

CIM 공장의 운용 통제 전문가 시스템

김성식, 이태진, 김재만
고려대학교 공과대학 산업공학과

An expert system for controlling CIM operation

Sung-Shick Kim, Tae-Jin Lee, Jae-Man Kim
Dept. of Industrial Eng. Korea University

- Abstract -

Due to the inherent complexity in the CIM operation, achieving the triple, meeting due dates, maximizing machine utilization, and maximizing system throughput simultaneously is practically impossible. Targeting the small-to-medium size industries of Korea, we propose an expert system that provides a good and practical solution to the CIM operation problems. Heavy consideration has given to the real-time and dynamic nature of CIM in the development process of the system. The system is under testing stage at KU-FMS, model CIM plant.

1. 서 론

CIM 환경속에서 자동화 공장 운용에 관련된 연구는 그동안 활발히 이루어져 왔다. 그 이유는 CIM 시스템의 성공 여부는 효과적인 공장통제와 Scheduling에 달려 있다는 인식이 점차 확대 되어가고 있기 때문이다.

CIM 환경하의 자동화된 공장을 운용하는데 있어 존재하는 문제는 크게 세가지 범주로 나누어진다. 첫째는 동적으로 변화하는 공장 내 외부의 상황에 실시간으로 적절한 대응을 해야한다는 것이고, 둘째로 여러 가지 예기치 않은 사건에 대한 (기계 고장등) 대처 능력이 있어야 한다는 것이다. 그리고 마지막으로 공장의 운용 통제 시스템이 기업의 다른 생산요소와 효과적으로 통합되어야 한다는 것이다. 이중 첫번째와 두번째 문제는 자동화 공장 운용 통제와 관련하여 발생하는 직접적인 문제이고 세번째 문제는 CIM이라는 관점에서 생산현장과 그의 생산요소와의 물리적, 논리적인 통합의 필요성에 관련된 문제이다.

그간의 연구 결과에 의하면 앞서의 첫째와 둘째 문제에 대한 해결책으로 전문가 시스템 내지는 인공지능을 통한 지능화된 생산 통제 시스템의 구현이 제시되고 있다. 지능화된 생산 시스템은 생산의 여러 면, 즉 작업의 Scheduling, 기계 고장 감지 및 대처, 실제 기계의 제어 등과 같이 종래의 O.R. 기법이나 시뮬레이션으로는 적절한 해법이 존재하지 않는 분야에서 인공지능 기

법을 도입하여 문제를 해결하고자 하는 것이다. 이중 Scheduling과 기계고장에 관련되어 인공지능 기법을 도입하는 연구가 전체 생산시스템의 효율적 운용이라는 면에서 강조된다. 자동화된 공장의 작업 Scheduling에 제일 먼저 AI 기법을 도입한 것은 Fox[3]의 ISIS이다.

본 연구에서 다루는 것은 중소기업형의 비교적 작은 규모의 공장에서 갖는 수주의 변화, 또는 생산 품목의 변화 등에 유연하고 신속하게 대처하면서 운용될 수 있는 분산 공장 운영 통제 소프트웨어 환경하에서 전문가 시스템의 도입이다. 즉, 구체적인 생산지시를 상위 컴퓨터로부터 받아 각 기계군별로 작업을 명령하고 물류를 제어하는 하위 단계(Low-Level)의 공장 통제 활동을 지원하는 전문가 시스템을 개발한 것이다. 기존의 운용 소프트웨어 환경에 전문가 시스템 구조를 도입하고, 실제 모델 공장을 운용하면서 얻어진 운용관련 지식을 규칙 베이스(Rule-Base)화 하여 모델 공장 통제 운용 활동에 적용하였다.

2. CIM 공장의 운용 통제

앞에서 언급하였듯이 본 연구는 분산된 통제 구조하에서 공장 전체를 관찰할 수 있도록 전문가 시스템을 구축하는 것이 그 목적이라고 할 수 있다. 본 절에서는 본 연구에서 연구 대상으로 하는 시스템의 구조와 시스템의 운용 통제가 의미하는 바가 무엇인지, 그리고 그 내용은 어떤 것이 있는지 설명하고자 한다.

일반적으로 CIM공장은 자동화된 기계, 자동 창고, ROBOT, 물류 시스템 등으로 구성되어 각자의 기능을 수행하고, 각각을 제어하는 컴퓨터나 컨트롤러, 데이터 베이스는 LAN을 통해서 정보를 서로에게 전달하여 자신의 활동에 필요한 정보를 얻어내고, 상대방이 필요한 정보를 제공하는 체계로 되어 있다. 본 연구에서는 공장의 각 요소, 즉 각 가공 기계군(가공 cell), 자동 창고, 물류 시스템 등을 담당하는 컴퓨터가 각각 있어서 자신의 담당영역 내부에서 발생하는 제반 문제를 관찰하고, 중앙 컴퓨터가 이러한 공장 구성 요소들을 관찰하는 분산된 제어 구조를 가진 시스템을 연구 대상으로 한다. [2] 이 경우 공장의 중앙 컴퓨터는

여러 하부 시스템의 상황을 정확히 파악하여 적시, 적소에 정확한 제어 명령을 내려서 공장의 생산 활동에 지장이 생기지 않고, 보다 효율적인 생산이 이루어질 수 있도록 하는 기능을 수행하게 된다. 본 연구에서는 이러한 공장의 중앙 컴퓨터의 역할을 공장 운영 통제라고 정의한다.

본 시스템에서는 운영통제 부분에는 크게 생산 계획, 작업물 반송, 가공cell의 운영 감시, 고장 감시 등으로 나누고 있다. 각각에 대해서 설명하면 다음과 같다.

- 생산 계획 : 공장에 들어온 생산 오더에 대하여 납기, 작업 준비, 가공시간 등을 고려하여 생산가능 여부를 확인하고, 각 가공 cell에게 필요한 정보를 만들어내서 각 하부요소들에게 작업 명령을 내려 주는 기능을 수행한다.

- 가공 cell 운영감시 : 원칙적으로 가공cell내의 모든 문제는 가공cell담당 컴퓨터가 관찰하기 때문에 중앙컴퓨터는 가공cell내로 작업을 투입시기 결정, 작업 우선 순위 결정, 작업명령의 변경, 사용자에게 가공 cell의 운영 상태 보고 등의 기능을 수행한다.

- 자동 창고 운영 감시 : 가공cell과 유사하게 재고 정책이나 저장방법 등은 자동창고 운영 컴퓨터가 담당하고, 중앙 컴퓨터는 원자재 입하나 완제품 출하 시기를 알려 주고 작업 우선 순위 결정, 작업 명령 변경, 자동 창고의 운영 상태 보고 등의 기능을 수행한다.

- 물류 시스템 운영 감시 : 물류 시스템이 운반해야 하는 작업물과 운반 시각을 알려주고, 지연(delay)이 생기지 않도록 관리한다.

- 작업물 이동 관리 : 작업물의 가공 경로 중에서 한 가공 cell에서의 작업이 끝나고 다음 가공 위치로 이동 할 때는 중앙 컴퓨터가 지정된 작업물이 지정된 시각에 옮겨 질 수 있도록 관리한다.

- 고장 관리 : 하부 컴퓨터에서 확인된 고장에 대한 정보를 전달 받거나, 직접 고장 상황을 확인하여 적절한 조치를 다른 컴퓨터에게 전달하여 고장에 대처 할 수 있도록 한다.

본 시스템은 여러개의 하부 컴퓨터에서 각자의 상황변화가 일어날 때마다 약속된 통신 코드를 중앙 컴퓨터에게 전달하고, 중앙 컴퓨터는 이 통신 내용을 해석하여 적절한 운영 통제 기능을 수행하게 되는 구조를 가지고 있다.[2] 여기서 시스템의 성능평가 척도로 고려되는 것은 납기 준수와 공장 출력률이다.

3. 전문가 시스템의 구축

본 절에서는 CIM 공장 운영 전문가 시스템의 실제 구현 방법에 대해서 언급한다. 본 연구에서 구현된 전문가 시스템은 자동화된 공장의 분산 통제용 소프트웨어환경하에서 만들어졌다. 이 전문가 시스템의 통제 환경은 네트워크상의 분산 시뮬레이션을 통하여 개발되었다. 즉 컴퓨터 배치, LAN, 데이터베이스 등의 CIM의 핵심은 실제 시스템과 같이 구축하고, 통신망에 연결될 물리적 장비의 동작은 그 장비를 통제하는 컴퓨터에서 이산형 시뮬

레이션을 이용하여 모의로 처리하는 것이다.[2] 이미 개발된 기존의 CIM 공장 통제 환경에 공장 운용에 관련된 여러 지식을 별도의 전문가 시스템의 형태로 구체화시켜 분리시킴으로써, 추후에 예상되는 지식의 변화나 추가를 용이하도록 하였다. 여기서 전문가 시스템은 규칙 기반 시스템(Rule Based System)이며, 모델 공장을 운용하면서 얻어진 지식을 이용하여 구현하였다. 통제 환경에 대한 보다 자세한 사항은 참고문헌 [1][2]에 언급되어 있다.

3.1. 지식의 표현

규칙 기반 전문가 시스템에서 지식은 크게 사실(Fact)와 규칙(Rule)로 이루어진다. 자동화된 공장에서 사실(Fact)은 그 시점에서 공장의 여러 상태(기계의 가동 여부, 기계앞에서 대기하고 있는 물품의 수, 창고의 재고 수준 등)를 표현하고, 규칙(Rule)은 이러한 사실들을 바탕으로 적절한 공장내 통제 활동(작업 순위 결정, 원자재의 반입여부 결정, 새로 도착한 주문의 납기 준수 여부 결정 등)을 지시하는 활동이라고 각각 볼 수 있다. 전문가 시스템이 도입되기전의 CIM 공장의 운영 통제 소프트웨어 환경에서는 공장 운용의 각종 규칙(Rule)이 프로그램에 내재(embedded)되어 있었고, 사실(Fact)은 '상황판'이라고 불리는 공장 상태를 나타내는 각종 변수들의 집합과 분산된 데이터베이스의 여러 자료 항목의 값들에 의해 표현되고 있었다.

전문가 시스템을 도입할 때 기존의 소프트웨어 변경을 최소한 억제하기 위한 하나의 방안으로 사실(Fact)을 (변수id, 값) 쌍으로써 표현하였다. 여기서 변수id라는 것은 기존의 소프트웨어내에서 이용되는 각각의 상황판 변수와 1 대 1 대응시킨 식별자이고 값은 그 변수의 실제값을 의미한다. 변수 id에는 원래 변수의 형(type)에 관한 정보를 포함한다. 규칙(Rule)은 조건을 (변수id, 값) 쌍의 List로 표현하여 사실과 Pattern Matching을 하게 된다. 변수 id는 어떤 함수를 가르키기도 하는데 이때 변수 id의 값은 그 함수의 리턴값이 된다. 이러한 지식표현의 예를 들면 다음과 같다.

(1) cell 1의 I/O port가 사용불능이고 cell 1으로 가는 AGV가 있으면 작업을 취소한다.

```
(2) if (VI_I0cell1, fail, FI_anyagv_moving_to(Cell1), I)
    then (Call, FI_cancel_agvto_(cell1))
```

위의 예에서 VI_I0cell1, FI_anyagv_moving_to, FI_cancel_agvto 등은 각기 변수id가 된다. 변수id의 앞의 두문자는 변수id가 가르키는 것이 변수(V)인가 함수(F)인가와 변수일 경우 변수의 형태(위의 경우에는 I라는 문자로 변수의 형이 정수형이라는 것을 알 수 있다.), 함수일 경우에는 함수 리턴값의 형태를 각각 표시한다. 그래서 위의 예에서 첫번째 변수id는 I0 port를 표현하고 나머지 2개는 특정 함수를 가르키는 변수id이다. 함수인 경우는 인자를 괄호를 사용하여 구분한다.

3.2. 지식 베이스

지식베이스에 저장되는 자료는 공장운영에 관련된 사실과 규칙이다. 여기서 사실은 B tree를 이용한 Index에 의해서 참조되고, 규칙들은 별도의 규칙베이스에 의해 저장된다. 규칙베이스는 운용소프트웨어에서 이용하는 데이터베이스와 별도의 자료 구조를 가지는데, 규칙베이스가 대용량인여서 보다 효과적인 저장기법이 요구될 때에는 데이터베이스와 연결하여 이용할 수도 있다. Davis와 Oliff[4]에 의하면 지식베이스가 DBMS를 이용하여 구현된 경우에는 데이터베이스에서 제공하는 여러 기능 - 여러 사용자의 동시작업 지원, 자료 무결성 등 - 을 이용할 수가 있게 된다. 본 연구처럼 분산된 통제구조하에서는 지식베이스도 분산되게 되는데 여기서는 각 분산된 통제 영역내에서 다시 규칙들이 분할된 여러개의 규칙베이스를 형성하였다. 앞서 설명하였듯이 하부 컴퓨터에서 들어오는 통신이 프로그램 기동의 신호가 되는데, 이때 통신 내용을 확인하여 어떤 규칙군을 탐색하는 것이 적당한지 결정하는 규칙(Meta rule)을 통해서 적절한 규칙군을 탐색하게 된다. 이렇게하면 공장 운영에 관련된 여러 규칙을 그것이 다루고 있는 내용별로 분할한 것이기 때문에 규칙 탐색시간을 절약하는 효과가 있다. Sarin과 Salgame[5]에서 분할된 지식베이스의 예를 찾아볼 수 있다. 각 분할된 규칙베이스가 완전히 상호배타적인 성격을 가지는 것은 아니기 때문에 규칙의 변경이 있을 때 일관성을 유지하는 기능을 제공하여야 한다.

3.3. 추론 방식

위에서 구현된 지식베이스를 이용하여 실제 공장 운영에 관련된 의사결정을 내리는 추론은 다음과 같은 과정을 따른다. 우선 공장에서 어떤 사건이 발생하면 해당 사건에 대한 대응을 하는데 규칙 탐색이 필요한가의 여부를 판단하고 필요하다면 관련된 규칙베이스로 접근한다. 개개의 사건별로 추론의 목표(Goal)를 선정한 후 개별 규칙의 탐색 우선순위에 따라 규칙을 탐색하여 조건에 맞는 규칙을 선택하고 그에 따른 행동을 취하게 된다. 그러므로 추론은 Pattern Matching에 의한 역방향추론(Backward channing)방식을 기본적으로 이용한다. 우선적으로 고려되는 평가척도는 주문별 납기 준수정도와 출력률(throughput)이고 이것은 추론에도 고려된다. 추론시에는 적절한 Meta Rule을 이용하여 탐색 공간을 줄이고 규칙간의 충돌을 방지한다.

4. 전문가 시스템의 운영

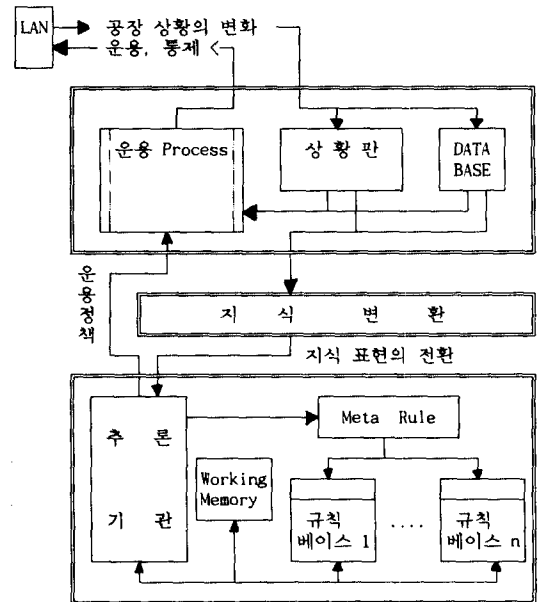
이번 절에서는 3절과 같은 구조로 구현된 전문가 시스템이 공장 운영 통제 소프트웨어와 연결되어 운영되는 방식과 실제 모델 공장에서의 운용된 분야에 대해서 설명하고자 한다.

공장 전체를 통제하는 중앙 통제 컴퓨터의 운용 프로세스는 외부(하부 통제 컴퓨터나 사용자)로부터 새로운 상황의 변화나 작업요청을 알리는 신호가 통신을 통해 전달되기를 기다린다. 일단 신호가 들어오면 그 신호를 해석하고, 상황판과 데이터베이스

에 있는 자료를 갱신한다. 이 과정에서 입력된 신호에 대한 적절한 대응을 하여야 하는데 신호의 종류에 따라 전문가 시스템으로부터의 지원을 받아 행동을 결정할 필요가 있는지를 판단하고, 필요하다면 추론의 목표(Goal)를 결정하여 전문가 시스템을 구동시킨다. 전문가 시스템은 운용 프로세스에서 추론의 목표를 입력받고, 상황판과 데이터베이스의 정보를 3.1에서 정의된 형태로 바꾸어 추론을 시작한다.

전문가 시스템 내부에는 각 상황별로 탐색되어야 할 분리된 규칙베이스들이 여러개 존재하는데 이 각각의 규칙베이스는 각 상황별로 전문가 시스템이 참조해야 할 규칙들을 그룹화한 것이다. 전문가 시스템이 기동되면 우선 운용 프로세스에서 전달된 목표와 현재 공장의 사실들로부터 일단 탐색되어질 규칙베이스군이 Meta-Rule에 의해 결정된다. 그 다음 다시 이 규칙베이스군내에서 규칙별 탐색 우선순위를 정하는 Meta-Rule에 의해 개별 규칙의 탐색순서가 결정되고, 이 순서에 따라 주어진 목표에 도달할 때까지 추론이 계속된다.

이 추론과정에서 목표에 도달하기까지의 통제 활동에 관한 정보가 Working Memory에 기억되는데, 이 정보는 현 상황에서 운용 프로세스가 취해야 할 행동에 관련된 것이다. 이렇게 해서 전문가 시스템의 작업이 끝나고 운용 프로세스에게 추론의 결과가 전달되면 운용 프로세스는 이 정보에 따라 실제 제어 명령을 LAN을 통해 외부로 전달하게 된다. 다음의 그림 1은 이러한 절차를 도식화 것이다.



[그림 1] CIM 공장 운용 전문가 시스템의 개념도

본 연구팀이 모델 공장을 시험 운영하는데 있어서 발생하는 문제 중 특정한 상황에만 종속되는 경우가기 때문에 일반적인 프로그램으로 구현하기 힘들거나, 여러 가지 규칙들을 고려해 볼 수 있는 몇가지 경우를 우선적으로 선정하여 전문가 시스템을 통

해 운용하여 보았다. 전문가 시스템을 통해 처리되는 작업의 종류는 작업물 이송 관리, 작업 순서 가중치 변경, 대체 경로의 설정 등이고, 그외 다른 분야에 대해서도 계속적으로 연구가 진행되고 있는 중이다.

4.1 작업물 이송 상황

중앙 컴퓨터는 가공 cell에서의 작업이 끝날 시각을 예측하여 물류 관리 컴퓨터에게 운반해야하는 작업물의 무엇인지, 어디로 운반해야하는지, 언제 운반해야하는지를 알려 주고, 가공 cell이 전해 주어야하는 작업물에 대한 정보를 가지고 있게 된다. 가공 cell이 네트워크 형태로 이루어진 경우에는 이러한 물류 시스템 관리 컴퓨터에 대한 작업 명령은 여러개가 있을 수 있고, 가공 cell 내부에 여러대의 기계가 있을 때에는 가공 cell의 작업물에 대한 정보도 여러개가 있을 수 있다. 이 때 기계 가공이 예상과는 맞나간 시간에 끝날 경우 적절한 조치를 취하지 않으면 서로 다른 작업물을 전해주고 받게 되거나, 서로 원하는 작업 순서가 될 때까지 기다리게 되어 아무런 일도 하지 못하게 된다. 이러한 경우 작업 명령의 순서를 바꾸거나 기존의 명령을 취소하고 새로운 작업명령을 내려서 문제를 해결한다.

4.2. 작업순서 가중치 변경

본 시스템에서는 각 하부컴퓨터가 할당받은 작업명령은 명령마다 가중치가 있어서 그것이 작업순서 계획시 중요한 인자 역할을 하고 있다. EE(Extra Expedite), E(Expedite), N(Normal), D(Delay) 등의 네가지로 분류하고 있는데 EE는 작업지연이 생겨서 납기를 맞추지 못 할 가능성이 있는 작업명령에 대해서 내려 주고, 작업장의 부하량을 관찰하여 부하가 많이 걸릴 때는 그 작업장 관련 작업명령을 D로 하고, 부하가 적게 걸릴 때는 E, 그리고 정상적일 때는 N을 관련 작업명령에 각각 주게 된다. 따라서 항상 일정한 수준의 부하량을 유지하여 전체 시스템이 원활하게 운용될 수 있도록 한다.

4.3. 대체 가공 경로 설정

가공 주문이 들어왔을 때 표준 가공 경로를 계산하여 가공에 들어가게 되는데 가공 도중에 다음에 투입되어야할 작업장이 고장상황이거나 지나치게 많은 부하가 걸릴 때에는 다른 작업장의 상황 - 작업가능여부, Set Up, 작업 부하량 등 - 을 고려하여 대체 경로를 설정한다. 이렇게 설정된 대체 경로에 해당하는 작업장에는 새로운 작업명령을 내리고 취소된 곳에는 취소 명령을 내리게 된다.

다음 그림 2는 작업물 이송상황에 관련된 규칙중의 일부를 예시한 것이다.

```

IF ( VS_agv_In_ready, VS_cell_Out_ready, VS_agv_In_part, PART,
      VS_cell_Out_part, PART )
THEN ( Call, Part_transfer )
IF ( NOT(VS_agv_In_ready) )
THEN terminate
IF ( NOT(VS_cell_Out_ready) )
THEN terminate
IF ( NOT(VS_agv_In_part, PART), VS_cell_Out_part, PART,
      FS_change_agv_order, Action )
THEN ( VS_agv_In_part, PART )
IF ( NOT(VS_cell_Out_part, PART), VS_agv_In_part, PART,
      FS_change_cell_order, Action )
THEN ( cell_Out_part, PART )

```

[그림 2] 작업물 전송 규칙

그림 2 에서 part_transfer라는 목적(goal)에 도달하기 위해서는 Action이라는 변수에 중앙 컴퓨터가 취해야하는 행동들이 기억되게 되고 목적에 도달하면 전문가 시스템을 빠져나와 기억된 일련의 행동을 취하게 된다.

5. 결 론

이상에서 본 연구에서 개발된 CIM 공장 운용 통제 전문가 시스템을 살펴보았다. 이미 컴퓨터 네트워크상에서 개발되었던 CIM 공장 운용 시스템에 독립된 구조로 전문가 시스템을 도입함으로써 공장 운용에 관련된 지식을 별도의 지식베이스로 관리할 수 있었고 전반적인 운용 소프트웨어의 모듈화된 구조를 이용하여 시스템의 이식성을 높일 수 있었다. 또한 본 연구에서는 실제 공장운영시 발생할 수 있는 몇가지 문제에 대해서 전문가시스템을 통하여 해결책을 제시하였다.

현재는 이러한 방법을 통해서 생산계획이나 고장진단 및 처리 문제와 같이 전형적인 전문가시스템 적용분야에 대해서도 연구를 진행하고 있고, 이미 구축되어 있는 지식베이스에 대해서도 많은 실험을 통해서 보완하려고 한다. 이 시스템은 모델 공장에서 얻어진 결과를 통해 실제 생산 현장에 적용되는 것을 목표로 한다. 그러기 위해서는 전문가시스템을 지원하는, 지식의 습득과 변경 작업을 위한 Tool의 개발 및 CIM 환경에서 논리적인 정보의 통합을 위하여, 체계적인 정보와 지식 구조의 설계 방안에 관한 연구 개발이 필요하다.

참고 문헌

- [1] 김 성식, 배 경한, "컴퓨터를 이용한 실제에 준하는 FMS 구축", IE Interfaces 산업공학, 4권, 1호, 대한산업공학회, 1991.
- [2] 김 성식, 배 경한, "CIM 구축 tool로서의 네트워크상의 분산시뮬레이션", 한국자동제어학회의논문집, Vol.1 of 2, 한국자동제어학회, 1991.

- [3] Fox, M.S. "Constraint-Direct Search: A Case Study of Job Shop Scheduling", Ph.D.diss, Computer Science Dept., Carnegie-Mellon Univ., 1983.
- [4] Davis, J., Oliff, M, "Requirements for the integration of manufacturing planning islands using knowledge based technology", Expert systems and intelligent manufacturing, North-Holland, 1988.
- [5] Sarin, S.C., Salgame, R.R., "Development of knowledge based system for dynamic scheduling", INT. J. PROD. RES, Vol.28, No.4, 1990.