

디자인 초기 단계의 디자인 아이디어 발산 전략 식별**

Detecting Design Idea Divergence Strategy in the Early Design Phase

Author 이승원 Lee, Seung-Won / 정회원, 한양대학교 생활과학대학 실내건축디자인학과 석사과정
현경훈 Hyun, Kyung-Hoon / 정회원, 한양대학교 생활과학대학 실내건축디자인학과 조교수, 공학박사*

Abstract Interior design is intricate, as the designer should consider numerous design elements such as circulation, spatial composition, and energy efficiency. The complex interior design process involves both divergent and convergent thinking. In divergent design thinking, designers use micro- and macrostrategies. If we can identify a designer's strategies in the design process, we can support the designers in diversifying and embodying their design ideas. Therefore, we propose a novel method that automatically detects idea divergence strategies of interior designers. To achieve this, we developed a floor plan retrieval system and conducted a user study with interior designers to analyze their design processes. The design exploration process of the designers was analyzed to detect their micro- and macrodivergence strategies and the point of transition between the two strategies. The user study results revealed that the explored floor plans had different design patterns depending on the micro- and macrodivergence strategies. Our study can enhance the understanding of automatically detecting the designer's design intention and aid the design decision-making process in the future.

Keywords 실내 건축 디자인, 디자인 아이디어, 인간-기계 협업, 디자인 피드백, 아이디어 발산, 디자인 과정
Interior Architecture Design, Design idea, Human-Computer interaction, Design feedback, Idea divergence, Design process

1. 서론

평면도는 공간의 형태와 연결 관계 등 공간 정보를 가지고 있다. 실내 디자이너들은 디자인 초기 과정에서 평면도를 바탕으로 공간 구성, 연결 관계, 형태, 물리적 형태 등을 생각하고 문제를 해결하며 디자인 아이디어를 탐색한다(Do & Gross, 2001). 이러한 디자인 탐색 과정은 발산과 수렴적 디자인 사고를 수반한다(Zboinska, 2019). 부연하자면, 디자이너들은 다양한 가능성 있는 디자인 방향을 검토하며, 디자인 아이디어를 종합하여 디자인 방향을 결정하는 발산과 수렴적 사고과정을 반복적으로 수행한다(Dino, 2016; Langenhan et al., 2013). 수렴적 사고는 탐색해왔던 디자인 공간들을 종합하여 디자인 아이디어를 특징하는 것에 중점을 두지만, 발산적 사고는 이전에 탐색되지 않은 디자인 공간을 탐색함으로써 다양한 디자인 아이디어를 생성해내는

것에 중점을 둔다. 또한, 선행 연구들이 정의한 발산적 사고과정을 더 세분화하여 살펴보면, 다양한 아이디어를 탐색(Dino, 2016)하는 매크로 발산 전략(macrodivergence strategy)과 특정한 기준안에서 디자인 아이디어를 탐색하는(Yang et al., 2020) 마이크로 발산 전략(microdivergence strategy), 두 가지로 분류할 수 있다. 마이크로 발산 전략은 구체적인 탐색 기준을 설정하고 해당 기준에 맞는 디자인 공간 안에서 디자인 대안을 탐색하는 것을 목표로 하며, 매크로 발산 전략은 탐색 기준을 거의 또는 전혀 사용하지 않고 방대한 디자인 공간 안에서 새로운 디자인 아이디어를 탐색하는 것을 추구한다. 예를 들어, 디자이너가 클라이언트와의 첫 디자인 미팅에서 제안할 평면도 사례를 탐색할 때 클라이언트의 가족구성원, 대지 조건 그리고 대략적인 건축 영역을 제외하고 클라이언트가 어떤 공간을 선호하는 지에 대한 정보가 없는 상황을 가정해보면, 디자이너가 취할 수 있는 접근 방식 중 하나 적절한 디자인 방향을 식별하는 것이다. 예를 들면, 발코니가 한 개 혹은 두 개 있는 평면도 혹은 다양한 평면도 실루엣 등 디자이너는 다양한 디자인 옵션을 체크하며 디자인 탐색

* 교신저자(Corresponding Author); hoonhello@hanyang.ac.kr

** 이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2021-0-00968, NLP 번역모델에 착안한 2D 스케치 기반 3D 모델 자동변환 기술 및 보정기술 개발).

을 진행할 것이다. 이렇게 디자인 탐색을 진행하며 발코니 한 개가 적절하다고 판단되면, 디자이너는 디자인 공간을 발코니 한 개를 가진 평면도로 좁히고, 해당 기준 안에서 새로운 평면도를 탐색할 것이다. 위와 같은 상황이 매크로 및 마이크로 발산 전략의 예이다. 매크로 발산 전략은 탐색하지 않은 아이디어를 탐색함으로써 새로운 아이디어를 생성할 수 있고, 마이크로 발산 전략은 유사한 아이디어 안에서 새로운 디자인 대안을 생성할 수 있으므로 디자인 과정의 중요한 부분이다(Garcia & Leitão, 2022; Matejka et al., 2018). 이러한 관점에서, 디자인 지원 시스템이 디자이너의 매크로 발산 전략을 식별할 수 있다면, 창의적인 디자인 사례를 추천함으로써 디자이너의 디자인 공간 확장을 지원할 수 있을 것이며, 마이크로 발산 전략을 식별할 수 있다면 디자이너가 특정한 탐색 기준 안에서 창의적인 디자인 사례를 제공할 수 있을 것이다.

기존 디자인 지원 시스템 연구들은 사용자 입력 검색 필터 또는 선호기준을 이용하여 아이디어를 다양화하는 발산 과정을 부분적으로 지원한다(Matejka et al., 2018; Son et al., 2020). 그러나 이러한 시스템들은 사용자의 탐색 전략 변화를 실시간으로 식별할 수 없기 때문에, 시스템이 사용자가 원하는 정보를 능동적으로(proactive) 제공할 수 없다. 따라서, 사용자들은 탐색 기준이 변할 때마다 검색 필터를 직접 수정해야 한다. 이러한 관점에서, 시스템이 사용자의 매크로 및 마이크로 발산 전략을 식별할 수 있다면 디자이너가 원하는 검색 필터를 자동적으로 조정하여 탐색을 지원할 수 있을 것이다. 이런 매크로 및 마이크로 발산 전략을 식별하기 위해선, 디자이너의 디자인 프로세스를 이해하는 것이 필요하다. 디자인 과정은 디자인 무브(design move)라 불리는 디자이너의 디자인 결정들이 쌓이며 발전한다(Son & Hyun, 2022). 이러한 디자인 과정을 분석하기 위해 디자이너의 대화를 기록하고 구문 분석하는 프로토콜 분석 방법인 링크그래피(linkography; Goldschmidt, 2014)가 광범위하게 사용되어 왔다(Frich et al., 2021; Härkki, 2022; Hatcher et al., 2018; Lee, 2014). 링크그래피는 디자인 과정을 디자인 무브와 디자인 무브 사이의 유사성을 나타내는 링크(link)로 분해한다(Hatcher, 2018; Kan & Gero, 2008). 링크그래피는 유사한 디자인 무브를 취할수록 링크가 많이 생성되며, 그 반대의 경우 링크가 적게 생성되는 특징이 있다. 이에 많은 연구들이 디자인 무브당 링크 개수를 나타내는 링크 인덱스(link index) 지표를 기반으로 디자인 과정을 분석해왔다(Frich et al., 2021; Hatcher, 2018; Lee, 2014). 예를 들어 Frich et al.(2021)은 링크 인덱스를 이용하여 디자인 협업 과정에서 해당 디자인 과정의 발산과 수렴적 디자인 사고의 정도를 측정하였다. Hatcher et al.(2018)는 디자인 과정에서 디자인 아이디어간 상호 연결성을 측정하기 위해 링크 인덱스를 사용했다. Lee(2014)는 디자이너-엔지니어 협업과정의 창의성을 링크 인덱스를 기반으로 측정하였다. 하지만, 기존 링크그래

피 연구들은 사람 감독관이 직접 디자이너의 대화를 디자인 무브로 분해하고, 디자인 무브간 링크생성 여부를 판단하기 때문에 정성적이고 주관적이라는 한계점을 가지고 있다(Hatcher et al., 2018; Son & Hyun, 2022). 이러한 한계점에 착안하여, Son & Hyun(2022)은 링크그래피의 정성적이고 주관적인 문제를 해결한 아이디어그래피(ideagraphy)를 제안했다. 아이디어그래피의 디자인 무브는 스케치, 디자인 사례, 디자인 검색을 위한 쿼리와 같이 사전에 정의된 디자인 아트팩트이다. 또한, 아이디어그래피의 디자인 무브간 링크 형성은 유사도에 기반한다. 결과적으로, 사람이 직접 개입하지 않고도 일관적이고 정확한 링크 형성이 가능하고, 디자이너 행동의 결과물을 바탕으로 디자인 무브가 형성되기 때문에 대화를 기반으로 형성되는 링크그래피와 큰 차이점이 있다. 또한 아이디어그래피의 링크 형성은 디자인 무브 사이의 유사도에 기반하기 때문에 디자이너의 탐색 전략에 따라 링크 형성 밀도, 즉 링크 인덱스가 달라지므로 링크 인덱스를 분석함으로써 디자이너의 발산 전략을 식별할 수 있다. 이를 통해, 기존 링크그래피 및 아이디어그래피 논문에서 다루지 않았던 디자이너의 매크로 및 마이크로 발산 전략을 감지할 수 있는 방법론을 제안한다.

따라서, 본 연구진은 발산 전략에 따른 아이디어그래피의 링크 인덱스 변화를 관찰하기 위해 10명의 실내 디자이너를 대상으로 정성적인 실험을 진행하였다. 실험을 통해, 본 연구진은 디자이너의 매크로 및 마이크로 발산 전략이 아이디어그래피의 링크 인덱스에 어떤 영향을 미치는지 관찰함으로써, 매크로 및 마이크로 발산 전략을 자동으로 인식할 수 있는 가능성을 확인하였다. 이를 위해, 본 연구진은 다음과 같은 과제를 수행하였다:

- 1) 평면도 데이터 수집(N = 2749);
- 2) 평면도 탐색 시스템 및 인터페이스 개발;
- 3) 시스템과 아이디어그래피 통합;
- 4) 10명의 실내 건축 디자이너를 대상으로 평면도 탐색 실험 진행

2. 문헌 고찰

2.1. 매크로 및 마이크로 발산 전략

발산적 디자인 사고과정에서 디자이너들은 넓은 범위의 기준을 가지고 디자인 아이디어를 탐색하거나(Akin & Moustapha, 2004; Cross, 2002; Dino, 2016; Fricke, 1996; Yang et al., 2020), 혹은 특정한 기준안에서 디자인 아이디어를 탐색한다(Akin & Moustapha, 2004; Caetano & Leitão, 2019; Cross, 2002; Fricke, 1996; Yang et al., 2020). 창의적인 디자인 아이디어는 이러한 디자인 기준을 넓히고 좁히는 반복적인 과정을 통해 나타난다(Orthel, 2015; Suk & Lee, 2021; Yang et al., 2020). 즉, 디자이너들은 그들의 아이디어를 다양화할 때 매크로 및 마이크로 발산

전략을 취하는데, 이는 디자인 과정에서 매우 중요한 부분이다. 이전 디자인 지원 시스템 연구들은 검색 필터 혹은 선호 기준을 입력함으로써 아이디어를 다양화하는 발산적 과정을 지원해왔다. 예를들어, C-Space는 형태 기반의 평면도 검색 기능을 제공하였는데, 사용자들은 입력하는 형태의 가중치를 조정함으로써 평면도를 검색할 수 있다(Son et al., 2020). Dream Lens은 사용자가 선택한 디자인 대안의 속성값의 순위를 매겨 사용자들이 각 속성값의 가중치를 바꿔가며 디자인을 검색할 수 있는 시스템을 제안했다(Matejka et al., 2018). 그러나, 위 연구들은 사용자의 매크로 및 마이크로 발산 전략에 대해선 다루지 않았다. 이에, 본 연구에선 추후 디자인 시스템들이 디자이너의 발산 과정을 더 능동적으로 지원할 수 있도록 디자인 과정을 분석함으로써 발산 전략을 식별하는 방법을 제안한다.

2.2. 디자인 아이디어 분석

Goldschmidt(2014)는 디자인 무브와 링크를 이용해 디자인 과정을 분석하는 링크그래피 방법론을 제안했다. 디자인 무브는 디자이너의 아이디어를 의미하며 두 디자인 무브 사이에 공통요소(common sense)가 존재할 때 링크를 형성한다(Goldschmidt, 2014). 링크그래피의 디자인 무브 기준과 공통 요소 존재 여부에 따른 링크 형성은 관례적으로 사람이 디자이너들의 기록된 디자인 과정을 관찰하며 판단하였다. <표 1>과 같이, 많은 연구들이 이 링크그래피를 이용해 디자인 과정을 분석해왔다(Goldschmidt, 2014, 2016; Härkki, 2022; Hatcher et al., 2018; Kan & Gero, 2008; Lee, 2014). Kan & Gero(2008)는 링크그래피에 Shannon의 정보이론을(1948) 적용한 엔트로피 측정법을 추가하여 디자인 과정에서 창의성을 측정하는 방법을 제안했다. Lee(2014)는 디자이너와 엔지니어의 협업 과정을 링크그래피의 링크 인덱스를 이용하여 분석하였다. Härkki(2022)는 링크그래피를 이용한 디자인 협업 과정 분석 시스템을 개발했다. Härkki는 디자인 팀으로부터 언어, 스케치, 시선 정보를 수집하여 디자인 무브로 사용했다. 그러나 위의 연구들은 사람이 디자인 무브와 링크 형성 여부를 판단하기 때문에 개인이나 실험 상황에 따라 결과가 달라지는, 정성적이고 주관적이라는 한계점이 있다(Hatcher et al., 2018; Son & Hyun, 2022). Son & Hyun(2022)은 링크그래피의 정성적인 한계점을 보완한 아이디어그래피를 사용하는 designer-centric spatial design support system(D-SDSS)를 제안했다. 아이디어그래피에는 스케치, 쿼리, 평면도 사례로 총 세 가지 유형의 사전에 정의된 디자인 무브가 있다. 또한 공통 요소의 존재 여부는 두 디자인 무브의 유사도를 계산하여 결정하고 공통 요소가 존재하면 두 디자인 무브사이에 링크를 형성한다. 그러나, 본 연구진이 아는 한, 링크그래피 또는 아이디어그래피 방법론을 사용하여 디자이너의 발산 전략이 링크 인덱스에 어떤 영향을 미치는지 혹은 링크 인덱스를 통해 디자이너의 발산 전략을 식별

하려고 시도한 연구는 없다.

<표 1> 링크그래피 및 아이디어그래피를 활용한 연구

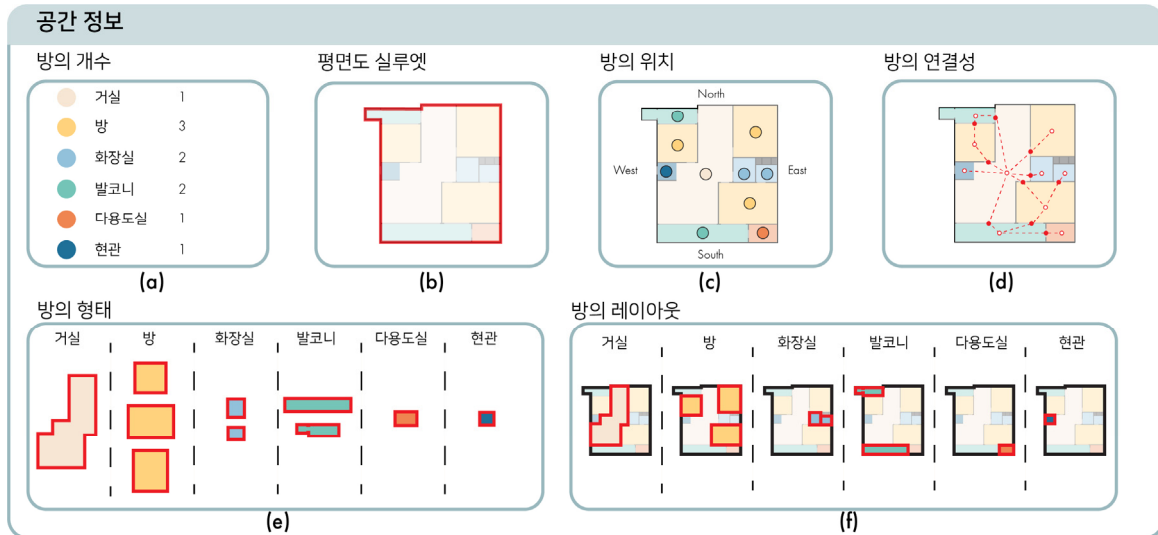
	설명	저자 및 시기
링크 그래피	링크그래피를 엔트로피 측정법을 활용해 분석하여, 디자인 과정의 창의성 측정 방법 제안	Kan & Gero, 2008
	디자이너와 엔지니어의 협업 과정을 링크 인덱스를 이용하여 분석	Lee, 2014
	디자인 협업과정의 창의성을 링크그래피를 활용하여 분석	Hatcher et al., 2018
	디자인 팀의 언어, 스케치, 시선 정보를 바탕으로 링크그래피를 형성하고 분석	Härkki, 2022
아이디어 그래피	아이디어그래피를 제안하여 디자이너의 디자인 과정을 정량적으로 분석	Son & Hyun, 2022

2.3. 평면도 디자인 탐색

디자이너들은 디자인 다이어그램과 이전 디자인 사례를 탐색하며 정보를 얻고 영감을 받는다(Do & Gross, 2001; Jang, 2014; Langenhan et al., 2013; Sönmez, 2018; Wang et al., 2021). 또한, 디자이너들은 기존 디자인 예시 혹은 아이디어를 조합하며 창의적인 아이디어를 생성한다(Suh & Cho, 2018). 특히, 실내 디자이너들은 평면도에서 평면도 실루엣, 실의 형태(Son & Hyun, 2021), 공간의 구성과 관계(Langenhan et al., 2013; Weber et al., 2010)와 같은 공간 정보를 추출한다(Arvin & House, 2002). 또한 실내 디자이너는 디자인 초기 단계에서 평면도를 탐색하며 디자인 솔루션을 만들고(Do & Gross, 2001), 공간을 이해한다(Hing, 2006). 그러므로, 평면도는 실내 디자이너에게 공간을 이해하고 구성하기 위한 필수적인 도구이며(Hing, 2006; Schwarz, 1997), 공간 정보를 포함하는 평면도를 탐색하는 것은 창의적인 디자인 아이디어와 아이디어 개발을 생성하는 중요한 과정이다(Son et al., 2020). 이러한 중요성에 a.Scatch (Weber et al., 2010), metisCBR(Eisenstadt & Althoff, 2019), 그리고 D-SDSS (Son & Hyun, 2022)와 같은 평면도 탐색 지원 시스템들이 제안되어 왔지만, 평면도 탐색 과정에서 디자이너의 아이디어 발산 전략을 탐색하려는 연구는 아직 수행되지 않았다. 본 연구에서는 공간정보에 관한 발산 전략을 파악하기 위해 디자이너가 탐색하는 평면도를 이용하여 디자인 탐색과정을 분석하였다.

3. 연구 방법

디자인 과정에서 디자이너의 매크로 및 마이크로 발산 전략을 분석하기 위해 본 연구진은 평면도 탐색 시스템을 개발하였다. 이 시스템을 사용하여 사용자는 공간 정보를 사용하여 평면도를 클러스터링하고, 평면도 이미지를 사용하여 평면도를 검색할 수 있으며, 페닝, 줌 그리고 클릭을 통해 원하는 클러스터와 평면도를 탐색할 수 있다. 본 시스템은 사용자가 보거나 선택한 평면도를 기록한다. 또한 사용자가 탐색과정에서 n번째 선택한 평면도부터 n+1번째 선택한 평면도까지를 한 디자인 탐색 과정으로 정



〈그림 1〉 여섯 가지 공간 정보: NR, FS, RL, RC, RS, 그리고 RSL

의하고, 각 디자인 탐색 과정에 대한 아이디어그래피를 생성하여 링크 인덱스를 이용하여 분석하였다.

3.1. 여섯 가지 공간 정보 유형

본 연구에선 온라인 부동산 웹페이지(www.r114.com)에서 2,749개의 평면도를 수집하여 사용하였다. 수집된 평면도의 오류를 확인하고 수정하는 전처리 과정을 거친 뒤, 평면도로부터 방의 개수(number of rooms; 이하 NR), 평면도 실루엣(floor silhouette; 이하 FS), 방의 위치(room location; 이하 RL), 방의 연결성(room connectivity; 이하 RC), 방의 형태(room shape; 이하 RS), 그리고 방의 레이아웃(room shape layout; 이하 RSL), 총 6가지의 공간 정보를 추출하였다. 또한 평면도 사이의 각 정보들 간 유사도를 계산하여 유사도 정량화를 하였는데, NR, FS, RL, 그리고 RC에 대한 유사도 계산 방식은 Son & Hyun(2022)가 제안한 방법을 따랐고, RS와 RSL에 대한 유사도 계산 방식은 Son & Hyun(2021)이 제안한 방법을 따랐다. NR은 거실, 방, 화장실, 발코니, 다용도실 그리고 현관의 개수를 의미한다(<그림 1-a>). FS는 평면도의 전반적인 형태인 외곽선을 의미한다(<그림 1-b>). RL은 각 방의 중심 위치를 의미하는데, 동서남북의 방위 정보를 포함한다(<그림 1-c>). RC는 각 방들 사이의 직접 연결 관계를 나타낸다(<그림 1-d>). RS는 각 방의 형태 정보를 의미한다(<그림 1-e>). RSL은 평면도 내에서 방의 위치 및 형태 정보를 포함한 방들의 레이아웃 정보를 의미한다(<그림 1-f>). 클러스터링은 6가지 유형의 공간정보의 정량화된 유사도 데이터를 사용하여 수행하였다. 클러스터링 알고리즘은 Python sklearn library의 평균 이동(mean-shift) 알고리즘을 사용하였다. 평균 이동 알고리즘은 밀도 기반 클러스터링 알고리즘으로, 다차원 데이터를 클러스터링 하는데 적합하다(Comaniciu & Meer, 2002). 따라서, 본 연구에선 평면도의 정량화된 다차원 유사도 데이터를 클러스

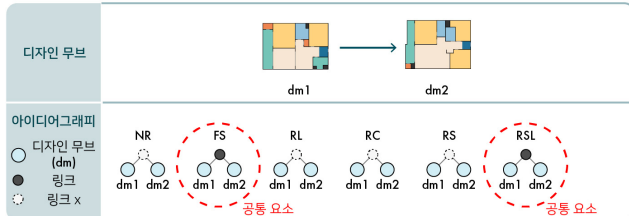
터링하기 위해 평균 이동 알고리즘을 사용했다.

3.2. 아이디어그래피

(1) 디자인 무브와 공통 요소

본 연구에서는 디자인 탐색 과정에서 디자이너가 탐색한 평면도를 디자인 무브(이하 dm)로 정의했다. 또한 두 가지 dm(이) 공통 요소를 공유하는지 여부에 따라 링크를 형성했다. dm(이) 공통 요소를 공유하는지 판별하기 위해 임계 유사도를 사용했다. 두 dm 사이의 유사도가 임계유사도보다 클 경우 두 dm은 공통 요소를 공유한다고 판별하고 따라서 링크가 형성된다. 위 임계 유사도의 임계값을 설정하기 위해 온라인 설문 플랫폼인 Prolific에서 500명의 실험 참가자를 대상으로 실험을 진행했다(Son & Hyun, 2022). 실험 참가자를 열 개의 그룹으로 나누어, 각 그룹에게 열 개의 평면도 쌍이 서로 유사한지 평가하도록 했다. 결과적으로, 유사하다고 응답한 평면도의 평균 유사도가 임계 유사도로 사용되었다(Son & Hyun, 2022). Son & Hyun(2022)는 사용자의 스케치 정보, 검색한 레퍼런스 정보, 검색 쿼리 정보를 dm으로 활용하였다. 본 연구에선, dm은 사용자가 평면도 탐색 시스템 내에서 특정 평면도에 2초 이상 마우스 커서를 올려두거나(hover), 평면도를 클릭할 경우 추가된다. 또한, 네가지 정보(NR, FS, RL, RC)만 활용했던 Son & Hyun(2022)연구와 달리, 본 연구에선 여섯가지 공간 정보를 사용하기 때문에, 여섯가지 유형의 아이디어그래피가 생성되며, 따라서 각 공간 정보에 대한 아이디어그래피는 각 공간 정보의 dm간의 유사도에 따라 서로 다른 링크 패턴을 가진다. 예를 들어, <그림 2>와 같이 디자이너가 두 개의 dm을 추가했을 때, dm1과 dm2는 FS와 RSL의 정보에 대해서만 유사하므로, FS와 RSL의 아이디어그래피에서만 링크가 형성된다. 반면에 NR, RL, RC, 그리고 RS의 정보에 대해선 유사하지 않으므로 링크를 형성하지 않는다. 정리하자면, 위 디

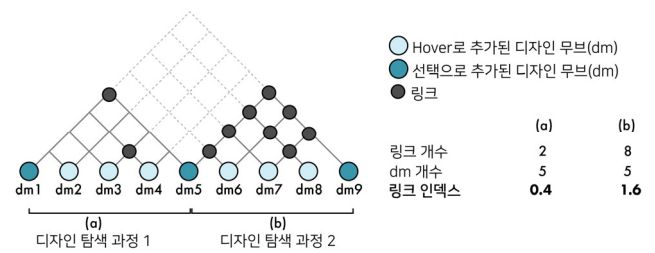
자이너는 dm2를 선택할 때 FS와 RSL의 공간 정보에 대해선 유사한 평면도를 탐색했지만, NR, RL, RC, 그리고 RS의 정보에 대해선 이전에 탐색하지 않았던 새로운 평면도를 탐색했음을 의미한다. 위와 같은 방법으로, 본 연구에선 사용자가 탐색한 평면도를 기반으로 dm를 추가하여 여섯 가지 유형의 아이디어그래피를 생성하였다.



〈그림 2〉 디자인 무브에 따른 여섯 가지 유형의 아이디어그래피 생성

(2) 링크 인덱스

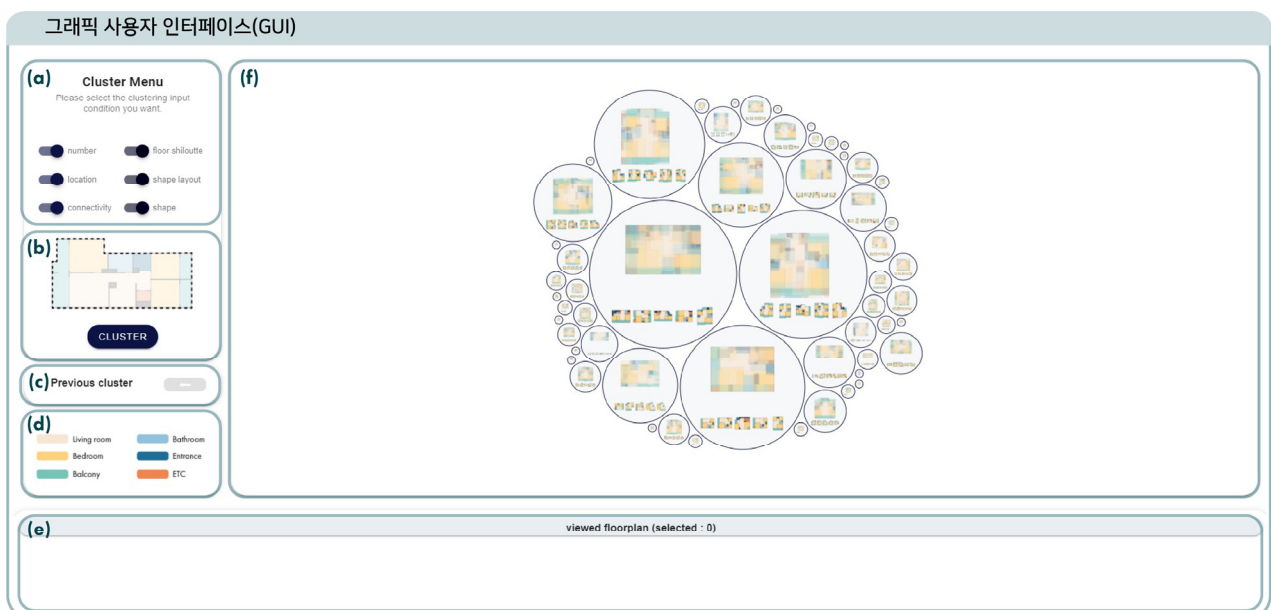
아이디어그래피를 분석하기 위한 지표로 링크 인덱스(L.I.) 사용하였는데, Goldschmidt(2014)에 따르면, 링크 인덱스는 링크 개수와 dm간의 비율로 디자인 과정에서 링크가 얼마나 많이 생성되었는가를 나타내는 지표라고 정의했다. 예를 들어, <그림 3-a>에서 dm1-dm5 사이의 링크는 2개이므로 해당 디자인 과정의 링크 인덱스(L.I.1-5)는 0.4이고, dm5-dm9 사이의 링크는 8개이므로 해당 디자인 과정의 링크 인덱스(L.I. 5-9)는 1.6이다. 즉, 링크 인덱스는 dm 개수와 링크 개수에 영향을 받는데, 링크 인덱스가 높을수록 디자이너가 특정 기준을 갖고 유사한 평면도를 탐색하고 있음을 나타내고, 낮을수록 이전에 탐색하지 않은 새로운 디자인을 탐색하고 있음을 나타낸다.



〈그림 3〉 디자인 탐색 과정에 따른 다른 링크 인덱스 값의 예시

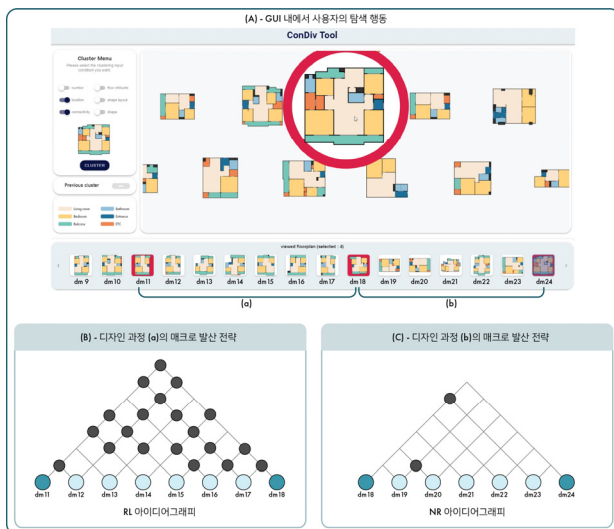
3.3. 평면도 탐색 시스템

본 연구에선 디자인 과정에서 나타나는 매크로 및 마이크로 발산 전략을 분석하기 위해 평면도 탐색 시스템을 개발하였다. 시스템은 클라이언트(client)와 서버(server)로 구성되어있다. 클라이언트는 사용자가 평면도를 검색하고 탐색할 수 있는 그래픽 사용자 인터페이스(graphical user interface; 이하 GUI)로 구성되어 있고, 서버는 평면도 클러스터링 연산을 수행하며 사용자가 탐색한 평면도를 바탕으로 아이디어그래피를 생성한다. 사용자는 GUI의 탐색 창에서(<그림 4-f>) 사용자는 줌 인/아웃, 패닝 그리고 클릭을 할 수 있다. 각 클러스터는 해당 클러스터를 대표하는 대표 평면도와 대표 평면도들을 동일한 투명도로 겹친 평균 평면도로 시각화되었다. 대표 평면도는 각 클러스터의 중심 유사도 벡터와 가장 가까운 유사도 벡터를 가진 평면도다. 사용자가 충분히 줌인을 하게 되면, 대표 평면도와 평균 평면도는 사라지고, 해당 클러스터가 담고 있는 개별 평면도가 시각화된다. 우리는 이러한 클러스터링 및 개별 평면도를 시각화하기 위해 Javascript의 d3 라이브러리를 사용했다. 사용자는 <그림 4-b>와 6가지 공간 정보와 기준 평면도를 입력함으로써 모든 평면도를



〈그림 4〉 그래픽 사용자 인터페이스(GUI): (a) 여섯 가지 공간 정보를 선택 할 수 있는 클러스터링 메뉴; (b) 검색을 위한 평면도 입력과 클러스터링 버튼; (c) 이전 클러스터링으로 되돌아 가기 버튼; (d) 각 방의 유형 정보; (e) 탐색한 평면도 기록 창; (f) 평면도 탐색 창

다시 클러스터링할 수 있다. 사용자가 평면도 위에 마우스 커서를 올려놓으면 빨간색 원형 테두리로 강조된다(<그림 5>). 만약 사용자가 2초 이상 마우스를 올려놓거나 클릭하면 viewed-floor plan 창(<그림 4-e>)에 추가되고 해당 정보는 서버로 전송되어 서버는 아이디어그래피를 생성한다. 예를 들어, <그림 5>에서 사용자가 dm11, dm18, 그리고 dm24에서 도면을 클릭했다. 이때 dm11-dm18과 dm18-24의 디자인 과정을 분석해보면, dm11-dm18의 RL 아이디어그래피는 많은 링크가 형성되어 높은 링크 인덱스를 가지며, dm18-dm24의 NR 아이디어그래피는 링크가 거의 생성되지 않아 낮은 링크 인덱스를 가진다. 이러한 방법으로, 본 연구진은 사용자의 디자인 과정을 기록하고 실시간으로 아이디어그래피를 생성하여 발산 전략에 따른 링크 인덱스의 차이가 있는지 분석하였다.



<그림 5> 사용자가 선택한 도면에 따라 다른 링크 인덱스를 가지는 예; (A) GUI 내에서 사용자의 탐색 행동; (B) 마이크로 발산 전략을 취함으로써 링크가 밀도 있게 형성된 아이디어그래피; (C) 매크로 발산 전략을 취함으로써 링크가 적게 형성된 아이디어그래피

4. 실험 및 결과

4.1. 실험

(1) 실험 장비

서버 컴퓨터는 Linux OS, Intel® Core™ i7-7700 CPU, 64 GB of RAM과 GeForce GTX 1080 Ti/PCIe/SSE2 GPU가 사용되었고, 클라이언트 컴퓨터는 Windows OS, Intel® Core™ i9-11900KF CPU, 그리고 128GB RAM이 사용되었으며 1920×1080픽셀 해상도의 모니터를 사용했다. 클라이언트 시스템은 JavaScript의 Vue.js 프레임워크를 기반으로 개발되었고, 서버는 Python Flask 프레임워크로 개발되었다.

(2) 실험 설계

디자이너의 매크로 및 마이크로 발산 전략을 파악하기 위해,

열명의 실내건축디자인 전공 학부생을 대상으로 평면도 탐색 실험을 진행하였다(평균연령=23.44세, 최소연령=21세, 최대연령=25세, 남성=4명, 여성=6명). 본 연구진은 비슷한 수준의 디테일을 가진 두 디자인 브리프를 준비했다. 두 디자인 브리프 중 하나를 열 명의 참가자에게 무작위로 제공했다(디자인 브리프 1: P1~P5; 디자인 브리프 2: P6~P10). 디자인 브리프 1의 과제는 신혼 부부로 구성된 2인 가족을 위한 10개의 평면도를 선택하는 것이고, 디자인 브리프 2의 과제는 중년 부부와 대학생 딸로 구성된 3인 가족을 위한 10개의 평면도를 선택하는 것이다. 두 디자인 브리프에는, 대지 조건과 가족 구성원의 요구 사항이 명시되어있다(<그림 6>)). 또한, 과제 수행 상황이 설계 의뢰자와의 첫 번째 디자인 미팅을 위한 것이라고 설명하였다. 실험을 진행하며 실험 참여자가 평면도를 선택할 때마다 해당 디자인 탐색 과정에서 어떤 유형의 공간정보에 가장 중점을 두었는지 물었고, 10개의 평면도를 선택한 뒤, 10분 동안 심층 인터뷰를 진행했다. 심층 인터뷰에서는 10번의 디자인 과정(평면도를 선택한 뒤 다음 평면도를 선택하기까지의 과정)에서 구체적인 탐색 기준이 있었는지와 있다면 어떤 기준이 있었는지 물었다.

	디자인 브리프 1	디자인 브리프 2
대지 조건		
건축 면적	97.9 m ²	107.1 m ²

<그림 6> 디자인 브리프

4.2. 실험 결과

각 참가자는 10개의 평면도를 선택하여 총 10번의 디자인 탐색 과정을 수행했다. 실험 종료 후, 심층 인터뷰를 바탕으로 각 디자인 탐색 과정에서 구체적인 기준이 있다고 답변한 경우 해당 디자인 탐색 과정을 마이크로 발산 전략으로 분류하였고, 그렇지 않은 경우 매크로 발산 전략으로 분류하였다. 예를 들어, P10은 dm20-26에서 NR을 가장 중점적으로 탐색했으며, 방 3개, 거실 1개, 화장실 2개를 포함하는 구체적인 기준을 가지고 탐색을 진행했다고 응답했다(L.I.NR, 20-26=1.857; <그림 7>). 따라서, 본 연구진은 이 과정을 마이크로 발산 전략으로 분류했다. P7은 dm19-24에서 FS를 가장 중점적으로 탐색했으며, 어떤 FS가 적절한지에 대한 기준이 부족해 다양한 형태의 FS를 탐색했다고 응답하였다(L.I.FS, 19-24=0.333; <그림 7>). 따라서, 본 연구진은 이 과정을 매크로 발산 전략으로 분류했다. 이러한 발산 전략 분류방법을 바탕으로 참가자별 디자인 탐색 과정을 매크로, 마이크로 발산 전략으로 구분하였다. 그런 다음 마이크로 발산 전

략과 매크로 발산 전략의 링크 인덱스를 비교했다. 다만, P2는 모든 디자인 탐색 과정에서 구체적인 기준을 가지고 탐색하였다고 답하였기 때문에 매크로 발산 전략은 없었다. P7은 모든 디자인 탐색 과정에서 기준이 모호했다고 답했기 때문에 마이크로 발산 전략은 없었다. P1~P10(SD:0.328, P7 제외)의 마이크로 발산 전략의 평균 L.I.는 1.205였으며, P1~P10(SD:0.414, P2 제외)의 매크로 발산 전략의 평균 L.I.는 0.473이었다. 마이크로 발산 전략과 매크로 발산 전략 사이의 평균 L.I. 차이는 통계적으로 유의미한 차이를 보였다(mean difference = 0.732; $p < 0.05$). 이 결과는 링크 인덱스를 사용하여 디자이너의 매크로 및 마이크로 발산 전략을 탐지할 수 있음을 나타낸다.

크로 발산 전략의 평균 L.I.는 0.473이었다. 마이크로 발산 전략과 매크로 발산 전략 사이의 평균 L.I. 차이는 통계적으로 유의미한 차이를 보였다(mean difference = 0.732; $p < 0.05$). 이 결과는 링크 인덱스를 사용하여 디자이너의 매크로 및 마이크로 발산 전략을 탐지할 수 있음을 나타낸다.



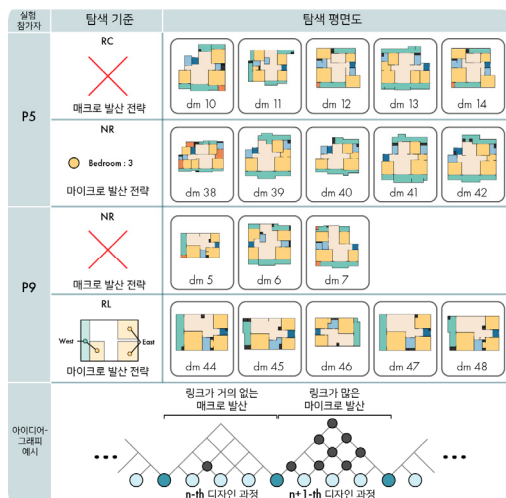
〈그림 7〉 사용자의 발산 전략과 링크 인덱스 그래프

4.3. 고찰

실험 결과 실험 참여자의 마이크로 및 매크로 발산 전략에 따른 평균 링크 인덱스 값의 차이가 통계적으로 유의미한 차이를 보였다. 특히 시스템은 매크로 및 마이크로 발산 전략의 전환점과 매크로 및 마이크로 발산 전략의 기준 변화를 식별했다. 다음 장에서 디자이너의 발산 전략에 따라 링크 인덱스가 어떻게 변화했는지, 그리고 발산 전략의 전환 시점을 어떻게 식별할 수 있는지에 대해 자세히 논의한다.

(1) 전략 변화 - 매크로에서 마이크로 발산 전략

P5는 dm10-14에서 다양한 RC를 가진 평면도를 탐색했다고 답변했다. 그러나 dm38-42에서는 NR에 대한 특정 기준을 가지고 있었기 때문에 탐색 범위를 방 3개를 가진 평면도 좁혔다고 답했다(L.I.RC, 10-14; L.I.NR, 38-42는 각각 0.2와 1.2; <그림 8>). P9는 dm5-7에서 NR에 대해 특정한 기준을 두지 않고 평면도를 탐색했다고 답변했다. 반면에 dm44-48에서, 그는 RL에 대한 구체적인 기준을 가지고 있었기 때문에, 탐색 범위를 주로 동쪽과 서쪽 방향으로 위치한 방 3개와 발코니 1개로 좁혔다(NR, 5-7, L.I.RL, 44-48은 각각 0과 2; <그림 8>). 두 탐색 사례는 시스템이 매크로 발산 전략에서 마이크로 발산 전략으로의 전략 전환을 식별할 수 있음을 보여준다. P5, P7, P8, P9는 매크로 발산 전략에서 마이크로 발산 전략으로 전환하는 시점에 지금까지 탐색한 평면도를 종합하는 디자인을 시스템이 추천해주면 도움이 될 것이라고 답했다. 또한, P1, P2, P5, P7, P8, P9는 마이크로 발산 전략으로 탐색할 때 시스템이 그 마이크로 기준 안에서 다양한 디자인을 추천해 주면 도움이 될 것이라고 답했다. 반면에, P3, P4, P6, P10은 특히 탐색 초기 단계에서 시스템이 제한된 탐색 공간 밖의 다양한 디자인 대안을 추천해준다면 디자인 고착화에서 벗어나 사고의 폭을 넓힐 수 있을 것 같다고 답했다. 전반적으로 참가자들은 매크로 전략에서 마이크로 발산 전략으로 전환하는 시점에서 마이크로 기준을 충족하는 디자인 대안을 제안해주는 것이 도움이 될 것 같다고 답했다.



<그림 8> P5와 P9이 탐색한 평면도 사례와 매크로에서 마이크로 발산 전략으로 전환할 때 아이디어그래피 예시

(2) 전략 변화 - 마이크로에서 매크로 발산 전략

P3는 dm12-20에서 방의 채광을 가장 중요하게 생각하여, 방이 남쪽에 위치한 평면도들을 탐색했다고 답했다. 하지만 그는 dm33-37에서 해당 기준에서 벗어나 방과 발코니 위치(L.I.)가 다양하게 분포해 있는 평면도를 탐색했다(L.I.RL, 12-20; L.I.RL, 33-37은 각각 1.777과 0; <그림 9>). P1은 dm19-25에서 평면도가 정사각형 실루엣이어야 한다는 구체적인 기준을 가지고 평면도를 탐색했다고 답했다. 하지만, 그는 dm25-32에서 NR에 대한 기준 없이 탐색했다(L.I.FS, 19-25; L.I.NR, 25-32는 각각 2.571과 0.5; <그림 9>). 두 탐색 사례는 시스템이 마이크로 발산 전략에서 매크로 발산 전략으로의 전환을 식별할 수 있음을 보여준다. 심층 인터뷰에서, 참석자 전원이 마이크로에서 매크로 발산 전략 전환 과정에서 디자인 아이디어를 다양화할 수 있는 디자인 지원을 원한다고 답했다. 특히 P2는 “마이크로에서 매크로로 전략을 전환할 때 내가 본 것을 요약하고, 그리고 나서 내가 보지 못한 것을 탐색하고 싶었다”고 답했다. 즉, 참가자들은 마이크로에서 매크로 발산 전략 전환점에서 자신의 디자인 공간의 범위를 확장하기를 원했다.

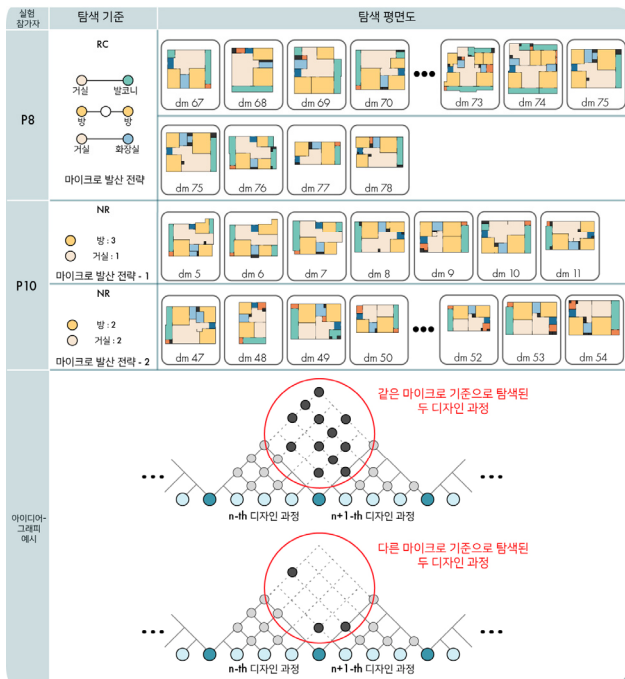


<그림 9> P1와 P3이 탐색한 평면도 사례와 마이크로에서 매크로 발산 전략으로 전환할 때 아이디어그래피 예시

(3) 마이크로 발산 전략의 마이크로 기준의 변화

P10은 dm5-11에서 NR에 대한 구체적인 기준을 가지고 있기 때문에 주로 3개의 방과 1개의 거실을 가진 평면도로 탐색 공간을 좁혔다고 응답했다. 하지만 dm47-54에서 NR의 기준을 방 2개와 거실 2개로 전환하였다(L.I.NR, 5-11; L.I.NR, 47-54는 각각 1.428과 2.625; <그림 10>). 두 디자인 탐색 과정은 서로 하나의 링크만 공유했으며(L.I.NR, 5-11; 47-54; 2.13), 이는 두 디자인 탐색 과정에서 찾은 평면도들이 유사하지 않다는 것을 의미한다. P8의 사례를 살펴보면, dm67-75와 75-78에서 거실과 발코니의 연결성, 침실과 복도, 침실과 욕실의 연결성 등 RC에 대해 동일한 기준을 적용하여 탐색했다고 답했다(L.I.RC, 67-75,

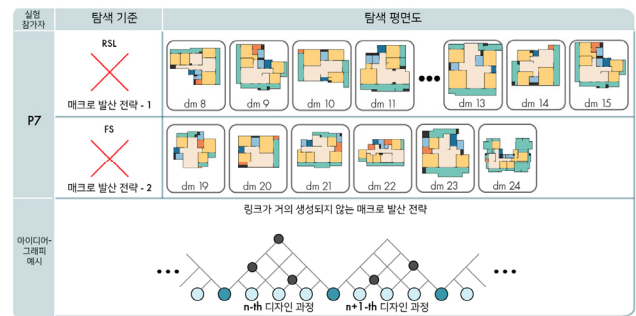
L.I.RC, 75-78은 각각 0.777과 0.75; <그림 10>). 이 경우 두 디자인 탐색 과정은 9개의 링크를 공유하였고(L.I.RC 67-78은 1.583), 이는 두 디자인 탐색 과정에서 유사한 기준을 적용하여 탐색했음을 의미한다. 위 탐색 사례는 시스템이 마이크로 발산 전략의 마이크로 기준 변화를 식별할 수 있음을 보여준다. P1, P2, P5, P8, P9, P10은 탐색 과정에서 마이크로 기준을 바꿨을 때, 바뀐 기준에 따라 디자인 탐색 과정을 지원할 수 있는 피드백을 받을 수 있다면 도움이 될 것이라고 답했다.



<그림 10> P8와 P10이 탐색한 평면도 사례와 마이크로 발산 전략의 기준 변화 따른 아이디어그래피 예시

(4) 매크로 발산 전략의 매크로 기준 변화

P7은 모든 디자인 과정에서 대략적인 기준을 갖고 다양한 평면도를 탐색했다고 답했다. 예를 들어, dm8-15에서 그는 남쪽과 동쪽 또는 북쪽에 개인 발코니가 있는 평면도를 위주로 탐색했다고 답했고, dm19-24에서 FS에 대한 기준이 불충분해 다양한 FS를 가진 평면도를 탐색했다고 답했다(L.I.RSL, 8-15; L.I.FS, 19-24는 각각 0과 0.333; <그림 11>). 전반적으로, 매크로 발산 전략으로 탐색할 때 링크 인덱스 값이 작았다. P1, P3, P6, P7은 매크로 발산 전략을 사용할 때 시스템이 아이디어의 다양화를 지원해주었다면 도움이 되었을 것이라고 답했다. 다만 P7은 지속적으로 매크로 발산 전략으로 탐색한다면, 생각을 정리해 줄 수 있는 피드백이 필요할 것이라고 답했다. 정리하자면, 매크로 발산 전략 과정에선 그동안 탐색하지 않았던 평면도를 추천해 주는 것 뿐만 아니라 디자이너의 생각을 종합해 줄 수 있는 디자인 지원이 필요하다.



<그림 11> P7이 탐색한 평면도 사례와 매크로 발산 전략 기준에 따른 아이디어그래피 예시

5. 결론 및 한계점

본 연구에서는 아이디어그래피의 링크 인덱스를 통해 디자이너의 매크로 및 마이크로 발산 전략과 전략의 전환시점을 실시간으로 식별할 수 있는 방법을 제안하였다. 특히, 기존 링크그래피 및 아이디어그래피 논문에서 감지하지 못했던 매크로 및 마이크로 발산 전략을 아이디어그래피를 분석함으로써 자동으로 인식할 수 있음을 확인했다는 것에 기여점이 있다. 또한, 사용자 실험 결과는 매크로 및 마이크로 발산 전략 간의 평균 링크 인덱스의 차이가 통계적으로 유의미한 것으로 나타났다. 제안된 방법을 통해 발산 전략의 전환시점 뿐만 아니라 마이크로 발산 전략 내에서 마이크로 기준의 변화도 감지할 수 있음을 확인했다. 또한, 제안한 방법을 디자인 지원 시스템에 적용하여 디자이너가 검색 필터를 수동으로 설정할 필요 없이 자동으로 각 발산 전략에 맞는 검색 필터를 조정하여 디자이너의 디자인 발산 과정을 지원할 수 있을 것으로 기대한다. 본 연구진이 아는 한, 아이디어그래피로 실내 디자이너의 매크로 및 마이크로 발산 전략을 실시간으로 식별한 최초의 연구이다. 이는 블랙 박스(black-box)라 불리는 디자이너의 주관적 지식과 경험으로 수행되는 디자인 과정(Hyun & Lee, 2018)을 해석하는 중요한 단계이다. 또한 각 발산 전략에서 디자이너가 필요로 하는 디자인 지원을 파악하였다. 본 연구의 기여점에도 불구하고, 한정된 수의 실내건축디자인 학생을 대상으로 실험이 진행되었다는 한계점이 있다. 그러나, 링크 인덱스를 사용하여 발산 전략을 자동으로 인식할 수 있다는 중요한 실험 결과를 발견했다. 향후 연구에서는 전문가 디자이너를 대상으로 추가 실험을 실시하여 실험 결과를 검증함과 동시에 초심 디자이너와 전문가 디자이너의 발산 전략에 따른 링크 인덱스 값의 차이를 관찰할 것이다. 이를 통해, 매크로 및 마이크로 발산 전략의 보다 구체적인 통계적 증명이 가능할 것이다.

본 연구를 통해, 디자이너의 의도를 파악함으로써 실내 디자이너의 발산 전략에 따른 의사결정을 지원할 수 있을 것임을 확인했다. 제안된 매크로 및 마이크로 발산 전략 식별 방법은 가구 디자인, 마감재 탐색, 인테리어 이미지 사례 검색 등 실내 디자인

실무에 쉽게 적용할 수 있다. 또한 기계학습 기술과 링크 인덱스를 기반으로 한 디자이너의 발산 전략에 따른 아이디어그래피의 패턴을 결합하여 매크로 및 마이크로 발산 전략의 정확한 전환 점을 파악할 수 있을 것이다.

참고문헌

- Akin, O., & Moustapha, H. (2004). Strategic use of representation in architectural massing. *Design Studies*, 25(1), 31-50. [https://doi.org/10.1016/s0142-694x\(03\)00034-6](https://doi.org/10.1016/s0142-694x(03)00034-6).
- Arvin, S. A., & House, D. H. (2002). Modeling architectural design objectives in physically based space planning. *Automation in Construction*, 11(2), 213-225. [https://doi.org/10.1016/s0926-5805\(00\)00099-6](https://doi.org/10.1016/s0926-5805(00)00099-6).
- Caetano, I., & Leitão, A. (2019). Integration of an algorithmic BIM approach in a traditional architecture studio. *Journal of Computational Design and Engineering*, 6(3), 327-336. <https://doi.org/10.1016/j.jcde.2018.11.004>.
- Comaniciu, D., & Meer, P. (2002). Mean shift: A robust approach toward feature space analysis. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 24(5), 603-619. <https://doi.org/10.1109/34.1000236>.
- Cross, N. (2002). Creative cognition in design: Processes of exceptional designers. In Proceedings of the 4th conference on creativity & cognition, 14-19. <https://doi.org/10.1145/581710.581714>.
- Dino, I. G. (2016). An evolutionary approach for 3D architectural space layout design exploration. *Automation in Construction*, 69, 131-150. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.05.020>.
- Do, E. Y. L., & Gross, M. D. (2001). Thinking with diagrams in architectural design. *Artificial Intelligence Review*, 15(1), 135-149. <https://doi.org/10.1023/a:1006661524497>.
- Eisenstadt, V., & Althoff, K. D. (2019, May). What Is the Next Step? Supporting Architectural Room Configuration Process with Case-Based Reasoning and Recurrent Neural Networks. In The Thirty-Second International Flairs Conference. <https://www.aaai.org/ocs/index.php/FLAIRS/FLAIRS19/paper/viewPaper/18190>.
- Frich, J., Nouwens, M., Halskov, K., & Dalsgaard, P. (2021). How digital tools impact convergent and divergent thinking in design ideation. In Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 1-11. <https://doi.org/10.1145/3411764.3445062>.
- Fricke, G. (1996). Successful individual approaches in engineering design. *Research in engineering design*, 8(3), 151-165. <https://doi.org/10.1007/bf01608350>.
- Garcia, S., & Leitão, A. (2022). Navigating Design Spaces: Finding Designs, Design Collections, and Design Subspaces. *International Journal of Architectural Computing*, 14780771211073119. <https://doi.org/10.1177/14780771211073119>.
- Goldschmidt, G. (2014). Linkography: unfolding the design process. Mit Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/9455.001.0001> (ISBN: 9780262027199).
- Goldschmidt, G. (2016). Linkographic evidence for concurrent divergent and convergent thinking in creative design. *Creativity Research Journal*, 28(2), 115-122. <https://doi.org/10.1080/10400419.2016.1162497>.
- Härkki, T. (2022). Mobile gaze tracking and an extended linkography for collaborative sketching and designing. *International Journal of Technology and Design Education*, 1-35. <https://doi.org/10.1007/s10798-022-09733-6>.
- Hatcher, G., Ion, W., MacLachlan, R., Marlow, M., Simpson, B., Wilson, N., & Wodehouse, A. (2018). Using linkography to compare creative methods for group ideation. *Design Studies*, 58, 127-152. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2018.05.002>.
- Hing, A. (2006). Understanding the plan: a studio experience. *Journal of Interior Design*, 31(3), 10-20. <https://doi.org/10.1111/j.1939-1668.2006.tb00528.x>.
- Hyun, K. H., & Lee, J.-H. (2018). Balancing homogeneity and heterogeneity in design exploration by synthesizing novel design alternatives based on genetic algorithm and strategic styling decision. *Advanced Engineering Informatics*, 38, 113-128. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2018.06.005>.
- Jang, S. (2014). The effect of image stimulus on conceptual combination in the design idea generation process. *Archives of Design Research*, 27(4), 59-72. <https://doi.org/10.15187/adr.2014.11.112.4.59>.
- Kan, J. W., & Gero, J. S. (2008). Acquiring information from linkography in protocol studies of designing. *Design Studies*, 29(4), 315-337. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2008.03.001>.
- Langenhan, C., Weber, M., Liwicki, M., Petzold, F., & Dengel, A. (2013). Graph-based retrieval of building information models for supporting the early design stages. *Advanced Engineering Informatics*, 27(4), 413-426. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2013.04.005>.
- Lee, E. (2014). Factors for creative collaboration of industrial designers and Engineers: Utilizing linkography. *Archives of Design Research*, 27, 135-147. <https://doi.org/10.15187/adr.2014.11.112.4.135>.
- Matejka, J., Glueck, M., Bradner, E., Hashemi, A., Grossman, T., & Fitzmaurice, G. (2018). Dream lens: Exploration and visualization of large-scale generative design datasets. In Proceedings of the 2018 CHI conference on human factors in computing systems, 1-12. <https://doi.org/10.1145/3173574.3173943>.
- Orthel, B. D. (2015). Implications of design thinking for teaching, learning, and inquiry. *Journal of Interior Design*, 40(3), 1-20. <https://doi.org/10.1111/joid.12046>.
- Schwarz, B. (1997). Learning to write and diagram, writing and diagramming to learn. *Journal of Interior Design*, 23(2), 42-50. <https://doi.org/10.1111/j.1939-1668.1997.tb00248.x>.
- Shannon, C.E. A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, 27(3) (1948): pp. 379-423. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>.
- Son, K., & Hyun, K. H. (2021). A framework for multivariate data based floor plan retrieval and generation. In 26th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia: Projections, CAADRIA 2021, 281-290. The Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA). http://papers.cumincad.org/data/works/att/caadria2021_151.pdf.
- Son, K., & Hyun, K. H. (2022). Designer-Centric Spatial Design Support. *Automation in Construction*, 137, 104195. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104195>.
- Son, K., Chun, H., Park, S., & Hyun, K. H. (2020). C-Space: an interactive prototyping platform for collaborative spatial design exploration. In Proceedings of the 2020 CHI conference on human factors in computing systems, 1-13. <https://doi.org/10.1145/3313831.3376452>.

29. Sönmez, N. O. (2018). A review of the use of examples for automating architectural design tasks. *Computer-Aided Design*, 96, 13-30. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2017.10.005>.
30. Suh, J., & Cho, J. Y. (2018). Analyzing individual differences in creative performance: A case study on the combinational ideation method in the interior design process. *Journal of Interior Design*, 43(3), 9-23. <https://doi.org/10.1111/joid.12124>.
31. Suk, K., & Lee, H. (2021). Problem Framing Activities Carried Out by Student Design Teams to Enhance Creativity: Comparative Analysis of High and Low Creative Teams. *Archives of Design Research*, 34(3), 23-38. <https://doi.org/10.15187/adr.2021.08.34.3.23>.
32. Wang, P., Guo, M., Han, Y., Zhao, L., Zhou, X., & Zhang, D. (2021). Ensemble learning-based hierarchical retrieval of similar cases for site planning. *Journal of Computational Design and Engineering*, 8(6), 1548-1561. <https://doi.org/10.1093/jcde/qwab058>.
33. Weber, M., Langenhan, C., Roth-Berghofer, T., Liwicki, M., Dengel, A., & Petzold, F. (2010). a. SCatch: semantic structure for architectural floor plan retrieval. In *International Conference on Case-Based Reasoning*, 510-524. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-14274-1_37.
34. Yang, D., Di Stefano, D., Turrin, M., Saryildiz, S., & Sun, Y. (2020). Dynamic and interactive re-formulation of multi-objective optimization problems for conceptual architectural design exploration. *Automation in Construction*, 118, 103251. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103251>.
35. Zboinska, M. A. (2019). Influence of a hybrid digital toolset on the creative behaviors of designers in early-stage design. *Journal of Computational Design and Engineering*, 6(4), 675-692. <https://doi.org/10.1016/j.jcde.2018.12.002>.

[논문접수 : 2022. 10. 21]

[1차 심사 : 2022. 12. 12]

[2차 심사 : 2022. 12. 29]

[게재확정 : 2022. 12. 29]