

초고층 건축공사의 생산성 향상을 위한 Jump Point Search 기반 작업층 자재배치 최적화 모델

권재범*, 김태훈†, 강경인*

*고려대학교, 건축사회환경공학부

†조선대학교, 건축학부

Floor-level Layout Planning Optimization Model using Jump Point Search for Improving Productivity of Tall Building Construction

Kwon Jaebeom*, Kim Taehoon†, Kang Kyung-In*

*School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University, Seoungbuk-Gu, Seoul 136-713, Korea

†School of Architecture, Chosun University, Dong-Gu, Gwangju 501-759, Korea

(Received : May. 20, 2016, Revised : Jun. 20, 2016, Accepted : Jun. 22, 2016)

Abstract : In tall building construction, time for transporting materials on a floor is one of the factors which largely affect work productivity. Thus, the necessity of optimizing the floor-level layout plan has increased, and path finding algorithms to find an optimal path by considering various obstacles have been required to provide a more reliable floor-level layout planning. Jump point search (JPS) algorithm has high accuracy of optimal paths through global search by minimizing the computational problem, compared to heuristic search algorithms that find paths at the moderate level to reduce the computational time and effort. Therefore, this study proposes a floor-level layout planning model for tall building construction based on optimal path finding by the JPS algorithm. The applicability of the JPS algorithm to the construction field was verified by increasing work productivity of the floor-level layout planning of the heuristic search by approximately 14%. The proposed path finding algorithm will contribute to preparing a more reliable construction layout planning model.

Keyword : Tall building construction, Floor-level layout planning, Global search, Jump point search

1. 서론

1.1 연구의 목적

건축공사에서 공간관리의 적부는 전체 프로젝트의 생산성에 크게 영향을 미치는 요소 중 하나이다. 현장 내 공간 사용 계획은 자원의 이동 및 운반 작업의 생산성과 밀접한 관계를 가지며, 건축물이 고층화될수록 그 중요성은 매우 증가된다[1]. 이에 따라 사이트 수준(site-level)에서 현장에 투입될 가시설물들의 크기, 형상, 설치위치 등의 계획을 최적화하기 위한 연구들이

꾸준히 수행되어 왔다[2-8].

하지만, 최근 초고층 건축물의 증가는 건물 내부 작업 층 내에서의 배치계획(floor-level layout planning) 최적화 연구를 요구한다[8]. 초고층 건축물은 일반 중저층 건물에 비해 건물의 높이 뿐 아니라 평면 크기가 증가되며, 최근 비정형 초고층 건축물의 증가는 평면의 복잡성을 증대시킨다. 이에 따라 건물 내부 작업 층 내 부적절한 자재위치 선정은 불필요한 자재 이동 및 운반거리를 상당히 증가시켜 작업 생산성 저하에 큰 영향을 미칠 수 있다[7,8].

신뢰할 수 있는 작업 층 내 자재배치 최적화 모델을 구축하기 위해서는 건물 내부에 존재하는 장애물을 인식하여 경로를 탐색할 수 있는 알고리즘의 도입이 요구된다. 건물 외부의 현장 레이아웃 계획 최적화와 관련된 기존 모델들은 두 지점간 이동 경로를 직선으로 가정하고 운반거리를 산정하였다. 그러나 건물 내부는 상대적으로 좁은 공간 내에 엘리베이터 홀, 벽, 기둥,

†Corresponding Author

성명 : 김태훈

소속 : 조선대학교 건축학부

전화 : 062-230-7145

E-mail : thoonkim@chosun.ac.kr

개구부 등과 같은 다양한 장애물들이 존재함에 따라 직선거리를 이용한 운반거리 산정방식은 결과의 신뢰성에 부정적인 영향을 미칠 수 있다[9]. 이에 Park et al.[11]은 장애물을 인식하면서 운반경로를 탐색할 수 있는 실제 이동 경로(Actual Travel Path; ATP) 알고리즘 기반 작업 층 자재배치계획 모델을 제안하였으나, 연산과정의 과부하로 인해 적정 수준에서 최단경로를 구축하는 휴리스틱 탐색법을 사용함에 따라 정확도 측면에서 한계를 지닌다.

이러한 복잡한 경로 탐색 문제에 있어 최근 개발된 Jump Point Search(JPS) 알고리즘은 보다 유용한 대안이 될 수 있다. JPS 알고리즘은 경로 탐색과정 중 불필요한 연산과정을 생략(jumping)함으로써 연산과정의 과부하 문제를 해결한 알고리즘으로, 사용자에 따라 무한히 많은 탐색 대안이 존재하는 게임산업에 활용되어 왔다[14-19]. 이에 다양한 장애물로 인해 무수히 많은 경로가 존재하는 작업층 자재배치 최적화 모델링에 적용할 경우, 특별한 제약조건 없이 보다 정확한 해를 도출할 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 자재 운반시간의 최소화를 통한 작업 생산성 향상을 위하여 초고층 건축공사의 내부 마감공사를 대상으로 JPS 알고리즘을 이용한 작업층 자재배치 최적화 모델을 제안한다. 본 연구의 초점은 건축물 내부의 복잡한 공간 내에서 최적 경로 탐색을 위한 JPS 알고리즘의 건설분야 적용성을 검토하는 데 있다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구는 초고층 건축물의 내부 마감공사에 있어 작업층 내 자재배치 최적화 모델 개발을 연구 범위로 한다. 이는 초고층 건축물의 경우 일반 건물에 비해 평면의 크기 및 복잡성이 크고, 투입자재의 종류 및 수가 많아 작업 층 내 자재의 이동시간이 작업 생산성에 미치는 영향이 증가하기 때문이다. 본 연구에서의 자재배치 최적화는 하나의 작업 층에서 동일 작업일에 설치될 모든 자재의 운반 소요 시간이 최소로 되는 자재배치 조합의 도출을 의미한다. 이를 위해 자재의 배치위치에 따른 설치위치까지의 정확한 이동경로 탐색 및 최적의 배치조합 도출을 위한 알고리즘이 각각 요구된다. 본 연구에서 JPS 알고리즘은 보다 실제에 가깝고 정확한 이동경로를 모델링하기 위해 사용되며, 이러한 목적에 부합하도록 기존에 Harabor and Grastien[14]에 의해 제안된 알고리즘에서 개선된 경로 탐색 방식을 개발하였다. 최적 자재배치 조합의 도출은 기존 레이아웃 계획 연구에서 적용성이 입증된 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm; GA)을 활용한다[7-12].

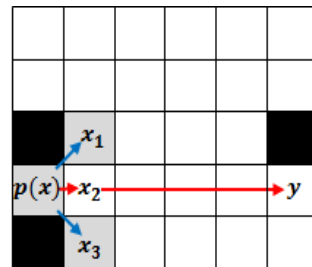
본 연구의 수행방법은 다음과 같다. JPS 알고리즘을 중심으로 경로탐색 알고리즘의 이론적 고찰을 수행하고, JPS 알고리즘과 유전자 알고리즘을 이용한 작업 층 내 자재배치 최적화 모델을 제시한다. 이를 토대로 기존 ATP 알고리즘을 이용한 Park et al.[11]의 연구 결과와 JPS 알고리즘을 이용한 결과의 비교를 수행함으로써 제시한 알고리즘의 타당성을 검증하도록 한다.

2. 경로탐색 알고리즘 고찰

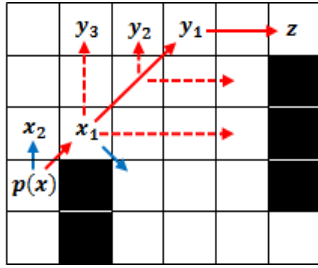
최단 경로탐색을 위한 알고리즘은 탐색 방식에 따라 크게 전역 탐색법(global search)과 휴리스틱 탐색법(heuristic search)으로 분류되어 사용되어 왔다[13]. 전역 탐색법은 목적지까지 모든 경우의 수를 고려하기 때문에 정확한 경로 탐색이 가능하나, 연산 부하 증가로 인해 경로탐색의 실패로 이어질 수 있다. 반면, 휴리스틱 탐색법은 연산부하를 해결하기 위해 적정 수준에서 최단 경로를 탐색하지만, 정확도 측면에서는 한계를 지닌다. 따라서 최단 경로탐색의 정확도 향상과 함께 탐색 소요시간을 최소화할 수 있는 알고리즘의 연구가 필요하다.

이러한 배경에서 JPS 알고리즘은 Harabor and Grastien에 의해 개발되었다[14]. JPS 알고리즘은 불필요한 연산 프로세스를 선택적으로 생략함으로써 기존 경로 탐색 알고리즘에서 발생하는 연산부하를 최소화하였다. 이러한 연산부하의 최소화도 인해 전역 탐색이 가능함에 따라 높은 정확도를 지닌다.

JPS 알고리즘의 연산 방식은 아래의 Figure 1과 같다. 먼저, 장애물이 존재하지 않는 구간일 경우 시작점($p(x)$)는 도착점(y)까지의 경로 탐색을 위해 이동 가능한 인접 지점을 탐색하게 된다. 이 때 $p(x)$ 에서 이동 가능한 인접 지점은 x_1 , x_2 및 x_3 로 나타낼 수 있다(Figure 1(a)). 이러한 인접지점들 중 y 까지 최단거리는 x_2 에서부터 직선 경로라는 것을 명확히 알 수 있다. 이처럼 인접지점에서 도착점까지 직선경로가 되는 경우는 연산을 생략하게 된다. 이와 반대로 Figure 1(b)와 같이 탐색 과정 중 장애물이 존재하는 경우에는 도착점(z)과 직선 경로가 되는 인접지점까지 연산과정이 필요하다. $p(x)$ 에서 이동 가능한 인접지점은 x_1 과 x_2 이며 z 까지 이동거리를 고려해 보았을 때 최단 경로는 x_1 으로 이동해야만 한다. 다음 단계로 x_1 에서 z 와 직선 경로가 되는 인접지점은 y_1 , y_2 및 y_3 로 탐색될 수 있는데 이 중 z 까지 최단거리가 되는 지점은 y_1 이 된다. 이처럼 $p(x)$ 부터 y_1 까지는 기존 경로 탐색 알고리즘과 유사한 방식으로 탐색 과정이 요구된다. 그러나 전체 경로 탐색 과정 중 직선경로의 연산과정을 생략하는 것으로 약 2배 이상 연산부하를 감소시킬 수 있다[14].



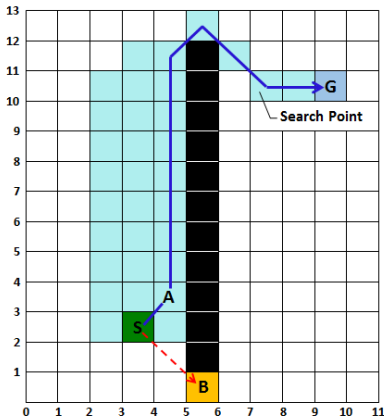
(a) Shortest path finding without an obstacle



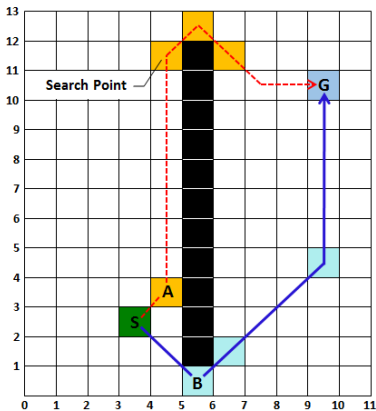
(b) Shortest path finding with obstacles

Figure 1. Calculation Method of Path Finding based on JPS

아래의 Figure 2는 휴리스틱 탐색법을 활용한 경로 탐색 알고리즘의 탐색 결과와 JPS 알고리즘을 활용한 탐색 결과를 비교한 것이다. 우선적으로, 시작점 S는 목적지 G까지 최단 경로를 탐색하기 위해 A와 B 경로 중 하나를 선택해야만 한다.



(a) Heuristic search path



(b) JPS path

Figure 2. Comparative Results of Shortest Path Finding by Heuristic Search and JPS

여기서, 휴리스틱 탐색법은 평가함수(guidance function)를 통해 최소값을 갖는 한 가지 경로만을 선택하게 된다. 이에 따라 휴리스틱 탐색법을 활용한 경로 탐색 알고리즘은 1.4m의 값을 갖는 A 경로를 선택 후 목적지 G까지 경로를 탐색해 나아가게 되며, 목적지 G까지 총 이동거리로써 15.6m를 산출하게 된다 (Figure 2(a)).

반면, 전역적 탐색법을 사용하는 JPS 알고리즘은 모든 경로를 탐색하게 된다. 먼저, 휴리스틱 탐색법과 마찬가지로 A와 B 경로 중 최소값을 갖는 A 경로를 선택 후 목적지 G까지 총 이동거리를 산출한다. 다음으로, B 경로를 통해 목적지 G까지의 총 이동거리를 산출 후 두 결과 중 최소값을 갖는 경로를 선택하게 된다. 이에 따라 JPS 알고리즘은 총 이동거리가 14.4m로 산출되는 B경로를 최단 경로 결과로 제시한다(Figure 2(b)). 또한 탐색점마다 연산을 하는 방식으로 휴리스틱 탐색법의 경우 탐색점이 32개로 도출된 반면 JPS 알고리즘은 전역 탐색법임에도 불구하고 직선경로의 연산을 생략하기 때문에 7개의 탐색점만으로 경로 탐색이 완료되었다(Figure 2).

이처럼, 휴리스틱 탐색법은 부정확한 경로 탐색 결과를 제시할 수도 있으며, 그 결과값이 지속적으로 누적될 경우 최종 해에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 이에 따라 본 연구는 정확한 경로 탐색 결과를 바탕으로 작업 층 자재 배치안의 정확성을 향상시키고자 JPS 알고리즘을 활용한다.

3. JPS 기반 작업 층 자재배치 모델 개발

일반적으로 연산기반의 배치최적화모델은 배치공간 정보 맵핑모듈, 배치자원정보 입력모듈, 목적함수변수 산정모듈, 목적함수 최적화모듈로 구성된다[6-12]. 연산을 위해서는 입력정보의 데이터 변환이 필요하며, 이를 위해 배치공간정보 맵핑 및 배치자원정보 입력 모듈은 배치최적화 모델 구동에 근간이 되는 정보를 데이터화 한다. 또한 최적화는 목적함수에 변수 입력을 통해 여러 가지의 대안을 도출하여 최적해를 선정하기 때문에, 목적함수 변수 산정모듈에서 변수를 산정 후 목적함수에 입력하고 목적함수 최적화 모듈을 통해 사용자가 요구하는 최적의 해를 도출한다. 이에 본 연구는 작업층 공간정보 맵핑모듈, 자재정보 입력모듈, JPS 기반 자재 최적 분할모듈, GA 기반 자재배치 최적화 모듈로 구성하였다(Figure 3).

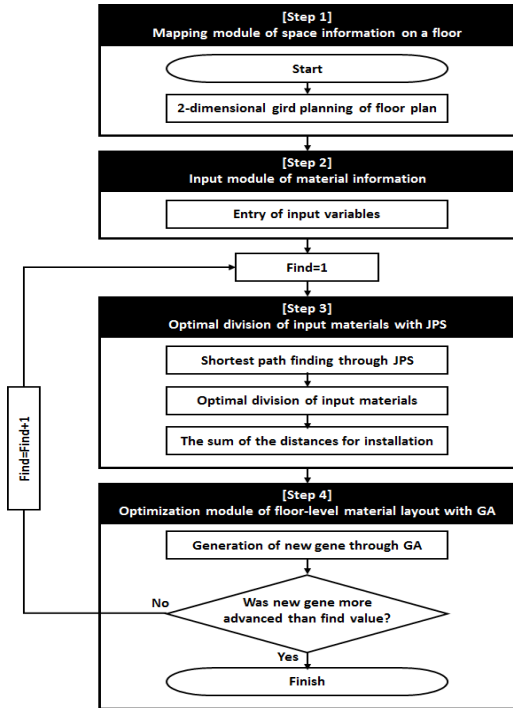


Figure 3. Floor-level Layout Planning Model

3.1 작업 층 공간정보 맵핑모듈

자재의 배치와 경로탐색을 위해서는 우선적으로 공간정보의 좌표화가 요구된다[20]. 이 과정을 맵핑이라고 하며 작업층 이동은 높이변화가 없기 때문에 X-Y 축의 격자형 맵핑을 통해 공간정보를 구성하였다. 일정길이의 격자(grid)는 평면공간을 구성하는 단위가 되며 이를 통해 자재배치와 이동길이를 산정할 수 있다. 또한 공간정보에는 이동할 수 없는 공간에 대한 정보를 입력해야 한다. 이에 작업층 내 이동이 불가능한 벽, 기둥, 개구부를 장애물 좌표로 설정하고 나머지 공간은 이동 가능한 경로로 인식할 수 있도록 한다(Figure 4).

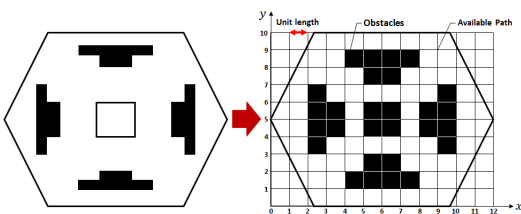


Figure 4. Mapping Module of Space Information on a Floor

3.2 자재정보 입력모듈

자재의 운반경로 및 거리산정을 위해서는 자재의 종류와 수량, 자재의 적재위치와 설치위치의 공간좌표가

필요하다. 거리산정을 위해 요구되는 정보는 아래의 Table 1과 같다.

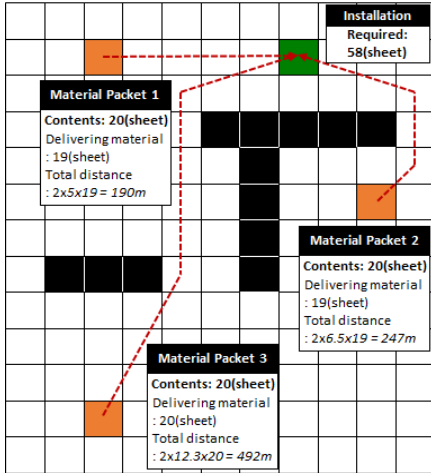
Table 1. Definition of Input Values

Definition of values	Description
$A \sim Z$	Type of input materials
Δ	Size of input materials
$k = \max(n)$	max. number of material per packet
$\Delta A_k \sim Z_k(x, y)$	Central point of materials
$locate(x, y)$	available location for placing a packet
m	Total number of material required on a wall
$AB_m \sim ZB_m(x, y)$	Central point of installation

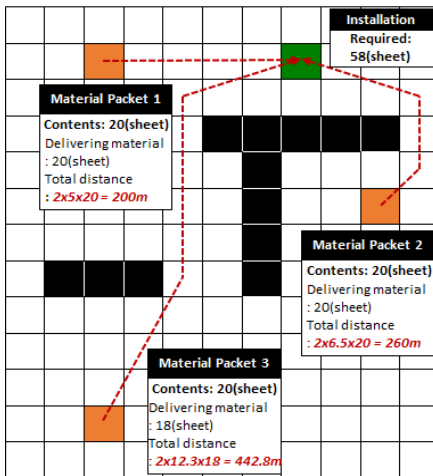
일반적으로 마감자재는 이동의 단순화를 위해 패킷 단위로 적재장소까지 운반된 후 패킷에서 각 자재의 설치위치까지 이동한다[11]. 마감자재는 종류에 따라 패킷이 구분되며 각 패킷은 문자형(A-Z)으로 정의하였다. 패킷의 크기는 배치영역을 나타내기 때문에 패킷의 규격(Δ)으로 정의하였으며 패킷의 자재 최대 수량(k) 정보를 설정하였다. 또한 자재의 운반거리는 패킷의 중심에서 각 설치영역의 중심까지로 가정하여 패킷의 중심좌표($locate(x, y)$)와 설치영역의 중심좌표($AB_m(x, y) \sim ZB_m(x, y)$)를 설정하였다.

3.3 JPS 기반 자재 최적 분할모듈

패킷의 자재 분배수량에 따라 총 운반 거리의 합이 달라질 수 있기 때문에 거리산정을 위해서는 운반 거리를 최소화할 수 있는 최적 자재분할 기법이 요구된다. 예를 들어, 1개층 마감공사를 위해 총 58개의 A 자재가 요구되고, 운반을 위해 최대 20장 단위로 패킷화가 가능하다고 가정한다면, 총 3개의 자재 패킷(20x3=60)이 필요하다. 이 때, 설치 위치까지의 운반거리에 따라 각 자재 패킷 별로 19, 19, 20장 또는 20, 20, 18장으로 분배될 수 있다(Figure 5). 설치를 위한 총 이동거리 산정 결과 Figure 5(a)와 Figure 5(b)는 각각 929m와 902.8m로 26.2m의 차이가 발생한다. 이에 본 연구에서는 운반거리가 최소인 자재 패킷에 우선적으로 자재를 최대한 배치하여 전체 이동거리를 최소화 하는 자재 최적 분할 기법을 적용한다.



(a) Failure case of optimal division of materials



(b) Best case of optimal division of materials

Figure 5. Optimal Division of Materials by Distance

3.4 자재배치 최적화 모듈

본 연구는 최적의 자재 배치위치를 산정하기 위해 GA를 활용하였다. GA의 유전자 구조와 목적 함수는 Park et al.[11]의 연구를 활용하였으며, 아래의 식 (1)과 같다.

$$Min \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n f_j \cdot \frac{2D_{i,j}}{V_i} \quad \text{-----(1)}$$

식 (1)에서 i 는 투입된 자재 패킷의 종류를 의미하며, j 는 작업 층 내 자재가 설치될 모든 위치를 말한다. f_j 는 자재 최적 분할 기법에 따라 산정된 i 자재 패킷의 분할 수량과 같고, 이 때 자재 패킷과 설치위

치까지의 운반횟수에 비례하는 왕복거리 $2D_{i,j}$ 로 표현된다. 또한 V_i 는 작업자의 운반속도를 의미한다. 이와 같은 목적함수를 바탕으로 본 연구에서는 모든 자재의 운반 소요 시간이 최소로 되는 자재배치 조합 도출 후 최적의 배치안을 결정한다. 예를 들어, 앞 절에서 언급한 바와 같이 $2D_{i,j}$ 와 f_j 가 각각 10m, 13m, 24.6m 및 20개, 20개, 18개이고, 작업자의 운반속도가 1m/s일 경우 해당 층 작업 완료를 위해 요구되는 총 자재 운반시간은 약 15분(902.8/60)이 된다.

4. 사례분석

4.1 공간 및 자재정보 모델링

본 연구에서 제시한 작업 층 자재배치 최적화 모델의 정확도 향상 정도를 검증하기 위해 Park et al.[11]의 연구에서 활용된 사례 평면을 사용하였으며, 내부 마감공사 자재 중 상대적으로 작업 물량 및 운반 빈도가 높은 석고보드를 대상으로 모델링 하였다[11]. 자재 배치해당 작업 층에 투입되는 석고보드 패킷 관련 정보는 아래의 Table 2와 같다. 그러나 기존 연구에서 활용된 사례 평면과 정확하게 일치시키기에는 어려움이 있어, 다음과 같은 가정을 통해 2차원 격자 맵핑화를 수행하였다.

- (1) 분할위치 별 물량 정보는 Table 3을 기준으로 한다.
 - (2) 석고보드 자재 별 분할작업 위치 중 정수로 도출되지 않는 중심점은 반올림한다.
- 이와 같은 가정을 바탕으로 단위길이 0.5m인 2차원 격자 맵핑화 결과는 아래의 Figure 6과 같다. 또한 유전자 알고리즘은 MATLAB 2014a를 사용하였으며, 초기 개체집단, 변이율 및 임계확률은 기존 연구와 동일하게 각각 100, 0.1 및 0.5로 설정하였다. 교배는 균등 교차(uniform crossover)연산을 적용하였다[11].

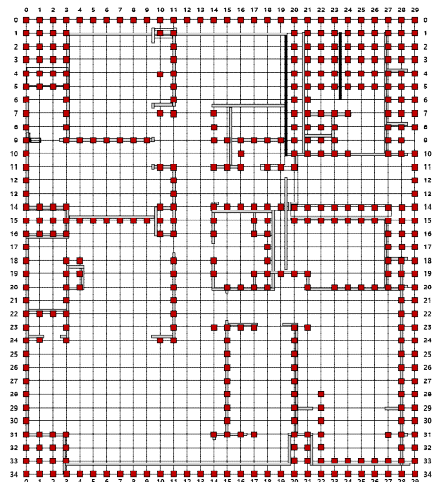


Figure 6. 2-Dimensional Grid Map of the Case Site

Table 2. Types of Material Packets

Code	Material Type	Q' ty (sheet)	l/V (s/m)	Num. of iteration
M1	Standard	120	1.5	120
M2	Waterproof	120	1.5	120
M3	Fireproof	100	1.5	100
M4		80	1.8	80
M4	Sound/insulation	120	1.5	120
M5	Fire/waterproof	100	1.5	100

Table 3. Input Quantity of Materials in the Working Floor

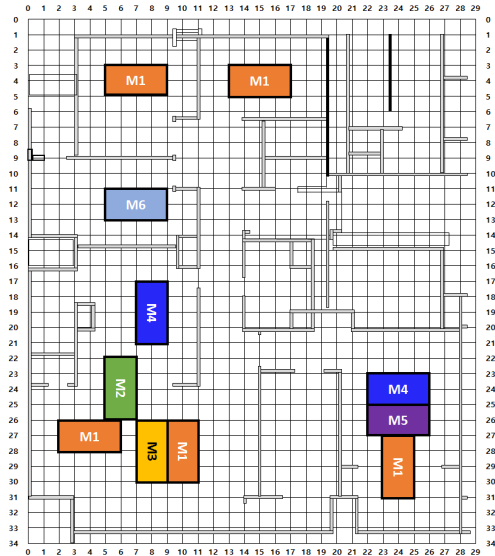
Code	Material Type	Input Q' ty (sheet)	Num. of working segmentation	Input packet
M1	Standard	514	41	5
M2	Waterproof	96	13	1
M3	Fireproof	48	20	1
M4		147	20	2
M5	Sound/insulation	28	2	1
M6	Fire/waterproof	33	5	1
Sum		866	101	11

4.2 기존 모델과의 비교분석

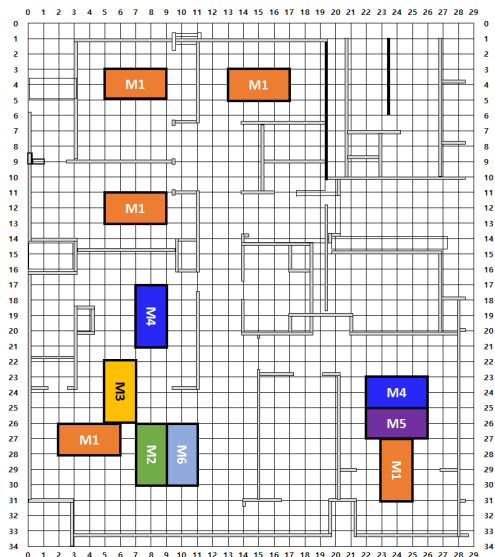
JPS 알고리즘 기반의 작업 층 자재배치 최적화 모델의 정확도를 정량적으로 평가하기 위해 ATP 알고리즘을 통해 도출된 배치결과와 비교분석을 수행하였다. Figure 7은 각 이동경로 탐색기법을 통해 도출된 최적 자재배치 위치를 나타낸 것이며, Table 4는 자재 별 층 이동거리 및 소요시간을 보여준다.

Table 4. Comparison of Transporting Distance and Time by ATP and JPS

Code	ATP		JPS	
	Dist. (m)	Time (min)	Dist. (m)	Time (min)
M1	4,485	112	3,133	78
M2	1,587	40	1,754	44
M3	865	22	758	19
M4	807	24	807	24
M5	160	4	160	4
M6	494	12	625	16
Sum	8,398	214	7,237	185



(a) Floor-level layout planning using the ATP



(b) Floor-level layout planning using the JPS

Figure 7. Results of Floor-level Layout Plannings by ATP and JPS

ATP 알고리즘을 통해 도출된 자재배치 위치 결과는 Park et al.[11]에서 제시한 결과와 동일하게 도출되었다(Figure 7(a)). 반면, 설치 완료를 위한 층 이동거리는 기존 연구결과와 상이한 수치를 나타내었다. 이는 앞서 언급하였듯이 기존 연구에서 활용된 사례평면과 정확하게 일치시키기는 어려움이 있어, 일부 가정을 통해 2차원 격자 맵핑화를 수행하였기 때문이라고 판단된다.

JPS 알고리즘을 통해 도출된 최적 자재배치 위치 결과는 Figure 7(b)와 같은 결과를 보였다. ATP 알고리즘을 통해 산출된 자재패킷 배치 결과 중 M4와 M5를 제외한 나머지 패킷의 배치 위치가 변경된 것으로 나타났다. 기존 (10, 28)에 위치한 M1 패킷과 (7, 12)에 위치한 M6 패킷, 그리고 (6, 24)에 위치한 M2 패킷과 (8, 28)에 위치한 M3 패킷이 맞교환 된 것을 확인할 수 있었다. 자재 패킷 별 이동거리로 분석해 보면, JPS 알고리즘을 적용한 경우 M1과 M3 패킷의 총 이동거리는 각각 1,342m, 107m가 감소된 반면, M2와 M6 패킷의 총 이동거리는 각각 167m, 131m 증가한 것으로 나타났다. 이와 같은 결과를 보았을 때 감소된 이동거리의 대부분은 (7, 12)에 M1 패킷을 배치함으로써 발생된 것을 확인할 수 있었다.

Table 5는 (7, 12)에 M1 패킷을 배치함에 따라 변경되는 전달 자재 개수와 그에 따른 이동거리 변화를 보여준다. ATP 배치안 분석결과, 총 10개의 M1 자재가 설치될 (0, 11)은 (7, 4)와 (15, 4)에 위치한 M1 자재 패킷으로부터 각각 4장 및 6장을 전달 받았다. 또한 12장이 설치될 (16, 14)는 (7, 4)와 (16, 14)에 위치한 M1 자재 패킷으로부터 각각 4장 및 8장을 전달 받은 것을 확인할 수 있었다. 한편, JPS 배치안은 (7, 12)에 위치한 M1 패킷으로부터 모두 전달 받았으며, 이에 따른 총 이동거리는 211m로 기존 배치안인 410m에 비해 약 49% 감소되는 것을 파악할 수 있었다.

결과적으로, JPS 알고리즘을 적용한 자재 배치안에 따른 총 이동거리(7,237m)와 소요시간(185min)은 ATP 알고리즘 기반 배치안에 따른 결과와 비교하였을 때 약 14%가 감소되는 결과를 보였다. 이는 JPS 알고리즘이 기존 휴리스틱 탐색법(ATP 알고리즘)과 비교하여 다양한 장애물이 존재하는 건물 내부 공간에서 보다 최적의 경로를 제시할 수 있음을 보여준다.

Table 5. Results of Transporting Distances Changed by M1 Layout Plans

Classification	Num. of received materials				
	Installing location by ATP		Installing location by JPS		
	(0,11)	(16,14)	(0,11)	(16,14)	
M1 layout plan	JPS (7,12)	-	-	10	12
	ATP (7,4)	4	4	-	-
	ATP (15,4)	6	8	-	-
Total quantity(sheet)		10	12	10	12
Total distance(m)		252	158	74	137

5. 결론

본 연구는 효율적인 공간관리를 통한 생산성 향상이 크게 요구되는 초고층 건축공사를 대상으로 JPS 알고리즘 기반의 작업 층 자재배치 최적화 모델을 제안하였다. 본 연구는 자재 배치 최적화 결과에 증대한 영

향을 미치는 경로탐색에 있어, 기존 휴리스틱 탐색법에 비해 보다 신뢰성 높은 결과를 가져올 수 있는 JPS 알고리즘의 건설분야 적용성을 모색하는데 초점을 두었다. 사례연구 결과, JPS 알고리즘을 통해 도출된 자재 배치안은 기존 휴리스틱 탐색법에 기반한 자재 배치안에 비해 약 14%의 작업생산성 향상을 가져올 수 있음을 보였다. 이러한 결과는 JPS 알고리즘이 다양한 형태와 복잡성을 가진 초고층 건물의 내부 공간에서 보다 신뢰성 높은 경로탐색을 바탕으로 최적의 자재배치 결과를 제시할 수 있음을 보여준다. 본 연구에서 제시한 이동경로 탐색 알고리즘을 토대로 자재별 세부 특성이 함께 고려된다면 보다 현실적이고 신뢰성 높은 레이아웃 모델의 구현이 가능할 것이다. 이와 더불어 JPS 알고리즘의 빠른 연산속도를 통해 실시간 최적 경로 제공이 가능함에 따라 건물 내 화재 등과 같은 재난 발생 시 실시간 피난경로 제공과 같은 최적화 연구에도 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

감사

이 논문은 2015학년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음

참고문헌

- Ahn, B. J., Kim, J. J., Kim, K., Kim, S. G., "A Study on the Optimization of Site Layout in the High-Rise Building Construction", Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 15, No. 12, 107-118 (1999).
- Cheng, M. Y., O' Connor, J. T., "ArcSite:Enhanced GIS for Construction Site Layout", Journal of Construction and Management, Vol. 122, No. 4, 329-336 (1996).
- Ning, X., Lam, K. C., Lam, M. C. K., "Dynamic Construction site Layout Planning using max-min ant system", Automation in Construction, Vol. 19, No. 1, 55-65 (2010).
- Wong, C. K., Fung, W. H., Tam, C. M., "Comparison of Using Mixed-Integer Programming and Genetic Algorithms for Construction Site Facility Layout Planning", Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 136, No. 10, 1116-1128 (2010).
- Park, U. Y., An, S. H., "Optimization Algorithms for Site Facility Layout Problems Using Self-Organizing Maps", Journal of the Korea Institute of Building Construction, Vol. 12, No. 6, 664-673 (2012).
- Yahya, M., Saka, M. P., "Construction Site Layout Planning using multi-objective Artificial Bee Colony Algorithm with Levy Flights", Automation in Construction, Vol. 38, 14-29 (2014).

7. Zouein, P. P. and Tommelein, I. D., "Improvement Algorithms for Limited Space Scheduling", *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 127, No. 2, 116-124 (2001).
8. Jang, H. S., Lee, S. Y., Choi, S. K., "Optimization of Floor-level Construction Material Layout using Genetic Algorithms", *Automation in Construction*, Vol. 16, No. 4, 531-545 (2007).
9. Sanad, H., Ammar, M., Ibrahim, M., "Optimal Construction Site Layout considering Safety and Environment Aspects", *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 134, No. 7, 536-544 (2008).
10. Said, H. and El-Rayes, K., "Optimizing Material Procurement and Storage on Construction Sites", *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 137, No. 6, 421-431 (2011).
11. Park, M. S., Yang, Y. J., Lee, H. S., Han, S. W., Ji, S. H., "Floor-Level Construction Material Layout Planning Model Considering Actual Travel Path", *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 138, No. 7, 905-915 (2012).
12. Said, H. and El-Rayes, K., "Performance of Global Optimization Models for Dynamic Site Layout Planning of Construction Project", *Automation in Construction*, Vol. 36, 71-78 (2013).
13. Ryu, Y. G. and Park, Y. J., "A Study on A* Algorithm Applying Reversed Direction Method for High Accuracy of the Shortest Path Searching", *Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, Vol. 23, No. 6, 01-09 (2013).
14. Harabor, D. and Grastien, A., "Online Graph Pruning for Pathfinding on Grid Map", NICTA and The Australian National University (2011).
15. Harabor D. and Grastien A., "The JPS Pathfinding System", *Proceedings of the 5th Annual Symposium on Combinatorial Search*, 207-208 (2012).
16. Tanner, B., "Jump Point Search Analysis", Florida State University (2013)
17. Zeyad, A. A., Mohd, S. S., Hoshang K., "A Comprehensive Study on Pathfinding Techniques for Robotics and Video Games", *International Journal of Computer Games Technology*, 2-11 (2015).
18. Harabor, D. and Grastien, A., "Improving Jump Point Search", *Proceedings of the 24th International Conference on Automated Planning and Scheduling* (2015).
19. Sturtevant, N., Traish, J., Tulip, J., Uras, T., Koenig, S., Strasser, B., Botea, A., Harabor, D., Rabin, S., "The Grid-Based Path Planning Competition: 2014 Entries and Results", *Proceedings of the 8th International Symposium on Combinatorial Search*, 241-251 (2015).
20. Jung, D. W., "Smooth Path Generation using Hexagonal Cell Representation", *Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Science*, Vol. 39, No. 12, 1124-1132 (2011).
21. Rilett, L. R. and Park, D., "Incorporating Uncertainty and Multiple Objectives in Real-time Route Selection", *Journal of Transportation and Engineering*, Vol. 127, No. 6, 531-539 (2001).