

H形 鋼 製品의 切斷 모델 最適化에 관한 研究

남 호 기* · 박 상 민* · 조 종 남** · 김 종 현**

*인천대학교 산업경영공학과 · **인천대학교 산업경영공학과 대학원

The Development of the Optimization Cutting Model for the H-Beam Steel

Ho-Ki Nam* · Sang-Min Park* · Jong-Nam Joh** · Jhong-Hyun Kim**

*Department of Industrial Management & Engineering, Incheon University

**Department of Industrial Management & Engineering, Graduate School of Incheon University

Abstract

Recent cross-country competition and Chinese steel industry because of the emerging steel industry in Korea is a very difficult situation. Therefore, the steel industry in order to overcome this difficult market environment, the quality, cost competitiveness, enhance customer service levels and enhance international competitiveness through is needed.

In this study, the purpose of strengthening the competitiveness of steel companies in order and hit the recovery of raw materials have been developed to optimize the model, developed before and after the results were analyzed. In addition, when applied to other products in order to minimize risk and optimize cutting trial stage of development details of the model is presented in detail.

Therefore, the developed model was applied to order the recovery of raw materials hits and significantly improved production planning time has been shortened dramatically. In the present study the contents of other products when properly applied and the competitiveness of companies to improve customer service levels are expected to be helpful.

Keywords : Cutting Stock Problem, H-beam, Wide Flange Beam, Section Shape Steel, Column Generation, Crop, Loss of Steel Products, Cutting Plan, Steel, ILOG

1. 서 론

1.1 연구배경

철강산업은 건설, 조선, 자동차, 가전 등과 같은 전방산업의 제품생산에 필요한 핵심 소재를 공급하고 있으며, 이러한 전방산업은 철강산업의 경쟁력에 의해 크게 영향을 받는다. 또한, 철강 원재료 및 제품의 운송과 철강재의 생산에는 막대한 물류와 에너지 비용이 소요

되기 때문에 철강산업은 전력, 운송 등과 같은 후방산업의 발전에도 큰 영향을 미치고 있다. 그러나 우리나라 철강산업은 최근 국가 간 경쟁 심화와 중국과 인도 철강산업의 급부상으로 인하여 매우 어려운 상황으로 시장 환경 변화에 적절히 대응하고, 원가, 서비스 등 국제 경쟁력의 제고가 요구되는 상황이다. 대외적으로 어려운 상황임에도 불구하고 철강산업 생산 현장에서는 수요가의 최종 제품 생산을 위한 철강 원자재 절단 시 철강 원자재 절단 손실(Loss), 목적 외 제품 생산

† 본 연구는 동북아전자물류연구센터 지원에 의한 것임.

† 교신저자: 김종현, 인천시 연수구 송도동 12-1

M · P: 011-335-2831, E-mail: jhkim333@paran.com

2011년 4월 18일 접수; 2011년 12월 22일 수정본 접수; 2011년 12월 23일 게재확정

등으로 인하여 재 용해, 장기재고 발생, 납기 지연 등의 문제로 철강 산업의 경쟁력을 약화시키는 사례가 발생하고 있다. 이에 본 논문에서는 철강 원자재 회수를 향상으로 원가 경쟁력을 향상, 주문 적중률 향상으로 고객 서비스 수준 향상과 장기 재고 감소 등을 통하여 전 산업에 중대한 영향을 미치는 철강산업이 국제 경쟁력을 강화할 수 있도록 철강제품의 소재에 대한 최적화 절단 모델을 개발하였고, 개발 과정과 모델 적용 성과를 제시하여 타 제품에서 적용 시에 활용이 되도록 하였다.

1.2 연구의 범위

본 연구는 형강제품의 소재(원자재)를 최적으로 절단하는 모델을 구축하면서 수행한 내용과 분석 결과를 단계별로 제시하였다. 본 연구의 세부 내용은 다음과 같다.

첫째, 철강 산업의 현황과 개발 모델의 이론적 배경을 고찰하였고,

둘째, 개발 타당성 검증을 위한 프로토타이핑(Prototyping)을 수행하고 기존 방법과 개발 모델 수행 결과를 비교·분석하였다.

셋째, 검증된 프로토타이핑 결과를 기반으로 최적화 모델을 개발하였고, 모델 구현 단계에서 분석, 구현, 적용 등 개발 과정과 내용을 세부적으로 제시하였다.

넷째, 개발한 모델을 타 공장에 확대 적용한 후 정량적, 정성적으로 구분하여 모델 적용 성과를 산정하고, 제시하였다.

다섯째, 주문 적중률이 원자재 회수율에 미치는 영향을 실험하여 그 결과를 확인하고, 철강기업이 시장환경 변화에 유연한 대응이 가능하도록 대응 방안을 제시하였다.

2. 철강산업의 현황과 이론적 고찰

2.1 철강산업의 현황

세계 철강수요는 2007년 6.8%의 높은 성장률을 보였으나 미국발 금융위기 여파로 2008년 마이너스 성장으로 전환되어 -1.6%를 보였고, 2009년에도 전 세계적인 실물경기 침체 여파로 그 폭이 확대되어 -6.7%의 성장을 기록하였다. 2004년 10억톤을 넘어선 세계 조강생산은 매년 8~9천만톤 정도 증가하여 2007년에는 13.5억톤을 하였으나 2008년에는 1.3% 감소한 13.3억톤, 2009년에는 7.9%가 감소한 12.2억톤을 기록하였다.

한편 국내 2009년도 압연강재 생산은 51,041천톤으로 전년 대비 9.0% 감소하였다. 이는 수출 증대에도 불구하고

하고 2008년 하반기 이후 지속된 경기침체에 따른 국내 수요산업의 위축에 따라 감소되었다. 세부 품목별로 철강 압연 제품 구성비를 살펴보면 자동차, 조선, 건설 등의 산업에 수요 기반을 두고 있는 열연강판은 48.6%, 조선산업에 사용되는 중후판은 14.8%, 건설산업과 조선산업에 사용되는 형강 제품은 4,197천톤을 생산하여 8.3%를 점유하고 있다. 본 논문의 연구 대상인 형강 제품의 2009년도 생산은 수출 증가에도 불구하고 건설산업과 조선산업의 부진으로 수요가 급감하여 전년 대비 9.1% 감소하였다.

<표 1> 한국 철강제품의 생산량
(열간압연강재 기준, 2009년)

(단위:천톤)

구분	형강	봉강	철근	선재	중후판	열연강판	기타	계
보통강	4,197	416	9,678	1,181	7,166	22,583	201	45,422
특수강	38	1,545	0	1,433	400	2,203	0	5,619
합계	4,235	1,961	9,678	2,614	7,566	24,786	201	51,041
%	8.3	3.8	19.0	5.1	14.8	48.6	0.4	100.0

출처: 철강연감, 2010, p 76

2.2 철강산업의 특성

첫째, 차별화 우위를 창출하기 어려운 중간재이다. 즉, 철강은 자동차, 전자, 기계 등 완제품의 중간재로 사용되는 소재이므로, 상대적으로 표준화의 정도와 질적 동질성이 매우 큰 제품에 속한다. 따라서 철강은 수요자들의 선호 변화에 직접적으로 영향을 받는 최종소비재에 비해 차별화 우위를 창출하기 어렵고, 가격경쟁력이 비가격경쟁력 보다 더 중요하다. 둘째, 철강은 덩치가 크고 무겁기 때문에 다른 제품 보다 재고비용과 물류비용이 클 수밖에 없다. 먼저 재고비용이 크다는 사실은 상품판매가 불확실한 상황에서 생산규모를 마냥 늘릴 수 없음을 의미한다. 따라서 철강은 상품주문의 규모가 충분히 낮은 비용의 생산규모를 충족시켜주지 못할 경우, 생산비용의 초과 혹은 재고비용의 부담으로 가격경쟁력에 있어 취약해질 수밖에 없다. 한편 제품의 중량 때문에 고물류비용을 피할 수 없고, 따라서 수출시장의 개척에 한계가 있다.

2.3 절단 모델의 이론적 고찰

1) 선형계획법의 개념

선형계획법(Linear Programming)은 가장 널리 사용되는 경영 과학기법 중의 하나이며, 하나의 목표달성을 위하여 한정된 자원을 최적 배분하는 수리계획법의 일

중으로 1947년 미국의 Dantzig가 심플렉스(Simplex)법을 개발하였다. 이후 A. Charnes와 W.W. Cooper가 정유회사의 가솔린 혼합 문제를 선형계획법을 적용한 후 자원의 할당, 수송계획, 생산계획, 인력계획, 광고전략 등 광범위한 산업분야에서 의사결정을 위해 선형계획법이 활용되고 있다. 선형계획법은 본 연구에서 적용될 기법으로 정수계획법, 수송계획법 그리고 목표계획법 등 다른 경영기법들의 기초가 되며, 최근에 개인용 컴퓨터 성능의 획기적인 발전으로 응용범위가 확대가 예상된다. 또한 경영자가 직면하는 현실의 문제가 다양하듯이 선형계획모형 역시 문제의 성격에 따라 고려할 의사결정변수, 제약조건 그리고 목적함수의 형태 역시 다양한 수식으로 표현된다. 즉 목적이 이익의 최대화, 비용의 최소화로 표현하게 된다. 또한 주어진 제약환경에서 하나의 목표를 추구하는 문제를 해결하고자 할 경우 선형계획법이 사용된다. 선형계획법을 활용하여 실제 문제를 해결하기 위해서는 일련의 제약 상황과 목표를 일차 함수로 표현하여야 한다.

2) 선형계획의 일반적인 모형

선형계획문제는 최대화와 최소화 문제로 구분하며, n 개의 의사결정변수와 m 개의 제약조건이 있는 일반적인 선형계획모형은 다음과 같이 표현한다.

① 최대화 문제

$$\begin{aligned} \text{최대화 } Z &= C_1X_1+C_2X_2+\dots+C_nX_n \\ \text{제약조건 } a_{11}X_1+a_{12}X_2+\dots+a_{1n}X_n &\leq b_1 \\ a_{21}X_1+a_{22}X_2+\dots+a_{2n}X_n &\leq b_2 \\ &\vdots \\ a_{m1}X_1+a_{m2}X_2+\dots+a_{mn}X_n &\leq b_m \\ X_1, X_2 \dots X_n &\geq 0 \end{aligned}$$

② 최소화 문제

$$\begin{aligned} \text{최소화 } Z &= C_1X_1+C_2X_2+\dots+C_nX_n \\ \text{제약조건 } a_{11}X_1+a_{12}X_2+\dots+a_{1n}X_n &\geq b_1 \\ a_{21}X_1+a_{22}X_2+\dots+a_{2n}X_n &\geq b_2 \\ &\vdots \\ a_{m1}X_1+a_{m2}X_2+\dots+a_{mn}X_n &\geq b_m \\ X_1, X_2 \dots X_n &\geq 0 \end{aligned}$$

여기서, Z 는 목적함수 값으로 Cj 와 Xj 는 각각 기여율과 의사결정변수를 나타내며, aij와 bi 는 기술변수와 우상변수를 의미한다. 또한 하첨자 i는 행을, j는 열의 위치를 의미한다.

3. 프로토타이핑(Prototyping)

3.1 용어의 정의

● 주문적증률

주문적증률은 고객이 요청하는 수량에 대한 생산한 양의 비율이다. 예를 들어 고객의 특정 규격에 대한 주문량이 100개일 경우 90개를 생산하여 10개를 부족하게 생산하였다면 주문적증률은 90%가 된다. 또한 부족 생산인 경우뿐만 아니라 초과로 생산하는 경우에도 동일하게 적용하여 주문적증률을 산정한다. 주문적증률이 낮으면 부족하거나 초과한 생산량에 대해서는 악성 장기재고로 갈 가능성이 많기 때문에 생산 기업에서는 최대한 주문적증률을 향상시킬 필요가 있다. 주문적증률의 기본적인 식은 (주문적증량 / 생산요청량 × 100)으로 표현할 수 있다.

● 원자재회수율

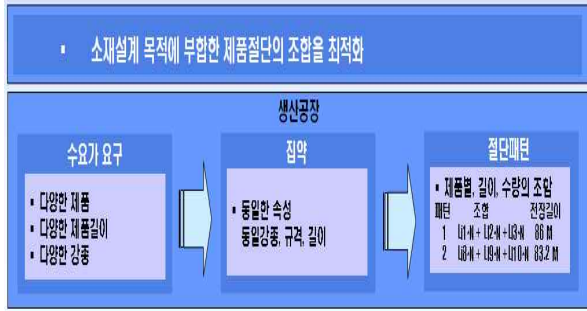
Input 대 Output의 비율로 제품으로 절단 전의 압연 소재 길이에 대한 생산한 개별 제품 길이의 합을 의미한다. 형강 제품의 생산 공정에서는 압연 소재의 Crop, 절단 Loss, 절단계획 미흡 등으로 인하여 원자재회수율이 100%가 되는 것은 불가능하나 원재재 절감을 통한 에너지, 원자재 비용 최소화를 위해서는 원자재회수율 향상시켜야 한다. 원자재회수율의 기본적인 식은 (제품 길이 × 제품단중) / (소재길이 × 소재단중)으로 표현할 수 있다.

3.2 프로토타이핑의 목표

최적화 모델을 개발하기 전에 사용자의 요구사항을 만족시키는지 여부에 대한 최종 검증과 확대 적용 시 위험과 비용을 최소화하기 위하여 본격적인 개발에 앞서 프로토타이핑을 수행하였다. 절단 모델의 목표는 생산성 유지와 함께 회수율과 주문 적증률을 최대화하는데 있다. 즉, 고객 주문량 보다 초과 생산하거나 부족 생산되지 않도록 생산량을 결정하며, 생산된 소재를 압연 공정을 거쳐 최종 제품을 절단하는 과정에서 철강 원자재의 손실이 최소화 되도록 설계하는 것을 최우선 목표로 하였다. 다음으로 스케줄러가 현장의 상황을 보다 정교하게 반영하고 유연하게 대응할 수 있도록 엔진을 대화식으로 제어하는 What-If 시뮬레이션 분석기능을 제공하는 모델 개발을 그 목표로 하였다.

● 소재설계 길이의 최대화 (원자재 회수율 최대화)

- 고객이 원하는 제품의 규격 및 수량을 정확히 생산 (주문 적중률 최대화)
- 선 공정인 제강, 연주, 압연 공정의 제약조건을 만족 하면서 회수율 및 주문 적중률 향상을 원가절감 및 생산성 향상



[그림 1] 소재 설계 절차

위의 그림과 같이 최적화 소재 설계 모델은 압연공정에서 소재를 압연하여 생산되는 H빔(형강)을 제품의 주문 조건에 맞게 절단하기 위한 길이 조합의 문제 해결을 의미한다. 프로토타이핑은 수리계획법의 하나인 Column Generation을 사용하였으며, Cutting Problem을 MIP(Mixed Integer Problem) 수리모델로 설계하고, 실제 Demand 만족을 목적으로 하는 Master Problem과 패턴을 생성하는 Sub Problem으로 수리모델을 구성하였다.

3.3 프로토타이핑 수행

프로토타이핑 시 하드웨어 환경은 Pentium IV(2 GHz)를 상용하였으며 운영체제는 Window/NT 기반 하에서 수행하였고, 솔루션으로는 ILOG CPLEX 10.1 Development과 ILOG Solver 6.3 Development를 사용하였다. 기타 개발 언어로는 MS Visual C++ 6.0 Compiler, MS Visual Studio .NET Compiler를 활용했다. 시스템 구축 개발방법론은 객체지향방법론인 CBD(Component Base Development)방법론과 정보공학방법론을 병행하였다.

1) 원문제(Master Problem) 정의

절단 전 압연 소재 길이(전장)의 범위는 55M에서 86M로 설정하였으며 수요 수량, 즉 Demand 설정은 아래 표와 같이 제품길이, Min(최소수량), Max(최대수량)을 설정하였다.

<표 2> 제품 길이별 Demand 설정

길이	수량		(Max-Min)
	Min	Max	
6	23	25	2
7	23	25	2
8	22	24	2
10	42	44	2
11	35	37	2
12	43	45	2
13	50	54	4
합계	238	254	

제약사항으로 생산성과 회수율을 고려하여 압연 길이가 긴 소재를 가급적 많이 사용하도록 설정하였고, 절단 패턴을 구성하는 제품 종류의 수는 3개 이하로 제한하였다. 3개 이하로 하면서 가능하면 생산성을 고려하여 한 소재에서 제품의 길이별 종류의 수는 2개인 것을 우선 선택하도록 하였다. 적용한 수리모델은 아래 그림과 같다.

Minimize													
$C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + C_4X_4 + C_5X_5 + C_6X_6 + C_7X_7$													
Subject to													
23	≤	14	X_1			≤	25						
23	≤		12	X_2			≤	25					
22	≤			10	X_3			≤	24				
42	≤				8	X_4			≤	44			
35	≤					7	X_5			≤	37		
42	≤						7	X_6			≤	45	
50	≤								6	X_7		≤	54

[그림 2] 수리모델

● Indices & Constants

- X_j : j 압연의 수 (실수)
- A_{ij} : j 압연이 i 제품 형태로 잘려지는 수 (정수)
- C_j : j 압연을 1개 사용할 때 발생하는 코스트 (실수)
- D_i : i 제품의 요구 수량 (정수)

● Modeling

목적식 : 비용최소화

$$\text{Min } C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_jX_j$$

제약식 : 목표 Demand 수준 만족

$$A_{11}X_1 + A_{12}X_2 + \dots + A_{1j}X_j \geq D_1$$

$$A_{21}X_1 + A_{22}X_2 + \dots + A_{2j}X_j \geq D_2$$

$$A_{31}X_1 + A_{32}X_2 + \dots + A_{3j}X_j \geq D_3$$

$$\vdots \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots$$

$$A_{i1}X_1 + A_{i2}X_2 + \dots + A_{ij}X_j \geq D_i$$

2) 부문제(Sub Problem) 정의

Master Problem에서 생성된 각 Demand 만족제약에 대한 Dual value를 구하여 새로운 패턴을 생성하고, Dual value에 대한 민감도 분석을 통하여 어떠한 패턴을 생성할 지 결정한다.

● Indices & Constants

- π_i : 제품 i에 대한 dual value (실수)
- a_{ij} : 새로운 압연 j에 대하여 제품 i의 생산 개수 (정수)
- d_i : 제품 i의 길이 (정수)
- L_j : 압연 j의 길이 (정수)
- c_j : 압연 j의 비용

● Modeling

목적식 : 비용 감소(Reduced cost), $\text{Max } \sum_i \pi_i a_{ij} - c_j$
 제약식 : 압연 길이 제약, $\sum_i a_{ij} d_i \leq L_j$

3) Demand Data 입력

Demand Data를 아래 그림의 화면에 최종 제품 길이 별로 수량, 최소허용치, 최대허용치 등을 입력하여 개발 모델을 실행한다.



[그림 3] Demand Data 입력(GUI)

4) 프로토타이핑 실행 결과

위 (3)에서 입력한 데이터를 실행하여 해를 구한 결과는 아래 그림과 같이 패턴의 수는 5개로 나타났으며 소재의 수량은 29개가 사용되도록 설계되었다. 또한 길이별 설계 수량은 허용치를 만족하였다. 또한 처리시간이 기존 방법으로는 보정시간을 포함하여 30분 소요되었는데 10초 이내로 소재 설계시간이 단축되었다.

프로토타이핑을 수행한 결과 패턴의 수는 6개의 패턴이 발생하여 기존 방식의 9개 보다는 3개가 작아 생산현장에서 작업 생산성을 증대시키는 효과를 가져왔고, 주문적중률, 즉 과부족 제품 수량은 246개의 생산요청 대비 251개로 5개가 초과되어 주문적중률은 97.9%로 나왔으나 이는 허용 오차 범위 내로 확인되었다. 처리시간 측면에서는 기존 방식이 보정 시간을 포함하여 30분(1,800초) 소요되었는데 개발 모델(ILOG)에

의한 처리시간은 10초가 소요되어 기존 방식보다 1,790초가 감소하는 결과가 나타났다. 따라서 개발 모델은 기존의 생산성을 유지하면서 수행 시간이 획기적으로 단축되는 결과로 확인되어 현장에 모델 개발 및 확대 적용에 대한 타당성을 확인하였다.

<표 3> 기존 방식 실행 결과

압연길이	소재(c)	6m	7m	8m	10m	11m	12m	13m	계
생산요청(a)		24	24	23	43	36	44	52	246
86	9	0	0	1	0	0	0	6	7
86	1	0	0	0	5	0	3	0	8
86	7	0	2	0	0	0	6	0	8
86	6	0	0	0	2	6	0	0	8
86	3	0	0	2	7	0	0	0	9
86	1	0	0	7	3	0	0	0	10
86	1	0	8	0	3	0	0	0	11
86	1	13	0	1	0	0	0	0	14
86	1	12	2	0	0	0	0	0	14
합계(b)	30	25	24	23	44	36	45	54	251
차이(b-a)		1	0	0	1	0	1	2	5

- 절단 패턴의 수: 9개로 프로토타이핑 결과 보다 3개가 많아 작업 생산성 저하가 예상됨.
- 수행 시간(보정작업 포함): 30분(1,800초)

<표 4> 프로토타이핑(ILOG 엔진) 실행 결과

압연길이	소재(c)	6m	7m	8m	10m	11m	12m	13m	계
생산요청(a)		24	24	23	43	36	44	52	246
86	9	0	0	0	0	0	5	2	7
86	4	0	0	0	2	6	0	0	8
86	1	0	3	0	0	0	0	5	8
86	7	0	3	3	3	1	0	0	10
86	6	0	0	0	1	1	0	5	7
86	3	8	0	1	3	0	0	0	12
합계(b)	30	24	24	24	44	37	45	53	251
차이(b-a)		0	0	1	1	1	1	1	5

- 절단 패턴 수: 6개로 프로토타이핑 결과 보다 3개가 작아 작업 생산성 향상이 예상됨.
- 수행 시간: 10초로 기존 방식보다 1,800초(3분)보다는 1,790초 감소되어 다양한 조건의 시뮬레이션이 가능

4. 절단패턴 모델 개발 및 적용

4.1 모델 적용공장

프로토타이핑 과정에서 검증된 모델을 활용하여 적

용한 공장은 프로토타이핑에서 적용하였던 경인지역의 대형공장을 포함하여 4개 공장에 적용하였으며 전체 생산량은 3,608천톤의 물량에 대한 소재 설계에 적용하였다. 이때 각 공장별 설비 특성에 따른 제약조건을 세부적으로 추가하여 적용하였다.

<표 5> 모델 적용공장의 생산량 (단위:천톤)

구분	경인 지역		경북 지역		계
	대형	중형	대형	중형	
내수	563	422	956	448	2,389
수출	748	471			1,219
계	1,311	893	956	448	3,608

위 표의 4개 공장은 H형강, I형강, ㄷ형강, 앵글, 철 도레일을 생산하는 공장으로서 수출은 I지역의 공장에서만 생산하며 각 공장의 생산공정은 대체적으로 동일하나 설비와 생산능력은 상이한 특징을 가지고 있다. 모델 적용 공장은 프로토타이핑에서 적용하였던 경인지역의 대형공장을 포함하여 4개 공장에 적용하였으며 모델을 적용한 공장의 전체 생산량 3,608천 톤이었다.

이는 2007년 우리나라 형강 생산량 8,726천 톤(H형강 3,584천 톤 포함)의 41.3%에 해당된다.

4.2 추진일정과 역할 분담

1) 추진일정 및 단계별 수행 내용

모델 개발 추진은 업무분석, 설계, 구현 및 테스트, 가동단계로 구분하여 5개월간 진행하였다. 모델 개발 단계의 세부적인 수행 내용을 정리하면 다음과 같다.

첫째, 업무 분석 단계에서는 기준관리, 기간 시스템 분석, 현장 실사, 요구사항 분석 등의 활동과 각 공장별 설비 특성을 감안한 제약사항을 파악하고 분석하였다.

둘째, 설계 단계는 Data Class, ILOG 제약, DB 연동, GUI설계, DB설계 등을 수행하였다.

셋째, 구현 및 테스트 단계에서는 Visual C++를 활용하여 Class를 제작, ILOG 제약 사항을 반영, Window/NT 기반의 프로그램을 오픈 시스템인 유닉스 기반으로 전환하였다.

넷째, 가동 단계에서는 사용자 매뉴얼을 활용하여 사용자 교육, 문제점 보완 활동 등을 수행하였고, 최종적으로 공장별, 설비 특성별로 제약사항을 확정하였다.

아래 그림은 각 단계에서 수행한 내용을 정리한 내용이다.



[그림 4] 추진 일정 및 단계별 수행 내역

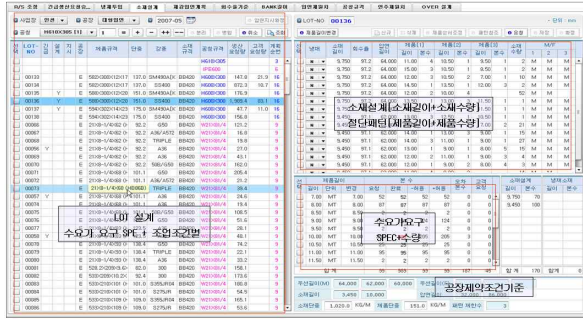
2) 추진조직과 업무분장

추진조직은 발주사와 수행사로 크게 구분하였고, 발주사에서는 사업추진 총괄책임자, 생산공정팀, 정보기획팀, 실무책임자, 정보기술팀으로 구분하여 업무를 분장하였다. 사업추진 총괄책임자는 프로젝트의 원활한 추진과 의사결정을 수행하였고, 관련 부서간 업무 조정 및 정책 결정은 정보기획팀과 생산공정팀이 담당하도록 하였다. 개발 수행사에서는 프로젝트 책임자, 시스템 개발자, 본사 기술연구소로 구분하여 업무를 수행하였고, 프로젝트 책임자는 모델 개발 및 적용에 대한 수행사의 총책임자로서 발주사와 유기적인 협조체제를 구축하고 프로젝트를 관리하고 통제하는 역할을 수행하였다. 시스템 개발자는 개발 절차에 따라 사용자의 요구사항을 분석, 설계, 개발업무를 수행하였다. 또한 고도의 제약 및 복합 목적식에 대한 기술 지원은 개발 수행사 본사의 기술연구소에서 수행하였다.

4.3 모델 개발

1) 사용자 화면 설계

개선된 모델에서는 아래 그림과 같이 고객의 주문량을 받아 강종별, 규격별, 시기별로 집계하여 소재를 생산하도록 Lot 설계를 자동으로 수행하고, 수행한 Lot 설계를 기반으로 해당 공장의 각종 제약조건을 반영한다. 제약 조건의 반영이 완료되면 자동으로 소재 소요량 등 소재설계가 자동으로 수행되며, 길이별 절단 패턴이 자동으로 생성되도록 화면이 설계되었다. 자동 설계로 생산 공장에서 영업 주문 변경, 회수율 변화, 적중률 변화 등 생산 환경이나 영업 환경의 변화에 유연한 대응이 가능하도록 설계하였다.



[그림 5] 개발 모델의 사용자 화면(GUI)

2) 데이터베이스 설계

개발된 모델을 운영하는데 필요한 테이블은 전체 44개로 설계하였으며, 대표적인 테이블은 연주제원치, Lot 소재설계, 절단 패턴 등의 테이블로 구성하였다. 44개의 테이블의 목록의 일부를 제시하면 아래 그림과 같다.

번호	테이블명	테이블명	인원	절단	공	절단	Table	Table	비고
			간수	패턴	구	패턴	Storage	Storage	
1	PP 구입원치물수출	PP-BUYSEMROODSGWENTAKE	12000	150	100	5	25 M	M	N
2	PP 소재설계	PP-CASPPROD	300	189	1	5		C	N
3	PP 소재설계	PP-CASPECIAL	3000	102	3100	5		C	N
4	PP 소재설계	PP-CLOWPRO	300	29	2200	5		C	N
5	PP 소재설계	PP-FRONTWATPRO	300	268	30	5		P	N
6	PP 소재설계	PP-FRONTWATPRO	300	193	3100	5		C	N
7	PP 소재설계	PP-FRONTWATPRO	300	193	3100	5		C	N
8	PP 소재설계	PP-HEATPRO	300	193	3100	5		M	N
9	PP 소재설계	PP-HEATPRO	300	193	3100	5		M	N
10	PP 소재설계	PP-ROKSENAI	300	193	3100	5		P	N
11	PP 소재설계	PP-ROKSENAI	300	193	3100	5		M	N
12	PP 소재설계	PP-ROKSENAI	300	193	3100	5		M	N
13	PP 소재설계	PP-ROKSENAI	300	193	3100	5		M	N
14	PP 소재설계	PP-ROKSENAI	300	193	3100	5		M	N
15	PP 소재설계	PP-ROKSENAI	300	193	3100	5		M	N
16	PP 소재설계	PP-ROKSENAI	300	193	3100	5		M	N
17	PP 소재설계	PP-ROKSENAI	300	193	3100	5		M	N
18	PP 소재설계	PP-ROKSENAI	300	193	3100	5		M	N
19	PP 소재설계	PP-ROKSENAI	300	193	3100	5		M	N
20	PP 소재설계	PP-ROKSENAI	300	193	3100	5		M	N
21	PP 소재설계	PP-ROKSENAI	300	193	3100	5		M	N
22	PP 소재설계	PP-ROKSENAI	300	193	3100	5		M	N
23	PP 소재설계	PP-ROKSENAI	300	193	3100	5		M	N
24	PP 소재설계	PP-ROKSENAI	300	193	3100	5		M	N
25	PP 소재설계	PP-ROKSENAI	300	193	3100	5		M	N
26	PP 소재설계	PP-ROKSENAI	300	193	3100	5		M	N
27	PP 소재설계	PP-ROKSENAI	300	193	3100	5		M	N
28	PP 소재설계	PP-ROKSENAI	300	193	3100	5		M	N
29	PP 소재설계	PP-ROKSENAI	300	193	3100	5		M	N
30	PP 소재설계	PP-ROKSENAI	300	193	3100	5		M	N
31	PP 소재설계	PP-ROKSENAI	300	193	3100	5		M	N
32	PP 소재설계	PP-ROKSENAI	300	193	3100	5		M	N
33	PP 소재설계	PP-ROKSENAI	300	193	3100	5		M	N
34	PP 소재설계	PP-ROKSENAI	300	193	3100	5		M	N
35	PP 소재설계	PP-ROKSENAI	300	193	3100	5		M	N
36	PP 소재설계	PP-ROKSENAI	300	193	3100	5		M	N
37	PP 소재설계	PP-ROKSENAI	300	193	3100	5		M	N
38	PP 소재설계	PP-ROKSENAI	300	193	3100	5		M	N
39	PP 소재설계	PP-ROKSENAI	300	193	3100	5		M	N
40	PP 소재설계	PP-ROKSENAI	300	193	3100	5		M	N
41	PP 소재설계	PP-ROKSENAI	300	193	3100	5		M	N
42	PP 소재설계	PP-ROKSENAI	300	193	3100	5		M	N
43	PP 소재설계	PP-ROKSENAI	300	193	3100	5		M	N
44	PP 소재설계	PP-ROKSENAI	300	193	3100	5		M	N

[그림 6] 테이블 목록 일부

3) 제약사항 설정

개발한 모델을 적용한 공장은 경인지역에 2개 공장, 경북 지역에 2개 공장으로 전체 4개 공장에 적용하였다. 각 공장의 생산 설비 및 환경이 상이한 관계로 통합테스트를 현장에서 수행한 후 사용자의 의견을 반영하여 제약조건을 최종적으로 확정하고, 이를 모델에 반영하였다. 아래 그림은 4개 공장 중에서 대표적인 공장인 경인지역의 대형공장에 대한 제약사항을 정리한 내용이다.

시공	종류	비밀번호	UNIT	가이드	가이드	종류	비고
			Val	Unit	Unit		
1	5	101	120	50	200	회수율	초, 에너지 관련 성능 수
1	5	2	1000	5000	2000	회수율	초, 에너지 관련 성능 수
1	5	3	25	15	600	회수율	초, 에너지 관련 성능 수
1	5	4	300	1000	300	대용량	기판적으로 변경되지 않음
1	5	5	680	700	900	대용량	기판적으로 변경되지 않음
1	5	6	3	2	3	대용량	기판적으로 변경되지 않음
1	5	7	20000	1	30000	회수율	
1	5	8	10	1	30000	회수율	
1	5	9	250000	10000	500000	회수율	부품 관련 성능 수
1	5	10	3000000	100000	1000000	회수율	
1	5	11	1000000	10000	10000000	회수율	
1	5	12	1000000	10000	10000000	회수율	
1	5	13	3	1	5	회수율	
1	5	14	200	10	1000	회수율	
1	5	15	200	10	1000	회수율	
1	5	16	200	10	1000	회수율	
1	5	17	200	10	1000	회수율	
1	5	18	5000	1000	20000	회수율	드루 관련 성능 수

[그림 7] 최종 확정된 제약사항

4.4 개발 모델 적용 성과분석

1) 정량적 성과

개발한 모델을 적용한 후 정량적 성과를 측정된 결과 주문 적중률 향상으로 13,455,325천원, 회수율 향상으로 3,354,100천원의 효과가 발생하여 전체적으로 연간 약 168억원의 정량적 성과를 확인하였다. 아래 표는 정량적 성과에 대한 적용 공장별 세부내역으로 물량 측면에서는 주문적중률 향상으로 41,401톤, 회수율 향상으로 15,784톤의 원자재 및 제품의 절감 효과가 발생하였다. 이는 전체 물량 3,609천톤의 1.58%에 해당한다.

항목	효과	비고																																																															
매출향상	* 연 13,455,325천원 (생산요청 적중률 향상)	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">구분</th> <th colspan="4">연선</th> <th colspan="4">포항</th> <th rowspan="2">계</th> </tr> <tr> <th>매출</th> <th>회수율</th> <th>회수율</th> <th>회수율</th> <th>매출</th> <th>회수율</th> <th>회수율</th> <th>회수율</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>매출</td> <td>554</td> <td>0.72</td> <td>4,060</td> <td>422</td> <td>2,69</td> <td>11,352</td> <td>956</td> <td>0.74</td> <td>7,074</td> <td>448</td> <td>0.40</td> <td>1,782</td> <td>2,390</td> <td>24,278</td> </tr> <tr> <td>회수율</td> <td>748</td> <td>1.71</td> <td>12,730</td> <td>471</td> <td>0.92</td> <td>4,333</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>1,219</td> <td>17,123</td> </tr> <tr> <td>계</td> <td>1,312</td> <td>-</td> <td>1,690</td> <td>893</td> <td>-</td> <td>15,685</td> <td>956</td> <td>-</td> <td>7,074</td> <td>448</td> <td>-</td> <td>1,782</td> <td>3,609</td> <td>41,401</td> </tr> </tbody> </table>	구분	연선				포항				계	매출	회수율	회수율	회수율	매출	회수율	회수율	회수율	매출	554	0.72	4,060	422	2,69	11,352	956	0.74	7,074	448	0.40	1,782	2,390	24,278	회수율	748	1.71	12,730	471	0.92	4,333	-	-	-	-	-	-	1,219	17,123	계	1,312	-	1,690	893	-	15,685	956	-	7,074	448	-	1,782	3,609	41,401
		구분		연선				포항					계																																																				
매출	회수율		회수율	회수율	매출	회수율	회수율	회수율																																																									
매출	554	0.72	4,060	422	2,69	11,352	956	0.74	7,074	448	0.40	1,782	2,390	24,278																																																			
회수율	748	1.71	12,730	471	0.92	4,333	-	-	-	-	-	-	1,219	17,123																																																			
계	1,312	-	1,690	893	-	15,685	956	-	7,074	448	-	1,782	3,609	41,401																																																			
* 산출식 : 적중률 * 65만 원/Ton * 0.5																																																																	
비용절감	* 연 3,354,100천원 (회수율 향상)	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">구분</th> <th colspan="4">연선</th> <th colspan="4">포항</th> <th rowspan="2">계</th> </tr> <tr> <th>매출</th> <th>회수율</th> <th>회수율</th> <th>회수율</th> <th>매출</th> <th>회수율</th> <th>회수율</th> <th>회수율</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>매출</td> <td>554</td> <td>0.8</td> <td>4,512</td> <td>422</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>956</td> <td>0.1</td> <td>956</td> <td>448</td> <td>0.8</td> <td>3,584</td> <td>2,390</td> <td>9,952</td> </tr> <tr> <td>회수율</td> <td>748</td> <td>0.9</td> <td>6,732</td> <td>471</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>1,219</td> <td>6,732</td> </tr> <tr> <td>계</td> <td>1,312</td> <td>-</td> <td>11,244</td> <td>893</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>956</td> <td>-</td> <td>956</td> <td>448</td> <td>-</td> <td>3,584</td> <td>3,609</td> <td>15,784</td> </tr> </tbody> </table>	구분	연선				포항				계	매출	회수율	회수율	회수율	매출	회수율	회수율	회수율	매출	554	0.8	4,512	422	0.0	0.0	956	0.1	956	448	0.8	3,584	2,390	9,952	회수율	748	0.9	6,732	471	0.0	0.0	-	-	-	-	-	-	1,219	6,732	계	1,312	-	11,244	893	0.0	0.0	956	-	956	448	-	3,584	3,609	15,784
		구분		연선				포항					계																																																				
매출	회수율		회수율	회수율	매출	회수율	회수율	회수율																																																									
매출	554	0.8	4,512	422	0.0	0.0	956	0.1	956	448	0.8	3,584	2,390	9,952																																																			
회수율	748	0.9	6,732	471	0.0	0.0	-	-	-	-	-	-	1,219	6,732																																																			
계	1,312	-	11,244	893	0.0	0.0	956	-	956	448	-	3,584	3,609	15,784																																																			
* 산출식 : 회수율 * 42.6만 원/Ton * 0.5																																																																	

[그림 8] 연간 모델 적용 정량적 성과(2007년 기준)

생산요청 적중률 향상 성과에 대한 산출식은 적중률에 제품가격/톤 × 0.5(제품가격 - 장기재고 판매가격)이고, 회수율 향상 성과 산출식은 회수량 × 소재가격 × 0.5(철스크랩 가격, 목적의 절단제품 재용해)으로 산출하였다.

2) 정성적 성과

정성적인 성과로는 4개 공장의 소재 설계 소요시간이 240분에서 30분으로 단축되어 사무생산성이 획기적으로 향상되었다. 처리시간 단축은 시장 환경 변화에 신속하게 대응할 수 있는 유연한 생산계획 체제를 갖출 수 있었고, 자동소재 설계로 열간작업(Hot Charge) 물이 향상되는 성과로 에너지 절감, 탄소가스 저감, 시간당 작업 생산성 향상을 기할 수 있었다.

5. 회수율과 주문 적중률의 상관관계 실험

5.1 실험의 개요

철강산업에서 원가 절감만을 강조한 나머지 원자재 회수율 향상만 추구하면 주문 적중률이 저하되어 납기 미준수로 인한 고객 서비스 수준이 저하되고, 목적 외 제품 생산으로 악성 장기재고가 발생한다. 따라서 회수율이 증가함에 따라 주문 적중률은 어느 정도 감소되는지를 확인하여 최적의 회수율과 주문 적중률을 확인할 목적으로 상관 관계 실험을 하였다. 실험 방법은 개발된 모델의 유연성을 활용하여 제약사항 리스트에 있는 주문 적중률의 페널티를 많은 순으로 제약사항을 변경하면서 회수율의 변화 추이를 확인하였다.

5.2 실험 데이터

실험 대상 제품은 H형강으로 선정하였으며, 전체 생산요청량은 115본으로 하였다. 세부적인 규격별, 길이별 실험 데이터는 아래 표와 같다. 이때 소재 재고는 고려하지 않았다. 즉 소재는 요청량에 대한 생산이 가능한 재고가 확보된 상황을 전제로 하였다.

<표 6> 실험 데이터

(단위: 개)

제품 및 규격	제품길이	단위	요청량	비고
H형강 457mmX191m mX67mm	12.00	MT	11	
	12.20	MT	32	
	14.00	MT	28	
	15.30	MT	24	
합 계			115	

5.3 제약(페널티 값: 2,500,000) 적용 및 결과

1) 적용 화면

적중률에 영향을 미치는 페널티 값을 아래 그림의 제약 List에서 선택하여 적용하였다. 페널티 값이 많으면 비용 최소화를 위하여 적중률이 향상되거나 회수율은 낮아진다.

[그림 9] 주문적중률 제약 값(페널티) List

2) 제약 값 적용 결과

적중률에 대한 페널티 값 2,500,000을 적용한 결과 아래와 같이 회수율은 97.03%, 적중률은 94.78%로 확인되었다. 주문 적중률에 대한 페널티 값이 주문 적중률은 높으나 회수율은 낮게 나타났다.

[그림 10] 주문적중률 제약 값(페널티) 2,500,000 적용 결과

최종 제품 중량이 22,901 Kg으로 소재 투입 중량 23,601 Kg 대비 700.17 Kg 감소하여 회수율은 97.03%로 산정되었다. 아래 표는 회수율에 대한 적중률에 대한 세부 산정 근거 및 내역이다.

<표 7> 제약 값 2,500,000 적용 결과 회수율

소재	소재 (단중:0.796kg/mm)				제품 (단중:67.1kg/m)				회수율 (제품 중량/소재 중량)
	소재 길이 (mm)	소재 중량 (Kg)	길이 (m)	본수	길이 (m)	본수	제품 길이 (m)	제품 중량 (Kg)	
7400	5,890	18.3	4	12.2	1		85.4	5,730	97.28
7450	5,930	12.2	7				85.4	5,730	96.63
7400	5,890	15.3	1	14	5		85.3	5,724	97.17
7400	5,890	15.3	4	12	2		85.2	5,717	97.05
계	23,601							22,901	97.03

설계 완료량이 119본으로 요청량 115본 대비 6본의 오차가 발생하여 주문 적중률은 아래와 같이 94.78%로 산정되었다.

<표 8> 제약 값 2,500,000 적용 결과 적중률

길이	요청량	완료량	오차	오차	적중률 (%)
12.00	11	10	-1	1	90.91
12.20	32	33	1	1	96.88
14.00	28	30	2	2	92.86
15.30	24	26	2	2	91.67
18.30	20	20	0	0	100.00
계	115	119	6	6	94.78

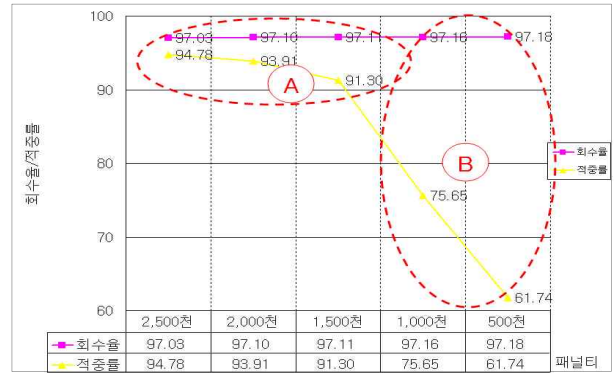
5.4 실험 결과 분석

위 2)의 제약 값(페널티: 2,500,000)을 적용한 경우와 같이 제약 값을 2,000,000, 1,500,000, 1,000,000, 500,000을 각각 적용한 결과를 종합하면 다음과 같다. 즉 적중률 페널티 값이 작은 순으로 회수율은 증가되나 적중률은 감소됨을 확인할 수 있다. 이는 회수율과 적중률이 상호 상관관계가 있다고 볼 수 있다. 즉 회수율이 향상되면 적중률은 감소되었다. 그러나 아래 표와 같이 회수율의 증가에 따라 적중률은 일정하게 감소되다가 페널티 값이 1,000,000인 경우처럼 특정 지점에서는 적중률이 급격히 감소되는 현상이 발견되었다. 따라서 생산기업에서는 이를 참조하여 회수율과 적중률을 동시에 만족하는 적정한 값을 시장 환경에 맞게 적용할 필요가 있다.

<표 9> 회수율이 주문 적중률에 미치는 영향

페널티 값	소재량	제품량	요청분수	설계분수	오차	회수율	적중율
2,500,000	23,601	22,901	115	119	6	97.03	94.78
2,000,000	23,004	22,338	115	122	7	97.10	93.91
1,500,000	29,333	28,484	115	125	10	97.11	91.30
1,000,000	11,423	11,098	115	91	28	97.16	75.65
500,000	17,711	17,211	115	81	44	97.18	61.74

아래 그림에서 페널티 값이 2,500천, 2,000천, 1,500천 일 경우 기업에서 시장 환경에 적절한 회수율과 적중률에 대한 선택이 가능하다고 보나 페널티 값이 1,000천과 500천인 경우에는 회수율은 좋아지나 주문적중률이 현저히 저하되므로 기업에서 선택이 불가능하다. 따라서 주문적중률과 회수율은 서로 상충되는 부분이 있으므로 두 가지를 모두 만족하는 2,500천과 2,000천을 선택함이 바람직하다. 2,500천과 2,000천중에서 선택은 시장 환경에 따라 적당하게 선택하여 적용하여야 한다. 즉 고객의 납기가 중요하면 주문적중률이 가장 좋은 2,500천의 경우를 선택하고, 고객의 납기보다는 생산원가가 중요하다면 2,500천의 경우보다 회수율이 좋은 1,500천을 선택할 수 있다. 따라서 본 결과는 한정된 시간에 모델링을 수행한 결과로서 특수한 상황에서는 해를 구하는 시간을 더 설정하여 수행하면 목적하는 최적의 결과 값을 가질 수 있다. 아래 그림의 A지역에 있는 케이스는 회수율이 좋은 점은 있으나 적중률이 현저히 저하되기 때문에 기업에서 적용은 가급적 지양하여야 한다.



[그림 11] 회수율이 주문적중률에 미치는 영향

6. 결론

6.1 연구의 요약

철강산업은 자동차, 조선, 기계, 가전, 건설, 방위산업을 비롯한 전 산업에 기초소재를 공급하는 산업으로서 전·후방 산업에서 생산되는 제품의 품질과 가격경쟁력을 좌우하는 매우 중요한 산업이다. 그러나 최근 국가 간 경쟁 심화와 중국의 급부상으로 인하여 우리나라 철강 산업은 매우 어려운 상황이다. 따라서 철강산업이 어려운 시장 환경에 적절히 대응하고, 국제 경쟁력 제고를 위해서는 원자재 회수율 향상으로 원가 경쟁력의 제고, 주문 적중률 향상으로 고객 서비스 수준 향상, 시장 환경 변화에 유연한 생산체제 구축 등이 절실히 요구되는 상황이다.

이에 본 연구는 원자재의 회수율과 주문 적중률 향상을 목적으로 철강 소재 설계 최적화 절단 모델을 개발하여 그 성과를 확인하였다. 또한 철강 소재 설계 최적화 절단 모델의 개발 과정을 세부적으로 제시하여 향후 타 제품에 적용 시 적용 과정에서 발생하는 시행착오와 위험을 최소화하고자 하였다. 본 연구의 과정과 내용을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 최적화 모델 개발의 타당성을 검증하고, 개발 모델을 확대 적용 시 발생할 수 있는 위험의 최소화를 위한 프로토타이핑을 수행하여 기존 방식과 차이를 분석하였다. 그 결과 회수율과 주문적중률은 기존 방식과 큰 차이가 없었으나 최적의 해를 구하는데 소요되는 처리 시간이 1,800초(3분)에서 10초로 단축됨을 확인하였다.

둘째, 개발 모델을 생산 현장에 실제 적용한 후 성과 측정을 수행한 결과 주문적중률은 기존 방법보다 1.14%, 원자재 회수율은 0.43%가 향상되었고, 이를 금액으로 환산하면 연간 약 168억원의 정량적인 성과가

확인되었다. 또한 정성적인 측면에서는 소재 설계 소요 시간이 회당 240분에서 60분으로 180분이 단축되어 업무 효율성이 획기적으로 향상되는 결과를 확인하였다.

셋째, 개발한 모델의 신속성을 활용하여 주문적중율과 생산회수율과의 상관관계를 확인하기 위하여 회수율의 변화에 따라 주문 적중률의 변화를 실험하였다. 실험 결과 회수율이 향상되면 주문 적중률이 일정한 수준까지는 회수율에 반비례하여 감소되나 어느 한계점을 지나면 주문 적중률이 급격히 낮아지므로 기업에서는 본 모델의 신속성을 활용하여 회수율과 주문적중률을 동시에 만족하는 최적의 값을 구하는 노력이 필요하고, 시장 환경에 유연한 생산계획 체제가 구축되어야 한다.

따라서 개발 모델을 현장에 적용하면 기존방식 보다는 회수율과 적중률이 크게 향상되므로 이를 발전시키면 철강산업의 경쟁력이 강화되고, 개발 모델의 신속한 시뮬레이션 기능을 활용하면 시장 환경 변화에 유연한 생산체제 구축이 가능하다.

6.2 향후 연구과제

본 연구에서는 생산계획 단계의 소재 설계 모델을 개발하였다. 향후에는 본 모델이 실제 생산 현장의 생산시스템과 통합되고, 동기화되는 시스템 구축이 필요하다. 즉, 생산 현장에서 압연 소재의 품질 불량, 주문 변경, 절단 오류 등 문제 발생 시에 설계 내용이 실시간으로 변경되어 작업자에게 변경 내용을 재지시하는 시스템 구축이 필요하고, 생산 현장의 전, 후 공정과 정보를 공유하여 후 공정에서 요구하는 사항이 전 공정에 즉시 환류되는 시스템을 구축하여 열간작업(Hot Charge)률을 향상 시킬 필요가 있다.

7. 참 고 문 헌

- [1] 철강협회, “철강연감”, 한국철강협회 외, 2010, pp. 19-132
- [2] 황규승외, “경영과학의 이해”, 학현사, 2009, pp. 1-9
- [3] 신도현, “제지산업의 Trim Optimizer 개발에 관한 연구”, 연세대, 2007, pp. 10-33
- [4] 이정철, “한국과 중국의 철강산업 국제경쟁력 비교 분석에 관한 연구”, 원광대, 2009, pp. 8-78
- [5] 김광희, “철근 손율 최소화 프로그램 개발에 관한 연구”, 고려대, 2002, pp. 8-58
- [6] 김선국외, “철근 손율을 줄이기 위한 최적화 알고리즘 개발에 관한 연구”, 대한건축학회논문집 제7권, 2001
- [7] 이재열외, “철근물량산출 및 손율 최적화시스템 개발 연구”, 대한건축학회논문집 제16권, 1996
- [8] POSCO, “디지털 포스코”, 21세기북스, 2001
- [9] POSCO, “멈추지 않는 진화”, 21세기북스, 2002
- [10] 그란트 노리스외, “e-Business and ERP”, 풀푸레, 2000
- [11] 마틴V외, “e-Business 성공 모델”, 풀푸레, 2000
- [12] 문찬오, “PI/ERP 구현 후, 변화관리활동이 사용자 만족도에 미치는 영향”, 명지대, 2009
- [13] 선은수, “중소기업의 ERP 도입 후 운영 성공 요인에 대한 사례 연구”, 고려대, 2004
- [14] 이정철, “전사적 자원관리(ERP) 시스템 도입이 직무재설계 및 조직효과성에 미치는 영향에 관한 연구”, 고려대, 2008
- [15] 진영인, “ERP 시스템 도입 후 효율적인 운영을 위한 중요 요인에 관한 연구”, 동국대, 2000
- [16] G.T. Thuesen, W.T. Fabrycky, “Engineering economy”, prentice hall, 1993
- [17] Ronald L. Rardin, “Optimization in Operations Research”, prentice hall, 1998
- [18] Laurence A. Wolsey, “Integer Programming”, John Wiley & Sons, 1998
- [19] Stephen G. Nash, and Ariela Sofer, “Linear And nonlinear Programming”, McGraw hill international Editions, 1996
- [20] Mokhtar S. Bazaraa, John J. Tarvis, Hanif D. Sherali, “Linear Programming and NetWork Flows”, John Wiley & Sons, 1984
- [21] David G. Luenberger, “Linear and Nonlinear Programming”, Addison Wesley, 1984
- [22] Leon S. Lasdon, “Optmization Theory for Large Systems”, The Macmillan Company, 1972
- [23] Nicoletti, L. M. , Stauffer, G. , “An Industrial Cutting Stock Problem”, Boston; London; Kluwer Academic Publishers, 2002
- [24] Saad, O.M, “On The Solution of Multiobjective Cutting Stock Problem in The Aluminumindustry”, International Fuzzy Mathematics Institute, 2008
- [25] Alves, C., “A stabilized branch-and-price-and-cut algorithm for the multiple length cutting stock problem”, Elsevier Science B.V., Amsterdam, 2008

저 자 소 개

박 상 민



1970년 한양대학교
산업공학과(공학사)
1983년 한양대학교
산업공학과(공학석사)
1990년 한양대학교
산업공학과(공학박사)
1985년~현재 인천대학교
산업경영공학과 교수

주소: 인천시 연수구 송도동 7-46

조 종 남



2001년 인천대학교
산업공학과(공학사)
2003년 인천대학교
산업공학과(공학석사)
2003년~현재 인천대학교
산업공학과(공학박사 과정 중)
2009년~현재 (주)동부메탈
재직 중

주소: 서울특별시 강남구 대치4동 동부금융센터 21층

남 호 기



1979년 한양대학교
산업공학(공학사)
1985년 Polytechnic 대학
산업공학(공학석사)
1988년 Polytechnic 대학
산업공학(공학박사)
1987년~현재 인천대학교
산업경영공학과 교수

주소: 인천시 연수구 송도동 7-46

김 중 현



1978년 동국대학교
전자계산학과(경영학사)
2004년 인천대학교
산업정보학과(공학석사)
2008년 인천대학교
산업경영공학과(박사과정)
2010년~현재 한국IT감리
컨설팅(주) 수석감리위원

주소: 서울시 서초구 서초동 1485-10