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

공학석사 학위논문

주택단지 용적률 상향 시나리오에 따른 열쾌적성 변화 분석

- 노후계획도시 정비 및 지원에 관한 특별법 대상지를 중심으로 -

Analysis of Thermal Comfort Change according to the Housing Complex Floor Area Ratio Raising Scenario

- Focusing on areas to the Special Act on the Maintenance and Support of Older Planned Cities -

2023년 8월

서울대학교 대학원

협동과정 도시설계학전공

원 종 민

주택단지 용적률 상향 시나리오에 따른 열쾌적성 변화 분석

- 노후계획도시 정비 및 지원에 관한 특별법 대상지를 중심으로 -

지도교수 이 제 승

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함
2023년 7월

서울대학교 대학원
협동과정 도시설계학전공
원 종 민

원종민의 석사 학위논문을 인준함
2023년 7월

위 원 장 권영상 (인)

부위원장 이제승 (인)

위 원 임 저스틴 희준 (인)

국문초록

큰 폭으로 나타나는 기후 변화와 함께 진행 중인 용적률 상향의 도시 건축 밀도 상승은 열대야와 열섬현상의 심화와 함께 도시 생활환경을 위협하고 시민들의 쾌적한 열환경을 저해하고 있다.

전국 건축물 면적의 합계는 지난 15년간 꾸준히 증가하고 있으며 도시의 높은 건축 밀도로 인해 발생하는 열쾌적성 악화의 대표적인 영향 중 하나인 열대야의 관측 일수는 10일이 넘은 7개의 해 중 5개가 최근 10년 이내인 것을 보았을 때 그 상황이 심화되고 있는 것을 확인할 수 있었다.

이렇게 도시환경은 높아져가는 연면적과 함께 악화되어가고 있지만 2040 서울 도시기본계획에서 제시하는 용도지역 체계 개편안과 서울시 아파트 최고높이 제한 완화, 노후계획도시 특별법을 통한 1기 신도시 중심의 노후택지 용적률 최대 500%까지 상향 등 도시의 고밀화는 앞으로도 진행될 것으로 보인다.

이러한 용적률 상향 추세에 대응하여 앞으로 필요한 주된 논의는 얼마나 제한할 것인가 보다 어떻게 상향할 것인가가 중요하다 생각해 건축물의 용적률 상향을 어떤 방향으로 어떻게 이끌어야 하는지에 대한 분석이 필요하다 판단되었다.

이에 선행연구들을 분석했을 때 같은 규모여도 건축물의 배치형태에 따라 달라지는 통풍성의 영향으로 복사열 냉각효과의 차이를 가져오기 때문에 열쾌적성의 차이를 보인다는 것을 확인할 수 있었기 때문에 용적률을 상향할 때도 어떤 형태로 상향하느냐에 따라 열쾌적성이 달라질 수 있다는 가설을 세우며 연구를 시작하게 되었다.

본 연구는 용적률 상향에 가장 큰 영향을 미치는 물리적 요소들을 파악하고 각 요소별 용적률 상향 시나리오를 설정하여 건축 요소별로 규모가 커질 때 열쾌적성의 변화양상도 달라진다는 가설을 검증하고자 한다.

이러한 시나리오 분석을 통하여 용적률 상향이 진행되어도 열쾌적성

을 확보할 수 있는 주택단지 용적률 상향 방안을 제시하는 것이 연구의 목표이며 결과를 기반으로 도출한 설계예시안의 최적화 설계를 통해 열쾌적성 확보 성능을 확인하는 다음의 세 단계를 진행하였다.

첫 번째, 열쾌적성의 개념과 측정 원리에 대한 선행연구를 진행하고 기존의 열환경 개선 원리 선행연구의 분석을 진행하여 열환경을 쾌적하게 개선하는 원리에 대한 연구를 진행하며 이것을 기반으로 연구에 사용할 환경 시뮬레이션을 준비한다.

그리고 용적률 확보에 영향을 미치는 건축요소에 대한 선행연구를 통해 어떤 건축요소들의 용적률 상향 시나리오 분석을 진행할지에 대한 선택 기준을 확인한다.

두 번째, 시나리오 작성을 위해 사용된 3D 툴에 대한 이해를 진행하고 선행연구를 통해 선택한 용적률 상향 건축요소를 기반으로 각각의 상향 시나리오를 설정한다.

세 번째, 각각 설정한 시나리오의 환경 시뮬레이션 결과 분석을 통해 열쾌적성을 개선하는 용적률 상향 방안을 제시하고 열쾌적성 개선 성능 검증을 위하여 최적화 설계를 통해 도출한 설계 예시안을 기반으로 현황 용적률 환경 시뮬레이션 결과의 비교 분석을 진행한다.

이러한 순서에 따라 먼저 이론적 고찰을 통해 열쾌적성의 측정 원리와 연구의 발전에 따라 해당 연구에서는 외부 열쾌적성을 측정하는 UTCI(Universal Thermal Climate Index)를 사용하다는 것이 적절하다는 것을 확인할 수 있었다.

UTCI 분석을 진행하기 위한 대상지로는 노후계획도시 특별법 대상지 중 열쾌적성이 가장 떨어지는 주거지역을 선별하여 용적률 상향으로 재개발 가능성과 열쾌적성 개선 효과가 가장 높을 것이라 판단되는 분당 장미마을 코오롱아파트 주택단지를 선정했다.

환경 시뮬레이션을 진행하기 위한 시나리오 설정의 기준이 되는 건축요소로는 선행연구를 통해 최대용적률 확보에 가장 큰 영향을 미치는 층수와 세대밀도를 선정하였으며 세대밀도를 높이는 방법으로는 기존 주동수의 상향과 세대밀도가 높은 탑상형 주동을 혼합 배치하는 방법으로 구

분하였다.

이러한 기준을 통해 층수 상향 시나리오, 전체 주동 수 상향 시나리오, 탑상형 주동 수 비율 상향 시나리오를 설정하였으며 각 시나리오의 환경 시뮬레이션을 진행하였다.

연구결과 층수 상향 시나리오에서는 바람길을 구성하는 건축물의 규모 상향으로 풍속이 강화되어 골바람을 통해 일정하게 열쾌적성 개선 현상이 높아지는 결과를 보였으나 판상형 주동 클러스터로 인해 바람이 단지 깊숙하게 유입되지 못하는 영역의 열쾌적성 편차가 심화되는 것을 확인할 수 있었다.

전체 주동 수 상향 시나리오에서는 주동 수를 늘려가는 배치 순서를 주풍향 방향과 주풍향 반대 방향으로 구분하여 시나리오를 진행하였으며 둘 다 열쾌적성이 악화되는 것은 동일하였으나 주풍향 방향으로 주동을 추가 배치했을 때 바람길을 초입에서 막아 주풍향 반대 방향으로 추가 배치했을 때에 비해 열쾌적이 빠르게 악화되는 것을 확인할 수 있었다.

탑상형 주동 비율 상향 시나리오에서는 탑상형 주동이 단지를 관통하며 1열로 배치되었을 때 까지는 용적률이 상향되어도 열쾌적성을 유지하는 결과를 보였으나 2열로 배치되었을 때는 탑상형 주동으로 인한 바람의 분산이 중복되어 일어나며 풍속이 크게 떨어져 열쾌적성이 악화되는 것을 확인할 수 있었다.

각 시나리오의 시뮬레이션 결과를 토대로 최적화 설계를 통해 설계예시안을 계획하기 위해 층수를 최대화하며 주동수를 최소화하고 탑상형 주동이 2열이 되지 않는 선에서 용적률 상향을 진행하였으며 그 결과 용적률 452.88%에 Moderate Heat Stress 비율이 현황에 비해 16.20% 감소해 용적률 상향시 열쾌적성 완화 방안의 효과를 확인할 수 있었다.

최적안을 도출한 후 UTCI 시뮬레이션을 진행해 평가점수에 반영하고 현황 용적률 설계예시안과 회귀분석을 진행했으며 주동 타입의 혼합배치와 함께 건축면적은 가능한 늘리지 않으면서 층수를 높이는 방향으로 용적률 상향이 이루어져야 열쾌적성을 유지하거나 개선하기 수월한 것을 다시 한 번 확인할 수 있었다.

연구의 의의는 용적률 상향 시나리오를 설정하고 각 환경 시뮬레이션의 정량적 분석을 통해 용적률 상향 계획시 효과적인 열쾌적성 완화 방안에 대해 제시했다는 점과 건축요소에 따라 열쾌적성 변화양상이 다르다는 것을 확인하여 용적률이 올라간다고 무조건 열쾌적성이 악화되는 것은 아니라는 것을 검증함을 통해 용적률 상향 정책 시행시 열쾌적성을 개선하는 가이드라인에 대한 제시가 함께 고려되어야 한다는 것을 확인한 것에 있다.

연구의 한계는 알베도, 수목 등의 세부 조건이 함께 고려된 구체적이고 현실적인 시나리오의 환경 시뮬레이션을 구현하지 못했다는 점과 연구 결과를 통해 확인한 열쾌적성 완화 방안을 토대로 열쾌적성 개선을 고려한 용적률 상향의 구체적인 가이드라인을 제시하지는 못했다는 점에 있다.

주요어 : 도시환경, 용적률 상향, 열쾌적성, 환경 시뮬레이션
학 번 : 2021-28526

목 차

제 1 장 서론 ····· 1

제 1 절 연구의 배경 및 목적 ····· 1

1. 연구의 배경 ····· 1

2. 연구의 목적 ····· 5

제 2 절 연구의 범위 및 방법 ····· 6

1. 연구의 범위 ····· 6

2. 연구의 방법 ····· 7

제 2 장 이론적 고찰 ····· 11

제 1 절 열쾌적성 개선 방안 연구 ····· 11

1. 열쾌적성에 대한 이해 ····· 11

2. 열쾌적성 개선 원리 ····· 12

3. 열쾌적성을 개선하는 주택단지 배치 계획 연구 ····· 13

제 2 절 UTCI 시뮬레이션 분석의 이해 ····· 18

1. 환경 시뮬레이션을 위한 3D 모델 준비 ····· 18

2. 열쾌적성 분석을 위한 UTCI 시뮬레이션 ····· 19

3. EPW를 이용한 실측 데이터 기반 시뮬레이션 ····· 19

제 3 절 용적률 확보에 영향을 미치는 건축요소 ····· 20

제 3 장 연구방법 ····· 25

제 1 절 Rhinoceros의 Grasshopper 기반 분석 ····· 25

1. Grasshopper를 이용한 배치 계획 파라미터 설정 ····· 25

2. 환경 시뮬레이션 컴포넌트 Ladybug ····· 25

3. 유전 알고리즘 기반 최적화 컴포넌트 Opossum ····· 26

제 2 절 용적률 상향 시나리오 설정 ····· 26
1. 층수 상향 시나리오 설정 ····· 27
2. 전체 주동 수 상향 시나리오 설정 ····· 31
3. 탑상형 주동 수 비율 상향 시나리오 설정 ····· 36

제 4 장 결과 및 고찰 ····· 41
제 1 절 용적률 상향 환경 시뮬레이션 결과 ····· 41
1. 층수 상향 환경 시뮬레이션 결과 ····· 42
2. 전체 주동 수 상향 환경 시뮬레이션 결과 ····· 50
3. 탑상형 주동 수 비율 상향 환경 시뮬레이션 결과 ····· 61
제 2 절 용적률 상향 환경 시뮬레이션 결과 분석 ····· 71
1. 열쾌적성을 개선하는 용적률 상향 방안 제시 ····· 71
2. 설계예시안 최적화를 통한 용적률 상향 방안 검증 ····· 73
3. 회귀분석을 통한 상관관계 분석 ····· 78

제 5 장 결론 ····· 79
제 1 절 연구의 결론 ····· 79
제 2 절 연구의 의의 및 한계 ····· 83

참고문헌 ····· 84
Abstract ····· 87

표 목 차

[표 1-1] 주택단지의 용적률 상향 정책과
배치 계획 가이드라인 현황 ····· 3
[표 2-1] UTCI 지표 ····· 12
[표 2-2] 열섬현상 완화 원리 ····· 15
[표 2-3] 열쾌적성 개선을 고려한 배치계획 방향 분석 ····· 16
[표 2-4] 건축물 중심의 최대용적률 결정요인 비교 ····· 21
[표 2-5] 공동주택단지 특성의 요인분석결과 ····· 22
[표 2-6] 최근 10년간 사용승인 된 주택단지 사례조사 ····· 24
[표 3-1] 층수 상향 시나리오에 따른 건축물 배치 변화 ··· 28
[표 3-2] 층수 상향 시나리오에 따른 용적률 변화 ····· 29
[표 3-3] 전체 주동 수 상향 시나리오에 따른
용적률 변화 ····· 32
[표 3-4] 전체 주동 수 상향 시나리오에 따른
배치 변화(주풍향 반대 방향) ····· 33
[표 3-5] 전체 주동 수 상향 시나리오에 따른
배치 변화(주풍향 방향) ····· 34
[표 3-6] 탑상형 주동 수 비율 상향 시나리오에 따른
용적률 변화 ····· 37
[표 3-7] 탑상형 주동 수 비율 상향 시나리오에 따른
배치 변화 - 1 ····· 38
[표 3-8] 탑상형 주동 수 비율 상향 시나리오에 따른
배치 변화 - 2 ····· 39
[표 4-1] 층수 상향 시나리오 환경 시뮬레이션 결과 ····· 43
[표 4-2] 층수 상향 시나리오에 따른 UTCI 분포 변화 ····· 49
[표 4-3] 전체 주동 수 상향 시나리오

환경 시뮬레이션 결과 ····· 50
[표 4-4] 전체 주동 수 상향에 따른 UTCI 분포 변화
(주풍향 반대 방향 배치) ····· 59
[표 4-5] 전체 주동 수 상향에 따른 UTCI 분포 변화
(주풍향 방향 배치) ····· 60
[표 4-6] 탑상형 주동 수 비율 상향 시나리오
환경 시뮬레이션 결과 ····· 61
[표 4-7] 탑상형 주동 수 비율 상향에 따른
UTCI 분포 변화 - 1 ····· 69
[표 4-8] 탑상형 주동 수 비율 상향에 따른
UTCI 분포 변화 - 2 ····· 70
[표 4-9] 용적률 상향 시나리오 환경 시뮬레이션 결과 ····· 71
[표 4-10] 설계예시안 용적률 500% 최적화 결과 ····· 75
[표 4-11] 완전 요인 실험 계획 ····· 77
[표 5-1] 용적률 상향 시나리오 분석 결과 ····· 81

그 림 목 차

[그림 1-1] 50년 간 관측된 열대야 일수 변화 ····· 1
[그림 1-2] 전국 건축물 연면적 변화 추이(2006~2022년) ·· 2
[그림 1-3] 노후계획도시 특별정비구역 개발 예시 ····· 4
[그림 1-4] 대상지 현황 ····· 6
[그림 1-5] 연구흐름도 ····· 8
[그림 2-1] 환경 시뮬레이션 영역 ····· 18
[그림 3-1] 현황 배치도의 동간간격 ····· 27
[그림 3-2] 층수 상향 시나리오 스크립트 ····· 30

[그림 3-3] 추가 주동 배치 방향 다이어그램 ····· 31
[그림 3-4] 전체 주동 수 상향 시나리오 스크립트 ····· 35
[그림 3-5] 탑상형 주동 배치 방향 다이어그램 ····· 36
[그림 3-6] 탑상형 주동 수 비율 상향 시나리오 스크립트 40
[그림 4-1] 현황 UTCI 시뮬레이션 결과 ····· 41
[그림 4-2] 현황 바람 시뮬레이션 결과 ····· 42
[그림 4-3] 층수 20층 시나리오 UTCI 시뮬레이션 결과 ··· 44
[그림 4-4] 층수 20층 시나리오 바람 시뮬레이션 결과 ····· 45
[그림 4-5] 층수 25층 시나리오 UTCI 시뮬레이션 결과 ··· 46
[그림 4-6] 층수 25층 시나리오 바람 시뮬레이션 결과 ····· 47
[그림 4-7] 층수 30층 시나리오 UTCI 시뮬레이션 결과 ··· 48
[그림 4-8] 층수 30층 시나리오 바람 시뮬레이션 결과 ····· 48
[그림 4-9] 주동 배치 추가 방향에 따른
환경 시뮬레이션 결과 ····· 51
[그림 4-10] S2-1 주풍향 반대 방향 추가 배치 시나리오
UTCI 시뮬레이션 결과 ····· 53
[그림 4-11] S2-7주풍향 방향 추가 배치 시나리오
UTCI 시뮬레이션 결과 ····· 53
[그림 4-12] S2-1 주풍향 반대 방향 추가 배치 시나리오
바람 시뮬레이션 결과 ····· 54
[그림 4-13] S2-7 주풍향 방향 추가 배치 시나리오
바람 시뮬레이션 결과 ····· 54
[그림 4-14] S2-3 주풍향 반대 방향 추가 배치 시나리오
UTCI 시뮬레이션 결과 ····· 56
[그림 4-15] S2-9 주풍향 방향 추가 배치 시나리오
UTCI 시뮬레이션 결과 ····· 56
[그림 4-16] S2-3 주풍향 반대 방향 추가 배치 시나리오

바람 시뮬레이션 결과 ····· 57
[그림 4-17] S2-9 주풍향 방향 추가 배치 시나리오
바람 시뮬레이션 결과 ····· 57
[그림 4-18] 주동 배치 추가 방향에 따른
환경 시뮬레이션 결과 ····· 62
[그림 4-19] S3-1 탑상형 주동 3개 시나리오
UTCI 시뮬레이션 결과 ····· 63
[그림 4-20] S3-1 탑상형 주동 3개 시나리오
바람 시뮬레이션 결과 ····· 64
[그림 4-21] S3-6 탑상형 주동 8개 시나리오
UTCI 시뮬레이션 결과 ····· 65
[그림 4-22] S3-6 탑상형 주동 8개 시나리오
바람 시뮬레이션 결과 ····· 66
[그림 4-23] S3-12 탑상형 주동 16개 시나리오
UTCI 시뮬레이션 결과 ····· 67
[그림 4-24] S3-12 탑상형 주동 16개 시나리오
바람 시뮬레이션 결과 ····· 68
[그림 4-25] 용적률 상향시 열쾌적성 완화 방안
다이어그램 ····· 72
[그림 4-26] 주동 배치 영역 다이어그램 ····· 73
[그림 4-27] 용적률 300%와 500%의 최적화 20회 진행시
Convergence 그래프 ····· 74
[그림 4-28] 기준용적률 500% 설계예시안 배치 ····· 75
[그림 4-29] 기준용적률 500% 설계예시안
UTCI 시뮬레이션 결과 ····· 76
[그림 4-30] 기준용적률 500% 설계예시안
바람 시뮬레이션 결과 ····· 76

제 1 장 서론

제 1 절 연구의 배경 및 목적

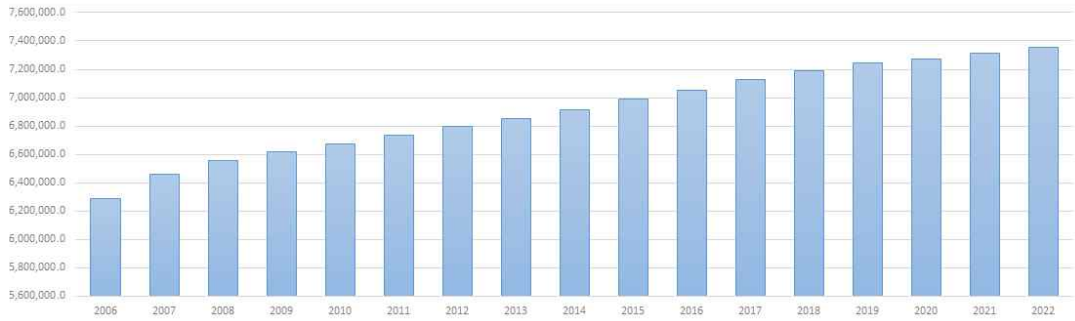
1. 연구의 배경

수도권을 중심으로 이어져온 고밀개발로 인해 밀도가 높은 공간의 기온이 주변 지역보다 높아지는 도시 열섬현상과 열대야가 발생하고 열환경의 쾌적함이 악화되며 점점 폭이 커지고 있는 기후변화와 맞물려 그 강도가 높아지고 있는 추세이다.

이러한 현상은 지난 50년 동안 관측된 열대야 일수가 10일이 넘는 7개의 해(상위 15%) 중 10년 이내에 관측된 해가 5개인 것을 보았을 때 그 상황이 심각한 것을 알 수 있다.

[그림 1-1] 50년 간 관측된 열대야 일수 변화
(출처 : 기상청 기상자료개방포털)

이것은 [그림 1-2]와 같이 꾸준히 상승중인 전국 건축물 연면적 추이를 확인해 보았을 때 열섬현상의 근본적인 발생 원인인 도심 고밀화와 연관되어 열쾌적성의 악화 현상이 지속되고 있음을 알 수 있었다.



[그림1-2] 전국 건축물 연면적 변화 추이(2006~2022년)

이러한 도심 고밀화와 함께 공동주택 수요에 따라 재건축이나 재개발되는 주거단지에서는 개발밀도가 높아지며 고밀, 고층화 추세를 보이고 있으며, 이로 인해 일조권 및 프라이버시 침해 등의 문제로 주거환경에 악영향을 미치고 있다.

대표적인 건축물의 물적 제어 요소인 건폐율과 용적률의 영향을 비교 분석 하였을 때 연면적의 경우 아파트 우세지역에서 낮 시간에 열섬현상에 대해 양의 영향을 나타내고 있었으며[1] 인공피복율 증대 및 무분별한 공동주택 배치계획으로 인해 도시공간의 미기후는 점차 악화되어가는 실정이다.[2]

하지만 2040 서울 도시기본계획에서 제시하는 용도지역 체계 개편안과 서울시 아파트 최고 높이 제한 완화, 노후계획도시 특별법을 통한 1기 신도시 중심의 노후택지 용적률 최대 500%까지 상향 등 도시의 고밀화는 앞으로도 진행될 것으로 보이고 있다.

용적률 상향 정책과 함께 공동주택 디자인 가이드라인의 개편 혹은 열환경 개선을 위한 가이드라인의 제시를 통해 고밀화가 진행되는 지역에 대해 열환경 악화의 근본적인 원인의 예방이 필요하지만 정책 현황의 내용을 확인했을 때 아직은 이에 대한 내용이 미흡하며 그 내용은 다음과 같다.

---

1) 박재민 외 3, 2016, 다세대, 다가구 우세지역과 아파트 우세지역의 건폐율과 용적률이 열섬효과에 미치는 영향분석, 대한국토도시계획학회 추계학술대회

2) 정숙진, 2015, 판상형 공동주택의 건폐율 및 용적률이 일조, 옥외열환경에 미치는 영향 분석

[표1-1] 주택단지의 용적률 상향 정책과 배치 계획 가이드라인 현황

구분	항목	내용	열환경 개선 효과
노후계획도시 정비 및 지원에 관한 특별법	용적률, 용도지역 등 도시, 건축규제 완화	용적률 규제는 종상향 수준으로 완화하며, 용도지역도 지역 여건에 따라 변경이 가능하도록 규정 마련	-
		노후도시에 직주근접, 고밀, 복합개발 등 새롭고 창의적인 특별정비구역을 '입지규제 최소구역' 지정 가능	-
공동주택 디자인 가이드라인	공동주택 디자인의 세부기준	주택의 연립호수 및 주동의 길이는 다양한 디자인 창출을 위하여 한 변의 길이를 대지의 길이와 폭에 비하여 너무 길지 않도록 계획한다.	바람길을 가로막는 배치의 제한
		종, 횡 일률적인 배치를 지양하고, 주동의 높이를 차별화하는 등 주동을 형태와 높이에 따라 적절히 혼합되도록 계획한다.	
		채광창이 없는 주택의 측벽과 주택의 측벽사이에는 5m 이상의 거리를 이격하여 배치하여야 한다.	단지 내 바람의 환기 유도
		주택과 주택사이 5m 이상 이격하여 배치가 어려운 경우, 1층 또는 2층에 필로티를 설치하여 주택단지의 개방감을 확보하도록 한다.	

[표2-1]과 같이 현재 논의 중인 노후계획도시 정비 및 지원에 관한 특별법에서는 건축물의 규모와 환경에 영향을 주는 항목인 용적률, 용도지역 등 도시, 건축규제 완화의 내용에서 어떻게 용적률을 상향할 것이며 노후도시를 효과적으로 재개발하기 위한 규제 완화를 어떻게 진행할 것인지에 대한 내용에 치중되어있다.

위의 내용뿐만 아니라 현재 발표되어있는 주요 내용 중 대부분의 목적이 정책의 원활한 시행, 부동산의 사업성 확보와 같이 경제와 규모에만 초점이 집중되어있고 실현된 이후의 도시 환경에 대한 논의는 아직 없는 것을 확인 할 수 있었다. 동산의 관점에서 바라본 대응에 내용이 집중되어있어 이러한 정책을 기반으로 사업이 시행되었을 때 시민들이 겪게 될 도시 환경에 대한 고려는 부족한 상황이다.

국토교통부에서 제시하고 있는 특별정비구역 개발 예시에서도 "근린생활권 중심 고밀 융복합 개발", "역세권 중심의 복합거점 개발" 등의 추상적이고 고밀 개발에 집중된 키워드만 제시되고 있으며 주택단지에 대한 예시는 이마저도 미미한 상황이다.

[그림 1-3] 특별정비구역 개발 예시
(출처 : 국토교통부, 노후계획도시 정비 및 지원에 관한 특별법 주요내용 발표)

이와 같이 열환경 악화가 이미 가속되고 있는 시점에서 용적률 상향을 위한 정책은 계속해서 쏟아지고 있는 상황이다. 하지만 대부분 당장의 사업성에 치중된 내용이 대부분이고 실제로 정책에 따라 도시가 구현되었을 때의 환경이 어떻게 변화할지에 대한 고려는 부족하다는 것을 알 수 있었다.

이러한 현 상황에 대응하여 앞으로 필요한 것은 용적률 상향을 어디까지 제한할 것인가 보다 어떤 형태로 용적률 상향을 이끌어갈 것인가에 대한 분석이 더 필요하다 판단된다.

여기에 대한 선행연구들도 계속해서 이루어지고 있으며 진행되어온 연구들을 보았을 때 건물이나 대교목 등에 의한 공간개방 정도에 따라 열환경에 차이가 있음을 확인할 수 있었으며 이것은 공간개방 정도가 통풍성에 영향을 미쳐 복사열 냉각효과의 차이를 가져오기 때문[3]인 것을 확인할 수 있었다.

또한 건축물에 의해 둘러싸이는 중정형 배치는 바람 경로를 차단하고 내부 영역에서는 대기 정체 현상이 확인되어 대상지의 냉각 작용을 저해하고 여름철 이상고온에 의한 거주민이 느끼는 열쾌적성을 악화[4]시킨다는 것으로 보아 도심의 열환경이 건물의 형태와 배치에 따라 달라진다는 것을 확인할 수 있었다.

---

3) 이정아 외 4, 2010, 공간 구조별 열쾌적성 평가와 열환경 개선방안
4) 김환성 외 2, 2020, 공동주택단지의 물리적 배치변경이 도시 열쾌적성에 미치는 영향, 한국문화공간건축학회논문집 통권 72호

선행연구들을 보았을 때 일정 규모와 조건에서 건축물의 형태에 따라 열쾌적성이 달라지므로 통풍성을 확보할 수 있는 배치를 가진 배치계획을 진행하는 것이 중요하다는 것을 알 수 있었다.

이에 본 연구에서는 용적률을 상향하는 건축물의 모든 형태 요소가 항상 열쾌적성을 악화하지는 않는다는 가설을 세우고 이것을 검증하는 과정을 통해 열쾌적성을 개선하는 방향의 용적률 상향 방안을 정량적으로 분석하고자 한다.

2. 연구의 목적

전국적으로 기온의 변화가 가속화되고 도시의 고밀화를 야기하는 정책과 함께 쾌적한 주거환경을 조성하기 위한 주택단지의 계획은 점점 더 어려워지고 있다. 이러한 상황에서 단지의 열쾌적성을 확보하기 위한 여러 선행연구들이 진행되고 있으며 이에 따라 같은 규모여도 건축물의 형태에 따라 달라지는 통풍성으로 열쾌적성이 달라지는 것을 확인했다.

이에 따라 본 연구에서는 용적률 상향으로 인해 규모가 달라지더라도 건축물의 어떤 물리적 요소에 의해 규모가 늘어나는지에 따라 열쾌적성의 변화양상도 달라질 것이라는 가설을 세우고 다음과 같은 연구 목적을 설정하고자 한다.

첫 번째, 용적률 상향에 가장 큰 영향을 미치는 물리적 요소를 선행연구를 통해 확인하고 요소별로 규모가 변할 때 열쾌적성은 어떻게 변화하는지 분석하기 위한 시나리오를 설정해 환경 시뮬레이션을 진행했다.

그리고 나온 결과를 정량적으로 비교하여 각 요소별 용적률 상향에 따른 열쾌적성의 변화를 분석하여 어떤 물리적 요소를 어떻게 변화시켜 용적률 상향을 진행하느냐에 따라 열쾌적성의 변화양상이 다르다는 가설을 검증한다.

두 번째, 검증된 가설을 종합하여 용적률 상향시 열쾌적성을 악화하지 않기 위한 설계 방안을 제시하고 최적화 설계를 통한 설계예시안 도출을 진행하여 용적률 상향 정책 시행시 열쾌적성을 확보하기 위한 적절

한 가이드라인의 필요성을 밝히고 효과적으로 적용할 수 있는 주택단지의 설계 방안을 제시하고자 한다.

제 2 절 연구의 범위 및 방법

1. 연구의 범위

대상지 선정에는 노후계획도시 특별법으로 주거지역 용적률을 종상향을 통한 최대 500%까지 상향하는 정책이 논의 중인 1기 신도시 중 평균 용적률이 200% 이하로 낮아 재개발 가능성이 높은 분당과 일산을 선정했으며 두 도시의 열쾌적성이 가장 떨어지는 주거지역을 선별[5]했다.

그 중 30년 이상 된 노후주택이면서 역세권에 위치해 용적률 상향을 최대로 적용할 수 있으며 하천과 산지가 인접해 열섬현상 완화를 고려한 재개발을 진행했을 때 용적률 상향과 열환경 개선의 효과가 가장 크게 나타날 것으로 예측되는 분당 장미마을 코오롱아파트 주택단지를 대상지

[그림1-4] 대상지 현황 (출처 : 네이버 지도, 재구성)

5) 오규식 외 2, 2013, 수도권 신도시의 열쾌적성 평가

로 선정해 시나리오 분석 및 최적안 도출을 진행했다.

대상지로 선정한 분당 장미마을 코오롱 아파트는 야탑역에서 반경 500m에 포함되어 역세권의 위치에 있는 주택단지이기 때문에 노후계획도시 특별법에 따라 제 3종 일반주거지역에서 준주거지역으로의 종상향이 진행되어 용적률이 500%까지 상향될 수 있다.

대상지의 서측으로는 탄천과 수도권 제1순환고속도로의 고가도로가 지나가며 넓게 열려있어 서풍의 유입에 유리한 것을 볼 수 있으며 북측으로는 30m 도로와 함께 근린상업지역이 배치되어있어 배치 계획에서의 제한요소가 적은 것을 확인할 수 있었다.

야탑역과 이어지는 동측의 대로는 42m의 폭으로 계획되어 인접 주거지역과 충분한 이격거리를 가지고 있으며 남측에는 폭 50m의 여수천과 20m의 장미로가 면하여 채광확보가 수월해 폭넓은 용적률 상향 시나리오를 설정하는 것이 유리하다.

대상지의 면적은 105,372.2㎡으로 건축물대장을 통해 확인된 현재 용적률은 243.39%이며 건폐율은 12.4%, 높이는 15층으로 구성되어 있다.

2. 연구의 방법

본 연구는 용적률 상향에 가장 큰 영향을 미치는 물리적 요소들을 파악하고 각 요소별 용적률 상향 시나리오를 설정하여 각 요소별로 규모가 커질 때 열쾌적성의 변화양상도 서로 다르다는 가설을 검증하고자 한다.

이러한 시나리오 분석을 통하여 용적률 상향이 진행되어도 열쾌적성을 확보할 수 있는 주택단지 용적률 상향 방안을 제시하고 이것을 기반으로 최적화 설계를 진행해 도출한 설계예시안의 열쾌적성 확보 성능의 확인을 위해 다음의 세 단계를 진행한다.

첫 번째, 열쾌적성의 개념과 측정 원리에 대한 선행연구를 진행하고 기존의 열환경 개선 선행연구와의 연계성을 확인하여 열쾌적성 개선 원리에 대한 연구를 진행하며 이것을 기반으로 연구에 사용할 환경 시뮬레

이션의 도구를 선택한다.

그리고 용적률 확보에 영향을 미치는 건축요소에 대한 선행연구를 통해 어떤 요소들의 용적률 상향 시나리오 분석을 진행할지에 대한 선택 기준을 확인한다.

두 번째, 시나리오 작성을 위해 사용된 3D 툴에 대한 이해를 통해 선행연구를 통해 선택한 용적률 상향 요소를 기반으로 각각의 상향 시나리오를 설정한다.

세 번째, 각각 설정한 시나리오의 환경 시뮬레이션 결과 분석을 통해 열쾌적성을 개선하는 용적률 상향 방안을 제시하고 방안의 열쾌적성 개선 성능 검증을 위하여 최적화 설계를 통한 설계 예시안을 도출하여 기본안과의 환경 시뮬레이션 결과의 비교 분석을 진행한다.

목차	내용		방법
서론	- 연구의 배경 및 목적 - 연구의 범위 및 방법		- 문헌 검토 - 언론 보도 검토 - 선행연구 검토
이론적 고찰	열쾌적성 개선 방안 연구	1. 열쾌적성에 대한 이해 2. 열쾌적성 개선 원리 3. 열쾌적성을 개선하는 주택단지 배치 계획 연구	- 문헌 검토 - 선행연구 검토
	UTCI 시뮬레이션 분석의 이해	1. 환경 시뮬레이션을 위한 3D 모델 준비 2. 열쾌적성 분석을 위한 UTCI 시뮬레이션 3. EPW를 이용한 실측 데이터 기반 시뮬레이션	
	용적률 확보에 영향을 미치는 건축요소 분석		
연구 방법	환경 시뮬레이션 및 최적화 프로그램의 개요	Grasshopper와 Ladybug, Opossum에 대한 이해	- 문헌 검토 - 선행연구 검토 - 환경 시뮬레이션
	용적률 상향 시나리오 설정	1. 층수 상향 시나리오 설정 2. 주동 수 상향 시나리오 설정 3. 탑상형 주동 수 상향 시나리오 설정	
결과 및 고찰	용적률 상향 시나리오 결과 분석	1. 층수 상향 환경 시뮬레이션 결과 2. 주동 수 상향 환경 시뮬레이션 결과 3. 탑상형 주동 수 상향 환경 시뮬레이션 결과	- 환경 시뮬레이션 - 시나리오 최적화 - 요인 설계 분석
	결과 고찰 및 검증	1. 열쾌적성을 개선하는 용적률 상향 전략 제시 2. 설계예시안 최적화를 통한 용적률 상향 전략 검증	
결론	- 연구의 결론 - 연구의 의의 및 한계점		- 결과 분석, 비교

[그림1-5] 연구흐름도

위의 세 단계를 진행하기 위해 [그림 1-3]과 같이 서론에서는 연구의 배경 및 목적, 방법에 대해 언급하였으며 이것을 기반으로 용적률 상향으로 인해 열쾌적성이 악화되고 있는 것을 확인했다.

하지만 건축물의 배치 형태에 따라 열쾌적성이 달라지므로 모든 용적률 상향 요소가 항상 열쾌적성을 악화시키지는 않는다는 가설을 세워 이것을 검증하고 열쾌적성을 개선하는 방향의 용적률 상향 방안을 제시하는 것이 연구의 목적임을 밝혔다.

이론적 고찰에서는 열쾌적성에 대한 필요성과 고려 요소들에 대해 파악하고 어떠한 선행연구를 통해 분석되어 왔으며 분석의 지표에 대한 이해와 함께 본 연구에서 필요한 외부공간의 열쾌적성을 분석하기 위한 지표는 무엇인지 확인한다.

또한 열쾌적성을 개선하는 건축물 형태에 대한 이해를 위하여 주택단지 배치 계획에 따라 열환경이 어떻게 변화하는지 분석한 선행연구들을 검토하고 용적률 확보에 영향을 미치는 건축요소 분석을 통해 시나리오 설정의 기반을 다지고자 하였다.

연구 방법에서는 먼저 설정하고자 하는 시나리오를 구현하기 위해 사용된 3D프로그램인 Rhinoceros와 Grasshopper에 대한 이해와 함께 활용 방안에 대해 분석하고 각 시나리오의 설정을 진행한다.

시나리오 설정에서는 이론적 고찰을 통해 도출한 용적률 상향 요소인 층수, 전체 주동 수, 탑상형 주동 비율의 시나리오를 설정하고 각 시나리오의 변화 과정을 확인한다.

결과 및 고찰에서는 설정한 시나리오들의 환경 시뮬레이션 결과를 확인하여 가설을 검증하고 이것을 기반으로 열쾌적성을 개선하는 용적률 상향 방안을 제시한다.

그리고 최적화 설계를 이용한 설계예시안을 통해 용적률 상향 방안의 열쾌적성 개선 성능을 검증한다.

연구의 결과에 대한 정량적 분석을 통해 용적률 상향시 어떤 건축물의 물리적 요소가 상향하느냐에 따라 열쾌적성이 다르게 변화한다는 것에 대한 가설을 검증하고 열쾌적성을 개선하는 용적률 상향 방안을 제시한다.

그리고 도시의 고밀화를 가속화하는 용적률 상향 정책이 진행될 때는 열쾌적성 악화를 방지할 수 있는 주택단지 배치계획 가이드라인이 함께 고민되어야한다는 연구의 의의와 제한적인 시나리오 분석과 최적화 설계로 인해 직접 가이드라인을 제시하지는 못했다는 한계점의 확인으로 연구를 마무리하였다.

제 2 장 이론적 고찰

제 1 절 열쾌적성 완화 방안 연구

1. 열쾌적성에 대한 이해

도시 고밀화와 과도한 개발로 인해 기온이 상승하고 이에 따라 열대야와 열섬현상 등과 같은 도시 미기후의 변화가 나타나고 있다. 이와 같은 현상은 도시민의 쾌적한 환경에 대한 요구를 증대시키고 있으며, 도시의 공간 계획과정에서 열적으로 쾌적한 공간을 조성하기 위해 열쾌적성에 대한 노력이 필요함을 부각시키고 있다.

이렇게 도시 공간의 쾌적성을 높이기 위한 방안의 하나인 열환경을 개선하기 위한 노력은 도시민의 생활환경의 질을 향상시키는데 매우 중요한 역할을 한다.[6)]

도시공간에서 열환경을 구성하는 인자는 온도, 습도, 기류, 건물 벽에서 방출되는 복사열 등이 있다. 특히 도시지역은 토지이용형태가 다양할 뿐만 아니라, 건물, 인공피복재질, 녹지, 하천 등 여러 요소들의 상호작용에 의해 열환경에 영향을 미친다.[7)]

이러한 열환경에 따라 변화하는 열쾌적성은 물리적 요소와 주관적 요소에 의해 영향을 받는다. 열쾌적성에 영향을 주는 물리적 요소는 기온, 습도, 기류속도, 평균복사온도 등이 있으며, 주관적 요소는 착의량, 활동량, 연령과 성별, 건강상태 등이 있다. 인체 에너지가 부족한 상태는 춥

---

6) 이정아 외 4, 2010, 공간 구조별 열쾌적성 평가와 열환경 개선방안
7) 홍재주, 오규식, 2005, 도시공간 구성요소와 도시열섬현상의 관련성 연구, 한국도시설계학회지 제 6권

다고 느끼게 되고 에너지 과잉 상태에서는 덥다고 느끼듯이 열쾌적성의 정도는 인체에 유입, 유출되는 모든 에너지의 흐름을 고려해 측정할 수 있다.[8)]

열쾌적성에 대한 연구는 1900년대 초반에 일사량, 기온, 습도, 풍속 등과 같은 기후 데이터를 조합하여 도출한 열쾌적성 지표(Thermal Comfort Index)가 개발되면서 시작되었다. 열쾌적성 평가를 위한 쾌적영역의 본격적인 연구는 쾌적상태의 평가를 위한 생체기후도를 제작한 것에서 시작한다.

생체 기후도는 열쾌적성과 밀접한 관련이 있는 4개의 요소(일사량, 온도, 습도, 풍속)를 그래프로 시각화하여 해당 조건을 만족하는 Comfort Zone을 제시함으로써 열쾌적성을 평가한다.[9)]

하지만 이러한 생체기후도는 실내의 열쾌적상태를 평가하는 것에 초점이 맞춰져있기에 본 연구에서는 위와 같은 선행연구들을 바탕으로 개발된 UTCI(Universal Thermal Climate Index)를 이용하여 도심 주택단지의 외부공간에 대한 열쾌적성을 분석하고자 한다.

[표 2-1] UTCI 지표
(출처 : www.utci.org)

UTCI(℃)	Stress Category
above 46	Extreme Hot Stress
38 ~ 46	Very Strong Hot Stress
32 ~ 38	Strong Hot Stress
26 ~ 32	Moderate Hot Stress
9 ~ 26	No Thermal Stress
0 ~ 9	Slights Cold Stress
-13 ~ 0	Moderate Cold Stress
-27 ~ -13	Strong Cold Stress
-40 ~ -27	Very Strong Cold Stress
below -40	Extreme Cold Stress

8) 정다인, 2016, 현장측정과 미기상모델링을 활용한 옥외공간의 열쾌적성 비교
9) Victor Olgyay, 1963, Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism, Princeton University Press

UTCI는 UTCI-Fiala 모델[10]에 기초하며 인체의 동적 체온 조절 모델과 의류 단열 모델을 결합하여 외부 공간에서 서로 다른 주변 요인에 따라 다른 상태를 설명한다. 그리고 체감 온도를 추정하기 위해 필요한 기온, 바람, 습도 및 일조량을 기반으로 분석을 진행한다.[11]

2. 열쾌적성 완화 원리

열쾌적성을 개선하기 위한 방법 중 건물 배치에 의한 것으로는 공간 개방 정도를 이용한 통풍성에 의한 것이 있으며 기상자료와 공간분석 자료를 이용하여 인체 열쾌적성을 평가한 결과로 공간을 계획할 때 통풍을 고려한 개방형 공간구조가 열쾌적성을 높이는데 적합하며 복사열을 차단하고 통풍을 고려해야 온도와 습도를 모두 낮출 수 있다.[12]

그렇기 때문에 배치계획 상을 통해 단지 내부의 열쾌적성 개선을 위해서는 바람 경로의 차단을 지양하는 것이 중요한 것으로 나타난다.[13]

이러한 특징은 열섬현상 완화 원리에 대한 선행연구를 진행했을 때에도 동일하게 확인되었으며 열환경의 쾌적함을 의미하는 열쾌적성의 특성상 열섬현상의 완화 원리가 열환경을 개선하며 열쾌적성 확보에도 같은 영향을 가질 것으로 판단된다.

이에 공동주택의 주거형상 및 배치유형에 따라 옥외 열환경의 쾌적성 및 도시열섬 발생의 가능성을 케이스스터디를 통해 정량적으로 평가[14]하는 등 선행연구에서도 함께 고려되고 있는 것을 확인할 수 있었다.

또한 국내 선행연구를 보았을 때 열쾌적성을 확보하는 연구와 열섬현상을 방지하기 위한 방법으로 열환경을 개선하는 연구의 결론이 일맥상

---

10) Dusan Fiala 외 4, 2011, UTCI-Fiala multi-node model of human heat transfer and temperature regulation
11) The UTCI story hub (https://utci.lobelia.earth/)
12) 이정아 외 4, 2010, 공간 구조별 열쾌적성 평가와 열환경 개선방안
13) 김환성 외 2, 2020, 공동주택단지의 물리적 배치변경이 도시 열쾌적성에 미치는 영향, 한국문화공간건축학회논문집 통권 72호
14) 윤성환, 정선영, 2009, 공동주택의 주동형상 및 배치유형에 따른 여름철 옥외 열환경 예측 평가, 대한건축학회 제 25권, 9호

통하며 열섬현상 완화 원리가 열쾌적성 확보와 이어지는 것을 확인할 수 있었다.

이에 따라 열섬현상을 방지하기 위한 방법을 확인했을 때 각각의 에너지 평형요소의 역할을 유지하여 도시공간 내부의 잉여에너지가 공간 내에서 적절히 소비되거나 공간 밖으로 배출시켜야 하는 등 다음의 다섯 종류의 방법이 요구되었다.[15]

첫 번째, 도시 내 태양 복사 에너지의 균형

공간 내 복사에너지 전입량이 작으면 에너지 소모량이 작아지고 평형식 내 에너지 요소값도 작아지기 마련이다. 도시공간에 도달하는 일사량은 알베도 값 등의 도시표면 물성에 따라 다르기 때문에 전입 일사량을 최소화할 수 있는 도시 포장면과 지붕면 개선이 요구된다.

두 번째, 도시 구조의 증발 잠열량 증대

도로포장 및 건물로 이루어진 도시에서 증발량을 기대하기는 어려우나 공원 등 자연성의 보존을 통해 증발잠열을 고무할 수 있는 기법이 요구된다.

세 번째, 건축물의 축열성에 따른 열성능의 변화

도시의 아스팔트 포장면과 콘크리트 구조물은 열용량과 비열이 크기 때문에 에너지를 많이 흡수하여 저장하고 천천히 방출한다. 따라서 자연친화적 도시구조물의 선택이 필요하다.

네 번째, 공간 사용자 소비열에 의한 에너지

건물과 도시교통에서 소비되는 에너지는 결국 에너지 평형식에서 잉여 에너지화되기 마련이고 소비에너지 절약은 자연적 에너지평형에 필수적이다.

다섯 번째, 바람을 통한 도심의 온도 저감

바람은 주변지역과의 기압 차이에 의해 발생되는 수평적 대류현상으로 바람에 의해 잉여에너지가 자연적으로 소멸되고 도시열섬이 사라지기 때문에 바람길을 유지시킬 수 있는 기법이 요구된다.

---

15) 서응철, 2007, 도시열섬 완화를 위한 제도개선, 한국생태환경건축학회논문집, 제 7권 제 2호, p19

[표 2-2] 열섬현상 완화 원리
(출처 : 서응철, 2007, 도시열섬 완화를 위한 제도개선)

원리	주요 기법	효과
공간 내 순복사량 최적화	지표면(반사능) 개선	일사흡수량 저감
	지붕면 개선(cool roof)	
	식재그늘 조성	
	대기오염 저감	온실효과 저감
공간 내 증발잠열량 증대	투수면 조성 및 옥상조경	증발효과로 기온하강
	식재면 확대	
	식재량 증대	
	분수 등 수경시설 조성	
공간 내 축열량 저감	저 열용량 소재 사용	기온의 시간지체효과를 예방
공간 내 소비열 저감	에너지 절약형 건축기법	대기로의 에너지 방출 억제
	저에너지 교통수단	
공간 밖으로 바람 촉진	**바람길 유지 및 조성**	**공간 밖으로 잉여에너지 방출**

3. 열쾌적성을 개선하는 주택단지 배치 계획 연구

열쾌적성을 개선하는 단지주택 배치계획에 대한 선행연구의 내용은 <표1>과 같으며 대부분 타입, 향, 동간간격, 높이 등과 같은 주동의 조건 변화에 따라 열환경이 어떻게 변화하는지를 환경 시뮬레이션 프로그램을 이용한 비교분석으로 연구(오규식 외 2, 2009, 류지원, 2011, 배웅규 외 1, 2012, 정숙진, 2016)를 진행하여 크게 바람길과 지표면 음영면적이 주거단지의 열환경에 미치는 영향에 초점이 맞춰져있다.

주동 타입에 따른 연구 내용으로는 탑상형은 바람길을 강화하는 것에 유리하나 상대적으로 지표면 음영면적이 적었고(L.Fleerekoper 외 2, 2014) 판상형은 지표면 음영면적을 확보하는 것에는 유리하나 바람통로를 고려하지 않으면 바람길이 막혀 주변 기온이 올라가기 때문에 두 타입의 적절한 혼합배치가 필요한 것을 알 수 있었다.(오규식 외 2, 2009)

[표2-3] 열쾌적성 개선을 고려한 배치계획 방향 분석

논문제목	저자(년도)	시사점
열환경 향상을 위한 아파트 주동배치계획	오규식, 서안선, 정승현 (2009)	주풍향과 주동 향의 각도가 열환경에 큰 영향을 미치며 탑상형 주동이 포함될수록 녹지공간 확보와 바람 정체의 최소화를 이룰 수 있어 온도상승 방지에 유리함을 확인
공동주택 건축물 층수완화에 따른 열환경 평가에 관한 연구	류지원 (2011)	층수에 따른 지표면 온도분포 차이는 크지 않으나 고층일수록 그림자의 분표영역이 차지하는 면적이 넓어 그림자 영역의 온도가 낮게 나타나는 것을 확인
공동주택 단지에 적용된 주거군의 유형분석을 통한 열섬현상 완화 설계방향 연구	배웅규, 윤기학 (2012)	탑상형은 고층으로, 판상형은 저층으로 조성하고 주동의 향은 주풍향과 45도를 이루도록 권장하며 주기류를 단지 내로 유입하기 위해 일직선의 통로를 확보하고 하위 위계의 공간에서는 공기가 순환되도록 적절한 와류현상 필요 확인
Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the netherlands	L.Fleerekoper,M.Taleghani,M.Tenpierik (2014)	단위세대를 작게 분산시켜 배치하면 풍속은 늘더라도 음영 면적의 축소로 인해 다른 유형에 비해 온도가 높아지므로 적정한 면적의 선정의 필요성 확인
공동주택 단지계획 설계 요소의 일조환경 및 옥외 열환경 영향에 관한 연구	정숙진 (2016)	배치계획 요소 중 인동간격과 배치방위각이 일조환경 및 옥외 열환경에 큰 영향을 미치므로 우선적으로 고려할 필요가 있음
공동주택단지의 물리적 배치변경이 외부환기성능과 열 쾌적성에 미치는 영향	김환성 (2020)	그림자를 많이 드리울 수 있는 형태를 바탕으로 개방형 공간을 배치하는 것이 효과적이므로 저층부에 필로티, 중층부에 바람통로를 내어 외부와의 노출을 높이고 주동의 그림자가 많이 드리우도록 주동간격과 위치를 조율하는 방식이 필요함을 확인
공동주택 단지의 구성요소와 입체적 형태가 계절별 지표온도에 미치는 영향에 관한 연구	문현빈 (2020)	탑상형이 인동간격을 확보하는데 유리할 뿐만 아니라 바람이 건축물과 충동할 때 대부분 측면으로 분산되어 풍속이 일정하고 넓게 유지되는 것을 확인할 수 있으며 바람길 없는 중정형, U자형의 배치는 환기성능의 저하를 일으키는 것을 확인
공동주택 주동 형상 및 배치에 따른 열환경 영향 분석	장예나, 이건원 (2021)	ㄷ자의 배치는 중정 내부의 온도저감은 극적이었으나 유동이 갇히면서 저감효과가 외부로 확대되지 못하므로 유동을 확장을 고려한 배치 필요성 확인
공동주택단지 설계요소 적용유형에 따른 열환경 변화 CFD시뮬레이션 분석	강전훈 (2022)	필로티로 인해 대상지 주변의 뜨거운 공기가 유입되어 냉각성능에 부정적인 영향을 미치므로 필로티를 나란하게 배치하지 않는 것이 온도저감에 효과적임을 확인

탑상형 주동의 경우 동간간격 확보에 유리해 건물을 높고 좁게 배치할 수 있으며 이러한 이점을 통해 바람길을 확보하고 건축물과 충돌한 바람을 분산시켜(문현빈, 2020) 단지 깊숙이 바람을 유입시킬 수 있는 장점이 있다. 하지만 지표면 음영면적이 좁아 단지 내 일사량이 높아지므로 넓은 녹지면적 확보가 필요하다.

또한 바람을 유입하는 것에는 유리하나 단지 내부에서 바람을 순환시키며 지속적인 온도저감을 유도하는 것에는 불리하기 때문에 와류현상을 유도할 수 있는 판상형 주동과의 혼합배치가 필요하다.(배웅규, 2012)

판상형 주동의 경우 단독으로 배치할 시 지표면 음영면적은 넓으나 바람을 막아 바람길 형성에 악영향을 미쳐 바람 유입이 어려워지므로 배치에 주의가 필요하다.(김환성, 2020) 하지만 바람이 장방형의 매스를 타고 흐르는 특성을 이용해 배치 방법에 따라 단지 내 바람 순환에 큰 역할도 하므로 적절한 활용이 중요하다.

특히 ㄷ자 형의 배치는 중정 내부의 온도 저감에 극적인 효과를 보이나 바람이 갇혀 그 효과가 주변으로 확대되지 못하므로 필로티와 같은 바람통로를 이용한 바람 순환의 유도가 필요하다.(장예나 외 1, 2021)

하지만 필로티가 일괄적인 선형으로 배치될 시 대상지 주변의 도로와 상업지역 등의 뜨거운 공기를 유입할 가능성이 있으므로 교차배치를 통한 안전장치가 필요하다.(강전훈, 2022)

이러한 주동 타입별 특성에 따른 열환경 개선 성능을 고려한 배치계획의 선행연구를 종합하면 단일 타입의 주동배치는 해당 타입의 단점을 보완할 수 없기 때문에 탑상형과 판상형의 혼합 배치가 필요하다.

탑상형 주동은 녹지면적 확보와 바람길 형성, 단지 내 바람 유입에 큰 역할을 하고 판상형 주동은 유입된 바람의 순환을 유도해 바람이 단지 깊숙이 들어와 지표면 음영과 함께 지속적인 온도저감 효과를 일으키는 역할을 했다.

두 타입의 장점을 이용하기 위해서는 해당 지역의 주풍향을 따라 탑상형 주동을 배치해 바람길을 만들고 단지 내부로 유입시키는 중추 역할을 하도록 계획하고 판상형 주동을 바람길에서 멀어질수록 밀도가 높아

지도록 배치하여 유입된 바람이 주택단지 깊숙이 순환하고 그림자와 함께 효과적인 온도 저감 성능을 확보하는 것이 열쾌적성 확보가 고려된 주택단지 배치에 필요함을 확인했다.

제 2 절 열환경 시뮬레이션

1. 환경 시뮬레이션을 위한 3D 모델 준비

환경 시뮬레이션을 진행하기 위한 대상지의 대지경계선과 주변 매스의 물리적인 조건을 확인하기 위해 국가공간정보포털(www.nsdi.go.kr)의 오픈마켓에서 대상지가 포함되는 연속지적도를 받아 대지경계선을 확보하고 수치지형도 v2.0(1:5,000)의 도엽에 포함되어있는 shp파일을 다운받아 주변 현황의 모델링을 진행하였다.

대상지를 포함하여 인근 주요 시설인 성남시청, 탄천 종합 야구장, 야탑역을 모두 포함하는 가로 1km, 세로 1km 범위의 주변매스를 포함하여 주변 매스를 모델링하였으며 해당 영역은 모두 평지로 확인하여 대지를 모델링하였다.

[그림 2-1] 환경 시뮬레이션 영역

2. 열환경 분석을 위한 UTCI 시뮬레이션

준비된 3D 모델을 이용해 열환경 분석을 진행하기 위해서는 UTCI 시뮬레이션을 진행했다. UTCI는 Universal Thermal Climate Index의 약자로 특정 기상 조건에서 실제로 체감되는 열 쾌적성을 분석하기 위한 체감 온도 지수이다. 여기에는 주변 온도 뿐만 아니라 습도, 바람, 일조량 등 주변 환경에 대해 우리의 생체 반응에 큰 영향을 미치는 변수들을 고려하여 체감온도를 시뮬레이션한다.

예를 들어, 밖이 0°C이지만 매우 화창한 날이라고 가정해보면 실제 온도는 0°C이지만 강렬한 태양 아래에서는 12°C처럼 느껴질 수 있다. 반대로, 크고 짙은 구름이 태양을 덮고 강한 바람이 불기 시작한다고 생각해보면 아직 0°C이지만 실제로는 -10°C 정도로 느껴질 수도 있다.

이렇게 외부 조건에 대한 체감 온도를 추정하는 것이 UTCI가 측정하는 것이며 대기 온도의 측정과는 차이가 생길 수 있다.[16]

열 스트레스 지수(Heat Stress Index)는 UTCI의 결과를 총 10개의 범례로 구분하여 극도의 열 스트레스에서 극도의 한랭 스트레스까지 구분되어 있다.

이와 같이 단순히 온도를 예측하는 것이 아니라 실제로 사람이 느끼는 체감 온도를 예측하여 열 쾌적성을 분석하기 때문에 더욱 설득력 있는 결과를 확인할 수 있을 것으로 판단되어 UTCI 시뮬레이션을 진행하게 되었다.

3. EPW를 이용한 실측 데이터 기반 시뮬레이션

UTCI 시뮬레이션 또한 다른 환경 시뮬레이션과 마찬가지로 다양한 날씨 데이터를 기반으로 진행되기 때문에 어떠한 데이터를 기반으로 분석을 진행하는지가 중요하다.

---

16) The UTCI story hub (https://utci.lobelia.earth/)

이에 정확도 높은 날씨 실측 데이터이며 국제적으로 가장 많이 쓰이는 날씨 데이터 확장자인 EPW파일을 사용하였다. EPW는 Energy Plus Weather의 줄임말로 미국의 Department of Energy(DOE)에서 Energy Plus와 함께 개발한 포맷의 파일이다.

EPW는 기본적으로 15년 동안 실측된 날씨 데이터를 축적하여 파일을 제공하며 여기에 사용된 기후 데이터는 현재 TMY(Typical Meteorological Year)형식의 데이터를 사용하고 있다.

TMY는 파일의 포맷을 떠나 가장 많은 시뮬레이션 엔진에서 사용되고 있는 데이터 세트로 해당 기간 동안의 날씨 실측 데이터를 바탕으로 각 월별로 데이터가 가장 전형적인 연도(Typical Year)의 실측값을 선별하여 입력한다.

예를 들어 1월의 데이터는 2010년, 5월의 데이터는 2021년의 실측값에서 가져오는 식이다. 그렇기 때문에 15년간의 날씨데이터를 사용한다 하더라도 각 월별로 한 해의 실측 데이터만 입력되어 있다.

이로 인해 사용자가 원하는 특정 연도의 특정 기간에 대한 시뮬레이션을 진행하지는 못하지만 해당 기간에서 가장 전형적인 날씨 데이터의 실측값을 사용하기 때문에 보다 높은 정확도와 넓은 시야를 가지고 환경 시뮬레이션을 진행할 수 있는 날씨 데이터이다.

이러한 TMY 데이터 셋 기반의 EPW파일은 해당 데이터를 기반으로 가장 더운 시기와 가장 추운 시기 혹은 온도가 상위 10%이내에 포함되는 날짜들 등의 조건들을 바탕으로 재정립하여 파일로 저장한 DDY, STAT파일로의 활용도 가능하지만 이번 연구에서는 열대야가 가장 많이 발생하는 기간인 7,8월에서 해가 떠있는 5시부터 20시까지의 데이터를 사용하므로 EPW 파일을 사용하였다.

제 3 절 용적률 확보에 영향을 미치는 건축요소

재건축아파트의 등장과 오랜 기간 이어져온 기본 용적률의 제한 완화가 이어지고 있지만 실제 사업에서 달성한 용적률이 법정 용적률에 못

미치는 경우가 생기는 이유는 너무나 다양한 공동주택단지의 특성과 특성간의 상호작용에 의한 결과이다.

공동주택단지의 특성들 간의 상호작용은 용적률을 증가시키는 요인과 감소시키는 요인으로 분류되어질 수 있으며, 그 영향력의 차이가 법정 용적률의 달성을 결정하게 되는 주된 원인이 될 것이다.

따라서 선행연구에서 공동주택단지의 다양한 특성 중 최대용적률을 달성하기 위한 공동주택단지 특성들의 조건을 찾고자 하였으며 여기에는 공동주택단지들의 특성분석을 요인분석과 회귀분석 등의 통계적 기법을 활용하여 도출하였다.

분석의 결과 최대용적률을 결정하는 주요요인은 최고층수와 층고차, 세대밀도로 구성된 건축요인이라는 사실을 규명[17]하였으며 이를 기반으로 용적률 상향 시나리오 설정을 위한 건축요인을 선정하였다.

[표 2-4] 건축물 중심의 최대용적률 결정요인 비교
(출처 : 정명국, 박환용, 2001, 최대용적률 구현을 위한 공동주택단지 특성분석)

주요 요인	강병기		최봉문		김홍규 외		백석종 외		최장순	
	주요 요인	영향 방향	주요 요인	영향 방향	주요 요인	영향 방향	주요 요인	영향 방향	주요 요인	영향 방향
단위주호깊이	●	(+)	·	·	●	(+)	·	·	●	(+)
건폐율	·	·	●	·	·	·	·	(+)	·	·
층수	·	(+)	·	·	·	·	·	·	·	(+)
세장비	·	·	·	1.0	·	·	·	·	·	·
부지면적	·	·	·	(+)	·	·	·	(+)	·	(−)
접도면수	·	·	·	·	·	·	·	(+)	·	·
사선제한	·	(−)	·	·	·	·	·	·	·	·
전면도로폭	·	·	●	(+)	·	·	·	(+)	·	·

먼저 최고층수의 경우 가장 크게 용적률 확보에 영향을 미칠 수 있는 요소이며 현황에서 동간간격은 최소 30m로 층수 상향에 여유가 있기 때문에 용적률 상향 시나리오 설정을 위한 건축요인으로 선정하였다.

층고차의 경우 대상지 주변 맥락에 의해 결정된 채광 및 높이 사선제

17) 정명국, 박환용, 2001, 최대용적률 구현을 위한 공동주택단지 특성분석, 대한국토도시계획학지 국토계획 제36권 6호

한으로 인한 대상지 외주부의 주동 배치를 최대한으로 끌어내며 용적률 상향에 기여한 것으로 판단된다. 하지만 연구 대상지는 주변에 42m 도로와 하천 등으로 둘러싸여 이러한 제한이 미미하기 때문에 시나리오 선정에는 사용하지 않았다.

마지막으로 세대밀도의 경우 두 개의 시나리오로 구분하여 선정했다. 첫 번째로는 현황과 동일한 조건의 판상형 주동 개수를 늘려가는 시나리오로 세대수를 상향시켜 세대밀도에 영향을 주었다.

두 번째로는 탑상형 주동의 개수를 늘려가는 시나리오를 선정하였다. 선행연구에서는 주동의 전면 폭을 좁히고 단위주호의 깊이를 깊게 하는 것이 용적률 확보에 유리하다 하고 있으며, 이에 부합하는 탑상형 주동이 판상형 주동에 비해 주동간격 확보도 자유로워 보다 높은 층수의 주동을 배치할 수 있는 특성을 활용하여 세대밀도를 상향했다.

특히 탑상형 주동과 판상형 주동의 혼합배치는 열쾌적성 개선을 위한 주된 방법 중 하나로 지속적인 연구가 이어져왔으며 이에 바람축을 따라 배치되는 탑상형 주동의 개수를 상향하여 세대밀도를 높이는 시나리오를 선정하고자 한다.

[표 2-5] 공동주택단지 특성의 요인분석결과
(출처 : 정명국, 박환용, 2001, 최대용적률 구현을 위한 공동주택단지 특성분석)

구분	1요인	2요인	3요인
면적	0.960	-0.138	0.037
동수	0.925	-0.176	0.009
가구수	0.913	0.147	0.175
최고층수	-0.092	0.894	-0.002
층고차	0.091	0.774	-0.250
가구밀도	-0.152	0.672	0.238
세장비	0.013	0.128	0.749
접도면수	0.116	-0.118	0.518
요인명	단지규모요인	건축요인	단지유형요인

다음으로는 선정한 각 시나리오의 구성을 구체화하기 위해 주택단지의 사례조사를 진행했다. 사례조사는 서울시 주택단지를 대상으로 사용승인 10년 이내 500세대 이상의 대단지에 대해 진행했으며 최근 주택단

지의 배치 계획 경향을 파악하고 이를 기반으로 보다 구체적인 시나리오 구성을 진행하고자 했다.

사례 조사 결과는 [표2-6]과 같았으며 최근에 사용승인 된 사례일수록 층수와 세대밀도가 높은 경우가 많은 것을 보아 다시 한 번 고밀화 되어가는 주택단지의 변화를 확인할 수 있었다.

층수의 경우 30층 이상의 주택단지가 대부분 최근 5년 이내에 사용승인 받은 것을 확인할 수 있었으며 기준용적률에 상관없이 고층화되어가는 추세를 확인할 수 있었다. 이에 따라 층수 상향 시나리오와 설계예시안에서도 층수가 최대 30층 이상 되도록 구성하여 환경 시뮬레이션을 진행하였다.

주동 수의 경우 대지 면적에 비해 주동 수가 많을수록 한 방향의 배치로 통일되지 않고 판상형 주동이 중정형 클러스터를 이루거나 탑상형 주동과의 결합을 통해 ㄱ자 매스를 형성하여 수평 배치와 수직 배치의 동시 계획으로 주동 수를 확보하는 것을 확인할 수 있었다.

이에 따라 판상형 주동의 수평배치가 대부분을 구성하고 있는 대상지의 현황에서 판상형 주동의 수직배치를 늘려가며 주동 수를 확보하는 시나리오 구성을 통해 전체 주동 수 상향에 따른 열환경 변화를 확인하고자 하였다.

주동 타입의 경우 용적률이 높을수록 혼합형 배치가 많아지고 있는 것을 확인할 수 있었으나 탑상형과 판상형 주동을 결합한 형태의 통풍성을 저해하는 배치인 경우가 대부분이기 때문에 열쾌적성 확보에 유리한 배치라고하기에는 어려운 것을 확인할 수 있었다.

결합형이 아닌 분리형 혼합배치의 사례에서는 판상형과 탑상형 주동의 배치 영역을 구분해 계획하고 있었으며 선행연구에서 바람축에 따라 탑상형 주동의 배치 영역을 설정하는 것이 열환경 개선에 효과적[18]인 것을 확인했으며 영역을 확장하면서 늘어가는 탑상형 주동 수 비율 변화에 따른 열환경의 변화를 확인하고자 시나리오를 구성하였다.

---

18) 배웅규, 윤기학, 2012, 공동주택 단지에 적용된 주거군의 유형분석을 통한 열섬현상 완화 설계방향 연구

[표2-6] 최근 10년간 사용승인 된 주택단지 배치계획 사례조사

단지명	대지면적	용적률	주동타입	주동수	층수	세대수	세대밀도	사용승인
강남한양수자인 아파트	91,359㎡	150%	혼합형	26개	10층	1304세대	0.014	2014
래미안포레아파트	63,968㎡	159%	혼합형	15개	12층	1070세대	0.017	2014
강남데시앙포레아파트	52,327㎡	165%	탑상형	14개	15층	787세대	0.015	2014
흑석한강센트레빌 2차 아파트	48,191㎡	221%	탑상형	14개	20층	963세대	0.020	2012
흑석뉴타운 롯데캐슬에듀포레	22,076㎡	239%	혼합형	7개	23층	545세대	0.025	2018
래미안이수역 로이파크아파트	24,057㎡	288%	탑상형	6개	25층	668세대	0.028	2018
고덕롯데캐슬 베네루체	79,519㎡	249%	판상형	20개	29층	1859세대	0.023	2019
고덕자이아파트	75,815㎡	244%	판상형	19개	29층	1824세대	0.024	2021
고덕센트럴 아이파크	72,986㎡	249%	혼합형	19개	29층	1745세대	0.024	2019
e편한세상송파 파크센트럴	43,504㎡	276%	탑상형	12개	33층	1199세대	0.028	2020
래미안대치팰리스 1단지 아파트	78,777㎡	258%	탑상형	13개	35층	1278세대	0.016	2015
반포래미안 아이파크아파트	38,583㎡	284%	탑상형	11개	34층	829세대	0.021	2018
고덕아르테온	174,972㎡	249%	혼합형	41개	34층	4066세대	0.023	2020
아크로타워스퀘어	35,547㎡	369%	탑상형	7개	35층	1221세대	0.034	2017
개포래미안 포레스트	98,561㎡	249%	판상형	31개	35층	2296세대	0.023	2020
고덕그라시움	207,860㎡	249%	판상형	53개	35층	4932세대	0.024	2019
래미안솔베뉴	55,763㎡	299%	판상형	13개	35층	1900세대	0.034	2019
고덕래미안 힐스테이트	162,113㎡	249%	혼합형	51개	35층	3658세대	0.023	2016
디에이치자이개포	64,598㎡	336%	혼합형	15개	35층	1996세대	0.031	2021
보라매자이 더포레스트	21,067㎡	462%	혼합형	8개	38층	959세대	0.046	2021

제 3 장 연구방법

제 1 절 Rhinoceros의 Grasshopper 기반 분석

1. Rhinoceros의 Grasshopper

Grasshopper는 3D 모델링 프로그램인 Rhinoceros의 기능을 원하는 방식에 따라 수정, 조합하여 사용할 수 있는 Visual programming 애드온 프로그램이다. 시각적인 UI를 기반으로 직접 점, 선, 면을 그려가며 모델링해야 하는 Rhinoceros의 기본기능과 달리 알고리즘과 유사한 방식으로 데이터의 수학적인 흐름에 따라 원하는 결과를 도출한다.

Rhinoceros의 C언어를 이용한 애드온 제작과 유사한 방식의 기능이지만 구현 과정에서 텍스트로만 진행되는 일반적인 코딩과 달리 원하는 기능의 컴포넌트들을 선으로 연결하여 구현하는 Visual programming의 특징을 이용해 비전공자도 쉽게 원하는 결과를 구현할 수 있다.

본 연구에서는 각 시나리오 배치도를 불러와 높이를 지정하고 용적률을 계산 및 환경 시뮬레이션을 진행하여 입력한 조건에 따라 전체 시나리오의 시뮬레이션을 자동으로 수행하도록 설정하였다.

2. 환경 시뮬레이션 컴포넌트 Ladybug

Grasshopper에서 환경 시뮬레이션 기능을 제공하는 Ladybug는 표준 기상 데이터인 EPW 파일을 불러들여 sun-path, wind-rose 등의 분석도구를 생성하고 일조량, 음영 시간 및 MRT(Mean Radiant Temperature), UTCI(Universal Thermal Climate Index) 시뮬레이션 등을 실행할 수 있게 해준다.

함께 개발된 컴포넌트인 Butterfly는 OpenFOAM과 CFD엔진을 사용

해 바람 시뮬레이션을 진행할 수 있으며 Ladybug와 Butterfly 컴포넌트의 조합을 통해 기온, 습도, 음영, 바람이 모두 고려된 UTCI 시뮬레이션이 진행된다.

3. 유전 알고리즘 기반 최적화 컴포넌트 Opossum

최적안 작성을 위한 시나리오 최적화에는 Opossum(Optimization Solver, by Thomas Wortmann at Advanced Architectural Lab)을 사용하였다. Opossum은 Variables 노드에 범위가 지정된 파라미터들을 연결하면 유전 알고리즘을 이용하여 Objective 노드에 연결된 값이 최대(혹은 최소)가 되는 파라미터들의 값을 자동으로 찾아준다.

이러한 Opossum을 Ladybug의 시뮬레이션 결과와 연동하여 UTCI를 최소화하며 용적률을 최대로 상향하는 자동화 스크립트를 작성하기 위해 Rhinoceros의 Grasshopper를 사용하였다.

제 2 절 용적률 상향 시나리오 설정

환경 시뮬레이션을 진행하기에 앞서 용적률 확보에 영향을 미치는 건축요소의 분석 결과에 따라 층수 상향, 전체 주동 수 상향, 탑상형 주동 비율 상향의 시나리오를 설정해 각 건축요소가 상향함에 따라 열쾌적성이 어떻게 변화하는지를 확인하고자한다.

각 시나리오는 모두 현황의 용적률인 243.39%에서 시작하여 시나리오 별 최소 단위의 증가에 따라 변화하는 용적률과 열쾌적성의 관계를 확인하기 위해 설정했다.

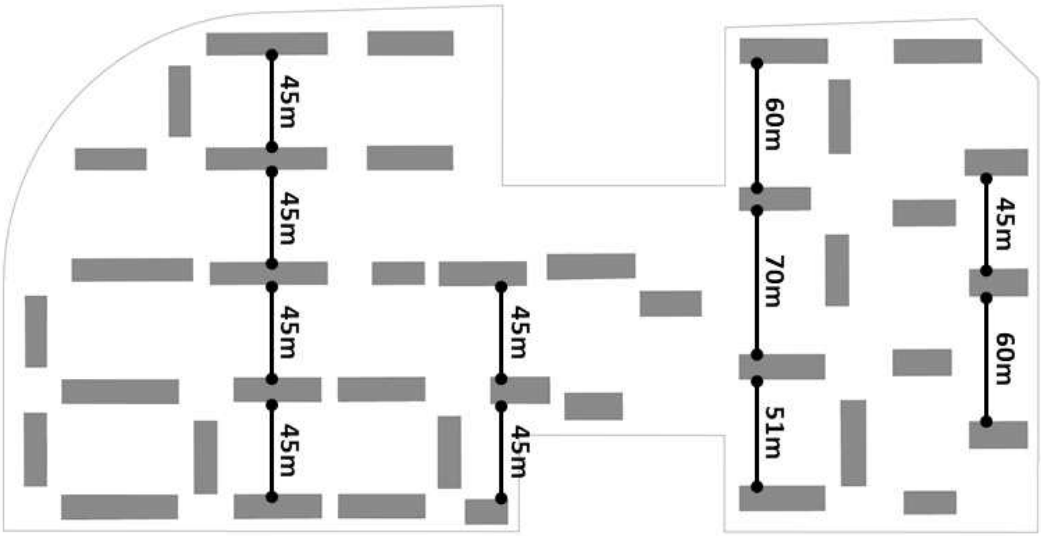
이렇게 설정한 용적률 상향 시나리오의 환경 시뮬레이션 결과들의 비교분석을 통해 용적률 상향 요소에 따라 열쾌적성의 변화 양상이 다르다는 가설을 검증하고 이러한 분석을 기반으로 열쾌적성을 개선하는 용적률 상향 방안을 제시하기 위해 다음과 같이 진행했다.

1. 층수 상향 시나리오 설정

현황에서 건폐율 및 주동의 형상은 그대로 유지하며 현재의 동간간격에서 최대한 확보할 수 있는 높이를 가지도록 층수 상향 시나리오를 설정하여 층수의 변화에 따라 열쾌적성이 어떻게 변화하는지 확인하고자 했다.

이것을 진행하기 위해 현황의 동간간격을 조정했을 때 가장 짧은 동간간격을 가진 주동들의 간격은 45m로, 현행 법규에 따라 최대 90m까지 높이를 확보할 수 있다.

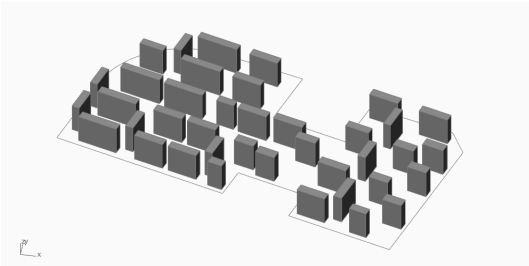
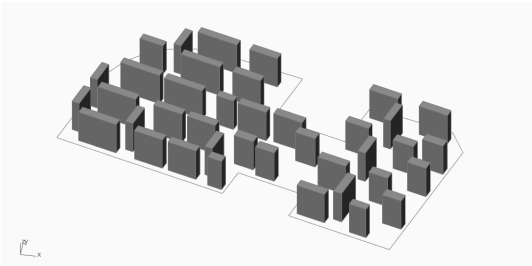
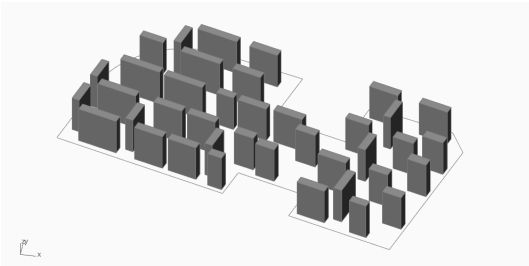
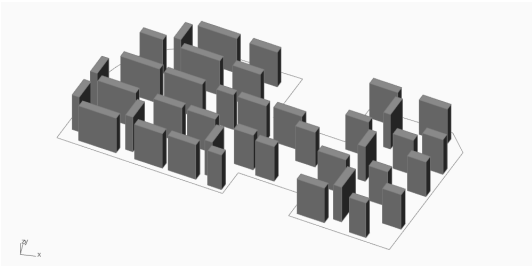
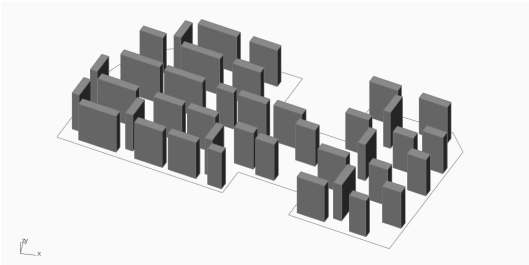
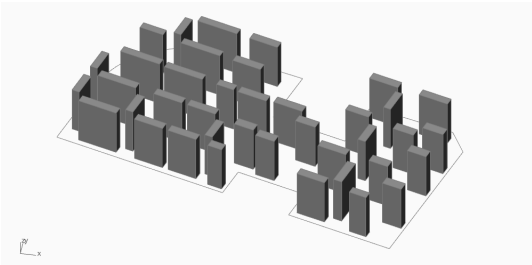
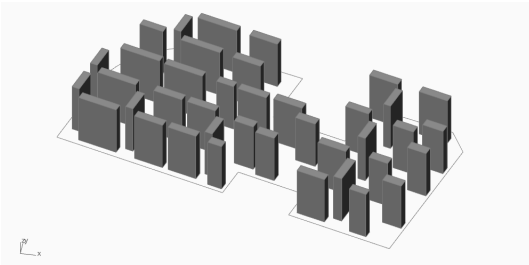
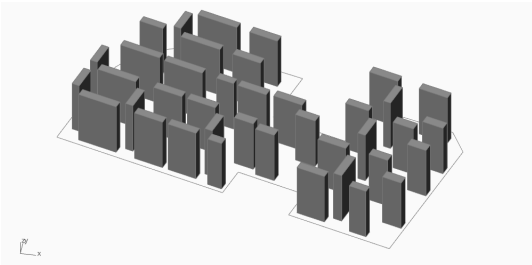
여기에 층고를 3m로 가정했을 때 최대 층수는 30층까지 확장이 가능하므로 층수 상향 시나리오 설정을 위한 변수는 현황 층수인 15층에서 30층까지로 제한하였다.



[그림 3-1] 현황 배치도의 동간간격

층수 상향에 따른 각 시나리오의 형태는 [표 3-1]과 같으며 높이를 1층 상향함에 따라 용적률은 5.34%씩 증가하여 30층 최대로 상향했을 때의 용적률이 486.79%가 되는 것을 확인할 수 있었다.

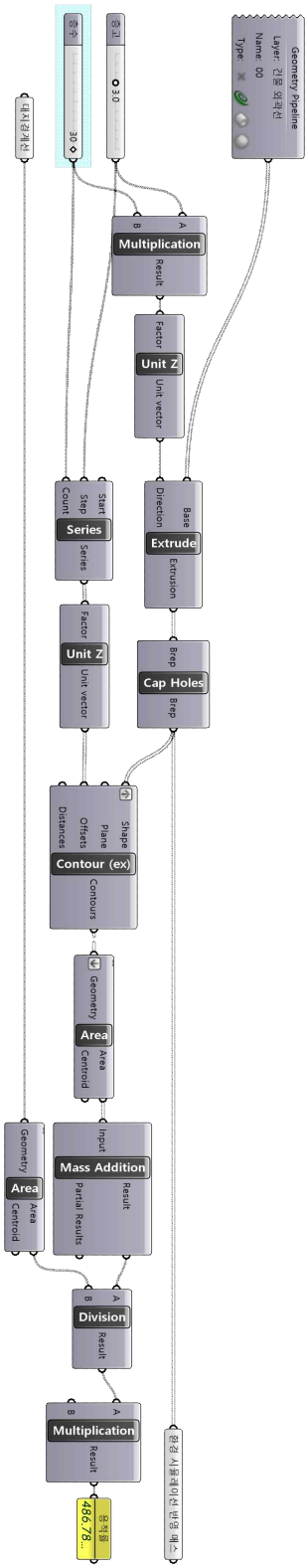
[표 3-1] 층수 상향 시나리오에 따른 건축물 배치 변화

구분	
	
S1-1 조감도(15층)	S1-3 조감도(17층)
	
S1-5 조감도(19층)	S1-7 조감도(21층)
	
S1-9 조감도(23층)	S1-11 조감도(25층)
	
S1-13 조감도(27층)	S1-15 조감도(29층)

[표 3-2] 층수 상향 시나리오에 따른 용적률 변화

시나리오 번호	높이	층수	용적률
S1-1	45m	15층	243.39%
S1-2	48m	16층	259.62%
S1-3	51m	17층	275.85%
S1-4	54m	18층	292.07%
S1-5	57m	19층	308.30%
S1-6	60m	20층	324.52%
S1-7	63m	21층	340.52%
S1-8	66m	22층	356.98%
S1-9	69m	23층	373.20%
S1-10	72m	24층	389.43%
S1-11	75m	25층	405.66%
S1-12	78m	26층	421.88%
S1-13	81m	27층	438.11%
S1-14	84m	28층	454.33%
S1-15	87m	29층	470.56%
S1-16	90m	30층	486.79%

주변의 도로 상황을 고려했을 때 채광이나 인접 대지를 고려한 높이 제한으로 높이차가 필요로 하는 경우는 발생하지 않아 전체 주동에 동일한 층수를 적용하였으며 Grasshopper의 Number Slider 컴포넌트를 이용하여 15층부터 30층까지의 시나리오에 대한 환경 시뮬레이션을 자동으로 분석하도록 [그림 3-2]와 같이 설정하였다.

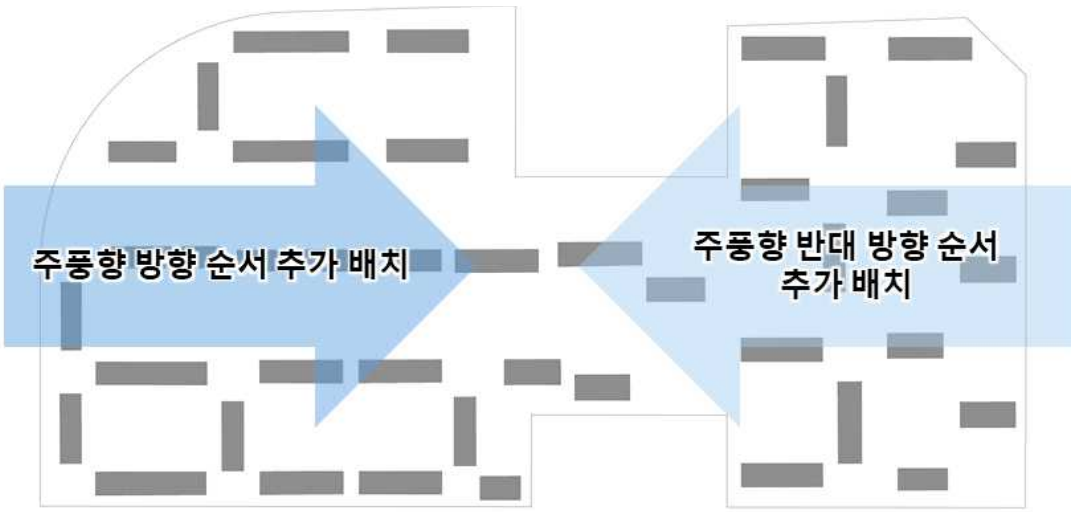


[그림 3-2] 층수 상향 시나리오
스크립트

2. 전체 주동 수 상향 시나리오 설정

주동의 상향으로 건폐율과 세대밀도를 높이는 시나리오를 설정하기 위해서 현황의 판상형 주동을 활용하며 주동 수가 늘어났을 때 열쾌적성이 어떻게 변화하는지에 대한 시나리오를 설정하였다.

시나리오는 총 6개의 단계를 두 번에 거쳐 진행하였으며 이렇게 구분한 이유는 주풍향의 방향에 따라 주동의 수가 상향되는 시나리오와 주풍향의 방향에 반대되도록 주동의 수를 상향하는 시나리오를 비교분석하여 열쾌적성 개선에 주된 방법 중 하나인 단지 내 통풍성의 확보 정도에 따라 어떠한 결과가 나타나는지 확인하기 위함이다.



[그림 3-3] 추가 주동 배치 방향 다이어그램

이것을 진행하기 위해서 추가 주동은 수직 방향의 배치로 통일하였으며 시나리오 2-1번부터 2-6번까지는 주풍향과 같은 방향으로 서측에서 시작해 동측으로 주동의 수가 상향되는 시나리오를 설정하고 2-7번에서 2-12번까지는 주풍향의 반대 방향으로 동측에서 시작해 서측으로 주동의 수가 상향되는 시나리오를 설정하였다.

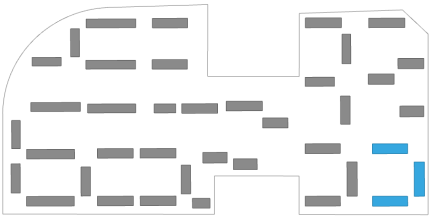
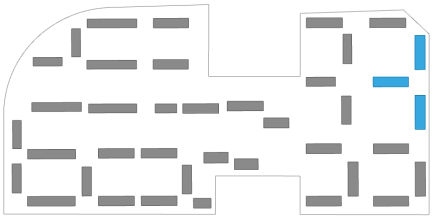
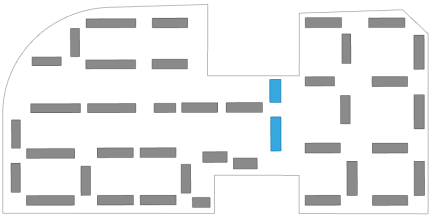
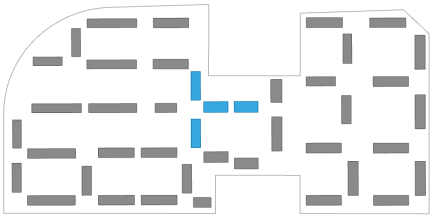
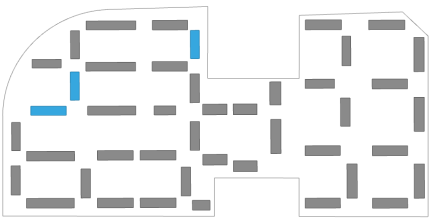
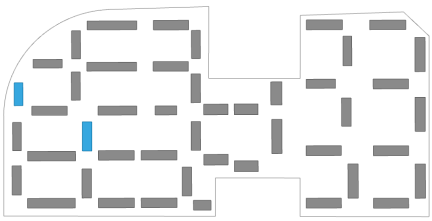
[표 3-3] 전체 주동 수 상향 시나리오에 따른 용적률 변화

시나리오 번호	추가 배치 방향	주동 수	용적률
S2-1	주풍향 반대 (동-서)	39개	248.82%
S2-2		40개	253.83%
S2-3		41개	260.53%
S2-4		42개	267.86%
S2-5		44개	275.34%
S2-6		46개	283.17%
S2-7	주풍향 (서-동)	41개	252.91%
S2-8		43개	258.70%
S2-9		44개	266.04%
S2-10		45개	272.74%
S2-11		45개	277.74%
S2-12		46개	283.17%

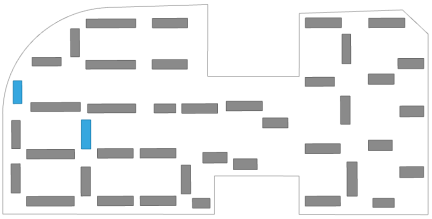
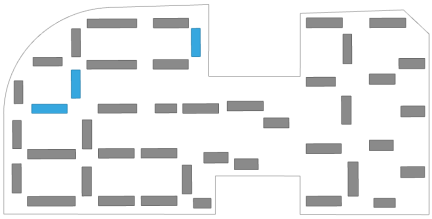
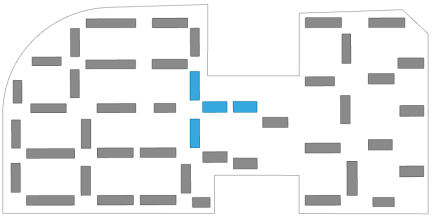
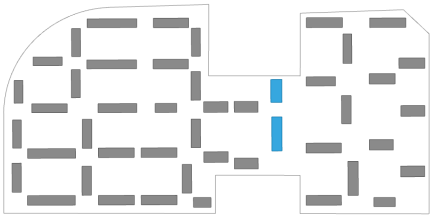
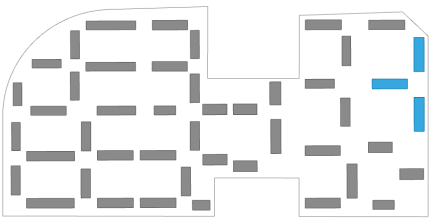
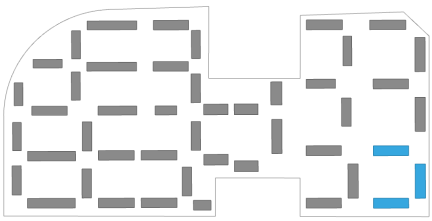
추가 주동은 해당 단지에서 504세대로 가장 많은 세대수가 배치되어 있는 전용면적 84㎡ 유닛 타입의 주동을 사용하였으며 경기도 주택조례에 따라 4호 연립, 총 길이 60m 이하로 계획하였다.

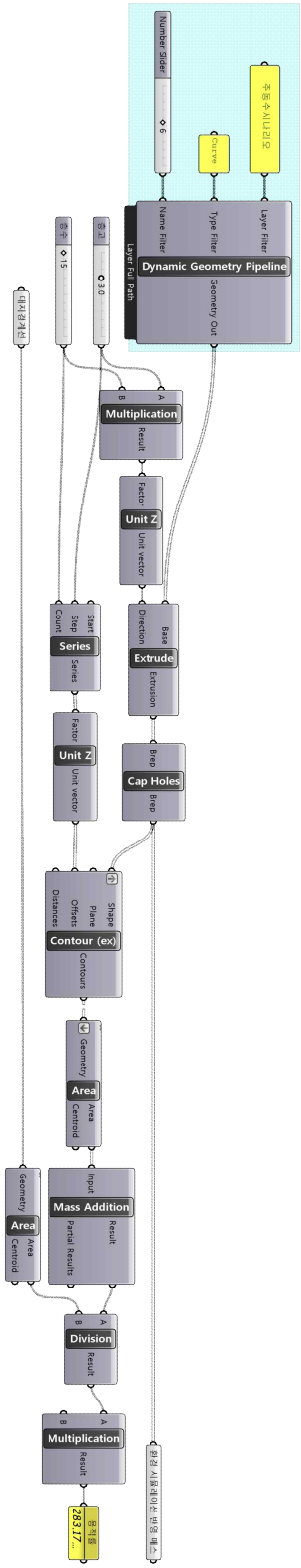
전체 주동 수 상향에 따른 각 시나리오의 형태는 [표 3-3]과 같으며 주동 수가 1개 상향함에 따라 용적률은 약 6%씩 증가하여 10동 최대로 상향했을 때의 용적률이 283.17%가 되는 것을 확인할 수 있었다.

[표 3-4] 전체 주동 수 상향 시나리오에 따른 배치 변화(주풍향 반대 방향)

구분	
 S2-1 배치도	 S2-2 배치도
 S2-3 배치도	 S2-4 배치도
 S2-5 배치도	 S2-6 배치도

[표 3-5] 전체 주동 수 상향 시나리오에 따른 배치 변화(주풍향 방향)

구분	
 S2-7 배치도	 S2-8 배치도
 S2-9 배치도	 S2-10 배치도
 S2-11 배치도	 S2-12 배치도



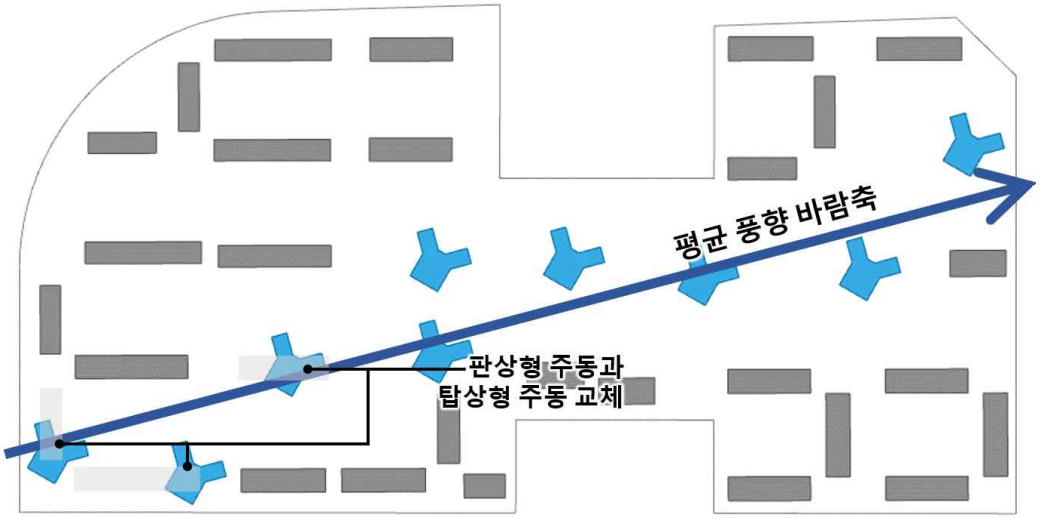
[그림 3-4] 전체 주동 수 상향
시나리오 스크립트

3. 탑상형 주동 수 비율 상향 시나리오 설정

세대밀도를 높이기 위한 두 번째 시나리오로 탑상형 주동 비율 상향을 진행하기 위하여 평균 바람축을 따라 탑상형 주동을 배치하여 세대수의 상향과 열쾌적성 확보를 위한 주택단지 배치를 동시에 고려했다.

시나리오 설정의 첫 번째로 남서측의 모서리에서 탑상형 주동 배치를 시작하여 야탑 초등학교의 오픈스페이스로 바람길이 확보되도록 2개의 판상형 주동을 3개의 탑상형 주동으로 교체하였다.

이후로는 시나리오 단계별로 판상형 주동 1개에서 2개를 탑상형 주동으로 교체하며 바람축을 따라 탑상형 주동의 개수가 늘어나도록 시나리오를 설정하였다.



[그림 3-5] 탑상형 주동 배치 방향 다이어그램

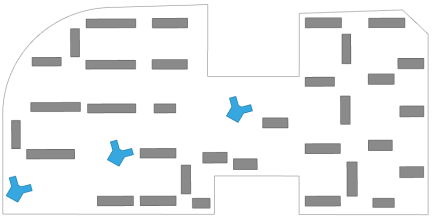
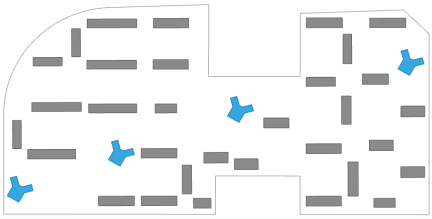
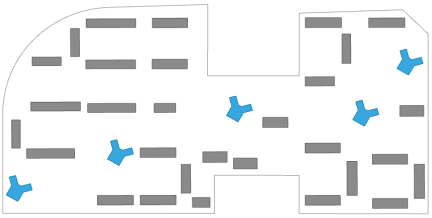
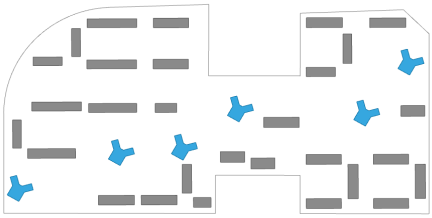
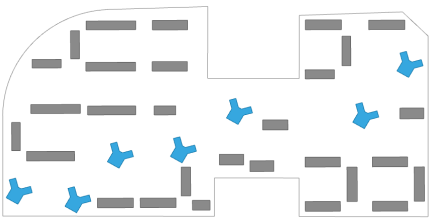
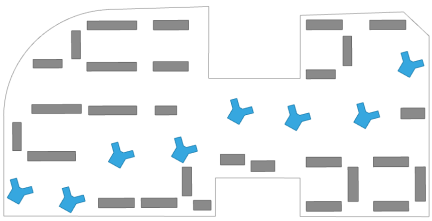
탑상형 주동은 시나리오가 변화함에 따라 바람길 축을 따라 배치 비율이 늘어나며 크게 축의 일부만 배치되는 비율, 축 전체를 1열로 연결하는 비율과 2열로 연결하는 비율을 비교하여 탑상형 주동 개수 비율에 따라 열쾌적성이 어떻게 변화하는지 확인하고자 했다.

[표 3-6] 탑상형 주동 수 비율 상향 시나리오에 따른 용적률 변화

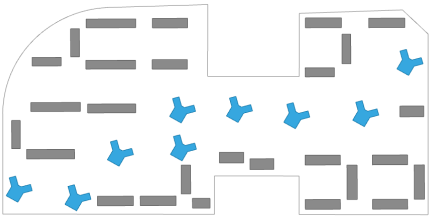
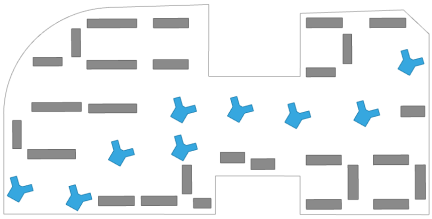
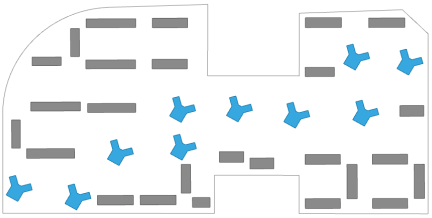
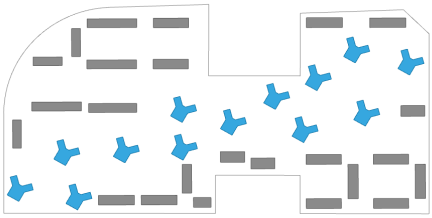
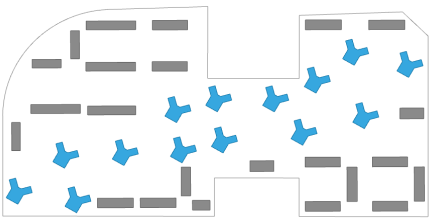
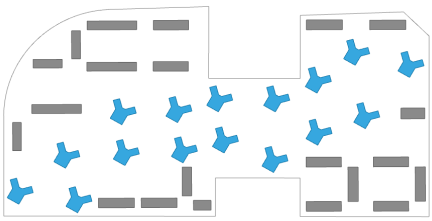
시나리오 번호	판상형 주동수	탑상형 주동수	판상형 주동수 비율	용적률
S3-1	33개	3개	8.11%	245.23%
S3-2	32개	4개	10.81%	249.21%
S3-3	30개	5개	13.51%	254.72%
S3-4	29개	6개	16.22%	259.40%
S3-5	29개	7개	18.92%	266.95%
S3-6(1열)	28개	8개	21.62%	271.24%
S3-7	27개	9개	24.32%	276.82%
S3-8	26개	10개	27.03%	280.99%
S3-9	25개	12개	32.43%	290.68%
S3-10	24개	13개	35.14%	294.72%
S3-11	23개	14개	37.84%	298.93%
S3-12(2열)	21개	16개	43.24%	303.68%

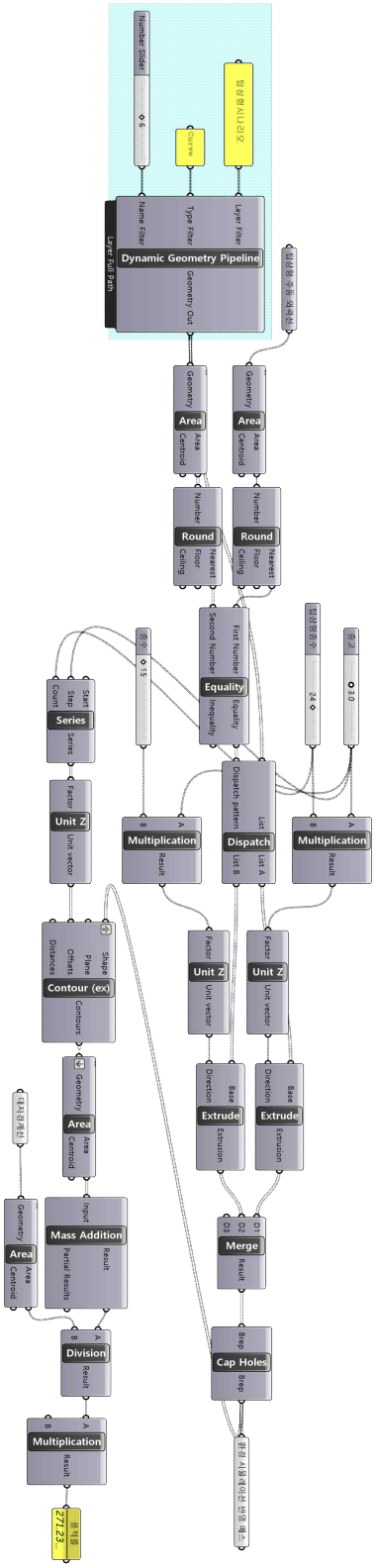
탑상형 주동에 사용된 세대는 전체 주동 상향 시나리오의 추가 판상형 주동과 마찬가지로 84타입 세대의 4호 조합으로 진행하였으며 각 주동의 높이는 층고 3m에 층수 24층으로 제한하여 동간간격이 36m 이상 유지되도록 배치하였다.

[표 3-7] 탑상형 주동 수 비율 상향 시나리오에 따른 배치 변화 - 1

구분	
 S3-1 배치도(3개)	 S3-2 배치도(4개)
 S3-3 배치도(5개)	 S3-4 배치도(6개)
 S3-5 배치도(7개)	 S3-6 배치도(8개)

[표 3-8] 탑상형 주동 수 비율 상향 시나리오에 따른 배치 변화 - 2

구분	
 S3-7 배치도(9개)	 S3-8 배치도(10개)
 S3-9 배치도(12개)	 S3-10 배치도(13개)
 S3-11 배치도(14개)	 S3-12 배치도(16개)



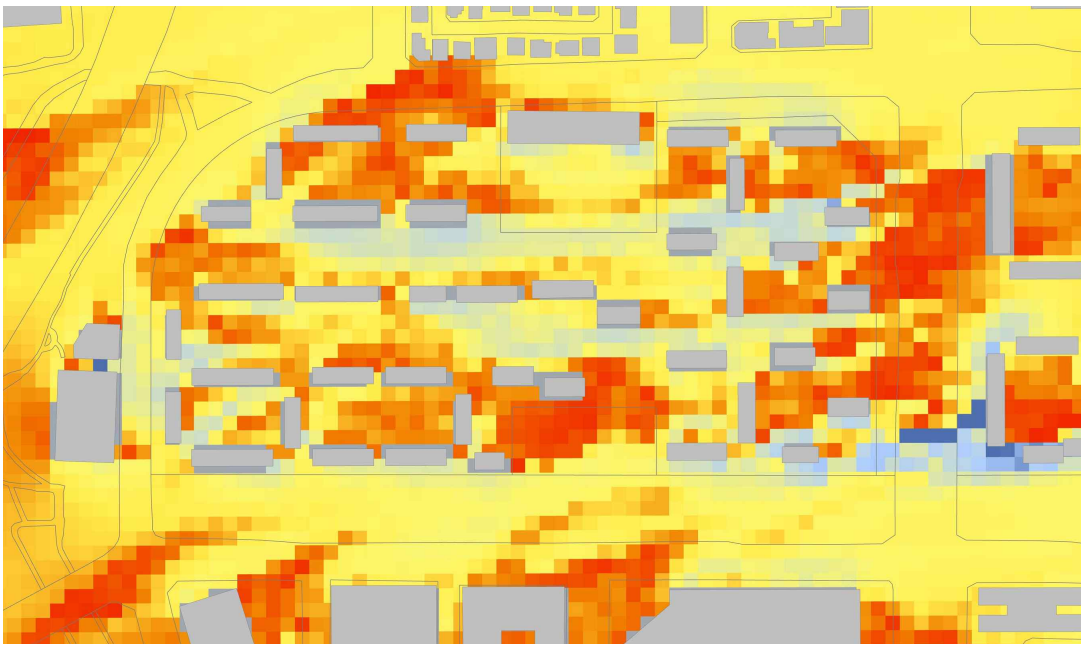
[그림 3-6] 탑상형 주동 비율 상향
시나리오 스크립트

제 4 장 결과 및 고찰

제 1 절 용적률 상향 환경 시뮬레이션 결과

각 시나리오의 환경 시뮬레이션 결과를 확인하기 전 비교 기준이 되는 현황의 환경 시뮬레이션 결과를 확인하였다.

대상지 현황을 모델링한 결과 용적률 243.39%, 건폐율 12.4%, 층수 15층 이였다. 여기에 7,8월의 5시부터 20시까지의 환경 시뮬레이션을 진행한 결과 평균 UTCI 26.85℃, 평균 풍속 4.92m/s, Moderate Heat Stress 비율 56.22% No Thermal Stress 비율 43.78%로 결과 이미지는 [그림 4-1]과 같았다.

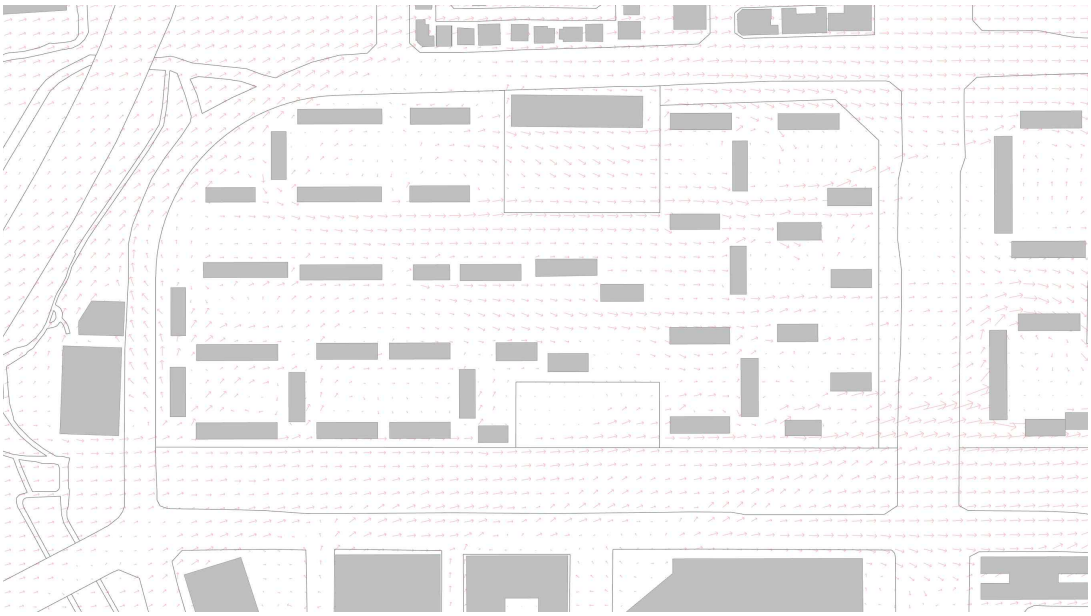


[그림 4-1] 현황 UTCI 시뮬레이션 결과

결과 이미지를 보았을 때 동선의 확보를 위해 트여있는 선형의 오픈

스페이스에는 [그림 4-2]와 같이 높은 풍속과 함께 낮은 온도를 보이는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 판상형의 특징 때문에 단지 안쪽으로 바람을 유입시키지 못하고 골바람이 형성되는 것을 확인할 수 있었다.

이것으로 인해 주동 클러스터를 형성하는 단지 내측의 UTCI는 평균 28.9℃로 Moderate Heat Stress에 해당하는 높은 온도의 영역이 형성되어 24.7℃의 No Thermal Stress 영역과는 4.2℃도의 차이를 보이는 것을 확인할 수 있었다.



[그림 4-2] 현황 바람 시뮬레이션 결과

이러한 현상은 [그림 4-2]의 이미지에서 다시 확인할 수 있으며 풍속이 1m/s이하인 영역의 비율은 26.02%로 판상형 주동이 중정형 클러스터를 이루며 모여 있는 부분에 주로 분포한 것을 확인할 수 있었다.

1. 층수 상향 환경 시뮬레이션 결과

현황에서 층수를 상향하며 용적률을 변화한 시나리오의 환경 시뮬레이션의 결과로는 바람길을 만드는 건축물의 매스가 커지며 바람을 모아

단지 내 바람의 풍속이 강해지는 것을 확인할 수 있었으며 이로 인해 평균 UTCI 또한 감소하는 것을 확인 할 수 있었지만 바람이 강한 영역과 약한 영역의 차이가 커지는 것을 확인할 수 있었다.

[표 4-1] 층수 상향 시나리오 환경 시뮬레이션 결과

시나리오 번호	층수	용적률	평균 풍속	평균 UTCI	Moderate Heat Stress 비율	Moderate Heat Stress 평균 UTCI	No Thermal Stress 평균 UTCI
S1-1	15층	243.39%	4.92m/s	26.85℃	56.22%	28.38℃	24.87℃
S1-2	16층	259.62%	5.06m/s	26.63℃	51.79%	28.26℃	24.88℃
S1-3	17층	275.85%	5.14m/s	26.51℃	50.56%	28.14℃	24.85℃
S1-4	18층	292.07%	5.16m/s	26.47℃	49.66%	28.15℃	24.82℃
S1-5	19층	308.30%	5.25m/s	26.35℃	47.65%	28.04℃	24.81℃
S1-6	20층	324.52%	5.24m/s	26.32℃	46.42%	28.08℃	24.81℃
S1-7	21층	340.75%	5.25m/s	26.31℃	45.97%	28.10℃	24.78℃
S1-8	22층	356.98%	5.31m/s	26.24℃	45.58%	28.05℃	24.73℃
S1-9	23층	373.20%	5.38m/s	26.18℃	44.46%	28.05℃	24.69℃
S1-10	24층	389.43%	5.46m/s	26.13℃	44.12%	28.02℃	24.64℃
S1-11	25층	405.66%	5.52m/s	26.10℃	43.83%	28.06℃	24.58℃
S1-12	26층	421.88%	5.62m/s	26.07℃	44.61%	28.06℃	24.47℃
S1-13	27층	438.11%	5.72m/s	26.04℃	44.14%	28.11℃	24.40℃
S1-14	28층	454.33%	5.84m/s	25.95℃	42.50%	28.09℃	24.37℃
S1-15	29층	470.56%	5.87m/s	25.93℃	41.99%	28.09℃	24.37℃
S1-16	30층	486.79%	5.93m/s	25.91℃	42.33%	28.09℃	24.30℃

시나리오 전체 환경 시뮬레이션 결과는 [표4-1]과 같았으며 현황의 15층일 때의 용적률 243.39%, 평균 풍속 4.92m/s, 평균 UTCI 26.85℃, Moderate Heat Stress 비율 56.22%, Moderate Heat Stress 평균 UTCI 28.38℃, No Thermal Stress 평균 UTCI 24.87℃에서 30층일 때 용적률 486.79%, 평균 풍속 5.93m/s, 평균 UTCI 25.91℃, Moderate Heat Stress 비율 42.33%, Moderate Heat Stress 평균 UTCI 28.09℃, No Thermal Stress 평균 UTCI 24.30℃로 변화했다.

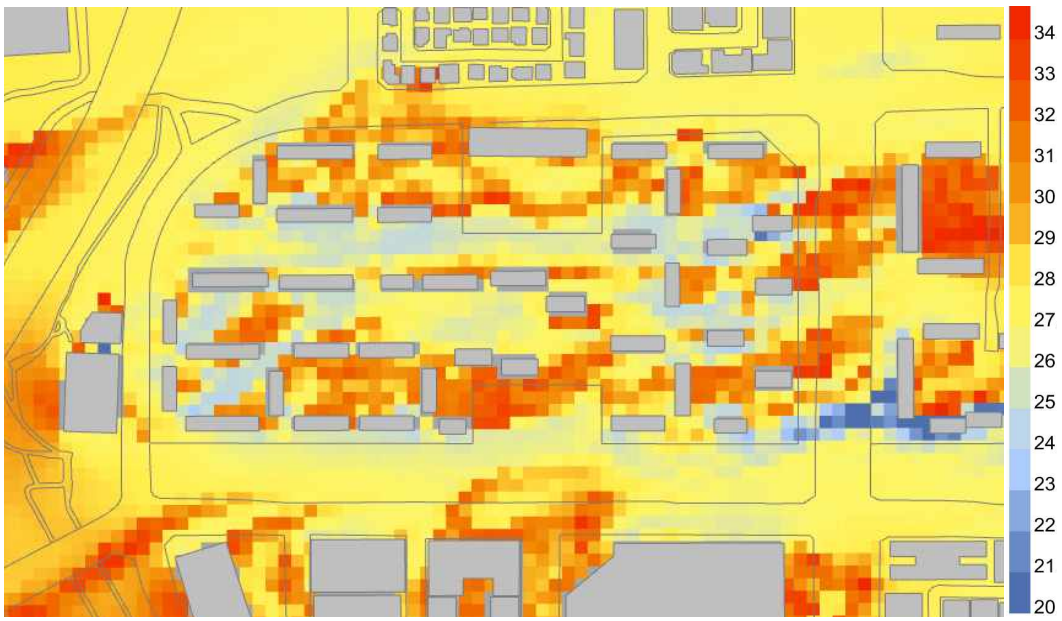
이를 통해 용적률이 243.40% 증가, 평균 풍속 1.01m/s 증가, 평균 UTCI 0.94℃ 감소, Moderate Heat Stress 비율이 13.89% 감소한 것을

보아 열쾌적성이 전체적으로 개선된 것을 확인할 수 있었으며 [표4-2]를 통해 UTCI의 분포 이미지를 확인했을 때 층수가 늘어남에 따라 푸른색의 영역은 넓어지는 것을 확인할 수 있었다.

하지만 Moderate Heat Stress 평균 UTCI는 28.09℃로 0.29℃감소한 반면 No Thermal Stress 평균 UTCI가 24.30℃로 0.57℃감소한 것을 보았을 때 바람골이 형성되는 영역의 풍속은 크게 증가하여 UTCI의 변화가 상대적으로 컸지만 판상형 주동의 중정형 클러스터가 구성되는 영역의 풍속까지 함께 증가하지는 못해 각 Heat Stress 영역의 UTCI 편차가 증가한 것을 확인할 수 있었다.

이러한 결과를 보이는 층수 상향 시나리오의 구간별 열쾌적성의 변화를 세부적으로 확인하기 위해 층수가 20층일 때, 25층일 때, 30층으로 구분하여 환경 시뮬레이션 결과를 확인하였다.

먼저 층수가 20층일 때의 환경 시뮬레이션을 진행한 결과 평균 UTCI 26.32℃, 평균 풍속 5.24m/s, Moderate Heat Stress 비율 53.58% No Thermal Stress 비율 46.42%로 결과 이미지는 [그림 4-3]과 같았다.



[그림 4-3] 층수 20층 시나리오 UTCI 시뮬레이션 결과

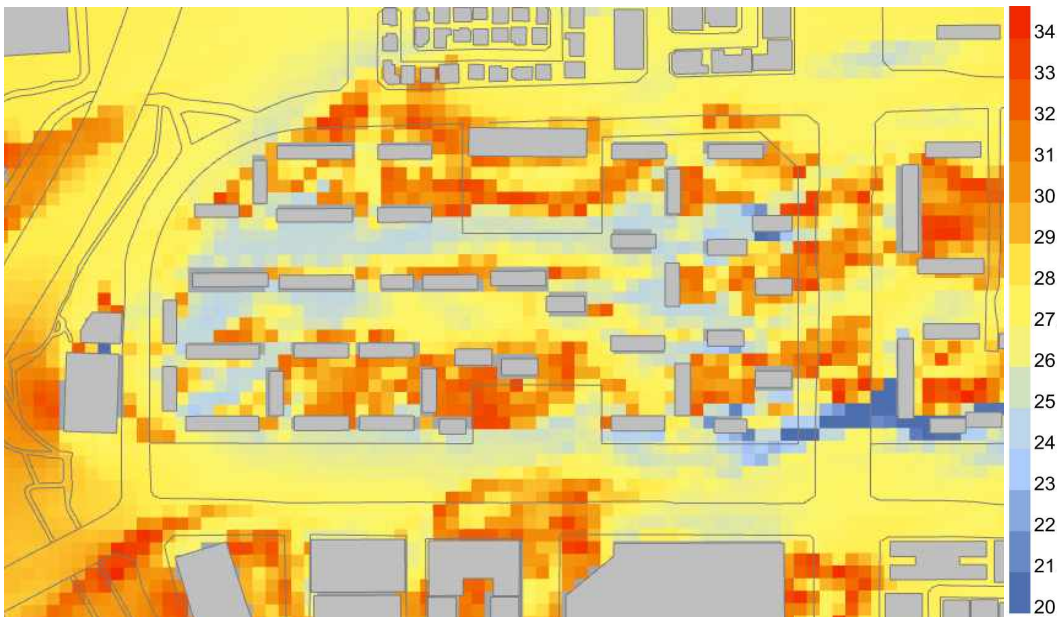
UTCI 시뮬레이션 결과 이미지를 보았을 때 바람이 직접적으로 유입되는 서측의 주동 클러스터에서는 바람골을 형성하며 강해진 바람이 UTCI를 떨어뜨리고 있는 것을 확인할 수 있었으나 그렇지 못한 중정형 클러스터의 높은 UTCI 영역에 까지 바람을 유입시켜 온도 저감 효과를 퍼뜨리진 못하고 있는 것을 확인할 수 있었다.

이러한 현상이 보이는 가장 주요한 원인은 유입된 바람을 퍼뜨릴 수 있는 형태의 주동이 부족한 것으로 볼 수 있었다. 하지만 부분적으로 열쾌적이 개선되는 것을 확인할 수 있었으며 구체적인 바람 변화 현상의 파악을 위해 [그림 4-4]와 같이 나타난 바람 시뮬레이션의 결과를 분석하였다.

바람이 직접적으로 유입되어 바람골을 형성하는 지역의 매스가 층수 상향과 함께 바람을 모으면서 인해 바람이 1m/s 이하로 아주 약하게 부는 분석 포인트가 22개로 중정형 클러스터에 주로 분포되어 있는 것을 확인할 수 있었으며 Moderate Heat Stress 영역 역시 중정형 클러스터를 중심으로 분포되어있는 것을 확인하였다.

[그림 4-4] 층수 20층 시나리오 바람 시뮬레이션 결과

다음으로 층수가 25층일 때의 환경 시뮬레이션을 진행한 결과 평균 UTCI 26.10℃, 평균 풍속 5.52m/s, Moderate Heat Stress 비율 56.17% No Thermal Stress 비율 43.83%로 결과 이미지는 [그림 4-5]와 같았다.



[그림 4-5] 층수 25층 시나리오 UTCI 시뮬레이션 결과

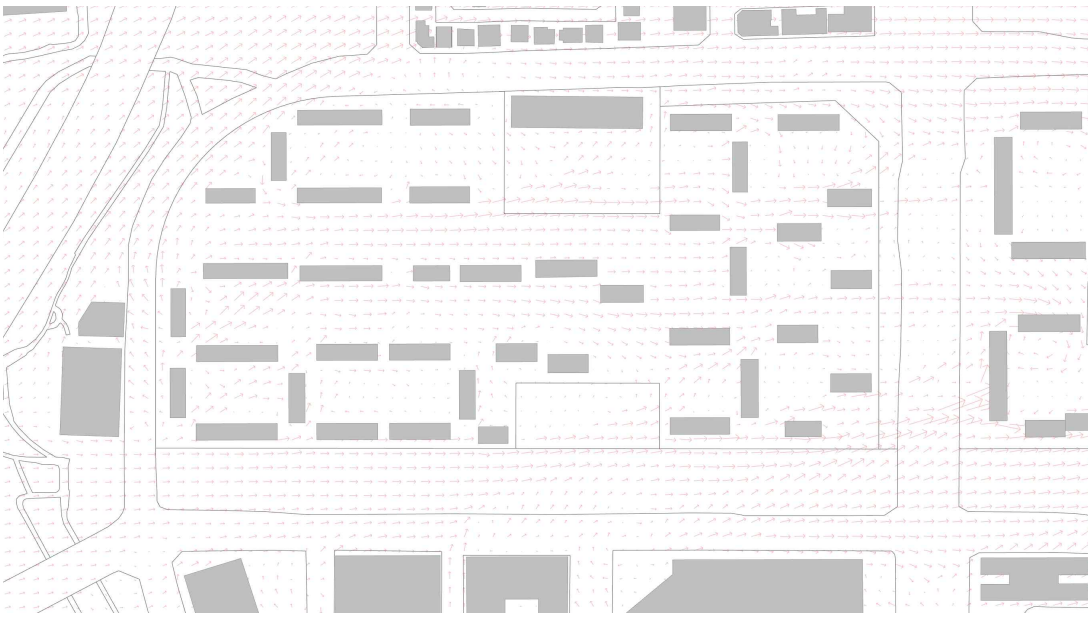
UTCI 시뮬레이션 결과 이미지를 보았을 때 층수 20층 시나리오와 마찬가지로 바람이 직접적으로 유입되는 영역의 UTCI가 더 크게 떨어지고 있는 것을 확인할 수 있었으나 그렇지 못한 영역의 UTCI는 여전히 큰 차이가 없는 것을 볼 수 있었다.

이러한 현상을 통해 영역 간의 열쾌적성 편차가 커지는 것은 시각적으로 확인할 수 있었으며 그럼에도 여전히 부분적으로 열쾌적이 개선되는 것을 확인할 수 있어 구체적인 바람 변화 현상의 파악을 위해 [그림 4-5]와 같이 나타난 바람 시뮬레이션의 결과를 분석하였다.

이전 시나리오와 마찬가지로 바람이 직접적으로 유입되어 바람골을 형성하는 지역의 매스가 층수 상향과 함께 더 크게 바람을 모았으나 바람이 1m/s 이하로 아주 약하게 부는 분석점은 1개 감소하며 거의 변동

이 없었다.

이에 따라 Moderate Heat Stress 비율은 감소하였으나 바람 유입의 부족으로 기존의 약한 바람이 불던 영역은 변화가 없는 것을 확인했다.

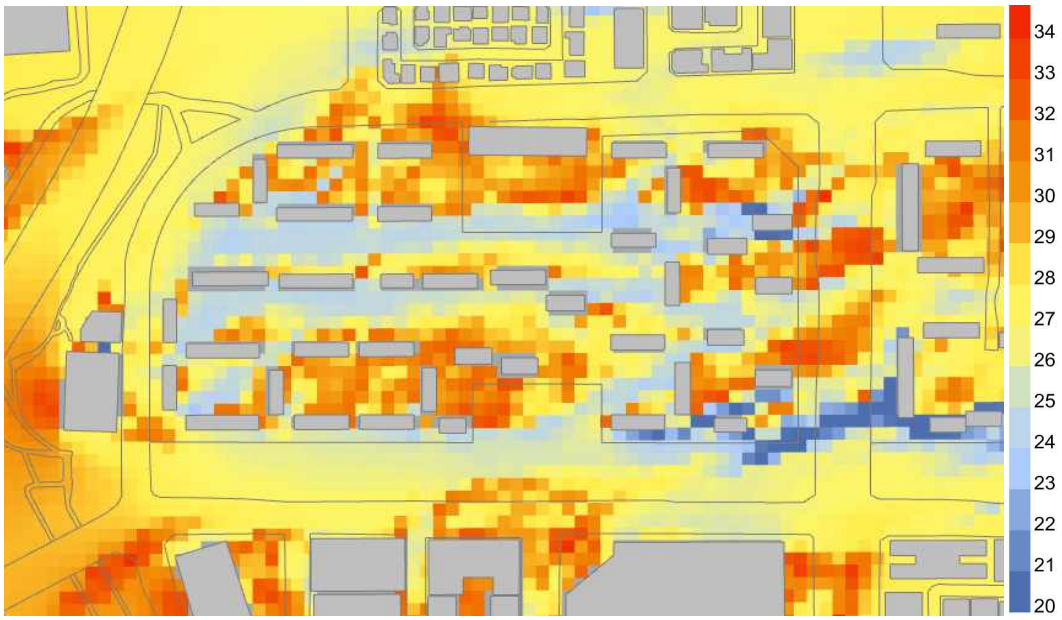


[그림 4-6] 층수 25층 시나리오 바람 시뮬레이션 결과

마지막으로 층수가 30층일 때의 환경 시뮬레이션을 진행한 결과 평균 UTCI 25.91℃, 평균 풍속 5.93m/s, Moderate Heat Stress 비율 57.67% No Thermal Stress 비율 42.33%로 결과 이미지는 [그림 4-7]과 같았다.

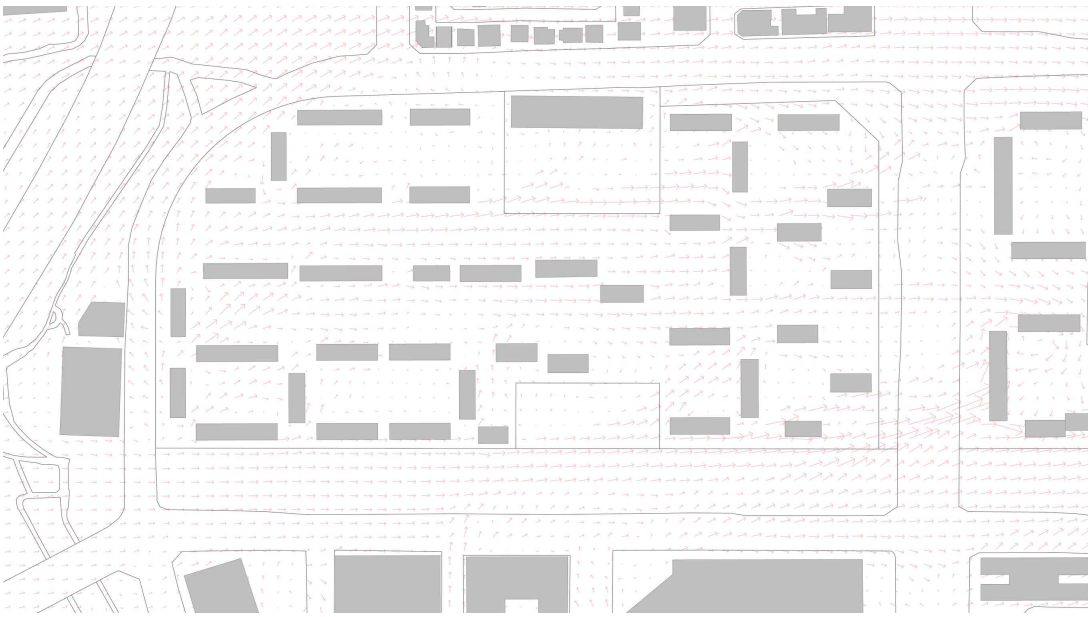
UTCI 시뮬레이션 결과 이미지를 보았을 때 층수 25층 시나리오와 마찬가지로 바람이 직접적으로 유입되는 영역의 UTCI가 더 크게 떨어지고 있는 것을 확인할 수 있었으나 그렇지 못한 영역의 UTCI는 여전히 큰 차이가 없는 것을 볼 수 있었다.

이러한 현상을 통해 영역 간의 열쾌적성 편차가 커지는 것은 시각적으로 확인할 수 있었으며 그럼에도 여전히 부분적으로 열쾌적이 개선되는 것을 확인할 수 있어 구체적인 바람 변화 현상의 파악을 위해 [그림 4-8]과 같이 나타난 바람 시뮬레이션의 결과를 분석하였다.



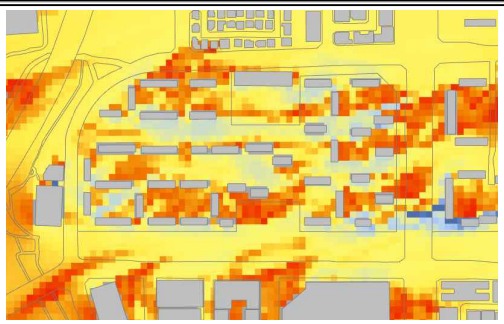
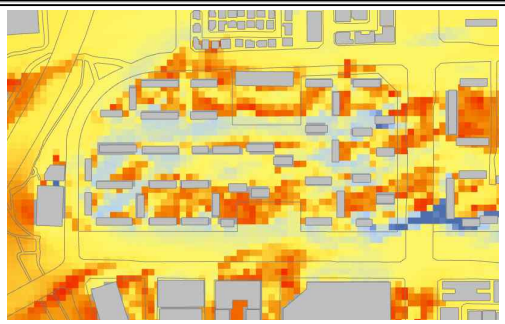
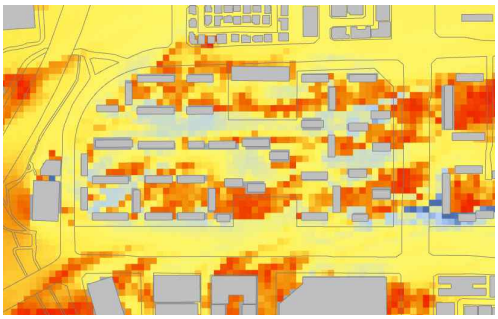
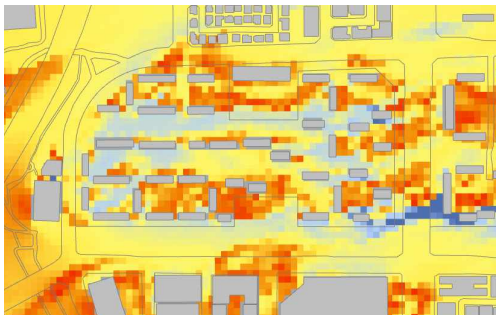
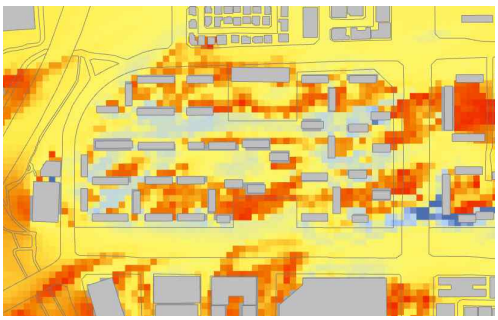
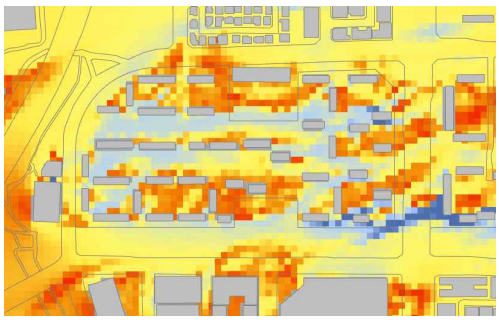
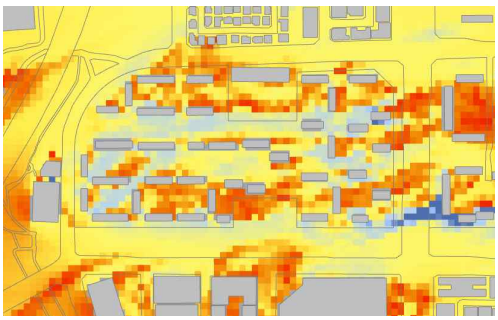
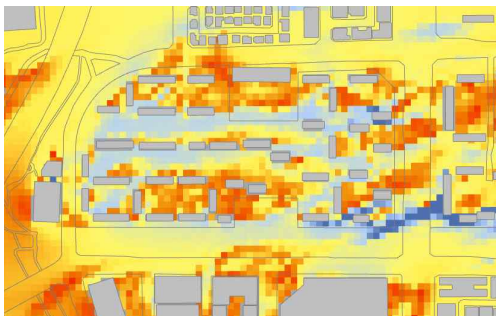
[그림 4-7] 층수 30층 시나리오 UTCI 시뮬레이션 결과

이전 시나리오와 마찬가지로 바람이 직접적으로 유입되어 바람골을 형성하는 지역의 매스가 층수 상향과 함께 더 크게 바람을 모으면서 풍속 1m/s 이하의 분석점이 1.7% 감소에 그친 것을 확인할 수 있었다.



[그림 4-8] 층수 30층 시나리오 바람 시뮬레이션 결과

[표 4-2] 층수 상향 시나리오에 따른 UTCI 분포 변화

구분	
 S1-1 시나리오(15층)	 S1-9 시나리오(23층)
 S1-3 시나리오(17층)	 S1-11 시나리오(25층)
 S1-5 시나리오(19층)	 S1-13 시나리오(27층)
 S1-7 시나리오(21층)	 S1-15 시나리오(29층)

2. 전체 주동 수 상향 환경 시뮬레이션 결과

현황에서 전체 주동 수를 상향하여 용적률을 변화한 시나리오의 환경 시뮬레이션의 결과로는 주풍향 방향 순으로 배치한 시나리오인 S3-1부터 S3-6과 주풍향 반대 방향 순으로 배치한 시나리오인 S3-7부터 S3-12 모두 수직방향의 판상형 주동을 추가하며 평균 UTCI가 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

또한 주풍향 방향인 서측에서 동측 순으로 주동을 배치했을 때는 반대 방향일 때에 비해 급하게 열쾌적성이 악화되어 주동 추가 방향에 따라 열쾌적성이 다르게 변화한다는 것을 확인할 수 있었다.

[표 4-3] 전체 주동 수 상향 시나리오 환경 시뮬레이션 결과

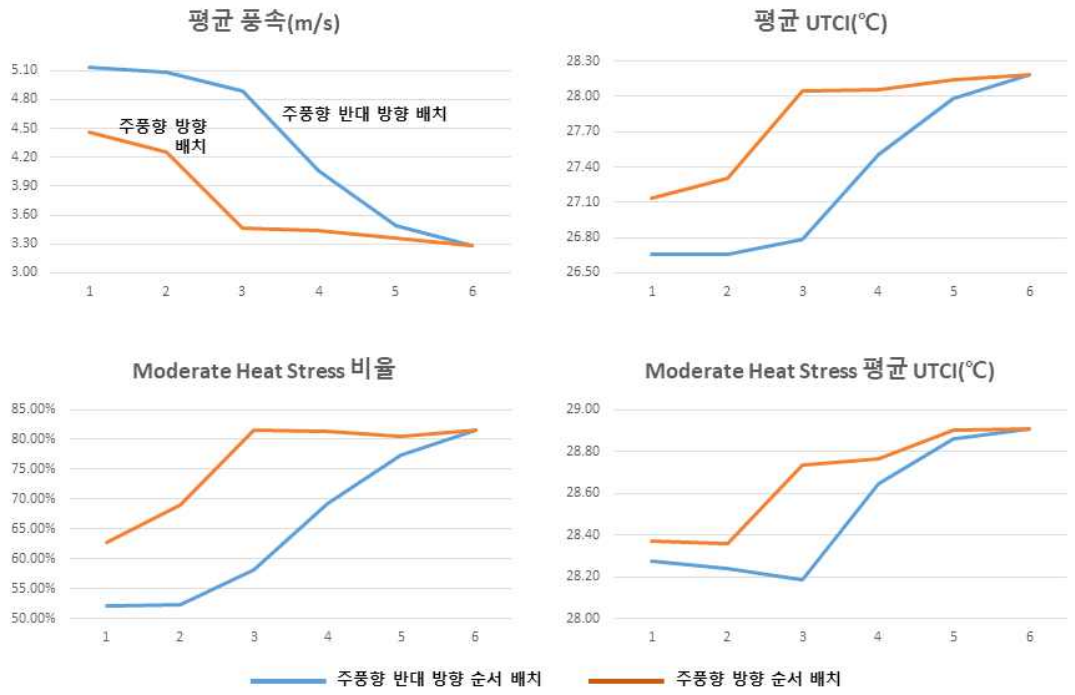
시나리오 번호	주동 추가 방향	동수	용적률	평균 풍속	평균 UTCI	Moderate Heat Stress 비율	Moderate Heat Stress 평균 UTCI	No Thermal Stress 평균 UTCI
S2-1	주풍향 반대 방향	39개	248.82%	5.13m/s	26.65℃	52.18%	28.28℃	24.88℃
S2-2		40개	253.83%	5.09m/s	26.65℃	52.32%	28.24℃	24.91℃
S2-3		41개	260.53%	4.89m/s	26.79℃	58.12%	28.19℃	24.85℃
S2-4		42개	267.86%	4.06m/s	27.50℃	69.23%	28.64℃	24.94℃
S2-5		44개	275.34%	3.49m/s	27.98℃	77.31%	28.86℃	24.98℃
S2-6		46개	283.17%	3.28m/s	28.18℃	81.54%	28.91℃	24.96℃
S2-7	주풍향 방향	41개	252.91%	4.47m/s	27.14℃	62.73%	28.37℃	25.06℃
S2-8		43개	258.70%	4.26m/s	27.31℃	69.14%	28.36℃	24.96℃
S2-9		44개	266.04%	3.46m/s	28.04℃	81.65%	28.73℃	24.96℃
S2-10		45개	272.74%	3.44m/s	28.05℃	81.38%	28.77℃	24.93℃
S2-11		45개	277.74%	3.36m/s	28.14℃	80.53%	28.90℃	24.96℃
S2-12		46개	283.17%	3.28m/s	28.18℃	81.54%	28.91℃	24.96℃

시나리오 전체 환경 시뮬레이션 결과는 [표4-3]과 같았으며 현황의 주동 39개 일 때 용적률 243.39%, 평균 풍속 5.13m/s, 평균 UTCI 26.66℃, Moderate Heat Stress 비율 50.89%, Moderate Heat Stress 평균 UTCI 28.39℃, No Thermal Stress 평균 UTCI 24.86℃에서 주동 수가 46개일 때 용적률 283.17%, 평균 풍속 3.28m/s, 평균 UTCI 28.18℃,

Moderate Heat Stress 비율 81.54%, Moderate Heat Stress 평균 UTCI 28.91℃, No Thermal Stress 평균 UTCI 24.96℃로 변화했다.

이를 통해 각 주동 추가 방향 공통사항으로 용적률이 39.78% 증가, 평균 풍속 1.85m/s 감소, 평균 UTCI 1.52℃ 증가, Moderate Heat Stress 비율이 32.43% 증가한 것을 보아 열쾌적성이 전체적으로 악화된 것을 확인할 수 있었으며 [표4-4]와 [표4-5]를 통해 UTCI의 분포 이미지를 확인했을 때 판상형 주동 수가 늘어남에 따라 붉은색의 영역이 크게 넓어지는 것을 확인할 수 있었다.

주동 추가 방향을 각각 비교했을 때에는 [그림 4-9]와 같이 주풍향 반대 방향의 3번째 시나리오인 S2-3의 열환경보다 주풍향 방향의 첫 번째 시나리오인 S2-7의 열쾌적성이 더 떨어지는 것으로 보아 주풍향 방향으로 주동 수를 상향했을 때 열쾌적이 더욱 가파르게 악화되는 것을 확인할 수 있었다.



[그림 4-9] 주동 배치 추가 방향에 따른 환경 시뮬레이션 결과

이러한 결과를 보이는 전체 주동 수 상향 시나리오의 구간별 열쾌적성의 변화를 확인하기 위해 각 추가 배치 방향의 첫 번째(S2-1. S2-7), 세 번째(S2-3, S2-9) 시나리오 세부결과를 비교하였다.

먼저 S2-1과 S2-7의 환경 시뮬레이션을 진행한 결과 S2-1은 평균 UTCI 26.65℃, 평균 풍속 5.13m/s, Moderate Heat Stress 비율 52.18% No Thermal Stress 비율 47.82%이었다.

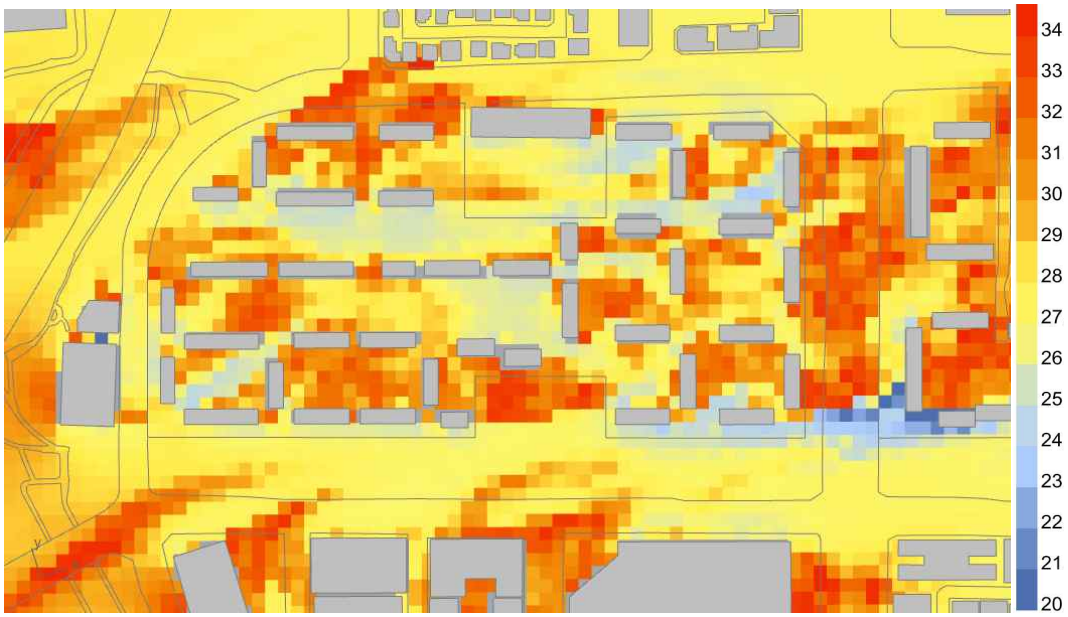
S2-7은 평균 UTCI 27.14℃, 평균 풍속 4.47m/s, Moderate Heat Stress 비율 62.73% No Thermal Stress 비율 37.27%로 결과 이미지는 [그림 4-10], [그림 4-11]과 같았다.

UTCI 시뮬레이션 결과 이미지를 보았을 때 주풍향 반대 방향인 동측에서 서측으로 주동을 추가하는 S2-1 시나리오는 기존의 바람길이 유지되면서 동측에 일부 개방된 중정형 클러스터가 생기며 풍속이 확보되어 S2-7에 비해 열쾌적성이 상대적으로 좋은 것을 확인할 수 있었다.

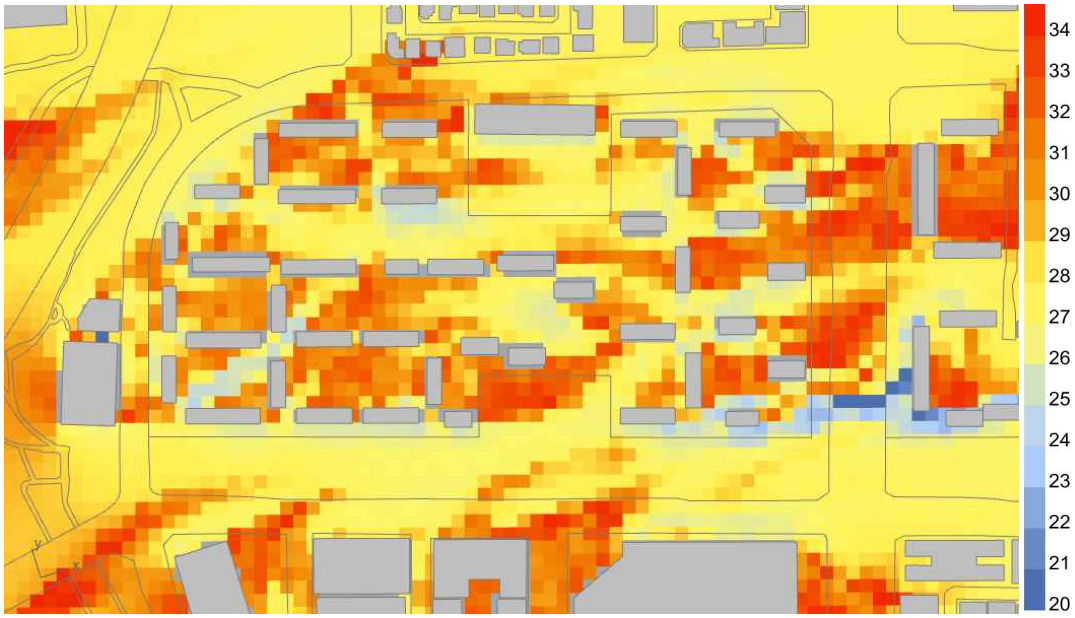
하지만 S2-7 시나리오에서는 주풍향 방향인 서측에서 동측으로 주동을 추가하면서 바람길의 초입 부분에 주동을 추가하게 되었고 이로 인해 기존의 바람길에 풍속이 약해지며 열쾌적성이 상대적으로 더 악화된 것을 확인할 수 있었다.

이것은 두 시나리오의 평균 풍속을 비교했을 때 S2-7이 S2-1에 비해 0.66m/s 약하고 평균 UTCI는 0.48℃ 올라가 Moderate Heat Stress 영역 비율이 10.54% 증가한 것에서 다시 확인할 수 있으며 구체적인 바람 변화 현상의 파악을 위해 [그림 4-12],[그림 4-13]을 통해 바람 시뮬레이션의 결과를 분석하였다.

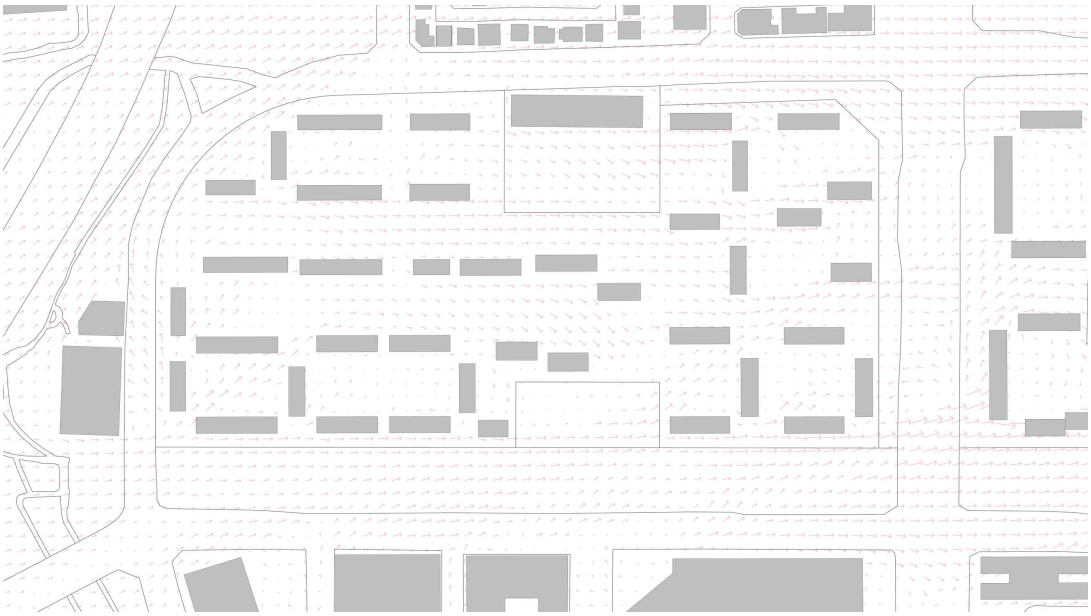
UTCI 시뮬레이션 결과를 확인했을 때와 마찬가지로 주동이 추가되며 바람길을 막은 방향에 따라 바람이 1m/s 이하로 약하게 부는 면적이 변화하였으며 S2-1은 10.34%, S2-7은 1.24% 감소해 주풍향 방향으로 주동이 추가되었을 때 풍속이 약해지는 것을 확인할 수 있었으며 이에 따라 S2-7의 Moderate Heat Stress영역이 더욱 크게 넓어진 것을 확인할 수 있었다.



[그림 4-10] S2-1 주풍향 반대 방향 추가 배치 시나리오 UTCI 시뮬레이션 결과



[그림 4-11] S2-7 주풍향 방향 추가 배치 시나리오 UTCI 시뮬레이션 결과



[그림 4-12] S2-1 주풍향 반대 방향 추가 배치 시나리오 바람 시뮬레이션 결과

[그림 4-13] S2-7 주풍향 방향 추가 배치 시나리오 바람 시뮬레이션 결과

다음으로 S2-3과 S2-9일 때의 환경 시뮬레이션을 진행한 결과 S2-3은 평균 UTCI 26.79℃, 평균 풍속 4.89m/s, Moderate Heat Stress 비율 58.12% No Thermal Stress 비율 41.88%이었다.

S2-9는 평균 UTCI 28.04℃, 평균 풍속 3.46m/s, Moderate Heat Stress 비율 81.65% No Thermal Stress 비율 18.35%로 결과 이미지는 [그림 4-14], [그림 4-15]와 같았다.

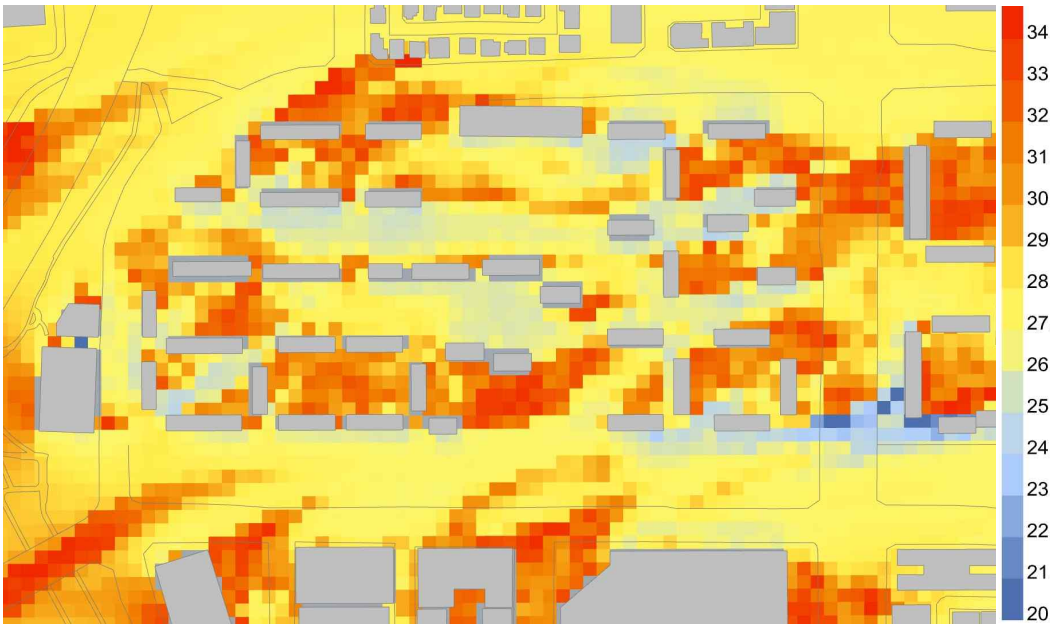
UTCI 시뮬레이션 결과 이미지를 보았을 때 주풍향 반대 방향인 동측에서 서측으로 주동을 추가하는 S2-3 시나리오는 주동의 추가 배치가 50%이상 진행되며 기존의 바람길 또한 상당수 가로막아 단지 내 환기가 어려워진 것을 확인할 수 있었다.

그럼에도 서측의 주동이 추가되지 않은 부분의 바람길은 여전히 유지되고 있으며 대부분의 No Thermal Stress 영역도 서측에 모여 있는 것을 확인할 수 있었다.

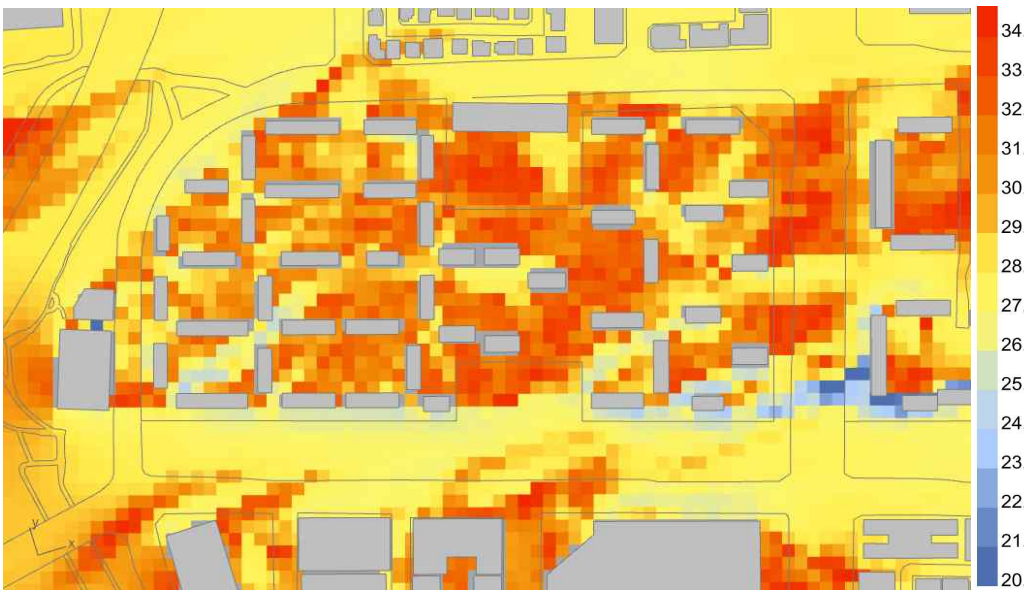
S2-9 시나리오에서는 주풍향 방향인 서측에서 동측으로 주동을 추가하면서 기존 바람길을 대부분 차단하게 되었으며 이로 인해 단지 내 바람길이 거의 사라진 것을 확인할 수 있었다.

이러한 현상과 함께 UTCI가 26℃ 이상인 Moderate Heat Stress 면적이 단지 내 81.65%를 차지하며 S2-3에 비해 열쾌적성이 상대적으로 매우 크게 악화된 것을 확인할 수 있었다.

이것은 두 시나리오의 평균 풍속을 비교했을 때 S2-9가 S2-3에 비해 1.43m/s 약하고 평균 UTCI는 1.26℃ 올라가 Moderate Heat Stress 영역 비율이 23.53% 증가한 것에서 다시 확인할 수 있으며 구체적인 바람 변화 현상의 파악을 위해 [그림 4-16],[그림 4-17]을 통해 바람 시뮬레이션의 결과를 분석하였다.

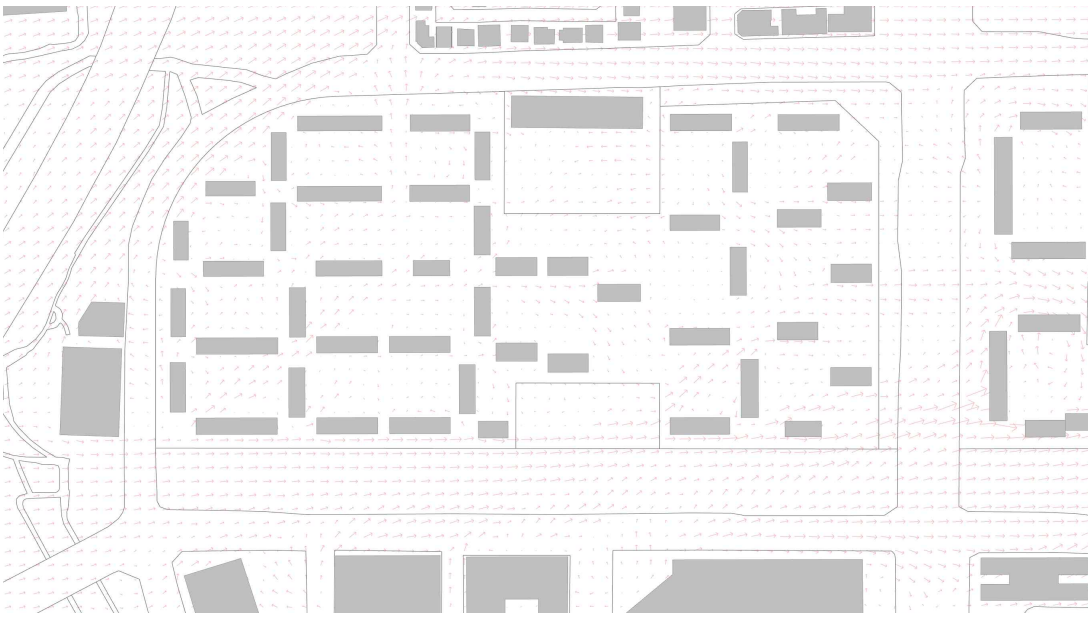


[그림 4-14] S2-3 주풍향 반대 방향 추가 배치 시나리오 UTCI 시뮬레이션 결과



[그림 4-15] S2-9 주풍향 반대 방향 추가 배치 시나리오 UTCI 시뮬레이션 결과

[그림 4-16] S2-3 주풍향 반대 방향 추가 배치 시나리오 바람 시뮬레이션 결과

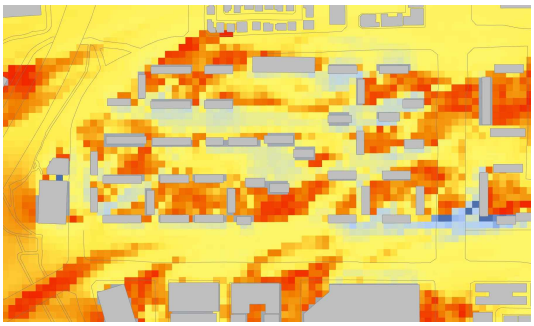
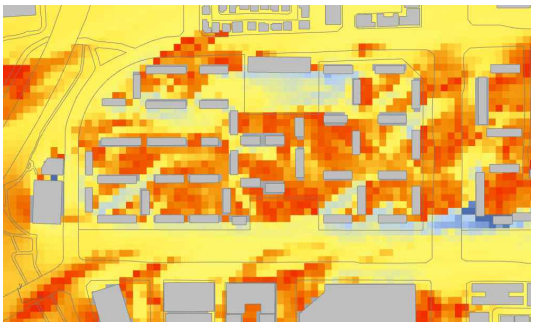
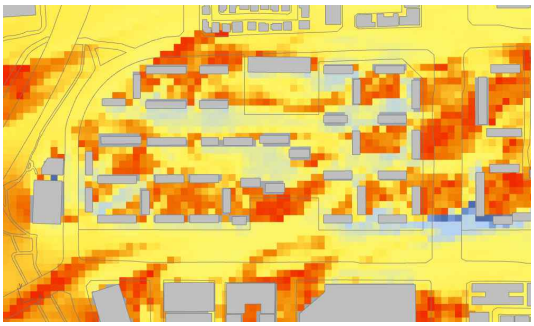
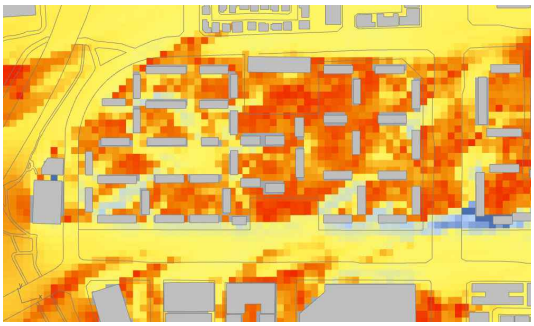
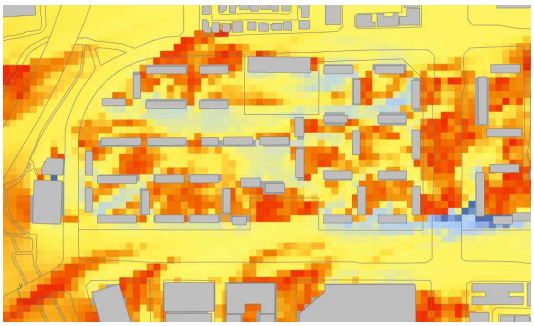
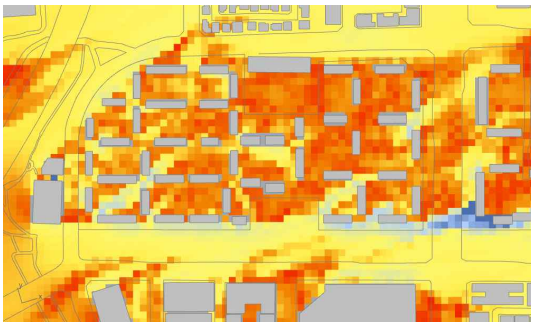


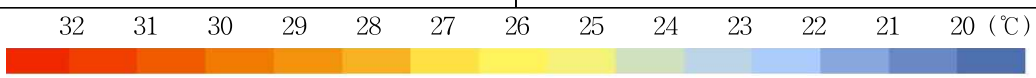
[그림 4-17] S2-9 주풍향 방향 추가 배치 시나리오 바람 시뮬레이션 결과

앞선 UTCI 시뮬레이션과 마찬가지로 차단된 바람길의 방향에 따라 바람이 1m/s 이하로 아주 약하게 부는 면적이 S2-3은 6.98% 감소, S2-9는 40.80% 증가한 것을 확인할 수 있었으며 이로 인해 Moderate Heat Stress의 영역이 S2-9에서 크게 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

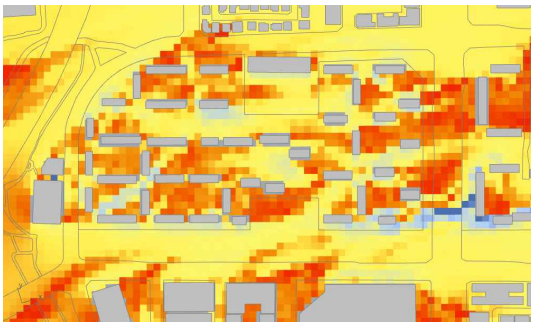
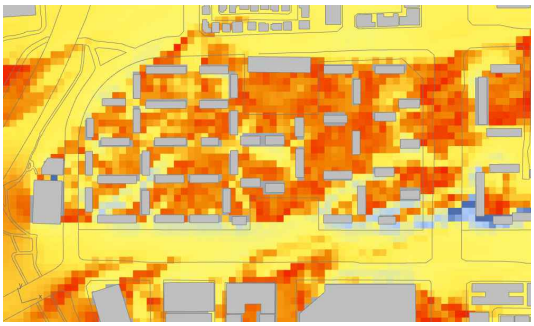
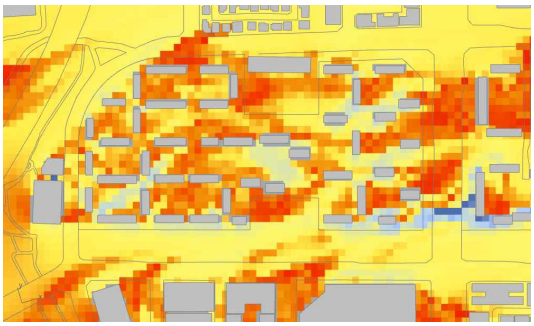
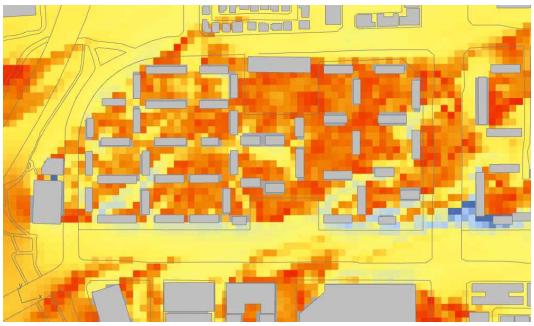
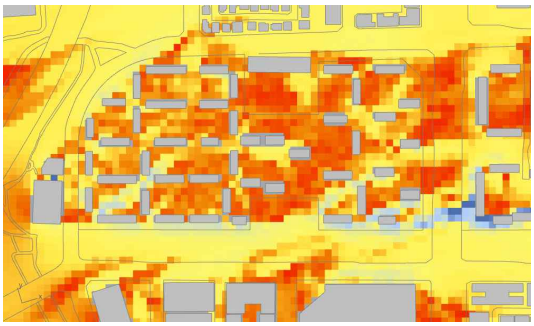
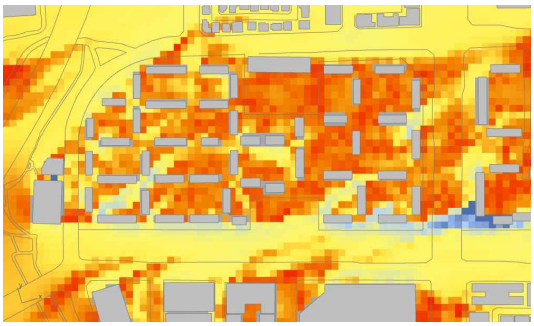
그리고 이러한 변화를 시나리오 S2-1과 S2-7의 차이와 S2-3과 S2-9의 차이를 비교하여 종합했을 때 평균 풍속 0.76m/s 감소, 평균 UTCI 0.77℃증가, Moderate Heat Stress 비율이 12.99% 증가하면서 추가 배치 방향이 주풍향을 따라 배치하여 바람길을 막을수록 열쾌적성이 크게 악화되고 주풍향의 반대 방향에서 배치할수록 열쾌적성 악화 현상이 완만하게 일어난다는 것을 확인했다.

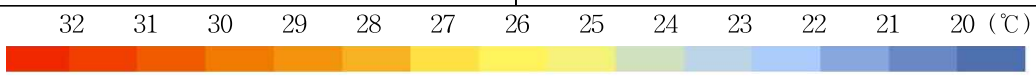
[표 4-4] 전체 주동 수 상향 따른 UTCI 분포 변화(주풍향 반대 방향 배치)

구분	
	
S2-1 시나리오	S2-4 시나리오
	
S2-2 시나리오	S2-5 시나리오
	
S2-3 시나리오	S2-6 시나리오



[표 4-5] 전체 주동 수 상향 따른 UTCI 분포 변화(주풍향 방향 배치)

구분	
	
S2-7 시나리오	S2-10 시나리오
	
S2-8 시나리오	S2-11 시나리오
	
S2-9 시나리오	S2-12 시나리오



3. 탑상형 주동 수 비율 상향 환경 시뮬레이션 결과

주동 타입의 혼합배치를 통해 열쾌적성을 확보함과 동시에 세대수의 증가로 용적률을 상향한 탑상형 주동 수 비율 상향 시나리오의 환경 시뮬레이션의 결과로는 평균 풍향으로 고려한 바람축을 따라 판상형 주동을 탑상형 주동으로 교체하여 유입된 바람이 탑상형 주동을 통해 분산되며 단지 내부로 유입되었다.

이로 인해 단지 내 풍속이 확보되고 평균 UTCI 또한 감소하는 것을 확인 할 수 있었으며 판상형 주동만 추가되었던 전체 주동 상향 시나리오와 비교해 열쾌적성 악화가 매우 완만하게 일어나며 평균 UTCI도 개선되거나 유지되는 모습을 보였다.

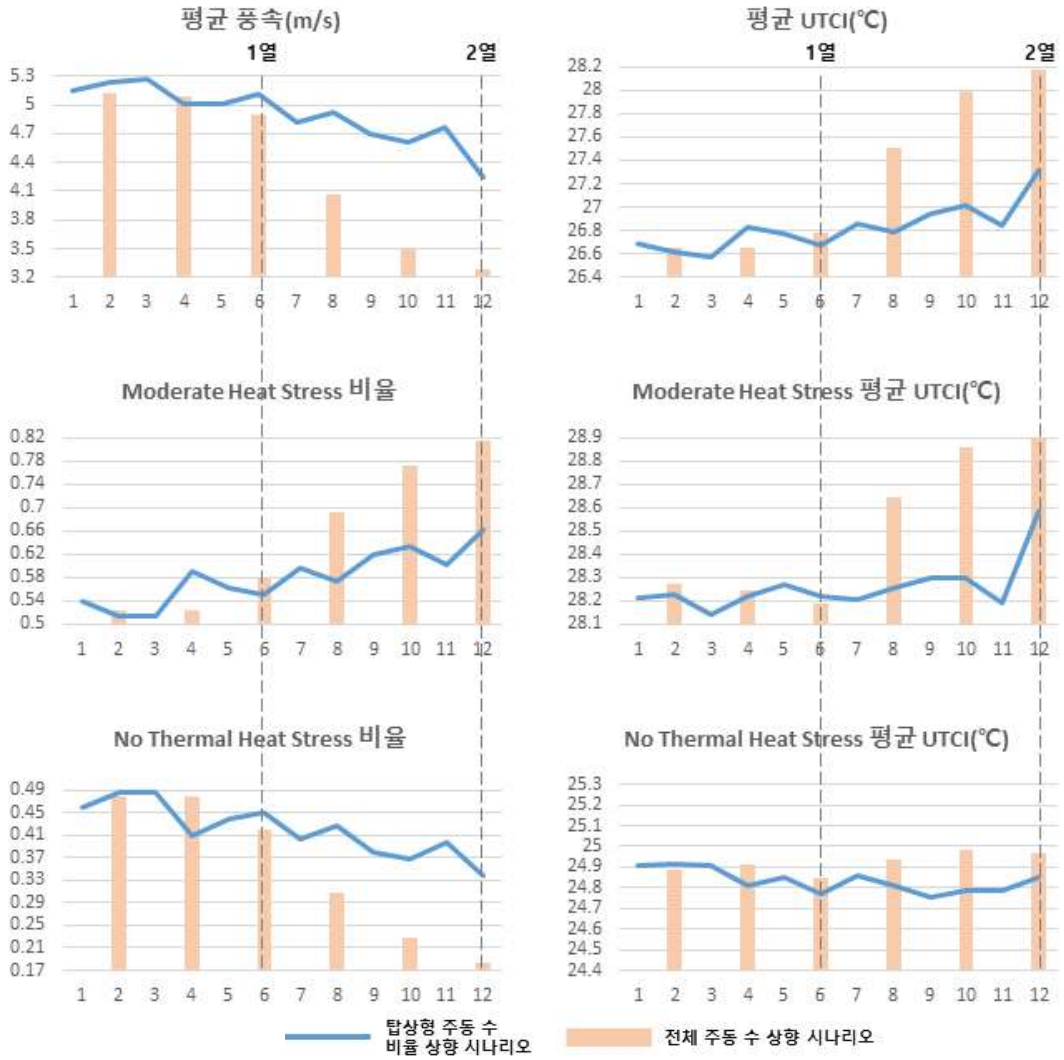
하지만 탑상형 주동이 2열 이상 배치되어 바람의 분산이 중복되어 발생하며 풍속 약화가 심해지자 평균 풍속을 크게 떨어뜨리고 개선되었던 UTCI도 증가하는 모습을 보여 적절한 가이드라인이 필요함을 확인할 수 있었다.

[표 4-6] 탑상형 주동 수 비율 상향 시나리오 환경 시뮬레이션 결과

시나리오 번호	탑상형 주동 수	용적률	평균 풍속	평균 UTCI	Moderate Heat Stress 비율	Moderate Heat Stress 평균 UTCI	No Thermal Stress 평균 UTCI
S3-1	3개(0열)	245.23%	5.16m/s	26.69℃	54.02%	28.21℃	24.91℃
S3-2	4개	249.21%	5.23m/s	26.62℃	51.43%	28.23℃	24.92℃
S3-3	5개	254.72%	5.27m/s	26.57℃	51.44%	28.14℃	24.91℃
S3-4	6개	259.40%	5.01m/s	26.82℃	59.05%	28.22℃	24.81℃
S3-5	7개	266.95%	5.02m/s	26.77℃	56.19%	28.27℃	24.85℃
S3-6	8개(1열)	271.24%	5.12m/s	26.67℃	54.99%	28.22℃	24.77℃
S3-7	9개	276.82%	4.82m/s	26.86℃	59.71%	28.20℃	24.86℃
S3-8	10개	280.99%	4.93m/s	26.78℃	57.37%	28.25℃	24.81℃
S3-9	12개	290.68%	4.70m/s	26.95℃	61.98%	28.30℃	24.76℃
S3-10	13개	294.72%	4.61m/s	27.01℃	63.32%	28.30℃	24.78℃
S3-11	14개	298.93%	4.77m/s	26.84℃	60.29%	28.19℃	24.79℃
S3-12	16개(2열)	303.68%	4.24m/s	27.32℃	66.10%	28.58℃	24.85℃

시나리오 전체 환경 시뮬레이션 결과는 [표4-6]과 같았으며 첫 번째 시나리오인 탑상형 주동이 3개 배치되었을 때 S3-1의 용적률 245.23%, 평균 풍속 5.16m/s, 평균 UTCI 26.69℃, Moderate Heat Stress 비율 54.02%, Moderate Heat Stress 평균 UTCI 28.21℃, No Thermal Stress 평균 UTCI 24.91℃이었다.

탑상형 주동이 16개 배치되어 바람길을 따라 2열 배치가 되었을 때인 S3-12 시나리오에서는 용적률 303.68%, 평균 풍속 4.24m/s, 평균 UTCI 27.32℃, Moderate Heat Stress 비율 66.10%, Moderate Heat Stress 평균 UTCI 28.58℃, No Thermal Stress 평균 UTCI 24.85℃로 변화했다.

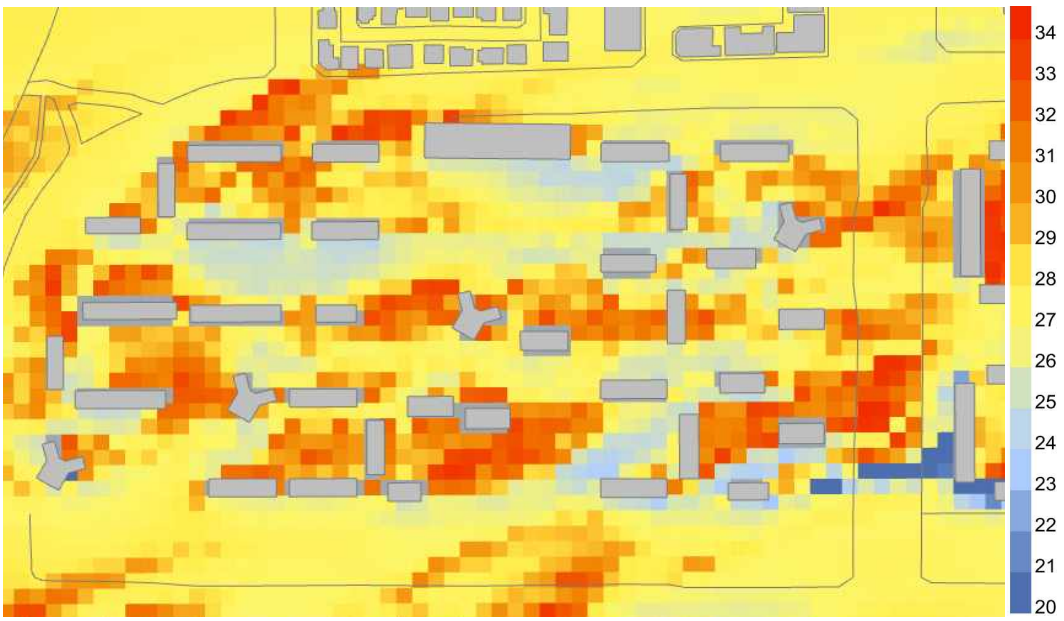


[그림 4-18] 주동 배치 추가 방향에 따른 환경 시뮬레이션 결과

이를 통해 용적률이 58.45% 증가, 평균 풍속 0.91m/s 감소, 평균 UTCI 0.62℃ 증가, Moderate Heat Stress 비율 12.09% 증가한 것을 보아 열쾌적성이 전체적으로 악화되긴 하였으나 [그림 4-9]를 보았을 때 판상형 주동이 추가되었던 두 번째 시나리오에 비해 용적률이 높음에도 열환경이 악화되는 과정이 매우 완만한 것을 확인할 수 있었다.

하지만 전체 주동 수 상향 시나리오의 판상형 주동 추가를 통한 용적률 상향의 열쾌적성이 일정한 방향으로 변화했던 것과는 다르게 탑상형 주동 수 상향 시나리오의 열쾌적성 변화 양상은 악화와 완화를 반복하였으며 0.1℃ 차이로 유지되던 Heat Stress 평균 UTCI의 경우 일정 구간 이후로는 악화되는 것을 확인할 수 있었다.

이러한 변화는 [그림4-18]의 그래프를 보았을 때 바람길을 따라 탑상형 주동이 몇 열이 배치되었는지에 따라 달라지는 것으로 판단되어 단지를 관통하며 바람길을 따라 탑상형 주동의 배치가 이루어지지 않은 0열의 S3-1, 바람길을 따라 탑상형 주동이 단지를 관통하는 1열의 S3-6, 탑상형 주동이 가장 많이 배치된 2열의 S3-12로 구분하여 세부결과를 확인하였다.



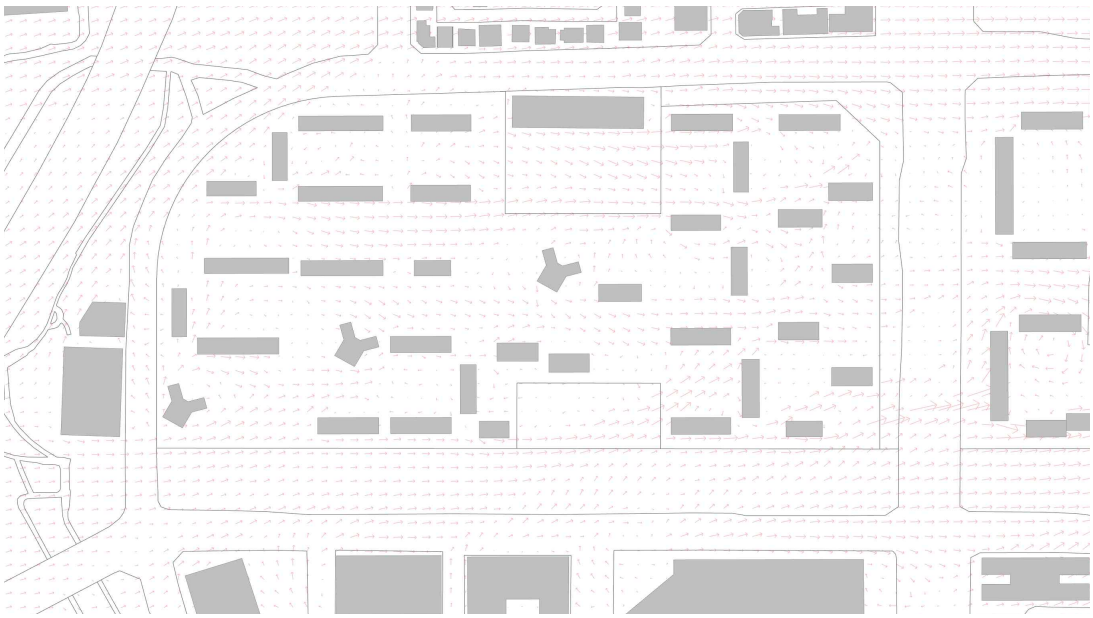
[그림 4-19] S3-1 탑상형 주동 3개 시나리오 UTCI 시뮬레이션 결과

먼저 탑상형 주동의 개수가 3개로 바람길을 따라 1열이 만들어지지 않았을 때의 S3-1 환경 시뮬레이션을 진행한 결과 평균 UTCI 26.69℃, 평균 풍속 5.16m/s, Moderate Heat Stress 비율 54.02% No Thermal Stress 비율 45.98%로 결과 이미지는 [그림 4-19]와 같았다.

UTCI 시뮬레이션 결과를 보았을 때 현황과 비교하여 S3-1 시나리오의 평균 풍속은 0.03m/s 증가, 평균 UTCI는 0.03℃ 증가로 큰 차이는 보이지 않은 것을 확인할 수 있었다.

하지만 Moderate Heat Stress의 평균 UTCI는 0.18℃ 감소하여 No Thermal Stress의 평균 UTCI와의 격차가 줄어들어 탑상형 주동의 바람 분산 효과가 예측한대로 역할을 하고 있는 것을 확인할 수 있었다.

이러한 현상이 보이는 가장 주요한 원인은 바람이 유입되는 방향에 배치된 탑상형 주동의 물리적 특성에 의해 바람골이 생성되지 않고 분산되어 단지 내부로 퍼진 것이 크지만 그만큼 분산된 바람의 풍속이 약화되었고 아직 판상형 주동으로 인한 바람의 차단이 생기는 구간이 있어 큰 효과를 보지는 못한 것으로 판단되었다.

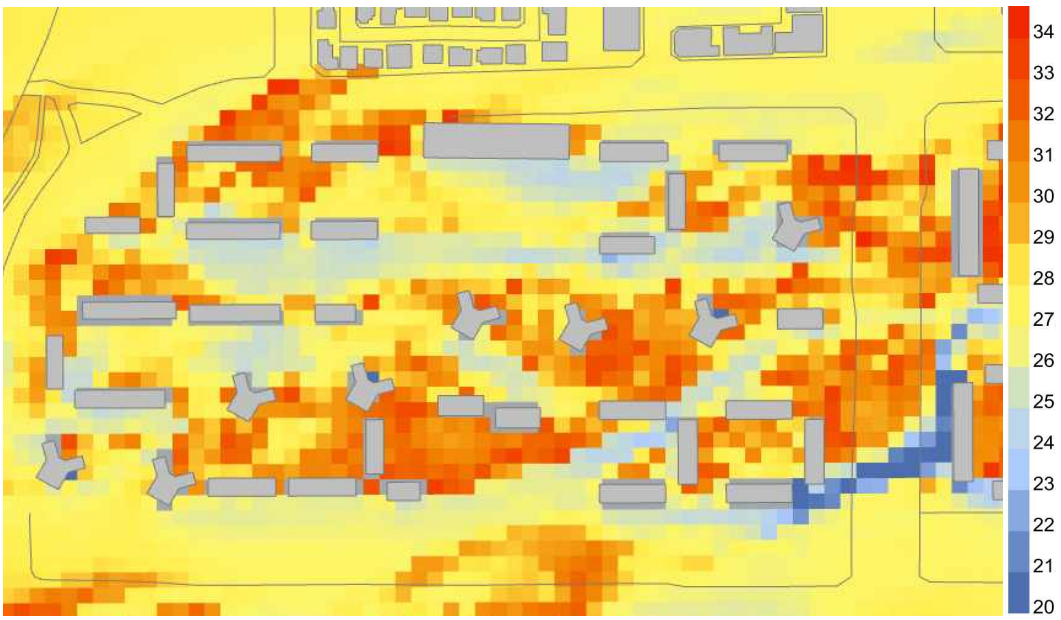


[그림 4-20] S3-1 탑상형 주동 3개 시나리오 바람 시뮬레이션 결과

이것을 확인하기 위해 [그림 4-20]과 같이 바람 시뮬레이션의 결과를 분석하였으며 탑상형 주동으로 인해 바람이 분산되어 퍼지고 있는 것을 확인할 수 있었다.

이로 인해 바람이 1m/s 이하로 부는 면적이 15.04%감소한 것을 확인할 수 있었으며 Moderate Heat Stress를 형성하던 일부 영역이 No Thermal Stress로 바뀐 것을 확인할 수 있었다.

두 번째로 탑상형 주동 개수가 8개로 바람길을 따라 단지를 관통하는 1열 배치가 만들어졌을 때인 S3-6 시나리오의 환경 시뮬레이션을 진행한 결과 평균 UTCI 26.70℃, 평균 풍속 5.12m/s, Moderate Heat Stress 비율 54.99% No Thermal Stress 비율 45.01%로 결과 이미지는 [그림 4-21]과 같았다.



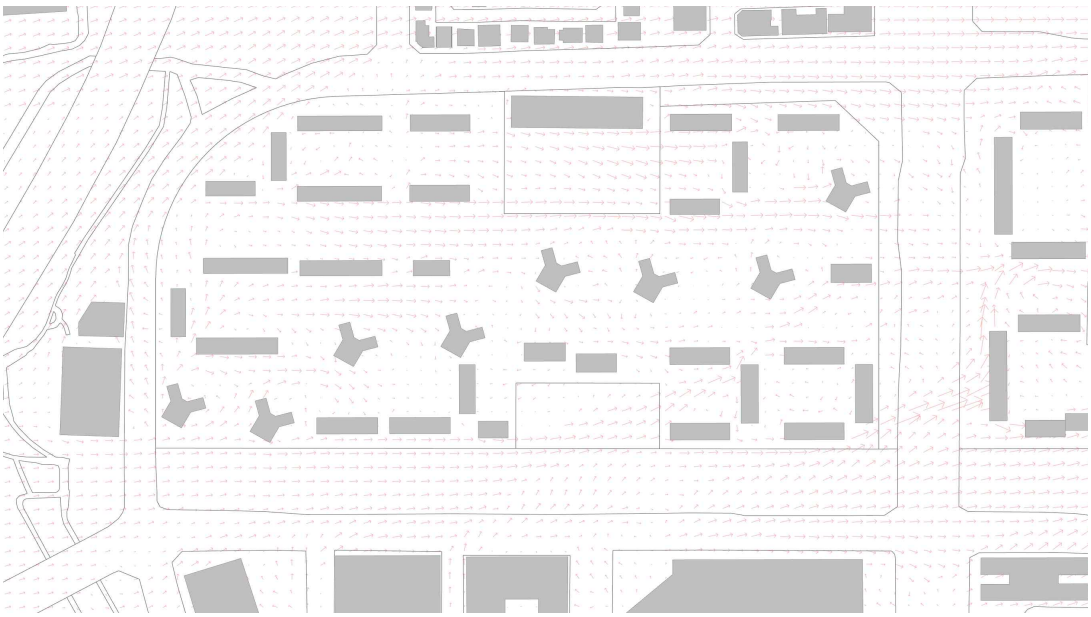
[그림 4-21] S3-6 탑상형 주동 8개 시나리오 UTCI 시뮬레이션 결과

UTCI 시뮬레이션 결과를 보았을 때 현황과 비교하여 S3-6 시나리오의 평균 풍속은 0.01m/s 감소, 평균 UTCI는 0.01℃ 증가로 용적률이 27.85% 증가했음에도 열쾌적성에는 큰 변화가 보이지 않은 것을 확인할

수 있었다.

하지만 Moderate Heat Stress의 평균 UTCI는 0.17℃ 감소하여 0.18℃ 감소한 S3-1과 거의 유사했으며 No Thermal Stress의 평균 UTCI도 0.09℃ 감소하여 용적률이 증가했음에도 S3-1과의 열쾌적에 큰 차이가 없어 탑상형 주동과 판상형 주동의 혼합배치를 이용한 용적률 상향이 열쾌적성 개선에 효과가 있다는 것을 확인할 수 있었다.

이러한 결과의 분석을 통해 탑상형 주동이 일부만 들어가는 것보단 대지를 관통하며 1열로 배치되었을 때 열쾌적성 확보에 효과적이라는 것을 확인할 수 있었으며 구체적인 바람 변화 현상의 파악을 위해 [그림 4-22]와 같이 나타난 바람 시뮬레이션의 결과에서 풍속의 변화를 분석하였다.

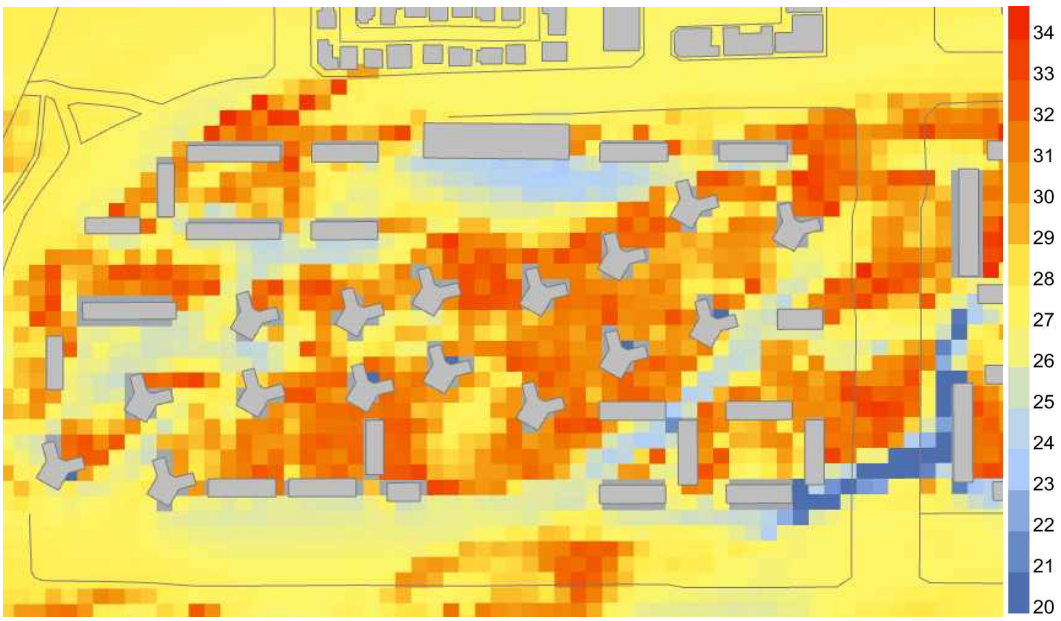


[그림 4-22] S3-6 탑상형 주동 8개 시나리오 바람 시뮬레이션 결과

유입된 바람이 탑상형 주동을 통해 분산되는 것은 S3-1과 동일하나 연속적으로 놓인 탑상형 주동들로 바람길이 분산되어 판상형 클러스터까지 바람이 전달되는 것을 확인할 수 있었으며 바람이 1m/s 이하로 부는

면적이 3.94%감소해 Moderate Heat Stress를 형성하던 일부 영역이 No Thermal Stress로 바뀌며 열쾌적성이 개선된 것을 확인할 수 있었다.

마지막으로 탑상형 주동 개수가 16개로 바람길을 따라 단지를 관통하는 2열 배치가 만들어졌을 때인 S3-12 시나리오의 환경 시뮬레이션을 진행한 결과 평균 UTCI 27.32℃, 평균 풍속 4.24m/s, Moderate Heat Stress 비율 66.10% No Thermal Stress 비율 33.90%로 결과 이미지는 [그림 4-23]과 같았다.



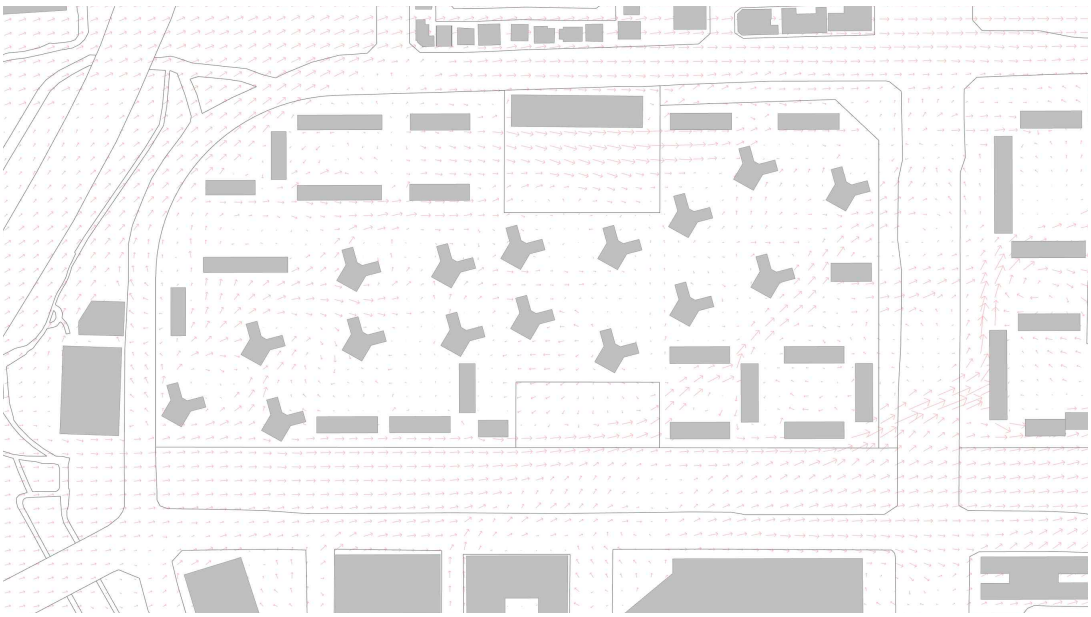
[그림 4-23] S3-12 탑상형 주동 16개 시나리오 UTCI 시뮬레이션 결과

UTCI 시뮬레이션 결과 이미지를 보았을 때 현황과 비교하여 S3-12의 평균 풍속은 0.89m/s 감소, 평균 UTCI는 0.66℃ 증가해 열쾌적성이 미미하게 악화되었으나 용적률이 60.29% 증가했음에도 용적률이 31.95% 증가했던 S2-5 시나리오에 비해 평균 풍속과 평균 UTCI의 변화량이 절반인 것을 통해 판상형 주동의 단일배치보단 탑상형 주동의 혼합배치가 열쾌적성 확보에 효과적이라는 것을 확인할 수 있었다.

하지만 탑상형 주동 수 비율 상향 시나리오 내에서만 비교했을 때 탑

상형 주동 배치가 1열이었을 때는 큰 변화 없이 유지되던 UTCI가 S3-12에서 2열 배치가 되며 크게 증가하는 것을 [그림 4-18]을 통해 확인하였으며 특히 Moderate Heat Stress 평균 UTCI에서 크게 변화였다.

또한 [그림 4-23]에서 보이는 것과 같이 Moderate Heat Stress 영역의 비율이 늘어나 현황의 49.11%에 비해 16.99%증가한 것을 확인할 수 있었으며 이러한 열쾌적성 악화가 일어난 이유로는 탑상형 주동의 과도한 배치로 분산된 바람의 풍속이 약화되며 UTCI 저감의 역할을 하지 못한 것으로 판단되어 바람 시뮬레이션을 진행하였다.

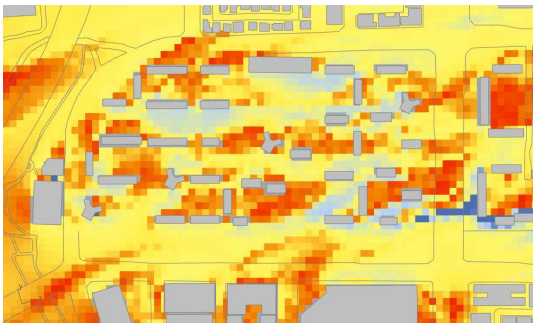
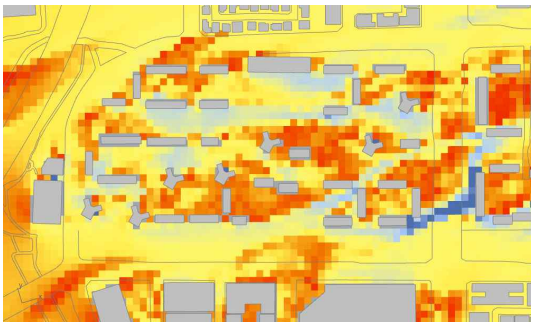
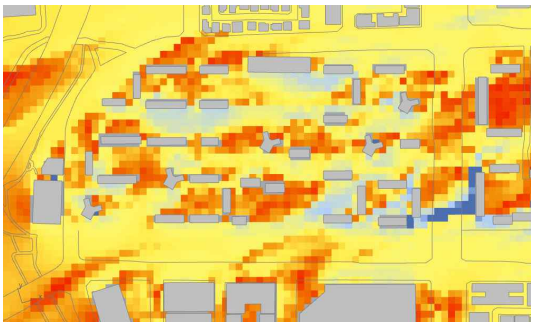
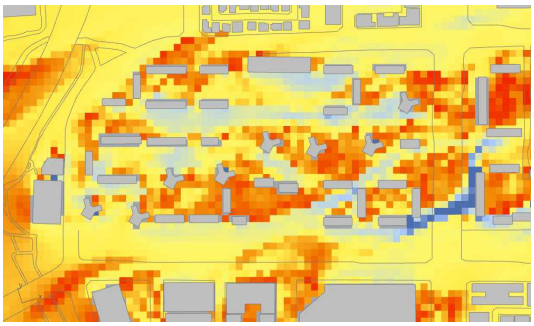
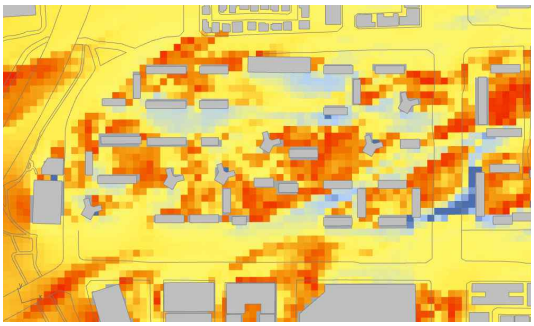
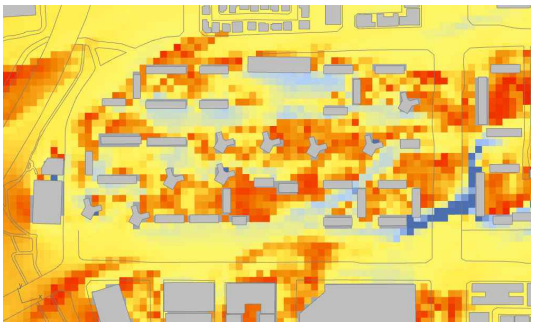


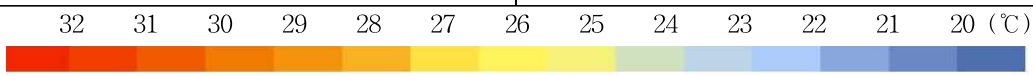
[그림 4-24] S3-12 탑상형 주동 16개 시나리오 바람 시뮬레이션 결과

바람길로 유입된 바람이 탑상형 주동을 통해 분산되는 것은 S3-6과 동일하나 S2-12에서는 2열로 배치된 탑상형 주동으로 인해 분산되며 풍속이 약해진 바람이 다시 분산이 되면서 탑상형 주동 클러스터를 중심으로 바람이 약해진 것을 확인할 수 있었다.

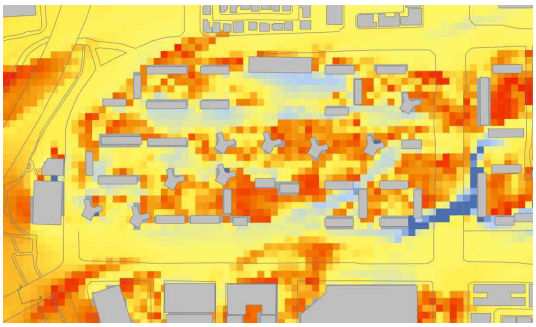
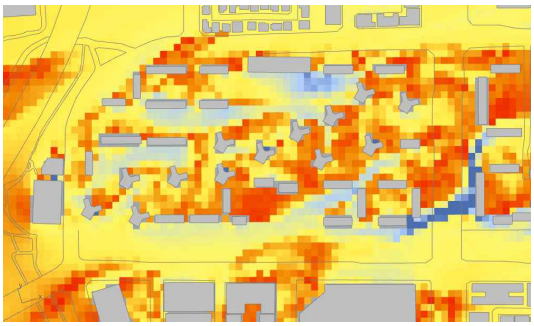
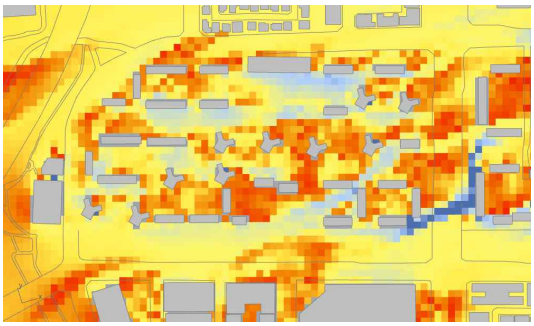
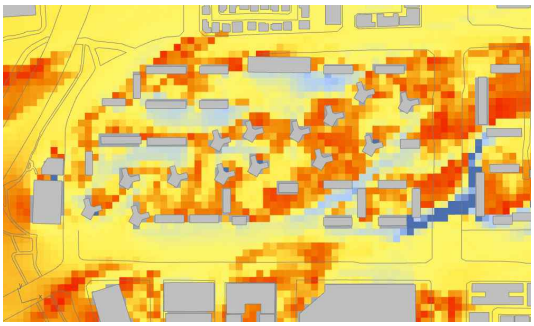
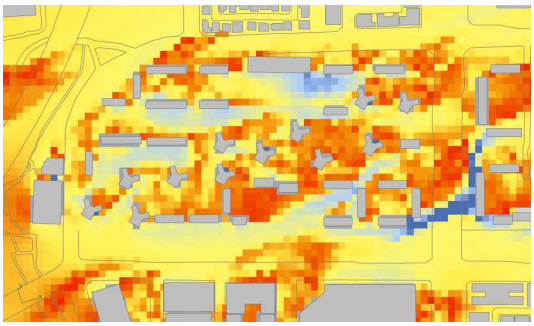
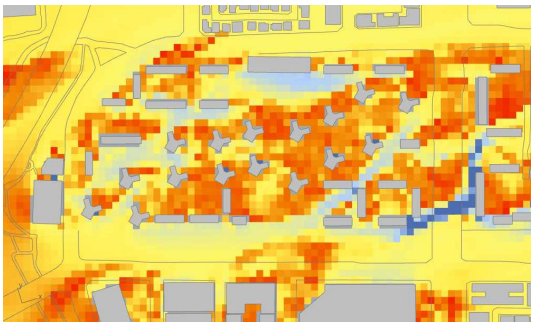
이러한 현상에 따라 바람이 1m/s 이하로 부는 면적 또한 현황에 비해 12.05% 증가해 Moderate Heat Stress 영역 비율에 영향을 준 것으로 판단된다.

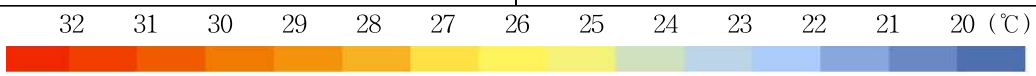
[표 4-7] 탑상형 주동 수 비율 상향에 따른 UTCI 분포 변화-1

구분	
	
S3-1 시나리오	S3-4 시나리오
	
S3-2 시나리오	S3-5 시나리오
	
S3-3 시나리오	S3-6 시나리오



[표 4-8] 탑상형 주동 수 비율 상향에 따른 UTCI 분포 변화-2

구분	
	
S3-7 시나리오	S3-10 시나리오
	
S3-8 시나리오	S3-11 시나리오
	
S3-9 시나리오	S3-12 시나리오



제 2 절 용적률 상향 환경 시뮬레이션 결과 분석

1. 열쾌적성을 개선하는 용적률 상향 방안 제시

총 세 개의 시나리오에 대한 환경 시뮬레이션을 진행한 결과 용적률 확보에 큰 영향을 미치는 건축요소가 규모의 상향에 따라 각기 다른 열쾌적성을 보인 것을 확인할 수 있었으며 그 결과는 [표 4-9]와 같다.

[표4-9] 용적률 상향 시나리오 환경 시뮬레이션 결과

구분	열쾌적성 변화 방향	변화 원인	비고
층수 상향 시나리오	개선	건축물의 규모 상향으로 골바람 강화	전체적인 열쾌적성은 개선되었으나 영역별 편차 심화
전체 주동 수 상향 시나리오	악화	추가 주동의 바람길 차단으로 풍속 약화	주동의 추가 순서 방향에 따라 열쾌적성 악화의 가속화 발생
탑상형 주동 비율 상향 시나리오	일부 개선 일부 악화	탑상형 주동의 배치를 통한 바람 분산	탑상형 주동의 2열 배치로 바람의 분산이 중복되어 일어날 시 열쾌적성 악화

층수 상향 시나리오의 경우 층수가 상향하면서 기존의 바람길을 만들던 건축물의 매스가 커져 바람을 강하게 모았으며 이로 인해 골바람이 강화되어 평균 UTCI와 Moderate Heat Stress의 비율이 감소하는 열쾌적성 개선 효과를 보였으나 판상형 주동의 중정형 클러스터 내부까지는 바람이 전달되지 않아 단지 내에서 열쾌적성의 편차가 커지는 것을 확인할 수 있었다.

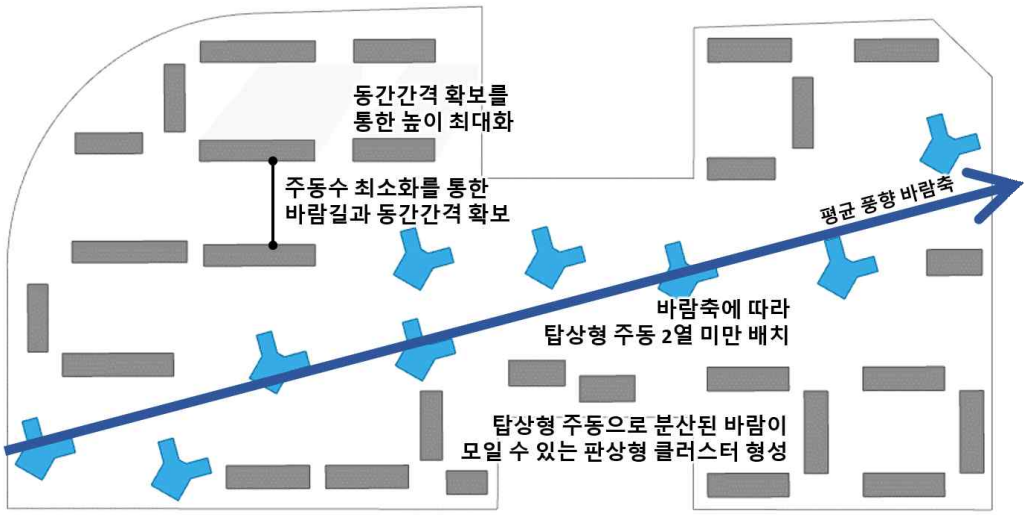
전체 주동 수 상향 시나리오에서는 기존의 판상형 주동을 추가로 배치하며 건폐율과 세대수를 늘려 용적률을 상향했으며 주풍향에 수직으로 배치되는 판상형 주동들로 인해 바람길이 차단되어 평균 UTCI와 Moderate Heat Stress의 비율이 증가하는 열쾌적성 악화 현상을 확인할 수 있었다.

하지만 주동의 추가 배치시 주풍향 방향 순으로 배치하며 바람길의

초입에서부터 바람의 유입을 막아버렸을 때가 반대 반향 순으로 배치했을 때에 비해 열쾌적성이 빠르게 악화되는 것을 확인할 수 있었기 때문에 용적률 상향 계획이 주동 배치 분포에 주의가 필요함을 확인할 수 있었다.

탑상형 주동 비율 상향 시나리오에서는 평균 풍향의 바람 축에 따라 탑상형 주동 수를 늘려가며 세대수를 늘려 용적률을 상향해도 단지를 관통하며 1열로 배치했을 때까지는 열쾌적성의 변화가 미미했으나 탑상형 주동을 2열로 배치했을 때에는 바람의 분산이 중복되어 일어나며 단지 내 평균 풍속을 크게 떨어뜨려 열쾌적성 또한 악화되는 것을 확인할 수 있었다.

이러한 각 시나리오의 환경 시뮬레이션 분석 결과 용적률 상향 계획을 진행할 때에는 높이 상향을 최대한으로 하며 주동 수 상향은 최소한으로 하여 바람길을 강화하고 탑상형 주동의 혼합배치를 통해 세대수 확보와 함께 바람을 분산시켜 단지 내 깊숙하게 유입하도록 해야 하나 탑상형 주동을 1열로 배치하여 바람의 분산이 중복적으로 일어나지 않도록 해야 한다는 것을 확인할 수 있었다.



[그림 4-25] 용적률 상향시 열쾌적성 완화 방안 다이어그램

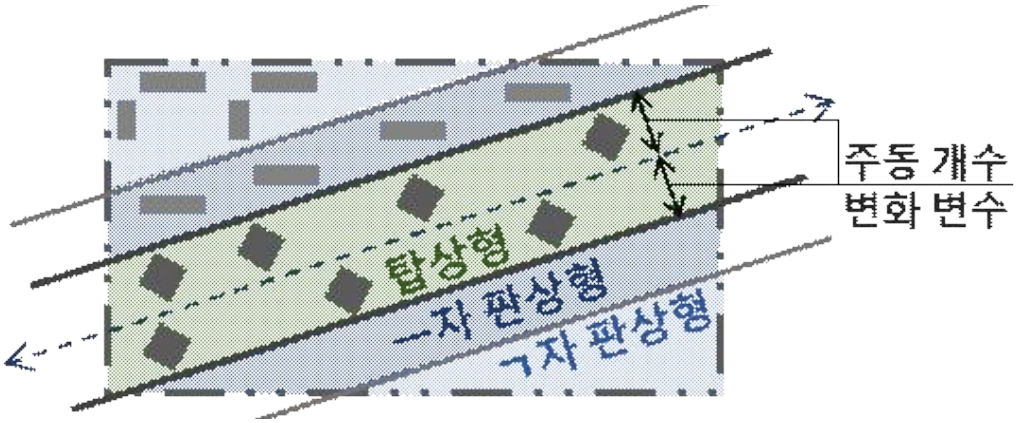
2. 설계예시안 최적화를 통한 용적률 상향 방안 검증

열쾌적성 완화를 고려한 용적률 상향 방안을 종합하여 계획했을 때의 열쾌적성 개선 성능을 검증하기 위하여 최적화 설계를 통해 설계예시안을 작성하였다.

세 시나리오에 확인한 방안을 적용하기 위해 동 수를 최소화하여 동간간격을 확보하며 판상형 주동은 최대 35층, 탑상형 주동은 최대 45층까지 가능하도록 파라미터를 설정했다.

그리고 바람축을 따라 적절한 탑상형 주동과 판상형 주동의 혼합배치를 위해 대상지의 평균 풍향인 서남서 방향으로 바람길 축을 설정하고 [그림 3-1]과 같이 세 개의 켜를 형성해 타입별 주동을 배치했다.

첫 번째 켜에서는 탑상형을 평균 풍향에 45도로 마주하도록 배치해 바람의 유입을 유도하고 두 번째 켜에서는 一자 배치의 판상형을 계획해 바람이 단지 내부까지 흘러가도록 계획, 마지막으로 가장 바깥쪽 켜에서는 바람이 순환될 수 있도록 ㄱ자 배치의 판상형을 계획했다.

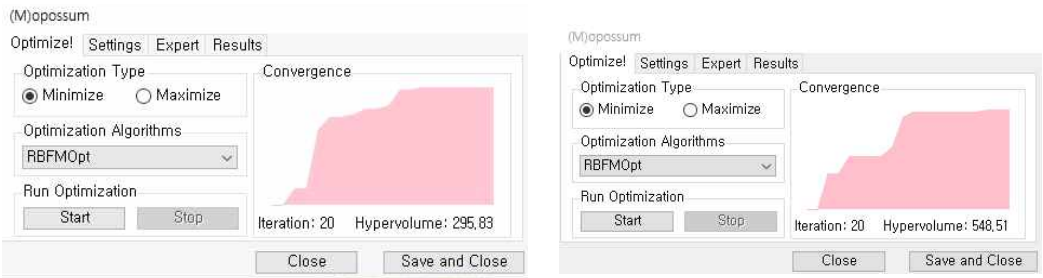


[그림 4-26] 주동 배치 영역 다이어그램

일정한 조건에서의 열환경 개선 성능 비교를 통한 최적화 설계를 위해 그리드 기반의 배치계획을 진행했으며 켜의 영역을 조절하는 파라미터와 주동의 타입별 층수를 조절하는 파라미터를 만들어 최적화 대상으로 지정하였다.

이러한 설정에 따라 Opossum 컴포넌트를 이용한 설계 최적화를 진행하였다. 여기에는 배치안의 용적률 산출값이 준주거지역의 기준 용적률인 500%에 최대한 가깝도록 하며 열쾌적성 확보에는 통풍성이 가장 중요하므로 Ladybug에서 나온 평균 풍속값이 최대가 되는 각 파라미터의 값을 찾도록 설정하였다.

최적화 횟수는 변수값이 최적값에 수렴하고 있는 정도를 그래프로 나타내주는 Convergence 그래프의 확인을 통해 용적률 300%를 목표로 할 때와 용적률 500%를 목표로 할 때 모두 20회에서 더 이상 수렴도의 큰 변화가 없음을 확인하였다.



[그림 4-27] 용적률 300%와 500%의 최적화 20회 진행시 Convergence 그래프

이렇게 진행한 최적화로 나온 결과를 아래의 식에 적용하여 산출한 평가점수 확인했을 때 [표 4-10]과 같은 결과를 확인하였다.

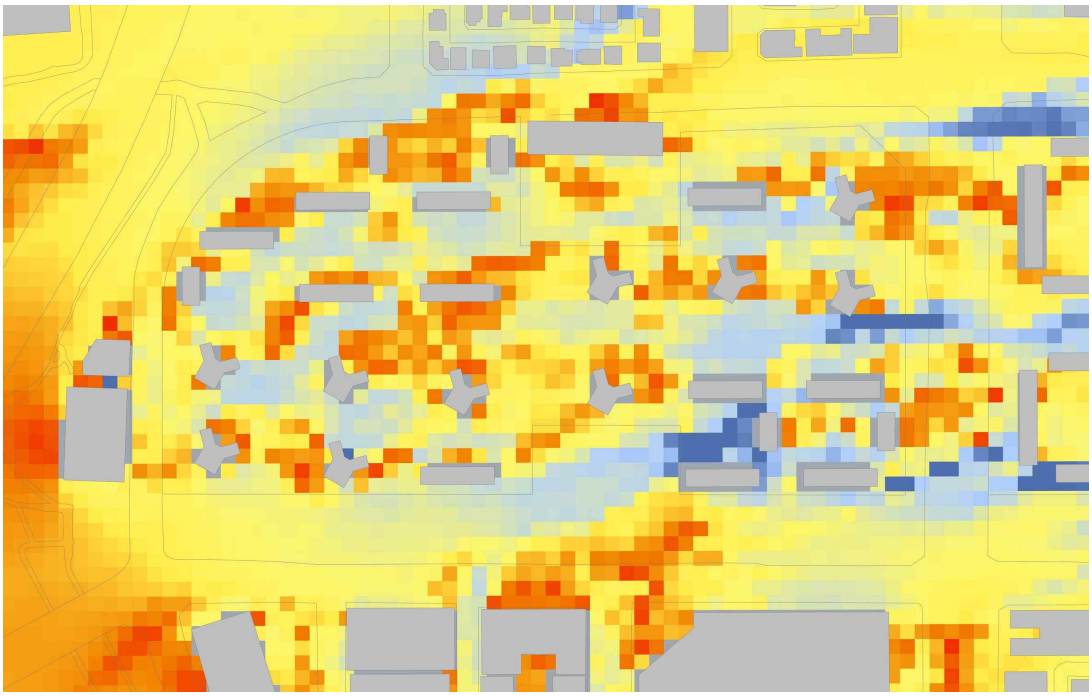
$$\hat{y} = x_{FAR} + 100x_{Average\,WindSpeed}$$

평가점수 1174점으로 최고 점수가 나온 파라미터 값의 탑상형 주동은 바람축으로부터 48m 떨어진 영역에 1열로 10개 배치되었으며 탑상형 층수 45층, 판상형 층수 35층으로 용적률 492.96%, 평균 UTCI 26.60℃, 평균 풍속 6.81m/s의 결과를 확인할 수 있었으며 UTCI 시뮬레이션의 분포는 [그림 4-29]와 같았다.

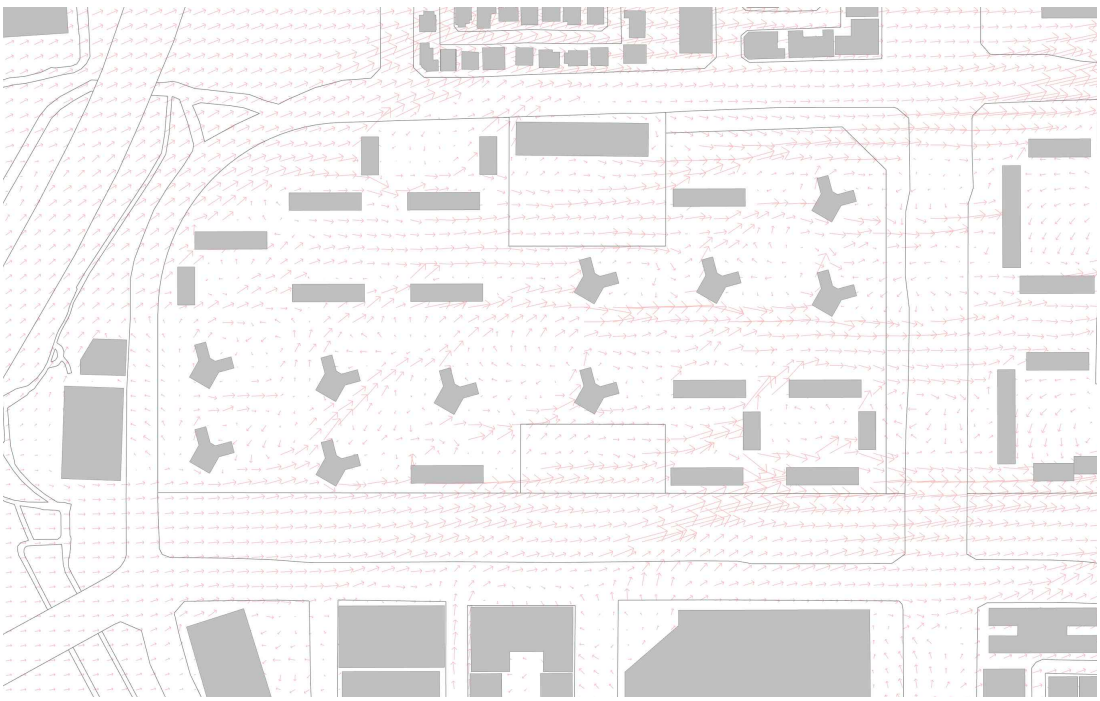
[표 4-10] 설계예시안 용적률 500% 최적화 결과

용적률 (%)	평균풍속 (m/s)	영역 (m)	판상층수 (층)	탑상층수 (층)	평가 점수
222.08	4.71	80.0	15	24	693.18
237.81	4.83	67.7	18	24	720.68
284.56	5.22	36.4	28	24	806.65
296.50	5.12	77.4	33	27	808.86
289.13	5.55	51.0	35	25	843.96
333.17	5.69	55.0	25	34	902.61
333.17	5.69	55.0	25	34	902.61
333.17	5.69	55.0	25	34	902.61
267.99	6.63	30.2	17	41	931.03
340.53	5.91	74.2	15	45	931.41
336.94	6.16	60.9	16	45	953.25
293.33	6.74	46.7	15	45	967.46
397.66	6.17	32.8	30	40	1014.89
448.08	5.71	68.9	35	45	1018.90
451.28	6.21	59.2	35	45	1072.35
445.67	6.36	33.3	34	44	1081.67
452.88	6.30	49.3	35	45	1082.71

[그림 4-28] 기준 용적률 500% 설계예시안 배치



[그림 4-29] 기준용적률 500% 설계예시안 UTCI 시뮬레이션 결과



[그림 4-30] 기준용적률 500% 설계예시안 바람 시뮬레이션 결과

그리고 기준 용적률 250% 설계예시안과 기준 용적률 500% 설계예시안의 환경 시뮬레이션 결과를 이용해 용적률과 열환경을 동시에 고려한 평가점수의 회귀분석을 진행하였으며 이를 통해 어떤 변수가 가장 열쾌적성 개선에 큰 영향을 미쳤는지 확인했다.

시나리오 최적화를 통해 도출한 기준용적률 250% 설계예시안과 기준용적률 500% 설계예시안의 비교분석으로 용적률을 최대한 확보하여 사업성을 고려하며 열쾌적성을 확보할 수 있는 평가점수를 통한 분석을 위해 용적률, UTCI, 풍속을 모두 고려하여 다음과 같은 식을 만들었다.

$$\hat{y} = x_{FAR} + 100x_{Average\,WindSpeed} - x_{Average\,UTCI}$$

열쾌적성 완화에 큰 영향을 미치는 풍속과 예상 체감온도인 UTCI를 함께 고려해 용적률의 구성요소가 열환경에 미치는 영향에 대한 평가점수로의 당위성을 추가확보 하였으며 이것을 이용하여 요인 실험설계를 위해 [표 4-3]과 같이 실험을 계획하여 회귀분석을 진행했다.

인자	수준
건축면적	12,573㎡(-), 13,049㎡(+)
탑상형 주동 층수	26층(-), 45층(+)
판상형 주동 층수	18층(-), 35층(+)

실험 번호	건축 면적	탑상 층수	판상 층수	용적률	평균 풍속	평균 UTCI	평가 점수
1	12,573㎡(-),	45층(+)	35층(+)	452.88%	6.29m/s	26.69℃	1055.19
2	13,049㎡(+)	45층(+)	35층(+)	457.67%	6.23m/s	26.81℃	1053.86
3	12,573㎡(-),	26층(-)	35층(+)	300.69%	5.58m/s	26.31℃	832.38
4	13,049㎡(+)	26층(-)	35층(+)	312.06%	5.72m/s	26.16℃	857.90
5	12,573㎡(-),	45층(+)	18층(-)	325.28%	6.49m/s	25.89℃	948.39
6	13,049㎡(+)	45층(+)	18층(-)	301.93%	6.41m/s	25.94℃	916.99
7	12,573㎡(-),	26층(-)	18층(-)	248.15%	5.49m/s	26.51℃	770.64
8	13,049㎡(+)	26층(-)	18층(-)	243.60%	5.11m/s	26.81℃	727.79

[표 4-11] 완전 요인 실험 계획

3. 회귀분석을 통한 상관관계 분석

회귀분석 결과 탑상형 주동 층수와 판상형 주동 층수의 계수가 각각 98.215, 54.440으로 평가점수에 가장 큰 양의 관계를 가지고 있었으며 건축면적은 평가점수에 대해 음의 관계를 가진 것을 알 수 있었다.

둘 이상의 요소에 대한 관계에서도 두 타입의 층수를 같이 고려했을 때의 상관관계가 가장 큰 것을 확인할 수 있었으며 평가점수를 산출하는 용적률 구성 요소들의 다음과 같은 모형식을 도출하였다.

x_A = 건축면적 x_T = 탑상주동층수 x_P = 판상주동층수

$$\hat{y} = 895.392 - 6.258x_A + 98.215x_T + 54.440x_P - 1.925x_{AT} + 12.305x_{TP} + 6.477x_{RA} - 4.788x_{ATP}$$

즉, 주동 타입의 혼합배치와 함께 건축면적은 가능한 늘리지 않으면서 층수를 높이는 방향으로 용적률 상향이 이루어져야 열쾌적성을 유지하거나 개선할 수 있는 것을 알 수 있었다.

이러한 결과는 주동수를 최소화하고 상대적으로 건축면적이 작은 탑상형 주동의 수를 확보하며 층수를 최대화하는 열쾌적성을 완화하는 용적률 상향 방안의 방향과도 일치하는 것을 확인할 수 있었다.

제 5 장 결론

제 1 절 연구의 결론

본 연구는 용적률 상향 정책과 기후변화로 악화되어가는 도시의 열쾌적성에 대응하여 높은 용적률로 고밀화 되는 주택단지의 쾌적한 열환경을 확보하기 위한 건축물 배치 방안에 대해 연구하고자 했다.

열쾌적성 개선을 위해 많은 선행연구가 이루어져 왔지만 대다수의 연구에선 용적률 250% 이하의 주택단지를 대상으로 한정되어 있어 노후도시 특별법과 같이 기준용적률 확대에 대한 대응은 부족한 상황이다.

또한 용적률 상향시 열쾌적성 악화는 당연한 것으로 인식되어 왔으나 선행연구를 진행했을 때 건물의 형태에 따라 통풍성이 확보된다면 용적률이 올라가도 열쾌적성을 완화할 수 있다는 가설을 세울 수 있었다.

이에 용적률 구성에 가장 큰 영향을 미치는 건축요소들을 분석하고 각 건축요소 별로 규모가 상향될 때 열쾌적성이 어떻게 변화하는지 확인해 기준용적률이 500%까지 상향할 때의 열쾌적성을 확보하기 위한 건축물 배치 방안을 제시하였다.

먼저 선행연구를 진행해 용적률 확보에 가장 큰 영향을 미치는 건축요소가 층수와 세대밀도 인 것을 확인했으며 이를 기반으로 용적률 상향 시나리오를 분석하기 위해 층수 상향 시나리오, 전체 주동 수 상향 시나리오, 탑상형 주동 수 비율 상향 시나리오의 세 시나리오를 설정했다.

각 시나리오의 환경 시뮬레이션 결과는 다음과 같았다.

첫 번째, 층수 상향 시나리오에서는 현황에서 동간간격을 고려해 15층부터 최대 30층까지 1층씩 증가하는 시나리오의 환경 시뮬레이션을 진행하였다.

시뮬레이션 결과를 분석했을 때 층수가 올라갈수록 바람길을 만들던

건물의 규모가 커지며 바람을 더욱 강하게 모아 기존의 바람길의 풍속이 올라가며 단지의 열쾌적성이 개선되는 것을 확인할 수 있었다.

하지만 이렇게 만들어진 골바람은 판상형 주동의 클러스터 안쪽까지 바람을 유입시키지 못해 영역간의 열쾌적성 편차가 커져 바람을 분산시켜 단지 깊숙이 유입시킬 수 있는 배치의 고려가 필요했다.

두 번째, 전체 주동 수 상향 시나리오에서는 현황에서 가장 주된 세대수를 이루는 전용면적 84㎡의 판상형 주동을 추가하며 용적률이 5~6%씩 오르도록 시나리오를 설정하였으며 주동 배치 순서를 주풍향 방향으로 진행한 시나리오와 주풍향 방대 방향으로 진행한 시나리오 구분하여 환경 시뮬레이션을 진행했다.

시뮬레이션 결과를 분석했을 때 주풍향 방향 순서로 주동 수를 상향했을 때는 기존의 바람길을 초입에서 차단하기 시작하며 열쾌적성이 빠르게 악화되는 것을 확인할 수 있었으며 주풍향 반대 방향 순서로 주동수를 상향했을 때는 주풍향 방향 순서로 주동수를 상향했을 때에 비해서는 완만한 열쾌적성 악화가 이루어지는 것을 확인할 수 있었다.

두 시나리오 모두 최종 시나리오의 열환경은 동일하였으나 용적률 상향 과정에 있어서 다른 양상을 보인만큼 주풍향을 고려한 판상형 주동주의 상향 배치의 고려가 필요했다.

세 번째, 탑상형 주동 수 비율 상향 시나리오에서는 평균 풍향을 따라 바람축을 지정해 현황에서 판상형 주동을 지우고 탑상형 주동을 1개씩 늘려가는 시나리오의 환경 시뮬레이션을 진행했다.

시뮬레이션 결과를 분석했을 때 탑상형 주동이 바람축을 따라 열을 만들지 못했을 때, 1열을 만들 때, 2열을 만들었을 때로 구분하여 열쾌적성의 변화 양상이 달랐으며 열을 만들지 못했을 때의 평균 풍속은 0.03m/s 감소, 평균 UTCI는 0.03℃ 감소로 변화가 미미하였으며 Moderate Heat Stress의 평균 UTCI는 0.18℃ 감소하여 약간의 열쾌적성 개선 효과가 있는 것을 확인할 수 있었다.

탑상형 주동이 1열을 만들어 단지를 관통하며 배치되었을 때의 평균 풍속은 0.01m/s 감소, 평균 UTCI는 0.01℃ 증가로 변화가 미미하였으며

Moderate Heat Stress의 평균 UTCI는 0.17℃ 감소하여 현황에 비해 용적률이 27.85% 증가했음에도 약간의 열쾌적성 개선 효과가 있는 것을 확인할 수 있었다.

이러한 현상은 1열로 배치된 주동들이 바람축으로 유입된 바람을 분산시켜 판상형 주동 클러스터까지 전달하며 단지 내 전반적인 UTCI 저감 효과를 가져온 것으로 판단되었다.

하지만 탑상형 주동이 2열을 만들었을 때는 현황과 비교해 평균 풍속 0.89m/s 감소, 평균 UTCI 0.66℃ 증가로 1열일 때와 비교했을 때 높은 열쾌적성 악화를 확인할 수 있었다.

이러한 현상은 탑상형 주동이 2열이 되며 바람 분산이 중복으로 일어나며 풍속이 과도하게 약해져 온도 저감 성능을 확보하지 못한 것이 원인인 것으로 판단되며 이에 따라 탑상형 주동과 판상형 주동의 혼합배치에는 탑상형 주동의 1열 배치를 통해 적절한 바람 유도의 방안이 필요한 것을 확인할 수 있었다.

[표 5-1] 용적률 상향 시나리오 분석 결과

구분	결과	단점
층수 상향 시나리오	상향될수록 바람길의 풍속 확보로 열쾌적성 개선	중정형 클러스터와의 열쾌적성 편차 심화
전체 주동 수 상향 시나리오	상향될수록 바람길 차단으로 통풍성을 저해해 열쾌적성 악화	추가 배치 순서 방향에 따라 악화 가속도 상이
탑상형 주동 비율 상향 시나리오	탑상형 주동이 1열에 가까울수록 통풍성의 강화로 열쾌적성 개선	탑상형 주동이 2열에 가까울수록 바람의 분산 중복으로 열쾌적성 악화

이와 같은 분석을 종합했을 때 층수는 높을수록 바람길의 풍속 확보로 열쾌적성이 개선에 효과적이나 확보된 풍속이 고르게 퍼질 수 있는 배치가 필요하며 주동 수는 많을수록 통풍성을 저해하기 때문에 열쾌적성을 악화하며 주동이 바람길을 초입부터 가로막지 않는 배치가 주요함을 알 수 있었다.

마지막으로 탑상형 주동 수 비율 상향 시나리오에서는 판상형 주동과 탑상형 주동의 혼합배치가 열쾌적성 개선에 효과적인 것을 확인할 수 있었으나 탑상형 주동이 1열일 때 가장 효과적으로 바람을 분산시켜 단지 깊숙하게 바람의 유입을 유도하였으며 2열일 때는 바람 분산의 중복으로 열쾌적성 개선 효과가 크게 떨어지는 것을 확인할 수 있었다.

이러한 결과를 보았을 때 용적률 상향에 있어서 열쾌적성을 확보하기 위해서는 주동 수를 최소한으로 하고 층수는 최대한으로 하며 탑상형 주동의 수를 1열로 단지를 관통하는 배치가 나오는 수에 최대한 가깝게 하여 층수와 세대수 상향을 진행하는 것이 효과적이라는 결론을 내릴 수 있었다.

결론의 열쾌적성 완화 방안에 따라 용적률 상향과 열쾌적성 확보를 동시에 이루는 설계예시안을 작성했다. 작성 방법은 “노후계획도시 정비 및 지원에 관한 특별법”에 따라 대상지가 종상향으로 기준 용적률이 500%까지 상향되었을 때의 최적화설계를 통해 진행하였다.

설계예시안의 환경 시뮬레이션 결과로는 용적률 492.96%에 으로 열쾌적성이 개선된 것을 확인하였으며 이를 통해 연구의 결론으로 확인한 열쾌적성 완화 방안의 개선 성능을 검증할 수 있었다.

이러한 연구에 따라 어떤 건축요소로 어떻게 용적률을 확보했을 때 열쾌적성을 개선할 수 있는지에 대해 알 수 있었으며 건축요소들의 규모가 상향될 때 항상 열쾌적성을 악화하는 것이 아닌 조건에 따라 상반되는 결과의 현상들을 시나리오 분석을 통해 관찰할 수 있었다.

이것을 기반으로 각 건축요소의 규모를 상향 할 때 열쾌적성에 어떻게 영향을 미치는지 확인할 수 있었으며 설계예시안을 통해 기준용적률 500%의 준주거지역과 같은 높은 기준용적률에 적용하기 위한 건축물 배치 방안을 제시했다는 것에 연구의 의미가 있다.

제 2 절 연구의 의의 및 한계

연구의 의의는 용적률 확보에 가장 큰 영향을 미치는 건축요소인 층수와 주동 수, 탑상형 주동 수 비율의 상향 시나리오에 대한 환경 시뮬레이션을 진행하여 정량적 분석을 통해 각 요소별로 외부공간의 열쾌적성을 어떻게 변화시키는지 확인하여 주택단지에서 용적률 상향 배치계획 시 열쾌적성 확보를 위한 디자인 방안을 제시하는 것에 있다.

그리고 이러한 디자인 방안 기반의 설계예시안에 환경 시뮬레이션을 통한 열쾌적선 개선 성능을 보았을 때 용적률 상향 정책으로 인해 도시 고밀화가 일어나더라도 적절한 가이드라인이 제시되었을 때 열쾌적성을 개선할 수 있으므로 구체적인 디자인 가이드라인에 대한 연구가 필요하다는 것을 검증했다는 점에 의의가 있다.

연구의 한계는 시나리오를 설정하는 것에 있어서 용적률의 비교를 위해 주택단지의 물리적 특성에만 집중하여 시뮬레이션을 진행했기 때문에 알베도, 창면적비, 수목 배치 등의 세부적인 요소들이 함께 고려되었을 때에 대한 연구가 부족했다는 점이 있다.

이런 이유로 단지설계를 할 때 본 연구의 Grasshopper만 가지고 배치 계획 전체를 진행하는 것은 어려움이 있지만 설계 과정에서 환경 시뮬레이션 기반의 디자인 결정에 큰 도움을 줄 수 있는 도구임을 밝힌다.

마지막으로 연구 결과의 디자인 방안을 가지고 세부적인 용적률 상향 디자인 가이드라인 제시까지 이어지지는 못했다는 점에서 이후의 추가적인 연구가 필요하다는 한계점이 있었다.

참 고 문 헌

1. 국내 참고문헌

-강전훈, 2022, 공동주택단지 설계요소 적용유형에 따른 열환경 변화 CFD시뮬레이션 분석

-장예나 이건원, 2021, 공동주택 주동 형상 및 배치에 따른 열환경 영향 분석

-문현빈, 2020, 공동주택 단지의 구성요소와 입체적 형태가 계절별 지표 온도에 미치는 영향에 관한 연구

-김환성, 2020, 공동주택단지의 물리적 배치변경이 도시 열쾌적성에 미치는 영향

-김환성, 2020, 공동주택단지의 물리적 배치변경이 외부환기성능과 열쾌적성에 미치는 영향

-김권 엄정희, 2019, 열환경 관련 법・제도의 현황 및 시사점

-박재민, 2017, 다세대·다가구 우세지역과 아파트 우세지역의 건폐율과용적률이 열섬효과에 미치는 영향분석 - 서울시 AWS지점을 중심으로

-정다인, 2016, 현장측정과 미기상모델링을 활용한 옥외공간의 열쾌적성 비교

-정숙진, 2016, 공동주택 단지계획 설계요소의 일조환경 및 옥외 열환경 영향에 관한 연구

-정숙진, 2015, 판상형 공동주택의 건폐율 및 용적률이 일조 · 옥외열환경에 미치는 영향 분석

-오규식, 2013, 수도권 시도시의 열쾌적성 평가

-배웅규 윤기학, 2012, 공동주택 단지에 적용된 주거군의 유형분석을 통한 열섬현상 완화 설계방향 연구

-류지원, 2011, 공동주택 건축물 층수완화에 따른 열환경 평가에 관한 연구

-이정아 정대영 전진형 이사문 송영배, 2010, 공간 구조별 열쾌적성 평

가와 열환경 개선방안
-여인애 카마타요코 이정재 윤성환, 2009, 건물군 조건이 도시 열환경에 미치는 영향에 관한 정량적 검토
-오규식 서안선 정승현, 2009, 열환경 향상을 위한 아파트 주동배치계획
-윤성환 정선영, 2009, 공동주택의 주동형상 및 배치유형에 따른 여름철 옥외 열환경 예측 평가
-정선영, 2008, 아파트 주동형상에 따른 옥외 열쾌적성 및 열섬잠재성 예측평가
-정창무, 2008, 용적률에 따른 주거환경 및 가치 비교
-이강국 홍원화, 2008, 도시 열환경 유형 분석 및 완화방안에 관한 연구
-유기정, 2008, 바람길 계획을 통한 도시 열섬 현상 완화에 관한 연구
-서응철, 2007, 도시열섬 완화를 위한 제도개선
-이은주, 2006, 도시공간 구성요소와 도시 열섬현상과의 관련성 연구 : 서울 사례지역을 중심으로
-오규식 홍재주, 2005, 도시공간 구성요소와 도시 열섬현상의 관련성 연구
-정명국 박환용, 2001, 최대용적률 구현을 위한 공동주택단지 특성분석
-최장순 최찬환, 1995, 고층아파트 주거밀도에 관한 건축계획적 연구

2. 국외 참고문헌

-Gukhwa Jang, 2022, Planning scenarios and microclimatic effects
-Evelina Keibach and Homeira Shayesteh, 2022, BIM for Landscape Design Improving Climate Adaptat : The Evaluation of Software Tools Based on the ISO 25010 Standard
-Thomas Wortmann, 2021, Optimizing solar access and density in Tel Aviv: Benchmarking multiobjective optimization algorithms
-Ran Zhang, 2020, Aerodynamic Shape Optimization for High-Rise Conceptual Design : Integrating and Validating Parametric Design, (Fast) Fluid Dynamics, Structural Analysis and Optimization

-Thomas Wortmann, 2020, Multi-objective Optimization for Zero-Energy Urban
-Kimberley Adameka, 2017, Pedestrian Level Wind Assessment through City Development A Study of the Financial District in Toronto
-Na Su, 2016, Study on the Application of Ventilation Corridor Planning in Urban New Area -A Case Study of Xixian New Area
-Paul Coseoa, 2015, Cooling the Heat Island in Compact Urban Environments
-Bo Hong, Boroong Lin, 2014, Numerical studies of the outdoor wind environment and thermal comfort at pedestrian level in housing blocks with different building layout patterns and trees arrangement
-L.Fleerekoper M.Taleghani M.Tenpierik, 2014, Outdoor thermal comfort within five diffrenet urban forms in the netherlands
-Hyungkyoo Kim, 2014, Urban Form, Wind, Comfort, and Sustainability - The San Francisco Experience

3. 기타 참고자료

-서울특별시, 2022, 2040 서울도시기본계획
-도시계획국, 2021, 기후변화 대응 도시계획 및 공간관리 추진계획
-한국국토정보공사, 2020, LX가 그리는 상쾌한 바람길
-The UTCI story hub, https://utci.lobelia.earth
-씨:리얼, https://seereal.lh.or.kr
-기상청 기상자료개방포털, https://data.kma.go.kr
-국가통계포털, https://kosis.kr

Abstract

Analysis of Thermal Comfort Change according to the Housing Complex Floor Area Ratio Raising Scenario

- Focusing on areas to the Special Act on the Maintenance and Support of Older Planned Cities -

Jongmin Won

Interdisciplinary Program in Urban Design

The Graduate School

Seoul National University

The ongoing increase in urban building density through increased floor area ratio, coupled with significant climate change, is threatening the urban living environment with the intensification of the tropical night and heat island phenomena and hindering the comfortable thermal environment for citizens.

The total built-up area of the country has been steadily increasing over the past 15 years, and the number of tropical nights, one of the main effects of deteriorating thermal comfort caused by high building

density in cities, has been increasing, with five of the seven years with more than 10 observation days occurring within the last 10 years.

Although the urban environment is deteriorating along with the increasing gross floor area, the densification of the city is expected to continue due to the proposed reorganization of the zoning system in the 2040 Seoul Urban Basic Plan, the relaxation of the maximum height limit for apartments in Seoul, and the increase of the floor area ratio of old houses in the center of the first phase of new cities by up to 500% through the Special Act on Old Planning Cities.

In response to this upward trend in floor area ratio, we believe that the main discussion needed in the future is how to increase the floor area ratio rather than how much to limit it, so it is necessary to analyze how and in what direction to lead the increase in floor area ratio of buildings.

When we analyzed previous studies, we found that even the same size building shows a difference in thermal comfort due to the effect of ventilation that varies depending on the layout of the building, which leads to a difference in radiant cooling effect, so we started the study by hypothesizing that the thermal comfort may vary depending on the form of the increase in floor area ratio.

This study aims to identify the physical elements that have the greatest impact on the increase in floor area ratio and set up scenarios for the increase in floor area ratio for each element to verify the hypothesis that thermal comfort changes as the scale of each architectural element increases.

The goal of the study is to propose a plan for increasing the floor area ratio of housing complexes that can secure thermal comfort even if the floor area ratio is increased through the analysis of these

scenarios, and the following three steps were carried out to check the performance of securing thermal comfort through the optimization design of the design example derived based on the results.

First, we conduct preliminary research on the concept and measurement principle of thermal comfort and analyze the existing preliminary research on the principle of thermal environment improvement to conduct research on the principle of thermal environment improvement, and prepare an environmental simulation for the study based on this.

In addition, the selection criteria for which building elements to analyze for the scenario of increasing the floor area ratio are identified through prior research on building elements that affect the floor area ratio.

Second, understand the 3D tools used to create scenarios and set up each uplift scenario based on the uplift building elements selected through prior research.

Third, through the analysis of the environmental simulation results of each scenario, we propose a plan to increase the floor area ratio to improve thermal comfort and conduct a comparative analysis of the current floor area ratio environmental simulation results based on the design example derived through optimization design to verify the performance of thermal comfort improvement.

In this order, first, the theoretical review confirmed that it is appropriate to use the Universal Thermal Climate Index (UTCI), which measures external thermal comfort, in this study according to the measurement principle of thermal comfort and the development of research.

To conduct the UTCI analysis, we selected a residential area with the lowest thermal comfort among those subject to the Special Act

on Older Planned Cities, and selected the Rose Village Kolon Apartment Housing Complex in Bundang, which was judged to have the highest redevelopment potential and thermal comfort improvement effect by increasing the floor area ratio.

As the basis for setting scenarios for environmental simulation, we selected the number of floors and household density that have the greatest impact on securing the maximum floor area ratio through prior research, and divided the method of increasing household density into an increase in the number of existing main buildings and a mixed arrangement of tower-type main buildings with high household density.

Based on these criteria, the number of floors, the total number of main motors, and the ratio of top-type main motors were set, and the environmental simulation of each scenario was conducted.

The results showed that the increase in the number of floors in the scenario of the increase in the number of floors resulted in a consistent improvement in thermal comfort due to the strengthening of the wind speed by increasing the scale of the buildings comprising the wind path, but the deviation in thermal comfort in the area where the wind cannot enter deeply into the complex due to the cluster of plate-type main motors was intensified.

In the total number of motors scenario, the order of increasing the number of motors was divided into the main wind direction and the opposite direction of the main wind direction, and the thermal comfort deterioration was the same in both cases, but the thermal comfort deteriorated faster when additional motors were placed in the main wind direction than when additional motors were placed in the opposite direction of the main wind direction because the wind path was blocked at the beginning.

In the scenario of increasing the ratio of pagoda-type columns, the thermal comfort was maintained even when the volume ratio was increased until the pagoda-type columns were placed in the first row through the complex, but when they were placed in the second row, the wind dispersion caused by the pagoda-type columns was overlapped, and the wind speed dropped significantly, causing the thermal comfort to deteriorate.

Based on the simulation results of each scenario, the number of floors was maximized, the number of main motors was minimized, and the floor area ratio was increased in the line of not having two rows of tower-type main motors to plan a design example through optimization design. As a result, the floor area ratio was 452.88% and the moderate heat stress rate was reduced by 16.20% compared to the current situation, confirming the effectiveness of the thermal comfort mitigation plan when the floor area ratio is increased.

After deriving the optimal solution, UTCI simulation was conducted to reflect the evaluation score, and regression analysis was conducted with the current floor area ratio design projection, and it was once again confirmed that it was easier to maintain or improve thermal comfort by increasing the number of floors without increasing the building area as much as possible with a mixed arrangement of the main motor type.

The significance of the study is that it suggests effective thermal comfort mitigation measures when planning to increase the floor area ratio through setting up a scenario of increasing the floor area ratio and quantitative analysis of each environmental simulation, and confirms that the change in thermal comfort varies depending on the architectural elements, so that increasing the floor area ratio does not necessarily worsen the thermal comfort, so that guidelines for

improving thermal comfort should be considered when implementing the floor area ratio policy.

The limitations of the study are that it was not possible to implement environmental simulations of specific and realistic scenarios with detailed conditions such as albedo and tree cover, and it was not possible to propose specific guidelines for increasing the floor area ratio to improve thermal comfort based on the thermal comfort mitigation measures identified through the study results.

keywords : Urban Environment, Floor Area Ratio Raising, Thermal Comfort, Environmental Simulation
Student Number : 2021-28526