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

배관재 설치 관리 시스템 개발에 관한 연구

Study on development of the spool installation management system

지도교수 우종훈

2019년 2월

한국해양대학교 대학원

조선해양시스템공학과

최 재 호

본 논문을 최재호의 공학석사 학위논문으로 인준함.

위원장 남 종 호 (인)

위 원 박 주 용 (인)

위 원 우 종 훈 (인)

2018년 12월 27일

한국해양대학교 대학원

Collection @ kmou

목 차

List of Tables ····· iii
List of Figures ····· v
Abstract ····· vii

1. 서 론 ····· 1
1.1 연구배경 ····· 1
1.2 연구 목적(순서, 시간, 리소스) ····· 4
1.3 기존 연구 동향 ····· 5

2. 배관재 설치 순서 최적화 알고리즘 적용 개념 및 활용 이론 ····· 8
2.1 공정변수 ····· 8
2.2 간섭매트릭스 ····· 10
2.3 가중치 ····· 11
2.4 설치 제약조건 ····· 12

3. 배관재 설치순서 최적화 알고리즘 개발 ····· 14
3.1 배관재 설치순서 최적화 알고리즘 정의 ····· 14
3.2 알고리즘 단계 별 프로세스 ····· 16

Collection @ kmou

4. 배관재 설치 계획 수립 알고리즘 개발 ·····34
4.1 배관재 설치 계획 수립 알고리즘 정의 ·····34
4.2 배관재 설치 계획 관련 제약조건 정의 ·····34
4.3 계획 수립 방법 정의 ·····36

5. 배관재 설치 관리 통합 시스템 개발 ·····38
5.1 DTO 설계 ·····38
5.2 비즈니스 컴포넌트 모델 설계 ·····44
5.3 시스템 화면 구성 ·····46

6. 배관재 설치 관리 시스템 결과 검증 ·····54
6.1 기본 케이스를 통한 결과 검증 ·····54

7. 시뮬레이션을 통한 계획 검증 ·····68
7.1 개요 ·····68
7.2 시뮬레이션 모델링 ·····68
7.3 시뮬레이션을 통한 계획 검증 ·····72

8. 결론 ·····76

References ·····78

Collection @ kmou

List of Tables

Table 1 Scale to measure the level of importance ····12
Table 2 Example data of spool attribute data ····16
Table 3 Example data of spool coordinate data ····17
Table 4 Process for calculating weighting coefficients using AHP method ····19
Table 5 List of material ····21
Table 6 Comparison of sample model results using 4 methods ····27
Table 7 Step 1 of calculating position ranking by interference matrix ····29
Table 8 Step 2 of calculating position ranking by interference matrix ····30
Table 9 Step 3 of calculating position ranking by interference matrix ····30
Table 10 Calculated position ranking of P1,P2,P3 ····30
Table 11 Parameter list of SpoolDTO ····40
Table 12 Parameter list of RankingDTO ····41
Table 13 Item list of MaterialType ····41
Table 14 Parameter list of WeightingCoeffDTO ····42
Table 15 Parameter list of CoordinateDTO ····42
Table 16 Item list of PlanningType ····43
Table 17 Parameter list of ResourceDTO ····43
Table 18 Item list of ResourceType ····44
Table 19 List of components in the business component model ····46
Table 20 View list of the system ····47
Table 21 Spool attribute data of standard case ····55
Table 22 Weighting coefficients of the standard case ····56
Table 23 Data of calculating installation ranking of standard case ····58
Table 24 Installation ranking data of standard case ····59
Table 25 Relation data between spools of standard case ····60
Table 26 Planning data of standard case using backward planning method ····61

Collection @ kmou

Table 27 Result of interference check ·····65
Table 28 Input data for creating simulation model ·····69
Table 29 Result for Comparing between system data and simulation data ·····73
Table 30 Result for comparing with variability in work time ·····75

KOREA MARITIME AND OCEAN UNIVERSITY
1945
한국해양대학교

Collection @ kmou

List of Figures

Fig. 1 Framework of developed spool installation management system ·····5
Fig. 2 Structure of interference matrix ·····11
Fig. 3 Flow chart of algorithm for optimizing spool installation sequence ·····15
Fig. 4 Sample model in 3D space ·····24
Fig. 5 Sample model on X-Y plane using first method ·····25
Fig. 6 Sample model on X-Y plane using second method ·····25
Fig. 7 Sample model on X-Y plane using third method ·····26
Fig. 8 Sample model on X-Y plane using Fourth method ·····26
Fig. 9 Flow chart for checking interference using 3D outfitting design model ·····28
Fig. 10 Example model with conflicting between constraints ·····33
Fig. 11 Structure of data transfer objects of the system ·····39
Fig. 12 Business component model for developing the system ·····44
Fig. 13 'Setting' view of the system ·····48
Fig. 14 'Input' view of the system ·····49
Fig. 15 'Interference matrix' view of the system ·····50
Fig. 16 'Ranking' view of the system ·····50
Fig. 17 'Output' view of the system (Installation ranking) ·····51
Fig. 18 'Output' view of the system (Relation between spools) ·····51
Fig. 19 'Planning' view of the system ·····52
Fig. 20 'Gantt chart' view of the system ·····53
Fig. 21 Detail information about planned spool installation work ·····53
Fig. 22 Sample model for verifying the interference accuracy ·····63
Fig. 23 Interference check between bounding boxes ·····64
Fig. 24 Interference check between Lines ·····64
Fig. 25 Interference check between meshes ·····64
Fig. 26 Gantt chart visualized plan established by the system (a) ·····66

Collection @ kmou

Fig. 27 Gantt chart visualized plan established by the system (b) ·····67
Fig. 28 Gantt chart visualized plan established by the system (c) ·····67
Fig. 29 Data mapping between input data and adapter ·····70
Fig. 30 Simulation model for spool installation simulation ·····71
Fig. 31 Detail information of process(Spool installation work) ·····71

Collection @ kmou

Study on development of the spool installation management system

Choi, Jae Ho

Department of Naval Architecture and Ocean System Engineering
Graduate School of Korea Maritime and Ocean University

Abstract

In the mid-2000s, Large shipyards in South Korea expanded their business area from common vessel to offshore plant based on outstanding shipbuilding ability of common vessel area. However, due to a lack of understanding about the offshore plant area, these shipyards suffered huge losses. The differences between offshore plant area and common vessel area include the characteristic of the business, the importance of engineering capability, the contract method, the rate of outfitting. In this study, I tried to solve problems arising from the high outfitting rate of the offshore plant from the perspective of production management. In this study, I developed the spool installation management system considering only spools among many types of outfittings. In the spool installation management system, the algorithm for optimizing the installation sequence of spools and the algorithm for spool installation planning are included. Also, verification of the developed system was performed through execution of simulation to verify the plan established through the developed system.

KEY WORDS: Spool 배관재; Management system 관리시스템; Installation sequence 설치 순서; Planning 계획; Algorithm 알고리즘.

Collection @ kmou

제 1 장 서 론

1.1 연구배경

2000년대 후반까지의 국내 조선소들은 컨테이너선과 같은 일반 상선 위주로 건조하였으며, 우수한 생산 관리 및 품질 관리 능력을 바탕으로 높은 경쟁력을 유지해왔다(Lee, et al., 2018). 이는 Clarkson research에서 매년 발표하는 CGT(compensated gross tonnage) 기준의 세계 조선소 순위에서 2000년대 후반까지 꾸준히 7개 이상의 국내 조선소가 10위 이내에 포함되어 있는 것을 통해 알 수 있다(Woo, et al., 2017). 하지만 2008년 미국 발 금융위기로 인해 세계 금융시장이 보수적인 체제를 구축하였고 전체 물동량이 감소하기 시작하였다. 따라서 해운업의 불황이 시작되었고, 일반 상선의 대부분의 발주를 담당하는 것이 해운사였기 때문에 이에 따라 조선 산업의 경기도 침체되기 시작하였다. 또한 중국의 국가적 조선 산업 지원 등의 대외적인 요인과 국내 조선소 간의 저가 수주 경쟁 등의 대내적인 요인으로 인해 국내 조선 산업의 경기는 더욱더 침체되었다. 하지만 다시 국제 유가가 상승하고 육상 자원이 고갈됨에 따라 해양 자원의 필요성이 증대됨으로써 해양플랜트 수요가 증가하였다. 위와 같은 대내외적인 요인을 기반으로 일반 상선 건조만 진행해오던 국내 대형 조선소들은 해양플랜트 사업에 뛰어들기 시작하였다. 국내 대형 조선소들은 해양플랜트 수주 초기에는 우수한 상선 건조 기술을 기반으로 해양플랜트 선체 건조를 수행함으로써 단기간에 비약적인 성과를 이루었다. 하지만 2010년대 중반부터 해양플랜트 사업 분야의 일반 상선 사업 분야와의 다른 특성을 반영하지 못하여 막대한 손실을 안게 되었다.

해양플랜트와 일반 상선은 제품의 특징, 건조 과정, 의장 비율 측면에서 많은 차이점이 있다(Park & Woo, 2018). 먼저 제품의 특징 측면에서는, 일반 상선은 선박을 건조하는 것이 가장 중요하기 때문에 제품을 제작한 후 납기일을 준수하여 선주에게 인도하는 것이 가장 중요하다. 그렇기 때문에 선체 건조 능력이 핵심 역량이라고 할 수 있으며, 높은 생산성과 품질 관리 능력을 바탕으로 원

Collection @ kmou

가를 낮추는 것이 중요하다. 반면 해양플랜트는 단순히 자원을 운반하는 것 뿐만 아니라 해양 자원을 생산하고 처리하는 것이 중요한 특징이라고 할 수 있다. 그렇기 때문에 제품을 건조하는 역량 뿐만 아니라 엔지니어링 역량과 프로젝트 관리 역량이 추가적으로 요구된다. 해양플랜트 사업에 뛰어든 국내 조선소들은 상선 분야의 우수한 건조 역량을 기반으로 해양플랜트의 선체 분야 중심의 건조를 진행하였다. 하지만 국내 조선소들은 해양플랜트 사업 분야에 대한 경험은 부족하였기 때문에 엔지니어링 역량이 부족하였다. 그렇기 때문에 해양플랜트에서 큰 비중을 차지하는 엔지니어링 부분은 해외 의존도가 높다. 그래서 EPCIC(engineering-procurement-construction-Installation-commissioning) 프로세스 중에서 실질적으로는 선체 건조 작업을 수행하는 construction 부분만 담당했다고 할 수 있다. 또한 해양플랜트는 Turn-key 방식으로 계약을 체결하는 특징이 있기 때문에, 건조 과정에서 피동적일 수 밖에 없고 발주사의 잦은 설계 변경에 대해 대응하기 어렵기 때문에 원가가 상승하고 납기 지연이 발생하였다(Jeong, et al., 2017).

다음으로 건조 과정의 측면에서, 일반 상선은 설계가 완료된 이후에 건조 작업이 진행되며 건조가 시작된 후에는 설계 변경이 비교적 적은 특징이 있다. 하지만 해양플랜트는 자원 개발에 대한 프로세스가 중요하기 때문에 건조보다 설계에 많은 시간이 소요되며 잦은 설계 변경이 발생하는 특징이 있다. 그렇기 때문에 설계가 완료된 부분에 대해서는 건조 작업이 먼저 진행되며, 완료되지 않은 부분에 대한 설계는 건조 작업과 동시에 진행된다. 그렇기 때문에 설계 변경이 발생했을 때 변경된 부분이 건조 작업이 진행된 부분에 영향을 끼치는 상황이 발생한다. 하지만 발주사가 계약의 키를 쥐고 있기 때문에 설계가 변경된다고 하더라도 제작사인 조선소는 이를 정해진 기간 내에 반영하여 건조를 완료해야 한다. 그렇기 때문에 잦은 설계 변경이 발생했을 경우 시간과 비용 측면의 손실은 조선소가 안게 된다.

마지막으로 의장 비율 측면에서는, 일반 상선은 대부분이 선체에 해당하는 구조 물량이기 때문에 의장 물량이 비교적 적다. 하지만 해양플랜트는 자원을 생산하고 처리하고 저장하는 등의 기능을 탑재하기 위해 많은 의장재가 설치되

Collection @ kmou

어야 하기 때문에 구조 물량 대비 의장 물량이 많은 특징이 있다. 해양플랜트는 일반 상선 중에서 가스 적재 및 하역을 위해 비교적 많은 의장재가 설치되는 LNGC(liquefied natural gas carrier) 보다도 5~10배 많은 의장재가 설치되고, 가장 기본적인 일반 상선인 컨테이너선보다 약 15배 많은 의장재가 설치된다. 또한 해양플랜트라는 제한된 공간 내에 많은 의장재를 설치해야 하기 때문에 의장재 간의 관계도 복잡한 특징이 있다. 하지만 현재는 의장 계획 수립에 대한 명확한 방법이 존재하지 않기 때문에 실무자의 경험에 따라 계획이 수립되고 작업이 수행되고 있다. 이러한 의장 계획 및 작업 방법은 비교적 의장 비율이 높지 않은 일반 상선 분야에서는 큰 문제가 발생하지 않았지만, 의장 비율이 높은 해양플랜트 분야에서는 작업 효율이 저하되고 극단적으로는 재작업이 발생하기도 하여 납기 지연이 발생하고 페널티 발생으로 인한 비용 측면의 손실이 발생하게 되었다.

본 연구에서는 위와 같은 해양플랜트와 일반 상선의 차이점 중 의장 비율이 높음으로 인해 발생하는 의장 계획 및 작업의 문제를 생산관리의 관점에서 해결하기 위한 연구를 수행하고자 하였으며, 먼저 현재 일반 상선 분야에서 의장 계획 수립과 의장재 설치 작업이 어떻게 진행되고 있는지에 대해서 확인해보았다. 기존에는 선체 건조 작업에 가장 중요하였기 때문에 선체 건조 계획을 먼저 수립한 후, 선체 건조 일정 중간에 의장 계획 일정을 삽입하여 전체 계획을 수립하였다. 그리고 임의의 면(plate)나 격벽(bulkhead)을 기준으로 떨어진 거리와 관통 여부 등의 정보와 계획 실무자의 경험을 바탕으로 작업 stage 별, 일별 의장 작업 물량을 산정한다. 이와 같은 방법은 최대 수천개의 의장재가 설치되는 일반 상선에서는 큰 문제가 발생하지 않았다. 하지만 많게는 수십만개의 의장재가 설치되는 해양플랜트는 협소한 공간 내에 수많은 의장재가 설치되어야 하므로 기존 계획 방법을 적용하기 어려웠다. 즉, 기존 계획 방법을 적용할 경우에는 작업 효율이 저하되거나 재작업이 발생하기도 하였다. 또한 합리적인 계획 수립이 되지 않음으로 인해 발생하는 가장 큰 문제는 선행 의장률 감소라고 할 수 있다. 선행 의장률은 전체 의장 작업 대비 선행 의장 작업의 비율을 의미한다. 일반적으로 선체 제작 공정이 완료된 후부터 블록이 탑재되

Collection @ kmou

기 전까지 대조 블록에 의장재를 설치하는 작업을 수행하는 공정을 선행 의장 공정이라고 하며, 블록이 탑재되고 안벽에 선박이 계류된 상태에서 의장재 설치 작업을 수행하는 것을 후행 의장 공정이라고 한다. 후행 의장 공정은 안벽에 계류된 이후에 이루어지기 때문에 같은 작업이라고 하더라도 작업의 난이도가 높아지게 된다(Ham, et al. 2016). 따라서 선행 의장률이 높을수록 작업 시수와 생산성 측면에서 효율적이라고 할 수 있다. 따라서 합리적인 계획을 수립함으로써 선행 의장률을 높일 수 있는 방법론이 필요하다.

1.2 연구 목적(순서, 시간, 리소스)

본 연구는 의장 비율이 높고 의장재 간의 관계가 복잡한 해양플랜트에 적용할 수 있는 의장 계획 방법이 존재하지 않는 문제점을 해결하기 위한 목적으로 수행되었다. 의장에는 전장, HVAC((heating, ventilation, & air conditioning), 배관, 엔진 등의 다양한 종류가 있지만, 본 연구에서는 의장 중 가장 많은 비율을 차지하는 배관만을 고려하여 배관재 설치 관리 시스템을 개발하고자 하였다. 배관재 설치 관리 시스템은 배관재 설치와 관련된 요소를 관리하기 위한 시스템이라고 할 수 있으며, 본 시스템의 프레임워크는 아래 Fig. 1과 같다. 개발하고자 하는 시스템에서 관리하고자 하는 요소는 크게 3가지로, 작업 순서, 시간, 리소스이다. 작업 순서는 배관재 설치 작업이 효율적으로 수행되기 위한 작업 순서를 의미한다. 이 작업 순서는 시스템 내의 배관재 설치순서 최적화 알고리즘에서 계산되는 결과로, 배관재의 설치 순위 정보와 배관재 설치 작업 간의 선후행 관계 정보로 출력된다. 시간은 설치 작업과 관련된 시간적 요소를 의미한다. 시간 요소에는 배관재 설치 작업에 필요한 시간인 Cycle time, Lead time, 설치 완료일이 있다. 리소스는 배관재 설치 작업에 필요한 리소스로써, 인력을 의미하는 설치팀과 배관재 이동에 필요한 크레인 등이 있다.

배관재 설치 관리 시스템에 포함되는 2가지 알고리즘을 개발하였다. 먼저 합리적인 배관재 설치 계획을 수립하기 위해서는 배관재 설치 순서가 선행으로 명시되어야 한다고 판단하여 배관재 설치 순서 최적화 알고리즘 개발하였다. 개발 알고리즘은 배관재의 속성정보와 3D 의장 설계 모델을 사용하여 배관재

Collection @ kmou

설치 순위와 배관재 설치 작업 간의 선후행 관계를 결과로 출력한다. 다음으로 알고리즘에서 출력된 결과 데이터를 활용하여 합리적인 배관재 설치 계획을 수립하기 위한 배관재 설치 계획 수립 알고리즘을 개발하였다. 그리고 배관재 설치 순서 최적화 알고리즘과 배관재 설치 계획 알고리즘을 통합하여 하나의 어플리케이션으로 개발하였다. 이를 통해 설치 제약 조건을 위배하지 않는 합리적인 배관재 설치 순서 결정과 배관재 설치 계획 수립이 되었는지 확인할 수 있었다. 또한 어플리케이션을 통해 출력된 배관재 설치 순서 데이터를 기반으로 생산 시뮬레이션을 실행하여 추가적인 리소스를 고려한 계획 수립이 가능하다는 것을 검증하였다.

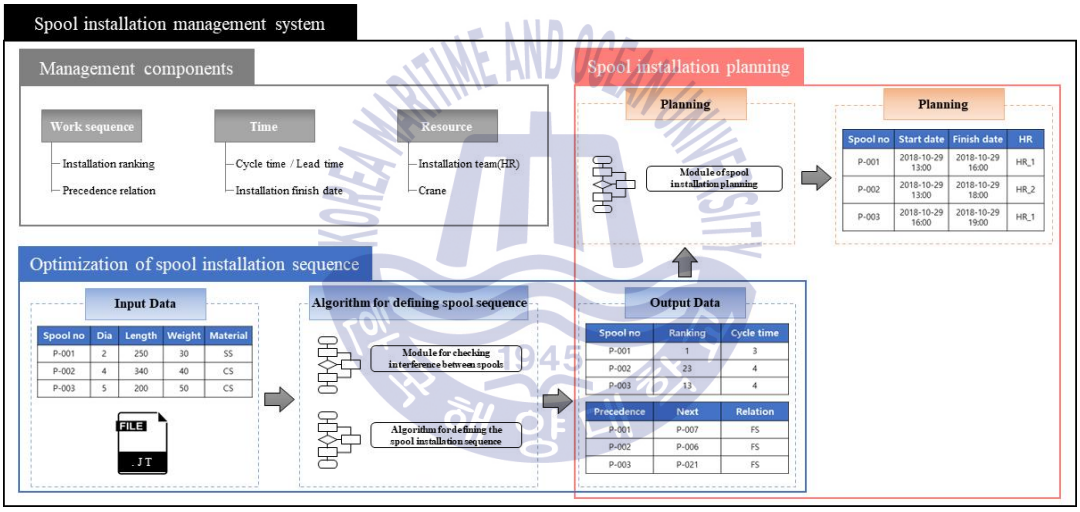


Fig. 1 Framework of developed spool installation management system

1.3 기존 연구 동향

기존 연구 사례는 조선 산업에서의 조립, 설치, 탑재 등의 작업 순서에 대한 연구와 계획 수립에 대한 연구로 구분할 수 있으며, 구조와 관련된 연구와 의장과 관련된 연구로 구분할 수 있다.

의장이 아닌 분야의 작업 순서와 관련된 대표적인 연구에는 계획 단계에서의 탑재 순서 생성에 대한 연구(Hong, et al., 1997)와 용접 변형을 고려한 블록 조

Collection @ kmou

립 순서 계획 최적화에 대한 연구(Seo, 2015) 등이 있으며, 위와 같은 연구는 과거부터 지속적으로 이루어지고 있다.

의장 작업 순서와 관련된 연구로는 의장재와 관련된 정보를 바탕으로 의장재 설치 순서를 결정하고 의장 계획을 수립하기 위한 연구가 있다(Yan & Nienhuis, 2012). 의장재의 속성정보를 사용하여 의장재의 설치 순서를 결정하고자 하였으며, 작업 공간과 관련된 공간적 제약조건을 적용하여 의장 계획을 수립하기 위한 방법론을 제시하였다. 이 연구는 효율적인 의장재의 설치 순서를 결정하기 위한 방법론을 제시하였다는 점에서 의의가 있다. 하지만 이 연구에서는 동시 작업 가능한 작업들에 대한 grouping을 통해 계획을 수립하여, Bucketing 개념의 계획을 수립하였다. 그렇기 때문에 작업자는 현재 작업이 가능한 작업 물량 중 현재 작업할 물량을 선택해야 하기 때문에 주관적인 판단이 필요하다고 할 수 있다. 즉, 배관재 설치 작업 간의 선후행 관계를 명확히 정의하지 않음으로 인해 명확한 설치 순서를 정의하지 못했다는 한계점이 있다.

배관재의 기하학적 위치 관계를 기반으로 배관재의 설치 순서를 정의하기 위한 방법론을 제시한 연구도 진행되었다(Kim, et al., 2016). 배관재의 기하학적 위치 관계를 바탕으로 배관재 간의 간섭 발생 여부를 확인하여 설치 순서를 정의하고자 하였다. 이 연구는 배관재 설치 작업 효율에 가장 큰 영향을 끼치는 간섭 제약조건을 적용하여 배관재 설치 순서를 정의하고자 하였다는 점에서 의의가 있다. 하지만 배관재의 간섭 제약조건을 제외한 다른 변수 및 제약조건이 부족하여 합리적인 설치 순서를 도출하기에는 한계가 있는 연구라고 할 수 있다.

의장재의 다양한 속성정보를 바탕으로 배관재 설치 순서를 결정하기 위한 알고리즘 개발에 대한 연구도 수행되었다(Choi, et al., 2017). 이 연구에서는 의장 설계 시 확인할 수 있는 의장재 데이터를 사용하여 효율적인 의장재 설치 순서를 결정하기 위한 알고리즘을 개발하였다. 이 연구는 의장재 설치 순서에 영향을 끼치는 변수 및 제약조건에 대한 정의를 기반으로 알고리즘을 개발하였다는 점에서 의의가 있다. 하지만 의장재 간의 간섭 체크 작업을 하기 위해서 의장재의 위치 정보를 확인할 수 있는 좌표 정보를 추출해야 하는 전처리 작업이

Collection @ kmou

필요하다는 한계점이 있다. 또한 일련의 설치 순서만을 결정하고 배관재 설치 작업 간의 선후행 관계를 고려하지 않았기 때문에 여러 작업이 병행되는 조선산업의 특징을 반영하지 못했다는 한계점이 있다.

계획과 관련된 연구에는 역방향 시뮬레이션을 활용한 조선소 중기 생산계획 수립 프로세스 설계 및 시스템 개발에 관한 연구(Sung, 2018), 조선소 중일정 블록 배량 계획 자동화 연구(Hwang, et al., 2012), 자원 제약을 고려한 조선산업에서의 탑재 일정계획에 관한 연구(Kim, et al., 2001) 등 블록을 포함한 선체에 대한 일정 계획 수립에 대한 연구는 지속적으로 수행되고 있다.

의장 계획과 관련된 연구로는 제한된 리소스 내에서 최적의 계획을 수립하기 위한 연구가 수행되었다(Rose, et al., 2015). 이 연구에서는 최적의 해를 찾기 위한 휴리스틱 알고리즘을 활용하였다. 알고리즘에는 의장재 간의 제약조건과 설치 종료일, 작업자 수, 작업 준비시간 등과 같은 변수를 설정하였다. 이 연구는 작업자와 작업공간과 같은 리소스가 제한적인 조선산업의 특징을 반영한 계획 방법론을 제시하였다는 점에서 의의가 있다. 하지만 의장재와 관련된 정보를 바탕으로 설치 순서를 결정하는 것이 선행되어야 한다는 한계점이 있다.

이와 같이 작업 순서에 대한 연구와 계획 수립에 대한 연구 모두 선체와 관련된 연구는 많이 수행되었지만, 의장에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 또한 의장 설치 작업과 관련된 전 범위에 대한 연구가 수행되지 않고 있다는 점에서 한계가 있다.

Collection @ kmou

제 2 장 배관재 설치 순서 최적화 알고리즘 적용 개념 및 활용 이론

2.1 공정변수

공정변수는 공정의 최종 목표나 결과에 영향을 끼칠 수 있는 변수를 의미하며, 배관재 설치 순서 최적화 알고리즘에서는 효율적인 배관재 설치 순서를 결정하는 것이 목적이기 때문에 배관재 설치 순서 결정에 영향을 끼칠 수 있는 변수를 공정변수로 정의하였다. 배관재 설치 순서 결정에 영향을 끼칠 수 있는 변수에는 작업 리소스, 작업 환경 등의 가변적인 사항도 많지만 본 연구에서는 모든 배관재가 지니고 있는 속성정보 중 설치 순서 결정에 영향을 끼치는 정보들을 공정변수로 정의하였다.

2.1.1 위치 정보

위치 정보는 배관재가 설치될 위치에 대한 정보를 의미한다. 위치 정보를 통해 배관재 간의 기하학적 위치 관계를 고려하여 간섭 발생 여부를 판단할 수 있다. 배관재 설치 작업은 선행 의장 단계에서는 대조 블록을 뒤집은 상태로 진행하고, 후행 의장 단계에서는 선행 의장 작업이 수행된 블록을 다시 Turn-over하거나 탑재한 상태에서 진행된다. 또한 배관재를 설치할 위치까지 이동하기 위해서 크레인과 같은 설비를 사용하기도 한다. 즉, 크레인을 통해 배관재를 들어올린 후 설치 장소에 내려놓게 된다. 따라서 배관재 설치 작업의 주설치 방향은 연직 하방향이라고 할 수 있다. 그렇기 때문에 아래쪽의 블록이나 경계면을 기준으로 가까운 배관재가 우선 설치되었을 때 작업 효율이 높아진다고 할 수 있다. 따라서 주설치 방향 기준의 간섭 발생 여부를 확인하여 위치 정보에 의한 배관재의 위치 순위를 계산할 수 있다.

2.1.2 무게 정보

무게 정보는 배관재의 중량 정보를 의미한다. 후행 의장 단계에서는 선박이

Collection @ kmou

나 해양플랜트를 안벽에 계류시킨 후 설치 작업을 수행한다. 따라서 무게가 무거운 배관재일 경우에는 크레인과 같은 리소스를 사용하는 데에 제한적일 수 있다. 그렇기 때문에 무게가 무거운 배관재는 선행 의장 단계에서 설치하는 것이 작업 효율을 높일 수 있으므로, 배관재의 무게 정보에 따라 설치 우선 순위를 판단할 수 있다.

2.1.3 직경 정보

배관재의 직경 정보는 크게는 대구경관, 중구경관, 소구경관으로 구분된다. 가장 작은 소구경관의 직경은 1.5인치도 있으며, 20인치가 넘는 직경의 배관재도 있다. 배관재의 직경이 클수록 작업 시간이 오래 걸린다는 특징이 있을 뿐만 아니라 동일한 직경의 배관재가 연속적으로 설치될 경우에 설치 준비율을 향상시킬 수 있으므로, 배관재의 직경 정보에 따라 설치 우선 순위를 부여할 수 있다.

2.1.4 재질 정보

배관재의 재질 정보는 재질에 따라 용접 방법 및 난이도가 달라지기 때문에 중요한 공정변수이다. 또한 조선소의 협력업체인 배관재 제작업체에 따라 제작 가능한 재질이 나뉘어져 있다. 그렇기 때문에 동일한 재질의 배관재가 묶음 단위로 입고되므로 연결되는 동일한 재질의 배관재를 연속적으로 설치하게 될 경우 작업 효율을 높일 수 있다. 따라서 재질 종류 및 재질에 따른 작업 난이도를 고려하여 작업 순서를 판단할 수 있다.

2.1.5 크기 정보

배관재의 크기 정보는 직경 정보와 길이 정보를 바탕으로 계산된 배관재의 체적을 의미한다. 배관재의 체적이 클 경우에는 설치 시 더 넓은 작업 공간이 필요할 뿐만 아니라 설치 장소까지 배관재를 운반할 때도 이미 설치된 배관재와의 간섭이 발생할 수도 있으며 더 넓은 이동 경로가 확보되어야 한다. 따라서 큰 배관재일수록 먼저 설치함으로써 작업 공간 및 이동 경로 확보 측면에서

Collection @ kmou

효율적인 작업 순서를 판단할 수 있다.

2.1.6 관통 여부 정보

관통 여부 정보는 배관재가 격벽을 관통하는지 여부에 대한 정보이다. 배관재가 격벽을 관통할 경우에는 격벽과 배관재 간의 고정 작업이 필요할 뿐만 아니라 양쪽 구획에 연결되는 배관재와의 고정 작업이 추가적으로 필요하기 때문에 먼저 설치하는 것이 효율적이다. 따라서 배관재가 격벽을 관통하는지 여부에 따라서 설치 작업의 우선 순위를 부여할 수 있다.

2.2 간섭매트릭스

간섭매트릭스는 조립품의 분해 순서를 결정하기 위해 제시된 방법론으로, 제품의 분해 순서 뿐만 아니라 조립이나 설치 순서를 결정하기 위한 수학적 모델 기법 중 하나이다(Yan & Nienhuis, 2012). 간섭매트릭스는 Fig. 2와 같이 표현되며, 하나의 요소를 기준으로 하여 임의의 방향으로 설치 혹은 분해될 때 모든 요소와의 쌍대비교를 통해 간섭 발생 여부를 판단하는 작업을 수행한다. 간섭 발생 여부를 파악함으로써 요소들을 설치 혹은 분해할 때 선후행 관계를 포함한 순서를 결정할 수 있다.

간섭매트릭스를 생성하는 프로세스는 먼저 좌측 열에 기준이 될 요소를 나열하고, 최상단의 행에는 비교할 요소를 기준이 될 요소와 동일한 순서로 나열한다. Fig. 2에서 각 요소는 P_{is}, 혹은 P_{ic}와 같은 형태로 표현되어 있는데, 여기서 첫 번째 아래첨자가 의미하는 것은 i번째 요소라는 것이며, 두 번째 아래첨자 자리에 ‘s’가 오면 ‘standard’의 의미로 기준이 되는 요소, ‘c’가 오면 ‘compared’의 의미로 비교할 요소를 의미하게 된다. 그리고 기준 요소를 모든 요소들과 쌍대비교 했을 때 간섭이 발생하면 행과 열이 교차하는 간섭매트릭스 내부의 값이 1이 되고, 간섭이 발생하지 않을 경우에는 0이 된다. 예를 들어, P_{1s}를 P_{3c}와 비교했을 때 간섭이 발생하였다면 간섭매트릭스 내부의 a_{13}은 1이 되며, 간섭이 발생하지 않았다면 간섭매트릭스 내부의 a_{13}은 0이 된다. 위와 같은 작업을 n개의 요소가 있을 때 n*n번 반복 수행하게 되면 간섭매트릭스가

Collection @ kmou

생성된다.

$$A_k = \begin{array}{c} \\ P_{1s} \\ P_{2s} \\ \cdots \\ P_{is} \\ \cdots \\ P_{ns} \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccccc} P_{1c} & P_{1c} & & P_{1c} & & P_{1c} \end{array} \\ \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1i} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2i} & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{i1} & a_{i2} & \cdots & a_{ii} & \cdots & a_{in} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{ni} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \end{array}$$

Fig. 2 Structure of interference matrix

2.3 가중치

가중치는 2개 이상의 변수가 있을 때 각 변수의 상대적인 중요도를 의미하는 계수이며, 본 연구에서는 2.1 절에서 설정한 공정변수의 상대적인 중요도를 판단하기 위해서 가중치를 사용하였다. 이러한 가중치는 변수의 개수가 적을 때는 직접 판단할 수 있지만 변수의 개수가 많아질수록 가시적으로 상대적인 중요도를 판단하는 것이 어렵다. 따라서 본 연구에서는 공정변수의 가중치에 대한 직접적인 판단이 어려울 수도 있으며 각 조선소의 작업 환경에 따라 중요한 변수가 다를 수 있기 때문에 AHP 기법을 적용하여 다중 변수에 대한 상대적인 중요도를 쉽게 판단하고자 하였다.

2.3.1 AHP 기법

AHP(analytic hierachy process) 기법은 통계 분석 방법론 중 하나로, 의사 결정을 통해 평가해야 하는 요소가 다수이거나 평가 기준이 복합적일 경우에 각 대안을 체계적으로 분석하기 위해 사용하는 의사결정 지원 기법이라고 할 수 있다. 즉, 각 요소의 상대적인 중요도를 가시적으로 판단하기 어려울 때 각 분

Collection @ kmou

야 담당자의 의견을 반영하여 보다 객관적인 판단을 할 수 있는 방법이라고 할 수 있다. 하지만 의견을 반영할 담당자의 주관적인 판단을 배제할 수 없기 때문에 해당 분야의 전문가가 참여하였을 때만 합리적인 결과를 도출할 수 있다는 주의할 점이 있다.

AHP 기법을 통해 요소들을 분석하기 위해서는 먼저 문제를 정의해야 하고 프로세스를 통해 도출할 목표를 설정해야 한다. 본 연구에서는 설정한 공정변수의 합리적인 가중치를 계산하는 것이 목표라고 할 수 있다. 다음으로 전체 공정변수 중에서 각 공정변수의 상대적인 중요도를 판단하기 위해 공정변수를 2개씩 쌍대비교(paired comparison)하는 작업을 수행한다. 쌍대비교를 할 때는 아래 Table 1의 AHP 9점 척도를 사용하여 점수를 부여할 수 있으며, 쌍대비교한 값을 바탕으로 기하평균을 계산하고, 각 공정변수의 기하평균의 구성비를 계산하는 프로세스로 진행된다. 이 때 전체 공정변수의 구성비 합 대비 각 공정변수의 구성비를 통해 가중치를 판단할 수 있다. 이 때 전체 구성비 대비 각 공정변수의 구성비로 계산되기 때문에 모든 공정변수의 가중치 합은 100% 혹은 1이어야 한다.

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

2.4 설치 제약조건

설치제약조건은 배관재 설치 작업 시 이미 설치된 배관재로 인해 작업 효율이 저하되는 것을 방지하기 위한 조건이라고 할 수 있다. 즉, 작업 효율을 저하시키지 않기 위한 효율적인 작업 순서를 결정하는 데 필요한 제약조건이라고

Collection @ kmou

할 수 있다. 설치제약조건을 준수하지 않은 작업이 수행될 경우에는 이미 설치된 배관재로 인해 충분한 작업공간이 확보되지 않음으로 인해 설치 작업 효율이 저하되기도 하며, 극단적으로는 이전에 설치된 배관재를 제거하고 작업 순서를 변경하여 진행해야 하는 재작업이 발생하기도 한다. 그렇기 때문에 설치제약조건을 고려한 작업 순서를 결정하는 것이 중요하며, 본 연구에서는 2가지 설치제약조건을 정의하였다.

첫 번째 설치제약조건은 간섭 제약조건(constraint of interference)이다. 간섭 제약조건은 주 설치 방향을 기준으로 배관재 설치 작업 간의 선후행 관계를 정의하기 위한 제약조건이다. 간섭 발생 여부는 배관재 설치 작업 시 가장 중요한 조건 중 하나이다. 따라서 배관재 간의 간섭이 발생하는 케이스가 있다면, 두 배관재의 설치 작업을 동시에 진행할 경우에는 작업 효율이 저하될 수 있기 때문에 간섭 발생 여부 결과를 바탕으로 두 배관재의 선후행 관계를 정의할 수 있다.

두 번째 설치제약조건은 안전작업거리 제약조건(constraint of safety work distance)이다. 안전작업거리는 충분한 작업 효율을 유지하기 위해 필요한 최소 작업거리라고 정의할 수 있다(Rose, et al., 2015). 따라서 안전작업거리를 설정한다면 배관재 설치 작업 간의 동시 작업 가능 여부 및 선후행 관계를 정의할 수 있다. 두 배관재 간의 거리가 안전작업거리보다 클 경우에는 동시에 설치 작업을 진행하더라도 충분한 작업 공간이 확보된다고 할 수 있으므로, 두 배관재는 동시 작업이 가능한 배관재로 정의할 수 있다. 반대로 두 배관재 간의 거리가 안전작업거리보다 작을 경우에는 동시에 설치 작업을 진행한다면 충분한 작업 공간이 확보되지 않으므로, 두 배관재는 동시 작업이 불가능한 관계로써 선후행 관계를 가진다고 정의할 수 있다.

Collection @ kmou

제 3 장 배관재 설치순서 최적화 알고리즘 개발

3.1 배관재 설치순서 최적화 알고리즘 정의

알고리즘은 어떠한 문제를 해결하기 위한 절차 및 방법의 집합으로써, 정의된 데이터를 알고리즘에 입력하여 원하는 목적의 결과를 출력하기 위한 것이 목적이라고 할 수 있다. 본 연구에서 개발한 배관재 설치순서 최적화 알고리즘의 목적은 배관재의 속성정보와 배관재의 위치정보를 사용하여 효율적인 배관재 설치 순서를 결정하는 것이 목적이다.

본 연구에서 개발한 배관재 설치순서 최적화 알고리즘의 순서도는 아래 Fig. 3과 같다. 사용자는 먼저 배관재 설치 순서 최적화에 필요한 데이터를 선택하고 이에 대한 가중치를 정의하는 작업을 수행한다. 입력된 데이터와 가중치를 기반으로 각 공정변수 별 순위를 계산하고, 이를 통해 최종 설치 순위를 계산하는 프로세스로 진행된다. 결과적으로 사용자는 배관재 설치 순위와 배관재 설치 작업 간의 선후행 관계를 확인할 수 있다. 알고리즘의 각 단계 별 세부내용은 아래와 같다.

Collection @ kmou

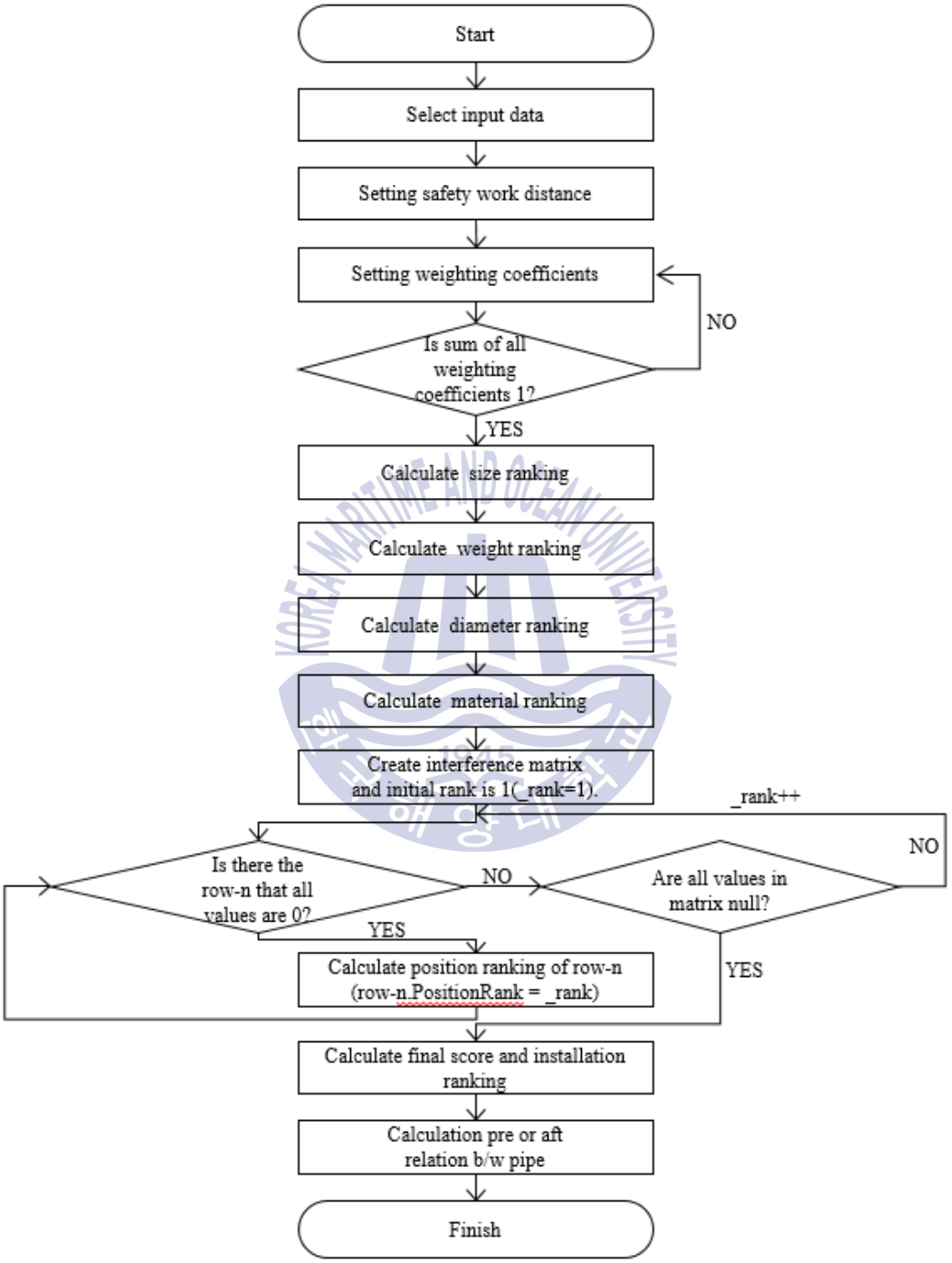


Fig. 3 Flow chart of algorithm for optimizing spool installation sequence

Collection @ kmou

3.2 알고리즘 단계 별 프로세스

3.2.1 배관재 데이터 불러오기

알고리즘에서 가장 먼저 진행되는 단계는 배관재 설치 순서 최적화를 위한 배관재 데이터를 선택하는 단계이다. 이 단계에서는 알고리즘에서 정의한 공정변수에 대한 데이터가 반드시 포함되어 있어야 한다. 배관재 설치 순서 최적화 알고리즘에서 정의한 공정변수는 크기 정보, 직경 정보, 무게 정보, 재질 정보, 위치 정보이다. 이 중 크기 정보는 길이 정보와 직경 정보를 기반으로 계산되는 정보이기 때문에, 배관재의 길이 정보가 입력되어야 한다. 또한 위치 정보는 간섭 체크 방법에 따라서 입력되는 데이터 형식이 달라진다. 그리고 간섭 발생 여부를 기반으로 위치 순위를 계산할 때 동일한 순위인 배관재들 중에서는 관통 스풀을 선행으로 설치해야 하기 때문에, 배관재의 관통 여부는 위치 순위를 계산할 때 추가적인 우선 순위를 고려하기 위해 필요하다. 따라서 배관재 속성정보에 대한 데이터에는 배관재명, 길이 정보, 직경 정보, 무게 정보, 관통 여부, 재질 정보가 반드시 포함되어 있어야 한다. 반드시 포함되어야 하는 배관재 속성정보에 대한 데이터 예시는 아래 Table 2와 같다.

Table 2 Example data of spool attribute data

Spool no	Length	Diameter	Weight	Penetration	Material
Spool_A_20IN_1	2,408	20	211.125	A	SS
Spool_A_4IN_1	1,288	4	89.411	A	CS
Spool_A_4IN_3	436	4	64.745	P	LTCS
Spool_B_2IN_1	5,086	2	139.27	B	CS
Spool_B_12IN_4	1,596	12	30.8	B	CS
…	…	…	…	…	…

다음으로 배관재의 간섭 체크 방법에 따라 위치 정보에 대한 입력 데이터 형식이 달라진다. 배관재의 간섭 체크 방법은 좌표 정보 기반의 간섭 체크 방법과 3D 의장 설계 모델 기반의 간섭 체크 방법으로 구분할 수 있다. 좌표 정보

Collection @ kmou

기반으로 간섭 체크 작업을 수행할 경우에는 배관재의 좌표 정보가 입력되어야 한다. 배관재의 좌표 정보는 양 끝점의 좌표 정보를 반드시 포함해야 하며, I자형 배관재가 아닐 경우에는 변곡점의 좌표 정보도 포함되어야 한다. 따라서 배관재의 좌표 정보는 양 끝점의 좌표가 반드시 포함되어야 하므로 2개의 좌표가 반드시 입력되고, 임의의 배관재의 변곡점의 개수가 n개라고 가정했을 때, 이 배관재의 좌표 개수는 n+2개가 입력되어야 한다. 배관재의 좌표 정보에 대한 데이터의 예시는 아래 Table 3와 같다. 총 5개의 스풀에 대한 좌표 정보가 표현되어 있다. 그 중 'Spool_A_4IN_3' 배관재와 'Spool_A_4IN_3' 배관재는 3개의 좌표 정보가 입력된 것을 확인할 수 있고, 나머지 3개의 배관재는 2개의 좌표 정보가 입력된 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 'Spool_A_4IN_3' 배관재와 'Spool_A_4IN_3' 배관재는 변곡점이 하나씩 존재하는 배관재이고, 나머지 3개의 배관재는 변곡점이 존재하지 않는 I자형 배관재라는 것을 알 수 있다.

Table 3 Example data of spool coordinate data

Spool no	X_1	Y_1	Z_1	X_2	Y_2	Z_2	X_3	Y_3	Z_3	…
Spool_A_20IN_1	12118	12904	40592	12118	12904	39390				…
Spool_A_4IN_1	11971	12747	39231	11971	12747	39275	11971	12904	39275	…
Spool_A_4IN_3	11971	12747	39242	11971	12747	38110	11971	12638	38110	…
Spool_B_2IN_1	11479	12274	37610	11735	12274	37610				…
Spool_B_12IN_4	11990	12274	37610	11734	12274	37610				…
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…

3D 의장 설계 모델 기반의 간섭 체크 작업을 수행할 경우에는 별도의 좌표 정보에 대한 데이터가 입력되지 않아도 된다. 대신 배관재의 위치 정보를 확인할 수 있는 3D 의장 설계 모델 파일을 입력되어야 한다. 입력된 3D 의장 설계 모델 파일은 배관, 전장, 구조물, 격벽 등의 의장 작업을 이루는 많은 요소들이 포함되어 있기 때문에, 설계 모델 파일에서 배관재에 대한 정보를 추출하여 배관재 간의 간섭 체크 작업을 수행하는 프로세스로 진행된다.

Collection @ kmou

3.2.2 안전작업거리 설정

안전작업거리는 안전작업거리 제약조건에 따른 배관재 설치 작업의 선후행 관계를 정의하고 동시 작업 가능 여부를 판단하기 위해 설정하는 거리이다. 배관재의 길이정보가 [mm] 단위로 입력되기 때문에, 이와 동일하게 안전작업거리도 [mm] 단위로 입력해야 한다. 일반적으로 작업 반경이 5m 이상 유지되어야 충분한 작업 효율을 낼 수 있다. 따라서 두 배관재 간의 거리가 5m 이상일 경우에는 두 배관재의 설치 작업은 동시에 진행할 수 있고, 5m 미만일 경우에는 두 배관재의 설치 작업은 동시에 진행할 수 없고 선후행 관계를 가지는 관계라고 정의할 수 있다. 따라서 배관재 설치순서 최적화 알고리즘에서 초기 안전작업거리는 5m로 설정되어 있으며, 작업 환경 및 리소스 제약조건을 고려하여 안전작업거리를 변경할 수도 있다.

3.2.3 가중치 설정

이 단계에서는 알고리즘에서 설정한 공정변수인 위치 정보, 무게 정보, 크기 정보, 직경 정보, 재질 정보에 대한 가중치를 설정한다. 가중치를 설정하는 방법은 직관적으로 설정하는 방법과 AHP 기법을 통해 설정하는 방법으로 구분할 수 있다.

가중치를 직관적으로 설정하는 방법을 사용할 경우 모든 공정변수의 가중치의 합이 1이 되도록 설정하면 된다. 예를 들어, 간섭에 의한 위치정보가 다른 공정변수들 보다 훨씬 중요하고, 나머지 공정변수의 중요도가 직경 정보, 재질 정보, 무게 정보, 크기 정보 순이라고 가정한다면, 위치 정보의 가중치는 0.5, 직경 정보의 가중치는 0.2, 재질 정보의 가중치는 0.15, 무게 정보의 가중치는 0.1, 크기 정보의 가중치는 0.05로 설정할 수 있다.

AHP 기법을 통해 가중치를 설정하는 방법은 아래 Table 4와 같은 프로세스로 진행된다. 먼저 공정변수 간의 상대적인 중요도를 쌍대 비교를 통해 판단하는 작업을 수행한다. 예를 들어 위치 정보가 무게 정보보다 '매우 중요' 하다고 판단될 경우에는 Table 1의 척도값을 통해 무게 정보 대비 위치 정보의 값

Collection @ kmou

에 5점을 부여한다. 이 때 위치 정보 대비 무게 정보의 가중치는 반대로 5점만큼 중요하지 않다고 판단할 수 있다. 따라서 무게 정보 대비 위치 정보의 중요도가 1이라고 한다면, 위치 정보 대비 무게 정보의 상대적인 중요도는 1/5점이 된다. 그리고 동일한 공정변수 간의 상대적인 중요도는 동일하다고 할 수 있으므로, 동일한 공정변수 간의 쌍대 비교 시 1점의 척도값을 부여한다. n개의 변수가 있을 때, n*n 번의 쌍대비교 작업이 수행된다. 모든 변수 간의 쌍대 비교 작업이 완료된 후에는 각 공정변수 별로 다른 공정변수들과 쌍대 비교 결과값을 모두 곱한 값을 계산한다. 예를 들어, 위치 정보는 무게 정보와 비교했을 때 5점, 크기 정보와 비교했을 때 7점, 재질 정보와 비교했을 때 3점, 직경 정보와 비교했을 때 3점의 결과값을 얻었기 때문에, 이를 모두 곱하여 315라는 값을 얻을 수 있다. 다음으로 설정한 공정변수의 개수가 5개이기 때문에, 곱함으로써 얻은 중간값의 5승근 값을 계산함으로써 기하평균 값을 얻을 수 있다. 마지막으로 모든 공정변수의 기하평균의 합 대비 각 공정변수의 구성비를 통해서 각 공정변수의 가중치를 계산할 수 있다. 표에서 위와 같은 프로세스로 진행했을 때, 위치 정보의 가중치가 0.461, 무게 정보의 가중치가 0.085, 크기 정보의 가중치가 0.042, 재질 정보의 가중치가 0.161, 그리고 직경 정보의 가중치가 0.251로 계산된 것을 확인할 수 있다.

Table 4 Process for calculating weighting coefficients using AHP method

	Position	Weight	Size	Material	Dia	Sub value	Geometric mean	Weighting coefficient
Position	1	5	7	3	3	315	3.160	0.461
Weight	1/5	1	3	1/3	1/3	0.067	0.582	0.085
Size	1/7	1/3	1	1/5	1/5	0.002	0.289	0.042
Material	1/3	3	5	1	1/3	1.667	1.108	0.161
Dia	1/3	3	5	3	1	15	1.719	0.251

3.2.4 크기 순위 계산

크기가 큰 배관재일수록 작업 공간 및 설치 장소까지의 이동 경로 확보 측면

Collection @ kmou

에서 먼저 설치할 때 작업 효율이 증대된다. 따라서 본 연구에서 개발한 알고리즘에서는 크기가 큰 배관재에 우선 순위를 부여함으로써 크기 순위를 계산하였다. 하지만 배관재의 크기는 여러 구획에서 평균적으로 유사한 것이 아니며, 해당 구획 내의 배관재 간의 상대적인 크기에 따라 우선순위가 결정된다고 할 수 있다. 따라서 구획 내의 모든 배관재를 배관재의 크기가 큰 순으로 정렬하고, 이를 다섯 단계로 구분한다. 구분된 단계에 따라 1~5순위로 구분할 수 있으며, 가장 크기가 큰 배관재 그룹이 1순위, 가장 크기가 작은 배관재 그룹이 5순위가 된다.

3.2.5 무게 순위 계산

무게가 무거운 배관재일수록 후행 의장 단계에서 작업하는 데에 제한 사항이 있을 수 있으며, 크레인과 같은 리소스 및 간섭에 대한 제약 사항이 발생할 수 있다. 따라서 무게가 무거운 배관재에 우선 순위를 부여함으로써 무게 순위를 계산할 수 있다. 무게도 크기와 유사하게 모든 구획에서 비슷한 분포를 띄는 것이 아니기 때문에 구획 내의 배관재들 간의 상대적인 크기가 중요하다고 할 수 있다. 따라서 배관재를 무거운 순으로 정렬하고, 이를 다섯 단계로 구분한다. 그리고 구분된 다섯 단계를 기반으로 1~5순위로 구분할 수 있으며, 무게가 가장 무거운 그룹의 배관재가 1순위, 무게가 가장 가벼운 그룹의 배관재가 5순위가 된다.

3.2.6 직경 순위 계산

직경이 큰 대형관일수록 작업 시간이 오래 걸리는 특징이 있고, 소형관과의 간섭을 피하기 위해서 먼저 설치하는 것이 효율적이다. 또한 대형관은 구획 내에서 메인 라인에 설치되는 경우가 많고 기본 설계 단계에서 메인 라인의 배관재를 설계되기 때문에 소형관보다 선행으로 설치하는 것이 효율적이다. 따라서 직경이 큰 배관재에 우선 순위를 부여함으로써 직경 순위를 계산할 수 있다. 일반적으로 6인치가 대형관과 소형관을 구분하는 기준이 되며, 6인치 이상의 배관재가 대형관이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 해양플랜트에 가장 많이 설

Collection @ kmou

치되는 배관재의 직경과 직경의 평균이 대략 5인치 정도라는 것을 고려하여 배관재의 직경을 다섯 개의 그룹으로 분류하였다. 배관재의 직경이 12인치 이상인 배관재를 1순위로 정의하였으며, 2인치 미만인 배관재를 5순위로 정의하였다.

3.2.7 재질 순위 계산

배관재의 재질에 따라 작업 방법과 난이도가 달라지기 때문에 재질에 따라 작업 순서를 구분할 수 있다. 또한 같은 재질의 배관재들을 연속적으로 작업을 진행할 경우에는 작업 준비 시간을 줄일 수 있다. 따라서 재질 별 작업 난이도에 따라서 재질 순위를 분류할 수 있다. 배관재 중 가장 많은 비중을 차지하는 재질의 작업 난이도는 CN, LTCS, SS, CS 순으로 높으므로, 작업의 난이도가 높은 재질의 배관재에 우선순위를 부여하여 배관재의 재질순위를 계산할 수 있다 (Table 5).

Table 5 List of material

Material(Short name)	Ranking for level of difficulty
CS	4
CN	1
LTCS	2
SS	3

3.2.8 위치 순위 계산

배관재의 위치 순위는 간섭매트릭스를 생성하는 단계와 생성된 간섭매트릭스를 기반으로 위치 순위를 계산하는 단계를 통해 계산된다.

간섭매트릭스는 배관재의 위치정보를 기반으로 배관재 간의 간섭 체크 작업을 수행하여 생성된다. 간섭매트릭스를 생성하는 단계는 배관재의 위치정보가 어떤 형태로 입력되는지에 따라서 4가지 방법으로 구분되어 개발되었다. 첫 번째 방법은 배관재의 양 끝점의 좌표를 기반으로, 하나의 배관재를 하나의 선분

Collection @ kmou

으로 가정하여 간섭 체크 작업을 수행하는 방법이다. 두 번째 방법은 배관재의 양 끝점의 좌표에 추가적으로 변곡점에 대한 좌표를 기반으로, 하나의 배관재를 n개의 선분으로 가정하여 간섭 체크 작업을 수행하는 방법이다. 변곡점이 2개인 배관재가 있다면, 이 배관재는 3개의 선분으로 구성된 배관재라고 할 수 있다. 세 번째 방법은 두 번째 방법과 같이 배관재의 양 끝점 좌표와 변곡점의 좌표를 사용하였고, 추가적으로 배관재의 직경 정보를 고려하여 간섭 체크 작업을 수행하는 방법이다. 즉, 첫 번째 방법과 두 번째 방법은 선분 간의 간섭 체크 작업을 수행하는 반면, 세 번째 방법은 길이 정보와 직경 정보를 기반으로 2차원 평면 상에 투영된 면적을 계산하여 면적 간의 간섭 체크 작업을 수행하는 방법이다. 첫 번째 방법과 두 번째 방법과 세 번째 방법은 배관재의 위치 정보를 의미하는 좌표 정보가 CSV 형식의 파일로 입력된다는 공통점이 있다. 하지만 네 번째 방법은 배관재의 위치 정보가 포함되어 있는 3D 의장 설계 모델 파일을 사용하는 방법으로, 배관재의 설계 정보를 기반으로 위치 정보를 확인하여 간섭 체크 작업을 수행한다. 이 방법은 다른 방법들과는 달리 배관재의 좌표 정보를 별도의 파일로 관리하지 않아도 된다.

이 4가지 방법은 연산 시간, 정확도 측면에서 차이점이 있으며, 차이점을 확인하기 위해 아래의 Fig. 4와 같은 샘플 모델을 추출하였고, 이를 통해 4가지 방법의 간섭 체크 결과를 비교해보았다. 먼저 4가지 방법의 X-Y 평면 정사영 구현 화면은 아래 그림과 같다. 첫 번째 방법은 L자형 배관재를 포함한 모든 배관재가 하나의 선분으로 표시된 것을 확인할 수 있으며(Fig. 5), 두 번째 방법은 변곡점이 고려되어 L자형 배관재는 2개의 선분으로 구성된 것을 확인할 수 있다(Fig. 6). 그리고 세 번째 방법은 배관재의 직경을 고려하여 임의의 면적이 투영된 것을 확인할 수 있지만, 엘보와 같은 부분은 실제 형상과 오차가 발생하는 것을 알 수 있다(Fig. 7). 그리고 마지막 방법인 네 번째 방법은 3D 의장 설계 모델을 기반으로 X-Y평면 상에 정사영된 것을 확인할 수 있다(Fig. 8). 이를 통해 각 방법을 사용한 간섭매트릭스를 생성하고, 계산한 간섭 순위는 아래의 Table 6과 같다. 첫 번째 방법은 2번 배관재가 하나의 선분으로 정의되었기 때문에 다른 배관재와의 간섭이 발생하지 않는 것을 확인할 수 있고, 1번 배관

Collection @ kmou

재만이 2번 배관재를 제외한 나머지 배관재와 간섭이 발생한다는 것을 확인할 수 있다. 두 번째 방법에서는 변곡점에 대한 좌표를 고려하였기 때문에 1번 배관재와 2번 배관재가 간섭이 발생한다는 결과가 출력된 것을 확인할 수 있다. 세 번째 방법에서는 배관재의 직경을 추가적으로 고려했기 때문에 3~6번 배관재 간의 간섭 관계가 정의된 것을 알 수 있다. 또한 네 번째 방법의 결과는 세 번째 방법과 결과는 동일하지만 변곡이 발생하는 부분의 정확한 형상이 고려되었다는 것을 확인할 수 있다.

이 4가지 방법은 크게 좌표 정보 기반으로 배관재의 위치를 확인하는 방법과 3D 의장 설계 모델을 기반으로 배관재의 위치를 확인하는 방법으로 구분할 수 있다. 즉, 첫 번째 방법, 두 번째 방법과 세 번째 방법은 좌표 정보 기반으로 배관재의 위치를 확인하는 방법이라고 할 수 있으며, 네 번째 방법은 3D 의장 설계 모델을 기반으로 배관재의 위치를 확인하는 방법이라고 할 수 있다. 좌표 정보 기반으로 배관재의 위치를 확인하는 방법은 연산 속도가 빠르다는 장점이 있다. 200개의 배관재가 포함된 블록으로 간섭 체크 작업을 수행했을 때, 좌표 정보 기반의 간섭 체크 방법은 약 7초의 연산 시간이 소요되는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 좌표 정보 기반으로 배관재의 위치를 확인하는 방법은 선분으로 가정하거나 엘보와 같은 부분의 형상을 명확히 고려하지 못했기 때문에 간섭 체크의 정확도가 비교적 저하된다는 단점이 있다. 또한 좌표 정보를 간섭 체크 작업을 수행하기 전에 추출해야 한다는 전처리 작업이 필요하다는 단점이 있다. 반대로 3D 의장 설계 모델 기반으로 배관재의 위치를 확인하는 방법은 3D 의장 설계 모델로부터 배관재의 형상 정보 및 위치 정보를 확인하기 때문에 간섭 체크의 정확도가 높다는 장점이 있다. 또한 배관재 좌표 정보를 추출해야 하는 전처리 작업이 불필요하고 3D 의장 설계 모델만 있으면 간섭 체크 작업이 수행 가능하다는 장점이 있다. 하지만 3D 의장 설계 모델에서 설비, 전장 등 다양한 의장 중에서 배관재를 구분해야 하고, 이를 바탕으로 배관재의 위치 정보를 확인한 후 배관재 간의 간섭 체크 작업을 수행해야 하기 때문에 연산 속도가 느리다는 단점이 있다. 200개의 배관재가 포함된 블록으로 간섭 체크 작업을 수행했을 때, 3D 의장 모델 기반의 간섭 체크 방법은 약 65초의

Collection @ kmou

연산 시간이 소요된다는 것을 확인할 수 있었다. 이를 종합했을 때, 배관재의 좌표 정보 기반의 간섭 체크 방법은 좌표 정보를 가지고 있고 빠른 시간 내에 결과를 도출하고 싶을 때 적용하기 좋은 방법이라고 할 수 있다. 반대로 3D 의장 설계 모델 기반의 간섭 체크 방법은 좌표 정보를 미리 추출해야 하는 전처리 작업이 불필요하다고 느끼고 정확한 간섭 체크 결과를 도출하고 싶을 때 적용하기 좋은 방법이라고 할 수 있다.

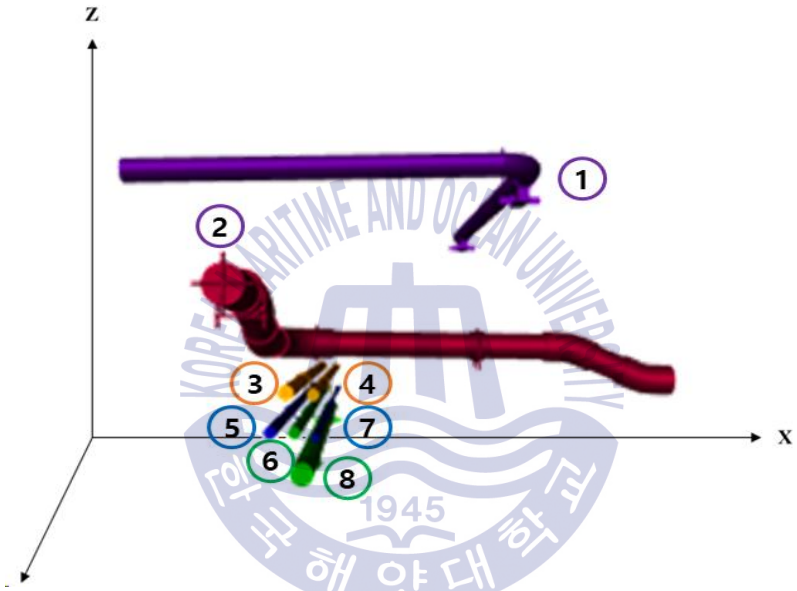


Fig. 4 Sample model in 3D space

Collection @ kmou

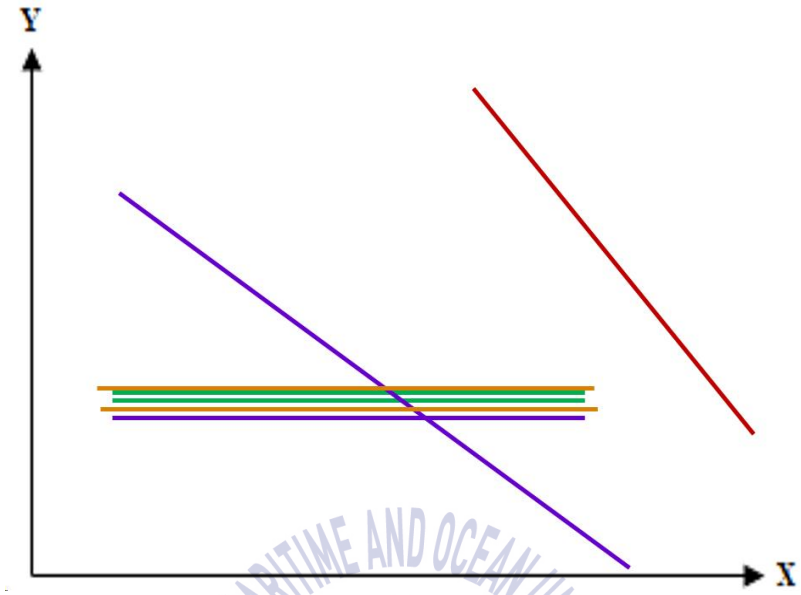


Fig. 5 Sample model on X-Y plane using first method

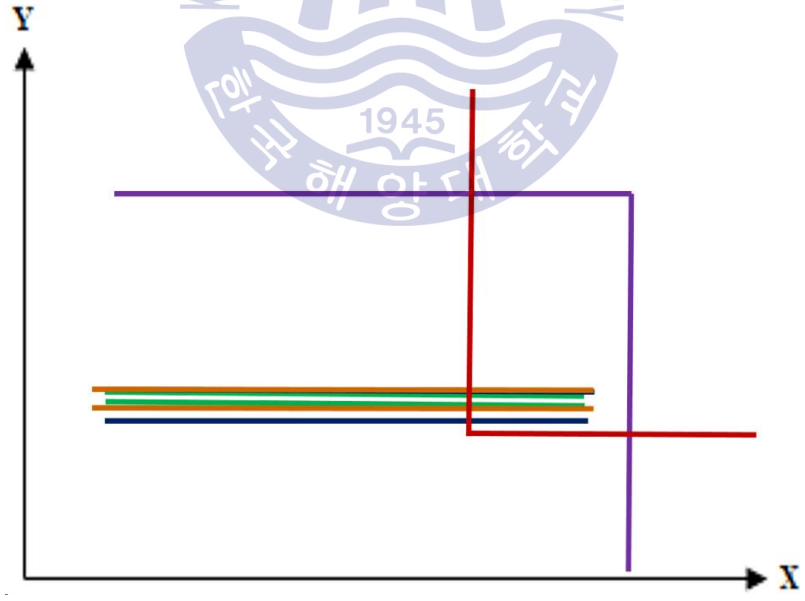


Fig. 6 Sample model on X-Y plane using second method

Collection @ kmou

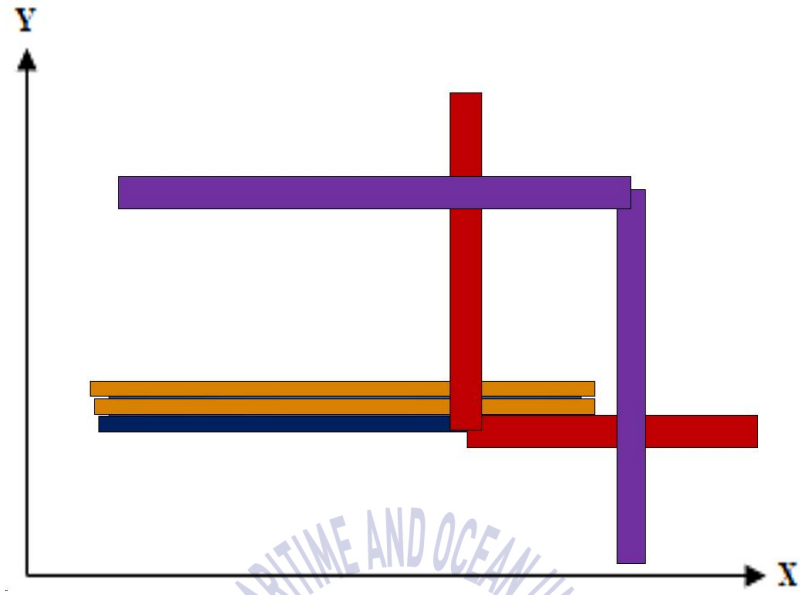


Fig. 7 Sample model on X-Y plane using third method

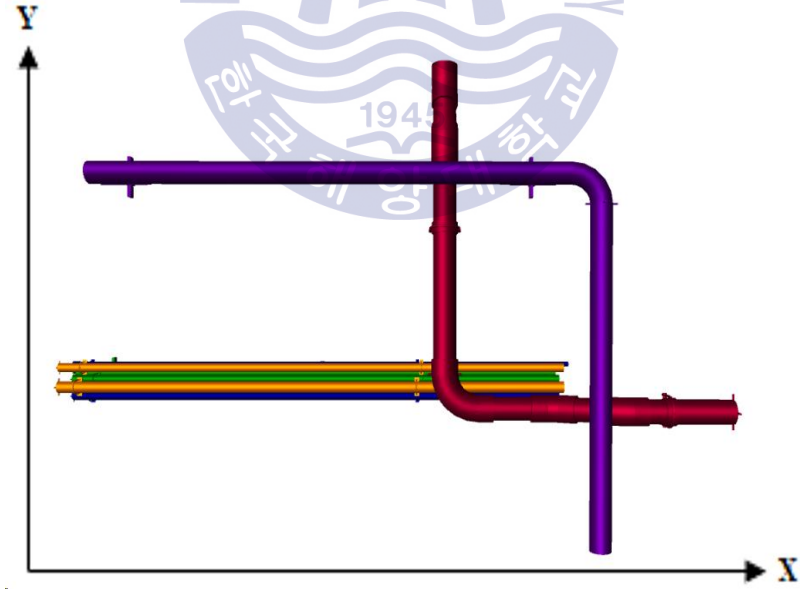


Fig. 8 Sample model on X-Y plane using Fourth method

Collection @ kmou

Table 6 Comparison of sample model results using 4 methods

Method / Spool no.	First method	Second method	Third method	Fourth method
Spool_1	2	3	5	5
Spool_2	1	2	4	4
Spool_3	1	1	3	3
Spool_4	1	1	3	3
Spool_5	1	1	1	1
Spool_6	1	1	2	2
Spool_7	1	1	1	1
Spool_8	1	1	1	1

3D 모델 기반 배관재 간의 간섭 체크 알고리즘은 공동 연구로 수행하여 개발되었다(Jang, et al., 2018). 알고리즘은 연산 시간을 최소화하기 위해 3단계로 구분되어 있다. 먼저 배관재의 최소점 좌표와 최대점 좌표를 기반으로 Bounding box를 생성하고 Bounding box 간 충돌 발생 여부를 통해 간섭 체크 작업을 수행한다. Bounding box는 실제 배관재의 형상을 포함하기 때문에 Bounding box 간 충돌이 발생하지 않을 경우에는 배관재 간의 간섭이 발생하지 않는 관계라고 정의할 수 있다. 다음으로 Bounding box 간의 간섭이 발생한 배관재들의 중점 좌표를 기준으로 Line 간 간섭 체크 작업을 수행한다. Line은 배관재의 중심을 지나는 선분이기 때문에 실제 배관재의 형상보다 작은 범위라고 할 수 있다. 따라서 Line 간 간섭 체크가 발생할 경우에는 두 배관재는 간섭이 발생하는 관계라고 정의할 수 있으며, 발생하지 않을 경우에는 정확한 형상을 통해 다시 간섭 발생 여부를 판단해야 하는 케이스라고 할 수 있다. 따라서 Bounding box 간의 간섭이 발생하고 Line 간 간섭이 발생하지 않은 배관재들만을 기준으로 Mesh를 생성하고 Mesh 간의 배관재 간섭 체크 작업을 마지막으로 수행한다. 이와 같은 순서로 간섭 체크 작업을 수행함으로써 모든 배관재의 Mesh를 생성하지 않아도 되기 때문에 연산 시간을 절약할 수 있다는 장점이 있다.

Collection @ kmou

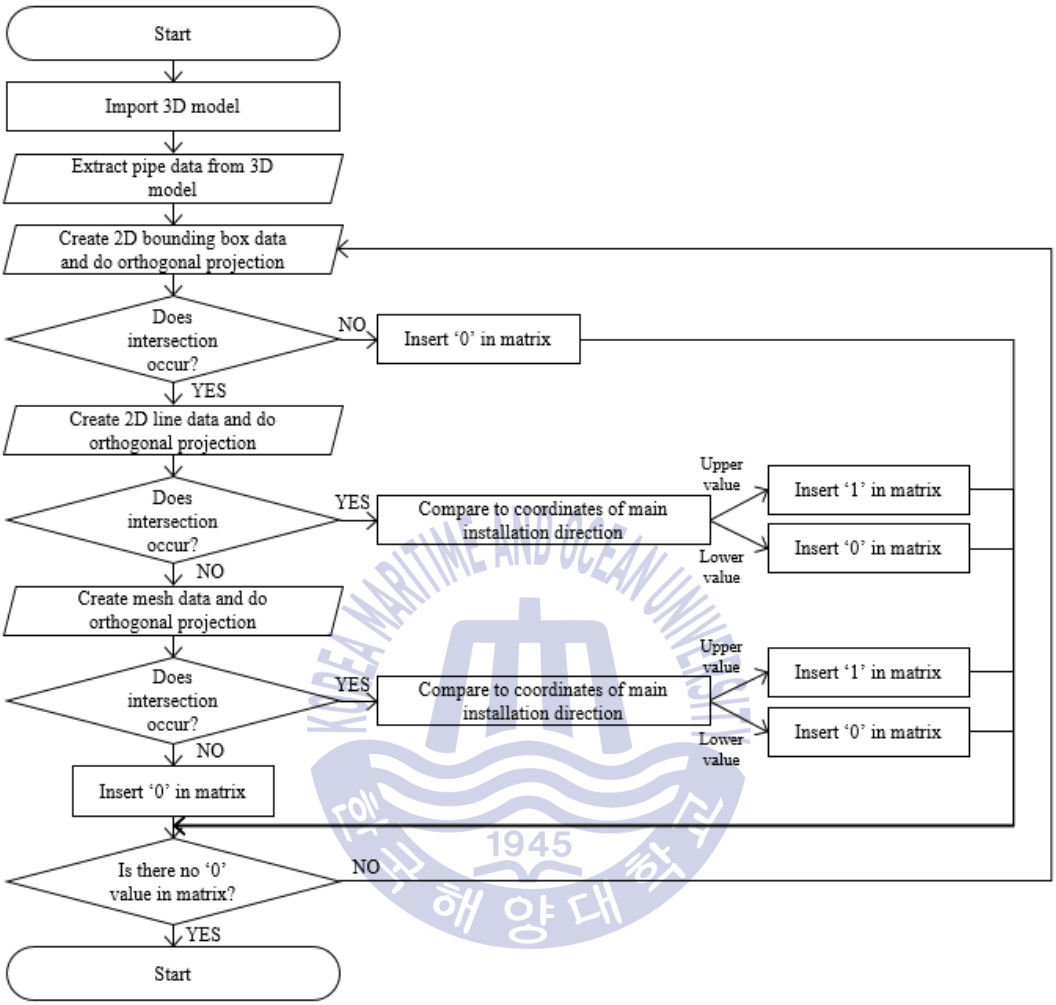


Fig. 9 Flow chart for checking interference using 3D outfitting design model

다음은 간섭매트릭스를 기반으로 위치 순위를 계산하는 단계이다. 생성된 간섭매트릭스는 열에는 기준이 되는 배관재, 행에는 비교할 배관재가 동일한 순으로 나열되기 때문에 기준 행의 값이 모두 0일 경우에 기준 배관재는 설치가 가능한 상태라고 판단할 수 있으므로 위치 순위를 부여하고 기준 행과 열의 모든 값을 제거해주는 작업을 반복 수행함으로써 위치 순위를 계산할 수 있다. 예를 들어, 아래의 Table 7과 같이 간섭매트릭스가 생성된 것이 있다. 이 간섭매트릭스에는 P_1, P_2, P_3로 총 3개의 배관재가 있으며, P_3만이 P_2와 비교했을 때

Collection @ kmou

간섭이 발생하는 결과가 출력된 것을 확인할 수 있다. 이 때 1행과 2행의 값이 모두 0이기 때문에 P_1과 P_2는 다른 배관재와의 간섭이 발생하지 않으므로 현재 설치가 가능하다고 판단할 수 있다. 따라서 1행과 1열, 2행과 2열의 값을 모두 제거해주고 P_1과 P_2에 위치 순위를 부여할 수 있다(Table 8). 그리고 기준이 되는 위치 순위를 증가시킨다. 즉 P_1과 P_2의 위치 순위에 1순위를 부여하였고, 더 이상 행의 값이 모두 0인 행이 없기 때문에 이후에 부여할 배관재의 위치 순위에는 2순위를 부여해야 한다. 이 과정을 거치게 되면 아래의 표와 같이 3행과 3열이 교차하는 내부의 값만이 존재한다는 것을 알 수 있다. 3행과 3열이 교차하는 부분의 값이 0이기 때문에 3행의 P3도 현재 설치가 가능한 상태인 것을 알 수 있으므로 P_3의 위치 순위에 2순위를 부여한다. 그리고 3행과 3열의 값을 모두 제거해주면 아래의 Table 9와 같이 간섭매트릭스 내부의 모든 값이 제거된 것을 확인할 수 있다. 간섭매트릭스 내부의 값이 모두 제거되었다는 것은 간섭매트릭스를 기반으로 모든 배관재의 위치 순위를 계산했다는 것을 의미한다. 결과적으로 배관재의 위치 순위는 아래의 Table 10과 같이 P_1과 P_2는 1순위, P_3은 2순위인 것을 확인할 수 있다.

Table 7 Step 1 of calculating position ranking by interference matrix

Step 1	P_1	P_2	P_3
P_1	0	0	0
P_2	0	0	0
P_3	0	1	0

Collection @ kmou

Table 8 Step 2 of calculating position ranking by interference matrix

Step 2	P_1	P_2	P_3
P_1			
P_2			
P_3			0

Table 9 Step 3 of calculating position ranking by interference matrix

Step 3	P_1	P_2	P_3
P_1			
P_2			
P_3			

Table 10 Calculated position ranking of P_1,P_2,P_3

Spool no.	Position ranking
P_1	1
P_2	1
P_3	2

3.2.9 최종 점수 계산 및 최종 설치 순위 계산

각 배관재의 최종 점수는 선행 단계에서 계산된 각 공정 변수 별 순위와 가중치를 아래 수식에 적용하여 계산할 수 있다. 최종 점수는 각 공정 변수 별 순위를 기반으로 계산되기 때문에 최종 점수가 낮을수록 높은 순위라고 할 수 있다. 따라서 최종 점수가 낮은 배관재에 우선순위를 부여하여 최종 설치 순위를 계산할 수 있다.

Collection @ kmou

$$S_i = \sum_{k=1}^{n} (Rank_k \times WeightingCoeff_k) \quad (1)$$

i = *Pipe no.*
k = *Process prameter no.*
n = *Number of process parameter*

3.2.10 배관재 설치 작업 간의 연결 관계 정의

3.2.9에서 계산한 배관재 설치순위는 각 작업 간의 관계를 고려된 것이 아닌 각 배관재의 속성정보를 기반으로 계산된 결과이다. 하지만 조선산업은 리소스 및 공간적 충돌이 발생하지 않을 경우에는 다수의 작업이 동시에 진행될 수 있다는 특징이 있다. 따라서 배관재 설치 작업 간의 동시 작업 가능 여부 및 선후행 관계를 정의할 필요가 있으며, 이는 2.4에서 정의한 설치 제약조건을 바탕으로 정의할 수 있다.

간섭매트릭스를 기반으로 간섭 제약조건을 적용한 배관재 설치 작업 간의 선후행 관계를 정의할 수 있다. 간섭매트릭스에서 기준 배관재가 다른 배관재와 비교했을 때 간섭이 발생한다면, 기준 배관재는 간섭이 발생한 배관재가 설치된 이후에 설치될 수 있다고 정의할 수 있으며, 두 배관재 간에는 선후행 관계가 정의된다고 할 수 있다. 반대로 간섭매트릭스를 통해 두 배관재 간의 간섭이 발생하지 않는다는 것을 확인한 경우에는 두 배관재는 간섭에 의한 선후행 관계가 성립하지 않는다고 할 수 있으며, 두 배관재는 동시에 설치 작업이 수행될 수 있다고 할 수 있다.

사용자가 정의한 안전작업거리를 기반으로 안전작업거리 제약조건을 적용한 배관재 설치 작업 간의 선후행 관계를 정의할 수 있다. 안전작업거리 제약조건을 적용하여 각 배관재 설치 작업의 선행 작업을 정의하고자 하기 때문에, 안전작업거리 제약조건은 기준 배관재보다 높은 순위의 배관재에만 적용이 가능하다. 기준 배관재보다 높은 순위의 배관재들과 비교했을 때 두 배관재 간의 거리가 안전작업거리보다 작을 경우에는 두 배관재를 동시에 작업하기 위한 작업 공간이 충분히 확보되지 않는다고 할 수 있기 때문에, 기준 배관재는 비교한 배관재가 설치된 이후에 설치되어야 하는 선후행 관계가 정의된다고 할 수

Collection @ kmou

있다. 반대로 기준 배관재보다 높은 순위의 배관재들과 비교했을 때 두 배관재 간의 거리가 안전작업거리보다 클 경우에는 두 배관재의 설치 작업을 동시에 진행하더라도 충분한 작업 공간이 확보된다고 할 수 있으므로 두 배관재 설치 작업은 동시에 진행될 수 있다고 정의할 수 있다.

하지만 배관재 설치 작업 간의 선후행 관계를 정의할 때, 간섭 제약조건과 안전작업거리 제약조건 간의 충돌이 발생할 수도 있다. 예를 들어 아래의 Fig. 10으로 표현된 두 배관재가 있고, 배관재의 주 설치 방향은 연직하방향(Z축) 이라고 가정하였다. 간섭 제약조건을 적용했을 때, 배관재 A는 배관재 B보다 선행으로 설치되어야 한다고 정의할 수 있다. 하지만 배관재 B가 배관재 A보다 간섭 발생 여부에 따른 위치 순위를 제외한 무게 순위, 크기 순위, 재질 순위, 직경 순위가 모두 높기 때문에, 최종 설치 순위도 더 높게 계산될 수 있다. 이 경우에 배관재 A와 배관재 B 간의 거리가 안전작업거리보다 작다고 한다면, 배관재 B가 배관재 A보다 선행으로 설치되어야 한다고 정의할 수 있다. 결과적으로 간섭 제약조건과 안전작업거리 제약조건이 충돌함으로써, 배관재 설치 작업 간의 명확한 선후행 관계가 정의되지 않는다고 할 수 있다.

위와 같이 제약조건 간의 충돌을 방지하기 위해서 제약조건 간의 우선순위를 부여할 필요가 있다. 아래 그림과 같은 두 배관재가 있고, 두 배관재는 X-Y 평면에 정사영시켰을 때 충돌이 발생하는 관계이다. 이 때 배관재 A와 배관재 B의 속성정보 및 각 공정변수의 순위는 아래 표와 같다. 이 때 간섭 제약조건을 적용한다면 배관재 A는 배관재 B와 비교했을 때 간섭이 발생하기 때문에, 배관재 B가 선행으로 설치된 이후에 배관재 B가 설치될 수 있다고 정의할 수 있다. 즉, 간섭 제약조건만을 적용했을 때는 배관재 B가 선행 작업, 배관재 A가 후행 작업으로 선후행 관계가 정의된다. 안전작업거리 제약조건을 적용한다면 배관재 A는 배관재 B보다 간섭에 의한 위치 순위는 낮지만 나머지 공정변수인 크기, 무게, 재질, 직경 순위는 높기 때문에 배관재 A가 선행 작업, 배관재 B가 후행작업으로 선후행 관계가 정의된다. 이와 같은 경우에는 간섭 제약조건과 안전작업거리 제약조건을 적용할 경우 제약조건 간의 충돌이 발생하게 되어 배관재 설치 작업 간의 명확한 선후행 관계가 정의되지 않는다. 따라서 제약조건

Collection @ kmou

간의 중요도를 적용함으로써 이러한 충돌로 인해 발생하는 문제를 방지할 수 있다. 본 연구에서는 배관재 간의 간섭이 배관재 설치 작업 효율에 가장 큰 영향을 끼치는 제약조건이라고 판단하였기 때문에, 간섭 제약조건과 안전작업거리 제약조건이 충돌할 경우에는 안전작업거리 제약조건은 적용하지 않고 간섭 제약조건만을 적용하였다.

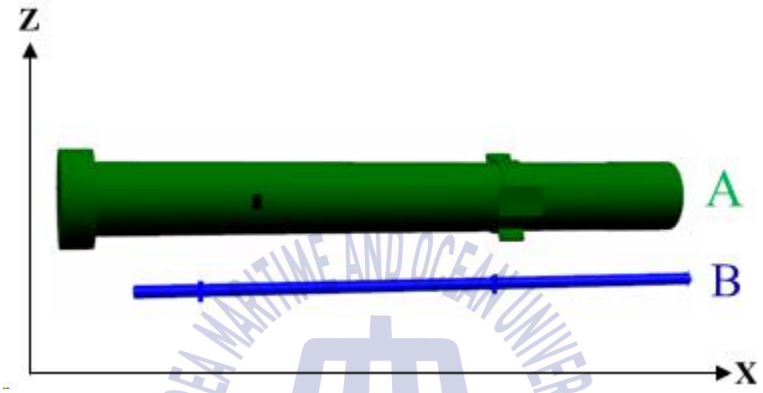


Fig. 10 Example model with conflicting between constraints

Collection @ kmou

제 4 장 배관재 설치 계획 수립 알고리즘 개발

4.1 배관재 설치 계획 수립 알고리즘 정의

3장에서 정의한 배관재 설치 순서 최적화 알고리즘을 통해 출력된 배관재 설치 순서와 관련된 데이터를 활용하여 합리적인 배관재 설치 계획을 수립하기 위해 배관재 설치 계획 수립 알고리즘을 개발하였다. 배관재 설치 계획 수립 알고리즘은 배관재 설치 계획과 관련된 4가지 제약조건과 3가지 계획 수립 방법을 적용하였다.

4.2 배관재 설치 계획 관련 제약조건 정의

합리적인 배관재 설치 계획 수립을 위해서는 총 4개의 제약조건을 적용하였다. 이 중 2개의 제약조건은 배관재 설치순서와 관련된 제약조건으로, 설치순위 제약조건과 선후행 관계 제약조건이다. 나머지 2개의 제약조건은 배관재 설치 계획 수립과 관련된 제약조건으로, 리소스 제약조건과 설치완료일 제약조건이다.

4.2.1 설치순위 제약조건

설치순위 제약조건은 배관재 설치순서 최적화 알고리즘을 통해 계산된 배관재 설치순위에 따른 제약조건을 의미한다. 배관재 설치순서 최적화 알고리즘에서 배관재의 간섭 발생 여부와 크기, 직경, 재질, 무게 등의 속성정보를 바탕으로 효율적인 설치 작업 순서를 위한 설치순위를 계산하였다. 따라서 배관재 설치순서 데이터를 기반으로 합리적인 배관재 설치 계획을 수립하기 위해서는 배관재 설치순서 최적화 알고리즘을 통해 계산된 설치순위를 준수하는 것이 중요하다.

4.2.2 선후행 관계 제약조건

선후행 관계 제약조건은 배관재 설치순서 최적화 알고리즘을 통해 정의된 배

Collection @ kmou

관재 설치 작업 간의 선후행 관계를 의미한다. 배관재 설치 작업 간의 관계는 동시 작업이 가능한 관계와 동시 작업이 불가능한 선후행 관계로 구분된다. 이는 배관재 설치순서 최적화 알고리즘의 설치 제약조건인 간섭 제약조건과 안전 작업거리 제약조건을 기반으로 정의된다. 두 설치 제약조건은 간섭과 안전작업 거리에 따라 충분한 작업 효율을 유지하기 위한 목적으로 정의되었기 때문에, 선후행 관계를 준수함으로써 충분한 작업 효율을 낼 수 있는 합리적인 계획을 수립할 수 있다.

4.2.3 리소스 제약조건

배관재 설치 작업에 할당되는 리소스에 대한 제약조건으로, 배관재 설치 작업에 필요한 리소스에는 설치 작업을 수행하는 인력(human resource), 배관재를 설치 장소까지 이동하기 위해 필요한 크레인 등이 있다. 조선 산업은 공정 중심의 산업이라는 특징이 있고, 공정에 투입되는 리소스의 수에 따라 생산성이 결정된다고 할 수 있다. 즉, 리소스가 많이 투입될수록 리드타임이 단축되고 생산성이 향상된다고 할 수 있다. 하지만 리소스 개수 증가와 리드타임 감소, 생산성 향상은 선형 비례하는 관계가 아니기 때문에, 일정 개수 이상의 리소스가 할당될 경우에는 리소스 투입에 따른 개선 효과를 볼 수 없다. 따라서 각 공정에 적정 리소스를 할당함으로써 합리적인 배관재 설치 계획을 수립할 수 있다.

4.2.4 설치 완료일 제약조건

설치 완료일은 블록 내의 모든 배관재 설치 작업이 완료되어야 하는 날짜를 의미한다. 일반적으로 선박 및 해양플랜트 설계를 할 때, 선체에 대한 건조 계획 일정을 먼저 수립한 후, 수립된 선체 건조 계획 사이에 의장 계획을 수립한다. 그렇기 때문에 의장 계획이 종료되는 날짜는 후행 공정이 시작되는 날짜와 같다고 할 수 있다. 따라서 배관재 설치 작업의 완료일을 준수하지 않으면 후행 공정의 지연을 야기할 수 있으며 이로 인해 시간 및 비용 측면의 손실이 발생할 수 있으므로, 설치 완료일을 준수하는 것은 가장 중요한 제약조건이라고

Collection @ kmou

할 수 있다.

4.3 계획 수립 방법 정의

배관재 설치 계획 수립 방법으로 3가지를 정의하였으며, 모든 방법은 설치 순위 제약조건과 선후행 관계 제약조건과 설치 완료일 제약조건을 적용하였다. 3가지 계획 수립 방법의 차이점은 리소스 제약조건 적용 여부와 계획 수립 방향이며, 3가지 계획 수립 방법은 Backward bucketing, Backward planning, Forward planning이다.

4.3.1 Backward bucketing

Backward bucketing은 리소스 제약조건을 적용하지 않고 리소스는 무한하다고 가정하였으며, 설치 완료일을 기준으로 역방향으로 일정 계획을 수립하는 방법이다. 이 방법은 후행 작업이 존재하지 않는 모든 배관재 설치 작업과 선후행 연결관계가 없는 배관재 설치 작업이 설치 완료일에 종료되도록 계획을 수립한 후, 각 배관재 설치 작업의 선행 작업들의 설치 계획을 순차적으로 수립한다. 따라서 Backward bucketing은 긴급도가 높은 추가 물량이 있거나 현재 작업을 위해 필요한 리소스의 최대 개수를 확인하기 위해 사용될 수 있다.

4.3.2 Backward planning

Backward planning은 리소스 제약조건을 적용하여 설치 완료일을 기준으로 역방향으로 일정 계획을 수립하는 방법이다. 이 방법은 설치 완료일에 리소스 부하가 집중된다는 특징이 있으며, Backward bucketing과 유사하게 후행 작업이 없는 배관재 설치 작업을 설치 완료일에 종료되도록 계획한 후, 선행 작업들에 대한 설치 계획을 수립한다. 이 때 후행 작업이 존재하지 않는 배관재 설치 작업 개수가 리소스 개수보다 많을 경우에는 설치 순위 제약조건에 따라 설치 순위가 낮은 배관재 설치 작업에 대한 계획을 먼저 수립한다. 따라서 Backward planning은 계획 초기에 다른 구획의 배관재 설치 작업과 병행하여 작업해야 하기 때문에 리소스 부하가 후반부에 집중될 필요가 있을 경우나 계

Collection @ kmou

획 초기에 장마철, 폭염과 같은 날씨의 영향으로 작업 효율이 떨어질 것으로 판단될 경우에 사용될 수 있다.

4.3.3 Forward planning

Forward planning은 리소스 제약조건을 적용하여 전체 배관재 설치 작업 목록 중에서 마지막 작업이 설치 완료일에 종료될 수 있도록 정방향으로 일정 계획을 수립하는 방법이다. 이 방법은 계획 초기에 리소스 부하가 집중된다는 특징이 있으며, 선행 작업이 없는 배관재 설치 작업을 설치 시작일에 시작되도록 계획한 후, 후행 작업들의 설치 계획을 순차적으로 수립한다. 이 때 리소스의 개수보다 선행 작업이 없는 배관재 설치 작업이 더 많을 경우에는 배관재 설치 순위 제약조건에 따라 설치 순위가 높은 배관재에 우선 순위를 부여하여 계획을 수립한다. Forward planning은 계획 후반부에 리소스가 감소하거나 작업 환경 변화로 인해 작업 효율이 저하되거나 다른 구획의 배관재 설치 작업과 병행되어야 할 경우에 계획 초기에 리소스 부하를 주기 위해 사용될 수 있다.

Collection @ kmou

제 5 장 배관재 설치 관리 통합 시스템 개발

이 장에서는 3장에서 개발한 배관재 설치 순서 최적화 알고리즘과 4장에서 개발한 배관재 설치 계획 수립 알고리즘을 적용하여 배관재 설치 관리 시스템을 개발하고자 하였다. 먼저 2가지 알고리즘을 적용하여 통합된 어플리케이션을 개발하기 위해 DTO(data transfer objects)와 비즈니스 컴포넌트 모델을 설계하고, 이를 기반으로 어플리케이션을 개발하였다.

5.1 DTO 설계

배관재 설치 순서 최적화와 배관재 설치 계획 수립을 위해 필요한 데이터를 기준으로 DTO를 설계하였다. 배관재 설치 순서 최적화를 위해 필요한 DTO에는 SpoolDTO, ScoreDTO, WeightingCoeffDTO, MaterialType, RankingDTO, CoordinateDTO가 있다. 배관재 설치 계획 수립에 필요한 DTO에는 SpoolDTO, PlanningType, ResourceDTO, ResourceType가 있다. 배관재 설치 순서 최적화 알고리즘과 배관재 설치 계획 수립 알고리즘에서 SpoolDTO는 공통적으로 사용된다.

Collection @ kmou

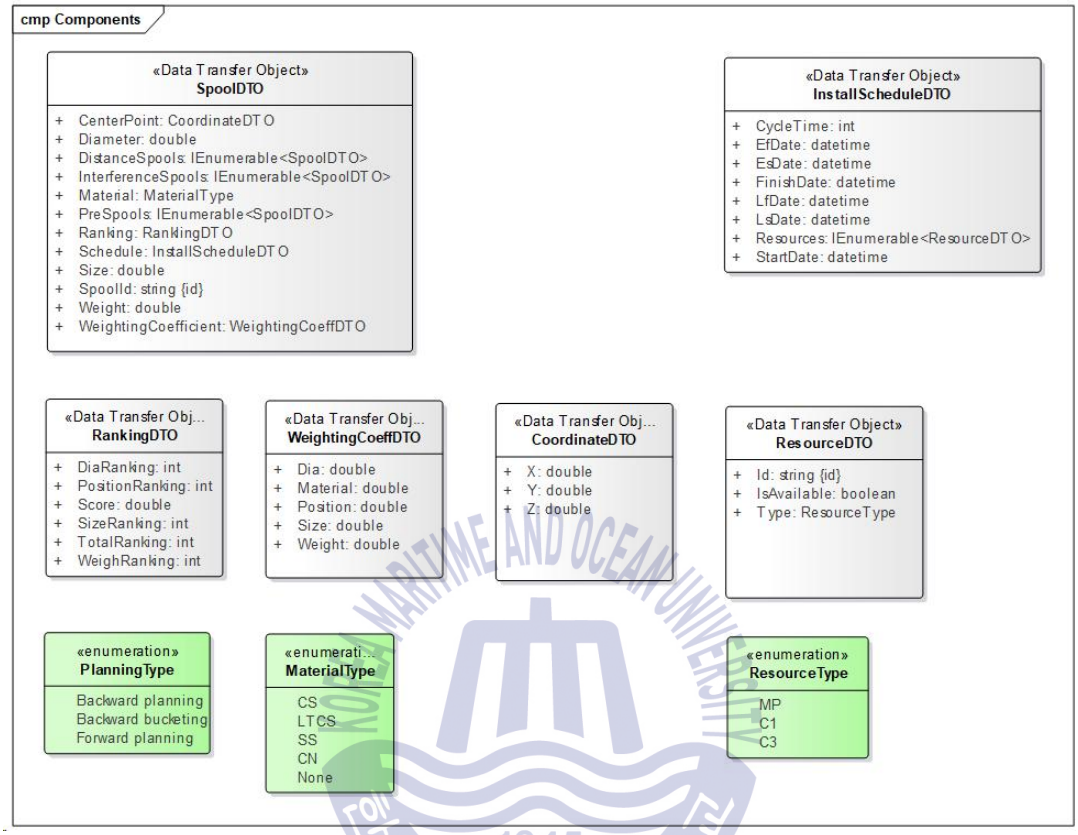


Fig. 11 Structure of data transfer objects of the system

5.1.1 SpoolDTO

'SpoolDTO' 는 배관재와 관련된 모든 정보를 포함하는 DTO를 의미한다. 스풀명을 의미하는 'SpoolId' 가 Key value이며, 나머지 변수들은 배관재 설치순서 최적화에 필요한 변수와 배관재 설치 계획 수립에 필요한 변수로 구분된다 (Table 11). 배관재 설치순서 최적화에 필요한 입력 데이터는 무게 정보, 크기 정보, 직경 정보, 재질 정보, 무게중심 좌표, 공정변수 별 가중치 정보에 대한 변수이다. 또한 배관재 설치순서 최적화를 통해 출력되는 결과 데이터는 공정변수 별 점수, 순위 정보, 간섭에 의한 선행 스풀 목록, 안전작업거리에 의한 선행 스풀 목록, 전체 선행 스풀 목록, 공정변수 별 점수, 순위 정보이다. 그리

Collection @ kmou

고 배관재 설치순서 최적화의 결과 데이터가 배관재 설치 계획 수립의 입력 데이터로 사용된다. 배관재 설치 계획 수립의 결과 데이터는 'InstallScheduleDTO'에 저장된 계획 수립 정보에 대한 변수에 관리된다.

Table 11 Parameter list of SpoolDTO

Parameter	Description	Data type
SpoolId	스풀명	String
Weight	무게 정보	Double
Size	크기 정보	Double
Diameter	직경 정보	Double
Material	재질 정보	MaterialType
Ranking	순위 정보	RankingDTO
CenterPoint	무게중심 좌표	CoordinateDTO
InterferenceSpools	간섭에 의한 선행 스풀 목록	List<SpoolDTO>
DistanceSpools	안전작업거리에 의한 선행 스풀 목록	List<SpoolDTO>
PreSpools	전체 선행 스풀 목록	List<SpoolDTO>
WeightingCoefficient	공정변수 별 가중치	WeightingCoeffDTO
Schedule	계획 수립 정보	InstallScheduleDTO

5.1.2 RankingDTO

'RankingDTO'는 배관재 설치순서 최적화를 수행하며 계산되는 배관재 순위에 대한 정보가 포함된 DTO를 의미한다. DTO에는 배관재 설치순서 최적화 과정에서 계산되는 무게 순위, 크기 순위, 위치 순위, 직경 순위, 재질 순위에 대한 변수가 있으며, 이를 바탕으로 계산되는 각 배관재의 최종 점수와 최종 순위에 대한 변수가 포함되어 있다(Table 12).

Collection @ kmou

Table 12 Parameter list of RankingDTO

Parameter	Description	Data type
WeightRanking	무게 순위	Int
SizeRanking	크기 순위	Int
PositionRanking	위치 순위	Int
DiameterRanking	직경 순위	Int
MaterialRanking	재질 순위	Int
TotalScore	최종 점수	Double
TotalRanking	최종 순위	Int

5.1.3 MaterialType

‘MaterialType’은 배관재의 재질의 종류를 열거형(enum)으로 관리하는 정보를 의미한다. ‘MaterialType’에는 배관재의 재질 중에서 가장 많은 비율을 차지하는 ‘Cooper nickel’, ‘Low temperature carbon steel’, ‘Stainless steel’, ‘Carbon steel’에 대한 항목이 포함되어 있으며, 이 외의 기타 지잴은 ‘None’이라는 항목으로 통합하여 관리되고 있다(Table 13).

Table 13 Item list of MaterialType

Item	Description
CN	Cooper nickel
LTCS	Low temperature carbon steel
SS	Stainless steel
CS	Carbon steel
None	None

5.1.4 WeightingCoeffDTO

‘WeightingCoeffDTO’는 설정한 각 공정변수의 가중치에 대한 정보를 포함

Collection @ kmou

하고 있는 DTO를 의미한다. DTO에는 무게 정보의 가중치, 크기 정보의 가중치, 위치 정보의 가중치, 직경 정보의 가중치, 재질 정보의 가중치에 대한 변수가 포함되어 있다(Table 14).

Table 14 Parameter list of WeightingCoeffDTO

Parameter	Description	Data type
Weight	무게 정보 가중치	Double
Size	크기 정보 가중치	Double
Position	위치 정보 가중치	Double
Diameter	직경 정보 가중치	Double
Material	재질 정보 가중치	Double

5.1.5 CoordinateDTO

'CoordinateDTO'는 배관재의 위치 정보를 관리하기 위한 좌표 정보를 포함하고 있는 DTO를 의미한다(Table 15). 현재 배관재 설치순서 최적화를 수행할 때 안전작업거리 제약조건을 적용하기 위해 배관재 간의 좌표 정보를 기반으로 거리를 계산하는 로직이 포함되어 있다. 이 때 배관재의 기준 좌표는 배관재의 무게 중심 좌표를 사용하고 있으며, 'SpoolDTO'에서 배관재의 무게중심 좌표를 관리하기 위해 'CoordinateDTO'를 사용하고 있다.

Table 15 Parameter list of CoordinateDTO

Parameter	Description	Data type
X	X 좌표	Double
Y	Y 좌표	Double
Z	Z 좌표	Double

5.1.6 PlanningType

'PlanningType'은 배관재 설치 계획 수립 방법에 대한 정보를 열거형

Collection @ kmou

(enum)으로 관리하는 정보를 의미한다. ‘PlanningType’에는 4.3에서 정의한 배관재 설치 계획 수립 방법인 ‘Backward planning’, ‘Forward planning’, ‘Backward bucketing’에 대한 정보가 포함되어 있다(Table 16).

Table 16 Item list of PlanningType

Item	Description
Backward	Backward planning
Forward	Forward planning
Bucket	Backward bucketing

5.1.7 ResourceDTO

‘ResourceDTO’는 배관재 설치 계획 수립 시 적용되는 배관재 설치 시 필요한 리소스에 대한 정보를 관리하기 위한 DTO를 의미한다. 리소스명을 의미하는 ‘ResourceId’가 Key value이며, 리소스의 종류에 대한 정보와 리소스가 현재 가용한 상태인지 여부를 관리하는 정보가 포함되어 있다(Table 17).

Table 17 Parameter list of ResourceDTO

Parameter	Description	Data type
ResourceId	리소스명	String
Type	리소스 종류	ResourceType
IsAvailable	가용 여부	bool

5.1.8 ResourceType

‘ResourceType’은 배관재 설치 계획 수립 시 적용되는 배관재의 종류를 열거형으로 관리하기 위한 정보를 의미한다. ‘ResourceType’에는 인력에 대한 정보과 크레인에 대한 정보로 구분되어 있으며, 크레인은 톤수 별로 구분되어 있다(Table 18).

Collection @ kmou

Table 18 Item list of ResourceType

Item	Description
MP	Man power
C1	Crane 100ton
C2	Crane 300ton

5.2 비즈니스 컴포넌트 모델 설계

배관재 설치 관리 시스템을 개발하기 위해 필요한 기능 단위로 비즈니스 컴포넌트 모델을 설계하였다. 배관재 설치 관리 시스템의 전체 프레임워크는 아래 Fig. 12와 같다.

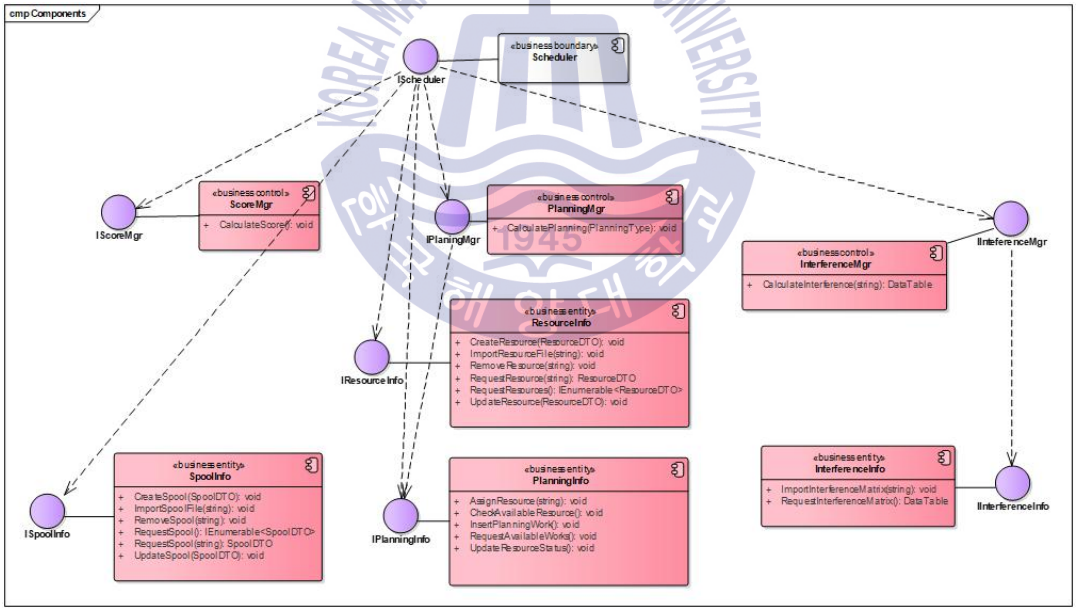


Fig. 12 Business component model for developing the system

전체 비즈니스 컴포넌트 모델은 아래의 Table 19와 같이 7개의 컴포넌트로 구성되어 있다. 4개의 Model 단계의 컴포넌트와 3개의 Controller 단계의 컴포넌트로 구성되어 있다. 컴포넌트명의 어미가 'Info' 인 것은 Model 단계의 컴

Collection @ kmou

포넌트이며, 어미가 'Mgr'인 것은 Controller 단계의 컴포넌트이다. 'SpoolInfo' 컴포넌트는 배관재와 관련된 데이터를 처리하기 위한 메서드로 구성되어 있다. 'PlanningInfo'는 배관재 설치 계획을 수립하기 위한 메서드로 구성되어 있다. 'InterferenceInfo'는 간섭매트릭스 관련 데이터를 처리하기 위한 메서드로 구성되어 있다. 'ResourceInfo'는 리소스 관련 데이터를 처리하기 위한 메서드로 구성되어 있다. 'ScoreMgr'는 배관재 설치 순위와 최종 점수, 최종 순위를 계산하기 위한 메서드로 구성되어 있다. 'PlanningMgr'은 계획 수립 방법에 따른 계획 수립에 대한 메서드로 구성되어 있다. 'InterferenceMgr'은 배관재 간의 간섭 체크 작업을 수행하는 메서드로 구성되어 있다.

Collection @ kmou

Table 19 List of components in the business component model

Component	Method	Parameter	Return value
SpoolInfo	CreateSpool	SpoolDTO	
	ImportSpoolFile	Filepath	
	RemoveSpool	SpoolId	
	RequestSpool		List<SpoolDTO>
	RequestSpool	SpoolId	SpoolDTO
	UpdateSpool	SpoolDTO	
PlanningInfo	AssignResource	ResourceId	
	CheckAvailableResource		Boolean
	InsertPlanningWork	SpoolId	
	RequestAvailableWorks		List<SpoolDTO>
	UpdateResourceStatus	ResourceId	
InterferenceInfo	ImportInterferenceMatrix	Filepath	
	RequestInterferenceMatrix		DataTable
ResourceInfo	CreateResource	ResourceDTO	
	ImportResourceFile	Filepath	
	RemoveResource	ResourceId	
	RequestResource	ResourceId	ResourceDTO
	RequestResources		List<ResourceDTO>
	UpdateResource	ResourceId	
ScoreMgr	CalculateScore		
	CalculateRanking		
PlanningMgr	CalculatePlanning	PlanningType	
InterferenceMgr	CalculateInterference	Filepath	DataTable

5.3 시스템 화면 구성

배관재 설치 관리 시스템의 화면은 총 7개로 구성되어 있다(Table 20). 7개의 화면은 사용자 정의 화면, 배관재 설치순서 최적화와 관련된 화면, 배관재 설치 계획 관련 화면으로 구분할 수 있다.

Collection @ kmou

Table 20 View list of the system

View name	View description	Function	Function description
Setting	사용자가 초기 설정을 한다.	블록 번호 선택	배관재 설치 계획을 수립할 블록 번호를 선택한다.
		간섭 체크 작업 수행	3D 의장 설계 모델 파일을 선택하여 간섭 체크 작업을 수행한다.
		가중치 설정	각 공정변수의 가중치를 설정한다.
		계획 수립 방법 선택	3가지 계획 수립 방법 중 원하는 방법을 선택한다.
		설치완료일 설정	작업이 종료되어야 하는 날짜를 입력한다.
Input	배관재 속성정보를 보여준다.	배관재 속성정보 가시화	화면 상에 배관재 속성정보가 포함된 테이블을 보여준다.
Interference matrix	간섭매트릭스가 가시화된다.	간섭매트릭스 가시화	간섭체크 작업 수행 후, 간섭매트릭스 정보를 보여준다.
Ranking	배관재 설치순위 계산 결과를 보여준다.	배관재 설치순위 정보 가시화	배관재 설치순서 최적화를 통해 계산된 배관재 설치순위 정보를 보여준다.
Output	배관재 설치순서 정보를 보여준다.	배관재 설치순서 정보 가시화	배관재 설치순서 최적화를 통해 계산된 배관재 설치순서 정보를 보여준다.
		배관재 설치순서 정보 내보내기	배관재 설치순서 정보를 엑셀 형식으로 추출한다.
Planning	배관재 계획 수립 결과를 보여준다.	배관재 설치 계획 정보 가시화	배관재 설치 계획 정보를 테이블 형태로 보여준다.
		배관재 설치 계획 정보 내보내기	배관재 설치 계획 정보를 엑셀 형식으로 추출한다.
Gantt-chart	배관재 계획 수립 결과를 보여준다.	배관재 설치 계획 정보 가시화	배관재 설치 계획 정보를 간트차트 형태로 보여준다.
		배관재 설치 계획 정보 내보내기	배관재 설치 계획 정보를 XML 형식으로 추출한다.
		각 배관재의 상세 정보 가시화	각 배관재의 상세한 계획 수립 정보를 보여준다.

Collection @ kmou

사용자 정의 화면은 사용자가 초기 조건을 설정하며, 모든 조건을 설정한 후에 배관재 설치순서 최적화 및 배관재 설치 계획 수립을 수행하기 위한 버튼이 포함되어 있다. 사용자가 설정해야 하는 초기 조건은 총 4가지로, 첫 번째는 배관재 설치 계획을 수립할 블록 정보를 선택하는 것이다. 다음은 배관재 설치순서 최적화를 위한 각 공정변수의 가중치를 설정하는 것이다. 아래의 Fig. 13과 같이 각 공정변수의 가중치를 직접 설정할 수도 있으며, 2개의 공정변수 씩 쌍대 비교 작업을 바탕으로 가중치를 설정할 수도 있다. 또한 배관재 설치 계획 수립 방법을 선택해야 한다. ‘Backward planning’, ‘Backward bucketing’, ‘Forward planning’ 중 1가지 방법을 선택한다. 그리고 선택한 블록의 배관재가 모두 설치가 완료되어야 하는 기준일인 설치 완료일을 설정한다. 이 3가지 조건을 설정 완료한 후에 배관재 간섭 체크 작업과 배관재 설치순서 최적화 작업과 배관재 설치 계획 수립 작업을 수행할 수 있다.

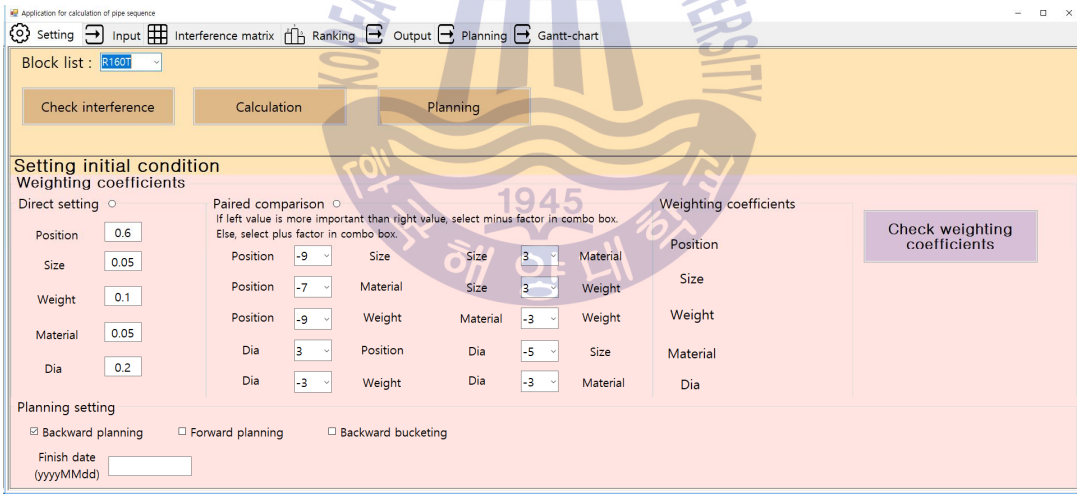
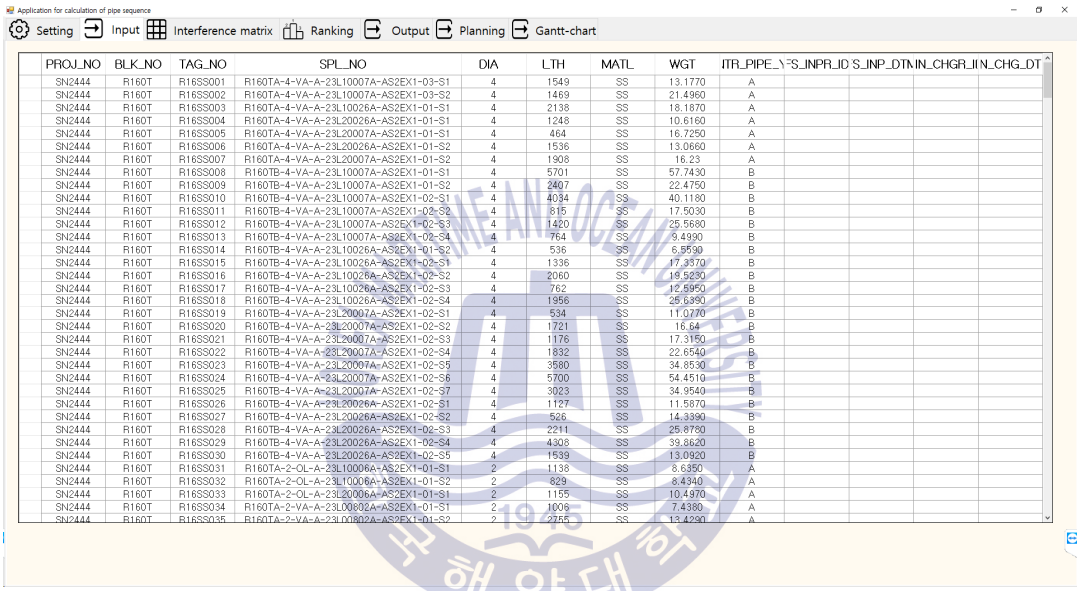


Fig. 13 ‘Setting’ view of the system

배관재 설치순서 최적화와 관련된 화면에는 총 4개의 화면이 있다. 사용자가 배관재 구획을 선택하게 되면 선택된 구획에 포함된 배관재의 속성정보가 ‘Input’ 화면에 표시되는 것을 확인할 수 있으며(Fig. 14), 간섭 체크 작업을 수행하게 되면 ‘Interference matrix’ 화면에 생성된 간섭매트릭스를 확인할

Collection @ kmou

수 있다(Fig. 15). 그리고 배관재 설치순서 최적화 작업을 수행하면 각 공정변수별 순위를 기반으로 최종 설치 순위가 계산되는 과정을 ‘Ranking’ 화면에서 확인할 수 있다(Fig. 16). 또한 ‘Output’ 화면에서 배관재의 설치 순위와 배관재 설치 작업 간의 선후행 관계와 같은 배관재 설치 순서 정보를 확인할 수 있다(Fig. 17, Fig. 18). 이 화면에서는 배관재 설치순서 데이터를 엑셀 형식으로 저장할 수도 있다.



PROJ_NO	BLK_NO	TAG_NO	SPL_NO	DIA	LTH	MATL	WGT	ITR_PIPE_\	S_INPR_ID	S_INP_DT	IN_CHGR_ID	IN_CHG_DT
SN2444	R160T	R16SS001	R160TA-4-VA-A-23L10007A-AS2EX1-03-S1	4	1549	SS	13.1770	A				
SN2444	R160T	R16SS002	R160TA-4-VA-A-23L10007A-AS2EX1-03-S2	4	1469	SS	21.4960	A				
SN2444	R160T	R16SS003	R160TA-4-VA-A-23L10026A-AS2EX1-01-S1	4	2138	SS	18.1870	A				
SN2444	R160T	R16SS004	R160TA-4-VA-A-23L20026A-AS2EX1-01-S1	4	1248	SS	10.6160	A				
SN2444	R160T	R16SS005	R160TA-4-VA-A-23L20007A-AS2EX1-01-S1	4	464	SS	16.7250	A				
SN2444	R160T	R16SS006	R160TA-4-VA-A-23L20026A-AS2EX1-01-S2	4	1536	SS	13.0660	A				
SN2444	R160T	R16SS007	R160TA-4-VA-A-23L20007A-AS2EX1-01-S2	4	1908	SS	16.23	A				
SN2444	R160T	R16SS008	R160TB-4-VA-A-23L10007A-AS2EX1-01-S1	4	5701	SS	57.7430	B				
SN2444	R160T	R16SS009	R160TB-4-VA-A-23L10007A-AS2EX1-01-S2	4	2407	SS	22.4750	B				
SN2444	R160T	R16SS010	R160TB-4-VA-A-23L10007A-AS2EX1-02-S1	4	4034	SS	40.1180	B				
SN2444	R160T	R16SS011	R160TB-4-VA-A-23L10007A-AS2EX1-02-S2	4	815	SS	17.5030	B				
SN2444	R160T	R16SS012	R160TB-4-VA-A-23L10007A-AS2EX1-02-S3	4	1420	SS	25.5680	B				
SN2444	R160T	R16SS013	R160TB-4-VA-A-23L10007A-AS2EX1-02-S4	4	764	SS	9.4990	B				
SN2444	R160T	R16SS014	R160TB-4-VA-A-23L10026A-AS2EX1-01-S2	4	536	SS	6.5590	B				
SN2444	R160T	R16SS015	R160TB-4-VA-A-23L10026A-AS2EX1-02-S1	4	1336	SS	17.3570	B				
SN2444	R160T	R16SS016	R160TB-4-VA-A-23L10026A-AS2EX1-02-S2	4	2060	SS	19.5230	B				
SN2444	R160T	R16SS017	R160TB-4-VA-A-23L10026A-AS2EX1-02-S3	4	762	SS	12.5950	B				
SN2444	R160T	R16SS018	R160TB-4-VA-A-23L10026A-AS2EX1-02-S4	4	1956	SS	25.6390	B				
SN2444	R160T	R16SS019	R160TB-4-VA-A-23L20007A-AS2EX1-02-S1	4	534	SS	11.0770	B				
SN2444	R160T	R16SS020	R160TB-4-VA-A-23L20007A-AS2EX1-02-S2	4	1721	SS	16.64	B				
SN2444	R160T	R16SS021	R160TB-4-VA-A-23L20007A-AS2EX1-02-S3	4	1176	SS	17.3150	B				
SN2444	R160T	R16SS022	R160TB-4-VA-A-23L20007A-AS2EX1-02-S4	4	1832	SS	22.6540	B				
SN2444	R160T	R16SS023	R160TB-4-VA-A-23L20007A-AS2EX1-02-S5	4	3580	SS	34.8530	B				
SN2444	R160T	R16SS024	R160TB-4-VA-A-23L20007A-AS2EX1-02-S6	4	5700	SS	54.4510	B				
SN2444	R160T	R16SS025	R160TB-4-VA-A-23L20007A-AS2EX1-02-S7	4	3023	SS	34.9540	B				
SN2444	R160T	R16SS026	R160TB-4-VA-A-23L20026A-AS2EX1-02-S1	4	1127	SS	11.5870	B				
SN2444	R160T	R16SS027	R160TB-4-VA-A-23L20026A-AS2EX1-02-S2	4	526	SS	14.3390	B				
SN2444	R160T	R16SS028	R160TB-4-VA-A-23L20026A-AS2EX1-02-S3	4	2211	SS	25.8780	B				
SN2444	R160T	R16SS029	R160TB-4-VA-A-23L20026A-AS2EX1-02-S4	4	4308	SS	39.8620	B				
SN2444	R160T	R16SS030	R160TB-4-VA-A-23L20026A-AS2EX1-02-S5	4	1539	SS	13.0920	B				
SN2444	R160T	R16SS031	R160TA-2-OL-A-23L10006A-AS2EX1-01-S1	2	1138	SS	8.6350	A				
SN2444	R160T	R16SS032	R160TA-2-OL-A-23L10006A-AS2EX1-01-S2	2	829	SS	8.4340	A				
SN2444	R160T	R16SS033	R160TA-2-OL-A-23L20006A-AS2EX1-01-S1	2	1155	SS	10.4970	A				
SN2444	R160T	R16SS034	R160TA-2-VA-A-23L00802A-AS2EX1-01-S1	2	1006	SS	7.4380	A				
SN2444	R160T	R16SS035	R160TA-2-VA-A-23L00802A-AS2EX1-01-S2	2	2755	SS	13.4290	A				

Fig. 14 ‘Input’ view of the system

Collection @ kmou

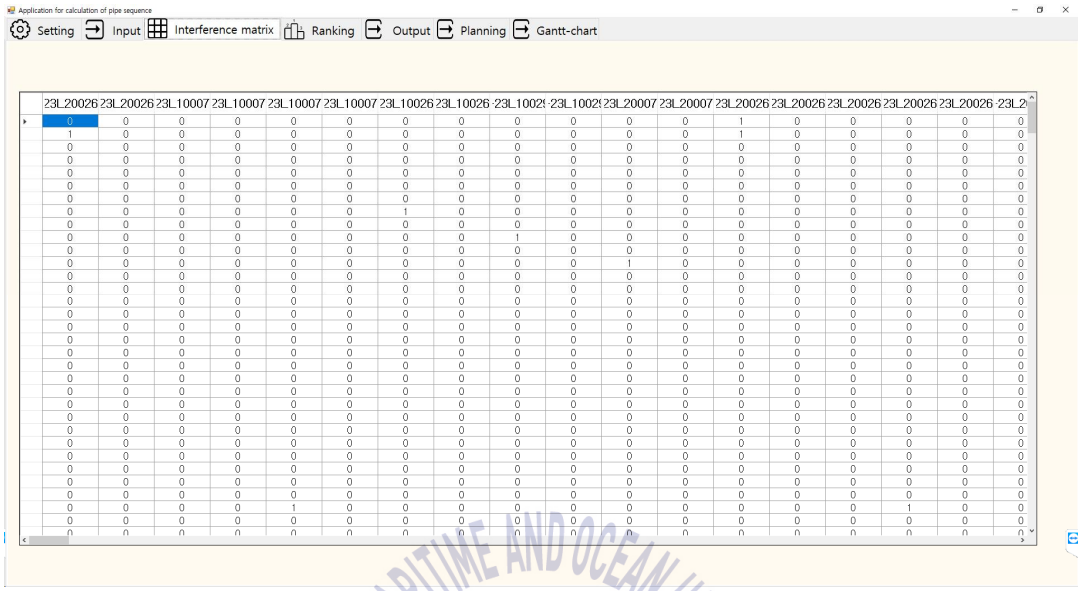


Fig. 15 'Interference matrix' view of the system

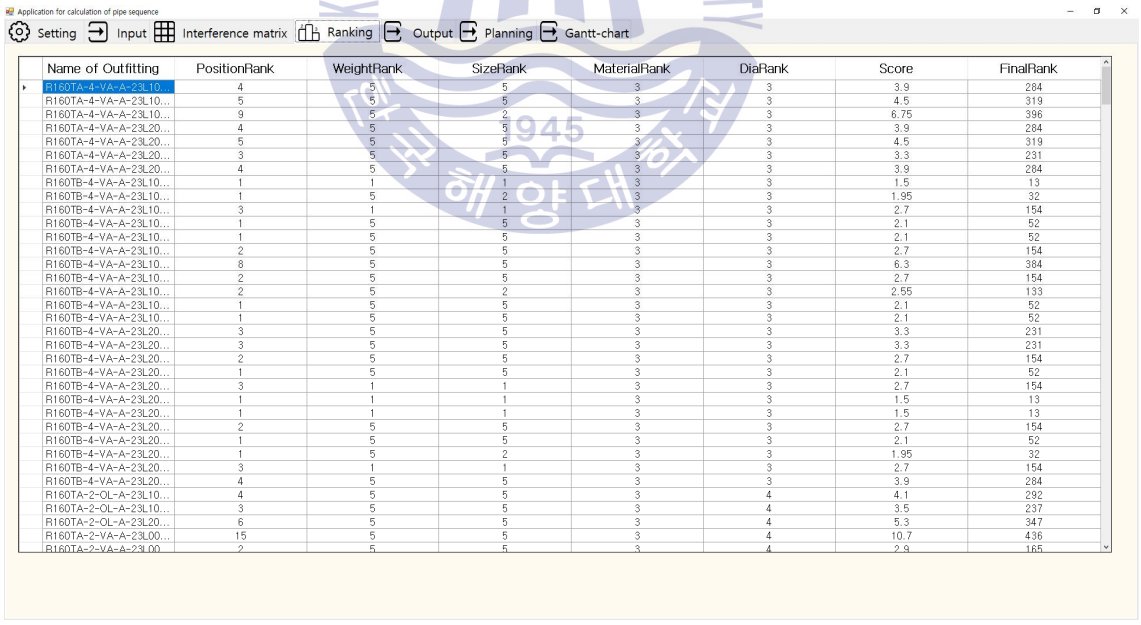


Fig. 16 'Ranking' view of the system

Collection @ kmou

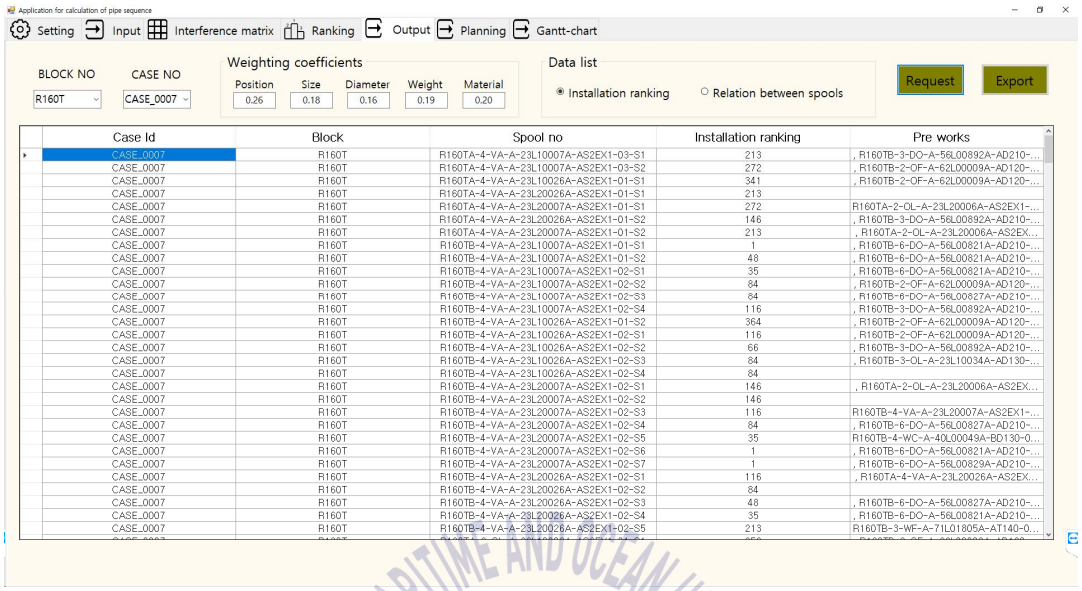


Fig. 17 'Output' view of the system (Installation ranking)

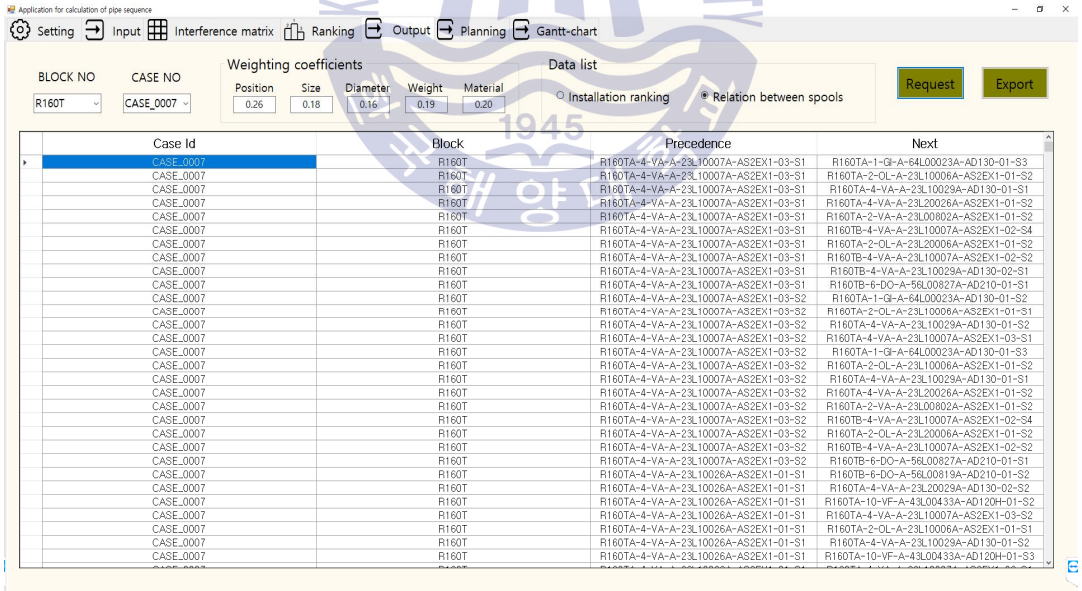


Fig. 18 'Output' view of the system (Relation between spools)

Collection @ kmou

배관재 설치 계획 수립에 관련된 화면에는 총 2개의 화면이 있다. 배관재 설치 계획 수립 작업을 수행하면 ‘Planning’ 화면에서 테이블 형태로 수립된 배관재 설치 계획 정보를 확인할 수 있다(Fig. 19). 또한 ‘Gantt-chart’ 화면에서 수립된 배관재 설치 계획 정보가 간트 차트 형태로 출력된 것을 확인할 수 있으며(Fig. 20), 각 작업을 선택했을 때는 Fig. 21과 같이 각 작업의 세부 정보를 확인할 수 있다. 그리고 ‘Planning’ 화면과 ‘Gantt-chart’ 화면에서는 각각 엑셀 형식과 XML 형식으로 수립된 배관재 설치 계획 정보를 저장할 수 있다.

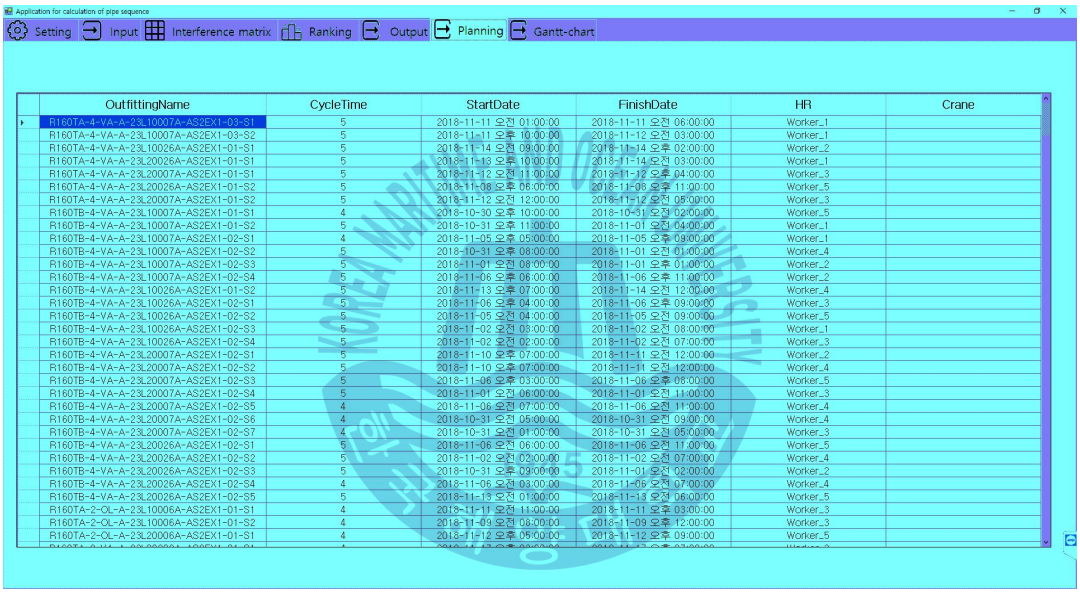


Fig. 19 ‘Planning’ view of the system

Collection @ kmou

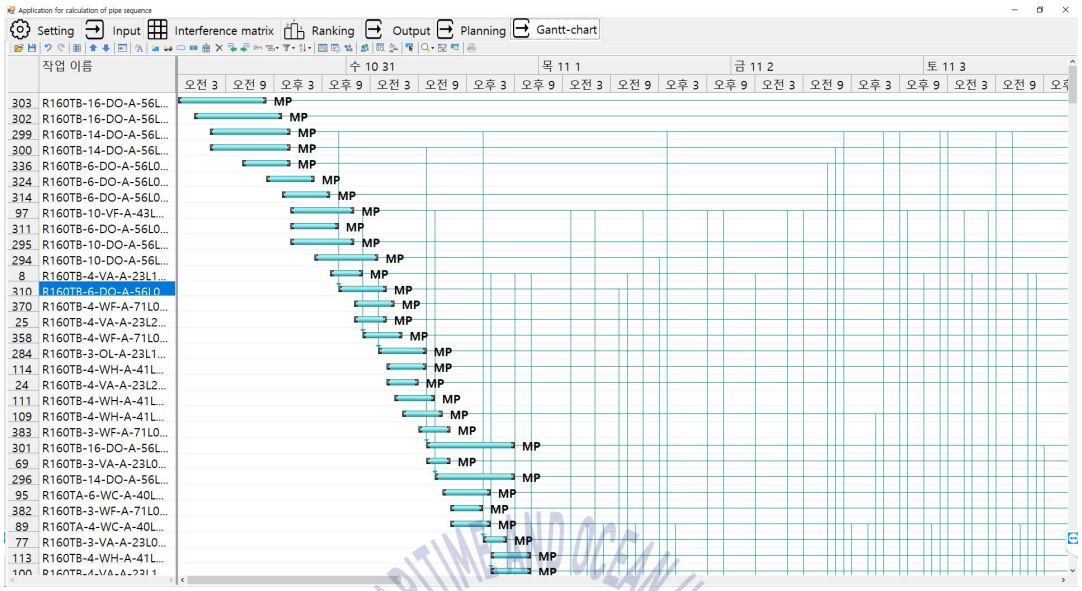


Fig. 20 'Gantt chart' view of the system

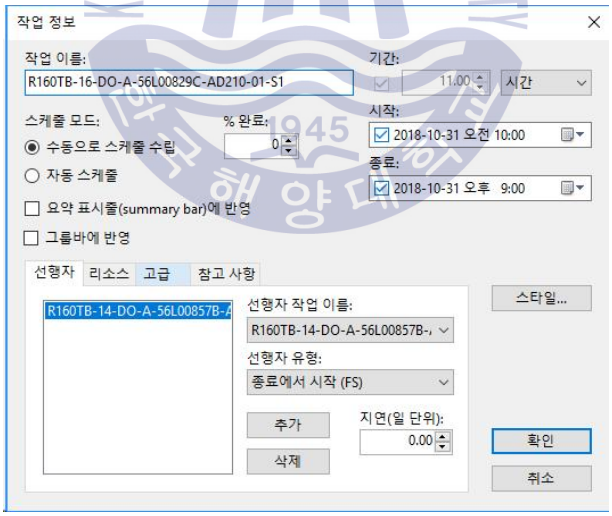


Fig. 21 Detail information about planned spool installation work

Collection @ kmou

제 6 장 배관재 설치 관리 시스템 결과 검증

배관재 설치 관리 시스템은 배관재 속성정보와 3D 의장 설계 모델 파일을 입력하여 배관재 설치 순서를 결정하고, 배관재 설치 순서 정보와 리소스 정보를 기반으로 배관재 설치 계획을 수립하는 프로세스로 진행된다. 따라서 본 챕터에서는 배관재 설치 관리 시스템이 정상적으로 구동되는지 검증하는 작업을 수행하였다. 먼저 기준이 되는 기본 케이스에 대한 초기 조건을 정의하고, 이를 기반으로 결과가 이상없이 출력되는지 확인하였다. 다음으로 초기 조건에 따라 케이스를 분류하고, 이를 기본 케이스와 비교하여 결과를 분석해보았다.

6.1 기본 케이스를 통한 결과 검증

결과 검증을 수행하기 위해 사용한 배관재 데이터는 총 438개의 배관재로 구성된 블록을 사용하였다. 사용된 배관재의 속성정보는 아래 Table 21과 같다. 공정변수 별 가중치, 작업 완료일, 리소스 정보를 정의하는 작업을 먼저 수행하였다.

Collection @ kmou

Table 21 Spool attribute data of standard case

Spool no.	Diameter	Length	Material	Weight	Penetration
Spool_1	4	351	LTCS	7.372	B
Spool_2	4	4489	LTCS	52.439	B
Spool_3	4	303	LTCS	3.677	B
Spool_4	6	619	LTCS	37.092	B
Spool_5	6	698	LTCS	16.257	B
Spool_6	6	1132	LTCS	24.061	B
Spool_7	6	1137	LTCS	38.878	B
Spool_8	6	1596	LTCS	31.283	B
Spool_9	6	1132	LTCS	50.195	B
Spool_10	6	307	LTCS	9.715	B
…	…	…	…	…	…
Spool_429	4	526	SS	14.339	B
Spool_430	4	2211	SS	25.878	B
Spool_431	4	4308	SS	39.862	B
Spool_432	4	1539	SS	13.092	B
Spool_433	2	1138	SS	8.635	A
Spool_434	2	829	SS	8.434	A
Spool_435	2	1155	SS	10.497	A
Spool_436	2	1006	SS	7.438	A
Spool_437	2	2755	SS	13.429	A
Spool_438	2	1631	SS	6.516	A

Collection @ kmou

6.1.1 가중치 설정

배관재 설치순서 최적화를 위한 공정변수 별 가중치를 정의하였다. 배관재 설치순서 최적화를 위해 정의된 공정변수는 위치 정보, 무게 정보, 크기 정보, 재질 정보, 직경 정보이다. 기본 케이스에서는 배관재 간의 간섭 발생 여부가 배관재 설치 작업 효율에 가장 큰 영향을 끼치는 변수라고 가정하였고, 그 다음으로 직경 정보, 무게 정보, 재질 정보, 크기 정보 순으로 중요하다고 가정하였다. 따라서 아래의 Table 22와 같이 위치 정보의 가중치는 0.6, 직경 정보의 가중치는 0.2, 재질 정보의 가중치는 0.05, 무게 정보의 가중치는 0.1, 크기 정보의 가중치는 0.05로 정의하였다.

Table 22 Weighting coefficients of the standard case

Parameter	Weighting coefficient
Position	0.6
Diameter	0.2
Material	0.05
Weight	0.1
Size	0.05

6.1.2 설치 완료일 설정

배관재 설치 계획을 수립하기 위해 배관재 설치 작업이 종료되어야 하는 날짜인 작업 완료일을 설정하였다. 본 연구에서는 해당 블록이 조립된 이후 의장 작업이 수행되고, 의장 작업이 완료된 이후에 탑재되는 프로세스로 건조 계획이 수립되었으며, 후행 일정인 탑재 공정의 시작일을 '2018년 11월 20일'로 정의하였기 때문에, '2018년 11월 19일'을 설치 완료일로 정의하였다.

Collection @ kmou

6.1.3 리소스 설정

배관재 설치 계획 수립 시 필요한 데이터로써, 배관재 설치 작업을 수행하기 위한 리소스를 정의하였다. 먼저 배관재 설치 작업을 수행하기 위한 인력만을 고려하였으며, 총 5개의 설치팀이 있다고 정의하였다.

6.1.4 결과 출력

위와 같이 설정한 초기 조건을 바탕으로 출력된 배관재 설치 관리 시스템의 결과 데이터는 아래와 같다. 아래의 Table 23은 배관재의 공정변수 별 순위를 기반으로 최종 설치 순위를 계산하는 과정을 나타낸 결과이다. 그리고 Table 24는 배관재 설치 순위 정보와 선행 작업 배관재 목록 정보를 나타낸 것이며, Table 25는 배관재 설치 작업 간의 선후행 관계 정보를 나타낸 결과이다. 그리고 Table 26은 리소스 제약조건과 설치 완료일 제약조건을 적용하여 수립한 배관재 설치 계획 결과를 나타낸 표이다.

Collection @ kmou

Table 23 Data of calculating installation ranking of standard case

Spool no	Position	Weight	Size	Material	Diameter	Score	Final Ranking
Spool_1	1	4	5	5	3	2.1	57
Spool_2	2	3	3	5	3	2.5	132
Spool_3	2	5	5	5	3	2.8	195
Spool_4	3	3	3	5	2	2.9	199
Spool_5	2	3	3	5	2	2.3	103
Spool_6	8	3	3	5	2	5.9	375
Spool_7	1	3	3	5	2	1.7	12
Spool_8	1	3	3	5	2	1.7	12
Spool_9	7	3	3	5	2	5.3	354
Spool_10	2	4	3	5	2	2.4	113
…	…	…	…	…	…	…	…
Spool_429	4	4	5	3	4	4	293
Spool_430	3	4	5	3	4	3.4	239
Spool_431	6	4	5	3	4	5.2	351
Spool_432	15	4	5	3	4	10.6	437
Spool_433	2	3	3	3	4	2.6	146
Spool_434	1	4	5	3	4	2.2	78
Spool_435	16	4	5	3	4	11.2	438
Spool_436	2	3	3	3	4	2.6	146
Spool_437	8	3	3	3	4	6.2	384
Spool_438	15	3	5	3	4	10.5	435

Collection @ kmou

Table 24 Installation ranking data of standard case

Spool no	Installation ranking	Pre works
Spool_1	57	Spool_2, Spool_42, Spool_43, …
Spool_2	132	Spool_3, Spool_39, Spool_41, …
Spool_3	195	Spool_39, Spool_41, Spool_57, …
Spool_4	199	Spool_186, Spool_195, Spool_31, …
Spool_5	103	Spool_177, Spool_180, Spool_181, …
Spool_6	375	Spool_180, Spool_191, Spool_200, …
Spool_7	12	Spool_22, Spool_23, Spool_25, …
Spool_8	12	
Spool_9	354	Spool_179, Spool_180, Spool_181, …
Spool_10	113	Spool_205, Spool_224, Spool_225, …
…	…	…
Spool_429	293	
Spool_430	239	Spool_399, Spool_400, Spool_429
Spool_431	351	Spool_224, Spool_225, Spool_271, …
Spool_432	437	Spool_435
Spool_433	146	Spool_432, Spool_435
Spool_434	78	Spool_431
Spool_435	438	
Spool_436	146	Spool_435
Spool_437	384	Spool_438
Spool_438	435	Spool_435

Collection @ kmou

Table 25 Relation data between spools of standard case

Predence	Next	Relation
Spool_176	Spool_397	FS
Spool_177	Spool_5	FS
Spool_177	Spool_15	FS
Spool_177	Spool_48	FS
Spool_177	Spool_89	FS
Spool_177	Spool_103	FS
Spool_177	Spool_144	FS
Spool_177	Spool_190	FS
Spool_177	Spool_216	FS
Spool_177	Spool_274	FS
…	…	…
Spool_386	Spool_48	FS
Spool_386	Spool_103	FS
Spool_386	Spool_214	FS
Spool_386	Spool_216	FS
Spool_386	Spool_365	FS
Spool_387	Spool_11	FS
Spool_387	Spool_48	FS
Spool_387	Spool_214	FS
Spool_387	Spool_216	FS
Spool_388	Spool_11	FS

Collection @ kmou

Table 26 Planning data of standard case using backward planning method

Spool no	Cycle time	Start date	Finish date	Resource
Spool_1	6	2018-11-05 오전 09:00:00	2018-11-05 오후 03:00:00	Worker_2
Spool_2	5	2018-11-08 오전 08:00:00	2018-11-08 오후 01:00:00	Worker_3
Spool_3	6	2018-11-08 오후 02:00:00	2018-11-08 오후 08:00:00	Worker_1
Spool_4	6	2018-11-10 오전 12:00:00	2018-11-10 오전 06:00:00	Worker_2
Spool_5	6	2018-11-07 오전 01:00:00	2018-11-07 오전 07:00:00	Worker_1
Spool_6	6	2018-11-12 오후 12:00:00	2018-11-12 오후 06:00:00	Worker_4
Spool_7	6	2018-11-03 오전 06:00:00	2018-11-03 오후 12:00:00	Worker_1
Spool_8	6	2018-11-03 오전 06:00:00	2018-11-03 오후 12:00:00	Worker_3
Spool_9	6	2018-11-11 오후 03:00:00	2018-11-11 오후 09:00:00	Worker_4
Spool_10	7	2018-11-06 오후 09:00:00	2018-11-07 오전 04:00:00	Worker_2
…	…	…	…	…
Spool_429	4	2018-11-17 오전 06:00:00	2018-11-17 오전 10:00:00	Worker_3
Spool_430	4	2018-11-15 오후 04:00:00	2018-11-15 오후 08:00:00	Worker_1
Spool_431	4	2018-11-12 오전 02:00:00	2018-11-12 오전 06:00:00	Worker_1
Spool_432	4	2018-11-19 오후 03:00:00	2018-11-19 오후 07:00:00	Worker_4
Spool_433	3	2018-11-08 오후 08:00:00	2018-11-08 오후 11:00:00	Worker_3
Spool_434	4	2018-11-05 오후 02:00:00	2018-11-05 오후 06:00:00	Worker_4
Spool_435	4	2018-11-19 오후 08:00:00	2018-11-20 오전 12:00:00	Worker_1
Spool_436	3	2018-11-08 오후 04:00:00	2018-11-08 오후 07:00:00	Worker_4
Spool_437	4	2018-11-19 오전 07:00:00	2018-11-19 오전 11:00:00	Worker_2
Spool_438	4	2018-11-19 오후 02:00:00	2018-11-19 오후 06:00:00	Worker_5

Collection @ kmou

6.1.5 간섭 결과 검증

배관재 설치 순위는 각 공정변수의 순위를 기반으로 계산된다. 위치 순위를 제외한 배관재의 속성 정보의 순위는 정량적인 값을 기반으로 계산된다. 하지만 위치 순위는 배관재 3D 의장 설계 모델을 기반으로 각 배관재의 위치 정보를 확인하고 배관재 간의 간섭 발생 여부를 파악하는 프로세스로 계산되기 때문에 수치적으로 계산되는 것이 아니라고 할 수 있다. 따라서 배관재 간의 간섭 체크 결과의 정확성을 확인하기 위해서 전체 모델 중 샘플 모델을 추출하여 결과를 검증하였다. 검증을 위해 사용한 모델은 아래 Fig. 22와 같은 13개의 배관재로 구성된 모델이다. 아래의 Table 27은 이 모델 내의 배관재의 위치 순위를 가시적으로 확인했을 때 예상한 결과와 실제로 3D 의장 설계 모델을 기반으로 계산한 결과로 구분하여 출력한 것이다. Z축 하방향을 배관재의 주설치 방향으로 정의하였기 때문에, 2번 배관재, 3번 배관재, 4번 배관재, 5번 배관재, 6번 배관재는 1순위로 계산된다고 예상할 수 있다. 그리고 1순위인 배관재들과 직접적인 간섭이 발생하는 1번 배관재, 7번 배관재, 8번 배관재의 위치 순위는 2순위일 것이라고 예상할 수 있다. 그리고 위치 순위가 2순위인 배관재와 직접적인 간섭이 발생하는 9번 배관재, 10번 배관재, 11번 배관재, 13번 배관재의 위치 순위는 3순위일 것이라고 예상할 수 있다. 마지막으로 위치 순위가 3순위인 배관재와 직접적인 간섭이 발생하는 12번 배관재의 위치 순위는 4순위일 것이라고 예상할 수 있다. 그리고 3D 의장 설계 모델 기반의 간섭 체크 알고리즘을 통해 간섭 체크 작업을 수행하였다. 간섭 체크 프로세스는 아래의 그림과 같이 Bounding box 간 간섭 체크(Fig. 23), Line 간 간섭 체크(Fig. 24), Mesh 간 간섭 체크(Fig. 25) 순으로 진행된다. 결과적으로 Table 27과 같이 가시적으로 확인한 결과와 3D 모델 기반으로 간섭 체크 작업을 수행한 결과가 동일하게 계산되었다는 것을 확인할 수 있었다.

Collection @ kmou

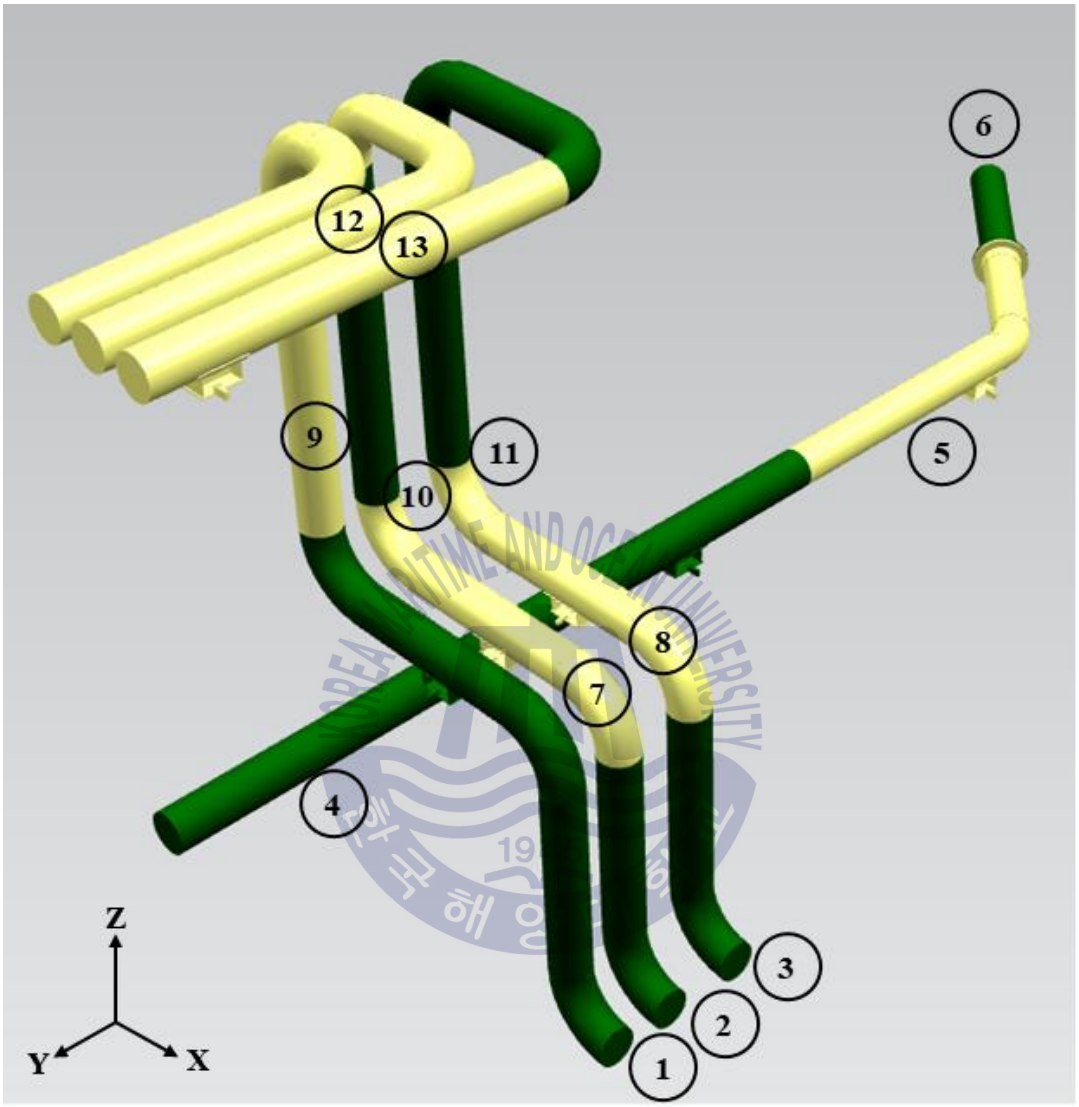


Fig. 22 Sample model for verifying the interference accuracy

Collection @ kmou

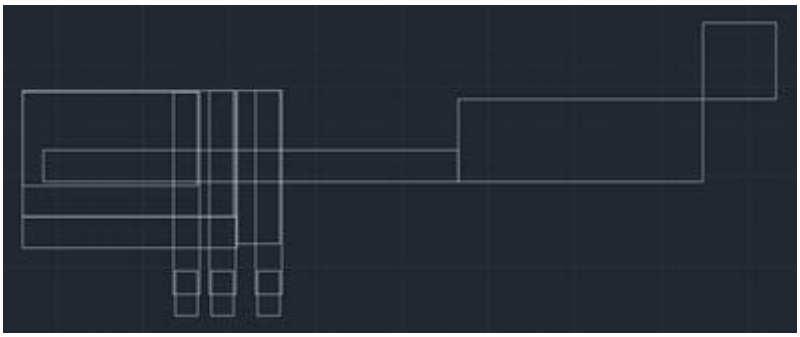


Fig. 23 Interference check between bounding boxes

Fig. 24 Interference check between Lines

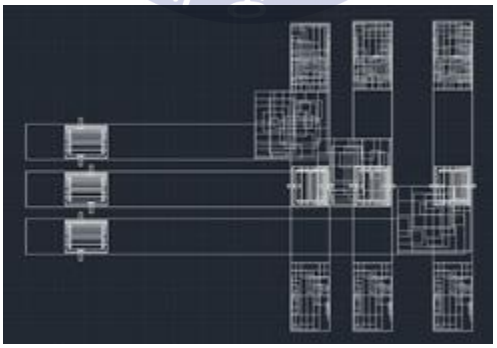


Fig. 25 Interference check between meshes

Collection @ kmou

Table 27 Result of interference check

Spool no	expected position ranking	real position ranking
Spool_1	2	2
Spool_2	1	1
Spool_3	1	1
Spool_4	1	1
Spool_5	1	1
Spool_6	1	1
Spool_7	2	2
Spool_8	2	2
Spool_9	3	3
Spool_10	3	3
Spool_11	3	3
Spool_12	4	4
Spool_13	3	3

6.1.6 Gantt chart를 통한 계획 검증

배관재 설치 계획은 4가지 제약조건을 중심으로 수립되었다. 첫 번째 제약조건은 배관재 설치 순위에 대한 제약조건이며, 두 번째 제약조건은 배관재 설치 작업 간의 선후행 관계 제약조건이다. 세 번째 제약조건은 리소스 제약조건이고, 네 번째 제약조건은 설치 완료일 제약조건이다. 이 4가지 제약조건은 효율적이고 합리적인 배관재 설치 계획을 수립하기 위해 적용된 것이므로, 반드시 준수되어야 한다. 따라서 제약조건을 위배하지 않는 계획이 수립되었는지 검증하기 위해서 Gantt chart를 통해 수립된 계획을 가시화하여 계획을 검증하는 작업을 수행할 수 있도록 배관재 설치 관리 시스템을 개발하였다. Forward planning 방법을 통해 수립한 계획을 Gantt chart로 가시화해보았다(Fig. 26, Fig. 27). 가장 먼저 확인할 수 있는 것은 리소스를 5개를 적용하였고 Forward planning 방법을 사용했기 때문에 계획 시작일에 5개의 작업이 동시에 시작되

Collection @ kmou

는 것을 확인할 수 있다(Fig. 26). 또한 마지막 설치 작업인 ‘Spool_435’가 설정한 설치 완료일인 ‘2018년 11월 20일 00:00’ 이전에 완료되도록 계획된 것을 확인할 수 있다. 그리고 시스템 상에서 계획자는 제약조건을 위배하지 않는 선에서 계획을 수정하여 확정할 수도 있다. 하지만 계획 수정 중 제약조건을 위배하는 것이 발생하면 제약조건을 위배하는 배관재의 좌측에 경고 표시가 되며, 경고를 클릭했을 경우에는 어떤 제약조건을 위배하는지 확인할 수 있다. 예를 들어, 배관재의 선후행 관계 제약조건을 위배할 경우에는 ‘연결 작업과의 스케줄 충돌 가능’이라는 경고 메시지가 출력된다(Fig. 28). 결과적으로 Gantt chart를 통해 계획이 적용한 제약조건을 위배하지 않고 합리적으로 수립되었는지 검증할 수 있다는 것을 확인하였다. 또한 수립된 계획이나 수정한 계획 중 제약조건을 위배하는 계획이 발생하였을 경우에는 경고 메시지를 통해 원인을 파악할 수 있다는 것을 확인하였다.

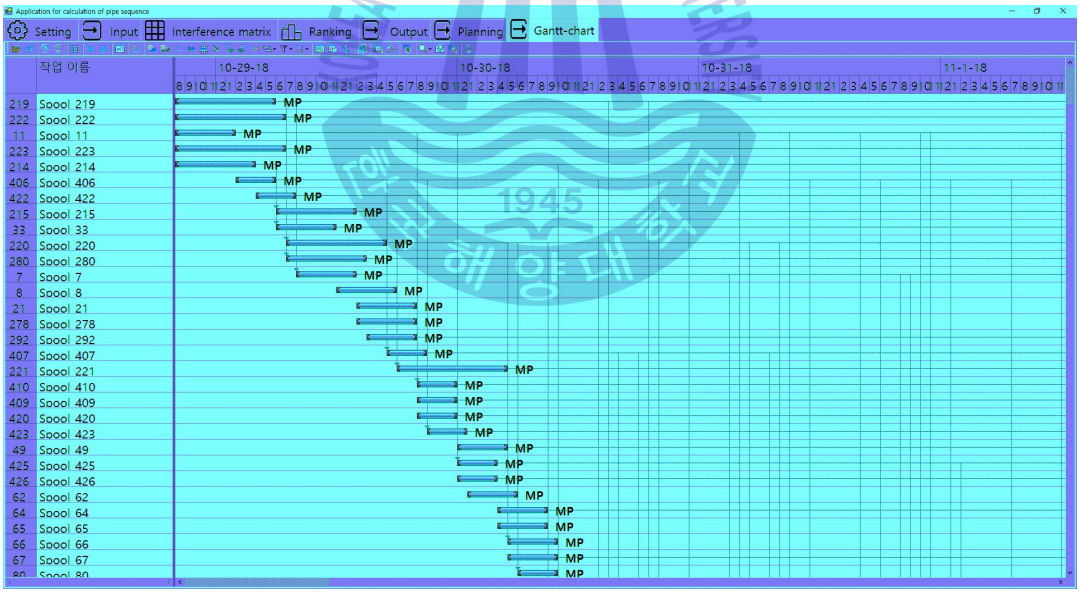


Fig. 26 Gantt chart visualized plan established by the system (a)

Collection @ kmou

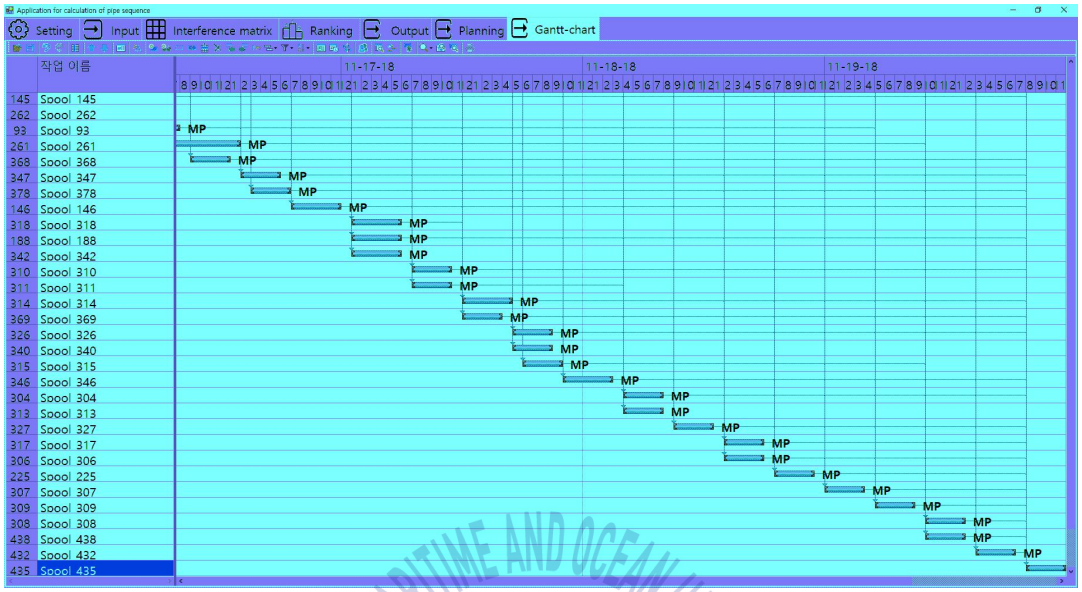


Fig. 27 Gantt chart visualized plan established by the system (b)

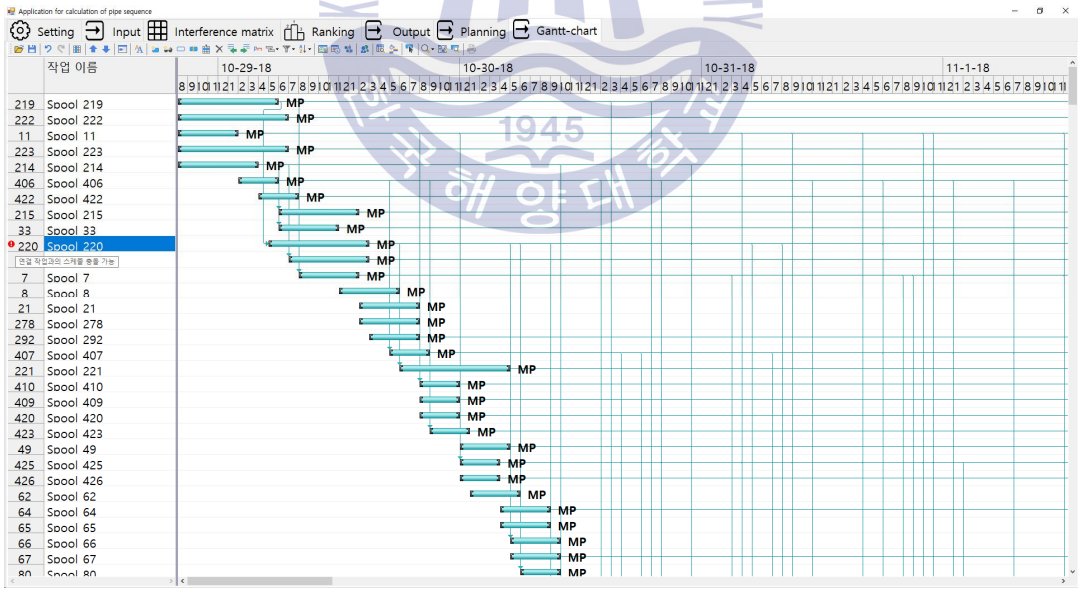


Fig. 28 Gantt chart visualized plan established by the system (c)

Collection @ kmou

제 7 장 시뮬레이션을 통한 계획 검증

7.1 개요

배관재 설치 관리 시스템에서 개발한 배관재 설치 계획 알고리즘을 기반으로 배관재 설치 계획을 수립하였다. 7장에서는 배관재 설치 관리 시스템을 통해 수립한 계획이 합리적으로 수립되었는지 검증하는 작업을 수행하였다. 시뮬레이션을 실행하는 목적은 크게 2가지로 구분할 수 있다. 첫 번째 목적은 수립된 계획에 동일한 리소스 제약조건을 적용했을 때 설치 완료일을 준수하여 작업이 완료가 되는지 검증하는 것이다. 따라서 배관재 별 작업 시간과 설치 시작일과 리소스 개수를 동일하게 설정하고 시뮬레이션을 실행했을 때 모든 배관재 설치 작업 종료일이 시스템 상의 결과와 동일한지 비교하였다. 두 번째 목적은 시간의 변동성을 고려한 현실적인 계획을 수립하는 것이다. 배관재 설치 관리 시스템에서 수립한 계획은 고정 작업시간을 적용하여 도출한 결과이다. 하지만 배관재 설치 작업은 작업자가 수행하기 때문에 항상 고정된 시간으로 작업을 수행하는 것은 비현실적이라고 할 수 있다. 따라서 작업 시간에 변동성을 부여함으로써 보다 현실적인 계획을 수립하고자 하였다.

7.2 시뮬레이션 모델링

본 연구에서 ShipyardOne이라는 시뮬레이션 프로그램을 사용하여 배관재 설치 관리 시스템을 통해 수립된 계획을 검증하는 작업을 수행하였다. ShipyardOne은 조선 산업 전용으로 개발된 DES(discrete event system) 기반 시뮬레이션 프로그램이다. ShipyardOne을 통해 각 배관재 설치 작업을 기준으로 프로세스 모델을 구축하고, 리소스 제약조건을 적용한 시뮬레이션을 실행하였다.

7.2.1 Adapter 개발

배관재 설치 작업 간의 선후행 관계 정보를 기반으로 ShipyardOne의 배관재

Collection @ kmou

설치 시뮬레이션 모델을 구축하기 위한 데이터 변환 Adapter를 개발하였다. Adapter를 통해 시뮬레이션 모델을 구축하기 위한 입력 데이터는 아래의 Table 28과 같으며, 선행 설치 배관재명, 후행 설치 배관재명, 선행 설치 배관재의 작업시간, 선행 설치 배관재의 설치 순위에 대한 정보를 포함하고 있다.

Table 28 Input data for creating simulation model

Precedence	Next	CycleTime	Ranking	Start date
Spool_1	Spool_4	4	12	2018-11-04 03:00
Spool_1	Spool_9	4	12	2018-11-04 03:00
Spool_4	Spool_2	6	13	2018-11-04 09:00
Spool_5	Spool_11	5	19	2018-11-07 04:00
Spool_11	Spool_23	4	24	2018-11-09 14:00
…	…	…	…	…

7.2.2 데이터 매핑

‘csv’ 형식의 시뮬레이션 입력 데이터를 기반으로 시뮬레이션 모델을 구축하기 위해 개발한 Adapter와의 데이터 매핑 작업이 필요하다. 아래 Fig. 29와 같이 입력 데이터의 칼럼 목록과 개발한 어댑터 상의 변수 목록이 있을 때, 연결할 데이터 간에 연결시켜주는 작업을 데이터 매핑 작업이라고 한다. 선행 설치 배관재명과 후행 설치 배관재명은 제품 모델과 공정 모델을 구축하기 위한 데이터이며, 작업시간 정보를 기반으로 각 배관재 설치 작업의 시뮬레이션 시간을 설정할 수 있다. 또한 설치 순위 정보를 기반으로 리소스 우선 할당 로직을 구현할 수 있으며, 배관재 설치 시작일 정보를 통해 각 배관재 설치 작업이 시작되는 날짜를 정의할 수 있다.

Collection @ kmou

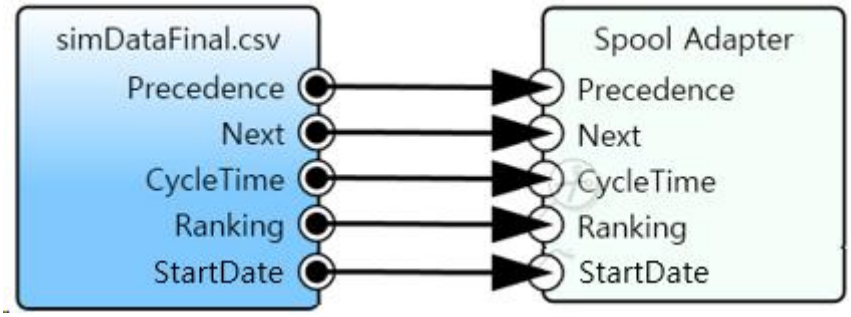


Fig. 29 Data mapping between input data and adapter

7.2.3 시뮬레이션 모델 구축

데이터 매핑 작업을 완료한 후, 변환 작업을 수행하면 아래의 Fig. 30과 같이 제품 모델과 프로세스 모델이 구축된 것을 확인할 수 있다. 또한 프로세스 모델에서 각 공정을 선택했을 때는 아래의 Fig. 31과 같이 각 배관재 설치 작업에 대한 세부 정보를 확인할 수 있다. 공정의 세부정보로는 선택한 배관재 설치 작업의 선행 작업 개수, 후행 작업 개수, 선행 작업 배관재 목록, 후행 작업 배관재 목록, 작업시간, 설치 순위 정보가 포함되어 있다.

Collection @ kmou

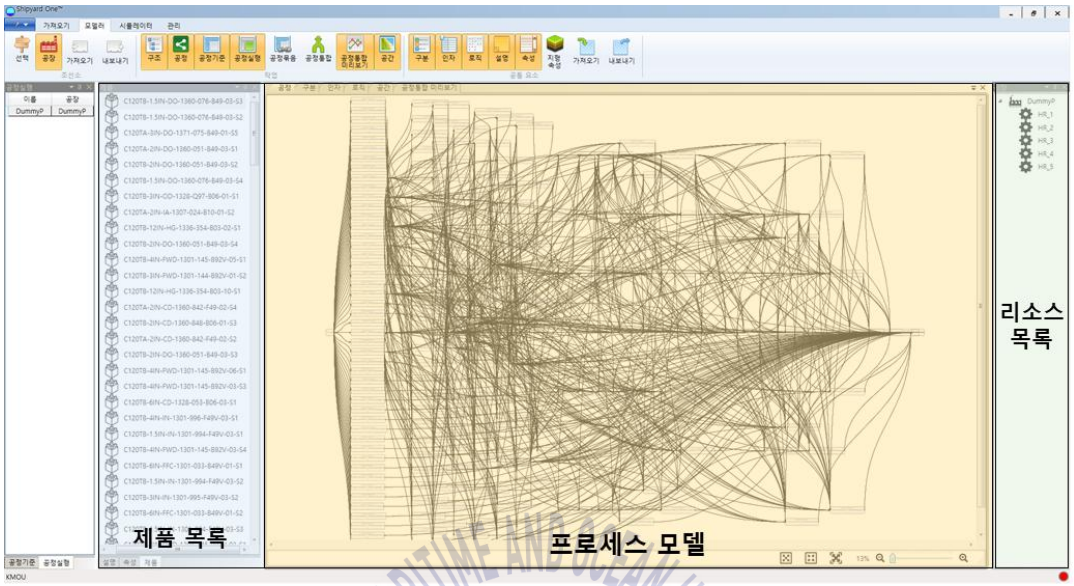


Fig. 30 Simulation model for spool installation simulation

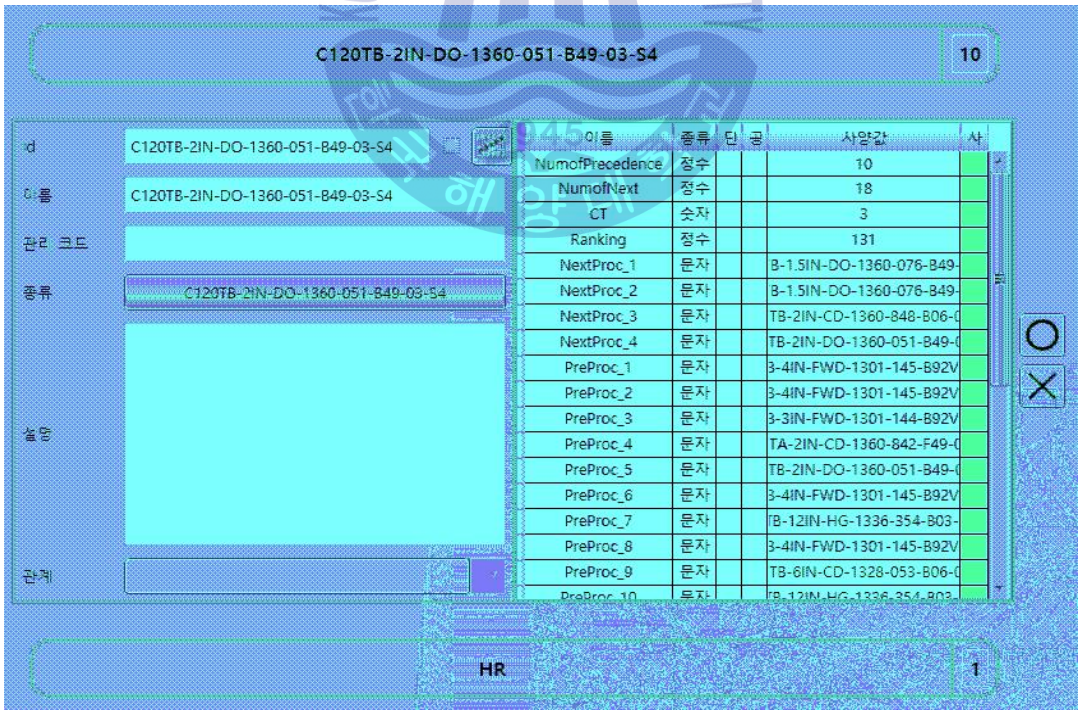


Fig. 31 Detail information of process(Spool installation work)

Collection @ kmou

7.3 시뮬레이션을 통한 계획 검증

7.3.1 수립된 계획의 정합성 검증

배관재 설치 관리 시스템에서 수립된 계획에서 각 배관재의 설치 시작일과 작업시간을 동일하게 설정하고 동일한 개수의 리소스를 적용하여 시뮬레이션을 실행했을 때, 두 결과가 동일하게 출력되는지를 확인하고자 하였다. 7.2.3에서 구축한 통합 모델 중 프로세스 모델에서 각 공정은 각 배관재 설치 작업을 의미한다. 각 공정의 설치 시작일이 되었을 때, 작업이 수행되는 조건은 2가지로 나눌 수 있다. 첫 번째 조건은 작업을 수행하기 위해 필요한 종류와 개수의 리소스가 현재 가용한 상태여야 한다. 가용한 리소스가 존재하지 않는다면 가용한 계획된 작업 시작일이 되었더라도 가용한 리소스가 생길 때까지 대기해야 한다. 두 번째 조건은 선행 작업들이 모두 완료된 상태이어야 한다. 배관재 설치 작업의 선후행 관계에 따라 선행 작업이 모두 종료된 후에 후행 작업이 시작될 수 있다. 또한 현재 설치가 가능한 배관재의 개수가 현재 가용한 리소스의 개수보다 많을 경우에는 설치 순위가 높은 배관재에 우선 순위를 부여하여 리소스를 할당하였다. 이와 같은 조건으로 시뮬레이션을 수행했을 때 아래 Table 29와 같은 결과를 확인할 수 있었다. 결과적으로 배관재 설치 관리 시스템에서 수립한 계획과 시뮬레이션을 통해 수립된 계획을 비교했을 때, 모든 배관재 설치 작업의 시작일과 종료일이 동일하게 출력된 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 배관재 설치 순서 정보를 기반으로 수립된 계획의 정합성을 확인할 수 있었고, 수립된 계획이 리소스 제약조건을 위배하지 않도록 수립되었다는 것을 확인할 수 있었다.

Collection @ kmou

Table 29 Result for Comparing between system data and simulation data

SpoolId	System		Simulation	
	Start date	Finish date	Start date	Finish date
Spool_1	18-11-5 9:00	18-11-5 15:00	18-11-5 9:00	18-11-5 15:00
Spool_2	18-11-8 8:00	18-11-8 13:00	18-11-8 8:00	18-11-8 13:00
Spool_3	18-11-8 14:00	18-11-8 20:00	18-11-8 14:00	18-11-8 20:00
Spool_4	18-11-10 0:00	18-11-10 6:00	18-11-10 0:00	18-11-10 6:00
Spool_5	18-11-7 1:00	18-11-7 7:00	18-11-7 1:00	18-11-7 7:00
Spool_6	18-11-12 12:00	18-11-12 18:00	18-11-12 12:00	18-11-12 18:00
Spool_7	18-11-3 6:00	18-11-3 12:00	18-11-3 6:00	18-11-3 12:00
Spool_8	18-11-3 6:00	18-11-3 12:00	18-11-3 6:00	18-11-3 12:00
Spool_9	18-11-11 15:00	18-11-11 21:00	18-11-11 15:00	18-11-11 21:00
Spool_10	18-11-6 21:00	18-11-7 4:00	18-11-6 21:00	18-11-7 4:00
…	…	…	…	…
Spool_429	18-11-17 6:00	18-11-17 10:00	18-11-17 6:00	18-11-17 10:00
Spool_430	18-11-15 16:00	18-11-15 20:00	18-11-15 16:00	18-11-15 20:00
Spool_431	18-11-12 2:00	18-11-12 6:00	18-11-12 2:00	18-11-12 6:00
Spool_432	18-11-19 15:00	18-11-19 19:00	18-11-19 15:00	18-11-19 19:00
Spool_433	18-11-8 20:00	18-11-8 23:00	18-11-8 20:00	18-11-8 23:00
Spool_434	18-11-5 14:00	18-11-5 18:00	18-11-5 14:00	18-11-5 18:00
Spool_435	18-11-19 20:00	18-11-20 0:00	18-11-19 20:00	18-11-20 0:00
Spool_436	18-11-8 16:00	18-11-8 19:00	18-11-8 16:00	18-11-8 19:00
Spool_437	18-11-19 7:00	18-11-19 11:00	18-11-19 7:00	18-11-19 11:00
Spool_438	18-11-19 14:00	18-11-19 18:00	18-11-19 14:00	18-11-19 18:00

Collection @ kmou

7.3.2 작업 시간의 변동성을 고려한 계획 수립

배관재 설치 관리 시스템에서 수립된 계획이 제약조건을 위배하지 않고 합리적으로 수립되었는지를 확인한 후, 작업 시간의 변동성을 고려한 계획을 수립함으로써 현실적인 계획을 수립하고자 한다. 배관재 설치 작업에 가장 중요한 리소스는 직접 배관재를 설치하는 인력이라고 할 수 있다. 인력은 자동화된 설비처럼 고정된 작업 시간으로 작업을 수행할 수 없다. 실제 작업 시간은 일반적으로 표준 작업 시간을 기준으로 일정 범위의 변동성이 고려된다고 할 수 있다. 따라서 작업 시간에 정규 분포를 적용하여 작업 시간의 변동성을 고려한 배관재 설치 계획을 수립해보았다. 작업 시간에 표준 편차를 0.25로 설정하였으며, 작업 시간이 감소하는 경우 보다 증가하는 경우가 더 많을 것이라고 판단하여 최소 시간은 작업 시간보다 15분 적고, 최대 시간은 작업 시간보다 30분 많을 수 있도록 정의하였다. 이를 통해 출력한 결과는 아래 Table 30과 같다. 결과적으로 시뮬레이션을 실행했을 때는 정규분포에 따른 작업 시간의 변동성이 고려된 것을 확인할 수 있다. 전체 리드타임 측면에서도 배관재 설치 관리 시스템으로 수립한 계획의 리드타임은 약 19일, 시뮬레이션을 통한 계획의 리드타임은 약 22일인 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 작업 시간의 변동성을 고려한 현실적인 계획을 수립할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 실제 조선소에서는 배관재의 재질에 따른 용접 방법이나 직경에 따라 표준 작업 시간과 실제 작업 시간의 차이를 분석할 수 있을 것이며, 이를 시뮬레이션에 적용함으로써 현실적인 배관재 설치 계획을 수립 가능할 것이라고 판단된다.

Collection @ kmou

Table 30 Result for comparing with variability in work time

Spool no	Cycle time	System		Simulation	
		Start date	Finish date	Start date	Finish date
Spool_219	10	18-11-2 3:00	18-11-2 13:00	18-11-2 3:00	18-11-2 12:59
Spool_406	4	18-11-2 7:00	18-11-2 11:00	18-11-2 7:00	18-11-2 11:17
Spool_214	8	18-11-2 8:00	18-11-2 16:00	18-11-2 8:00	18-11-2 15:51
Spool_222	11	18-11-2 9:00	18-11-2 20:00	18-11-2 9:00	18-11-2 20:01
Spool_223	11	18-11-2 9:00	18-11-2 20:00	18-11-2 9:00	18-11-2 20:12
Spool_204	5	18-11-2 12:00	18-11-2 17:00	18-11-2 12:00	18-11-2 16:53
Spool_220	10	18-11-2 14:00	18-11-3 0:00	18-11-2 15:51	18-11-3 1:41
Spool_215	8	18-11-2 17:00	18-11-3 1:00	18-11-2 17:00	18-11-3 0:52
Spool_280	8	18-11-2 17:00	18-11-3 1:00	18-11-2 20:01	18-11-3 4:13
Spool_33	6	18-11-2 20:00	18-11-3 2:00	18-11-2 20:12	18-11-3 2:11
…		…	…	…	…
Spool_279	6	18-11-19 14:00	18-11-19 20:00	18-11-24 2:37	18-11-24 8:33
Spool_438	4	18-11-19 14:00	18-11-19 18:00	18-11-24 3:31	18-11-24 7:27
Spool_112	5	18-11-19 15:00	18-11-19 20:00	18-11-24 5:26	18-11-24 10:27
Spool_180	5	18-11-19 15:00	18-11-19 20:00	18-11-24 6:08	18-11-24 11:15
Spool_432	4	18-11-19 15:00	18-11-19 19:00	18-11-24 7:27	18-11-24 11:24
Spool_18	6	18-11-19 18:00	18-11-20 0:00	18-11-24 8:33	18-11-24 14:29
Spool_342	5	18-11-19 19:00	18-11-20 0:00	18-11-24 10:27	18-11-24 15:39
Spool_313	4	18-11-19 20:00	18-11-20 0:00	18-11-24 11:15	18-11-24 15:41
Spool_340	4	18-11-19 20:00	18-11-20 0:00	18-11-24 11:24	18-11-24 15:31
Spool_435	4	18-11-19 20:00	18-11-20 0:00	18-11-24 14:29	18-11-24 18:26

Collection @ kmou

제 8 장 결론

본 연구에서는 의장 비율이 높아짐에 따라 발생하는 계획 방법 부재 및 설치 오류에 대한 문제점을 해결하기 위한 목적으로 수행되었다. 다양한 의장 중 가장 많은 비율을 차지하는 배관재를 고려하여, 배관재 설치와 관련된 요소를 관리하기 위한 배관재 설치 관리 시스템을 개발하였다. 배관재 설치 관리 시스템은 배관재 설치와 관련된 요소인 설치 순서, 시간, 리소스를 관리하기 위한 시스템이다. 배관재 설치 관리 시스템의 목적은 배관재 설치 순서를 기반으로 합리적인 배관재 설치 계획을 수립하는 것이라고 할 수 있다. 따라서 이와 같은 역할을 수행하기 위해 배관재 설치 순서 최적화 알고리즘과 배관재 설치 계획 수립 알고리즘을 개발하였다. 개발한 알고리즘을 기반으로 시스템을 구축하기 위한 DTO와 비즈니스 컴포넌트 모델을 설계하고, 이를 바탕으로 배관재 설치 관리 시스템 개발을 완료하였다. 또한 조선소의 배관재 관련 실데이터를 적용함으로써 결과를 검증하는 작업도 수행하였으며, 시뮬레이션을 통한 계획을 검증하는 작업도 수행하였다.

배관재 설치 관리 시스템 개발 연구는 아래와 같이 4가지 관점에서 의의가 있다.

첫째, 배관재의 속성정보와 3D 의장 설계 모델과 같은 의장 설계 시 출력되는 배관재 관련 정보를 바탕으로 효율적인 배관재 설치 순서를 결정할 수 있다.

둘째, 배관재 설치순서 최적화 작업을 수행할 때, 각 공정변수 별 가중치를 다르게 설정할 수 있도록 배관재 설치 관리 시스템을 개발함으로써, 조선소의 작업 환경에 따라 효율적인 설치 순서를 결정할 수 있다.

셋째, 배관재 설치 순서 정보와 계획과 관련된 제약조건을 적용한 배관재 설치 계획을 수립함으로써, 작업 물량 산정 수준이 아닌 상세한 배관재 설치 계획을 수립할 수 있다.

넷째, 배관재 설치 계획 및 작업 시 고려되어야 하는 배관재 설치 순서, 작업

Collection @ kmou

시간과 설치 완료일과 같은 시간 요소, 인력이나 크레인과 같은 리소스 요소를 하나의 통합된 시스템에서 관리할 수 있다.

결과적으로 배관재 설치 관리 시스템 개발을 통해 배관재 설치와 관련된 요소를 통합 관리할 수 있고, 이를 통해 실무자의 주관적인 판단을 최소화할 수 있으며 배관재 설치 관리 시스템이 실무자의 의사 결정 지원을 위한 도구가 될 수 있다고 할 수 있다.

배관재 설치 관리 시스템 개발 연구를 기반으로 향후에는 다양한 연구가 확장되어 수행될 수 있다. 먼저 조선소에서 사용하는 표준 작업 시간과 실제 작업 시간과의 차이를 분석하여, 분석한 작업 시간을 고려한 보다 합리적인 배관재 설치 계획 수립에 대한 연구가 수행될 수 있다. 또한 Digital twin을 구축함으로써 잦은 변경 사항에도 시뮬레이션 기반의 계획 수립이 즉시 이루어질 수 있기 위한 시스템에 대한 연구가 수행될 수 있다.

Collection @ kmou

References

Choi, J.H., Kim, J.H. and Woo, J.H., 2017. A Study on the Development of Algorithm for Defining the Installation Sequence of Outfitting. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*. 54(5), pp.368-377.

Ham, D.K., Back, M.G., Park, J.G. and 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.

Hwang, I.H., Nam, S.H. and Shin, J.G., 2012. An automatic block allocation methodology at shipbuilding midterm scheduling. *Proceedings of 2012 CAD/CAM conference*. Pyeongchang, Korea, 1-3 February 2012, pp.357-362.

Jang, M.S., Nam, J.H. and Kim, D.H., 2018. Application of VR to checking process for ship piping structure in a lightweight model. *2016 Spring Proceeding of the Society of Naval Architects of Korea*, Jeju, Korea, 24-25 May 2018, pp.813-817.

Jeong, Y.K., Lee, Pilippe. and Woo, J.H., 2017. Shipyard block logistics simulation using process-centric discrete event simulation method. *Journal of Ship Production and Design*. 33(3), pp.1-12.

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.

Kim, K.D., Woo, S.B. and Hahn, H.S., 2001. A study on the reaction scheduling for shipbuilding considering resource constraints. *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 14(3), pp.218-226.

Collection @ kmou

Lee, J.M., Jeong, Y.K. and Woo, J.H., 2018. Development of an evaluation framework of production planning for the shipbuilding industry. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 31(9), pp.831-847.

Park, J.G. and Woo, J.H., 2018. A study on process management method of offshore plant piping material. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*. 55(2), pp.124-135.

Rose, Christopher. Coenen, Jenny. & Hopman, Hans., 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. Daejeon, Korea: Korea Advanced Institute of Science and Technology.

Sung, S.N., 2018. *Process design and system development for mid-term shipbuilding production planning based on backward-simulation method*. Master. Seoul, Korea: Seoul National University.

Woo, J.H., Kim, Y.M., Jeong, Y.K. and Shin, J.G., 2017. A Research on Simulation Framework for the Advancement of Supplying Management Competency. *Journal of Ship Production and Design*. 32(1), pp.60-79.

Yan, Wei. & 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.

Collection @ kmou