

DEM에 기초한 여객유동 해석을 위한 전/후처리 프로그램 개발

김 치 겹, 원 찬 식*, 허 남 건**, 남 성 원**

서강대학교 대학원, *서강대학교 기계공학과, **한국철도기술연구원 철도시스템연구본부

Development of a Pre/Post Processor Program for the Analysis of the Passenger Flow based on Discrete Element Method(DEM)

Chi Gyeom Kim, Chan-Shik Won*, Nahmkeon Hur** and Seong Won Nam**

Graduate school, Sogang University, Seoul 121-742, Korea

*Department of Mechanical Engineering, Sogang University, Seoul 121-742, Korea

**Railway System & Safety Research Department, KRRI, Gyeonggi 437-050, Korea

ABSTRACT: A pre/post processor program based GUI(Graphic User Interface) by using the MFC and OpenGL library in the Windows OS have been developed for the analysis of the passenger flow. Using this program, users are able to generate and modify the meshes of multi-storied subway station, set all the parameters for the solver, and obtain the results of the simulation such as transient passenger motions and passenger streak lines in 3-dimensional graphic view.

Key words: 여객 유동(Passenger flow), 이산요소법(DEM, Discrete Element Method), 전산유체역학(CFD, Computational Fluid Dynamics), 전/후처리장치(Pre/Post Processor)

1. 서 론

최근 철도역을 비롯한 대형건축물의 건설이 증가하면서 이용하기 편리하면서도 쾌적한 환경을 만들기 위한 여러 가지 노력이 계속 되고 있다.⁽¹⁻³⁾ 특히 도시 철도인 지하철 일부 환승역의 경우, 여러 개의 철도 노선이 교차하여 그 구조가 심층 지하화 되기 때문에 이용객들의 이동 동선이 길어져 러시아워 때의 극심한 혼잡성 문제

뿐만 아니라 화재와 같은 재해 발생 시에는 이용객들의 피난 및 안전 확보 문제가 발생할 수 있다. 이에 따라, 철도역 이용객의 안전을 고려한 철도역사의 운영을 위해서는 구조설계를 위한 하드웨어적 요소뿐만 아니라 철도역을 이용하는 사람들의 이동 형태를 동적으로 해석하여 역사의 시설 계획에 반영하는 여객 유동 해석과 같은 소프트웨어적 요소도 고려되어야 한다.

본 연구에서는 DEM 방법⁽⁴⁾을 이용한 여객 유동 해석 프로그램으로 해석된 최적의 여객동선 구축과 효과적인 대피대책 수립을 위한 여객 유동 분석 및 시뮬레이션을 수행할 수 있는 전/후처리 프로그램을 개발하였다. 시스템은 크게 전처리 모듈, 분석 모듈, 후처리 모듈 등으로 이루

† Corresponding author
Tel.: +82-2-705-8637; fax: +82-2-712-0799
E-mail address: nhur@sogang.ac.kr

어지는데, 본 연구를 통해 개발한 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 모델링하는 것뿐만 아니라 건축 객체 공간, 공간의 연결 관계에 대한 정보가 객체 지향적이면서 자동적으로 설정된다. 후처리 모듈은 시뮬레이션 결과의 효과적인 시각화에 초점을 맞추어 여객 유동 시뮬레이션을 보여준다.

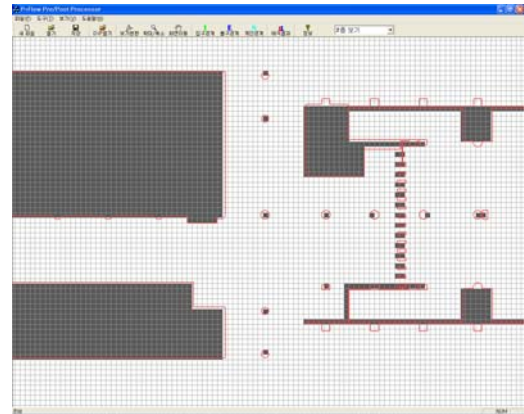
본 프로그램의 개발 환경은 Windows XP 운영 체제를 사용하는 PC에서 개발 되었으며 프로그램 개발을 위한 작업 도구로써 Microsoft Visual C++ 6.0을 사용하였다. Microsoft Visual C++ 6.0은 GUI 소프트웨어 개발에 용이하고 개발된 프로그램의 확장성과 범용성을 높일 수 있는 객체 지향 소프트웨어 기술을 이용한다. 본 프로그램에 사용되는 후처리 시뮬레이션을 구현하기 위한 Graphic Library는 OpenGL을 이용하였고 다양한 3차원 환경의 그래픽으로 여객 유동을 시뮬레이션 하였다.

2. 여객유동 해석 알고리즘과 구성

DEM기법은 전산유체역학의 해석 기법 중의 하나로써 기체 또는 액체의 유동에 고체 입자가 혼입되는 다상유동 해석 방법으로 널리 사용되고 있다. 여객유동 해석에서는 해석 공간상의 보행자를 각각의 요소(Element)로 간주하고 해석 공간의 구조를 고려한 공간의 위치에 따른 방향 벡터를 유체의 흐름으로 대체하여 여객 유동 해석 알고리즘을 개발하였다. Table 1은 DEM기법을 이용한 다상유동과 여객유동의 유사성을 나타낸다.⁽⁵⁾

Table 1 Comparison of passenger flow and 2-phase flow⁽⁵⁾

property	passenger flow	2-phase flow
carrier mover	directional vector pedestrian	fluid flow particle
density	population density	volume fraction
velocity	walking speed	governing equation



(a) Window of pre/post program



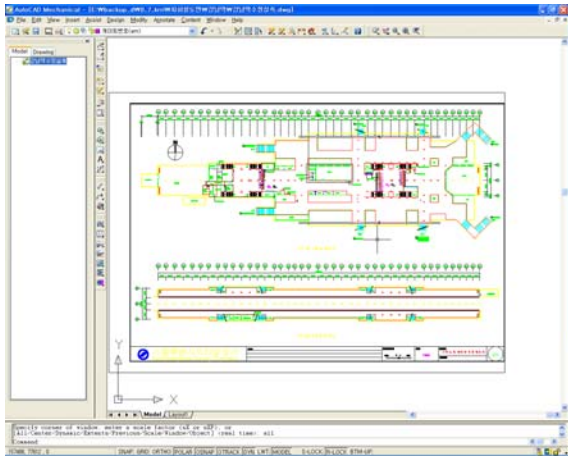
(b) Shortcut in toolbar

Fig. 1 GUI of pre/post program

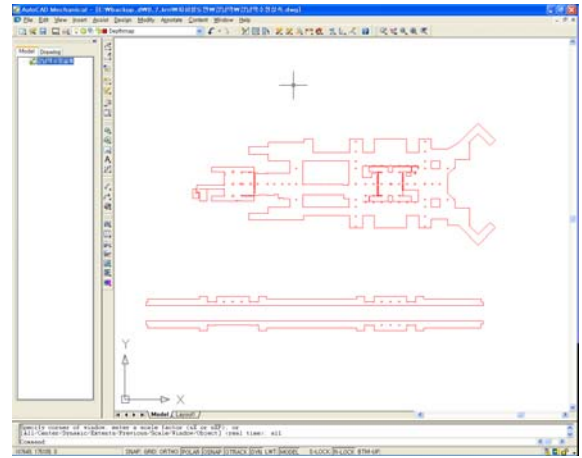
DEM 기법을 사용한 여객유동 해석 알고리즘과 전/후 처리 과정을 통합한 프로그램의 구성을 다음과 같이 간략하게 설명한다.

- (1) 해석 하고자하는 대상의 철도역 또는 건축물의 CAD 평면도를 이용하여 계산 영역을 설정한다.
- (2) 계산 영역을 일정 크기의 격자로 분할한다.
- (3) 분할된 각각의 격자에 대하여 특성을 부여한다. 예를 들면 철도역사 모델의 경우, 평면 격자, 벽면 격자, 계단 격자가 주요 구성 격자 요소이며 각 계산 격자에 해당하는 특성이 지정되어야 한다.
- (4) 그 외에 계산에 필요한 총 여객의 수, 계산 시간 등을 입력한다.
- (5) 초기 값을 설정하고, 각 격자 공간에 대한 potential value map을 구성한다.
- (6) 여객 유동에 대한 비정상상태 계산을 potential value map에 따른 공간상의 vector를 이용하여 수행한다.
- (7) 시간에 따른 계산 결과를 격자 공간 위에 보행자의 움직임으로 나타낸다.
- (8) 계산 결과를 이용하여 종합적인 분석을 수행한다.

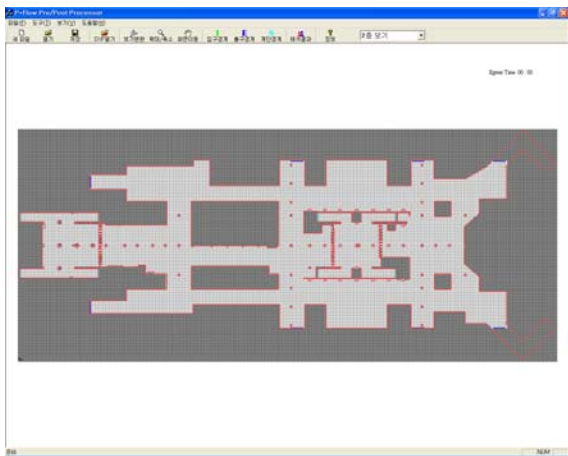
(1)-(5) 과정은 전처리 장치에서 수행되고, (6) 과정은 해석 프로그램에서 수행한다. 계산 결과를 바탕으로 한 (7)-(8) 과정은 후처리 장치에서 수행된다. Fig. 1은 본 해석 프로그램의 GUI구성을 나타낸다.



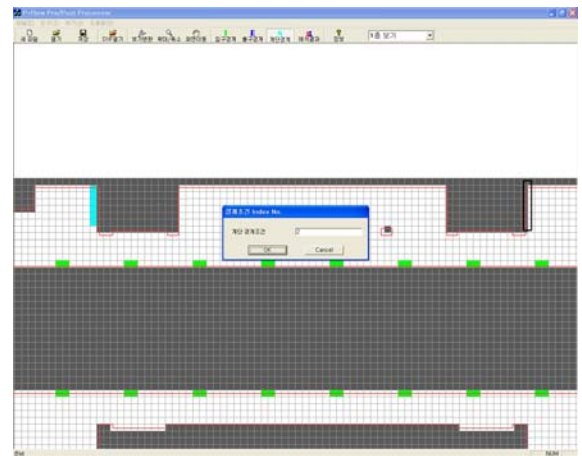
(a) Cad data



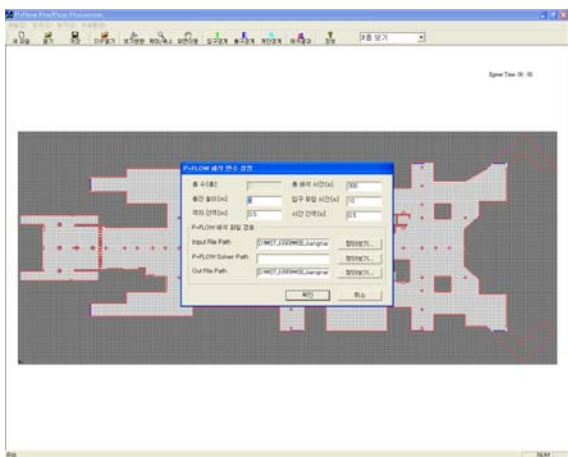
(b) Arrangement of cad data



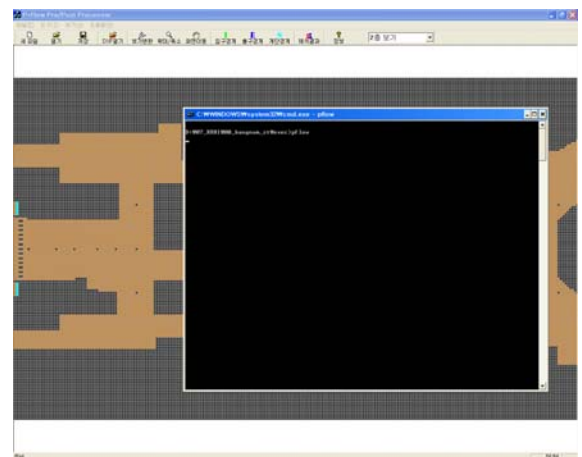
(c) Computational mesh of 1st basement



(d) Boundary condition setting



(e) Analysis condition setting



(f) Solving passenger flow

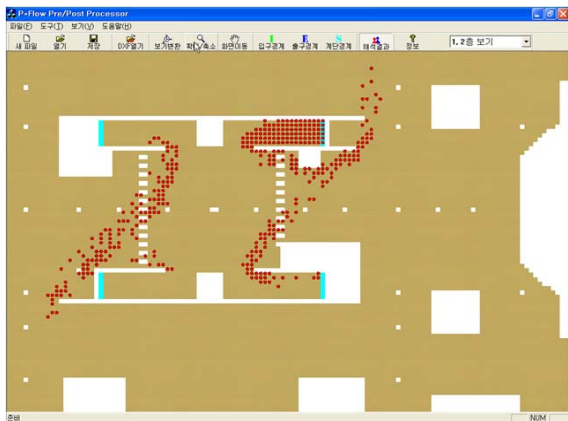
Fig. 4 Procedure of pre-processing

의해 다시 공간으로 인식 될 수도 있고 공간도 벽으로 수정이 가능하다. 알고리즘에 의하여 구분된 해석 격자를 실제 도면과 확인하여 수정할

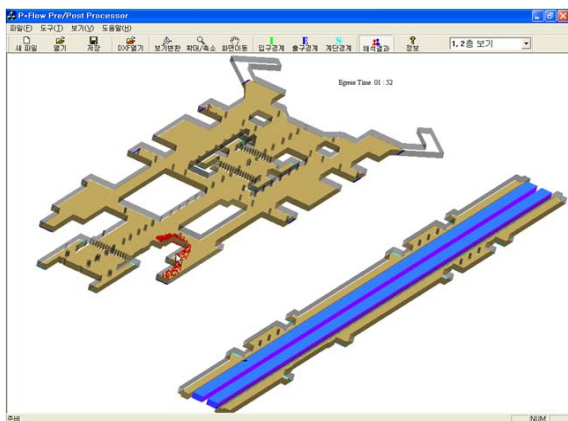
수 있게 프로그램 되어있다. 벽과 공간에 대한 수정이 이루어진 이후에는 다시 벽 블록 생성 알고리즘을 수행하게 된다.



(a) 2-D simulation view



(b) Zoom of 2-D simulation view



(c) 3-D Simulation view

Fig. 5 Simulation result

3.2 전처리장치 사용 과정

Fig. 4는 강남역 지하철 2호선 역사에 대한 모델링 전처리 구현 과정을 나타내는 그림이다. 우선, Fig. 4 (a)와 같은 지하철 역사에 대한 카드 도면을 벽과 공간의 구별이 확실한 폐곡선으로

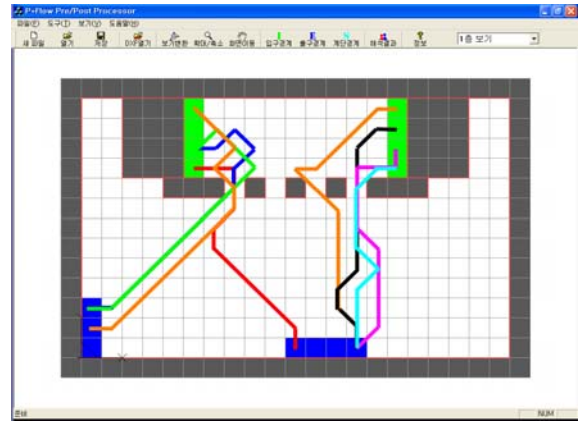


Fig. 6 Streak line of passengers

정리하는 작업을 카드 프로그램에서 수행한다. Fig. 4 (b)와 같이 정리된 카드 도면을 본 프로그램에서 각 층 별로 DXF 형식으로 불러오면 벽과 해석 공간이 구별된 계산 격자가 자동으로 생성된다. 각 단일 층의 해석 격자는 Fig. 4 (c)와 같다. 프로그램에 의해 자동으로 생성된 해석 격자는 프로그램 창 상단의 툴바를 이용하여 확대하여 세부적으로 확인 한다.

해석 격자를 생성한 이후 프로그램 창 상단의 도구상자를 이용하여 해석 격자를 수정하고 Fig. 4 (d)와 같이 입구, 출구, 계단 경계조건을 부여한다. 해석 경계조건을 해당하는 모든 계산 격자에 적용한 이후 여객 유동 해석에 필요한 계산 조건을 Fig. 4 (e)와 같이 설정하고 본 프로그램을 이용하여 Fig. 4 (f)와 같이 여객 유동 해석을 바로 진행한다.

4. 후처리 장치의 구성

Fig. 5는 후처리 장치에서 구현 가능한 여러 가지 2차원 또는 3차원 시뮬레이션 환경을 보여준다. 기본 화면은 Fig. 5 (a)와 같이 해석 격자와 기존의 도면의 경계가 2차원으로 나타나지만, “메뉴>보기”의 다양한 옵션을 이용하여 카드 선, 격자 선, 바닥 효과 표현, 직교 투영 3차원 보기, 원근 투영 3차원 보기 등의 기능을 이용할 수 있고, 도구상자의 “보기변환”, “확대/축소”, “화면이동” 기능을 이용하여 사용자의 화면을 조정하는 것이 가능하다. 프로그램에서 제공하는 다양한 기능을 이용하면 Fig. 5 (b), (c)와 같은 2차원 또는 3차원 시뮬레이션 환경을 설정할 수 있다. 3차원 시뮬레이션 환경에서는 각 여객의 모습이 3

차원 아바타로 표현되어 실제로 여객이 공간상에서 움직이는 것으로 보인다. 해석 결과를 보는 화면에는 해석 시간이 화면에 같이 표시되어 시간에 따른 여객의 이동 현상을 보여준다.

본 후처리 장치는 DEM기법을 이용한 여객 유동 해석 결과를 분석하여 여객의 동선을 파악할 수 있는 자료를 제공한다. 각 여객을 구별하고 시간에 따른 움직임을 기록하기 위해서 여객이 유입되는 입구에서 고유번호를 각 여객에게 부여한다. 그리고 시간 간격마다 해석 공간상에 분포한 고유번호의 배치를 저장하는 루틴을 이용하여 각 여객의 동선을 파악한다. Fig. 6은 위의 방법을 이용하여 해석 공간상에서 시간에 따른 여객의 동선을 유색선으로 나타낸 그림이다. 각 여객들이 입구에서 유입되어 최단 거리의 출구를 향해 움직이고 빠져나가는 것을 그림에서 보여준다. 해석 공간상에 존재하는 벽이나 기둥의 위치를 변경할 때 여객이 빠져나가는 시간이나 동선 등이 달라지는 양상을 예측하는 것이 가능하다.

5. 결 론

본 연구는 철도 역사에서의 여객 유동 평가 시뮬레이션을 위한 통합 소프트웨어 개발에 최종 목표를 두고 수행되었다. 본 연구를 통해 개발한 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 분석 모듈과의 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 테스트하였다.

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 국내사용과 수입 대체 효과, 제품의 수출도 가능할 것이다.

후 기

본 연구는 건설기술기반구축사업인 “철도 역사에서의 여객 유동 평가 프로그램 개발” 과제의 일환으로 진행되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Nagel, K. and Schreckenberg, M., 1992, A cellular automation model for freeway traffic, *Journal of Physics I France*, Vol.1, pp.2221-2229.
2. Olsson, P.A. and Regan, M.A., 2001, A comparison between actual and predicted evacuation times, *Safety Science*, Vol.38, No.2, pp.139-145.
3. Pelechano, N. and Malkawi, A., 2008, Evacuation simulation models: Challenges in modeling high rise building evacuation with cellular automata approaches, *Automation In Construction*, Vol.17, No.4, pp.377-385.
4. Takagi, R., Goodman, C.J. and Roberts, C., 2002, Modeling passenger flows at a transport interchange using Petri nets, *Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, Vol.217, pp.125-134.
5. Nam, S.W., 2005, Development of Algorithm for Passenger Flow Analysis based on DEM, (in Korean) *Journal of Korean Society Railway*, Vol.8, No.4, pp.337-341.
6. Chin, S.M., Won, C.S. and Hur, N., 2004, Development of a mesh generation program using contour line data, (in Korean) *Journal of Korean Society Computational Fluids Engineering*, Vol.9, No.4, pp.7-12.