LHI Journal
of Land, Housing, and Urban Affairs

2019. 10. Vol.10 No.3 (037)

CONTENTS

기획논문

1 **실내 미세먼지 저감을 위한 창호형 환기시스템 성능평가**
양영권 · 박진철

9 **인공신경망 기반 VRF 시스템 제어**
문진우

17 **CPTED 기준 제시를 위한 사회적 요인과 조명물리량의 통계 분석**
김광훈 · 오진우 · 황준권 · 전수정 · 윤근영

23 **고성능 진공단열재의 건축적인 적용에 관한 연구**
권영철 · 김 석

33 **천공 및 차양조건에 따른 소규모 사무실의 주광 조도 감소범위 예측**
장서연

일반논문

43 **전문가 설문조사를 통한 3기 신도시의 계획지표 및 개발방향설정 연구**
윤정중

57 **조건부가치측정법(CVM)을 활용한 개발사업지구 내 유휴부지 유료주차장 활용방안 연구**
김태균 · 박지은 · 윤정란

67 **적층식 모듈러주택의 시공 프로세스 분석을 통한 품질관리 중점사항 제안**
손정락 · 이동건 · 방종대 · 김진원

77 **인필식 모듈러 공법을 적용한 주택건설공사의 작업분류체계 구축 및 표준 프로세스 제안**
손정락 · 이동건 · 방종대 · 김진원

발 행 한국토지주택공사
토지주택연구원
(34047) 대전광역시 유성구
엑스포로539번길 99

전 화 (042) 866-8400
팩 스 (042) 866-8638
Home http://lhi.lh.or.kr
발행인 황 희 연
인쇄처 디자인컴픽스
(042) 538-1760
인쇄일 2019년 10월 25일
발간일 2019년 10월 28일

저널운영 TFT
이은엽 박종배 정연우 송기욱

LHI Journal
of Land, Housing, and Urban Affairs
2019. 10. Vol.10 No.3 (037)

CONTENTS

Special Issue

1 Performance Evaluation of Window Ventilation System for Reducing Indoor particulate matter
Young Kwon Yang · Jin Chul Park

9 ANN-Based VRF (variable refrigerant flow) system control
Jin Woo Moon

17 Statistical analysis of social factors and lighting physical quantities to present CPTED guideline
Kwang Hoon Kim · Jin Woo Oh · Jun Kwon Hwang · Soo Joeng Jeon · Geun Young Yoon

23 Research on the Architectural Applications of High-Performance Vacuum Insulation Panel
Young Cheol Kwon · Suk Kim

33 The prediction of reduction ranges of daylight illuminance in small office for sky and shading conditions
Seo Yeon Jang

General Issue

43 A Study on the Direction of the Third Phase New Town Development in Seoul Metropolitan Area through expert survey method
Jeong Joong Yoon

57 The Utilization Method of Unsold/Unused Land in Urban Development Project Areas : Estimating Feasibility of Temporary Commercial Parking Lots Using CVM
Tae Gyun Kim · Ji Eun Park · Jeong Ran Yun

67 Suggestions for Quality Management through Analysis of Construction Process of Multi-layer Modular Housing
Jeong Rak Sohn · Dong Gun Lee · Jong Dae Bang · Jin Won Kim

77 Standard Process and Work Breakdown Structure for Housing Construction Projects using Infill Modular System
Jeong Rak Sohn · Dong Gun Lee · Jong Dae Bang · Jin Won Kim

LHI Journal (2019) 10(3):1-7 http://dx.doi.org/10.5804/LHIJ.2019.10.3.001
http://lhi.lh.or.kr

실내 미세먼지 저감을 위한 창호형 환기시스템 성능평가

Performance Evaluation of Window Ventilation System for Reducing Indoor particulate matter

양영권1 · 박진철2

Young Kwon Yang · Jin Chul Park

(Received September 6, 2019 / Revised September 27, 2019 / Accepted October 11, 2019)

ABSTRACT

Indoor particulate matter(PM) is a carcinogen and needs to be removed and managed. It is generally reduced and removed through ventilation and filtration. Owing to the recent occurrence of high-concentration fine dust and yellow dust in the atmosphere, however, it is difficult to expect the purification of indoor air through the simple introduction of the outside air. For residential buildings, in particular, they are highly dependent on natural ventilation but the lack of natural ventilation is worsening because concerns over the inflow of external pollutants are increasing. Therefore, this study designed and manufactured a window ventilation system that does not require a duct to improve the maintenance and management problems of general ventilation system, and constructed indoor PM concentration change data through performance evaluation.

Key words: Window type ventilation system(창호형 환기시스템), Particulate matter(미세먼지), Performance evaluation(성능평가)

1. 연구의 배경 및 목적

최근 미세먼지의 농도가 높아지면서 이를 관리하고 저감시키기 위한 국가차원의 정책 수립 및 연구 진행 등 다양한 노력이 이루어지고 있다. 미세먼지는 입자형태로 된 물질로서 입경이 작아 쉽게 부유되는 물질을 뜻한다. 일반적으로 다루어지는 미세먼지는 입경이 10㎛ 이하이며 PM10 (PM; Particulate Matter 10)으로 표현한다. 최근에는 입자의 입경이 2㎛ 이하로 매우 작아 인체로 침투 후 폐포까지 이동하는 등 인체 영향이 더 높은 PM2.5까지 관리하고 있다.

미세먼지는 중금속 등이 함유되어 있을 경우 인체에 심각한 영향을 미칠 수 있으며, 인체 침투 후에는 혈관을 따라 체내로 이동할 수 있고, 이로 인해 천식, 호흡기질환, 심장질환, 뇌졸중, 암 등의 발생 원인이 될 수 있다. 세계보건기구(WHO)에 의하면 한 해에 미세먼지로 인해 수명이 단축 및 사망하는 인원이 약 700만 명에 이른다[3]. 따라서 WHO는 미세먼지를 1군 발암물질로 분류하며, 우리나라도 실내 미세먼지를 관리하는 제도를 도입하는 등 국가적으로 미세먼지를 관리하고 있다[4][5].

실내 미세먼지는 일반적으로 환기를 통한 제거 및 감소가 가능하며, 환기가 부족할 경우 미세먼지 뿐 아니라 기타 유해 오염물질이 실내에 축적되어 실내공기질이 전반적으로 오염된다. NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) 는 실내공기의 오염 기

1) 중앙대학교 건축학부 박사후연구원(주저자 : dora84@naver.com)
2) 중앙대학교 건축학부 교수(교신저자 : jincpark@cau.ac.kr)

3) Robert D. Brook, Sanjay Rajagopala, C. Arden PopeIII, Jeffrey R. Brook, Aruni Bhatnagar, Ana V. Diez-Roux, Fernando Holguin, Yuling Hong, Russell V. Luepker, Murray A. Mittleman, Annette Peters, David Siscovick, Sidney C. SmithJr, Laurie Whitsel, Joel D. Kaufman, Particulate Matter Air Pollution and Cardiovascular Disease, Circulation, Vol. 121, No. 21

4) 환경부(2016), 바로 알면 보인다. 미세먼지 도대체 뭘까? pp.5~6

5) 김지혜(2018), 실내 미세먼지 관리를 위한 Ventilation 과 Filtration 제어 알고리즘, 서울대학교 박사학위논문, p.1

여도가 '불충분한 환기'로 인한 영향이 가장 크다(52%)고 발표하였다[6].

환기란, 실내의 오염된 공기를 실외로 배출시키고 실외의 청정한 공기를 실내에 공급하여 실내공기를 희석시켜 오염농도를 경감시키는 과정인데[7], 최근에는 대기의 미세먼지 방생 및 황사 등이 발생할 경우, 창문을 열어 자연환기를 실시하는 등과 같은 단순 외기 유입을 통한 실내 공기의 정화를 기대하기 어려운 실정이다.

특히, 일반 주택의 경우 기계환기가 설치되어 있지 않은 경우가 많기 때문에 자연환기를 통한 실내 미세먼지의 저감을 기대하기 더욱 힘들다. 기계환기가 설치되어 있는 주택에서도 자연환기에 의존하는 경우가 많기 때문에 실내공기질 개선에 어려움이 있다[8]. 또한 주택은 상대적으로 덕트(duct)의 관리가 원활하지 않기 때문에 오염된 덕트로부터의 영향 우려도 있다[9].

또한 4차 산업혁명에 따른 기술개발을 통해 사물인터넷(IoT)등과 같은 신기술이 다양한 분야에 적용되고 있지만 아직까지 환기시스템에는 원활하게 다방면으로 적용이 되지 않고 있다. 이는 사물인터넷(IoT)기술을 적용하기 위해서는 소프트웨어(software)에 따라 동작 가능한 하드웨어(hardware)가 구비되어 있어야 하지만, 현재의 환기시스템은 동작 가능한 하드웨어(hardware) 기술 적용이 미미하다.

따라서, 본 연구에서는 덕트를 필요로 하지 않는 창호형 환기시스템을 개발하여, 덕트 오염의 문제를 해결할 수 있도록 하였다. 또한 IoT 기술을 적용하여 제어할 수 있도록자동 개폐기, 회전형유로, 열교환기, 팬(fan), 제어회로를 삽입하였으며, Mock-up 테스트를 통해 미세먼지 저감 성능을 확인하였다.

2. 창호형 환기시스템의 분류 및 특성

2.1. 정의

창호형 환기시스템이란, 창호와 환기시스템이 결합된 일체형 환기시스템을 뜻하며 환기 방법에 따라서 크게 두 가지로 자연 환기 방식과 기계환기 방식으로 나눌 수 있다.

세부적으로는 창호프레임에 환기구를 조절할 수 있는 '창호일체형 환기시스템', 실내의 오염물질 및 온·습도에 따라 자동으로 환기구가 개폐되는 '능동형 자연환기시스템', 내부에 열교환기를 삽입한 '소형 열교환 환기시스템'으로 나눌 수 있다[10]. 창호형 환기시스템에 적용되는 기계 환기장치는 열교환기, 필터 등이 주로 적용되며, 자연환기만으로는 안정적인 환기량 확보와 쾌적한 실내 환경 조성이 어려운 환경일 경우 기계환기방식을 병용 한다[11][12]. 창호형 환기시스템은 덕트가 없기 때문에 덕트 방식의 환기시스템에 비하여 상대적으로 덕트 오염으로 인한 실내공기의 오염의 위험이 낮고, 덕트의 공간 절약으로 인해 건물의 층고 확보에 유리하다[13].

2.2. 분류 및 특성

창호형 환기시스템은 Table 1과 같이 방식별로 '일반형 창호형 환기시스템', '하이브리드 환기창호', 'P/J타입 자동 환기창호' 와 같이 크게 3분류 분류할 수 있다.

Table 1. Window type ventilation system classification

General window type natural ventilation	· Natural ventilation window through the vent at the top or bottom of the window · Equipped ventilation filter to collect 70~99% of fine dust · The crime prevention effect because of a possibility of the ventilation without opening the window · Opening and closing windows using air cylinder air pressure
Window equipped hybrid ventilation	· Install ventilation holes at the top or bottom of the window and inserting a fan inside for mechanical ventilation · Equipped with ventilation filter to collect 70~99% of fine dust · Using the air in the double window: 4.6% energy saving effect · Ventilation performance: Ventilation rate of 31~46.2㎥/h
P / J type automatic ventilation	· Opening and closing windows using air cylinder air pressure · Automatically switches to a 45° angle when raining through a rain sensor

6) Oregon OSHA(2014), Technical Manual, Indoor air quality investigations. (2) 4
7) 차동원, 건축환경 실내공기오염, 기문당, pp.73~80
8) 강동화, 최동희(2015), 주거건물의 실내외 미세먼지 측정에 의한 실외 미세먼지의 실내 영향도 평가 기초연구, 한국건축친환경설비학회 논문집 9(6), pp.462~469
9) 황인태, 김형근, 김미연, 안태경, 박진철(2015), 공동주택 환기덕트 오염도 실태조사, 대한건축학회 논문집 - 계획계 31(8), pp.113~120
10) 강재식(2010), 국외의 창호일체형 자연환기시스템 기술 동향, 한국건설기술연구원 건설 기술 동향, pp.308~309
11) 유성준, 강주원, 양정훈(2013), CFD 해석을 이용한 소규모 인쇄 작업장의 환기방식 및 환기량에 따른 환기효율 평가에 관한 연구, 대한건축학회 논문집-계획계 01(29), pp.263~270
12) 이효은, 양영권, 강인성, 김태원, 문진우, 박진철(2017), 인공지능기반 창호형 환기시스템 연구 동향 분석, 한국생태환경건축학회 논문집 17(6), pp.159~164
13) 최광주(2018.7), 창문형 하이브리드 환기시스템, 설비저널 47(7), pp.56~61

'일반형 창호형 환기시스템'은 창호의 상하부 또는 측면에 인접하여 환기구를 설치하여 자연 환기를 실시하며 내부에 필터를 삽입하여 필터별로 70~99%까지 미세먼지 등의 오염물질을 저감시킨다. '하이브리드 환기창호' 역시 창호의 상·하부 또는 측면에 환기구를 설치하며 필터의 종류별로 미세먼지 및 오염물질이 최대 99%까지 저감 가능하다. 환기율은 31~46.2㎥/h의 범위 내에 있었으며 열회수 장치의 열교환을 통해 최대 약 70%의 에너지 절감 효과가 있다. 'P/J타입 자동 환기창호'는 공기압 실린더를 활용한 자동 개폐창호로써, 레인센서 등을 활용하여 기상에 따라 자동 개폐 및 각도 전환이 가능하다.

2.3. 창호형 환기시스템 고려사항

창호형 환기시스템은 배치 위치에 따라서 크게 가로형과 세로형으로 나눌 수 있으며, 일반적으로 자연환기설비는 가로형, 기계환기설비는 세로형 배치가 주를 이루고 있다[14]. 이는 기계환기 설비의 하중계산, 설치 및 유지·관리, 실내 공기의 열쾌적 등의 문제로 기계환기 장치는 세로형 배치가 많은 것으로 사료된다. 본 연구에서도 다음과 같은 이유로 세로형으로 설계 및 제작하였다.

(1) 창호 상·하부에 설치되는 집풍장치의 유로 연결
(2) 기존 창호시스템에 적용 가능한 환기 설비
(3) 창호형 환기시스템의 하중을 고려할 필요 없음
(4) 설치 및 교체가 용이한 구조

우리나라의 공동주택에 적용되는 자연환기설비는 시간당 0.5회의 환기량 조건을 만족하여야 하며 외기를 균일하게 공급할 수 있고 순간적인 외부 바람 및 실내외 압력차의 증가로 인하여 발생할 수 있는 과도한 바깥공기의 유입 등 바깥공기의 변동에 의한 영향을 최소화할 수 있는 구조와 형태를 갖추어야 한다.

기계환기설비의 경우도 시간당 0.5회로 환기할 수 있는 풍량을 확보하여야 하며, 정격 풍량을 3단계 또는 그 이상으로 조절할 수 있는 체계를 갖추어야 하며, 입자·가스형 오염물질을 60% 이상 제거 또는 여과하는 공기여과기 또는 집진기 등을 갖추어야 한다. 폐열회수형 환기장치를 설치하는 경우에는 환기장치의 유효환기량이 표시용량의 90퍼센트 이상이어야 하고 결로 방지를 고려하여야 한다.

따라서 본 연구에서 개발한 창호형 환기 시스템은 법적 기준에 만족하는 외기도입 및 환기량 확보를 고려하여야 한다.

3. 창호형 환기시스템 설계 및 제작

3.1. 개요

본 장에서는 창호형 환기 시스템을 개발하였다. 개발 된 창호형 환기시스템은 기계환기와 자연환기 모두 작동 가능하며, 주요 구성 요소는 회전형 유로(flow path), 필터(filter), 팬(Fan), 전동 댐퍼(damper)이다. 주요 특징은 창호의 자동개폐가 가능하며, 자연환기 효율 향상을 위한 집풍장치(windcatcher louver)를 적용하였다.

3.2. 설계 및 제작

본 연구에서 고안된 창호형 환기시스템은 적용 대상을 공동주택으로 선정하고 자연환기와 기계환기의 병용 방식이며, 이에 적절한 환기량과 적용 위치, 적용 기술 적용 방안을 고려하여 설계 및 제작하였다. 공동주택에서 창호 개폐 길이의 변화에 따른 실내 환기량의 변화는 크지 않으며, 실내공기질의 향상 측면에서는 자연환기와 기계환기를 병용하면 더욱 큰 효과를 볼 수 있다[15]. 따라서, 자연환기를 위한 창호의 규격은 일반적인 84㎡의 공동주택에 적용되는 창호 사이즈(Fig. 1)를 참고하여, Fig. 2와 같이 설계하였다.

본 창호형 환기시스템의 주요 구성요소는 Table 2와 같이 집풍장치를 포함하며 필터(filter), 열교환기, 팬(fan), 전동댐퍼(motorized damper), 자동개폐기, 회전형 유로(flow path)를 내장하고 있다.

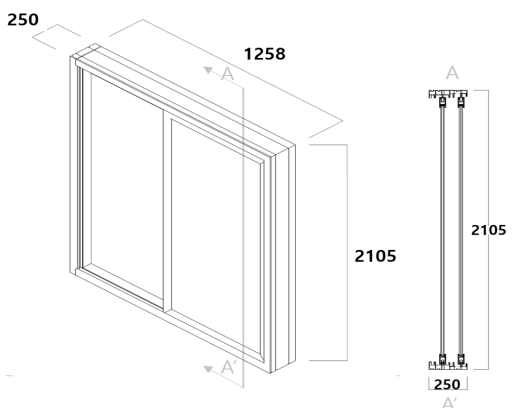
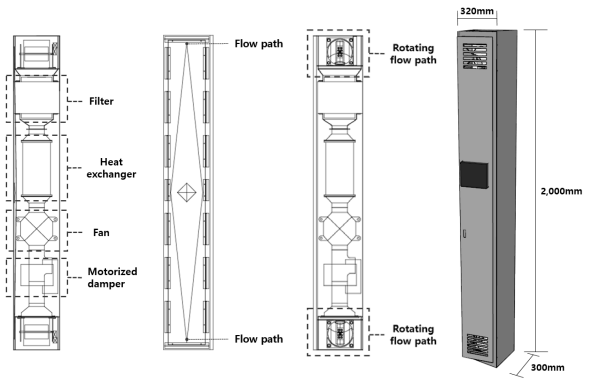


Fig. 1. Detailed specification of window

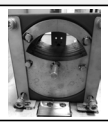
14) Wang Enbo, Wang Haidong, Deng Min(2017), Simulation of the ventilation and energy performance of a PV-integrated breathing window, 10th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning (ISHVAC) 19~22
15) 권용일, 장상규, 김선정(2011), 주상복합건물의 창호개폐길이가 자연환기능력에 미치는 영향에 관한 연구, 대한설비공학회 하계학술발표대회논문집, pp.1162~1167



(a) front (b) left side (c) right side (d)specification

Fig. 2. Detailed Specification of Window Ventilation System

Table 2. Detailed Parts and Specifications of Window and Ventilation System

Part name	Performance	Photo
① Rotating flow path	Material: Reinforced plastic, SUS· Operation method: 45 °, 90 ° rotation using a motor	
② Filter	Media: Water-resistant glass fiberSeparator: Paper, ALFrame: Plywood, AL, SUS 430 Pressure loss: 25 ~ 50 mmAqDOP E = 99.97%, 0.3 μmMaximum Operating temperature: Below 60 ℃	
③ heat exchanger	Intake air volume: 13.5 ~ 28 ㎥ / hExhaust air volume: 27 ~ 56 ㎥ / hEfficiency: over 89%Application temperature range: -20 ℃ ~ 50 ℃Standard Noise: 36 ~ 42dB	
④ Fan (DJF-10)	220 VCurrent: 0.35 ~ 0.45A Power Consumption: 75WRPM: 2,710 RPMMaximum air flow: 3.9 CMM, 250 CFM Maximum static pressure: 37 ~ 44mmAq	
⑤ Damper (HM-220V H4)	AC 220V 50 / 60Hz (Single Phase) Rotation force: 60Nm Current consumption -No load operation: 0.5W Maximum load operation: 7.2W	
Automatic switchgear (HW-1000)	DC 24V motor (35N, 100kg) Size: 49 (W), 66 (H), Window length (L) Method: Screw Type Current consumption No-load operation: 25W Max load operation: 50W	

3.3. 작동 방식

창호형 환기시스템은 필터, 열교환기, fan 외에 집풍장치를 설치하여 자연환기 효율을 향상시킬 수 있다. 집풍장치는 창호의 상·하부에 적용되며, 창호 환기설비와 연결되어 유로가 형성된다. 환기 방법은 작동 방식에 따라 총 4가지의 Mode로 구분할 수 있다. Mode 1은 외기 유입을 통한 공기정화를 하는 방식이며 필터(filter)를 이용해 미세먼지 등의 오염물질 제거가 가능하다. Mode 2는 실내공기를 순환시키며 필터를 이용해 공기를 정화하는 방식이다. Mode 3은 자동개폐기를 활용해 창호를 열고 자연환기를 실시하면서 동시에 환기설비를 통해 외기를 유입하고 유로를 통해 집풍장치에서 고속의 기류를 형성해줌으로써 베르누이효과가 발생되도록 유도한다. Mode4는 창호 환기설비 내에 적용되어 있는 열교환기를 활용하며, 실내공기 배출과 외기유입을 70초 간격으로 반복하면서 열교환기의 축열성능을 이용하는 방식이다. 동작 모드별 창호개폐 유무와 기계환기 동작에 관한 상세한 사항은 Table 3과 Fig. 3에서 확인할 수 있다.

Table 3. Window opening/closing and ventilation system operation

Mode	Ventilation method	Ventilation Method Description
Mode 1	Mechanical	Air purification through fresh air inflow
Mode 2	Mechanical	Air purification through indoor air circulation
Mode 3	Mechanical + Natural	Open the windows to utilize wind blowers
Mode 4	Mechanical	Fresh air inflow using heat exchanger

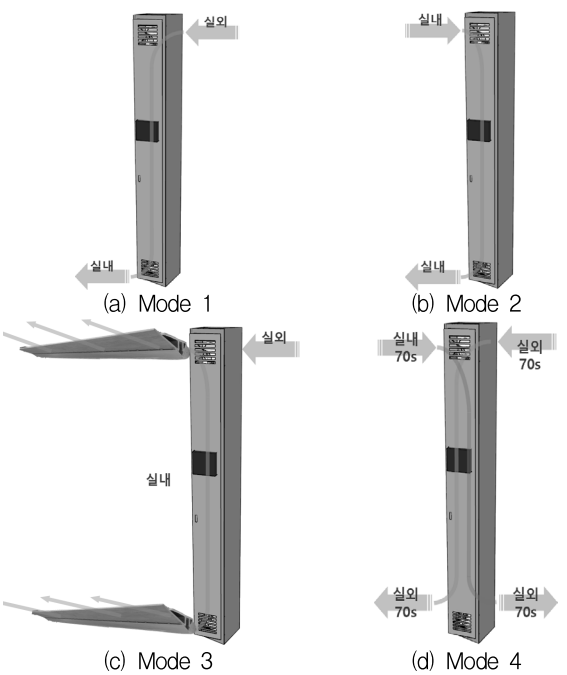


Fig. 3. Operation Mode Step of Window Ventilation System

4. 창호형 환기시스템 성능 평가

4.1. 개요

본 장에서는 창호형 환기시스템의 성능 평가를 위해, 각 작동 방식의 미세먼지 저감 성능을 비교 평가 하였다. Mock-up에서의 미세먼지 발생은 향(香)을 이용하였으며, PM10 기준으로 실내 미세먼지 농도를 약 1,200 ㎍/㎥ 까지 형성한 뒤, 창호형 환기시스템을 가동하여 미세먼지 농도가 다시 100㎍/㎥의 근사치까지 저감되는 시간을 비교하였다. 또한 미세먼지 발생 후 환기를 실시하지 않은 경우를 베이스모델(Base model)로 선정하여 환기시스템의 성능 비교 시 참고하였다.

창호형 환기시스템의 풍량은 풍량 측정용 콘(air flow cone)과 풍속 센서를 이용하여 각 모드별로 측정하였다. Mode3는 자연환기 모드이기 때문에 풍량 측정을 실시하지 않았으며, mode1, mode2, mode4의 풍량을 측정하였다.

풍량은 각 모드별로 10회 측정하였다.평가 기간은 2018년 10월 1일부터 12월 31일 기간 동안 총 21회의 평가를 실시하였으며, 본 논문에서는 2018년 12월 17일부터 12월 20일까지 3일간 측정한 데이터를 이용하여 비교·분석을 실시하였다. 해당 기간의 외부 미세먼지 평균 농도는 30㎍/㎥이고 날짜별 외기의 상태는 Table 4와 같다.

미세먼지 농도 측정은 TSI사의 DUSTTRAK 8530 측정기를 사용하였으며, 측정 범위는 0.001~400mg/㎥, 측정 가능한 Particle Size는 0.1~10㎛, 정확도는 ±0.5% 이다. 기류 및 온·습도 측정기는 KIMO사의 SOM900이며, 측정범위는 온도 -20 ~ +80℃, 습도 0 ~ 100%, 기류속도 0.00 ~ 5.00m/s이다.

Table 4. Performance Evaluation Period and External Environment

Date	Ambient dust concentration (daily average)	Outdoor temperature (℃)(11:00 ~ 14:00 / Daily Average)	Average wind speed	Maximum wind speed
18.12.17	27 ㎍/㎥	5.3 / 1.6	1.8 m/s	4.3 m/s
18.12.18	29 ㎍/㎥	7.7 / 2.6	1.4 m/s	4.1 m/s
18.12.19	31 ㎍/㎥	8.1 / 4	1.4 m/s	3.3 m/s
18.12.20	33 ㎍/㎥	8.8 / 3.4	0.9 m/s	2.4 m/s

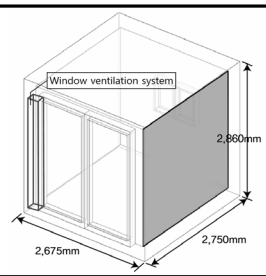
4.2. Mock-up 구축

창호형 환기시스템의 성능 평가를 위해 서울특별시 동작구 흑석동의 교육시설 건물 옥상에 Table 5와 같은 mock-up을 설치하여 평가를 실시하였다. 바닥평면은 2,675mm * 2,750mm 이며, 높이 2,860mm 이다. 지붕 및 벽의 재질은 100mm 두께의 샌드위치 패널 및 몰탈 마감으로 되어 있으며, 남향에 가로*세로 2,135mm * 2,100mm의 창호가 배치되어 있다.

Mock-up은 단일챔버로 구성되어 있기 때문에 실험 후 충분히 환기를 시켜 실내 공기를 정화하고, 실내에 침착되어 있는 미세먼지를 최대한 제거 후 다음실험을 진행하였다.

Table 5. Mock-up Overview

Height	2,860mm
Floor	1floor
Direction	South
Floor area	7.35㎡



본 성능평가는 실내 미세먼지 저감 성능 평가이기 때문에 침기로 인한 영향을 최소화 해야 한다. 따라서 창호 및 벽 모서리 등 침기가 발생할 가능성이 있는 부위에 연신폴리프로필렌(OPP; Oriented olypropylene) 재질의 필름을 부착하였고, 외부 또는 주변실의 영향을 최소화하기 위해서 50mm 두께의 열전도율 0.29W/m·k의 성능을 가진 압출보온판 단열재를 내부 벽면 전체에 추가로 부착하였다. Fig. 4은 Mock-up의 전경과 창호형 환기시스템 적용 및 내부의 모습이다.



Fig. 4. Window ventilation system foreground and interior

실내 미세먼지는 대기의 미세먼지 농도와 풍속이 중요한 영향을 미치므로 Mock-up이 설치된 지역과 건물에서의 연간 미세먼지 농도와 풍속 및 풍향을 분석하였다. Mock-up과 가장 가까운 사당 4동의 미세먼지 측정기(기

상청) 측정결과 2018년 미세먼지(PM10)의 평균 농도는 52.5㎍/㎥, 이며 최고 농도는 321㎍/㎥, 최저는 7㎍/㎥으로 나타났다. Fig. 5는 2018년 미세먼지 농도 분포이며 미세먼지의 기준치인 100㎍/㎥을 초과한 날은 총 39일이다.

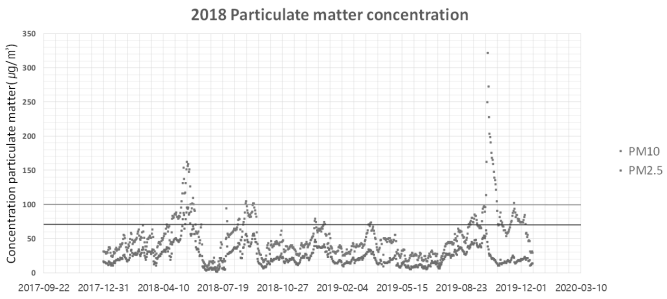


Fig. 5. 2018 PM10 concentration distribution

연평균 기온 12.9℃ 이고, 평균 풍속은 1.7m/s, 최다 풍향 방위는 290°이다. mock-up 주변 환경 요소 중 미세먼지 발생원으로 볼 수 있는 요소는 없는 것으로 사료된다. 주변의 건물은 모두 교육시설이며, 도로는 교내에 있는 왕복 2차선 도로만 있기 때문에 통행량이 매우 적어 미세먼지 발생에 영향을 미치지 않는 것으로 판단하였다.

4.3. 성능평가 결과

창호형 환기시스템의 실내 미세먼지 저감 성능 평가 결과는 다음과 같다.

Mode 1의 실내미세먼지 저감 성능 평가 결과, 실내 미세먼지의 농도 1195㎍/㎥에서 102㎍/㎥까지 저감되는데 소요된 시간은 24분으로 나타났다(Fig. 6).

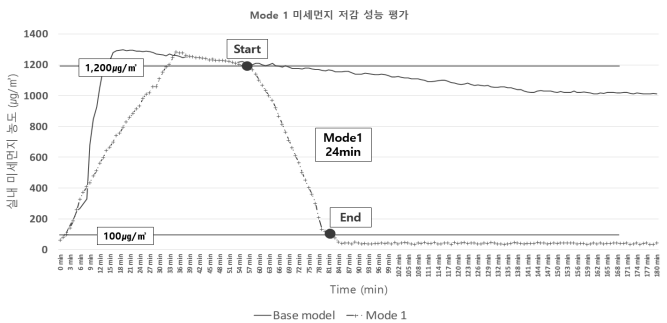


Fig. 6. Mode 1 Indoor PM10 Reduction Performance

Mode 2의 실내미세먼지 저감 성능 평가 결과, 실내 미세먼지의 농도 1200㎍/㎥에서 102㎍/㎥까지 저감되는데 소요된 시간은 88분으로 나타났다(Fig. 7).

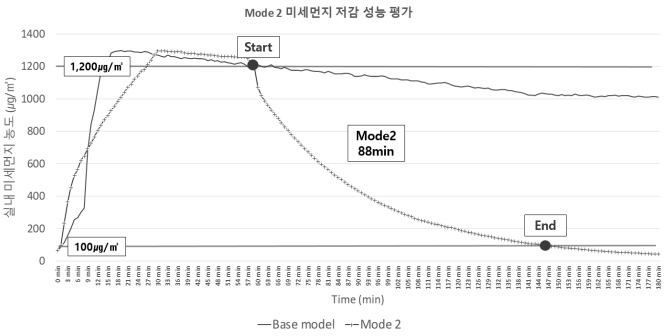


Fig. 7. Mode 2 Indoor PM10 Reduction Performance

Mode 3의 실내미세먼지 저감 성능 평가 결과, 실내 미세먼지의 농도 1199㎍/㎥에서 108㎍/㎥까지 저감되는데 소요된 시간은 8분으로 나타났다(Fig. 8).

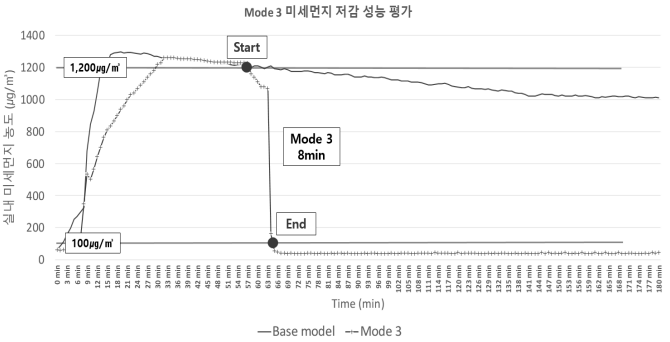


Fig. 8. Mode 3 Indoor PM10 Reduction Performance

Mode 4의 실내미세먼지 저감 성능 평가 결과, 실내 미세먼지의 농도 1195㎍/㎥에서 103㎍/㎥까지 저감되는데 소요된 시간은 39분으로 나타났다(Fig. 9).

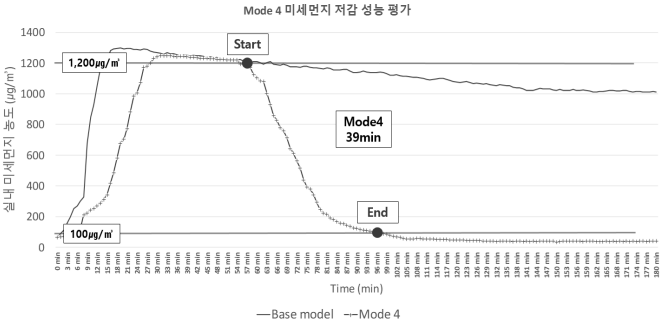


Fig. 9. Mode 4 Indoor PM10 Reduction Performance

즉, 창호형 환기시스템의 각 모드별 실내 미세먼지 저감 성능은 Mode 3 > Mode 1 > Mode 4 > Mode 2 순으로 나타났다. Fig. 10과 Table 6은 창호형 환기시스템의 작동 모드별 미세먼지 저감 성능을 비교한 것이다.

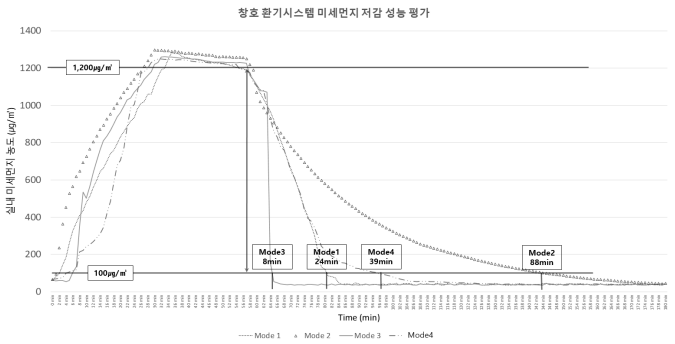


Fig. 10. Window ventilation system Indoor PM10 reduction time required

Table 6. Comparison of indoor PM10 removal performance of window ventilation system

	Time	PM10 concentration
Mode 1	24min	1195㎍/㎥ → 102㎍/㎥
Mode 2	88min	1200㎍/㎥ → 102㎍/㎥
Mode 3	8min	1199㎍/㎥ → 108㎍/㎥
Mode 4	39min	1195㎍/㎥ → 103㎍/㎥

5. 결 론

본 논문에서는 실내 미세먼지 저감을 위하여 창호형 환기시스템을 설계 및 제작하고, Mock-up test를 활용하여 실내 미세먼지 저감 성능 평가를 실시하였다. 수행된 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 창호형 환기시스템은 공동주택을 대상으로 설계하여 상대적으로 설치가 용이한 세로형으로 설계 및 제작하였다. 주요 구성 요소로는 회전형 유로, 팬(Fan), 전동댐퍼, 자동개폐장치 이며, 배기구 및 공기 유로, 집풍장치의 적용을 고려하여 원활히 작동할 수 있도록 상세 규격을 도출하였다.

(2) 창호형 환기시스템의 각 모드별 실내 미세먼지 저감 성능 평가를 위해 Mock-up의 미세먼지 농도를 약 1,200㎍/㎥ 까지 조성한 뒤 창호형 환기시스템을 가동하여 미세먼지 농도가 다시 100㎍/㎥의 근사치까지 저감되는 시간을 각 모드별로 비교 평가하였다. 평가 결과, 각 모드별 저감 시간은 Mode 1은 24분, Mode 2는 88분, Mode 3은 8분, Mode 4는 39분으로 나타났다. 즉, 미세먼지 저감성능은 Mode 3 > Mode 1 > Mode 4 > Mode 2 순으로 나타났다. Mode 3의 경우 개폐 면적이 넓어 환기가 활발한 것으로 나타났다, 따라서 향후 공동주택의 미세먼지 저감을 위한 적용의 실용화를 위해서는 공동주택 적용 등의 Test-bed 추가 분석이 필요하다고 판단된다.

참고문헌

1. Robert D. Brook, Sanjay Rajagopala, C. Arden PopeIII, Jeffrey R. Brook, Aruni Bhatnagar, Ana V. Diez-Roux, Fernando Holguin, Yuling Hong, Russell V. Luepker, Murray A. Mittleman, Annette Peters, David Siscovick, Sidney C. SmithJr, Laurie Whitsel, Joel D. Kaufman, Particulate Matter Air Pollution and Cardiovascular Disease, Circulation, Vol. 121, No. 21.
2. 환경부(2016), 「바로 알면 보인다. 미세먼지 도대체 뭘까?」, 5~6.
3. 김지혜(2018), “실내 미세먼지 관리를 위한 Ventilation과 Filtration 제어 알고리즘”, 「서울대학교 박사학위논문」, 1.
4. Oregon OSHA(2014), “Technical Manual”, 「Indoor air quality investigations」, (2): 4.
5. 차동원, 「건축환경 실내공기오염」, 기문당, 73~803.
6. 강동화, 최동희(2015), “주거건물의 실내외 미세먼지 측정에 의한 실외 미세먼지의 실내 영향도 평가 기초연구”, 「한국건축친환경설비학회 논문집」 9(6): 462~469.
7. 황인태, 김형근, 김미연, 안태경, 박진철(2015), “공동주택 환기덕트 오염도 실태조사”, 「대한건축학회 논문집 - 계획계」 31(8): 113~120.
8. 강재식(2010), “국외의 창호일체형 자연환기시스템 기술 동향”, 「한국건설기술연구원 건설 기술 동향」, 308~309.
9. 유성준, 강주원, 양정훈(2013), “CFD 해석을 이용한 소규모 인쇄 작업장의 환기방식 및 환기량에 따른 환기효율 평가에 관한 연구”, 「대한건축학회논문집 -계획계」 01(29): 263~270.
10. 이효은, 양영권, 강인성, 김태원, 문진우, 박진철(2017), “인공지능기반 창호형 환기시스템 연구 동향 분석”, 「한국생태환경건축학회 논문집」 17(6): 159~164
11. 최광주(2018. 7), 창문형 하이브리드 환기시스템, 설비저널 47(7): 56~61.
12. Wang Enbo, Wang Haidong, Deng Min(2017), “Simulation of the ventilation and energy performance of a PV-integrated breathing window”, 10th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning (ISHVAC) 19~22.
13. 권용일, 장상규, 김선정(2011), “주상복합건물의 창호 개폐길이가 자연환기능력에 미치는 영향에 관한 연구”, 「대한설비공학회 하계학술발표대회논문집」, 1162~1167.

LHI Journal (2019) 10(3):9-16 http://dx.doi.org/10.5804/LHIJ.2019.10.3.009
http://lhi.lh.or.kr

인공신경망 기반 VRF 시스템 제어

ANN-Based VRF (variable refrigerant flow) system control

문진우[1]

Jin Woo Moon

(Received September 6, 2019 / Revised September 25, 2019 / Accepted October 8, 2019)

ABSTRACT

This study aimed at developing control algorithms for operating a variable refrigerant flow (VRF) heating and cooling system with optimal system parameter set-points. Two artificial neural network (ANN) models, which were respectively designed to predict the heating energy cost and cooling energy amount for upcoming next control cycle, was developed and embedded into the control algorithms. Performance of the algorithms were tested using the computer simulation programs - EnergyPlus, BCVTB, MATLAB in an incorporative manner. The results revealed that the proposed control algorithms remarkably saved the heating energy cost by as much as 7.93% and cooling energy consumption by as much as 28.44%, compared to a conventional control strategy. These findings support that the ANN-based predictive control algorithms showed potential for cost- and energy-effectiveness of VRF heating and cooling systems.

Key words: VRF 냉난방시스템(VRF Heating and Cooling System), 인공신경망(Artificil Neural Network), 최적제어(Optimal Control)

1. 서 론

우리나라는 자원 공급의 항상성 및 안정성이 확보하고 있지 않음에도 불구하고 연간에너지소비량은 OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) 국가 중 8번째이며, 특히 연간 에너지소비 증가율이 6.6%로써 가장 높은 수치를 보여주고 있다 (IEA, 2015; Korea Energy Agency, 2016)]. 이러한 현실을 직시한 정부 및 다양한 유관단체는 에너지소비감축을 위하여 다양한 정책 및 계획을 수립, 제안하고 있으며, 이러한 노력들 중 상당수는 국가에너지 소비량의 24%를 차지하는 건물분야에 집중되고 있다(Ahn et al., 2009; Jang and et al., 2013).

VRF (variable refrigerant flow) 시스템의 개발 및 적용은 건물 냉난방에너지 소비 감축을 위한 유용한 기술로 대두되고 있다(Lee et al., 2016; Aynur et al., 2010). VRF 시스템은 수식과 공기식으로 나눌 수 있으며, 그 중 수냉식 VRF 시스템은 연간 안정적인 냉·난방 열량을 공급할 수 있는 장점을 바탕으로 중대형 건물으로의 적용이 확대되고 있다. Fig.1 수냉식 VRF 시스템의 일반적 구성을 보여준다. 하나의 수냉식 공기조화기(air handling unit)에 다수의 실외기(outdoor units)가 연결된 멀티히트펌프 방식이며, 실외기들은 각각 냉각탑(cooling tower)과 보일러(boiler)에 연결되어 냉,난방이 가능하게 된다. 특히, 변화하는 외기 상태나 부하율의 변동에 따라 냉매유량, 냉매증발/응축온도, 급기 설정온도, 말단차압 등 시스템변수의 제어를 통하여 역동적으로 대응할 수 있는 장점이 있다. 또한, 최적의 변수제어를 통하여 건물 냉난방에너지성능을 향상시킬 수 있는 가능성을 내포하고 있다(기현승 등 2011).

하지만, 현재 적용된 VRF 시스템의 운용은 이러한 장점과 가능성을 충분히 활용하지 못하는 한계점을 가지고 있다. 일반적으로 시스템 변수의 설정값 (setpoints)은 고정된 값(values) 혹은 전문가의 경험을 바탕으로 한 임의의 값에 근간하여 결정되고 있다. 이는 앞서 언급한 역동적 시스템의 운용 및 에너지효율적 운용을 방해하는

1) 중앙대학교 건축학부 교수(주저자 : gilerbert73@cau.ac.kr)

요소이다. 따라서 에너지를 최소한으로 사용하며 실내의 쾌적 온열환경을 만족시키는 역동적인 VRF 시스템의 최적 운영방안이 필요하다.

이러한 배경을 바탕으로 본 연구에서는 VRF 냉·난방시스템의 최적제어를 위하여 변수별 최적값(setpoints)를 예측하는 인공신경망모델을 내포한 제어알고리즘을 개발하고 그 성능평가를 통하여 적용 가능성을 분석하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위하여 알고리즘을 개발하는 과정과 성능평가의 과정이 진행되었으며, 특히 성능평가는 컴퓨터시뮬레이션 기법을 사용하였다.

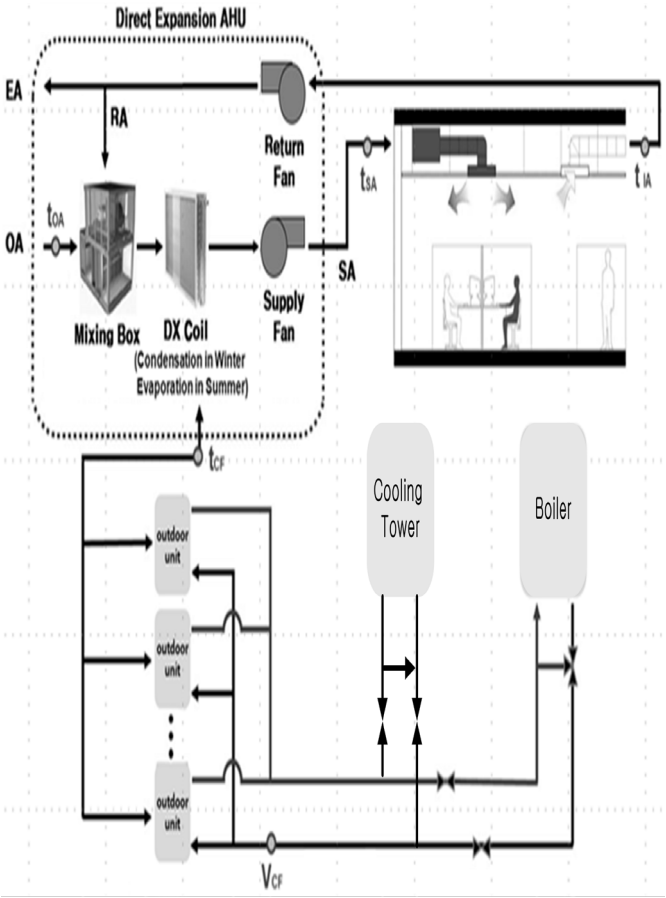


Fig. 1. Diagram of the DX AHU-water source VRF system. SA: supply air; RA: return air; EA: exhaust air; OA: outdoor air, tSA: supply air temperature, tIA: return air temperature, tOA: outdoor air temperature, tCF: condenser fluid temperature, and VCF: condensing fluid amount.

2. 냉난방에너지 소비량 예측 모델 및 제어알고리즘 개발

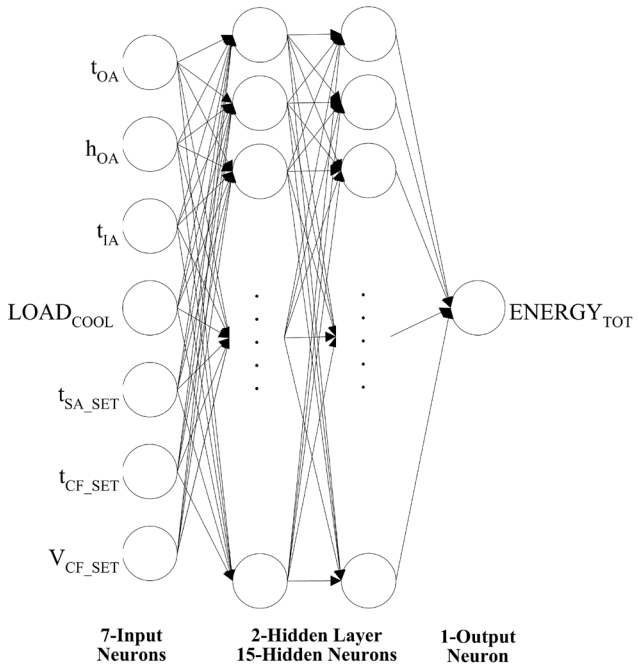
건물환경제어분야는 정보 및 컴퓨터기술의 발전과 더불어 괄목할 진척을 이루고 있다. 최근 인공지능 이론과 기술은 제어분야의 해결책으로 각광받고 있으며 적용이 확대되고 있다(Panja et al., 2018; Gupta et al., 2017) 특히, 인공신경망(ANN)에 기반한 제어법은 예측의 정확성과 유연한 적용성을 바탕으로 다양한 시스템 제어를 위하여 활용되고 있다(Ferdyn et al., 201; Yang et al, 2005). 본 연구에서는 VRF 시스템의 최적 냉·난방 운용을 위하여 선행연구에서 개발된 두 가지의 인공신경망 모델을 내포한 냉·난방 제어알고리즘을 개발하여 예측 및 적응제어가 가능하도록 계획되었다.

2.1. 예측모델 개발

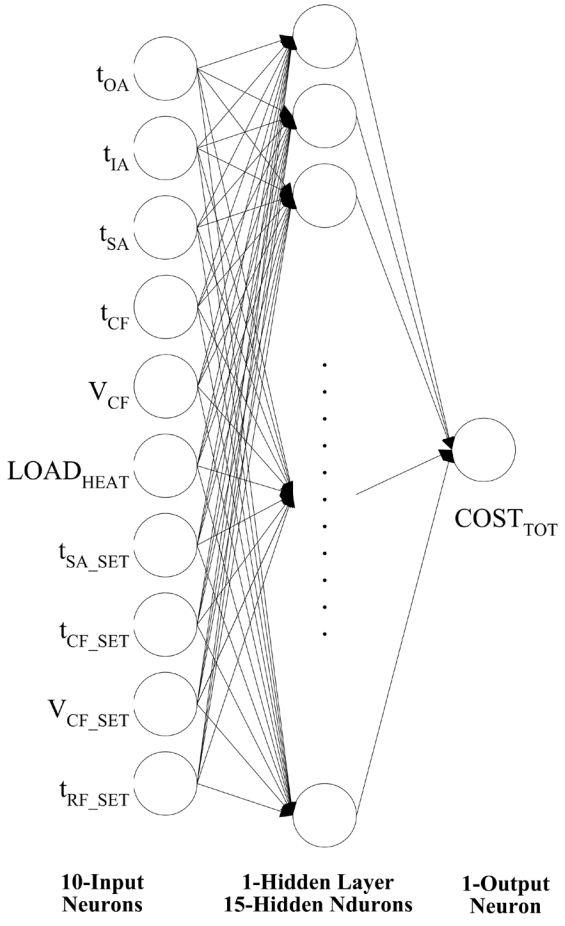
선행연구에서는 냉·난방시스템 작동상태를 예측하기 위한 두 가지의 인공신경망 모델이 개발되었다(Chung et al., 2017; Park et al., 2018). Fig. 2는 각 모델의 구조를 보여주고 있으며, Table 1에는 최적화된 모델의 상세가 정리되어 있다. 각 모델의 구조 및 학습방법은 예측성능을 최대화 할 수 있는 최적화 과정을 통하여 결정되었다.

첫 번째 ANN 모델은 현재의 실내외 열환경조건(실외온도 tOA, 실내온도 tIA, 실외습도 hOA), 냉방부하(LOADCOOL), 그리고 다음 제어주기 1시간 동안의 시스템 작동조건(설정공급공기온도 tSA_SET, 설정냉수온도 tCF_SET, 설정냉수유량 VCF_SET)을 기반으로 다음 제어주기 1시간 동안의 냉방에너지 ENERGYTOT(전기, kWh)를 예측하는 것을 목적으로 한다. 입력뉴런은 출력뉴런과의 상관관계 분석을 통하여 상관성이 높은 변수들고 결정되었다. 최적화된 숨겨진층의 구조는 두 개 층에 각각 15개의 뉴런이 배치되어 있는 것으로 결정되었으며, 학습률과 모멘트는 각각 0.3일 경우가 가장 예측률이 뛰어난 것으로 밝혀졌다(Chung et al., 2017).

두 번째 ANN 모델은 현재의 실내외 열환경조건(실외온도 tOA, 실내온도 tIA), 시스템 운용 조건 (공급공기습도 tSA, 온수온도 tCF_SET, 온수유량 VCF), 냉방부하(LOADCOOL), 그리고 다음 제어주기 1시간 동안의 시스템 작동조건(설정공급공기온도 tSA_SET, 설정온수온도 tCF_SET, 설정온수유량 VCF_SET, 냉매응축온도 tRF_SET)을 기반으로 다음 제어주기 1시간 동안의 난방비용 COSTTOT(원)를 예측하는 것을 목적으로 한다. 난방비용의 경우 전기소비와 가스소비의 총합으로 계산되었다. 각 비용은 2017년 기준 전기 689원/kWh와 가스 689원/m3이 적용되었다. 최적화된 숨겨진층의 구조는 단일층에 15개의 뉴런이 배치되어 있는 것으로 결정되었으며, 학습률과 모멘트는 각각 0.4일 경우 성능이 가장 우수한 것으로 나타났다(Park et al., 2018). 두가지 인공신경망 모델 모두 sigmoid function과 a pure linear function이 숨겨진층 뉴런과 출력층뉴런의 전이함수로 사용되었다.



(a) Cooling energy prediction model



(b) Heating cost prediction model

Fig. 2. Two ANN models for predicting energy and cost performance

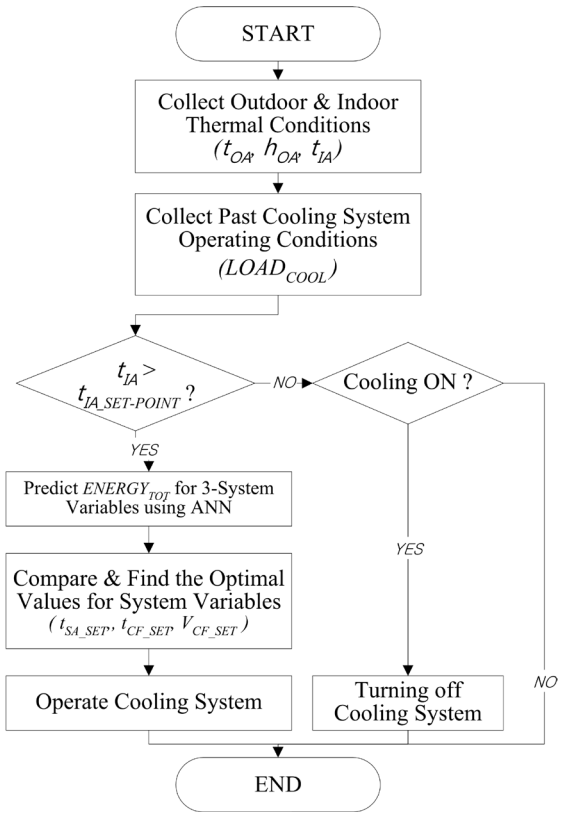
Table 1. Structure and learning methods of prediction models

Prediction Type	Input Layer		Hidden Layer		Output Layer	Learning Methods
	Variables	Ranges	Layer	Neuron		
Cooling Energy	· t_{OA} · h_{OA} · t_{IA} · $LOAD_{COOL}$ · t_{SA_SET} · t_{CF_SET} · V_{CF_SET}	10 - 40 °C 0 - 100 % 15 - 30 °C 0 - 3000 kWh 8 - 20 °C 15 - 40 °C 1000 - 7000 l/min	2	15	$ENERGY_{TOT}$	·0.3 lr ·0.3 mo
Heating Cost	· t_{OA} · t_{IA} · t_{SA} · t_{CF} · V_{CF} · $LOAD_{HEAT}$ · t_{SA_SET} · t_{CF_SET} · V_{CF_SET} · t_{RF_SET}	-20 - 20 °C 15 - 30 °C 34 - 40 °C 15 - 25 °C 800 - 1,800 l/min 0 - 300 kWh 34 - 40 °C 15 - 25 °C 800 - 1,800 l/min 37 - 46 °C	1	15	$COST_{TOT}$	·0.4 lr ·0.4 mo

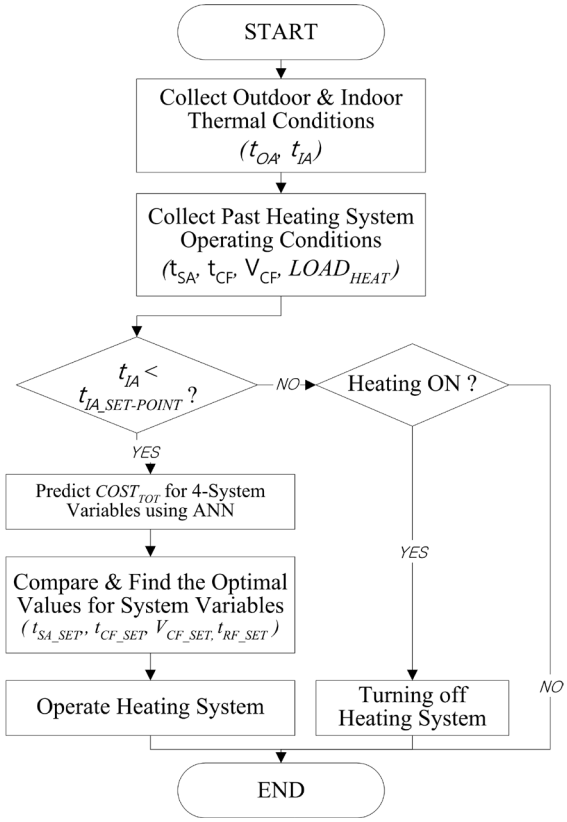
2.2. 제어알고리즘 개발

본 연구에서는 선행연구에서 개발된 두 가지 예측모델이 적용된 독립된 냉·난방 제어 알고리즘이 개발되었다. Fig. 3은 각 알고리즘의 흐름을 보여준다. 알고리즘은 실내·외 열환경 조건, 시스템 작동 조건에 대한 데이터를 수집하여 사용하게 된다. 특히, 각 인경신경망모델은 다음제어주기 1시간동안의 시스템 운용 설정값에 대한 소비에너지(냉방)과 비용(난방)을 각각 예측하게 된다. 알고리즘은 다양한 설정값 조합에 대한 예측값을 비교하는 과정을 통하여 최소 에너지소비 혹은 비용소비가 예상되는 설정값 조합을 도출한다. 도출된 최적의 시스템 설정값은 다음 제어주기 동안 시스템을 작동하게 된다.

최적 설정값 도출을 위한 개념적 과정이 Fig. 4에 나타나 있다. 냉방알고리즘의 경우 최적 tSA_SET, tCF_SET, VCF_SET의 조합을 찾는 과정으로 구성되어 있으며, 난방알고리즘의 경우 최적 tSA_SET, tCF_SET, VCF_SET, tRF_SET의 조합을 찾게 된다. 특히, 냉·온수 유량의 경우 500 l/min (냉수), 100 l/min (온수) 간격으로 비교를 실시하도록 계획되었다.



(a) Algorithm for cooling



(b) Algorithm for heating

Fig. 3. Flowchart of the control algorithms

```
for tSA_SET = 8:20
    for tCF_SET = 15:40
        for VCF_SET = 1000:500:7000
            Predict the ENERGYTOT from ANN model
            Compare ENERGYTOT for the different set-point combination
            Find the set-point combination of the least ENERGYTOT
        end
    end
end
```

(A) Algorithm for cooling

```
for tSA_SET = 34:40
    for tCF_SET = 15:25
        for VCF_SET = 800:100:1800
            for tRF_SET = 37:46
                Predict the COSTTOT from ANN model
                Compare COSTTOT for the different set-point combination
                Find the set-point combination of the least COSTTOT
            end
        end
    end
end
```

(b) Algorithm for cooling

Fig. 4. Conceptual code for finding optimal setpoint combination

3. 컴퓨터 시뮬레이션 적용 성능평가

개발된 알고리즘의 성능은 기존의 전통적인 (Conventional) 제어알고리즘과의 에너지소비량(냉방) 및 에너지소비비용(난방)의 비교를 통하여 이루어졌다. 전통적인 방법은 시스템 변수의 값이 고정되어 작동하게 되며 그 값들은 Table 2에 정리되어 있다. 반면, 본 연구에서 개발된 알고리즘은 앞선 Table 1과 Fig. 4에서 설명되었듯 일련의 범위와 간격을 가지는 값에 대하여 최적의 조합을 찾아 사용하게 된다. 따라서 최적의 조합은 4394가지(냉방), 8470가지(난방)의 조합에 대한 에너지소비량 및 에너지소비비용을 각각 비교한 결과이다.

Table 2. Set-points of the control variables in the conventional algorithm.

Control Variables	Cooling	Heating
t_{SA_SET}	16°C	38°C
t_{CF_SET}	32°C	20°C
V_{CF_SET}	6000 l/min	1666 l/min
t_{RF_SET}	-	43°C

성능평가는 EnergyPlus, MATLAB, BCVTB (Building Controls Virtual Test Bed) 소프트웨어 프로그램을 이용하여 실시되었다. Fig. 5는 각 프로그램의 역할과 연결과정을 보여준다. 시뮬레이션은 다음의 과정을

통하여 진행된다. 우선, EnergyPlus는 VRF 시스템의 테스트건물, DX AHU, 실외기를 모델링하고 실외외기조건 반영 및 실내 열환경조건을 생성한다. 다음으로 MATLAB은 보일러, 냉각탑, 펌프 등을 모델링하며, 인공신경망모델과 알고리즘을 구성한다. 마지막으로 BCVTB는 EnergyPlus와 MATLAB간의 데이터교환을 하는 역할을 하게된다. EnergyPlus가 실내외 열환경조건에 대한 데이터를 생상하게 되면 BCVTB는 그 데이터를 MATLAB에 전달하게 되고, MATLAB은 전달된 데이터와 인공신경망모델, 제어알고리즘을 이용하여 최적의 시스템 변수값 조합을 도출하게된다. 도출된 변수값 조합은 다시 BCVTB를 통하여 EnergyPlus로 전달되어 냉난방 시스템을 작동시키고, 그 결과 새로운 실내 열환경조건이 생성되게 된다. 이러한 과정은 매 제어주기마다 반복되어 테스트기간 중의 에너지사용량 및 비용이 계산되게 된다.

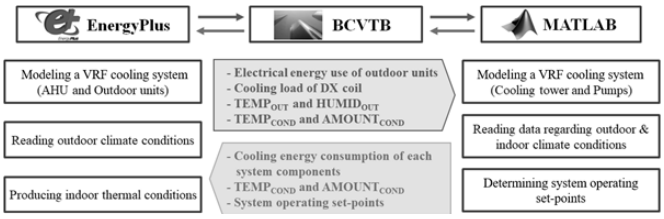


Fig. 5. Simulation process with the three software programs

성능평가를 위한 테스트건물은 서울에 위치한 S기업의 R&D 센터로 선정되었다. Fig. 6은 대상건물의 전면을 보여주고 있다. 대상건물은 11층 오피스 건물이며 podium, typical floors와 roof로 구성되어 있다 냉난방시스템은 수식 VRF시스템이며, 하나의 냉각탑, 11개의 AHU, 그리고 27개의 실외기로 구성되어 있다. 실내온도는 냉방기간의 경우 재실 시 26℃, 비재실 시 29℃, 난방기간의 경우 재실 시 21℃, 비재실 시 15℃로 고정되어 운영되고 있다.

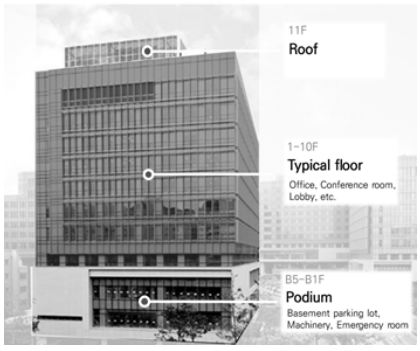


Fig. 6. Front view of the test building

실내발열부하는 Table 3, 4를 이용하여 결정되었다. Table 3은 실내발열부하의 기준치이며, Table 4는 시간대별 발생비율을 나타낸다. 기준치와 비율을 적용하여 재실기간중 변화되는 시간대별 실내부하를 계산하고, 계산된 값이 시뮬레이션에 적용되었다. 마지막으로 Table 5에는 시스템 운용과 관련된 시뮬레이션 조건이 정리되어 있다.

Table 3. Baseline of internal heat gain.

Components	Values
Occupants	0.078 person/m^2
Lighting	21.52 W/m^2
Electric Equipment	16.14 W/m^2

Table 4. Cooling schedules for internal heat load.

Cooling Schedule	Ratio		
	Occupants	Lighting	Electric quipment
Weekdays	00:00 ~ 06:00 (0.000) 06:00 ~ 22:00 (0.500) 22:00 ~ 23:59 (0.025)	00:00 ~ 23:59 (0.250)	00:00 ~ 23:59 (1.000)
Saturday	00:00 ~ 06:00 (0.000) 06:00 ~ 08:00 (0.500) 08:00 ~ 12:00 (0.150) 12:00 ~ 17:00 (0.050) 17:00 ~ 23:59 (0.000)	00:00 ~ 06:00 (0.012) 06:00 ~ 08:00 (0.025) 08:00 ~ 12:00 (0.075) 12:00 ~ 17:00 (0.037) 17:00 ~ 23:59 (0.012)	00:00 ~ 06:00 (0.300) 06:00 ~ 08:00 (0.400) 08:00 ~ 12:00 (0.500) 12:00 ~ 17:00 (0.350) 17:00 ~ 23:59 (0.300)
Sunday	00:00 ~ 23:59 (0.000)	00:00 ~ 23:59 (0.012)	00:00 ~ 23:59 (0.300)

Table 5. Simulation conditions.

Category	Input Value
Simulation program	EnergyPlus v8.5
Site/weather location	Seoul/Republic of Korea
Window-to-wall ratio	40%
AHU/water type VRF schedule	24 Hours
Cooling set-point	26℃
Cooling period	July 01-August31, 2017
Heating set-point	21℃
Heating period	January 01-February 28, 2017
COP	4.787
Pump motor efficiency	90%
Infiltration	0.0003167m^3/s-m^2

EnergyPlus와 MATLAB에서 모델링된 AHU, 실외기, 냉각탑, 보일러, 펌프 등의 적절성 확보를 위하여 대상건물에서 3개월간 측정된 운용데이터와의 비교를 바탕으로 보정과정이 진행되었다. 특히, 실외기 성능은 3가지의 성능곡선(the low temperature curve, the high temperature curve, and the boundary curve)을 이용하여 분석되었다. 보정 후 시뮬레이션에서 도출된 에너지소비량은 실제 건물에서 측정된 에너지소비량과의 비교결과 CVRMSE 15.2%로써 ASHRAE Guideline 14-Measurement of energy and demand savings (ASHRAE, 2002)에서 제시한 기준값인 30% 이하인 것으로 나타나 모델링 결과물의 신뢰도가 확보되었다.

4. 성능분석

본 연구에서 개발된 VRF 냉·난방시스템 제어로직 적용에 따른 시스템 제어변수의 작동결과가 Fig. 7과 8에 나타나 있다. Fig. 7은 냉방시스템의 작동결과이며, 전기에너지 사용 최소화를 위한 tSA_SET, tCF_SET, VCF_SET의 변화를 보여준다. 최적의 설정값은 각각 10-18℃, 25-35℃, 1,000-7,000 liter/minute의 범위에서 결정되었으나 대부분의 경우 12-14℃, 35℃, 3,000-5,000 l/min로 작동되었다.

난방시스템의 제어결과는 Fig. 8에 나타나 있다. 초기를 제외한 대부분의 경우 tSA_SET, tCF_SET, VCF_SET, tRF_SET은 38 ℃, 25 ℃, 1600 l / min, 40 ℃로 유지되었다. 초기의 경우 인공신경망모델이 테스트빌딩의 작동결과에 적응하는 단계이기 때문에 변화가 발생한 것으로 사료된다. tSA_SET의 경우 전통적 방법에서 고정적으로 적용된 38 ℃와 동일하게 결정되었으나 나머지 세 변수는 기존의 방법과 상이한 값으로 적용되었다(Table 2 참조). 본 건물에서는 일정기간 이후 동일한 설정값 조합으로 결정되었으나 같은 결과가 모든 건물에서 발생할 것임을 의미하지는 않는다. 건물과 시스템의 규모, 배치 등에 따라 상이한 결과가 발생할 수 있을 것으로 사료된다.

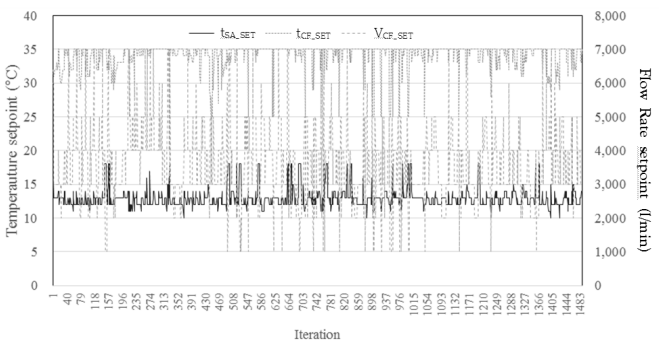


Fig. 7. Optimal set-points of the system variables

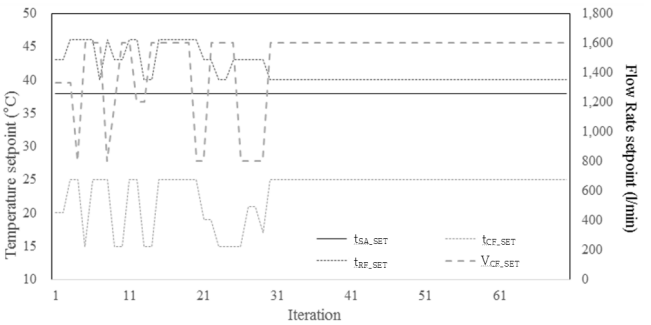


Fig. 8. Setpoints of variables determined by the predictive control algorithm

시스템 운용에 따른 냉방에너지소비량과 난방에너지소비비용이 Fig. 9과 10에 정리되어 있다. Fig. 9은 전통적방법과 본 연구에서 제안된 최적제어방법에 의한 냉방에너지소비량의 비교 결과를 나타낸다. 실외기, 팬, 펌프, 냉각탑으로 구성된 냉방시스템은 전적으로 전기에너지를 사용하고 있다. 모든 구성기기에서 최적제어방법이 전기에너지를 적게 사용하는 것으로 나타났다. 기기별 개별 감소량은 30.57%, 26.59%, 51.78%, 9.05%인 것으로 분석되었으며, 전체 감소비는 28.44%에 달하는 것으로 나타났다. 이 감소량은 95,509kWh이며 경제적으로는 2017년 기준 13,562,278원 감소로 환산할 수 있다.

Fig. 10은 난방에너지소비비용의 비교결과를 보여준다. 난방의 경우 실외기, 팬, 펌프는 전기에너지를 소비하는 반면 보일러는 가스에너지를 사용한다. 따라서, 에너지 성능 비교를 위하여 각 에너지원을 비용으로 환원하여 비교를 실시하였다. 실외기와 펌프에서 사용되는 전기에너지비용은 최적제어방법에 의하여 각각 17.54%, 3.27% 감소하였으나 보일러에서 사용되는 에너지비용은 29.95% 증가된 것으로 나타났다. 따라서, 전체 소비비용은 7.93% 감소되는 것으로 분석되었다. 이는 2017년 기준 556,940원에 해당한다.

보일러 소비되는 에너지비용의 증가는 실외기 소비에너지비용의 감소와 관련이 있다. 실외기에서 요구되는 에너지소비비용은 전통적제어법의 경우 전체 에너지비용의 73.71%를 차지하는 가장 주된 요소이다. 최적제어알고리즘은 비용의 측면에서 가장 효율적인 설정값 조합을 찾는 것을 목적으로 한다. 그 결과 설정값 조합을 결정함에 있어 소비비중이 가장 큰 실외기의 작동을 최소화하는 방향으로 제안한 것으로 판단된다. 이 경우 동일한 난방효과를 제공하기 위하여 보일러의 작동을 증가시켜 온수온도(tCF_SET,)를 높이도록 시스템을 작동하게 된다. 따라서, 보일러에서 소비되는 가스의 비용이 증가하게 된 것으로 사료된다.

Fig. 11은 난방을 위한 전기 및 가스소비량의 비교를 보여준다. 전기의 경우 전통적방법과 최적제어방법에 의하여 각각 41,120kWh와 34,819kWh로 최적제어법에 의하여 6,301 kWh 감소되었으나, 가스의 경우 1,666 m3와 2163m3로써 497m3가 증가되었다. 이러한 난방에너지 소비비용 및 전기, 가스소비량은 전기와 가스의 단위비용에 따라 그 효과가 상이해질 수 있다. 예를 들어 전기에너지료가 저렴해지고 가스료가 상승하면 보일러의 사용을 감소시키고 실외기의 사용을 증가시키는 변화된 설정값을 유도할 필요가 있다. 본 연구에서 개발된 인공신경망모델은 이러한 변화에 대한 지속적 학습을 바탕으로 에너지소비비용을 예측할 것이며 제어알고리즘은 예측된 값들의 비교를 통하여 최적의 조합을 찾게되므로, 가격의 변화에 대하여 적응이 가능할 것으로 판단된다.

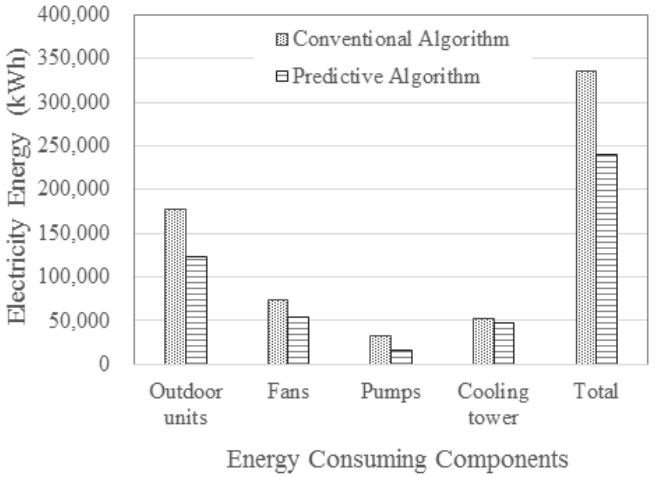


Fig. 9. Cooling energy consumption by the conventional and predictive algorithms

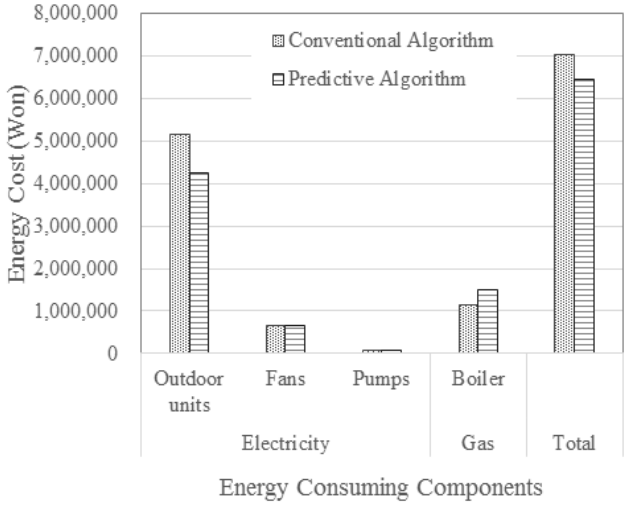


Fig. 10. Energy cost for each heating system component

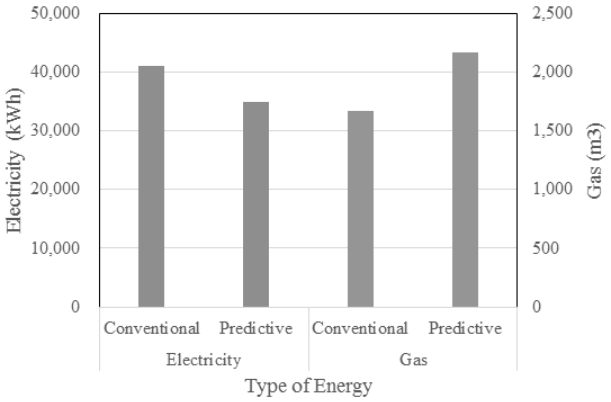


Fig. 11. Elctricity and gas consumption by the conventional and predictive algorithms

5. 결 론

본 연구는 VRF 냉·난방 시스템의 최적운용을 위한 최적제어알고리즘을 개발하고 성능평가를 하는 것을 목적으로 하였다. 알고리즘은 냉방에너지소비량 및 난방에너지소비비용을 예측하는 인공신경망모델을 내포하고 있으며, 다양한 시스템 작동 설정값 조합에 대한 비교를 통하여 최적의 설정값 조합을 도출할 수 있도록 계획되었다. 개발된 최적제어 알고리즘은 고정된 설정값 조합을 사용하는 전통적인 방법과의 비교성능 평가를 통하여 효율성을 확보하고자 하였다. 연구과정을 통하여 밝혀진 사실은 다음과 같다.

(1) 냉방시스템의 전기에너지 사용 최소화를 위한 tSA_SET, tCF_SET, VCF_SET의 최적 설정값은 대부분의 경우 12-14°C, 35°C, 3,000-5,000 l/min로 작동되었으며, 난방시스템의 tSA_SET, tCF_SET, VCF_SET, tRF_SET은 일정기간 이후 38 °C, 25 °C, 1600 l / min, 40 °C로 유지되었다. 이러한 변화는 기존의 고정된 설정값조합과는 상이한 결과이며, 이는 인공신경망예측모델과 최적제어알고리즘의 적용에 따른 효과로 볼 수 있다.

(2) 냉방에너지소비량의 경우 모든 구성기기에서 최적제어방법이 전기에너지를 적게 사용하는 것으로 나타났으며, 개별 감소량은 각각 30.57%, 26.59%, 51.78%, 9.05%이고 전체 감소비는 28.44%(95,509kWh, 13,562,278원)였다. 난방에너지소비비의 경우 실외기와 펌프에서 사용되는 전기에너지비용은 17.54%, 3.27% 감소하였으나 보일러에서 사용되는 에너지비용은 29.95% 증가되어 전체 소비비용은 7.93%(556,940원) 감소되었다. 이로써 본 연구에서 제안하는 최적제어알고리즘이 전체 냉·난방에너지소비량 및 소비비 감소에 효과가 있는 것으로 판단

할 수 있다.

(3) 난방의 경우 전기와 가스의 단위비용에 따라 최적의 설정값조합이 변경될 수 있을 것으로 예상된다. 가스료이 상승하고 전기료가 하강할 경우 개발된 인공신경망은 현재 기준과는 상이한 에너지소비비용을 예측할 것이고, 최적제저알고리즘은 그에 따른 새로운 조합의 최적 설정값을 도출하게 될 것이다. 이러한 과정은 변화에 대한 인공신경망모델의 지속적 학습을 통하여 가능할 것이다.바탕으로 에너지소비비용을 예측할 것이며 제어알고리즘은 예측된 값들의 비교를 통하여 최적의 조합을 찾게 되므로, 가격의 변화에 대하여 적응이 가능할 것으로 판단된다.

이러한 분석결과는 인공신경망 및 최적제어알고리즘에 기반한 VRF 냉·난방시스템 제어의 가능성을 제시한 것으로 사료된다. 본 연구를 기반으로 추후 실제 건물에 적용 후 성능분석의 과정이 뒤따를 것이며, PID 등 전통적 제어법과의 비교성능평가를 실시하여 적용성을 확보할 필요성이 있다.

Acknowledgement

This work was supported by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) and the Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE) of the Republic of Korea (No. 20182010600010).

참고문헌

1. International Energy Agency(2015), 「Energy balances of OECD/Non-OECD countries」.
2. Korea Energy Agency(2016), 「2016 Korea energy handbook」.
3. Ahn B.L., Kim C.H., Kim J.Y., Jang C.Y.(2009), “A study on the analysis of building energy rating considering the region”, 「Journal of Korean Solar Energy Society」, 29: 53~58.
4. Jang H.I., Cho Y.H., Jo J.H.(2013), “Application and improvement of the renewable energy management system in existing buildings”, 「Journal of Architectural Institute of Korea」, 29: 227~234.
5. Lee J.H., Song Y.H., Yoon H.J., Choi D.S., Tae, S.J., Kim I.K.(2016), “A study on development and effectiveness verification of set-point control algorithm for water-cooled VRF System”, 「Journal of The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea」, 28: 399~402.
6. Aynur T.N.(2010), “Variable refrigerant flow systems: a review”, 「Energy and Buildings」, 42: 1106~1112.
7. 기현승, 박준원, 강기남, 김주욱, 송두삼(2011), “TRNSYS 시뮬레이션을 통한 VRF시스템의 구현과 타당성 검증”, 「대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집」.
8. Panja P., Velasco R., Pathak M., Deo M.(2018) “Application of artificial intelligence to forecast hydrocarbon production from shales”, Petroleum, 4: 75~89.
9. Gupta A.K., Kumar P., Sahoo R.K., Sahu A.K., Sarangi S.K.(2017), “Performance measurement of plate fin heat exchanger by exploration: ANN, ANFIS, GA, and SA”, 「Journal of Computational Design and Engineering」, 4: 60~68.
10. Ferdyn-Grygierek J., Grygierek K.(2017), “Multi-variable optimization of building thermal design using genetic algorithms”, Energies, 10: 1570.
11. Yang J., Rivard H., Zmeureanu R.(2005), “Building energy prediction with adaptive artificial neural networks”, 「9th International IBPSA Conference」, 1401~1408.
11. Chung M.H., Yang Y.K., Lee K.H., Lee J.H., Moon J.W.(2017), “Application of artificial neural networks for determining energy-efficient operating set-points of the VRF cooling system”, 「Building and Environment」, 125: 77~87.
12. Park B.R., Choi E.J., Hong J., Lee J.H., Moon J.W.(2018), “Development of an energy cost prediction model for a VRF heating system”, 「Applied Thermal Engineering」, 140: 476~486.
13. ASHRAE(2002), 「ASHRAE Guideline14-measurement of Energy and Demand Savings」.

LHI Journal (2019) 10(3):17-22 http://dx.doi.org/10.5804/LHIJ.2019.10.3.017
http://lhi.lh.or.kr

CPTED 기준 제시를 위한 사회적 요인과 조명물리량의 통계 분석

Statistical analysis of social factors and lighting physical quantities to present CPTED guideline

김광훈[1] · 오진우[2] · 황준권[3] · 전수정[4] · 윤근영[5]
Kwang Hoon Kim · Jin Woo Oh · Jun Kwon Hwang · Soo Joeng Jeon · Geun Young Yoon

(Received September 6, 2019 / Revised September 27, 2019 / Accepted October 11, 2019)

ABSTRACT

In recent years, crime has been steadily increasing, causing not only economic damage but also aggravating the social atmosphere. The CPTED(Crime Prevention Through Environmental Design) guideline, which is an environmental crime prevention design technique, reduces the possibility of crime by implementing a proper defensive design plan through appropriate lighting design in the city and reduces the fear of crime. Among the various principles of CPTED, the proper use of street lamps and CCTV is considered to be an important factor in enabling natural surveillance. In this study, the authors identified and quantified the current status of the installation of street lamps and CCTV in each autonomous district of Seoul. The physical quantity of lighting and social factor quantified from light lamps and CCTV data, respectively, were expected to support the guidelines presented by CPTED. Therefore, we conducted statistical analysis based on quantified values and found that street lamps and CCTV had a statistically significant relationship with crime rate. In addition, the correlation between the safety index and the crime rate, calculated by dividing the number of street lamps and CCTVs by area, was also analyzed and an R2 value of 0.647 was confirmed.

Key words: 범죄예방환경설계, CPTED, Crime Prevention Through Environmental Design

1. 서 론

1.1. 연구의 배경 및 목적

도시환경에서 발생하는 범죄는 경제적인 피해뿐만 아니라 사회적인 분위기를 악화시킨다. 또한 도시에 거주하는 시민들의 불안감을 조성한다. 실제 대검찰청의 보고서(Table 1)에 따르면 교통범죄를 제외한 일반범죄가 2007년 120만 6천여 건에서 2016년 140만 7천여 건으로 약 11.2%가 증가한 것으로 확인되었다(대검찰청, 2017). 특히 시민들 개개인뿐만 아니라 사회적으로도 큰 악영향을 주는 강력범죄(흉악범죄 등)는 2007년 21,636 건에서 2016년 32,936 건으로 약 45.2%가 증가한 것으로 확인되었다. 이와 같은 강력 범죄발생의 급격한 증가는 사회 구성원들의 범죄발생에 대한 불안감 상승에 기여한 것으로 확인되었다. 통계청에서 실시한 '대한민국 사회의 가장 주된 불안요인' 조사에 따르면 범죄 발생에 대한 불안감이 2008년 이후 약 20% 가량 급증하여 범죄 발생(고은정, 강연아, 전수진, 2018)이 다른 여러 요인들 중 가장 심각한 문제로 대두되고 있다.

이와 관련하여 한국 형사 정책연구원의 분석에 따르면 일상생활에서 발생하는 다양한 범죄는 Table 2와 3 같이 18

1) 누리플랜 환경디자인연구소 실장 (주저자: nuripland@naver.com)
2) 경희대학교 건축공학과 석사과정
3) 경희대학교 건축공학과 석사과정
4) 경희대학교 건축공학과 석박통합과정
5) 경희대학교 부교수, 건축학박사 (교신저자: gyyun@khu.ac.kr)

시에서 06시 사이에 68.1%로 가장 많이 발생하는 것으로 확인되었다(고은정, 강연아, 전수진, 2018). 범죄가 주로 야간에 발생하는 이유를 다양한 관점에서 분석 및 해석하고자 하는 노력이 진행되어왔다. 그 중에서도 야간시간대가 주간시간대에 비해 피해자가 가해자의 옷, 얼굴 등의 인상착의와 범죄행동을 인지하는 데에 어려움이 있다는 점이 가해자의 범죄 행위 유발 및 범죄 계획에 큰 영향을 미치는 것으로 전문가들은 파악하고 있다.

본 연구에서는 CPTED(Crime Prevention Through Environmental Design) 가이드라인 중 시각적인 인지 요소 차원에서 중요한 요소들로 확인된 가로등과 CCTV의 통계 데이터를 정량화 하고자 한다. 또한 정량화된 값을 기반으로 조명물리량 및 사회적 요인과 실제 강력범죄발생건수와의 관계를 확인하고, 통계적 유의성 확인을 통해 CPTED 가이드라인의 필요성을 강조하고자 한다.

Table 1. Report from supreme prosecutor's office

	Crime(violent)		
	Crime occurrence	Rate	Percentage change
2007	21,636	43.9	-
2008	24,023	48.5	10.5
2009	27,014	54.3	23.7
2010	28,134	55.7	26.9
2011	29,382	57.9	31.9
2012	28,895	56.7	29.2
2013	33,780	66.1	50.6
2014	34,126	66.5	51.5
2015	35,139	68.2	55.3
2016	32,963	63.8	45.2

Table 2. Number of crimes per daytime and nighttime

	Daytime 06:00~17:59	Nighttime 18:00~05:59
2011	528,668(40.20%)	786,699(59.80%)
2012	612,150(44.88%)	751,888(55.12%)
2013	643,402(45.57%)	768,574(54.43%)
2014	625,233(45.90%)	737,108(54.10%)
2015	676,244(47.46%)	748,876(52.54%)
2016	715,317(49.14%)	740,381(50.86%)

Table 3. Number of crime per hour

	2014	2015	2016
00:00~02:59	124,068	124,560	121,805
03:00~05:59	101,193	104,919	107,865
06:00~08:59	93,165	102,344	108,645
09:00~11:59	198,855	210,771	227,039
12:00~14:59	159,772	173,791	181,967
15:00~17:59	173,441	189,338	197,666
18:00~20:59	201,323	209,512	212,977
21:00~23:59	310,524	309,885	297,734
Unknown	416,625	436,537	393,752
Total	1,778,966	1,861,657	1,849,450

2. 연구방법

2.1. CPTED

CPTED는 시민들의 범죄에 대한 두려움 감소 와 함께 삶의 질을 향상 시킬 수 있는 종합적인 범죄예방 디자인이다. 도시 및 건축물 계획 단계에서부터 범죄 예방을 고려할 필요성이 커지고 있는 시점에서 CPTED는 범죄예방에 효율적으로 적용될 수 있다는 평가를 받고 있다. CPTED는 자연적 감시, 접근 통제, 영역성 강화로 구성된 세 가지의 기본원리와 활용성 증대 및 유지관리로 구성된 두 가지의 부가원리(경찰청 생활안전국, 2017)로 이루어져있다.

기본원리는 범죄의 구성요소인 환경적 특성(건축, 조경, 조명 등), 가해자, 피해자 사이의 상관관계 분석을 통해 결정된다. 기본원리 중 첫 번째 요소인 자연적 감시(Natural Surveillance)는 위에서 상기된 범죄의 구성요소들 간의 상관성을 분석하여 가시권을 최대화하는 원리이다. 적절한 조명 설치, CCTV 설치, 창문 및 문 지다인 등이 이에 속한다. 두 번째 접근 통제(Access Control)는 보행로, 도로, 조경 시설물 등을 통해 시민들을 일정한 공간으로 유도하는 것을 목적으로 한다. 건축물의 출입구 수 최소화, 경찰 및 경비원, 출입구 및 대지 경계면 표시 등을 활용하여 범죄로부터 시민들의 노출을 감소시키는 것이 이에 해당한다. 마지막으로 영역성(Territoriality) 강화는 시민들이 권리를 주장할 수 있는 가상의 영역을 확보하는 것을 목적으로 한다. 영역성 확대는 전이공간의 설계를 통한 영역감 증진을 통해 구현된다. 특히 조경, 조명, 울타리 등과 같은 시설물 기반의 영역 통제 강화가 주를 이루고 있다.

부가원리의 첫 번째 요소인 활용성 증대(Activity Support)는 시민들의 공공장소 사용 횟수 증진을 통해 자연스러운 감시가 가능하게 하는 것을 기본으로 한다. 범죄 위험 감소 및 시민들의 안전감 확보는 활용성 증대의 가장 큰 효과로 볼 수 있다. 두 번째 요소인 유지관리(Maintenance and Management)는 효율적인 범죄 방지를 위해 설계된 시설물이나 공공장소를 관리하는 것을 기본으로 한다.

CPTED는 국내외에서 다양하게 활용되고 있다. 영국 리버풀 엘도니안과 브리스톨, 미국 텍사스 휴스턴, 일본 나고야시 아이치현이 대표적이다. 각각 지역의 실정에 맞게 활용된 CPTED는 방범 문제의 해결뿐만 아니라 종합적이고 장기적인 방범 대책 수립에도 기여한 것으로 확인되었다. 국내의 경우 서울시 마포구 염리동이 대표적이며, 자연적 감시를 통해 동네 주민들의 범죄에 대한 두려움이 상당부분 해소된 것으로 확인되었다.

CPTED의 가이드라인은 범죄유형 및 특성에 적합한 설계기준을 적용하는 과정과 범죄위험평가를 통해 범죄를 예측하는 과정을 우선적으로 실시 할 것을 권장하고 있다. 다양

한 설계기준 중 조명시설에 대해 살펴보면, 조명 설치를 통해 사각지역이 생기지 않도록 하고, 충분한 조도를 갖는 보안등을 설치하여 균일한 조도를 확보하며, 높은 조도의 조명보다는 낮은 조도의 조명을 많이 설치하도록 제시하고 있다.

2.2. 연구의 내용 및 수행방법

기존의 CPTED 가이드라인의 경우 가시성을 확보하기 위한 조명시설의 설치가 범죄 공포를 감소시키고, 실제 범죄로부터의 위험이 적어진다고 정성적으로 명기되어 있다. 하지만 조명시설의 효과에 대한 실증데이터를 바탕으로 한 명확한 정량적인 해석은 미비한 상태이며, 범죄현장 및 예비 범죄 가해자들의 인지에 대한 정량적인 조도의 제시 또한 부족한 상태이다.

본 연구는 이러한 CPTED의 한계점을 보완하기 위해 서울지역의 조명물리량과 사회적 요인을 통계자료를 통해 정량적으로 검토하였다. 또한 정량적인 조명물리량과 사회적 요인이 실제 서울지역에서 벌어진 강력범죄 발생과 통계적으로 유의미한 관계를 보이고 있는지 검증하고자 한다.

이를 위해 서울 지역의 각 자치구의 가로등의 수량을 조명물리량을 위한 변수로 설정하였으며, 범죄 행동의 인지 및 범죄 정보의 수집을 가능케 하는 자치구의 CCTV 수량을 사회적 요인 변수로 설정하였다.

3. 결과 및 해석

3.1. 서울시 가로등 및 CCTV 현황 분석

CPTED 기반의 범죄의 예방효과로 사전 인지의 중요성이 주로 언급되며 도심지의 가로등과 CCTV가 예방효과의 주요한 방법론으로 나타난다. 치안정책연구에 따르면 가로등과 CCTV의 설치 유무에 따라 도시민들이 범죄로부터 심리적인 안정감의 차이가 나타난다고 조사되었다. 본 연구에서는 이러한 CPTED 기반의 가로등과 CCTV의 설치가 실제 범죄예방에 기여하는 정량적인 효과를 분석하고자 하였다. 이를 위해 각 자치구의 면적 대비 가로등과 CCTV의 설치 수량을 파악하여 도시 내의 조명물리량과 정보화 지수를 도출하고, 이를 각 자치구의 범죄 현황과 통계적으로 비교 분석하였다.

Table 4의 2017 서울시 도로시설물(서울특별시, 2017) 통계의 자치구별 가로등 수 통계를 살펴보면 현재 서울시내에는 총 29,645개의 가로등이 설치되어 있는 것으로 확인된다. 설치된 가로등 수는 자치구별로 큰 편차를 보인다. 가로등이 가장 많이 설치된 종로구의 경우 3,297개의 가로등이 설치된 것으로 나타났다. 반만 전체 자치구 중 가로등이 가장 적게 설치된 도봉구의 경우 358개의 가로등이 설치된 것으로 나타나서 종로구 대비 약 10.8%의 가로등이 설치된 것으로 나타난다. 다만 이러한 가로등의 수치는 자치구마다 전체적인 면적의 차이를 보이기 때문에 절대적인 비교 수치가 될 수 없다. 실제 도봉구의 면적의 경우 약 $20km^2$ 으로 나타났으며 종로구의 면적은 약 $24km^2$ 로 나타나 차이를 보이고 있다(서울특별시, 2017). 이러한 점을 고려하여 본 연구에서는 자치구의 면적대비 가로등의 수를 파악하기 위해 조명물리량[LA]으로 지표를 산출하여 분석하였다.

마찬가지로 Table 4의 2017 서울시 자치구 년도별 CCTV 현황 통계(서울특별시, 한국정보화진흥원, 2017)를 통해 자치구내의 CCTV의 수량을 파악해보면 전체 88,160개의 CCTV가 설치된 것을 확인 할 수 있다. 이 CCTV 수량은 건물 내의 설치된 CCTV의 수량은 제외하였으며, 도시 외부환경에 설치된 방범용, 도시공원, 어린이보호, 쓰레기 무단투기, 기타 용도의 CCTV 수량을 산출하였다. 방범용 이외의 다른 용도의 CCTV를 전체 수량 산출에 사용한 것은 범죄 심리학적인 연구를 기반으로 하고 있다. 일반적으로 범죄자 및 예비 범죄자 모두 그들의 범죄행위를 타인이 인지할 가능성이 높을 때 실제 범죄행위를 수행할 확률이 낮아진다는 결과가 있다. 이를 통해 비록 방범용 CCTV가 아니지만, 다른 용도의 CCTV 또한 범죄자들에게 심리적인 압박감을 줄 수 있어 본 연구에서 CCTV 수량에 함께 포함하였다. 전체적으로 CCTV는 가로등 수와 마찬가지로 종로구에 9,007개가 설치되어 전체 자치구중 가장 많은 수량이 설치되어 있다. 또한 도봉구에 1,449개의 CCTV가 설치되어 전체 자치구 대비 가장 적은 수의 CCTV가 설치되어 있는 것으로 나타났다. 이러한 CCTV의 수량을 가로등 수와 마찬가지로 자치구의 면적대비 지표로 비교하고자 본 연구에서는 CCTV의 수량을 정보화지수[CA]로 지표를 산출하여 분석하였다. 앞서 언급한 가로등과 CCTV의 범죄예방의 효과를 파악하기 위해 자치구내의 벌어진 강력범죄현황(대검찰청, 2017)을 분석하였다. Table 4의 강력범죄발생 데이터는 검찰청 2017년 강력범죄 자치구별 발생현황 통계 데이터를 활용하였다. 본 연구는 조명물리량과 사회적 요인과 범죄현상간의 관계를 분석하는 것이기 때문에, 도시외부환경과는 관련성이 적은 사기, 횡령, 주거침입, 단체 등의 구성과 같은 범죄는 통계에서 제외하였다. 전체 강력범죄발생건수는 110,114건으로 나타났으며, 가장 범죄가 많이 일어난 자치구는 강남구로 7,827건의 범죄가 발생하였다. 반면 도봉구의 경우 1,981건의 범죄가 발생하여 자치구 중 범죄가 가장 적게 발생한 것으로 나타났다. 범죄 발생건수 또한 자치구별로 균등하게 비교하기 위해 앞서 언급한 조명물리량과 정보화지수화 마찬가지로 자치구의 면적 정보를 활용하여 범죄건수[CrA]로 지표를 산출하였다. 추가적으로 실제 자치구내의 가로등 과 CCTV는 별도로 설치된 것이 아니고, 외부환경에 함께 설치되어 있

는 경우가 대부분인 점을 고려하였다. 이에 따른 효과를 확인하기 위해 가로등과 CCTV의 설치 현황을 바탕으로 산출한 조명물리량 지수와 정보화지수를 더해 안전지수 [LA+CA]로 지표화 하였다.

Table 4. Status of street lamp, CCTV, crime by district in Seoul

	Number of street lamp	Number of CCTV	Number of crime	Area of district (㎡)
Jongno-gu	3,297	9,007	4071	23,971,709
Jung-gu	810	2,563	4198	9,974,292
Yongsan-gu	633	1,787	4105	21,898,766
Seongdong-gu	807	2,315	2748	16,804,426
Gwangjin-gu	1,998	5,704	4659	17,075,115
Dongdaemun-gu	894	2,318	3895	14,245,433
Jungang-gu	1,601	5,100	4488	18,531,520
Seongbuk-gu	790	2,675	3426	24,621,422
Gangbuk-gu	871	2,871	3362	23,636,019
Dobong-gu	358	1,449	1981	20,679,052
Nowon-gu	992	2,958	4121	35,595,942
Eunpyeong-gu	1,255	3,338	3839	29,788,522
Seodaemun-gu	1,077	3,053	3057	17,685,973
Mapo-gu	1,865	4,874	5440	23,890,251
Yangcheon-gu	1,045	3,393	3845	17,469,613
Gangseo-gu	1,544	4,573	5052	41,462,497
Guro-gu	1,401	4,072	4924	20,136,328
Gumcheon-gu	549	2,081	2846	13,012,685
Yeongdeungpo-gu	1,491	4,857	6011	24,354,829
Dongjak-gu	964	3,078	3357	16,387,882
Gwanak-gu	1,522	4,200	5887	29,563,482
Seocho-gu	1,475	4,813	4727	46,899,887
Gangnam-gu	1,145	3,193	7827	39,497,268
Songpa-gu	604	2,048	5481	33,858,375
Gaongdong-gu	657	1,840	4191	24,556,203
Total	29,645	88,160	110,114	605,597,491

구체적으로 조명물리량[LA]은 자치구 내에 면적대비 실제 설치된 가로등의 효과를 정량적으로 나타낸다. 이를 통해 범죄 가해자나 예비 범죄자들을 인지할 수 있는 환경인지에 대한 판단 여부를 다른 지역별로 확인 할 수 있다. 정보화지수[CA]는 실제 면적 대비 설치된 CCTV의 효과를 정량적으로 나타나며, 자치구에 따라 CCTV를 통해 파악할 수 있는 범죄자나, 지역 정보를 수집을 통해 범죄를 예방하는 효과를 분석할 수 있다. 범죄건수[CrA]의 경우 각 자치구에서 발생한 강력범죄를 실제 자치구의 면적기반으로 정량 지수화 한 것으로 각 개별 자치구를 동일 규모로 산정하였을 때 자치구에서 벌어지는 강력범죄의 현황을 파악할 수있다. 각각의 조명물리량, 정보화지수, 범죄건수를 구하는 식은 아래의 Table 5와 같다.

Table 5. Quantification method of street lamp, CCTV and crime

	Equation
[LA]	Number of street lamp / Area of district (km^2)
[CA]	Number of CCTV / Area of district(km^2)
[CrA]	Number of crime / Area of district (km^2)
[LA+CA]	Number of street lamp + Number of CCTV / Area of district (km^2)

Table 6. Status of LA, CA, CrA, LA+CA by district in Seoul

	LA (Street-lamp/ Area)	CA (CCTV /Area)	CrA (Crime / Area)	Security (LA+CA)
Jongno-gu	375	133	170	508
Jung-gu	866	205	421	1072
Yongsan-gu	333	192	187	525
Seongdong-gu	337	272	164	609
Gwangjin-gu	284	136	273	420
Dongdaemun-gu	568	208	273	776
Jungang-gu	307	99	242	407
Seongbuk-gu	218	165	139	384
Gangbuk-gu	188	76	142	264
Dobong-gu	216	70	96	286
Nowon-gu	261	81	116	342
Eunpyeong-gu	220	162	129	382
Seodaemun-gu	331	276	173	606
Mapo-gu	332	128	228	460
Yangcheon-gu	412	278	220	690
Gangseo-gu	161	56	122	217
Guro-gu	368	253	245	621
Gumcheon-gu	413	206	219	618
Yeongdeungpo-gu	378	126	247	504
Dongjak-gu	335	204	205	538
Gwanak-gu	166	193	199	359
Seocho-gu	249	72	101	322
Gangnam-gu	359	228	198	587
Songpa-gu	372	61	162	433
Gaongdong-gu	321	104	171	426
Total	8372	3984	4842	12356

통계적인 수치를 바탕으로 도출한 조명물리량, 정보화지수, 범죄건수 지표를 기존의 자치구별 가로등, CCTV 설치 수량 및 강력범죄발생 현황과 비교한 결과는 다음과 같다. Table 4에서 보면 종로구에 가장 많은 수량의 가로등이 설치가 된 것으로 나타났는데, Table 6의 조명물리량 지수를 보면 중구가 LA 866으로 전체 자치구 중 조명물리량 지수가 가장 높은 것으로 나타났다. 반면 종로구의 경우 조명물

리량 지수가 375로 다른 자치구 대비 평균적인 수준으로 나타났다. 전체 자치구 중 조명물리량 지수가 가장 낮은 지역은 강서구로 나타났으며 LA 161로 확인 되었다. 이는 Table 4에서 강서구의 가로등의 설치 수량이 1,544개로 전체 자치구 평균보다 높은 것과 비교해볼 때, 전체 강서구의 가로등 수 자체는 많이 설치되어 있지만, 자치구의 실제 면적대비해서는 적은 수량의 가로등이 설치되어 있는 것으로 해석 할 수 있다. 반면에 중구의 경우 Table 4에서 나타난 것과 같이 810개의 가로등이 설치되어 있어 가로등의 설치 수량 자체는 낮은 수치를 보이지만, 조명물리량이 전체 자치구 중 가장 높은 것으로 보아 실제 자치구 면적대비 많은 양의 가로등이 설치되어 있는 걸로 해석할 수 있다.

정보화지수의 경우 양천구가 가장 높은 278의 CA로 나타나며 자치구중 정보화지수가 가장 높은 것으로 나타나며, 강서구가 56의 CA 값이 나타나 정보화지수가 가장 낮은 자치구로 나타난다.

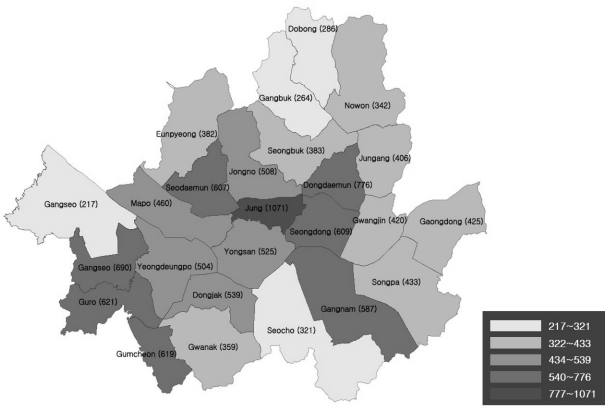


Fig. 1. LA+CA value of each district in Seoul

양천구의 경우 실제 CCTV의 설치 수량은 3,393개로 전체 자치구의 평균 수준이며, 강서구의 실제 CCTV 수량은 4,573개로 전체 자치구 평균보다 높은 것으로 나타난다. 이러한 결과는 앞서 언급한 가로등의 경우와 마찬가지로 양천구의 경우 실제 면적대비 많은 수의 CCTV가 설치되어 있는 반면, 강서구의 경우 실제 면적대비 적은 수의 CCTV가 설치된 것으로 해석 할 수 있다.

범죄건수의 경우 중구가 421로 자치구 중 가장 높은 CrA 값을 보였으며, 도봉구가 96 CrA로 자치구 중 가장 낮은 것으로 나타났다. 앞서 언급한 전체 자치구 중 범죄가 가장 많이 발생한 강남구의 경우 범죄건수 지수를 확인하였을 때 전체 자치구의 평균 수준인 198 CrA로 확인되었다. 이를 통해 강남구의 경우 강력 범죄가 발생하는 빈도가 많지만 그 만큼 자치구의 면적 또한 넓어 범죄건수 지수가 낮게 나온 것을 확인 할 수 있다. 반면의 중구의 경우 실제 강력범죄 발생건수의 경우 4,727건으로 전체 자치구의 평균 수준이지만, 자치구의 면적 대비 많은 강력범죄가 발생하여 CrA값이 전체 자치구 중 가장 큰 것으로 확인 할 수 있다.

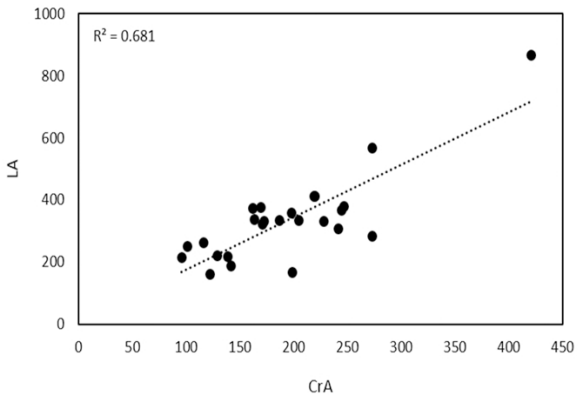
또한 가로등과 CCTV의 효과를 함께 고려하기 위해 산출한 안전지수의 경우 중구가 1072 [LA+CA]로 전체 자치구 중 가장 높은 것으로 나타났으며, 강서구가 217 [LA+CA] 로 전체 자치구 중 가장 낮은 것으로 나타났다.

3.2. 통계분석

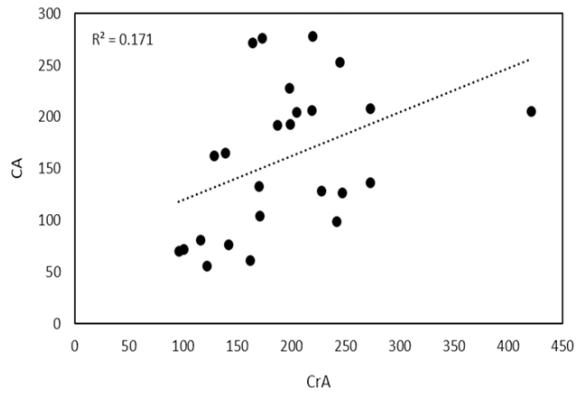
통계 데이터를 바탕으로 정량화한 자치구별 조명물리량과 정보화지수, 그리고 그 둘을 합한 안전지수와범죄건수간의 상관관계를 분석하였다. 분석결과 Fig. 2과 같이 조명물리량과 범죄건수 (a) 간의 상관관계가 R^2 = 0.681로 가장 높게 나타났으며, 정보화지수와 범죄건수 (b) 간의 상관관계는 R^2 = 0.172, 조명물리량과 정보화지수를 합쳐 나타낸 안전지수와 범죄건수간 (c) 의 상관관계는 R^2 = 0.647 로 나타났다. 이러한 결과로 볼 때, 가로등의 설치 수량과 강력범죄 발생 여부간의 관계는 통계적으로 유의미한 연관이 있다고 볼 수 있다. 하지만 CCTV 설치 수량의 경우 단순히 그 현황만으로는 강력범죄 발생 여부와는 유의미한 관계를 찾기 어려운 것으로 확인되었다. 다만 가로등의 설치 수량과 CCTV 설치 수량을 함께 고려한 안전지수의 경우 강력범죄 현황과 통계적으로 유의미한 상관관계가 있는 것으로 나타나 여전히 CCTV의 설치 수량 또한 확인해야할 지표로 판단되어 진다.

본문 3.1에서 확인된바와 같이 각 자치구별로 그 규모가 큰 차이를 보이며, 그에 따라 안전지수 및 범죄건수 지수가 큰 영향을 받는 것이 확인되었다. 추가적으로 안전지수 기준 상위 10개의 자치구의 데이터를 별도로 산출하여 상위 10 안전지수와 범죄건수 (d) 간의 상관관계를 파악하였다. 그 결과 상위 10개의 자치구의 안전지수와 범죄건수간의 상관관계가 R^2 = 0.899 로 나타나 통계적으로 유의미한 관계를 보였다.

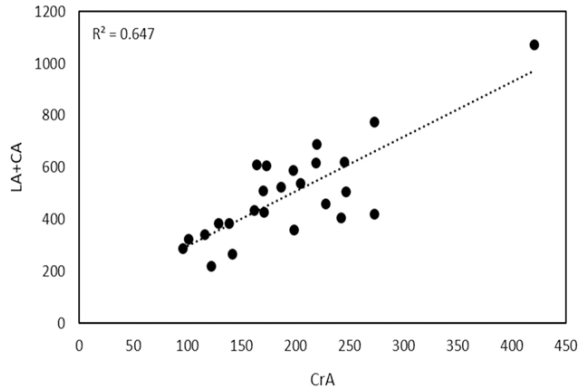
(a) LA and CrA



(b) CA and CrA



(c) LA+CA and CrA



(d) Top 10 % of LA+CA and CrA

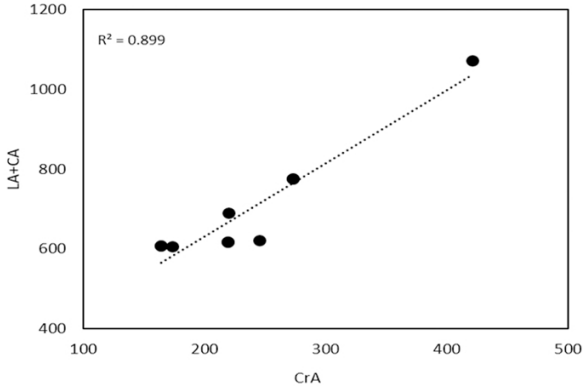


Fig. 2. Analysis of correlation between LA,CA and CrA

4. 결 론

본 연구에서는 CPTED 가이드라인에서 제시된 요소들의 중요성 확인을 위해 자치구의 가로등의 밝기 지수를 활용하여 도시내의 조명물리량을 산출하고, 도시 내에서 범죄자들의 행동을 인식 할 수 있는 CCTV 데이터 기반 정보화 지수를 사회적인 요인으로 활용하였다. 이를 통해 최종적으로 범죄로부터 안전지수를 도출하였으며, 이를 실제 서울시내의 범죄발생 데이터와 통계적으로 분석하였으며, 조명물리량 지수와 안전 지수가 범죄건수와 상관관계가 높은 것으로 나타났다.

이를 통해 CPTED 기준 제시에 있어 도시 범죄자들을 인지할 수 있는 일정치 이상의 조명물리량이 확보된다면 범죄의 예방이 가능 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 대검찰청(2017), “범죄분석통계 : 범죄발생지역 - 강력범죄 자치구별 발생 현황”.
2. 고은정, 강연아, 전수진(2018), “여성의 ‘범죄에 대한 두려움’을 완화하는 어플리케이션 연구 - 길거리 괴롬힘 경험을 중심으로”, 「한국HCI학회 학술대회」 740~744.
3. 경찰청 생활안전국(2017), 「범죄예방 환경개선(CPTED) 정책의 바람직한 방향」.
4. 서울특별시(2017), 「2014~2017 서울시 도로시설물 통계」.
5. 서울특별시(2017), 「2017 서울시 자 치구별 CCTV 설치현황」.
6. 서울특별시, 한국정보화진흥원(2017), 「서울 유동인구 조사 보고서」.

LHI Journal (2019) 10(3):23-32 http://dx.doi.org/10.5804/LHIJ.2019.10.3.023
http://lhi.lh.or.kr

고성능 진공단열재의 건축적인 적용에 관한 연구

Research on the Architectural Applications of High-Performance Vacuum Insulation Panel

권영철[1] · 김 석[2]

Young Cheol Kwon · Suk Kim

(Received September 6, 2019 / Revised September 25, 2019 / Accepted October 8, 2019)

요 약

현존하는 단열재 중 가장 열전도율이 낮은 진공단열재(VIP; Vacuum Insulation Panel)는 특수한 재질의 외피재(Envelope)와 외피재 내부의 심재(Core Material), 그리고 단열재 내부의 공기를 흡착하는 흡착제(Getter)로 구성되어 있고, 단열성능을 극대화하기 위해 내부를 진공처리한 제품이다. 진공단열재의 외피재는 알루미늄 박막 필름이 주로 사용되며, 진공단열재의 수명 및 신뢰성을 결정하는 중요한 소재이다. 본 연구를 통하여 불연성이 확보된 Fiber Glass 심재 진공단열재의 방화성능 및 단열성능 확인과 함께 건축적인 적용가능성을 검토하였으며 그 내용을 정리하면 다음과 같다. 1) 20mm 두께의 Fiber Glass 심재 진공단열재의 열전도율이 0.00177W/m·K로, 두께 20mm로 지역별, 부위별 강화된 단열기준을 모두 충족할 수 있음을 알 수 있었다. 2) 진공단열재에 대한 불연성능시험과 가스유해성시험 결과, 불연재료로 적합한 것으로 나타났다. 3) 불연 진공단열재의 장기내구성 시험결과, 25년이 지나더라도 스치로폼 및 유리섬유에 비해 10배 이상의 단열성능을 유지할 수 있음을 알 수 있었다. 4) 건물의 외벽 열관류율 0.12W/m^{2}K 이하를 만족하기 위해, 준불연성능이 확보된 단열재인 "가"등급의 비드법 보온판 2종 4호와 페놀폼을 사용한다면 각각 280mm, 170mm 이상을 써야하지만, 불연 진공단열재는 20mm 두께로 동일 단열기준을 만족할 수 있는 것으로 나타났다.5) 고성능 진공단열재는 열관류율 0.12W/m^{2}K 이하를 기준으로 가격경쟁력이 페놀폼 대비 약 1,500원/m^2 뛰어난 것으로 나타났다.

주제어: 진공단열재, 열전도율, 불연재료, 열관류율, 건축적인 적용

ABSTRACT

Vacuum Insulation Panel(VIP) has the lowest thermal conductivity among present insulations. It is composed of envelope, core material and getter. Aluminum film is usually used as the envelope of VIP, and it is important component to decide the useful life of VIP. In this research, the thermophysical properties of incombustible fiber glass core VIP were investigated with the possibility of its architectural applications. The results of this research can be summarized as follows: 1) The thermal conductivity of 20mm-thick fiber glass core VIP is resulted as 0.00177W/m·K, which means that 20mm-thick VIP can meet all the reinforced insulation guideline and it can be used in any envelope of any region in Korea. 2) As a result of the test of incombustion and gas toxicity, fiber glass core VIP was suitable for incombustible material. 3) As the test result for the long term thermal conductivity, fiber glass core VIP was found out that it would keep above 10 times insulating performance than polystyrene foam and glass fiber. 4) To meet the thermal transmittance of 0.12W/m^{2}K, limited-combustible insulation of expanded polystyrene foam and phenolic foam should be used respectively as thick as above 280mm and 170mm, incombustible VIP can meet the same insulation level with 20mm thickness. 5) The price competitiveness of incombustible VIP to meet the thermal transmittance of 0.12W/m^2·K was about 1,500won/m^2 higher than that of phenolic foam.

Key words: Vacuum Insulation Panel, Thermal Conductivity, Incombustible Material, Thermal Transmittance, Architectural Application

1. 서 론

2018년 9월 1일자로 건축물의 에너지 절약설계기준이 강화됨에 따라 외기에 직접 면하는 공동주택의 외벽과 지붕의 단열재 두께는 「가」등급 단열재라 하더라도 중부1지역은 220mm, 중부2지역은 외벽은 190mm, 지붕은 220mm를 사용하여야 한다.

또한 2019년 8월 6일자로 시행된 건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙에 따라 건물외벽 마감재료를 불연 또는 준불연재료로 해야 하는 범위가 늘어났다.

단열성이 뛰어난 스치로폼, 우레탄 등의 유기질 단열재는 화재 안전성이 취약하고, 화재안전성이 뛰어난 무기질 단열재는 단열성이 상대적으로 약해 두껍게 시공해야하는 한계가 있다. 이러한 상황에서 고단열성의 준불연 단열재로 알려진 페놀폼이 단열대안으로 부각되어 건축물의 단열재로 많이 적용되어 왔으나, 최근 페놀폼 단열재에서 1급 발암물질인 포름알데하이드가 기준치 이상으로 방출된다는 JTBC 보도(JTBC, 2019)에 이어, 대한건축사협회에서도 회원들에게 페놀폼 사용을 자제해달라는 공문(대한건축사협회, 2019)을 보낸 것으로 알려졌다.

단열성능이 매우 뛰어난 진공단열재는 현장에서 재단이 불가능하여 현장시공성이 떨어진다는 단점을 지니고 있으나, 최근에는 현장의 단열시공부위를 정밀실측하여 현장여건에 맞는 단열패널을 맞춤 제작하고 시공을 간편하게 할 수 있는 진공단열재 전용 부자재를 적용하여 시공정밀도를 높인 기술이 개발되었다. 또한 화재 안전성을 갖춘 불연성의 진공단열재가 건설현장에 적용되고 있다.

따라서 본 논문에서는 불연성능을 지닌 고성능 진공단열재의 건축적인 적용 가능성을 검토해보고자 한다.

2. 주요 단열재들의 특성 고찰

2.1 비드법 보온판(EPS, Expanded Polystyrene Foam)

단열 성능이 뛰어나고, 경량으로 운반과 시공성이 우수하며, 최고 70℃까지 사용할 수 있다. 그러나 자외선에 약하고 화재시 불이 옮겨 붙어 유독가스가 발생할 위험이 있다. EPS 단열재는 비드법 1종과 2종으로 구분한다. 밀도에 따라 1호 30kg/㎥이상, 2호 25kg/㎥이상, 3호 20kg/㎥이상, 4호 15kg/㎥이상으로 분류하고 있으며, 밀도가 클수록 단단하며 열전도율이 낮은 특성을 갖고 있다. 열전도율은 0.031~0.043W/mK까지로 종류와 밀도에 따라 다르다(권영철, 2017).

2.2 압출법 보온판(XPS, Extruded Polystyrene Foam)

압출법 보온판은 원료를 가열·용융해 연속적으로 압출·발포시켜 성형한 제품으로, 압출 폴리스티렌폼을 말하며 보통 XPS로 불린다. 물리적 성질은 비드법 보온판과 비슷하나 단열성이 우수하며 어느 정도의 투습 저항을 지닌 것이 특징이다. “가”등급에 속하며, 열전도율은 특호 0.027W/mK, 1호 0.028W/mK, 2호 0.029W/mK, 3호 0.031W/mK로 비드법 보온판보다 낮다.

2.3 유리섬유(Glass Wool)와 미네랄울(Mineral Wool)

대표적인 무기질 단열재로 48K, 64K, 80K, 96K, 120K 유리섬유는 “가”등급에 속하며, 미네랄울 1호, 2호, 3호와 유리섬유 24K, 32K, 40K는 “나”등급에 속한다.

화재에 강한 특성을 지니고 있으며, 유리섬유는 350℃, 미네랄울은 600℃까지도 사용할 수 있다.

2.4 경질 우레탄폼(PU, Rigid Polyurethane Foam)

열전도율이 0.023~0.025W/mK로 단열 성능이 뛰어나 보온, 보냉에 사용하는 단열재로 PU라고도 한다. 단열성과 저온 특성이 좋으며, 판상형의 생산품을 붙이는 방법이 있으나 건축 현장에서는 주로 직접 발포해(뿜칠) 시공한다. 강한 내수성 및 내습성을 보인다. 화재 시 치명적인 맹독성의 시안가스가 발생하는 문제가 있다.

2.5 페놀폼(PF, Phenolic Foam)

페놀수지를 발포하여 만든 열경화성 수지로 난연2급의 준불연성을 지니고 있다. 열전도율은 0.019W/mK로 유기질 단열재 중 단열성능이 가장 뛰어나다. 90%이상 독립미세기포로 이루어진 Closed Cell 구조이다.

최근 1급 발암물질인 포름알데하이드가 기준치 이상 검출된다는 연구결과(박태성 외, 2019)와 함께 대한건축사협회 차원의 사용자제 권고가 이루어진 단열재이다.

2.6 저방사 복합 단열재(Low-Emissivity Hybrid Insulation)

저방사 복합 단열재는 반사형 단열재의 단열원리를 단열재 자체에 적용함으로써 단열재 내부에 별도의 반사공기층을 확보한 것이며, 내부 공기층에 면한 알루미늄 박판의 표면방사율이 0.03로 복사에 의한 열전달을 97% 차단할 수 있으며, 폴리에틸렌폼을 절개, 확장하여 만들어진 독립 공기셀로 인해 대류에 의한 열전달도 차단하는 효과가 있다. 저방사 복합 단열재는 범용 단열재인 스치로폼 및 유리섬

1) 한라대학교 건축학과 교수(yckwon@halla.ac.kr)
2) (주)그린인슐레이터 기술연구소(supervac3@gmail.com)

Table 1. Required U-value of Regional Building Envelopes in Korea(revised on Sep. 1, 2018) (Unit : W/㎡K)

Building Envelope \ Region			Central 1 Region*	Central 2 Region**	Southern Region***	Jeju Island
Exterior Wall	Adjacent to Outside directly	Apartment House	less than 0.150	less than 0.170	less than 0.220	less than 0.290
		Others	less than 0.170	less than 0.240	less than 0.320	less than 0.410
	Adjacent to Outside indirectly	Apartment House	less than 0.210	less than 0.240	less than 0.310	less than 0.410
		Others	less than 0.240	less than 0.340	less than 0.450	less than 0.560
Roof	Adjacent to Outside directly		less than 0.150		less than 0.180	less than 0.250
	Adjacent to Outside indirectly		less than 0.210		less than 0.260	less than 0.350
Floor of lowest floor	Adjacent to Outside directly	Floor heating	less than 0.150	less than 0.170	less than 0.220	less than 0.290
		No floor heating	less than 0.170	less than 0.200	less than 0.250	less than 0.330
	Adjacent to Outside indirectly	Floor heating	less than 0.210	less than 0.240	less than 0.310	less than 0.410
		No floor heating	less than 0.240	less than 0.290	less than 0.350	less than 0.470
Floor Slab with floor heating system			less than 0.810			
Window or Door	Adjacent to Outside directly	Apartment House	less than 0.900	less than 1.000	less than 1.200	less than 1.600
		Others	less than 1.200	less than 1.500	less than 1.800	less than 2.200
	Adjacent to Outside indirectly	Apartment House	less than 1.300	less than 1.500	less than 1.700	less than 2.000
		Others	less than 1.500	less than 1.900	less than 2.200	less than 2.800
Entrance Door of Apartment house	Adjacent to Outside directly		less than 1.400			
	Adjacent to Outside indirectly		less than 1.800			

* Gangwon-do(except Gosung, Sockcho, Yangyang, Gangneung, Donghae, Samcheok), Gyeonggi-do(Yeoncheon, Pocheon, Gapyeong, Namyangju, Yijeongbu, Yangju, Dongducheon, Paju), Chungcheongbuk-do(Jecheon), Gyeongsangbuk-do(Bongwha, Cheongsong)

** Seoul, Daejeon, Sejong, Incheon, Gangwon-do(Gosung, Sockcho, Yangyang, Gangneung, Donghae, Samcheok), Gyeonggi-do(except Yeoncheon, Pocheon, Gapyeong, Namyangju, Yijeongbu, Yangju, Dongducheon, Paju), Chungcheongbuk-do(except Jecheon), Gyeongsangbuk-do(except Bongwha, Cheongsong, Uljin, Yeongdeok, Pohang, Kyeongju, Cheongdo, Kyeongsan), Jeollabuk-do, Gyeongsangnam-do(Geochang, Hamyang)

*** Busan, Daegu, Ulsan, Gangju, Jeollanam-do, Chungcheongbuk-do(except Jecheon), Gyeongsangbuk-do(Uljin, Yeongdeok, Pohang, Kyeongju, Cheongdo, Kyeongsan), Gyeongsangnam-do(except Geochang, Hamyang)

유 대비 두 배 이상의 단열성능을 지니고 있으며, 최근에는 준불연성능을 지닌 제품도 사용되고 있다(권영철, 2016).

3. 강화된 단열 및 방화기준 검토

3.1 건축물 에너지절약 설계기준 상의 단열기준

2018년 9월 1일자로 강화된 “건축물에너지절약설계기준”상의 지역별, 부위별 건축물의 열관류율기준은 Table 1과 같다.

강화된 기준에서는 중부지역을 세분하여 중부1지역과 중부2지역으로 나누어 지역별, 부위별 열관류율을 다르게 적용하고 있다(국토교통부, 2017).

중부1지역의 외기에 직접면한 공동주택 외벽과 지붕의 열관류율은 모두 0.150W/m^{2}K 이하를 만족하여야 하며, 중부2지역의 외기에 직접면한 공동주택 외벽과 지붕의 열관류율은 각각 0.170W/m^{2}K 이하와 0.150W/m^{2}K 이하를 만족하여야 함을 알 수 있다.

3.2. 건축용 단열재의 화재안전 기준

2015년 1월 발생한 의정부 화재 이후, 공동주택과 준다중이용시설 및 6층 이상의 건축물의 외벽 마감재료의 방화성능이 2016년 4월 8일자로 강화되었다.

하지만 이후에도 2017년 12월 제천 스포츠센터 화재, 2018년 1월 밀양 세종병원 화재 등 단열재와 직간접적으로 연관된 대형화재가 잇따르면서 단열재의 화재안전기준은 더욱 강화되었다.

「건축법 시행령」에서 외벽의 마감재료를 방화에 지장이 없는 재료로 해야 하는 건축물에 3층 이상 5층 이하 또는 높이 9미터 이상 22미터 미만인 건축물을 추가함에 따라 마감재료를 원칙적으로 불연재료 또는 준불연재료로 하되, 국토교통부장관이 정하여 고시하는 화재 확산 방지구조 기준에 적합하게 설치하는 경우 등에는 난연재료 사용할 수 있도록 하되, 5층 이하이면서 높이 22미터 미만인 건축물의 경우에는 난연재료 등으로 할 수 있도록 하였다(국토교통부, 2019).

또한「건축법 시행령」에서 외벽의 마감재료를 방화에 지장이 없는 재료로 해야 하는 건축물에 1층의 전부 또는 일부를 필로티 구조로 설치하여 주차장으로 쓰는 건축물을 추가함에 따라 필로티 구조로 외기(外氣)에 면하는 천장 및 벽체를 포함하는 건축물의 외벽 중 1층과 2층 부분에는 마감재료를 불연재료 또는 준불연재료로 하되, 마감재료를 구성하는 재료 전체를 하나로 보아 국토교통부장관이

고시하는 기준에 따라 난연성능을 시험한 결과 불연재료 또는 준불연재료에 해당하는 경우에는 난연재료를 단열재로 할 수 있도록 하였다.

2019년 8월 6일자로 시행된 건축법 시행령 제61조제2항제1호와 국토교통부령 제641호인 “건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙”에 따르면, 상업지역의 제1종 근린생활시설, 제2종 근린생활시설, 문화 및 집회시설, 종교시설, 판매시설, 의료시설, 교육연구시설, 노유자시설, 운동시설 및 위락시설의 용도로 쓰는 건축물로서 그 용도로 쓰는 바닥면적의 합계가 2천제곱미터 이상인 건축물과 의료시설, 교육연구시설, 노유자시설 및 수련시설의 용도로 쓰는 건축물과 3층 이상 또는 높이 9미터 이상인 건축물과 1층의 전부 또는 일부를 필로티 구조로 설치하여 주차장으로 쓰는 건축물의 외벽(필로티 구조의 외기(外氣)에 면하는 천장 및 벽체를 포함)에는 불연재료 또는 준불연재료를 마감재료(단열재, 도장 등 코팅재료 및 그 밖에 마감재료를 구성하는 모든 재료를 포함)로 사용하여야 한다. 다만, 외벽 마감재료를 구성하는 재료 전체를 하나로 보아 불연재료 또는 준불연재료에 해당하는 경우 마감재료 중 단열재는 난연재료로 사용할 수 있다.

5층 이하 또는 높이 22미터 미만인 건축물의 외벽(필로티 구조의 외기(外氣)에 면하는 천장 및 벽체를 포함)을 국토교통부장관이 정하여 고시하는 화재 확산 방지구조 기준에 적합하게 설치하는 경우에는 난연재료를 마감재료로 사용할 수 있다(국토교통부, 2019).

이상의 내용을 간단히 정리하면 Table 2와 같다.

Table 2. Reinforced Fire Safety on Insulation Application according to the Enforcement Ordinance and Regulations of Building Code

Exterior Finishing Insulation Requirements related to Fire Safety		Major Revision
Enforcement Ordinance of Building Code (enforced since Aug. 6, 2019)	Application target of exterior finishing materials for the protection of fire spread was broaden to the buildings over 3 stories and above 9m and buildings with piloti-structure parking lot on the ground floor.	Limited-combustible or incombustible insulations should be used as exterior insulations for buildings above 3 stories and above 9m and buildings with piloti-structure parking lot on the ground floor.
Enforcement Regulations on the Evacuation and Fireproof Construction Standards of Buildings (enforced since Aug. 6, 2019)	Exterior Finishing Insulation should be limited-combustible or incombustible. However it can be fire-retardant if it is installed as suitable for the protection of fire spread.	

3.3 강화된 단열 및 방화기준을 만족하는 단열 두께

강화된 건축물에너지절약기준과 화재 안전기준을 만족하는 건축물 부위별 단열재 종류별 두께는 Table 3과 같다.

Table 3. Required Thickness of Insulation to meet the revised insulation and fire safety standards for Central 1 Region (Unit : mm)

Building Envelope \ Insulation Type			Grade A*	Grade B**	Phenolic Foam***
Exterior Wall	Adjacent to Outside directly	Apartment House	220	255	130
		Others	190	225	120
	Adjacent to Outside indirectly	Apartment House	150	180	90
		Others	130	155	80
Roof	Adjacent to Outside directly		220	260	130
	Adjacent to Outside indirectly		155	180	90
Floor of lowest floor	Adjacent to Outside directly	Floor heating	215	250	130
		No floor heating	195	230	120
	Adjacent to Outside indirectly	Floor heating	145	170	90
		No floor heating	135	155	80

* Grade A : Glass Wool 48K, 64K, 80K, 96K, 120K
** Grade B : Glass Wool 24K, 32K, 40K
Mineral Wool 1, 2, 3
*** Thermal Conductivity of Phenolic Foam is 0.019W/mK

Table 3에서 볼 수 있듯이, 중부1지역의 외기에 직접 면한 공동주택 외벽의 경우, 준불연성능이 확보된 단열재인 “가”등급의 48K 이상의 유리섬유, “나”등급의 미네랄울, 페놀폼을 사용한다면 단열재 종류에 따라 220mm, 255mm, 130mm 이상을 써야함을 알 수 있다.

4. 고성능 진공단열재 단열재 고찰

현존하는 단열재 중 가장 열전도율이 낮은 진공단열재(VIPs; Vacuum Insulation Panels)는 특수한 재질의 외피재(Envelope)와 외피재 내부의 심재(Core Material), 그리고 단열재 내부의 공기와 수분을 흡착하는 흡착제(Getter)로 구성되어 있고, 단열성능을 극대화하기 위해 내부를 진공처리한 제품이다.



① Film ② Getter ③ Core
Fig. 1. Constitution of Vacuum Insulation Panel

진공단열재의 외피재는 알루미늄 박막 필름이 주로 사용되며, 진공단열재의 수명 및 신뢰성을 결정하는 중요한 소재이다.

진공단열재의 심재는 화이버글라스, 흄드실리카 등이 주로 사용되고 있으며, 외피재의 형태 유지 및 내부 가스 분자의 이동을 차단하여 열전달을 최소화한다. 뿐만 아니라, 진공단열재의 내부는 진공에 가까운 1mbar 전후의 극저압을 유지하기 때문에 심재는 진공단열재가 압착되지 않을 정도의 강성을 지니거나 저압상태에서 압축하여 심재의 복원력을 이용하여 진공단열재의 형상을 유지한다.

화이버글라스 심재를 사용한 진공단열재의 열전도율은 0.0018W/mK, 흄드실리카 심재를 사용한 진공단열재는 열전도율 0.0045W/mK을 갖고 있다. 진공단열재는 심재와 외피재 모두 불연성능을 지니고 있어 화재에 강한 불연자재로 유통되고 있다.

4.1 Fumed Silica 심재 진공단열재

나노미세입자인 Fumed Silica를 심재로 사용하여 만든 진공단열재로 주로 냉장고 단열재로 많이 사용되고 있다.

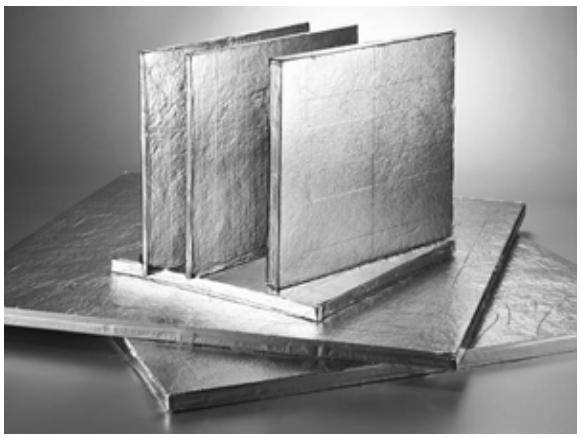


Fig. 2. Vacuum Insulation Panel using fumed silica as core material

Fumed Silica 심재를 사용한 진공단열재는 국내에서는 OCI와 경동원에서 생산 공급하고 있다.

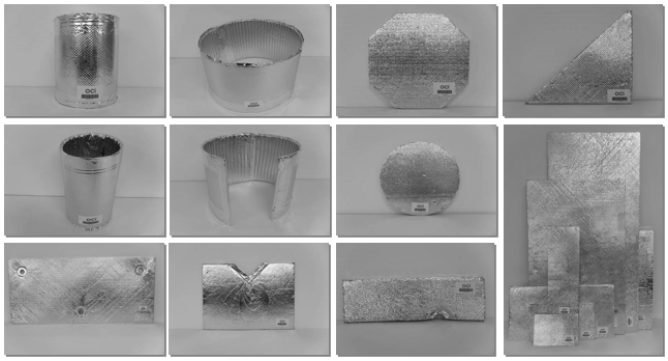


Fig. 3. Various shapes of Vacuum Insulation Panel according to the applied conditions

Fig. 3에서 볼 수 있듯이 진공단열재는 현장재단이 불가능한 점을 고려하여 현장여건에 맞게 미리 필요한 형태로 공장생산하고 있다.

진공단열재는 규격화되어 있는 패널용 단열재로 많이 적용되고 있는데, Fig. 4는 진공단열재가 주로 사용되고 있는 적용처를 보여주고 있다(OCI, 2015).

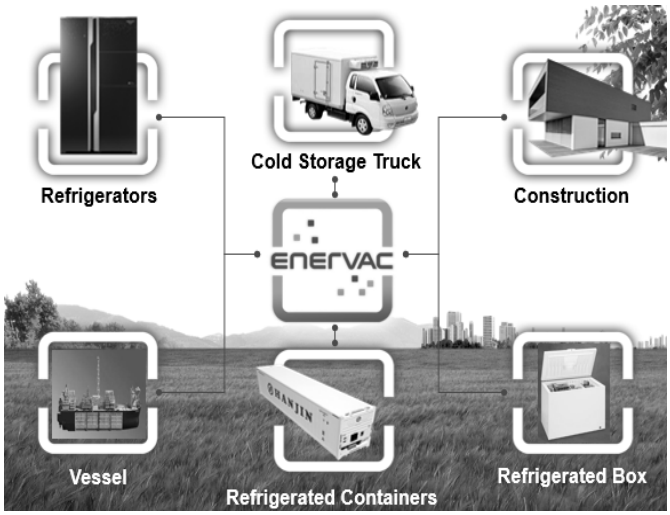


Fig. 4. Major applications of Vacuum Insulation Panel

Fig. 4에서 알 수 있듯이 진공단열재는 냉장고, 냉동트럭, 냉동 컨테이너, 냉동박스, 선박 및 건축용으로 사용되고 있다.

다음은 Passive House의 외피 및 국내 건축물에너지 절약기준상의 중부 1지역의 외피 열관류율 기준인 0.15W/m^{2}K이하를 충족하기 위한 각종 단열재들의 소요두께를 비교한 그림이다.

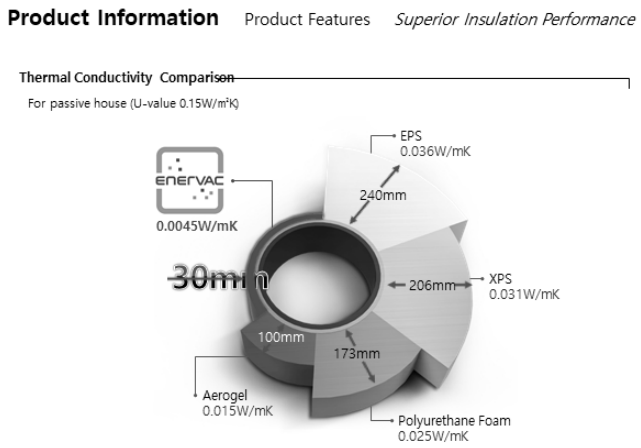


Fig. 5. Required Thickness of Insulation to meet the thermal transmittance of 0.15W/m2K

Fig. 5를 보면, 열관류율 0.15W/m^{2}K를 충족시키기 위해 Fumed Silica 심재를 사용한 진공단열재는 30mm, 에어로젤 블랭킷은 100mm, 비드법 보온판은 240mm가 소요되는 것을 알 수 있다.

4.2 Fiber Glass 심재 진공단열재

4.2.1 외피재인 필름(Film)

진공단열재에 적용되는 필름은 4가지 종류를 Dry Laminating시켜 제작된 특수한 필름으로 단열재를 보호하는 동시에 진공상태를 오랫동안 유지시켜 외부부로부터 유입될 수 있는 수분 및 기체를 차단시켜 단열재의 성능을 유지하는 중요한 역할을 한다.

Fig. 6은 진공단열재 외피재인 필름의 구성을 보여주고 있다.

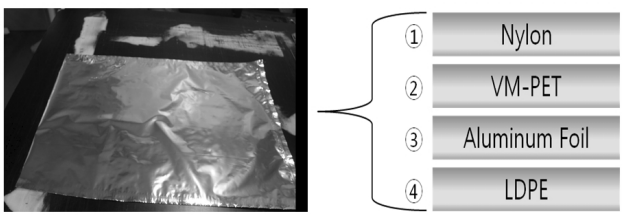


Fig. 6. Constitution of Film of Vacuum Insulation Panel

나일론은 멀티 필름에 유연성을 주어 필름이 접히거나 충격이 가해졌을 때 호일을 보호 하며, 호일의 변형을 방지하는 역할을 한다. VM-PET 필름에 특수 증착을 한 필름으로 외부에 투과하는 수분과 공기를 1차 차단하며, 호일의 깨짐을 보완하여 수명을 연장하는 역할을 하며, Aluminum Foil은 공기와 수분의 차단에 있어 현존하는 필름 중 가장 우수한 성능을 발휘하고 있으며, 외부와 내부의 공기와 수분의 교류를 차단한다. 마지막으로 LDPE는 제품의 파우치를 제작할 때 필름과 필름을 겹쳐서 열접착을 하여 실링을 하는데 실링 부위가 분리되지 않도록 잡아주는 역할을 한다.

4.2.2 Fiber Glass 심재(Core Material)

심재로 사용되는 Fiber Glass는 기본적인 단열 성능이 우수하며, 섬유의 두께는 3 ~ 5㎛으로 되어 있으며, 진공단열재 심재로 적용했을 때 우수한 단열성능을 가지며 불연재료에 속한다.

화염면 10%와 원심면 90%를 혼합하여 제작된 심재를 사용하며, 화염면은 심재강도를 높여 진공상태 시 유연성을 낮추고 모양을 유지시켜주는 역할을 하고 원심면은 단열성능을 높이기 위해 사용된다.

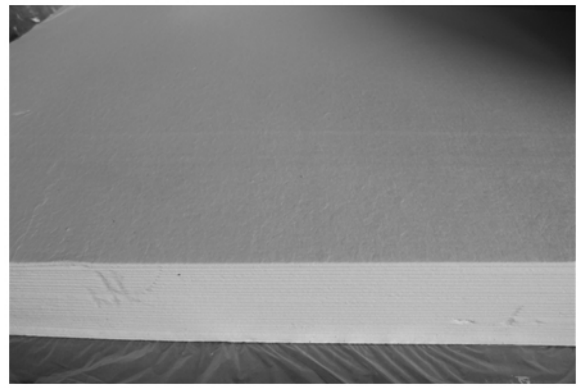


Fig. 7. Core material of Vacuum Insulation Panel

Fig. 7은 진공단열재의 심재로 사용되는 Glass Fiber를 보여주고 있다.

4.2.3 게터(Getter)

게터는 진공상태에서 잔류 기체 및 수분 흡착을 하는 역할로 제품의 성능을 유지시켜주는 제품이다. CaO 80%, Ba 5%, Zr 15% 로 구성되어 있으며, CaO는 수분을 흡착하는 역할을 하며 Ba는 질소를 흡착하는 역할, Zr은 산소를 흡착하는 역할을 한다.

Fig. 8은 진공단열재의 게터 형상을 보여주고 있다.

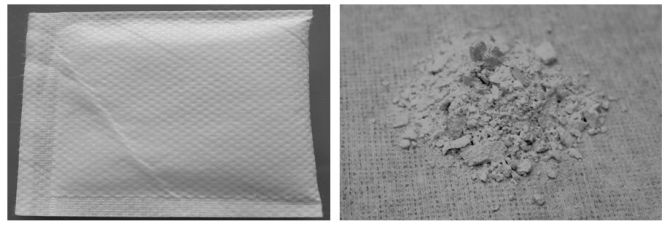
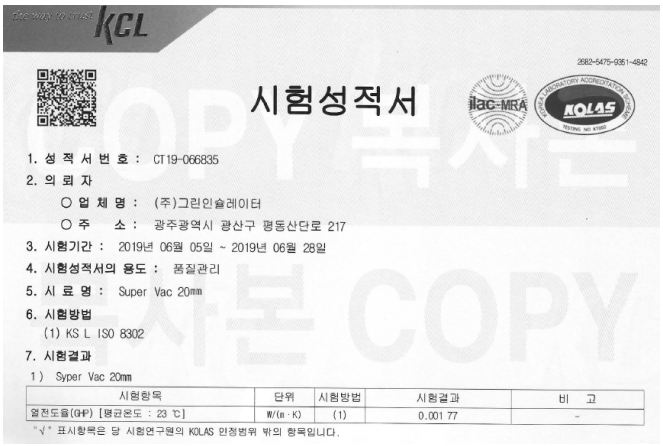


Fig. 8. Getter of Vacuum Insulation Panel

Fig. 9은 Fiber Glass 심재를 사용한 두께 20mm 진공단열재에 대한 KOLAS인증 시험기관으로부터의 열전도율 시험성적서를 보여주고 있다.



KCL

시험성적서

1. 성 적 서 번 호 : CT19-066835
2. 의 뢰 자
○ 업 체 명 : (주)그린인슐레이터
○ 주 소 : 광주광역시 광산구 평동산단로 217
3. 시험기간 : 2019년 06월 05일 ~ 2019년 06월 28일
4. 시험성적서의 용도 : 품질관리
5. 시 료 명 : Super Vac 20mm
6. 시험방법
(1) KS L ISO 8302
7. 시험결과
1) Syper Vac 20mm

시험항목	단위	시험방법	시험결과	비 고
열전도율(HFP) [평균온도 : 23 ℃]	W/(m·K)	(1)	0.001 77	-

"√" 표시항목은 당 시험연구원의 KOLAS 인정범위 밖의 항목입니다.

Fig. 9. Test result of Thermal Conductivity of Fiber Glass Core Vacuum Insulation Panel

Fig. 9의 시험결과로부터 Fiber Glass 심재 진공단열재의 열전도율은 0.00177W/m·K임을 알 수 있다. 따라서 Fumed Silica 심재를 사용한 진공단열재의 열전도율 0.0045W/m·K에 비해 2배 이상의 단열성능을 지니고 있음을 알 수 있다.

Table 4는 Fiber Glass 심재를 사용한 진공단열재의 열물리적인 특성을 보여주고 있다.

Table 4. Thermophysical Property of Fiber Glass Core Vacuum Insulation Panel

Thermophysical Property	SUPER VAC
Core Material	Fiber Glass
Thermal Conductivity	0.00177W/m·K
Density	250~300kg/m^3
Thickness	20mm
Working Temperature	-80~100℃
Fire Resistance	Incombustible Material

Fiber Glass 심재 진공단열재의 열전도율이 0.00177W/m·K이므로 20mm 두께의 진공단열재의 열저항은 11.3m^2·K/W로 단열재의 저항만으로도 0.088W/m^2·K의 열관류율을 얻을 수 있어 중부1지역의 외기에 면한 공동주택 외벽과 지붕의 열관류율 기준인 0.150W/m^2·K이하를 만족함을 알 수 있다. 따라서 국내 모든 지역 건축물의 모든 부위의 외피 단열기준을 만족할 수 있다.

Fig. 10은 제로에너지건축물을 위한 외피 열관류율 0.12W/m^2·K를 얻기 위한 열전도율 0.00177W/m·K인 Fiber glass 심재 진공단열재와 열전도율 0.034W/m·K인 비드법 보온판 2종 4호의 소요두께를 비교한 것을 보여주고 있다.

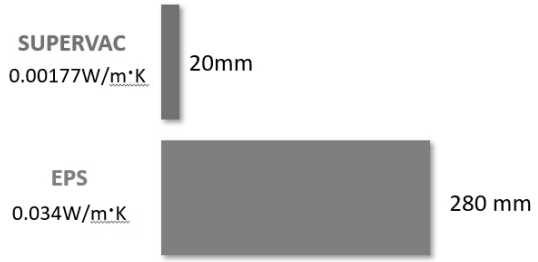


Fig. 10. Insulation thickness to get the thermal transmittance of 0.12W/m^2·K

Fig. 10으로부터 비드법 보온판 대비 1/14의 두께로 동일한 단열성능을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

5. 진공단열재의 불연 자재 성능시험

5.1. 불연 재료의 요건

국토교통부고시 제2019-473호의 "건축물 마감재료의 난연성능 및 화재 확산 방지구조 기준" 제2조에서 '불연재료는 다음 각호에 적합하여야 한다'라고 되어 있다.

1. 한국산업규격 KS F ISO 1182 (건축재료의 불연성 시험 방법)에 따른 시험결과, 가열시험 개시 후 20분간 가열로 내의 최고온도가 최종평형온도를 20K 초과 상승하지 않아야 하며(단, 20분 동안 평형에 도달하지 않으면 최종 1분간 평균온도를 최종평형온도로 한다), 가열종료 후 시험체의 질량 감소율이 30% 이하여야 한다.
2. 한국산업규격 KS F 2271(건축물의 내장 재료 및 구조의 난연성 시험방법) 중 가스유해성 시험 결과, 실험용 쥐의 평균행동정지 시간이 9분 이상이어야 한다.

5.2 불연성능 시험 개요

진공단열재의 불연 성능을 확인하기 위해, 두께 20mm 제품에 대한 불연 성능시험을 진행하였다.

제공된 시험체에 대해 국토교통부 고시 제 2019-473호(건축물 마감재료의 난연성능 및 화재 확산 방지구조 기준)에 의한 시험을 실시하여 불연재료 성능을 평가하였다.

불연 시험을 위한 시험체 구성표는 Table 5와 같다.

Table 5. Constitution of Test Specimen

Test Name		Incombustion Test			Gas Toxicity	
No. of Specimen		1	2	3	1	2
Size of Specimen (mm)	Diameter	45	45	45	L220*W220	L220*W220
	Height	50	50	50	25	25
Curing Period		(23±2)℃, (50±5) % 48h, staying onstant(0.1g)			constant-temperature oven (40℃) 24h, desiccator 24h	

Table 5에서 알 수 있듯이 불연 시험용 시편 3개와 가스유해성 시험용 시편 2개를 준비하였다.

이들 시편의 구성은 0.1mm Aluminium Film + 25mm Fiber Glass + 0.1mm Aluminium Film 같다.

5.3 시험결과

KOLAS 시험 인증기관인 한국건설생활환경시험연구원에 의뢰하여 얻어진 진공단열재에 대한 불연 성능 시험 결과는 Table 6와 같다.

Table 6. Test Result of Incombustible Vacuum Insulation Panel

Test Item \ Specimen No.		1	2	3	Suitability	Criterion
Incombustion Test	Rate of decrease in mass (%)	1.6	1.6	1.8	suitable	Less than 30
	Difference between highest temp. and last balance temp. (℃)	5.2	6.0	7.6	suitable	Not more than 20
Gas Toxicity	Average action stop time (min:second)	13:02	14:28		suitable	more than 9:00

Table 6에서 볼 수 있듯이, 진공단열재에 대한 불연성능 시험과 가스유해성시험 결과, 불연재료로 적합한 것으로 나타났다.

6. 불연 진공단열재의 건축적인 적용

6.1 불연 진공단열재의 장기 내구성

진공단열재는 주로 외피재(Film), 심재(Core Material), 게터(Getter)로 이루어져 있으며, 진공단열재의 장기신뢰성능은 전적으로 외피재에 의해 결정된다고 볼 수 있다.

외피재는 Nylon, VM-PET, Al Foil, LDPE를 다층으로 가공하여 인장력과 접착력을 유지하도록 만들어진다.

진공단열재의 장기신뢰성을 시험하는 공인시험규격은 미국의 ASTM C1484 (Standard Specification for Vacuum Insulation Panels)이 있다.

공인시험기관인 한국생활환경시험연구원에서 수행한 Green Insulator사의 Supervac 제품에 대한 장기신뢰성 시험 결과는 Fig. 11과 같다.

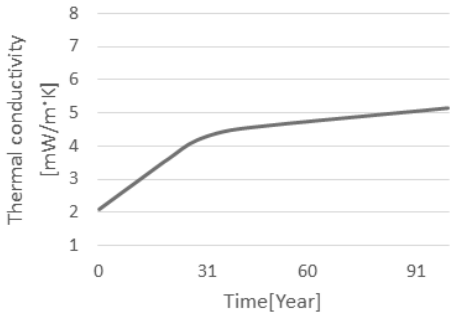


Fig. 11. Long term thermal conductivity of Vacuum Insulation Panel

장기신뢰성 평가 결과 25년 이후 초기 단열성능의 ½ 수준으로 단열성능 저하되는 것으로 나타났다. 내부압력 증가에 따라 열전도율(Thermal conductivity)이 증가하였고 25년 이후 초기 열전도율(Initial thermal conductivity)의 약 2배 수준으로 열전도율이 증가하는 것을 알 수 있다. 즉, 진공단열재의 초기열전도율 0.0021W/mK에서 0.004W/mK로 떨어지기까지 약 25년이 걸린다는 의미이다. 25년 후에도 일반적인 단열재인 스치로폼이나 유리섬유(열전도율 0.04W/mK)에 비해 여전히 약 10배 이상의 단열성능을 지니고 있음을 알 수 있다.

6.2 불연 진공단열재의 현장 시공성

Fiber Glass 심재를 사용한 진공단열재는 건축적인 활용을 위해 그동안 매우 취약했던 현장시공성 향상을 위해 관련 마감 소재를 개발하고, 전문 시공팀을 관리하며, 현장의 단열시공부위를 정밀실측하여 현장여건에 맞는 단열패널을 맞춤 제작하여 현장시공성이 떨어졌던 한계를 극복하고 있어, 건축적인 적용이 지속적으로 증가가고 있다.

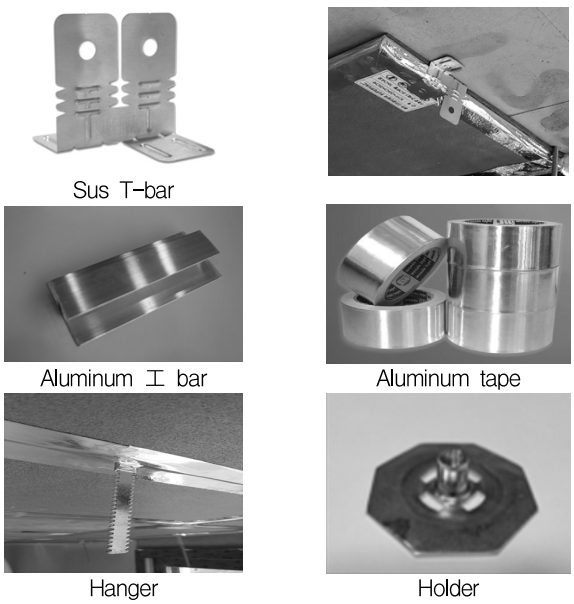


Fig. 12. Various fittings for easy attachment of Vacuum Insulation Panel

고성능 진공 단열재의 건축적인 적용이 지속적으로 증가하는 추세에 있으며, 내단열, 외단열, 천장 및 아파트 발코니 확장 부위 등에 주로 사용되고 있다.



Fig. 13. Vacuum Insulation Panel attached on the interior side of a wall using T-bar

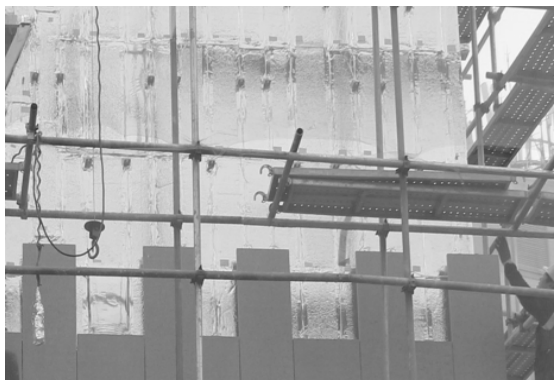


Fig. 14. Vacuum Insulation Panel attached on the exterior side of a wall using Holder

Fig. 13은 T-bar를 활용하여 진공단열재를 벽체의 내부에 설치한 장면이다.

Fig. 14는 석재마감의 외단열공사에 진공단열재가 적용되어 시공되고 있는 장면으로 고정 홀더를 사용하여 진공단열재를 고정시키고 있다.

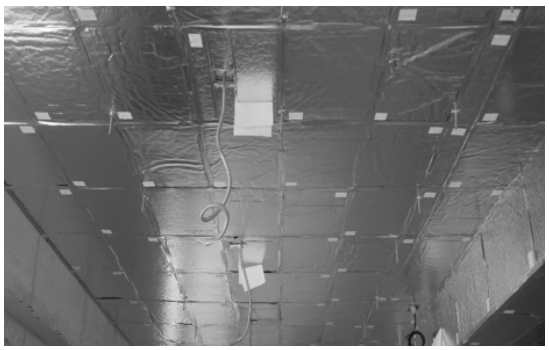


Fig. 15. Vacuum Insulation Panel attached on the ceiling using T-bar

Fig. 15는 T-bar를 활용하여 진공단열재를 천장에 설치한 장면이다.

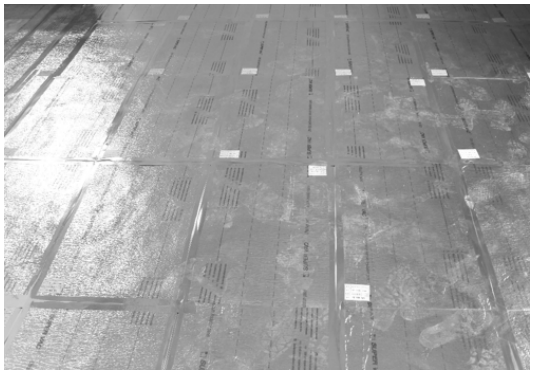


Fig. 16. Vacuum Insulation Panel attached on the floor using 工 bar and aluminum tape

Fig. 16은 工 bar와 알루미늄테이프를 활용하여 바닥에 시공된 진공단열재를 보여주고 있다.

6.3 불연 진공단열재의 가격경쟁력

고성능 진공단열재의 가격경쟁력을 알아보기 위해 2019년 4월 현재의 물가자료를 바탕으로 다른 단열재들과 공급가격을 비교해보았으며, 그 결과는 Table 7과 같다.

Table 7. Price competitiveness of Incombustible Vacuum Insulation Panel to meet the thermal transmittance of 0.12W/m^2·K

Classification	VIP	PF board	EPS 2 class
Thermal Conductivity (W/mK)	0.00177	0.020	0.034
Fire Resistance	Incombustible	Limited-combustible	Limited-combustible
Thickness(mm)	20	170	280
Total Insulation Price(Won/m^2)	62,920	77,792	72,072

Table 7으로부터 불연성능을 지닌 진공단열재 20mm 사용으로 열관류율 0.12W/m^2·K를 충족할 수 있으며, 동일한 단열성능을 확보하기 위해서 페놀폼(PF보드)는 170mm가 필요하며 m^2 당 가격은 진공단열재가 약 15,000원 절감되는 것을 알 수 있다.

진공단열재를 건축물에 적용할 경우에는 시공현장에서의 세심한 시공노하우가 요구되므로 진공단열재 전문시공팀을 활용하는 것이 필요하다.

7. 결 론

본 연구를 통하여 불연성이 확보된 Fiber Glass 심재 진공단열재의 방화성능 및 단열성능 확인과 함께 건축적인 적용가능성을 검토하였으며 그 내용을 정리하면 다음과 같다.

1) 20mm 두께의 Fiber Glass 심재 진공단열재의 열전도율이 0.00177W/m·K로, 두께 20mm로 지역별, 부위별 강화된 단열기준을 모두 충족할 수 있음을 알 수 있었다.

2) 진공단열재에 대한 불연성능시험과 가스유해성시험 결과, 불연재료로 적합한 것으로 나타났다.

3) 불연 진공단열재의 장기내구성 시험결과, 25년이 지나더라도 스치로폼 및 유리섬유에 비해 10배 이상의 단열성능을 유지할 수 있음을 알 수 있었다.

4) 건물의 외벽 열관류율 0.12W/m^2K 이하를 만족하기 위해, 준불연성능이 확보된 단열재인 "가"등급의 비드법 보온판 2종 4호와 페놀폼을 사용한다면 각각 280mm, 170mm 이상을 써야하지만, 불연 진공단열재는 20mm 두께로 동일 단열기준을 만족할 수 있는 것으로 나타났다.

5) 고성능 진공단열재는 열관류율 0.12W/m^2K 이하를 기준으로 가격경쟁력이 페놀폼 대비 약 15,000원/m^2 뛰어난 것으로 나타났다.

단열기준 및 화재안전기준 강화와 함께 유효공간 확보를 위한 소비자들의 요구에 따라 가격경쟁력까지 갖춘 고효율 진공단열재의 건축적인 적용이 급속히 증가할 것으로 기대된다.

후 기

본 논문은 2018년도 한국연구재단 연구비 지원에 의한 결과의 일부임. 과제번호:2017R1D1A3B03028249

참고문헌

1. 국토교통부(2017), "건축물 에너지절약설계기준", 「국토교통부 고시」, 제 2017~1108호.
2. 국토교통부(2019), "건축물 마감재료의 난연성능 및 화재확산 방지구조 기준", 「국토교통부고시」, 제2019 ~473호.
3. 국토교통부(2019), 건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙, 「국토교통부령」, 제641호.
4. 권영철, 박민수(2016). "준불연 저방사 복합 단열재 개발에 관한 연구", 「한국건축친환경설비학회논문집」, 제10권 6호, 135~141.
5. 권영철(2017), "건축물 에너지절약 설계기준에 따른 단열 Detail 연구", 「대한건축학회 2017년 춘계학술발표대회」.
6. 권영철(2017), "건축물 에너지 평가사-건축환경계획", 「한솔아카데미」, 120~122.
7. 대한건축사협회(2019), "페놀폼 단열재 사용자제 관련 알림", 알림 2019-026.
8. 박태성, 김경상(2019), "페놀폼 단열재의 물성 특성 및 성능 평가에 관한 연구", 「대한건축학회 2019 춘계학술발표대회」.
9. 서울건축산업연구원(2016), "단열재의 현장적용 방법에 관한 연구", 「서울시건축사회」.
10. OCI 기술자료(2015).
11. ASTM C1484, Standard Specification for Vacuum Insulation Panels.
12. JTBC 8시 뉴스(2019), JTBC 2019.9.25.
13. KS F 2271:2006, 건축물의 내장재료 및 구조의 난연성 시험방법.
14. Richard T. Bynum, Jr.(2001), 「INSULATION HAND BOOK」, McGraw-Hill.

LHI Journal (2019) 10(3):33-41 http://dx.doi.org/10.5804/LHIJ.2019.10.3.033
http://lhi.lh.or.kr

천공 및 차양조건에 따른 소규모 사무실의 주광 조도 감소범위 예측

The prediction of reduction ranges of daylight illuminance in small office for sky and shading conditions

장서연1

Seo Yeon Jang

(Received September 10, 2019 / Revised September 27, 2019 / Accepted October 11, 2019)

ABSTRACT

This study examines the distributions of daylight illuminance in a small office space under clear and cloudy sky conditions. Three shading conditions using Venetian blinds were applied for the analysis of daylight illuminance. Computer simulations using the Lightscacpe were conducted for the daylight conditions applied to the office space. Results indicate that the illuminance differences between clear and cloudy sky for south-facing conditions were greater than those for north-facing conditions. The differences in December and June were the greatest and smallest, respectively. For the north-facing conditions, the daylight illuminance at 10:00, 12:00 and 14:00 in June and September under the cloudy sky was higher than those under the clear sky conditions. For all daylight conditions, the biggest amount of illuminance reduction occurred when the shading device conditions were changed from the no blind to the 45 degree blinds. As the distance from window increased, the shading effect that occurred when the shading device conditions were changed from the horizontal blind to the 45 degree blinds increased.

Key words: Daylight illuminance(주광조도), Office space(사무공간), Sky condition(천공 조건), Daylight conditions(주광 조건), Illuminance difference(조도 차이)

1. 서 론

건축물에서 사용되는 전체 에너지 소비량 중, 전기조명에 관련된 에너지 소비량은 점차 증가하여 약 30%의 비율을 차지하는 것으로 알려져 있다(윤연주, 2013). 건축물의 에너지 소비의 감소를 위하여 창을 통하여 입사하는 주광(daylight)이 적극적으로 활용되는 경우 건축물에서 소비되는 조명 에너지의 양은 절감될 수 있다.

천공 조건은 시간의 변화에 따라 일정하지 않기 때문에 실내로 입사하는 주광의 양은 변화하게 된다(Nasrollahi et al., 2016). 일반적으로 사무 공간의 창에 사용되는 베네시안 블라인드(Venetian blind)는 내부로 들어오는 주광의 양을 적절히 조절하여 현휘(glare) 발생에 활용되어 시각적으로 편안한 환경을 만드는데 공헌하며, 조명과 냉·난방에 에너지의 절약에 이용된다(박웅규 외, 2013; 이석배, 1998). 그러나 자연채광을 활용하는 건물에서도 적절히 주광이 응용되지 않는 경우 에너지를 과다하게 소비하거나 시각적 불쾌감을 주는 경우도 발생한다(공효주 외, 2009).

실내 조명환경을 쾌적하게 유지하면서 건물의 조명 사용 에너지를 절감하기 위하여 주광이 효과적으로 활용되는 방안이 필요하다. 이를 위하여 천공조건 및 차양조건에 따라 변화하는 주광의 분포는 예측되어야 한다. 따라서, 본 연구에서 실제 이용되는 사무실을 대상으로 전기 조명이 사용되지 않는 조건에서 실내로 유입

1) 연세대학교 실내건축학과 대학원 석사과정(주저자 : seoyeon18@yonsei.ac.kr)

되는 주광의 분포가 분석되었다. 이를 위하여 창이 향하는 방향과 천공조건이 변화되는 경우, 차양 조건에 대하여 라이트스케이프(Lightscape)에 의한 시뮬레이션이 실시되었다.

2. 연구방법

본 연구에서 실내에 입사하는 주광조도 분포의 분석을 위하여 Lightscape 3.2프로그램이 활용되어 시뮬레이션이 실시되었다. Lightscape는 광속전달(Radiosity)과 광선추적(Ray Tracing)기술이 적용되어 직접광(Direct lighting)과 간접광(Indirect lighting)이 모두 계산되며, 조명과 재료의 물리량 변화에 대한 계산 결과 및 사실적 이미지 생성이 가능하다(문기훈, 2007; 장진우 외, 1999). Lightscape는 실내 조도, 휘도 및 3차원 이미지 분석 등이 가능한 시각적인 채광분석이 가능한 프로그램으로 알려져 있으며, 이에 대한 예측 오차는 최소 1.3%, 최대 9.8%이며, 평균 3.4%으로 알려져 있다(김정태 외, 2003)

Table 1. Simulation condition

Date	Sky condition	Time	Orientation
June/21 September/21 December/21	Clearsky Cloudysky	8 10 12 14 16	South North

시뮬레이션이 적용된 모델은 소규모 사무실로 가정되어, 장방형 형태로 설정되었다.

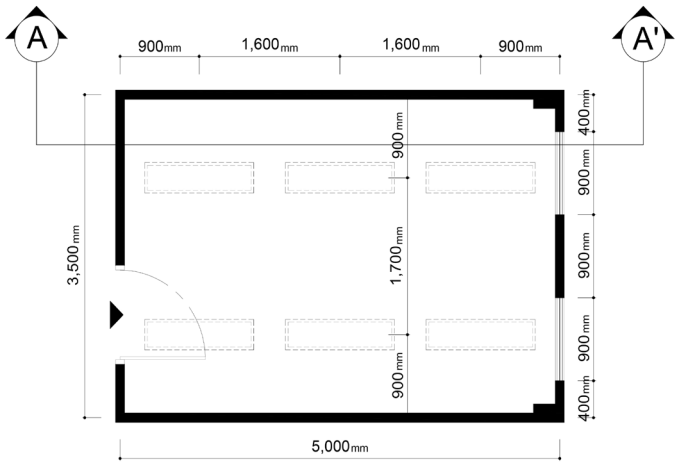


Fig. 1. Floor plan

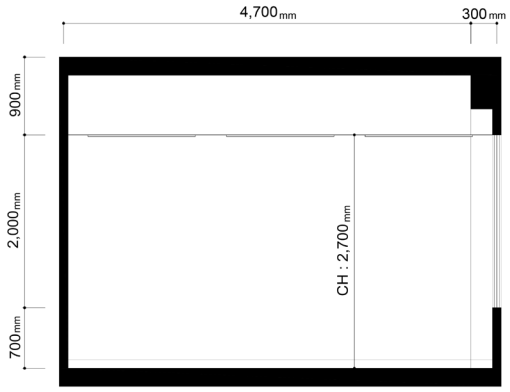


Fig. 2. Section A-A′ of office space

크기는 폭 3.5m, 깊이 5m, 높이 2.7m로 설정되었다. 사무실 공간의 세부적인 구성은 Fig. 1 ~ Fig. 3에 나타나 있다. 실을 구성하는 4개의 벽면 중 3.5m x 2.7m의 크기의 한 벽면에만 가로 0.9m, 세로 2m의 2개 창이 바닥으로부터 0.7m 이격되어 설치되었다. 창은 정남측 및 정 북측을 향하는 것으로 시뮬레이션에 가정되었다. 또한 Fig. 3에 나타나 있듯이, 창에는 블라인드가 설치되지 않은 경우, 수평으로 블라인드(Hor. Blind, ±0°)가 설치된 경우, 45°로 블라인드가 설치된 경우 세 가지의 차양조건이 적용되었다.

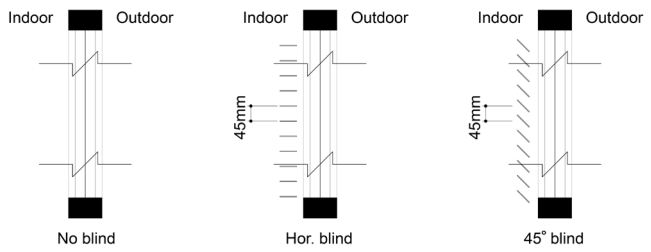


Fig. 3. Blind Angle

블라인드가 적용된 경우, 블라인드는 창의 면적을 모두 가리는 것으로 설정되었다. 블라인드 각 슬랫의 크기는 90cm x 5cm x 0.2cm로 설정 되었으며, 슬랫 간격은 4.5cm로 설정되어 적용되었다. 모델에 사용된 유리면의 빛에 대한 투과율은 65%, 반사율은 30%로 설정되었으며, 공간 내부의 천장면, 벽면, 바닥면의 반사율은 각각 80%, 50%, 40%로 설정되어 적용되었다. 사무실의 공간의 위치는 한국 내의 한 도시인 서울(위도: 37.54°N, 경도: -126.98°E)로 가정되었으며, 천공 조건은 라이트스케이프(Ligrtscape) 에서 지원하는 3가지 천공조건(clear sky, partly cloudy sky, cloudy sky) 중에서

청천공(clear sky)과 담천공(cloudy sky)이 사용되었다. 6월 21일, 9월 21일, 12월 21일이 대표일자로 선정되어 시뮬레이션에 적용되었으며, 사무 업무가 이루어지는 동안 주광의 영향을 받을 수 있는 오전 8시부터 두 시간 간격으로 오후 4시까지의 범위가 시뮬레이션에 적용되었다. 시뮬레이션에서 사용된 조건은 Table. 1에 요약되어 있다. 조도는 창이 있는 벽의 중심으로부터 0.5m 간격씩 이격되는 바닥지점에 대하여 예측되었다.

3. 시뮬레이션 결과

3.1. 천공과 차양 조건 별 실내 주광조도 변화 분포

조건 별 예측된 실내 주광조도의 변화의 예는 Fig. 4 ~ Fig. 15에 나타나 있다. 설정된 모든 경우에서 차양장치가 없는 경우, 수평 블라인드가 설치된 경우, 45° 블라인드가 설치된 순서로 높은 조도 분포가 나타났다.

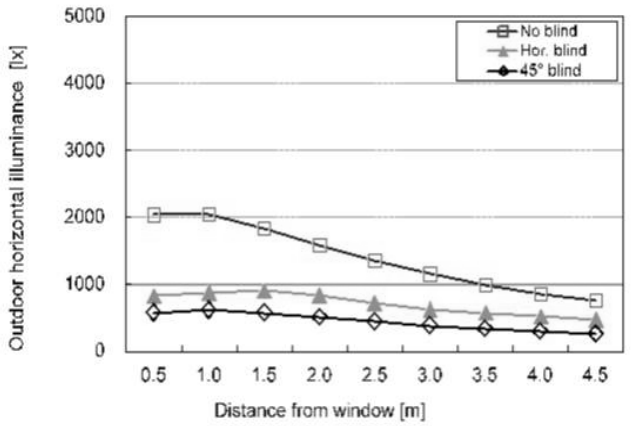


Fig. 4. Variation of indoor illuminance (Clear sky, South-facing, June/21, 12:00)

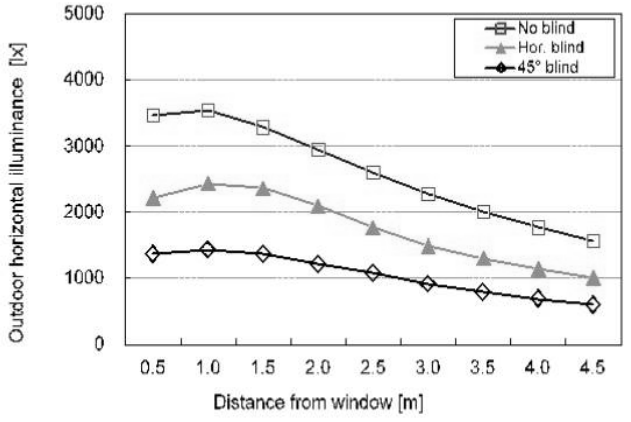


Fig. 5. Variation of indoor illuminance (Clear sky, South-facing, September/21, 12:00)

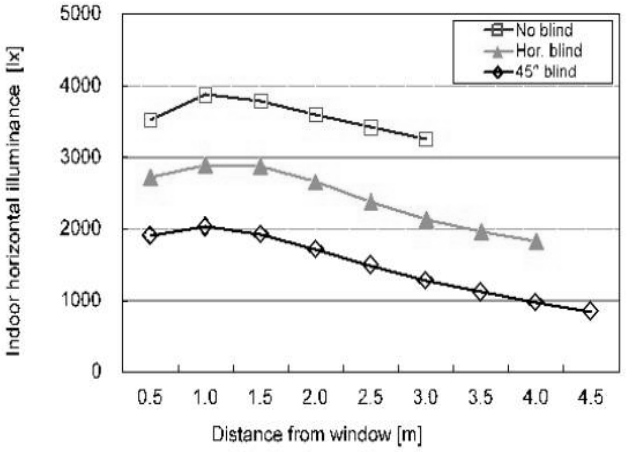


Fig. 6. Variation of indoor illuminance (Clear sky, South-facing, December/21, 12:00)

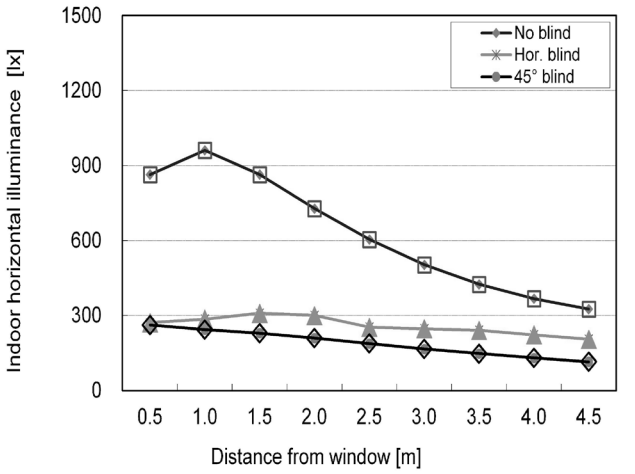


Fig. 7. Variation of indoor illuminance (Clear sky, North-facing, June/21, 12:00)

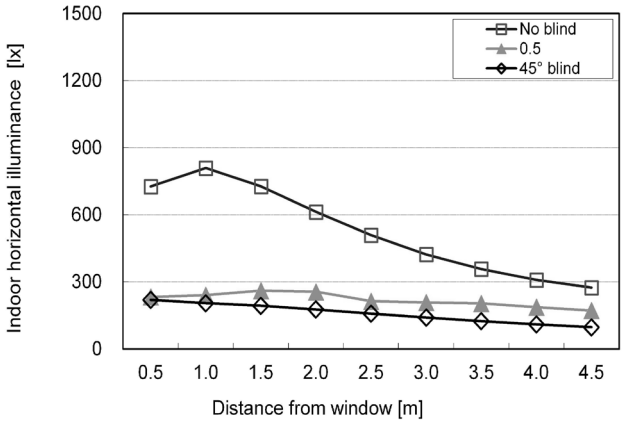


Fig. 8. Variation of indoor illuminance (Clear sky, North-facing, September /21, 12:00)

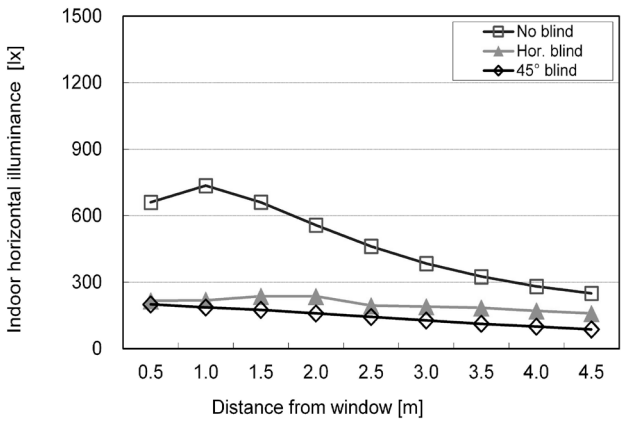


Fig. 9. Variation of indoor illuminance (Clear sky, North-facing, December/21, 12:00)

Fig. 4 ~ Fig. 9은 청천공 조건에서 5가지 시간 조건(8시, 10시, 12시, 14시, 16시) 중의 예로 12시일 때의 결과를 나타낸 것이다. 블라인드가 설치되지 않은 조건에서는 창이 남쪽을 향하는 경우 9월 14시 조건, 창이 북쪽을 향하는 경우 9월 16시 조건을 제외하고, 창으로 부터 이격거리가 1.0m떨어진 곳보다 멀어질수록 조도가 감소하는 것으로 나타났다. 수평 블라인드가 적용된 경우 창이 북쪽을 향하는 경우 12월 8시, 16시 조건을 제외하고, 창으로부터 이격거리가 1.5m떨어진 곳보다 멀어질수록 조도가 감소하는 것으로 나타났다. 45° 블라인드가 적용된 경우 창이 남쪽을 향할 경우 창으로부터 이격거리가 1.0m떨어진 곳보다 멀어질수록 조도가 감소하는 것으로 나타났다. 창이 북쪽을 향한 경우 창으로부터 이격거리가 0.5m떨어진 곳보다 멀어질수록 조도가 감소하는 것으로 나타났다.

창이 남쪽을 향하는 경우, 차양 장치가 없는 12월 조건에서 10시에 창으로 부터 이격거리가 2.0m인 지점에서 최대 값인 3,941.3 lx가 나타났으며, 45° 블라인드가 적용된 12월 조건에서 8시에 창으로 부터 이격거리가 4.5m인 지점에서 최소 값인 87.6 lx까지 조도 값이 나타났다. 창이 북쪽을 향하는 경우, 차양 장치가 없는 6월 조건에서 8시에 창으로 부터 이격거리가 1.0m인 지점에서 최대 값인 1,834.9 lx가 나타났으며, 45° 블라인드가 적용된 12월 조건에서 8시에 창으로 부터 이격거리가 4.5m인 지점에서 최소 값인 41.7 lx까지 조도 값이 나타났다.

이격 거리에 따른 조도 변화량의 크기는 창이 남쪽을 향하는 경우, 9월 14시 조건에서 블라인드가 설치되지 않았을 때 2,377.5 lx로 가장 큰 변화폭이 나타났으며, 12월 8시 조건에서 수평 블라인드가 설치되었을 때 95.1 lx로 가장 작은 변화폭이 나타났다. 예측된 하루 동안의 평균적인 조도 변화폭은 블라인드가 없는 경우 가장 크게 나타났으며, 6월 조건에서는 수평 블라인드가 설치되었을 때 45° 블라인드가 설치되었을 때보다 변화폭이 작게 나타났다. 9월과 12월 조건에서는 45° 블라인드가 설치되었을 때보다 변화폭이 크게 나타났다.

창이 북쪽을 향하는 경우, 6월 8시 조건에서 블라인드가 설치되지 않은 경우 1270.2 lx로 가장 큰 값이 나타났으며, 12월 8시 조건에서 수평 블라인드가 설치되었을 때 38.5 lx로 가장 작은 변화폭이 나타났다. 시간 별 평균 변화 폭은 블라인드가 설치되지 않은 경우, 45° 블라인드가 설치된 경우, 수평 블라인드가 설치된 경우 순으로 나타났다. 창이 남쪽을 향하는 경우와 북쪽을 향하는 경우의 측정된 하루 동안의 평균적인 조도 변화폭 값은 남쪽을 향할 때 더 큰 것으로 나타났다.

Fig. 10 ~ Fig. 15은 담천공 조건에서 5가지 시간 조건(8시, 10시, 12시, 14시, 16시)의 예로 12시에 예측된 조도 분포를 나타내고 있다. 블라인드가 설치되지 않은 조건에서의 조도는 모두 창으로 부터 이격거리가 1.0m떨어진 곳보다 멀어질수록 조도가 감소하는 것으로 나타났다. 수평 블라인드가 적용된 조건에서 창이 남쪽을 향하는 경우와 북쪽을 향하는 경우 모두 9월 조건의 8시, 16시와 12월 조건의 10시, 14시, 16시에서 창으로부터 이격거리가 2.0m떨어진 곳보다 멀어질수록 조도가 감소하는 것으로 나타났다. 그 외 조건에서는 창으로 부터 이격거리가 1.5m떨어진 곳보다 멀어질수록 조도가 감소하는 것으로 나타났다. 45° 블라인드가 적용된 경우 창이 북쪽을 향할 때와 창이 남쪽을 향할 때 모두 창으로부터 이격거리가 0.5m떨어진 곳보다 멀어질수록 조도가 감소하는 것으로 나타났다.

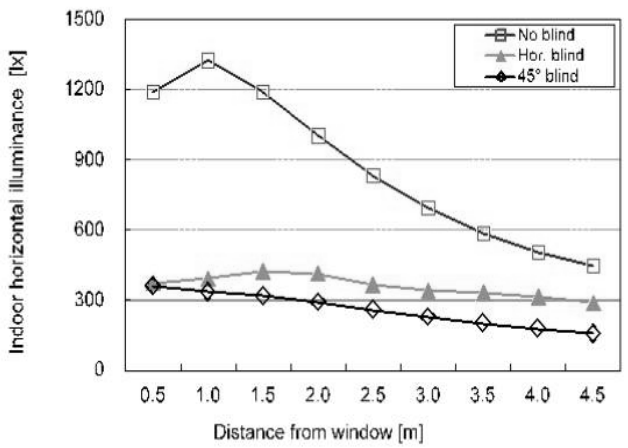


Fig. 10. Variation of indoor illuminance (Cloudy sky, South-facing, June/21, 12:00)

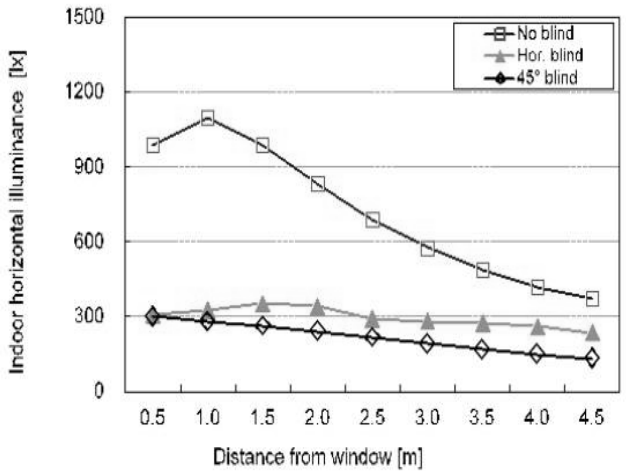


Fig. 11. Variation of indoor illuminance (Cloudy sky, South-facing, September/21, 12:00)

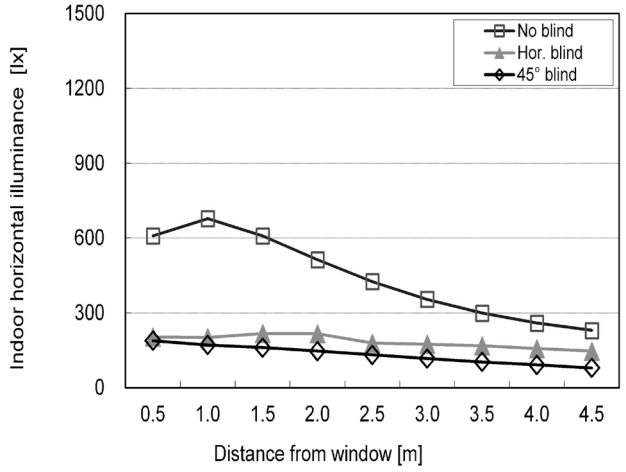


Fig. 12. Variation of indoor illuminance (Cloudy sky, South-facing, December/21, 12:00)

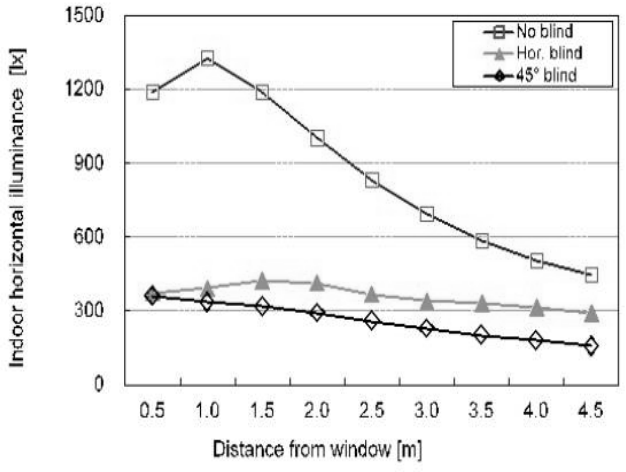


Fig. 13. Variation of indoor illuminance (Cloudy sky, North-facing, June/21, 12:00)

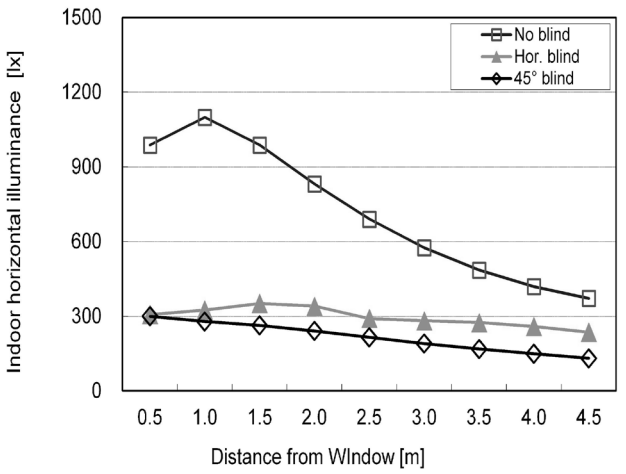


Fig. 14. Variation of indoor illuminance (Cloudy sky, North-facing, September/21, 12:00)

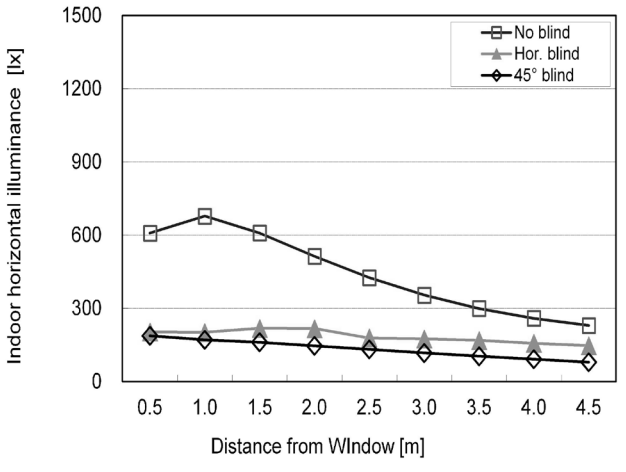


Fig. 15. Variation of indoor illuminance (Cloudy sky, North-facing, December/21, 12:00)

창이 남쪽을 향하는 경우, 차양 장치가 없는 6월 조건에서 12시에 창으로 부터 이격거리가 1.0m인 지점에서 최대 값인 1,323.8 lx가 나타났다. 또한, 45° 블라인드가 적용된 12월 조건에서 8시에 창으로 부터 이격거리가 4.5m인 지점에서 최소 값인 8.6 lx로 조도 값이 나타났다. 창이 북쪽을 향하는 경우, 차양 장치가 없는 6월 조건에서 10시에 창으로 부터 이격거리가 1.0m인 지점에서 최대 값인 1,120.3 lx가 나타났다. 45° 블라인드가 적용된 12월 조건에서 8시에 창으로 부터 이격거리가 4.5m인 지점에서 최소 값이 8.6 lx로 나타났다.

3.2. 천공 조건에 따른 조도 감소 비율

천공 조건간 실내 조도 감소비율은 식(1)이 적용되어 계산된 값으로 Table. 2 - Table. 3에 나타나있다.

$$\frac{\text{청천공 조건에서 조도} - \text{담천공 조건에서 조도}}{\text{청천공 조건에서 조도}} \times 100 - (1)$$

창이 남쪽을 향하는 경우, 천공 조건별 조도비율은 최소 15.26%부터, 최대 95.63%까지 나타났다. 12월, 9월, 6월 순으로 높은 비율 값이 나타났으며, 6월, 9월, 12월 조건에서 모두 수평 블라인드가 적용되었을 때 다른 차양 조건에 비교하여 비율 값이 높게 나타났다. 6월의 경우 모든 차양 조건에서 14시에 비율이 가장 크게 나타났으며, 16시에 가장 낮게 나타났다. 9월과 12월의 경우 관측 시간에 따른 비율 변화가 뚜렷하게 나타나지 않았다.

창이 북쪽을 향하는 경우, 천공 조건별 조도비율은 최소 -41.05%부터, 최대 80.12%까지 나타났다. 6월과 9월의 경우 10시, 12시, 14시에서 음수 값이 나타났으며, 12월의 경우 차양 장치가 없을 때 14시에서만 음수 값이 나타났다. 모든 측정 일자 조건에서 이격 거리간의 천공 조건별 비율 값의 차이는 뚜렷하게 나타나지 않았다.

천공 조건별 조도비율이 값이 높은 것은 청천공에서 더 높은 실내 수평조도 값이 나타난 것을 의미하며, 음수 값의 경우 담천공에서 더 높은 조도 값이 나타난 것을 의미한다. 따라서 창이 남쪽을 향하는 경우 청천공에서의 조도가 담천공에서의 조도보다 항상 높게 나타났고, 12월에 그 차이가 가장 크고 6월에 작은 것으로 분석되었다. 창이 북쪽을 향하는 경우 6월과 9월, 10시,

Table 2. Reduction of daylight illuminance by formula (1) (South-facing, unit; [%])

Month	Time	Distance from Window [m]											
		No blind				Hor. blind				45° blind			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
June	8	25.8	25.8	20.6	25.8	25.7	23.9	25.5	25.9	25.9	26.4	26.0	26.1
	10	30.0	29.0	29.6	30.3	33.8	30.8	28.5	26.8	41.6	39.0	36.7	35.7
	12	35.4	36.8	39.9	41.4	55.0	50.4	45.3	39.8	45.3	43.0	40.6	39.8
	14	51.4	38.7	41.0	42.3	60.1	55.2	51.1	45.9	53.6	51.1	49.1	48.6
	16	15.3	15.3	15.3	15.3	23.8	21.4	20.7	21.8	18.6	18.3	17.8	17.8
Sep	8	79.1	78.1	77.2	76.6	80.9	77.2	76.5	73.6	79.3	80.0	77.5	76.7
	10	-	75.7	76.1	76.4	86.1	83.1	80.6	77.7	80.5	80.5	79.8	78.4
	12	68.9	71.7	74.8	76.3	86.6	83.7	81.0	77.4	80.5	80.2	79.2	78.2
	14	-	75.4	76.5	77.1	86.5	83.6	81.0	77.6	80.8	80.4	79.4	78.5
	16	78.3	77.4	76.7	76.2	84.7	81.2	79.5	77.0	79.7	80.0	78.3	77.9
Dec	8	89.3	89.4	89.3	88.9	91.2	91.3	90.4	89.6	90.6	90.6	90.5	90.5
	10	89.2	90.7	92.1	92.9	94.7	93.7	93.7	93.0	91.6	91.4	91.0	90.7
	12	82.5	85.7	89.1	-	93.0	91.8	91.8	91.4	91.6	91.4	90.8	90.6
	14	86.8	-	-	91.8	93.9	92.9	-	91.8	91.7	91.5	90.9	90.6
	16	90.9	92.2	93.0	92.6	95.6	95.1	95.0	93.8	92.2	92.3	91.7	91.5

Table 3. Reduction of daylight illuminance by formula (1) (North-facing, unit; [%])

Month	Time	Distance from Window [m]											
		No blind				Hor. blind				45° blind			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
June	8	61.4	58.9	58.1	57.6	68.4	62.1	59.9	58.1	66.6	63.2	60.6	59.7
	10	-9.1	-9.1	-9.1	-9.0	-8.7	-8.9	-8.9	-9.7	-9.2	-9.4	-9.2	-9.1
	12	-37.8	-37.8	-37.8	-37.7	-37.4	-38.0	-38.1	-41.0	-37.6	-38.0	-37.1	-37.0
	14	-28.6	-28.5	-28.6	-28.7	-28.1	-28.8	-28.7	-29.8	-8.9	-28.8	-28.1	-28.3
	16	11.6	11.6	11.6	11.6	11.3	11.1	11.5	13.2	11.7	11.9	11.7	11.8
Sep	8	42.1	42.1	42.1	42.1	42.6	39.9	42.0	39.8	42.0	42.0	43.0	42.7
	10	-9.4	-9.4	-9.4	-9.3	-9.5	-8.4	-9.3	-9.7	-9.6	-9.5	-9.3	-9.5
	12	-35.9	-35.8	-36.1	-35.7	-35.3	-33.2	-35.3	-38.5	-36.5	-36.5	-35.7	-36.2
	14	-24.5	-24.4	-24.7	-24.4	-24.4	-22.3	-24.2	-26.2	-25.0	-24.8	-24.3	-24.7
	16	19.0	18.9	19.0	21.2	18.8	16.4	18.7	18.0	19.1	19.6	19.2	19.3
Dec	8	78.1	78.2	77.9	77.5	79.8	81.1	79.2	78.8	80.0	80.1	79.5	79.7
	10	30.3	30.4	30.3	30.4	30.9	28.5	30.3	27.6	30.3	30.4	31.3	30.9
	12	7.9	7.9	7.9	7.8	7.8	8.0	7.8	7.9	8.0	8.1	8.0	8.1
	14	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	15.8	14.5	15.8	13.4	15.7	16.1	16.3	16.9
	16	51.6	51.7	51.5	51.2	52.5	51.8	51.8	51.6	50.9	51.0	51.3	51.1

12시, 14시 조건에서 담천공의 조도가 더 높은 것으로 나타났다.

3.3. 차양 조건별 조도 감소 비율

$$\frac{\text{블라인드가 없는 조건에서 조도} - \text{수평블라인드 조건에서 조도}}{\text{블라인드가 없는 조건에서 조도}} \times 100 \quad (2)$$

$$\frac{\text{블라인드가 없는 조건에서 조도} - 45^\circ \text{ 블라인드 조건에서 조도}}{\text{블라인드가 없는 조건에서 조도}} \times 100 \quad (3)$$

$$\frac{\text{수평 블라인드 조건에서 조도} - 45^\circ \text{ 블라인드 조건에서 조도}}{\text{수평 블라인드 조건에서 조도}} \times 100 \quad (4)$$

차양조건간 실내 조도 감소 비율은 식(2), (3), (4)이 적용되어 계산된 값으로(이하 (No-Hor.) blind/ No blind, (No-45°) blind/ No blind, (Hor.-45°) blind/ Hor. blind) Table. 4 - Table. 7에 나타나 있다. 모든 경우에서 조도 감소비율은 양의 값이 나타났다.

청천공 조건에서 창이 남쪽을 향하는 경우와 북쪽을 향하는 경우 모두 (No-45°) blind/ No blind에서 가장 값이 큰 것으로 나타났다. (No- Hor.) blind/ No blind와 (No-45°) blind/ No blind의 결과와 반대로

Table 4. Reduction of daylight illuminance by formula (2), (3)& (4) (Clear sky, South-facing, unit; [%])

x	Time	Distance from Window [m]											
		(No- Hor.) blind/No blind				(No - 45°) blind /No blind				(Hor. - 45°) blind /Hor. blind			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
June	8	70.3	58.8	51.0	39.6	74.7	71.2	67.0	64.5	14.7	30.0	32.7	41.2
	10	68.7	58.0	51.8	41.2	69.6	66.3	63.3	61.4	2.7	19.8	23.8	34.4
	12	57.4	47.5	46.0	39.5	70.1	68.0	66.8	65.6	29.7	39.1	38.5	43.1
	14	64.0	43.6	40.7	33.9	73.5	63.8	61.8	60.1	26.4	35.8	35.6	39.7
	16	67.0	55.6	47.6	34.5	73.6	70.1	66.0	63.4	20.2	32.7	35.1	44.1
Sep	8	67.6	58.5	52.1	44.4	74.4	68.7	67.0	64.8	21.0	24.5	31.1	36.8
	10	-	40.5	39.6	35.9	-	64.1	61.0	61.1	39.0	39.6	35.4	39.4
	12	31.2	28.8	34.8	35.3	59.5	58.7	59.9	61.3	41.2	42.0	38.5	40.1
	14	-	38.6	39.3	37.2	-	63.8	62.3	62.2	40.1	41.1	37.9	39.7
	16	57.7	48.4	43.9	36.9	72.9	67.7	64.6	61.9	36.0	37.4	36.8	39.6
Dec	8	66.7	54.5	47.8	37.7	73.6	70.5	66.0	63.4	20.7	35.1	34.9	41.3
	10	39.5	36.6	37.9	36.4	67.8	69.2	71.5	73.4	46.7	51.4	54.1	58.2
	12	25.4	26.2	34.4	-	47.6	52.5	60.7	-	29.7	35.5	40.2	46.8
	14	35.5	-	-	38.2	59.6	-	-	69.6	37.3	44.5	-	50.8
	16	38.8	32.5	30.8	26.2	69.9	70.8	72.1	69.3	50.9	56.8	59.6	58.3

Table 5. Reduction of daylight illuminance by formula (2), (3)& (4) (Clear sky, North-facing, unit; [%])

Month	Time	Distance from Window [m]											
		(No - Hor.) blind/No blind				(No - 45°) blind /No blind				(Hor. - 45°) blind /Hor. blind			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
June	8	70.2	57.8	54.0	39.7	74.7	71.4	69.2	64.6	15.0	32.3	33.1	41.4
	10	70.4	59.1	51.1	38.3	74.6	71.1	67.0	64.4	14.2	29.2	32.5	42.3
	12	70.4	58.8	50.9	38.0	74.7	71.1	67.1	64.7	14.5	30.0	33.1	43.1
	14	70.4	58.8	50.9	38.0	74.7	71.1	67.1	64.5	14.4	29.9	33.0	42.7
	16	70.3	58.8	51.0	39.6	74.6	71.2	67.0	64.5	14.7	30.0	32.7	41.2
Sep	8	70.5	56.7	50.6	37.3	74.7	71.4	67.5	64.9	14.3	33.8	34.1	44.1
	10	70.3	58.7	50.8	39.5	74.7	71.2	66.9	64.5	14.8	30.3	32.7	41.3
	12	70.4	59.1	51.0	38.3	74.6	71.1	67.0	64.4	14.3	29.3	32.5	42.3
	14	70.3	59.0	51.0	38.7	74.6	71.1	67.0	64.4	14.6	29.5	32.7	42.0
	16	70.2	57.0	50.6	39.0	74.7	71.5	67.0	64.7	15.1	33.6	33.2	42.1
Dec	8	72.7	62.7	53.2	41.5	77.0	73.9	69.8	68.6	15.6	30.2	35.5	46.3
	10	70.4	56.7	50.6	37.3	74.7	71.4	67.5	64.9	14.5	34.1	34.2	44.1
	12	70.2	57.8	50.6	39.7	74.7	71.5	67.0	64.7	15.1	32.4	33.2	41.5
	14	70.2	56.9	50.5	37.8	74.6	71.4	67.1	65.0	14.8	33.7	33.4	43.7
	16	70.7	57.0	50.7	38.2	74.3	71.0	66.9	64.9	12.4	32.6	32.9	43.2

Table 6. Reduction of daylight illuminance by formula (2), (3)& (4) (Cloudy sky, South-facing, unit: [%])

Month	Time	Distance from Window [m]											
		(No - Hor.) blind/No blind				(No - 45°) blind /No blind				(Hor. - 45°) blind /Hor. blind			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
June	8	63.7	54.3	48.4	38.8	70.9	68.1	64.9	62.8	19.7	30.1	32.0	39.2
	10	70.4	59.1	51.0	38.6	74.7	71.2	67.0	64.4	14.5	29.5	32.6	42.1
	12	70.3	58.9	51.0	39.4	74.7	71.2	67.0	64.5	14.6	30.0	32.6	41.4
	14	70.3	58.9	51.0	38.6	70.1	71.2	67.0	64.5	-0.9	29.9	32.7	42.2
	16	70.4	59.1	51.1	38.2	74.6	71.1	67.0	64.4	14.2	29.3	32.5	42.4
Sep	8	70.3	58.3	50.8	39.5	74.8	71.4	66.9	64.6	15.0	31.4	32.8	41.5
	10	70.3	58.3	50.8	39.5	74.8	71.2	66.9	64.5	14.9	31.0	32.7	41.3
	12	70.3	58.3	50.8	39.5	74.7	71.2	66.9	64.5	14.9	31.0	32.7	41.4
	14	70.3	58.3	50.8	39.5	74.7	71.2	66.9	64.5	14.9	30.9	32.7	41.3
	16	70.3	58.3	50.8	41.2	74.8	71.2	66.9	65.5	14.9	31.0	32.7	41.3
Dec	8	70.5	56.8	50.2	37.7	74.7	71.4	67.4	65.1	14.3	33.7	34.6	44.0
	10	70.3	57.8	50.6	39.5	74.8	71.5	67.0	64.6	15.1	32.3	33.1	41.6
	12	70.3	57.7	50.7	39.4	74.8	71.4	67.0	64.6	15.0	32.4	33.0	41.5
	14	64.6	49.6	41.3	27.9	69.9	65.9	60.7	57.8	15.0	32.4	33.0	41.5
	16	70.3	57.0	50.6	37.6	74.7	71.4	67.1	65.0	14.9	33.6	33.4	43.9

Table 7. Reduction of daylight illuminance by formula (2), (3)& (4) (Cloudy sky, North-facing, unit: [%])

Month	Time	Distance from Window [m]											
		(No - Hor.) blind/No blind				(No - 45°) blind /No blind				(Hor. - 45°) blind /Hor. blind			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
June	8	70.3	57.8	50.7	39.5	74.8	71.4	67.0	64.6	15.1	32.3	33.1	41.5
	10	70.5	59.1	51.1	38.3	74.6	71.1	67.0	64.4	14.1	29.2	32.5	42.3
	12	70.4	58.8	50.9	37.9	74.7	71.1	67.2	64.7	14.4	30.0	33.1	43.1
	14	70.5	58.8	50.9	38.1	74.7	71.1	67.1	64.6	14.3	29.9	33.0	42.8
	16	70.3	58.9	51.0	39.4	74.7	71.2	67.0	64.5	14.6	30.0	32.7	41.4
Sep	8	70.6	56.8	50.7	37.1	74.8	71.3	67.5	64.9	14.1	33.7	34.1	44.2
	10	70.3	58.7	50.8	39.3	74.7	71.2	66.9	64.5	14.9	30.3	32.7	41.5
	12	70.4	59.1	51.1	38.3	74.6	71.1	67.0	64.4	14.1	29.2	32.5	42.3
	14	70.3	59.1	51.0	38.6	74.6	71.1	67.0	64.4	14.5	29.5	32.6	42.0
	16	70.3	57.0	50.6	38.8	74.8	71.5	67.0	64.7	15.2	33.6	33.1	42.3
Dec	8	72.8	62.7	53.1	41.4	77.0	73.9	69.8	68.6	15.2	30.2	35.5	46.4
	10	70.5	56.7	50.6	37.1	74.8	71.4	67.5	64.9	14.3	34.1	34.1	44.3
	12	70.3	57.8	50.6	39.5	74.8	71.5	67.0	64.7	15.2	32.4	33.2	41.7
	14	70.3	57.0	50.6	37.6	74.7	71.4	67.1	65.0	14.9	33.6	33.4	43.9
	16	70.8	57.0	50.8	38.1	74.3	71.0	66.9	64.9	12.1	32.5	32.8	43.3

(Hor.-45°) blind /Hor. blind에서는 창으로부터 이격거리가 멀어질수록 값이 커지는 것으로 나타났다. 창이 남쪽을 향하는 경우, 12월에 (No- Hor.) blind/No blind 12시, 14시와 (No-45°) blind /No blind 10시, 12시, 14시 16시의 경우에도 이격거리가 멀어질 수로 값이 커지는 것으로 나타났다. 또한 남쪽을 향하는 경우 같은 지점에서 시간 별 조도 비율 값의 차이가 최대 36.4%으로 나타났고, 북쪽을 향하는 경우 최대 6.7%로 나타났다.

담천공 조건에서 창이 남쪽을 향하는 경우와 북쪽을 향하는 경우 경우의 차이는 최대 0.197부터 최소 -0.191까지로 차양 조건 별 조도비율 분포 값은 청천공 조건에 비하여 차이가 작게 나타났으며, 6월, 9월, 12월의 차양 조건별 조도비율 분포 값 역시 차이가 미미한 것으로 나타났다. 창이 남쪽을 향하는 경우와 북쪽을 향하는 경우 모두 (No-45°) blind/ No blind 에서 값이 가장 높게 나타났다. (No-Hor.) blind/ No blind 와 (No-45°) blind/ No blind의 결과와 반대로 (Hor.-45°) blind/ Hor. blind에서는 창으로부터 이격 거리가 멀어질수록 값이 커지는 것으로 나타났다.

차양 조건간 조도 비율의 값이 클수록 두 차양 조건간의 차양 효과의 차이가 큰 것을 의미한다. 블라인드가 없는 경우에 대한 45° 블라인드 적용시의 차양 효과가 모든 조건에서 가장 큰 것으로 나타났으며, 수평블라인드와 45° 블라인드의 차양 효과는 창으로부터 이격 거리가 멀어질수록 차이가 증가하는 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서 소규모 사무실공간을 대상으로 천공 및 차양조건에 따른 주광조도 변화 분포가 분석 되었다. 결론은 다음과 같다.

(1) 청천공 조건의 경우, 블라인드가 설치되지 않은 조건에서는 창이 남쪽을 향하는 경우 9월 14시 조건, 창이 북쪽을 향하는 경우 9월 16시 조건을 제외하고, 창으로 부터 이격거리가 1.0m 떨어진 곳보다 멀어질수록 조도가 감소하는 것으로 나타났다. 수평블라인드가 적용된 경우 창이 북쪽을 향하는 경우 12월 8시, 16시 조건을 제외하고, 창으로부터 이격거리가 1.5m 떨어진 곳보다 멀어질수록 조도가 감소하는 것으로 나타났다. 45° 블라인드가 적용된 경우 창이 남쪽을 향할 경우 창으로부터 이격거리가 1.0m 떨어진 곳보다 멀어질수록 조도가 감소하는 것으로 나타났다. 창이 북쪽을 향한 경우 창으로부터 이격거리가 0.5m 떨어진 곳보다 멀어질수록 조도가 감소하는 것으로 나타났다.

(2) 담천공 조건의 경우, 블라인드가 설치되지 않은 조건에서의 조도는 모두 창으로 부터 이격거리가 1.0m 떨어진 곳보다 멀어질수록 조도가 감소하는 것으로 나타났다. 수평블라인드가 적용된 경우 창이 남쪽을 향하는 경우와 북쪽을 향하는 경우 모두 9월 조건의 8시, 16시와 12월 조건의 10시, 14시, 16시에서 창으로부터 이격거리가 2.0m 떨어진 곳보다 멀어질수록 조도가 감소하는 것으로 나타났다. 그 외 조건에서는 창으로부터 이격거리가 1.5m 떨어진 곳보다 멀어질수록 조도가 감소하는 것으로 나타났다. 45° 블라인드가 적용된 경우 창이 북쪽을 향할 때와 창이 남쪽을 향할 때 모두 창으로부터 이격거리가 0.5m 떨어진 곳보다 멀어질수록 조도가 감소하는 것으로 나타났다.

(3) 창이 남쪽을 향하는 경우, 북쪽을 향하는 경우보다 청천공과 담천공의 조도 차이가 크고, 12월에 그 차이가 가장 크고 6월에 가장 작은 것으로 분석되었다. 창이 북쪽을 향하는 경우 6월과 9월, 10시, 12시, 14시 조건에서 담천공의 조도가 더 높은 것으로 나타났다.

(4) 블라인드가 없는 경우에 대한 45° 블라인드 적용시의 차양 효과가 모든 조건에서 가장 큰 것으로 나타났으며, 수평블라인드와 45° 블라인드의 차양 효과는 창으로부터 이격 거리가 멀어질수록 차이가 커지는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 문기훈, “LIGHTSCAPE를 이용한 채광성능 시뮬레이션”, 조명전기설비학회 논문집, 2007
2. 김정태, 정유근, 문기훈, “채광성능 평가용 시뮬레이션 프로그램의 비교분석”, 한국태양에너지학회 논문집, 2003
3. 장우진, 홍성욱, “Lightscape을 사용한 조명 시뮬레이션”, 조명전기설비학회 논문집, 1999
4. 윤연주, “사무실 자동 조명 및 쉐이딩 제어 시스템 에너지 절감 효과 분석”, 한국생활환경학회지, 2013
5. 공효주, 이진성, 안현태, 김정태, “방위에 따른 정측창 시스템의 채광성능 평가”, 한국태양에너지학회 논문집, 2009
6. 박웅규, 박태주, 강규민, 이상엽, 송두삼, “실내 주광조도 분포 예측식의 제안 및 검증”, 한국태양에너지학회 논문집, 2013
7. NazaninNasrollahi, ElhamShokri(2016). “Daylight illuminance in urban environments for visual comfort and energy performance” Renewable and Sustainable Energy Reviews, 66: 861 - 874
8. 이석배, “자연채광에 의한 조명에너지 절감의 예측에 관한 연구”, 한국태양에너지학회 논문집, 1998

LHI Journal (2019) 10(3):43-55 http://dx.doi.org/10.5804/LHIJ.2019.10.3.043
http://lhi.lh.or.kr

전문가 설문조사를 통한 3기 신도시의 계획지표 및 개발방향설정 연구

A Study on the Direction of the Third Phase New Town Development in Seoul Metropolitan Area through expert survey method

윤정중[1]

Jeong Joong Yoon

(Received September 5, 2019 / Revised September 25, 2019 / Accepted October 18, 2019)

요 약

본 연구에서는 수도권의 새로운 신도시 건설이 추진됨에 따라 향후 신도시 계획시 고려해야 할 지표와 개발방향에 대하여 고찰하였다. 이를 위해 분야별 전문가들을 대상으로 조사한 설문자료를 빈도분석과 분산분석기법을 이용해 분석한 결과, 다음과 같은 시사점들이 도출되었다. 첫째, 기존 1기 및 2기 신도시에 대해 계획지표들의 평가결과, 시민참여와 정보공유, 스마트기술과 서비스, 사회문화적 다양성과 포용성에서 부정적 평가가 많았다. 또한 3기 신도시에 대해 전문가들은 교통의 접근성과 편리성, 환경적 쾌적성, 주거의 질과 서비스 등 도시의 기본이 되는 요소인 교통, 환경, 주거의 중요성을 가장 높게 인식하고 있으며, 경관/디자인의 우수성, 일자리 등 자족성, 사회·문화적 다양성과 포용성 등도 중요한 지표로 꼽았다. 둘째, 전문가들의 인식과 평가가 성별, 연령, 직업, 전문분야 등 개인특성에 따라 차이가 있는지를 알아본 결과, 1기와 2기 신도시는 전문가 집단의 '성별'에서만 유의적 차이를 보였으며, 3기 신도시는 '성별'과 '전문분야'에서 유의적 차이가 있었다. 셋째, 향후 3기 신도시 개발계획 수립시 인구구조변화, 산업과 일자리, 삶의 질과 다양성, 환경 및 기후변화, 사회 및 주거복지 등을 중요하게 고려해야 한다고 보았다. 토지이용계획에서는 공원녹지 및 자족용지 확대를 중요하게 생각하였고 3기 신도시의 도시형태로 친환경 생태도시를 1순위로 꼽았으며, 중요한 생활인프라로 대중교통시설, 공원녹지, 교육시설을 매우 중요하게 보았다.

주제어 : 신도시, 수도권, 3기 신도시, 전문가설문

ABSTRACT

The purpose of this study is to derive indicators and development directions to be considered when planning new towns in the Seoul metropolitan area as new towns are planned to be built. To this end, the following implications were derived after analyzing the survey data of experts in each field using Frequency Analysis and Analysis of Variance(ANOVA) technique. First, the assessment results of the existing first and second phase new towns showed that there were many negative assessments of citizen participation and information sharing, smart technologies and services, social and cultural diversity and inclusion. Regarding the third phase new town, experts said that the most important indicators are accessibility and convenience of transportation, environmental comfort, quality and service of residence. In addition, experts cited the superiority of landscape/design, jobs/self-sufficiency and social/cultural diversity as important indicators. Second, after examining whether the perceptions and assessments of experts differ depending on individual characteristics such as gender, age, occupation, and professional field, the first and second phase new towns showed significant differences only in "gender", and the third phase new town had significant differences in "gender" and "professional field". Third, experts thought that changes in population structure, industry and jobs, quality of life and diversity, environment and climate change, and social and residential welfare should be considered important in the planning of third phase new town. In addition, experts considered expanding park and self-sufficient land as important in the land use plan, and ranked eco-city as a desirable type of the city, and public transportation facilities, park areas and education facilities as the most important living infrastructure.

Key words: New Town, Seoul Metropolitan Area, Third Phase New Town, Expert Survey

1. 연구의 배경 및 목적

1960년대 산업화가 진행되면서 울산, 포항 등 산업기지 배후도시 건설을 위해 신도시 개발이 시작되었다. 이후 1980년대 들어와 서울 도심의 확장과정에서 상계, 목동 등 신시가지 성격의 신도시 개발이 진행되었고 급속한 서울과 주변지역의 도시팽창 및 주택문제에 대응하기 위해 서울에서 20km 거리 이내에 분당, 일산 등 5개의 1기 신도시 건설이 추진되었다. 서울의 과밀로 인한 극심한 주택부족과 열악한 주거수준, 신흥 중산층의 주거안정 등 고도성장기의 도시와 주택문제를 해결하는 것이 목적이었다. 비록 주택공급을 주요 목적으로 한 베드타운의 성격이 강한 도시였으나 양호한 생활환경 조성을 위해 새로운 도시설계 및 건축적 시도가 있었다.

그러나 1기 신도시 개발 후 신도시 건설에 대해 수도권 인구집중 가속화로 국토균형발전을 저해하고 불필요한 교통거리를 증가시키며 부동산 가격 급등, 물가 인상, 자재 및 인력난 가중, 자연환경 훼손 등 부정적 문제들이 제기되면서 대규모 개발이 지양됨에 따라 도시건설의 방향이 도시근교에 중소규모 택지개발, 소위 미니신도시 개발로 전환되었다. 그러나 이는 오히려 난개발을 불러와 광역기반시설과 자족성의 한계와 도시 및 주거환경의 악화 등 심각한 도시문제를 초래하였다. 이에 따라 계획적 개발의 중요성이 대두되고 국토계획의 방향이 선계획 후개발 체계로 전환되었으며 주택부족으로 인한 시장 불안정이 재현되면서 다시 서울로부터 30km 내외의 거리에 동탄, 운정, 양주 등 2기 신도시 건설이 추진되었다. 2기 신도시는 입지가 광역화되고 다수 사업지구들이 지정되었으며, 도시경쟁력과 자족성 강화, 저밀도 도시화 추구, 공원녹지 증가로 환경적 쾌적성 향상, 도시 및 건축계획 수법의 선진화, 개발방식의 다양화와 지속가능한 도시개발 추구 등 1기 신도시 때에 비해 공간적, 계획적으로 많은 변화가 시도되었다. 1기 신도시의 시행착오와 반성을 통해 물적 환경조성의 제고, 자족성, 생활의 편리성과 안정성, 쾌적성 확보 등을 위한 도시계획 및 기법의 도입이 이루어졌다. 그러나 여전히 경부축 중심의 개발, 자족기능 유치의 한계, 대규모 사업추진과 보상으로 인한 부동산 시장의 영향, 주변지역의 계획적 관리의 부재, 기반시설의 적기 공급문제 등 여러 가지 한계들이 나타났다.

최근 들어 정부는 지난 2018.12.19.일 '2차 수도권 주택공급계획 및 수도권 광역교통망 개선방안'과 2019.5.7.일 '제3차 신규택지 추진계획'을 통해 남양주 왕숙, 하남교산, 인천계양, 고양 창릉, 부천 대장지구 등 5개 지구를 신도시 건설 후보지로 발표하였다. 서울과 30분 이내의 근거리에 모두 5개의 대규모 공공택지지구, 소위 '3기 신도시'를 개발하여 총 17.3만호의 주택건설 및 공급을 추진하려는 것이다.

주택시장 안정을 위한 공급확대라는 점에서 기존 1, 2기 신도시의 추진목적과 유사하나 기존에 제기되어왔던 주요 문제들이 발생하지 않도록 자족성 강화, 교육환경 조성, 교통접근성 제고, 거버넌스를 통한 개발추진 등을 핵심목표로 설정하고 이에 대한 선제적 대응방안을 제시하고 있다. 즉, 3기 신도시 발표가 수도권 집값 안정을 위해 급박하게 추진되었으나 정부는 신규 개발지구들이 신도시로서 가져야할 핵심적 기능과 개발방향으로 접근성, 일자리, 육아와 교육, 지역과의 협력을 함께 강조하였다. 이는 특히 대규모 개발이 서울과 가까운 입지에서 이루어짐에 따라 기존 신도시 개발 초기에 논란이 되어왔던 불편한 교통, 일자리 없는 베드타운, 학교 수급의 불균형, 정부주도의 하향식 추진방식 등의 문제들을 미연에 방지하려는 의도로 판단된다.

현재 우리사회는 저출산·고령화로 대표되는 급격한 인구구조 변화와 4차 산업혁명이라 일컬어지는 첨단기술발달과 이로 인한 사회경제적 변화 등 과거 신도시 시대와는 많이 다른 여건에 놓여있다. 주거에 대한 수요와 도시환경에 대한 요구 등도 다양화되고 있다. 새로이 건설되는 신도시는 이러한 사회변화와 시대적 요구에 대응하며 기존 신도시에서 진일보한 도시로 개발되어야 한다.

본 연구는 수도권의 새로운 대규모 신도시 건설 추진에 따라 앞으로 신도시가 추구해야 할 개발방향과 도시계획 시 고려 할 주요사항들이 무엇인지를 도출하는데 목적이 있다. 이는 향후 새로운 신도시가 지향하는 도시개발의 방향에 대해 도시계획, 교통, 환경 등 각 분야의 전문가들이 어떻게 인식하고 있는지를 분석하여 신도시 개발방향의 시사점을 찾고 이를 정책입안자와 계획가에게 제시함으로서 정책입안과 신도시 계획수립 시 기초자료로 중요하게 활용될 수 있을 것이다.

2. 연구범위와 방법

본 연구는 신도시를 계획함에 있어 주요하게 고려해야 할 개발방향과 주요 요소가 무엇인지 전문가들의 관점에서 분석하려는 것이다. 현재 3기 신도시는 개발입지와 개략적인 개발구상안만 발표된 단계이며 사업추진을 위한 지구지정을 추진하고 있는 상황이다. 다만 정부는 주거안정을 위해 사업이 시급하다고 판단하고 지구지정과 지구계획 수립

본 논문은 2019년 토지주택연구원 정기연구과제로 수행 중인 연구자료의 일부를 이용하여 작성한 것임.
1) 한국토지주택공사 토지주택연구원 연구위원(주저자: yoon@lh.or.kr)

을 빠르게 추진할 것으로 예상된다. 따라서 도시개발방향과 주요 계획요소들에 대한 전문가의 생각과 판단을 참고하여 신도시 계획 수립시 고려될 기초자료로서 본 연구가 수행될 필요가 있다고 판단된다.

먼저, 본 연구의 공간적 대상은 정부가 새로 건설을 추진하는 수도권의 5개 신도시이다. 국토교통부의 '지속가능한 신도시계획기준'에 따라 신도시로 분류하는 사업면적 330만㎡를 넘는 지구들로 남양주 왕숙, 하남교산, 인천계양, 고양 창릉, 부천 대장지구가 이에 해당된다.

둘째, 조사대상은 도시계획, 건축, 교통, 조경・경관, 산업・경제, 환경 분야의 대학교수, 연구원, 기업종사자 등 전문가로 설정하였다. 전문가 선정은 한국토지주택공사에서 보유한 전문가패널 중에서 총 110명을 대상자로 선정하였다.

셋째, 조사방법은 구조화된 설문지를 통해 2019년 7월 15일부터 8월 2일까지 컴퓨터를 활용한 웹/모바일 조사방식으로 진행하였다. 조사는 설문조사업체인 ㈜한국리서치에서 수행하였다. 조사항목은 모두 8개의 도시개발방향으로 설정하였다. 이는 환경적 쾌적성, 일자리 등 자족성, 사회문화적 다양성과 포용성, 시민참여와 정보공유, 교통의 접근성과 편리성, 스마트기술과 서비스, 경관 및 디자인의 우수성, 주거의 질과 서비스 등이다. 조사항목의 설정은 정부가 발표한 3기 신도시의 개발방향과 국토교통부의 '지속가능한 신도시계획기준(2010)'에서 제시하는 내용들을 종합하여 구성하였다. 위의 각 조사 항목들과 관련하여 기존의 1기 및 2기 신도시에 대하여 전문가들은 어떻게 생각하는지를 "매우 낮다" 부터 "매우 높다" 까지 7점 척도로 평가토록 하였다. 3기 신도시에 대하여는 향후 도시개발시 각 조사 항목들의 중요성을 어떻게 판단하는지를 7점 척도로 응답하도록 요구하였다. 즉 기존 신도시에 대하여는 도시평가의 측면에서 판단토록하고 미래 신도시에 대하여는 도시개발의 방향성 측면에서 답변토록 한 것이다.

넷째, 연구내용은 1, 2, 3기 신도시에 대한 조사항목별 응답자의 평가가 어느 수준인지, 신도시 간의 응답결과에 유의적 차이가 있는지, 그리고 응답자의 특성에 따라 평가결과에 차이가 있는지를 분석하는 것이다. 먼저 전문가들이 기존 신도시에 대해 긍정적으로 평가하는 항목들이 무엇인지, 부정적으로 인식하는 항목들이 무엇인지를 파악하여 향후 개선할 방향을 모색하고자 한다. 또한 3기 신도시 계획에서 중요하게 고려해야 할 항목들이 무엇인지도 파악하였다.

다섯째, 3기 신도시 개발계획 수립 시 고려할 주요사항들로서 전문가들이 적절하다고 생각하는 도시형태, 개발밀도, 주택유형 및 점유형태, 토지이용계획, 생활인프라가 무엇인지에 대해 의견을 조사하여 분석하였다.

여섯째, 분석방법으로는 빈도분석과 분산분석(ANOVA)을 사용하였다. 빈도분석은 각 신도시의 조사항목별 평가수준과 중요도를 분석하는데 사용하였다. 분산분석은 각 신도시 간 및 조사항목 간의 평가수준과 중요도에 차이가 있는지, 그리고 응답자 특성에 따라 평가수준과 중요도에 대한 차이가 있는지를 분석하였다. 응답자의 특성은 성별, 연령, 직업, 전문분야, 신도시 관련업무경험으로 구분하였다.

3. 문헌고찰

정부가 발표한 3기 신도시의 개발방향은 크게 접근성, 일자리, 육아, 거버넌스로 볼 수 있다. 아래와 같이 3기 신도시를 서울도심까지 30분 내 출퇴근 가능한 도시, 일자리를 만드는 도시, 자녀키우기 좋고 친환경적인 도시, 전문가와 지자체가 함께 만드는 도시로 개발하려는 방향을 제시하고 있다.

① 서울 도심까지 30분내 출퇴근 가능 도시
- 서울 접근성이 양호한 곳에 입지(3기 신도시 서울부터 평균거리 : 1km 대)
- 지구지정 제안단계부터 지하철 연장, Super-BRT 등 교통대책 마련(기존 주민들도 혜택을 보는 방향으로 노선・역 신설 계획)
- 입주 시 교통 불편이 없도록 대도시광역교통위원회와 함께 교통대책 조기 추진

② 일자리를 만드는 도시
- 기존 신도시 대비 2배 수준의 도시지원시설용지 확보(주택용지의 2/3 수준, 자족기능을 위한 벤처기업시설, 소프트웨어진흥시설, 도시형공장 등 입지)
- 스타트업 육성 등을 위해 기업지원허브, 창업지원주택 등도 공급

③ 자녀키우기 좋고 친환경적인 도시
- 모든 아파트단지에 국공립 어린이집 계획, 유치원도 100% 국공립 운영
- 전체면적 1/3 이상을 공원 등으로 조성하고 복합커뮤니티센터 설치
- 제로에너지 타운, 수소BRT(수소충전소) 등 친환경·에너지 자립도시 조성

④ 전문가와 지자체가 함께 만드는 도시
- 지자체는 지방공사를 통해 참여하고 전문가 신도시 포럼도 운영(도시·건축, 교통, 스마트시티, 환경, 일자리, 교육·문화 등 6개 분과 40여명 참여)
- 총괄건축가, 3D계획을 통해 도시 디자인을 높이고

스마트시티로 조성(평면적 계획(2D)에서 벗어나 설계공모를 통해 입체적인 도시 마스터플랜 수립)
- 원도심도 혜택을 볼 수 있도록 도시재생사업 지원(공모시 가점)

개발방향을 4개로 압축하여 제시한 것은 기존 1기와 2기 신도시 건설과정에서 경험하였던 주요 문제들이 재발되지 않도록 4개의 핵심적인 문제들에 대해 선제적으로 대응하는 것이 중요하고 국민들의 긍정적 이해를 통해 신도시를 성공적으로 추진할 수 것이라 판단했기 때문으로 보인다.

이와 같은 신도시의 계획과 개발의 방향을 제도적으로 처음 제시한 것은 국토교통부가 2기 신도시의 계획적이고 적정한 개발을 위해 2005년 제정한 '지속가능한 신도시계획기준'이라 할 수 있다. 현재는 2010년에 개정되어 운영되고 있으며, "신도시의 개발계획 및 실시계획을 수립함에 있어 건강한 환경과 아름다운 경관이 창출되고, 이것이 도시의 경제발전 및 사회개발과 조화를 이루어 지속가능한 녹색성장이 이루어질 수 있도록 하기 위하여 필요한 사항을 규정함"을 목적으로 신도시의 계획목표와 지표, 계획기준 등을 제시하고 있다. 이 신도시계획기준에서는 신도시를 "330만 제곱미터 이상의 규모로 시행되는 개발사업으로서 자족성, 쾌적성, 편리성, 안전성 등을 확보하기 위해 국가적인 차원의 계획에 의하여 국책사업으로 추진하거나 정부가 특별한 정책적인 목표를 달성하기 위하여 추진하는 도시"로 규정하고 있다. 특히 '지속가능한 개발'을 강조하여 신도시를 "미래 우리후손의 욕구를 충족시킬 수 있는 능력과 여건을 저해하지 않으면서 현세대의 욕구를 충족시키며 환경적 지속성과 함께 경제적, 사회문화적 지속성을 포함하는 개발"을 추구하는 것으로 설정하고 있다. 그리고 이러한 신도시 개발을 위해 계획의 기준이 될 방향으로서 사회문화적 지속가능성, 경제적 지속성, 환경적 지속성, 경관형성과 관리, 재해 및 범죄예방, 공간환경디자인체계를 제고하기 위한 기준들을 밝히고 있다.

신도시와 관련한 선행연구들은 수도권 신도시 개발이 본격화된 1990년 이후 들어 많이 수행되어왔다. 이들 대부분은 신도시에 관한 정책, 계획, 사후평가 등으로 구분되며, 구체적인 주제들로는 자족성을 대상으로 한 연구가 많으며, 지속가능성, 교통접근성, 친환경 등 계획요소와 신도시에 대한 만족도 평가 등이 주로 다루어지고 있다. 자족성과 관련하여 정다운외(2010)는 수도권 1기 신도시를 대상으로 자족지수와 직주비를 활용해 자족성과 중심성을 분석하였다. 자족지수는 대상지역의 내부통행량을 유출입통행량으로 나눈 값이며, 직주비는 대상지역의 경제활동인구 대비 고용기회로서 총도착통근자수를 통출발통근자수로 나누어 산정하였다. 분석결과, 1기 신도시가 생활측면의 자족성은 어느 정도 확보하였고 지역에서 중심지 역할도 일부 수행하고 있으나 고용측면에서는 자족성이 상대적으로 미비하고 직주불균형이 발생하고 있다고 보았다. 장준상외(2006)는 1기 신도시 건설초기인 1996년과 성숙기인 2002년을 기준으로 신도시와 주변지역의 자족적 수준과 통행패턴변화를 분석하여 공간적인 자족성 구조를 파악하고 신도시의 추가적인 자족 수준 향상 가능성과 지속 가능한 발전 가능성을 함께 예측하고자 하였다. 이외에도 이수기외(2015)는 1기 신도시의 통근통행특성과 공간구조의 변화를 자족성과 중심성 분석을 중심으로 고찰하였으며, 김현수(2005)는 수도권 신도시의 자족기반 실태분석을 통해 강화방안을 제시하였고, 서종대(2011)는 신도시의 경제적 자족성 확보를 위해 자족용지 배분기준과 적용방안, 민범식(2003)은 신도시의 자족성 확보를 위한 계획방향을 제시하였다.

교통접근성과 관련하여 김광식(1995)은 1기 신도시의 교통부문 계획의 문제점을 분석하고 개선방안을 제시하였다. 교통체계, 교통수요예측, 주민편의의 교통서비스, 교통계획과정, 관련제도 등의 항목으로 분류하여 문제점을 분석하였으며, 이를 통해 연계가능한 내부 및 외부 교통체계 구축, 계획 시나리오별 교통수요 예측, 주민 편의 우선의 교통서비스 제공, 교통계획 과정에 계획철학의 반영, 신도시 건설주체와 법적 제도의 정비 등을 개선방안으로 제시하였다. 이외에 정성원외(2010)는 분당, 일산신도시를 대상으로 근린주구 계획에 따른 생활권시설의 보행자 이용행태를 분석하였으며, 이경용(2013)은 분당과 평촌 신도시를 대상으로 대중교통 지원체계 개산대안과 효과를 분석하여 제시하였다.

수도권 신도시에 대한 평가와 관련한 연구들은 1기 신도시의 정책적 효과에 대한 평가와 1기 및 2기 신도시에 대한 비교 평가를 통해 개선과제를 도출하는 연구가 주로 수행되었다. 김현수(2007)는 2기 신도시에 대한 중간평가를 위해 1기 신도시의 개발밀도, 공원녹지율, 주택용지율 등 계획지표와 개발방식에 대해 2기 신도시와 비교 분석하여 변화 정도를 측정하였다. 특히, '지속가능한 신도시계획기준'의 반영 정도를 평가하여 신도시 평가기준 및 2기 신도시 계획에 대한 개선과제를 제안하였다. 장용훈(2010)은 2기 신도시를 대상으로 지속가능한 신도시계획기준에 의한 신도시계획 평가모형 개발 및 적용 연구를 수행하였으며, 김용성(2006)은 지속가능한 신도시계획기준에 의해 분당신도시계획의 평가 연구를 수행한 바 있다. 또한 최근에는 1기와 2기 신도시에 대한 비교 평가 연구로서, 하혜경·김한배(2016)는 1기인 산본신도시와 2기인 김포한강신도시의 공원녹지체계를 비교하여 경관특성 차이를 고찰하고, 향후 신도시 개발을 위한 공원녹지계획 방향을 제안하였다.

신도시의 주거만족도와 관련한 연구로서, 양승우·백인길(1997)은 1기 신도시 중 분당, 일산, 평촌의 주민들을 대상으로 주거만족도를 조사하여 주거 및 경제적 상황에 대한 만족도가 3개 신도시 간 차이가 없었으나, 교육, 교통, 자연환경 등 입지적 상황은 평촌이 분당, 일산에 비해 만족도가 낮게 나타났다고 분석하였다. 이춘호(2001)는 1기 신도시를 대상으로 주거환경만족도에 영향을 미치는 거주자 특성을 분석한 결과, 자가비율이 높을수록, 세대주의 나이가 많을수록 만족도가 상

대적으로 높게 나타난다고 분석하였다.

위에서 검토한 신도시 계획기준의 주요 방향과 수도권 1기 및 2기 신도시를 대상으로 한 선행연구들의 연구대상과 내용들을 종합해보면 자족성, 환경, 다양성, 거버넌스, 접근성, 경관디자인, 주거 등 다양한 측면을 다루고 있음을 알 수 있었다. 이에 따라 본 연구는 향후 개발예정인 신도시의 개발방향을 모색하기 위해 환경적 쾌적성, 일자리 등 자족성, 사회문화적 다양성과 포용성, 시민참여와 정보공유, 교통의 접근성과 편리성, 스마트기술과 서비스, 경관과 디자인의 우수성, 주거의 질과 서비스 등 8개의 개발방향을 제시하고, 전문가 설문을 통해 각각의 중요도와 고려해야 할 사항들이 무엇인지를 파악하고자 하였다.

4. 분석모형 및 기초자료

4.1 설문조사 항목

1기 및 2기 신도시를 대상으로 전문가들이 8개의 개발방향 또는 지표에 대해 어떻게 평가하고 있는지를 알아보기 위해 다음과 같이 7점 척도를 사용하여 선택하도록 하였다. 각 개발방향에 대한 의견조사 후에는 신도시에 대해 전반적으로 어떻게 평가하고 있는지도 함께 조사하였다.

Table 1. Questionnaires on the direction of new town development

[Question 1] Please rate each indicator on how you think about the first phase new towns(seven-point scale)

Indicator	very low	←		medium	→		very high
	1	2	3	4	5	6	7
environmental comfort							
jobs and self-sufficiency							
social-cultural diversity & inclusion							
citizen participation & information sharing							
accessibility & convenience of transportation							
smart technologies & services							
excellence of landscape & design							
quality & service of residence							

[Question 2] How do you rate the first phase new town in general?

1. extremely problematic 2. very problematic
3. slightly problematic 4. medium
5. slightly well-developed 6. very well-developed
7. extremely well-developed

3기 신도시는 기존 신도시와 달리 아직 개발이 이루어지지 않은 상태이므로 질문1에서와 같이 '개발방향에 대한 평가' 대신에 '계획시의 중요성'으로 변경하여 질문하였다. 또한 신도시에 대한 전반적 평가 질문은 제외하고 대신에 바람직한 도시모습, 신도시 계획시 에 중요하게 고려해야 할 요소가 무엇인지를 질문하였다.

또한 3기 신도시 개발계획 수립 시 고려할 주요사항들로서 전문가들이 적절하다고 생각하는 도시형태, 개발밀도, 주택유형 및 점유형태, 토지이용계획, 생활인프라가 무엇인지에 대해 질문하였다. 도시형태에 대하여는 주거중심도시, 친환경생태도시, 비즈니스도시(상업업무중심), 첨단산업도시, 교육문화도시, 스마트시티, 기타 등 지문을 제시하여 선택하도록 하였다. 개발밀도에 대하여는 1기 및 2기 신도시의 개발밀도를 예시로 제시하고 저밀(100인/ha 미만), 중밀(100~200인/ha 미만), 고밀(200인/ha 이상) 중 적정한 밀도는 어느 정도라고 생각하는지 질문하였다. 주택유형은 단독, 연립 및 다세대, 아파트에 대하여 적정한 유형별 비율이 어느 정도인지, 주택점유형태는 임대, 분양에 대하여 적정한 비율이 어느 정도라고 생각하는지 질문하였다. 토지이용계획 계획시 중요하게 고려할 사항은 무엇인지에 대해 도심의 고밀 집약적 토지이용, 입체 용도복합개발의 활성화, 유동적 개념의 토지이용 활성화, 공유 공간 확대, 공원·녹지 공간 확대, 지하 공간 활용, 산업과 일자리 등 자족용지 확대, 미래를 대비한 유보지 지정, 기타 등 지문을 제시하여 선택하도록 하였다. 신도시 계획시 중요하다고 생각하는 생활인프라에 대하여는 공원·녹지, 문화·여가시설, 산업시설, 교육·보육시설, 대중교통시설, 방재·방범시설, 스마트도시시설, 친환경에너지시설, 환경처리시설 중에서 선택하도록 제시하였다.

4.2 모형설정 및 추정

연구의 분석방법은 빈도분석과 분산분석(ANOVA)을 이용하였다.

첫째, 빈도분석은 각 신도시의 조사항목별 평가수준과 중요도를 분석하는데 사용하였다. 조사항목은 환경적 쾌적성, 일자리 등 자족성, 사회·문화적 다양성과 포용성, 시민참여와 정보공유, 교통의 접근성과 편리성, 스마트 기술과 서비스, 경관/디자인의 우수성, 주거의 질과 서비스 등 모두 8개이다. 각 조사항목에 대해서는 '매우 낮다'부터 '매우 높다'까지 7점 척도로 구분하고 응답자가 판단하는 수준을 선택하도록 하였다. 조사결과를 토대로 1기 신도시, 2기 신도시 및 3기 신도시 각각에 대하여 전문가들의 의견을 분석하였다.

둘째, 응답자의 특성에 따라 각 조사항목간의 평가결과에 유의적 차이가 있는지를 일원배치 분산분석(ANOVA) 기법을 사용하여 분석하였다. 종속변수는 8개 조사항목이며, 설명변수는 응답자의 성별, 연령, 직업, 전문

분야, 신도시업무경험 등 응답자 특성이다. 또한 2개의 범주 값을 갖는 성별(남녀)와 신도시업무경험(유무)를 제외한 범주 값이 3개 이상인 연령, 직업, 전문분야 등 설명변수들에 대하여는 각 변수의 범주 간의 차이가 있는지를 분석하기 위해 분산분석의 다중비교 분석을 사용하였다.

Table 2. dependent variable & explanatory variable

variable	name of variable	category value
dependent variable (planning indicator)	• environmental comfort • jobs and self-sufficiency • social-cultural diversity & inclusion • citizen participation & information sharing • accessibility & convenience of transportation • smart technologies & services • excellence of landscape & design • quality & service of residence	7-point scale (extremely low~extremely high)
explanatory variable	gender	1. male 2.female
	age	1. the youth(19~39) 2. middle-aged(40~59) 3. the elderly(60↑)
	occupation	1. professor 2. researcher 3. worker involved 4. the others
	specialized field	1. urban planning 2. architecture 3. transportation 4. landscape 5. business & economy 6. environment
	experience in new town	1. yes 2. no

4.3 기초자료 분석

본 연구자료는 2019년 토지주택연구원에서 3기 신도시에 관한 연구과제 수행을 목적으로 조사한 설문조사 결과 중 일부 자료이다. 설문조사는 수도권 3기 신도시의 개발방향 모색을 위해 전문가를 대상으로 설문조사방식을 통해 의견을 조사한 것이다. 조사대상자는 한국토지주택공사가 보유한 분야별 전문가 풀(pool) 가운데 110명을 대상으로 설문조사업체인 한국리서치에 의뢰하여 조사하였다. 설문은 2019년 7월 15일부터 8월 2일까지 컴퓨터를 활용한 웹/모바일 조사방식으로 진행하였다.

응답자 성별은 여성 20.9%, 남성 79.1%이며, 연령대는 20~30대 10.0%, 40대 35.5%, 50대 46.4%, 60대 8.2%이다. 직업군은 대학교수가 42.7%, 연구기관 종사자 35.5%, 건설・개발 등 유관산업 종사자 21.8%로 구성되었다. 전문분야는 도시계획이 32.7%로 가장 많았으며 건축 19.1%, 교통 16.4%의 순이다. 응답자 중 신도시 관련 업무 또는 활동경험이 있는 경우는 76.4%로 나타났다.

Table 3. characteristics of respondents

item		N	%
total		110	100.0
gender	male	87	79.1
	female	23	20.9
age	20s~30s	11	10.0
	40s	39	35.5
	50s	51	46.4
	60s and more	9	8.2
occupation	professor	47	42.7
	researcher	39	35.5
	worker involved	24	21.8
specialized field	urban planning	36	32.7
	architecture	21	19.1
	transportation	18	16.4
	landscape	18	16.4
	business & economy	10	9.1
	environment	7	6.4
experience in new town	yes	84	76.4
	no	26	23.6

5. 분석결과

5.1 신도시 계획지표 평가에 대한 빈도분석 결과

1) 1기 신도시

빈도분석을 통해 전문가들이 1기 신도시에 대해 전반적으로 어떻게 평가하는지, 그리고 각 평가항목별로 어떻게 생각하는지를 분석하였다.

1기 신도시에 대하여 '긍정적으로 평가(조금 높다+상당히 높다+매우 높다)'한 비율은 전체의 78.2%로, 10명 중 7명 이상은 1기 신도시 전반에 대하여 긍정적으로 평가하였다.

1기 신도시의 8개 평가항목 중에서 가장 긍정적으로 평가하는 항목은 환경적 쾌적성(85.5%)이며, 교통의 접근성과 편리성(80.9%), 주거의 질과 서비스(75.5%)의 순으로 절반 이상이 긍정적 평가를 내렸다.

일자리 등 자족성에 대하여 긍정적으로 인식(조금 높다+상당히 높다+매우 높다)하고 있다는 응답비율은 55.5%, 사회문화적 다양성과 포용성의 경우 51.8%, 경관 및 디자인의 우수성에 대해서는 50.9%로 긍정적 평가 다소 많게 나타났다. 그러나 시민참여와 정보공유 42.7%, 스마트기술과 서비스 37.3%로서 낮게 평가되었다.

건설초기에 1기 신도시에서 지적되어온 자족성 부족의 문제에 대해 도시 성숙에 따른 자족성 확충으로 전문가들은 긍정적으로 보고 있으나 시민참여와 스마트시티 등의 항목은 부정적 인식이 높아 향후 3기 신도시를 계획할 때 고려해야 할 문제임을 시사하고 있다.

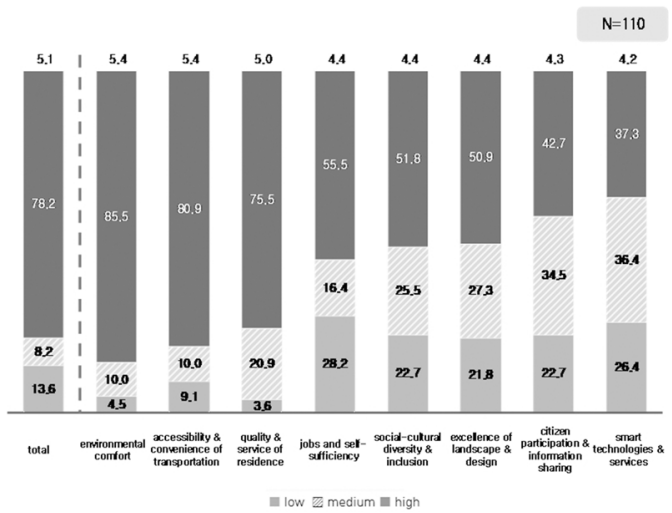


Fig. 1. results of responses to the 1st phase new town(%)

2) 2기 신도시

2기 신도시 대하여 '긍정적으로 평가(조금 높다+상당히 높다+매우 높다)'한 응답 비율은 전체의 61.8%로서 1기 신도시보다 2기 신도시의 평가가 좀 더 낮게 나타났다.

2기 신도시의 8개 평가항목 중에서 환경적 쾌적성(75.5%)을 가장 긍정적으로 평가하였고, 다음으로 주거의 질과 서비스(66.4%), 경관/디자인의 우수성(63.6%), 순으로 나타났다. 스마트 기술과 서비스(58.2%), 교통의 접근성과 편리성(52.7%), 일자리 등 자족성(50.9%) 등도 긍정적 평가가 다소 높게 나타난 반면, 시민참여와 정보공유(41.8%), 사회문화적 다양성과 포용성(38.2%)로 부정적 인식이 많았다. 뒤에 개발된 2기 신도시가 여전히 1기 신도시의 평가의 견과 유사한 결과를 나타냄에 따라 향후 3기 신도시를 계획할 때 자족성 강화와 더불어 시민참여 활성화와 다양성 및 포용성 제고를 위해 심층 고려해야 할 것으로 판단된다.

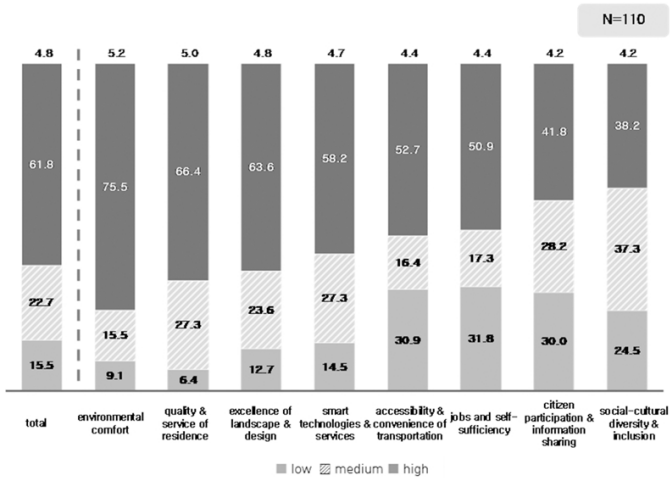


Fig. 2. results of responses to the 2nd phase new town(%)

3) 3기 신도시

개발예정인 3기 신도시에 대하여 향후 신도시 계획시 고려할 계획방향에 대해 각각 얼마나 중요하다고 생각하는지 질문하여 응답결과를 분석하였다.

3기 신도시 계획 시 중요하다고 생각하는 항목들은 앞서 1기 및 2기 신도시에 대해 긍정적으로 평가한 항목과 유사한 경향을 보이고 있다. 전문가들은 모든 계획방향들에 대해 50% 이상 중요하다고 평가하였다. 특히 교통의 접근성과 편리성이 93.6%로 가장 높고, 환경적 쾌적성(92.7%), 주거의 질과 서비스(92.7%), 경관/디자인의 우수성(86.4%), 일자리 등 자족성(81.8%), 사회·문화적 다양성과 포용성(77.3%), 스마트 기술과 서비스(74.5%), 시민참여와 정보공유(64.5%)의 순으로 나타났다. 전문가들은 질문에서 제시한 항목들이 모두 중요하다고 생각하는 것을 알 수 있다.

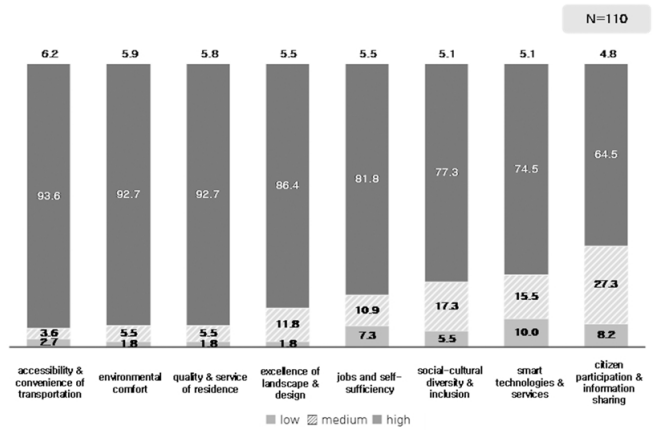


Fig. 3. results of responses to the 3rd phase new town(%)

4) 빈도분석 결과비교 및 시사점

3기 신도시에 대한 전문가들의 생각을 1기 및 2기 신도시의 평가항목들과 비교해 보면, 환경적 쾌적성에 대해서는 기존 1, 2기 신도시 모두 긍정적으로 평가하였고 3기 신도시 개발 시에도 매우 중요한 지표로 꼽았다. 교통의 접근성과 편리성에 대하여는 1기에 비해 2기 신도시가 미흡하다고 인식하고 있고 이에 따라 3기 신도시에서는 가장 중요하게 고려할 지표로 생각하고 있음을 알 수 있다. 주거의 질과 서비스는 1, 2기 신도시 모두 대체로 긍정적인 평가를 내리고 3기 신도시에서도 중요하게 고려할 지표로 보았다. 경관 및 디자인의 우수성 항목은 1기에 비해 2기 신도시를 더 긍정적으로 평가하고 있고 3기 신도시에서도 4번째 순위의 중요 항목으로 평가하였다. 그러나 일자리 등 자족성, 사회문화적 다양성과 포용성, 시민참여와 정보공유, 스마트기술과 서비스에 대하여는 1기와 2기 신도시의 경우 대체로 긍정적 평가가 낮았는데, 3기 신도시에서의 중요도 평가에서도 중요도는 낮은

순위로 나타났다. 이는 신도시가 갖추어야할 요건으로서 환경, 교통, 주거의 질, 경관 등이 필요불가결하다는 인식에 기인한 것으로 판단된다. 또한 비록 낮은 순위로 나타난 개획방향들도 75%이상의 중요한 의미를 갖는다고 응답한 결과를 볼 때 상대적인 순위로서 의미가 적다고 판단할 수는 없을 것이다.

Table 4. the comparison of experts' opinion on planning indicators

planning indicators	1st	2nd	3rd
environmental comfort	1	1	2
jobs and self-sufficiency	4	6	5
social-cultural diversity & inclusion	5	(8)	6
citizen participation & information sharing	(7)	(7)	8
accessibility & convenience of transportation	2	5	1
smart technologies & services	(8)	4	7
excellence of landscape & design	6	3	4
quality & service of residence	3	2	3

* The value in ( ) indicates that a positive evaluation is less than 50%

5.2 신도시 계획지표 평가에 대한 분산분석 결과

1) 1기 신도시

일원배치 분산분석(One-way ANOVA)을 통해 응답자의 특성에 따라 각 조사항목간의 평가결과에 유의적 차이가 있는지를 분석하였다. 먼저 레빈 통계량(Levene)을 이용한 분산의 동질성 검정 결과, 각 유의확률에 따른 유의수준이 0.05보다 크게 나타나 사용된 모형에서 분산의 차이가 없다는 등분산 가정이 성립됨을 확인하였다. 이에 따라 전문가집단의 특성변수로서 '성별', '연령', '직업군', '전문분야', '신도시업무경험'에 따른 개발방향 항목들의 평가의 차이가 있는지를 분석한 결과는 Table 5와 같다.

Table 5. ANOVA results by respondent characteristics (n=110, α=0.05)

variable	gender	age	occupa-tion	special field	experi-ence
environmental comfort	p=.967	p=.711	p=.482	p=.431	p=.625
jobs and self-sufficiency	p=.019	p=.059	p=.189	p=.608	p=.458
social-cultural diversity & inclusion	p=.085	p=.885	p=.467	p=.062	p=.805
citizen participation & information sharing	p=.112	p=.468	p=.126	p=.080	p=.330
accessibility/convenience of transportation	p=.008	p=.176	p=.374	p=.498	p=.968
smart technologies & services	p=.036	p=.769	p=.247	p=.798	p=.387
excellence of landscape & design	p=.020	p=.210	p=.110	p=.521	p=.347
quality & service of residence	p=.019	p=.078	p=.516	p=.996	p=.840
(evaluation in total)	p=.013	p=.618	p=.919	p=.849	p=.905

전문가집단의 특성에 따른 유의적인 차이는 성별에서만 나타났다. 연령, 직업군, 전문분야, 신도시업무경험 등 대부분의 개인특성들은 1기 신도시의 계획지표 평가에 유의적인 영향을 미치지 않은 것으로 보인다. 성별의 경우 환경적 쾌적성과 사회문화적 다양성과 포용성, 시민참여와 정보공유를 제외한 5개 항목에서 차이를 나타냈고, 여성이 모두 남성에 비해 더 긍정적인 평가를 내렸다. 특히 교통의 접근성과 편리성, 주거의 질과 서비스 지표에서 긍정적 평가가 상대적으로 크게 나타났다. 이는 1기 신도시에 대해 여성 전문가들의 종합평가 평균값(여성 5.61 > 남성 4.97)에서 볼 수 있듯이 1기 신도시에 대한 매우 긍정적 인식에 기인한 것으로 보인다.

2) 2기 신도시

2기 신도시에 대한 분산분석 결과는 Table 6과 같다. 앞서 1기 신도시의 결과와 같이 전문가 집단의 '성별'에서만 유의적 차이를 보였다. 성별에서는 환경적 쾌적성을 제외한 나머지 7개 항목에서 남녀 간의 평가의견에 유의적인 차이가 있었고 여성이 모두 남성에 비해 더 긍정적인 평가를 내렸다.

특히 환경적 쾌적성, 스마트기술과 서비스, 경관 및 디자인의 우수성, 주거의 질과 서비스 등 4개 항목에서 긍정적 평가가 상대적으로 크게 나타났다. 1기 신도시의 주거와 교통에 대해 상대적으로 긍정적 답변한 것과는 달리 환경, 경관, 디자인, 스마트기술 등 도시의 질과 생활환경에 더 긍

정적인 평가를 내리고 있다. 2기 신도시에 전반에 대해서도 여성 전문가들의 종합평가 평균값은 5.43으로 남성전문가의 4.66에 비해 매우 긍정적으로 평가하고 있다. 실제 2기 신도시는 지속가능한 도시개발을 지향하고 다양한 도시계획 기법을 활용하며 처음으로 유시티 개념을 도입하는 등 1기 신도시에 비해 진일보한 시도가 이루어졌는데, 이러한 사항들에 대해 여성전문가들이 보다 긍정적으로 평가한 것으로 생각된다.

Table 6. ANOVA results by respondent characteristics (n=110, α=0.05)

variable	gender	age	occupation	special field	experience
environmental comfort	p=.289	p=.600	p=.959	p=.833	p=.808
jobs and self-sufficiency	p=.022	p=.563	p=.248	p=.602	p=.800
social-cultural diversity & inclusion	p=.050	p=.850	p=.726	p=.742	p=.866
citizen participation & information sharing	p=.007	p=.432	p=.539	p=.863	p=.480
accessibility/convenience of transportation	p=.015	p=.084	p=.304	p=.456	p=.078
smart technologies & services	p=.009	p=.441	p=.111	p=.351	p=.428
excellence of landscape & design	p=.016	p=.505	p=.848	p=.902	p=.828
quality & service of residence	p=.042	p=.399	p=.676	p=.823	p=.505
(evaluation in total)	p=.013	p=.264	p=.749	p=.724	p=.538

3) 3기 신도시

3기 신도시와 관련하여 각 항목에 대한 중요도 평가결과는 평균값이 '시민참여와 정보공유'가 4.80으로 가장 작았으며, '교통의 접근성과 편리성'이 6.16으로 가장 크게 나타났다. 그러나 비록 시민참여와 정보공유가 상대적 평균값은 낮으나 7점척도의 평가기준을 고려할 때 절대적 중요도는 있다고 볼 수 있다.

또한 응답자 특성에 따라 각 항목의 중요도 평가결과에 유의적 차이가 있는지를 추정한 결과는 Table 7과 같다. 먼저, 앞서 1기 및 2기 신도시와는 남녀 전문가간의 평가의 차이가 있다는 것은 같으나 추가로 전문가들이 활동하고 있는 전문분야에 따라 일부 항목들의 평가에 유의적 차이가 있는 것으로 나타났다.

성별에서는 교통, 스마트기술, 경관디자인을 제외한 5개 항목에서 중요도의 평가에 대해 남녀 간 차이가 나타났다. 전문분야에서는 사회문화적 다양성과 포용성, 경관·디자인의 우수성, 주거의 질과 서비스 등 3개 항목의 중요성에 대해 전문가의 전문분야에 따라 평가에 유의적인 차이가 있었다.

Table 7. ANOVA results by respondent characteristics (n=110, α=0.05)

variable	gender	age	occupation	special field	experience
environmental comfort	p=.004	p=.542	p=.282	p=.112	p=.995
jobs and self-sufficiency	p=.038	p=.296	p=.475	p=.287	p=.315
social-cultural diversity & inclusion	p=.002	p=.302	p=.869	p=.029	p=.865
citizen participation & information sharing	p=.017	p=.767	p=.829	p=.189	p=.261
accessibility/convenience of transportation	p=.105	p=.228	p=.241	p=.246	p=.439
smart technologies & services	p=.204	p=.540	p=.718	p=.646	p=.093
excellence of landscape & design	p=.131	p=.329	p=.808	p=.001	p=.984
quality & service of residence	p=.005	p=.081	p=.534	p=.009	p=.611

성별에 따른 전문가의 평가의견의 차이를 좀 더 구체적으로 살펴보면, Table 8과 같이 남성전문가들은 교통의 접근성과 편리성을 가장 중요하게 생각하였고 환경적 쾌적성 > 주거의 질과 서비스 > 경관 및 디자인의 우수성 > 스마트기술과 서비스의 순으로 중요하다고 답변하였다. 여성전문가들은 교통의 접근성과 편리성 > 환경적 쾌적성 > 주거의 질과 서비스 > 일자리 등 자족성 > 경관 및 디자인의 우수성 등의 순으로 평가하였다. 이는 교통, 환경, 주거 관련 지표들의 중요도는 동일한 순위의 중요도로 인식하였으며 그 이하에서는 차이를 보이고 있다.

Table 8. Comparison of Assessment Results by Gender

indicators	gender	N	average	standard deviation
environmental comfort	male	87	5.72	.961
	female	23	6.35	.714
	total	110	5.85	.947
jobs and self-sufficiency	male	87	5.34	1.292
	female	23	5.96	1.022
	total	110	5.47	1.261
social-cultural diversity & inclusion	male	87	4.90	1.079
	female	23	5.70	.974
	total	110	5.06	1.103
citizen participation & information sharing	male	87	4.67	1.138
	female	23	5.30	1.063
	total	110	4.80	1.148
accessibility/convenience of transportation	male	87	6.08	1.091
	female	23	6.48	.790
	total	110	6.16	1.045
smart technologies & services	male	87	5.07	1.274
	female	23	5.43	.992
	total	110	5.15	1.225
excellence of landscape & design	male	87	5.44	.985
	female	23	5.78	.902
	total	110	5.51	.974
quality & service of residence	male	87	5.64	.915
	female	23	6.22	.600
	total	110	5.76	.888

다음은 전문분야에 따른 평가의견의 차이를 좀 더 구체적으로 살펴보았다. Table 9에서 각 분야의 전문가들이 중요하다고 꼽은 1~3순위까지 항목들을 보면, '환경적 쾌적성'과 '교통의 접근성과 편리성'에 대해 각 분야의 전문가들이 모두 매우 중요하다고 평가하였다. '주거의 질과 서비스', '경관 및 디자인의 우수성'도 여러 분야의 전문가들이 3순위 안으로 중요하다고 평가하였다. 다른 항목들도 모두 중간값 이상의 중요함을 갖는다고 볼 수 있지만 교통, 환경, 주거, 경관·디자인을 상대적으로 더 중요하다고 본 것이다. 일자리, 사회문화적 포용성, 시민참여, 스마트기술 등 최근 도시개발의 중요한 패러다임이자 계획요소로 고려되고 있는 항목들이 3기 신도시 계획에서 최우선의 항목들로 나오지 않은 것은 이 항목들이 중요하지 않기 보다는 교통, 환경, 주거, 경관 등 도시 및 주거환경을 구성하는 가장 기본적인 요소들이기에 더 중요하다고 평가한 것으로 생각된다.

Table 9. Comparison of Assessment Results by specialized field

indicators	special field	N	average	std. dev.
environmental comfort	urban plan.	36	5.81	.822
	architecture	21	6.05	.921
	transportation	18	5.61	.698
	landscape	18	6.22	.808
	biz./economy	10	5.90	.568
	environment	7	5.14	2.116
	total	110	5.85	.947
jobs and self-sufficiency	urban plan.	36	5.67	1.265
	architecture	21	5.62	1.071
	transportation	18	5.00	1.328
	landscape	18	5.72	1.074
	biz./economy	10	5.30	1.160
	environment	7	4.86	1.952
	total	110	5.47	1.261
social-cultural diversity & inclusion	urban plan.	36	4.89	1.166
	architecture	21	5.62	1.024
	transportation	18	4.72	.669
	landscape	18	5.44	.922
	biz./economy	10	4.60	1.430
	environment	7	4.86	1.215
	total	110	5.06	1.103
citizen participation & information sharing	urban plan.	36	4.75	1.180
	architecture	21	5.29	1.056
	transportation	18	4.33	.907
	landscape	18	4.94	.938
	biz./economy	10	4.60	1.506
	environment	7	4.71	1.496
	total	110	4.80	1.148
accessibility/convenience of transportation	urban plan.	36	6.08	1.296
	architecture	21	5.86	.727
	transportation	18	6.33	1.085
	landscape	18	6.50	.618
	biz./economy	10	6.50	.707
	environment	7	5.71	1.380
	total	110	6.16	1.045
smart technologies & services	urban plan.	36	5.08	1.204
	architecture	21	5.48	1.123
	transportation	18	5.17	.924
	landscape	18	5.22	1.215
	biz./economy	10	4.70	1.767
	environment	7	4.86	1.574
	total	110	5.15	1.225
excellence of landscape & design	urban plan.	36	5.39	.934
	architecture	21	5.81	.928
	transportation	18	4.94	.873
	landscape	18	6.17	.857
	biz./economy	10	5.50	.707
	environment	7	5.00	1.155
	total	110	5.51	.974
quality & service of residence	urban plan.	36	5.92	.841
	architecture	21	5.81	.814
	transportation	18	5.44	.784
	landscape	18	6.17	.786
	biz./economy	10	5.60	.843
	environment	7	4.86	1.215
	total	110	5.76	.888

5.3 3기 신도시 계획시 고려사항에 대한 빈도분석 결과

1) 신도시 계획시 주요 고려요소

향후 3기 신도시의 개발계획을 수립할 때 중요하게 고려해야 할 요소가 무엇인지에 대해 전문가들의 의견을 분석하였다. 전문가들이 꼽은 가장 중요한 고려요소는 Fig. 4와 같이 인구구조변화(고령화, 소가구화 등)였다. 뒤를 이어 산업과 일자리, 삶의 질과 다양성, 환경 및 기후변화, 사회 및 주거복지 등의 순으로 나타났다.

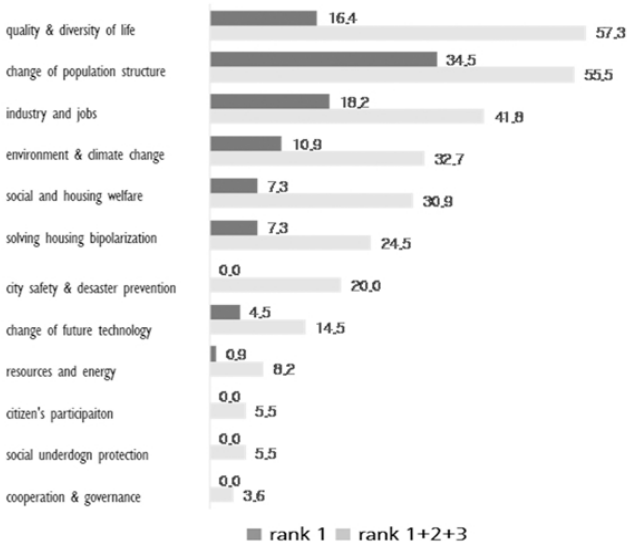


Fig. 4. results of analysis of major considerations in Planning for the 3rd phase New Town

2) 신도시 토지이용계획의 주요 고려사항

3기 신도시의 토지이용계획 시 중요하게 고려해야 할 사항에 대한 전문가들의 의견을 분석한 결과는 Fig. 5와 같다.

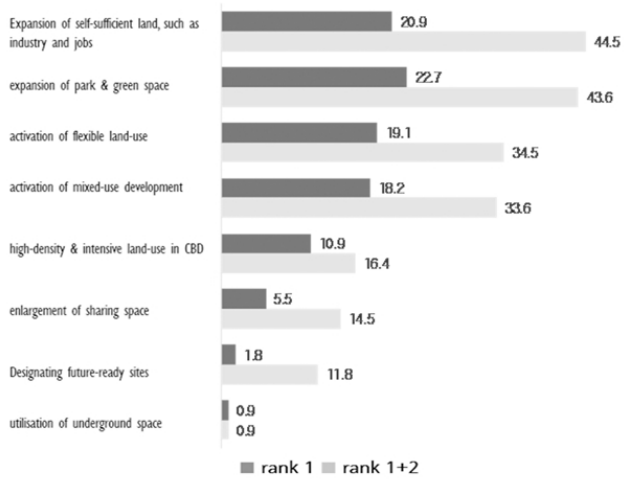


Fig. 5. results of analysis of major considerations in land-use planning for the 3rd phase New Town

'공원·녹지 공간 확대'를 1순위로 꼽은 비율이 22.7%로 가장 높고, 그 다음으로는 '산업과 일자리 등 자족용지 확대(20.9%)', '유동적 개념의 토지이용활성화(19.1%)', '입체 용도복합개발의 활성화(18.2%)', '도심의 고밀 집약적 토지이용(10.9%)' 등의 순으로 나타났다.

이는 도시환경문제에 대한 관심과 도시경제와 자족성에 대한 중요도가 점증하고 있는 여건과 맞물려 공원녹지 및 자족용지 확대를 중요하게 인식하고 있는 것으로 보인다.

3) 신도시 도시형태 등 계획기준에 관한 사항

3기 신도시가 향후 개발될 경우 적정한 도시형태, 개발밀도, 주택유형, 주택점유형태, 주요 생활인프라는 어떠한 방향으로 설정하는 것이 바람직하다고 생각하는지에 대한 전문가 의견 분석결과는 다음과 같다.

먼저, 3기 신도시가 어떤 도시로 개발되는 것이 바람직하다고 생각하는지에 대해 전문가들은 '친환경 생태도시(40.9%)'를 가장 우선순위로 꼽았다. 그 다음으로 스마트시티 24.5%, 첨단산업도시 10.0%, 주거중심도시 7.3%, 교육문화도시 6.4%, 비즈니스도시가 5.5%로 나타났다. 이는 환경과 스마트기술, 산업 등 도시가 당면하고 있는 문제들과 미래지향성에 대한 고려가 반영된 결과로 보인다.

적정한 개발밀도에 대하여는 중밀(100~200인/ha 미만)이 57.3%로 가장 높은 응답 비율을 나타냈으며, 저밀(100인/ha 미만)은 38.2%, 고밀(200인/ha 이상)은 4.5%를 차지하였다. 이는 1기 신도시인 분당 198인/ha, 일산 175인/ha, 평촌 329인/ha와 2기 신도시인 판교 95인/ha, 동탄 134인/ha, 파주 133인/ha 등 기존 신도시의 개발밀도 수준을 감안할 때 대체로 현실적인 개발여건을 고려한 결과로 판단된다.

3기 신도시의 적정한 주택유형 비율(세대수 기준)은 어떠해야 하는지에 대해 전문가들은 54.3%가 아파트라고 응답하였으며, 단독주택은 23.9%, 연립·다세대주택은 21.8%로 나타났다. 참고로 1기 신도시의 경우 연립·다세대를 포함한 아파트 비율이 분당 91%, 일산 86% 수준이고, 2기 신도시도 판교 93%, 동탄1 86%, 파주운정 97% 등의 비율을 보이고 있다. 따라서 주택유형의 경우에도 대표적 주거형태인 아파트를 선택한 전문가들의 의견이 과반을 넘지만 단독주택과 연립주택등 저층 주거에 대한 의견도 적지 않게 나타나 주택유형의 다양화가 필요할 것으로 판단된다.

적정한 주택점유형태에 대한 질문에서는 분양소유가 60.3%, 임대 39.7%로 나타났다. 분양주택을 소유하는 것에 대해 선호도가 높았지만 임대도 약 40% 수준으로 나타나 임대주거에 대한 계획을 충분히 고려할 필요가 있을 것이다. 3기 신도시는 공공주택특별법에 근거해 시행하는 사업

이므로 법적으로 공공임대주택의 비율이 35%를 넘어야 하며, 이는 전문가들이 임대주택의 확보가 필요하다는 수준과 비슷하다. 다만 서울 주택시장의 수요분산을 고려할 때 양질의 충분한 분양주택을 시장에 공급해야 한다는 측면과 임대주택 비중이 매우 높아짐에 따른 도시 선호도 측면의 문제 등에 대해서는 향후 심도있는 검토가 필요할 것이다.

끝으로 신도시 개발시 제공해야 할 중요한 생활인프라가 무엇인지에 대하여 전문가들은 대중교통시설을 44.5%로 1순위로 중요하다고 보았다. 그 다음으로 공원녹지 16.4%, 교육・보육시설 10.9%, 산업시설 10.9%, 스마트시티인프라 9.1%, 문화여가시설 3.6%, 친환경에너지시설 2.7% 등의 순으로 나타났다. 이는 도시의 환경, 교육, 생산, 미래기술 등이 향후 중요한 생활인프라로 설치, 제공될 필요가 있음을 의미한다.

6. 결론 및 시사점

본 연구에서는 수도권의 새로운 신도시 건설이 추진됨에 따라 향후 신도시 계획시 고려해야 할 지표와 개발방향이 무엇인지를 도출해 보았다. 도시계획, 교통, 환경 등 분야별 전문가들을 대상으로 설문조사 방식을 통해 제시된 의견에 대해여 빈도분석과 분산분석기법을 이용하여 분석한 결과, 여러 가지 의미있는 결과들이 도출되었다.

먼저, 기존 1기 및 2기 신도시에 대해 계획지표들의 평가결과, 시민참여와 정보공유, 스마트기술과 서비스, 사회문화적 다양성과 포용성에서 부정적 평가가 많았다. 따라서 향후 3기 신도시를 계획할 때 시민참여를 활성하고 스마트기술을 활용한 도시개발과 사회적 다양성 및 포용성을 제고하기 위해 노력해야 할 것이다.

또한 3기 신도시에 대해 전문가들은 계획지표들에 대해 모두 중요하다고 인식하고 있다. 특히 교통의 접근성과 편리성, 환경적 쾌적성, 주거의 질과 서비스 등 도시의 기본이 되는 요소인 교통, 환경, 주거의 중요성을 가장 높게 인식하고 있으며, 경관/디자인의 우수성, 일자리 등 자족성, 사회·문화적 다양성과 포용성 등도 중요하게 보고 있음을 알 수 있었다.

둘째, 설문에 참여한 전문가들의 인식과 평가가 성별, 연령, 직업, 전문분야 등 개인특성에 따라 차이가 있는지를 알아본 결과, 1기와 2기 신도시에 대한 평가결과는 전문가 집단의 '성별'에서만 유의적 차이를 보였다. 3기 신도시의 경우에는 성별에 따른 차이와 함께 전문가들의 전문분야에 따라 일부 계획지표들의 평가에 유의적 차이가 있었다. 연령과 직업에 따른 유의적 차이는 없었기에 개인특성에 따른 평가결과는 계획지표 고려 시에 의미있는 자료로 활용하기에는 한계가 있을 것이다.

셋째, 향후 3기 신도시 개발계획 수립시의 주요 고려사항에 대해 전문가들은 인구구조변화, 산업과 일자리, 삶의 질과 다양성, 환경 및 기후변화, 사회 및 주거복지 등의 순으로 인식하였다. 또한 토지이용계획 시 중요하게 고려해야 할 사항으로 공원녹지 및 자족용지 확대를 중요하게 꼽았다. 이외에도 3기 신도시의 도시형태로 친환경 생태도시를 1순위로 꼽았으며, 중요한 생활인프라로 대중교통시설, 공원녹지, 교육시설을 매우 중요하게 보았다.

이 연구는 전문가들을 대상으로 설문조사를 통해 3기 신도시의 계획지표와 개발방향을 도출을 위한 기초연구로서 향후 도시계획 수립 시 유용한 참고자료로 활용될 수 있을 것이다. 다만 설문조사 방법에 따른 연구의 한계는 있다. 전문가의 의견이 현재의 가치와 판단에 기반할 수 있어 미래의 도시를 계획하는데 유효할 것인지를 좀 더 고민해야 한다. 또한 저밀도와 쾌적한 환경 등 누구나 선호할 수 있는 계획방향에 대한 질문에 대해 응답자의 개별적 제약 정도가 다를 수 있으므로 지불의사비용 등 일정 조건이나 제약요인 하에서 설문문항을 제시할 필요도 있다. 전문가와 실제 도시의 거주자 간에 적지 않은 인식의 차이가 존재할 수도 있다. 따라서 앞으로 좀 더 구체적이고 심층적인 지표와 방향을 설정하기 위해서는 조사항목과 내용을 더욱 구체화하고 조사범위와 대상자도 보다 다양화할 필요가 있다.

참고문헌

1. 김광식(1995), "수도권 5개 신도시 교통부문 계획의 문제점 분석과 개선방안 탐색", 「대한국토·도시계획학회지 국토계획」.
2. 김현수(2007), "2기 신도시의 평가에 관한 연구 : 1기 신도시와의 비교를 중심으로", 「한국지역개발학회지 제19권 4호」.
3. 김용성(2006), "지속가능한 신도시계획기준에 의한 분당 신도시계획 평가 연구", 「아주대학교 석사학위논문.
4. 민범식(2003), "신도시의 자족성 확보와 친환경적 개발방향", 「대한국토·도시계획학회지 국토계획」.
5. 양승우, 백인길(1997), "수도권 신도시의 주거만족도에 관한 비교 연구", 「대한국토·도시계획학회지 국토계획」제32권 6호.
6. 윤정중 외(2013), "1기 신도시 도시성분석 연구", 토지주택연구원.
7. 이수기 외(2015), "수도권 1기 신도시 통근통행특성과 공간구조의 변화(1996~2010) : 자족성과 중심성 분석을 중심으로", 「대한국토·도시계획학회지 국토계획 제50권 5호」.

8. 이외희, 이지은(2007), “수도권 제2기 신도시지역의 인구유입특성에 관한 연구”, 경기개발연구원.
9. 이경용(2013), “수도권 신도시내 대중교통의 지원체계 개선대안 및 효과분석 : 분당, 평촌을 중심으로”, 「박사학위논문」, 한양대학교.
10. 이춘호(2001), “수도권 신도시 거주자 주거 만족도 비교 분석”, 「대한국토·도시계획학회지 국토계획 제36권 6호」.
11. 장용훈(2010), “지속가능한 신도시계획기준에 의한 신도시계획 평가모형의 개발 및 적용 연구”, 「충북대학교 석사학위논문」.
12. 장준상, 이창무(2006), “수도권 5개 신도시의 자족수준 변화에 관한 연구”, 「대한국토·도시계획학회지 국토계획」 제41권 2호」.
13. 장한두(2012), “신도시 주민의 주거만족 영향요인과 주거환경 평가”, 「대한건축학회논문집 계획계 제28권 제2호」.
14. 정다운, 김홍순(2010), “수도권 1기 신도시의 자족성 및 중심성 분석”, 「한국도시지리학회지, 제13권 2호」.
15. 정성원, 여홍구(2010), “신도시 근린주구 계획에 따른 생활권 시설 보행자 이용행태 분석 : 분당신도시, 일산신도시를 대상으로”, 「대한건축학회논문집(건축계) 제26권 3호」.
16. 하혜경, 김한배(2016), “산본신도시와 김포한강 신도시의 공원녹지체계 비교로 본 경관특성 고찰”, 「한국경관학회지 제8권 제1호」.

LHI Journal (2019) 10(3):57-66 http://dx.doi.org/10.5804/LHIJ.2019.10.3.057
http://lhi.lh.or.kr

조건부가치측정법(CVM)을 활용한 개발사업지구 내 유휴부지 유료주차장 활용방안 연구

The Utilization Method of Unsold/Unused Land in Urban Development Project Areas : Estimating Feasibility of Temporary Commercial Parking Lots Using CVM

김태균[1] · 박지은[2] · 윤정란[3]
Tae Gyun Kim · Ji Eun Park · Jeong Ran Yun

(Received September 6, 2019 / Revised September 25, 2019 / Accepted October 18, 2019)

ABSTRACT

In this study, the author suggests utilizing unsold and unused land as temporary commercial parking lots as a way to raise funds for active public transport use. In addition, reasonable parking fee scheme is suggested by estimating marginal parking fee and marginal parking distance for the commercial parking lots based on the CVM. The author conducts a survey to investigate citizens' opinion on utilizing unsold and unused land in the urban development project area as temporary commercial transport facilities such as parking lots. Based on survey outcome, travel behavior and requirements are analyzed and marginal parking fee and marginal parking distance are estimated through the Contingent Valuation Method (CVM). The results are as follows: in the single-bounded dichotomous choice model, people are willing to pay 216 KRW for 165m in average for 10 minutes and their willingness to pay goes down against reaching distance to the parking lots from 365 KRW for 50m, 295 KRW for 100m, 173 KRW for 200m, and 51 KRW for 300m; in the double-bounded dichotomous choice model, people are willing to pay 285 KRW for 165m in average for 10 minutes and their willingness to pay goes down as well against reaching distance to the parking lots from 310 KRW for 50m, 297 KRW for 100m, 272 KRW for 200m and 248 KRW for 300m. It is clearly appeared that people's willingness to pay goes higher as distance to reach the parking lots goes shorter.

Key words: Unsold and Unused Land Utilization; Parking Lots; Commercial Transport Facilities; Fundraising for Public Transport; CVM

1. 서 론

그 동안 국내에서는 신도시 조성 시 대중교통지향형 도시개발(TOD)을 도모해 왔지만 오히려 신도시에서의 대중교통 이용서비스에 대한 불만은 더욱 커지고 있다. 불만의 기저에는 여러 사유가 있겠지만 사업지구내 단계적 개발에 인한 단계적인 분양(입주)방식과는 달리 대중교통공급방식은 신도시의 조성 및 입주가 완료되는 시기에서야 일괄로 공급하는 방식이 고수되고 있기 때문이다. 이로 인해 신도시 조성초기에는 계획의도와 달리 승용차 이용이 급증하여 적정 규모의 도로와 주차장용지[4]을 공급하였음에도 교통체증과 주차난이 심각하고, 열악한 대중교통서비스로 인해 사회비용의 부담 또한 증가되고 있다. 실제 이러한 문제는 대중교통 제공업체들의 운영악화로 이어지고 있고, 지자체에서는 대중교통활성화를 위해 필요이상의 재정투입을 부추기게 되는 상황이 초래되고 있다. 또한,

1) 토지주택연구원 수석연구원(주저자: raphaelo@lh.or.kr)
2) 토지주택연구원 연구원(제2저자: jepark@lh.or.kr)
3) 토지주택연구원 수석연구원(교신자자: yjr412@lh.or.kr)
4) 개발사업지구내 노외주차장의 공급규모는 지자체별로 다소 차이는 있으나 일반적으로 개발면적의 05% 수준임

대중교통공급이 양호하다고 평가받는 신도시의 경우에도 간선중심의 대중교통 우선 공급체계를 지향하고 있어 지선교통체계가 완비되기까지는 이용만족도는 낮은 수준이다.

이에 본 연구에서는 대중교통지향형 도시를 조성하기 위해서 대중교통 공급체계를 간선중심의 우선공급체계 보다는 지선교통이 강화된 선순환구조로 전환해야 한다는 점에 주목하였다. 그러나 공급방식 변화로 대중교통이 개선된다하더라도 승용차에 대한 수요관리대책이 동반되지 않는다면 불법주차가 만연하게 될 수 있으며, 대중교통 선순환구조 전환에 따른 효과가 오히려 미미하게 나타날 것이다. 특히, 사업지구 내 방치된 미매각용지 및 공공유휴지 주변에는 다른 지역에 비해 불법주차나 무단주차가 매우 높은 편이다. 따라서 사업지구 내 대중교통 활성화를 위해 대중교통 공급체계의 개선과 함께 미매각용지 및 유휴지의 불법주차 관리를 통한 승용차 수요관리 방안에 주안점을 두고 이의 실효성에 대해 연구를 진행하고자 하였다. 따라서 대중교통 이용활성화에 필요한 재원확보와 승용차 수요관리를 위해 사업지구 내 유휴지 및 미매각용지 등의 활용을 통한 교통시설 확충방안을 모색하고자 하였고, 합리적인 주차여건 분석을 위해 조건부가치측정법을 이용하여 한계주차비용과 한계주차거리 등을 도출하였다.

2. 선행연구 고찰 및 관련제도 검토

2.1 선행연구 고찰

본 연구에서는 유휴지활용 및 대중교통재원확보와 관련된 내용을 중심으로 선행연구를 검토하였다. 유휴지 활용관련 연구로는 국공유지활용, 공공분야협력, 국공유지관리체제 정비, 국·공유 유휴재산 활용을 위한 제도 검토 등을 중심으로 연구가 수행되었다. 또한 대중교통 재원확보관련 연구는 지속가능한 대중교통서비스를 위한 현황 및 법제도 검토, 대중교통인식/선호도, 이용의향 분석 등의 조사를 통해 대중교통 이용활성화 방안을 모색하는 연구들이 있다.

국토연구원(2016)은 유휴지를 활용하여 구도심에 새로운 기능을 부여하고, 경제·고용 등 거점육성을 통한 도시의 재활성화 노력을 시도하였고, 공공이해당사자간의 갈등, 책임주체 불명확, 분절화 된 재산관리체계 등 조정을 위한 국·공유 유휴재산 활용 협의채널 및 조정주체가 필요함을 제시하였다. 한국입법정책학회(2014)는 국내 유휴토지 활용현황 및 계획을 검토하였다. 유휴토지 활용을 위한 토지발굴, 수익성에 우선하기 보다는 공익성에 초점을 두고자 하였다. 아울러 유휴토지 개발 및 관리가 가능한 법제도 개선이 필요함을 제시하였다. 한국행정연구원(2013)은 국유재산 통합관리시스템 구축을 통해 국유재산 활용방안 마련 및 활용기준 정립 그리고 국유재산 관리성과를 관리할 수 있는 평가제도 도입, 국유재산 관리 거버넌스 재검토 등이 필요함을 제시하였다. 강원발전연구원(2010)은 지역개발사업 및 민간투자 유치에 활용할 수 있는 국공유지를 파악하고 활용방안을 제시하였으며, 도유재산, 시·군유재산, 국유재산, 행정재산을 함께 활용할 필요가 있음을 파악하였다.

김태균 외(2017)는 행복도시를 대상으로 대중교통인식/선호도조사, 대중교통 이용의향분석 등을 통해 대중교통이용활성화 방안을 연구하였으며, 공영주차장 유료화를 통해 발생하는 수익금을 대중교통지원 비용으로 활용하는 방안을 제안하였다. 이원규(2012)는 부산시 재정여건을 감안하여 지속가능한 대중교통 서비스가 가능하도록 법제도를 검토하고 전문가 및 시민을 대상으로 설문조사를 통해 대중교통 예산확보 방안을 제안하였다.

따라서 관련선행연구를 정리해 보면 대중교통관련 연구들은 혼잡통행료, 주차요금, 불법 주정차단속 등을 통한 재원확보 방안을 제시하여 궁극적으로 대중교통 선순환구조의 필요성을 강조하고 있다. 또한, 유휴지 활용 관련 연구에서는 유휴지 활용에 있어서 제도적 한계와 문제점, 개선과제 등에 대해 다루고 있다.

2.2 유휴지의 제도적 활용 한계

본 연구의 활용대상이 되고 있는 '유휴지(유휴토지)'의 개념은 과거「국토이용관리법」에 의해 도입, 정의되었으나, 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」로 통폐합되는 과정에서 해당 규정이 누락되어 현재 해당 법상에서는 정의나 활용에 대한 규정이 마련되어 있지 않다. 다만, 산림자원법, 철도 유휴부지 활용지침 등 일부 법령이나 행정규칙에서 특정 토지나 지역에 한정해서 지엽적으로 정의하고 활용에 대한 규정을 두고 있다.

이 때문에, 현행 제도 하에서 유휴지를 주차장 등 교통시설로 활용하기 위해서는 토지의 소유형태에 따라 규정되고 있는 「국유재산법」이나 「공유재산 및 물품관리법」을 따르거나 「공공토지의 비축에 관한 법률」상의 임대규정, 「도로법」상의 입체도로개발제도 등과 같은 규정에서 활용의 근거를 찾아야 하는 상황이다. 더욱이 활용도가 높은 기관소유 유휴지(이하. 기관토지), 사유 나대지 등의 유무상 임대, 임시사용 등은 대부분 '협약체결' 에 의존하고 있어 많은 제약이 따르고 있다.

따라서 본 연구의 전제가 되고 있는 유휴지 활용을 통한 대중교통 재원확보 방안을 모색하기 위해서는 궁극적으로 유휴지 활용을 위한 제도 개선이 필요하다.

3. 유휴지 유료주차장 활용에 따른 주민인식조사

3.1 조사 개요

본 연구를 위한 조사는 사업지구의 대중교통 환경 개선 및 대중교통선순환구조를 위한 재원확보를 위해 공공 유휴지를 한시적 유료주차장으로 활용하는 방안을 목적으로 하였다. 이에 공공유휴지를 유료주차장으로 활용에 대한 입주민 인식조사 결과를 바탕으로 유료 교통시설 활용에 따른 수용성 파악을 위해 선호도 조사를 수행하였다.

조사의 범위 및 대상은 세종시, 파주시, 대전광역시, 용인시, 수원시에 있는 5개 신도시 및 택지사업지구를 대상으로 7개 사업지구 중 미매각 용지 13개 필지주변 상주인구를 대상으로 하였으며, 상주인구 중 승용차이용자 800명을 대상으로 조사를 수행하였다.

조사내용은 주요 교통수단 및 대중교통 이용여건, 거주지/근무지 주차여건 등의 통행행태, 거주지의 교통시설 이용, 교통체계 현안 및 개선사항, 공공 유휴지 유료 교통시설(주차장)에 대한 수용성 및 지불의향 금액 등을 중심으로 하였다.

3.2 통행여건 및 주차여건에 따른 비교분석

3.2.1 대중교통 통행 총 통행시간

승용차이용자의 대중교통 이용 시 통행단계별 통행시간 조사결과 탑승 통행시간이 약 32.6분(63%)으로 가장 높게 나타났다. 환승 이동 및 대기시간은 약 7.3분(14%), 출발지에서 정류장/역까지 소요시간은 약 6.5분(13%), 도착지 정류장/역에서 최종도착지까지 소요시간 5.8분(11%) 순으로 나타났다. 승용차 이용자의 대중교통 이용 시 평균 환승 횟수는 0.66회로 분석되었다.

Table 1. Total travel time taken by public transportation

구분	time(min)	rate(%)
travel time from origin to stop/station	6.52	12.5%
transfer time or waiting time	7.29	14.0%
travel time	32.61	62.4%
travel time from stop/station to destination	5.80	11.1%
total travel time	52.22	100.0%
number of tranfer	0.66	

3.2.2 승용차와 대중교통의 통행시간 및 통행비용 분석

1) 수단간 통행시간 비교

승용차와 대중교통의 평균 통행시간을 비교해 보면 승용차 통행시간은 21분, 대중교통 통행시간은 52분으로 승용차 통행시간이 더 짧은 것으로 분석되었다. 이때 두 수단의 통행시간 차이는 통계적으로 매우 유의한 것으로 분석되었다.

Table 2. Average travel time taken by car and public transportation

mode	number	mean time(min)	St. Dev
car	804	21.13	13.709
public transportation	804	52.22	25.028
t-test : t=-30.893, p=0.0001			

승용차와 대중교통의 평균통행시간을 보면, 조사대상의 99%가 승용차 통행이 대중교통 통행시간보다 적다고 응답하였다. 승용차 통행시간이 대중교통보다 길거나 같은 경우는 1%에 불과 한 것으로 나타났다.

Table 3. Comparison between travel time taken by auto and public transportation

type	number	rate(%)
car < public transportation	796	99.0
car = public transportation	4	0.5
car > public transportation	4	0.5

2) 수단간 통행비용 비교

승용차와 대중교통의 평균 통행비용을 비교한 결과, 승용차 통행비용[5]은 평균 1,907원, 대중교통 통행비용은 평균 1,604원으로 승용차 통행비용이 더 높은 것으로 분석되었다.

Table 4. Comparison between travel costs of public transportation and auto

mode	number	mean costs(won)	St. Dev
car	804	1907.41	1711.529
public transportation	804	1604.43	1009.728
t-test : t=4.323, p=0.0001			

승용차와 대중교통의 평균 통행비용 차이를 비교해 보면 승용차 통행이 적은경우가 53.6%, 동일한 경우 1.2%로, 승용차 통행비용이 더 많은 경우 45.1%로 분석되었다. 신도시에서 나타나는 단거리 통행의 경우 대중교통에 비해 승용차 통행비용이 적을 수 있다. 다만, 이 경우 주차비용이 무료일 확률이 매우 높은 것으로 나타났다.

Table 5. Comparison between average travel costs of public transportation and auto

type	number	rate(%)
car < public transportation	431	53.6
car = public transportation	10	1.2
car > public transportation	363	45.1

5) 승용차 통행비용에는 유류비, 주차비, 통행료만을 포함하였음.

3.2.3 주차 여건 비교

1) 주차장 보유여부

응답자를 대상으로 거주지(출발지)와 도착지의 주차장 보유 여부를 살펴본 결과 거주지와 도착지 모두 항시 주차가 가능한 경우는 전체의 69.8%로 분석되었고, 거주지에만 있는 경우 18.3%, 도착지에만 있는 경우 8.2%, 거주지와 도착지에 모두 주차장이 없는 경우는 3.7%로 분석되었다.

Table 6. Existence of parking lots in living area and destination

		destination		total
		parking lot	no parking lot	
living area	parking lot	69.8	18.3	88.1
	no parking lot	8.2	3.7	11.9
total		78.0	22.0	100.0
χ^2-test		χ^2=5.416, df=1, p=0.020		

2) 거주지와 도착지 주차장 유료여부

거주지(출발지)와 도착지에 주차장 이용비용을 살펴보면 거주지와 도착지에 모두 무료인 경우는 62.8%로 분석되었고, 도착지만 유료인 경우는 5.6%, 거주지만 유료인 경우 1.2%, 거주지와 도착지 모두 유료인 경우는 0.1%로 분석되었다.

Table 7. Existence of free of charge parking lots in living area and destination

		destination parking lot			전체
		free	pay	none	
living area parking lot	free	62.8	5.6	17.8	86.2
	pay	1.2	0.1	0.5	1.9
	none	7.0	1.2	3.7	11.9
total		71.0	7.0	22.0	100.0
χ^2-test		χ^2=8.881 df=4, p=0.064			

3) 거주지와 도착지 불법주차 여부

거주지(출발지)와 도착지에 승용차를 항시 주차할 수 있는 주차장이 없는 경우 불법주차 여부에 대한 결과를 살펴보면 거주지와 도착지에서 모두 불법주차를 하는 경우 0.7%, 거주지와 도착지에서 모두 불법주차가 아닌 경우는 2.1%로 분석되었다. 거주지에 주차장은 없지만 불법주차는 아니고 도착지에서만 불법주차인 경우는 0.9%, 거주지에서 불법주차이고 도착지에서는 불법주차가 아닌 경우 응답하지 않은 것으로 분석되었다. 거주지에 주차장이 있으며 도착지에서는 불법주차 인 경우 8.1%, 불법주차가 아닌 경우 10.2%, 도착지에도 주차장이 있는 경우 69.8%로 분석되었다.

Table 8. Conditions of illegal parking in living area and destination (N=816, %)

		destination			total
		illegal	no illegal	parking lot	
living area	illegal	0.7	-	2.7	3.5
	no illegal	0.9	2.1	5.5	8.5
	parking lot	8.1	10.2	69.8	88.1
total		9.7	12.3	78.0	100.0
χ^2-terst		χ^2=18.517 df=4 p=0.001			

3.2.4 거주지와 도착지 불법주차 단속 정도

거주지(출발지)와 도착지에서 불법주차 단속정도를 살펴보면 거주지와 도착지에서 모두 불법주차 단속을 하지 않는 경우는 41.2%, 거주지와 도착지에서 모두 불법주차 단속을 하는 편인 경우는 19.9% 로 분석되었다.

거주지에서는 불법주차를 단속하나 도착지에서 불법주차 단속을 하지 않는 경우는 22.4%, 도착지에서는 불법주차를 단속하나 거주지에서는 불법주차 단속을 하지 않는 편인 경우는 16.5%로 분석되었다.

Table 9. Level of crackdown on illegal parking (N=816, %)

		destination				total
		not at all	rarely	frequent	very often	
living area	not at all	7.6	8.0	3.9	3.1	22.5
	rarely	6.1	19.5	8.3	7.1	41.0
	frequent	2.6	9.2	8.8	5.7	26.4
	very often	1.1	3.6	1.2	4.1	10.1
total		17.4	40.3	22.3	20.0	100.0
χ^2-test		χ^2=85.591 df=9 p=0.000				

3.3 유휴지 유료주차장 활용에 따른 승용차 주차행태 및 탄력도 분석

3.3.1 도시 내 유휴지 유료주차장 운영 선호도

전술한 바와 같이 본 조사에서는 거주 도시 내 유휴지를 유료주차장으로 운영하고, 수익금을 대중교통확충에 필요한 재원으로 활용하는 것에 대한 선호도 조사를 수행하였다.

조사결과 전체 87.8%가 유휴지를 유료주차장으로 활용하는데 찬성하는 것으로 조사되었다. 지역별로 살펴보면 거주지중 수원시(93.3%)가 가장 높고, 행정중심복합도시(82.1%)가 가장 낮은 것으로 분석되었다.

Table 10. Level of preference for paid parking lot operation in a city

Site	approve(%)	oppose(%)
Suwon	93.3	6.7
Youngin	87.9	12.1
Daejun - Doan	89.3	10.7
Paju	88.0	12.0
National Agency for Administrative City	82.1	17.9
total	87.8	12.2

3.3.2 탄력도 분석을 위한 시나리오 설정

유휴지의 유료주차장 운영에 따른 승용차 이용자들의 주차장 이용행태에 대한 탄력도 분석이 필요하다. 이에 본 분석에서는 주차장 접근거리 및 주차요금에 따른 지불의사를 살펴보고자 SP(Stated Preference)조사[6] 실험계획을 수립하였다.

탄력도 분석에 필요한 주차장까지의 접근거리는(평균거리, 최소거리) 2가지 시나리오로 구분하였고, 각각의 시나리오를 총 30개 조합으로 구성하였다.

Table 11. Scenarios by access distance to parking lots and parking fee

Type	scenario 1				scenario 2			
	avg. dist. (m)	std1 (won)	top1 (won)	sub1 (won)	avg. dist. (m)	std2 (won)	top2 (won)	sub2 (won)
1	100	200	300	100	50	300	500	200
2	200	300	500	200	100	500	800	300
3	300	500	800	300	200	800	1,000	500
4	300	800	1,000	500	100	1,000	1,200	800
5	300	1,000	1,200	800	50	200	300	100
6	200	200	300	100	50	300	500	200
7	300	300	500	200	100	500	800	300
8	300	500	800	300	50	800	1,000	500
9	200	800	1,000	500	50	1,000	1,200	800
10	100	1,000	1,200	800	50	200	300	100
11	200	200	300	100	100	300	500	200
12	300	300	500	200	200	500	800	300
13	300	500	800	300	50	800	1,000	500
14	200	800	1,000	500	50	1,000	1,200	800
15	300	1,000	1,200	800	200	200	300	100
16	300	200	300	100	100	300	500	200
17	100	300	500	200	50	500	800	300
18	200	500	800	300	100	800	1,000	500
19	200	800	1,000	500	50	1,000	1,200	800
20	300	1,000	1,200	800	50	200	300	100
21	300	200	300	100	100	300	500	200
22	300	300	500	200	200	500	800	300
23	200	500	800	300	100	800	1,000	500
24	100	800	1,000	500	50	1,000	1,200	800
25	200	1,000	1,200	800	100	200	300	100
26	100	200	300	100	50	300	500	200
27	300	300	500	200	100	500	800	300
28	300	500	800	300	200	800	1,000	500
29	200	800	1,000	500	50	1,000	1,200	800
30	300	1,000	1,200	800	50	200	300	100

3.3.3 유료주차장 접근거리에 따른 요금 분포

1) 접근거리별 최대 지불의향 주차요금 분포

유료주차장 운영 시 주차요금 10분당 200원에 대해 지불의사가 가장 높게 나타났으며, 거리에 따른 분포 역시 50, 100, 200, 300m 모두 10분당 200원에 대해 지불의사가 가장 높게 나타났다.

Table 12. Maximum amount of willingness to pay by access distance to paid parking lots (단위 : %)

fee(won)	access distance(m)				
	50	100	200	300	total
0	3.8	6.7	16.5	39.8	16.8
100	10.5	19.8	26.7	18.0	19.1
200	33.4	35.6	24.8	14.0	27.0
300	29.1	25.8	14.6	15.0	20.9
500	16.3	9.4	10.7	11.0	11.6
800	1.2	1.8	3.4	1.0	1.9
1,000	3.5	-	1.5	0.5	1.2
1,200	1.7	-	1.0	0.5	0.7
1,400	0.6	0.4	0.5	-	0.4
1,600	-	0.4	0.5	-	0.2

2) 승용차이용 포기 시 주차여건

유료주차장의 접근성 및 주차요금을 통해 승용차 이용자의 대중교통이용 전환요건을 살펴본 결과, 주차장 요금이 10분당 평균 632원 이상, 주차장 접근거리는 최대 194m 이상에 위치할 때 대중교통을 이용할 것이라 응답한 것으로 보아 승용차 이용자의 주차장 선호 접근거리는 200m 이내 수준인 것으로 판단하였다.

Table 13. Level of parking fee to discourage parking and maximum useable distance for parking lots

parking fee to discourage parking	maximum useable distance for parking lots
632won/10min(avg.)	194m(avg.)

3.3.4 접근거리 그룹에 따른 지불의사 분포

1) 분석기준 설정

본 분석에 사용된 표본 수는 총 1,608개이며, 개별 응답자들은 공공유휴지를 활용한 유료주차장 요금으로 주어진 제시금액에 대한 지불의사를 응답하였다.

분석을 위해 제시금액(10분기준)은 5개 그룹, 주차장 접근거리는 4개 그룹으로 설정하였다.

- 제시금액 : 200원, 300원, 500원, 800원, 1,000원
- 접근거리 : 50m, 100m, 200m, 300m

2) 접근거리 50m에 따른 분포

6) SP조사는 잠재선호조사로 가상적·실험적 상황에서의 응답자의 선호를 파악하는 조사로 선택실험법(CE; Choice Experiment)와 조건부가치추정법(CVM; Contingent Valuation Method) 등이 있는데, 본 연구에서는 CVM방법을 활용함.

응답자 344명 중 약 35.8%에 해당하는 123명이 주어진 첫 번째 제시금액에 대해 지불의사를 갖는 것으로 분석되었다. 구체적으로 주어진 제시금액에 대한 지불의사 비율은 200원이 85.6%로 가장 크게 나타났다. 그 외에는 제시금액이 커질수록 지불의사를 나타내는 비율이 대체적으로 감소하는 경향을 보이고 있다.

Table 14. Response distribution regarding willingness to pay for access distance of 50m

fee (won)	yes		no		total	
	number	%	number	%	number	%
200	77	85.6	13	14.4	90	100.0
300	32	48.5	34	51.5	66	100.0
500	0	0.0	22	100.0	22	100.0
800	2	3.8	50	96.2	52	100.0
1,000	12	10.5	102	89.5	114	100.0
전체	123	35.8	221	64.2	344	100.0

3) 접근거리 100m에 따른 분포

응답자 453명 중 약 34.9%에 해당하는 158명이 주어진 첫 번째 제시금액에 대해 지불의사를 갖는 것으로 분석되였다 .구체적으로 주어진 제시금액에 대한 지불의사 비율은 200원이 66.1%로 가장 크게 나타나며 그 외 구간은 제시금액 증가에 지속적으로 감소하는 것으로 분석되었다.

Table 15. Response distribution regarding willingness to pay for access distance of 100m

fee (won)	yes		no		total	
	number	%	number	%	number	%
200	82	66.1	42	33.9	124	100.0
300	54	37.5	90	62.5	144	100.0
500	14	21.9	50	78.1	64	100.0
800	6	8.3	66	91.7	72	100.0
1,000	2	4.1	47	95.9	49	100.0
전체	158	34.9	295	65.1	453	100.0

4) 접근거리 200m에 따른 분포

응답자 412명 중 약 22.3%에 해당하는 92명이 주어진 첫 번째 제시금액에 대해 지불의사를 갖는 것으로 분석되었다. 구체적으로 주어진 제시금액에 대한 지불의사 비율은 200원이 62.2%로 가장 크게 나타나며 그 외 구간은 제시금액 증가에 지속적으로 분석되었다.

Table 16. Response distribution regarding willingness to pay for access distance of 200m

pay (won)	yes		no		total	
	number	%	number	%	number	%
200	46	62.2	28	37.8	74	100.0
300	12	60.0	8	40.0	20	100.0
500	16	16.3	82	83.7	98	100.0
800	14	10.3	122	89.7	136	100.0
1,000	4	4.8	80	95.2	84	100.0
전체	92	22.3	320	77.7	412	100.0

5) 접근거리 300m에 따른 분포

구체적으로 주어진 제시금액에 대한 지불의사 비율은 200원이 22.4%로 가장 크게 나타났다. 그 외에는 제시금액이 커질수록 지불의사를 나타내는 비율이 대체적으로 감소하는 경향을 보이고 있다.

Table 17. Response distribution regarding willingness to pay for access distance of 300m

fee (won)	yes		no		total	
	number	%	number	%	number	%
200	22	22.4	76	77.6	98	100.0
300	22	23.9	70	76.1	92	100.0
500	14	14.6	82	85.4	96	100.0
800	0	0.0	24	100.0	24	100.0
1,000	4	4.5	85	95.5	89	100.0
전체	62	15.5	337	84.5	399	100.0

6) 분석결과 종합

접근거리 그룹에 따른 분석결과를 정리해 보면 공공유휴지를 활용한 유료주차장 이용으로 지불해야 하는 요금이 높아짐에 따라 지불의사가 작아짐을 나타내고 있어 가상적인 시장상황을 잘 설명하고 있다.

4. 조건부가치측정법(CVM)

4.1 모형의 개요

4.1.1 모형의 필요성

본 연구에서는 사업지구내 미매각 용지나 유휴지를 유료주차장으로 활용하여 대중교통활성화를 위한 재원확보를 모색하고자 하였다. 보다 효율적인 재원확보를 위해서 이용자의 주차수요를 고려한 주차장 접근거리에 따른 주차요금의 설정이 필요하다. 이에 주차장 접근거리에 따른 주차요금 지불의사 추정을 통해 주차요금을 제안하고자 하였으며, 경제적 가치추정 방법 중의 하나인 조건부가치측정법(CVM)을 이용하였다. 최우추정법을 적용하여 단일경계모형, 이중경계모형을 추정하고, 응답결과의 일치성(consistency) 검토를 위해 공변량 없는 모형과 공변량 포함한 모형으로 구분하여 추정하였다.

4.1.2 모형의 이해

조건부가치측정법(CVM)은 시장에서 거래 될 수 없는 무형재화나 기존의 방법으로 측정하기 어려운 유형재화의 가치를 화폐가치로 정밀하게 측정/산출하는 경제학적 방법론으로 주로 환경재에 대한 주민들의 효용을 측정하는데 사용되어 왔다.[7] 조건부가치추정방법은 가상적·실험적 시장상황에 대한 응답자의 지불의사액을 질문하거나 제시된 가격에 대한 WTP(willingness-to-pay)를 조사하는 방법이다. 조건부가치추정법의 단일경계모형, 이중경계모형, 1.5 경계모형 등에서 단일경계모형과 이중경계모형을 적용하여 응답자의 지불의사액(WTP)을 추정하였다.

단일경계모형은 응답자가 자신의 효용함수를 정확하게 알고, 주어진 화폐소득과 개인의 특성들에 근거하여 연구대상의 상태 변화에 대해 느끼는 효용은 간접효용함수 ($v(j,y;s)$, y: 응답자의 사회・경제적 특성 변수, s: 응답자의 태도 등 정성적 특성변수)로 표현된다.

$$u(j,y;s) = v(j,y;s) + \epsilon_j,\ j = 0,1$$

ϵ_j = 평균이 0인 동일하면서도 독립적으로 분포된 확률변수

j = 0,1은 각각 정책 시행 이전, 이후 상태

양분선택형 질문을 이용한 조건부가치측정법은 단일경계모형에서보다 이중경계모형이 보다 정확한 응답자의 지불의사액을 추정할 수 있다.[8]

4.1.3 변수설정

경제적 가치 추정을 위한 양분선택형 질문을 이용한 방법에서의 종속 변수는 수용의향(Res)으로 설정하였다. 수용의향은 공공유휴지의 유료주차장 이용 요금의 제시금액의 함수로 설정하며, Logit 분석을 수행하였다.

유료주차장 이용에 따른 제시요금에 대한 수용의사에 영향을 줄 수 있는 7개의 독립변수(제시금액, 통행시간, 통행비용, 신설주차장까지의 접근거리, 성별, 연령, 학력)를 설정하였다. 그러나 독립변수 중 성별(gender)의 경우 모형의 독립변수로서 그 유의성이 확보되지 않아 본 분석에서 제외하였다.

Table 19. Dependent variable and independent variables used in CVM specification

		input type
dependent	responds(Res)	yes 1, no 0
independent Variable	biding cost(Bid)	won
	travel time(Time)	min
	travel cost(Cost)	won
	access distance to parking lot (Distance)	m
	gender(Gen)	male 1, female 0
	age(Age)	years
	education(Edu)	middle 1, high 2, univ.~ 3

4.2 모형 추정결과

4.2.1 CVM-단일경계모형

응답자들의 이용행태 신뢰성을 확보하기 위해 현재 통행구간을 중심으로 조사를 시행하였다. 현재 통행하는 구간을 최근 1주일 동안 통행한 횟수는 평균 4.56회로 조사되었으며, 5~6회 통행이 가장 높게 나타났다. 현재의 통행목적과 구간이 통상적인 통행패턴으로 볼 수 있었다. 조사대상중 승용차 이용자가 평균 4.79회로 대중교통 이용자 4.21회 보다 많은 통행을 보였으며, 각 생활권 별 통행 횟수는 4생활권

Table 18. CVM estimation result using single-bounded dichotomous choice model

Variable	include Covariance			not include Covariance		
	Coefficient	SD-Error	t-statistic	Coefficient	SD-Error	t-statistic
Constant	2.475284	0.500349	4.947***	0.932858	0.123010	7.584***
Bid	-0.004396	0.000288	-15.279***	-0.004238	0.000284	-14.912***
Time	0.010004	0.002678	3.735***			
Cost	0.000210	0.000072	2.897**			
Distance	-0.005379	0.000712	-7.554***			
Age	-0.017447	0.006339	-2.752**			
Edu	-0.274153	0.116122	-2.361*			
test-statistic	Number of observation = 1608			Number of observation = 1608		
	$L(\hat{\beta})$ = -717.7703 L(0) = -938.7146 χ^2 = 441.8886 (df=6, P=0.0000)			$L(\hat{\beta})$ = -767.9483 L(0) = -928.7146 χ^2 = 341.5325 (df=1, P=0.0000)		

* 5% 유의수준, ** 1% 유의수준, *** 0.1% 유의수준

7) 김병준 외, 「조건부가치측정법으로 측정한 애플 UX 디자인 특허의 화폐적 가치」, HCI 2013. 전개서.

8) Cooper(1994)는 단일경계 모형에서 이중경계, 삼중경계(triple-bound) 모형으로 변함에 따라 WTP 추정치의 효율성 증진을 평가하기 위해 평균 WTP를 이용한 몬테카를로 실험을 수행하였다. 그 결과 단일경계에서 이중경계로 변하는 것은 WTP의 점추정치를 크게 변화시키며 추정치의 분산도 큰 감소가 야기되었지만, 삼중경계 모형의 경우는 추정치의 편의나 효율성의 개선은 미미하다고 주장했다.

Table 20. CVM estimation result using double-bounded dichotomous choice model

Variable	include Covariance			not include Covariance		
	Coefficient	SD-Error	t-statistic	Coefficient	SD-Error	t-statistic
Constant	1.807511	0.349022	5.179***	1.143390	0.093444	12.236***
Bid	-0.004240	0.000215	-19.739***	-0.004063	0.000209	-19.431***
Time	0.011541	0.001842	6.265***			
Cost	0.000146	0.000047	3.128**			
Distance	-0.001055	0.000521	-2.025*			
Age	-0.017555	0.004492	-3.908***			
Edu	-0.191907	0.081251	-2.362*			
test-statistic	Number of observation = 2678			Number of observation = 2676		
	$L(\hat{\beta})$ = -1409.161 L(0) = -1713.520 χ^2 = 608.7194 (df=6, P=0.0000)			$L(\hat{\beta})$ = -1447.390 L(0) = -1713.520 χ^2 = 532.2608 (df=1, P=0.0000)		

* 5% 유의수준, ** 1% 유의수준, *** 0.1% 유의수준

5.16회, 3생활권 4.85회, 1생활권 4.76회, 6생활권 4.58회, 2생활권 3.83회 순으로 나타났다.

CVM-단일경계모형(지불의사 없는 경우 포함)에 의한 추정결과 공변량을 포함한 경우와 포함하지 않은 경우 모두 제시금액(Bid)이 통계적 유의성을 확보하는 것으로 분석되었다. 또한 모형의 적합도 검증에서 공변량 포함 모형이나 비포함 모형 모두 χ^2값이 통계적으로 p< 0.001 수준 이내에서 유의한 것으로 나타나 상당히 양호한 것으로 분석되었다.

공변량을 포함한 모형의 설명변수를 살펴보면, 주요통행의 통행시간이 길수록, 통행비용이 클수록, 제시요금에 대한 지불의사가 높은 것으로 파악되었다. 또한 유료주차장까지의 거리가 가까울수록, 연령이 적을수록, 학력이 낮을수록 제시요금에 대한 지불의사가 높은 것으로 나타났다.

분석결과를 추론해 보면 연령대가 낮을수록 지불의사가 높은 경우는 경제활동이 활발한 젊은 운전자의 연령대가 조사된 것으로 판단된다. 학력수준에 따른 지불의사의 경우 조사대상 연령대중 40,50대가 절반이상에 이르고 있어 실질적인 학력수준이 고졸의 구성비가 높을 것으로 추론된다.

4.2.2 CVM-이중경계모형

통행목적은 업무(28.6%), 통근/통학(27.8%), 여가/관광(11.5%)순으로 높게 나타났다. 1, 6생활권은 통근/통학(28.4%, 35.6%), 2, 3, 4생활권은 업무(26.2%, 31.0%, 40.0%)가 가장 높게 나타났다. 승용차 이용자는 통근/통학(26.9%), 대중교통 이용자는 업무(31.3%)가 가장 높은 것으로 나타났다.

이용 가능한 수단으로는 승용차(77.8%), 시내버스(50.6%), 택시(43.0%), BRT(간선급행버스, 31.6%) 순 이었고, 타 생활권에 비해 3, 4생활권이 택시가 높게 나타났다.

CVM-이중경계모형에 의한 추정결과 이중양분 선택형 질문을 통해 0원을 초과하는 지불의향자만을 대상으로 한 Logit분석(KDI 예비타당성 조사 지침 의거) 결과 공변량을 포함했을 경우와 포함하지 않았을 경우 모두에서 제시금액(Bid)이 통계적 유의성을 확보하여 모형에 포함되었다. 또한 모형의 적합도 검증에서 공변량 포함 모형이나 비포함 모형 모두 χ^2값이 통계적으로 p<0.001 수준 이내에서 유의한 것으로 나타나 상당히 양호한 것으로 분석되었다.

공변량을 포함한 모형의 설명변수를 살펴보면, 단일경계모형과 유사하게 주요통행의 통행시간이 길수록, 통행비용이 클수록, 제시요금에 대한 지불의사가 높은 것으로 파악되었으며, 유료주차장까지의 거리가 가까울수록, 연령이 적을수록, 학력이 낮을수록 제시요금에 대한 지불의사가 높은 것으로 분석되었다.

4.3 주차장 접근거리에 따른 요금 산정

4.3.1 CVM-단일경계모형

유료주차장까지 접근거리에 따른 주차장 요금분포를 살펴보면, 공변량을 포함한 경우 10분당 216원, 공변량을 포함하지 않은 경우 10분당 220원 수준으로 추정되었다.

Table 21. Parking fee assessment by parking lot access distance (single-bounded dichotomous choice model)

	include Covariance(won/10min)					not include Covariance
	Total (avg : 165m)	access distance to parking lot				
		50m	100m	200m	300m	
fee	216	356	295	173	51	220

4.3.2 CVM-이중경계모형

유료주차장까지 접근거리에 따른 주차장 요금분포를 살펴보면, 공변량을 포함한 경우 10분당 285원, 공변량을 포함하지 않은 경우 10분당 281원 수준으로 추정되었다.

Table 22. Parking fee assessment by parking lot access distance (double-bounded dichotomous choice model)

	include Covariance(won/10min)					not include Covariance
	Total (avg : 165m)	access distance to parking lot				
		50m	100m	200m	300m	
fee	285	310	297	272	248	281

4.4 추정모형을 활용한 유료주차장 수익성 산정모의실험

4.4.1 분석대상지역 선정

모의실험 분석대상지역은 관련 선행연구인 김태균 외(2017)[9]의 주차장 유출입통행량 조사 자료를 활용하였다. 주차장 유출입통행량 조사의 대상지였던 정부세종청사주변 공영주차장중 제7주차장(403면)을 대상으로 하였다. 현재 제7주차장은 복합시설물 공사가 이뤄지고 있으며, 접근거리 100m이내에 주요 상가/업무시설 및 공공시설이 위치하고 있다.

분석대상 주차장의 평균주차시간 305분/대, 회전율은 3.89대/면으로 기존 사업지구의 상업/업무지역에 비해 주차시간 다소 길다는 단점을 가진다.

4.4.2 유료주차장으로 활용시 수익성 분석 산정 결과

추정모형을 활용한 유료주차장의 수익성 산정 모의실험 분석결과를 살펴보면 다음과 같이 정리할 수 있다.

공변량변수가 포함되지 않은 경우, 단일경계모형은 평균주차비용이 8,998원/대/회, 주차장 일일수익은 일평균 14,105천원으로 분석되었으며, 이중경계모형은 평균주차비용이 9,059원/대/회, 주차장 일일수익은 일평균 14,201천원으로 분석되었다.

공변량변수가 포함된 경우 단일경계모형은 평균주차비용이 6,710원/대/회, 주차장 일일수익은 일평균 10,519천원으로 분석되었고, 이중경계모형은 평균주차비용이 8,571원/대/회, 주차장 일일수익은 일평균 13,463천원으로 분석되었다.

세종시 공영주차장 주차요금기준을 적용해 산정해 보면 1회당 평균 주차요금은 1일 주차요금 상한치를 상회하는 것으로 분석되어 주차장의 1일 주차수익은 모형적용시 다소 높게 나타나는 것으로 분석되었다. 다만 단일경계모형의 공변량 변수를 포함할 경우 모형추정치와 동일한 것으로 분석되었다.

5. 결 론

본 연구에서는 사업지구 내 잔존하는 유휴지를 한시적으로 주차장과 같은 유료교통시설로 활용하는 것에 대한 주민인식조사를 수행하였다. 조사를 통해 얻어진 자료를 활용하여 통행행태 분석 및 요구사항을 분석하였고, 조건부가치측정법(CVM)을 이용하여 한계 주차비용과 한계 주차거리 등을 추정하고자 하였다.

주차장 접근거리 분포에 따른 지불의사액 추정결과 접근거리별 10분당 요금은 50m 356원, 100m 295원, 200m 173

Table 23. Feasibility analysis for the case of turning the 7th parking lot into a paid parking lot (for every 100m)

	include Covariance	biding cost(A) (won/10min)	parking time(B) (min/car)	parking fee(C) (won/car/n)	parking lots(D) (n)	turnover per parking lot(E) (car/lot)	daily revenue (C×D×E) (thou. won)
single-bounded	no	295	305	8,998	403	3.89	14,105
	yes	220	305	6,710	403	3.89	10,519
double-bounded	no	297	305	9,059	403	3.89	14,201
	yes	281	305	8,571	403	3.89	13,463

Table 24. Viability analysis for the case of introducing parking fees of public parking lot (comparison to the parking fees invested for the 7th parking lot)

	include Covariance	based on model		based on daily parking fee(won)		daily revenue(thou. won)	
		parking fee per unit(won)	daily revenue(thou. won)	car	other than cars	car	other than cars
single-bounded	no	8,998	14,105	5,000	8,000	7,838	12,541
	yes	6,710	10,519	5,000	6,170	7,838	10,519
double-bounded	no	9,059	14,201	5,000	8,000	7,838	12,541
	yes	8,571	13,463	5,000	8,000	7,838	12,541

9) 김태균 외,「행정중심복합도시 대중교통 이용활성화 방안 연구」, LH 토지주택연구원, 2017, pp.54-61.

원, 300m 51원으로 분석되었다. 주차장 접근거리가 가까울수록 지불 가능한 금액이 높게 나타남을 확인할 수 있었다. Roess. Roger P, et al.(2004)에 따르면, 주차장 이용자가 주차 후 본인의 목적지까지 갈 때 주차위치를 결정하는데 있어서 보행거리는 중요한 요인이 되며, 운전자는 목적지에 최대한 가까운 주차공간을 찾으려는 경향이 있다고 하였다. 또한 인구 1~ 200만 명인 도시의 경우에는 운전자의 약 75%가 목적지로부터 약 400m 이내에 주차하는 것으로 나타났으며, 인구 1,000만 명 이상의 도시지역에서도 평균 약 274m 이내의 거리에 위치한 주차장에 주차하고자 하는 것으로 나타났다. 이는 본 연구에서 제시하고 있는 분석결과와 유사한 패턴이 나타나고 있음을 확인할 수 있었다.

향후 사업지구내 대중교통 활성화를 위한 재원확보를 위해 유휴지를 한시적 유료교통시설로 활용하고자 한다면 본 연구에서 제시한 유휴지의 활용범위의 확장을 전제로 한계 주차비용과 한계 주차거리 등을 추정결과의 반영을 기대해 볼 수 있다.

하지만, 본 연구에서는 주차수요가 높은 수도권 일부지역과 세종특별시 및 대전광역시를 대상으로 연구가 수행되어 범용적으로 적용하기에는 다소 한계가 따른다. 향후 적용을 위해서는 지역의 특성에 맞게 조정되어야 할 필요성이 있다. 후속연구에서는 각 지역특성에 따라 유휴지를 주차장으로 활용하는 것에 대한 선호도를 비교하는 것도 의미를 가질 것으로 기대된다.

또한, 유휴지 활용범위 확장을 위해서는 제도개선과 사회적 합의가 필요하다. 그러나 앞서 언급한 바와 같이 연구의 범위 및 맥락 상 이를 심도 있게 다루지 못하였다. 다만, 선행연구 및 본 연구의 결과를 토대로 볼 때 다음과 같은 후속과제가 필요함을 도출할 수는 있었다.

첫째, 유휴지의 활용을 통한 대중교통 활성화 재원확보의 실효적 효과를 거두기 위해서는 유휴지 임대활용, 협약을 통한 유휴지 임시사용 등에 대한 제도개선을 비롯한 종합적 유휴지 관련법률의 제정을 통한 제도적 기반 구축이 필요하다.

둘째, 유휴지라 하더라도 국·공유재산 또는 기관토지의 활용은 사회적 합의와 공감대가 필요하며 한시적 활용의 안정성을 확보하기 위해서는 체계적인 운영·관리대책이 필요하다. 따라서 유휴지 활용의 보완대책으로 '주차환경개선지구 지정'을 통해 운영·관리체계를 확보하는 방안이 필요하다. '주차환경개선지구'는 「주차장법」 제4조에서 규정하고 내용으로 본 규정에 따라 지정 기준 및 지정 · 관리계획 수립을 추진하면 임시사용에 따른 논란이나 불안정성을 해소할 수 있을 것이다.

이와 같은 제도적 근거가 마련된다면, 유휴지의 활용범위를 확장할 수 있을 것이며 발생하는 수익금을 대중교통활성화에 사용할 수 있는 재원활용의 근거도 확보될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 한국토지주택공사 토지주택연구원에서 수행된 '개발사업지구 내 유휴지 활용을 이용한 대중교통 재원확보 방안 연구' 보고서의 내용을 수정 · 보완하여 작성한 것입니다.

참고문헌

1. 김태균 외(2017), "행정중심복합도시 대중교통이용활성화 방안 연구", 「LH 토지주택연구원」.
2. 박소영 외(2016), "도시 내 국공유 유휴재산 활용을 위한 공공분야 협력방안", 국토연구원.
3. 이원규 외(2012), "대중교통 활성화를 위한 재원확보 방안", 부산발전연구원.
4. 임지봉 외(2014), "공익적 목적을 위한 유휴토지 활용방안 연구", (사)한국입법정책학회.
5. 조명호 외(2010), "지역개발사업 활성화를 위한 국공유지 활용방안", 강원발전연구원.
6. 최순영 외(2013), "국유재산의 효율성 제고를 위한 활용방안", 한국행정연구원.
7. Roess. Roger P, Prassas. Elena S, McShane. William R(2004), "Traffic engineering", 「3rd ed. Upper Saddle River」, N.J: Prentice Hall, 270~274.
8. 법제처, 국가법령정보센터(http://law.go.kr)
9. 한국도로공사(http://www.ex.co.kr)

LHI Journal (2019) 10(3):67-75 http://dx.doi.org/10.5804/LHIJ.2019.10.3.067
http://lhi.lh.or.kr

적층식 모듈러주택의 시공 프로세스 분석을 통한 품질관리 중점사항 제안

Suggestions for Quality Management through Analysis of Construction Process of Multi-layer Modular Housing

손정락[1] · 이동건[2] · 방종대[3] · 김진원[4]
Jeong Rak Sohn · Dong Gun Lee · Jong Dae Bang · Jin Won Kim

(Received September 2, 2019 / Revised September 27, 2019 / Accepted October 17, 2019)

ABSTRACT

The modular construction means that more than 70% of the parts such as walls, windows, electrical wiring, facility piping, bathrooms, and kitchen appliances are pre-assembled at the factory and transported to the site. It is possible to shorten the construction period than general construction work and to secure high quality through modular mass production since the modular construction works in the field at the same time as the modular production. However, there are only four domestic modular manufacturers, and each company's modular components and construction methods are different, so it is necessary to standardize them. Therefore, this study investigated the construction process centering on the stacking method of modular housing construction work applied to D site in Cheonan-si, and proposed the key points of quality management by construction stage. As the project was conducted as a pilot project for government R&D projects, some differences may occur from general modular housing construction. However, the construction process and quality control focus of each unit box type modular house analyzed in this study can be used as basic data in the future of modular housing construction. In addition, the results of this study can be used to establish construction standards, such as the development of checklists and establishment of standard processes.

Key words: Modular Housing(모듈러주택), Multi-layer Modular(적층식 모듈러), Quality management(품질관리), Housing Construction(주택건설공사)

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

최근 1인 또는 2인 가구의 증가에 따라 고령자, 사회초년생, 신혼부부 등을 위한 공공임대주택 수요가 증가하고 있다. 하지만 도심지의 주택의 공급여건은 택지부족, 건설비 상승, 도심 임대료 급증, 임대주택에 대한 수요층 변화 등으로 공공임대주택의 공급방식에 대한 변화가 필요한 실정이다(김진성 등, 2009). 이에 따라 정부에서는 소규모택지를 활용하고, 공기단축을 통한 주택의 적기 공급을 위해 모듈러 공법을 적용하여 도심지에 소규모 임대주택을 공급하고 있다. 지난 2017년에는 한국토지주택공사가 부산광역시 용호동에 4층 규모 14호 다세대주택을 공급하였고, 같은 해 12월에는 서울주택도시공사가 서울특별시 가양동에 6층 규모 30호 공동주택을 공급하였다.

모듈러 공법을 적용한 주택 건설공사는 터파기, 기초, 지하 및 지상 구조물 공사와 모듈러 공장제작을 동시에 진행할 수 있어 전체 공사기간을 단축시킬 수 있다. 뿐만 아니라 모듈러 공법은 유닛의 대량생산을 통한 원가절감 및 고품질 확보, 도심지 소규모택지 활용 가능, 필요에 따라 이축 및 증축 가능 등 다양한 측면에서 장점을 가지고 있다. 하지만 국내에서 모듈러주택은 아직까지 공급사례가 많지 않으며,

1) 토지주택연구원 연구위원(주저자: jrsohn@lh.or.kr)
2) 토지주택연구원 책임연구원(dk418@lh.or.kr)
3) 토지주택연구원 선임연구위원(jdbang@lh.or.kr)
4) 토지주택연구원 연구원(교신저자: jw-kim@lh.or.kr)

모듈러 제작업체별 공업화주택 인정범위가 서로 달라 모듈러 구성재료 및 시공방법 등이 표준화되어 있지 않은 실정이다. 이에 본 연구에서는 모듈러주택 건설공사의 기획 및 설계단계에서 품질을 확보할 수 있도록 모듈러 공장제작, 현장조립, 현장마감 단계에 발생하는 주요 문제점을 파악하고, 품질관리 중점사항을 도출하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 지난 2019년 6월 천안시에 준공된 D현장의 모듈러주택 건설공사의 적층식 공법을 대상으로 수행하였다. 연구의 범위는 터파기, 기초, 지하 및 지상 골조공사 등 비모듈러 부문을 제외한 적층식 모듈러의 공장제작, 현장조립, 현장마감 등 모듈러 부문의 공사단계로 설정하였다. 모듈러 공사단계별 시공 프로세스는 설계도서 및 작업일보 검토와 시공단계별 모니터링을 통해 조사하였다. 그리고 품질관리 중점사항은 모듈러 공사에서 발생하는 시공오차, 공기지연, 공종 간의 작업간섭, 기타 요인 등의 분석 및 공사관리 책임자와의 인터뷰를 통해 도출하였다. 본 연구의 세부적인 수행절차는 다음과 같다.

(1) 모듈러 공법의 개요에 대한 고찰을 실시하고, 모듈러 공사의 품질관련 선행연구를 파악하였다.

(2) 천안시 D현장의 공사개요를 파악하고, 적층식 공법의 공사추진 계획을 파악하였다.

(3) 적층식 공법의 공사단계별 프로세스를 조사하고, 공사관리상의 주요 문제점을 파악하였다.

(4) 공사관리 책임자와의 인터뷰를 통해 적층식 공법의 공사단계별 품질관리 중점사항을 도출하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 모듈러 공법의 개요

모듈러 공법은 유닛 구조체에 벽체와 창호, 전기 배선, 설비 배관, 욕실, 주방기구 등 70% 이상의 부품을 공장에서 선 조립하여 현장으로 운송 후 조립하는 공법으로 Table 1과 같이 유닛박스형, 패널라이징, 인필 공법으로 분류할 수 있다. 유닛박스형 공법은 공장에서 철강재로 구조체를 제작하고, 바닥판 설치, 벽체 및 천장 판넬, 전기 및 설비, 내·외부 마감재 등의 작업을 공장에서 실시한 후 현장으로 운송하여 수평 및 수직으로 적층하여 조립하는 공법이다. 패널라이징 공법은 설계단계에서 구조계산을 통해 자재의 종류, 크기, 수량 등을 결정하여 주요구조부재 및 판넬을 공장에서 생산하고, 현장으로 반입하여 각 부재를 조립하는 공법을 의미한다. 마지막으로 인필 공법은 공장에서 단층형 유닛모듈을 제작하여 현장으로 운송 후, 철골 또는 철근콘크리트 구조물에 유닛모듈을 삽입하는 공법이라 정의할 수 있다.

Table 1. Type of the modular system

classification	Unit box type	Panelizing	Infill
factory production rate	80%	50%	80%
construction period reduction rate	50%	30%	50%
subject of application	middle and low-rise	low-rise	high-rise

본 연구에서 정의한 적층식 모듈러주택은 유닛박스형 모듈러를 공장에서 제작한 후 현장으로 운송하여 레고블록 형태로 쌓아올려 완성되는 주택이라 할 수 있다. 이 공법은 공장제작율이 약 80% 정도로 일반 건축공사보다 공사기간을 단축할 수 있는 장점이 있으며, 중저층 및 고층에 적용할 수 있어 다세대 또는 공동주택 등에 적용이 가능하다. 하지만, 적층식 모듈러 공법은 모듈러 하부의 기초 및 지하층 등의 습식공사가 선행되어야 하며, 모듈러와 비모듈러 접합부위에 대한 품질확보가 중요하므로 설계단계에서 공정 및 품질 등을 종합적으로 고려하여 설계도서가 완성되어야 할 것으로 판단된다.

2.2 모듈러 공법의 개발동향

모듈러주택은 주택법 제51조에 의거하여 주요 구조부의 전부 또는 일부, 세대별 주거 공간의 전부 또는 일부를 국토교통부령으로 정하는 성능기준 및 생산기준에 따라 맞춤식 등 공업화 공법으로 건설하는 주택을 의미한다. 국내 공업화 공법 관련 기술개발은 1990년대 초 프리캐스트 콘크리트(PC) 공법이 아파트 건설에 도입되었으나, 설계 엔지니어링 및 시공 기술력 확보 부족으로 큰 성과를 거두지 못하였다(김균태, 2011). 또한, IMF로 인한 주택경기 침체와 경제성 미확보, 부실공사 등으로 인해 공업화 주택에 대한 인식이 개선되지 않음에 따라 대부분의 업체들은 공업화 주택 생산을 포기하였다(문영아 등, 2013). 2000년대에는 국내에서 건설인력 부족, 품질향상, 이동 및 재사용이 가능한 건축물의 필요성 등으로 철골구조 기반의 모듈러 공법 개발에 대한 연구가 진행되었다(조봉호 등, 2007). 2003년에는 서울 신기초등학교 시범사업에 모듈러 공법이 적용되었고, 이후 군대 막사나 학교 기숙사 등 공공시설에 모듈러 공법이 도입되었다. 또한, 2017년에는 정부 주도로 부산 용호동(14호 다세대주택)과 서울 가양동(30호 공동주택) 주택건설 공사에 모듈러 공법이 도입됨에 따라 향후에도 모듈러 공법은 소규모 주택건설 공사에 확대 적용이 가능할 것으로 판단된다.

2.3 모듈러 품질관리 관련 선행연구

국내의 모듈러 건축시장은 영국이나 미국과 같은 해외 선진국에 비해 활성화가 되어있지 않은 실정이며, 모듈러 공법을 적용한 공동주택 건설공사 시장규모는 매우 작은 편이다. 따라서 아직까지 모듈러주택의 품질과 관련하여 진행된 연구는 다소 미흡한 편이라 할 수 있다. 이영호 등(2012)은 모듈러 건축물의 설계품질 향상을 위해 건축물의 공장제작 및 현장시공 단계에서 발생하는 문제점을 도출하여 기본설계 단계에서 고려해야할 주요 검토사항을 제시하였다. 황현준과 정찬우(2016)는 주거시설물의 모듈러 제작품질을 확보하기 위해 기 준공된 4개의 시설물에서 발생하는 하자를 중심으로 모듈러 제작도면을 개선하기 위한 연구를 수행하다. 또한, 전영훈 등(2015)은 국내에 적용사례가 가장 많은 유닛박스형 모듈러주택을 대상으로 인터뷰 조사를 통해 설계품질 향상 방안을 제시하였다. 모듈러 공법의 품질과 관련된 선행연구는 대부분 준공이 완료된 현장을 대상으로 실시하거나, 모듈러 제작업체 관계자와의 인터뷰를 통해 결과를 도출하였다. 따라서 모듈러 공법의 품질관리 관련 선행연구들은 모듈러 제작·조립·마감 단계에서 발생할 수 있는 다양한 문제점들을 개선하는데 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 모듈러주택의 공사단계별 모니터링을 통해 시공 프로세스를 조사하고, 주요 문제점 분석을 통한 품질관리 중점사항을 도출하고자 한다.

3. 현장개요 및 모듈러 공사 추진현황

3.1 현장 개요

천안시 D현장의 모듈러주택 건설공사는 비모듈러와 모듈러 공사로 구분된다. 비모듈러 공사는 터파기, 기초, 지하 및 1층 골조공사, 지상층 코어, 인필식 골조공사, 외장공사 등을 포함하고 있으며, 모듈러 공사는 인필식과 적층식 공법이 혼합하여 적용되었다. 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 유닛박스형 모듈러로 구성되어 있는 적층식 부분을 중심으로 공사단계별 시공 프로세스를 조사하였다. 해당 사업지구는 일반주거지역으로 빌라 촌 사이에 위치하고 있으며, 50m 거리에 초등학교 및 학원들이 밀집해 있어 안전을 고려하여 공사를 수행하였다. 또한, 사업부지 북측에는 8m도로가 위치하고 있으나, 주거지역의 특성상 인근 주민들이 갓길에 차량을 빈번하게 주차하고 있어 모듈러 현장조립을 위한 크레인 배치 및 모듈러 현장반입 시 공기지연 장애요소로 파악되었다. 이밖에도 해당 현장 맞은편 건물에 학원들이 위치하고 있어 학교 하교시간에 다수의 차량이 현장의 주도로를 왕래하였으며, 현장에서 발생하는 소음과 비산먼지 등으로 인해 일부 민원이 발생하였다. 천안시 D현장의 모듈러주택 건설공사 개요는 Table 2와 같이 요약할 수 있다.

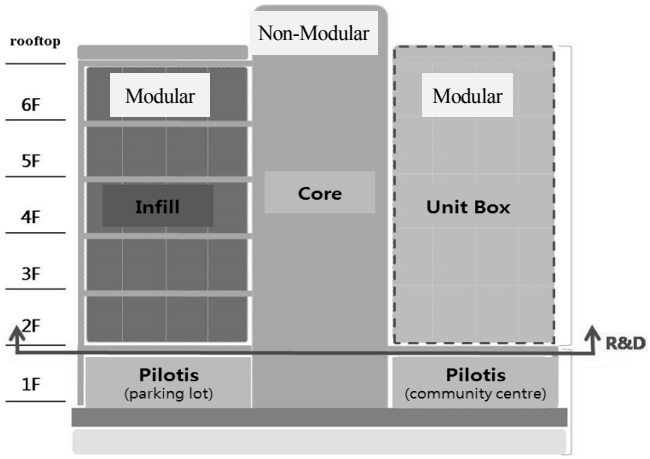


Fig. 1. Construction scope by construction method

Table 2. Construction overview of modular housing

classification	content
types of houses	Rental housing
location	581 Dujeong-dong, Seobuk-gu, Cheonan-si, Chungnam
area	971.20㎡
road Status	North side passing road 8M
construction area	402.16㎡
building coverage ratio	41.41%
total building floor area	1514.55㎡
ratio of floor area to site	155.95%
the number of households	20 units of infill & 20 units of unit box
method of construction	RC & Modular method
number of stories	6F
parking lot	17

3.2 모듈러 공사추진 현황

천안 D현장의 공사추진 프로세스는 Fig. 2와 같이 총 5단계로 구분할 수 있으며, 비모듈러(터파기 및 골조공사)와 모듈러(생산, 조립, 지붕, 외부) 공사를 순차적으로 실시한 후 다시 비모듈러(RC 코어 및 부대공사) 공사 순서로 공사추진 계획을 수립하였다.

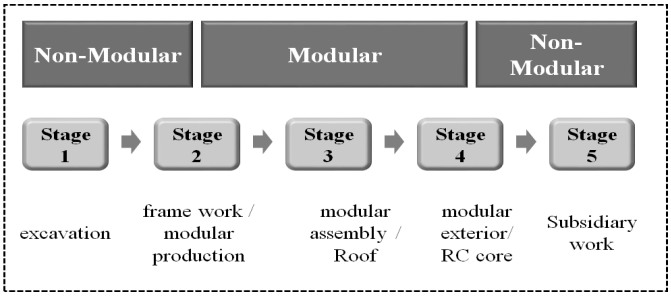


Fig. 2. Step-by-step process of modular housing construction

모듈러 생산 프로세스는 Fig. 3과 같이 9단계로 분류되며, 크게 모듈러 생산준비와 공장생산 단계로 구분할 수 있다. 모듈러 생산준비 단계에서는 제작사양 및 도면접수, 생산요구서 접수, 생산책임자 선정 및 생산계획 수립, 제작계획 수립, 협력업체 선정 및 발주 등의 업무를 수행한다. 모듈러 공장생산 단계에서는 자재 반입 및 승인, 모듈러 생산 및 공정관리, 최종검사, 제품출고 등의 업무를 수행한다.

modular production preparation	production specification and drawings received
	▼
	accept production request
	▼
	selection of directors and production plan
	▼
	establish a modular production plan
	▼
	partner selection and ordering
	▼
modular factory production	material import and approval
	▼
	modular production and process management
	▼
	inspection
	▼
	modular shipment (transportation)

Fig. 3. Modular production process

모듈러는 모듈러 접합부위, 기계/전기/통신 작업을 위한 공용부위 천장마감, 복도 바닥마감 등을 제외한 대다수의 작업이 공장에서 진행되었다. 공장에서 생산이 완료된 모듈러는 너비 3.0m, 길이 10.5m, 높이 3.2m로 주간에는 통행이 불가능하여 야간에 운송을 실시하였다. 또한, 모듈러 운송차량은 현장주변의 임시장소에 대기한 후 현장조립 일정에 맞춰 해당 현장으로 이동하였다.

모듈러 공사는 지상층 코어부분의 공사가 완료된 이후 현장조립 작업을 실시하였으며, 최하층 모듈러가 설치되는 2층 바닥에는 콘크리트 타설 시 앵커볼트를 사전에 매립하였다. 천안시 D현장의 모듈러 양중계획은 Fig. 4와 같이 최하층과 최상층은 1일에 4개의 모듈러를 설치하였고, 기준층에 해당하는 3층 과 4층은 1일에 6개의 모듈러를 설치하였다. 모듈러 현장조립 기간에는 비나 바람 등의 영향을 받지 않아 4일 연속으로 작업이 진행되었다. 모듈러 설치가 완료된 이후에는 지붕트러스 자재를 옥상으로 인양하여 현장에서 지붕구조물과 슬래브 판넬 등을 설치하였고, 마지막으로 지붕바닥에 방수작업을 실시하였다. 모듈러 내부는 공장에서 대부분의 작업이 이루어졌기 때문에 각 모듈 간의 접합부위를 중심으로 일부 마감작업을 실시하였고, 복도 바닥마감, 전기 배선작업, 외부 칼라강판 설치 등 현장에서 수행하는 일부 마감공사를 진행하였다.

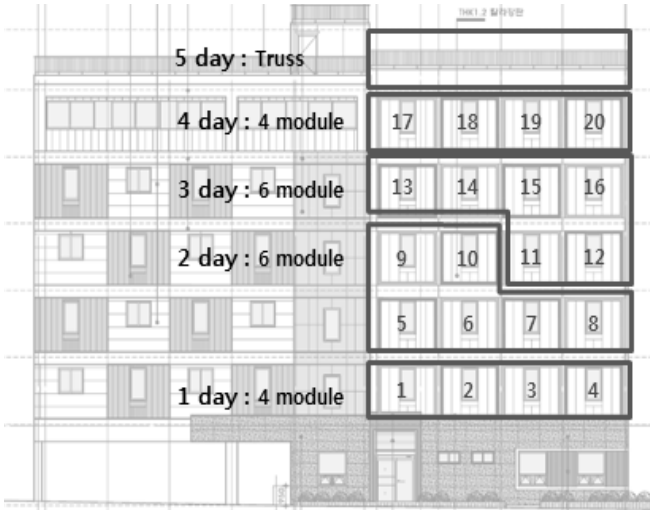


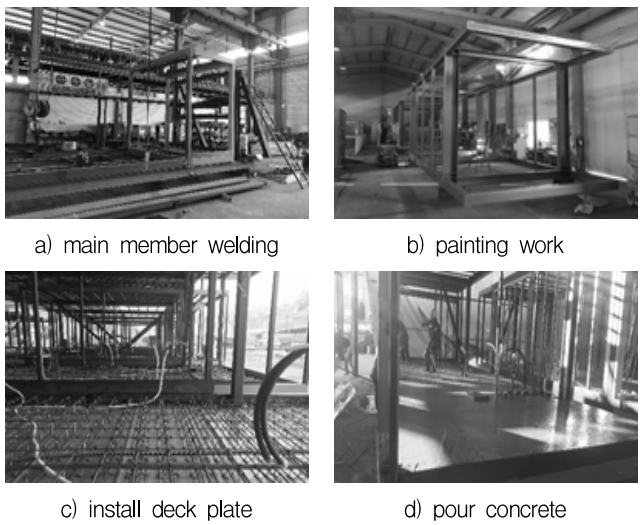
Fig. 4. Lifting plan of unit box type modular

4. 공사단계별 프로세스 및 품질향상 방안

4.1 모듈러 공장제작

모듈러의 공장제작은 해당 프로젝트에 대한 도면검토와 모듈러 제작도면이 완성되고, 주요구조부 자재의 반입 및 가공이 완료된 이후에 작업을 착수한다. 모듈러 공장제작 프로세스는 설계도서 검토 및 공장제작 모니터링을 통해 파악하였으며, 모듈러 제작단계에서 발생하는 주요 문제점이나 공사관리 주요사항 등을 검토하였다.

모듈러의 공장제작은 구조체 제작과 내부 마감공사로 구분할 수 있다. 모듈러 구조체 제작은 Fig. 5와 같이 모듈러 조립지그를 통해 구조부재를 용접하고, 방청 및 내화 도장작업 이후 데크 플레이트 설치, 바닥 철근배근, 콘크리트 타설 및 양생 등의 순서로 이루어졌다.



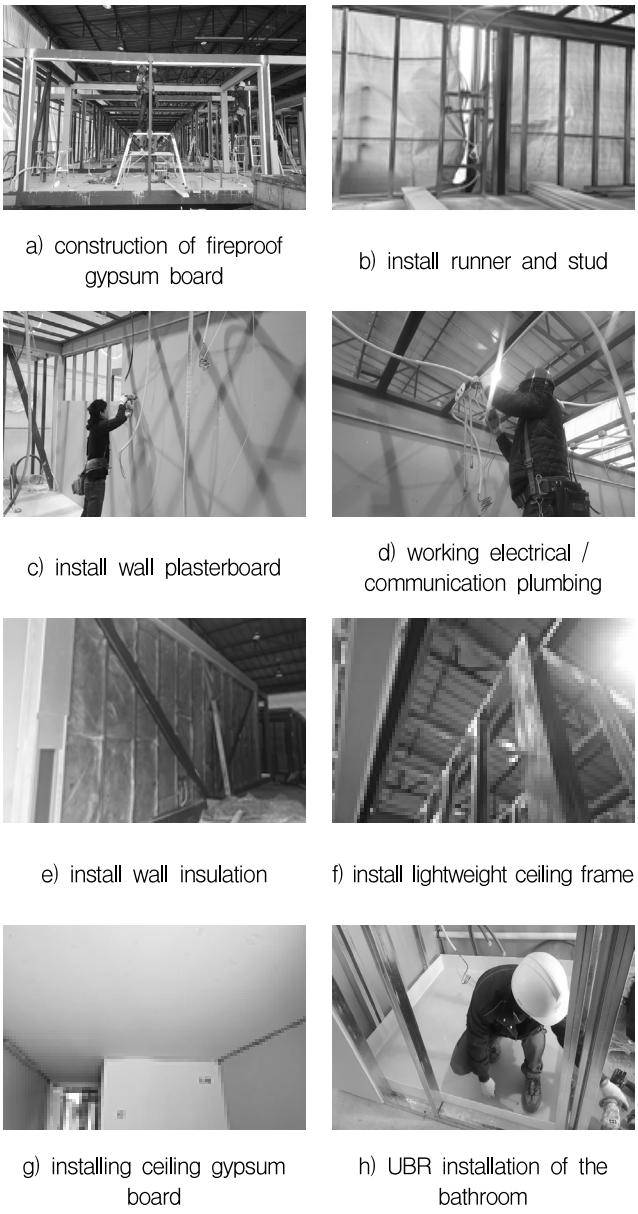
a) main member welding　b) painting work

c) install deck plate　d) pour concrete

Fig. 5. Manufacture structure of unit box type modular

공장에서 수행하는 내부 마감공사는 구조부위 마감, 습식마감, 기타 마감으로 구분되는데, 구조체 제작이 완료되면 모듈러를 트레일러에 상차할 수 있도록 적정한 위치로 이동 신 후 마감작업을 실시하였다.

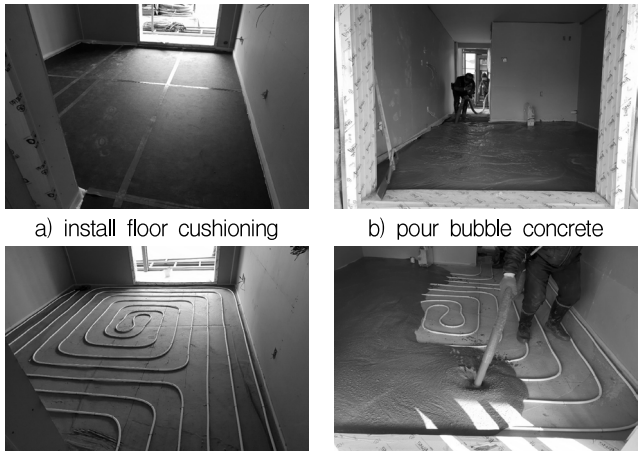
구조부위 마감은 Fig. 6과 같이 모듈러 기둥과 보 부위에 내화 석고보드를 시공하고, 벽체 마감을 위한 런너와 스터드 설치, 석고보드 시공, 전기/통신 배관작업, 단열재, 설치, 경량 천정 공사, 화장실 UBR 설치 등의 작업을 수행하였다. 이 단계에서는 모듈러 구조체가 내화기준을 충족시킬 수 있도록 내화 석고보드의 정밀시공이 필요하나, 모듈러 현장조립 부위는 내화 석고보드를 공장에서 설치할 수 없어 현장마감 단계에서 정밀시공이 필요할 것으로 판단된다.



a) construction of fireproof gypsum board
b) install runner and stud
c) install wall plasterboard
d) working electrical / communication plumbing
e) install wall insulation
f) install lightweight ceiling frame
g) installing ceiling gypsum board
h) UBR installation of the bathroom

Fig. 6. Finishing the structural part of unit box type modular

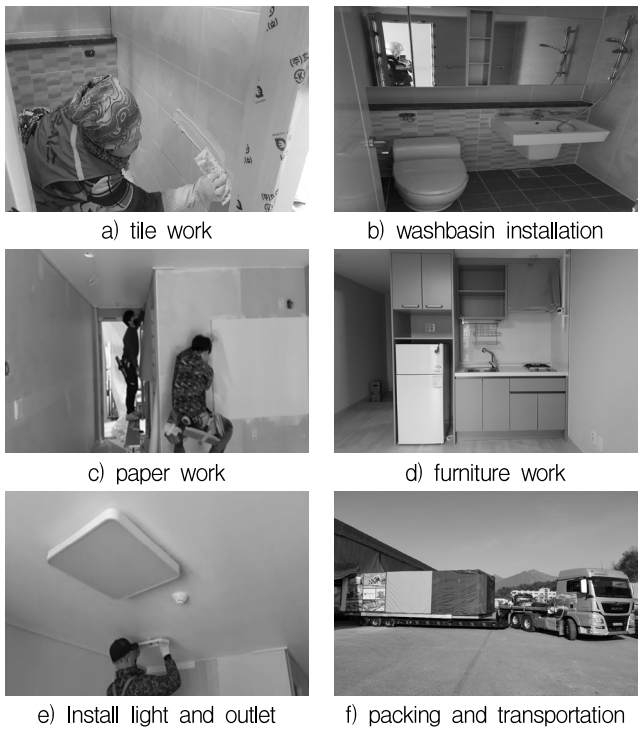
모듈러 습식마감은 Fig. 7과 같이 일반 공동주택의 방바닥 미장공사 작업내용과 대동소이하며, 층간 차음재 깔기, 기포 콘크리트 타설, 바닥 난방배관 설치, 방바닥 모르타르 타설 및 양생 등의 작업을 수행하였다. 이 단계는 일반 공동주택 건설공사의 작업내용과 대동소이하며, 기포 콘크리트 및 몰탈 타설 시 크랙이 발생하지 않도록 양생관리가 중요할 것으로 판단된다.



a) install floor cushioning
b) pour bubble concrete
c)install floor heating piping
d) pour mortar

Fig. 7. Plaster plastering of unit box type modular

모듈러 기타 마감은 Fig. 8과 같이 모듈러 접합부위와 공용부위의 현장시공 부분을 제외한 세대내부의 건축마감 중심으로 작업을 수행하였다.



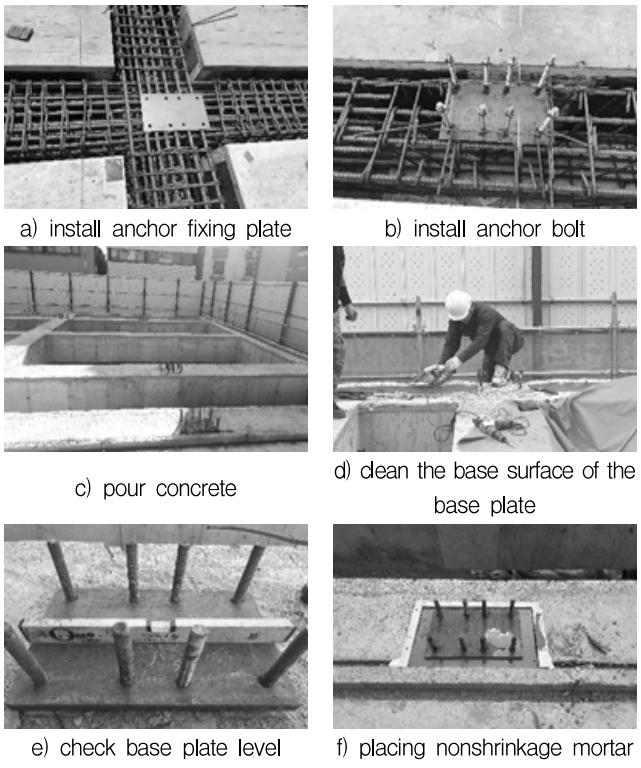
a) tile work
b) washbasin installation
c) paper work
d) furniture work
e) Install light and outlet
f) packing and transportation

Fig. 8. Other finishes of unit box type modular

주요 단위작업은 화장실 및 발코니 타일시공, 위생도기 설치, 벽체 및 천장 도배, 신발장 및 주방가구 설치, 전등 및 콘센트 설치 등이 있으며, 모듈러 제작이 완료되면 보양을 실시하여 현장으로 운반을 하였다. 이 단계에서는 모듈러 구조체의 자재수급 지연뿐만 아니라 일부 마감자재의 납품지연 등으로 모듈러 현장반입 일정이 지연됨에 따라 공장에서 수행해야 하는 외부 마감작업이 완료되지 않은 상태로 모듈러를 현장으로 운송하였다. 따라서 공정계획 수립 시 모듈러 공장제작에 소요되는 기간을 적정하게 검토할 필요가 있을 것으로 판단된다.

4.2 모듈러 현장조립

모듈러 현장조립은 베이스 플레이트 설치와 모듈러 적층 단계로 구분할 수 있다. 모듈러 현장조립 프로세스는 베이스 플레이트 설치부터 지붕 트러스 현장조립이 완료되는 시점까지 직접 모니터링을 실시하여 세부내용을 파악하였다. 최하층 모듈러와 철근콘크리트 구조물과의 접합을 위해 설치하는 베이스 플레이트는 1층 필로티 상부의 기둥 및 보 철근이 교차되는 부위에 설치하였다. 베이스 플레이트를 설치하는 시공 프로세스는 Fig. 9와 같이 철근배근이 완료된 이후 앵커 고정용 플레이트 설치, 앵커볼트 설치, 콘크리트 타설, 베이트 플레이트면 바탕정리, 베이스 플레이트 레벨확인, 무수축 모르타르 타설 및 양생 순서로 이루어졌다.

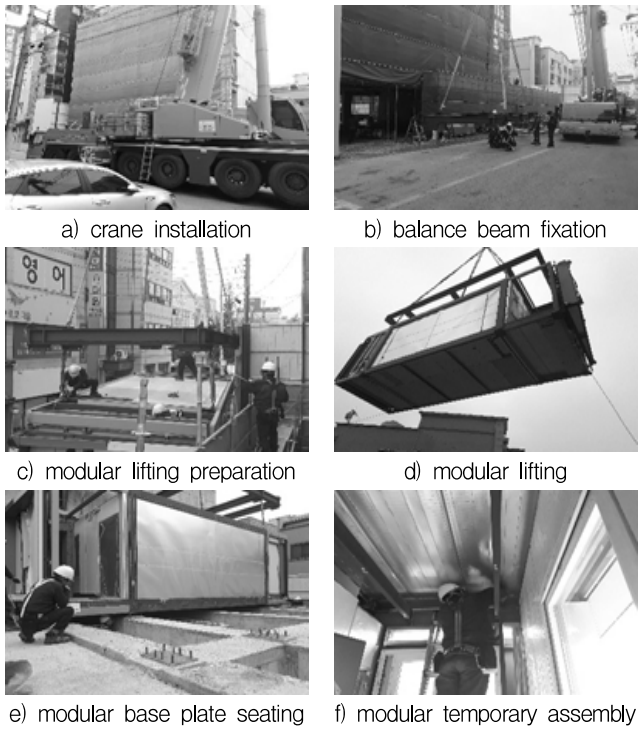


a) install anchor fixing plate
b) install anchor bolt
c) pour concrete
d) clean the base surface of the base plate
e) check base plate level
f) placing nonshrinkage mortar

Fig. 9. Construction process of base plate

이 단계에서는 최하층 모듈러가 설치되는 부위의 설계도서에 일부 오류가 발생하여 슬래브 거푸집 및 철근 작업을 일부 재시공하였다. 따라서 콘크리트 구조물과 최하층 모듈러 접합부의 고정을 위한 앵커볼트 설치가 다소 지연되었으나, 해당 현장은 1층 필로티 공사뿐만 아니라 지상층 코어공사가 선행된 이후에 모듈러 현장조립을 수행하므로 전체 공정에 영향은 미치지 않는 것으로 나타났다. 하지만, 코어부분도 모듈러로 구성되는 경우에는 공사기간이 영향을 미칠 수 있으므로 공사준비 기간에 철저한 설계검토가 필요할 것으로 판단된다. 앵커볼트 시공 위치는 기둥과 보가 교차하는 부위와 보의 중간 지점에 설치되며, 1개의 모듈 당 6개의 접합부위로 구성되어 있었는데, 기둥 및 보 철근과 앵커볼트의 시공부위가 겹쳐 작업과정에서 일부 간섭이 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 콘크리트 구조물과 모듈러의 접합부위는 BIM 설계를 통해 철근배근 위치와 앵커볼트 시공위치를 검토할 필요가 있을 것으로 판단된다.

지상층 코어공사가 완료된 후에는 공장에서 제작한 모듈러를 현장으로 운송하여 현장설치 작업을 실시하였다. 먼저, 모듈러 반입 전 크레인을 설치하고, 모듈러를 수평으로 양중하기 위해 밸런스 빔을 크레인에 고정시켰다. 그리고 최하층 코어부분을 시작으로 양중순서에 따라 모듈러를 반입하여 설치하였다. 모듈러 적층이 완료된 후 트러스 자재를 지붕으로 양중하여 현장에서 작업을 실시하였다. 모듈러 현장조립 세부 프로세스는 Fig. 10, Fig. 11과 같이 정리할 수 있다.

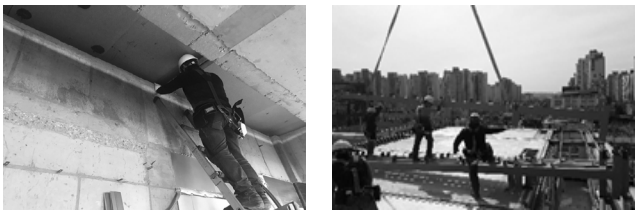


a) crane installation
b) balance beam fixation
c) modular lifting preparation
d) modular lifting
e) modular base plate seating
f) modular temporary assembly

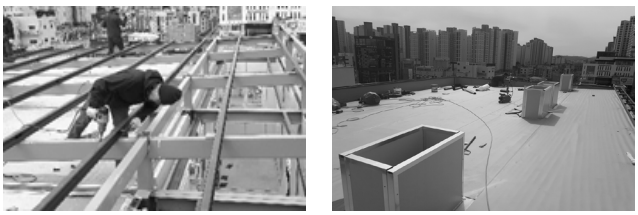
Fig. 10. Assembly process of unit box type modular



g) plate installation for fixing　h) modular plate seating(repeat)



i) tighten modular bolts　j) import and lift of truss materials



k) roof truss assembly and fixing　l) roof panel and waterproof sheet

Fig. 11. Assembly process of unit box type modular

모듈러 현장조립 단계에서는 대다수의 작업이 크레인을 통해 이루어지므로 공장에서 제작한 모듈러 구조체의 수직 및 수평상태 확인, 접합부 Hole 사이즈 및 허용오차 검토, 볼트체결에 대한 접합강도 확보, 안전관리 계획 수립 등을 사전에 검토해야 한다. 또한, 우천 등으로 인해 모듈러 내부 마감재가 훼손되지 않도록 조치해야 한다. 해당 현장에서는 전반적으로 모듈러 구조체의 품질이 양호하여 20개의 모듈을 적층하여 고정하는데 큰 어려움이 없었으며, 해당 기간에 기상상태도 양호하여 4일간 연속으로 작업이 진행되었다. 하지만, 모듈러 접합부의 볼트체결이 기능공의 수작업에 의해 진행되었기 때문에 볼트체결 강도를 균일하게 유지하는데 다소 한계가 있을 것으로 판단된다.

4.3 모듈러 현장마감

모듈러 현장마감은 전용 및 공용 부위로 구분할 수 있으며, 모듈러 본 조립이 완료된 이후 지붕공사와 동시에 작업이 진행되었다. 모듈러 현장마감 주요 작업내용은 모듈러 현장조립과 동일하게 공사 완료시점까지 직접 모니터링을 실시하여 세부내용을 파악하였다. 전용부위의 현장마감 단위작업은 Fig. 12와 같이 현관 출입구의 단열 및 도배 공사, 발코니의 천장 및 설비배관, 에어컨 실외기실 설치 등이 있다. 현관 출입구의 단열 및 도배는 공장에서 실시하도록 계획되어 있었으나, 마감자재 납품 일정이 일부 지연되어 현장에서 작업을 실시하였다.



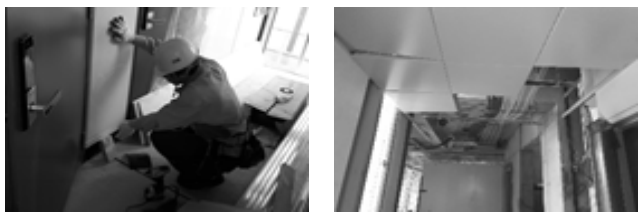
a) insulation and papering of the entrance　b) lightweight ceiling work on the balcony



c) plumbing installation in the balcony　d) outdoor unit installation of air conditioner

Fig. 12. Internal finish of unit box type modular

공용부위의 현장마감 단위작업은 Fig. 13과 같이 모듈러 접합부위의 판넬시공, 복도 전기/통신 배선, 복도 천장 및 바닥 마감, 외부 칼라강판 설치 등이 있다. 외부 칼라강판은 공장에서 대부분의 작업이 진행되고, 모듈러 접합부 일부만 현장에서 시공하도록 계획되어 있었다. 하지만, 칼라강판 제작업체의 자재생산 및 납품지연으로 공장에서 약 40% 정도만 부착된 상태로 현장에 반입되어 현장에서 수행하는 작업량이 다소 증가한 것으로 나타났다.



a) finishing wall panels　b) electrical / communication and ceiling finishing



c) floor finishing　d) color steel work on the modular joints

Fig. 13. Common part finish of unit box type modular

4.4 모듈러 공사의 품질관리 중점사항 도출

일반적으로 모듈러 공법을 적용한 건설공사는 공장의 대량생산을 통한 공기단축 및 고품질 확보 등의 장점이 있다. 하지만 아직까지 국내에서 모듈러주택 시장은 활성화되지 않아 제작업체들이 자동화시스템을 구축하지 못하고 있으며, 모듈러 생산품질은 공장제작 기능공의 숙련도에 따라 현장별로 다르게 나타날 수 있다. 이에 따라 본 절에서는 발주처나 건축주들이 모듈러 공사의 기획 및 설계 단계에서 품질을 확보할 수 있도록 실제 모듈러 시공사례 분석결과를 중심으로 품질관리 중점사항을 제시하고자 한다. 모듈러 공사의 품질관리 중점사항은 모듈러 공장제작, 현장조립, 현장마감 단계로 분류하였으며, 천안시 D현장의 공사 관리상의 문제점과 공사단계별 주요 체크사항 등을 종합적으로 검토하여 Table 3과 같이 도출하였다.

모듈러 공법이 적용된 주택건설공사에 공통적으로 적용할 수 있도록 모듈러 공장제작 단계를 도면검토 및 샵드로잉, 공장제작 계획수립, 모듈러 공장제작 등으로 분류하여 7개의 품질관리 중점사항을 도출하였다. 도면검토 및 샵드로잉 단계에서는 모듈러 접합부위의 Hole 크기 및 위치 검토, 모듈러 접합부위의 시공 상세도 및 방법 검토, 기계/전기/통신 배선 및 배관의 간섭여부 검토 등의 업무를 수행해야 하고, 공장제작 계획수립 단계에서는 현장의 공사추진 일정을 고려하여 모듈러 생산일정을 수립하고, 모듈러의 운송 및 현장조립 단계의 시공성을 고려하여 공장생산 범위를 결정해야 한다. 마지막으로 공장제작 단계에서는 구조체 용접부위의 품질상태를 검토하고, 내화재료의 품질 및 도장두께를 확인해야 한다.

모듈러 현장조립 단계에서는 모듈러가 건물로서의 기능을 충족시킬 수 있어야 하고, 구조적 안전성을 확보할 수 있도록 정밀 시공이 이루어져야 한다. 따라서 모듈러 현장조립은 시공성을 중심으로 모듈러 운송 및 양중 계획수립, 베이스 플레이트 설치, 지상층 모듈러 조립, 지붕층 모듈러 조립 단계로 구분하여 11개의 품질관리 중점사항을 도출하였다. 운송 및 양중 계획수립 단계에서는 날씨, 거리, 시간, 경로 등을 종합적으로 검토하여 모듈러 운송계획을 수립해야 하고, 운송경로에 대한 장애요인 검토 및 강우를 고려한 보양방법 검토가 필요하다. 또한, 모듈러의 중량, 인양높이, 회전반경 등을 고려하여 크레인의 위치를 선정하는 것이 중요하다. 베이스 플레이트 설치 단계에서는 모듈러 현장반입 이전에 앵커볼트 및 플레이트 위치를 확인해야 하고, 베이스 플레이

Table 3. Quality control focus of modular construction

classification		quality control focus
factory production	review and shop drawing	· review the hole size and location of the modular joints · review the construction details and methods of modular joints · review the interference of mechanical, electrical, communication wiring and piping
	factory production planning	· establish modular production schedule in consideration of construction promotion schedule on site · factory production range setting considering modular transport and construction in the field assembly stage
	modular factory production	· review of quality condition of welded structure such as column and beam · check the quality and coating thickness of fireproof coating materials
assembly	transportation and lifting planning	· develop a modular transportation plan by comprehensively reviewing weather, distance, time and route · review the obstacles to the transportation route of the modular and review the modular rehabilitation method considering the rainfall · selecting the proper position of the crane considering the weight of the modular, lifting height, turning radius, etc.
	base plate installation	· position anchor bolts and plates before modular on-site · check the smoothness of base plate and the strength of non-shrink mortar
	ground floor modular assembly	· after modular temporary assembly, check the level between modules · checking bolt tightening strength when modular assembly · check the measures in case of rain during the modular assembly stage
	roof layer modular assembly	· check the position and bolting status of the roof structure · review of durability and required performance of roof panels and waterproof finishes · construction method and quality status of roof waterproofing construction
finishing work	Interior finish	· process planning to avoid interference with other finishing work performed on site · examine whether or not structural deformation or finish material drop out during modular transportation and assembly
	common part finish	· check the fixation of the frame and panel for modular exterior finishing · check for condensation and leakage of modular joints

트의 평활도 및 무수축 몰탈의 강도 등도 확인이 필요하다. 지상층 모듈러 조립 단계에서는 모듈러와 RC 구조물 간의 수직 및 수평 상태, 볼트체결 강도 확보 여부, 갑작스런 우천 발생에 대비할 수 있는 조치사항 등을 확인해야 한다. 그리고 지붕층 모듈러 조립 단계에서는 지붕구조물의 위치 및 볼트 체결 상태, 지붕판넬 및 방수재료의 내구성 및 요구성능, 지붕방수의 시공방법 및 품질상태 등을 검토해야 한다.

모듈러 현장마감 단계에서는 사용자 관점에서 하자가 발생하지 않도록 고품질을 확보할 수 있도록 마감작업을 실시해야 한다. 모듈러 공사는 대다수의 작업이 공장에서 이루어져 현장에서 모듈러 간의 접합을 통해 완성되기 때문에 지붕이나 접합부에서 누수가 발생하지 않도록 철저한 관리감독이 필요하다. 따라서 모듈러 현장마감 단계는 내부와 공용부 마감작업으로 분류하였으며, 4개의 품질관리 중점사항을 도출하였다. 내부 마감작업은 현장에서 수행하는 다른 마감공종과의 작업 간섭이 발생하지 않도록 공정계획을 수립해야 하고, 모듈러 운송 및 조립 단계에서 구조체의 변형이나 마감자재의 탈락 등이 발생했는지 확인하여 조치하여야 한다. 그리고 공용부위 마감작업은 외부마감을 위한 하지철물 및 외부판넬의 고정상태를 확인하고, 모듈러 접합부위의 결로 및 누수 발생 여부 등을 검토하여야 한다.

이밖에도 모듈러주택 건설공사는 일반 건축공사와 달리 공장과 현장에서 동시작업이 진행되기 때문에 기획 및 설계, 발주 및 계약, 시공 및 유지관리 등 제도적인 측면에서도 품질확보를 위한 각종 기준이 수립되어야 할 것으로 판단된다.

5. 결론 및 시사점

본 연구는 모듈러 공법이 적용된 천안시 D현장을 중심으로 적층식 공법에 대한 공사단계별 시공 프로세스와 품질관리 중점사항을 도출하였다. 기존의 모듈러 품질관련 선행연구들은 공사가 완료된 이후 공사관계자 및 모듈러 제작업체와의 인터뷰를 통해 결과를 도출하였기 때문에 시공단계에서 발생하는 문제점을 파악하는데 한계 있다. 이에 본 연구에서는 모듈러 공사단계별 시공 프로세스를 직접 모니터링하여 현장에서 발생하는 공사 관리상의 문제점과 공사단계별 주요 체크사항을 분석하였다.

모듈러 공사의 품질관리 중점사항은 모듈러 공장제작, 현장조립, 현장마감 등 공사단계별로 구분하였다. 하위 체계는 도면검토 및 샵드로잉, 공장제작 계획수립, 모듈러 공장제작, 운송 및 양중계획 수립, 베이스 플레이트 설치, 지상층 모듈러 조립, 지붕층 모듈러 조립, 세대내부 마감, 공용부위 마감 등 공사단계에 따라 9개 공정으로 분류하였으며, 총 22개의 품질관리 중점사항을 도출하였다.

본 연구의 대상 프로젝트는 모듈러 공법을 적용한 조립식 주택의 실증단지 사업으로 진행되었기 때문에 다수의 이해관계자가 프로젝트에 참여함에 따라 의사결정 지연, 설계도서 오류 및 설계변경, 자재수급 지연 등 공사관리 측면에서 일반 모듈러주택 건설공사와 일부 차이점이 발생할 수도 있을 것이다. 하지만, 본 논문에서 분석한 적층식 모듈러주택의 공사단계별 시공 프로세스와 설계단계에서 검토 가능한 모듈러 공사의 품질관리 중점사항은 향후 모듈러주택 건설공사를 수행함에 있어 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 논문은 LH의 연구비 지원으로 수행된 “모듈러주택 공정관리 표준화기법 발굴에 관한 연구” 과제의 성과를 기초로 작성하였다.

참고문헌

1. 김균태(2011), “도시형생활주택을 위한 모듈러 주택시공의 타당성 분석”, 「대한건축학회 춘계학술발표대회논문집 구조계」, 31(1): 155~156.
2. 김진성, 김형근, 류국무(2017), “도심지 소규모 모듈러주택 계획특성 연구”, 「대한건축학회 학술발표대회 논문집」, 37(1): 975~976.
3. 문영아, 김미경, 박미정(2013), “주거용 단일유닛 모듈러의 활성화를 위한 국내외 사례연구”, 「대한건축학회논문집 계획계」, 29(10): 65~73.
4. 이영호, 이두헌, 김균태(2012), “유닛모듈러 건축물의 설계 초기 단계에서의 고려사항”, 「한국건설관리학회 논문집」, 13(6): 133~142.
5. 전영훈, 김균태, 이영(2015), “국내 모듈 주택 사례분석을 통한 설계품질 향상방안 연구”, 「대한건축학회논문집 구조계」, 31(6): 23~31.
6. 조봉호, 김홍진, 고광호(2007), “모듈러 건축 시스템의 기술개발 동향 및 적용 사례”, 「한국강구조학회지」, 19(1): 112~119.
7. 황현준, 정찬우(2016), “모듈러 주거시설의 단위유닛 제작품질 확보를 위한 공장제작도서 개선 연구”, 「한국주거학회논문집」, 27(6): 137~144.
8. http://www.law.go.kr/lsSc.do?tabMenuId=tab18&query=%EC%A3%BC%ED%83%9D%EB%B2%95#J51:0

LHI Journal (2019) 10(3):77-87 http://dx.doi.org/10.5804/LHIJ.2019.10.3.077
http://lhi.lh.or.kr

인필식 모듈러 공법을 적용한 주택건설공사의 작업분류체계 구축 및 표준 프로세스 제안

Standard Process and Work Breakdown Structure for Housing Construction Projects using Infill Modular System

손정락[1] · 이동건[2] · 방종대[3] · 김진원[4]

Jeong Rak Sohn · Dong Gun Lee · Jong Dae Bang · Jin Won Kim

(Received September 2, 2019 / Revised September 27, 2019 / Accepted October 17, 2019)

ABSTRACT

In Korea, the modular construction method was applied to the construction of facilities such as military barracks and school dormitories, beginning with the pilot project of Seoul New Elementary School in 2003. In 2017, public modular houses were supplied to Busan(Yongho-dong) and Seoul(Gayang-dong), and modular housing is expected to continue to be supplied in the future. However, there is no clear construction standard for the modular housing construction yet, and there are few cases where the infill modular system is applied. Therefore, this study established the work breakdown structure and proposed a standard process focusing on the infill modular system applied to the construction of Dujeong-dong modular house in Cheonan. Level 1 of the work breakdown structure by construction stage of Infill modular was defined as modular manufacturing, assembly, and finishing process. Level 2 was defined as preparation, modular production, modular infill, modular fixing, floor plastering, building finishing, and other site finishing. Level 3 is defined as 57 detailed unit work of infill modular construction. The standard process of infill modular is proposed for the assembly stage that is commonly applicable to infill modular housing construction. The results of this study can be used for the process plan, transportation plan, lifting plan of modular housing construction.

Key words: Modular Housing(모듈러주택), Infill System(인필식 공법), Work Breakdown Structure(작업분류체계), Standard Process(표준 프로세스), Housing Construction(주택건설공사)

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

모듈러주택은 주요 구조부의 전부 또는 일부, 세대별 주거 공간의 전부 또는 일부(거실, 화장실, 욕조 등 일부로서의 기능이 가능한 단위 공간을 말함)를 국토교통부령으로 정하는 성능기준 및 생산기준에 따라 맞춤식 등 모듈러 공법을 적용하여 건설하는 주택을 의미한다. 모듈러 공법은 모듈러 공장제작과 현장의 골조공사를 동시에 진행할 수 있어 일반 건축공사 대비 공기를 단축시킬 수 있다. 또한, 고품질 달성, 경제성, 경량화, 친환경성, 이동 및 재사용 가능, 현장 기능인력의 감소, 안전성, 유지관리 편리성 등의 장점이 있다(조봉호 등, 2007). 하지만, 국내의 모듈러주택 시장은 규모가 작아 일반 RC공사보다 공사비가 비싸고, 조립식 주택에 대한 선입견, 거주 성능에 대한 신뢰부족 등으로 아직 활성화 단계에 접어들지 못하고 있는 실정이다.

국내에 모듈러 공법이 도입된 시기를 살펴보면, 2003년 서울 신기초등학교 시범사업을 시작으로 군대막사나 학교 기숙사 등 공공시설에 모듈러 공법이 적용되었다. 그리고 지난 2017년 8월에는 부산광역시 용호동에 4층 규모 14호 다세

1) 토지주택연구원 연구위원(주저자: jrsohn@lh.or.kr)
2) 토지주택연구원 책임연구원(dk418@lh.or.kr)
3) 토지주택연구원 선임연구위원(jdbang@lh.or.kr)
4) 토지주택연구원 연구원(교신저자: jw-kim@lh.or.kr)

대주택이 공급되었으며, 같은 해 12월에는 서울특별시 가양동에 6층 규모 30호 공동주택이 공급되었다. 하지만, 아직까지 모듈러주택 건설공사에 대한 명확한 공기산정 기준이 없고, 모듈러주택의 가장 큰 장점이라 할 수 있는 공기단축이 현실적으로 이루어지고 있지 않은 실정이다. 특히, 인필식 모듈러 공법은 구조체가 완성된 이후에 공장에서 제작한 모듈러를 현장에서 인필하는 공법으로 국내 모듈러주택에 적용된 사례가 거의 없는 실정이다. 하지만, 이 공법은 철골 또는 RC 공사를 통해 골조공사가 완료된 이후에 모듈러 공사를 착수하므로 모듈러를 적층하는 방법보다 구조적으로 안정적이고, 고층 건물에 적용할 수 있는 장점이 있다. 이에 본 연구에서는 모듈러주택 건설공사의 인필식 공법을 중심으로 공기산정 기초자료 제공을 위해 모듈러 공장제작· 현장조립· 현장마감의 작업분류체계를 구축하고, 공사단계별 시공프로세스를 조사하여 표준 프로세스를 제안하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 인필식 모듈러 공법에 대한 작업분류체계 구축과 표준 프로세스 제안을 위해 이 공법이 적용된 천안시 D현장을 중심으로 연구를 수행하였다. 작업분류체계는 크게 모듈러 공장제작, 현장조립, 현장마감 단계로 구분하였다. 각 단계별 단위작업은 모듈러 제작공장과 대상 현장에서 수행하는 작업내용을 모니터링하여 파악하였고, 공사관리자 인터뷰를 통해 작업분류체계를 구축하였다. 그리고 인필식 모듈러주택 건설공사의 표준 프로세스는 모듈러 공장제작 범위에 관계없이 이 공법이 적용된 현장에 공통적으로 적용되는 현장조립 단계의 단위작업을 중심으로 제시하였다. 본 연구의 세부적인 수행절차는 다음과 같다.

(1) 모듈러주택의 정의 및 특성을 살펴보고, 인필식 공법에 대한 프로세스를 파악하였다.

(2) 인필식 모듈러의 공장생산, 현장조립, 현장마감 단계의 세부 작업내용을 파악하여 작업분류체계를 구축하였다.

(3) 천안시 D현장 모듈러주택의 인필식 공사를 대상으로 작업일보 분석 및 현장 모니터링을 통해 공사단계별 시공프로세스를 파악하였다.

(4) 인필식 공법의 현장조립 단계의 1개 층을 중심으로 단위작업을 최소화 할 수 있는 표준적인 프로세스를 제안하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 모듈러주택의 정의 및 특성

모듈러주택은 아파트나 다세대 주택 등을 건설함에 있어 「주택건설기준 등에 관한 규칙」, 「건설산업기본법」, 「주택건설기준 등에 관한 규정」 등의 기준을 충족시켜야 한다. 일반적인 모듈러주택의 생산 및 시공 프로세스는 Fig. 1과 같이 공장에서 구조체 제작 및 일부 마감공사를 마친 모듈러를 현장으로 운송하여 조립한 후, 잔여 마감공사를 현장에서 실시하여 주택을 완성하게 된다. 그리고 모듈러주택은 사용자의 필요에 따라 모듈러를 해체하여 다른 곳으로 이동시킬 수 있으며, 새로운 모듈러 생산 및 조립을 통해 규모를 확장시킬 수도 있다.

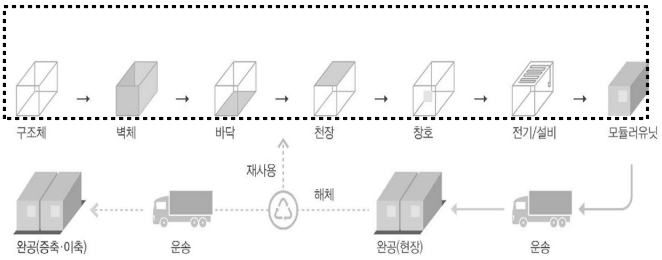


Fig. 1. Modular housing production and construction process

모듈러주택 건설공사는 일반 건설공사와 달리 모듈러 공장생산과 동시에 현장에서 철근콘크리트 공사를 동시에 진행할 수 있어 일반 건축공사 대비 약 50~60% 정도의 공기를 단축시킬 수 있다(이광복 등, 2011; 김균태 등, 2011; 조봉호 등, 2007). 또한, 모듈러는 공장의 대량생산을 통해 균일한 품질확보뿐만 아니라 현장에서 발생하는 폐기물을 최소화하여 환경적인 민원발생을 저감시킬 수 있다.

이밖에도 모듈러주택 건설공사는 Table 1과 같이 신속성, 경제성, 친환경성, 확장성, 안전성, 고품질 등 다양한 측면에서 일반 건설공사보다 장점을 가지고 있다. 따라서 모듈러주택은 기존 습식공법에 대한 문제점을 해결할 수 있으며, 미래 주택 건설시장의 새로운 영역이 될 수 있을 것으로 판단된다.

Table 1. Characteristic of modular system

classification	characteristic
quickness	· shorten construction period · factory production and field construction at the same time
economic feasibility	· cost reduction through factory mass production · reduce waste by simplifying site construction
environment friendly	· reuse of modules by using eco-friendly materials and high strength bolting method
expandability	· advantageous for removing and reconstruction of modular unit · various types of modular arrangement
safety	· secure the safety of modular system through specialized design, fire resistance test and durability verification
high quality	· produce high quality modular unit by building factory standardization system

2.2 인필식 공법의 개요

인필식 공법은 주택용 내부 벽체와 싱크대, 화장실, 수납장 등을 공장에서 크루즈 객실처럼 선 조립·제작 후, 완성된 골조 속에 모듈러를 인필(Infill)시켜 건물을 완성하는 공법이다. 이 공법은 적층식 공법과 달리 철근콘크리트 또는 철골구조체 공사가 선행되어야 하며, 공장에서 제작한 모듈러를 인필하는 형태로 공사가 진행되므로 저층뿐만 아니라 고층건물에도 적용할 수 있다. 인필식 모듈러는 인양 케이지를 이용하여 양중작업을 실시하게 되는데, 모듈러를 인양하는 케이지의 부위별 세부명칭은 Fig. 2와 같이 정리할 수 있다.

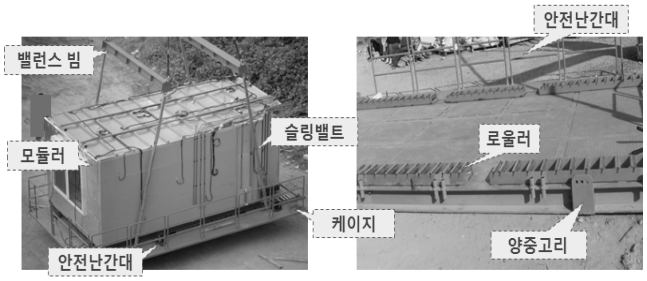


Fig. 2. Details of lifting equipment of infill modular

인필식 공법의 현장시공 프로세는 Fig. 3과 같으며, 공장에서 제작한 모듈러가 현장에 도착한 후 모듈러 인양을 위한 케이지에 안착시키고, 현장에 배치된 크레인을 이용하여 인필 부위에 인양하여 슬래브 내에서 모듈러를 이동하는 방식으로 현장시공이 이루어진다.

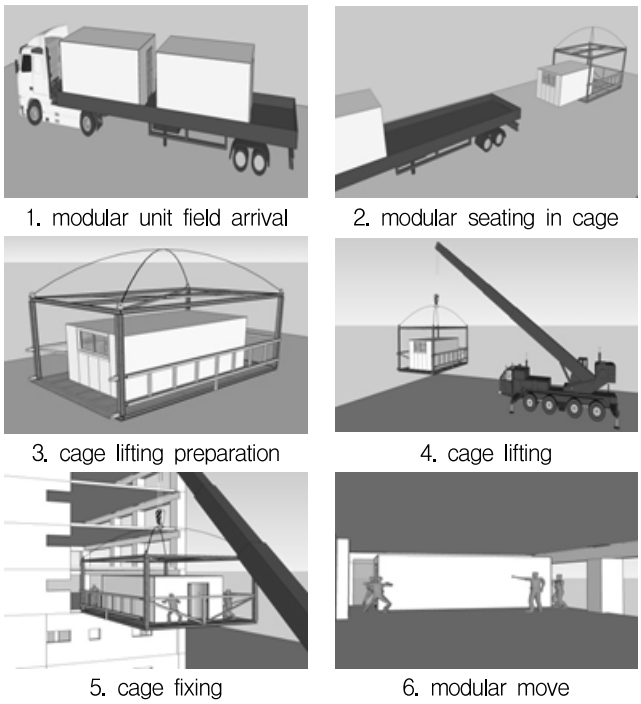


Fig. 3. Field construction process of infill modular system

2.3 작업분류체계의 정의

작업분류체계는 1950년대 미 국방성에서 최초로 사용된 용어로서 프로젝트 팀이 목표를 달성하고 필요한 인도물을 산출하기 위해 실행하는 작업을 인도물 중심의 계층 구조로 세분해 놓은 것이라 할 수 있다. 작업분류체계의 최상위 계층은 해당 프로젝트를 의미하고, 하위 계층으로 내려갈수록 작업범위가 상세하게 정의된다. 작업분류체계는 프로젝트 산출물 및 업무 분류, 상위수준부터 하위수준으로 정의, 각 업무요소에 식별코드 배정, 분할의 적정성에 대한 검증 등을 통해 구축할 수 있다(정재헌, 2012).

일반적으로 건설공사에서 작업분류체계는 Table 2와 같이 공사의 종류나 부위 등에 따라 다르게 나타날 수 있다. 대공공종(Level 1)은 건축공사, 토목공사, 기계공사 등으로 나눌 수 있으며, 중공정(Level 2)은 공사의 종류에 따라 골조공사나 마감공사로 구분하거나 공사 부위에 따라 외부마감이나 내부마감으로 구분할 수 있다. 소공정(Level 3)은 중공정의 하위체계 공종으로 구성되며, 경우에 따라 Level 4, Level 5 등 상세한 단계로 구분할 수도 있다. 따라서 작업분류체계는 프로젝트에 참여하는 이해관계자들이 참여하여 목적에 따라 작성하는 것이 합리적이라 할 수 있다(김재홍, 2016)

Table 2. Example of work breakdown structure

classification	Level 1	Level 2	Level 3
type of construction	construction work	reinforced concrete construction	rebar work
			form work
			concrete work
		finishing work	brick work
			plasterer work
			waterproof work
scope of construction	construction work	exterior finishing work	curtain wall work
			glass work
			painting work
		internal finishing work	brick work
			plasterer work
			waterproof work

3. 인필식 공법의 작업분류체계

3.1 작업분류체계의 구축방법

인필식 공법에 대한 작업분류체계는 모듈러 공장과 시공현장의 실태조사 결과를 바탕으로 구축하였다. 모듈러 제작에 대한 실태조사는 생산준비, 모듈러 제작, 모듈러 운송 단계에 총 7회에 걸쳐 각 단계별 세부 작업내용과 모듈러 제작 프로세스를 조사하였다. 모듈러 현장 조립 및 마감 공사에 대한 실태조사는 현장반입부터 인필 및 고정 완료까지 약 2주 동안 현장에 상주하면서 공사 부위별 세부 단위작업 및 시공 프로세스를 조사하였다. 이 결과를 바탕으로 모듈러

제작공장의 관리책임자와 모듈러 현장 조립 및 마감 단계의 공사 관리책임자와의 인터뷰를 실시하였고, 인필식 모듈러 공법에 대한 작업분류체계를 정의하였다.

3.2 인필식 공법의 작업분류체계

작업분류체계는 총 3단계로 분류되는데, Level 1은 모듈러 공사단계(공장제작, 현장조립, 현장마감), Level 2는 공사대상 및 부위(제작준비/공장제작, 인필/고정, 방바닥미장/현장마감/기타마감), Level 3은 각 단계별 세부 단위작업으로 정의하였다. 인필식 모듈러의 공장제작 단계의 작업분류체계는 Table 3과 같이 모듈러 제작준비와 공장제작 단계로 분류하였다.

Table 3. Work breakdown structure in factory production

Level 1	Level 2	Level 3
factory production	preparation	drawing review and material supply
		shop drawing
		subsidiary materials ordering
		UT floor frame production and import
	modular production	wall and ceiling panel production
		combined UT and UC floor plates
		UT and UC interior wall assembly
		UT wall frame installation
		insulation pin installation
		wall plumbing
		wall insulation installation
		UT and UC exterior wall assembly
		lifting and fixing ceiling panels
		ceiling piping work
		toilet accessory Installation
		toilet water pressure test
		outlet and light installation
		finishing work
		packing work

제작준비 단계는 단위작업은 모듈러 공장제작 착수 이전에 수행하며, 도면검토 및 원자재 수급, 샵드로잉, 부속자재 발주, Unit Toilet(화장실 부위 모듈러, 이하 UT라 한다) 바닥판 프레임 생산 및 반입 등 4개의 단위작업으로 정의하였다. 모듈러 제작 단계에서는 일반적으로 모듈러 구조체 제작 및 건축마감 작업을 수행하는데, 천안시 D현장에 적용된 인필식 공법은 현장에서 방바닥미장 공사 및 세대 내·외부 건축마감을 수행하였다. 따라서 모듈러 제작 단계는 벽체 및 천정 판넬생산, UT 및 Unit Cabin(거실 부위 모듈러, 이하 UC라 한다) 바닥판 결합, UT 및 UC 내부벽체 조립, UT 벽체 하지틀 설치, 단열재 보온핀 설치, 벽체 배관작업, 벽체 단열재 설치, UT 및 UC 외부벽체 조립, 천정 판넬 인양 및 고정, 천정 배관작업, 위생도기 및 악세서리 설치, 화장실 수압테스트, 콘센트 및 등기구 설치, 검사 및 잔손보기, 보양 및 포장 등 15개의 단위작업으로 정의하였다.

인필식 공법은 모듈러 제작이 완료된 후 현장의 공사일정에 따라 모듈러 운송 및 양중 작업을 실시하였다. 모듈러 현장조립 순서를 요약해 보면, 모듈러를 케이지에 안착시킨 후 크레인을 이용하여 해당 부위로 인양하고, 인력에 의해 모듈러를 설치 부위로 이동시켜 고정 작업을 실시하였다. 이를 토대로 모듈러 현장조립 단계의 작업분류체계는 Table 4와 같이 모듈러 인필 및 고정으로 분류하였다.

Table 4. Work breakdown structure at the assembly stage

Level 1	Level 2	Level 3
assembly	modular infill	Modular import and unloading preparation
		modular seating in cage
		cage lifting and fixing
		modular move to the slab
		modular move to the fixing site
	modular fixing	vertical / horizontal level check
		modular horizontal junction
		angle installation for fixing fire protection panel
		fire protection panel installation
		modular bottom fixation
		finishing work

모듈러 인필 단계는 모듈러 반입 및 하역준비, 모듈러 케이지 안착 및 고정, 모듈러 인양 및 삽입부 고정, 모듈러 슬래브 안착, 모듈러 설치위치 이동 등 양중작업과 모듈러 해당부위 이동과 관련이 있는 5개의 단위작업으로 정의하였다. 모듈러 고정은 모듈러 위치 및 레벨 확인, 세대 간 모듈러 접합, 방화패널 고정용 앵글 설치, 세대 간 방화패널 설치, 모듈러 바닥고정, 잔손보기 등 기능공에 의해 실시하는 6개 단위작업으로 정의하였다.

인필식 모듈러 현장마감은 모듈러의 공장제작 범위에 따라 사업지구별로 다르게 나타날 수 있다. 일반적으로 세대 내부의 건축마감 공사는 대부분 공장에서 수행하지만, 천안시 D현장에 적용된 인필식 모듈러 공사는 방바닥 미장공사와 세대 내부 마감공사를 현장에서 수행함에 따라 현장마감 공사 작업량이 일반적인 모듈러 공사보다 다소 많은 것으로 나타났다. 인필식 모듈러 현장마감 작업분류체계는 Table 5와 같이 방바닥 미장, 세대 건축마감, 기타 현장마감으로 구분하였다.

인필식 모듈러 현장마감은 발코니와 복도의 모듈러 설치부위의 마감을 제외하고 일반 주택건설 공사의 단위작업과 대동소이한 것으로 나타났다. 방바닥 미장은 바닥 완충재 설치, 보일러 급수배관 및 분배기 설치, 기포 콘크리트 타설, 세대내 문틀 및 문짝 설치, 마루귀틀 설치, 바닥 난방배관 설치, 수도계량기 설치, 방바닥 몰탈 타설 등 8개 단위작업으로 정의하였다. 그리고 세대 건축마감은 주방 벽체 타일시공,

현관 바닥 타일시공, 몰딩 시공, 걸레받이 시공, 주방가구 설치, 신발장 설치, 장판 깔기 등 7개 단위작업으로 정의하였다. 마지막으로 기타 현장마감은 발코니 시트방수, 발코니 바닥 타일시공, 발코니 하지철물 설치, 발코니 벽체판넬 설치, 복도 벽체판넬 설치, 복도 및 발코니 상부 방화패널 설치, 발코니 세대칸막이 설치, 발코니 창호 설치, 보일러 및 연도 설치, 발코니 수전 설치, 잔손보기, 준공청소 등 12개의 단위작업으로 정의하였다.

Table 5. Work breakdown structure at the finishing stage

Level 1	Level 2	Level 3
finishing	floor plastering	floor cushioning installation
		boiler piping installation
		bubble concrete pouring
		door frame and door installation
		porch floor separator installation
		floor heating piping installation
		water meter installation
		mortar pouring
	building finishing	kitchen wall tile work
		porch floor tile work
		molding installation
		baseboard installation
		kitchen furniture installation
		shoe closet installation
		linoleum work
	other site finishing	balcony sheet waterproof
		balcony bottom tile work
		balcony wall frame installation
		balcony wall panel installation
		Corridor wall panel installation
		Corridor/Balcony fire protection panel installation
		balcony partition installation
		balcony window installation
		boiler installation
		balcony accessory installation
		finishing work
		cleaning

4. 인필식 모듈러 공장생산 및 현장시공

천안시 D현장 모듈러주택 건설공사는 한국건설기술연구원 주관으로 수행한 「수요자 맞춤형 조립식주택 기술개발 및 실증단지 구축」 연구의 실증단지 사업이다. 해당 사업지구는 비모듈러(하부공사, 지상층 코어, 인필식 골조, 외장공사)와 모듈러(인필식, 적층식) 공사로 구분되며, 두 개의 모듈러 공법이 혼합하여 적용되었기 때문에 모듈러 공사에 대한 표준 프로세스를 도출하는데 한계가 있다. 또한, 모듈러 제작업체에 따라 구조시스템이나 생산능력, 기술력 등이 다르므로 모듈러주택 건설공사는 현장별로 적용공법에 따라 표준 프로세스가 다르게 나타날 수 있다. 따라서 본 절에서는 해당 사업지구에 적용된 인필식 모듈러 공사의 공장제작, 현장조립, 현장마감 공사에 대한 작업 프로세스를 파악하였고, 이를 바탕으로 표준 프로세스를 제안하였다.

4.1 인필식 모듈러 공장제작

인필식 모듈러의 공장제작은 판넬생산과 UT 및 UC 제작 단계로 구분할 수 있다. 모듈러 공장제작 프로세스는 공사단계별 공장제작 실태조사와 관리자 인터뷰를 통해 세부내용을 파악하였다. 모듈러 벽체 및 천정에 사용되는 판넬은 해당업체에서 자체적으로 생산하였으며, 판넬생산 프로세스는 Fig. 4와 같이 원자재 반입 후 강판 절단 및 절곡, 접착제 도포, 글라스울 부착 등의 순서로 이루어졌다.

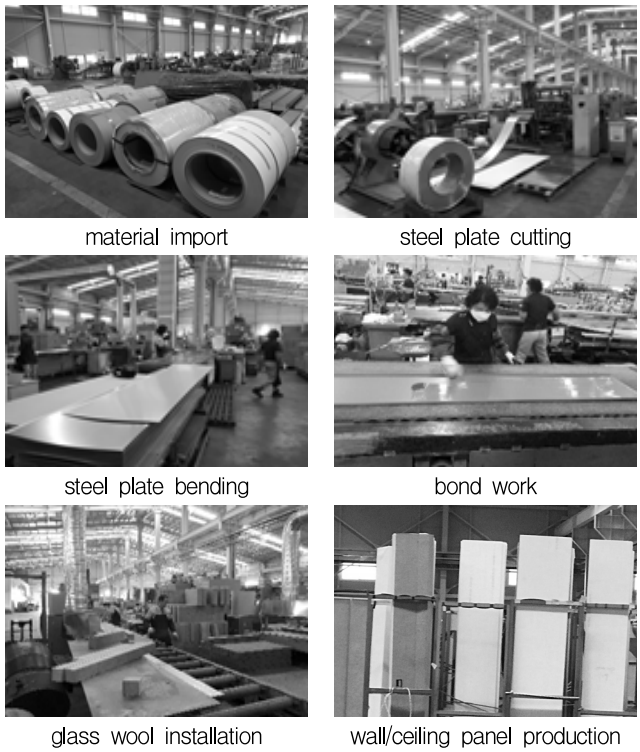


Fig. 4. Infill modular panel production process

인필식 모듈러의 UT 제작은 바닥판 제작 및 방청, 바닥타일 시공 등의 작업은 외주업체를 통해 실시하였고, 모듈러 제작공장에서는 내부 벽체설치, 화장실 문틀 및 문짝 설치, 급수배관 설치, 화장실 위생기구 취부, 악세서리 설치, 수압테스트 등은 자체적으로 직접 실시하였다.

인필식 모듈러 UC 제작은 UC 하지 틀 설치 후 먼저 작업한 UT 바닥판과 결합하였고, 벽체판넬(하부 프로파일, 내부 벽체, 전기/통신, 단열, 외부 벽체, 창틀, 상부 프로파일)과 천정판넬(천정판, 전기통신)을 설치하고, 기타작업을 실



Fig. 5. Infill modular factory production process

시하여 모듈러 공장제작이 완료되고, 현장조립 일정에 따라 보양 및 운송을 실시하는 것으로 나타났다. 인필식 모듈러 UT 및 UC 공장제작 프로세스는 Fig. 5와 같이 정리할 수 있다.

4.2 인필식 모듈러 현장조립

인필식 모듈러 현장조립은 모듈러 인필과 고정 단계로 구분할 수 있다. 모듈러 현장조립 프로세스는 모듈러 현장반입부터 고정작업이 완료되는 시점까지 직접 모니터링을 통해 세부내용을 파악하였다. 모듈러는 현장조립 작업 1일 전 오후에 공장에서 상차하였으며, 다음날 아침에 모듈러가 현장에 반입되었다. 모듈러가 현장에 반입된 이후에는 모듈러 인양케이지에 모듈러를 안착하고, 모듈러 삽입 부위에 케이지를 고정하여 인력에 의해 슬래브 내에서 모듈러를 이동시키는 작업을 실시하였다. 모듈러 고정은 모듈러 위치 및 수직/수평 레벨 확인이 완료된 이후 각 세대 간 상부에 방화패널을 설치하였으며, 마지막으로 앵커볼트로 슬래브에 모듈러를 고정시켜 현장 세팅작업이 완료되었다. 2개 모듈러로 구성되어 있는 세대는 현장에서 모듈러 현장접합 이후에 전기통신 배선작업을 실시하였다. 인필식 모듈러 현장조립 프로세스는 Fig. 6과 같이 정리할 수 있다.

modular infill


crane installation


cage carrying


modular import


modular move (truck → cage)


modular cage seating


cage lifting preparation


cage lifting



cage fixing



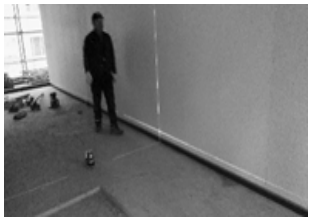
modular move ready


modular slab primary move

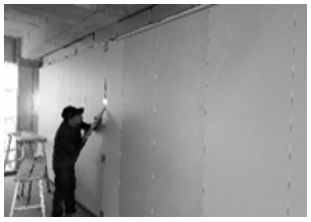

modular slab secondary move


modular Positioning

modular fixing

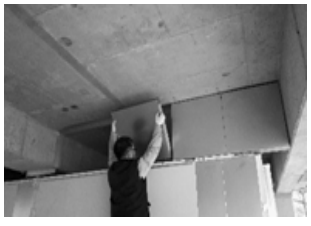

vertical / horizontal level check


modular horizontal junction


modular joint filling


angle installation for fixing fire protection panel


fire protection panel preparation


fire protection panel installation


panel joint filling


modular installation complete


anchor bolt area drilling


anchor bolt fixing


modular fixation complete



electrical finish (module connection part)

Fig. 6. Infill modular assembly process

4.3 인필식 모듈러 현장마감

모듈러 현장마감 공사는 모듈러 공장제작 범위에 따라 사업지구별로 다르게 나타날 수 있다. 본 연구의 대상인 천안시 D현장 모듈러주택은 방바닥 미장공사를 현장에서 실시함에 따라 공용부위 및 전용부위 등의 각종 마감공사도 현장에서 실시되었다. 따라서 인필식 모듈러 현장마감은 방바닥 미장공사, 세대내부 건축마감, 기타 현장마감으로 구분하였다.

방바닥 미장공사는 마감 먹줄놓기, 바닥 완충재 설치, 급수배관 및 분배기 설치, 마루귀틀 설치, 기포콘크리트 타설, 세대 내 문틀설치, 난방배관 설치, 방바닥 몰탈 타설 등 일반 주택건설 공사의 마감공사 프로세스와 대동소이한 것으로 나타났다. 각 단계별 작업 프로세스는 Fig. 7과 같이 정리할 수 있다.



Fig. 7. Floor plastering work process

세대내부 건축마감은 방바닥 미장공사가 종료된 이후 타일공사, 가구공사, 수장공사 등의 작업이 진행되었으며, 천정 및 벽체의 마감재는 컬러강판으로 구성되어 있어 도배작업은 실시하지 않았다. 세대내부 건축마감의 주요작업은 Fig. 8과 같이 정리할 수 있다.



Fig. 8. Building finishing unit work

이밖에 모듈러 공사의 기타 현장마감은 기계/전기/통신 등의 잔여마감 공사와 콘크리트 구조물의 실측을 통한 공용부위 마감자재 발주 및 제작 등이 여기에 포함된다. 인필식 모듈러 공사에서 현장에서 수행해야하는 주요 작업들은 Fig. 9와 같이 정리할 수 있으며, 공용부위 하지철물 설치, 모듈러 상부 방화패널 및 판넬 설치, 발코니 창호 및 세대칸막이 설치, 보일러 및 각종 악세서리 설치, 준공청소 등이 있다.



Fig. 9. Other site finishing unit work

4.4 인필식 모듈러 현장조립 표준 프로세스 제안

인필식 모듈러 공사는 공장제작 범위에 따라 공사단계별 작업내용이 달라질 수 있으며, 모듈러 공장의 규모 및 생산능력에 의해서도 모듈러 생산 프로세스는 다르게 나타날 수 있다. 또한, 해당 프로젝트의 성격이나 특성에 따라 모듈러 공사의 표준 프로세스는 현장별로 상이할 수 있다. 이에 본 절에서는 천안시 D현장에 적용된 실제 프로세스를 조사하여 인필식 공법 현장조립 단계의 크리티컬 패스에 해당되는 모듈러 반입, 인양, 인필, Level 확인 등의 단위작업을 중심으로 표준 프로세스를 제안하였다.

인필식 모듈러의 현장조립 표준 프로세스 제안을 위해 천안시 D현장과 동일하게 세대 당 2개의 모듈이 구성되도록 층당 평면 형태를 Fig. 10과 같이 가정하였다. 모듈러의 크기는 A형이 3,200 × 6,500이고, B형이 3,200 × 3000이며, 운반차량은 9톤 이하 화물차로 A형은 1개 모듈, B형은 2개 모듈을 동시에 운반할 수 있다. 모듈러 인필 순서는 발코니 부위에 위치하는 B형을 먼저 설치하고, 복도 부위의 A형을 나중에 설치한다. 단, 1호 세대의 경우는 기둥 간섭으로 인해 A형 모듈러를 먼저 설치해야 한다.

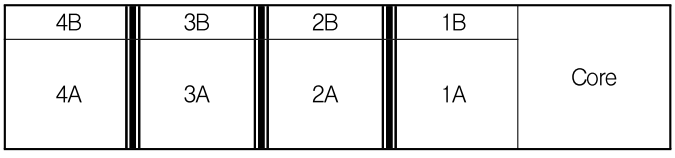


Fig. 10. Example of modular unit division in modular housing

천안시 D현장에 적용된 1개 층 기준 시공 프로세스는 총 20단계에 걸쳐 이루어졌는데, 공동주택 건설공사에 이 공법이 최초로 적용됨에 따라 모듈러 운반 및 양중 계획이 적절하게 수립되지 않은 것으로 나타났다. 모듈러 현장조립은 양중장비에 의해 공사가 진행되므로 모듈러 현장반입 및 양중순서가 매우 중요하다. 또한, 각 세대 사이에 화재발생 시 이를 차단시키는 방화패널이 설치된 이후에 순차적으로 모듈러를 설치해야 한다. 하지만 해당 현장에서는 모듈러 운송 및 양중 계획에 대한 검토가 부족하였고, 현장조립 프로세스가 아닌 운송차량 수급여건을 우선적으로 고려하여 모듈러를 상차하여 현장으로 운반하였다. 결과적으로 모듈러 현장반입 및 인필이 완료된 이후에 모듈러를 슬래브 내에서 재이동시키는 불필요한 작업이 발생하였다. 이에 본 연구에서는 인필식 모듈러 공사에서 현장조립 프로세스를 최적화하기 위해 운송 및 양중 계획을 고려하고, 현장조립 프로세스를

반영하여 표준 프로세스를 다음과 같이 제안하였다.

인필식 모듈러의 1개 층 기준 현장조립 순서는 양쪽의 측 세대 모듈러 설치, 2호 또는 3호 세대의 모듈러 설치, 세대 간 방화패널 설치, 2호 또는 3호 세대 모듈러 설치 순서로 이루어지며, 현장조립 프로세스를 20단계에서 17단계로 간소화 시킬 수 있는 것으로 나타났다.

인필식 모듈러 현장조립 실행 프로세스
① 2B+1B 모듈러 반입 및 2B 양중 ② 1B 모듈러 양중 ③ 1A 모듈러 반입 ④ 슬래브 내 2B 모듈러 이동 ⑤ 슬래브 내 1B 모듈러 이동 (2층 1A 모듈러 양중을 위한 공간 마련) ⑥ 1A 모듈러 양중 ⑦ 1B 모듈러 이동(제 위치잡기) ⑧ 2A 모듈러 반입 및 양중 ⑨ 4B+0B(다른 층) 모듈러 반입 및 4B 양중 ⑩ 0B 모듈러 양중 ⑪ 4A 모듈러 반입 및 양중 ⑫ 1~2호 세대 방화패널 설치 ⑬ 3~4호 세대 방화패널 설치 ⑭ 2B 모듈러 이동(제 위치잡기) ⑮ 2A 모듈러 이동(제 위치잡기) ⑯ 2~3호 세대 방화패널 설치 ⑰ 3B+0B(다른층) 모듈러 반입 및 3B 양중 ⑱ 0B(다른 층) 모듈러 양중 ⑲ 3A 모듈러 반입 및 양중 ⑳ 세대별 위치 및 레벨 확인

인필식 모듈러 현장조립 표준 프로세스 제안
① 1A 모듈러 반입 및 양중 ② 1B+4B 모듈러 반입 및 1B 양중 ③ 4B 모듈러 양중 ④ 4A 모듈러 반입 및 양중 ⑤ 2B+0B(다른 층) 모듈러 반입 및 2B 양중 ⑥ 0B(다른 층) 양중 ⑦ 4A 모듈러 반입 및 양중 ⑧ 2A 모듈러 반입 및 양중 ⑨ 1~2호 세대 방화패널 설치 ⑩ 3~4호 세대 방화패널 설치 ⑪ 2B 모듈러 이동(제 위치잡기) ⑫ 2A 모듈러 이동(제 위치잡기) ⑬ 2~3호 세대 방화패널 설치 ⑭ 3B+0B(다른 층) 모듈러 반입 및 3B 양중 ⑮ 0B(다른층) 모듈러 양중 ⑯ 3A 모듈러 반입 및 양중 ⑰ 세대별 위치 및 레벨 확인

5. 결론 및 시사점

일반적인 모듈러 공법은 공장에서 제작한 모듈러를 레고블록처럼 적층하는 방식을 의미하지만, 인필식 공법은 철골이나 철근콘크리트 구조체를 현장에서 먼저 시공한 후에 공장에서 제작한 모듈러를 해당 부위에 삽입하는 공법을 의미한다. 본 연구에서는 모듈러주택 건설공사에 적용되는 인필식 공법을 대상으로 모듈러 공장제작 단계에서부터 현장조립 및 마감에 이르기까지 각 단계별 작업분류체계를 구축하고, 표준 프로세스를 제안하였다. 인필식 모듈러의 공사단계별 작업분류체계의 Level 1은 공장제작, 현장조립, 현장마감으로 정의하였고, Level 2는 제작준비, 모듈러 제작, 모듈러 인필, 모듈러 고정, 방바닥 미장, 세대 건축마감, 기타 현장마감으로 정의하였다. 마지막으로 Level 3은 인필식 모듈러 공사의 세부 단위작업을 의미하며, 총 57개로 정의하였다. 이를 바탕으로 천안시 D현장 모듈러주택 건설공사를 중심으로 작업수행 현황을 조사하여 표준 프로세스를 제안하였다.

본 연구의 한계점은 인필식 모듈러 공사의 표준 프로세스를 현장조립 단계로 한정하여 제시하였다는 점이다. 하지만, 모듈러 공사는 프로젝트의 성격이나 공장제작 범위에 따라 현장별로 표준 프로세스가 다르게 나타날 수 있어 인필식 공법이 적용된 프로젝트에 공통적으로 적용 가능한 현장조립 단계의 표준 프로세스 제안은 향후 활용가치가 높을 것으로 판단된다. 본 논문에서 제안한 결과는 인필식 공법을 적용한 모듈러주택 건설공사의 공정계획 수립에 활용할 수 있고, 설계 및 기획 단계에서 모듈러 공장제작 범위를 적정하게 설정하는데 기여할 수 있을 것이며, 모듈러 운송 및 양중 계획을 수립하는데 활용할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 논문은 LH의 연구비 지원으로 수행된 “모듈러주택 공정관리 표준화기법 발굴에 관한 연구” 과제의 성과를 기초로 작성하였다.

참고문헌

1. 김균태, 김창한, 이두헌, 이영호(2011), “한국형 모듈러 주택 시공의 시나리오 개발”, 「한국건축시공학회 학술기술논문발표회논문집」, 11(1): 81~83.
2. 김재홍(2016), “건설사업 작업분류체계와 위험분류체계의 통합에 관한 연구”, 「석사학위논문」, 강원대학교.

3. 이광복, 김경래, 신동우, 차희성(2011), “유닛 모듈러 공법의 효율성 확보를 위한 공장제작, 운반, 현장설치의 최적 공정 제안”, 「한국건설관리학회논문집」, 12(6): 14~21.
4. 정재헌(2012), “WBS(Work Breakdown Structure)를 중심으로 한 웹기반 정보시스템 사업관리 방안에 대한 연구”, 「석사학위논문」, 단국대학교.
5. 조봉호, 김홍진, 고광호(2007), “모듈러 건축 시스템의 기술개발 동향 및 적용 사례”, 「한국강구조학회지」, 19(1): 112~119.

「LHI Journal」 편집위원회 규정

2010. 7. 23 제정
2016. 7. 29 개정

제 1 조 (목적)

이 규정은 한국토지주택공사 토지주택연구원(이하 'LHI'라 칭함)의 「토지・주택・도시와 관련된 정책・제도 및 건설・환경분야 학술지」(이하 'LHI Journal' 이라 칭함) 발간을 위한 편집위원회의 구성과 운영에 관한 사항을 정함을 목적으로 한다.

제 2 조 (구성)

1. 편집위원의 구성은 LHI 및 국내외의 전문가로 위촉하며 외부위원의 수가 전체 편집위원회의 과반수가 넘도록 한다.
2. 편집위원장을 제외한 편집위원은 편집분과장, 외부편집위원(국내 및 국외), LHI 내부편집위원으로 구성한다.

구분	인문·사회 분야			공학분야		계
	국토·주택정책 분과	경제·경영 분과	도시·생태환경 분과	건축·에너지 분과	토목·환경 분과	
편집위원(국내)	5인	5인	5인	5인	5인	25인
편집위원(국외)	1인	1인	1인	1인	1인	5인
편집위원(LHI)	1인	1인	1인	1인	1인	5인
편집분과장	1인	1인	1인	1인	1인	5인
편집위원장	1인					1인

제 3 조 (편집위원의 선임 및 임기)

1. 편집위원장은 LHI 원장이 선임한다.
2. 편집분과장과 편집위원은 편집위원장이 추천하고 LHI 원장이 선임한다.
3. 편집위원장은 위원회의 업무를 효율적으로 수행하기 위하여 LHI 내부 편집위원 중에서 2인 이내에서 간사를 선임할 수 있다.
4. 편집위원의 임기는 2년으로 하며 연임할 수 있다.

제 4 조 (편집위원장의 업무)

편집위원장의 주요업무는 다음과 같다.

1. 편집위원 추천과 편집분과장회의와 편집위원회 소집 및 운영
2. 학술지 편집에 관한 내용 기획 및 총괄
3. 투고된 원고의 심사를 위한 심사위원 선임, 심사의뢰 및 심사내용 통보
4. 윤리위원회 구성, 연구윤리위반 사항 발생시 윤리위원회에 심의 의뢰 및 윤리위원회의 결정을 당해 투고자에 통보
5. 기타 편집위원회 운영에 필요한 업무

제 5 조 (편집분과장의 업무)

편집분과장의 주요업무는 다음과 같다.

1. 편집위원장 주관 편집분과장회의 참석
2. 해당분과 편집위원 추천과 분과위원회 소집 및 운영

3. 해당분과 학술활동 기획 및 건의
4. 해당분과 투고논문 심사위원 추천
5. 편집위원장 판정 해당논문의 게재여부 판정에 대한 지원
6. 기타 편집위원장이 요청한 사항과 편집분과의 운영에 필요한 업무

제 6 조 (편집위원회의 업무)

이 위원회의 주요업무는 다음과 같다.

1. 학술지의 편집 및 출판, 원고의 모집 및 게재여부 판정 등 학술지 편집에 관한 제반업무를 관장
2. 투고 및 심사 등 편집위원회의 업무와 관련된 지침의 제 · 개정
3. 기타 편집위원장이 필요하다고 판단하는 업무

제 7 조 (운영)

1. (정기회의) 편집위원회는 학술지 발행과 맞추어 연 4회 개최한다.
2. (임시회의) 편집위원장이나 편집위원 과반수의 요구가 있는 경우 편집위원장이 소집할 수 있다.
3. 본 위원회의 의결은 편집위원 1/3 이상의 출석과 출석위원 과반수의 찬성에 의한다.
4. 다만, 사전에 위임한 자는 출석한 것으로 간주한다.

제 8 조 (편집위원 회의비)

편집위원이 편집위원회와 관련된 회의에 참석하는 경우, LHI 원장이 정하는 별도의 기준에 따라 소정의 회의비가 지급된다.

부 칙

제 1 조 (시행일)

본 규정은 2016년 7월 29일부터 시행한다.

「LHI Journal」 발간 및 편집규정

2010. 7. 23 제정
2012. 2. 27 수정
2016. 8. 01 개정

제 1 장 투 고

제 1 조 (원고의 대상 및 종류)

(1) 「LHI Journal of Land, Housing and Urban Affairs」(이하 LHI Journal이라 함. 국문명 「토지주택도시연구」) 는 국토, 주택 및 도시관련 분야의 연구성과를 수록하는 전문 학술지로서, 논문을 게재하는 것을 원칙으로 한다. 논문은 창의적인 연구결과 및 일정한 주제에 관한 연구성과동향전망을 학술논문의 형식에 따라 기술한 것을 말한다.

(2) 논문은 다른 학술지 또는 문헌에 게재되지 않은 것이어야 한다.

제 2 조 (원고의 분량)

(1) 논문의 분량은 그림 및 표를 포함하여 A4 용지 8매 내외로 한다.

(2) 원고분량이 본 규정보다 지나치게 초과 또는 미달하는 경우에는 본지 편집위원회가 투고자에게 조정을 요구할 수 있으며, 투고자는 이에 따라야 한다.

제 3 조 (원고의 작성)

(1) 모든 원고는 본지의 원고작성방법에 따라 작성하여야 한다.

(2) 원고의 작성언어는 국문 또는 영문을 원칙으로 한다.

(3) 원고는 워드프로세서(흔글 또는 word)를 이용하여 A4용지에 작성함을 원칙으로 한다.

(4) 원고는 키워드까지는 1단으로, 본문부터는 2단으로 편집한다.

제 4 조 (원고의 접수)

(1) 원고는 논문투고시스템을 통해 수시로 접수하며, 원고가 접수된 일자를 원고접수일자로 한다.

(2) 논문 투고자는 논문투고시스템에 논문제목, 논문개요, 키워드, 저자, 참고문헌, 본문을 등록해야 한다.

(3) 접수된 원고 중 투고규정 및 원고작성방법에 의거해 작성하지 않은 원고는 본지 편집위원회에서 저자에게 수정 및 보완을 요구할 수 있고, 투고자는 이에 따라야 한다.

제 2 장 원고작성 방법

제 5 조 (논문의 구성)

(1) 국문논문의 구성

가. 국문논문의 경우, 국문제목, 영문제목, 국문저자명, 영문저자명, 영문요약(Abstract), 영문주제어(Keywords), 국문주제어, 본문(서론, 본론, 결론), 참고문헌, 부록 등의 순서로 구성한다. 단, 부록은 필요한 경우에 한하여 작성한다. (부분수정)

나. 저자의 소속 및 직위는 논문 첫 페이지의 하단에 각주로 작성하되, 국문으로 작성한다.

(2) 영문논문의 구성

가. 영문논문의 경우, 영문제목(Title), 영문저자명(Authors), 영문요약((Abstract), 영문 키워드(Keywords), 본문(Body), 참고문헌(References), 부록(Appendix) 등의 순으로 구성한다.

나. 저자의 소속 및 직위는 논문 첫 페이지의 하단에 각주로 작성하되, 영문으로 작성한다.

제 6 조 (논문제목의 표기)

(1) 논문제목은 연구내용을 간결하고 명확하게 표현할 수 있도록 기재한다.

가. 국문논문의 경우, 국문제목을 먼저 작성하고, 아래에 영문제목을 작성한다. 한자 또는 영어로 표기하지 않으면 의미 전달이 곤란한 경우에는 괄호 안에 한자 또는 영어를 병기한다.

나. 영문논문의 경우, 영문제목(부제목 포함)의 첫 글자는 대문자로 시작한다. 제목 내의 단어는 전치사와 접속사, 관사를 제외하고는 첫 글자를 대문자로 시작한다.

예: Schematic Layout Design Process for Apartment Dwelling

(2) 논문에 부제목이 있는 경우, 국영문 논문 공히 주제목 다음에 ‘:’을 표기하고 부제목을 기재한다.

제 7 조 (저자의 표기)

(1) 논문 제목 아래에 저자명을 기재함을 원칙으로 한다.

가. 국문논문의 경우, 저자의 국문이름을 먼저 기재하고, 아래에 영문이름을 기재한다.

나. 영문논문의 경우, 저자의 영문이름을 기재한다.

(2) 표기 방법

가. 영문저자명은 이름, 성의 순서로 기재한다.(예: Gildong Hong, Gil-Dong Hong)

나. 저자가 복수일 경우, 주 저자(main author)가 맨 앞에 오도록 한다. 저자명의 오른쪽 어깨에 1, 2, 3, … 을 표기하고, 저자와 저자 사이에 가운뎃점(·)을 넣어 구분한다.

제 8 조 (저자의 소속 및 직위 표기)

(1) 논문 첫 페이지 하단에 각주로 표기하며 1), 2), 3), … 을 표기하여 구분한다.

(2) 모든 저자는 소속기관과 직위를 표기하고 주저자와 교신저자의 경우 연락처(E-mail주소)와 함께 표시한다.

(3) 표기방법

가. 국문

1) 토지주택연구원 경영정책연구실 연구원(주저자: Main@lh.or.kr)

2) 토지주택대학교 공공정책학과 교수(교신저자: Corresponding@lh.or.kr)

3) 토지주택연구원 건설환경연구실 연구위원

나. 영문

1) Research Fellow, Dept. of Administration & Policy Research, Land & Housing Institute (Main Author: Main@lh.or.kr)

2) Professor, Dept. of Public Policy, Land & Housing College (Corresponding Author: Correspond@lh.or.kr)

3) Senior Research Fellow, Dept. of Civil & Environ. Research, Land & Housing Institute

제 9 조 (영문요약(ABSTRACT) 작성)

(1) 영문요약(ABSTRACT)은 영문으로 연구목적, 연구방법, 연구결과, 연구의 시사점, 향후 연구방향 등을 중심으로 작성한다.

(2) 요약문은 상단 중앙에 ‘ABSTRACT’로 기재하고 최소 700단어 이상으로 작성한다). (기존 국문/영문 규정 통합)

제 10 조 (주제어(Keywords) 표기)

국문논문의 요약문 하단에는 'Keywords'라고 기재하고 콜론(:)을 표기한 후 5개 내외의 영문주제어를 작성하며, 각 영문 주제어 뒤에는 ( )안에 국문 주제어를 기입한다.

제 11 조 (본문 작성방법)

(1) 본문은 학술논문의 통상적인 전개방식에 따라 작성한다.
(2) 원고의 읽기와 교정이 용이하도록 용지의 상하좌우 및 행간에 여백을 두어야 한다.
(3) 각주는 반드시 본문 해당면의 하단에 위치하도록 한다.
(4) 본문의 단락 처음에는 들여쓰기(2글자 또는 20point)를 한다.
(5) 기타 사항은 각 항목별 편집세부규정을 따른다.

제 12 조 (표기 언어 및 표기 방법)

(1) 국문원고의 경우, 의미전달 상 필요한 경우에 한하여 한자 및 외래어를 괄호 안에 표기할 수 있다.
(2) 목차 및 본문의 장, 절, 항 등의 번호 전개는 1., 1.1., (1) 의 순으로 한다.
(3) 장타이틀은 위와 아래 각각 1행씩을 비우고, 절 타이틀은 위만 1행을 띄우고, 항 타이틀은 행을 비우지 않는다(편집세부규정 참조).
(4) 숫자는 아라비아 숫자를 사용하고, 모든 단위는 미터법을 사용한다.

제 13 조 (표 및 그림)

(1) 표 및 그림안의 내용은 영문으로 작성한다.
(2) 표 번호는 Table 1, Table 2의 순으로 표 상단 좌측에 제목과 함께 명기한다.
(3) 그림 또는 사진 번호는 Fig. 1, Fig. 2의 순으로 그림 하단의 중앙에 제목과 함께 명기한다.
(4) 본문에 들어가는 도표 및 사진은 수정 없이 바로 인쇄할 수 있도록 작성하여 제출한다. 특별한 경우를 제외하고 컬러 인쇄를 하지 않으므로 이에 유의하여 흑백으로 인쇄하여도 식별이 가능하도록 한다.
(4) 인용한 도표 및 사진의 경우에는 자료의 출처를 영문으로 작성한다.

제 14 조 (인용문헌, 각주 및 참고문헌 표기법)

(1) 인용문헌
  가. 본문 중에 인용문헌은 다음과 같이 저자와 발표년도를 기재한다. 단, 필요한 경우에는 인용한 쪽수(page)를 밝힐 수 있다.
    ① 단독연구 : 장병권(2000)에 의하면 … , Smith(1992, 82～83)는 … , 이들 연구(유승호, 1996; 임창호, 1998)에 의하면 … , … 라는 견해도 있다(황혜선, 1999: 25～27).
    ② 공동연구(2명인 경우) : 김주찬과 민병일(2003)에 의하면 … , Getis와 Ord(1992)는 … , … 라고 말하고 있다(Howe and Linaweaver, 1967; Weeks and Mcmahon, 1973).
    ③ 공동연구(3명 이상인 경우) : 이동필 등(2001)은 … , … 라고 지적하였다(Maidment et al., 1985).
  나. 국문 저자명은 성과 이름을 다 밝히고, 영문저자명은 성만 기재한다. 일본 저자명은 국문 저자명의 표기방법에 준한다.
(2) 각주
  가. 본문 중에 부연 설명을 필요로 하는 내용이 있을 경우, 해당 내용의 마지막 글자 오른쪽 어깨에 일련번호(예: 1), 2), 3), …)를 붙이고, 해당 페이지 하단에 각주로 처리한다.
  나. 각주에서 자료 출처를 밝힐 경우, 표기방법은 인용문헌 작성방법에 준한다.
(3) 참고문헌

가. 본문에 인용된 문헌만 참고문헌 목록에 표기한다.

나. 국문 참고문헌을 가나다순으로 먼저 열거한 후 동양문헌을 기재한다. 그 다음 서양문헌을 알파벳순으로 나열한 후, 인터넷 사이트를 기재한다.

다. 논문의 경우, 저자, 출판년도, 제목, 학술지명 및 페이지를 밝히고, 논문 제목은 “ ”안에 넣는다. 학술지명은「 」(국문 및 동양문헌) 또는 이탤릭체(서양문헌)로 표시한다.

라. 단행본의 경우, 저자, 출판년도, 서명 및 출판자의 순으로 기록하고, 서명은「 」(국문 및 동양문헌) 또는 이탤릭체(서양문헌)로 표시한다.

마. 동일한 저자의 문헌은 연대순으로 나열하고, 동일한 연도의 문헌이 2개 이상 있을 경우에는 순서에 따라 연대 뒤에 a, b, c …를 기입한다.

바. 서양문헌의 첫 번째 저자는 성, 이름순으로 표기하며 두 번째 저자부터는 이름, 성순으로 표기한다.

사. 저자가 복수일 경우, 모든 저자를 다 밝힌다.

아. 영어논문에서 참고문헌 중 국문학술지명을 표기할 때 학술지 고유의 영어명으로 표기하는 것을 원칙으로 한다. 만일, 고유한 영어학술지 명이 없는 경우에는 한글 학술지명을 소리나는 대로 적고 괄호속에 학술지명을 영어로 번역하여 표기한다.

자. 한글논문 또는 국문단행본을 영어논문에서 표기할 경우 논문명·단행본명을 영어로 번역한 후 말미에 (in Korean)을 추가하여 한글로 된 참고문헌임을 표기한다.

차. 이상 참고문헌 작성요령의 예시는 아래와 같다.

① 국문단행본

노융희(1987),「한국의 지방자치」, 녹원출판사.

② 국문논문

- 최상철(1992), “동북아 연안역의 환경 및 생태계 보존을 위한 협력”,「환경논총」, 30: 35～106.
- 박근석, 박은규, 권치흥, 남원석(2011), “Social-mix 단지에서의 입주자참여 및 갈등이 주거만족에 미치는 영향에 대한 탐색적 연구”, 「LHI Joiurnal」, 2(3): 239～247.
- 조은진, 정창무(2007), “생태 및 유비쿼터스 기술과 거주자 특성의 상관성에 관한 연구”,「대한국토·도시계획학회 2007 추계학술대회 논문집」, 1105～1112.

③ 국문학위논문

- 홍길동(2011), 「도시정비사업을 위한 주민참여적 거버넌스 구축에 관한 논문」, 박사학위논문, LH 토지주택대학.

④ 국문보고서

서울특별시(1992),「하수도 기본계획 재정비 보고서」.

⑤ 영문논문

- Moss, M. L. (1987), “Telecommunications, world cities, and urban policy”, *Urban Studies*, 24(6): 634～546.
- Nam, Y. and R. Ooka (2011), “Development of potential map for ground and groundwater heat pump systems and application to Tokyo”, *Energy and Buildings*, 43: 677～685.
- Sun, F. P., C. Liang and C. A. Rogers (1994), “Experimental model testing using piezoceramic patches as collocated sensors - actuators”, *Proceedings of the 1994 SEM Spring Conference and Exhibits*, Baltimore, MI.

⑥ 영문단행본

McShane, W. (1990), *Traffic Engineering*, Englewood Cliffs: Prentice Hall.

⑦ 영어논문에서 국문 참고문헌 표기

Hong, K. D. (2011), “A study on priorities~ ", *Journal of Korea Planners Association*, 52: 3～14 (in Korean).

⑧ 번역서

송경현, 박용훈(역)(1994),「교통과 도시계획」, 명보문화사, 서울(Blunden, W. R. and J. A. Black (1984),

The Land-use/Transport System, 2nd ed., Pergamon Press, New York).

⑨ Internet Web 자료(서울시 홈페이지에서 서울시 통계연보 2003을 참고한 경우)
http://www.metro.seoul.kr/kor2003/main/index.html.

제 15 조 (기타 등 표기)

(1) 연구비의 출처와 사사(謝辭, acknowledgement)는 논문 첫 페이지의 각주에 기재하되, 저자의 소속과 직위 앞에 오도록 한다.

(2) 편집위원회는 게재 확정된 논문의 저자명 다음에 원고접수일, 수정원고 접수일과 심사완료일을 기재한다.

제 16 조 (편집세부사항)

(1) 글자모양과 문단모양

		글 자 모 양					문 단 모 양		
		글꼴	장평(%)	자간(%)	굵기	크기	들여쓰기	줄간격(%)	정렬방식
도입부분	국문제목	신명조	100	-3	굵게	17	0	110	가운데
	영문제목	신명조	100	0	굵게	15	0	130	가운데
	저자명(국·영)	신명조	100	0	굵게	10.5	0	165	가운데
	저자소속	신명조	100	0	보통	8	0	130	왼쪽
	요약제목(국·영)	신명조	100	0	보통	8.5	0	195	가운데
	요약본문(국·영)	신명조	100	-5	보통	8.5	0	155	혼합
	주제어(국·영)	중고딕	100	-5	보통	8.5	0	155	왼쪽

		글 자 모 양					문 단 모 양		
		글꼴	장평(%)	자간(%)	굵기	크기	들여쓰기	줄간격(%)	정렬방식
본문	1. 장 제목	중고딕	100	-5	보통	11	0	150	왼쪽
	1.1 절 제목	중고딕	100	-5	보통	10.5	0	150	왼쪽
	1.1.1 항 제목	중고딕	100	-5	보통	10	0	150	왼쪽
	논문 본문	신명조	100	-5	보통	10	2글자	150	혼합
	표 제목	중고딕	100	-5	보통	8.7	0	130	혼합
	표 내용	신명조	100	-5	보통	8.5	0	130	혼합
	그림 제목	중고딕	100	-5	보통	8.7	0	130	가운데
	참고문헌 타이틀	중고딕	100	-5	보통	11	0	150	왼쪽
	참고문헌 본문	신명조	100	-5	보통	10	0	145	혼합
	수식	신명조	100	-5	보통	10	2글자	130	혼합
	각주	신명조	100	-5	보통	8	0	130	혼합

(2) 용지설정

용지종류	용지방향	여 백 주 기(mm)							본문길이
		위쪽	아래쪽	왼쪽	오른쪽	머리말	꼬리말	제본	
210×280	보통	12	11	13	13	9	9	0	196

(3) 단수

단 수	1단폭(mm)	단간격(mm)	단구분선	1단길이(mm)
2	88	8	×	196

(4) 도입부 규격(초록)

크 기(mm)	여백				
		왼쪽	오른쪽	위쪽	아래쪽
145(가로)×임의(세로)	안여백	15	15	5	5
	바깥여백	0	0	0	0

제 3 장 발간 및 기타

제 17 조 (논문 교정)

(1) 편집위원회는 심사자의 심사결과 및 수정 확인 결과 '게재가'로 최종 판정된 논문에 대해 최종 교정을 담당한다.

(2) 편집위원회는 오탈자, 비문(非文), 논리 전개의 오류, 논문의 편집 등을 교정하거나, 저자에게 수정을 요구할 수 있다.

제 18 조 (논문의 게재순서)

(1) 논문의 게재순서는 게재가 확정된 순서로 게재하는 것을 원칙으로 하되, 본지 편집위원회가 필요하다고 인정할 경우 변경할 수 있다.

제 19 조 (심사료 및 투고료의 지급)

(1) 「LHI Journal」에 투고하여 심사가 진행된 논문의 모든 심사자에게는 소정의 심사비를 지급하며, 심사비는 LHI 원장이 정하는 별도의 기준에 따른다. 단, 심사료는 해당 논문의 게재여부가 최종 확정된 뒤에 지급한다. (보완)

(2) 주저자가 외부인으로 「LHI Journal」에 투고하여 게재된 논문에 한하여 소정의 투고료를 지급하며, 투고료는 LHI 원장이 정하는 별도의 기준에 따른다. 단, 투고료는 해당 논문이 최종 발간된 뒤에 지급한다. (규정 신설)

제 20 조 (발행 횟수와 시기)

(1) 본지는 1년에 4회 발행하는 것을 원칙으로 한다. 다만, 본지 편집위원회가 필요하다고 인정할 경우 발행횟수를 조정할 수 있다.

(2) 본지 발행일은 4월 30일, 7월 30일, 10월 30일, 12월 30일로 한다. 다만, 발행횟수를 조정할 경우, 발행일은 본지 편집위원회에서 정한다.

제 21 조 (발행 부수)

(1) 본지의 발행부수와 인쇄의 질 등은 편집위원회에서 정한다.

부 칙

제 1 조 (시행일)

본 규정은 2016년 8월 5일부터 시행한다.

「LHI Journal」 심사규정

2010. 7. 23 제정
2016. 7. 01 개정

제 1 조 (목적)

본 규정은 LHI Journal 편집위원회 규정 제4조에 규정된 「LHI Journal」 투고원고에 대한 심사기준 및 절차에 관한 지침을 정함을 목적으로 한다.

제 2 조 (원고모집 공고)

(1) 편집위원회는 LHI와 관련 학회의 학술지 및 홈페이지 등에 원고모집에 관한 사항을 게시한다.
(2) 원고모집을 공고함에 있어서는 투고절차, 논문작성 및 문헌인용방법, 심사기준 및 절차에 관한 기본적인 사항을 고지하여야 한다.

제 3 조 (원고접수)

(1) 편집위원회 간사(이하 편집간사)는 원고를 접수하고, 각 투고자에게 전화 또는 전자우편으로 접수결과를 통보한다.
(2) 편집간사는 투고자의 인적사항, 논문제목, 접수일자, 분량 등을 기재한 접수결과표를 작성하여 편집위원장에게 송부한다.
(3) 편집위원장은 원고가 편집위원회에서 정한 발간 및 편집규정에 현저히 위배된다고 판단하는 경우에는 투고자에게 수정을 요구할 수 있다.

제 4 조 (심사위원의 선정 및 심사원고 송부)

(1) 편집위원장은 각 투고원고에 대해 3인의 심사위원을 선정하고, 각 심사위원에게 심사기한을 정해주고 심사원고를 송부한다.
(2) 심사위원을 선정함에 있어서는 해당분야에 대한 심사위원의 전문성을 고려하고 심사의 공정성을 기할 수 있도록 유의한다.
(3) 심사원고에는 투고자의 인적사항이 기재되어서는 안 되며, 이미 기재되어 있거나 내용 가운데 인적 사항을 추론할 수 있는 부분은 삭제한다.

제 5 조 (투고원고에 대한 심사)

(1) 심사위원은 투고원고를 심사하고 심사평가서를 작성하여 심사기간 내에 이를 편집위원장에게 송부한다. 논문 심사기간은 2주 이내로 한다.
(2) 심사위원은 투고원고를 심사함에 있어서 주제의 창의성, 연구방법의 적절성, 내용의 완결성, 논문작성 및 문헌인용방법의 정확성, 연구결과의 학문적 기여도 등을 심사기준으로 한다.

제 6 조 (투고원고에 대한 게재여부의 결정)

(1) 편집위원장은 심사위원의 심사평가가 완료된 후 투고원고에 대한 게재여부의 결정을 위한 편집회의를 개최한다.
(2) 편집위원장은 심사결과표를 작성하여 편집회의때 보고하고, 편집회의에서는 이를 토대로 게재여부를 결정한다. 다만 투고원고의 게재여부에 대한 최종결정이 있을 때까지 투고자 및 심사위원의 인적사항이 공개되지 않도록 유의하여야 한다.
(3) 투고원고에 대한 게재여부의 결정은 다음의 기준에 의한다.
    1) 3인의 심사위원 모두 게재 '可' 의견을 내거나, 2인의 심사위원이 게재 '可' 그리고 1인이 '수정후 재심의' 의견을 낸 때에는 게재 '可'로 결정한다. 다만 수정을 조건으로 요청할 수 있다.

2) 1인의 심사위원이 게재 '可' 의견을 내고 2인이 '수정후 재심의' 의견을 내거나 3인의 심사위원이 모두 '수정후 재심의' 의견을 낸 때에는 '수정후 재심의' 결정을 한다.
3) 투고원고에 대한 심사결과 심사위원 중 2인 이상이 게재 '否' 의견을 낸 경우에는 게재하지 아니한다.
4) 개제불가 판정으로 인한 재심이 있을 경우 재심의 의뢰시 게재불가로 판단한 심사위원의 의견을 첨부하여 제3자에게 재심을 요청할 수 있다.

(4) 편집위원장은 게재결정이 내려진 투고원고가 타인의 원고를 표절한 것이거나 이미 다른 학술지에 게재한 사실이 있는 것으로 밝혀진 때에는 게재결정을 취소한다.

(5) 논문심사 절차를 표로 정리하면 다음과 같다.

<table>
<tr><th colspan="4">1차 심사</th><th colspan="2">2차 심사</th><th rowspan="2">게재
여부</th></tr>
<tr><th>심사위원1</th><th>심사위원2</th><th>심사위원3</th><th>판정결과</th><th>심사자</th><th>판정결과</th></tr>
<tr><td>게재불가</td><td>게재불가</td><td>게재불가</td><td rowspan="4">게재불가</td><td colspan="2" rowspan="4">생 략</td><td rowspan="4">×</td></tr>
<tr><td>게재불가</td><td>게재불가</td><td>수정후재심</td></tr>
<tr><td>게재불가</td><td>게재불가</td><td>수정후게재</td></tr>
<tr><td>게재불가</td><td>게재불가</td><td>게재가</td></tr>
<tr><td>게재불가</td><td>수정후재심</td><td>수정후재심</td><td rowspan="6">수정후재심</td><td rowspan="6">- '수정후재심' 판정한 1차 심사위원 모두
- 게재불가를 준 1차 심사위원 이외 제3자</td><td>게재</td><td>○</td></tr>
<tr><td>게재불가</td><td>수정후재심</td><td>수정후게재</td></tr>
<tr><td>게재불가</td><td>수정후재심</td><td>게재가</td><td>수정후게재</td><td>○</td></tr>
<tr><td>게재불가</td><td>수정후게재</td><td>수정후게재</td></tr>
<tr><td>게재불가</td><td>수정후게재</td><td>게재가</td><td>게재불가</td><td>×</td></tr>
<tr><td>게재불가</td><td>게재가</td><td>게재가</td></tr>
<tr><td>수정후재심</td><td>수정후재심</td><td>수정후재심</td><td rowspan="3">수정후재심</td><td rowspan="3">'수정후재심' 판정한 1차 심사위원 모두</td><td>게재</td><td>○</td></tr>
<tr><td>수정후재심</td><td>수정후재심</td><td>수정후게재</td><td>수정후게재</td><td>○</td></tr>
<tr><td>수정후재심</td><td>수정후재심</td><td>게재가</td><td>게재불가</td><td>×</td></tr>
<tr><td>수정후재심</td><td>수정후게재</td><td>수정후게재</td><td rowspan="6">수정후게재</td><td colspan="2" rowspan="7">생 략
(편집위원회가 수정사항 확인)
※ 1차 심사결과 수정후재심이 나온 경우 편집위원장이 최종 판정</td><td rowspan="7">○</td></tr>
<tr><td>수정후재심</td><td>수정후게재</td><td>게재가</td></tr>
<tr><td>수정후재심</td><td>개재가</td><td>게재가</td></tr>
<tr><td>수정후게재</td><td>수정후게재</td><td>수정후게재</td></tr>
<tr><td>수정후게재</td><td>수정후게재</td><td>게재가</td></tr>
<tr><td>수정후게재</td><td>게재가</td><td>게재가</td></tr>
<tr><td>게재가</td><td>게재가</td><td>게재가</td><td>게재가</td></tr>
</table>

제 7 조 (심사결과 통보, 이의신청)

(1) 편집위원장의 편집회의 후 즉시 각 투고자에게 결정 결과 및 이유, 사후 절차를 내용으로 하는 공문을 발송한다.

(2) 게재 '否' 결정을 받은 투고자는 편집위원장에게 이의신청을 할 수 있으며, 편집위원장은 이의신청에 대해서 인용 또는 기각여부를 결정한다.

(3) 편집위원장이 이의신청에 대해 인용결정한 때에는 심사위원을 다시 선정하고 심사를 의뢰하여 그 결과에 따라 게재 '可' 또는 '否' 결정을 한다.

(3) 편집위원장이 이의신청에 대해 인용결정한 때에는 심사위원을 다시 선정하고 심사를 의뢰하여 그 결과에 따라 게재 '可' 또는 '否' 결정을 한다.

제 8 조 (최종원고의 제출, 교정 및 편집)

(1) 게재 '可'의 결정을 통보 받은 투고자는 정해진 기간 내에 최종원고를 작성하여 편집간사에게 제출한다.

(2) 최종원고에 대한 교정 및 편집에 관한 사항은 편집위원장이 결정하며, 필요한 때에는 최종원고를 투고자에게 송부하여 교정을 볼 수 있게 할 수 있다.

제 9 조 (논문게재예정증명서의 발급)

편집위원장은 학술지 발행 이전에 최종적으로 게재가 확정된 원고에 대하여 투고자의 신청이 있는 경우에는 '논문게재예정증명서'를 발급한다.

제 10 조 (게재논문의 전자출판)

학술지에 게재된 논문의 전자출판과 관련된 사항은 편집위원회에서 결정된 바에 따른다.

제 11 조 (심사비 및 투고료 지급)

(1) 「LHI Journal」에 투고하여 심사가 진행된 논문의 모든 심사자에게는 소정의 심사비를 지급하며, 심사비는 LHI 원장이 정하는 별도의 기준에 따른다.

(2) 주저자가 외부인으로 「LHI Journal」에 투고하여 게재된 논문에 한하여 소정의 투고료를 지급하며, 투고료는 LHI 원장이 정하는 별도의 기준에 따른다.

부 칙

제 1 조 (시행일)

본 규정은 2016년 7월 1일부터 시행한다.

「LHI Journal」 윤리규정

제 1 장 총 칙

제 1 조 (목적)

본 규정은 「LHI Journal」의 연구활동과 관련하여 연구윤리를 확립하고 연구부정행위를 사전에 예방하며, 연구부정행위 발생시 공정하고 체계적인 진실성 검증과 처리를 위한 편집위원회 산하 윤리위원회(이하 '위원회'라 한다)의 운영에 관한 기본적인 사항과 연구윤리위반에 대한 조치, 그 절차 등 제반사항을 규정함을 목적으로 한다.

제 2 조 (연구윤리규정 서약)

「LHI Journal」에 투고한 저자는 연구윤리규정(이하 '윤리규정'이라 한다)에 서약한 것으로 간주한다.

제 3 조 (연구윤리규정 위반 행위 범위)

연구윤리규정 위반행위는 다음의 연구부정행위와 명예침해 행위를 포함한다.

1. 연구의 부정행위는 다음 각호와 같이 연구의 제안·수행 및 연구결과의 발표과정에서 위조·변조·표절·부당한 저자표시·자료의 중복사용 등으로 연구의 진실성을 해치는 행위를 말한다.
   가. '위조'라 함은 자료나 연구결과를 허위로 만들고 이를 기록하거나 보고하는 행위를 한다.
   나. '변조'라 함은 연구와 관련된 자료·과정·결과를 사실과 다르게 변경하거나 누락시켜 연구가 진실에 부합하지 않도록 하는 행위를 말한다.
   다. '표절'이라 함은 원저자의 아이디어·논리·고유한 용어·데이터·연구과정·분석체계·연구 결과 등을 출처를 밝히지 않고 임의로 활용하는 경우와 출처를 밝히지만 인용부호 없이 타인의 저술이나 논문의 상당히 많은 문구와 아이디어 등을 원문 그대로 옮기는 경우를 말한다.
   라. '부당한 저자 표시'는 연구내용 또는 결과에 대하여 학술적 공헌 또는 기여를 한 사람에게 정당한 이유 없이 저자 자격을 부여하지 않거나, 학술적 공헌 또는 기여를 하지 않은 자에게 감사의 표시 또는 예우 등을 이유로 저자 자격을 부여하는 행위를 말한다.
   마. '자료 등의 중복사용'이라 함은 자신이 이미 발표한 자료나 연구결과를 정당한 승인 또는 인용없이 다시 발표하는 행위를 말한다.
2. 상당한 이유 없이 타인의 명예를 침해하는 표현을 사용하는 행위를 포함한다.

제 4 조 (연구윤리규정 위반행위 판정 및 벌칙)

1. 연구윤리규정 위반에 대한 제보가 있으면, 편집위원장은 검증조사를 위한 필요한 조치를 취한다.
   가. 편집위원장은 위반내용을 확인하고 연구윤리위원회 심의안건으로 상정한다.
   나. 연구윤리위원장은 필요시 조사위원회를 선임하여 검증절차를 진행한다.
   다. 편집위원장은 윤리위원회의 판정결과와 사유를 당해 투고자에게 통보한다.
   라. 피조사자가 이의신청을 할 경우 윤리위원장은 재판정을 위하여 윤리위원회를 개최하고 조사위원회와 제보자, 피조사자의 진술을 듣는다.
2. 조사결과 위반행위가 인정된 경우 다음의 조치를 취한다.
   가. 편집위원장은 홈페이지와 LHI Journal에 연구윤리규정 위반행위에 대해 공시한다.
   나. 당해 투고논문은 게재취소되며 이미 게재된 논문에 대해서는 LHI Journal 논문목록에서 삭제한다.
   다. 당해 투고자는 향후 3년 동안 LHI Journal에 투고하는 것을 금지한다.

제 2 장 연구윤리위원회

제 5 조 (구성)

본 운영규정의 목적을 달성하기 위하여 위원회를 설치하여 운영한다.

1. 위원회는 위원장을 포함하여 7인 이내로 구성한다.
2. 위원장은 편집위원회의 위원 중 호선으로 한다.
3. 위원회 위원의 선임은 편집위원회 위원장이 임명한다.
4. 위원장과 위원의 임기는 2년으로 하되 연임할 수 있다.
5. 위원회의 간사는 본 편집간사가 겸하며, 간사는 의결권을 가지지 아니한다.

제 6 조 (기능)

위원회는 「LHI Journal」의 연구윤리 확립과 관련된 다음 각호의 사항을 심의·의결한다.

1. 연구부정행위의 예방에 관한 사항
2. 연구부정행위의 조사에 관한 사항
3. 제보자 보호 및 비밀 유지에 관한 사항
4. 연구부정행위 조사결과의 처리 및 후속조치에 관한 사항
5. 기타 연구윤리의 확립과 관련하여 위원장이 부의하는 사항

제 7 조 (회의 및 심의 · 의결)

1. 제보 등으로 연구윤리위반의 의심이 드는 때에는 위원장이 위원회를 소집할 수 있다.
2. 위원회 회의는 위원 과반수의 출석과 출석위원 3분의 2이상의 찬성으로 의결한다.
3. 심의·의결의 공정을 기하기 어려운 사유가 있는 위원은 당해 심의·의결에 관여할 수 없다.
4. 연구윤리규정위반 심사대상자에게는 결정에 앞서 소명의 기회를 부여하여야 한다.
5. 필요한 경우 위원이 아닌 자를 회의에 참석시켜 의견을 들을 수 있다.
6. 회의는 비공개를 원칙으로 한다.

제 8 조 (위원회 및 위원의 준수사항)

1. 위원회 및 위원은 제보자의 신원 등 위원회 직무와 관련하여 취득한 사항에 대하여 비밀을 유지하여야 한다.

제 9 조 (비밀유지의 의미 등)

1. 위원회는 제보자를 보호하고 피조사의 명예를 부당하게 침해하지 않도록 노력하여야 한다.
2. 제보·조사·심의·의결 및 건의 등과 관련된 일체의 사항은 비밀로 하되, 상당한 공개의 필요성이 있는 경우 위원회의에서 의결을 거쳐 공개할 수 있다.
3. 위원 및 조사에 직·간접적으로 참여한 자는 심의·의결·조사 기타 조사과정에서 취득한 정보를 부당하게 누설하여서는 안된다.

제 10 조 (경비)

LHI는 위원회의 운영에 필요한 경비가 발생할 경우 예산의 범위 내에서 지급할 수 있다.

부 칙

제 1 조 (시행일)

본 규정은 2010년 7월 23일부터 시행한다.