creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

조경학석사 학위논문

Grasshopper를 활용한 파라메트릭 포장 패턴 설계 기법 개발

Technique Development of Parametric Paving Pattern Design Using Grasshopper

2023년 2월

서울대학교 환경대학원

환경조경학과

전 소 현

Grasshopper를 활용한 파라메트릭 포장 패턴 설계 기법 개발

지도교수 이 유 미

이 논문을 조경학석사 학위논문으로 제출함
2022년 10월

서울대학교 환경대학원
환경조경학과
전 소 현

전소현의 석사 학위논문을 인준함
2022년 12월

위 원 장 _____ (인)

부위원장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

Grasshopper를 활용한 파라메트릭 포장 패턴 설계 기법 개발

서울대학교 환경대학원 환경조경학과
전 소 현

위 논문은 서울대학교 및 환경대학원 환경조경학과 학위논문 관련 규정에 의거하여 심사위원의 지도과정을 충실히 이수하였음을 확인합니다.

2023년 2월

위 원 장 _____ (서울대학교 환경대학원 교수)

부위원장 _____ (서울대학교 환경대학원 교수)

위 원 _____ (서울대학교 환경대학원 교수)

초 록

Grasshopper를 활용한 파라메트릭 포장 패턴 설계 기법 개발

전소현
서울대학교 환경대학원 환경조경학과

조경에서 바닥 포장은 시설물과 식재 면적을 제외한 설계 공간의 대부분을 이룬다. 선행연구에 따르면 포장은 이용자 시야에서 부감으로 인식되며 보행 쾌적성에 영향을 미치는 주요 요소이다. 이외에도 표면 배수를 통해 도심 열저감 효과, 홍수 예방 등 도시 문제를 완화하는 투수 기능을 수행하기에 기능적 측면에서도 다양한 포장 기법이 주목받고 있다. 서울시에서는 도시환경 개선의 측면에서 투수 포장을 권장하고 있으며, 이에 관해 포장의 색채 및 재료를 통한 패턴 설계에 대한 고민은 지속해서 이루어졌으나 기능적 측면과는 독립적으로 고려되었다. 보행 쾌적성과 배수 기능은 상충하는 요소로 작용할 수 있기 때문에 포장 패턴 설계에 있어 배수 기능을 확보하는 고려는 미흡하였다고 보았다.

근대 이후 디지털 기술 발전에 따라 새로운 디자인 접근방식이 가능해지면서 최근에는 기존 설계의 한계를 극복하기 위한 방법으로 파라메트릭 디자인 기법이 주목받고 있다. 기술의 발전은 3D Print, CNC 기법과 같은 공법에서 새로운 재료를 탐색하도록 만들었고 재료 활용의 확장과 동시에 다양한 형태, 패턴 형성, 디자인과 기능 간의 연계 가능성에 대한 관심이 증가하였다.

조경 설계 분야에서 파라메트릭 디자인은 수목 배치, 시설물 등 일부 수직적 요소에 국한되어 활용되어왔다. 이에, 본 연구에서는 포장설계에 있어 파라메트릭 기법 도구인 알고리즘 설계 기법 개발에 초점을 두고 정량적 수치인 투수율과 접목해 주변 환경과 상호작용을 통해 생성되는 공극 포장 패턴을 제안하고자 한다. 알고리즘에 따라 상호작용하는 설계 방식을 제안함으로써, 투수율과 같은 정량적 수치를 목표 달성 수단으로 활용할 수 있는 논리적 설계 방식을 연구하는 것이다.

연구방법으로는 파라메트릭 디자인에 범용적으로 활용되는 도구로, 명령어 알고

리즘 흐름에 따라 직관적 사용이 가능한 Rhino3D 플러그인 Grasshopper를 활용한다. 본 연구에서는 Grasshopper의 주요 기능을 형태 생성과 주변 환경 분석으로 보았다. 포장설계에 적용 가능한 방법으로써 각각 형태를 활용한 패턴 생성과 주변 환경 요소를 반영하는 포장 기능과의 연계로 유형화하여 해당 알고리즘을 구축하였다. 이를 통해, 파라메트릭 디자인 기법을 활용한 포장설계 프로토타입을 제안한다. 프로토타입은 기존 블록 포장에서 벗어났을 때 포장 패턴의 다양화와 설계 전반과정에서 형태에서부터 환경적 기능을 내포하는 투수율까지를 포함하는 통합적 설계를 실험해보는 것을 목적으로 한다. 최종 결과물로는 서울대학교 정문 광장을 시범대상지로 하여 서로 상충할 수 있는 보행 환경과 배수 기능 두 가지를 융합한 공극 포장 패턴 설계 알고리즘을 적용하여 도출된 설계안을 제안한다.

본 연구는 이전에 시도되지 않았던 투수 공간의 확보를 위한 수단으로써 파라메트릭을 활용한 공극 포장 패턴 디자인을 통해 포장의 주요 기능과 연계하는 설계를 구현하였다는 점에서 의의가 있다. 결론으로는 사용자와 직접적 관련이 있는 보행 기능과 배수 기능을 고려하는 환경적 요인이 함께 상호작용하며 도출된 디자인 대안을 제시하며, 포장설계에 있어 Grasshopper를 활용한 알고리즘 설계 방식의 활용에 기초자료로 작용할 수 있을 것으로 기대한다.

……

주요어 : 그래스호퍼, 파라메트릭, 알고리즘 설계, 포장 패턴, 투수율

학　번 : 2021-28442

Abstract

Technique Development of Parametric Paving Pattern Design Using Grasshopper

SO-HYUN, JUN
Dept. of. Landscape Architecture,
The Graduate School of Environmental Studies,
Seoul National University

Paving is essential in landscaping that forms most of the site except for facilities and planting areas. According to previous studies, paving is a significant factor that affects walking comfort. Also, various paving techniques are considered in terms of functionality because it performs water permeability functions such as urban heat reduction effect and flood prevention through surface drainage. Seoul recommends permeable paving to improve the urban environment, and the design of patterns through the color and materials of the paving was continuously considered. However, it was considered independent of the functional aspect. Walking comfort and drainage function can act as conflicting factors, and it was considered that securing the drainage function in the paving pattern needed to be improved.

As new design approaches have become possible with the development of digital technology since modern times, parametric design techniques have recently attracted attention as a way to overcome the limitations of existing designs. Technology advancements have led to the exploration of new materials in construction techniques such as 3D Print and CNC etc. As the utilization of materials has expanded, interest in linking various shapes, patterns, designs and functions has increased.

In landscape design, the parametric design was limited to some vertical elements such as tree layout and facilities. Therefore, this study focuses on the development of algorithm design techniques, which are tools of parametric techniques in paving design, and proposes void paving patterns generated through interaction with the surrounding environment by combining them with quantitative water permeability. It is to study logical design methods that can also be used to achieve goals, such as quantitative figures, by proposing design methods that interact according to algorithms.

As a research method, Grasshopper, a Rhino 3D plug-in that can be used intuitively

according to the flow of command algorithms, is used as a tool commonly used in parametric design. The main functions of Grasshopper were viewed as two types: shape generation and surrounding environment analysis. The algorithm was constructed by categorizing them according to pattern generation and paving functions. This study proposes a paving prototype using parametric design techniques to experiment with an integrated design that includes the diversification of paving patterns and the permeability of environmental functions in the overall design process. As the final result, Seoul National University's main gate square was set as a pilot site to build a void paving pattern. The paving design algorithm combines two functions conflicting walking environments and drainage.

This study is meaningful because it implemented a design that links with the main functions of paving, like drainage through a void pattern using parametric to secure a pitching space that has not been attempted before. In conclusion, environmental factors that consider walking and drainage, which are directly related to users, interact together to present design alternatives derived. It is expected to serve as primary data for algorithm design methods using Grasshopper in paving design.

……

Keywords : Grasshopper, Parametric, Algorithm design, Paving pattern, Permeability

Student Number : 2021-28442

목 차

제1장 서론

1절 연구의 배경 및 목적 ····· 1
1. 연구의 배경 ····· 1
2. 연구의 목적 및 의의 ····· 4
2절 연구의 범위 및 방법 ····· 5
1. 연구의 공간적 범위 ····· 5
2. 연구의 내용적 범위 및 방법 ····· 6
3절 연구 진행절차 ····· 7

제2장 이론적 배경 및 선행연구 검토

1절 조경에서 파라메트릭 디자인의 적용 ····· 8
1. 파라메트릭 디자인 ····· 8
2. 선행연구 검토 ····· 9
2절 포장의 개요 ····· 14
1. 포장의 개념 및 현황 ····· 14
2. 포장설계 사례연구 ····· 17
3절 포장설계에 파라메트릭 디자인 적용 사례 ····· 23
4절 소결 ····· 27

제3장 Grasshopper 알고리즘 설계 개념 및 특징

1절 알고리즘 설계와 Grasshopper ····· 28
2절 Grasshopper 주요 컴포넌트 및 기능 ····· 32
1. 형태 생성 ····· 32
2. 주변 환경 분석 ····· 33

3절 포장설계에 Grasshopper 적용 가능성 ····· 36
1. 패턴 생성 ····· 37
2. 포장 기능과의 연계 ····· 42
4절 소결 ····· 45

제4장 포장 패턴 알고리즘 설계

1절 패턴 생성 알고리즘 ····· 46
1. 공극 포장 Pseudo-code ····· 47
2. 공극 포장 알고리즘 ····· 49
2절 패턴 배치 알고리즘 ····· 56
1. 보행 환경 반영 ····· 56
2. 수계 흐름 반영 ····· 66
3절 종합 ····· 71
4절 소결 ····· 81

제5장 결론

1절 연구의 요약 ····· 82
2절 연구의 의의 및 향후 과제 ····· 83

[참고문헌] ····· 85

■ 표 목차

[표 1] 조경 분야에서 파라메트릭 디자인의 적용 ····· 10
[표 2] 기술을 활용한 재료에 관한 연구 ····· 17
[표 3] 포장 패턴 사례 연구 : 디자인 방법에 따른 분류 ····· 18
[표 4] 도시 공간에서 포장 관련 선행연구의 분류 ····· 22
[표 5] 포장설계에 파라메트릭 디자인 적용 사례 분류 ····· 26
[표 6] 형태 생성을 위한 파라메트릭 디자인 도구 비교 ····· 30
[표 7] Ladybug 명령어를 활용한 환경 분석 시각화 ····· 34
[표 8] 주요 환경 분석 플러그인과 기능 ····· 34
[표 9] Polygon 컴포넌트 활용 예시 ····· 39
[표 10] 생태면적률 계산을 위한 공간 유형 및 가중치 ····· 40
[표 11] Waterflow 스크립트 전개 과정 ····· 44
[표 12] 공극 포장 알고리즘 스크립트 진행 과정 ····· 51
[표 13] 각 투수율에 해당하는 공극 파라미터 프로토타입 제안 ····· 54
[표 14] 공극 유형 모듈 단일 배치 : Polygon의 SCALE 변형 ····· 57
[표 15] 최적 동선 추출 알고리즘 스크립트 진행 과정 ····· 60
[표 16] 폴리곤에 따른 공극률별 포장 패턴 이미지 ····· 64
[표 17] 사용자 지정 형태에 따른 포장 패턴 이미지 ····· 65
[표 18] 지형 생성 단계별 이미지 상세 ····· 67
[표 19] 지형 생성 경계별 이미지 상세 ····· 68
[표 20] Flow 분석 Grasshopper 스크립트 전개도 및 도출 결과물 ····· 69
[표 21] Flow 수계 흐름을 반영한 포장 패턴 ····· 70
[표 22] 보행 환경과 수계 흐름 반영 알고리즘 연계 ····· 71
[표 23] 패턴의 변형1. 세분화 형태 설정 ····· 72
[표 24] 패턴의 변형2. 사용자 지정 형태 ····· 75

■ 그림 목차

[그림 1] 광화문광장 포장설계 상세도 ····· 2
[그림 2] 서울대 정문 재조성 사업 부지 ····· 5
[그림 3] 디지털 도구의 활용 방식 ····· 8
[그림 4] DDP 외장 패널, 메가트러스 설치 ····· 12
[그림 5] 광교 갤러리아 비정형 유리 파사드 ····· 12
[그림 6] 한남동 HANDS Corporation ····· 13
[그림 7] 보도벽돌 깔기의 여러 가지 패턴 ····· 14
[그림 8] 연도별 보도 투수면적 변화(출처:2019년 서울시 보도현황 통계보고) ····· 15
[그림 9] 소형고압블록 / 인조화강블록 / 화강판석에서 투수 기능을 가지는 줄눈 · 16
[그림 10] 투수블록 종류 ····· 16
[그림 11] 서울공예박물관 (2021년 개장) ····· 20
[그림 12] 광화문광장 투시도 (2022년 개장) ····· 20
[그림 13] 서울대학교 정문 광장 이미지(좌), 조감도(우) (2022년 개장) ····· 20
[그림 14] Keio university ····· 24
[그림 15] Not garden ····· 24
[그림 16] South park ····· 25
[그림 17] 포장설계에 파라메트릭 디자인 기법의 적용 시 기대효과 ····· 27
[그림 18] Grasshopper 알고리즘 설계 스크립트 흐름 예시 ····· 28
[그림 19] 알고리즘 디자인 진행 과정 ····· 29
[그림 20] Graph-based (Dynamo) / Stack-base (3Ds MAX) / Assosiative history (Solid Works) ····· 31
[그림 21] Grasshopper 스크립트 진행 과정 ····· 31
[그림 22] 형태 생성 과정 ····· 33
[그림 23] 패턴의 개념과 단일 및 다중 테셀레이션 예시 ····· 37
[그림 24] Grasshopper 테셀레이션 ····· 37
[그림 25] 3D 입체 모듈 형성 과정 ····· 40
[그림 26] 포장 면적 계산 스크립트 예시 : 44% ····· 41
[그림 27] 포장 면적 구성비별 시각화 ····· 42
[그림 28] Rhino3D 시각화(좌) / Galapagos 인터페이스 및 시뮬레이션 진행 과정 (우) ····· 43
[그림 29] Polygon을 활용한 공극 포장 모듈 Pseudo-code ····· 48
[그림 30] 공극 조합 경우의 수 프로토타입 모식도 ····· 48
[그림 31] 공극 포장 모듈 형성 알고리즘 스크립트 ····· 50
[그림 32] 최적 동선 추출 Grasshopper 스크립트 전반 ····· 60
[그림 33] 대상지 현황 다이어그램 ····· 62

[그림 34] 주요 시설물을 반영한 Galapagos 시나리오 결과물 ····· 63
[그림 35] Galapagos 시나리오 동선과 거리에 따른 구간의 5단계 분류 ····· 63
[그림 36] 지형 생성 Grasshopper 스크립트 전개도 ····· 67
[그림 37] 지형 Mesh 수정 세분화 스크립트 ····· 68
[그림 38] 수계 흐름 분석(좌) / 구간별 유형화(중) / 결과물 평면도(우) ····· 70
[그림 39] 최종 결과물 렌더링 평면도 ····· 78
[그림 40] 서울대학교 정문 광장 Eye-Level(남측) ····· 79
[그림 41] 서울대학교 정문 광장 렌더링(남측) ····· 79
[그림 42] 서울대학교 정문 광장 Eye level(북측) ····· 80
[그림 43] 서울대학교 정문 광장 렌더링(북측) ····· 80

제1장 서론

1절 연구의 배경 및 목적

1. 연구의 배경

▌ 도시환경에서 바닥 포장의 중요성

주변 환경에 대한 시민들의 욕구가 커짐에 따라 환경 디자인 개선에 관심이 높아져 왔다. 서울 도시디자인 가이드라인(2017)[1] 공공공간 디자인 지침에서도 주요 도시 및 지역의 특성에 어우러지도록 보도, 광장, 공원 등으로 분류하여 바닥 포장 색채 및 패턴을 언급하며 도시경관을 보전하고 개선하도록 권장하고 있다. 선행연구에서는 보행 만족도와 관련해 쾌적성을 높일 수 있는 요소 중 하나로 바닥 포장을 선정하기도 하였다(신해미 외, 2009). 이처럼 포장은 포장재에 따라 공간 분위기 조성에 심리적으로 직접적인 영향을 미치는 인자로 작용할 수 있다(김대현, 2004).

이에 따라 포장의 패턴 디자인이 공간의 전체적인 분위기를 조성하여 미관을 개선하는 경관적 요소로 작용할 수 있도록 하는 연구들이 꾸준히 수행되어왔다.

▌ 기존 포장설계의 현황과 한계

앞서와 같이 바닥 포장에 있어 미적 측면에서는 다양한 디자인 실험 또는 연구를 통해 디자인 표현에 대한 고민이 현재까지 이어져 왔다. 그러나 서울시 보도환경개선과에서 제시하는 투수 블록 포장설계 시공 및 유지 관리 기준에 따르면, 도시환경 개선에 있어 포장은 기능적 측면에서도 공간의 영역성, 투수, 보행 환경 쾌적성 등에 영향을 미치는 주요 요소로서의 가능성을 가지고 있다.

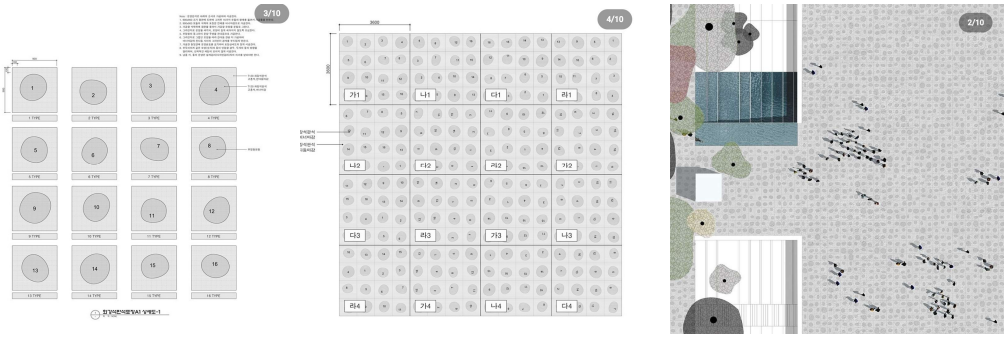
생태면적률 개념에서도 투수 포장은 가중치 0.4로, 이는 가중치 1.0인 자연지반녹지, 수공간을 제외하고 인공지반녹지 0.7, 옥상녹화 0.6 다음으로 높은 값으로 계산된다. 하지만 투수포장은 주로 미적 기능과 독립적으로 재료 자체의 공법이 다루어져 왔다.

---

1) 서울시 도시디자인위원회 심의 기준으로 활용되며 공공공간, 공공건축·시설물, 공공시각 매체 등에 대해 기본방향, 디자인 원칙, 세부 기준을 규정하고 있다.

▌ 최근 다양한 포장 패턴에 대한 요구

포장설계는 현재까지 주로 다루어지는 색상 디자인뿐 아니라 대상지 내에서 패턴 등과 같이 다양한 방식으로 형태와 평면을 활용할 수 있으며, 물리적 형태를 통해 흥미로운 장소 및 기능을 만들 수 있다.[2] 더불어 소비자의 환경 디자인에 대한 요구수준이 높아짐에 따라 다양한 건축자재 및 고품질 구조물이 설계·시공되고 있으며 특히 바닥 자재 중 하나인 콘크리트 블록의 사용 증가 및 디자인 발전으로 바닥 색상이나 형태가 화려하고 다양해지고 있다(홍상희, 2011). 최근 국내에 재조성된 광화문광장의 경우 가장 어려웠던 부분이 광장의 포장 디자인이라고 언급된 바 있다.[3] 패턴의 디자인에 따라 풍경이 달라지며 의미를 부여하거나 임의로 만든 복잡한 패턴을 광장에 채우고자 한 초기의 방식을 버리고, 심플하면서 다양성을 가질 수 있는 포장 형태에 집중하였다. 여러 이미지로부터 영감을 받아 결과적으로 900㎜×900㎜ 화강석 모듈의 그리드 체계를 만들고, 각기 다른 크기와 모양의 부정형 원을 새겨 넣었다. 이를 통해 포장 패턴에 특정한 하나의 의미를 부여한 것이 아니라 광화문광장의 역사적인 사건들을 은유적으로 표현하고, 한국적인 경관을 현대적으로 재해석하고자 의도하였다.



[그림 1] 광화문광장 포장설계 상세도
(출처:https://www.instagram.com/p/CLeV4ydM5FV/?igshid=YmMyMTA2M2Y=)

2) https://worldlandscapearchitect.com/sustainability-can-be-fun/
3) https://han.gl/KbDzR

▌ 디지털 기술의 발전에 따른 조경 설계 디자인 방식의 발달

설계 분야에서 디지털 기술의 활용은 결과물의 여러 가지 시각화 방식을 통해 신속하고 용이하게 표현하는 데 있어 다양한 방식으로 발전하는 중이다(이명준, 2018). 2000년대 초반에는 오토캐드(AutoCAD), 포토샵(Adobe Photoshop), 일러스트레이터(Adobe Illustrator) 등을 활용하여 시각화 방법으로 2D 도면 위주의 조경 설계가 이루어졌다면, 최근에는 라이노(Rhino), 트윈모션(Twinmotion), 언리얼엔진(Unreal Engine), 레빗(Revit) 등 3D 디지털 프로그램의 발달을 거치면서 BIM, VR, AR과 같이 디지털 트윈을 활용해 현실성을 바탕으로 실무에 효율적으로 적용가능한 설계 방식이 주목받고 있다. 이와 같은 동향으로 디자인 형태 생성에 있어 단순 컨셉으로부터 조경 설계의 결과물이 도출되는 것이 아닌 여러 가지 기능을 통합하는 방식으로 융합적 설계가 가능해졌다.

▌ 파라메트릭 디자인의 활용 가능성

건축에서는 설계 대상지의 다양성, 시공 기술 등 기존 설계 방식으로는 해결할 수 없는 종합적 문제의 대응 방안으로 탄생한 파라메트릭 기법을 디자인 방법으로 활용함으로써 입체적이고 다양한 방식으로 변화하는 건물 외피를 구현하고 있다. 그 예로 단순 미적 측면에서 벗어나 일조량과 상호작용하는 기능적 파사드가 창출된 바 있다. 조경 분야에서도 랜드마크성을 가진 시설물 및 조형물에 대해 파라메트릭 디자인이 일부 활용되어 왔으나, 주로 오브제적인 일부 요소에 국한되어 활용되며 적극적인 도입이 부족하다.

선행연구에 따르면 랜드스케이프 어바니즘의 측면에서 디지털 기술 중 하나인 파라메트릭 디자인을 활용하여 시설물 배치, 보행 및 식재 공간의 형태 등 통합적인 조경 디자인의 가능성을 보여주고 있다(Huang et al, 2017)고 언급된 바 있다. 이는, 도시 공간에서 조경이 건축물의 수평적 확장으로의 역할을 수행할 수 있는 잠재력을 지닌다는 점을 시사하며 최근에는 더 나아가 알고리즘을 활용한 식재 패턴 제안 등 보다 다양한 방식으로 활용 가능성에 대한 연구가 이루어지고 있다.

현재까지 기술의 발전을 통해 포장에 적용할 수 있는 새로운 재료 및 디지털 드로잉 툴이 발전해왔고 다양한 재료, 패턴, 색채에 따라 색다른 경관을 제공할

기회가 늘어났다. 이뿐 아니라, 바닥의 기능과 연계하여 다양한 포장의 형태 및 패턴에 있어 다양한 가능성을 제시할 수 있는 잠재력을 지니고 있다. 이를 통해 이용자의 접근성, 경계성 및 쾌적성과 같은 기능적 측면에서 향상된 옥외공간을 조성할 수 있을 것이다. 발전하는 기술의 동향에 따라 단순 형태적 포장설계가 아닌 기능과 연계한 설계를 통해 도시환경 개선에 기여할 수 있다는 인식의 전환이 필요하다.

2. 연구의 목적 및 의의

연구의 목적은 포장설계 시 패턴 디자인에 있어 파라메트릭 디자인 기법의 활용방안을 제시하는 데 있다. 파라메트릭 디자인 기법을 구현하는 방법으로 Rhino3D의 플러그인 Grasshopper를 활용하여 환경변수들을 적용해 포장 패턴 설계 알고리즘을 구축해 시각화한다.

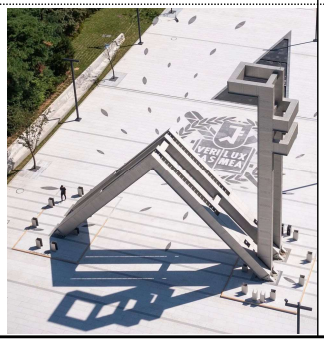
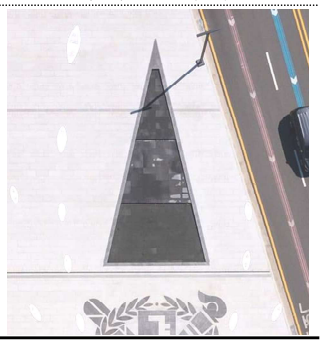
연구의 세부 목표 첫 번째는 사전에 파라메트릭 디자인 기법의 선행연구 고찰 및 사례연구를 통해 포장설계에 디자인 기법의 도입 가능성을 확인한다. 두 번째는 이를 바탕으로 파라미터를 반영한 알고리즘을 구축하는 것이다. 이때 파라미터는 형태 생성의 측면과 주변 환경 분석 2가지 유형으로 바라볼 수 있다. 형태 생성의 측면에서는 포장 공극 패턴을 생성하고, 주변 환경 분석의 결과물은 포장 기능과의 연계를 통해 패턴을 배치함으로써 포장설계에 활용할 수 있으며 파라메트릭 기법을 활용한 포장설계의 다양성을 탐구하는데 목표를 가진다.

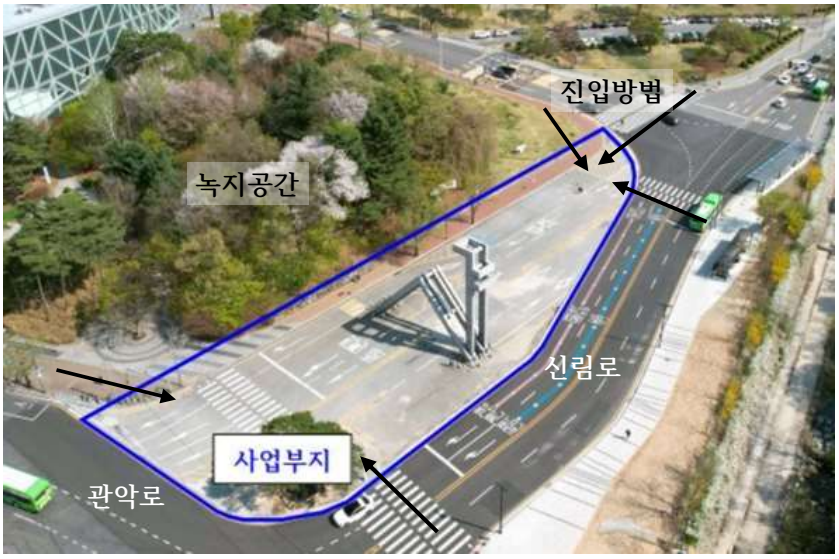
파라메트릭 표면 디자인에서 주로 다루어져 왔던 건축 파사드에서 확장되어 조경 분야에서 또한 수평적 표면 요소에서 고려할 수 있는 포장설계 방법의 하나로 확장해보는 과정이라는 데에 의의가 있다. 더불어, 알고리즘에 따라 상호작용하며 변화하는 설계 방식을 제시함으로써 정량적 수치와 같은 목표 달성 수단으로써도 활용할 수 있는 논리적 설계 방식을 연구하는 것이다. 이를 통해, 조경 설계단계에서 포장의 다양화에 기여하고 더 나아가 형태뿐 아니라 기능과 연계하는 포장설계로의 인식의 전환을 도모하고자 한다.

2절 연구의 범위 및 방법

1. 연구의 공간적 범위

본 연구에서는 포장 패턴 설계에 있어 파라메트릭을 활용한 디자인 접근 방법을 제안하는 프로토타입 역할로 대상지를 제안한다. 대상지는 주요 용도가 보행 공간으로 접근성이 용이한 광장 중에서 도시민들이 주로 시설물에서의 휴식보다는 경유하는 장소이며, 랜드마크와 같이 목적성이 뚜렷한 곳으로 특히 바닥 포장이 주요 경관을 이루는 곳으로 선정하였다. 서울대학교 정문 광장을 대상지의 경계로 두고 그에 따른 포장 패턴을 제안함으로써 3D 설계안을 시각화하고자 한다.

면적	약 3,500㎡	
주요 시설물	‘샤’ 조형물	삼각형 분수대
		



[그림 2] 서울대 정문 재조성 사업 부지(출처:https://han.gl/Nwjia)

2. 연구의 내용적 범위 및 방법

파라메트릭 디자인 기법의 적용 유형은 1) 형태 생성과 2) 주변 환경 반영 2가지 방향으로 활용방안을 탐구한다. 포장 디자인을 통해 주로 구현할 수 있는 기능은 크게 환경적, 심미적으로 분류할 수 있으며 이러한 측면에서 긍정적인 효과를 가질 수 있도록 적용가능한 파라메트릭 알고리즘을 구축해보고자 한다.

이때 포장 패턴의 형태를 생성하는 조건으로 환경적 측면의 투수 기능을 확보하는 모듈을 생성할 수 있고, 전체적인 모듈을 배치하는 데에 주변 환경을 반영하여 패턴을 구축할 수 있는 가능성을 가진다. 따라서 기존 포장설계에서처럼 2D 시각화 프로그램을 통해 임의로 만든 복잡한 패턴의 일방적 적용이 아닌, 패턴 및 모듈을 설계하는 데 있어 기존 포장 디자인에서 벗어나 목표로 하는 기능을 확보하기 위해 활용가능한 디자인 기법으로써 파라메트릭을 제안할 수 있을 것이다. 이를 통해 Grasshopper를 활용한 파라메트릭 포장 패턴 설계 기법의 가능성을 확인한다.

연구의 결과물이 기초연구로 작용하고 방법론을 제안하기 위한 프로토타입으로 도출되는만큼 포장 및 파라메트릭 디자인 기법의 활용사례에 관한 연구가 전반부의 내용을 이루고 있다. 이를 통해 본 연구에서 이용할 파라메트릭 기법을 활용할 수 있는 패턴의 범위를 크게 포장 모듈 내부의 패턴과 형성된 모듈을 활용한 배치를 통한 패턴 두 가지로 보고 설계의 범위를 구성한다. 본 연구를 통해 구축된 파라메트릭 포장 패턴 알고리즘은 Rhino3D 상에서 대상지에 적용되어 시각화된 모습으로 결과물이 도출되고 더 나아가 알고리즘 설계 내용 중 Grasshopper 상에서 시뮬레이션을 통해 도출된 포장 패턴 설계 시나리오를 검토하는 과정을 거칠 수 있도록 한다.

3절 연구 진행절차

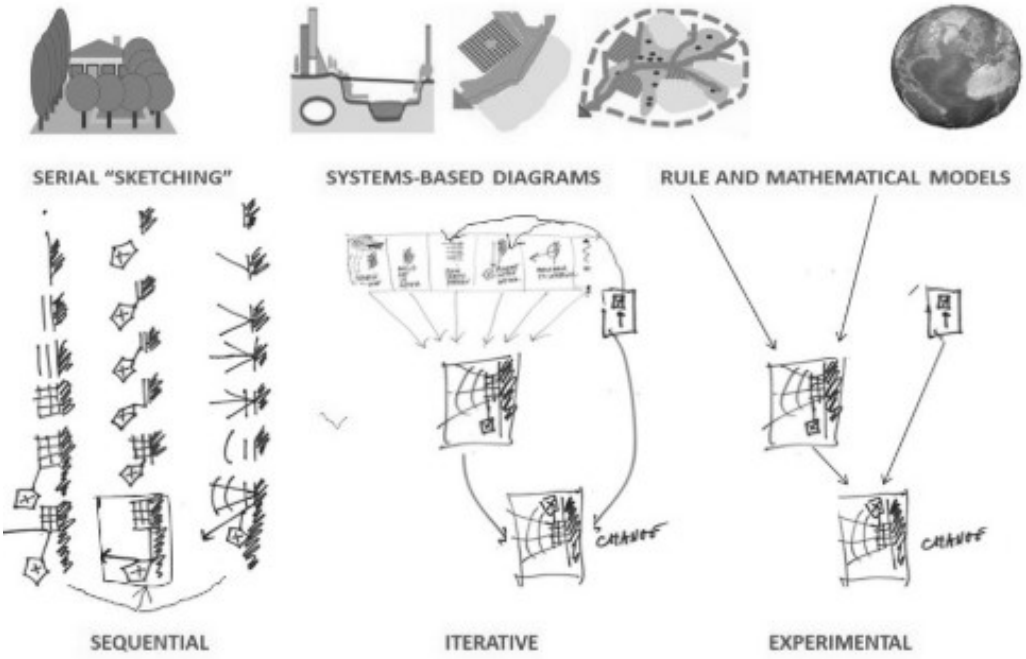
연구과정	연구내용	연구방법
제1장 서론	연구의 배경 및 목적 연구의 범위 및 방법 • 공간적 및 내용적 범위 연구 진행절차	문헌연구
제2장 이론적 배경 및 선행연구 검토	조경에서 파라메트릭 디자인의 적용 • 파라레트릭 디자인 • 선행연구 검토 포장의 개요 및 파라메트릭 적용 사례 • 포장의 개념 및 현황 • 포장 패턴 적용 사례 연구	문헌 및 사례연구
제3장 Grasshopper 알고리즘 설계 개념 및 특징	알고리즘 설계와 Grasshopper Grasshopper 주요 컴포넌트 및 기능 • 형태 생성 • 주변 환경 분석 포장설계에 Grasshopper의 적용 가능성 • 패턴 생성 • 포장 기능과의 연계	Grasshopper 스크립트 작성
제4장 포장 패턴 알고리즘 설계	패턴 생성 알고리즘 • 공극 포장 Pseudo-code • 공극 포장 알고리즘 패턴 배치 알고리즘 • 보행 환경 및 수계 흐름 반영 종합	Grasshopper, Rhino3D 추출
제5장 결론	연구의 요약 및 의의	

제2장 이론적 배경 및 선행연구 검토

1절 조경에서 파라메트릭 디자인의 적용

1. 파라메트릭 디자인

Steinitz, Carl(2021)은 오늘날에 큰 범위인 도시에서부터 지역, 소규모의 정원에 이르기까지 다양한 규모에서 디지털 도구를 여러 방식으로 적용하고 있음을 언급한다. 기존 스케치 과정에서 더 나아가 반복 다이어그램 방법, 규칙 기반의 수학적 모델 구축을 통한 실험적 설계까지 디지털 도구의 활용방식이 확장되었음을 이야기한다. 이에 규칙과 수학적 모델을 기반으로 하는 도구를 활용하는 디자인 방식으로 최근에는 파라메트릭 디자인 기법이 주목받고 있다.



[그림 3] 디지털 도구의 활용 방식
(출처:Steinitz, C., & Orland, B. (2021). On the Future of Digital Landscape Architecture. Journal of Digital Landscape Architecture, 53-63.)

박열(2015)에 따르면 건축에서 파라메트릭 모델링(Parametric modeling)은 지오메트리(Geometry) 정의에 있어 상호 연관된 파라미터(Dependent parameter)와 제약(Constraint)을 통해 결정되는 방법으로, 형태 구성요소가 수정되면 상호 관련 요소들의 위계와 형상이 조정되며 기존의 논리를 유지할 수 있도록 하는 특징을 가진다고 언급한다. 최근 국내 조경 분야에서 파라메트릭 디자인을 다룬 나성진(2021)의 연구에서 파라메트릭 디자인은 21세기 컴퓨테이셔널 디자인의 하위개념 중 하나로 파라미터(Parameter, 매개변수)와 알고리즘(Algorithm) 기반으로 열린 설계 네트워크를 구축하는 방법으로 정의되고 있다. 기존 20세기 컴퓨터 프로그램 사용 방식과 달리 컴퓨테이셔널 디자인의 개념에서 'Computation'은 컴퓨터 미디어를 설계에 있어 생성적 도구이자 사고의 보조적 도구로 활용하는 것을 의미하며, 제한된 명령 체계에서 벗어나 매개변수와 데이터, 논리 구조 변화에 따라 디자인 결과물이 달라지는 열린 체계(Open System)를 구축하는 과정으로 보았다.

두 분야에서 공통적인 논리 구축에 있어 파라미터의 중요성을 강조하고 있으며 이에 선행연구 분석을 통해 어떤 방식으로 파라미터를 추출하고 활용하였는지 탐구해보고자 한다.

2. 선행연구 검토

본 연구에서는 포장설계 기법을 개발하는 데 있어 조경 설계, 형태 및 패턴을 제안하는 것을 주요 선행연구 키워드로 보고 파라메트릭 디자인이 어떤 방식으로 조경 분야에서 활용되어왔는지에 관한 연구를 검토하였다. 부가적인 내용으로는 건축의 표면 요소로 볼 수 있는 파사드 디자인에서 국내 파라메트릭이 실용된 사례를 고찰하고 파사드의 역사 및 발전 과정을 통해 현시점의 조경 설계에서 적용할 수 있는 부분을 파악한 후 이를 바탕으로 포장설계에 대한 관점의 확장 방법을 연구하고자 한다.

▌ 조경에서 파라메트릭 디자인의 활용 가능성

조경 분야에서 파라메트릭 디자인 기법 활용에 관한 연구는 국내외 모두 포함하여 약 20개 내외로 국내 연구로는 BIM 활용에 관한 1편, 조경 설계 분야에서 2편이 수행되었다(나성진, 2020). 김복영(2019)은 BIM[4]과 관련이 있는 파라메트릭 디자인 기법은 여러 차례 수정하여 반복 실행함으로써, 유사하지만 서로 다른 결과물을 무수히 만들어 낼 수 있는 것이 특징이며 그 과정에서 변수와 도출된 형태 또는 그 결과 간의 간극이 메워질 수 있다고 언급한 바 있다. 이 외에 [표 1] 조경 분야에서 파라메트릭 디자인의 적용에서는 대부분 기초자료 및 방법론에 대한 연구가 주를 이루고 있다. 가장 최근 국내에서 연구된 파라메트릭 디자인 나성진(2021)의 연구에서는 주로 조경의 수직적 요소인 조형물, 시설물, 식재에 있어 파라메트릭 기법의 활용 가능성에 대한 내용이 다루어졌으나 수평적 요소인 포장 설계에 파라메트릭 디자인 활용방안에 대한 내용은 포함되지 않았다.

[표 1] 조경 분야에서 파라메트릭 디자인의 적용

분류	선행 연구	연구 내용
개념	“Effect of parametric design on landscape”, Huang et al.(2017)	사례 분석을 통해 조경에서 파라메트릭 디자인의 효과 검토
설계	“Geodesign in Parametric Modeling of urban landscape” Moura et al.(2015)	토지이용계획 전략으로 Geodesign 특성화, 분석, 평가, 시뮬레이션 및 의사결정 단계를 통해 서술적 및 수행 모델에 적용
	“Preliminary Research on Parametric Design of Plant Landscapes”, Song et al.(2019)	파라미터의 세팅에 따른 식물경관설계에 관한 기초연구
	“조경 설계 분야에서 파라메트릭 디자인의 사례 분석과 활용 가능성”, 나성진(2021)	차후 조경 설계 분야에서 활용할 수 있는 파라메트릭 디자인의 구체적 사례 연구 및 다양한 가능성 검토
방법론	“Parametric Modeling of Urban Landscape: Decoding the Brasilia of Lucio Costa from Modernism to Present Days”, Moura et al.(2014)	3차원 모델링 규칙을 구조화하여 계획 입법에 의해 승인된 최대 건설을 시뮬레이션하는 방법에 대한 방법론적 프로세스 제시

4) BIM(Building Information Modeling)이란, 최초 디자인 단계에서부터 공사, 유지보수 및 철거에 이르기까지 건축물 관련 자산의 관련 설계 정보를 통합하여 관리하는 것을 의미한다.

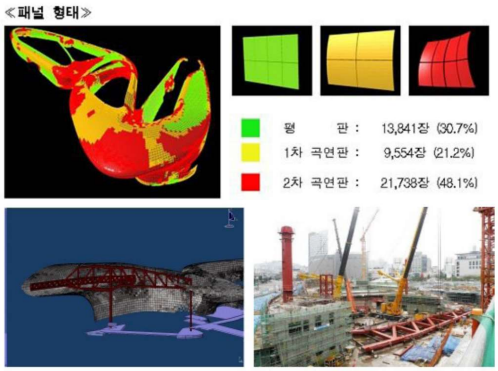
	“A parametric landscape urbanism method: The search for an optimal solution”, Yazici(2016)	녹지 분포에 대한 반복을 생성하고 녹지 비율을 결정할 수 있도록 알고리즘 구축
	“Research on Nonlinear Thinking of Landscape Architecture Design based on Computer-aided Parametric Model”, Hong et al.(2016)	비선형 조경에서 파라메트릭 설계의 적용을 분석하고 3D 기술을 사용하여 동적 시뮬레이션 실형
	“Architectural and Landscape Garden Planning Integrated with Artificial Intelligence Parametric Analysis”, Wang et al.(2022)	건축-조경 설계의 관련 파라미터를 입력으로 하여 최적 조경 설계안을 출력하는 방법론 제안
기초 자료	“Wooden Structures within the Context of Parametric Design: Pavilions and Seatings in Urban Landscape”, Caymaz et al. (2018)	파라메트릭 디자인 및 목재의 개념 연구 후 세계 각지에 적용된 파라메트릭 목조 디자인 파빌리온과 좌식 요소 표본을 분석하여 결론 도출
	“Intelligent landscapes: Application of parametric modeling for a new generation of flood risk management reservoirs in São Paulo city, Brazil”, Moura et al.(2018)	Grasshopper를 사용하여 홍수위험관리 저수지의 경관 및 부피용량에 대한 성능을 평가
	“Attitude of landscape architecture students towards biomorphic and parametric design approaches in environmental design”, Eren et al.(2018)	환경 설계에서 바이오모픽 디자인 접근법, 파라메트릭 설계 접근법에 대한 태도와 접근방식 조사

▌ 건축 파사드의 발달 과정

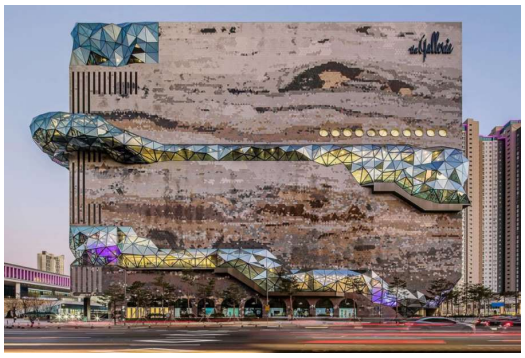
근대 건축의 파사드[5] 디자인은 철강, 콘크리트, 유리 등 기술 개발로 인해 마감재에 대한 관심이 급격히 증가하였다. 그러나 마감재의 재료적 특성과 가공 방식의 한계, 정형화된 구조적 해법 등으로 인해 건축물의 파사드는 수직·수평의 규격화된 그리드 형태를 벗어나기 힘들었다(이양재, 2020).

5) 파사드(Facade)는 프랑스어로 건물의 출입구로 이용되는 정면 외벽 부분을 가리키는 말로 사용된다. (출처:위키백과)

박정주(2010)의 연구에서는 공간구축에서 그리드의 형태와 같이 규격화된 벽체 마감재의 활용이 보다 시공적, 경제적 측면에서 유용하게 이용되지만, 규격화된 대량 생산방식으로 진행되다 보니 그 종류와 유형의 선택 폭이 한정적이어서 디자인 보편화를 가져다줄 수 있다는 디자인적 한계를 언급하였다. 이를 극복하고자 한 형태로 다양한 형태의 마감재가 곡면으로 표현되는 파사드부터 시작해 패턴의 다양한 실험적 연구 등을 통해 국내 기술로 새로운 재료, 기술 적용이 프로토타입으로 제안되어 왔으며 대표적으로 국내에서는 동대문디지털플라자(DDP)와 광교 갤러리아 유리 파사드에서 그 형태를 살펴볼 수 있다.



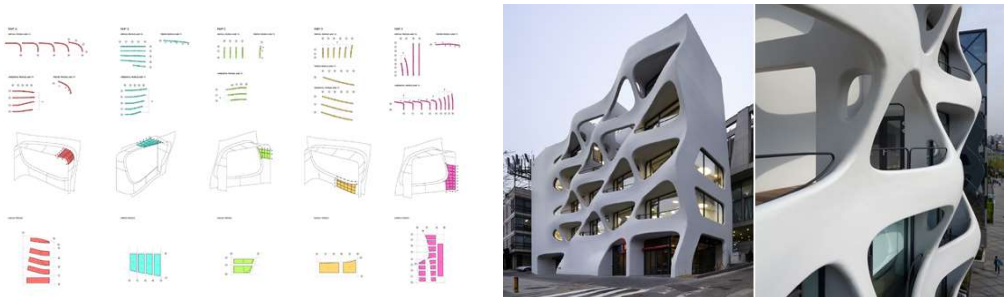
[그림 4] DDP 외장 패널, 메가트러스 설치



[그림 5] 광교 갤러리아 비정형 유리 파사드

[그림 4], [그림 5]와 같은 단순 형태 생성을 목적으로 비정형 패턴의 디자인을 적용하는 것으로부터 시작하여, 더 나아가 [그림 6]과 같이 대나무 발에서 영감을 받아 바람을 형상화하거나 성능 기반 친환경 파사드 디자인 방법론[6]에 대한 연구 등 주변 환경을 반영한 자연에 순응하는 디자인 기법을 개발하고자 하는 노력이 발생하고 있으며, 이 기능을 효율적으로 수행하고 효과적으로 시각화하는데 파라메트릭 디자인 기법이 유용하게 활용될 수 있다.

6) Park, J. D. (2016). 친환경 파사드의 성능기반 파라메트릭 디자인. CDE review, 22(1), 25-28.



[그림 6] 한남동 HANDS Corporation (출처:https://www.jungle.co.kr/magazine/2976)

건축 분야의 파사드 디자인 발달은 재료와 기술의 발달로 인해 다양한 형태의 외피 표현이 가능해진 것이었으며, 컴퓨터 기술과 같은 새로운 기술의 등장으로 파라메트릭 디자인이 대중화됨에 따라 건축 디자인의 트렌드 또한 주변 환경과의 조화, 그리고 심미감을 강조하는 맞춤형 비정형 건축으로 진화하고 있음을 알 수 있다[7]. 이는 최근 기술의 발달을 기반으로 하여 조경 설계에서도 파라메트릭 디자인 기법을 다양한 방식으로 활용할 수 있다는 시사점을 가진다. 선행연구에서 주로 구현되었던 시설물, 수목의 배치 등 수직적 요소뿐 아니라 특히 형태 생성과 주변 환경을 반영할 수 있는 조경 설계의 표면적 요소인 포장설계에 접목시킴으로써 파라메트릭 기법의 활용 가능성을 연구해보고자 한다.

7) https://hshitech.tistory.com/34

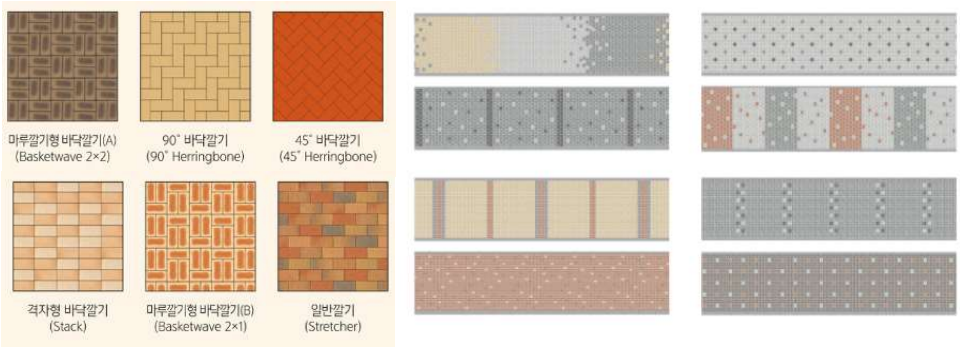
2절 포장의 개요

1. 포장의 개념 및 현황

▌ 포장의 기능 및 현황

도시환경에서 포장은 해당 공간에 대한 심리적, 환경적 측면 등과 밀접한 관계를 갖는다. 김신원 외 2(2009)는 도시공원의 바닥 포장은 이용자의 쾌적성, 안전성, 접근성 등에 영향을 미친다고 언급하였으며, 김대현(2004)는 7가지 쌍의 경관 형용사로 어의구별척도화하여 설문을 통해 포장재료에 대한 심리적 특성을 평가한 바 있다. 각 포장재에 따라 경관 형용사를 활용한 심리적 특성 평가를 통해 선호성, 신구성 등 포장 공간의 성격에 맞게끔 포장재료가 다르게 적용되어야 한다고 언급하였다. 이에 따라, 바닥 포장은 설계자가 도시 옥외공간 및 가로공간 창조하는 데에 있어 주요 도구로 사용될 수 있다는 점을 시사하고 있다.

이와 같은 이유로 포장 패턴 설계가 다양한 형태로 시도되었으나, 흔히 포토샵으로 통칭하는 디지털 이미징 기술을 통해 기존 설계 방식으로는 이미 디자인이 완료된 일부 패턴의 이어 붙이기 방식이나 약간의 랜덤한 배치를 통해 제한적인 변형 내에서 시각적인 품질을 높이는 수단으로만 설계되어왔다[8].



[그림 7] 보도벽돌 깔기의 여러 가지 패턴(출처:http://www.edcpave.co.kr/samhanc1)

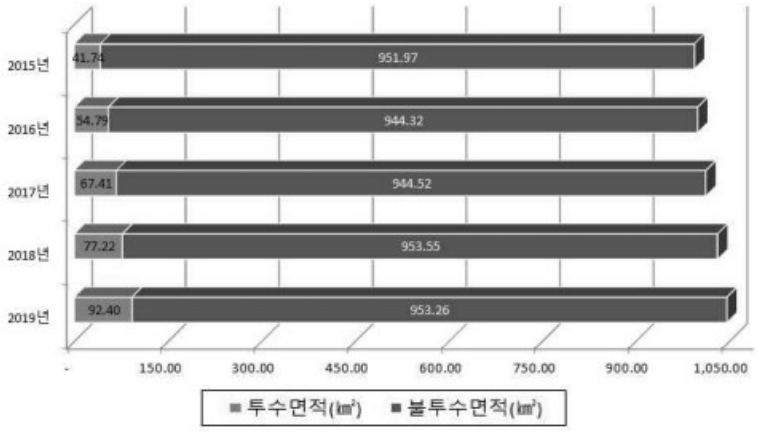
8) https://kiramonthly.com/parametric-design-and-its-implication-in-design-practice/

▌ 기존 포장설계의 한계

보행 환경 개선 측면에 있어 경관적·미적 측면을 고려한 바닥 포장에 대한 연구는 꾸준히 수행되어왔으나, 사각 블록만을 활용할 경우 색채 및 재료에 다양성을 부여하는 것을 제외하고는 더 다양한 패턴을 형성하는데 제약이 있을 수밖에 없다. 이러한 측면에서 모듈의 형태를 다양하게 제시함으로써 효율적으로 패턴의 다양성을 부여할 수 있는 가능성에 집중해볼 수 있다.

또한 배수 기능의 측면에서의 한계가 존재한다. 정기적으로 5년마다 갱신되는 서울시 불투수 포장 면적 등급별 통계에 따르면 2015년 기준 서울시의 전체 불투수 면적이 48.97%로 거의 절반 정도에 이르고 있다고 보고된 바 있다. 불투수 면적이 넓은 면적을 차지하게 되면, 도시 침수 현상이 지속해서 발생할 것이며 홍수 피해나 더 나아가 도시열섬현상에도 부정적인 영향을 미칠 수 있다.

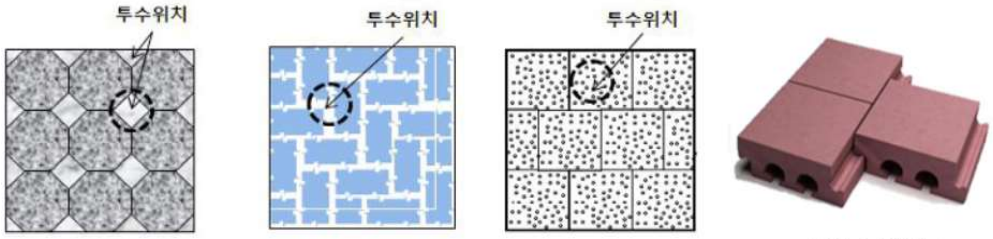
이와 같은 이유로 서울시에서는 도시환경 개선의 측면에서 투수 포장을 권장하고 있으며 연간 보도 투수 면적 변화는 [그림 8]에 따라, 투수 포장 면적이 지속해서 증가해왔음을 볼 수 있다. 2019년 투수 면적은 2018년 대비 1.3%(151, 845㎡)가 증가하였으며 5년간 투수 면적이 점차 증가해온 그래프에 따라 이는 환경 변화에 따른 친환경 투수성블록 포장이 증가하는 추세로 해석될 수 있다. 이때 2019년 서울시 보도 현황 통계 보고에 따르면 포장에 주로 이용되는 형태는 소형고압블록이 약 48%, 다음으로 인조화강블록 32%, 화강판석은 10%로 서울시 보도 포장의 약 90%를 블록 포장이 차지하는 것으로 파악되었다.



[그림 8] 연도별 보도 투수면적 변화(출처:2019년 서울시 보도현황 통계보고)

[그림 9] 소형고압블록(좌)의 경우 220*110*60T/80T 또는 200*100*60T/80T로 특정 규격을 가지고 대량 생산되어 저렴하다는 이점을 가진다. 인조화강블록, 화강판석 또한 균일한 규격으로 유통되며 유사한 이점을 가지고 있다. 그러나 모듈 블록의 특징으로 각 모듈 사이 생성되는 줄눈을 통해 투수 기능을 수행하게 되는데, 블록 포장을 사용할 경우 투수 능력의 지속적인 유지에 있어 논란이 있다. 투수블록은 블록 간 지지력이 없어 모래 등으로 줄눈을 채워 지지력을 높이는데, 이 과정에서 모래가 투수를 위한 블록의 공극까지 채우며 투수 능력이 저하된다. 이 공극 막힘 현상으로 적어도 투수 능력의 50% 이상이 시공하자마자 상실할 수 있다. 예를 들어 전면투수포장은 블록 자체의 공극으로 투수되는 자체투수블록의 한 포장으로, 대부분 시공 이후 3개월~6개월 정도 지나면 투수 능력을 상실한다는 한계점이 언급된 바 있으며, 이를 개선하기 위한 수단으로써 재료의 개선 또는 [그림 6]의 줄눈재를 사용하지 않고, 틈새가 협잡물에 의해 막히지 않는 구조로 제안된 결합틈새블록과 같은 새로운 투수 블록의 개발 등 다양한 방식으로 투수 기능을 확보하고자 하는 노력이 지속되어져 왔다.

[그림 9] 소형고압블록 / 인조화강블록 / 화강판석에서 투수 기능을 가지는 줄눈



틈새형성블록 줄눈확대블록 자체투수블록 결합틈새블록

[그림 10] 투수블록 종류

그러나 기존 포장설계의 경우, 모듈 블록 사이 생길 수밖에 없는 줄눈을 통해서만 투수 기능을 수행하도록 구현되어왔는데 이는 보행 쾌적성 등의 이유로 인해 2~4mm 정도의 줄눈을 확보하도록 제한되어 기존 포장설계로는 보다 넓은 면적의 투수 공간을 확보하는데 제약이 존재한다. 이에 따라 본 연구에서는 기능적 측면에서 목표로 하는 투수 면적은 확보하되 보행 쾌적성과 상충되지 않도록 경관적 측면을 고려한 포장 패턴 설계 기법의 적용 가능성에 대해 탐구해보고자 한다.

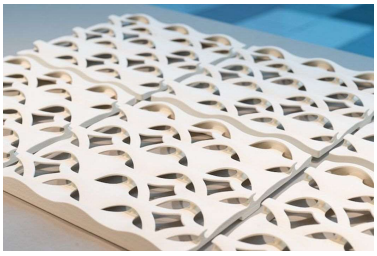
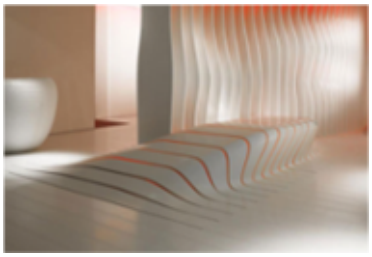
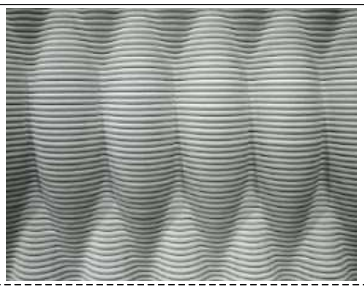
2. 포장설계 사례연구

선행연구에 따르면 포장설계 시 단순히 포장의 색채를 선정하고 패턴만을 고려하기에 앞서, 대상지의 디자인적인 측면과 심리적 특성을 합리적으로 표현해낼 수 있는 더욱 다양하고 특색 있는 바닥 경관이 조성되어야 할 것이라고 언급된 바 있다(배지민 외, 2009). 최근 기술의 발전을 통해 3D Print, CNC 기법, 레이저 커팅 기술 등의 도입으로, 이를 이용하면서 재료의 활용이 확장되었고, 형태 자체나 패턴 형성에 관한 관심이 증대되며 이를 반영하는 분야 또는 공간이 생겨나고 있다.

이에 실용 사례 연구를 통해 포장에 활용 가능성이 있는 공법 및 재료를 [표 2]와 같이 정리하였다. 이러한 재료들은 포장 기법에 이용될 수 있을 정도로 내구성을 가지고 있으며 야외 재료로도 적용될 수 있는 가능성을 가지며, 향후 포장 패턴 개발 기법의 실현에 있어 가능성을 보여준다.

[표 2] 기술을 활용한 재료에 관한 연구

선행 연구	
CNC 가공을 활용 전통문양을 가공한 가구 제작 후 프로토타입 제안 (출처:박찬훈 외(2021) CNC 가공기법을 활용한 전통문양 가구디자인 연구.)	

시공 사례	
	
Voxeljet’s ceramic material for 3D Printed Casting Shells for Tiling (출처:https://bit.ly/3AKURTK)	Corian super-surfaces (출처:https://5osa.com/1448)
	
3D print outline + terrazzo (출처:https://bit.ly/3RDlZtB)	3D concrete printing (3DCP) (출처:https://bit.ly/3TGRshL)

실제로 조경 포장의 경우 일부 공간에서 균일한 블록 포장에서 벗어나 다양한 형태의 패턴을 적용한 디자인이 도입되고 있다. [표 3] 포장 패턴 사례 연구 : 디자인 방법에 따른 분류는 비정형 포장설계 사례를 디자인 방식에 따라 유형별로 분류해 포장 패턴의 설계 의도 및 시공 방법 등의 내용을 파악해보았다.

[표 3] 포장 패턴 사례 연구 : 디자인 방법에 따른 분류

파라메트릭 기법의 활용		
배치	 (출처 : https://bit.ly/3BesxuC)	Keio university (2020) 면적 : 600m² 항공사진 이미지 샘플링을 통한 명암 대비를 활용하여 원의 반지름이 다른 석재블록의 배치

	 (출처 : https://bit.ly/3KQbtyc)	Roche Campus Kaiseraugst (2019) 면적 : 65,000m² 추정된 보행자 흐름, 좌석 영역 및 나무 위치를 기반으로 자동화된 알고리즘을 사용하여 생성하고 CNC(Computerized Numerical Control)로 밀링된 캐스트 콘크리트 포장 요소용 거푸집을 활용하여 시공
새로운 재료의 탐구	 (출처 : https://bit.ly/3Ql30UV)	Edaphic Effects (2011) 물 흐름 패턴을 시각화하기 위해 사용자 지정 Geo-cell(자갈, 토양 또는 식물로 채워진 3차원 등급 구조)을 제작하여 투과성을 시각적으로 표현 가능하도록 표현
	 (출처 : https://bit.ly/3erJpVQ)	Dew point (2010) 콘크리트에 방습제를 도포하여 강수 순간에만 볼 수 있는 일시적인 blooming 형태의 패턴 생성 표면 패턴을 렌더링하는 재료 지연제의 가능성을 탐구

그 외		
지역성 활용	 (출처 : https://bit.ly/3qgp0FS)	West Eau Claire Park (2018) 면적 : 4,900m² 플랜터들이 만들어낸 경로를 따라 포장도로에 새겨진 10,000개의 독특한 지역 기념물로 패턴 구성
페인팅	 (출처 : https://bit.ly/3wZQcMI)	Superkelin (2012) 면적 : 27,000m² 지면을 가로질러 북쪽에서 남쪽으로 뻗도록 흰색 페인트선을 칠하며 시설물, 가구 외부를 따라 이루는 곡선으로 디자인
비정형 블록 배치	 (출처 : https://bit.ly/3qyl0kl)	Mies van der Rohe Plaza (2006) 광장 안에 얕은 직사각형 받침대를 제작하여 거푸집으로 전체 표면 맞춤형 프리캐스트 콘크리트 타일 그리드로 구성

국외뿐 아니라 국내에서도 재조성 및 새로 개장하는 공원의 경우, 새로운 포장 패턴을 설계하고 도입하면서 공간의 정체성 및 설계 의도를 포장을 통해 담아내고 있다. 이는 포장 패턴 설계를 통해 공간의 가치 및 설계자의 의도 또는 장소의 역사 등 다양한 의도를 담고, 도시의 이미지를 창출할 수 있음을 시사한다. 그 예로 서울특별시의 서울 공예박물관과 최근 재조성된 광화문 광장, 서울대 정문 광장의 포장이 비정형 형태 및 포장 디자인이 고려된 조경 설계 예시이다.

[그림 11] 서울공예박물관 (2021년 개장)
(출처:PROJECTS ¦ PARKKIM)

[그림 12] 광화문광장 투시도 (2022년 개장)
(출처:https://www.lafent.com)

[그림 13] 서울대학교 정문 광장 이미지(좌), 조감도(우) (2022년 개장)
(출처: https://www.yna.co.kr/view/AKR20210127161900004)

포장설계에 관한 선행연구는 환경적·미적 측면, 디자인, 재료 및 공법 등에서 다방면으로 이루어졌다. 종합적으로는 연구 대상이 포장 그 자체인지, 포장이 이용자에 미치는 영향에 대한 내용인지에 따라 연구 성격이 달리 나타났으며 그 중 포장의 투수 기능 같은 환경적 측면에서는 재료 자체의 기능과 물리적인 구조 및 공법에 관한 연구들이 수행되었다.

포장 관련 선행연구는 [표 4]와 같이 기능, 디자인, 평가 기법, 공법으로 크게 분류할 수 있다. 최근 국내에서 포장재료에 관한 선행연구로는, 보다 저렴하고 효율적인 시공 방법 제안을 목적으로 패턴 프레임 공법을 개발하는 포장 공법 및 물성에 관한 연구(이태민 외, 2021)가 수행되었다. 그 외에는 주로 2000년대 초반에서부터 지금까지 환경적 측면에서의 투수 기능(김병훈 외, 2001), 또는 기능을 검증하는 평가 기법 개발(부산대학교 산학협력단, 2019)에 대한 연구가 이어져 왔다.

이외에도 포장의 재료에 따라 형용사로 이용자의 심리를 평가하여 환경 설계 시 대상지가 갖는 공간 특성에 따른 적절한 포장으로 독특한 바닥 경관을 창출하는 것을 목표로 하는 연구(김대현, 2004)가 수행되었고, 보행 환경의 쾌적성과 관련하여 바닥 포장이 보행 환경 개선에 영향을 미치는 중요한 요소 중 하나(박소현 외, 2009)라는 것을 확인하였다.

본 연구와 유사한 의도를 가진 선행연구로는 김신원 외 2(2009)의 연구가 있다. 이는 도시공원 바닥 포장 개선을 목적으로 서울숲을 대상지로 선정하여 이용자 설문 분석을 통해 도시공원 내 보행자들 이용 특성, 심리적 특성 분석으로 설계 요소 도출하였다. 이후 연계성, 공간 부각, 경계 부각 등 바닥 포장설계에 영향을 미치는 변수들을 파악하여 주요 공간별 포장 디자인을 개선한 종합계획도를 제안하였다.

그러나 기존 도시 공간에 주로 이용되었던 포장재료를 적용하며 여전히 잔디블록, 화강석, 사고석 등 사각 블록 포장을 디자인 안으로 제안하면서 미적 또는 이용자의 측면에 국한하여 물리적 보행 환경에서 개선할 수 있는 기능에 집중하고 있다. 이에 본 연구에서는 환경적 기능 또한 반영한 포장설계를 연구하고자 하며 재료로부터 제약이 자유로워졌을 때 형성할 수 있는 포장 패턴 설계 기법을 개발해보고자 한다.

[표 4] 도시 공간에서 포장 관련 선행연구의 분류

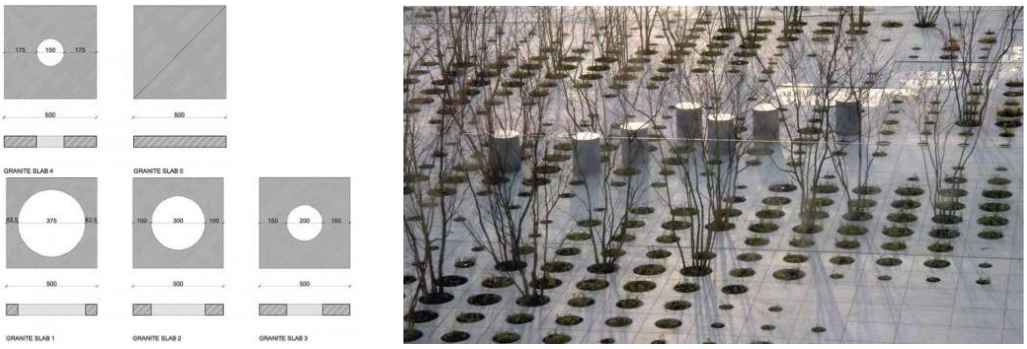
분류	선행 연구	착안점
기능에 관한 연구	“투수성 포장의 우수유출 저감효과에 관한 실험적연구” 김병훈 외(2001).	기존 투수 포장의 투수 기능을 검토하였다.
	“포장재료의 심리적 특성 분석”, 김대현(2004)	대표적인 12가지 포장재료의 심리적 특성을 파악해 바닥 경관 창출에 기초자료를 제시한다.
	“주거지 보행 환경 인지가 생활권 보행만족도에 미치는 영향에 관한 연구”, 박소현 외(2009)	보행 환경의 쾌적성을 평가하는 지표로서 보도의 주변경관, 구조, 바닥포장 등을 선정하였다.
	“상업지역 장소정체성에 영향을 주는 가로공간 구성요소: 명동의 상업가로를 중심으로”, 이한울 외(2011)	향후 상업지역에서 장소정체성 증가를 위해 보도 포장, 가로공간을 구성하는 물리적 요소의 유사성을 높이는 설계가 필요하다.
디자인에 관한 연구	“도시공원 바닥포장의 디자인 개선에 관한 연구”, 김신원 외(2009).	이용자의 행태와 이용실태에 따른 서울숲 포장 종합계획도 도출하였다.
평가 기법에 관한 연구	“포장 공극, 폐색 입자 고려 투수성 포장 시스템의 침투 지속성 실험적 평가 기법 개발”, 부산대학교 산학협력단(2019)	기능적 측면에서 투수성 포장의 평가 기법을 개발하였다.
공법에 관한 연구	“미끄럼 방지 도로 포장을 위한 국내형 패턴 프레임 공법 개발”, 이태민, 최하진(2021).	패턴 프레임 공법에 있어 국내형 재료로의 변환을 위한 포장 공법을 제안한다.

3절 포장설계에 파라메트릭 디자인 적용 사례

알고리즘 설계는 논리 구조를 바탕으로 이루어지기 때문에 구축하기 전 여러 매개변수를 연구하여 어떤 방식으로 변수의 활용이 가능한지 가능성에 대해 탐구할 필요가 있다. 따라서 파라메트릭 디자인 기법으로 알고리즘 명령어 전개 과정에서 파라미터를 다룬 실용 사례 연구를 통해 파라메트릭 디자인 시 디자인을 통해 달성하고자 한 목적과 그에 따라 어떤 요소들을 변수로 고려하였는지 파악하고자 한다. 크게 배치 및 형태의 변형과 주변 환경 반영 3가지의 사례로 나누어 실재 공간 구현 사례를 통해 적용한 변형 요소 즉, 파라미터에 대해 탐구하고 파라메트릭 디자인 기법 전반의 진행 과정을 선행하였다.

(1) 배치 변형 : Keio University by Michel Desvigne(2020)

일본 도쿄에 있는 keio 대학교의 Noguchi 재단 옥상 정원 사례이다. 옥상이기 때문에 인공적인 특색을 띠고 있으며 이론적으로 거의 모든 패턴이 적용 가능한 대상지로 언급된다. 본 사례는 기하학적 형태의 복잡성을 시뮬레이션하는 것을 목적으로 한다. 초반 포장 모듈의 가장 기초는 가로×세로 특정 규격을 가진 정사각형의 격자 모듈로 형성하고 내부에 일정 크기의 반지름을 가진 원형 식재 공간을 형성하였다. 정사각형 모듈은 그 자체로 원의 반지름 크기가 다른 5가지 유형의 투수 공간을 가지고 있으며, 파라메트릭 기법을 활용하여 원의 크기로 수많은 형태를 제안할 수는 있으나 실제 시공에 있어 매우 비싸고 불필요한 공정이 있을 수 있기 때문에 5가지 반지름으로 모듈을 한정하여 활용하였다. 이를 배치하기 위한 메인이 되는 데이터로서 일본 지역의 항공 사진을 베이스로 사용하여 항공 이미지의 명암 강도에 따라 포장재의 투수 공간 크기를 조정하여 패턴을 표현한다. 이때 명암의 정도는 원 크기를 결정하는 변수로 작용하여 밝을수록 투수 공간이 넓은 포장이 배치되고 어두울수록 투수 공간이 없어지는 규칙을 가지도록 설계하였다.



[그림 14] Keio university (출처:https://csis.myclimateservice.eu/node/5189)

(2) 형태 변형 : Not Garden by PEG(2009)

'Not' 프로토타입은 "증분 인프라스트럭처" 시리즈의 일부로 빈 대상지의 유지 관리 문제를 해결하기 위해 설치하였다. Geo-textile[9]이라는 재료의 가능성을 테스트하기 위해서 파라메트릭 형태를 활용해 등간격으로 떨어져 있는 지점을 중심으로 원을 그렸다. 이때 원점에서부터 중심 간 거리에 따라 원의 반지름을 변형시켜 원이 교차하거나 독립되어있는 등의 패턴을 구현하였다. [그림 14]와 달리 [그림 15]는 모듈 블록에 한정되어있는 모듈을 제안하는 것이 아닌 더욱 비정형적이고 복잡한 패턴을 제안하였다.

[그림 15] Not garden (출처:https://peg-ola.com/project/not-garden/)

9) Geo-textile은 토양과 함께 사용 시 분리, 여과, 강화, 보호 또는 배수 기능이 있는 투과성 직물이다. (출처:위키백과)

(3) 주변 환경 및 이용자 행태 반영 : South Park by Fletcher studio(2017)

공원의 초기 설계는 아날로그 다이어그램 작성 및 설계 프로세스를 통해 개발되었다. 더불어 대상지와 어우러지는 규칙을 설정하기 위해 수집된 데이터를 사용하여 주요 지역으로 가는 경로를 그리는 path finding 툴을 사용하여 설계되었다. 설계자가 토지 용도, 공원의 이용, 순환 패턴, 수목 위치와 배수 시스템에 대한 데이터를 현장 관찰을 통해 직접 관찰하여 데이터를 수집하였다. 이를 활용하는 과정에서 Grasshopper를 활용하여 설계 개념이 확립된 상태에서 조건을 위반하지 않고 빠른 설계를 가능하게 하고 상세하게 반복할 수 있는 가능성을 도출할 수 있었다. 이에 Fletcher(2018)는 다양한 3D 매개변수를 수정할 수 있고 전체 모델을 상호작용하면서 업데이트한다는 점에서 유리했으며 포장 패널의 너비, 길이나 분포는 입력을 수정하여 정확한 값을 입력하거나, 더욱 직관적인 사이트별 조정을 허용하여 조정할 수 있었다고 주장한다. 이 사례를 통해 설계 공정 전반에서 주변 환경과 연계된 파라메트릭 디자인의 활용 가능성을 시사한다. 더불어 조경 분야의 특징으로 볼 수 있는 이용자를 고려한 설계, 즉 주변환경과의 연결성과 수목의 생육을 반영한 설계가 이루어졌다는 데에서 의의가 있다.

[그림 16] South park (출처:https://groundhog.la/projects/south-park/)

[표 5]는 위의 스터디를 바탕으로 각 유형별 설계 목적과 그에 따른 파라미터를 정리한 결과이다. 이를 통해 포장설계 시 메인 파라미터를 하나 이상 설정하고, 형태 생성에 있어서는 향후 시공 비용을 반영하여 최적화하는 기본 모듈이 필요하다는 것과 설계자의 의도에 따라 기본 규칙으로 패널의 형태, 너비나 길이 등을 사전에 설정할 필요성을 파악할 수 있었다.

또한 기존 포장설계와 달리 파라메트릭 디자인을 적용함으로써 결과물 도출 전, 사전에 다양한 시나리오를 제안해보고 변형 요소의 변화에 따라 즉각적으로 시각화되는 기능을 적극적으로 활용할 수 있다. 이는 기능적 또는 미적 측면에서 보다 나은 포장 디자인을 채택하는 의사결정을 내리는 데 있어 도움을 줄 수 있는 보조적 수단으로 기능한다는 설계 기법 자체의 장점을 보여준다.

더불어, 파라메트릭 디자인은 단순히 많은 parameter를 수작업을 통해 다루어야 하는 복잡함과 번잡함에서 벗어나게 해주는 것뿐 아니라 많은 데이터와 변수들을 신속하게 다루며 무수한 feedback을 통해 다양한 의미에서 검증된 최적화된 설계안을 짧은 시간에 도출할 수 있다는 것이 명확한 이유와 당위성을 요구받는 현대 사회에서 parametric design이 가지는 가장 큰 장점으로 꼽을 수 있다[10].

[표 5] 포장설계에 파라메트릭 디자인 적용 사례 분류

유형	명칭	설계 목적	변형 요소 (Parameter)
배치	Keio University	기하학적 형태의 복잡한 시뮬레이션	- 항공사진 명암 - 식재대 배치 규칙 - 식재대 원의 반지름
형태	Not Garden	복잡한 패턴의 시공 가능성 재료 검토	- 원점 설정, 원의 반지름 - 각 원형 잔디 구간의 너비
주변 환경 반영	South Park	주변과 연결성을 가진 최적의 Path-Finding	- 포장 구간의 위치나 형태 - 포장 패널의 형태, 너비, 길이

10) 성우제. (2017). 해외건축동향: 미국-파라메트릭 디자인. 건축사, 582, 120-129.

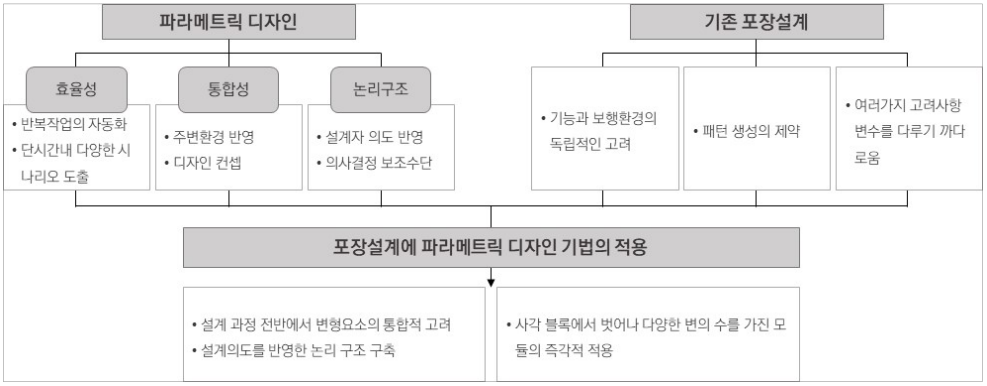
4절 소결

조경 분야에서 파라메트릭 디자인에 관한 선행연구에서는 주로 기초자료, 방법론적 연구가 수행되었으며 설계에 한정해서는 시설물, 수목 배치 등 수직적 요소들이 주로 다루어졌다. 본 연구에서는 이전에 다루어지지 않았던 포장설계에 파라메트릭 디자인을 적용해 알고리즘 설계의 활용 가능성을 제안하고자 한다.

포장설계는 보행자의 실질적인 이용의 측면과 도시환경 개선 기능의 측면이 있으며, 이 두 가지 측면의 조건에 부합할 수 있도록 설계되어야 하므로 결과물을 추출하기에 까다로운 요소들이 존재한다. 이에, 기존 포장설계에서는 제약적이고 독립적인 방식으로 심미적, 환경적 기능이 구현되어왔다.

본 연구에서는 형태와 기능 양 측면을 반영하여 설계할 수 있는 알고리즘 구축을 목적으로 한다. 이는 건축 파사드와 같이 외적으로 사람들의 시야에 넓은 면적을 차지하는 표면의 패턴 디자인에 집중하는 것이며, 보행 쾌적성과 투수 기능이 융합된 포장설계를 통해 더욱 만족도 높은 도시환경을 실현하는 데 기여할 수 있을 것이다.

일률적 포장의 일방향적 제안이 아닌, 포장설계 과정 전반에 있어 심미적, 환경적 측면에서 통합된 설계안을 고려한다는 점과 이러한 과정을 통해 도출된 대안의 결과물들을 시각화하여 효율적으로 의사결정 내리는 데 도움을 줄 수 있는 도구로써 포장 패턴 설계에 파라메트릭 디자인 기법의 적용이 긍정적 효과를 미칠 수 있을 것이다.



[그림 17] 포장설계에 파라메트릭 디자인 기법의 적용 시 기대효과

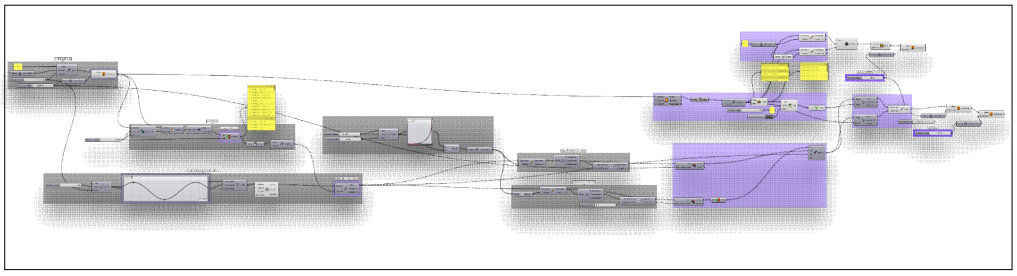
제3장 Grasshopper 알고리즘 설계 개념 및 특징

1절 알고리즘 설계와 Grasshopper

▌ 알고리즘 설계 개념

본 연구에서 활용하고자 하는 도구인 Rhino3D의 플러그인 Grasshopper의 활용에 앞서 그 상위 개념에 대해 정리해야 할 필요가 있다. 알고리즘 설계(Algorithm Design)는 Computational Design[11)]이라는 큰 범주에 속한다. Computation은 결정론적으로 합리적이고 체계화된 알고리즘 논리를 얻는 것으로 정의될 수 있다(Yazici et al, 2016).

사용 분야별로 알고리즘의 개념을 이해하고 활용하는 방법의 차이가 있어 그에 따라 과정 및 구축 방법이 달라진다. 하지만 본질적으로 알고리즘 설계란 가장 단순한 수준에서 설계자의 작업을 완료하는 데 필요한 일련의 명령을 거치는 과정을 의미한다. 컴퓨터 분야에서는 주요 목적 및 해결하고자 하는 문제를 먼저 파악하고 그 문제를 해결하는 과정에서 컴퓨터가 해결할 수 있는 방법으로 연산을 수행하는 개념으로 활용한다. 그러나 디자인 분야에서 알고리즘은 디자인 요구에 대응하는 방식으로 출현하였으며 설계 의도에 따른 디자인 결과물을 생성해내는 과정을 의미한다. 이는 근대 건축의 모호하고 추상적인 방식이 아닌 논리적이며 수학적인 형태로 아이디어를 전개해 나간다는 특징을 가진다(나성진, 2021).

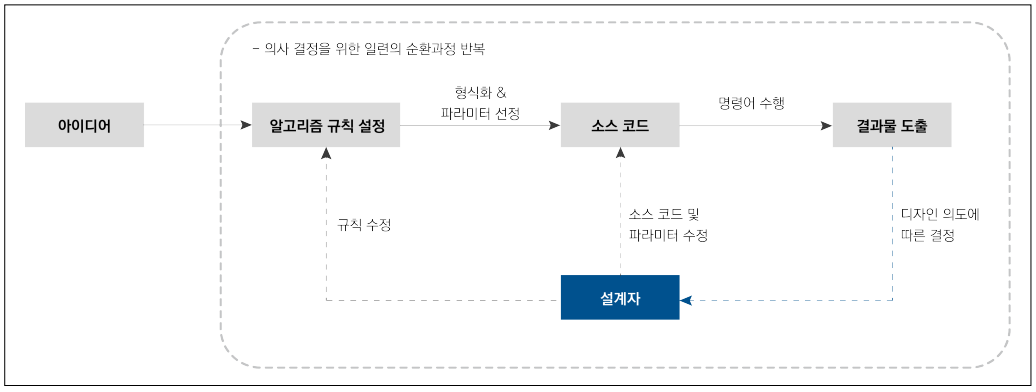


[그림 18] Grasshopper 알고리즘 설계 스크립트 흐름 예시

11) Computational Design은 알고리즘과 매개변수들을 조합해 고급 컴퓨터 과정을 통해 디자인 문제를 해결하기 위한 설계 기법이다.
(출처:https://constructible.trimble.com/construction-industry/what-is-computational-design)

▌ 알고리즘 설계 특징

Bohnacker(2009)에 따른 알고리즘 디자인 과정의 골격은 [그림19]와 같다. 알고리즘 규칙을 설정하는 것부터 결과물 도출까지 설계자의 의도에 따른 순환 과정을 반복하는 것이 특징이다. 즉 알고리즘 설계는 일련의 과정을 통해 최종적으로 각 단계 및 목적들을 수행하기 위한 명령어들을 순서대로 나열하는 것이다. 이를 통해 구현된 파라메트릭 디자인(Parametric Design)은 매개변수(Parameter)를 변경하고 논리 구조의 반복을 통해 결과물을 생성함으로써 특정 형태 또는 결과물을 도출할 수 있다. 이러한 과정에서 설계자가 초기 아이디어에 따라 모든 규칙과 명령어 등을 결정하게 되고 순환 과정에 있어 가장 중요한 역할을 차지한다.



[그림 19] 알고리즘 디자인 진행 과정
(출처:Bohnacker, H., B. Grob, J. Laub and C. Lazzeroni(2009) Generative Gestaltung.)

알고리즘을 생성할 때 고려해야 할 조건들은 다음과 같다. 논리가 모호하지 않고 명확해야 하며 잘 정의된 입력을 필요로 한다. 또한, 원하는 출력과 동일한 하나 이상의 출력을 생성할 수 있어야 하며, 특정수의 단계를 거친 후 알고리즘은 정지해야 한다. 더불어, 알고리즘을 구성하는 각 과정에서 단계별 지침이 제공되어야 하며 효율적인 알고리즘을 만드는 것이 중요하기 때문에 명확한 논리적 기술을 갖추고 있어야 한다[12].

12) 출처:https://www.geeksforgeeks.org/algorithms-design-techniques/

결국 알고리즘 설계는 특정 특성을 보존하면서 단순하고 반복적인 방법 및 규칙에서 복잡한 형태를 탐구하는 과정으로 디자인 분야에서는 Grasshopper가 복잡한 목표를 반복하여 자동화할 수 있기 때문에 논리 구조를 나열하는 데 있어 이상적으로 활용된다.

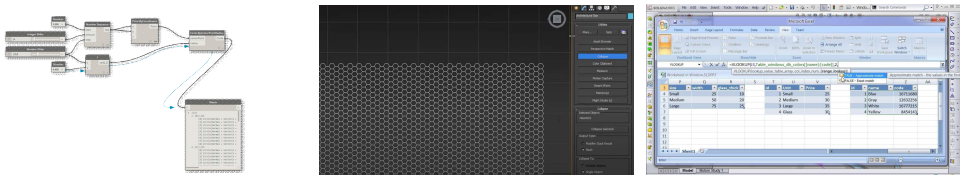
▌ 도구의 검토

형태 생성과 관련하여 알고리즘을 활용해 프로그래밍할 수 있는 프로그램은 이용자의 인터페이스에 따라 크게 3가지 방식으로 분류된다. 알고리즘과 관련된 프로그램은 Graph-based 방식을 사용하는 Rhino3D Grasshopper와 Generative Component, Stack-base 방식을 사용하는 3ds MAX, Associative History Parametric 방식을 사용하는 Digital Project와 Solid works으로 분류된다. 파라메트릭 디자인의 각 기능성을 평가해보았을 때 그래프 기반의 Grasshopper가 다기능성, 유연성, 용이성 측면에서 가장 유용한 것으로 나타났다(정민재 외, 2017). [표 6] 형태 생성을 위한 파라메트릭 디자인 도구 비교에서는 선행연구를 바탕으로 파라메트릭 디자인 소프트웨어의 각 기능에 대한 용이성을 평가하였다.

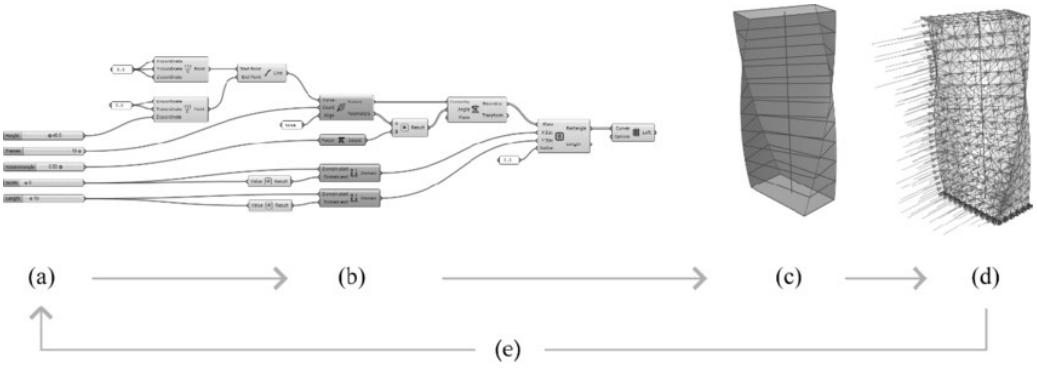
[표 6] 형태 생성을 위한 파라메트릭 디자인 도구 비교

구분	방식	다기능성	유연성	용이성	호환성	가격	종합
		상 : ◎ 중 : ○ 하 : △				○ : 유 × : 무	
Rhino3D Grasshopper	Graph-based	◎	◎	◎	○	×	◎
Dynamo	Graph-based	○	◎	◎	○	×	◎
Generative Component	Graph-based	◎	△	△	○	×	○
3Ds Max	Stack-base	◎	◎	○	○	○	○
Solid Works	Assosiative history	○	◎	○	◎	○	○
Digital Project	Assosiative history	◎	◎	△	○	○	△

실제로 Grasshopper는 그래픽 명령어 기반의 요소들을 연결하여 시각적 디자인 네트워크를 구축하여 다른 프로그램에 비해 비교적 쉬운 인터페이스를 제공한다. 또한 시각적 데이터의 흐름에 따라 실행순서가 결정되기 때문에 명령어 수행 결과의 직관적인 관측이 용이하다. 이는 일반적인 조경가나 건축가가 배우기에 진입 장벽이 낮기 때문에 접근성이 좋은 편으로 해석할 수 있다(김성아, 2017).



[그림 20] Graph-based (Dynamo) / Stack-base (3Ds MAX) / Assosiative history (Solid Works)
(출처: https://bit.ly/3wZfmLs / https://bit.ly/3BfxTG2 / https://bit.ly/3x2hvWV)



[그림 21] Grasshopper 스크립트 진행 과정 (출처 : https://www.researchgate.net)

Grasshopper가 특히 선호되는 이유는 Rhino3D의 무료 플러그인이기도 하고, CAD와 상당히 유사한 인터페이스나 명령어를 기반으로 한다는 장점을 가지기 때문이다. 더불어 정확한 수치와 함께 정량적 정보를 담을 수 있으며 비정형 형태의 표현에 있어 파라미터 조정을 통해 손쉽게 다양한 디자인을 창출해내는 보조적 수단으로 기능한다. 두 번째로, 기존 설계 도구로 사용되고 있는 Photoshop이나 Illustrator, CAD와 같은 2D 기반의 프로그램은 한 번 설계 후 디자인 안이 고착되어 수정 시 어려움이 존재한다. 하지만 Grasshopper를 활용하면 수정도 즉각적으

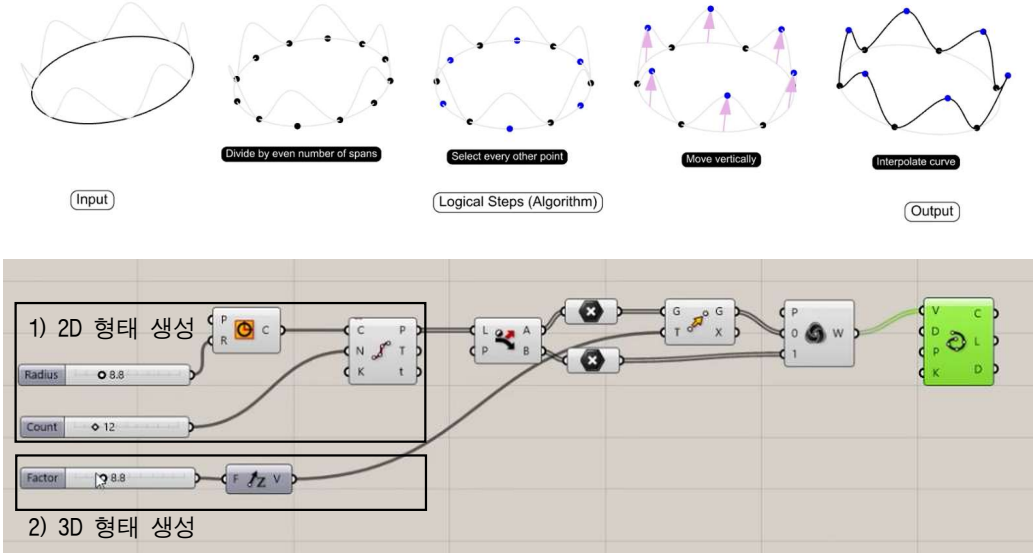
로 이루어질 수 있으므로 설계-의사결정-시공 간의 순환 과정에서 효율성을 높일 수 있다. 마지막으로 최종 결과물의 추출에 있어 상호 프로그램 간 확장성이 좋다는 점을 장점으로 꼽을 수 있다. 그러므로, 본 연구에서는 효율성이 좋고 범용적으로 사용되는 Rhino의 플러그인 Grasshopper를 파라메트릭 기법을 활용하는 디자인 도구로써 활용하고자 한다.

2절 Grasshopper 주요 컴포넌트 및 기능

본문 1절 내용을 바탕으로 알고리즘 설계를 잘 표현할 수 있는 도구로써 Grasshopper는 파라메트릭 디자인 기법을 적용해 형태를 생성하고 주변 환경 분석의 기능을 수행하여 반영할 수 있는 통합적 설계가 가능하다는 장점을 가지고 있다. 이는 주로 건축 파사드 및 공간계획 분야에서 먼저 활용된 바 있으며 2절에서는 선행연구 및 사례를 바탕으로 각 명령어가 적용될 수 있는 방식을 정리하여 3절에서 포장설계에 활용할 수 있는 방안을 모색하고자 한다. Grasshopper의 기본 명령어는 형태 생성과 주변 환경 분석으로 크게 분류할 수 있다.

1. 형태 생성

형태 생성 과정의 경우 설계 초기에 예측 결과물이 고려된다는 점에서 주변 환경 반영 요소와 차이점을 가진다. 표면에서 생성되는 2D 형태와 이를 바탕으로 높이 및 두께값을 활용함으로써 생성되는 3D 형태로 크게 2가지 과정에서 활용될 수 있다. 그 과정은 처음 2D에서 점, 선, 면을 활용하여 원하는 부분을 추출하고 향후 점, 선, 면의 이동을 통하여 면을 연장함으로써 닫힌 3D 형태로서 구현해낼 수 있다.



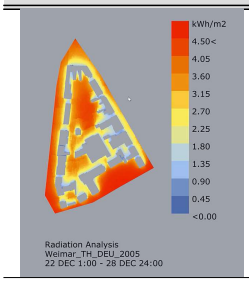
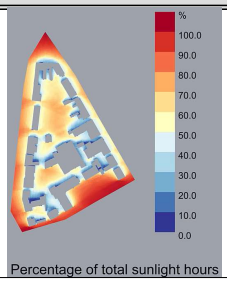
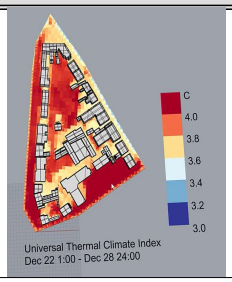
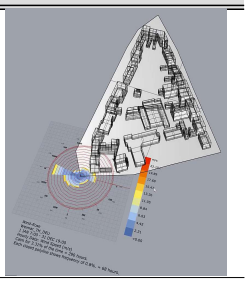
[그림 22] 형태 생성 과정 (출처:https://www.rhino3d.com/kr/learn/?query=kind:%20jump_start)

2. 주변 환경 분석

Grasshopper를 활용한 파라메트릭 디자인을 통해 다양한 측면에서의 환경 분석을 수행할 수 있는데, 주로 이용되는 명령어는 [표 7], [표 8]과 같다. 주요 환경 플러그인으로 Ladybug에 포함된 일조 분석, 풍향 등이 주로 활용되며 이외에도 경사 및 배수와 관련한 Mosquito의 Flow, 최적화 시뮬레이션 기능을 하는 Galapagos, 시야각을 분석하는 View analysis가 주로 활용된다. 이들은 건물 및 지형을 반영한 환경 분석뿐 아니라 시각화 과정을 포함하고 있어 결과물 도출을 통해 시뮬레이션 기능 또한 수행할 수 있다.

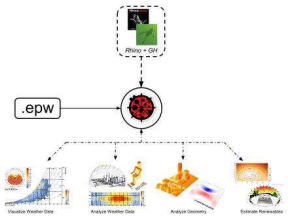
이때 모든 값은 수치로 결괏값이 도출되며 분석 범례에 따라 구간을 나누고, 해석하고 활용할 수 있는 가능성을 가지고 있다. 향후 본 연구내용에서는 포장설계에 주변 환경을 분석하는 명령어들을 적용하여 다양한 방식으로 포장의 기능과 상호작용하며 활용할 수 있는 방법을 모색하는 것을 목적으로 한다.

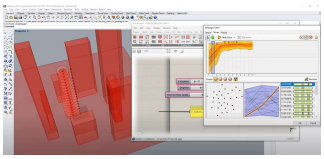
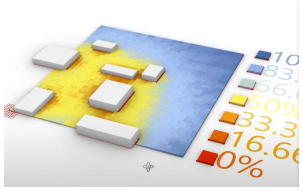
[표 7] Ladybug 명령어를 활용한 환경 분석 시각화

Solar Radiation	Sunlight hours	Outdoor thermal comfort	Wind assessment
			
태양 복사열의 시각화	일조시간 분석을 통해 연중, 원하는 범위의 일조량 분석	야외 열쾌적성 시각화	풍향 및 풍속 분석

출처:https://url.kr/g9yeaz

[표 8] 주요 환경 분석 플러그인과 기능

주요 환경 분석 플러그인	기능 및 활용 방법
1. Ladybug 	• 주요 기능 : 날씨 데이터 분석 및 시각화 태양 경로, 풍향 분석, 건습 차트 등과 같은 다이어그램과 방사선 분석, 그림자 연구 및 시야각 분석과 같은 기하학 연구 포함 - EPW 형식 데이터를 바탕으로 광역적 환경의 분석 가능
2. Mosquito 	• 주요 기능 : Waterflow 분석 위치, 건물, 도로, OpenStreetMap 데이터, 프로필, 이미지 및 메시지 등을 추출하여 지형 기반으로 물의 흐름 방향을 찾는 방법 - Rhino에서 Patch 명령을 사용해 지형선을 활용한 표면 제작 - 표면 분할 플러그인을 사용하여 점 그리드 생성 - 흐름 구성 요소를 스크립트에 배치하여 흐름선 생성(해상도, 양 등 시각적 조정 가능)

3. Galapagos 	• 주요 기능 : 변수의 최대, 최소값 분석 주로 여러 개의 변수를 가진 건물 모형의 최적화 결과를 찾기 위한 파라미터 시뮬레이션에 활용
4. IsoVist 	• 주요 기능 : 예측 이용자의 위치에 따른 주요 시야각 분석

출처:https://www.food4rhino.com/en

3절 포장설계에 Grasshopper 적용 가능성

Grasshopper를 활용한 파라메트릭 디자인은 형태 요소의 매개 변수화로 하여금 적용될 수 있다. 모든 형태는 점, 선, 면의 기본 위상을 가지고 규칙에 따라 순서대로 최종 형태를 생성해나가는 구조를 갖는다. 그러나 건축 파사드의 입면적 높이 변화를 통해 다양화를 도모하는 것처럼 구현하기에는 보행 환경의 제약이 존재하기 때문에 패턴의 다양화를 통한 포장설계가 가능할 것이다.

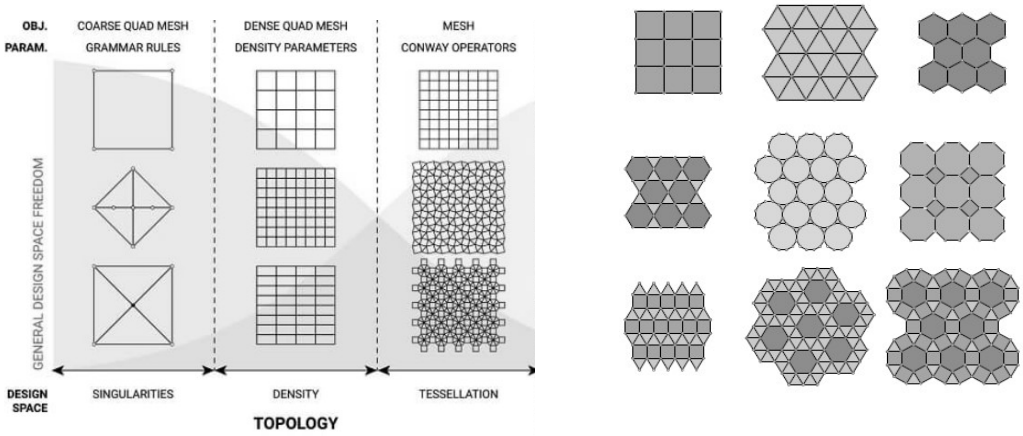
본 연구는 1) 패턴 생성과 주변 환경 분석을 통한 2) 포장 기능과의 연계 두 가지 방식의 포장설계 방식에 관해 기술하고, 각 항목을 연계함으로써 포장 패턴과 기능의 통합적 설계를 목적으로 쾌적한 보행 환경과 더불어 기후 변화 시대에 중요한 이슈 중 하나인 투수성과 연계한 포장설계 기법을 제안하고자 한다.

포장 투수율과 보행 쾌적성은 서로 상충하는 조건일 수 있다. 특히, 기존 포장의 줄눈 확보에 있어 투수 기능을 위해 줄눈을 일정 간격 이상 확대할 시 울퉁불퉁한 표면으로 인해 보행의 불편함을 야기하기도 한다. 그렇기에 양 측면을 절충할 수 있는 설계 대안으로 파라메트릭 포장설계 기법을 제안할 수 있다.

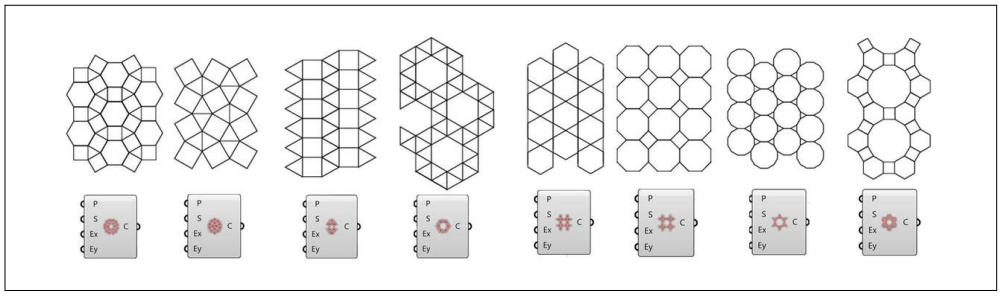
기존 포장에 활용되었던 블록 간의 줄눈이 아닌 공극 패턴을 활용하는 포장설계를 통해 보행 공간을 고려하면서 투수 기능을 확보하는 패턴 설계 알고리즘을 구축하고자 한다. 패턴 형성 대안은 수없이 존재하기 때문에 프로토타입으로 공극 포장 패턴을 제안한다. 더불어, 투수율의 경우 정량적으로 계산할 수 있는 수치이기 때문에 알고리즘에 계산식을 삽입하여 목표 투수율을 달성하는지 충족 여부를 즉각적으로 확인할 수 있다. 이후 주변 환경 분석 결과물을 바탕으로 이와 상호작용하며 배치되는 포장설계 방법을 탐구해보고자 한다.

1. 패턴 생성

본 연구에서 다루는 패턴이란, 되풀이되는 사건이나 물체의 형태를 가리키며 물체들의 집합 요소로 부르기도 한다[13]. 그 중, 포장설계에서는 2D 형태로 유사한 형태가 반복되는 패턴을 생성함으로써 테셀레이션(Tessellation)[14] 개념이 유용하게 활용된다. Grasshopper에서는 일률적인 형태의 반복 배치를 시각화하는 데 유용하며 여러 도형들을 분해하고 합쳐 활용하는 것이 가능하다.



[그림 23] 패턴의 개념과 단일 및 다중 테셀레이션 예시
(출처:Oval, R. (2019). Topology Finding of Patterns for Structural Design.)



[그림 24] Grasshopper 테셀레이션
(출처:https://www.grasshopper3d.com/photo/semi-regular-tessellation-parakeet?overrideMobileRedirect=1)

13) https://ko.wikipedia.org/wiki/%ED%8C%A8%ED%84%B4(출처:위키백과)
14) 테셀레이션이란, 동일한 모양을 이용해 평면이나 공간을 빈틈이나 겹쳐지는 부분 없이 채우는 것을 의미한다. (출처:위키백과)

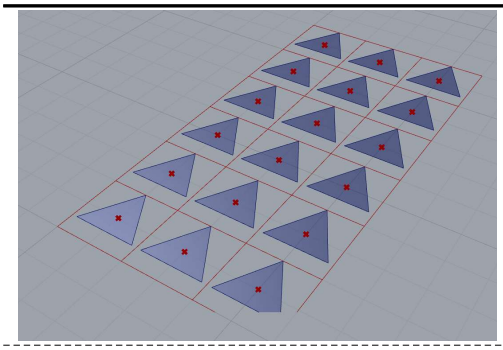
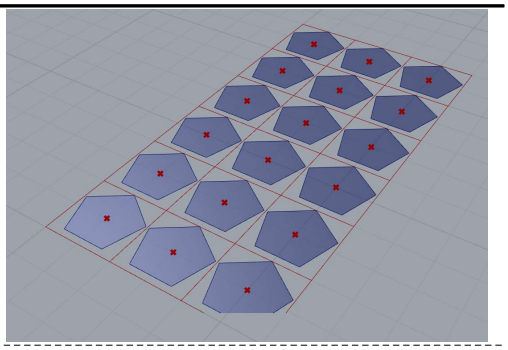
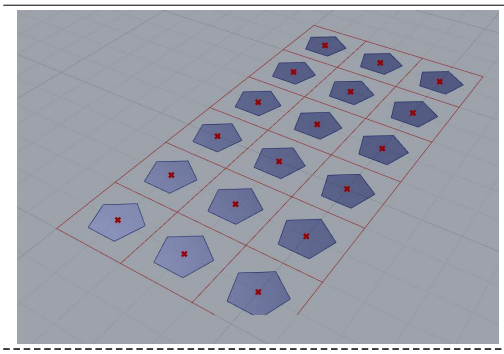
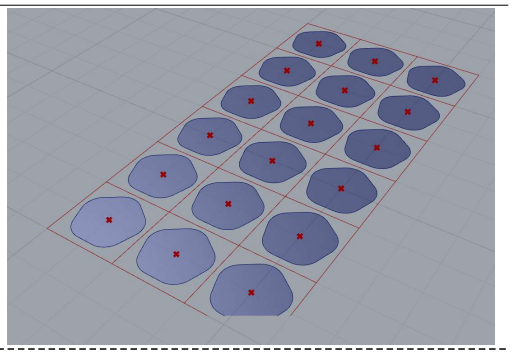
▌ Geometry의 활용

건축 파사드에서는 주로 입체적인 높이 변화를 통해 곡면을 생성하거나 높낮이를 통해 깊이감을 부여함으로써 시각적으로 다양하게 표현될 수 있도록 알고리즘 설계를 활용하였다. 그러나 본 연구에서는 포장설계의 특성상 수직이 아닌 수평적 요소로써 보행자가 실질적으로 통행하는 표면이기 때문에 입체적인 곡면을 생성하는 것은 제한이 있을 것으로 보고 평균적인 포장 높이 차도용 80mm, 보도용 60mm 범위의 표면에서 활용할 수 있는 Geometry의 변화 및 다양성에 대해 탐구해보고자 하였다. 이때 Geometry는 Point, Multipoints, Polyline, Polygon 등과 같은 점, 선, 면의 벡터 표현을 제공하는 요소를 의미한다.

패턴은 일반적으로 변의 길이가 동일한 형태의 모듈의 접합을 통해 확장 가능한 구조를 통해 실현되며 기본적으로 삼각형, 사각형, 육각형 등의 형태가 주로 사용된다(류호창, 2011). 따라서 본 연구에서는 점, 선, 면을 모두 포함하는 Polygon 컴포넌트를 활용해 기존 사각형 패턴뿐 아니라 여러 변의 수를 가진 패턴 설계를 프로토타입으로 제시한다. 그러나 실질적으로 변화 없이 하나의 모듈을 매트릭스 틀 안에서 일정하게 반복할 경우, 공간이 지루해질 수 있다. 또 전달하는 메시지나 의미 또한 한정되며 무한 가능성 때문에 인공적인 느낌으로 오는 답답함을 느낄 수도 있기 때문에 반복되는 패턴이 가지는 속성을 유지하면서도 상황에 맞게 스케일이나 위상학적 변화를 주는 방법들이 필요하게 되었다(박정주, 2010). 따라서 Polygon들을 조합하는 형태로 이동, 중첩, 교차, 나열 등의 방법을 통해 파라메트릭 패턴을 생성할 수 있다.

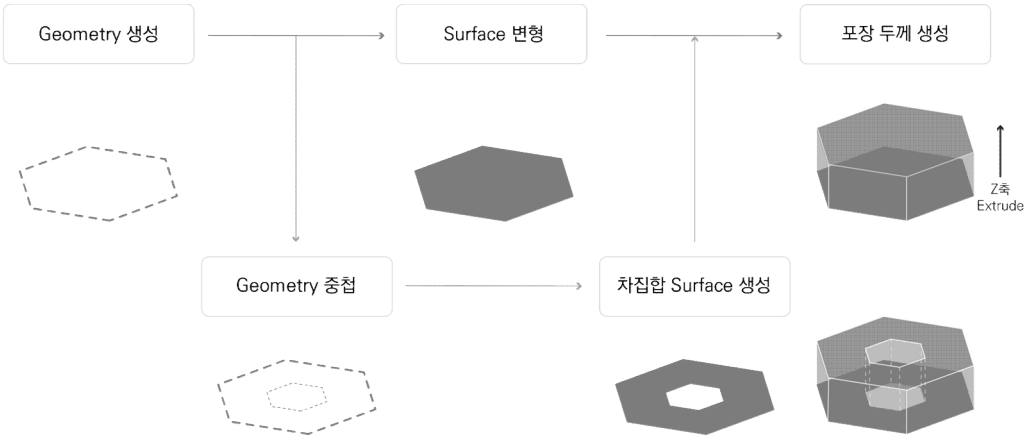
Grasshopper에서 Polygon 컴포넌트의 입력 요소는 크게 4가지이다. [표 9]와 같이 다각형을 입력하는 기준이 되는 Plane, 크기가 될 반경 Radius, 변의 개수 Segments와 모깎기의 정도 Fillet Radius를 통해 지오메트리가 형성된다.

[표 9] Polygon 컴포넌트 활용 예시

	
- Radius : 1.0 - Segments : 3 - Fillet Radius : 0.0	- Radius : 1.0 - Segments : 5 - Fillet Radius : 0.0
	
- Radius : 0.7 - Segments : 5 - Fillet Radius : 0.0	- Radius : 1.0 - Segments : 5 - Fillet Radius : 0.5

▌ 포장설계 알고리즘 기본 구조

포장을 설계하기 위한 기본 과정은 [그림 25]를 따른다. 2D 형태를 생성하는 것에서부터 +Z축으로 높이를 부여하여 Extrude하게 되면 완전히 닫힌 3D 포장 모듈을 제작할 수 있다. 이에 패턴을 부여하기 위해서는 또 다른 Polygon을 모듈 내부에 중첩하여 생성할 수 있다. 합집합, 교차, 차집합 등의 Geometry를 조합하는 명령어 적용이 가능하지만 본 연구에서는 투수성 확보를 위한 기능을 목적으로 공극 패턴 설계 알고리즘을 개발하기 위해 차집합의 기능에 집중하였다.



[그림 25] 3D 입체 모듈 형성 과정

▌ 정량적 수치를 반영하는 공극 포장

배수의 경우 줄눈과 밀접한 관련이 있으며, 도시환경 개선 측면에서 가능한 투수 포장 적용을 권장하는 등 투수 기능을 요구해왔다. 또한, 설계단계에서 투수 정도에 따라 표면에 가중치를 부가하는 생태면적률의 개념에서 공간 성격별로 목표로 하는 수치의 확보 또한 중요한 이슈이다. 그러나 이를 충족시키기 위해서는 [표 10]과 같이 공간 유형 및 가중치 분류에 따라 포장 유형을 파악하여 각 면적의 계산이 필요하고 최종적으로 목표 수치를 충족시키는지 검토해야 하는 등의 번거로움을 유발하기도 한다.

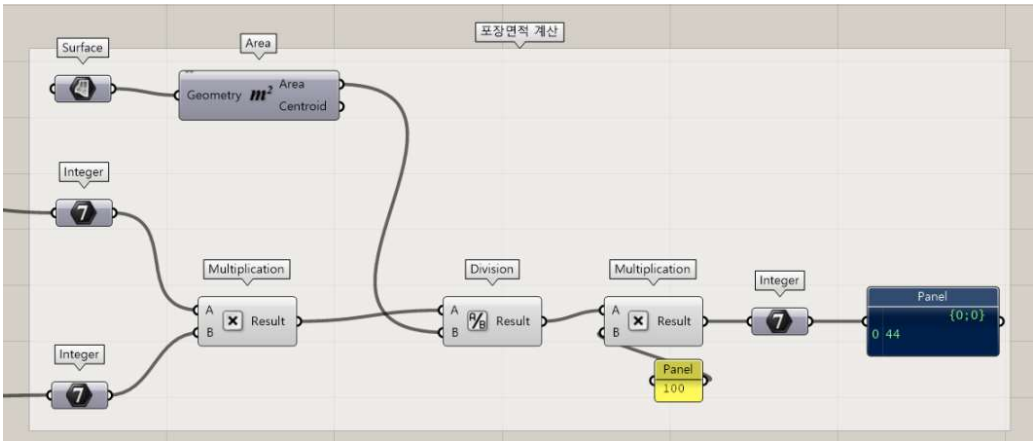
[표 10] 생태면적률 계산을 위한 공간 유형 및 가중치

피 복 유 형			가중치	설 명	사 례
1		자연지반녹지	1.0	자연지반이 손상되지 않은 녹지 식물상과 동물상의 개발 잠재력 보유	자연 상태의 지반을 가진 녹지
2		수공간 (투수기능)	1.0	자연지반 기초 위에 조성되고, 투수 기능을 가지는 수공간	투수 기능을 가지는 생태연못 등
			바닥에 차수시설이 설치되어 있는 수공간의 경우 가중치 0.5		
3		인공지반녹지 ≥ 90㎝	0.7	토심이 90㎝ 이상인 인공지반 상부 녹지	지하주차장 상부, 지하실 상부 녹지
			토심이 90㎝ 미만인 경우 가중치 0.5(단, 최소토심 40㎝ 이상)		

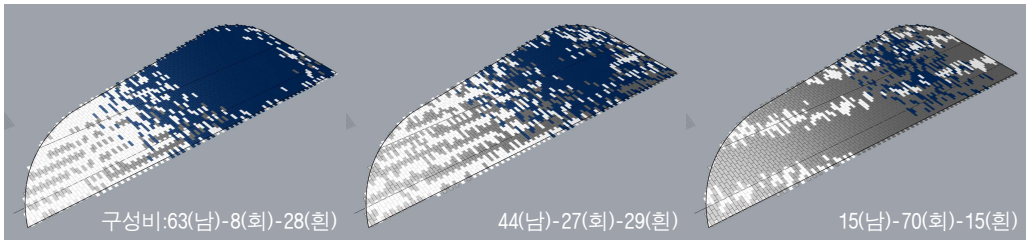
4		옥상녹화 ≥ 40㎝	0.6	토심이 40㎝ 이상인 옥상녹화시스템이 적용된 공간	혼합형 녹화옥상시스템 중량형 녹화옥상시스템
			토심이 40㎝ 미만인 경우 가중치 0.4(단, 최소토심 20㎝ 이상)		
5		투수 포장	0.4	자연지반 위에 조성되고 공기와 물이 투과되는 포장, 식물생장 필수	잔디블록, 목판 또는 판석 부분포장
			포장재의 투수율은 0.01㎝/sec를 확보 미식재 면적이 50% 이상인 경우 가중치 0.2 불투수 포장은 가중치 0.0		
6		벽면녹화	0.3	창이 없는 벽면이나 옹벽(담장)의 녹화, 최대 10m 높이까지만 산정 (단, 최소토심 20㎝ 이상)	벽면이나 옹벽녹화 공간
7		침투시설 연계면	0.1	지하수 함양을 위한 우수침투시설 또는 일시적 저류시설과 연계된 면	녹화가 되어 있지 않은 옥상 중 침투시설과 연계된 공간

출처:서울특별시 도시계획 조례 시행규칙_별표 3의2 생태면적률 산정방법[시행 2022.9.26.]

이에 단순 형태 생성이 아닌 정량적 수치와 상호작용하는 포장에 파라메트릭의 적용 가능성을 사전에 살펴보기 위해 [그림 26]과 [그림 27]에서와 같이 포장 면적 구성비별 시각화를 수행해보았다. 이를 통해 패턴의 유형을 3가지로 분류하여 각 구성비에 따라 달라지는 패턴을 시각화해보고 각 포장 면적의 구성비를 계산해 비교할 수 있었다.



[그림 26] 포장 면적 계산 스크립트 예시 : 44%



[그림 27] 포장 면적 구성비별 시각화

이를 통해 용도 및 설계자의 의도에 따라 대상지 내부의 패턴 유형별로 정량적 비율을 계산하여 수치상으로 확인할 수 있다. 그에 따라 시각적으로 변화하는 구성비를 살펴볼 수 있었고, 향후 투수 면적을 계산하고 패터닝의 시각화에 있어 활용 가능성을 확인하였다. 투수 목표율을 사전에 지표로써 설정한 후 투수가 필요한 곳에 형태 사이 줄눈 간격을 띄우는 형태가 아닌 포장의 모듈 내 공극을 활용한 구멍을 뚫어서 침투가 가능하게 하고, 투수가 불필요한 부분에서는 공극이 없는 형태를 표현함으로써 투수 기능을 확보하는 포장 패턴을 제안할 수 있을 것이다.

2. 포장 기능과의 연계

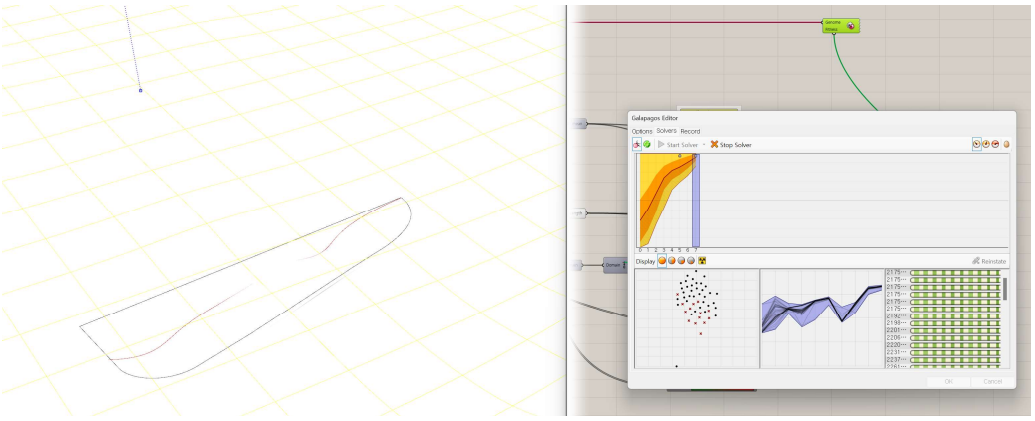
주변 환경 분석을 통해 도출된 결과를 통해 포장 기능과 연계하여 패턴을 배치할 수 있다. 주변 환경에 관한 기능으로는 Grasshopper 알고리즘을 활용하여 주변 지형, 건물 등 시각적 환경을 구축하고 경사, 일조 및 시야각 분석 등 다양한 환경 분석을 수행할 수 있다. 본 연구에서는 포장설계에 직접적으로 연관이 있을 것으로 예측되는 보행 동선과 수계 흐름에 국한하여 다루어보고자 한다.

파라메트릭 포장설계에서 다룰 수 있는 환경 정보로 이용자 측면에서 보행 동선, 환경적 측면에서 수계 흐름에 따른 배수의 적용이 가능하다. 더불어 단순 분석뿐만 아니라 패턴 생성과 상호 연계하여, 입력하는 원인으로 인해 형태가 유기적으로 변화하며 전체적인 패턴을 생성할 수 있다.

주요 환경 분석 플러그인 중 보행 동선은 목적 동선, 최적의 경로를 추출하는 면에서 Galapagos가 활용될 수 있고, 투수율을 반영하는 공극 포장 패턴에 유용하

게 활용될 수 있는 명령으로는 Mosquito의 기능 중 Flow가 있다.

Galapagos를 활용하면 표현식을 통해 도출되는 결괏값의 최솟값 및 최댓값을 가지는 결과물을 시각화할 수 있다. Genome과 Fitness로 칭해지는 2개의 변수를 지정하게 되어 있으며, Genome에는 파라미터 변수들을 설정하고 그 숫자가 변화함에 따라 Fitness로 최적의 안으로 평가할 표현식을 입력함으로써 최적의 안을 도출할 수 있다.



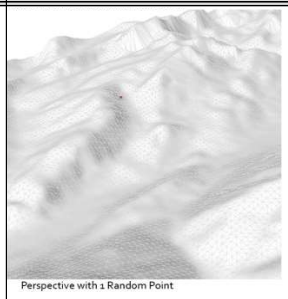
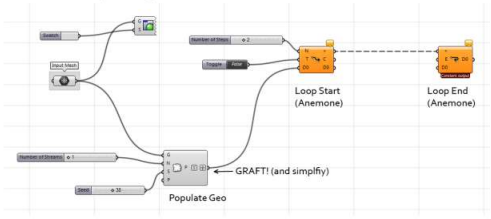
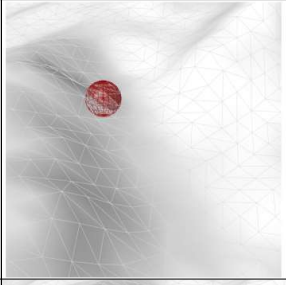
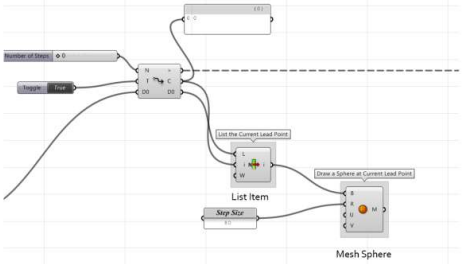
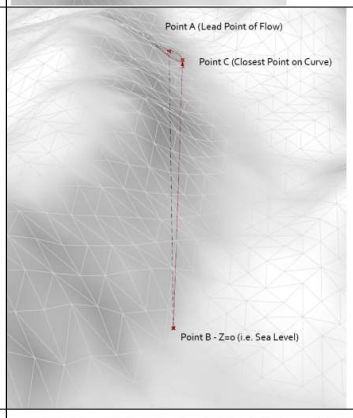
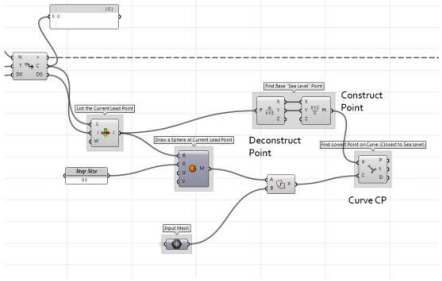
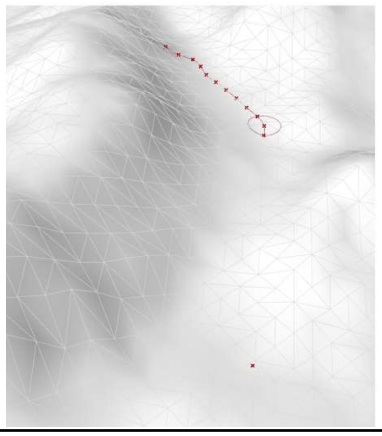
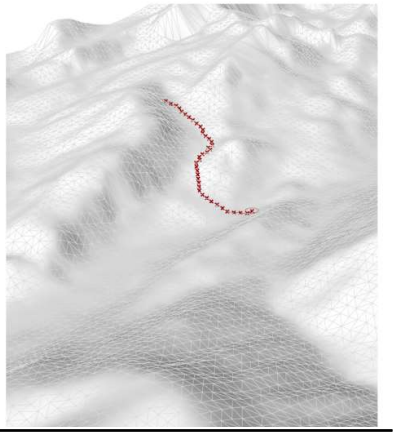
[그림 28] Rhino3D 시각화(좌) / Galapagos 인터페이스 및 시뮬레이션 진행 과정(우)

Flow 분석을 통해 수계가 모이는 지점과 분산되는 지점을 분석함으로써 배수가 필요한 구간의 산정이 가능하다. 향후 이를 반영하는 패턴 배치를 수행할 수 있으며 사전에 원리를 파악하기 위해 알고리즘 전개 방식을 먼저 탐구하였다.

Waterflow 스크립트 단계는 크게 4가지로 분류되며 각 스크립트 진행 과정에 따라 이해를 돕기 위한 시각적 자료와 명령어를 [표 11]에 첨부하였다. 본 스크립트는 중력에 따라 물의 최단 거리로 이동하는 원리에 기반에 따라 구축되었으며 지형을 기초 데이터로 활용하기 때문에 Input 요소로써 수계의 흐름을 분석할 지형 메시(Mesh)를 입력하는 것이 필요하다.

그러나 본 과정은 Mosquito의 명령어 중 Flow로 간략화될 수 있기에 향후에는 Grasshopper의 플러그인 중 하나인 Mosquito의 Flow 명령어를 활용할 수 있도록 하였다.

[표 11] Waterflow 스크립트 전개 과정

과정명	스크립트 이미지 및 내용
1. 지형 Mesh 생성과 루프 설정	 
2. 가능한 이동 방향에 대한 곡선 찾기	 
3. 곡선의 이동방향 결정을 위한 최저점 탐색	 
4. 루프 종료 후 연결선 시각화	 

출처:https://generativelandscapes.wordpress.com/2016/05/31/water-runoff-script-example-8-6/

4절 소결

본 장에서는 Grasshopper를 활용한 포장 파라메트릭 디자인을 위해 알고리즘 설계 개념을 검토하고 패턴 설계에 Grasshopper의 적용 가능성을 탐구하였다. 연구 최종 달성 목적은 포장 패턴 설계 기법을 개발하는 것으로 주요 기능을 1) 형태 생성과 2) 주변 환경 분석으로 보고 향후 연구 진행 방향을 설정하였다.

1) Grasshopper의 형태 생성 과정을 통해 구현될 수 있는 결과물로 포장 패턴 생성을 위한 Geometry 활용방안을 검토하였다. 알고리즘 설계를 통한 패턴 생성에 있어 입체적 변화가 제한적인 포장설계에서 적용할 수 있는 Geometry의 적용 방안을 사전에 설정하여 2D에서 3D로 구현하는 축이 되는 알고리즘 진행 과정을 구축하였다. 더불어, 표현식을 거쳐 추출된 정량적 수치의 결과를 즉각적으로 확인할 수 있다는 점에서 목표 투수율을 확보하는 공극 포장의 가능성을 확인하였다. 설계된 패턴에 대한 즉각적인 시각화 등을 장점으로 하여 설계자가 원하는 정도의 구성비를 확인하며 의사결정에 도움을 주는 등 포장 패턴 설계에 파라메트릭 기법을 적용했을 때 장점이 존재한다.

2) 주요 주변 환경 분석에 활용되는 컴포넌트 및 기능을 살펴봄으로써 1)의 과정을 통해 도출된 프로토타입 포장의 기능과 주변 환경이 연계되며 패턴을 배치할 수 있는 가능성을 제안하였다. 기존 주변 환경의 활용에 있어서는 주로 건축, 공간계획의 측면에서 일조량, 풍향 등이 건물의 배치와 파사드의 입면적 변화의 다양성을 부가하는 데 활용되어 왔으며 본 연구에서는 조경 설계에서 포장에 있어 주변 환경과 상호작용하는 설계 기법을 개발하고자 한다.

제4장 포장 패턴 알고리즘 설계

1절 패턴 생성 알고리즘

현재 투수 포장에 있어서 법적으로 만족시켜야 하는 기준은 제시되어 있지 않으나, 생태면적률의 개념 안에서 투수 포장은 고려되어야 할 요소로 특정 목표치를 정량적으로 제시할 수 있어야 한다.

서울시는 지난 2004년부터 무분별한 포장 억제, 도심 녹지 확보를 목표로 하여 '생태면적률' 제도를 도입한 바 있다. 생태면적률이란 건축대상지 면적 중 자연순환 기능을 가진 토양 면적 비율을 수치화한 개념이다. 자연·인공지반녹지, 벽면녹화, 수공간, 옥상녹화, 투수성 보도블록 등이 해당하며 개발 전 사업계획수립 시 사업 유형에 따라 그 비율을 달리해 목표 수치를 확보하도록 권장하고 있다.

예를 들어 도시관리계획 사업 시 용도지역별로 전용 주거, 일반주거지역의 경우 30% 이상, 준주거지역과 상업지역은 20% 이상, 건축유형별로는 일반주택(개발 면적 660㎡ 이상)은 30% 이상, 일반건축물(업무, 판매, 공장 등)은 20%, 녹지지역 시설 및 건축물은 50% 이상을 확보하도록 권고하고 있다.

▌ 생태면적률 계산식[15)]

$$\text{생태면적률}(\%) = \frac{\text{자연순환기능 면적}}{\text{전체면적}} \times 100 = \frac{\Sigma(\text{피복유형별 환산면적}) + \Sigma(\text{식재유형별 환산면적})}{\text{전체면적}} \times 100$$

공간유형별 가중치는 자연지반녹지를 1, 불투수 면적을 0으로 보고 그 사이를 세분화하여 유형별 가중치를 다르게 제시하고 있다. 투수 포장은 크게 공기와 물이 투과되는 전면투수 포장면, 자연지반 위 시공된 마사토, 자갈, 모래포장, 투수블록 등이 속하는 '전면 투수 포장'과 틈새를 통해 공기와 물이 투과되는 포장면을 뜻하는 '틈새 투수 포장'으로 구분되는데, 전면투수 포장은 투수능력에 따라 1등급은 0.4, 2등급은 0.3의 가중치를 두었고, 틈새투수 포장은 0.2로 둔다. 즉 투수율에 따라 포장 면적의 20%~40%를 생태 면적으로 인정해준다는 의미이다[16)].

15) 생태면적률 산정방법 (제10조의2제1항 관련)

본 연구에서는 기존 포장에서 줄눈이 아닌 공극 형태로 투수 공간을 형성함으로써 목표 투수율의 구현 가능성을 보여주고자 한다. 이는 디지털 기술과 재료의 발전에 따라 디자인 가능성이 확장된 것을 기회로 삼는 것이며, 투수 면적과 관련된 법규를 충족시키기 위해 공극을 통한 투수 기능에만 한정해 목표 투수율(%)을 달성하는 알고리즘을 구축해보고자 한다.

1. 공극 포장 Pseudo-code

Grasshopper 알고리즘 설계에 들어가기에 앞서 세부 단계별 목표를 제안함으로써 설계자의 디자인 의도를 담은 Pseudo-code[17]를 구축한다. 본 단계에서는 Polygon의 배열 및 조합을 통해 투수 기능 확보를 위해 공극을 형성하는 경우 패턴의 모듈이 어떻게 형성될 수 있을지 탐구하는 것을 목적으로 한다.

모듈 내의 투수 패턴을 생성하는 변수는 패널 베이스의 형태와 공극의 형태, 이동, 크기, 회전을 포함하는 공극의 배치로 크게 3가지 파라미터로 분류할 수 있다. Pseudo-code는 다음과 같은 과정을 통해 구현된다. 첫째로, 설계자가 원하는 변의 수를 가진 패널 모듈의 베이스를 먼저 마련하고 둘째, 그 내부에 조합할 공극의 형태를 설정한다. 다음 단계에서는 공극의 형태가 패널 베이스보다 작도록 설정하고 패널 베이스와 겹치는 범위 내에서 이동, 회전, 개수에 따라 설정할 수 있다.

하지만 공극의 형태를 Polygon으로만 조성할 시 보행 환경에 불편함을 끼치는 등 부정적 영향을 초래할 수 있다. 따라서 모듈 내부에 선을 활용하여 슬레이트 형식으로 적용할 수 있는 공극을 고려하는 것 또한 필요하다고 판단하였다. 그 경우, 패널 베이스는 그대로 두고 공극의 형태는 Line을 활용하여 두께를 주는 방식으로 같은 알고리즘 논리를 통해 구현될 수 있다.

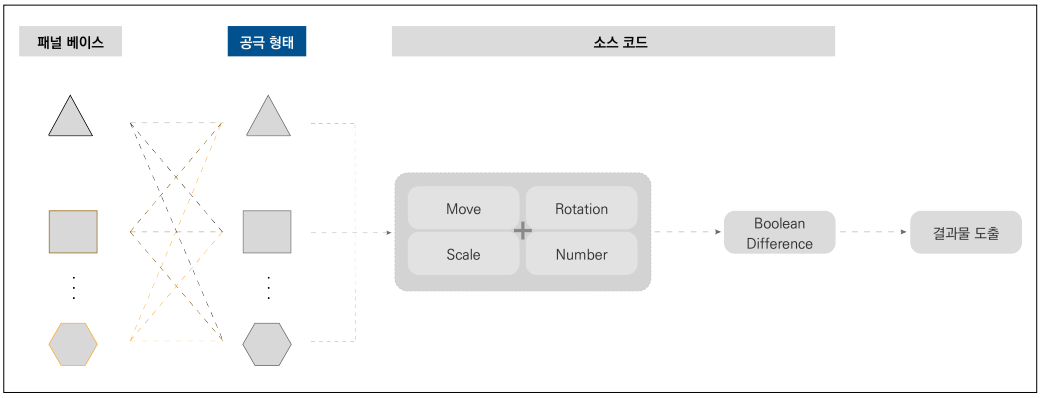
따라서, 본 단계에서 알고리즘을 설계를 구축하면서 파라메트릭 포장 모듈을 형성할 때 고려해야 할 사항, 반영할 수 있는 요소들을 살펴보고자 한다.

---

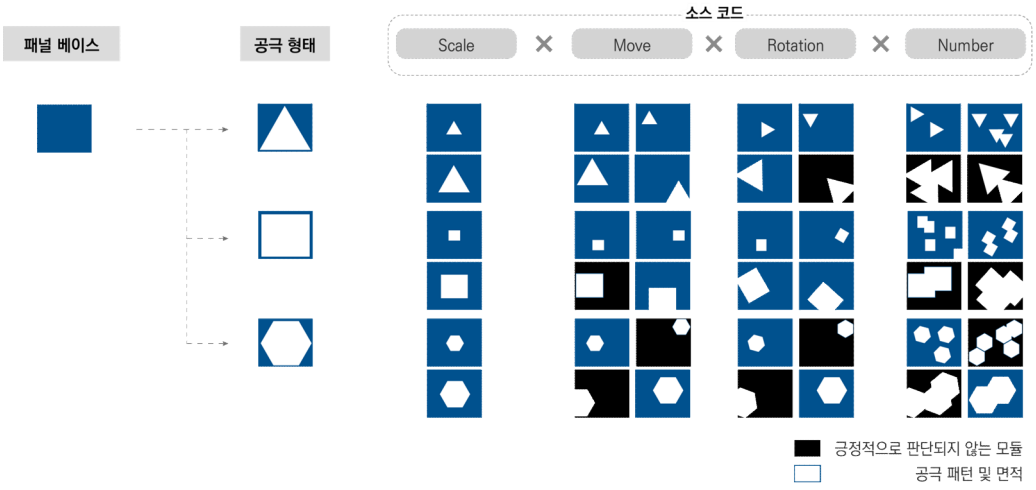
16) https://www.lafent.com/mbweb/news/view.html?news_id=129977

17) 의사코드(슈도코드, pseudocode)는 프로그램 작성 시 각 모듈이 작동하는 논리를 표현하기 위한 언어이다. 특정 프로그래밍 언어의 문법에 따라 쓰인 것이 아닌, 일반적인 언어로 코드를 흉내 내어 알고리즘을 써놓은 코드를 말한다. (출처:위키백과)

[그림 29]에서는 패널 베이스를 사각형으로 선정한 후 공극 형태가 각각 삼각형, 사각형, 육각형인 형태를 가지는 것으로 가정하여 모식도로 나타내었다. 사각 모듈 내부의 흰색 면적은 공극을 표현한 것이다. 이와 같은 스터디를 통해 공극 포장 모듈의 패턴 구축에 있어 공극 패턴 설계 시 고려해야 할 요소들을 (1)시공성, (2)내구성, (3)유지·관리성 3가지 사항으로 분류하였다. 고려 사항 중 1가지 이상에서 긍정적으로 판단되지 않는 모듈의 경우 검은색으로 표현하였다.



[그림 29] Polygon을 활용한 공극 포장 모듈 Pseudo-code



[그림 30] 공극 조합 경우의 수 프로토타입 모식도

(1) 시공성

시공의 편의성 확보를 위해 공극 형태의 Boolean Difference를 통해 모듈이 두 조각 이상으로 분리되지 않고 이어지는 가장자리를 가져야 한다.

(2) 내구성

모듈 가장자리가 공극과 겹치는 비정형 형태로 완전히 잘려 나가는 경우는 실현 가능한 모듈로 보았다. 그러나, 모듈 가장자리에 가깝게 공극이 존재할 경우 틀의 두께가 얇아져 내구성이 떨어질 가능성이 있기 때문에 일정 간격 이상을 유지하여야 한다.

(3) 유지・관리

공극 형태 간의 배치에서도 향후 유지・관리성을 고려하여 2번과 유사하게 일정 간격을 띄우고 형성이 되어 내구성을 갖출 수 있도록 한다. 따라서, 작은 자투리가 튀어나온 형태의 경우 긍정적이지 않은 것으로 판단할 수 있다.

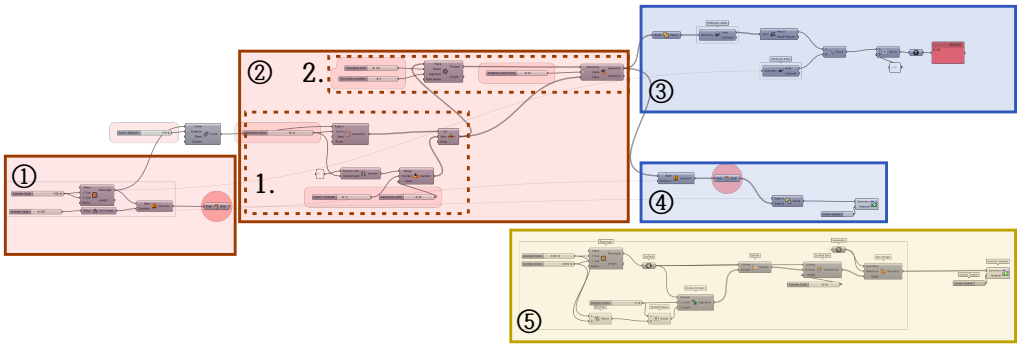
(4) 안전성

Polygon을 활용한 공극 형성에 있어 패널 베이스의 크기에 비해 공극이 크게 생성된 경우는 안전상의 측면에서 선(직선, 곡선, 불규칙선)적 공극을 활용하는 방식으로 대체할 필요성을 가진다.

이 외에도 공극 포장 모듈 패턴은 각 소스 코드인 크기, 이동, 회전, 개수 등의 파라미터 조합에 따라 여러 가지 안으로 구현될 수 있을 것이다. 그러나 설계자는 위와 같은 고려 사항을 반영하여 비교적 긍정적으로 판단되지 않는 패턴을 가진 모듈의 경우 의사결정 시 제외하도록 판단할 수 있어야 할 것이다.

2. 공극 포장 알고리즘 스크립트

용도지역별 생태면적률 확보 투수율은 20, 30, 50%를 달성할 것으로 명시하고 있다. 이에 포장이 일률적으로 조성될 경우 모듈 자체에서 각 20, 30, 50%의 공극을 확보한다면 자연지반녹지 없이 포장만으로 표면을 설계할 수 있다. 모듈 Pseudo-code에 따라 기초 단계로 Polygon을 활용한 공극 포장 모듈의 알고리즘 형성 과정 script는 [그림 31]의 순서대로 진행된다.



[그림 31] 공극 포장 모듈 형성 알고리즘 스크립트

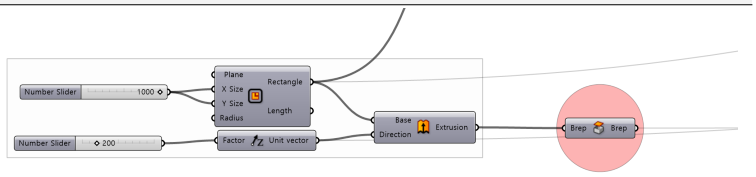
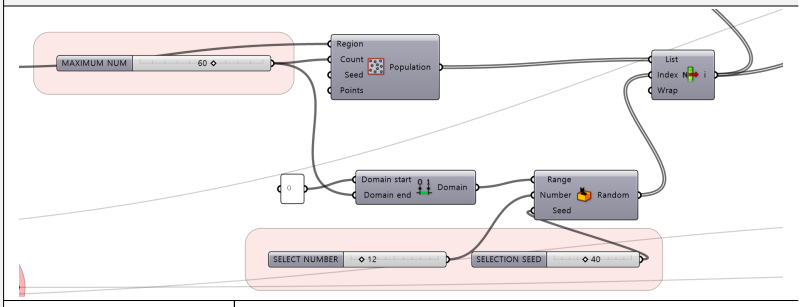
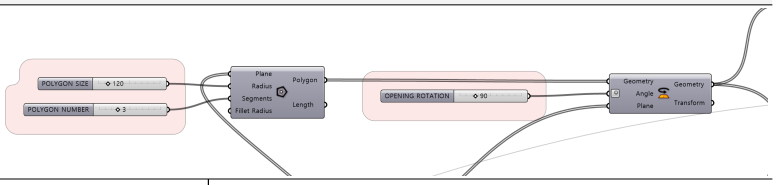
Grasshopper 스크립트의 전반적인 진행 과정은 [표 12]와 같이 형태 생성 과정, 계산 과정, 시각화 과정에 따라 세 단계로 분류할 수 있다.

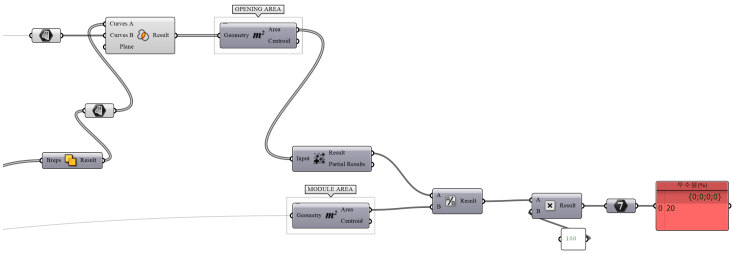
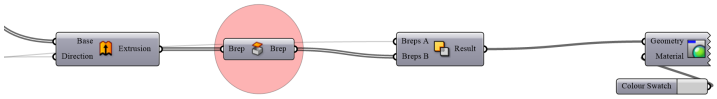
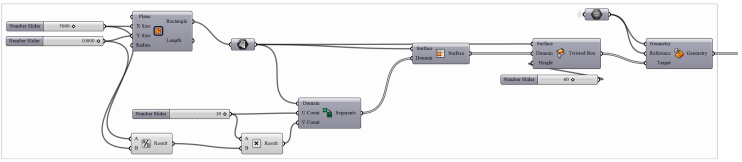
첫 번째 형태 생성 과정에서는 패널 베이스와 공극의 형태 생성 과정으로 설계자의 의도에 따라 Polygon 변의 수를 활용한 도형 설정을 통해 포장 모듈의 패턴을 결정하는 과정을 거친다.

두 번째 계산 과정은 본 연구에서 패턴 충족 조건으로 활용하고자 하는 투수율을 계산하는 것으로 ①, ②에서 추출된 패널 베이스의 면적당 공극의 면적을 백분율로 수치화하는 과정이다. 정량적 수치로 결과가 추출되는 만큼, 수식을 입력할 시 중복되는 면적은 2번으로 인식하지 않도록 하는 등 계산 과정에서 오차가 발생하지 않도록 사전에 기초를 명확하게 마련하는 것이 중요하다.

마지막은 시각화 과정으로 ③의 과정에서 목표 투수율을 충족시키는 다양한 조합을 시각화하여 고려할 조건을 만족시키는 범위 내에서 형태의 변형을 즉각적으로 확인함으로써 의사결정에 도움을 줄 수 있다. 이를 한 모듈에서 마무리하는 것이 아닌 패터닝 과정을 통해 한 모듈에서 X, Y축으로 무한히 배열하여 대상지의 경계에 따라 즉각적으로 적용될 수 있도록 알고리즘을 구축하였다.

[표 12] 공극 포장 알고리즘 스크립트 진행 과정

<table>
<tr><th>유형화</th><th>클러스터 번호</th><th colspan="2">세부 내용</th></tr>
<tr><td rowspan="7">형태 생성</td><td rowspan="4">①</td><td colspan="2">패널 베이스 생성하기(단일모듈)</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>구성요소</td><td>기능</td></tr>
<tr><td>Polygon</td><td>패널 베이스 형태 설정</td></tr>
<tr><td>Extrude</td><td>Z축 두께 설정</td></tr>
<tr><td>Brep</td><td>입체 도형 생성</td></tr>
<tr><td rowspan="6">②</td><td colspan="2">1. 패널 베이스 내부 공극 Polygon 형성을 위한 중심점 생성</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>Populate 2D</td><td>패널 모듈 내부에 공극을 추가할 임의의 점 생성</td></tr>
<tr><td>List Item</td><td>원하는 수의 공극 설정</td></tr>
<tr><td>Random</td><td>Populate 2D로 생성된 임의의 점에서 List Item에 설정된 수만큼의 점 선택</td></tr>
<tr><td colspan="2">2. 공극 Polygon 생성과 변형</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>Polygon</td><td>변의 수 조정을 통한 공극 형태 설정</td></tr>
<tr><td>Rotate</td><td>각 공극의 형태 회전
(Graft, Normal, Flat과 같은 입력값 설정에 따라 개별적으로 또는 한 세트로 회전 가능)</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="6">계산</td><td rowspan="6">③</td><td colspan="2">투수율 산정</td></tr>
<tr><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>Solid Union</td><td>공극 형태가 겹치는 경우에 대비하여 면적이 중복으로 입력되지 않도록 한 세트의 표면으로 결합</td></tr>
<tr><td>Region Intersection</td><td>공극 면적 비율 산정 시 공극이 패널 내부에 존재해야 하므로 모듈 내부 중첩되는 공극 표면만 추출</td></tr>
<tr><td>Area</td><td>투수율 산정을 목적으로 패널, 공극 각각의 면적 추출</td></tr>
<tr><td>Mass Addition</td><td>Region Intersection의 결과값이 2개 이상인 경우 모든 List의 합을 구하기 위해 본 명령어 적용</td></tr>
<tr><td>Division
- Multiplication</td><td>투수율 계산
= (공극 면적 / 패널 모듈 면적) × 100(%)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">시각화</td><td rowspan="2">④</td><td colspan="2">공극 모듈의 시각화</td></tr>
<tr><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td rowspan="2">Solid Difference</td><td>3D 패널 - 3D 공극 = 공극 모듈 생성</td></tr>
<tr><td> </td></tr>
<tr><td rowspan="2">⑤</td><td colspan="2">패널링 시각화</td></tr>
<tr><td colspan="2">  </td></tr>
</table>

		Surface	대상지 경계 설정
		Divide Domain[2] - Isotrim	X,Y축별 생성하고자 하는 포장 모듈 개수를 설정해 격자형으로 분리
		Geometry - Surface Box	①에서 결정된 모듈을 격자셀 당 개별적 투영
		Box Morph	패널링

공극 포장 모듈 형성 알고리즘에 따른 결과물은 클러스터별 다양한 조합을 통해 수많은 대안을 마련할 수 있다. [표 13]에서는 대표적인 파라미터의 수치 정보를 기입하고, 목표 투수율 각 20, 30, 50%라는 조건이 부합했을 때 그에 따른 모듈의 형태가 어떤 패턴을 가지게 되었는지 대표 이미지로써 하나씩 첨부하였다. 이에 따라 각 과정 수행 시 고려해야 할 요소, 패턴에 따른 특징을 파악해보았다.

첫 번째, 삼각형 패널 베이스의 경우 사각형과 같은 길이의 한 변을 가지지만 절대적인 면적은 사각형의 1/2이다. 따라서 공극의 형태에 약간의 변화가 있더라도 투수율이 비교적 크게 변화하는 양상을 파악할 수 있었다. 임의로, 변의 수를 제외하고 크기, 공극 개수, 회전 각도를 거의 동일하게 유지하였을 때 변의 수가 늘어남에 따라 비례하여 투수율이 증가함을 확인하였다. 그러나 변의 수가 증가할수록 곧 원의 형태에 가까워지기 때문에 투수율이 변화하지 않을 때의 최대 변수는 31면이었을 때였으며, 최대 확보 가능한 투수율은 43%로 최종적으로 50%에 도달하지 못하였다. 그렇기에 다른 변수를 추가적으로 조정하여 최종 50% 투수율을 확보하였다.

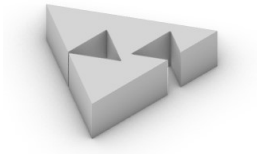
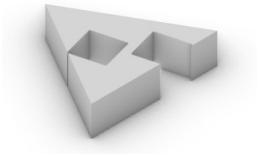
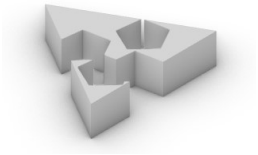
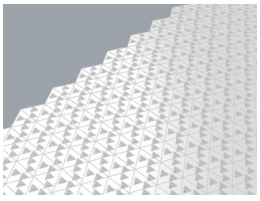
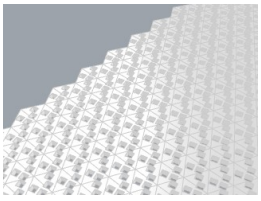
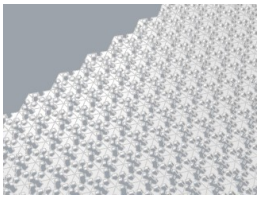
두 번째, 투수율이 50%에 달해야 할 경우 공극이 모듈 면적의 절반을 차지하다 보니 패널링 시 보행이 불편할 것으로 예측된다. 이의 경우 모듈 자체의 스케일을 더 작게 배열하여 공극 하나당 크기는 작아지고 전체 수는 많이 확보하도록 고려하거나, 선을 활용한 공극 패턴을 제안할 필요가 있다.

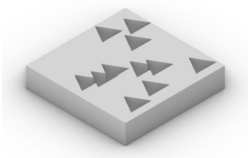
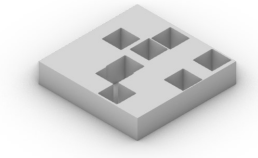
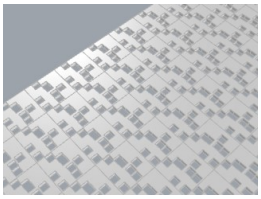
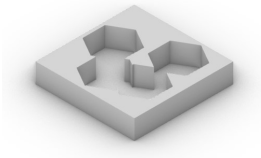
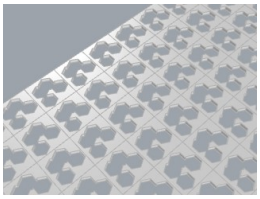
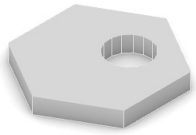
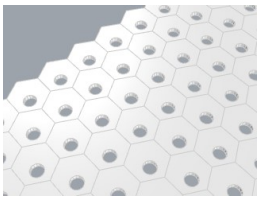
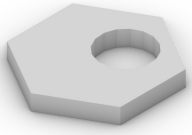
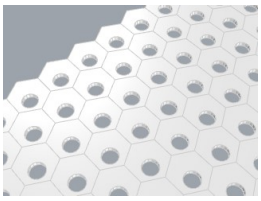
추가로 공극 패턴의 Polygon 형태에 있어서는 15각형 이상에서 거의 원형에 가깝게 구현되기 때문에 변수의 증가에 따른 투수율 차이가 별로 나타나지 않는 것을 관찰하였다. 따라서, 20 내외의 해당 숫자 범위 내에서 공극으로 활용 가능한

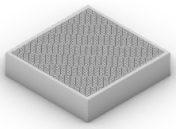
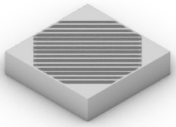
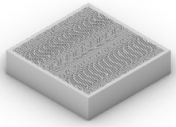
도형의 변 수를 지정하고 그에 따른 투수율 시뮬레이션을 구현해보는 것이 도움될 것이다. 위의 과정을 통해 본 연구에서는 향후 공극 모듈 패턴을 적용할 경우 기초자료로서 기능할 수 있는 기반을 마련하였다.

패널 베이스의 형태 특징에 따라 초기 패턴을 형성하는 알고리즘의 수정 과정이 약간 필요하지만, 이는 첫 번째 도형이 다음으로 배열될 도형과 한 면이 어떻게 맞물리도록 이동될 것인지 논리 구조를 구축함으로써 구현할 수 있다. 그렇기에 본 연구에서 제시한 프로토타입으로 삼각형, 사각형, 육각형 외에도 다양한 변의 수를 가진 패널 베이스를 활용할 수 있는 가능성을 제시한다.

[표 13] 각 투수율에 해당하는 공극 파라미터 프로토타입 제안

패널 베이스 (Polygon)	투수율 20%	투수율 30%	투수율 50%
삼각형	공극 파라미터		
	변의 수 : 3 크기 : 47 총 개수 : 2 회전 각도 : 150 ˚	변의 수 : 4 크기 : 46.5 총 개수 : 2 회전 각도 : 150 ˚	변의 수 : 5 크기 : 47 총 개수 : 3 회전 각도 : 90 ˚
			
	패널링 이미지		
			
사각형	공극 파라미터		
	변의 수 : 3 크기 : 30 총 개수 : 12 회전 각도 : 90 ˚	변의 수 : 4 크기 : 35 총 개수 : 8 회전 각도 : 45 ˚	변의 수 : 6 크기 : 57 총 개수 : 4 회전 각도 : 0 ˚

	 패널링 이미지 	 	 
육각형	**공극 파라미터**		
	변의 수 : 16 크기 : 77 총 개수 : 1 회전 각도 : 150 ˚  패널링 이미지 	변의 수 : 16 크기 : 95 총 개수 : 1 회전 각도 : 150 ˚  	

패널 베이스 (Line)	직교	사선	곡선
목표 투수율 50%			

2절 패턴 배치 알고리즘

포장 면적은 보행 환경과 밀접한 관련이 있다. 포장의 보행 관련 기능으로는 쾌적성, 안전성 등이 있는데 단지 투수 기능 확보만을 고려하여 설계할 경우 공극이 넓어져 보행자가 걷기 불편한 환경을 조성할 수 있다. 따라서 이용자 동선에 따라 본 연구 4장 1절에서 개발한 공극 패턴을 효율적으로 적용하기 위해서는 추가적인 제약이 필요하다. 이에 따라, 본 절에서는 포장 공극 패턴이 주변환경과 어떻게 연계되어 배치될 수 있을지 연구하는 것을 중점으로 다루고자 한다.

한 가지 투수율을 가진 모듈의 일률적 배치가 아니라 공극 패턴의 변화를 통해 목표 투수율별로 다르게 적용될 수 있는 패턴 배치 알고리즘 구축을 목적으로 한다. 이때, 패널 베이스로 활용된 삼각형, 사각형, 육각형 등 하나의 독단적인 형태를 포장 모듈이라는 명칭으로 지칭하였다.

1. 보행 환경 반영

패턴 배치 알고리즘 설계를 목적으로 대상지에서 연계할 수 있는 환경 조건을 보행 환경과 수계 흐름 반영 2가지로 분류하여 공극 포장 모듈이 목표 투수율에 따라 어떻게 상호 연계되어 배치될 수 있을지 탐구해보고자 한다.

보행 환경 반영의 기본 규칙은 이용자의 통행이 적을 곳으로 예상되는 대상지 경계부에 갈수록 공극 면적이 넓어지도록 설정하여 단일 공극 유형을 활용하는 경우의 알고리즘을 구축하였다. 사전에 중심축으로부터의 거리에 비례하는 패턴 배치 알고리즘을 구축하여 계산식 적용을 테스트한 후, 구체적인 상황 설정을 접목하여 보다 복잡한 환경에서의 활용 가능성을 높이고자 하였다.

▮ 중심축으로부터 거리에 따른 공극 배치

단일 공극 유형으로 한 가지만을 활용할 경우 [표 14]의 패널링 이미지와 같이 대상지 경계부에서 멀어질수록 이용자 통행이 높을 것으로 예측되기 때문에 이를 반영하는 조건으로, 가장자리에서 멀어질수록 공극의 크기가 줄어들어 불투수면에

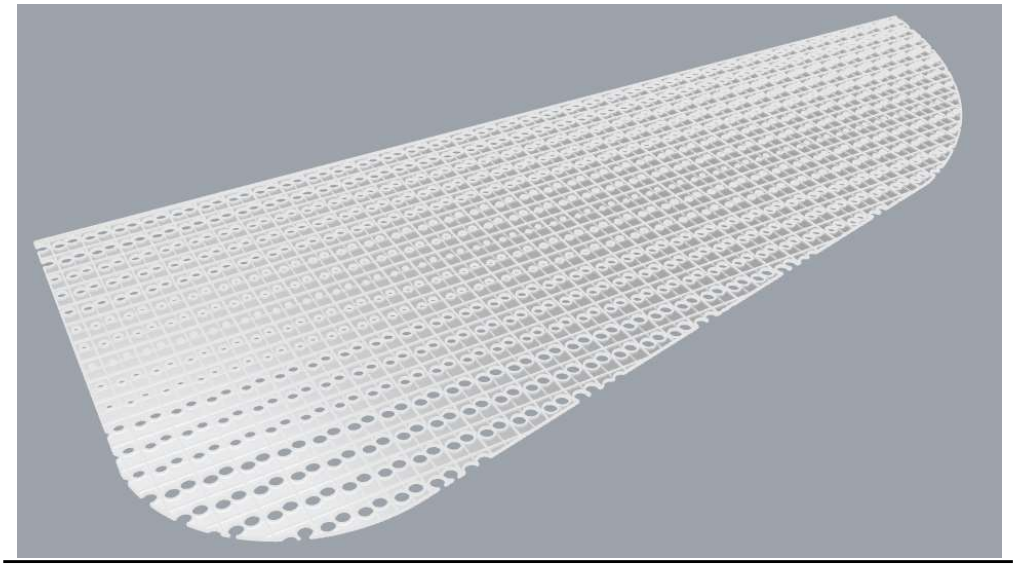
가깝도록 설계할 수 있다. 이 같은 경우 Curve Attractor를 활용하여 Curve와의 거리에 따라 투수율이 높고 낮음을 배치할 수 있다.

이는 한 가지 패턴을 활용하여 내부 공극 크기의 변화를 통해 패턴 배치를 도모하는 것으로 하나의 공극 형태를 유지한 채 가장자리로부터 거리에 비례하여 공극 면적을 조정함으로써 패턴에 다양성을 부여할 수 있다. 파라메트릭 디자인 기법을 활용하여 공극의 수많은 스케일에 따라 나타낼 수 있으나 차후 시공성을 염두에 두고 비용을 고려하는 최적화 과정이 필요하다. 따라서 본 단계에서는 공극률을 4개로 제한함으로써 향후 시공 가능성까지 고려하도록 한다.

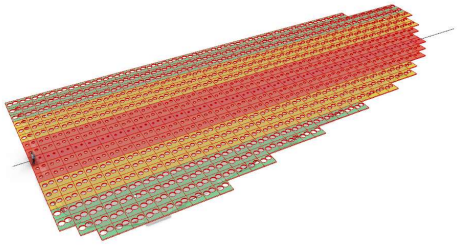
[표 14] 공극 유형 모듈 단일 배치 : Polygon의 SCALE 변형

투수율 5%	투수율 10%	투수율 20%	투수율 30%
크기① : 86	크기② : 127	크기③ : 179	크기④ : 220

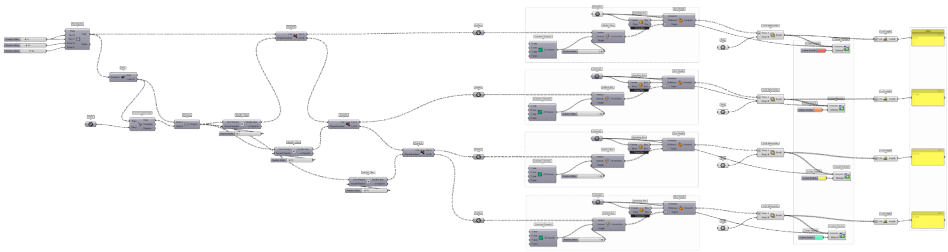
패널링 이미지



공극 크기별 투수율 계산

<table>
<tr><td rowspan="2">  </td><td rowspan="5">공극
모듈별
개수</td><td>5%</td><td> </td><td>37개</td></tr>
<tr><td>10%</td><td> </td><td>146개</td></tr>
<tr><td>계산식</td><td rowspan="3">20%</td><td rowspan="3"></td><td rowspan="3">212개</td></tr>
<tr><td>= Σ(단위 면적×개수×투수율) / 전체 면적
= (416 + 385 + 9,540 + 12,285) / 129,825
= 0.20
= 20%</td></tr>
<tr><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>30%</td><td></td><td>182개</td></tr>
</table>

Grasshopper 스크립트 전개 과정						
1. 중심축으로부터 각 패널 중심점들의 거리 산정	→	2. 설계 의도에 따라 적정 거리를 선정하여 4개의 구간으로 분류	→	3. 패널 구분이 용이하도록 모듈별 색상으로 시각화	→	4. List Length를 활용하여 모듈별 개수를 추출해 전체 투수율 산정에 활용



알고리즘 순서는 다음과 같은 규칙을 가진다. 사전에 투수율 5, 10, 20, 30%의 공극을 가지는 공극 포장 모듈을 설정한다. 이와 같은 모듈들은 마지막 과정에서 각 패널의 셀별로 프로토타입을 지정할 시 활용될 것이다. 공극 면적의 배치에 있어서는 보행자가 주로 이용될 것으로 예측되는 예측 동선에 가까울수록 보행 환경을 고려하여 공극이 작은 모듈을 배치하고자 하였다. 이에 보행 동선을 Curve로 인식한 후 Curve를 점으로 나눈다. 각 포장 패널별로 면적을 산출할 때 이용하는 중점 간의 거리를 구한다. 이 거리에 따라서 패널들의 범위를 4가지로 분류할 수 있다. 목표로 하는 동선에서의 거리가 멀어질수록 공극이 넓은 포장이 배치

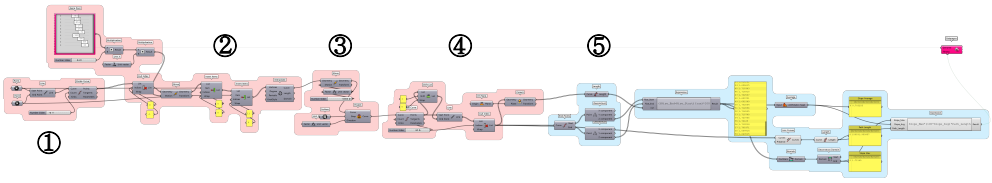
되도록 셀을 지정하여 프로토타입 포장 형태를 입력해준다. [표 10]의 패널링 이미지에 따르면 달성 투수율은 20%였으며 알고리즘 설계에 계산식을 구축하여 모듈별 구간을 분류할 시 계산이 가능할 수 있도록 계산식을 첨부하였다.

더욱 세부적인 조건 및 고려 사항을 기반으로 본 알고리즘을 보다 구체적인 시나리오에 적용하는 데 활용할 수 있다. 따라서 다음 과정을 통해 이용자의 최적 동선을 도출하고 그에 따라 배치될 수 있는 패턴의 프로토타입을 제시하고자 한다.

▌ Galapagos를 활용한 최적 동선 도출

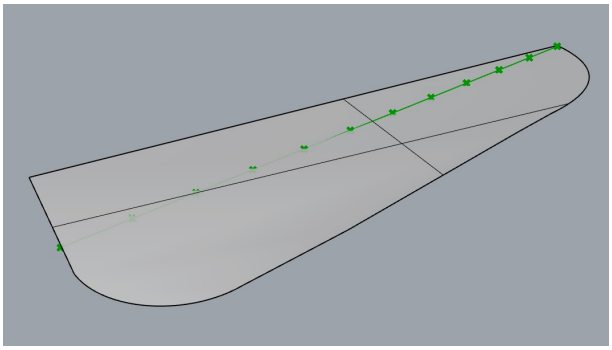
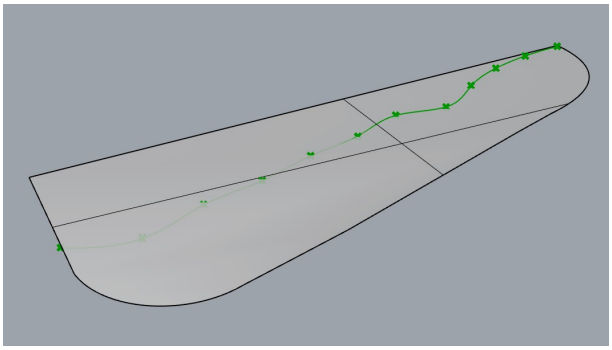
Galapagos 최적화 선정 과정을 통해 최적의 동선을 추출하였다. Galapagos 기능의 경우 크게 2개의 변수를 지정하게 되어 있으며, 첫 번째 변수인 Genome의 경우 변화시킬 변수들을 설정할 수 있다. 각 List별 파라미터를 조정할 수 있는 Gene Pool을 활용하여 초기 동선을 나누는 점들의 이동에 따른 두 번째 변수의 최적안을 시각화한다. 두 번째 변수인 Fitness에는 설계자가 최적의 안을 찾고 싶은 변수들을 지정할 수 있다.

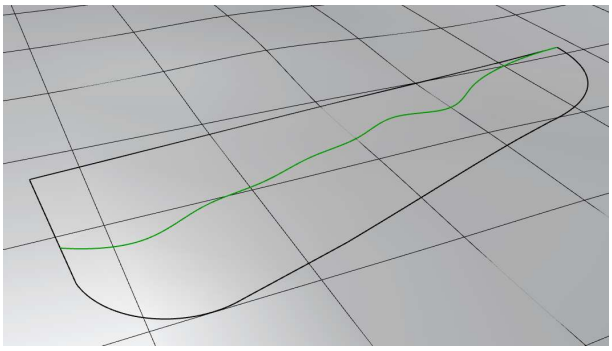
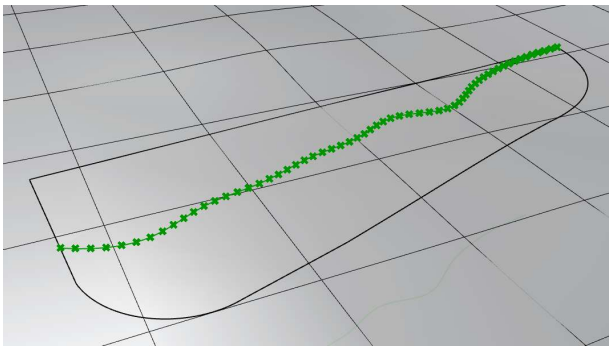
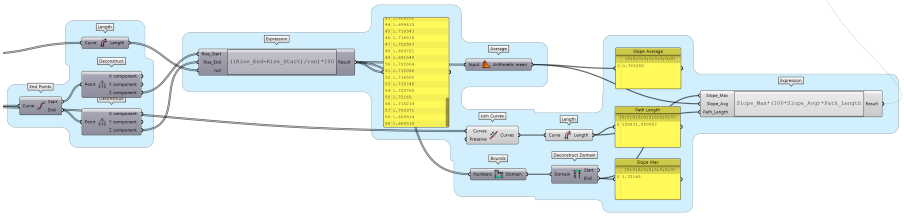
본 스크립트에서는 주 출입구로 예상되는 처음과 끝점을 찍어 만든 곡선을 임의로 11개의 구간으로 나누었다. 이를 통해, 고정된 양 끝점을 제외하고 총 10개의 점이 x축의 -800에서 +250 범위 내에서 이동하며 목적동선을 바탕으로 이용자들의 동선이 형성된다 가정했을 때, 경사도와 동선의 길이 조합이 가장 최적값을 가지는 동선을 추출할 수 있었다. 이를 위해 Galapagos 두 번째 변수에 경사도의 최댓값, 경사도의 평균 퍼센트(%), 동선의 길이를 하나의 결괏값이 도출될 수 있도록 표현식으로 만들어 입력하였다.



[그림 32] 최적 동선 추출 Grasshopper 스크립트 전반

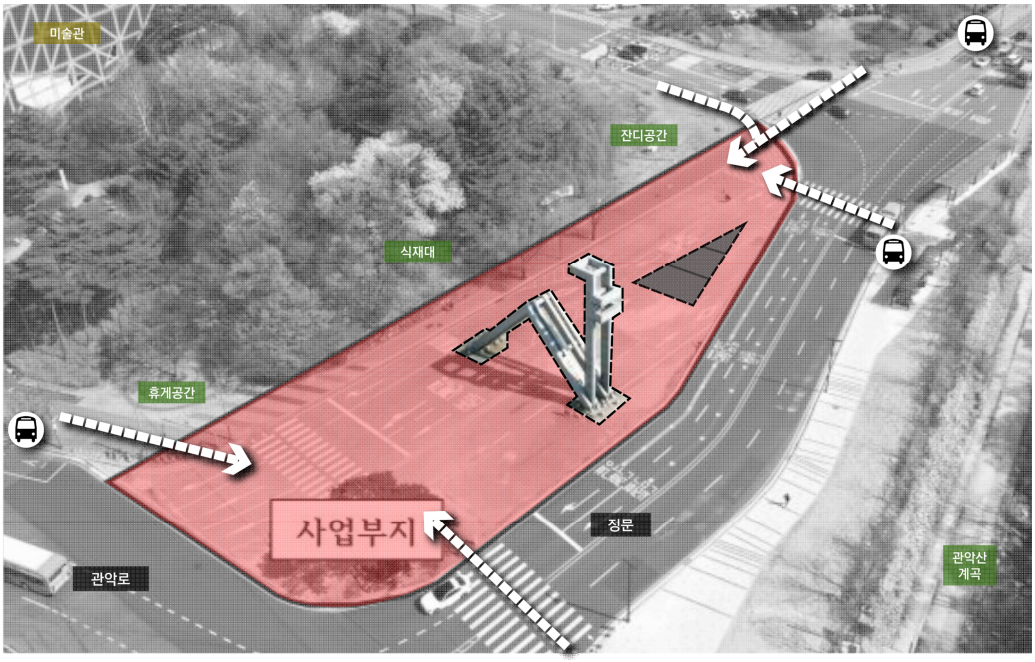
[표 15] 최적 동선 추출 알고리즘 스크립트 진행 과정

클러스터 번호	세부 내용	
①		
	구성요소	기능
	Point	동선 시작점과 끝점 지정
	Line	동선 시작점과 끝점 연결
	Divide curve	향후 곡선 형성을 위한 동선 구간 분리
②		
	Cull Index	시작점과 끝점을 제외한 결절점 도출
	Move + GenePool	각 구간별 점의 개별적 X좌표로 좌우이동
	Interpolate	결절된 점의 곡선으로 재연결

③		
	Surface	경사를 가진 기존 지형 Surface 지정
	Project + Z	기존 지형에 Z값을 투영해 곡선 형성
④		
	Divide curve	곡선의 세분화
	Line	길이 계산 및 향후 활용을 위한 직선으로 재가공
	Project + XY Plane	향후 길이 계산을 위한 평면 지형에 재투영
⑤		
	Length	각 직선 60개의 구간별 길이 계산
	End Points	각 직선 끝점에 따라 분리해 경사도 계산에 활용
	Deconstruct Point	경사도 계산을 위한 Z값 추출
	Expression(1)	((Rise_End-Rise_Start)/run)*100 - Rise_End : 직선의 끝점 높이 - Rise_Start : 직선의 시작점 높이 - run : 각 직선의 길이

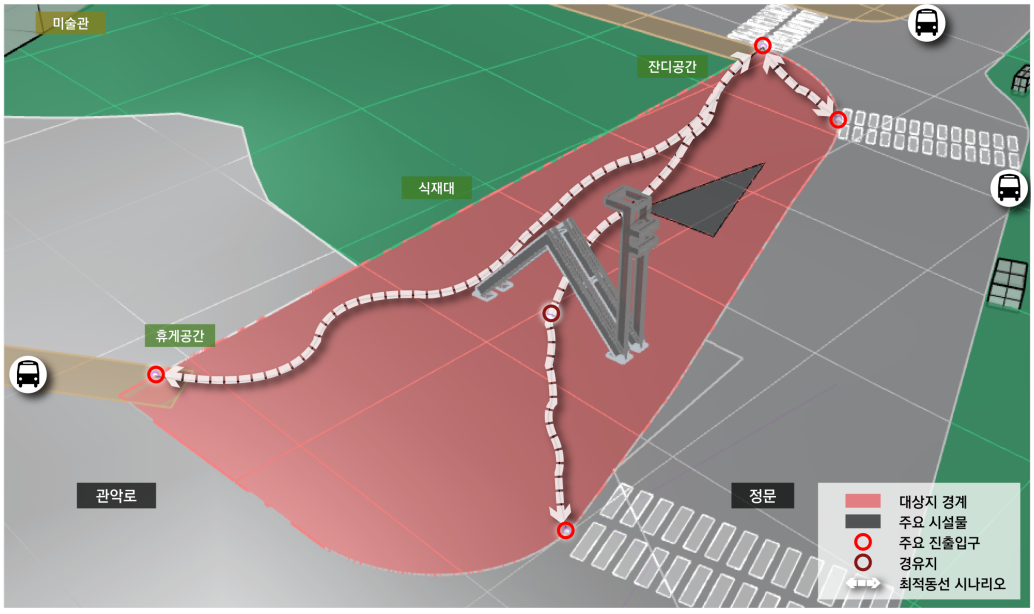
	Average	경사도의 평균값 계산(Slope Average)
	Join Curves + Length	동선의 총 길이 계산(Path Length)
	Bounds + Construct Domain	경사도의 최댓값 계산(Slope Max)
	Expression(2) + Galapagos	Slope_Max*(100*Slope_Avg)*Path_Length - Slope_Max : 최대 경사도 - Slope_Avg : 평균 경사도 - Path_Length : 최종 동선 길이 Galapagos 최대 경사도, 평균 경사도, 최종 동선 길이 3가지 변수를 고려했을 때 가장 최적의 대안 도출

위의 [표 15]와 같이 Galapagos 명령어를 활용해 최적 보행 동선을 추출한 후 이를 포장설계에 반영해보고자 한다. 이때, 보행 동선을 조금 더 구체화하기 위해 [그림 32]에 따라 기존 대상지에 존재하는 보행로와 랜드마크 조형물 '샤', 삼각형 분수대를 고려하여 최적 동선 분석을 주요 진출입구 4개소와 시설물 아래 경유지 1개소로 세분화하여 반영할 수 있도록 하였다.

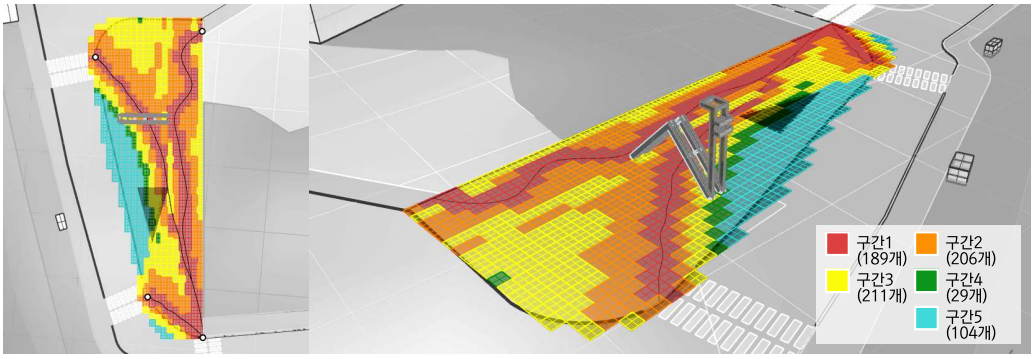


[그림 33] 대상지 현황 다이어그램

주요 진출입구 4개소와 경유지 1개소에 따라 구간을 4개로 구분하여 Galapagos를 활용한 예측 동선을 도출한 결과는 [그림 33]과 같이 분석되었다. 이에 중심축으로부터 거리에 따른 공극 배치와 동일한 알고리즘을 연계한 결과는 [그림 34]에 따라 4단계로 분류되도록 시각화하여 각 구간별 스케일 또는 회전율이 다른 공극 형태를 배치하고자 하였다. 보행 동선과 직접 맞닿은 모듈을 구간1(189개), 구간1과 연달아 붙어있는 구간2(206개), 구간3(211개), 구간4(29개), 구간5(104개) 총 5구간으로 분류하여 다음 과정을 진행하였다.



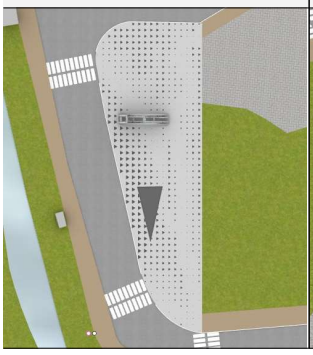
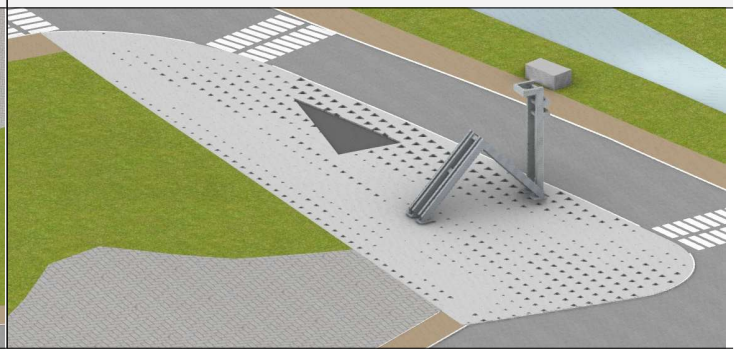
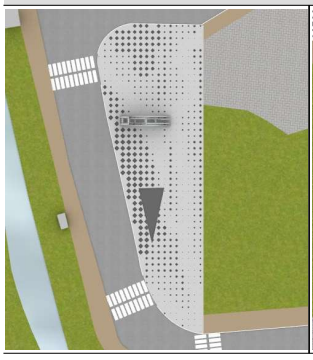
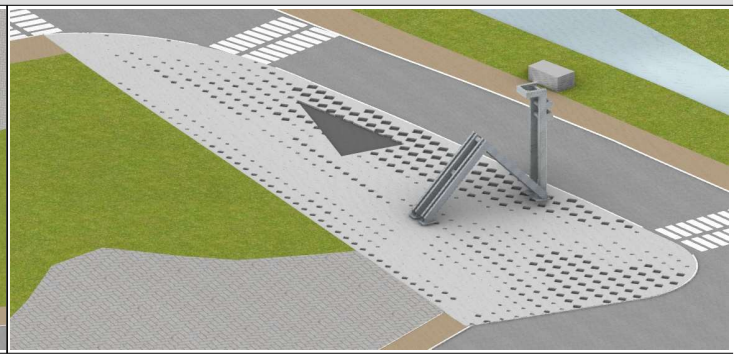
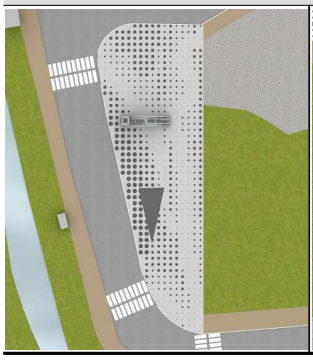
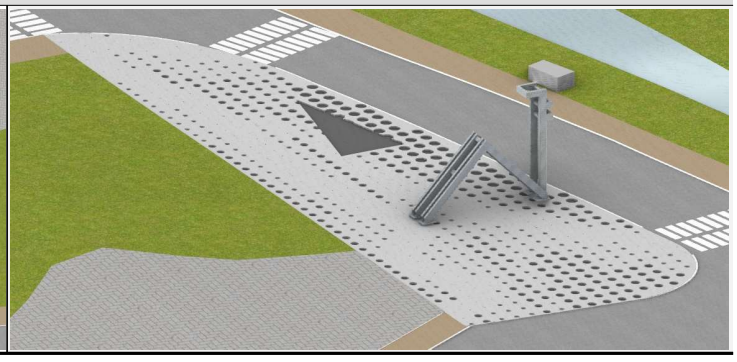
[그림 34] 주요 시설물을 반영한 Galapagos 시나리오 결과물



[그림 35] Galapagos 시나리오 동선과 거리에 따른 구간의 5단계 분류

[표 16]에 따라 삼각형, 사각형, 팔각형일 때의 프로토타입을 제안하고 각 패턴에 따른 공극률을 기재하였다. 팔각형과 같이 변수가 많아지는 만큼 공극률이 15%까지 증가하였으나, 공극이 비이상적으로 커지는 경우 스케일을 조정하거나 표현방식을 달리해야 할 필요성을 가질 것으로 판단하였다.

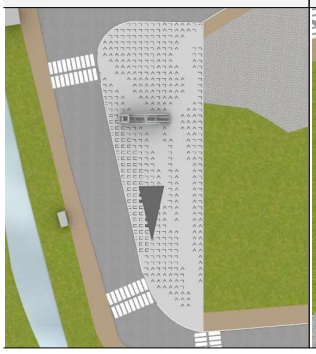
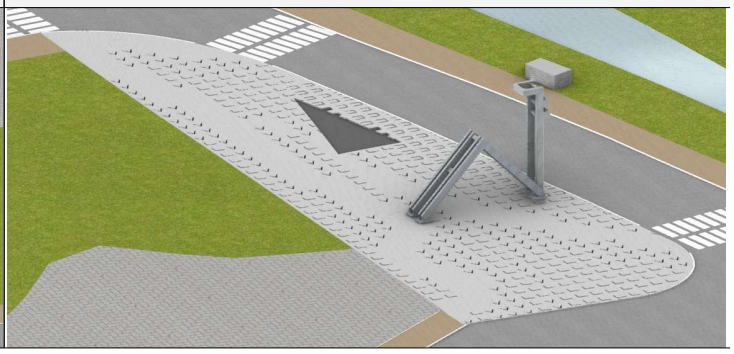
[표 16] 폴리곤에 따른 공극률별 포장 패턴 이미지

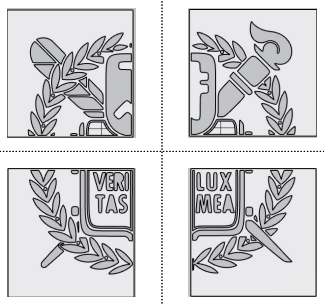
5% 삼각형 공극	
평면도	조감도
	
10% 사각형 공극	
	
15% 팔각형 공극	
	

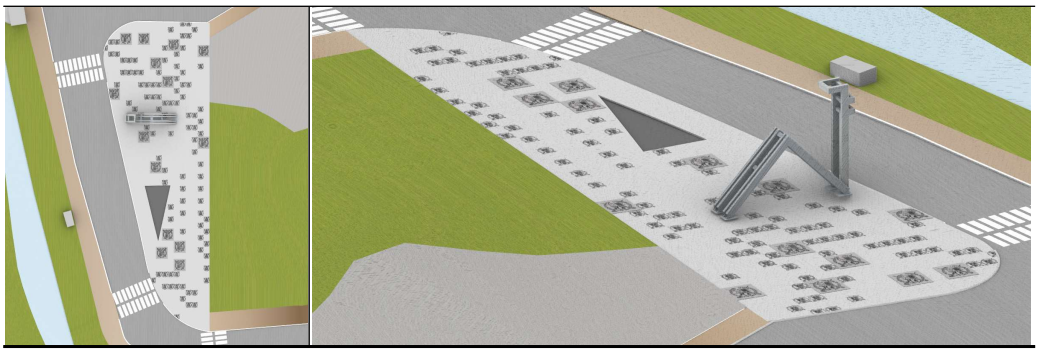
폴리곤 명령어를 활용한 정형적 형태뿐 아니라 사용자가 지정하는 패턴 및 비정형 형태 또한 유사한 알고리즘을 통해 패턴 배치가 가능하다. [그림 38]과 같이 사용자가 직접 지정하는 비정형 패턴을 표현하기 위해서는 Polygon Center를 도출하는 과정에서 오류가 발생하기에 대체할 수 있는 Area 명령어에서 Centroid를 추출하여 활용하는 등 일부 수정 과정을 거쳤다.

[표 17]과 같이 첫 번째 이미지에서는 서울국립대학교 '샤'의 구조를 이루는 초성 시옷, 기역, 디귿의 형태를 Geometry로 지정해 보행 구간 2, 3, 4에 따라 각각 배치할 수 있다. 두 번째 이미지는 서울대학교 정장 마크를 활용하여 마크를 4등분하여 List item을 활용해 4개의 Surface를 한 묶음으로 배치하는 방식을 테스트해보았다.

[표 17] 사용자 지정 형태에 따른 포장 패턴 이미지

10% ㅅ,ㄱ,ㄷ형 공극	
평면도	조감도
	

10% 서울대학교 정장 비정형 공극		
서울대학교 정장 이미지	구간2에 배치	구간 3에 배치
		



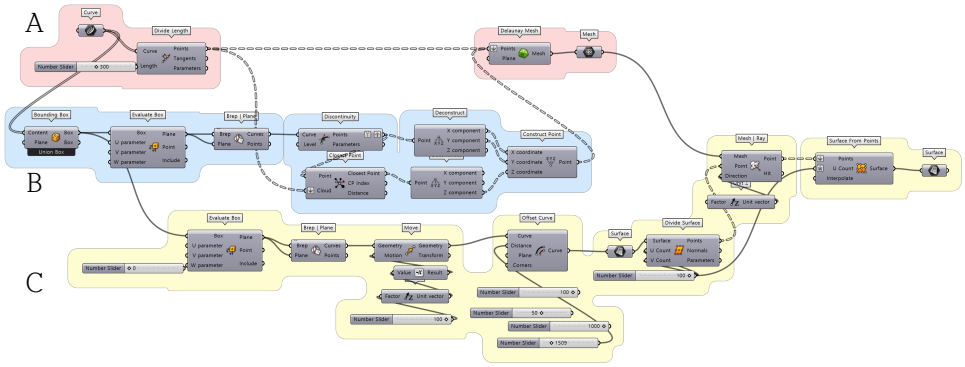
2. 수계 흐름 반영

이 외에도 공극과 관련이 있는 배수 기능과의 연계 측면에서 Mosquito의 Flow 기능을 활용함으로써 공극 포장 모듈을 배치할 수 있는 가능성을 제시한다. 대상지의 주변 지형을 활용하여 Waterflow 결과를 시각화한 후 이에 알고리즘 설계를 적용한다. 그 규칙은 수계가 많이 모이는 곳은 배수를 유도하기 위해 공극률이 큰 모듈을 배치하고 수계가 적고 많음에 따라 구간별로 공극률이 다른 포장 모듈을 배치할 수 있도록 한다.

수계 흐름 분석의 경우 지형 Surface의 경사도를 바탕으로 이루어지기 때문에 Grasshopper 알고리즘을 활용하여 지형을 먼저 생성하였다.

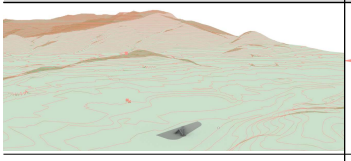
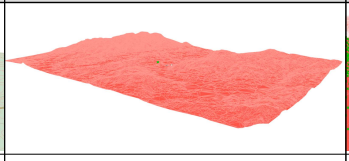
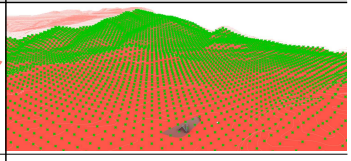
▌ 지형 생성

[그림 36]은 지형 생성을 위한 Grasshopper 스크립트 전반 과정을 보여준다. 세부 단계별 내용은 [표 18]의 A, B, C 순서에 따라 진행하였다. 지형 생성의 가장 기초가 되는 등고선의 경우 높이 값을 가지고 있는 곡선들로 구성되어 있으며, 해당 자료는 국가공간정보포털지도서비스(http://www.nsdi.go.kr/lxmap/index.do)에서 원하는 권역만큼 추출하여 다운로드받아 활용할 수 있도록 한다.



[그림 36] 지형 생성 Grasshopper 스크립트 전개도

[표 18] 지형 생성 단계별 이미지 상세

A	B	C
		
등고선을 활용한 Delaunay Mesh 생성	경계 꼭짓점 등고 정리	Mesh에서 Surface로 변환

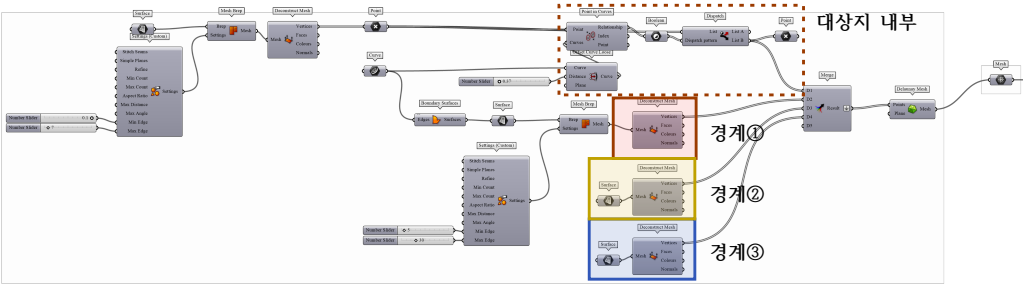
A. 수치지형도의 등고선 Curve들을 기반으로 형성되며 각 등고선들을 점으로 나누어 Delaunay Mesh를 생성한다. 이때, 나누는 점이 많아질수록 보다 정확한 지형을 얻을 수 있다. 본 과정을 거쳐 도출된 면은 Mesh로 추출된다.

B. 사각형 경계의 각 꼭지점의 경우 정확한 높이로 도출되지 않기 때문에 보다 정확성을 높이기 위해 본 과정을 추가하였다.

C. Mesh를 Surface를 변형하기 위한 과정이다. 사각형을 범위로 가지는 Surface를 점으로 분해하여 생긴 점들을 Delaunay Mesh 결과물에 투영시킨다. 이를 통해, 투영된 점을 활용하여 점들로부터 다시 면을 생성하고 Surface로 도출한다.

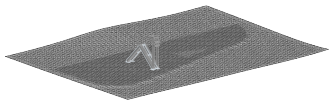
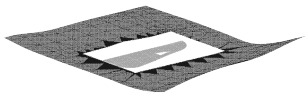
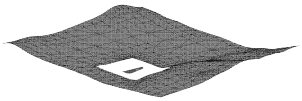
초기 단계에서 결과물이 Mesh와 같이 생성되면, 향후 flow 분석과 같은 Surface를 활용하는데 제한이 있기 때문에 Mesh를 Surface로 변형해주는 과정까지 진행하였다.

기존 지형에서 더 나아가 보다 대상지의 현황을 정확하게 반영하기 위해 지형을 세부적으로 조정하는 작업이 필요하다. 이를 위해 Grasshopper를 활용하여 Flow 분석에서 활용될 Surface를 추출하기 전 [그림 37]에 따라 전체 지형을 대상지에 가까운 순으로 사각형 경계에 따라 3등분하여 Mesh의 상태에서 지형을 세분화하는 과정을 거쳤다.



[그림 37] 지형 Mesh 수정 세분화 스크립트

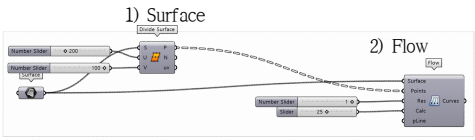
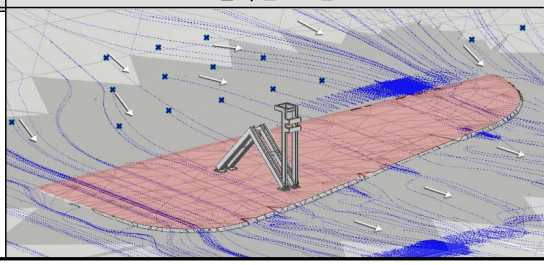
[표 19] 지형 생성 경계별 이미지 상세

경계① : 상세도 상	경계② : 상세도 중	경계③ : 상세도 하
		

▌ Flow 분석

주변 환경을 반영하며 상호작용하는 포장 패턴을 생성하기 위해 Grasshopper 플러그인에 속하는 Mosquito의 Flow 명령어를 활용해 지형을 기반으로 수체계의 이동을 시뮬레이션할 수 있으며 본 연구 대상지 인근의 수체계 흐름을 분석할 수 있다. 입력 요소는 높이 값을 포함하는 기존 등고선과 Mesh 조정을 통해 생성한 지형 1) Surface, 그 표면을 점으로 분해하여 가장 가까운 경사진 위치로 이동하는 2) Flow 명령어를 활용하여 수체계 흐름을 시각화할 수 있다.

[표 20] Flow 분석 Grasshopper 스크립트 전개도 및 도출 결과물

Flow 명령어 스크립트	결과물 도출
	

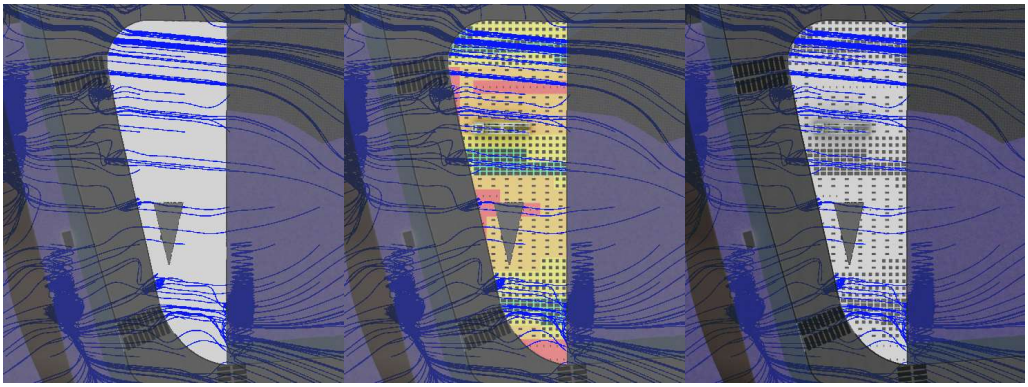
▌ Flow 분석을 반영한 패턴 배치

수계의 흐름 빈도에 따라 배치한 알고리즘 결과물은 [표 21]과 같다. 전반적인 과정은 앞서 보행 환경 반영과 유사하게 구간을 유형화한 후 수계 흐름이 지나가는 곳에는 공극률이 크게, 멀어질수록 투수 면적이 작은 공극을 배치하는 규칙을 적용하였다.

그러나 본 과정에서는 환경 분석 기능인 Mosquito의 Flow 명령어가 먼저 수행되었으며 이를 통해 도출된 Curve를 반영하는 데에 차이를 가진다. 반영하고자 하는 curve가 단일이 아닌 여러 개가 활용되기 때문에 이때 기준으로 하는 점들의 모든 점을 독립적으로 보는 Graft와 모든 점을 모아 하나의 그룹으로 보는 Flatten의 조정과 활용이 필요하다.

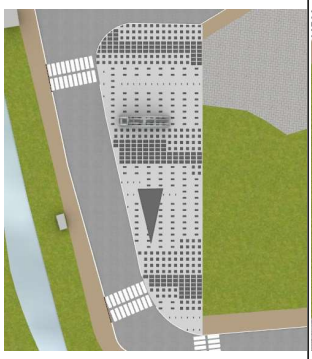
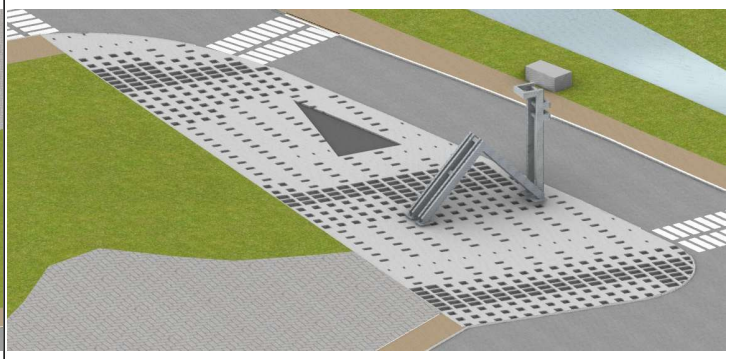
본 과정에서는 종적인 방향성을 가지고 명확한 하나의 곡선을 가지는 보행 환경 반영 단계와 달리 횡적 방향의 선들을 유수량이 많고 적음에 따라 구간이 분류될 수 있다는 점에서 차이점을 가진다. 이 같은 경우, 수계의 흐름이 많을수록 공극이 더 많이 형성될 수 있도록 내부를 다시 한번 쪼개어 공극 개수와 크기를 세분화하는 알고리즘을 적용하였다.

이는 공극률의 패턴을 적용하는 데 있어 Offset을 기반으로 하는 다시 나눔, 세분화 과정을 통한 패턴을 생성함으로써 세분될수록 각각 세분된 면이 Offset되어 공극의 개수는 증가하는 패턴 생성 과정을 반영한 것이다.

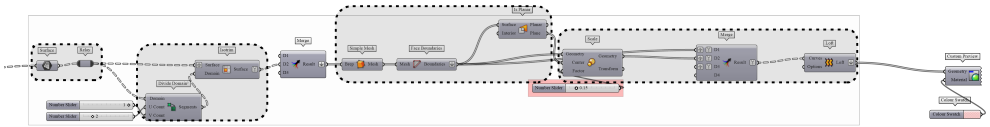


[그림 38] 수계 흐름 분석(좌) / 구간별 유형화(중) / 결과물 평면도(우)

[표 21] Flow 수계 흐름을 반영한 포장 패턴

20% 세분화 공극	
평면도	조감도
	

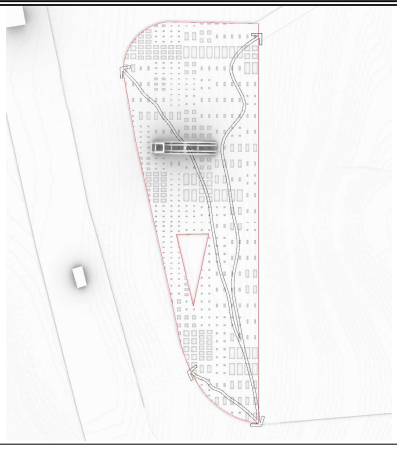
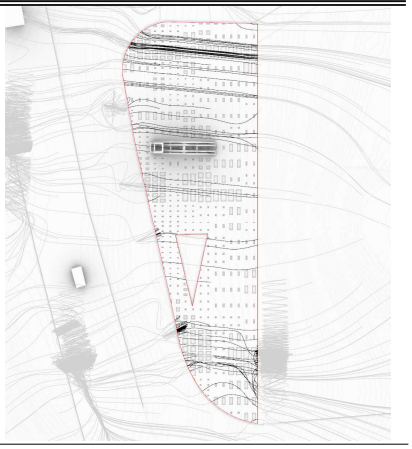
Grasshopper 세분화 과정 스크립트 전개 과정						
1. 구간별 Surface 선정	→	2. Divide Domain^{2}을 활용해 격자 세분화 수준 지정	→	3. 각 셀의 중심점을 새로운 Planar로 지정	→	4. 각 중심점을 기준으로 공극 Scale 조정 후 Loft로 면 생성

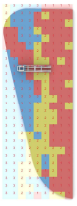
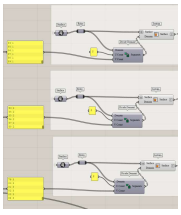
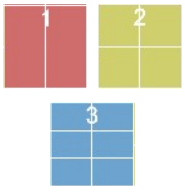


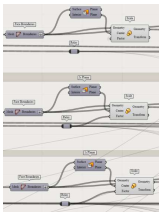
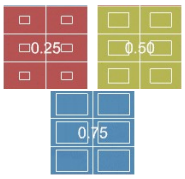
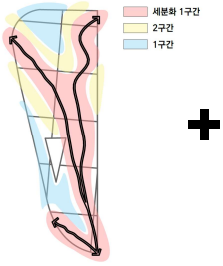
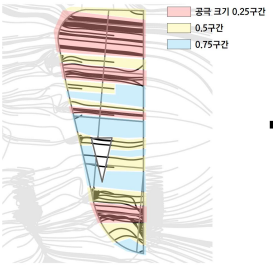
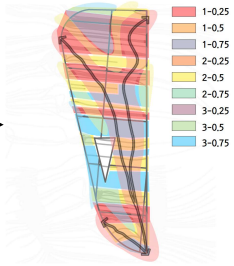
3절 종합

본 연구에서는 포장 패턴을 배치할 때, 보행 환경과 수계 흐름에 따른 배수 기능을 주요한 고려 요소로 보고 각 유형에 따라 공극을 배치하였다. 각 유형을 독립적으로 반영하는 것뿐 아니라 융합하여 설계하는 과정 또한 필요하다 판단되기 때문에 2절의 보행 환경과 수계 흐름을 종합하여 반영하고자 하였으며 각 환경과의 상호작용에 따른 특징을 분석하여 [표 22]와 같이 정리하였다.

[표 22] 보행 환경과 수계 흐름 반영 알고리즘 연계

	보행 환경	수계 흐름
분석 결과		
공통점	포장 모듈을 구간별로 분류하여 구간별 크기가 차등된 공극 패턴 부여	
차이점	- 폴리곤 및 사용자 지정 형태를 활용한 공극 패턴 생성 - 보행 환경과의 거리에 투수율 비례	- 모듈 내 세분화와 Offset 정도에 따른 공극 패턴 생성 - 수계 흐름과 거리에 투수율 반비례

연계 방향			
보행 환경	세분화 가중치 1, 2, 3	→ Divide Domain2 수준 지정	→ Curve에 가까울수록 낮은 투수율, 낮은 세분화 수준
			

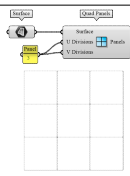
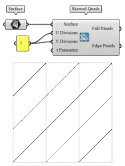
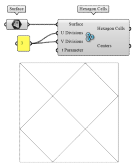
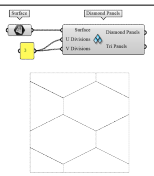
수계 흐름	투수율 가중치 0.25, 0.5, 0.75 →	Offset을 활용한 스케일 수준 조정 →	Curve에 가까울수록 높은 투수율, 낮은 Offset 거리 (공극 크기가 크도록 설정)
			
패턴의 변형	1. 세분화 형태 설정 삼각형, 사각형, 육각형 등 격자 패널을 활용한 다양한 대안 제안) 2. 사용자 지정 형태		
가중치별 유형화 다이어그램	보행 환경 분류	수계 흐름 유형화	중첩
			

위 과정에 따라 종합 Grasshopper 알고리즘 스크립트을 구축하였다. 우선 보행 환경에 따라 구간별 1, 2, 3의 값을 부여하고 각 구간별로 다시 수계 흐름에 따라 3가지 구간으로 재분류함으로써 Offset의 비율을 0.25, 0.5, 0.75로 부여하며 공극 크기의 차등값을 부여하고자 하였다. 이를 통해 총 9개의 모듈로 구성된 최종 공극 포장 패턴을 도출하여 시각화한 결과물은 [표 23]과 같이 나타났다. 패턴의 변형에 따른 투수율 또한 공극 면적에 따라 다음 계산식을 활용하여 도출하였다.

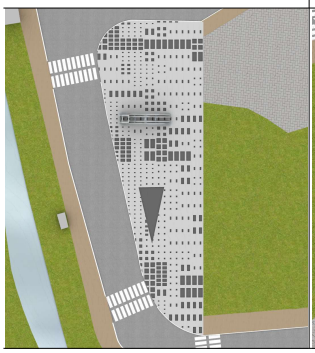
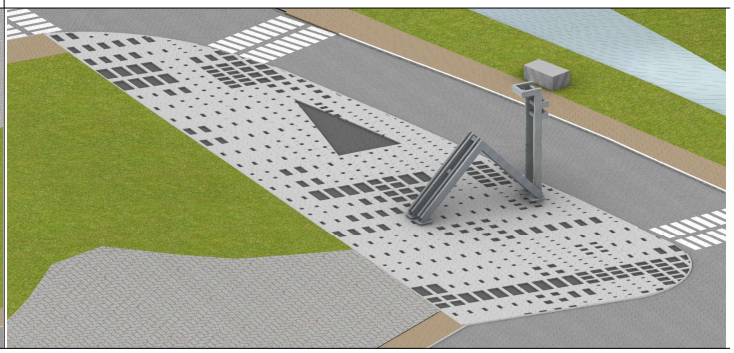
▌ 포장 공극 패턴을 적용한 투수율 계산식

$$\text{투수율}(\%) = \frac{\text{공극 면적}}{\text{전체면적}} \times 100 = \frac{\Sigma(\text{모듈별 공극 면적} \times \text{모듈별 총 개수})}{\text{전체면적}} \times 100$$

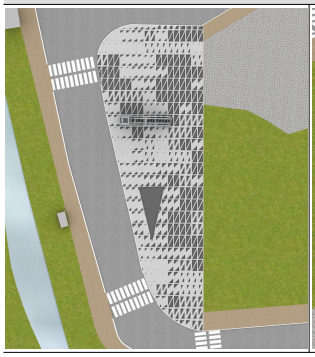
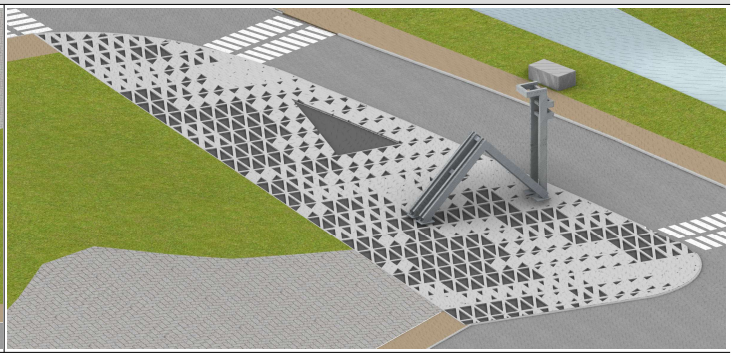
[표 23] 패턴의 변형1. 세분화 형태 설정

적용 패널별 명령어와 적용 이미지			
Rectangular	Skewed Quads	Diamond	Hexagon
			

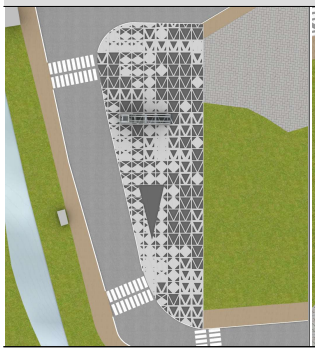
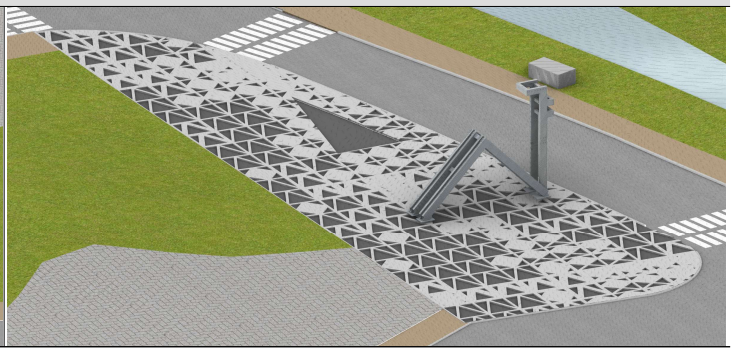
(1) 17.3% Rectangular 패널

평면도	조감도
	

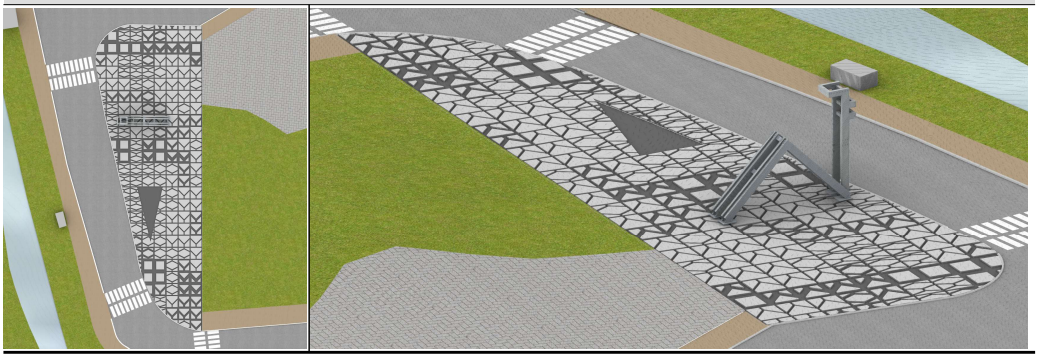
(2) 30.2% Skewed Quads 패널

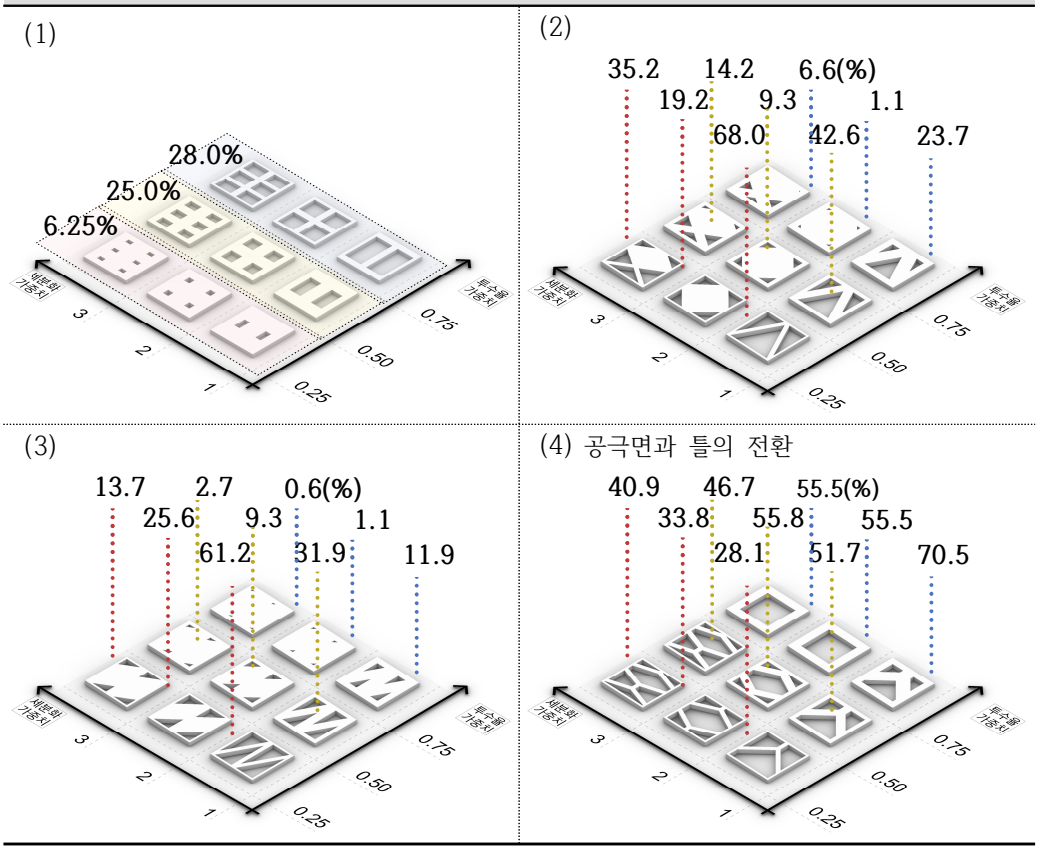
(3) 38.5% Diamond 패널

(4) 42.5% Hexagon 패널



가중치별 모듈 Isometric View와 공극률

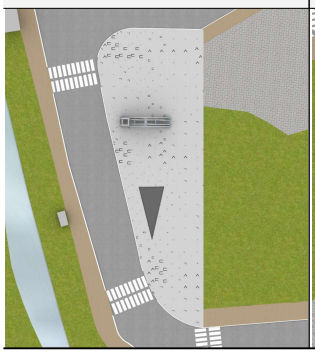
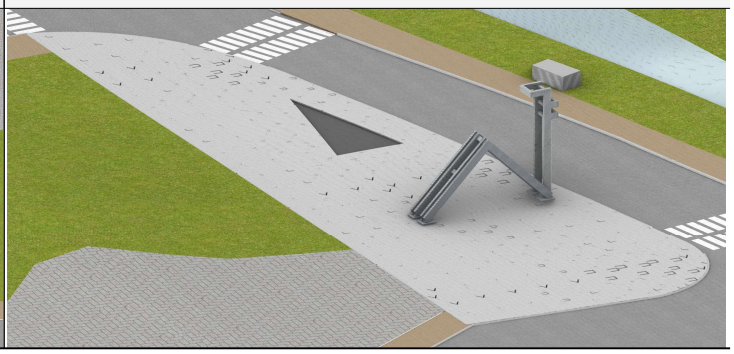


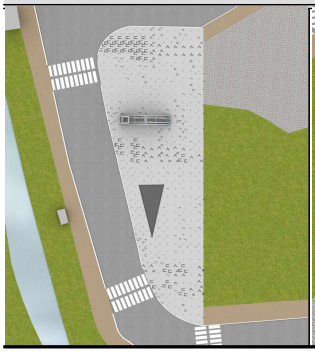
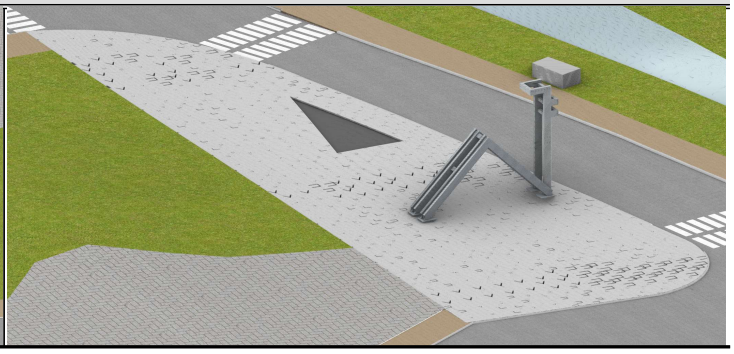
(4) 42.5% Hexagon 패널의 경우 동일 알고리즘 적용 시 공극이 비이상적으로 크게 도출되어 모듈을 거푸집으로 생각하고 모듈 자체가 공극이 되는 대안을 제안할 필요가 있었다. 또한, Offset 거리가 커질수록 도형에 변형이 생기거나 오류가 발생할 가능성이 있기에 이를 염두하여 알고리즘을 작성하는 것이 필요하다.

[표 24]에서는 앞의 단계와 달리 사용자 지정 형태를 적용한 공극 패턴을 생성하였다. 보행 환경에 따른 구간 1, 2, 3별로 해당값에 따른 모듈 내 형태의 개수를 지정하고, 수계 흐름에 따른 구간 0.25, 0.5, 0.75는 각 형태의 크기로 할당하였다.

사전의 과정에서 총 9가지로 분류된 구간의 각 가중치 값을 곱하여 나오는 경우의 수를 활용해 0.25(1-0.25), 0.5(1-0.5/2-0.25), 0.75(1-0.75/3-0.25), 1.0(2-0.5), 1.5(2-0.75/3-0.5), 2.25(3-0.75)로 구간을 6단계로 재분류하여 가중치 상, 중, 하의 수준에서 순서대로 나열하였을 때 각 수준에서 시옷, 기역, 디귿을 도출하였다. 이때, 한 모듈 내 2개 이상의 점의 경우 임의의 점을 내부에 생성하도록 알고리즘을 구축하여 무작위로 위치를 변경시키며 패턴을 선정하는 과정을 거칠 수 있었다.

[표 24] 패턴의 변형2. 사용자 지정 형태

1.3% ㅅ,ㄱ,ㄷ형 공극(패널 밀도 수준 3)	
평면도	조감도
	

3.8% ㅅ,ㄱ,ㄷ형 공극(패널 밀도 수준4)	
	

그러나 현재까지 과정에서 9가지 모듈은 비용적 측면에서 불리할 뿐 아니라 공극이 30% 이상이 되는 패널의 경우 보행 환경에 불편을 끼칠 것으로 예상된다. 따라서 더욱 유리한 결과물을 제안하기 위해 모듈을 더욱 단순화할 필요성이 있다고 판단하였다. 이에 포장 모듈을 특수한 제작이 필요하지 않은 기본 정육면체 투수율 0%와 각각 10%, 20%, 30% 공극을 가지는 정육면체 3가지로 제한하고 회전과 같은 배치의 다양화를 통해 다채로운 패턴 생성 방식을 최종적으로 선정하였다. 또한, 투수율이 다른 3가지 모듈 구성비에 따라 목표 투수율을 달성하는 방식으로 포장 패턴을 구현하고자 하였다.

도시관리계획 사업 시 용도지역별로 권장하는 생태면적률에 따라 준주거지역과 상업지역, 일반건축물의 경우 20%가 요구되고 있음에 따라 20%의 투수율을 목표로 하는 모듈별 경우의 수는 다음 과정을 통해 도출된다.

우선 각 투수율 달성을 위한 조건을 간단한 방정식으로 구축함으로써 알고리즘에 적용하여 포장설계 시 활용 가능한 방정식을 구축하였다. 이를 위해 10% 모듈의 개수를 X, 20%는 Y, 30%는 Z로 설정한다. 조건식으로 가능한 경우는 20%를 목표 투수율로 가정할 경우에 필요한 (1)모듈의 구성비, (2) 대상지 내부에 들어가는 전체 모듈의 개수, 마지막으로 (3)투수율을 고려하여 다음과 같이 정리하였다.

<목표 투수율 20%를 만족시키는 모듈 구성비의 충족 요건>

(1) $X = Z$

(2) $X + Y + Z =$ 대상지 내부 모듈의 개수

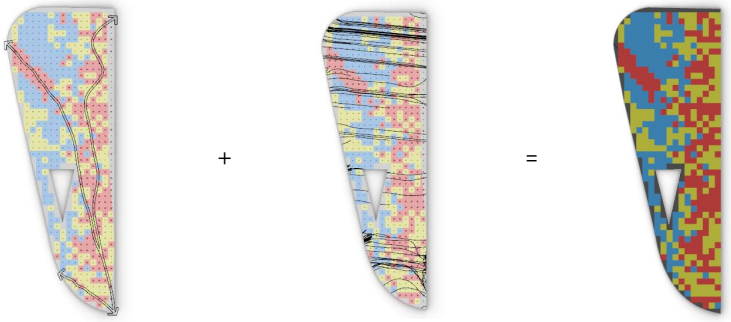
(3) $0.1X + 0.2Y + 0.3Z = 20(\%)$

위 방정식의 부가 설명은 다음과 같다. 투수율 20%의 경우, 기존 20% 모듈의 개수는 고려할 필요 없이 목표 투수율을 달성하기 때문에 X와 Z의 개수만 동일하면 된다. 그러나 공극이 없는 불투수 모듈이 추가되는 경우에는 부가적인 고려사항이 필요할 것으로 판단된다. 따라서 최종안에서는 투수율이 없는 포장 면적을 고려하여 투수율이 가장 높은 Z의 개수를 X의 개수보다 더 할당하는 방식으로 진행하였다.

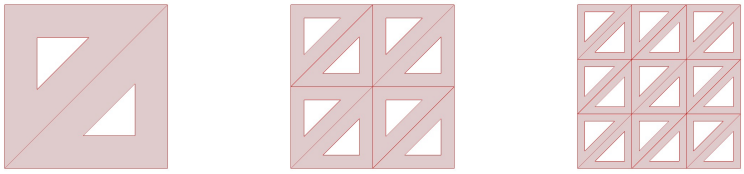
본 연구에서는 위의 3가지 조건식을 기준으로 두고 알고리즘 설계를 구현할 시, 투수율별 모듈의 시각적 구별을 용이하게 하기 위해 10% 모듈의 공극을 삼각형 세분화 1회, 20%에서는 2회, 30%는 3회로 표현한다. 이때 패턴의 다양화를 위한 회전 방식은 사각형 모듈을 기반으로 하기 때문에 90° 의 배수를 활용하였으며, 랜덤 변수 조정을 통해 무작위 모듈을 회전시킴으로써 더욱 다채롭게 표현할 수 있었다.

<패턴 설계 과정>

(1) 공극 모듈별 구간 4가지 지정 (보행 환경 + 수계 흐름 반영 = 종합)



(2) 구간별 모듈의 형태 지정 (각 투수율 10%, 20%, 30%)



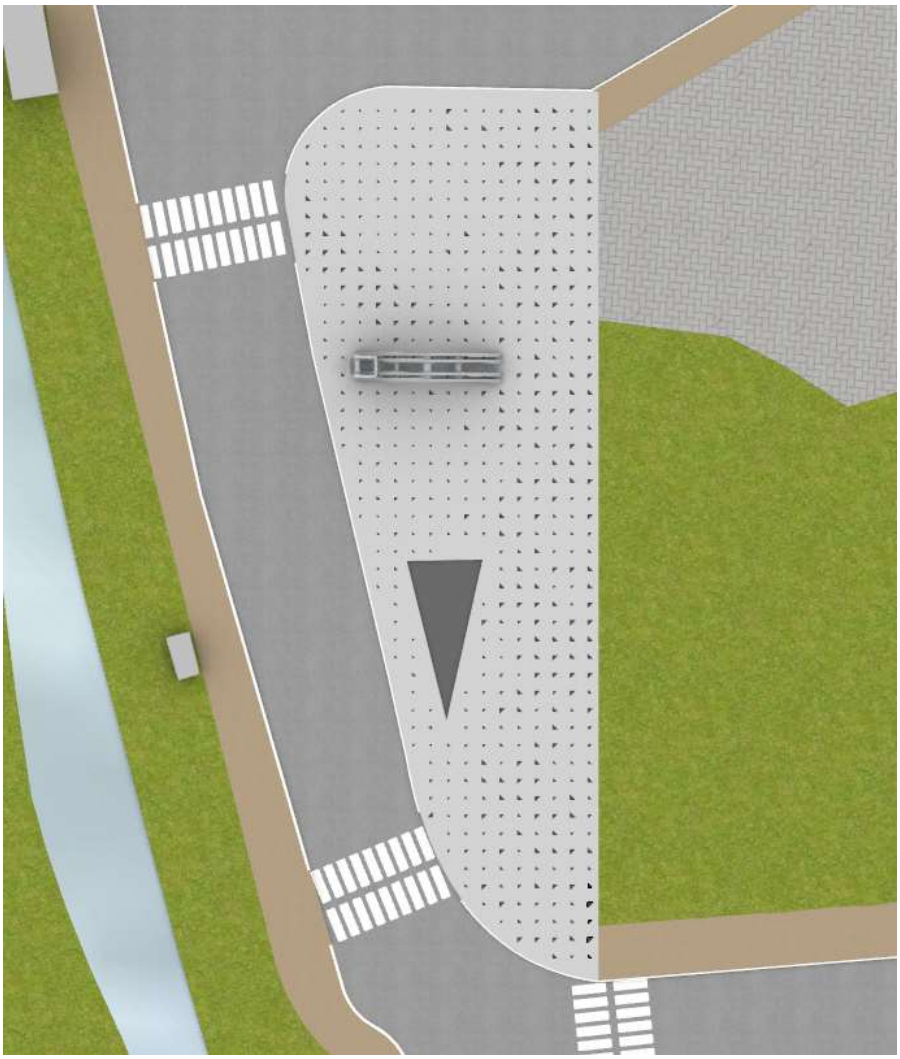
(3) 구간별 모듈의 랜덤 회전 설정 (사각형 모듈 기반으로 90 ˚ 의 배수 지정)

(4) Vector2D, IsPlanar 명령어를 활용하여 각 구간에 해당하는 최종 모듈 배치

(5) 시각적 이미지 확인

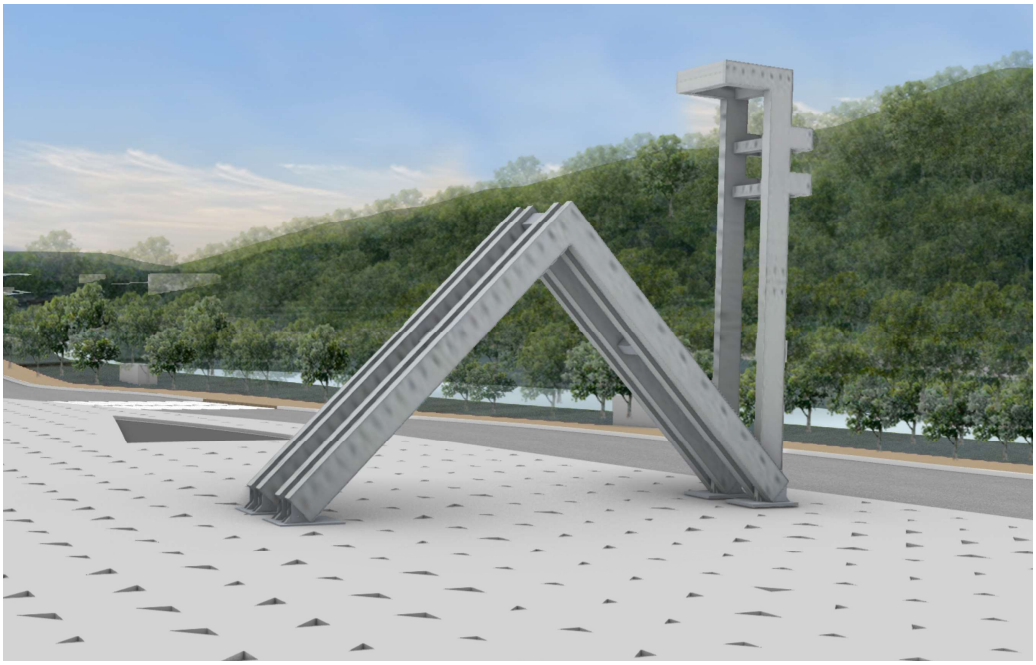
총 모듈의 개수는 594개 중 X는 188개, Y는 212개, Z는 194개에 불투수 면적은 주요 시설물 경계부 및 비정형의 모듈 형태를 가지는 구간으로 설정하여 전체 면적의 10%로 가정하였으며 도출된 평면도는 [그림 39]과 같다.

최종 결과물은 다음 [그림 40]와 [그림 42] 같이 남쪽과 북쪽 양 측면의 현황에서 관찰한 Eye-Level과 병렬하여 나타내었다. 본 연구를 통해 새로이 제안하는 포장 패턴은 대상지의 남측 [그림 41]과 북측[그림 43]에서 바라본 결과물을 렌더링하여 도출하였다.



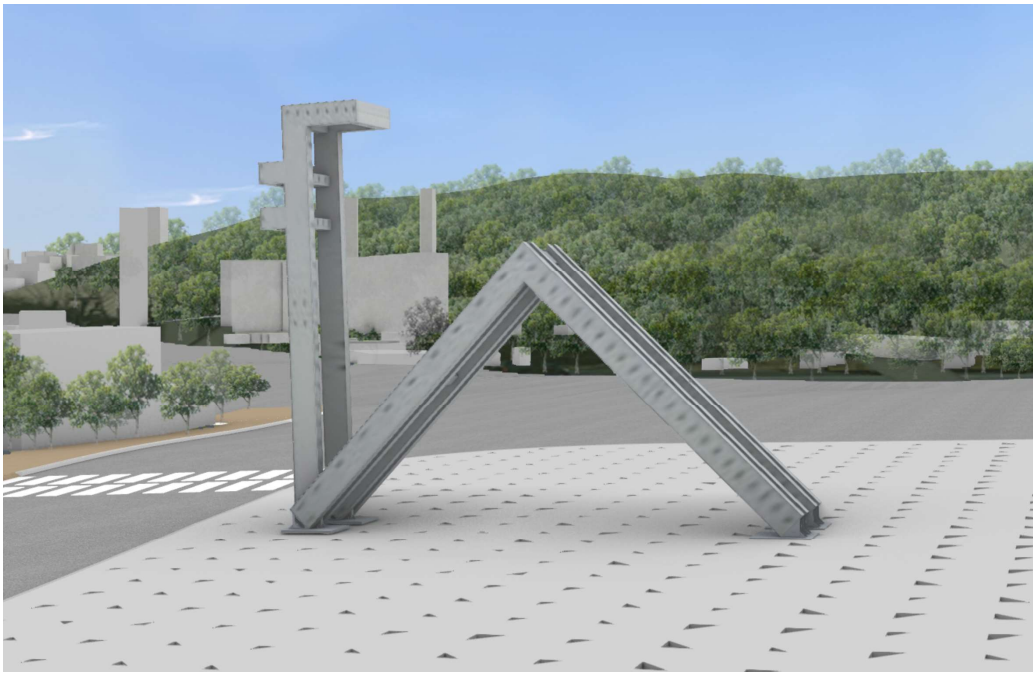
[그림 39] 최종 결과물 렌더링 평면도

[그림 40] 서울대학교 정문 광장 Eye-Level(남측)



[그림 41] 서울대학교 정문 광장 렌더링(남측)

[그림 42] 서울대학교 정문 광장 Eye level(북측)



[그림 43] 서울대학교 정문 광장 렌더링(북측)

4절 소결

용도지역별 생태면적률 확보 투수율을 일정 수치 이상으로 달성할 것으로 명시하고 있음에 따라 공극 포장 모듈 알고리즘 설계를 목적으로 특정 투수율을 만족시키는 포장 패턴 설계를 실시하였다. 형태 생성, 시각화, 계산 과정을 거쳐 대상지 경계에 따라 폴리곤 및 사용자 지정 형태를 설정한 패턴을 생성하고 주변 환경과의 상호작용에 따라 배치한 패턴 결과물을 도출하였다.

패턴의 변형 과정을 1) 세분화 형태 설정과 2) 사용자 지정 형태에 따라 구현하였을 때, 1의 과정이 경계선의 Offset 기반으로 크기를 조정하여 공극을 확보하는데 더 유용하게 작용하였으며, 적은 공극을 필요로 할 경우 2의 과정이 더욱 유용할 것으로 판단된다.

공극 포장을 통해 투수율에 따른 결과물을 시각화하였으며 예를 들어, 20% 투수율을 확보한 포장이 일률적으로 깔리게 되면 녹지 면적 없이 포장만으로 최소한 20% 침투가 가능한 공간을 가질 수 있다는 가능성을 보여준다. 이에 더 나아가 한가지 모듈의 일률적인 배치가 아닌 주변 환경과 연계하여 투수율별 공극 포장의 배치 방법에 대한 가능성을 연구하는 내용을 다루었다. 무수한 대안이 존재하지만, 최적화 과정을 위해 모듈 유형을 제한하기 위해 패턴 배치 알고리즘의 종합 과정에서 최종적으로 불투수, 투수 10%, 20%, 30% 총 4개의 구간으로 분류하여 적용할 수 있도록 하였다.

더불어, 알고리즘 설계의 마지막 단계에 투수율 계산 과정을 포함함으로써 설계 대안 선정 시 목표를 충족하는 범위 내에서 패턴을 선정하는 과정에 있어 도움을 줄 것으로 예상된다. 이는 향후 특정 투수율을 갖는 각 모듈 개수나 배치의 조합에 따라 포장설계 시 심미적 기능과 융합된 환경적 기능으로써 투수율을 반영할 수 있는 프로세스를 구축한 것이다.

설계안을 확정하고 난 후 투수율을 계산하며 충족 여부를 검토하는 일방적 과정이 아니라 설계 과정에서 즉각적인 결괏값을 확인하는 동시에 설계 의도에 맞게 공극의 형태 및 패턴을 설정할 수 있는 피드백 과정을 통해 포장 패턴 설계에 접근함으로써 포장에 Grasshopper를 활용한 알고리즘 설계의 적용 가능성을 확인하였다.

제5장 결론

1절 연구의 요약

본 연구는 파라메트릭 디자인 기법으로 Rhino3D의 플러그인인 Grasshopper를 활용하여 알고리즘을 활용한 포장 패턴 설계 기법을 개발하였다. Grasshopper 주요 기능을 형태 생성과 주변 환경 분석 두 가지로 보고 포장설계에 적용 가능한 방법으로써 패턴 생성과 포장 기능과의 연계로 유형화하여 각 분류에 해당하는 알고리즘을 설계하였다. 최종 결과물로는 서울대학교 정문 광장을 시범대상지로 하여 투수율에 따른 공극 포장 패턴 디자인과 활용된 Grasshopper 알고리즘 스크립트를 프로토타입으로 제시하였다.

포장 패턴을 생성하는 데 있어 활용될 수 있는 기본 명령어로 폴리곤과 지오메트리, 사용자 지정 형태를 적용할 수 있는 패턴 설계 기법을 구축하였다. 더 나아가 일률적 패턴의 적용뿐 아니라 주변 환경과의 상호작용을 통한 패턴 배치 알고리즘까지 다루었다. 이는 포장의 주요 기능인 이용자 입장에서의 보행 쾌적성과 환경적 측면에서의 투수 기능을 아우를 수 있는 주변 환경 요소와 연계한 알고리즘 설계를 구현한 것으로, 투수율에 영향을 미치는 인자로써 보행 환경과 수계 흐름을 사전에 설정하였다.

보행 동선의 경우 쾌적한 보행 환경을 위해 비교적 공극의 면적이 작아 투수율이 적은 패턴을 부여해야 하며, 수계 흐름의 경우 배수 측면에서 공극이 많을수록 유리하다. 이처럼 보행 환경과 배수의 기능이 상충하는 조건을 가지기에 이를 융합하여 반영하는 공극 포장 패턴 설계 알고리즘을 제안하였다.

더불어, 비용 및 시공 가능성 측면에서 포장 모듈의 최적화 과정이 고려되어야 하므로 모든 패턴을 무작위로 변형하는 것이 아니라 특정 구간별로 유형화함으로써 주변 환경과 상호작용을 통해 포장 패턴을 생성하고자 하였다.

2절 연구의 의의 및 향후 과제

본 연구는 현재 포장설계에서 단순한 색채 변형을 통해 표현하는 패턴과 기능적인 측면이 독립적으로 고려되고 있으며, 보행 환경에 주요 영향을 미치는 투수 기능이 블록 포장으로 인한 줄눈을 통해 한정되어 구현할 수밖에 없다는 점에서 가지는 한계점을 시작점으로 한다. 이를 통합적으로 고려하기 위한 대안으로 Grasshopper 알고리즘 설계 기법을 개발하고자 하였다.

포장과 직접적인 관련이 있는 생태면적률과 같은 법적 규제와 연관시켜보았을 때 자연지반 녹지를 제외하고 제한된 공간 내에서 목표 투수율을 충족시켜야 하는 경우, 보행 가능한 포장 면적이 축소될 수밖에 없다. 더불어 투수 공간이 많이 필요한 조건이 주어져 기존 방식으로 포장 줄눈을 넓히게 된다면 보행 시 안전성, 쾌적성 등의 문제가 발생한다. 이처럼 서로 상충할 수 있는 요인인 보행 쾌적성과 배수 기능을 통합적으로 반영하는 공극 포장 패턴을 설계함으로써 이전과 다른 관점에서 포장설계에 접근하였다는 데에 의의가 있다. 패턴을 활용한 포장 표현의 다양화를 도모할 뿐 아니라 정량적 수치로 작용하는 투수율을 패턴 설계에 접목함으로써 또 다른 방식으로의 포장설계 기법을 제안한 것이다.

보행과 배수 기능을 알고리즘을 활용해 융합하여 설계함으로써 마련되는 설계안의 투수율은 Grasshopper 내에서 즉각적으로 검토되며 목표 수치를 달성하는지 효율적인 피드백이 가능하였다. 이러한 일련의 과정들은 포장설계 전반의 과정에 포장 주요 기능인 배수 측면을 고려한다는 점에서 논리적 디자인을 제안할 수 있다. 이를 통해 알고리즘 구축을 바탕으로 명확한 디자인 규칙을 제안하며, 설계안 제안에 있어 최종 결과물 당위성 부여에 기여할 수 있을 것으로 예상된다. 이에 따라, 보행 환경을 반영하는 바와 같이 사용자와 배수 기능을 대표적으로 고려한 환경적 요인이 함께 상호작용하며 디자인 안을 제안하는 설계 방식의 기초자료로 작용할 수 있을 것으로 기대한다. 이 외에도 데이터 및 변수들을 신속하게 다뤄 무수한 피드백을 통하여 여러 가지 대안들을 다양한 측면에서 검토하며 설계자 의도에 최적화된 대안을 짧은 시간 내에 도출할 수 있었다.

하지만 본 연구는 포장설계의 방법론적 기초연구에 해당하며 프로토타입으로 파라메트릭 디자인 기법을 포장설계에 적용할 수 있는 다양한 방식에 집중하였다

는 점에서 한계가 있다. 향후에는 보다 다양한 방식으로의 알고리즘 디자인 기법이 심층적으로 탐구될 수 있을 것이며 여전히 재료 및 공법에 있어 단가나 새로운 재료의 실험, 더욱 많은 환경을 반영하는 복잡한 알고리즘 설계 등 다양한 실험적인 시도와 기법 개발이 필요할 것으로 요구된다. 이와 같은 한계점에 관하여 후속 연구 및 실험을 통해 더욱 현실성 있는 대안으로 무수히 많은 알고리즘 설계 기법이 개발될 수 있을 것이다.

본 연구는 이전에 시도되지 않았던 투수 공간 확보를 위한 수단으로써 파라메트릭을 활용한 공극 포장 패턴 설계에 포장의 주요 기능인 보행 환경과 배수의 측면을 연계하는 설계 과정을 구축하였다는 점에서 의의가 있다. 이는 설계안 제안에 있어 알고리즘 구축을 통해 명확한 디자인 규칙을 제안하며 투수율 확보를 위한 공극 포장 패턴 설계 방식을 고안하는 내용을 담고 있다. 동시에 알고리즘 설계 주요 특징인 파라미터 활용을 통해 이용자 측면에서의 보행 기능 및 환경적 요인이 함께 상호작용하며 디자인 안을 제안하는 Grasshopper 알고리즘 설계 방식의 기초자료로 작용할 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

▌ 국내 문헌

(1) 학회지 및 연구논문

- 김대현. (2004). 포장재료의 심리적 특성 분석. 한국조경학회지, 32(5), 43-51.
- 김선영. (2009). 공공 공간으로 본 도시형 오픈 스페이스와 광장디자인. 인천 가톨릭 대학교.
- 김선영. (2012). 도시 공공공간 디자인 요소로 본 건축물 부설 광장의 이용자 디자인 만족도.
- 김성진, 박성진, 박영미, & 류한국. 비정형 파사드의 유닛 모듈 시공 공법 개발.
- 김신원, 박태석, & 노희곤. (2009). 도시공원 바닥포장의 디자인 개선에 관한 연구. 한국디자인문화학회, 9, 58-67.
- 김영민. (2016). 블록포장의 이해.
- 나성진. (2021). 대학 내 조경전공 교육과정에 있어 새로운 컴퓨터 미디어 수업의 필요와 개선방향. 한국조경학회지, 49(1), 54-69.
- 나성진. (2021). 조경 설계 분야에서 파라메트릭 디자인의 사례 분석과 활용 가능성. 한국조경학회지, 49(2), 1-16.
- 류호창. (2011). 디지털 건축에서 나타나는 재료의 기술적 표현 유형 및 특성. 한국디자인포럼, 33, 223-232.
- 박상준. (2016). 디지털 디자인 도구의 Geometry 변형을 통한 비정형 디자인 형태 생성 방법에 관한 연구. 16(5), 306-317.
- 박상준, 이경훈, & 홍관선. (2012). 비정형 건축디자인의 형태분류에 관한 연구. Journal of Integrated Design Research, 11(4), 37-52.
- 박성근, 김. (2021). 파라메트릭 모델링 기법을 사용한 3D 프린팅 조인트 시스템의 구조 시뮬레이션을 통한 설계 최적화 프로세스. 대한건축학회논문집 계획계.
- 박소현, 최이명, 서한림, & 김준형. (2009). 주거지 보행환경 인지가 생활권 보행만족도에 미치는 영향에 관한 연구. 대한건축학회 논문집 - 계획계, 25, 253-261.
- 박열. (2015). 파라메트릭 디자인에 대한 이해와 적용. 건축, 59(7), 21-24.
- 박은진, 서정영, & 강규이. (2006). 도시 내 불투수 포장 개선을 통한 녹지의 확대 및 생태적 관리 방안. 정책연구, 1-1.
- 박정대 (2016). "친환경 파사드의 성능기반 파라메트릭 디자인." CDE review 22(1): 25-28.
- 박정대. (2012). 디지털 형태생성 방법론에 관한 연구: 파라메트릭 알고리즘이 적용된 비정형 건축물을 중심으로. 디지털디자인학연구, 12(1), 577-586.
- 박정주. (2010). 디지털 물성을 이용한 모듈화 표피생성방법 연구. 한국실내디자인학회

논문집, 19(1), 137-147.
- 박정주. (2010). 디지털 패턴의 생성과 공간적용방법 연구. 한국실내디자인학회 논문집, 19(6)(100-111).
- 박찬훈, & 백은. (2021). CNC 가공기법을 활용한 전통문양 가구디자인 연구. 한국가구학회지, 32(4), 442-451.
- 박홍식, & 전한종. (2008). 파라메트릭기반 비정형 형태 생성방법에 관한 기초연구. 대한건축학회 학술발표대회 논문집-계획계, 28(1), 335-338.
- 배정한. (2004). Landscape Urbanism의 이론적 지형과 설계 전략. 한국조경학회지, 32, 69-79.
- 성우제. (2015). 파라메트릭 디자인. 대한건축사협회, 22-23.
- 성우제, & 정요한. (2020). 아파트 최적 배치 자동화. KIBIM Magazine, 10, 22-32.
- 송규만, & 이경윤. (2012). 비정형 건축형태 구현을 위한 통합적 디지털 디자인과 제작 프로세스에 관한 연구. 디지털디자인학연구, 12, 609-618.
- 안세윤, & 이현수. (2010). 서울 특화거리 조성사업 디자인 계획에 관한 연구: 성산대로 대상으로. 디자인융복합연구(23), 59-70.
- 양순영. (2016). 평창의 문화관광자원을 활용한 패턴디자인 개발. 한국디자인포럼, 50, 85-100.
- 오영은, & 이현수. (2021). 무리지능 기반 파라메트릭 파사드 패턴 디자인 프로세스 및 그래스호퍼 알고리즘 개발. 한국실내디자인학회 논문집, 30(4), 103-117.
- 윤수호, 박형진, & 구교진. (2011). 건축설계단계 지식기반 마감자재 선정 프로토타입 개발. 대한건축학회 논문집-구조계, 27(7), 175-183.
- 윤원섭, 김., 박상준, 조철현, 채영수. (2008). 스톤 블럭을 이용한 보ㆍ차도 포장의 적용성 평가. 한국지반신소재학회.
- 이동운. (2011). 건축조경설계 자동화 프로그램의 개발과 적용. 대한건축학회연합논문집, 13(3), 235-241.
- 이명준. (2018). 조경 설계에서 디지털 드로잉의 기능과 역할. 한국조경학회지, 46(2), 1-13.
- 이서영, & 김지현. (2020). 특화 거리 보행로 디자인 특성에 관한 연구. 한국공간디자인학회 논문집, 15(1), 181-192.
- 이양재. (2020). [연재기사] 건축 잡상 (7) 파사드의 발전과 비정형 디자인. News & Information for Chemical Engineers, 38(3), 336-339.
- 이영춘. (2017). CNC를 이용한 목제품 디자인 기법에 관한 연구. 한국가구학회지, 28(4), 371-379.
- 이용훈, 이기의, & 서옥하. (2000). 조경공사의 설계와 시공일치를 위한 최적 모형. 한국조경학회지, 28(4), 105-116.
- 이원규, 오. (2006). 곡면디자인 전개과정에 있어서 디지털 도구를 이용한 표현방법에 관한 연구. 대한건축학회논문집 계획계.

- 이윤. (2009). 파라메트릭 디자인 방식의 디지털 형태 형성. 한국디자인지식학회.
- 이인근, & 김성아. (2012). 비정형 건축 디자인을 위한 패널링 최적화 방안.
- 이태민, 최. (2021). 미끄럼 방지 도로 포장을 위한 국내형 패턴 프레임 공법 개발. 한국구조물진단유지관리공학회, 40(2), 373-379.
- 이한울, & 안건혁. (2011). 상업지역 장소정체성에 영향을 주는 가로공간 구성요소: 명동의 상업가로를 중심으로. 한국도시설계학회지 도시설계, 12(1), 41-54.
- 임진규, 박. (2013). 파라메트릭 디자인을 활용한 비정형 형태생성 기법에 관한 연구. 한건축학회논문집 계획계, v.29(n.8), 43-50.
- 정광섭, 노희철, & 황재훈. (2010). 보행환경설계를 위한 직ㆍ간접 요인의 중요도 분석. 한국도시설계학회지 도시설계, 11, 5-18.
- 정석. (2007). 국제비교를 통한 서울의 보도디자인기준 문제점 및 개선방향 연구. 서울도시연구, 8(4), 139-153.
- 조민정. (2011). 비정형 건축 외장의 재현과 구축을 위한 통합적 디지털 디자인 프로세스 적용 연구. 디지털디자인학연구, 11, 267-276.
- 조태준, 손. (2018). 빗물저장 및 활용을 위한 보도블럭구조의 최적화. 한국구조물진단유지관리공학회 논문집, 22(1), 40-47.
- 조현길, & 안태원. (1999). 도시녹지에 의한 미기후개선의 기능. 한국조경학회지, 27(4), 23-28.
- 최기수 (1985). "외부환경설계 -바닥표면-." 대한건축학회(4): 58-61.
- 최영준. (2020). 국내 복합상업시설 외부공간의 특성과 변화 양상. 한국조경학회지, 48(5), 89-106.
- 하승범. (2021). A Research on the Parametric Design Method in Pre-Design Phase for BIM application. The Journal of the Convergence on Culture Technology.
- 홍상희. (2011). 보도용 블록. Journal of the Korea Construction Safety Engineering Association, 42-47.

(2) 학위논문

- 김병훈, 강준구, 이재응, & 여운광. (2001). 투수성 포장의 우수유출 저감효과에 관한 실험적연구. 석사학위논문, 명지대학교
- 김복영. (2019). 도시재해 저감 설계를 위한 조경정보모델의 활용. 박사학위논문, 서울대학교 대학원.
- 노희곤. (2009). 도시공원 바닥포장의 설계 개선에 관한 연구. 석사학위논문, 경희대학교
- 신해미 (2009). 신도시 중심지역의 보행자 서비스 질의 영향인자 분석에 관한 연구, 한양대학교.

(3) 보고서

- 서울특별시. (2020) "보도공사 설계시공 매뉴얼 Ver2.0."
- 서울특별시. (2017). “서울 도시디자인 가이드라인 Ver3.0.”
- 서울특별시. (2013). “투수블록포장 설계, 시공 및 유지관리 기준.”
- 부산대학교 산학협력단. (2019). “포장 공극, 폐색 입자 고려 투수성 포장 시스템의 침투 지속성 실험적 평가 기법 개발.”

(4) 웹페이지

- *Lafent*. (2019년 2월 15일). 광화문광장 설계, ″다양한 해석이 가능한 디자인, 담론이 오가는 공간″. https://han.gl/KbDzR
- *Lafent*. (2021년 12월 14일). 생태면적률 위한 투수블록, “지속성 유지돼야”. https://www.lafent.com/mbweb/news/view.html?news_id=129977
- 엔드레스. (2021년 2월 26일). [3D프린팅] (주)HS하이테크와 함께하는 건축 3D프린팅 스토리-1. *HS하이테크*. https://hshitech.tistory.com/34
- *위키백과*. (2022년 4월 10일). 의사코드. https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%9D%98%EC%82%AC%EC%BD%94%EB%93%9C
- *위키백과*. (2022년 5월 12일). 파사드. https://ko.wikipedia.org/wiki/%ED%8C%8C%EC%82%AC%EB%93%9C
- *위키백과*. (2022년 6월 24일). 패턴. https://ko.wikipedia.org/wiki/%ED%8C%A8%ED%84%B4
- *위키백과*. (2022년 10월 21일). Geotextile. https://en.wikipedia.org/wiki/Geotextile

▌해외문헌

- Becker, N., Pellegrino, P., Martins, J. R., Raviolo, B., & Moreira, E. (2018). Intelligent landscapes: Application of parametric modeling for a new generation of flood risk management reservoirs in São Paulo city, Brazil. DISEGNARECON, 11, 15.
- Bilurbina, M., Abellan, S., & Christodoulou, M. (2019). Landscape Design Methodology: Pattern Formation Through the Use of Cellular Automata. Journal of Digital Landscape Architecture, 95-104.
- Caetano, I. (2016). DrAFT: an algorithmic framework for facade design.
- Caetano, I., Santos, L., & Leitão, A. (2015). From idea to shape, from

algorithm to design: A framework for the generation of contemporary facades. International Conference on Computer-Aided Architectural Design Futures.

- Caymaz, G. F. Y., Yardımlı, S., Turan, B. O., & TarımCaymaz, A. (2018). Wooden Structures within the Context of Parametric Design: Pavilions and Seatings in Urban Landscape. Journal of Architectural Research and Development, 2(3).
- Cetin, M. (2015). Consideration of permeable pavement in landscape architecture. Journal of Environmental Protection and Ecology, 16(1), 385-392.
- Cetin, M. (2015). Using recycling materials for sustainable landscape planning. Environment and ecology at the beginning of 21st century, 783-788.
- Chung, J., Lee, G., Kim, J.-H., & Choi, J. (2020). A comparative analysis of the classification system for three-dimensional concrete printers. Korean Journal of Construction Engineering and Management, 21(2), 3-14.
- Damian, H. (2021, August 30). Sustainability can be fun. WLA. https://worldlandscapearchitect.com/sustainability-can-be-fun/
- Dilip, Deepthi Mary, Babu, & Sivakumar, G. L. (2021). Reliability-Based Design Optimization of Flexible Pavements Using Kriging Models. Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements, 147(3), 04021046.
- Elghazi, Y., & Mahmoud, A. H. A. (2016). Origami Explorations A Generative Parametric Technique For kinetic cellular façade to optimize Daylight Performance.
- EREN, E. T. (2018). ATTITUDES OF LANDSCAPE ARCHITECTURE STUDENTS TOWARDS BIOMORPHIC AND PARAMETRIC DESIGN APPROACHES IN ENVIRONMENTAL DESIGN.
- Gagne, J., & Andersen, M. (2012). A generative facade design method based on daylighting performance goals. Journal of Building Performance Simulation, 5(3), 141-154.
- Galkina, H., & Grinkrug, N. (2020). Unity of natural and architectural space in landscape design of komsomolsk-on-amur. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science,
- *geeksforgeeks*. (2022, August 4). https://www.geeksforgeeks.org/algorithms-design-techniques/
- Guibas, L. Basic Algorithms and Combinatorics in Computational Geometry.
- Huang, G., Feng, X., & Lin, F. (2017). Effect of parametric design on

landscape. Social Science, Education and Humanities Research,

- Hurkxkens, I. (2020). Robotic Landscapes: Topological Approaches to Terrain, Design, and Fabrication ETH Zurich.
- Hurkxkens, I. B., Mathias. (2019). Computational Terrain Modeling with Distance Functions for Large Scale Landscape Design.
- Lagios, K., Niemasz, J., & Reinhart, C. F. (2010). Animated building performance simulation (ABPS)-linking Rhinoceros/Grasshopper with Radiance/Daysim. Proceedings of SimBuild, 4(1), 321-327.
- Liu, H., Jiao, J., & Zhang, N. (2016). Research on Nonlinear Thinking of Landscape Architecture Design based on Computer-aided Parametric Model. International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering, 11(8), 333-344.
- Liu, M., & Nijhuis, S. (2020). Digital methods for mapping landscape spaces in landscape design. Journal of Digital Landscape Architecture, 5, 125-161.
- Luminiitty, R. (2021). Integrating Computational Planting Design to the Landscape Design Process
- Meng, Y., Mok, P. Y., & Jin, X. (2012). Computer aided clothing pattern design with 3D editing and pattern alteration. Computer-Aided Design, 44(8), 721-734.
- Moura, A. C., Ribeiro, S., Correa, I., & Braga, B. (2014). Parametric Modeling of Urban Landscape: Decoding the Brasilia of Lucio Costa from Modernism to Present Days. TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment, 1, 697-708.
- Moura, A. C. M. (2015). Geodesign in Parametric Modeling of urban landscape. Cartography and Geographic Information Science, 42(4), 323-332.
- PAVING TECHNIQUE: HOW TO IMPROVE FLEXIBLE CLAY AND CONCRETE SEGMENTAL PAVEMENTS: Part 2 of a "Landscape Australia" Report. (1993). Landscape Australia, 15(1), 70.
- Pedersen, C. (2020). The Parametric Process: A Strategic Analysis on Digital Design Technology in Landscape Architecture.
- Ramage M. (2022, April 21). What is Computational Design?. *Trimble*. https://constructible.trimble.com/construction-industry/what-is-computational-design
- Schneider, C., Koltsova, A., & Schmitt, G. (2011). Components for parametric urban design in Grasshopper from street network to building geometry. Proceedings of the 2011 Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design,

- Song, C., Bao, Z., Yang, F., & Yan, H. (2019). Preliminary Research on Parametric Design of Plant Landscapes. Journal of Landscape Research, 11(5), 23-26.
- Steinitz, C., & Orland, B. (2021). On the Future of Digital Landscape Architecture. Journal of Digital Landscape Architecture, 53-63.
- Stouffs, R. (2018). Where Associative and Rule-Based Approaches Meet-A Shape Grammar Plug-in for Grasshopper.
- Theidel, D. (2021). Searching for New Ways to Design Landscape: Experience with Parametric Design in Interaction with Computer-Aided Manufacturing Methods in Landscape Architecture and their Effects on the Design Process. Journal of Digital Landscape Architecture, 402-413.
- Tien Chong, A. K., Chen, J., Tapley, M., & Crolla, K. (2021). Creating parametric design workflows for rapid conceptual design and optioneering IABSE Congress, Christchurch 2021: Resilient technologies for sustainable infrastructure,
- Trust, T., & Maloy, R. W. (2017). Why 3D Print? The 21st-Century Skills Students Develop While Engaging in 3D Printing Projects. Computers in the Schools, 34(4), 253-266.
- Vukorep, I., Schück, W., & Brunnhofer, P. (2021). Big Scale Landscape Project from Design to Fabrication: A Report on Digital Methods. J. Digit. Landsc. Archit, 6, 394-401.
- Walliss, J., & Rahmann, H. (2016). Landscape architecture and digital technologies: Re-conceptualising design and making. Routledge.
- Wang, N., Wu, S., & Yin, X. (2020). Research on Parametric Design of Decorative Patterns Based on Color Composition Model< Subtitle> Take Continuous Geometric Patterns as A Case Study. 2020 International Conference on Innovation Design and Digital Technology (ICIDDT),
- Yang, W., Lin, Y., & Li, C.-Q. (2018). Effects of landscape design on urban microclimate and thermal comfort in tropical climate. Advances in Meteorology, 2018.
- Yazıcı, S. (2016). A parametric landscape urbanism method: The search for an optimal solution. A/Z : ITU journal of Faculty of Architecture, 13(3), 155-165.