

# T-APSSA: 빌딩 디자인 자동화를 위한 실시간 센싱 및 하이브리드 최적화 알고리즘

T-APSSA: Real-time Sensing and Hybrid Meta-Heuristic Optimization for Architectural Design Optimization

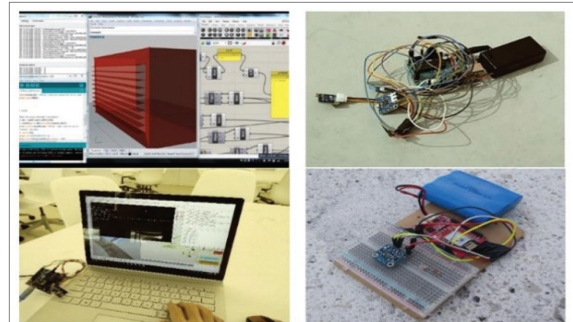
이황 교수  
아주대학교 건축학과

Yi, Hwang Professor  
Ajou University

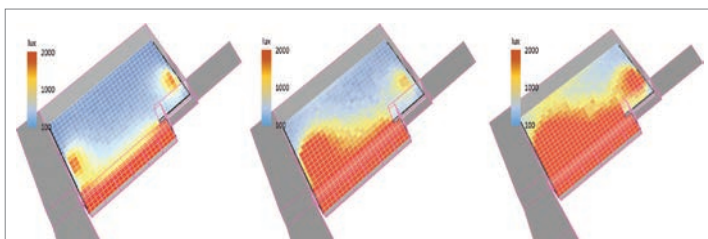
In current building practice, performance-based design (PBD) in the BIM approach exposes two major challenges: (i) uncertainty of building performance simulation due to lack of real-time micro-climate information and (ii) computational intensity of building design optimization process. This article presents a novel global mathematical optimization algorithm called Tabu-Mesh Adaptive Pattern Search-Simulated Annealing (T-APSSA), which supports rapid form-finding and integrated processing of dynamic remote-sensor data, in early stages of architectural design. T-APSSA hybridizes unique characteristics of different meta-heuristic optimization algorithms. Its work efficiency was validated by running pilot design simulations as well as testing complex optimization functions. T-APSSA has also been configured by developing a Rhino Grasshopper plug-in™ for PBD optimization.

## 실시간 센서와 시뮬레이터 연동을 통한 성능기반 건축 설계

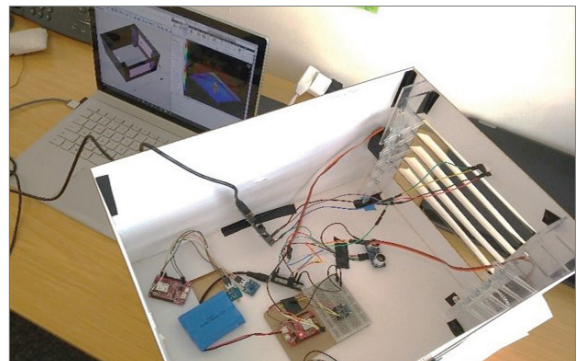
성능기반 설계 (performance-based design, PBD)란 기후, 조도, 에너지, 기류 등 건물의 온열환경과 재실 쾌적성 등에 영향을 주는 인자들을 바탕으로, 최적의 환경성능을 얻는 건물 형태와 건물요소의 배치 및 구성을 위한 과학적이며 합리적인 접근 방식의 건축 계획 방법을 일컫는다. 건축에서 PBD는 주로 기획/계획 설



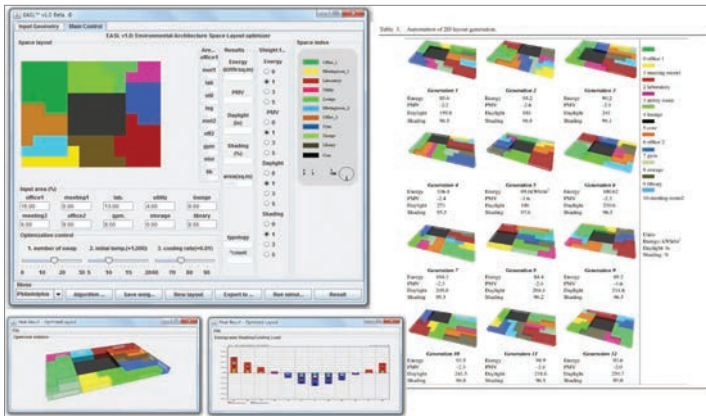
Interface integrated with remote sensor communication, BPS, and parametric design process



<그림 1> 입력 기후 정보에 따른 실내 조도 시뮬레이션 결과의 차이 (우: 센서 연동 시뮬레이션 결과)

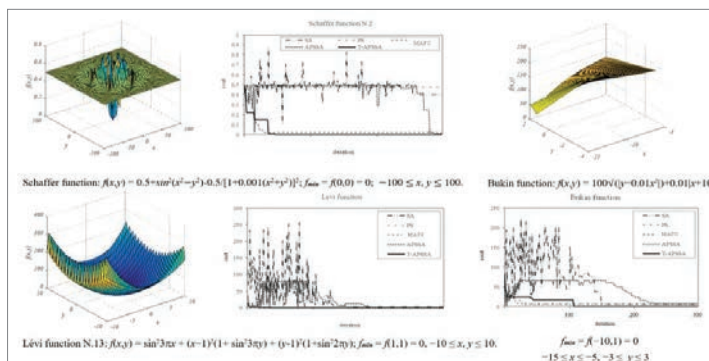


<그림 2>IoT를 활용한 PBD 인터페이스 및 환경 센서 연동

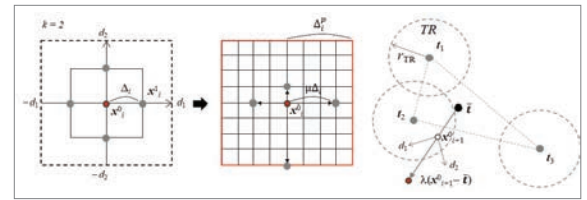


〈그림 3〉 Environmental Automated Space Layout (EASL v1.0): PBD를 활용한 오피스 실 배치 자동화 프로그램 (2015)

계단계에서 중요하게 고려되고 있으며, Radiance, EnergyPlus™ 등의 분석 엔진을 활용한 디지털 시뮬레이션 인터페이스/플러그인의 BIM 도구로의 확산은 환경 분석에 대한 전문적 지식이 부족한 건축 사들에게도 다양한 환경정보를 시각화하여 쉽게 이해하게 하고, 이를 바탕으로 한 최적 설계의 기회를 제공하고 있다. 그러나 BIM 사용자들이 주지해야 할 것은 시뮬레이션 결과는 상당히 많은 양의 불확실성 (uncertainty)을 내포한다는 것이다. GIGO (garbage in, garbage out)라는 말처럼, 컴퓨터 시뮬레이션은 입력 변수에 상당히 의존할 수밖에 없으며, 결과에 확신을 갖기 위해서는 시뮬레이션 후작업 (post-processing)과 더불어 디자인 과정에서 시뮬레이션의 불완전함을 보완하고, 데이터를 정교하게 얻어내기 위한 노력을 기울일 필요가 있다. 모든 환경 시뮬레이션에서 가장 중요하고 기초적인 입력 자료는 기후 정보이나, 대부분 초기 설계단계에서 현장의 미시기후는 제공되지 않으며, 이로 인해 불완전한 결과를 얻는 경우가 많다. 〈그림 1〉의 DIVA®를 활용한 실내 조도 시뮬레이션은 이러한 상황을 단적으로 보여주는 사례이다. 좌측의 두 결과는 DIVA®에 탑재된 기본 기상데이터에서 천공상태를 달리한 (overcast, sunny) 것이고, 가장 우측은 센서를 통해 측정된 실시간 기상 정보를 사용하여 시뮬레이션한 결과를 보여준다. 이 사례는 설계 단계에서 건축 대지에 설치된 센



〈그림 5〉 테스트 함수를 통한 T-APSSA 성능 비교 검증



〈그림 4〉 T-APSSA 알고리즘의 기본 원리

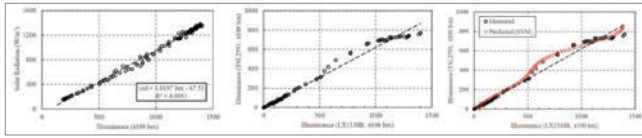
서의 정보를 실시간으로 읽고 시뮬레이션에 반영함으로써 보다 정교한 방식의 PBD를 구현할 수 있음을 보여준다(〈그림 2〉).

### PBD와 건축 설계 자동화, 최적화

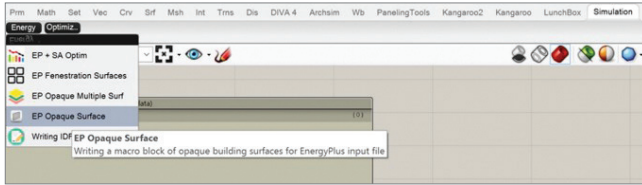
PBD는 크게 보아 설계 단계에서 BIM이 추구하는 데이터 기반의 디자인 (data-driven design)의 한 방식이라고 볼 수 있다. 다양한 종류와 많은 양의 정보를 종합적으로 처리하여 건축 프로젝트가 목표로 하는 고성능의 설계 결과를 얻는 과정은 수많은 시뮬레이션을 거칠 수밖에 없으며, 이를 위해서는 디자이너로 하여금 보다 쉽게 PBD 과정을 제어하고 시뮬레이션을 자동화하여 효율적인 작업을 도울 수 있는 방법들이 개발되어야 한다. 〈그림 3〉은 건축 디자이너들의 초기 단계의 사결정을 돕기 위해, 필자가 2015년 개발한 오피스 실 배치 자동화 프로그램이다. 이 소프트웨어 인터페이스는 디자이너가 실 면적을 비롯한 아주 기초적인 설계정보들을 입력하면, 에너지 시뮬레이션이 자동으로 실행되는 동시에 최적화 알고리즘을 통해 에너지 사용량을 최소화하는 평면 설계를 찾아주도록 되어 있다. 그러나 이러한 최적 자동화 PBD에서 가장 문제가 되는 부분은 바로 시뮬레이션에 소요되는 시간이다. Radiance, EnergyPlus™ 등은 입력 변수의 수에 크게 관계없이 절대적인 계산시간을 필요로 한다. 따라서 많은 시뮬레이션을 돌려야만 하는 경우 원하는 결과를 얻기까지 상당한 양의 시간을 소비할 수밖에 없고, 이는 설계 초기 단계에서 PBD의 도입을 저해하는 큰 요인 중의 하나이다(〈그림 3〉).

### T-APSSA: Hybridization of meta-heuristic optimization algorithms

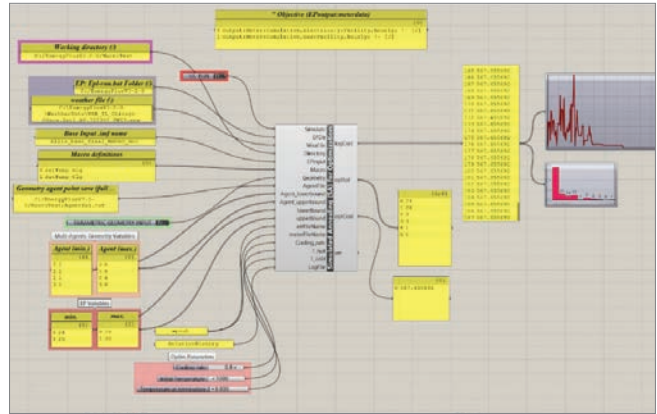
T-APSSA (Tabu-adaptive pattern search simulated annealing)는 효율적인 PBD를 위해 필자가 개발한 메타 휴리스틱 기반의 고성능 전역 최적화 알고리즘이다. 빠른 시간에 최적 결과를 얻기 위한 새로운 알고리즘의 개발은 (1) 많은 양의 실시간 센서 데이터를 빠르게 처리하고, (2) 최적화 결과를 얻기 위해 소요되



<그림 6> 실시간 센서 데이터 연동을 위한 AI 알고리즘



<그림 7> T-APSSA 알고리즘을 바탕으로 한 건축 설계 최적화 Grasshopper™ 플러그인 개발



<그림 8> T-APSSA 성능 테스트

는 시뮬레이션의 시간을 단축하기 위해 필요하다. T-APSSA는 기존의 휴리스틱 알고리즘인 tabu-search (TS), pattern-search (PS 혹은 direct method), simulated annealing (SA) 등의 특성과 장점만을 결합한 하이브리드 알고리즘이다. PS는 빠른 탐색 시간에 비해 지역해 (local solution)를 찾을 우려가 있다. 탐색 지점의 이웃해를 보다 유연하게 찾으면서 이를 SA과정에 통합함으로써 확률적 탐색과정을 거치도록 수정할 수 있다. 또한 TR을 결합하여 SA의 효율을 높임으로써 전체적인 탐색 시간을 크게 단축할 수 있다<그림 4>. <그림 5>의 테스트를 통해 T-APSSA가 기존의 알고리즘에 비해 탐색 횟수를 획기적으로 줄일 수 있다는 사실을 검증하였으며, 시뮬레이션과 연동된 외부 센서 데이터를 빠르게 처리할 수 있도록 support vector machine (SVM) 기법에 기반한 AI 알고리즘을 결합하였다<그림 6>. 이러한 컴퓨팅 논리는 PBD과정에서 디자이너들이 쉽게 사용할 수 있도록 Grasshopper™를 통한 BIM 플러그인으로 개발되었다. <그림 7>과 같이 T-APSSA는 EnergyPlus™ 시뮬레이션 엔진과 결합된 에너지 성능 최적화 디자인 컴포넌트로 컴파일 되었다. 이는 사용자가 디자인 변수와 형태를 입력하면 자동적으로 최적화된 형태를 찾아주

는 방식으로 구현된다. <그림 8, 9>는 이러한 인터페이스의 사용 예를 보여주며, 실시간 센서 정보가 연동된 시뮬레이션 상황에서 효과적으로 최적의 디자인을 찾을 수 있음을 증명하고 있다.

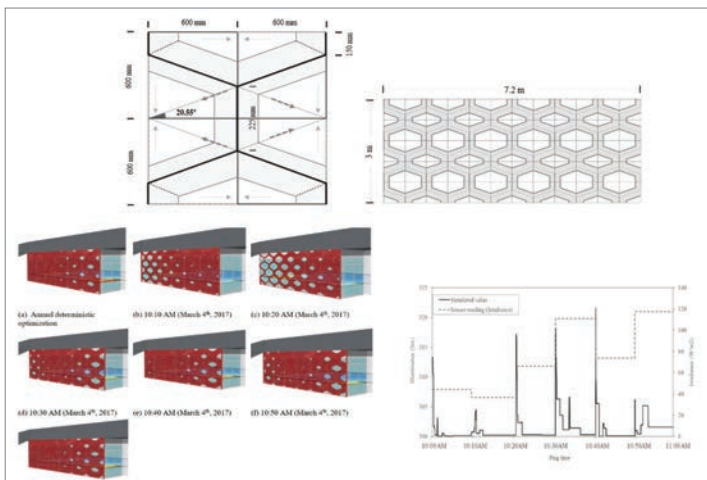


Yi, Hwang

Department of Architecture,  
Ajou University  
Associate Professor

아주대학교 공과대학 건축학과 건축설계·계획 분야 부교수로 재직 중이며, 기술융합을 통한 창의적인 건축이라는 주제로 연구 중이다. 미국 Florida International University 건축학과 (College of Communication, Architecture & The Arts) 조교수로 재직한 바 있으며, 서울대학교 건축학과를 졸업한 뒤, 삼우설계, 김영준 도시건축, Odile Decq 등에서 일하였다. 2016년 펜실베이니아 대학 (UPenn) 에서 건축학 박사학위를 받았다.

Yi is an assistant professor at Department of Architecture, Ajou University, leading the Architectural Design & Technology Lab. He received a Ph.D. in Architecture from University of Pennsylvania. Prior to joining Ajou, he was an assistant professor at the School of Architecture, College of Communication, Architecture & Arts, at Florida International University. His study takes a technological approach to architecture, pursuing an innovative integration of design and engineering for information-based environmental and computational design.



<그림 9> T-APSSA 디자인 적용 결과