

청소 로봇의 회전 반경을 고려한 청소 영역 오버랩 균등 분배 기반 경로 계획 효율화 방법

An Efficient Path Planning Method for Cleaning Robots considering Turning Radius and Equitable Distribution of Overlapping Cleaning Areas

경도현¹·곽정훈²·양견모²·구재완²·서갑호[†]

Dohyun Kyoung¹, Jeonghoon Kwak², Kyon-Mo Yang², Jaewan Koo², Kap-Ho Seo[†]

Abstract: Automating cleaning processes using cleaning robots in environments like Agricultural Products Processing Centers (APC), where a lot of contaminants are generated, is crucial. However, cleaning robots applied in such environments tend to be larger in order to ensure sufficient capacity of the cleaning container and suction power. Due to this structure, they perform driving in the divided cleaning areas by a non-sequential (spiral) manner, causing overlap between the areas and significantly reducing the efficiency of the cleaning robot. This paper proposes a method that defines cleaning areas based on robot specifications during navigation, then divides the entire cleaning range to evenly distribute overlap. The proposed method demonstrates superior performance in terms of path efficiency, covering the cleaning area with approximately 17% less cost over the entire path length due to the optimization of the space division technique. Notably, it achieves a 100% coverage rate, perfectly covering all cleaning areas. With path duplication and deviation rates at 16.67% and 0% respectively, it demonstrates high efficiency in path generation, not deviating from the route while maintaining a low rate of overlap.

Keywords: Cleaning Robot, Coverage Path Planning, Path Duplication Problem, Minimum Turning Radius

1. 서론

실내 공간 청소는 로봇을 이용하여 빠르게 실용화, 상용화된 분야 중 하나이다. 최근, 자율주행 기술 기반의 청소 로봇은 가정

과 같은 소규모 공간뿐만 아니라 공항, 사무실, 쇼핑몰과 같은 대형 공간에 확장 적용되고 있다. 하지만 농산물에 묻은 흙, 먼지, 껍질 등에 의해 오염이 많이 발생하는 농산물산지유통센터(Agricultural Products Processing Center, APC)와 같은 환경에서는 흡입력 및 먼지통의 용량을 확보하기 위해 [Fig. 1]과 같이 제자리 회전이 어려운 3륜 구조의 유인 청소 로봇을 주로 사용하고 있어 기존 주행 경로 생성 알고리즘 적용이 어렵다^{1,2}. 3륜 구조 특성상 회전 반경이 커서 유연한 방향 전환이 어렵고, 그로 인해 효율적인 주행 경로를 생성하는 데 한계가 있다. 본 논문에서는 대형 청소 로봇의 자율화를 위해 3륜 로봇의 구조적인 특성을 고려한 주행 경로 생성 최적화 방법을 제안한다.

청소 로봇의 자율 주행 경로 생성은 장애물을 고려한 일반적인 자율 주행 경로 생성과는 다르게 주행 시 청소 가능 영역을 고려하여 경로를 생성한다. 따라서 기존 연구들에서는 청소 공간에 대해

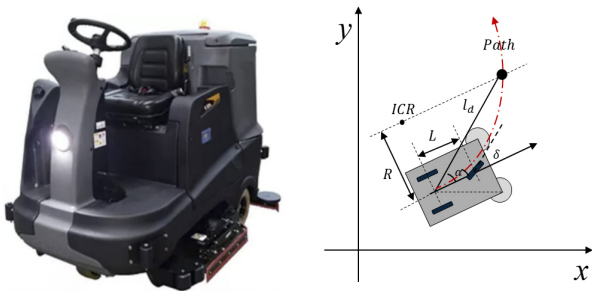
Received : Jul. 22. 2024; Revised : Aug. 26. 2024; Accepted : Oct. 18. 2024

※ This work was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through High Value-added Food Technology Development Program, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (RS-2022-IP322054).

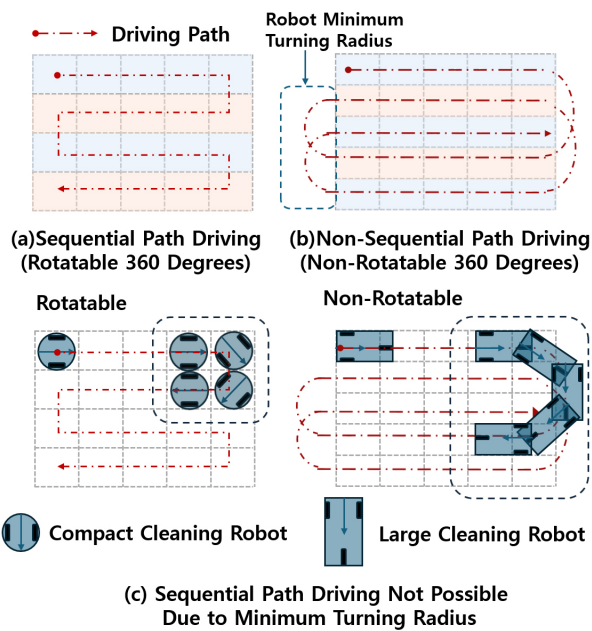
1. Researcher, Korea Institute of Robotics & Technology Convergence, Seoul, Korea (kyoungdh@kiro.re.kr)

2. Senior Researcher, Korea Institute of Robotics & Technology Convergence, Seoul, Korea (jeonghoon, kmyang, jwkoo3236@kiro.re.kr)

† Chief Researcher, Corresponding author: Korea Institute of Robotics & Technology Convergence, Pohang; Adjunct Professor, Department of robot and smart system engineering, Kyungpook National University, Daegu, Korea (neoworld@kiro.re.kr)



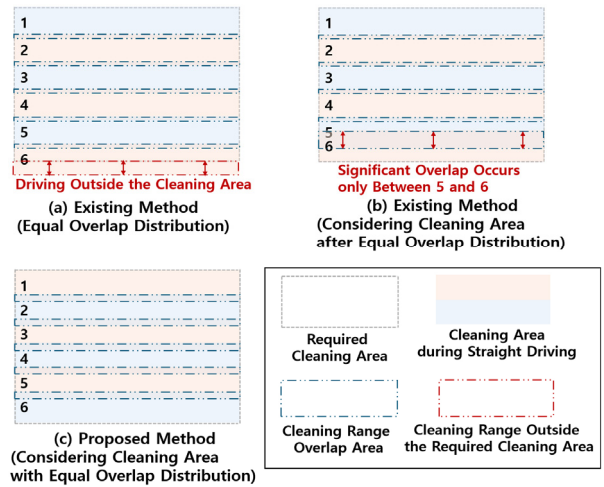
[Fig. 1] Mechanical characteristics of cleaning robot: δ is the steering angle of the robot, l_d is the distance to the target, and α is the angle between the target and the direction of the robot



[Fig. 2] Challenges of applying conventional path generation methods to large-scale cleaning robots

로봇의 브러시 길이를 고려하여 청소 가능 영역을 생성하고, 청소 필요 영역을 격자 모양으로 분할한다. 또한 센서 및 경로 추종의 에러에 의한 오차 발생을 고려하여 직진 주행 시 청소 영역간의 오버랩을 생성한다³⁾. [Fig. 2(a)]는 분할된 영역의 첫번째 행을 청소 후, 순차적으로 다음 행을 청소하도록 계획한다⁴⁻¹⁰⁾. 하지만 본 논문에서 자율 주행을 적용하고자 하는 대형 청소 로봇의 경우 360도 제자리 회전이 불가능하기 때문에 구동 바퀴와 조향 바퀴의 거리 차에 의해 최소 회전 반경이 필요하여 [Fig. 2(b)]와 같이 격자의 행을 비순차적으로 주행하며 경로를 생성한다^{11,12)}.

본 논문에서는 기존 청소 로봇의 비순차적 주행 경로 생성 시, 청소 필요 영역 밖을 청소하지 않도록 하며, 주행 에러를 고려하기 위한 오버랩(Overlap)을 균등하게 분배하는 방법을 제안한다. [Fig. 3]은 제안하는 방법의 개념도이다. 기존 방법에서는 기본 영역 내에서 청소 필요 영역을 설정하고, 해당 영역을 직진 주행 시



[Fig. 3] Comparison of proposed method and previous methods

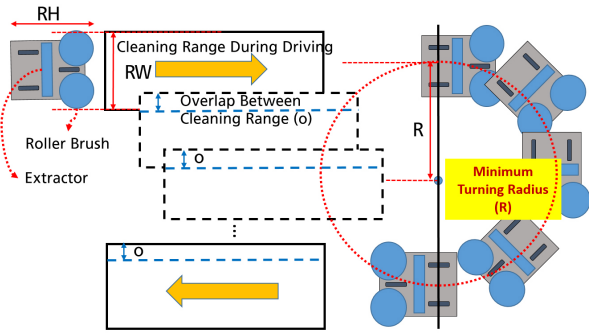
청소 영역으로 분할하여 경로를 설정하는 방법은 주행 시 청소 영역간의 간격을 균등하게 설정하는 [Fig. 3(a)]이다¹²⁻¹⁴⁾. 이 방법은 필요 청소 영역 밖을 청소할 수 있기 때문에, [Fig. 3(b)]와 같이 초과된 청소 영역의 행을 조정한다¹⁵⁻¹⁷⁾. 하지만, 이 방법은 청소 영역 하단 주행 시 청소 영역의 오버랩이 상대적으로 커지는 문제가 발생한다. 해당 방법을 사용했을 경우, 최소 회전 반경을 고려하지 못하여 회전각이 나오지 않을 수 있다. 또한, 청소 영역이 일관되게 청소되지 못하는 문제가 있다. 따라서, 제안하는 방법은 [Fig. 3(c)]와 같이 균등하게 오버랩을 분배함으로써 각 주행 시 청소 영역의 최소 회전 각도 및 주행 에러를 고려한 오버랩 최적화와 영역 밖 청소를 방지하고자 한다. 제안한 방법을 통한 논문의 공헌도는 다음과 같다.

- 청소 안전성 확보를 위해 청소 영역을 고려한 주행 시 청소 영역 조정
- 청소 효율성 확보를 위해 주행 시 청소 영역의 오버랩 균등 분배

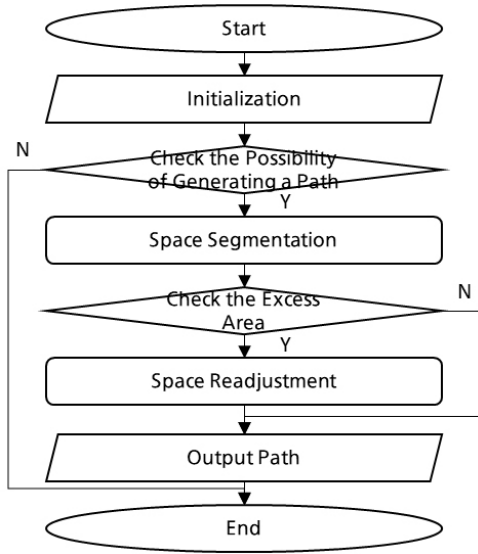
본 논문의 구성을 다음과 같다. 2장에서는 대형 청소 로봇의 주행 특성을 고려한 경로 계획 방법을 제시한다. 3장에서는 제안한 방법을 검증 및 성능을 비교한다. 4장에서는 결론 및 향후 연구를 제안한다.

2. 청소 로봇의 이동 경로 계획 방법

[Fig. 4]는 청소로봇 주행을 고려한 이동 경로를 생성한 요소 정의이다. 주행 시 청소 영역은 (RH × RW)로, 롤러 브러시 범위와 청소 로봇의 크기에 의해 정의되며, 최소 회전 반경은 (R)로 정의한다. 또한, 대형 청소 로봇은 순차적으로 청소 영역의 행을 청소할



[Fig. 4] Definition of cleaning area elements for path planning



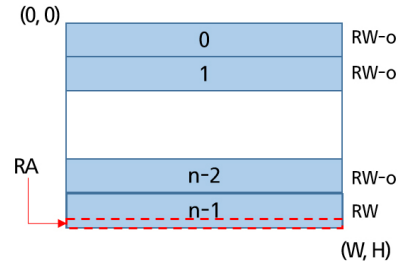
[Fig. 5] Flowchart of proposed path generation method

수 없기 때문에 발생하는 청소 영역간 오버랩은 (o)로 정의한다.

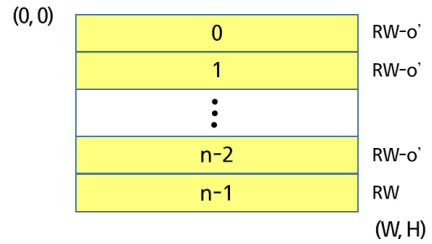
[Fig. 5]는 대형 청소로봇을 위해 청소 필요 영역 및 주행 시 청소 영역의 오버랩을 균등 분배 하기 위한 순서도이다. 초기화 (Initialization) 단계에서는 청소 로봇이 투입될 공간 및 청소 로봇의 제원 정보를 입력한다. 경로 생성 가능 여부 확인(Check the Possibility of Generating a Path)에서는 설정된 이동 영역 및 청소 로봇의 정보를 기반으로 청소를 수행해야 하는 공간 내 이동 경로 생성 가능 여부를 확인한다. 본 시스템에서는 설정된 이동 영역이 청소 로봇의 제원보다 작을 경우 이동 경로를 생성하지 않는다.

공간 분할(Space Segmentation)에서는 청소 필요 영역 및 최소 회전 반경을 고려하여 공간을 분할하고, 각 공간을 인덱스로 정의한다. [Fig. 6]은 청소 영역의 분할 예이다. (W, H)는 청소 영역의 가로와 세로의 길이를 의미한다. RA는 이동 영역 밖에 설정된 남은 영역으로, 벽과 같은 장애물이 존재할 수 있다.

설정된 청소 필요 영역 커버를 위한 공간들을 도출하기 위한 수식은 식 (1)과 같다. 지정된 크기에 따라 n개의 공간으로 분할하게 된다. 즉, 식 (1)의 n은 청소 영역을 n개로 분할한 개수이며, 식 (2)



[Fig. 6] Remaining area after space division



[Fig. 7] Space reconstructed by removing remaining areas

와 식 (3)을 만족하는 n개의 공간으로 설정된다. 식 (2)는 전체 청소 영역 및 오버랩 폭을 고려하여 n이 결정되며, H는 청소 영역의 세로 길이이다. 360도 회전이 불가능한 로봇의 특성을 반영하기 위해 로봇의 최소 회전 반경을 식 (3)과 같이 고려한다^[12-14].

$$n^* = \operatorname{argmin}_n (f(n)), \{n : f(n) \geq 0, g(n) \geq 2R\} \quad (1)$$

$$f(n) = H - (RW - o) \times n + o \quad (2)$$

$$g(n) = (RW - o) \times \left(\left\lceil \frac{(n-1)}{2} \right\rceil - 1 \right) \quad (3)$$

초과 영역 확인(Check the Excess Area)에서는 분할된 공간이 청소 필요 영역 내에 있는지 확인한다. 남은 영역 (RA)이 있는 경우에는 이동 영역 밖에 청소 로봇이 이동하기 때문에 벽과 같은 장애물에 충돌 및 청소하지 말아야 할 공간을 청소할 수 있으므로 공간을 재할당이 필요하다. 따라서, 남은 영역이 있을 경우, 공간 재조정(Space Readjustment)이 수행되며 남은 영역이 없는 경우에는 경로 산출(Output Path)이 수행된다. 비록 처음부터 공간 분할 단계에서 영역을 고려하더라도, 청소 로봇의 크기, 청소할 영역의 특성, 최소 회전 반경 등의 변수들이 경로 생성에 영향을 미치기 때문에 재조정 단계가 필요하다. 이것은 다양한 시나리오에서 최적의 경로를 생성하기 위한 중요한 과정이다.

공간 재조정 단계에서는 설정된 값을 기반으로 경로 생성 가능성을 확인한다. 이동 영역 밖으로 로봇이 이동하는 경우에 구간을 재조정하여 경로를 다시 계획한다. 식 (4)와 같이 설정된 n을 기반으로 남은 영역 (RA)를 나누고 오버랩 폭을 새롭게 계산하여 [Fig.

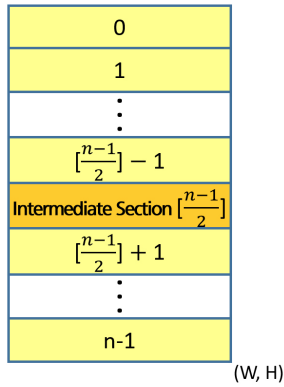
기와 같이 재구성한다. 식 (4)에서 o 는 기존에 설정한 오버랩 크기이며, o' 는 새롭게 계산된 오버랩 폭 크기를 의미한다.

$$o' = o + \frac{RH}{n} \tag{4}$$

최종적으로 도출되는 경로는 남는 영역을 제거하여 모든 영역을 커버하는 경로가 계획된다. [Fig. 8]은 도출된 경로를 방문하는 순서이며, 단방향으로 이동하는 특성을 고려하여 0번 인덱스 방문 후에 중간 경로(Intermediate Section)로 이동하여 경로 중복을 최소화한다.

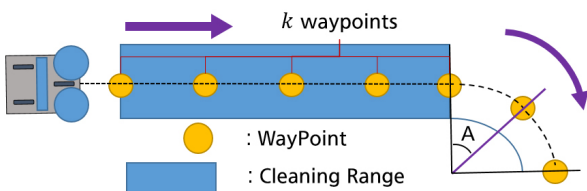
최종적으로 도출되는 경로는 남는 영역을 제거하여 모든 영역을 커버하는 경로가 계획된다. [Fig. 8]은 도출된 경로를 방문하는 순서이며, 단방향으로 이동하는 특성을 고려하여 0번 인덱스 방문 후에 중간 경로(Intermediate Section)로 이동하여 경로 중복을 최소화한다.

청소 로봇이 청소 영역을 모두 청소하기 위해 이동하기 위해 직선 및 회전 구간에서 웨이포인트를 생성한다. 직선 구간은 횡 방향으로 [Fig. 9]와 같이 나누어진다. 횡 방향 직선 구간에서는 지정된 k 개만큼 웨이포인트를 생성하며, 간격은 $\frac{W}{k}$ 이다. 회전 구간에서는 지정된 회전 구간 각도 (A)마다 웨이포인트를 생성한다. 생성 조건은 $\frac{W}{k}$ 와 회전해야 하는 각도 A 의 결과에 대해 나머지가 0 이어야 한다.



$$0 \rightarrow \lfloor \frac{n-1}{2} \rfloor \rightarrow 1 \rightarrow \lfloor \frac{n-1}{2} \rfloor + 1 \rightarrow \dots \rightarrow \lfloor \frac{n-1}{2} \rfloor - 1 \rightarrow n-1$$

[Fig. 8] Order of visiting spaces



[Fig. 9] Method of generating waypoint in horizontal and rotating sections

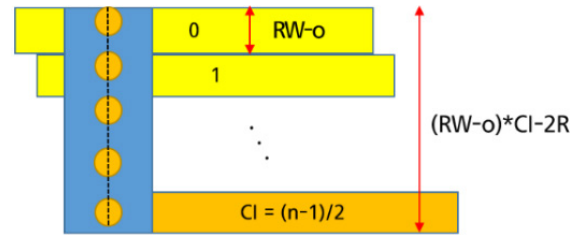
회전 후에 나오는 종 방향 직선 구간은 청소 로봇이 실제로 청소를 하지 않지만, 다음 위치로 이동하기 위해 거쳐 가는 구간이다. 종 방향에 대한 직선 구간에서는 [Fig. 10]과 같이 웨이포인트를 생성한다. 회전 구간을 제외한 종 방향 직선 구간에서 전체 공간 분할 인덱스마다 웨이포인트를 생성한다. 따라서 2R을 제외한 길이에 대해 전체 공간 분할 인덱스마다 웨이포인트를 생성한다.

3. 실험

본 실험에서는 제안된 방법과 여러 이동 경로 계획 방법들의 성능을 비교하고, 제안된 방법이 다양한 변수 값에 따라 어떻게 영향을 받는지를 분석한다. 이를 통해 제안된 방법이 다양한 상황과 조건에서 효과적으로 경로를 생성할 수 있는지에 대한 포괄적인 이해를 도출한다.

3.1 다양한 이동 경로 계획 방법에 따른 비교 평가

제안한 방법의 우수성을 입증하기 위해서 제안한 방법과 [Fig. 3]와 같이 이동 경로를 계획하는 기존 방법과의 결과를 비교 분석한다. 이 실험을 위해 설정한 입력 변수들과 입력 값들은 [Table 1]와 같다. [Fig. 11]은 경로 및 웨이포인트를 시각화한 결과이다. 흰색 사각형은 설정된 청소영역이다. 각 케이스에 따라 경로 및 웨이포인트와 청소 영역이 커버된 영역을 시각적으로 나타내었다. 웨이포인트는 모든 방법에 대해서 빨간색 점으로 표현했으며, 청소 로봇이 지나가며 커버된 영역은 지정된 색으로 채웠다. 공통적으



[Fig. 10] Waypoint of generation method for vertical section

[Table 1] The input variable and values for comparing experimental results

Input Variable	Input Value
Cleaning Area ($H \times W$)	150×200 (pixel)
Cleaning Robot Size ($RH \times RW$)	15×22 (pixel)
Minimum Turning Radius (R)	18 (pixel)
Overlap Width (o)	4 (pixel)
Lateral Waypoints (N)	10
Angle Between Waypoints in the Turning Section (A)	30 (°)

로 청소로봇의 청소는 횡 방향 이동 시에만 청소 기능이 활성화되어 이루어진다. 회전하는 동안에는 청소 기능이 작동하지 않기 때문에, 회전구간에서는 경로만 표시되며 커버 영역은 표시되지 않았다. 경로 시작점은 왼쪽 상단 모서리로 고정하였다.

[Fig. 11(a)] 은 [Fig. 3(a)] 방법으로 청소 영역을 오버랩 균등 분배하여 이동 경로를 계획한 결과이다. 특히, 청소 영역 하단에서 경로가 청소 영역 외부로 이탈하여 생성된 것을 확인할 수 있다. 이것은 공간 분할 후에 발생한 잔여 영역 때문이며, 청소 영역 하단의 직선 구간에서 처리되지 않은 여분의 영역이 남아있는 것을 볼 수 있다. 전체 영역의 공간 분할 후 잔여 영역이 발생하면, 의도하지 않은 추가적인 경로가 필요할 수 있으며, 이로 인해 청소 영역을 벗어나는 부정확한 경로를 생성하는 상황이 발생할 수 있다. [Fig. 11(b)]는 [Fig. 3(b)]의 방법으로 오버랩을 균등하게 분배한 후, 청소 영역을 고려하여 경로를 생성한 결과를 보여준다. 청소 영역을 벗어나지 않기 위해 하단 경로에서 오버랩을 크게 설정했다. [Fig. 11(a)]와 비교했을 때, 청소 영역을 이탈하지 않은 점은 긍정적이지만 청소가 균일하게 이루어지지 않는다는 문제가 있다.

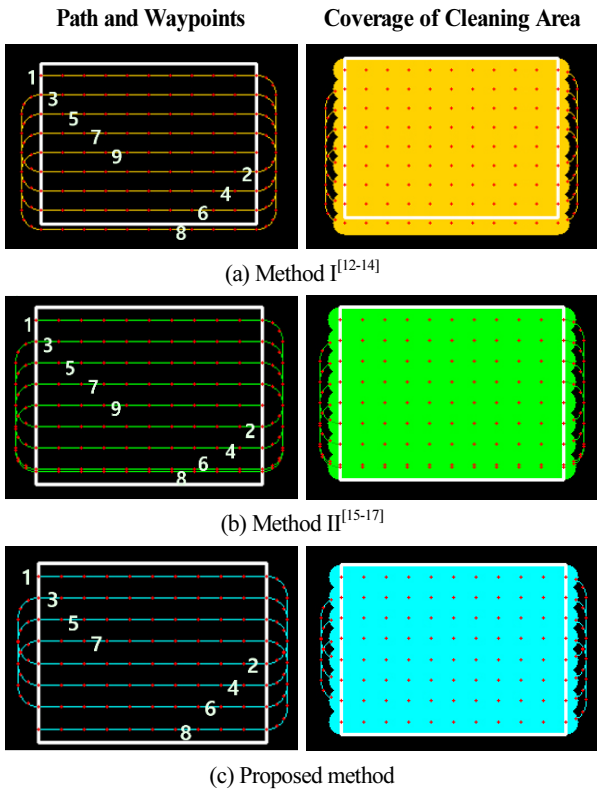
[Fig. 11(c)]는 본 논문에서 제안한 방법을 기반으로 이동 경로를 계획한 결과를 보여준다. 기존 방법에서 발생했던 경로 및 웨이 포인트가 청소 영역 외부로 벗어나는 문제를 해결하고 청소가 균

일하지 않거나, 최소 회전 각도로 인해 회전을 수행하지 못하는 문제를 개선하였다.

[Table 2]은 [Fig. 11]의 결과를 수치화한 표이다. [Fig. 11(a)], [Fig. 11(b)], 그리고 [Fig. 11(c)]는 각각 Method I, Method II, 그리고 Method III로 표시했다. 전체 경로 길이는 짧을수록, 커버 비율은 100%에 가까울수록 방법이 우수하다고 평가할 수 있다. 커버 비율이 100%를 초과하면 청소 영역을 벗어났음을 의미한다.

[Fig. 11(a)] 결과에서 경로 중복 비율은 17.31%로 나타났으며, 전체 경로 길이는 2754 pixel로 측정되었다. 중복 경로로 인해 전체 경로 길이가 길어졌음을 알 수 있다. 또한, 청소 영역 이탈 비율이 5.56%로, 일부 경로가 청소 영역을 벗어났음을 확인할 수 있다. [Fig. 11(b)]에서는 [Fig. 11(a)]에 비해 경로 중복 비율이 19.02%로 다소 증가했고, 전체 경로 길이는 2574 pixel로 감소했으며 청소 영역을 완전히 커버하면서도 이탈하지 않는 경로가 생성되었다.

제안된 방법인 [Fig. 11(c)]는 청소 영역을 100% 커버하며, 청소 영역 이탈 없이 모든 영역을 효율적으로 방문했다. 경로 이탈 비율은 0%였으며, 전체 경로 길이도 가장 짧게 측정되었다. 추가적으로 경로의 중복 비율도 16.67%로 가장 짧았다. 효율적인 경로 생성을 위해 주어진 오버랩 폭이 3 pixel로 조정되었다. 이 방법은 청소 영역을 균등하게 분할하고, 효율적으로 움직였음을 보여주었다. [Fig. 11(a)]와 [Fig. 11(b)]에 비해 청소 효율성 및 안전성



[Fig. 11] Visualization results of path generation methods for a cleaning robot in comparison with the proposed method

[Table 2] Various path generation methods for cleaning robots and analyzing results of the proposed method

	Method I	Method II	Proposed Method
Total Path Length	2754 (pixel)	2574 (pixel)	2196 (pixel)
Overall Coverage Ratio	105.56 (%)	100 (%)	100 (%)
Path Overlap Ratio	17.31 (%)	19.02 (%)	16.67 (%)
Cleaning Area Departure Ratio	5.56 (%)	0 (%)	0 (%)
Adjusted Overlap Width	-	-	3 (pixel)

[Table 3] Input parameters for evaluating path generation results based on the proposed method

	Case I	Case II	Case III
Cleaning Area Size (H×W)	200×150 (pixel)	150×250 (pixel)	200×200 (pixel)
Cleaning Robot Size (H×W)	20×20 (pixel)	18×21 (pixel)	25×20 (pixel)
Minimum Turning Radius	15 (pixel)	20 (pixel)	24 (pixel)
Overlap Width	3 (pixel)	2 (pixel)	1 (pixel)

을 확인하였다. 제안된 방법은 효율적이고 체계적인 청소 경로 생성 가능함을 증명했다.

3.2 제안 방법에서 다양한 변수에 따른 경로 생성 결과

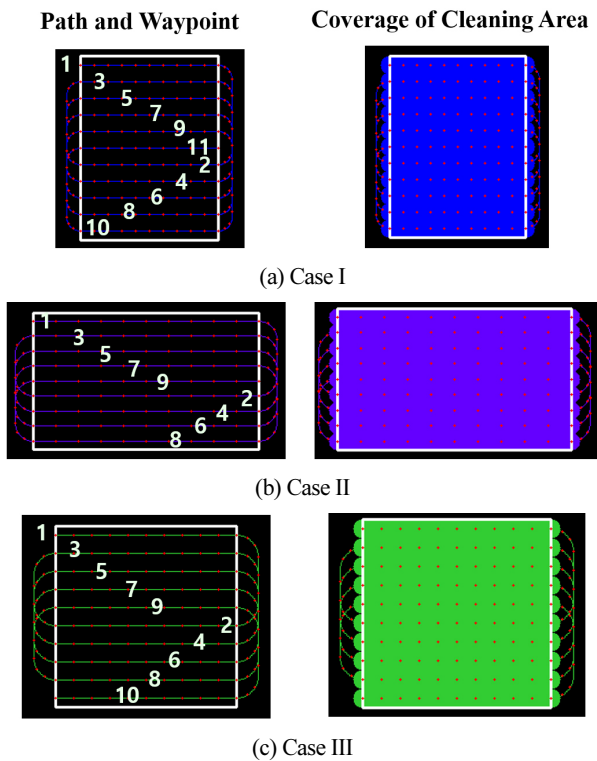
본 논문에서는 제안된 방법의 적용 범위와 효율성을 평가하기 위해 최소 회전 반경, 청소 영역의 크기, 청소 로봇의 크기, 그리고 오버랩 폭과 같은 변수들을 조정하여 경로를 생성하고, 그 결과를 비교 분석하였다. [Table 3]은 이러한 변수들에 따른 제안 방법의 성능 결과를 비교하기 위해 사용된 입력 값을 요약하여 보여준다. 단, 횡방향 웨이포인트 개수와 회전 구간 웨이포인트 생성 각도는 경로 생성 자체에 큰 영향을 미치지 않기 때문에 각각 10과 30°를

고정 값으로 사용하였다.

Case I에서는 청소 로봇의 세로와 가로 길이가 동일한 경우를 다루었으며, 청소 영역은 세로 길이가 가로 길이보다 큰 직사각형으로 설정하였다. 이 경우 최소 회전 반경을 15 pixel, 오버랩 폭을 3 pixel로 설정하여 경로를 생성하였다. Case II는 가로 길이가 세로 길이보다 큰 직사각형 영역을 대상으로 하였으며, 청소 로봇의 크기 역시 가로가 세로보다 큰 경우로 설정되었다. 이 경우 최소 회전 반경은 20 pixel, 오버랩 폭은 2 pixel로 설정하여 경로를 생성하였다. Case III에서는 청소 영역이 정사각형 형태로, 청소 로봇의 세로가 가로보다 큰 경우를 다루었다. 이 경우 최소 회전 반경은 24 pixel, 오버랩 폭은 1 pixel로 설정하여 경로를 생성하였다. 이러한 케이스들은 제안된 방법이 다양한 상황에서도 효과적으로 적용될 수 있음을 검증하기 위해 설정되었다. 각 케이스는 청소 로봇의 크기와 청소 영역의 형태가 다른 다양한 시나리오를 반영하며, 이를 통해 제안된 경로 생성 방법의 범용성과 유연성을 보여준다.

[Fig. 12]는 [Table 3]의 Case I, Case II, 그리고 Case III 값에 따라 생성된 경로를 시각화한 결과이다. 모든 청소 영역을 방문하면서 이탈하지 않고 이동 경로를 생성하는 모습을 보여준다. 특히, 경로 생성 과정에서 오버랩을 조정하고 최소 회전 반경을 고려하여 청소 영역 내의 모든 영역을 효과적으로 커버함을 확인할 수 있다. 또한, 제안된 방법은 다양한 크기의 청소 영역에서 일관된 성능을 발휘하며, 이것은 청소 로봇의 크기와 청소 영역의 크기가 변하더라도 경로 계획이 유연하게 조정될 수 있음을 시사한다. 이러한 결과는 제안된 방법이 실제의 다양한 시나리오에서도 적용 가능성을 보여준다.

[Table 4]는 [Fig. 12]에서 시각적으로 보여준 정보들을 수치화해서 정리한 결과이다. 세 가지 경우 모두 커버율이 100%를 도달했고, 청소 영역 이탈 비율이 0%로 청소 영역을 이탈하지 않았다. 경로 중복 비율은 오버랩 폭에 의해 결정되며, 각각의 Case에서 설정된 파라미터에 따라 오버랩 폭이 조정되었다. 제안된 방법은 다양한 변수 설정에도 불구하고 청소 영역을 완벽하게 커버하며, 경로 이탈 없이 효율적인 경로 생성 가능함을 확인했다. 본 실험의 결과로 제안된 방법이 다양한 환경과 조건에서 안정적이고 효과적으로 적용될 수 있음을 입증했다.



[Fig. 12] Visualization results comparing various parameter variables of the proposed method

[Table 4] Analysis of path generation based on the proposed method for cleaning robot with various parameter

	Case I	Case II	Case III
Total Path Length	2796 (pixel)	3023 (pixel)	3053 (pixel)
Overall Coverage Ratio	100 (%)	100 (%)	100 (%)
Path Overlap Ratio	14.43(%)	6.35 (%)	5.61 (%)
Cleaning Area Departure Ratio	0 (%)	0 (%)	0 (%)
Adjusted Overlap Width	2 (pixel)	1 (pixel)	1 (pixel)

4. 결론 및 향후연구

본 논문은 APC 환경과 같이 오염물이 많은 대공간 청소를 위해 적용되는 대형 청소 로봇의 주행 경로를 청소 필요 영역과 각각의 주행 시 청소 영역의 오버랩을 균등화하여 효율화하는 방법을 제안다. 제안된 방법은 로봇의 최소 회전 반경과 청소 영역의 특성을 고려하여 청소 영역을 여러 구간으로 분할하고, 각 구간별 청소 효율을 계산하여 경로를 재조정하는 과정을 포함한다. 오버랩 조

질 및 균등화로 경로 중복을 유연하게 조정하기 때문에 주행 에러를 효과적으로 관리할 수 있도록 하였다. 기존 방법과의 비교를 통해 제안된 방법은 작업 효율성과 경로 최적화 측면에서 우수한 성능을 입증하였다.

향후 연구에서는 청소 영역의 다양한 형태 및 장애물 존재 시 장애물 회피를 고려한 경로 생성이 필요하다. 추가적으로 종 방향 이동에서의 청소 영역 이탈도 고려할 예정이다. 또한, 청소 로봇에 국한시키지 않고 다양한 이동 로봇에도 적용하여 그 영역을 확장할 계획이다. 이러한 접근은 청소 로봇 기술뿐만 아니라, 이동 로봇을 활용한 다양한 실용적 응용 분야에서의 실용성을 증진시키는 데 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

References

- [1] X. Chen and T. Voigt, "Implementation of the Manufacturing Execution System in the food and beverage industry," *Journal of Food Engineering*, vol. 278, pp. 109932, Aug., 2020, DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2020.109932.
- [2] E. Prassler, A. Ritter, C. Schaeffer, and P. Fiorini, "A short history of cleaning robots," *Autonomous Robots*, vol. 9, pp. 211-226, Dec., 2000, DOI: 10.1023/A:1008974515925.
- [3] A. Kolling and C. Stefano, "Surveillance Strategies for Target Detection with Sweep Lines," *2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, St. Louis, MO, USA, pp. 5821-5827, Oct., 2009, DOI: 10.1109/IROS.2009.5354225.
- [4] K. M. Hasan, Abdullah-Al-Nahid, and K. J. Reza, "Path Planning Algorithm Development for Autonomous Vacuum Cleaner Robots," *2014 International Conference on Informatics, Electronics & Vision (ICIEV)*, Dhaka, Bangladesh, pp. 1-6, 2014, DOI: 10.1109/ICIEV.2014.6850799.
- [5] J. Kwak, H. Shin, H. Yoon, J. S. Oh, K.-H. Seo, and K. Lee, "Divide Cleaning Area Method for Multi-cleaning Robots Using Manufacturing Execution Systems Based on Contamination-level Estimation," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 29, no. 10, pp. 787-793, Oct., 2023, DOI: 10.5302/J.ICROS.2023.23.0117.
- [6] P. Bhattacharya and M. L. Gavrilova, "Voronoi Diagram in Optimal Path Planning," *4th International Symposium on Voronoi Diagrams in Science and Engineering*, pp. 38-47, Jul., 2007, (ISVD 2007), Glamorgan, UK, pp. 38-47, 2007, DOI: 10.1109/ISVD.2007.43.
- [7] F. Aurenhammer, "Voronoi Diagrams—a Survey of a Fundamental Geometric Data Structure," *ACM Computing Surveys (CUSR)*, vol. 23, no. 3, pp. 345-405, Sept., 1991, DOI: 10.1145/116873.116880.
- [8] A. Ch. Kapoutsis, S. A. Chatzichristofis, and E. B. Kosmatopoulos, "DARP: Divide Areas Algorithm for Optimal Multi-Robot Coverage Path Planning," *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, vol. 86, pp. 663-680, Jun., 2017, DOI: 0.1007/s10846-016-0461-x.
- [9] V. G. Nair and K. R. Guruprasad, "MR-SimExCoverage: Multi-robot Simultaneous Exploration and Coverage," *Computers & Electrical Engineering*, vol. 85, Jul., 2020, DOI: 10.1016/j.compeleceng.2020.106680.
- [10] V. G. Nar and K. R. Guruprasad, "GM-VPC: An Algorithm for Multi-robot Coverage of Known Spaces Using Generalized Voronoi Partition," *Robotica*, vol. 38, no. 5, pp. 845-860, May, 2020, DOI: 10.1017/S0263574719001127.
- [11] C. Hofner and G. Schmidt, "Path Planning and Guidance Techniques for an Autonomous Mobile Cleaning Robot," *Robotics and autonomous systems*, vol. 14, no. 2-3, pp. 199-212, Dec., 1995, DOI: 10.1016/0921-8890(94)00034-Y.
- [12] A. Khan, I. Noreen, and Z. Habib, "On Complete Coverage Path Planning Algorithms for Non-holonomic Mobile Robots: Survey and Challenges," *Journal of Information Science and Engineering*, vol. 33, no. 1, pp. 101-121, 2017, [Online], https://jise.iis.sinica.edu.tw/JISESearch/pages/View/PaperView.jsf?keyId=154_1997.
- [13] H. Choset, "Coverage of known spaces: The boustrophedon cellular decomposition," *Autonomous Robots*, vol. 9, pp. 247-253, 2000, DOI: 10.1023/A:1008958800904.
- [14] T. R. Schäfle, S. Mohamed, N. Uchiyama, and O. Sawodny, "Coverage path planning for mobile robots using genetic algorithm with energy optimization," *2016 International Electronics Symposium (IES)*, Denpasar, Indonesia, pp. 99-104, 2016, DOI: 10.1109/ELECSYM.2016.7860983.
- [15] C.-W. Jeon, H.-J. Kim, C. Yun, X. Han, and J. H. Kim, "Design and validation testing of a complete paddy field-coverage path planner for a fully autonomous tillage tractor," *Biosystems Engineering*, vol. 208, pp. 79-97, Aug., 2021, DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2021.05.008.
- [16] X. Han, H.-J. Han, C. W. Jeon, H. C. Moon, J. H. Kim, and S. Y. Yi, "Application of a 3D tractor-driving simulator for slip estimation-based path-tracking control of auto-guided tillage operation," *Biosystems Engineering*, vol. 178, pp. 70-85, Feb., 2019, DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2018.11.003.
- [17] H. Liu, J. Ma, and W. Huang, "Sensor-based complete coverage path planning in dynamic environment for cleaning robot," *CAAI Transactions on Intelligence Technology*, vol. 3, no.1, pp. 65-72, Mar., 2018, DOI: 10.1049/trit.2018.0009.



경도현

2021 국립강릉원주대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
2023 동국대학교 자율사물지능학과(공학석사)
2024~현재 한국로봇융합연구원 주임연구원

관심분야: 인공지능, 딥러닝, 사물 지능 제어



구재완

2017 계명대학교 의용공학과(공학사)
2020 경북대학교 기계공학과(공학석사)
2019~현재 한국로봇융합연구원 선임연구원

관심분야: 기계 설계, 구조 해석



곽정훈

2015 계명대학교 게임모바일콘텐츠학과 (공학사)
2017 계명대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
2021 동국대학교 멀티미디어공학과(공학박사)
2022~현재 한국로봇융합연구원 선임연구원

관심분야: 인공지능, 딥러닝, 로봇 제어



서갑호

1999 고려대학교 전기공학과(공학사)
2001 KAIST 전기및전자공학(공학석사)
2009 KAIST 전기및전자공학(공학박사)
2009~현재 한국로봇융합연구원 수석연구원
2020~2022 POSTECH 기계공학과 겸직교수
2021~현재 경북대학교 로봇 및 스마트 시스템공학과 겸직교수

관심분야: 시스템제어, 농업로봇, 웨어러블로봇, 모바일로봇



양건모

2011 세종대학교 디지털콘텐츠학과(공학사)
2014 연세대학교 컴퓨터과학(공학석사)
2018~현재 한국로봇융합연구원 선임연구원

관심분야: 인공지능, 지식 추론, 상황 인식