

# 공리적 설계를 통한 조선 산업에서의 블록 물류 운영 시스템 설계

## Design of a Block Logistics Operating System in Shipbuilding Industry Based on Axiomatic Design

손정열(Jung-Ryoul Son)\*, 하병현(Byung-Hyun Ha)\*\*

### 초 록

본 연구에서는 공리적 설계 방법론을 기반으로 조선소의 블록 물류 운영 시스템을 효과적으로 설계하는 방법을 다룬다. 체계적인 설계를 위하여 블록 물류 운영 시스템의 독립적인 기능 요구를 정의하고 이를 만족시키는 설계 파라미터를 정의한다. 그리고 기능 요구들과 설계 파라미터들 사이의 상관관계를 고려하여 구현 순서를 결정한다. 설계 결과는 IDEF0 모델링을 이용하여 제시하였다. 설계된 시스템은 국내 한 조선소에서 구현되었으며, 현장에 적용되고 있는 사례를 분석하여 함의를 도출한다.

### ABSTRACT

We deal with the design of the effective block logistics operating system in shipyard. The block logistics operation is one of the critical managerial problems in shipbuilding. The block logistics operation in shipyard consists of storage operation for temporary storage in the limited storage area and transfer equipment operation of blocks from the given storage area to next process according to the block production schedule. We propose a design method of block logistics operating system based on the axiomatic design and IDEF0 method. As a result of axiomatic design, system functions are determined regarding implementation sequence. We validated the proposed design by implementation of a block logistics operating system for a large scale shipyard.

**키워드** : 조선 산업, 블록 물류, 운영 시스템, 공리적 설계  
Shipbuilding, Block Logistics, Axiomatic Design, IDEF0

---

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

\* DSME R&D Institute, Daewoo Shipbuilding and Marine Engineering(jlson@dsme.co.kr)

\*\* Corresponding Author, Pusan National University Street No. 63(Jangjeon-dong 2), Geumjeong-gu, Busan, Republic of Korea(bhha@pusan.ac.kr)

2014년 03월 14일 접수, 2014년 03월 31일 심사완료 후 2014년 04월 03일 게재확정.

## 1. 서 론

선박 및 해양플랜트는 거대한 크기와 무게로 인하여 블록 분할 공법을 이용하여 건조되고 있다. 블록 분할 공법은 블록을 생산설비나 중장비로 다룰 수 있는 크기와 무게로 분할하여 생산하는 공법이다. 분할된 블록은 선각 공정, 의장 공정, 도장 공정, 탑재 공정을 거쳐 거대한 최종 형태로 완성된다. 하나의 공정은 여러 공장들을 통해 다수의 블록을 동시에 생산하여 생산기간을 단축시켜 왔다. 이를 통하여 조선 산업은 지속적으로 경쟁력을 확보해 오고 있다.

해양플랜트의 수요가 증가하면서 조선소는 기존의 선박 건조를 위한 생산설비를 공유하여 해양플랜트를 생산한다. 블록 분할 공법에 의하여 나누어진 블록은 선박 또는 해양플랜트의 종류와 탑재되는 위치에 따라 다양한 작업량과 난이도를 가진다. 이로 인하여 선행 블록과 후행 블록은 서로 다른 생산 시간을 가지게 된다. 각각의 공장은 생산되는 블록들의 생산 시간 편차 때문에 선행 블록의 생산 동기화가 어렵기 때문에 이를 극복하기 위하여 불가피하게 각 공장은 재공 블록을 보유하게 된다. 재공 블록은 생산 계획에 따라 일정기간 적치장에 보관하여, 여러 공장의 요청에 의하여 공급하게 된다. 이 과정에서 공장과 적치장 사이의 복잡한 물류 문제가 발생하게 된다.

블록 생산 과정에서 기상변화, 자재의 입고 지연, 설비의 고장 등으로 인해 생산 일정이 빈번하게 변화한다. 또한 블록은 공장으로 공급되고 적치장에 적치되는 과정에서 한정된 자원으로 인하여 필요한 시점에 공급되지 못

하게 되는 경우가 발생한다. 블록의 공급지연은 생산 공정의 지연으로 이어져 조선소의 생산성을 저하시키는 원인 가운데 하나가 된다. 따라서 블록을 효율적으로 적치하고 공급하는 것은 중요한 경영문제들 가운데 하나가 되었다. 생산 공정들 사이에서 발생하는 재공 블록은 사전에 정의한 전용 적치장에 적치되고, 공정의 요청으로 공급된다. 재공 블록을 후행 공정이나 적치장으로 옮기는 행위를 이송 작업이라 하고, 이때 이송되는 재공 블록을 이송 블록이라 한다. 이송 블록은 크기와 중량의 제약으로 인하여 전문화된 이송 장비에 의해서만 이동된다. 재공 블록은 생산 동기화를 위하여 각 공장에서 요청한 시간 이내에 반드시 공급되어야 한다. 이를 위하여 한정된 자원인 적치장과 이송 장비의 효율적인 운영이 필요하다. 블록 물류 시스템의 목적은 공정과 공정 사이에서 발생하는 재공 블록을 적치장에 적치하고, 블록 생산 계획에서 정해진 공장으로 공급하는 것이다. 이를 위하여 필요한 정보를 바탕으로 운영을 계획하고, 실행된 결과를 수집하는 것을 블록 물류 운영 시스템이라 한다.

본 연구에서는 공리적 설계(Axiomatic Design)[22]를 기반으로 조선 산업의 블록 물류 운영 시스템을 체계적으로 설계한다. 이를 위하여 블록 물류 운영 시스템의 독립적인 기능 요구를 정의하고 이를 만족시키는 설계 파라미터를 정의한다. 기능 요구들과 설계 파라미터들 사이의 상관관계를 고려하여 구현 순서를 결정한다. 설계 결과를 IDEF0 모델링을 이용하여 표현하였다. 또한 설계된 시스템을 구현하여 현장에 적용되고 있는 사례를 분석하여 함의를 도출한다.

블록 물류 운영 시스템의 기능들은 복잡한 생산 공정과 다양한 생산 조건을 지원하기 위해서 서로 연관되어 있다. 공리적 설계를 통하여 기능들이 독립성을 가지도록 설계하여 해결하기 어려운 기능들 사이의 연관성은 제거될 수 있다. 이 과정에서 기능을 구현하는 순서를 효과적으로 결정할 수 있다. 유사하게 기능의 수정이나 추가적인 확장 또한 보다 손쉽게 수행할 수 있다. 즉, 공리적 설계는 복잡하게 얽여있는 블록 물류 운영 시스템을 독립적인 기능들로 분해하여 기능의 수정, 추가와 확장에 대응하기에 적합한 방법론이다. 공리적 설계는 일반적인 시스템 개발 방법으로 다루기 힘든 유지 보수 및 확장 과정에서의 문제들을 해결하는 체계적인 절차를 제시할 수 있다[18]. 그에 따라 공리적 설계를 기반으로 조선 산업의 전체 생산 공정을 대상으로 시뮬레이션 시스템을 설계하는 연구[6]가 수행되었으며, 적치장 운영 시스템을 설계하는 연구[20]에도 공리적 설계가 적용되었다.

공리적 설계는 여러 공학문제에 많이 적용되어 왔다. 관련 연구로 공리적 설계의 개념을 기반으로 제조 시스템 설계 분해 방법론을 개발하는 연구가 수행되었다[24]. 그리고 이를 기능 요구의 성능 지표를 도출하여, 시스템을 설계하는 방법론의 연구도 진행되었다[1]. 최근에는 조선소의 자동화 시스템을 설계하기 위하여 공리적 설계 방법을 적용한 연구가 수행되었으며[14, 15], 소프트웨어 시스템을 설계하기 위한 방법론으로 공리적 설계를 적용한 연구도 수행되었다[2, 18]. IDEF0는 시스템의 기능을 모델링하기 위한 방법론으로 다양한 분야의 연구에 적용되어 왔다[8,

9]. 유통 분야의 기능 모델링을 위하여 IDEF0 방법론을 적용한 연구도 진행되었다[7].

물류 시스템의 설계에 관한 연구로 컨테이너 터미널 설계를 위한 의사결정 지원 시스템에 관한 연구가 진행되었다[23]. 블록 물류 시스템의 개선을 위한 도구로 시뮬레이션 모델을 구현하여 문제점과 대안을 분석한 연구[21]와 함께 시뮬레이션 기반의 디지털 조선소 구축을 수행한 연구[4]가 수행되었지만 블록 물류 운영 시스템을 설계하는 본 연구와는 차이가 있다.

조선 산업의 블록 물류 운영 시스템을 대상으로 관련된 문제들을 정의하고, 해법을 제시한 연구[16]와 함께 블록을 입출고 하는 적치장 운영 문제와 입출고 블록의 이송 계획 문제에 대하여 많은 연구들이 진행되어 왔다. 먼저 적치장 운영 문제는 공장에서 생산된 블록을 일정기간 적치하고, 후행 공정으로 공급하기 위하여 출고하는 과정에서 발생하는 간섭 블록의 재취급을 최소화하기 위한 연구들이[3, 12, 17] 수행되었다. 이송 장비 운영 계획은 블록 이동 작업을 수행할 이송 장비를 선정하고, 각 이송 장비의 작업 순서를 결정하는 연구[13, 25]와 이송 장비의 최적의 이동경로를 선정하는 연구[5]가 진행되어 왔다. 하지만 조선 산업의 블록 물류 운영 문제는 개별 문제들이 복합적으로 구성되어 있으며, 서로간의 영향을 미치게 되어 그 동안 연구된 성과들이 현장의 문제를 해결하는데 어려움을 겪고 있다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 제 2장은 공리적 설계의 개념을 소개하고, 제 3장에서는 조선 산업에서의 블록 물류 운영 시스템의 기능 요구에 대해 설명한다. 제 4장에서

공리적 설계 방법을 이용한 조선 산업의 블록 물류 운영 시스템의 설계 분해 방법을 제시한다. 제 5장에서는 설계 결과를 IDEF0를 이용하여 표현하였다. 제 6장에서 설계된 시스템이 구현된 사례를 설명하고, 제 7장에서 결론을 제시한다.

## 2. 공리적 설계

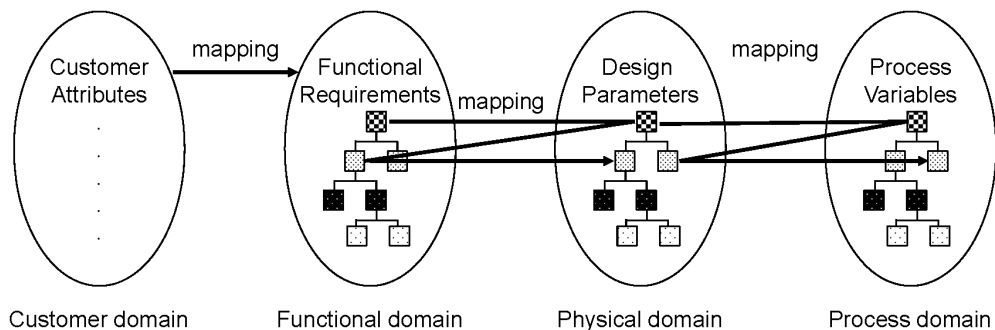
공리적 설계는 1990~2000년대 Nam P. Suh에 의하여 제안된 설계 이론이다[22]. 설계를 수행하고 완성하는 과정에 따라 <Figure 1>과 같은 영역들로 구분할 수 있다.

소비자 영역(Customer Domain)에서는 고객 속성(Customer Attributes, CAs)을 정의하고, 기능적 영역(Functional Domain)에서는 소비자 요구를 공학 용어를 이용하여 기능 요구(Functional Requirements, FRs)로 정의한다. 그리고 물리적 영역(Physical Domain)에서는 기능 요구를 만족시키는 설계 파라미터(Design Parameters, DPs)를 정의한다. 마지막으로 공정 영역(Process Domain)에서는 설계 파라미터를 만족시키는 공정 변수(Process Vari-

ables, PVs)를 정의한다. 예를 들어 소비자 영역에서 소비자가 식품을 보존할 필요를 가정하자. 이를 만족하기 위한 기능적 영역에는 통조림, 건조, 또는 냉각 등의 방식이 있다. 설계자는 기능적 영역에서 냉각을 선택하고 물리적 영역으로 냉장고를 결정한다. 공정 영역은 냉장고를 제조하는 방법을 결정한다.

<Figure 1>에서 일련의 두 영역의 요소가 서로 대응(mapping)되어야 함을 알 수 있다. 이는 왼쪽 영역의 “What”을 오른쪽 영역의 “How”로 연결함을 말한다. 이전 예에서, 소비자 영역의 “What”인 음식 보존이 기능적 영역의 “How”인 냉각에 대응된다. 차례로 기능적 영역의 “What”인 음식의 냉각이 물리적 영역의 “How”인 냉장고에 대응된다. 마지막으로 물리적 영역의 “What”인 냉장고가 공정 영역의 “How”인 제조공정에 대응된다.

<Table 1> 같은 설계행렬(Design Matrix)에 의하여 FRs와 DPs 사이의 관계를 나타낼 수 있으며, DPs와 PVs 간의 관계도 나타낼 수 있다. 각각의 DP가 FR에 영향을 미치면 ‘X’로 그렇지 않으면 ‘O’로 나타낸다. 예를 들어 이 행렬에서 DP2는 FR2에만 영향을 미치지만 DP1은 FR1, FR2, FR3 모두에 영향을 미친다.



<Figure 1> The Relationship between Domains of Axiomatic Design

〈Table 1〉 An Example of a Design Matrix

|     | DP1 | DP2 | DP3 |
|-----|-----|-----|-----|
| FR1 | X   | O   | O   |
| FR2 | X   | X   | O   |
| FR3 | X   | O   | X   |

각 FR, DP와 PV는 계층구조로 분해할 수 있다. 각 FR이 계층구조로 분해되기 위해서 한 계층의 DPs는 동일한 계층의 각 FRs를 만족시켜야 한다. 냉장고의 예에서 최상위 기능 요구는 음식을 냉각하는 것으로 이를 FR1로 표현한다. 최상위 설계 파라미터가 냉장고(DP1)로 정의 되었으며, 이는 음식을 냉각할 수 있기 때문에 계층 구조로 분해할 수 있다. 냉장고(DP1)의 기능 요구인 다음 레벨의 FRs는 각각 FR11, FR12로 정의된다. 예를 들어 여기서는 FR11을 “음식은 특정 온도범위  $T \pm \Delta T$ 를 유지한다”로 정의한다. FR12는 “상자 내부는 균일한 온도를 유지한다”로 정의할 수 있다.

설계 과정에 적용되는 공통적인 원리를 설계 공리라 정의하고 구체적으로 다음과 같다.

- 제 1공리(독립공리) : 기능 요구의 독립을 유지하라.
- 제 2공리(정보공리) : 설계의 정보량을 최소화하라.

독립공리는 설계 목적 달성을 위한 최소 기능 요구를 정의하고, 각 기능 요구 사이의 독립을 유지하며, 기능 요구에 대한 설계 파라미터의 대응에 따른 영향이 유일하게 표현될 수 있도록 독립을 유지할 것이 요구된다.

정보공리는 기능 요구를 만족하는 설계 대안 중 최소의 정보량을 요구한다.

독립된 기능 요구와 설계 파라미터 간의 대응 과정을 수학적으로 표현한 것이 설계방정 식이다. 이러한 설계방정식은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\{FR\} = [A]\{DP\} \quad (1)$$

여기서  $\{FR\}$ 과  $\{DP\}$ 는 기능 요구 벡터와 설계 파라미터 벡터를 각각 나타내고,  $[A]$ 는 설계행렬을 나타낸다. 설계행렬은 기능 요구와 설계 파라미터의 관계를 나타내는 정방행렬로 <Figure 2>와 같이 세 가지 설계행렬의 유형을 가진다. 설계행렬  $[A]$ 가 대각행렬인 경우 비연성(uncoupled) 설계라 하고 독립공리를 만족하게 된다.  $[A]$ 가 삼각행렬인 경우에는 비연성화(decoupled) 설계라 하고, 이 경우는 설계 파라미터를 결정하는 순서에 따라 역시 독립공리를 만족한다. 그러나  $[A]$ 가 대각행렬이나 삼각행렬이 아닌 경우 연성설계(coupled)로 독립공리를 만족하지 못하게 된다. 따라서 설계 지향점은 설계행렬을 대각행렬로 만드는 것이며, 대각행렬로 만드는 것이 불가능하다면 삼각행렬로 만들어 설계 파라미터 결정 순서에 따라 독립공리를 만족시킬 수 있도록 구성해야 한다.

$$\begin{bmatrix} X & O & \cdots & O \\ O & X & \cdots & O \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ O & O & \cdots & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X & O & \cdots & O \\ X & X & \cdots & O \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X & X & \cdots & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X & O & \cdots & X \\ X & X & \cdots & O \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ O & X & \cdots & X \end{bmatrix}$$

(a) Uncoupled    (b) Decoupled    (c) Coupled

〈Figure 2〉 Three Types of Design Matrix in the Design Equation

### 3. 공리적 설계를 위한 영역분석

본 연구에서는 국내 대형 조선소에서 인터뷰를 통하여 총 126가지 문제점들을 도출하였다. 이들 문제점들은 원인 분석을 통하여 11가지 고객 속성으로 정리하였다. 이 절에서는 정리된 고객 속성과 그에 따른 기능 요구를 정의한다. 이들 기능 요구는 독립성 여부를 확인하여야 하며, 서로 연성화 된 기능 요구들은 비연성화 되어야 한다.

#### 3.1 고객 속성과 기능 요구 정의

블록 물류 시스템의 목적인 이송 지연 최소화(CA0)는 가장 중요한 고객 속성이다. 이를 위하여 블록 물류 운영 시스템을 구현하기 위한 기능 요구들을 정의한다. 이송 지연은 이송 블록들의 시간 제약 조건을 고려하여 이송 장비의 가용 시간 범위 내에서 이송 순서를 결 정하여 최소화할 수 있다. 이송 장비의 가용 시간은 정해져 있기 때문에 각각의 블록 이송 시간을 줄이면 이송 지연을 줄일 수 있다.

공장에서 완성된 이송 블록은 다음 블록의 완성시점 이전까지 공장에서 이송되어야 하며, 후행 공정에서 생산 시작 시점 이전까지 공급되어야 한다. 이것은 이송 블록의 시간 제약 이다. 이송 블록이 시간 제약보다 늦게 이송되는 경우를 이송 지연이라 한다. 이송 지연은 생산 공정의 지연으로 이어져 조선소의 생산성을 저하시키는 주요한 원인이 되기 때문에 생산 공정 전체에서 매우 중요하게 다루어지고 있다. 이송 작업은 아래의 세 과정이 순차적으로 이루어진다.

- 상차 이동 : 이송 장비가 블록을 실어서 목적지까지 이동하는 과정
- 재취급 이동 : 이송 장비가 간섭 블록을 임의의 위치로 옮기는 과정
- 공차 이동 : 이송 장비가 비어있는 상태로 현재 위치에서 블록까지 이동하는 과정

위의 세 과정의 수행에 필요한 시간을 블록 이송 시간이라 정의하고, 식 (2)의 구성 시간을 각각 최소화하여 해결할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{블록 이송 시간} = & \text{상차 이동 시간} \quad (2) \\ & + \text{적치장 재취급 시간} \\ & + \text{공차 이동 시간} \end{aligned}$$

상차 이동 시간은 공정이 완료된 공장에서 적치장까지의 이동 시간과 적치장에서 후 공정의 공장까지의 이동 시간이다. 본 연구에서 이동 시간은 이동 거리에 비례하는 것을 가정한다. 따라서 상차 이동 시간은 적치 가능한 적치장 목록을 확인하고 선행 공장과 적치장, 적치장과 후행 공장 사이 거리의 합이 최소인 적치장을 선정(FR2)하여 최소화(CA6)할 수 있다. 블록의 목적지는 블록 생산 계획에서 정의된 후행 공정의 위치로 알 수 있기 때문에 블록 생산 계획 정보가 필요하게 된다(CA3). 선정된 적치장으로 적치되는 블록은 입고 블록 이라 하며, 적치장에서 후행 공정으로 공급하기 위하여 꺼내가는 블록은 출고 블록이라 한다.

적치장 재취급 시간은 적치장에서 출고 블록들을 꺼내기 위해서 이동 동선에 적치되어 있는 간섭 블록의 재취급 횟수에 비례한다. 간섭 블록의 재취급 횟수가 증가하면

필요한 이송 장비와 재취급 시간이 증가한다. 이는 장비의 효율성 저하와 함께 이송 지연이 발생하기 때문에 간섭 블록의 재취급 횟수는 최소화 되어야한다(CA7). 옮겨진 간섭 블록은 다른 출고 블록에 의해서 또 다시 재취급될 수 있다. 간섭 블록은 재취급 시점과 옮겨질 위치의 다른 출고 블록의 출고 시점을 비교하여 재취급을 최소화할 수 있다. 이는 입고 블록의 경우도 동일한 방법을 적용할 수 있다. 블록의 입출고 시점과 위치를 결정(FR3)하는 과정에서 블록의 위치, 크기 정보(CA2)와 생산 계획 정보(CA3)가 필요하게 된다. 이를 블록 상태 정보로 정의한다.

공차 이동 시간은 여러 적치장에 분산되어 있는 이송 블록의 처리 순서에 따라 달라진다. 이송 장비는 각각 서로 다른 제원으로 인하여 상차할 수 있는 중량 제약이 있다. 이 제약은 이송 장비마다 다르다. 따라서 공차 이동 시간은 이송 장비의 중량 제약을 고려하여 이송 작업을 이송 장비에 할당하고, 이송 작업의 순서를 결정하여(FR4) 최소화(CA8)할 수 있다.

블록의 도착 시간(CA9)은 재취급을 포함한 이송 장비의 이송 작업 순서(FR4)를 통하여 알 수 있다. 특정 장비에 작업이 집중되는 것은 이송 지연과 잦은 장비 고장의 원인이 된다. 따라서 이송 작업은 평준화를 고려하여 이송 장비에 할당(FR4)되어야 한다(CA10). 블록 생산 일정의 변화로 계획에 없는 긴급 이송 작업이 필요한 경우가 발생한다. 이것은 신속한 이송 작업 순서(FR4)를 변경하여 생산에 차질이 없도록 지원(CA11)할 수 있다. 블록 물류 시스템의 목적인 이송 지연 최소화

화(CA0)는 최종적으로 이송 장비의 작업 순서(FR4)에 의해서 결정된다.

블록의 위치 정보(CA2)는 이송 장비의 블록 하차 위치를 통하여 파악할 수 있다. 이것은 블록이 전용 이송 장비로만 이송되는 제약을 이용한 것이다. 따라서 이송 장비 상태 정보(CA1)를 통하여 블록의 위치를 알 수 있다. 이송 장비 상태 정보는 위치 정보, 상하차 정보, 이동 속도, 가동여부를 포함한다. 또한 시간 변화에 따른 블록 위치는 블록의 공정 상태와 공정 생산 시간(CA2)을 알 수 있다. 예를 들어 적치장에서 의장 공장의 첫 번째 공정 위치로 이동하면 블록의 공정 상태는 의장 착수 상태가 된다. 의장 작업이 완료되어 의장 공장에서 출고되어 후행 공정으로 이동하거나 적치장으로 이동하면 의장 완료 상태가 된다. 이때 의장 착수와 의장 완료의 시점 차이가 의장 공정 생산 시간이 된다. 블록 상태 정보(CA2)와 생산 계획 정보(CA3)는 이동 거리, 적치가능 여부와 재취급을 판단하기 위하여 공통적으로 필요하다. 또한 긴급 이송 작업에 대응(CA11)하기 위하여 실시간으로 수집되어야 한다. 이를 위하여 이송 장비와 블록의 상태 정보를 실시간으로 파악하는 것(FR1)을 기능 요구로 정의한다. FR2, FR3, FR4에서 각각 요구되는 기능 요구를 공통화하였으므로 비연성화를 위하여 가장 우선적인 기능 요구로 정의한다. 모든 의사 결정은 실물의 정보를 기준으로 이루어지기 때문에 정보의 정확도는 매우 중요하게 요구되고 있다(CA4). 정의된 고객 속성은 각각의 기능 요구에 대응하여 <Table 2>와 같이 정리하였다.

### 3.2 기능 요구의 설계 파라미터 정의

블록 물류 운영 시스템은 <Table 2>에서 정의한 네 가지의 기능 요구로 구성된다. 본 절에서는 각 기능 요구와 설계 파라미터의 대응관계를 정의한다. 추가적으로 고객 속성으로부터 성능 지표(Performance Measures : PMs)를 동시에 도출하여 설계 파라미터를 결정할 때 대안을 평가할 수 있도록 한다.

첫 번째 기능 요구인 이송 장비와 블록의 상태 정보를 실시간으로 얻는 것(FR1)은 설계 정보, 생산 계획 정보와 이송 장비의 하드웨어 정보를 통하여 얻을 수 있다. 이들 정보를 인터페이스하는 블록 모니터링 시스템(Block monitoring system)(DP1)을 정의하였다. 블록

모니터링 시스템의 구체적인 기능 요구는 다음 절의 설계 분해 과정을 통하여 정의된다. 블록 모니터링 시스템을 평가하는 성능 지표는 이송 장비와 블록의 상태 정보의 정확도(PM1)로 정의한다. 블록 모니터링 시스템을 통하여 얻어진 이송 장비와 블록의 상태는 FR2, FR3, FR4의 기능 요구를 공통으로 구현하기 때문에 각각에 영향을 미치게 된다. 따라서 설계행렬에 'X'로 표시된다.

두 번째 기능 요구인 적치 가능한 적치장 목록을 확인하고 선행 공장과 적치장, 적치장과 후행 공장 사이 거리의 합이 최소인 적치장을 선정(FR2)것은 적치장 선정 계획(Storage area selection plan)(DP2)을 정의하여 설계 분해를 수행한다. 성능 지표는 적치장과 후

<Table 2> The Relationship between Custom Attributes and Functional Requirements

| Customer Attributes |                                                                                                           | Functional Requirements |                                                               |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------|
| CA1                 | The exact position and operational state of transfer equipment.                                           | FR1                     | Obtain transfer equipment and block state in real-time.       |
| CA2                 | The exact position, size, weight and the process state of the block must be known.                        |                         |                                                               |
| CA3                 | Block logistics operation plan interface with block production schedule.                                  |                         |                                                               |
| CA4                 | To minimize difference between the actual conditions and information.                                     |                         |                                                               |
| CA5                 | To know the storage availability of block in storage area.                                                | FR2                     | Select storage area considering capability.                   |
| CA6                 | To minimize travel distance from storage area to next process according to the block production schedule. |                         |                                                               |
| CA7                 | To minimize relocation in storage area.                                                                   | FR3                     | Select transfer period and location of storage and retrieval. |
| CA8                 | To minimize unloading travel distance.                                                                    | FR4                     | Assign transfer blocks to equipment and sequencing.           |
| CA9                 | To know the arrival time of the block.                                                                    |                         |                                                               |
| CA10                | Must be balanced of block transfer load.                                                                  |                         |                                                               |
| CA11                | To support emergency transfer request by changes of schedule.                                             |                         |                                                               |
| CA0                 | To minimize the block transfer delay time.                                                                |                         |                                                               |



행 공장 사이 거리의 합으로 정의한다(PM2). 적치장이 선정된 블록은 입고 블록으로 정의되기 때문에 재취급 이동에 영향을 미치게 된다. 따라서 DP2의 결과는 FR3에 영향을 미치게 되어 설계행렬에 'X'로 표시된다.

세 번째 기능 요구인 입출고 블록과 간섭 블록의 입출고 시점과 위치를 결정(FR3)하기 위하여 적치장 운영 계획(Storage area operation plan)(DP3)을 정의하고 설계 분해를 수행한다. 성능 지표는 재취급 횟수(PM3)으로 정의한다. 적치장 운영 계획에서 정의되는 간섭 블록의 재취급은 이송 작업을 이송 장비에 할당할 때 함께 반영되어야 한다. 따라서 DP3의 결과는 FR4에 영향을 미치기 때문에 'X'로 표시된다.

네 번째 기능 요구인 이송 작업을 이송 장비에 할당하고 이송 작업의 순서를 결정(FR4)하기 위하여 이송 장비 운영 계획(Storage area selection plan)(DP4)을 정의하고 설계 분해를 수행한다. 성능 지표는 이송 블록의 도착 지연 시간과 공차이동 시간(PM4)을 순차적으로 정의한다. 이송 장비 운영 계획을 수행한 결과는 최종 물류 운영 결과로 생산에 영향을 미치지만 본 연구의 범위에서 벗어나므로 고려하지 않는다. 정리된 기능 요구와 설계 파라미터를 대응한 것은 <Table 3>과 같다. 또한

기능 요구의 성능 지표는 <Table 4>와 같다.

#### 4. 블록 물류 운영 시스템의 설계 분해

제 3장에서 도출된 기능 요구와 설계 파라미터를 정리하면 다음과 같다.

- FRs : FR1 = 이송 장비와 블록의 상태 정보를 실시간으로 파악한다.  
FR2 = 적치 용량을 고려하여 적치장을 선정한다.  
FR3 = 입출고 블록과 간섭 블록의 이송 시점 및 위치를 결정한다.  
FR4 = 이송 장비의 이송 작업과 작업의 순서를 결정한다.
- DPs : DP1 = 블록 모니터링 시스템  
DP2 = 적치장 선정 계획  
DP3 = 적치장 운영 계획  
DP4 = 이송 장비 운영 계획

정의된 FRs와 DPs의 대응 관계는 설계행렬을 사용하여 식 (3)과 같이 표현할 수 있다 (<Table 3> 참조).

<Table 3> Top Level Design Equations for the Block Logistics Operation System

| Functional Requirements |                                                               | Design matrix | Design Parameters |                              |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------|-------------------|------------------------------|
| Top level(0)            |                                                               |               |                   |                              |
| FR1                     | To obtain transfer equipment and block state in real-time.    | X O O O       | DP1               | Block monitoring system.     |
| FR2                     | Select storage area which consider capability                 | X X O O       | DP2               | Storage area selection plan. |
| FR3                     | Select transfer period and location of storage and retrieval. | X X X O       | DP3               | Storage area operation plan. |
| FR4                     | Assign transfer blocks to equipment and sequencing.           | X O X X       | DP4               | Storage area selection plan. |

〈Table 4〉 Top Level Performance Measures of Block Logistics Operation System

| Top level(0) |                                                                       |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------|
| PM1          | Accuracy of block and transfer equipment state.                       |
| PM2          | Transfer distance between two precedence processes and storage areas. |
| PM3          | The number of relocation in storage area.                             |
| PM4          | The delay of arrival time and empty travel time.                      |

$$\begin{bmatrix} FR1 \\ FR2 \\ FR3 \\ FR4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 & 0 \\ X & X & 0 & 0 \\ X & X & X & 0 \\ X & 0 & X & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP1 \\ DP2 \\ DP3 \\ DP4 \end{bmatrix} \quad (3)$$

설계 분해 과정은 하위 기능 요구와 설계 파라미터를 정의하고 그 대응관계를 정의한다. 블록 모니터링 시스템은 제 3장에서 정의된 블록 물류 운영의 세부 계획을 수립하기 위하여 필요한 정보들을 제공한다. 이송 장비의 상태 정보를 실시간으로 파악하는 기능 요구(FR11)와 블록 상태 정보를 파악하는 기능 요구(FR12)로 구성된다. 정의된 두 기능 요구는 이송 장비 모니터링 시스템(DP11)과 블록 상태 모니터링 시스템(DP12)에 의하여 각각 구현된다. 이송 장비 모니터링 시스템은 이송 장비가 항상 DB에 연결되는 기능 요구(FR111)와 이송 장비의 상태 정보를 얻는(FR112)기능 요구로 구성된다. 이송 장비가 항상 DB에 연결되는 기능 요구는 통신 네트워크 구축(DP111)을 통하여 만족하였다. 이는 이송 계획을 실시간으로 이송 장비에 전달할 수 있다. 따라서 긴급 이송 작업의 대응(CA11)을 위한 기능 요구가 이송 장비 운영 계획에서 제거되어 하위 레벨의 기능 요구를 줄일 수 있다. 이들 공통기능은 설계행렬 비연성화 과정에서 가장 먼저 수행되어야 함을 알 수 있다.

적치장 선정 계획은 적치 가능 여부를 확

인하는 기능 요구(FR21)와 후행 공정과의 거리가 최소인 적치장을 선택하는 기능 요구(FR22)로 정의하였다. 적치장 선정 계획은 적치장 운영 계획과 밀접한 관계가 있다. 생산의 변화를 고려하여 주어진 시간 내에 전체 적치장을 대상으로 재취급을 최소화할 수 있는 적치장 운영 계획의 해법을 찾지 못하였기 때문에 서로 분리하여 순차적으로 해법을 찾는다. 이것은 해법 도출의 시간 제약으로 인하여 기능 요구를 분리한 것이다. 추후 연구를 통하여 전체 적치장을 대상으로 적치장 운영 계획을 해결할 수 있는 해법이 존재한다면 FR2와 FR3을 하나로 통합할 수 있을 것이다. 참고로 이를 위한 시도로 입출고 블록을 함께 고려하여 재취급을 최소화할 수 있는 수리모델을 개발하는 연구가 수행되었다[3].

적치장 운영 계획은 블록의 입출고 시점을 결정하는 기능 요구(FR31)와 입고 블록과 간섭 블록의 적치 위치를 결정하는 기능 요구(FR32)로 구성된다. 입고 블록은 출고 블록과의 처리 순서에 따라 재취급될 수 있다. 따라서 그 순서를 결정하여 입출고 시점을 정의한다. 출고 블록에 의하여 결정되는 간섭 블록은 입고 블록들과 함께 위치를 결정한다. 이들은 적치되어 있는 블록들의 출고시점과 비교하여 재취급이 최소화되는 위치를 결정할 수 있다. 이는 우리의 이전 연구[20]를 개선하여 기능 요구를 최소화시킨 것이다.

〈Table 5〉 Design Equations for the Block Logistics Operation System

| Functional Requirements |                                                       | Design matrix | Design Parameters |                                                                             |
|-------------------------|-------------------------------------------------------|---------------|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| First level(1)          |                                                       |               |                   |                                                                             |
| FR11                    | Collects transfer equipment state at real-time.       | X O           | DP11              | Develop transfer equipment monitoring system.                               |
| FR12                    | Collects the block state in real-time.                | X X           | DP12              | Develop block status monitoring system.                                     |
| Second level(11)        |                                                       |               |                   |                                                                             |
| FR111                   | Equipment must be accessible to database.             | X O           | DP111             | Build a mobile communication network in work area.                          |
| FR112                   | Collects transfer equipment state in real-time.       | O X           | DP112             | Development data acquisition system of transfer equipment.                  |
| Second level(12)        |                                                       |               |                   |                                                                             |
| FR121                   | Collects the block location at real-time.             | X O O         | DP121             | Get transfer equipment GPS data at unloading time.                          |
| FR122                   | Collects the block size, weight information.          | O X O         | DP122             | Interface with design information.                                          |
| FR123                   | Collects and update the block production schedule.    | O O X         | DP123             | Interface with block production information.                                |
| First level(2)          |                                                       |               |                   |                                                                             |
| FR21                    | Check the available storage.                          | X O           | DP21              | Develop storage feasibility check system.                                   |
| FR22                    | Selects the storage area.                             | O X           | DP22              | Make a storage area selection algorithm.                                    |
| First level(3)          |                                                       |               |                   |                                                                             |
| FR31                    | Select storage and retrieval period.                  | X O           | DP31              | Develop a storage and retrieval period selection algorithm.                 |
| FR32                    | Decide a location for storage and interference block. | O X           | DP32              | Develop a location decision algorithm for storage and interference block.   |
| First leve(4)           |                                                       |               |                   |                                                                             |
| FR41                    | Assign transfer equipment for transfer block.         | X O O         | DP41              | Develop an assignment algorithm which assigns blocks to transfer equipment. |
| FR42                    | Decide a transfer sequence.                           | X X O         | DP42              | Develop a sequencing algorithm.                                             |
| FR43                    | Selects route of destination location.                | O X X         | DP43              | Develop shortest path algorithm.                                            |

이송 장비 운영 계획은 이송 장비에 이송 블록을 할당하는 기능 요구(FR41), 각 이송 장비의 작업 순서를 결정하는 기능 요구(FR42)와 이송 경로를 최소화하는 기능 요구(FR43)로 구성된다. 이송 장비에 이송 블록을 할당하는 기능 요구는 이송 장비의 중량 제약을 만족하여 장비 간의 부하를 평균화하여야 한다. 이송 장비의 작업 순서는 각 블록의 시간 제

약을 만족하여 공차 이동 거리를 최소화할 수 있어야 한다. 이송 경로는 장비의 현재 위치에서 블록 위치까지의 경로와 블록에서 후행 공정까지의 경로를 최소화할 수 있어야 한다.

적치장 선정 계획(DP2), 적치장 운영 계획(DP3)과 이송 장비 운영 계획(DP4)을 구현하기 위하여 블록의 위치 정보가 FR2, FR3, FR4의 각각 하위 기능 요구로 정의되어야 한다.

이는 전체 설계행렬에서 블록과 이송 장비의 위치 정보가 각각의 기능 요구에 영향을 미치게 된다. 중복되는 기능 요구를 공통화한 기능 요구는 기능 요구 벡터에서 순서에 따라 연성 설계가 될 수 있다. 공통된 기능 요구는 기능 요구 벡터에서 순서를 변경하여 비연성화할 수 있다. 이는 전체 설계행렬을 단순화시키고 기능 요구의 독립성을 유지하여 <Table 5>와 같이 단순한 설계행렬로 표현할 수 있다.

설계 분해 과정을 통하여 정의된 하위 레벨의 기능 요구와 설계 파라미터의 설계행렬을 <Table 5>와 같이 정리하였다. <Table 5>의 FRs와 DP는 재배치하여 비연성화시켰기 때문에 설계 파라미터의 구현순서가 매우 중요하다. 블록 물류 운영 시스템의 개선을 위해서는 블록 모니터링 시스템이 가장 먼저 구축되어야 하는 근거를 제공한다. 블록 물류 운영 시스템의 개선효과는 블록 모니터링 시스템의 투자에 대한 적정성을 판단하는 근거가 될 것이다. 또한 블록 물류 운영 시스템을 개선하거나 확장하는 경우에는 <Table 5>에서 제안하는 순서대로 기능 요구와 설계 파라미터를 고려할 수 있다. 또한 개별적으로 연구되어 왔던 적치장 운영 계획에 관한 연구들[3, 12, 17]과 이송 장비 운영 계획에 관한 연구[5, 13, 25] 들은 순차적으로 현실문제에 적용할 수 있을 것이다.

## 5. 설계 결과

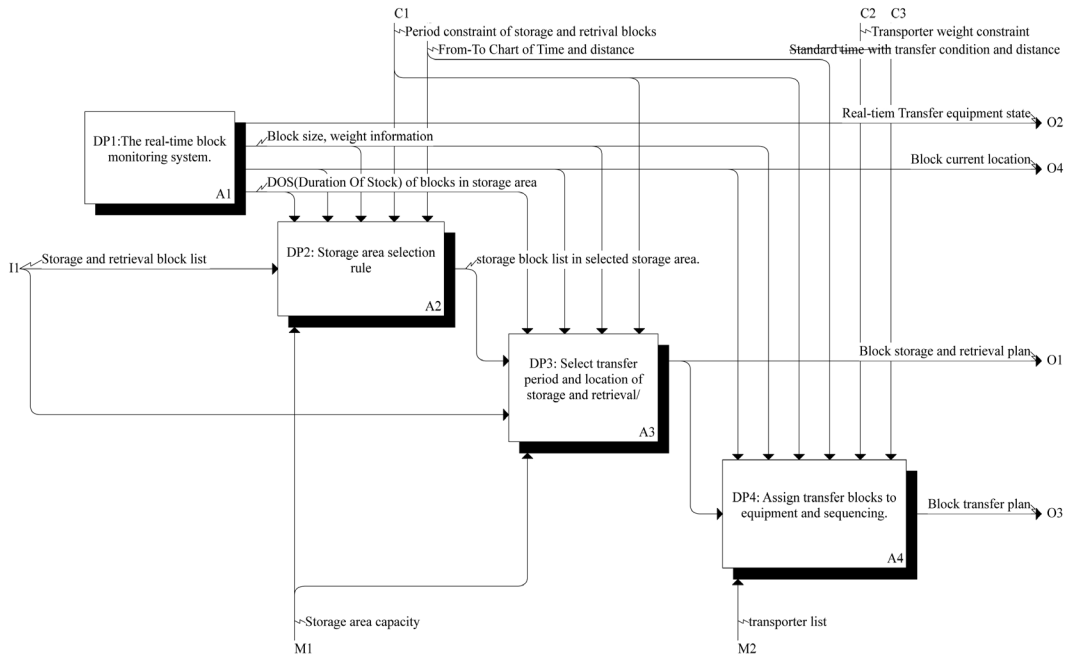
설계 분해 단계에서 정의된 DP의 책임과 이를 구현하기 위한 PV를 구체화하기 위하여 본 연구에서는 IDEF0를 사용하였다. IDEF0의 ICOM(Input, Control, Output, Mechanism)

을 다음과 같이 정의하였다.

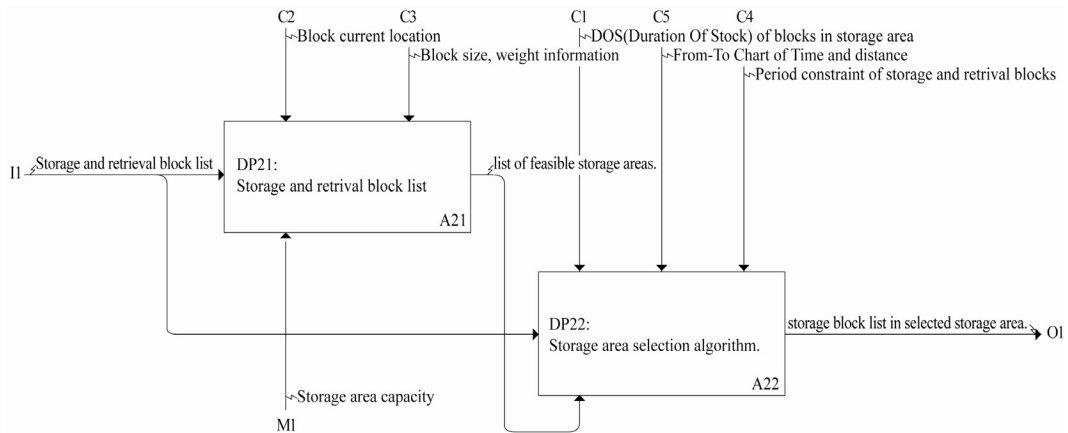
- 입력(Input) : 사용자에게 요청된 블록의 입고 요청과 출고 요청
- 제어(Control) : 의사결정의 판단 기준이 되는 표준정보와 제약조건
- 출력(Output) : 입출고 블록과 간섭 블록의 이송 시점과 할당된 이송 장비
- 메커니즘(Mechanism) : 기능을 수행하기 위한 자원

<Figure 3>은 제 4장에서 정의한 DP1, DP2, DP3, DP4의 기능을 ICOM을 이용하여 모델링한 것이다. 입력은 사용자에게 의하여 요청된 입고 출고 요청만을 정의하였다. 블록의 위치, 크기, 중량 정보와 적치장에 적치된 블록의 목록은 의사결정을 위한 판단의 기준이 된다. 동적으로 변하는 블록과 적치장의 상태 정보는 블록 모니터링 시스템에 의하여 수집되어 시스템 내부에서 사용할 수 있다. 이들 정보는 제어로 표현된다. 블록 물류 운영 시스템이 원하는 결과는 요청된 입출고 블록의 이송 시점과 장비를 결정하는 것이다. 이는 적치장에서 발생하는 간섭 블록의 재취급을 포함하여야 한다. 메커니즘은 기능을 수행하기 위해 필요한 자원으로 적치장과 이송 장비로 정의하였다.

설계행렬의 비연성화를 통하여 공통 기능으로 정의된 블록 크기, 중량 정보(O3)과 블록의 위치 정보(O4)는 블록 모니터링 시스템(DP1)을 통하여 얻어진다. 이 정보는 적치장 선정 계획(DP2), 적치장 운영 계획(DP3)과 이송 장비 운영 계획(DP4)을 구현하기 위한 입력 정보와 제어 정보로 제공된다. 이는 비연성화의 영향 관계를 입출력 정보로 명확히 정의한 것이다.



〈Figure 3〉 IDEF0 Model of Block Logistics Operation System



〈Figure 4〉 IDEF0 Model of Real-Time Monitoring System of Block State

DP1에서 생성된 정보가 DP2에서 활용되는 과정은 <Figure 4>에서 상세히 알 수 있다. 예를 들어 DP1에서 입력 받은 블록의 위치 정보(C2)와 크기 정보(C3)는 적치장 용량 정보(M1)와 비교하여 DP21의 출력 정보인 입

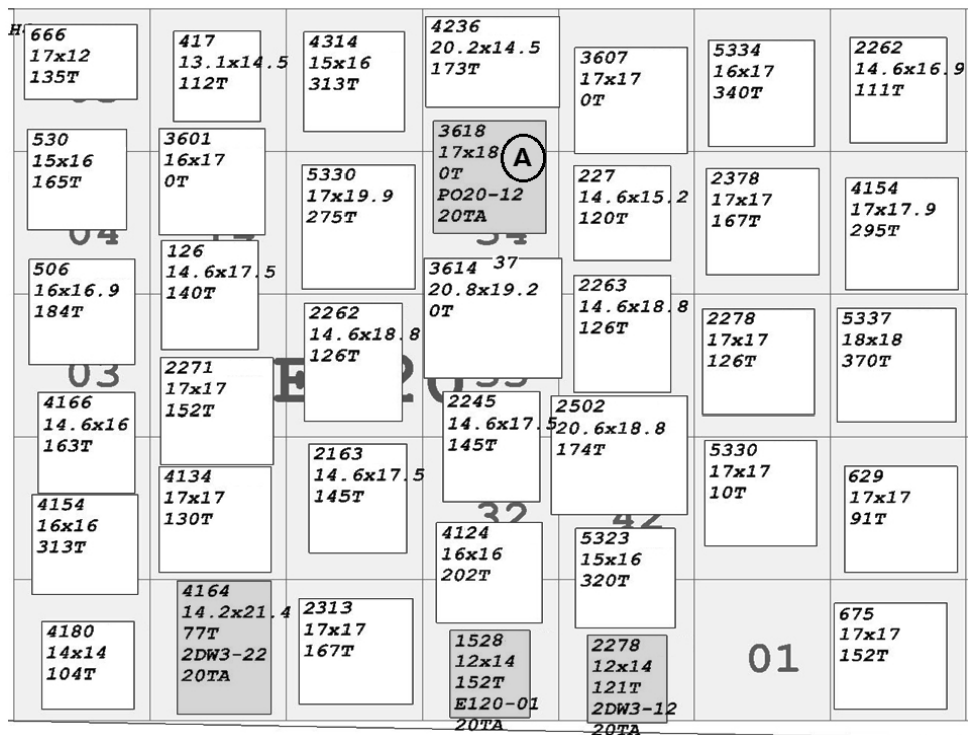
고 블록을 적치할 수 있는 적치장 목록을 얻을 수 있다. 이 목록은 적치장 선정 계획을 수립하기 위한 자원으로 메커니즘으로 입력된다. 이를 통하여 입고 블록의 적치장을 선정(DP22)할 수 있다.

## 6. 블록 물류 운영 시스템의 구현

본 연구의 결과물은 국내 한 대형 조선소를 대상으로 블록 물류 운영 시스템의 설계에 사용되었다. 블록 물류 운영 시스템은 정의된 설계 파라미터를 설계행렬에 의하여 순차적으로 구현하여 운영되고 있다. 블록 물류 운영 시스템은 가장 먼저 블록과 이송 장비의 정확한 상태 정보를 얻기 위한 기능이 구현되었고, 이 정보를 공유하기 위하여 이송 장비의 통신 네트워크가 구축되었다[19]. 구축된 통신 네트워크는 이송 장비에 할당된 블록의 이송 순서를 원격으로 전송하는 목적으로 함께 사용되고 있다. 참고로 이 절에서 사용된 그림은 보안의 이유로 일부만 발췌한

것이다.

<Figure 5>는 블록 모니터링 시스템의 구현 사례를 보여준다. 사각형은 설계 정보에서 추출된 블록의 크기 정보를 지도의 비율에 맞추어 표현한 것이다. 사각형 내부에 표시된 정보는 순차적으로 블록 번호, 크기 정보, 중량 정보이다. 이를 구현하기 위하여 필요한 블록의 크기 및 중량과 위치 정보들은 <Table 5>의 설계 파라미터 순서에 따라 순차적으로 구현하여 얻을 수 있었다. 예를 들어 블록의 위치 정보는 이송 장비의 위치 정보를 먼저 획득하고 블록이 하차될 때 얻을 수 있다. 이는 <Table 5>에서 DP121를 구현한 것이다. 또한 블록 상태 정보는 설계 정보와 연동(DP122)하여 얻을 수 있었다.



<Figure 5> The Example Real-Time Monitoring System of Block State in Storage Area

| 블록  | 블록 상태   | 운반반  | 작업 내용 | 이동전  |    | 이동후  |    | 운반 시간 | 장비  |    | 배차장비 |   |
|-----|---------|------|-------|------|----|------|----|-------|-----|----|------|---|
|     |         |      |       | 중구획  | 지면 | 중구획  | 지면 |       | 톤수  | 셋수 | 1    | 2 |
| 108 | OS:의장착수 | 20TB | E:간섭  | P11N | 02 | P11N | 02 | 08:01 | 350 | 1  | 354  |   |
| 102 | OS:의장착수 | 20TB | E:간섭  | P11B | 02 | P11B | 02 | 08:11 | 350 | 1  | 354  |   |
| 153 | OS:의장착수 | 20TB | E:간섭  | P11B | 01 | P11B | 01 | 08:21 | 350 | 1  | 354  |   |
| 000 | AF:조립완료 | 20TB | U     | SS20 | 01 | LPM0 | 02 | 08:30 | 350 | 1  | 354  |   |
| 629 | AS:조립착수 | 20TB | C:출고  | NP2B | 02 | NP3S | 07 | 08:30 | 350 | 1  | 354  |   |
| 000 | AS:조립착수 | 20TB | U     | LPM0 | 02 | SS20 | 01 | 10:30 | 350 | 1  | 354  |   |
| 667 | AF:조립완료 | 20TB | B:출고  | NP3S | 07 | E140 | 11 | 19:30 | 350 | 1  | 354  |   |
| 652 | AF:조립완료 | 20TB | B:출고  | NP3S | 08 | E120 | 01 | 20:20 | 350 | 1  | 354  |   |
| 642 | AF:조립완료 | 20TB | B:출고  | NP3S | 08 | E120 | 01 | 20:40 | 350 | 1  | 354  |   |
| 141 | AF:조립완료 | 20TB | B:출고  | NP3S | 10 | E120 | 01 | 21:30 | 350 | 1  | 354  |   |
| 226 | OF:의장완료 | 20TB | B:출고  | 3D1S | 05 | NP3S | 10 | 21:50 | 350 | 1  | 354  |   |
| 677 | AF:조립완료 | 20TB | C:출고  | NP3B | 02 | NP3S | 07 | 22:00 | 350 | 1  | 354  |   |
| 103 | AF:조립완료 | 20TB | B:출고  | 303B | 01 | 3D1S | 04 | 25:30 | 350 | 1  | 354  |   |
| 141 | OS:의장착수 | 20TB | A:입고  | NP3S | 10 | P11B | 15 | 20:21 | 500 | 1  | 504  |   |
| 103 | OS:의장착수 | 20TB | A:입고  | PD20 | 01 | P15B | 11 | 21:01 | 500 | 1  | 504  |   |
| 103 | OS:의장착수 | 20TB | E:간섭  | P15B | 16 | P11B | 13 | 22:01 | 500 | 1  | 504  |   |
| 101 | OS:의장착수 | 20TB | A:입고  | TE10 | 11 | P15B | 15 | 26:01 | 500 | 1  | 504  |   |

〈Figure 6〉 The Example Transfer Equipment Operation Plan

음영으로 표시된 사각형은 출고 블록을 표시한 것이다. 간섭 블록은 출고 블록의 출고 방향과 상대적인 위치에 의해서 확인할 수 있다. 예를 들어 가운데 위치에 표시된 ‘A’ 블록이 그림의 아래 방향으로 출고 되면 4개의 간섭 블록이 발생한다. 이 가운데 하나는 출고 블록이므로 이는 ‘A’블록 출고 시점 이전에 출고되면 채워급되지 않는다. 간섭 블록이 채워급되는 위치를 결정하기 위해서는 다른 블록의 출고 일정을 고려하여 그 위치를 선정 해야 한다. 블록의 출고 일정은 생산 계획과 연동하여 정보를 얻은 것으로 설계 파라미터(DP123)를 구현한 것이다.

블록 모니터링 시스템을 통하여 얻어진 적치 현황 정보는 <Figure 4>와 같이 적치장 용량과 비교하여 적치 가능한 공간을 확인할 수 있다. 적치장 현황 정보는 적치 가능 여부(DP21)를 확인하여 입고 가능 적치장 목록을 얻을 수 있다. 이송 장비의 이동 방향에 따라 블록을 적치하기 때문에 미리 정해진 이동 방

향의 폭에 의하여 정의된 열의 개수와 열의 길이에 따라 적치장의 용량이 정해진다. 이는 적치장 운영 방법에 따라 그 적치장의 용량을 판단하는 방법과 적치장 운영 계획 방법이 달라질 수 있음을 말해준다.

<Figure 6>은 블록 물류 운영 시스템을 통하여 이송 장비 운영 계획을 조회한 화면을 보여준 다. 이송 블록이 이송 장비에 할당되고 이송 순서가 시간으로 표시된 것을 알 수 있다. 이송 블록은 입출고 블록과 간섭 블록으로 표시되어 있으며, 이는 적치장 운영 계획의 결과를 반영하여 수립된 것을 알 수 있다. 이송 블록의 위치와 공정 상태 정보는 이송 장비의 위치를 통하여 수집되었다.

추가적으로 수집된 블록의 상태 정보는 이송 실적 정보와 함께 ERP(Enterprise Resource Planning) 시스템에 반영되어 생산 공정 관리와 생산 계획의 정확도를 향상시키는 목적으로 활용되고 있다. 또한 블록의 위치 정보는 블록의 자재 공급, 작업 준비와 생산설비 배치의

개선을 위한 목적으로 사용되고 있다. 예를 들어 블록 위치 정보의 축적된 데이터를 기반으로 프로세스 마이닝 연구[10, 11]가 수행되었다. 이는 이송 장비와 블록의 상태정보를 수집하는 블록 모니터링 시스템이 분석 기능과 인터페이스 추가의 기능 요구가 확장된 이다. 이 과정에서 기능 요구들의 비연성화가 유지되었다.

## 7. 결 론

조선 산업은 지속적인 경쟁력 확보를 위하여 생산되는 제품과 그 생산 방식이 변화되고 있다. 생산을 지원하는 블록 물류 운영 시스템은 그 변화에 따라 다양한 고객 속성과 기능의 변화를 요구 받고 있다. 블록 물류 운영 시스템은 한정된 적치장과 이송 장비를 이용하여 일정지연 최소화하여 재공 블록을 후행 공정으로 공급하는 것을 목표로 하고 있다.

지금까지의 조선 산업의 물류 문제에 관한 연구는 대부분 시뮬레이션, 최적화, 휴리스틱을 중심으로 독립적으로 연구들이 진행되어 왔다. 하지만 조선 산업의 물류 문제는 하위 문제들이 복합적으로 구성되어 있으며, 서로 간의 영향을 미치게 된다. 블록 물류 운영 시스템의 각 기능 요구는 공리적 설계를 통하여 독립적으로 정의되었다. 정의된 각 기능 요구는 독립성을 유지하기 위하여 새로운 방법의 개발이나 적합한 이전 연구를 적용하여 구현할 수 있다. 설계 파라미터 구현 순서는 생산 및 운영 방식의 변화에 따른 기능의 수정이나 확장의 경우에도 그 순서대로 문제점을 점검하여 일관성 있게 개선하고 확장하는데 사용될 수 있다. 이와 같은 방법은 시스템

의 유지보수나 확장에 필요한 노력을 줄일 수 있게 되었다. 본 연구에서 제안한 방법은 조선 산업의 블록 물류 운영 시스템을 구축하기 위한 기술 로드맵이 될 수 있을 것이다.

본 연구에서 제시한 블록 물류 운영 시스템은 대형 조선소의 요구사항에 분석하여 설계 되었기 때문에 조선소의 규모와 특수성에 따라 그 적용 방법이 달라질 수 있다. 먼저 정의된 기능이 필요한 것인지를 확인하는 과정이 필요하다. 예를 들어 규모가 작아 2열 이상 적치되는 적치장이 없는 조선소의 경우 적치장 운영 계획을 제외하고 설계할 수 있다. 또는 적치현황을 쉽게 알 수 있는 경우에는 블록 모니터링 시스템 없이 블록 물류 운영 시스템을 구현할 수 있을 것이다. 다음으로 추가적인 요구사항은 기존의 기능 요구 벡터의 마지막에 더하여 이에 대응되는 새로운 설계 파라미터를 정의해야 한다. 기존의 설계 파라미터들은 추가된 기능 요구를 독립적으로 만족시킬 수 있도록 수정되거나 전혀 다른 설계 파라미터로 대체하여 추가적인 작업 최소화하여 시스템을 설계할 수 있다. 이와 같이 본 연구는 조선 산업의 블록 물류 운영 시스템을 구현하기 위한 유용한 설계의 기준이 될 것으로 판단된다.

본 연구는 공리적 설계 방법을 기반으로 블록 물류 운영 시스템의 설계를 제안하고 구현 결과를 보였다. 블록 물류 운영 시스템의 실행 결과는 생산 계획을 수립하기 위한 주요한 정보로 요구되고 있다. 현재까지는 공리적 설계 방법이 물류 운영 시스템의 설계에만 적용 되었지만, 향후 연구를 통하여 블록의 생산 계획과 물류 계획을 통합하는 시스템의 설계를 수행하고자 한다.



## References

- [1] Cochran, D. S., Arinez, J. F., Duda, J. W., and Linck, J., "A decomposition approach for manufacturing system design," *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 20, No. 6, pp. 371-389, 2001~2002.
- [2] Do, S. H. and Suh, N. P., "Object-oriented software design with axiomatic design," in *Proc. Proceedings of ICAD2000*, Cambridge, United Kingdom, 2000.
- [3] Ha, B. H., Son, J. R., Cho, K. K., and Choi, B. C., "A mathematical programming approach for block storage problem in shipbuilding process," *The Korean Operations and Management Science Society*, Vol. 30, No. 3, pp. 99-111, 2013.
- [4] Han, S. D., Ryu, C. H., Shin, J. G., and Lee, J. K., "Implementation and applications of simulation based digital shipyard," in *Proc. Korean CAD/CAM Conference*, Pyeongchang, Korea, 2008.
- [5] Heo, Y. J., Cha, J. H., Cho, D. Y., and Song, H. C., "Optimal block transportation path planning of transporters considering the damaged path," *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, Vol. 50, No. 5, pp. 298-306, 2013.
- [6] Hwang, H. J., "A study on analysis process of customer requirements and functional requirements for a ship production simulations," in *Proc. Korean CAD/CAM Conference*, Pyeongchang, Korea, 2011.
- [7] Jang, K. J. and Kim, S. H., "An implementation methodology for CALS/EC system using IDEF0 and conceptual design in logistics industry," *The Journal of Korean Institute of CALS/EC*, Vol. 4, No. 1, pp. 37-58, 1999.
- [8] Kim, J. I., "IDEF0 models of the FCIM system for CALS implementation," *The Journal of Korean Institute of CALS/EC*, Vol. 2, No. 1, pp. 39-52, 1996.
- [9] Kwon, O. R. and Yuem, J. K., "IDEF0 models for construction CALS implementations," *The Journal of Korean Institute of CALS/EC*, Vol. 2, No. 1, pp. 39-52, 1997.
- [10] Lee, D. H., Park, J. H., and Bae, H. R., "Comparison between planned and actual data of block assembly process using process mining in shipyards," *The Journal of Society for e-Business Studies*, Vol. 4, No. 1, pp. 37-58, 1999.
- [11] Lee, D., Park, J., and Bae, H., "Clustering of assembly blocks using process mining in shipbuilding industry-the perspective of flow on work stage and utilization of shop," *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, Vol. 13, No. 2, pp. 125-142, 2003.
- [12] Lee, S. H., Kim, J. O., and Moon, I. K., "Deployment planning of blocks from storage yards using a tabu search algorithm," *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol. 37, No. 3, pp. 198-208, 2011.

- [13] Lee, W. S., Lim, W. I., Koo, P. H., and Joo, C. M., "Transporter scheduling for dynamic block transportation environment," *IE Interface*, Vol. 21, No. 3, pp. 274-282, 2008.
- [14] Noh, J. K. and Shin, J. G., "Design of the automated curved hull plates forming system using the axiomatic design," in *Proc. Korean CAD/CAM Conference*, Pyeongchang, Korea, 2010.
- [15] Noh, J. K., Yang, H. C., and Lim, N. W., "A development of block leveling system by using axiomatic design," in *Proc. Joint Conference with Korean Association of Ocean Science and Technology Societies*, Daegu, Korea, 2012.
- [16] Park, C. K. and Seo, J. Y., "A case study on assembly block operations management at shipyard," *Korean Management Science Review*, Vol. 23, No. 2, pp. 175-185, 2006.
- [17] Park, C. and Seo, J., "Genetic algorithm of the planar storage location assignment problem," *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol. 35, No. 2, pp. 129-140, 2009.
- [18] Park, G. J., Do, S. H., and Suh, N. P., "Design and extension of software systems using the axiomatic design framework," *Transactions of the Korean Society Mechanical Engineering A*, Vol. 23, No. 9, pp. 1536-1549, 1999.
- [19] Son, J. R., "A study of implementation for heavy vehicle to heavy vehicle communication system in shipbuilding," in *Proc. Joint Conference with Korean Operations Research and Management Science Society and Korean Institute of Industrial Engineers*, Jeju, Korea, 2010.
- [20] Son, J. R. and Cho, K. K., "Design for block logistics system of storage location assignment in shipbuilding," in *Proc. The 12th Annual International Conference on Industrial Engineering Theory, Applications and Practice*, Cancun, Mexico, 2007.
- [21] Sub, S. C. and Woo, K. Y., "Big shipyards set to create block logistics simulation model," in *Proc. Korean CAD/CAM Conference*, Pyeongchang, Korea, 2009.
- [22] Suh, N. P., *Axiomatic Design : Advances and Applications*. New York, USA : Oxford University Press, 2001.
- [23] Won, S. H., Chun, B. K., Jeon, S. M., Lee, B. K., Jang, D. W., Cho, H. G., and Kim, K. H., "A decision support system for designing container terminals," *Journal of Intelligence and Information Systems*, Vol. 12, No. 4, pp. 91-107, 2006.
- [24] Yien, T. S., *Manufacturing System Design Methodology*, Hong Kong University of Science and Technology, 1998.
- [25] Yim, S. B., Roh, M. I., Cha, J. H., and Lee, K. Y., "Optimal block transportation scheduling considering the minimization of the travel distance without overload of a transporter," *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, Vol. 45, No. 6, pp. 646-655, 2008.

## 저 자 소 개



손정열  
2000년  
2002년  
2002년~현재  
관심분야

(E-mail : jlson@dsme.co.kr)  
부산대학교 산업공학과 (석사)  
부산대학교 산업공학과 (박사수료)  
대우조선해양 중앙연구소 정보기술팀 과장  
조선 생산관리, 생산자동화, 시뮬레이션, 최적화



하병현  
1998년  
2005년  
2006년~현재  
관심분야

(E-mail : bhha@pusan.ac.kr)  
서울대학교 산업공학과 (석사)  
서울대학교 산업공학과 (박사)  
부산대학교 산업공학과 조교수  
물류 시스템 관리, 컨테이너 터미널 운영, 온톨로지와 지식  
베이스, 최적화 문제 해결 기법