



## 인공지능기반 창호환기시스템 연구 동향 분석

### Research Trends Analysis of Window Ventilation System Based on Artificial Intelligence

이효은\* · 양영권\*\* · 강인성\*\*\* · 김래원\*\*\*\* · 문진우\*\*\*\*\* · 박진철\*\*\*\*\*

Lee, Hyo Eun\* · Yang, Young Kwon\*\* · Kang, In Sung\*\*\* · Kim, Tae Won\*\*\*\* · Moon, Jin woo\*\*\*\*\* · Park, Jin Chul\*\*\*\*\*

\* First author, School of Architecture and Building Science, Chung-Ang University, South Korea (bell3457@hanmail.net)  
 \*\* Coauthor, School of Architecture and Building Science, Chung-Ang University, South Korea (dora84@naver.com)  
 \*\*\* Coauthor, School of Architecture and Building Science, Chung-Ang University, South Korea (suuug222@nate.com)  
 \*\*\*\* Coauthor, School of Architecture and Building Science, Chung-Ang University, South Korea (xngilsh@naver.com)  
 \*\*\*\*\* Coauthor, School of Architecture and Building Science, Chung-Ang University, South Korea (gilerbert73@cau.ac.kr)  
 \*\*\*\*\* Corresponding author, School of Architecture and Building Science, Chung-Ang University, South Korea (jincpark@cau.ac.kr)

#### ABSTRACT

**Purpose:** According to the 4th industrial revolution, interest in artificial intelligence is increasing in the field of architecture. However, there are few studies that applied artificial intelligence in the field of architecture. Therefore, this study compares and analyzes the artificial intelligence researches in domestic and overseas architectural and window areas in depth and grasps the technology applicable to window ventilation systems based on artificial intelligence. **Method:** A total of 456 papers were searched by using domestic and foreign scholarly search engines with keywords, “Artificial Intelligence”, “Artificial Neural Network”, “Machine Learning”, “Support Vector Machine”, “Genetic Algorithm”, “Building”, “Architecture”, “Window Ventilation System”, “Smart Window”, “Smart Ventilation”. **Result:** Research using artificial intelligence in the field of architecture has been steadily increasing. Among them, there are 266 studies(58.3%) in the field of building environmental facilities. In addition, 312 cases of window system research were investigated, and 115 cases of ventilation related research were 36.9%. The results of this study will be used as basic data for the development of window ventilation system based on artificial intelligence.

#### KEYWORD

인공지능  
 사물인터넷  
 창호환기시스템  
 연구동향  
 시장현황  
 Artificial Intelligence  
 Internet of Things  
 Window Ventilation System  
 Research Trends  
 Market condition

#### ACCEPTANCE INFO

Received Oct 26, 2017  
 Final revision received Nov 10, 2017  
 Accepted Nov 15, 2017

© 2017 KIEAE Journal

## 1. 서론

### 1.1. 연구의 배경 및 목적

4차 산업혁명이란, 인공 지능(AI; Artificial Intelligence), 사물 인터넷(IoT; Internet of Things), 빅데이터(Big data), 모바일(mobile), 클라우드(cloud)등 첨단 정보통신기술이 사회 전반에 걸쳐 혁신적인 변화를 가져오는 것을 뜻한다.[1] 4차 산업혁명은 2016년 세계 경제 포럼(WEF: World Economic Forum)에서 언급되어 경제·사회 전반에 혁신적인 변화를 가져오고 있다. 그 중에서도 특히 인공지능 및 사물인터넷 분야의 급격한 발달이 이루어지고 있다. 이 두가지 기술은 건축 및 창호 분야에도 융합되어 스마트빌딩, 홈IoT 등의 세부기술로 개발 및 적용에 박차를 가하고 있다.

이와 같이 4차 산업혁명에 따른 산업의 급격한 변화에 따라 다량의 신기술이 개발되고 시장이 급속도로 성장하고 있는 상황에서는 동향 조사 및 분석이 필수적이다. 이는 과거의 연구 및 개발과의 중복을 방지할 수 있으며, 연구의 방향 설정, 효율적인 연구

전략 수립에 유리하다.

따라서 본 연구에서는 국내·외 건축 및 창호분야의 인공지능관련 연구를 심층적으로 비교·분석하여 인공지능기반 창호환기시스템에 적용 가능한 기술을 파악하였다. 연구의 범위는 건축분야에서 주로 사용되는 기계학습(Machine Learning) 모델과 창호환기시스템에 적용할 수 있는 구체적인 기술에 대한 분석으로 국한되었다.

### 1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 건축 및 창호 분야에서 인공지능과 사물인터넷의 연구 동향을 파악하고, 궁극적으로 인공지능기반 창호환기시스템 적용 방안을 분석하기 위하여 기존 연구 및 문헌 조사를 실시하였다. 유관 논문은 주로 Web-Site(한국교육학술정보원, 국회도서관, 국가과학기술정보센터, DB-pia, Google Scholar, Science Direct, ACM Digital Library, Wiley Inter Science)를 활용하여 수집하였다. 조사 방법은 2000년부터 2017년 현재까지의 논문을 대상으로 “Artificial Intelligence”, “Artificial Neural Network”, “Machine Learning”, “Support Vector Machine”, “Genetic Algorithm”, “Building”, “Architecture”, “Window Ventilation

System”, “Smart Window”, “Smart Ventilation” 등을 키워드로 제목, 핵심어, 초록을 포함한 전체 검색을 실시하였다.(Fig. 1)

이에 따라 인공지능을 적용한 의료, 경제, 금융, 게임산업 등의 연구를 제외한 건축 분야에서의 인공지능 관련 논문만 포함하였으며, 국외 저널에 게재된 국내 저자는 국내 논문으로 포함하였다. 다음으로 선정된 국내·외 논문에 대하여 연도별, 분야별, 주제별, 기법별로 분류하여 심층적인 분석을 실시하였으며, 연구동향에 대한 비교·분석을 통해 결론을 도출하였다.

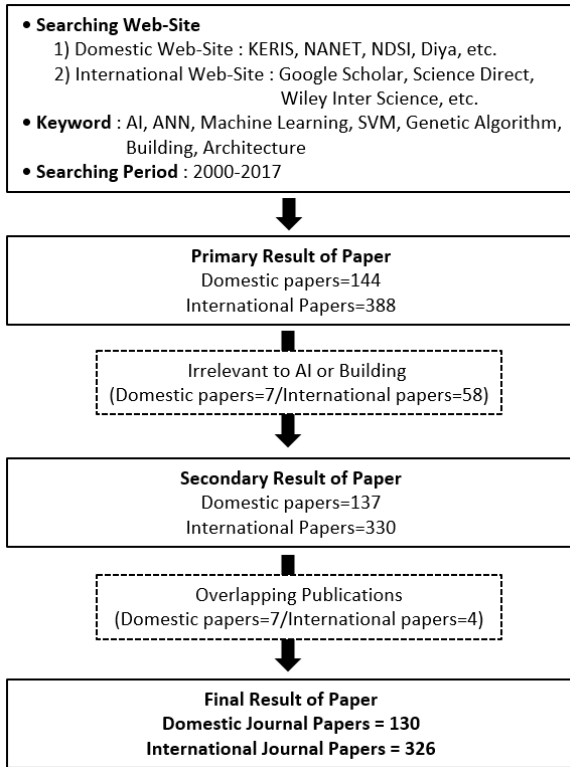


Fig. 1. Flow Chart of Research

## 2. 인공지능의 건축적용 및 창호환기시스템 고찰

### 2.1. 인공지능의 건축 적용

인공지능의 기술은 수많은 기법이 있으며, 건축 분야에서는 주로 기계학습 모델이 사용된다. 기계학습은 컴퓨터가 학습을 통해 예측 및 제어가 가능할 수 있도록 알고리즘을 개발하는 분야로써, 건축환경 및 설비, 계획, 재료, 시공 분야 등에서 활용이 가능하다. 건축분야에서 주로 사용되는 기계 학습 기법은 인공신경망(ANN: Artificial Neural Network), 딥러닝(Deep-Learning), 퍼지이론(Fuzzy Theory) 등이 있다.[2]

#### 1) 인공신경망(ANN: Artificial Neural Network)

인공신경망 이론은 인간의 두뇌 정보처리 과정을 모사하여 만든 알고리즘이다. Warren McCulloch와 Walter Pitts에 의해 최초 제안되었으며, 입력층(input layer), 은닉층(hidden layer), 출력층(output layer)으로 나뉘어져 있다. 뉴런(neuron)은 학습 및 인지와

관련된 신경 시스템의 조직 구성 세포이며 외부입력을 받으면 가중치(weight)가 적용되어 입력값들을 처리한다. 건축분야에서는 인공신경망을 활용한 전력소모량 예측, 실내 환경 예측 등에서 사용된다.[3]

#### 2) 딥러닝(Deep-Learning)

딥러닝은 사물이나 데이터를 군집화하거나 분류하는 데 사용하는 기술로써, 인공신경망 모델의 발전 형태이다. 은닉층이 여러 단계로 형성된 구조로 이루어진 학습기법으로, 분별방식은 지도 학습(supervised learning)과 비지도학습(unsupervised learning)으로 나뉜다. 딥러닝의 주 활용 분야는 주로 사진과 동영상, 음성정보는 분류하는 것이기 때문에 건축 환경 분야에서 재실자의 행동 패턴 분석, 발열량 분석 등에 사용 될 수 있다.

#### 3) 퍼지 이론(Fuzzy Theory)

애매하고 불분명한 상황에서의 결정 과정을 수학적으로 접근하려는 이론으로써, 버클리대학교 교수 L.A.Zadeh가 1965년 도입한 사고방식을 기초로 한다. 퍼지 이론은 현상에 대하여 0과 1 사이의 진실(truth)의 정도를 판단 근거로 사용하며, 건축에서는 공기조화기, 급수설비 등 전기설비 분야에서 주로 연구되고 있다.[4,5]

## 2.2. 창호환기시스템

### 1) 창호환기시스템 개요

창호환기시스템은 창호와 환기시스템이 결합된 일체형 환기 시스템을 뜻한다. 환기 방법은 크게 두 가지로 자연 환기 방식과 기계 환기 방식으로 나눌 수 있다. 자연 환기 방식은 별도의 동력이나 에너지의 사용 없이 건축물 주위의 풍압과 온도차에 의한 압력 등으로 건축물의 개구부로 환기가 이루어지는 것을 말한다. 일반적인 건물에서 자연환기만으로 안정적인 환기량 확보와 실내 쾌적환경 조성이 어려우므로 다수의 경우에 기계환기방식을 병용한다. 기계환기방식은 환기팬과 같은 기계장치를 이용한 강제 환기방식이다. 폐열을 회수하는 열교환기의 설치로 에너지 절약형 기계환기가 가능하며, 필터를 적용해 오염물질을 차단할 수 있다. 그러나 동력을 사용하는 시스템이므로 운영에 에너지가 사용되고 자연환기 시스템에 비해 초기비용이 증가한다는 단점이 있다. 따라서 단순 자연환기와 기계환기가 아닌 두 방식의 장점을 혼합한 하이브리드 환기 시스템의 사용 또한 증가하고 있다.

창호환기시스템은 이러한 하이브리드 환기 시스템의 일부분으로써 창호의 기본적인 기능과 성능을 저해하지 않으면서 환기가 보다 원활하게 될 수 있도록 유도하는 시스템이다.

### 2) 관련분야 시장현황

인공지능 시장의 경우, 시장조사업체 IDC의 발표에 따르면 세계 시장규모는 2016년 9조원이며 2020년까지 연평균 55.1%씩 성장하여 53조원이 될 것으로 전망하고 있다. 미래창조과학부에 의하면 국내의 인공지능 시장규모는 2014년 4조 1천억원에서 2017

년 현재 6조 4천억원으로 64% 성장했으며, 2020년에는 11조 1천 억원으로 꾸준한 성장세를 지속할 것으로 전망하고 있다. 사물인 터넷의 시장의 경우, 시장조사업체 IDC의 발표에 따르면 세계 시장규모는 2016년 지출 규모가 전년대비 17.9% 성장한 7,370억 달러를 기록했으며 2020년까지 연평균 15.6% 성장하여 1조 2900억 달러 규모에 달할 것으로 전망하고 있다. 우리나라의 IoT 산업은 세계 평균 성장률보다 높게 나타나고 있다.

2013년 1.8조원 규모의 국내 창호 시장은 2018년까지 향후 5년 동안 연평균 10.3% 성장하여 2.4조원에 이를 전망이다. 환기시스템 경우 약 1조 1500억 원으로 지속적으로 성장하고 있으나 성장률은 감소하는 추세로 신기술을 적용한 창호 시스템 개발을 통한 시장 활성화가 시급하다. 국외 창호시장 규모는 2017년 현재 약 21억 달러 수준이며 2016-2021년간 12.3%의 연평균 성장률(CAGR)로 성장하여 2021년에는 33억 9,000만 달러에 이를 것으로 예측된다. (Fig. 2, Fig. 3)

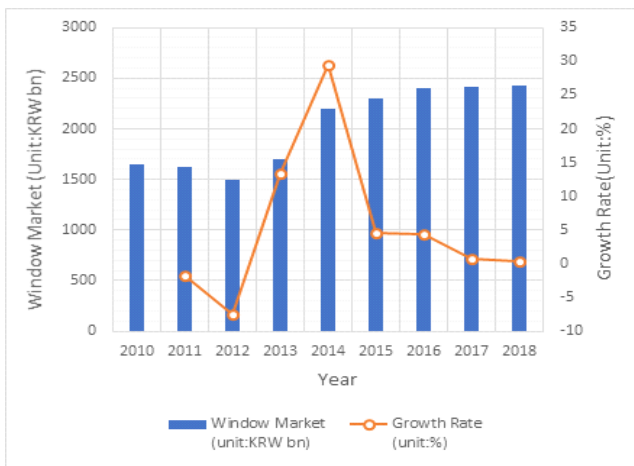


Fig. 2. Domestic Ventilation System Market Status (Source:Konetic Report, 2016)



Fig. 3. Prediction of International Ventilation System Market Status (Source:Global Information, Energy Recovery Ventilator, 2016)

### 3. 연구 동향 분석

#### 3.1. 연구 동향 분석 개요

2000년부터 2017년 현재까지 18년 간 건축 분야에 적용된 인공지능 연구동향과 창호시스템 연구 동향에 대해 분석하였다. Science Direct, Google Scholar 등의 Web-Site를 통해 국내·외 관련 논문을 조사했으며 분석 기간 내 게재된 논문 수의 변화를 중점으로 분석하였다.

#### 3.2. 인공지능 관련 연구 동향

인공지능관련 연구 중 건축 분야에 적용된 국내·외 연구 논문을 연도별로 분류한 결과 2000년부터 2017년 10월까지 게재된 논문은 총 456건으로 국내지널 130건과 국외 지널 326건이다.

관련 연구 논문은 연도별로 평균 14.1%씩 증가하는 추세를 보였고 증가율이 점차 높아지고 있다. 이에 따라 건축분야에서 인공지능 및 기계학습 모델을 활용하는 연구는 점점 확대되어 2030년에는 관련 연구가 연 50건 이상으로 나타날 것으로 예상된다. (Fig. 4)

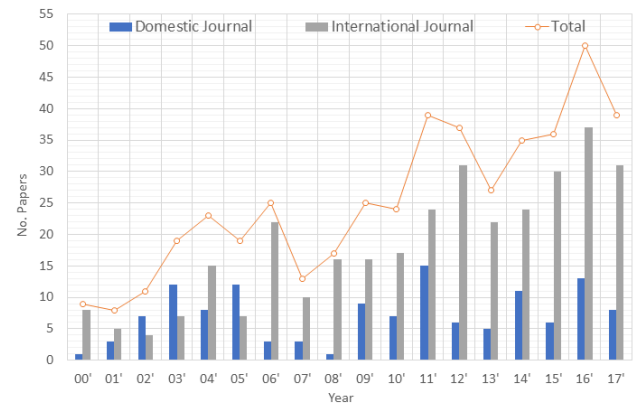


Fig. 4. Chronological Change from 2000 to 2017

건축분야에 적용된 인공지능 관련 연구를 조사하기 위하여 크게 6가지 분야로 건축 환경 및 설비, 계획, 구조, 재료, 시공, 기타로 분류하였으며, 분야별 연구 현황은 Table 1, Fig. 5 과 같다. 건축환경·설비분야에서 266편(58.3%)으로 가장 많이 발표되었으며 건축구조분야 76편(16.7%), 건축재료분야 46편(10.1%), 건축시공분야 26편(5.7%), 건축계획분야 23편(5.0%), 기타 19편(4.2%) 순으로 나타났다. 건축환경·설비분야에서 가장 많은 연구 진행되었으며, 구조, 재료, 시공분야에서는 지속적으로 연구가 진행되고 있지만, 증가 추세를 보이지는 않았다.

Table 1. Total papers of AI in architectural field

Field	Environment & Facility	Plan	Structure	Material	Construction	etc.	Total
2000	5	1	1	0	0	2	9
2001	4	0	3	0	0	1	8
2002	4	1	4	0	1	1	11
2003	5	1	10	0	2	1	19
2004	7	3	0	4	7	2	23
2005	3	1	6	7	1	1	19
2006	14	0	3	4	2	2	25
2007	6	1	2	2	1	1	13
2008	12	0	4	1	0	0	17
2009	12	1	6	5	1	0	25
2010	12	3	6	3	0	0	24
2011	24	1	5	4	5	0	39
2012	26	2	7	1	1	0	37
2013	18	0	5	4	0	0	27
2014	29	2	1	0	2	1	35
2015	31	1	2	0	2	0	36
2016	34	4	5	4	1	2	50
2017	20	1	6	7	0	5	39
Total (ratio)	266 (58.3)	23 (5.0)	76 (16.7)	46 (10.1)	26 (5.7)	19 (4.2)	456 (100)

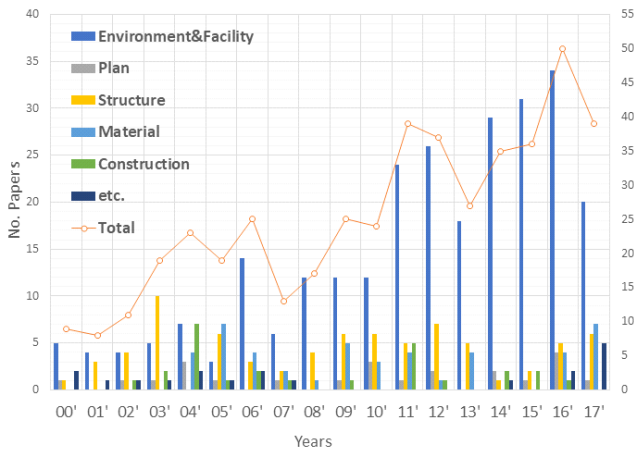


Fig. 5. Research trends by architectural field

국내외 연구 동향을 비교한 결과는 Figs. 6, 7과 같다. 2000년 이후 인공지능 관련 국내 건축 분야 연구는 총 130건으로 건축구조 분야에서 40편(30.8%)으로 가장 많이 연구되었으며, 이어서 건축환경·설비분야 42편(32.3%), 건축시공분야 22편(16.9%), 건축계획분야 16편(12.3%), 건축재료분야 6편(4.6%)순으로 나타났다. 국외의 경우 총 326편으로 건축 환경·설비분야에서 224편(68.8%)으로 가장 많이 연구되었으며, 건축재료분야 40편(12.3%), 건축구조분야 36편(11.0%), 기타 15편(4.6%), 건축계획분야 7편(2.1%), 건축시공분야 4편(1.4%) 순으로 나타났다.

국내·외 모두 건축환경·설비분야의 연구가 가장 높은 비율을 보이고 있는데, 이러한 경향은 인공지능경망, 딥러닝의 기술 특성상 건축환경과 설비분야에서의 적용이 비교적 수월하기 때문이라

고 사료된다. 건축구조 및 시공분야의 경우 인공지능 적용사례가 미미하게 감소하는 추세를 보이고 있다. 국외의 경우는 적용 사례가 전체적으로 증가하는 추세를 보이고 있다.

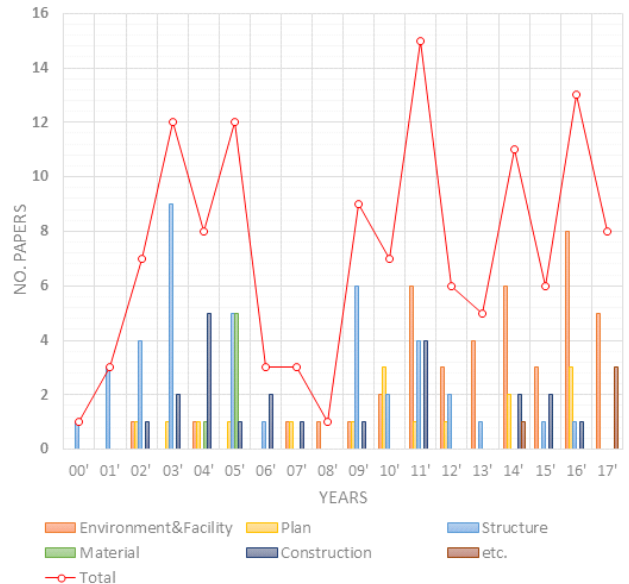


Fig. 6. Domestic journal papers in architectural field

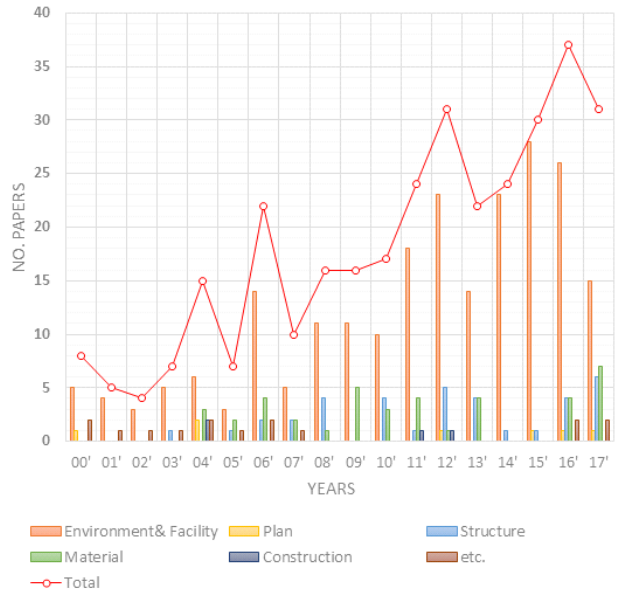


Fig. 7. International journal papers in architectural field

### 3.3. 창호시스템 관련 연구 동향

창호시스템 관련 연구로는 국내에서 80건, 국외에서 232건이 조사되어 총 312건으로 조사되었다. 이중 환기관련 연구는 국내 32건, 국외 83건이 검색되어 창호시스템 관련 전체 연구 중 국내 40%, 국외 35.8%의 높은 비율을 차지하는 것을 알 수 있다. 국내에서 창호시스템 관련 연구는 2010년과 2013년에 11건으로 가장 많았고 이후 감소하는 추세를 보이고 있다. 한편 국외 연구는 꾸준히 증가하는 추세를 보이며 특히 최근 3년간 다수의 연구가 진

행된 것으로 파악되었다. (Fig. 8, Fig. 9) 국내외 모두 최근 연구동향으로는 인공지능, 센서 등의 기술을 활용한 스마트 창호, 하이브리드 환기시스템 관련 연구가 가장 많았다.

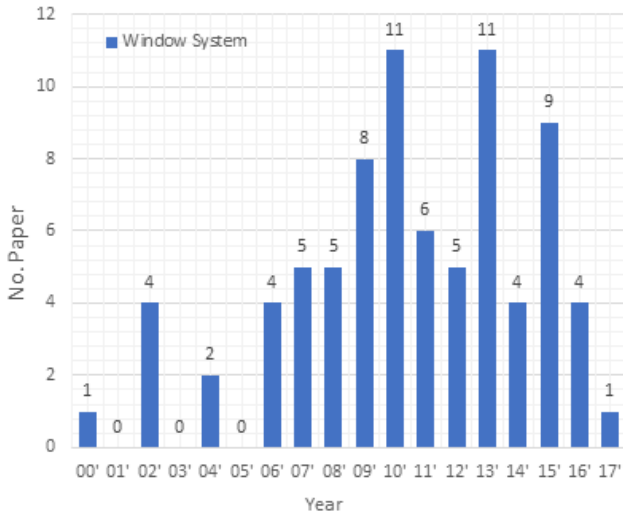


Fig. 8. Domestic journal papers (Keyword: Window System)

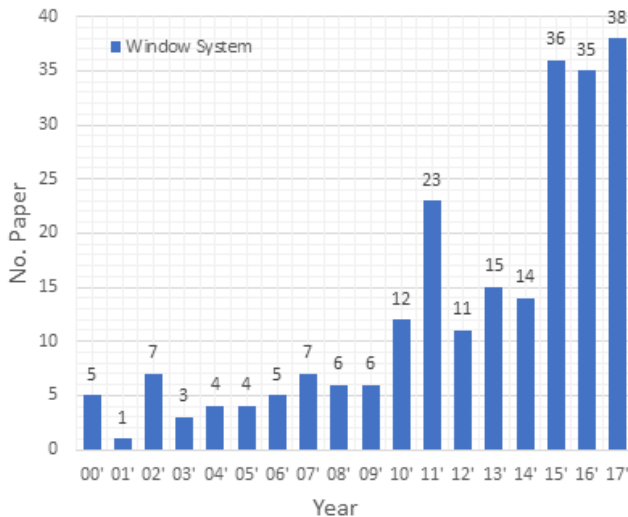


Fig. 9. International journal papers (Keyword: Window System)

#### 4. 결론

본 연구에서는 인공지능 기술을 접목한 건축 및 창호분야 관련 연구를 조사 및 비교, 분석하여 ‘인공지능기반 창호환기 시스템’에 적용 가능한 기술을 파악하였다. 연구결과는 다음과 같다.

(1) 건축분야에 적용된 인공지능 관련 연구는 건축환경설비 분야에서 266건(58.3%)이 발표되어 가장 많은 비율을 차지하였다. 또한 국내외 모두 건축분야에서의 인공지능 적용 연구 사례가 증가하는 추세를 보였다.

최근 3년간 건축분야에 적용된 인공지능 관련 연구는 건축환경분야 비율이 가장 높았으며, 건축 재료 관련된 연구가 증가하는 추세를 보였다.

(2) 창호시스템 관련 연구로는 국내에서 80건, 국외에서 232건이 조사되었다. 이중 환기관련 연구는 국내 32건, 국외 83건이 검색되어 창호시스템 관련 전체 연구 중 국내 40%, 국외 35.8%의 높은 비율을 차지하는 것을 알 수 있다.

최근 3년간 창호분야에 적용된 인공지능 관련 연구는 국내외 모두 센서를 활용한 스마트 창호, 하이브리드 환기시스템 관련 연구가 가장 많았다.

본 연구의 결과는 인공지능기반 창호환기시스템 개발을 위한 기초자료로 활용될 예정이다. 향후 국내 인공지능 산업의 경쟁력을 갖추기 위해 건축분야에서 다양한 접근의 인공지능 적용 연구가 진행되기를 기대한다.

#### Acknowledgement

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비 지원(17CTAP-C133322-01)에 의해 수행되었습니다.

#### Reference

- [1] 미래창조과학부, The Fourth Industrial Revolution, 2017
- [2] 강인성, 문진우, 박진철, “최근 건축분야의 인공지능 기계학습 연구동향”, 대한건축학회 논문집 - 구조계 33(4), 2017 // Kang, In Sung, Moon, Jin Woo, Park, Jin Chul, “Recent Research Trends of Artificial Intelligent Machine Learning in Architectural Field”, JOURNAL OF THE ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA Structure & Construction 33(4), 2017.4
- [3] 문진우, “난방시스템 및 개구부의 통합제어를 위한 규칙기반제어법 및 인공지능망기반제어법의 성능비교”, 한국생태환경건축학회 논문집 14(3), 2014 // Moon, Jin Woo, “Development of Integrated Control Methods for the Heating Device and Surface Openings based on the Performance Tests of the Rule-Based and Artificial-Neural-Network-Based Control Logics”, The International Journal of The Korea Institute of Ecological Architecture and Environment 14(3)
- [4] 김준범, 조성원, 김재민, 정종욱, 임용배, 정진수, “퍼지이론을 이용한 지하구내 전기설비의 침수에 의한 2차 재해에 대한 안전성 연구”, 대한전기학회 학술대회 논문집, 2006 // Joon-Bum Kim, Seongwon Cho, Jaemin Kim, Jong-Wook Jung, Young-Bae Lim, Jin-Soo Jung, “A Study on the Safety against Secondary Disaster due to Submergence of Electrical Equipments In Underground Premises using Fuzzy Theory”, The Korean Institute of Electrical Engineers, 2006.7
- [5] 신동신, 박성근, 박영수, 박지수, 이진영, “RTS-SAREK을 이용한 사무용 건물의 나이트 퍼지 성능 평가”, 설비공학논문집 27(12), 2015 // Dongshin Shin, Sungkeun Park, Youngsoo Park, Jisu Park, Jinyoung Lee, “Night Purge Evaluation Using the RTS-SAREK in Office Buildings”, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering 27(12)
- [6] 김병은, “인공지능 동향분석과 국가차원 정책제안”, 한국정보화진흥원 정보화정책저널 23(1), 2016 // ByungWoon Kim, “Trend Analysis and National Policy for Artificial Intelligence”, ICT Policy 23(1), 2016
- [7] 장필성, “2016 다보스포럼”, 과학기술정책연구원 해외 혁신동향, 2016 // Jang, Pil Seung, “2016 Davos Forum”, SCIENCE AND Overseas Innovation Trend of TECHNOLOGY POLICY INSTITUTE, 2016
- [8] 과학기술정보통신부, Intelligent Information Industry Development Strategy, 2016
- [9] 과학기술정보통신부, Brain Science Development Strategy, 2016
- [10] 장우석, “국내 인공지능 산업 기반 점검”, 현대경제연구원 VIP REPORT 16(8), 2016 // Jang, Woo Seok, “Domestic Artificial Intelligence-based Industrial Inspection”, Hyundai Research Institute 16(8), 2016
- [11] John McCarthy, Marvin L. Minsky, Nathaniel Rochester, Claude E. Shannon, “A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence, August 31, 1955”, AI MAGAZINE of Association for the Advancement of Artificial Intelligence 27(4), 1955
- [12] Nils J. Nilsson, “Artificial Intelligence: A New Synthesis”, Morgan

- Kaufmann Publishers, 1998
- [13] Eugene Charniak, Drew McDermott, "Introduction to Artificial Intelligence", Addison Wesley Publishing Company, 1st edition, 1985
  - [14] Patrick Henry Winston, "Artificial Intelligence", Addison Wesley Publishing Company, 3rd edition, 1993
  - [15] Marvin Minsky, "Steps toward Artificial Intelligence", Proceedings of the IRE, 1961
  - [16] Rob Callan, "Artificial Intelligence", Palgrave Macmillan, 2003
  - [17] Gartner, "Artificial Intelligence (AI)", IT Glossary, 2016
  - [18] Technavio, "Global smart machines market 2014- 2018", Robotics, 2014
  - [19] 문진우, "인공지능 이론의 소개", 한국건축친환경설비학회지 9(4), 2015 // Moon, Jin Woo, "The Introduction of Artificial Intelligence Theory", Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems 9(4), 2015
  - [20] Yann LeCun, Yoshua Bengio, Geoffrey Hinton "Deep learning", Nature 521(7553), 2015
  - [21] Yoshua Bengio, Aaron Courville, Pascal Vincent, "Representation learning: A review and new perspectives", IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence 35(8), 2013
  - [22] Juergen Schmidhuber, "Deep Learning in Neural Networks: An Overview", Neural Networks 61, 2015
  - [23] Ahn, SungMahn, "Deep Learning Architectures and Applications", Journal of Intelligence and Information Systems 22(2), 2016
  - [24] 문진우, 정연호, 서유진, 안현상, "이중외피 건물 실내 열 환경 제어를 위한 인공지능이론의 적용 수준별 성능비교분석", 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집 14(2), 2014 // Moon, Jin Woo, Jeong, Yeon Ho, Seo, Yoo Jin, Ahn, Hyun Sang, "Comparative Analysis on the Thermal Control Performance of the Different Application Level of Artificial Neural Network-Based Methods for the Double Skin Envelope Building", Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, 14(2), 2014
  - [25] Jin Woo Moon, Jong-Jin Kim "ANN-based thermal control models for residential buildings", Building and Environment 45(7), 2010
  - [26] John H. Holland, "Adaptation in natural and artificial systems", The University of Michigan Press, 1975
  - [27] 홍성욱, "유전자 알고리즘을 이용한 단위세대 리모델링 공간산출 최적화에 관한 연구", 대한건축학회 논문집 26(7), 2010 // Hong, Seung Wook, Cho, Yeong Sang, "A Study on Unit Remodeling Space Optimization Using Genetic Algorithm", JOURNAL OF THE ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA Structure & Construction 26(7), 2010
  - [28] Christopher J.C. Burges, "A Tutorial on Support Vector Machines for Pattern Recognition", Knowledge Discovery and Data Mining 2(2), 1998
  - [29] 이장훈, 권혁구, 박승호, 김동진, 홍철호, "PCA와 ANN을 이용한 VOC 측정기기 개발", 한국환경독성학회지 19(2), 2004 // Lee, Jang Hoon, Kwon, Hyeok Gu, Park, Seung Ho, Kim, Dong Jin, Hong, Chul Ho, "The Development of VOC Measurement System Using PCA & ANN", J. ENVIRON. TOXICOL, 19(2), 2004
  - [30] 권순박, 강중구, 류승원, 남궁형규, 박세찬, 김민해, 김진호, "스마트 철도역사의 인공지능기반 실내공기질 관리기술", 한국철도학회 학술발표대회논문집 2017(5), 2017 // Kwon, Soon Bak, Kang, Joong Gu, Ryu, Seung Won, Namgung, Hyung Gyu, Park, Se Chan, Kim, Min Hae, Kim, Jin Ho, "Advanced Technology on Indoor Air Quality Management Using the Artificial Neural Network for Smart Train Station", Korean Society for Railway 2017(5), 2017