

조립블록 지번할당 알고리즘 개발 : 현대중공업 사례

박창규^{*} · 서준용

울산대학교 경영대학 경영학부

JIBUN (location) assignment algorithm for assembly blocks :

A case of Hyundai Heavy Industries

Changkyu Park · Junyong Seo

Department of Management, University of Ulsan

It is a crucial managerial issue how to manage assembly blocks at shipyard. Based on the project experience in Hyundai Heavy Industries, this study points out the difficulties on the block stockyard operations, formalizes the JIBUN (location) assignment problem for assembly blocks, and develops the JIBUN (location) assignment algorithm whose purpose is to reduce the number of unproductive block moves. Through simulation experiments for various situations, this study demonstrates the usefulness of JIBUN (location) assignment algorithm. In addition, this study examines the impacts of block move sequence rules and of block stockyard layouts on the block stockyard operations.

Keyword: assembly block, JIBUN (location) assignment, stockyard, shipbuilding

1. 서론

조선 현장에서 어떻게 하면 조립블록을 효율적으로 관리할 수 있을까 하는 과제는 중요한 경영문제 가운데 하나가 되었다. 조선 현장에서의 조립블록 운영방식은 작업장에 필요한 조립블록을 적시에 공급하게 하고, 블록 적치장 및 운반 장비와 같은 희소 자원을 효율적으로 사용할 수 있도록 하는 중요한 요인으로서 선박건조공정의 생산성에 지대한 영향을 미친다.

세계 최대 규모의 선박건조회사이며, 국내 상선건조업계에서 중추적 역할을 담당하고 있는 현대중공업은 최근 조선 현장에 흩어져 있는 조립블록들을 효율적으로 관리하는데 상당한 어려움을 겪고 있다 (현대중공업의 선박건조능력은 연간 4,500,00 G/T (연간 60~70척의 선박건조)로 조선 현장에는 9개의 건조도크가 있다). 조립블록의 관리를 어렵게 하는 요인들로 다양

한 것들을 열거할 수 있지만, 주된 원인은 블록 적치장의 적정 수용용량을 초과하여 발생하는 조립블록의 수량, 효율적인 조립블록 운영 알고리즘의 부재, 그리고 조립블록 운영관리 시스템의 기능적 결함 등을 들 수 있다. 이러한 조립블록 관리상의 어려움은 곧 바로 물류비용의 증가로 이어진다. 현대중공업에서는 조립블록이 내업공장에서부터 반출되어 조선 현장의 여러 공정들을 거치면서 최종적으로 건조도크에 도착하여 탑재되기까지 요구되는 표준이동회수가 평균 7.8회이지만, 실제로 발생하는 조립블록 이동회수는 평균 10.5회나 되고 있다. 다시 말해서, 현대중공업은 표준이동회수의 35%나 되는 비생산적인 조립블록 운반 작업에 돈과 시간을 낭비하고 있다.

조선 현장에서 블록 적치장의 적정 수용용량을 초과하여 발생하는 조립블록의 수량에 의해 야기되는 조립블록관리의 어려움을 해결하기 위한 시도가 몇몇 연구에 의해 수행되었다.

이 논문은 2006년 울산대학교의 연구비에 의해 연구되었음.

*연락처 : 박창규 부교수 울산대학교 경영대학 경영학부, (680-749)울산광역시 남구 무거동 산29 울산대학교 경영대학, 연구실 Tel : 052-259-2438, Fax : 052-247-7619, E-mail : ckparkuou@ulsan.ac.kr

2006년 4월 접수, 2회 수정 후 2006년 6월 게재확정

Ahn(2002)은 조선 현장에서 발생하는 조립블록의 수량은 동시에 건조 중인 선박의 종류와 크기에 의해 결정된다는 점에 주목하였다. 그는 조선 현장에 걸리는 조립블록의 부하를 평준화하기 위해, 조선 현장에 흩어져 있는 조립블록의 수량을 고려하여 선표를 수립 및 수정할 것을 제안하였다. 선표는 어느 건조도크에서 어떤 배가 언제 건조될 것인가를 명시한 3년간의 생산계획표이다. 이 선표에서 동시에 건조될 선박들의 조합을 적절히 조정함으로써 조선 현장에 부과되는 조립블록의 수량을 평준화할 수 있다. 그러나 이런 조치는 조립블록의 부하 평준화보다 더 심각한 문제들을 발생시킨다. 가장 심각한 문제 중에 하나는 수익성 감소이다. 단순히 물류비용의 절감을 위해 선표를 수립하거나 수정하려는 조치는 물류비용의 절감보다 더 큰 판매손실을 야기할 수 있으므로 현실적이지 못하다.

Kim(2003)은 생산계획이 준수되지 못할 경우, 조선 현장에 흩어져 있는 조립블록의 수량이 어떻게 영향을 받는 지 파악하기 위해 과거의 실적자료를 조사하였다. 실적자료의 조사결과에 기초하여, 그는 생산계획 준수의 중요성을 주장하였지만, 어떻게 생산계획의 준수율을 향상시킬 것인가는 제안하지 못했다. Park(2005)은 조립블록의 크기를 증가시킴에 따라 조선 현장으로 반출되는 조립블록의 수량과 요구되는 블록 적치장의 면적이 얼마나 감소될 수 있는지 조사하기 위해 컴퓨터 모의실험을 수행하였다. 모의실험의 결과에 기초하여, 그는 조립블록의 크기를 증가시킨 메가 블록공법을 활용하면 조립블록의 수량과 요구되는 블록 적치장의 면적을 상당히 줄일 수 있다고 주장하였다. 그러나 그의 주장은 건조도크에서 탑재작업시간을 단축시키기 위해, 조립블록들을 용접하여 더 큰 조립블록으로 만드는 선타재 공정에 부분적으로 적용할 수 있다. 근본적인 조립블록 관리의 어려움은 조금도 해결되지 않고 그대로 남아있다.

한편, Kim and Yun(1996), Kim(2004), 그리고 Kwon(1999) 등과 같은 연구에서도 조선 현장에서의 조립블록 관리의 어려움을 지적하였다. 그러나 조립블록 운영관리의 문제는 그들의 주된 연구흐름에서 조금 벗어나 있었기 때문에 그들은 물류를 개선하는 관점에서 조립블록 관리의 문제를 부분적으로 다루는데 그쳤다.

현재 현대중공업은 거대한 조립블록을 운반할 목적으로 특별히 제작한 24대의 트랜스포터를 이용하여, 하루 24시간동안 약 500여개의 조립블록에 대한 운반 작업을 수행하고 있다. 그런데 비생산적인 조립블록 운반 작업이 표준이동회수의 35%나 되므로 생산적인 조립블록 운반 작업은 500여개의 블록이동 가운데 370여개뿐이다. 다시 말해서, 현대중공업에서는 매일 370여개의 조립블록을 운반하는 작업 중에 그 운반 작업을 방해하는 130여개의 조립블록이 발생하여, 이들 방해조립블록들에 대한 비생산적인 운반 작업이 수행되고 있다고 볼 수 있다. 이런 현상은 조립블록을 블록 적치장의 적절한 지번에 위치시킴으로써 어느 정도 완화될 수 있다. 이러한 조립블록 지번할당 문제가 본 연구의 주요 관심사항이다.

본 연구는 앞으로 다음과 같이 전개한다. 제2장에서는 조선

현장에서의 조립블록에 대한 운영에 대해 살펴보고, 조립블록 지번할당 문제를 정의한다. 그리고 제3장에서는 본 연구에서 개발한 조립블록 지번할당 알고리즘에 대해 설명하고, 제4장에서는 조립블록 지번할당 알고리즘의 유용성을 검증하기 위해 수행한 모의실험 결과를 보여준다. 마지막으로, 제5장에서는 본 연구에 대한 결론을 제시하며 끝맺는다.

2. 조립블록의 운영 및 지번할당 문제정의

2.1 조립블록의 운영

조립블록은 선박을 구성하는 구조물의 한 부분으로서 3차원 형상체이다. 설계단계에서 선박은 여러 구역으로 나누어지고, 구역은 또 다시 여러 블록으로 나누어진다. 선박의 종류와 크기에 따라 선박을 구성하는 블록의 수에는 차이가 있지만, 평균적으로 현대중공업은 하나의 선박을 약 250개의 블록으로 나눈다. 내업공장에서 철판조각들을 용접하여 블록을 조립한 후 반출시키면, 반출된 블록들은 조선 현장에서 의장 및 도장 등과 같은 여러 공정들을 걸쳐 최종적으로 건조도크에서 탑재되어 함께 용접된다.

물류관리 관점에서 보면, 조립블록은 선박건조과정에서 발생하는 중간 재공품재고이다. 그러나 다른 일반적인 산업체의 생산과정에서 발생하는 중간 재공품과는 달리, 조립블록의 크기와 무게는 일반인의 상상을 초월한다. 현대중공업에서 조립블록의 크기는 일반적으로 15m(가로길이)*15m(세로길이)*5m(높이) 정도이고, 무게는 100에서 300톤가량이다. 그리고 일반적인 조립블록의 크기와 무게를 초과하는 대형 조립블록들도 종종 발생한다. 이처럼 조립블록이 기본적으로 거대하고 무겁기 때문에 조립블록 운영관리자는 조립블록의 운반 및 보관에 특별한 주의를 기울이고 있다. 현대중공업은 무거운 중량을 들어올려 이동할 수 있도록 특별히 제작된 트랜스포터를 이용하여 거대하고 무거운 조립블록을 운반하고 있다. 트랜스포터는 다 방향 축의 바퀴를 65개나 달고 있는 운반 장비로, 거대하고 무거운 조립블록을 운반하기 위해 조립블록 아래로 들어가서, 조립블록을 들어올리고, 다른 장소로 이동할 수 있도록 유압 잭 리프트를 갖추고 있다. 또한 현대중공업은 조선 현장의 여러 곳을 블록 적치장으로 할당하였고, 거의 사각모양의 블록 적치장은 조립블록의 위치추적과 반입 및 반출을 효율적으로 관리하기 위해 셀로 나뉘어져 있다. 셀의 크기는 보통 15m*15m이고, 각 셀에는 지번이라고 불리는 번호가 지정되어 있다.

특수목적의 트랜스포터를 이용하여 블록 적치장에 조립블록을 반입 및 반출하는 작업은 현대중공업 초창기부터 사용해 오던 아주 오래된 방식을 그대로 따르고 있다. 즉, 블록 적치장은 직사각형의 체스판과 같고, 특수하게 제작된 트랜스포터가 평평한 지지대로 조립블록을 들어올려 한번에 하나씩 운반한다. 블록 적치장의 접근 가능한 빈 지번에 조립블록을 반입시키려면, 그 지번은 트랜스포터가 도착하기 전에 4개의 지그

(jig)(2m 높이)를 준비하고 있어야 한다. 그러면 조립블록을 실은 트랜스포터가 지그들 사이로 들어가 조립블록을 지그들 위에 얹어 놓고, 자신만 빠져 나온다. 여기서 조립블록들을 위로 포개쌓음으로써 여러 개의 조립블록들을 한 지면에 위치시키는 것은 불가능하다. 한편, 블록 적치장으로부터 조립블록을 반출하려면, 먼저 트랜스포터가 그 블록에 접근할 수 있는 경로를 확보해야 한다. 만약 어떤 블록들이 접근경로 상에 놓여 있으면, 트랜스포터는 반출할 블록에 접근하는데 방해가 되는 블록들을 다른 빈 지면으로 이동시켜야만 한다. 이러한 방해블록들에 대한 운반 작업은 될 수 있으면 발생하지 않도록 해야 할 비생산적인 활동이다.

블록 적치장에서 조립블록 운반 작업을 효율적으로 수행하는데 장애가 되는 가장 큰 제약은 조립블록들이 트랜스포터에 의해 X- 또는 Y-축 방향으로만, 즉 수평이동만 가능하고, 오버헤드 크레인을 이용한 Z-축 방향으로의 이동, 즉 수직이동은 허용되지 않는다는 것이다. 따라서 블록 적치장에 조립블록을 반입할 때, 가능하면 다른 블록들이 이동하는데 방해가 되지 않는 지면에 조립블록이 위치하도록 신중을 기해야 한다. 현재 현대중공업에서 조립블록에 블록 적치장의 지면을 할당하는 방법은 담당자의 실무경험에 많이 의존하고 있다(거의 무작위로 지면할당이 이루어지고 있다고 볼 수 있다). 이러한 접근방법이 효과적인 것 같지만, 실제로는 비생산적인 블록운반회수를 증가시킨다. 보다 좋은 접근방법은 본 연구가 고려 중인 체계적인 알고리즘을 개발하여 이용하는 것이다.

2.2 지면할당 문제정의

본 절에서는 비생산적인 조립블록 운반회수를 감소시키는 체계적인 알고리즘을 개발하기 위해 조선 현장에서의 조립블록 지면할당 문제를 정의한다. 먼저, <Figure 1>은 크기가 $m \times n$ (세로*가로, $m \leq n$)인 블록 적치장에 대한 개략적인 도식을 보여준다. 조선 현장에서 블록 적치장은 바닥에 흰색 페인트 선이 그려진 빈 터이다. 기본적으로 조립블록은 블록 적치장의 어떤 방향(즉, 동서남북)으로도 반입 및 반출이 가능하다. 그러나 어떤 블록 적치장들은 공장설비 결이나 공장설비들 사이에 위치해 있어서, 설비가 있는 방향으로 조립블록들이 반출입할 수 없게 되는 경우도 있다. 그리고 한 지면은 하나의 조립블록만을 저장할 수 있기 때문에 블록 적치장이 저장할 수 있는 조립블록의 최대 수는 $m \times n$ 이다.

블록 적치장을 운영하는 과정에서 블록이동이 발생하는 경우는 크게 세 가지이다. 하나는 새로이 도착한 조립블록을 블록 적치장에 반입하는 경우이고, 다른 하나는 만기된 조립블록을 블록 적치장으로부터 반출하는 경우이다. 그리고 나머지 하나는 만기된 조립블록을 반출하기 위해 만기된 조립블록이 이동할 경로 상에 있는 방해블록들을 다른 빈 지면들로 옮기는 경우이다. 조립블록은 거대하기 때문에 어떠한 운반 작업에도 비용이 많이 든다. 심지어 조립블록을 바로 다음 지면으

로 이동하거나 제 자리에서 방향을 조금 수정하는 사소한 작업처럼 보이는 경우에도 비용이 많이 든다. 따라서 블록 적치장을 운영하는 관리자의 입장에서는 블록위치를 신중히 결정하여 조립블록 이동회수를 최소화하는 것이 대단히 중요하다.

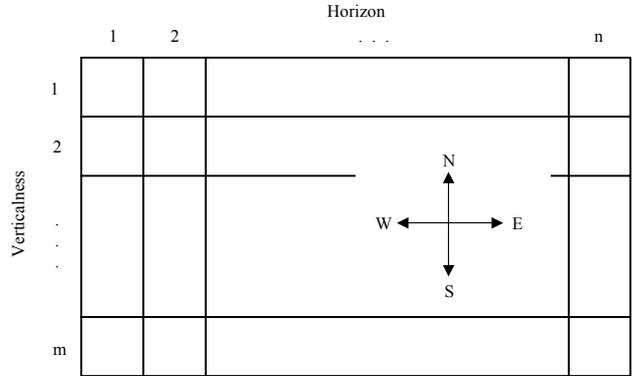


Figure 1. The schematic drawing of block stockyard.

조선 현장에서의 조립블록 지면할당 문제는 방해블록 이동회수가 최소가 되도록 (1) 도착하는 조립블록들을 블록 적치장의 빈 지면들에 배정하고, (2) 방해블록들을 다른 빈 지면들에 재배정하고, 그리고 (3) 만기된 조립블록들을 블록 적치장으로부터 반출하는 것이다. 제4장에서 다룰 컴퓨터 모의실험을 수행하기 위해 조립블록 지면할당에 대한 의사결정은 단위 기간별로 이루어지고, 의사결정 시점에 반입 및 반출할 조립블록에 대한 정보와 조립블록이 블록 적치장에 체류할 기간에 대한 정보들이 이용 가능하다고 가정한다.

유사한 형태의 문제가 항만 컨테이너 터미널(Murty et al.(2005), Preston and Kozan (2001), Zhang et al. (2003) 참조)과 조선 현장에서의 강제 적치장(Park et al. (2006) 참조)에서 발생한다. 하지만 컨테이너 터미널과 강제 적치장은 오버헤드 크레인을 이용하여 컨테이너와 강재를 이동하기 때문에 운반방식에서 큰 차이를 보인다. 즉, 컨테이너와 강재는 3차원의 이동이 가능하다. 컨테이너 터미널과 강제 적치장에서의 문제에 대한 목적함수는 특정의 컨테이너나 강재를 반출하기 위해 컨테이너나 강재를 재섞음(reshuffling)으로 인해 발생하는 운반회수를 최소화하는 것이다. 또한, 유사한 형태의 문제가 오더피킹(order picking)시스템(Brynzner and Johansson (1996), Chew and Tang(1999) 참조)에서도 발생한다. 조립블록 지면할당 문제와의 큰 차이점은 오더피킹시스템에서는 자재를 취급하는데 별다른 어려움(제약)이 없다는 것이다. 오더피킹시스템에서의 문제에 대한 목적함수는 주문을 만족시키기 위해 자재창고를 돌아다니다 걸리는 시간을 최소화하는 것이다.

3. 조립블록 지면할당 알고리즘

블록 적치장의 운영 생산성을 향상하기 위해 본 연구에서

개발한 조립블록 지번할당 알고리즘은 다음과 같은 세 개의 하위-알고리즘들로 구성되어 있다: (1) 블록 적치장 레이아웃(Layout)설계, (2) 방해블록선정, 그리고 (3) 지번결정. 세 개의 하위-알고리즘들은 서로 독립적으로 이용 가능하다. 블록 적치장 레이아웃설계 하위-알고리즘은 블록 적치장에서 어떤 지번들을 이동통로로 임시 사용할 것인가를 결정한다. 방해블록선정 하위-알고리즘은 조립블록을 반출하기 위해 어떤 블록들을 블록 적치장의 다른 빈 지번들로 옮겨야 하는지를 결정한다. 마지막으로, 지번결정 하위-알고리즘은 새로이 도착한 블록들과 방해블록들에게 빈 지번들을 배정한다. 이어지는 절에서는 예제를 이용하여 각 하위-알고리즘에 대해 설명한다.

3.1 블록 적치장 레이아웃설계 하위-알고리즘

블록 적치장에는 고정된 이동통로가 없다. 제2장에서 언급한 바와 같이, 조선 현장에서 블록 적치장은 바다에 흰색 페인트 선이 그려진 빈 터이다. 하지만 블록 적치장에 반입될 조립블록의 양에 따라 유연하게 이동통로를 활용하면 조립블록을 좀더 효율적으로 관리할 수 있지 않을까 하는 생각은 합리적이라고 사료된다. 본 연구는 이 개념을 제4장에서 모의실험을 통해 검토해 볼 것이다.

블록 적치장 레이아웃설계 하위-알고리즘은 블록 적치장의 최대 부하율을 고려하여 통로개수를 계산하고, 블록 적치장에 놓일 통로위치를 결정한다. 블록 적치장 레이아웃설계 하위-알고리즘은 다음과 같이 4 단계로 구성되어 있다.

단계 1: 최대 블록개수 계산

블록 적치장에 반입될 최대 블록개수는 최대 부하율에 의해 결정된다. 따라서

$$\text{최대 블록개수} = m * n * (\text{최대 부하율})$$

단계 2: 통로개수 계산

통로는 조립블록들이 이동하는 경로로 사용된다. 이동통로로 임시 지정된 지번에는 조립블록을 놓을 수 없다. 블록 적치장 레이아웃설계 하위-알고리즘은 통로배치 방향을 블록 적치장의 세로방향으로만 고려한다. 따라서

$$\text{통로개수} = (m * n - \text{최대 블록개수}) / m$$

단계 3: 구역의 크기 계산

구역은 이동통로들에 의해 나누어진 블록 적치장의 부분들을 말하고, 구역의 크기는 그 구역에 할당된 가로의 길이를 의미한다. 여러 개의 이동통로들이 블록 적치장에 놓이면, 블록 적치장은 (통로개수 + 1)개의 구역으로 나누어지고, 이용 가능한 가로의 길이는 통로개수만큼 감소한다. 따라서

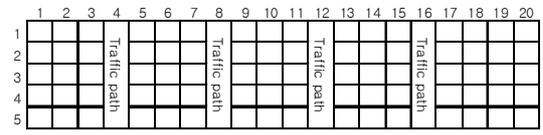
$$\text{구역의 크기} = (n - \text{통로개수}) / (\text{통로개수} + 1)$$

단계 4: 통로위치 결정

이 단계는 먼저 구역의 크기에 해당하는 정수 값으로 가로의 길이를 분할한다. <Table 1>에 있는 예제의 경우, 각 구역의 크기는 (3,3,3,3,4), (3,3,3,4,3), (3,3,4,3,3), (3,4,3,3,3), 또는 (4,3,3,3,3)과 같이 될 수 있다. 그리고 구역들 사이에 이동통로를 위치시킨다.

<Table 1>은 m = 5, n = 20, 최대 부하율 = 80%인 예제에 대한 블록 적치장 레이아웃설계 하위-알고리즘의 결과를 정리하여 보여주고 있다.

Table 1. A summary of block stockyard layout design sub-algorithm (m = 5, n = 20, Max load rate = 0.80).

Step	Contents
1	Max num of blocks = 5*20*0.80 = 80
2	Num of traffic paths = (5*20-80)/5 = 4
3	Size of region = (20-4)/(4+1) = 3.2
4	Traffic path location, for example, (3,3,3,3,4) 

3.2 방해블록선정 하위-알고리즘

블록 적치장에서 만기된 조립블록을 반출할 때 방해블록들이 존재할 수 있다. 방해블록선정 하위-알고리즘은 만기된 조립블록의 반출 이동거리를 최소화 하고, 또한 발생할 방해블록들의 개수를 최소화 하는 반출경로를 선정함으로써 다른 빈 지번들로 이동해야 할 방해블록들을 결정한다.

방해블록선정 하위-알고리즘과 다음 절에서 설명할 지번결정 하위-알고리즘의 이해를 돕기 위해 본 절에서는 블록 적치장으로부터 조립블록을 반출하는 예제를 이용한다. <Figure 2>는 방해블록선정 하위-알고리즘과 지번결정 하위-알고리즘의 모든 단계를 요약하여 보여준다. 본 예제에서는 조립블록이 이동하는 방향에 대한 제약은 없다고 가정한다. 즉, 조립블록은 동서남북 어떤 방향으로도 드나들 수 있다. 만약 어떤 방향으로의 블록이동에 제약이 있다면, 지번결정 하위-알고리즘에서 제약된 방향으로 조립블록을 이동하는 단계는 생략된다.

우선, <Figure 2(a)>는 만기된 조립블록들을 반출하기 위한 방향과 다른 빈 지번들로 이동해야 할 방해블록들을 결정하는 방법을 보여준다. 지번 안에 있는 숫자는 조립블록이 반출되어야 하는 시점을 나타낸다. 현재 단위 시각이 5라고 가정하면, 음영 처리된 지번에 있는 2개의 조립블록들이 반출되어야 한다. 첫 번째 열에 있는 만기된 조립블록은 반출하는데 전혀 방해물이 없다. 화살표는 조립블록의 이동방향을 나타낸다. 하지만 세 번째 열에 있는 만기된 조립블록은 반출하는데 방해블록들이 있다(즉, 점선으로 된 원으로 표시된 블록들). <Figure 2(a)>에서 4방향 모두를 살펴보면, 화살표로 표시된 방향으로 만기

된 조립블록을 반출하여야 이동거리와 방해블록개수를 최소로 줄일 수 있다. 따라서 화살표로 표시된 방향에 있는 조립블록이 다른 빈 지번으로 이동해야 할 방해블록으로 선정된다.

블록을 다른 빈 지번으로 이동시키기 위한 본 단계를 보여준다. 음영 처리된 빈 지번들이 접근 가능한 후보지번들이다.

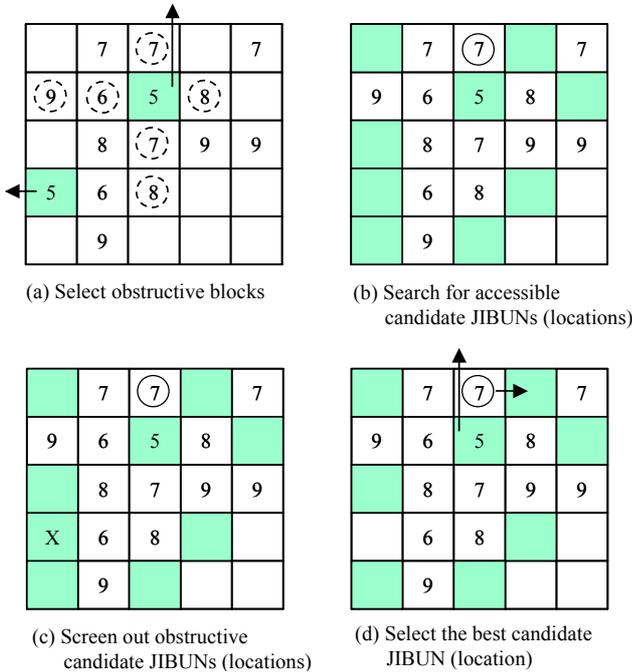


Figure 2. A summary of the obstructive block selection sub-algorithm and the JIBUN (location) determination sub-algorithm.

3.3 지번결정 하위-알고리즘

지번결정 하위-알고리즘은 두 가지 경우에 사용된다. 한 가지는 블록 적치장에 새로운 조립블록이 반입되는 경우이고, 다른 한 가지는 블록 적치장으로부터 만기된 조립블록을 반출시키는 경로에 방해블록이 존재하는 경우이다. 새로이 반입할 조립블록이나 방해블록에게 빈 지번을 할당하기 위해 지번결정 하위-알고리즘은 다음과 같은 단계를 따른다.

단계 1: 접근 가능한 후보지번 탐색

후보지번을 찾기 위해 본 단계는 동서남북 4방향에서 모든 접근 가능한 후보지번을 탐색한다. 먼저, 가로 = 2에서 n-1까지의 구간에 대해, 북쪽에서 남쪽 방향으로 그리고 남쪽에서 북쪽 방향으로 번갈아 가며 접근 가능한 후보지번을 탐색한다. 다음으로, 세로=1에서 m까지의 구간에 대해, 서쪽에서 동쪽 방향으로 그리고 동쪽에서 서쪽 방향으로 번갈아 가며 접근 가능한 후보지번을 탐색한다. 접근 가능한 후보지번은 탐색방향에서 이미 조립블록으로 채워져 있는 지번 바로 앞에 위치한 빈 지번이다. 만일 어떤 탐색방향(가로 또는 세로)에서 한 열이나 한 행에 있는 모든 지번이 비어 있으면, 첫 탐색방향(북쪽에서 남쪽방향 또는 서쪽에서 동쪽방향)의 첫 지번을 접근 가능한 후보지번으로 지정한다. <Figure 2(b)>는 원으로 표시된 방해

단계 2: 방해 후보지번 제거

본 단계는 단계 1에서 탐색된 접근 가능한 후보지번들 중에서 이동 대상인 조립블록이 위치하면 인접 지번에 있는 다른 조립블록이 이동하는데 방해가 되는 후보지번을 제거한다. <Figure 2(c)>는 방해 후보지번을 X로 표시하였다. 만약 원으로 표시된 방해블록이 X로 표시된 지번으로 이동된다면, 바로 오른쪽 지번에 있는 조립블록은 이동통로가 막혀 버린다. 즉, 이동통로가 막힌 조립블록은 단위 시각 6에 블록 적치장으로부터 반출되어야 하는데 방해블록은 단위 시각 7에 반출되는 것으로 되어 있다.

단계 3: 최선의 후보지번 선정

마지막 단계는 이동거리를 최소로 하는 최선의 후보지번을 선정하는 것이다. <Figure 2(d)>는 원으로 표시된 방해블록을 이동시킬 최선의 후보지번은 바로 오른쪽 지번임을 보여준다. 화살표는 블록들의 이동방향을 나타낸다.

만일 블록 적치장에 여유 공간이 없어서 접근 가능한 후보지번 탐색에서 접근 가능한 후보지번을 찾을 수 없을 경우, 이 블록 적치장에는 새로운 조립블록을 반입할 수 없다. 그러나 만기된 조립블록을 반출하기 위해 방해블록들을 옮겨야 하는 경우는 방해블록들을 임시로 다른 장소로 옮겨 놓고, 만기된 조립블록을 반출한 후, 임시의 장소로 옮겨 놓은 방해블록들을 블록 적치장에 재 반입시킨다.

만일 방해 후보지번 제거 단계에서 모든 접근 가능한 후보지번이 제거되면, 접근 가능한 후보지번 탐색에서 찾은 접근 가능한 후보지번들 중에서 이동거리를 최소로 하는 후보지번을 최선의 후보지번으로 선정한다.

4. 모의실험

본 연구에서 개발한 조립블록 지번할당 알고리즘의 유용성을 검토하기 위해 다양한 상황을 설정하여 컴퓨터 모의실험을 수행하였다. 비록 알고리즘의 유용성을 검토하는 것이 모의실험의 주된 목적이지만, 본 장에서는 추가로 현대중공업 블록 적치장의 현 운영방식과 새로이 고려 중인 블록 적치장 운영방식을 비교하기 위한 모의실험과 블록 적치장 레이아웃에 따른 영향을 조사하기 위한 모의실험도 같이 설명한다.

조선 현장의 블록 적치장 운영상에는 필수블록운반과 방해블록운반과 같이 두 가지 유형의 블록이동이 발생한다. 필수블록운반은 블록 적치장에 조립블록을 반입하고 반출하는 생산적 활동인 반면, 방해블록운반은 필수블록운반을 수행하기 위한 이동경로를 제공하기 위해 방해블록들을 다른 빈 지번들로 이동시키는 비생산적 활동이다. 블록 적치장의 운영 생산

성을 향상시키기 위해서는 방해블록운반회수를 최대한 줄여야 한다. 본 연구는 성과적으로 O/N 비율을 다음과 같이 정의하여 사용한다.

$$O/N \text{ 비율} = \text{방해블록운반회수} / \text{필수블록운반회수}$$

여기서 O/N 비율의 값이 적으면 적을수록 블록 적치장의 운영 생산성이 높다는 것을 의미한다.

본 연구는 다양한 크기의 블록 적치장에 대해 컴퓨터 모의실험을 수행하였다. 그러나 본 장에서는 현대중공업에서 대표적 크기인 5*10, 5*15, 5*20과 같이 3개의 블록 적치장에 대한 모의실험 결과만을 보여준다. 다른 크기의 블록 적치장에 대해 수행한 모의실험에서도 비슷한 결과를 보였다. 모의실험에서 블록 적치장은 블록들이 반출입할 수 있는 방향의 수를 통제하였다(즉, 1, 2, 3, 또는 4방향 모두 허용). 또한 블록 적치장의 최대 부하율은 60, 70, 80, 90, 그리고 100%와 같이 다양하게 고려하였다. 모든 모의실험은 100 단위 기간동안 수행되었고, O/N 비율은 대략 50 단위 시각부터 안정된 상태를 나타냈다.

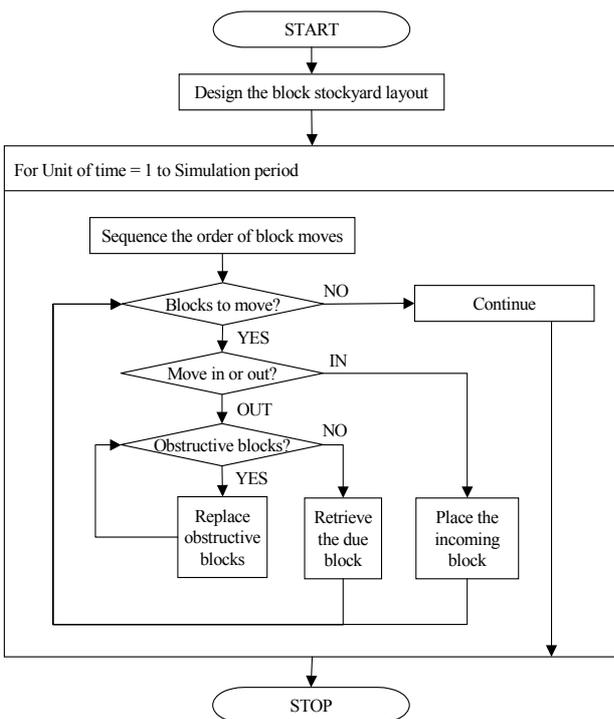


Figure 3. The flowchart of simulation experiment.

<Figure 3>은 블록 적치장 운영에 대한 모의실험의 흐름도를 보여준다. 우선, 시뮬레이터는 블록 적치장에 걸리는 최대 부하율을 고려하여 블록 적치장 레이아웃을 설계한다. 이때, 시뮬레이터는 블록 적치장 레이아웃 설계 하위-알고리즘을 이용한다. 다음으로, 모의실험 기간동안 각 단위 기간에 대해 시뮬레이터는 무작위로 발생시킨 새로 도착한 조립블록들과 블록 적치장에서 반출할 만기된 조립블록들에 대한 블록운반 순

서를 정한다. 블록운반 순서를 결정하는 규칙은 실험상황에서 주어진다. 블록운반 순서가 결정되면, 그 순서에 따라 시뮬레이터는 조립블록들을 이동한다. 만약 이동해야 할 블록이 블록 적치장에 새로이 도착한 조립블록이면, 시뮬레이터는 지번 결정 하위-알고리즘을 이용하여 블록 적치장에 조립블록을 반입한다. 만약 다른 경우라면, 시뮬레이터는 우선 방해블록 선정 하위-알고리즘과 지번결정 하위-알고리즘을 이용하여 방해블록들을 다른 빈 지번들로 이동한다. 모든 방해블록들을 이동시키고 난 후, 시뮬레이터는 블록 적치장으로부터 만기된 조립블록을 반출한다.

4.1 알고리즘의 유용성 검증

본 연구에서는 조립블록 지번할당 알고리즘의 유용성을 검토하기 위해 3종류의 실험상황을 설정하여 모의실험을 실시하였다. 실험상황 1에서는 주어진 모의실험 기간동안 각 단위 기간에 대해 시뮬레이터가 우선적으로 만기된 모든 조립블록들을 블록 적치장으로부터 반출하였다. 그리고 난 후, 새로 도착한 조립블록들을 무작위 순서로 블록 적치장에 반입하였다. 여기서 방해블록 및 새로 도착한 조립블록에 대한 지번은 무작위로 할당하였다. 실험상황 2는 실험상황 1과 비슷하나, 실험상황 2에서는 방해블록 및 새로 도착한 조립블록들에 대한 지번을 할당하기 위해 본 연구에서 개발한 조립블록 지번할당 알고리즘을 이용하였다. 실험상황 3은 블록 적치장에 블록들을 반입하는 순서를 조립블록들이 블록 적치장에 머무는 기간의 내림차순을 따르게 했다는 것을 제외하고는 실험상황 2와 같다. 즉, 실험상황 3은 블록 적치장에 오래 머물 조립블록을 우선적으로 블록 적치장에 반입하였다.

<Figure 4>는 3종류의 실험상황에 대한 모의실험 결과를 보여준다. 일반적으로 블록 적치장에 조립블록의 부하가 증가함에 따라 O/N 비율이 증가함을 보인다. 이는 자연스런 결과라고 진단된다. 그리고 블록이동 방향의 수와 블록 적치장의 크기 및 부하율을 고려한 모든 경우에 대해 실험상황 2가 실험상황 1보다 더 좋은 성과를 보여주고 있다. 이것은 본 연구에서 개발한 조립블록 지번할당 알고리즘을 이용한 블록 적치장 운영이 무작위 할당방법을 이용한 블록 적치장 운영보다 방해블록운반회수를 덜 발생시킨다는 것을 의미한다. 추가적으로 살펴보면, 실험상황 3이 실험상황 2보다 더 좋은 성과를 보여주고 있다. 이것은 블록운반 순서를 결정하는 규칙도 블록 적치장의 운영 생산성에 영향을 주는 것으로 해석할 수 있다.

4.2 블록 적치장 운영방식의 비교

본 절에서는 현대중공업 블록 적치장의 현 운영방식과 새로 고려 중인 운영방식을 비교한다. 이 비교는 주로 블록운반 순서를 결정하는 규칙에 대한 것이다. 새로 고려 중인 블록 적치장 운영방식은 실험상황 3으로 묘사한 풀(Pull)시스템방식이

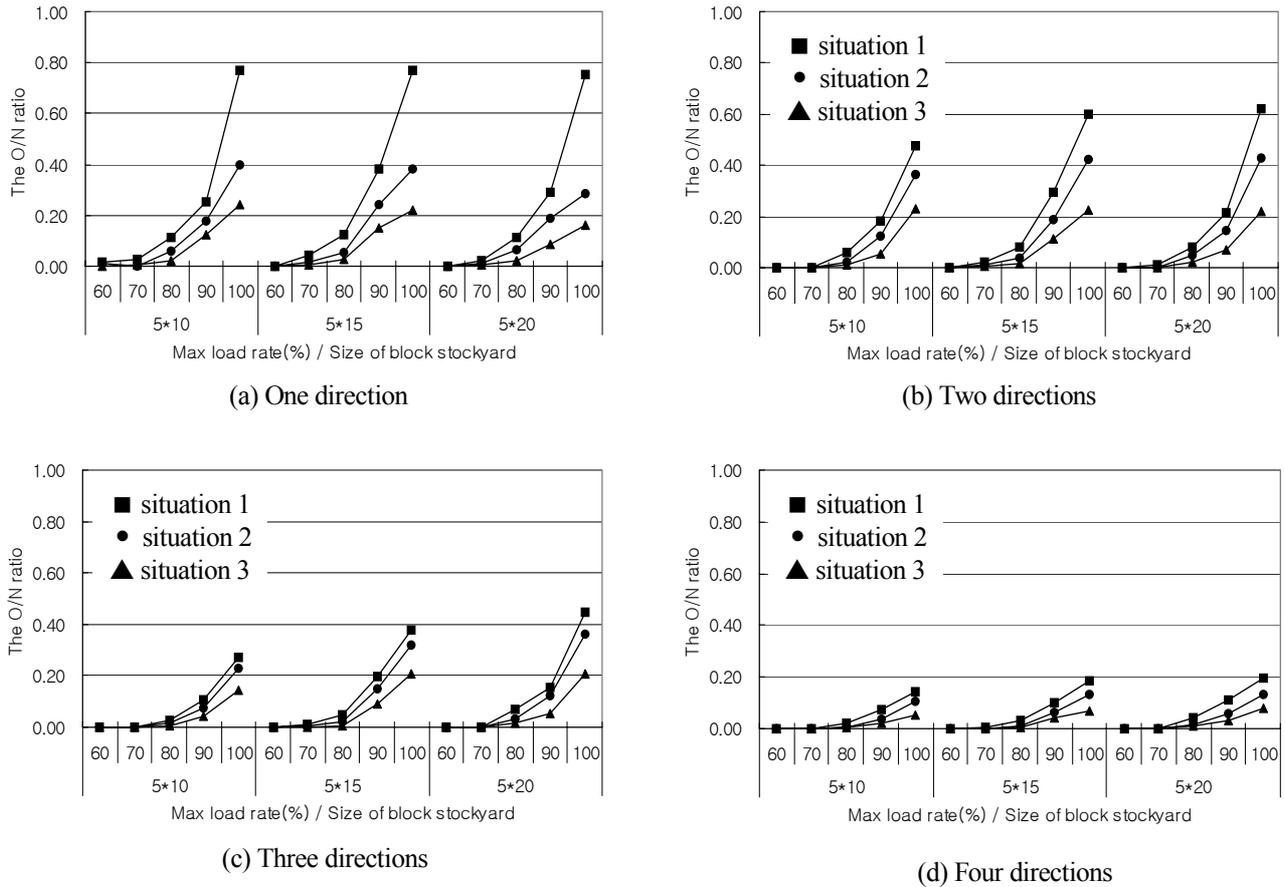


Figure 4. The simulation output of verifying the algorithm usefulness.

다. 먼저, 선박 건조공정상 마지막에 위치한 블록 적치장에서 조립블록 운반 작업을 실시한다. 마지막 블록 적치장에서 요구하는 모든 조립블록 운반 작업을 완료한 후, 다음 순서로서 바로 이전 블록 적치장에서 요구하는 조립블록 운반 작업을 실시한다. 이런 식으로 모든 조립블록 운반 작업을 실시한다. 반면에 현대중공업 블록 적치장의 현 운영방식은 모든 블록 적치장에서 동시에 조립블록 운반 작업이 행해진다. 따라서 현 운영방식은 조립블록의 반입 및 반출 작업이 교대로 수행되는 점이 실험상황 3과 다르다.

<Figure 5>는 블록 적치장 운영방식을 비교하기 위해 실시한 모의실험 결과이다. <Figure 5>의 종축은 현 운영방식에 의한 O/N 비율을 새로 고려 중인 운영방식에 의한 O/N 비율에 대비시킨 값을 나타낸다. 즉, <Figure 5>의 종축에 있는 Ratio = (현 운영방식에 의한 O/N 비율) / (새로 고려 중인 운영방식에 의한 O/N 비율). <Figure 5>는 블록 적치장의 크기, 최대 부하율, 블록들이 반출입할 수 있는 방향의 수에 따른 모의실험 결과이다. 본 모의실험 결과에 따르면, 새로 고려 중인 운영방식이 현 운영방식보다 더 좋은 성과를 보여주므로 (즉, Ratio ≥ 1 이므로, 새로 고려 중인 운영방식이 방해블록 운반회수를 적게 발생한다), 본 연구는 블록 적치장 운영방식의 변경을 현대중공업에게 제안한다. 그러나 블록 적치장 운영방식을 변경하기 위

해서는 극복해야 할 조직적 문제가 현대중공업에 내재하고 있다. 이것은 현대중공업이 풀어야 할 또 다른 어려운 과제이다.

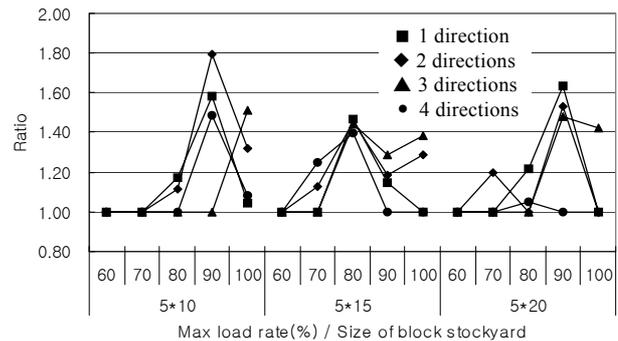


Figure 5. The simulation output of comparing operating methods.

4.3 블록 적치장 레이아웃에 의한 영향

본 절에서는 블록 적치장에 입고될 조립블록의 양에 따른 이동통로의 활용 개념을 검토하기 위해 실시한 모의실험 결과를 설명한다. 4.1절과 4.2절에서 설명한 모든 실험상황에 대해 이동통로를 고려하지 않은 새로운 모의실험을 반복 실시하였다. 다시 말해서, 새로 실시한 모의실험에서는 <Figure 3>에

명시된 ‘Design the block stockyard layout’의 단계를 생략하였다. <Figure 6>은 오직 실험상황 3에서 5*20 크기의 블록 적치장에 대한 블록 적치장 레이아웃의 영향을 보여준다. 다른 모든 경우도 <Figure 6>과 비슷한 결과를 보였다. <Figure 6>에서 보여주는 결과에 의하면, 블록 적치장에 입고될 조립블록의 양에 따라 유연하게 이동통로를 활용함으로써 보다 좋은 성과를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 다시 말해서, 블록 적치장에 입고될 조립블록의 양에 따라 이동통로를 유연하게 활용하는 개념이 블록 적치장의 운영 생산성 향상에 기여한다는 것이 실험적으로 검증되었다.

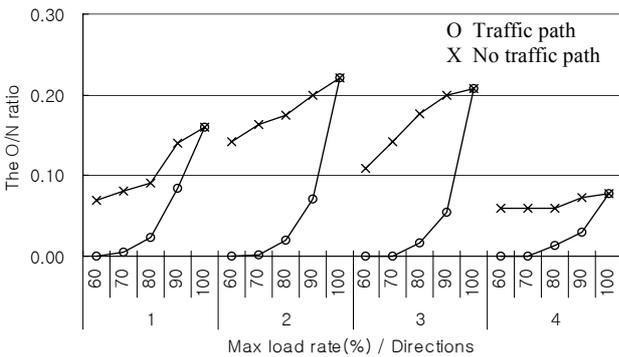


Figure 6. Influence of block stockyard layout (5*20, situation 3).

5. 결론

본 연구는 조선 현장에서 블록 적치장이 어떻게 운영되는지 소개하고, 블록 적치장에서 거대한 조립블록을 관리하는데 따르는 어려운 점들을 지적하였다. 블록 적치장 운영 생산성의 향상을 위해 본 연구는 조립블록 지번할당 문제를 명확히 정의하고, 조립블록 지번할당 알고리즘을 개발하였다. 그리고 개발한 알고리즘의 유용성을 컴퓨터 모의실험을 통해 검증하였다.

현대중공업은 블록 적치장의 운영 생산성을 향상시킬 수 있는 길을 모색하기 위한 산학협동 프로젝트를 수행하고 있다. 현재 산학협동 프로젝트는 본 연구에서 개발한 조립블록 지번

할당 알고리즘을 파일럿 블록 적치장 운영시스템에 탑재하고 있다. 파일럿 시스템에 대한 검증을 완료한 후, 산학협동 프로젝트 팀은 다른 선박 제조업체와 정보를 공유하기 위해 프로젝트의 결과를 공식적으로 발표할 계획이다.

참고문헌

Ahn, S.S.(2002), *A Study on the Efficient Operation of Block Storages at Shipyard: a Case of Hyundai Heavy Industries* (in Korean), Master Thesis, University of Ulsan, Korea.

Brynzer, H. and Johansson, M.I.(1996), Storage location assignment: Using the product structure to reduce order picking times, *International Journal of Production Economics*, 46-47, 595-603.

Chew, E.P. and Tang L.C.(1999), Travel time analysis for general item location assignment in a rectangular warehouse, *European Journal of Operational Research*, 112, 582-597.

Kim, I.S. (2004), *A Study on the Improvement of Logistics in Assembly Process of Shipbuilding Industry* (in Korean), Master Thesis, University of Ulsan, Korea.

Kim J.K.(2003), *A Study on Solving Block Accumulation Appearance in Shipbuilding* (in Korean), Technical Report, University of Ulsan, Korea.

Kim, S.U. and Yun, U.R.(1996), *Master Plan for Improving Logistic System in Hyundai Heavy Industries* (in Korean), Technical Report, Hyundai Research Institute, Korea.

Kwon, S.T.(1999), *A Study on the Improvement of Logistics in Shipbuilding Industry Applying SCM Theory and TOC Theory* (in Korean), Master Thesis, University of Ulsan, Korea.

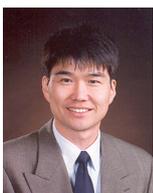
Murty, K.G., Liu, J., Wan, Y. and Linn, R.(2005), A decision support system for operations in a container terminal, *Decision Support Systems*, 39, 309-332.

Park, C., Park, J.C., Byeon, G.G., Kim, H.G. and Kim, J.(2006), Steel stock management on the stockyard operations in shipbuilding: A case of Hyundai Heavy Industries, *Production Planning and Control*, 17, 1-12.

Park, Y.(2005), *A Study on the Assembly and Erection Method of Mega Block for the Solution of Block Stock Overload in Shipbuilding Industry* (in Korean), Master Thesis, University of Ulsan, Korea.

Preston, P. and Kozan, E.(2001), An approach to determine storage locations of containers at seaport terminals, *Computers and Operations Research*, 28, 983-995.

Zhang, C., Liu, J., Wan, Y., Murty, K.G. and Linn, R.(2003), Storage space allocation in container terminals, *Transportation Research Part B*, 37, 883-903.



박창규

고려대학교 산업공학과 학사
 한국과학기술원 산업공학과 석사
 University of Missouri-Columbia 산업공학과 박사
 현재: 울산대학교 경영대학 경영학부 부교수
 관심분야: 공급사슬경영, 생산계획 및
 통제시스템



서준용

1994년 울산대학교 산업공학과 공학사
 1996년 울산대학교 산업공학과 공학석사
 2002년 울산대학교 산업공학과 공학박사
 현재: 울산대학교 외래강사
 관심분야: SCM, CIM, 데이터베이스 응용,
 e-Marketplace, 생산정보시스템