



파사드 리클래딩에서 파라메트릭 설계를 통한 방위별 자가차양의 환경성능 구현 - 한화그룹 본사 파사드 리노베이션 프로젝트 분석 -

Parametric Design of Orientation-Based Self-Shading for Environmental Performance in Facade Recladding

- A Case Study of the Hanwha Group Headquarters Facade Renovation Project -

김희윤*

Heeyoun Kim*

* Registered Architect (BA, Netherlands / KIRA, South Korea), Associate, Senior Architect at UNStudio, Amsterdam, Netherlands (gimyun55@gmail.com)

ABSTRACT

Purpose: This study examines how parametric design was employed to achieve environmental performance in the recladding of an occupied high-rise, using the Hanwha Headquarters renovation by UNStudio as a case study. It addresses a gap in current literature: adaptive-facade research centers on dynamic systems and self-shading studies on new-build massing, while the parametric application of orientation-based geometry to recladding remains underexamined. The study interprets the reported performance rather than independently verifying it. **Method:** Drawing on interviews and technical accounts published by the design and engineering teams, the study reconstructs the parametric process behind the renovation (Seoul, 2013~2019). It examines how parametric tools resolved four conflicting constraints-structural retention, orientation-based performance, module standardization, and construction in an occupied building-and compares the realised approach against alternatives through counterfactual reasoning. As no controlled quantitative baseline can be reconstructed from the available sources, this comparison is qualitative. **Result:** A facade of 54 module types across 239 configurations accompanies a reported 39.6% cut in predicted annual operational energy and 71% avoided embodied carbon versus new construction; these figures reflect the whole-building recladding, not the contribution of any single component. The orientation-differentiated capping types and their parametric distribution simultaneously serve solar shading, daylighting, and BIPV mounting (~100kWp, ~3% of demand). By extending self-shading from the massing level to the module level, the study presents parametric design as a practical method for resolving multi-variable constraints in existing high-rises.

KEYWORD

파라메트릭 설계
파사드 리클래딩
환경성능
방위별 자가차양
정적 형태 차별화

Parametric Design
Facade Recladding
Environmental Performance
Orientation-Based Self-Shading
Static Shape Differentiation

ACCEPTANCE INFO

Received May 22, 2026
Final revision received Jul. 12, 2026
Accepted Jul. 16, 2026

© 2026. KIEAE all rights reserved.

1. 서론

1.1. 연구의 배경

한국 도심에는 1980년대에 건설된 후 외피 노후화로 인한 단열성능과 에너지 효율이 저하된 고층 건물이 다수 존재하는 한편, 오늘날의 탄소중립 정책 방향성과 G-SEED 인증은 건물의 내재탄소(Embodied carbon) 회피 및 운영 에너지 절감을 동시에 요구한다[1]. 이러한 관점에서 리클래딩은 기존 구조체를 보존한 채 외피만을 교체하지만 이는 단순히 외장재의 갱신이 아닌, 다수의 변수가 동시에 작용하는 프로세스로서 노후 건물 리노베이션 전략으로 주목받고 있으며[2], 기존 구조 보존이 신규 모듈의 치수를 한정하는 고정성, 건물의 일사 차단과 자연채광을 조절하는 방위별 성능목표, 모듈의 다양성과 표준화가 공존해야 하는 이중성, 그리고 건물의 운영을 유지한 채 진행되는 점유 중 시공이 고려되어야 한다[2]. 이러한 복합 조건은 도면 기반의 재래식 설계 방식으로는 구현에 한계를 가지게 되며, 데이터 기반의 효율적인 설계와 관리를 요한다.

1.2. 연구의 필요성 및 목적

이러한 리클래딩의 환경성능 개선과 관련된 국제 선행연구는 크게 세 가지 흐름으로 구분된다. 적응형 파사드의 유형 분류[3]와 기후 적응형 파사드의 파라메트릭 성능 평가[4]는 파사드의 동적 반응능력을 평가의 기준으로 설정한다. 또한 자가차양 외피는 신축 단계에서 매스의 형태를 조절하여 정적인 형태만으로 환경 반응성을 확보한다[5]. 국내 KIEAE 학술지에서도 파라메트릭 도구와 환경성능 시뮬레이션을 결합한 차양설계 연구가 확인되지만, 단일 방위 혹은 단일 성능지표를 다루는 데 집중한다[6,7]. 이러한 흐름 안에서, 기존 구조 보존의 제약 아래 방위별 자가차양 형태만을 통하여 환경성능을 성취하는 파라메트릭 리클래딩 설계는 충분히 다루어지지 않았다. 동적 시스템의 도입에 제정, 규제, 유지관리의 제약이 따르는 점을 고려하면[8], 리클래딩에서의 정적 파사드 시스템에 대한 연구는 더욱 요구된다.

1.3. 연구의 범위 및 방법

본 연구는 파라메트릭 설계가 어떻게 고층건물 파사드 리클래딩의 제약 조건 내 환경성능 달성에 활용되었는지에 대한 해석에 초점

을 둔다. UNStudio가 설계한 한화그룹 본사건물(이하 한화 HQ) 파사드 리노베이션(설계 2013-2014, 시공 2017-2019) 사례를 통하여 파라메트릭 방법론이 리클래딩의 다변수 조건에 적용된 방법, 정적인 형태를 통한 환경성능 구현, 그리고 파라메트릭 자가차양 설계의 방법론적 의의를 사례 기반으로 해석한다. 나아가 본 연구는 1차 자료가 보고한 결과로부터 모듈 시스템의 생성 논리를 재구성하여, 환경 성능을 결정하는 기능적 분화와 모듈 유형의 개수가 서로 다른 차원에서 결정됨을 규명한다. 이때 보고된 정량적 성과는 독립적으로 검증하지 않고 1차 자료로서 해석하며, 성능 논리만으로 설명이 힘든 비환경적 분화의 차원을 후속 연구의 출발점으로 남겨둔다.

2. 이론적 배경 및 선행연구

2.1. 리클래딩 시공방식의 제약

기존 건물의 외피개선 전략은 기존 외관을 유지한 채 구성요소를 부분 교체하는 리피팅(Refitting), 기존 외피 위에 레이어를 그대로 추가하는 오버클래딩(Overcladding), 기존 외피를 완전히 철거한 후 새로운 시스템으로 교체하는 리클래딩(Recladding)으로 구분된다. 이 구분 속에서 리클래딩의 성능 개선도 및 디자인 자유도가 가장 크지만, 그만큼 설계 문제의 복잡도 또한 높다[2]. 리클래딩의 설계 문제는 1.1절에서 제시한 제약들이 동시에 작용한다는 점에서 다른 유형들과 차이를 지닌다. 환경적 측면에서 리클래딩은 기존 구조체를 보존하며 내재 탄소 회피와 새 외피의 성능 향상을 통해 운영 에너지 절감을 달성하는데, 이는 G-SEED 인증에서 생애주기 관점의 평가에 정합된다[1].

2.2. 파라메트릭 설계와 리클래딩 제약과의 정합성

파라메트릭 방법론은 다음과 같은 특성을 통하여 단순한 형태 생성 도구를 넘어 리클래딩 설계에 정합적으로 적용될 수 있는 방법론적 잠재력을 가진다. 먼저 파라메트릭 모델은 패널의 치수, 각도, 배열과 같은 형태 제어 변수와 환경성능 목표, 구조의 하중, 시공의 순서와 같은 비형태 제어 변수를 동시에 연산할 수 있다. 한화 HQ의 설계자는 설계 과정을 기하학적, 비기하학적 프로젝트 데이터의 복잡한 집합체를 다루는 방식으로 평가한다[9]. 또한 설계자가 형태의 규칙을 설정하면 모델이 그 규칙에 따라 입력된 다양한 값을 토대로 대안들을 생성하고 설계자가 직접 평가 및 조정을 할 수 있다. 마지막으로 각 자재에 고유 번호를 지정하여 설계의 전 과정 안에서 추적 및 갱신이 가능하다[9]. 이러한 파라메트릭 설계의 특성을 리클래딩 시공방식의 제약과 연결하면, 서로 상충하는 다수의 제약과 환경성능 목표를 단일 통합 모델 안에서 동시에 처리할 수 있게 하는 방법론으로서 가치를 지닌다.

2.3. 적응형 파사드와 자가차양 외피에 대한 선행연구

선행 연구는 적응형 파사드를 10개 유형(Active, Passive, Biomimetic, Kinetic, Movable, Responsive, Interactive, Intelligent, Smart, Switchable)으로 구분하며, 이 분류체계는 고정된 차양시스템이 계절에 따른 환경 변화 대응 능력이 제한적이라는 가정을 기반으로 동

Table 1. Recladding constraints and parametric responses

Recladding constraint	Parametric response
Fixed existing geometry	Structural constraints as parameter inputs
Conflicting orientation targets	Orientation-branched rules in single model
Diversity vs. Standardisation	Many variants from few generative rules
Precision under occupancy	Unique-numbering for component tracking

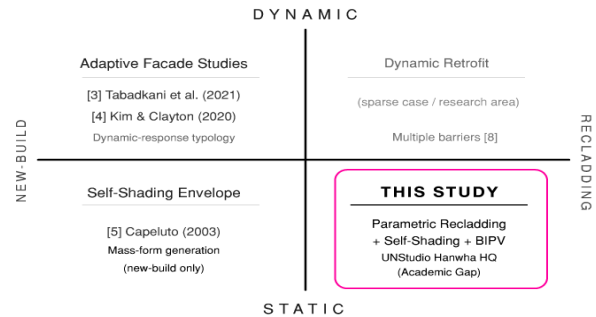


Fig. 1. Literature map and research position (diagram by the author)

적 외피의 적용 가능성을 염두에 둔다[3]. 이 유형들은 작동 방식, 제어 시스템, 혹은 스마트 재료가 존재한다는 전제를 바탕으로 동적 요소가 없는 유형도 연구에 포함되지만, 이러한 분류 체계 자체는 운영 단계에 있는 파사드의 동적 반응 성능에 기준을 둔다. 기상 상황에 반응하는 형태 및 재료의 특성이 변화하는 파사드에 대한 연구 또한 이러한 기준에 부합한다[4]. 전통적 자가차양 외피 연구는 건축물이 시공된 후 운영 단계에서 어떠한 동적인 작동이 없이도, 설계 단계에서 매스의 형태 조절을 통하여 일정 기간 자가차양의 기능을 수행하는 방법을 제시한다.

이 과정에서 방위의 차별화가 핵심 변수로 작용하며, 자가차양 외피의 방위별 차별화가 알고리즘화된다. 이는 신축 단계의 매스 또는 도시 내 배치 형태를 대상으로 한다[5]. 한화 HQ를 분석하는 본 연구는 자가차양 외피의 특징을 건물 매스의 형태가 아닌 기존 매스의 외피 단위에 적용하고, 이를 단일 형태가 아닌 방위별로 차별화된 파라메트릭 모듈 시스템으로 구현했다는 점에 주목한다. 적응형 파사드의 분류가 동적 반응 성능을 기준으로 한다는 점과 전통적 자가차양 외피가 신축을 통한 건물 매스 설정을 전제로 한다는 점에서, 파라메트릭 리클래딩을 통한 방위별 자가차양 구현은 학술적 공백을 점유한다. 또한 동적 적응형 파사드의 리클래딩 적용 시스템에 따르는 재정·규제·유지관리 부담[8]이 기본 구조 보존이라는 추가 제약과 결합되어 실현된 사례가 보고되지 않으며, 따라서 본 연구의 학술적 위치를 Fig. 1.과 같이 정리할 수 있다.

3. 연구 방법론

3.1. 사례 선정 및 분석절차

한화 HQ는 완공된 프로젝트로서 리노베이션 전후 에너지 성능에 관한 1차 자료가 공개되어 있으며[9,10], 설계·엔지니어링 주체

Table 2. Research methodology framework

Stage	Content	Sources
1. Methodological Reconstruction	Reconstruct parametric process from primary sources	[9~11]
2. Performance Interpretation	Interpret energy, BIPV, and embodied-carbon data as methodological outcomes	[9~11]
3. Counterfactual Comparison	Analyse decision structure; counterfactual reasoning against alternatives	[2,3,5,8]

가 공개한 1차 자료(인터뷰·기술 기록)를 활용 가능하며, 한국 도심에 위치한 고층 건물이라는 본 연구의 맥락에 부합한다. 다만 한화 HQ의 공개된 성능 수치는 프로젝트 측이 시뮬레이션과 산정을 통해 보고한 값으로, 그 일부는 리노베이션 후 단계의 예측치를 포함한다[9]. 또한 리클래딩의 전방위적 제약이 적용된 상황에서 파라메트릭 설계를 통하여 방위별 자가차양 파사드에 BIPV를 통합한 사례이다. 한화 HQ는 이러한 조건을 기반으로 본 연구의 분석 사례로 선정되었다. 본 연구는 공개된 1차 자료를 바탕으로 파라메트릭 설계의 적용 과정과 성과를 정성적으로 해석하는 귀납적 사례 연구이며, 활용 자료의 일부는 학술적 동료심사를 거치지 않은 전문지 기고다. 본 연구는 이러한 자료에 대한 근접성이 보고된 성능을 외부에서 독립적으로 검증할 관점을 제공하지 않음을 한계로 인식하는 한편, 그것을 공개 문헌만으로는 재구성하기 어려운 모듈 시스템의 생성 논리에 접근하는 기반으로 활용한다. 따라서 본 연구는 환경성능을 독립적으로 검증하는 성능 검증 연구가 아니라, 보고된 성과를 파라메트릭 설계 방법론의 관점에서 해석하는 사례 기반 연구이다. 분석은 Table 2.의 3단계로 구성된다.

이 중 3단계의 반사실적 비교(Counterfactual Comparison)는 본 연구가 채택한 접근을, 동일 목표를 달성할 수 있었던 대안적 접근들과 대조하는 방식으로 수행되며, 그 비교의 측·기준과 채택안(Table 4.의 ④)의 세부 평가는 4.4절에서 제시된다.

4. 사례 분석: 한화 HQ 파사드 리노베이션

4.1. 프로젝트 배경

한화 HQ는 1980년대에 청계천 변에 건립된 지상 29층, 연면적 57,888m²의 업무용 고층 건물이다. 기존 외피는 파라펫 벽과 글레이징으로 구성되어 냉난방 부하와 단열 불량 문제가 발생하고 있었다[11]. 2013년 국제 지명 공모를 시작으로 설계가 시작되어 2017년부터 2년여에 걸쳐 리노베이션이 진행되었으며, 다음 네 가지의 제약 조건이 있었다.

① H형강 합성슬래브 구조로 구성된 기존 층고와 기둥 간격을 그대로 보존하는 구조 제약[10]이 존재하였다. ② 대지의 위치로 인하여 4방위 모두 일사 범위에 포함되었고 인접 건물 차폐 문제와 도시 조망이 전부 다른 환경에 노출되어 있었으며, 동·서향 입면 면적이 기존 건물의 특성상 남·북향에 비해 좁게 형성되어 있는 방위별 다변화 조건[9,10]에 처해 있었다. ③ 다양한 모듈 시스템을 채택하면서도 시공비와 효율을 위한 표준화가 요구되었다[9,10]. ④ 건물의 운



Fig. 2. Hamwha HQ During Facade Reconstruction (left) and After Completion (right) (photo: © Rohspace, courtesy of UNStudio)

영을 유지하며 3개층 단위로 순차 시공하는 Remodeling in Place 방식이 채택되어 점유 중 시공(Fig. 2. 참조)이 이루어졌다[9,10]. 이 네 조건이 동시에 작용하는 상황에서, 방위별로 차별화된 성능 목표를 가진 시공 가능한 모듈 체계가 필요하였으며, 태양광 생산 기업이라는 발주처의 배경 속에서 BIPV 활용이 설계 조건의 하나로 포함되었다[9,11].

4.2. 파라메트릭 설계 프로세스 분석

본 절은 1차 자료가 보고한 최종 결과(54종의 모듈, 239개 구성)로부터, 그 결과를 산출한 생성 규칙의 위계를 재구성한다.

1) 입력 제약과 설계 파라미터의 구조

UNStudio의 파라메트릭 모델은 프로그램 분포, 실내 기후, 환경 조건이 Input 파라미터로 단일 모델 내에서 통합적으로 연산되었다[9]. 이 연산에는 외피 및 지속가능성 컨설턴트가 수행한 일사·음영·자연채광·열 쾌적성·에너지·글레이징·LCA 시뮬레이션이 산출한 데이터가 설계 변수로 작용하였으며[10], 모듈 형상은 Rhino Grasshopper를 통한 알고리즘으로 결정되었다[10]. 이때 기존의 기둥과 슬래브 외곽선은 변경이 어려운 조건으로서 모듈 형태의 범위를 한정하는 제약 조건으로 작용하였으며[11], 이는 다중 시뮬레이션의 정량적 정보가 리클래딩 고유의 구조적 제한 조건 안에서 단일 파라메트릭 모델로 통합된 사례이다.

2) 환경 결정 규칙: 방위와 일사에 따른 캐핑 깊이

자가차양 파사드 형태의 핵심인 파사드 모듈의 캐핑(Capping)은 방위별로 그 깊이에 차별화된 유형으로 정리되며, 남향의 깊은 캐핑 유형은 일사를 차단하고 BIPV 설치 면적을 확보하며, 북향의 얇은 캐핑은 확산광 유입을 통하여 실내의 자연채광 환경에 기여한다[10,11]. 전체 파사드의 투명도는 55%로[9], 이는 저성능 유리로 구성된 리노베이션 이전의 파사드보다 일사 부하를 감축하면서도 사무실 내부 이용자의 조망 조건을 최적화하는 지점에서 층별 파사드의 분할이 결정되었다(Fig. 3. 참조). 본 연구는 방위와 파사드 입면에 투영되는 일사의 정도가 환경 반응을 파사드의 모듈별 캐핑 깊이

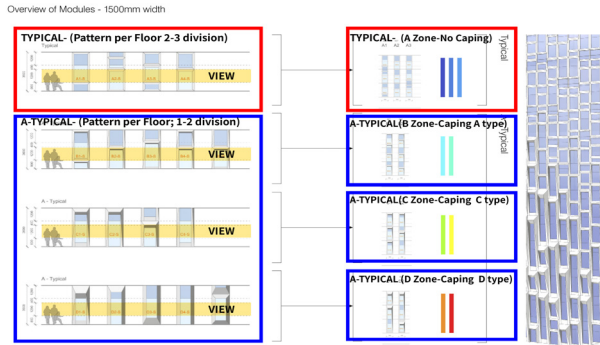


Fig. 3. Parent-child module hierarchy diagram (source: UNStudio)

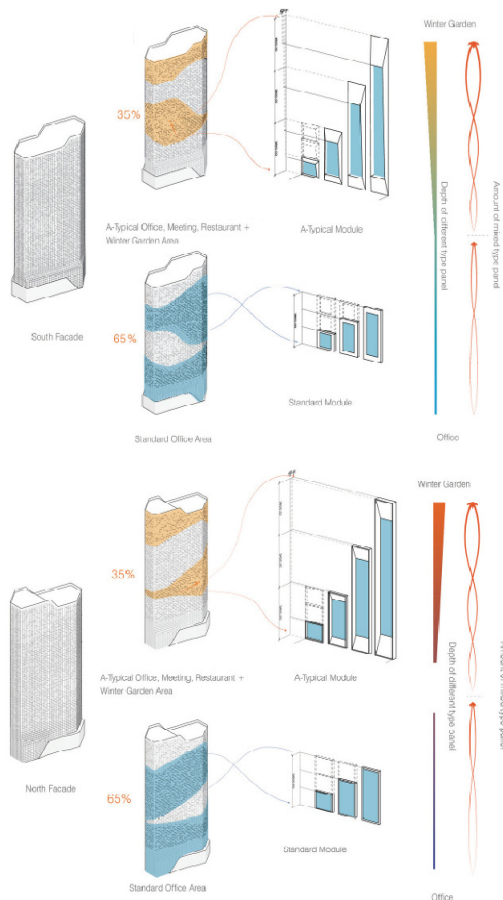


Fig. 4. Orientation-based capping depth: North vs. South Facade (source: UNStudio)

라는 단일 형태 변수로서 작동한 것으로 분석한다.

3) 분화·분포 규칙: 모듈 유형의 파생과 배치

환경적 조건에 따른 형태적 깊이의 규칙을 기반으로, Parent-Child 위계 구조를 통해 세부 모듈이 파생되었다[9]. 방위별 캐핑 깊이는 Parent에 해당하는 기본 형태 프레임의 핵심 변수로, Child 세부 모듈은 이 Parent 프레임으로부터 한정된 변이의 범위 안에서 파생되어 모(母) 모듈의 변형이 자(子) 모듈로 연쇄되는 구조를 이룬다[9]. 설계자는 이를 Parent-Child 위계 구조로 칭하고 있으나[9] 이를 설명하는 다이어그램 안에서는 정형(Typical)-비정형(Atypical) 모듈

Table 3. Reported and predicted environmental performance: Before and after recladding

Item	Before	After	Change	Basis	Source
Annual energy	401.5 kWh/m ²	242.4 kWh/m ²	-39.6%	Whole bldg, projected	[9]
Heating	-	-	-36%	Typical floor vs. pre-renovation	[10]
Lighting	-	-	>-26%	Typical floor vs. pre-renovation	[10]
BIPV capacity	-	~100kWp (~3% demand)	-	Facade+ roof PV	[10]
BIPV Yield	-	~800 kWh/m ²	-	Reported supply	[9]
Embodied carbon	-	-71% vs. new build	-	LCA vs new build	[10]
Transparency	Low	55%	-	Facade transparency	[9]

로 정의되고 있다. 또한 일사 부하가 큰 상층부인 Eye Zone과 일반 범위인 Regular Zone이 구분되고, 동일 방위 내에서도 일사 강도에 따라 차등된 깊이의 모듈이 적용되었다[10]. 정형 모듈과 비정형 모듈은 서로 다른 수의 세부 모듈로 구성되었으며[9], 각 범위 안에서 모듈은 “Controlled Randomness” 프로세스로 분포되어 다양한 외관 속에서도 패턴을 유지하였다[9]. 즉 파라메트릭 모델은 방위·일사가 결정하는 환경적 깊이와 배치 규칙과 외관의 다양성을 생성하는 비환경적 분포 규칙을 단일 위계 안에서 분리된 채로 양립시켰다. 이러한 규칙의 결합을 통해 최종적으로 54종의 모듈이 239개 구성으로 배치되었고(Fig. 4. 참조)[9,10], 각 부품에 부여된 고유 번호가 점유 중 시공 과정에서 공정상의 정밀도를 확보하였다[9,10]. 정리하면, 본 연구는 한화 HQ의 모듈 시스템을 파라메트릭 설계로 인한 환경 반응을 단일 캐핑 깊이와 위치를 정의하는 규칙과 모듈 유형의 개수를 생성하는 비환경적 분포 규칙이 위계적으로 결합된 생성 체계로 분석한다.

4.3. 환경성능 결과 해석

리노베이션 전후의 환경성능을 Table 3.에 비교한다.

본 연구는 보고된 절감 수치를 통하여 캐핑의 형태·새 글레이징의 단열성능·BIPV 발전·기계 시스템의 각 요소별 인과 기여도를 분해하지 않고 파라메트릭 자가차양 방법론이 다양한 변수를 통합적으로 처리한 결과로서 해석한다. 즉 본 연구는 환경성능의 개선이 파라메트릭 설계 단독에 기인한다고 주장하는 것이 아니라, 서로 상충하는 방위별·다중 환경성능 목표를 단일 모델 안에서 동시에 해결할 수 있게 한 가능 조건(enabling condition)으로서 파라메트릭 설계의 역할에 분석의 초점을 둔다. 리클래딩에서 환경성능 달성의 본질적 어려움은 개별 성능의 향상 자체보다, 단일 캐핑 깊이 변수가 상충하는 목표에 동시에 묶인다는 데 있다. 깊은 캐핑은 일사를 차단하고 BIPV 면적을 확보하나 채광을 줄이고, 얇은 캐핑은 채광을 확보하나 차양을 포기한다. 깊이의 변이 폭은 보존된 구조 그리드가 상한으로 고정하며, 점유 중 시공을 위한 표준화는 유형 수를 다시 제한한

Table 4. Counterfactual comparison of Facade approaches

Approach	Recladding	Occupied construction	Multi-orient adaptation	O&M	BIPV	BASIS
① Dynamic adaptive	Structure conflict; unproven	Hard (Moving parts)	Yes; complex controls	High (sensors)	Separate System	[8]
② New-build mass	N/A (mass fixed)	New build only	Mass geometry	Low (static)	Mass slope	[5]
③ Static minimal capping	Applicable	Suitable	Limited (few types)	Low (static)	Limited	Inferred from [10]
④ Parametric multi-type (built)	Applicable (per panel)	Staged, per module	4-orientation differentiated	Low (static)	In capping slope	[9,10]



Fig. 5. BIPV Integrated Facade (photo: © Rohspace, courtesy of UNStudio)

다(Table 4. 참조). 따라서 각 깊이 값은 하나를 우선하면 다른 하나가 어긋나는, 결합된 제약의 동시 해로서만 성립하며, 파라메트릭 설계는 이 상충을 통합 모델 안에서 조정함으로써 다중 성능의 동시 달성을 가능하게 하였다. 각 요소의 정량적 인과 분해는 향후 독립적인 시뮬레이션 연구의 과제로 남는다.

Table 3.의 각 수치는 산정 기준이 상이하다. 난방과 조명은 원자료가 대표 층 기준의 절감률만을 제시하고 절대 소비량은 보고하지 않아 표에서 전후 절감률을 비워두었으나, 이는 자료의 불완전성이라기보다 외피 교체의 성능 효과가 각 기준층의 외주부(perimeter zone)에서 발생하는 리클레딩의 개입 특성에 정합하는 산정 단위로 볼 수 있다[10]. 난방 에너지 36% 및 조명 에너지 26% 이상의 절감은 시뮬레이션 값으로 새 파사드의 단열성능 개선과 자연채광 효율성 증대의 복합 효과이며[10], 연간 에너지소비 39.6% 감축은 건물 전체를 대상으로 한 리노베이션 후 단계의 예측치다[9]. 71%의 내재 탄소 회피는 기존 구조체 존치를 통하여 철거 후 신축 시 발생할 탄소 배출과 비교한 생애주기(LCA) 산정에 근거한다[10]. 또한 보고 시점에서 건물 전체의 실측 소비량은 거주자가 모든 층으로 복귀한 이후에야 확정될 수 있는 것으로 유보되어 있었으므로[9], Table 3.의 값들은 대부분 시뮬레이션과 산정에 근거한 예측·보고치이며 사후 실측치가 아니다.

BIPV 시스템 용량은 출처에 따라 표기 차이가 있으나, 본 연구는 프로젝트 엔지니어(Arup)의 직접 진술이 포함된 Reid (2020)의 약 100kWp를 정량 기준으로 채택한다[10]. 이 용량은 건물 에너지 수요의 약 3%를 담당하는 규모로, 발전량만을 단독 지표로 보면 형태

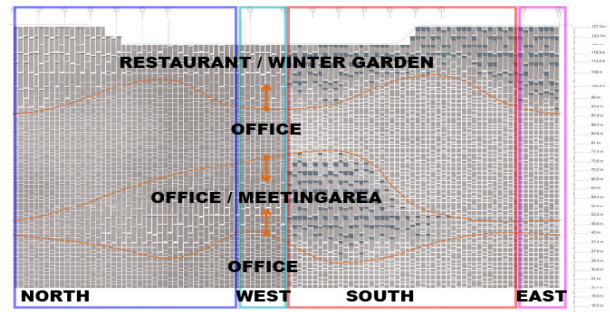


Fig. 6. BIPV module distribution (source: UNStudio)

적 분화의 정도에 비해 큰 비중이라 보기 어렵다. 그러나 본 사례에서 BIPV는 독립적으로 평가되는 발전 설비가 아니라, 캐핑이라는 단일 기하학이 결정하는 세 가지 환경 변수—일사 차단, 자연채광 조절, 발전 표면 확보—가운데 하나로 통합되어 있다. 한화 HQ의 캐핑 경사면은 차양면과 발전면을 동일 기하학 안에서 동시에 성립시키며(Fig. 5. 참조)[12], BIPV의 의의는 발전량의 절대 비중이 아니라 추가 부재나 별도 시스템 없이 동일 형태 요소가 발전 기능을 함께 수행하도록 통합된다는 점에 있다. 다만 BIPV 시스템의 입면 분포는 4방위에 균등하지 않으며, 남향 및 남동향에 집중되어 있다[9].

본 연구는 이러한 비대칭을, 발전 효율이 낮은 위치의 패널을 연산적으로 배제한 시뮬레이션 기반 선별의 결과로 추정·분석한다. Reid (2020)에 따르면 설계 팀은 일사 시뮬레이션을 통해 과도하게 음영이 발생하는 패널을 제거하고, 글레어 분석을 통해 주변 건물에 시각적 영향이 큰 패널을 배제하였으며, 음영 분석에 근거하여 패널을 수직으로 연결해 발전 효율을 확보하였다[10]. 이때 동·서향 입면이 남·북향에 비해 협소하다는 기존 건물의 기하학적 제약(4.1 ②)은 파라메트릭 모델이 유도한 결과가 아니라 1980년대 기존 구조로부터 강제된 변경 불가능한 물리적 경계조건으로서 발전면의 물리적 상한으로 작용하였다. BIPV의 남·남동향 집중은 이 고정된 경계조건이 설정한 잔여 입면 영역 안에서 앞의 일사·글레어 시뮬레이션 기반 연산적 선별(pruning)이 수행된 결과로, 패시브한 형태 제약(향별 모듈 배치)과 액티브한 알고리즘(실내 프로그램 구분) 선별의 선후가 구분된다(Fig. 6. 참조).

4.4. 파라메트릭 방법론의 의의

1) 복잡한 조합의 처리능력

4.2에서 재구성한 생성 체계—환경 결정 규칙과 비환경적 분화·

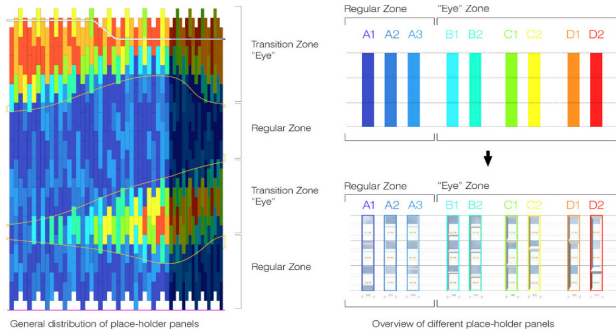


Fig. 7. Facade assembly; parametric module distribution (source: UNStudio)

분포 규칙의 위계적 결합(Fig. 7. 참조)—가 단일 모델 안에서 동시에 제어된 설계 과정은 재래식 도면 기반의 설계 방식으로 구현하기 힘든 규모이다. 파라메트릭 모델은 이 관계성을 알고리즘으로 정의하고 관리하였다[9,10].

2) 단일 외형 규칙 내 다중 성능

4.2에서 분석한 유형 정의와 파라메트릭 분포 결정의 결합 속에서, 캐핑이라는 단일 요소는 다음과 같은 세 가지의 환경성능을 동시에 결정하였다. ① 캐핑의 돌출을 통하여 직사광선 차단 기능을 수행하였고[9,11], ② 캐핑의 경사면에 BIPV가 설치되어 발전 표면을 확보하였으며[9,12], ③ 얇은 캐핑의 유형은 개방도가 증가되어 실내 자연채광 효율을 증가시켰다[9].

파라메트릭 설계는 이러한 단일 접근법을 4방위에 일률적이지 않은 차별화된 결과로 도출하였다. 4.3이 성능을 구성하는 개별 요소(글레이징·BIPV·기계 시스템 등)의 인과 기여도를 분해하지 않는 것과 구별되는 차원에서, 본 연구는 이 환경성능을 결정하는 기능적 분화는 1차 자료가 환경 범주로 명시한 방위와 입면 내 일사 강도(Eye/Regular)[10]라는 두 축의 소수 범주가 정의하는, 유한한 등급의 깊이 조건으로 규정되는 것으로 분석한다. 4.3에서 관찰된 남·남동향으로의 BIPV 집중은 이 환경 범주를 확장하는 추가 방위가 아니라, 분포 단계의 연산적 선별이 낳은 결과이다. 본 연구가 채택한 파라메트릭 다유형 캐핑(④)을 동일 목표를 달성할 수 있었던 대안적 접근들과 리클래딩·점유 중 시공 조건에서 대조한 비교의 축과 기준은 Table 4.와 같다.

방위당 단일 깊이로 단순화한 정적 최소 유형(Table 4.의 ③)은 동일 방위 내 일사 강도 차(Eye/Regular)를 반영하지 못해 일부 구역을 과도하게 차양하거나 고부하 구역을 미흡하게 차양하며, 본 연구는 ③과 ④의 차이를 미관이 아니라 입면 내 일사 강도에 대한 대응 해상도의 차이로 분석한다. 따라서 실현된 54종의 모듈 유형 개수는 환경적 분화만으로는 조합적으로 산출될 수 없으며, 그 개수의 분화는 4.2에서 분석한 비환경적 분포 규칙(Controlled Randomness)이 담당한 결과이다. 이때 결합해 함께 풀리는 것은 상충하는 환경 제약들 사이일 뿐, 성능을 결정하는 환경 자원과 유형 개수를 생성하는 비환경적 분화 자원은 분리된 채로 양립한다. 파라메트릭 설계의 불가결성은 이 깊이 등급의 개수가 아니라, 각 깊이 값을 결합된 상충 제약의 동시 해로 도출하고 그 위에 비환경적 분화를 충돌 없이 수용

한 연산의 차원에 있다. 2.3절에서 언급한 바와 같이 전통적 자가차양 외피의 방법론은 신축 단계의 매스 형태를 조절하여 방위별 차별화로 환경성능을 확보하지만, 한화 HQ의 방위별 캐핑 유형 차별화는 동일한 방위별 자가차양 원리를 파라메트릭 설계로 파사드 모듈 단위에서 구현한 것으로 해석된다. 또한 운영 단계에서 물리적 작동이나 능동 반응을 전제로 하는 반응형 외피와는 달리[3], 한화 HQ의 방위별 캐핑 유형 분포는 시공 이후 별도의 변화 없이도 방위별 환경조건에 대응하는 정적인 외피로서 작동한다. 일부 자료가 본 시스템을 “responsive”로 기술하나[10], 이는 가동부를 통한 능동적 작동이 아니라 고정된 형태가 환경조건에 수동적으로 대응함을 의미하며, 본 연구는 이를 정적 자가차양 외피로 규정한다. 같은 맥락에서, Table 4.의 ① 동적 적응형 파사드는 본 사례의 시공 조건과 양립하기 어렵다. 거주자가 점유한 상태에서 3개 층 단위로 순차 진행된 Remodeling in Place 방식[10]에서, 구동부·센서·전기 배선을 수반하는 동적 시스템[3]은 공사 중 소음·진동과 공정 간섭을 키우고, 보존된 기존 구조에 별도 부재와 운영·유지관리 부담[8]을 더한다. 본 연구는 이러한 조건의 결합이 동적 시스템을 본 사례에서 현실적으로 배제한 반사실적 근거로 작동한 것으로 분석한다.

5. 결론

5.1. 연구 결과와 시사점

본 연구는 파라메트릭 설계가 고층 건물 파사드 리클래딩의 제약 조건 내에서, 방위별 자가차양 파사드의 유형화와 배치를 통해 환경성능 달성에 기여한 방법론적 틀이었음을 한화 HQ 사례를 통하여 해석하였다. 기존 구조 보존, 4방위별 성능 목표, 모듈의 다양성과 표준화의 이중성 해결, 점유 중 시공이라는 네 가지 제약 속에서 파사드 형상을 결정하는 변수와 비형상 변수의 동시 연산, 최소한의 규칙 적용을 통한 다수의 유형 생성 자동화, 고유 넘버링 시스템 도입이라는 세 가지 방법론이 구조적으로 정합하며 작동하였다. 그 결과 54종의 모듈이 239개 구성으로 차별 배치되었고, 외피 교체와 설비 개선이 종합된 리노베이션의 결과로서 보고된 운영 에너지 39.6% 절감[9]과 신축 대비 내재 탄소 71% 회피[10]가 달성되었으며, 방위별로 차별화된 캐핑 모듈의 유형이 파라메트릭 프로세스를 통해 분포되며 일사 제어, 자연채광, BIPV 발전이 동시에 구현된 것으로 해석된다. 이러한 복잡도를 가진 모듈 조합 안에 다양한 변수를 동시에 통합하여 설계하는 방식은 기존 도면 기반의 재래식 설계로는 구현 난이도가 현저히 상승하며, 더 단순한 정적 시스템으로는 이러한 다방위 동시 대응에 한계가 있다는 점에서(Table 4. 참조), 상충하는 다방위·다중 제약을 단일 모델 안에서 동시에 해결하는 연산의 차원에서 파라메트릭 설계는 본 사례의 환경성능 달성에 불가결한 방법론적 토대였다고 볼 수 있다. 이로써 본 연구는, 동적 반응 능력과 신축 매스 형태를 전제로 해 온 선행연구[3~5] 대비, 정적 파사드를 통한 파라메트릭 리클래딩이 가지는 가능성을 확장하며, 다방위·다중성능 통합과 BIPV 결합이라는 새로운 관점을 더한다. 이때 본 연구의 기여는 파라메트릭 설계가 다변수 문제를 처리한다는 일반적 사실에 있는 것이 아니라, 신축 매스 단계에서 논의되어 온 방위별 자

가차양 원리[5]를 기존 구조 보존이라는 경계조건 아래 파사드 모듈 단위로 이전하여 해석하고, 그 환경적 분화가 방위와 일사 강도가 규정하는 한정된 깊이 등급 안에서 결정됨을 준공·점유된 실제 사례로부터 재구성하였다는 점에 있다. 또한 파라메트릭 설계를 단순히 상징적 미관 생성을 위한 도구가 아닌, 기존 건물 리클레딩의 실용적 방법론으로서 활용하는 근거를 제시한다. 방위별 자가차양 파사드는 동적 운영을 동반하는 파사드 대비 시공 및 유지관리 부담 없이 다중 환경성능 목표를 달성하는 현실적 대안이자, 한국 도심에 아직 현존하는 1980년대 시공 노후 고층 건물에 적용 가능한 방법론이다.

5.2. 연구 한계 및 후속 연구

본 연구는 독립적인 시뮬레이션이나 성능 측정을 수행하지 않은, 1차 자료에 기반한 정성적 사례 해석 연구이다. 특히 정량 성과는 프로젝트 측이 보고한 값이자 그 일부는 동료심사를 거치지 않은 기록이다. 본 연구는 정량적 가상 대조군 시뮬레이션 대신 채택안을 대안적 접근들과 대조하는 정성적 반사실 비교(Table 4.)를 수행하였다. 보고된 성능 수치를 실제 건물에서 재현하는 절대적 검증은 기존 구조체 치수·글레이징 사양·주변 차폐·실내 부하 등 1차 자료로 공개되지 않은 입력값의 임의 가정을 전제하므로 본 연구의 범위를 벗어난다. 다만 동일한 입력 조건을 공유 대조군에 고정하여 캐핑 기하의 차별화만을 변수로 두는 상대적 성능 비교는 그 임의성이 차이에서 상쇄되는 접근으로서, 후속 정량 연구의 가능한 경로로 남긴다. 또한 본 연구는 단일 사례 연구로서, 환경 차원과 비환경적 분화 차원을 분리하여 파악한 해석이 다른 기후대·매스 비례·타 설계자의 프로젝트에서도 동일하게 작동하는지, 그리고 다유형 모듈의 제작·조달 등 실무 조건 아래에서도 성립하는지는 복수 사례의 비교 연구(Multiple Case Study)를 통해 검증·보완되어야 한다. 다만 파라메트릭 리클레딩을 통해 환경성능을 향상시킨 실제 준공·점유 사례가 희소한 현실점에서, 본 사례의 심층 분석은 후속 비교 연구의 기준점으로서 의의를 가진다. 아울러 본 연구는 환경성능의 관점에 분석을 집중하였으며, 비환경적 분화의 차원은 의도적으로 후속 과제로 남겨두었다. 본 연구가 4.4에서 규명하였듯, 환경성능을 결정하는 기능적 분화는 방위와 일사 강도의 조합이 규정하는 한정된 깊이 등급 안에서 결정되며, 실현된 54종의 모듈 유형 개수와는 독립된 차원에서 결정된다. 따라서 한화 HQ의 54종이 만드는 형태적 복잡도는 환경성능 최적화만으로는 환원되지 않으며, 별도의 가치를 기준으로 한 분석을 필요로 한다.

설계자가 언급한 “자연에서 영감을 받고 환경에 의해 구동되는 디자인”이라는 발주 조건[9], 그리고 글로벌 태양광 기업이라는 발주처의 정체성이 외피의 가시적 표현에 미치는 영향, 도시 맥락에서의 랜드마크적 존재감 등은 비환경적 이해관계가 형태적 복잡도를 제어하는 별도의 전제로서 추정되며, 그 구체적인 관계는 후속 연구의 과제이다. 본 연구에서 해석한 파라메트릭 자가차양 방법론의 환경 성능적 의의를 기반으로, 환경적·비환경적 이해관계가 단일 프로젝트 내에서 어떻게 통합되는지에 대한 메커니즘을 규명하는 연구가 후속되어야 한다.

References

- [1] Y.S. Jeong, Multi-faceted analysis of green building certification to expand green buildings in South Korea, *Buildings*, 15, 2025, 4332.
- [2] D. Trabucco, P. Fava, Confronting the question of demolition or renovation of high-rise buildings, *CTBUH Journal*, 4, 2013, pp.38-43.
- [3] A. Tabadkani et al., Design approaches and typologies of adaptive facades: A Review, *Automation in Construction*, 121, 2021, 103450.
- [4] M. Kim, M.J. Clayton, Parametric behavior maps: A method for evaluating the energy performance of climate-adaptive building envelopes, *Energy and Buildings*, 219, 2020, 110020.
- [5] I.G. Capeluto, Energy performance of the self-shading building envelope, *Energy and Buildings*, 35(3), 2003, pp.327-336.
- [6] 고성학, 파라메트릭 디자인 툴을 이용한 루버 디자인과 파라미터 고찰, *KIEAE Journal*, 제20권 제2호, 2020.04, pp.93-101. // (S.H. Ko, A louver design method using parametric design tool and consideration for parameters, *KIEAE Journal*, 20(2), 2020.04, pp.93-101.)
- [7] 김유겸, 김흥민, 주광 시뮬레이션 분석을 활용한 리모델링 프로젝트의 파사드 디자인 최적화 프로세스, *KIEAE Journal*, 제24권 제5호, 2024.10, pp.61-74. // (Y.G. Kim, H.M. Kim, Facade design optimization process for adaptive reuse projects using daylight performance simulation, *KIEAE Journal*, 24(5), 2024.10, pp.61-74.)
- [8] A. Assadimoghadam et al., Adaptive facades for high-rise residential buildings: A qualitative analysis of the design parameters and methods, *Buildings*, 15, 2025, 2072.
- [9] B. van Berkel, Hanwha headquarter office tower remodeling (Interviewed by S. Lee), *SPACE*, 622, September 2019, CNB Media, Seoul, pp.88-97.
- [10] R.L. Reid, New modular facade adorns renewable technology firm's HQ, *Civil Engineering Magazine*, December 2020, American Society of Civil Engineers (ASCE).
- [11] A. Piber, High-rises from the past and for the future, Chicago: Proceedings of the CTBUH 10th World Congress: 50 Forward, 50 Back, Council on Tall Buildings and Urban Habitat, 2019, pp.79-86.
- [12] D. Fernando et al., Study of technological advancement and challenges of facade system for sustainable building: Current design practice, *Sustainability*, 15, 2023, 14319.