

전동기 제조업의 지식기반 공정계획 지원시스템에 관한 연구

송정수* · 김재균* · 이재만**

Knowledge-based Decision Support System for Process Planning in the Electric Motor Manufacturing

Jungsu Song · Jaegyun Kim · Jaeman Lee

(Abstract)

In the motor manufacturing system with the properties of short delivery and order based production, the process plan is performed individually for each order by the expert of process plan after the completion of the detail design process to satisfy the specification to be required by customer. Also it is hard to establish the standard process plan in reality because part routings and operation times are varied for each order. Hence, the production planner has the problem that is hard to establish the production schedule releasing the job to the factory because there occurs the big difference between the real time to be completed the process plan and the time to be required by the production planner. In this paper, we study the decision supporting system for the process plan based on knowledge base concept. First, we represent the knowledge of process planner as a database model through the modified POI-Feature graph. Then we design and implement the decision supporting system imbedded in the heuristic algorithm in the client/server environment using the ORACLE relational database management system.

1. 서 론

제품의 설계는 주문에 따라 달라지며 따라서 제조공정이나 작업방법도 제품에 따라 달라지는 수주생산의 형태이면서도 단납기를 가지는 개별생산체계에서는 부품별 공정경로 및 작업시간이 매우 다양하여 표준공정을 수립하는 것이 현실적으로 불가능하다. 따라서 제품의 설계사양을 만족하는 공정계획(Process Planning) 및 생산시스템의 특성을 가능한한 빠르게 반영하여 생산을 계획(Scheduling)하고 통제(Shop Floor Control)하는 전산화는 현실적으로 매우 어렵다. 따라서 이러한 일련의 과정을 간트 차트나 일정현황표를 작성하여 사용하는 것이 현실적 상황이다[1].

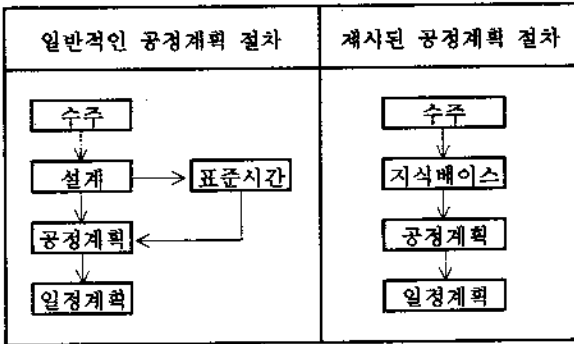
공정계획에 관련된 기존의 대부분의 연구가 CAD/CAM 통합을 위한 공정계획의 자동화(CAPP)와 공정계획과 일정계획의 통합이라는 주제하에 연구가 많이 진행되고 있지만 이들 대부분은 자동 생산체제에 국한된 CAD로부터 형상특징을 자동 인식하는 CAD 인터페이스된 CAPP시스템이 대부분이다 [4,5]. 하지만 전동기 제조업과 같은 중전기 산업에서는 CAD로부터 형상특징을 자동 인식하여 가공순서, 가공자원, 작업시간 등의 공정계획을 수립하는 것이 어렵고, 공장자동화 수준이 저조한 현실적인 상황에서는 제한적이고, 또한 설계로부터 공정계획 수립까지 위의 기존 연구에 의한 전산화는 현실적으로 매우 어렵다.

이에 따라 본 연구에서는 연간 처리되는 수주의 수가 많고,

* 울산대학교 수송시스템 공학부

** 현대중공업(주) 중전기 사업본부

각 수주별 제품 사양의 변화가 매우 심한 단납기 개별생산에서의 일정계획 수립을 위해 도면 정보로부터 공정계획을 추출하는 기존의 연구[5]와는 달리 <그림 1>과 같이 고객의 주문서로부터 제품 사양을 기반으로 구축된 지식베이스(Knowledge Base)를 이용하여 공정계획을 수립하는 방안을 제시하였다.



<그림 1> 제시된 공정계획 절차

전문가의 오랜 현장 경험을 통하여 획득된 지식으로 구축된 지식베이스는 특정 공장형태에 제한되어 운용될 수 밖에 없으며 수 년간의 현장경험을 가진 전문가를 필요로 한다. 또한 매 주문별 달라지는 제품에 대해 설계로부터 자재발주 및 공정계획을 수립한다는 것은 특히 단납기 특성을 가진 개별생산방식에 있어서는 매우 비효율적이며 많은 시간을 필요로 한다.

이러한 상황을 감안하여 본 연구에서는 공정계획 전문가의 오랜 경험 지식을 바탕으로 공정계획 수립시 필요한 지식들을 획득 및 체계화하여 공정계획의 표현모델로 제시한 AND/OR 그래프를 이용한 POI-Feature 그래프를 표현할 수 있는 자료구조를 제시하였고 이러한 자료구조를 관계형 데이터 모델(Relational Data Model)로 표현하였다. 이를 이용하여 제품의 가공에 필요한 각 부품별로 지식베이스를 구축하였다. 그리고 이러한 지식베이스를 기반으로 현장의 풍부한 경험을 가진 전문가가 아니더라도 쉽게 수립할 수 있는 공정계획 알고리즘을 제시하였다.

2. 문제의 정의

본 연구의 연구대상은 수주생산의 형태이면서 전형적인 개별생산방식의 단납기 특성을 가진 전동기 제조업이다. 전동기 제조업에서 생산되는 제품들은 철심 적층 및 가공, 권선 제작 및 조립, 총조립, 시험, 도장, 검사 공정을 거쳐 완성되는데, 이

는 크게 해상 및 산업 발전기, 전동기와 같은 약 30여 종류의 제품들을 생산하고 있다. 전동기 제조업에서 생산되는 제품은 제품형식 구분, 프레임 크기, 극(pole)수, 전압과 주파수에 따라 모델이 달라진다.

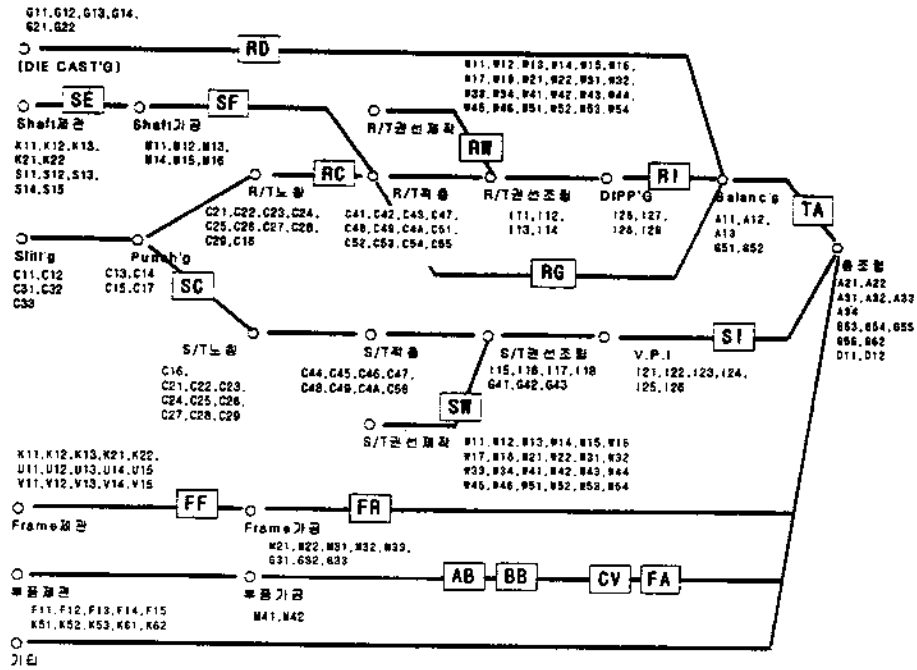
전동기 제조업에서는 제품들을 생산하기 위해 200여개에 달하는 단위작업과 25개의 중공정으로 구성되어 있다. 단위작업은 공정계획 및 일정계획 수립을 위한 공정의 최소단위로서, 이것은 작업내용(작업요소)의 집합으로 구성된다. 중공정은 제품을 구성하는 부품의 가공을 위해 유사한 단위작업을 그룹화하여 명명한 것이다. 단위작업의 구성은 가능하면 하나의 장비 중심으로 되어 있다. 각 제품의 특성에 따라 처리할 수 있는 장비군의 종류가 서로 다를 수 있다. 생산 가능한 제품과 장비군의 조합에 있어서는, 한 종류의 제품에 대해 생산 가능한 여러 종류의 장비군이 존재한다. 전동기 제조업에서는 모두 20여개의 부품가공경로(Routing)로 구성되어 있고, 각 제품 모델별로 거쳐가는 부품가공경로는 매우 다양하고 상이하다. 즉, 주문에 따라 제품모델의 변화가 다양하여 가능한 제품모델의 종류는 5백만 이상에 달한다.

이러한 부품가공을 위한 중공정과 단위작업을 전체적으로 도식화하면 <그림 2>와 같다. 여기서 제품모델에 따라 거쳐가는 중공정과 단위작업은 매우 다양하다.

전동기와 같은 단납기를 가진 개별생산에서는 설계 표준화 작업이 미비하기 때문에 수주발생시 신속히 제품모델을 결정하고, 제품모델의 가공에 필요한 부품과 라우팅의 선택을 위해서는 기존의 코드를 보완하여 새로운 코드체계를 확립하는 것이 필요하다.

이에 따라 수주번호는 11자리로 구성되어 있고, 그 가운데 제품구분코드가 내포되어 있다. 이러한 제품구분과 제품사양에 의해 결정되는 모델번호는 18자리로 구성되어 있고, 모델에 따라 여러 부품가공경로 중에서 어떠한 부품가공경로를 거쳐야 하는지를 알 수 있는 정보를 제공하는 부품작업코드에 대한 구성을 제시하고 있다. <그림 3>에서 보는 것처럼 모델번호와 부품작업코드는 18자리까지는 동일하다. 모델번호의 10자리까지만으로도 모델의 종류가 구분되기 때문에 부품작업코드에 의해 특정 모델이 어떠한 부품가공경로를 거쳐가는지를 알 수 있다.

앞에서 전동기 제조업에서 생산되는 제품이 제품형식 구분에 따라 모델이 다르게 구성되는 것을 살펴 보았다. 제품에 따라 제품군을 발전기, 권선형 전동기, 농형 전동기, 중형 전동기, 크레인 전동기로 분류하여 이러한 제품군과 모델에 따라



□ : Routing (예; RD ←중형 ROTOR), ○ : 중공정 (예;R170 ←DIE CASTING)
 ※ Routing RD(중형 ROTOR)는 중공정 R170(DIE CASTING) 으로 구성되고, R070은 G11~G22의 단위작업으로 구성된다.(예;G11 ←ROTOR CORE 가져옴)

〈그림 2〉 전동기 제조공정 구성도

- 1 - 3 : 제품형식 구분
(예 : 대형 전동기 : LB5, 중형 전동기 : TN8, 발전기 : FC6)
- 4 - 6 : 프레임 크기 구분
(예 : 대형 전동기 : 288, 중형 전동기 : 25M, 발전기 : 282)
- 7 - 8 : 극수 구분 (예 : 02, 04, 06)
- 9 - 10 : 전압, 주파수 구분 (예 : 02, 04, 06)
- 11 - 13 : 부품별, 작업별 특성 부여 코드
- 14 - 18 : E-SPEC 코드 또는 MODIFY 코드
- 19 - 20 : 부품작업 가공경로 식별 코드

〈그림 3〉 모델번호 및 부품작업코드 구성

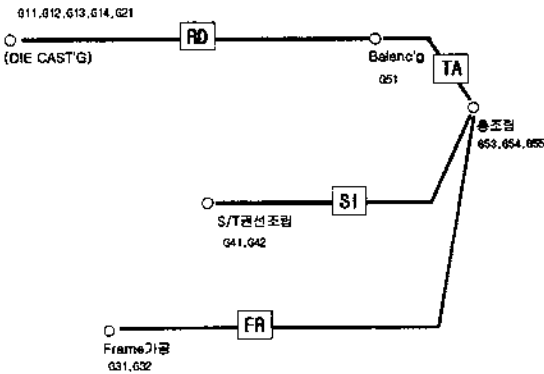
부품작업코드가 다르게 부여된다.

위에서 살펴본 바와 같이 전동기 제조업에서 생산되는 제품의 종류와 사양의 변화가 매우 다양하여 모델에 따른 상이한 부품작업코드가 구성된다. 다시 말해서 부품작업코드의 변화에 따라 부품을 가공하기 위한 부품가공경로의 조합은 매우 달라지게 된다. 구체적으로 부품작업코드에 대한 특성을 살펴보면 다음과 같이 요약될 수 있다.

- 1) 모델번호는 제품형식 구분에 따라 1,2,3 자리가 구분되고, 프레임의 크기에 따라 4,5,6 자리가 구분되고 극수에 따라 7,8 자리가 구분되고, 그리고 전압과 주파수에 따라 9,10 자리가 구분된다. 그리고 하나의 모델번호에 대해서 부품작업코드는 모델번호의 18자리까지는 같고 마지막 두 자리는 제품군이 달라지면 부품가공경로가 달라진다. 따라서 하나의 모델번호에는 여러개의 부품작업코드가 연결된다.
- 2) 부품작업코드의 19,20번째 자리의 식별코드는 선 부품작업코드의 후 중공정과 후 중공정의 단위작업 코드는 후 부품작업코드의 선 중공정 또는 중간 중공정과 그 중공

정의 단위작업 코드와 일치한다. 최종 부품작업코드 식별코드는 "TA"로 종료된다.

- 3) 같은 부품가공경로를 가지더라도 제품군이 달라지면 단위작업이 달라진다. 여기서 단위작업이 달라진다는 것은 제작구분이 직역 또는 내·외주로 서로 바뀔 수 있다는 것까지 포함된 의미이다.
- 4) 같은 제품군이지만 프레임 크기가 달라지면 부품가공경로가 같더라도 작업시간(m/h, mc/h)이 달라진다.
- 5) 같은 제품군이 같은 프레임 크기를 가지더라도 극수나 전압이나 주파수가 다르면 부품가공경로가 같더라도 작업시간이 달라진다.



<그림 4> 중형전동기 가공경로 선정 예 (TNB28M0406)

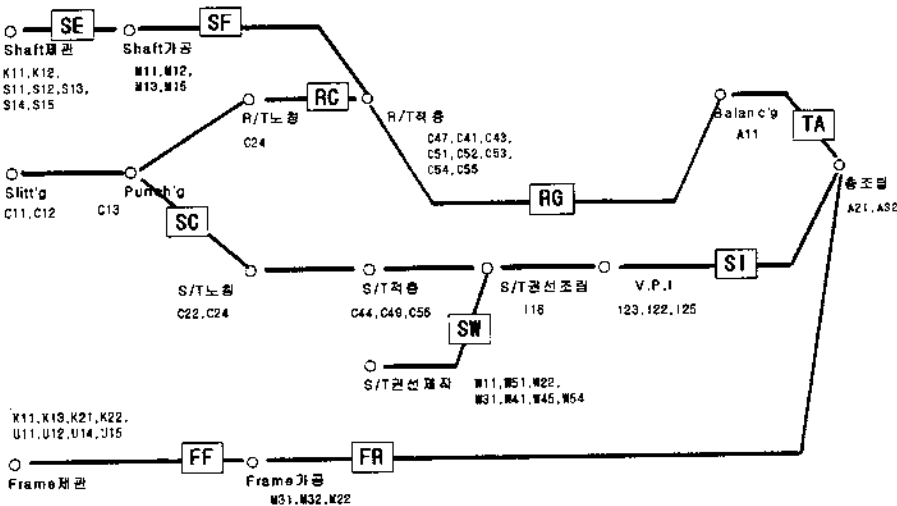
<그림 4>와 <그림 5> 그리고 <그림 6>은 제품군이 중형전동기와 농형전동기 그리고 발전기에 속하는 특정 제품모델의 부품가공경로 선정의 예를 제시하였다.

여기서 나머지 제품군에 속하는 권선형 전동기와 크레인 전동기는 <그림 6>의 발전기와 유사한 가공경로를 거친다.

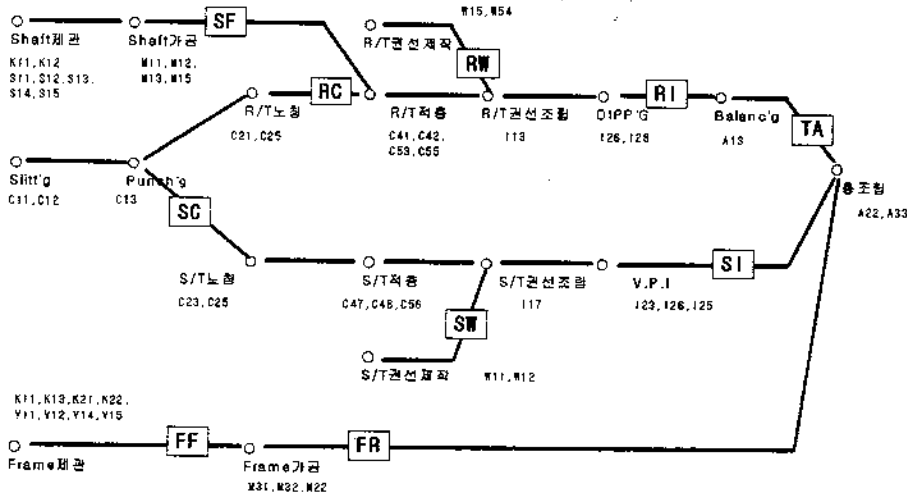
이와 같이 공정계획을 수립하기 위해서는 매 주문시마다 이러한 복잡한 절차를 공정계획 수립의 전문가가 아니고서는 결정할 수 없고, 전문가라도 많은 시간을 필요로 한다.

또한 이러한 경우 생산제품의 특징이 단납기이고 매 주문별 제품이 상이하기 때문에 수주와 동시에 생산계획을 수립해야 하는데 실제 표준화 작업이 미비하고 표준공정을 확립할 수 없는 공정계획 자체 수립의 어려움으로 생산계획 수립을 전산화하려는 노력에도 불구하고 잘 안되고 있다.

본 논문에서는 이러한 실정을 감안하여 주문된 제품모델이 거쳐가는 공정계획 수립을 비전문가가 전문가를 대신할 수 있는 과거의 경험을 바탕으로 부품과 공정을 연결하는 routing 정보를 탐색하여 매 주문시 공정계획과 일정계획을 신속히 수립할 수 있는 방안을 제시한다.



<그림 5> 농형전동기 가공경로 선정 예 (LA77120617)



〈그림 6〉 발전기 가공경로 선정 예 (FC65041006)

3. 공정계획의 표현 모델

공정계획(process plan)은 일정계획을 위해 필요한 정보들을 표현하기 위해 operation chart나 process routing summary 등을 사용하였으나[10], 이러한 표현들은 가공순서, 가공자원 등에 대한 대안들(alternatives)을 나타내기 어렵다는 단점을 지니고 있다.

또한 보다 효율적인 공정계획을 위한 기존의 전문가를 대신할 수 있는 컴퓨터를 이용하기 위해서는 오랜 경험을 가진 전문가의 지식을 일관성 있고, 체계적으로 표현할 수 있는 모델이 필요하다.

이러한 표준화 또는 자체적인 사용을 위한 ISO 공정계획 모델[10], ALPS(A Language for Process Specification)[11], AND/OR 그래프를 이용한 공정계획 모델[2] 등이 있다. AND/OR 그래프를 이용한 공정계획 모델에서는 노드(node)는 부품가공에 대한 정보를 표현하고 아크(arcs)는 그들 간의 AND/OR 선후 관계를 나타낸다.

이와 같은 공정계획 표현 모델은 특정 제품모델의 가공에 필요한 부품의 선택과 주어진 부품을 가공할 수 있는 대체 공정과 각 공정을 수행할 수 있는 단위작업에 대한 정보가 필요하며, 일정계획을 수립하기 위한 부품가공순서, 가공자원(machine, tool), 작업시간 등에 대한 정보와 그에 대한 여러 가지 대안을 표현할 수 있어야 한다.

3.1 공정계획 표현 방법

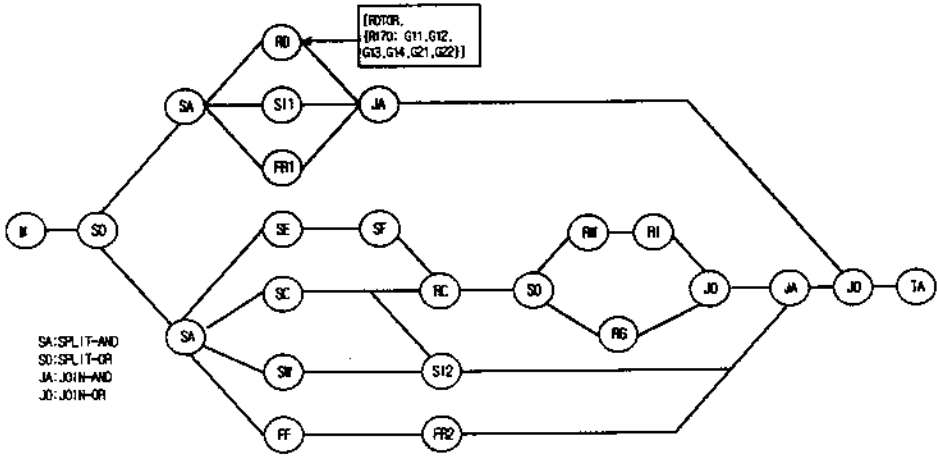
본 연구에서는 앞서 기술한 공정계획을 표현하기 위한 방법으로 AND/OR 그래프 개념을 이용한 POI-Feature 그래프를 사용한다. 이 그래프는 서로 다른 5가지 노드(Split-And, Join-And, Split-Or, Join-Or, POI-Feature)로 구성된다. 여기서 POI-Feature 노드는 부품가공정보(POI; Part Operation Information)를 표현한다. 일반적으로 이 노드는 자체적으로 또 하나의 POI-Feature 그래프를 구성할 수 있다.

〈그림 2〉와 같은 전동기 제조업에서의 제품군에 따른 부품가공경로 구성을 POI-Feature 그래프로 공정계획의 표현 모델을 〈그림 7〉에 제시하였다.

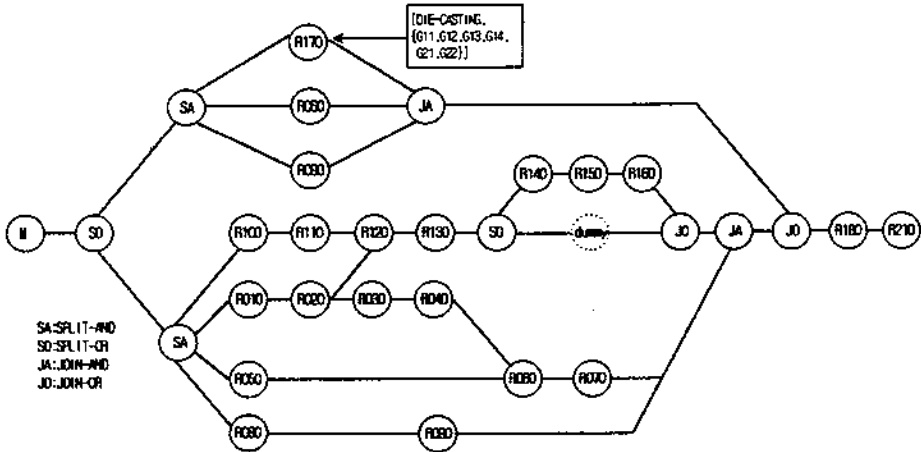
〈그림 7〉에 제시한 POI-Feature 그래프의 POI-Feature에 의해 다른 POI-Feature 그래프, 즉 〈그림 8〉과 같은 공정에 대한 POI-Feature 그래프를 제시할 수 있다. 마찬가지로 단위작업에 대한 POI-Feature 그래프로 공정계획을 표현할 수 있다.

〈그림 4〉와 같이 주문된 제품의 제품군이 중형전동기라고 한다면 공정계획 수립자는 〈그림 2〉의 공정 구성을 기반으로 수 많은 대안들 중에서 전문가로서의 의사결정을 통해 〈그림 9〉와 같이 이 제품모델을 생산하기 위한 구성부품 FR(Frame 가공), RD(중형 Rotor), SI(Stator 권선조립), TA(총조립)를 결정한다.

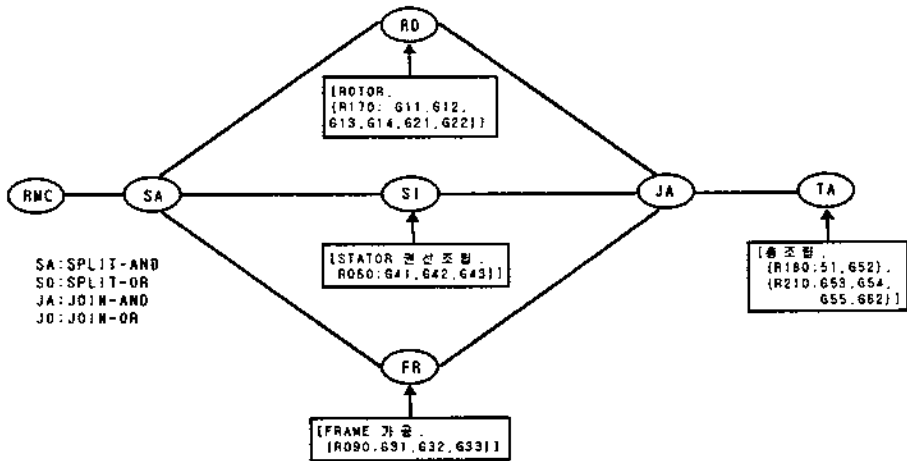
그리고 〈그림 10〉과 〈그림 11〉에서 각 부품 가공을 위한 공정과 단위작업을 결정한다. 제품모델(TNB28M0406)의 구성부



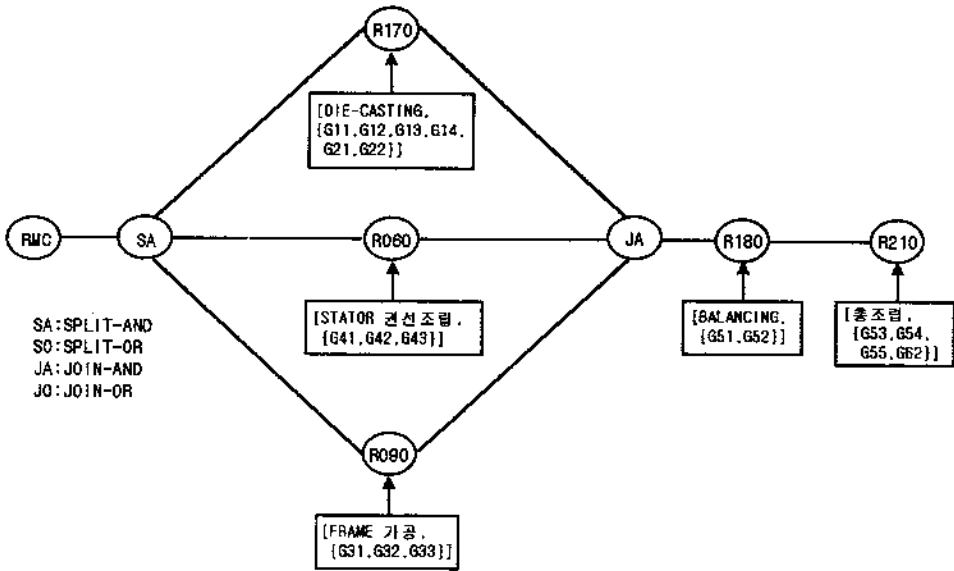
〈그림 7〉 부품가공경로에 대한 POI-Feature 그래프



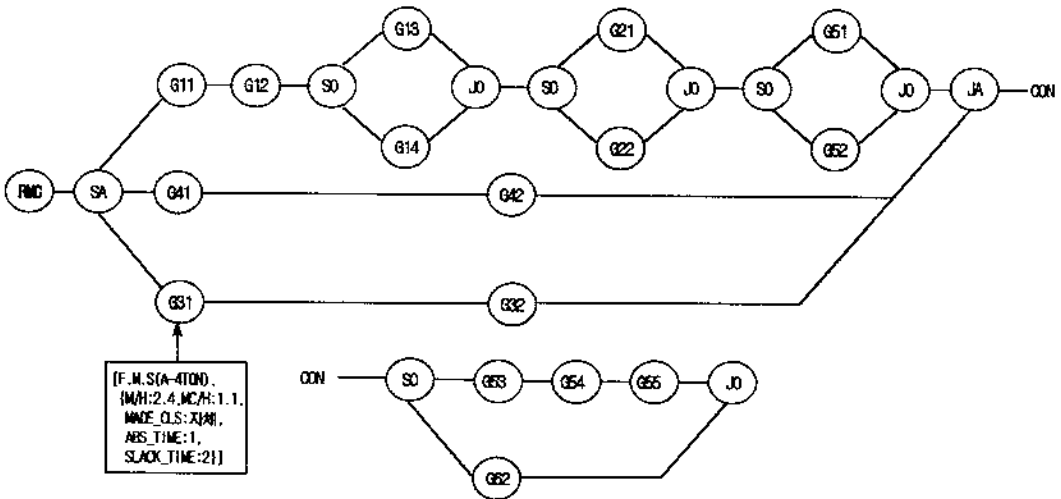
〈그림 8〉 공정에 대한 POI-Feature 그래프



〈그림 9〉 중형전동기 부품가공경로에 대한 POI-Feature 그래프



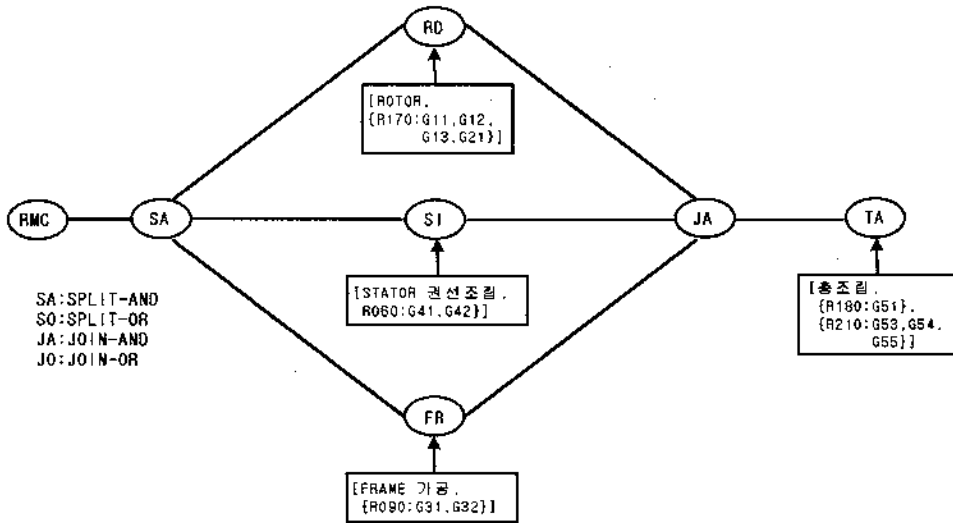
〈그림 10〉 중형전동기 공정에 대한 POI-Feature 그래프



〈그림 11〉 중형전동기 단위작업에 대한 POI-Feature 그래프

품이 FR(Frame)인 경우를 살펴보면 이 부품을 가공하기 위한 공정은 프레임 가공(R090)이고, 이 공정의 단위작업 G31(FMS: A-4ton), G32(세척), G33(자동창고;중형조립)들 중에서 G31, G32를 선택한다. 이러한 일련의 과정을 거쳐 결정된 TNB28M0406 라는 제품모델을 POI-Feature 그래프로 공정계획 표현 모델의 예를 〈그림 12〉에 제시하였다.

하지만 본 연구에서 제시한 〈그림 13〉의 자료구조를 통하여 각각의 AND/OR 그래프로 표현된 〈그림 9〉에서 〈그림 11〉까지의 과정을 통해 선택된 특정 제품모델의 공정계획을 표현 모델은 〈그림 12〉에서 제시한 POI-Feature 그래프만으로도 일정계획에 필요한 모든 공정계획 정보를 표현할 수 있다.



〈그림 12〉중형전동기 POI-Feature 그래프 (TNB28M0406)

3.2 공정계획 표현을 위한 자료구조

POI-Feature 그래프의 각 노드들은 〈그림 13〉의 (a)와 같은 자료구조로서 구성되며, 부품(parent node), 증공정(child node),

| Node ID | Node Type | No | pointer to (b) Node | pointer to (d) Node | pointer to (a) Node |
|---------|-----------|----|---------------------|---------------------|---------------------|
|---------|-----------|----|---------------------|---------------------|---------------------|

(a) Parent Node

| Node ID | Node Type | No | pointer to (c) Node | pointer to (d) Node | pointer to (b) Node |
|---------|-----------|----|---------------------|---------------------|---------------------|
|---------|-----------|----|---------------------|---------------------|---------------------|

(b) Child Node

| Node ID | Node Type | Num | Resource Information | pointer to (d) Node | pointer to (c) Node |
|---------|-----------|-----|----------------------|---------------------|---------------------|
|---------|-----------|-----|----------------------|---------------------|---------------------|

(c) Grandchild Node

| pointer to (d) node | pointer to (a)/(b)/(c)node |
|---------------------|----------------------------|
|---------------------|----------------------------|

(d) Successor List Node

- Node Type : POI, AND, OR
- No : If node type = POI, Successor List Node의 수
o/w; 첫공정 = '1', 중간공정 = '2', 마지막공정 = '3'
- Num : Sequence number
- Resource Information : 장비, 제작구분, m/h, mc/h, 절대공기, 여유공기, 등등
- pointer to (a)/(b)/(c) node :
If node = Parent node, pointer to (a) node
If node = Child node, pointer to (b) node
o/w, pointer to (c) node

〈그림 13〉 POI-Feature 그래프의 자료구조

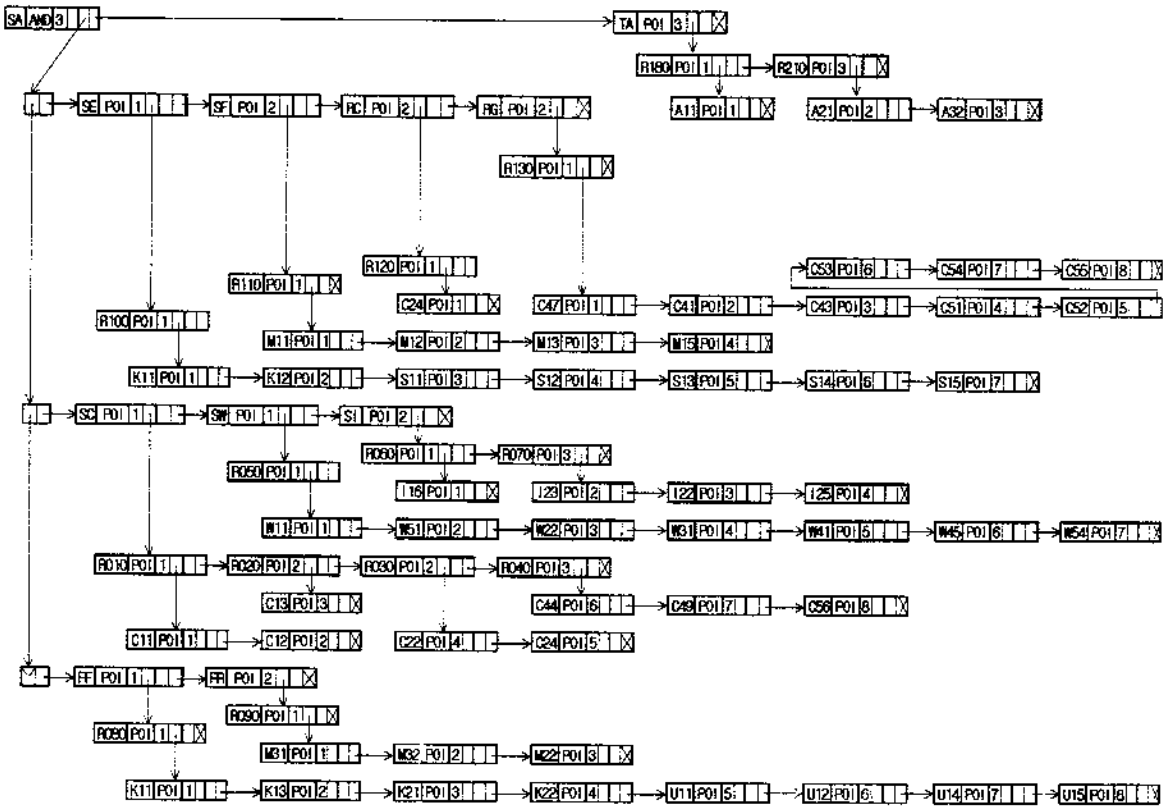
단위작업(grandchild node)들은 각각 (b), (c)와 같은 자료구조로서 구성되며 가공자원들에 대한 대안 및 후행 노드(successor node)의 표현을 위해 (d)의 자료구조를 사용한다.

하지만 노드가 특정 제품을 가공하기 위한 부품이라면, 그 부품가공을 위한 공정과 단위작업의 가공 정보에 대한 표현을 위해서 〈그림 13〉의 자료구조를 이용하여 중형전동기에 대해 〈그림 12〉의 POI-Feature 그래프를 〈그림 14〉와 같이 표현할 수 있다.

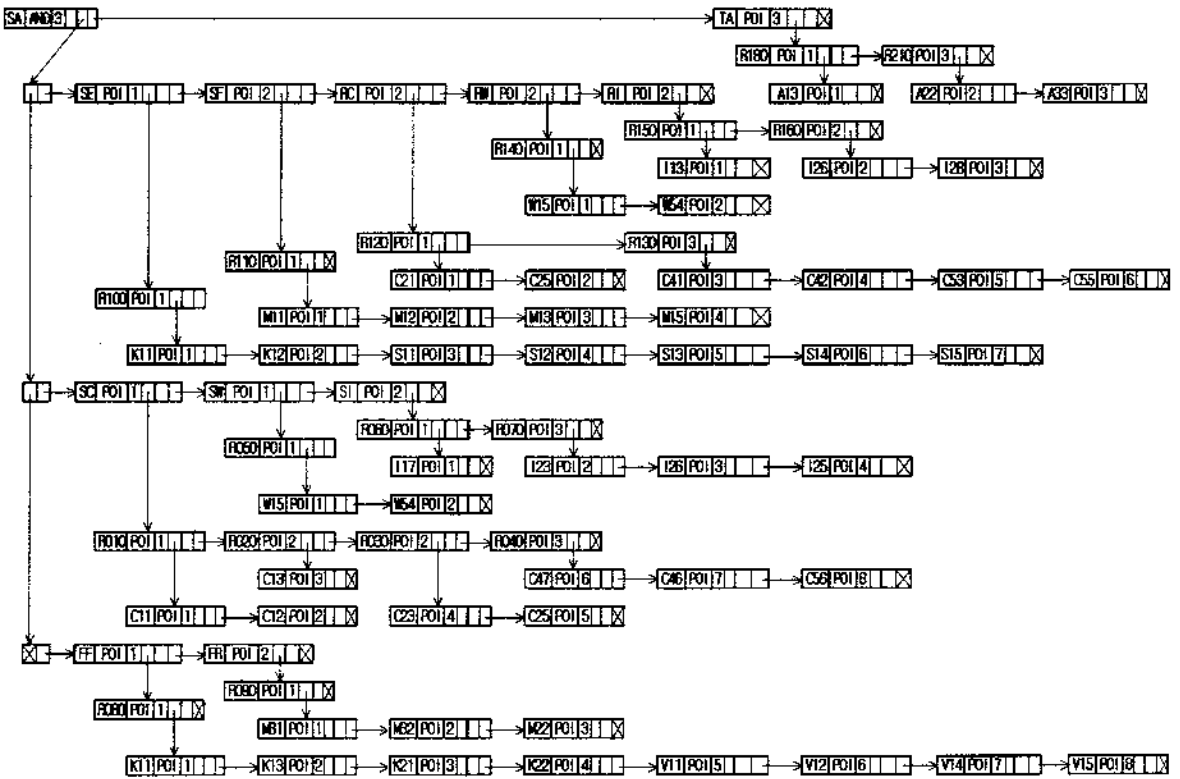
〈그림 14〉와 마찬가지로 〈그림 5〉와 〈그림 6〉의 농형전동기와 발전기에 대해 〈그림 7〉의 POI-Feature 그래프를 탐색한 결과를 〈그림 15〉와 〈그림 16〉와 같이 표현할 수 있다.



〈그림 14〉 중형전동기 POI-Feature 그래프의 자료 구조 표현의 예



〈그림 15〉 능형전동기 POI-Feature 그래프의 자료 구조 표현의 예



(그림 16) 발전기 POI-Feature 그래프의 자료 구조 표현의 예

3. 데이터베이스 모델링

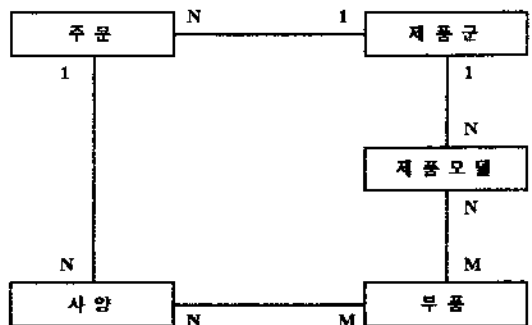
본 논문에서는 앞서 제시한 자료구조는 최근 상용화에 힘입어 그 유용성이 증가하고 있는 관계형 데이터 모델로 표현하였다.

이와 같이 제조 응용분야에서의 관계형 데이터 모델로 표현한 기존의 연구로는 Billo 등[12]에 의한 GT 데이터를 저장과 분류 코딩 시스템을 개발하기 위한 관계형 데이터 모델과 Dangerfield와 Morris[6]에 의한 보전관리, 재고관리, 생산일정 계획과 같은 GT 응용분야에서의 관계형 데이터 모델을 사용하였다.

그리고 Faizul 등[9]에 의한 GT 기법중의 하나인 생산흐름 분석을 관계형 데이터 모델로 표현하였다. 국내적으로는 대형 프레스 금형 생산을 위한 자동 공정계획 시스템 개발을 위해 지식을 관계형 데이터 모델로 표현한 연구가 있다[3].

앞서 제시한 자료구조를 관계형 데이터 모델로 표현하기 위해서는 주문, 제품군, 사양, 제품모델, 부품의 관계를 <그림 17>과 같이 정의할 수 있다. 본 연구에는 엔티티의 관계를 Chen[7]의 ERD(Entity Relational Diagram)를 사용하였다.

일반적으로 주문제품(N)은 여러 분류기준에 의해 제품군(1)으로 분류할 수 있다. 각각의 주문제품(N)은 특정 제품군(1)으로 분류되고, 특정 제품군(1)에는 여러 종류의 주문제품들(N)이 있다. 각각의 주문제품(1)은 여러 가지 사양(N)을 포함하고, 여러 가지 사양(N)의 결합은 하나의 주문제품(1)을 나타낸다. 특정 제품군(1)에 따라 여러 종류의 제품모델(N)이 있으며, 각각의 제품모델들(N)은 반드시 특정 제품군(1)에 속한다.

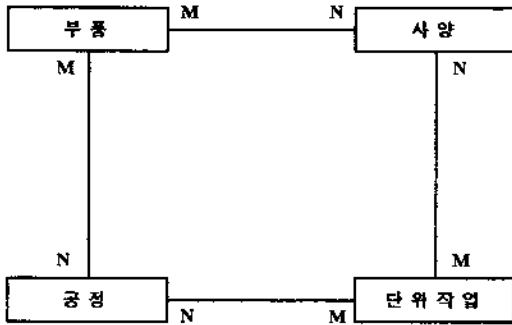


(그림 17) 주문/사양/제품모델/부품 엔티티(Entity)의 관계

특정 제품모델(N)을 제조하기 위한 여러 구성부품(M)이 필요하고, 특정 구성 부품(M)은 여러 제품모델(N)을 제조하는데 구성된다. 특정 사양(N)에 따라 여러 구성부품(M)이 필요하고 특정 부품(M)은 여러 가지 사양(N)에 공통적으로 사용될 수 있다.

따라서 제품군이 결정되고 주문에 의한 사양을 안다면 제품 모델이 결정되고 이 제품모델을 제조하기 위한 구성부품의 리스트를 알 수 있다.

제품을 생산하기 위한 가공공정정보, 단위작업, 작업시간은 구성부품의 사양에 의해 결정된다. 부품이 결정되면 수행될 공정이 어떤 것인지 결정된다. 부품의 사양과 공정에 의해 실제 부품 가공을 위한 단위작업이 결정된다.



〈그림 18〉 부품/공정/사양/단위작업 엔티티의 관계

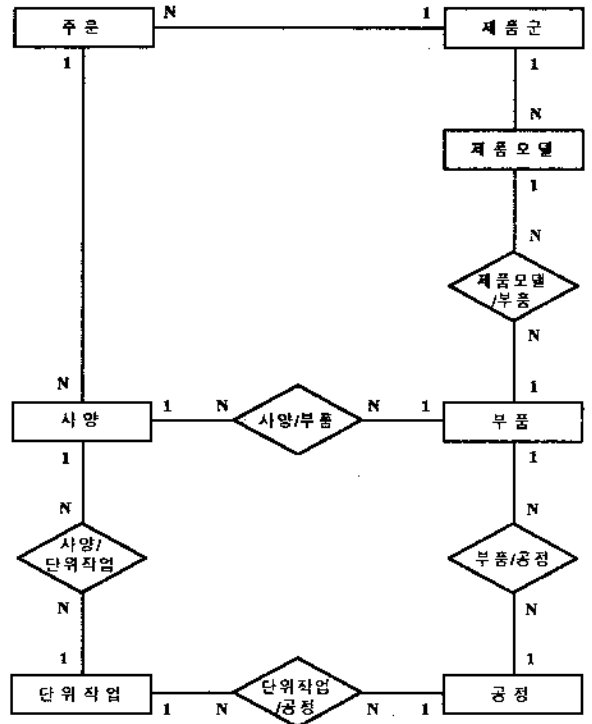
지금까지의 개념적 모델링 단계에서는 〈그림 17〉과 〈그림 18〉과 같이 현실상의 데이터를 그대로 옮겨오는 과정에서 자료의 중복성을 허락하였고, 각 엔티티간의 관계는 1:N 또는 M:N으로 표현하였다.

따라서 다음의 논리적 모델링 단계에서는 비정규화된 내용을 정규화하고 엔티티간의 M:N 관계를 교차 엔티티를 생성하여 해소시켜야 한다[8]. 이러한 결과를 〈그림 19〉에 제시하였다.

〈그림 19〉와 같이 논리적 모델링을 그대로 물리적 모델링으로 전환하여 적절한 수행도를 얻기는 어려우므로 경우에 따라서 비정규화가 필요하다[13]. 이러한 비정규화 작업을 위해서 앞에서 제시한 기존의 코드를 보완하여 새로운 효율적인 코드체계의 확립을 통해서 가능하다.

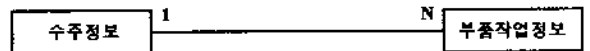
〈그림 19〉의 ERD를 물리적 모델링 단계에서는 〈그림 20〉과 같이 비정규화를 통해 수행도를 높일 수 있다.

〈그림 20〉에서 제시한 엔티티를 살펴보면 〈그림 17〉에서의



〈그림 19〉 정규화된 ERD

주문, 제품군, 사양, 제품모델 등의 각각의 엔티티에서 개선된 코드체계를 이용하여 주문 엔티티에서의 제품군 코드가 내포된 수주번호에 의해 사양과 제품모델의 정보를 통합하여 수주정보라는 엔티티로 비정규화하고, 〈그림 18〉에서의 부품, 사양, 공정, 단위작업 등의 각각의 엔티티도 이와 유사하게 모델번호와 부품작업코드에 의해 부품작업정보라는 엔티티로 비정규화할 수 있다.



〈그림 20〉 비정규화된 ERD

지금까지의 개념적, 논리적, 물리적 모델링을 통해 공정계획 전문가의 지식을 데이터로 표현, 저장 관리하는 지식베이스를 〈그림 21〉과 같이 구축할 수 있다. 이러한 지식베이스를 통해 공정계획 알고리즘을 구현할 수가 있다.

| 지식베이스 | | | |
|-------|-----------------|--------------------------|---|
| 표준정보 | 수주정보 | 공정계획정보 | |
| 코드정보 | 주문 사양 제품군 | 제품모델 부품 공정 단위작업 | 제품모델 / 부품 사양 / 부품 부품 / 공정 사양 / 단위작업 단위작업 / 공정 |
| | | 수주정보 | 부품작업정보 |

〈그림 21〉 지식베이스 구성

5. 공정계획의 알고리즘

5.1 공정계획의 역할

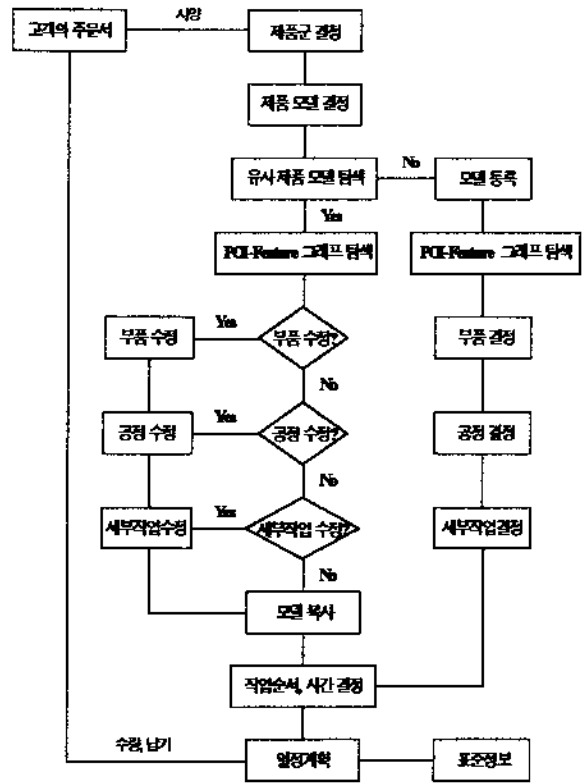
공정계획 정보를 이용하여 일정계획을 수립할 수 있도록 한다. 또한 기존의 공정계획 정보를 관리, 갱신하는 역할도 맡는다.

공정계획에서 수행하는 일은 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 첫째는 주문제품 가공을 위한 부품 선택과 부품 가공을 위한 자원(machine, tool)을 선택하는 일이다. 공정계획의 POI-Feature에는 작업을 수행할 수 있는 자원들에 대한 몇 가지 대안이 표현되어 있는데, 이 중 적합한 것을 선택하는 일이 공정계획에서 해야 할 일이다. 두 번째는 동일한 결과를 얻을 수 있는 여러 가지 가공 경로를 중 최적의 것을 선택하여 그 가공순서를 결정하는 일이다.

5.2 공정계획의 알고리즘

주문제품의 종류가 다양하고, 각 주문별 제품사양의 변화가 매우 심하고, 연간 처리되는 주문 수량이 많아 수주생산의 형태이면서도 단납기를 가지는 다품종 소량 생산에서는 설계에서부터 공정계획 수립까지 위의 기존 연구에 의한 전산화는 현실적으로 매우 어렵다.

이러한 상황을 감안하여 본 연구에서는 공정계획 전문가의 오랜 경험과 지식을 바탕으로 공정계획 수립시 필요한 지식들을 획득 및 체계화하여 공정계획의 표현모델로 제시한 POI-Feature 그래프를 표현할 수 있는 〈그림 13〉과 같은 자료구조를 이용하여 제품의 가공에 필요한 각 부품별로 지식베이스를



〈그림 22〉 공정계획 알고리즘

구축하였다.

이러한 지식베이스를 기반으로 수립되는 공정계획 알고리즘은 〈그림 22〉와 같이 5단계로 구성된다. 그 세부 단계별 절차를 살펴보면 다음과 같다.

단계 1 : 고객의 주문서로부터 수주번호에 내포된 제품구분 코드를 기반으로 제품구분 특성에 따라 제품군을 결정한다.

단계 2 : 단계 1에서 결정된 제품군과 주문 제품사양을 기반으로 제품모델을 결정한다. (제품사양 예: 제품 형식 구분, 프레임 크기, 극(pole) 수, 전압과 주파수 등)

단계 3 : 제품모델이 결정되고 나면 지식베이스를 통해 유사 제품모델이 존재하는지 탐색한다. 유사 제품모델이 존재하면 단계3.1로 간다. 존재하지 않으면 단계 4로 간다.

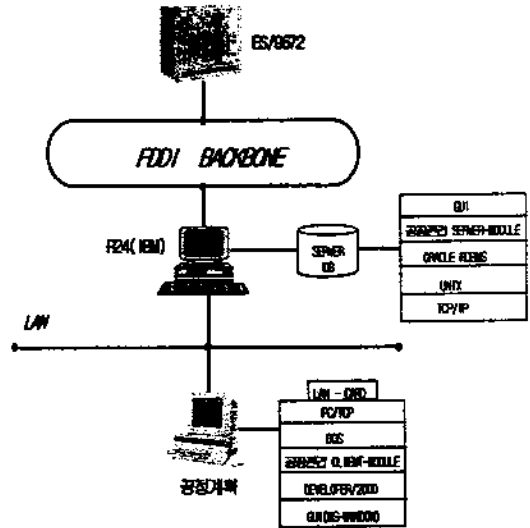
단계 3.1 : 유사 제품모델의 POI-Feature 그래프를 탐색하여

제품모델의 가공에 필요한 부품, 공정, 단위작업에 대한 수정여부를 결정한다.

단계 3.2 : 단계 3.1에서의 수정을 통해 기존 유사 제품모델을 복사하여 단계 2에서 결정된 제품모델로 변경한다.

단계 4 : 유사 제품모델이 존재하지 않는다면 지식베이스에 단계 2에서 결정된 제품모델을 신규 등록한 후 POI-Feature 그래프를 탐색하여 제품모델의 가공에 필요한 부품, 공정, 단위작업을 결정한다.

단계 5 : 단계 3.1 또는 단계 4에서 결정된 단위작업에 대해 작업순서, 작업시간, 자체와 외주에 대한 제작구분, 주요 및 보조 장비 등의 정보를 결정한다.



〈그림 23〉 시스템 구성도

본 논문에서 제시한 공정계획 알고리즘을 통하여 단순히 공정계획 전문가와의 인터뷰를 통해 획득한 지식들을 사용하여 구축된 지식베이스에서 초래될 수 있는 여러 가지 변화 요인에 대해서 지식베이스를 수정 및 보완을 할 때 지식들을 일관성 있게 수정할 수 있다.

또한 〈그림 22〉에서 보는바와 같이 일정계획은 고객의 주문서로부터 납기와 수량, 공정계획의 결과인 작업순서와 작업시간, 그리고 표준정보를 기반으로 수립된다. 이와 같이 본 논문에서는 공정계획과 일정계획을 통합적으로 고려하였다.

6. 시스템의 구현

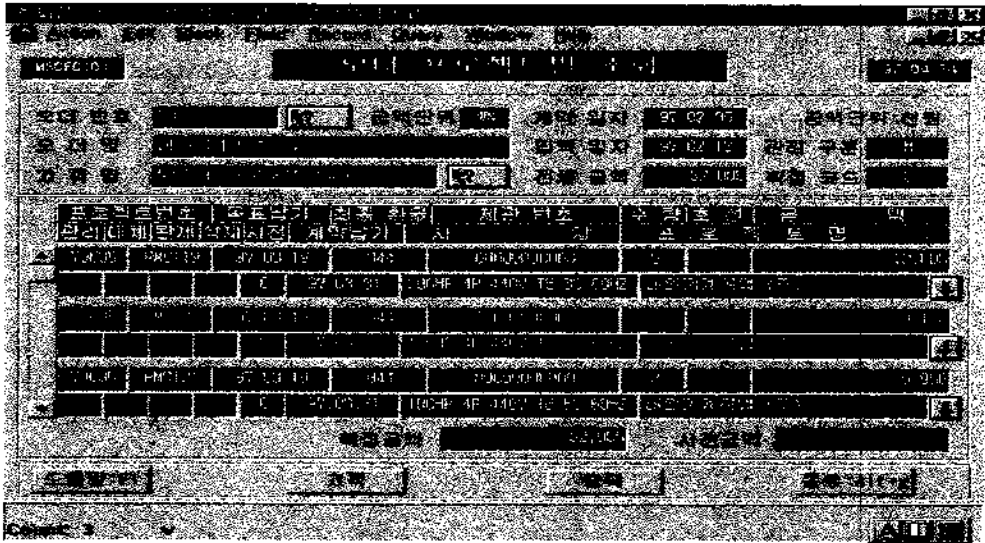
본 연구에서는 전동기 제조업의 경쟁력 강화를 위한 생산정보 처리 통합화를 통해 최적의 통합생산정보 관리시스템 (CIM : Computer Integrated Manufacturing) 구축을 위한 설계 및 자재정보시스템, 생산계획시스템, 작업계획시스템, POP(Point Of Production)시스템, 자동창고시스템 개발의 선결과제로 지식기반 공정계획 지원시스템을 개발하여 운영하였다.

효율적인 공정계획 수립은 수립자가 용이한 판단을 할 수 있도록 하는 공정계획 관련정보의 효율적인 표현기법과 체계적인 구조와 데이터 관리기술이 구축될 때 이루어질 수 있다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 본 연구에서 제안한 공정계획 알고리즘을 적용하여 연구대상인 전동기 제조업에서 지식기반 공정계획 지원시스템을 구축하여 운용하였다.

지식기반 공정계획 지원시스템의 구축 환경은 〈그림 23〉처럼 PC를 클라이언트로 사용하고 UNIX 기종인 IBM의 RS6000/R24를 서버로 사용하는 다운사이징 시스템이다.

| TABLE NAME : S_PARTCODE | | | | | | |
|-------------------------|-----------------|------------------|--------|-------|----------|-----|
| DESCRIPTION : 부품작업정보 DB | | | | | | |
| NO | FIELD - DESC | COLUMN - NAME | COLUMN | | | |
| | | | KEY | 형식 | TYPE | 길이 |
| 1 | 부품작업코드 | PART_MODEL_CODE | PK | NN, U | CHAR | 10 |
| 2 | | PART_CHAR_CODE | FK | NN, U | CHAR | 3 |
| 3 | | PART_SPEC_CODE | FK | NN, U | CHAR | 5 |
| 4 | | PART_ROUT_CODE | FK | NN, U | CHAR | 2 |
| 5 | 단위작업코드 | ACT_CODE | FK | NN, U | CHAR | 3 |
| 6 | 중공정 코드 | MID_CODE | | | CHAR | 4 |
| 7 | 제작구분 | MADE_CLS | | | CHAR | 5 |
| 8 | 주요장비코드 | MAIN_MACH | | | CHAR | 10 |
| 9 | 보조장비코드 | SUB_MACH | | | CHAR | 10 |
| 10 | 작업인원 | PART_MAN | | NN | NUMBER | 2 |
| 11 | 준비시간 | READY_TIME | | NN | NUMBER | 5,2 |
| 12 | 작업시간 | WORK_TIME | | NN | NUMBER | 5,2 |
| 13 | MC/H | MACH_HOUR | | | NUMBER | 7,2 |
| 14 | M/H | MAN_HOUR | | NN | NUMBER | 7,2 |
| 15 | 절대공기 | ABS_TIME | | NN | NUMBER | 4,1 |
| 16 | 여유공기 | SLK_TIME | | NN | NUMBER | 4,1 |
| 17 | 전단위작업 | P_ACT_CODE | | | CHAR | 3 |
| 18 | 후단위작업 | N_ACT_CODE | | | CHAR | 3 |
| 19 | 전 중공정코드 | P_MID_CODE | | | CHAR | 4 |
| 20 | 후 중공정코드 | N_MID_CODE | | | CHAR | 4 |
| 21 | 입력연번 | INPUT_SH_NO | | | CHAR | 6 |
| 22 | 입력일 | INPUT_DATE | | | CHAR | 8 |
| 23 | 장비수량 | MACH_QTY | | | NUMBER | 1 |
| 24 | 도면번호 | DRAW_NO | | | VARCHAR2 | 20 |
| 25 | 단위작업순번 | SEQUENCE_NO | FK, U | NN | NUMBER | 3 |
| 26 | 표준여부 | STD_FLAG | | NN | CHAR | 1 |

〈그림 24〉 부품작업정보 DB 구조

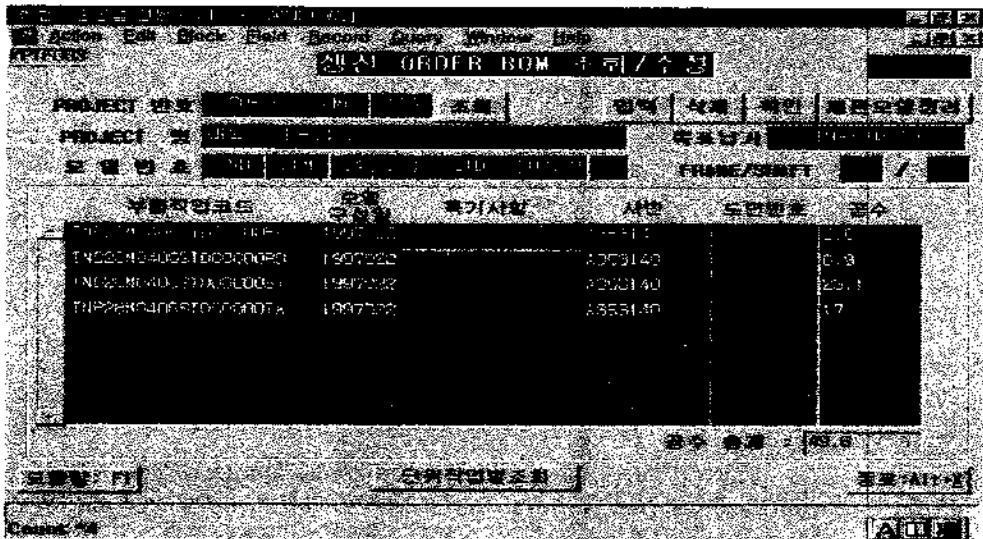


〈그림 25〉 수주정보 조회 화면

HOST로는 ES/9672를 사용하고, 개발환경은 UNIX 기종인 IBM의 R24를 서버로 사용하고 클라이언트로 사용하는 PC는 486급 이상으로 칼라 모니터와 LAN 카드를 포함하고 MS-WINDOWS와 PC/TCP가 동작할 수 있어야 한다. LAN 환경은 TCP/IP를 지원하는 PC용 ETHER-NET LAN 카드 및 프로

토콜을 사용한다.

서버 DBMS로 RDBMS(Relational Database Management System)인 ORACLE을 사용하고 서버와 클라이언트 사이의 데이터 전송을 위해 ORACLE의 SQL*NET TCP/IP(Transmission Control Protocol/Internet Protocol)를 사용하였다. 서버에서의



〈그림 26〉 제품모델 조회/수정 화면

프로그램 개발은 UNIX 운영체제 환경에서 C언어와 ORACLE의 PRO*C를 사용하였다. 클라이언트용 개발 도구로서 MS-WINDOWS에서 실행될 수 있고, 서버의 DB를 검색, 수정, 삭제할 수 있으며 FORMS 4.5, GRAPICS 2.5, REPORTWRITER 2.5를 통하여 다양한 형태의 출력을 GUI(Graphical User Interface)로 보여 줄 수 있는 기능이 있는 ORACLE의 DEVELOPER 2000을 사용하였다. 클라이언트에서의 프로그램 개발 언어로는 SQL과 PL/SQL을 사용하였다.

POI-Feature 그래프를 사용한 공정계획의 표현 모델을 나타내는 자료 구조의 효율적인 운용을 위해서는 정보자료가 일관성 있는 체계를 가지도록 앞에서의 데이터베이스 모델링을 통하여 구축된 DB구조의 한 예로 부품작업정보 DB 구조를 <그림 24>에 제시하였다.

이상과 같이 Database로 구축된 정보의 등록, 검색, 수정 및 삭제 등 다양한 기능을 수행하고, 목적에 따라 신속하게 운용하기 위해 사용자의 편의를 위한 GUI환경을 제공하였다. 이를 기반으로 본 연구에서 제시한 공정계획 알고리즘을 적용하였다.

공정계획 수립자는 <그림 25>의 화면에서 수주정보를 조회하고, 임의의 수주번호(70635 RMC120)를 선택하여 제품군(RMC)과 사양을 조회한다. 그리고 <그림 26>의 화면을 통해

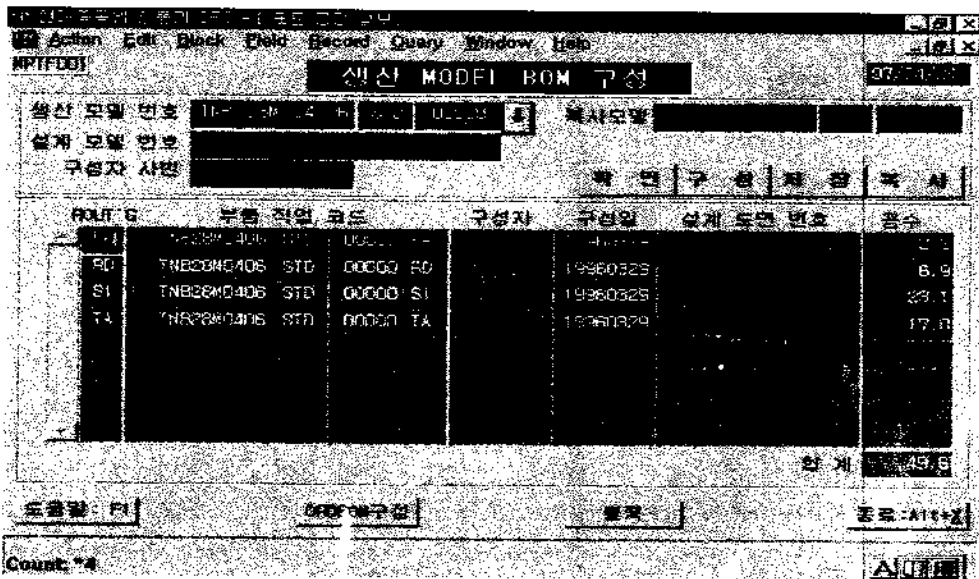
서 조회한 내용을 기반으로 수주번호에 해당하는 모델번호(TNB28M0406)를 구성한다. 앞서 제안한 알고리즘의 단계2까지의 내용이다. 그리고 제품모델 구성 화면에서 구성된 모델번호(TNB28M0406STD00000)에 부품작업 가공경로 식별코드 FR, SI, RD, TA가 추가된 4개의 부품작업코드가 구성된다.

마지막으로 앞서 구성된 부품작업코드별로 부품가공을 위한 중공정과 단위작업을 결정하고, 각 단위작업별로 가공시간, 가공순서, 제작구분, 주요 및 보조 장비등의 정보를 결정한다.

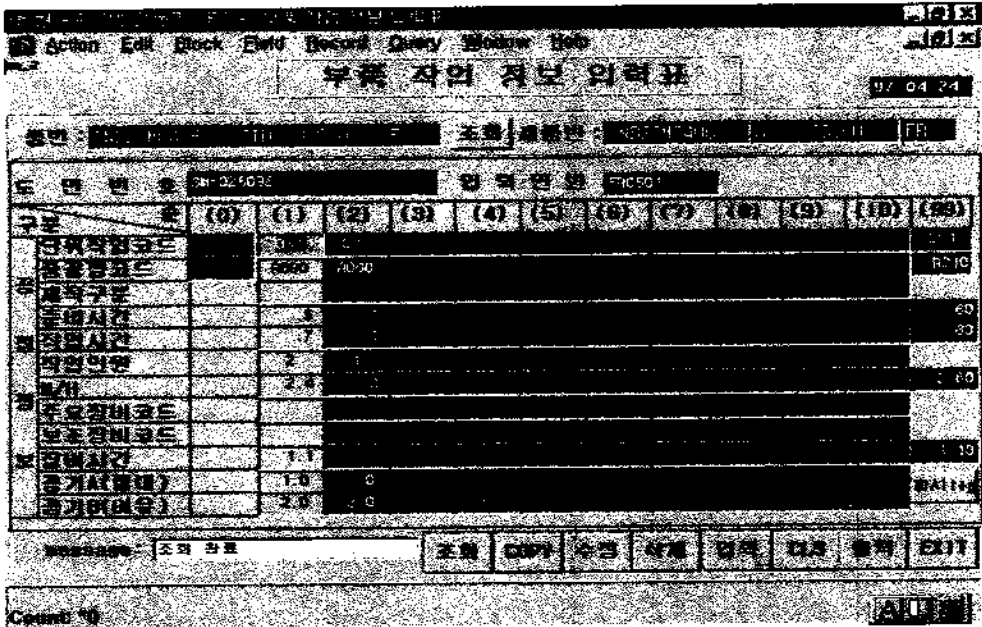
여기에서 만약 제품모델 구성시 유사 제품모델이 존재한다면 <그림 26>의 화면에서 이 모델을 조회하여 수정한 후 <그림 27>에서 구성된 모델번호와 부품작업코드를 등록한다. 하지만 유사 제품모델이 존재하지 않는다면 제품모델 구성 화면에서 신규 등록을 한 후 <그림 9>에서 <그림 12>까지의 과정을 통해서 결정된 정보들을 <그림 27>과 <그림 28>의 화면에서 부품작업코드를 구성하고 부품작업정보를 입력한다. 앞서 제안한 알고리즘의 단계 5까지의 내용이다.

이러한 공정계획의 정보는 바로 일정계획을 위한 정보로 전달되는데 이러한 공정계획과 일정계획의 통합을 통해 수립된 예를 <그림 29>에 제시하였다.

본 연구에서 제안한 공정계획 알고리즘을 적용하여 연구대상인 전동기 제조업에서 지식기반 공정계획 지원시스템을 구



<그림 27> 부품작업코드 구성 화면



〈그림 28〉 부품작업정보 입력 화면

축하여 운용한 결과 일관성 있고 신속한 공정계획의 수립으로 인해 모두 5년 이상의 동일한 업종에서 공정계획 분야에 종사한 5명의 공정계획 전담반의 업무를 1명으로 줄이는 공수절감의 효과를 가져왔다.

| 주문 | 163600115 | | | | | | | | | |
|------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 날기 | 1987-05-05 | | | | | | | | | |
| 부품 | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 |
| 공정 | 1170 | 1000 | 1000 | 1100 | 1100 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 |
| 종합량 | 5/19 | 5/19 | 5/19 | 5/15 | 5/23 | 5/23 | 5/23 | 5/23 | 5/23 | 5/23 |
| 단위작업 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 |
| 소일량 | 5/19 | 5/20 | 5/23 | 5/22 | 5/19 | 5/19 | 5/15 | 5/20 | 5/23 | 5/22 |
| 가공시간 | 0.5 | 1.4 | 1.8 | 2.2 | 2.4 | 0.2 | 2.1 | 6.4 | 1.9 | 1 |

〈그림 29〉 통합 공정계획 및 일정계획의 예

또한 〈그림29〉와 같이 임의의 수주에 대해 수십초 이내에 공정계획과 일정계획을 수립할 수 있는 획기적 시간단축의 향상을 가져왔다.

7. 결론

수주생산을 하는 제조업의 경우 제품의 설계는 주문에 따라 달라지며 따라서 제조공정이나 작업방법도 제품에 따라 달라진다. 또한 수주생산의 형태이면서도 단납기를 가지는 개별생산방식의 다품종 소량생산에서의 제품사양을 만족하는 생산공정계획 및 생산시스템의 특성을 가능한 빠르게 반영하는 것이 중요하다.

또한 주문된 제품생산을 위한 전체 생산일정에 비해 설계부문에 소요되는 일정이 상당히 많은 부분을 차지하고 있기 때문에 설계부문의 일정이 완료된 후에 설계 정보를 추출하여 공정계획을 수립하고 이를 기반으로 일정계획 수립과 작업계획 및 작업지시를 할 경우에는 전체 생산일정이 지연되어 고객이 요구하는 단납기를 만족시킬 수 없는 문제점이 발생한다.

따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서는 고객의 주문이 접수되는 시점에서 설계부문의 일정과 생산부문의 일정을 동시에 진행하여 주문제품의 전체 생산일정의 단축으로 고객의 요구에 따른 단납기를 만족시키는 것이 매우 중요하다.

이러한 특성을 가진 전동기 제조업에서의 생산을 계획하고 통제하는 전산화를 위해 도면 정보로부터 공정계획을 추출하

는 기존의 연구와는 달리 고객의 주문서로부터 제품 사양을 기반으로 공정계획을 수립하는 방안을 제시하였다.

생산시스템을 운영하는데 필수적인 공정계획 표현 모델을 제시하고 그 모델을 토대로 공정계획의 역할과 수립 알고리즘을 제안하고 이를 기반으로 공정계획을 컴퓨터가 자동으로 생성할 수 있도록 공정에 관한 지식을 관계형 데이터 모델로 표현하였다.

이러한 과정을 통해 ORACLE RDBMS를 사용하여 지식기반 공정계획 지원시스템을 구축하였다. 이러한 지식기반 공정계획 지원시스템을 통하여 시간단축의 효과뿐만 아니라 비전문가라도 손쉽게 공정계획을 수립할 수 있는 방법을 제안하였다.

【참고 문헌】

[1] 몽명달, 김정자, “금형 생산관리를 위한 응용 소프트웨어의 개발,” 산업공학, Vol.9, No.2, pp.143-158, 1996.

[2] 김화진, 조현보, 정무영, “Heterarchical SFCS를 위한 가공기계의 Planner 모듈 개발,” 대한산업공학회지, Vol.22, No. 4, pp.719-739, 1996.

[3] 손주찬, 백종명, “대형 프레스금형 생산을 위한 자동공정 계획 시스템 개발,” 96 춘계 IE/MS 공동학술대회 논문집, pp.358-361, 1996.

[4] 전성범, 박갑규, 신기태, 김기동, 박진우, “현장 상황을 고려한 회전현상 부품의 공정계획 시스템 구축과 운영에 관한 연구,” 산업공학, Vol.7, No.3, pp.125-135, 1994.

[5] 최홍태, 반갑수, 이석희, “프레스 금형의 특정형상 인식에 의한 가공데이터 자동변환,” 산업공학, Vol.7, No.3, pp. 181-191. 1994.

[6] Dangerfield, B., and Horris, J., “Flexibility of relational database in manufacturing applications,” Production and Inventory Management, Vol.31, pp.69-73, 1990.

[7] Chen, P., “The Entity Relationship Approach to Logical Database Design, QED Information Science,” DataBase Monograph Series, No.6, 1977.

[8] David, K., Database Processing, Science Research Associates, pp.131-139, 1988.

[9] Faizul, H., Mahesh, K., and Raja, M. K. “The use of Relational Database, Management Systems (DBMS) for Information Retrieval in A Group Technology (GT) Environ-

ment,” Computers and Industrial Engineering, Vol.26, No. 2, pp.253-266, 1994.

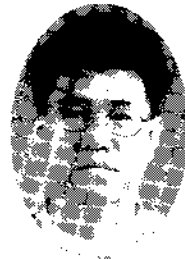
[10] Lee, K., “Formal Integration Process planning interface for a Shop Floor Control for CIM,” Ph.D. Dissertation, Pohang University of Science and Technology, 1994.

[11] Lee, K., Wysk, R. A., and Smith, J. S., “Process planning interface for a Shop Floor Control architecture for Computer Information Manufacturing,” International Journal of Production Research, Vol.33, No.9, pp.2415-2435, 1994.

[12] Billo, R.E., Rucker, R., and Shunk, D.L., “Enhancing group technoloy modeling with database abstraction,” Journal of Manufacturing Systems, Vol.7, No.2, pp. 95-106, 1988.

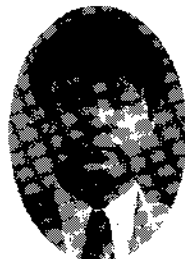
[13] Rodgers, U., “Denormalization : Why, What, and How?,” Database Programming & Design, Vol.2, No.12, pp.46-53, 1989.

[14] Toby, J. Teorey, Database Modeling & Design - The Fundamental Principles, Morgan Kaufmann, 1994.



송정수(宋正守)

1990년 울산대학교 산업공학 학사
 1992년 건국대학교 산업공학 석사
 현 재 울산대학교 수송시스템 공학부 박사과정
 관심분야 생산정보관리시스템, 공정관리, DATABASE APPLICATION 등



김재균(金在均)

1979년 인하대학교 산업공학 학사
 1981년 한국과학기술원 산업공학 석사
 1992년 한국과학기술원 경영과학 박사
 현 재 울산대학교 수송시스템 공학부 교수
 관심분야 CIM, PDM, DB 응용, 정보표준화, WEB APPLICATION, 통신망 설계 등



이재만(李在萬)

1985년 울산대학교 산업공학 학사
현 재 현대중공업 중전기 사업본
부 전동기 생산부 제직
관심분야 CALS의 제조현장 적용 등

97년 6월 최초접수, 97년 12월 최종수정