IE Interfaces
Vol. 18, No. 2, pp. 167-177, June 2005.

강재적치장 운영 효율화 방안에 관한 사례연구

박창규[1†] · 박주철[2]

[1]울산대학교 경영대학 경영학부 / [2]울산대학교 공과대학 산업정보경영공학부

A Case Study of Improving Operations Efficiency on the Steel Stockyard in Shipbuilding

Changkyu Park[1] · Ju-Chull Park[2]

[1]Department of Management, University of Ulsan, Ulsan, 680-749
[2]Industrial Engineering, University of Ulsan, Ulsan, 680-749

As the largest shipbuilding company in the world and the leader in the Korean merchant shipbuilding industry, Hyundai Heavy Industries is currently struggling to carry out intensive productivity improvement efforts in order to be the global merchant shipbuilding market leader by surpassing in the competition with Japan and being free from the defiance of China armed with very cheap labor costs. This paper introduces the academy-and-industry collaborative project, a part of the productivity improvement efforts, which has conducted on the steel stockyard operations. As a pilot project that researches for the way of improving the stockyard operations and ignites further projects on the stockyard operations, the project defined the stockyard operations, measured current situations, and analyzed management dilemmas. In addition, the project developed the steel stockyard operations simulator. Besides that the simulator is used by the operations manager who has heavily relied on his work-experienced intuition when making decisions, this paper expects that further projects on the stockyard operations utilize the simulator for their own purposes.

Keyword: steel stockyard, shipbuilding, computer simulation

1. 서 론

현재 한국과 일본은 전 세계의 상선건조시장에서 선두위치를 차지하기 위해 치열한 경쟁을 벌이고 있고, 그 뒤를 이어 중국이 열심히 쫓고 있는 상황이다. 1956년에 명실상부한 조선대국이 된 이래 일본은 거의 50년 동안 조선대국으로서의 영광을 독차지하고 있었다(Koenig *et al*. 2003). 그러나 신기술의 현대식 설비와 규모의 경제 및 값싼 노동력을 갖춘 한국기업이 출연함에 따라 일본은 좋든 싫든 그 영광을 한국과 나누어 가져야 하는 상황에 처했다. 한국은 상선건조를 1970년대 초반부터 시작한 짧은 역사를 갖고 있지만, Lloyd's World Fleet Statistics가 입증하듯이, 일본기업에게 상당한 압박을 가하고 있다.

일본은 여전히 생산성부문에 있어서 세계 제일의 수준을 자랑하고 있을 뿐만 아니라(일본의 생산성수준을 1.0으로 보았을 때 한국의 생산성수준은 0.7 정도이다), 건조기간부문에서도 경쟁우위를 차지하고 있다(Double-hull VLCC 건조에 있어서 한국은 50~70만 공수로 7~11개월이 걸리는 반면, 일본은 40~60만 공수로 6~8개월이면 된다). 한국은 이런 부족한 면을 낮

이 논문은 2004년 울산대학교 교내 연구비에 의하여 연구되었음.
†연락저자 : 박창규 교수, 680-749 울산광역시 남구 무거동 산29 울산대학교 경영대학 경영학부, Fax : 052-247-7619,
E-mail : ckparkuou@ulsan.ac.kr
2004년 7월 18일 접수, 2회 수정 후 2005년 3월 23일 게재 확정.

은 노무비로 보충해 왔다(일본의 노무비수준을 1.0으로 보았을 때 한국의 노무비수준은 0.5 정도이다) (Koenig *et al*. 2003). 그러나 일본에 비해 원가 면에서 강점을 보이던 한국이 더 이상 낮은 노무비를 유지할 수 없는 상황이 됨에 따라 최근에는 어려움에 직면해 있다(지난 10년 동안 일본의 평균 노무비가 10 퍼센트 정도 증가한 것에 비해 한국의 평균 노무비는 100 퍼센트 정도 증가하였다(Japanese Statistics Bureau, 2004; Korea Statistics Association, 2002; Sohal and Ferme, 1996). 일본과의 경쟁에서 앞지르고 아주 값싼 노동력으로 무장한 중국의 도전으로부터 벗어나 전 세계의 상선건조시장에서 선두위치를 차지하기 위해 최근 한국은 생산성 향상을 위한 노력을 배가하고 있다.

세계에서 가장 큰 조선업체이며 한국 상선건조업체의 리더로서 현대중공업은 상선건조부문의 치열한 현 경쟁상황을 충분히 인식하고 있다. 1973년 준공 이후, 현대중공업은 꾸준히 선진기술을 개발 및 채용하면서 세계적인 조선업체가 되기 위해 분투해 왔다. Choi(2002)가 분석하였듯이, 현대중공업은 제품개발과 판매 및 마케팅에서 세계적인 수준의 경쟁력을 확보하고 있으나, 아직 생산공정 면에서는 개선해야 할 부분이 많이 남아 있는 실정이다. 따라서 조선기술개발부는 산업기술연구소의 협조하에 신기술을 활용하여 생산공정을 향상시키기 위해 다양한 프로젝트를 수행하고 있다.

본 논문은 생산성 향상을 위한 노력의 일환으로 강재적치장에서 수행한 산학협동 프로젝트를 소개하고자 한다. 선박건조상의 선각공정이나 조립, 도장, 탑재공정들과 비교해 볼 때, 강재적치장은 경영층의 관심을 상대적으로 적게 받았다. 경영층은 강재적치장이 마케팅뿐만 아니라, 설계, 구매, 조달, 제조 등과 같은 부서와 밀접하게 연관되어 있다는 사실을 인식하지 못하고, 단순히 강재적치장 운영을 쉽게 생각하였다. 그리고 강재적치장을 방문할 때마다 쌓여 있는 많은 강재를 보고는 강재 보유량을 줄일 것을 지시하였다.

안정적인 강재확보 및 공급의 중요성이 점진적으로 부상함에 따라 조선기술개발부는 강재적치장 운영 효율화 방안을 모색하기 위해 2003년 3월에 강재적치장 최적화 프로젝트(HYSSOP; Hyundai Steel Stockyard Optimization Project)를 발족시켰다. 앞으로 강재적치장 운영 효율화 방안을 모색하는 보다 구체적인 프로젝트를 계속 추진할 수 있도록 도화선적인 역할을 수행할 시범 프로젝트로서 HYSSOP 프로젝트는 디지털 조선을 구축하기 위해 Han(1971)과 Kim *et al.*(2002) 등이 제안한 컴퓨터 시뮬레이션 기법을 활용하기로 했다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 우선 강재확보 및 공급에 대한 과정을 기술하고, 3장에서는 강재적치장 운영 및 문제점에 대해 설명한다. 4장에서는 HYSSOP 프로젝트에서 개발한 강재적치장 운영 시뮬레이터에 대해 기술하고, 마지막으로 결론적인 의견을 5장에 제시하면서 본 논문을 끝맺는다.

2. 강재확보 및 공급절차

현대중공업의 강재확보 및 공급절차는 <그림 1>과 같이 요약할 수 있다. <그림 1>은 S/C(Steel Cutting)일로부터의 시간 축에 따라 각 부서별로 수행되는 주요업무를 보여주고 있다. 비록 강재확보 및 공급절차에는 판매 및 마케팅부서와 생산계획부서가 포함되어 있지만, 실질적인 업무는 설계부서에서부터 시

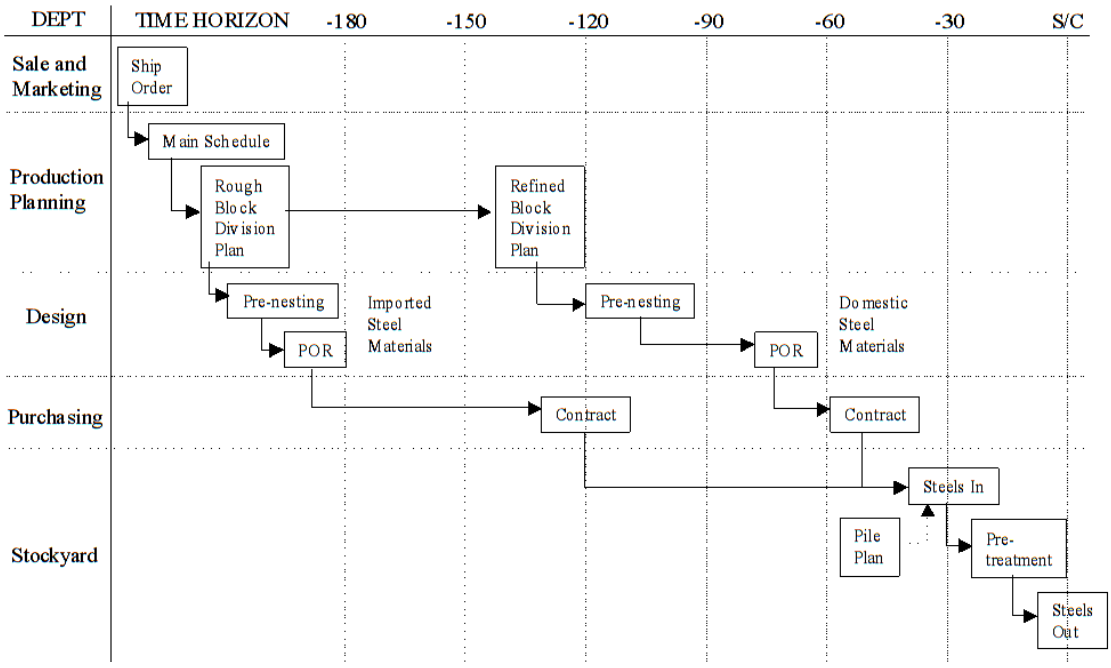

그림 1. 강재확보 및 공급절차.

작된다.

설계부서는 우선 블록구획계획(Block Division Plan)에 근거하여 취재(Prenesting)계획을 준비한다. 블록구획계획에 있는 각 블록은 여러 강재들이 용접되어 만들어진다. 필요한 강재의 크기와 양을 계산하기 위해 취재계획은 블록을 형성하는 강재들을 2차원의 강판 위에 펼쳐 놓는다. 이런 취재계획에 의해 구매할 강재의 크기와 양이 기본적으로 결정되기 때문에 설계부서는 강재의 수율을 극대화하기 위해서 정교한 소프트웨어를 사용하고 있다. 취재계획에 기초하여 설계부서는 긴 조달기간을 갖는 수입강재에 대해서는 S/C일로부터 약180일 전에, 그리고 비교적 짧은 조달기간을 갖는 국내 및 일본 강재에 대해서는 S/C일로부터 약 70일 전에 POR (Purchasing Order Request, 구매요구서)을 발급한다.

다음으로 구매부서는 POR를 충족시킬 책임을 진다. 구매부서는 강재적치장의 강재보유량과 생산계획의 진척상황 및 강재시장상황 등과 같은 여러 요소들을 고려하면서 강재를 안정적으로 확보하여 조달받기 위해 제철소들과 협상을 한다. 이런 강재 구매과정에서 생산계획과 같은 정보를 서로 공유하고 서로 협력적인 관계를 구축하기 위해 조선소와 제철소 간의 체계적인 접근이 중요하다는 것이 강조되고 있다. 구매부서는 수입강재에 대해서는 S/C일로부터 약120일 전부터, 그리고 국내 및 일본 강재에 대해서는 S/C일로부터 약60일 전부터 제철소와 계약을 시작한다.

구매된 강재는 가공부에서 운영하는 강재적치장으로 조달된다. 가공부는 조달되는 강재들을 모니터링하고 이들 강재를 보관할 공간을 적치장에 확보한다. 그리고 후속하는 절단공정에 표면처리가 된 강재를 공급하기 위해서 전처리(Pretreatment) 계획을 수립한다. 강재적치장 운영에 대한 자세한 내용은 다음 장에서 설명한다.

3. 강재적치장 운영

현대중공업은 2개의 조선공장(Shipyard)에 모두 9개의 건조도크를 보유하고 있고 연간 선박건조능력은 3,700,000 G/T에 달한다. HYSSOP 프로젝트는 제1공장에 있는 강재적치장에서 수행되었다. 제1공장 강재적치장의 규모는 약 65,000m^{2}이고(축구경기장의 9배 크기) 평균적으로 적치장에 쌓여 있는 강판의 양은 55,000톤이다(형강이나 알루미늄은 고려하지 않았다. 강재적치장 운영에 있어서 시급한 문제는 강판을 어떻게 관리할 것인가 하는 것이어서 HYSSOP 프로젝트에서는 우선적으로 오직 강판만을 고려하였다.). 전형적인 강판의 무게가 평균 3.7톤임을 감안할 때, 강재적치장은 평상 시 14,900개 정도의 강판을 보유하고 있는 셈이다.

강재적치장은 구매된 강재가 조달되어 보관되고, 적정의 강재를 절단공정으로 공급하기 위해 선별작업이 이루어지는 곳이다. 현대중공업 제1공장에 있는 강재적치장의 개략적인 배치도는 <그림 2>와 같고, <그림 3>은 적치장의 운영절차를 보여주고 있다.

필요한 강재는 생산계획부서에서 수립한 생산계획에 근거하여 제철소로 주문된다(생산계획부서는 한 달에 한 번 생산계획을 수립하고, 한 번 생산계획을 수립할 때 4개월치의 생산계획을 준비한다). 그리고 각 강재는 각자의 랜덤한 조달기간을 갖고 강재적치장에 도착한다. 그러면 가공부는 강재가 도착하

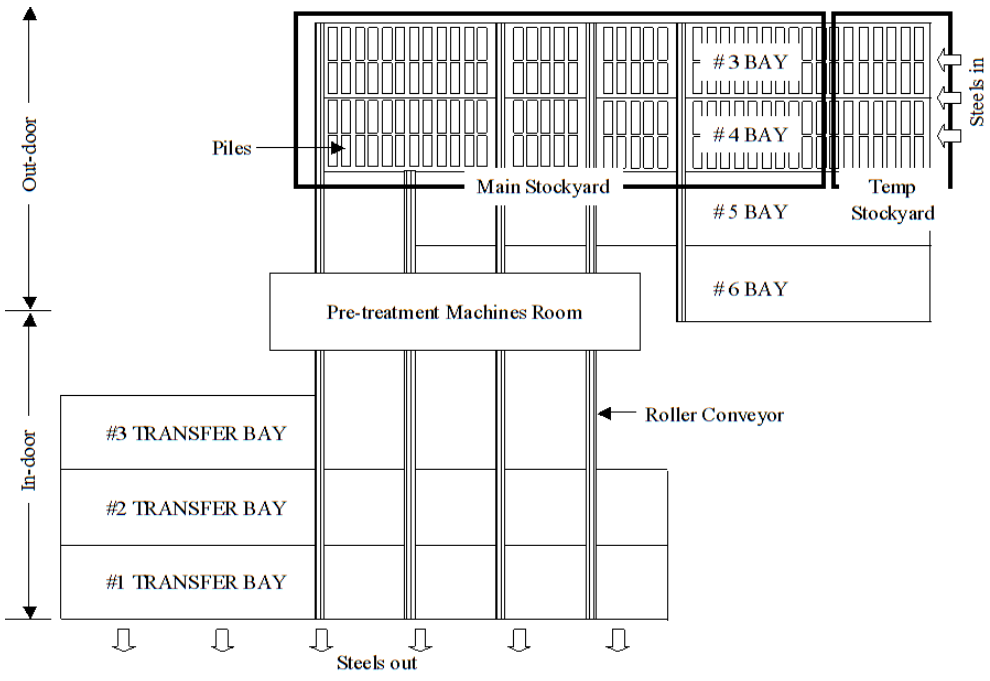

그림 2. 강재적치장 배치도.

는 대로 강재를 임시 적치장에 적재한다.

<그림 2>에서 알 수 있듯이, 강재적치장은 3개의 부분, 즉 옥외 적치장, 전처리장, 그리고 옥내 적치장으로 구분되어 있다. 적치장은 베이(Bay)로 나누어져 있고 각 베이는 파일(Pile)로 좀더 세부적으로 나누어져 있다. 각 파일에는 고유의 번호가 지정되어 있어 지번역할을 한다. 베이 내에서는 오버헤드 크레인을 이용하여 강재를 운반하고 베이 간에는 컨베이어를 이용하여 강재를 이동한다. 옥외 적치장의 3번과 4번 베이는 강판을 관리하기 위해 할당되어 있고 다른 베이는 다른 강재를 관리하기 위해 할당되어 있다. 임시 적치장은 옥외 적치장의 앞부분에 위치하고 있으며 적치장의 상황에 따라 그 크기는 유동적으로 운영된다.

다음 단계는 임시 적치장에 쌓여 있는 강재를 본 적치장으로 운반하는 작업이다. 이 작업은 어떤 강재가 어느 파일번호에 저장되어야 하는지를 명시한 파일계획에 따라 이루어진다. 파일계획은 생산계획에 기초하여 S/C일로부터 약 45일 전에 수립된다. 임시 적치장에 쌓여 있는 강재를 본 적치장으로 운반하는 과정에서 S/C일 이후에 조달된 강재는 전용강재 저장소로 운반된다. 가공부는 6번 베이의 일부분을 임시적으로 전용강재 저장소로 이용하고 있다.

절단가공공정의 요구에 맞추어 가공부는 본 적치장에 적치되어 있는 강재를 선별하여 공급한다. 우선 강재를 절단가공공정에 공급하기 전에 조달과정중에 더러워졌거나 손상된 부분을 처리하기 위해 강재표면처리를 한다. 강재의 표면을 깨끗이 청소하고 손상된 부분을 바로잡아 주는 전처리공정은 preheating, shot blasting, painting, dry 순으로 이루어진다. 본 적치장으로부터 강재를 출고하는 과정에서 아직 조달되지 않은 강재가 발생하면 가공부는 전용강재 저장소로부터 유사한 규격의 강재로 대치하여 출고한다.

전처리공정 후 강재는 트랜스퍼 베이(Transfer Bay)에 잠시 선별 보관된다. 전처리된 강재를 보호하기 위해 트랜스퍼 베이는 옥내에 설치되어 있고 옥내 적치장의 1번과 3번 트랜스퍼 베이가 강판을 취급하기 위해 이용되며, 다른 트랜스퍼 베이는 다른 강재를 취급하기 위해 이용되고 있다.

강재의 규격이나 무게에 의한 운영상의 어려움은 별도로 하고, 강재적치장 운영상의 어려움은 주로 (1) 강재의 장기체류와 (2) 강재관리기법에 의해 발생한다.

3.1 강재의 장기체류에 의한 운영상의 어려움

이 어려움은 강재조달기간의 넓은 산포와 생산계획의 변동에 의해 발생한다. 생산계획부서는 로트단위로 생산계획을 수립한다. 여기서 로트는 함께 용접되는 강재들의 집합을 의미하고 여러 개의 로트들이 모여서 한 블록을 형성한다. 다른 조선업체와 마찬가지로 현대중공업도 모든 선박을 고객의 특별한 요구사항에 맞게 주문을 받아 건조하고 있기 때문에 모든 강재는 각자의 고유한 인식번호(Mark number)를 갖고 있다. 생산계획은 날짜 축과 로트 축으로 형성된 2차원적인 시간표이다. 다시 설명하면, 생산계획은 어떤 로트가 어느 날짜에 가공되어야 하는지를 명시한 것이다. 각 작업일마다 많은 로트가 가공되도록 계획되어 있고 각 로트는 많은 강재들로 구성되어 있기 때문에 하루에 상당량의 강재가 절단가공된다(평균적으로 하루에 2,500톤).

계획된 날에 절단가공공정으로 필요한 강재를 공급하기 위해 구매부서는 제철소에 적절한 구매를 신청하고 강재조달과정을 모니터링한다. 구매과정 중에 한 가지 어려운 점은 같은 로트에 속하는 모든 강재를 한 제철소로부터 구매할 수 없다는 것이다. 그 이유는 같은 로트에 속한 강재라도 요구되는 품질

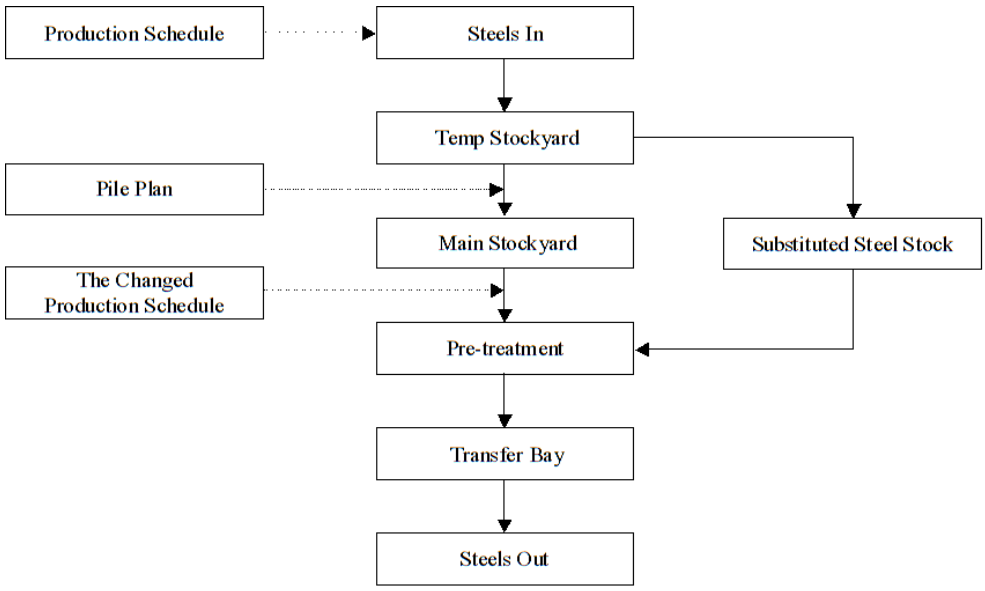

그림 3. 강재적치장 운영절차.

이 각기 다르고, 또한 쿼터제로 인해 각 제철소로부터 구매할 수 있는 강재의 양이 한정되어 있기 때문이다. 따라서 한 날에 가공되도록 계획된 강재들이 여러 제철소로부터 넓은 산포를 갖고 조달되고 있다. <그림 4>는 초기생산계획에 따라 주문한 강재들이 어떻게 강재적치장에 조달되는지를 보여주고 있다.

또한 <그림 4>는 강재적치장에 적치되어 있던 강재들이 어떻게 적치장에서 빠져나가는지를 보여주고 있다. 구매부서가 제철소로 구매발주를 내린 시점과 실제 절단가공이 실시되는 시점 사이에는 시간적 격차가 존재한다. 이 시간적 격차 동안에 초기생산계획은 약간 수정되고 적치장에 쌓여 있던 강재는 변경된 생산계획에 따라 절단공정으로 공급된다.

이와 같은 강재조달기간의 넓은 산포와 생산계획의 변동은 강재가 적치장에 머무는 기간에 직접적으로 영향을 주고, 결과적으로 적치장에 많은 강재가 쌓이게 만든다. 현대중공업은 위의 두 요소를 통제하기 위해서 많은 노력을 하고 있지만, 현재 3주 가량의 작업물량을 보유하고 있다. 이에 반해, 일본은 외부에 독립적인 강재적치장을 운영함으로써 조선소 내의 적치장에는 3~4일 정도의 작업물량만을 보유하고 있다. 외부의 강재적치장은 제철소로부터 강재를 확보하여 Just In Time 방식으로 조선소에 필요한 강재를 공급해 주고 있다(Choi, 2002).

3.2 강재관리기법에 의한 운영상의 어려움

이 어려움은 강재들을 관리하는 취급단위가 상이해서 발생한다. 생산계획은 로트단위로 수립되기 때문에 가공부는 절단가공공정에 로트단위로 강재를 공급해야 한다. 그러나 강재들은 넓은 조달기간의 산포를 갖고 제철소로부터 개별적으로 적치장에 조달된다. 이렇게 조달되는 강재들을 가공부는 임시적으로 임시 적치장에 적재하였다가 파일계획에 따라 본 적치장으로 운반한다. 너무 일찍 조달된 강재는 파일계획이 수립될 때까지 장기간 임시 적치장에 머물러야 한다.

본 적치장은 강재들을 파일단위로 적치한다. 여기서 파일은 계획된 S/C일과 가공 스테이지에 따라 분류한 로트들의 집합을 의미한다. 절단가공공정에서 로트단위로 강재를 요구하기 때문에 강재를 로트단위로 적치장에 적치하는 것이 가장 이상적이다. 하지만 로트단위로 강재를 적치장에 적치하기 위해서는 아주 넓은 적치장 공간이 요구되기 때문에 현재 현대중공업은 그럴 만한 적치장 공간이 마련되어 있지 않아 강재를 로트단위로 적치장에 적치할 수가 없는 실정이다. 비록 적치장의 공간을 최대한 활용하기 위해서 강재들을 본 적치장에 파일단위로 적치하고 있지만 변경된 생산계획에 맞추어 절단가공공정으로 로트단위로 강재들을 공급해야 한다. 따라서 가공부는 파일단위로 적치중인 강재들을 로트단위로 분류하기 위해 트랜스퍼 베이를 활용하고 있다.

이러한 강재관리기법, 즉 개별적으로 조달되는 강재를 초기생산계획에 맞추어 파일단위로 본 적치장에 적치하고, 변경된 생산계획에 맞추어 트랜스퍼 베이에서 강재를 재분류하는 방법 때문에 가공부는 본 적치장에 강재를 보유하고 있으면서도 적시에 절단가공공정에 강재를 공급하지 못하는 경우가 가끔 발생한다.

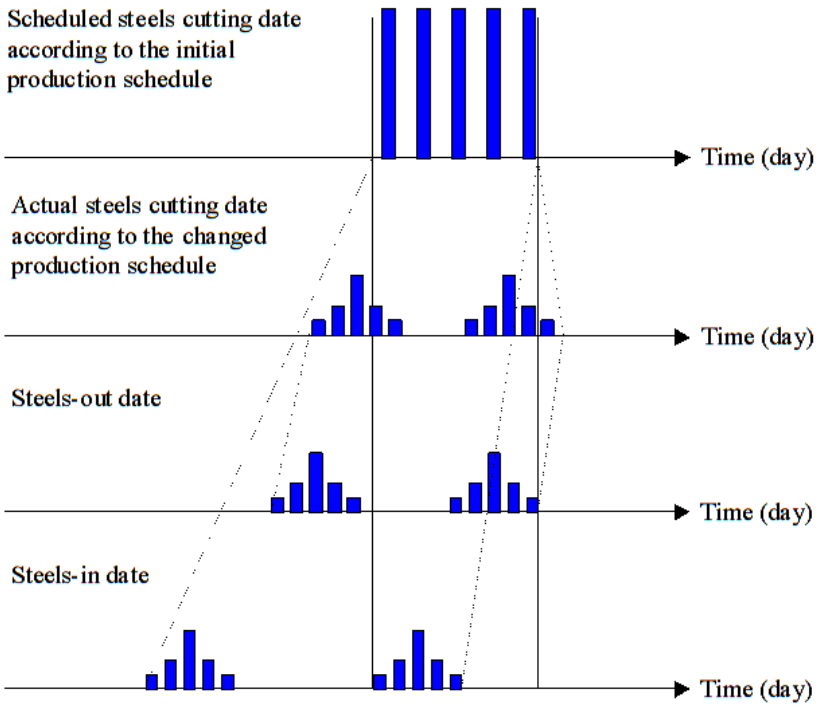

그림 4. 강재 입하 및 출하 절차.

4. 강재적치장 운영 시뮬레이터

강재적치장은 선박건조공정의 최첨단에 위치하여 절단가공공정에서 요구하는 강재를 적시에 공급하는 기능을 수행한다. 그리고 강재적치장 운영에 발생하는 문제는 전체 건조공정에 직접적인 영향을 주게 된다. 따라서 강재적치장 관리자는 적정한 강재가 적시에 정량이 조달되었는지, 조달된 강재가 정해진 장소에 보관되고 있는지, 그리고 적정한 강재가 정시에 정량으로 절단가공공정에 공급되고 있는지 등을 항상 모니터링하고 있다.

동적으로 변하는 조선환경에서 강재적치장 관리자는 미래의 적치장 상황을 예측하고, 그 예측에 기초해서 적절한 의사결정을 계속적으로 내려야 한다. 일반적으로 현대중공업은 이러한 의사결정을 관리자의 경험적 직관에 많이 의존하고 있었다. HYSSOP 프로젝트는 이러한 관리자에게 체계적인 의사결정도구를 제공하기 위해서 HYSSOS(Hyundai Steel Stockyard Operations Simulator) 시뮬레이터를 개발하였다.

<그림 5>는 HYSSOS 시뮬레이터의 주요 모듈과 다른 인접 시스템들을 보여주고 있다. 시뮬레이션하고자 고려하는 기간에 대해서 생산계획(Production Scheduler) 모듈은 PROMOS와 STOCKYARD 시스템으로부터 받은 자료를 통계적으로 가공하여 얻은 작업부하, 로트, 강재, 생산계획 변동 등에 대한 정보를 바탕으로 초기 및 변경된 생산계획을 수립한다. PROMOS는 현대중공업 제1공장과 제2공장, 모두를 포함한 전체 선박건조 생산계획을 관리하는 시스템이고, STOCKYARD는 제1공장 강재적치장에서 관리하는 강재들에 관한 정보를 관리하는 시스템이다. 초기생산계획에 기초해서 강재생성(Steel Generator) 모듈은 제철소로부터 조달되는 강재들을 생성한다. 제철소별로 다양한 강재조달기간에 관한 정보는 HISMIS 시스템으로부터 받은 자료를 통계적으로 가공하여 얻는다. HISMIS는 설계, 생산계획, 구매, 조달, 제조 등에서 생성한 강재와 관련된 모든 정보를 관리하는 시스템이다.

초기생산계획에 기초해서 파일계획(Pile Planner) 모듈은 우선 같은 파일에 적치될 로트들을 그루핑한다. 이때, 파일번호는 부여하지 않는다. 적치장관리(Stockyard Manager) 모듈이 파일번호가 부여되지 않은 로트 그룹에 속한 강재를 본 적치장으로 운반하려고 할 때, 파일계획 모듈은 빈 파일번호를 그 로트 그룹에게 할당한다. 적치장관리 모듈은 임시 적치장, 본 적치장, 트랜스퍼 베이와 같은 3개의 서브 모듈로 구성되어 있다. 이 세 서브 모듈들이 HYSSOS 시뮬레이터에서 강재적치장 운영을 수행한다. 임시 및 본 적치장 서브 모듈은 강재생성 모듈에서 생성한 강재들을 옥외 적치장에 적치한다. 트랜스퍼 베이 서브 모듈은 변경된 생산계획에 따라 본 적치장에 적치되어 있는 강재들을 전처리하고, 전처리된 강재들을 로트 단위로 분류한다.

<그림 5>에서 보여준 HYSSOS의 주요 모듈이 시뮬레이터에서 어떻게 작동하는지 <그림 6>의 시뮬레이션 플로 차트에 일괄적으로 나타내었다. 시뮬레이션이 시작되면 우선 생산계획 모듈은 작업부하, 로트, 강재 및 작업일 수 등의 기초정보에 기초하여 시뮬레이션하고자 하는 기간에 해당하는 초기생산계획을 수립한다. 생산계획은 3장에서 설명했듯이 날짜 축과 로트 축으로 형성된 2차원적인 시간표로서, 어떤 로트가 어느 날짜에 가공되어야 하는지를 명시한 것이다. 하루 작업물량에 대한 분포와 로트의 중량에 대한 분포를 갖고 생산계획모듈은 무작위 수 발생기(Random Number Generator)를 이용하여 초기생산계획을 수립한다. 즉, 날짜별로 작업해야 할 작업량은 중량으로 정해지고, 하루 작업물량(중량)을 채우는 로트 수가 정해진다.

초기생산계획이 수립되면 <그림 6>에서 알 수 있듯이 3가지 작업이 수행 가능하다. 첫째, 파일계획 모듈은 초기생산계

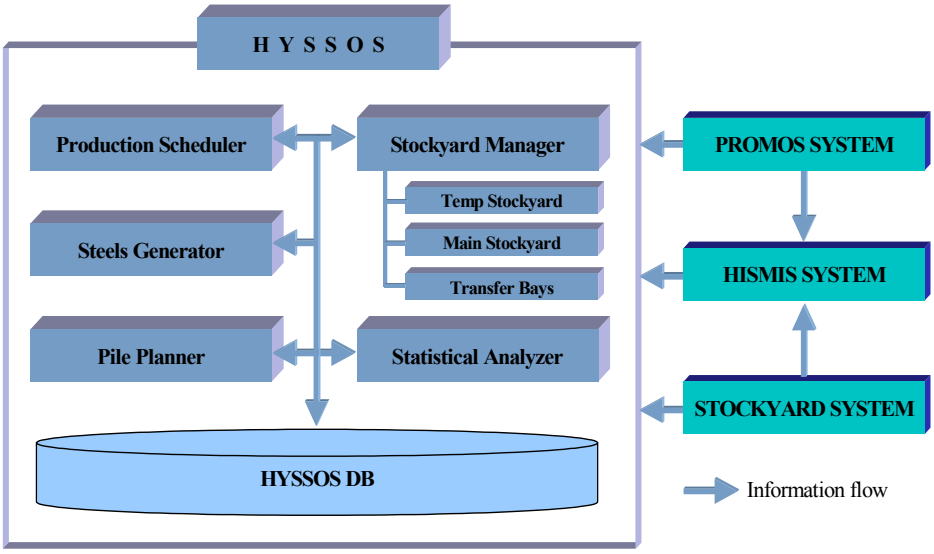

그림 5. HYSSOS의 모듈과 주변 시스템.

획에 기초해서 같은 파일에 적치될 로트들을 그루핑한다. 이때 로트들을 그루핑하는 방법은 파일이 허용하는 적재용량 한도 내에서 같은 작업일자에 같은 조립작업장에서 가공될 로트들이 같은 파일에 적재되도록 그루핑한다. 둘째, 강재생성 모듈은 초기생산계획에 따라 발주된 강재들이 제철소로부터 조달되는 강재입고일을 수립한다. 3장에서 설명했듯이 생산계획은 로트 단위로 수립되어 있지만 로트에 속해 있는 개별 강재들은 여러 제철소로 발주될 수 있으므로 강재생성 모듈은 강재조달기간분포를 이용하여 개별 강재별로 입고일을 수립한다. 셋째, 생산계획 모듈은 초기생산계획을 변동시킨다. 작업상황은 예측 불가능한 돌발변수들이 많이 존재하고, 돌발사태가 발생하면 이를 반영한 생산계획의 수정은 불가피하다. 생산계획 모듈은 생산계획의 변동분포를 이용하여 초기생산계획을 변경한다.

다음으로 본격적인 강재적치장 운영구현은 적치장관리 모듈이 담당한다. 강재적치장 운영절차는 <그림 3>에 상세히 묘사되어 있으므로 재설명은 피하고, 다음의 2가지만 언급하고자 한다. 첫째, 초기생산계획에 기초하여 파일계획을 수립할 때는 같은 파일에 적치될 로트들을 그루핑하지만 파일번호는 부여하지 않고, 그루핑된 강재가 도착한 시점에 적치장 상황을 보고 파일번호를 부여한다. 이때 파일계획을 언제 수립하는가에 따라서 적치장 운영성과가 영향을 많이 받기 때문에 파일계획 수립일이 중요한 의사결정변수가 된다. 둘째, 강재적치장은 개별적으로 조달되는 강재들을 우선 하역시키고, 하역된 강재들을 선별하여 적절한 위치에 적치한다. 이때 우선 하역시킨 강재를 보관할 임시 적치장과 선별된 강재를 보관할 본 적치장의 크기(파일 수)를 어떻게 할 것인가(즉, Stockyard Layout)가 또 다른 중요 의사결정변수가 된다.

통계분석(Statistical Analyzer) 모듈은 인접 시스템으로부터 받은 자료들을 통계처리하고(예를 들어, PROMOS와 STOCKYARD 시스템으로부터 작업부하, 로트, 강재, 생산계획 변동 등에 대한 정보를 추출하여 생산계획 모듈에 제공하고, HISMIS 시스템으로부터 제철소별로 다양한 강재조달기간에 관한 정보를 추출하여 강재생성 모듈에 제공한다), 시뮬레이션 동안 평균 강재보유량, 강재전용률, 강재 적시공급률 등과 같은 통계치를 수집한다. 강재적치장 운영 시뮬레이션 동안 많은 자료가 생성되고 유지되기 때문에 HYSSOS 시뮬레이터의 각 모듈들은 HYSSOS DB를 통해 정보를 교환한다. 일반적으로 HYSSOS 시뮬레이터는 1년 간의 강재적치장 운영 시뮬레이션 동안에 30만개의 강재 엔티티(Entities)를 관리한다.

HYSSOS 시뮬레이터는 MS Visual C++ Version 6.0으로 프로그램되었고, HYSSOS DB로는 MS Access를 활용하였다. HYSSOS 시뮬레이터는 STOCKYARD 시스템에 접근하여 직접적으로 원하는 자료를 받을 수 있으나, PROMOS와 HISMIS 시스템으로부터 자료를 받으려면 운영자의 허락을 받아야 한다. PROMOS와 HISMIS 시스템은 전체 선박건조 생산정보를 담당하는 막중한 임무를 맡고 있고, 또한 회사의 기밀정보를 담고 있기 때문에 HYSSOS 시뮬레이터뿐만 아니라 다른 시스템들도 직접적인 접근이 제한되어 있다.

<표 1>은 시뮬레이션의 주요 입·출력 변수들을 보여주고 있고, 입력변수는 강재적치장 관점에서 내부와 외부로 구분하였다. 외부 입력변수들이 외부환경에 의해 결정되어진 상황에

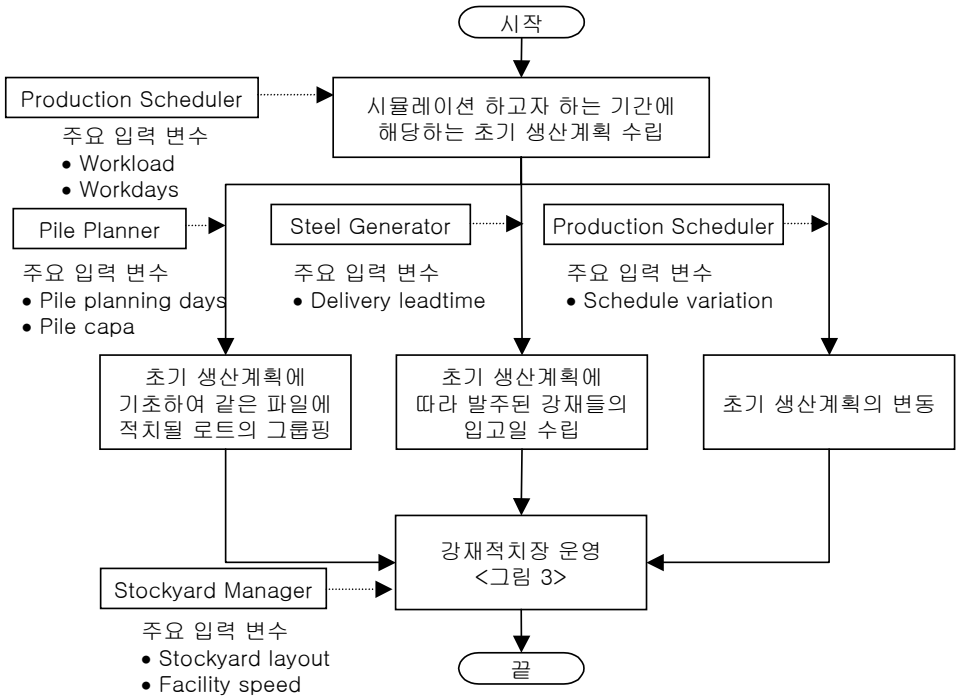

그림 6. 시뮬레이션 플로 차트.

서 강재적치장 관리자는 최선의 운영조건을 찾기 위해 내부 입력변수들을 바꾸어 가며 HYSSOS를 이용하여 강재적치장 운영을 시뮬레이션해 볼 수 있다. 뿐만 아니라, 외부 환경변화의 영향을 검토해 보기 위해 내부 입력변수들을 고정시키고 외부 입력변수들을 바꾸어 가며 HYSSOS를 이용하여 강재적치장 운영을 시뮬레이션해 볼 수 있다. <그림 7>은 평균 강재보유량과 적치장 상황 및 기타 통계치를 보여주는 HYSSOS 시뮬레이터의 결과화면을 보여주고 있다.

최근 현대중공업은 판매수입을 늘리기 위해서 전체 생산 스케줄을 앞으로 압축했다. 따라서 건조해야 할 선박 수가 늘어났고, 결과적으로 작업부하가 증가하게 되었다. 이렇게 작업부하가 증가된 상황에서 강재적치장 관리자는 미래의 적치장 상황을 예측하고 적절한 조치를 취해야 한다. 이와 같은 상황에 대응해서 적치장 관리자는 HYSSOS 시뮬레이터를 이용하여 시나리오 분석을 수행할 수 있다.

<표 2>는 현대중공업이 거래하는 제철소에서 강재를 공급해 주는 데 걸리는 기간을 보여주고, <그림 8>은 생산일정계획의 변동상황을 보여주고 있다. <표 2>를 보면 국내에서 공급되는 강재가 국외에서 공급되는 강재보다 안정적인 리드타임을 갖고 있음을 알 수 있고 (표준편차가 작음), <그림 8>에서 그래프의 변동일수가 음의 값으로 향하고 있는 것은 생산일정보다 앞당겨서 작업이 진행되고 있음을 보여준다.

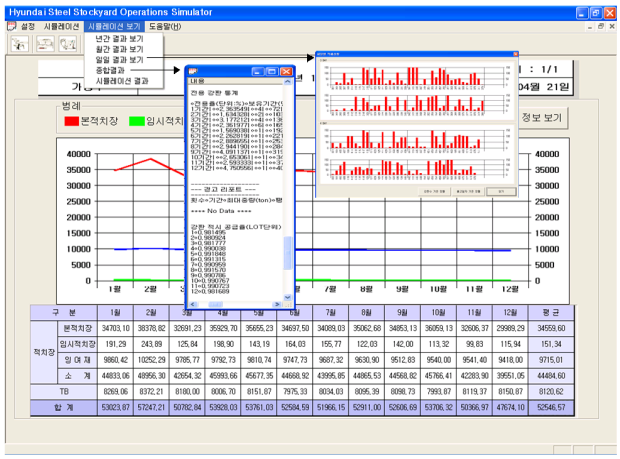

그림 7. HYSSOS 출력화면.

표 2. 국내·외 제철소의 평균 리드타임 비교

구 분	계약일 ~ 발주가공일		입고일 ~ 발주가공일	
	평균	표준편차	평균	표준편차
포 항	43.08	6.82	26.54	6.52
동 국	57.22	5.79	21.69	6.38
일 본	53.72	9.57	23.14	8.13
중 국	66.11	62.36	23.14	8.13
브라질	111.76	15.14	28.21	11.76

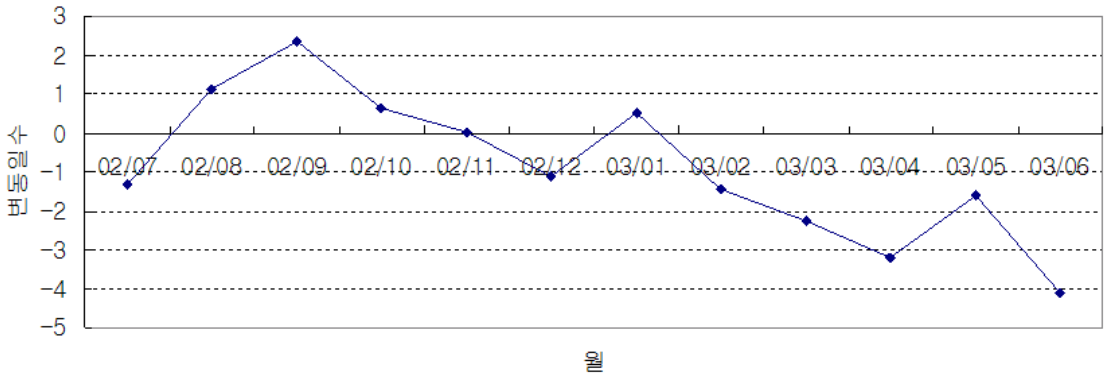

그림 8. 실적 대비 일정계획 변동(평균).

표 1. 시뮬레이션 입 · 출력 변수

Simulation input variables		Simulation output variables
External	Internal	
Variation of steel material delivery leadtime	Steel stockyard layout	Steel stock level (main, temp, substitution)
Variation of workload	Pile planning days	On-time feeding rate
Variation of production schedule change	Capa of pile	Take-in rate
Variation of workdays	Speed of facilities (e.g., overhead cranes, transporters, forklifts, pre-treatment machines, roller conveyors, etc)	Substitution rate
System setting (e.g., simulation periods, number of runs, etc)		Facility utilization statistics

<표 3>은 강재적치장을 여러 대안(즉, 파일계획 수립일과 적치장 배치의 조합)으로 운영할 경우, 작업부하가 증가함에 따라 예상되는 적치장의 상황에 대해 4가지 중요한 측면에서 시뮬레이션 결과를 보여준다. 네 가지 중요한 측면은 얼마나 많은 강재가 적치장에 쌓여 있는가(강재보유량, Steel Stock, <그림 9> 참조), 강재는 적시에 절단가공공정으로 공급되는가(강재 적시공급률, On Time Feeding Rate), 적치장은 조달되는 강재를 충분히 소화할 수 있는가(강재 수용률, Take In Rate), 그리고 얼마나 많은 강재가 늦게 조달되는가(강재 전용률, Substitution Rate)이며, 적치장 관리자는 이러한 4가지 측면을 항상 주시하며 적치장을 운영하고 있다.

<표 3>에 보여준 시뮬레이션 결과를 기초해서 적치장 운영

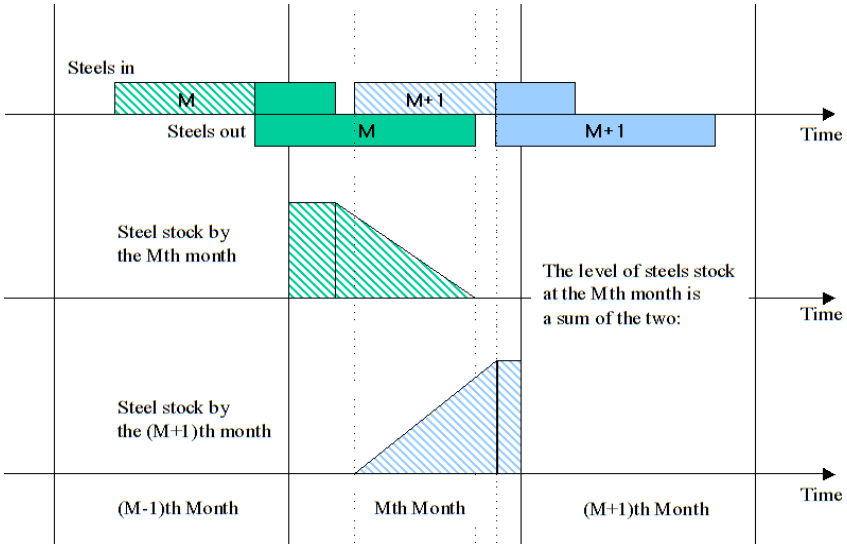

그림 9. M월에 강재보유량.

표 3. 시뮬레이션 결과

Workload (ton/month)	Pile planning days	Stockyard layout	Steel stock (ton)			On-time feeding rate (%)	Take-in rate (%)	Substitution rate (%)
			Temp	Main	TB			
50,000	-45	1	124	31,738	8,144	98.7246	100.00	3.8519
50,000	-45	2	149	31,244	8,146	98.7369	100.00	3.5875
50,000	-30	1	2,820	28,222	8,167	98.7290	100.00	3.4359
50,000	-30	2	2,820	28,222	8,167	98.7290	100.00	3.4359
55,000	-45	1	719	38,051	8,060	98.7409	100.00	3.6072
55,000	-45	2	827	35,570	8,040	98.7669	100.00	2.9407
55,000	-30	1	3,248	32,381	8,075	98.7595	100.00	3.1657
55,000	-30	2	3,392	32,320	8,090	98.7593	100.00	3.3165
60,000	-45	1	1,077	38,959	7,968	98.7611	100.00	1.9265
60,000	-45	2	2,286	38,403	7,983	98.7516	100.00	2.4737
60,000	-30	1	4,230	36,242	8,012	98.7578	100.00	2.9324
60,000	-30	2	4,289	35,872	8,003	98.7548	100.00	2.7255
65,000	-45	1	4,364	41,463	7,931	98.7552	100.00	2.9056
65,000	-45	2	5,373	39,253	7,943	98.7594	100.00	3.0554
65,000	-30	1	5,983	38,500	7,830	98.7513	99.64	3.2003
65,000	-30	2	5,843	38,734	7,949	98.7471	100.00	3.3462
70,000	-45	1	8,762	41,668	7,865	98.7121	98.34	5.8293
70,000	-45	2	11,637	39,251	7,866	98.7058	99.72	7.2153
70,000	-30	1	8,380	40,814	7,851	98.7330	98.64	5.1489
70,000	-30	2	9,510	40,026	7,776	98.7330	99.89	5.7358

Stockyard layout 1: number of piles (3bay/4bay) at the temp stockyard = 14/14
number of piles (3bay/4bay) at the main stockyard = 80/77
Stockyard layout 2: number of piles (3bay/4bay) at the temp stockyard = 18/18
number of piles (3bay/4bay) at the main stockyard = 76/73

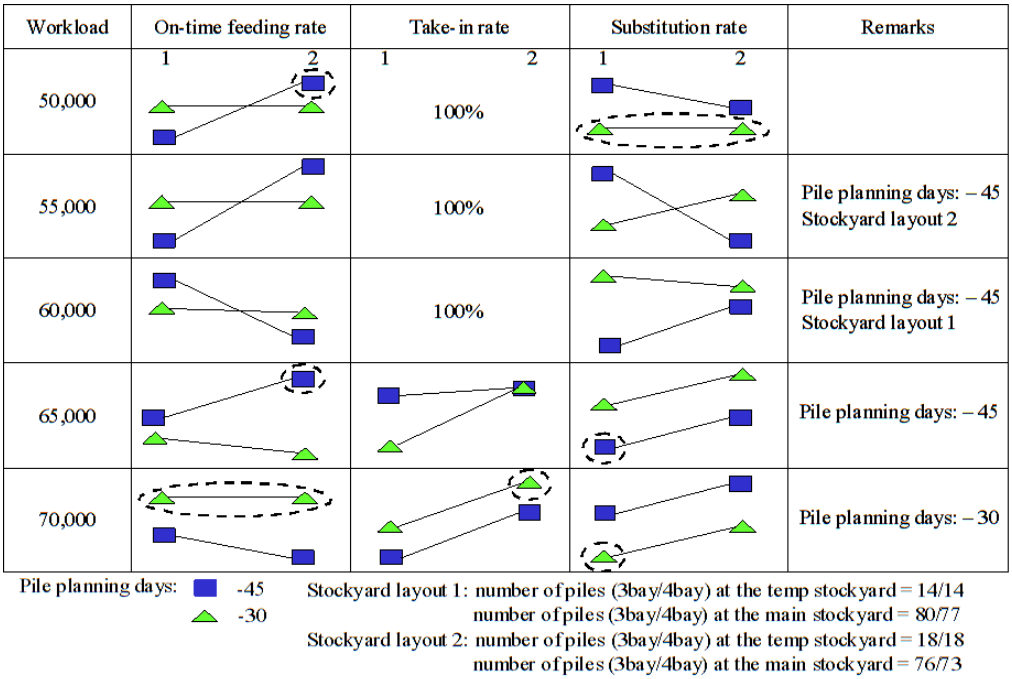

그림 10. 적치장 운영대안의 비교.

대안을 도식적으로 비교한 것을 <그림 10>은 보여주고 있다. 예를 들어, 작업부하가 매월 55,000톤일 때, 파일계획은 S/C일로부터 45일 전에 수립하고 임시 적치장과 본 적치장으로 활용할 파일 수는 적치장 배치대안 2(Stockyard Layout 2)로 하는 것이 여러 운영대안 중에 가장 좋다. 왜냐하면 이 운영대안이 다른 운영대안들보다 강재 적시공급률과 강재 수용률 및 강재 전용률 관점에서 우수하기 때문이다.

<그림 10>에서 삼각형과 사각형의 상대적 위치는 각 성능에서 퍼센트의 상대수준을 나타낸다. 작업부하가 매월 70,000톤으로 증가하면 파일계획은 S/C일로부터 30일 전에 수립하는 것이 좋으나 적치장 배치는 강재 적시공급률과 강재 수용률 및 강재 전용률 간의 절충을 감안하여 결정하여야 한다. 점선으로 원으로 표시했듯이 적치장 배치에 대한 좋은 선택은 성능기준에 따라 달라진다.

5. 결론적 의견

본 논문은 현대중공업 강재적치장에서 수행한 산학 협동 프로젝트(HYSSOP)를 소개하였다. 강재적치장 운영 효율화 방안을 모색하고, 앞으로 보다 구체적인 프로젝트를 추진할 수 있도록 도화선적인 역할을 수행할 시범 프로젝트로서 HYSSOP 프로젝트는 강재적치장 운영절차를 규정하고, 현 상황 및 문제점을 분석하였다.

참고문헌

Choi, B. (2002), *Competitiveness Analysis of Korean Major Industries* (in Korean) (Seoul, Korea: Samsung Economy Research Institute).

Han, Y.S. (1971), Information Technology that is Needed for the 21st Century's Shipbuilding Production Processes in Korea (in Korean), *Bulletin of the Society of Naval Architects of Korea*, 38(1), 34-41.

Japanese Statistics Bureau (2004), *Japan Statistical Yearbook* (Japan: Statistical Research and Training Institute).

Kim, H., Lee, J.K., Park, J.H., Park, B.J. and Jang, D.S. (2002), Applying Digital Manufacturing Technology to Ship Production and the Maritime Environment, *Integrated Manufacturing Systems*, 13(5), 295-305.

Koenig, P.C., Narita, H. and Baba, K. (2003), Shipbuilding Productivity Rates of Change in East Asia, *Journal of Ship Production*, 19(1), 32-37.

Korea Statistical Association (2002), *Korea Statistical Yearbook* (Korea: Korea National Statistical Office).

Sohal, A.S. and Ferme, B. (1996), An Analysis of the South Korean Automotive, Shipbuilding and Steel Industries, *Benchmarking for Quality Management and Technology*, 3(2), 15-30.

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

박 주 철
서울대학교 산업공학과 학사
한국과학기술원 산업공학과 석사
한국과학기술원 산업공학과 박사
현재: 울산대학교 공과대학 산업정보경영공학부 교수
관심분야: 생산정보시스템, 경제성공학