IE Interfaces
Vol. 14, No. 1, pp. 9-19, March 2001.

동적 이벤트를 고려한 수주생산환경의 계층적 생산계획 및 통제 시스템

장길상[1] · 김재균[2]

[1]동국대학교 정보산업학과 / [2]울산대학교 산업공학과

A Hierarchical Production Planning and Control System in a Make-to-Order Environment with Dynamic Events

Gil-Sang Jang[1] · Jae-Gyun Kim[2]

Production planning and control system plays an important role in manufacturing companies because it determines all production capacity planning, material procurement planning, and production scheduling which are needed in the process of producing products. Many researches on production planning and control system have been conducted for many manufacturing companies for recent decade. But, a considerable research achievement has mainly been obtained on the forecast-driven production for a make-to-stock and an assemble-to-order. The reason is that there are some hardships such as difficulties of standardizing product information, the frequent changes of design and material, and the unexpected dynamic events that influence the production of customer's order in a make-to-order or an engineering-to-order environments. By these characteristics and their complexities, some studies for production planning and control system in a make-to-order environment are presented recently. In this paper, we present the framework of the hierachical production planning and control for a make-to-order environment with dynamic events. In order to illustrate the usefulness of the proposed framework for a hierachical production planning and control, the information system for a make-to-order production was implemented with the object of the company of producing electricity transformer.

1. 서론

최근 많은 기업들이 고객요구의 다양화, 제품개발 기간의 단축, 제품의 복잡화, 정보기술의 발전과 같은 외적변화에 신속하고 유연하게 대응하기 위한 전략적인 수단으로 제품 수명주기(product life cycle) 전반을 지원하는 기업통합시스템(enterprise integration system)의 구축에 많은 투자와 노력을 기울이고 있다. 기업통합시스템은 각 기업의 환경에 따라 다소 차이가 있을 수 있으나, 일반적으로 설계 시스템, 생산계획 및 통제(production planning & control) 시스템, 경영관리 시스템으로 구성되어 진다. 설계 시스템은 제품의 설계를 담당하는 CAD시스템과 이에 연계되어 제품에 관련된 제반정보를 통합적으로 관리하면서 생산부문에 필요한 정보를 시스템화 하여 정보의 재창출을 가능하게 하는 제품정보관리(product data management) 시스템으로 구성되어진다. 생산계획 및 통제 시스템은 제품 생산에 요구되는 생산능력, 자재, 그리고 공정에 대한 계층적인 계획과 일정을 수립하고, 경영관리 시스템은 원가, 회계 등의 일반관리 업무를 담당한다(황성룡 등, 1999). 이 중에서 생산계획 및 통제 시스템은 제품 생산과정에 필요한 모든 생산능력 및 자재의 수급계획과 생산일정을 수립하는 역할을 담당하고 있으므로, 제조기업에 있어서 필수적인 시스템이다. 현재 널리 사용되고 있는 생산계획 및 통제 방식으로는 MRP, 폐쇄순환(closed loop) MRP, 제조자원계획(MRPII)으로 발전된 MRP 접근방식과 JIT(just in time), OPT(optimized production technology), WLC(workload control) 접근방식 등이 있다(송정수, 1998; Zipfel et al.,1993).

이러한 생산계획 및 통제에 대한 연구는 많은 분야에서 서

로 다른 목적으로 다양하게 진행되어 왔으며, 그 결과 계획생산(MTS : make to stock)과 조립생산(ATO : assemble to order) 분야에 대해서는 많은 연구가 이루어졌다(송정수, 1998; Yeh, 2000). 하지만, 수주생산(MTO : make to order) 및 설계생산(ETO : engineering-to-order) 분야는 제품의 표준화에 대한 어려움과 제조과정의 복잡성 등의 특성 때문에, 일반적이고 정형화된 생산계획 및 통제 모형을 수립하기 어렵다. Hendry가 정의한 수주생산의 특징은 다음과 같다(Hendry *et al.*, 1995).

(1) 고객의 주문에 의한 생산방식으로 제품에 대한 표준을 정하기 어렵다.
(2) 수요가 가변적이고 예측이 거의 불가능하다.
(3) 자원은 다목적 기계와 유연성 있는 작업자로 구성되어 있다.
(4) 능력계획은 접수된 고객주문에 바탕을 두고 있어서, 사전 계획이 힘들다.
(5) 설계와 생산 단계에서 많은 설계의 변화와 자재의 대체가 발생한다.
(6) 고객과 약속한 납기일을 준수하는 것은 고객만족도에 큰 영향을 미친다.

Hendry는 예측생산과 수주생산의 특성 차이로 인하여 생산계획 및 통제의 기능에 부과하는 요구사항이 서로 다르다고 지적하고 있다(Hendry *et al.*, 1989; Yeh, 2000). 수주생산에서는 고객에 의한 프로젝트의 사양변경, 수량변경, 납기변경, 금액변경, 프로젝트 취소와 같은 변경사항이나 장비의 고장, 작업자의 결근과 같은 예측하지 못한 상황, 그리고 도면일정과 자재일정의 미준수로 인한 작업일정의 차질 등 여러가지 다양한 동적 이벤트(dynamic events)가 발생한다. 이러한 동적 이벤트가 발생하면, 생산일정의 변경이 발생하고, 변경된 생산일정에 따라 설계일정과 자재일정도 영향을 받게 된다. 이와 같이 수주생산 환경에서 빈번하게 발생하는 변경사항을 적절하게 반영하지 못하는 경우에 발생하는 문제점들은 크게 다음과 같다. 고객의 요구사항에 대한 신속한 대응이 어렵다. 또한 설계 변경정보의 미반영으로 제품생산에 오류가 발생할 수 있으며, 작업에 필요한 자재의 미입고로 인하여 생산지연이 발생하는 등 현실성이 결여된 계획이 수립된다. 따라서 변경사항이 빈번하게 발생하는 수주생산환경에서 현실적이고 운영 가능한 생산계획 및 통제시스템을 구축하기 위해서는 변경사항에 대한 사전 정의 와 처리방안이 요구된다.

본 논문에서는 수주생산 환경에 적합한 계층적 생산계획 및 통제 시스템의 구조와 시스템 상에서의 정보 흐름에 대한 체계를 정립한다. 또한 수주생산방식 고유의 특성으로 인하여 발생 가능한 동적 이벤트를 정의하고, 그 처리방안을 제시한다. 제시된 수주생산의 생산계획 및 통제 시스템에서 동적 이벤트의 처리방안을 수주생산 방식의 제조환경을 지닌 'H' 중공업의 변압기 공장을 대상으로 생산계획 및 통제 정보시스템을 구현하였다.

2. 수주생산 환경의 계층적 생산계획 및 통제 시스템

일반적으로 제품생산을 위한 계획수립은 시간의 측면에서 장기계획(long term plan), 중기계획(medium term plan), 단기계획(short term plan)으로 분류될 수 있다. 장기계획은 보통 1년에 한 번 수립되며, 1년 이상의 계획기간을 가진다. 이 단계에서는 필요한 기계류와 장비, 투입되는 인원들의 능력을 고려하여 실행될 수 있는 계획을 수립한다. 중기계획은 월별 또는 분기별로 수립되며, 6개월에서 18개월의 계획기간을 가진다. 이 단계에서 수립되는 계획은 잔업시간 정도와 하청으로 작업해야 하는 총작업량과 같이 개략적인 계획수립이 이루어진다. 단기계획은 일별 또는 주별로 수립되며, 현장에서 수행되는 작업의 일정계획을 수립한다(황규승 등, 1998; Carravilla *et al.*, 1995; Easton *et al.*, 1999).

수주생산 환경의 생산계획 및 통제 시스템에 관한 연구 중에서 Bertrand *et al.*(1990)은 수주생산(MTO)을 위한 정보시스템의 개념 및 구성을 간략하게 기술하면서, 강관제조(steel tube manufacturing)회사와 정비 및 수리 공장(maintenance and repair shop)의 사례에 대하여 업무 프로세스를 간략하게 기술하고, 계층적 생산계획 및 통제시스템의 개념을 설명하였다. Wortmann *et al.*(1997)은 수주생산 형태를 갖는 제지공장(fine-paper factory)의 사례에 대하여 수주생산 프로세스를 설명하고, 생산계획 및 통제 시스템의 개념 및 구조를 간략하게 설명하였다. 이러한 문헌들은 수주생산 환경의 일반적인 개념과 업무 프로세스 및 정보시스템의 개념적 구조에 대하여 설명하고 있기 때문에 실제 상황에 적용하기에는 다소 어려움이 있고, 추가적인 상세설계가 요구된다.

일반적인 수주생산 환경의 생산계획 및 통제 시스템은 작게는 수천 개에서 많게는 수십만 개의 품목과 여러 작업장에 대한 기간별 계획을 수립한다. 따라서 그 방대함과 복잡성 때문에 생산계획(production planning), 기준생산계획(master production scheduling), 자재소요계획(material requirements planning), 작업일정계획(operation scheduling), 현장관리(shop floor control) 등의 활동으로 구분하여 순차적으로 수행되는 계층적 생산계획 및 통제(hierachical production planning and control) 모형의 형태를 지닌다(송정수 등, 1999; 황규승 등, 1998; Meybodi, 1995; Porter *et al.*, 1996).

이와 같이 계층적 형태로 수행되는 수주생산 환경의 생산계획 및 통제활동에 대한 흐름은 다음과 같다. 사업계획(business plan)에서 연간 생산능력과 매출규모가 결정되면, 주문관리(order management)에서는 연간 생산목표를 달성하기 위해 수주활동을 수행하고, 고객과 협의를 통해 수주여부를 결정한다. 수주가 결정된 제품의 수주정보에 의해서 제품의 설계가 이루어지고, 공정계획(process planning)에서 프로젝트의 가공경로, 공정, 단위작업, 공정별 리드타임을 결정한다. 생산계획 시스템에서는 프로젝트의 목표 납기일과 착수 및 완료일을 결정한다. 생산계획의 결과에 의해서 기본설계일정과 장납기 자재에

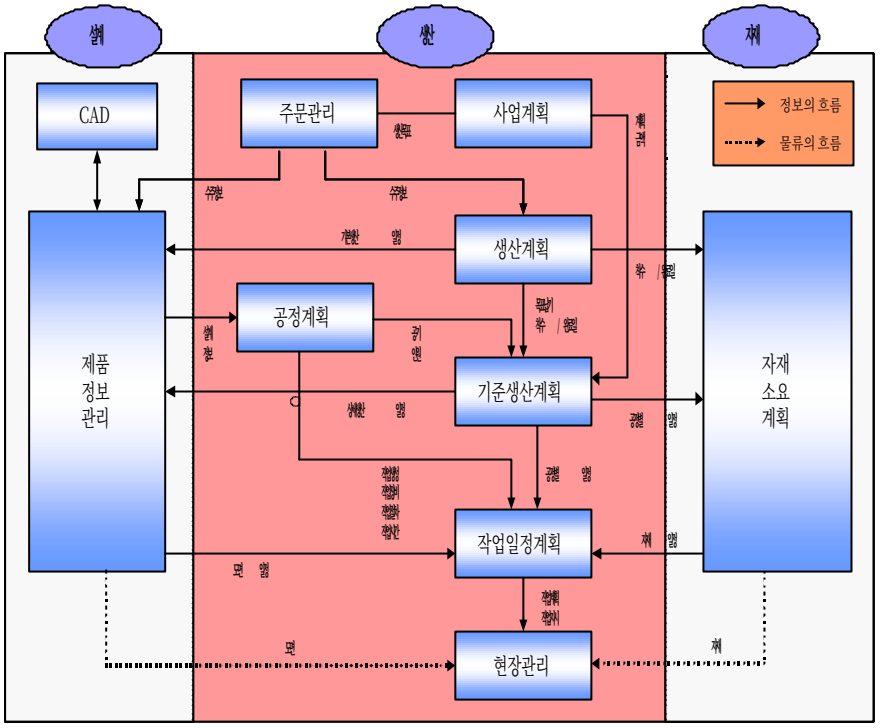

그림 1. 수주생산의 생산계획 및 통제 구조.

대한 자재발주가 이루어지고, 기준생산계획은 수립된 생산계획을 준수하는 범위 내에서 공정별 일정계획을 수립한다. 작업일정계획은 기준생산계획과 도면일정, 자재일정을 고려하여 작업계획을 수립하고 현장에 수행되는 작업지시단위의 계획을 수립한다. 현장관리는 작업지시를 수행하기 위한 관리활동을 수행하고 실적을 입력한다.

앞에서 설명한 수주생산에서의 계층적 생산계획 및 통제 구조를 설계, 생산, 자재의 흐름으로 분류하면 <그림 1>과 같이 정의할 수 있으며, 각 시스템에 대한 세부적인 내용은 다음과 같다.

3. 생산계획 및 통제 시스템에서의 동적 이벤트

3.1 동적 이벤트의 정의

수주생산방식의 제조업은 고객의 주문에 의해서 제품을 생산하기 때문에, 제품에 대한 정보를 표준화하기 어렵다. 또한, 신속하고 짧은 납기를 제공하기 위해 설계, 자재 그리고 생산업무를 동시 다발적으로 수행한다. 따라서 제품에 대한 상세설계 정보가 발생되기 전 단계에서는 과거 제품데이터를 기반으로 수립된 표준정보(standard information)를 이용하여 프로젝트 정보를 생성한 후 전반적인 계획업무를 수행한다. 그리고, 상세설계가 생성되면 이를 기반으로 프로젝트 정보를 수정하고 세부일정계획을 수립한다. 이러한 수주생산환경에서는 표준정보와 상세설계 정보에 의한 프로젝트 정보의 차이, 고객의 요구사항 변경, 제품설계에 대한 변경, 자재입고 지연 및 불량, 생산여건의 변화 등과 같은 상황들에 의해 제품별 수립된 계획정보의 변경이 요구된다. 이러한 경우 제품생산 및 설계에 영향을 미치는 동적 이벤트(dynamic event)가 발생하게 되고, 제품생산을 위해 수립된 생산능력계획과 자재수급계획, 생산일정계획의 변경을 초래하여 업무 및 정보의 흐름이 복잡하게 된다(McPherson *et al.*, 1995).

그러므로, 현실적으로 운영 가능한 수주생산환경의 생산계획 및 통제시스템을 구축하기 위한 시스템 설계는 <그림 2>와 같이 다양한 동적 이벤트에 의해 발생하는 변경상황에 대한 처리방안이 고려되어져야 한다. <그림 2>는 수주생산환경에서 발생 가능한 주요 동적 이벤트를 발생주체에 따라 고객부

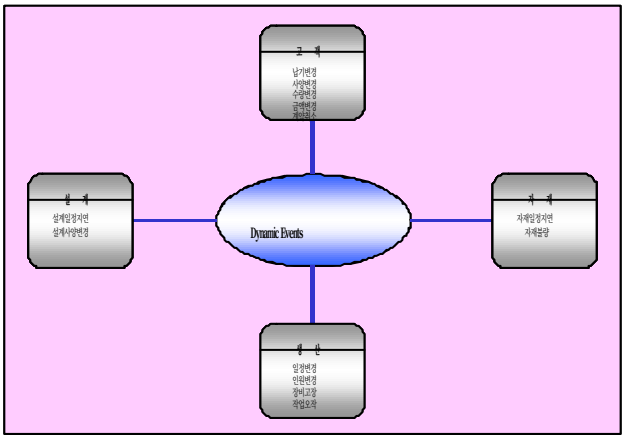

그림 2. 발생주체에 따른 동적 이벤트의 분류.

문, 설계부문, 생산부문 그리고 자재부문으로 분류하였다.

이러한 수주생산을 위한 생산계획 및 통제 시스템 상에서 발생 가능한 동적 이벤트는 각 제조업의 형태에 따라 다양하게 발생하기 때문에, 본 논문에서는 일반적으로 발생 가능한 주요 동적 이벤트를 다루고자 하며, 각 부문별 발생상황은 다음과 같다.

3.1.1 고객부문

■납기 변경 : 고객 요구에 의해서 계약납기가 단축되거나 연장되는 경우, 변경된 납기에 따라서 프로젝트의 목표 납기일 또는 공정일정을 변경해야하는 경우가 발생한다.

■사양 변경 : 수주된 프로젝트의 사양이 변경되면 프로젝트의 공정변경여부에 따라서 프로젝트의 목표 납기와 공정별 일정을 재수립할 경우가 발생한다. 이러한 경우 재수립된 생산일정에 따라 설계일정과 자재일정도 함께 변경되어 설계와 자재 업무에 적용된다.

■수량 변경 : 이미 수주된 프로젝트에 대해 고객의 요청으로 동일한 사양의 제품을 추가하거나, 제품의 수를 감소하는 경우가 발생한다. 제품수량의 변경이 발생되면 기존 일정계획의 변경이나 신규 생산계획수립 등의 업무가 발생한다.

■금액 변경 : 금액기준으로 기준생산계획을 수립하는 경우에는 프로젝트의 금액이 변경될 경우, 월간 또는 주간 단위의 할당된 목표금액을 달성하기 위해 납기일을 준수하는 범위 내에서 프로젝트의 일정이나 공정일정을 조정하여 목표금액에 맞는 일정계획을 재수립 한다.

■계약 취소 : 고객 요청에 의해서 주문이 취소되는 경우이다. 프로젝트 생산을 착수하지 않은 경우에는 해당 프로젝트의 생산계획을 취소할 수 있으나 이미 프로젝트가 생산중인 경우에는 이와 유사한 사양의 프로젝트 생산계획으로 계약취소된 프로젝트를 대체하는 경우가 발생한다.

3.1.2 설계부문

■설계일정 지연 : 설계 담당자의 업무가 과다하거나 고객의 요청에 의한 사양변경 등으로 설계일정을 준수하지 못하는 경우 이미 수립된 생산일정계획에 맞춰 작업을 진행하지 못하는 경우가 발생할 수 있다.

■설계사양 변경 : 설계에 따른 생산이 진행되지 못하여 설계의 변경이 요구되는 경우나 상세 설계에 의해 고객이 요구한 사양의 변경이 발생한 경우 설계업무를 수행하기 위해 발생되는 변경 사항이다. 고객의 요청에 의해 사양이 변경되는 경우에 비하여 발생주체가 서로 다르지만 고객에 의한 계약사양 변경으로 인하여 발생하는 정보의 흐름은 동일하다.

3.1.3 자재부문

■자재일정 지연 : 고객의 요청으로 인하여 발생하게 되는 납기변경, 사양변경, 수량변경, 계약취소의 동적상황이나 생산에서의 생산일정 변경, 작업오작, 예측하지 못한 상황의 발생, 자재나 부품 공급자의 일정 미준수 등의 원인으로 계획된 자재의 공급일정이 지연될 수 있다.

■자재 불량 : 공급된 자재의 불량으로 인하여 작업지연이 발생하는 경우이다. 동일한 자재를 재고로 보유하고 있지 않은 경우 자재의 재발주로 인하여 작업일정지연과 납기지연의 원인이 될 수 있다.

3.1.4 생산부문

■생산일정 변경 : 장비의 고장이나 작업자의 결근과 같이 예측하지 못한 상황의 발생이나 도면일정이나 자재일정의 미 준수로 인하여 작업지연이 발생할 경우이며, 이러한 원인으로 생산일정의 변경이 발생한다.

■인원변경 : 작업계획된 인원이 출장, 교육, 결근 등의 요인으로 인하여 작업을 수행하지 못하거나, 타 작업장의 부하가 과중하여 인원을 지원하는 경우 잔업처리나 일정지연의 원인이 된다.

■장비고장 : 해당 작업을 수행할 장비의 고장으로 인하여 작업지연을 초래하는 경우이다. 대체장비를 확인하고 작업가능성을 검토해야 한다.

■작업오작 : 작업지시가 잘못 이루어졌거나, 작업자가 작업을 잘못수행한 경우와 같이 재작업이 요구되는 상황으로, 이러한 경우 작업일정계획의 변경요인이 발생하며, 월간생산계획에도 영향을 미친다. 또한 작업수행에 필요한 자재의 공급계획도 재수립해야 하며, 필요에 따라 설계 업무가 다시 요구될 수도 있다.

3.2 동적 이벤트의 정보흐름

<그림 3>은 앞서 정의한 생산계획 및 통제시스템에서 발생하는 동적 이벤트에 대한 정보의 흐름을 나타낸 것이다. <그림 3>에서 고객의 요구에 의해서 프로젝트의 사양을 변경하고자 하는 경우, 주문관리시스템에서 사양변경작업을 수행하고, 생산계획시스템에서는 사양변경의 이벤트를 확인한 뒤 기본설계가 변경되었다면 기본설계 일정과 프로젝트의 착수 및 완료일을 재수립한다. 그런 다음 기준생산계획시스템에서는 프로젝트의 착수 및 완료 일정에 기준해서 상세설계 일정과 공정별 일정을 재수립 한다. 자재소요계획시스템에서는 생산계획과 기준생산계획의 일정에 따라 장기자재와 중기자재의 수급계획을 수립한다. 작업일정계획 시스템에서는 기준생산계획에서 수립된 공정별 일정에 의해서 작업계획을 수립하고 현장에 작업지시를 한다. 작업현장에서는 작업지시를 기준으로 도면과 자재를 수급하여 작업을 수행한다.

<표 1>은 <그림 2>에서 발생주체에 따라 분류한 동적 이벤트 가운데 각 이벤트가 발생할 경우 생산계획 및 통제시스템의 어느 부분에 영향을 미치는지 관계를 정리한 것이다. <표

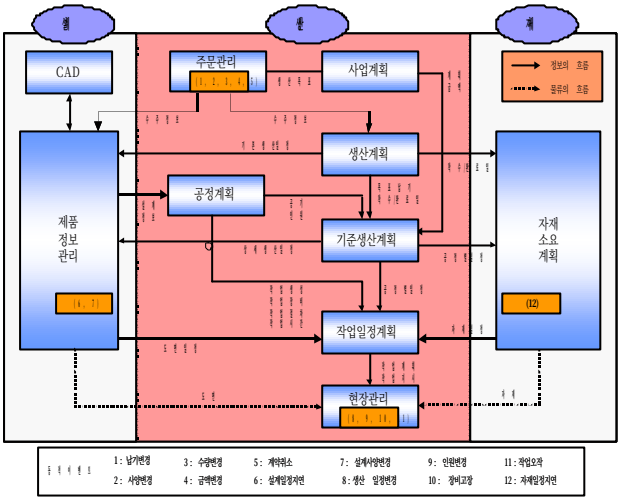

그림 3. 동적 이벤트의 정보흐름 순서.

표 1. 동적 이벤트와 시스템 간의 관계

고객	납기변경					○	○	○	○	○
	사양변경			○	○	○	○	○	○	○
	설계변경					○	○	○	○	○
	공정변경						○	○	○	○
	계획취소			○		○	○	○	○	○
설계	설계변경							○		○
	사양변경							○	○	
생산	설계변경							○	○	
	생산중단							○		
	공정변경							○	○	
	작업지시							○	○	
자재	설계변경							○		○

1>에서 납기변경이 발생할 경우 생산계획시스템에서 수립하는 프로젝트의 목표납기와 착수 및 완료일에 영향을 주게 되며, 변경된 생산계획을 준수하는 범위 내에서 기준생산계획을 재수립한다. 기준생산계획이 변경되면 작업일정계획, 현장관리, 자재소요계획에도 영향을 미친다.

3.3 동적 이벤트의 처리방안

<그림 4>는 제품생산을 위한 생산계획 및 통제시스템 상에서 데이터 흐름을 주요 시스템과 데이터베이스에 따라 정의한 것이다. 정의된 동적 이벤트 중에서 주요 이벤트에 대한 세부 처리방안은 다음과 같다.

3.3.1 고객부문

■납기변경 : 고객의 요구에 의해 납기가 변경되면 <그림 5>와 같이 이미 수립된 계약납기와 변경된 계약납기를 비교한 뒤 프로젝트의 공기를 변경할 것인가를 판단한다. 만약, 프로젝트 공기를 변경하면 이미 수립된 프로젝트들

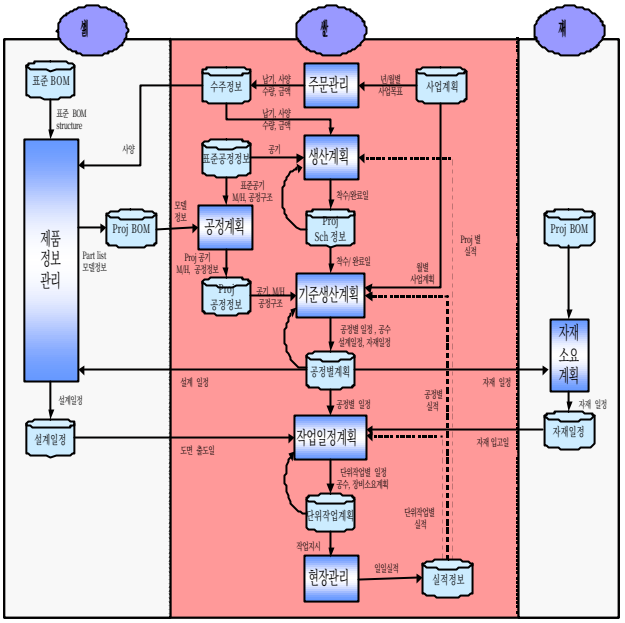

그림 4. 생산계획 및 통제 시스템의 데이터 흐름도.

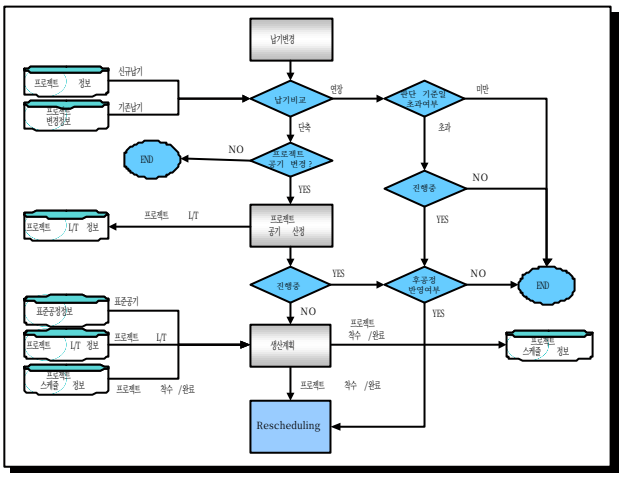

그림 5. 납기변경의 처리방안.

의 일정을 고려하여 프로젝트 생산계획을 재수립하게 된다. 변경된 프로젝트 생산계획에 따라 생산계획 및 통제 흐름에 대한 생산일정계획이 재수립 되어야 하며, 설계일정과 자재일정도 재수립 되어야 한다.

■사양변경 : <그림 6>은 고객 요구에 의한 사양변경의 동적 이벤트 발생에 대한 처리방안이다. 우선 변경된 사양에 의해서 프로젝트 공정정보를 생성할 것인가를 판단하고, 프로젝트의 공정정보를 새롭게 생성할 경우 사양변경 전의 공정정보와 비교하여 프로젝트의 공정정보를 변경할 것인지 결정한다. 사양변경에 의해서 프로젝트의 공정정보가 변경될 경우는 프로젝트 생산계획을 재수립해야 하는 경우가 발생하며, 이러한 경우 기준생산계획과 설계, 자재일정에도 영향을 준다.

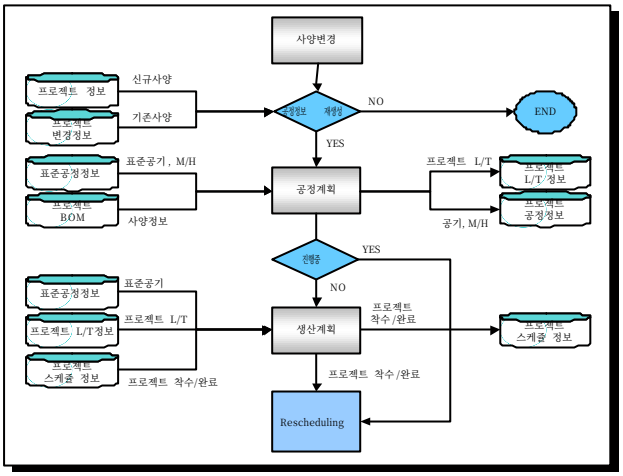

그림 6. 사양변경의 처리방안.

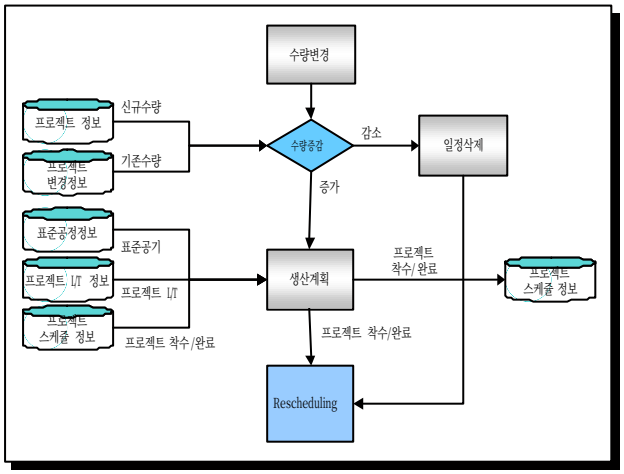

그림 7. 수량변경의 처리방안.

■수량변경 : <그림 7>은 고객이 주문한 프로젝트의 수량이 변경된 경우의 처리절차를 나타낸 것으로써 프로젝트의 수량증감에 따라 일정을 추가 및 삭제하고, 프로젝트 생산계획을 재수립 한다. 수량변경의 동적이벤트 발생 후 프로젝트의 수량을 비교하여 증가되었을 경우, 증가한 만큼 우선적으로 기존일정을 반영하여 프로젝트 생산계획을 수립하고 재일정계획수립에 반영한다. 감소의 경우, 기존 프로젝트의 수량이 모두 진행 중이면 생산진행여부를 판단하여 부품이나 프로젝트를 대체를 하고, 미착수 프로젝트는 프로젝트 생산계획에서 일정을 삭제하고 재일정계획을 수립 한다.

■금액변경 : 계획기간에 대해 공정의 완료금액으로 생산계획 및 월간 생산계획을 수립하는 경우에 프로젝트의 금액변경이 발생하면, 계획기간의 목표금액을 달성하기 위해 프로젝트 생산계획 및 공정의 일정을 변경하며 작업일정계획 재수립과정이 필요하다.

■계약취소 : 위에서 정의한 수량변경의 동적 이벤트에서 주문수량이 감소한 경우의 처리방안이다. 주문된 프로젝트의 수량이 하나인 경우 프로젝트의 수량이 감소하여 고객과 계약한 프로젝트의 수량이 더 이상 존재하지 않는 경우이다.

3.3.2 생산부문

현장에서 작업을 수행하는 과정에서 발생 가능한 장비고장이나 작업인원변경, 작업오작으로 인한 재작업, 생산일정변경 등의 동적 이벤트는 작업일정에 차질을 유발하여 계획과 실적에 차이가 발생하게 한다. 장비고장의 동적 이벤트 발생시 대체장비에서 작업 수행이 가능한지를 고려하는 방안이 있으며, 경우에 따라 작업을 중단해야 하는 경우도 발생 한다.

이러한 경우 장비의 실적정보를 작업일정계획 시스템으로 반영하여 작업일정계획을 재수립(Rescheduling) 한다. 또한 대체인원 지원, 잔업처리, 작업중단의 원인이 되는 작업인원 변경의 동적 이벤트나 작업오작이 발생하여 재작업을 수행해야 하는 경우, <그림 8>의 Rescheduling단계에서 작업실적정보를 작업일정계획수립시 반영하여 작업일정계획을 재수립한다. 결국 장비고장, 인원 변경, 작업오작과 같은 생산현장의 내부적인 문제 뿐만 아니라 설계일정지연, 자재입고지연 등의 동적 이벤트로 인하여 계획된 작업일정을 준수하지 못하는 경우도 실적 정보를 반영하여 현장상황을 고려한 작업일정계획을 재수립해야 한다.

3.3.3 설계부문

설계부문의 경우 설계일정 지연과 설계사양 변경 등의 동적 이벤트가 발생 가능하다. 작업을 수행하는 과정에서 설계일정 지연으로 계획된 도면일정을 준수하지 못하는 경우, 작업일정에 차질이 발생하게 된다. 이러한 경우 <그림 9>와 같이 실행

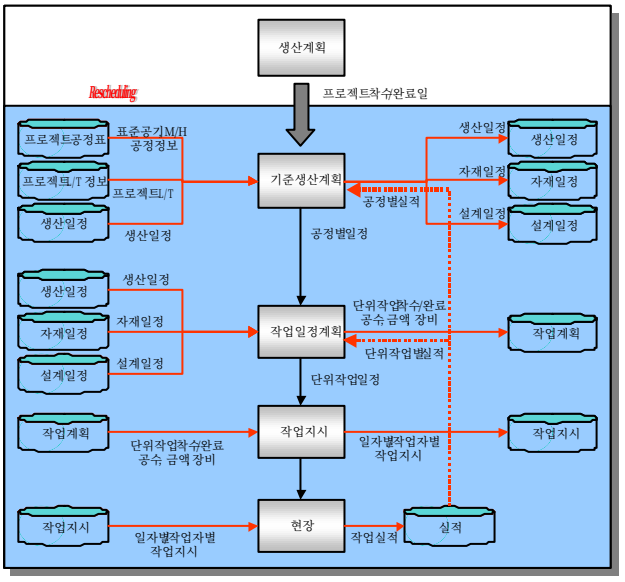

그림 8. Rescheduling.

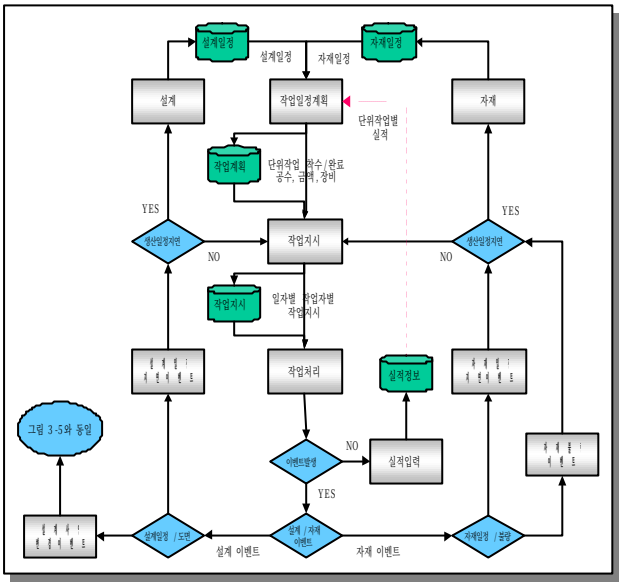

그림 9. 설계 및 자재의 처리방안.

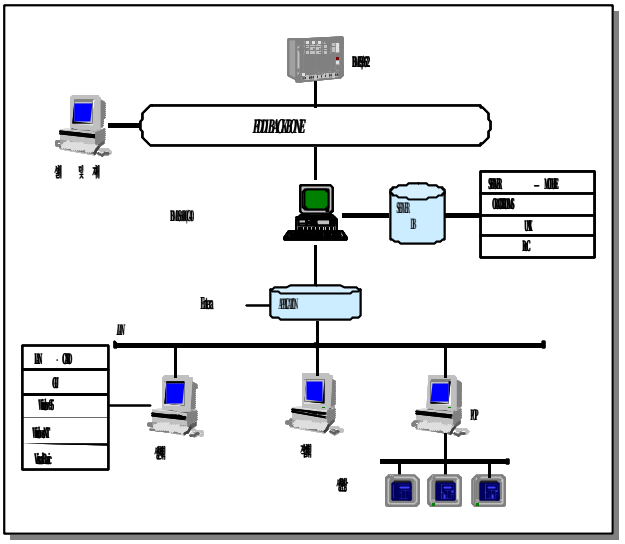

그림 10. 시스템 개발환경.

가능한 설계일정을 반영하여 작업계획을 재수립해야 한다. 그리고 작업수행과정에서 발생 가능한 설계사양 변경의 동적 이벤트가 발생하는 경우 처리방안은 <그림 6>과 동일하다. 이러한 경우 변경된 사양에 의해 프로젝트 BOM을 생성하고, 공정계획을 통하여 프로젝트공기, M/H, 공정정보를 생성하여 계획수립시 반영된다.

3.3.4 자재부문

자재부문의 경우 자재일정 지연과 자재불량 등의 동적 이벤트가 발생 가능하다. 자재일정 지연의 동적 이벤트 발생으로 인하여 생산일정에 차질이 발생한 경우, <그림 9>와 같이 자재의 공급 가능한 일정을 재수립하고 반영하여 작업일정계획을 수립한다. 그리고 자재불량으로 인하여 작업을 진행하지 못하는 경우도 마찬가지로 생산일정 지연여부에 따라 처리방법이 달라진다.

4. 계층적 생산계획 및 통제 정보시스템의 구현

본 연구대상 업체는 'H' 중공업의 변압기 공장으로 발전소용 및 공장용 주변압기를 생산한다. 변압기 공장은 고객의 요구사항에 맞추어 제품을 생산하는 수주생산 환경이며, 공정은 Job Shop방식으로 구성되어 있다. 변압기 제품은 전압과 용량에 의해서 제작범위가 결정되며, 연구대상 업체는 전압 22.9KV~550KV, 용량 5MVA~700MVA의 3상 유입식 전력용 변압기를 생산하고 있다.

시스템의 구현 환경으로는 3-tier기반의 클라이언트/서버 환경에서 서버 프로그램의 개발언어는 ORACLE의 Pro*C를 사용하였으며, 클라이언트 개발 툴은 Visual Basic 6.0을 이용하였다. 데이터베이스는 ORACLE 데이터베이스를 사용하였으며, 미들웨어로 Open Environment사의 Entera 4.0을 이용하여 구현하였다. 시스템의 전체적인 구성은 <그림 10>과 같다.

4.1 연구대상업체의 생산계획 및 통제 환경

4.1.1 업무흐름

연구대상 업체에서의 업무흐름은 다음의 <그림 11>과 같다. 먼저 고객과 제품에 대한 납기, 사양, 수량, 금액 등을 협상하여 계약을 체결한다. 그리고 표준공정표에서 수주된 프로젝트의 사양에 해당하는 표준정보를 읽어와서 표준 TYPE을 선정하고, 프로젝트 공정표와 프로젝트 Lead Time정보를 생성한다. 표준 TYPE을 선정한 후, 프로젝트의 납기정보와 연구대상의 애로(bottleneck) 공정인 권조로 계획에 의해서 프로젝트의 착수일과 완료일을 결정하고, 전체 프로젝트의 일정을 계획하는 생산계획을 수립한다.

기준생산계획에서는 생산계획을 준수하는 범위 내에서 중공정별 일정계획(중일정계획)을 수립하며, 중일정계획에 의해서 생산일정, 자재일정, 설계일정이 결정된다. 그리고 기준생산계획이 수립되면 프로젝트 정보, 생산일정, 자재일정, 설계일정 그리고 생산일과 휴무일 정보를 반영하여 단위작업별/작업반별 계획인 작업계획을 수립하고, 현장에서 수행할 작업을 지시한다. 현장에서는 담당자가 작업지시에 의해서 도면, 자재, 장비 그리고 작업자의 근태상황을 고려하여 일자별/작업자별로 작업을 할당하고, 작업자는 일일별로 수행한 작업실적을 입력한다. 실적정보를 상위시스템으로 반영하여 계획대비 실적에 차이가 발생할 경우, Rescheduling에 의해서 일정을 재수립한다. 지금까지 설명한 연구대상에서의 신규오더 발생에서 생산을 수행하는 현장에 이르기까지 업무흐름을 <그림 11>에 나타내었다.

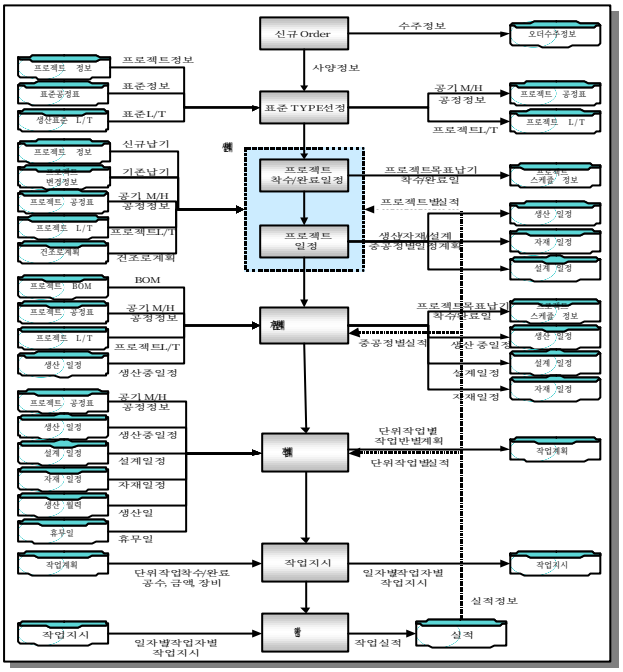

그림 12. 업무흐름.

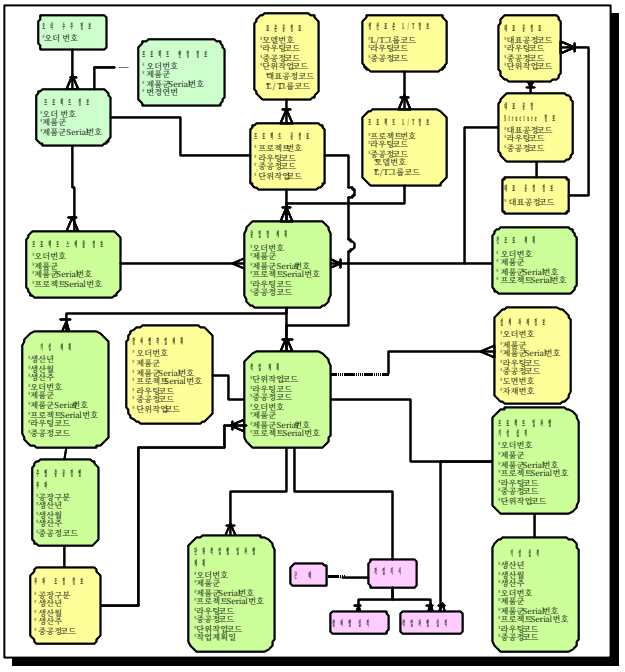

그림 13. 전체 ERD.

시스템	주요 Entity	시스템	주요 Entity
수주관리	오더수주정보 프로젝트 정보 프로젝트 변경정보	기준생산계획	중일정계획 기성계획 주별 중공정별 부하
공정계획	표준공정표 프로젝트공정표 생산표준 L/T 정보 프로젝트 L/T 정보 대표공정정보 대표공정표 대표공정구조정보	작업일정계획	작업계획 부하조정정보 장비별 작업계획 단위작업별 일자별계획 설계자재정보 작업지시
생산계획	프로젝트 스케줄 정보 건조로 계획	현장관리	프로젝트 일자별 기성실적 기성실적 근태 장비별 실적 작업자별 실적

그림 12. 시스템별 주요 엔터티(Entity).

4.1.2 개체-관계도

본 연구대상 업체의 각 시스템에서 발생하는 시스템별 주요 엔터티와 정보를 연결하기 위한 전체 개체-관계도(ERD : Entity Relationship Diagram)는 <그림 12> 및 <그림 13>과 같다.

4.2 시스템 구현

본 연구에서는 다양한 동적 이벤트 중에서 납기변경을 처리하는 경우에 대하여 생산계획 및 통제 정보시스템을 설명하고자 한다. 고객의 요청에 의해 프로젝트의 납기가 변경되면 <그림 5>의 처리방안에 따라 <그림 14>의 세부처리 절차에 의해서 생산계획을 재수립한다. 이때 연구대상 업체의 변압기 공장은 건조로 공정이 병목공정이기 때문에, 이 건조로의 생산능력 및 공정 진행여부를 고려하여 프로젝트의 목표납기일을

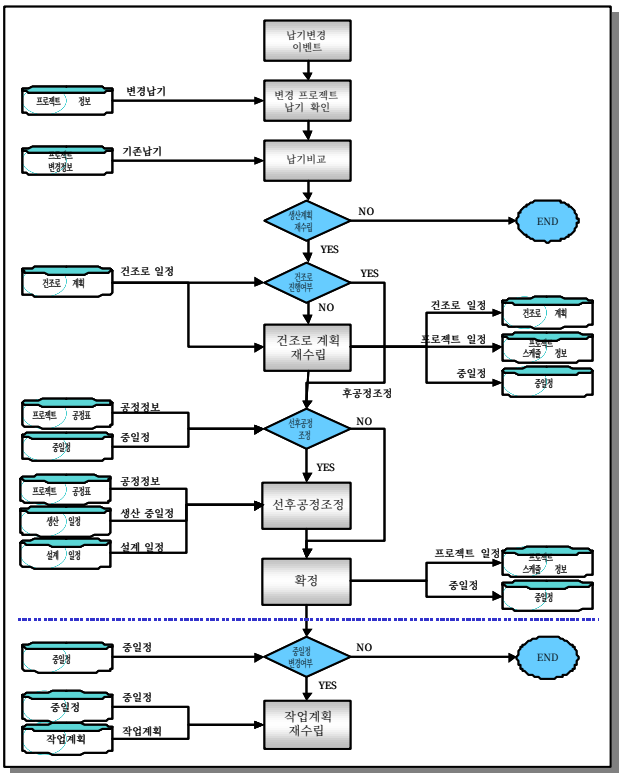

그림 14. 납기변경의 처리절차.

수립 한다. 즉, 납기변경이 발생한 프로젝트의 건조로 공정이 현재 진행되지 않았다면 건조로 계획을 재수립한다. 그리고 건조로 공정의 선후공정에 대한 일정조정의 여부를 판단하여 일정을 조정한다. 만약 납기변경이 발생한 프로젝트의 건조로

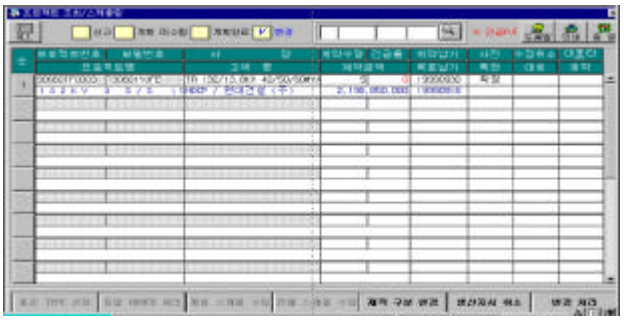

그림 15. 프로젝트 조회 화면.

그림 16. 프로젝트 수정 화면.

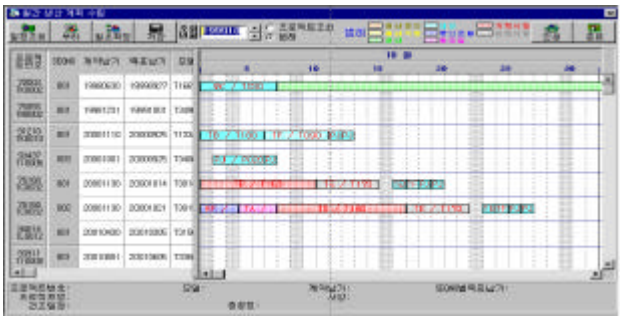

그림 17. 월간생산계획 수립 화면.

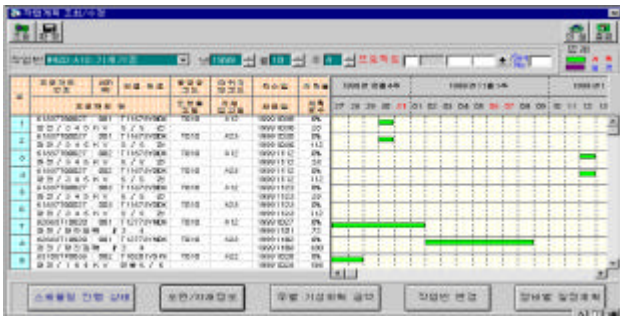

그림 18. 작업계획 화면.

공정이 진행 중이면 전조로의 후공정에 대한 일정조정을 고려할 수 있으며 선후공정에 대한 일정조정을 확정한다. 마지막으로, 확정된 프로젝트 스케줄 정보는 프로젝트 스케줄 데이터베이스에, 납기변경의 동적 이벤트에 의하여 변경된 공일정은 공일정 데이터베이스에 저장한다.

이러한 일련의 과정은 <그림 15>의 화면을 통하여 처리할 수 있는데, 사용자가 조회조건을 선택하여 조회를 하면 수주정보 테이블에서 조회조건에 해당되는 프로젝트들의 수주 정보를 읽어서 화면으로 보여준다. 변경사항이 발생한 프로젝트를 조회하고, 납기변경을 원하는 프로젝트를 선택한 다음 변경처리 버튼을 누르면 <그림 16>의 세부처리 화면이 실행되며 수량변경, 금액변경, 사양변경, 계약취소 등의 변경사항도 처리할 수 있다.

기준생산계획에서는 생산계획에서 수립된 개별 프로젝트의 스케줄에 의해서 공공정별 일정계획(공일정계획)을 수립한다. <그림 17>은 기준생산계획이 수립된 프로젝트를 대상으로 현시점에서 차후 3개월 동안의 계획기간에 대하여, 월별 공정진도에 따라서 지급되는 금액(payment for progress), 즉 월별 기성금액의 제약조건을 고려하여 월간생산계획을 수립하는 화면이다. 조회하고자 하는 기간을 선택하여 프로젝트 스케줄 정보와 공일정계획 테이블에서 월간생산계획에 대한 정보를 읽어와서 화면에 보여준다. 납기변경이 발생하면 월별 기성금액의 제약조건을 만족하기 위해 월간생산계획을 재수립해야 하는 경우가 발생가능하며, 이러한 경우 변경된 프로젝트의 일정, 생산일정, 설계일정, 자재일정의 정보가 해당 테이블에 저장된다.

작업일정계획은 월간생산계획을 준수하는 범위 내에서 수립하며, 이때 장비별 작업계획, 단위작업별/일자별 계획, 그리고 작업지시 정보가 수립된다. <그림 18>은 작업계획을 작업반별로 보여주는 화면이다. 납기변경에 의해 생산일정이 변경되면 작업계획도 재수립되어야 한다. 그리고 도면과 자재의 정보를 확인해서 작업지연의 요인이 발생하면 작업계획을 변경할 수 있다.

작업지시에 의해서 작업자별 일일작업량이 할당되면, 작업을 수행하고 장비별 실적과 작업자별 실적을 입력하여 기성실적을 계산한다. <그림 19>는 일자별로 작업자가 수행해야 할 작업을 배치하는 화면이다. 작업지시 담당자는 생산현장에서 발생할 수 있는 여러 가지 동적 이벤트와 도면 및 자재의 동적 이벤트를 고려하여 작업자를 배치한다.

4.3 시스템의 특징 및 구축 효과

본 논문에서 구축된 시스템의 가장 큰 특징은 시스템의 각

그림 19. 작업지시 화면.

기능을 계층적으로 통합화/표준화/단순화한 사용자 중심의 통합 생산정보시스템이라는 것이다. 시스템의 특징을 세부적으로 네 가지 관점에서 설명하면 다음과 같다. 먼저, 구축된 시스템을 통하여 생산 프로세스를 중심으로 비즈니스 프로세스가 정립되었다. 즉 기능 위주의 업무방식을 프로세스별로 재설계 하였고, 업무적으로는 Transaction 단위에서 Business Intelligence 단계로 변화되졌다. 다음으로, 현업중심의 시스템이다. 즉, 상황변화에 신속한 의사결정을 내릴 수 있는 일종의 의사결정지원시스템(Decision Support System)이고, 업무 담당자가 사용하기 용이한 GUI(Graphical User Interface) 시스템이다. 세 번째로, 정보의 통합화와 공유화이다. 즉, 종괄생산계획-기준생산계획-생산일정계획 및 자재소요계획-작업계획-작업지시-실적집계 및 분석과 같은 수직적 통합과 수주-설계-생산-판매와 같은 수평적 통합을 통한 일관 시스템이며, 일관되고 통합된 정보관리로 표준 정보체계를 확립하였다. 마지막으로, 본 시스템의 특징으로는 Business Intelligence System이라는 것이다. 즉, 시스템을 통하여 사실에 입각한 관리, 목표에 의한 관리, 예측 및 예방에 의한 관리가 가능해졌다.

그리고, 본 시스템의 기대효과를 크게 사업부, 사용자, 그리고 정보시스템의 세 가지 차원으로 살펴보면 다음과 같다. 먼저, 사업부 차원의 기대효과는 무형 효과와 유형효과로 나누어 설명할 수 있는데, 무형 효과로는 기업정보의 전략적 활용 및 새로운 정보 유통 수요에의 능동적 대처가 가능하고, 대용량 자료의 신속, 정확한 처리 및 전송으로 정보의 질적 향상이 기대되고, 사내 부서간 정보의 공유 및 교환 그리고 예기치 못한 상황에 대한 유연 시스템을 확립하여 정보화 자원 투자의 효율성을 재고시켰으며, 유형 효과로는 각종 분석 및 보고자료의 작성시간/분석시간 단축, 관리능력 향상으로 인한 비용절감, 문제점의 사전조치, 계획의 신뢰성 확보로 인한 원가 절감, 가동률 향상, 그리고 수기작성 보고의 최소화 등이 기대된다. 다음으로, 사용자 차원의 기대효과로서 경영층에서는 경영진의 의사결정에 필요한 정보를 적시로 제공하고, 경영 목표와 경영전략을 지원하는 전략정보를 제공할 수 있게 되었고, 관리자층에서는 업무의 효율성 및 합리화 달성, 정보자산의 효율적 활용, 관리수준의 향상 등을 기대할 수 있으며, 현장 담당자 측면에서는 작업입력 시간의 감소, 현장의 서류업무 감소, 제품 품질향상 및 불량 감소 등이 기대된다. 마지막으로, 정보시스템 측면에서는 정보의 질적 향상을 통한 의사결정 능력의 재고, 생산계획 및 통제를 포함한 운영 통제의 개선을 통한 생산성 향상과 정보기술 투자에 대한 회수의 극대화를 기대할 수 있다.

마지막으로, 본 시스템의 구축효과를 부문별 즉, 사업부 전체, 생산지원, 생산, 설계의 네 가지 부문으로 나누어 정리하면 다음과 같다. 먼저, 사업부 전체적인 측면에서는 업무 프로세스 체계 확립 및 정착을 통한 관리수준을 향상시켰고, 사업부 통합 데이터베이스 관리를 통한 정보공유체계를 구축하였으며, 수주-생산계획-예산편성-작업계획-실적집계-실적분석으로 연결된 일관시스템을 구현하였다. 다음으로, 생산지원 부문에서는 프로젝트별 목표납기 기반의 생산계획 수립의 자동화, 일정정보의 정확도 향상, 실시간 On-Hand 부하 제공, 그리고 생산현황 실시간 조회를 통한 생산, 판매 지원체계의 구축을 통한 신뢰성 있는 생산계획 수립과 관리수준을 향상시켰다. 세 번째로 생산부문에서는 목표공수 기반의 작업반별/단위작업별 작업관리 체계의 구축, 일일 작업지시/실적처리 체계의 구축, 그리고 관리의 투명성 확보를 통한 정보와 물류의 일치 체계를 확립하였다. 마지막으로, 설계 부문에서는 프로젝트별 제품구성 체계의 확립, BOM 기반의 실행예산 편성체계의 확립, 그리고 제품정보 데이터베이스 구축을 통하여 정보공유 기반확립을 위한 제품정보 통합관리체계를 확립하였다.

5. 결론

수주생산 환경은 고객의 주문에 의존하는 생산으로 제품의 다양성과 생명주기의 단축으로 기존의 설계 및 자재발주, 생산업무의 순차적인 진행방법으로는 필요한 제품을 적시에 개발 및 생산하기 어려운 특징을 지니고 있다. 따라서 제품의 개발과 생산 주기를 단축하기 위한 설계 및 생산업무의 동시 다발적인 진행으로 설계의 변화와 자재의 대체가 자주 발생한다. 또한 고객의 요구사항 변경, 생산현장에서 예측하지 못한 상황의 발생, 도면일정과 자재일정의 미준수와 같은 동적 이벤트가 빈번하게 발생하여 업무 및 정보의 흐름이 복잡하다.

본 논문에서는 이러한 특성으로 인하여 정형화하기 어려운 수주생산 환경에서의 계층적 생산계획 및 통제 구조를 제시하였다. 이 구조는 Job Shop 형태를 갖는 수주생산 환경의 다양한 산업에 확장하여 적용할 수 있을 것이다. 또한 수주생산의 생산계획 및 통제 시스템상에서 발생하는 무수히 많은 동적 이벤트 가운데 일반적인 사항들에 대하여 발생 주체에 따라 분류하여 정의하고, 그 처리방안을 제시하였다. 그리고, 제시된 계층적 생산계획 및 통제 구조와 동적 이벤트의 처리방안을 'H'중공업의 변압기 공장을 대상으로 통합 생산정보시스템을 구현하였다.

적용결과, 동적 이벤트가 발생하였을 때 생산현장에서 신속하고 유연한 대응이 가능해졌으며, 변경정보를 계획수립의 상위단계로부터 작업을 수행하는 현장에 이르기까지 원활하고 일관성 있게 반영함으로써 현실성 있는 일정계획을 수립할 수 있게 되었다. 또한 고객의 요구사항에 대한 신속한 대응이 가능해졌으며, 시스템간의 원활한 인터페이스가 가능해졌다.

향후 연구과제는 본 논문에서 제시한 생산계획 및 통제 구조와 동적 이벤트 처리 방안을 예측생산 및 수주생산 환경의 다른 제조업에 적용해 보는 것이다. 또한 동적 이벤트를 갖는 생산계획 및 통제 시스템을 ERP(Enterprise Resource Planning) 및 MES (Manufacturing Execution System)와 같은 기업의 기간 정보시스템과 통합하는 방안을 연구할 필요가 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

송경수 (1998), Job Shop형태를 갖는 주문생산환경에서의 계층적 생산계획 및 통제 정보시스템, *박사학위논문*, 울산대학교 산업공학과.

송경수, 김재균, 문치웅 (1999), Job shop 형태를 갖는 주문생산환경에서의 계층생산계획 및 통제 Framework의 설계, *경영과학회*.

황규승, 박명섭, 박광태 (1998), *생산관리*, 홍문사.

황성동, 김재균 (1999), 통합정보시스템 환경에서의 BOM활용과 구조화, *Technical Report 1999-02*, 울산대학교 생산정보 계계 연구실.

Bertrand, J. W., Wortmann, J. C. and Wijngaard, J. (1990), Production Control: A structured and design oriented approach, *Elsevier*.

Caravilla, M. A. and De Sousa, J. P. (1995), Hierarchical production planning in a Make-To-Order company : A case study, *European Journal of Operational Research*, 86, 43-56.

Easton, F. F. and Moodie, D. R. (1999), Pricing and lead time decisions for make-to-orders firms with contingent orders, *European Journal of Operational Research*, 116, 305-318.

Hendry, L. C. and Kingsman, B. G. (1989), Production planning systems and their applicability to make-to-order companies, *European Journal of Operation Research*, 40, 1-15.

McPherson, R. F. and White, K. P. (1995), Dynamic issues in the planning and control of integrated manufacturing hierarchies, *Production Planning & Control*, 6(6), 544-554.

Meybodi, M. Z. (1995), Integrating production activity control into a hierachical production model, *International Journal of Operations & Production Management*, 5(5), 4-25.

Porter, J. K., Jarvis, P., Little, D., Laakmann, J., Hannen, C. and Schotten, M. (1996), Production planning and control system developments in Germany, *International Journal of Operations & Production Management*, 16(1), 27-39.

Wortmann, J. C., Muntstlag, D. R. and Timmermans, P. J. M (1997), Customer-driven manufacturing, Chapman & Hall.

Yeh, C. H. (2000), A customer-focused planning approach to make-to-order production, *Industrial Management & Data Systems*, 100/4, 80-187.

Zpfel, G. and Missbauer, H. (1993), New concepts for production planning and control, *European Journal of Operational Research*, 67, 297-320.

장길상

1986년 울산대학교 산업공학과 학사
1988년 한국과학기술원 산업공학 석사
1997년 한국과학기술원 경영정보공학 박사
현재: 동국대학교 정보산업학과 교수
관심분야: 데이터베이스, 정보공학, ERP, BC, DW, 생산시스템 등

김재균

1979년 인하대학교 산업공학 학사
1981년 한국과학기술원 산업공학 석사
1992년 한국과학기술원 경영과학 박사
현재: 울산대학교 산업공학과 교수
관심분야: CIM, PDM, DB응용, WEB Application, 통신망설계 등