

# 수주생산환경에서 생산일정계획 알고리즘 설계 및 정보 시스템 구현: 변압기 제조공정의 권선공정 적용사례

박창권<sup>1</sup> · 장길상<sup>2\*</sup> · 이동현<sup>3</sup>

<sup>1</sup>울산대학교 산업정보경영공학부 / <sup>2</sup>울산대학교 경영학부 / <sup>3</sup>SAS Korea

## An Algorithm Design and Information System Development for Production Scheduling under Make-to-Order Environments

Chang-Kwon Park<sup>1</sup> · Gil-Sang Jang<sup>2</sup> · Dong-Hyun Lee<sup>3</sup>

<sup>1</sup>School of Industrial Engineering, University of Ulsan, Ulsan, 680-749

<sup>2</sup>Dept. of MIS, College of Business Administration, University of Ulsan, Ulsan, 680-749

<sup>3</sup>SAS Korea, Seoul, 150-978

This paper deals with a realistic production scheduling under a make-to-order production environment. The practical case is studied on the transformer winding process in the 'H' company. The transformer winding is a process that rolls a coil that is coated with an electric insulation material in order to generate the required voltage using the voltage fluctuation. This process occupies an important position among the production processes in the transformer manufacturing company. And this process is composed of parallel machines with different performances according to the voltage capacity and winding type.

In this paper, we propose a practical heuristic algorithm for production scheduling to satisfy the customer's due date under a make-to-order production environment. Also, we implement the production scheduling system based on the proposed heuristic algorithm. Consequently, the proposed heuristic algorithm and the implemented production scheduling system are currently working in the transformer production factory of the 'H' company.

**Keywords:** production scheduling, make-to-order production, parallel machines, information system

### 1. 서론

오늘날 기업환경은 국내 및 국제 시장에서의 치열한 경쟁과 개방화의 압력, 제품에 대한 고객의 다양한 요구와 주문시기의 불규칙성 등을 수용해야 하는 많은 어려움에 처해 있다. 고객의 요구에 신속하게 대응하기 위하여 기업의 생산방식도 많은 변화를 보이고 있다. 특히, 이러한 제조환경의 변화는 수주 생산 방식을 따르는 기업에서 더욱 절실히 느끼고 있다. 고객

만족을 최고의 경영목표로 두면서 수요자의 요구사항에 신속하게 대처하기 위하여, 생산할 품목에 대한 효과적인 생산일정 계획 수립이 무엇보다도 요구된다고 하겠다. 수주생산 환경에서 고객이 요구하는 납기일정을 제대로 지키지 못하면 계약에 따른 직접적인 손실과 함께 고객의 불만을 초래하게 되며, 장기적으로는 시장을 잃어버려 해당 기업에 막대한 손실을 발생시킨다. 따라서, 고객의 요구와 작업장의 특성을 고려한 신속한 생산일정계획 시스템의 개발이 필요하다.

\*연락처 : 장길상 교수, 680-749 울산시 남구 무거2동 산 29 울산대학교 경영대학 경영학부, Fax : 052-247-7619,  
e-mail : gsjang@mail.ulsan.ac.kr

2003년 1월 접수, 2회 수정 후 2003년 5월 게재 승인

본 연구는 주문생산의 특성을 따르는 산업용 변압기 생산공정에서 고객이 요구하는 납기를 만족시키기 위한 효과적인 생산일정계획 수립 문제를 다룬다. 연구범위는 수주생산 환경하에서 이중 병렬기계 그룹으로 구성된 산업용 변압기 제조공정 중에서 병목(bottleneck) 공정인 권선공정(transformer winding)을 대상으로 한다. 본 연구에서는 이러한 변압기 권선공정의 생산일정계획에 대한 2-단계 알고리즘을 제시하고, 제시된 알고리즘을 기반으로 신속한 생산일정계획 수립을 위한 정보시스템을 설계하고 구현한다.

변압기의 권선공정이란 전압의 변동을 이용하여 필요한 전압을 인출하기 위하여 전기절연 재료로 피복한 코일을 감는 작업으로서, 변압기 제조업체에서 여러 제조공정 중 애로공정으로 관리되고 있다. 하나의 산업용 변압기에는 여러 개의 권선이 필요하며, 변압기의 용량에 따라 권선의 무게는 1.5톤~6톤이고 권선의 직경은 1.2미터~2.8미터가 된다. 또한 권선공정은 변압기 생산공정의 전반부 공정에 해당되고, 공정 소요기간이 전체 공정의 40% 이상을 차지하는 주요 공정이다. 따라서, 권선공정에 대한 효율적인 운영 및 통제가 변압기 생산공정에서 중요한 문제로 대두된다. <그림 2>는 변압기 권선공정의 세부 작업내용을 표현하고 있다. 권선공정은 제품의 용량, 전압, 용도 등에 따라 권선의 구조형태 및 형상종류가 결정된다. 일반적으로 산업용 변압기에 사용되는 권선의 구조형태는 다섯 가지(High Voltage, Low Voltage, TAP, Teaser Voltage, Reactor)로 분류되며, 권선의 형상종류는 일곱 가지(Layer, Interleaved, Helical, Disc, Fine, Pozalisky, Coares+Fine)로 분류된다.

## 2. 변압기 권선공정의 개요

### 2.1 변압기 권선공정의 특성

산업용 변압기는 수주에 의하여 고객이 요구하는 제품의 사양이 결정되는 주문생산방식의 특성을 따른다. <그림 1>은 산업용 변압기 생산공정의 전반적인 생산흐름을 표현하고 있다. 고객과의 수주가 계약으로 성립되면 수주의 세부내용에 따라 생산공정에 대한 설계와 자재준비 등 일련의 공정들이 우선순위에 따라 이루어지는 전형적인 주문생산방식을 따르고 있다. 생산공정의 순서에 따라 공정별 우선순위가 정해지게 되므로 선행 공정의 작업 지연이 후속 공정에 연속적으로 영향을 미치게 되므로 공정별 목표납기의 준수가 엄격히 요구된다

<그림 3>은 변압기 수주정보에 대한 권선공정의 관계를 보여주는 예이다. 왼쪽의 단상 3권선 수주에는 3가지 권선의 구조형태별로 각각 한 단위의 권선작업이 필요하며, 3상 3권선 수주에는 3가지 권선의 구조형태별로 각각 3단위씩 모두 9단위의 권선작업이 필요함을 의미한다. 따라서, 하나의 변압기 수주에는 여러 단위의 권선작업이 요구된다. 하나의 변압기 수주에 필요한 여러 단위의 권선작업은 선행관계 제약은 없으며, 필요한 모든 권선작업이 완료되어야 다음 공정인 중신조립공정으로 인계된다. 즉, 하나의 수주에 대한 여러 단위의 권선작

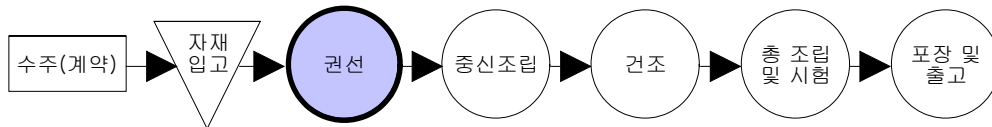


그림 1. 변압기 제조공정.

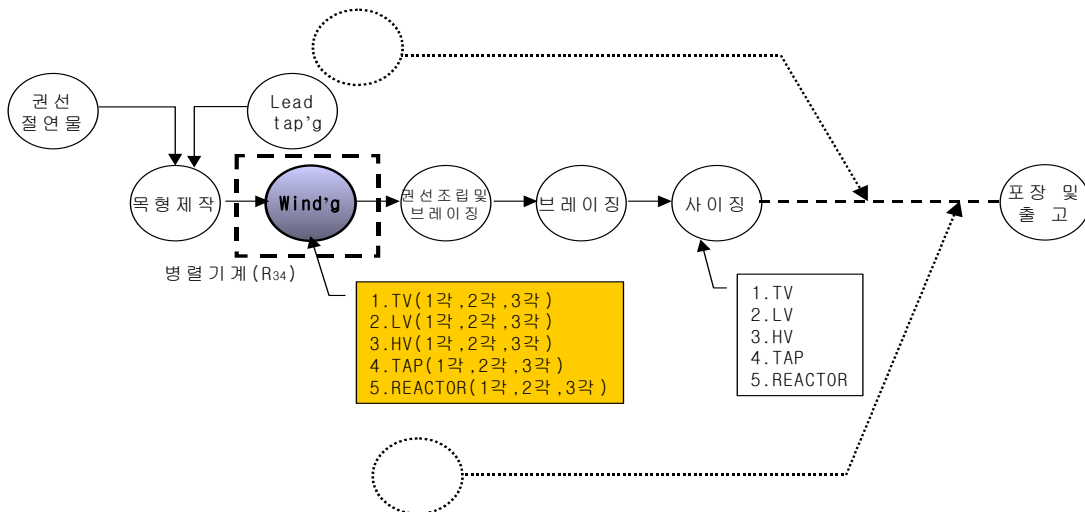


그림 2. 권선공정의 세부 작업.

업은 동일한 납기를 갖는 작업으로 다루어지며, 권선공정의 완료시간은 마지막 권선작업이 끝나는 시점이다. 이러한 작업 특성을 갖는 권선공정을 대상으로 납기 지연 시간의 함을 최소화하는 생산일정계획 수립이 필요하다. 다음 절에서는 변압기 권선공정 작업환경의 특성과 유사한 병렬기계 작업장에서의 생산일정계획에 대한 기존 연구들을 조사하여 생산일정계획 수립방안을 적용하고자 한다.

### 2.2 병렬기계 작업장의 생산일정계획

본 논문에서 다루는 변압기 권선공정의 일정계획은 납기 지연을 최소화하는 병렬기계 작업장의 문제로 분류된다. 병렬기계 작업장에 대한 일정계획에 대한 기존 연구들은 목적함수 기준으로 작업의 총 처리시간(makespan)을 최소화하는 문제, 납기 지연 작업의 수를 최소화하는 문제, 납기에 대한 지연시간(tardiness)을 최소화하는 문제 등으로 분류된다.

Karp(1972)는 두 대의 동일한 병렬기계에서 작업의 총 처리 시간을 최소화시키기 위한 일정계획 문제가 NP-hard임을 보이고 있다. Hariri and Potts(1991)는 기계의 능력이 서로 다른 병렬 기계에 대해 작업의 총 처리 시간을 최소화시키는 2-단계(Two-phase) 알고리즘을 제안하였다. 이들은 첫 번째 단계에서 선형계획법으로 기계에 작업을 할당하고, 두 번째 단계에서 작업순서를 결정하는 발견적 해법을 제안하였다. 작업의 총 처리 시간을 최소화시키는 병렬기계 일정계획 문제에 대해서는 계속해서 많은 연구들이 수행되고 있다(Zdrzalka, 1994).

Kise *et. al.*(1978)은 작업가용 시간의 제약이 있는 병렬기계에서 납기 지연 작업의 수를 최소화하는 문제가 NP-complete임을 보였다. Dorit and Dan(1994)은 배치 준비시간(batch setup time)이 있을 때 작업 지연의 작업 수를 최소화 문제에 대한 휴리스틱

알고리즘을 제안하였다.

납기지연 시간을 최소화하는 일정계획 문제는 Wilkerson and Irwin(1971)이 단일기계에서 EDD(Earliest Due-Date) 규칙을 확장하는 알고리즘을 제시하였으며, 이를 바탕으로 동일한 병렬기계 작업장에 대한 연구가 계속되어 왔다(Dagramici and Surkis, 1979; Guinet, 1991). 납기에 대한 조기달성과 지연생산의 비용을 최소화하는 일정계획 문제는 즉시생산(Just-in-Time) 개념에서 연구되기 시작하였다. Chen(1997)은 단일기계 문제에서 조기달성과 지연생산을 비용을 고려한 동적계획법 알고리즘을 제시하였으며, Kanet and Balakrishnan(1999)은 작업능력이 다른 병렬기계에서 준비시간을 고려한 휴리스틱 알고리즘을 제시하였다.

### 3. 변압기 권선공정의 생산일정 계획

본 논문에서 다루는 변압기 권선공정은 장비효율이 다른 병렬기계 작업장에 해당되며, 납기지연 시간을 최소화하는 문제의 상황으로 분류된다. 변압기의 용량 및 용도에 따라 정해지는 권선의 구조형태 및 형상종류에 따라 권선작업이 가능한 장비 그룹이 제한되며, 동일한 구조형태와 형상종류를 갖는 권선작업을 동일 장비에서 연속 처리할 경우에는 준비시간을 절약할 수 있는 배치 준비시간의 특성을 갖는 문제이다.

<그림 4>는 장비효율이 다른 34대의 병렬기계로 구성된 'H'사의 권선공정 작업장의 장비 할당 우선 순위를 정리한 자료이다. 변압기의 용량 및 전압에 따라 권선작업을 다섯 등급(a~e)으로 구분하고 있으며, 이 등급을 기준으로 처리 가능한 권선장비가 구분된다. 또한 권선의 형상을 일곱 가지로 분류하여 형상번호(1~7)로 구분하고 있다. 구분항목의 세로방향으로

위상차에 대한분류		
권선공정 작업	HV 1각 Winding LV 1각 Winding TV 1각 Winding	-HV 1각 Winding -LV 1각 Winding -TV 1각 Winding -HV 2각 Winding -LV 2각 Winding -TV 2각 Winding -HV 3각 Winding -LV 3각 Winding -TV 3각 Winding
단위작업 갯수	3	9

그림 3. 변압기에 필요한 권선공정 작업의 예.

는 권선장비 번호를 나타내고 있으며, 가로방향에는 권선장비별 작업효율을 고려한 권선형상의 우선순위와 용량 및 전압을 고려한 권선작업 가능등급의 우선순위를 나타낸다. 예를 들어, 장비번호 11번은 작업의 효율 측면에서 권선형상 4번인 Disc 작업의 우선순위가 가장 높고, 5번인 Fine 작업을 하는 것이 다음 순위이다. 또한 변압기의 용량 및 전압 기준으로 용량이 50 ~ 500MVA까지 작업이 가능하며 500MVA 이상의 권선작업은 불가함을 보여준다.

일반적으로 병렬기계 문제의 생산일정계획 수립은 두 단계의 의사결정 과정을 수행한다(Dagramici and Surkis, 1979). 첫 번째 단계에서 작업들을 어느 기계에서 처리해야 하는가를 결정하는 할당(allocation)하는 의사결정을 하고, 다음 단계에서 각 기계에 할당된 작업의 순서와 시점(sequencing and timing)을 결정하게 된다.

변압기 권선공정의 생산일정계획 수립에 대해서 2-단계 방식으로 접근하고자 한다. 첫 번째 단계에서는 수주정보를 바탕으로 권선공정에서 처리해야 할 권선작업에 대한 기본 생산일정계획을 수립한다. 두 번째 단계에서는 권선공정의 요구납기와 장비의 부하를 고려하여 세부 생산일정계획을 결정하고자 한다.

첫 번째 단계에서는 수주정보와 변압기 생산공정의 기본정보를 바탕으로 단위권선 작업에 대한 자료를 산출하여 기준일

정계획을 수립한다. 먼저, 수주정보와 후속 공정에 대한 정보를 기준으로 단위작업별 공정 소요시간과 목표납기를 구한다. 다음으로 선행 공정의 소요시간을 고려하여 권선공정 작업 가능시점을 구한다. 이들 정보를 바탕으로 장비 할당 최우선 순위에 해당하는 장비에서 작업 가능시점부터 권선작업을 순차적으로 한다는 가정하에 단위 권선별로 시작시점과 완료시점을 산출한다. 즉, 이 단계에서는 권선장비의 부하를 고려하지 않고 권선작업 가능시점부터 순차적으로 기준일정계획을 구한다.

두 번째 단계에서는 권선작업별 요구납기와 권선장비별 부하를 고려하여 실행 가능한 일정계획을 수립한다. 동일한 변압기에 소요되는 권선작업이라도 요구납기를 초과하는 경우는 다른 권선장비에서 할당하여 일정계획을 조정하기도 한다. 이러한 경우는 추가적인 준비시간이 필요하게 된다

<그림 5>는 변압기 권선공정의 일정계획 수립을 위한 2-단계 알고리즘을 나타내고 있으며, 세부적인 알고리즘 설명에 필요한 기호를 다음과 같이 정의하여 사용한다.

- i : 권선작업의 번호 (i = 1, 2, ..., n)
- j : 권선장비의 번호 (j = 1, 2, ..., m)
- k : 변압기 용량 및 전압에 따른 권선의 작업등급 (k = a, b, c, d, e)

장비번호	권선형상 우선순위							작업 가능 권선등급	비고
	순위1	순위2	순위3	순위4	순위5	순위6	순위7		
1	3	1	4	2	5	6	7	a, b	<b>형상기준 권선분류</b> 1 : Layer 2 : Interleaved 3 : Helical 4 : Disc 5 : Fine 6 : Pozalisky 7 : Coarse+Fine  <b>용량기준 권선등급</b> a : 50 MVA 이하 b : 50~120 MVA c : 120~240 MVA d : 240~500 MVA e : 500 MVA 이상
2	4	5	6	7	1	3	2	a, b	
3	4	5	6	7	1	3	2	a, b, c	
4	1	3	4	5	6	7	2	a, b, c	
5	2	1	3	4	5	6	7	a, b, c	
6	7	5	4	6	1	2	3	a, b, c	
7	5	7	6	4	1	2	3	a, b, c	
8	2	1	3	4	6	5	7	a, b, c	
9	1	2	3	4	6	5	7	a, b, c	
10	3	1	2	4	6	5	7	a, b, c	
11	4	5	7	6	1	3	2	a, b, c, d	
12	4	1	5	7	6	3	2	a, b, c, d	
13	4	1	6	7	5	3	2	a, b, c, d	
14	5	7	6	1	2	4	3	a, b, c, d	
15	4	5	7	6	1	3	2	a, b, c, d	
16	4	5	7	6	1	3	2	a, b, c, d	
17	4	5	7	6	1	3	2	a, b, c, d	
18	4	3	5	7	6	1	2	a, b, c, d	
19	2	1	3	6	5	7	4	a, b, c, d	
20	4	5	6	7	3	1	2	a, b, c, d, e	
21	4	6	5	7	3	1	2	a, b, c, d, e	
22	4	3	5	6	7	1	2	a, b, c, d, e	
23	5	6	7	4	1	2	3	a, b, c, d, e	
24	4	5	6	1	3	2	7	a, b, c, d, e	
25	4	3	1	2	5	6	7	a, b, c, d, e	
26	4	1	3	5	6	7	2	a, b, c, d, e	
27	4	1	3	5	6	7	2	a, b, c, d, e	
28	4	5	6	1	3	2	7	a, b, c, d, e	
29	5	6	7	2	1	3	4	a, b, c, d, e	
30	4	5	6	7	1	3	2	a, b, c, d, e	
31	4	3	1	2	5	6	7	a, b, c, d, e	
32	4	1	3	5	6	7	2	a, b, c, d, e	
33	4	1	3	5	6	7	2	a, b, c, d, e	
34	3	1	2	4	5	6	7	a, b, c, d, e	

그림 4. 권선장비별 우선순위 및 작업 가능 권선정보.

- $G_i$  : 권선작업  $i$ 를 처리할 수 있는 장비의 집합(그룹)
- $U_i$  : 권선작업  $i$ 의 작업 소요시간
- $MS_i$  : 권선작업  $i$ 의 처리 가능시점
- $MF_i$  : 권선작업  $i$ 의 목표납기
- $AS_i$  : 권선작업  $i$ 의 시작시점
- $AF_i$  : 권선작업  $i$ 의 완료시점
- $T_i$  : 권선작업  $i$ 의 납기지연시간 (tardiness)

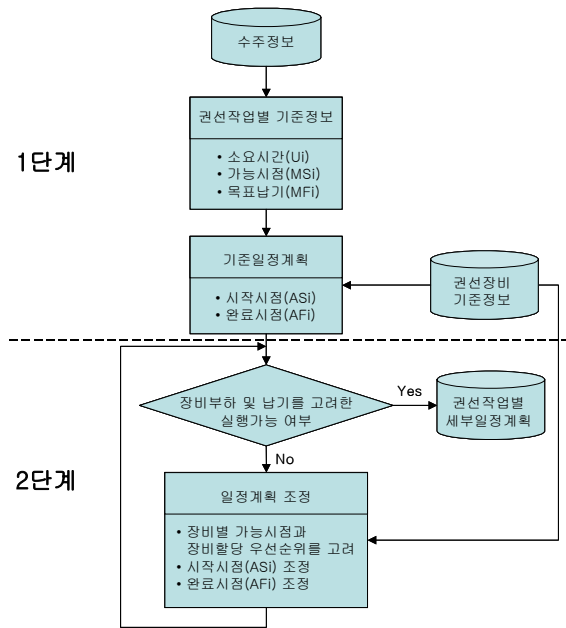


그림 5. 권선공정의 일정계획을 위한 2-단계 알고리즘.

<그림 6>은 두 번째 단계에서 세부 생산일정계획을 조정하는

결과의 간단한 예를 보여주고 있다. 1 단계에서 권선작업별 기준일정계획이 수립한 결과와 함께 이미 진행중인 장비의 일정에 대한 정보가 주어지면, 각 권선장비의 부하와 장비 할당 우선순위 정보를 고려하여 세부 일정을 조정하게 된다. 1단계에서는 장비의 부하를 고려하지 않고 권선작업별 가능시점 기준으로 일정이 산출되므로 권선번호 4의 경우 권선장비 2에서 가능시점(68)에서는 시작할 수 없다. 이러한 경우 권선장비 2의 가능시점(80)과 다음 우선순위에 있는 권선장비1의 가능시점(105)을 비교하여 먼저 가능한 권선장비에 할당하여 일정을 조정한다. 따라서 권선번호 4의 시작시점(AS<sub>4</sub>)은 80이 되고 완료시점(AF<sub>4</sub>)은 110이 된다. 일정계획을 조정하는 반복단계를 거치게 되면 <그림 6>의 결과와 같이 납기지연을 최소화하면서 실행 가능한 일정계획을 얻을 수 있다. 동일한 사양의 권선작업을 같은 권선장비에 순차적으로 할당하는 것은 배치 준비시간의 효과를 반영하고자 하는 것이다. 그러나 이렇게 할당한 일정에서 납기지연이 발생하게 되면 장비 할당 우선순위와 장비의 가능시점을 고려하여 다른 권선장비에 할당하며, 이러한 경우에는 별도의 준비시간이 필요하게 된다. 권선번호 6과 3의 경우가 권선장비 1에 할당되어 조정되었다.

#### 4. 변압기 권선공정의 생산일정계획 시스템 구현

##### 4.1 시스템 구현 환경

생산일정계획시스템은 대상 업체인 'H'사의 산업용 변압기 생산공장을 대상으로 구축하였다. 생산일정계획 시스템 구축의 전체적인 구성도는 다음의 <그림 7>과 같다.

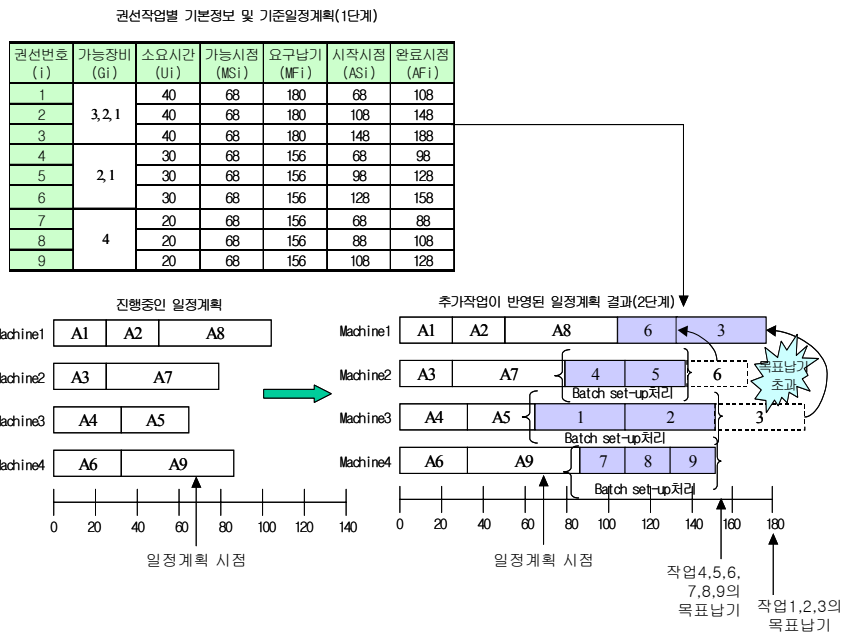


그림 6. 장비부하를 고려한 세부일정계획 조정.

구축된 시스템은 설계, 작업장 통제, 생산일정계획 및 통제의 기능을 수행하고 있으며, IBM E/S9672를 호스트로 하고, IBM RS6000/R40을 서버로 사용하고 있으며, 클라이언트는 펜티엄 PC이다. IBM RS6000/R40은 Unix 운영체제이며, 각 PC는 MS-Window 상에서 작동한다. 네트워크 프로토콜은 TCP/IP를 지원하는 Ethernet LAN 카드를 부착하고 있다. 서버의 데이터베이스는 Oracle Version 7에서 사용되는 관계형 데이터베이스 관리시스템에서 운영된다. 서버와 클라이언트 간에는 Entera라는 미들웨어를 사용하여 클라이언트와 생산일정계획 시스템 사이에서 단일 또는 복수의 이질적인 플랫폼 및 네트워크 환경, 그리고 데이터 소스의 분산환경에서 클라이언트가 쉽고 빠

르게, 또한 자유롭게 분산업무를 운용할 수 있도록 네트워크, 애플리케이션 인터페이스 서비스 등을 수행하고 있다. 클라이언트는 Window 95기반의 Visual Basic을 사용하였고 서버 프로그램은 Pro C 및 C 언어를 사용하였다.

4.2 생산일정계획 시스템의 전체 흐름도

권선공정 생산일정계획은 산업용 변압기 제품을 만드는 데 주요 핵심 공정으로서 수주관리 시스템에서 영업정보가 입력되면 설계 시스템에서는 수주별 기본적인 설계가 이루어지고, 생산일정계획 시스템에서는 단기별 생산일정계획이 이루어진

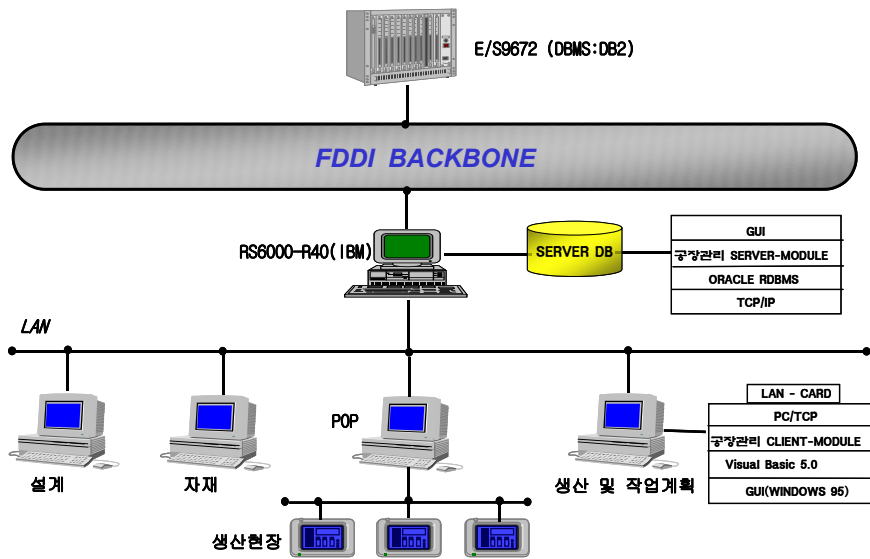


그림 7. 시스템 전체 구성도.

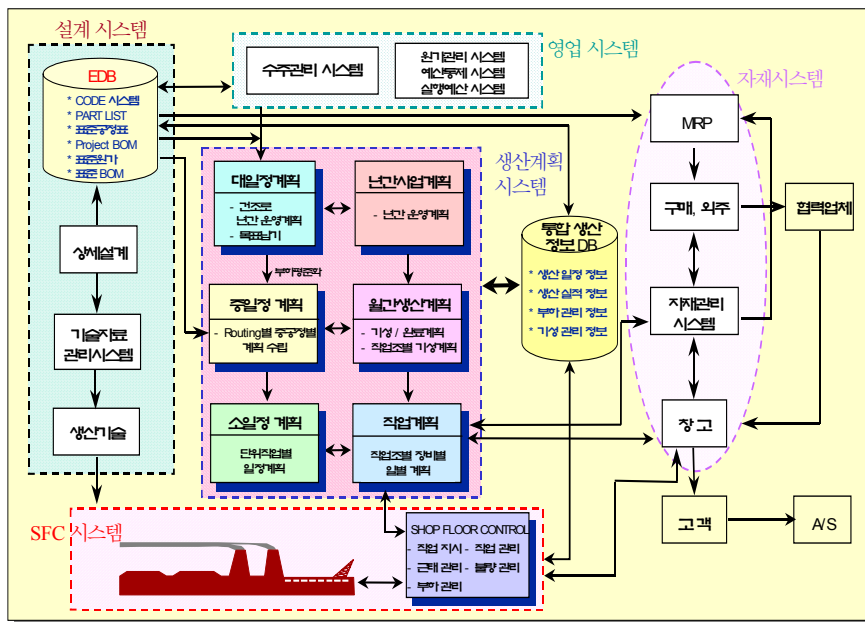


그림 8. 생산정보 시스템 전체 흐름도.

다. 즉, 대일정계획에서는 후진전개법(Backward Scheduling)과 전진전개법(Forward Scheduling)의 차이(gap)를 보정한 수주에 대한 목표납기를 결정하고, 병목공정에 대한 부하 평준화(load balancing)에 의한 목표납기를 재조정한다. 중일정계획에서는 권선 중공정을 포함한 생산 중공정별 목표납기(target due date) 및 설계 중일정, 자재 중일정의 기본일정을 수립한다. 특히 권선공정에 대한 상세정보(변압기 용량 및 전압, 권선 수, 권선의 종류, 권선의 형태)가 설계 시스템으로부터 입력된다. 소일정계획은 각 공정별 목표납기를 만족시키기 위한 전진전개법을 적용하여 각 단위공정별 일정을 수립한다. 소일정계획에서 수립한 정보가 현장통제 시스템(Shop Floor Control)으로 입력되어 작업별, 장비별 일일 작업지시가 이루어지고, 일일 작업실적이 반영된다. 특히 예기치 못한 상황 변화(납기변경, 계약사항 변경, 자재공급의 지연, 장비고장 등)에 대하여 작업실적을 반영한 실시간 재일정계획(rescheduling)이 이루어진다. <그림 8>은 생산일정계획 시스템을 포함한 생산정보 시스템의 전체 흐름도를 보여준다.

### 4.3 생산일정계획에 대한 업무설계 및 ERD 정의

#### (1) 업무 프로세스 설계

권선공정은 변압기 생산공정에서 주요 공정으로서 후공정의 납기에 크다란 영향을 초래하는 만큼 신속하고 정확한 일정계획을 수립하는 데 그 주안점이 있다. 먼저, 영업에서 수주정보가 입력되면 설계부에서는 제품을 생산하기 위한 설계가 시작된다. 기존의 데이터베이스에 등록된 표준 BOM을 불러와서 프로젝트 BOM을 생성한다. 생산지원부에서는 생산현장의 부하를 고려하여 수주에 대한 목표납기를 결정하여 생산에 작업 오더(order)를 내린다. 생산현장에서는 도면 및 자재정보를 확인하여 작업이 가능하도록 작업계획을 작성한다. 단위 작업장별로 작업계획(activity scheduling)을 반영하여 작업조건을 변경

하고 작업자를 배치하여 작업을 진행한다. 일일 작업지시 및 실적은 입력하여 중·단기 경영정보를 생성하여 변압기 공장의 중·단기 경영계획을 세우는 지표로 활용한다. 다음의 <그림 9>는 수주로부터 영업정보가 생성되어 생산이 이루어지는 생산정보 시스템의 업무흐름을 보여주고 있다.

#### (2) 권선공정의 생산일정계획 ERD

권선공정의 장비 스케줄을 위한 개체(entity)들의 관계(relationship)를 나타내는 개체관계도(ERD: Entity Relationship Diagram)는 <그림 10>과 같다. 장비스케줄을 위해서는 장비에 대한 권선정보 및 수주정보에 대한 상세정보를 읽어 와서 장비를 할당한다.

### 4.4 권선공정 생산일정계획 시스템 구현

‘H’사의 산업용 전동기 생산공장의 생산정보 시스템은 크게 생산일정계획 모듈 및 실시간 현장관리 모듈로 구성되어 있다. 본 연구대상은 전동기 생산공정 중 권선공정의 생산일정계획 시스템 구축에 초점을 맞추었다. 생산일정계획 시스템의 주요 기능에 대하여 설명하면 다음과 같다. 즉, 프로젝트별로 수주가 발생하면 대·중일정에서 프로젝트별 목표납기가 결정되면, 작업계획 시스템으로 정보가 입력된다. 작업계획 시스템에서는 상위 정보를 입력 받아 서버의 데이터베이스에 저장된다.

<그림 11>은 작업계획 수립 대상 리스트를 조회하는 화면을 보여주고 있다. 즉, 권선일정계획을 포함한 작업계획 일정을 수립할 대상 정보가 조회된다. 작업일정계획을 수립할 대상을 선택하여 스케줄 버튼을 누르면, RS6000/R40 서버 프로그램이 구동 되어 일정을 수립한다.

<그림 12>는 수립된 작업계획 조회 및 수정 화면을 보여주고 있다. 즉, 수립된 단위작업별 일정계획을 작업반별로 조회하면 해당 정보가 나타나고, 작업자가 수작업으로 저장 가능하도록 되어 있다.

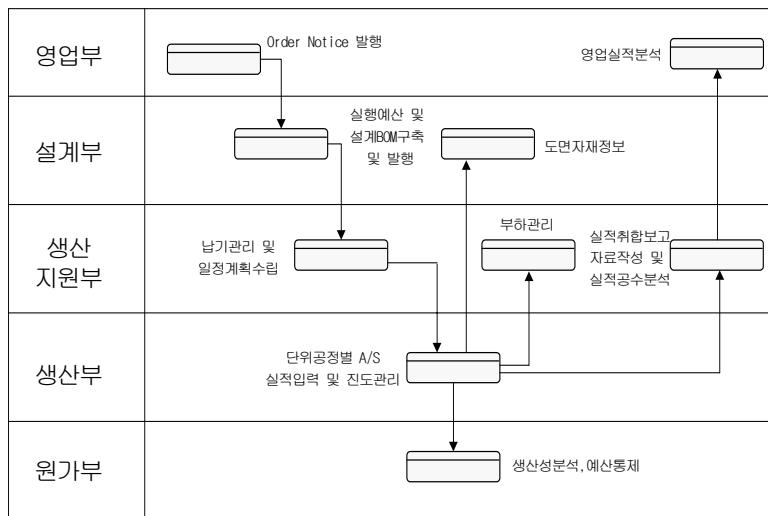


그림 9. 생산정보 시스템의 업무 프로세스.





4.5 적용효과

본 연구는 'H'사의 산업용 변압기 생산공장의 생산정보 시스템 구축 프로젝트에 의해 개발된 생산일정계획 시스템으로서 기존에 구축된 시스템들과 병행하면서 그 효과를 평가하고 문제점을 개선 발전시켰다. 현재 본 논문에서 제시한 권선공정을 위한 생산일정계획 알고리즘은 성공적으로 운용중에 있다. 권선공정의 일정계획을 수립하는 공정 담당자 및 현장관리 감독자의 통계자료에 의해서 전반적인 시스템에서의 효과를 다음과 같이 설명할 수 있다.

- 권선일정계획의 실시간 수립 및 시간단축 효과를 얻었다. 기존에는 제품이 수주가 되면 현재 진행하고 있는 권선장비의 일정을 조사하고, 부하를 고려한 재일정 수립이 수작업으로 처리됨으로써 일정계획을 세우는 데 어려움과 시간이 과다하게 소모되었다. 그러나, 본 시스템의 적용 결과 수분만에 권선일정계획을 수립함으로써 공정진행의 차질이 없도록 하였다.
- 장비 할당에 있어서 연속처리 가능한 작업배정에 의한 준비시간 감소로 공수절감 효과를 창출하였다. <그림 16>에서 보듯이 권선장비는 장비효율이 다른 병렬기계 군으로 구성되어 1개의 수주 프로젝트 수행에 있어서 권선작업은 일정의 수립에 따라 시간 차이가 다양하게 나타난다. 즉, 동일한 작업이 반복될 시 목표납기를 벗어나지 않는 범위에서 한 장비에 연속으로 작업을 배치함으로써 인한 준

비시간 단축으로 공수절감 효과를 거둘 수 있다. 예를 들어, 한 개의 프로젝트에서 3상에 3권선을 작업을 할 경우 동일한 3가지 권선의 구조형태별로 각각 3단위씩 반복하여 작업을 해야 함으로써 1단위 작업시 들어가는 준비시간이 3시간이면 3개의 장비에 분할하여 작업시 총 준비시간이 9시간이 소요되나, 연속 작업시는 총 4.5시간이 소요되기 때문이다.

- 작업정보의 모니터링 시스템 구축으로 실시간 대응체제로 전환하여 공정 직행률의 증가 효과를 거두었다.
- 일정계획 담당자의 수작업으로 인한 시간소비 및 업무손실 부문이 감소하여 생산성 향상에 기여하였다.

5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구의 대상인 권선공정은 산업용 변압기 제조공정에서 주요 공정으로서 하나의 수주에 대하여 여러 개의 독립적인 권선작업이 필요한 병렬기계 작업장이다. 또한, 권선공정은 작업기간이 길며, 후공정에 영향을 많이 주기 때문에, 변압기 제조공정 전체에서 병목공정으로 간주되고 있다. 본 연구에서는 이러한 변압기 권선공정을 대상으로 장비의 효율을 고려한 생산일정계획 알고리즘을 제시하고, 이를 수행하는 정보 시스템을 개발하였다.

본 연구에서 제시한 알고리즘 및 개발된 정보 시스템을 통하여 다음과 같은 효과를 얻었다. 먼저, 권선공정의 일정계획이

분할배치 (시간:Hr)				연속배치 (시간:Hr)			
작업명	셋업시간	작업시간	총처리시간	작업명	셋업시간	작업시간	총처리시간
HV1각	3	30	33	HV1각	3.5	30	33.5
HV2각	3	30	33	HV2각	0.5	30	30.5
HV3각	3	30	33	HV3각	0.5	30	30.5
LV1각	2	25	27	LV1각	2.5	25	27.5
LV2각	2	25	27	LV2각	0.4	25	25.4
LV3각	2	25	27	LV3각	0.4	25	25.4
TV1각	1.5	20	21.5	TV1각	1.8	20	21.8
TV2각	1.5	20	21.5	TV2각	0.4	20	20.4
TV3각	1.5	20	21.5	TV3각	0.4	20	20.4
<b>총계</b>	<b>19.5</b>	<b>225</b>	<b>244.5</b>	<b>총계</b>	<b>10.4</b>	<b>225</b>	<b>235.4</b>

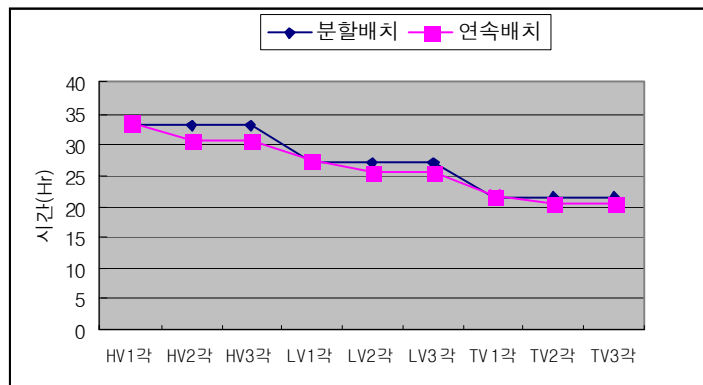


그림 16. 분할 및 연속배치 비교.

실시간으로 수립되게 하였다. 즉, 생산일정계획 시스템을 전산화함으로써 수주정보 발생시 곧바로 일정계획을 수립할 수 있는 체계를 제공하였다. 두 번째로, 수작업에 의한 생산일정계획 수립을 전산화함으로써 생산성 향상에 기여하였다. 즉, 기존에는 공정회의를 통하여 생산일정계획을 수립하는 데 연간 7200M/H를 소비하였으나, 시스템 개발 후에는 570M/H 정도 소요되어 연간 6630M/H의 감소 효과를 얻었다. 세 번째로, 연속처리 가능한 작업배정 규칙을 적용하여 작업준비시간을 감소시켜 공수절감 효과를 얻었다. 즉, 동일 수주정보에 대하여 변압기 용량, 권선의 종류 및 형태가 같은 작업은 연속으로 작업을 처리함으로써 작업의 준비시간을 기존보다 3%정도 감소시켰다. 마지막으로, 작업정보의 모니터링 시스템을 구축하여 실시간 대응체제로 전환 가능하도록 하였다. 즉, 생산현장에 근거리 통신망이 구축되어 있어 PC 모니터로 작업의 진행상태를 한눈에 볼 수 있게 하여 실시간으로 공정의 평가를 가능하게 하였다.

향후 연구과제로는 본 연구에서 제시한 현재 사용중인 변압기 권선공정의 생산일정계획 알고리즘에 대한 성능평가와 이를 통한 개선된 알고리즘에 관한 연구가 필요할 것으로 사료된다. 즉, 현재 제시한 알고리즘은 공정계획 담당자의 지식을 알고리즘화 하였기 때문에, 현실적으로 적용하기에는 무리가 없지만, 최적해라는 보장은 없으므로 성능평가를 통한 개선된 알고리즘에 심층 연구가 요구된다.

참고문헌

Chen, Z-L.(1997), Scheduling with batch setup times and earliness-tardiness penalties, *European Journal of Operational Research*, 96, 518-537.  
 Dagramici, A. and Surkis, J.(1979), Scheduling Independent Jobs on Parallel Identical Processor, *Management Science*, 25(12) , 846-857.  
 Dorit, S. H and Dan. L.(1994), Scheduling with batching: minimizing the weight number of tardy jobs, *Operations Research Letters*, 16(2), 79-86.  
 Guinet, A.(1991), Textile Production Systems, A Succession of Non-identical Parallel Processor Systems, *Journal of the Operational Research Society*, 42(8), 665-671.  
 Hariri, A. M. and Potts, C. N.(1991), Heuristics for Scheduling Unrelated Parallel Machine, *Computers and Operations Research*., 18(3), 323-331.  
 Ibarra, O. H, and Kim, C. E.(1977), Heuristic Algorithms for Scheduling Independent Tasks on Non-identical Processors, *Journal of ACM*, 24(2), 280-289.  
 Kanet, J. J. and Balakrishnan, N.(1999), Early/Tardy scheduling with sequence dependent setups on uniform parallel machines, *Computers and Operations Research*, 26, 127-141.  
 Karp, R. M.(1972), Reducibility among Combinatorial Problems, Complexity of Computations (Edited by R.E Miller and J.W Thatcher), *Plenum Press, New York*, 85-103.  
 Kise, H., Ibaraki, T., and Mine, H.(1978), A Solvable Case of the One-Machine Scheduling Problem with Ready and Due Times, *Operations Research*, 26(1), 121-126.  
 Wilkerson, J. L. and Irwin, J. D.(1971). An Improved Method for Scheduling Independent Tasks, *AIIE Transactions*, 3(3).  
 Zdrzalka, S.(1994), Preemptive scheduling with release dates, delivery times and sequence independent setup times, *European Journal of Operational Research*, 76, 60-71.



박창권

1986년 울산대학교 산업공학과 학사  
 1988년 한국과학기술원 산업공학과 석사  
 1993년 한국과학기술원 산업공학과 박사  
 현재 : 울산대학교 산업정보경영공학부  
 부교수  
 관심분야 : 생산일정계획, SCM, ERP



이동현

1985년 울산대학교 산업공학과 학사  
 1987년 동아대학교 산업공학 석사  
 2000년 부산대학교 산업공학 박사  
 현재 : SAS Korea Industry Consultant  
 관심분야 : Business Intelligence, Supply Chain  
 Intelligence, e-business, DW, DM, 생산정보  
 시스템 등



장길상

1986년 울산대학교 산업공학과 학사  
 1988년 한국과학기술원 산업공학 석사  
 1997년 한국과학기술원 경영정보공학 박사  
 현재 : 울산대학교 경영학부 경영정보학 전공  
 교수  
 관심분야 : DB 응용, ERP, e-business, DW, 생산  
 정보시스템, 객체지향 분석 및 설계 등