

유전 알고리즘 기반의 작업공간을 고려한 배관 스폴에 관한 연구

유성상¹ · 이경호^{1*} · 이정민¹ · 남병욱¹ · 김현²

¹인하대학교 조선해양공학과, ²지에스아이티엠

A Study on Pipe Spool considering Workspace based on Genetic Algorithm

Seong-Sang Yu¹, Kyung-Ho Lee^{1*}, Jung-Min Lee¹, Byeong-Wook Nam¹ and Hyun Kim²

¹Department of Naval Architecture & Ocean Engineering, Inha Univ., Incheon, 22212, Korea

²GS ITM, Seoul, 03059, Korea

Abstract

Pipe working is consist of design, making and installation. Pipe line is consist of spool pipes which are made in fabrication shop. And these spool pipes installation in shipyard. Spool pipes are designed based 2D Drawings(ISO Drawing), so spool pipes are not considered working area, that wake decreasing working efficiency and delay working time. In this paper, suggest make spool pipe design method using analysis working area about 3D CAD model and genetic algorithm.

Keywords : SPOOL, genetic algorithm, working area, 3D CAD

1. 연구 배경

스폴(spool) 배관은 배관의 가장 작은 요소로서, 조선소 외부의 배관 제작업체로부터 만들어지고, 조선소 내부로 운반되어 블록 내부에서 설치작업을 통해 실제 사용 가능한 배관으로 설치하게 된다.

조선소 내부로의 운반과정은 Fig. 1과 같은 팔레트(pallet)를 이용하여 운반을 하기 때문에 스폴 배관은 우선적으로 팔레트에 담길 수 있는 부피를 지녀야 한다.

이러한 스폴 배관은 전체 배관에 대한 도면(ISO drawing)을 보고 사람이 직접 스폴 배관으로 나누어 외부의 공장에 발주를 하는 과정을 거쳐서 제조가 된다. 하지만, 도면만을 보고 제작을 하게 될 경우에는 실제 배관이 설치되는 작업공간의 고려가 힘들기 때문에, 배관의 설치 시에 작업공간이 충분하지 않거나 작업이 매우 힘든 위치에 용접작업 또는 플랜지를 통한 결합 작업이 이루어지는 경우가 생기게 된다. 이러한 작업공간을 고려하지 못하는 형태의 배관이 많아질수록 작업의 능률뿐만

아닌 작업자의 안전성에 영향을 미치게 되고 더 나아가 공기가 늦어질 수도 있는 문제를 가지게 된다.

이러한 문제점을 줄이기 위해 3D CAD 모델을 이용하여 작업공간의 고려할 수 있는 스폴의 생성방법을 제안하고자 한다.



Fig. 1 Spool pallet

* Corresponding author:

Tel: +82-32-860-7343; E-mail: kyunho@inha.ac.kr
Received October 11 2015; Revised October 28 2015;
Accepted November 30 2015

©2016 by Computational Structural Engineering Institute of Korea

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.

2. 관련 연구

현재 배관 스폴에 관련된 연구는 스폴 배관의 관리의 측면을 관점으로 한 스폴관리용 안드로이드 어플리케이션 설계 및 구현 등의 연구(Jeon, 2012)에서는 각각의 스폴 배관에 QR 코드를 부착 후, 스마트폰의 어플리케이션을 통해 각 스폴에 대한 정보를 확인할 수 있는가에 대한 연구를 진행하였다. 배관 설계의 측면으로는 배관의 경로에 관한 연구(Park, 2012)는 배관의 최초 설계 시, 많은 설계자들의 노하우로 결정되어지는 배관의 경로를 유전 알고리즘을 이용하여 전문가가 아니더라도 보다 쉽게 설계할 수 있도록 할 수 있는 방법을 제안하였다. 이처럼 선박 및 플랜트의 배관은 매우 중요한 요소이고 이에 따라 많은 연구가 진행되어지는 중이긴 하지만 스폴의 설계 측면의 연구들에 관하여는 현재 진행되고 있는 바가 없다. 이에 본 논문에서는 3D CAD로부터 설계정보를 받아들이고, 이러한 정보에 대하여 유전 알고리즘을 적용한 스폴 설계에 대한 연구 및 방법에 대해 제안하고자 한다.

3. 시스템 개요

본 논문에서는 조선 분야에서 사용되고 있는 3D CAD인 S3D(smart 3D)를 통하여 스폴의 생성에 대한 시스템을 구현하였으며, S3D는 3차원 선박 CAD를 위한 배관 의장품의 Part Master 정보구축(Lee, 2007)에서와 같이 선박에 들어가는 각각 기자재에 대해 별도의 DB를 통한 관리를 하며,

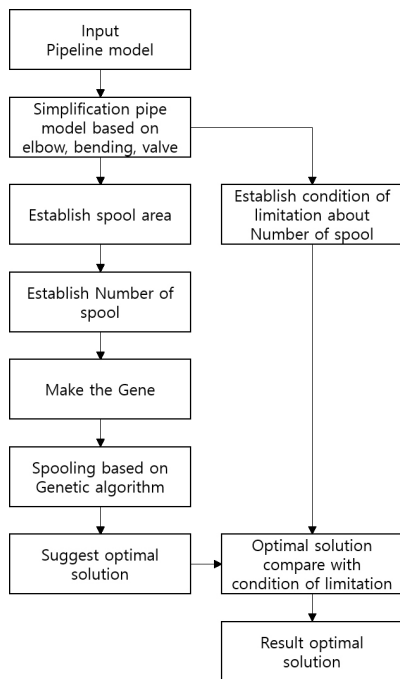


Fig. 2 Spool process flow chart

이는 AutoCAD와 같은 범용성 CAD와 달리 각 배관, 구조물 등을 따로 관리가 가능하며, 이에 대한 유지보수 및 설계 정보를 포함할 수 있는 조선 분야에 특화된 CAD이다.

스폴 배관의 생성방법은 Fig. 2에서 보이는 순서와 같이 구성되어지며 크게 4가지 단계로 구분할 수 있다.

첫 번째는 배관 모델을 엘보우(elbow), 밸브(valve), 티(tee) 및 벤딩(bending) 등의 특이요소를 통한 간략화시키는 단계이며, 이를 통해 간략화된 모델을 얻을 수 있다.

두 번째는 특이요소(간략화된 모델의 엘보우, 밸브 등의 위치)로부터 스폴이 생성될 영역 및 스폴의 생성지점에 대한 위치의 값을 유전자화하는 방법을 통해 유전자 알고리즘에 적용 가능한 형태를 얻을 수 있다.

세 번째는 서포터(support), 행어(hanger) 등의 작업공간을 방해하는 요소에 대하여 영역의 제한 및 수정을 통하여 작업 공간에 대한 고려 요소를 추가하였다.

네 번째는 이에 대해 유전 알고리즘을 적용하여 최소의 개수를 가질 수 있는 스폴링 해를 판별하는 과정의 반복을 통해 작업공간을 고려할 수 있는 최적의 스폴링을 진행하는 과정으로 스폴 결과를 얻고자 한다.

3.1 특이점의 생성

유전 알고리즘의 적용을 위하여 배관의 모델을 그대로 가져가는 것이 아닌, 배관의 경로를 바꾸게 되는 요소인 엘보우, 티 등의 요소와 스폴을 생성하고자 하는 영역으로 모델을 변환 후 사용하여야 할 필요가 있다.

또한, 밸브 등은 가격의 문제와 설치의 문제로 인하여 스폴 생성 시에 엘보우, 벤딩 등과 같이 설치되어 오는 것이 아닌 외부에서 제작되어 온 채로 현장에서 설치하는 방법을 통해 진행되므로, 이들 특이점 이외에 밸브가 존재할 경우에는 밸브의 끝을 스폴을 나누기 위한 배관요소 단위로 나누어서 밸브 앞, 뒤의 배관을 따로 분리하여 수행하여야 한다.



Fig. 3 Original pipe line

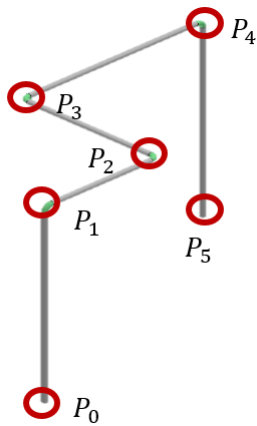


Fig. 4 Special point in pipe line

예를 들어 Fig. 3과 같은 형상을 가지는 배관 모델이 존재할 경우, 이를 엘보우, 티 및 벤딩 등의 배관의 방향 등의 영향을 주는 요소들을 특이점이라 지칭하고, 이들 만을 이용하여 간략화된 배관의 모델을 Fig. 4와 같이 설정을 한다.

3.2 스푼 영역 및 스푼 생성개수의 설정

앞서 구해진 특이점들에 대하여 유전 알고리즘에 적용하기 위한 스푼 생성영역 및 각 영역(SA, spool area)에 대한 스푼

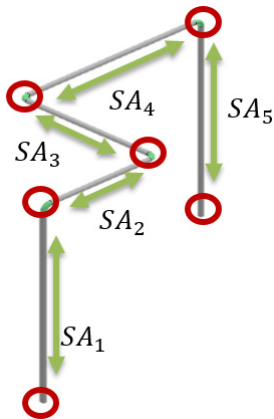


Fig. 5 Spool area in pipe line

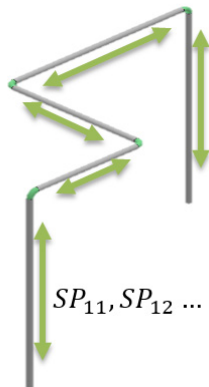


Fig. 6 Spool point in pipe line

Table 1 Number of spool

Pipe Length	Number of Spool
$l_{Pipe} > \max(l_{Pallet})$	$\frac{l_{Pipe}}{\max(l_{Pallet})} + 1$
$\max(l_{Pallet}) > l_{Pipe} > \min(l_{Pallet})$	2
$l_{Pipe} < \min(l_{Pallet})$	0

생성 최대 개수를 설정하게 된다.

스푼 생성영역은 앞서 구해진 특이점들의 좌표 사이의 공간, 즉 배관 요소에 대하여 스푼이 생성될 영역을 의미하며, 이는 앞서 구해진 특이점들을 통하여 설정을 하게 되며, 이에 대한 결과는 Fig. 5, Fig. 6과 같이 나타나게 된다. 이로부터 구해진 영역 자체로는 유전 알고리즘으로의 적용이 힘든 문제가 있으므로, 이에 대하여 스푼이 생성될 점(SP, spool point)을 설정하여야 할 필요가 있으며, 각 배관 요소별 특징에 대하여 Table 1과 같은 방법을 통해 최대 스푼개수를 설정하여야 한다. 이는 각 특이점 사이의 거리로 이루어진 배관간격(l_{Pipe})과 배관을 운반하기 위해 사용되는 팔레트의 최대 변의 길이에 대하여 설정을 하였으며, 작업공간의 고려에 따라 필요한 스푼 생성의 개수가 팔레트의 최대 길이로만으로도 나누었을 때 보다 많아질 경우가 있으므로, 1개의 여유를 더 두는 방법을 통해 이루어지게 된다.

3.3 작업공간을 고려하기 위한 제한조건

작업공간을 고려하기 위한 방법으로는 스푼을 생성하고자 하는 배관을 지지하고 있는 행어, 서포터 등의 위치와 배관이 지나가는 플레이트와 격벽 등의 위치 데이터를 이용하여 이로부터 스푼링이 생성되어야 하는 위치들을 제한하는 방법을 통하여 진행되었다. Fig. 7과 같이 배관에 행어, 서포터 등이 부착되어 있을때, CAD 프로그램의 API로부터 Fig. 8과 같이 행어, 서포터 등의 절대좌표(x, y, z)의 값을 얻을 수 있고, 이들의 위치 정보를 통하여 위치 정보를 스푼 생성 프로그램으로 불러들인 후에 해당 위치와 배관의 진행방향을 통하여 스푼 생성 제한영역을 제한 및 재설정하게 된다.

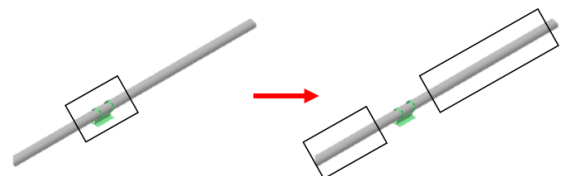


Fig. 7 Consider the pipe support

SupportPosition	{Ingr.SP3D.Common.Middle.Position}
X	25.153246817418378
Y	0.0
Z	0.0
SupportsDelete	True

Fig. 8 Support location data

4. 유전 알고리즘의 적용

선박에서 사용되는 배관은 사용하는 목적, 그리고 수송하고자 하는 물질의 종류와 특성 및 유지보수의 정도 및 운반하고자 하는 팔레트의 크기, 그리고 원자재의 크기에 따라 스폴의 생성 조건이 결정되어 진다. 하지만 이러한 스폴을 설계하기 위해서는 설계자의 오랜 경험으로부터 축적된 지식이 뒷받침되어야 하지만 이러한 지식을 단기간에 얻어질 수 있는 것이 아니다. 선박의 배관 라인에 대하여 스폴을 효율적으로 단기간 안에 최적화하기 위하여 유전자 알고리즘을 도입하고 최적의 스폴 생성을 제안할 것이다. 본 연구의 최적의 배관 스폴은 팔레트 안에 들어갈 수 있는 부피를 가지는 스폴 배관의 개수를 최소화 하는 것이다.

4.1 설계변수의 정의

유전 알고리즘을 적용하기 위하여 설계변수의 범위를 정하고 이에 대한 유전정보를 갖는 염색체로 표현하여야 한다. 염색체의 길이는 앞서 정해진 SP의 총 개수에 의해 정해지며, 이는 연산 시간과 직결되는 문제이므로 효율성을 고려하여 해의 정확도를 높이기 위한 설계변수의 선택이 필요하다.

본 연구에서는 각 스폴 영역을 17등분 하여 이 위치에 대한 스폴의 위치를 유전자 알고리즘의 염색체로 표현하였고, 이는 Fig. 9와 같이 표기할 수 있으며, 각 SP_{nm} 은 n 번째 스폴 영역에서 배관을 나누는 스폴 점을 의미하며, m 은 Table 1의 조건에 따라 정해진 개수만큼 존재하게 된다. 예를 들어, SP_{11} 은 1번째 스폴 영역의 1점이며, 0101은 5이므로 1번째 영역을 17등분 하였을때, 5번째 위치를 기준으로 하여 스폴 배관을 만드는 것을 의미한다.

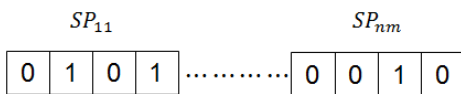


Fig. 9 Gene about spool point

4.2 목적함수

본 연구에서의 최적화는 가능한 최소한의 개수를 가지는 스폴 배관을 설계하는 것에 중점을 두고 있다. 이에 대한 평가 방법으로는 앞서 정의된 SP의 개수를 기반으로 계산을 하고자 한다. 예를 들어, 한 배관 요소에 SP_{11} 과 SP_{12} 가 존재할 때, 이 두 점의 값이 0101, 0110 인 경우에는 배관의 5/17번째 위치와 6/17번째 위치를 나누어 3개의 스폴 배관이 생성된다고 볼 수 있으나, SP_{11} 과 SP_{12} 의 값이 0101로 같은

경우에는 배관의 5/17번째 위치로 나누어 2개의 스폴 배관이 생성된다고 볼 수 있다. 따라서 각 스폴 영역 내에 존재하는 SP들의 값이 같은 경우가 많을수록, 스폴 배관의 개수가 적어진다고 평가할 수 있고, 배관을 나누는 스폴 위치가 적을수록 각 스폴 배관의 길이가 가질 수 있는 최댓값을 가진다고 평가할 수 있다. 그러므로 같은 배관에 존재하는 SP의 값이 같은 해에 대하여 더욱 높은 적합도 값을 지니게 하도록 할 필요가 있다. 따라서 본 논문에서는 아래의 식과 같은 적합도 값을 제안하고자 한다. 스폴의 개수가 더 적은 쪽의 결과를 다음 세대로 더 많이 보내기 위하여 스폴 위치가 겹치는 점의 개수를 n 으로 하였을 때 적합도 값을 10^n 으로 하여, 적합도 값을 높여나가는 방법을 이용하였다.

$$Fitness = 10^n \tag{1a}$$

$$if SP_{11} = SP_{12}$$

$$then n = n + 1 \tag{1b}$$

4.3 제한조건

생성된 스폴 배관들은 팔레트에 담아서 운반이 가능해야 하므로, 각 스폴 생성 위치로부터 만들어진 각 스폴 배관이 팔레트의 부피보다 작아야 한다. 그러므로 Fig. 10과 같이 스폴 배관의 타입 별로 엘보우 형태의 스폴 또는 직선 형태의 배관 스폴로 나누어 볼 수 있고, 이에 대하여 팔레트의 부피와 비교를 하여 각 스폴 배관이 팔레트에 들어갈 수 있는가를 평가하고, 만일 들어가지 못하는 스폴 배관이 존재하는 해는 운반의 조건에 대하여 만족하지 못하는 해이므로, 룰렛 휠에서 선택에 대한 횟수를 최대한으로 줄이도록 하여야 한다.

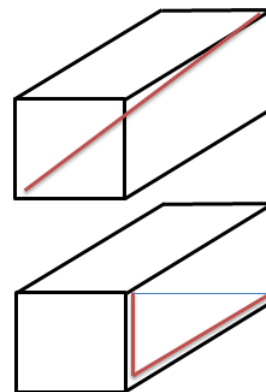


Fig. 10 Constraint about spool pipe length

그 다음으로는 작업공간을 스폴 생성위치가 작업공간을 고려할 수 있는가에 대한 평가가 이루어져야 한다. 작업공간을 고려에 대한 문제는 앞서 설정된 제한영역에 스폴생성 점이

위치하는가에 대한 문제로 평가할 수 있으며, 이러한 해에 대해서도 적합도 평가에서 다음 세대로 선택되지 못하도록 하여야 한다.

4.4 적합도 평가

본 논문에서는 적합도 평가방법으로 룰렛 휠 방법을 이용하였으며, 룰렛 휠이란 <그림>과 같이 과녁을 만들었을 때, 각 유전자들이 다음 세대에 선택될 확률을 기반으로 하여 다음 세대를 만들어 나가는 방법을 의미하며, 각 개체들의 선택 확률 P_n 는 식 (2)와 같이 모든 세대들의 적합도 합에 대한 자신의 적합도 값으로 나타낼 수 있으며, 난수 생성기를 통하여 다음 세대로의 선택을 결정하게 된다.

$$P_n = \frac{Fitness_n}{\sum Fitness} \quad (2)$$

5. 구현 결과

유전 알고리즘이 스폴 생성으로의 적용 가능성에 알아보기 위하여 배관 도면에 대하여 3D CAD로의 모델링을 진행 후 생성된 모델에 대하여 얻어진 스폴 결과와 비교를 하였다. 이에 사용된 도면 및 CAD 모델은 Fig. 11, Fig. 12와 같다.

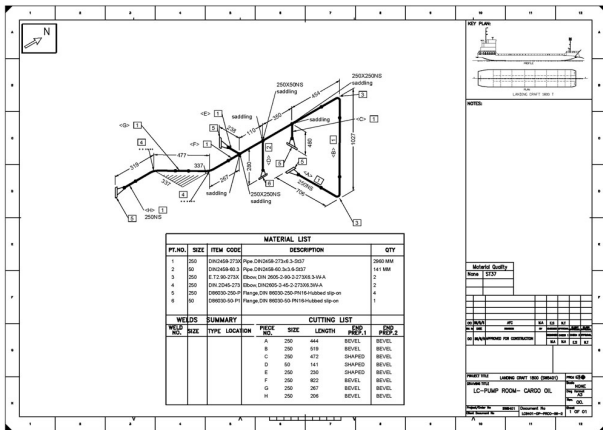


Fig. 11 Test pipe line ISO drawing

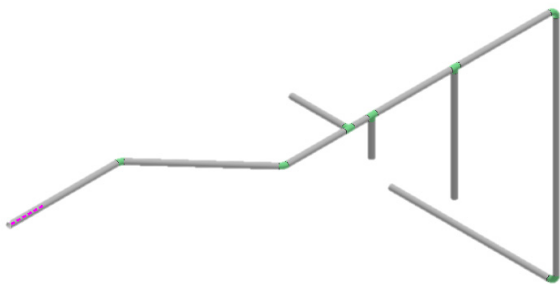


Fig. 12 Test pipe line model

Table 2 Parameter in genetic algorithm

Parameter	Value
No. of Genetics	100
Generations	100
Crossover Prob.	0.7
Mutation Prob.	0.01

테스트 시에 사용된 유전 알고리즘의 개체 수, 세대 수 교배 확률 및 돌연변이 확률은 Table 2와 같은 값을 이용하였으며, 원본의 스폴 결과는 Table 3과 같고 실행 결과는 Table 4와 같다.

이 두 값을 비교하여 보았을 때, 실제 스폴 결과보다 유전 알고리즘의 결과가 스폴의 개수가 더욱 많은 것을 볼 수 있다. 이는 Table 3의 5, 6번의 배관의 경우를 보면 실제 팔레트의 제한조건 보다 스폴 배관의 크기가 더욱 큰 길이를 가지는 형태이나, Table 4의 4, 5, 6, 7은 팔레트의 길이뿐만 아닌 티의 위치에 따라 배관이 용접 또는 플랜지 결합이 되는 것을 포함하였기 때문에 나타난 결과이다.

Table 3 Spool in ISO drawing

Spool Num	X	Y	Z
1	0	0	0
2	205	0	0
3	445.6	-99.6	0
4	622.2	-237.4	0
5	824	-337	0
6	1730	-337	0
7	1871	-337	-141
8	1871	-337	-886
9	1871	-196	-1072
10	1871	248	-1072

Table 4 Spool in genetic algorithm

Spool Num	X	Y	Z
1	0	0	0
2	203.52	0	0
3	524.41	-178.4	0
4	885.41	-337	0
5	1093.82	-337	0
6	1302.23	-337	0
7	1510.64	-337	0
8	1719.05	-337	0
9	1871	-337	-241.64
10	1871	-337	-483.28
11	1871	-337	-664.53
12	1871	-337	-845.74
13	1871	-337	-966.59
14	1871	-100.23	-1072
15	1871	145.35	-1072
16	1871	248	-1072

그 다음으로는 행어, 서포터 등의 작업을 방해하는 요소들을 Fig. 13과 같이 배치하였으며, 이에 대한 위치 정보는 Table 5와 같다. 이에 대하여 프로그램을 이용하여 테스트를 실행함으로써 작업공간의 고려에 대한 검증을 실행하였으며, 이에 사용된 개체 수, 유전 확률 및 돌연변이 확률은 앞서 테스트된 값과 동일한 값을 이용하였으며 결과는 Table 6과 같다.

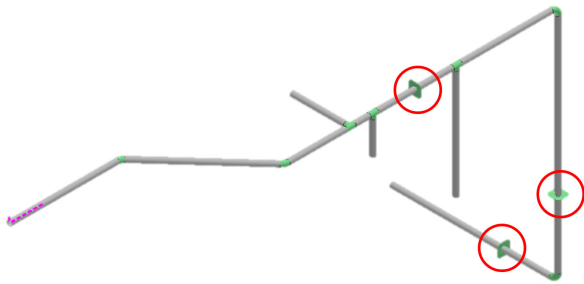


Fig. 13 Test pipe line model imported supporter and hanger

Table 5 Location about support and hanger

Support / Hanger	X	Y	Z
1	1500	-337	0
2	1871	-337	-850
3	1871	-180	0

Table 6 Spool in genetic algorithm considering working space

Spool Num	X	Y	Z
1	0	0	0
2	203.52	0	0
3	524.41	-178.4	0
4	885.41	-337	0
5	1093.82	-337	0
6	1302.23	-337	0
7	1440.94	-337	0
8	1649.35	-337	0
10	1719.05	-337	0
11	1871	-337	-241.64
12	1871	-337	-483.28
13	1871	-337	-664.53
14	1871	-337	-724.92
15	1871	-337	-966.59
16	1871	-100.23	-1072
17	1871	110.33	-1072
18	1871	248	-1072

위의 결과로부터 배관에 서포터, 행어 등의 요소에 대하여 스폴의 생성 제한영역을 고려할 수 있는가에 대한 테스트

결과를 보았고, 이전의 외부 구조물 요소가 없을 때의 결과와 크게 차이나지는 않지만, 이러한 구조물 요소의 위치를 피하여 스폴이 생성되는 결과를 확인할 수 있었다.

6. 결 론

본 연구에서 제안한 유전 알고리즘을 이용한 스폴 설계 방법에 대한 결과는 기존의 스폴 생성방법과 비교하였을 때, 비슷한 결과를 얻을 수 있음을 알아보고, 이에 따라서 작업 환경을 고려할 수 있는가에 대한 결과 또한 유동적으로 대응이 가능한가에 대해 알아보았다.

결과로 비추어 볼 때, 서포터, 행어들의 구조물 위치를 통하여 이러한 구조물들로부터 생길 수 있는 스폴 설치 및 유지보수 단계에서의 문제점을 유전 알고리즘을 미연에 방지할 수 있으며, 많은 설계지식이 없더라도 간단한 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

또한, 카드 모델 자체에서 수행되기 때문에 직접 도면을 뽑아 보지 않고 CAD 프로그램 상에서 스폴 위치를 파악 및 3D로 스폴의 위치를 볼 수 있다는 장점을 지니고 있다.

하지만, 본 논문에서의 최적화의 개념은 스폴 배관의 개수 및 팔레트에 운송 가능한가에 대한 고려였기 때문에 이에 따라 추후에는 배관 원자재의 길이, 배관을 구부리는데 이용되는 벤딩 머신의 규격 등의 다른 여러 가지 고려사항에 대한 연구가 진행되어야 할 필요성이 있다.

감사의 글

본 연구는 인하대학교의 지원으로 이루어진 연구결과의 일부이며, 지원에 감사드립니다.

References

Jeon, S.M., Kim, K.S. (2012) Design and Implementation of Piping Spool Management Android Application using QR Code, *J. Digit. Contents Soc.*, 13, pp.609~616

Lee, J.H., Lee, H.B., Hwang, S.Y., Ha, S.C., Lee, C.W. (2007) On the Development of Pipe Equipment in 3D Ship CAD, *COSEIK Annual Conference*, pp.819~824.

Park, C.W., Cheon, H.J. (2012) Ship Pipe Layout Optimization using Genetic Algorithm, *J. Korean Soc. Precis. Eng.*, 29, pp.469~478.

요 지

선박 및 플랜트의 배관은 제작부터 설치까지 일련의 과정을 모두 현장에서 하는 것이 아닌, 외부의 공장 또는 shop으로부터 배관의 제일 작은 요소인 스펴 배관을 제작하고, 이를 작업현장 또는 현장 근처의 공장에서 모듈화 또는 가설치 작업 및 현장에서 직접 설치작업을 통해 제작이 된다. 이 과정에서 스펴은 3D CAD를 기반으로 하는 것이 아닌 2D 도면을 기반으로 하기 때문에, 작업공간을 고려하지 못할 수 있다. 이러한 이유로 실제 설치작업 시 작업공간의 방해로 인한 공기의 지연을 발생시킬 수 있다. 본 논문은 이러한 스펴 배관의 설치 시 또는 운용 및 유지보수 시에 생길 수 있는 외부 구조물과의 스펴 위치에 관하여, 스펴 위치가 외부 구조물로부터 방해를 받지 않도록 하기 위한 방법으로 유전 알고리즘을 적용하여 스펴 위치를 결정하는 방법에 대해 제시하고자 한다.

핵심용어 : 스펴, 유전자 알고리즘, 작업 공간, 3차원 캐드