간의 공간깊이는 1이고 하나의 공간에서 다른 공간으로 갈 때 그 공간 에 하나의 공간이 존재하면공간깊이는 2가 됨

이러한 방법으로 공간깊이는 공간배치구조에 따라 그 값이 결정

예를 들면, 특정 축선(도로)의 공간깊이가 얕다는 것은 그 축선(도로)이 분석대상 범위내의 모든 축선(도로)으로의 접근성이 높다는 것을 의미하고, 반대로 축선의 공간깊이가 크다는 것은 다른 축선으로의 접근성이 낮다는 것을 의미함

전체 공간에서 특정 공간의 특성을 계산하기 위해서는 분석대상물의 평균 공간깊이를 먼저 계산함

즉, 그 해당 공간으로부터 모든 공간들로의 공간깊이를 계산한다. 다음에는, 이 값들을 합산하여 측정대상공간을 제외한 나머지 공간의 수로 나눔

$$RA = 2(MD-1)/k-2 \quad \cdots (1)$$

(단, RA : 상대적 비대칭성, MD : 공간의 평균 깊이,
k : 분석대상 공간의 총 축선수)

그러나 실제적으로 RA 값은 분석대상 공간의 총 개수에 영향을 받게 되므로 이러한 영향을 배제하기 위하여 RRA(실질적 상대적 비대칭성) 개념을 도입함

RRA는 이론적인 다이아몬드형태를 가정하여 산출한 RA와 같은 개수의 공간에 대한 보정치인 RA(D)로 나누어서 그 값을 산출

$$RRA = RA / RA(D) \quad \cdots (2)$$

위에서 산출되는 RRA의 역수를 Integration(통합도)이라 정의
이 값을 일반적으로 Global integration(전체통합도)이라 정의
위 과정을 거쳐 각 축선의 통합도가 계산되면 통합도가 큰 축선은 빨간색으로 낮은 축선은 파란색으로 크기의 순서에 따라 주황, 노랑, 초록 등 무지개 스펙트럼의 기준으로 표시하는데 이를 Space Syntax 모델이라 칭함

(2) 기본용어

(가) Global Integration(전체통합도)

전체통합도는 분석대상 범위내의 축선도에 표현된 모든 축선(공간)들을 기점과 종점으로 가정했을 때, 즉 특정한 축선에서 다른 모든 축선으로의 공간깊이를 기준으로 계산한 통합도임
따라서 특정 공간의 전체통합도가 크다는 것은 다른 모든 공간으로의 접근성이 크다는 것을 의미하고 반대로 전체통합도가 낮은 공간은 다른 모든 공간으로의 접근성이 낮음을 의미함
Space Syntax 모델에서 특정공간의 통합도가 크다는 것은 분석대상 전체지역 내에서 해당 공간의 접근성이 양호하다는 것을 의미
또한 특정지역의 평균 통합성이 크다는 것은 그 지역의 공간들이 서로 통합되어 있는 성질이 크다는 것을 나타냄
기존의 연구결과에 의하면 전체통합도는 토지이용패턴, 자동차 통행량, 지가, 도시 전체의 인지도, 범죄율, 상권 등 도시의 전체적인 공간구조와 관련성이 있는 현상들과 밀접한 관련이 있는 것으로 밝혀짐

(나) Local Integration(국부통합도)

국부적인 공간특성을 나타내는 것으로 각 공간으로부터 몇 개의 공간깊이까지만 고려하여 통합도를 계산
일반적으로 해당공간을 중심으로 3개의 공간까지 만을 고려하나, 도시의 특성 또는 연구대상 등에 따라 국부통합도 계산을 위한 depth의 크기를 조정함
즉, 국부통합도는 해당 분석공간을 중심으로 몇 개의 공간들만을 고려한 국부적인 공간구조 특성을 보여줌

기존의 연구결과에 의하면 국부통합도는 보행량, 범죄율, 상권의 형성, 공간의 인지도 등 국부적인 공간구조와 관련성이 있는 현상과 밀접한 관계가 있음이 밝혀짐[1)]

(다) Connectivity(연결도) 및 Control(통제도)

연결도(Connectivity) 및 통제도(Control)는 공간의 국부적인 특성을 보여줌

연결도는 한 축선에서 직접 연결되는 축선의 수를 나타내는 것으로 공간의 연결정도를 나타냄

통제도는 위에서 설명한 공간의 연결도와 관련된 개념으로 한 공간에 인접된 주변 공간들에 대한 그 공간의 통제정도를 말하며, 한 공간이 n개의 공간과 직접 연결되어 있으면 각 공간에 대한 통제도는 1/n 임

(라) Intelligibility (공간구조명료도)

공간의 지역적인 특성인 통제도 혹은 국부통합도와 공간의 전체적인 특성인 전체통합도와의 상호관련성을 나타내는 것

공간구조명료도는 분석대상범위 전체에 대한 성질과 특정 지역의 특성을 파악하는 중요 지표

일반적으로 위 두인자간의 상관관계에 따른 회귀선(regression line)이 45° 정도 이상이고 각 공간을 표시하는 점들이 조밀하게 구성되어 있는 경우에 공간구조명료도가 크다고 정의하고, 공간구조의 전체적 특성과 특정지역간의 상호관련성이 크다는 것을 의미하며 이러한 경우 공간구조명료도가 크다고 분석

공간구조명료도는 결정계수(R^2)로 나타내어지며, 0에서 1의 범위를 가짐. 일반적으로 결정계수가 0.3에서 0.5면 공간구조가 비교적 명료하며, 05 이상이면 공간구조가 매우 명료하다고 할 수 있음

기존의 연구결과에 의하면 공간구조명료도가 큰 지역일수록 그 지역 전체에 대한 공간인지도가 높고 공간구조 및 공간이용패턴이 체계적이며 동시에 예측률이 높음

예를 들면, 서울의 경우 명동, 인사동 등 지역의 정체성이 높은 지역 혹은 상권

1) Hillier외 다수, 1992; Kim, 2001

이 형성되어 인지도가 높은 지역 등이 공간구조명료도가 매우 높게 나타남

라. Space Syntax 프로그램

Space Syntax 관련 프로그램에는 건축물 내부 혹은 도시공간을 분석하기 위한 Axman, Depthmap, Pesh 등 여러 가지가 있음

(1) Axman

Axman은 도시와 건축물의 공간구조를 분석하는 도구임

Axman은 맥킨토시 운영체계 OS 7.0 이상에서 실행됨

사용언어는 GUI Library를 사용하는 MacApp에서 제작되었으며 MPW 환경에서 Pascal을 사용하여 최초로 제작

Axman은 기본적으로 통계프로그램 및 그래픽 기능이 일체형으로 되어 있어 자료 분석 결과를 Axman 내부에서 통계분석을 하고 그 결과를 그래픽화하여 보기 쉽게 표현

<그림 2-2>는 Axman 프로그램에서 축선도를 구축하는 방법을 보여주며, <그림 2-3>은 구축된 축선도를 위 프로그램을 활용하여 분석한 결과를 보여줌

그림에서와 같이 통합도에 따라 빨간색부터 무지개 스펙트럼을 따라서 보라색까지 축선의 속성이 표현되어 있음

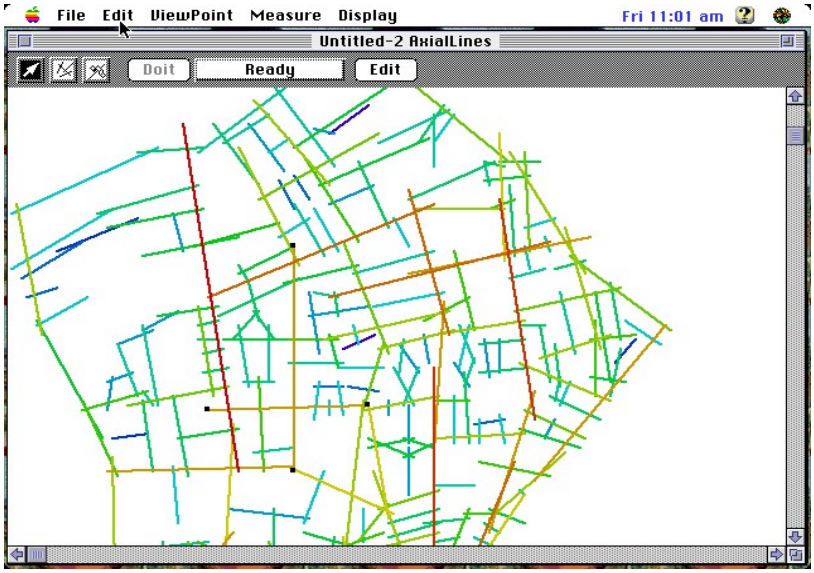
빨간색에 가까울수록 통합성이 크고 보라색에 가까울수록 그 반대의 경우가 됨

<그림 2-4>는 각 축선에 대한 속성을 보여주는 속성값 표를 보여줌

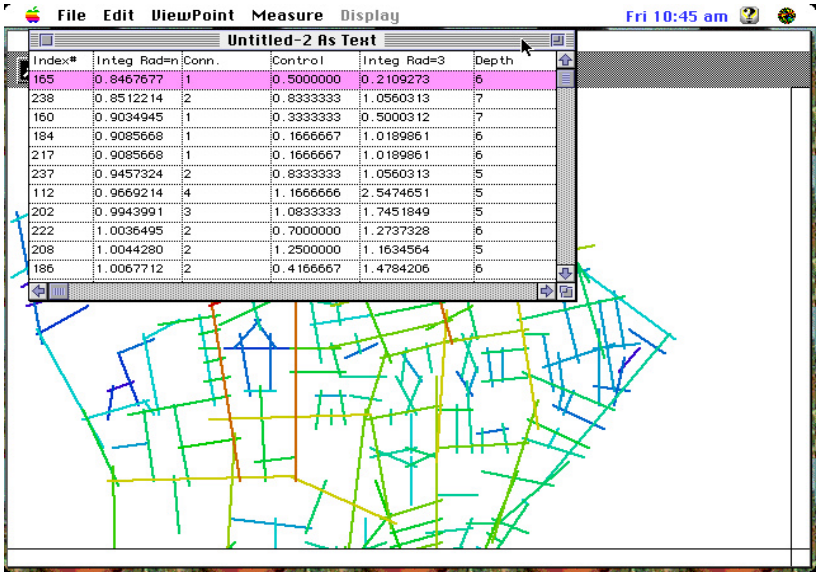
<그림 2-5>는 통계프로그램과 일체화 되어있는 Axman의 기능을 활용하여 특정 지역을 분석하는 사례를 보여주고 있음



<그림2-2> Axman에서 자료 입력 과정

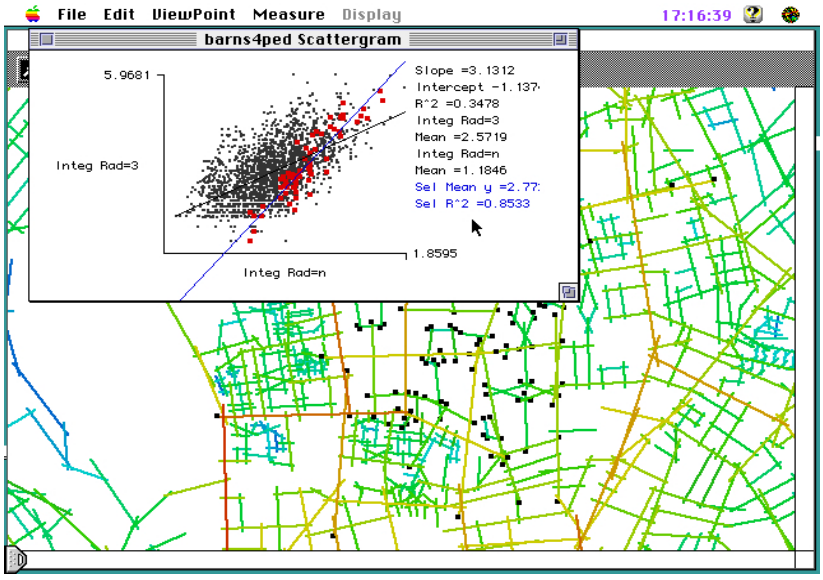


<그림 2-3> Space Syntax 모델 : 공간구조 분석결과



Index#	Integ Rad=n	Conn.	Control	Integ Rad=3	Depth
165	0.8467677	1	0.5000000	0.2109273	6
238	0.8512214	2	0.8333333	1.0560313	7
160	0.9034945	1	0.3333333	0.5000312	7
184	0.9085668	1	0.1666667	1.0189861	6
217	0.9085668	1	0.1666667	1.0189861	6
237	0.9457324	2	0.8333333	1.0560313	5
112	0.9669214	4	1.1666666	2.5474651	5
202	0.9943991	3	1.0833333	1.7451849	5
222	1.0036495	2	0.7000000	1.2737328	6
208	1.0044280	2	1.2500000	1.1634564	5
186	1.0067712	2	0.4166667	1.4784206	6

<그림 2-4> 공간구조 분석결과 자료표



<그림 2-5> Space Syntax 모델의 통계적 분석

(2) Depthmap

Depthmap은 도시와 건축물의 공간구조를 분석하는 도구임

Depthmap은 공간의 평면을 일정크기의 Cell단위로 나누어 공간구조 속성을 도출함

Depthmap은 Axman과 달리 Window 운영체계에서 실행됨

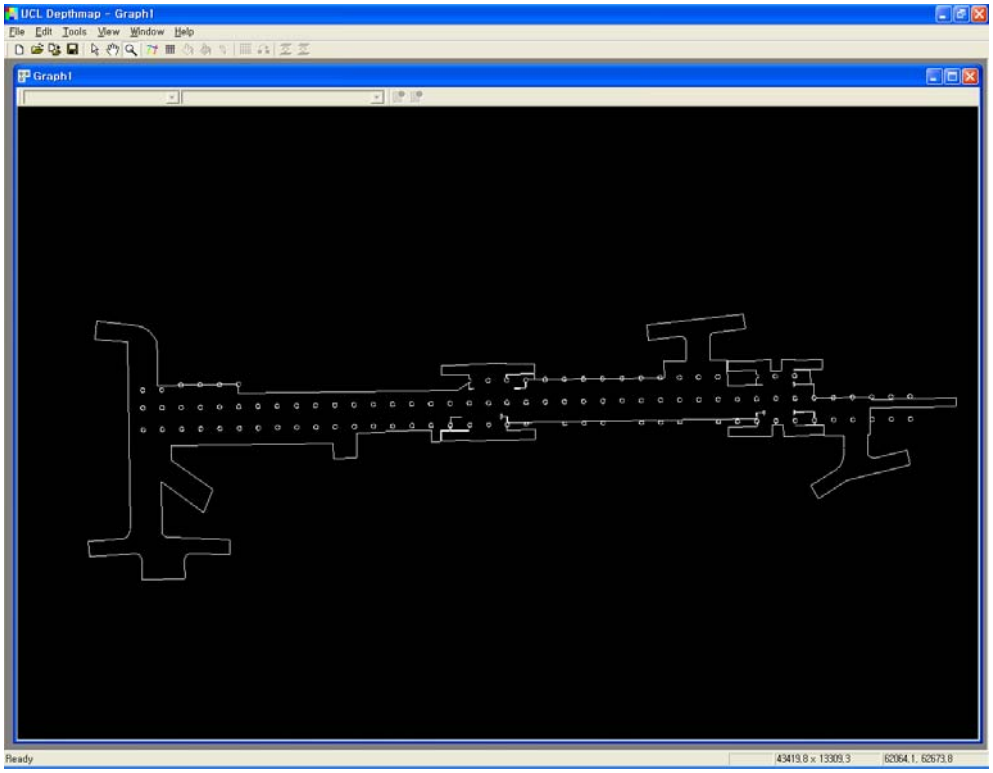
Depthmap은 *.dxf 2000버전의 파일 불러오기 기능이 있어 사용자에게 편리한 작업 환경을 제공함

Depthmap은 기본적으로 그래픽 기능은 있지만 공간구조 속성에 관한 데이터의 통계처리 기능은 포함하지 않고 있어 자세한 공간구조 속성은 GIS프로그램인 Arcview에서 확인할 수 있음

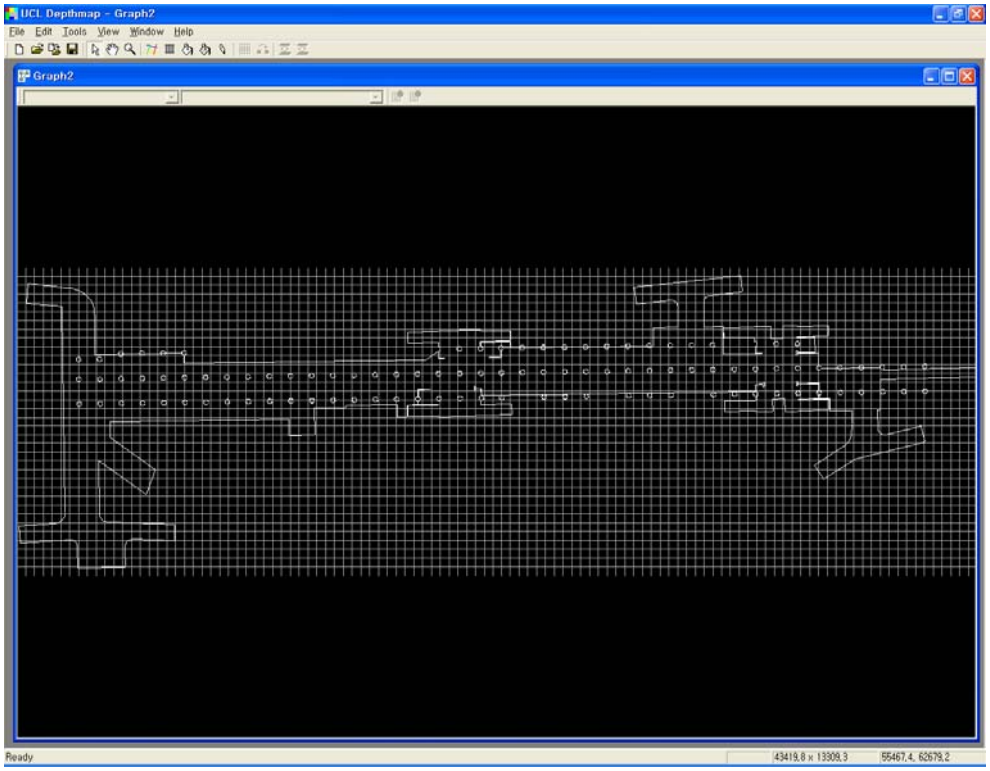
<그림2-6>은 Depthmap 프로그램에서 CAD파일 불러오기를 보여주며 <그림2-7>은 불러온 CAD파일 평면에서 분석할 단위공간(Cell)의 크기를 정해주는 그림임

<그림2-8>은 단위공간(Cell)으로 나누어진 평면에서 분석할 범위를 정해주는 그림임

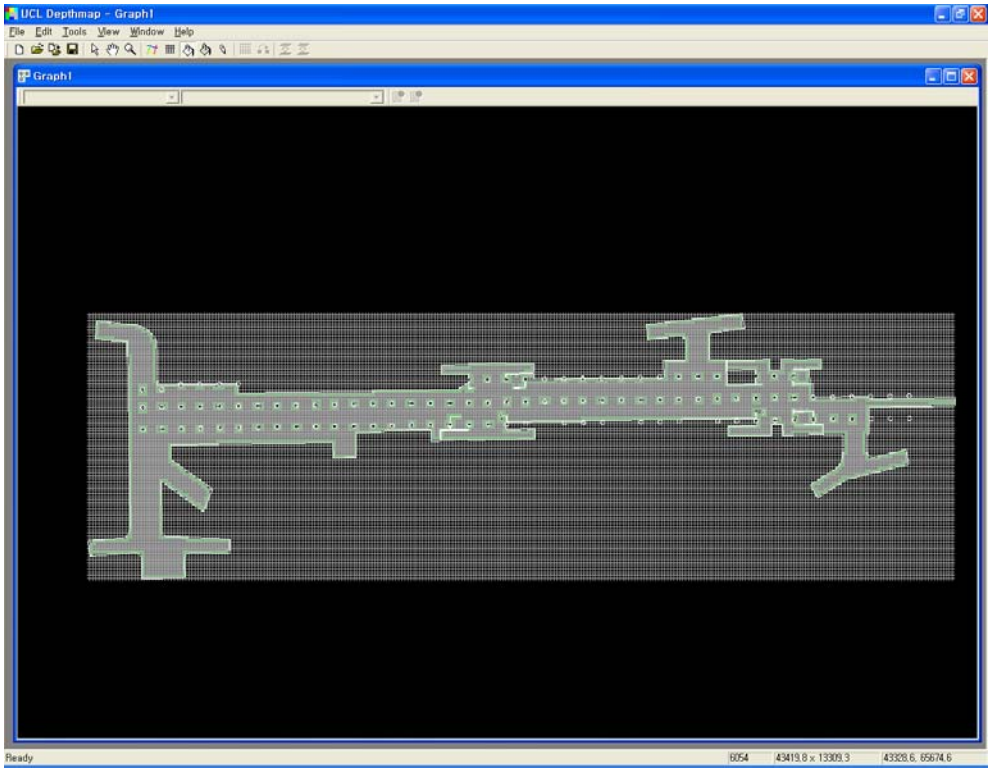
<그림2-9>는 Depthmap프로그램에 의한 분석대상 평면의 Cell 단위 분석 결과임



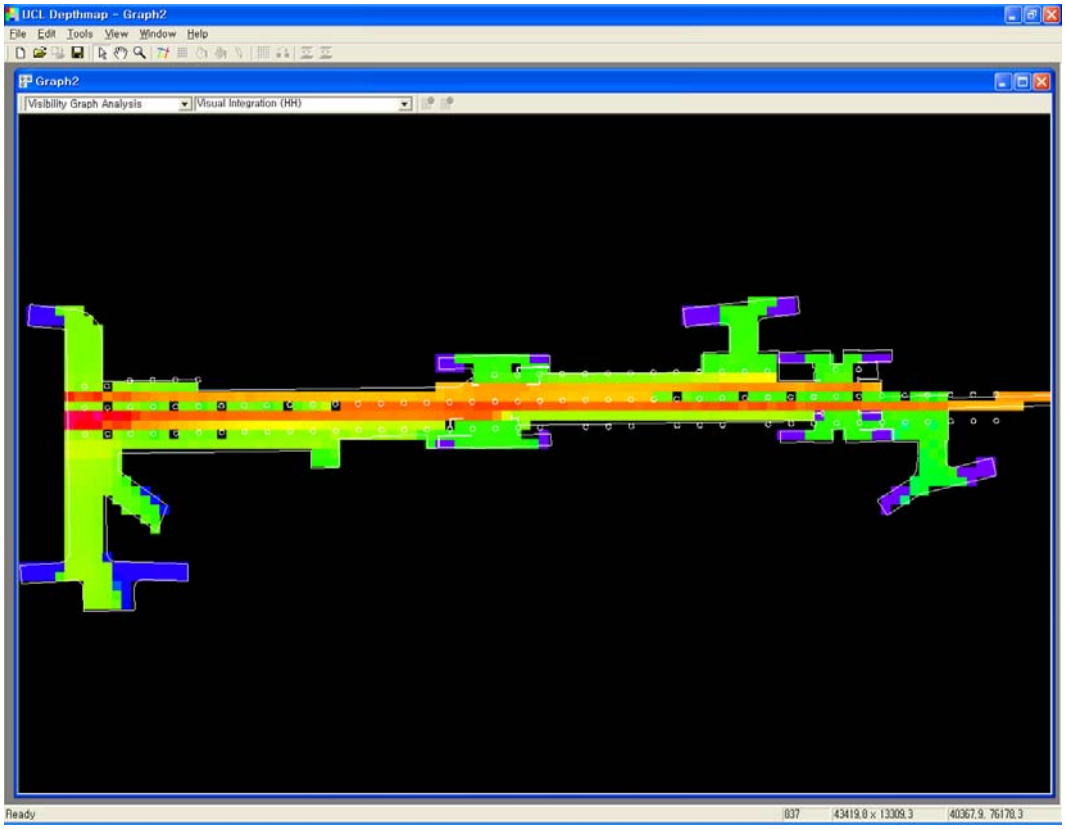
<그림 2-6> Depthmap에서 분석할 CAD파일 불러오기



<그림 2-7> 분석할 CAD평면의 분석할 단위공간(Cell)의 크기 지정



<그림 2-8> Depthmap으로 분석할 범위 설정



<그림 2-9> Depthmap 프로그램에 의한 Cell단위 공간 분석 결과

3. Space Syntax 분석기법의 연구사례

가. 길찾기

최윤경,민병호(1998)은 공간구조와 학습이 길찾기에 미치는 영향에 관한 연구에서 공간구조의 특성을 Space Syntax를 활용하여 공간구조 속성(통합도, 연결도, 통제도)을 나타냄

사례대상지에서 피실험자를 정하여 경로추적조사(itinerary tracking) 방식으로 공간표현도수를 나타내고 학습에 따라 어떠한 공간구조 속성에 영향을 받는지 상관관계를 분석함

분석 결과 사전 지식이 없는 공간에서 피실험자들은 통합도(Integration)에 의한 영향을 많이 받는 것으로 나타남

안은희,이경훈(2002)은 의류상가 쇼핑환경에서 길찾기의 정도와 매출이익간의 관계에 관한 연구에서 대상건물의 공간특성을 파악하기 위해 Space Syntax 이론을 활용하여 볼록공간도(convex map)을 이용한 분석방식을 사용함

의류상가를 사례대상지로 정하고 각 의류상가가 가지는 통합도(Integration)에 따라 길찾기의 난이도를 정하여 만족도와 지출비용 구매율등의 상관관계를 분석함

안은희,강석진(2004)은 대규모 지하 상업공간에서의 보행자의 움직임과 경로선택 특성에 관한 연구에서 Space Syntax를 활용하여 공간구조 속성(전체통합도, 연결도, 통제도, 국부통합도)과 보행자 분포와의 상관관계를 연구함

연구결과 정적분포는 국부통합도와 가장 높은 상관관계를 나타냄 (R : 0.611)

김도현,김영욱(2005)은 대규모 복합 상업공간에서 공간구조 해석 방법에 따른 보행자 움직임의 특성연구에서 Space Syntax에 의한 공간구조 해석 방법에 따라 보행자 통행량과의 상관관계를 분석함

보행자 통행량과 Total Depth와의 상관관계가 0.774로 나타나 가장 높은 상관관계를 나타냈으며 국부통합도와의 상관관계가 0.744로 다음으로 높은 상관관계를 나타냄

국내연구에서 길찾기에서 Space Syntax를 활용한 결과를 요약하면 다음과 같음

- 사전지식이 없이 공간을 처음 방문한 사람들은 통합도에 의한 영향이 높음
- 지하공간의 보행자 통행량은 Total Depth와 국부통합도와의 상관성이 높음

나. 공간인식

김영욱(2003)은 Space Syntax를 활용한 공간구조속성과 공간사용패턴의 상호관련성 연구에서 공간구조에서 나타나는 공간구조속성을 Space Syntax를 활용하여 연구함

인사동지역을 사례대상지로 정하고 관찰시간을 첨두시간(12:00-14:00)과 비첨두시간(08:00-12:00,14:00-19:00)으로 나누어 진행함

공간구조 속성(Global Integration, Local Integration)과 통행량(자동차, 보행자)의 상관관계를 분석함

분석결과 보행자 통행량은 첨두시간에 Local Integration과의 상관성이 0.650, 비 첨두시간에 Lcoal Integration과의 상관성이 0.738로 보행자 통행량은 Local Integration과의 높은 상관성을 나타냄

윤용우(2005)는 물리적인 거리와 공간깊이가 공간인식에 미치는 영향에 관한 연구에서 사람의 공간인식에 영향을 미치는 영향을 Space Syntax를 활용하여 연구함

연세대 캠퍼스를 사례대상지로 정한 이 연구에서 공간인식과 물리적인 거리(Distance)와의 상관관계가 0.726, 공간인식 표현도수와 공간깊이(Depth)와의 상관관계가(R) 0.850으로 분석됨

공간인식에 있어 물리적인 거리(Distance)와 공간깊이(Depth) 모두 다 높은 상관관계가 나타남

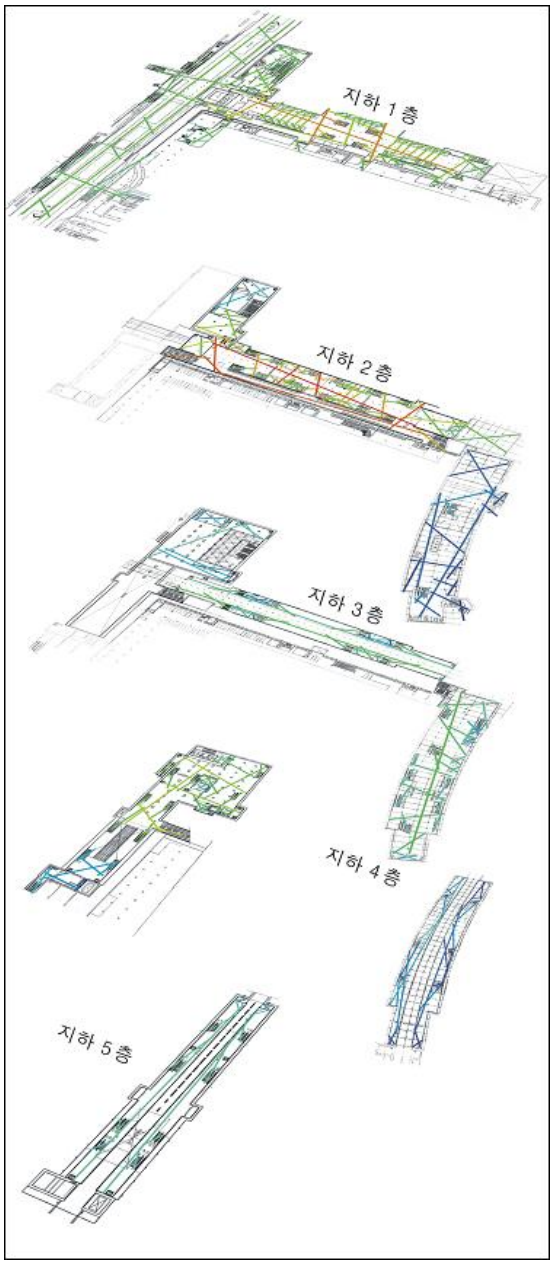
공간인식에 있어 물리적인 거리(Distance)보다 공간깊이(Depth)에 의한 영향이 더 높음

4. Space Syntax 분석기법의 프로젝트 적용사례

가. 국내 프로젝트 적용사례

(1) Space Syntax 프로그램에 의한 서울 지하철 9호선 923정거장 공간구조 분석

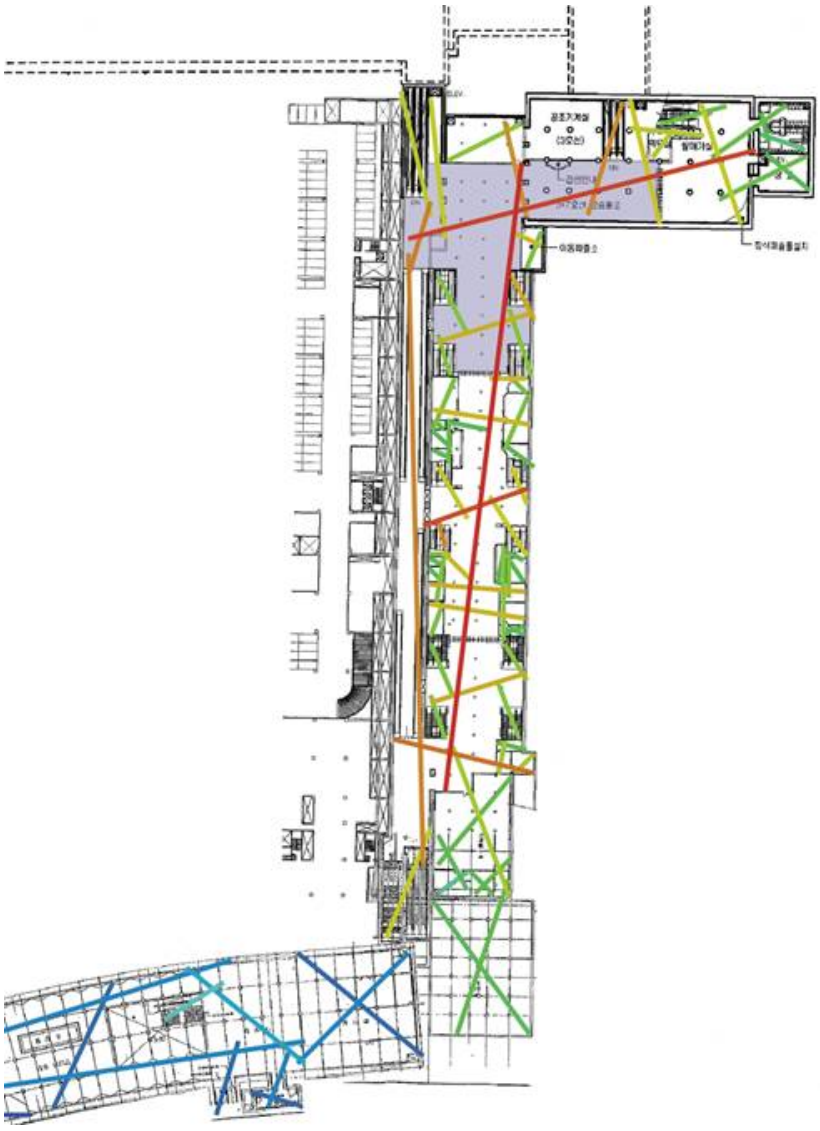
- 지하철 각 공간의 보행 접근성 분석



<그림 2-10> Axman프로그램에 의한 각 공간의 보행 접근성 분석

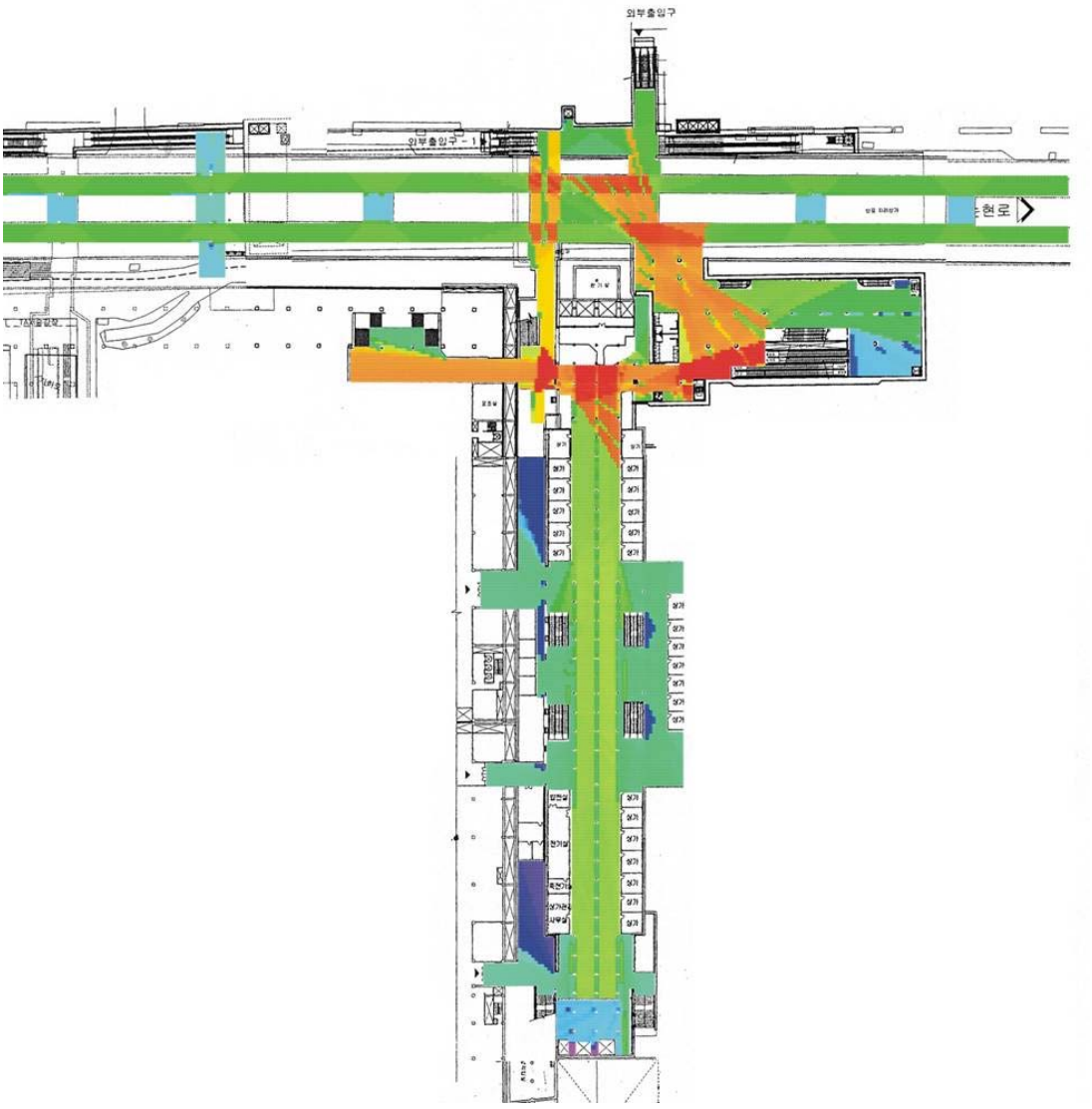
-지하철 환승공간 분석

환승 연결 통로의 위치와 동선 체계에 따라 공간사용의 잠재성을 예측해 적절한 공간 배치계획



<그림 2-11> Axman프로그램에 의한 공간의 접근성 분석

- 지하철 공간의 배치 및 동선체계를 종합적으로 분석

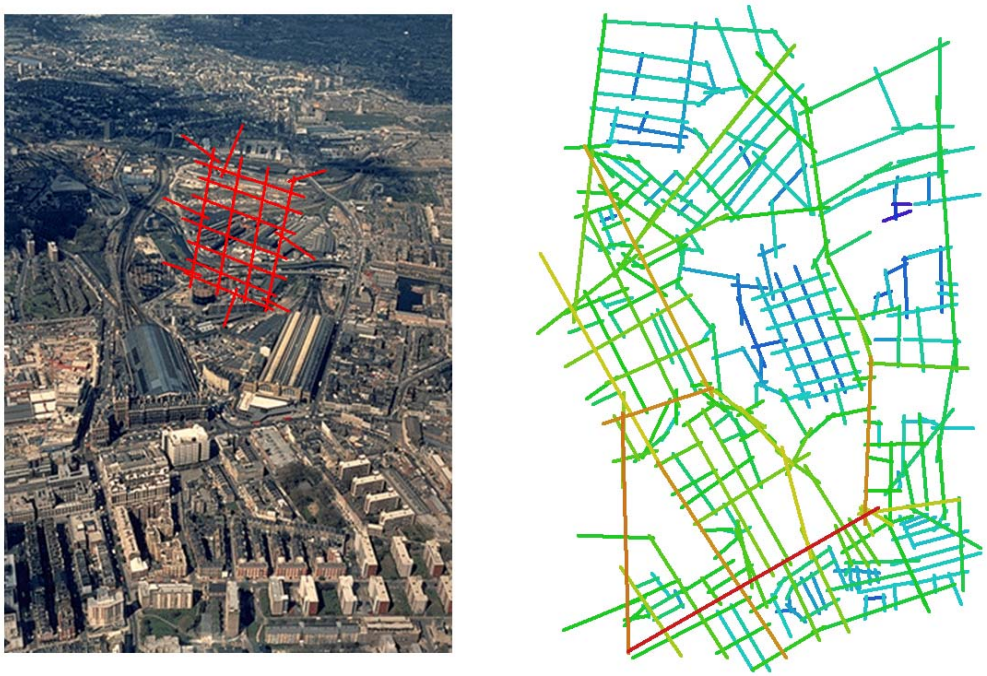


<그림2-12> Detphmap 프로그램에 의한 공간의 접근성 분석

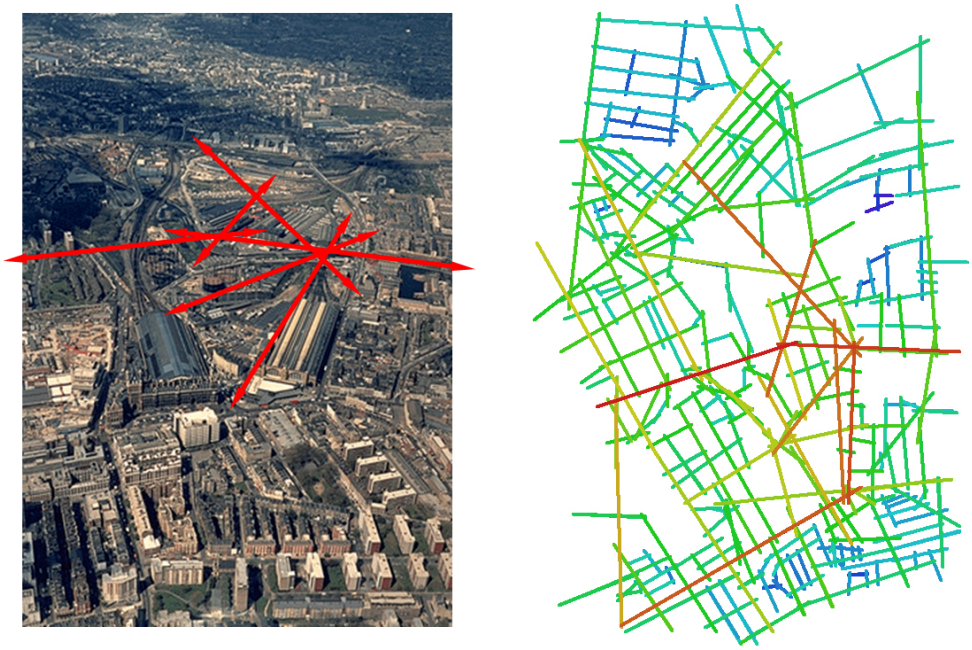
나. 해외 프로젝트 적용사례

건축물 배치계획에 따른 접근성 변화

London king's cross 지역 역사 국제 현상설계



<그림 2-13> London king's cross 2등 당선안



<그림 2-14> London king's cross 1등 당선안

2. 피난 Simulation 기법의 이론 분석 및 선행연구 고찰

가. 피난 Simulation의 종류 및 특징

(1) 피난 Simulation의 기능에 따른 분류

<표2-1> 은 미국표준기술연구소에서 발행한 review of 28 Egress Model에서 분류한 Egress Simulation임

<표2-2>과 <표2-3>,<표2-4>는 분류기준중 Modeling Method에 따라 Egress Simulation을 Movement 모델과 Behavior 모델로 나누어 그 특징을 정리한 표임

각 그림에서 보이는 분류기준은 Purpose, Availability to the public, Modeling Method, Grid/Structure, Perspective of the model/occupant, Behavior, Movement, Fire Data, CAD, Visual이며 각 항목의 의미와 각 그림에 나타나있는 약자의 뜻은 다음과 같음

<표 2-1> Egress Model

Table 1. Overall features of egress models detailed in Appendix A.

Model	*Purpose*	*Available to public*	*Modeling Method*	*Grid/ Structure*	*Perspective of M/O*	*Behavior*	*Movement*	*Fire data*	*CAD*	*Visual*	*Valid*
EVACNET4	1	Y	M-O	C	G	N	UC	N	N	N	FD
Takahashi's Fluid	1	N2	M-O	C	G	N/FA	FA-D	N	N	2-D	FD
PathFinder	1	N3	M	F	I/G	N	D	N	Y	2-D	N
TIMTEX	4	Y	M	C	G/I	N	D	N	N	N	PE
WAYOUT	5	Y	M	C	G	N	D	N	N	2-D	FD
Magnetic Model	1	U	M	F	I	FA/I	FA	N	N	2-D	N
EESCAPE	5	N3	M	C	G	N	D	N	N	N	FD
EgressPro	5	N2	M	C	G	N	D	Y2	N	N	N
ENTROPY	5	U	M/PB	C	G/I	N	Ac K, FA	N	N	N	OM
STEPs	1	Y	M/PB	F	I	FA	P, E	N	Y	3-D	C
PED/PAX	3	Y/N2	PB	C	G	I	D	N	Y	2,3-D	N
EXIT89	1*	N1	PB	C	I	I/C(smk)	D	Y1	N	N	FD
Simulex	1	Y	PB	Co.	I	I	ID	N	Y	2-D	FD,PE
GridFlow	1	Y	PB	Co.	I	I	D	N	Y	2,3-D	FD, PE
ALLSAFE	5	N3	PB	C	G	I	Un F	Y1,2	N	2-D	OM
CRISP	1	N3	B-RA	F	I	R/C, P	E,D	Y3	Y	2,3-D	FD
ASERI	1	Y	B-RA	Co.	I	R/C, P	ID	Y1,2	N, F	2,3-D	FD*
BFIRES- 2	4	N2/U	B-RA	F	I	R/C, P	UC**	Y2	N	N	N
BldEXO	1	Y	B	F	I	R/C, P	P, E	Y1,2	Y	2,3-D	FD
EGRESS 2002	1	N3	B	F	I	R/C, P	P,D	Y2	N	2-D	FD
EXITT	2	Y	B	C	I	R/C	C	Y1,2	N	2-D	N
VEgAS	1	N2/U	B	F	I	AI	ID	Y1?	Y	3-D	N
E-SCAPE	1	U	B	C	I	R/C, P	OML	Y2	N	2-D	N
BGRAF	1	N1	B	F	I	R/C, P	UC?	Y1,2	N, F	2-D?	FD
EvacSim	1	N1	B	F	I	R/C, P	D	Y2	N	N	N
Legion	1	Y	B	Co.	I	AI	D,C	Y2	Y	2,3-D	FD,OM

*Especially for high-rise buildings; **User specifies # of time frames, an occupant moves to a grid point during each time frame; *- Fire drills and sensitivity analyses on the model

? indicates that a category is unclear or unknown

-Purpose

1. 건축물 시뮬레이션
2. 주거 건축의 특별화된 모델
3. 대중교통 역사의 특별화된 모델
4. 저층건축물(75feet이하)에 적합한 모델
5. 건축물에서 이동이 한 방향으로만 가능한 모델

-Availability to the public

Y : 무료로 사용 가능함

N1 : 사용하기에 이름

N2 : 더 이상 사용되지 않음

N3 : 회사에서 고객을 대상으로 사용

U : 모델의 자세한 상태가 알려지지 않음

-Modeling Method

피난 모델은 건축물의 형태에서 피난 시간을 계산하는 방법에 따라 유형화 한 것이다.

B : Behavior models : 거주자 행태와 특별한 목적지를 향하는 방향성을 포함한다. 건축물 내부 조건에 따른 거주자 스스로 이동을 결정지을 수 있도록 돼있는 것은 (B-RA)라 표현함

M : Movement models :

건물내의 한 지점으로부터 다른 지점으로의 이동을 보여줌, 밀집된 지역, 출구 앞의 대기, 병목현상들을 보여주고 이렇게 특별하게 적합화된 모델을 M_O라 표현한다.

PB : Partial behavior models : 피난 대피시간을 계산함에 있어 내부 거주자들의 위치와 거주자들의 독특한 특성, 추월하는 특성, 거주자들이 연기에 의한 영향을 받는 것 등이 포함

이러한 요소의 반영은 인간 행태 관찰 연구의 기초에 의해 만들어짐

-Grid/Structure

F(Fine Network) : 건물의 한 층을 작은 grid cell들로 나누어 거주자들을 이동함

C(Coarse network) : 건물의 한 층을 방, 복도, 계단실 등등으로 장소로 나누어서 한 장소에서 다른 장소로 이동함

Co(Continuous Network) : 연속된 2D평면에서 한 지점에서 다른 지점으로 이동하는 형태임

F와 Co가 건축물 내의 제한요소난 공간의 영향들에 의한 행태 반영에 적합하다.

-Perspective of the model/occupant

1) 거주자들의 피난행태를 어떻게 보여주는가

-ㄱ) G : globally -ㄴ) I : individually

2) 거주자들이 빌딩을 어떻게 바라보는가

-ㄱ) G : globally 거주자가 피난 행태 이동시 가장 적합한 출구가 어디인지 자동적으로 알게 되됨

-ㄴ) I : individually : 거주자가 피난 행태 이동시 거주자가 건축물의 출구를 모르기 때문에 바닥이나 개인적인 경험, 그리고 몇몇 가지 방법들에 의해 주위 환경을 보고 목적지를 찾아감

-Behavior

N: 습성 반영하지 않음 : 오직 피난에서 기대되는 움직임만을 시뮬레이션

I : 절대적인 습성을 반영 : 피난행태에서 움직임에 확실하게 영향을 주는 특정 요소들을 반영

R/C : 조건적인 습성 반영: 피난에 있어 환경이나 구조물들에 의해 영향을 받은 개인이나 집단들의 행동들을 반영

FA : functional analogy : 모든 사람을 동일한 조건에 놓고 시뮬레이션 운영

AI : 인공지능 : 피난행태에서 인간의 지능을 반영하도록 함

P : 확실한 시뮬레이션의 재현에 의한 결과값을 위해 통계적으로 수 많은 규칙이나 conditional-base된 모델을 재현함

거주자가 화재조건에 반응 하는 법칙들을 Bryan, Wood, Jin이 이론적 발전을 이끌어감

이러한 습성은 환경이 변하는 조건하에, 되돌아가는 습관, 거주자들의 이동의 늦은 속도, 밀도가 높은 곳에서의 신체 움직임 등을 포함함

-Movement

D : Density correlation (밀도 상관관계) : 공간의 밀집정도에 따른 개인이나 이동집단들의 흐름이나 속도를 정해주는 모델임

이러한 밀접정도에 따른 속도에 대해 Fruin, Pauls, Predtechenskii 와 Milinskii 가 연구를 통해 데이터를 제시함

UC : User's Choice : 사용자가 건축물의 어떠한 공간에서 속도나 흐름 밀집정도의 변수들을 조절할 수 있는 모델

ID : Inter-person distance : 각 개인이 자신을 둘러싸고 있는 벽이나 계단, 핸드레일, 코너등 주변 건축 환경요소로부터 최단거리로 움직이게 함

P : Potential : 각 grid cell 은 변수들의 확실한 수치가 주어지거나 잠재성이 주어져 거주자의 움직임에 있어 확실한 방향성을 가지 됨

이러한 potential map에의한 거주자 이동은 매 단계마다 그 잠재성이 더 낮은 방향으로 설정되어 있고 이러한 potential route의 변수는 거주자들의 인내심이나, 출구를 향한 방향성, 건물 내 친근한 곳등 전형적인 이용자의 특성이 반영

E : Emptiness of next grid cell : 몇 몇 경우의 모델에서 cell 방식을 취하고 있다. 이 방식에서 한 cell에 거주자(이동자)가 있으면 다른 거주자(이동자)가 채워진 cell로 가지 못함

따라서 거주자(이동자)는 자신이 이동할 다음 cell이 비워질 때까지 기다림

C : Conditional : 건축물에서 움직임이 환경의 변화를 고려한 것으로 건축물, 다른 피난민, 화재 상황등을 반영

FA : functional analogy : 거주자(이동자)의 흐름을 움직임의 반응식 사용하는 것으로 유체역학이나 자기학등을 사용한 것임 유체역학 같은 경우에는 공간의 밀도에 의한 식을 도출

OML :Other model link : 거주자(이동자)의 움직임이 다른 모델에 의해 계산되고 링크된 피난 시뮬레이션 모델에서 보여주는 것

Ac K : Acquiring knowledge : 주자(이동자)의 움직임은 오직 피난을 통해서 얻어진 지식에 의해서 결정됨

이런 모델의 경우 실제적인 움직임에 관한 알고리즘이 없는데, 모든 것이 후천적이기 때문에 피난 시간이 계산되지 않고 오직 과밀지역과 병목현상등에 의해 결정

-Fire Data

Y1 : 다른 모델로부터 화재에 관한 정보를 불러오는 것

Y2 : 화재의 정확한 정보를 사용자가 입력시키는 것

Y3 : 모델 자체에 화재 모델이 포함되어 있는 경우

N : 모델이 화재에 관한 정보를 반영하지 못하고 단순히 움직이는 모델

이러한 화재에 관한 정보를 포함하는 것은 최종적으로 거주자(이동자)의 안전을 평가하기 위한 것임

Purser 모델은 화재 시 사람이 CO(일산화탄소), HCN(시안화수소산-청산), CO_2(이산화탄소)의 증가와 산소의 감소에 따라 무능력하게 되는 시간을 계산

화재 시 유독물질배출에 관한 정보를 담고 있는 많은 모델은 Purser에서 사용되는 계산법을 적용하고 있고 Purser 는 열과 자극가스에 영향을 받는 모델을 개발

몇몇 모델의 경우 일본의 Jin에 의한 정보를 사용하고 이 데이터는 화재로 인한 피난에서 연기에 의한 신체적 생리학적 영향에 관한 것임

그는 그의 조교들과 대학원생, 주부들로 구성된 사람들을 통해 실제 상황과 똑같은 밀도와 화재 상황 속에서 실험 실시

1980년에는 열과, 연기로 인한 자욱함, 자극적인 연기로 가득찬 복도에서 감정적인 안정성과 정확한 대답을 연구했으며 1985년에는 자극적인 연기 상황에서 시야성과 보행속도를 측정했고 이 연구결과는 연기가 나는 상황에서 느리게 움직일 때와 연기로 인해 기어가게 됐을 때의 상황을 모델에 반영함

Bryan 과 Wood는 화재 상황 시 시야거리에 따라서 그 연기를 뚫고 지나가는 사람의 비율과의 상관성을 연구

이 연구는 미국과 영국에서 실험 자원자를 통하여 이루어짐

이 연구결과는 얼마나 많은 사람이 연기를 보고 되돌아 갈 것인지, 그 길을 뚫고 지나갈 것인지를 반영하는 자료로 사용

-CAD

Y : CAD파일 불러오기 기능이 있는 모델

N : CAD파일 불러오기 기능이 있는 모델

F : 모델의 버전이 향상되면서 CAD파일 불러오기 기능을 추가하고 있는 모델

-Visual

2-D : 시뮬레이션을 2D(2차원)상으로 보여주는 모델

3-D : 시뮬레이션을 3D(3차원)상으로 보여주는 모델

N : 시뮬레이션이 시각화 되어 표현되지 못함

<표 2-2> Movement Models

Characteristics/Model	*Evacnet4*	*Fluid*	*PathFinder*	*TIMTEX*	*WAYOUT*
Avail to public	Y	N2	N3	Y	Y
Method	Movement-O	Movement-O	Movement	Movement	Movement
Structure	Coarse	Coarse	Fine	Coarse	Coarse
Perspective of M/O	Global	Global	I/G	G/I	Global
People Beh	None	N-FA	None	None	None
Import CAD drawings	N	N	Y	N	N
Visual Simulation	N	Y	Y	N	Y
Counterflow	N	N	N	N	N
Manual exit block	N	N	N	N	N
Fire Conditions	N	N	N	N	N
Defining Groups	N	N	N	N	N
Disabl/Slow Occ grps	N	N	N	N	N
Delays/Pre-evacuation	N	Y	N	N	Y
Rte. Choice	Optimal	Optimal	2 Choices	Split choice	1 route, flows merge
Elevator use	Y	N	N	N	N
Toxicity to occ	N	N	N	N	N
Impatience/Drive	N	N	N	N	N
Occ. Distribution	Optimization	Optimization from rooms and to exits	UC – 2 choices	User chooses flow split	1 choice only

Characteristics/Model	**Magnetic Model**	**EESCAPE**	**EgressPro**	**ENTROPY**	**STEPs**
Avail to public	U	N3	N2	U	Y
Method	Movement	Movement	Movement	Movement/ PB	Movement/ PB
Structure	Fine	Coarse	Coarse	Coarse	Fine
Perspective of M/O	Individual	Global	Global	G/I	Individual
People Beh	FA/I	None	None	None	FA
Import CAD drawings	N	N	N	N	Y
Visual Simulation	Y	N	N	N	Y
Counterflow	N	N	N	N	N
Manual exit block	N	N	N	N, Y with improvements	Y
Fire Conditions	N	N	Y	N	N
Defining Groups	Y	N	N	N	Y
Disabl/Slow Occ grps	Y	N	N	N, Y with improvements	Y
Delays/Pre-evacuation	Y	N	Y	N	Y
Rte. Choice	3 choices	1 route	1 route	1 exit	Score
Elevator use	N	N	N	N	Y
Toxicity to occ	N	N	N	N	N
Impatience/Drive	N	N	N	N	Y
Occ Distribution	UC – 3 choices	1 choice only	1 choice only	1 choice	Score/user chooses target

<표 2-3> Behavior models

Characteristics/Model	*PED/PAX*	*EXIT89*	*Simulex*	*GridFlow*
Avail to public	Y/N2	N1	Y	Y
Method	Partial Behavior	Partial Behavior	Partial Behavior	Partial Behavior
Structure	Coarse	Coarse	Continuous	Continuous
Perspective of M/O	Global	Individual	Individual	Individual
People beh	Implicit	Implicit/C (smk)	Implicit	Implicit
Import CAD drawings	Y	N	Y	Y
Visual simulation	Y	N	Y	Y
Counterflow	N	Y	N	Y
Manual exit block	N	Y	Y	Y
Fire conditions	N	Y, CFAST	N not yet	N, only FED input
Defining groups	Y	N	Y	Y
Disabl/Slow occ grps	Y	Y	Y	Y
Delays/Pre-evacuation	Y	Y	Y	Y
Rte. choice	Quickest route, optimize, or follow signs	Shortest distance or user-defined	Shortest distance or altered distance map	Shortest distance, random, or user-defined
Elevator use	N	N	N	N
Toxicity to occ	N	N	N	Y
Impatience/Drive	N	N	N	N
Occ. distribution	3 choices?	2 choices	2 choices	3 choices

Characteristics/Model	**ALLSAFE**	**CRISP**	**ASERI**	**BFIRES-2**
Avail to public	N3	N3	Y	N2/U
Method	Partial Behavior	B-RA	Behavioral-RA	Behavioral-RA
Structure	Coarse	Fine	Continuous	Fine
Perspective of M/O	Global	I	I	I
People beh	Implicit	Conditional	Conditional	Conditional
Import CAD drawings	N	Y	N, F	N
Visual simulation	Y	Y	Y	N
Counterflow	N	Y	N	N
Manual exit block	N	Y	Y	Y
Fire conditions	Y	Y – not in drill mode	Y	Y
Defining groups	Y	Y	Y	N
Disabl/Slow occ grps	N	Y	Y	Y
Delays/Pre-evacuation	Y	Y	Y	Y
Rte. choice	All to 1 exit	Shortest, user defined door difficulty	Shortest or user-defined, then conditional	Conditional
Elevator use	N	N	N	N
Toxicity to occ	N	Y – not in drill	Y	Y-smk tolerance
Impatience/Drive	N	N	N	N
Occ distribution	1 choice	Conditional	Various	Various

<표 2-4> Behavior models

Characteristics/Model	*EXODUS*	*EGRESS*	*EXITT*	*VEgAS*
Avail to public	Y	N3	Y	N2/U
Method	Behavioral	Behavioral	Behavior	Behavioral
Structure	Fine	Fine	Coarse	Fine
Perspective of M/O	I	Individual	Individual	Individual
People beh	Conditional	Conditional	Conditional	AI
Import CAD drawings	Y	N	N	Y
Visual simulation	Y	Y	Y	Y
Counterflow	Y	Y	N	N
Manual exit block	Y	Y	Y	Y
Fire conditions	Y	Y	Y	Y
Defining groups	Y	Y	Y	Y
Disabl/Slow occ grps	Y – mobility	Y	Y	N
Delays/Pre-evacuation	Y	Y	Y	Y
Rte. choice	Conditional	Conditional	Conditional	User-dfnd/Cond
Elevator use	N	N	N	N
Toxicity to occ	Y	Y	N	Y
Impatience/Drive	Y	N	N	N
Occ distribution	Various	Various	Various	Various

Characteristics/Model	**E-SCAPE**	**BGRAF**	**EvacSim**	**Legion**
Avail to public	U	N1	N1	Y
Method	Behavioral	Behavioral	Behavioral	Behavioral
Structure	Coarse	Fine	Fine	Continuous
Perspective of M/O	I	Individual	Individual	Individual
People beh	Conditional	Conditional	Conditional	AI
Import CAD drawings	N	N, F	N	Y
Visual simulation	Y	Y	N	Y
Counterflow	N	N	N	Y
Manual exit block	N	N	Y-locked doors	Y
Fire conditions	Y	Y	Y – user	N, not yet
Defining groups	Y	Y	Y	Y
Disabl/Slow occ grps	N	Y	Y	Y
Delays/Pre-evacuation	Y	Y	Y	Y
Rte. choice	Conditional	Conditional	Conditional	Conditional
Elevator use	N	N	Y	Y
Toxicity to occ	N	Y	N	N
Impatience/Drive	N	N	N	Y – alternate naming of variables
Occ distribution	Various	Various	Various	Various

(2) 주요 피난 simulation 특징

ELVAC

ELVAC(Elevator evacuation)은 Elevator를 사용하여 건물로부터 사람들이 탈출하기까지의 요구된 시간을 측정하기 위한 컴퓨터 프로그램임

ELVAC는 군중의 Elevator 탈출 시간을 계산함

입력정보는 다음과 같음

- 층과 층 사이의 높이
- 층마다의 사람 수
- Elevator의 수
- Elevator의 가속도
- Elevator의 능력
- Elevator의 문의 형태와 두께

EXITT

EXITT는 가상 화재 안에서 재실자의 판단과 행동을 고려하여 시뮬레이션을 수행함

시뮬레이션을 수행하는 재실자의 판단

- 화재, 경계경보
- 다른 사람들 간의 대한 도움

모든 재실자가 빌딩 밖으로 피난하거나 혹은 연기 속에 갇혔을 때 시뮬레이션이 종료

입력정보는 다음과 같음

- 건물 안에서의 연기 조건에 따른 기능
- 점유자의 특성과 의상

SIMULEX

SIMULEX는 1995년에 영국 Edinburgh 대학의 Dr. Thompson과 Dr. Marchant에 의하여 C^{++}언어로 작성된 피난 전용 모델임

50,000m^2 미만의 크기와 15,000명 이하의 사람들과 CAD file을 적용시킴으로 각 층별 상황을 자세히 알 수 있음

건물의 도면은 CAD File로 작성되며 피난 경로는 0.2m X 0.2m 크기의 node를 기준으로 작성되는 Distance Map을 사용하며 이것을 기준으로 각 위치에서의 최단거리 또는 미리 지정된 피난구까지의 거리와 최적의 이동 각도를 계산함

SIMULEX는 agent-based 모델로 집단 속에서 한 개인의 특징이 정해짐

어떠한 특정 지역에서 집단의 밀도에 의해 한 개인의 보행속도가 정해지며 각각 개인에 입력된 특징에 따라 보행속도가 다름(Thompson & Marchant -1995-의 개인별 이격거리와 보행속도 감소식 사용)

다음과 같은 변수를 정할 수 있음

- 피난시 접해있는 다른 피난객 으로부터 신체적 행동의 특징,
- 건축물의 형태를 반영함
- 성별에 따른 영향을 반영함
- 나이에 따른 영향을 반영함 (12-55세까지)
- 특정지역의 사람의 수를 정하여 밀도입력 가능

EXODUS

EXODUS는 Greenwich 대학의 소방 안전 엔지니어링 그룹에 의해 개발됨

EXODUS 는 구내에서의 다양한 변화에 따른 수많은 인명의 대피를 가정하여 설계하는 프로그램임

소프트웨어의 일종인 EXODUS는 화재실의 변화하는 조건의 정도에 따라 경험적 시작과 실험 및 이론을 바탕으로 시뮬레이션 함

EXODUS는 지금까지의 경험적 데이터를 토대로 한 예견모델의 직접적인 비교, 경험적 데이터를 Blind 모델의 비교, 그리고 예견할 수 있는 인간행동의 특성 비교를 포함하고 있음

EXODUS모델의 설계특징 5가지 하위모델로 구성되어 있음(움직임, 독성, 행동, 위험요소, 재실자)

이러한 5가지 모델을 기반으로 EXODUS는 실행하게 만들어졌고 건물의 특성 및 고유성질에 따라 EXODUS는 각기 다른 시뮬레이션을 실행함

EXODUS는 CAD DXF 파일과 호환하도록 되어 있음

EXODUS의 특징은 다음과 같음

- 화재 시 발생되는 세부사항 행동의 예견 능력에 영향을 받음
- 하위모델이 건물 EXODUS는 개인적, 집단적 행동(Global, Local Behavior) 원칙을 기준으로 함 : 건물EXODUS는 피난시 재실자의 행동을 상세히 설명이 가능하고 고유한 피난출구를 이용하는 사람들에게 적합한 배출의 행동을 갖고 있음

(3) 피난 Simulation분석의 시사점

피난 Simulation은 특징은 다음과 같은 특징에 의해 나눌 수 있음

- agent들의 피난경로에서 미리 정해져 있는 경우와 피난 행태 과정 중에 화재환경으로부터 상황을 파악해 후천적인 학습에 의한 피난 경로를 설정하는 경우
- 피난 시 agent들의 특성들의 포함 여부(나이, 성별, 직업등)
- 피난 시 agent들의 사회적 특성 포함여부(추월하는 특성, 서로 돕는 특성)
- 피난 시 agent들이 연기 및 화재 상황에 의한 반응여부
- 보행속도 계산 시 밀도상관관계 반영 여부
- 화재모델의 포함 여부
- 시뮬레이션을 2차원 혹은 3차원으로 시각화 가능 여부
- CAD환경의 호환가능 여부
- agent 대피 시간과 연기로 인해 피난 불능에 이르는 시간 계산 여부

나. Egress Simulation적용 연구 사례

(1) 국내 적용연구 사례

초고층 건축물의 대피공간

최재필외3인(2005)의 초고층 건축물의 '대피층' 및 '대피공간'개념도입방안 논문에서 삼성동에 위치한 아이파크 한동을 대상으로 대피층 시뮬레이션에 SIMULEX프로그램을 사용함

위 논문의 가정은 수직동선을 통해 피난하며 엘리베이터가 아닌 피난 계단을 사용함

위의 연구에서 타 피난 시뮬레이션 프로그램보다 SIMULEX프로그램을 사용한 이유는 다음과 같음

- ELVIC 은 엘리베이터를 이용한 피난시간 계산 프로그램이기 때문에 피난계단을 통한 대피를 가정함에 적합하지 않음
- EXITT 는 의사결정과 행동에 초점을 맞춤으로 적합하지 않음
- Building EXODUS 는 연기의 확산에 초점을 맞추어 적합하지 않음
- EVACNET 는 건물내 배치를 노드와 아크로 분할하여 평면의 대피 수월성을 경가하는 모델이기 때문에 평면적 공간의 OCL 자체에 초점을 맞추고 있어 적합지 않음
- SIMULEX 는 거주자의 위치 및 신체적 속성을 따로 입력할 수 있고, 피난시 혼잡에 의한 지체를 가정함
- SIMULEX 는 다층 건축물 분석이 가능하며, 피난과정을 보여주어 피난시 발생할 수 있는 문제점을 시각적으로 검토할 수 있는 장점이 있음

(이 논문에서 쓰인 SIMULEX 의 단점은 첫째, 화재시 연기가 피난시간에 미치는 영향을 반영하지 못하고, 둘째, 출구까지의 최단거리 경로만을 선택해 실제 관객의 피난에 영향을 주는 가시성은 반영되지 않음)

복합영화관

박계원외1인(2005)의 복합영화관에서 화재시 과밀공간 파악을 통한 관객의 피난 행태연구 논문에서 화재 시 복합상영관의 물리적 요인에 의해 발생하는 과밀 공간을 파악함에 있어 SIMULEX 프로그램을 사용함

SIMULEX 프로그램에 인원산정, 인원특성, 보행속도, 인원밀도, 피난 개시시간 등

을 정하여 연구에 적용

SIMULEX 프로그램사용으로 인해 병목지점 분석과 피난 소요시간에 대한 안전여부 파악을 통해 물리적 변수들을 파악

영●유아시설

이정수외1인(2003)의 영●유아시설의 피난행태 분석을 통한 건축계획 및 운영관리 개선방향에 관한 연구에서 영●유아시설에서 피난실험과 컴퓨터 시뮬레이션으로 건물이용행태를 분석함으로 건축 계획 및 운연관리의 문제점을 파악함

컴퓨터 시뮬레이션으로 SIMULEX 프로그램을 사용하였고 그 이유는 다음과 같음

- EXIT 89, EGRESS, VEGAS등은 최종 피난시간만을 결과로 출력하는 텍스트 환경의 프로그램이나 SIMULEX 프로그램은 피난 행태를 시각적(GUI환경)으로 관찰 할 수 있음
- 사람들의 피난 행태를 시각적으로 관찰함으로 피난에 장애물로 작용하는 건축계획적 문제와 장애물로 작용하는 시설물등을 확인할 수 있음
- SIMULEX 프로그램은 재실자들의 개인특성을 연령(어린이, 성인, 노약자 등), 성별(남성,여성), 그리고 직업(주부, 회사원, 관람객)등으로 구분하여 입력할 수 있어 영●유아시설 특징들의 반영이 용이함

지하철 역사

박재성외2(2003)는 지하철 역사의 피난안전성능 확보를 위한 설계기준에 관한 연구에서 국내 환승역사이며 이용인원이 많은 승강장(종로3가역, 군자역)을 컴퓨터 시뮬레이션으로 분석하여 국●내외 기준을 비교●분석하여 서울시 지하철 특성에 맞는 피난 관련 기준을 정립을 위한 방향을 제시함

컴퓨터 시뮬레이션으로 SIMULEX 프로그램을 사용하였고 분석결과와 국●내외 시설 안전기준을 비교분석함

SIMULEX 프로그램을 사용한 이유는 현재 운영중인 역사에 대해 가장 널리 사용되고 있는 프로그램이기 때문임

본 연구에서 SIMULEX 프로그램의 가장 큰 문제점으로 지적한 것은 피난출구가 최단 경로로만 설정되는 것임

제 3 절 피난 Simulation 문제점 진단

agent의 행동특성을 반영한 모델의 피난 이동경로 선택은 크게 두 가지로 나뉨

첫째, 최단경로 선택과 프로그램user에 의한 이동경로 직접입력

둘째, conditional 이동경로선택으로 최초부터 이동경로가 선택되어 있는 경우가 아닌 피난 이동시 화재 환경으로부터 후천적인 학습(연기 강하, 발화지점, 다른 피난민으로부터의 영향등)이 이루어지고 이러한 학습에 의해 이동경로가 선택되어짐

위와 같은 피난경로선택의 특징은 다음과 같은 한계점을 지님

첫째, 지하철역사는 지하공간에 위치해 가시성이 제한돼 agent가 위치한 해당층 외의 공간에 대한 인식이 어려워 피난행동에 있어 전체 출구 중 가장 가까운 출구의 인지가 어려움

둘째, 길찾기에 관한 연구결과 공간인식은 최단거리와 더불어 가시성을 기준으로한 Depth의 영향이 매우 큼

셋째, 피난 이동경로 선택 시, 공간의 전체적인 구조적 연결관계 혹은 지역적인 구조적 연결관계의 영향등이 고려되지 않음

따라서 Space Syntax를 활용하여 visibility 및 공간구조 개념을 agent의 피난경로 선택의 중요한 변수로 택하여 기존 피난 Simulation에서 agent의 피난 경로선택의 한계점을 극복함

- Discrete Element Method 연구 동향

DEM을 이용한 particle-laden flow 해석은 Osaka Univ.의 Tsuji 교수 그룹에서 유동층 및 입자생성 해석 연구에 적용하여 unsteady flow에서의 거동을 two-way coupling에 의하여 시뮬레이션하였다. 독일 칼스루헤 대학의 sommerfeld 교수는 입자 거동에 대한 정량적인 이론 전개를 통하여 order 평가를 하였으며, Sydney대학의 Bird등이 개발한 Molecular Dynamics의 stochastic방법을 이용하여 비교 분석하였다. 최초로 이산요소 개념을 도입한 워싱턴 대학의 Crowe등이 개발한 PIC(Particle-In-Cell)방법도 혼상류 연구자들이 널리 사용하고 있는 기법으로서 현재도 version-up된 해석기법이 Int. J. of multi-phase flow 및 ASME 소속 논문에 발표되고 있다. 또한, 액적의 3-D 거동을 해석하는데에 많이 사용되는 KIVA code에서도 DEM기법을 응용하고 있을 정도로 이 분야에 대한 응용 연구가 활발히 진행중이다.

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

제 1 절 Space syntax를 이용한 철도 역사에서의 공간이용 효율성 피난 계획 평가 및 예측

1. 서 론

가, 연구 배경

철도 역사에서 이용객의 공간사용패턴을 예측하는 것은 매우 중요한 문제이다. 이용객의 행태를 예측하는 것은 안전과 밀접한 관련성이 있다. 재난시에나 평상시 이용객의 공간사용패턴을 예측하는 것은 안전한 역사의 계획 및 관리를 위해서도 중요하다. 재난시, 특히 화재 발생시 사람들의 피난 행태를 예측하는 경우에는 일반적으로 Simulex 나 Exodus 등의 상용화된 프로그램을 이용하고 있다. 그러나 이들 프로그램은 화재 발생이란 특수한 경우를 고려하여 피난 행태를 예측하는 것으로 평상시의 사람들의 역사 사용 행태를 예측할 수는 없다고 할 것이다. 이 방법들은 재난시 최단거리 피난 개념을 적용하므로 역사의 전체적인 공간배치를 포함하는 역사 계획을 진단하고 공간구조 개선안을 도출하기에는 한계점이 있다.

나. 연구 목적 및 범위

본 Space Syntax 이론을 이용한 여객 유동 평가 프로그램 개발 연구의 목적 및 범위는 크게 다음 3가지로 나누어진다.

첫째, Space Syntax를 이용한 통합 해석 시스템 모듈의 개발을 지원하는 것이다. 이를 위하여 각 해당 분야의 주요 이론을 분석하고, 본 통합 시스템에 적용 가능하도록 재해석하는 것으로, space syntax 분야에서는 인간의 보행 행태를 분석하는 주요 요소인 가시성과 접근성을 기존의 타 이론과 통합하는 작업을 지원한다. 통합 프로그램을 위하여 space syntax의 다양한 적용 도구 중 본 연구에 가장 적합할 도구와 그의 효율적 적용을 위한 구체적 방안을 모색한다. 또한 통합 프로그램을 위하여 space syntax 기법을 적용한 알고리즘을 개발한다.

둘째, 해석 대상 주요 철도 역사에 대한 Data Base 구축을 목적으로 한다. 여기서 이루어지는 DB 구축은 다시 세 가지 내용으로 구분된다. 그 하나는 본 연구에서 최종적으로 개발된 통합 프로그램이 실제 철도 역사 내에서 어느 정도의 예측력을 갖는가를 검증하기 위한 보행량 DB 구축이며, 두 번째는 보행패턴 DB

구축이다. 즉, 이는 실제 역사에서의 보행자 행태를 관찰한 자료를 구축함으로써 향후 통합 프로그램을 해당 역에 시현했을 때 보행 패턴과의 관계를 비교하고자 함이다. DB 구축의 마지막 목적은 철도 역사의 실제 공간구조에 대한 정량적 DB 구축이다. 이는 새로운 통합 프로그램을 적용할 실제 공간을 기존 이론인 space syntax를 이용하여 사전에 분석함으로써 해당 역사의 공간 구조적 특성을 미리 확인함으로 차후 새로운 통합 프로그램과 비교하고자 함이다. 따라서 이를 위한 연구 범위는 주요 철도 역사 중 혼잡역, 심층 지하역, 환승역의 전체공간구조 분석과 역사 공간 중 철도승강장에서 지상 출구에 이르는 주요경로를 그 분석 범위로 한다.
셋째, 철도 역사의 건축계획 가이드라인 제시를 목적으로 한다. 이를 위하여 기존의 철도 역사 가이드라인을 검토하고, 기존 가이드라인과 실제 공간구조에 대한 DB와의 비교·분석을 한다. 이를 통해서 다원화된 도시철도 정거장 및 환승·편의시설 설계기준에 대하여 보다 효율적이고 기능적인 개선안을 제시하고 체계적인 재정립과 표준화를 모색함으로써 도시철도 정거장 및 환승·편의시설 보완 설계 가이드라인을 제시하고자 한다.

다. 연구 수행 내용

Space Syntax 이론을 이용한 여객 유동 해석 프로그램의 개발 지원 연구부분 수행 내용은 다음 <표3-1>과 같다.

<표 3-1> 연구계획서상의 연구내용 및 연구수행 결과

	연구부제	연구내용	연구결과
1차년도	Space Syntax 기술 현황 분석 및 적용 전산이론 개발 평가 이론의 정립 및 기존	• 공간구문기법(Space Syntax) 문헌 및 사례 조사 • 철도 역사(환승역,심층지하역, 혼잡역) 공간구조분석을 위한 특성 및 문제점 조사 • 철도 역사 공간구조 및 이용객 유동 패턴 평가 이론의 정립 • 공간분석기법의 보완방안 수립 및 요소기술 도출 • 위 이론을 적용한 공간분석기	• **공간구문기법(Space Syntax)의 이론분석 및 선행연구 고찰** • **주요 철도역사 공간구조 DB 구축** - 환승역과 주변 지역을 포함한 공간구조 분석 : 서울시청역, 고속터미널역 - 서로 다른 형태의 환승역 2곳의 공간구조 분석 : 충무로역, 동대문운동장역 - 단일 역사의 공간구조 분석 : 수유역, 한성대역, 녹번역, 경복궁역, 강남역

	이론의 보완	법 개발	– 기존 도면 분석 및 현장 조사를 통한 depthmap 분석 기준cell 크기검토 : alt1:2,000*2,000, alt2:1,000* 1,000 alt3 500*500 • **철도역사 보행량 관찰 조사 DB 구축** – 강남역 보행량 관찰조사 : 전체 보행량 관찰 조사 (지하2F~지하1F 전구간) : 개찰구 부분 보행량 관찰 조사 (지하1F, 개찰구 2개 부분 전수조사) : 승강장 부분 보행량 관찰 조사 (지하2F 승강장 8개 부분 전수조사) : peak time(평일 아침 출근시간) off peak time(주말 저녁 시간) – 서울시청역 주변 보행량 관찰 조사 • **철도역사 보행패턴 관찰 조사 DB 구축** – 강남역 보행패턴 관찰 조사 : 지하2F~지하1F(승강장계단~외부출입구) 구간 조사 : off peak time(주말 아침 시간)
	철도 역사의 공간이용효율성/피난계획 평가기술 개발	• 철도 역사 평가 요소 기술 개발 • 공간분석 및 동선계획의 적정성 검증 모듈 • 피난행태 분석을 위한 적정성 검증 모듈 • 새로운 요소기술의 타당성 및 실제 적용 가능성 검증 • 실험 및 관찰 : 기존역사 • 평가 요소기술의 적용 가능성 검증 및 보완	
2차년도	철도역사의 공간이용효율성/피난계획 평가 및 예측 시스템 개발	• 각 요소기술 모듈의 통합/시스템화 • 단계별 계획/설계 work flow 조사 및 각 단계에서의 checklist 개발 • CA모형과의 통합시스템 개발	• **통합 시스템 개발을 위한 공간구문기법(Space Syntax)의 이론 재고찰** – VGA(Visibility Graph analysis) 기법 채택적용(Depthmap program) – 기존 분석 방법인 Axial map 방식 보다 컴퓨터 적용성 우수 – 보행 특성 중 가시성(Visibility) 강화 – Cell 단위 컴퓨터 분석으로 통합시스템 개발 용이 • **통합 시스템 개발을 위한 알고리즘 개발 연구** – 통합 시스템 개발을 위한 Isovist 제작 및 적용 방안 알고리즘 개발 연구 – 통합 시스템 개발을 위한 Depth 제작 및 적용 방안 알고리즘 개발 연구 – 3차원적공간인지를 고려한 이용자행태 예측 알고리즘 개발 기초 연구

			• **통합 시스템 적용 및 보완을 위한 공간구조 비교 연구** – 가시성과 보행량과의 상관관계 분석 : 철도역사의 공간별 분류 및 가시성과 보행량과의 관련성 비교 분석 – Potential map과 Space Syntax의 Depthmap 가중치 적용 방안 모색 • **각 단계별 계획/설계 work flow 조사 및 checklist 개발** – 각 단계별 계획/설계 work flow 조사 : 철도역사 계획 단계별 설계 주안점 제시 – 각 단계별 checklist 개발 : 각 동선별 분류, 특성 종합, 보행특성을 고려
3차년도	철도역사의 공간이용효율성/피난계획 평가 및 예측 시스템 실용화	• 개발된 시스템의 실무적용성 최대화를 위한 Design Project Simulation 수행 • 시스템 검증 및 보완 • 실무에 바로 투입 가능한 시스템 패키지화 수행	• **통합 시스템 검증 및 보완을 위한 공간구조 비교 연구** – 최단거리와 보행패턴과의 상관관계 분석 – 가시성과 보행패턴과의 상관관계 분석 – 최단거리 및 가시성과 보행패턴과의 상관관계 비교 분석 • **실무적용 가능한 철도역사의 건축계획 가이드라인 설정 연구** – 철도역사 건축계획의 정량적 분석 필요성 – 기존의 철도역사의 건축계획 가이드라인 고찰 – 기존의 철도역사 건축계획 가이드라인과 공간구조와의 상관관계 분석 – 철도역사 건축계획 가이드라인 설정

2. 국내외 기술개발 현황

가. Space Syntax 기법의 이론분석 및 선행연구 고찰

(1) 개요

1980년대 런던대의 Bill Hiller교수팀이 개발한 Space Syntax 이론 및 프로그램은 건축 및 도시공간을 분석하고 평가하는 주요한 도구로서 사용되어 왔음

Space Syntax는 단순히 공간자체에 대한 물리적인 속성을 기술하는 것이 아닌 사람의 공간 인식 및 공간사용 행태와 패턴등과 관련한 공간구조 속성을 분석함으로 공간계획단계에서 미리, 향후 예상되는 이용행태 및 공간의 잠재성을 도출함

특히, 공간구조 속성과 사람의 행태와 관련이 깊어 본 연구에서 화재 Simulation에 적용 가능한 이용행태와 관련이 깊은 공간형태요소를 고찰함으로 타당한 이론적 배경을 마련함

이를 위해 다음과 같은 배경에 의해 분석함

첫째, 공간형태요소의 각각 특성을 파악해 관련이 깊은 이용행태에 관한 연구문헌을 고찰함

둘째, 공간형태요소를 도출하기 위한 정확한 이론 및 프로그램의 숙지를 통해 연구 과정의 신뢰도를 높임

셋째, 프로그램 개발을 위한 알고리즘 개발을 위해 Space Syntax의 공간형태 요소 도출 과정을 숙지함

넷째, 사례대상지를 통한 보행량 관찰에 있어 검증된 공간형태요소에 따른 관찰방법을 도출하여 적용함

다섯째, Space Syntax의 실제 적용된 프로젝트 및 연구사례를 통해 프로그램 개발의 범위 및 가능성을 파악함

(2) Space Syntax 이론

(가) Space Syntax 기본 개념

① 개념

공간구조를 분석하여 각 공간의 속성을 정량적으로 제시하는 이론이자 이를 토대로 개발된 일련의 컴퓨터 프로그램임

1980~90년대에 걸쳐 영국의 런던대학교의 Hillier 교수 연구팀이 개발함

공간구조상 중요도를 분석대상지역의 전체 공간에서의 접근성에 의하여 계산함

분석대상 범위내의 모든 공간이 기점이자 종점이 되는 가정아래 각 공간의 접근성을 분석하게 되며 이 접근성을 전체 공간을 통합하여 주는 통합성 혹은 공간구조상의 위계성을 의미하는 통합성(Integration)이라 정의함

Space Syntax 분석 결과에 의한 통합성이 큰 공간은 다른 모든 공간으로부터의 접근성이 양호하다는 것을 의미함

Space Syntax는 도로망의 속성을 정량적으로 계산하게 되는데 먼저, 도로망을 연속된 공간의 집합으로 가정하고, 분석범위내의 모든 공간을 대상으로 최소한의 최대한 긴 직선으로 디지타이징하며 이를 축선도(axial map)라 정의함

각 축선은 네트워크에서 노드(node)가 되고 축선의 교차점은 링크(link)가 되는데 이러한 방식으로 공간구조모델은 전통적인 교통모델에서의 네트워크 개념의 역으로 구성됨

네트워크가 구성되면 네트워크의 속성을 계산하고 통계적 방법을 사용하여 분석대상지역의 전체적 특성 혹은 공간별 지역별 부분적인 속성과 전체지역과 부분지역간의 상호관련성을 분석하게 됨

② 관련이론

계산 결과로 산출되는 도로망의 형태적 속성은 물리적 거리나 비용에 대한 고려없이도 도시공간구조의 특성을 보여주게 됨

지난 20여 년간의 많은 학술적 연구와 실무적용사례에 의하면 통합성은 인간(보행자 및 차량)의 공간이용패턴과 밀접한 관련성이 있는 것으로 분석되었음

사회·문화·경제·정치적 현상은 필연적으로 공간구조와 상호관련성을 지니게 되고 공간구조에 대한 이해는 이를 분석하는데 기본적인 근거를 제시하게 됨

따라서 공간구조는 사회적 관계와 커뮤니케이션에 큰 영향을 끼침

Hillier(1984, 1996)는 이를 공간구조가 지닌 사회적 속성이라 정의하고 공간구조가 공간이용패턴을 규정하는 기본적인 인자임을 제시

본 이론은 공간을 사용하는 패턴은 공간구조형태(spatial con그림uration)가 가장 중요한 인자임을 밝히고, 도시에서의 인간의 이동 특성도 공간구조에 의해서 가장 큰 영향을 받게 됨을 입증

또한 도시에서의 인간의 공간이용행태는 공간구조에 내재되어 있는 기회와 제약요소를 최적화해가게 되는데 이를 'Movement economy'라 정의

예를 들어 토지이용의 경우 공간구조상의 가장 중요한 지역에 상업지역이 형성된다는 것은 좋은 예임

또한 사람들의 이동이 많은 것을 요구하는 백화점이나 상점들은 공간구조상 중요한 지역에 위치하게 되고 이러한 결과로 더욱 더 많은 사람들의 행위가 그 지역에서 발생하게 됨

이를 'Multiplier effect'라고 정의

(나) Space Syntax 공간구조모델 구축방법

Space Syntax를 활용하여 공간구조를 분석하기 위해서는 분석대상 공간의 오픈스페이스 체계를 바탕으로 자료를 입력하게 됨

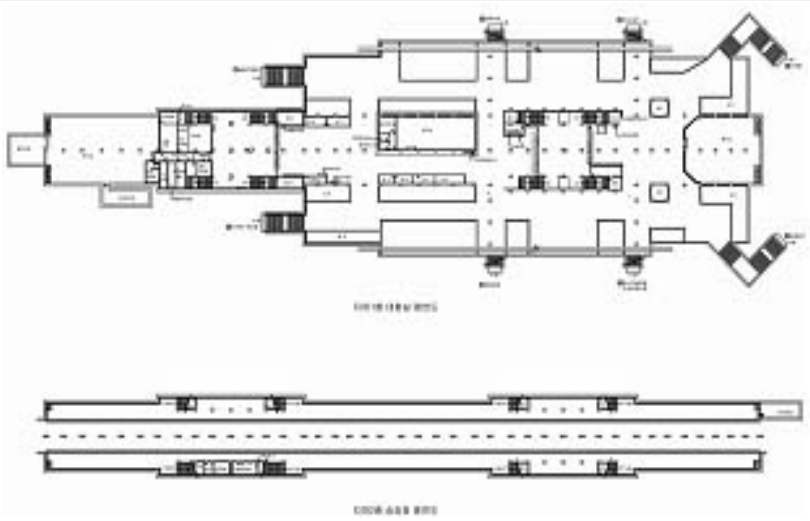
이를 축선도(axial maps)라 하며, 축선도는 건물내부나 혹은 도시공간에 시선과 접근성을 토대로 분석대상 건물 혹은 지역의 모든 공간을 포함하는 직선들로 이루어짐

축선도를 구축하는 과정

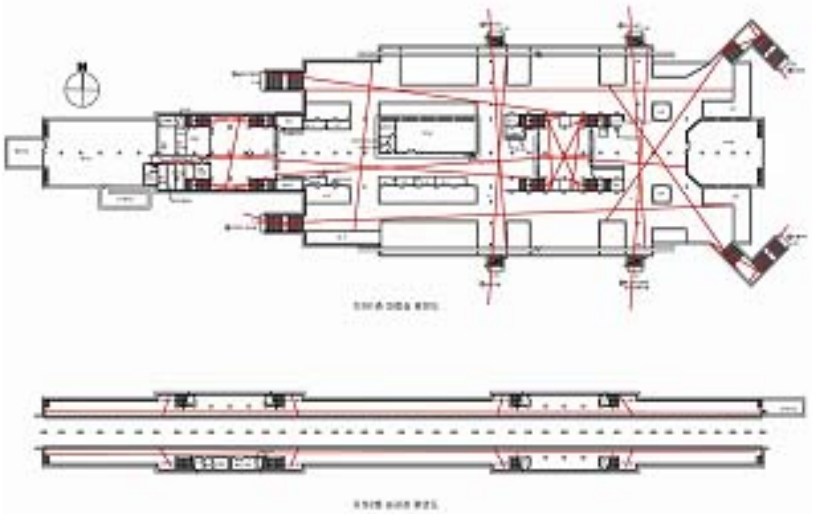
첫째, 분석대상 도시 혹은 건물을 컨벡스공간(convex space)으로 분절하며 Convex 공간은 단위공간으로서 그 공간 경계의 모든 지점에서 접선을 그렸을 때 그 내부를 통과하는 단 하나의 접선도 발생하지 않는 공간을 말함(그림3-1a와 그림3-1b)

둘째, 축선도를 그리며, 이때 축선도는 위에서 그린 모든 Convex 공간을 포함하는 최소한의 개수의 최대한 긴 직선들로 구성되고, 이 축선도는 Convex 공간을 바탕으로 그려지며 접근성을 의미하는 동적인 개념을 내포함(그림 3-1c)

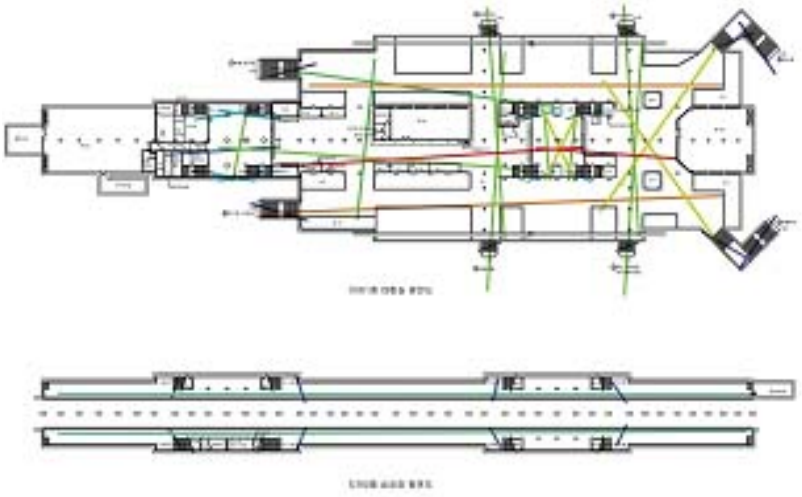
셋째 축선도가 완성되면 공간구조 특성을 Space Syntax 프로그램인 액스맨(Axman)을 활용하여 계산



(a) 철도역사의 평면도



(b) 철도역사의 축선도



(c) 철도역사의 축선도 분석 결과

<그림3-1> Axial maps(축선도) 작성과정

(다) 기본용어 및 프로그램

① 공간구조속성산출

공간구조 특성을 계산하는데 가장 기본적인 개념은 depth(공간깊이)임

공간깊이는 공간형태 개념에서의 거리를 나타내며 일반적인 물리적 거리의 개념과는 다름

즉, 어느 지역의 도로망에 대한 축선도를 작성하였다고 가정할 경우, 기점과 종점이 주어지면 기점에서 종점을 가기위해 축선도상에서 거치게 되는 축선의 수를 depth라 칭함

인접한 공간간의 공간깊이는 1이고 하나의 공간에서 다른 공간으로 갈 때 그 공간 에 하나의 공간이 존재하면공간깊이는 2가 됨

이러한 방법으로 공간깊이는 공간배치구조에 따라 그 값이 결정

예를 들면, 특정 축선(도로)의 공간깊이가 얕다는 것은 그 축선(도로)이 분석대상 범위내의 모든 축선(도로)으로의 접근성이 높다는 것을 의미하고, 반대로 축선의 공간깊이가 크다는 것은 다른 축선으로의 접근성이 낮다는 것을 의미함

전체 공간에서 특정 공간의 특성을 계산하기 위해서는 분석대상물의 평균 공간깊이를 먼저 계산함

즉, 그 해당 공간으로부터 모든 공간들로의 공간깊이를 계산한다. 다음에는, 이 값들을 합산하여 측정대상공간을 제외한 나머지 공간의 수로 나눔

$$RA = 2(MD-1)/k-2 \quad \cdots \quad (1)$$

(단, RA : 상대적 비대칭성, MD : 공간의 평균 깊이,
k : 분석대상 공간의 총 축선수)

그러나 실제적으로 RA 값은 분석대상 공간의 총 개수에 영향을 받게 되므로 이러한 영향을 배제하기 위하여 RRA(실질적 상대적 비대칭성) 개념을 도입함

RRA는 이론적인 다이아몬드형태를 가정하여 산출한 RA와 같은 개수의 공간에 대한 보정치인 RA(D)로 나누어서 그 값을 산출

$$RRA = RA / RA(D) \quad \cdots \quad (2)$$

위에서 산출되는 RRA의 역수를 Integration(통합도)이라 정의

이 값을 일반적으로 Global integration(전체통합도)이라 정의

위 과정을 거쳐 각 축선의 통합도가 계산되면 통합도가 큰 축선은 빨간색으로 낮은 축선은 파란색으로 크기의 순서에 따라 주황, 노랑, 초록 등 무지개 스펙트럼의 기준으로 표시하는데 이를 Space Syntax 모델이라 칭함

② 기본용어

- Global Integration(전체통합도)

전체통합도는 분석대상 범위내의 축선도에 표현된 모든 축선(공간)들을 기점과 종점으로 가정했을 때, 즉 특정한 축선에서 다른 모든 축선으로의 공간깊이를 기준으로 계산한 통합도임

따라서 특정 공간의 전체통합도가 크다는 것은 다른 모든 공간으로의 접근성이 크다는 것을 의미하고 반대로 전체통합도가 낮은 공간은 다른 모든 공간으로의 접근성이 낮음을 의미함

Space Syntax 모델에서 특정 공간의 통합도가 크다는 것은 분석대상 전체지역 내에서 해당 공간의 접근성이 양호하다는 것을 의미

또한 특정지역의 평균 통합성이 크다는 것은 그 지역의 공간들이 서로 통합되어 있는 성질이 크다는 것을 나타냄

기존의 연구결과에 의하면 전체통합도는 토지이용패턴, 자동차 통행량, 지가, 도시 전체의 인지도, 범죄율, 상권 등 도시의 전체적인 공간구조와 관련성이 있는 현상들과 밀접한 관련이 있는 것으로 밝혀짐

- Local Integration(국부통합도)

국부적인 공간특성을 나타내는 것으로 각 공간으로부터 몇 개의 공간깊이까지만 고려하여 통합도를 계산

일반적으로 해당공간을 중심으로 3개의 공간까지 만을 고려하나, 도시의 특성 또는 연구대상 등에 따라 국부통합도 계산을 위한 depth의 크기를 조정함

즉, 국부통합도는 해당 분석공간을 중심으로 몇 개의 공간들만을 고려한 국부적인 공간구조 특성을 보여줌

기존의 연구결과에 의하면 국부통합도는 보행량, 범죄율, 상권의 형성, 공간의 인

지도 등 국부적인 공간구조와 관련성이 있는 현상과 밀접한 관계가 있음이 밝혀짐[2)]

- Connectivity(연결도) 및 Control(통제도)

연결도(Connectivity) 및 통제도(Control)는 공간의 국부적인 특성을 보여줌
연결도는 한 축선에서 직접 연결되는 축선의 수를 나타내는 것으로 공간의 연결정도를 나타냄

통제도는 위에서 설명한 공간의 연결도와 관련된 개념으로 한 공간에 인접된 주변 공간들에 대한 그 공간의 통제정도를 말하며, 한 공간이 n개의 공간과 직접 연결되어 있으면 각 공간에 대한 통제도는 1/n 임

- Intelligibility (공간구조명료도)

공간의 지역적인 특성인 통제도 혹은 국부통합도와 공간의 전체적인 특성인 전체통합도와의 상호관련성을 나타내는 것

공간구조명료도는 분석대상범위 전체에 대한 성질과 특정 지역의 특성을 파악하는 중요 지표

일반적으로 위 두인자간의 상관관계에 따른 회귀선(regression line)이 45° 정도 이상이고 각 공간을 표시하는 점들이 조밀하게 구성되어 있는 경우에 공간구조명료도가 크다고 정의하고, 공간구조의 전체적 특성과 특정지역간의 상호관련성이 크다는 것을 의미하며 이러한 경우 공간구조명료도가 크다고 분석

공간구조명료도는 결정계수(R^2)로 나타내어지며, 0에서 1의 범위를 가짐. 일반적으로 결정계수가 0.3에서 0.5면 공간구조가 비교적 명료하며, 05 이상이면 공간구조가 매우 명료하다고 할 수 있음

기존의 연구결과에 의하면 공간구조명료도가 큰 지역일수록 그 지역 전체에 대한 공간인지도가 높고 공간구조 및 공간이용패턴이 체계적이며 동시에 예측률이 높음

예를 들면, 서울의 경우 명동, 인사동 등 지역의 정체성이 높은 지역 혹은 상권이 형성되어 인지도가 높은 지역 등이 공간구조명료도가 매우 높게 나타남

---

2) Hillier외 다수, 1992; Kim, 2001

(라) Space Syntax 프로그램

Space Syntax 관련 프로그램에는 건축물 내부 혹은 도시공간을 분석하기 위한 Axman, Depthmap, Pesh 등 여러 가지가 있음

① Axman

Axman은 도시와 건축물의 공간구조를 분석하는 도구임

Axman은 맥킨토시 운영체계 OS 7.0 이상에서 실행됨

사용언어는 GUI Library를 사용하는 MacApp에서 제작되었으며 MPW 환경에서 Pascal을 사용하여 최초로 제작

Axman은 기본적으로 통계프로그램 및 그래픽 기능이 일체형으로 되어 있어 자료분석 결과를 Axman 내부에서 통계분석을 하고 그 결과를 그래픽화하여 보기 쉽게 표현

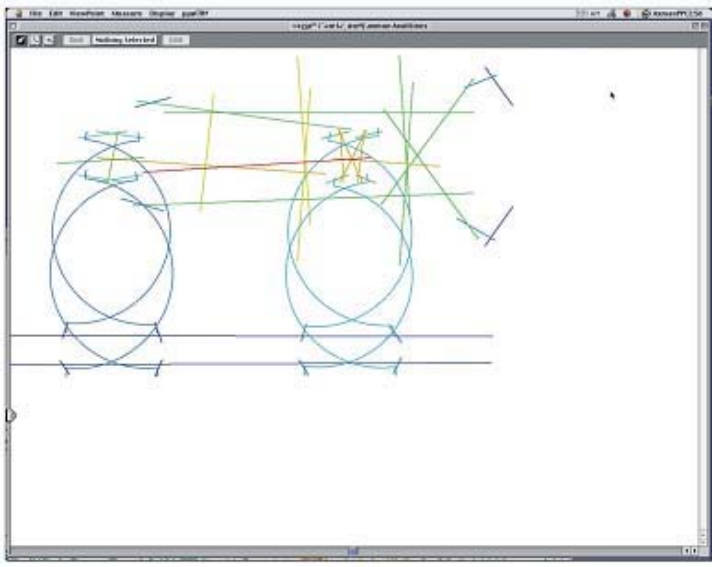
<그림 3-2>는 Axman 프로그램에서 축선도를 구축하는 방법을 보여주며, <그림 3-3>은 구축된 축선도를 위 프로그램을 활용하여 분석한 결과를 보여줌

그림에서와 같이 통합도에 따라 빨간색부터 무지개 스펙트럼을 따라서 보라색까지 축선의 속성이 표현되어 있음

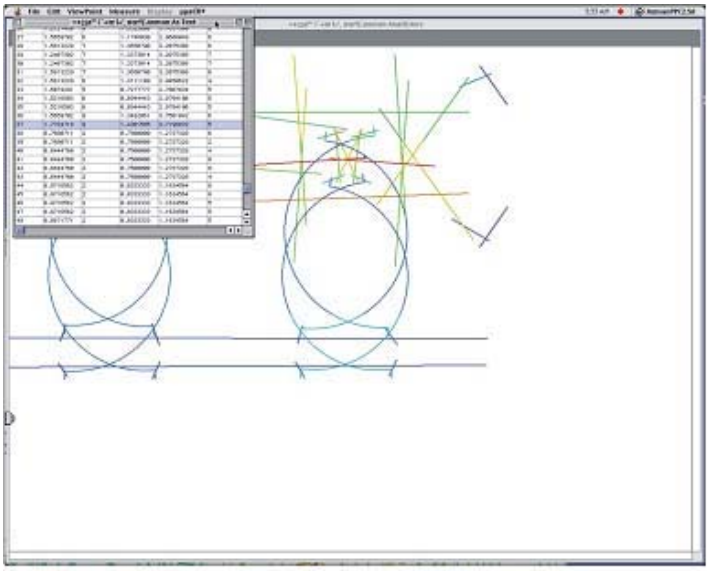
빨간색에 가까울수록 통합성이 크고 보라색에 가까울수록 그 반대의 경우가 됨

<그림 3-4>는 각 축선에 대한 속성을 보여주는 속성값 표를 보여줌

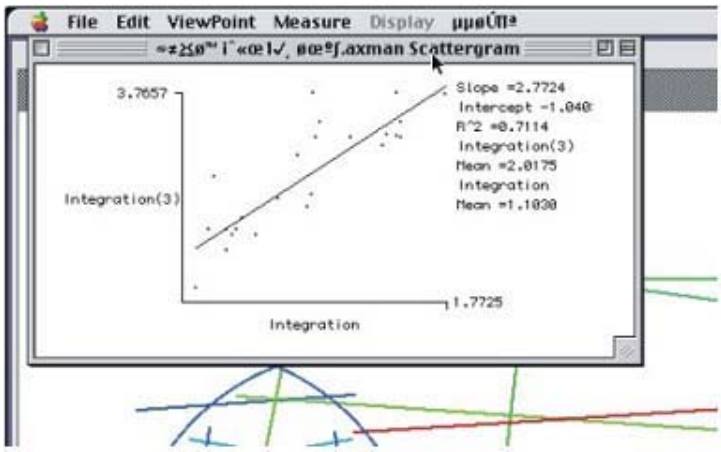
<그림 3-5>는 통계프로그램과 일체화 되어있는 Axman의 기능을 활용하여 특정지역을 분석하는 사례를 보여주고 있음



<그림3-2> Axman에서 자료 입력 과정



<그림3-3> Space Syntax 모델 : 공간구조 분석결과

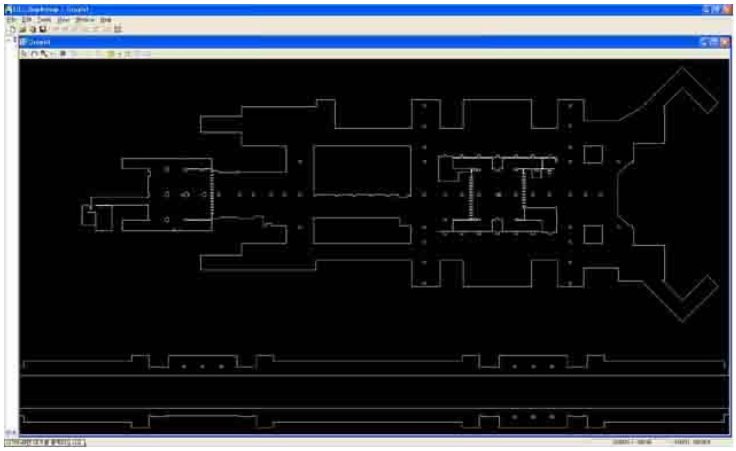


<그림 3-4> Space Syntax 모델의 통계적 분석>

② Depthmap 프로그램 운용 방법

가장 기본이 되는 그래프 구축을 위하여, 각 지점에 대한 가시성 그래프를 가지고 인접 매트릭스를 다시 계산하고, 그 지점에서 그래프의 edge가 vertex(상호 가시적인 지점들을 표현함)들을 연결한다. Turner는 그런 그래프들에서 실행되는 표본 측정을 통해 여러 개의 그래프 매트릭스를 이용함으로서 그 매트릭스는 Space Syntax에 사용되는 기술들의 조합을 가져와져 적용하게 된다[3].

위의 그래프를 근거로 가시성 그래프 만들기 위해 Depthmap 프로그램에서, 'File' 메뉴에서 새로운 그래프 파일을 생성한다. 그 다음 Auto Desk에서 그려진 도면을 dxf file로 변환하여 불러온다.





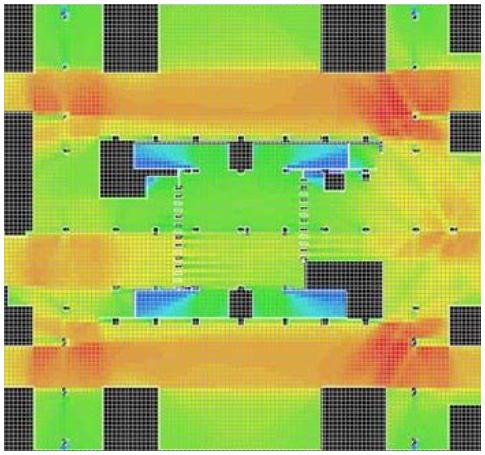
3) Watts와 Strogarz (1998)에 의해 small-worlds networks 분석에서 사용되었던 것임

각 지점들의 그리드 만들기는 'File' 메뉴에서 tool을 선택하고 open 공간에 작은 포인트를 클릭 한 후, 선택된 그리드 공간에 대한 옵션이 주어진다. 그 그리드는 알고리즘을 채운 간단한 흐름을 사용한 작은 포인트들로 채워지며, 사용되는 지점들은 직선으로 둘러싸인 그리드에서 한정된다.

최종적 그래프 만들기는 'Tool' 메뉴에서 'Make Graph' 옵션을 선택, 그 프로그램은 순차적으로, 다른 그리드로부터 보여 지는 모든 지점들을 찾는다. 서로 다른 위치를 고려하면서 각 지점에 대한 vertex들이 그래프에 올려진다. 그리고 저장된 가시성 vertex들이 세트에 더해진다. 해당 알고리즘은 현존하는 모든 위치나 vertex들의 세트는 V(G)로 표현된다. 개별적인 vertex의 위치는 vi로 표현된다. 서로 다른 vertex vi를 연결한 세트 V(Ti)로 표현 (vertex's neighbourhood) neighbourhood size는 ki로 표현된다. E(G) 세트는 depthmap에서 실제로 저장되지 않는다. ki는 실제로 계산된다.

등식1 $k_i = |V(\Gamma_i)| = |v_j : \{v_i, v_j\} \in E(G)$

for v_i in $V(G)$
begin
  for v_j in $V(G)$
  begin
    if v_i 'can see' v_j then add v_j to $V(\Gamma_i)$
  end
end



③ 그래프의 측정 및 분석 항목

그래프 분석에는 광역적 측정 (모든 vertex로부터 사용할 수 있는 정보 구축)과 국부적 측정 (서로 다른 vertex의 바로 이웃으로부터 사용할 수 있는 정보 구축)이 있다. 'Tool' 메뉴에서 측정 타입 중에 하나 또는 모두를 선택한 후, dialog box를 가지고 표현한다.

'radius' 박스는 서로 다른 vertex로부터 n-edge 단계로 올라가는 vertex들을 포함하기 해 광역적 측정을 말한다. 광역적 측정 요소로는 depth, point depth entropy 가 있고, 국부적 측정 요소: clustering coefficient, control 이 있다. 옵션은 'View' 메뉴에서 주어지며, 'File' 메뉴에서 txt file로 추출함으로써 통계 패키지인 GIS에서 측정 가능해진다.

다음은 분석 가능한 항목들에 대한 설명이다.

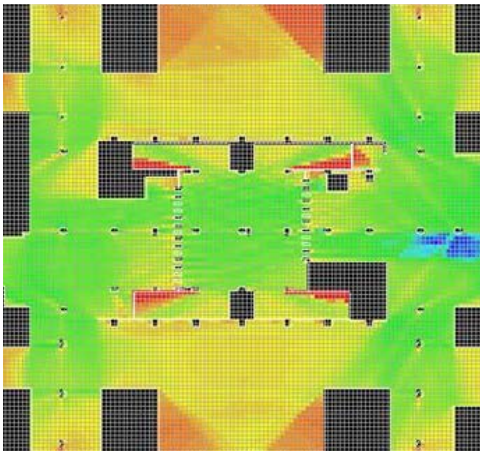
㉮ Clustering Coefficient (집락계수)

- 집락계수는 Watts(1999)에 의해 자세히 설명되어졌다.
- 집락계수의 발생은 small-worlds networks의 분석이다.
- Turner는 환경에서 교차점의 발견으로 집락계수를 알아냈다.
- 가능한 연결되는 수에 대해서 현재 vertex의 이웃에서 실질적으로 연결되는 vertex의 비율

$$\gamma_i = \frac{|E(\Gamma_i)|}{k_i(k_i - 1)}$$

- E(Ti)는 계산되기 전 vi와 ki 이웃에 있는 edge의 세트이다.
- 집락계수는 그래프에 있는 서로 다른 vertex에 대한 알고리즘에 따라서 실행된다.
- 다음 그림은 공간구조 샘플을 집락계수로 계산한 것이다.
- 공간구조에서 교차점들이 선택되어진다.
- 낮은 집락계수의 값은 공간 내에서 새로운 지역이 발견될 수 있는 가능성을 의미한다.
- 공간의 벽이나 계단의 코너의 경우는 높은 값을 나타낸다.

$\gamma_i = 0$
for v_j in $V(\Gamma_i)$
begin
    for v_k in $V(\Gamma_j)$
    begin
        if v_k in $V(\Gamma_i)$ then $\gamma_i = \gamma_i + 1$
    end
end
$\gamma_i = \gamma_i / k_i(k_i - 1)$



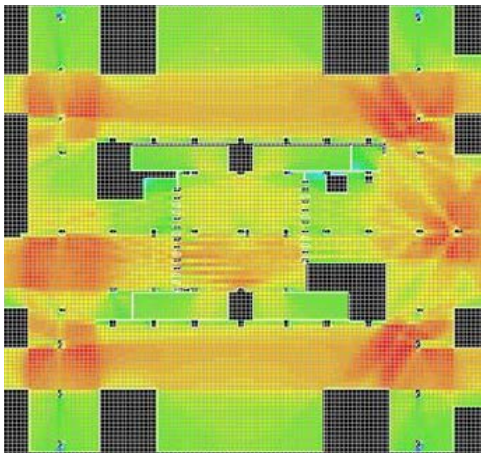
<그림3-5> Clustering Coefficient

㉰ control (컨트롤)

- ci로 불려지며 Hillier와 Hanson(1984)에 발견되었다.
- vertex에 인접하는 neighbourhood size의 역수들을 더함으로써 계산된다.
- 인접한 neighbourhood size의 합을 사용하는 것보다 그들의 인접한 neighbourhood들의 결합 size를 사용하는 것이 실질적이다.

$$c_i = \sum_{v_j \in V(\Gamma_i)} \frac{1}{k_j}$$

$c_i = 0$
for v_j in $V(\Gamma_i)$
begin
    $c_i = c_i + 1/k_j$
end



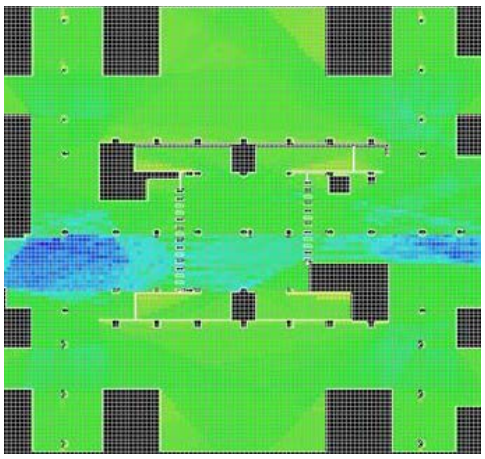
<그림3-6> control

㉰ Mean Depth

- 하나의 vertex로부터 mean depth 길이 Li
- Li: 어떤 vertex로부터 다른 vertex로 가는 가장 짧은 경로를 사용하는 그래프에서 어떤 vertex로 도달하기 위한 edge 단계들의 평균이다.
- Space Syntax Theory (Hillier 1993)에 있는 통합도의 사용과 비슷하다.
- point depth들의 세트를 구축함으로써 Li를 계산한다.
- 세트 P에 depth들과 정돈된 vertex 한 쌍을 추가함으로써,
  vertex로부터 시스템에 있는 모든 vertex에 대한 point depth를 얻는다.
- 세트 한 쌍 {v1,*}처럼 별표는 예측할 수 없는 요인을 적절한 작업으로 보여준다.
- 이 측정은 axial로 나타나는 전통적인 Space Syntax 방법을 적용하기에 어려운 건물 환경 내에서, 사람들의 움직임을 이해하는데 유용하다.
- 그러나, 도시환경에서 한 위치에서 다른 위치로 가는 수를 측정하는데 있어서, axial integration이 더 빠르게 접근한다.

$$s_i = \sum_{d=1}^{d_{\max}} -p_d \log p_d$$

$P_i = \{v_i, 0\}$
$n = 0$
for $\{v_j, n\}$ in P_i
begin
  for v_k in $V(\Gamma_j)$
  begin
    if $\{v_k, *\}$ not in P then add $\{v_k, n+1\}$ to P_i
  end
  if finished $\{*, n\}$ then $n = n + 1$
end



<그림3-7> Mean Depth

㉲ Point Depth Entropy

- point depth 세트는 Pi로 표현한다.
- 지점의 point depth '흐름 entropy'가 있는 측정과 같은 Si
- Shannon의 불확실성 법칙 사용을 표현한다.
- 많은 장소에서 발생하는 entropy는 정보과학을 포함하고 Hillier(1998)이 Space Syntax에서 제안하였다.
- dmax는 vertex vi에서 가장 큰 depth이고,
  pd는 vertex에서 point depth *d*의 빈도이다.
- point depth entropy는 한 지점에서 보여지는 방법이다.
- 예, 출입구가 주도로에 접해있다면 그 출입구의 시야 지점에서 point depth는 현저한 혼란이 예상된다.
- 한 지점의 정보는 서로 다른 depth 지역들에서 예상되는 빈도를 고려하여 빈도가 계산된다.
- 그 빈도는 사건 발생 비율(j-graph의 조각)을 기초로 하며,
  j-graph에서 변하기 쉬운 mean depth에 대한 이점으로 Poisson 분배를 사용한다.
- Hillier에 의해 사용된 entropy와 비슷하다.
- open 지역:

- axial integration
  시스템이 크기가 없기 때문에 그 라인들의 값에 가중치를 두지 않는다.
  즉, 그 지역을 통과하지 않고 연결들에 의해 오직 그 값에 가중치를 둔다.
- VGA integration distance times area의 의미에 가깝다. 위상적인 측정을 함으로써 그 지역에 의존하는 것을 제거한다.

$$r_i = \sum_{d=1}^{d_{\max}} p_d \log \frac{p_d}{q_d} \quad \text{where} \quad q_d = \frac{{L_i}^d}{d!} e^{-L_i}$$

$s_i = 0$

$d_{\max} = 0$

for $\{*, n\}$ in P_i

begin

if $n > d_{\max}$ then $d_{\max} = n$

end

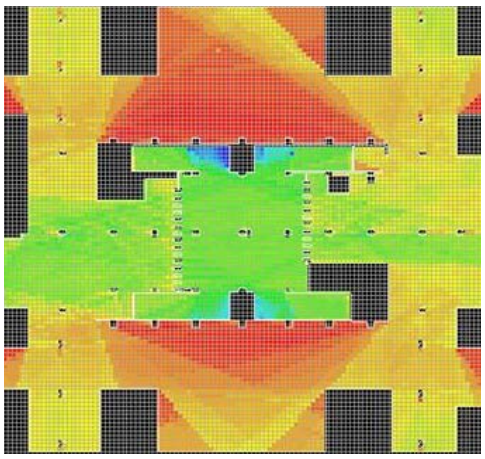
for n in 1 to $d_{\max}$

begin

$p = \text{count}(\{*, n\}) \ / |P_i|$

$s_i = s_i - p \log p$

end



<그림3-8> point depth entropy

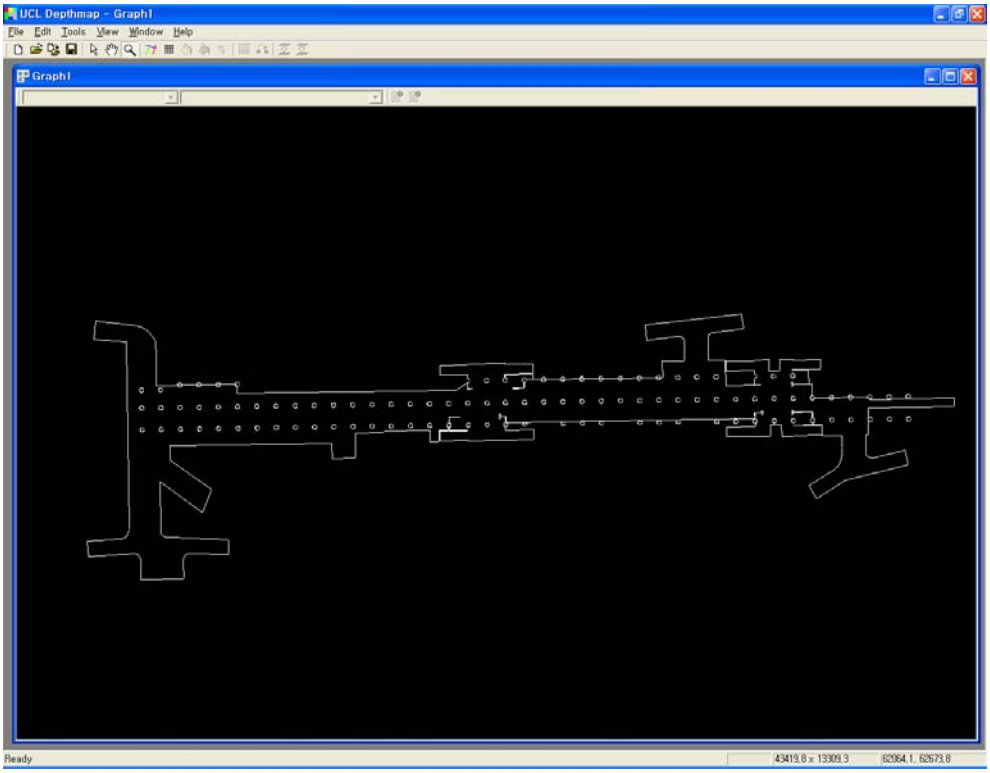
Depthmap은 도시와 건축물의 공간구조를 분석하는 도구임

Depthmap은 공간의 평면을 일정크기의 Cell단위로 나누어 공간구조 속성을 도출함

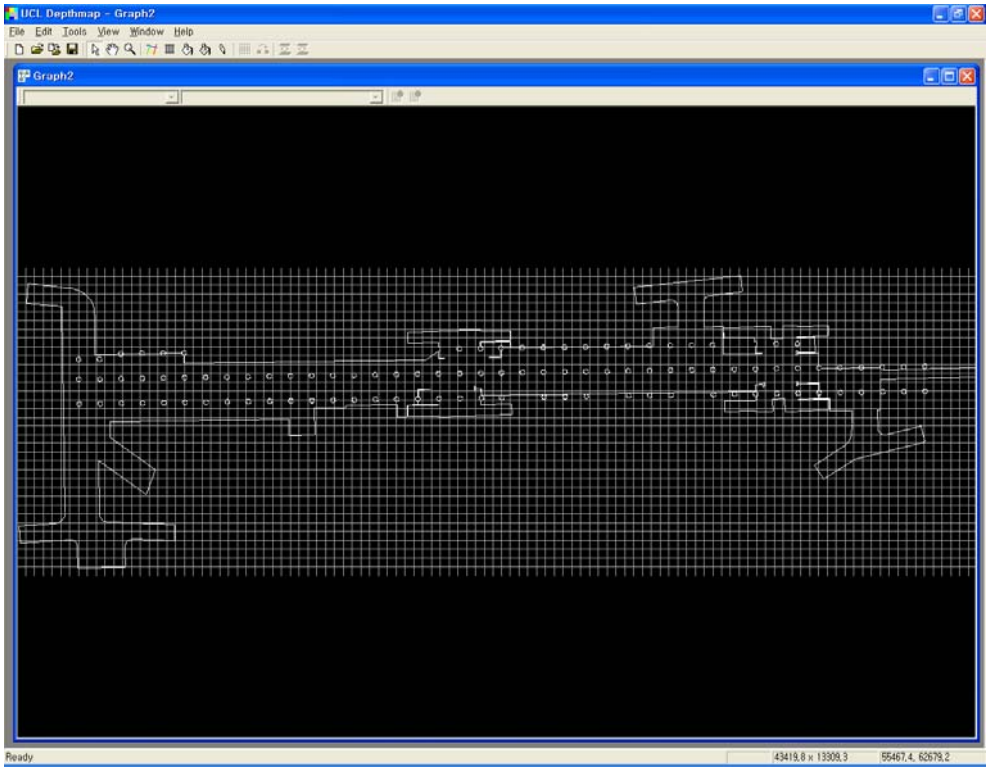
Depthmap은 Axman과 달리 Window 운영체계에서 실행됨

Depthmap은 *.dxf 2000버전의 파일 불러오기 기능이 있어 사용자에게 편리한 작업 환경을 제공함

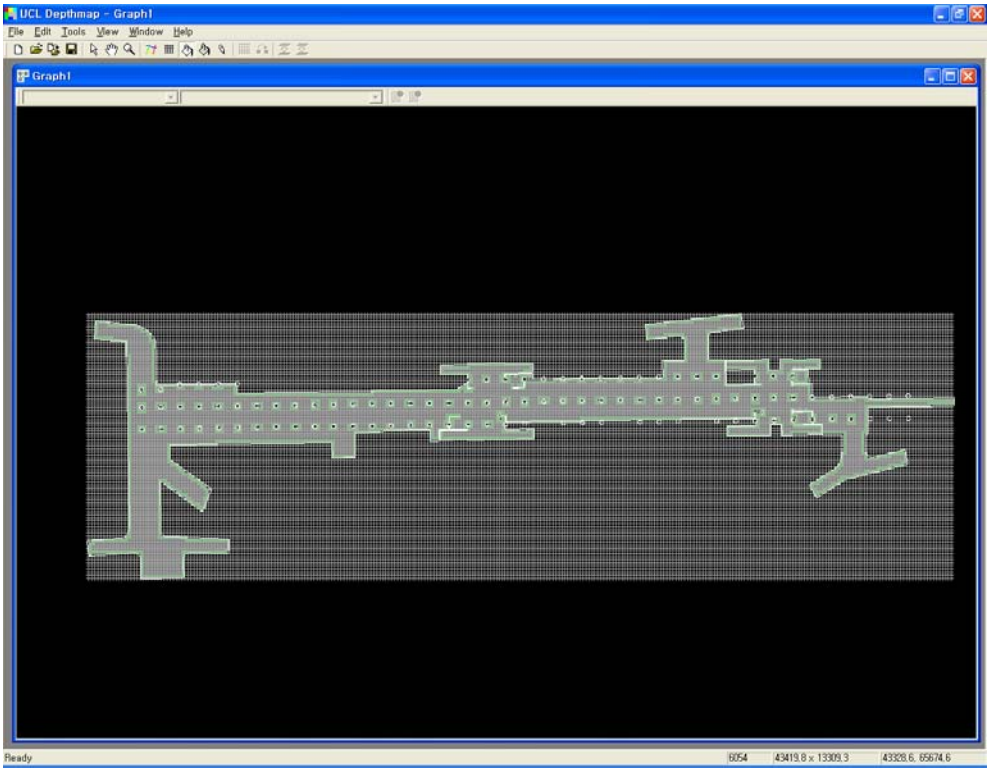
Depthmap은 기본적으로 그래픽 기능은 있지만 공간구조 속성에 관한 데이터의 통계처리 기능은 포함하지 않고 있어 자세한 공간구조 속성은 GIS프로그램인 Arcview에서 확인할 수 있음



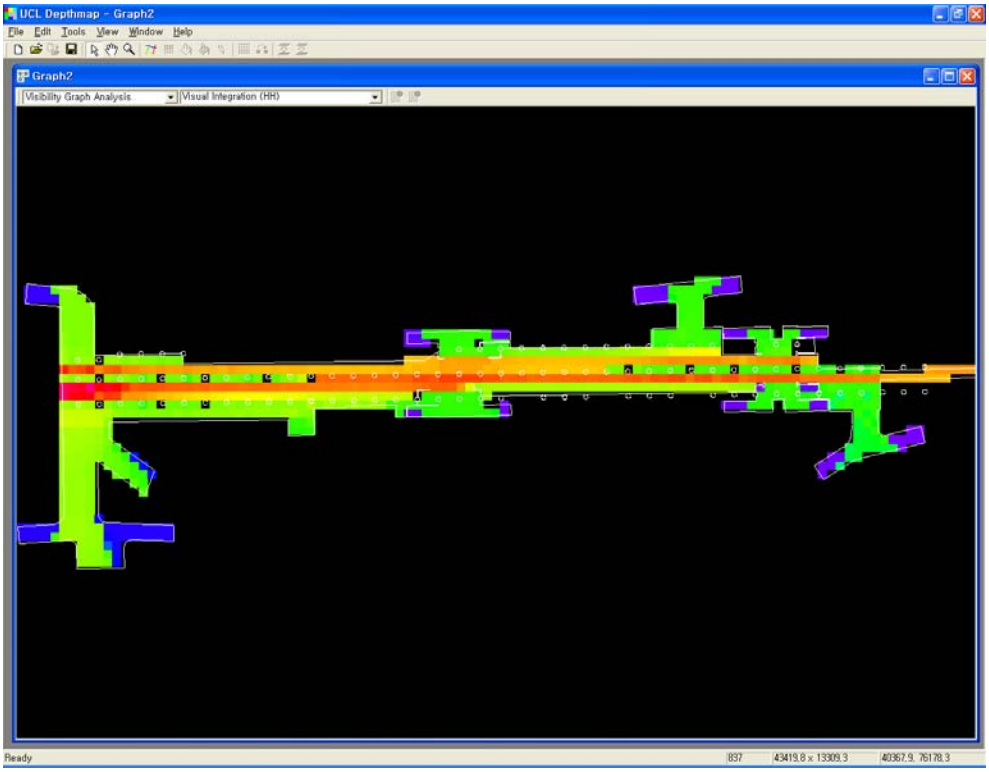
<그림3-9> Depthmap에서 분석할 CAD파일 불러오기



<그림3-10> 분석할 CAD평면의 분석할 단위공간(Cell)의 크기 지정



<그림3-11> Depthmap으로 분석할 범위 설정



<그림3-12> Depthmap 프로그램에 의한 Cell단위 공간 분석 결과

(3) Space Syntax 분석기법의 연구사례

(가) 길찾기

최윤경, 민병호(1998)은 공간구조와 학습이 길찾기에 미치는 영향에 관한 연구에서 공간구조의 특성을 Space Syntax를 활용하여 공간구조 속성(통합도, 연결도, 통제도)을 나타내고, 사례대상지에서 피실험자를 정하여 경로추적조사(itinerary tracking) 방식으로 공간표현도수를 나타내고 학습에 따라 어떠한 공간구조 속성에 영향을 받는지 상관관계를 분석하였다. 분석 결과 사전 지식이 없는 공간에서 피실험자들은 통합도(Integration)에 의한 영향을 많이 받는 것으로 나타났다.

안은희, 이경훈(2002)은 의류상가 쇼핑환경에서 길찾기의 정도와 매출이익간의 관계에 관한 연구에서 대상건물의 공간특성을 파악하기 위해 Space Syntax 이론을 활용하여 볼록공간도(convex map)을 이용한 분석방식을 사용하였고, 의류 상가를 사례대상지로 정하고 각 의류상가가 가지는 통합도(Integration)에 따라 길찾기의 난이도를 정하여 만족도와 지출비용 구매율등의 상관관계를 분석하였다.

안은희, 강석진(2004)은 대규모 지하 상업공간에서의 보행자의 움직임과 경로선택 특성에 관한 연구에서 Space Syntax를 활용하여 공간구조 속성(전체통합도, 연결도, 통제도, 국부통합도)과 보행자 분포와의 상관관계를 연구하고, 연구결과 정적분포는 국부통합도와 가장 높은 상관관계를 나타냄 (R : 0.611)

김도현, 김영욱(2005)은 대규모 복합 상업공간에서 공간구조 해석 방법에 따른 보행자 움직임의 특성연구에서 Space Syntax에 의한 공간구조 해석 방법에 따라 보행자 통행량과의 상관관계를 분석하였고, 보행자 통행량과 Total Depth와의 상관관계가 0.774로 나타나 가장 높은 상관관계를 나타냈으며 국부통합도와의 상관관계가 0.744로 다음으로 높은 상관관계를 나타냈다.

국내연구에서 길찾기에서 Space Syntax를 활용한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 사전지식이 없이 공간을 처음 방문한 사람들은 통합도에 의한 영향이 큼
- 지하공간의 보행자 통행량은 Total Depth와 국부통합도와의 상관성이 높음

(나) 공간인식

김영욱(2003)은 Space Syntax를 활용한 공간구조속성과 공간사용패턴의 상호관련성 연구에서 공간구조에서 나타나는 공간구조속성을 Space Syntax를 활용하여 연구하였다. 이 연구에서는 인사동지역을 사례대상지로 정하고 관찰시간을 첨두시간

(12:00-14:00)과 비 첨두시간(08:00-12:00,14:00-19:00)으로 나누어 진행하였고, 공간구조 속성(Global Integration, Local Integration)과 통행량(자동차, 보행자)의 상관관계를 분석하였다. 분석결과 보행자 통행량은 첨두시간에 Local Integration과의 상관성이 0.650, 비 첨두시간에 Lcoal Integration과의 상관성이 0.738로 보행자 통행량은 Local Integration과의 높은 상관성을 나타내었다.

윤용우(2005)는 물리적인 거리와 공간깊이가 공간인식에 미치는 영향에 관한 연구에서 사람의 공간인식에 영향을 미치는 영향을 Space Syntax를 활용하여 연구하였는데, 연세대 캠퍼스를 사례대상지로 정한 이 연구에서 공간인식과 물리적인 거리(Distance)와의 상관관계가 0.726, 공간인식 표현도수와 공간깊이(Depth)와의 상관관계가(R) 0.850으로 분석되었다. 공간인식에 있어 물리적인 거리(Distance)와 공간깊이(Depth) 모두 다 높은 상관관계가 나타내었고, 공간인식에 있어 물리적인 거리(Distance)보다 공간깊이(Depth)에 의한 영향이 더 높음을 밝혔다.

3. 연구 개발 수행 내용과 결과

가. 통합 시스템 개발을 위한 지원 연구

본 연구는 철도 역사에서의 여객 유동 해석 프로그램인 통합 시스템 개발을 목표로 하고 있으며, 이를 위해서 각 전문 분야의 연구지원을 필요로 하며, 본 절에서는 그 중 공간을 정량적으로 분석하는 Space Syntax 이론을 고찰하고, 본 프로그램에 효과적으로 적용하기 위해 관련 이론을 적절히 재해석함으로써 통합 시스템 개발을 위한 통합성을 확보한다.

(1) 통합 시스템 개발을 위한 해당 부분 이론 재고찰

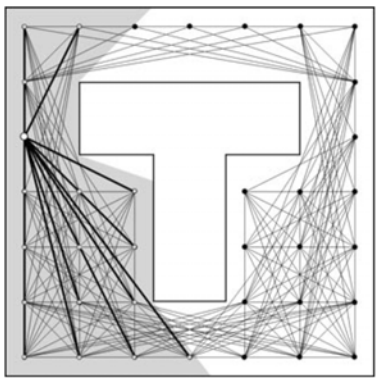
(가) Visibility Graph Analysis (VGA) 고찰

① 개념적 고찰

공간의 시각적 속성에 기반한 분석기법을 나타내는 이론 중 가시성 그래프 분석기법(Visible Graph Analysis; 이하VGA)은 Tandy (1967)에 의해 시작된 가시영역(Isovist)이론에 기반 한다. Tandy가 처음으로 가시영역의 언어를 사용하였지만, 베네딕트(M.Benedict)가 최초로 가시영역 이론을 통해 건축환경을 정량적인 방법으로 연구하였다<그림3-1>. 그러나 Turner(2001)는 가시영역의 이론의 한계를 다음과 같이 지적한다. 가시영역이론에 의한 공간속성 값의 도출 과정에서, 한 지점에서 가시영역권 내에 들어오지 않은 공간은 분석에서 제외돼 공간의 연속적인 연계성 관점에서 보면 이러한 공간의 영향력을 분석하는 것은 불가능하다. 즉 한 지점에서 보이는 공간만을 분석 대상으로 정하기 때문에 한 지점과 보이지 않는 공간간의 관계를 파악 할 수 없다<그림3-13>. 따라서 전체 공간에서 한 공간의 특징을 분석하지 못하는 한계를 지닌다.[4] Turner는 이와 같은 한계점을 극복하기 위해 Space Syntax 이론에 사용된 Depth의 개념을 도입해 가시성 그래프를 시각적 공간깊이(visible depth)개념으로 치환해 VGA방법을 만들었다. VGA방법은 현 공간과 보이지 않는 공간간의 관계를 Depth에 의해 결정하기 때문에 분석 대상 공간 전체에 대한 한 공간의 접근성과 공간구조 속성을 알 수 있다. VGA는 공간을 일정크기의 격자로 나누어 격자의 중심점이 노드가 되고 이 노드에서 시각적인 연결

4) Alasdair Turner, Maria Doxa, David O'Sullivan, Alan Penn, From isovists to visibility graphs; methodology for the analysis of architectural space, Environment and Planning B: Planning and Design volume 28, p.p 103~104, 2001

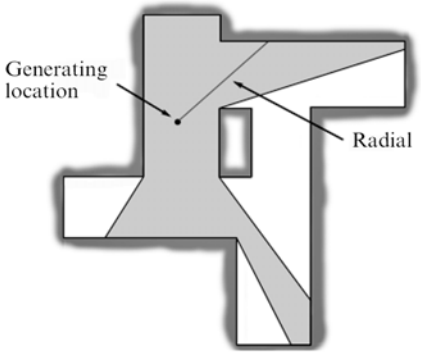
이 이루어진 노드를 링크로 설정한 그래프를 사용한다. 격자(cell)의 크기는 연구자가 임의로 선택할 수 있다.<그림3-14>



<그림3-13>

VGA분석방법에의한 노드와

링크[Turner; Ibid, p.108]



<그림3-14>

가시영역이론에 의한 가시권분석의

예[Turner; Ibid, p.104]

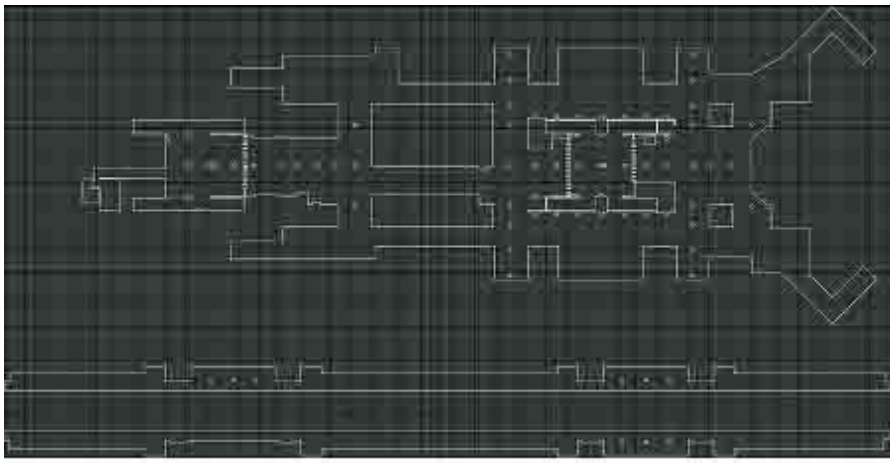
Visibility Graph Analysis는 건물의 환경을 분석하기 위한 것으로 1980년 Braaksma 와 Cook에 의해 최초로 시작되었다. 이는 평면상의 각 공간들이 서로 시각적으로 어떤 관계에 있는지를 측정하기 위함이었다. Visibility Graph 는 길찾기나 움직임, 집이나 건물 안의 공간사용과 같은 공간인식의 징후를 해석하는 실마리를 제공하며 'Depthmap'이라는 프로그램을 통하여 그래픽 분석을 한다. 이러한

그래픽에 의한 분석은 광역적 측정(Global Measure)과 국부적 측정(Local Measures)으로 나누어진다.[5)]

(나) 통합 시스템 개발을 위한 Depthmap 의 유용성과 활용방안 연구

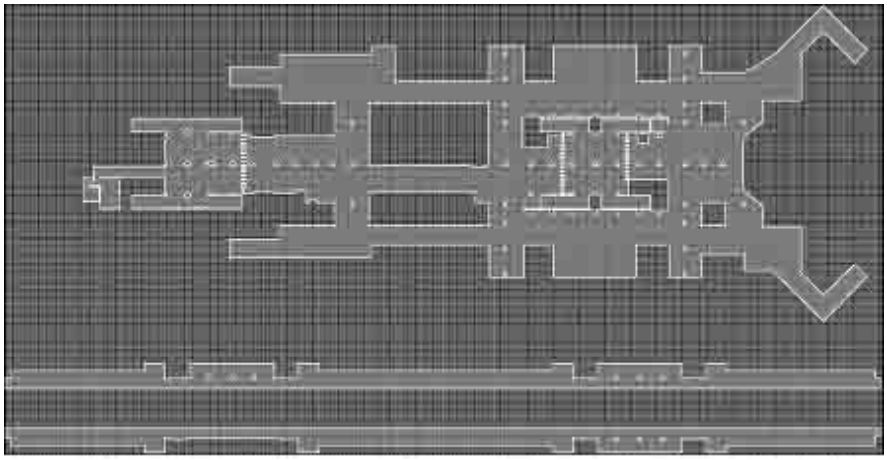
공간구문론(Space Syntax)은 공간을 정량적으로 분석하는 다양한 기법들을 가지고 있다. 이중 본 연구에서 컴퓨터를 기반으로 하는 CA, DEM 과의 통합을 위하여 자동화가 가능한 Depthmap을 본 연구에 사용하고자 전년도 연구내용으로 검토하였다. 즉, depthmap은 도시와 건축물의 공간구조를 분석하는 도구로써, 공간의 형면을 일정크기의 cell로 나누어 공간구조의 속성을 도출함으로써 CA를 기본으로 하는 타 이론과의 적용에 유리할 뿐 아니라, 기존 공간구문론 분석 도구인 Axman이 Mac에서 운용되었던 것과 달리 Window 체계상에서 운영됨으로서 상대적으로 더 많은 범용성을 확보한다.

그러나 이러한 적용상의 이점에도 불구하고, 전년도 연구 과정에서 depthmap은 단일레벨에서의 공간만을 분석하는 한계를 드러냈다. 즉 지하 몇 개의 층으로 이루어진 지하 역사의 분석을 위해서는 계단이나 승강기 등으로 연결된 수직 연결 공간을 동시에 분석할 수 있는 있어야 하는데, 현재 개발 진행 중인 depthmap으로 분석 가능한 공간이 단일층에 한정되는 문제점을 개선하였다.

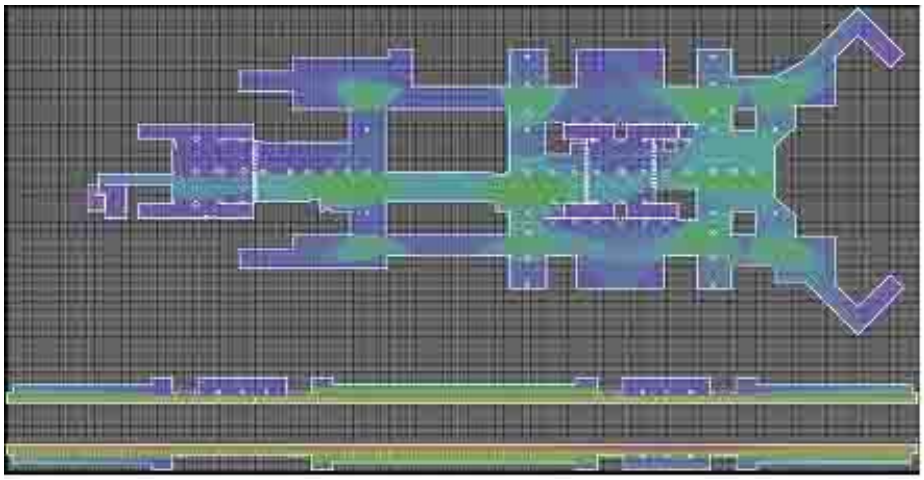


<그림3-15> 분석할 CAD평면의 분석할 단위공간(Cell)의 크기 지정

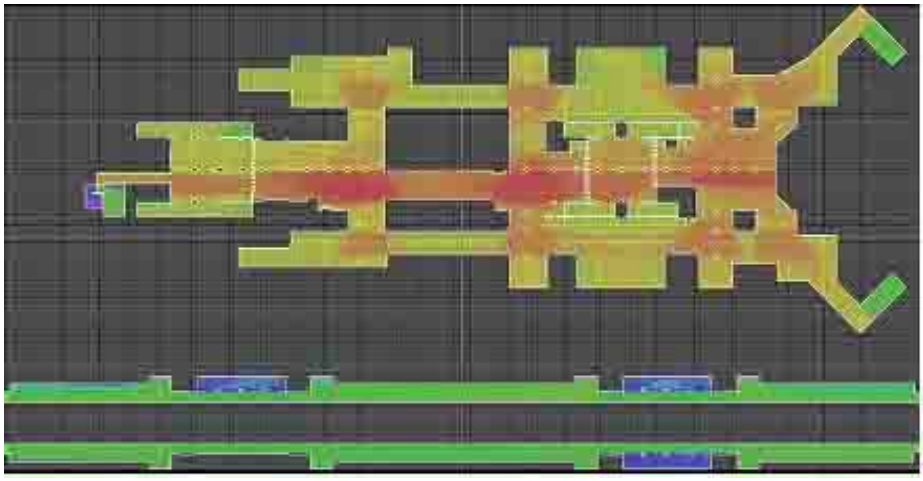
3) 김도현, 김영욱, 대규모 복합상업공간에서 공간구조 해석 방법에 따른 보행자의 움직임의 특성, 대한건축학회 학술발표대회논문집 제25권 제1호, 2005.10



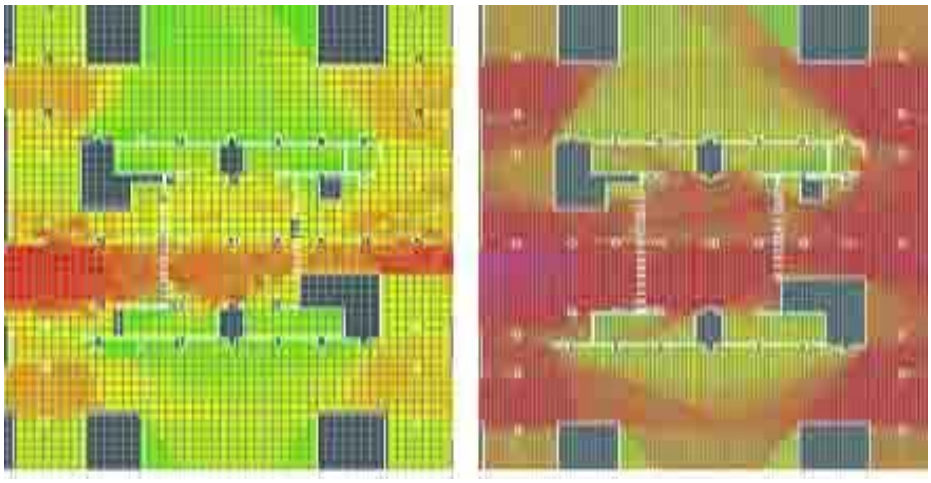
<그림3-16> Depthmap으로 분석할 범위 설정



<그림3-17> Depthmap 프로그램에 의한 Cell단위 공간 분석



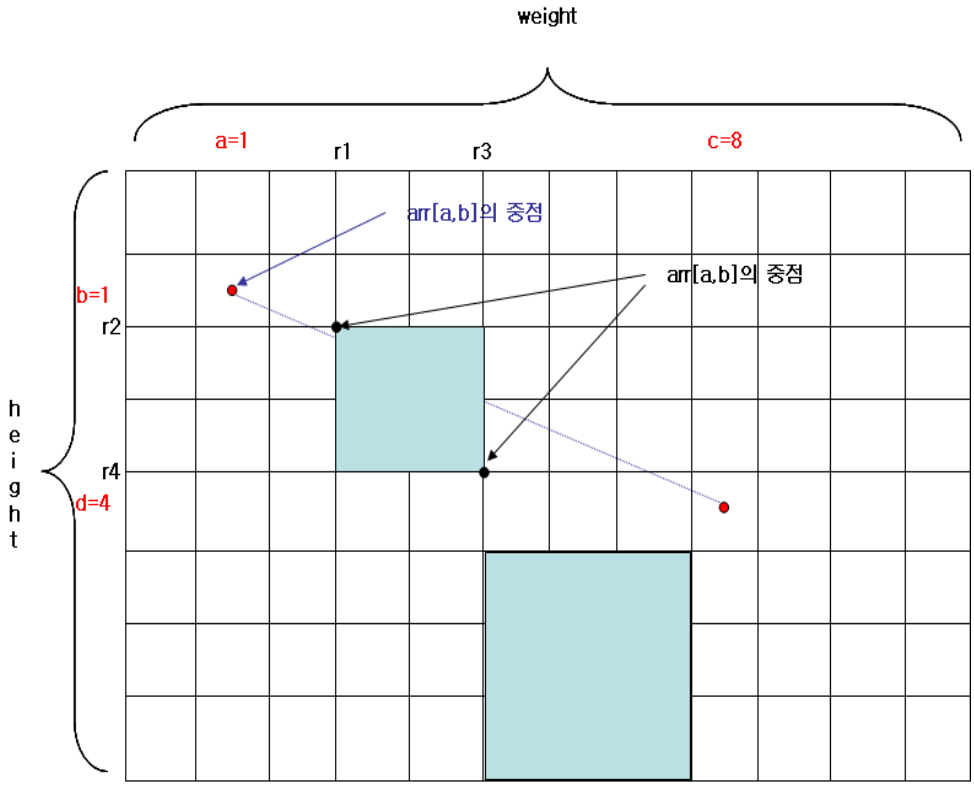
<그림3-18>층간연결후 Depthmap 프로그램에 의한 Cell단위 공간 분석



<그림3-19> cell 크기 조정과정(1000→500)

(2) 통합 시스템 개발을 위한 알고리즘 개발 연구

(가) 통합 시스템 개발을 위한 Isovist 제작 및 적용방안 알고리즘 개발 연구



① 모든 칸(셀)들을 정수형 배열(int arr[width][height])로 저장한다.

② 각 셀들의 중점에 대한 선분을 이었을 때 장애물과 충돌하는지를 체크한다.

```
for(int a=0; a < height; a++) {
    for(int b=0; b <= weight; b++) {
        for( int c=0; c <= height; c++) {
            for(d=0; d <= weight; d++) {
                if(!Collision(a,b,c,d))
                    arr[c][d]++;
            }
        }
    }
}
```

③ bool Collision(int a, int b, int c, int d)

㉮ (a, b), (c, d) 값을 통해 각 셀의 중점을 구할 수 있다.

각 셀의 단위 크기가 10이라고 가정할 때 (a,b)에 위치한 셀의 중점은 tempx=a*10+5, tempy=b*10+5이다.

㉯ 기존에 알고 있는 장애물 객체의 정점 좌표(2개)를 저장한다.

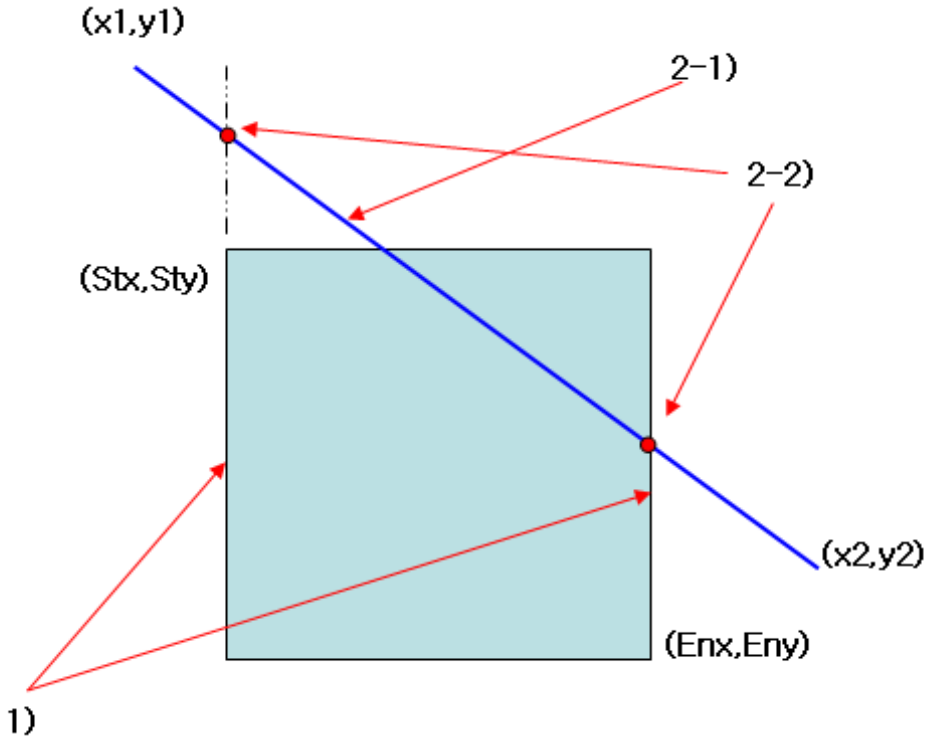
```
struct POINT { int x, int y };
struct RECT { POINT St, POINT St };
RECT rec[20] = {
    { r1, r2, r3, r4 },
    { r1, r2, r3, r4 },
    .  .  .
}
```

㉰ 이 두 중점을 연결한 선이 장애물 개체들과 충돌하는 지를 체크하는 함수가 Collision()함수이다.

```
for(int a=0; a<t; a++) {
    if(CollisionRect(tempx1, tempy1, tempx2, tempy2, rec[i]))
        return true;     // 장애물과 충돌이 일어난 경우
}
return false;    // 장애물들과 충돌이 일어나지 않는 경우
```

④ bool CollisionRect(int x1, int y1, int x2, int y2, RECT rec)

사각형 정보를 가지고 있는 rec(4개의 선분)과 두 개의 정점을 잇는 선분이 충돌하는지를 검사한다. 두 부분으로 나누어 rec에서 두 개의 세로 선분에 대한 충돌체크를 실시하고 다음으로 두 개의 가로 선분에 대한 충돌 체크를 실시한다.



㉮ rec의 두 개의 x값(Stx, Enx) 중에 한 개라도 선분을 이루는 x1, x2 값 사이에 들어 있지 않으면 선분은 장애물과 충돌하지 않는 것을 알 수 있다.

㉯ 만약 Stx, Enx 가 범위 안에 들어오면 들어온 값에 대한 충돌 체크를 알아 바야 한다.

㉯-1 (x1,x2,y1,y2)에 대한 선분의 직선 방정식을 구한다.

y = a*x+b;

a = (y2-y1)/(x2-x1)

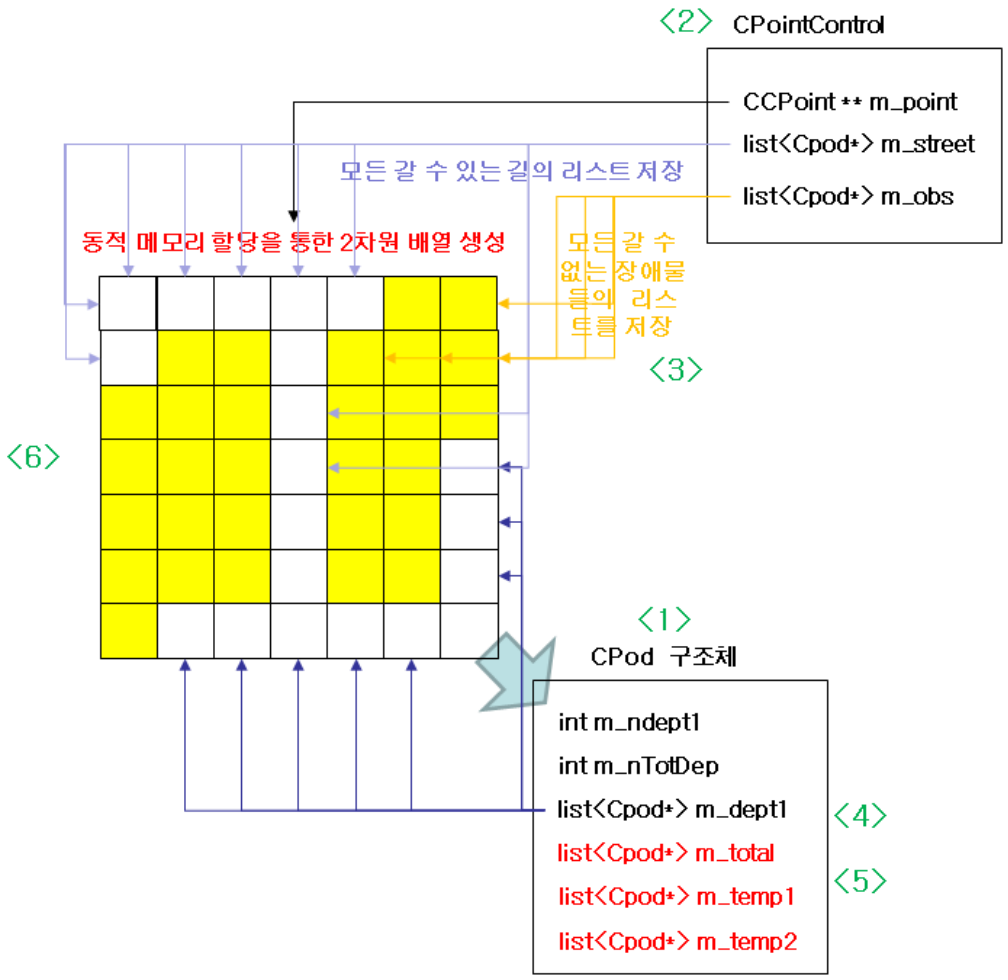
b = y1-a*x1

㉯-2 Stx, Enx의 값을 방정식에 대입하여 나온 값이 rec의 두 y값(Sty,Eny)사이에 들어오면 충돌된 것으로 간주하여 TRUE를 리턴한다.

㉰ 1), 2), 2-1)과 같은 방법으로 이번에 가로 형태의 선분과 충돌 체크를 실시한다.

㉱ 모든 사항이 해당되지 않으면 FALSE를 리턴하여 충돌이 이루어지지 않았음을 알린다.

(나) 통합 시스템 개발을 위한 Depth 제작 및 적용 방안 알고리즘 개발 연구



<그림3-20> 전체 프로그램 자료 구조도

<1> : Cpod 구조체

<6> 과 같은 2차원 배열(셀)들이 가지게 되는 구조체

m_ndept1은 Depth가 1로서 본인 사각형(셀)에서 보이는 지점에 있는 사각형(셀)들의 개수를 담기 위한 변수

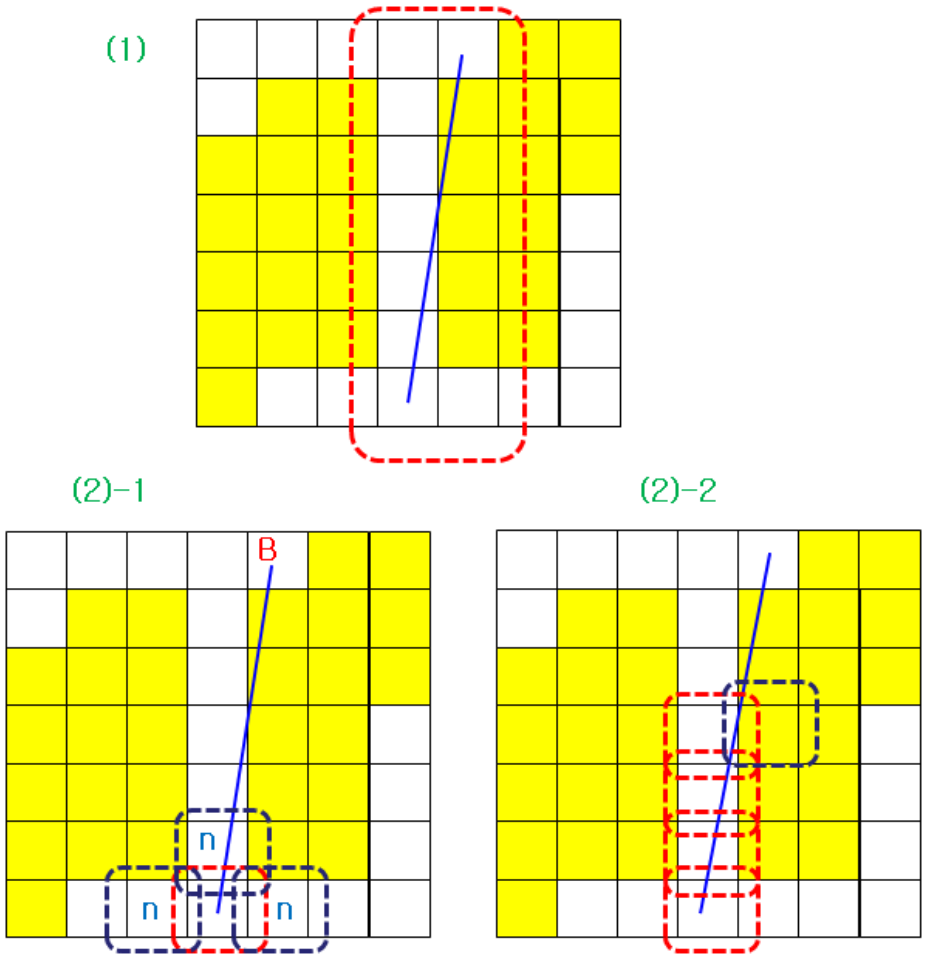
m_nTotDep은 Total Depth의 계산 과정이 끝났을 경우의 값을 저장하는 변수
m_dept1은 Depth가 1인 사각형(즉, 자기자신 위치에서 보이는 모든 사각형)들의 위치를 기억하는 링크드 리스트(STL을 사용)
m_total, m_temp1, m_temp2는 m_nTotDep를 구하기 위한 중간 과정에서 필요한 사각형 위치들의 링크드리스트이다.

<2> : CPointControl
모든 사각형(셀)들을 관리하기 위한 구조체
m_point는 동적으로 할당된 2차원 배열의 포인터(<6>과 같은 배열)로, 실행 시간에 결정되는 셀의 크기에 따라 셀의 개수가 정해진다.
m_street는 m_point 내에 위치한 “갈 수 있는 길(Street)”로 인식한 셀들의 링크드리스트이다.
m_obs는 m_point 내에 위치한 장애물로 인식된 셀들의 링크드리스트이다.

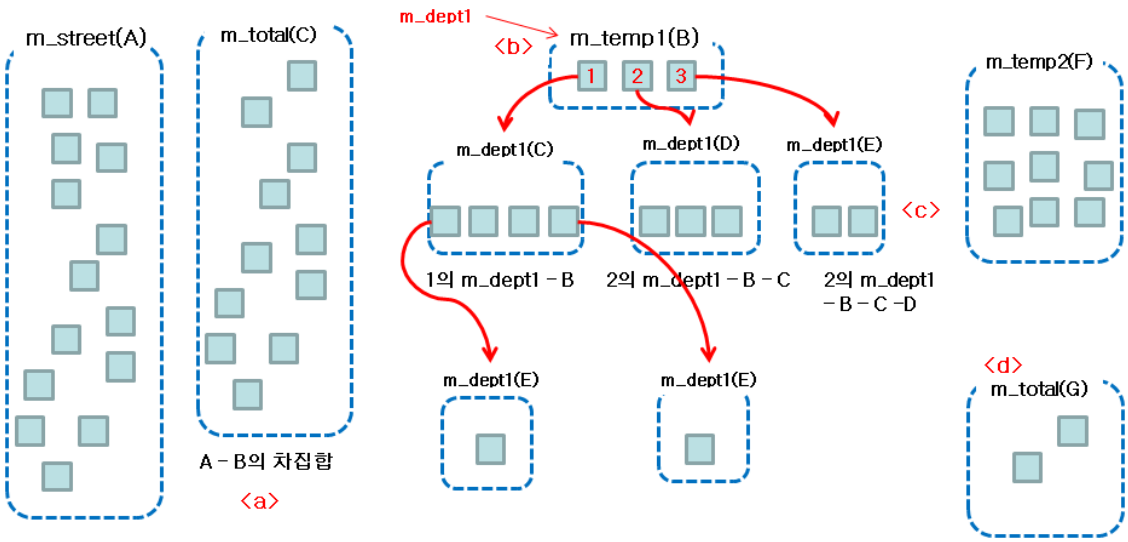
<3> 장애물 저장 방법에 대한 고려 사항
1. 그림에 나와있는 것처럼 모든 장애물들을 하나의 셀들로 인식하는 것 보다는 여러 개로 묶어서 하나의 장애물로 인식할 경우 Depth 1을 구하는데 몇 배로 속도가 빨라 질 것이다.
(이유 : 하나의 셀에서 다른 셀이 보이는지를 판단하는 알고리즘이 두 셀 간을 이은 직선이 모든 장애물 셀의 사각형과 충돌 하는지를 조사하기 때문에 장애물의 개수가 적을 수록 계산 속도를 줄일 수 있다.)
2. 모든 셀들을 비교하는 방법 중에서 선택적인 알고리즘을 아래과 같이 사용한다면 더 빠르게 산출할 수도 있다.
(1) 처럼 두 셀간의 위치에 있는 사각형 내의 장애물 셀들만 충돌체크를 해도 볼 수 있는 길인지를 판가름 할 수 있어 속도를 높일 수 있다.
또한, 더욱 빠른 속도를 제공할 수 있는 방법은 (2)과 같은 방법으로 한 셀(A)에 인접한(대각선 인접 제외) 다음 셀들(n) 중에서 (B)셀과 가장 가까이에 있는 셀이 갈 수 있는지를 flag를 넣어 자료형으로 기억한다면 (2)-2의 예와 같이 단지 5번만에 볼 수 없는 길로 판명 날 수 있을 것이다.

<4> :

m_dept1을 구하는 방법은 첫 페이지에서 설명했던 부분과 <3>과 연계해서 해결하면 된다.



<5> :



<그림3-21> m_nTotDep 구하는 알고리즘

m_dept1의 집합의 개수 *(Presentdepth = 1)을 해준다.(m_nTotDep = m_ndept1 * Presentdepth)

<a> m_street 에는 모든 의미있는 셀들을 담고 있으로 m_street 집합 - m_dept1을 해주면 우리가 depth 2단계를 구할 셀들의 집합을 구할 수 있다. (m_total(C) = m_street - m_dept1 : 리스트로 되어 있는 집합들에 대한 차집합)

Presentdepth = Presentdepth +1 을 해준다.(Depth 2를 구하기 위해서)

<b> m_temp1에 m_depth1의 셀들의 집합을 복사한다.

<c> m_temp1에 있는 모든 셀들에 대해서 다음과 같이 반복한다.

1) m_temp2에 임의의 m_temp1의 한 셀에서 보이는 m_total에 있는 모든 셀들을 담는다. (볼 수 있는지의 여부를 알 수 있는 정보는 모든 셀들에 대해 이미 m_dept1에 저장 되어 있어 m_total과의 교집합만 구하면 된다.)

2) m_temp2의 개수가 늘어날 때마다 m_nTotDep에 Presnetdepth를 더한다.

여기 까지 하면 Depth 2까지의 Total Depth를 구할 수 있다.

<d> m_total 집합에서 m_temp2 집합을 빼고 그 집합을 다시 m_total로 넣는다.

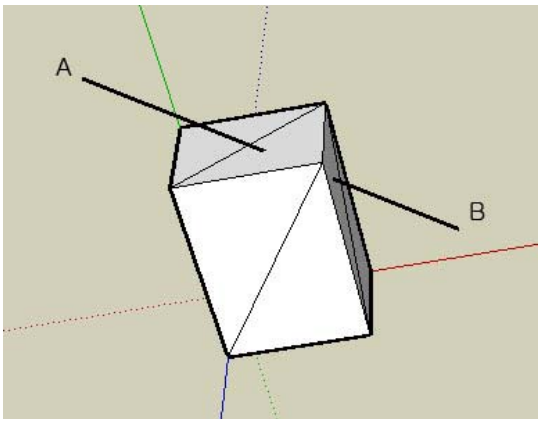
<e> m_temp1 집합에 m_temp2 집합에 복사한다.

<f> 위의 <c>부터 <e>까지를 반복하면 결국 m_nTotDep에 Total Depth가 구해진다.

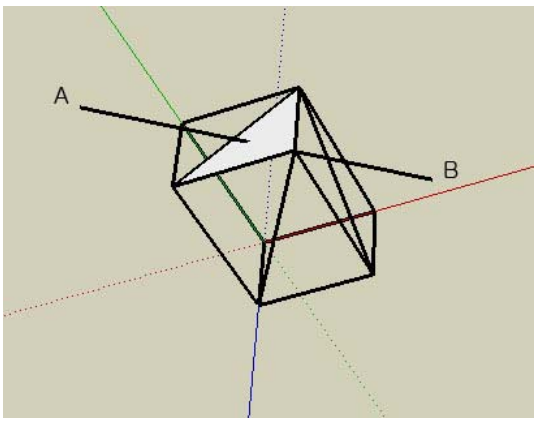
(다) 3차원적공간인지를 고려한 이용자행태 예측 알고리즘 개발 기초 연구

① 가시성 분석 알고리즘

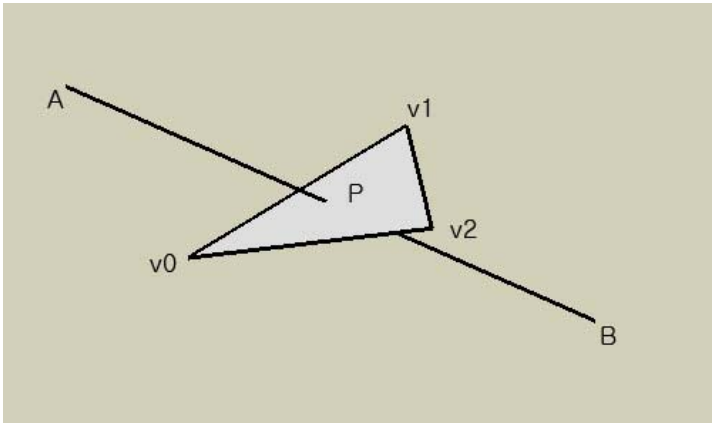
의미있는 셀들 간의 가시성에 대한 값들을 산출하기 위해서는 임의의 두 점간에 장애물이 있는지를 조사할 수 있어야 한다. 그러기 위해서 두 점간에 직선을 이었을 때 매쉬 내의 폴리곤들과 충돌을 하는지를 검사해야 한다.



(a) 직선(AB)과 폴리곤과의 충돌 모습



(b) 직선(AB)와 폴리곤과의 충돌 모습



(c) 따라서, 다음과 같이 직선과 삼각형과의 충돌 체크를 알아 내면 된다.

<그림3-22> 가시성 분석 알고리즘

임의의 P가 도형(v0,v1,v2)에 있으면 충돌 한 것으로 판정될 수 있기 때문에 다음과 같은 공식이 유도될 수 있다.

$\overrightarrow{v0P}$ = u * $\overrightarrow{v0v1}$ + v * $\overrightarrow{v0v2}$ (u, v는 임의의 실수)

v = $|\overrightarrow{v0v2'}|/|\overrightarrow{v0v2}|$ (v2' 는 v0, v2직선상에서 P의 분산 벡터(v와 관련된)의 위치

= $|\overrightarrow{v0v2'}||\overrightarrow{N(v0v1)}|\cos\theta$ / $|\overrightarrow{v0v2}||\overrightarrow{N(v0v1)}|\cos\theta$ ($\overrightarrow{AB}$방향과 병행한 $\overrightarrow{N(v0v1)}$는 $\overrightarrow{v0v1}$의 법선 벡터)

= $\overrightarrow{v0v2'}$ • $\overrightarrow{N(v0v1)}$ / $|\overrightarrow{v0v2}|$ • $\overrightarrow{N(v0v1)}$

위와 같이 v값을 알아내는 것처럼, u값도 알아 낼 수 있게 된다.

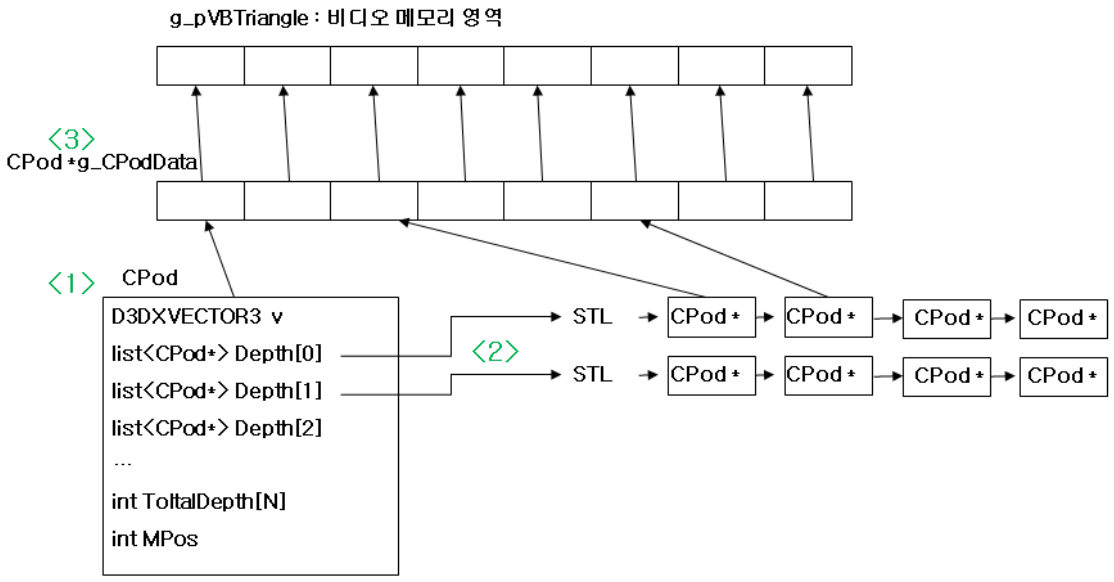
따라서, u, v의 조건에 따라 점 P가 두 벡터($\overrightarrow{v0v1}$, $\overrightarrow{v0v2}$)가 이루는 삼각형 안에 포함되는지를 알 수 있다.

이 결과는 반직선에 대한 가상의 P점을 대상으로 충돌하는지를 알고 있는 것으로, 선분 $\overline{AB}$ 의 길이와 선분 $\overline{AP}$의 길이를 비교해보면 선분($\overline{AB}$)와 폴리곤($\triangle v0v1v2$)의 충돌 여부를 판단할 수 있다.

② 공간 분석 알고리즘

Isovist를 구하는 방법과 TotalDepth를 구하는 방법론은 익히 SpaceSyntax를 사용하는 방식에 입각하여 프로그램을 작성하였으며, 핵심 알고리즘은 다음과 같다.

㉮ 자료형 표현



<1> : CPod 클래스

정점에대한 정보를 가지고 있는 자료형으로 Isovist 및 Depth 값을 여기에 넣을 수 있는 구조체로, 향후 Depth에 따른 정점들의 정보들을 <2>처럼 리스트로 묶을 수 있다.

v : 정점(x, y, z)에 대한 정보를 담는 DirectX9.0의 구조체

Deph[N] : 현재 정점으로 부터의 Depth가 1 ~ N 까지인 정점의 정보를 담을 리스트 포인터

TotalDepth[N] : TotalDepth[1]에는 Isovist의 값이 들어가며, 현재 정점의 TotalDepth는 다음과 같이 구해질 수 있다.

```
n(TotalDepth) = TotalDepth[1]*1 + TotalDepth[2]*2 + TotalDepth[3]*3 ... TotalDpeth[N]*N
```

MPos : g_pVBTriangle의 시작 주소부터의 상대적인 OffSide 위치를 담는 변수

<3> g_CPodData

Cpod 클래스로 생성된 모든 의미있는 셀(정점)들의 집합을 담고 있는 <1>과 같은 CPod의 리스트 포인터

㉮ Isovist를 구하기(Depth[1])

$V(\Gamma_i)$: v_i에서 가시범위에 있는 정점 v_j들의 집합(v_i의 Depth[1])

for v_i in $V(G)$
begin
    for v_j in $V(G)$
    begin
        for t_i in Mesh
        begin
            if v_i ' can see' v_j 'with' t_i then v_j to $V(\Gamma_i)$
        end
    end
end

임의의 정점에서 “가시성 분석 알고리즘“을 통하여 얻어진 정점들(CPod 자료형)의 주소값들을 Depth[1]의 List에 데이터를 담을 수 있도록 한다.

두 정점의 위치 정보, 매쉬

$V(G)$: g_CPodData에 연결되어 있는 모든 셀

v_i : g_CPodData에 i번째에 있는 임의의 한 셀

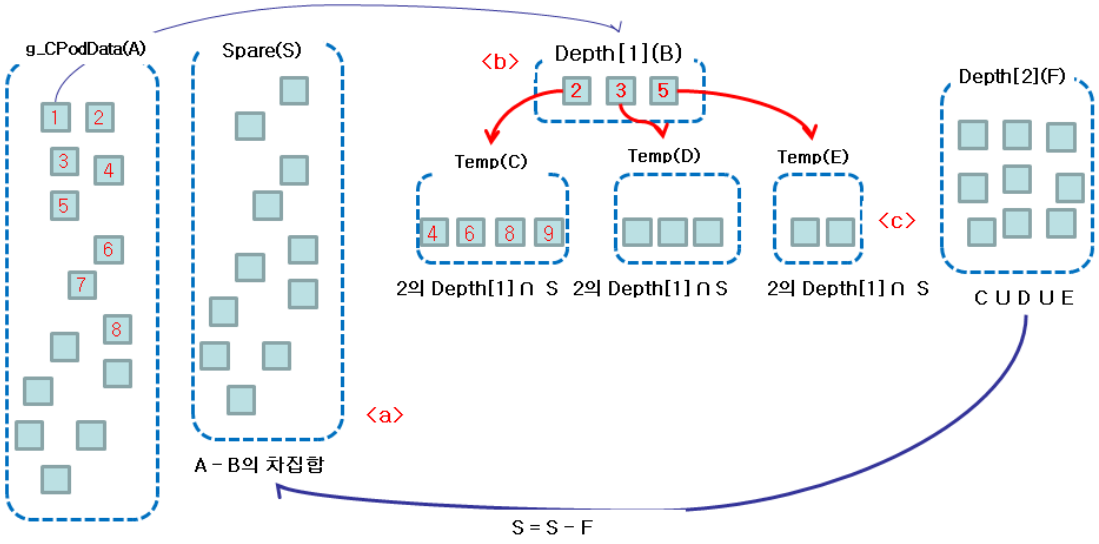
v_j : g_CPodData에 i번째에 있는 임의의 한 셀

Mesh : 장애물이 되는 객체

t_i : 매쉬를 이루고 있는 i번째의 폴리곤(Triangle)

㉰ TotalDepth를 구하기

for v_i in $V(G)$
begin
    $\gamma_i = 0$
    for v_j in $V(\Gamma_i)$
    begin
        for v_k in $V(\Gamma_j)$
        begin
            if v_k in $V(\Gamma_i)$ then $\gamma_i = \gamma_i + 1$
        end
    end
    $\gamma_i = \gamma_i / k_i(k_i - 1)$
end



g_CPodData(모든 의미있는 셀을 담고 있는 집합)에서 임의의 한점(그림의 예에서는 정점 1)에 대한 TotalDepth를 구하려면 다음과 같이 진행한다.

ⓐ 정점 1에 대한 Depth[1](Isovist의 집합)는 “Isovist 구하기”에서 <b>형태로 구해져 있다.

- TotalDepth[1] = Depth[1] 집합의 개수

ⓑ Spare 집합은 A집합(g_CPodData)에서 B집합(정점1의 Depth[1])과의 차집합으로 구할 수 있다.

ⓒ B집합의 모든 점들에 대한 Depth[1]집합과 S집합의 교집합은 (C, D, E)로 표현될 수 있으며, 이들의 합집합은 정점1에 대한 Depth[2](집합 F)가 된다.

- TotalDepth[2] = Depth[2] 집합의 개수

ⓓ 집합 S에서 F의 차집합을 구한 다음 이것을 다시 S집합으로 세팅하고, 2, 3을 반복적으로 처리하면 Depth[N]까지의 값을 구할 수 있다.

ⓔ 최종적으로 정점 1의 TodtalDepth는 다음과 같이 구해질 수 있다.

n(TotalDepth) = TotalDepth[1]*1 + TotalDepth[2]*2 + TotalDepth[3]*3 ... TotalDpeth[N]*N

(1) 역사의 공간구조 분석

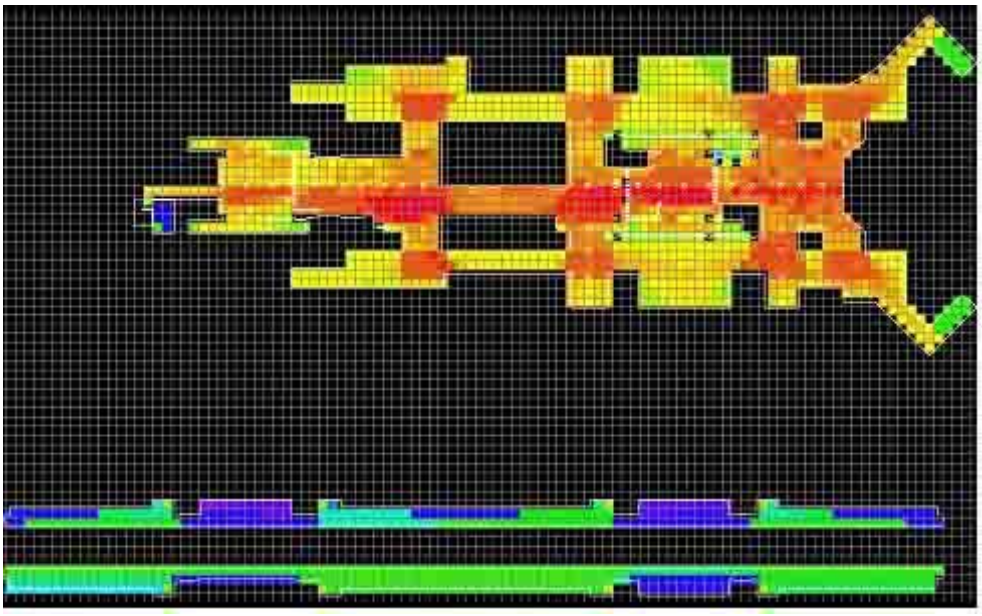
(가) 기존 도면에 의한 강남역 공간 구조 분석(1차 분석)

앞서 재고찰한 선행 연구에 의해, 새롭게 적용 가능한 공간 구조 분석 도구를 실증적으로 고찰하였다.

대상지는 향후 새로운 통합 시스템을 적용 보완하기 위한 주요 역사 중, 지역적 인지도가 높고 이용객이 많은 혼잡역이지만, 환승역이 아닌 단일역사로 역사 구조가 비교적 명확한 지하철 2호선 강남역을 대상으로 분석하였다.

본 조사의 목적은 공간구조를 분석하기 위하여 사용하도록 한 VGA 방식의 depthmap을 실제 역사에 우선 시행함으로서 그에 대한 적용상의 문제점을 사전에 미리 보완하고자 함이다.

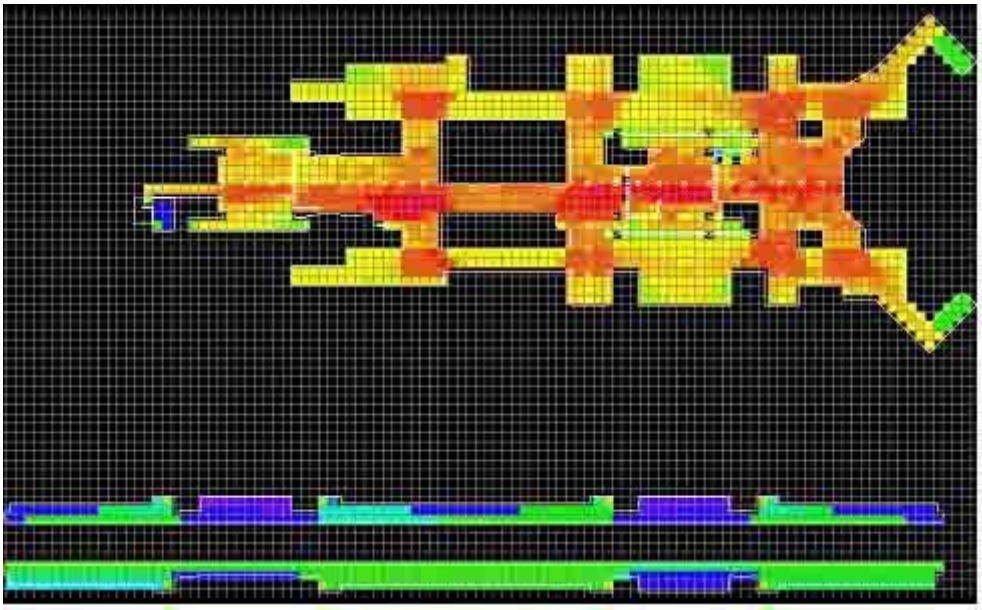
이를 위해 우선 기존에 확보된 강남역의 지하 2층과 지하 1층 승강장 평면을 바탕으로 분석을 실시하였다. 분석 방법은 각각 분석 대상지의 기준 cell의 크기를 조정함으로써, 더욱 정확한 조사가 가능한 적절 cell의 크기를 모색하였다.



<그림3-23> Depthmap(cell크기 2,000mm)에 의한 공간구조 분석

<표3-2> cell 2,000 HH 값 분석

Ref	x	y	Connectivity (Degree)	Isovist Maximum Radial	Isovist Moment of Inertia	Visual Entropy	Visual Integration (HH)	Visual Integration (P-value)	Visual Mean Depth	Visual Relativised Entropy
65537	2000	2000	74	74108.03	3.46E+17	2.221311	6.716436	0.296759	4.325167	2.848256
65538	2000	4000	220	202009.9	1.10E+19	2.195469	6.958806	0.3074679	4.209354	2.905752
65539	2000	6000	222	202000	1.12E+19	2.178936	7.852498	0.3469547	3.844098	2.709597
65544	2000	16000	155	202000	7.47E+18	2.152958	6.093051	0.2692154	4.665368	3.105201
65545	2000	18000	119	202009.9	5.61E+18	2.168313	6.059912	0.2677512	4.685412	3.077014
131073	4000	2000	73	70114.2	2.94E+17	2.220529	6.715312	0.2967093	4.325724	2.848744
131074	4000	4000	220	200010	1.07E+19	2.195469	6.958806	0.3074679	4.209354	2.905752
131075	4000	6000	223	200000	1.09E+19	2.178196	7.854035	0.3470227	3.843541	2.710537
131080	4000	16000	155	200000	7.24E+18	2.152958	6.093051	0.2692154	4.665368	3.105201
131081	4000	18000	119	200010	5.44E+18	2.168313	6.059912	0.2677512	4.685412	3.077014
196609	6000	2000	72	66121.1	2.47E+17	2.219732	6.714188	0.2966597	4.326281	2.849247



<그림3-24> Depthmap(cell크기 1,000mm)에 의한 공간구조 분석

<표3-3> cell 1,000 HH 값 등 분석 표

Ref	x	y	Connecti-vity (Degree)	Isovist Maximum Radia	Isovist Moment of Inertia	Visual Entropy	Visual Integration(HH)	Visual Integration (P-value)	Visual Mean Depth	Visual Relativised Entropy
65537	2000	2000	74	74108.03	3.46E+17	2.210028	6.744222	0.2979417	4.312013	2.851074
65538	2000	4000	220	202009.9	1.10E+19	2.201937	6.953228	0.307175	4.212458	2.901268
65539	2000	6000	222	202000	1.12E+19	2.188344	7.324793	0.3235897	4.0495	2.825618
65544	2000	16000	155	202000	7.47E+18	2.195672	5.793687	0.2559496	4.855395	3.165342
65545	2000	18000	119	202009.9	5.61E+18	2.21101	5.763754	0.2546272	4.875417	3.136036
131073	4000	2000	73	70114.2	2.94E+17	2.209248	6.74309	0.2978916	4.31257	2.851564
131074	4000	4000	220	200010	1.07E+19	2.201937	6.953228	0.307175	4.212458	2.901268
131075	4000	6000	223	200000	1.09E+19	2.187604	7.326129	0.3236488	4.048943	2.826598
131080	4000	16000	155	200000	7.24E+18	2.195672	5.793687	0.2559496	4.855395	3.165342
131081	4000	18000	119	200010	5.44E+18	2.21101	5.763754	0.2546272	4.875417	3.136036
196609	6000	2000	72	66121.1	2.47E+17	2.208452	6.741958	0.2978416	4.313126	2.852069

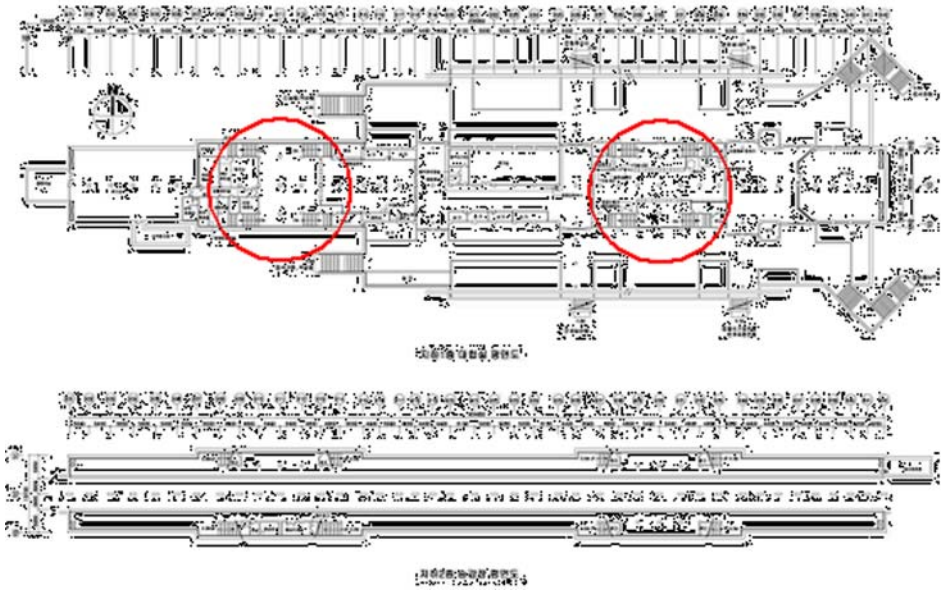
각각의 cell의 크기를 다양한 방법으로 분석해 본 결과, 각 cell 크기를 전체 공간의 최소 공간 크기인 2,000mm 이하로 설정했을 때 전체 공간 구조 분석에 대한 유효한 값을 얻을 수 있는 것으로 조사되었다. 그러나 본 연구에서는 공간을 이용하는 이용자들의 신체 크기와 인체 이격거리(human bubble)을 고려하여 적정 cell 크기를 1,000mm로 분석하였다.

두 결과를 비교한 그래프를 살펴보면, cell의 크기를 1,000mm 로 줄인 그래프가 2,000mm 로 분석한 그래프 보다 정교함을 알 수 있다.

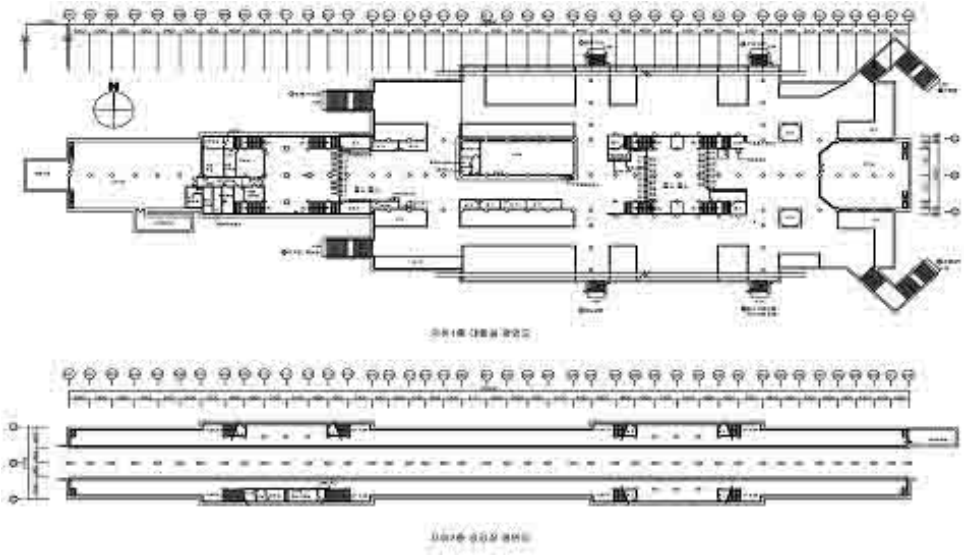
(나) 현장 조사에 의한 강남역 공간 구조 분석(2차 분석)

① 강남역 현장 조사

기존 도면에 의한 1차 조사 후 실제 강남역 현장에 대한 조사를 실시하였다. 현장 조사는 주로 승강장에서 개찰구에 이르는 지하 2층과 지하 1층까지를 중심으로 이루어졌고, 조사 결과, 강남역의 실제 사용현황이 기존 도면과 다소 차이가 있음을 알 수 있었고, 실제 현장 내용을 반영한 수정 도면을 작성하였다.



<그림3-25> 강남역 기존도면(변경부분○)

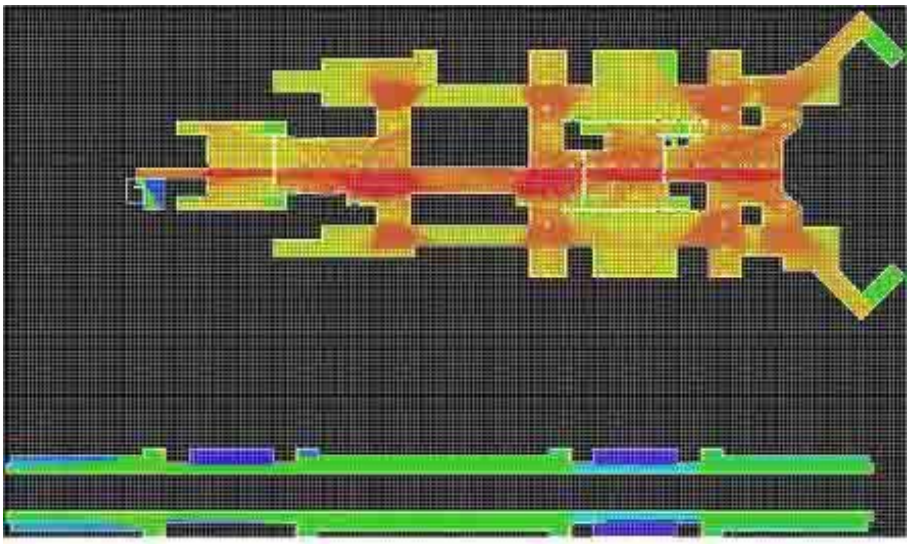


<그림3-26> 강남역 개찰구 실사 도면

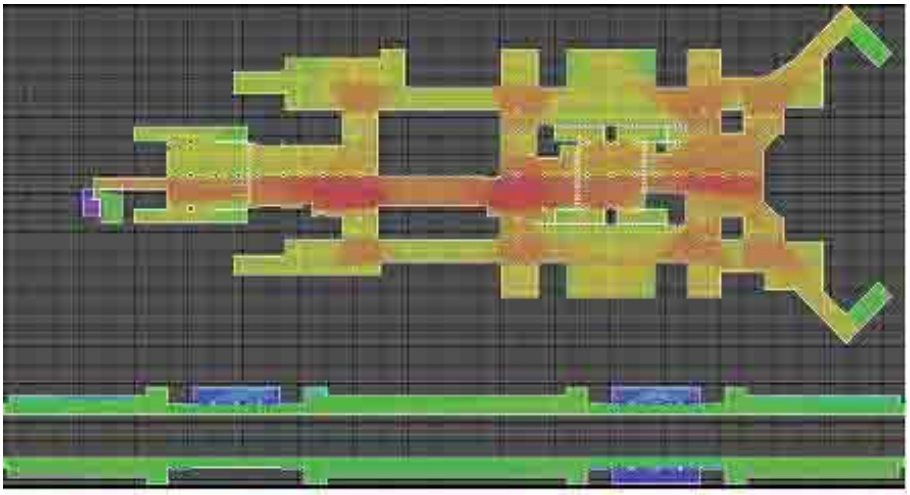
② 강남역 cell 크기 조절에 따른 공간구조 분석

앞의 강남역 현장 조사에서 큰 변수가 된 점은 역사의 주요한 시설물인 개찰구의 위치가 실제와 도면이 다르다는 점이였고, 또한 실제 개찰구를 통과하는 공간의 크기가 앞서 1차 조사에서 선정한 cell 크기인 1,000mm 보다 작다는 점이였다. 따

라서 본 조사에서는 1차 조사에서 얻은 cell 크기 1,000mm로 설정된 공간구조 값과 이를 다시 500mm 로 조정한 공간구조 분석 값을 비교하여 , 강남역의 공간구조 분석에 대한 적정 cell 의 크기를 개찰구의 크기에 따라 500mm 로 조정 후 전체 공간을 분석키로 하였다.



<그림3-27> 현장 조사 이전 강남역 1000cell 분석



<그림3-28> 현장 조사 이후 강남역 500cell 분석

나. 통합 시스템 평가를 위한 DB 구축 연구

본 전체 연구의 목표인 통합 시스템 개발을 위하여, 그 적용 및 평가 대상 인 주요 철도 역사에 대한 Data Base 구축을 목적으로 한다.

(1) 보행량 관찰 조사 DB 구축

(가) 강남역 전체 공간조사(1차 조사)

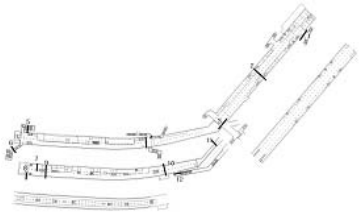
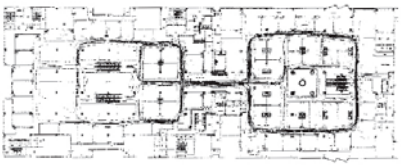
본 조사의 목적은 강남역 지하철 역사 전 구간을 이용하는 보행자를 대상으로, 이들의 행태를 관찰함으로써 새로운 통합 프로그램의 적용과 나아가 그 평가를 위한 데이터를 구축함에 있다.

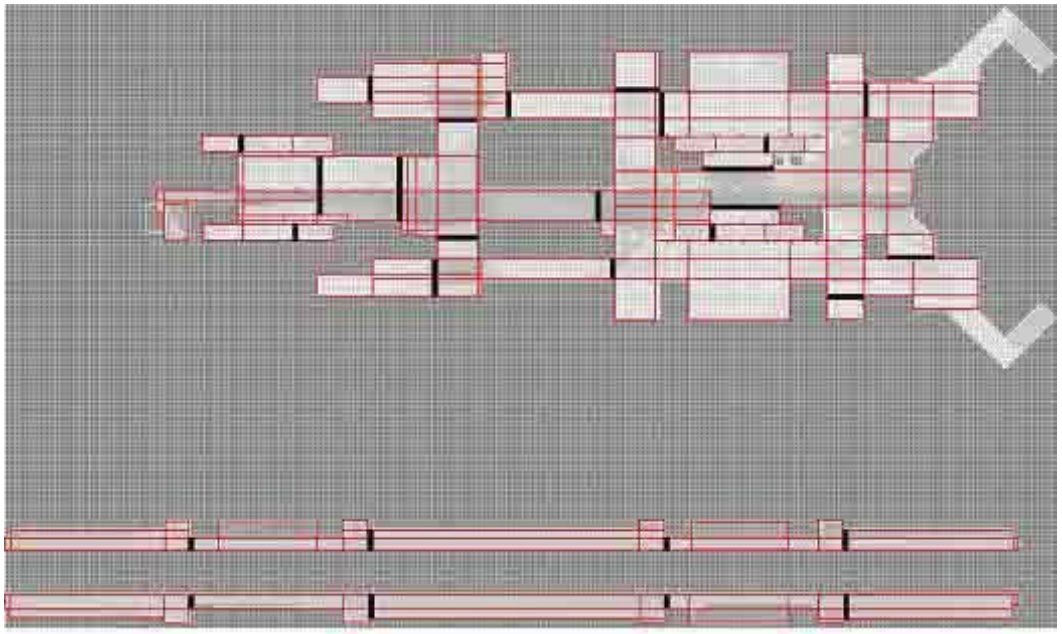
특히 본 1차 조사는 지하2층의 지하철 승강장부터 지하 1층 개찰구와 통로를 거쳐 지상 1층 외부로의 출입부에 이르는 전 구간에 걸친 보행행태를 조사함으로써 전반적인 보행행태에 대한 데이터 구축을 중심으로 한다.

또한 지하철을 이용하는 이용자들의 행태가 평일 출근 시간을 이용하는 직장인들의 행태와 주말 여유시간을 이용하는 이용객들의 행태가 서로 다른 점을 감안하여, 조사 시간대를 평일 출근 시간과 주말 전야인 금요일 밤 시간대로 나누어 각각 조사하였다.

전체 공간의 각 조사 지점 선정을 위하여 우선 depthmap 상에서 도출된 데이터의 값이 높은 값과 낮은 값이 골고루 분포되도록 하고, 지점이 한 곳에 밀집되지 않고 역사 내 고른 분포를 이루도록 하며, 보행량 조사시 조사시 조사량이 타 영역과 혼동되지 않고 명확히 이루어 질 수 있는 지점 등을 고려하였다. 이를 위해 선정한 방식으로는 여러 곳에서 이동자들이 유입되는 대상을 조사하기에 적합한 게이트 방식을 사용하였으며, 셀단위 분석에 적합한 방법을 사용가증 토록 시야의 한계점인 convex space 의 경계점으로 조사지점을 선정하였다.

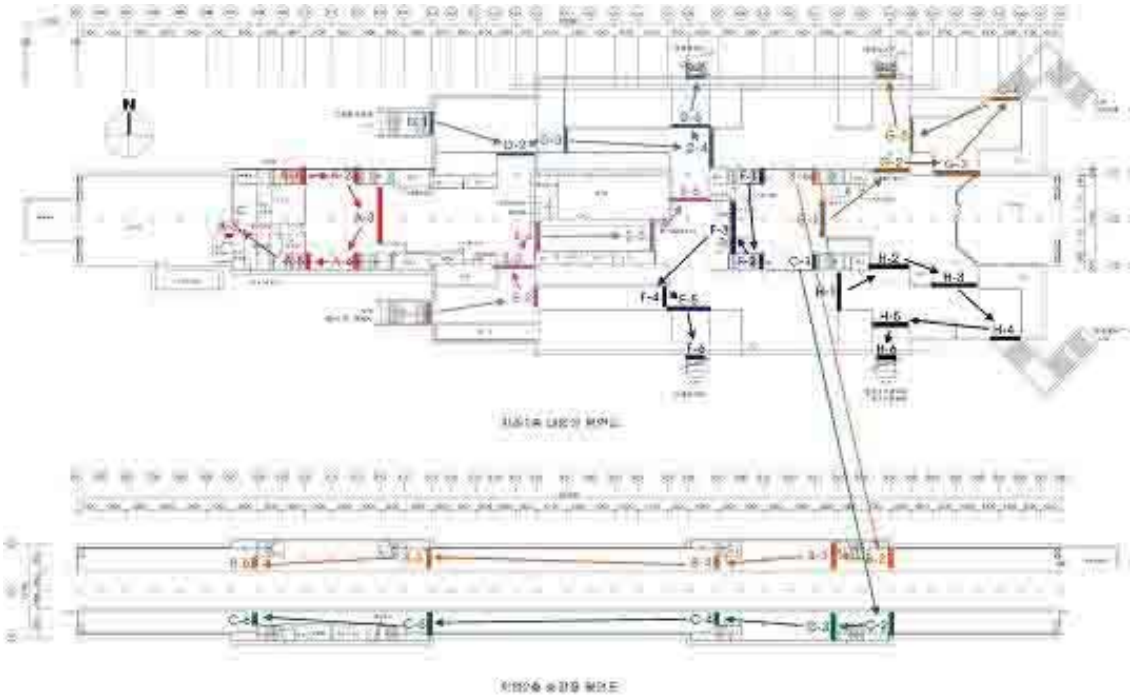
<표3-4> 보행량 조사 방법

조사 방법	특 징	예 시
게이트 방식 (Gate tracking)	• 해당 지점(도로나 통로)에서 가상의 수직선을 그어 그 수직선을 통과하는 사람수를 세는 방법	
동선추적 방식 (tracking research)	• 사람을 선택하여 그 사람을 추적하며 경로를 그리는 방법 • 여러 경로를 누적시켜 보행 밀도를 나타냄 • 출구가 한곳인 대상지에 적용이 유리함	



<그림3-29> 컨벡스 스페이스 분할 및 보행량 조사 지점 선정

이렇게 선정된 총 48개의 조사 지점은 다음 그림과 같고, 각 조사지점은 5분 관찰 5분 이동 할 수 있도록 계획되었으며, 총 6개 구간으로 나누어 8개 조가 보행량을 조사 하였다.



<그림3-30> 보행 관찰 지점 선정

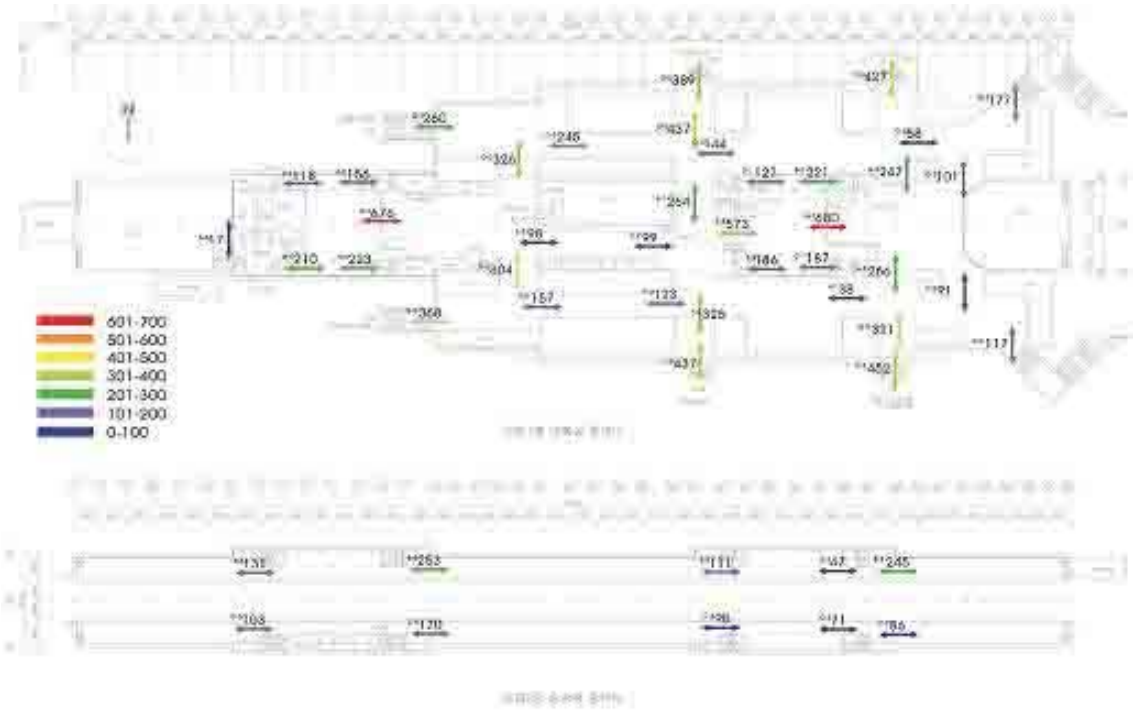
위의 총 48개 지점에 대한 조사는 그 조사 일시에 따라 다음 2가지로 나타난다.

① 강남역 전체 공간에 대한 출근 보행량 조사

출근 보행자를 위주로 조사된 것으로 조사일시는 2007년 1월 12일 (금)오전 8시에서 9시까지 중 각 5분동안 해당지점을 통과하는 보행량을 조사한 것이다.

<표3-5> 조사지점별 보행량 조사결과표(출근보행량)

지 점	a-1	a-2	a-3	a-4	a-5	a-6
통행량(명)	118	156	676	223	210	17
지 점	b-1	b-2	b-3	b-4	b-5	b-6
통행량(명)	221	245	47	111	253	131
지 점	c-1	c-2	c-3	c-4	c-5	c-6
통행량(명)	187	86	71	90	170	103
지 점	d-1	d-2	d-3	d-4	d-5	d-6
통행량(명)	260	326	245	144	437	389
지 점	e-1	e-2	e-3	e-4	e-5	e-6
통행량(명)	216	157	304	98	99	264
지 점	f-1	f-2	f-3	f-4	f-5	f-6
통행량(명)	127	186	573	123	325	363
지 점	g-1	g-2	g-3	g-4	g-5	g-6
통행량(명)	680	247	101	177	58	427
지 점	h-1	h-2	h-3	h-4	h-5	h-6
통행량(명)	38	266	91	117	321	452



<그림3-31> 강남역 보행량 현황 (출근 보행량)

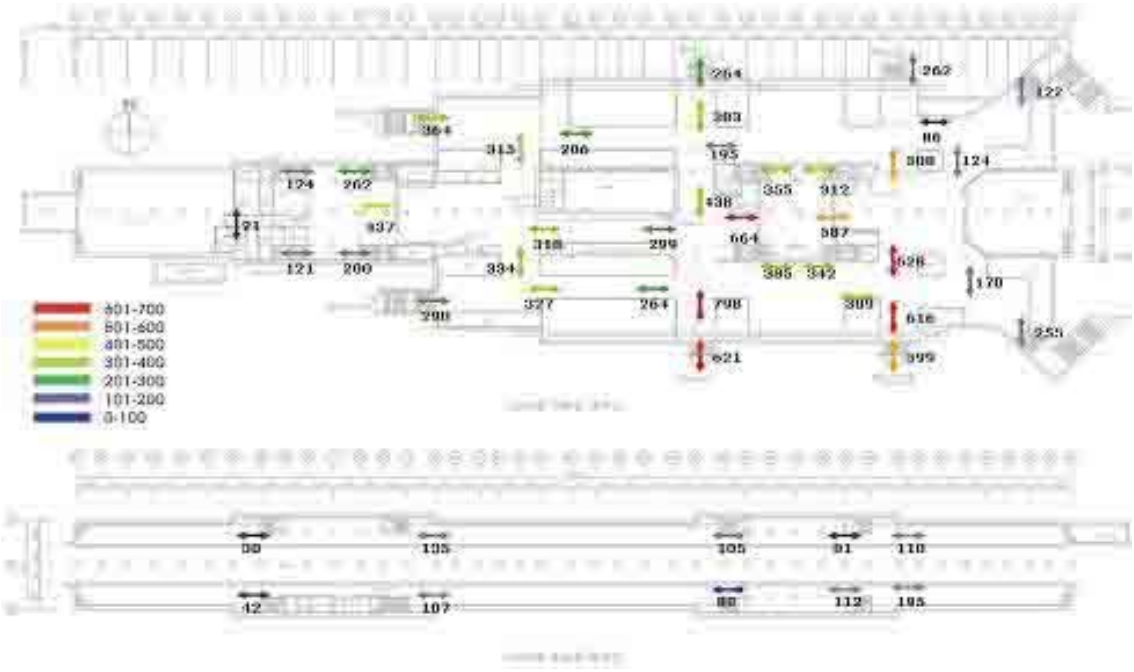
조사결과, 각 지점을 통과하는 5분간의 보행자 수는 최저 값 17명에서 최고값 680명까지의 분포를 보였다. 가장 많은 통행량을 보이는 지점은 개찰구 부분으로, 680명(G-1), 676명(A-3), 573명(F-3),의 통행량을 보여 다른 지점보다 월등히 높은 수치를 기록하였다. 이는 인위적으로 보행을 통제하는 개찰구 부분에서 보행 병목에 의한 보행 지체현상이 발생되고, 이로 인해 한정된 시간 동안 조사한 통행량이 월등히 많아진 것으로 해석할 수 있다.

② 강남역 전체 공간에 대한 주말 전야 보행량 조사

주말 전야 보행자를 위주로 조사된 것으로 조사일시는 2007년 4월 13일 (금)오후 8시에서 9시까지 중 각 5분 동안 해당지점을 통과하는 보행량을 조사한 것이다.

<표3-6> 조사 지점별 보행량 조사결과표(주말 전야 보행량)

지 점	a-1	a-2	a-3	a-4	a-5	a-6
통행량(명)	124	262	437	200	121	21
지 점	b-1	b-2	b-3	b-4	b-5	b-6
통행량(명)	312	110	81	105	135	30
지 점	c-1	c-2	c-3	c-4	c-5	c-6
통행량(명)	342	195	112	88	107	42
지 점	d-1	d-2	d-3	d-4	d-5	d-6
통행량(명)	364	315	206	195	383	264
지 점	e-1	e-2	e-3	e-4	e-5	e-6
통행량(명)	290	327	334	310	299	438
지 점	f-1	f-2	f-3	f-4	f-5	f-6
통행량(명)	355	385	664	264	798	621
지 점	g-1	g-2	g-3	g-4	g-5	g-6
통행량(명)	587	508	124	122	86	262
지 점	h-1	h-2	h-3	h-4	h-5	h-6
통행량(명)	309	628	170	255	616	599



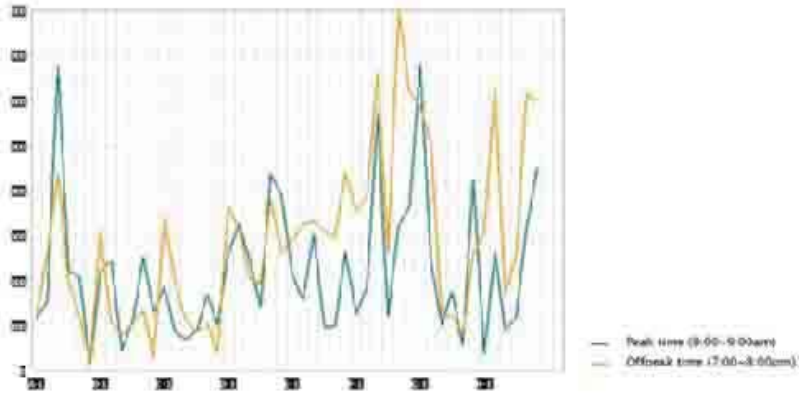
<그림3-32> 강남역 보행량 조사 분포도 (주말 전야 보행량)

조사결과, 각 지점을 통과하는 5분간의 보행자 수는 최저 값 21명에서 최고값 798명까지의 분포를 보였다. 가장 많은 통행량을 보이는 지점은 개찰구 부분으로, 680명(G-1), 676명(A-3), 573명(F-3),의 통행량을 보여 다른 지점보다 월등히 높은 수치를 기록하였다. 이는 인위적으로 보행을 통제하는 개찰구 부분에서 보행 병목

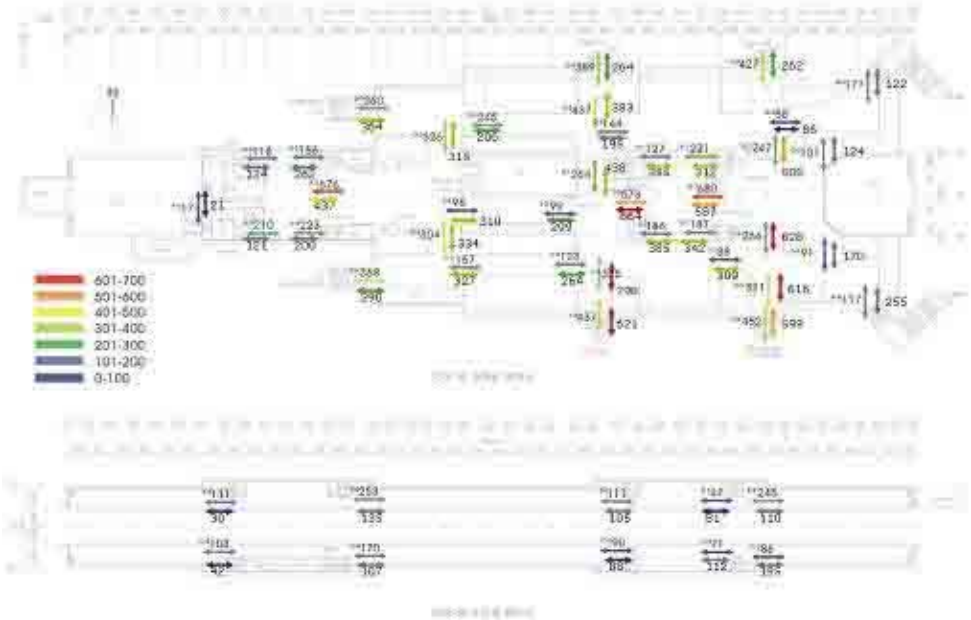
에 의한 보행 지체현상이 발생되고, 이로 인해 한정된 시간 동안 조사한 통행량이 월등히 많아진 것으로 해석할 수 있다.

③ 강남역 전체 공간에 대한 출근보행량과 주말 야간보행량 비교 분석

앞의 두 가지 조사를 바탕으로 강남역 전체 공간에 대한 출근보행량과 주말 전야 보행량을 비교한 결과, 승강장과 지상 출입 계단을 제외한 대부분의 공간에서는 보행 목적에 따라 큰 차이가 없는 반면, 지하철 개찰구나 승강장에서는 각각의 보행 목적별로 다소 차이가 있는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 개발하고자 하는 통합 시스템의 적용을 위해서는 각 보행목적별 세부 공간별 보행행태에 대한 보다 면밀한 검토가 필요함을 할 수 있다.



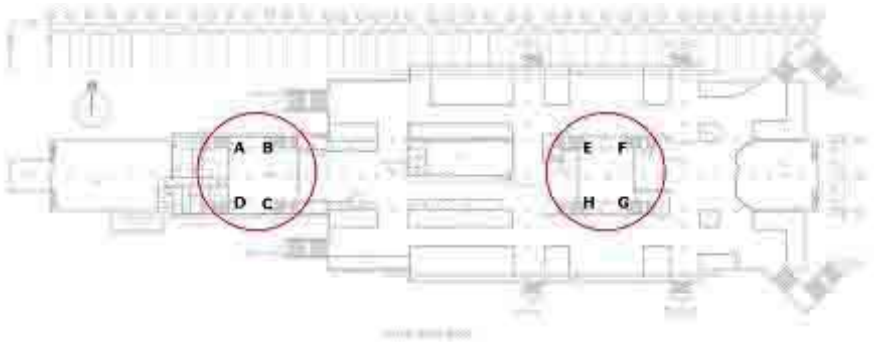
<그림3-33> 출근보행량과 주말 보행량 비교 분석



<그림3-34> 출근보행량과 주말 보행량 비교 도면

(나) 강남역 개찰구 부분조사(2차 조사)

본 강남역 개찰구 부분 조사는 앞서 1차 조사결과에서 나타난 바와 같이, 강남역 중에서 특히 인위적 환경인 개찰구에 의해 보행이 통제됨으로써 도시나 건축 공간에서 일반적으로 볼 수 있는 보행행태와 다른 점을 보이는 곳으로 보다 면밀한 조사가 필요하다. 따라서 본 2차 조사에서는 강남역 지하 1층에 있는 서측과 동측 2곳의 개찰구를 조사 범위로 하여 각각 16개 23개 개찰구에 대한 보행량을 조사하였으며, 개별 개찰구를 통과하는 5분간동안의 보행자 수를 조사하였다.



<그림3-35> 개찰구 조사 범위(좌측-서측, 우측-동측)

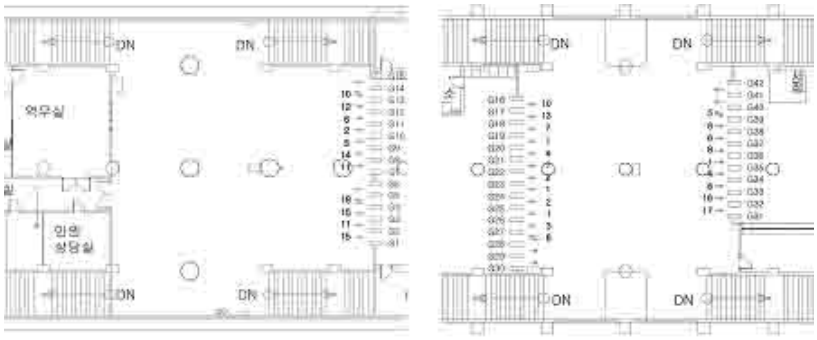
또한 앞서 조사한 강남역 전체 공간에 대한 보행량 조사와 마찬가지로 본 강남역 개찰구 부분 조사(2차 조사)를 역시 2가지 보행목적 즉, 출근 보행량과 주말전야 보행량을 각 조사시기별로 나누어 2가지로 조사하였다.

① 강남역 개찰구 공간에 대한 출근 보행량 조사

출근 보행자를 위주로 조사된 것으로 조사일시는 2007년 3월 16일 (금)오전 8시에서 9시까지 중 각 5분 동안 해당지점을 통과하는 보행량을 조사한 것이다.
다음은 강남역 2곳의 개찰구 중 서측 개찰구에 대한 조사 결과이다

<표3-7> 지하 승강장 및 개찰구 출근 보행량

GATE	출근 보행량								Total
	서측 개찰구				동측 개찰구				
	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	2		11	2					15
2	2		5	4					11
3	5		3	7					15
4	9		2	8					19
5									0
6									0
7	3	1	5	2					11
8	5		3	6					14
9		3	1	1					5
10	2								2
11	1	5							6
12		12							12
13	1	9							10
14									0
15									0
16					10				10
17					11	2			13
18					3	4			7
19						1			1
20						4			4
21						1			1
22						2			2
23								1	1
24						2			2
25						1			1
26						3			3
27						6			6
28									0
29									0
30									0
31					13	4			17
32					12	4			16
33					2	4			6
34					2	2			4
35					1				1
36			5	2		1			8
37			1	4		1			6
38				4		2			6
39				5					5
40									0
41									0
42									0
Total	30	30	30	30	30	30	30	30	



<그림3-36> 지하 승강장 및 개찰구 출근 보행량 도면

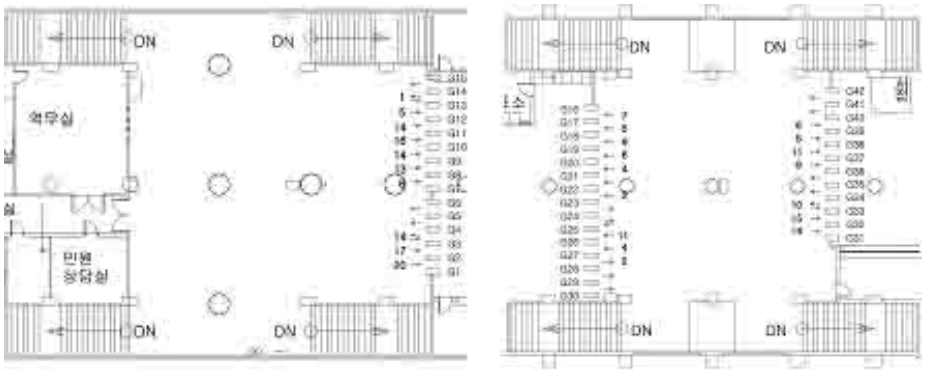
(좌측-서측, 우측-동측)

② 강남역 개찰구 공간에 대한 주말 전야 보행량 조사

출근 보행자를 위주로 조사된 것으로 조사일시는 2007년 3월 16일 (금)오후 7시에서 8시까지 중 각 5분 동안 해당지점을 통과하는 보행량을 조사한 것이다.

<표3-8> 지하 승강장 부분 주말 전야 보행량

GATE	주말 전야 보행량								Total
	서측 개찰구				동측 개찰구				
	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	3						6	11	20
2	2	1					8	6	17
3							6	8	14
4									0
5									0
6									0
7	1	1					2	2	6
8	6	1					3	3	13
9	8	3					3		14
10	4	11					1		16
11	5	8					1		14
12		5							5
13	1								1
14									0
15									0
16			5	2					7
17			4	1					5
18			2	6	1				9
19			2	2	1	1			6
20			2	1	1				4
21									0
22					1	1			2
23									0
24									0
25					7	4			11
26				1		3			4
27					1	1			2
28									0
29									0
30									0
31					6	8			14
32			5	1	5	4			15
33			1		5	4			10
34									0
35									0
36									0
37			4	4	1				9
38			3	4	1	3			11
39			2	2		1			5
40				6					6
41									0
42									0
Total	30	30	30	30	30	30	30	30	

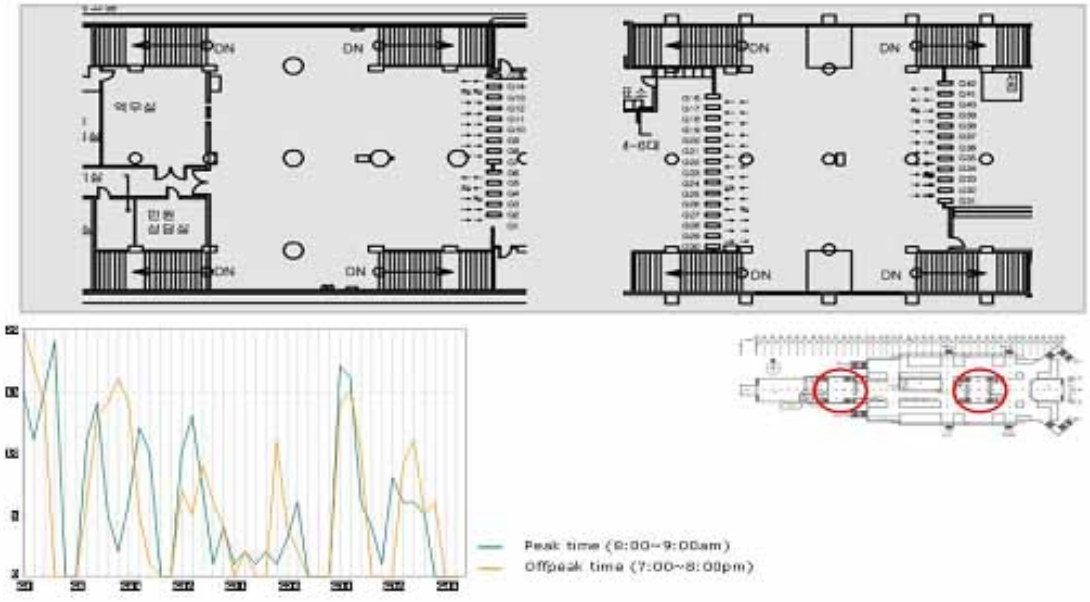


<그림3-37> 지하 승강장 및 개찰구 주말 전야 보행량

(좌측-서측, 우측-동측)

③ 강남역 개찰구 부분 출근 보행량과 주말 야간 보행량 비교 분석

앞의 두 가지 조사를 바탕으로 강남역 서측과 동측 2개의 개찰구 부분에 대한 출근 보행량과 주말 전야 보행량을 비교한 결과, 승강장과 지상 출입 계단을 제외한 대부분의 공간에서는 보행 목적에 따라 큰 차이가 없는 반면, 지하철 개찰구나 승강장에서는 각각의 보행 목적별로 다소 차이가 있는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 개발하고자 하는 통합 시스템의 적용을 위해서는 각 보행목적별 세부 공간별 보행행태에 대한 보다 면밀한 검토가 필요함을 할 수 있다.



<그림3-38> 강남역 개찰구 보행량 비교 분석

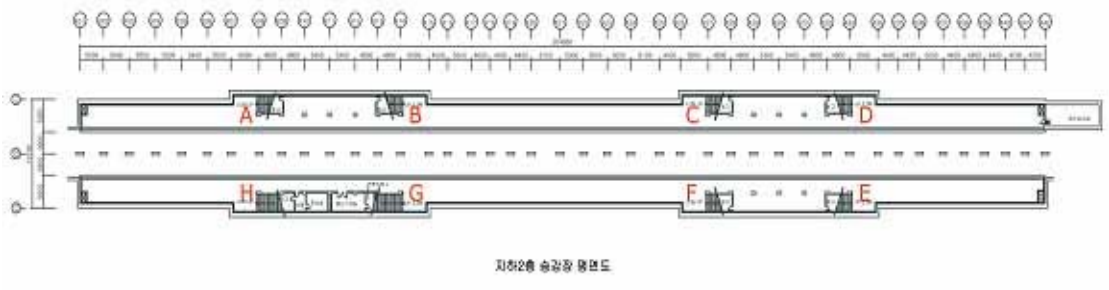
(다) 강남역 승강장 부분조사(3차 조사)

본 강남역 승강장 부분 조사는 앞서 1차 조사결과에서 나타난 바와 같이, 강남역 중에서 인위적 환경인 승강장의 객차 위치와 승강장에서 개찰구로 연결된 계단까지의 보행이 일반적으로 도시나 건축 공간에서 볼 수 있는 보행행태와 다르게 나타남에 따라, 해당 부분에 대한 면밀한 조사를 다시 시도하였다.

본 3차 조사에서는 각 객차의 위치에 따라 보행량의 차이가 많다는 것을 감안하여 전체 8곳의 승강장에 있는 계단 부분에 대한 보행량을 조사하였다. 특히 본 조사에서는 객차 도착 여부에 따라 보행량의 차이가 많아지는 사실을 제어하기 위하여, 조사 시간 총 5분 내에 지하철이 도착한 직후 보행량과 그 이후 보행량을 모두 포함하여 조사하고 그 값을 평균하여 결과치를 기입하였다.

또한 앞서 조사한 강남역 전체 공간에 대한 보행량 조사와 마찬가지로 본 강남역 승강장 부분 조사(3차 조사)를 역시 2가지 보행목적 즉, 출근 보행량과 주말전야 보행량을 각 조사시기별로 나누어 2가지로 조사하였다.

다음은 강남역 지하 승강장 부분의 조사 지점이다.



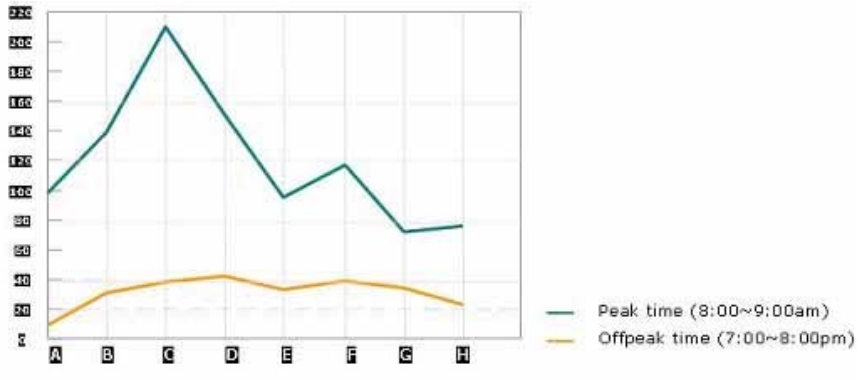
<그림3-39> 지하 승강장 보행량 관찰 지점

승강장 계단 별 출근 보행량을 조사한 결과, 출근 보행량의 값이 주말 전야 보행량의 값보다 전반적으로 많은 분포를 나타냄을 알 수 있었다. 특히 본 승강장 부분에 대한 보행량 조사 결과에서 얻을 수 있는 중요한 결과는 환승역인 교대역에서 이어지는 객차의 승강장인 A~D 까지의 구간의 보행량과 그렇지 않은 구간(E~H)까지 보행량의 차이가 매우 크다는 사실이다. 이런 결과는 출근시 보행량과 주말 전야 보행량 비교시에 더욱 두드러지는데, 환승역인 교대역을 지나 바로 도착하는 승강장 부분인 A~D 까지의 구간의 보행량은 출근시 매우 많은 보행량을 보이는 반면 주말 전야에는 다른 승강장들과 비슷한 보행량을 보인다.

이 결과는 전체 철도 역사 여객의 보행패턴을 해석하는 데 주변 역사와의 관련성을 시사하는 중요한 내용이라고 할 수 있다.

<표3-9> 지하 승강장 보행량 조사결과

조사지점	출근 보행량		주말 전야 보행량		평균값 합계
	측정시간	보행량	측정시간	보행량	
A	8:11am~	91	8:31pm~	9	
	8:13am~	94	8:34pm~	9	
	8:17am~8:20am	109	8:36pm~8:39pm	8	
평균값		98		9	107
B	8:11am~	168	8:31pm~	33	
	8:13am~	103	8:34pm~	38	
	8:17am~8:20am	147	8:36pm~8:39pm	23	
평균값		139		31	170
C	8:11am~	215	8:31pm~	47	
	8:13am~	151	8:34pm~	33	
	8:17am~8:20am	264	8:36pm~8:39pm	35	
평균값		210		38	248
D	8:11am~	130	8:31pm~	32	
	8:13am~	121	8:34pm~	63	
	8:17am~8:20am	201	8:36pm~8:39pm	31	
평균값		151		42	193
E	8:11am~	80	8:31pm~	37	
	8:13am~	79	8:34pm~	33	
	8:17am~8:20am	127	8:36pm~8:39pm	28	
평균값		95		33	128
F	8:11am~	115	8:31pm~	45	
	8:13am~	103	8:34pm~	36	
	8:17am~8:20am	134	8:36pm~8:39pm	35	
평균값		117		39	156
G	8:11am~	66	8:31pm~	32	
	8:13am~	45	8:34pm~	28	
	8:17am~8:20am	104	8:36pm~8:39pm	41	
평균값		72		34	106
H	8:11am~	67	8:31pm~	21	
	8:13am~	65	8:34pm~	27	
	8:17am~8:20am	95	8:36pm~8:39pm	22	
평균값		76		23	99
평균값합계		958		249	1,207



<그림3-40> 출근 보행량과 주말 전야 보행량의 비교

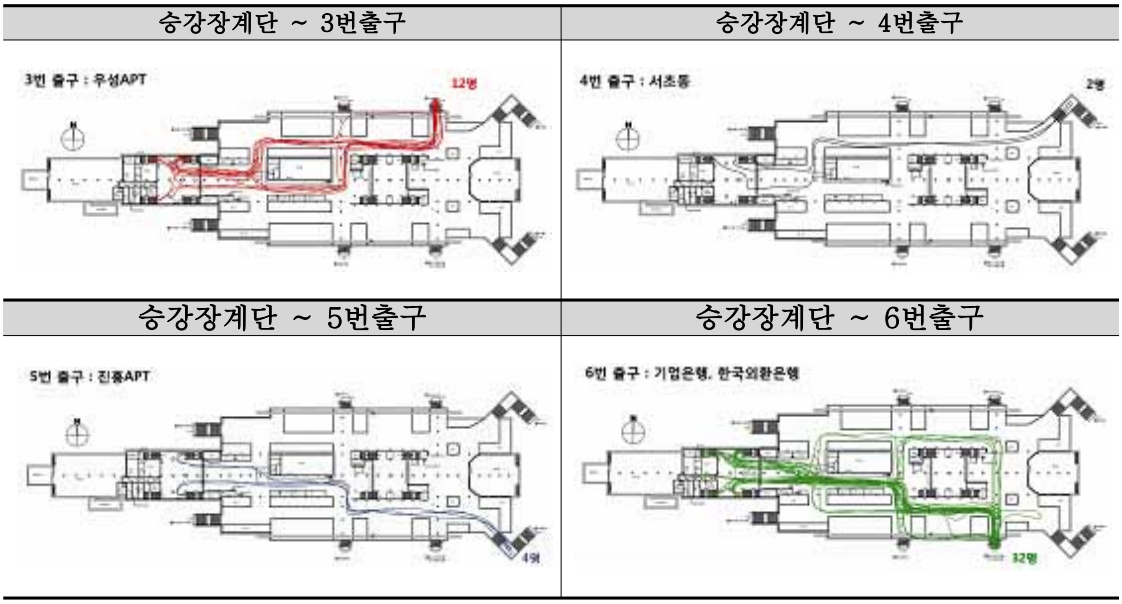
(2) 보행패턴 관찰 조사 DB 구축

(가) 강남역 보행패턴 조사

본 조사의 목적은 강남역 지하철 역사를 이용하는 보행자를 대상으로, 이들의 보행패턴을 관찰함으로써 새로운 통합 프로그램의 적용과 나아가 검증을 위한 데이터를 구축함에 있다.

본 조사는 강남역 서측 지하2층 승강장 계단에서부터 지하 1층 개찰구와 통로를 거쳐 지하 1층의 3, 4, 5, 6번 외부출입구에 이르는 구간을 대상으로 한다. 이는 이용자들의 보행패턴을 관찰조사하기 위하여 비교적 방향성이 명확하며 경로 선택이 가능한, 서측 개찰구에서부터 거리가 떨어진 3, 4, 5, 6번 외부출입구를 범위로 한다.

또한 지하철을 이용하는 이용자들의 보행패턴이 한정적인 시간대를 피하기 위하여, 비교적 목적 및 행태가 다양한 주말 오전인 토요일 아침시간대에 조사하였다. 지상1층의 서측 개찰구를 나와 3, 4, 5, 6번 외부출입구까지 이르는 이용자들의 단순 통과경로만을 관찰하였고, 관찰 도중 쇼핑을 할 경우 관찰대상에서 제외하였다. 위와 같은 방법으로 관찰한 결과, 총 3시간에 걸쳐 50명의 보행패턴을 관찰할 수 있었으며, 그 결과 다음 <그림3-41>과 같다.



<그림3-41> 지하 승강장계단부터 외부출입구까지 보행패턴 조사결과

지하2층 승강장계단에서부터 3번 외부출입구까지 이르는 이용자들은 12명으로서 전체 24%에 해당한다. 이용자들의 보행패턴은 크게 2가지 경로를 보인다. 총 12명 중 서측 개찰구와 직선으로 연결된 중앙복도를 이용하는 경로 6명과 북측복도를 이용하는 경로 6명으로 각각 50%(3번 외부출입구 이용자 대상)를 차지한다.

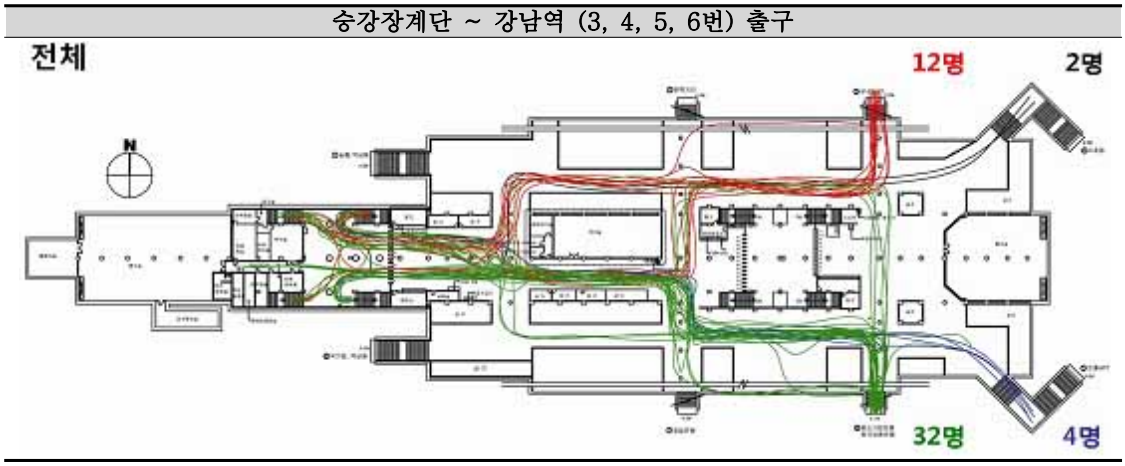
지하2층 승강장계단에서부터 4번 외부출입구까지 이르는 이용자들은 2명으로서 전체 4%에 해당한다. 이용자들의 보행패턴은 단일경로로서 북측복도를 이용하여 4번 외부출입구로 빠져나간다.

지하2층 승강장계단에서부터 5번 외부출입구까지 이르는 이용자들은 4명으로서 전체 8%에 해당한다. 이용자들의 보행패턴은 중앙복도를 거쳐 남측복도를 이용하는 단일경로를 보인다.

지하2층 승강장계단에서부터 6번 외부출입구까지 이르는 이용자들은 32명으로서 전체 64%에 해당한다. 이용자들의 보행패턴은 크게 5가지 경로를 보인다. 총 32명 중 가장 많은 이용자들의 보행패턴은 서측 개찰구와 직선으로 연결된 중앙복도를 거쳐 남측 복도를 이용하는 경로로서 23명으로 71.9%(6번 외부출입구 이용자 대상)를 차지한다. 두 번째로 이용자들이 많은 경로는 중앙복도를 거쳐 북측 복도를 이용하는 경로로서 4명이며, 12.5%를 차지한다. 남측복도를 이용하는 경로 3명(9.4%), 북측복도 이용경로 1명(3.1%), 북측・남측복도 이용경로 1명(3.1%) 순으로

보행패턴 빈도를 보인다.

다음 <그림3-42>는 위의 조사결과를 종합한 보행패턴 비교 도면이다.



<그림3-42> 지하 승강장계단 부터 외부출입구까지 보행패턴 비교

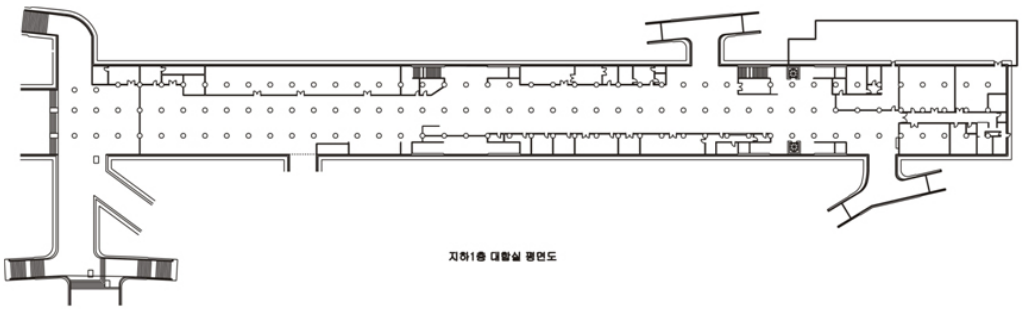
(3) 공간구조에 대한 DB 구축

(가) 서울 시청 역(1호선, 2호선 환승역) 공간분석

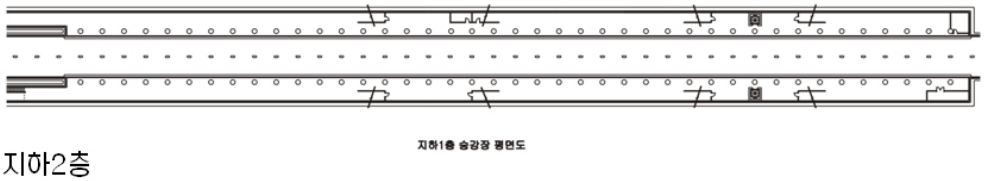
서울 시청역은 지하 3층까지 구성되어 있으며, 1호선과 2호선이 교차하는 환승역으로, 총 12개의 지상 연결 출구가 있으며 지하 1층에서 새서울지하상가와 소공동 지하보도와 연결되었다. 시청역 주변으로 시청 및 시청광장, 호텔, 오피스 등이 밀집되어 관광객 및 다양한 계층의 이용자들의 주요한 대중교통 수단으로 이용된다. Depthmap 프로그램으로 Total Depth를 분석하였다.

분석 순서는 시청역 1호선공간구조, 시청역 2호선공간구조, 시청역 1호선과 2호선 연결한 공간구조이다. 다음은 시청역 1호선의 각층을 Depthmap 프로그램으로 분석한 결과이다. 분석결과, 시청역 지하철 1호선의 공간구조만 고려한 Depthmap 프로그램에 의한 분석에서 지하1층과 지하2층 모두 접근성이 높은 축선을 형성하고 있으며, 지하1층에서는 기둥과 기둥사이의 보행통로가 가장 높은 접근성을 나타내며 계단은 상대적으로 낮은 접근성을 나타내었다. 지하2층에서는 지하철 승하차가 이루어지는 공간이 가장 접근성이 높았다.

시청역 지하철 1호선 평면

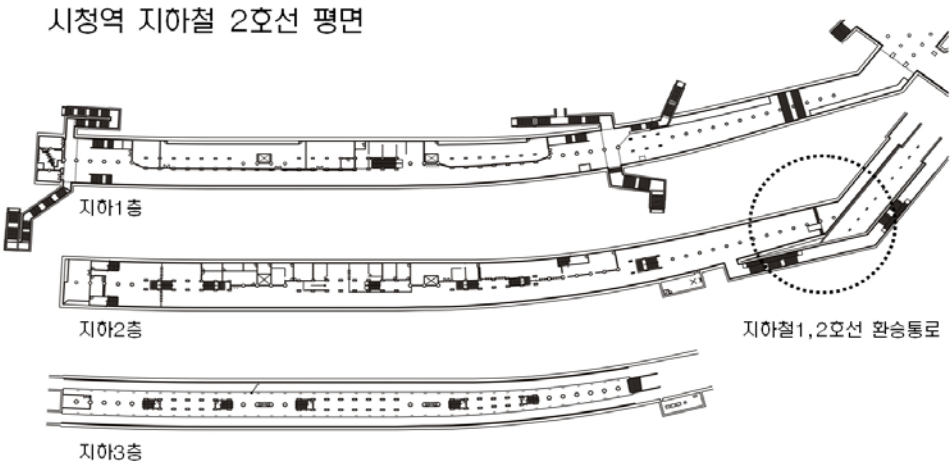


지하1층

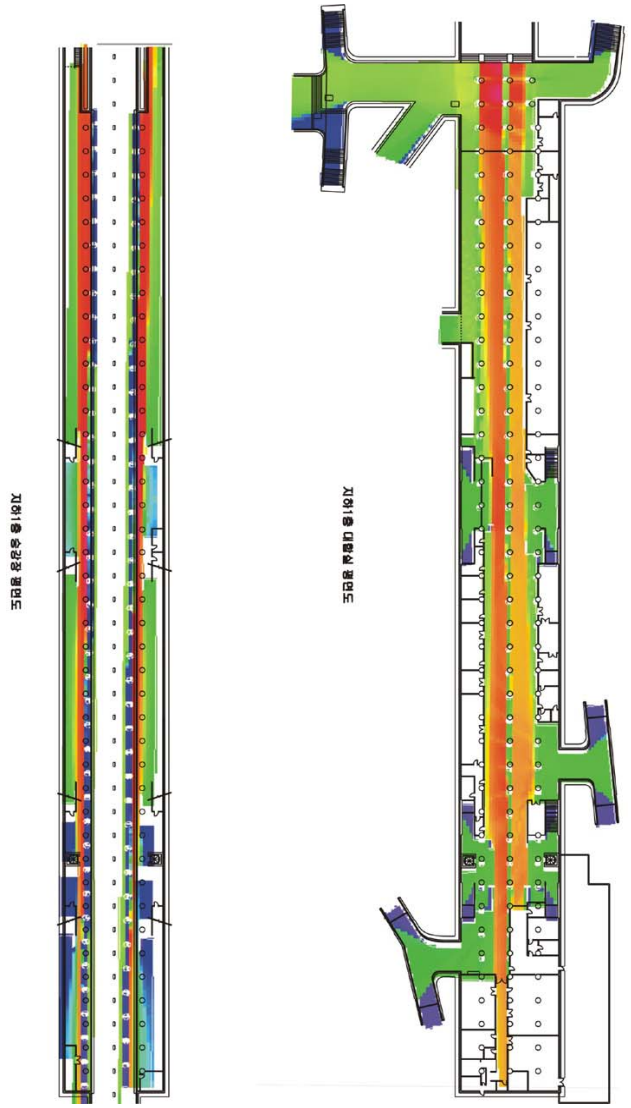


지하2층

<그림3-43> 시청역 지하철 1호선 평면



<그림3-44> 시청역 지하철 2호선 평면



<그림3-45> 시청역 지하철 1호선 Depthmap 분석

다음은 시청역 2호선의 각층을 Depthmap 프로그램으로 분석한 결과이다.
시청역 지하철 2호선의 공간구조만 고려한 Depthmap 프로그램에 의한 분석에서 지하1층과 지하2층은 보행통로가 꺾어지는 공간에서 가장 접근성이 높고,지하3층에서는 지하철 승하차가 이루어지는 공간이 가장 접근성이 높았다.

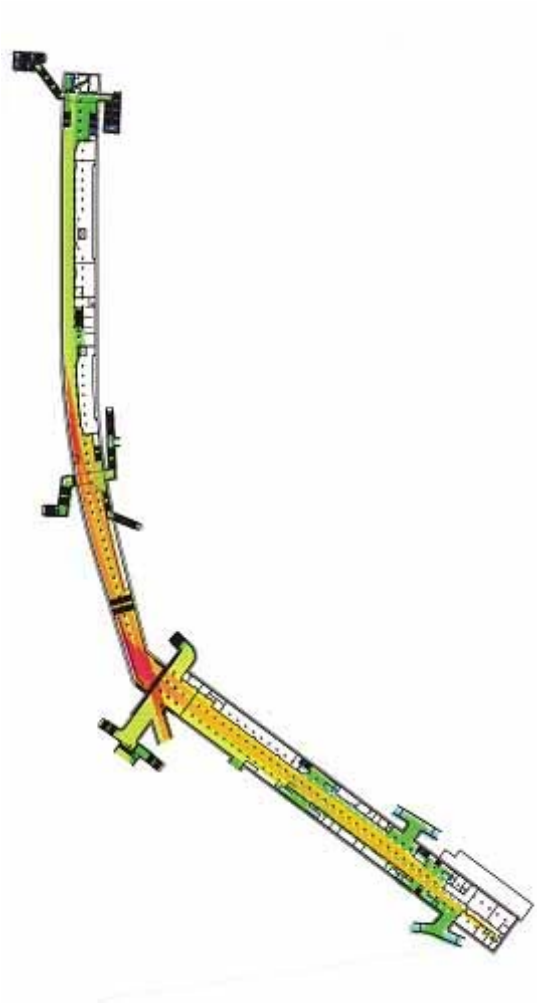


<그림3-46> 시청역 지하철 2호선 Depthmap 분석

<그림3-47>과 <그림3-48>은 시청역 1,2호선의 각층을 Depthmap 프로그램으로 분석한 결과로 1,2호선의 지하1층과 지하2층의 공간이 연결된 상태에 대한 결과이다. 분석 결과, 시청역 지하철 1,2호선의 연결된 공간구조를 고려한 Depthmap 프로그램 공간구조 분석에서 지하1층은 1호선보행통로와 2호선보행통로가 만나는 공간이 가장 접근성이 높고, 지하2층은 환승통로에서 가장 높은 접근성을 나타냈다.



<그림3-47> 시청역 1,2호선 연결된 지하 2층

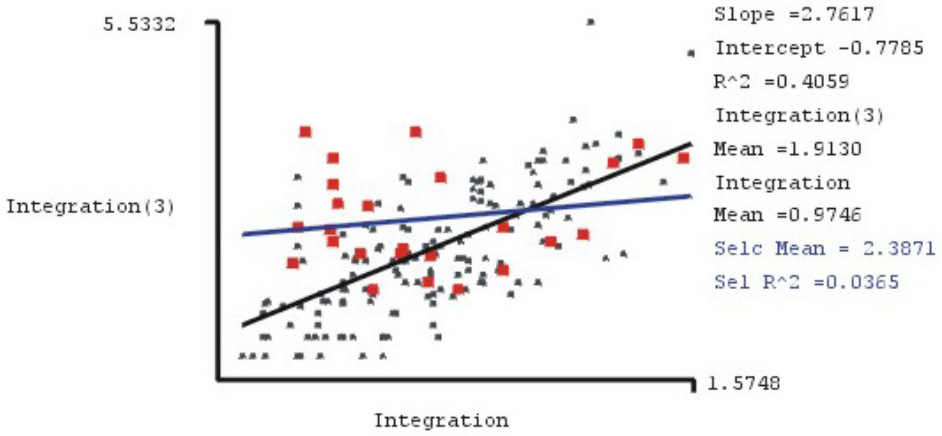


<그림3-48> 시청역 1,2호선 연결된 지하 1

(나) 충무로 역(3호선, 4호선 환승역) 공간분석

환승역으로서, 환승소요공간이 긴 충무로 역의 Global Integration을 보면, 모든 공간으로의 이동의 지점이 되는 지하2층 4호선대합실의 중앙복도가 가장 통합도가 높은 것으로 나타났다. 두 번째로 통합도가 높은 공간은 역시 지하2층으로서 지하3

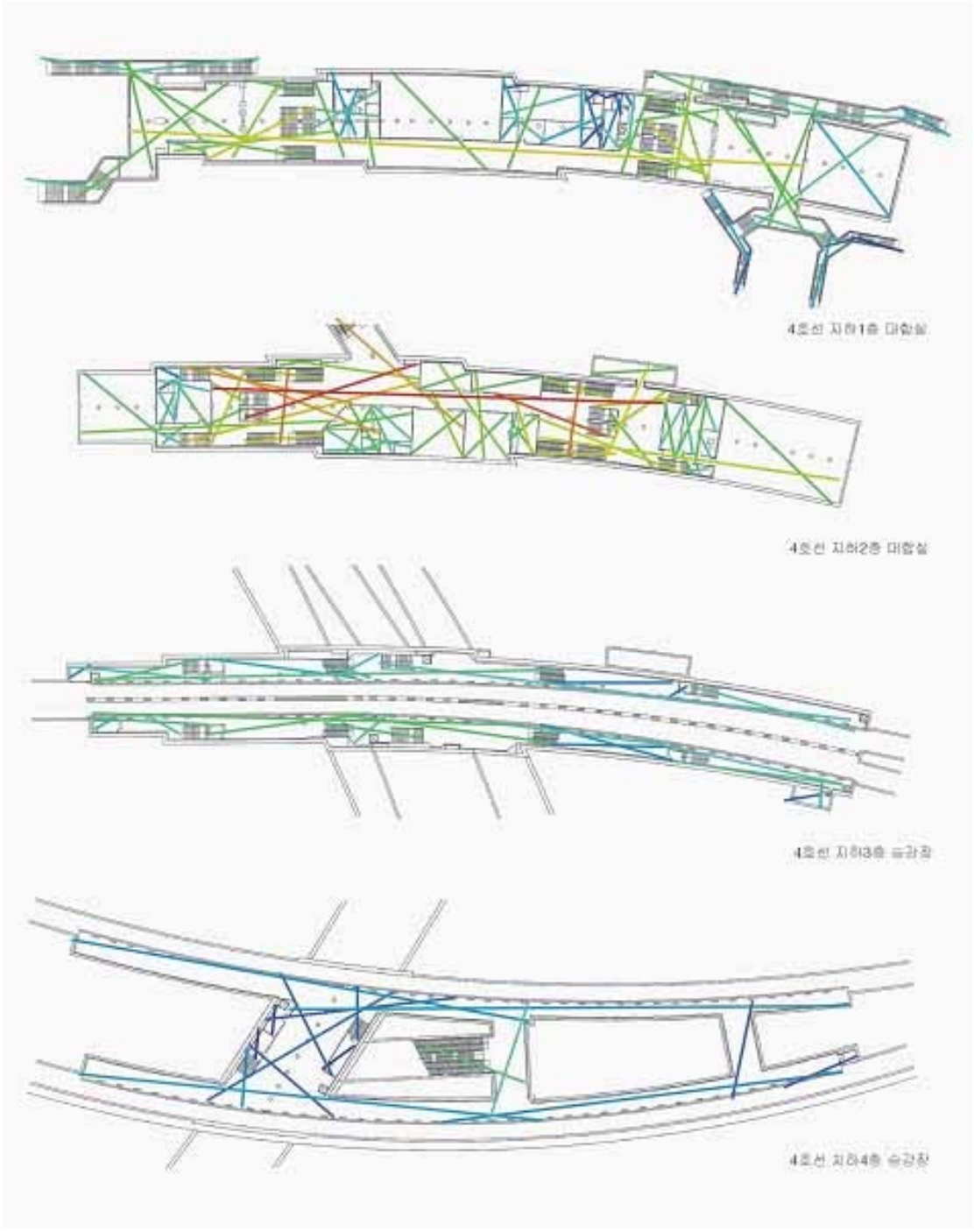
층과 지하4층의 승강장으로 통과하는 공간으로 나타났다. 반면에 가장 통합도가 낮은 공간은 지하3층 4호선승강장을 거쳐 통과하는 경로인 지하4층 3호선승강장의 홀(hall)로 나타났다. 또한, 아래의 산포도는 Global Integration에 대한 Local Integration으로 역 전체의 공간구조명료도와 환승보행최단경로를 선택한 결과를 나타내는 그래프이다. 또한 환승 경우의 명료도 분석결과, 공간구조 명료도는 0.191로 각 노선별 공간구조 보다 환승의 경우 그 명료도가 더 낮은 분석 값으로 나타났다.



<그림3-49> 충무로역의 Intelligibility 분석

<표3-10> 충무로역의 공간구조명료도 상관계수분석 (r2=0.4059)

사례 / 역 / 분석내용	충무로 역			
	전체	3호선	4호선	환승
Local / Global	0.6371	0.4516	0.6151	0.191
Connectivity / Global	0.5392	0.38	0.4514	0.1952

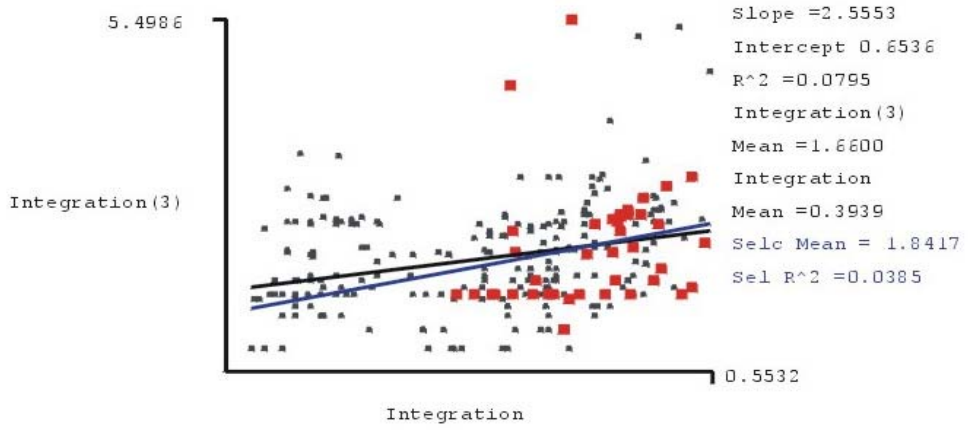


<그림3-50> 충무로역의 Global Integration

(다) 동대문 역 (2,4,5호선 환승역) 공간분석

전체 통합도가 가장 높은 곳은 지하1층 4호선대합실의 중앙복도로 나타났다고, 그 다음으로 통합도가 높은 곳은 지하3층 4호선승강장과 지하5층 5호선승강장으로

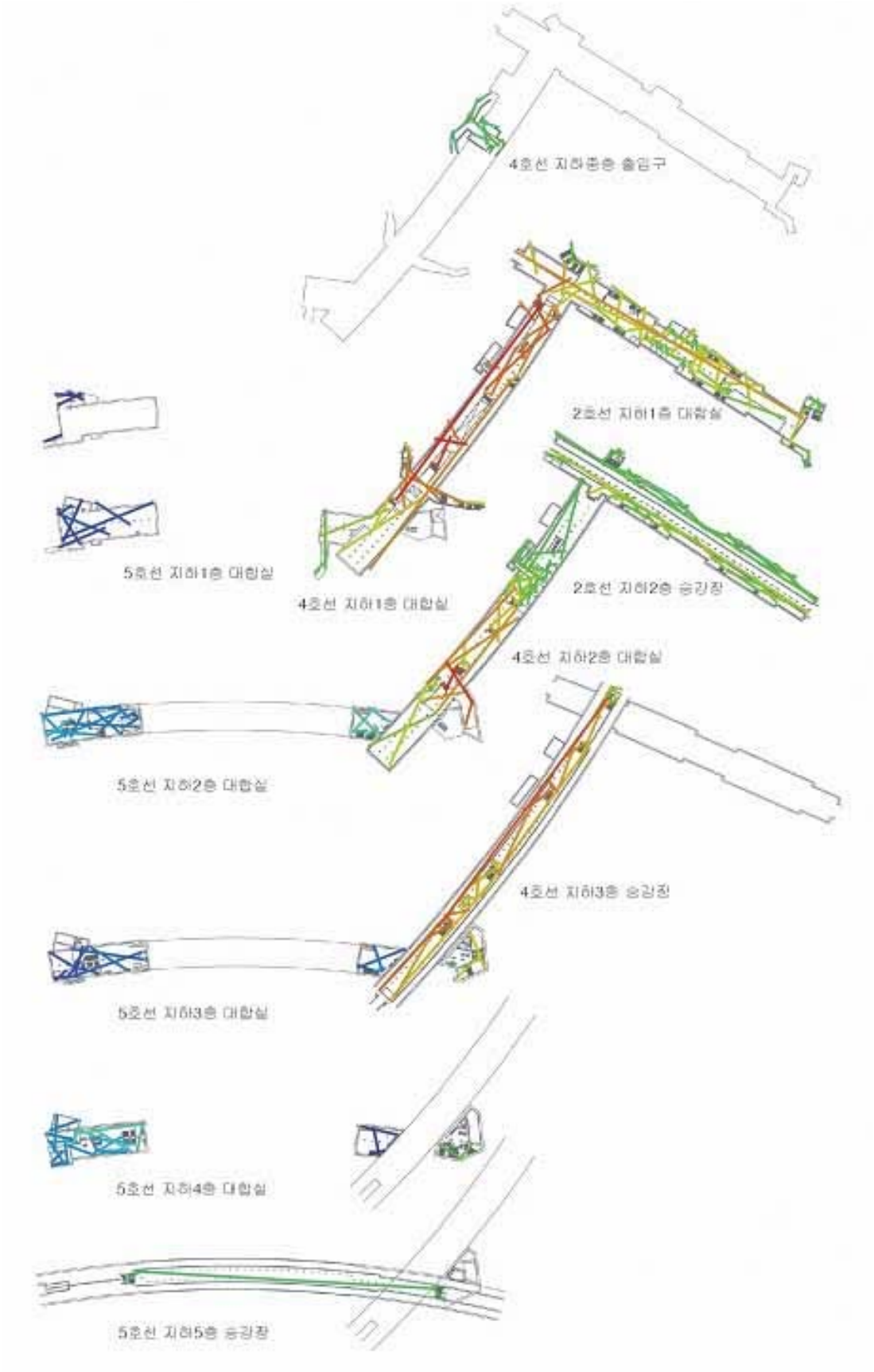
이어지는 통로인 지하2층 4호선대합실로 나타났다. 반면에 5호선의 대합실은 그 출구의 위치가 2,4호선 출구와 먼 곳에 위치하므로 접근성이 낮게 분석되었고 2호선의 승강장 역시 4호선의 승강장보다는 낮은 것으로 분석되었다. 분석 결과, 2,4,5호선의 노선이 환승되는 동대문운동장 역은 4호선 승강장 외에 2호선 승강장과 5호선 승강장의 인지도가 낮아 공간구조가 명료하지 못한 것으로 나타났다. 아래 그림은 산포도는 전체 공간구조명료도와 환승 보행최단경로를 선택한 결과를 나타내는 그래프이다. 그 분석 값은 표과 같다.



<그림3-51> 동대문운동장역의 Intelligibility 분석

<표3-11> 동대문운동장역의 공간구조명료도 상관계수분석(r2=0.0795)

사례 역 / 분석내용	동대문운동장 역				
	전체	2호선	4호선	5호선	환승
Local / Global	0.282	0.4416	0.4723	0.1265	0.1962
Connectivity / Global	0.1764	0.3366	0.3094	0.0735	0.0458

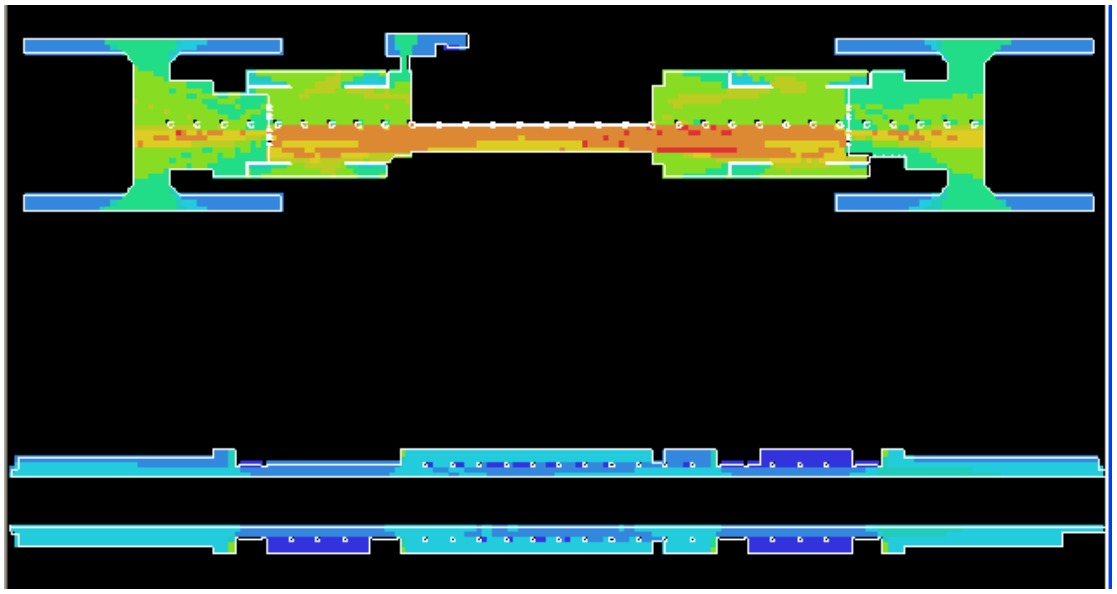


<그림3-52> 동대문운동장역의 Global Integration

(라) 수유역(4호선) 공간분석

4호선 단일 역사인 수유역을 depthmap 으로 분석한 결과, 양측의 개찰구을 있는 통로 공간의 통합도가 가장 높은 것으로 나타났고, 지하 2층의 승강장 하부 계단 부분의 통합도가 매우 낮은 것으로 나타났다.

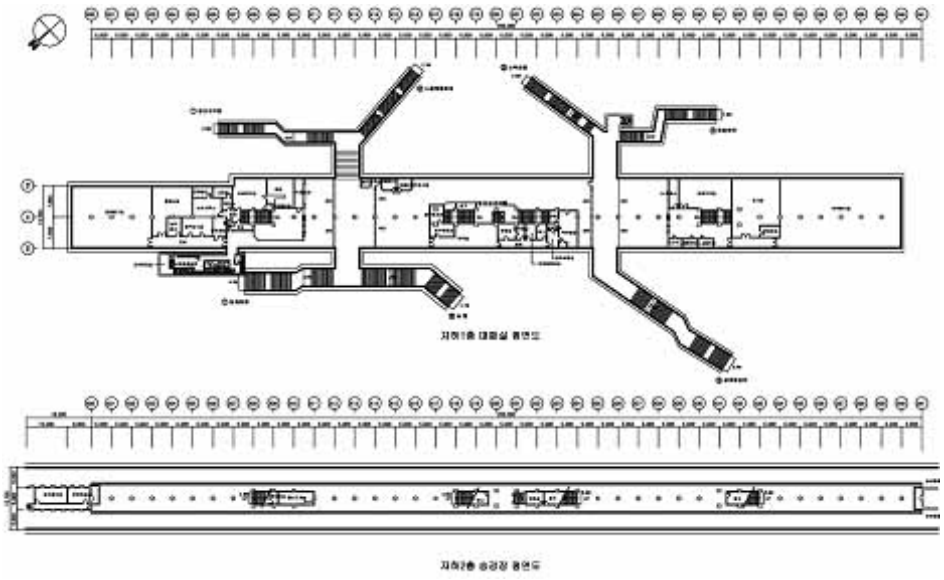
또한 각각의 승강장에서 개찰구를 잇는 계단부분에서 개찰구 쪽으로 직선 가시 방향의 통합도가 주변 셀에 비해 상대적으로 높은 통합도를 나타냈다.



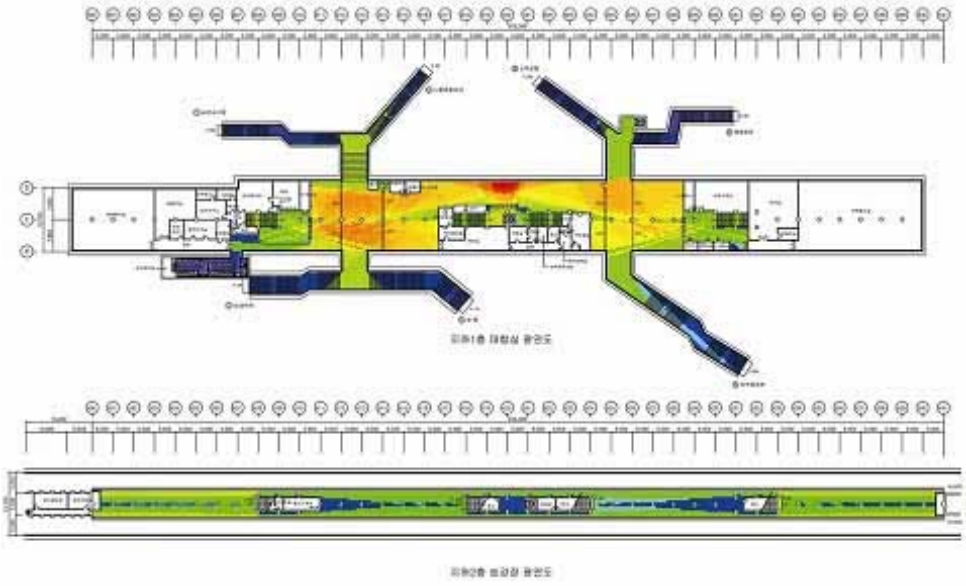
<그림3-53> 수유역 Depthmap 분석

(마) 한성대역 전체 공간조사

한성대역의 Global Integration을 보면, 전체 통합도가 가장 높은 곳은 지하1층 대합실 중앙복도이며 다음으로 개찰구 앞 공간의 접근성이 높다. 또한 지하2층 가장자리의 계단 주변공간의 접근성이 승강장 중앙의 계단의 접근성 보다 높지만 지하1층 개찰구에서는 양쪽 모두 비슷한 접근성을 보인다. 이로 정거장 전층에 대한 외부출입구와의 접근성이 양호하다는 것을 알 수 있다. 이는 정거장의 지하보도 및 피난 역할 수행의 용이함을 나타낸다. 역무관리 기능실은 중앙복도와 인접해서 비교적 집중 배치되어 있으며, 접근성 또한 양호함을 나타낸다. 한성대역의 공간구조 명료도 값은 0.6287로 길찾기가 용이함을 나타낸다.



<그림 3-54> 한성대역 지하철 4호선 평면

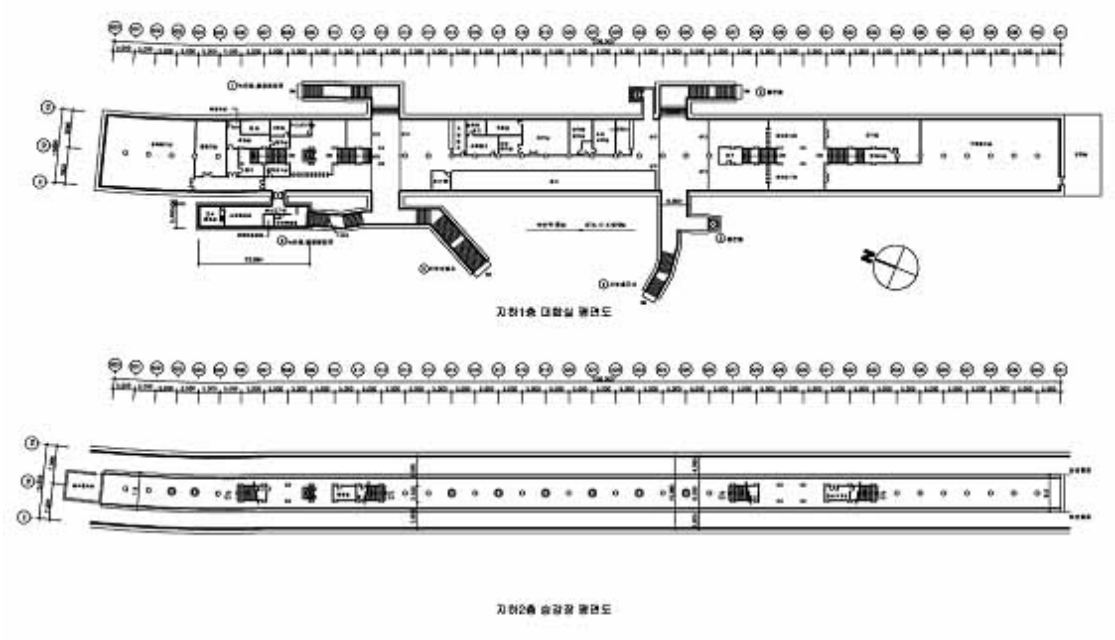


<그림 3-55> 한성대역 Depthmap 분석

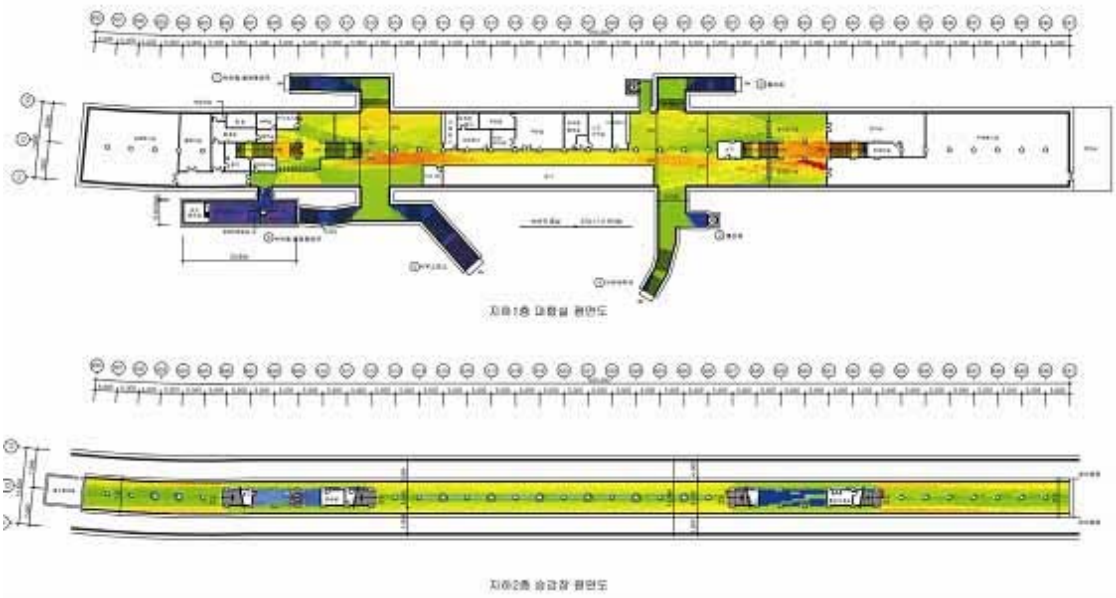
(바) 녹번역 전체 공간조사

녹번역의 Global Integration을 보면, 전체 통합도가 가장 높은 곳은 지하1층 대합실 중앙복도이며 다음으로 대합실과 외부출입구 사이공간의 접근성이 높다. 또한 지하2층 승강장 계단 주변공간의 접근성이 높음으로써 정거장 전층에 대한 외부출

입구와의 접근성이 양호하다는 것을 알 수 있다. 이는 정거장의 지하보도 및 피난 역할 수행의 용이함을 나타낸다. 역무관리 기능실은 중앙복도와 인접해서 비교적 집중 배치되어 있으며, 접근성 또한 양호함을 나타낸다. 녹번역의 공간구조명료도 값은 0.4739로 비교적 길찾기가 용이함을 나타낸다.



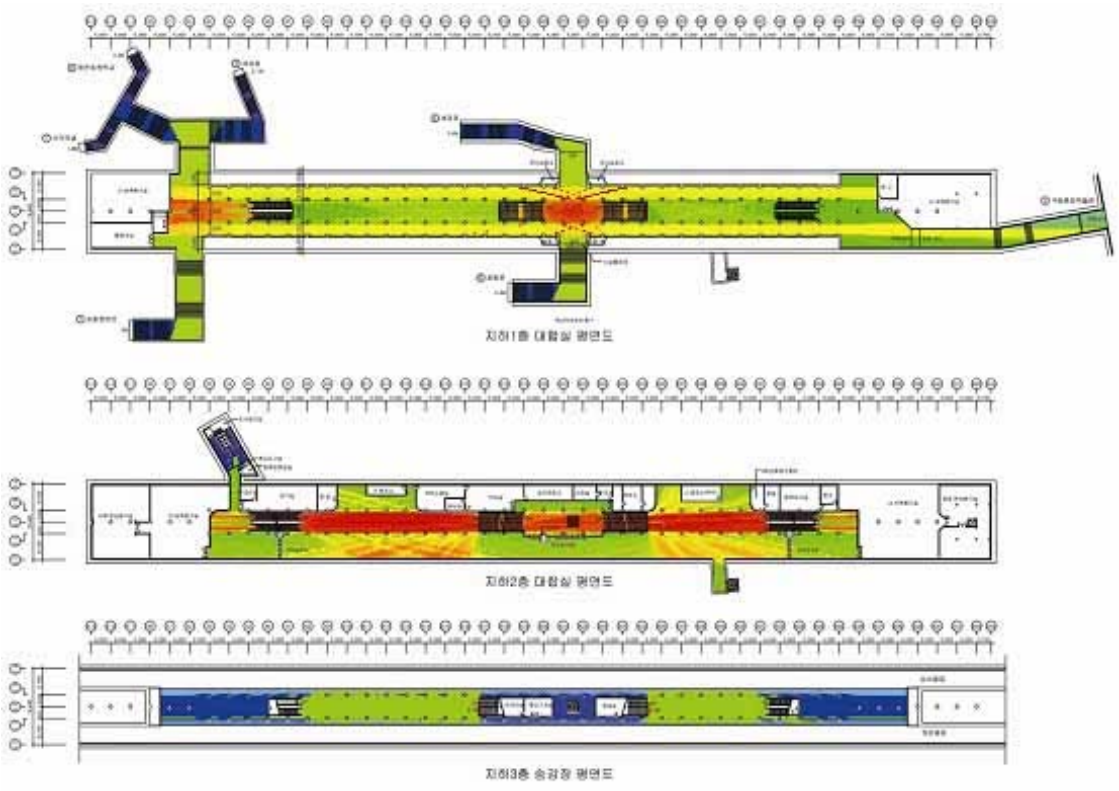
<그림 3-56> 녹번역 지하철 3호선 평면



<그림 3-57> 녹번역 Depthmap 분석

(사) 경복궁역 전체 공간조사

경복궁역의 Global Integration을 보면, 전체 통합도가 가장 높은 곳은 지하2층 대합실의 중앙복도이며 다음으로 높은 곳은 지하2층 중앙복도와 연결된 지하1층 대합실 계단의 주변 공간이다. 이는 개찰구로 가기위한 인지도 및 접근성이 높은 것을 나타낸다. 또한 외부출입구와의 접근성은 다소 떨어지며 이는 정거장의 지하보도 및 피난 역할 수행의 다소 어려움을 나타낸다. 역무관리 기능실이 중앙복도와 인접해서 분산 배치되어있다. 경복궁역의 R2값은 0.3782로 낮은 공간구조명료도 값을 나타내며 길찾기가 어려움을 알 수 있다.



<그림 3-58> 경복궁역 Depthmap 분석

(아) 고속터미널역 전체 공간조사

고속터미널이 위치한 센트럴 시티와 고속터미널역과의 Global Integration을 보면, 지하1층 전체의 공간구조명료도(R2값) 0.52와 3호선지하상가만의 공간구조명료도(R2값)은 0.26이다. 이는 3호선 지하철에서 센트럴 시티로 가기위한 가시성 및 접근성이 낮은 것을 나타낸다. 3호선지하상가 전체통합도가 가장 높은 곳은 지하1층 3호선지하상가와 백화점 입구과 연결된 계단 부분이며 다음으로 3호선 지하상가와 고속터미널지하도상가의 사이의 접근성이 높다. 이는 길찾기가 어려워 정거장의 지하상가와 지하보도의 피난역할수행에 어려움을 보여준다.



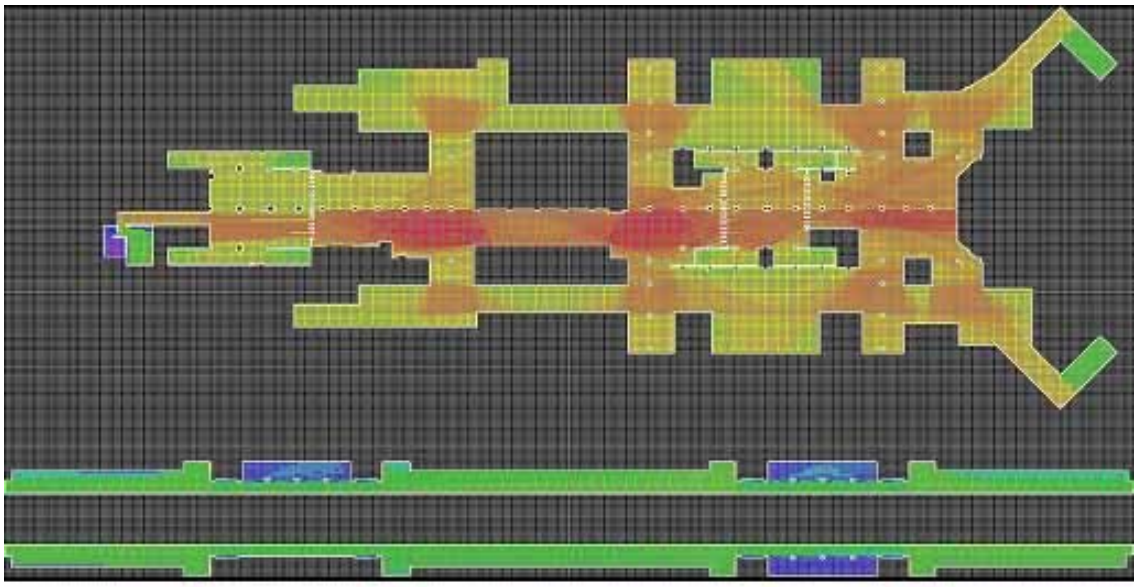
<그림 3-59> 고속터미널역의 Global Integration



<그림 3-60> 고속터미널역 Depthmap 분석 (센트럴시티 및 지하상가 포함)

(자) 강남역 전체 공간조사

강남역 전체 역사에 대한 가시성 그래프 분석 방법(VGA: Visibility Graph Method)에 의한 depthmap 분석결과는 다음과 같다.



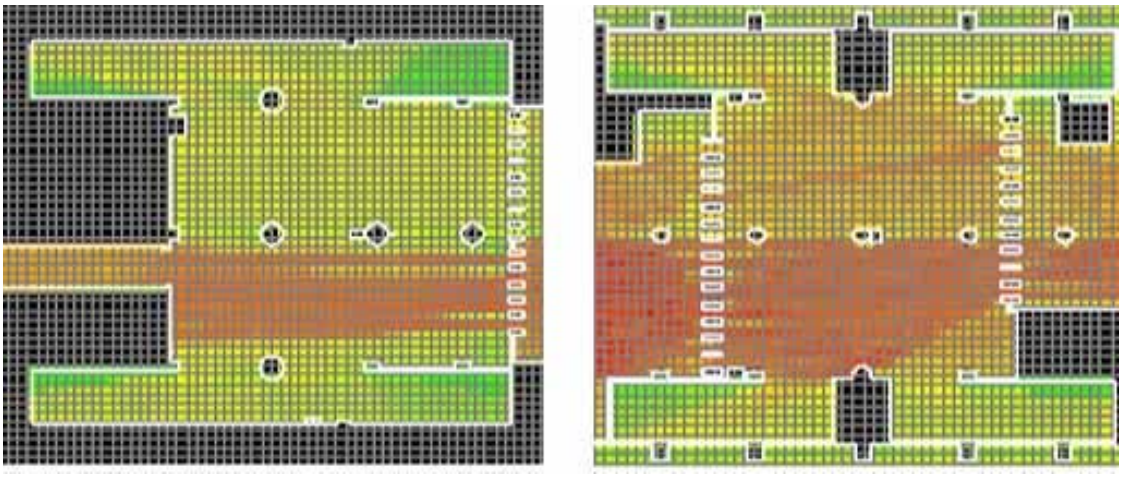
<그림 3-61> 강남역 실사 후 depthmap 분석(500cell)

<표3-12> cell 500 HH 값 등 분석 표

Ref	x	y	Connectivity (Degree)	Isovist Maximum Radial	Isovist Moment of Inertia	Visual Entropy	Visual Integration (HH)	Visual Integration (P-value)	Visual Mean Depth	Visual Relativised Entropy
8	334000	54500	2093	204005.5	6.52E+18	2.000554	12.04553	0.3837498	3.604445	2.668392
9	334000	55000	2177	204002.5	6.82E+18	2.005676	12.30114	0.3918934	3.550325	2.635681
10	334000	55500	2257	204002.5	7.10E+18	2.002986	12.32584	0.39268	3.545216	2.637748
11	334000	56000	2331	204005.5	7.36E+18	2.005323	12.37356	0.3942004	3.535399	2.632442
31	334000	66000	2221	204005.5	6.92E+18	2.071802	11.81491	0.3764029	3.655281	2.64037
32	334000	66500	2143	204002.5	6.64E+18	2.049416	11.71685	0.3732786	3.677505	2.670716
33	334000	67000	2055	204002.5	6.23E+18	2.046876	11.69278	0.3725119	3.683016	2.673313
34	334000	67500	1973	204005.5	5.93E+18	2.015336	11.40699	0.363407	3.750237	2.73647
65544	334500	54500	2099	203505.5	6.47E+18	2.000428	12.04654	0.3837821	3.604226	2.668575
65545	334500	55000	2181	203502.5	6.77E+18	2.005594	12.30185	0.3919158	3.550179	2.635798
65546	334500	55500	2261	203502.5	7.05E+18	2.002886	12.32654	0.3927025	3.54507	2.637883

(차) 강남역 개찰구 부분조사

강남역 서측과 동측 개찰구 부분에 대한 가시성 그래프 분석 방법(VGA: Visibility Graph Method)에 의한 depthmap 분석결과는 다음과 같다.



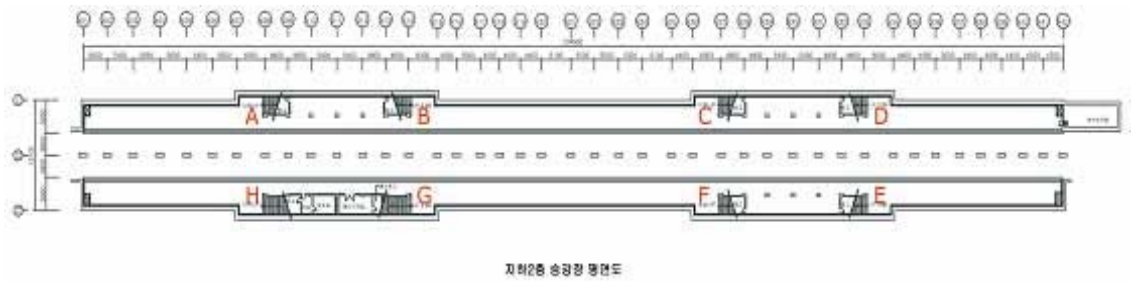
<그림 3-62> 강남역 개찰구부분 500cell 분석(좌측-서측, 우측-동측)

(카) 강남역 승강장 부분조사

강남역 서측과 동측 개찰구 부분에 대한 가시성 그래프 분석 방법(VGA: Visibility Graph Method)에 의한 depthmap 분석결과는 다음과 같다.



<그림 3-63> 강남역 승강장 8개부분(지하 2층) 500cell 분석



<그림 3-64> 지하 승강장 보행량 관찰 지점

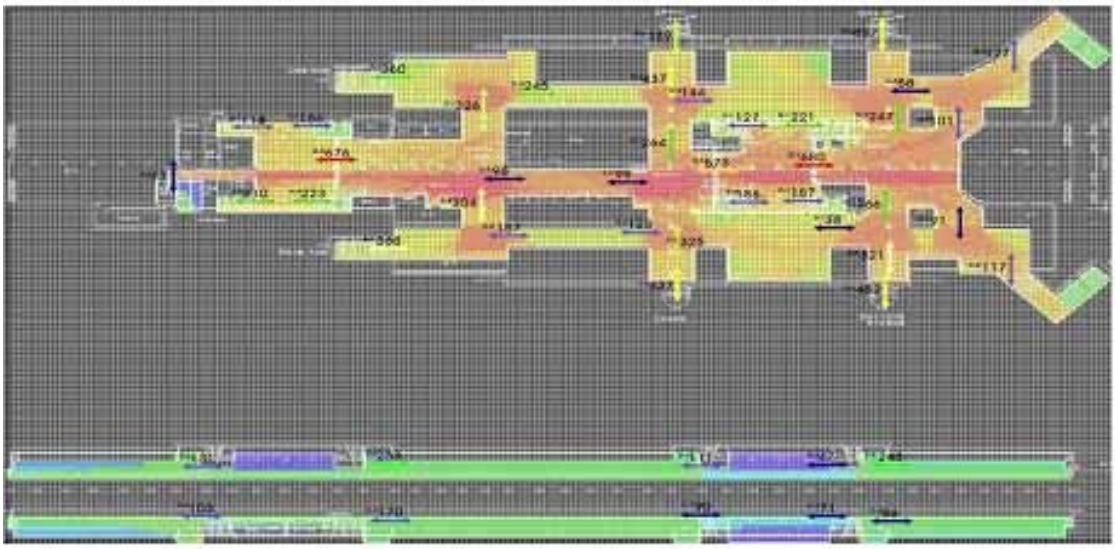
<표3-13> 지하 승강장 보행량 조사결과표

조사지점	출근 보행량		주말 전야 보행량	
	측정시간	보행량	측정시간	보행량
A	8:11am~	91	8:31pm~	9
	8:13am~	94	8:34pm~	9
	8:17am~8:20am	109	8:36pm~8:39pm	8
B	8:11am~	168	8:31pm~	33
	8:13am~	103	8:34pm~	38
	8:17am~8:20am	147	8:36pm~8:39pm	23
C	8:11am~	215	8:31pm~	47
	8:13am~	151	8:34pm~	33
	8:17am~8:20am	264	8:36pm~8:39pm	35
D	8:11am~	130	8:31pm~	32
	8:13am~	121	8:34pm~	63
	8:17am~8:20am	201	8:36pm~8:39pm	31
E	8:11am~	80	8:31pm~	37
	8:13am~	79	8:34pm~	33
	8:17am~8:20am	127	8:36pm~8:39pm	28
F	8:11am~	115	8:31pm~	45
	8:13am~	103	8:34pm~	36
	8:17am~8:20am	134	8:36pm~8:39pm	35
G	8:11am~	66	8:31pm~	32
	8:13am~	45	8:34pm~	28
	8:17am~8:20am	104	8:36pm~8:39pm	41
H	8:11am~	67	8:31pm~	21
	8:13am~	65	8:34pm~	27
	8:17am~8:20am	95	8:36pm~8:39pm	22

다. 통합 시스템 적용 및 보완을 위한 공간구조 비교 연구

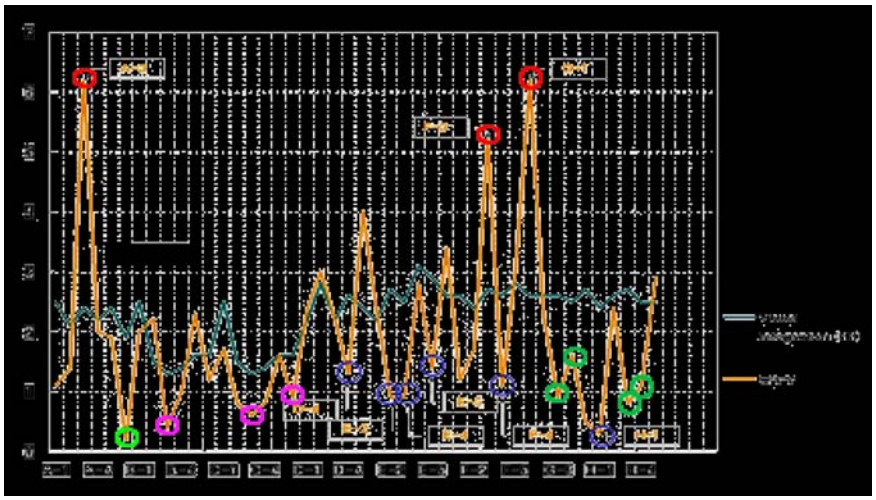
(1) 공간구조와 보행량과의 상관관계 분석

(가) 강남역 전체 공간에서의 비교



<그림 3-65> 공간구조 분석치(HH)와 보행량 값의 평면도 상 비교

공간구조 분석과 보행량 조사와의 관련성을 알아보기 위하여 공간구조 분석 값을 나타내는 Depthmap 그래프와 보행량을 나타내는 조사 분포도를 서로 겹쳐봄으로써 두 값을 비교하였다. 그러나 이와 같은 방법은 시각적으로 평면도상 어느 부분에서 두 값의 차이가 많이 생기는지 쉽게 알 수 있으나, 각 조사 결과치를 색깔로 표현하는데서 발생되는 오차로 인해, 두 값의 정확한 비교가 어렵다.

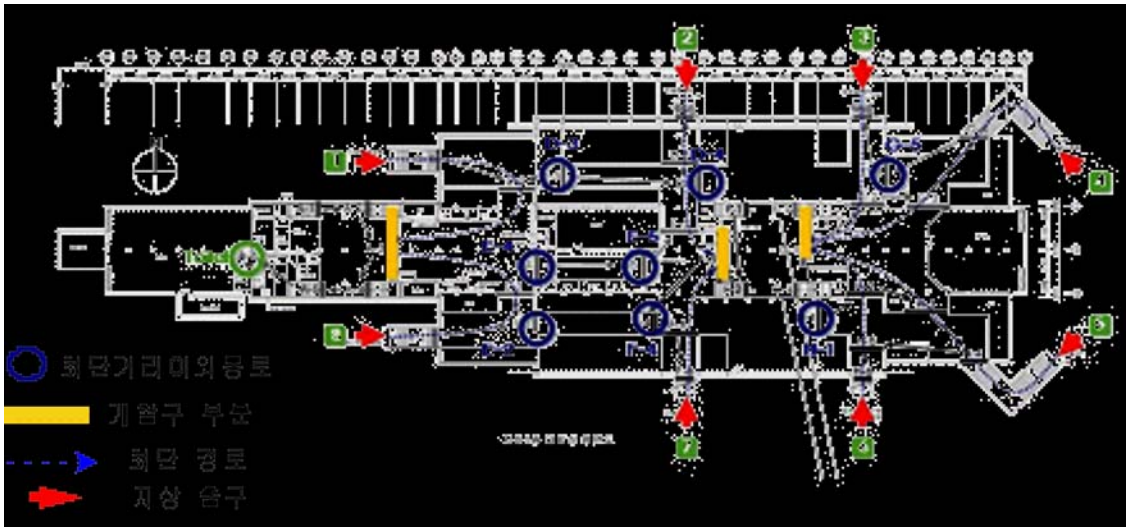


<그림 3-66> 보행량과 HH값 비교 그래프

따라서 보다 정확한 비교를 위하여, 전체 지하철 역사 중 실제 보행량을 조사한 조사지점의 각 셀의 공간구조 분석치(HH)의 평균값과 보행량 과의 수치적 비교를 시도하였다. 이 두 값의 비교를 위하여 소수점(5.249228~15.86797)으로 나오는 HH 값과 인원수(17~680명)를 각각 전체에 대한 백분율 값으로 치환하여 그래프로 비교하였다.

기존 연구에 의하면 대부분의 도시 및 건축 공간에서의 보행자 행태는 가시성을 바탕으로 하는 공간구조 분석값(HH)와 비교적 높은 상관관계를 보인다. 본 장에서는 이를 근거로, 강남역 전체 공간구조를 기본으로 이보다 높은 보행량을 나타내는 부분과 이보다 적은 보행량을 나타내는 부분의 특성에 대해 분석하였다.

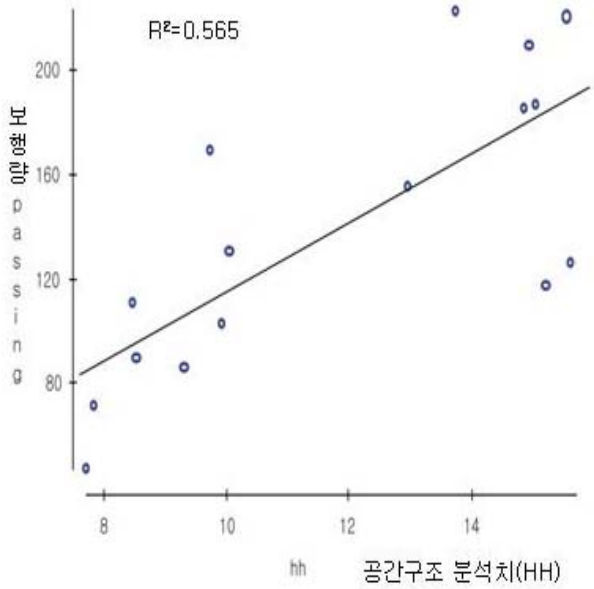
전체 공간구조 값보다 높은 보행량을 나타내는 부분(그림12에서 ○ 표시한 부분) 중, 상위 3곳이 모두 인위적 통제가 이루어지고 있는 개찰구임을 알 수 있다. 또한 Depthmap 분석에 의한 Syntax 의 접근성 지수인 공간구조 값에 비해 상대적으로 적은 보행량을 나타낸 부분을 분류하여 본 결과, 첫째, 공용 화장실 부분(○)으로 나타났다. 이는 조사 시간이 바쁜 출근시간으로 이 시간에 공용화장실을 이용하는 이용객이 상대적으로 적었기 때문이라 판단된다. 둘째, 지하 2층 승강장에서 개찰구로 빠져 나가는 계단 하부 (○)에서 다소 적은 보행량을 보였다, 이는 개찰구로 향하는 주요 동선에서 벗어난 지점으로 실제 출퇴근 보행자들의 특성이 단시간에 빨리 빠져 나갈려는 경향을 설명한다. 셋째, 앞 보행량 분석결과에서 본 바와 같이 비교적 업무시설 집적도가 낮은 지역이 있는 지상계단과 그에 연결되는 경로 부분(○)이 공간구조 분석치(HH)보다 낮은 보행량을 보였다. 이는 지하철 역사의 이용객들의 보행행태는 지역 주변의 특성과 관계되어 움직인다는 점을 시사한다. 마지막으로, 지상계단과 그에 연결되는 3곳의 개찰구에서 8곳의 지상계단까지의 최단거리 이외에 있는 통로 (○)에서 HH값보다 현저히 적은 보행량이 관찰됨을 알 수 있다. 즉 바쁜 출근시간을 이용하는 보행자들은 일반 이용객보다 자신이 이용하는 지하철의 역사 구조에 대해 잘 인지하고 있어서 최단거리의 통로를 많이 이용함을 반증한다.



<그림 3-67> 강남역 조사지점의 특성별 표시

총 분석 사례수는 전체 18개 중 통계적 오류가 있는 1개소를 제외하고 전체 17개 보행지점을 대상으로 분석하였다. 이 중 가장 많은 보행량을 보이는 b-5지점은 교대역에서 강남역 쪽으로 진행되는 객차의 승강장 부분이며, 이전 교대역의 환승지점과 가장 가까운 객차가 정차하는 곳으로 이전 환승객의 많은 수가 한꺼번에 하차하는 특성을 갖는 지점이다. 따라서 이를 제외한 16개 사례에 대한 상관관계를 알아보았다.

보행량과 공간구조 분석치(HH)와의 상관성 분석 결과, 두 변수간의 상관관계(r2)가 0.565로 관련성이 있음으로 나타났다. 이는 승강장에서 개찰구 이전까지의 보행행태가 가시성을 바탕으로 행해지고 있음을 설명한다.



<그림 3-68> 보행량과 HH값 상관성 그래프

<표3-14> 승강장에서 개찰구 이전까지의 분석지점 특성

일련 번호	조사 지점	통행량	HH 평균값	일련 번호	조사 지점	통행량	HH 평균값
1	a-1	118	15.2395	10	c-1	187	15.0575
2	a-2	116	12.9687	11	c-2	86	9.3401
3	a-4	223	13.7626	12	c-3	71	7.8118
4	a-5	210	14.9397	13	c-4	90	8.5231
5	b-1	221	15.5572	14	c-5	170	9.7351
6	*b-2	245	9.2504	15	c-6	103	9.9107
7	b-3	47	7.7034	16	f-1	127	15.6405
8	b-4	111	8.4651	17	f-2	186	14.8653
9	b-6	131	10.0593	*b-2는환승객차로 분석대상 제외			

(나) 강남역 개찰구 공간에서의 비교

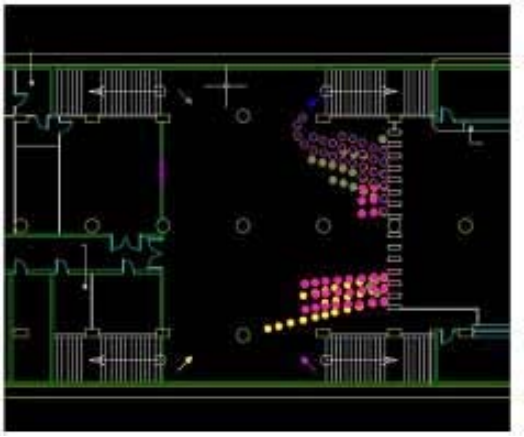
앞서 분석한 전체 강남역 공간에서의 공간구조와 보행량의 비교 분석 결과, 두 값의 차이가 가장 큰 부분이 개찰구 부분인다. 따라서 보다 정확한 보행량과 공간구조의 차이를 분석하기 위하여 개찰구 부분을 보다 면밀하게 분석하였다.

우선 강남역 개찰구가 있는 두 곳의 정하고 여기에 설치된 개별 개찰구에 고유번호를 부여하였다. 각각 지하2층 승강장에서 지하 1층 개찰구로 연결되는 4곳의

계단에서 개찰구로 향하는 보행자들을 각각 30명씩 선정하여 그들이 선택하는 각각의 개찰구별 수를 기록하였다.

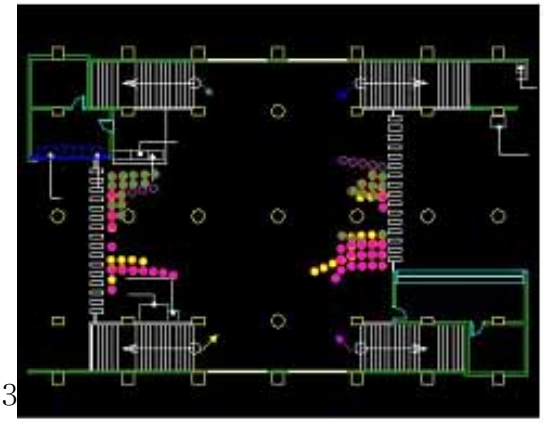
다음 그림은 각각의 계단에서 개찰구를 선택하는 보행자들의 이동을 보여주는 그림과 각 개찰구의 공간구조 분석값을 표현한 것이다.

분석 결과, 우선적으로 각 개찰구의 in / out이 각 역사의 관리체계에 의해 수시로 변경되는데, 이 요소가 보행자의 보행행태에 가장 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 이후 보행자들의 개찰구 선택 행태는 가시성이 확보된 이후 그 안에서 최단거리 선택하는 것으로 나타난다.

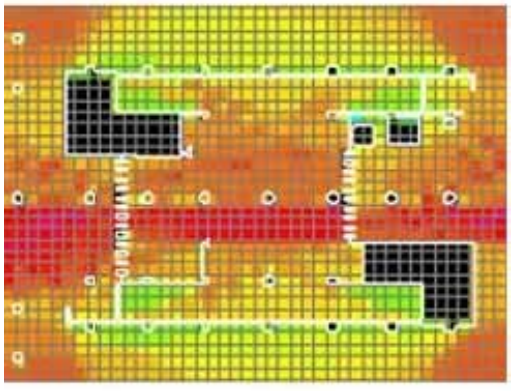


<그림 3-69> 개찰구(a) 보행 분포

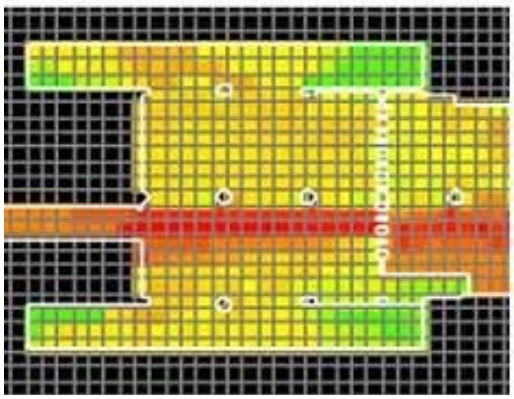
3



<그림 2-70> 개찰구(b) 보행 분포



<그림 3-71> 개찰구(a) 공간 구조값 분포



<그림 3-72> 개찰구(a) 공간 구조값 분포

<표3-15> 동·서측 개찰구별 보행량

GATE	출근 보행량								주말 전야 보행량								Total
	서측 개찰구				동측 개찰구				서측 개찰구				동측 개찰구				
	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	2		11	2					3		6	11					35
2	2		5	4					2	1	8	6					28
3	5		3	7							6	8					29
4	9		2	8													19
5																	0
6																	0
7	3	1	5	2					1	1	2	2					17
8	5		3	6					6	1	3	3					27
9		3	1	1					8	3	3						19
10	2								4	11	1						18
11	1	5							5	8	1						20
12		12								5							17
13	1	9							1								11
14																	0
15																	0
16					10								5	2			17
17					11	2							4	1			18
18					3	4							2	6	1		16
19						1							2	2	1	1	7
20						4							2	1	1		8
21						1											1
22						2									1	1	4
23								1									1
24						1		1									2
25								1							7	4	12
26								3						1		3	7
27								6							1	1	8
28																	0
29																	0
30																	0
31							13	4							6	8	31
32							12	4					5	1	5	4	31
33							2	4					1		5	4	16
34							2	2									4
35							1										1
36					5	2		1									8
37					1	4		1					4	4	1		15
38						4		2					3	4	1	3	17
39						5							2	2		1	10
40														6			6
41																	0
42																	0
Total	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	

(다) 강남역 승강장에서의 비교

여객 유동에서의 보행자의 시작점은 여객 객차에서 내리는 곳인 승강장에서부터 시작된다. 본 조사에서는 강남역의 지하 2층 승강장에서 지하 1층 개찰구로 연결되는 지하 2층 계단 8곳에서의 보행량과 공간구조를 비교하였다.

그 결과, 각 승강장 부분 조사 지점에 영향을 미치는 요소는 해당 객차에서 빠져나오는 승객의 수가 가장 큰 영향을 미쳤다. 따라서 조사 전 가정했던 가시정도와 최단거리와의 보행행태와의 관련성은 본 객차의 유출 여객량에 비해 매우 미흡했다.

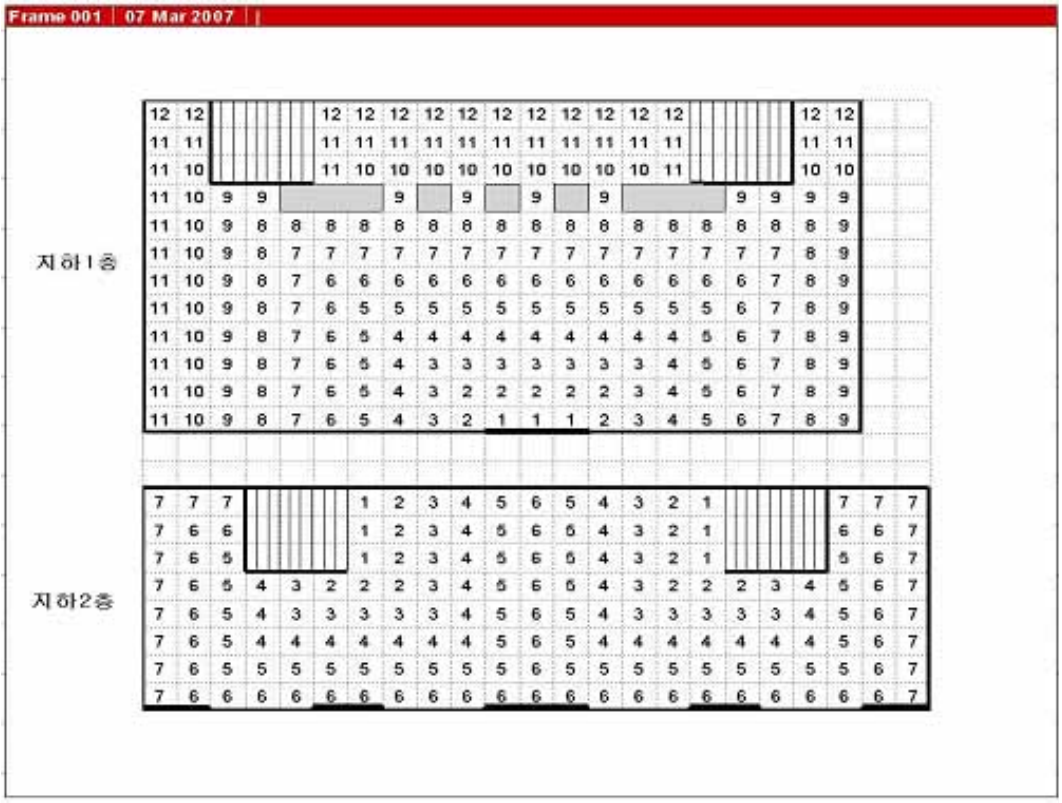
(2) potential map(최단거리 요소)와 space syntax(가시성 요소) 적용 가중치 연구

인간의 보행행태를 규정하는 요소를 본 연구에서는 크게 가시성과 최단거리로 규정하고, 이 두 요소가 보행행태에 미치는 관련정도를 밝히고자 한다. 이의 궁극적 목표는 본 연구에서 개발하고자 하는 여객유동 평가 프로그램의 개발에 적용할 위 두 요소의 각각의 가중치 적용 정도를 알아내고자 함이다.

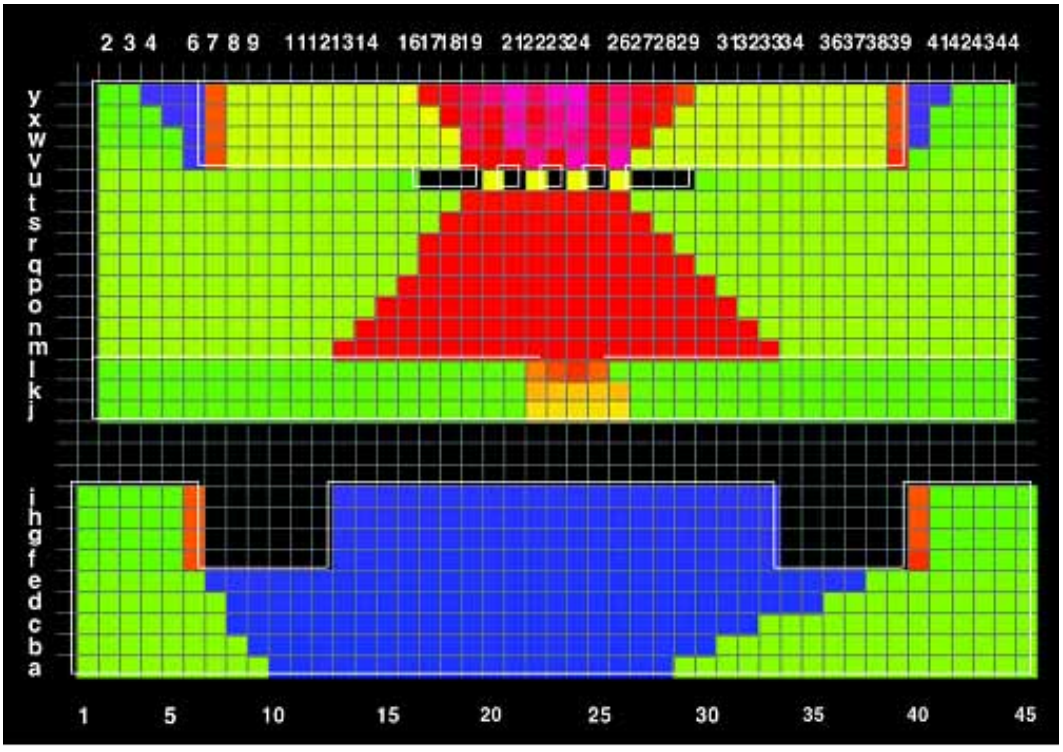
이를 위하여 우선 지금까지 가장 많은 조사가 이루어진 강남역의 전체 공간에 대하여 정량적 보행량을 확보하고, 전체 강남역의 potential map에서 얻을 수 있는 각 cell의 정량적 값과 space syntax에서 얻어지는 각 cell의 가시성에 대한 정량적 값을 구하여, 보행량을 종속 변수로 하고, 나머지 두 요소, 즉 최단 거리값과 가시성 값의 상관관계를 통계적으로 분석하고자 한다.

다음 그림은 potential map의 값에서 단순히 보여지는 cell의 값과 depthmap에서 일반적으로 보여지는 결과치로써 HH값을 색으로 표현한 것이다. 본 분석에서는 두 개의 프로그램에서 얻을 수 있는 위와 같은 다양한 cell의 값 중, 보행량에 대응 할 수 있는 값을 찾기 위하여, space syntax의 depthmap 프로그램의 가시성통합도 값인 HH 값을 선정하였고, potential map에서 얻을 수 있는 cell 대응 값은 일정한 agent 를 강남역에 분포시켰을 때 각각의 cell 위를 agent가 거쳐가는 누적 회수를 기록한 값을 그 대응 값으로 하였다.

$$\text{보행량}(Y) = ax1\ (\text{최단거리값}) + bx2(\ \text{가시성 값}) + \cdots$$



<그림 3-73> Potential map sample



<그림 3-74> Depthmap sample

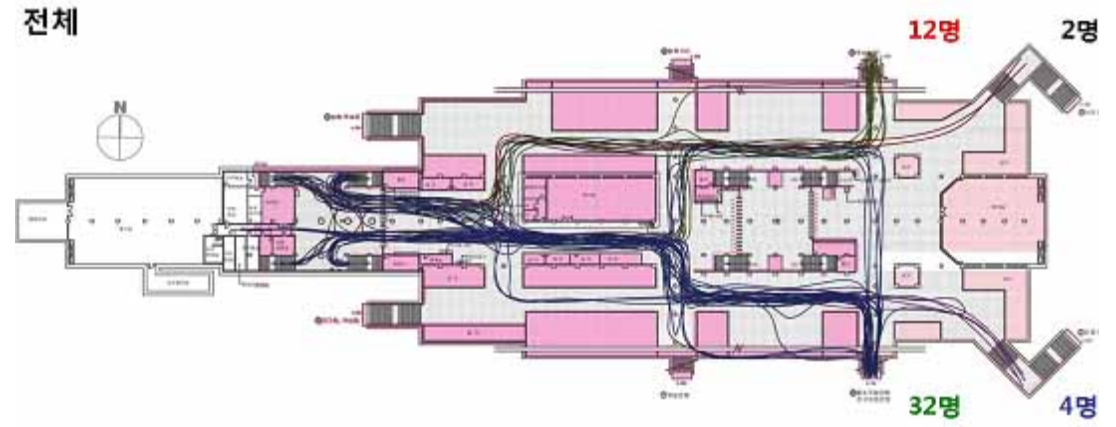
라. 통합 시스템 검증 및 보완을 위한 공간구조 비교 연구

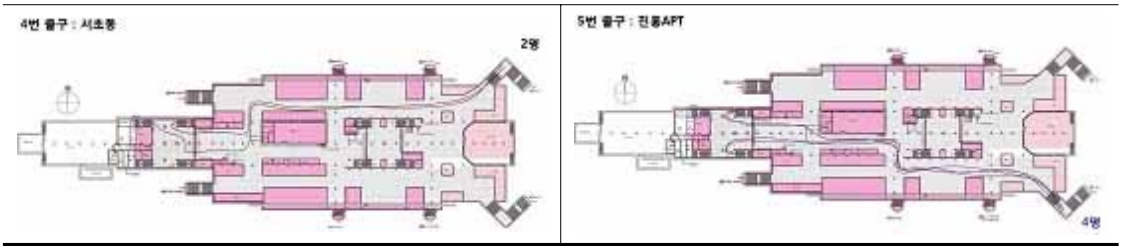
본 절은 통합 시스템의 검증 및 보완을 위하여 첫째, 철도역사 공간구조상 최단거리와 보행패턴의 상관관계를 분석하고 둘째, 가시성과 보행패턴과의 상관관계를 분석한다. 마지막으로 위와 같은 분석결과를 바탕으로 최단거리 및 가시성과 보행패턴과의 상관관계를 비교 분석한다.

(1) 최단거리(Potential map)와 보행패턴과의 상관관계 분석

새로운 통합 프로그램의 검증 및 보완을 위하여 철도역사의 공간구조상 최단거리가 이용자들의 보행패턴에 미치는 영향을 살펴보고자 한다. 이를 위하여 강남역을 대상으로 cell 크기를 500mm 단위로 전체 공간구조에 대하여 최단거리(Potential map)를 분석하였다. 최단거리 값을 나타내는 Potential map 상에서 최적의 최단거리 경로를 도출하고, 도출한 경로를 각각의 외부출입구로 향하는 보행경로와 겹쳐봄으로써 두 값의 상관관계를 분석하였다.

강남역 서측 지하2층 승강장 계단에서부터 지하1층의 4, 5번 외부출입구까지의 이용자들은 각각 2명(4%), 4명(8%)으로서 영향력이 미비한 데이터이다. 따라서 최단거리와 보행패턴과의 상관관계 분석대상에서 제외한다.

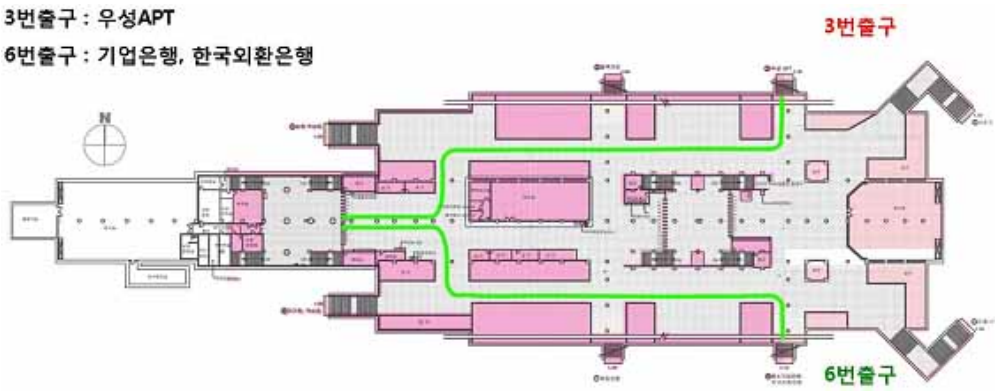
승강장계단 ~ (3, 4, 5, 6)번 출구	
	
승강장계단 ~ 4번출구	승강장계단 ~ 5번출구



<그림 3-75> 최단거리(Potential map)와 보행패턴 비교

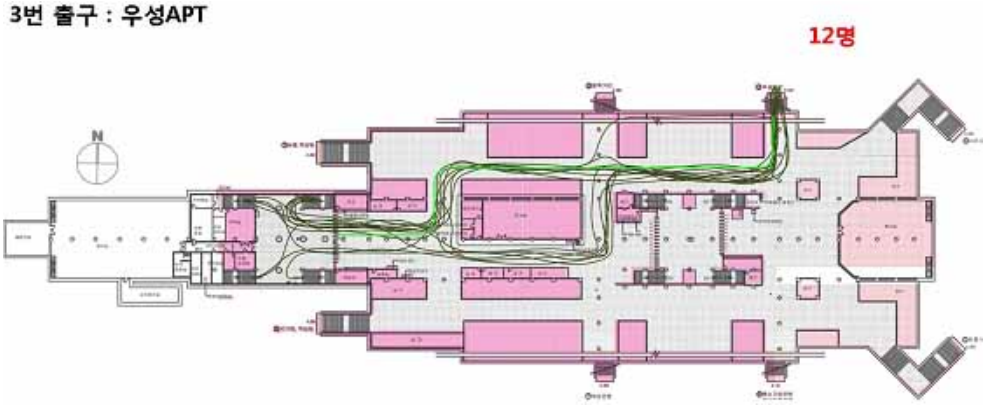
최단거리 값을 나타내는 Potential map 분석은 지하2층 승강장을 출발점, 지하1층 각각의 외부출입구를 종착점으로 철도역사의 전체 공간구조에 대하여 최단거리 값을 분석하였다. cell 값이 낮을수록 최단거리를 나타내며, 가장 낮은 값을 가지는 cell들 간에 연결경로는 '최적의 최단거리 경로'를 나타낸다.

위와 같은 방법으로 다음 <그림 3-76>과 같이 분석대상인 강남역 서측 지하2층 승강장 계단에서부터 지하1층의 3, 6번 외부출입구까지의 '최적 최단거리 경로'를 분석하였다.

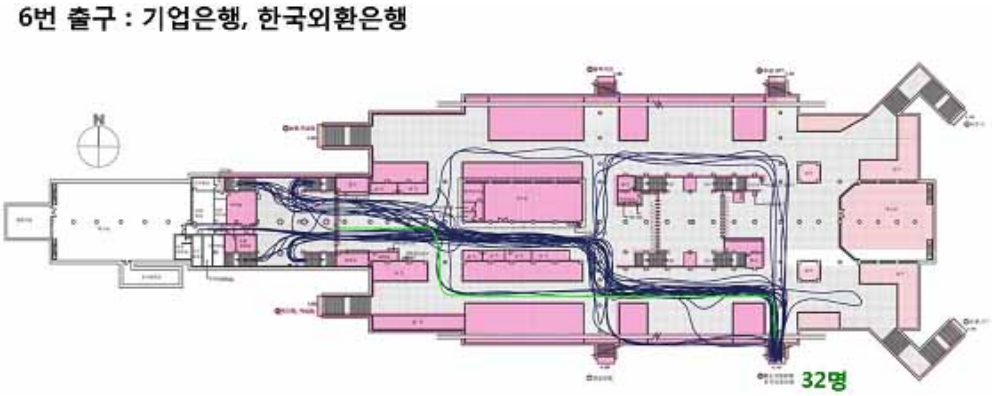


<그림3-76> 최적 최단거리 경로(승강장계단~3,6번 출입구)

지하2층 승강장 계단에서부터 지하1층의 3번 외부출입구까지의 최적 최단거리 경로와 보행패턴 비교 도면은 다음 <그림 3-77>과 같다. 최적 최단거리 경로는 서측 개찰구에서 북측복도 거쳐 3번 외부출입구로 빠져나가는 경로이다. 이를 보행패턴과 비교해보면 총 12명 중 최적 최단거리 경로인 북측복도를 이용하는 경로 6명(50%)과 중앙복도를 이용하는 경로 6명 (50%)으로서 3번 외부출입구의 경우, 최단거리가 보행패턴에 미치는 영향력이 50%임을 알 수 있다.



<그림 3-77> 최적 최단거리 경로와 보행패턴 비교 (승강장계단~3번 출입구)

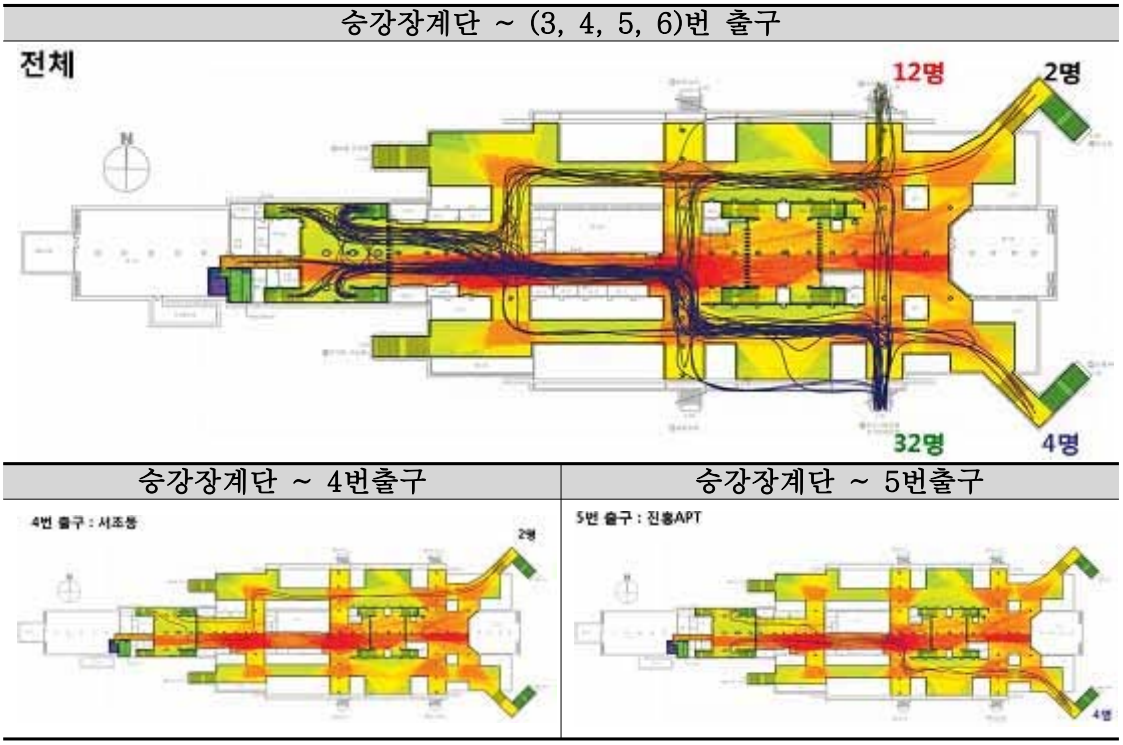


<그림 3-78> 최적 최단거리 경로와 보행패턴 비교(승강장계단~6번 출입구)

지하2층 승강장 계단에서부터 지하1층의 6번 외부출입구까지의 경우, 최적 최단거리 경로는 서측 개찰구에서 남측복도 거쳐 6번 외부출입구로 빠져나가는 경로이다. 이를 보행패턴과 비교해보면 총 32명 중 최적 최단거리 경로인 남측복도를 이용하는 경로 3명, 즉 9.4%만이 최단거리와 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

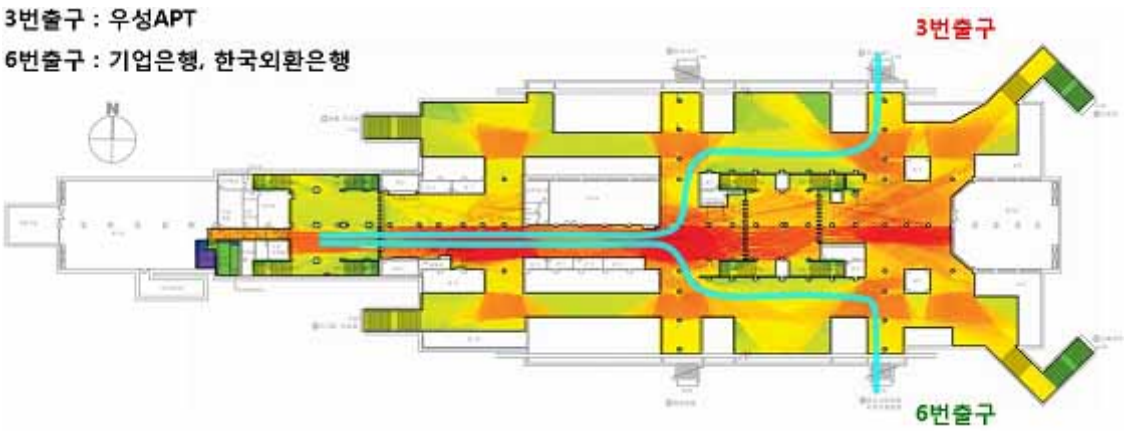
(2) 가시성(Depthmap)과 보행패턴과의 상관관계 분석

새로운 통합 프로그램의 검증 및 보완을 위하여 철도역사의 공간구조상 가시성이 이용자들의 보행패턴에 미치는 영향을 살펴보고자 한다. 가시성 및 접근성 값을 나타내는 Depthmap 분석 도면상에서 최적의 가시성 경로를 도출하고, 도출한 경로와 각각의 외부출입구로 향하는 보행경로를 겹쳐봄으로써 두 값의 상관관계를 분석하였다.



<그림 3-79> 가시성(Depthmap)과 보행패턴 비교

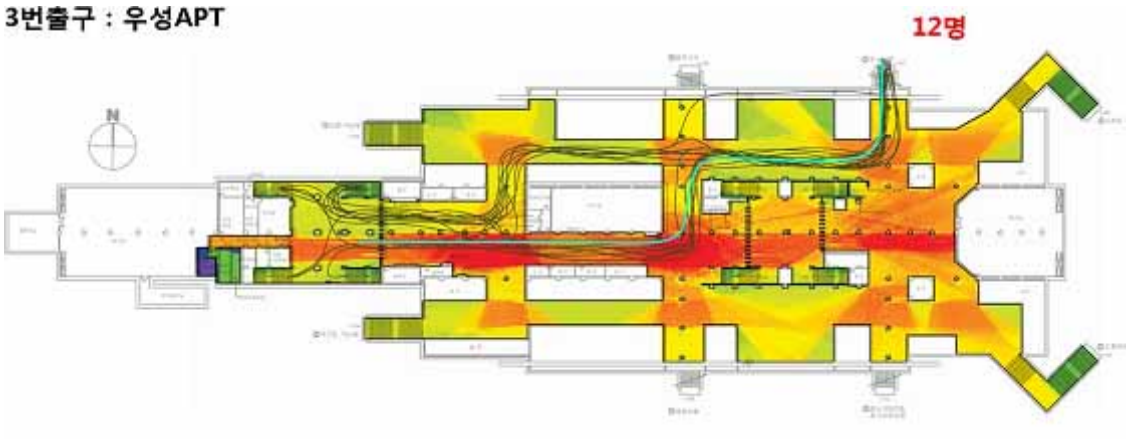
지하2층 승강장 계단에서부터 지하1층의 4, 5번 외부출입구까지의 이용자들은 2명(4%), 4명(8%)으로서 영향력이 미비한 데이터이므로 가시성과 보행패턴과의 상관관계 분석대상에서 제외한다.



<그림 3-80> 최적 가시성 경로(승강장계단~3,6번 출입구)

Depthmap 분석은 철도역사의 전체 공간구조에 대한 각 cell의 가시성을 분석한 값으로, cell 값이 높을수록 빨간색에 가까운 색을 나타내며 이는 가시성이 높은 공간임을 나타낸다. 가장 높은 값을 가지는 cell들 간에 연결경로는 가시성이 높은 공간들을 연결하는 경로로서 '최적의 가시성 경로'를 나타낸다.

위와 같은 방법으로 <그림32-80>과 같이 분석대상인 강남역 서측 지하2층 승강장 계단에서부터 지하1층의 3, 6번 외부출입구까지의 '최적 가시성 경로'를 분석하였다.



<그림 3-81> 최적 가시성경로와 보행패턴 비교(승강장계단~3번 출입구)

지하2층 승강장 계단에서부터 지하1층의 3번 외부출입구까지의 최적 가시성 경로와 보행패턴 비교 도면은 <그림 3-81>과 같다. 최적 가시성 경로는 서측 개찰구와 직선으로 연결된 중앙복도를 거쳐 3번 외부출입구로 빠져나가는 경로이다. 이를 보행패턴과 비교해보면 총 12명 중 최적 가시성 경로인 중앙복도를 이용하는 경로 6명(50%)과 그밖에 북측복도를 이용하는 경로 6명 (50%)임을 알 수 있다. 이는 3번 외부출입구의 경우, 가시성이 보행패턴에 미치는 영향력이 50%임을 나타낸다.



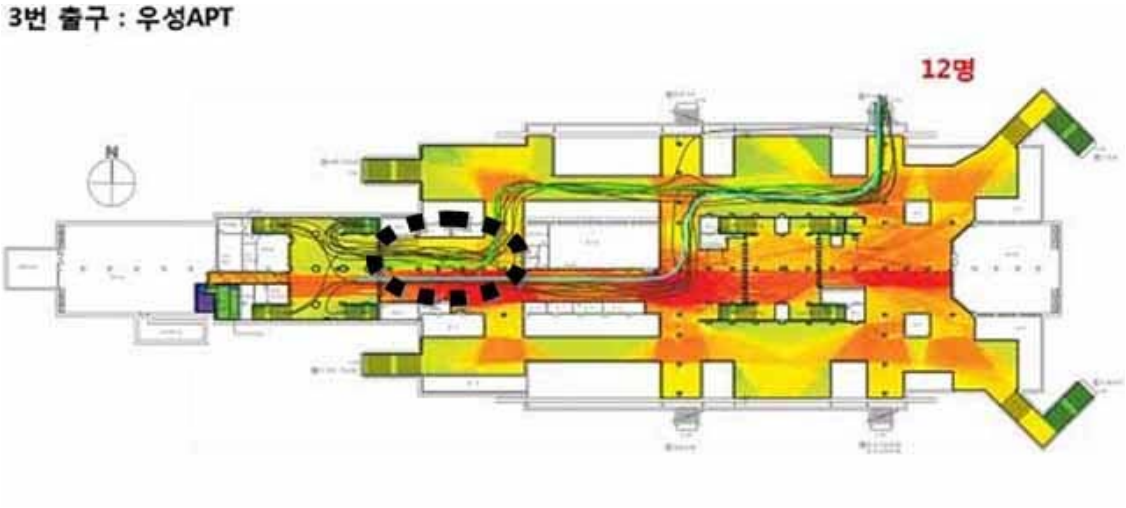
<그림 3-82> 최적 가시성경로와 보행패턴 비교(승강장계단~6번 출입구)

지하2층 승강장 계단에서부터 지하1층의 6번 외부출입구까지의 경우, 최적 가시성 경로는 중앙복도 거쳐 6번 외부출입구로 빠져나가는 경로이다. 이를 보행패턴과 비교해보면 총 32명 중 최적 가시성 경로인 중앙복도를 이용하는 경로가 23명(71.9%)으로서 가장 많은 이용자들이 이용한다. 이는 6번 외부출입구의 경우, 가시성과 보행패턴의 상관관계가 71.9%임을 알 수 있다.

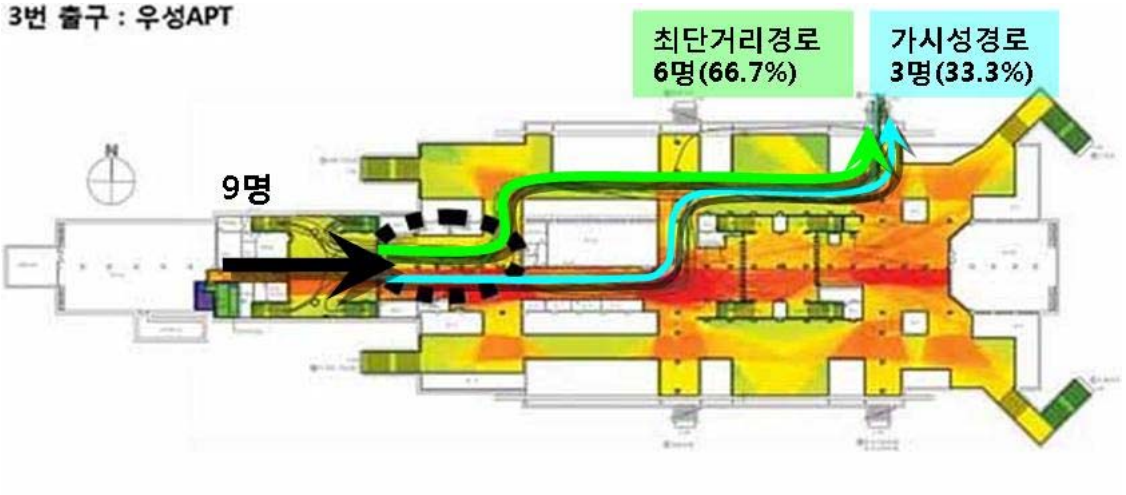
(3) 최단거리 및 가시성과 보행패턴과의 상관관계 비교 분석

통합 시스템의 검증 및 보완을 위하여 최단거리와 보행패턴의 상관관계를 분석한 결과 최단거리가 보행패턴에 미치는 영향력은 미비하다는 것을 알 수 있었다. 다음으로 가시성과 보행패턴과의 상관관계를 분석한 결과 가시성이 보행패턴에 미치는 영향력은 3번 외부출입구 50%, 6번 외부출입구 71.9%로 최단거리에 비해서 크다는 것을 알 수 있었다.

이상과 같은 연구 결과를 토대로 최단거리 및 가시성이 보행패턴에 미치는 영향력을 분석하기 위하여 다음과 같이 각각의 경로를 겹쳐서 상관관계를 분석하였다. 보다 구체적으로 상관관계를 분석하기 위하여 영향력이 높을 것으로 예상되는 일부 구간을 설정하여 살펴보았다. 서측 개찰구 주변을 중심으로 지하2층 승강장 계단에서부터 지하1층 3,6번 외부출입구까지의 경로에 대해서 살펴보았다.

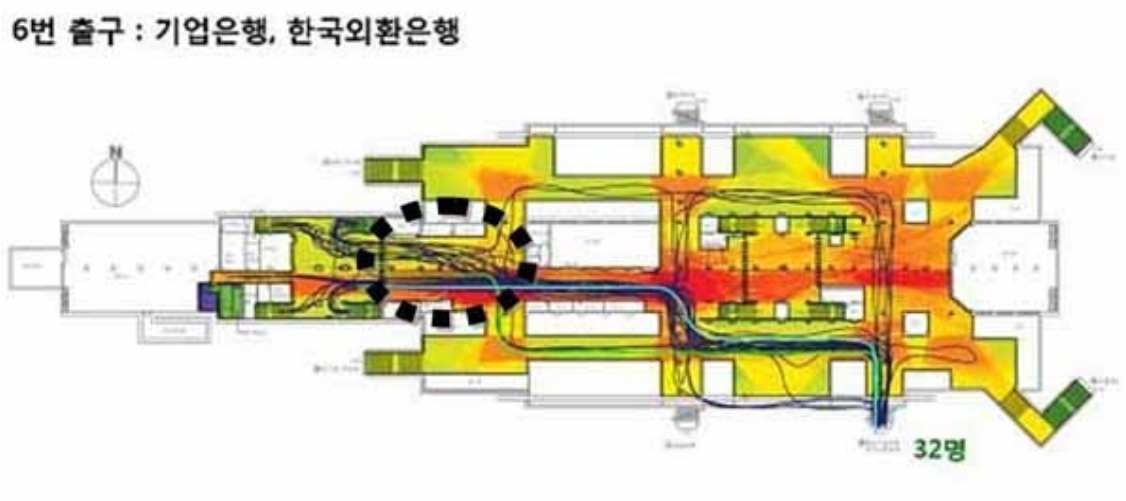


<그림 3-83> 보행패턴과 최적 최단거리경로 및 가시성경로 비교 도면 (승강장계단~3번 출입구)

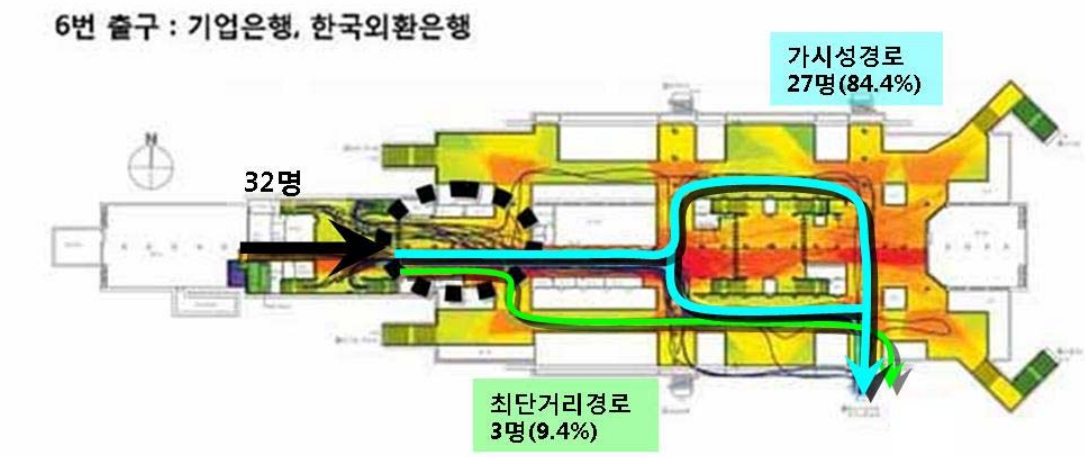


<그림 3-84> 보행패턴과 최적 최단거리경로 및 가시성경로 비교 도면 (승강장계단~6번 출입구)

지하2층 승강장 계단에서부터 지하1층 3번 외부출입구까지의 경우, <그림 3-82>에 표시한 7번~12번 개찰구 주변을 살펴보면, 총 9명의 보행패턴 중 6명(66.7%)은 최단거리경로인 북측복도를 이용하였고 나머지 3명(33.3%)은 중앙복도를 이용하였다. 이는 7번~12번 개찰구를 통과하는 이용자들의 경우, 개찰구 정면의 벽으로 인해 시아가 차단됨으로써 주변공간으로의 접근성이 떨어지며, 상대적으로 최단거리의 영향력이 크다는 것을 알 수 있다. 반면에 3번~4번 개찰구 주변을 보면 총 3명 중 2명(66.7%)이 중앙복도를 이용하였다. 이는 3번~4번 개찰구가 중앙복도와 일직선상에 위치함으로써 시아가 확보되고, 주변공간으로의 가시성 및 접근성의 영향력이 높아지는 것을 알 수 있다.



<그림 3-85> 보행패턴과 최적 최단거리경로 및 가시성경로 비교 도면 (승강장계단~6번 출입구)



<그림 3-86> 보행패턴과 최적 최단거리경로 및 가시성경로 비교 도면 (승강장계단~6번 출입구)

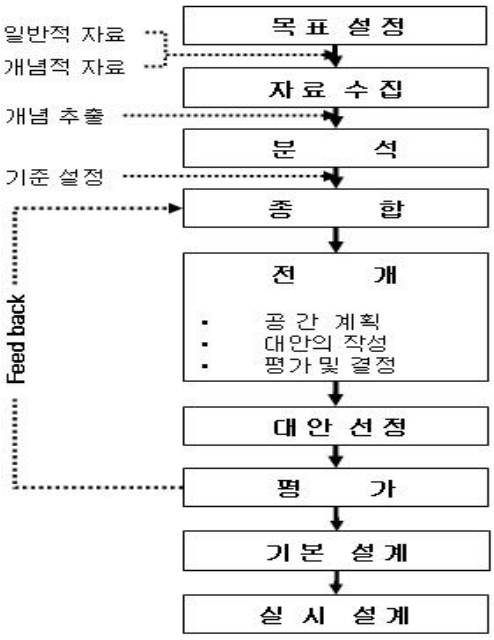
지하2층 승강장 계단에서부터 지하1층 6번 외부출입구까지의 경우, 개찰구 주변을 살펴보면, 총 32명 중 5명을 제외한 27명(84.4%)이 중앙복도를 이용하는 것을 알 수 있다. 이는 개찰구에서 6번 외부출입구까지의 이동경로 중 가시성이 높은 중앙복도로의 시아가 확보됨으로써 주변공간으로의 가시성 및 접근성의 영향력이 높아지는 것을 알 수 있다. 반면에 최단거리 경로인 남측복도는 3명(9.4%)이 이용한다. 이는 시아가 확보된 공간에서는 최단거리 보다는 가시성이 보행패턴과 더 밀접한 상관관계가 있다는 것을 보여준다.

본 연구결과 첫째, 최단거리 및 가시성의 2가지 요소가 보행패턴과 밀접한 연관성을 가지며 2가지 요소 중 가시성이 최단거리 보다 영향력이 크다는 것을 알 수 있었다. 둘째, 새로운 통합 프로그램에 최단거리 및 가시성에 대하여 가중치를 적용할 경우, 3번 출구처럼 시아가 확보되지 않은 공간에서는 최단거리에 가중치를 두고, 6번 출구처럼 시아가 확보된 공간에서는 가시성에 가중치를 적용해야 한다.

마. 각 단계별 계획/ 설계 work flow 조사 및 check list 개발

(1) 각 단계별 계획/ 설계 work flow 조사

철도 역사의 계획 및 설계의 일반적 Work flow 는 다음과 같다.



<그림3-87> 역사 계획/ 설계 work low

(2) 각 단계별 check list 개발

본 절은 철도 역사의 계획 설계에 있어서 보다 발전된 설계 주안점을 제시하고자 한다. 특히 본 연구결과로 새롭게 개발된 여객 유동 평가 프로그램의 보다 나은 적용을 위하여, 역사의 계획 설계 단계별로 적절한 check list를 사전에 제안하고자 한다.

이를 위하여 우선 철도 및 지하철 역사가 가지고 있는 일반적 특성과 건축계획적 특성을 살펴본다.

(가) 역사의 일반적 특성

역사의 가장 중요한 특성은 대량 인원의 수송이다. 즉 단기간에 대량 승객을 집중적으로 수송하는 것이 그 것이다. 또한 보행 교통에 있어서 강력한 집산 점 혹은 분산점의 역할을 한다. 이는 기존에 지상만으로의 보행행태에 지하로의 보행을 추가함으로써 기존의 통행관습 및 형태에 다양한 보행패턴의 변화를 가져온다. 더불어 발전된 지하로와 주변 지역과의 연계성이 향상되어 장기적으로는 주변 건물과 연결된 지하 도시 기능의 강화를 가져오고, 이때 확충된 지하 공간은 유사시 재난에 대비한 피난 시설의 역할도 겸할 수 있다. 이러한 지하공간의 영향권 확대는 새로운 도시 개발의 기폭제의 역할과 함께 새로운 도시 개발 축을 형성하기도 한다.

(나) 역사의 건축 계획적 특성

역사의 건축계획적 특성은 우선 사용자의 다양한 특성과 그에 따른 공간의 다양성을 들 수 있다.

역사의 사용자는 크게 여객 이용객과 역무원, 그리고 일반 통행객으로 크게 나누어진다. 더불어 여객 이용객은 승차객, 하차객, 환승역의 경우에는 환승객으로 다시 나누어지고, 일반 통행객도 단순 통과를 위한 통행객과 상가 등의 시설 이용을 위한 시설 이용객들로 다시 세분화 될 수 있다.

따라서 이들의 공간사용 목적 역시 각각 서로 다른 특성을 갖게 되며 이를 위한 적절한 평면계획과 각각의 이용 목적에 적합한 동선체계를 제시하여야 하며, 특히 단시간에 많은 사람이 이용하는 시설로서의 피난계획과 많은 시설이 지하에서 건설되는 점을 감안하여 설비 등의 계획에 만전을 기해야 한다.

① 계획의 기본 개념

ⓐ 불필요한 공간의 최소화

- 부대시설 및 시민 편의 시설의 적절한 배치로 불필요한 공간 최소화
- 승객통로 유효 폭을 최대로 확보하고 층고 조정, 슬라브 오픈 등의 방법으로 상강장의 시가적 개방감 극대화
- 승강장에서는 기능실 설치를 억제하여 개방감 확대

ⓑ 역무관리의 자동화 및 중앙 집중화

- 기증실 집중 배치에 의한 운영요원의 최소화
- 감시 및 설비관기의 중앙 통제 시스템 확림으로 기능실 면적의 최소화
- 역무 종합관리실의 집·개찰기의 근접 배치로 감시 및 정산 기능 확대
- 역무 종합 관리실 창구의 최소화 및 자동 발매기 사용 유도

ⓒ 동선의 단순화 및 최적화

- 승객의 일시적 집중을 고려한 승객동선의 원활화, 단순화
- 일반 통행객과 지하철 이용 승객 및역무원의 동선 분리
- 동선의 혼잡을 피하기 우해 방향 암시의 정보 내용을 도식화
- 승· 하자 분리 유도를 위한 승차 위치 표시 작용

ⓓ 시민 편의 시설 확충

- 에스컬레이터, 엘리베이터, 장애인 편의시설 등 시민 편의 시설 최대 확보

ⓔ 정거장 시설물의 현대화

- 구조물 설계 및 디자인의 현대화
- 외관 및 유지 관리를 고려한 마감자재 선정

ⓕ 지상 교통망과의 연계성 확보

- 지상 대중 교통 수단과의 연계성 확보
- 유휴지를 이용한 역세권 주차장 및 자전거 보관소 설치

ⓖ 설비의 효율성

- 지하라는 심리적 부담감과 불량한 환기 조건을 배제하기 위하여 적정조도의 조명과 충분한 환기 방식을 고려

② 동선계획

ⓐ 동선 계획의 방향

- 시간적, 심리적 여뷰가 없는 승객들에게 동선을 쉽게 인지할 수 있도록 단순 명료하게 계획
- 동선은 가급적 짧은 거리로 할 뿐 아니라, 보행자들의 시지각적 인지정도를 고려한 동선계획
- 각 이용 목적별로 동선을 교차하지 않도록 구분, 승객 이동 동선이 우선이 되도록 계획

- 정체부분이 유동부분을 방해하지 않도록 계획, 이용객이 시설의 선택에 혼돈이 없도록 가시성을 충분히 고려
- 승강장에서의 동선은 가급적으로 전동차의 승차 효율이 균일하도록 계획
- 승차 동선과 하차 동선을 가급적으로 분리

ⓑ 기능실 배치 계획의 방향

- 역무 기능실은 가능한 한 집중 관리가 편리하도록 한 곳으로 배치하고 역사 전체를 통제할 수 있도록 계획
- 각 기능실의 효율을 극대화 시키기 위하여 공조기계실은 역사 양끝 부분에 배치
- 전기, 신호, 통신 기계실은 전체 부하의 중앙에 위치할 수 있도록 하여 전 노선이 같은 방향으로 베치되게 함으로써 케이블 배선의 길이가 짧아지도록 계획
- 조닝 계획은 각 층별로 구분하여 역무원들의 업무 공간과 승객들의 활동공간을 분리
- 역무 종합관리실 및 자동 발매기 실은 승객의 눈에 잘 띄는 위치에 설치

③ 평면 및 공간 계획

ⓐ 평면 계획의 방향

- 승객의 승하차를 용이하게 하고, 지하공간을 적절히 활용하도록 계획
- 승하차 공간, 통행공간, 역무 공간으로 구별하며 각 공간의 독립성 유지
- 정확한 사용패턴에 대한 조사에 근거한 공간 조닝에 의한 평면계획이 바람직함

ⓑ 공간 계획 방향

- 지하 공간에서 느낄 수 있는 정신적인 압박감과 불안감의 해소를 위해서, 개방공간과 넓은 수직 공간을 창출할 수 있도록 open space 와 통행로 등을 적극적으로 수용하여 폐쇄적 공간감을 감소하도록 계획

바. 철도역사의 건축계획 가이드라인 설정 연구

철도역사의 공간구조 조사 및 사용현황 분석, 공간구조와 사용현황과의 상관관계 분석, 각 단계별 계획/설계 work flow 조사 및 checklist 개발 등의 통합 프로그램 개발을 위한 연구를 수행하였다. 이상의 연구결과를 종합해서 다음과 같은 철도역사의 건축계획 가이드라인을 도출하였다.

(1) 철도역사 건축계획의 정량적 분석 필요성

1974년 서울지하철 1호선 개통을 시작으로 현재 서울, 부산, 대구, 인천 4개 도시, 12개 노선이 운행중이며, 광주, 대전을 포함 5개 도시에서 건설 중에 있다. 또한, 현재 하루에 670여만명이 이용하고 있으며, 년간 24여억명이 이용하고 있는 서울지하철은 그동안 대중교통 수송분담율이 꾸준히 증가하여 현재 36.5%로 수송 분담율 1위를 차지하는 가장 중요한 교통수단으로 대두되고 있다.

그러나 현재 각 도시철도 건설주체별, 호선별로 정거장 및 환승·편의시설 설계기준이 다원화되어 있어 체계적이고 통일화된 도시철도 정거장 계획이 어려운 실정이다.[6] 또한 다원화된 정거장 및 환승·편의시설 설계기준이 객관적으로 검증되지 않고 운용되고 있는 설계기준의 한계를 보여준다.

이처럼 도시철도 정거장의 사용 및 활용성에 비해 설계기준 정립이 미비한 실정에서 도시철도 정거장 및 환승·편의시설 설계기준에 대하여 객관적이고 과학적인, 정량적 분석 방법을 통해 공간의 배치 및 동선계획의 문제점을 분석할 필요성이 있다.

(2) 기존의 철도역사 건축계획 가이드라인 고찰

현재 도시철도 정거장 및 환승·편의시설 설계기준은 다음과 같이 건설주체별, 호선별로 각기 다른 설계기준을 가지고 있다. 다음 설계기준 중 가장 최근에 제정됐던 건설교통부의 “도시철도 정거장 및 환승・편의시설 보완 설계 지침”(2002)과 서울특별시 지하철건선본부의 “서울 지하철9호선 기본설계 보고서“ (2001),“서울 지하철9호선 설계기준”(2001),“제3기 지하철 9,10,11,12호선 정거장 건축계획 기본방향”(1996)을 중심으로 도시철도 정거장 설계기준에 관하여 살펴보고자 한다.

6)건설교통부(2002),“도시철도 정거장 및 환승·편의시설 보완 설계 지침”머리말에 기술

<표3-16> 우리나라의 도시철도 정거장 계획 관련기준

관련기준	지역	일자
도시철도 정거장 및 환승·편의시설 보완 설계 지침	건설교통부	2002.11
서울 지하철9호선 기본설계 보고서 (건축)	서울시	2001.08
서울 지하철9호선 설계기준 (건축)		2001.04
제3기 지하철 9,10,11,12호선 정거장 건축계획 기본방향		1996.09
부산 지하철정거장 및 차량기지 설계기준	부산시	1998.12
인천 도시철도 3호선 설계기준	인천시	1998.02
대전 도시철도 1호선 설계기준	대전시	1995.12
대구 지하철 2호선 설계기준	대구시	1995.02
광주 지하철 1호선 설계기준	광주시	1996.08

(가) 용어의 정의

도시철도 정거장내 시설의 정의 및 구성요소는 다음 표3-17과 같다.

<표3-17> 도시철도 정거장내 시설 정의 및 구성요소

시설구분			주요시설	구성요소	정의
무료공간 (대합실 집·개찰표구 경계/개표이전 공간)	대합실	접객시설	매표/집개찰/정산	집개찰 GATE/ 매표소 / 부대 편의시설[7] / 화장실 / 계단 / EV / 출입구	• 승객이 출입구를 통하여 정거장으로 출입하는 첫 관문
		이용편의시설	안내소/휴게실/매점/전시공간		
	통로	겸용통로	–		• 정거장 출입구를 인접한 건물과 연계/건물이용자 및 일반이용자들에게 개방된 통로
		전용통로	–		• 정거장 출입구를 인접한 건물과 연계/건물 이용자들만이 출입 가능한 통로
유료공간 (대합실 집·개찰표구 경계/개표이후 공간)	승강장	섬식 승강장	–	계단 / 부대 편의시설 / 스크린도어	• 열차가 진입하는 선로를 중심으로 양측으로 나뉘어 있는 승강장
		상대식 승강장	–		• 열차가 진입하는 선로 사이에 섬처럼 배치된 승강장

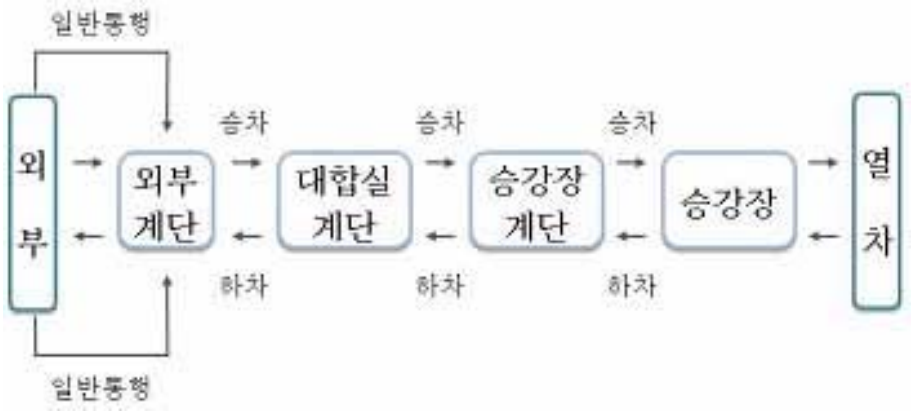
(나) 설계 기본 방향

도시철도 정거장 및 환승·편의시설 보완 설계 지침(건교부)과 서울 지하철9호선 설계기준(서울시)을 종합 분석한 결과, 도시철도가 지향하는 기능성, 편리성 그리고 경제성을 향상시킬 수 있는 새로운 정거장을 건설하기 위한 설계 방향의 세부적인 사항은 다음 표3-18과 같다.

<표3-18> 도시철도 정거장 설계 방향

설계 기본방향	권고사항	관련기준
기능성	• 운영기본 계획에 따라 역무기능의 집중화로 운영 요원을 최소화 • 쾌적한 정거장 기능과 수준 높은 지하문화공간으로서 기능 수행 • 개성있는 정거장이 되도록 주변지역특성 및 연계성 고려 • 사거리에 입지하는 경우 지하보도로의 역할이 가능토록 개방공간을 설치 • 정거장 계획 시 긴급재난에 대한 방재 및 피난을 고려	• 도시철도 정거장 및 환승·편의시설 보완 설계 지침 • 서울 지하철9호선 설계기준
편리성	• 교통영향 평가에 의해 적정규모로 계획하며 동선을 단순화 • 개방감 있는 공간계획으로 승객의 공간적 인지도를 높이고 시설선택을 용이하게 함	
경제성	• 불필요한 공간을 최소화, 장래 예측되는 예비공간을 확보 • 하차객의 밀도가 높을 것으로 예상되는 공간은 적정규모의 여유 공간 확보	

(다) 동선계획



<그림 3-88> 승객 동선흐름 현황

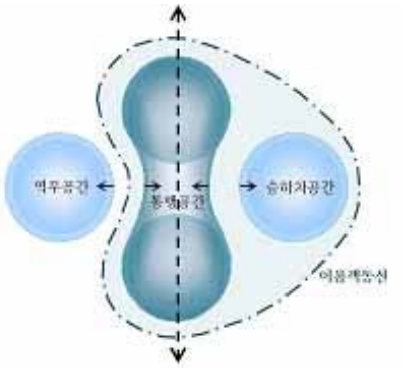
7) 부대 편의시설은 정거장내에 안락한 휴식공간을 확충하여 이용승객의 편의를 제공하는 시설로서 설치 위치는 대합실, 승강장, 기능실 등으로 구분하며 설치종류를 구분하여 적용하며, 전시장, 만남의 장소, 구내서점, STREET FURNITURE, 에스컬레이터, 편의시설, 관공안내소, 유실물센타등

정거장의 동선은 <그림3-88>과 같이 지하철 이용과 관련이 없는 일반 통행동선과 승객동선으로 구분되며, 승객동선은 열차를 타러가는 승차동선과 열차에서 내려 외부로 나가는 하차동선으로 구분된다.[8)]

승객동선의 주요 경유지는 외부 계단, 대합실 계단, 승강장 계단, 승강장이며 크게 계단과 승강장으로 구분되며, 이중 어느 한곳이라도 협소하면 그곳에서 병목현상이 발행되어 승객동선 전체흐름에 영향을 미친다. 따라서 정거장내의 승객동선은 계단 및 승강장의 모든 부위를 통과하면서 어느 한 곳에서도 정체됨 없이 일정한 흐름 상태를 유지하도록 승강장 및 계단폭을 계획하는 것이 바람직하며, 일반동선 공간은 일반 정거장의 이용객이 적은편이므로 장래의 발전 전망과 지하공간의 개방감 확보 등을 고려하여 자유로운 보행상태 유지를 위한 소요폭 이상을 확보하는 것이 바람직하다.

(라) 배치계획

지하철 정거장 계획의 방향은 승객의 승·하차를 용이하게 하고 지하공간을 적절히 활용하는데 있으며, 정거장은 크게 승·하차 공간, 통행공간, 역무 공간으로 구별되며 각 공간은 독립성을 유지하여야 한다. 또한 Zoning에 의한 평면계획이 바람직하다.[9)]



<그림 3-89> 정거장 공간 Zoning 개념도

(마) 도시철도 정거장 계획 설계기준

도시철도 정거장의 공간계획은 서비스 수준[10)] 개념에 기초하여 정거장 내 시설의 규모와 설계기준을 정한다. 도시철도 정거장 및 환승·편의시설 보완 설계 지침(건교부)과 서울 지하철9호선 기본설계 보고서, 서울 지하철9호선 설계기준, 제3기 지하철 9,10,11,12호선 정거장 건축계획 기본방향(서울시)을 종합 검토한 결과, 아래

8) 서울특별시 지하철건설본부(1966),“제3기 지하철 9,10,11,12호선 정거장 건축계획 기본방향”, p26
9) 서울특별시 지하철건설본부(2001),“서울 지하철9호선 기본설계 보고서”, p2008
10) 서비스 수준은 정거장을 이용하는 이용객이 느낄 수 있는 편의성의 정도를 A~F까지 6단계로나타내는 수치적인 척도로서 이용객의 수가 가장 많은 첨두시간대를 기준으로 승강장 및 내·외부 계단(D), 환승통로(E) 설계기준으로 함

표3-19는 도시철도 정거장내 대합실 계획에 관한 기본방향 및 설계기준이며, 표 3-20은 승강장 계획에 관한 기본방향 및 설계기준이다.

<표3-19> 도시철도 정거장 대합실 계획에 관한 설치기준

구분		내용
대합실 계획 기본방향		• 승객동선을 단순화하고 방향성이 제고될 수 있도록 외부출입구의 적정배치와 합리적인 기능 배치 • 집개찰 GATE는 이용객의 접근이 용이하도록 배치 • 역무 및 매표 기능을 통합하여 관리인원 최소화 하고 감시 및 정산 업무가 편리하도록 계획 • 역무관리 기능실을 지역화(ZONING)하여 역무동선 단축 및 업무효과 증대 • 일반 통행인 동선과 승객 동선을 가급적 분리하여 대합실 혼잡 방지 • 대합실과 승강장 사이의 공간을 개방하여 방향성 제고 및 인지도 향상
대합실 설계 기준	동선계획	• 승객흐름의 교차를 최대한 억제하고 막다른 동선이 생기지 않도록 계획 • 매표소는 개찰구 배치에 지장이 없도록 설치공간을 확보하고 동선흐름의 정체가 없도록 함 • 개찰구 위치는 가급적 기둥 열에 일치 • 매표소 위치는 우측보행을 고려하여 승차진입동선의 우측에 배치함을 원칙 • 개찰구와 전면계단은 15m 이상 이격해 혼잡을 방지
	공간계획	• 매표 대기공간과 개찰구 전·후 공간을 충분히 확보하여 대기행렬로 인하여 승·하차객의 동선흐름에 지장이 없도록 함 • 승·하차동선의 흐름에 지장이 없는 위치에 편의시설 설치 공간 확보 • 개찰구 라인은 가급적 기둥에 의해 방해받지 않도록 위치 • 부득이한 경우가 아니면 휴식공간을 적극 설치하도록 한다.

<표3-20> 도시철도 정거장 승강장 계획에 관한 설치기준

구분		항목 및 내용
승강장 계획 기본방향		• 승강장 형식(상대식, 섬식)은 토목분야 선형 계획에 의해 결정 함 • 승하차동선을 단순화하여 방향성 제고 • 계단 확폭부는 스크린 도어 내측으로부터 유효폭을 최소 3.0m 이상 확보 • 승강장 스크린도어 설치에 따라 공간의 개방성 확보를 위해 적정공간 확보 • 계단정면은 충분한 공간 확보 및 사선처리 • 승강장내 기능실 설치를 억제하여 원활한 동선 및 시각적 개방감 확보
승강장설계 기준	동선계획	• 승강장별 계단이 2개인 경우 승강장 계단간의 간격은 10m 이상 이격 배치하고 계단 정면 공간을 25m 이상 확보하고 사선처리 함 • 역동선을 배제하고 최단거리를 제시 함
	공간계획	• 정거장 공간 계획 개념에 있어서 OPEN 공간을 최대한 확보 • 정거장 계단 배치 개념에 있어서 기능 및 대합공간과 OPEN 공간의 적절한 배치

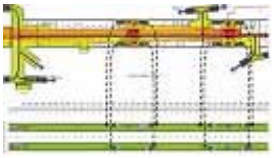
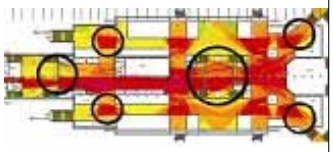
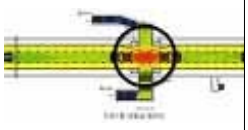
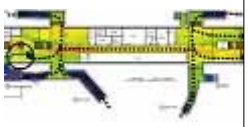
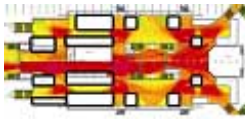
(바) 도시철도 정거장 설계기준의 문제점

위와 같이 공간의 배치 및 동선계획의 관점에서 각 도시철도 건설주체별, 호선별로 다원화 되어있는 도시철도 정거장의 설계기준을 검토해본 결과 다음과 같은 문제점을 가지고 있다. 첫째, 기존의 다원화된 정거장 및 환승·편의시설 설계기준 대부분이 검증되지 않은 정성적인 지침에 그침으로써 현 실정에서 운용되고 있는 설계기준의 한계를 보여준다. 둘째, 기존의 도시철도 정거장 설계기준은 각각의 공간에 대하여 단순히 물리적인 수치만을 운운할 뿐 각 공간간의 연계성을 고려하지 않음으로써 도시철도 정거장의 전체 공간에 대한 효율적인 계획방안의 부재라는 한계점을 보인다. 따라서 객관적이고 과학적인 방법론인 Space Syntax를 활용하여 도시철도 정거장에 대하여 정량적인 공간의 배치 및 동선계획의 관점에서 검토를 할 필요성이 있다.

(3) 기존의 철도역사 건축계획 가이드라인과 공간구조와의 상관관계 분석

도시철도 정거장의 전체 공간구조에 대한 공간배치 및 동선체계 분석의 범위로 크게 대합실과 승강장으로 나누어 볼 수 있다. 주요 내용을 정리하면 다음 표2-21과 같다.

<표3-21> Space Syntax를 활용한 도시철도 정거장의 배치 및 동선체계 분석

대합실	**일반통행인 및 승객 동선 혼재**	**개찰구 및 계단 주위 접근성 양호**	**외부 출입구 접근성 불리**
			
	시청역	강남역	녹번역
	대합실과 외부출입구 사이 공간 협소	**개찰구 전·후 공간 협소**	**접근성이 높은 공간 역무관리 기능실 배치**	**접근성이 높은 공간 상가시설 배치**
				
	경복궁역	녹번역	시청역	강남역
승강장	**승강장 중앙 계단으로 인한 접근성 불리**		**계단 입구부분 공간 협소**	
				
	경복궁역		강남역	

대합실을 분석한 결과는 다음과 같다. 첫째, 개찰구가 분산배치 되어 일반 통행인 동선과 지하철 이용 승객동선이 혼재됨으로써 대합실의 혼잡이 증대되며 지하에서의 방향성 혼란을 줄 수 있다. 둘째, 개찰구 및 계단 주위 공간의 접근성이 비교적 양호하며, 이는 양호한 시각적 개방감 및 접근성 확보를 통해 정거장내의 방향성 제고 및 인지도 향상에 기여할 가능성이 있는 공간이라는 것을 나타낸다. 셋째, 단순히 일반 통행인과 승객 동선의 흐름만을 고려한 정거장내의 범위에 국한된 계획으로서 주변 인접건물과의 연결성이 떨어지며 이는 외부출입구의 접근성이 떨어지는 것을 통해 알 수 있다. 넷째, 대합실과 외부출입구 사이 공간이 협소함으로써 대합실의 혼잡 및 방향성 혼란을 일으킬 수 있다. 다섯째, 개찰구가 계단부위 및 화장실에 인접 설치되어 전·후 공간이 협소하고 승객 승·하차 시 개찰구 주위 혼잡이 우려된다. 여섯째, 역무관련 기능실들이 접근성이 높은 중앙복도에 인접해 위치함으로써 불필요한 공간을 형성하고, 이로 인한 세장한 선형 평면을 통해 이용객들은 방향성 혼란 및 무미건조함을 느낄 수 있다. 마지막으로 접근성이 높은 곳에 지하상가

를 둠으로써 정거장이 단순히 통행 및 승·하차 공간에 그치지 않고 통행문화를 만들 수 있는 공간으로의 가능성을 가진다.

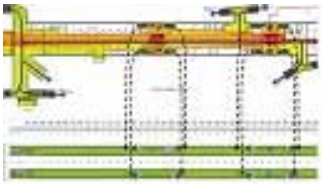
승강장을 분석한 결과, 첫째, 승강장의 중앙에 승강장 계단을 위치시킴으로써 불필요한 공간발생 및 시각적 개방감 불량을 야기할 수 있으며 둘째, 계단부위 승강장 협소로 승하차시 승객 혼잡이 우려된다.

(4) 철도역사 건축계획 가이드라인 설정

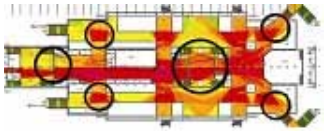
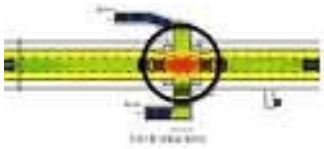
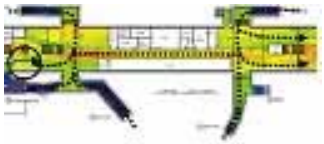
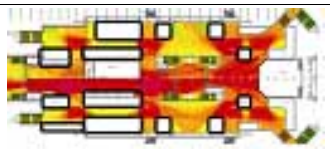
도시철도 정거장은 사람들이 가장 활발하게 사용하고 있는 도시공간으로, 다음과 같은 성격[11]을 갖는다. 첫째, 단기간에 대량 승객을 집중적으로 수송하는 대량인원 수송의 성격과 둘째, 보행 교통의 강력한 집·분산점으로서 발원점의 성격을 갖는다. 셋째, 영향권의 확대로 인접지역 개발의 계기를 제공함으로써 도시 개발의 축을 형성하며 넷째, 지하철역과 주변건물과의 연결 가능성이 지하상가 및 통행문화시설의 개발 계기를 제공하여 지하 도시 기능 발달의 성격을 갖는다. 마지막으로 유사시의 재난에 대피할 수 있는 지하 대피시설의 성격을 갖는다.

위와 같이 도시철도 정거장은 사용성 및 활용성이 매우 높은 공간이지만, 상대적으로 객관적이며 정량적인 설계기준 정립은 미비한 실정이다. 이를 해결하기 위해 도시철도 정거장 및 환승·편의시설 설계기준에 대하여 공간의 배치 및 동선계획의 관점에서 검토 하였고, 정량적 분석 방법을 통해 공간의 배치 및 동선계획의 문제점을 분석하였다. 이를 통해 정량적인 공간의 배치 및 동선계획의 관점에서 보다 효율적이며 기능적인 개선안을 제시하고, 이를 바탕으로 체계적인 재정립과 표준화를 모색함으로써 도시철도 정거장 및 환승·편의시설에 대한 보완 설계 가이드라인을 제시하였다. 주요 내용을 정리하면 다음 표22와 같다.

<표3-22> 도시철도 정거장 설계기준과 공간구조의 상호관련성을 고려한 건축가이드라인 제시

구분		지침	Space Syntax 분석	건축가이드라인
대합실	동선	• 일반 통행인 동선과 승객 동선을 가급적 분리하여 대합실 혼잡 방지		• 일반 통행인 동선과 승객 동선을 가급적 분리하고 부득이하게 혼재하는 공간은 충분히 여유를 두어 혼잡을 방지

11) 서울특별시 지하철건설본부(2001),“서울 지하철9호선 기본설계 보고서”, p1001

		–		• 시각적 접근성이 좋은 개찰구 및 계단 주위에 동선의 혼잡을 피하기 위해 방향 암시의 정보 내용을 도식화
	배치	• 승객동선을 단순화하고 방향성이 제고될 수 있도록 외부출입구의 적정배치와 합리적인 기능 배치		• 주변 인접 건물과의 상호연결을 고려한 외부출입구 적정배치
		–		• 정거장의 지하보도로서의 역할을 충분히 할 수 있도록 대합실과 외부출입구 사이에 여유 공간을 확보하여 방향성 제고 및 인지도 향상
		• 집개찰 GATE는 이용객의 접근이 용이하도록 배치		• 집개찰 GATE는 일반 통행인과 승객 동선을 고려하여 정거장의 한곳에 집중배치하며 가급적 외부출입구로부터 1방향으로 배치 • 집개찰 GATE 전·후에 여유공간을 확보함으로써 시각적 개방감 및 정체됨 없는 일정 흐름 상태 확보
		• 역무관리 기능실을 지역화(ZONING)하여 역무동선 단축 및 업무효과 증대		• 역무관리 기능실을 정거장내의 접근성이 떨어진 곳에 지역화(ZONING)하여 배치
		• 승·하차동선의 흐름에 지장이 없는 위치에 편의시설 설치 공간 확보		• 승·하차동선의 흐름에 지장이 없고 접근성이 높은 중심공간에 편의시설 배치
		–		• 정거장내의 지하상가 및 통행문화시설을 위한 공간확보 및 설계기준 필요
승강장	동선	–		• 승강장 중앙에 계단 배치를 가급적 피하며 양방향으로 동선흐름을 계획

본 연구결과를 통해 새로운 도시철도 정거장을 계획하고 설계할 때뿐만 아니라 기존 정거장을 개량할 때 적용하여야 할 최소한의 가이드라인을 제공하는데 도움이 될 수 있을 것이며, 실무에서 이를 적극 활용하여 도시철도 이용승객들에게 보다 안전하고 쾌적한 도시철도 환경을 제공함으로써 도시철도 정거장의 효율적 이용을 극대화 할 수 있을 것이다.

이상과 같이 도출된 본 연구 결과가 국내 도시철도 정거장 건축에 규제적 가이드라인으로 반영되어 공익적 정거장 조성에 도움이 되고 물리적 요소 이외의 분야들을(도시시스템, 경관, 심리 등) 고려한 종합적인 가이드라인 연구가 계속 이루어져야 할 것이다. 또한 연구의 범위에 있어서 본 연구는 제 1기에 만들어진 정거장을 기준으로 분석하였다. 따라서 향후 제 2기, 3기 정거장을 추가 검토하고 이에 따라 개선의 여지가 있는 부분과 새로운 지침의 개정이 필요한 부분에 대해서 지속적으로 검토 보완해 나가야 하겠다.

4. 연구개발 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

<표3-23> 연구개발 목표 달성도

..... 당초계획
—— 연구실적

구분	연구내용	추진일정 1	2	3	달성도(%)	연구결과
1차년도	• 공간구문기법(Space Syntax) 문헌 및 사례 조사	..... ——			100%	• 공간구문기법(Space Syntax)의 이론분석 및 선행연구 고찰
	• 철도 역사(환승역,심층지하역,혼잡역) 공간구조분석을 위한 특성 및 문제점 조사	..... ——	——	——	100%	• 주요 철도역사 공간구조 DB 구축 • 서울시청역, 고속터미널역, 충무로역, 동대문운동장역, 수유역, 한성대역, 녹번역, 경복궁역, 강남역
	• 철도 역사 공간구조 및 이용객 유동 패턴 평가 이론의 정립	..... ——	——	——	100%	• 철도역사 보행량 관찰 조사 DB 구축(강남역, 시청역) • 철도역사 보행패턴 관찰 조사 DB 구축(강남역)
	• 공간분석기법의 보완방안 수립 및 요소기술 도출	..... ——	——	——	100%	• 주요 철도역사의 공간구조 DB 종합분석을 통한 공간분석기법 요소 도출
	• 위 이론을 적용한 공간분석기법 개발	..... ——	——		100%	• 기존 도면 분석 및 현장 조사를 통한 depthmap 분석 기준cell 크기검토 • alt1:2,000*2,000, alt2:1,000* 1,000, alt3 500*500
	• 철도 역사 평가 요소 기술 개발 – 공간분석 및 동선계획의 적정성 검증 모듈 – 피난행태 분석을 위한 적정성 검증 모듈	..... ——			100%	• 피난 Simulation 기법의 이론 분석 및 선행연구 고찰
	• 새로운 요소기술의 타당성 및 실제 적용 가능성 검증 – 실험 및 관찰 : 기존 역사 – 평가 요소기술의 적용 가능성 검증 및 보완	..... ——	——	——	100%	• 주요 철도역사 공간구조 DB 구축 • 주요 철도역사 사용현황 DB 구축 • 공간구조와 사용현황 비교연구
2차년도	• 각 요소기술 모듈의 통합/시스템화		..... ——		100%	• 통합 시스템 개발을 위한 공간구문기법(Space Syntax)의 이론 재고찰 • 가시성과 보행량과의 상관관계 분석
	• 단계별 계획/설계 work flow 조사 및 각 단계에서의 checklist 개발		..... ——		100%	• 철도역사 계획 단계별 설계 주안점 제시 • 각 동선별 분류, 특성 종합, 보행특성을 고려
	• CA모형과의 통합시스템 개발		.....		100%	• Potential map과 Space Syntax의 Depthmap 가중치 적용 방안 모색

						• 통합 시스템 개발을 위한 Isovist 제작 및 적용 방안 알고리즘 개발 연구 • 통합 시스템 개발을 위한 Depth 제작 및 적용 방안 알고리즘 개발 연구
3차년도	• 개발된 시스템의 실무적용성 최대화를 위한 Design Project Simulation 수행			·····	100%	• 최단거리 및 가시성과 보행패턴과의 상관관계 비교 분석(강남역)
	• 시스템 검증 및 보완			·····	100%	• 최단거리와 보행패턴과의 상관관계 분석(강남역) • 가시성과 보행패턴과의 상관관계 분석(강남역) • 최단거리 및 가시성과 보행패턴과의 상관관계 비교 분석(강남역)
	• 실무에 바로 투입 가능한 시스템 패키지화 수행			·····	100%	
기타	• 3차원적공간인지를 고려한 이용자행태 예측 알고리즘 개발 기초 연구				100%	• 3차원적공간인지를 고려한 이용자행태 예측 알고리즘 개발 기초 연구
	• 실무적용 가능한 철도역사의 건축계획 가이드라인 설정 연구				100%	• 기존의 철도역사 건축계획 가이드라인과 공간구조와의 상관관계 분석 • 철도역사 건축계획 가이드라인 설정

5. 연구개발 결과의 활용 계획

본 연구는 철도 역사의 여객 유동 평가 프로그램 개발을 목표로 진행되었다. 연구 결과의 활용 계획은 다음과 같다.

	디자인 가이드라인 제시	공간평가기법
활용계획	• 철도역사의 다양한 공간 배치와 수직 및 평가 동선의 계획에 있어서 중요한 평가 도구로 활용 • 철도 역사 구조 변경 또는 신설역 공사시 설계자료 및 동선이용행태 평가 자료제시	• Space Syntax 와 CA이론모형을 접목한 신기법을 이용하여 여객 행동패턴 분석 및 예측을 통한 최적의 여객 동선 및 환승 체계 구축 가능 • 사전 시뮬레이션을 통한 효율적인 공간배치, 동선계획 방법을 제공 • 개발기술을 실무에 직접 적용할 수 있는 실용화 단계 구축
기대효과	• 역사 전문 평가기법이 일반화, 범용화로 평가운용 체제의 확립 가능 • 역사를 포함한 대규모 보행공간에 대한 공간구조 분석 기법 제시하는 학문적 성과를 기대 • 도시개발 및 역사이 복합화로 증가된 철도역사 공간구조에 개발된 기술을 적용하여 철도역사의 효율적인 공간배치·동선계획, DB구축 및 설계기준 제공 • 시뮬레이션을 통한 다중 이용 시설물의 안정성 평가가 가능 • 개발 통합 시스템은 역사의 물리적 특성과 여객의 형태를 통합하는 세계 최초의 통합패키지로 선도기술인 동시에 수출이 기대됨	• 피난 시뮬레이션을 통한 최적 화재대피계획 수립에 활용함으로 기존 시서리 개선을 통하여 역사 화재 사고 및 기타 위급 상황 시 이용자들의 안전한 대피와 인명피해 최소화 가능 • 효율적 공간계획은 역사 보행객들의 적정 보행 패턴 제공을 이용자들의 보행 시간 절약, 노동력 절감함으로써 전체 산업경제에 크게 기여 • 보행자들이 많은 복합 상가, 지하상가 등의 대규모 보행자들이 이용하는 유사한 시설들의 공간구조 분석 및 보행 패턴 프로그램 개발에 기여 • 본 프로그램의 검증과정 완료 후, 역사를 비롯한 대규모 유동 인구 분포 공간에 대한 사전 계획 및 평가 프로그램으로 활용가능

6. 참고 문헌

1. 강소연, 조정훈, 최선호, 홍민호, 장원복, 방재시뮬레이션을 통한 의료시설의 피난안전성 평가, 대한설비공학회 2004하계학술발표대회 논문집, 2004
2. 김도현, 김영욱, 대규모 복합 상업공간에서 공간구조 해석 방법에 따른 보행자 움직임의 특성, 대한건축학회 창립 60주년기념 학술발표대회논문집, 2005
3. 김영욱, Space Syntax를 활용한 공간구조속성과 공간사용패턴의 상호관련성 연구, 대한국토•도시계획학회지 국토계획 제38권 제4호, 2003
4. 김영욱, 공간형태와 공간인식의 상호관련성 연구, 대한건축학회논문집 계획계 16권 10호, 2000
5. 김성준외1인, 대규모 지하공간에서 길 찾기에 영향을 미치는 시지각적 요인에 대한 연구, 한국도시설계학회 2004추계학술발표대회, 2004
6. 김진수, 박종근, 노삼규, 지하공간의 피난안전성평가시스템 개발에 관한 연구, 한국화재•소방학회 논문지 제17권 제4호, 2003
7. 김태연, 김창남, 홍구표, 김광호, 노지웅, 김병선, 아케이드형 재래시장의 배연성능 및 피난시간 해석, 대한건축학회 학술발표대회논문집, 2004
8. 박계원, 이경훈, 복합영화관에서 화재시 과밀공간 파악을 통한 관객의 피난 행태연구, 대한건축학회 논문집 21권 1호, 2005
9. 박남길외2인, 지하도에서의 공간인지와 동선패턴에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회, 2003
10. 박재성, 윤명오, 이용재, 지하철 역사의 피난안전성능 확보를 위한 설계기준에 관한 연구, 대한건축학회논문집 구조계 19권 8호, 2003
11. 박창영, 최창호, 이현우, 인체 모듈과 특성을 고려한 인간의 피난 행동에 관한 연구, 대한건축학회 창립 60주년기념 학술발표대회논문집, 2005
12. 소은탁, 송병하, 멀티플렉스 영화관의 피난계획에 관한 연구, 한국실내디자인학회논문집 제14권 3호, 2005
13. 송세영외1인, 복합상업시설에서의 방문객의 경로선택과 통행량에 관한 연구, 한국실내디자인학회논문집 제14권 5호, 2005.10

14. 송세영, 송병하, 복합상업시설에서의 방문객의 경로선택과 통행량에 관한 연구, 한국디자인학회논문집 제14권 5호, 2005
15. 송정화, 도시 맥락적 관점에서 본 문화공간의 의미, 대한건축학회논문집 계획계 21권 1호, 2005
16. 신승철, 조형규, 최재필, 피난 시뮬레이션의 검토 및 공간분석기법의 응용가능성, 대한건축학회 학술발표대회논문집, 2004
17. 신행우, 임현식, 김영욱, 서울시청광장 계획에 따른 보행네트워크의 변화에 관한 연구, 도시설계학회 춘계학술발표대회, 2004
18. 안은희, 대규모 지하 상업공간에서의 보행자의 움직임과 경로선택 특성에 관한 연구, 대한건축학회눈문집 계획계 20권 9호, 2004
19. 안은희, 복합영화관에서의 피난행태특성에 근거한 피난로 설계에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 21권 10호, 2005.10
20. 안은희, 의류상가 쇼핑환경에서 길찾기의 정도와 매출이익간의 관계에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계 18권 12호, 2002
21. 윤용우, 김영욱, 박영기, 물리적인 거리와 공간깊이가 공간인식에 미치는 영향에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계 21권5호, 2005
22. 이정수, 김응식, 노인시설의 피난행태 분석을 통한 건축계획 및 운영관리 지침에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 계획계 20권 6호, 2004
23. 이정수, 김응식, 영유아시설의 피난행태 분석을 통한 건축계획 및 운영관리 개선방향에 관한연구, 대한건축학회 논문집 19권 7호. 2003.07
24. 이정수, 김응식, 민경찬, 송용호, 종합병원 병동부의 이용자 피난행태를 고려한 건축계획 및 운영관리 지침에 관한 연구, 대한건축학회눈문집 계획계 21권10호, 2005
25. 이정수, 김응식, 초등학교 공간구성형식에 따른 피난행태 특성 분석, 한국실내디자인학회 논문집 36권, 2003
26. 이평강, 김지성, 조동만, 배경태, 김석완, 시뮬레이션에 의한 노인복지시설의 피난안전성 평가, 대한설비공학회 2003하계학술발표대회 논문집, 2003
27. 이호영, 전규엽, 홍원화, 지하철 건축설비에 의한 피난안정성 확보에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획회 21권 7호, 2005

28. 임정원, 대형쇼핑몰의 성능기준 화재안전 설계 적용에 관한 연구, 서울산업대학교 산업대학원 석사논문, 2000
29. 전규엽, 홍원화, 모의실험을 통한 지하공간에서의 연령별 피난행동 특성에 관한 연구, 대한건축학회 창립 60주년기념 학술발표대회논문집, 2005
30. 정은재, 유스호스텔 화재 시 피난적정성 검토 및 피난효율성 증대에 대한 연구, 서울산업대학교 산업대학원 석사논문, 2003
31. 조형규, 초고층 건축물의 건축계획 사전평가를 위한 정량적 기법, 대한건축학회지 48권 10호. 2004.10
32. 천정길, 나욱정, 전규엽, 홍원화, 지하공간 화재시 시야장애 정도에 따른 피난특성에 관한 연구, 대한건축학회 창립 60주년기념 학술발표대회논문집, 2005
33. 최윤경, 민병호, 공간구조와 학습이 길찾기에 미치는 영향에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계 14권7호, 1998
34. 최재필, 강범준, 박영섭, 이윤재, 초고층 건축물의 '대피층' 및 '대피공간' 개념 도입방안, 대한건축학회논문집 계획계 21권 11호, 2005
35. 한수곤, 권한솔, 양재훈, 정영선, 박재성, 윤명오, 국내 지하공간의 화재안전의 문제점에 대한 사례연구, 대한건축학회 창립 60주년기념 학술발표대회논문집, 2005
36. 홍원화, 김태현, 전규엽, 비상시 지하공간의 초기 피난 및 구조 활동 분석에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계 22권 3호, 2006
37. 윤현정, 김영욱(2002), "지하철 역사내 공용공간의 공간구조 분석에 관한 연구-길찾기 요소를 중심으로", 대한건축학회논문집, 계획계 18권 9호, pp.187-194.
38. 김영욱 외 4인(2007), "지하철 역사의 공간구조와 여객의 공간사용패턴 분석 연구", 한국철도학회 춘계학술대회
39. 이강주. 서충원(2006), "지하공간 건축가이드라인 설정에 관한 연구", 대한건축학회논문집, 계획계 22권 4호
40. 김영욱, 김찬주, 조인오, 김아현, 남성원, 지하철 역사의 공간구조와 여객의 공간사용패턴 분석연구,한국철도학회 춘계학술대회, p 111, 2007.5.17(제주도)
41. 김찬주, 김영욱, 지하철 역사공간에서 승객의 유동 패턴에 관한 연구 -지하철 2호선 강남역을 중심으로-, 대한건축학회 논문집(계획계), 23권11호, pp71-78, 2007.11

42. 김아현, 김영욱, 도시철도 정거장의 건축가이드라인 설정에 관한 연구 - 동선 시뮬레이션 분석을 통한 배치 및 동선 계획을 중심으로, 한국철도학회 춘계학술대회, 2008. 6
43. Hillier, B. & Hanson, J. (1984), "The Social Logic of Space", Cambridge University Press.
44. 건설교통부, (2002), "도시철도 정거장 및 환승·편의시설 보완 설계 지침"
45. 서울특별시 지하철건설본부, (2001), "서울 지하철 9호선 기본설계보고서"
46. 서울특별시 지하철건설본부, (2001), "서울 지하철 9호선 설계기준"
47. 서울특별시 지하철건설본부, (1996), "정거장 건축계획 기본방향"
48. Hillier, B & Hanson, J. The Social Logic of Space. Cambridge University Press, 1984
49. Erica Kuligowski, Review of 28Egress Models, National Institute of Standard and Technology
50. Gabriel Santos Benigno E, Acritical Review of Emergency Simulation Models, Conference "Building Occupation Movement During Fire Emergencies", 2004

제 2 절 CA모형을 이용한 보행자 이동 시뮬레이션 모델 개발

1. 연구개요

가. 보행모형의 필요성

보행은 교통측면에서 차량보다 덜 중요시 생각되어왔지만 가장 기초적이고 중요한 교통수단 중 하나이다. 차량에 대한 분석이나 예측은 활발하게 이루어지고 있는데 반해 지금까지 보행에 관한 분석은 차량보다 미비하다. 하지만 최근에는 세계적으로 보행 공간이나 행태에 대한 중요성이 부각되면서 보행에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 전통적으로 보행 공간은 경험적으로 설계되어지고 있다. 지하철역사, 공항, 백화점, 스타디움과 같은 대표적인 보행 공간은 사람들의 경험적이고 직관적으로 설계되어 화재나 테러 등 긴급 상황 시 보행자의 안전이 고려되지 못하는 측면이 있다. 이를 위해 차량처럼 보행을 분석할 수 있는 보행자 모형을 구축하여 보행자들에게 안전을 보장하여야 한다.

따라서, 보행자의 편의나 안전을 위해 과학적으로 분석될 수 있는 보행자 모형이 필요하다. 보행 공간은 설계 전에 보행자 모형을 이용한 시뮬레이션을 통해 체계적이고 과학적인 구축이 되어야 한다.

○ **CA(*Cellular Automata*) 이론**

보행의 행태를 반영하는 이론은 여러 가지가 있다. 그 중에 Celluar Automata 이론은 연산처리가 뛰어나며, 간략하게 보행자를 표현할 수 있는 장점이 있어 현재 보행자 모형에 많이 이용되고 있다.

*Cellular Automata Theory*는 1940년 두 명의 수학자 John von Neumann와 Stanislaw Ulam가 고안해낸 이론이다. *Cellular Automata*(이하 CA)는 Dynamic System으로 시・공간을 직접적으로 표현 가능하며, 공간은 일정한 격자에 의해 표현된다. 격자로 표현되는 각각의 Cell들은 완전한 숫자로 표현된다.

CA 이론은 대규모 교통네트워크에서 효과적이면서도 실제 현상을 잘 반영한다. 또한 Dynamic Traffic Assignment로 활용 가능할 뿐 아니라 네트워크표현에 있어서 time and space는 모두 이산적인 형태로 표현된다. 따라서 본 연구의 보행자 모형도 CA이론에 기반 하여 구축한다.

나. 연구의 목적 및 범위

본 연구에서는 일차적으로 보행행태를 묘사할 수 있는 시뮬레이션을 CA이론으로 구축하는 것이며, 환승지하철의 계단이라는 특정 상황을 시뮬레이션 하여 모형을 좀 더 정교하게 보완한다.

구축한 모형을 가지고 현재 한국도로용량 편람에서 제시하는 계단에서의 서비스수준에 따라 시나리오 설정하여 차이점을 분석하고 새로운 문제점을 제안하는 것이 이차적인 목적이다.

한국도로용량 편람의 보행자 서비스 수준의 기준은 보행 군과 비보행군으로 나누어 설정되어져 있다. 이때 계단에서 내려오는 보행자와 올라가는 보행자에 구성원에 따라 보행교통류의 차이가 있을 것임에도 불구하고 이러한 점의 반영이 미약한 것으로 판단되어 시나리오를 통해 차이점을 분석하고자 한다.

또한, 지하철 역사를 신설 할 때는 여러 가지 요소를 고려해야한다. 그 중 지하철 출구의 위치 및 그 크기는 결정지어야할 중요한 요소 중 하나이다. 현재로서는 이러한 출구의 위치 및 크기는 경험적이고 직관적인 판단 하에서 결정되어지고 있으며 그 판단은 지하철 출구 보행 량에 기인한다. 그러나 현재까지의 연구에서는 지하철 출구를 얼마나 많은 사람들이 이용할지에 대한 연구가 미흡하였다. 이에 본 연구에서는 지하철 출구 선택 모형을 구축하여 출구에 대한 이용수요를 예측하고자 한다. 이를 통하여 향후 건설될 신규 지하철 역사에서의 출구 위치 및 크기 결정에 기여할 수 있는 기반을 마련하고자 한다.

본 연구에서는 이러한 목적지가 출구선택에 가장 중요한 요소라는 것을 감안하여 목적지와 연관성이 높은 주변 토지이용계획 등의 자료를 중심으로 모형을 구축하고자 하는 것이 삼차적인 목적이다

다. 연구의 방법

지하철 환승계단의 보행 시뮬레이션 구축은 환승계단에 대한 특성과 지하철 환승 시 발생하는 보행자 행태 조사가 이루어져야 하고 시뮬레이션을 위해 보행자 모형 구축이 이루어져야 한다.

지하철 환승계단의 보행 모형 구축 이전에 일반구간에서의 보행자 모형 구축이 이루어져야 하며 조사치와 모형치의 비교를 통해 모형의 검증이 요구된다. 모형 검증을 위한 조사 데이터의 구축은 모형과 비교되어야 하므로 정확하고 신뢰성

있는 데이터야 한다. 보통 보행에 관한 조사는 보행자의 행태를 파악할 수 있어야하므로 비디오 촬영을 주로 이용한다. 마지막으로 구축된 보행자 모형에 환승계단에서의 보행자 행태를 반영한 정산이 요구된다.

본 연구에서 분석하는 환승계단의 시뮬레이션은 혼잡상황 즉, 출퇴근 시 서로 다른 노선에서 환승을 하기위해 두 보행 군들이 상충하였을 때를 분석하는 것이다. 이 현상의 촬영은 한번으로 그치지 않고 여러 번에 걸쳐 비디오 자료를 획득하여 보행통행량과 속도를 측정하여야 한다.

비디오촬영을 통해 입력 자료를 획득하고 이를 모형에 넣어 시뮬레이션하고 이때의 보행행태를 반영하는 파라미터의 조정을 통해 환승계단 모형을 정산한다.

모형 구축이 완료되면 한국도로용량 편람에서 제시한 서비스 수준에 따라 시나리오를 설정하고 한국도로용량 편람에서 제시한 보행자 계단에 대한 서비스 수준의 미흡한 점을 도출하고 이에 대한 결과를 제시토록 한다.

또한, 지하철 역사를 신설 할 때는 여러 가지 요소를 고려해야 하며 그 중 지하철 출구의 위치 및 그 크기는 결정지어야할 중요한 요소 중 하나이다. 현재 출구의 위치 및 크기는 경험적이고 직관적인 판단 하에 지하철 출구의 보행 량에 의해 결정되어지는 상황이지만 지하철 출구를 얼마나 많은 사람들이 이용할지에 대한 연구가 현재까지는 이루어지지 않았다. 이에 본 연구에서는 지하철 출구 선택 모형을 구축하여 출구에 대한 이용수요를 예측하고자 한다.

지하철 출구의 가장 중요한 선택 요소라 함은 목적지라 할 수 있다. 이러한 목적지를 어떻게 계량화 할 것인가는 본 연구의 주된 연구 내용이다. 본 연구에서는 목적지를 계량화하기 위하여 역세권의 토지이용계획, 버스노선 수, 역세권 공간구조(Space Syntax 기법의 Depth 개념, 역세권의 도로 연장 등) 등에 대한 기본적인 데이터 이용하여 회귀분석 모형을 구축하였다. 모형 구축 결과 지하철 보행 량은 토지이용 중 상업지역의 연상면적과 역세권 공간구조의 계량화 지표인 Total Depth, 버스 노선 수에 따라 큰 영향을 받는 것으로 분석되었다.

모형의 검증은 강남역과 양재역의 각 출구 보행 량을 대상으로 수행하였으며, 이때 발생하는 출구 영향권 설정 문제에 관한 연구를 추가적으로 수행하였다.

연구 결과 지하철 출구 선택은 어떠한 요소에 의해서 영향을 받는 다는 것을 모형 식을 통해 규명하였으며, 이를 통하여 향후 건설될 신규 지하철 역사에서의 출구 위치 및 크기 결정에 기여할 수 있는 기반을 마련하였다.

2. CA모형의 이론적 고찰

가. CA 이론적 배경

Cellular Automata(CA)모형은 CA이론을 기반으로 모형을 구현하고, 통계물리학 이론을 기반으로 해석하는 이론적 배경을 가진다.

(1) 통계물리학(Statistical Physics)

매우 큰 또는 무한대의 개별요소로 구성된 체계를 매우 정확하게 다루기란 매우 어려운 일이다. 이러한 체계의 혼동적 활동을 설명하기 위한 연구의 하나로서 통계물리학의 연구가 활발히 진행되고 있다.

보행자의 거시적 활동체계인 보행교통류의 행태는 미시적 활동체계인 개별 보행자 행태의 결과라고 할 수 있다. 따라서 동적 교통류를 설명하기 위해서는 개별 보행자의 반응을 동적으로 설명해야 한다. 그러나 지속적으로 변화하는 물리적, 심리적 자극에 대한 보행자의 반응을 변수화 하기는 매우 어렵다.

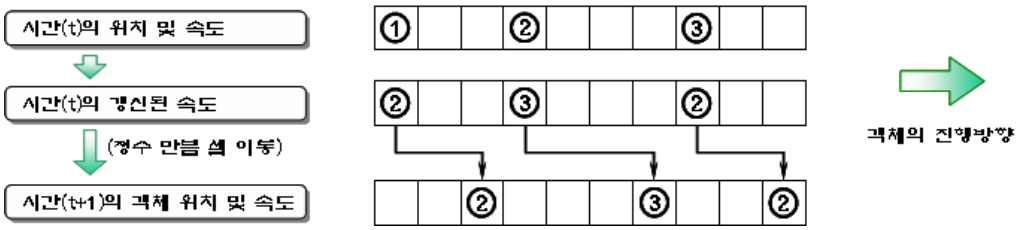
따라서 통계물리학에서는 이러한 보행자의 의사결정과정에 미치는 자극을 무작위적 확률을 이용하여 미시적으로 간략하게 적용하면서 거시적으로 설명하게 된다.

(2) CA이론

CA 이론은 컴퓨터 연산구조의 기초인 이진구조를 이용하여 동적 체계의 개별요소를 묘사하게 되며, 컴퓨터의 메모리를 효과적으로 처리하면서 매우 큰 집합의 객체를 빠른 시간에 연산할 수 있는 장점을 가지고 있다.

CA이론을 연속적인 시·공간 영역에 적용하기 위해서는 공간영역을 일정한 크기의 단위 셀로 구분하여 이산적 시·공간(Discrete time space)으로 세분화한다. 즉, 공간적으로 연속적인 공간을 이산적 공간으로 나누고, 연속적인 시간을 이산적 시간(즉, time step, 예를 들어 1초)으로 구분한다.

그리고 이산적 공간은 객체의 단위셀 점유 유무뿐만 아니라 <그림3-90>과 같이 객체의 속성을 표현하기도 하는데 단위시간동안 이동할 수 있는 단위 셀의 개수를 의미하는 정수 값을 사용하여 표현한다.



<그림3-90> CA이론의 객체 이동방식

나. CA 차량이론

CA모형에 기반을 둔 차량행태모형은 차량추종모형과 차로변경모형의 두 가지로 구성되는데 이는 1992년 Nagel K. and Schreckenberg M에 의해 처음 시도되었으며, 현재 활발한 연구가 진행되고 있는 실정이다.

(1) 기본개념 및 용어정의

Cellular Automata(CA)에 기반을 둔 차량행태모형은 기본적으로 CA모형에서 기본개념을 가져 왔지만 교통 분야에 접목을 시키기 위하여 많은 부분이 수정되어 개발되었다.

차량행태모형에 사용된 cell의 공간적 구조는 차량한대가 점유할 수 있는 공간, 즉 차량길이와 최소 차두거리에 의해 결정되며, cell의 상태 값은 차량점유상황에 따라 (0,1)의 값을 갖는다. 그리고 cell을 점유한 각 차량들은 하나의 속성 값을 갖게 되는데, 이는 속도를 의미한다. 이때의 속도는 일반적으로 사용되는 m/s나 km/h의 값이 아니라 cell/s로 표현되며, 0~5cell/s의 범위 값을 갖게 된다. 5cell의 값은 차량이 가질 수 있는 최대속도를 뜻하며 일반적인 cell길이 7m를 적용할 경우 130km/h해당되는 속도이다.

(2) 차량추종모형

○ 기본전제

차량은 기본적으로 자신이 가질 수 있는 최대속도까지 가속하기를 원하며, 앞차량과의 차두거리에 따라 자신의 속도로 결정된다.

○ 차량추종모형

Step 1. 가속(Acceleration)

- $V_n \rightarrow \min(V_n+1,\ V_{\max})$

V_n : n 차량의 속도

$V_{\max}$: 최대속도

- 차량은 자신이 가질 수 있는 최대속도보다 현재 속도가 작다면 가속한다.

Step 2. 감속(Deceleration)

- 선두차량과의 후미추돌, 충돌(Crash)을 피하기 위하여 차량은 감속한다.

Case 1. 신호가 적색이라면 n번째 차량은 감속

$V_n \rightarrow \min(V_n,\ d_n-1,\ S_n-1)$

d_n: 앞 차량과의 빈 Cell의 개수

S_n: (비)신호교차로의 정지선과의 Cell 개수

Case 2. n번째 차량에 대해 신호가 녹색이라면

If 신호가 다음 단계에서 적색으로 바뀐다면

$V_n \rightarrow \min(V_n,\ d_n-1,\ S_n-1)$

Else

$V_n \rightarrow \min(V_n,\ d_n-1)$

Step 3. 불규칙인 감속(Randomization)

- $V_n \rightarrow \min(V_n-1,\ 0)$ with probability P
- 차량은 확률 P를 가지고 자신의 속도를 1만큼 감속한다.

Step 4. 이동 (Movement)

- New cell = Current cell + v
- 차량은 v의 속도를 가지고 전방으로 움직인다.

(3) 차로변경모형

○ 기본전제

차량들은 현재 주행하고 있는 차로에서 자신이 희망하는 속도를 얻을 수 없을 경우 차로변경을 기본적으로 시도하며, 차로변경 대상차로에 충분한 안전거리가 확보되어 있어야만 차로변경을 수행할 수 있다.

○ 차로변경 모형

(가) 기본전제

차량들은 현재 주행하고 있는 차로에서 자신이 희망하는 속도를 얻을 수 없을 경우 차로변경을 기본적으로 시도하며, 차로변경 대상차로에 충분한 안전거리가 확보되어 있어야만 차로변경을 수행할 수 있다.

(나) 차로변경모형

• 선호조건(Incentive)

- $v_{hope} > gap_{same}$ and $gap_{forward} > gap_{same}$,

$v_{hope} = \min(v+1, v_{max})$

- 현재 주행차로에서 차량이 희망하는 속도를 내지 못 할 경우 차량은 기본적으로 차로변경을 희망한다.

• 안전조건(Safety)

: 선호조건이 만족되었다 하더라도 차로변경 대상차로에 대한 안전성이 확보된 경우에만 차량만이 차로변경을 수행할 수 있다.

- $v < gap_{forward}$ and $gap_{back} \geq v_{max}$

- $gap_{back} \geq v_{max}$의 조건은 차로변경을 원하는 차량이 뒷차량의 속도를 알지 못한다는 가정을 전제로 한 것이고, $v \leq gap_{forward}$의 조건은 차량이 차로변경을 완료한 후 차량전이 시 갑작스런 감속을 방지하기 위한 조건이다.

여기서, v_{hope} = 차량 희망속도(cell/s)

gap_{same} = 주행차로 전방 차두거리(cell)

$gap_{forward}$ = 차로변경 대상차로 전방 차두거리(cell)

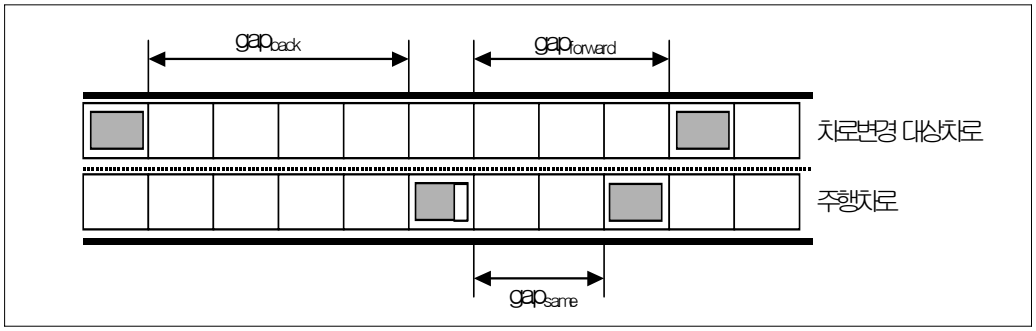
gap_{back} = 차로변경 대상차로 후방 차두거리(cell)

v = 차량의 속도(cell/s)

v_{max} = 차량이 가지는 최대속도(cell/s)

차로변경은 위의 모든 조건을 만족하여야만 할 수 있으며, 어느 한 조건이라도 만족하지 않을 경우에는 차로변경을 하지 못한다.

다음의 <그림 3-91> gap_{same}, $gap_{forward}$, gap_{back}의 예를 보여주는 예이다.



<그림 3-91> gap_{same}, $gap_{forward}$, gap_{back}의 예

다. 보행자 모형

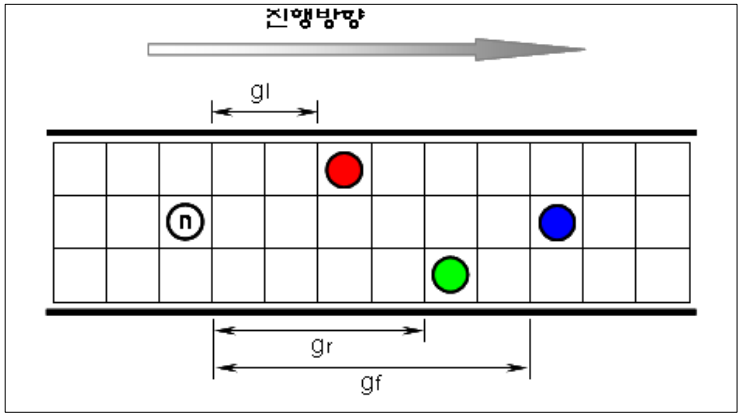
Victor J. Blue와 Jeffrey L. Adler는 CA모형을 기반으로 한 보행자 모형에서는 보행자의 전방이동 및 진로변경의 수행과정을 총 6단계의 기본 규칙을 적용하여 정립하였다.

Victor J. Blue와 Jeffrey L. Adler가 정립한 CA 보행자 모형을 설명하기 위한 변수는 다음의 <표 3-24>과 같이 정의하며 <그림 3-92>은 선행보행자와 추종보행자간의 비 점유된 셀의 개수를 의미하는 거리를 나타낸다.

<표 3-24> CA모형을 기반으로 한 보행자 모형의 변수 및 변수 내용

변 수	변수 내용
gap_f	전방 보행자와의 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)에서의 보행자 셀 위치
$gap_f(t)$	보정된 전방보행자와의 셀 개수

<그림 3-92> gap_f, gap_l , gap_r 개념도



(1) 기본 개념

좌·우측 인접 셀이 비 점유이고 전방 gap의 크기보다 인접 셀의 비 점유된 gap이 클 경우 진로변경을 수행하고, 진로변경이 불가능할 경우 전방으로 이동한다고 가정하였다.

(2) 세부 내용

1 단계 : 인접 셀 점유 유무 확인

- 좌・우측 인접 셀의 점유 유무를 확인한다.

2 단계 : 진로변경 가능 여부 결정

- if 좌・우측 인접 셀이 모두 점유이면, 진로변경불가
- if 좌・우측 인접 셀 중 1개 이상이 비 점유이면, 진로변경 가능

3 단계 : 전방gap의 크기 보정

- $gap_f > 1$ and $gap = \min(gap_l,\ gap_f)$에서,
- if $gap < gap_l$ 이면, $gap_f(t) = \frac{gap + gap_f}{2}$
- if $gap \geq gap_l$ 이면, $gap_f(t) = gap_f$

4 단계 : 진로변경 방향 결정

- if $(gap_f \text{or } gap_r) \geq gap_f$이면,
- if 좌・우측 인접 셀 중 1개의 인접 셀이 비 점유이면,

  비 점유 셀로 진로 변경
- if 좌・우측 인접 셀이 모두 비 점유이면,

  전방 gap의 크기가 큰 방향으로 진로변경 수행
- if 좌・우측 인접 셀이 모두 비 점유이고, 전방 gap의 크기가 같다면,

  진로변경 대상 보행자 중 50%는 좌측 진로변경 수행

  진로변경 대상 보행자 중 50%는 우측 진로변경 수행
- if $(gap_f \text{or } gap_r) < gap_f$이면, 전방이동 수행

5단계: 속도 갱신

- if $v(t) < gap_f(t)$ 이면, $v(t+1) = \min[v(t)+1, v_{\max}]$
- 전방 gap이 시각(t)의 속도보다 크다면, 시각(t+1)의 속도를

  1cell/초만큼 증가시키고, 속도는 최대속도를 초과할 수 없다.
- if $v(t) \geq gap_f(t)$이면, $v(t+1) = gap_f(t)$

6단계: 전방 이동

- 갱신된 속도로 전방으로 이동한다.

라. 차량과 보행자의 비교

이 절에서는 보행자와 보행교통류의 특성과 차량과 교통류의 특성을 비교한다. 교통 분야의 CA이론은 차량에서부터 출발하여 보행에 적용되었기 때문에 알고리즘 측면에서 유사한 부분이 존재한다. 차량의 특성과 보행자의 특성을 명확하게 구분하여 모형에 반영되어야 한다.

차량과 보행자 특성의 차이점은 크게 4가지 부분으로 구분된다. 이동, 감 가속, 공간의 이용, 교통과 환경의 민감도부분이다.

○ 이동(movement) 부분

보행자들은 이동하기 위해 그들 자신의 에너지 공급에 의지해야한다. 차량과 같은 경우는 비록 운전자의 정신적 작업량은 운전속도에 따라 증가되지만 자동차의 운동 자체는 직접적으로 운전자의 에너지를 요구하지 않는다. 이것은 가속과 감속에 대해서 동일적으로 유지한다. 그럼으로, 우리는 자동차 운전자들과 비교하여 감속 또는 가속에 대한 보행자의 결정들은 이와 같은 이점에 대해서 조심스럽게 가중치를 부여하여야 한다.

○ 감속과 가속(acceleration and deceleration) 부분

보행자들은 거의 즉시 멈출 수 있는 높은 비율로서 감속할 수 있다. 이것은 그들의 감속에 대하여 동일하게 유지된다. 대조적으로, 자동차 운전자들은 높은 감속과 가속 때문에 그들의 자동차와 불편함의 확률로부터 제한된다.

○ 공간적 자유(Spatial freedom)

자동차들은 때때로 다른 차선으로 이동할 때 제한된다. 반대로, 보행자들은 2차원 공간에서 그들의 방향을 선택할 때 자유롭다. 또한 도로교통에 있어 차량들은 중앙선과 같은 공간의 제약이 존재하지만, 보행자들은 거의 대부분의 공간에 있어 점유의 자유가 보장된다.

○ 교통과 환경에서의 민감도(Sensitivity)

자동차들은 차선에 유지하기 마련이지만, 그들은 보통 한순간에 같은 방향으로 운전하고 있는 몇몇의 차량들과 상호작용을 하고 있다. 예를 들어 특별한 경우(차선 변경)에 대해서, 자동차 운전자들은 그들 앞에 있는 차량들보다 다른 교통에 고려할 것이다. 반면에, 보행자들은 항상 모든 방향들로 부터의 상호작용을 기대할 수 있다. 또한, 차량 운전 환경은 보행자 공간 보다 더 제한적이다.

3. 당해연도 실적

가. 연구개발 목표 및 평가의 착안점

○ 전년도의 기 제출한 건설교통기술연구개발계획서 상의 내용을 토대로 계량화하여 개조식으로 작성한다.

나. 당해연도 연구개발 목표

○ 최종목표

○ 일반 상황 시 CA모형을 이용한 지하철 보행 시뮬레이션 모델 개발

○ CA모형을 이용한 분석시뮬레이션 모듈의 통합 및 사례분석을 통한 모형의 검증

○ 당해연도 목표

○ 지하철 하차인원과 주변 토지이용 등과의 관계를 분석하여 희귀모형 식 구축

○ 모형식을 검증대상지역에 적용하여 출구선택모형의 검증 수행

다. 연구개발결과 평가의 착안점

년도	세부연구목표	가중치	평가의 착안점 및 척도
3차년도	◦ CA모형을 이용한 분석시뮬레이션 모듈의 통합 및 사례분석을 통한 모형의 검증	100%	◦ 지하철 하차인원과 주변 토지이용 등과의 관계를 분석하여 희귀모형 식 구축 ◦ 모형식을 검증대상지역에 적용하여 출구선택모형의 검증 수행

4. 연구수행 내용 및 결과

가. 1차년도 (CA)

(1) 접근방법

○ 일반 보행자의 행동특성을 기초자료로 하여 이런 특성들을 CA(Cellular Automata)모형에 적용하여 시뮬레이션 한다.

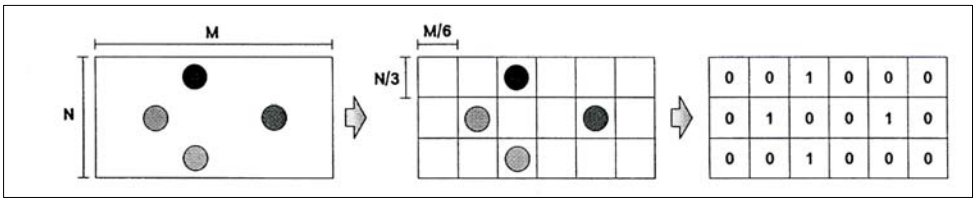
○ CA(Cellular Automata)모형은 이산적 시-공간 모형으로 간략한 객체 표현과 이동규칙을 가지고 있어서 연산메모리를 최소화할 수 있는 장점이 있음. 교통 분야에서는 차량의 움직임을 묘사하는데 사용되어졌으며, 현제 적용분야가 확산되고 있는 추세이다.

○ 시뮬레이션은 보행의 특성을 반영하여 모의 네트워크상에서 구축하였으며, 구축 시 사용한 언어는 비주얼 베이직이다.

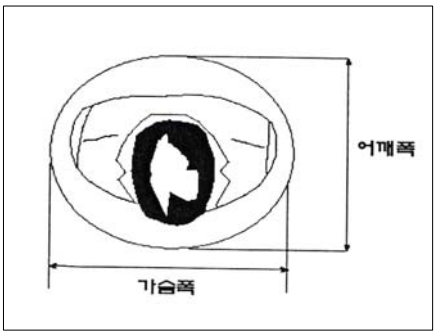
(2) 연구내용

○ 보행 시뮬레이션에서의 CA모형

- CA(Cellular Automata)에서 Cell은 하나의 보행자를 나타내기 때문에 보행자의 행동반경은 가장 중요한 요소가 된다. 한국도로용량편람에는 보행자의 점유면적을 그림과 같이 제시하고 있다. 따라서 셀의 크기를 결정할 때에는 가슴 폭 × 어깨 폭을 기본으로 사용하되 다른 사람들과 충돌을 피하거나 몸을 흔들 수 있는 여유를 감안한 완충공간이 필요하다. CA에서 보행자의 움직임은 컴퓨터 이진구조의 1,0의 연속으로 표현. 여기서 “1”은 객체의 단위 셀 점유를 의미하며, “0”은 비 점유를 의미한다.



<그림 3-93> CA이론의 공간 표현방식



<그림 3-94> 인체타원

- 보행자 속도, 좌·위 측 점유 셀과의 거리, 전방 보행자와의 거리 등을 통하여 보행자의 이동 및 진로변경이 가능하다.
- 보행자의 움직임은 두 가지로 표현할 수 있는데 하나는 전방 이동모형이며 하나는 측방 이동모형이다. 측방이동 모형은 보행자간의 충돌을 피하기 위해 진로를 변경하는 것을 의미. 보행자는 움직임을 표현하기 위해서 다음과 같은 변수를 설정한다.
- 보행자의 속도는 보행자의 나이에 따라 다르므로 조사 자료를 바탕으로 나이대의 분포와 속도를 결정(N1, N2, N3 ……)한다.

(3) 모형구축의 기본가정

○ 보행자 특성

- 다양한 계층(Multi class, 빠른 보행자, 보통 보행자, 느린 보행자) 가존재한다.
- 보행자는 차량과 달리 일직선으로 통행하지 않으며 진로 변경 시 후방 보행자를 고려하지 않는다.
- 보행자는 대향 보행자의 유무에 따라 충돌을 피하려는 행동을 취한다.
- 보행자 1인 점유공간을 0.25㎡(0.5m×0.5m)로 적용하였다.

○ 전방이동모형

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

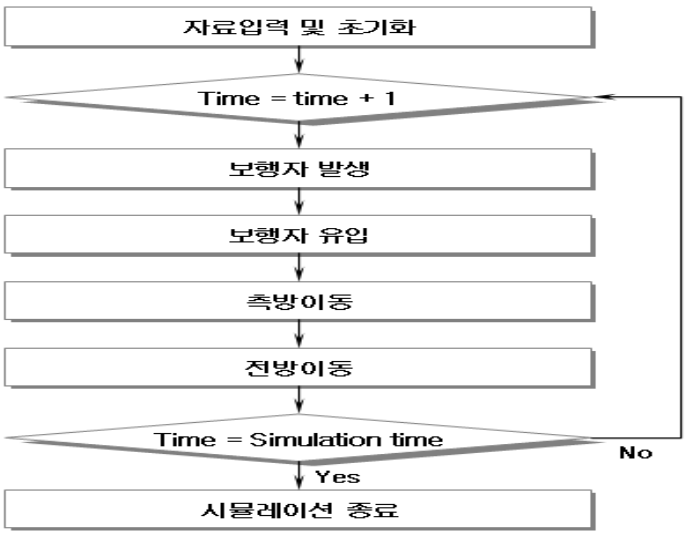
○ 측방이동모형

- 전방의 보행자가 대향 보행자일 경우 충돌을 피하기 위해 보행자는 진로를 변경한다.
- 최대속도에서도 일직선으로 보행하지 않으며 좌우로 움직이면서 보행한다.
- 통행시간을 최적화하기 위해 진로를 변경한다.

○ 보행자 움직임의 표현

단계	내용
인접 셀 점유유무확인	좌 · 우측 인접 셀의 점유 유무 확인
진로변경가능여부결정	if 좌·우측 인접셀 모두 점유 : 진로변경 불가 if 좌·우측 인접셀 중 1개 이상 비 점유: 진로변경
전방 gap 크기 보정	if $gap < gap_r$, $gap_f(t) = \frac{(gap + gap_r)}{2}$ if $gap \geq gap_r$, gap_f
진로변경 방향 결정	진로변경 시 좌·우측이 1개 이상 비점유시 가능. 모두 비점유시에는 전방 gap이 큰 쪽으로 이동
속도 갱신	if $v(t) < gap_f(t)$ 이면 $v(t+1) = \min\{v(t)+1, v_{\max}\}$ if $v(t) \geq gap_f(t)$ 이면 $v(t+1) = gap_f(t)$
전방 이동	갱신된 속도로 전방으로 이동

○ 모형의 알고리즘

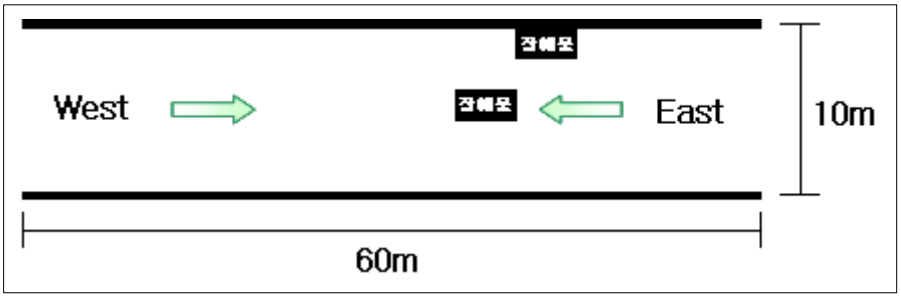


<그림 3-95> 시뮬레이션 수행과정도

(4) 연구결과

○ 시뮬레이션 적용 네트워크

- 시뮬레이션에 적용한 네트워크는 가로 60m, 세로 10m의 통로를 가정한다.



<그림 3-96> 시뮬레이션 적용 네트워크

○ 시나리오의 구성

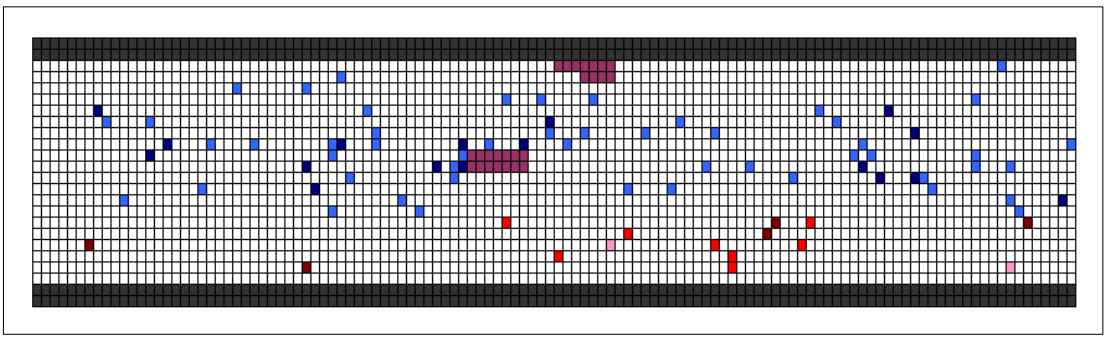
- 보행량은 서쪽에서 동쪽으로 500~2,300인/시, 동쪽에서 서쪽으로 500~1,000인/시로 가정
- 보행자의 구성비는 빠른 보행자 30%, 보통 보행자 60%, 느린 보행자 10%로 가정
- 전방 gap감속확률 0.3로 가정
- 충돌 시 진로변경확률 0.999로 가정
- 최대속도에서 진로변경확률 0.2로 가정
- 최대속도이하에서 진로변경확률 0.5로 가정
- 대향보행자 인식거리 30m로 가정

방향	서 → 동	동 → 서
교통량	▪ 500 ~ 2,300인/시	▪ 500 ~ 1,000인/시
구성원비	▪ 빠른 보행자 (2.0 m/초) : 30% ▪ 보통 보행자 (1.5 m/초) : 60% ▪ 느린 보행자 (1.0 m/초) : 10%	▪ 빠른 보행자 (2.0 m/초) : 30% ▪ 보통 보행자 (1.5 m/초) : 60% ▪ 느린 보행자 (1.0 m/초) : 10%
P_{noise}	▪ 빠른 보행자 : 0.090 ▪ 보통 보행자 : 0.045 ▪ 느린 보행자 : 0.005	▪ 빠른 보행자 : 0.090 ▪ 보통 보행자 : 0.045 ▪ 느린 보행자 : 0.005
전방 gap 감속확률(P_{dg})	▪ 0.300	▪ 0.300
충돌시 진로변경확률(P_o)	▪ 0.999	▪ 0.999
최대속도에서 진로변경확률(P_m)	▪ 0.200	▪ 0.200
최대속도이하에서 진로변경확률(P_1)	▪ 0.500	▪ 0.500
대향보행자 인식거리(d_p)	▪ 30m	▪ 30m

<그림 3-97> 시나리오 구성도

○ 분석결과

- 보행량이 적을 때는 보행자가 자유속도로 보행하다가 보행량이 많아지면 보행속도가 감소한다.
- 보행자들은 혼잡 속에서 서로의 진로를 찾아가면서 공간적으로 안정을 찾게 된다.



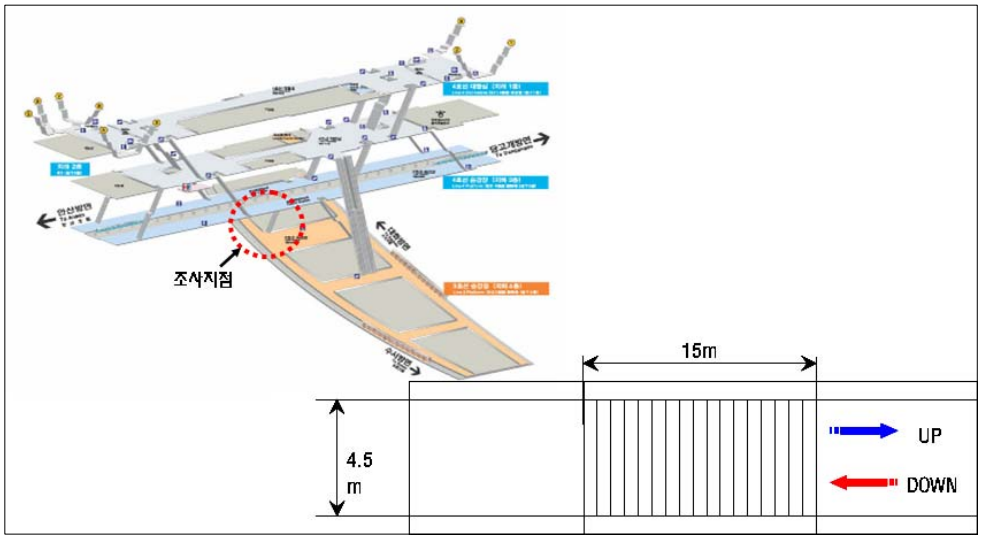
나. 2차년도 (환승계단에서의 CA보행자 모형 구축)

(1) 지하철 환승 계단의 특성 및 조사

현장조사는 환승이 가장 빈번하게 일어나고 환승통행량이 많은 서울의 충무로역을 대상 지역으로 선정한다. 충무로역은 지하철 3호선과 4호선 환승이 일어나는 지역으로 대부분의 환승통행이 계단에서 이루어진다.

조사시간은 첨두시 (7:00~9:00)에 시행한다. 지하철 3호선과 4호선의 첨두시 배차간격은 2~3분이여서 서로 같은 시간에 도착하는 경우가 많으며 동시에 도착하였을 때 환승을 위해 보행자들이 서로 다른 노선에 탑승하기 위해 계단에서 보행 군들의 상충이 빈번히 발생한다.

조사방법은 기본적으로 비디오 촬영을 시행하며 속도 조사를 위해 조사원들을 직접 계단에서 환승까지 걸리는 시간을 측정하였다. 충무로역의 구조와 조사 계단의 기하구조는 아래와 같다.

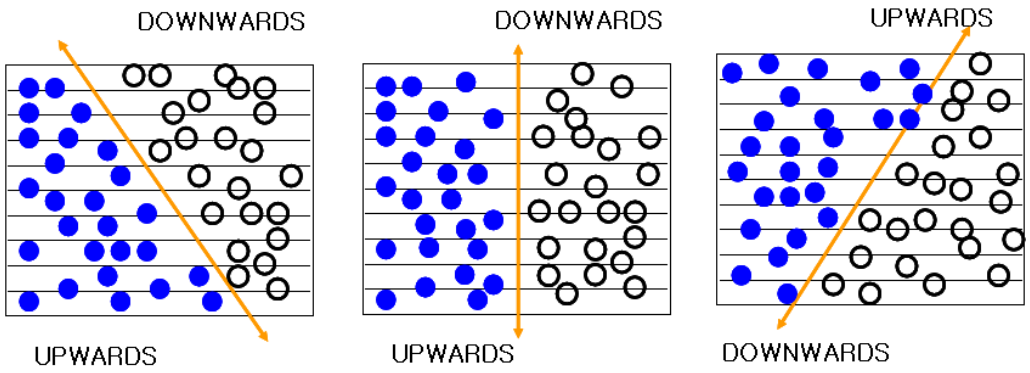


<그림 3-98> 조사대상지역과 기하구조

○ 비디오 촬영결과 아래 그림과 같은 현상이 발생된다.

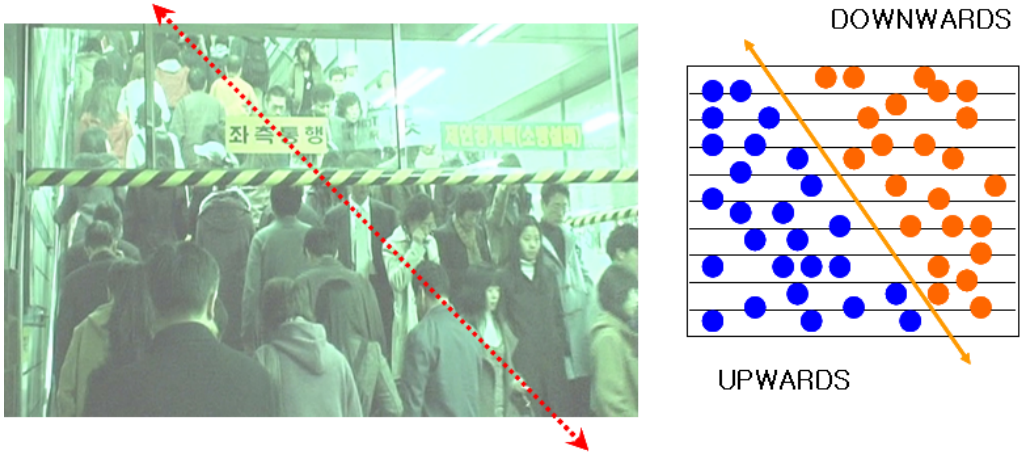


<그림 3-99> 비디오촬영 화면



<그림 3-100> 보행군들의 계단점유 상황

현장조사 결과 지하철 환승이 일어날 때 환승계단에서는 몇 가지 특성이 나타났다. 첫째로 보행 군 충돌 시 보행속도의 급격한 감소가 조사되었으며, 두 번째로 환승을 위한 보행 군이 충돌하였을 때 처음에는 각각의 보행 군들이 계단에서의 점유면적을 크게 차지하였지만 대향방향 보행 군으로 인해 대각 경계를 형성하면서 계단을 빠져나가는 면적은 점차 줄어드는 것을 볼 수 있다.



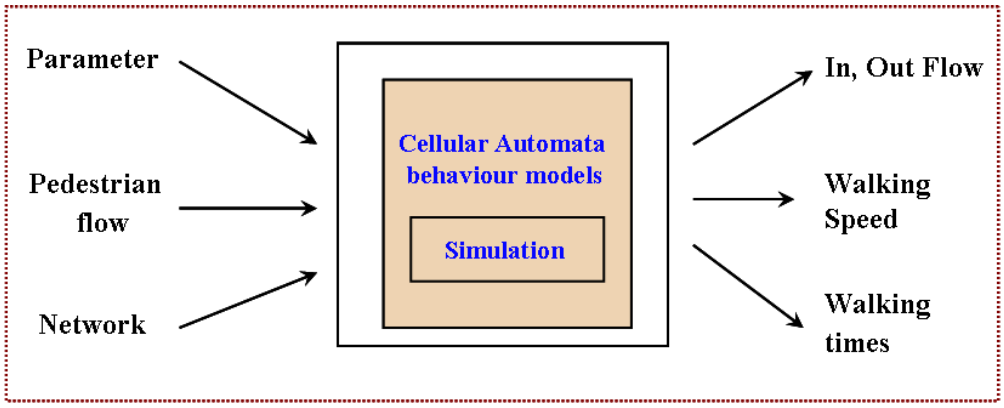
<그림 3-101> 보행 군들의 계

이러한 환승계단에서의 보행행태 원인은 계단의 기하 구조적 측면과 보행자 측면이 있다. 계단의 기하 구조적 측면으로는 계단의 높이 차이로 인한 보행자 시거 감소이다. 보행자들은 평지에서보다 멀리 볼 수 없으며, 보행자가 인식할 수 있는 전방인식 거리는 짧아진다. 따라서 계단에서는 평지와 달리 대향방향 보행자 인식 거리가 감소한다. 보행자 측면에서는 대향보행자와 충돌 시 좌측 이동하는 특성이 있고, 환승을 위한 보행자들은 같은 목적을 달성하기 위하여 자연스럽게 보행 군을 형성한다. 현장조사 결과 보행자들은 대향방향 보행자와의 마찰을 피하기 위하여 충돌 전에 좌측으로 이동하는 특성이 있다. 또한 열차가 도착 하였을 때 열차에서 내린 보행자들은 대부분 플랫폼을 빠져나가기 위한 보행자들이므로 앞사람을 따라가는 행태를 보인다. 이런 특성 때문에 자연스럽게 보행 군이 형성된다. 보행공간은 차와는 달리 중앙선이 없으므로 보행자들의 공간 이용이 자유롭다. 물론 좌측통행이라는 표지판이나 선으로서 경계를 나타내며, 특별한 경우에는 보행자 분리대가 있지만, 환승계단과 같이 한 번에 높은 밀도의 보행 군이 밀려오면 이러한 것들은 무의미하게 된다.

(2) 환승계단의 모형 구축

보행 시뮬레이션은 크게 3단계로 나누어 구축하였다. 1단계로서 자료입력 및 시뮬레이션 초기화이다. 이 모듈에서는 보행 및 네트워크 데이터를 입력하는 단계로서 시뮬레이션에 필요한 다양한 변수 값이 입력된다. 2단계로는 시뮬레이션

과정으로 보행자 발생, 보행자 유입, 측방이동, 전방이동으로 구성된다. 3단계는 실험의 종료와 결과 값의 도출로서 시뮬레이션 과정에서 도출한 결과를 분석하는 단계이다.



<그림 3-102> 모형 수행도

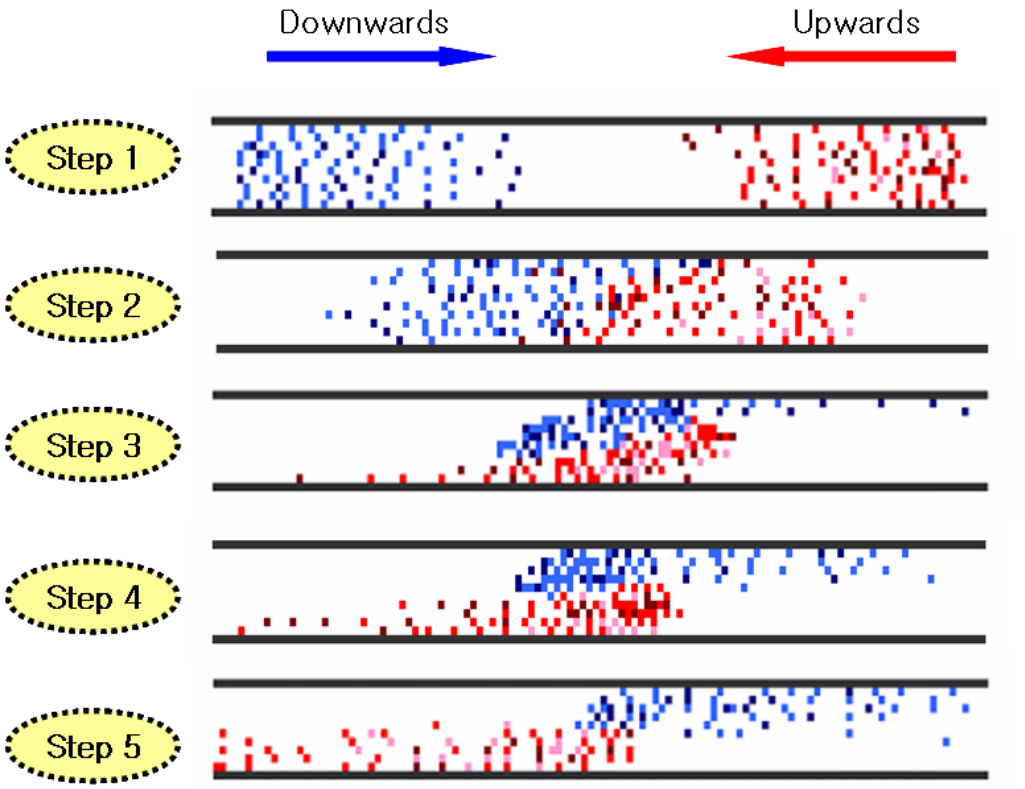
(3) 모형 검증

모형검증은 조사치와 모형치의 비교이다. 시뮬레이션 입력 값 중 보행 군 통행량은 관측 값을 그대로 사용하였으며, 보행자 속도조사를 통해 보행통행 속도를 산출한다.

모형 치는 현황에서와 같은 통행량을 입력하고 불규칙적 감속확률과 같은 파라미터 조절을 통하여 현실과 가깝게 정산한다.

<표 3-25> 조사치와 모형치의 비교

구 분		보행군 통행량 (인)	평균통과시간 (A 지점)	보행 속도 (m/s)	보행교통류율 (인/분/m)
조사치	Upwards	167	62초	0.61	35.9
	Downwards	153	59초	0.63	34.6
모형치	Upwards	167	67초	0.62	31.8
	Downwards	153	61초	0.66	35.0



<그림 3-103> 시뮬레이션 단계

(4) 시나리오 설정

시나리오의 설정은 한국도로용량편람에서 제시하는 계단에서의 보행자 서비스 수준과 보행군의 방향별 분포 비(올라가는 보행자 : 내려오는 보행자)에 따라 설정한다. 현재 한국도로용량편람의 계단의 서비스수준은 보행군의 유무에 따라서 구분하였을 뿐 방향별 분포 비에 대한 구분은 없다. 따라서 본 연구에서는 방향별 분포 비를 일정비율로 가정하여 서비스수준과의 조합으로 시나리오를 구성한다. 방향별 분포비와 서비스 수준은 아래 표와 같다.

<표 3-26> 시나리오 설정을 위한 방향별 분포 비

방향별 분포 비 (UP : DOWN , %)				
100:0	70:30	50:50	30:70	0:100

<표 3-27> 한국도로용량편람에서 제시하는 서비스 수준별 보행 교통류 율

구분	시나리오1	시나리오2	시나리오3	시나리오4	시나리오5
보행 교통류 율 (인/분/m)	43	50	65	69	74

한국도로용량 편람에서 평가방법 검토

환승계단에서는 거의 대부분 보행군을 이루어 환승을 하기에 본 연구에서는 비 보행군일 때의 서비스 수준 산정은 연구 범위에서 제외하기로 한다.

계단에서 보행군을 이루어 통행하는 경우 직관적으로 판단하여도 계단을 올라가는 보행자와 계단을 내려오는 보행자에 따라 서비스 수준에 차이가 발생될 것으로 예상할 수 있다. 하지만 이러한 차이를 조사하기에는 많은 제약이 따를 수 있다. 따라서 시뮬레이션을 통하여 어느 정도 차이가 나는 지를 추정할 수 있으며 개략적이나마 서비스 수준을 세분할 수 있을 것이다.

<표 3-28> 계단에서의 서비스 수준(한국도로용량 편람)

서비스수준	비 보행군일 때 보행 교통류 율 (인/분/m)	**보행군일 때 보행 교통류 율 (인/분/m)**
A	≤ 18	**≤ 43**
B	≤ 20	**≤ 50**
C	≤ 25	**≤ 65**
D	≤ 32	**≤ 69**
E	≤ 52	**≤ 74**
F	–	**–**

(5) 분석결과

시뮬레이션을 통한 시나리오 분석결과는 다음과 같다.

<표 3-29> 시뮬레이션 결과

구 분		방향별 분포비 (UP:DOWN, %)				
시나리오	보행교통류율 (인/분/m)	100:0	70:30	50:50	30:70	0:100
1	≤43	60.8	55.3	52.5	66.3	77.3
2	≤50	58.7	53.3	50.5	61.2	69.0
3	≤65	54.6	50.2	48.4	55.5	59.7
4	≤69	46.4	39.9	36.1	44.2	49.4
5	≤74	31.9	28.0	26.8	34.4	39.1

시나리오1은 서비스 수준 A일 때로 보행 교통류 율이 43인/분/m 이하의 경우이다. 분석결과 아래쪽방향의 보행 군이 100%를 이룰 때 보행속도가 77.3m/분으로 가장 높게 나왔다. 이러한 결과는 아래로 향하는 보행자 속도가 위를 향하는 보행자보다 빠르기 때문인 것으로 판단된다. 방향별 분포비가 50:50 일 때 보행속도가 52.5m/분으로 가장 낮게 나타났다. 이는 각각의 보행 군끼리의 마찰에 의하여 보행속도가 상대적으로 감소하였기 때문인 것으로 판단된다.

시나리오2는 서비스 수준 B일 때로 보행 교통류 율이 43~50인/분/m의 경우이다. 시나리오 1에 비하여 속도는 전반적으로 2m/분의 감소가 일어났으며 방향별 분포비에 따른 속도변화는 시나리오 1의 결과와 유사하다. 시나리오 3~5 또한, 보행 교통류 율로 인한 속도감소가 일어났으며 방향별 분포 비에 따른 속도변화는 시나리오1의 결과와 유사하다.

최종적으로 시나리오 5의 경우 방향별 분포비가 50:50 일 때가 보행속도 26.8m/분으로 가장 낮게 도출된 것을 볼 수 있다.

(6) 소결론

시나리오 분석결과 방향별 분포 비에 따라 보행자 평균 속도가 각각 다른 결과가 도출되는 것을 볼 수 있다. 이것은 현재 한국도로용량 편람에서 제시하고 있는 계단에서의 보행군의 서비스 수준을 산정할 때 방향별 분포 비를 반영할 수 있으면 반영하는 것이 타당하다고 판단된다.

다. 3차년도

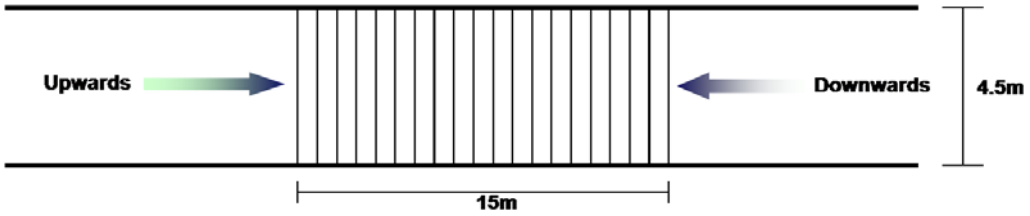
(1) 환승계단의 Fence 에 관한연구

(가) 연구수행방법

기존연구에서는 환승계단에서의 방향별 보행군에 따른 속도변화를 시뮬레이션에 그쳤지만, 본 연구에서는 충무로, 사당, 종로3가등 중요 환승역을 비디오촬영을시행하며 조사원들을 직접 계단에서 환승까지 걸리는 시간을 측정하였다. 일부계단에 보행자 Fence가 설치되어 있지 않아 보행자들의 공간점유에 있어 자유롭지만 배차간격이 2~3분대인 첨두시엔 소통에 대한 불편이 발생한다. 이러한 점을 착안하여 Fence가 보행자 소통측면에서 어떠한 영향을 줄 수 있는지에 대한 연구가 이루어지지 않고 있으므로 기존연구에서 구축한 시뮬레이션을 바탕으로 환승계단에 Fence설치 유·무, Fence부분설치 및 Fence의 연장에 대한 경우를 시나리오로 구축하여 비교분석하였다.

모의실험 네트워크는 폭 4.5m, 가로 15m로 조사구간 중 충무로 계단의 기하구조와 동일하게 설정하였다.

<그림 3-104> 계단의 기하구조



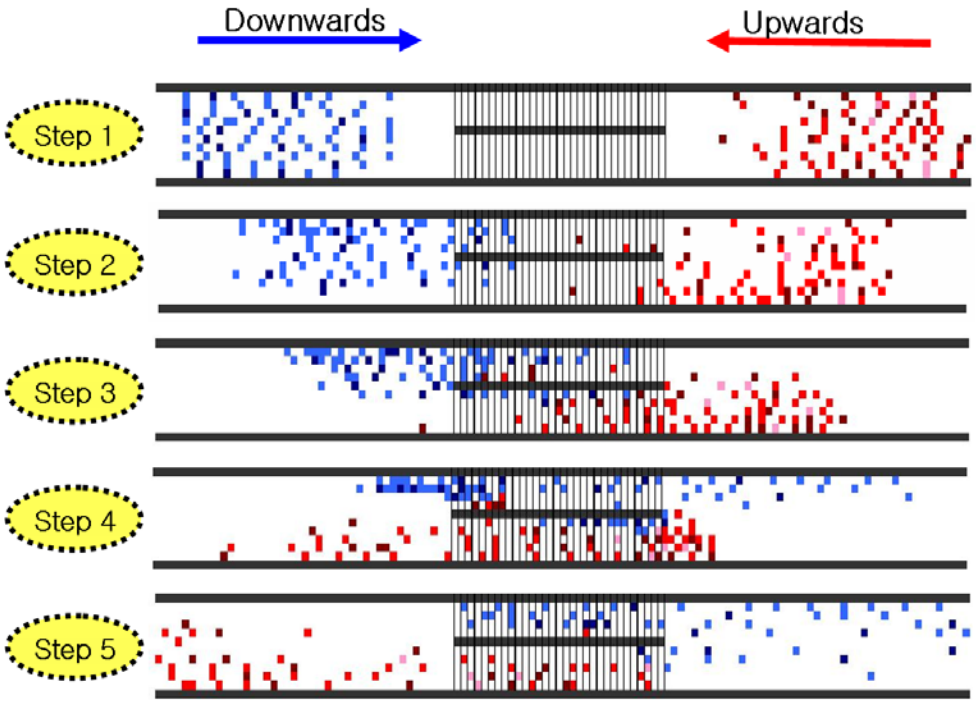
(나) Fence모형구축을 위한 파라미터조정

Fence는 계단에서 내려가는 하향보행자와 올라가려는 상향보행자를 구분하여 충돌을 감소시키며, 혼잡한 상태에서 보행자의 속도를 증가시키는 역할을 수행한다.

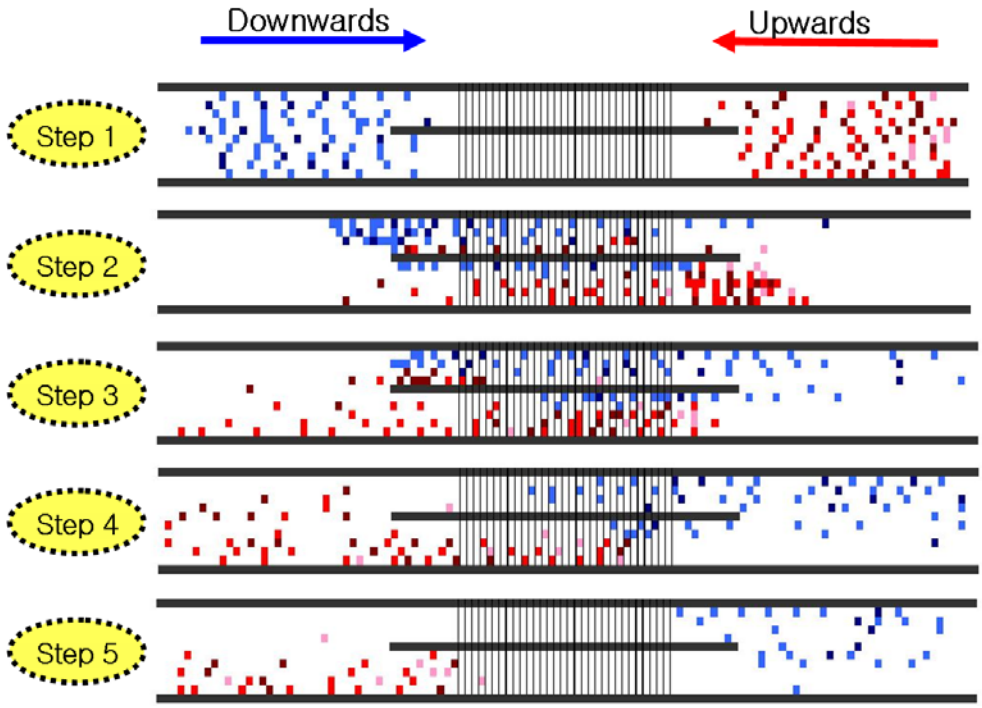
기본적으로 계단에서 하향보행자와 상향보행자의 속도차이가 발생한다.

본 연구에서는 하향보행자는 3cell/sec 상향보행자는 2cell/sec로 속도를 제한하며 대향보행자 인식거리를 2~3m 로 조정하였다.

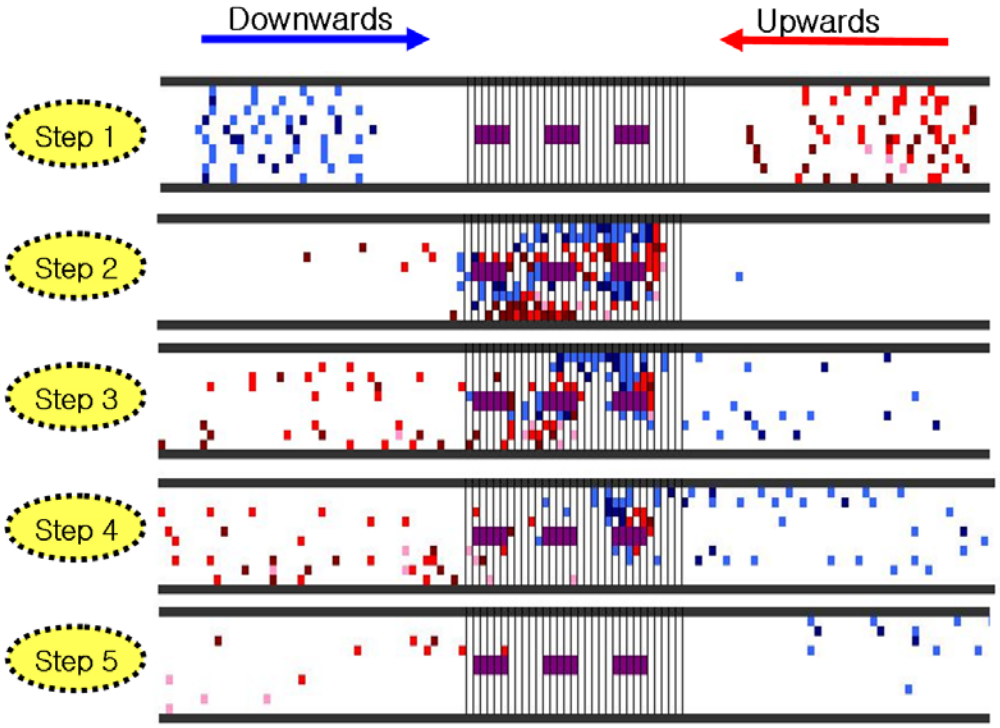
대향보행자와의 충돌 시 좌측으로 향하는 행태를 반영하기 위해 대향보행자 충돌 시 좌측진로변경 확률을 1에 가까운 0.999로 설정하였으며 최대속도에서 진로변경확률은 0.2로 설정하였다.



<그림 3-105> Fence 시뮬레이션단계



<그림 3-106> Fence연장 시뮬레이션단계



<그림 3-107> Fence부분설치 시뮬레이션단계

(다) 분석결과

시나리오	보행 교통류율 (인/시/m)	계단속도	Fence speed	Extension fence speed	Fence 부분 설치
1	1,200	80	84	84	81
2	1,920	74	81	82	78
3	2,760	68	77	78	70
4	4,200	58	65	67	60
5	6,360	53	61	62	55

시뮬레이션을 통한 분석결과 각각의 보행속도는 보행 교통류 율이 점점 높아질수록 Fence의 유·무에 대한 속도의 차는 커져갔다.

Fence설치 및 Fence의 연장에 대해서는 보행속도에 대한 큰 영향력이 미미한 것으로 나타났지만 부분설치 시에는 전 구간Fence설치와 속도차이를 보였다. 시나리오 1에서는 Fence가 없을 때 보행속도가 80m/분으로 나타났으며 Fence설치 및 Fence의 연장에 대한 보행속도는 84m/분으로 동일하게 나타났다. 하지만 시나리오2부터는 펜스의 유·무에 대해서 차이가 나타남을 알 수 있다. 시나리오 3에서는 Fence의 유·무에서 가장 큰 차이를 보였다.

나. 환승계단의 Fence위치에 관한연구

(1) 배경

철도 역사에서 이용객의 공간사용패턴을 예측하는 것은 매우 중요한 문제이다. 이용객의 행태를 예측하는 것은 안전과 밀접한 관련성이 있다. 재난시에나 평상시 이용객의 공간사용패턴을 예측하는 것은 안전한 역사의 계획 및 관리를 위해서도 중요하다.

현재 제한된 토지를 여러 가지 용도로 활용하는 방안이 세계적으로 큰 이슈화되고 있다. 본 과제와 관련하여 행태 연구를 교통시설과 연계해서 복합적으로 활용하고 있는 사례조사 및 보행자의 시설별 조사를 수행하고 보행 연구에 있어서 권위자인 하라타, 슈메이커(Schmocke), 이에다 교수를 방문하여 본 과업에 대한 현지조사 및 자문을 목적으로 일본 도쿄로 출장을 갔다.

도쿄의 중요 역사 중 신주쿠 역사를 택하여 세밀하게 조사·관찰하였다. 신주쿠 역은 일평균 이용객이 350 만 명에 이르는 세계 최대 역이라 할 수 있으며 6개의 철도회사가 약 12개의 철도노선과 지하철 노선을 운영하고 있다. 신주쿠 역도 충무로, 사당역과 마찬가지로 첨두시 와 비첨두시로 나누어 비디오촬영을 시행하며 속도 조사를 위해 조사원들을 직접 계단에서 환승까지 걸리는 시간을 측정하였다.



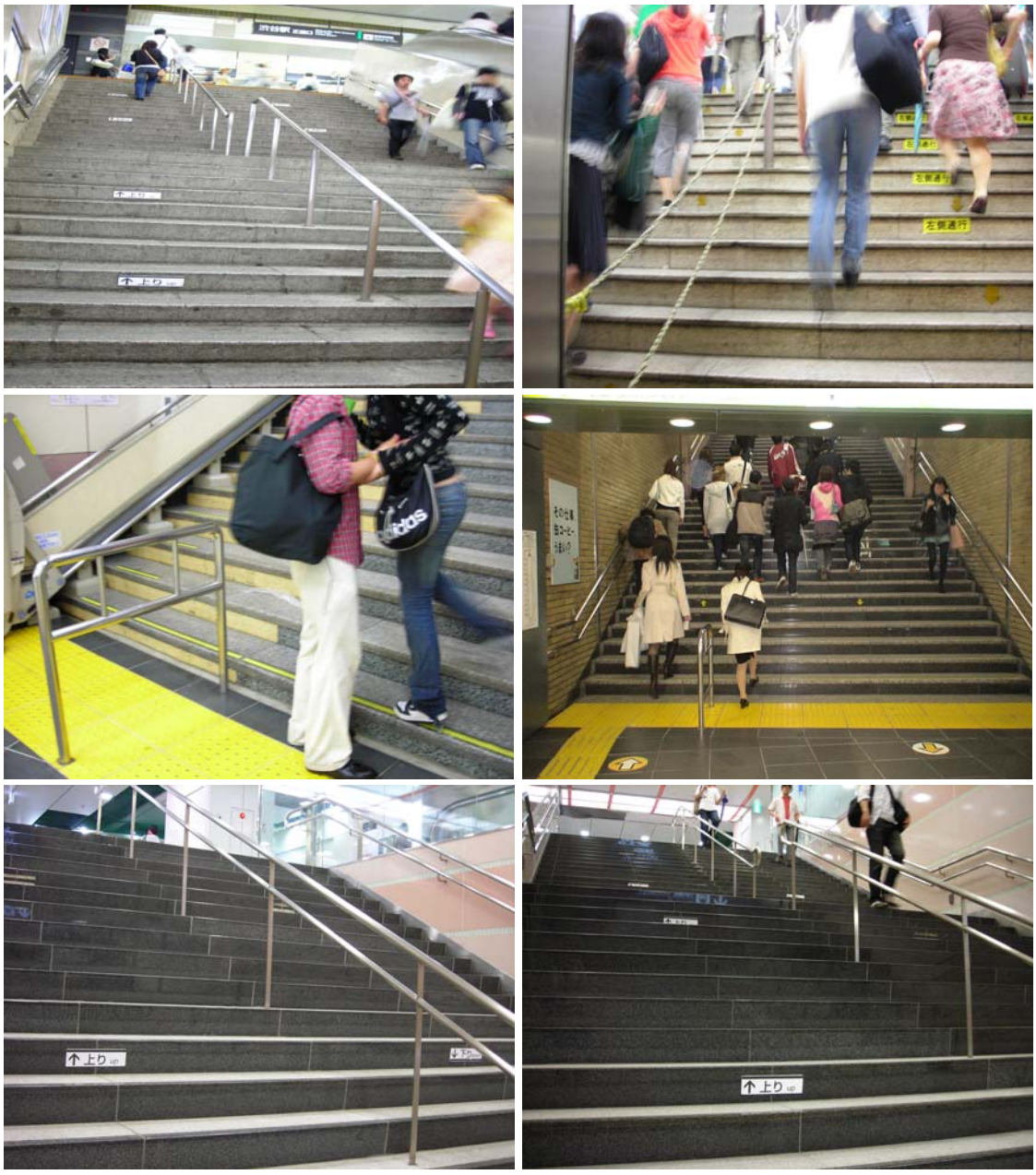
<그림 3-108> 신주쿠 역사

신주쿠역과 다른 동경의 큰 역사들을 살펴보면 환승통로와 매표소에도 VMS가 고루 설치되어 있었다. 설치된 VMS로 지하철 도착시간을 제공하여 자신이 타야할 열차시간을 알게 된 이용객에게 마음의 여유를 주며, 못 탈지라도 다음 열차를 타게끔 유도할 수 있기 때문에 우리나라처럼 뛰거나 서두르는 사람을 많이 보지 못하였다. 그러므로 붐비는 인파속에 서둘러서 발생하는 사고를 미연에 방지할 수 있다고 보여 진다.



<그림 3-109> 신주쿠 역사전경

신주쿠역의 각각의 환승계단을 살펴보았을 때 두드러진 점은 펜스의 위치이다. 각각의 환승계단은 동일한 형태가 아닌 오고 가는 승객의 수요에 맞추어 펜스의 위치가 각각 다르게 설치되었으며, 환승객의 혼란 방지를 위해 화살표 및 계단에 명확한 표지설치는 좌측통행을 유도하였다.



<그림 3-110> 각기 다른 계단펜스위치

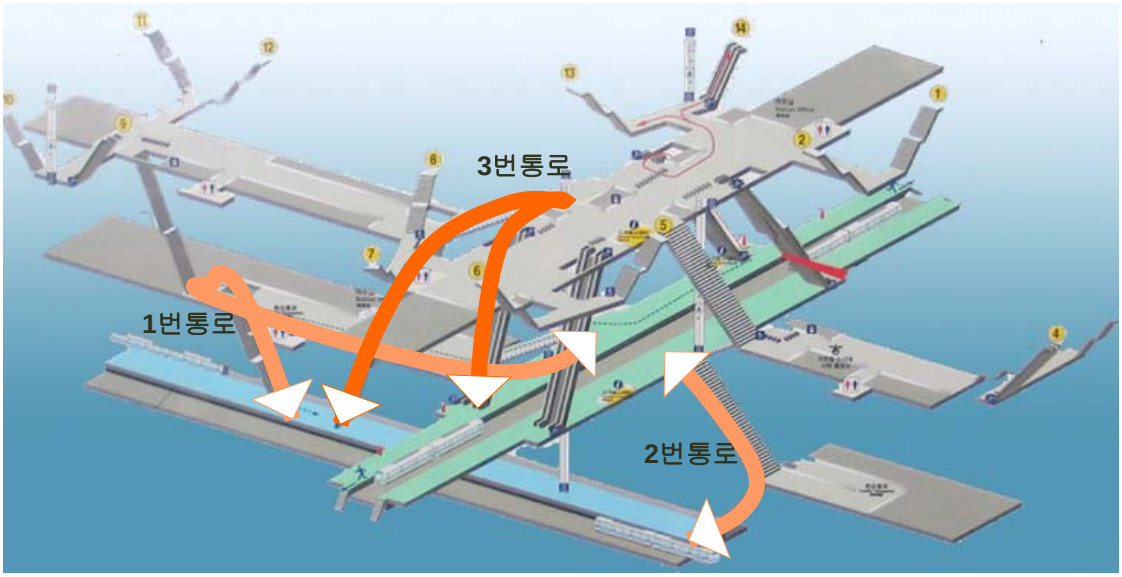
(2) 연구수행방법

환승계단의 Fence위치에 관한연구는 일본의 지하철 환승 계단을 동기로 삼아 수행하였다. 현장조사는 환승이 빈번하게 일어나고 환승통행량이 많은 사당역을 대상 지역으로 선정하였다. 사당역은 지하철 2호선과 4호선 환승이 일어나는 지역으로 대부분의 환승통행이 계단에서 이루어진다. 지하철 2호선과 4호선의 배차간격은 2~4분이여서 서로 같은 시간대에 도착할 수 있지만 연결통로가 다소 길기 때문에 보행군들의 큰 충돌은 발생하지 않는다.

그러므로 본 연구에서는 크게 두 가지로 나누었다.

- 첫째, 위로 올라가는 상향보행 군이 많을 때.
- 둘째, 아래로 내려가려는 하향보행 군이 많을 때

두 가지로 나누었고, 세부적으로는 펜스가 계단이 시작부터 끝까지 있을 때, 부분적으로 위 또는 아래 부분만 설치되었을 때로 세 가지로 나누어 수행하였다.



<그림 3-111> 환승 통로



<그림 3-112> 좁은 계단에서의 혼잡



<그림 3-113> 상충 극대화 지점

(3) Fence모형구축을 위한 파라미터조정

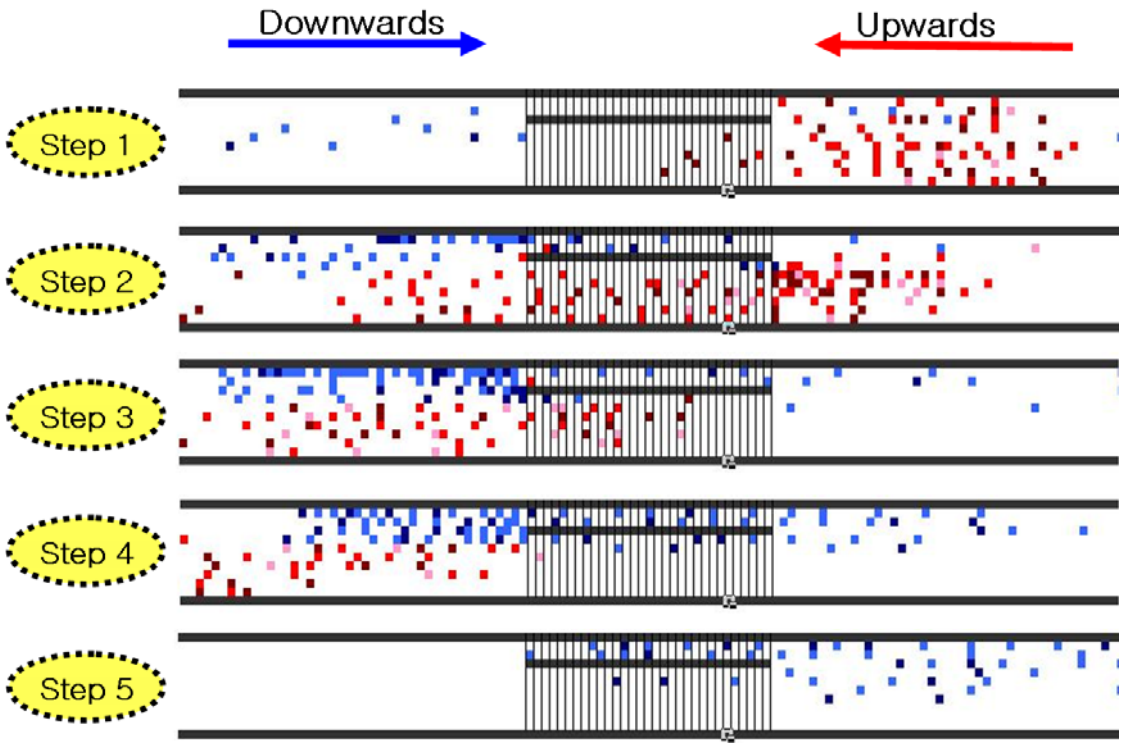
Fence는 계단에서 내려가는 하향보행자와 올라가려는 상향보행자를 구분하여 충돌을 감소시키며, 혼잡한 상태에서 보행자의 속도를 증가시키는 역할을 수행한다.

기본적으로 하향통행자와 상향통행자의 속도차이가 발생한다.

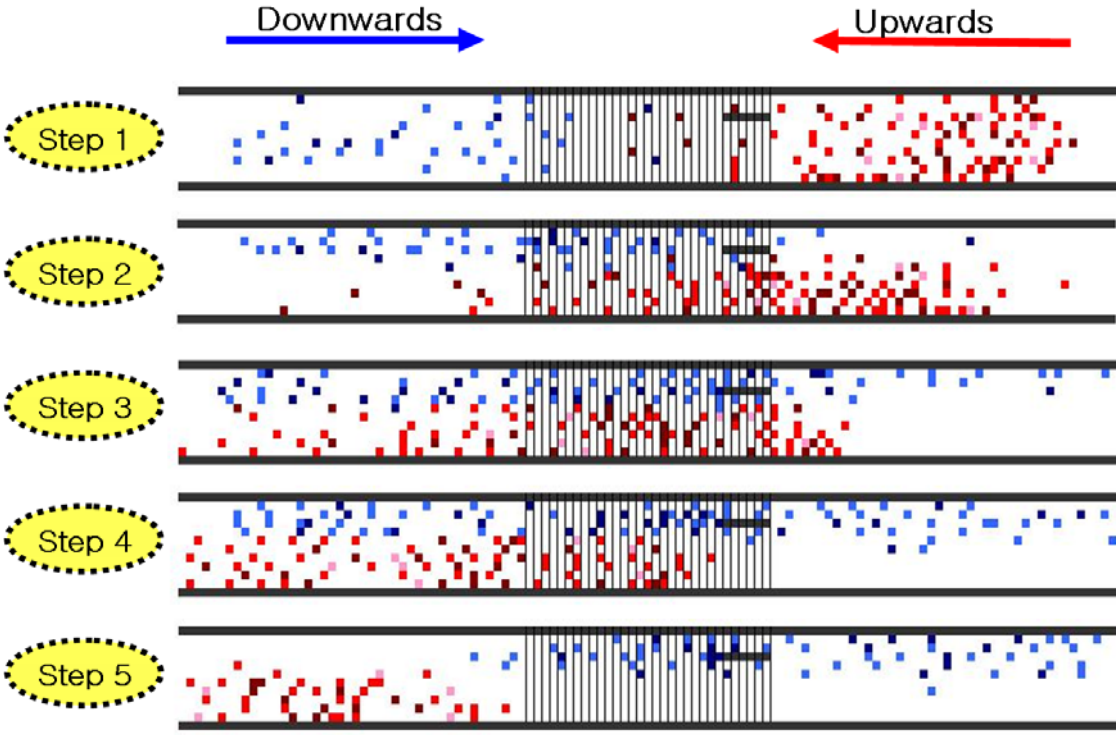
본 연구에서는 하향통행자는 3cell/sec, 상향2cell/sec로 속도를 제한하며 대향보행자 인식거리를 2~3m 로 조정하였다.

대향보행자와의 충돌 시 좌측으로 향하는 행태를 반영하기 위해 대향보행자 충돌시 좌측진로변경 확률을 1에 가까운 0.999로 설정하였으며 최대속도에서 진로변경확률은 0.2로 설정하였다.

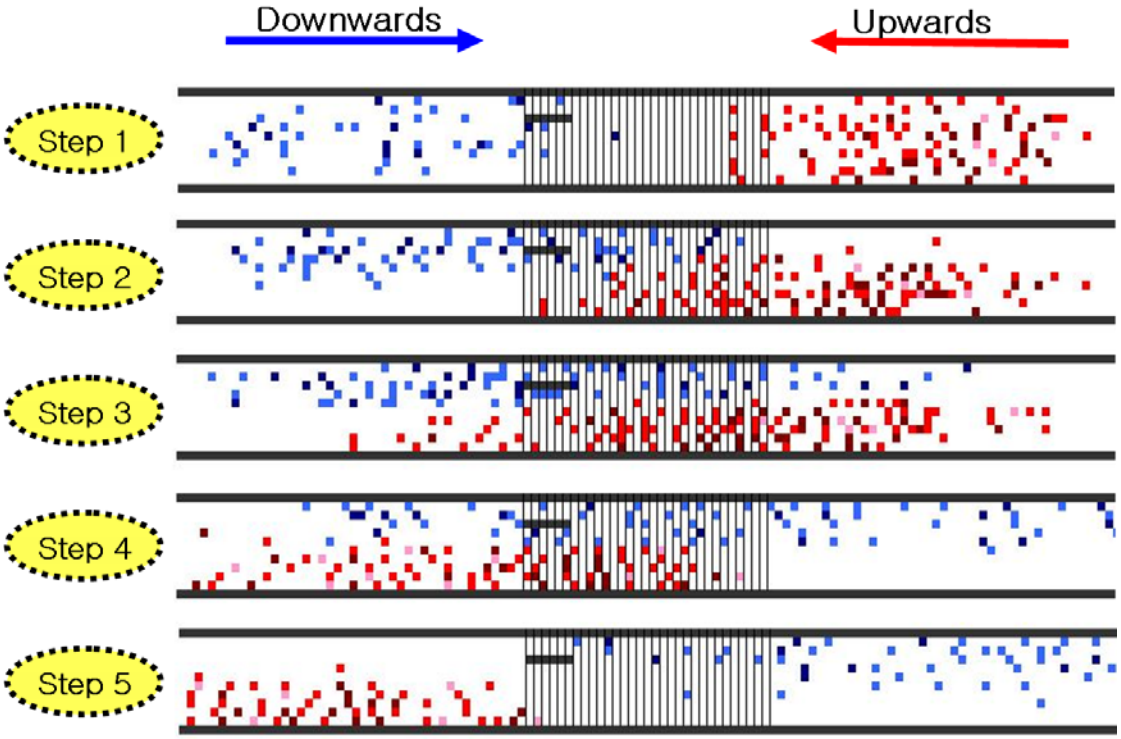
(가) 상향 보행군이 많은 경우



<그림 3-114> 모든 구간 펜스 설치



<그림 3-115> 펜스 부분 설치(아랫부분)



<그림 3-116> 펜스 부분 설치(윗부분)

(4) 분석결과

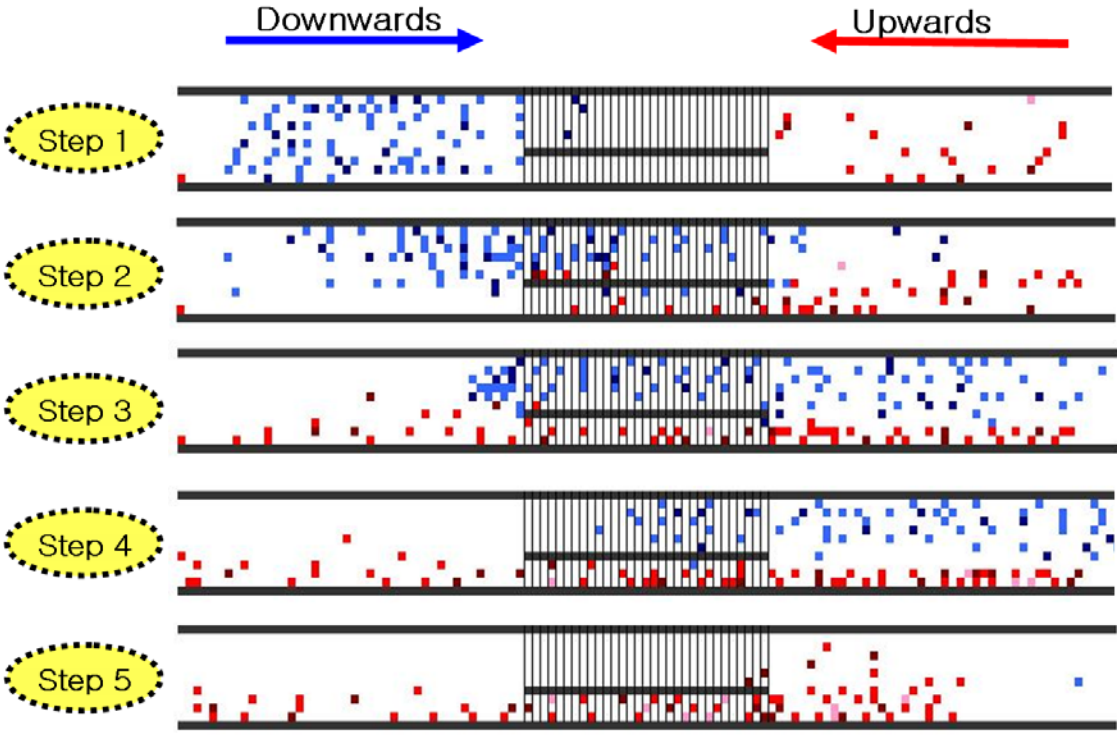
시나리오	보행교통류율 (인/시/m)	계단속도		전구간 펜스설치		펜스부분설치 (윗부분)		펜스부분설치 (아래부분)	
		하행	상행	하행	상행	하행	상행	하행	상행
1	1,200	82	80	88	83	84	82	82	82
2	1,920	75	73	84	79	79	77	78	76
3	2,760	67	66	77	72	74	72	73	71
4	4,200	60	57	70	65	64	62	61	60
5	6,360	53	50	65	60	59	57	56	54

본 실험은 보행 군들의 큰 충돌은 발생하지 않는다는 가정 하에 시행한 실험 이며, 시뮬레이션 파라메타를 조사구간 상황과 비슷하게 하기위하여 하향보행군보다 상향보행군에 더 많은 보행 교통류율을 주었다. 시뮬레이션을 통한 분석결과 각각의 보행속도는 보행 교통류 율이 점점 높아질수록 Fence의 유·무에 대한 속도의 차는 커져갔다. 분석결과 계단 전 구간에 걸쳐 Fence를 설치하였을 경우 다른 실험들보다 가장 높은 보행속도를 보였다. 눈에 띄는 점은 하향 보행군의 속도가 다른 실험보다 훨씬 높다는 것을 알 수 있는데 이는 처음부터 끝까지 양방향 보행 군과의 충돌이 크게 일어나지 않고 상향 보행 군에게 독립적인 공간을 제공하기 때문에 보행속도가 높았다고 보아진다.

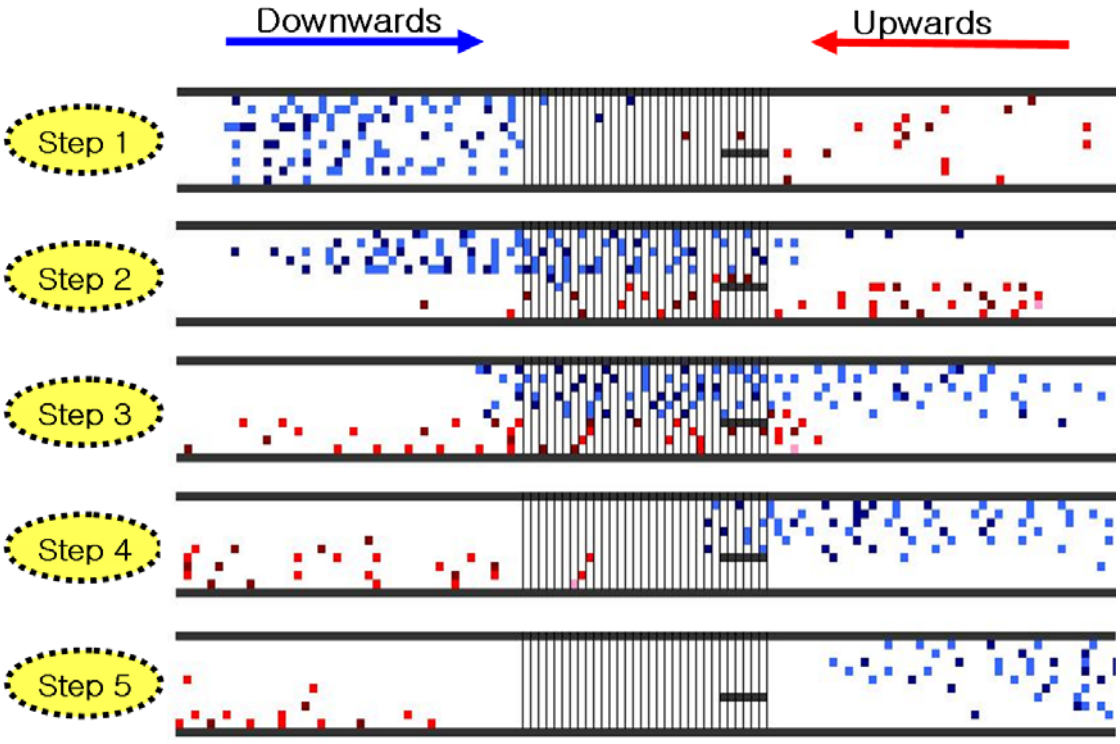
Fence 부분 설치하였을 경우를 살펴보면 앞서 말하였듯이 하향보다 상향보행군이 많게 수행하였기 때문에 윗부분에 Fence 부분설치 한 결과 값이 아랫부분만 설치하였을 때보다 보행 속도가 미미하지만 높게 나타났다.

이 경우는 Fence가 윗부분에 부분적으로 설치되었을 때 하향 보행 군이 Fence 장애물을 인식하여 처음부터 좌측통행을 하여 상향 보행자와의 상충을 조금이나마 줄어들어 아랫부분에 부분 설치하였을 때보다 높게 나타난 것으로 판단된다. 그러므로 이러한 방향별보행군의 특징을 보일 경우 Fence를 설치하고자 할 상황에는 전 구간 Fence설치가 우선시 될 것이며, 다음으로는 윗부분 Fence부분 설치가 타당하다고 보여 진다.

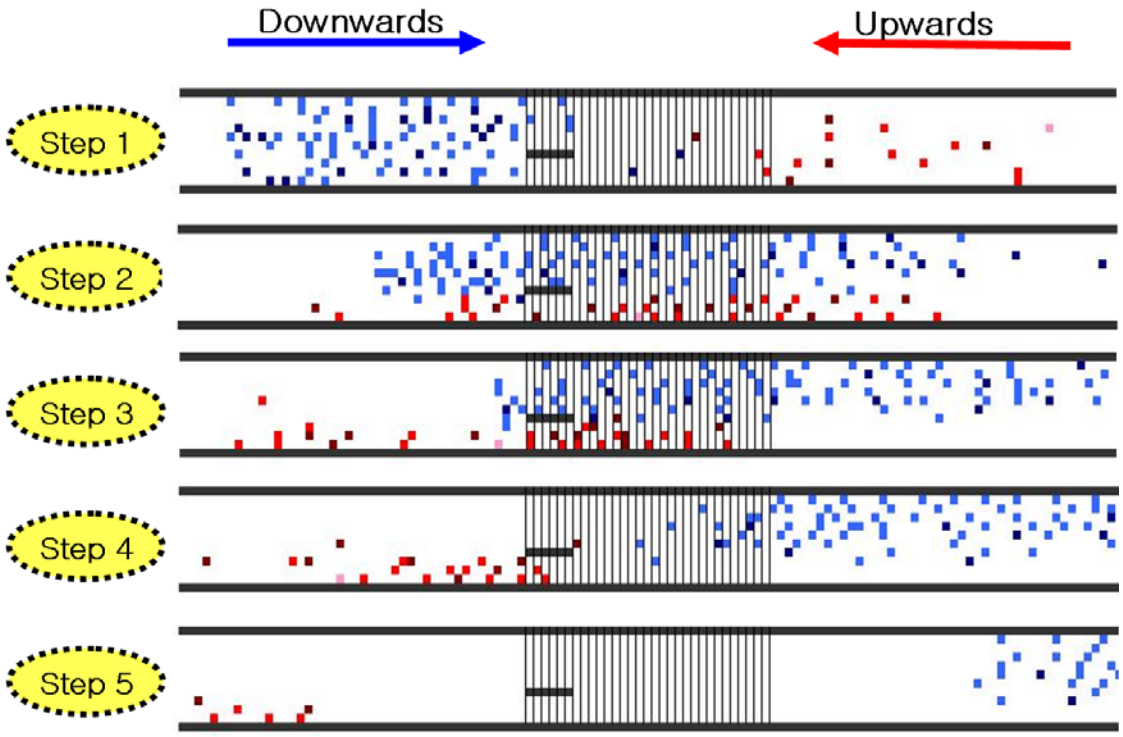
(가) 하향 보행군이 많은 경우



<그림 3-117> 모든 구간 펜스 설치



<그림 3-118> 펜스 부분 설치(아fot부분)



<그림 3-119> 펜스 부분 설치(윗부분)

(5) 분석결과

시나리오	보행교통류율 (인/시/km)	계단속도		전구간 펜스설치		펜스부분설치 (윗부분)		펜스부분설치 (아래부분)	
		하행	상행	하행	상행	하행	상행	하행	상행
1	1,200	82	80	85	87	83	81	83	83
2	1,920	75	73	81	82	79	75	81	78
3	2,760	67	66	76	76	71	68	73	72
4	4,200	60	57	68	72	62	58	64	64
5	6,360	53	50	63	68	55	54	57	59

본 실험은 보행 군들의 큰 충돌은 발생하지 않는다는 가정 하에 시행한 실험 이며, 시뮬레이션 파라메타를 조사구간 상황과 비슷하게 하기위하여 상향보행군보다 하향 보행군에 더 많은 보행 교통류율을 주었다.

시뮬레이션을 통한 분석결과 각각의 보행속도는 보행 교통류 율이 점점 높아질수록 Fence의 유・무에 대한 속도의 차는 커져갔다. 분석결과 계단 전 구간에 걸쳐 Fence를 설치하였을 경우 다른 실험보다 가장 높은 보행속도를 보였다. 눈에 띄는 점은 상향 보행군의 속도가 다른 실험보다 훨씬 높다는 것을 알 수 있는데 이는 처음부터 끝까지 양방향 보행 군과의 충돌이 크게 일어나지 않고 하향 보행군에게 독립적인 공간을 제공하기 때문에 보행속도가 높았다고 보아진다.

Fence 부분 설치하였을 경우를 살펴보면 앞서 말하였듯이 상향보행군보다 하향 보행군이 많게 수행하였기 때문에 아랫부분에 Fence 부분설치 한 결과 값이 윗부분만 설치하였을 때보다 보행 속도가 미미하지만 높게 나타났다.

이 경우는 Fence가 아랫부분에 부분적으로 설치되었을 때 상향보행군이 Fence 장애물을 인식하여 처음부터 좌측통행을 하여 하향보행자와의 충돌을 조금이나마 줄어들어 윗부분에 부분 설치하였을 때보다 높게 나타난 것으로 판단된다.

그러므로 이러한 방향별보행군의 특징을 보일 경우 Fence를 설치하고자 할 상황에는 전 구간 Fence설치가 우선시 될 것이며, 다음으로는 아랫부분 Fence부분설치가 타당하다고 보여 진다.

(6) 소결론

본 연구에서는 Fence가 보행자 소통측면에서 어떠한 영향을 줄 수 있는지에 대하여 시뮬레이션을 가지고 환승계단에 Fence설치 유·무 및 Fence의 연장에 대한 경우를 시나리오별로 구축하여 비교·분석 하였으며 일본 지하철 환승계단을 동기로 삼아 Fence위치에 따른 보행자속도변화에 대하여 시나리오로 Fence의 위치 및 방향 변경을 달리한 시나리오별로 구축하여 비교 분석하였다.

(7) 향후과제

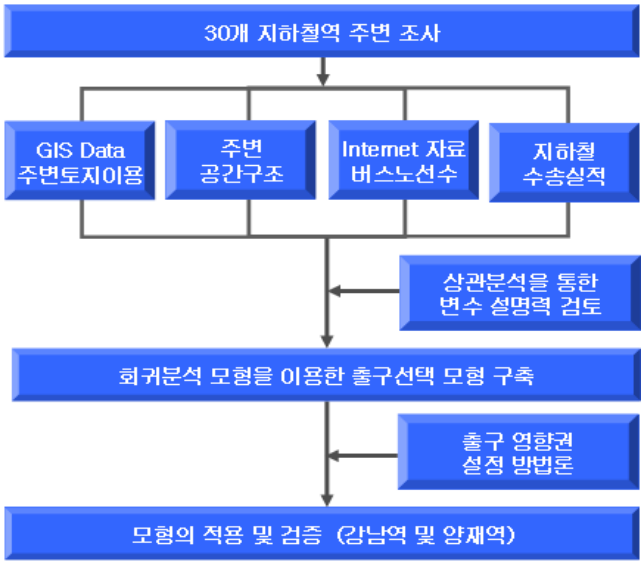
본 연구를 바탕으로 국내·외 선행사례가 부족한 가변Fence의 적절한 실효성에 대한 연구와 서비스수준의 큰 향상이 기대되는 무빙워크에 대한 연구 또한 수행할 예정이다.

다. 지하철 역사에서의 출구선택 모형 개발

(1) 연구수행방법

30개 지하철역의 주변 조사를 통해 분석의 기초자료(GIS Data를 이용한 주변 토지이용 조사, 주변 공간구조조사, Internet 자료를 활용한 주변 버스노선수 조사, 지하철 시간대별 역별 수송실적 조사 등)를 구축하고 이들 변수들을 바탕으로 상관분석을 통하여 변수들 간의 설명력을 검토한다. 상관분석 결과로서 선택된 설명력 높은 변수들을 바탕으로 회귀분석모형을 이용하여 출구선택 모형을 구축한다.

구축된 모형에 대하여 강남역 및 양재역을 대상으로 검증을 수행하여 모형의 적합성을 검토하고, 이때 출구 영향권 설정 방법에 따라 달라지는 변화를 추가적으로 분석한다.



<그림 3-120> 연구 수행 방법론

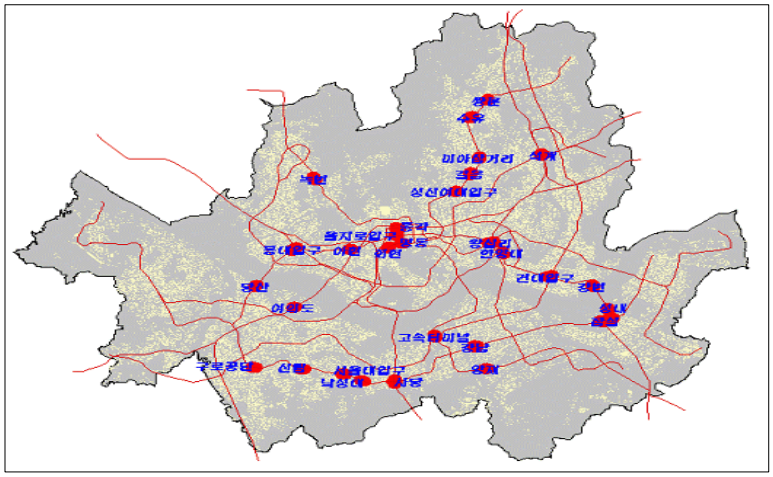
(2) 분석 자료 구축

(가) 분석 자료 구축의 개요

모형구축을 위해서 서울시내 30개 지하철역을 대상으로 주변 토지이용계획, 주변 공간구조, 버스노선 수, 지하철역별 승하차 인원 등의 자료 구축이 필요하며, 모형의 검증을 위해서는 검증대상지역에 대한 출구별 시간대별 보행량 조사 자료가 필요하다. 모형구축을 위한 30개 역 선정은 수도권 수 백 여개의 지하철 역 중 이용객이 많고 적음, 환승역 유무 등을 균등히 고려하여 30개역을 선정하였다.

<표 3-30> 모형구축을 위한 30개역 선정

지하철노선	역명	지하철노선	역명
2호선	강남	4호선	성신여대입구
2호선	강변	4호선	수유
2호선	건대입구	2호선	신림
3, 7호선	고속터미널	4호선	쌍문
2호선	구로디지털단지	2호선	아현
4호선	길음	3호선	양재
2호선	낙성대	5호선	여의도
3호선	녹번	경원선,2, 5	왕십리
2호선	당산	2호선	을지로입구
4호선	명동	2, 8호선	잠실
4호선	미아삼거리	1호선	종각
2, 4호선	사당	2호선	한양대
2호선	서울대입구	2호선	홍대입구
경원선, 6호선	석계	3호선	홍제
2호선	성내	4호선	회현



<그림 3-121> 모형구축을 위한 30개역 선정

(나) 지하철역별 토지이용계획 자료 구축

서울시에서 구축한 GIS 데이터를 기반으로 지하철 역세권인 역 반경 500m에 관한 자료를 구축하였다. 자료는 크게 면적합계/개발밀도/단독주택/단독주택/공동주택/근린상업/일반상업/위락시설/숙박시설/업무시설/의료시설/교육문화/공업/거주인구/사업체수/종사자수 등으로 구성되어져 있다.

<표 3-31> 토지이용계획 자료의 개요

구분	내용	단위
면적합계	전체 연상면적의 계	㎡
개발밀도	면적합계/(2*3.14*500)	-
단독주택	필지기반 토지이용자료	㎡
공동주택		㎡
근린상업		㎡
일반상업		㎡
위락시설		㎡
숙박시설		㎡
업무		㎡
의료시설		㎡
교육문화		㎡
공업		㎡
차량관련		㎡
기타		㎡
거주인구		㎡
평균지가	1평당 평균지가	원
사업체수	사업체수	개
종사자수	종사자수	인

(다) 주변 공간 구조 자료 구축

지하철 역 주변의 공간구조는 주요 변수로 볼 수 있다. 이러한 지하철 역 주변의 공간구조를 변수로서 활용하려면 정량화 기법이 필요하다.

쉬운 개념으로서 지하철 역세권의 일정폭 이상의 도로의 연장은 역 주변의 공간구조를 정량화 하는 기법 중 하나이다. 앞서 검토한 Space Syntax의 Total Depth 또한 공간 구조를 정량화하는 기법 중 하나이다. 역세권 도로의 연장과 역세권의 Total Depth 자료를 구축하였다. 이때, 작은 골목길은 이용에 역세권 공간에 큰 영향을 끼치지 않을 것이라는 판단 하에 5m이상의 도로만을 대상으로 자료를 구축하였다.

<표 3-32> 지하철역별 거리 연장 계

(단위 : km)

구분	거리연장 계	구분	거리연장 계
강남	7.3	성신여대입구	6.8
강변	4.7	수유	5.7
건대입구	7.6	신림	3.9
고속터미널	6.4	쌍문	3.7
구로디지털단지	5.6	아현	3.2
길음	4.3	양재	5.6
낙성대	6.4	여의도	4.4
녹번	4.1	왕십리	4.1
당산	5.2	을지로입구	5.2
명동	5.4	잠실	6.1
미아삼거리	5.6	종각	5.1
사당	6.7	한양대	2.8
서울대입구	5.1	홍대입구	5.2
석계	4.2	홍제	3.2
성내	7.1	회현	4.3

Total Depth는 Space Syntax 기법에서 사용되는 지표로서 공간의 정량화 기법 중 하나이다. Depth는 공간의 꺾임 정도를 통합적으로 나타낼 수 있는 기법으로서 한 지점에서 또 다른 한 지점으로의 Depth가 높다는 것은 접근하기가 어렵다는 것을 의미한다. 이를 전체적인 공간 측면에서 보았을 때 Depth가 높다는 것은 접근 할 수 있는 공간이 많다는 의미로 해석할 수 있다.

<표 3-33> 지하철역별 Total Depth

구분	Total Depth	구분	Total Depth
강남	19	성신여대입구	11
강변	13	수유	12
건대입구	19	신림	12
고속터미널	17	쌍문	15
구로디지털단지	19	아현	7
길음	15	양재	15
낙성대	14	여의도	20
녹번	11	왕십리	10
당산	17	을지로입구	10
명동	15	잠실	22
미아삼거리	11	종각	16
사당	10	한양대	10
서울대입구	15	홍대입구	20
석계	9	홍제	11
성내	12	회현	13

(라) 지하철역별 버스 노선 수 자료 구축

30개 지하철 역 주변 연계버스에 관한 자료는 인터넷을 이용하여 조사를 하였다. 네이버(www.naver.com)에서 제공하는 지역정보-역정보-주변교통에서 제공하는 자료를 이용하였다. 역 주변 버스노선은 출구별/정류장별로 구분되어 있으며, 버스는 일반버스, 좌석버스, 광역버스(Red), 간선버스(Blue), 지선버스(Green), 순환버스(Yellow)로 구분되어져 있다. 버스 노선 자료 중 유사노선은 중복노선이라는 판단 하에 한 개의 노선으로 판단하여 자료를 구축하였다. 예를 들어, 1005번 노선과 1005-1번 노선의 경우 전체 운행 노선은 조금 상이하지만 기종점이 같고 중복되는 구간이 대다수이므로 동일한 노선으로 판단하여 1개 노선으로 정의하여 자료를 구축하였다.

<표 3-34> 지하철역별 버스 노선 수 자료

구분	일반	좌석	간선	지선	광역	순환	계
강남	1	16	14	6	10	0	47
강변	5	5	0	3	0	0	13
건대입구	0	0	2	7	0	0	9
고속터미널	0	1	11	10	2	0	24
구로디지털단지	0	0	0	5	0	0	5
길음	0	0	19	10	0	0	29
낙성대	1	0	2	4	0	0	7
녹번	1	0	8	8	3	0	20
당산	4	14	5	9	1	0	33
명동	0	0	5	3	0	0	8
미아삼거리	0	0	16	6	0	0	22
사당	4	7	2	5	1	0	19
서울대입구	2	0	7	14	0	0	23
석계	3	0	2	14	0	0	19
성내	1	0	1	6	0	0	8
성신여대입구	0	0	20	5	0	0	25
수유	5	0	14	11	0	0	30
신림	2	0	6	13	0	0	21
쌍문	5	0	11	6	0	0	22
아현	0	0	10	5	4	0	19
양재	3	16	8	10	9	0	46
여의도	3	8	9	8	1	2	31
왕십리	0	0	6	8	0	0	14
을지로입구	0	2	23	6	2	0	33
잠실	11	12	8	14	2	0	47
종각	0	5	27	8	5	0	45
한양대	0	0	2	4	0	0	6
홍대입구	0	1	6	8	9	0	24
홍제	0	1	8	9	4	0	22
회현	0	1	8	5	1	1	16

(마) 지하철역별 시간대별 하차 자료 구축

서울시에서 서울메트로, 도시철도공사, 한국철도공사 등에서는 수집한 자료(2006년)를 바탕으로 시간대별/역별 승하차 자료를 구축하였다. 구축한 자료 중 본 연구에 사용하기 위해서 선정된 30개 지하철역에 관하여 오전첨두시(08~09시), 오후첨두시(18시~19시), 하차계(하루전체)에 대한 하차 인원 자료를 구축하였다.

<표 3-35> 지하철역별 시간대별 하차 자료

역명	08~09시	18~19시	하루전체
강남	19,906	10,107	114,734
강변	3,287	5,573	55,393
건대입구	3,251	5,321	46,876
고속터미널	5,892	6,131	69,695
구로디지털단지	10,774	5,106	60,871
길음	2,673	2,630	31,996
낙성대	2,925	2,956	32,422
녹번	881	1,557	16,929
당산	5,367	3,706	43,570
명동	6,727	3,978	45,224
미아삼거리	1,773	3,402	35,845
사당	7,947	7,095	76,637
서울대입구	4,620	5,229	54,657
석계	1,867	3,280	33,902
성내	2,015	1,404	18,426
성신여대입구	3,498	2,217	29,251
수유	4,036	5,116	52,072
신림	3,324	8,134	72,854
쌍문	1,300	3,508	34,358
아현	1,463	1,371	15,376
양재	12,837	3,149	55,712
여의도	14,552	1,513	39,286
왕십리	2,671	2,407	25,360
을지로입구	13,622	3,726	55,990
잠실	8,977	8,190	83,150
종각	11,200	4,146	55,284
한양대	4,751	1,814	27,408
홍대입구	6,810	6,335	54,693
홍제	1,920	2,403	25,526
회현	7,683	1,303	40,718

(3) 모형의 구축

(가) 상관관계 분석

모형 구축을 위해서 종속변수와 독립변수간의 상관관계 분석을 수행하였다. 종속변수로는 오전첨두시 하차인원, 오후첨두시 하차인원, 1일 하차인원으로 설정하였으며, 독립변수로는 앞장에서 구축한 토지이용계획 자료, 버스노선 수, Total Depth, 역 주변 거리연장의 계로 설정하였다. 이때 토지이용계획의 경우 속성이 비슷한 항목을 한 개로 묶은 분석 또한 함께 수행하였다. 예를 들어 단독주택과 공동주택은 주택계라는 한 개의 항목으로 묶었으며, 근린상업, 일반상업, 위락시설은 상업계라는 한 개의 항목으로 묶어 추가 분석 하였다.

상관관계 분석 결과 전체적으로 지하철 하차인원과 근린상업시설, 위락시설, 상업 시설계, 버스노선 수, Depth 간의 상관관계가 0.4이상으로 상관성이 높게 분석되었다.

<표 3-36> 지하철 하차인원과 상관관계 분석

구분	토지이용자료															버스노선수	DEPTh	거리연장계
	단독주택	공동주택	주택계	근린상업	일반상업	위락시설	상업계	숙박시설	업무	의료시설	교육문화	공업	거주인구	사업체수	종사자수			
하차 오전 첨두	0.25	0.07	0.22	0.26	0.20	0.44	0.32	0.14	-0.14	0.21	-0.03	0.10	0.22	-0.06	-0.09	0.52	0.38	0.25
하차 오후 첨두	0.07	0.10	0.14	0.35	0.35	0.53	0.44	0.24	-0.02	0.14	0.04	0.09	0.07	0.03	0.04	0.54	0.47	0.33
하차계	-0.18	0.04	-0.07	0.51	0.37	0.71	0.60	0.34	0.24	0.04	0.08	0.12	-0.20	0.21	0.32	0.64	0.52	0.32

상관분석 결과를 기반으로 모형을 구축하였으며 모형구축을 위해서 사용할 수 있는 독립변수로는 오전첨두시 하차인원, 오후첨두시 하차인원, 1일 하차인원 중 오후첨두시 하차인원을 설정하였다.

모든 경우에 대한 모형구축이 가장 바람직하지만 오전첨두시 하차인원은 다른 독립변수들과 상관관계가 부족하며, 하루전체 하차인원은 모형 구축 후 검증 데이터가 부족하여 오후첨두시 하차인원을 독립변수로 설정하였다.

앞에서의 상관분석 결과 지하철 하차 인원은 상업지역 연상면적, 버스노선수, 공간의 정량화 지표인 Total Depth와 상관성이 높으므로 이를 사용하여 회귀분석모형을 구축하였다.

모형구축결과 수정된 결정계수의 값은 0.825로 나타나 모형의 적합성을 보였으며 그 결과는 <표 3-37>와 같다.

<표 3-37> 출구 선택 모형 구축 결과

R2	R2adg	비 표준화 계수			T 통계량	P-값
		변수	계수	표준오차		
.872	.825	상수	0	-	-	-
		상업계	4.793	2.395	2.001	0.056
		버스노선수	6.195	3.419	1.812	0.081
		Total Depth	10.738	6.169	1.740	0.093

구축된 회귀 모형 식은 아래와 같다.

$$오후첨두시보행량 = 4.793X_{상업계} + 6.195X_{버스노선수} + 10.738X_{TotalDepth}$$

유의수준 분석결과(P-값 참조) 모든 변수들은 90%의 신뢰수준에서 유의한 것으로 분석되었다.

(4) 모형의 검증

구축한 모형의 검증은 강남역과 양재역을 대상으로 수행하였다. 모형 구축은 30개 지하철역을 기반으로 수행하였으나, 모형의 검증은 강남역과 양재역의 각 출구를 대상으로 검증을 수행하였다.

(가) 현장조사 개요

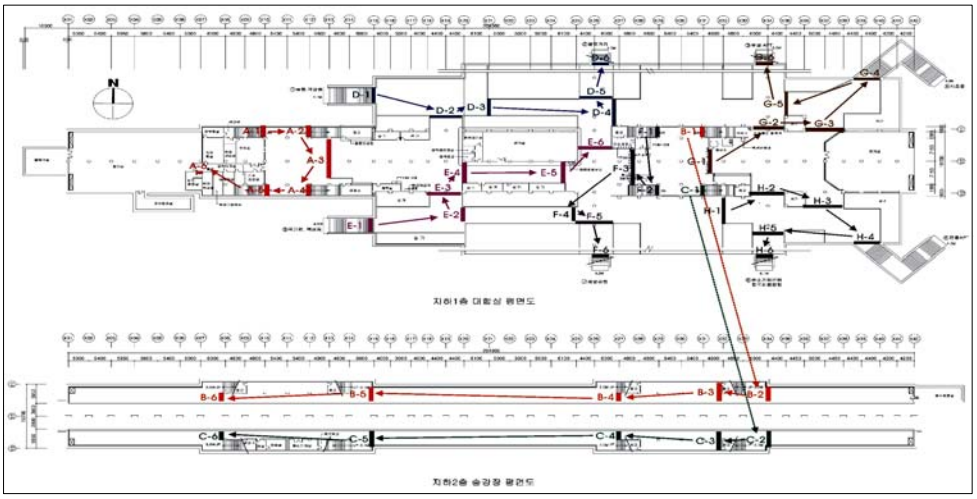
두 개역에 대한 조사 개요는 아래와 같다.

○ 조사일시 : 2007년 1월 12일(금)

○ 시　　간 : 오전첨두시(08 : 00 ~ 09: 00), 오후첨두시(18 :00 ~ 19 :00)

○ 조사장소 : 강남역 지하철 역사 내

○ 조사내용 : 유출 보행량, 지하철 역사 기하구조 등



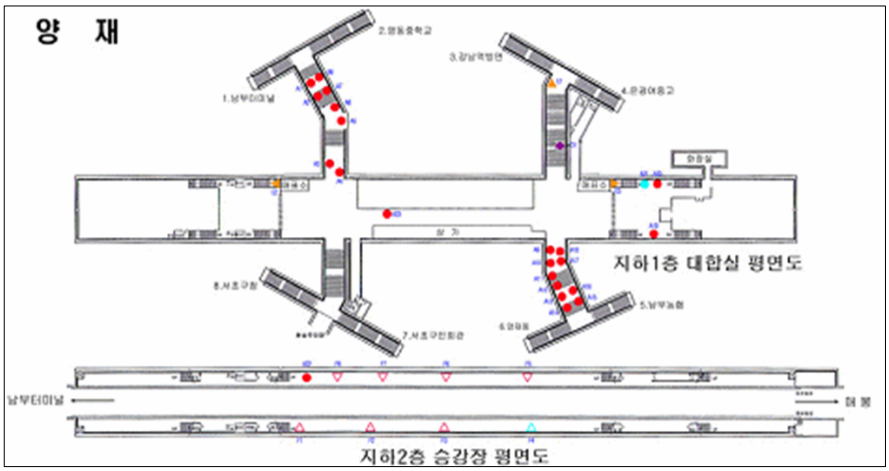
<그림 3-122> 강남역 지하 공간 도면

○ 조사일시 : 2007년 12월 14일(금)

○ 시　　간 : 오후첨두시(18 :00 ~ 19 :00)

○ 조사장소 : 양재역 지하철 역사 내

○ 조사내용 : 유출 보행량, 지하철 역사 기하구조 등



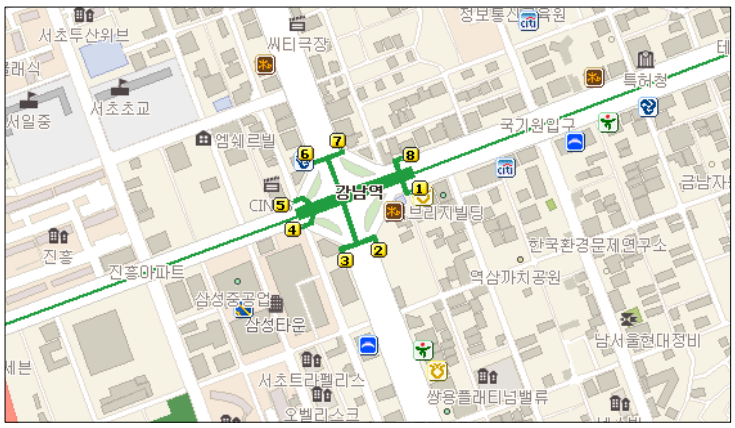
<그림 3-123> 양재역 지하 공간 도면

(나) 현장조사 결과

현장조사는 유출 보행량, 지하철 역사 기하구조 등에 대해서 수행 하였다. 강남역은 강남역 사거리 지하에 위치하며 8개의 출구가 있다. 강남역사의 지하 공간 구조는 <그림 3-124>과 같으며, <그림 3-125>와 같이 사거리에 각 두 개의 출구가 위치하고 있다.

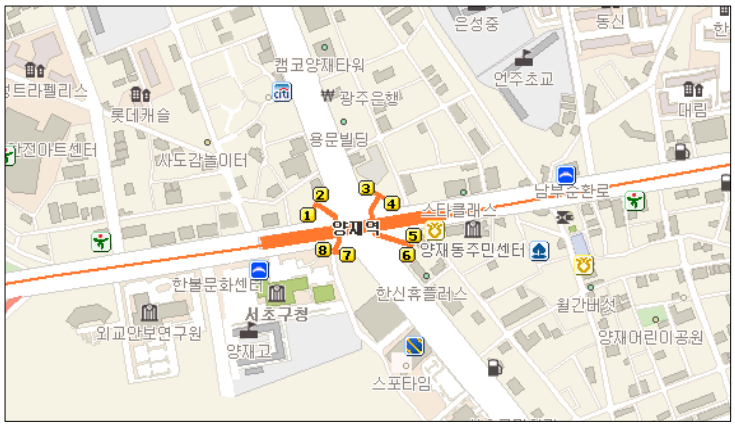


<그림 3-124> 강남역 지하 공간 기하구조



<그림 3-125> 강남역 지상 공간 기하구조

양재역의 경우도 강남역과 만찬가지로 양재역 사거리 지하에 위치하며 8개의 출구가 있다. 양재역의 지상 공간 역시 강남역과 같이 사거리에 각 두 개의 출구가 위치하고 있다.



<그림 3-126> 양재역 지상 공간 기하구조

지하철 출구별 유출 보행량은 오전 첨두시(08 :00~09:00)와 오후 첨두시(18 :00~19:00)로 구분하여 조사하였다. 조사 결과 강남역과 양재역의 지하철역 출구별 유출 보행량은 <표 3-38>과 같다.

<표 3-38> 강남역 및 양재역 시간대별 출구별 유출 보행량

(단위 : 인)

구분	강남역		양재역
	오전 첨두시 (08 : 00 ~ 09: 00)	오후 첨두시 (18 : 00 ~ 19: 00)	오후 첨두시 (18 : 00 ~ 19: 00)
1번출구	260	364	132
2번출구	389	264	174
3번출구	427	262	210
4번출구	177	122	221
5번출구	117	255	157
6번출구	452	599	105
7번출구	363	621	42
8번출구	216	290	63

주: 조사 여건상 양재역은 오후 첨두시 보행량만 조사함

(5) 검증대상지역 기초자료 구축

모형의 검증을 위해서는 구축된 모형식의 독립변수에 해당하는 Data가 필요하다. 그에 따라 강남역과 양재역 각 출구별 상업지역 연상면적, 버스노선수, Total Depth 자료를 구축하였다.

(가) 출구별 상업지역 연상면적

모형의 검증은 앞에서 언급한 것과 같이 출구역세권 설정방법에 따른 상업지역 연상면적에 따라 세 가지 대안으로 구분하여 수행하였다.

첫 번째 대안은 균등한 영향권 설정에 의한 방법이며, 두 번째 대안은 보행 가능 범위를 고려한 영향권 설정을 통하여 분할하는 방법1, 세 번째 대안은 보행 가능 범위를 고려한 영향권 설정을 통하여 분할하는 방법2이다. 이러한 세 가지 대안으로서 상업지역 연상면적을 산출하여 모형의 검증에 사용하였다. 이때 기 구축된 GIS Data를 이용하였으며 GIS 프로그램인 ArcGIS 9.2[12]를 활용하여 분석을 수행하였다.

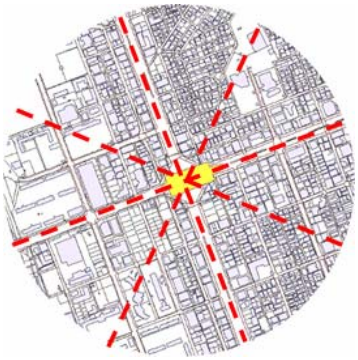
	
강남역 GIS Data	양재역 GIS Data

<그림 3-127> 검증대상지역 GIS Data

① 대안 1 : 균등한 영향권 설정

현재 도시계획법상 지하철역의 역세권은 역 반경 500m로 보고 있다. 강남역과 양재역의 경우 사거리 형태에 각 두 개씩의 출구가 존재하므로 이를 균등하게 분할 할 수 있다.

12) Tim Ormsby et al, Getting To Know ArcGIS, ESRI PRESS, 2006



<그림 3-128> 균등한 영향권 설정

최종적으로 구축된 출구별 상업지역 연상면적은 <표 3-39>와 같다.

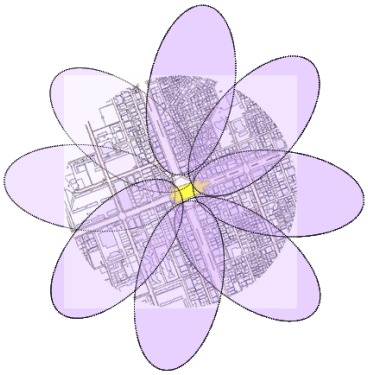
<표 3-39> 검증대상지역 출구별 상업지역 연상면적(균등)

(단위 : 1,000㎡)

강남역		양재역	
구분	상업면적	구분	상업면적
1번출구	64	1번출구	33
2번출구	46	2번출구	34
3번출구	21	3번출구	49
4번출구	21	4번출구	52
5번출구	47	5번출구	42
6번출구	118	6번출구	23
7번출구	153	7번출구	4
8번출구	58	8번출구	15

② 대안 2 : 보행 가능 범위를 고려한 영향권 설정1

현재 도시계획법상 지하철역의 역세권인 역 반경 500m를 보행 가능 범위를 고려하여 영향권을 설정하면 다음 <그림 3-129>과 같다. 일부 겹치는 면적이 있으며 이는 어느 근접한 두 개의 출구 중 어느 출구를 선택해도 비슷한 시간에 도달할 수 있는 경우를 반영 할 수 있다.



<그림 3-129> 보행 가능 범위를 고려한 영향권 설정1

최종적으로 구축된 출구별 상업지역 연상면적은 <표 3-40>과 같다.

<표 3-40> 검증대상지역 출구별 상업지역 연상면적(보행가능 범위1)

(단위 : 1,000㎡)

강남역		양재역	
구분	상업면적	구분	상업면적
1번출구	88	1번출구	44
2번출구	52	2번출구	40
3번출구	24	3번출구	53
4번출구	22	4번출구	57
5번출구	67	5번출구	48
6번출구	133	6번출구	24
7번출구	163	7번출구	7
8번출구	71	8번출구	17

③ 대안 3 : 보행 가능 범위를 고려한 영향권 설정2

대안 3은 대안 2와 마찬가지로 보행 가능 범위를 고려한 영향권 설정 방법이다. 대안 2와의 차이점은 주요 간선도로를 넘어서서 겹치는 영향권을 제외하였다는 점이다. 일반적인 보행자의 행태를 볼 때 횡단보도의 이용을 꺼리기 때문에 횡단보도를 건너 목적지를 선택하려하지 않다는 점을 반영하여 영향권을 설정하였다. 그에 따른 영향권 설정은 <그림 3-130>와 같다.



<그림 3-130> 보행 가능 범위를 고려한 영향권 설정2

최종적으로 구축된 출구별 상업지역 연상면적은 <표 3-41>과 같다.

<표 3-41> 검증대상지역 출구별 상업지역 연상면적(보행가능 범위2)

(단위 : 1,000㎡)

강남역		양재역	
구분	상업면적	구분	상업면적
1번출구	86	1번출구	43
2번출구	48	2번출구	38
3번출구	22	3번출구	52
4번출구	21	4번출구	59
5번출구	62	5번출구	46
6번출구	128	6번출구	24
7번출구	154	7번출구	6
8번출구	69	8번출구	16

(나) 출구별 Total Depth

강남역, 양재역 출구별 Total Depth 산출 결과는 아래와 같다.

<표 3-42> 강남역 출구별 Total Depth

구분	Total Depth	구분	Total Depth
1번출구	10	5번출구	7
2번출구	8	6번출구	11
3번출구	9	7번출구	11
4번출구	9	8번출구	9

<표 3-43> 양재역 출구별 Total Depth

구분	Total Depth	구분	Total Depth
1번출구	6	5번출구	8
2번출구	7	6번출구	7
3번출구	12	7번출구	3
4번출구	14	8번출구	6

(다) 출구별 버스노선 수

강남역 출구별 버스노선 수 또한 인터넷(네이버) 자료를 기반으로 조사하였으며 <표 3-44>과 같다.

<표 3-44> 강남역 출구별 버스노선 수

구분		노선 번호	노선 수	
1번 출구	좌석	3007,3003,3000,1550	4	9
	Blue	146,730,341,360	4	
	Green	4431	1	
2번 출구	좌석	1005,9700,3030,3007,1500,6800,5500,2002	8	22
	Blue	140,402,420,470,471,407,462	7	
	Red	9404,9408,9409,9411,9503,9711,9500	7	
3번 출구	일반	500	1	36
	좌석	1005,9700,3030,5100,3007,3003,3000,500,1500,1550,6800,1560,5500,2002,5001,5002	16	
	Blue	140,144,145,402,420,470,471,407,462	9	
	Red	9404,9408,9409,9411,9503,9711,9100,9200,9300,9500	10	
4번 출구	Blue	145,340	2	2
5번 출구	Blue	146,730,341	3	3
6번 출구	좌석	1550,9700,3030,1500,1005,6800,5500,2002,5003	9	33
	Blue	140,144,145,146,402,420,470,471,407,462,360,341	12	
	Green	3412,4312,4422,4424,4431	5	
	Red	9404,9408,9409,9411,9503,9711,9500	7	
7번 출구	좌석	9700,3030,1500,1005,6800,5500,2002,5003	8	31
	Blue	140,144,145,402,420,470,471,407,462,360	10	
	Green	3412,4312,4422,4424,5412,4431	6	
	Red	9404,9408,9409,9411,9503,9711,9500	7	
8번 출구	Blue	146,730,341,360	4	5
	Green	4431	1	

양재역 출구별 버스노선 수 또한 인터넷(네이버) 자료를 기반으로 조사하였으며 <표 3-45>과 같다.

<표 3-45> 양재역 출구별 버스노선 수

구분		노선 번호	노선수	
1번 출구	일반	500	1	3
	좌석	500	1	
	Blue	406	1	
2번 출구	일반	500	1	31
	좌석	9700, 3030, 5100, 3007, 3003, 3000, 500, 1500, 1550, 1005, 1560, 6800, 500, 2002, 5001, 5002	16	
	Blue	140, 402, 470, 471, 641, 407, 462	7	
	Red	9404, 9408, 9409, 9411, 9503, 9711, 9500	7	
3번 출구	좌석	9700, 3030, 3007, 3003, 3000, 1500, 1005, 6800, 1550, 5500, 2002	11	24
	Blue	140, 402, 470, 471, 641, 407, 462	7	
	Red	9404, 9408, 9409, 9411, 9503, 9711	6	
4번 출구	일반	917, 11	2	9
	Blue	402, 406	2	
	Green	4433, 4426, 4430, 4428, 3423	5	
5번 출구	일반	917, 11	2	9
	Blue	402, 406	2	
	Green	4433, 4426, 4430, 4428, 3423	5	
6번 출구	일반	917, 11	2	9
	좌석	1005, 3001	2	
	Green	3412, 4312, 4422, 4424, 4432	5	
7번 출구	일반	11	1	8
	좌석	1005, 3001, 5003	3	
	Green	3412, 4422, 4424, 4432	4	
8번 출구	좌석	5003	1	2
	Blue	406	1	

(6) 모형의 검증

모형의 검증은 앞에서 언급한 것과 같이 출구영향권 설정방법에 따른 상업지역 연상면적에 따라 세 가지 대안으로 구분하여 수행하였다.

1. 균등한 영향권 설정
2. 보행 가능 범위를 고려한 영향권 설정1
3. 보행 가능 범위를 고려한 영향권 설정2

모형의 검증을 위해서 RMSE(Root Mean Squared Error) 값을 이용하였으며 계산 방법론은 아래의 식(4) 와 같다.

$$SE = \frac{\sqrt{\frac{\sum(V_o - V_m)^2}{C-1}}}{\frac{\sum V_o}{C}} \times 100 \qquad \text{식(4)}$$

1) V_o: 관측보행량
2) V_m: 모형보행량
3) C: 조사출구수

(가) 균등한 역세권설정에 의한 방법

강남역을 대상으로 모형의 검증을 수행한 결과 각 출구별 오차율은 20% 이내로 분석되었다. 또한 RMSE(Root Mean Squared Error)분석결과 11.59%로 분석되어 대안 2,3에 비해 상대적으로 정확도가 낮은 것으로 분석되었다.

<표 3-46> 강남역 모형 검증 결과(균등)

(단위 : 인)

구분	조사 보행량 (A)	모형 보행량 (B)	차이 (B-A)	오차율 (B-A)/A
1번출구	364	312	-52	-0.14
2번출구	264	290	26	0.10
3번출구	262	275	13	0.05
4번출구	122	139	17	0.14
5번출구	255	212	-43	-0.17
6번출구	599	589	-10	-0.02
7번출구	621	692	71	0.11
8번출구	290	269	-21	-0.07

양재역을 대상으로 모형의 검증을 수행한 결과 각 출구별 오차율은 10% 이내로 분석(1번 출구 제외)되었다. 또한 RMSE(Root Mean Squared Error) 분석결과 11.04%로 분석되어 대안 2,3에 비해 상대적으로 정확도가 낮은 것으로 분석되었다.

<표 3-47> 양재역 모형 검증 결과(균등)

(단위 : 인)

구분	조사 보행량 (A)	모형 보행량 (B)	차이 (B-A)	오차율 (B-A)/A
1번출구	132	108	-24	-0.18
2번출구	174	192	18	0.10
3번출구	210	229	19	0.09
4번출구	221	203	-18	-0.08
5번출구	157	153	-4	-0.02
6번출구	105	108	3	0.03
7번출구	42	45	3	0.07
8번출구	63	66	3	0.05

(나) 균등한 역세권설정에 의한 방법1

강남역을 대상으로 모형의 검증을 수행한 결과 각 출구별 오차율은 10% 이내로 분석되었다. 또한 RMSE(Root Mean Squared Error)분석결과 5.18%로 모형의 정확성이 높은 것으로 분석되었다.

<표 3-48> 강남역 모형 검증 결과(보행 가능 범위1)

(단위 : 인)

구분	조사 보행량 (A)	모형 보행량 (B)	차이 (B-A)	오차율 (B-A)/A
1번 출구	364	351	-13	-0.04
2번 출구	264	279	15	0.06
3번 출구	262	257	-5	-0.02
4번 출구	122	129	7	0.06
5번 출구	255	249	-6	-0.02
6번 출구	599	576	-23	-0.04
7번 출구	621	655	34	0.05
8번 출구	290	281	-9	-0.03

양재역을 대상으로 모형의 검증을 수행한 결과 각 출구별 오차율은 10% 이내(7번출구 제외)로 분석되었다. 또한 RMSE(Root Mean Squared Error)분석결과 8.78%로 분석되어 정확도가 강남역에 비해 다소 낮은 것으로 분석되었다.

<표 3-49> 양재역 모형 검증 결과(보행 가능 범위1)

(단위 : 인)

구분	조사보행량 (A)	모형보행량 (B)	차이 (B-A)	오차율 (B-A)/A
1번 출구	132	122	-10	-0.07
2번 출구	174	191	17	0.10
3번 출구	210	221	11	0.05
4번 출구	221	199	-22	-0.10
5번 출구	157	155	-2	-0.02
6번 출구	105	102	-3	-0.03
7번 출구	42	48	6	0.14
8번 출구	63	66	3	0.04

(다) 균등한 역세권설정에 의한 방법2

강남역을 대상으로 모형의 검증을 수행한 결과 각 출구별 오차율은 10% 이내(4번출구 제외)로 분석되었다. 또한 RMSE(Root Mean Squared Error)분석결과 4.42%로 다른 대안들에 비해 모형의 정확성이 높은 것으로 분석되었다.

<표 3-50> 강남역 모형 검증 결과(보행 가능 범위2)

(단위 : 인)

구분	조사 보행량 (A)	모형 보행량 (B)	차이 (B-A)	오차율 (B-A)/A
1번 출구	364	349	-15	-0.04
2번 출구	264	282	18	0.07
3번 출구	262	268	6	0.02
4번 출구	122	137	15	0.12
5번 출구	255	241	-14	-0.06
6번 출구	599	563	-36	-0.06
7번 출구	621	648	27	0.04
8번 출구	290	290	0	0.00

양재역을 대상으로 모형의 검증을 수행한 결과 각 출구별 오차율은 10% 이내로 분석되었다. 또한 RMSE(Root Mean Squared Error)분석결과 7.50%로 분석되어 정확도가 강남역에 비해 다소 낮은 것으로 분석되었지만 다른 대안들에 비해 높게 나타났다.

<표 3-51> 양재역 모형 검증 결과(보행 가능 범위2)

(단위 : 인)

구분	조사보행량 (A)	모형보행량 (B)	차이 (B-A)	오차율 (B-A)/A
1번 출구	132	122	-10	-0.08
2번 출구	174	189	15	0.09
3번 출구	210	221	11	0.05
4번 출구	221	206	-15	-0.07
5번 출구	157	152	-5	-0.03
6번 출구	105	103	-2	-0.02
7번 출구	42	46	4	0.11
8번 출구	63	65	2	0.02

(라) 결 과

모형의 검증은 다음의 세 가지 방법으로 수행하였으며 그 결과는 <표 3-52>과 같다.

<표 3-52> 영향권 설정에 따른 모형 검증 결과

구분		RMSE
<1안> 균등한 영향권	강남역	11.59%
	양재역	11.04%
<2안> 보행 가능 범위 영향권 설정1	강남역	5.18%
	양재역	8.78%
<3안> 보행 가능 범위 영향권 설정2	강남역	4.42%
	양재역	7.50%

세 가지 영향권 설정 대안 중 대안3이 가장 좋은 결과를 나타냈다. 이는 대안3이 다른 대안에 비해 지하철 역사의 출구 영향권을 이용하는 보행자의 특성을 잘 반영하였기 때문인 것으로 판단된다.

전체적으로 RMSE값은 검증 대상 역별로 다르지만 대안3의 강남역의 경우 RMSE 값이 4.42%로 높은 정확도를 보였다. 결과적으로 여러 변수로 구축한 회귀 모형식의 검증결과 출구의 영향권 설정에 따라 그 결과가 조금씩 다르지만 어느 정도의 정확도는 보이고 있는 것으로 분석되었다.

5. 결론

가. 종합결론

(1) 주요연구내용

본 연구에서는 첫 번째로 CA이론을 이용하여 기본모형을 구축하였다. 발생 모듈에서 보행자를 발생시켜 갭 산정 및 전방이동, 측방이동 모듈을 구성하였으며 일련의 과정을 한 스텝에 이루어질 수 있게 모형을 개발하였다.

둘째로 구축된 모형을 가지고 지하철 환승역의 환승계단이라는 공간으로 범위를 좁혀 이곳의 환승보행자의 통행 특성을 조사하고 원인을 분석한 후 이에 적합하게 파라미터 조절을 통해 시뮬레이션 하였다.

또한 지하철역 주변의 토지이용계획, 버스노선 수, Total Depth등의 변수를 활용하여 지하철 하차인원과의 상관관계를 바탕으로 지하철 역사에서의 출구 선택 모형 개발을 목표로 하고 있다.

우선 서울시내의 30개 지하철역을 선정하여 해당 역과 관련된 정보를 수집하였다. 이때 지하철역세권은 도시계획법의 지구상세계획지침에 따라 지하철역사 반경 500m로 설정하여 분석을 수행하였다.

지하철 역세권의 토지이용계획 자료 수집을 위해서 서울시에서 구축한 필지별 재산세 과세자료 중 용도별 연상면적/주민등록인구/사업체기초 통계조사 자료 등의 GIS Data를 활용하였다. 또한 지하철 역세권 GIS Map을 기반으로 Axial Line을 그려 역별 Total Depth를 산출하였다. 역 주변 버스노선수의 경우 인터넷(네이버) 자료를 활용하여 비슷한 노선을 중복노선이라는 판단 하에 역별 버스 노선 수 자료를 구축하였다. 위의 변수들의 종속변수에 해당하는 지하철역별 하차인원은 서울시에서 구축한 지하철역별 수송실적 자료를 바탕으로 시간대별/역별 승하차 자료를 구축하였다.

이렇게 구축된 변수들을 바탕으로 상관분석 수행 후 회귀분석 모형을 구축하였다. 회귀분석 모형은 자료의 한계로 인하여 지하철 오후첨두시 하차인원을 종속변수로 설장하여 구축하였으며, 그 결과 상업지역 연상면적, 주변 버스 노선 수, Total Depth를 독립변수로 하는 회귀분석 식을 구축하였다. 이때 독립변수들은 신뢰수준 90%내에서 유의한 것으로 분석되었다.

(2) 활용방안

본 연구에서는 단일구간을 시뮬레이션 하였지만 이 부분을 확장시켜 환승역 전체를 시뮬레이션 할 경우 여러 가지 활용방안들이 도출된다.

- 첫째, 지하철 승하차 수요를 고려한 지하철 정차시간 산정가능
- 둘째, 보행자 환승시간을 고려한 지하철 스케줄 조절가능
- 셋째, 비상사태 시 비상구 위치선정 가능

또한 3차 년도에 수행연구결과에 따르면 지하철 출구선택은 주변 상업지역 연상면적, 버스 노선 수, Total Depth와 높은 연관성을 보인다. 이러한 결과를 바탕으로 향후 신규 지하철 역사에서의 출구 위치 및 크기 결정에 기여할 수 있을 것이다.

나. 향후과제

본 연구의 가장 큰 한계점으로는 모형구축 및 검증에 사용된 데이터의 수가 적다는 것이다. 30개 역의 데이터를 이용하여 모형을 구축하였으며, 2개 역을 대상으로 검증을 수행하였다.

향후 서울시 및 수도권에 있는 수백 구축이 가능할 것 여개의 지하철역을 대상으로 연구를 수행한다면 보다 신뢰성 있는 모형이며, 모형의 검증 또한 여러 지하철역을 대상으로 수행하는 것이 모형의 신뢰성 검증절차로 바람직할 것이다.

또 하나의 한계점으로는 출구별 에스컬레이터 유무와 엘리베이터를 전혀 고려하지 못한다는 점이다. 현재 검증을 수행한 강남역과 양재역 같은 경우는 에스컬레이터가 없으며, 엘리베이터는 있지만 고려하지 않았으나 이러한 이용자 편의시설들은 이용자의 출구 선택에 적게나마 영향을 미칠 것이므로 향후 연구에서는 이러한 시설들을 변수로 사용가능한지에 대한 추가적인 분석이 필요할 것이다.

향후 연구 수행 시 지하철 이용객의 시간대별 이용특성과 주변의 토지이용 등과 연관 지어 분석이 이루어진다면 보다 새로운 특성이 발견될 것으로 예상된다.

제 3 절 DEM을 이용한 여객유동 해석 프로그램 개발

1. DEM에 의한 여객 유동 해석

가. 개요

철도역 건물은 과거에는 철도 여행객들만의 승하차용으로 이용되는 것으로 인식되어 왔으나, 최근에는 대도시의 철도역 건물의 복합화, 대형화로 인하여 철도 영업 및 서비스 거점으로서의 중요한 위치 뿐만아니라 지역을 대표하는 도시 시설중 하나로 여러 가지 부가 기능을 담당하는 장소로 바뀌고 있다. 일반적으로 철도역이 복합화 대형화되면, 역이 갖추어야 할 기본적인 역할 즉, 안전하고 이용하기 편리하며 쾌적한 환경을 만들기 위한 여러 가지 조건이 요구된다.

특히, 도시 철도인 지하철의 일부 환승역의 경우, 여러개의 철도 노선이 교차하여 그 구조가 심층 지하화되기 때문에 이용객들의 이동 동선이 길어져 러시아워때의 극심한 혼잡성 문제 뿐만아니라 화재와 같은 재해 발생시에는 이용객들의 피난 및 안전 확보 문제가 발생하여, 철도역 건축물의 구조 설계의 주요 파라메터로 떠올랐다.

이와 같이 복잡 다양화되는 철도역의 여러 가지 요구조건을 만족시키기 위하여는 철도역 건축물 설계의 하드웨어적 요소 뿐만 아니라 철도역을 이용하는 사람들의 이동 형태를 동적으로 해석하여 역사의 시설 계획에 반영하는 여객 유동 해석과 같은 소프트웨어적 요소도 고려되어야 한다.

일반적으로 여객 유동은 넓은 의미의 교통류(traffic flow)의 한 부류이며 건축공학 및 교통공학에서는 보행자 유동 또는 승객 유동으로 부르기도 한다. 그러나 철도역을 이용하는 사람들은 교통공학에서 말하는 가로망에서의 단순 보행자와는 목적이 다르고, 협의의 승객 유동은 차량을 탑승한 사람들을 일컬으므로 본 연구에서는 열차를 타고 내리려는 목적을 가진 사람들의 일련의 행동 패턴, 즉, 보행, 티켓팅, 열차승강 등과 같은 움직임을 나타내는 여객유동으로 표현하였다.

EXODUS나 Simulex와 같은 기존의 상용 프로그램은 사용자들의 User Input 기능과 후처리 그래픽 기능만 있을뿐 핵심코드는 공개하지 않고, 게다가 사용자가 다양한 특별 상황에 맞게 프로그램을 개조할 수 없는 단점이 있다. 따라서, 본 연구에서는 다양한 철도 역 모델에 대하여 각각의 여객 유동 해석 목적에 따라 자유로

이 모델 설정을 할 수 있는 프로그램을 개발하기 위하여 CFD(Computational Fluid Dynamics) 기법중 하나인 기체 또는 액체 유동에 고체 입자가 혼입되는 다상유동 해석 방법으로 널리 사용되고 있는 DEM 기법을 이용한 여객 유동 해석 알고리즘을 개발하였다. 개발된 해석 프로그램을 이용하여 지하철 역의 기본 모델에 대하여 여객 유동 행태를 해석하였으며, 여객 이동 행태를 정량적 및 정성적으로 분석하였다.

나. 여객 유동 일반

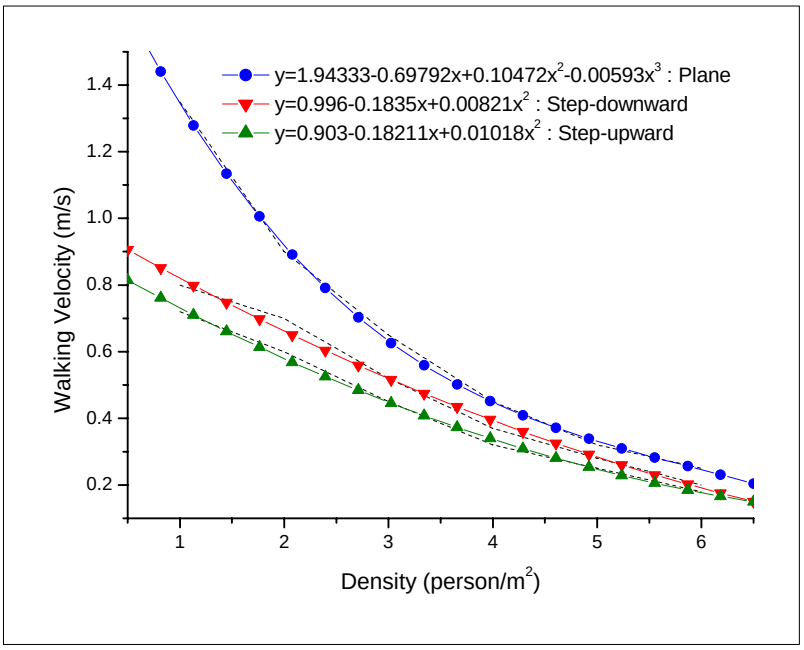
여객 유동 해석에서의 보행속도는 보행자가 평상시 보행하는 속도로서 일반적으로 평균 보행속도는 매초 0.75~1.2m 정도이므로 교통공학에서는 1m/sec를 기준으로 신호 주기를 산출하는 예가 많다. 그러나 이것은 단독으로 자유로이 보행할 때를 기준으로 한 것이므로 용량 상태가 바뀌는 경우, 예를들면, 횡단 보행자가 많아서 자유로운 횡단에 방해를 받은 상태 뿐만아니라 연령, 성별, 보행 목적, 보행자의 건강 및 심리상태, 기상 조건에 따라서도 보행 속도가 다소 다르다.

또한, 대도시의 출퇴근 시간과 같이 이용객들이 바쁘게 움직이는 경우 및 화재와 같은 재해 발생시의 주행속도 등의 경우는 평상시의 이동속도 보다 빠른 특별한 조건으로 여객 이동 속도를 정할 수 있다.

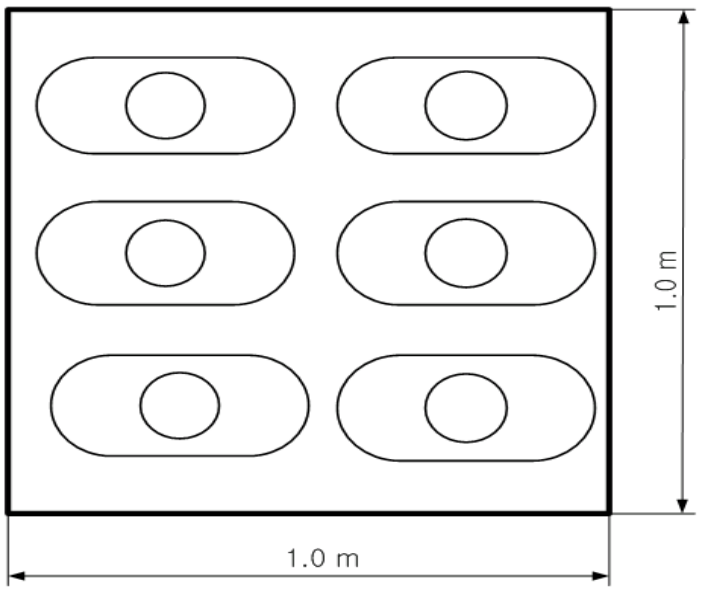
<그림 3-131>에 평지 및 계단에서의 평균 여객 보행속도를 단위 면적당 인구밀도에 따라 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이, 보행자의 평균 이동속도는 단위 면적당 인구밀도에 따라 변하며, 보행 조건이 평지, 계단을 올라가는 경우와 내려가는 경우에 따라서도 다르게 주어짐을 알 수 있다. 또한, <그림 3-132> 에서와 같이 1㎡ 단위면적당 최대 수용 인원을 6명으로 하면, 보행속도 곡선상에서의 인구밀도 유효 범위는 1≤보행자≤6에서 정하여 진다.

여객 유동 해석과 다상 유동 해석법 사이에는 앞에서도 언급하였듯이, 많은 상사성이 있으므로, 기존에 잘 발달된 다상 유동 해석법을 응용하여 여객 유동 해석에 응용할 수 있다. <표 3-53>에 각각의 항목에 대한 비교표를 나타내었다.

다상유동에서는 유체 유동 방정식에 의하여 계산 cell의 대표 유속이 정하여 지면, 해당 cell에 있는 입자는 입자의 운동 방정식에 의하여 이동하게 된다.



<그림 3-131> Walking Velocity of Passenger



<그림 3-132> Passenger Density in a Cell

또한, 특정 cell 내부의 입자의 개수는 입자의 체적분율에 의하여 개수가 제한된다.

이와 마찬가지로, 여객 유동 해석의 경우, 역사 건물의 평면 모형을 격자로 나누어 계산 cell을 구성하고 각각의 cell에 대한 방향 벡터를 부여한다. 방향벡터 부여 방법으로는 여객 유입구로부터 가장 가까이 있는 출구까지의 최단거리 동선 방향의 단위벡터로 방향을 정한다. 각각의 여객은 <그림 3-131>에 있는 보행속도로 평지 및 계단에서의 단위 cell내의 인구 밀도에 따라 이동 속도가 다르게 계산되며, 이동하려는 방향의 cell내에 여객이 이미 포화상태에 있으면 정체되어 그 자리에 머무는 것으로 간주할 수 있다.

<표 3-53> 다상유동과 여객유동의 相似性

항 목	여객 유동	多相 유동
Carrier	방향 벡터	母 유체 유동
Mover	여객 개체	입자
Density	인구 밀도	Volume Fraction
Velocity	보행 속도	입자 운동방정식

다. DEM 여객 유동 해석 알고리즘

그림 3-133에 여객 유동 해석을 위한 Flow Chart를 나타내었다. 각 단계별 구성은 다음과 같다.

① 해석 대상인 역사의 도면에 기초하여 각 층의 평면을 Grid로 나누어 단위 면적의 계산 cell로 격자를 구성한다. 각각의 cell은 특성별로 평지cell, 계단cell 및 벽면으로 나누고, 계단 cell의 경우도 계단을 오르는 경우와 계단을 내려가는 cell로 구분한다.

② 계산 모델에 맞게 여객이 유입되는 입구 조건 및 유출되는 출구 등의 경계조건을 해당 셀에 부여한다.

③ 입출구 경계조건을 바탕으로 계산 영역내의 각 cell에 대한 potential map을 계산하고, 주변 셀 중에서 낮은 potential 값을 가진 방향으로 여객 이동 주방향 벡터를 설정한다. 평지 cell의 경우는 여객 유입구에서 유출구로의 최단 이동 동선 방향으로 정하여 지며, 계단 cell의 경우, 계단을 올라가는 경우는 위층 방향으로 진행하게 설정한다.

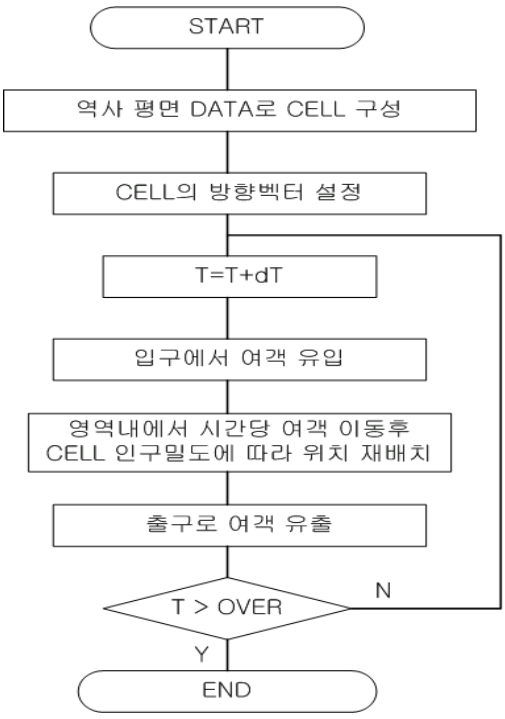
④ 계산 시간을 t=t +dt로 진행시킨다

⑤ 여객 유동 입구, 즉, 승하차장의 경우는 차량 출입문에서, 복층 계산의 경우는 아래층으로부터 올라오는 계단에서 여객이 계산 영역내로 유입된다.

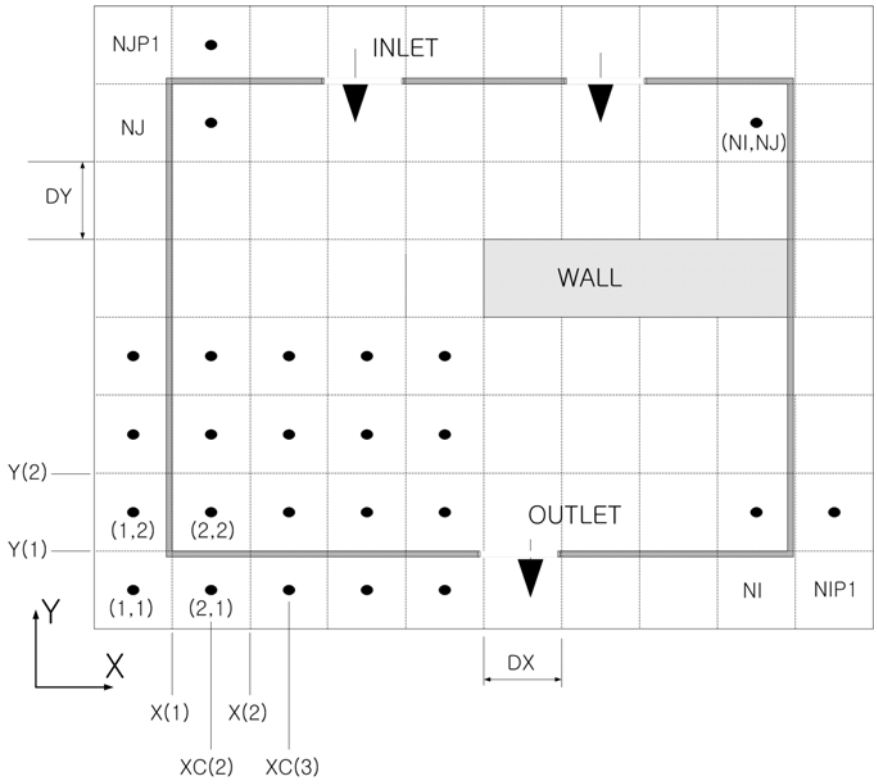
⑥ 정해진 시간 간격 dt 동안에 각각의 cell 조건에 맞게 여객을 이동시킨다. 여객이 위치한 셀의 主방향 벡터로 이동하며, 이동할 셀에 다른 여객이 이미 있는 경우는 차순위 방향 벡터를 찾아 이동한다. 주방향 및 차순위 방향의 셀에 모두 여객이 있는 경우는, 원래의 위치에 정체된 것으로 간주하여 시간 t에서의 위치에 머무르게 한다.

⑦ 출구 cell에 도달한 여객은 유출시킨다.

⑧ 정해진 계산 시간까지 (4)~(7)을 반복 계산한다. 계산 시간 종료후 결과를 프린트 한다.



<그림 3-133> 해석 프로차트

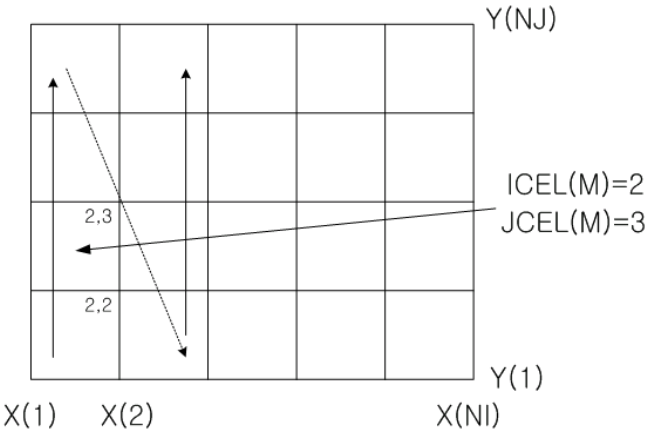


<그림 3-134> 계산 Mesh 구성

<그림 3-134>는 DEM에 사용되는 계산 영역의 mesh구성을 나타낸 것이다. 계산 영역 바깥의 경계면 처리를 위하여 dummy 셀을 그림과 같이 배치한다. 즉, x방향 셀번호 1 및 NIP1과 y방향 셀번호 1 및 NJP1은 최외곽 dummy셀들을 나타내며, 벽, 입구 또는 출구와 같은 경계조건을 줄 수 있다. 따라서, 실제 계산 영역은 셀번호 (2,2)와 (NI,NJ) 셀들로 이루어진 부분이다. Grid 구성에서, 셀의 경계선은 각각 x(1), x(2)... y(1), y(2)로, 셀중심 좌표는 xc(1), xc(2)... yc(1), yc(2)... 로 표기하고, x방향 단위 셀 크기는 DX, y방향은 DY로 정의한다. 계산영역 내부에도 벽 또는 계단과 같은 셀을 구성할 수 있다. 계단의 경우는, 향후 복층 계산시, 다른 층으로의 유출입 통로로 사용되어, 한쪽에서 유출된 여객이 다른 층에서는 유입되는 여객으로서 상호 연계된다.

(1) 개별 여객이 어떤 cell에 속하는지를 판단하는 계산 알고리즘

<그림 3-135>에 계산에 사용되는 cell 구조를 나타내었다. 계산 영역내에 있는 총 여객수를 ntp개, 여객 m의 x,y방향 셀을 각각 icel(m), jcel(m), 그리고, x, y방향 좌표를 px(m), py(m)이라 하면, 다음과 같은 방법으로 각각의 위치 좌표에 따라 속하는 cell을 정할 수 있다. 실제 전산해석에서 알고리즘을 이용할 때에는 프로그램을 통하여 구현되므로 프로그래밍 언어중 하나인 fortran으로 source code를 나타내었다. 또한, 프로그램에 사용되는 변수들을 정의한 계산 영역내의 cell 구조와 번호 및 계산 격자를 <그림 3-135>에 나타내었다.



<그림 3-135> Cell 구조

```
      do 60 m=1, ntp
      do 10 j=2, nj
        if (py(m).le.y(j)) goto 20
10    continue
      goto 30
20    icel(m)=j
30    do 40 i=2, ni
        if (px(m).le.x(i)) goto 50
40    continue
      goto 60
50    icel(m)=i
60    continue
```

(2) cell내에서의 여객 수밀도 계산 알고리즘

cell(i,j) 내에 여객 수밀도를 계산하는 것은 다음과같은 알고리즘에 따라 산정할 수 있다. 여기서, np(i,j)는 cell(i,j)내의 여객수를 나타내는 변수명이다.

```
    do 10 j=2, ni
    do 10 j=2, nj
10  np(i,j) = 0
    do 70 m=1, ntp
    do 20 i=2, ni
       if(px(m).le.x(i)) goto 30
20  continue
    goto 40
30  icel(m)=i
40  do 50 j=2, nj
       if(py(m).le.y(j)) goto 60
50  continue
    goto 70
60  jcel(m)=j
    np(i,j) = np(i,j) + 1
70  continue
```

(3) cell(i,j) 전까지의 총 여객수 계산 알고리즘

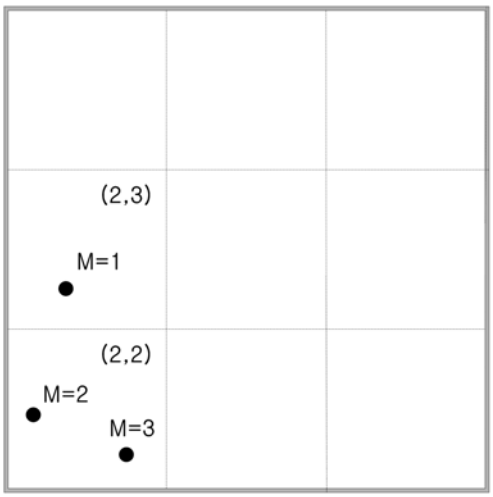
<그림 3-135>에서와 같이 cell의 순번을 (2,2) (2,3) (2,4)... (3,2) (3,3) (3,4) 와 같이 정하면 cell(i,j) 이전 cell까지의 총 여객수는 다음과 같이 정할 수 있다. 여기서, 변수 npb(i,j) 는 cell(i,j) 전 cell까지의 총 여객수이다.

```
      n=0
      do 10 i=2, ni
      do 10 j=2, nj
           npb(i,j)=n
           n=n+ np(i,j)
 10  np(i,j) = 0
```

(4) 각 cell에 있는 여객들에 번호 부여 알고리즘

<그림 3-135>에서 cell(2,2)에 2명, cell(2,3)에 1명의 여객이 있다고 가정하면 다음과 같이 각각의 여객에 대하여 일련번호를 부여할 수 있다. 각각의 계산 여객에 일련번호를 부여하는 것은 계산 영역내의 총 여객수 ntp를 계산하기 위함이며, 유입구로 신규로 들어오는 여객에 대한 번호 부여와 유출구로 나가는 여객의 번호 박탈 등의 계산에 사용된다. 여기서 lcr(k)는 여객 m에 부여되는 일련 번호이다.

```
      do 10 m=1, ntp
         i=icel(m)
         j=jcel(m)
         np(i,j) = np(i,j) + 1
         k = npb(i,j) + np(i,j)
   10 lcr(k) = m
```



<그림 3-136> 셀의 여객 일련 번호

위의 프로그램 리스트와 그림에서,

m=1일 때, i=2, j=3이고 np(2,3)=1, k=npb(2,3)+np(2,3)=3 이므로 lcr(3)=1

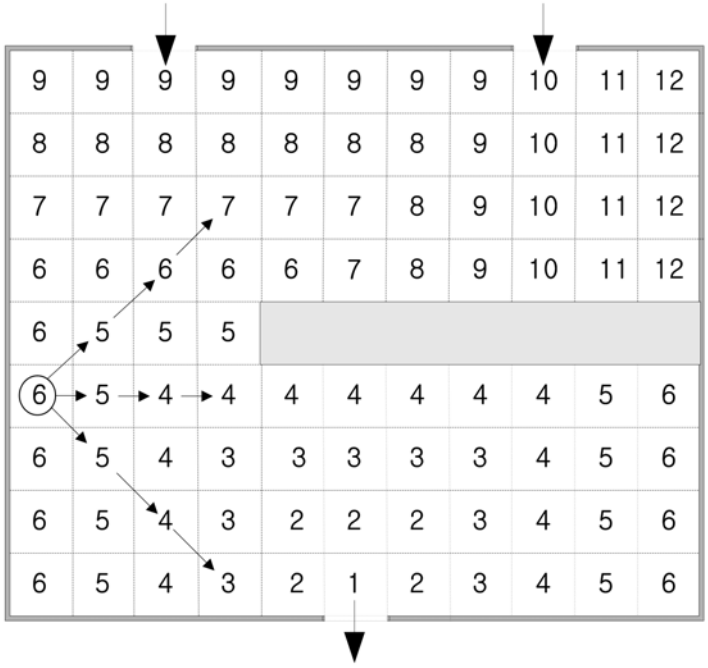
m=2일 때, i=2, j=2이고 np(2,2)=1, k=npb(2,2)+np(2,2)=1 이므로 lcr(1)=2

m=3일 때, i=2, j=2이고 np(2,2)=2, k=npb(2,2)+np(2,2)=2 이므로 lcr(2)=3

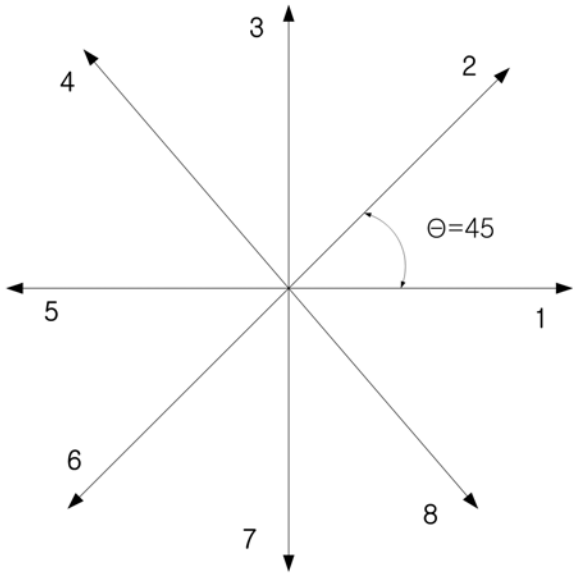
과 같이 각 셀에 있는 여객들에 일련번호를 부여할 수 있다.

(5) potential map과 주방향 설정 알고리즘

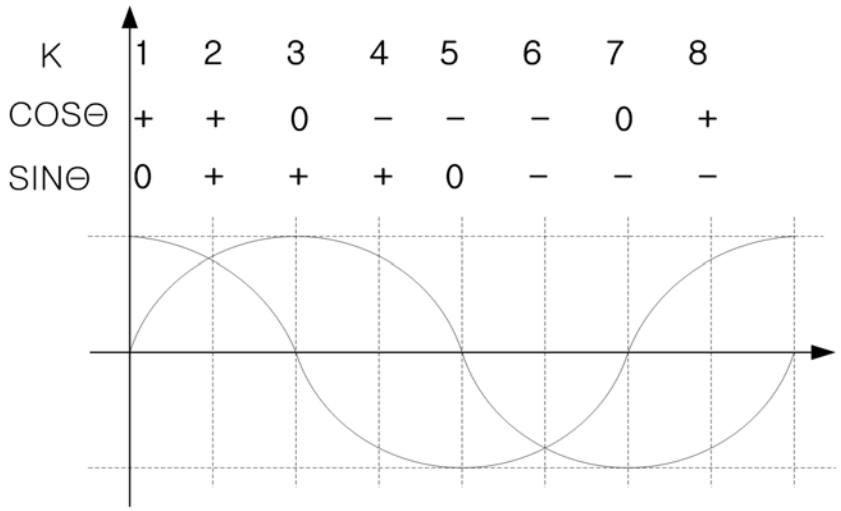
본 연구에서는 여객 이동에 필요한 potential map과 각 셀의 주방향 벡터 설정 방법, 주방향셀에 이미 여객이 있을 경우에 부차적인 방향 찾기 알고리즘 등을 개발하였다. 계산 영역 내부에 벽과 같은 장애물이 있는 임의의 건축물 내부 모델을 <그림 3-137>과 같이 Grid로 분할하고, 유동해석에서 입출구 조건을 부여하는 것과 같이 하단부에 출구를, 상단부 2곳에 입구를 설정하여 여객의 유출입 조건을 부여한다. 포텐셜 맵의 기본 개념은 출구 셀의 포텐셜 값을 입력 조건에서 1로 부여하면, 주변 셀들의 포텐셜 값들을 2, 3, 4...로 순차적으로 높여가는 것이다. 그 결과 <그림 3-138>와 같이 계산영역 내부의 각 셀에 대하여 포텐셜 값을 부여할 수 있다. 각각의 여객은 현재 위치한 셀의 포텐셜 값보다 더 작은 포텐셜 값을 가진 셀을 찾아서 이동시키며, 이동하려는 셀에 이미 다른 여객이 존재하는 경우는 같은 포텐셜 값을 가진 셀로 이동한다. <그림 3-137> 에서 보는바와 같이 포텐셜 값 6을 가진 셀의 경우, 1차적으로 주변 셀 중에서 작은 값을 가진 셀을 찾으며, 포텐셜 값 5를 가진 셀이 3개 존재한다. 이러한 경우에는, 각각 그 다음 셀의 포텐셜 값을 비교하여 주방향벡터를 설정한다. 즉, 우하측 방향의 셀들은 5, 4, 3의 값을 가지며, 우측 방향의 셀들은 5, 4, 4를, 우상측 방향의 경우는 5, 6, 7로서, 예제의 셀은 우하측 방향으로 주방향 벡터를 가진다. 이와 같은 방법으로 각각의 셀에 대하여 주방향 벡터를 설정한 것을 <그림 3-137>에 나타내었다.



<그림 3-137> Direction Vector of Cell

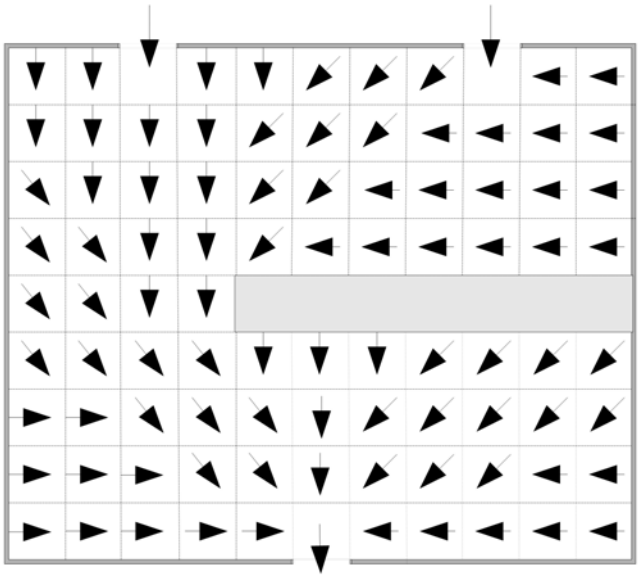


<그림 3-138> Eight adjacent direction



<그림 3-139> Degree of Main Direction

Grid 구조상, 어떤 셀에서 이동할 수 있는 방향은 주변의 8개의 셀이며, 각 셀의 향방은 45°씩 변화한다. 즉, 1번 방향은 0°, 2번 방향은 45°, 3번은 90°의 각도를 가지므로, x방향의 증감은 cos[π(k-1)/4], y방향은 sin[π(k-1)/4]값의 부호에 따라 정할 수 있다. 그림. 4-9와 같이, 주 이동 방향이 2번 셀 방향이라면, cos 및 sin 값이 모두 + 이므로 i 및 j가 증가하는 東北 방향이다.



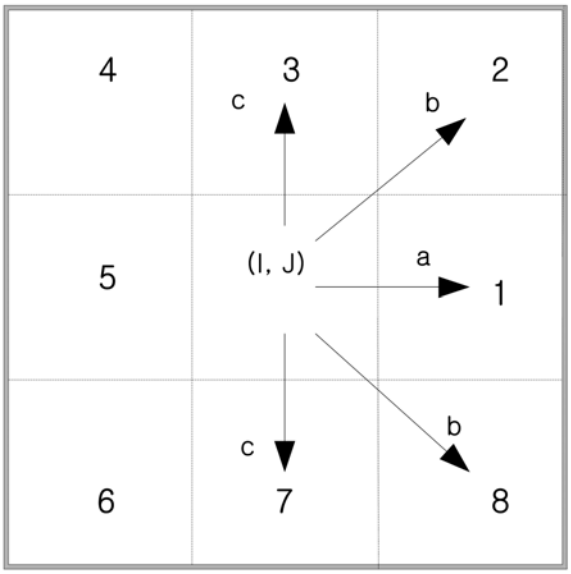
<그림 3-140> Direction Vector of Cell

(6) 차순위 방향 찾기 알고리즘

주 이동 방향의 셀에 이미 여객이 있을 경우에는 차순위의 주방향 셀을 찾도록 하여야 하며, <그림 3-139>의 예제와 같은 경우, 1차 주방향이 우측셀 1번이라면, 2차 주방향은 가능한 한 주방향과 인접한 방향, 즉, 우상측 셀인 2번 또는 우하측 방향 셀인 8번에서 포텐셜 값이 작은 셀을 찾도록 한다. 즉 1번 셀에 여객이 이미 존재하여 진행할 수 없을 때에는 우선 2번 및 8번 셀에서 차순위 방향 셀을 찾는다.

이와 같이 하여 2, 8번 셀에서도 차순위 방향 셀을 찾지 못하였을 때에는, 3번 및 7번 셀에서 그 다음 순위의 셀을 찾으며, 이러한 반복 계산은 주방향보다 후퇴하는 방향전까지 시행한다. 만약, 이러한 절차를 거치고도 다음 이동할 방향을 찾지 못할 경우에는 (I,J) 셀에 위치하는 여객은 계산시간 dt 동안 그 자리에 머무는 것으로 간주한다.

즉, <그림 3-141>에서, 主 이동방향(1번 셀)이 이루는 각도는 0°이므로 차순위 방향은 45° 증가 혹은 45° 감소 방향이며, 그 다음 순위는 90° 증가 혹은 90° 감소 방향의 순서로 이동할 방향셀을 찾는다.



<그림3-141>Sub Direction Vector of Cell

fortran 언어의 난수 발생 함수와 소수이하 절사 함수등을 이용하여 위의 순서대로 다음과 같이 차순위 방향 셀을 찾을 수 있다.

```
    if (rand > 0.5) then nn=1 else nn=-1
    do 100 l=1, 6
       r=l/2.0
       n=nint(r)
       nn=-1*nn
       deg=theta(i,j) +  n*nn*π/4
       vx=cos(deg)
       vy=sin(deg)
100 continue
```

여기서, rand는 0≤rand<1의 값을 갖는 난수 발생 함수이며, nint는 소수 이하를 절사 혹은 반올림하는 fortran 함수이다. n값은 r에 의존하며, nn값은 부호를 순번으로 변환시키며, deg값은 n과 nn에 따라 주방향벡터 각도에 π/4씩을 증가시키게 된다. theta(i,j)는 주방향 벡터 각도이므로 예제의 그림에서는 0도이므로 반복변수 l에 대하여 n, nn, deg는 각각 다음과 같은 값을 갖는다. 이와 같이 정하여진 deg값의 cos값 vx가 x방향 단위벡터, sin값 vy가 y방향 단위벡터이다. 표에서 nn값은 난수 발생값에 따라 -1 또는 1로 시작되며 deg 값도 이것에 연동된다.

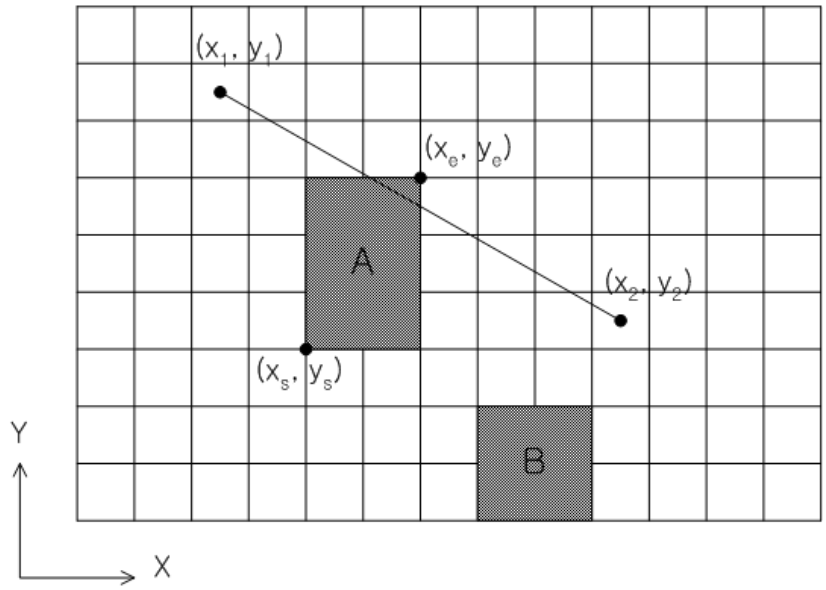
변수	값					
l	1	2	3	4	5	6
n	1	1	2	2	3	3
nn	-1	1	-1	1	-1	1
	1	-1	1	-1	1	-1
deg	-45	45	-90	90	-135	135
	45	-45	90	-90	135	-135

(7) 계산 sweep 방향 순서 전환 알고리즘

계산 영역내에서 X, Y 방향의 각 셀별로 반복 계산시, sweep 방향 및 순서에 따라 특정 셀이 먼저 고려되는 불균형이 발생할 수 있다. 예를들면, Do Loop의 x방향의 sweep 순서를 항상 1, 2, → NI 으로 한다면, 1번 셀에 있는 여객은 2번 셀에 있는 여객보다 우선적으로 고려된다. 이와 같은 불균형을 해소하기 위하여 Do Loop의 시작점을 계산 영역 내부의 첫 번째 셀부터 마지막 셀 중에서 임의로 선택되도록 정하며, 방향도 오름차순과 내림차순으로 번갈아 하도록 하여 편차를 줄일 수 있다. 예를들면, 오름차순의 경우, 계산영역 시작점 2부터 NI 사이의 임의의 시작점 2≤K≤NI부터 시작한 sweep는 K → NI → 2 → (K-1)의 순서로 진행되며, 내림차순의 경우, K → 2 → NI → (K+1)의 순서로 된다. 시작점 K는 0과 1사이의 균등분포 난수(0≤RAND<1)를 이용하여 무작위로 선택할 수있다. 여기서 itime은 계산 시간 step수로, 1부터 시작되는 정수이며, bigno는 ni보다 훨씬 큰 임의의 정수, iformax는 계산영역내 셀의 ifor값의 최대값, nim1=ni-1이다.

```
      iii=mod(itime, 2)
      jjj=(itime+ iii)/2
      jjj=mod(jjj, 2)
      is = int (rand * bigno)
      is = mod (is, nim1) + 2
      ie = is+ ni-2
      do 100 l=2, iformax
      do 200 ii = is, ie
         i = mod(ii, nip1)
         if (i. lt. is) i=i+ 2
         if (iii. eq. 0) then
            i = 2*is-ii
            if (i. lt. 2) i=i+ nim1
         endif
c        j 방향도 같은 방법으로 처리
c        여객 이동 루틴
  200 continue
  100 continue
```

(8) 각 cell에서의 가시성 factor 계산



<그림 3-142> Visibility calculation between two cells

여객이 위치하고 있는 cell의 위치(x_1, y_1)에서 계산 영역내의 임의의 cell이(x_2, y_2) 보이는가를 계산하기 위한 알고리즘은 다음과 같다.

두 점을 잇는 선분의 식은 다음과 같다.

$$y = ax + b \qquad \because a = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1},\ b = y_1 - ax_1$$

블록A의 좌우측 세로변을 이루는 선분과 위의 직선이 교차하는지 여부는 x_s 및 x_e를 대입하였을 때의 y값 y_{11} 및 y_{22} 가 [다음과 같이 정의함, $y=f(x_s)$ $y=f(x_e)$]

아래의 조건을 만족하면 두 점을 잇는 선분이 블록과 교차한다.

if ($x_s \le y_{11} \le x_e$) or ($x_s \le y_{22} \le x_e$)

then

두 점 사이에 장애물 있음.

else

장애물 없음

마찬가지 방법으로 블록A의 상하측 가로변과의 교차 여부는

$$x = cy + d \qquad \because c = \frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1},\ d = x_1 - cy_1$$

블록A의 좌우측 가로변을 이루는 선분과 위의 직선이 교차하는지 여부는 y_s 및 y_e를 대입하였을 때의 x값 x_{11} 및 x_{22} 가 [다음과 같이 정의함, $x=f(y_s)$ $x=f(y_e)$]
아래의 조건을 만족하면 두 점을 잇는 선분이 블록과 교차한다.

if ($y_s \le x_{11} \le y_e$) or ($y_s \le x_{22} \le y_e$)

then

두 점 사이에 장애물 있음.

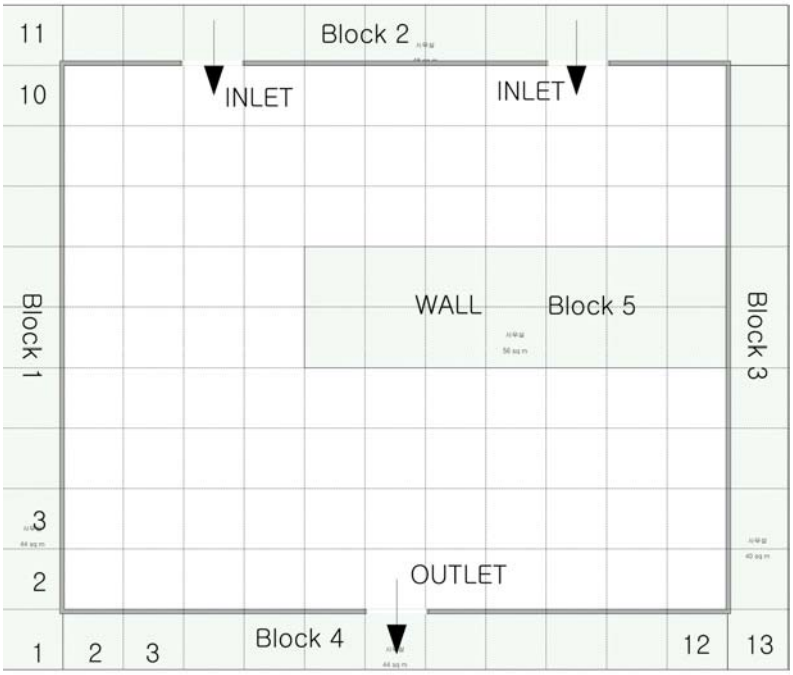
else

장애물 없음

위의 2가지 조건에 대하여 모두 장애물이 없는 경우라면, 여객이 위치한 위치에서 (x_1, y_1) 계산 영역내의 임의의 cell(x_2, y_2)은 보이는 것으로 간주할 수 있다. 전체의 계산영역 내부에 있는 모든 셀에 대하여 대상 셀을 변경하고, 그 때에 각각의 벽 블록에 대하여 교차 여부를 체크하여 보이는 셀 개수를 합하면 해당 좌표에서의 가시성을 계산 할 수 있다.

(9) 경계 조건의 블럭 처리

<그림 3-142>는 경계조건을 블럭 단위로 처리한 예를 나타낸 것이다. 그림에서 벽면 셀은 외곽의 네 블럭과 계산영역 내부의 한 블럭으로 이루어져 있으므로 아래표에서 총 블럭수 K는 5이며, 1블럭의 경우 서쪽 셀(NWALLW)이 1, 동쪽 셀(NWALLE)도 1이며, 남쪽 셀(NWALLS)은 1, 북쪽 셀(NWALLN)은 11로 구성되어 있다.



<그림 3-143> Boundary Block in Calculation Domain

내부에 있는 벽인 블럭 5의 경우는, 서쪽 셀이 6, 동쪽 셀이 12, 남쪽 셀이 6, 북쪽 셀이 7로 이루어져 있다. 평면셀을 제외한 각종 공간조건인 벽, 계단, 입구, 출구셀은 이와 같이 블럭 단위로 처리한다.

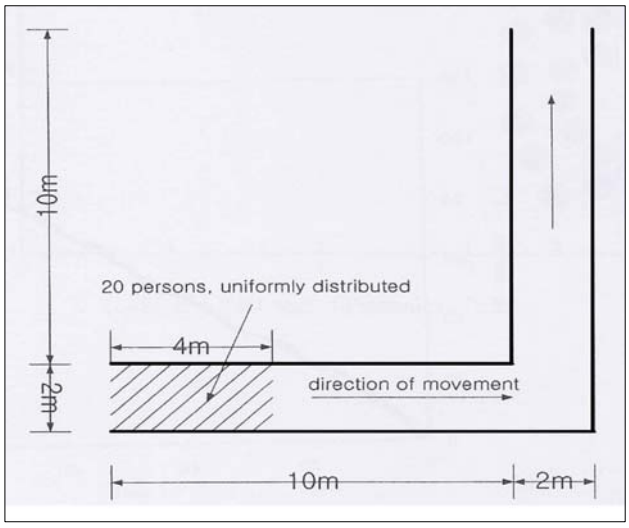
K	NWALLW(K)	NWALLE(K)	NWALLS(K)	NWALLN(K)
1	1	1	1	11
2	2	12	11	11
3	13	13	1	11
4	2	12	1	1
5	6	12	6	7

라. 여객 유동 해석 프로그램 P*Flow 의 비교

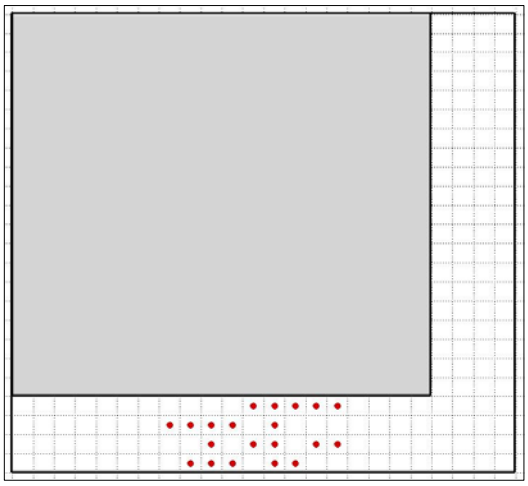
본 연구에서 개발된 여객 유동 해석 프로그램인 P*Flow의 유효성을 검토하기 위하여, <그림 3-144>와 같이 90°로 꺽인 통로에서의 보행 특성을 기존의 상용 프로그램인 Exodus와 Pynamics의 결과와 비교 검토하였다.

초기 조건으로 폭 2m, 길이 4m인 해칭한 부분에 20명의 보행자가 분포되어 있다고 가정하고, 계산시작과 동시에 길이 12m의 통로를 따라 이동하는 모델로 해석하였다. 비교적 단순한 이 모델은 수평 및 수직 방향의 이동 모사와 방향 전환을 적절하게 하는가를 해석하는데에 사용하는 모델로 많이 사용된다.

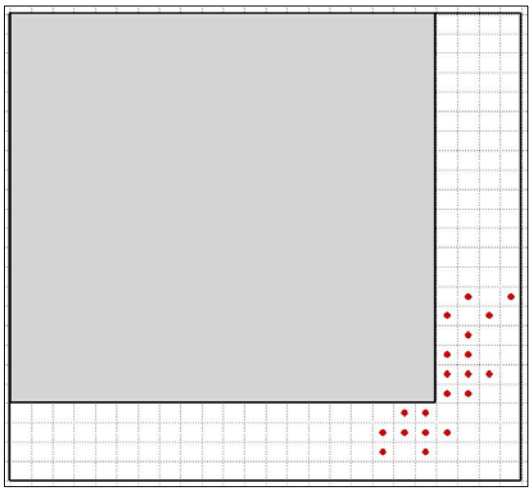
4초, 10초 및 16초 경과후의 P*Flow의 해석 결과를 <그림 3-145>에, Exodus의 결과를 <그림 3-146>에, Pynamics의 결과를 <그림 3-147>에 각각 나타내었다.



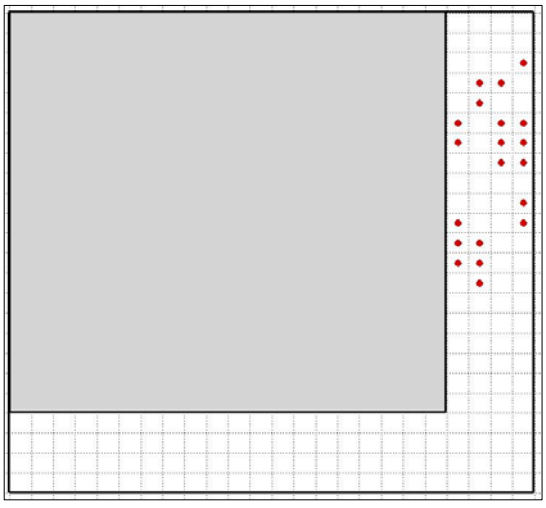
<그림 3-144> Simulation Model for Comparison



(a)

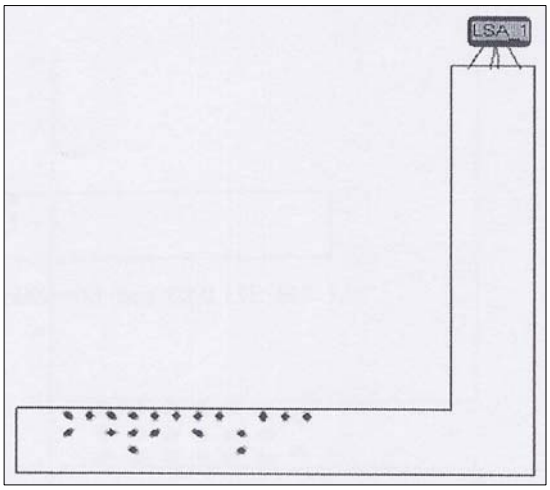


(b)

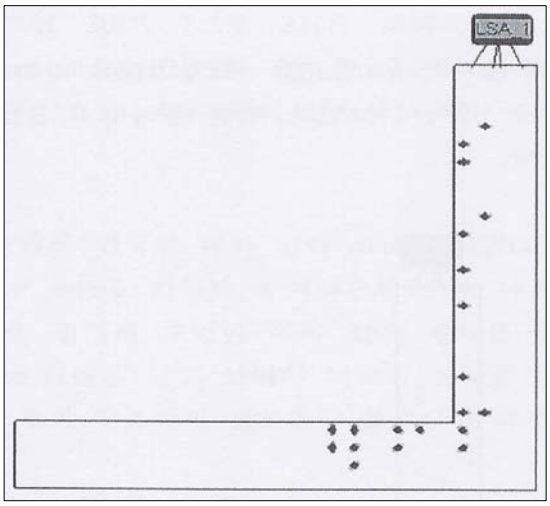


(c)

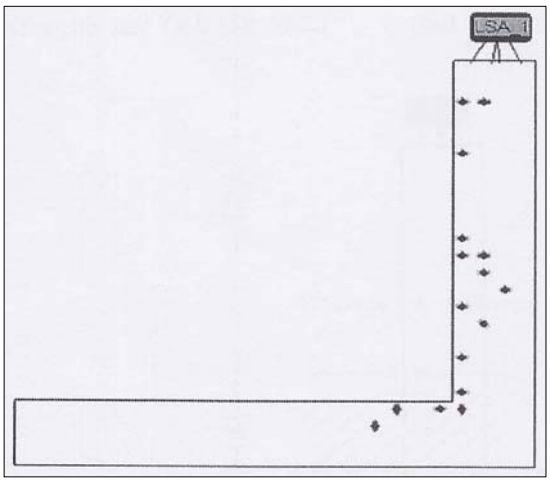
<그림 3-145> Simulation Results by using P*Flow
(a)4sec, (b)10sec, (c)16sec



(a)

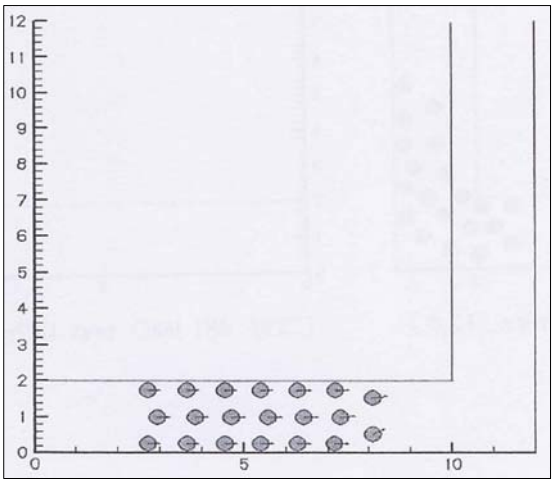


(b)

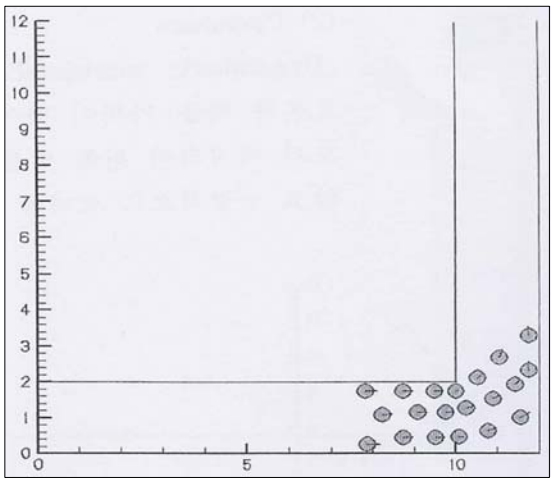


(c)

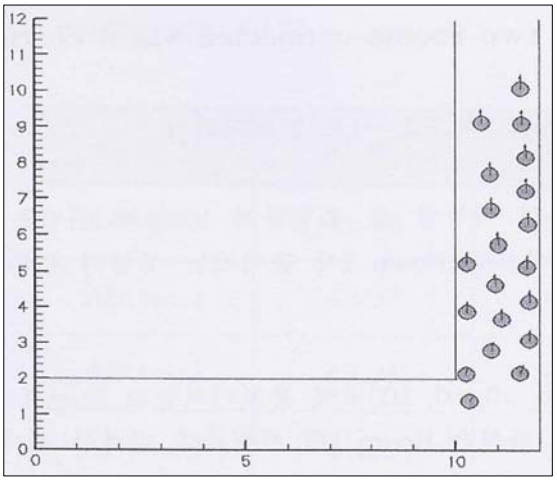
<그림 3-146> Simulation Results by using Exodus
(a)4sec, (b)10sec, (c)16sec



(a)



(b)



(c)

<그림 3-147> Simulation Results by using Pynamics
(a)4sec, (b)10sec, (c)16sec

Exodus의 결과 그림인 <그림 3-146>에서는, 4초 경과후의 보행자 분포와는 달리 10초 및 16초 경과 후의 보행자 분포는 큰 변화가 없음을 알 수 있으며, Pynamics의 결과인 <그림 3-147(b)>에서는 방향 전환을 하는 대부분의 보행자가 관성에 의하여 최단거리를 벗어나 외측으로 쏠리는 현상을 나타낸다. 이런 결과들은 일반적인 보행류 형태와는 다소 벗어나는 것으로 사료된다. 그러나, P*Flow의 결과에서는, Exodus나 Pynamics의 결과에서 나타난 이러한 해석 결과의 단점이 나타나지 않았으며, 방향 전환을 하는 대부분의 보행자들이 내측으로 이동하며, 시간 경과에 따라 선두 그룹과 후미 그룹간의 이동 거리 차이가 점점 더 커짐을 알 수 있다.

마. 여객 유동 해석 프로그램 P*Flow

본 장에서는 앞에서 고려한 여러 가지 여객유동 해석 알고리즘에 기초하여 작성한 여객 유동 해석 프로그램인 P*Flow(Pedestrian Flow, Passenger flow, People Flow)에 관한 상세한 설명을 한다. P*Flow는 계산영역 내부에 각각의 여객의 위치를 설정하여 계산하는 초기치 문제 뿐만아니라 계산 영역의 입출구 셀로 여객이 출입하는 문제까지도 처리할 수 있도록 구성되어 있다.

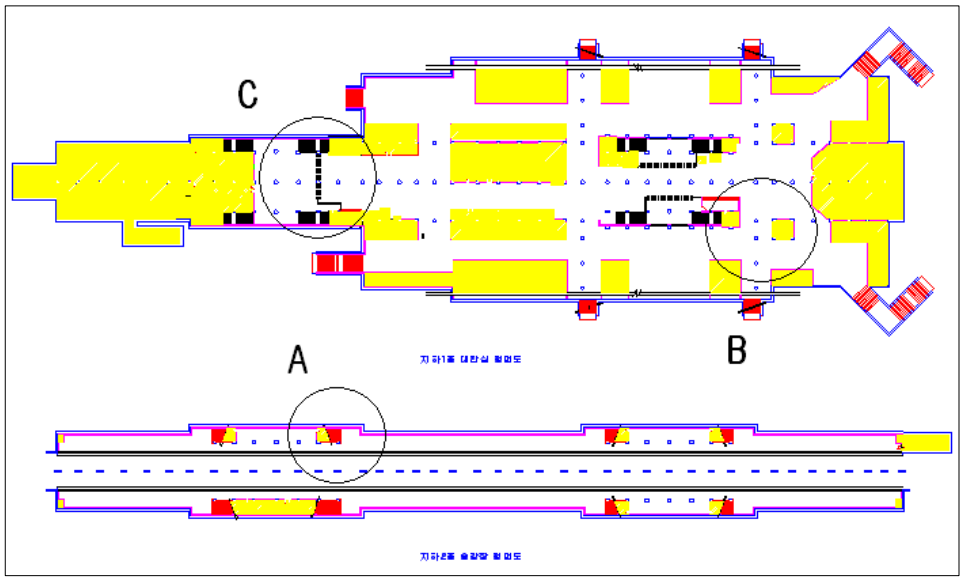
P*Flow는 다음과 같은 subroutine 및 Entry로 구성되어 있으며, 각각의 부프로그램의 기능은 다음과 같다.

- Subroutine INPUT_SET : 입력 및 초기 설정 서브루틴
  - Entry GRID : 계산영역을 격자로 나누어 관련 좌표를 설정함
  - Entry INITIAL : 초기값들을 설정함.
  - Entry POTENTIAL : 계산영역내 각 셀의 IFOR값을 정함.
  - Entry UNIT_VECTOR : 계산영역내 각 셀의 방향벡터를 정함.
- Subroutine IFORS : 입출구, 벽면 및 계단 셀을 지정함.
- Subroutine MOVEMENT : 각 개별 인원의 이동을 계산하는 서브루틴
  - Entry MOVE_1ST : 지하 2층에서의 단위시간에 대한 여객 이동을 계산함.
  - Entry MOVE_STEP : 층간 계단에서의 여객 이동을 계산함.
  - Entry MOVE_2ND : 지하 1층에서의 단위시간에 대한 여객 이동을 계산함.
- Subroutine PRINTS : 각 시간별 여객 위치의 계산 결과를 파일로 출력함.
- BLOCK DATA : 계산에 필요한 입력 파라메타를 설정함.

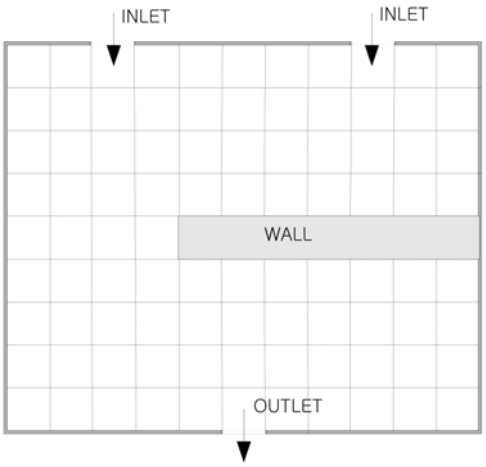
바. 연구 결과 및 예제

본 연구에서 개발된 여객 유동 해석 프로그램의 유효성을 검토하기 위하여, 지하철 역 건물에서 예상할 수 있는 기본적인 모델들을 기존의 철도역 평면도로부터 작성하여 해석하였다. <그림 3-148>와 같은 전형적인 지하철역의 평면도에서 알 수 있듯이 기본모델은 지하 2층의 열차 승강장에서 지하 1층으로 올라가는 부분, 지하 1층의 복잡한 상가 부분, 개찰구 부분으로 채택하였다.

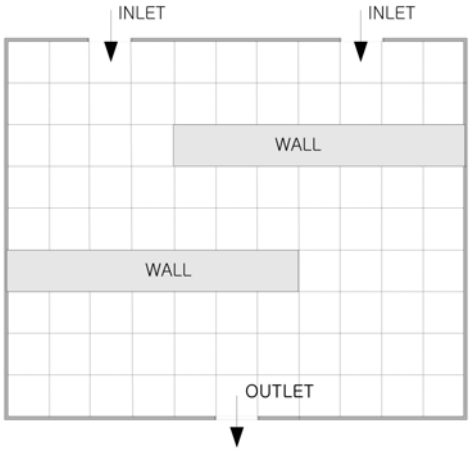
간이모델을 적용하기 위하여 <그림 3-149>와 같은 계산 모형을 구성하였다.



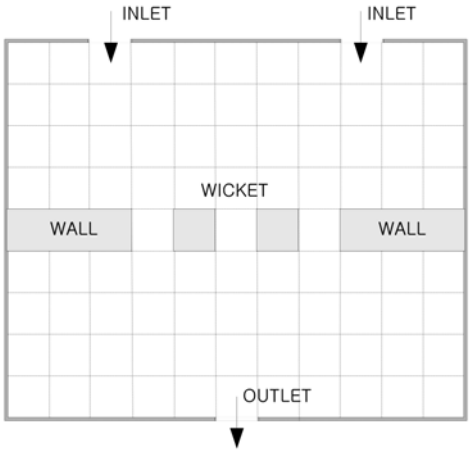
<그림 3-148> Model of Kangnam station



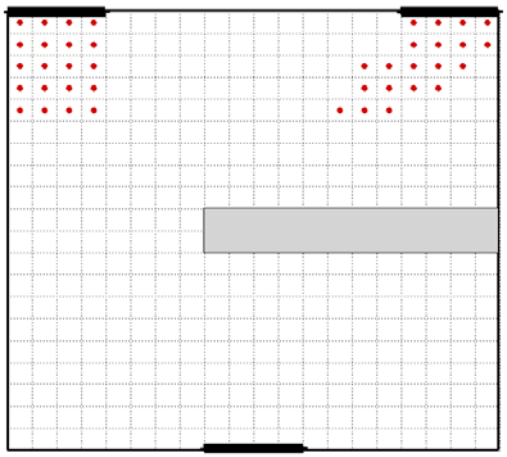
<그림3-149>Calculation Model A



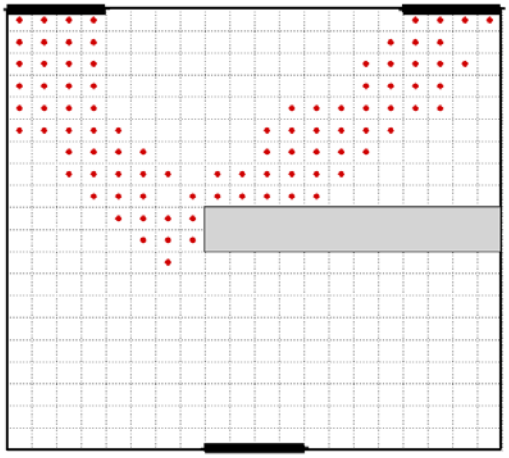
<그림3-150>Calculation Model B



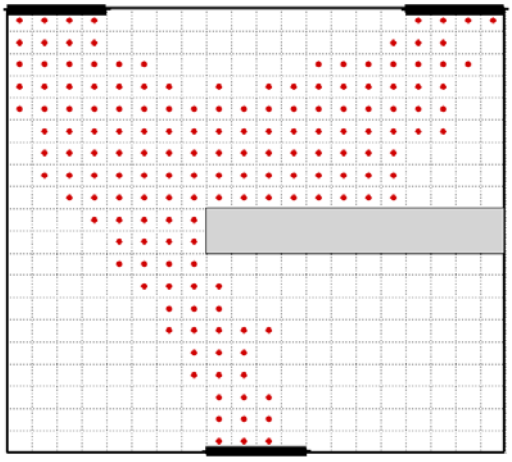
<그림3-151>Calculation Model C



(a)

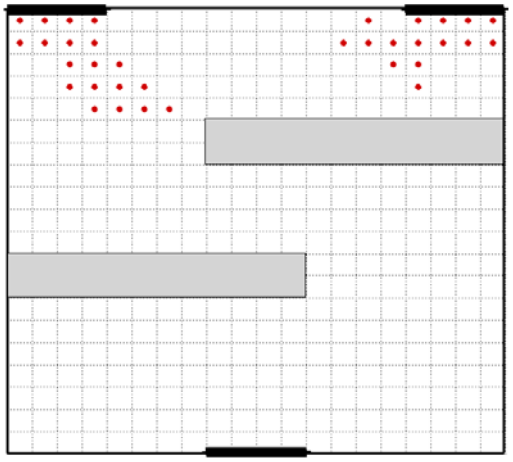


(b)

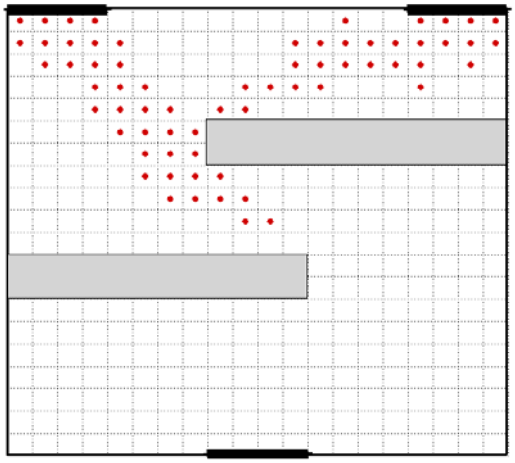


(c)

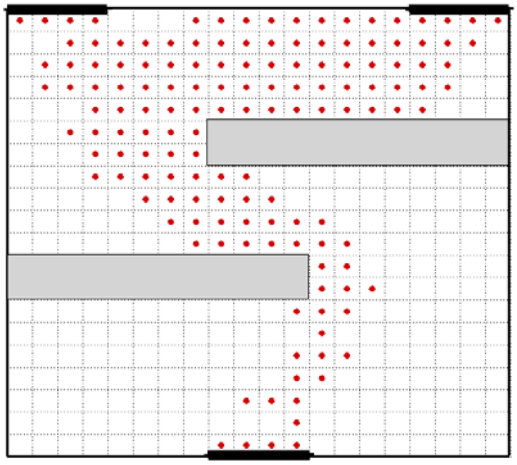
<그림3-152> Results for Model A
(a)5sec, (b)10sec, (c)20sec



(a)

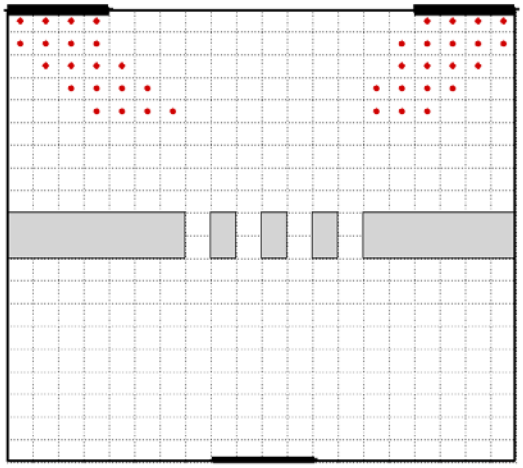


(b)

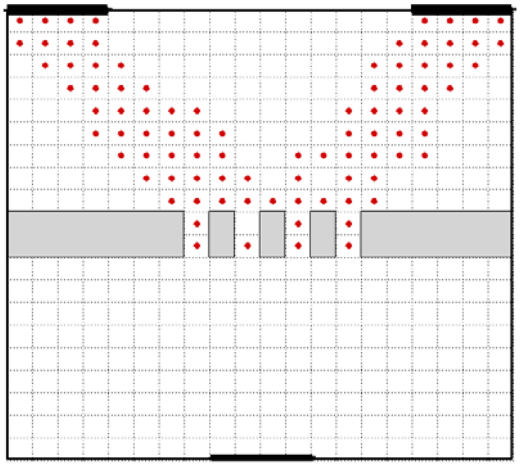


(c)

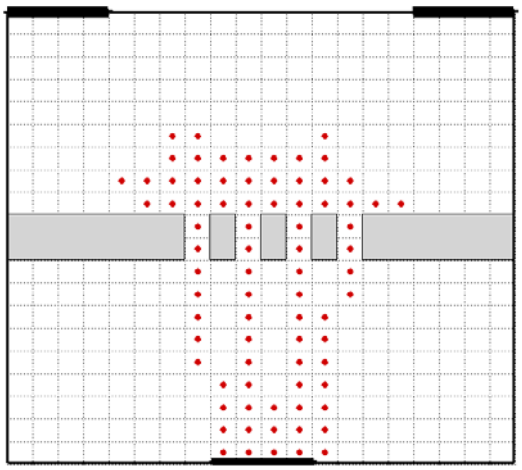
<그림 3-153> Results for Model B
(a)5sec, (b)10sec, (c)20sec



(a)



(b)



(c)

<그림 3-154> Results for Model C
(a)5sec, (b)10sec, (c)20sec

각 모델의 계산 영역은 가로×세로 10×10m 이며, 각각의 셀은 0.5×0.5m 로 구성하여 1개의 계산 셀에는 1명의 여객만이 점유하는 것으로 하였다.

입구 셀에서 단위시간당 여객들이 1명씩 유입되며, 출구 셀에서 유출된다. 계산 시간은 여객의 평상시의 평균 보행속도가 V_{ave}=1.0~1.2 m/s 이고, 셀의 크기가 ΔL=0.5m 이므로, 보행속도의 하한치를 기준으로 $\Delta t = \Delta L / V_{ave}$=0.5sec로 하였다. 화재 및 피난과 같은 긴급 상황의 경우는 이동 속도가 더 빨라지므로 단위 계산 시간의 크기는 이에 반비례하여 작아진다.

모델 A, B의 경우는 입구 셀에서 계속 여객이 유입되는 경우를 가정하여 해석한 경우이며, 모델 C는 일정시간 동안만 여객이 유입되는 경우를 가정한 것이다. 각각의 모델에 대한 해석 결과를 <그림 3-152>~<그림 3-154>에 나타내었다. 모델 A, B의 경우, 여객이 유입되는 면적이 유출되는 면적의 2배에 해당되는데다 계산 시간 동안 계속 여객이 유입되므로 입구의 혼잡도가 증가됨을 알 수 있으며, 모델 C의 경우는 일정 시간 이후는 여객이 유입되지 않으므로 건물내부로 유입된 여객들은 시간이 경과함에 따라 점진적으로 유출된다. 또한, 좌우 유입구로부터 개찰구까지의 거리 차이로 인하여 일정 시간 경과후의 좌우 개찰구 근방에 남아 있는 여객수에도 차이가 남을 알 수 있다.

한편, 지하역사 모델의 간이모델은 <그림 3-155>에 나타낸 것과 같이 지하 1층이 가로×세로 10.5×6.5m, 지하 2층이 가로×세로 11.5×4.5m이며, 각각의 셀은 0.5×0.5m로 구성하였다. 계산모델의 형상을 각각의 셀(cell) 기준으로 정하는 것을 첨부 프로그램의 BLOCK DATA에서 하며, 예를 들면, 지하 1층 및 2층 모델에 대한 것을 다음과 같이 지정한다.

<그림 3-155>에서 지하 2층의 경우, 벽면은 외곽의 음영 처리된 부분의 셀이므로 x,y방향의 셀번호를 지정하여 벽면셀을 구성한다.

아래쪽 블록은 x방향이 1~25, y방향이 1이므로

NWLW1 : 1, NWLE1 : 25, NWLS1 : 1, NWLN1 : 1

좌측 블록은 x방향이 1, y방향이 1~11이므로

NWLW1 : 1, NWLE1 : 1, NWLS1 : 1, NWLN1 : 11

상방의 블록은 x방향이 1~25, y방향이 11이므로

NWLW1 : 1, NWLE1 : 25, NWLS1 : 11, NWLN1 : 11

우측 블록은 x방향이 25, y방향이 1~11이므로

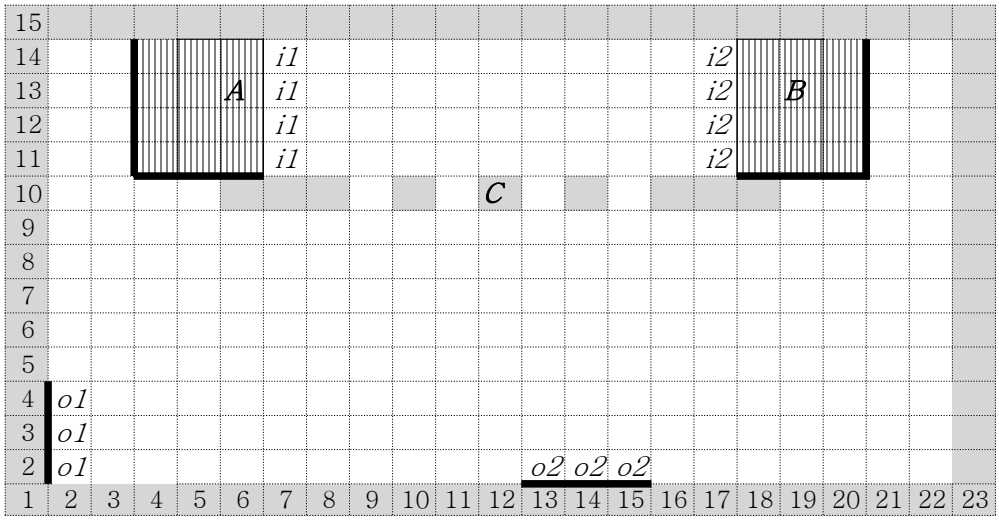
NWLW1 : 25, NWLE1 : 25, NWLS1 : 1, NWLN1 : 11

이와 같이, 사각형으로 구성된 블록의 상하좌우 방향의 셀 번호를 지정하여 벽면 혹은 계단 부분의 셀을 입력 파라메타로 설정한다.

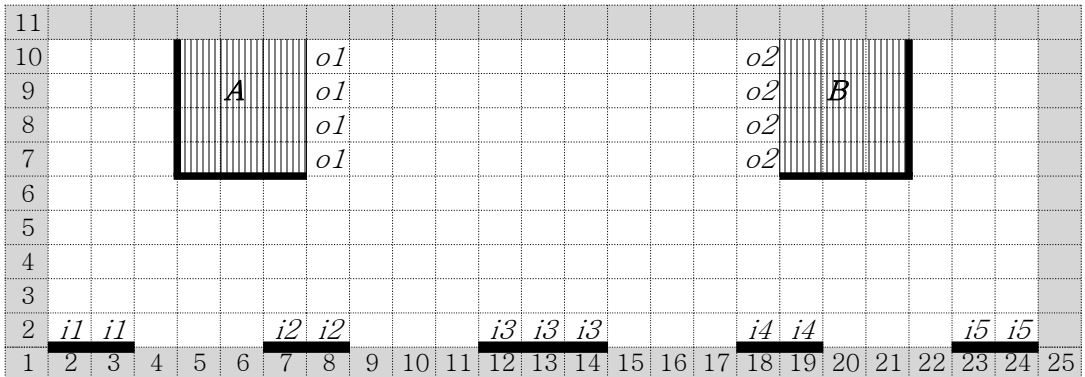
이와 같은 블록 지정은 지하 1층 모델 내부에 있는 C셀의 경우도 마찬가지로

NWLW1 : 12, NWLE1 : 12, NWLS1 : 10, NWLN1 : 10

과 같이 지정한다.



(a) Basement 1



(b) Basement 2

<그림 3-155> Calculation Model for Simplified Station

계산영역내부의 셀에 대하여 입구셀(i1～i5)과 출구셀(o1～o2)블록에 대한 지정을 다음과 같이 한다.

NINW1 : 2,　　NINE1 : 3,　　NINS1 : 2,　　NINN1 : 2

.

.

.

NEXW1 : 8,　　NEXE1 : 8,　　NEXS1 : 7,　　NEXN1 : 10

.

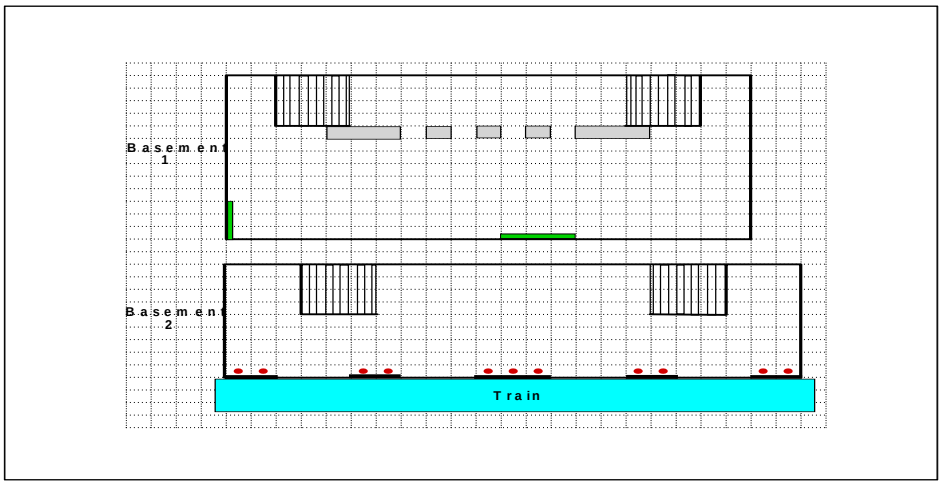
또한, 각층간의 연결부인 계단의 경우, 지하 2층의 출구셀(o1～o2)은 지하 1층의 입구셀(i1～i2)과 연결되므로 이에 대한 지정이 필요하다. 즉, 지하 2층 출구셀의 i,j번호와 지하 1층 입구셀의 i,j번호와의 차이를 지정한다.

계단 A의 경우　ISFT(8,J) =-1, JSFT(8,J)=4　　이때 J=7～10

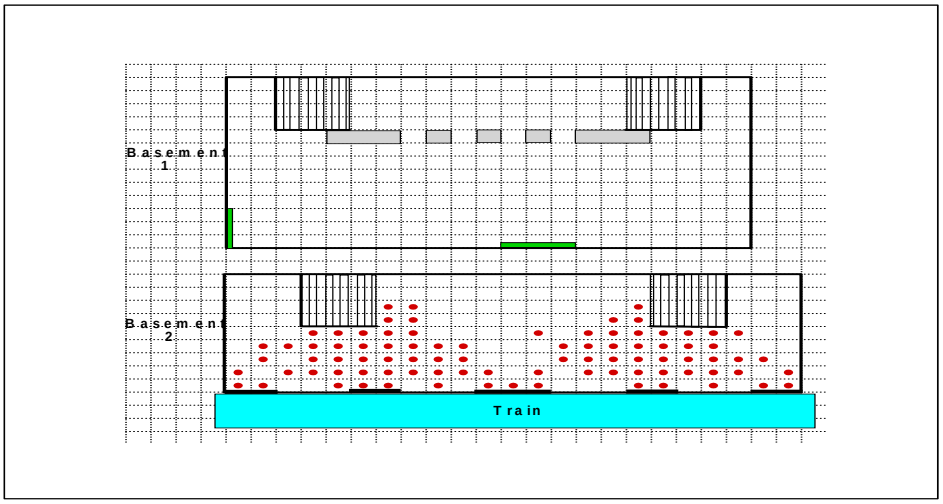
계단 B의 경우　ISFT(18,J) =-1, JSFT(18,J)=4　　이때 J=7～10

그 외에 총계산시간 TTIME과 입구로 유입되는 시간 INTIME(예를 들면, 전동차의 문이 개폐되는 시간이 10초로 이 시간 동안에 계산 영역으로 여객이 유입되는 경우) 유한한 값(10)을 지정한다. 입구 셀에서 단위시간당 여객들이 1명씩 유입되며, 출구 셀에서 유출된다. DT는 단위 계산 시간을 의미하며, 전체 보행자의 유동속도를 빠르게 할 경우는 DT값을 줄여서 단위 시간당 이동속도를 조절할 수 있다. 즉, 계산 시간은 여객의 평상시의 평균 보행속도가 V_{ave}=1.0～1.414 m/s 이고, 셀의 크기가 ΔL=0.5m 이므로, 보행속도의 하한치를 기준으로 $\Delta t = \Delta L / V_{ave}$=0.5sec로 하였다. 화재 및 피난과 같은 긴급 상황의 경우는 이동 속도가 더 빨라지므로 단위 계산 시간의 크기는 이에 반비례하여 작아진다. HGT는 층간의 높이를 지정하여 계단 또는 에스컬레이터로 층간을 이동하는 거리는 표현하며, ISEED는 랜덤번호를 생성하는 seed 숫자로서 해석시마다 달리하여 난수를 발생시킬 수 있다. 각 층별 계산 영역은 x방향은 XMIN～XMAX, y방향은 YMIN～YMAX로 설정한다.

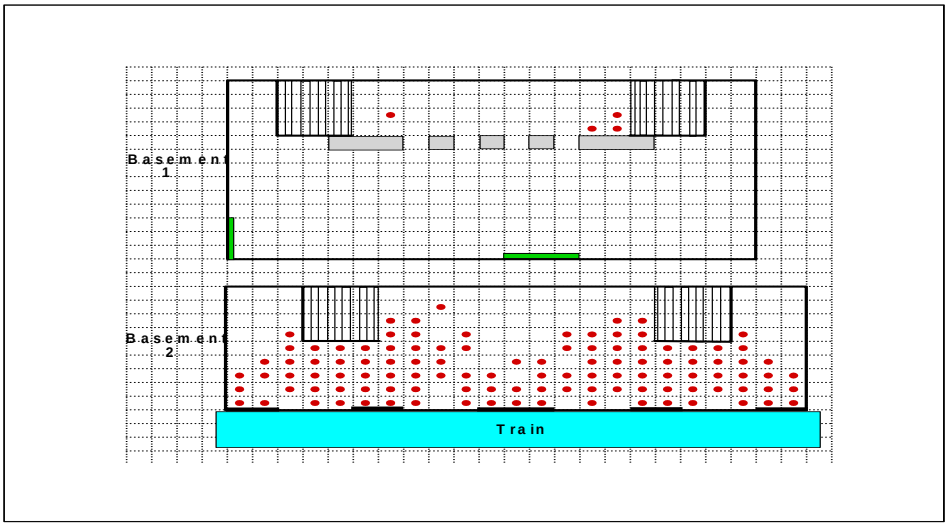
그림.3-25모델에 대한 계산 결과를 <그림3-156>에 나타내었다. 시간경과와 더불어 지하2층의 전동차 출입문에서 나온 여객들이 계단 및 개찰구를 통하여 지하 1층 출구로 이동하는 현상을 재현할 수 있음을 알 수 있다.



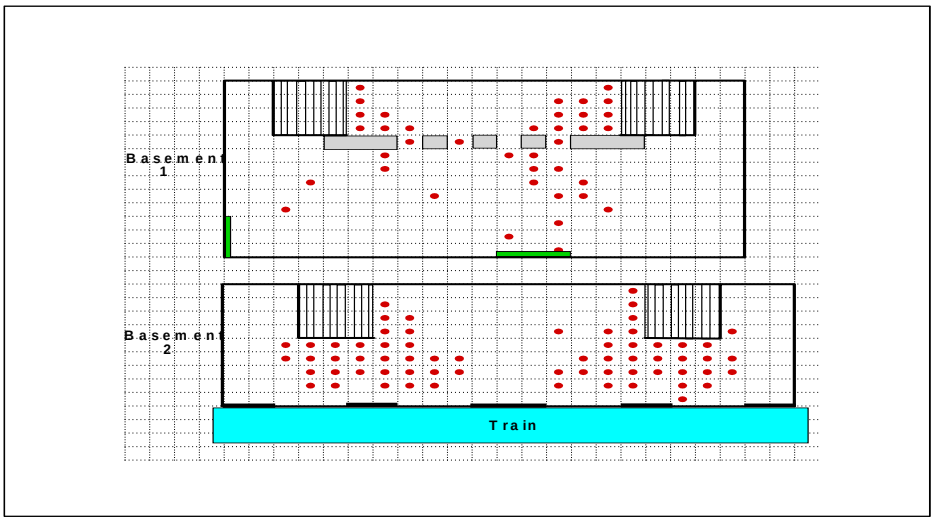
(a) 0 sec



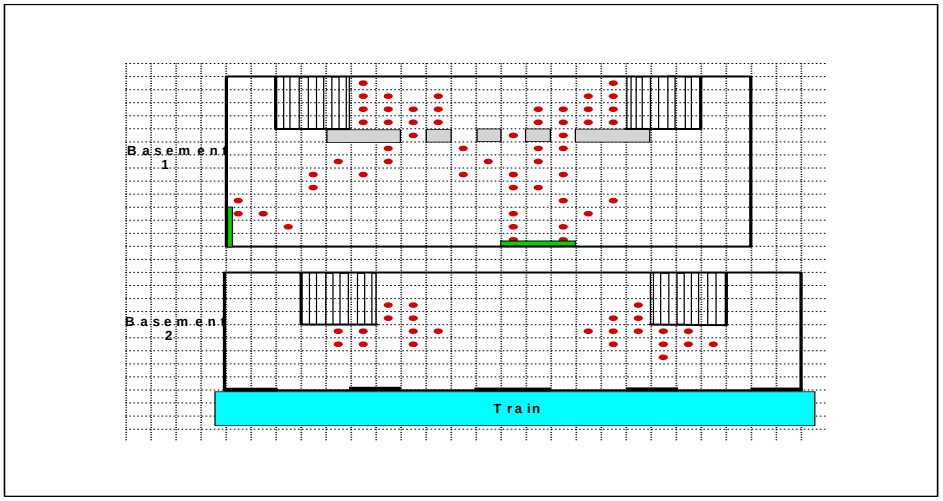
(b) 10 sec



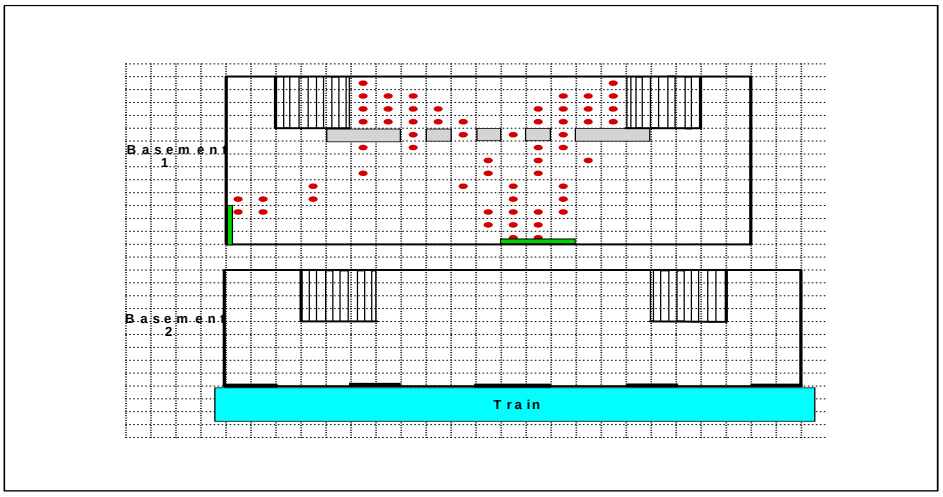
(c) 20 sec



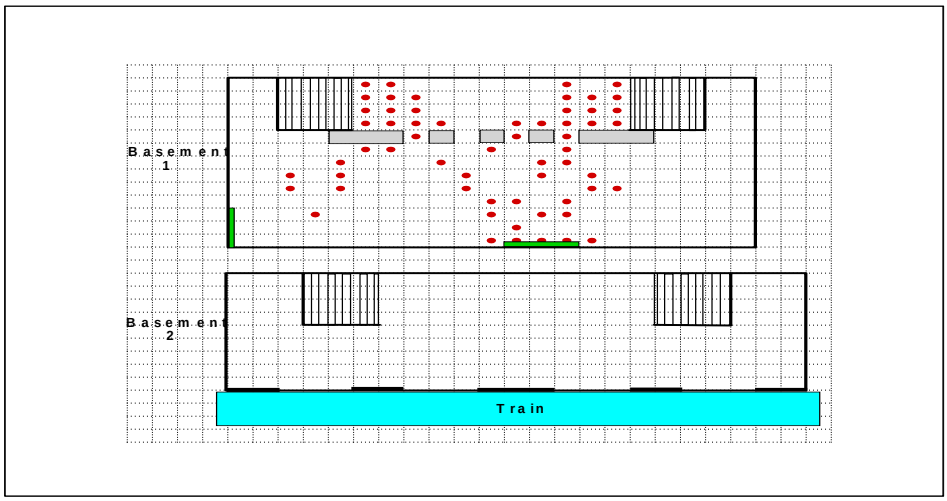
(d) 30 sec



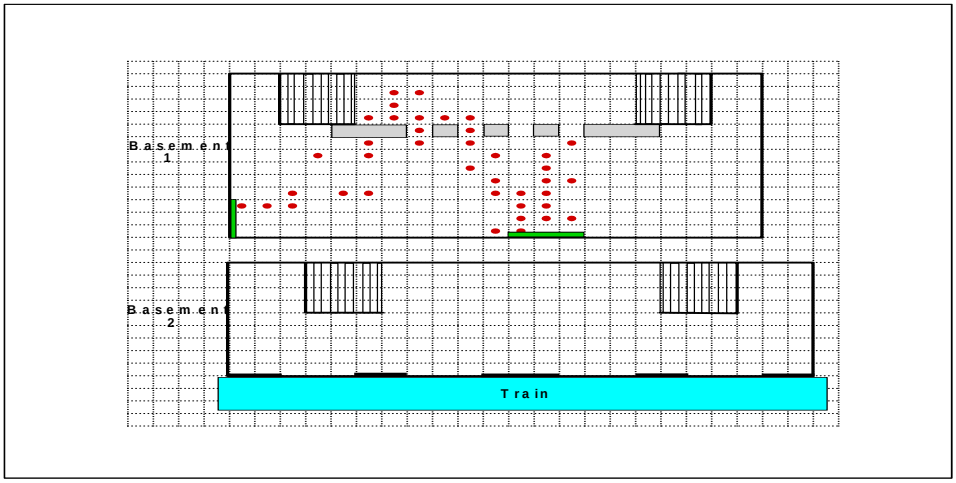
(e) 40 sec



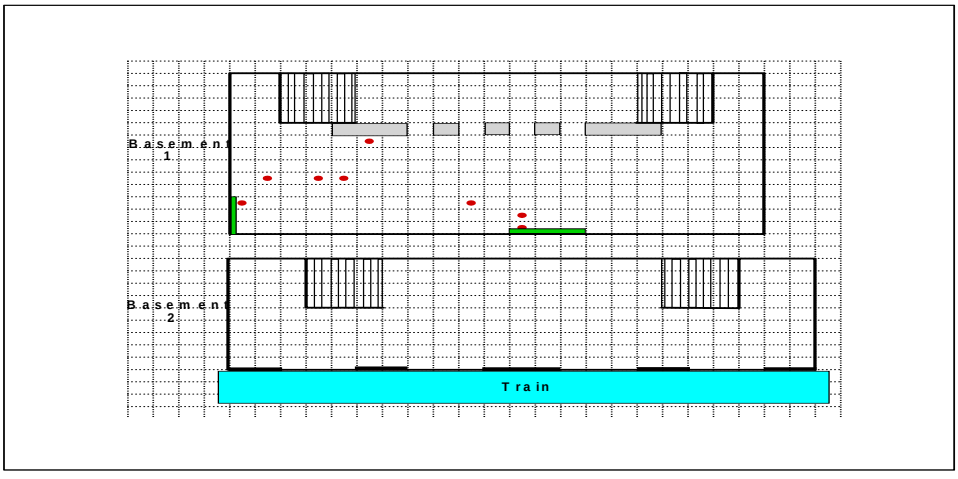
(f) 50 sec



(g) 60 sec



(h) 70 sec



(i) 80 sec

<그림 3-156> Results for Calculation Model

```
C*****
C**** Analysis program for Passenger flow (passenger_80.for) *********
C*****
      CHARACTER*12 FILE1
C
      COMMON/CTRL/   INTIME,TIME,ISEED,TTIME,ITIME,DL,DT,NFL,HGT,
     &               NTS(3),NTP(3),NTSU(3),ISFT(100,100,3),
     &               JSFT(100,100,3),IFOR(100,100,3),IFORO(100,100,3),
     &               VX(100,100,3),VY(100,100,3),NP(100,100,3),
     &               NPO(100,100,3),IDIR(100,100,3),JDIR(100,100,3),
     &               THETA(100,100,3),ICEL(1000,3),JCEL(1000,3),
     &               KCEL(1000,3)
      COMMON/BLK1/   NINLET1,NEXIT1,NWALL1,NSTEP1,
     &               NEXE1(100),NEXW1(100),NEXS1(100),NEXN1(100),
     &               NWLE1(100),NWLW1(100),NWLS1(100),NWLN1(100),
     &               NSTE1(100),NSTW1(100),NSTS1(100),NSTN1(100),
     &               NINE1(100),NINW1(100),NINS1(100),NINN1(100)
      COMMON/BLK2/   NINLET2,NEXIT2,NWALL2,NSTEP2,
     &               NEXE2(100),NEXW2(100),NEXS2(100),NEXN2(100),
     &               NWLE2(100),NWLW2(100),NWLS2(100),NWLN2(100),
     &               NSTE2(100),NSTW2(100),NSTS2(100),NSTN2(100),
     &               NINE2(100),NINW2(100),NINS2(100),NINN2(100)
      COMMON/GRID1/ NI(3),NJ(3),NIP(3),NJP(3),NIM(3),NJM(3),NZ,
     &               IFORMAX(3),XMAX(3),XMIN(3),YMAX(3),YMIN(3),
     &               X1(100),Y1(100),Z1(100),X2(100),Y2(100),
     &               XC1(100),YC1(100),ZC1(100),XC2(100),YC2(100)
C
C     ************************************************************
C     DATA LIST
C     I:X방향,  J:Y방향,  K:층,  M:여객번호
C
C     DL : Cell 크기 (0.5m)
C     DT : 1 Step 계산시간 (DT = DL/V_max)
C     TTIME : 총 계산시간 (sec)
C     HGT : 1~2층간 높이 (예 : 3m)
C     ICEL(M,K) : 여객 M의 X 방향 셀번호
C     IFOR(I,J,K) : 각 Mesh 정보 ( 1이상 평지, -1=계단, -2=벽)
C     IFORMAX(K)  : K층 IFOR 값 중에서 최대값
C     IFORO(I,J,K) : 각 Mesh 임시정보 ( 1이상 평지, -1=계단, -2=벽)
C     IDIR(I,J,K) : (I,J)셀에 있는 여객의 I 이동방향
C     INLETE-S(L,K) : 입구 블럭 L(Cell번호), K=1:1층  2:2층
C     INTIME  : 입구에서 여객이 유입되는 총시간(sec)
C     ISEED  : Random 수를 생성하기 위한 초기 seed값 큰 홀수(425001)
C     ISFT(I,J,K) : 1-2층간 계단 이동으로 인한 I방향 셀번호 이동량
C     JCEL(M,K) : K층 여객 M의 Y 방향 셀번호
C     JDIR(I,J,K) : K층 (I,J)셀에 있는 여객의 J 이동방향
C     JSFT(I,J,K) : 1-2층간 계단 이동으로 인한 J방향 셀번호 이동량
C     NEXIT1 : 1층의 출구의 갯수
C     NEXITE-S(L,K) : 출구 블럭 L(Cell번호), K=1:1층  2:2층
C     NFL : 층수
```

```
C      NINLET1  : 1층 입구의 갯수
C      NI(K) : K층 X방향 Cell grid 갯수
C      NIP(K) : K층의 NI+1
C      NJ(K) : K층 Y방향 Cell grid 갯수
C      NJP(K) : K층의 NJ+1
C      NP(I,J,K) : K층  셀(I,J) 내의 여객수  (시간 t+dt)
C      NPO(I,J,K) : K층  셀(I,J) 내의 여객수 (시간 t)
C      NSTEP1 : 1층의 계단의 갯수
C      NSTEPE-S(L,K) : 계단 블럭 L(Cell번호), K=1:1층  2:2층
C      NTIME : 총계산 time step 수(총계산시간 TTIME /시간간격 DT)
C      NTP(K)  : K층에 있는 총 여객수(Total passenger)
C      NTS(K)   : k층 계단에 있는 총 여객수
C      NTSU(K)  : K층 계단에서 윗층으로 갈 여객수 (NZ 이상)
C      NWALL1 : 1층의 벽면의 갯수
C      NWALLE-S(L,K) : 벽면 블럭 L(Cell번호), K=1:1층  2:2층
C      SIFOR : IFOR값의 합계
C      THETA(I,J,K) : K층 (I,J)셀의 주방향과 x축이 이루는 각도
C      TTIME : 총 해석 시간 (total time)
C      VX(I,J,K) : K층 (I,J)셀의 X방향 단위벡터
C      VY(I,J,K) : K층 (I,J)셀의 Y방향 단위벡터
C      X1(I) : 1층 X방향 I번째 Cell grid 좌표
C      XC1(I) : 1층 X방향 I번째 Cell 중심 X 좌표
C      XMAX(K) : K층의 Dimension X방향 끝좌표
C      XMIN(K) : K층의 Dimension X방향 시작좌표
C      XYC  : (I,J) 중심에서 주변셀 중심까지 직선 거리
C      Y1(J) : 1층 Y방향 J번째 Cell grid 좌표
C      YC1(J) : 1층 Y방향 J번째 Cell 중심 Y 좌표
C      YMAX(K) : K층의 Dimension Y방향 끝좌표
C      YMIN(K) : K층의 Dimension Y방향 시작좌표
C      ************************************************************
C
       CALL GRID
       CALL IFORS
       CALL INITIAL
       CALL POTENTIAL
       CALL UNIT_VECTOR
C *****  TIME MARCHING (DT간 여객 이동시킴)
       TIME=0.0
       NTIME=INT(TTIME/DT)
C ***
       DO 1100 ITIME=1, NTIME
       TIME=TIME+DT
       CALL MOVE_1ST
       CALL MOVE_STEP1
       CALL MOVE_2ND
C ***
       NTP12=NTP(1)+NTP(2)
       IF(NTP12.LT.1) GOTO 1234
C
       OPEN(33,FILE='TMPFILE')
       REWIND 33
C
       IF (ITIME .LT. 10) THEN
       WRITE(33,11) ITIME
```

```
      ELSE IF(ITIME.GE.10 .AND. ITIME.LT.100) THEN
      WRITE(33,12) ITIME
      ELSE IF(ITIME.GE.100 .AND. ITIME.LT.1000) THEN
      WRITE(33,13) ITIME
      ELSE IF(ITIME.GE.1000 .AND. ITIME.LT.10000) THEN
      WRITE(33,14) ITIME
      ELSE IF(ITIME.GE.10000) THEN
      WRITE(33,15) ITIME
      END IF
C
      REWIND 33
      READ (33,*) FILE1
      CLOSE(33)
C
   11 FORMAT('OUT',I1,'.DAT')
   12 FORMAT('OUT',I2,'.DAT')
   13 FORMAT('OUT',I3,'.DAT')
   14 FORMAT('OUT',I4,'.DAT')
   15 FORMAT('OUT',I5,'.DAT')
C
      OPEN(9, FILE=FILE1)
C
      CALL PRINTS
      CLOSE(9)
C
 1100 CONTINUE
C
 1234 CONTINUE
      STOP
      END
C
C     ************************************************************
      SUBROUTINE INPUT_SET
C
C     계산영역 설정, POTENTIAL MAP, 단위벡터 구함
C
      COMMON/CTRL/  INTIME,TIME,ISEED,TTIME,ITIME,DL,DT,NFL,HGT,
     &           NTS(3),NTP(3),NTSU(3),ISFT(100,100,3),
     &           JSFT(100,100,3),IFOR(100,100,3),IFORO(100,100,3),
     &           VX(100,100,3),VY(100,100,3),NP(100,100,3),
     &           IDIR(100,100,3),JDIR(100,100,3),THETA(100,100,3),
     &           ICEL(1000,3),JCEL(1000,3),KCEL(1000,3),
     &           NPO(100,100,3)
      COMMON/BLK1/  NINLET1,NEXIT1,NWALL1,NSTEP1,
     &           NEXE1(100),NEXW1(100),NEXS1(100),NEXN1(100),
     &           NWLE1(100),NWLW1(100),NWLS1(100),NWLN1(100),
     &           NSTE1(100),NSTW1(100),NSTS1(100),NSTN1(100),
     &           NINE1(100),NINW1(100),NINS1(100),NINN1(100)
      COMMON/BLK2/  NINLET2,NEXIT2,NWALL2,NSTEP2,
     &           NEXE2(100),NEXW2(100),NEXS2(100),NEXN2(100),
     &           NWLE2(100),NWLW2(100),NWLS2(100),NWLN2(100),
     &           NSTE2(100),NSTW2(100),NSTS2(100),NSTN2(100),
     &           NINE2(100),NINW2(100),NINS2(100),NINN2(100)
      COMMON/GRID1/ NI(3),NJ(3),NIP(3),NJP(3),NIM(3),NJM(3),NZ,
```

```
     &          IFORMAX(3),XMAX(3),XMIN(3),YMAX(3),YMIN(3),
     &          X1(100),Y1(100),Z1(100),X2(100),Y2(100),
     &          XC1(100),YC1(100),ZC1(100),XC2(100),YC2(100)
C
      DIMENSION       ID(10), SIFOR(10), XYC(10)
C
C     ------------------------------------------------------
      ENTRY GRID
C
C     1층에 대한 GRID 작성 NI(1), NJ(1), X1(1), Y1(1), XC1(1), YC1(1)
C
      K=1
      XSIZE=XMAX(K)-XMIN(K)
      YSIZE=YMAX(K)-YMIN(K)
      NI(K)=INT(XSIZE/DL)+1
      NJ(K)=INT(YSIZE/DL)+1
C
      X1(K)=XMIN(K)
      Y1(K)=YMIN(K)
      DO 1000 I=2,NI(K)
      X1(I)=X1(I-1)+DL
 1000 CONTINUE
      DO 1010 J=2,NJ(K)
      Y1(J)=Y1(J-1)+DL
 1010 CONTINUE
C
      NIP(K)=NI(K)+1
      NIM(K)=NI(K)-1
      NJP(K)=NJ(K)+1
      NJM(K)=NJ(K)-1
C
C     1층 각 셀의 중심좌표 XC1(I) 및 YC1(J)를 구함
      DO 1020 I=2,NI(K)
 1020 XC1(I)=0.5*(X1(I)+X1(I-1))
      XC1(1)=X1(1)-0.5*DL
      XC1(NIP(K))=X1(NI(K))+0.5*DL
      DO 1030 J=2,NJ(K)
 1030 YC1(J)=0.5*(Y1(J)+Y1(J-1))
      YC1(1)=Y1(1)-0.5*DL
      YC1(NJP(K))=Y1(NJ(K))+0.5*DL
C
C     2층에 대한 GRID 작성 NI(2), NJ(2), X2(1), Y2(1), XC2(1), YC2(1)
C
      K=2
      XSIZE=XMAX(K)-XMIN(K)
      YSIZE=YMAX(K)-YMIN(K)
      NI(K)=INT(XSIZE/DL)+1
      NJ(K)=INT(YSIZE/DL)+1
C
      X2(K)=XMIN(K)
      Y2(K)=YMIN(K)
      DO 1100 I=2,NI(K)
      X2(I)=X2(I-1)+DL
 1100 CONTINUE
```

```
      DO 1110 J=2,NJ(K)
      Y2(J)=Y2(J-1)+DL
 1110 CONTINUE
C
      NIP(K)=NI(K)+1
      NIM(K)=NI(K)-1
      NJP(K)=NJ(K)+1
      NJM(K)=NJ(K)-1
C     각 셀의 중심좌표 XC2(I) 및 YC2(J)를 구함
      DO 1120 I=2,NI(K)
 1120 XC2(I)=0.5*(X2(I)+X2(I-1))
      XC2(1)=X2(1)-0.5*DL
      XC2(NIP(K))=X2(NI(K))+0.5*DL
      DO 1130 J=2,NJ(K)
 1130 YC2(J)=0.5*(Y2(J)+Y2(J-1))
      YC2(1)=Y2(1)-0.5*DL
      YC2(NJP(K))=Y2(NJ(K))+0.5*DL
C
C     계단에 대한 GRID 작성 (Z방향)
      HSTEP=2*HGT
      NZ=INT(HSTEP/DL)+1
      Z1(1)=0.0
      DO 1200 L=2, NZ
      Z1(L)=Z1(L-1)+DL
      ZC1(L)=0.5*(Z1(L)+Z1(L-1))
 1200 CONTINUE
C
      RETURN
C
C     ------------------------------------------------------
      ENTRY INITIAL
C
C     1, 2층에 대한 초기값
      DO 1300 K=1, NFL
      NTP(K)=0
      NTS(K)=0
      NTSU(K)=0
      DO 1300 J=1, NJP(K)
      DO 1300 I=1, NIP(K)
      VX(I,J,K)=0.0
      VY(I,J,K)=0.0
      THETA(I,J,K)=0.0
      IDIR(I,J,K)=0
      JDIR(I,J,K)=0
      NP(I,J,K)=0
      NPO(I,J,K)=0
 1300 CONTINUE
C
        RETURN
C
C     ------------------------------------------------------
      ENTRY POTENTIAL
C
C     1, 2층의 포텐셜 맵(potential map) 을 작성 (1부터 -> 2, 3, 4 ...)
```

```
C
      DO 2999 K=1, NFL
 2599 DO 2200 J=2, NJ(K)
      DO 2200 I=2, NI(K)
C----(I,J) 셀의 IFOR 값을 이미 알고 있는 경우 통과 (0 이외값)
      IF(IFOR(I,J,K).NE.0) GOTO 2200
C----주변 8개 셀을 1차원으로 나열함
      ID(1)=IFORO(I+1,J,K)
      ID(2)=IFORO(I+1,J+1,K)
      ID(3)=IFORO(I,J+1,K)
      ID(4)=IFORO(I-1,J+1,K)
      ID(5)=IFORO(I-1,J,K)
      ID(6)=IFORO(I-1,J-1,K)
      ID(7)=IFORO(I,J-1,K)
      ID(8)=IFORO(I+1,J-1,K)
C----(I,J) 주변셀이 모두 0 이하인 경우(0, -1, -2) 통과
      IJ=0
      DO 2250 L=1, 8
      IF(ID(L).LE.0) IJ=IJ+1
 2250 CONTINUE
      IF(IJ.EQ.8) GOTO 2200
C----주변셀중 최소값을 가진 CELL을 찾아 1을 더함
      DO 2300 L=1, 8
      IF(ID(L).LE.0) GOTO 2300
      IS=ID(L)
      L1=L+1
      GOTO 2350
 2300 CONTINUE
 2350 DO 2400 K1=L1, 8
      IF(ID(K1).LE.IS.AND.ID(K1).GT.0) IS=ID(K1)
 2400 CONTINUE
      IFOR(I,J,K)=IS+1
 2200 CONTINUE
C----다음계산을 위하여 IFOR값을 IFORO로 대체하고
C----영역내에 0값이 있으면 반복함 (GOTO 2599)
      DO 2450 J=2, NJ(K)
      DO 2450 I=2, NI(K)
 2450 IFORO(I,J,K)=IFOR(I,J,K)
      DO 2500 J=2, NJ(K)
      DO 2500 I=2, NI(K)
      IF(IFOR(I,J,K).EQ.0) GOTO 2599
 2500 CONTINUE
C----IFOR 최대값을 구함,  MOVEMENT에서 사용
      IFORMAX(K)=0
      DO 2550 J=2, NJ(K)
      DO 2550 I=2, NI(K)
      IF(IFOR(I,J,K).GT.IFORMAX(K)) IFORMAX(K)=IFOR(I,J,K)
 2550 CONTINUE
 2999 CONTINUE
C
      RETURN
C
C     ------------------------------------------------
      ENTRY UNIT_VECTOR
```

```
C
C----PI, BIGNO=IFOR용 큰수,  SMLNO=VX,VY용 작은수
      PI=3.141592654
      BIGNO=1000000.
      SMLNO=1.0E-4
C
C----1층의 단위벡터 VX, VY 구함
      K=1
      DO 3100 J=2, NJ(K)
      DO 3100 I=2, NI(K)
C----IFOR(I,J)가 음수이면 벽이나 계단이므로 불필요
      IF(IFOR(I,J,K).LT.0) GOTO 3100
C----IFOR(I,J)값 2이상인 셀의 방향벡터를 정함 (문번호 4000 전까지)
C----각 방향의 7개의 IFOR값 합 구함(+값까지)  9개까지 할 경우 LL=9로 고침
      LL=7
C---- I: +1 방향의 첫번째 셀이 벽이면 SIFOR에 큰값을 주고 다음 방향으로 감
      IF (IFOR(I+1,J,K).LT.0) THEN
      SIFOR(1)=BIGNO
      GOTO 3300
      ENDIF
C---- I= +1 방향의 IFOR값 합을 구함(+까지)
      SIFOR(1)=0
      XYC(1)=SQRT((XC1(I+1)-XC1(I))**2+(YC1(J)-YC1(J))**2)
      II=I
      DO 3200 L=1, LL
      II=II+1
      IF(IFOR(II,J,K).GT.0) SIFOR(1)=IFOR(II,J,K)+SIFOR(1)
      IF(IFOR(II+1,J,K).LT.0) THEN
      SIFOR(1)=SIFOR(1)/L
      GOTO 3300
      ENDIF
 3200 CONTINUE
      SIFOR(1)=SIFOR(1)/LL
C---- I: +1, J: +1 방향의 첫번째 셀이 벽이면 SIFOR에 큰 값 대입
 3300 IF (IFOR(I+1,J+1,K).LT.0) THEN
      SIFOR(2)=BIGNO
      GOTO 3400
      ENDIF
C---- I: +1, J: +1 방향의 IFOR값 합을 구함(+값까지)
      SIFOR(2)=0
      XYC(2)=SQRT((XC1(I+1)-XC1(I))**2+(YC1(J+1)-YC1(J))**2)
      II=I
      JJ=J
      DO 3350 L=1, LL
      II=II+1
      JJ=JJ+1
      IF(IFOR(II,JJ,K).GT.0) SIFOR(2)=IFOR(II,JJ,K)+SIFOR(2)
      IF(IFOR(II+1,JJ+1,K).LT.0) THEN
      SIFOR(2)=SIFOR(2)/L
      GOTO 3400
      ENDIF
 3350 CONTINUE
      SIFOR(2)=SIFOR(2)/LL
C---- J: +1 방향의 첫번째 셀이 벽이면 SIFOR에 큰 값 대입
```

```
 3400 IF (IFOR(I,J+1,K).LT.0) THEN
      SIFOR(3)=BIGNO
      GOTO 3500
      ENDIF
C---- J: +1 방향의 IFOR값 합을 구함(+값까지)
      SIFOR(3)=0
      XYC(3)=SQRT((XC1(I)-XC1(I))**2+(YC1(J+1)-YC1(J))**2)
      JJ=J
      DO 3450 L=1, LL
      JJ=JJ+1
      IF(IFOR(I,JJ,K).GT.0) SIFOR(3)=IFOR(I,JJ,K)+SIFOR(3)
      IF(IFOR(I,JJ+1,K).LT.0) THEN
      SIFOR(3)=SIFOR(3)/L
      GOTO 3500
      ENDIF
 3450 CONTINUE
      SIFOR(3)=SIFOR(3)/LL
C---- I: -1, J: +1 방향의 첫번째 셀이 벽이면 SIFOR에 큰 값 대입
 3500 IF (IFOR(I-1,J+1,K).LT.0) THEN
      SIFOR(4)=BIGNO
      GOTO 3600
      ENDIF
C---- I: -1, J: +1 방향의 IFOR값 합을 구함(+값까지)
      SIFOR(4)=0
      XYC(4)=SQRT((XC1(I-1)-XC1(I))**2+(YC1(J+1)-YC1(J))**2)
      II=I
      JJ=J
      DO 3550 L=1, LL
      II=II-1
      JJ=JJ+1
      IF(IFOR(II,JJ,K).GT.0) SIFOR(4)=IFOR(II,JJ,K)+SIFOR(4)
      IF(IFOR(II-1,JJ+1,K).LT.0) THEN
      SIFOR(4)=SIFOR(4)/L
      GOTO 3600
      ENDIF
 3550 CONTINUE
      SIFOR(4)=SIFOR(4)/LL
C---- I: -1 방향의 첫번째 셀이 벽이면 SIFOR에 큰 값 대입
 3600 IF (IFOR(I-1,J,K).LT.0) THEN
      SIFOR(5)=BIGNO
 GOTO 3700
      ENDIF
C---- I: -1 방향의 IFOR값 합을 구함(+값까지)
      SIFOR(5)=0
      XYC(5)=SQRT((XC1(I-1)-XC1(I))**2+(YC1(J)-YC1(J))**2)
      II=I
      DO 3650 L=1, LL
      II=II-1
      IF(IFOR(II,J,K).GT.0) SIFOR(5)=IFOR(II,J,K)+SIFOR(5)
      IF(IFOR(II-1,J,K).LT.0) THEN
      SIFOR(5)=SIFOR(5)/L
      GOTO 3700
      ENDIF
 3650 CONTINUE
```

```
      SIFOR(5)=SIFOR(5)/LL
C---- I: -1, J: -1 방향의 첫번째 셀이 벽이면 SIFOR에 큰 값 대입
 3700 IF (IFOR(I-1,J-1,K).LT.0) THEN
      SIFOR(6)=BIGNO
      GOTO 3800
      ENDIF
C---- I: -1, J: -1 방향의 IFOR값 합을 구함(+값까지)
      SIFOR(6)=0
      XYC(6)=SQRT((XC1(I-1)-XC1(I))**2+(YC1(J-1)-YC1(J))**2)
      II=I
      JJ=J
      DO 3750 L=1, LL
      II=II-1
      JJ=JJ-1
      IF(IFOR(II,JJ,K).GT.0) SIFOR(6)=IFOR(II,JJ,K)+SIFOR(6)
      IF(IFOR(II-1,JJ-1,K).LT.0) THEN
      SIFOR(6)=SIFOR(6)/L
      GOTO 3800
      ENDIF
 3750 CONTINUE
      SIFOR(6)=SIFOR(6)/LL
C---- J: -1 방향의 첫번째 셀이 벽이면 SIFOR에 큰 값 대입
 3800 IF (IFOR(I,J-1,K).LT.0) THEN
      SIFOR(7)=BIGNO
      GOTO 3900
      ENDIF
C---- J: -1 방향의 IFOR값 합을 구함(+값까지)
      SIFOR(7)=0
      XYC(7)=SQRT((XC1(I)-XC1(I))**2+(YC1(J-1)-YC1(J))**2)
      JJ=J
      DO 3850 L=1, LL
      JJ=JJ-1
      IF(IFOR(I,JJ,K).GT.0) SIFOR(7)=IFOR(I,JJ,K)+SIFOR(7)
      IF(IFOR(I,JJ-1,K).LT.0) THEN
      SIFOR(7)=SIFOR(7)/L
      GOTO 3900
      ENDIF
 3850 CONTINUE
      SIFOR(7)=SIFOR(7)/LL
C---- I: +1, J: -1 방향의 첫번째 셀이 벽이면 SIFOR에 큰 값 대입
 3900 IF (IFOR(I+1,J-1,K).LT.0) THEN
      SIFOR(8)=BIGNO
      GOTO 4000
      ENDIF
C---- I: +1, J: -1 방향의 IFOR값 합을 구함(+값까지)
      SIFOR(8)=0
      XYC(8)=SQRT((XC1(I+1)-XC1(I))**2+(YC1(J-1)-YC1(J))**2)
      II=I
      JJ=J
      DO 3950 L=1, LL
      II=II+1
      JJ=JJ-1
      IF(IFOR(II,JJ,K).GT.0) SIFOR(8)=IFOR(II,JJ,K)+SIFOR(8)
      IF(IFOR(II+1,JJ-1,K).LT.0) THEN
```

```
      SIFOR(8)=SIFOR(8)/L
      GOTO 4000
      ENDIF
 3950 CONTINUE
      SIFOR(8)=SIFOR(8)/LL
C----위에서 구한 SIFOR값 8개 중에서 최소값을 갖는 방향을 찾음
C----SIFOR 값이 같으면 XYC 가 작은 쪽으로 정함
 4000 SMALL=SIFOR(1)
      SML1=XYC(1)
      IJ=1
      DO 4100 L=2,8
      IF(SIFOR(L)-SMALL) 4200, 4300, 4100
 4200 SMALL=SIFOR(L)
      IJ=L
      GOTO 4100
 4300 IF(XYC(L).LE.SML1) THEN
      SMALL=SIFOR(L)
      IJ=L
      ENDIF
 4100 CONTINUE
C----최소값의 SIFOR(I)의 I에 따라 8개 방향중 단위벡터 방향이 설정됨
      THETA(I,J,K)=PI*(IJ-1)/4
      VX(I,J,K)=COS(THETA(I,J,K))
      VY(I,J,K)=SIN(THETA(I,J,K))
 3100 CONTINUE
C----출구셀은(NEXIT 구역) 벽면으로부터 수직으로 나가게 함(재계산)
C----X=const.면 THEN문(0 or PI), Y=const.면 ELSE문(PI/2 or 3PI/2)
      DO 4500 N=1, NEXIT1
      IF(NEXW1(N).EQ.NEXE1(N)) THEN
      I1=NEXE1(N)
      J2=NEXS1(N)
      J3=NEXN1(N)
      DO 4600 J1=J2, J3
      IJ=1
      IF(IFOR(I1-1,J1,K).LT.0) IJ=3
      THETA(I1,J1,K)=PI*(IJ-1)/2
      VX(I1,J1,K)=COS(THETA(I1,J1,K))
      VY(I1,J1,K)=SIN(THETA(I1,J1,K))
 4600 CONTINUE
      ELSE
      J1=NEXS1(N)
      I2=NEXW1(N)
      I3=NEXE1(N)
      DO 4700 I1=I2, I3
      IJ=2
      IF(IFOR(I1,J1-1,K).LT.0) IJ=4
      THETA(I1,J1,K)=PI*(IJ-1)/2
      VX(I1,J1,K)=COS(THETA(I1,J1,K))
      VY(I1,J1,K)=SIN(THETA(I1,J1,K))
 4700 CONTINUE
      ENDIF
 4500 CONTINUE
C----입구셀은(INLET 구역) 벽면으로부터 수직으로 들어오게 함(재계산)
C----X=const.면 THEN문(0 or PI), Y=const.면 ELSE문(PI/2 or 3PI/2)
```

```
      DO 5500 N=1, NINLET1
      IF(NINW1(N).EQ.NINE1(N)) THEN
      I1=NINE1(N)
      J2=NINS1(N)
      J3=NINN1(N)
      DO 5510 J1=J2, J3
      IJ=1
      IF(IFOR(I1+1,J1,K).LT.0) IJ=3
      THETA(I1,J1,K)=PI*(IJ-1)/2
      VX(I1,J1,K)=COS(THETA(I1,J1,K))
      VY(I1,J1,K)=SIN(THETA(I1,J1,K))
 5510 CONTINUE
      ELSE
      J1=NINS1(N)
      I2=NINW1(N)
      I3=NINE1(N)
      DO 5520 I1=I2, I3
      IJ=2
      IF(IFOR(I1,J1+1,K).LE.0) IJ=4
      THETA(I1,J1,K)=PI*(IJ-1)/2
      VX(I1,J1,K)=COS(THETA(I1,J1,K))
      VY(I1,J1,K)=SIN(THETA(I1,J1,K))
 5520 CONTINUE
      ENDIF
 5500 CONTINUE
C---- (I,J)셀에 있는 여객의 I 이동방향, J이동방향을 구함
C---- VX가 0.5보다 크면(0, 45, 315도 방향 ) IDIR +1,
C---- (-0.5)보다 작으면(135, 180, 225도 방향) IDIR -1,
C---- 그 이외는 (90, 270도 방향) IDIR = 0
      DO 5900 J=2, NJ(K)
      DO 5900 I=2, NI(K)
      IF(VX(I,J,K).GT.0.5) THEN
      IDIR(I,J,K)=1
      ELSE IF(VX(I,J,K).LT.-0.5) THEN
      IDIR(I,J,K)=-1
      ELSE
      IDIR(I,J,K)=0
      ENDIF
      IF(VY(I,J,K).GT.0.5) THEN
      JDIR(I,J,K)=1
      ELSE IF(VY(I,J,K).LT.-0.5) THEN
      JDIR(I,J,K)=-1
      ELSE
      JDIR(I,J,K)=0
      ENDIF
 5900 CONTINUE
C---- 2층의 단위벡터 VX, VY 구함
      K=2
      DO 6100 J=2, NJ(K)
      DO 6100 I=2, NI(K)
C---- IFOR(I,J)가 음수이면 벽이나 계단이므로 불필요
        IF(IFOR(I,J,K).LT.0) GOTO 6100
C---- IFOR(I,J)값 2이상인 셀의 방향벡터를 정함 (문번호 4000 전까지)
C---- 각 방향의 5개의 IFOR값 합 구함(+값까지)  9개까지 할 경우 LL=9로 고침
```

```
      LL=5
C----  I: +1 방향의 첫번째 셀이 벽이면 SIFOR에 큰값을 주고 다음 방향으로 감
      IF (IFOR(I+1,J,K).LT.0) THEN
      SIFOR(1)=BIGNO
      GOTO 6300
      ENDIF
C---- I= +1 방향의 IFOR값 합을 구함(+까지)
      SIFOR(1)=0
      XYC(1)=SQRT((XC2(I+1)-XC2(I))**2+(YC2(J)-YC2(J))**2)
      II=I
      DO 6200 L=1, LL
      II=II+1
      IF(IFOR(II,J,K).GT.0) SIFOR(1)=IFOR(II,J,K)+SIFOR(1)
      IF(IFOR(II+1,J,K).LT.0) THEN
      SIFOR(1)=SIFOR(1)/L
      GOTO 6300
      ENDIF
 6200 CONTINUE
      SIFOR(1)=SIFOR(1)/LL
C---- I: +1, J: +1 방향의 첫번째 셀이 벽이면 SIFOR에 큰 값 대입
 6300 IF (IFOR(I+1,J+1,K).LT.0) THEN
      SIFOR(2)=BIGNO
      GOTO 6400
      ENDIF
C---- I: +1, J: +1 방향의 IFOR값 합을 구함(+값까지)
      SIFOR(2)=0
      XYC(2)=SQRT((XC2(I+1)-XC2(I))**2+(YC2(J+1)-YC2(J))**2)
      II=I
      JJ=J
      DO 6350 L=1, LL
      II=II+1
      JJ=JJ+1
      IF(IFOR(II,JJ,K).GT.0) SIFOR(2)=IFOR(II,JJ,K)+SIFOR(2)
      IF(IFOR(II+1,JJ+1,K).LT.0) THEN
      SIFOR(2)=SIFOR(2)/L
      GOTO 6400
      ENDIF
 6350 CONTINUE
      SIFOR(2)=SIFOR(2)/LL
C---- J: +1 방향의 첫번째 셀이 벽이면 SIFOR에 큰 값 대입
 6400 IF (IFOR(I,J+1,K).LT.0) THEN
      SIFOR(3)=BIGNO
      GOTO 6500
      ENDIF
C---- J: +1 방향의 IFOR값 합을 구함(+값까지)
      SIFOR(3)=0
      XYC(3)=SQRT((XC2(I)-XC2(I))**2+(YC2(J+1)-YC2(J))**2)
      JJ=J
      DO 6450 L=1, LL
      JJ=JJ+1
      IF(IFOR(I,JJ,K).GT.0) SIFOR(3)=IFOR(I,JJ,K)+SIFOR(3)
      IF(IFOR(I,JJ+1,K).LT.0) THEN
      SIFOR(3)=SIFOR(3)/L
      GOTO 6500
```

```
      ENDIF
 6450 CONTINUE
      SIFOR(3)=SIFOR(3)/LL
C---- I: -1, J: +1 방향의 첫번째 셀이 벽이면 SIFOR에 큰 값 대입
 6500 IF (IFOR(I-1,J+1,K).LT.0) THEN
      SIFOR(4)=BIGNO
      GOTO 6600
      ENDIF
C---- I: -1, J: +1 방향의 IFOR값 합을 구함(+값까지)
      SIFOR(4)=0
      XYC(4)=SQRT((XC2(I-1)-XC2(I))**2+(YC2(J+1)-YC2(J))**2)
      II=I
      JJ=J
      DO 6550 L=1, LL
      II=II-1
      JJ=JJ+1
      IF(IFOR(II,JJ,K).GT.0) SIFOR(4)=IFOR(II,JJ,K)+SIFOR(4)
      IF(IFOR(II-1,JJ+1,K).LT.0) THEN
      SIFOR(4)=SIFOR(4)/L
      GOTO 6600
      ENDIF
 6550 CONTINUE
      SIFOR(4)=SIFOR(4)/LL
C---- I: -1 방향의 첫번째 셀이 벽이면 SIFOR에 큰 값 대입
 6600 IF (IFOR(I-1,J,K).LT.0) THEN
      SIFOR(5)=BIGNO
      GOTO 6700
      ENDIF
C---- I: -1 방향의 IFOR값 합을 구함(+값까지)
      SIFOR(5)=0
      XYC(5)=SQRT((XC2(I-1)-XC2(I))**2+(YC2(J)-YC2(J))**2)
      II=I
      DO 6650 L=1, LL
      II=II-1
      IF(IFOR(II,J,K).GT.0) SIFOR(5)=IFOR(II,J,K)+SIFOR(5)
      IF(IFOR(II-1,J,K).LT.0) THEN
      SIFOR(5)=SIFOR(5)/L
      GOTO 6700
      ENDIF
 6650 CONTINUE
      SIFOR(5)=SIFOR(5)/LL
C---- I: -1, J: -1 방향의 첫번째 셀이 벽이면 SIFOR에 큰 값 대입
 6700 IF (IFOR(I-1,J-1,K).LT.0) THEN
      SIFOR(6)=BIGNO
      GOTO 6800
      ENDIF
C---- I: -1, J: -1 방향의 IFOR값 합을 구함(+값까지)
      SIFOR(6)=0
      XYC(6)=SQRT((XC2(I-1)-XC2(I))**2+(YC2(J-1)-YC2(J))**2)
      II=I
      JJ=J
      DO 6750 L=1, LL
      II=II-1
      JJ=JJ-1
```

```
      IF(IFOR(II,JJ,K).GT.0) SIFOR(6)=IFOR(II,JJ,K)+SIFOR(6)
      IF(IFOR(II-1,JJ-1,K).LT.0) THEN
      SIFOR(6)=SIFOR(6)/L
      GOTO 6800
      ENDIF
 6750 CONTINUE
      SIFOR(6)=SIFOR(6)/LL
C---- J: -1 방향의 첫번째 셀이 벽이면 SIFOR에 큰 값 대입
 6800 IF (IFOR(I,J-1,K).LT.0) THEN
      SIFOR(7)=BIGNO
      GOTO 6900
      ENDIF
C---- J: -1 방향의 IFOR값 합을 구함(+값까지)
      SIFOR(7)=0
      XYC(7)=SQRT((XC2(I)-XC2(I))**2+(YC2(J-1)-YC2(J))**2)
      JJ=J
      DO 6850 L=1, LL
      JJ=JJ-1
      IF(IFOR(I,JJ,K).GT.0) SIFOR(7)=IFOR(I,JJ,K)+SIFOR(7)
      IF(IFOR(I,JJ-1,K).LT.0) THEN
      SIFOR(7)=SIFOR(7)/L
      GOTO 6900
      ENDIF
 6850 CONTINUE
      SIFOR(7)=SIFOR(7)/LL
C---- I: +1, J: -1 방향의 첫번째 셀이 벽이면 SIFOR에 큰 값 대입
 6900 IF (IFOR(I+1,J-1,K).LT.0) THEN
      SIFOR(8)=BIGNO
      GOTO 7000
      ENDIF
C---- I: +1, J: -1 방향의 IFOR값 합을 구함(+값까지)
      SIFOR(8)=0
      XYC(8)=SQRT((XC2(I+1)-XC2(I))**2+(YC2(J-1)-YC2(J))**2)
      II=I
      JJ=J
      DO 6950 L=1, LL
      II=II+1
      JJ=JJ-1
      IF(IFOR(II,JJ,K).GT.0) SIFOR(8)=IFOR(II,JJ,K)+SIFOR(8)
      IF(IFOR(II+1,JJ-1,K).LT.0) THEN
      SIFOR(8)=SIFOR(8)/L
      GOTO 7000
      ENDIF
 6950 CONTINUE
      SIFOR(8)=SIFOR(8)/LL
C---- 위에서 구한 SIFOR값 8개 중에서 최소값을 갖는 방향을 찾음
C---- SIFOR 값이 같으면 XYC 가 작은 쪽으로 정함
 7000 SMALL=SIFOR(1)
      SML1=XYC(1)
      IJ=1
      DO 7100 L=2,8
      IF(SIFOR(L)-SMALL) 7200, 7300, 7100
 7200 SMALL=SIFOR(L)
      IJ=L
```

```
      GOTO 7100
 7300 IF(XYC(L).LE.SML1) THEN
      SMALL=SIFOR(L)
      IJ=L
      ENDIF
 7100 CONTINUE
C---- 최소값의 SIFOR(I)의 I에 따라 8개 방향중 단위벡터 방향이 설정됨
      THETA(I,J,K)=PI*(IJ-1)/4
      VX(I,J,K)=COS(THETA(I,J,K))
      VY(I,J,K)=SIN(THETA(I,J,K))
 6100 CONTINUE
C---- 출구셀은(NEXIT 구역) 벽면으로부터 수직으로 나가게 함(재계산)
C---- X=const.면 THEN문(0 or PI), Y=const.면 ELSE문(PI/2 or 3PI/2)
      DO 7500 N=1, NEXIT2
      IF(NEXW2(N).EQ.NEXE2(N)) THEN
      I1=NEXE2(N)
      J2=NEXS2(N)
      J3=NEXN2(N)
      DO 7510 J1=J2, J3
      IJ=1
      IF(IFOR(I1-1,J1,K).LT.0) IJ=3
      THETA(I1,J1,K)=PI*(IJ-1)/2
      VX(I1,J1,K)=COS(THETA(I1,J1,K))
      VY(I1,J1,K)=SIN(THETA(I1,J1,K))
 7510 CONTINUE
      ELSE
      J1=NEXS2(N)
      I2=NEXW2(N)
      I3=NEXE2(N)
      DO 7520 I1=I2, I3
      IJ=2
      IF(IFOR(I1,J1-1,K).LT.0) IJ=4
      THETA(I1,J1,K)=PI*(IJ-1)/2
      VX(I1,J1,K)=COS(THETA(I1,J1,K))
      VY(I1,J1,K)=SIN(THETA(I1,J1,K))
 7520 CONTINUE
      ENDIF
 7500 CONTINUE
C---- 입구셀은(INLET 구역) 벽면으로부터 수직으로 들어오게 함(재계산)
C---- X=const.면 THEN문(0 or PI), Y=const.면 ELSE문(PI/2 or 3PI/2)
      DO 7600 N=1, NINLET2
      IF(NINW2(N).EQ.NINE2(N)) THEN
      I1=NINE2(N)
      J2=NINS2(N)
      J3=NINN2(N)
      DO 7610 J1=J2, J3
      IJ=1
      IF(IFOR(I1+1,J1,K).LT.0) IJ=3
      THETA(I1,J1,K)=PI*(IJ-1)/2
      VX(I1,J1,K)=COS(THETA(I1,J1,K))
      VY(I1,J1,K)=SIN(THETA(I1,J1,K))
 7610 CONTINUE
      ELSE
      J1=NINS2(N)
```

```
      I2=NINW2(N)
      I3=NINE2(N)
      DO 7620 I1=I2, I3
      IJ=2
      IF(IFOR(I1,J1+1,K).LE.0) IJ=4
      THETA(I1,J1,K)=PI*(IJ-1)/2
      VX(I1,J1,K)=COS(THETA(I1,J1,K))
      VY(I1,J1,K)=SIN(THETA(I1,J1,K))
 7620 CONTINUE
      ENDIF
 7600 CONTINUE
C---- (I,J)셀에 있는 여객의 I 이동방향, J이동방향을 구함
C---- VX가 0.5보다 크면(0, 45, 315도 방향 ) IDIR +1,
C---- (-0.5)보다 작으면(135, 180, 225도 방향) IDIR -1,
C---- 그 이외는 (90, 270도 방향) IDIR = 0
      DO 7700 J=2, NJ(K)
      DO 7700 I=2, NI(K)
      IF(VX(I,J,K).GT.0.5) THEN
      IDIR(I,J,K)=1
      ELSE IF(VX(I,J,K).LT.-0.5) THEN
      IDIR(I,J,K)=-1
      ELSE
      IDIR(I,J,K)=0
      ENDIF
      IF(VY(I,J,K).GT.0.5) THEN
      JDIR(I,J,K)=1
      ELSE IF(VY(I,J,K).LT.-0.5) THEN
      JDIR(I,J,K)=-1
      ELSE
      JDIR(I,J,K)=0
      ENDIF
 7700 CONTINUE
      RETURN
      END
C
C     ********************************************************
      SUBROUTINE MOVEMENT
C
C---- 각 층 및 계단에서의 개별 여객의 이동을 계산함
C
      COMMON/CTRL/   INTIME,TIME,ISEED,TTIME,ITIME,DL,DT,NFL,HGT,
     &               NTS(3),NTP(3),NTSU(3),ISFT(100,100,3),
     &               JSFT(100,100,3),IFOR(100,100,3),IFORO(100,100,3),
     &               VX(100,100,3),VY(100,100,3),NP(100,100,3),
     &               IDIR(100,100,3),JDIR(100,100,3),THETA(100,100,3),
     &               ICEL(1000,3),JCEL(1000,3),KCEL(1000,3),
     &               NPO(100,100,3)
      COMMON/BLK1/   NINLET1,NEXIT1,NWALL1,NSTEP1,
     &               NEXE1(100),NEXW1(100),NEXS1(100),NEXN1(100),
     &               NWLE1(100),NWLW1(100),NWLS1(100),NWLN1(100),
     &               NSTE1(100),NSTW1(100),NSTS1(100),NSTN1(100),
     &               NINE1(100),NINW1(100),NINS1(100),NINN1(100)
      COMMON/BLK2/   NINLET2,NEXIT2,NWALL2,NSTEP2,
     &               NEXE2(100),NEXW2(100),NEXS2(100),NEXN2(100),
```

```
     &                NWLE2(100),NWLW2(100),NWLS2(100),NWLN2(100),
     &                NSTE2(100),NSTW2(100),NSTS2(100),NSTN2(100),
     &                NINE2(100),NINW2(100),NINS2(100),NINN2(100)
      COMMON/GRID1/ NI(3),NJ(3),NIP(3),NJP(3),NIM(3),NJM(3),NZ,
     &                 IFORMAX(3),XMAX(3),XMIN(3),YMAX(3),YMIN(3),
     &                X1(100),Y1(100),Z1(100),X2(100),Y2(100),
     &                XC1(100),YC1(100),ZC1(100),XC2(100),YC2(100)
C
C    ------------------------------------------------------
      ENTRY MOVE_1ST
C---- 지하 2층 (K=1) 개별 여객의 이동을 계산함
      PI=3.141592654
      BIGNO=1000000.
      SMLNO=1.0E-4
C---- (IFOR=1)인 출구셀의 여객은 OUT 처리 혹은 계단처리(복층인 경우)
      K=1
      DO 2000 J=2, NJ(K)
      DO 2000 I=2, NI(K)
      IF(IFOR(I,J,K).NE.1.OR.NPO(I,J,K).EQ.0)  GOTO 2000
C---- 이동하려는 셀이 계단(-1) 혹은 출구(-2) 이면 NP=0, NTP 1감소
      I1=I+IDIR(I,J,K)
      J1=J+JDIR(I,J,K)
      IF(IFOR(I1,J1,K).LT.0) THEN
      NPO(I,J,K)=0
      NTP(K)=NTP(K)-1
      ENDIF
C---- 이동하려는 셀이 계단(-1)이면 ICEL,JCEL,KCEL 계산 준비
      ISTEP=0
      IF(IFOR(I1,J1,K).EQ.-1) ISTEP=1
      IF(ISTEP.EQ.1) THEN
      NTS(K)=NTS(K)+1
      ICEL(NTS(K),K)=I+ISFT(I,J,K)
      JCEL(NTS(K),K)=J+JSFT(I,J,K)
      KCEL(NTS(K),K)=1
      ENDIF
 2000 CONTINUE
C---- 계산영역내 IFOR값이 작은 셀부터(2,3,4..->IFORMAX) 여객 이동시킴
      III=MOD(ITIME,2)
      JJJ=(ITIME+III)/2
      JJJ=MOD(JJJ,2)
C---- I, J 의 SWEEP 방향을 교대로( 상하좌우 ) 바꿈 ; SUNSET
C---- 시작을 IS : 2~NI,  JS : 2~NJ 사이의 임의값부터 시작함
      RND=RAN(ISEED)
      IS=INT(RND*BIGNO)+1
      IS=MOD(IS,NIM(K))+2
      IE=IS+NI(K)-2
      RND=RAN(ISEED)
      JS=INT(RND*BIGNO)+1
      JS=MOD(JS,NJM(K))+2
      JE=JS+NJ(K)-2
C----
      DO 3000 L=2, IFORMAX(K)
      DO 3100 JJ=JS, JE
      J=MOD(JJ,NJP(K))
```

```
      IF(J.LT.JS) J=J+2
      IF(JJJ.EQ.0) THEN
      J=2*JS-JJ
      IF(J.LT.2) J=J+NJM(K)
      ENDIF
      DO 3100 II=IS, IE
      I=MOD(II,NIP(K))
      IF(I.LT.IS) I=I+2
      IF(III.EQ.0) THEN
      I=2*IS-II
      IF(I.LT.2) I=I+NIM(K)
      ENDIF
C---- IFOR이 L와 다르거나 NP(I,J)=0 면 다음으로...
      IF(IFOR(I,J,K).NE.L.OR.NPO(I,J,K).EQ.0) GOTO 3100
C---- 이동하려는 주 이동방향 IDIR, JDIR 에 여객이 존재하는지 여부 확인
C---- 갈려는 셀이 벽이 아닌지 확인함 : IFOR=-2
      I1=I+IDIR(I,J,K)
      J1=J+JDIR(I,J,K)
C---- IFOR값이 4이상의 셀에 대하여만 함.(IFOR이 2,3 이면 주방향으로 감)
C---- 계산상의 technique
      IF(L.LE.2) GOTO 4300
C---- 직진성을 피하기 위함(일렬로 끌려가는 현상) 60%직진, 20%좌, 20%우
      RND=RAN(ISEED)
      IF(RND.GE.0.2.AND.RND.LE.0.8) GOTO 4300
C---- 좌우에서 찾음
      IF(RND.LT.0.2) THEN
      GAKDO=THETA(I,J,K)-PI/4
      ELSE
      GAKDO=THETA(I,J,K)+PI/4
      ENDIF
      VX1=COS(GAKDO)
      VY1=SIN(GAKDO)
      IF(VX1.GT.0.5) THEN
      IDIR1=1
      ELSE IF(VX1.LT.-0.5) THEN
      IDIR1=-1
      ELSE
      IDIR1=0
      ENDIF
      IF(VY1.GT.0.5) THEN
      JDIR1=1
      ELSE IF(VY1.LT.-0.5) THEN
      JDIR1=-1
      ELSE
      JDIR1=0
      ENDIF
      I1=I+IDIR1
      J1=J+JDIR1
C---- 새로 구한 셀의 IFOR값이 더 크거나 벽이면 원래의 주 방향셀로 함
      IF(IFOR(I1,J1,K).GT.IFOR(I,J,K).OR.IFOR(I1,J1,K).LE.0) THEN
      I1=I+IDIR(I,J,K)
      J1=J+JDIR(I,J,K)
      ENDIF
C---- 이동하려는 주 이동방향 IDIR, JDIR 에 여객이 존재하는지 여부 확인 및
```

```
C---- 그 셀이 벽이 아닌지 확인함 : IFOR=-2
C---- 주방향셀로 이동함.
 4300 IF(NP(I1,J1,K).EQ.0.AND.NPO(I1,J1,K).EQ.0
     &                    .AND.IFOR(I1,J1,K).GE.1)  GOTO 4000
C---- 위에서 주 이동방향에 여객이 있으므로 다른 방향을 찾음
C---- 주방향에 대하여 45, -45, 90, -90, 135, -135도 방향 셀들을 체크함
C---- 좌우 90까지만 찾을 경우는 아래의 LR=4로 함
       RND=RAN(ISEED)
       IF(RND.GT.0.5) THEN
       NN=1
       ELSE
       NN=-1
       ENDIF
       DO 3250 LR=1, 6
       R=LR/2.0
       N=NINT(R)
       NN=-1*NN
       GAKDO=THETA(I,J,K)+PI*N*NN/4
       VX1=COS(GAKDO)
       VY1=SIN(GAKDO)
       IF(VX1.GT.0.5) THEN
       IDIR1=1
       ELSE IF(VX1.LT.-0.5) THEN
       IDIR1=-1
       ELSE
       IDIR1=0
       ENDIF
       IF(VY1.GT.0.5) THEN
       JDIR1=1
       ELSE IF(VY1.LT.-0.5) THEN
       JDIR1=-1
       ELSE
       JDIR1=0
       ENDIF
       I1=I+IDIR1
       J1=J+JDIR1
C---- 새로 구한 셀의 IFOR값이 더 크거나 벽이면 다음으로
       IF(IFOR(I1,J1,K).GT.IFOR(I,J,K).OR.IFOR(I1,J1,K).LE.0) GOTO 3250
C---- 새로 구한 셀의 NP값이 0이면 이동계산 4000
       IF(NP(I1,J1,K).EQ.0.AND.NPO(I1,J1,K).EQ.0) GOTO 4000
 3250 CONTINUE
C---- 주방향 및 45,-45, 90, -90, 135, -135 방향 셀로 갈 수 없으면 제자리에 머뭄
       NP(I,J,K)=1
       GOTO 3100
 4000 NPO(I,J,K)=0
       NP(I1,J1,K)=1
 3100 CONTINUE
 3000 CONTINUE
C---- 입구 셀에서 시간 INTIME 동안 여객 들어옴(초기조건)
       IF(TIME.GT.INTIME) GOTO 8999
       DO 1000 N=1, NINLET1
C---- 입구 셀이 X=const.면 THEN문, Y=const.면 ELSE문에서 PX, PY 정함
       IF(NINE1(N).EQ.NINW1(N)) THEN
       I1=NINE1(N)
```

```
      J2=NINS1(N)
      J3=NINN1(N)
      DO 1100 J1=J2, J3
      IF(NP(I1,J1,K).EQ.1.OR.NPO(I1,J1,K).EQ.1) GOTO 1100
      NTP(K)=NTP(K)+1
      NP(I1,J1,K)=1
 1100 CONTINUE
      ELSE
      J1=NINS1(N)
      I2=NINW1(N)
      I3=NINE1(N)
      DO 1200 I1=I2, I3
      IF(NP(I1,J1,K).EQ.1.OR.NPO(I1,J1,K).EQ.1) GOTO 1200
      NTP(K)=NTP(K)+1
      NP(I1,J1,K)=1
 1200 CONTINUE
      ENDIF
 1000 CONTINUE
 8999 CONTINUE
C---- UP-DATE(NP값을 NPO로, NP는 0으로)
      DO 1327 I=2, NI(K)
      DO 1327 J=2, NJ(K)
      IF(NP(I,J,K).EQ.1) THEN
      NPO(I,J,K)=NP(I,J,K)
      NP(I,J,K)=0
      ENDIF
 1327 CONTINUE
      RETURN
C     ------------------------------------------------------
      ENTRY MOVE_STEP1
C---- 계단에서의 이동
      K=1
C----
      M=0
 1300 M=M+1
      IF(M.GT.NTS(K)) GOTO 1399
      KCEL(M,K)=KCEL(M,K)+1
      IF(KCEL(M,K).GT.NZ) KCEL(M,K)=NZ+1
C---- KCEL이 NZ보다 작으면 계단에 있으므로 1300
      IF(KCEL(M,K).LE.NZ) GOTO 1300
C---- NP(I1,J1,2)=1 이면 여객이 이미 있으므로 1300
C---- 계단에서 2층으로 갈 여객수(NTSU) 1 증가
      NTSU(K)=NTSU(K)+1
C---- 마지막 번호를 가져와서 M 다시 계산, NTS는 1줄임
      ICEL(M,K)=ICEL(NTS(K),K)
      JCEL(M,K)=JCEL(NTS(K),K)
      KCEL(M,K)=KCEL(NTS(K),K)
      M=M-1
      NTS(K)=NTS(K)-1
      GOTO 1300
 1399 CONTINUE
      RETURN
C -----------------------------------------------------
      ENTRY MOVE_2ND
```

```
C---- 지하1층 (K=2)의 개별 여객의 이동을 계산함
      K=2
C----
      PI=3.141592654
      BIGNO=1000000.
      SMLNO=1.0E-4
C---- IFOR=1인 출구셀의 여객은 OUT 처리 혹은 계단처리(복층인 경우)
C---- 향후 : 이동한 셀이 계단(IFOR=-1)이면 3차원 좌표 PZ(M) 계산 시작
      DO 1500 J=2, NJ(K)
      DO 1500 I=2, NI(K)
      I1=I+IDIR(I,J,K)
      J1=J+JDIR(I,J,K)
      IF(IFOR(I,J,K).NE.1.OR.NPO(I,J,K).EQ.0)  GOTO 1500
C---- 이동하려는 셀이 계단(-1) 혹은 출구(-2)인지 확인
      IF(IFOR(I1,J1,K).LT.0) THEN
      NPO(I,J,K)=0
      NTP(K)=NTP(K)-1
      ENDIF
C---- 이동하려는 셀이 계단(-1)이면 K=2의 ICEL,JCEL,KCEL 준비
      ISTEP=0
      IF(IFOR(I1,J1,K).EQ.-1) ISTEP=1
      IF(ISTEP.EQ.1) THEN
      NTS(K)=NTS(K)+1
      ICEL(NTS(K),K)=I+ISFT(I,J,K)
      JCEL(NTS(K),K)=J+JSFT(I,J,K)
      KCEL(NTS(K),K)=1
      ENDIF
 1500 CONTINUE
C---- 계산영역내 IFOR값이 작은 셀부터(2,3,4..->IFORMAX) 여객 이동시킴
      III=MOD(ITIME,2)
      JJJ=(ITIME+III)/2
      JJJ=MOD(JJJ,2)
C---- I, J 의 SWEEP 방향을 교대로( 상하좌우 ) 바꿈
C---- 시작을 IS : 2~NI,  JS : 2~NJ 사이의 임의값부터 시작함
      RND=RAN(ISEED)
      IS=INT(RND*BIGNO)+1
      IS=MOD(IS,NIM(K))+2
      IE=IS+NI(K)-2
      RND=RAN(ISEED)
      JS=INT(RND*BIGNO)+1
      JS=MOD(JS,NJM(K))+2
      JE=JS+NJ(K)-2
C----
      DO 5000 L=2, IFORMAX(K)
      DO 5100 JJ=JS, JE
      J=MOD(JJ,NJP(K))
      IF(J.LT.JS) J=J+2
      IF(JJJ.EQ.0) THEN
      J=2*JS-JJ
      IF(J.LT.2) J=J+NJM(K)
      ENDIF
      DO 5100 II=IS, IE
      I=MOD(II,NIP(K))
      IF(I.LT.IS) I=I+2
```

```
      IF(III.EQ.0) THEN
      I=2*IS-II
      IF(I.LT.2) I=I+NIM(K)
      ENDIF
C---- IFOR이 L와 다르거나 NP(I,J)=0 면 다음으로...
      IF(IFOR(I,J,K).NE.L.OR.NPO(I,J,K).EQ.0) GOTO 5100
      I1=I+IDIR(I,J,K)
      J1=J+JDIR(I,J,K)
C---- IFOR값이 3이상의 셀에 대하여만 함.(IFOR이 2,3은 거의 주방향으로 감)
      IF(L.LE.3) GOTO 5300
C---- 직진성을 피하기 위함(일렬로 끌려가는 현상) 60%직진, 20%좌, 20%우
      RND=RAN(ISEED)
      IF(RND.GE.0.2.AND.RND.LE.0.8) GOTO 5300
C---- 좌우에서 찾음
      IF(RND.LT.0.2) THEN
      GAKDO=THETA(I,J,K)-PI/4
      ELSE
      GAKDO=THETA(I,J,K)+PI/4
      ENDIF
      VX1=COS(GAKDO)
      VY1=SIN(GAKDO)
      IF(VX1.GT.0.5) THEN
      IDIR1=1
      ELSE IF(VX1.LT.-0.5) THEN
      IDIR1=-1
      ELSE
      IDIR1=0
      ENDIF
      IF(VY1.GT.0.5) THEN
      JDIR1=1
      ELSE IF(VY1.LT.-0.5) THEN
      JDIR1=-1
      ELSE
      JDIR1=0
      ENDIF
      I1=I+IDIR1
      J1=J+JDIR1
C---- 새로 구한 셀의 IFOR값이 더 크거나 벽이면 원래의 주 방향셀로 함
      IF(IFOR(I1,J1,K).GT.IFOR(I,J,K).OR.IFOR(I1,J1,K).LE.0) THEN
      I1=I+IDIR(I,J,K)
      J1=J+JDIR(I,J,K)
      ENDIF
C---- 이동하려는 주 이동방향 IDIR, JDIR 에 여객이 존재하는지 여부 확인 및
C---- 그 셀이 벽이 아닌지 확인함 : IFOR=-2
C---- 주방향셀로 이동함.
 5300 IF(NP(I1,J1,K).EQ.0.AND.NPO(I1,J1,K).EQ.0
     &                    .AND.IFOR(I1,J1,K).GE.1)  GOTO 6000
C---- 위에서 주 이동방향에 여객이 있으므로 다른 방향을 찾음
C---- 주방향에 대하여 45,-45, 90, -90, 135, -135도 방향 셀들을 체크함
C---- 좌우 90까지만 체크할 경우 아래의 LR=4로 함
      RND=RAN(ISEED)
      IF(RND.GT.0.5) THEN
      NN=1
      ELSE
```

```
      NN=-1
      ENDIF
      DO 5200 LR=1, 6
      R=LR/2.0
      N=NINT(R)
      NN=-1*NN
      GAKDO=THETA(I,J,K)+PI*N*NN/4
      VX1=COS(GAKDO)
      VY1=SIN(GAKDO)
      IF(VX1.GT.0.5) THEN
      IDIR1=1
      ELSE IF(VX1.LT.-0.5) THEN
      IDIR1=-1
      ELSE
      IDIR1=0
      ENDIF
      IF(VY1.GT.0.5) THEN
      JDIR1=1
      ELSE IF(VY1.LT.-0.5) THEN
      JDIR1=-1
      ELSE
      JDIR1=0
      ENDIF
      I1=I+IDIR1
      J1=J+JDIR1
C---- 새로 구한 셀의 IFOR값이 더 크거나 벽이면 다음으로
      IF(IFOR(I1,J1,K).GT.IFOR(I,J,K).OR.IFOR(I1,J1,K).LE.0) GOTO 5200
C---- 새로 구한 셀의 NP값이 0이면 이동계산 6000
      IF(NP(I1,J1,K).EQ.0.AND.NPO(I1,J1,K).EQ.0) GOTO 6000
 5200 CONTINUE
C---- 주방향 및 45,-45, 90, -90,135, -135도 방향 셀로 갈 수 없으면 제자리에 머뭄
      NP(I,J,K)=1
      GOTO 5100
 6000 NPO(I,J,K)=0
      NP(I1,J1,K)=1
 5100 CONTINUE
 5000 CONTINUE
C---- 입구 셀(지하1층 )에서 여객 들어옴
      IF(TIME.GT.INTIME) GOTO 7979
C---- 계단외에 입구셀이 없으면 7979로
      IF(NINLET2.EQ.0) GOTO 7979
C----
      DO 7000 N=1, NINLET2
C---- 입구 셀이 X=const.면 THEN문, Y=const.면 ELSE문에서 유입
      IF(NINE1(N).EQ.NINW1(N)) THEN
      I1=NINE1(N)
      J2=NINS1(N)
      J3=NINN1(N)
      DO 7100 J1=J2, J3
      IF(NP(I1,J1,K).EQ.1.OR.NPO(I1,J1,K).EQ.1) GOTO 7100
      NTP(K)=NTP(K)+1
      NP(I1,J1,K)=1
 7100 CONTINUE
      ELSE
```

```
      J1=NINS1(N)
      I2=NINW1(N)
      I3=NINE1(N)
      DO 7200 I1=I2, I3
      IF(NP(I1,J1,K).EQ.1.OR.NPO(I1,J1,K).EQ.1) GOTO 7200
      NTP(K)=NTP(K)+1
      NP(I1,J1,K)=1
 7200 CONTINUE
      ENDIF
 7000 CONTINUE
 7979 CONTINUE
C---- 계단으로 올라오는 여객에 대한 처리
      M=0
 8989 M=M+1
      IF(M.GT.NTSU(K-1)) GOTO 9000
      JJ=JCEL(M,K-1)
      II=ICEL(M,K-1)
C---- 가려고 하는 셀의 NP=0 이면 이동
      IF(NP(II,JJ,K).EQ.0.AND.NPO(II,JJ,K).EQ.0)  GOTO 9900
      IPP=II+1
      IMM=II-1
C---- IPP이나 IMM의 IFOR=-1이면 세로방향의 계단입구, ELSE 가로방향의 계단입구
      IF(IFOR(IPP,JJ,K).EQ.-1.OR.IFOR(IMM,JJ,K).EQ.-1) THEN
      GOTO 9100
      ELSE
      GOTO 9500
      ENDIF
C---- 세로방향의 계단 입구셀 중에서 INLET 위치 찾음 (J방향 이동)
 9100 CONTINUE
      IF(IFOR(IPP,JJ,K).EQ.-1) IIS=IPP
      IF(IFOR(IMM,JJ,K).EQ.-1) IIS=IMM
C----
      LR=0
 9150 LR=LR+1
      NN=-1
      RND=RAN(ISEED)
      IF(RND.GT.0.5) NN=1
      J1=JJ+LR*NN
      J2=JJ-LR*NN
C---- 상하 모두 IFOR이 -1이 아니면 계단입구 셀이 아님
      IF(IFOR(IIS,J2,K).NE.-1.AND.IFOR(IIS,J1,K).NE.-1) GOTO 8989
C---- 옆의 셀이 -1이고 해당셀의 NP가 0이면 (J1 또는 J2) 그곳으로 이동
      IF(IFOR(IIS,J1,K).EQ.-1.AND.NP(II,J1,K).EQ.0
     &                        .AND.NPO(II,J1,K).EQ.0) THEN
      JJ=J1
      GOTO 9900
      ENDIF
      IF(IFOR(IIS,J2,K).EQ.-1.AND.NP(II,J2,K).EQ.0
     &                        .AND.NPO(II,J2,K).EQ.0) THEN
      JJ=J2
      GOTO 9900
      ENDIF
      GOTO 9150
C---- 가로방향의 계단 입구셀 중에서 INLET 위치 찾음 (I방향 이동)
```

```
 9500 CONTINUE
      JPP=JJ+1
      JMM=JJ-1
      IF(IFOR(II,JPP,K).EQ.-1) JJS=JPP
      IF(IFOR(II,JMM,K).EQ.-1) JJS=JMM
C----
      LR=0
 9550 LR=LR+1
      NN=-1
      RND=RAN(ISEED)
      IF(RND.GT.0.5) NN=1
      I1=II+LR*NN
      I2=II-LR*NN
C---- 좌우 모두 IFOR이 -1이 아니면 계단입구 셀이 아님
      IF(IFOR(I1,JJS,K).NE.-1.AND.IFOR(I2,JJS,K).NE.-1) GOTO 8989
C---- 옆의 셀이 -1이고 해당셀의 NP가 0이면 (I1 또는 I2) 그곳으로 이동
      IF(IFOR(I1,JJS,K).EQ.-1.AND.NP(I1,JJ,K).EQ.0
     &                        .AND.NPO(I1,JJ,K).EQ.0) THEN
      II=I1
      GOTO 9900
      ENDIF
      IF(IFOR(I2,JJS,K).EQ.-1.AND.NP(I2,JJ,K).EQ.0
     &                        .AND.NPO(I2,JJ,K).EQ.0) THEN
      II=I2
      GOTO 9900
      ENDIF
C---- I1을 1 증가, I2을 1 감소시켜 찾음
      GOTO 9550
C---- 이동하려는 셀의 NP=1로, 2층의 NTP(K) 1증가 시킴
 9900 NP(II,JJ,K)=1
      NTP(K)=NTP(K)+1
C---- 마지막 번호를 가져와서 M다시 계산, NTSU는 1줄임
      ICEL(M,K-1)=ICEL(NTSU(K-1),K-1)
      JCEL(M,K-1)=JCEL(NTSU(K-1),K-1)
      KCEL(M,K-1)=KCEL(NTSU(K-1),K-1)
      M=M-1
      NTSU(K-1)=NTSU(K-1)-1
      GOTO 8989
 9000 CONTINUE
C---- UP-DATE
      DO 1795 I=2, NI(K)
      DO 1795 J=2, NJ(K)
      IF(NP(I,J,K).EQ.1) THEN
      NPO(I,J,K)=NP(I,J,K)
      NP(I,J,K)=0
      ENDIF
 1795 CONTINUE
      RETURN
      END
C
C  ************************************************************
      SUBROUTINE PRINTS
C----
      COMMON/CTRL/   INTIME,TIME,ISEED,TTIME,ITIME,DL,DT,NFL,HGT,
```

```
     &                NTS(3),NTP(3),NTSU(3),ISFT(100,100,3),
     &                JSFT(100,100,3),IFOR(100,100,3),IFORO(100,100,3),
     &                VX(100,100,3),VY(100,100,3),NP(100,100,3),
     &                IDIR(100,100,3),JDIR(100,100,3),THETA(100,100,3),
     &                ICEL(1000,3),JCEL(1000,3),KCEL(1000,3),
     &                NPO(100,100,3)
      COMMON/GRID1/ NI(3),NJ(3),NIP(3),NJP(3),NIM(3),NJM(3),NZ,
     &                 IFORMAX(3),XMAX(3),XMIN(3),YMAX(3),YMIN(3),
     &                X1(100),Y1(100),Z1(100),X2(100),Y2(100),
     &                XC1(100),YC1(100),ZC1(100),XC2(100),YC2(100)
C
      DIMENSION      YC22(100)
C
      ntp12=ntp(1)+ntp(2)
C---- 2층 여객의 yc2좌표를 임시로 증가시키기 위해서 yc22
      do 1010 j=2, nj(2)
      yc22(j)=yc2(j)+y1(nj(1))+y2(3)
 1010 continue
C---- NP=1이면 XC, YC 값 출력
      WRITE(9,155)
      WRITE(9,160) NTP12
      DO 1000 J=2, NJ(1)
      DO 1000 I=2, NI(1)
      IF(NPO(I,J,1).EQ.1) WRITE(9,*) XC1(I), YC1(J)
 1000 CONTINUE
      DO 1100 J=2, NJ(2)
      DO 1100 I=2, NI(2)
      IF(NPO(I,J,2).EQ.1) WRITE(9,*) XC2(I), YC22(J)
 1100 CONTINUE
  155 FORMAT (/1X, 'variables = "px", "py" ' )
  160 FORMAT ('zone  i=', i6, ',  f=point' )
C----
      RETURN
      END
C
C*****************************************************************
      SUBROUTINE IFORS
C
      COMMON/CTRL/   INTIME,TIME,ISEED,TTIME,ITIME,DL,DT,NFL,HGT,
     &                NTS(3),NTP(3),NTSU(3),ISFT(100,100,3),
     &                JSFT(100,100,3),IFOR(100,100,3),IFORO(100,100,3),
     &                VX(100,100,3),VY(100,100,3),NP(100,100,3),
     &                IDIR(100,100,3),JDIR(100,100,3),THETA(100,100,3),
     &                ICEL(1000,3),JCEL(1000,3),KCEL(1000,3),
     &                NPO(100,100,3)
      COMMON/BLK1/   NINLET1,NEXIT1,NWALL1,NSTEP1,
     &                NEXE1(100),NEXW1(100),NEXS1(100),NEXN1(100),
     &                NWLE1(100),NWLW1(100),NWLS1(100),NWLN1(100),
     &                NSTE1(100),NSTW1(100),NSTS1(100),NSTN1(100),
     &                NINE1(100),NINW1(100),NINS1(100),NINN1(100)
      COMMON/BLK2/   NINLET2,NEXIT2,NWALL2,NSTEP2,
     &                NEXE2(100),NEXW2(100),NEXS2(100),NEXN2(100),
     &                NWLE2(100),NWLW2(100),NWLS2(100),NWLN2(100),
     &                NSTE2(100),NSTW2(100),NSTS2(100),NSTN2(100),
```

```
     &                NINE2(100),NINW2(100),NINS2(100),NINN2(100)
      COMMON/GRID1/ NI(3),NJ(3),NIP(3),NJP(3),NIM(3),NJM(3),NZ,
     &                 IFORMAX(3),XMAX(3),XMIN(3),YMAX(3),YMIN(3),
     &                X1(100),Y1(100),Z1(100),X2(100),Y2(100),
     &                XC1(100),YC1(100),ZC1(100),XC2(100),YC2(100)
C
C---- 출구셀 IFOR=1, 벽면 IFOR=-2, 계단 IFOR=-1 로 설정
      NULL=0
C---- 1층에 대한 IFOR 설정
C---- SET 0 IN CALCULATION DOMAIN (INITIAL CONDITION)
      K=1
      DO 1100 I=1,NIP(K)
      DO 1100 J=1,NJP(K)
      IFORO(I,J,K)=NULL
 1100 IFOR(I,J,K)=NULL
C---- SET 1 IN EXIT CELL
      DO 1200 L=1, NEXIT1
      DO 1200 I=NEXW1(L), NEXE1(L)
      DO 1200 J=NEXS1(L), NEXN1(L)
 1200 IFOR(I,J,K)=1
C---- SET -1 IN STEP CELL
      DO 1300 L=1, NSTEP1
      DO 1300 I=NSTW1(L), NSTE1(L)
      DO 1300 J=NSTS1(L), NSTN1(L)
 1300 IFOR(I,J,K)=-1
C---- SET -2 IN WALL CELL
      DO 1400 L=1, NWALL1
      DO 1400 I=NWLW1(L), NWLE1(L)
      DO 1400 J=NWLS1(L), NWLN1(L)
 1400 IFOR(I,J,K)=-2
C---- 2층에 대한 IFOR 설정
C---- SET 0 IN CALCULATION DOMAIN (INITIAL CONDITION)
      K=2
      DO 2100 I=1,NIP(K)
      DO 2100 J=1,NJP(K)
      IFORO(I,J,K)=NULL
 2100 IFOR(I,J,K)=NULL
C---- SET 1 IN EXIT CELL
      DO 2200 L=1, NEXIT2
      DO 2200 I=NEXW2(L), NEXE2(L)
      DO 2200 J=NEXS2(L), NEXN2(L)
 2200 IFOR(I,J,K)=1
C---- SET -1 IN STEP CELL
      DO 2300 L=1, NSTEP2
      DO 2300 I=NSTW2(L), NSTE2(L)
      DO 2300 J=NSTS2(L), NSTN2(L)
 2300 IFOR(I,J,K)=-1
C---- SET -2 IN WALL CELL
      DO 2400 L=1, NWALL2
      DO 2400 I=NWLW2(L), NWLE2(L)
      DO 2400 J=NWLS2(L), NWLN2(L)
 2400 IFOR(I,J,K)=-2
      RETURN
      END
```

```
C
C*********************************************************************
C      USER'S WORKING AREA
C*********************************************************************
C
      BLOCK DATA
C-----
      COMMON/CTRL/  INTIME,TIME,ISEED,TTIME,ITIME,DL,DT,NFL,HGT,
     &              NTS(3),NTP(3),NTSU(3),ISFT(100,100,3),
     &              JSFT(100,100,3),IFOR(100,100,3),IFORO(100,100,3),
     &              VX(100,100,3),VY(100,100,3),NP(100,100,3),
     &              IDIR(100,100,3),JDIR(100,100,3),THETA(100,100,3),
     &              ICEL(1000,3),JCEL(1000,3),KCEL(1000,3),
     &              NPO(100,100,3)
      COMMON/BLK1/  NINLET1,NEXIT1,NWALL1,NSTEP1,
     &              NEXE1(100),NEXW1(100),NEXS1(100),NEXN1(100),
     &              NWLE1(100),NWLW1(100),NWLS1(100),NWLN1(100),
     &              NSTE1(100),NSTW1(100),NSTS1(100),NSTN1(100),
     &              NINE1(100),NINW1(100),NINS1(100),NINN1(100)
      COMMON/BLK2/  NINLET2,NEXIT2,NWALL2,NSTEP2,
     &              NEXE2(100),NEXW2(100),NEXS2(100),NEXN2(100),
     &              NWLE2(100),NWLW2(100),NWLS2(100),NWLN2(100),
     &              NSTE2(100),NSTW2(100),NSTS2(100),NSTN2(100),
     &              NINE2(100),NINW2(100),NINS2(100),NINN2(100)
      COMMON/GRID1/ NI(3),NJ(3),NIP(3),NJP(3),NIM(3),NJM(3),NZ,
     &              IFORMAX(3),XMAX(3),XMIN(3),YMAX(3),YMIN(3),
     &              X1(100),Y1(100),Z1(100),X2(100),Y2(100),
     &              XC1(100),YC1(100),ZC1(100),XC2(100),YC2(100)
C
      DATA   TTIME,  INTIME,   DT,   DL,  HGT,  NFL,  ISEED/
     &      300.0,     10.0,  0.5,  0.5,  3.0,    2,  543891/
      DATA XMIN(1), XMAX(1), YMIN(1), YMAX(1)/
     &       0.0,     11.5,     0.0,     4.5/
      DATA XMIN(2), XMAX(2), YMIN(2), YMAX(2)/
     &       0.0,     10.5,     0.0,     6.5/
C
C---- 지하2층에 대한 벽, 계단, 입출구 형상 세팅
C---- 벽면셀 설정
      DATA NWALL1/4/
      DATA NWLW1(1),NWLE1(1),NWLS1(1),NWLN1(1)/
     &          1,       25,       1,       1/
      DATA NWLW1(2),NWLE1(2),NWLS1(2),NWLN1(2)/
     &          1,        1,       1,      11/
      DATA NWLW1(3),NWLE1(3),NWLS1(3),NWLN1(3)/
     &          1,       25,      11,      11/
      DATA NWLW1(4),NWLE1(4),NWLS1(4),NWLN1(4)/
     &         25,       25,       1,      11/
C---- 계단셀 설정
      DATA NSTEP1/2/
      DATA NSTW1(1),NSTE1(1),NSTS1(1),NSTN1(1)/
     &          5,        7,       7,      10/
      DATA NSTW1(2),NSTE1(2),NSTS1(2),NSTN1(2)/
     &         19,       21,       7,      10/
C---- 출구셀 설정
```

```
      DATA NEXIT1/2/
      DATA NEXW1(1),NEXE1(1),NEXS1(1),NEXN1(1)/
     &            8,       8,       7,       10/
      DATA NEXW1(2),NEXE1(2),NEXS1(2),NEXN1(2)/
     &           18,      18,       7,       10/
C---- 1~2층 계단과 연결된 출구셀에서 ISFT(I,J) 및 JSFT(I,J)값 설정
      DATA ((ISFT(I,J,1),JSFT(I,J,1), J=7,10), I=8,8)/
     &     -1, 4,   -1, 4,   -1, 4, -1,4/
      DATA ((ISFT(I,J,1),JSFT(I,J,1), J=7,10), I=18,18)/
     &     -1, 4,   -1, 4,   -1, 4, -1,4/
C---- 입구셀 설정
      DATA NINLET1/5/
      DATA NINW1(1),NINE1(1),NINS1(1),NINN1(1)/
     &            2,       3,       2,       2/
      DATA NINW1(2),NINE1(2),NINS1(2),NINN1(2)/
     &            7,       8,       2,       2/
      DATA NINW1(3),NINE1(3),NINS1(3),NINN1(3)/
     &           12,      14,       2,       2/
      DATA NINW1(4),NINE1(4),NINS1(4),NINN1(4)/
     &           18,      19,       2,       2/
      DATA NINW1(5),NINE1(5),NINS1(5),NINN1(5)/
     &           23,      24,       2,       2/
C---- 지하 1층에 대한 형상 세팅
C---- 벽면셀 설정
      DATA NWALL2/9/
      DATA NWLW2(1),NWLE2(1),NWLS2(1),NWLN2(1)/
     &            1,      23,       1,       1/
      DATA NWLW2(2),NWLE2(2),NWLS2(2),NWLN2(2)/
     &            1,       1,       1,      15/
      DATA NWLW2(3),NWLE2(3),NWLS2(3),NWLN2(3)/
     &            1,      23,      15,      15/
      DATA NWLW2(4),NWLE2(4),NWLS2(4),NWLN2(4)/
     &           23,      23,       1,      15/
      DATA NWLW2(5),NWLE2(5),NWLS2(5),NWLN2(5)/
     &            6,       8,      10,      10/
      DATA NWLW2(6),NWLE2(6),NWLS2(6),NWLN2(6)/
     &           10,      10,      10,      10/
      DATA NWLW2(7),NWLE2(7),NWLS2(7),NWLN2(7)/
     &           12,      12,      10,      10/
      DATA NWLW2(8),NWLE2(8),NWLS2(8),NWLN2(8)/
     &           14,      14,      10,      10/
      DATA NWLW2(9),NWLE2(9),NWLS2(9),NWLN2(9)/
     &           16,      18,      10,      10/
C---- 계단셀 설정
      DATA NSTEP2/2/
      DATA NSTW2(1),NSTE2(1),NSTS2(1),NSTN2(1)/
     &            4,       6,      11,      14/
      DATA NSTW2(2),NSTE2(2),NSTS2(2),NSTN2(2)/
     &           18,      20,      11,      14/
C---- 출구셀 설정
      DATA NEXIT2/2/
      DATA NEXW2(1),NEXE2(1),NEXS2(1),NEXN2(1)/
     &           13,      15,       2,       2/
      DATA NEXW2(2),NEXE2(2),NEXS2(2),NEXN2(2)/
```

```
     &             2,          2,          2,          4/
C---- 입구셀 설정 (계단으로 들어오는 셀이 아닌 순수 INLET)
      DATA NINLET2/0/
      DATA NINW2(1),NINE2(1),NINS2(1),NINN2(1)/
     &             7,          7,         11,         13/
      DATA NINW2(2),NINE2(2),NINS2(2),NINN2(2)/
     &            17,         17,         11,         13/
      END
C----
```

참 고 문 헌

1. Nagel, K and Schreckenberg, M, (1992), "A cellular automation model for freeway traffic," J. Phys. I France, Vol.2, pp.222-2229.
2. Ilachinski, A, (2001), "Cellular Automata : A Discrete Universe," World Scientific Publishing Co.
3. Simulex (2004). On-line User's manual
4. Building EXODUS Ver.4.0 (2004) User Guide and Technical Manual
5. 森川敬信, (1979), "流體-固體二相流-空氣輸送と水力輸送," 日刊工業新聞社(in Japanese)
6. Nanbu, K., (1992). "Stochastic Solution Method of the Boltzmann Equation," The memoirs of the Institute of Fluid Science, Vol. 3, pp.47-93.
7. 脇田 康隆 외 4人., (1998), "鐵道とコンピュウータ," 共立出版(in Japanese)
8. Takagi, R., Goodman, C. J. and Roberts, C., (2002), "Modelling Aerodynamics of High Speed railway Train," Progress in Aerospace Science, Vol.38, pp.469-514
9. 남성원, (2005), "DEM에 기초한 여객 유동 해석 알고리즘 개발", 한국철도학회논문집, 제8권, 제4호, pp.337-341
10. 남성원, 권혁빈, (2006), "지하철 역에서의 보행자 유동 특성 해석", 대한기계학회 춘계학술대회 논문집.
11. Bird, G. A.,(1994), "Molecular Gas Dynamics and the Direct Simulation of Gas Flows," Clarendon Press, Oxford
12. Babalola, O., and C. Eastman, 2001, "Semantic Interpretation of Architectural Drawings", Computers in Building: Proceedings of ACADIA 2001, Atlanta, USA, Kluwer Academic Publishers, Boston, p. 166-179.
13. Bjork, B. C., 1992, "A conceptual model of spaces, space boundaries and enclosing structures", Automation in Construction, 1(3), p. 193-214.
14. Brumitt, B., and S. Shafer, 2001, "Topological world modeling using semantic space", Proceedings of UbiCom 2001, Redmond, USA , Microsoft Research, Vision Technology Group.

15. Eastman, C. M, and A. Siabiris, 1995, "A generic building product model incorporating building type information", Automation in Construction, 3(4), p. 282-304.
16. Ekholm, A. and S. Fridqvist, 1997, "Concepts of Space in Computer Based Product Modelling and Design", in: Martens B. (eds) Challenges of the Future : Proceedings of 15th eCAADe Conference, Vienna, Austria.
17. Ekholm, A., 2001, "Modelling of User Activities in Building Design", Architectural Information Management : Proceedings of 19th eCAADe Conference, Helsinki, Finland, p.67-72.
18. KRAFT, B. and G. SCHNEIDER, 2005, "Semantic Room objects for Conceptual Design Support", Proceedings of the 10th International Conference on Computer Aided Architectural Design Futures, Vienna, Austria, p. 207-216.
19. Stephen F. May, S. F. Carlson, W. E. Phillips and F. Scheepers , 1996, "AL: A Language for Procedural Modeling and Animation", Technical Report OSU-ACCAD-12/96-TR5, ACCAD, The Ohio State University.
20. 최진원,강명희,김억,김성아. 建築 協業設計 시스템 구축을 위한 프로세스와 環境試險에 관한 연구,한국CAD/CAM학회 논문집, 7(1), 2002. 03, pp.57-65
21. Lee, Y., I.J. Lee and J.W. Choi, 2004, "Location Modeling for Ubiquitous Computing Based on a Spatial Information Management Technology", Proceedings of CAADRIA 2004, Seoul, Korea, p. 787 -801.
22. Lee, Y., J.W. Choi and J. Lertlakkhanakul, 2005, "Developing a User Location Prediction Model for Ubiquitous Computing", Proceedings of CAAD Futures 2005, Vienna, Austria, p. 215 -224.
23. Kalay, Y. E., 2004, Architecture's New Media, The MIT Press, Cambridge, USA.
24. Kim, M.Y. and J.W. Choi, 2006, "A Developing Digital Storytelling Model for Virtual Testbed to Simulate the Smart Office" CAADRIA 2006:Proceedings of the 11th International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia, Kumamoto, Japan, p.331-340.

25. Mourshed, M.M., D. Kelliher and M. Keane, 2001, "Spatial Representation in Product Modelling", Proceedings of the IEEE International Conference on Information Visualisation on Information Visualisation, London, UK.
26. Oosterhuis, K., 2003, "Hyper Bodies", Towards an E-motive architecture, Birkhauser, Italy
27. Park, J.W. and J.W. Choi, 2003, "A Computational Approach to Evaluate Physical Requirements and Spatial Managements of Apartment Unit Floor Plans", Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 2, p. 193 - 199.
28. 윤종현, "CA이론 기반 양방향 보행자 이동행태모형에 관한 연구", 2003, 서울시립대학교대학원
29. 이은영, "지하철역사내에서의 보행통행의 특성에 관한 연구", 1991, 서울대 환경대학원
30. 이승재・장현호(2003), "CA모형을 이용한 단기 구간통행시간 예측에 관한 연구", 대한교통학회지, 제21권 제1호
31. 조중래・김진구・고승영・김채만(2001), "CA모형을 이용한 미시적 교통류 시뮬레이션 시스템 개발에 관한 연구", 대한교통학회지, 제19권 제3호
32. 건설부, "도로용량편람", 2005
33. J. Dijkstra, A.J. Jessurun, 2001, A Multi-Agent Celuular Automata System for Visualising Simulated Pedestrian Activity, Eindhoven University
34. Nagel K, Schreckenberg M, 1992, A Cellular Automata Model for Freeway Traffic, Joural de Physique
35. Victor J. Blue, Jeffrey L. Alder, 1978, Cellular Automata Microsimulation of Bidirectional Pedestrian Flows, In Transportation Research pp.135~141
36. A. Schadschneider and M. Schreckenberg, "Cellular automata for traffic flow analytical results", Institut for Theoretische Physik Universitat zu Koln, 1995.
37. 강소연, 조정훈, 최선호, 홍민호, 장원복, 방재시뮬레이션을 통한 의료시설의 피난안전성 평가, 대한설비공학회 2004하계학술발표대회 논문집, 2004
38. 김도현, 김영욱, 대규모 복합 상업공간에서 공간구조 해석 방법에 따른 보행자 움직임의 특성, 대한건축학회 창립 60주년기념 학술발표대회논문집, 2005

39. 김영욱, Space Syntax를 활용한 공간구조속성과 공간사용패턴의 상호관련성 연구, 대한국토•도시계획학회지 국토계획 제38권 제4호, 2003
40. 김영욱, 공간형태와 공간인식의 상호관련성 연구, 대한건축학회논문집 계획계 16권 10호, 2000
41. 김성준외1인, 대규모 지하공간에서 길 찾기에 영향을 미치는 시지각적 요인에 대한 연구, 한국도시설계학회 2004추계학술발표대회, 2004
42. 김진수, 박종근, 노삼규, 지하공간의 피난안전성평가시스템 개발에 관한 연구, 한국화재•소방학회 논문지 제17권 제4호, 2003
43. 김태연, 김창남, 홍구표, 김광호, 노지웅, 김병선, 아케이드형 재래시장의 배연성능 및 피난시간 해석, 대한건축학회 학술발표대회논문집, 2004
44. 박계원, 이경훈, 복합영화관에서 화재시 과밀공간 파악을 통한 관객의 피난 행태연구, 대한건축학회 논문집 21권 1호, 2005
45. 박남길외2인, 지하도에서의 공간인지와 동선패턴에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회, 2003
46. 박재성, 윤명오, 이용재, 지하철 역사의 피난안전성능 확보를 위한 설계기준에 관한 연구, 대한건축학회논문집 구조계 19권 8호, 2003
47. 박창영, 최창호, 이현우, 인체 모듈과 특성을 고려한 인간의 피난 행동에 관한 연구, 대한건축학회 창립 60주년기념 학술발표대회논문집, 2005
48. 소은탁, 송병하, 멀티플렉스 영화관의 피난계획에 관한 연구, 한국실내디자인학회논문집 제14권 3호, 2005
49. 송세영외1인, 복합상업시설에서의 방문객의 경로선택과 통행량에 관한 연구, 한국실내디자인학회논문집 제14권 5호, 2005.10
50. 송세영, 송병하, 복합상업시설에서의 방문객의 경로선택과 통행량에 관한 연구, 한국디자인학회논문집 제14권 5호, 2005
51. 송정화, 도시 맥락적 관점에서 본 문화공간의 의미, 대한건축학회논문집 계획계 21권 1호, 2005
52. 신승철, 조형규, 최재필, 피난 시뮬레이션의 검토 및 공간분석기법의 응용가능성, 대한건축학회 학술발표대회논문집, 2004
53. 신행우, 임현식, 김영욱, 서울시청광장 계획에 따른 보행네트워크의 변화에 관한 연구, 도시설계학회 춘계학술발표대회, 2004

54. 안은희, 대규모 지하 상업공간에서의 보행자의 움직임과 경로선택 특성에 관한 연구, 대한건축학회눈문집 계획계 20권 9호, 2004
55. 안은희, 복합영화관에서의 피난행태특성에 근거한 피난로 설계에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 21권 10호, 2005.10
56. 안은희, 의류상가 쇼핑환경에서 길찾기의 정도와 매출이익간의 관계에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계 18권 12호, 2002
57. 윤용우, 김영욱, 박영기, 물리적인 거리와 공간깊이가 공간인식에 미치는 영향에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계 21권5호, 2005
58. 이정수, 김응식, 노인시설의 피난행태 분석을 통한 건축계획 및 운영관리 지침에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 계획계 20권 6호, 2004
59. 이정수, 김응식, 영유아시설의 피난행태 분석을 통한 건축계획 및 운영관리 개선방향에 관한연구, 대한건축학회 논문집 19권 7호. 2003.07
60. 이정수, 김응식, 민경찬, 송용호, 종합병원 병동부의 이용자 피난행태를 고려한 건축계획 및 운영관리 지침에 관한 연구, 대한건축학회눈문집 계획계 21권10호, 2005
61. 이정수, 김응식, 초등학교 공간구성형식에 따른 피난행태 특성 분석, 한국실내디자인학회 논문집 36권, 2003
62. 이평강, 김지성, 조동만, 배경태, 김석완, 시뮬레이션에 의한 노인복지시설의 피난안전성 평가, 대한설비공학회 2003하계학술발표대회 논문집, 2003
63. 이호영, 전규엽, 홍원화, 지하철 건축설비에 의한 피난안정성 확보에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획회 21권 7호, 2005
64. 임정원, 대형쇼핑몰의 성능기준 화재안전 설계 적용에 관한 연구, 서울산업대학교 산업대학원 석사논문, 2000
65. 전규엽, 홍원화, 모의실험을 통한 지하공간에서의 연령별 피난행동 특성에 관한 연구, 대한건축학회 창립 60주년기념 학술발표대회논문집, 2005
66. 정은재, 유스호스텔 화재 시 피난적정성 검토 및 피난효율성 증대에 대한 연구, 서울산업대학교 산업대학원 석사논문, 2003
67. 조형규, 초고층 건축물의 건축계획 사전평가를 위한 정량적 기법, 대한건축학회지 48권 10호. 2004.10
68. 천정길, 나욱정, 전규엽, 홍원화, 지하공간 화재시 시야장애 정도에 따른 피난 특성에 관한 연구, 대한건축학회 창립 60주년기념 학술발표대회논문집, 2005

69. 최윤경, 민병호, 공간구조와 학습이 길찾기에 미치는 영향에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계 14권7호, 1998
70. 최재필, 강범준, 박영섭, 이윤재, 초고층 건축물의 '대피층' 및 '대피공간' 개념 도입방안, 대한건축학회논문집 계획계 21권 11호, 2005
71. 한수곤, 권한솔, 양재훈, 정영선, 박재성, 윤명오, 국내 지하공간의 화재안전의 문제점에 대한 사례연구, 대한건축학회 창립 60주년기념 학술발표대회논문집, 2005
72. 홍원화, 김태현, 전규엽, 비상시 지하공간의 초기 피난 및 구조 활동 분석에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계 22권 3호, 2006
73. Hillier, B & Hanson, J. The Social Logic of Space. Cambridge University Press, 1984
74. Erica Kuligowski, Review of 28Egress Models, National Institute of Standard and Technology
75. Gabriel Santos Benigno E, Acritical Review of Emergency Simulation Models, Conference "Building Occupation Movement During Fire Emergencies", 2004

제 4 절 여객 유동 분석용 Pre-post 프로그램 모듈개발

1. 서 론

가. 연구 배경

본 연구의 최종 결과물은 최적의 여객동선 구축과 효과적인 대피대책 수립을 위한 여객 유동 분석 및 시뮬레이션을 수행할 수 있는 소프트웨어 시스템으로, 단순 그래픽 소프트웨어 차원을 넘어 지능형 시스템으로써 요구되는 사양을 충족하기 위해서는 세밀한 자료 모델링 기법을 통한 전산 모델 개발이 선행되어야 한다. 이러한 자료 모델을 기반으로 철도역사 등과 같은 복잡한 건축공간을 손쉽게 모델링 할 수 있는 전처리모듈을 개발하고, 팀 내 다른 연구자가 개발한 알고리즘을 구현하여 전처리모듈과 연동시킨다. 전처리모듈에서 정의된 공간에서 분석 시뮬레이션이 수행되고 그 결과가 3차원 공간상에서 실시간으로 시뮬레이션 되기 위한 후처리 모듈을 개발한다.

나. 연구 목적 및 범위

시스템은 크게 전처리 모듈, 분석 모듈, 후처리 모듈 등으로 이루어지는데, 본 연구팀이 맡게 될 전처리 모듈과 후처리 모듈은 몇 가지 점에서 기술적 경쟁력을 확보할 수 있다. 일반적으로 전처리 모듈에서 건축공간의 정의를 위해서는 매우 복잡하고 불편한 절차를 거치게 되어 있는데, 본 연구를 통해 개발된 전처리 모듈은 지능형의 건물 자료 모델을 기반으로 손쉽게 건축공간을 모델링 할 수 있음은 물론, 건축 객체 공간, 공간의 연결 관계에 대한 정보가 객체 지향적이면서 자동적으로 설정된다. 후처리 모듈은 시뮬레이션 결과의 효과적인 시각화에 초점을 맞추어 여객 유동 시뮬레이션을 보여준다.

1, 2차 년도에는 통합 시스템 인터페이스의 설계에 중점을 두고 진행되었으며, 본 연구의 최종 목표 및 연구 내용은 다음과 같다.

(1) 최종목표

철도 역사 여객 유동평가 시뮬레이션을 위한 통합 소프트웨어 개발

(가) 전처리 모듈 개발

(나) 분석 모듈과 전처리, 후처리 모듈의 연동

(다) 후처리 모듈 개발

(라) 통합 시스템 개발

(2) 당해연도 연구 목표 및 연구 범위

(가) 연구 목표

- 철도역사 모델링을 위한 전처리 모듈의 개발 및 분석 모듈 연동

(나) 연구내용 및 범위

① 철도역사 모델링을 위한 전처리 모듈의 개발 및 분석 모듈 연동

㉮ 단일층 모델링 전처리 모듈 구현

㉯ 복수층 모델링 전처리 모듈 구현

㉰ 전처리 모듈과 분석 모듈의 연동

② 시스템 테스트

㉮ 시스템 테스트 및 수정 보완

다. 연구수행 내용

본 연구는 철도 역사에서의 여객 유동 평가 시뮬레이션을 위한 통합 소프트웨어 개발에 최종 목표를 두고 있으며, 3차년도에는 2차년까지 개발한 환경하에서 단일층, 복수층 모델링의 전처리 모듈을 개발하고 분석 모듈과의 연동, 아바타를 시뮬레이션 할 수 있는 환경 구축을 목표로 하여 진행되었다. 또한 분석 모듈과 연동을 위한 프로토콜을 정하고 분석 가능한 포맷으로 저장하는 기능을 개발하였다.

2. 연구 개발수행 내용 및 결과

가. 개발 환경 및 개요

본 프로그램의 개발 환경은 Windows XP 운영체제를 사용하는 PC에서 개발 되었으며 프로그램 개발을 위한 작업 도구로써 Microsoft Visual C++ 6.0을 사용하였다. Microsoft Visual C++ 6.0는 GUI(Graphic User Interface) 소프트웨어 개발에 용이하고 개발된 프로그램의 확장성과 범용성을 높일 수 있는 객체지향 소프트웨어 기술을 이용할 수 있다. 본 프로그램에 사용되는 후처리 시뮬레이션을 구현하기 위한 Graphic Library는 OpenGL을 이용하였고 다양한 3차원 환경의 그래픽으로 여객 유동을 시뮬레이션 하였다.

개발한 본 프로그램은 여객유동을 해석할 대상 공간의 모델링 전처리부터 분석 모듈과의 연동 3차원 시뮬레이션 후처리 까지 구현이 가능하며 전체적인 시스템의 흐름은 다음과 같다.

(1) CAD 도면을 이용하여 해석할 대상 공간 입력
(2) 해석 격자의 생성
(3) 해석 경계조건 설정
(4) 분석 모듈과의 연동을 위한 인터페이스 결정과 분석 모듈 연동
(5) 여객 유동 해석
(6) 여객 유동 해석 결과의 3차원 시뮬레이션
(7) 사용자 편의를 위한 다양한 GUI(Graphic User Interface)

나. 단일층 모델링 전처리 모듈 개발

<그림 5-1>에 단일층 모델의 해석 격자 생성 방법의 순서도를 나타내었다. 각 단계별 구성은 다음과 같다.

(1) DXF 형식의 캐드 도면을 입력 받는다. 캐드 도면은 Line, Polyline, Circle, Arc 등의 캐드 요소로 구성되어 있고 캐드 도면에서 각 건축 요소는 폐곡선으로 구성되어 있어야 한다. 이는 벽과 공간을 나누는 알고리즘이 폐곡선 내부와 외부로 벽과 공간을 구별하는 방법이기 때문에 반드시 지켜져야 한다.
(2) Line, Polyline, Circle, Arc 등의 캐드 요소를 구별되는 최소 단위의 Line으로 프로그램 내부에 List 형식으로 저장한다. Circle과 Arc 구성요소의 경우 정

해진 숫자만큼의 Line으로 변환하여 인식한다.

(3) 각 Line을 결정하는 두 개의 Point를 프로그램 내부에 List 형식으로 저장한다. 모든 Line의 집합은 폐곡선 형태로 이루어져 있으므로 모든 Point를 저장한 이후에는 중복된 Point가 2개 씩 존재한다. 2개씩 존재하는 Point를 1개의 Point만 남기도록 중복 Point 검사를 실시하여 Point List를 수정한다.

(4) Point List와 Line List를 비교하여 각각의 Point List와 Line List의 Point를 일치 시킨다. 각 Line을 구성하는 Point는 Point의 실제 정점 위치로 저장되지 않고 구성된 Point List에서의 저장 위치로 기억한다.

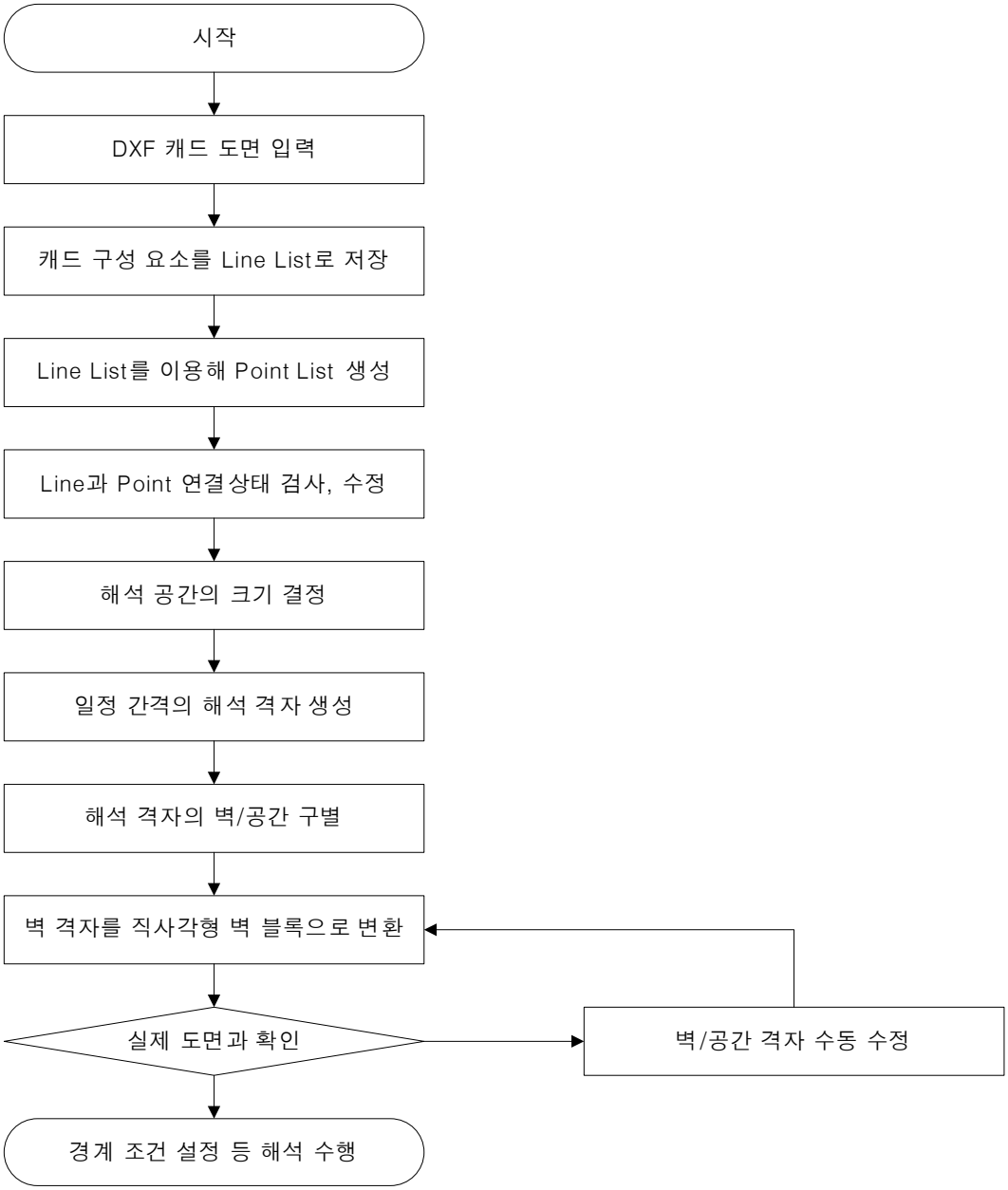
(5) 2차원 평면에 있는 전체 Point 중에서 가장 원점에 가까운 Point와 가장 멀리 있는 Point를 찾아 해석 대상 크기를 결정한다.

(6) 결정된 해석 격자의 크기를 일정한 간격(0.5m)로 나누어 해석 격자를 생성한다. 해석 격자의 가로축(I 방향)과 세로축(J 방향)에서의 숫자를 변수(NI, NJ)에 저장한다.

(7) 폐곡선으로 구성된 Line List를 이용하여 각 해석 격자가 해석 대상 공간인지 벽인지 구별한다.

(8) 해석 대상 공간이 아닌 벽 격자를 해석 모듈에서 인식할 수 있는 직사각형 형태의 벽 블록으로 만들어 저장한다.

벽으로 인식된 공간은 이후에 메뉴 작업에 의해 다시 공간으로 인식 될 수도 있고 공간도 벽으로 수정이 가능하다. 벽과 공간에 대한 수정이 이루어진 이후에는 다시 벽 블록 생성 알고리즘을 수행하게 된다.

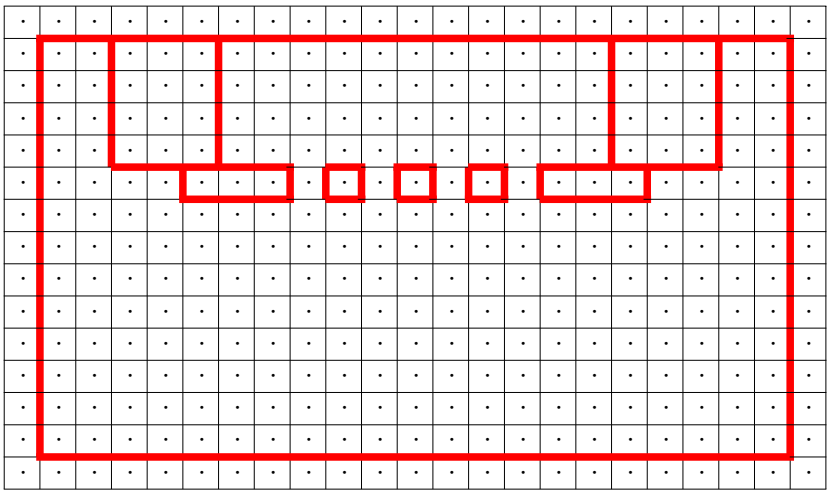


<그림 3-157> 해석 격자 생성 방법

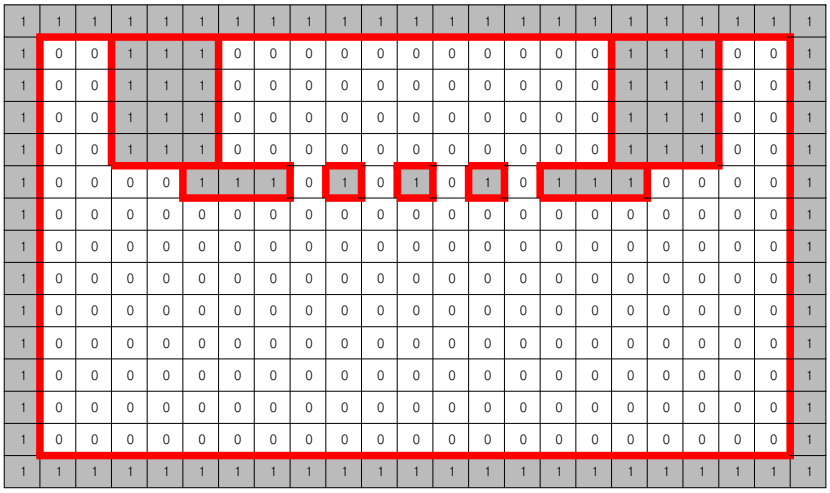
(7)번 과정에서 이루어지는 벽/공간 인식 알고리즘은 직선의 방정식을 이용하여 폐곡선 내부와 외부의 점을 구별하는 방법을 이용하였다. 해석 공간 외부의 한 점과 각 해석 격자의 중점을 연결하는 직선, Line List에 저장된 각 직선들이 만나는 교점의 숫자를 계산하여 교점의 숫자가 홀수인 경우에는 공간, 짝수인 경우에는 벽으로 구별하게 된다. 이 과정은 <그림 3-158(a)>에서 확인 할 수 있다.

(8)번 과정에서 이루어지는 직사각형 형태의 벽 블록 변환은 다음과 같은 알고리즘에 의해 수행 된다. 생성된 해석격자는 grid[][]의 2차원 배열에 저장되게 되는데 벽/공간의 이미지가 <그림 3-158(b)>와 같이 grid[][].isWall에 0과 1의 숫자로 저장되어 있다. 가로축(i) 방향으로 연속된 벽이 끝나는 위치를 먼저 검사하고 세로축(j) 방향으로 연속된 벽이 끝나는 위치를 다음에 검사하여 직사각형 형태의 연속된 벽 격자를 같은 숫자의 벽 블록으로 지정하게 된다. grid[][].WallNo에 벽 블록의 순서 숫자가 저장된다. 해석 도면의 4면 외곽은 미리 1~4번의 벽 블록으로 지정되기 때문에 이 알고리즘에 따른 벽 블록은 5번부터 시작하게 되고 이는 <그림 3-158(c)>에서 그 이미지를 볼 수 있다.

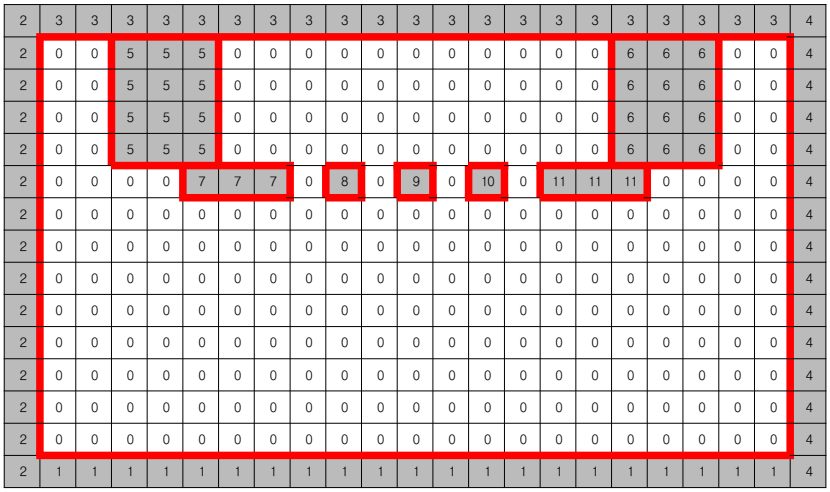
```
int cnt = 5;
for( j = njm - 1; j > 0; j-- ){
  for( i = 1; i < nim; i++ ){
    int ii = i;
    int jj = j;
    int lx = 9999;
    int ly = 0;
    while( grid[ii][jj].isWall > 0 ){
      if( grid[ii+1][jj].isWall <= 0 )
        lx = ii;
      if( grid[ii][jj-1].isWall <= 0 )
        ly = jj;
      if( ii <= lx && jj >= ly ){
        grid[ii][jj].isWall = 0;
        grid[ii][jj].WallNo = cnt;
        ii++;
      }
      if( ii > lx ){
        ii = i;
        jj--;
      }
      if( jj < ly ){
        jj++;
        cnt++;
}}}}
```



(a) 직선의 방정식을 이용하여 격자의 벽/공간 구별 방법



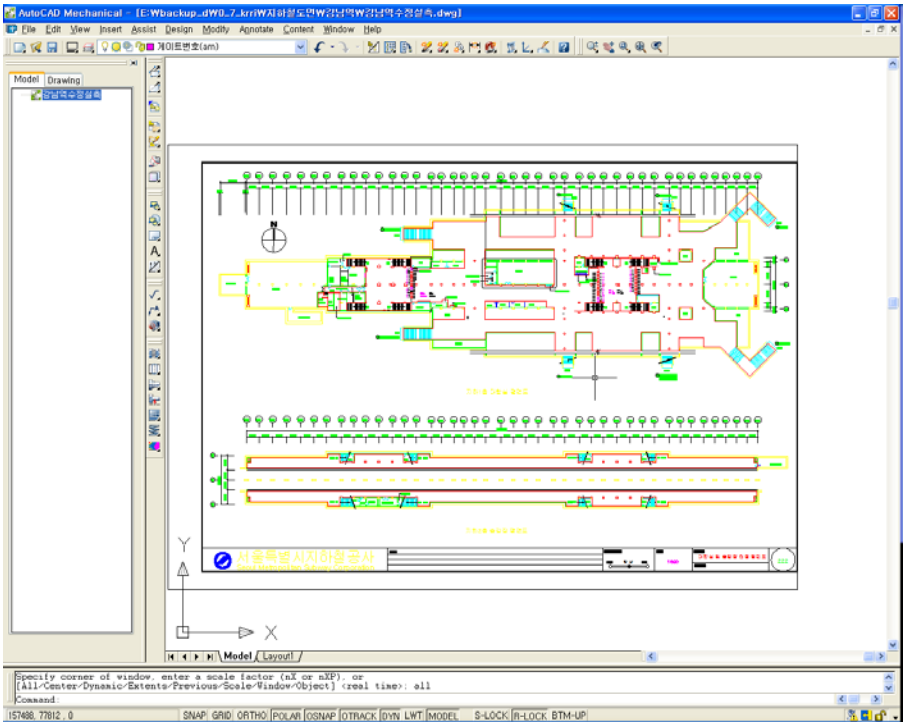
(b) 1과 0로 구분된 격자 이미지



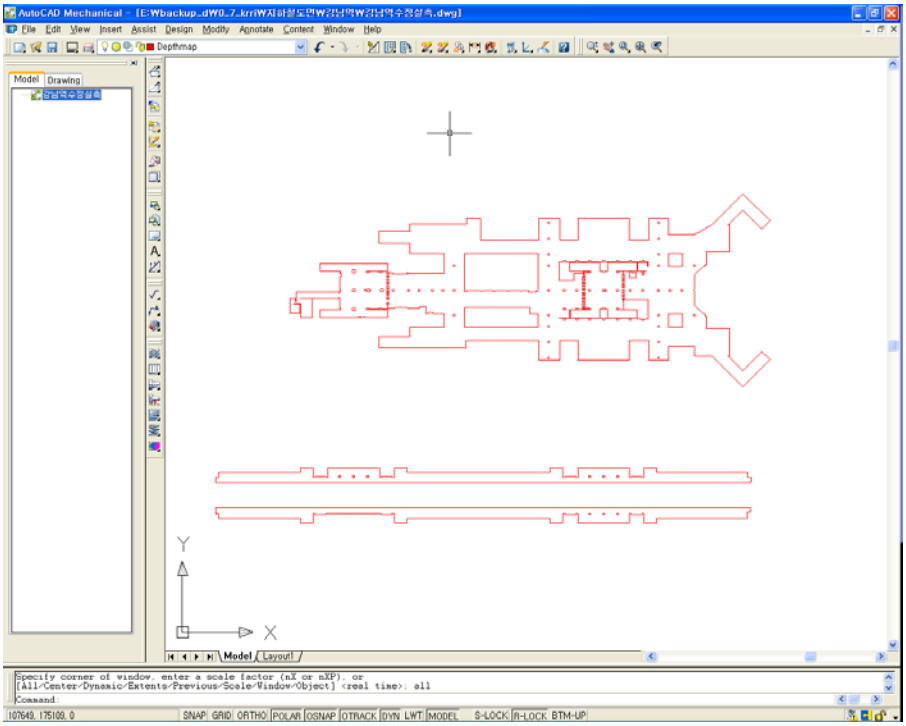
(c) 직사각형 형태의 벽 블록으로 구분된 격자 이미지

<그림 3-158> 해석 격자 생성 알고리즘

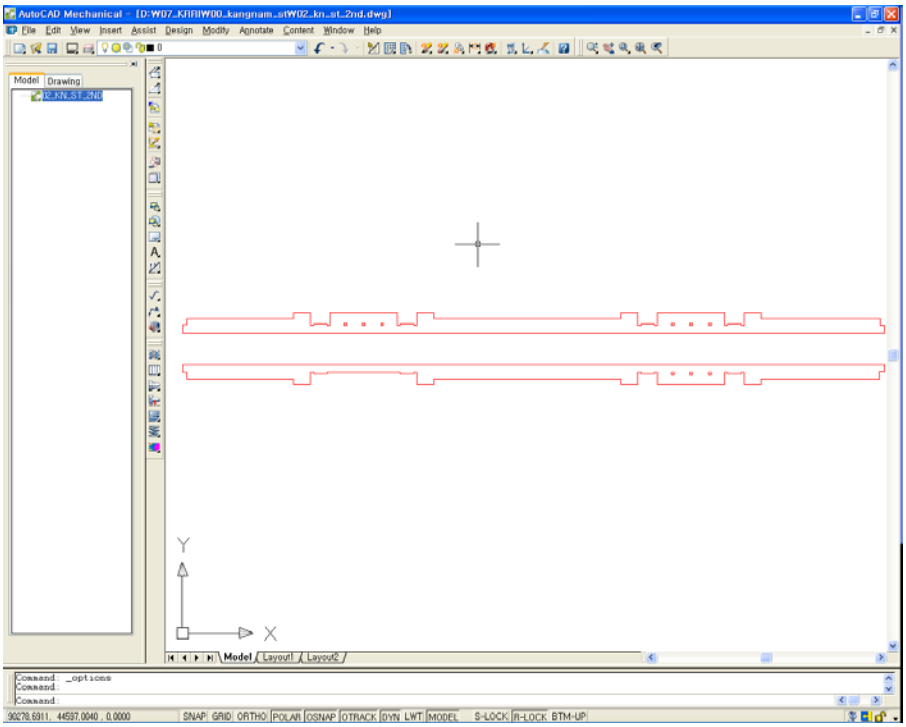
<그림 3-159>은 강남역 지하철 2호선 역사에 대한 모델링 전처리 구현 과정을 나타내는 그림이다. 지하철 역사에 대한 캐드 도면을 벽과 공간의 구별이 확실한 폐곡선으로 정리하는 작업을 캐드 프로그램에서 수행한 이후에 각 단일 층 별로 DXF 형식으로 저장한 이후에 본 시스템에서 불러 오게 되면 <그림 3-159(d)>와 같다. 불러오는 과정에서 내부적으로 <그림 3-157>의 순서도과 같은 작업이 수행된다. 내부 작업을 거쳐 0.5m 간격의 해석 격자로 모델링 된 것을 확인할 수 있다. <그림 3-159(d)>에 나타나는 빨간 선은 원래의 캐드 도면에서 벽을 나타내는 선이고 흰색은 해석 대상 공간, 검정색은 해석하지 않는 벽 공간을 나타낸다. 프로그램에 나타난 해석 격자는 프로그램 창 상단의 툴바를 이용하여 확대하여 확인할 수도 있다.



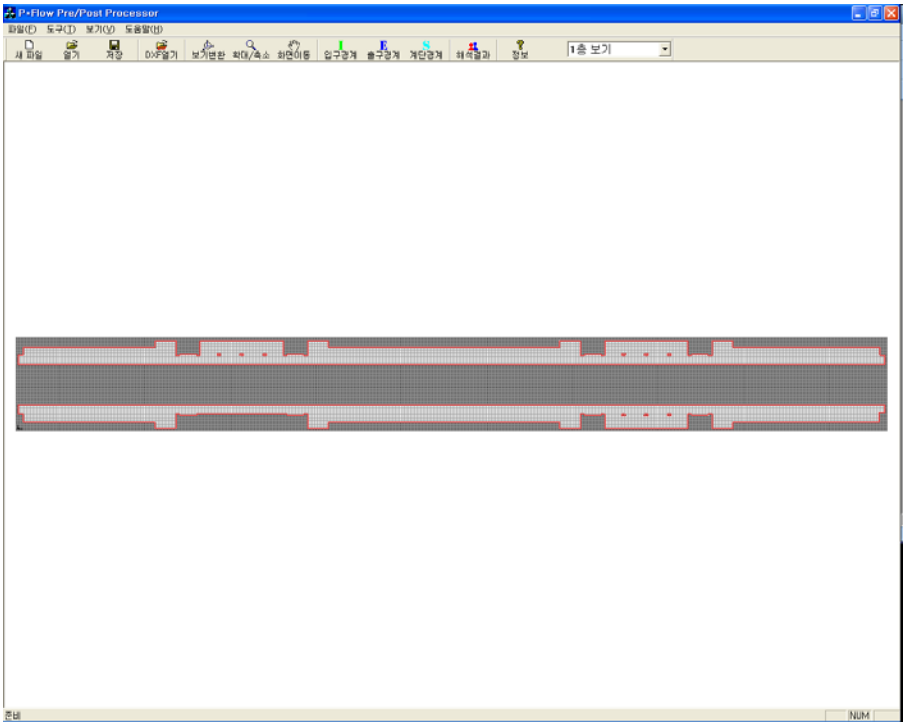
(a) 강남역 지하철 역사 캐드 도면 (AutoCAD 2006)



(b) 벽과 공간으로 정리한 캐드 도면 (AutoCAD 2006)



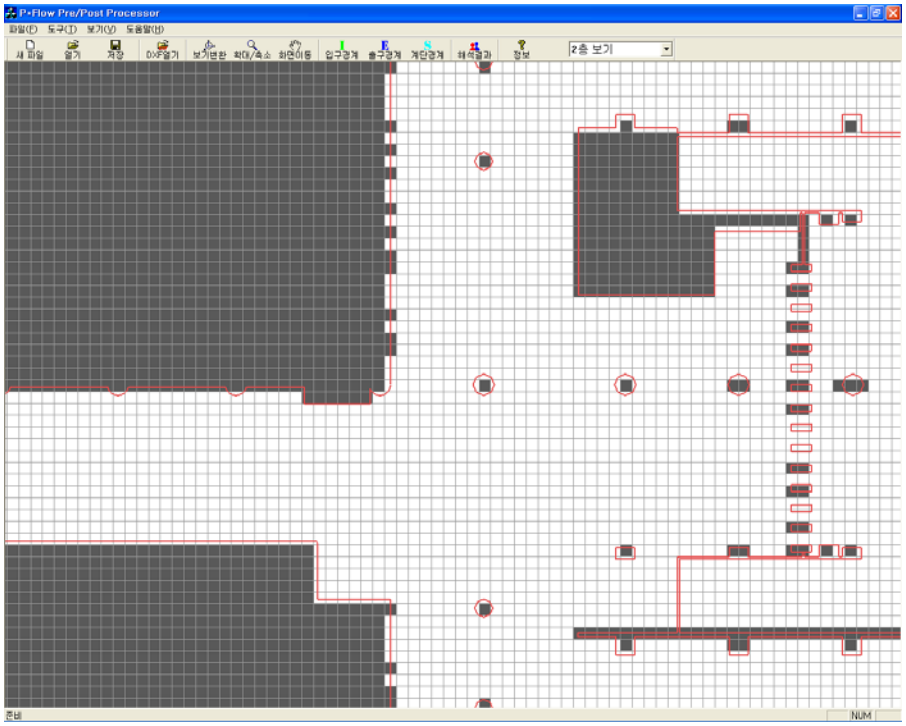
(c) 단일층으로 분리한 캐드 도면 (AutoCAD 2006)



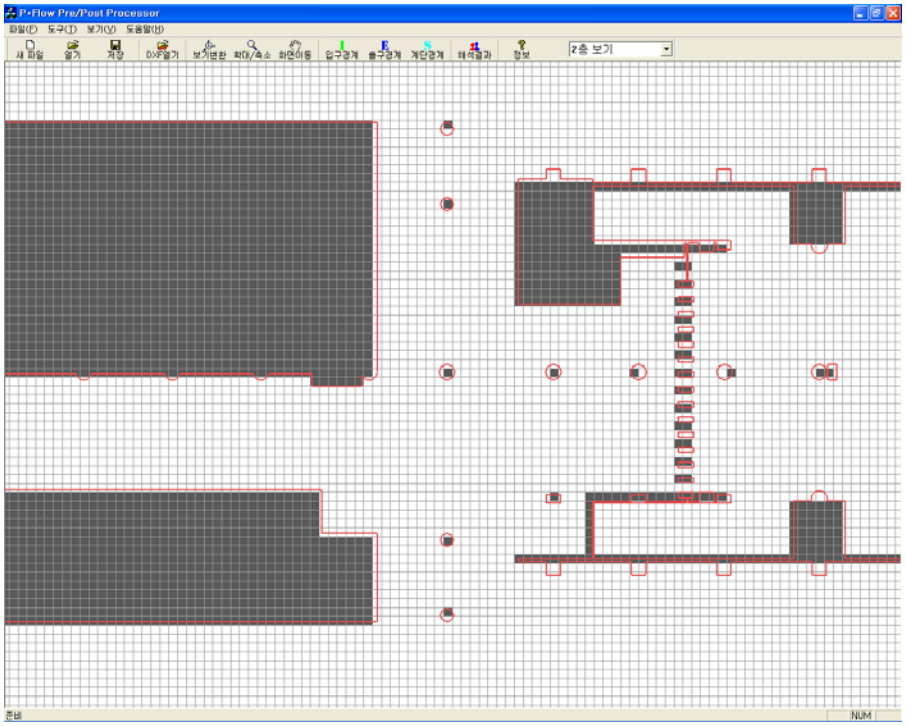
(d) 전 후처리 장치를 이용한 캐드 도면 불러오기

<그림 3-159> 강남역 지하철 역사의 해석 공간 모델링

<그림 3-160>는 불러온 캐드 도면으로 모델링한 해석 격자가 해석에 이용될 수 있는 지 실제 도면과 확인하고 수정하는 과정을 나타낸 그림이다. 본 시스템에서 구현한 해석 격자는 마우스 조작을 통해 확대/축소, 이동을 자유롭게 할 수 있고 이를 통해 해석격자의 모든 부분이 여객 유동 해석에 이용 가능한 해석 격자인지 판단하고 수정할 수 있다. <그림 3-160(a)>는 수정전의 해석 격자를 나타낸 그림이다. 벽 주변에 해석 격자가 튀어나와 있다거나 0.5m 간격의 해석 격자보다 얇은 벽의 경우에 벽 격자로 인식되지 않는 경우가 있을 수 있다. 이런 경우에는 메뉴의 “벽 지정/해제” 기능을 이용하여 벽 격자를 직접 지정하고 해제할 수 있다. <그림 3-160(b)>는 벽 격자 수동 처리 기능을 이용하여 해석에 필요한 정리한 해석 격자의 모습을 나타낸다. 벽 격자를 수동으로 수정하는 경우에는 수정이 완료된 이후에 자동으로 벽 블록 변화과정이 다시 수행된다.



(a) 수정 전 해석 격자



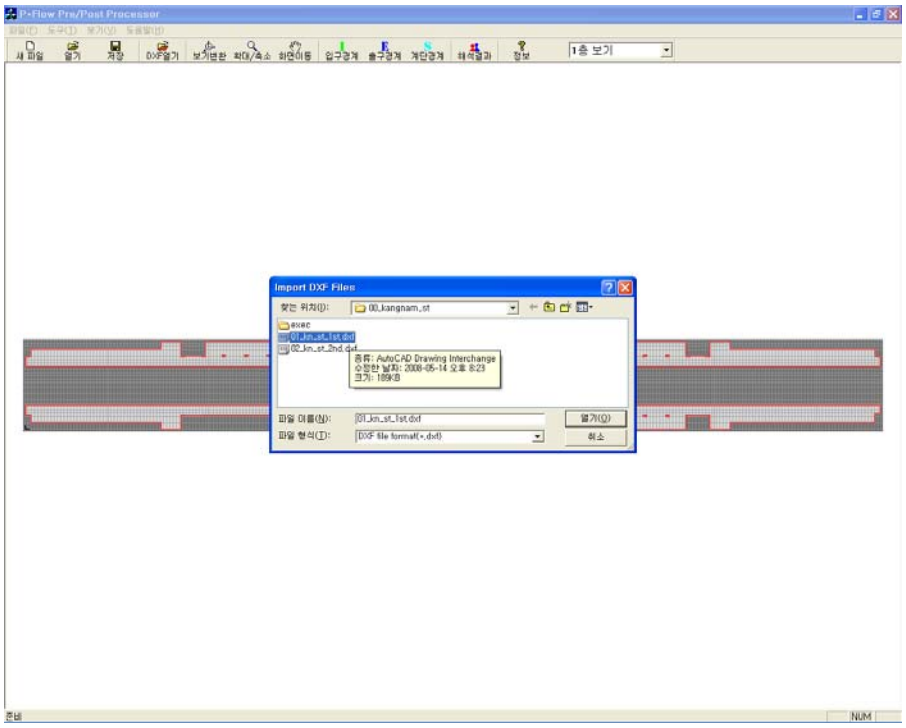
(b) 수정 후 해석 격자

<그림 3-160> 해석 격자의 수정

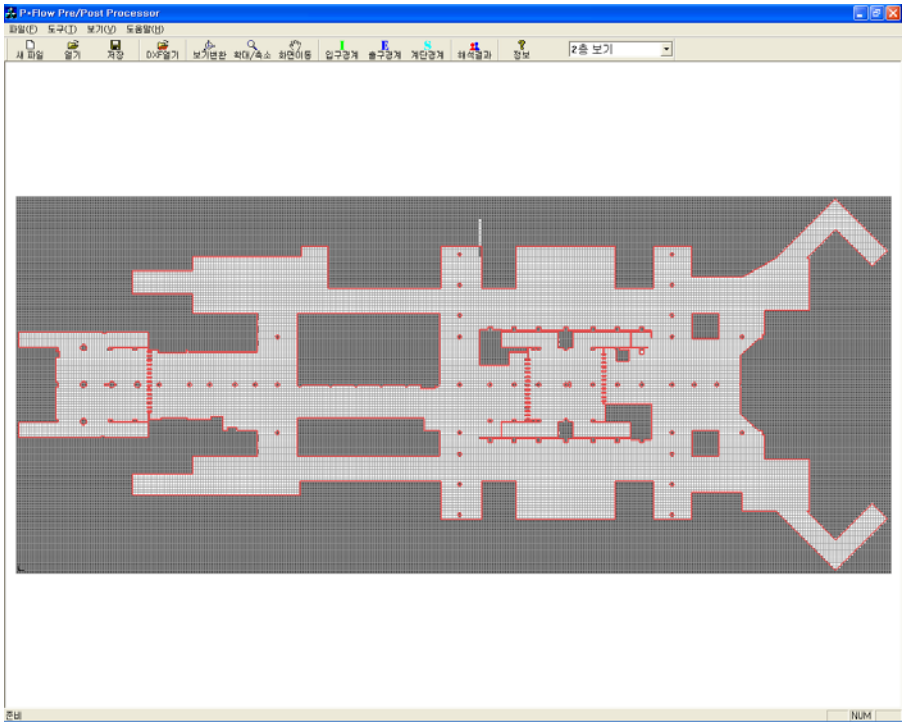
다. 복수층 모델링 전처리 모듈 개발

복수 층의 철도역사 모델링은 단일 층 모델링의 확장이다. 단일 층 모델링에서 사용한 방법을 복수 층 모델링에 똑같이 적용시켜 단일 층으로 구현된 DXF형식의 캐드 도면을 본 시스템에서 읽어올 때마다 층이 추가되는 방법으로 복수 층 모델링을 구현하였다.

<그림 3-161> 은 강남역 지하철 역사의 지하 2층을 지상 1층의 개념으로 불러온 이후에 지하 1층을 지상 2층의 개념으로 본 시스템에 읽어오는 그림이다. 그림에서 보듯 각 층별로 볼 때마다 도구모음에 “1층보기”와 “2층보기”로 구별되어 있으며 각 층을 독립적인 데이터 셋을 가진 상태에서 계단 등의 경계조건에 의해 연결된다.



(a) 지하 1층의 캐드 도면을 불러오기



(b) 해석 격자로 모델링 된 지하 1층 역사

<그림 3-161> 강남역 지하 1층과 지하 2층에 대한 복수 층 모델링

<그림 3-162>은 모델링된 복수 층의 해석 격자에 경계조건을 부여하는 방법을 나타냈다. 본 시스템의 해석 모듈에서 사용하는 경계조건은 입구 경계조건, 출구 경계조건, 계단 경계조건이 있다.

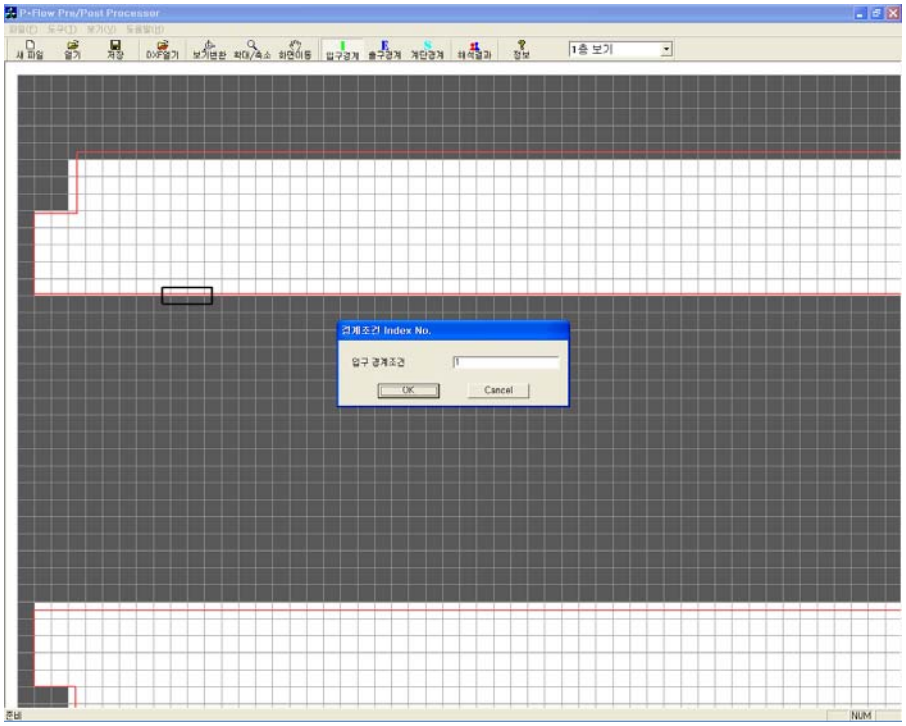
<그림 3-162(a)> 는 승강장인 지하 2층에 입구 경계조건을 설정하는 그림이다. 본 프로그램 상단의 툴바에 있는 “입구경계 입구경계” 버튼을 누르면 입구 경계조건을 설정할 수 있으며 경계로 설정할 부분을 마우스로 지정하고 나면 경계조건 번호를 지정할 수 있는 창이 뜬다. 이 창에 설정한 경계조건의 고유번호를 지정하게 되면 하나의 입구 경계조건이 설정된다. 다음 입구 경계조건을 위해 <그림 3-162(b)> 와 같이 지하철 승강장의 위치와 같은 입구 경계조건 위치가 나타나게 되고 다음 입구 경계조건을 설정할 수 있다. <그림 3-162(c)> 는 강남역 지하철 역사 승강장의 80개의 지하철 출입문 위치를 입구 경계조건으로 지정한 모습이다.

계단 경계조건은 복수 층의 경계를 이어주는 역할을 하는 경계조건이며, 승강장에서 출구로 나가는 여객 유동을 기반으로 하여 승강장에서의 계단 경계는 승강장층의 출구 역할, 지하 1층에서의 계단 경계는 지하 1층에서의 입구 역할을 하게 된

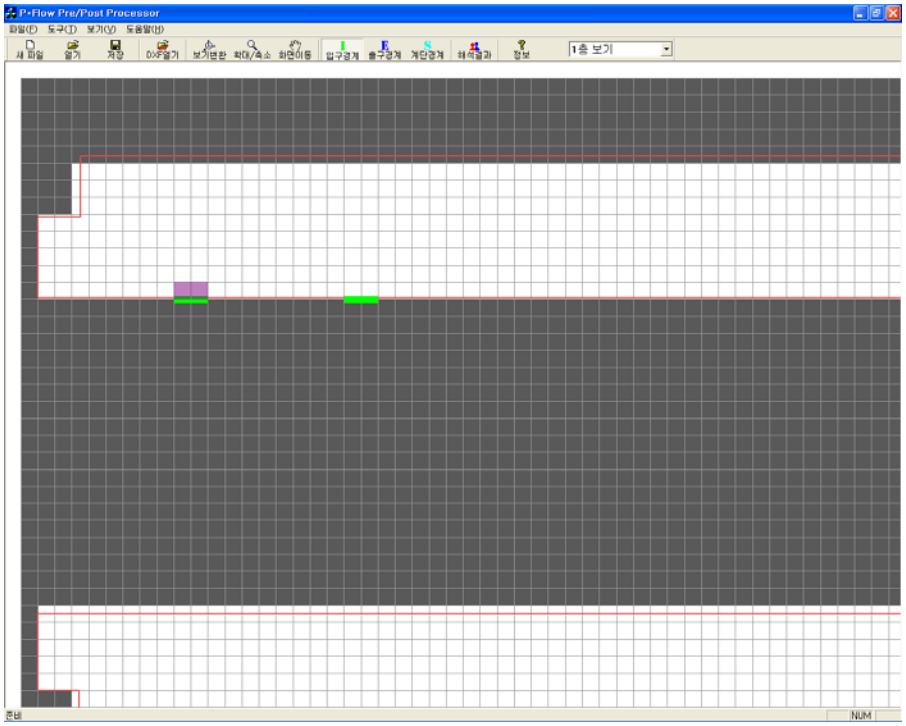
다. 각 층마다 계단 경계조건은 같은 고유 숫자로 지정되어 승강장 층에서 계단 경계조건으로 빠져나온 여객은 지하 1층 같은 고유 숫자의 계단 경계에서 다시 유입된다. <그림 3-162(d)> 는 승강장 층에서 계단 경계를 지정하고 고유 숫자를 입력하는 그림이다. 지하 1층에서도 마찬가지 방법으로 툴바에 있는 “계단경계” 버튼을 눌러서 계단 경계를 지정하고 고유 숫자를 지정할 수 있다.

출구 경계조건은 철도 역사에서 외부로 빠져나가는 경계조건이며 지하 1층에 <그림 3-162(e)> 와 같이 설정한다. 출구 경계조건에도 툴바에 있는 “출구경계” 버튼을 눌러서 출구 경계조건을 설정하고 경계조건 마다 고유 숫자를 지정할 수 있다.

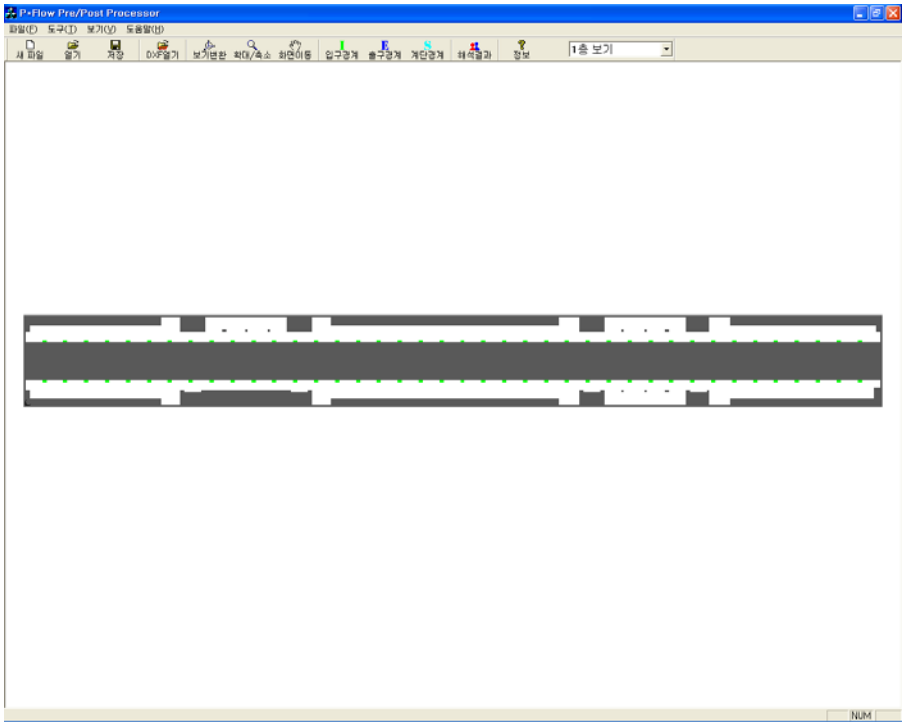
입구, 계단, 출구 경계조건의 설정은 메뉴의 “도구>경계조건” 설정이나 툴바에 있는 단축 아이콘을 통해 설정할 수 있다. <그림 3-162(f)> 는 모든 경계조건 설정이 완료된 강남역 지하 1층의 모델링된 해석 격자의 모습을 나타낸다.



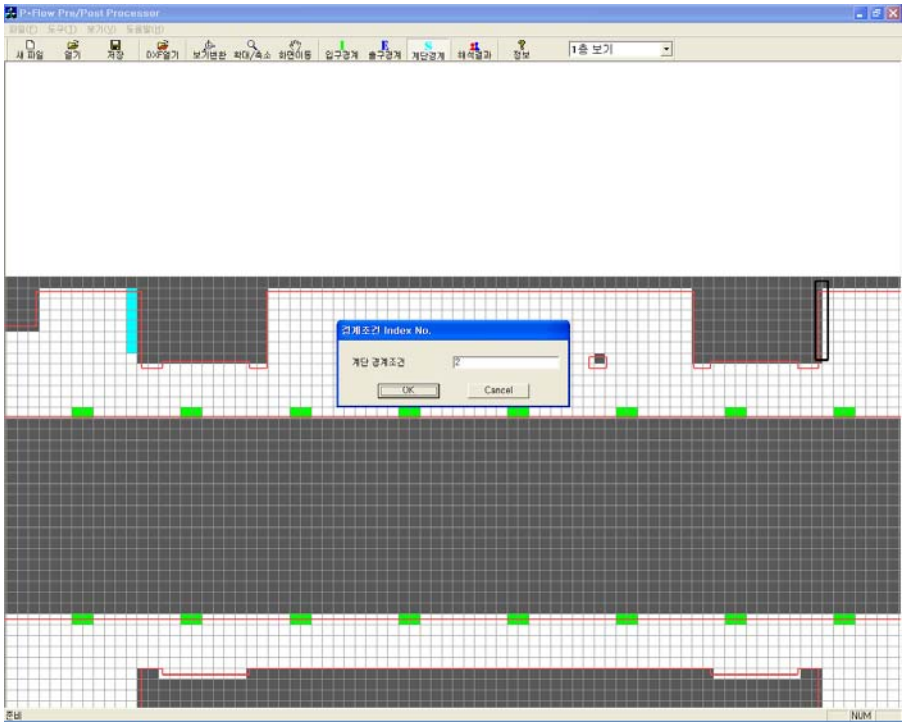
(a) 승강장 입구 경계조건 설정



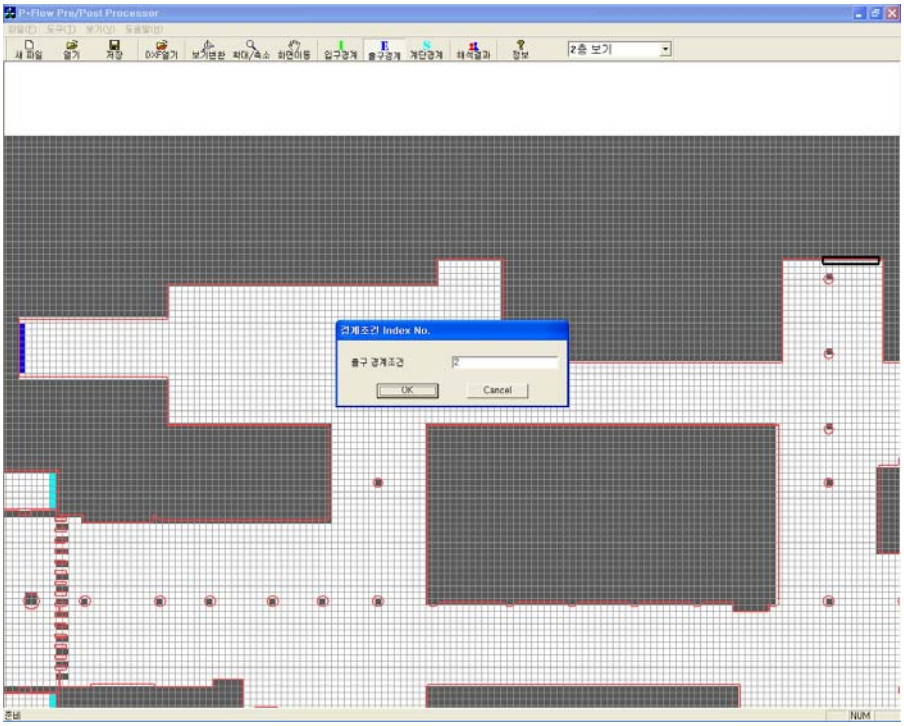
(b) 승강장 입구 경계조건 설정



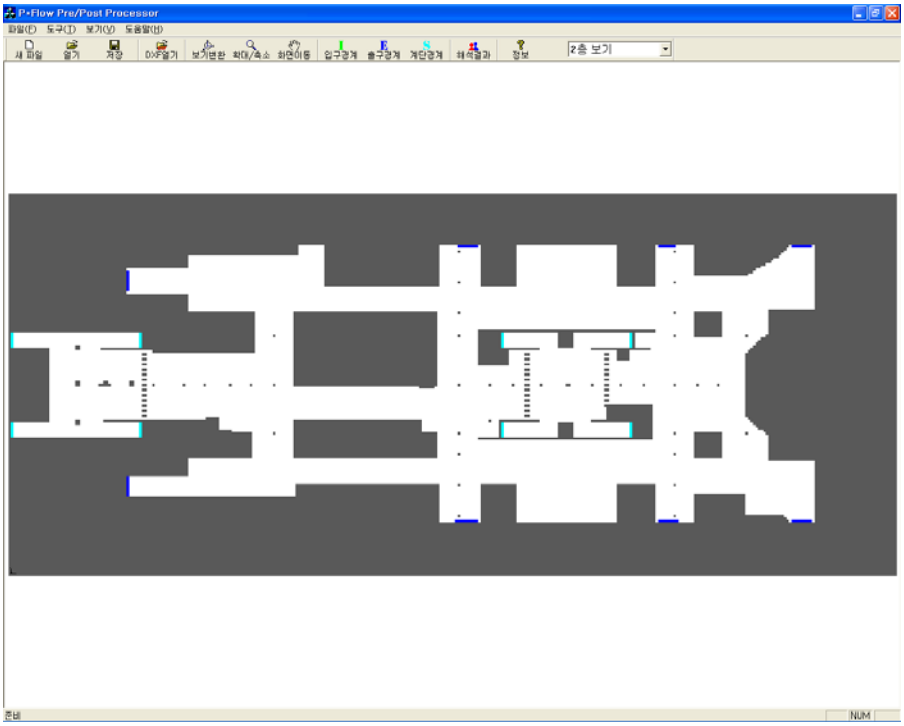
(c) 승강장 입구 경계조건 설정 완료



(d) 승강장 계단 경계조건 설정



(e) 지하 1층 출구 경계조건 설정



(f) 지하 1층의 출구와 계단 경계조건 설정

<그림 3-162> 강남역 지하 1층과 지하 2층에 대한 경계조건 설정

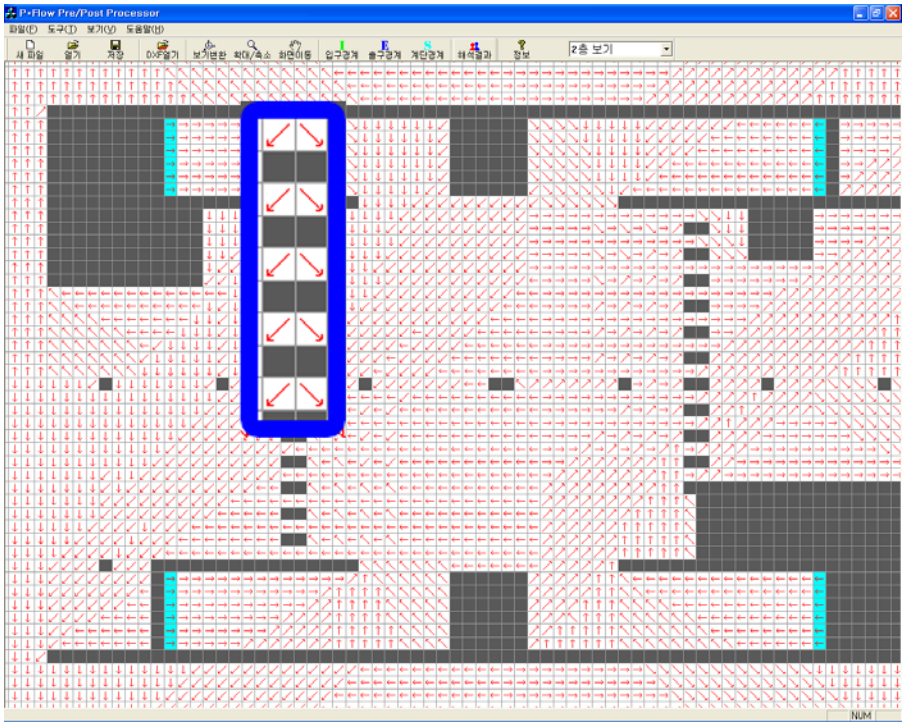
라. 여객 유동 해석 모듈과의 연동 개발

해석 대상에 대해 해석 격자 모델링과 경계조건의 설정 이후에는 해석 모듈과의 연동을 위한 계산 조건의 설정과 해석 모듈과 연동시켜 계산을 진행하는 과정이 본 시스템에서 이루어진다.

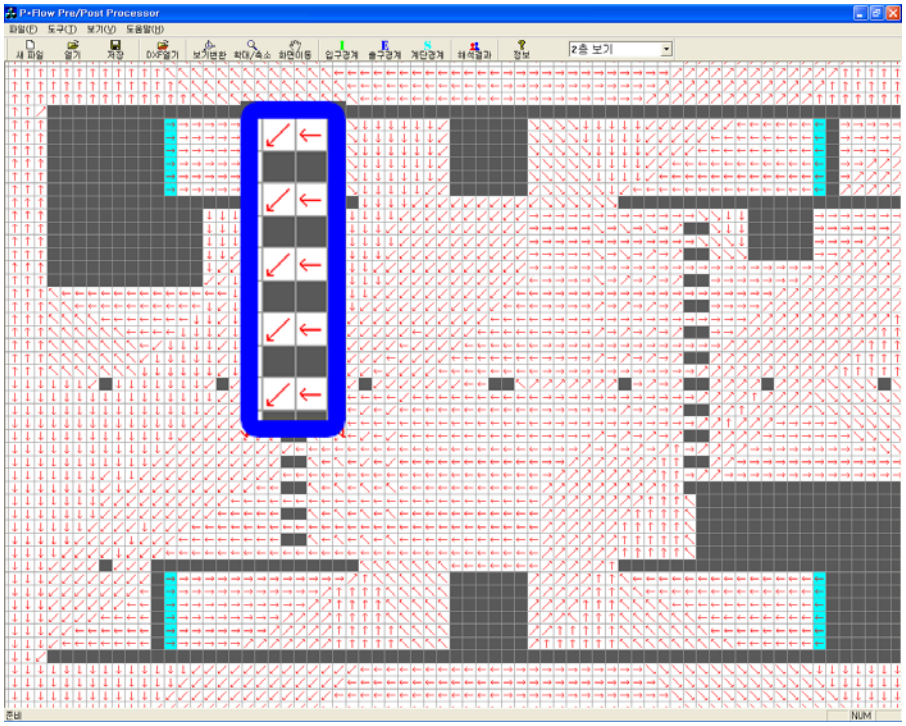
<그림 3-163>은 경계조건이 설정된 지하 1층 해석 격자에 대해 여객 유동의 포텐셜 맵에 따른 유닛벡터를 나타낸 그림이다. 본 시스템에서는 해석을 수행하기에 앞서 여객유동의 방향을 나타내 주는 기능이 개발되어 있다. 메뉴의 “보기>포텐셜 맵 보기” 버튼을 클릭하면 해석 격자의 형태와 경계조건에 따라 포텐셜 맵이 계산되고 그에 따른 유닛벡터가 화면에 표시된다. <그림 3-163(a)> 는 자동으로 계산된 유닛벡터의 모습이다. 그림의 파란 테두리 부분과 같이 유동의 방향이 서로 등을 돌리고 있으면 해당 영역으로는 여객 유동이 없게 된다. 이는 실제 여객 유동의 흐름과 상충하므로 수정이 필요하다. “포텐셜 맵 보기” 기능 수행 중에는 마우스 오른쪽 버튼을 클릭을 하며 해당 클릭한 위치의 유닛벡터가 반시계 방향으로 회전하여 수정된다. <그림 3-163(b)> 는 수정된 유닛벡터를 나타내는 그림이다. 수정된 유닛벡터는 “메뉴>도구”의 “P*FLOW 방향벡터 저장” 메뉴를 통해 파일 형식으로 저장되고 본 여객 유동 해석 모듈을 수행할 때 수정된 방향벡터에 따라 여객 유동을 계산하게 된다.

<그림 3-164>은 여객 유동 해석 모듈에서 해석을 수행하기 위한 과정을 나타내는 그림이다. “메뉴>도구”에 있는 “P*FLOW 해석변수 설정”을 이용하여 <그림 3-164(a)> 와 같이 총 해석 시간, 층간 높이, 입구 유입시간, 시간 간격, 입력 파일의 경로 등을 지정한다. 해석 대상 도메인의 모델링과 해석변수 설정이 마무리 되면 해석 모듈에서 계산에 이용할 수 있는 입력 파일을 저장한다. “메뉴>도구”에 있는 “P*FLOW 입력파일 저장”을 이용하여 <그림 3-164(b)> 와 같이 입력 파일을 저장하면 여객 유동 해석에 필요한 모든 전처리 과정이 종료된다.

“메뉴>도구”에 있는 “P*FLOW 해석 실행”을 이용하여 본 시스템 내에서 여객 유동 해석을 실행할 수 있다. <그림 3-164(c)> 와 같이 해석 프로그램을 선택하면 설정된 해석 변수의 경로에 따라 해석이 진행된다. <그림 3-164(d)> 는 해석이 진행 중인 화면을 나타낸다.

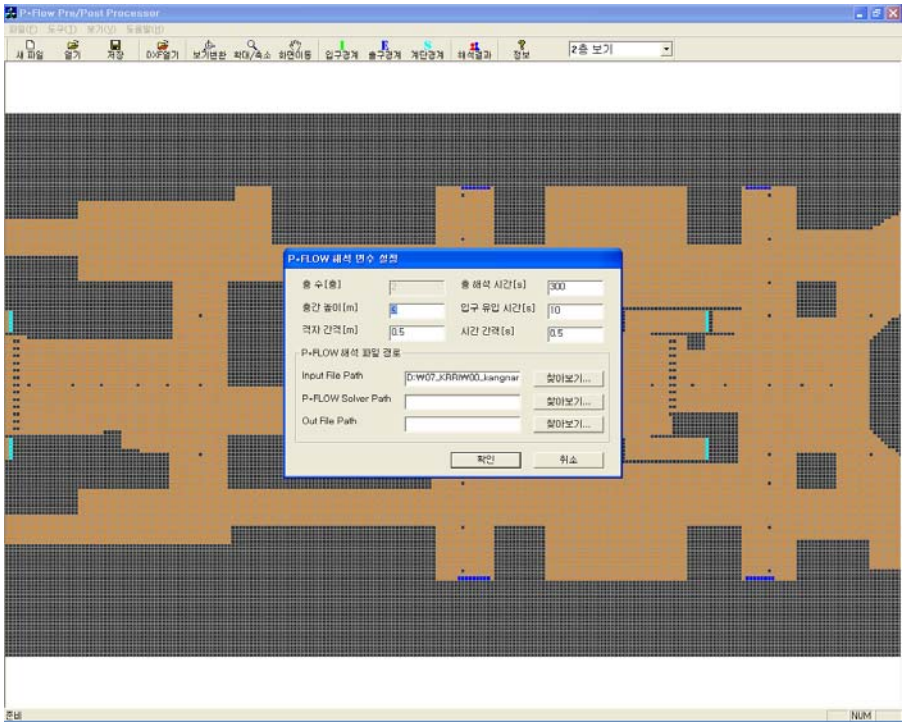


(a) 포텐셜 맵에 따른 여객 유동 유닛 벡터

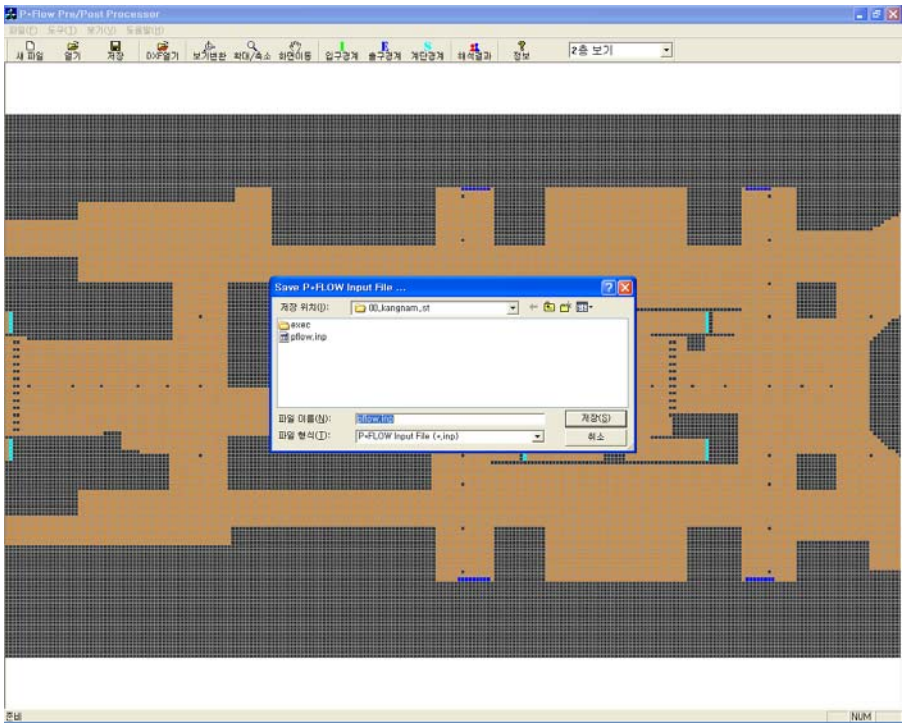


(b) 수정된 여객 유동 유닛 벡터

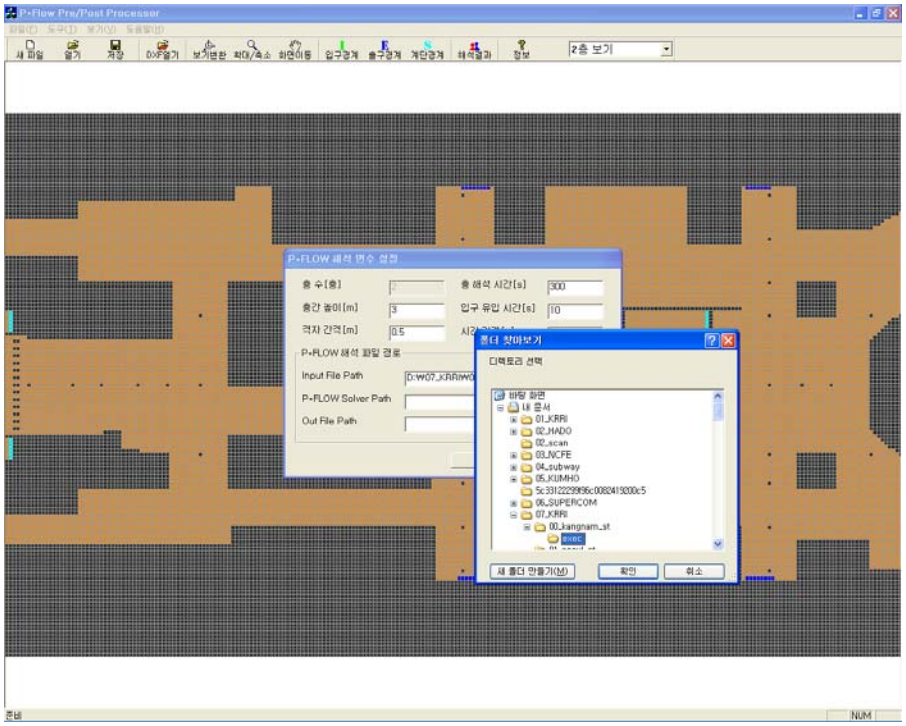
<그림 3-163> 경계조건일 설정된 해석 격자에 대한 유닛 벡터



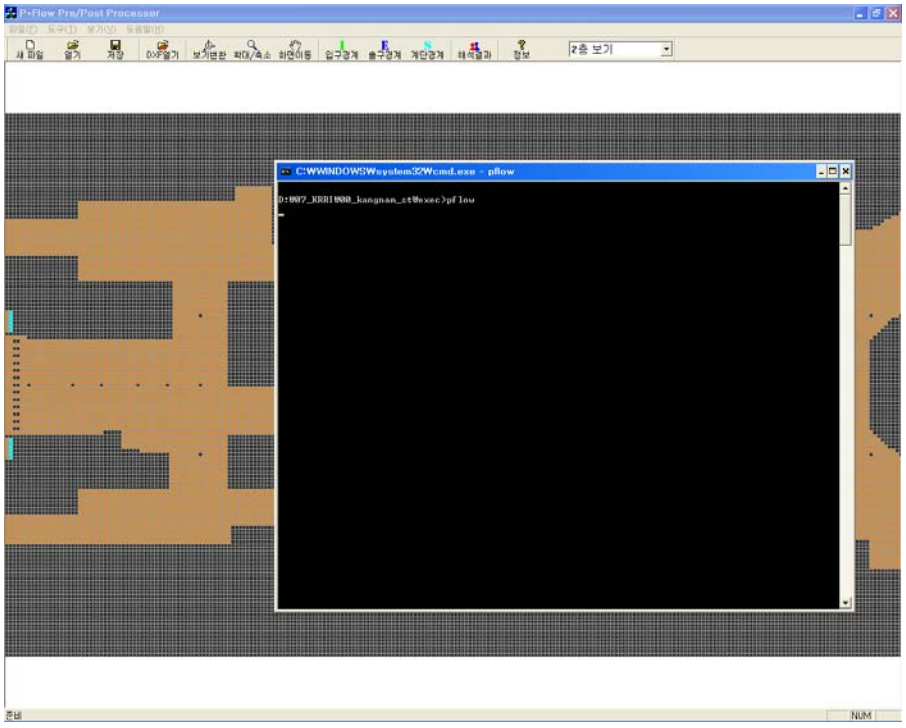
(a) 계산 조건의 설정



(b) 입력 파일 저장



(c) 해석 프로그램 선택



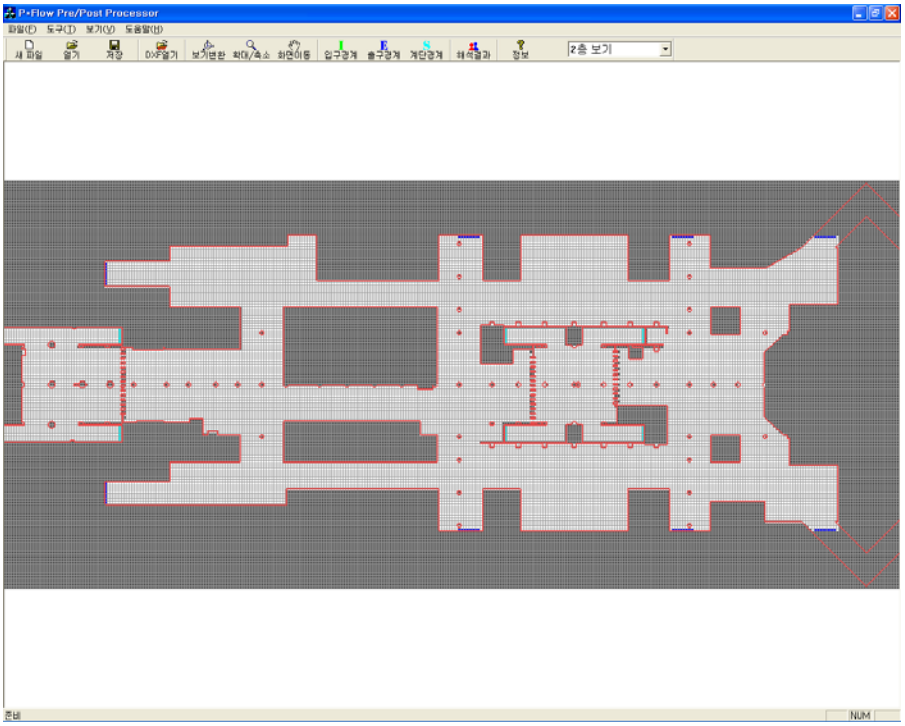
(d) 여객 유동 해석

<그림 3-164> 여객 유동 해석 모듈과의 연동 과정

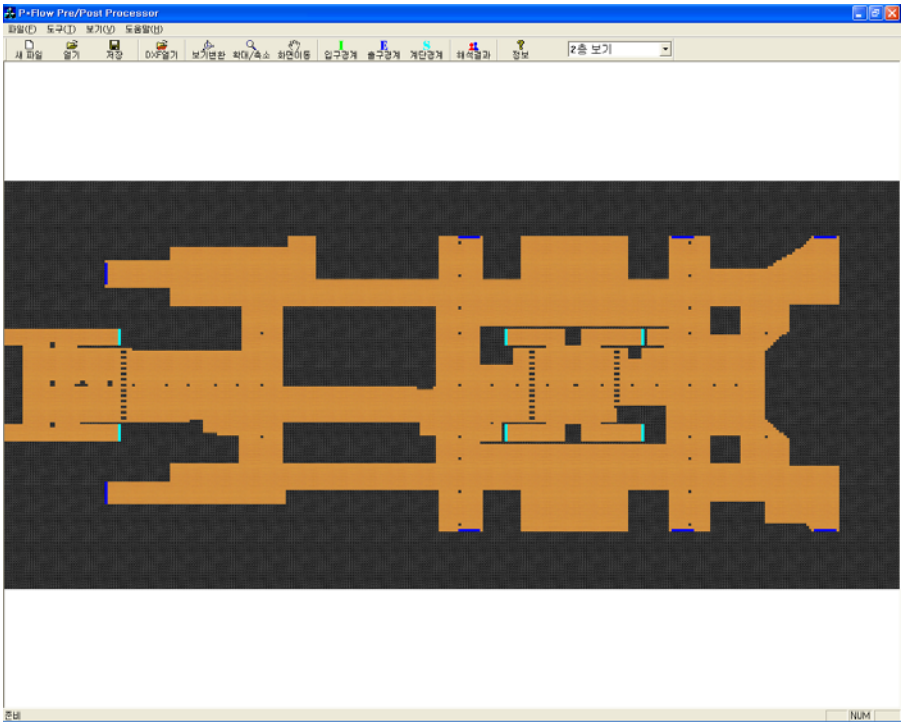
마. 아바타 시뮬레이션 기능 개발

<그림 3-165>는 본 시스템에서 구현 가능한 여러 가지 2차원 또는 3차원 시뮬레이션 환경을 보여준다. 기본 화면은 <그림 3-165(a)>와 같이 해석 격자와 기존의 도면의 경계가 2차원으로 나타나지만, “메뉴>보기”의 다양한 옵션과 툴바의 “보기변환”, “확대/축소”, “화면이동” 기능을 이용하여 다양한 2차원 또는 3차원 시뮬레이션 환경을 설정할 수 있다. 그림 <3-165(b)>는 격자와 도면의 경계를 안보이게 하고 2차원 모델링 표면에 텍스쳐맵핑을 한 화면이고, <그림 3-165(c), (d)>는 “보기변환” 기능과 마우스 트랙킹을 통해 나타낸 3차원 시뮬레이션 환경을 나타낸다. 본 시스템에서는 이와 같이 다양한 시뮬레이션 환경에서 여객 유동을 아바타 시뮬레이션 할 수 있도록 기능을 개발 하였다.

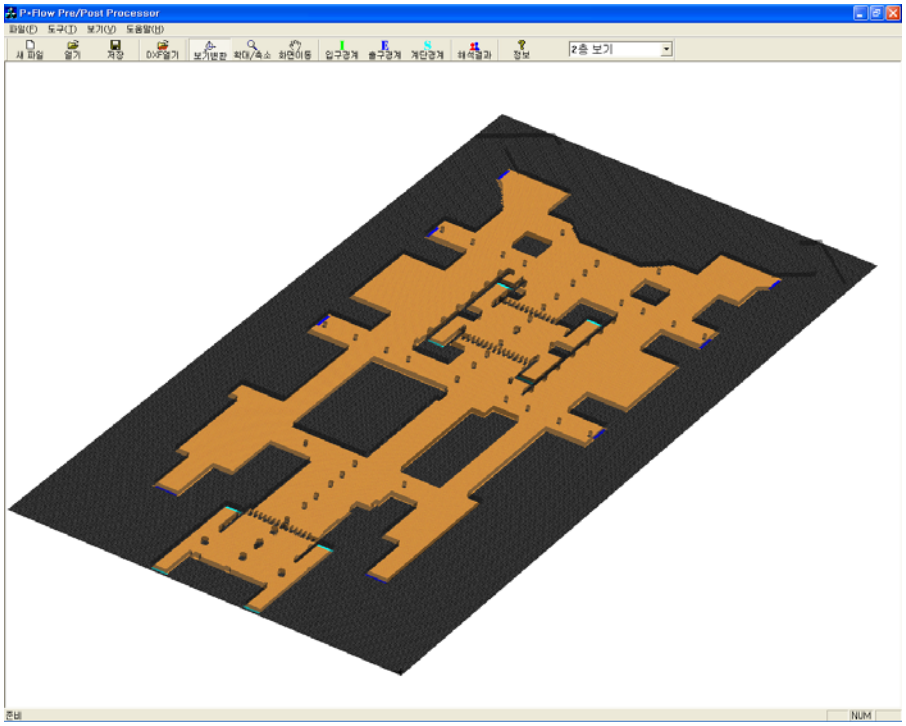
<그림 3-166>은 강남역 지하철 역사에 대한 아바타를 이용한 여객 유동 시뮬레이션을 보여주는 그림이다. <그림 3-166(a)> 는 본 시스템에서 구현 가능한 여러 가지 시뮬레이션 모드 중 2차원 여객 유동 시뮬레이션을 나타낸다. 계단을 통해 승강장에서 올라오는 여객이 지하1층 게이트를 통과하여 빠져나가는 모습을 나타난다. <그림 3-166(b)> 는 지하철에서 내린 여객들이 계단을 향해 움직이는 모습을 나타낸다. 초록색으로 나타나는 선이 지하철 출입문인 입구 경계를 나타내고 하늘색으로 표시되는 선이 계단경계를 나타낸다. 계단 주변에 여객이 밀려있는 것을 확인 할 수 있다. <그림 3-166(c), (d)>는 지하 1층 게이트를 통과한 여객들이 출구를 향해 움직이는 것을 3차원 시뮬레이션 한 그림이다. 게이트에서 가장 가까운 출구를 향해 여객이 움직이는 것을 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있다.



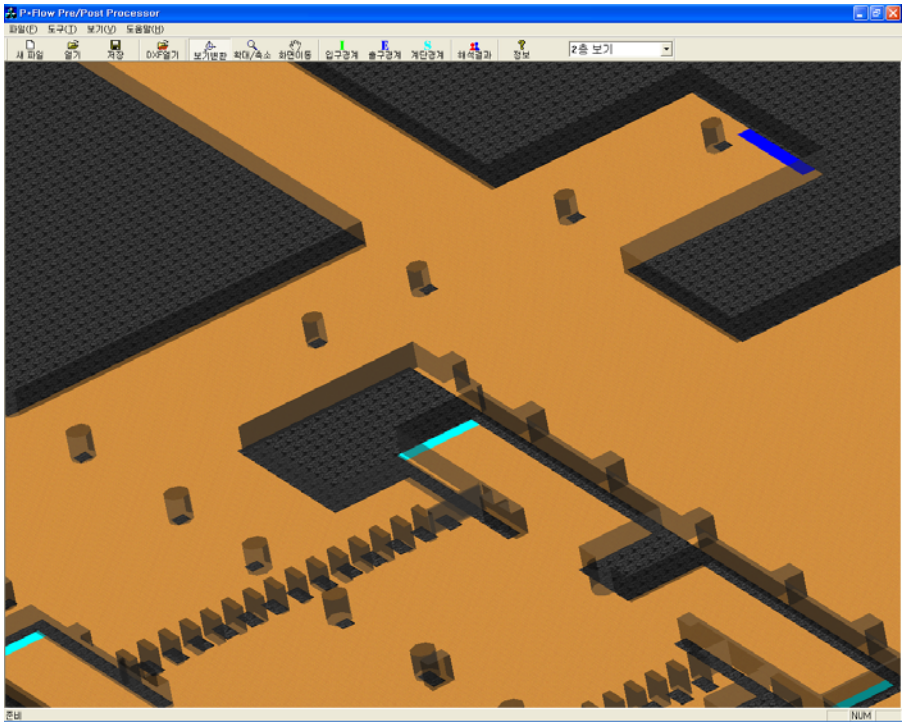
(a) 2-D 해석격자 보기



(b) 2-D 텍스쳐 맵핑 보기

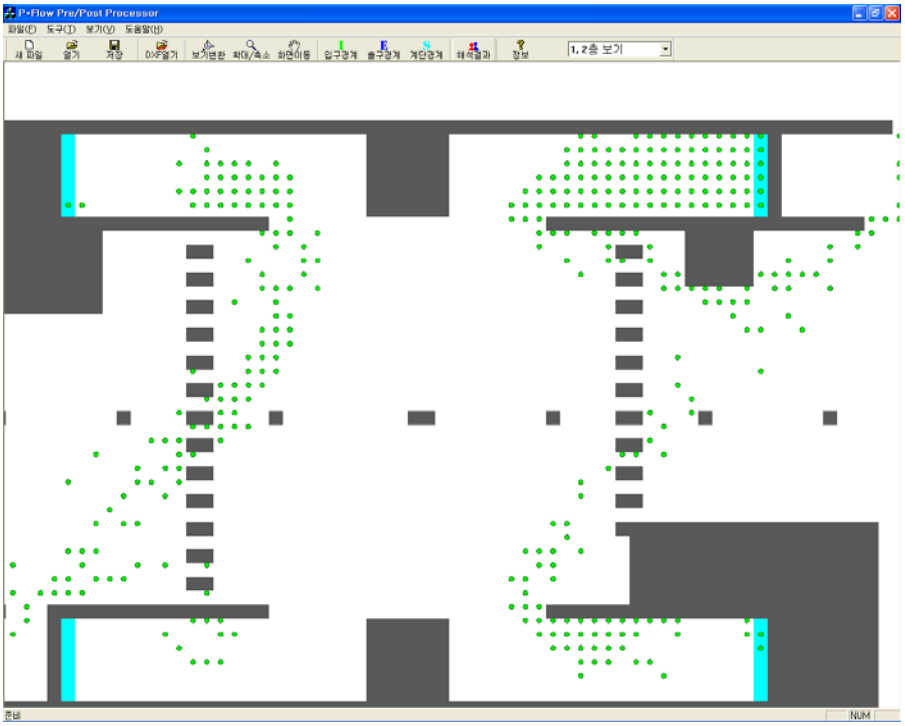


(c) 3-D 전체 역사 보기

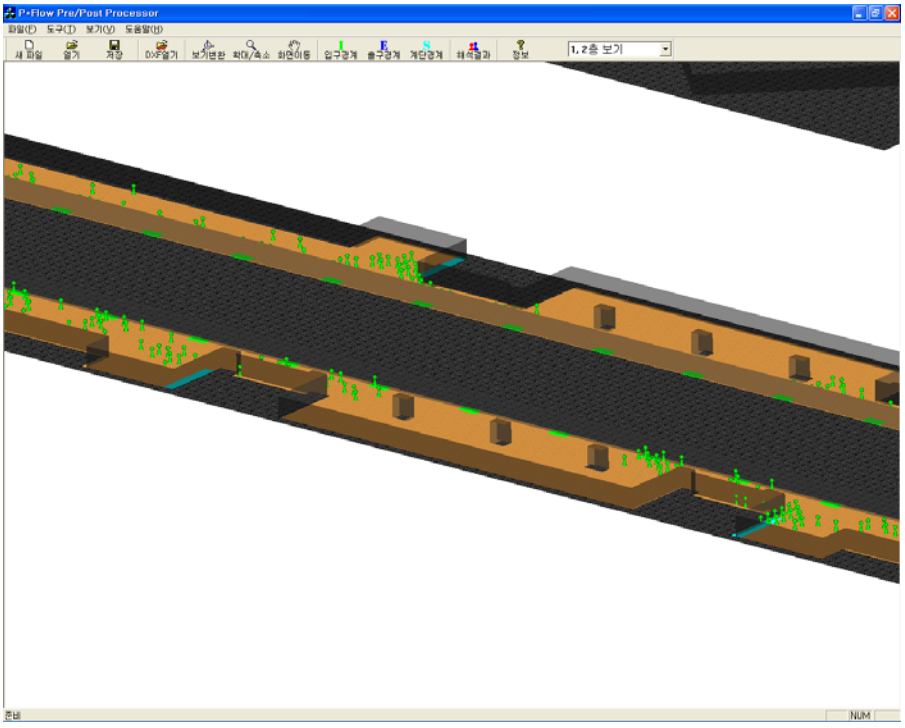


(d) 3-D 역사 일부 확대

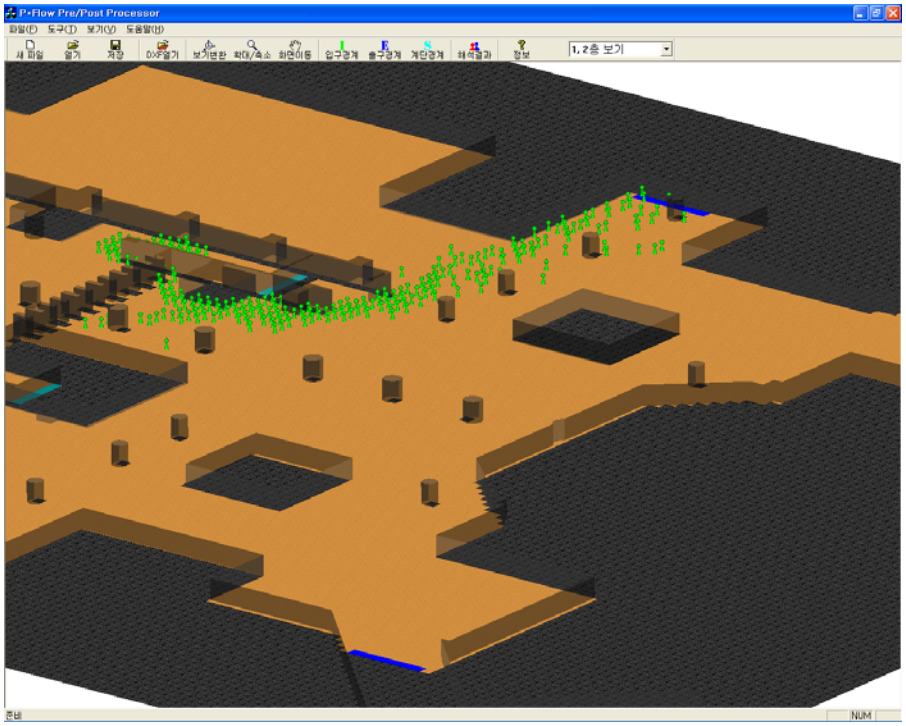
<그림 3-165> 본 시스템의 다양한 시뮬레이션 환경



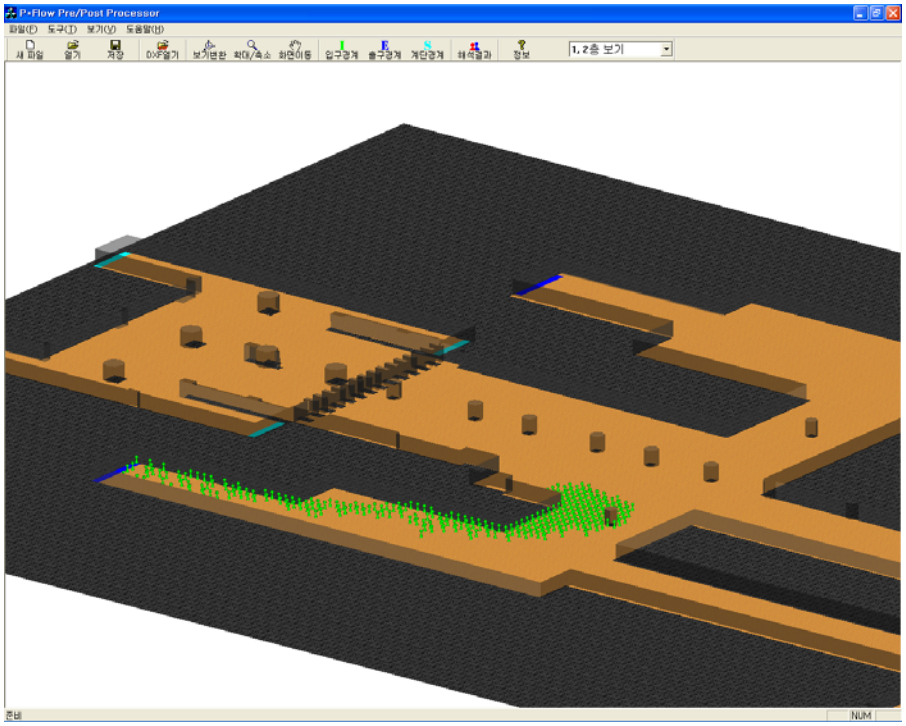
(a) 2-D 시뮬레이션



(b) 3-D 시뮬레이션 (승강장)



(c) 3-D 시뮬레이션 (지하 1층)



(d) 3-D 시뮬레이션 (지하 1층)

<그림 3-166> 여객 유동 해석 모듈과의 연동 과정

3. 연구 개발목표 달성도 및 관련분야 기여도

본 연구는 철도 역사에서의 여객 유동 평가 시뮬레이션을 위한 통합 소프트웨어 개발에 최종 목표를 두고 수행되었다. 본 연구를 통해 개발될 전처리 모듈은 지능형의 건물자료모델을 기반으로 손쉽게 건축공간을 모델링할 수 있음은 물론, 건축객체, 공간의 연결 관계에 대한 정보가 자동으로 설정됨으로써 지능형 객체 지향 모델을 가능하게 할 것이다.

연구를 통해 개발한 전처리모듈의 개발과 분석모듈과의 연동 기능 개발을 위하여 철도 역사를 가능한 상세히 모델링 하며 공간의 연결 관계를 자동으로 설정할 수 있는 시스템을 개발하였으며 분석을 위한 데이터를 생성하고 저장하는 기능을 개발하였다. 또한 아바타 시뮬레이션을 위한 기본적인 기능을 개발하여 본 시스템 상에서 테스트하였다. 전체적인 여객유동해석의 처리 과정을 강남역, 서울역 역사를 실제 모델링 하여 테스트 하였고 그 결과는 개발 목표를 달성한 것으로 평가된다. 연구 목표는 전반적으로 100% 달성되었다고 평가된다.

최종 결과물인 여객 유동 평가 시뮬레이션 통합 소프트웨어는 재난 대피에 대한 정량적인 분석과 가시적인 시뮬레이션이 가능하여 범국가적인 차원에서 방재시스템 개선에 기여할 것으로 예상된다. 향후 화재, 매연 확산에 대한 유동 해석 시스템을 본 시스템에 추가하여 개발, 발전시킬 경우 재난 대피 해석 프로그램 개발 기술 확보와 재난 대피 시스템의 마련에 큰 기여를 할 것으로 예상되며 관련 제품의 국내 사용과 수입 대체 효과, 제품의 수출도 가능할 것이다.

4. 연구개발 결과의 활용계획

본 연구 개발의 결과물 중에서 전처리 모듈 개발 결과는 지능형 건물 모델링 기술 개발을 통하여 건설 분야에서 다양한 건물 설계 시스템으로 개발 가능한 원천 기술을 확보할 수 있으며, 객체 지향 CAD시스템으로 개발하여 향후 4D CAD 시스템으로 발전시킬 수 있다. 전처리 모듈 개발을 포함한 분석 모듈과의 연동 3차원 시뮬레이션 기술은 철도역사 관련 재해재난 상황에 대한 정량적인 분석과 가시적인 시뮬레이션이 가능하여 범국가적인 차원에서 방재시스템 개선에 사용될 수 있다. 본 연구 개발 내용을 통한 피난 시뮬레이션 적용으로 피난 계획에 타당한 공간구조를 판단 할 수 있고, 건축물시공 전에 시뮬레이션 분석으로 계획 평면의 병목지점을 보다 정확하게 파악이 가능해져 계획 평면의 수정 및 특정위치의 화재 등 재난에 대한 피난 계획안을 수립할 수 있다. 이와 같은 재해 재난 예방 효과를 통한 국가경쟁력을 제고할 수 있다.

향후, 철도역사 이외의 기타 건축물 모델링을 위한 도구로 확장 개발하여 활용할 수 있으며, 해외 유사시스템과의 파일 포맷 호환성 확보를 통하여 각 모듈 별로 별도로 상품화가 가능하다. 또한 박물관, 전시관 등의 체험 공간 디자인 및 가상현실 체험 시스템으로도 활용될 수 있을 것이다.

본 연구는 u-City 개발의 가상 Test-bed로도 확장하여 그 시장성은 무한하며, 관련 IT 업계 기술이전 표과 또한 높다고 할 수 있다. 재해재난이 범국가적 주요 사업으로 대두되는 시점에서 여러 산업에 적용될 수 있는 요소기술 개발을 통하여 타 산업 군에 큰 파급효과를 가질 수 있을 것이다.

5. 참 고 문 헌

[1] D. Shreiner, M. Woo, J. Neider, T. Davis, 2005, "OPENGL PROGRAM MING GUIDE," Addison Wesley.

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 관련분야 기여도

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 관련분야 기여도

본 연구는 철도 역사에서의 여객 유동 평가 시뮬레이션을 위한 통합 소프트웨어 개발에 최종 목표를 두고 있으며, 해당년도 연구 내용인 통합 시스템 인터페이스 설계와 전처리 모듈의 설계는 본 과제의 최종 목표를 위한 기본 틀을 잡고 전체 시스템을 디자인하기 위함이다. 본 연구를 통해 개발될 전처리 모듈은 지능형의 건물자료모델을 기반으로 손쉽게 건축공간을 모델링할 수 있음은 물론, 건축객체, 공간의 연결 관계에 대한 정보가 자동으로 설정됨으로써 지능형 객체 지향 모델을 가능하게 할 것이다.

1차년도의 연구 목표는 크게 통합 시스템 인터페이스 설계와 전처리 모듈의 설계이다. 이를 위해 통합 시스템 인터페이스 설계에서는 freewalk, Exdous, Urban Crisis Management 등의 국내외 Evacuation Simulation 시스템을 분석하였으며, 보행량이 많고, 여러 노선이 교차하는 지하철을 중심으로 한 현장 조사와 객체기반 모델링 시스템의 사용자 요구사항을 분석하였다. 또한, 전처리 모듈과 후처리 모듈의 연계방안, 전체 시스템 구조도 개발 그리고 협의를 통한 타 연구팀의 data 적용 방안을 연구하였다. 전처리 모듈의 설계에서는 건축 유형에 따른 자동 순차 모델링에 관한 연구를 통해 LOD를 개발하였으며, Grid Generation 기법 연구와 철도역사 자료모델(Data Model)을 개발하였다. 마지막으로 실제 지하철 역사 모델링 데이터를 통한 테스트 및 평가 분석을 수행하였고, 전처리 모듈 시스템의 인터페이스를 디자인함으로써 1차년도 연구개발 목표를 100%달성하였다.

최종 결과물인 여객 유동 평가 시뮬레이션 통합 소프트웨어는 재난대피에 대한 정량적인 분석과 가시적인 시뮬레이션이 가능하여 범국가적인 차원에서 방재시스템 개선에 기여할 것으로 예상되며, 향후 시스템을 보다 발전시킬 경우, 기술 및 제품의 국외 수출도 가능할 것이다.

본 연구는 다중이용시설인 동시에 과밀상태로 운영되는 철도역사에서 재난 등으로 인한 피난계획을 위한 피난 시뮬레이션 및 여객유동 평가 시뮬레이션 프로그램을 개발함을 목표로 하며, 그 중 본 연구의 당해연도인 1차 년도의 목표는 첫째, Space Syntax이론 및 기존 화재 시뮬레이션 특징을 고찰하고 둘째, Space Syntax 적용방안 도출 및 타당성을 검증하였다.

화재 시뮬레이션의 특징을 파악하기 위해 NIST(미국국립표준•기술연구소)의 화재 시뮬레이션 자료를 분석함

NIST에 분류된 화재 시뮬레이션 중 국내연구에서 가장 많이 쓰인 화재 시뮬레이션 프로그램인 SIMULEX의 특징을 분석하였음

SIMULEX는 연령대, 성별, 체형, 인원밀도, 보행속도등 다양한 입력변수가 있음

그 중 SIMULEX에 반영되는 사람(agent)이 최종 목적지까지 이동하는 행태는 입력변수가 아닌 최단거리로 이동하게 하는 Distance Map에 의하여 자동적으로 결정됨

그러나 대구지하철화재사고를 중심으로 지하공간의 피난행태를 분석한 연구결과에서 지상출구까지 최단경로를 이용하여 피난한 사람의 비율은 12%에 불과한 것으로 분석되었고 사용빈도가 높고 인지도가 높았던 통로를 이용한 생존자가 많은 것으로 분석됨. 따라서 공간의 인지도를 반영하기 위해 지하공간에서 인지도와 상관성이 높은 Space Syntax적용방법을 분석할 필요가 있음

Space Syntax의 적용방법을 도출하기 위해 사례대상지를 정하여 보행행태를 관찰해 Space Syntax의 공간형태요소와 비교분석함

1호선과 2호선이 만나며, 보행 통행량이 많은 시청지하철역을 사례대상지로 정하여 보행 통행량 관찰결과와 Space Syntax의 공간형태요소간의 비교분석 결과 Local Integration(R3)이 보행 통행량 변화량과 가장 유사한 변화량을 나타냈으며, 지하철 출입구와 연결된 외부공간에 따른 보행 통행량의 영향을 분석한 결과 외부공간에 의한 영향력은 미비한 것으로 분석됨

따라서 Space Syntax를 통해 화재 시뮬레이션의 사람(agent)의 이동행태 도입요소로 Local Integration을 적용할 수 있으며 기존 SIMULEX에서 최단 경로로만 이동하는 이동행태 특성을 보완할 수 있음

또한 SIMULEX에서 사람(agent)위치에서 목적지까지 최단거리를 계산하는 Distance Map과 더불어 사람(agent)위치에서 목적지까지 최단 Depth를 계산하는 Point Depth 적용으로 보다 더 정확한 피난행태 요소를 반영할 수 있음

본 연구에서는 Space Syntax를 통해 기존의 화재 시뮬레이션의 단점인 사람(agent)의 단순한 이동행태요소를 보완할 수 있는 방법을 연구문헌 조사 및 사례조사를 통하여 이론적으로 정립하였으며 향후 과제진행에 따라 추가적인 요소의 도출 및 프로그램에 적용 가능한 기술적 사항의 개선이 이루어 질 것임

<표 4-1> 화재 시뮬레이션에 Space Syntax 적용에 따른 추가적인 반영요소

	agent_based 시뮬레이션	Space Syntax 이용
최종목적지까지 경로선택 반영요소	최단거리	Depth, Local Integration
사용 프로그램	Distance Map 사용	Axman, Depthmap

보다 정확한 피난행태 요소의 반영은 다음의 측면에서 활용도가 높음

- 피난 시뮬레이션 적용으로 피난계획에 타당한 공간구조 판단
- 건축물시공 전, 시뮬레이션 분석으로 계획평면의 병목지점을 보다 정확히 파악해 계획평면의 수정 및 특정위치의 화재대비 피난계획안 수립
- 주 이용 피난통로를 파악해 피난유도등 및 피난유도장치 설치위치기준 정립

제 5 장 연구개발 결과의 활용계획

제 5 장 연구개발 결과의 활용계획

본 연구는 기존의 화재 시뮬레이션에서 피난 경로선택에 따른 변수가 목적지까지의 최단거리만 포함함에 있어 한계점을 극복하고자 Space Syntax 이론 및 프로그램의 적용으로 보다 정확한 피난 행태요소를 반영함을 목적으로 함

총 3차년 연구진행과정중 당해연도인 1차년도는 기존의 화재 시뮬레이션과 Space Syntax 프로그램 및 이론의 연구로, 화재 시뮬레이션에 Space Syntax 적용방안의 이론적 토대를 구축을 목표로 함

문헌고찰 및 사례대상지 선정에 의한 연구결과 기존의 화재 시뮬레이션의 한계점을 보안하기위한 이용행태 반영요소로 Axman의 Local Integration이 적용하기에 타당함을 도출함

Space Syntax 프로그램에 의한 해당 건축물의 평면 분석결과로 사람(agent)이 주로 인지하는 공간과 피난이용통로의 파악이 가능해 타당한 피난계획수립의 근거를 마련해줌

예를 들어, 피난 유도등 및 피난유도장치의 위치지정과 주 피난 이용통로부터 가장 쉽게 인지할 수 있는 출구까지의 계획안 마련에 타당한 근거를 제시할 수 있음

본 연구기간인 1차 년도에 화재 시뮬레이션에 적용 가능한 Space Syntax의 이론적 토대를 구축하였고 이론적 배경을 바탕으로 본 연구의 화재 시뮬레이션 기반인 DEM 및 CA 프로그램과 같이 패키지화되어 프로그램을 만드는 과정이 차년도인 2차 년도에 진행될 것임

현재 수작업으로 건축물의 평면을 인식하는 Space Syntax 프로그램이 DEM 및 CA와 패기지화 되기 위해서 CAD환경에서 자동 Axial Line 구축 및 Integration 분석이 이루어지는 프로그램알고리즘의 개발 혹은, Depthmap 프로그램의 분석입력변수 자동화방안의 알고리즘 개발이 예상됨

연구기간 마지막 기간인 3차 년도는 프로그램을 보안 완성시켜 프로그램의 완성도를 높이는 동시에 사용자를 위한 프로그램사용 환경개발이 진행될 것임

전후처리 프로그램의 해당년도 연구는 2차년도의 전처리 모듈 개발을 위한 기반연구로서 기술적인 측면에서는 지능형 건물 모델링 기술 개발을 통하여 건설분야에서 다양한 건물 설계 시스템으로 개발 가능한 원천 기술을 확보할 수 있으며, 객

체 지향 CAD 시스템으로 개발하여 향후 4D CAD 시스템으로 발전시킬 수 있다. 경제·산업적인 측면에서는 해외 기술에 대한 의존도가 거의 100%인 해당 산업분야의 기술 자립도 향상 및 수입의존도에 따른 비용 절감 효과를 기대할 수 있다. 또한 철도역사 관련 재해재난 예방 효과를 통한 국가경쟁력을 제고할 수 있다.

향후, 철도역사 이외의 기타 건축물 모델링을 위한 도구로 확장 개발하여 활용할 수 있으며, 해외 유사시스템과의 파일 포맷 호환성 확보를 통하여 전처리 모듈만 별도로 상품화가 가능(*.dwg, *.dwf, *.3ds, *.lsp 등)하다. 또한, 박물관, 전시관 등의 체험공간 디자인 및 가상현실 체험 시스템으로도 활용될 수 있을 것이다.

본 연구는 u-City 개발의 가상 Test-bed로도 확장하여 그 시장성은 무한하며, 관련 IT 업계 기술이전 효과 또한 높다고 할 수 있다. 재해재난이 범국가적 주요 사업으로 대두되는 시점에서 여러 산업에 적용될 수 있는 요소기술 개발을 통하여 타 산업군에 큰 파급 효과를 가질 수 있을 것이다.

총 연구 기간 후에 완성될 철도 역사에서의 여객 유동 해석 프로그램은 다음과 같이 활용할 계획이다.

◦ 주요 환승역, 혼잡역, 심층 지하역의 여객 유동 분석에 활용하며, 향후 6대 도시 철도 각 노선별로 확대 적용하여 활용 예정.
◦ 철도 역사에서의 재해 발생시, 효율적인 여객 피난 경로 설정 도구로 활용
◦ rush hour시의 여객 혼잡도 저감 방안 구축 자료로 활용
◦ 철도역사의 다양한 공간 배치와 수직 및 수평 동선 계획 평가 도구로 활용
◦ 기존 철도 역사 구조 개선 또는 신설역 공사시 설계 기준 자료로 활용
◦ 타 교통시설 및 복합 건축물에서의 이용객 이동 평가에 응용 활용
◦ 철도역사 및 기타 건축물의 가상 현실 시뮬레이션 도구로 확장 활용
◦ 철도 운영기관, 건설 및 엔지니어링 분야에 여객 유동 기술 자문

제 6 장　참 고 문 헌

제 6 장 참 고 문 헌

1. Nagel, K and Schreckenberg, M, (1992), "A cellular automation model for freeway traffic," J. Phys. I France, Vol.2, pp.222-2229.
2. Ilachinski, A, (2001), "Cellular Automata : A Discrete Universe," World Scientific Publishing Co.
3. Simulex (2004). On-line User's manual
4. Building EXODUS Ver.4.0 (2004) User Guide and Technical Manual
5. 森川敬信, (1979), "流體-固體二相流-空氣輸送と水力輸送," 日刊工業新聞社(in Japanese)
6. Nanbu, K., (1992). "Stochastic Solution Method of the Boltzmann Equation," The memoirs of the Institute of Fluid Science, Vol. 3, pp.47-93.
7. 脇田 康隆 외 4人., (1998), "鐵道とコンピュウータ," 共立出版(in Japanese)
8. Takagi, R., Goodman, C. J. and Roberts, C., (2002), "Modelling Aerodynamics of High Speed railway Train," Progress in Aerospace Science, Vol.38, pp.469-514
9. 남성원, (2005), "DEM에 기초한 여객 유동 해석 알고리즘 개발", 한국철도학회논문집, 제8권, 제4호, pp.337-341
10. 남성원, 권혁빈, (2006), "지하철 역에서의 보행자 유동 특성 해석", 대한기계학회 춘계학술대회 논문집.
11. Bird, G. A.,(1994), "Molecular Gas Dynamics and the Direct Simulation of Gas Flows," Clarendon Press, Oxford
12. Babalola, O., and C. Eastman, 2001, "Semantic Interpretation of Architectural Drawings", Computers in Building: Proceedings of ACADIA 2001, Atlanta, USA, Kluwer Academic Publishers, Boston, p. 166-179.
13. Bjork, B. C., 1992, "A conceptual model of spaces, space boundaries and enclosing structures", Automation in Construction, 1(3), p. 193-214.
14. Brumitt, B., and S. Shafer, 2001, "Topological world modeling using semantic space", Proceedings of UbiCom 2001, Redmond, USA , Microsoft Research, Vision Technology Group.

15. Eastman, C. M, and A. Siabiris, 1995, "A generic building product model incorporating building type information", Automation in Construction, 3(4), p. 282-304.
16. Ekholm, A. and S. Fridqvist, 1997, "Concepts of Space in Computer Based Product Modelling and Design", in: Martens B. (eds) Challenges of the Future : Proceedings of 15th eCAADe Conference, Vienna, Austria.
17. Ekholm, A., 2001, "Modelling of User Activities in Building Design", Architectural Information Management : Proceedings of 19th eCAADe Conference, Helsinki, Finland, p.67-72.
18. KRAFT, B. and G. SCHNEIDER, 2005, "Semantic Room objects for Conceptual Design Support", Proceedings of the 10th International Conference on Computer Aided Architectural Design Futures, Vienna, Austria, p. 207-216.
19. Stephen F. May, S. F. Carlson, W. E. Phillips and F. Scheepers , 1996, "AL: A Language for Procedural Modeling and Animation", Technical Report OSU-ACCAD-12/96-TR5, ACCAD, The Ohio State University.
20. 최진원,강명희,김억,김성아. 建築 協業設計 시스템 구축을 위한 프로세스와 環境試險에 관한 연구,한국CAD/CAM학회 논문집, 7(1), 2002. 03, pp.57-65
21. Lee, Y., I.J. Lee and J.W. Choi, 2004, "Location Modeling for Ubiquitous Computing Based on a Spatial Information Management Technology", Proceedings of CAADRIA 2004, Seoul, Korea, p. 787 -801.
22. Lee, Y., J.W. Choi and J. Lertlakkhanakul, 2005, "Developing a User Location Prediction Model for Ubiquitous Computing", Proceedings of CAAD Futures 2005, Vienna, Austria, p. 215 -224.
23. Kalay, Y. E., 2004, Architecture's New Media, The MIT Press, Cambridge, USA.
24. Kim, M.Y. and J.W. Choi, 2006, "A Developing Digital Storytelling Model for Virtual Testbed to Simulate the Smart Office" CAADRIA 2006:Proceedings of the 11th International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia, Kumamoto, Japan, p.331-340.

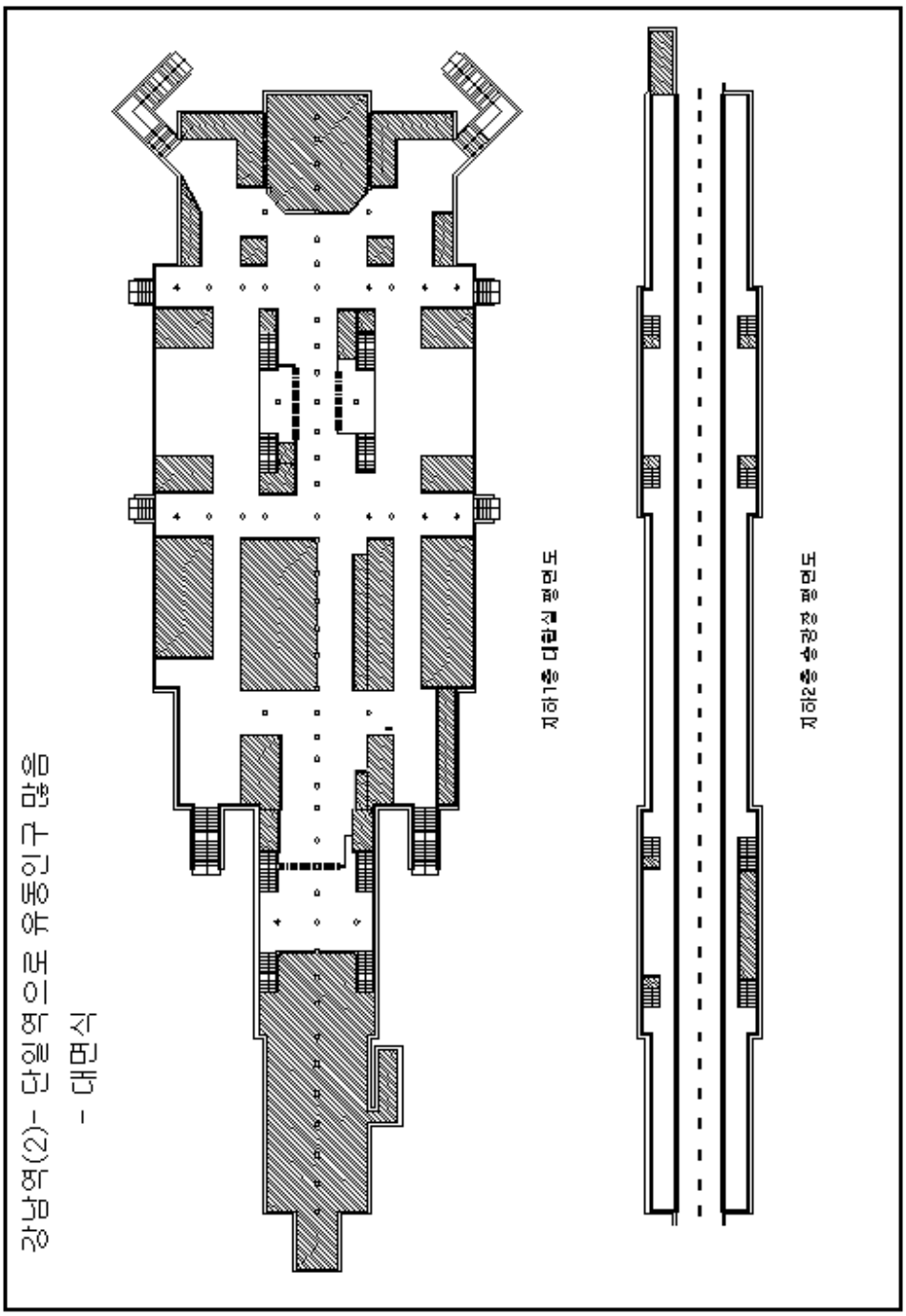
25. Mourshed, M.M., D. Kelliher and M. Keane, 2001, "Spatial Representation in Product Modelling", Proceedings of the IEEE International Conference on Information Visualisation on Information Visualisation, London, UK.
26. Oosterhuis, K., 2003, "Hyper Bodies", Towards an E-motive architecture, Birkhauser, Italy
27. Park, J.W. and J.W. Choi, 2003, "A Computational Approach to Evaluate Physical Requirements and Spatial Managements of Apartment Unit Floor Plans", Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 2, p. 193 - 199.
28. 윤종현, "CA이론 기반 양방향 보행자 이동행태모형에 관한 연구", 2003, 서울시립대학교대학원
29. 이은영, "지하철역사내에서의 보행통행의 특성에 관한 연구", 1991, 서울대 환경대학원
30. 이승재・장현호(2003), "CA모형을 이용한 단기 구간통행시간 예측에 관한 연구", 대한교통학회지, 제21권 제1호
31. 조중래・김진구・고승영・김채만(2001), "CA모형을 이용한 미시적 교통류 시뮬레이션 시스템 개발에 관한 연구", 대한교통학회지, 제19권 제3호
32. 건설부, "도로용량편람", 2005
33. J. Dijkstra, A.J. Jessurun, 2001, A Multi-Agent Celuular Automata System for Visualising Simulated Pedestrian Activity, Eindhoven University
34. Nagel K, Schreckenberg M, 1992, A Cellular Automata Model for Freeway Traffic, Joural de Physique
35. Victor J. Blue, Jeffrey L. Alder, 1978, Cellular Automata Microsimulation of Bidirectional Pedestrian Flows, In Transportation Research pp.135~141
36. A. Schadschneider and M. Schreckenberg, "Cellular automata for traffic flow analytical results", Institut for Theoretische Physik Universitat zu Koln, 1995.
37. 강소연, 조정훈, 최선호, 홍민호, 장원복, 방재시뮬레이션을 통한 의료시설의 피난안전성 평가, 대한설비공학회 2004하계학술발표대회 논문집, 2004
38. 김도현, 김영욱, 대규모 복합 상업공간에서 공간구조 해석 방법에 따른 보행자 움직임의 특성, 대한건축학회 창립 60주년기념 학술발표대회논문집, 2005

39. 김영욱, Space Syntax를 활용한 공간구조속성과 공간사용패턴의 상호관련성 연구, 대한국토•도시계획학회지 국토계획 제38권 제4호, 2003
40. 김영욱, 공간형태와 공간인식의 상호관련성 연구, 대한건축학회논문집 계획계 16권 10호, 2000
41. 김성준외1인, 대규모 지하공간에서 길 찾기에 영향을 미치는 시지각적 요인에 대한 연구, 한국도시설계학회 2004추계학술발표대회, 2004
42. 김진수, 박종근, 노삼규, 지하공간의 피난안전성평가시스템 개발에 관한 연구, 한국화재•소방학회 논문지 제17권 제4호, 2003
43. 김태연, 김창남, 홍구표, 김광호, 노지웅, 김병선, 아케이드형 재래시장의 배연성능 및 피난시간 해석, 대한건축학회 학술발표대회논문집, 2004
44. 박계원, 이경훈, 복합영화관에서 화재시 과밀공간 파악을 통한 관객의 피난 행태연구, 대한건축학회 논문집 21권 1호, 2005
45. 박남길외2인, 지하도에서의 공간인지와 동선패턴에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회, 2003
46. 박재성, 윤명오, 이용재, 지하철 역사의 피난안전성능 확보를 위한 설계기준에 관한 연구, 대한건축학회논문집 구조계 19권 8호, 2003
47. 박창영, 최창호, 이현우, 인체 모듈과 특성을 고려한 인간의 피난 행동에 관한 연구, 대한건축학회 창립 60주년기념 학술발표대회논문집, 2005
48. 소은탁, 송병하, 멀티플렉스 영화관의 피난계획에 관한 연구, 한국실내디자인학회논문집 제14권 3호, 2005
49. 송세영외1인, 복합상업시설에서의 방문객의 경로선택과 통행량에 관한 연구, 한국실내디자인학회논문집 제14권 5호, 2005.10
50. 송세영, 송병하, 복합상업시설에서의 방문객의 경로선택과 통행량에 관한 연구, 한국디자인학회논문집 제14권 5호, 2005
51. 송정화, 도시 맥락적 관점에서 본 문화공간의 의미, 대한건축학회논문집 계획계 21권 1호, 2005
52. 신승철, 조형규, 최재필, 피난 시뮬레이션의 검토 및 공간분석기법의 응용가능성, 대한건축학회 학술발표대회논문집, 2004
53. 신행우, 임현식, 김영욱, 서울시청광장 계획에 따른 보행네트워크의 변화에 관한 연구, 도시설계학회 춘계학술발표대회, 2004

54. 안은희, 대규모 지하 상업공간에서의 보행자의 움직임과 경로선택 특성에 관한 연구, 대한건축학회눈문집 계획계 20권 9호, 2004
55. 안은희, 복합영화관에서의 피난행태특성에 근거한 피난로 설계에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 21권 10호, 2005.10
56. 안은희, 의류상가 쇼핑환경에서 길찾기의 정도와 매출이익간의 관계에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계 18권 12호, 2002
57. 윤용우, 김영욱, 박영기, 물리적인 거리와 공간깊이가 공간인식에 미치는 영향에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계 21권5호, 2005
58. 이정수, 김응식, 노인시설의 피난행태 분석을 통한 건축계획 및 운영관리 지침에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 계획계 20권 6호, 2004
59. 이정수, 김응식, 영유아시설의 피난행태 분석을 통한 건축계획 및 운영관리 개선방향에 관한연구, 대한건축학회 논문집 19권 7호. 2003.07
60. 이정수, 김응식, 민경찬, 송용호, 종합병원 병동부의 이용자 피난행태를 고려한 건축계획 및 운영관리 지침에 관한 연구, 대한건축학회눈문집 계획계 21권10호, 2005
61. 이정수, 김응식, 초등학교 공간구성형식에 따른 피난행태 특성 분석, 한국실내디자인학회 논문집 36권, 2003
62. 이평강, 김지성, 조동만, 배경태, 김석완, 시뮬레이션에 의한 노인복지시설의 피난안전성 평가, 대한설비공학회 2003하계학술발표대회 논문집, 2003
63. 이호영, 전규엽, 홍원화, 지하철 건축설비에 의한 피난안정성 확보에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획회 21권 7호, 2005
64. 임정원, 대형쇼핑몰의 성능기준 화재안전 설계 적용에 관한 연구, 서울산업대학교 산업대학원 석사논문, 2000
65. 전규엽, 홍원화, 모의실험을 통한 지하공간에서의 연령별 피난행동 특성에 관한 연구, 대한건축학회 창립 60주년기념 학술발표대회논문집, 2005
66. 정은재, 유스호스텔 화재 시 피난적정성 검토 및 피난효율성 증대에 대한 연구, 서울산업대학교 산업대학원 석사논문, 2003
67. 조형규, 초고층 건축물의 건축계획 사전평가를 위한 정량적 기법, 대한건축학회지 48권 10호. 2004.10
68. 천정길, 나욱정, 전규엽, 홍원화, 지하공간 화재시 시야장애 정도에 따른 피난 특성에 관한 연구, 대한건축학회 창립 60주년기념 학술발표대회논문집, 2005

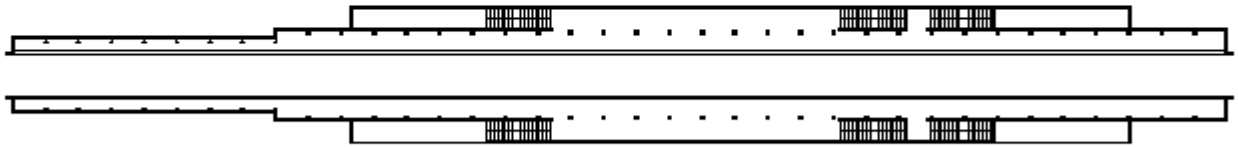
69. 최윤경, 민병호, 공간구조와 학습이 길찾기에 미치는 영향에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계 14권7호, 1998
70. 최재필, 강범준, 박영섭, 이윤재, 초고층 건축물의 '대피층' 및 '대피공간' 개념 도입방안, 대한건축학회논문집 계획계 21권 11호, 2005
71. 한수곤, 권한솔, 양재훈, 정영선, 박재성, 윤명오, 국내 지하공간의 화재안전의 문제점에 대한 사례연구, 대한건축학회 창립 60주년기념 학술발표대회논문집, 2005
72. 홍원화, 김태현, 전규엽, 비상시 지하공간의 초기 피난 및 구조 활동 분석에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계 22권 3호, 2006
73. Hillier, B & Hanson, J. The Social Logic of Space. Cambridge University Press, 1984
74. Erica Kuligowski, Review of 28Egress Models, National Institute of Standard and Technology
75. Gabriel Santos Benigno E, Acritical Review of Emergency Simulation Models, Conference "Building Occupation Movement During Fire Emergencies", 2004

부록. 주요 역사 구조 DB

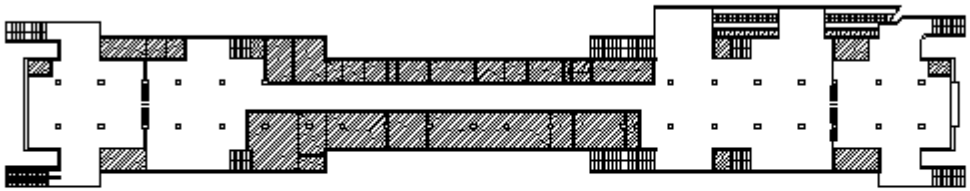


건대입구역(2) - 지상승강장

- 대면식

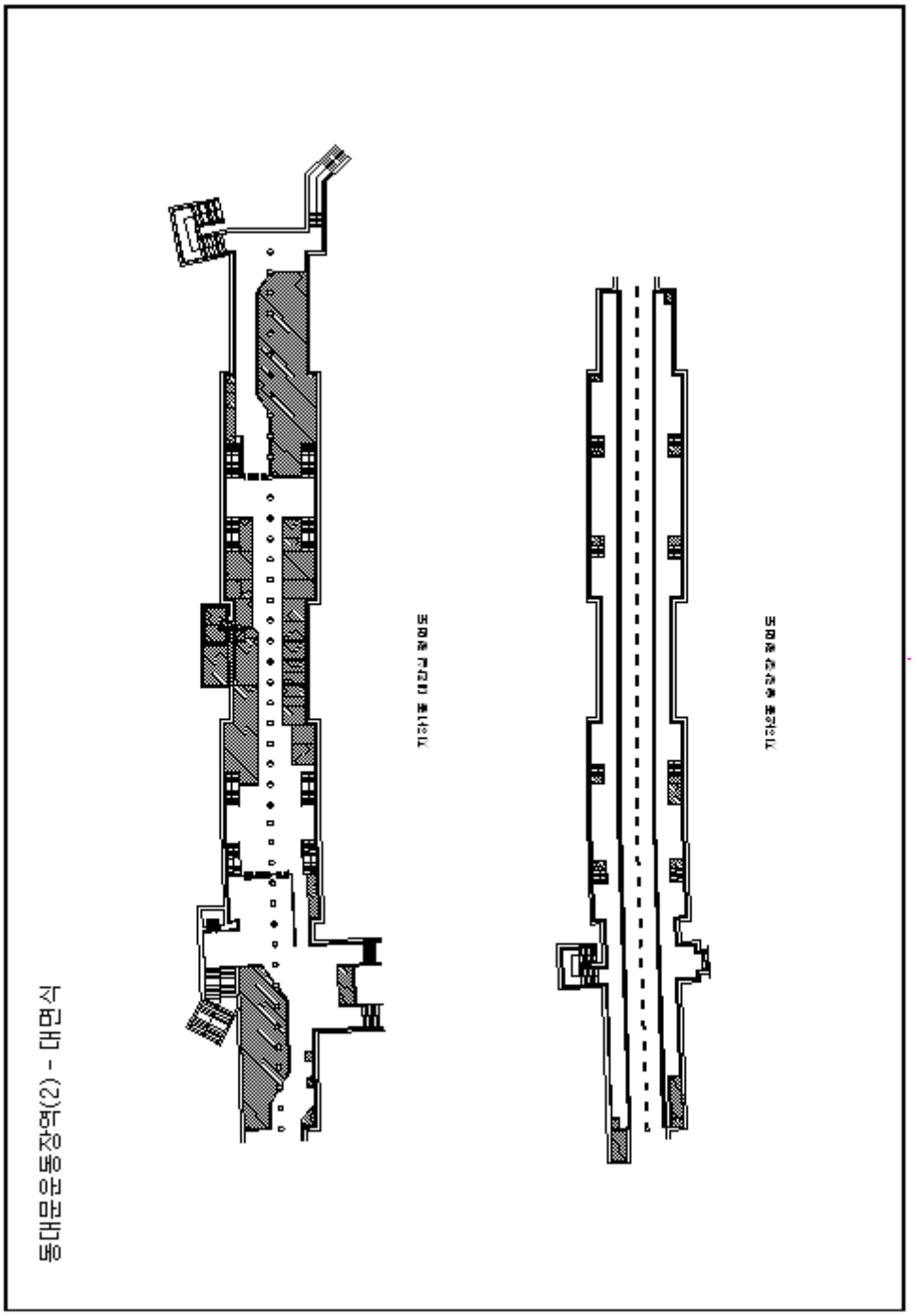


지상3층 승강장 평면도



지상2층 대합실 평면도

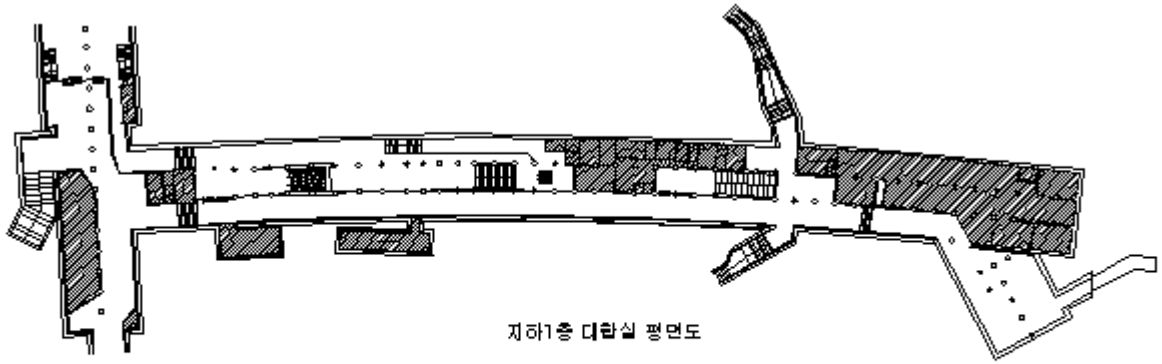
동대문운동장역(2) - 대면식



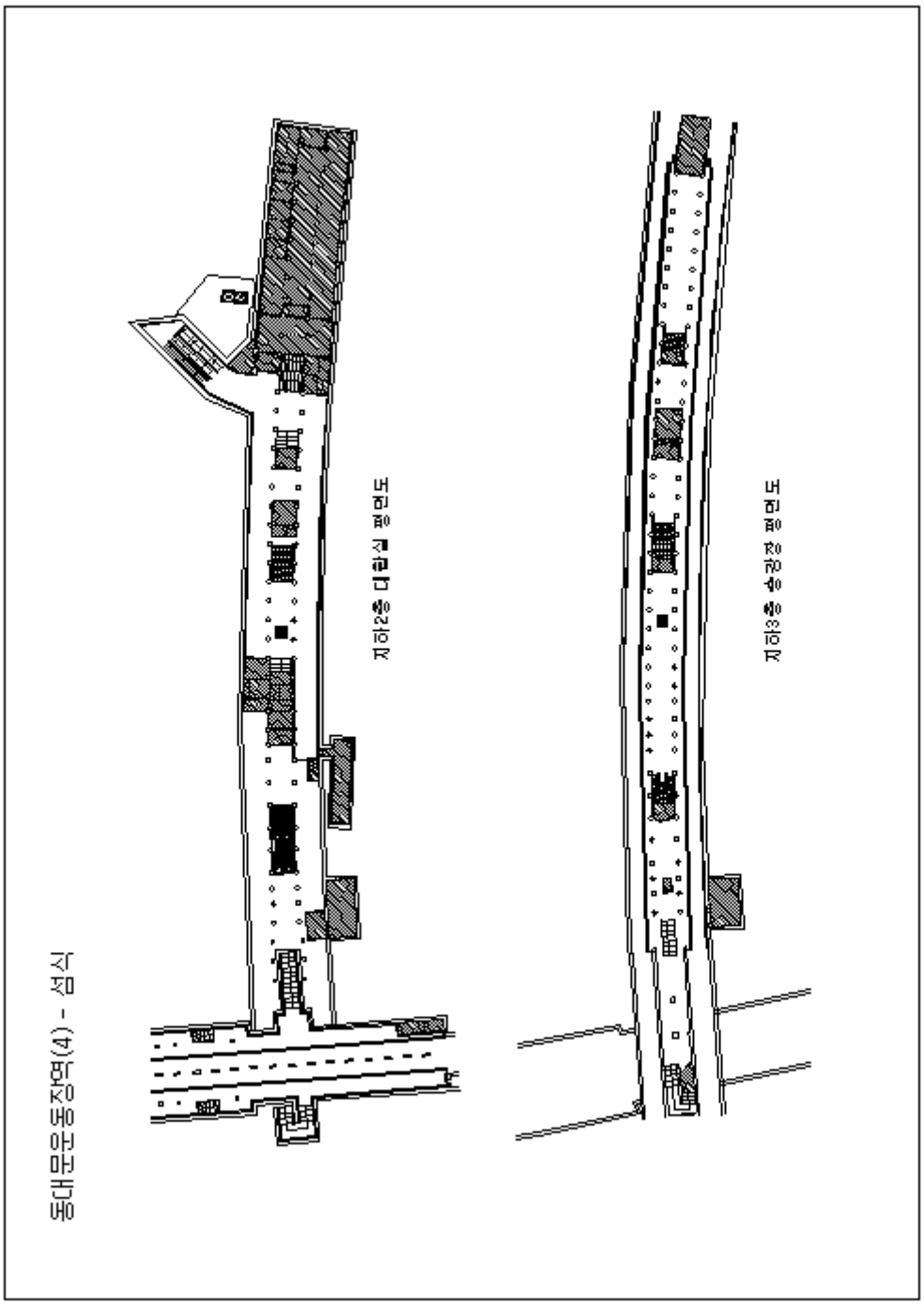
동대문운동장역(4) - 섬식



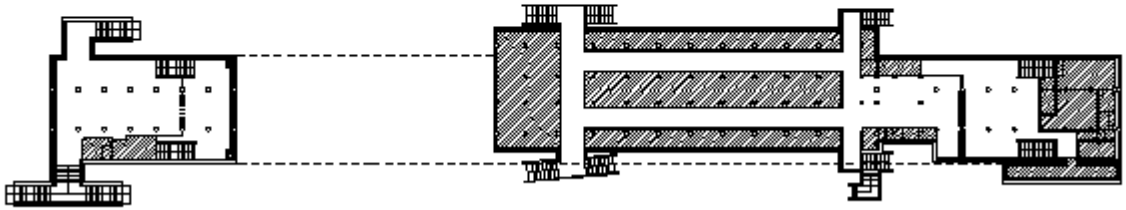
지하중층 출입구 평면도



지하1층 대합실 평면도


동대문운동장역(4) - 섬식
지하2층 대합실 평면도
지하3층 승강장 평면도

명동역(4)- 문화공간,쇼핑공간등이 존재
- 승/하차인원많음
- 보행이 밀집된 지역



지하1층 대합실 평면도

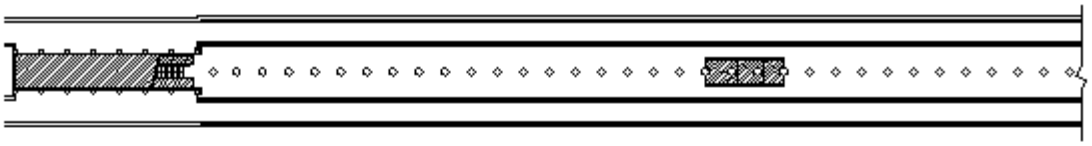


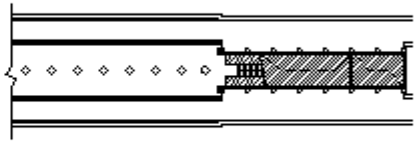
지하2층 대합실 평면도

명동역(4)- 문화공간,쇼핑공간등이 존재
- 승/하차인원많음
- 보행이 밀집된 지역



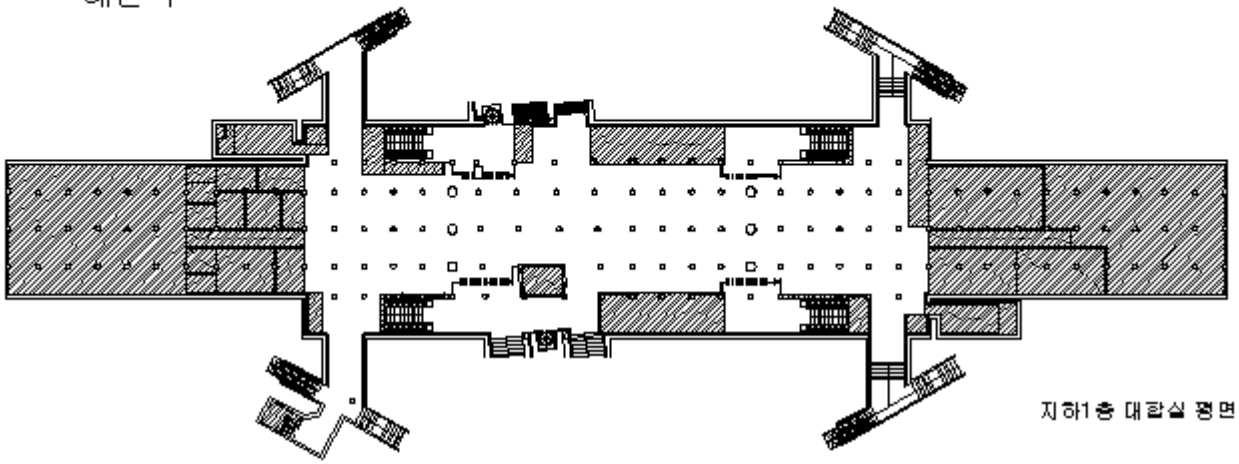
지하3층 대합실 평면도



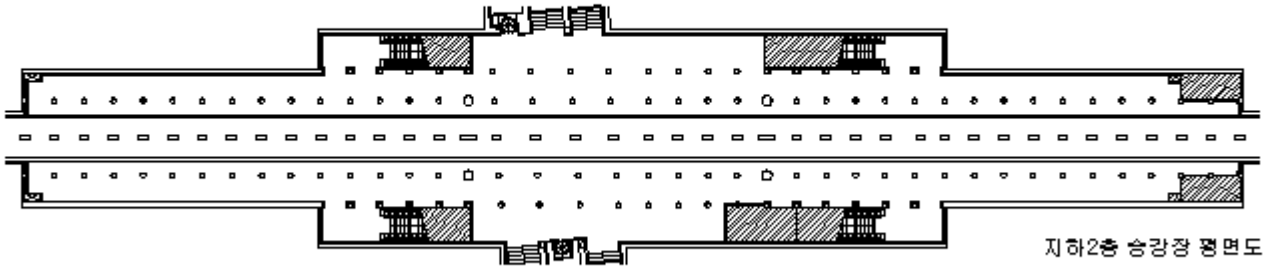


지하4층 승강장 평면도

사당역(2)- 2개노선(2,4호선)교차
- 대면식

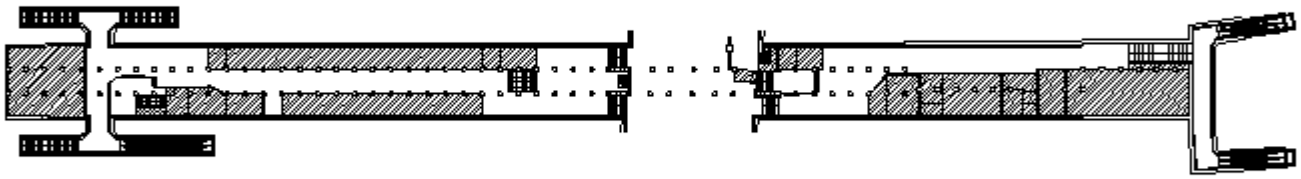


지하1층 대합실 평면도

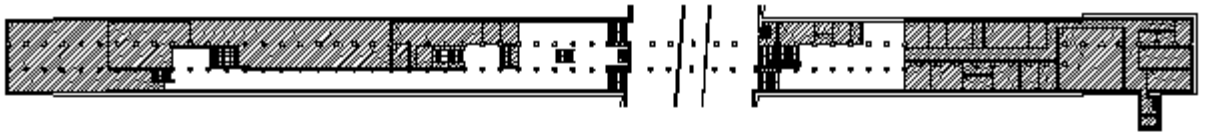


지하2층 승강장 평면도

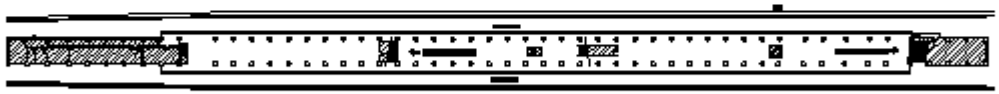
사 당(4) - 2개 노선(2,4호선) 교차, 유동인구 많음
- 섬식



지하1층 상가층 평면도



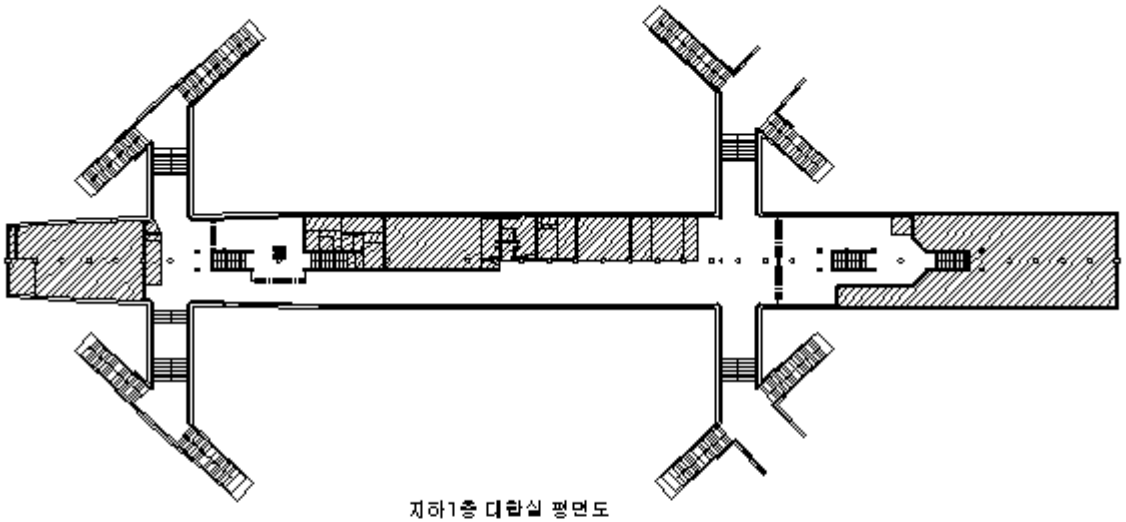
지하2층 대합실 평면도



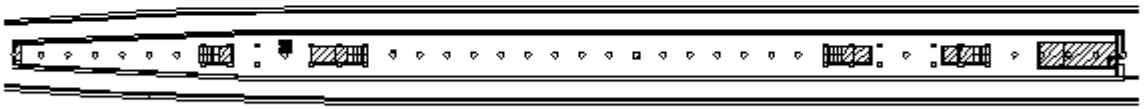
지하3층 승강장 평면도

삼성역(2)- 이용승객이 많은 역사

- 섬식

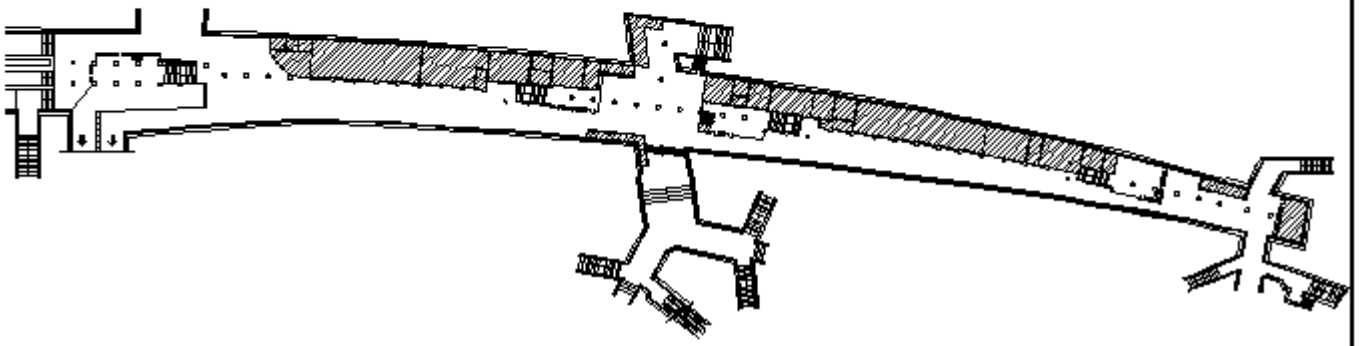


지하1층 대합실 평면도

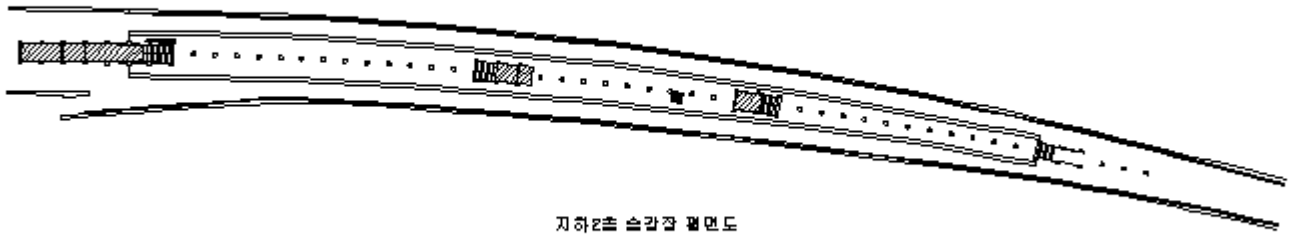


지하2층 승강장 평면도

서 울 역(1) - 1,4호선교차
- 대표성
- 섬식



지하1층 대합실 평면도

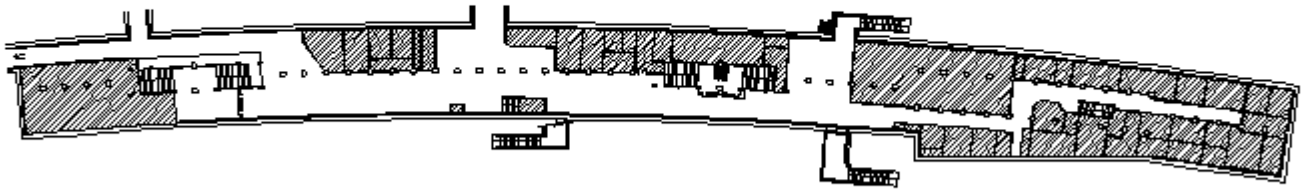


지하2층 승강장 평면도

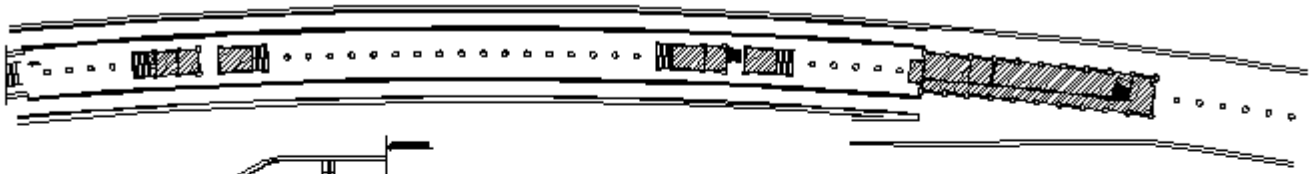
서울역(4)-1,4선교차

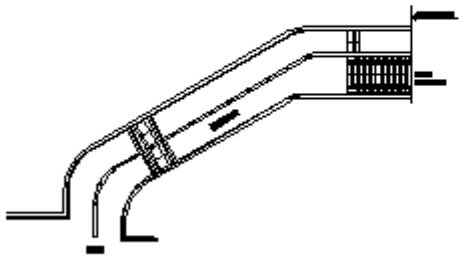
-대표성

-섬식



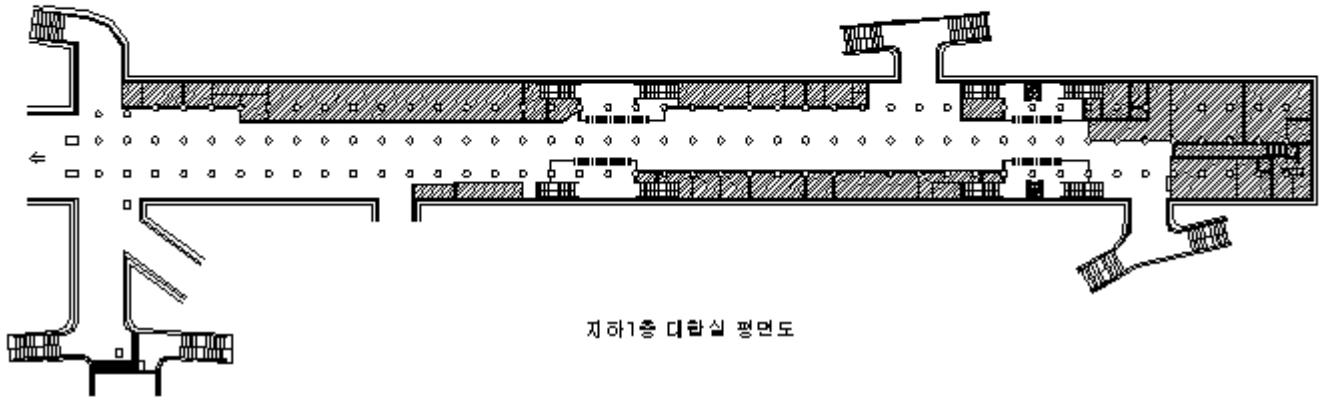
지하1층 대합실 평면도



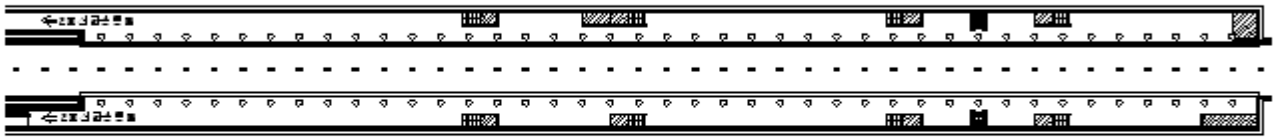


지하2층 승강장 평면도

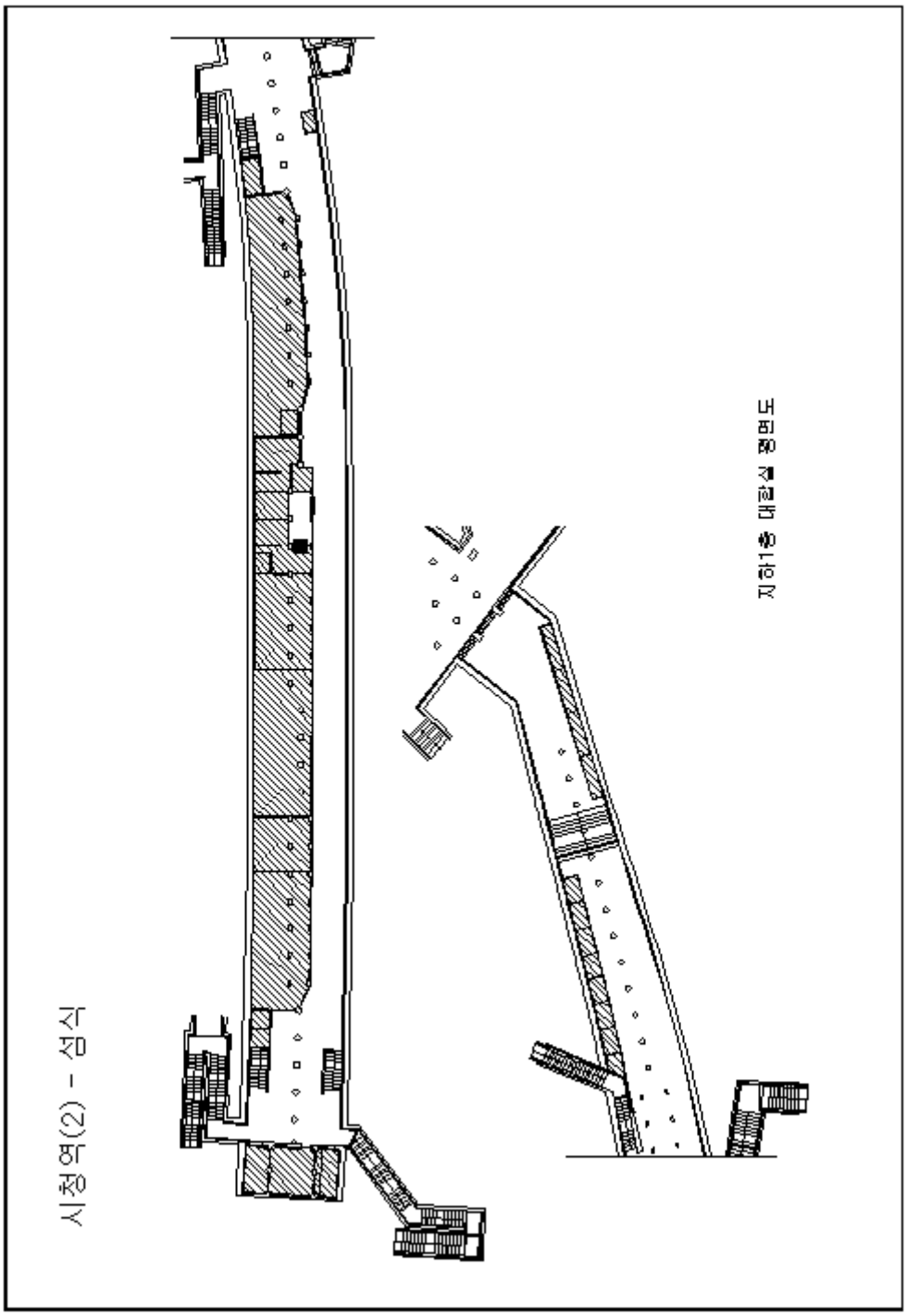
시청역(1) - 대면식

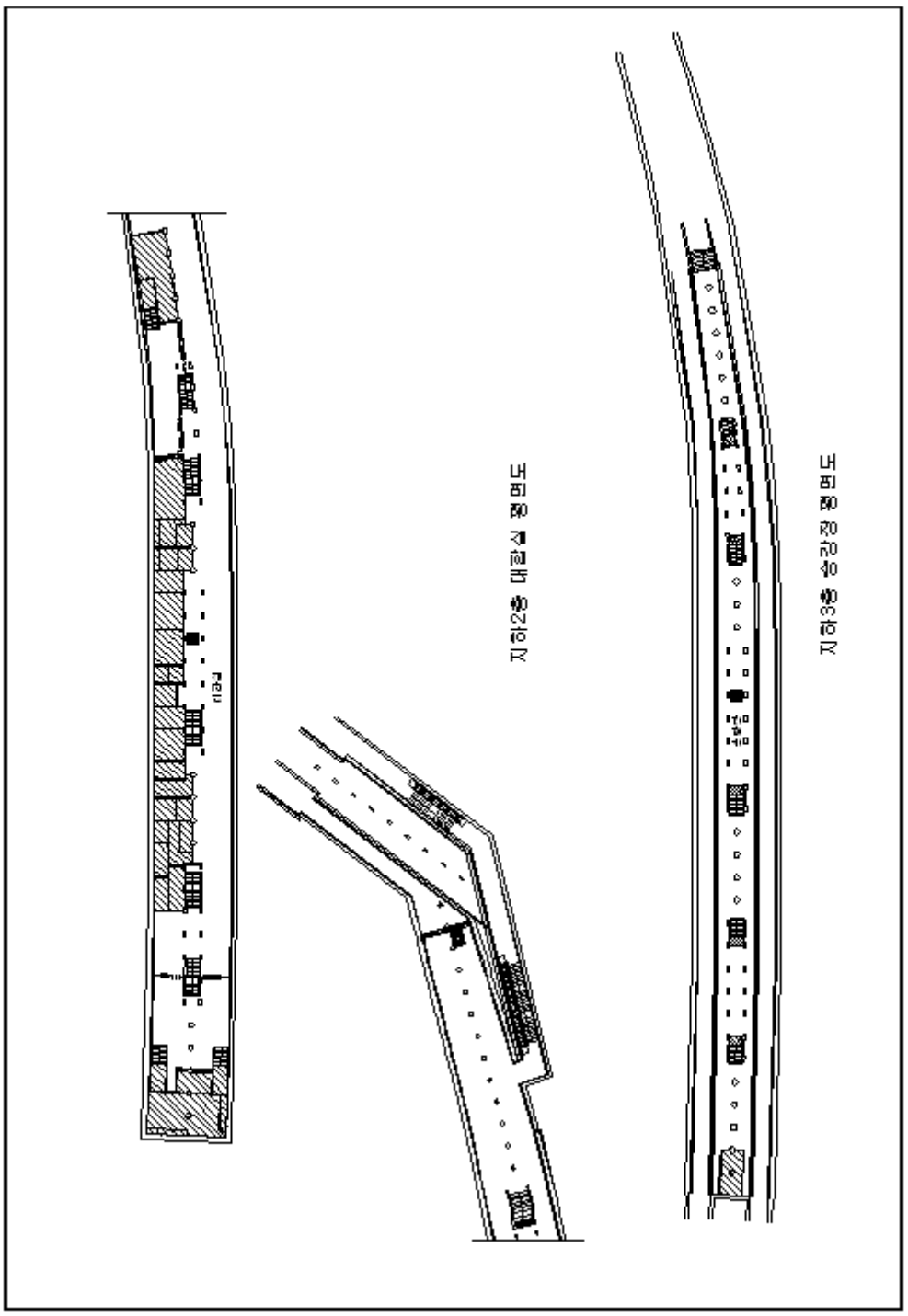


지하1층 대합실 평면도



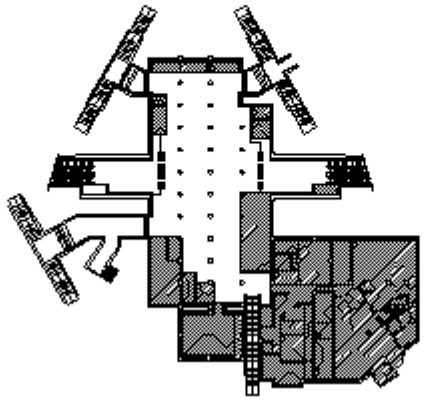
지하1층 승강장 평면도


시청역(2) - 섬식
지하1층 대합실 평면도

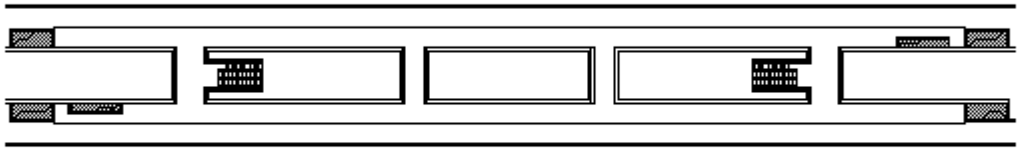

지하3층 승강장 평면도
지하2층 대합실 평면도

이대역(2) - 심층지하역

- 섬식

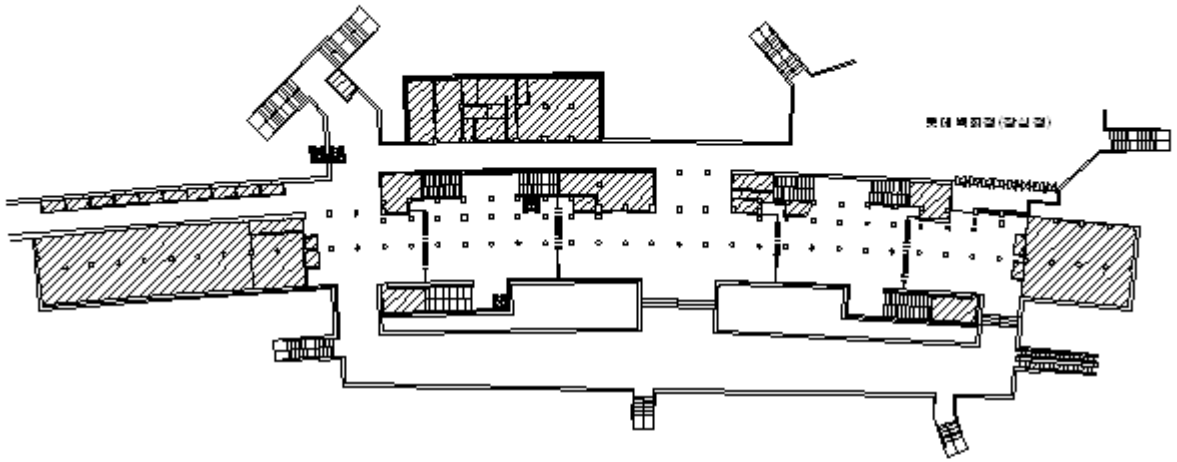


지하 1층 대합실 평면도

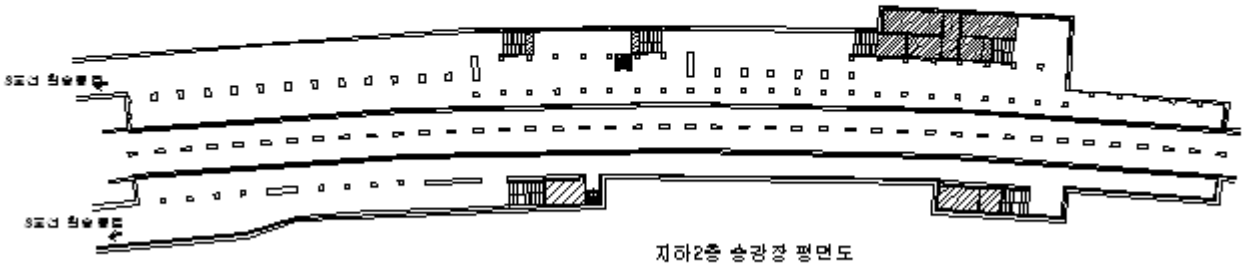


지하2층 승강장 평면도

잠실역(2) - 대면식

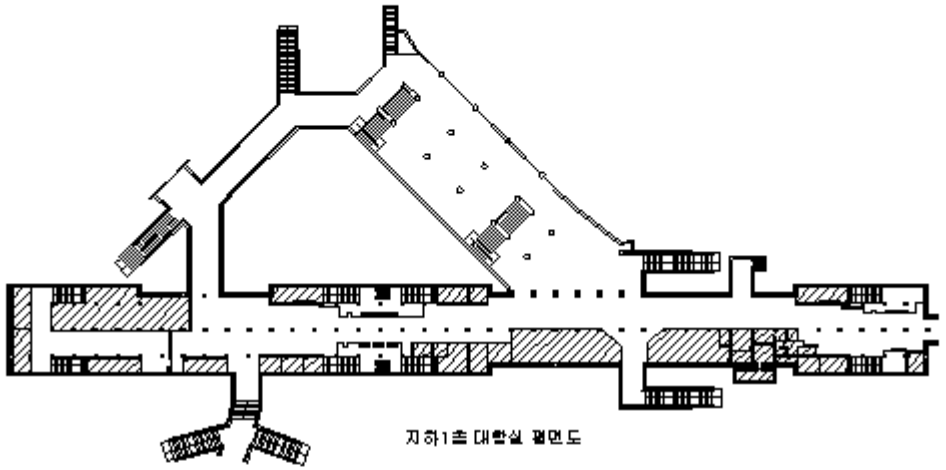


지하1층 대합실 평면도

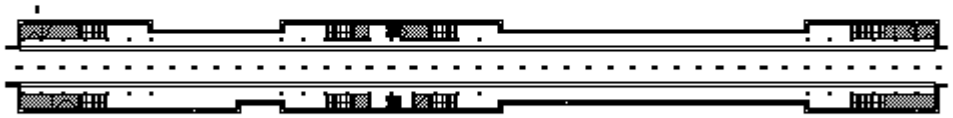


지하2층 승강장 평면도

종각역(1) - 대면식



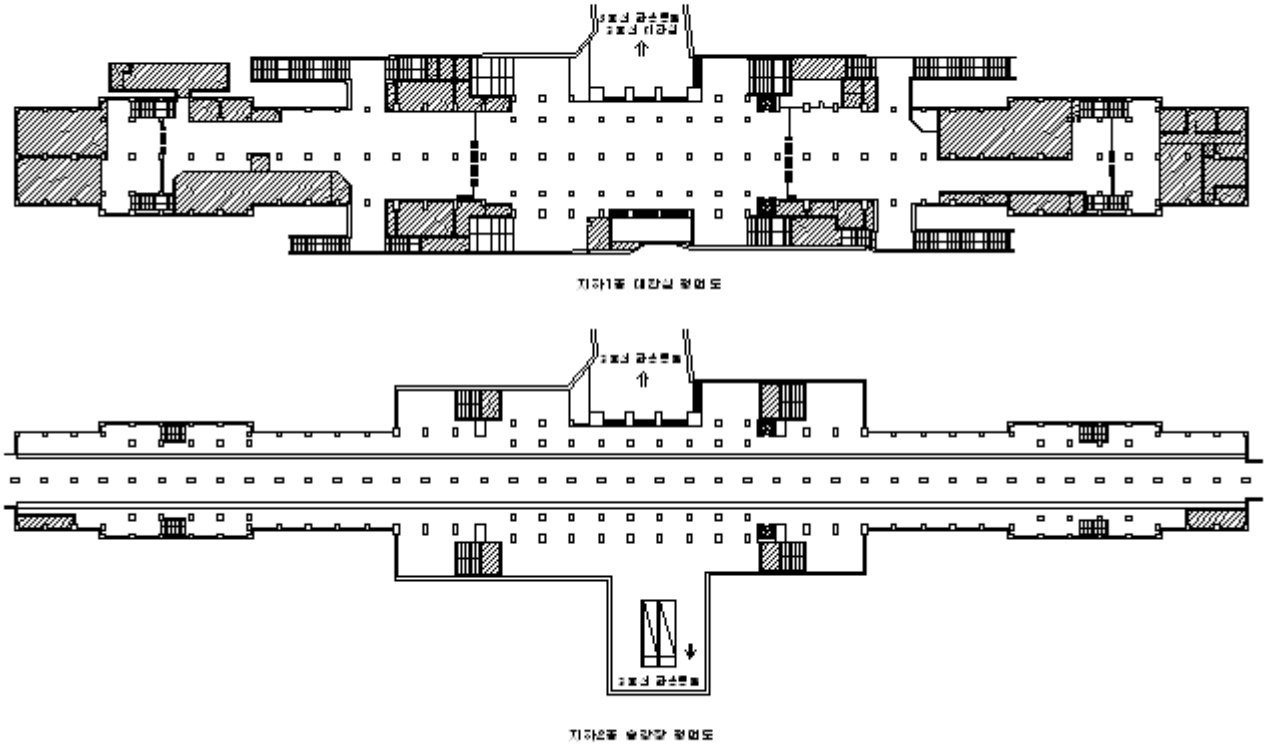
지하1층 대합실 평면도



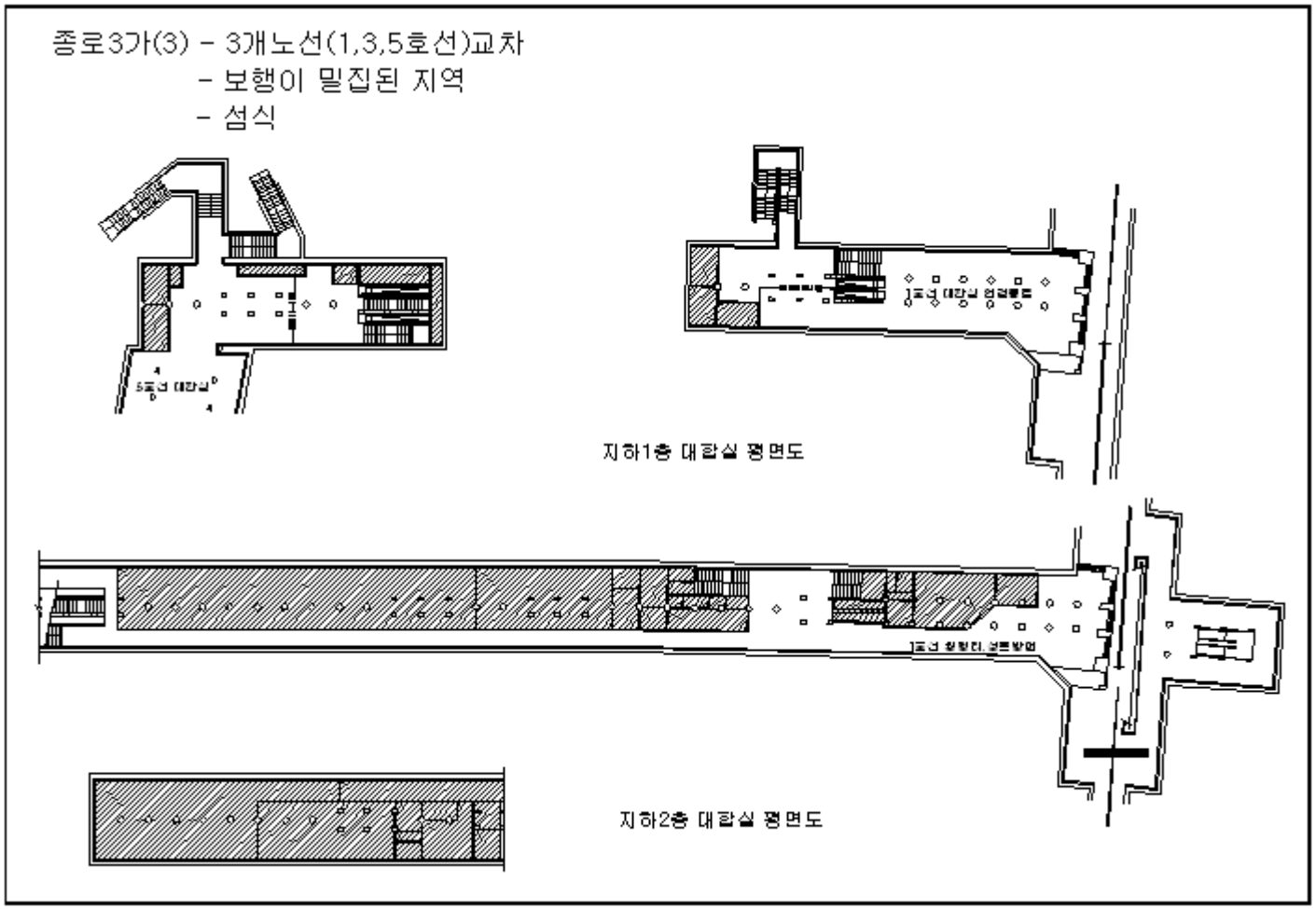
지하2층 승강장 평면도

종로3가(1)-3개노선(1,3,5호선)교차

-대면식



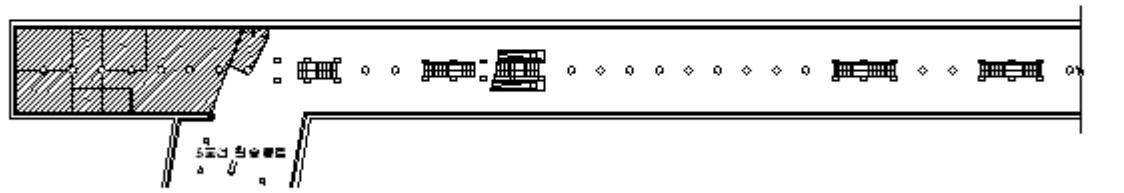
종로3가(3) - 3개노선(1,3,5호선)교차
- 보행이 밀집된 지역
- 섬식



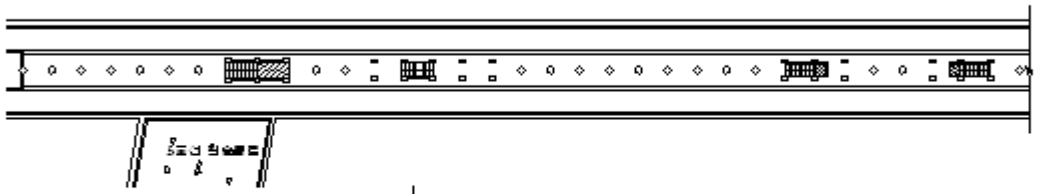
지하1층 대합실 평면도

지하2층 대합실 평면도

종로3가(3)-3개노선(1,3,5호선)교차
-섬식



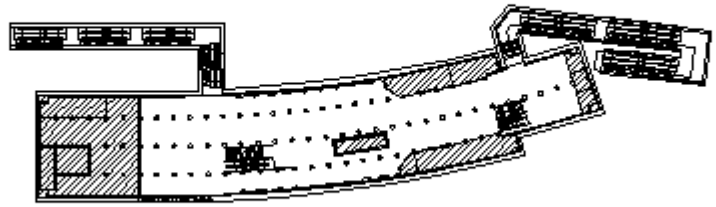
지하3층 환승통로평면도



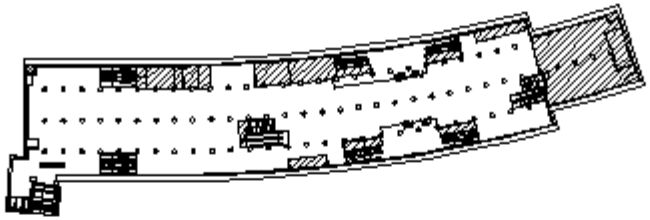


지하4층 승강장평면도

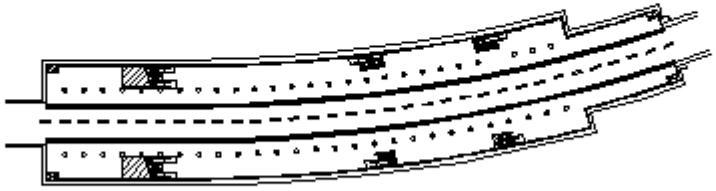
고속터미널역(7) - 2개노선(3,7호선)교차
- 대면식



지하1층 대합실 평면도



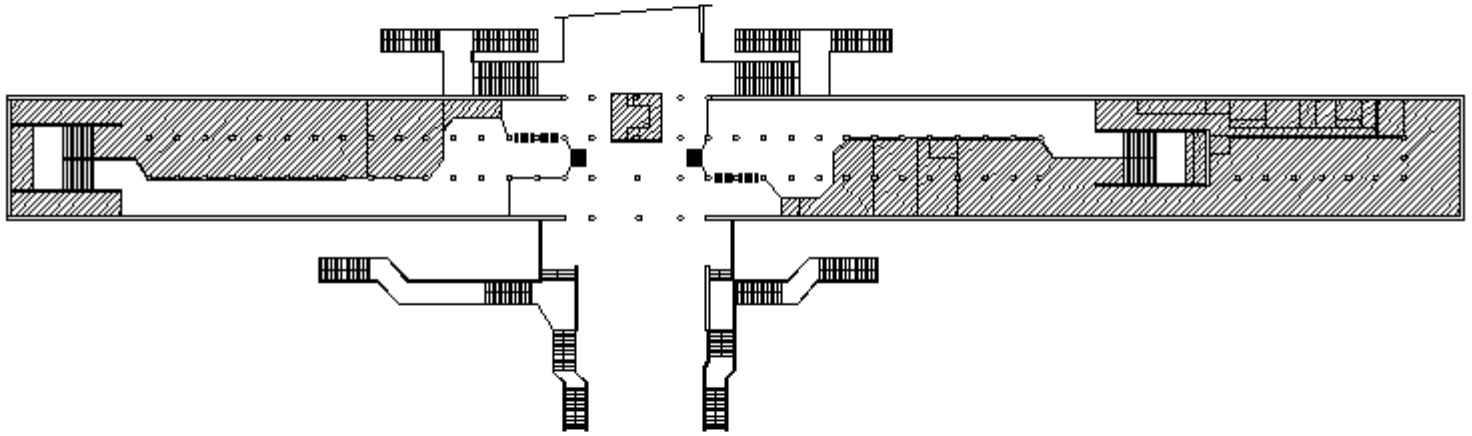
지하2층 대합실 평면도



지하3층 승강장 평면도

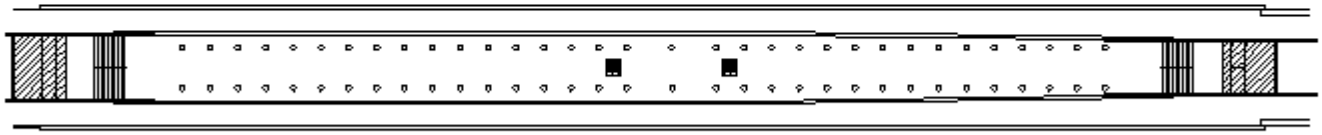
군자역(5)- 최신노선 2개(5,7호선)교차

- 섬식

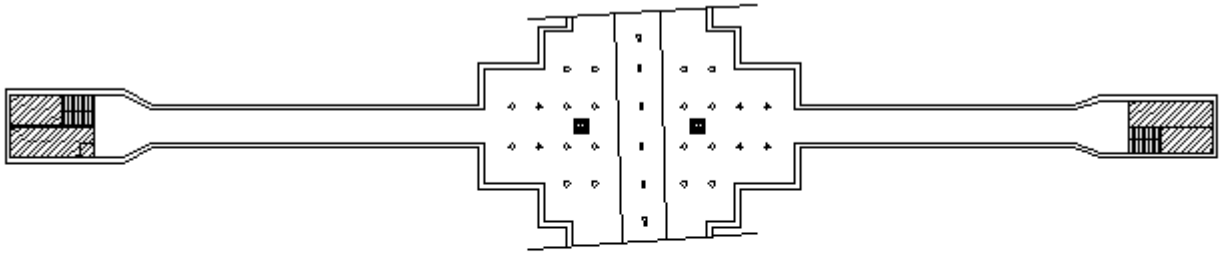


지하1층 평면도

군자역(5)- 최신노선 2개(5,7호선)교차
- 섬식

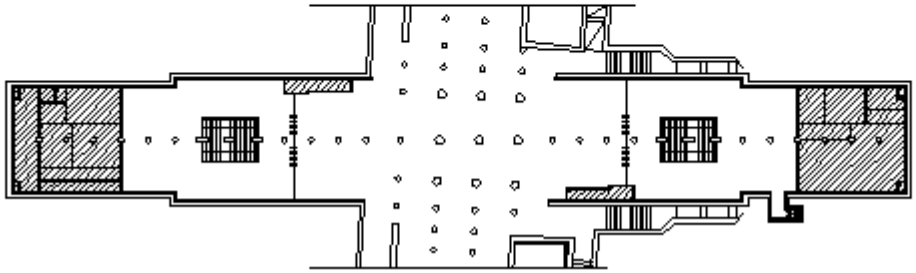


지하2층 평면도

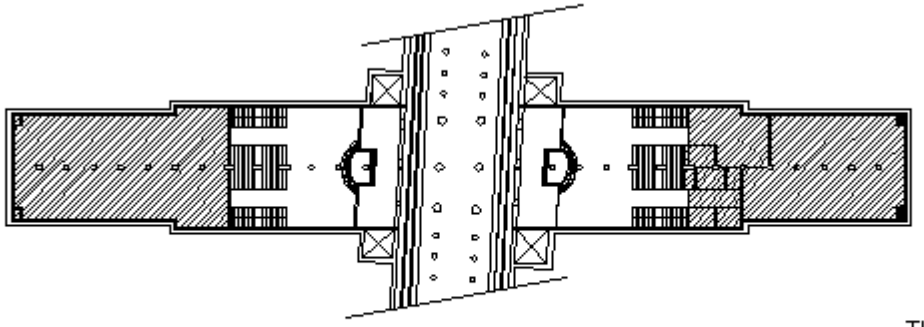


지하3층 평면도

군자역(7)- 최신노선 2개(5,7호선)교차
- 대면식

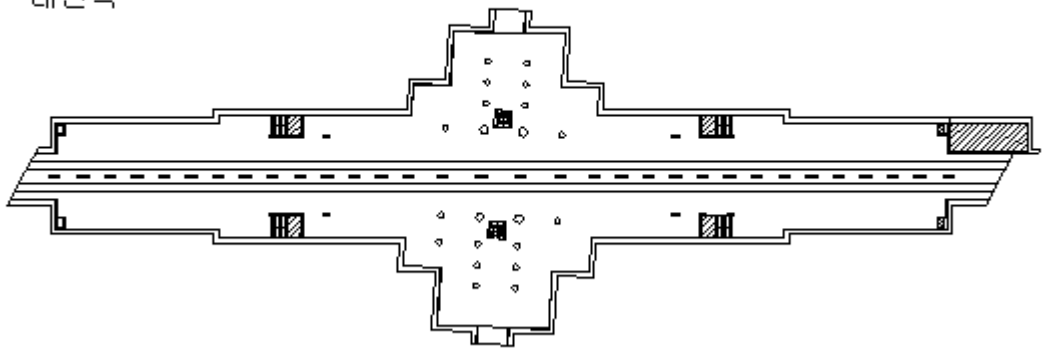


지하 1층 평면도



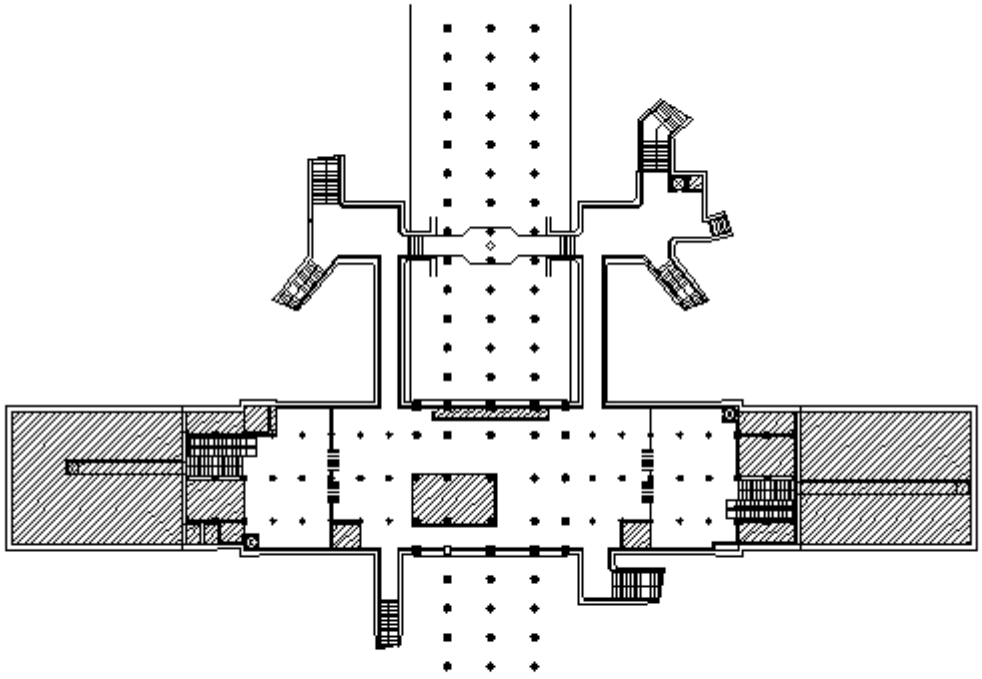
지하 2층 평면도

군자역(7)- 최신노선 2개(5,7호선)교차
- 대면식



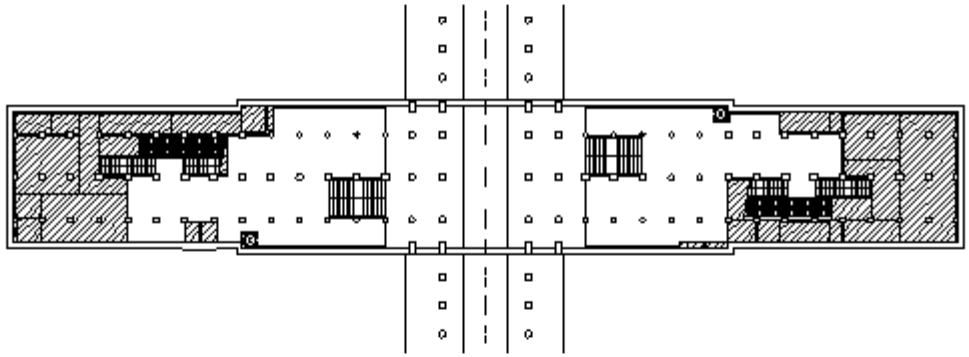
지하 3층 평면도

여의도역(5) - 대면식



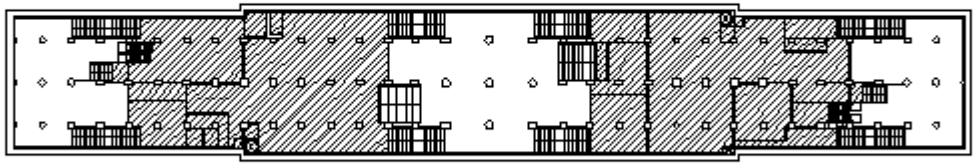
대합실 평면도

여의도역(5) - 대면식

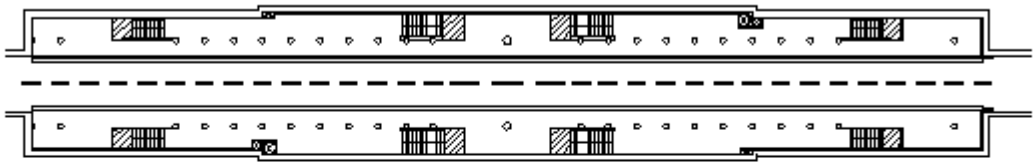


지하2층 평면도

여의도역(5) - 대면식

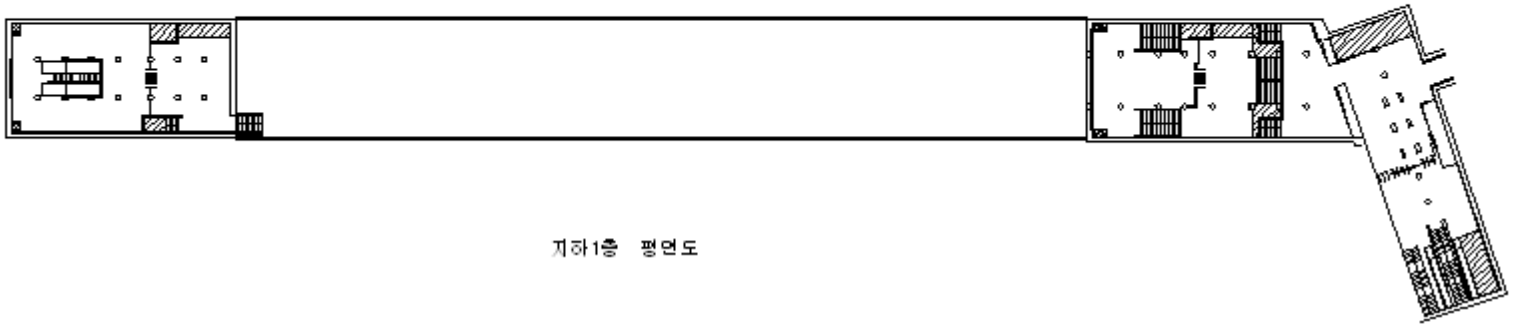


지하3층 평면도



승강장 평면도

종로3가(5)- 3개노선(1,3,5호선)교차
- 섬식



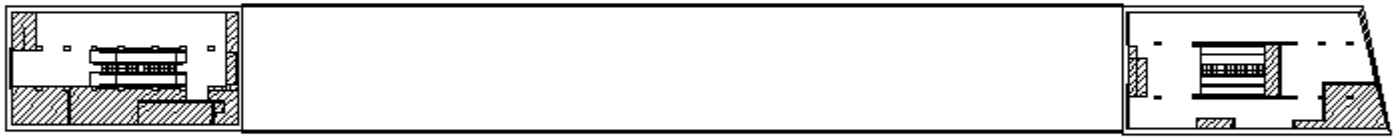
지하1층 평면도



지하2층 평면도

종로3가(5)- 3개노선(1,3,5호선)교차

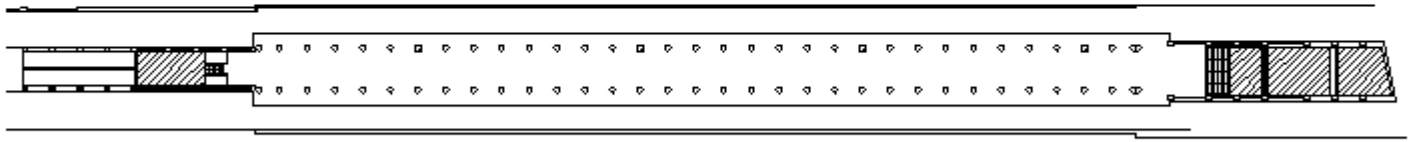
- 섬식



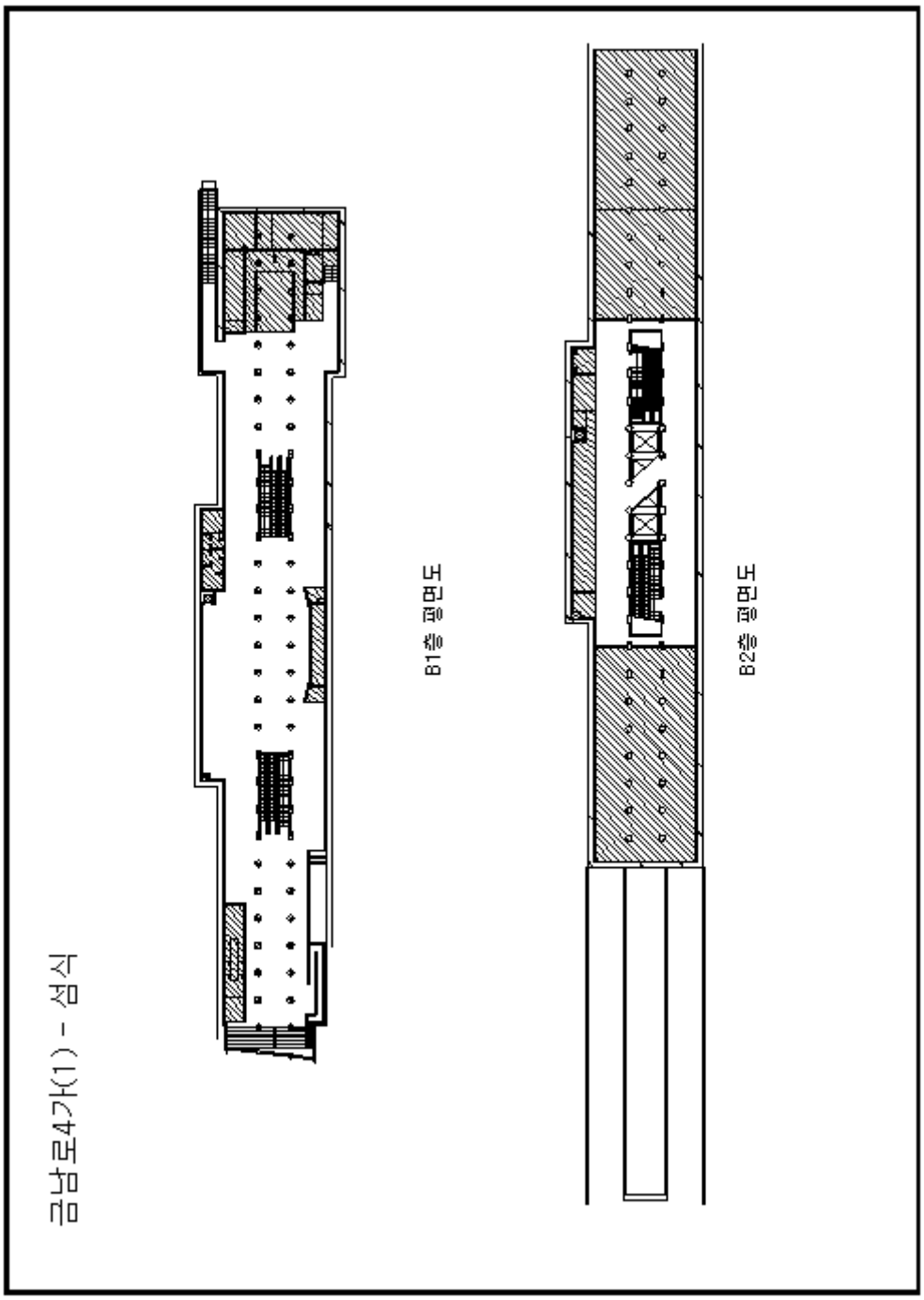
지하3층 평면도

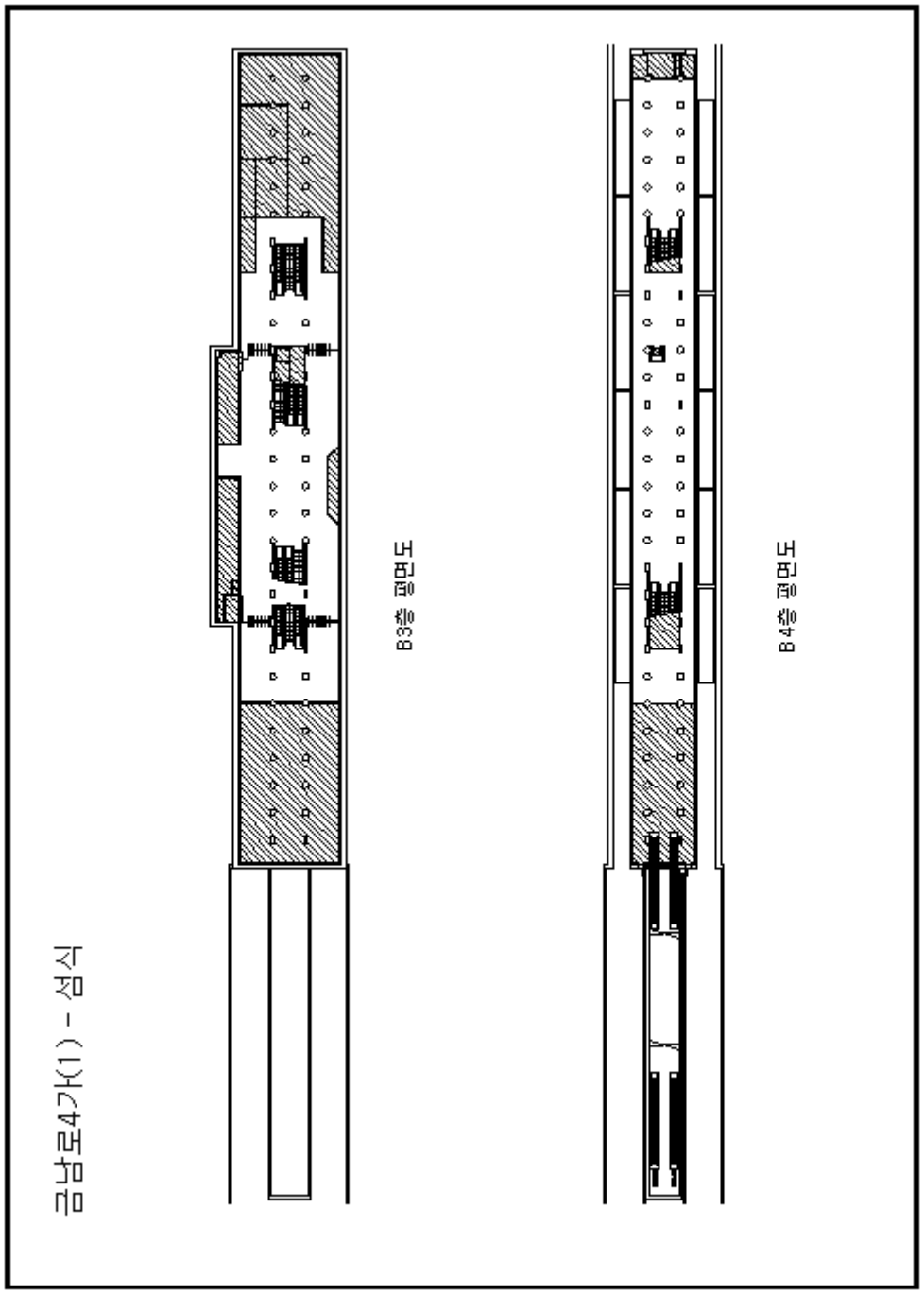


지하4층 평면도

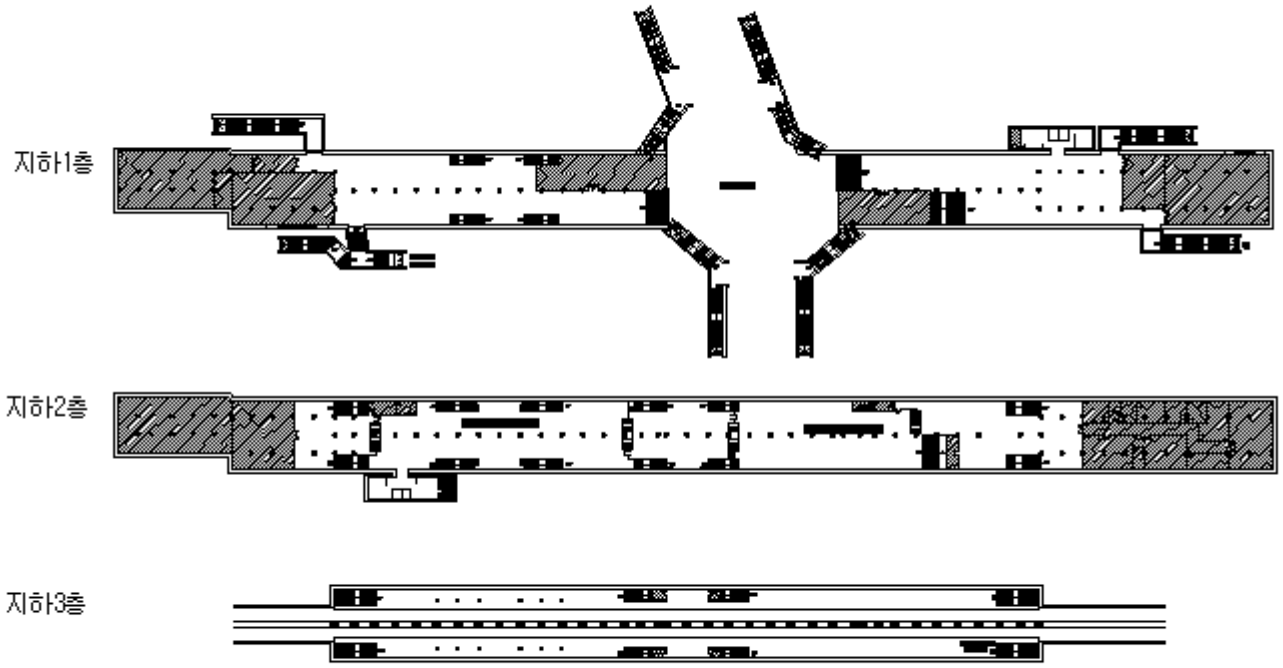


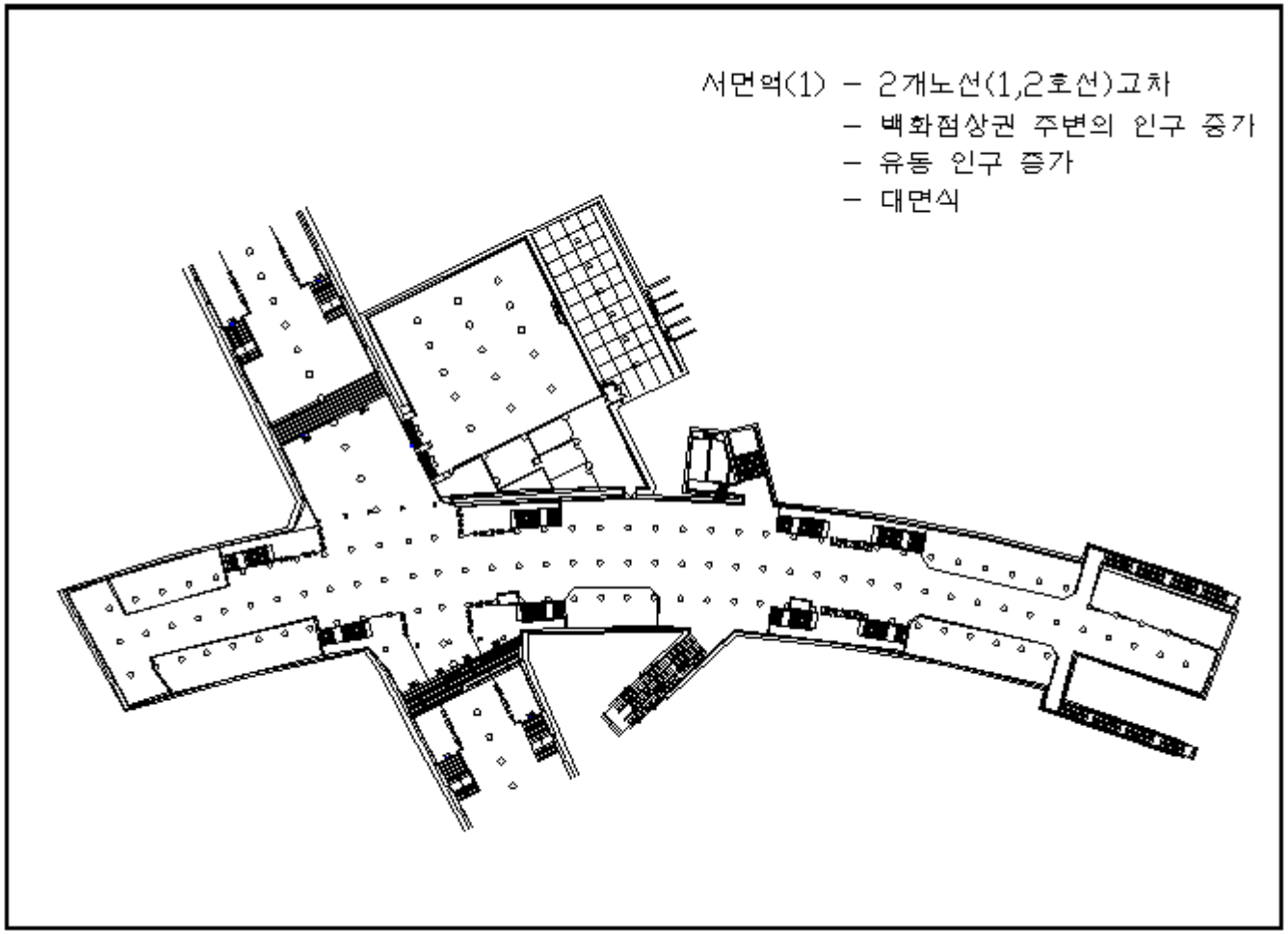
지하5층 평면도

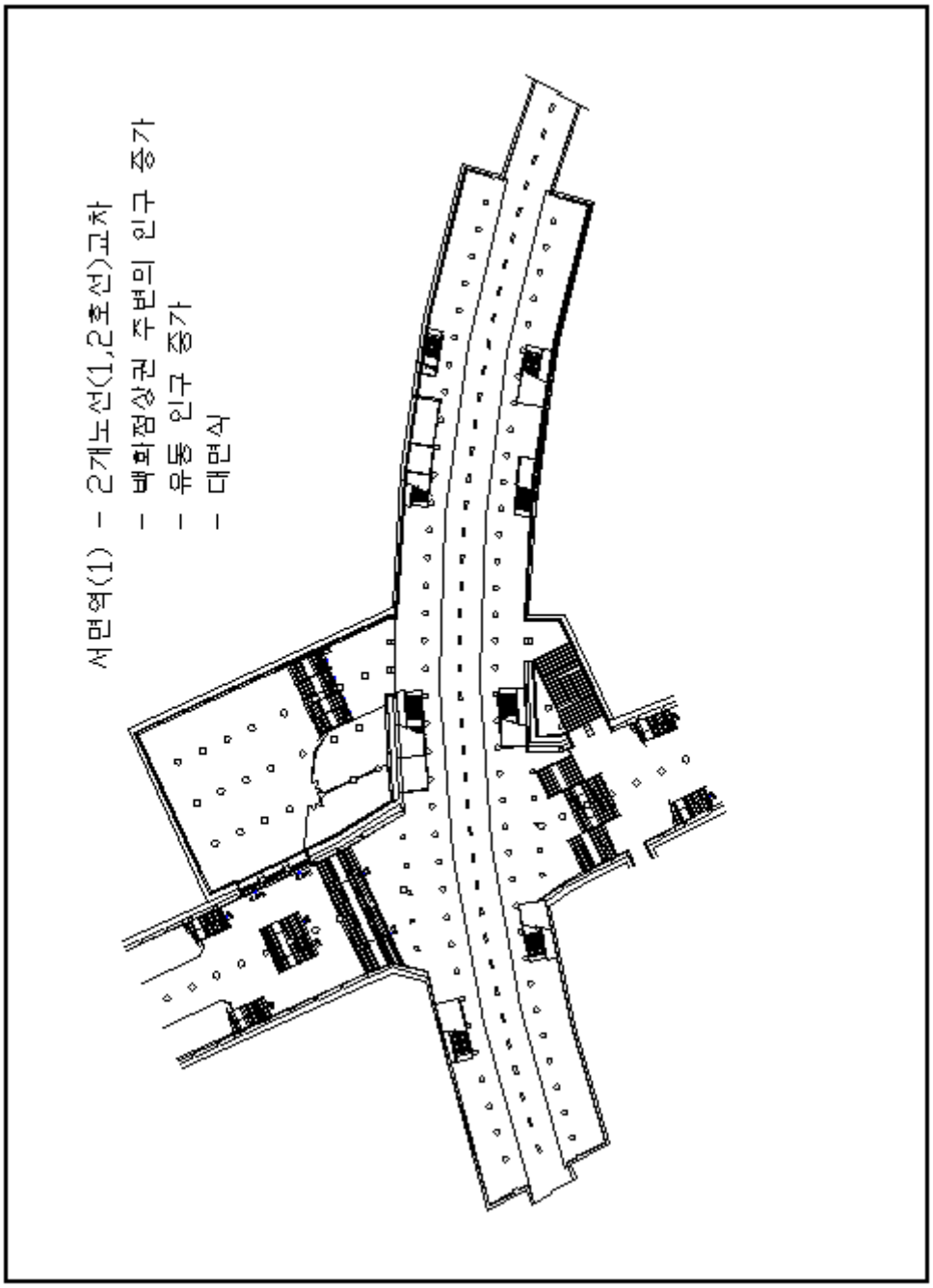

금남로4가(1) - 성식
B1층 평면도
B2층 평면도

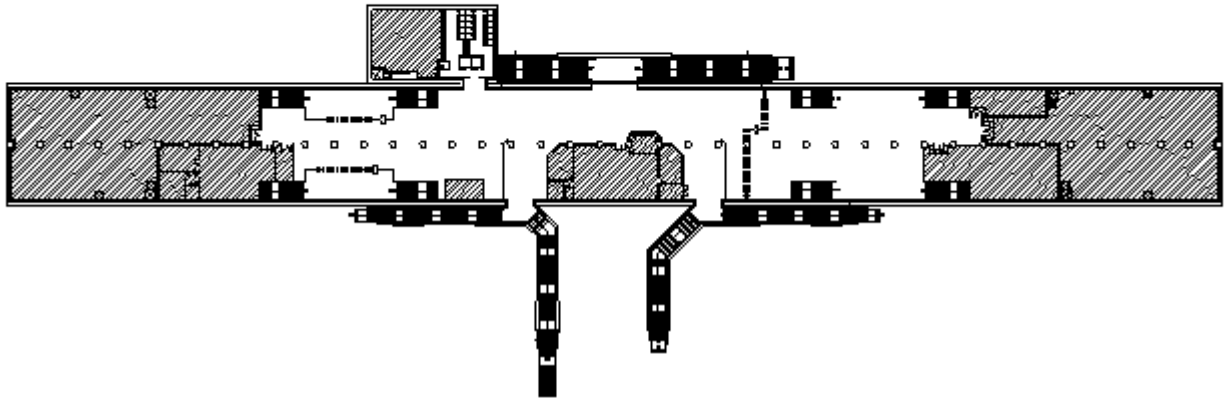

금남로4가(1) - 섬식
B3층 평면도
B4층 평면도

중앙로역 - 화재복구역
- 대면식

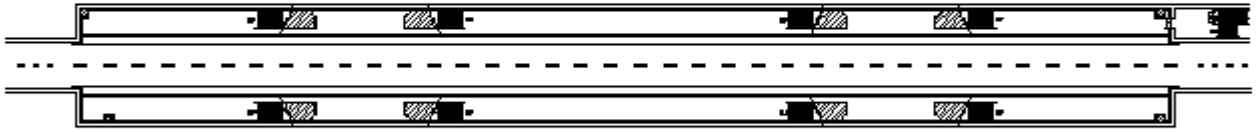



서면역(1) – 2개노선(1,2호선)교차
– 백화점상권 주변의 인구 증가
– 유동 인구 증가
– 대면식


서면역(1) - 2개노선(1,2호선)교차
- 백화점상권 주변의 인구 증가
- 유동 인구 증가
- 대면식



지하1층 평면도



대합실층(지하2층) 평면도

주 의 사 항

1. 본 보고서는 국토해양부부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 건설기술연구개발사업의 최종(중간) 연구보고서입니다.
2. 본 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 건설기술연구개발사업임을 밝혀야 합니다.
3. 국가보안 차원에서 필요하다고 인정되는 내용은 대외적으로 발표 및 공개하여서는 아니됩니다.

본 보고서와 관련하여 문의를 원하시는 분은 아래의 문의처로 연락을 주시기 바랍니다.

■ **문의처 : 한국건설교통기술평가원** TEL 031)381-6311
■ **주관연구기관 : 한국철도기술연구원** TEL 031)460-5244

R&D / 2008

철도 역사에서의 여객 유동 평가 프로그램 개발 연구보고서

■ **발행일 / 2008 . 6 . 29 .**
■ **발행처 / 한국철도기술연구원**
437-050 경기도 의왕시 월암동 360-1
TEL : 031-460-5244
■ **인쇄처 / 명신인쇄**