

건설기계 유압밸브 생산을 위한 일정계획 시스템 개발

Development of Scheduling System for Production of the Hydraulic Control Valve of Construction Equipment

김기동* 이보현**
Kim, Ki-Dong Lee, Bo-Hurn

Abstract

The construction machine is the composite machine assembled by about 30,000 parts. Excavator, one kind of a construction machine, plays the leading role for export of construction equipment.

It is generally impossible to produce all of the items within one company. Especially the supply of hydraulic control valves, one of the core part of the construction equipment, depends on the import heavily. So it is important to make an efficient production plan of hydraulic control valves in the company.

The most important thing for the production scheduling of a hydraulic control valve is to make production schedule keeping the start date for assembly line for an excavator and to make minimization of the stock level. The production plan of hydraulic control valve includes the decision of the quantity supplied by subcontractor.

This paper presents a scheme for a scheduling system of the hydraulic control valve considering the schedule of the assembly line for excavator production. This paper provides a methodology, which can make a plan of supply and production and generate a detailed schedule for daily production.

키워드 : 건설기계, ILOG, CPLEX

Keywords : construction equipment, ILOG, CPLEX

1. 서론

건설기계산업은 자본집약적, 수출 지향적인 국가 기간산업이라는 경제적 특성과 기술집약적이며 종합기계기술이 요구된다는 기술적 특성을 가지고 있다[8].

국내 건설기계산업의 수출량은 꾸준히 증가하고 있으며 세계시장에서 경쟁은 치열해지고 있다. 특히 굴착기는 세계 수출 5위의 수출 강국이며 꾸준한 생산량이 증가하고 있지만 부품, 소재 등 중간

재와 기계류 등 핵심 부품산업의 낙후로 생산 및 수출 확대가 오히려 수입을 유발하는 구조가 고착되어있다[7]. 따라서 건설기계산업의 수출경쟁력 재고와 원활한 부품 수급을 위해 효율적인 생산관리가 필요하다. 특히 건설기계는 종류가 다양하고 대당 가격이 비싸며 중량이 무거워[8] 납기를 지키고 재고 비용을 최소화하는 것이 매우 중요하다.

이상협[3]은 건설장비 조립부품을 제작하는 가공공장의 계획 및 운영 시스템 개발에 관해 연구하였다. 조립공정의 계획과 MRP 전개에 따라 가공공장의 초기 일정계획을 세웠다. 초기 일정계획은 가공공장의 생산환경이 제대로 반영되지 못하기 때문에 가공공장의 여건에 적합한 일정계획을

* 강원대학교 산업공학과 교수, 공학박사

** 강원대학교 대학원 산업공학과 석사과정

다시 수립하였다.

이순구[4]는 주문생산 방식의 생산환경에서 ERP 시스템을 적용한 사례를 소개했다. ERP 시스템에서 제공하는 Backward scheduling, Forward scheduling 기법을 소개하고 이를 이용해 일정계획을 하였다.

석진우[2]는 중소기업의 주문생산 공정에 적용한 MRP에 대해 설명하고 적용 사례를 소개했다. 짧은 납기와 주문변화에 신속히 대응할 수 있는 일정계획의 시스템을 구축함으로써 기업 경쟁력 제고를 목적으로 했다.

정환욱[5]은 자동차 부품을 생산하는 공장의 주문생산 방식에 대해 연구했다. 기존의 수작업으로 행해지던 생산계획과 외주 일정계획을 전산화하는 것을 목적으로 했다.

건설기계산업은 생산계획 관련연구가 활발하지 못하다. 본 연구와 비슷한 주제를 가진 주문생산 방식하의 생산계획 연구는 주로 ERP 또는 MRP를 이용한 일정계획 방법론을 제시했다. 상기한 연구들은 주문의 납기를 준수하는 것과 재고비용을 최소화하는 것을 목표로 하였다. 또한 주문의 변경에 대해 신속하고 유연하게 대응할 수 있는 생산계획 방법론을 중요시 하였다.

본 논문에서 제시된 방법론은 납기를 지키고 재고를 줄이면서 생산량을 최대화하는 결과를 빠르고 신속하게 제시해 주도록 고려되어졌다.

2. 건설기계 제조 프로세스 분석

2.1 굴착기의 구성

굴착기는 흙이나 암석을 파거나 파낸 것을 정리하는 기계장치를 말한다. 굴착기는 그림 1과 같이 부위별로 상부회전체, 하부추진체, 전부장치로 구분할 수 있다[12]. 상부회전체는 굴착기에 운전자가 탑승하고 굴착기를 조작하기 위한 부품이 부착되는 부분으로 하부추진체의 프레임 위에 설치되고 앞쪽에는 전부장치가 설치된다.

굴착기의 동력 전달방식에는 유압, 전기, 기계, 공압, 수압 등의 여러 가지 방식이 있다[10]. 이중 유압 방식은 소형이면서 큰 힘을 전달하는데 적합하고 미세한 제어가 가능하다[6].

유압의 힘과 운동은 주로 밸브를 사용하여 제어하고[10]유압을 제어하는 밸브를 유압제어밸브라고 하며 일반적으로 유압밸브라고 한다. 유압밸브는 건설기계 작업장치의 유압 실린더와 유압 모터의 목적에 따라 알맞은 기계적 작동을 하기 위해서 작동유의 흐름을 조절한다[1].

2.2 굴착기 제조 프로세스

굴착기 제조 프로세스는 제관공정, 조립공정, 프론트 장착, 세척 및 도장 공정으로 나눌 수 있다[3].

제관이란 철관재료를 원통모양으로 굽히고 경관을 원하는 형태로 만들어 용접 등의 방법으로 접합한 다음 여러 가지 부품들을 결합시키는 작업을 말한다[11].

제관공정은 메인프레임, 트랙프레임을 제관하는 공정과 붐, 암을 제관하는 공정으로 나눌 수 있다. 조립공정은 제관공정에서 만들어진 메인프레임과 트랙프레임에 유압밸브 등의 부품을 설치하고 상부회전체와 하부추진체를 조립하는 공정이다.

프론트 장착 공정은 조립공정에서 만들어진 상부회전체와 하부추진체에 전부장치를 조립하는 공정이다.

유압밸브의 생산 공정은 가공, 호닝, 조립, 도장 공정으로 나눌 수 있다. 가공공정에서는 절삭작업과 검사를 하며, 호닝은 공작물을 정밀하게 다듬는 작업을 말한다.

2.3 D기업의 유압밸브 생산계획 프로세스

D기업은 국내 대표적인 건설 기계 회사로써 유압밸브 등 주요 부품까지 직접 생산하고 있다.

유압밸브의 생산은 굴착기의 생산계획에 의해 이루어진다. 굴착기의 생산처를 유압밸브의 소요처

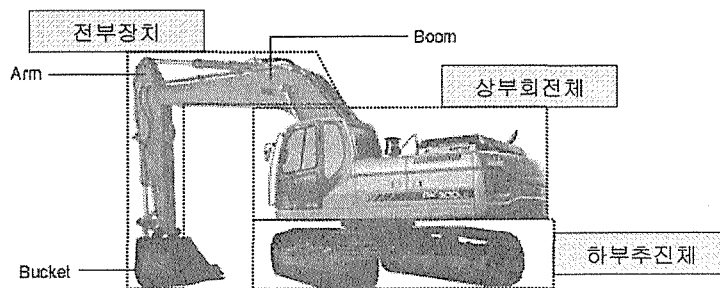


그림 1 굴착기 부위별 명칭[13]

건설기계 유압밸브 생산을 위한 일정계획 시스템 개발

라 한다. 유압밸브의 소요처는 유압밸브를 필요로 하는 굴착기를 생산하는 곳을 말하며 크게 국내와 해외로 구분되고 세부적으로 생산 라인별로 분류된다.

국내에서 생산할 굴착기의 유압밸브 소요는 월단위의 생산계획을 수립하는 월간조립계획과 주단위의 생산일정을 계획하는 주간조립계획에 의해 결정된다. 해외에서 생산될 굴착기의 유압밸브 소요는 CKD Order라는 주문정보에 의해 결정된다. 굴착기 주간조립계획이란 국내 굴착기 생산 업체의 주단위 굴착기 생산을 위한 일정계획을 말하는 것으로 생산할 굴착기의 굴착기 기종, 조립투입일, 조립라인, 조립순서 등의 정보가 있다. CKD Order란 D 기업의 해외 공장에서 생산할 굴착기의 유압밸브 주문으로써 기종별 생산량과 선적일 정보를 가지고 있다. CKD Order는 선적일을 납기일로 하며 시작호기와 종료호기로 주문 수량을 결정한다. 해외 주문의 경우 선행 생산한 유압밸브도 가능한 빠른 선적일에 출하되는 것이 허용된다.

유압밸브의 생산처는 자가와 외주로 구분되며 유압밸브를 공급하는 방법은 재고, 자가, 외주의 세 가지 방법이 있다. 자가 생산이란 유압밸브 공급 방법 중 하나로 굴착기 생산업체에서 직접 생산하는 방식을 말하며 본 논문에서는 유압밸브 생산을 계획하는 업체에서 직접 생산하는 것을 의미한다. 외주란 유압밸브를 외부에서 구입하여 수요를 충족시키는 방법으로 본 논문에서는 수입을 의미한다. 외주는 굴착기 기종에 따라 자가에서 생산할 수 없는 경우 또는 자가에서의 부하량을 조절하기 위하여 사용한다.

굴착기의 기종에 따라 유압밸브의 적용은 자가, 외주, 자가와 외주 유압밸브를 모두 사용할 수 있는 굴착기가 있다. 굴착기 기종이 다르지만 같은 유압밸브를 사용하는 굴착기도 있다.

2.3.1 수급계획

수급계획은 굴착기 기종별로 월간 유압밸브 소요량을 파악하고 자가 생산량과 외주 사용량, 재고량을 파악하여 자가에서 생산해야 할 유압밸브의 수량을 결정하는 계획이다.

굴착기의 기종에 따라 재고를 사용할 수 있는 경우 재고를 먼저 사용하고, 재고의 사용 후 자가 생산 또는 외주 사용의 의사결정을 한다. 외주 사용의 의사결정은 자가에서 생산한 유압밸브를 적용하지 못할 경우 외주를 사용한다. 자가에서 생산한 유압밸브를 적용하지 못할 경우란, 굴착기가 자가 유압밸브를 사용하지 않는 경우와 자가의 생산능력을 넘어서는 주문 수량이 있을 경우이다.

굴착기 월간조립계획과 CKD Order의 주문 수량에 맞추어 최대한 자가에서 생산한 유압밸브를 투입하고 자가에서 수용 불가능한 경우 외주를 사용한다.

유압밸브 수급계획은 다음 그림 2에서와 같이 굴착기 월간조립계획과 CKD Order의 굴착기 생산정보를 바탕으로 유압밸브 재고와 외주를 고려하여 계획을 수립한다.

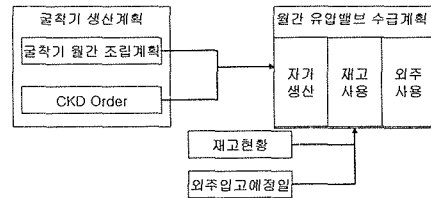


그림 2 수급계획 개념도

해외 주문 수량은 일회 수백 대를 넘어서는 경우도 있고 때로는 한 기종만으로도 월간 유압밸브 생산능력을 충분히 뛰어 넘는 경우도 있기 때문에, 계획전문가는 유압밸브 생산능력에 여유가 있을 때 해외 주문 물량을 예측하여 선행 생산한다.

3.3.2 주간계획

유압생산 주간계획은 자가에서 실제 생산할 유압밸브의 일별 순서와 기종, 호기를 구체적으로 결정하는 일정계획이다.

주간계획은 수급계획과는 달리 자가에서 생산하는 유압밸브를 사용하기로 결정한 굴착기만 계획 대상이 된다. 자가에서 생산하는 유압밸브는 생산투입일일과 생산 순서를 결정하고 통합호기를 부여한다.

3. 생산계획 방법론

제시된 생산계획 방법론은 월간계획, 주간계획으로 나뉜다. 월간계획은 월별 자가와 외주 수량을 결정하고 주간계획은 일별 생산 순서를 결정한다.

3.1 월간계획 방법론

유압밸브 월간계획은 유압밸브의 국내와 해외 소요에 대하여 자가 또는 외주를 사용할 수량을 결정하고 주문해야 할 외주의 수량을 파악하는데 그 목적이 있다.

3.1.1 적용 가능한 월간계획 수리모형

본 절에서는 유압밸브 월간계획을 수립하기 위한 정형화된 수리모형을 제시하였다. 굴착기 조립수요에 대해 유압밸브를 공급하기 위한 제약조건을 만족하고 자가에서 생산하는 유압밸브의 수량을 최대화하는 수리모형을 제시한다.

1) 제약조건 및 목적함수

① 생산능력 제약

생산능력 제약이란 일별 생산하는 유압밸브의

수량에 대한 제약이다. 유압밸브의 일별 생산량은 Shop Calendar에 정의된 일별 생산 가능 수량을 초과할 수 없다. 일 생산능력 제약이 만족하면 월 생산능력 제약이 만족이 된다.

② 재고 사용 제약

재고 사용 제약은 계획 첫 1개월간 재고를 사용할 수 있도록 하는 제약이다. 재고 사용 제약은 외주 유압밸브에 대해서만 적용된다. 자가에서 생산하는 유압밸브는 국내 주문의 경우 선행 생산하지 않으며 해외 주문의 경우 선행 생산한 수량은 정해진 선적일이 아니라도 선적가능일에 선적하여 출하할 수 있기 때문이다.

③ 납기 완료 제약

납기 완료 제약이란 국내에서 조립되는 굴착기에 소요되는 유압밸브뿐만이 아니라 해외에서 조립되는 유압밸브에 대해서도 납기일까지 모두 공급해 주어야 한다는 제약이다. 자가의 생산능력이 부족할 경우 외주 주문을 통해 소요를 충족시킨다.

④ 목적함수

제약조건을 만족하면서 자가에서 생산하는 유압밸브의 수량을 최대로 한다.

2) 수리모형

본 절에서는 앞에서 정의된 유압밸브 월간계획 문제를 정형화한 수리모형을 제시한다.

수리모형에 이용된 파라미터

i = 굴착기의 ID

j = 유압밸브의 type ID

d = 날짜 index

D_i = i 굴착기의 조립투입일, i 에 이용되는 유압밸브의 납기일

l = 자가 생산 유압밸브의 리드타임

IS = 자가에서 생산하는 유압밸브의 index 집합

OS = 외주로 공급하는 유압밸브의 index 집합

CP_d = d 일 투입 가능한 유압밸브 수량

G_j = j type 유압밸브를 사용할 수 있는 굴착기 ID 집합

N_i = i 굴착기에 이용될 수 있는 유압밸브 type j 의 수

INV_{jd} = d 일 j type 유압밸브의 누적 사용 가능량

M_1 = Shop Calendar에서 처음 한 달

H = 계획 기간 마지막 날

수리모형에 이용된 결정변수

y_i = i 굴착기에 장착할 유압밸브를 자가에서 생산하면 1, 아니면 0

x_{jd} = j type 유압밸브의 d 일 생산 투입 수량

수리모형

$$\text{Maximize}(\sum_i y_i) \quad (1)$$

subject to

$$y_i = 1, \text{ for } N_i = 1, i \in G_j, j \in IS \quad (2)$$

$$y_i = 0, \text{ for } N_i = 1, i \in G_j, j \in OS \quad (3)$$

$$\sum_{j \in IS} x_{jd} \leq CP_d, \quad \text{for all } d \quad (4)$$

$$\sum_{d=0}^{D-l} x_{jd} \geq \sum_{\substack{i \in G_j \\ D_i \leq D}} y_i, \text{ for } j \in IS, l \leq D \leq H \quad (5)$$

$$\sum_{d=0}^D x_{jd} \geq \sum_{\substack{i \in G_j \\ D_i \leq D}} (1-y_i), \text{ for } j \in OS, 0 \leq D \leq H \quad (6)$$

$$\sum_{d=0}^D x_{jd} \leq INV_{jD}, \text{ for } j \in OS, 0 \leq D \leq M_1 \quad (7)$$

식(1)은 계획 기간에 자가에서 생산하는 유압밸브의 수량이 최대가 되도록 하는 목적함수이다. 식(2)와 식(3)은 자가 또는 외주 중 한 가지 type의 유압밸브만을 사용하는 굴착기에 대해 해당 type의 선택을 설정해 주는 것이다. 식(4)는 자가의 유압밸브 생산능력 제약이다. 자가에서 생산하는 수량의 일 생산능력이 만족되면 월 생산능력도 만족된다. 식(5)는 자가에서 생산되는 유압밸브 type j 를 사용하기로 결정된 굴착기의 수량보다 자가에서 생산해야하는 유압밸브의 수량이 커야한다는 제약이며, 리드타임이 고려되어 있다. 식(6)은 외주로 생산되는 type j 유압밸브를 사용하는 굴착기의 수량과 D 일까지 보유해야하는 유압밸브의 수량관계에 관한 제약이다. 식(7)은 유압밸브 월간계획 기간 중 처음 1개월간 재고 사용가능 제약이다.

3.2 주간계획 방법론

유압밸브의 주간계획은 유압밸브 월간계획에 의해 결정된 자가 생산 수량에 따라 일별 생산 순서를 결정하는 일정계획이다.

유압밸브의 주간계획은 비교적 빠른 시간에 생산 순서를 결정할 수 있는 휴리스틱을 개발하여 적용하였다. 생산 순서를 결정하는 방법은 두 가지로 구분한다. 납기를 반드시 지켜야하는 국내소요에 대해서는 Backward 방식을 사용하고 납기를 지키지 않아도 되는 해외소요에 대해서는 Forward 방식을 사용하였다. Backward 방식이란 납기가 가장 늦은 작업부터 납기에 맞춰 생산 순서를 결정하는 것이고 Forward 방식이란 납기가 빠르고 시

건설기계 유압밸브 생산을 위한 일정계획 시스템 개발

작 시간이 빠른 작업을 먼저 생산하도록 순서를 결정하는 것을 말한다.

유압밸브 주간계획은 굴착기 주간조립계획과 CKD Order의 유압밸브 소요 정보를 바탕으로 계획된다. 유압밸브 주간계획에서는 유압밸브의 소요량 중 자가에서 생산하기로 결정한 유압밸브에 대해서만 생산 순서를 결정한다.

Shop Calendar에 정의된 유압밸브 공장의 일 생산 가능 수량과 굴착기 주간조립계획에 정의된 굴착기 조립투입일, 라인별 투입순서를 제약으로 유압밸브 생산 순서를 결정한다.

3.2.1 제약조건 및 우선순위

1) 납기일 제약

굴착기 주간조립계획에 의한 주문은 납기일이 반드시 지켜져야 하는 제약이며 반면 CKD Order에 의한 주문의 납기는 유압밸브 생산 상황에 따라 어겨질 수 있다.

2) 일 생산능력 제약

Shop Calendar에 제시된 일 생산가능 수량을 넘어서는 안 되는 제약이다.

3) 라인별 생산 순서 제약

굴착기 주간조립계획에는 라인별 굴착기 생산 순서가 정해져있으므로 조립순서에 따라 유압밸브를 생산해 주어야 한다.

4) 우선순위

굴착기 주간조립계획에는 납기와 생산 순서의 제약이 있고 재고 비용을 그대로 부담해야 하기 때문에 국내 주문의 생산 순서를 먼저 결정해 준다.

3.2.2 휴리스틱 모델

다음 그림 3은 주간계획에서 유압밸브의 생산 순서 테이블에 생산 대상이 되는 굴착기를 찾는 과정을 도시한 것이다.

생산 순서 테이블의 크기를 계획 기간과 일 생산능력만큼 만들어 일 생산능력 제약이 만족 되도록 하였다. 납기일 제약과 라인별 생산 순서 제약을 위해 조립계획 된 굴착기를 납기일과 라인별 생산 순서 순으로 정렬한다. 생산 순서 테이블에 순서대로 정렬한 굴착기를 대입함으로써 생산 투입일과 생산 순서를 결정한다.

사용된 기호

i = 라인, 조립 순서, 조립 투입일을 기준으로 정렬된 굴착기 index

d = 날짜 index

L = 자가 생산 유압밸브의 리드타임

$Capa_d$ = d 일 투입 가능한 유압밸브의 최대 수량

$Scapa_d$ = d 일 유압밸브가 투입될 수 있는 가장 늦은 순서

$Rcapa_d$ = d 일 유압밸브가 투입될 수 있는 가장 빠른 순서

D_i = 굴착기 i 의 조립투입일

Horizon = 계획 기간 마지막 날

납기일 제약이 있는 국내소요에 대해서는 Backward 방식을 사용하고 납기일 제약이 없는 해외소요에 대해서는 Forward 방식을 사용하였다.

주간계획에는 그림 4와 같이 먼저 국내 소요에 대해 납기를 준수하는 순서를 결정하고 d 일 납기 있는 생산능력인 $Scapa_d$ 만큼의 해외 수요를 생산한다. 국내 수요를 조립라인별로 정렬하는 것은 같은 조립 라인에서 조립되는 굴착기에 적용되는 유압밸브의 생산이 연속되도록 하기 위함이다.

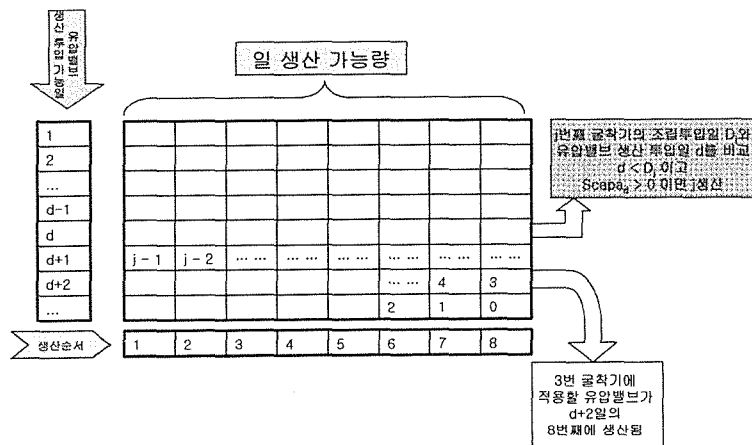


그림 3 Backward 방식 순서 결정 모형

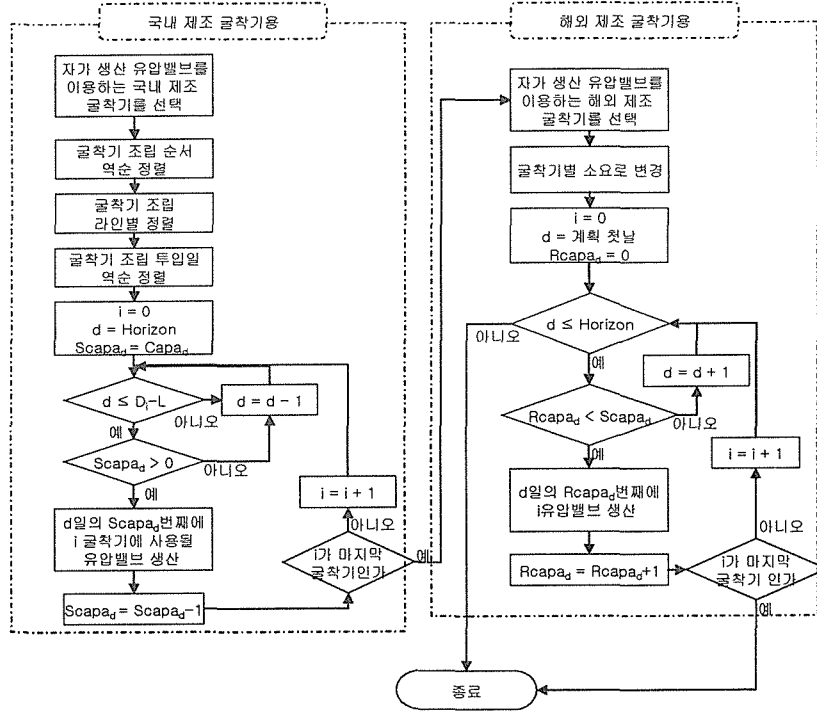


그림 4 주간계획 작성 순서도

3.3 결과 화면

다음 그림 5는 앞에서 제시한 주간계획 방법론을 사용한 결과를 GUI화면으로 예시한 것이고 그림 6은 월간계획 결과를 예시한 것이다.

4. 결론 및 추후 연구과제

건설기계의 생산량으로 유압밸브의 생산량을 유추할 수 있을 정도로 건설기계의 생산과 유압밸브의 생산은 긴밀한 관계를 가지고 있다. 하지만

C/V 번호	기종	CV호기	조립일자	분대기	작업량	기종
20061023	DH220LC-7	0	2125			
20061023	DH220LC-7	0	2125			
20061023	DH220LC-7	0	2127			
20061023	DH220LC-7	0	2129			
20061023	S230-V	897	2075			
20061023	S230-V	898	2077			
20061023	S230-V	701	2079			
20061023	S230-V	702	2081			
20061023	S230-V	703	2081			
20061024	DH225LC-7	0	2448			
20061024	DH225LC-7	0	2450			
20061024	DH225LC-7	0	2452			
20061024	S230-V	704	2082			
20061024	S230-V	705	2084			

그림 5 주간계획 결과 GUI 화면

건설기계 유압밸브 생산을 위한 일정계획 시스템 개발

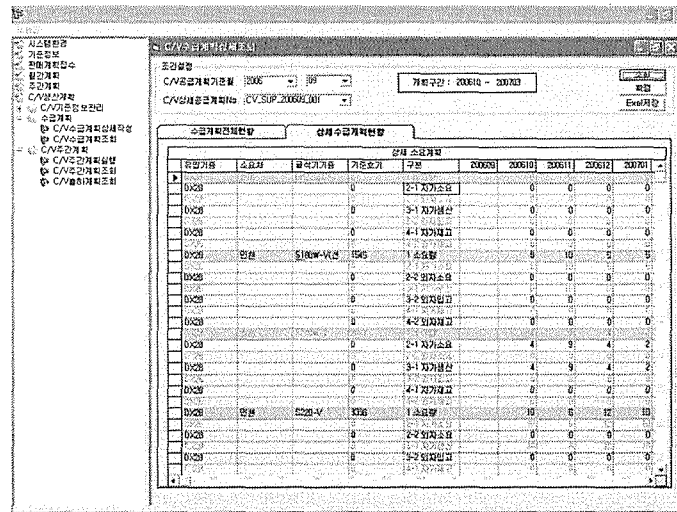


그림 6 월간계획 결과 GUI 화면

국내 유압밸브의 생산능력의 부족으로 건설기계의 생산 및 수출이 증가할수록 유압밸브의 수입 또한 증가할 수밖에 없다.

본 논문에서는 건설기계용 유압밸브 생산계획 방법론을 개발하였다. 월간계획에서는 장기 수요를 예측하고 외주사용을 통해 부하를 조절할 수 있도록 하였다. 주간계획에서는 납기일과 생산 우선순위를 고려해 납기를 최대한 준수하며 재고비용을 줄일 수 있도록 하였다.

추후에는 주문생산 방식의 생산 공정을 더욱 세분하여 수요의 변화에 신속하고 탄력적으로 대응할 수 있는 생산계획을 수립하는 방법론을 연구할 필요가 있다.

참 고 문 헌

[1] 고희배, 박광암, 손길상, 이재경, "신 건설기계 공학," 골든벨 출판사, 2005.
 [2] 석진우, 정병목, "중소기업용 주문 생산형 MRP 시스템의 개발," 대한기술가공학회 춘계 학술대논문집, pp.99-103, 2004.
 [3] 이상협, 민상규, 이병열, 하재태, 이원태, 조정호, "조립부품 다중 제작라인의 일정계획 및 운영 시스템 개발," 한국경영과학회/대한산업 공학회 춘계공동학술대회, pp.425-428, 2005.
 [4] 이순구, 이영훈, "주문생산 방식하에서 ERP를 응용한 일정계획 수립 사례연구," IE Interfaces, Vol.12, No. 3, pp.423-436, 1999.
 [5] 정한욱, 이희남, 이창호, "주문생산시스템하의 생산계획 모듈 개발에 관한 연구," 한국공업경영학회 춘계학술대회, 1999.
 [6] 하재현, "최신 유압공학," 청문각, 2000.

[7] 한국기계산업진흥회, "한일 FTA추진에 따른 기계산업 경쟁력 강화방안 연구," 보고서, 산업자원부, 2005.
 [8] 한국산업기술재단, "중국산업 및 산업기술경쟁력 정보구축 산업기술기반조성에 관한 보고서," 연구보고, 산업자원부, 2005.
 [9] ILOG, "ILOG CPLEX 9.0 User Manual," ILOG, 2003.
 [10] <http://blog.naver.com/moonhymoon?Redirect=Log&logNo=100018622999>
 [11] <http://blog.naver.com/yhno7/21511985>
 [12] http://scrapshop.co.kr/steel_01_8.htm
 [13] <http://www.doosaninfracore.co.kr/webzine/200601/discovery01.asp>