

의장재 설치 순서 결정을 위한 알고리즘 개발 연구

최재호·김지혜·우중훈[†]
한국해양대학교 조선해양시스템공학과

A Study on the Development of Algorithm for Defining the Installation Sequence of Outfitting

Jaeho Choi·Jihye Kim·Jonghun Woo[†]
Dept. of Naval Architecture & Ocean Systems Engineering, Korea Maritime & Ocean University

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Outfittings of offshore plants and high value-added vessels, such as FPSO, drillship, are much more than outfittings of general ships. So the complexity of the outfittings is increased and the importance of outfittings has also increased. But, there is no clear method to define the installation sequence of outfittings, yet. In this study, we developed the algorithm to define the installation sequence of outfittings by applying variables and constraints related to outfitting, such as process parameters, weighting coefficients, installation constraints. Also, we developed the application that applied the algorithm and compared cases by changing the weighting coefficients of process parameters. We verified the practicality of the algorithm by developing the application. The results of this study are that the accuracy of the outfitting planning is improved and efficient lead time can be predicted by defining the installation sequence of outfittings.

Keywords : Outfitting(의장재), Installation sequence(설치순서), Planning(계획)

1. 서론

1.1 연구 배경

해양플랜트 수요는 2000년대부터 점차 증가하기 시작하였으며, 2010년대에 들어서는 천연가스, 원유 등과 같은 육상 자원이 점차 고갈됨에 따라 자원의 한계를 드러냈다. 이에 따라 심해 매장 자원 및 해양 에너지의 개발 필요성이 증대되었고, 해양플랜트 시장의 규모는 더욱더 빠른 속도로 확대되었다. 또한 2010년대에 들어서는 국내 조선소들이 유가 하락, 중국 조선 산업의 성장 등의 대내·외적인 원인으로 인해 상선 수주에서 부진을 면치 못 하고 있는 상황이었다. 국내 조선소들은 이러한 위기를 극복하기 위해서 새로운 분야인 해양플랜트 시장에 진출하기 시작하였고, 비교적 짧은 기간에 비약적인 발전을 이루었다. 하지만 해양플랜트의 복잡한 생산 공정을 고려하지 못하여 수립한 계획과 동일하게 생산 작업을 진행하지 못한 결과, 국내 조선소들은 2014년부터 2015년까지 총 8조 5000억원 가량의 손실을 냈다(Kim, 2015).

이러한 해양플랜트로 인한 손실의 원인은 크게 설계와 생산의 관점으로 나누어 볼 수 있다(KEEI, 2015). 첫 번째로 설계의 관점

에서 보면, 해양플랜트의 규모가 대형화되고 설비들의 사양이 높아짐에 따라 설계 기술의 부족으로 인한 설계 변경이 빈번하게 발생하였다. 잦은 설계 변경은 변경되는 자재로 인한 비용 상승과 생산 일정 지연 및 막대한 페널티 비용 발생이라는 결과를 야기하였으며, 이로 인해 전체 건조 비용이 증가하였다. 두 번째로 생산의 관점에서 보면, 해양플랜트의 생산 공정은 국내 조선소에서 기존에 주로 건조하던 일반 상선과 비교하여 규모, 작업 물량, 작업환경 등에서 많은 차이점이 있다. 기존에 건조하던 일반 상선은 해양플랜트에 비해 설치해야 하는 의장재의 수가 비교적 적고 의장재 간의 관계가 단순하다는 특징이 있다. 그렇기 때문에 일반 상선은 비교적으로 선행 작업이 많고, 후행 작업이 적은 특징이 있다. 또한 후행 작업의 비율이 적기 때문에, 후행 작업에 대한 명확한 계획 뿐만 아니라 의장재 설치 순서에 대한 명확한 정의도 이루어지지 않았다. 반면에 해양플랜트는 일반 상선에 비해 설치되는 의장재의 수가 많고 제한된 공간에 많은 수의 의장재를 설치해야 하기 때문에 의장재 간의 관계도 복잡하다. 그렇기 때문에 해양플랜트는 비교적으로 선행 작업 보다는 후행 작업의 비율이 높은 특징이 있다(Ham, et al., 2016). 하지만 현재 대부분 조선소에서는 복잡한 의장재 간의 관계를 고려한 의장재 설치순서의 정의가 이루어지지 않고 실무자의 경험과 주관에 따라 의장 계획을 수립하고 있다.

이로 인해 의장재 설치 작업에서 전반적으로 일정 지연이 발생하고, 특히 복잡한 의장재 간의 관계를 고려해야 하는 후행 작업에서 많은 일정 지연이 발생함으로 인해 시간과 비용적인 측면에서 손실을 면치 못하고 있는 실정이다 (Kim, et al., 2016).

본 연구에서는 생산 관점에서 일정 지연 문제를 해결하기 위해서 의장재 설치 순서를 정의하기 위한 알고리즘을 개발하고자 하였다. 이 알고리즘에서는 설치되는 의장재의 속성정보 중에서 의장재 설치 작업에 영향을 끼칠 수 있는 정보인 공정변수(process parameter)와 각 공정변수의 상대적 중요도를 판단하기 위한 계수인 가중치(weight), 의장재 설치 작업 시 설치 작업을 방해하는 조건인 설치제약조건(installation constraint)을 적용하여 의장재 설치 순서를 보다 정확하게 정의하고자 하였다. 또한 이 알고리즘을 적용하여 의장재의 설치 순서 결정을 할 수 있는지 검증하기 위해서 의장재의 정보를 바탕으로 의장재 설치 순서에 대한 정보가 포함된 데이터를 출력할 수 있는 어플리케이션을 개발하였다. 개발 어플리케이션을 통해 의장재 설치순서, 의장재 간의 관계 등의 최종 데이터를 출력함으로써, 본 알고리즘의 데이터가 상세 의장 계획에 적용 가능한지 확인해보았다. 결과적으로 본 연구를 통해 의장재 설치 순서를 정의함으로써 비용과 시간 측면에서 효율적인 의장 계획 및 작업을 할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

1.2 선행 연구

일반적으로 상선의 경우에는 의장 작업이 복잡하지 않았고 의장 작업이 복잡한 해양플랜트의 경우에는 아직 시작하는 단계이기 때문에 조선분야에서 의장재와 관련하여 수행된 연구는 미흡한 상황이다. 또한 진행된 대부분의 연구도 의장 계획을 위한 방법론을 정의하기 위한 연구였으며, 실질적인 방법론 적용 및 Test까지 진행한 연구는 많지 않다.

Rose, et al. (2015)는 의장재 간의 제약 조건들과 설치 종료일, 설치 작업자 수, 작업 준비 시간과 같은 변수를 설정하고 최적의 해를 찾는 휴리스틱 알고리즘(Heuristic algorithm)을 활용하여 제한된 리소스 내에서 최적의 상세 의장 계획을 생성하기 위한 방안을 수립하였다. 이 연구는 작업자, 작업 공간 등과 같이 리소스가 제한적인 특징을 지닌 조선 산업의 특성을 잘 반영하여 방법론을 정의했다는 점에서 의미 있는 연구라고 할 수 있다. 하지만 설치 종료일과 같은 변수는 1차 계획이 먼저 수립되어야 한다는 점과 기준 이상의 큰 의장재나 기준 이하의 작은 의장재는 계획 대상에서 제외하였다는 한계점이 있다.

그리고 의장재 설치순서가 아닌 선박의 블록 탑재 및 조립순서와 관련된 연구로는 Hong, et al. (1997)의 조선 공정계획에서의 탑재 순서 생성과 관련된 연구가 있었고, Seo, et al. (2015)의 용접 변형을 고려한 선박 및 플랜트 생산의 조립순서 계획 최적화에 대한 연구가 있었다. 두 연구 모두 블록의 탑재 및 조립과 관련된 연구로써 계획에 대한 방법론을 제시하였지만 의장재와는 다른 특성을 지닌 블록에 관한 연구로 의장 계획에 적용하기는 어려운 연구라고 할 수 있다.

2. 적용 개념과 이론

2.1 공정변수(Process parameter)

공정변수란 공정의 최종 목표에 영향을 끼칠 수 있는 변수를 의미하며, 본 연구에서는 의장재의 설치 순서 결정에 영향을 끼칠 수 있는 의장재의 속성정보를 공정 변수라고 정의하였으며, 위치(position) 정보, 무게(weight) 정보, 크기(size) 정보를 공정 변수로 설정하였다.

첫 번째 공정변수인 위치 정보는 각 의장재가 설치되는 위치의 좌표 정보를 의미한다. 의장재의 위치 정보를 통해 의장재 간의 기하학적 관계를 고려할 수 있으며 의장재 설치 순서 결정에 영향을 끼칠 수 있다. 의장재 설치 작업은 크레인을 사용하거나 Turn-over 기법을 사용하기 때문에, 설치 작업의 주방향은 위에서 아래, 즉, Z축 하방향이라고 할 수 있다. 따라서 의장재 간의 간섭이 발생한다면 아래 경계면(bottom)에서 가까운 의장재부터 설치하는 것이 충분한 작업 공간을 확보할 수 있고 작업 효율을 높일 수 있다. 그러므로 위치순위(position ranking)를 결정할 때는 간섭 발생여부를 파악하고 간섭이 발생할 경우에는 Z축 좌표 값이 가장 작은 의장재, 즉, 아래 경계면을 기준으로 가장 인접한 의장재에 우선순위를 부여하였다.

두 번째 공정변수인 무게 정보는 각 의장재의 중량을 나타내는 정보를 의미한다. 해양플랜트의 의장 후행 작업은 해양플랜트를 안벽에 계류시킨 후 데크(deck) 위에서 의장재를 설치하는 것을 말한다. 의장재를 설치할 때, 무거운 의장재일수록 후행 작업으로 설치 작업을 수행하는데 한계가 있고 무거운 의장재는 Crane같은 설비를 사용하는 경우도 있기 때문에 무거운 의장재는 선행 작업으로 설치하는 것이 효율적이다. 그러므로 무게순위(weight ranking)를 결정할 때는 무거운 의장재에 우선순위를 부여하였다.

세 번째 공정변수인 크기 정보는 의장재의 직경, 길이정보를 바탕으로 계산한 의장재의 체적 정보를 의미한다. 의장재의 크기가 클수록 설치 공간이 더 많이 필요하고 설치 장소까지 이동할 때 충분한 경로를 확보해야 하는 등 제한되는 사항이 많다. 그러므로 작업 효율을 높이기 위해 크기순위(size ranking)를 결정할 때는 크기가 큰 의장재에 우선순위를 부여하였다.

2.2 가중치(Weighting coefficient)

가중치는 2.1절에서 설정한 각 공정변수의 상대적 중요도를 판단하기 위해서 정의한 계수이다. 본 연구에서는 통계 분석 방법론 중 하나인 AHP(Analytic hierarchy process)기법을 사용하여 가중치를 설정하였다.

AHP기법이란 의사 결정의 목표나 평가 기준이 복합적이거나 다수일 경우에 다양한 대안들을 체계적으로 분석하기 위해 사용하는 의사 결정 지원 기법 중 하나로써, 계층화 분석법이라고도 한다 (Yan & Nienhuis, 2012). 이 기법은 각 대안의 가시적인 비교가 어렵거나 다양한 분야의 전문가의 의사소통이 어려울 경우에 다양한 대안의 상대적 중요도를 판단할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 이 기법은 주관적인 판단이 배제될 수 없기 때문에

각 분야의 전문가들이 참여했을 때 효과적이고 정확한 결과를 얻을 수 있다.

Table 1 Scale to measure the level of importance

Value	Level of importance
1	Equally important
3	Slightly more important
5	Strongly more important
7	Very Strongly more important
9	Extremely more important

분석하는 방법은 먼저 문제를 정의하고 목표 설정을 완료한 후, 복잡한 문제를 계층화한다. 그리고 계층 구조를 구성하고 있는 각 대안들을 Table 1의 AHP 9점 척도를 통해 두 개씩 쌍대비교(paired comparison)하고 쌍대비교한 결과를 바탕으로 기하평균, N승근, 구성비를 계산함으로써 각 대안의 상대적인 중요도를 판단할 수 있다. 이 때 각 대안의 상대적인 중요도의 합은 100%를 기준으로 설정되어야 한다.

2.3 간섭매트릭스(Interference Matrix)

간섭매트릭스는 조립품의 분해 방법 중 하나로, 제품에 대한 조립 및 설치 순서를 결정하기 위한 수학적 모델 기법 중 하나이다 (Yan & Nienhuis, 2012). 먼저 기준이 되는 하나의 요소가 임의의 방향 k(+/-)로 분리될 때 모든 요소와 쌍대 비교하여 간섭 발생 여부를 검사하는 작업을 실시한다. 이 간섭 발생 여부 파악 결과를 통해 요소들 간의 선·후행 관계를 파악할 수 있다.

각 요소들 간의 관계를 명확히 표현하기 위해서 각 요소들의 간섭 발생 여부를 검사한 결과를 행렬로 표현할 수 있으며, 행렬로 표현된 간섭매트릭스는 행렬식으로 표현된 아래의 수식 (1)과 같다. 행렬의 열에는 기준이 되는 요소를, 행에는 비교할 요소를 동일한 순으로 나열한다. 그리고 열의 요소를 기준으로 행의 요소들과 쌍대 비교했을 때, 간섭이 발생하면 행과 열이 교차하는 a_{ij} 의 값은 1이 되고, 간섭이 발생하지 않으면 a_{ij} 값은 0이 된다. 따라서 같은 요소는 간섭이 발생하지 않는다고 판단하기 때문에 주대각선의 모든 값은 0이 된다. 그리고 기준 행의 값이 모두 0일 경우에는 기준 요소는 다른 요소와의 간섭이 발생하지 않으므로 현재 설치할 수 있는 요소로 판단할 수 있고, 이와 같은 과정을 통해 간섭에 따른 설치 순서를 계산할 수 있다.

$$A_k = \begin{matrix} & e_1 & e_2 & \dots & e_i & \dots & e_j & \dots & e_n \\ \begin{matrix} e_1 \\ e_2 \\ \dots \\ e_i \\ \dots \\ e_j \\ \dots \\ e_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \dots & a_{1,i} & \dots & a_{1,j} & \dots & a_{1,n} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & \dots & a_{2,i} & \dots & a_{2,j} & \dots & a_{2,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{i,1} & a_{i,2} & \dots & a_{i,i} & \dots & a_{i,j} & \dots & a_{i,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{j,1} & a_{j,2} & \dots & a_{j,i} & \dots & a_{j,j} & \dots & a_{j,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n,1} & a_{n,2} & \dots & a_{n,i} & \dots & a_{n,j} & \dots & a_{n,n} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

예를 들어 아래 수식 (2)를 보면 3개의 요소 e_1, e_2, e_3 에 대한 간섭매트릭스가 생성된 것을 확인할 수 있으며, e_3 가 e_2 와 간섭이 발생한다는 것을 알 수 있다. 이 때 1행과 2행의 값이 모두 0이기 때문에 e_1 과 e_2 는 간섭이 발생하지 않는다고 할 수 있으므로, 1행과 1열, 2행과 2열의 값을 수식 (3)과 같이 모두 삭제하고 e_1 과 e_2 에 1순위를 부여한다. 그리고 수식 (3)의 3행의 값도 0만 존재하기 때문에 3행과 3열의 값을 삭제하고 e_3 에 2순위를 부여한다. 결과적으로 수식 (4)와 같이 행렬 내부의 값이 모두 null이 된다면 모든 요소의 순위가 계산되었으므로, 계산을 종료하게 된다.

$$\begin{matrix} & e_1 & e_2 & e_3 \\ \begin{matrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (2)$$

$$\begin{matrix} & e_1 & e_2 & e_3 \\ \begin{matrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} | & | & | \\ | & | & | \\ | & | & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (3)$$

$$\begin{matrix} & e_1 & e_2 & e_3 \\ \begin{matrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} | & | & | \\ | & | & | \\ | & | & | \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4)$$

본 연구에서는 모든 의장재의 위치 정보와 직선 방정식을 활용하여 간섭 발생 여부를 판단하고 이 결과를 통해 간섭매트릭스를 생성하였으며, 이를 바탕으로 위치순위(position ranking)를 계산하였다.

2.4 설치제약조건(Installation constraint)

설치제약조건은 의장재 설치 시 작업 효율을 저하시키거나 추가적인 작업을 발생시키는 등의 작업을 방해하는 조건들을 의미한다 (Rose, et al., 2015). 본 연구에서는 의장재 간의 관계를 고려하여 효율적인 의장재 설치 순서를 결정하기 위해 2개의 설치제약조건을 설정하였다.

첫 번째 설치제약조건은 무충돌 제약조건(constraint of collision free)으로 이미 설치된 의장재는 이후의 의장재 설치 작업을 할 때 제거되거나 작업 효율을 떨어뜨리지 않아야 한다는 것을 의미한다. 이 제약조건은 위치순위를 결정할 때 우선순위를 부여하는 방법과 유사하다. 의장재의 설치는 아래 경계면(bottom)을 기준으로 하여 설치하기 때문에, 아래 경계면을 기준으로 간섭 발생 여부를 파악하였을 때 간섭이 발생한다면 재작업 및 추가 작업 발생 등으로 인해 작업 효율을 떨어뜨릴 수 있다. 그렇기 때문에 각 의장재 간의 간섭 발생 여부를 판단하고 간섭이 발생하지 않는 의장재에 우선

순위를 부여하여 설치 순서를 결정해야 한다. Fig. 1을 예로 들면, 2번과 3번 의장재가 먼저 설치된 후 1번 설비가 설치된다면 1번 설비의 설치작업 공간을 충분히 확보할 수 없고 2번과 3번 의장재가 1번 설비와의 추가적인 정렬작업이나 재작업이 필요하기 때문에 1번 설비를 먼저 설치하는 것이 효율적이다. 또한 무충돌 제약조건은 충분한 작업 공간 확보 및 작업 효율을 위한 안전 작업 거리를 설정하고, 이를 바탕으로 의장재 설치 작업의 동시 실행 가능 여부와 의장재 간의 선-후행 관계를 결정하는 것도 포함한다.

두 번째 설치제약조건인 연속성 제약조건(constraint of continuity)은 의장재는 연속적으로 설치되는 것이 가장 효율적이라는 것을 의미한다. 의장재를 연속적으로 설치하지 않고 이미 설치된 두 의장재 사이에 의장재를 설치한다면 추가적인 정렬 작업이 필요하거나 이미 설치된 의장재를 제거한 후 설치 작업을 진행해야 할 수도 있기 때문에 비효율적이다. Fig. 2를 예로 들면, 1→2→3→4 순으로 설치하거나 4→3→2→1 순으로 설치하는 것이 가장 효율적이라고 할 수 있다. 또한 Fig. 2의 1번과 4번 의장재와 같이 격벽(bulkhead)을 통과하는 의장재는 양쪽에

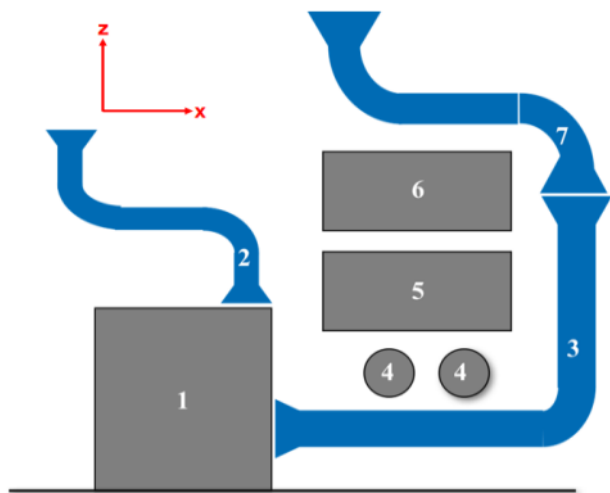


Fig. 1 Constraint of interference

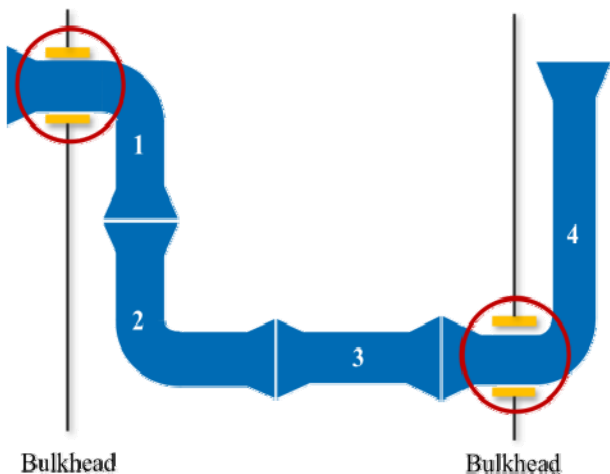


Fig. 2 Constraint of continuity

연결되는 의장재와의 정렬 작업 뿐만 아니라 격벽과의 고정 작업이 추가적으로 필요하기 때문에, 기존의 설치 순서보다 먼저 설치하는 것이 효율적이다.

3. 알고리즘 개발

알고리즘이란 어떤 문제를 해결하기 위해 입력한 데이터를 토대로 원하는 결과물을 유도하기 위한 규칙의 집합이다. 본 연구에서 개발한 알고리즘은 2장에서 설정한 공정변수와 가중치, 제약조건들을 적용하여 의장재 설치 순서를 결정하는 것을 목적으로 하며, Input으로 설치할 의장재에 대한 속성정보의 집합을 사용하고 Output으로 의장재의 최종 설치 순서가 포함된 데이터를 출력한다.

본 연구에서 개발한 알고리즘은 위의 Fig. 3과 같은 순서도로 표현할 수 있으며 무게순위, 크기순위, 위치순위, 연속성순위의 계산을 바탕으로 의장재의 최종 설치순위를 계산하도록 구성되어 있다.

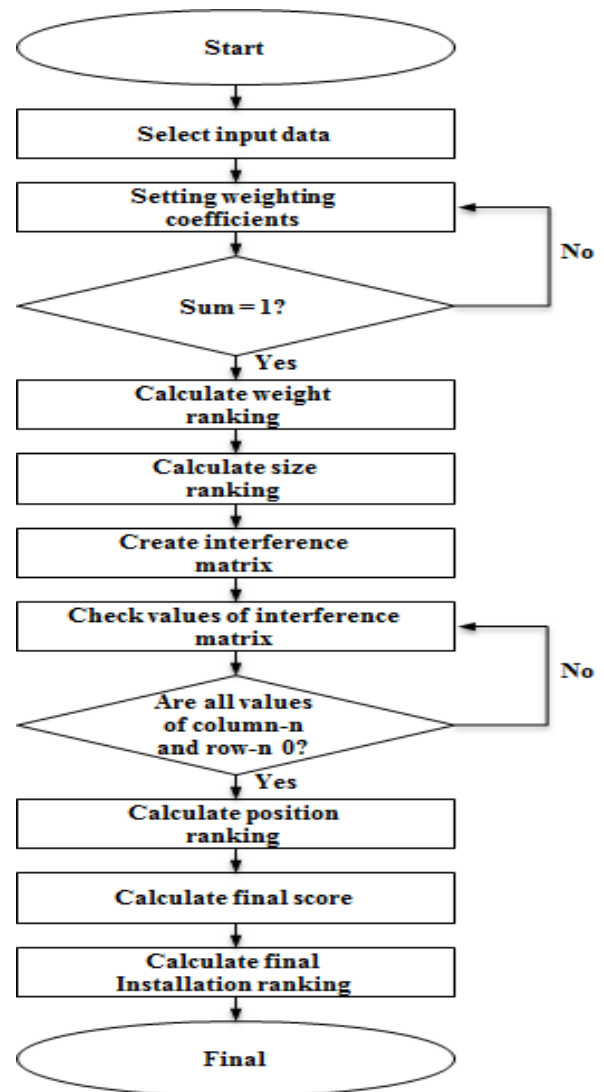


Fig. 3 Flowchart of algorithm

3.1 의장재 데이터 선택과 가중치 설정

이 단계에서는 설치 순서를 결정하기 위한 의장재의 속성정보가 포함되어 있는 Input data를 가지고 온다. 이 의장재의 속성정보에는 의장재명, 3차원 좌표 정보, 크기 정보, 무게 정보, 관통 (penetration) 여부, 형상 정보 등의 데이터가 포함되어 있어야 한다. 그리고 AHP기법의 9점 척도를 통해 Fig. 4와 같이 각 공정변수를 쌍대 비교하고 계산함으로써 3개의 공정변수(위치 정보, 무게 정보, 크기 정보)의 상대적인 중요도인 가중치를 설정한다.

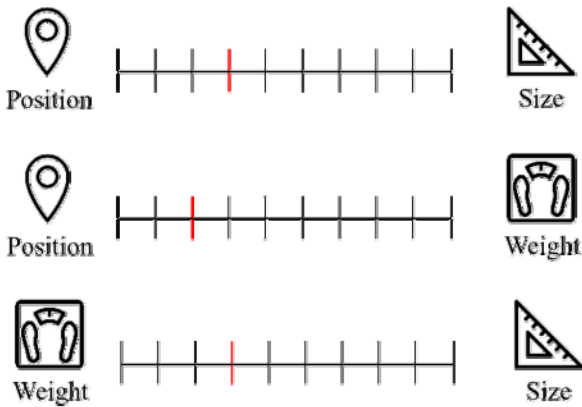


Fig. 4 Paired Comparison of process parameters

3.2 무게순위와 크기순위 계산

이 단계에서는 2개의 공정변수, 무게와 크기에 대한 순위를 계산한다. 무게가 무거운 의장재일수록 작업공간 확보와 리소스 사용 측면에서 먼저 설치하는 것이 효율적이기 때문에 무게가 무거운 의장재에 우선순위를 부여하여 무게순위를 계산한다. 그리고 크기가 큰 의장재일수록 작업공간과 이동경로 확보 측면에서 먼저 설치하는 것이 효율적이기 때문에 크기가 큰 의장재에 우선순위를 부여하여 크기순위를 계산한다.

3.3 위치순위 계산

의장재의 위치순위를 계산하기 위해서 X-Y평면 정사영과 직선의 방정식, 간섭매트릭스를 사용하였다. 2차원 평면 상에서 의장재 간의 간섭을 파악하기 위해 모든 의장재를 형상을 고려하여 n개의 직선으로 구분하여 인식한다. 예를 들어 I형의 의장재는 1개의 직선, T형과 L형의 의장재는 2개의 직선으로 구분하여 인식한다. 그리고 의장재의 주설치 방향이 Z축 방향이기 때문에 모든 의장재를 Fig. 5과 같이 X-Y평면 상에 정사영을 시킨다. 그리고 의장재로 가정한 각 선분의 양 끝점의 2차원 좌표 정보(X, Y)를 직선의 방정식에 적용하여 두 의장재의 교차점이 존재하는지 확인하는 작업을 반복 수행하며, 교차점이 존재할 경우에는 Z축 좌표 정보를 통해 우선순위를 부여한다. 예를 들어, Fig. 5에서 'Pipe_1'과 'Pipe_2'를 정사영 시켰을 때 교점이 발생하므로, 두 의장재의 교점에서의 Z축 좌표를 비교해보면 'Pipe_1'이 크기 때

문에 'Pipe_1'에 간섭이 발생한다고 할 수 있다. 다시 말하자면, 기준 의장재의 Z축 좌표가 비교 의장재의 Z축 좌표보다 클 경우에는 간섭이 발생한다고 파악하게 되고, 이 간섭 발생 여부 파악 결과를 바탕으로 간섭매트릭스를 작성한다. 간섭매트릭스의 값은 기준 의장재가 간섭이 발생할 경우에는 "1", 간섭이 발생하지 않을 경우에는 "0"으로 작성하기 때문에 기준 행과 열의 값이 모두 "0"일 경우에는 기준 의장재가 간섭이 발생하지 않는다고 판단할 수 있다. 따라서 해당 행에 대한 의장재의 위치순위를 부여하고 해당 행과 열의 값을 모두 삭제해주는 이벤트를 반복 수행하여 1차 위치순위를 계산한다. 이러한 계산 과정은 아래의 Fig. 6의 Pseudo-code로 간략히 표현할 수 있다. 그리고 연속성 제약조건에 따라 격벽을 관통하는 의장재는 먼저 설치되는 것이 효율적이기 때문에, 격벽을 관통하는 의장재는 1차로 계산한 위치순위에서 0.5를 빼준 순위를 부여하여 최종 위치순위를 계산한다. 0.5를 빼주는 이유는 선행으로 설치해야 하는 의장재 보다는 나중에 설치하고 동순위의 의장재 보다는 먼저 설치하기 위함이다. 예를 들어 격벽을 관통하는 의장재 A가 위의 조건을 만족하고 기존 위치순위가 2위였다면, 최종적인 위치순위는 1.5위가 되는 것이다.

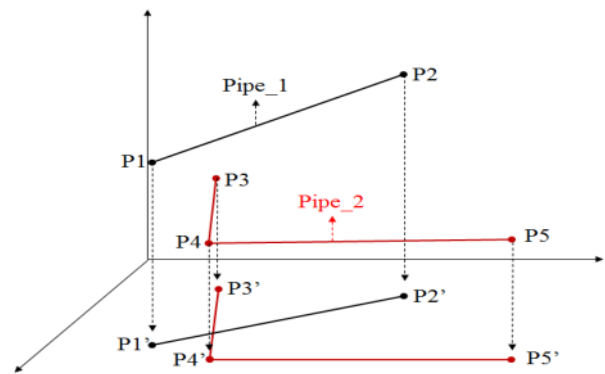


Fig. 5 Orthogonal projection on X-Y plane

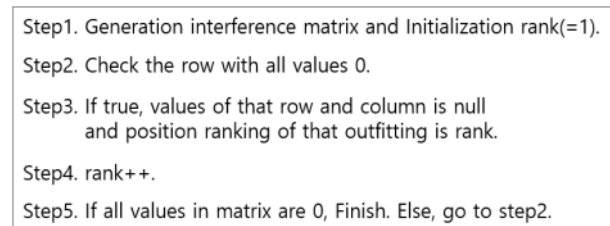


Fig. 6 Pseudo-code for calculating position ranking

3.4 연속성순위 계산

의장재 설치 작업을 Fig. 2와 같이 연속적으로 진행하지 않을 경우에는 추가적인 정렬 작업이나 고정 작업이 필요하므로, 작업 시간이 증가하게 된다. 따라서 의장재 설치 작업은 연속적으로 이루어지는 것이 가장 효율적이다.

먼저 의장재의 속성정보들 중 의장재명을 통해 의장재의 종류를 알 수 있기 때문에, 의장재명을 통해 의장재 별로 데이터를

분류한다. 그리고 각 의장재 종류 별로 관통 의장재가 있는지 확인하고 공정변수와 가중치를 고려하여 가장 먼저 설치될 의장재를 결정한다. 다음으로는 각 의장재 종류 별로 가장 먼저 설치될 의장재의 좌표를 기준으로 거리가 가까운 의장재에 우선순위를 부여하여 연속성순위를 계산한다.

3.5 최종설치순위 계산

이 단계에서는 앞에서 설정한 각 공정변수의 순위와 가중치를 아래의 수식 (5)로 표현된 합산식에 적용하여 각 의장재의 최종 점수를 계산한다. 각 의장재의 최종 점수를 비교하여, 최종 점수가 가장 낮은 의장재에 우선순위를 부여함으로써 최종설치순위를 계산할 수 있다.

$$\text{Score} = \sum_{i=1}^n (\text{Parameter ranking } i \times \text{Weighting coeff } i)$$

(n = Number of process parameter) (5)

다음으로 무충돌 제약조건과 연속성 제약조건을 적용하여 각 의장재의 선행 설치 의장재를 결정한다. 무충돌 제약조건에서는 충분한 작업 공간 확보와 작업 효율을 위해서 적절한 안전 작업 거리를 설정하고 안전 작업 거리와 최종 설치순위를 바탕으로 의장작업의 동시 실행 가능 여부 및 선·후행 관계를 명시할 수 있다. 두 번째로 연속성 제약조건에서는 각 의장재는 자신과 동일한 종류의 의장재 중에서 연속성순위가 한 단계 위인 의장재가 먼저 설치되는 것이 효율적이기 때문에 연속성순위와 최종 설치순위를 바탕으로 동시 작업 가능 여부와 의장재 간의 선·후행 관계를 명시할 수 있다.

최종적으로 출력되는 Output data에는 의장재명, 최종 설치순위, Cycle time, 선행 설치 의장재 정보와 의장재의 기본적인 속성정보인 관통 여부, 무게 정보, 크기 정보, 위치 정보가 포함되어 있다.

4. 어플리케이션 개발

본 연구에서 개발한 알고리즘을 적용한 어플리케이션을 개발하여 의장재 설치순서를 결정해봄으로써, 알고리즘을 통해 실제 설치순서를 결정할 수 있는지, 알고리즘의 실용성을 검증해보고자 하였다.

4.1 의장재 데이터

본 연구에서 알고리즘에 적용하기 위한 데이터에는 의장재명, 좌표정보, 크기정보, 무게정보, Cycle time, 관통 여부 등의 의장재와 관련된 데이터가 필요하다. 따라서 임의의 의장재 모델을 Auto-CAD를 통해 모델링하여 사용하였다. 사용한 의장재 모델은 총 3개의 격실에 115개의 의장재로 구성되어 있으며, 의장재의 무게, 길이, 직경 등의 정보를 통해 임의의 Cycle time을 부여하였다.

4.2 어플리케이션 구성

어플리케이션은 Fig. 7과 같이 총 5개의 화면으로 구성되어 있다. 첫 번째 화면에서는 사용자가 의장재 속성정보가 포함된 Input data를 선택하고 가중치를 설정한다. 두 번째 화면에서는 무게순위와 크기순위가 계산된 것과 연속성순위가 계산된 것을 확인할 수 있다. 세 번째 화면에서는 의장재 간의 간섭 발생 여부 파악 결과를 바탕으로 간섭매트릭스를 생성하고, 이를 바탕으로 위치순위를 계산하는 과정을 확인할 수 있다. 네 번째 화면에서는 각 의장재에 최종 점수를 부여하고 이를 바탕으로 최종 설치순위를 계산한 결과와 각 의장재의 선행 설치 의장재에 대한 데이터가 출력된 것을 확인할 수 있다. 다섯 번째 화면에서는 최종 Output data가 출력된 것을 확인할 수 있다.

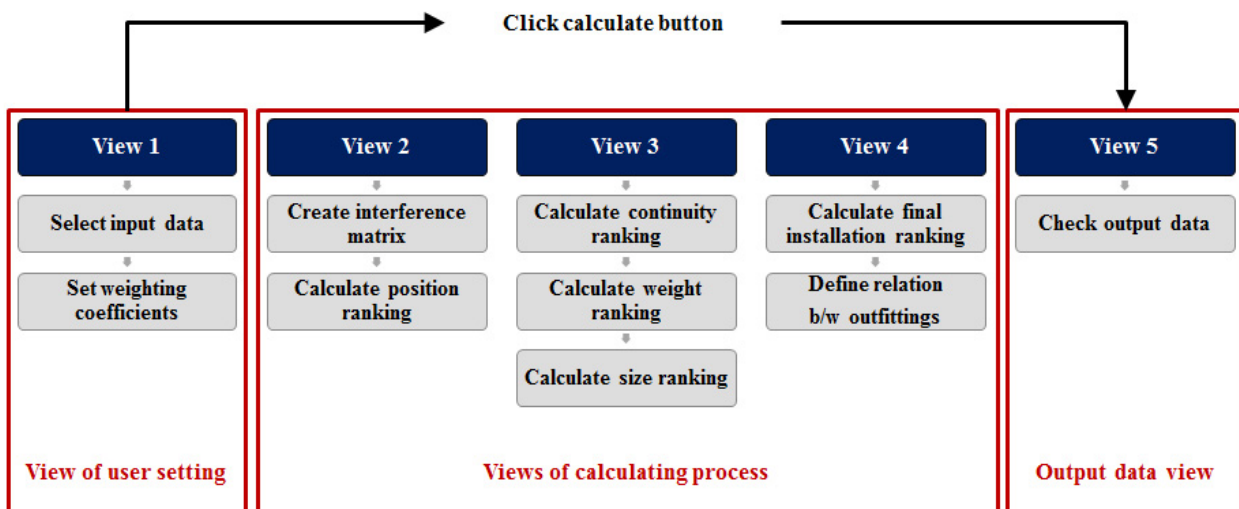


Fig. 7 Composition of application function

4.3 어플리케이션 실행

어플리케이션은 사용자가 Fig. 8과 같이 첫 번째 화면에서 의장재의 속성정보가 포함된 Input data를 선택하고 각 공정변수를 쌍대 비교한 값을 입력하여 각 공정변수의 가중치 설정을 완료한

후, 우측의 계산 버튼을 클릭하게 되면 다섯 번째 화면에서 Table 2와 같이 최종 Output data가 출력된 것을 확인할 수 있다. 그리고 사용자가 최종 설치 순서를 결정하는 계산 과정을 확인하고 싶은 경우에는 두 번째에서 네 번째 화면에서 각 단계를 확인할 수 있다.

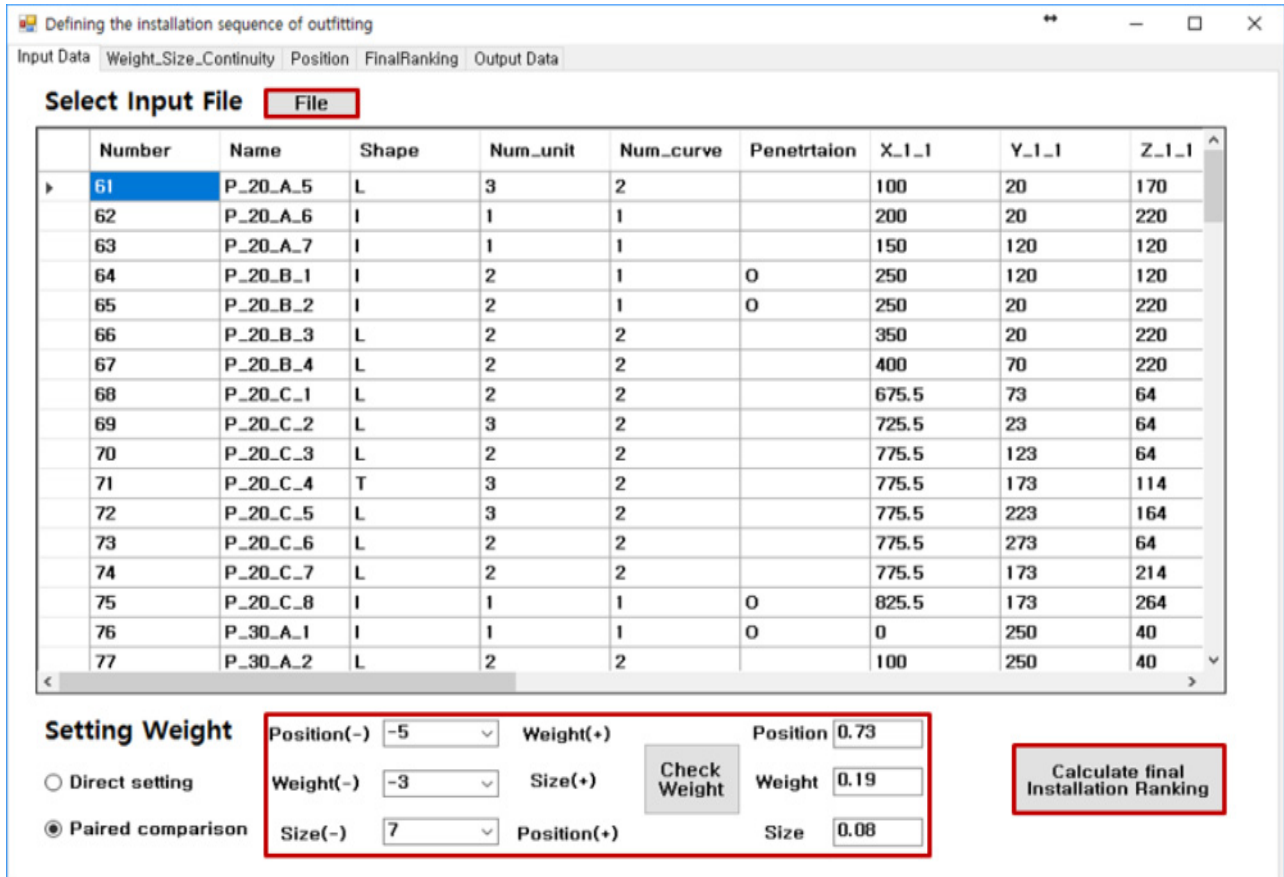


Fig. 8 User input page (1 page)

Table 2 Output data for outfitting installation sequence (5 page)

No.	Outfitting name	Penetration	Weight [kg]	Size [m ³]	Final ranking	Cycle time [Day]	Pre-work
1	H_20_A_1		43	120	12	10	H_20_A_2,H_20_A_3
2	H_20_A_2		43	120	10	10	P_30_A_2,H_20_A_6
3	H_20_A_3		63	170	11	11	H_20_A_2
4	H_20_A_4		63	170	93	11	H_20_A_5
5	H_20_A_5		43	120	92	10	P_30_A_4,H_20_C_13
6	H_20_A_6	O	30	100	2	11	
7	H_20_B_1		60	120	61	10	P_5_B_2,H_20_C_11
8	H_20_B_2		43	120	62	10	H_20_B_1
9	H_20_B_3		20	50	29	9	P_20_B_4,H_20_A_1
10	H_20_B_4		40	85	111	9	P_10_B_11,H_20_C_12
11	H_20_B_5		63	170	95	11	H_20_B_7
12	H_20_B_6		20	50	30	9	P_30_C_1,H_20_B_3
13	H_20_B_7		60	120	94	10	P_5_B_8,H_20_A_4
14	H_20_C_1	O	33	95	31	10	H_20_B_6
...

5. 가중치에 따른 결과 비교

본 연구에서는 각 공정변수의 상대적인 중요도를 판단하기 위해 가중치를 설정할 때 AHP기법을 사용하였다. AHP기법은 전문가 및 실사용자의 주관적인 판단이 배제될 수 없는 방법이기 때문에 리소스, 작업환경, 작업자의 능력 등의 설치 작업에 대한 다양한 조건에 따라 각 공정변수의 가중치를 다르게 설정할 수 있다. 그러므로 각 공정변수의 가중치를 다르게 설정했을 때 의장재의 최종 설치 순서가 어떻게 변경되어 출력되는지 확인해 보았다.

5.1 케이스 분류

먼저 공정변수의 상대적인 중요도에 따라 가중치를 다르게 설정하여 케이스를 3가지로 분류하였다. 첫 번째 케이스는 위치>무게>크기 순으로 각 공정변수가 중요하다고 가정한 케이스로, 간섭 발생이 의장재 설치작업의 효율을 가장 많이 저하시킨다고 판단될 경우에 사용할 수 있는 케이스이다. 첫 번째 케이스의 가중치를 계산한 결과 Table 3과 같이 위치의 가중치는 0.73, 무게의 가중치는 0.19, 크기의 가중치는 0.08로 설정하였다. 두 번째 케이스는 무게>크기>위치 순으로 각 공정변수가 중요하다고 가정한 케이스로, Crane과 같은 설비의 사용이 제한적일 경우에 사용할 수 있는 케이스이다. 두 번째 케이스의 가중치를 계산한 결과 Table 4와 같이 무게의 가중치는 0.73, 크기의 가중치는 0.19, 위치의 가중치는 0.08로 설정하였다. 세 번째 케이스는 크기>무게>위치 순으로 각 공정변수가 중요하다고 가정한 케이스로, 설치 장소까지의 의장재 이동경로 확보가 중요할 경우 사용할 수 있는 케이스이다. 세 번째 케이스의 가중치를 계산한 결과 Table 5와 같이 크기의 가중치는 0.73, 무게의 가중치는 0.19, 위치의 가중치는 0.08로 설정하였다.

Table 3 Case 1(Position>Weight>Size)

	Position	Size	Weight	Geometric mean	$\sqrt[3]{\quad}$	Weighting coeff.
Position	1	7	5	35	3.27	0.73
Size	1/7	1	1/3	1/21	0.36	0.08
Weight	1/5	3	1	3/5	0.84	0.19
Sum						1

Table 4 Case 2(Weight>Size>Position)

	Position	Size	Weight	Geometric mean	$\sqrt[3]{\quad}$	Weighting coeff.
Position	1	1/3	1/7	1/21	0.36	0.08
Size	3	1	1/5	3/5	0.84	0.19
Weight	7	5	1	35	3.27	0.73
Sum						1

Table 5 Case 3(Size>Weight>Position)

	Position	Size	Weight	Geometric mean	$\sqrt[3]{\quad}$	Weighting coeff.
Position	1	1/7	1/3	1/21	0.36	0.08
Size	7	1	5	35	3.27	0.73
Weight	3	1/5	1	3/5	0.84	0.19
Sum						1

5.2 케이스 비교/분석

각 케이스 별로 설정한 가중치를 통해 계산한 의장재의 최종 설치순위는 Table 6과 같이 출력된다. 모든 케이스가 같은 의장재 정보를 입력하여 최종 설치 순서를 계산하였지만 각 공정변수의 가중치를 다르게 설정함에 따라 최종 설치 순서가 변경되는 것을 알 수 있었다.

가시적인 비교를 위해 Fig. 9와 같이 간섭이 발생하는 3개의 의장재를 Case1과 Case2에 적용하여 Table 7과 같이 최종 설치 순위를 계산하고 이 결과를 비교해보았다. 먼저 위치>무게>크기 순으로 가중치를 높게 설정한 Case1은 Table 7과 같이 위치순위가 가장 낮은 순서인 'P_5_C_10', 'P_10_C_5', 'P_5_C_3' 순으로 최종 설치 순서가 결정된 것을 확인할 수 있었다. 하지만 무게>

Table 6 Final installation ranking by case

Outfitting name	Case1	Case2	Case3
H_20_A_1	22	24	36
H_20_A_2	22	24	36
H_20_A_3	4	6	3
H_20_A_4	9	8	5
H_20_A_5	30	30	44
H_20_A_6	43	39	72
H_20_B_1	21	18	30
H_20_B_2	26	27	41
H_20_B_3	68	61	95
H_20_B_4	55	38	79
H_20_B_5	9	8	5
H_20_B_6	68	61	95
H_20_B_7	25	19	31
H_20_C_1	46	41	74
H_20_C_10	68	61	95
H_20_C_11	51	51	86
...

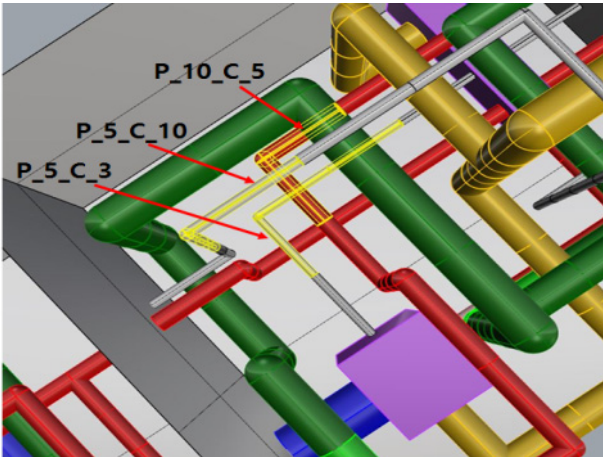


Fig. 9 Unit model for comparison between cases

Table 7 Final installation ranking of unit model

Outfitting name	Position ranking	Weight ranking	Size ranking	Case1	Case2
P_5_C_3	5	80	25	85	84
P_10_C_5	3	64	58	78	74
P_5_C_10	2	80	25	73	78

크기>위치 순으로 가중치를 높게 설정한 Case2는 무게순위가 가장 낮은 'P_10_C_5'가 가장 먼저 설치되고 'P_5_C_3'와 'P_5_C_10'은 무게순위와 크기순위가 같기 때문에 위치순위가 낮은 'P_5_C_10'이 먼저 설치되어 'P_10_C_5', 'P_5_C_10', 'P_5_C_3' 순으로 최종 설치 순서가 결정된 것을 확인할 수 있었다.

결과적으로 작업환경과 가용 리소스, 작업자의 능력 등의 설치 작업에 대한 다양한 조건에 따라서 가중치를 다르게 설정함으로써 적절한 의장재의 최종 설치 순서를 결정할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

6. 결론

본 연구에서는 의장재 간의 복잡한 관계를 고려하여 의장재 설치순서를 결정하기 위한 알고리즘을 개발하였다. 알고리즘에는 AHP기법, 간섭매트릭스를 활용하였고 공정변수, 가중치, 설치제약조건을 적용하였다. 알고리즘의 Input data에는 의장재명, 좌표정보, 무게정보, 크기정보, Cycle time, 관통여부 등의 정보가 있으며, Output data에는 의장재명, 최종설치순위, 선행 작업 의장재 등의 정보가 포함되어 있다. 또한 알고리즘을 적용한 어플리케이션을 개발하여 의장재 설치순서를 결정해봄으로써 알고리즘의 실용성을 검증해보았다. 그리고 각 공정변수의 가중치를 다르게 설정하여 의장재 설치순서를 결정해봄으로써, 각 조선소의 각종 리소스 및 작업 환경에 따라 공정변수의 가중치를 다르게 설정함으로써 의장재 설치순서를 다르게 결정할 수 있다는 것을

확인하였다.

본 연구는 의장재와 관련된 다양한 변수와 조건을 적용한 알고리즘을 개발함으로써 의장재의 복잡성을 고려하여 의장재 설치 순서를 명시하는 방법론을 제시하였다는 점에서 의의가 있다. 또한 알고리즘을 적용한 어플리케이션을 개발함으로써 알고리즘을 통해 실제 설치순서를 결정할 수 있다는 것을 확인함으로써 알고리즘의 실용성을 검증할 수 있었다. 이를 통해 본 알고리즘을 통해 출력되는 최종데이터가 상세 의장 계획에 적용할 수 있을 것이라는 점에서 의의가 있다.

하지만 본 연구는 크게 3가지의 한계점이 있다. 첫 번째로 본 연구는 알고리즘의 개발 단계로서 115개의 의장재로 구성된 임의의 모델링 데이터를 사용하였기 때문에 데이터의 수가 실선에 비해 많이 적으며 의장재 간의 복잡성이 떨어진다고 할 수 있다. 따라서 실 데이터를 통한 검증이 이루어지지 못하였다는 한계점이 있다. 두 번째로 원형의 형태의 의장재의 설치순서만을 고려했기 때문에 기계나 다른 형태의 의장재는 고려하지 못했다는 한계점이 있다. 세 번째로 HR(Human Resource)나 T/P(Trans Porter), Crane과 같은 리소스에 대한 제약조건을 설정하지 않았기 때문에 실제 상세 의장 계획과 같은 효율적인 리드타임 예측은 어렵다는 한계가 있다.

향후 연구 계획으로는 더 많은 수의 의장재가 포함된 모델을 사용함으로써 알고리즘 검증을 확장해 보고자 하고, 간섭 체크 방법을 면적을 고려한 정사영을 통해 확장함으로써 간섭의 정확도를 향상시키고 다양한 형태의 의장재를 고려해보고자 한다. 또한 각종 리소스가 제한적인 조선 산업의 특징을 반영하여 리소스 제약조건을 시뮬레이션 실행 시 적용함으로써 상세 의장 계획 수립 및 효율적인 리드타임 예측이 가능할 것이라고 생각한다.

후기

본 연구는 산업통상자원부 산업핵심기술개발사업 "중소형조선소 시뮬레이션기반 생산관리 시스템 개발" 과제 (과제번호: 10050495)와 미래창조과학부 ICT융합 Industry4.0s(조선해양) 기술개발사업의 "공정 예측 모델을 활용한 의장 조달 프레임워크 핵심 기술 개발" 과제의 연구 결과입니다.

References

- Ham, D.K. Back, M.G. Park, J.G. & Woo, J.H., 2016. A study of piping leadtime forecast in offshore plants outfittings procurement management. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 53(1), pp.29-36.
- Hong, Y.G. Jung, E.K. Jeon, J. & Kim, S.Y., 1997. Generation of erection sequence In shipbuilding process planning. *Journal of the Korean institute of Industrial Engineers*, 10(1), pp.189-207.

Kim, J.H. Lee, Y.G. Lim, H.K. & Woo, J.H., 2016. A study on the methodology in assembly sequence for offshore plant topside spool. *2016 Spring Proceedings of Korean Institute of Industrial Engineers*, Jeju, Korea, 13–14 April 2016, pp.535–540.

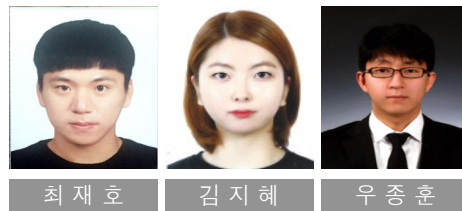
Korea Energy Economics Institute (KEEI), 2015. *A proposal for offshore plant of Korea resource development*. Korea: KEEI.

Kim, S.S., 2015. The three heavy industries operating loss sharply. [Online] (Updated 2 June 2015) Available at: <http://www.monthlymaritimekorea.com/news/articleView.html?idxno=16199> [Accessed 2 June 2015].

Rose, C. Coenen, J. & Hopman, H., 2015. Definition of ship outfitting as a resource availability cost problem and development of a heuristic solution. *Journal of Ship Production and Design*, 32(3), pp. 154–165.

Seo, J.Y., 2015. *Assembly sequence planning for ship and offshore structures considering welding distortion*. Master's Thesis. Korea Advanced Institute of Science and Technology.

Yan, W. & Nienhuis, U., 2012. Automatic generation of assembly sequence for the planning of outfitting processes in shipbuilding. *Journal of Ship Production and Design*, 28(2), pp.49–59.



최재호

김지혜

우종훈