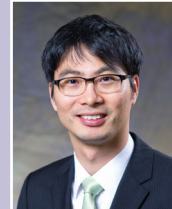


## 빌딩 시뮬레이션을 위한 재실자의 공간사용 예측 연구 동향

차승현 The University of Cambridge/박사과정  
김태완 City University of Hong Kong/조교수



### I. 서론

재실자의 행동은 건물의 에너지 사용에 있어서 많은 부분을 차지하고 있다. 여러 빌딩시뮬레이션 툴 (eQUEST, Energy plus, Riuska 등) 들의 개발과 함께 정확한 재실자 행동에 관한 연구는 지난 10년 동안 많은 관심을 받아오고 있다. 정확한 재실자 행동 예측은 곧 건물에너지 사용패턴에 대한 정확한 이해를 제공하는 것이며, 이는 빌딩시뮬레이션 툴의 입력 데이터로 이용되어 에너지 효율적인 건물디자인과 MEP 시스템 디자인에 적용될 수 있다. 큰 틀에서 재실자 행동연구는 두 가지 분야로 나누어 진다. 첫 번째는 재실자가 자신이 머무는 건물 안에서 어떻게 물리적 공간을 사용하는지 (occupant interaction)에 대한 연구이다. 재실자는 건물 안에서 편안한 상태를 유지하기 위해서 창문, 온도, 조명 등을 조절하는데, 이러한 행동은 결국 에너지 사용과 직결된다. 따라서 이 부류의 연구들은 에너지 사용에 대한 직접적인 사용 패턴에 대한 이해를 제공한다 (Bourgeois et al. 2006; Yu et al. 2011; Yun and Steemers 2008). 두 번째는 재실자가 언제 (혹은 얼마나) 건물의 각 공간을 사용할지를 (space-use) 예측하기 위한 연구이다. 이 분야는 occupant interaction 연구에 비해 적은 관심을 받아왔으나, 어떤 공간을 사용하는지는 결국 occupant interaction의 입력값을 제공하기 때문에 최근 몇 년 사이에 더 높은 관심을 받고 있다. 이에 본고에서는 빌딩시뮬레이션을 위한 공간사용 예측 연구 동향을 소개하고자 한다.

### II. 본론

공간사용 예측 연구들은 크게 다양성 요인 접근법, 확률적인

접근법, 액티비티 기반 접근법, 그리고 공간사용 분석 접근법으로 나뉠 수 있다 (표 1). 따라서, 본고에서는 각 접근법들을 간략하게 소개하고, 이들이 최근 어떻게 발전되어 왔는지에 대한 동향을 소개한다.

표 1. 공간사용 예측 접근법 분류 및 리서치 동향

| 분류                                           | 저자                            | 특징                                   |
|----------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| 다양성 요인 접근법<br>(Diversity factor approach)    | Davis and Nutter (2010)       | 캠퍼스내 빌딩 종류 별 다양성요인 제시                |
|                                              | Abushakra and Claridge (2008) | 에너지 사용 패턴을 통한 다양성요인의 다변화             |
| 확률적인 접근법<br>(Stochastic approach)            | Page et al. (2008)            | 마코프체인과 에이전트기반 모델링을 통해 재실자점유 확률적변이 사용 |
|                                              | Wang et al.(2011)             |                                      |
|                                              | Liao et al. (2012)            |                                      |
| 액티비티 기반 접근법<br>(Activity-based approach)     | Tabak et al. (2008)           | 액티비티 일정을 이용한 공간사용 예측                 |
|                                              | Goldstein et al. (2010)       | 가상의 액티비티 일정의 사용 등을 통한 필요데이터 축소       |
|                                              | Shen et al. (2012)            |                                      |
|                                              | Ioannidis and Tzovaras (2012) | 참조모델의 필요성 강조                         |
| 공간사용 분석 접근법<br>(Space-use analysis approach) | Pennanen (2004)               | 재실자, 액티비티, 공간의 속성의 통합을 통한 공간 사용예측    |
|                                              | Kim et al. (2013)             |                                      |

#### 1. 다양성 요인 접근법 (Diversity factor approach)

다양성 요인 접근법은 공간에서 한 해 365일 24시간 재실자 점유 밀도 (Occupancy density) 를 매시간 단위로 factor load로 입력하는 방법이다. 이 방법의 간결함과 실용성 덕분에 최근까지 빌딩시뮬레이션 툴에서 주로 이용되고 있는 방법이다. 그러나 이 방법은 다변한 재실자 점유 밀도를 고정된 숫자로 표현하기 때문에 현실성이 떨어진다는 비판을 받고 있다. 그래서 최근에는 이 방법 내부에서 다양성 요인을 건물 타입 별, 주중 주말, 재실자 타입 등으로 더욱 세분화하여 다양화하는 작업들이 진행되고 있다. 예를 들면 Davis와 Nutter (2010) 는 캠퍼스내

대학건물들 (도서관, 행정건물 등등) 의 재실자 점유상태를 대표하는 factor load를 개발했으며, Abushakra와 Claridge (2008) 는 건물에서의 에너지 사용과 재실자의 점유상태의 상호관계를 찾고 이를 바탕으로 한 factor load를 제시했다.

### 2. 확률적인 접근법 (Stochastic approach)

앞서 소개한 다양성 요인 접근법의 비현실성을 보완하기 위해 확률적인 접근법을 사용한 재실자 점유 패턴에 대한 연구가 활발히 이루어져 왔다. 초기 연구들 (Reinhart 2004; Wang et al. 2005) 은 휴식시간, 점심시간 등에 간단한 확률적 모델을 도입함으로써 부분적으로 재실자 점유상태를 다양화하였지만 여전히 거의 고정된 재실자 점유 패턴을 반복적으로 사용하였다. 이러한 접근법은 재실자의 액티비티 (activity) 를 직접적으로 다루지는 않았지만 최근에는 에이전트 기반 모델링을 확률적인 접근법에 접목시킴으로써 재실자 점유 패턴을 더욱 다양화 시키고 있다 (Page et al. 2008; Liao et al. 2012; Wang et al. 2011). 이들은 마르코프 체인 (Markov Chain)을 통해서 건물 구역 (zone) 별로 도착, 떠남, 휴식시간 등의 재실자 점유 상태를 전이확률 (transition probabilities) 로 표현함으로써 더욱 다양화된 패턴을 보여준다. 그림 1은 하나의 사무실에서 확률에 따라 시간 별 변화하는 재실자 수를 나타내고 있다.

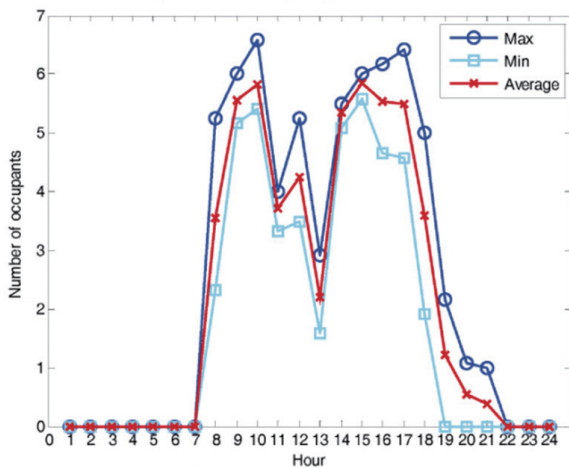


그림 1. 오피스사무실안의 확률에 따른 재실자 숫자 그래프 (Wang et al. 2011)

### 3. 액티비티기반 접근법 (Activity-based approach)

기존 다양성 요인과 확률적 접근 방법과는 다르게 이 방법은 개별 재실자의 액티비티 일정 (activity schedules) 을 만들고 이를 바탕으로 더욱 현실적인 건물 안에서의 공간 사용을 예측한다. 대표적으로 Tabak (2008) 에 의해 개발된 User

Simulation of Space Utilization (USSU) 은 재실자들의 액티비티들을 그 특성에 따라 자동 생성하고, 각 액티비티들이 들을 위한 공간 타입 중 가장 가까운 공간에 배치하는 시뮬레이션 시스템이다. 이 방법은 각 공간의 사용을 현실적으로 예측할 수 있다는 장점에도 불구하고 많은 입력 정보의 필요성 때문에 실효성이 부족하다는 단점을 지니고 있다. 따라서 Shen et al. (2012) 은 이 모델을 간소화시켜 사용하였으며, Goldstein et al. (2010) 은 요구되는 데이터의 축소화를 위해서 그림 2처럼 실제 액티비티 일정을 수학적 모델에 의해 고정된 가상의 액티비티 일정들을 만들고, 이를 업무 군별로 더욱 다양화한 재실자 데이터베이스를 만들 것을 강조했다. 이와 같은 맥락에서 Ioanndis et al. (2012) 또한 참조모델의 중요성을 강조했다.

| Time     | Task             | NPO |
|----------|------------------|-----|
| 9:57 AM  | work@desk        | 1   |
| 10:19 AM | meet@desk        | 2   |
| 10:24 AM | work@desk        | 1   |
| 11:37 AM | break@washroom   | 1   |
| 11:41 AM | work@desk        | 1   |
| 12:01 PM | break@sharedroom | 1   |
| 12:12 PM | break@washroom   | 1   |
| 12:13 PM | work@desk        | 1   |
| 12:28 PM | break@outside    | 13  |
| 1:31 PM  | break@washroom   | 1   |
| 1:34 PM  | work@desk        | 1   |
| 2:42 PM  | break@washroom   | 1   |
| 2:44 PM  | work@desk        | 1   |
| 4:08 PM  | break@sharedroom | 1   |
| 4:13 PM  | work@desk        | 1   |
| 6:13 PM  | off@outside      | 1   |

그림 2 가상으로 생성되어진 액티비티 일정 (Goldstein et al. 2010)

### 4. 공간사용분석 접근법 (Space-use analysis approach)

공간사용분석 접근법은 효율적인 업무공간계획의 목적으로 부터 시작되었다. Pennanen (2004) 은 액티비티의 속성 (액티비티 소요시간, 그룹크기 등) 과 공간의 속성 (공간 종류, 공간 크기, 장비 등) 을 바탕으로 속성이 서로 맞는 액티비티와 공간을 직접 연결시켰다. 그리고 공간의 사용률을 바탕으로 75% 이상 점유된 공간에서의 액티비티는 다른 가능한 공간으로 이동 시킴으로써 전체 공간사용을 효율성을 높이는 방법을 제안하였다. 이 방법은 특히 핀란드에서 활발하게 활용되고 있는데, 그러나 이 방법은 각 액티비티들을 수동으로 각 공간에 할당해야 함으로 분석의 속도와 일관성에 문제를 보인다. 이를 보완하기 위해 Kim et al. (2013) 은 지식기반 시스템 (knowledge-based system) 을 활용한 재실자, 액티비티, 공간의 체계적인

정의와 통합을 바탕으로 컴퓨터를 이용하여 자동으로 공간사용을 예측하는 프레임워크를 개발했다.

### III. 결론

빌딩 시뮬레이션을 통한 재실자 행동 예측은 재실자의 공간 사용 예측을 기반으로 한다. 부정확한 재실자 공간사용 예측으로부터 얻어진 재실자 행동패턴 결과는 내재적인 문제를 탑재하고 있는 것이다. 따라서, 정확한 빌딩 시뮬레이션을 위해서는 보다 현실적이고 더 정확한 공간사용 예측 연구가 선행되어야 한다. 최신 연구들은 이를 달성하기 위해 수학적인 모델, 데이터베이스, 지식기반 시스템 등을 통하여 복잡한 공간사용의 패턴을 가능한 한 간결한 방법에서 예측하고자 한다. 그러나 아직까지는 다양한 재실자의 공간사용을 현실적인 수준에서 보여주고 제공하는 모델은 없는 상태이다. 지속적인 컴퓨터 시뮬레이션의 기술의 발달, 다양한 센서들의 개발과 활용에 힘입어 공간사용 예측을 위한 다양한 시도는 계속되고 있다.

### 참고문헌

- Abushakra, B., and Claridge, D. (2008). "Modeling Office Building Occupancy in Hourly Data-Driven and Detailed Energy Simulation Programs." *ASHRAE Transactions*, SL-08-048.
- Bourgeois, D., Reinhart, C., and Macdonald, I. (2006). "Adding Advanced Behavioural Models in Whole Building Energy Simulation: A Study on the Total Energy Impact of Manual and Automated Lighting Control." *Energy and Buildings*, Elsevier, 38(7), 814-823.
- Davis, J. and Nutter, D. (2010). "Occupancy diversity factors for common university building types." *Energy and Buildings*, Elsevier, 42(9), 1543-1551.
- Goldstein, R., Tessier, A., and Khan, A. (2010). "Customizing the Behavior of Interacting Occupants Using Personas." *Fourth National Conference of IBPSA-USA*, August 11-13, 2010, New York City, New York, 252-259.
- Ioannidis, D., Tzovaras, D., and Malavazos, C. (2012). "Occupancy and Business Modelling." *The European Conference of Product and Process Modelling (ECPPM) Conference*, July 25-28, 2012, Reykjavik, Iceland.
- Kim, T., Rajagopal, R., Fischer, M., and Kam, C. (2013). "A Knowledge-Based Framework for Automated Space-Use Analysis." *Automation in Construction*, Elsevier, 32, 165-176.
- Liao, C., Lin, Y., and Barooah, P. (2012). "Agent-Based and Graphical Modelling of Building Occupancy." *Journal of Building Performance Simulation*, Taylor & Francis, 5(1), 5-25.
- Page, J., Robinson, D., Morel, N., and Scartezzini, J. (2008). "A Generalised Stochastic Model for the Simulation of Occupant Presence." *Energy and Buildings*, Elsevier, 40(2), 83-98.
- Pennanen, A. (2004). *User Activity Based Workspace Definition as an Instrument for Workplace Management in Multi-User Organizations*. Doctoral Dissertation, Department of Architecture, Tampere University of Technology, Tampere, Finland.
- Reinhart, C. F. (2004). "Lightswitch-2002: a Model for Manual and Automated Control of Electric Lighting and Blinds." *Solar Energy*, Elsevier, 77(1), 15-28.
- Shen, W., Shen, Q., and Sun, Q. (2012). "Building Information Modeling-Based User Activity Simulation and Evaluation Method for Improving Designer-User Communications." *Automation in Construction*, Elsevier, 21, 148-160.
- Tabak, V. (2008). *User Simulation of Space Utilisation*. Doctoral Dissertation, Design Systems Group, Eindhoven University, Eindhoven, Netherlands.
- Wang, C., Yan, D., and Jiang, Y. (2011). "A Novel Approach for Building Occupancy Simulation." *Building Simulation*, Springer, 4(2), 149-167.
- Wang, D., Federspiel, C., and Rubinstein, F. (2005). "Modeling Occupancy in Single Person Offices." *Energy and Buildings*, Elsevier, 37(2), 121-126.
- Yu, Z., Fung, B., Haghghat, F., Yoshino, H., and Morotsky, E. (2011). "A Systematic Procedure to Study the Influence of Occupant Behavior on Building Energy Consumption." *Energy and Buildings*, Elsevier, 43(6), 1409-1417.
- Yun, G. and Steemers, K. (2008). "Time-Dependent Occupant Behaviour Models of Window Control in Summer." *Building and Environment*, Elsevier, 43(9), 1471-1482.