

1-B-3-양-13
국내학술발표

에너지 효율성을 고려한 평면도  
자동 생성

2023. 11.

과 제 명	인공지능 기반의 건축설계 자동화 기술개발		
주 관 기 관	경북대학교 산학협력단		
총 연 구 기 간	2021. 04 . 01 - 2025. 12 . 31(4년 9개월)		
해당연도(3차년)	2023. 01 . 01 - 2023. 12 . 31(1년)		
구 성 기 술 명	구성기술 1	정형 건축물의 계획설계 지원자동화 기술개발	
세 부 과 제 명	1-B	지능형 설계를 위한 설계지식 빅데이터 구축 기술개발	
공 동 연 구 기 관	연세대학교 산학협력단, 동국대학교 산학협력단		
연 구 기 관	연세대학교 산학협력단	연구책임자	이진국

# 2023년 대한건축학회 추계학술발표대회

10.25.(수) ~ 10.27.(금) 하이원 그랜드호텔(강원 정선군 소재)

## 특별강연

10.26.(목) 13:00

Yoshiaki NAKANO



Professor  
Institute of Industrial Science  
The University of Tokyo

## Program

- 학술논문발표
- 특별강연
- 위원회 행사
- 공공기관세션
- 신진인재교류회
- 지회특별세미나
- 학생작품전
- 디지털건축대전
- 건축기술대전
- 학생사진공모전
- 3D프린팅경진대회
- 교류의장 및 시상식

## Homepage



| 주최 | 대한건축학회

| 주관 | 대한건축학회 대한건축학회 강원지회

| 후원 | 국토교통부

문화체육관광부

문화체육관광부

**[2023년 대한건축학회 추계 학술발표대회] 일정표**

2023.10.25.(수)~27.(금) 하이원그랜드호텔 컨벤션타워(강원 정선군 소재)

\*모바일에서 아래 표의 행사명을 클릭하면 세부식순과 내용이 확인가능합니다.

5층										6층													
구분	로비	컨벤션홀																					
10/25 ~ (수)	1800 ~ 19:00									501호	502호	503호	504호	505호	506호	507호	601호	602호	603호	604호	605호	606호	607호
다목적공연의																							
	[로스티빌]1 (일반부동)  소재 역사발전추진 환경및설비	[로스티빌]2 (일반부동)  구조	제3회 회장단회의 (09:30-11:00)  제3회 정기대사회 (11:00-12:00)		[편협희망서]  건축중핵요소 프로그램 개선행안 세미나 _건축정책교육자료집	[편협희망서]  2nd Seemling Architecture와 Space 포럼 _실내건축자료집	501호	502호	[편협희망서]  [편협희망서]	[구두발표]1 (일반부동)  구조	[구두발표]2 (일반부동)  구조	신원인양교유형	[구두발표]3 (일반부동)  환경및설비	[구두발표]4 (일반부동)  환경및설비	[구두발표]5 (일반부동)  재료및시공	[구두발표]6 (일반부동)  계획	[구두발표]7 (일반부동)  계획	[구두발표]8 (일반부동)  IT/융복합	[구두발표]9 (일반부동)  생계				
Break																							
	종목처																						
13:00 ~ 14:30	[다지행연(학내)]	개최식 및 특별강연 : 일본의 건축물 내·외벽 현황 및 적선 기술/나카노 요시아키(도쿄대 생상기술연구소 교수)_5층 컨벤션홀																					
10/26 ~ (목)	14:30 ~ 16:00	[로스티빌]3 (일반부동)  계획	[로스티빌]4 (일반부동)  구조	[연구데이터]  한소영팀 간혹 서책용 위원 반조준황한국과학기술 연구원 센터가 지속가능한 스마르시티 연구센터(SISC)를	[연구공간 조성행사]  장학재단 후원으로 건물들 위해 지붕기 포함 건설할 드 평년대 센터가 지속가능한 스마르시티 연구센터(SISC)를	[편협희망서]  최근 모놀리thic 관련 전달산하/후 R&D 성과 보고서 모니터링정보건축학회 포 OSD기통교유형	[편협희망서]  건축구조기능 전달산하/후 R&D 성과 보고서 모니터링정보건축학회 포 OSD기통교유형	[구두발표]10 (일반부동)  구조	[구두발표]11 (일반부동)  구조	지역혁신세미나	[구두발표]12 (일반부동)  환경및설비	[구두발표]13 (일반부동)  환경및설비	[구두발표]14 (일반부동)  재료및시공	[구두발표]15 (일반부동)  계획	[구두발표]16 (일반부동)  계획	[구두발표]17 (일반부동)  IT/융복합	[구두발표]18 (일반부동)  생계						
Break																							
	[BO 프랜차이즈관리대학]																						
		[로스티빌]5 (일반부동)  계획	[로스티빌]6 (일반부동)  구조	재난안전 화라디언 디자인을 _내란구조위원회, 재난대응위원회, 강구조위원회		2023년 대학공학 2023년 대학공학 올림픽이 비프르기	[연구단체행사]  제로에너지 건축물 자원봉사 활동을 위한 BIPV 역량 세미나 _정력아드 트리엔탈	[구두발표]19 (일반부동)  구조	[구두발표]20 (일반부동)  구조	[연구단체행사]  BMW과제 회의	[구두발표]21 (일반부동)  환경및설비	[구두발표]22 (일반부동)  재료및시공	[구두발표]23 (일반부동)  재료및시공	[구두발표]24 (일반부동)  계획	[구두발표]25 (일반부동)  역사발전추진	[구두발표]26 (일반부동)  IT/융복합	[구두발표]27 (일반부동)  문화유산개발						
	18:00 ~ 19:00																						
	-																						
교류의 장 및 학술발표대회 시상식(경제종합)_5층 컨벤션홀																							

5층												6층				
구분	로비	컨벤션홀														
		501호	505호	506호	507호	601호	602호	603호	604호	605호	606호	607호				
10.00 ~ 12.50	출발식  환영및비 자매도시상	〔간주단체상〕 Toward a Sustainable Society : Smart City and Its Developments In International Perspective 공정대역리거 지능가능 스마트시티 연구센터(SUSO)	〔관객단체상〕 지역발전용 위한 스마트 산업단지 개발위원회 _지역개발발전인도정책개발위원회	〔구두발표〕28 (일반부층) 구조	〔구두발표〕29 (일반부층) 구조	〔구두발표〕30 (일반부층) 환영및섬비	〔구두발표〕31 (일반부층) 건설관리	〔구두발표〕32 (일반부층) 도시발전지각	〔구두발표〕33 (일반부층) 개척	〔구두발표〕34 (일반부층) 도시및건축물	〔구두발표〕35 (일반부층) 자매도시를 건설하다	〔구두발표〕36 (일반부층) 개척				
10.27 ~ 14.30	〔간주발언객단체상〕  〔관객사단단체상〕	Break														
13.30 ~ 14.30	〔관객사단단체상〕  〔BD프린팅장인단체상〕	Break														
특별세션 : 최근 사례로 본 건축안전 의식 대전환 포럼_5층 컨벤션홀																
15.00 ~ 17.00	〔포스터발표〕9 (일반부층) 건설관리 17개팀상	〔관객단체상〕 문화와 예술, 그리고 건축에서 변화를 발견하다 포럼 _홍익건축산업학회	〔관객단체상〕 최근 건축산업의 변화와 그에 의한 산업체회의(대중 및 교육자회의) 협력 방안 모색을 위한 세미나 _전국대학건축학회회장 전남대학교건축공학과장기발주희	〔관객단체상〕 건축사시험 응시자의 수익률 위한 보충교육과정 연구 세미나 _건축교육혁신원	〔구두발표〕34 2023년 수제건축사(14명) 학업포럼 _학우학회	〔구두발표〕37 (일반부층) 환영및섬비	〔구두발표〕38 (일반부층) 건설관리	〔구두발표〕39 (일반부층) 도시발전지각	〔구두발표〕40 (일반부층) 개척	〔구두발표〕41 (일반부층) 개척	〔구두발표〕42 (일반부층) 개척	〔구두발표〕43 (일반부층) 구조				

※ 좌장실 : 5층 오피스

**[2023년 대한건축학회 추계 학술발표대회] 일정표**

2023.10.25.(수)~27.(금) 하이원그랜드호텔 컨벤션타워(강원 정선군 소재)

\*모바일에서 아래 표의 행사명을 클릭하면 세부식순과 내용이 확인가능합니다.

[illegible]

5층														6층					
구분	컨벤션홀																		
로비																			
		501호		503호		505호		506호		507호		601호	602호	603호	604호	605호	606호	607호	
10.00 ~ 12.50	홍콩석 환승및비 자택및사음	[포스터발표]7 (일반부층)  전송분야 지속가능성	[연구단행사] Toward a Sustainable Society : Smart City and Its Developments In International Perspective 특별대역리가 지각가능 스마트시티 연구센터(SUSO)	[특별행사시] 지역발전 을 위한 스마트 산업의 전환 (401나 _지역개발발전인도국정부발표회)	[구두발표]28 (일반부층)  구조	[구두발표]29 (일반부층)  구조	[연구단행사] BIM과3D에 의한	[구두발표]30 (일반부층)  환경및생태비	[구두발표]31 (일반부층)  건설관리	[구두발표]32 (일반부층)  도시및탄성지역	[구두발표]33 (일반부층)  계획	[구두발표]34 (일반부층)  도시및탄성지역	[구두발표]35 (일반부층)  자택및사음 건설및	[구두발표]36 (일반부층)  계획					
10.27 ~ 14.30	[연구발표]연구단행사 [특별사건발표회] (특별)	특별세션 : 최근 사례로 본 건축안전 의식 대전환 포럼_5층 컨벤션홀																	
13.30 ~ 14.30	[연구발표]연구단행사 [특별사건발표회] (특별)	Break																	
15.00 ~ 17.00	[포스터발표]9 (일반부층) (특별행사시) 건설관리 17개국발표	[특별행사시] 문화와 예술, 그리고 건축에서 혁신을 발견하다 포럼 _홍콩건축산업발표회	[특별행사시] 최근 건축산업의 변화와 미래에 직면한 산업체제의 대응 및 교육과제의 필요성 발간 오세훈 위원 세미나 _전국대학건축학발표회 건물내환경복합교육과정개발위원회	[특별행사시] 건축사시행법 준수지적 사색을 위한 포스트코로나적 연구 세미나 나 _건축교육혁신심	[특별행사시] 2023년 수경계획전 특별포럼 _특별위원회	[연구단행사] BIM과3D에 의한	[구두발표]37 (일반부층)  환경및생태비	[구두발표]38 (일반부층)  건설관리	[구두발표]39 (일반부층)  도시및탄성지역	[구두발표]40 (일반부층)  계획	[구두발표]41 (일반부층)  계획	[구두발표]42 (일반부층)  계획	[구두발표]43 (일반부층)  구조						

※ 좌장실 : 5층 오피스

# 에너지 효율성을 고려한 평면도 자동 생성

## - 에너지 소비량 예측 (Energy Performance Prediction) 기반 -

### Automatic floorplan generation considering energy efficiency

- Focused on the Energy Performance Prediction -

○장 재 영\*      송 요 안\*\*      차 승 현\*\*\*  
Jang, Jae Young      Song, Yoan      Cha, Seung Hyun

#### Abstract

This paper proposes an artificial intelligence-based method to automatically generate residential floorplans, while considering energy efficiency in the process. Architects are faced with the challenge of designing floorplans that meet the diverse needs of clients and consider energy efficiency within a limited time and budget. In this paper, we present a method that combines automatic floorplan generation model and energy consumption prediction model to automatically generate optimal floorplans that take into account both client requirements and energy efficiency. This research holds promise for reducing costs and achieving the best possible outcomes in the field of architecture.

키워드 : 주거 평면도, 에너지 소비량, 자동 생성, 인공지능, 예측 모델

Keywords : Residential Floorplan, Energy Performance, Automated Generation, Artificial Intelligence, Prediction Model

#### 1. 서론

주거 평면도 디자인은 개념설계와 기본설계 사이에서 이루어지는 디자인 단계로써 건축가들에게 가장 중요한 작업 중 하나이다. 건축가들은 태양광, 전망, 접근성, 요구 면적, 건설 비용, 고객의 요구사항 등의 제약 조건들을 기반으로 합리적인 건축 도면을 생성한다 [1]. 하지만, 건축 법규와 사회적 규범을 만족시키는 평면도를 만들더라도 각 고객들마다 지출 가능한 건설 비용 및 요구사항이 다르기에 모든 고객들을 만족시킬 수 있는 하나의 평면도를 만드는 것은 불가능하다 [2]. 이는 건축가들이 하나의 평면도가 아닌 다양한 형태의 여러 평면도를 만드는 것이 불가피하다는 점을 시사한다.

과거 모든 건축 도면은 건축가들의 주관적인 기준 및 경험을 바탕으로 수작업으로 진행되었다. 이후 컴퓨터가 발전함에 따라 CAD (Computer Aided Design) 라는 컴퓨터 소프트웨어가 등장했고 건축가들은 종이에 선을 긋는 대신 해당 작업을 컴퓨터를 통해 수행하기 시작했다. 이 시스템은 반복적인 과정이 필요한 작업의 소요 시간을 대폭

줄였으며 작업 효율성 역시 증대시켰다. 하지만, 건축가들은 여전히 건축 도면을 수작업으로 작성하였기에 다양한 평면도를 생성하는 것은 한계가 있었다.

1960년대부터 컴퓨팅 파워가 증가함에 따라 다양한 경의 수를 컴퓨터가 대신 계산해 줄 수 있었으며, 이를 기반으로 평면도 생성 자동화에 관한 연구가 활발히 진행되기 시작했다 [3]. 알고리즘 기반의 평면도 자동 생성 연구의 경우, 다양한 규칙 기반의 실 배치 알고리즘을 통해 평면도를 생성하였다. 또한, 메타 휴리스틱한 알고리즘을 활용하여 특정 목적함수를 설정하고 이에 맞는 최적의 평면도를 자동적으로 생성해주는 제너레이티브 디자인도 등장하였다. 제너레이티브 디자인은 건축 규칙뿐만 아니라 에너지 효율 [4], 공간 배치 최적화, 그리고 사람 동선 [5] 등을 고려하여 다양한 형태의 평면도를 생성 가능하게 했다. 하지만, 건축 도면 설계 시 필요한 모든 규칙을 변수로 설정하여 알고리즘으로 해결하는 것은 불가능에 가깝다 [6].

딥러닝 기술과 Generative Adversarial Networks (GAN)의 개발로 현재 인공지능 기반 평면도 자동 생성 연구가 활발히 진행되기 시작했다 [7]. 알고리즘 기반 방식과는 달리 수백 개의 평면도 데이터로부터 특징들을 추출하고 이를 활용하여 평면도를 구성하는 요소들 사이의 관계를 학습을 통해 자동적으로 알아낼 수 있다 [6]. 이러한 관계는 블랙박스 형태로 신경망에 내포되어 있고 해당 관계를 바탕으로 새로운 평면도를 생성하게 된다. 하지만, 인공지능 기반 평면도 생성은 건축에서 고려해야 할 요소인 에너지, 전망, 그리고 접근성 등을 고려하지 않은 채 그럴듯한 이

\* 한국과학기술원 메타버스학제전공 석사과정

\*\* 한국과학기술원 건설환경공학과 박사과정

\*\*\* 한국과학기술원 문화기술대학원 부교수, 건축학박사

(Corresponding author : Department Culture of Technology, Advanced Institute of Science and Technology, shcha@kaist.ac.kr)

이 연구는 2023년도 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 연구비 지원에 의한 결과의 일부임. 과제번호: 22AATD-C163269-02

미지판을 생성한다. 이는 실제 건축가들이 사용하기에는 한계가 있다.

건축 초기 설계 단계에서 에너지 효율을 고려하여 평면도를 만들 경우, 많은 에너지 절감 효과를 얻을 수 있다 [8]. 특히, 적절한 건축물의 모양과 방향 설정만으로도 추가적인 비용 없이 에너지 소비량을 30~40% 절감하는 효과가 있다 [9]. 또한, 모든 조건들이 통제된 전제하에 건축물의 레이아웃만 바뀌더라도 에너지 사용량이 5% 이상 감소할 수 있음을 확인할 수 있다 [10]. 본 논문에서는 에너지 효율성을 고려하여 인공지능 기반 주거 평면도 자동 생성 관련 연구를 보이고자 한다.

## 2. 선행연구 고찰

### 2.1 평면도 자동 생성 (Automatic Floorplan Generation)

평면도 디자인은 건축 분야에서 주어진 공간 안에 고객들의 요구사항을 반영하여 세부 공간들을 배치하는 것으로 설계 초기 단계에서 꼭 필요한 단계이다. 1960년대 초부터 공간 레이아웃 (평면도)의 자동 생성에 관한 연구가 진행되어 오고 있다 [11].

#### 2.1.1 Rule-based Approach

컴퓨터의 발전에 힘입어 많은 연구자들은 다양한 알고리즘을 활용하여 평면도 자동 생성 연구를 진행하였다. 그 래프 알고리즘 (Graph Algorithm)의 경우, 방의 사이즈 및 방의 연결 관계를 입력값으로 받는다. 입력값들은 듀얼 그 래프를 만드는데 사용되고, 이를 통해 평면도를 자동 생성 한다 [12]. 완전 탐색 알고리즘 (Exhaustive Search Algorithm)의 경우 인접 행렬을 바탕으로 듀얼 그 래프를 만들고, 공간 크기 조건에 부합하는 다양한 평면도를 생성 한다 [13]. 제약 만족 알고리즘 (Constraint Satisfaction Algorithm)의 경우 각 방들에 대한 일련의 기하학적 조건을 만족시키는 모든 평면도를 생성한다 [14]. 하이브리드 알고리즘 (Hybrid Algorithm)의 경우 두 메타 휴리스틱한 알고리즘 Simulated Annealing과 Sequential Quadratic Programming을 결합하여, 위상 조건과 기하 조건을 모두 부합하는 평면도를 자동 생성한다 [15]. 하지만, 다양한 알고리즘을 활용한 평면도는 특정 문제에 한정되어있기 때문에, 많은 건축가들에게 일반적인 디자인 방법으로 받아들여지지 못했다 [16].

#### 2.1.1 Artificial Intelligence Approach

최근 인공지능의 발전에 따라, 건축 평면도로부터 정보를 추출하여 평면도를 자동 생성하는 다양한 방법들이 연구되고 있다. 그중 Generative Adversarial Networks (GAN)을 활용하여 자동으로 평면도를 생성하는 연구들이 다수 존재한다. Huang and AZheng은 Pix2PixHD를 활용하여 건축 도면을 인식하고 생성했다 [17]. Nauata et al.이 제안한 House-GAN은 relational GAN을 활용하여 각 방마다 room masks를 생성하고 그것들을 하나로 합치는 작업을 통해 평면도를 생성했다 [18]. 더 나아가 저자는 기존 모델에 conditional GAN을 추가하여 반복적인 평면도 수정 작업의

자동화를 가능하게 하는 House-GAN++ 모델을 개발했다 [19]. HU et al.이 제안한 Graph2Plan은 데이터 셋으로부터 그래프를 추적하고, 주어진 건물의 외부 바운더리 안에 그 래프를 위치시켜 새로운 평면도를 생성했다 [20]. 하지만, 인공지능 기반으로 생성된 평면도는 그럴듯한 이미지일 뿐 에너지 효율성, 건설 비용, 고객들의 요구사항을 완벽히 반영하지 못하고 있다.

### 2.2 설계 초기 단계 에너지 효율성 고려

건축물에서 사용되는 에너지는 전 세계 에너지 소비량의 약 30%에서 40%를 차지하며, 이는 에너지 효율적인 건축물이 전 세계 에너지 소비를 크게 줄일 수 있는 잠재력을 가지고 있음을 시사한다. 특히, 초기 설계 단계에서 에너지 효율을 고려하면 에너지 사용량을 최대 40%까지 절약할 수 있다 [9]. 최근에는 평면도 디자인 단계에서의 에너지 효율성 고려에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

에너지 효율이 높은 도면 데이터를 사용하여 SD-GAN 모델을 학습시키고, 이를 통해 생성된 도면과 기존 도면의 에너지 소비량 차이를 비교했을 때, 모델을 통해 생성된 도면이 에너지 소비 측면에서 평균 10% 이상의 감소 폭을 보였다 [21]. Cao, Jianpeng et al은 Graph Neural Networks (GNN) 모델을 사용하여 평면도에 관한 에너지 소비량 예측 모델을 개발하였다. 평면도에 관한 특징 및 인접 행렬을 이용하여 도면에 대한 그래프를 생성하고 GNN 모델을 활용하여 에너지 소비량 예측 모델을 개발하였다. 이를 통해 평면도 레이아웃 변화만으로도 유의미한 에너지 차이가 있음을 보였다 [22]. 평면도의 변화가 에너지 소비량에 영향을 미치는 만큼, 에너지 효율을 고려한 평면도 자동 생성 연구가 필수적이다.

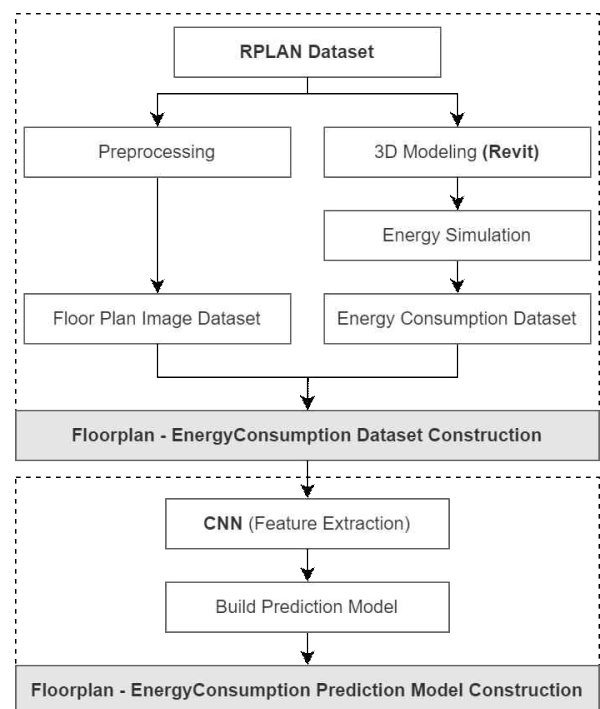


그림1. 에너지 소비량 예측 모델 구축 흐름도

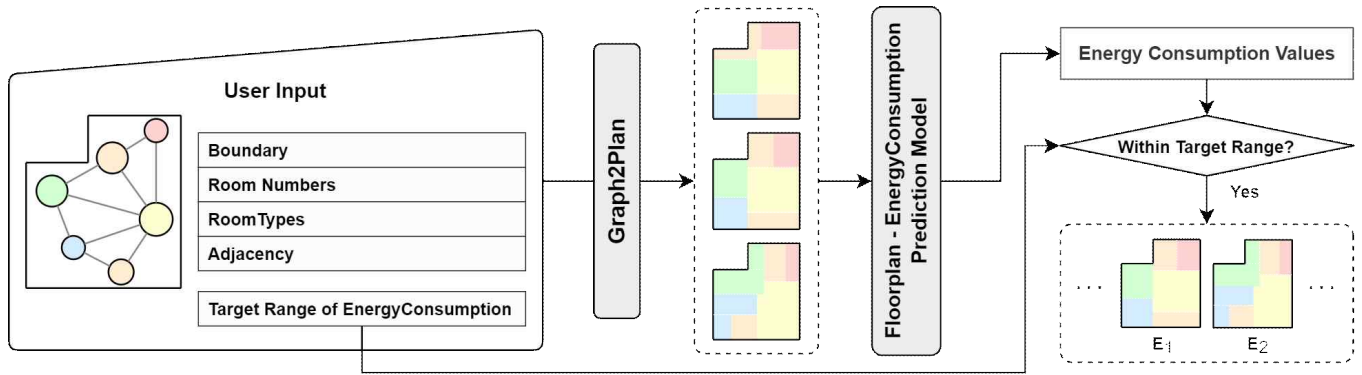


그림2. 에너지 효율성 기반 평면도 자동 생성 통합 모델

### 3. 에너지 효율성 기반 평면도 자동 생성

주거 평면도 디자인 작업은 시간이 오래 걸리는 반복적인 작업이다. 주어진 시간과 예산 안에서 건축가가 고객의 요구 사항을 모두 반영하여 평면도를 생성하는 것은 한계가 있다. 그러므로 다양한 요구사항을 쉽고 빠르게 반영하여 평면도를 생성하는 평면도 생성 자동화 연구는 필수적이다.

건축가들은 제로 에너지 빌딩 의무화, 패시브 건축 등 에너지 효율을 고려한 설계에 관심이 증가하고 있으며, 고객들은 전기, 가스 등 자원 비용 상승으로 인해 에너지 소비량이 적은 주거를 선호한다. 설계 초기 단계의 에너지 효율성을 고려한 평면도 생성이 전체 에너지 소비 절약에 기여함을 선행 연구에서 확인할 수 있었다. 본 논문에서는 에너지 효율성을 고려한 평면도 자동 생성 연구를 제안하고자 한다.

#### 3.1 에너지 소비량 예측 모델 구축

일반화가 가능한 에너지 예측 모델을 생성하기 위해서는, 많은 평면도 이미지와 해당 에너지 값 데이터를 확보해야 한다. 8만 개의 주거 평면도 데이터를 포함한 RPLAN 데이터 셋을 평면도 이미지 데이터로 사용하고 에너지 값은 RPLAN 데이터를 Revit으로 3D 모델링하여 외벽의 재질, 창문의 비율, 벽의 두께, 날씨 등 모든 변수를 동일하게 설정한 후 에너지 시뮬레이션을 활용하여 에너지 값 데이터를 확보한다. 확보된 데이터는 에너지 예측 모델 학습을 위해 전처리 과정을 거친다. 평면도 이미지 데이터의 크기를 통일하고, 픽셀 값을 0에서 1사이로 정규화한다. 전처리 과정을 거친 데이터 셋을 학습과 테스트 데이터 셋으로 분할한다.

평면도 이미지 데이터를 입력값으로 사용하기 위해 Convolutional Neural Network (CNN)을 이용한다. 먼저, CNN 모델을 통해 학습 데이터의 특성을 추출하고, 해당 특성을 바탕으로 에너지 값을 예측한다. 다음으로, 회귀 문제에서 자주 사용되는 손실 함수인 Mean Squared Error (MSE)를 사용하여 예측된 에너지 값과 실제 에너지 시뮬레이션을 통해 얻은 에너지 값과의 차이를 계산하고, 그 차이를 기반으로 모델을 학습시킨다. 마지막으로, 테스트

데이터 셋을 사용하여 모델의 성능을 평가하고 모델을 최적화하여 에너지 소비량 예측 모델 구축한다 (그림1).

#### 3.2 평면도 자동 생성과 에너지 예측 모델 결합

에너지 효율성을 기반으로 한 평면도 자동 생성 모델은 사용자의 요구사항을 가장 많이 반영하는 Graph2Plan 모델을 활용하여 주거 평면도를 자동으로 생성한다. 그리고 위에서 구축한 에너지 예측 모델을 통해 에너지 소비량을 계산하여 에너지 효율적인 평면도 생성을 가능하게 한다.

기존 모델을 활용한 평면도 자동 생성을 위해 사용자로부터 외부 바운더리, 방의 개수, 방의 종류, 인접성, 그리고 위치 정보 입력값, 그리고 사용자가 원하는 에너지 소비량 범위 정보를 추가로 받는다. 사용자가 설정한 제약사항과 일치하는 그래프를 RPLAN 데이터 셋으로부터 추적하고 해당 그래프를 외부 바운더리에 맞게 조절하여 매핑시킨다. Graph2Plan 모델은 매핑된 그래프를 활용하여 다양한 평면도 이미지를 자동으로 생성한다.

평면도 생성 후, 에너지 예측 모델을 통해 각 평면도별 에너지 소비량이 예측된다. 예측된 에너지 소비량은 사용자가 설정한 에너지 소비량 범위에 포함되는지 판단되는 변수로 사용된다. 이를 통해 사용자에게 단순히 그럴듯한 평면도 이미지가 아니라, 에너지 효율성을 고려한 평면도의 제공이 가능하다 (그림2).

### 4. 결론

주어진 시간 및 예산에서 고객의 요구사항을 모두 만족하는 평면도를 설계하기 위해서는 건축가에게 평면도 생성 자동화는 필수적이다. 또한, 설계 초기 단계에서 에너지 효율성을 고려하여 주거 평면도를 디자인한다면 추가적인 비용 없이 많은 에너지 절감 효과를 얻을 수 있다. 본 논문에서는 고객의 요구사항을 바탕으로 주거 평면도 생성 자동화가 가능함을 선행 연구 고찰을 통해 보였다. 또한, 에너지 소비량 예측 모델을 통해 평면도의 에너지 소비량 예측이 가능함을 보였다. 더 나아가, 평면도 자동 생성 모델과 에너지 소비량 예측 모델의 결합을 통해, 에너지 효율적인 평면도 생성이 하나의 통합 프로세스로 연결될 수 있음을 보였다. 에너지 효율적인 평면도를 자동 생성함에 따라 건축가들은 시간이 오래 걸리는 반복적인



작업으로부터 벗어나 다른 중요한 작업에 시간을 더 할애할 수 있다.

하지만, 평면도 이미지 데이터를 기반으로 에너지 시뮬레이션하는 작업은 여전히 수작업이 많이 들어간다. 예를 들어, 평면도 이미지의 3D 모델링 작업, 에너지 시뮬레이션을 위한 다양한 변수 설정 및 통제 등이 있다. 이러한 수작업은 많은 에너지 소비량 데이터 확보를 어렵게 한다. 에너지 시뮬레이션 작업을 자동화하는 연구를 진행한다면, 많은 데이터 확보를 통해 더 정확한 에너지 소비량 예측 모델 구축이 가능할 것이다. 또한, 여전히 평면도 자동 생성 모델은 고객의 요구사항 및 건축 제약 조건을 모두 반영하기 어렵다. 다양한 조건을 적절히 변수화하여 평면도 생성에 반영할 수 있다면, 실제로 건축가들이 사용 가능한 평면도를 생성할 수 있을 것이다. 고객의 요구사항 및 건축 조건을 모두 고려한 평면도 자동 생성과 에너지 시뮬레이션 자동화 연구가 이루어진다면, 설계 비용 및 소요 시간 감소, 결과물 품질 향상 등이 가능할 것이다.

## 참고문헌

1. Lobos, Danny, and Dirk Donath. "The problem of space layout in architecture: A survey and reflections." *arquitecturarevista* 6.2 (2010): 136-161.
2. Hirsch Jr, William J. *Designing Your Perfect House: Lessons from an Architect*. Designing Your Perfect House, 2017.
3. Thakur, Manish K., Monika Kumari, and Madhabananda Das. "Architectural layout planning using genetic algorithms." 2010 3rd International Conference on Computer Science and Information Technology. Vol. 4. IEEE, 2010.
4. Zhang, Jingyu, Nianxiong Liu, and Shanshan Wang. "Generative design and performance optimization of residential buildings based on parametric algorithm." *Energy and Buildings* 244 (2021): 111033.
5. Lee, Bokyung, et al. "Generative design for COVID-19 and future pathogens using stochastic multi-agent simulation." *Sustainable Cities and Society* 97 (2023): 104661.
6. Pizarro, Pablo N., et al. "Automatic floor plan analysis and recognition." *Automation in Construction* 140 (2022): 104348.
7. W. Huang, M. Williams, D. Luo, Y. Wu and Y. Lin (eds.), *Learning, Prototyping and Adapting*, Short Paper Proceedings of the 23rd International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA) 2018.
8. Wang, Weimin, Radu Zmeureanu, and Hugues Rivard. "Applying multi-objective genetic algorithms in green building design optimization." *Building and environment* 40.11 (2005): 1512-1525.
9. Zhang, Jingyu, Nianxiong Liu, and Shanshan Wang. "Generative design and performance optimization of residential buildings based on parametric algorithm." *Energy and Buildings* 244 (2021): 111033.
10. Wan D, Zhao X, Lu W, Li P, Shi X, Fukuda H. A Deep Learning Approach toward Energy-Effective Residential Building Floor Plan Generation. *Sustainability*. 2022; 14(13):8074.
11. Liggett, R. S. (2000). Automated facilities layout: past, present and future. *Automation in construction*, 9(2), 197-215.
12. John Grason. 1971. An approach to computerized space planning using graph theory. In *Proceedings of the 8th Design Automation Workshop (DAC '71)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 170-178.
13. Mitchell, W. J., Steadman, J. P., & Liggett, R. S. (1976). *Synthesis and Optimization of Small Rectangular Floor Plans*. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 3(1), 37-70.
14. Charman, P. (n.d.). A constraint-based approach for the generation of floor plans. *Proceedings Sixth International Conference on Tools with Artificial Intelligence*. TAI 94. doi:10.1109/tai.1994.346443
15. Michalek, J., Choudhary, R., & Papalambros, P. (2002). Architectural layout design optimization. *Engineering Optimization*, 34(5), 461-484.
16. An evolutionary strategy enhanced with a local search technique for the space allocation problem in architecture, Part 1: Methodology
17. Huang, Weixin, and Hao Zheng. "Architectural drawings recognition and generation through machine learning." *Proceedings of the 38th annual conference of the association for computer aided design in architecture*, Mexico City, Mexico. 2018.
18. Nauata, Nelson, et al. "House-gan: Relational generative adversarial networks for graph-constrained house layout generation." *Computer Vision-ECCV 2020: 16th European Conference, Glasgow, UK, August 23-28, 2020, Proceedings, Part I* 16. Springer International Publishing, 2020.
19. Nauata, Nelson, et al. "House-gan++: Generative adversarial layout refinement network towards intelligent computational agent for professional architects." *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2021.
20. Hu, Ruizhen, et al. "Graph2plan: Learning floorplan generation from layout graphs." *ACM Transactions on Graphics (TOG)* 39.4 (2020): 118-1.
21. Wan, Da, et al. "A Deep Learning Approach toward Energy-Effective Residential Building Floor Plan Generation." *Sustainability* 14.13 (2022): 8074.
22. Cao, Jianpeng, et al. "Energy-aware design: predicting building performance from layout graphs." *Proceedings of the 2022 European Conference on Computing in Construction*. University of Turin, 2022.