

FMS의 고장진단을 위한 전문가 시스템의 구축방안에 대한 연구[†]

이원영*

A Framework for an Expert System for Fault Diagnosis in an FMS

Won Young Lee*

ABSTRACT

The objective of this paper is to present a framework for an expert system for fault diagnosis in an FMS(Flexible Manufacturing System). First, a system is analyzed structurally and functionally, giving the relationships between the system's components. These relationships, represented by strata, are then stored in a deep knowledge base(DKB). Next, the specific knowledge, represented by echelons, about the symptoms and their probable causes for each component is stored in a shallow knowledge base(SKB) in the form of rule. When the fault diagnosis process begins, it starts to search the DKB and then the SKB, which is called hybrid reasoning in artificial intelligence.

1. 서 론

FMS(Flexible Manufacturing System : 유연 생산시스템)는 구성요소로서 기계장비, 자재운반 시스템, 그리고 제어시스템을 포함하는 시스템이다(Groover and Zimmers[1984]). 이러한 FMS의 고장진단을 하기 위한 방법으로서 전문가 시

스템(Waterman[1986])을 구축하는 방안을 제시하려는 것이 본 논문의 목적이다.

FMS는 공장가동을 융통성있게 효율적·효과적으로 운용하기 위한 시스템이며, 국외에서는 이미 실행중이고 국내에서는 아직도 몇 개의 공장에서만 실험적으로 가동이 되고 있다. 따라서 생산성 제고를 위해 필요한 FMS의 도입은 초기단

† 이 논문은 1993년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

* 서울산업대학교 산업공학과

계에서부터 실제로 설치되어 운용될 때까지의 단계 뿐 아니라 가동시에 발생할 수 있는 고장에 즉시 대처할 수 있는 방안도 면밀히 검토되어야 한다.

가. 고장진단

징후(symptom)란 한 시스템의 구성요소가 제대로 기능을 발휘하지 못하는 사실을 말하며, 이 징후는 시스템이 기대한 것처럼 작동하지 않을 때에 발생하게 된다. 그러므로 징후가 있을 때에는 반드시 그 징후를 유발하는 원인이 한 개나 그 이상 존재하게 되는데, 이 원인을 찾아내는 것이 고장진단이다. 고장진단(diagnosis)의 과정은 오류탐지(fault detection), 오류국소화(fault localization) 및 오류분리(fault isolation)로 볼 수 있어서(Khaksari[1988]), 간단히 말하면 고장원인을 찾기 위한 탐색절차로 설명될 수 있다.

나. FMS의 구성 요소 분석

FMS는 CIMS(Computer-Integrated Manufacturing System : 컴퓨터 통합생산시스템)라는 용어와 비슷하게 쓰이기는 하나 일반적으로는 FMS를 CIMS의 부분집합으로 본다. 즉, FMS에 다른 기능들이 추가되어 CIMS가 된다고 볼 수 있다.

우선 FMS의 구성요소를 보면 기계장비, 자재 운반 시스템, 컴퓨터통제시스템 및 인적 자원이 있다. FMS나 CIMS가 고도의 자동화된 생산시스템을 지향하고 있으나 그래도 인적 자원은 필요하다. 그렇지만 본 논문에서 인적 자원은 연구 대상이 아니며, '감독적인 통제' 측면에서 볼 때 컴퓨터 통제시스템은 FMS전체를 통제한다고 볼 수 있으므로 FMS를 하나의 계층적(hierarchi-

cal)시스템으로 간주할 수 있다.

FMS의 구성요소의 기능상으로는 시스템 전체가 두 개의 주요한 기능적 블록으로 나뉘어질 수 있다. 즉, 기계장비와 자재운반시스템이다. 물론, 이 두 가지 주요 요소는 더 자세하게 분류될 수도 있다. 예를 들면, 자재운반시스템은 1차(primary : 주로 '이송')와 2차(secondary : 주로 '집어서 제자리에 놓음')로 세분될 수도 있다.

본 논문의 목적은 이러한 FMS를 계층적 시스템이론에 근거하여 분석함으로써 고장진단이 효율적으로 신속히 수행되도록 하는 전문가 시스템을 구축하는 방안에 대해 논한다.

2. 계층적 시스템이론과 전문가 시스템

가. 계층적 시스템이론 연구

계층적 시스템이론(Mesarovic[1972])은 분류(classification)에 대한 기본적인 개념과 일반적인 계층적(hierarchical)시스템에 대한 연구를 논하고, 조정(coordination)문제에 대한 개념적 기초(foundation)를 제공하며, 마지막으로 사람이 만든 시스템에 적용할 때에 아주 적합한 계층적 시스템의 여러가지 특성을 다루고 이러한 특성들이 왜 널리 쓰이는지에 대한 설명을 제공해준다.

가) 계층조직의 특색

다수준 계층적(multilevel, hierarchical structure)의 계층조직(hierarchy)은 다음 3가지 특색을 가지고 있다.

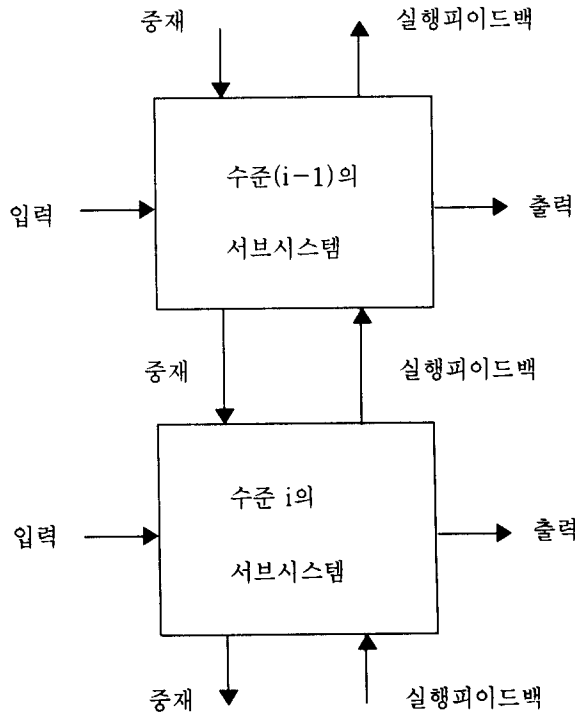
- ① 전체적인 시스템을 구성하는 서브시스템의 수직적 배열(vertical arrangement)
- ② 상위수준에 있는 서브시스템의 조치 우선권

(priority of action) 또는 중재권(right of intervention)

③ 하위수준에 있는 서브시스템의 실제 수행에 대한 상위수준에 있는 서브시스템의 의존성(dependence)

수직적 배열에서는 <그림 1>에서 보는바와 같이 전체 시스템을 서브시스템의 상호작용의 집합(family)으로 보며 각 서브시스템은 입력과 출력을 가지고 있다.

어떤 수준에 있는 서브시스템의 운용도 그보다



<그림 1> 계층조직의 수준간의 수직적 배열

위에 있는 수준(대개 그 바로 위에 있는 수준)으로부터 직접적으로 또 확실하게 영향을 받는다. 이 영향력은 하위수준을 좌우하며, 상위수준의 조치나 목표에 있어서의 중요도를 반영하게 된다. 이 영향력을 중재(intervention)라 부르며 중재권의 역할을 강조하기 위해서 상위수준에 있는 서브시스템을 상위 개체(supremal unit), 하위수준에 있는 서브시스템을 하위개체(infimal unit)라고 부른다.

조치우선권은 명령식으로 아래로 향하지만 전체

적 시스템의 성공은 시스템 안에 있는 모든 개체의 실행(performance)에 의해 좌우된다. 사실상 실행이란 피이드백(feedback)과 중재에 대한 반응으로 볼 수 있다. 이러한 실행의 상호의존성은 환경과의 교환(exchange)이 주로 또는 독점적으로 시스템의 하위수준에서 일어날 때에 명확해진다.

나) 계층조직의 형태

계층적 시스템의 분류를 나타내는 형태에는 세

가지가 있는데, 다른 과학에서와 마찬가지로 분류는 부분(partition)만 보아서는 이해되지 않으며, 오히려 그 분류형태의 차이들을 인식함으로써 잘 이해될 수 있다. 그 세 가지 형태는 다음과 같으며, 어떤 시스템이든지 이 세 가지 형태 중 하나나 둘 이상의 형태를 동시에 취할 수도 있다.

① 층(stratum) ; 서술(description) 또는 추상적 수준(abstraction level)

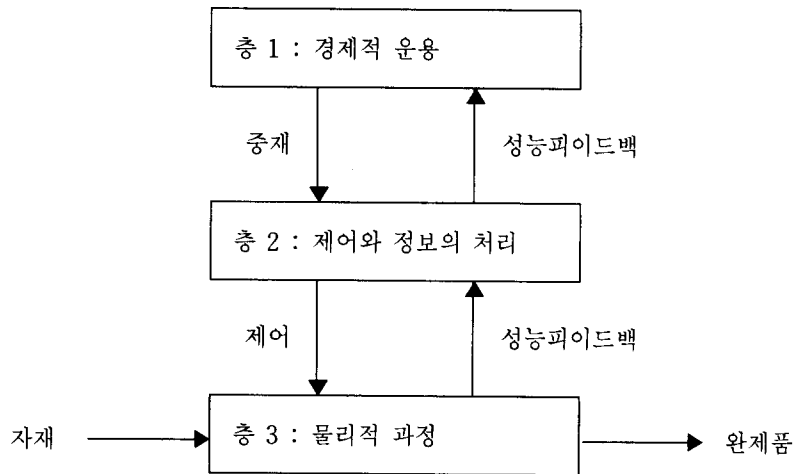
② 중간층(layer) ; 의사결정난이도(decision complexity)의 수준

③ 계급(echelon) ; 조직적인 수준(organizational level)

한 시스템은 서로 다른 수준의 추상적 측면에서

본 시스템 행동(behavior)에 중점을 두는 모델의 집합(family)으로 분석이 될 수 있다. 각 수준에 대해 그 시스템의 행동을 서술하는 특징, 변수, 법칙 및 원칙이 존재한다. 이러한 계층적인 서술이 제대로 되기 위해서는 가능하다면 한 수준의 기능이 다른 수준의 기능과 서로 독립적인 필요가 있다. 이러한 시스템을 층화된(stratified) 시스템이라 하며, 이 시스템을 서술하는 데에 쓰이는 추상적 수준을 층(stratum)이라 한다.

자동화된 공장을 세 개의 층으로 이루어진 모델로 표현하면 <그림 2>와 같이 자재와 에너지의 물리적 처리, 제어와 정보의 처리, 효율과 수익성에 근거한 경제적 운용등으로 나타낼 수 있다.



<그림 2> 자동화된 공장의 세 층 모델

두 번째 형태인 중간층(layer)은 주로 복잡한 의사결정 과정을 요하는 시스템의 계층조직에 쓰인다. 의사결정시 간과해서는 안 될 두 가지 사항은 1) 의사결정은 지체없이 이루어져야 하고 2) 불확실성과 불충분한 지식이 가능하면 배제되는 것이 좋다는 것이다. 사이먼(Simon[1960])이 제안한 의사결정 모델은 인간의 의사결정 단계를

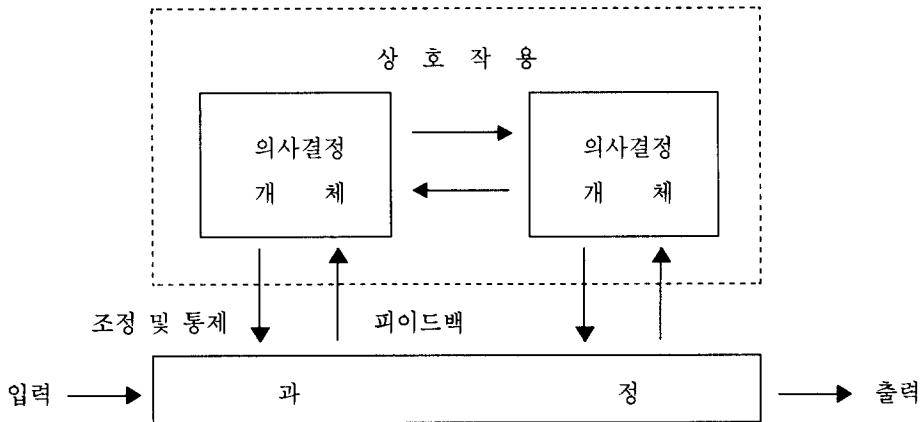
탐색, 설계 및 선택으로 보고 있으며, 여기서의 중간층도 이에 따라서 대개 탐색, 불확실성 감소 및 선택으로 계층적 조직이 이루어진다. 물론 의사결정 문제의 난이도에 따라 이 세가지 중간층 이외에 많은 중간층이 계층적 조직에 포함될 수 있다.

마지막 형태인 계급(echelon)으로 이루어지는

계층적 조직이 되기 위해서는 1) 시스템이 겉에서 보기에 확실하게 인정될 수 있고 서로간에 상호작용을 하는 서브시스템의 집합으로 이루어져야 하며, 2) 몇 개의 서브시스템은 반드시 의사결정을 해야 하는 개체(unit)이어야 하고, 3) 의사결정 개체들이 계층적으로 배열이 되어야 한다는 것이다. <그림 3>에 간단한 형태의 계급을 가진 계

층적 구조가 보여지고 있다. 점선으로 나타내어진 부분이 의사결정 시스템을 나타낸다. 여기서 중요한 점은 상위 수준에 있는 개체가 하위수준에 있는 개체의 활동을 완전히 통제하지는 않는다는 것이다. 다시 말하면, 하위수준에 있는 개체에게 독자적 행동의 자유가 부여되어 있다는 것이다.

지금까지 언급한 세 가지 형태의 계층조직을 요



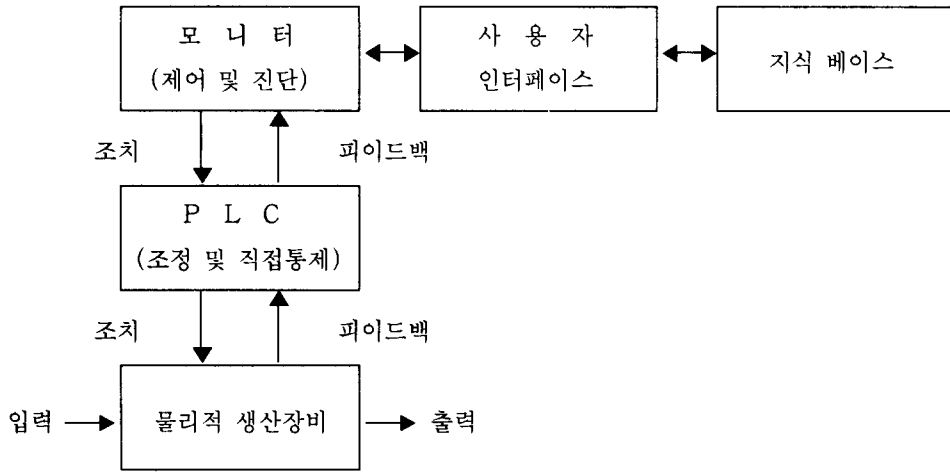
<그림 3> 단일 수준의 계급 시스템

약해 보면, 층(strata)의 개념은 모델링에 주로 쓰이고, 중간층(layers)의 개념은 어떤 복잡한 의사결정 문제를 작은 문제들로 나누는 데에 쓰이며, 계급(echelons)의 개념은 시스템을 구성하고 있는 의사결정 개체들간에 상호관계가 있을 때에 쓰인다. 그러나, 어느 계층적 시스템을 나타내는데 있어 이 세 가지 형태를 모두 혼합해서 쓸 수도 있고 시스템의 성격에 따라 하나의 형태로만 나타낼 수도 있다.

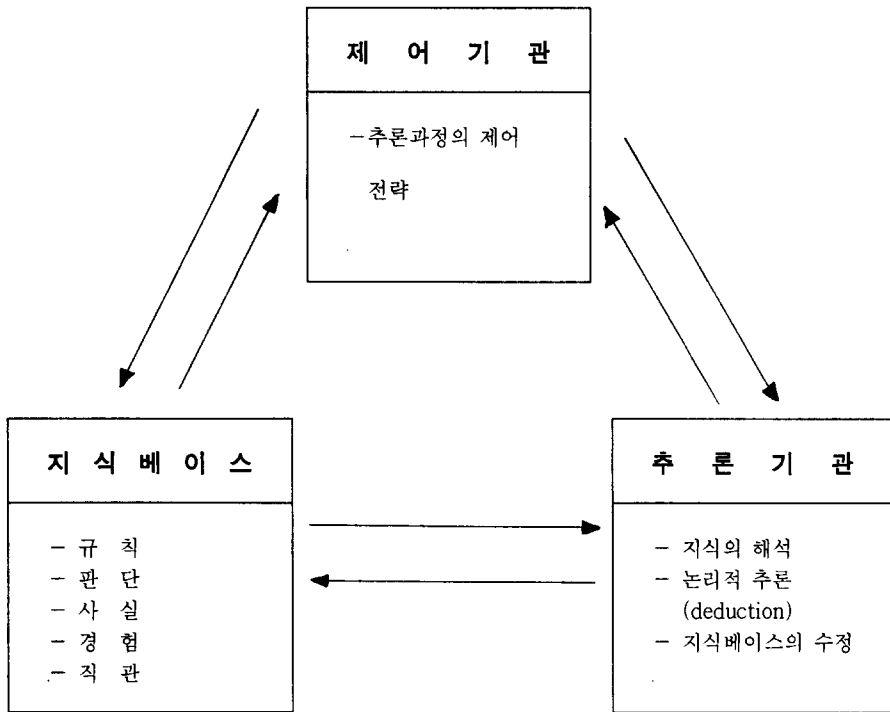
다) 생산 시스템의 일반적 고장 진단 모델

생산시스템에 대한 고장 진단은 <그림 4>에 보여지는 것과 같이 계층적으로 구성이 될 수 있다.

생산장비 수준에서는 다양한 사건이 일어나며 또한 추출할 수 있는 정보도 많이 있다. 이 수준으로부터 부분적인(local) 조정 및 통제의 목적으로 중간수준이 적절한 정보를 추출하는데, 이 중간수준은 대개 PLC(Programmable Logic Controller)를 많이 이용한다. 그 다음에 이 정보를 전체적인(entire) 운용의 전체적(global) 통제의 목적으로 상위수준에 있는 모니터가 한 번 더 걸러내게 된다. 이 상위수준에서 이상(malfunction)이 탐지되면, 사용자 인터페이스가 통제권을 가지게 되고 동시에 지식베이스를 이용하여(involve) 그 이상을 수정하기 위해 적절한 조치를 취하게 된다. 이러한 조치는 하위 수준인 생산장비 수준으로 전달이 되어 고장진단 과정이 수행된다.



〈그림 4〉 생산시스템에 대한 전반적인 고장진단 시스템



〈그림 5〉 전문가 시스템의 구성

나. 전문가 시스템

가) 전문가 시스템의 구성

전문가 시스템은 일반적으로 <그림 5>와 같이 지식베이스, 추론기관, 제어기관으로 구성되어 있으나(Rauch-Hindin[1988]), 여기에 사용자 인터페이스와 지식 획득 기관을 덧붙이기도 한다(Kusiak[1990]).

지식베이스에 저장되어 있는 지식에는 사실, 경험, 규칙, 법칙, 판단 등이 있으며 이러한 지식을 표현하는 주요 방법에는 1) 서술논리(predicate logic), 2) 생산규칙(production rules), 3) 프레임(frames), 4) 의미 네트워크(semantic nets)가 있다. 추론기관은 문제해결을 위해 지식베이스에 있는 지식을 이용해서 논리적인 결론을 끌어내고, 지식 베이스를 수정(modify)하기도 한다. 제어기관은 추론과정을 통제하는 전략을 가진 기관이다.

나) 전문가 시스템의 구축방안

고장진단에 관한 전문가 시스템은 전자회로(de Kleer and William[1987], Davis[1984], Gensereith[1984])와 의료분야(Gordon and Shortliffe[1985])에서 주로 많이 연구되었으며, 최근에 FMS, CIMS등 공장자동화 분야에서도 연구가 진행중이다(Pan et al.[1989], Kunz[1987]).

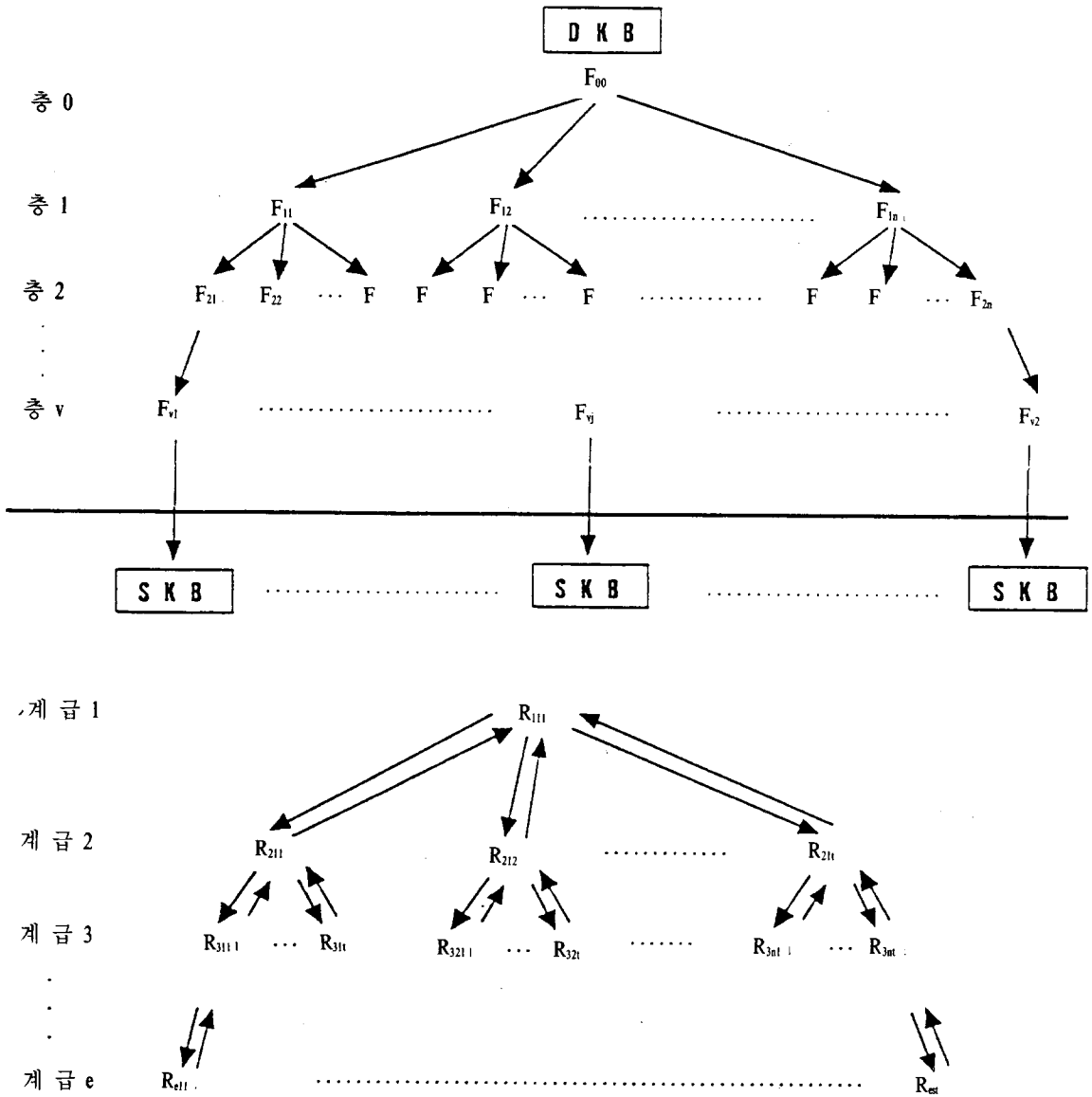
본 논문에서는 FMS를 구조적·기능적으로 분석하여 각 구성요소들 간의 관계를 규명한 후 이들 관계를 분석하여 각 구성요소들 간의 관계를 지식(이것을 deep knowledge(Fink and Lusth[1987])라 부름)으로 표현한다. 이 deep knowledge가 Deep Knowledge Base(DKB)의 기반이 되며, DKB구축시 고려해야 할 사항은 FMS를 하나의 계층적인 시스템으로 보았을 때 가장 낮은

수준(즉, FMS 구성요소의 세부구조의 수준)을 어떻게 결정할 것인가 하는 것이다. 여기에 계층적 시스템이론이 쓰인다.

DKB를 계층조직으로 구축하였을 때 가장 낮은 수준에 있는 구성요소의 세부구조에 대한 작동상의 규칙(rule)이나 경험들은 다른 종류의 지식(이것을 shallow knowledge(Fink and Lusth[1987])라 부름)으로 표현된다. 이 shallow knowledge가 shallow Knowledge Base(SKB)의 기반이 되어 SKB가 구축이 된다. 이러한 knowledge base(KB)의 구축은 Knowledge-Based Systems Approach(Kusiak[1990])에 해당이 되며, 이 KB들이 전문가 시스템의 가장 핵심적인 구성요소이다. 본 논문에서 제안하는 전문가 시스템의 구조는 <그림 6>과 같이 한 개의 DKB와 그 DKB의 마지막 수준에 연결되어 있는 여러 개의 SKB로 이루어진다.

전문가 시스템의 구축시 고려해야 할 사항은 전문가 시스템이 어떤 추론(reasoning)방법을 이용할 것인가 하는 문제이다. 추론방법에는 일반적으로 세 가지 형태가 있다. 첫째는 deep knowledge를 이용하는 deep reasoning, 둘째는 shallow knowledge를 이용하는 shallow reasoning, 마지막으로 deep과 shallow knowledge 모두를 이용하는 혼성추론(hybrid reasoning)이다(Milne[1987], Pan and Tenenbaum[1986], Reiter[1987]).

본 논문에서는 전문가 시스템의 추론 방법으로, 그 장점이 인정되어 현재 널리 쓰이고 있는 혼성추론(Torasso and Console[1989], Brink and Storey[1988], Marsh[1988], Pan et al.[1989], Kahn et al.[1989], Lee[1990])의 형태를 적용한다. 혼성추론에는 크게 deep reasoning을 한 후 shallow reasoning을 행하는 방법과 shallow reasoning을 한 후 deep reasoning을 행하는 두 가지 방법이 있다(이원영[1992]).



〈그림 6〉 제안된 전문가 시스템의 구조

3. DKB(Deep Knowledge Base)의 구축

정보(information)와 지식 모두가 자료(data)를 가공한 형태이나, 정보는 문제해결에 충분한 기반이 되지 못한다. 따라서 자료를 다듬은 형태가 정보이고, 정보를 좀 더 다듬어 문제해결에 직접적으로 도움을 줄 수 있도록 한 형태가 지식이다.

이 지식은 세 가지 형태로 나뉘어 질 수 있는데(Fink and Lusth[1987]), 상식적 지식(common sense knowledge), 근본적 지식(fundamental knowledge) 및 경험적 지식(experiential knowledge)이 그것이다. 상식적 지식은 실세계의 물리적 성질을 말하며, 근본적 지식은 한 시스템이 어떻게, 왜 작동하는지에 대한 지식이고 깊은 지식(deep knowledge) 또는 인과적 지식(causal knowledge)이라고도 부른다. 경험적 지식은 시스템 행동의 특별한 경우에서 얻은 경험에 근거한 지식이고 얇은 지식(shallow knowledge) 또는 축적된 지식(compiled knowledge)이라고도 부른다.

본 논문에서의 FMS에 대한 고장진단은 한 개의 깊은 지식베이스(DKB)와 여러개의 얇은 지식베이스(SKB)로 이루어지는 전문가 시스템에 의해서 수행된다. 추론 전략은 먼저 DKB를 탐색하고 난 후, DKB의 마지막 수준에 연결되어 있는 SKB를 탐색하여 그 원인을 찾아 내는 이른바 혼성추론(hybrid reasoning)이라는 형태이다(Milne[1987]).

DKB는 층(stratum)의 개념을 이용하여 구축이 되는데, 그 이유는 FMS를 구성 요소의 기능에 따라 기능블럭(functional block)으로 표시함으로써 원인을 조사할 때에 그 블럭들에 대한 구체적인 시험(test) 즉, 이 블럭이 오류에 대한 원

인인지 아닌지에 대한 시험이 필요없어서 의사결정이 수행되지 않아도 되기 때문이다. 즉, DKB는 일종의 정적(static)인 지식베이스라고 볼 수 있다. 다시 말하면 각 기능블럭은 FMS의 기능적인 서술수준(level of functional description 또는 level of abstraction)을 나타내기 때문이다.

최상위층을 층 $F_{(n)}$ 이라고 하고 이것이 FMS 전체를 나타낸다고 하면 DKB는 <그림 6>과 같은 기능적 계층조직(functional hierarchy)으로 나타내질 수 있다. 기능 블럭 $F_{(i)}$ 에서 $i(=1, 2, \dots, v)$ 는 층 번호를, $j(=1, 2, \dots, n)$ 는 그 층에서의 일련번호를 나타낸다. 이 그림에서 마지막 층에 있는 블럭(이것이 하나의 노드가 된다)은 하나의 개체(individual)로서 물리적으로 인식될 수 있어야 한다. 한편 이러한 기능적 계층조직은 자료구조론에서 말하는 균형잡인 나무(balanced tree)가 될 수도 있으며 그냥 평범한 나무구조가 될 수도 있다. 여기에서 고장진단시 필요한 것은 실패확률(failure probability)이다. 이 실패확률은 DKB의 모든 노드에 대해서 알려져 있어야 하며 대개 지금까지의 경험에 비추어 얻는 확률이 되거나 전문가의 전문지식으로부터 나온 것이 된다.

노드 $F_{(i)}$ 에 대한 실패확률은 $f_{(i)}$ 로 나타내지며 $f_{(i)}$ 는 책임확률(responsibility probability)인 $q_{(i)}$ 로 변환이 된다. 왜냐하면, $f_{(i)}$ 는 경험적 자료로부터 얻어진 절대확률(absolute probability)이므로 어떤 노드의 모든 자식노드(children nodes)에 대한 실패확률의 합(summation)이 1이 되지 않기 때문이다. 이러한 변환은 고장진단 수행시 실패확률을 갱신(update)하는데에 상당한 편의를 제공하게 된다.

4. SKB(Shallow Knowledge Base)의 구축

SKB는 <그림 6>의 밑 부분에서 나와 있는 바와 같이 모든 노드가 규칙으로 구성되어 있으며, 규칙 R_{ik} 에서 $i(=1, 2, \dots, e)$ 는 계급번호를 $j(=1, 2, \dots, s)$ 는 그 계급안에 있는 각 그룹의 일련번호를, $k(=1, 2, \dots, t)$ 는 그 그룹안에 있는 각 노드의 일련번호를 나타낸다.

SKB는 DKB의 마지막 수준에 있는 모든 노드에 연결이 되어 있으며, SKB의 모든 노드안에 있는 각각의 규칙이 의사결정을 필요로 하므로 (즉, 이 노드가 가지고 있는 규칙의 결론부(consequent)를 시험해 봄으로써 이 규칙이 관찰된 징후의 원인인지 아닌지를 결정한다) SKB의 각 수준을 계급(echelon)이라 부른다.

계급 3부터 그 이하에 있는 모든 노드들은 신뢰도(degree of belief)인 p_{ik} (이것은 규칙 R_{ik} 가 원인일 확률이며 전문가로부터 얻어진다)와 c_{ik} (이것은 규칙 R_{ik} 의 결론부를 시험하는데 드는 비용이며 역시 전문가로부터 얻어진다)를 그 속성으로 가진다.

5. 고장진단의 절차

가. 기본적인 진단

고장진단을 수행하기 위해서는 DKB에 있는 각 기능블럭에 대한 실패확률과 SKB에 있는 각 규칙에 대한 신뢰도 및 시험비용이 필요하다.

고장진단의 대상이 되는 시스템에서 어떤 징후가 직접적으로 관찰 가능하다고 할때에 고장진단에 대한 과정은 <그림 7>에 보여지고 있으며, 다음과 같이 세 단계로 요약해 볼 수 있다.

단계 1: 대상이 되는 시스템에 대한 계층조직

(hierarchy)을 작성하여 DKB를 구축하고, 이에 따른 SKB를 구축한다.

단계 2: 징후(symptom)가 발견되면 먼저 DKB로 가서 층 0에서부터 너비 우선 탐색(breadth-first search)을 시작한다. 이때의 기준은 실패확률이며, 실패할 확률이 가장 높은 노드를 선정해 나아간다. 이 탐색은 DKB의 마지막 수준에 있는 노드에 도달할 때까지 계속된다.

단계 3: DKB의 마지막 수준에 있는 노드에 연결되어 있는 SKB로 가서 가장 낮은 엔트로피(entropy)를 갖는 규칙을 찾는다. 이 규칙의 결론부를 시험해 보고, 이것이 원인이면 고장진단 과정을 중지한다. 결론부가 정상이라면 SKB의 마지막 수준에 있는 규칙을 계속 조사해 나아간다. 여기에서 백트래킹(backtracking: 거꾸로 올라 가는 것)이 적용된다.

엔트로피는 주어진 정보원(information source)이 가지고 있는 정보의 기대치이고, 여러 개의 대안 중에서 엔트로피의 값이 낮을수록 더 좋은 대안이 되므로, 여러개의 규칙 중에서 한 개를 선정할 때에 엔트로피의 개념이 이용된다.

고장진단 과정의 단계 3에서 나오는 엔트로피는 Shannon의 엔트로피(Zeleny[1982])의 변형된 형태로서 시험비용이 추가되었다.

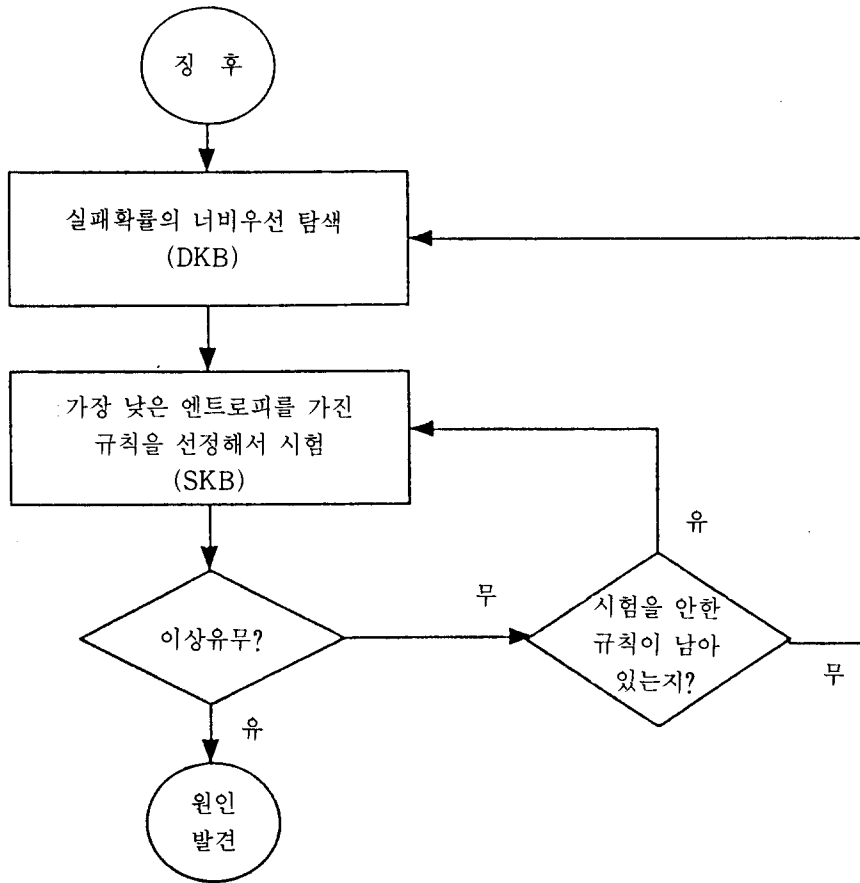
w_{ik} 를 규칙 R_{ik} 의 비중이라 하면

$$w_{ik} = \frac{c_{ik}}{\text{Max}_{i,j,k} \{c_{ijk}\}}$$

라고 정의되며 c_{ik} 는 규칙 R_{ik} 를 시험하는데 드는 비용이다. 따라서, 주어진 신뢰도와 시험 비용을 감안한 엔트로피는

$$H_{ik} = -\sum_{x=1}^i w_{i+1,k,x} p_{i+1,k,x} \ln p_{i+1,k,x}$$

이고, $i=2, 3, \dots$ 이며, $\sum_{x=1}^i p_{i+1,k,x} = 1$ 이다.



〈그림 7〉 고장 진단 과정

나. 부가적인 고장진단

기본적인 고장진단의 3단계를 거친 후에도(즉, 한개의 SKB를 모두 탐색하고 난후에도) 고장에 대한 원인이 찾아지지 않으면, DKB의 모든 노드에 있는 실패확률이 갱신(update)된다.

만일 고장에 대한 한 개의 원인을 찾아내었는데도 불구하고 시스템이 계속 비정상 상태라면 하나의 징후에 여러 개의 원인이 있는 것이므로 기본적인 고장진단의 과정을 계속 반복해야 할 것이다.

일반적으로 고장진단의 대상이 되는 시스템에 대한 지식이 없는 경우에 고장진단을 수행할 때에

는 DKB의 층 0(최상위층)에서부터 시작을 하지만, 시스템에 대한 지식이 있는 경우에는 층 0가 아닌 어느 층에서부터라도(따라서, 원인을 찾아내는 탐색시간이 줄어 든다) 고장진단을 수행할 수 있다.

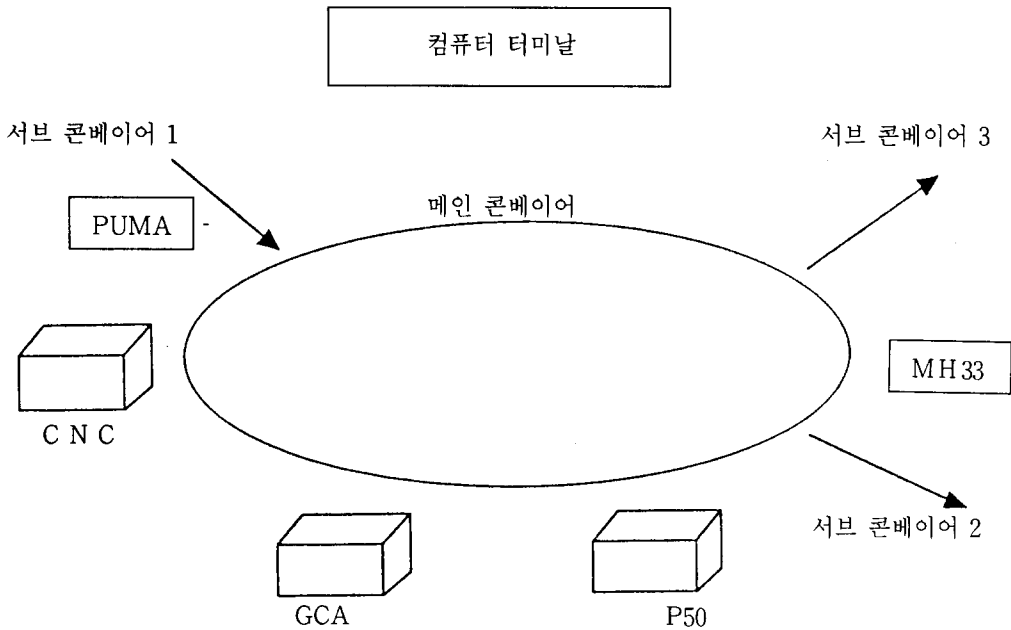
6. FMS에의 고장진단 응용

FMS는 제1장에서 언급했듯이 하나의 계층적 시스템으로 볼 수 있으며, 두 개의 주요한 기능적 블록은 기계장비와 자재운반 시스템이다.

본 논문에서의 FMS는 〈그림 8〉에서와 같이 3개의 기계장비(CNC, GCA 로봇, GE의 P50 로

보트), 2개의 자재운반용 로봇(Unimation의 PUMA, GE의 MH33), 1개의 메인 벨트콘베이어, 3개의 서브콘베이어 및 이 전체를 통제하는 1개의 컴퓨터 터미널로 이루어져 있다.

원자재가 서브콘베이어 1으로 들어오면 PUMA는 그것을 집어서 CNC에 올려 놓으며 미리 정해진 가공공정이 CNC에 의해 수행된다. 가공이 끝난 후 PUMA는 이것을 다시 들어 올려, 바코드



〈그림 8〉 FMS의 사례

(bar code)가 부착되어 있으며 메인 콘베이어 위에 있는 빈 팔렛(empty pallet)에 놓는다. 메인 콘베이어는 이 팔렛을 GCA와 P50으로 이동시키며 팔렛에 있는 바코드에 따라서 원자재에 다른 가공공정이 수행된다. 이 후 팔렛은 메인 콘베이어에 의해 MH33으로 이동되고 바코드에 따라 MH33는 서브콘베이어 2 또는 3으로 원자재를 내보낸다. 이때 빈 팔렛은 메인 콘베이어 위에 그냥 남아 있게 되며 다시 CNC 쪽으로 이동된다.

이러한 FMS를 고장진단용 전문가 시스템을 구축하기 위한 DKB와 SKB로 나타내면 〈그림 9〉와 같다. SKB에 있는 규칙은 모두 선행부(antece-

dent)와 결론부(consequenet)로 이루어져 있다. 예를 들면,

R_{111} : IF(GCA가 작동을 안 함),
 THEN(규칙 R_{211} 과 R_{212} 중 낮은 엔트로피를 가진 규칙을 선정).

R_{312} : IF(GCA에 팔렛이 없음),
 THEN(콘베이어가 작동 안 함).

DKB에 주어져 있는 숫자는 각 노드의 실패확률을 나타내며, SKB에 주어져 있는 숫자는 신뢰도, 괄호 안에 있는 숫자는 시험 비용을 나타낸다. 제5장에서 언급한 고장진단 과정을 〈그림 9〉에 적용하면 다음과 같다.

우선 너비 우선 탐색이므로 F_{11} 이 선정되고, 그 다음에 F_{22} 및 F_{32} 가 선정된다. F_{32} 가 DKB의 가장 마지막 수준에 있는 노드이므로 여기에 SKB가 연결되어 있다. R_{11} 에서는 두 가지의 선택이 있는데(R_{211} 과 R_{212}), 이 때 각각의 엔트로피가 계산된다.

$$\begin{aligned}
 H_{211} &= -\{w_{311}p_{311}\ln p_{311} + w_{312}p_{312}\ln p_{312} + w_{313}p_{313}\ln p_{313}\} \\
 &= -\{(.2)(.2)\ln(.2) + (.2)(.4)\ln(.4) \\
 &\quad + (.2)(.4)\ln(.4)\} \\
 &= .2110
 \end{aligned}$$

이 때,

$$\begin{aligned}
 w_{311} &= \{R_{311}\text{의 시험비용}\} / \{\text{SKB안에 있는 시험비용의 최댓치}\} \\
 &= 10 / 50 \\
 &= .2
 \end{aligned}$$

이고, w_{312} 및 w_{313} 도 같은 방법으로 얻어진다. 이와 유사하게 규칙 R_{212} 의 엔트로피인 H_{212} 는 .9130이 된다. 따라서 R_{11} 에서의 선택은 낮은 엔트로피를 가지는 R_{211} 이 된다.

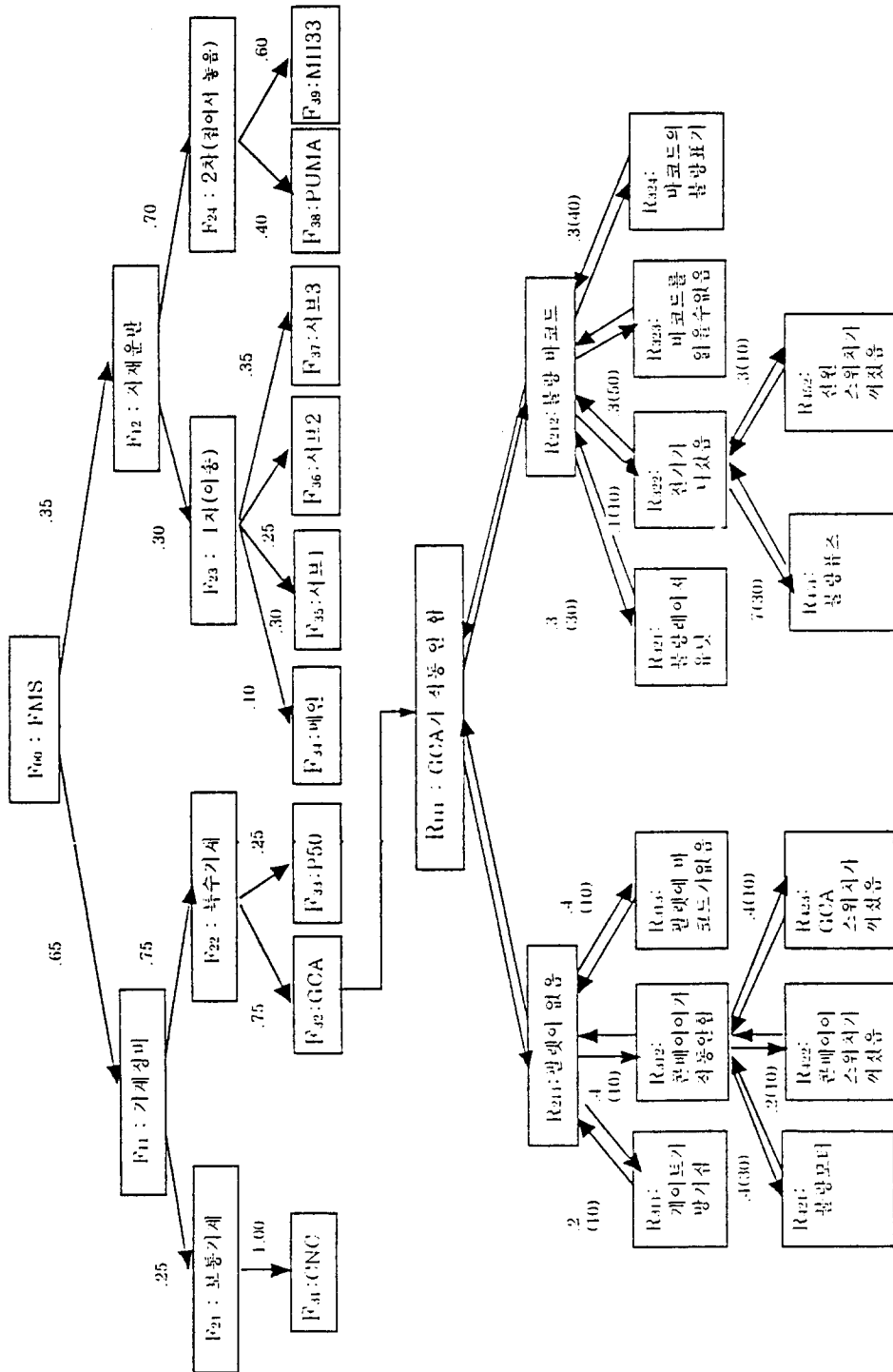
이와 같은 방식으로 원인이 찾아질 때까지 고장진단 수행과정이 계속 반복된다. 만일 SKB를 모두 탐색하고 난 후에도 원인이 규명이 안되면 DKB로 다시 올라가는 백트래킹이 수행된다. 즉, F_{32} 의 실패확률이 .75에서 0으로 바뀌게 되어 이것이 영향을 미치는 DKB의 모든 노드(지금까지 탐색해 온 경로)의 실패확률이 갱신(update)되며 다시 고장진단 과정이 수행되게 된다.

7. 결 론

본 논문에서는 FMS의 운용중에 발생할 수 있는 구성요소들의 고장에 대한 원인을 규명하고 그에 대한 대책을 제공해 줄 수 있도록 하는 전문가 시스템의 구축방안을 제시하였다. 첫째로,

고장진단의 대상인 시스템을 구조적, 기능적으로 분석하여 각 구성요소의 관계를 규명한 것을 deep knowledge base(DKB)에 저장하였으며, 둘째로, 구성요소의 세부적 작동에 대한 규칙이나 지식은 shallow knowledge base(SKB)에 저장되었다. 고장진단을 수행할 때에는 knowledge base(KB)안에서의 탐색시간을 줄이기 위하여 DKB가 먼저 탐색이 되고 그 후에 SKB가 탐색이 되는 인공지능에서의 혼성추론기법이 사용되었다. 이러한 과정을 거치는 시스템의 분석이 끝나고 FMS가 응용사례로 분석이 되었다.

이 시스템은 그 프로토타입(prototype)을 KAPPA-PC라는 shell에서 시험중이며, 실제의 현장에서 실시간(real time)으로 운용이 될 수 있도록 PC급에서 구축될 예정이다. 이 시스템이 공장자동화에 크게 기여하기를 기대한다.



〈그림 9〉 FMS 사례에 대한 DKB와 SKB

참고문헌

1. 이원영, "Diagnostic Reasoning," 「정보과학회지」, 한국정보과학회, 제10권 제4호, (1992년 8월), pp 50-55
2. Brink, J. R. and P. Storey, "Diagnostics in the Extendable Integrated Support Environment(EISE)," *Proc. of the Second Annual Workshop on Space Operations Automation and Robotics(SOAR'88)*, Dayton, OH, (July 20-23, 1988), pp 41-46
3. Davis, R., "Diagnostic Reasoning Based on Structure and Behavior," *Artificial Intelligence*, Vol. 24, Nos.1-3, (Dec. 1984), pp 347-410
4. de Kleer, J. and B. C. Williams, "Diagnosing Multiple Faults," *Artificial Intelligence*, Vol. 32, No. 1, (Apr. 1987), pp 97-130
5. Fink, P. K. and J. C. Lusth, "Expert Systems and Diagnostic Expertise in the Mechanical and Electrical Domains," *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. SMC-17, No. 3, (May/June 1987), pp 340-349
6. Genesereth, M. R., "The Use of Design Descriptions in Automated Diagnosis," *Artificial Intelligence*, Vol. 24, Nos. 1-3, (Dec. 1984), pp 411-436
7. Gordon, J. and E. H. Shortliffe, "A Method for Managing Evidential Reasoning in a Hierarchical Hypothesis Space," *Artificial Intelligence*, Vol. 26, No. 3, (July 1985), pp 323-357
8. Groover, M. P. and E. W. Zimmers, Jr., *CAD/CAM: Computer-Aided Design and Manufacturing*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1984, Chapter 20
9. Kahn, G. S., A Kepner, and J. Pepper "TEST: A ModelDriven Application Shell," *Proc. of AAAI-87: the Sixth Nat'l Conf. on AI*, Vol. 2, Seattle, WA, (July 13-17, 1987), pp 814-818
10. Khaksari, G. H., "Expert Diagnostic System," *Proc. of the First Int'l Conf. on Industrial & Engineering Applications of AI and Expert Systems '88*, Vol. I, (June 1-3, 1988), pp 43-53
11. Kunz, J. C., "Model Based Reasoning in CIM," *Proc. for the Int'l Conf. on Expert Systems and Leading Edge in Production Planning and Control*, Charleston, SC, (May 10-13, 1987), pp 111-130
12. Kusiak, A., *Intelligent Manufacturing Systems*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1990
13. Lee, Won Young, *A Hybrid Approach to a Generic Diagnosis Model for a Computer-Integrated Manufacturing System*, Ph. D. Dissertation, University of Louisville, Louisville, KY, 1990
14. Marsh, C. A., "The ISA Expert System: A Prototype System for Failure Diagnosis on the Space Station," *Proc. of the First Int'l Conf. on Industrial & Engineering Applications of AI and Expert Systems '88*, Vol. I, (June 1-3, 1988), pp 60-74
15. Mesarovic, M. D., D. Macko, and Y. Takahara, *Theory of Hierarchical, Multilevel Systems*, Academic Press, New York, 1972

16. Milne, R., "Strategies for Diagnosis," *IE EE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. SMC-17, No. 3, (May/June 1987), pp 333-339
17. Pan, J. Y. C., J. M. Tenenbaum, and J. Glicksman, "A Framework for Knowledge-Based Computer-Integrated Manufacturing," *IEEE Trans. on Semiconductor Manufacturing*, Vol. 2, No. 2, (May 1989), pp 33-46
18. Rauch-Hindin, W. B., *A Guide to Commercial Artificial Intelligence*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1988
19. Simon, H. A., *The New Science of Management Decision*, Harper & Row, NY, 1960
20. Torasso, P. and L. Console, *Dignostic Problem Solvng :Combining Heuristic, Approximate and Causal Reasoning*, Van Nostrand Reinhold, NY, 1989
21. Waterman, D. A., *A Guide to Expert Systems*, Addison-Wesley, Reading, MA, 1986
22. Zeleny, M., *Multiple Criteria Decision Making*, McGraw-Hill, NY, 1982