### 5. 최적화에 따른 설계 성능 분석

본 장에서는 3장에서 제시한 평면도 구성 알고리즘이 다양한 생성 전략을 통해 평면도 성능에 미치는 영향을 분석한다. 이를 위해 파이썬으로 구현한 애플리케이션(planGen)을 활용하여, 설정된 요구사항에 맞춰 무작위 평면도를 대량 생성한 후, 4장에서 제시한 평가 지표들을 활용하여 각 최적화 전략의 설계 적합도에 대한 영향을 평가하였다.

분석은 **시드 셀**의 위치가 각 적합성 지표에 미치는 영향을 평가한 후, **크기 최적화**, **인접성 우선 시드셀 할당**, **방향 우선 시드셀 할당**의 세 가지 주요 최적화 전략을 적용한 평면도 생성 결과를 기반으로 한다. 최종적으로 각 최적화 전략이 설계 성능에 미치는 영향을 다각도로 분석하였다.

### 5.1 요구사항 설정

본 실험에 사용된 입력 데이터는 planGen 앱을 통해 생성된 방들의 요구사항을 바탕으로 한다. 각 방의 **크기**, **방향성**, **인접성** 요구사항은 앱의 설정 화면을 통해 정의되었으며, 설정된 요구사항의 세부사항은 **Table 1**에서 **Table 4**에 요약되어 있다. 이러한 요구사항은 다양한 최적화 전략을 평가하기 위한 실험 데이터로 사용되었다.

구체적인 설정 방식 및 요구사항의 상세한 내용은 3장에서 이미 설명되었으므로, 여기서는 실험에 사용된 입력 데이터를 간단히 요약한다.

Table 1. Room Names and Specifications

| ID | Room Name |
| --- | --- |
| 1 | LV (living room) |
| 2 | DN (dining room) |
| 3 | BED1 (bedroom 1) |
| 4 | BED2 (bedroom 2) |
| 5 | BT1 (bathroom 1) |
| 6 | KT (kitchen) |
| 7 | GR (guest room) |
| 8 | BT2 (bathroom2) |

Table 2. Room Orientation Settings

| ID | Room Name | Direction |
| --- | --- | --- |
| 1 | LV | South |
| 2 | DN | North |
| 3 | BED1 | East |
| 8 | KT | North |

Table 3. Room Size Specifications

| ID | Room Name | Min Size (m²) | Max Size (m²) |
| --- | --- | --- | --- |
| 1 | LV | 30 | 40 |
| 2 | DN | 15 | 25 |
| 3 | BED1 | 8 | 12 |
| 5 | BT1 | 2 | 6 |
| 7 | BT2 | 2 | 6 |
| 6 | GR | 10 | 20 |

Table 4. Adjacency Requirements

| Room 1 | Room 2 |
| --- | --- |
| LV | DN |
| LV | BED1 |
| LV | BT1 |
| DN | KT |
| BED2 | BT2 |

### 5.2 기초 통계

무작위로 각 최적화 전략을 적용시킨 2000개의 평면을 발생시켜 각 요구사항 적합성 및 형태 관련 지표의 기본 통계 값을 분석하여, 설계 적합도에 대한 전반적인 평가를 진행하였다.

Table 1 Summary of Key Fitness Metrics and Optimization Variables (Size\_Opt, Adj\_Opt, Ori\_Opt) Including Mean, Standard Deviation, and Percentiles (0-1 Range)

| Metric | count | mean | std | min | 25% | 50% | 75% | max |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Size\_Opt | 2000 | 0.50 | 0.50 | 0.00 | 0.00 | 0.50 | 1.00 | 1.00 |
| Adj\_Opt | 2000 | 0.46 | 0.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 |
| Ori\_Opt | 2000 | 0.56 | 0.50 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Adjacency | 2000 | 0.46 | 0.20 | 0.00 | 0.40 | 0.40 | 0.60 | 1.00 |
| Orientation | 2000 | 0.73 | 0.30 | 0.00 | 0.50 | 0.75 | 1.00 | 1.00 |
| Size | 2000 | 0.77 | 0.12 | 0.36 | 0.68 | 0.78 | 0.87 | 1.00 |
| Simplicity | 2000 | 0.72 | 0.08 | 0.52 | 0.67 | 0.72 | 0.77 | 0.96 |
| Rectangularity | 2000 | 0.86 | 0.05 | 0.68 | 0.83 | 0.86 | 0.90 | 0.99 |
| Regularity | 2000 | 0.60 | 0.07 | 0.37 | 0.56 | 0.60 | 0.65 | 0.89 |
| PA Ratio | 2000 | 0.80 | 0.05 | 0.61 | 0.77 | 0.80 | 0.84 | 0.97 |
| Weighted\_Fitness | 2000 | 0.51 | 0.20 | 0.00 | 0.39 | 0.53 | 0.67 | 0.99 |

* + 편의상 소수 둘째 자리에서 반올림

각 최적화 전략은 적용 여부에 따라 이분화된 값(0, 1)을 가지므로 std는 0.5이다. 각 최적화의 적용 여부는 무작위로 적용 여부가 결정되었다.

* **Adjacency (인접성 만족도)**: 평균 0.459로, 인접성 요구 사항이 다소 충족되지 않았음을 보여준다. 분포는 넓게 퍼져 있으며 일부 설계는 0에 가까운 값을 보였으며, 최대값은 1로 상충된 결과를 나타냈다.
* **Orientation (방향성 만족도)**: 평균 0.732로, 대부분의 설계에서 높은 방향성 요구 사항을 충족했다. 특히 상위 25%는 100% 만족도를 보였다.
* **Size (사이즈 만족도)**: 평균 0.770, 75% 분위수가 0.869로 대부분의 설계에서 상대적으로 높은 만족도를 기록했는데, 유력한 이유는 크기 요구 사항이 단일 값이 아닌, 최소 최대의 범위로 설정했기 때문이다.
* **Simplicity (단순성)**: 평균 0.721로 전체적으로 비슷한 수준의 단순성을 유지하고 있는데, 이는 무작위 확장 과정에서 블럭 수준의 확장 및 돌출 셀 등의 단순화 단계를 거치면서 들쭉날쭉한 형태가 전체적으로 완화된 것을 말해준다.
* **Rectangularity (직사각형 비율)**: 평균 0.861로, 방 형태가 규칙적인 직사각형에 가까움을 보여준다. 분포의 편차가 작아, 안정적인 설계 형태가 나타났다.
* **Regularity (규칙성)**: 평균 0.604로, 방의 패턴이 일정한 규칙성을 보이고 있다.
* **PA Ratio (PA 비율)**: 평균 0.804로, 면적 대비 외형적인 효율성을 잘 유지하고 있다.
* **Weighted Fitness (가중치된 피트니스)**: 평균 0.511로, 적합도는 중간 이상의 수준을 기록했으나, 일부 설계에서는 매우 낮은 값이 나타났다.

![[Pasted image 20240916181747.png]]

**Figure 2**는 각 지표의 박스 플롯을 시각화한 것으로, 각 지표의 중앙값, 사분위수, 이상값을 보여준다. **중앙값**, **사분위수**, 그리고 **이상값(outliers)**을 통해 지표의 **분포**와 **변동성**을 시각적으로 확인할 수 있다. **Size**와 **Orientation** 지표는 중앙값이 높고, 특히 **Orientation**은 상위 25%에서 매우 높은 만족도를 기록했다. **Adjacency**는 변동 범위가 크며, 중앙값이 상대적으로 낮은 것을 확인할 수 있다. 또한 이상값(outlier)도 이론적 최소값과 최대값 (0과 1) 모두에 분포한다.

### 5.3 시드 셀의 영향 분석

설계 과정에서 초기 방 배치가 시작되는 **시드 셀**의 위치가 최종 설계의 적합성 지표에 미치는 영향을 평가하였다. 이를 위해 4장에서 기술한 방법을 기반으로 서로 다른 100개의 시드 배치를 생성하였으며, 각 시드 배치마다 100개의 평면도를 생성하였다. 이렇게 생성된 평면도를 대상으로, **Levene Test**로 각 지표의 분산 동질성을 검증하고, **ANOVA(Analysis of Variance)**를 통해 시드 셀이 각 지표 값에 미치는 영향을 분석하였다.

Table 1. ANOVA and Levene Test Results for Fitness Metrics to Assess Significance of Differences Between Seed-cell Groups

| Fitness | Levene Test p-value | F-Value | df | p-value (ANOVA) |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Adjacency** | 0.000 | 104.53 | (99, 9800) | 0.000 |
| **Size** | 0.000 | 28.33 | (99, 9800) | 0.000 |
| **Orientation** | 0.000 | 513.57 | (99, 9800) | 0.000 |
| **Simplicity** | 0.000 | 513.57 | (99, 9800) | 0.000 |
| **Regularity** | 0.000 | 513.57 | (99, 9800) | 0.000 |
| **PA Ratio** | 0.000 | 13.31 | (99, 9800) | 0.000 |

**Levene Test** 결과, 모든 적합성 지표에서 시드 그룹 간의 분산이 통계적으로 유의미한 차이를 보였으며(모든 p-value < 0.001), 이는 시드 셀의 위치에 따라 각 지표의 분산이 다르다는 것을 의미한다. **ANOVA** 분석 결과에서도 시드가 각 지표에 미치는 영향이 매우 유의미한 것으로 나타났다.

특히 **Adjacency**와 **Orientation**, **Simplicity**, **Regularity** 지표에서Ｆ값이 100 이상으로 매우 높게 나타나 시드 그룹 간의 변동에 그룹 내 변동보다 훨씬 크다는 것을 보여준다. 이는 각 방의 시드 셀의 위치가 이 네 가지 지표에 큰 영향을 미친다는 것을 의미한다.

반면, Size와 PA Ratio 지표의 F 값은 각각 28.33과 13.31로 상대적으로 낮았으나, 여전히 통계적으로 유의미한 차이를 보였다. 이는 시드 셀이 방의 크기와 공간 효율성에 영향을 미치지만, 앞서 언급한 네 개의 지표만큼 크지 않음을 시사한다.

결론적으로, 시드 셀의 배치는 적합성 지표에 중요한 역할을 미치며, 특히 **Adjacency**와 **Orientation** 지표에서 큰 차이를 만든다. 따라서 특정 시드 셀 조합을 선택함으로써 더 높은 적합성을 가진 평면도를 생성할 수 있음을 시사한다.

### 5.4 최적화 설계 전략이 평면 배치 성능에 미치는 영향

방 설계 과정에서 각 최적화 전략이 설계 적합성에 미치는 영향을 분석하였다. 방향 우선 시드셀 할당, 인접성 우선 시드셀 할당, 크기 최적화가 적용된 경우와 적용되지 않은 경우의 성능을 비교하였다. 각 최적화 전략에 따른 각 평면 배치의 적합성 지표 평균값은 아래 Table 2에 요약되어 있다. **향상률**은 최적화가 적용된 경우와 그렇지 않은 경우의 평균 만족도 차이를 백분율로 나타낸 것이며, **p-value**는 해당 차이가 통계적으로 유의미함을 나타낸다(p < 0.001이 유의미한 차이로 간주됨).

**Table 2. Performance Impact of Optimization Strategies on Design Satisfaction Metrics (Orientation, Adjacency, and Size)**. This table displays the design satisfaction metrics based on different optimization strategies. Orientation satisfaction is measured when **Orientation First Seed Placement** is applied, adjacency satisfaction is measured when **Adjacency First Seed Placement** is applied, and size satisfaction is measured when **Size Optimization** is applied. The table compares the satisfaction metrics for layouts generated with the optimization applied (Opt Applied = 1) and without it (Opt Applied = 0).

| Optimization Strategy | Metric | Opt Applied (Opt = 1) | Opt Not Applied (Opt = 0) | Improvement (%) | p-value | Sample Size (n) |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Orientation First Seed Placement** | Orientation Satisfaction | 0.944 | 0.468 | 50.4 | < 0.001 | 1110 / 890 |
| **Adjacency First Seed Placement** | Adjacency Satisfaction | 0.481 | 0.439 | 8.7 | < 0.01 | 920 / 1080 |
| **Size Optimization** | Size Satisfaction | 0.855 | 0.684 | 19.9 | < 0.001 | 1000 / 1000 |

방향 우선 시드셀 할당을 적용한 경우, **방향성 만족도**는 평균 0.944로, 비적용 시의 0.468보다 50.4% 향상되었으며(p < 0.001), 방향성 요구를 충족시키는 데 매우 효과적임을 보여준다. 인접성 우선 시드셀 할당을 적용한 경우, **인접성 만족도**는 평균 0.481로, 비적용 시의 0.439보다 약 8.7% 향상되었다(p < 0.01). 이는 인접성에 유의미한 영향을 미쳤지만, 상대적으로 작은 향상률을 보였다. 크기 최적화를 적용한 경우**크기 만족도**는 평균 0.855로, 비적용 시의 0.684보다 약 19.9% 향상되었다(p < 0.001). 이는 최대 크기 제한이 방의 크기를 적절히 제어하여 설계 적합성을 개선하는 데 중요한 역할을 했음을 시사한다.

### 5.5 최적화 변수와 피트니스 지표 간의 상관관계 분석

세 가지 최적화 변수인 **크기 최적화**(Size\_Opt), **인접성 우선 할당**(Adj\_Opt), **방향성 우선 할당**(Ori\_Opt) 방법이 모든 최적화 지표에 미치는 영향을 각각 분석하였다. 이를 위해 최적화 여부를 나타내는 \_Opt 변수들과 각 적합성 지표 간의 상관관계를 도출하고, 통계적 검정을 통해 유의미함을 평가하였다. 그 결과는 아래 표 3에 요약되어 있다.

**Table 3. Correlation Matrix Between Optimization Variables and Fitness Metrics**

| Optimization Strategy | Adjacency | Orientation | Size | Simplicity | Rectangularity | Regularity | PA Ratio | Weighted Fitness |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Size\_Opt** | 0.094\*\* | -0.056\* | 0.696\*\*\* | -0.382\*\*\* | -0.469\*\*\* | 0.031 | -0.408\*\*\* | 0.109\*\*\* |  |
| **Adj\_Opt** | 0.107\*\*\* | 0.017 | 0.104\*\*\* | -0.024 | -0.051\* | -0.040 | -0.062\*\* | 0.101\*\*\* |  |
| **Ori\_Opt** | -0.001 | 0.792\*\*\* | -0.024 | 0.002 | 0.008 | 0.030 | 0.020 | 0.306\*\*\* |  |
| **p-value Legend:** | \*p < 0.05, | \*\*p < 0.01, | \*\*\*p < 0.001, | No asterisk: | Not significant | (p > 0.05) |  |  |  |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Metric** | **Size Optimization** | **Adjacency First** | **Orientation First** |
| Adjacency | 0.094\*\* | 0.107\*\*\* | -0.001 |
| Orientation | -0.056\* | 0.017 | 0.792\*\*\* |
| Size | 0.696\*\*\* | 0.104\*\*\* | -0.024 |
| Simplicity | -0.382\*\*\* | -0.024 | 0.002 |
| Rectangularity | -0.469\*\*\* | -0.051\* | 0.008 |
| Regularity | 0.031 | -0.040 | 0.030 |
| PA Ratio | -0.408\*\*\* | -0.062\*\* | 0.020 |
| Weighted Fitness | 0.109\*\*\* | 0.101\*\*\* | 0.306\*\*\* |

**크기 최적화**는 **크기 적합성**(Size) 지표와 매우 높은 상관관계(0.696, p < 0.001)를 보였다. 이는 크기 최적화를 통해 방의 크기를 적절히 제어할 수 있음을 의미한다. 반면, **단순성**(Simplicity), **직사각형 비율**(Rectangularity), PA Ratio에서는 각각 -0.382, -0.469, -0.408의 음의 상관관계를 보여, 크기 제약이 공간의 복잡성을 증가시키고,정형화된 방 형태를 유지하기 어렵게 할 수 있음을 시사한다. 인접 우선 할당 방식의 적용 유무는 **인접성 적합성**(Adjacency) 지표와 0.107의 양의 상관관계를 보이며(p < 0.001), 방 간 인접성을 개선하는 데 기여함을 보여준다. 그러나 이 방식은 **단순성**(-0.024), **직사각형 비율**(-0.051)과의 상관관계가 낮거나 유의미하지 않음을 보여, 인접 우선 할당이 공간의 형태에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 보인다. 방향 우선 할당 방식은 **방향성 적합성**(Orientation) 지표와 매우 강한 양의 상관관계(0.792, p < 0.001)를 나타냈다. 이는 방향성을 고려한 배치가 방향 요구를 매우 효과적으로 충족할 수 있음을 보여준다. 그러나 **크기 적합성**(-0.024)이나 **단순성**(0.002)과는 상관관계가 거의 나타나지 않았으며, 이는 방향성 최적화가 다른 요소에는 영향을 크게 미치지 않음을 의미한다. 결과적으로 세 가지 최적화 방식은 각각의 적합성 지표에서 유의미한 성능 향상을 보였으나, 다른 지표에는 영향이 없거나 미세하게 부정적 영향을 미칠 수 있다. 최적화 전략 간의 상호작용을 고려한 보다 정교한 설계 전략이 필요하다. ### 5.6 최적화 전략 간의 상호작용 분석

본 절에서는 세 가지 주요 최적화 전략인 **크기 최적화**(Size\_Opt), **인접성 우선 할당**(Adj\_Opt), **방향성 우선 할당**(Ori\_Opt) 전략이 서로 상호작용하여 설계 성능에 미치는 영향을 분석한다. 이를 위해, 각 최적화 전략의 적용 여부에 따라 **Adjacency**(인접성 적합성), **Orientation**(방향성 적합성), **PA Ratio**(공간 효율성), 그리고 **Weighted Fitness**(가중 적합도) 지표에 미치는 평균 성능과 표준 편차를 그룹화하여 비교하였다.

세 가지 최적화 전략의 조합에 따라 그룹화한 설계 성능 지표는 다음과 같다:

| Size\_Opt | Adj\_Opt | Ori\_Opt | Adjacency Mean | Adjacency Std | Orientation Mean | Orientation Std | PA Ratio Mean | PA Ratio Std | Weighted Fitness Mean | Weighted Fitness Std | Count |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 0 | 0 | 0 | 0.427500 | 0.181331 | 0.450000 | 0.235678 | 0.815898 | 0.043855 | 0.399294 | 0.189618 | 240 |
| 0 | 0 | 1 | 0.437838 | 0.194993 | 0.958108 | 0.093497 | 0.831468 | 0.043257 | 0.537780 | 0.184855 | 370 |
| 0 | 1 | 0 | 0.440000 | 0.189904 | 0.501316 | 0.253934 | 0.824159 | 0.041538 | 0.434250 | 0.197985 | 190 |
| 0 | 1 | 1 | 0.461000 | 0.181781 | 0.957500 | 0.097423 | 0.821248 | 0.045599 | 0.558630 | 0.146937 | 200 |
| 1 | 0 | 0 | 0.446957 | 0.202742 | 0.436957 | 0.237903 | 0.786956 | 0.045956 | 0.437580 | 0.222254 | 230 |
| 1 | 0 | 1 | 0.446667 | 0.191420 | 0.929167 | 0.126024 | 0.779882 | 0.047457 | 0.567533 | 0.184779 | 240 |
| 1 | 1 | 0 | 0.519130 | 0.202774 | 0.491304 | 0.240384 | 0.788752 | 0.046297 | 0.495315 | 0.205220 | 230 |
| 1 | 1 | 1 | 0.492000 | 0.200508 | 0.930000 | 0.131304 | 0.781979 | 0.043592 | 0.608961 | 0.195883 | 300 |

#### 5.6.2 상호작용 효과 분석

최적화 전략 간의 상호작용을 분석하기 위해, 각 전략이 독립적으로 적용된 경우와 복수로 적용된 경우의 성능을 비교하였다. 이를 통해 전략들이 서로 상호작용하여 성능을 어떻게 변화시키는지 평가할 수 있다.

1. **Adjacency 성능**:
   * **크기 최적화**(Size\_Opt)가 적용되지 않은 경우(0), 인접성 우선 할당(Adj\_Opt)과 방향성 우선 할당(Ori\_Opt)의 적용 유무에 따라 Adjacency 평균 성능이 소폭 향상되었다(0.427500 → 0.461000). 그러나 크기 최적화가 적용된 경우(1)에는 인접성 우선 할당이 적용된 그룹에서 Adjacency 성능이 눈에 띄게 향상되었다(0.446957 → 0.519130).
   * 이는 인접성 우선 할당이 다른 최적화 전략과 함께 작동할 때 시너지 효과를 낼 수 있음을 의미한다.
2. **Orientation 성능**:
   * 방향성 우선 할당(Ori\_Opt)은 독립적으로 적용될 때(0, 0, 1)에도 **Orientation** 성능에서 큰 향상을 보였으나(평균 0.958108), 크기 및 인접성 최적화가 함께 적용되었을 때(1, 1, 1), 여전히 높은 성능(평균 0.930000)을 유지하였다.
   * 이는 **방향성 우선 할당**이 다른 최적화 전략과 상관없이 매우 강력한 영향을 미치며, 상호작용의 영향을 크게 받지 않는 독립적 최적화 전략임을 시사한다.
3. **PA Ratio**:
   * **크기 최적화**(Size\_Opt)가 적용되었을 때 PA Ratio가 전반적으로 낮아지는 경향이 관찰되었다(예: 0.815898 → 0.786956). 이는 크기 최적화가 PA Ratio에 부정적 영향을 미치는 상호작용 효과가 존재할 수 있음을 나타낸다.
   * 그러나 다른 두 최적화 전략이 적용되면 이러한 부정적인 영향을 어느 정도 완화할 수 있음을 볼 수 있다. 예를 들어, 세 가지 최적화가 모두 적용된 경우(1, 1, 1) PA Ratio가 소폭 향상되었다(0.788752 → 0.781979).
4. **Weighted Fitness**:
   * **Weighted Fitness**는 세 가지 최적화 전략이 모두 적용된 경우에 가장 높은 평균값을 기록하였다(평균 0.608961). 이는 최적화 전략들이 상호작용하여 전체 적합도 지표를 종합적으로 향상시킬 수 있음을 보여준다.
   * 특히 **크기 최적화**가 단독으로 적용된 경우에는(1, 0, 0) Weighted Fitness 성능이 상대적으로 낮았으나, 다른 전략들과 결합되었을 때 성능이 크게 개선되었다(1, 1, 1).

#### 5.6.3 시사점

이 분석을 통해 각 최적화 전략이 독립적으로도 성능 향상에 기여하지만, 일부 전략은 상호작용을 통해 더 큰 성능 향상을 이끌어낼 수 있음을 확인할 수 있다. 특히 **크기 최적화**와 **인접성 우선 할당** 전략은 상호작용 효과를 통해 **Adjacency** 및 **Weighted Fitness** 성능을 크게 개선할 수 있었다. 반면 **방향성 우선 할당**은 다른 최적화와의 상호작용보다는 독립적인 성능 향상에 더 강력한 영향을 미치는 것으로 보인다.

결론적으로, 설계 최적화를 위해서는 각 전략이 개별적으로 어떤 영향을 미치는지뿐만 아니라, 이들이 결합되었을 때의 상호작용을 고려해야 한다. 특정 성능 지표를 최적화하는 데 적합한 전략들의 조합을 찾는 것이 중요하며, 이는 향후 보다 정교한 설계 전략 수립에 기여할 수 있다.