

레저보트 생산공정정보 기반의 공장 레이아웃 설계 시스템 개발

이동건^{1,†} · 정용국¹ · 신종계²
서울대학교 조선해양공학과¹
서울대학교 조선해양공학과 및 해양시스템공학연구소²

Development of a Factory Layout Design System using Leisure-Boat Building Process

Dong-Kun Lee^{1,†} · Yong-Kuk Jeong¹ · Jong-Gye Shin²
Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Seoul National University¹
Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering and Research Institute of Marine Systems Engineering, Seoul National University²

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.

The marine leisure industry in Korea has been the focus of the power of economic growth and the creation of jobs in recent years. In this regard, many studies concerning marine leisure are on-going in various fields. In this paper, developed a layout system and algorithm can resolve the factory and facility layout problem. For a layout design of leisure-boat factories, the leisure-boat production process is analyzed in order to derive standard production space elements for the layout of the factory. Based on the results, a draft design of the factory layout is carried out based on the manpower planning data, as well as the characteristics and relationships of each process data. A layout design of this paper can be verified through a factory simulation solution and we suggest the verification method using a SBD(simulation based design) methodology. The layout system takes into account the user's accessibility and extendibility, so it is web-oriented and uses RIA (rich Internet Application) technology. Furthermore, the system and layout algorithm of this paper are verified with samples data that show the efficient factory arrangement and practical application method.

Keywords : Factory layout design(공장 레이아웃 설계), Facility layout problem(설비 배치 문제), Simulation based design(시뮬레이션 기반 설계), Rich internet application(리치 인터넷 애플리케이션)

1. 서론

해양레저 산업은 미래성장 동력으로써 각광받고 있으며, 정부의 적극적인 지원 아래 다양한 연구 과제를 통하여 레저보트 설계 및 개발의 원천기술과 노하우가 축적되고 있다. 이러한 상황에서 설계 및 개발뿐만 아니라 레저보트 생산을 위한 경쟁력 확보를 위하여 생산 환경을 개선하거나 신규 공장을 건축하는 등의 생산 인프라를 구축하려는 노력이 크게 증가하고 있다. 생산 인프라의 구축 초기에는 그 영향이 즉각적인 생산능력 향상으로 나타나지만, 적절한 생산성 및 생산기술이 확보되지 않는다면 지속적인 효율성을 확보하기가 어렵다. 이는 생산 환경의 변경 및 확장 문제가 단순히 최적의 부지 활용이나 설비의 수량만을 고려하여 해결되는 것이 아니며 보유하고 있는 설비, 인력, 공간, 공법, 공정 등의 특성과 흐름을 복합적으로 고려해야만 효율적인 결과를 얻을 수 있는 특징을 가지고 있기 때문이다. 위와 같은 이유로

생산 분야에서는 유연 제조시스템(Flexible Manufacturing System, FMS), 디지털 제조시스템(Digital Manufacturing System, DMS) 등이 연구되어 왔으며 위와 같은 시스템을 보다 체계적으로 활용하기 위한 설비 및 작업장의 배치, 최적 물류경로 설계, 최적 공간 배치 등과 같은 다양한 레이아웃 문제들이 연구되어 왔다. 생산 시스템에서 레이아웃 요소의 효율적인 설계 및 적용은 총 생산운영비용의 50%의 달하는 물류비용을 10~30% 정도 감소시킬 수 있다고 보고되어 있다 (Tomkins, et al., 1996).

일반적으로 설비 배치 문제(Facility Layout Problem, FLP)는 건축, 또는 산업공학 분야에서 활발히 연구가 진행되고 있으며, 주어진 제약조건을 만족하며 다양한 후보 배치 결과 중 물류비용이 최소가 되는 배치 결과를 찾는 문제를 의미한다. 이러한 문제는 공장 레이아웃 배치 문제를 비롯하여 선박 내 일반 배치, 사무실 배치 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 설비 배치 문제는 배

치할 모듈의 넓이나 모양이 모두 동일한 경우와 그렇지 않은 경우로 나누어 구분할 수 있다. 배치할 모듈의 모양이나 넓이가 모두 같은 경우 주어진 공간에 해당 모듈을 1대 1 관계로 할당하는 문제로 간략화 하여 고려 할 수 있다. 하지만 배치할 모듈의 모양이나 넓이가 동일하지 않은 경우 앞서 언급한 경우와 달리 모듈 간 경계가 모두 다르기 때문에 고려하기가 매우 까다롭다. 이를 해결하는 대표적인 알고리즘으로는 CRAFT (Armour & Buffa, 1963), ALDEP (Seehof & Evans, 1967), COFAD (Tompkins & Reed, 1976) 등이 있다. 다만 이러한 알고리즘을 통하여 모듈을 배치한 경우 모듈이 균일한 모양이 아닌 불규칙한 형상으로 만들어지게 된다. 따라서 이 결과를 강제로 사각형 형태로 변환시켜주는 알고리즘이 추가적으로 필요하다.

레이아웃 최적화 연구들은 각 영역에서만 최적해를 찾는데 초점을 맞추고 있어 다양한 문제들이 복합적으로 발생하는 생산 현장에서 적용이 어려운 한계를 갖고 있었다. 이에 본 연구에서는 레이아웃 설계 과정을 레저보트공장 특성에 맞도록 재정의하고 실제 현장에 적용하기 위해 모듈 크기, 형태 등을 결정하는 방법을 정의하였다. 이를 위해 레저보트의 표준생산공정을 분석하였고 실제 레이아웃 수행을 위해 레저보트 공장에서의 공장부지, 생산설비 등의 고정변수와 생산 공정, 물류 흐름, 작업장 면적 등의 유연변수를 도출하였다. 도출한 레저보트의 표준생산공정을 바탕으로 공장 레이아웃에 필요한 작업장 및 작업공간을 정의함으로써 실제 현장의 생산 환경을 반영할 수 있게 하였으며, 일련의 과정을 통해 얻어진 정보는 레이아웃 요소의 크기와 요소 간 관계를 고려한 배치 알고리즘을 구현하여 적용하였다. 모든 기능을 웹 기반 애플리케이션으로 구현하여 실제 현장의 사용자가 쉽게 사용할 수 있게 하였다. 본 논문에서는 레저보트 공장의 레이아웃 설계 방법론을 정의하기 위하여 기존의 레이아웃 설계 관련 연구를 고찰하였다. 이후 레저보트 공장 레이아웃 설계 프로세스의 정립과 평가 방법론 그리고 레이아웃 모듈 배치의 세부 알고리즘 등의 연구를 수행하였다. 레저보트 공장 레이아웃 결과 및 시뮬레이션을 통한 검증은 4장에서 제안한 시스템을 통해 구현하였으며, 시스템 배포 이전에 레저보트 공장 레이아웃 설계 사례를 통해 본 연구 결과를 검증하였다.

2. 레이아웃 설계

본 논문에서는 기존의 레이아웃 설계와 관련한 연구 및 방법론을 고찰하고 레이아웃 설계 구성요소를 도출한다. 도출한 레이아웃 설계 요소는 공정, 흐름, 공간으로 구분할 수 있으며 공정과 흐름은 배치를 위하여 정의 또는 고려해야 할 요소로 구분된다. 공간 요소는 공정과 흐름을 기반으로 생성된 정보가 실제로 배치되는 대상으로 정의 할 수 있다. 공정 요소는 생산 프로세스와 작업 프로세스로 구분이 되는데 생산 프로세스는 실제 생산 작업이 이루어지는 공정을 의미하고 작업 프로세스는 업무규칙 등을 의미한다. 흐름 요소는 실제로 제품, 자재 등이 이동하는 자재 흐름과 인력, 정보 등을 고려한 논리적 서비스 흐름으로 나누어진다.

마지막으로 실제 배치가 이루어지는 공간 요소는 생산 공정이 이루어지는 작업 공간과 중간품, 자재 등이 배치되는 적치 공간으로 구분된다.

일반적으로 제품 설계의 변화, 신제품 개발, 제품 공정의 변화, 일정 계획의 수정 등은 설비의 배치, 저장 및 적치 공간의 위치 등에 대한 변경을 수반한다. 또한 레이아웃 설계자는 계획하고자 하는 설비의 역할, 수행해야 할 특정한 활동, 그리고 이러한 활동에 대한 불확실성의 정도 등을 파악하여 배치 계획안을 작성한다. 기본적으로 레이아웃 설계결과는 생산 설비 역할의 변경에 대비한 유연성을 가져야 하며 생산할 제품이 확실하게 정해진 경우에는 생산 효율의 최대화를 위한 배치 계획을 수행하여야 한다. 제품, 공정, 일정 계획에 대한 결정이 이루어진 이후에는 이러한 정보를 모두 고려하여 다양한 설비 계획안을 생성하고 평가하여야 한다. 다양한 정보들이 복합적으로 연관된 레이아웃 설계 문제를 해결하기 위한 방법으로는 Plan, Do, Check, Act의 4단계로 구성된 지속적인 공정개선 모델이 활용된다(Deming, 1950).

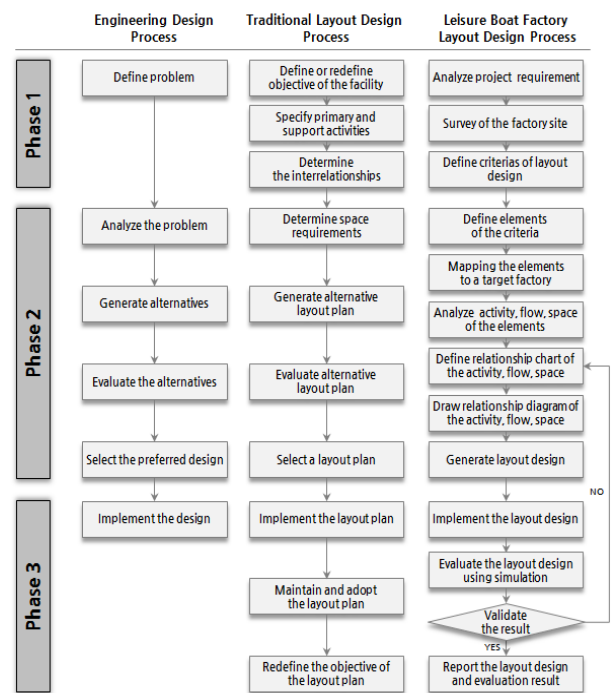


Fig. 1 Comparison of layout design processes

일반적인 레이아웃 설계 과정은 Fig. 1과 같이 크게 세 가지 단계로 나누어진다. 첫 번째 단계에서는 문제 또는 배치할 설비를 정의하고 이를 바탕으로 문제를 분석하여 대안을 생성하고 평가한다. 이어 두 번째 단계에서는 대안 평가 결과를 바탕으로 최종 레이아웃 설계를 도출하며 마지막으로 도출된 레이아웃 결과를 실제로 구현하고 적용한다. 레이아웃을 설계하는 과정은 새로운 배치안을 작성하는 과정과 현존하는 배치안을 개선하는 경우로 나눌 수 있으며 이때 각 요소의 유사성, 공간, 시설, 인원에 대한 요구사항 등이 레이아웃 설계 결과에 영향을 미치게 된다.

레이아웃 설계 시 가장 이상적인 작업장 배치는 공정 순서에

따라 직선 형태로 구성되는 것이나 실제 레이저보트 공장에서는 대부분 다품종 생산을 하기 때문에 목표 프로덕트 믹스를 고려한 표준 공정을 도출하고 이에 기반을 둔 작업장 배치를 하는 것이 현실적인 대안이다. 레이저보트는 선박과 자동차의 특성을 동시에 가지고 있기 때문에, 주문생산방식과 라인생산방식이 함께 사용되며 공정에 따라 완전 자동화 설비, 반자동 설비와 수동 설비가 혼용되는 생산특성을 갖고 있다. 따라서 레이저보트 공장과 유사한 성격을 갖는 조선소 레이아웃 설계에서는 시스템 레이아웃 계획 (Systematic Layout Planning, SLP) 방법론을 사용하여 공정 간의 관계도를 기반으로 공정에 관계된 작업장의 배치를 수행한다 (Song, et al., 2010). SLP 방법론에서는 활동관련도표(Activity Relationship Chart, ARC)를 이용하여 공정 간의 연계성, 작업공간의 지리적 근접성, 자재흐름의 양과 같은 정성적인 흐름의 결과를 정량적으로 정의한다. 이러한 결과를 바탕으로 작업장의 배치를 수행하므로 선박 생산 공정을 고려한 레이아웃 설계가 가능하다. 선박과 레이저보트의 유사성을 고려한다면 앞서 언급한 레이아웃 설계 방법론을 레이저보트 공장의 레이아웃을 설계할 때에도 적용할 수 있을 것으로 생각한다.

이에 본 논문에서는 일반적인 레이아웃 설계와 조선소 레이아웃 설계 과정을 기반으로 레이저보트 공장에 적용할 수 있는 레이저보트 공장 레이아웃 설계 프로세스를 도출하였다. 이는 레이저보트의 생산공정, 자재 및 서비스 흐름과 공간 요소를 정의하고 요소 간의 관계를 분석하여 레이아웃 설계를 수행, 시뮬레이션 기반 평가를 수행하는 순서를 포함하고 있다. 또한 일련의 절차는 조선소 레이아웃을 설계하는 사례 연구인 Song, et al. (2010)의 조선소 레이아웃 설계의 ARC 적용 프로세스를 포함하고 있다. Fig. 1은 일반적인 레이아웃 설계 프로세스와 레이저보트 공장 레이아웃 설계 프로세스를 비교한 내용을 포함하고 있으며, 레이아웃 요인들의 관계를 분석하는 과정이 상세하게 표현되어 있다.

3. 레이저보트공장 레이아웃 설계 및 시뮬레이션 프로세스

3.1 공장 레이아웃 설계 요소

레이저보트 공장 레이아웃 설계를 위해서는 설계 요소를 도출하는 과정이 필요하다. 본 논문에서는 레이아웃 설계 요소를 공정, 흐름, 공간을 기준으로 정의하였으며 공정 요소는 레이저보트의 표준생산공정 정보를 기반으로 도출하였다. 흐름 및 공간 요소는 레이저보트 공장의 레이아웃 사례 분석을 통해 얻어진 대표 항목들을 기준으로 표준 레이아웃 구성을 정의하였다.

공정 요소를 도출하기 위한 표준생산공정은 실제 레이저보트의 생산공정 사례 분석을 통해 정의되었으며, 표준생산공정 분석결과 레이저보트 생산관련 전문가의 자문을 통해 확정하였다. 레이저보트의 표준생산공정은 디자인/설계, 선체 제조, 의장품 조립 순서로 이루어진다. 도출하고자 하는 표준생산공정은 레이저보트 공

장의 레이아웃 요소 정의를 위한 것이므로 실제 업체들이 중소기업 규모로 설계공간을 공장에 배치하는 현실을 반영하여 디자인/설계 단계를 포함하였다. 디자인/설계 과정은 컨셉 디자인을 바탕으로 생산설계를 수행하여 생산에 필요한 도면을 작성하는 과정을 포함한다. 선체 제조과정은 목형 제조 공정을 시작으로 몰드 제조, 적층, 탈형, 커팅, 보강, 공정을 거쳐 선체를 제조하는 일련의 공정을 의미한다. 다음으로 의장품 조립과정은 선의장, 인테리어, 조립, 후의장, 그리고 도장 공정으로 이루어져 있으며 선의장 공정에서는 레이저보트의 용도와 특성에 알맞은 기관 및 추진기를 탑재하고 배선 및 배관에 관련된 작업을 수행한다. 또한 인테리어 공정에서는 레이저보트 객실 소품과 내장 소품을 탑재하고 결합 공정에서는 선체, 데크, 하우스를 결합하는 공정을 수행한다. 이후 후의장 공정에서는 주로 철의장류 제품을 탑재하고 조립한다. 본 연구에서는 위와 같은 일련의 생산공정을 레이저보트 표준생산공정이라 정의하며 레이저보트 레이아웃 공정 요소를 도출하는데 사용하였다. 레이아웃 공정 요소는 레이아웃을 설계하는 과정에서 흐름과 공간 요소를 정의하는데 기본적으로 고려하는 요소로 사용된다.

레이저보트 레이아웃 설계 요소 중 공간 요소는 레이저보트 공장의 레이아웃 설계 사례를 분석하여 상세화 한다. 공간 요소는 공간 카테고리라 레이아웃 모듈로 구성되는데 공간 카테고리는 실제 배치가 이루어지는 레이아웃 모듈을 분류하기 위한 개념으로 사용된다. 레이저보트 레이아웃 공장의 공간 요소는 가장 상위 단계에서 작업 공간, 적치 공간, 편의 공간으로 나누어진다. 작업 공간은 실제 생산 공정이 이루어지거나 연구 개발 및 사무 업무를 위한 공간을 포함한다. 적치 공간은 자재나 중간품을 적치하는 공간으로 육내 창고, 육외 창고로 세분화 된다. 마지막으로 편의 공간은 화장실, 휴게실 식당 등으로 구성되며 사용자가 원하는 목적의 추가 공간 할당이 가능하다. 공간 요소를 상세화하여 정리하면 Table 1과 같다.

Table 1 Space components classification

Components	Space components	Layout module
Work space	Small/Large ship production	Plug manufacturing
		Mold manufacturing
	Production line	Laminating
		Reinforcement
		Demolding/Cutting
		Assembling
	Outfitting/Interior production	Pre-outfitting
		Interior
		After-outfitting
		Painting
	Office	General office
		Exhibition
Research office		
Storage space	Storage	Indoor warehouse
		Outdoor warehouse
Convenience space	Convenience	Staff lounge
		Restroom
		Other conveniences

Table 2 Mapping table between space and process

Space components	Process components
Small/Large ship production	Plug manufacturing
	Mold manufacturing
Production line	Laminating
	Reinforcement
	Demolding/Cutting
	Painting
	Assembling
Outfitting/Interior production	Pre-outfitting
	Interior
	After-outfitting
Office	Conceptual styling
	Production design
Storage	-
Convenience	-

레저보트 공장에서 공정정보, 작업정보와 같은 논리적인 흐름은 레저보트의 실제 생산 흐름에 따라 형성된다. 하지만 자재나 제품 등의 물리적인 흐름은 공간을 기반으로 형성되기 때문에 공정 흐름과는 다소 차이를 보인다. 따라서 레이아웃을 구성하는 흐름 요소를 정의하기 위해서는 공정의 순서뿐만 아니라 공간 요소를 공정 요소에 대응시켜야 한다. 공정 요소와 그 공정이 수행되는 레이아웃 모듈의 대응관계를 정의하면 Table 2와 같이 나타낼 수 있다. 공간 요소간의 흐름은 이러한 대응관계와 ARC를 이용하여 정의 할 수 있다. 예를 들어 공간 요소 간 자재 흐름이나 정보 흐름은 대응되는 공정의 순서와 연관이 있으며 이를 ARC를 통해 도식화 할 수 있다. 본 연구에서는 레저보트 레이아웃 모듈

Table 3 Manpower plan sample of each process

Process components	Manpower	Type	Remarks
Conceptual styling	6	Manual	-
Production design	6	Manual	-
Plug manufacturing	3	Auto	5-axis mach.
Mold manufacturing	3	Auto	5-axis mach.
Laminating	18	Semi-Auto	6 Work Groups
Demolding/Cutting	6	Auto	-
Reinforcement	9	Manual	3 Work Groups
Pre-outfitting	18	Manual	6 Work Groups
Interior	18	Manual	6 Work Groups
Assembling	18	Manual	6 Work Groups
After-outfitting	18	Manual	6 Work Groups
Painting	6	Auto	-

Based on annual production capacity of about 300

Each Work group consists of 3 people

의 속성을 공정별 인력배원을 바탕으로 결정하며, 공정별 인력배원은 경기도 화성시에 위치한 A사의 자료를 참고로 작성되었다. A사는 소형 플레저요트, 소형 세일링요트 등을 주로 생산하는 업체로 신규 선종 생산을 위한 공장 확장을 계획하고 있다. 공정별 인력배원은 프로젝트 믹스와 연간 생산량을 바탕으로 작성된다. 따라서 사용자가 신규, 또는 개선할 레저보트 공장에 대하여 프로젝트 믹스와 연간 생산량을 기준으로 인력배원을 입력해야 한다. 인력배원 정보는 초기 레이아웃 모듈의 크기 결정에 반드시 필요한 정보이며 공정별 속성에 따라 서로 다른 모양의 레이아웃 모듈이 결정된다. Table 3은 레저보트 표준생산프로세스에 대한 인력배원 계획 사례로 이는 프로세스별 속성을 결정하기 위한 기준 정보로 활용하였다. 관련한 레이아웃 모듈 크기의 상세한 결정 과정은 다음절에서 설명하기로 하겠다.

3.2 공장 레이아웃 설계 프로세스

레저보트 공장 레이아웃 설계 프로세스는 도출된 설계 요소를 배치하는 과정이다. 레이아웃 모듈의 배치에 앞서 모듈의 크기를 결정해야 한다. 모듈의 크기는 사용자로부터 입력받은 공정별 인력배원과 생산 공정의 자동화 비율을 바탕으로 연산을 수행한다. 생산 공정은 공정별로 입력받은 자동화 비율에 따라 수동, 반자동, 자동 공정으로 나누어진다. 공정의 자동화 비율이 70% 이상인 경우는 자동공정, 30~70%이면 반자동공정, 30%이하는 수동 공정으로 정의하였다. 모듈은 정사각형 형태의 격자를 기준으로 크기 및 모양이 결정되며, 격자 한 칸의 크기는 작업자 1명이 작업을 수행하기 위하여 필요한 공간으로 가로, 세로 각각 1.9m로 정의하였다. 이는 Tompkins, et al. (1996)이 정의한 작업자가 기립한 상태에서 작업할 수 있는 영역의 최대 반경을 참고하여 결정하였다.

이를 바탕으로 레저보트의 표준생산공정을 기준으로 정의된 인력배원 및 공정 속성 등을 고려하여 모듈의 형상과 크기를 결정하였다. 자동 공정 모듈은 설비 공간을 고려하기 위하여 해당 공정에 사용되는 설비의 최대 길이와 인력배원 값을 기준으로 직사각형 형태로 생성된다. 모듈이 세로로 차지하는 격자의 칸 수는 공정에서 요구하는 설비의 최대 길이를 단위 격자의 크기인 1.9m로 나눈 값을 올림하여 결정하며, 가로로 차지하는 격자의 칸 수는 입력 받은 인력배원 값을 이용하여 결정한다. 예를 들어 사용되는 설비의 최대 길이가 5.1m이고, 인력배원 값이 5인 자동 공정 모듈의 경우 세로는 5.1m을 1.9m로 나눈 값인 2.68m를 올림하여 3칸이 되며, 가로는 5칸을 차지하는 모듈이 생성된다. 다음으로 수동 공정 모듈은 입력 받은 인력배원 값만큼 격자를 차지하도록 하였으며 인력배원 값이 완전제곱수라면 정사각형 형태로 생성을 하고, 그렇지 않으면 모자란 값만큼 가로 또는 세로 방향에서 제외하도록 하였다. 예를 들어 입력 받은 인력배원 값이 14인 수동 공정 모듈의 경우 4x4 크기의 모듈에서 우측 하단의 2칸이 제외된 14칸을 차지하는 오목다각형 형태의 모듈이 생성된다. 마지막으로 반자동 공정 모듈은 설비 공간과 설비 작동에

필요한 작업자의 수를 동시에 고려하기 위하여 자동 공정 모듈과 수동 공정 모듈 크기 결정방법을 통합하여 적용하였다. 모듈의 형상과 크기는 설비의 최대 길이와 인력배원 값을 기준으로 자동 공정과 동일한 방법을 이용하여 직사각형 형태의 모듈을 생성 한 뒤, 입력 받은 인력배원 값을 바탕으로 직사각형의 우측에 한 칸 씩 모듈을 확장 시키는 방법을 통해 결정된다. 이때 추가되는 모듈의 세로 칸 수는 기존에 생성되어 있는 직사각형의 세로 칸 수를 넘지 않도록 한다. 위 방법은 초기 레이아웃에 대한 설계가 없는 상황에서 기존 공정정보만을 바탕으로 모듈의 형상과 크기를 결정할 수 있도록 도와준다. 모듈의 형상과 크기를 결정하는 방법은 추후 세부 설비 및 공간 설계가 완료된 모듈 정보가 있을 경우에는 교체가 가능한 부분으로 모듈 배치 프로세스와 독립되어 있다.

앞서 정의한 레이아웃 모듈의 배치 순서는 공정 순서와 연계성, 작업장간의 근접성, 물류흐름, 물류량 등을 고려한 ARC를 바탕으로 결정된다. 배치 순서가 결정되면 배치 알고리즘을 적용하여 레이아웃 모듈을 배치한다. 이때 사용되는 레이아웃 모듈의 배치 알고리즘은 레이아웃 모듈 간 접하는 변의 길이, 접하는 변의 개수, 도심사이의 거리 변수를 선택적으로 고려할 수 있도록 설계하였다. 모든 변수를 고려할 경우 레이아웃 모듈 간 배치 알고리즘은 다음과 같다.

1. 레이아웃 모듈 ARC 정의
2. 레이아웃 모듈 배치 순서 결정
3. 레이아웃 모듈 기하학적 형상 결정
4. 최초 레이아웃 모듈 배치
5. 다음 레이아웃 모듈과 현재 레이아웃 모듈 간 접하는 변의 길이 계산
6. 접하는 변의 길이가 최대인 위치를 배치 가능해로 저장
7. (배치 가능해가 복수일 경우)
 - 7.A 다음 레이아웃 모듈과 현재 레이아웃 모듈 간 접하는 변의 개수 계산
 - 7.B 접하는 변의 개수가 최대인 위치를 배치 가능해로 저장
 - 7.C (배치 가능해가 복수일 경우)
 - 7.C.a 다음 레이아웃 모듈과 현재 레이아웃 모듈의 도심 간 길이 계산
 - 7.C.b 도심 간 길이가 최소인 위치를 배치 가능해로 저장
8. (배치 가능해가 유일할 경우) 다음 레이아웃 모듈 배치 확정

공장 레이아웃 결과는 설계자의 의도나 주어진 상황에 따라 다양한 해를 가질 수 있으므로 본 연구에서는 설계자의 의도에 따라 우선적으로 고려할 변수를 선택 할 수 있도록 하였다. 예를 들어 모든 변수를 순차적으로 고려할 경우 7.C.b번의 배치 가능해가 최종 배치 결과가 되며, 레이아웃 모듈 간 접하는 변의 개수와 길이만 고려한다면 7.B번의 배치 가능해가 최종 배치 결과가 된다. Fig. 2는 본 논문에서 제안하는 배치 알고리즘을 통해 순서가 정해져있는 서로 다른 세 개의 레이아웃 모듈을 레이아웃 모듈 간 접하는 변의 길이, 접하는 변의 개수, 마지막으로 도심간 거리를

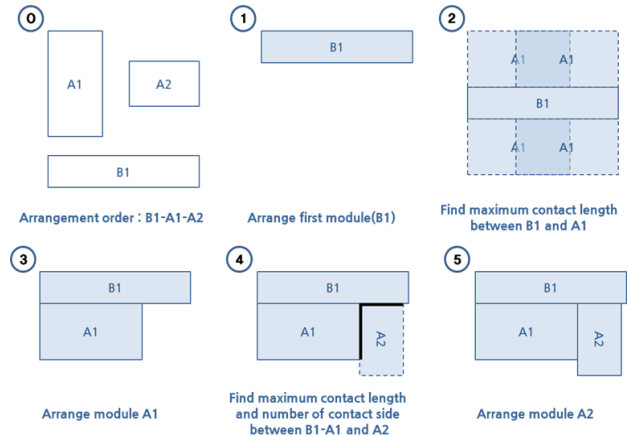


Fig. 2 Arrangement algorithm of layout module

변수로 하여 배치를 수행하는 과정을 도식화 한 것이다. Fig. 2(0)은 배치 알고리즘 2번에 따라 배치순서가 결정된 것을 나타내며 Fig. 2(1)은 배치 알고리즘 3,4번에 따라 최초로 배치될 모듈이 선정된 것을 나타낸다. Fig. 2(2)는 기존에 배치된 B1에 A1이 접할 수 있는 모든 경우를 비교 탐색하는 과정을 표현하고 있으며 Fig. 2(3)은 두 모듈의 최종 배치 결과이다. A2 모듈의 경우 기존에 배치된 모듈이 여러개이므로 배치 알고리즘 상 7번의 케이스가 적용되며 모듈 간 접하는 변의 길이와 개수를 모두 고려하여 배치가 수행된다.(Fig. 2(4)) 일련의 과정은 4장의 시스템 설명에서 실제 구현을 위한 수준으로 상세히 설명하도록 하겠다.

3.3 공장 레이아웃 시뮬레이션 모델 생성

본 논문에서는 설비계획이론을 바탕으로 레이아웃 설계 결과를 평가하며, 레이아웃 설계 결과에 따른 생산전략이나 생산량과 같은 주요 생산지표들에 대한 평가를 위해 시뮬레이션 방법론을 적용하였다. Tompkins et al. (1996)의 설비계획이론에 의하면 레이아웃 평가는 다음과 같은 순서로 이루어진다.

1. 레이아웃 시나리오에 대한 긍정적/부정적 영향 분석
2. 시나리오의 중요성을 고려하여 가중치 적용
3. 일정한 기준에 의하여 시나리오 우선순위 결정

설계된 레저보트 공장 레이아웃 평가에는 적절한 가중치의 설정이 필요하며 결정된 가중치는 레이아웃 시나리오를 평가하는데 사용된다. 현재 가중치는 공정별 생산량, 목표 제품의 산출량 등 공장의 기본적인 생산능력에 주로 할당되어 있다. 설비계획이론에 따른 레이아웃 설계는 주로 설계 목표치에 가까운 시나리오를 도출에 하는데 중점을 두고 있으며 다양한 설계 후보군을 도출하여 설계자의 의사결정에 도움을 준다. 산출된 공장 레이아웃 결과의 생산성 평가를 위해서는 대상 시스템의 라이프사이클에 대한 사전 모의 검증이 가능한 방법론인 시뮬레이션 기반 설계 (Simulation Based Design, SBD)가 적용되어야 한다. Song, et al. (2010)은 조산소 레이아웃 사례를 통해 시뮬레이션 적용사례를 연구한 바 있다. SBD를 통해 사용자는 설계된 공장의 레이아웃

아웃과 사용자의 입력정보를 바탕으로 가상의 공장을 모델링하여 실제로 셀 단위, 설비단위의 이용률, 재공/재고, 병목공정 등을 예측해볼 수 있다. 이는 몇 가지 파라미터들에 의존하여 공장의 생산 능력을 평가했던 기존의 방법과는 달리 공정 간의 영향, 투입하고자하는 제품종류에 따른 영향 등을 동적으로 고려하여 보다 정확한 결과를 얻을 수 있게 한다.

따라서 본 논문에서는 SBD를 이용한 레이아웃 설계 결과를 평가하기 위해 사용자가 설계한 레이아웃을 시뮬레이션 모델로 생성할 수 있는 기능을 포함하였다. 이를 위해서는 시뮬레이션 수행을 위한 엔진 선정이 필요하다. 공장의 생산능력을 평가하는 방법은 주로 디지털 매뉴팩처링 분야에서 연구되어 왔으며 Dassault Systemes社의 DELMIA QUEST나 Siemens社의 Plant Simulation 등의 솔루션이 주로 적용되어 왔다. 이 솔루션들은 3D CAD 시장의 선두업체에서 제공된다는 공통점이 있으며 기본적으로 이산사건 시스템을 다룰 수 있는 엔진을 포함하고 주요 산업군별 모델 라이브러리를 제공하고 있다. 본 연구에서는 두 솔루션 중 외부 확장 및 제어기능을 제공하는 DELMIA QUEST를 선정하여 시뮬레이션 엔진으로 사용하였다. Fig. 3은 레이아웃 결과를 QUEST를 이용해 시뮬레이션 모델링하는 절차를 표현한 것으로 생성(Create), 읽기(Read), 설정(Set), 연결(Connect), 실행(Run)으로 그룹화하여 정리하였다. 시뮬레이션 모델링 순서는 모델러에 따라 그 절차가 상이하지만 반드시 필요한 단계만을 도출하여 공장 레이아웃 시뮬레이션 프로세스를 정의해 보았다.

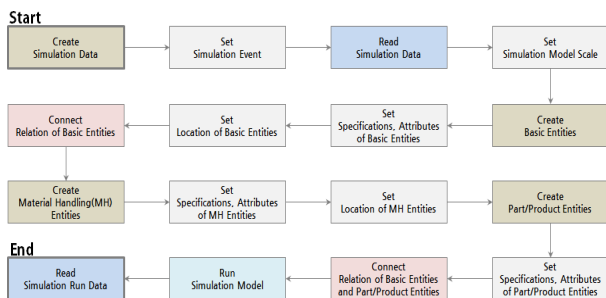


Fig. 3 Simulation modeling process using external data

레이아웃 시스템에는 위 과정을 기준으로 정의된 모델 생성을 위한 스크립트 형식이 사전 정의되어 있으며 사용자는 이를 통해 QUEST의 스크립트 명령처리기능이나 별도의 제어 소프트웨어를 사용해 손쉽게 모델링 가능하다. 실제 레이아웃 결과의 시뮬레이션 모델링을 위해서는 앞서 정의한 프로세스와 함께 레이아웃 설계 시스템과 시뮬레이션 솔루션간의 명령체계(Command sequence)의 분석이 필요하다. 스크립트의 구조는 사전에 시뮬레이션 솔루션에 의해 정의되어 있는 부분이지만 모델의 정보를 구성하기 위한 정보는 사용자가 정의하여야 하는 항목이다. Table 4는 레이아웃 설계 결과를 솔루션에 전달하는 절차에 따라 입력하여야 하는 속성을 분류한 것으로 시뮬레이션 모델로 전달하여야 하는 자료(To Simulation)와 시뮬레이션 모델에서 받아와야 하는 자료(From Simulation) 구분된다. 일련의 시뮬레이션 모델링 명령

Table 4 Command procedure list for simulation modeling

Command (Case:QUEST)	Type	Data Requirement	
Solution execution	To S.	-	
Model library creation	To S.	Local model library path	
Model creation	To S.	Local model file name	
Init logic download	To S.	Local logic file name	
Init logic selection	To S.	Local logic file name	
Part class creation	To S.	Part class name	
Process creation	To S.	Process name Part requirements Part productions Cycle time	
Model environment setting	To S.	-	
Resource creation	Source	To S.	Resource name Location point Part inter arrival time Part productions Part lot size Part mix
	Machine	To S.	Resource name Location point Process Mapping
	Buffer	To S.	Resource name Location point Part Capacity
	Sink	To S.	Resource name Location point
Connection between elements	To S.	Input element name Output element name	
Simulation environment	From S.	Model basic information Model summary report	
Resource result	From S.	Each resource result	
Part result	From S.	Min/Avg/Max residence time Created part count Destroyed part count Part count in system	
Process result	From S.	Related element name Execution count Avg cycle time Avg Processing time Avg Requirement waiting time Abort count Rejection count Pause count	

절차는 실제 시뮬레이션 모델 사례를 바탕으로 분석한 목록으로 시뮬레이션 솔루션으로 입력되는 메시지와 출력되는 메시지를 분석한 내용이다.

이처럼 시뮬레이션 모델링 작업을 위해서는 레이아웃 정보를 시뮬레이션 모델에서 요구하는 정보로 변환하는 작업이 요구되며 시뮬레이션 모델링 명령절차에 따라 필요한 정보의 규격을 정의하는 것이 중요하다. 하지만 일반적으로 시뮬레이션 모델은 그

내용의 차이에 따라 반복적인 모델링 작업이 빈번하게 수행되기 때문에 시나리오에 따라 다양한 비교분석을 요구하는 레이아웃 설계 작업의 경우 재모델링 시간이 많이 소요될 수밖에 없다. 따라서 시뮬레이션 솔루션의 인터페이스 기능을 이용한다면 사용자는 본 시뮬레이션 모델 생성 방안 및 지원기능을 바탕으로 평가 시뮬레이션 모델링에 소요되는 공수를 크게 줄 일수 있을 것으로 기대된다.

4. 레저보트공장 레이아웃 시스템

4.1 시스템 설계

본 연구에서 개발하는 시스템은 사용자가 입력한 레저보트 공장의 각종 생산 정보를 바탕으로 레저보트 공장의 레이아웃을 자동으로 생성하고, 생성된 레이아웃을 다양한 측면에서 평가하는 것을 목적으로 한다. 이 시스템은 RIA(Rich Internet Application)의 일종인 Silverlight4 플랫폼을 기반으로 개발하였다. Silverlight 플랫폼은 마이크로소프트사에서 제공하는 기술로 기존 닷넷 프레임워크에서 구현 가능한 다양한 기능과 알고리즘을 다중 브라우저 및 플랫폼에서 제공하기 위한 환경이며, 웹기반으로 운영된다. 레저보트공장 레이아웃 시스템은 웹기반 개발환경의 장점을 적극 활용하여 현재 널리 사용되는 다양한 인터넷 스토리지 서비스, 클라우드 서비스, SNS 등과의 연계를 지원하고자 하였다. 현재 데이터 입출력을 위해 클라우드 서비스의 일종인 Evernote API를 이용한 기능의 테스트 및 구현이 완료된 상태이며 향후 다양한 서비스와의 연계를 고려하고 있다. Fig. 4는 RIA 구축을 위한 레저보트 레이아웃 설계 시스템 구성도로써 애플리케이션 서버는 데이터 관리를 위한 웹서비스와 Silverlight 기반의 레이아웃 애플리케이션, 애플리케이션 배포 서비스를 함께 포함하고 있다. 레이아웃 설계 애플리케이션은 크게 사용자가 입력한 생산 정보를 관리 하는 기능과 입력된 생산 정보를 바탕으로 공장의 레이아웃을 설계하는 기능이 필요하며 시스템의 활용도를

향상시키기 위하여 레이아웃 결과를 평가하는 기능과 결과 보고서를 다양한 형식으로 생성하고 배포하는 기능이 요구된다. 레이아웃 시스템의 요구사항을 바탕으로 도출한 기능은 Table 5와 같이 3가지 메인함수로 분류가능하다. 본 시스템에 있어서 가장 중요한 기능은 Layout Manager 부분으로 레이아웃 설계 프로세스에서 고려하지 않는 모듈 배치 알고리즘이 포함되어 있다. 본 논문에서는 직각 다각형으로 정의된 레이아웃 모듈 형상을 겹침 없이 배치 할 수 있는 알고리즘을 연구하였다. 이는 시스템 내에서 다각형 모듈간의 겹침을 체크하기 위한 방안과 모듈의 배치 위치 결정을 위한 내용이 포함되어 있다. 기존 공개된 배치 알고리즘은 대부분 단순 사각형만을 고려하고 있어 직각 다각형을 고려할 수 있는 알고리즘의 구현이 요구되었다. 상세한 알고리즘은 다음 절을 통해 설명하겠다.

Table 5 Structure of the application components

Main function	Components
Data Manager	TXT/CSV data read/write class
	Web data read/write class
	Process basic data class
	Process relation data class
Layout Manager	Layout module data class
	Layout module(LM) controller
	LM geometry controller
	LM arrangement order controller
Web/RIA Manager	Layout visualization class
	Async busy indicator class
	Browser view class
	Dataform/Datagrid binding class
	Data export class

4.2 모듈 배치 알고리즘

레저보트 공장 레이아웃 설계 시스템(이하 레이아웃 시스템)은 사용자로부터 입력 받은 공정별 특성을 바탕으로 레이아웃 모듈의 기하학적 형상을 자동으로 생성한다. 그리고 레이아웃 모듈의 배치를 위하여 공정별 관계도를 사용자로부터 입력받고, 그 자료를 바탕으로 레이아웃 모듈의 배치 순서를 결정한다. 배치 순서와 기하학적 형상이 결정된 레이아웃 모듈은 앞서 정의한 기본 배치 알고리즘에 의하여 배치되고 마지막으로 레이아웃 모듈의 배치 결과는 사용자의 편의성을 위하여 격자 형태의 화면에 출력된다. 이때 각각의 레이아웃 모듈은 사용자로부터 입력받은 특성 값인 인력배원 값과 자동화율을 비롯하여 레이아웃 모듈 배치 연산에 필요한 모듈의 도심좌표, 절대좌표, 상대좌표, 공정 순서, 넓이 등을 클래스 형태로 저장하고 있으며, 모듈의 기하학적 형상은 꼭짓점의 좌표를 저장하는 방식으로 정의된다. 각각의 꼭짓

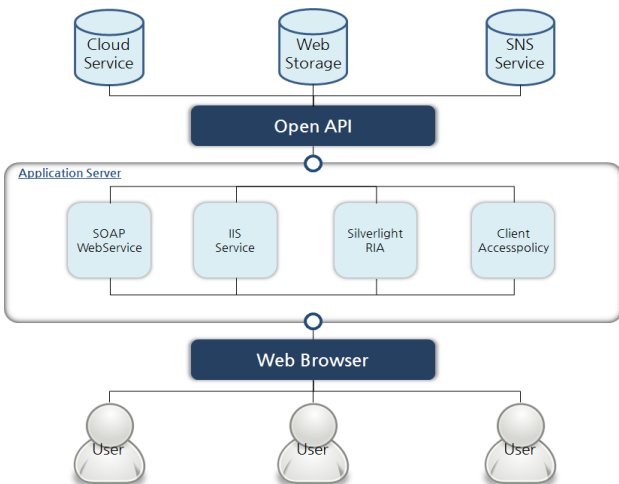


Fig. 4 System structure using RIA-Silverlight

점 좌표는 레이아웃 모듈 내 정의된 특정 점을 기준점으로 하여 상대좌표로 임시 저장하고 모듈이 배치될 위치가 확정되면 기준점의 좌표가 결정되며 나머지 점은 기준점에 상대좌표를 더하는 방식으로 계산이 이루어진다. 레이아웃 모듈의 배치 알고리즘은 첫 번째 모듈을 화면 중앙에 배치하는 것으로 시작된다. 모듈이 배치되는 위치가 확정되면 모듈의 점유정보를 저장하는 bool 형식의 2차원 배열 변수를 갱신한다. 이 변수는 기존의 배치된 위치에 새로운 모듈이 배치되지 않도록 판단하는데 사용된다. 두 번째 모듈부터는 반복계산을 통해 배치할 위치를 결정한다. 특정 모듈이 배치될 수 있는 후보 위치는 기존 모듈의 꼭짓점과 현재 모듈의 꼭짓점이 일치하고, 현재 모듈이 90도씩 회전하는 4가지 경우를 고려하여 총 [기존 모듈의 꼭짓점 개수 × 현재 모듈의 꼭짓점 개수 × 4]가지의 경우로 구성된다. 모든 경우에 대하여 기존 모듈의

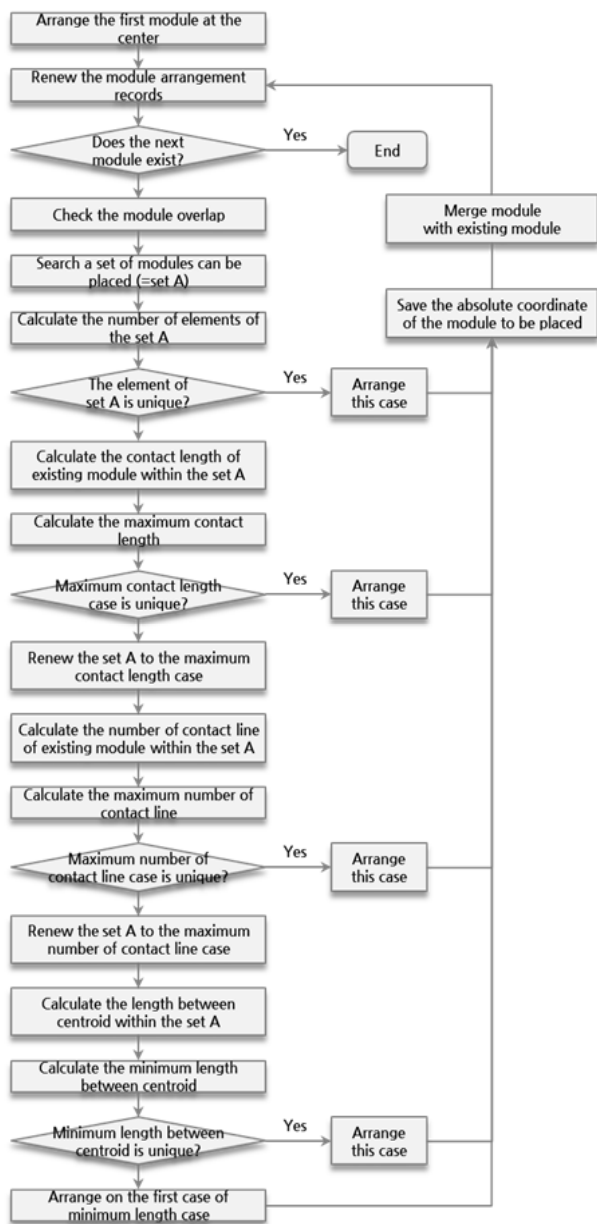


Fig. 5 Layout module arrangement algorithm

점유정보와 배치 후보 위치의 점유정보를 비교하여 실제로 배치가 가능한 배치 가능 후보 집합을 선정한다. 이때 배치 가능 후보 집합의 원소가 유일하면 해당 위치에 배치를 확정 하고, 유일하지 않으면 기존 모듈과 접하는 변의 길이가 최대인 위치, 기존 모듈과 접하는 변의 개수가 최대인 위치, 마지막으로 기존 모듈의 도심과 현재 모듈의 도심간 거리가 최소인 위치를 순서대로 고려하여 최종적으로 현재 모듈이 배치될 위치를 확정한다. 배치될 위치가 확정된 모듈은 최종 레이아웃 결과의 밀집도를 향상시키기 위하여 기존의 배치된 모듈과 병합한다. 이후에 배치되는 모듈은 병합된 모듈을 기준으로 위의 알고리즘을 반복하여 배치될 위치를 확정한다. 모든 모듈의 배치가 완료되면 배치 결과를 가시화한다. 보다 상세한 알고리즘은 Fig. 5를 통해 표현하였다.

일련의 알고리즘이 실행되기 위해서는 크게 4가지의 세부 기능이 필요하다. 모듈 간 간섭 체크, 접하는 변의 길이 체크, 접하는 변의 개수 체크, 모듈 간 병합 체크가 그것이며 상세한 설명은 다음 Fig. 6, Fig. 7과 같다. 이때 새로운 모듈을 기존의 모듈과 겹쳐서 배치되지 않도록 배치 후보 위치를 탐색하는 과정에서 모듈 간 간섭 체크 알고리즘이 사용된다. 앞서 언급한 bool 형식의 2차원 배열에는 기존에 배치된 도형의 점유 정보가 격자를 기준으로 저장되어 있다.(Fig. 6(a)) 새롭게 배치되는 모듈의 후보 위치에 대하여 동일한 크기의 2차원 배열을 임시로 생성하고 격자를 기준으로 점유 정보를 저장한다.(Fig. 6(b)) 기존의 점유 정보와 임시로 저장된 점유 정보를 비교하여 동일한 위치에 점유된 격자가 하나라도 탐색이 되면 배치 후보 위치에서 제외하는 방법으로 모듈의 겹침 여부를 판단한다.(Fig. 6(c))배치 후보 위치를 필터링하는 과정에서 기존의 모듈과 접하는 변의 길이를 판단하는 알고리즘은 모듈의 겹침 여부를 판단할 때 사용한 bool 형식의 2차원 배열 변수를 바탕으로 계산한다.(Fig. 6(d)) 기존에 배치된 모듈의 점유 정보와 새롭게 배치하려고 하는 모듈의 점유 정보가 저장되어 있는 2차원 배열에서 새롭게 배치하려고 하는 모듈의 각 셀의 위치에서 상하좌우로 기존에 배치된 모듈의 점유 정보가 존재하는지를 탐색한다. 만약 기존에 배치된 모듈의 점유 정보가 존재한다면, 그 횟수만큼 기존 모듈과 현재 배치하려고

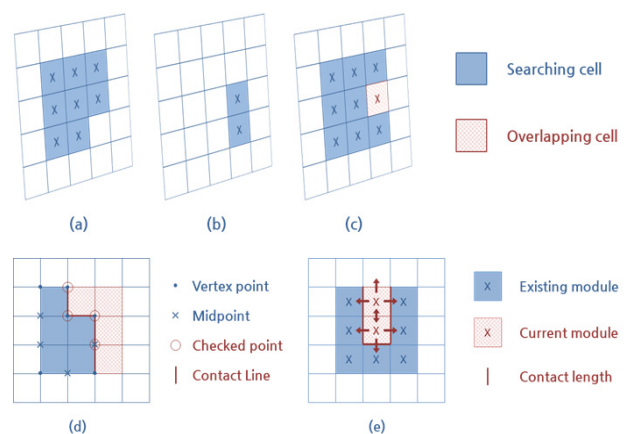


Fig. 6 Layout module cross check algorithm

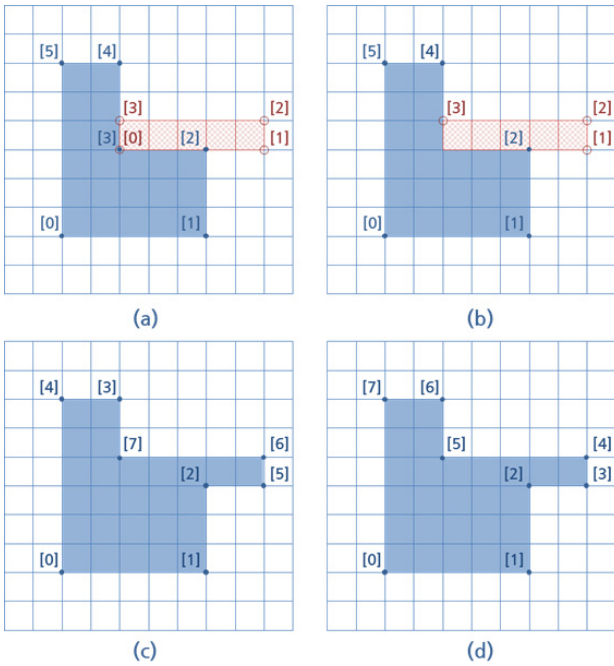


Fig. 7 Layout module binding algorithm

하는 모듈의 변이 접하는 것으로 판단 할 수 있다. 이러한 알고리즘으로 접하는 변의 횟수를 계산하고 격자의 단위길이를 곱해 최종적으로 접하는 변의 길이를 계산한다.

다음으로 배치 후보 위치에서 기존의 배치된 모듈과 새롭게 배치할 모듈의 접하는 변의 개수를 판단하는 알고리즘은 기존에 배치된 모듈의 각 변에 위치한 꼭짓점을 포함한 내부점과 새롭게 배치될 도형의 각 변에 위치한 내부점의 중복 여부를 탐색하여 접하는 변의 개수를 계산한다.(Fig. 6(e)) 이를 위하여 먼저 기존에 배치된 모듈의 각 변에 대하여 격자와 만나는 내부점을 계산한다. 모듈은 격자를 기준으로 정의되고 배치되기 때문에 내부점은 항상 격자점 위에 위치한다. 그리고 새롭게 배치되는 모듈의 각 변에 위치한 내부점을 계산한다. 이 내부점이 기존에 배치된 모듈의 꼭짓점이나 내부점과 동일한 점일 경우 내부점이 속한 변은 기존에 배치된 모듈과 접하는 변으로 간주한다. 만약 새롭게 배치되는 모듈의 변이 내부점 없이 꼭짓점 2개로만 이루어진 경우 2개의 점 모두 기존에 배치된 모듈의 꼭짓점이나 내부점에 동일한 점이 있을 경우에만 기존에 배치된 모듈과 접하는 변으로 계산한다. 이러한 과정을 새롭게 배치되는 모듈의 모든 변에 대하여 반복하고 접하는 변의 개수를 계산한다.

마지막으로 앞서 언급한 내용과 같이 레이아웃 결과의 밀집도를 향상시키기 위하여 배치 위치가 확정된 모듈에 대해서는 기존의 모듈과 병합을 하게 되는데, 먼저 병합할 두 모듈의 꼭짓점을 하나의 변수로 합쳐서 저장한다.(Fig. 7) 이때 동일한 점이 존재하게 되는데 이 점을 삭제하면 병합된 모듈을 구성하는 꼭짓점을 찾아낼 수 있다. 하지만 이렇게 구성된 꼭짓점은 반시계 또는 시계 방향으로 방향이 정해지지 않은 점들의 집합이기 때문에 모듈을 구성할 수 없다. 따라서 점들의 집합을 일정한 방향으로 정렬하는 과정이 필요하다. 이 과정은 특정한 기준점을 시작으로 좌

표의 x값이 같은 점과 y값이 같은 점을 번갈아가며 탐색하는 방법으로 구현하였다. 동일한 좌표가 여러 개가 나오는 경우 동일한 진행방향에서 가장 가까운 점을 탐색하도록 한다. 일반적으로 레이아웃 결과는 제한된 공간에 최대한 많은 모듈을 배치하는 것이 우수한 배치 결과라 할 수 있다. 하지만 본 연구에서는 공간이 제한되어 있지 않아 레이아웃 결과의 우수성을 판단하기 쉽지 않다. 레이아웃 결과의 우수성과 어떠한 항목을 고려하여 모듈을 배치하는 것이 합리적인지를 판단하기 위하여, 배치 가능한 후보 집합이 유일하지 않은 경우 필터링 하는 방법의 우선순위를 변경 시켜가며 배치 결과의 밀집도 변화를 계산하였다. 배치 결과의 밀집도는 외곽 직사각형의 넓이, 배치가 진행되며 변경되는 병합된 모듈의 도심 누적 이동거리, 그리고 최종 배치 결과의 둘레의 길이를 고려하여 판단하였다.

4.3 시스템 구현 및 테스트

다음은 앞서 정의된 기능들에 대한 구현 결과이다. Fig. 8은 웹브라우저에서 실행한 애플리케이션 실행화면으로 국내에서 가장 널리 사용되는 인터넷 익스플로러 9를 통해 구동 테스트를 수행하였다. 본 논문에서 개발한 레이아웃 시스템은 웹 기반의 애플리케이션으로써 크롬이나 파이어폭스, 사파리 등 다양한 브라우저에서 모두 구동이 가능하다. 이 화면에서는 읽은 프로세스 정보를 바탕으로 데이터폼으로 수정 후 레이아웃 모듈을 레이아웃 그리드 캔버스에 표시하게 된다. 레이아웃 모듈의 가시화는 기본적으로 그리드의 크기에 맞추어 수행되지만 사용자의 구동환경(웹 브라우저 종류, 화면 해상도 등)에 따라 변화하는 애플리케이션 환경에 맞추어 확대 또는 축소가 가능하도록 하였다. 본 시스템에서는 크게 연계성, 근접성, 물류량 관계도에 대한 입력을 지원하며 이는 레이아웃 모듈 생성을 위해 입력된 파일이나 웹데이터 정보를 기반으로 동적으로 입력창을 표시할 수 있도록 구현하였다. 공정정보는 데이터폼을 통해 손쉽게 수정가능하며 전체 정보는 데이터그리드를 통해 확인가능하다. Fig. 9는 관계도 입력을 위한 테이블 인터페이스로 0-9까지의 입력 값에 대한 데이터 오류 검증 기능을 포함하고 있다. 구현한 시스템의 품질확인을 위해 우선 샘플 데이터 적용을 통한 테스트를 수행하였다.

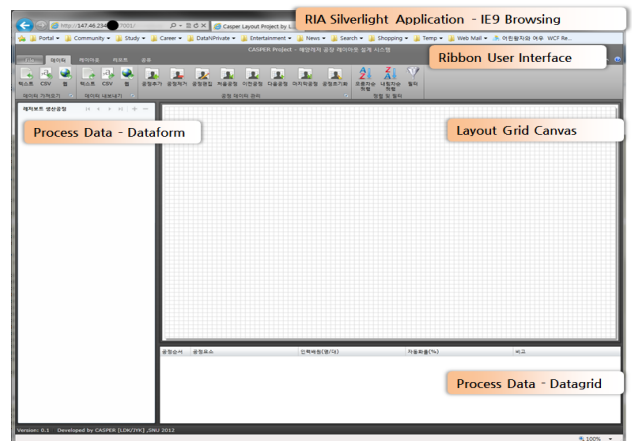


Fig. 8 User interface of the application

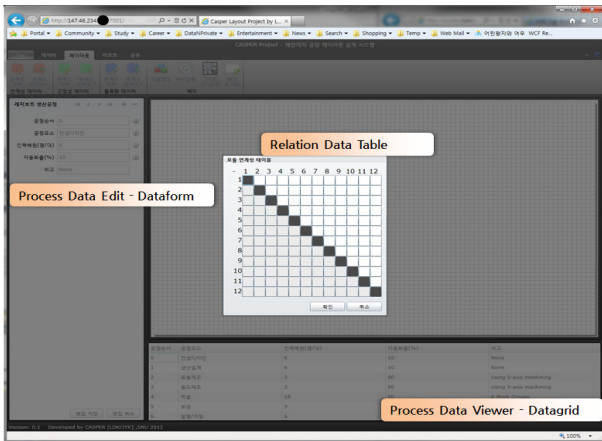


Fig. 9 Relation data window of the application

모듈의 기하학적 형상을 생성하는 입력정보는 임의로 생성하였으며, 우선순위의 합리성을 평가하기 위한 과정이므로 모듈간의 연계성은 모두 동일하다는 가정 하에 계산을 수행하였다. Table 6의 레이아웃 모듈별 계산 결과를 살펴보면, 외곽사각형의 넓이는 접하는 변의 길이를 우선적으로 고려하였을 때 더 작게 나오는 경향을 보였으며, 도심 누적 이동거리는 모든 경우에서 접하는 변의 길이를 먼저 고려하였을 때 더 작은 값이 계산되었다. 병합한 모듈의 둘레의 길이 또한 대체적으로 접하는 변의 길이를 먼저 고려한 경우에 더 작은 값을 보였다. Table 7은 배치 알고리즘의 모듈 배치 순서를 결정하기 위해 실험한 결과를 정리한 것이다. 이를 살펴보면 모듈의 크기가 균일한 경우 비슷한 결과를 보이지만, 그렇지 않은 경우에는 접하는 변의 길이를 우선적으로 고려한 사례 B가 보다 합리적인 결과를 보여주는 것을 확인할 수 있다. 이를 종합하여 살펴보면 배치 후보 위치가 유일하지 않을 때 기존 모듈과 접하는 변의 개수보다 접하는 변의 길이를 우선적으로 고려하여 배치하는 것이 레이아웃의 밀집도를

Table 6 Test result of the arrangement algorithm(1)

Evaluation factors	Area of bounding box		Sum of distances between centroid		Perimeter of merged module	
	A	B	A	B	A	B
(a)	9000	12100	49.365	46.591	400	560
(b)	7000	6400	33.877	30.49	380	320
(c)	30600	30800	96.454	80.128	700	740
(d)	29700	20000	73.938	40.618	840	620
(e)	24300	16200	70.730	52.440	720	600
(f)	12000	10400	50.285	46.849	440	420

A : # of CS - L of CS - L between centroid
 B : L of CS - # of CS - L between centroid
 CS : Contact sides

Table 7 Test result of the arrangement algorithm(2)

Results of the arrangement algorithm (Left - A, Right - B)	
(a)	
(b)	
(c)	
(d)	
(e)	
(f)	

A : # of CS - L of CS - L between centroid
 B : L of CS - # of CS - L between centroid
 CS : Contact sides

Table 8 Relationship data between each processes

	1 Conceptual styling	2 Production design	3 Plug manufacturing	4 Mold manufacturing	5 Laminating	6 Demolding/Cutting	7 Reinforcement	8 Pre-outfitting	9 Interior	10 Assembling	11 After-outfitting	12 Painting
1	-	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	9	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	-	9	7	7	7	3	3	3	3	1
4	0	0	9	-	9	7	7	3	3	3	3	1
5	0	0	7	9	-	9	7	3	3	3	3	1
6	0	0	7	7	9	-	9	3	3	3	3	1
7	0	0	7	7	7	9	-	9	3	3	3	1
8	0	0	3	3	3	3	9	-	9	7	7	3
9	0	0	3	3	3	3	3	9	-	9	7	3
10	0	0	3	3	3	3	3	7	9	-	9	3
11	0	0	3	3	3	3	3	7	7	9	-	9
12	0	0	1	1	1	1	1	3	3	3	9	-

0: No relation / 1: Very low correlation / 3: Low correlation / 5: General relation / 7: Close correlation / 9: Before and after process

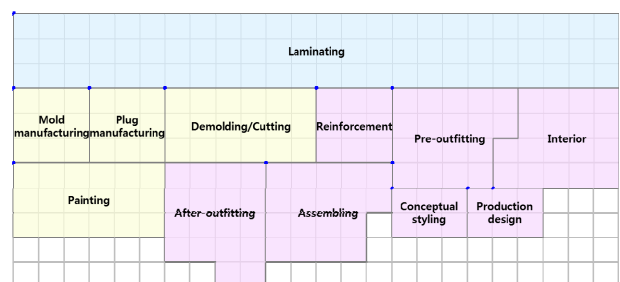


Fig. 10 Sample of leisure-boat factory layout design

향상시킨다는 것을 의미한다. 따라서 본 연구에서는 최종적으로 배치를 수행할 때 기존 모듈과 접하는 변의 길이, 기존 모듈과 접하는 변의 개수, 그리고 기존 모듈의 도심과 현재 모듈의 도심간 거리를 순차적으로 고려하여 배치를 수행하였다. 이를 통해 구현된 시스템 자체의 오류가 없음을 확인하였고 시스템 검증을 위하여 3.2절에서 작성한 해양레이저보트 제작 업체 A사의 자료를 바탕으로 사례를 적용하였다. 레이아웃을 설계하기 위해서는 공정순서, 공정이름, 인력배원, 공정의 자동화율과 같은 공정정보와 공정간 연계성 관계도, 근접성 관계도, 물류량 관계도와 같은 관계도 데이터가 입력자료로 필요하다. 공정순서를 비롯한 기본 입력 정보는 A사의 자료를 참고 하였고, 연계성 관계도는 공정순서 및 전문가의 인터뷰를 통하여 Table 8과 같이 정의하여 사용하였다. 근접성 관계도와 물류량 데이터는 자료가 부족한 관계로 모두 동일한 관계를 가지고 있다고 가정하였다. 정의한 입력 자료를 바탕으로 레이저보트공장 레이아웃 설계 애플리케이션을 이용하여 레이저보트 공장 레이아웃 초안을 Fig. 10과 같이 도출하였다. 레이저보트의 선각을 제작하는 적층공정이 가장 큰 넓이를 차지하는 것을 확인 할 수 있으며 나머지 공정들은 적층 공정을 기준으로 관계도 값이 높은 순서로 배치된 것을 확인 할 수 있다. 컨셉 디자인이 이루어지는 레이아웃 모듈과 생산설계가 이루어지는 레이아웃 모듈은 실제 레이저보트가 생산되는 공정과는 관계가 없기 때문에 가장 바깥쪽에 배치된 것을 확인 할 수 있다. 본 사례를 통해 레이저보트 공장을 새롭게 만들거나 기존의 레이아웃을 교체하려는 레이저보트 공장에 대하여 간단한 입력자료 만으로도 합리적인 레이아웃 초안을 설계 가능함을 확인하였다.

5. 결론

본 논문에서는 레이저보트 공장 레이아웃 설계를 위한 방법을 도출하고 이를 위한 알고리즘 구현 및 시스템 개발을 수행하였다. 제안하는 연구 내용은 구체적인 정보 없이 생산하고자 하는 목표 제품과 이에 따른 대략적인 공정 운영안 등의 데이터만으로 공장의 레이아웃을 설계하는 케이스를 대상으로 하고 있다. 레이아웃 설계자는 기존의 레이아웃 설계 방법을 적용하지 않고 본 연구결과를 통해 ARC와 같이 전용 소프트웨어가 요구되는 절차를 별도의 비용과 노력 없이 적용할 수 있다. 또한 모듈의 형상과 크기 생성 방안을 정립함으로써 시스템 사용자는 기본 개념설계가 완료되지 않은 수준의 정보만으로도 다양한 케이스 도출이 가능하며 보다 효과적인 레이아웃 설계를 수행할 수 있을 것으로 기대된다. 마지막으로 본 논문에서 개발한 레이아웃 시스템은 최신의 웹 기반 플랫폼을 사용한 애플리케이션으로 개발하였고, 클라우드 서비스와 같은 웹서비스 기술을 바탕으로 개발함으로써 스마트 시대에 걸맞은 사용자의 편의성과 접근성을 확보하고자 하였다. 실제 레이저보트 생산업체들이 높은 비용이 부담스러워 레이아웃에 대한 투자를 하지 않는 현실을 고려한다면 기존의 성공적인 레이아웃 방법론들을 고려한 본 시스템의 개발 결과는 레이저보트 공장설계 분야 연구에 기여할 수 있을 것으로 생각한다.

향후 시스템을 배포하여 다양한 사례를 적용할 예정이며 웹 애플리케이션 플랫폼의 장점을 적극 활용하여 누구나 접근할 수 있는 웹 사이트를 통해 서비스할 예정이다. 이렇게 축적된 데이터는 레이저보트 공장 레이아웃을 위한 보다 효율적이고 독창적인 프로세스를 개발할 수 있는 밑거름이 될 것으로 기대하는 바이다.

후 기

본 연구는 지식경제부 산업원천기술개발사업 “20ft~40ft급 세일요트 엔지니어링 통합관리 및 핵심부품 생산 기술 개발”과제 (과제번호:10039986)와 동남광역경제권선도산업지원단의 동남광역경제권 선도산업 R&D 사업 “소형 선박용 친환경 전기추진 파워트레인 개발”과제 (과제번호:A004600319) 지원을 받아 수행하였습니다.

참 고 문 헌

- Armour, J.M. & Buffa, E.S., 1963. A Heuristic Algorithm and Simulation Approach to Relative Allocation of Facilities. *Management Science*, 9(2), pp.294-309.
- Deming, W.E., 1950. *Elementary Principles of the Statistical Control of Quality*. Japanese Union of Scientists and Engineers.
- Seehof, J.M. & Evans, W.O., 1967. Automated Layout Design Program. *The Journal of Industrial Engineering*, 18(12), pp.690-695.
- Song, Y.J. Lee, D.K. Woo, J.H. & Shin, J.G., 2010. System Development and Applications of a Shipyard Layout Design Framework. *Journal of Ship Production and Design*, 26(2), pp.144-154.
- Tompkins, J.A. et al., 1996. *Facilities Planning*. New York: Wiley.
- Tompkins, J.A. & R. Reed, Jr., 1976. An Applied Model for the Facilities Design Problem. *International Journal of Production Research*, 14(5), pp.583-595.



이 동 건

정 용 국

신 종 계