

FMS Designer의 지능화에 관한 연구⁺

황종현*, 정무영**

A Study on Intelligent FMS Designer

Jonghyun Hwang and Mooyoung Jung

Abstract

In order to design an FMS(Flexible Manufacturing System), an effective design tool is necessary for selecting and analyzing the complex interacting factors of a manufacturing system. Considering most of the previous researches have been focused on evaluating the designed FMS, development of an integrated FMS designing system is needed for performing the design task such as machine selection and layout determination as well as the evaluation task of the designed FMS. In this paper, we developed a prototype of such a system called the intelligent FMS designer based on the techniques of Expert System and Simulation.

By using this designing system, possible design alternatives can be analyzed and appropriate manufacturing capacity can be estimated at the designing stage. Various operating characteristics of the designed FMS can be also predicted before it is implemented. Eventually a suitable design alternative can be provided with cost details within relatively short time period. To demonstrate the performance and effectiveness of the designer, a simple example is tested. The results show a great potential for automating design processes of an FMS.

최근들어 첨단기술을 바탕으로한 변혁의 물결은 전산업분야에 걸쳐 기존의 고유기술과 결합함으로써 공장자동화와 사무자동화의 모습으로 퍼져나가

1. 서 론

⁺ 본 연구는 한국과학재단지정 지능자동화 연구센터의 지원에 의해 수행되었음.

* 작고

** 포항공과대학 산업공학과

종래의 공장과 사무실의 개념과 형태를 근본적으로 바꾸어 놓고 있다. 공장자동화의 경우, 개별자동화가 진행되어오고 있었으나 이제 이들을 하나로 묶는 통합자동화가 진행되고 있다. 제조산업, 특히 기계가공산업 분야에서는 이제까지 축적된 개별자동화 기술을 바탕으로 이들을 하나로 통합한 시스템의 연구가 공장자동화의 한 분야로 자리잡고 있다. FMS(Flexible Manufacturing System)로 불리는 이 시스템은 각종의 기계가공 설비들을 자동운송 설비로 연결하여 컴퓨터의 제어하에 생산계획 및 운영을 통제한다.

FMS는 일반적으로 기계가공 분야에서 각 부품들의 품종이 다양하고 (다품종) 생산량은 그렇게 많지않은 (중소량) 상황에 적합한 것으로 알려져 있다. FMS에서는 비록 부품들이 고유의 라우팅(routing)을 갖고는 있으나 이 라우팅도 자유롭게 변경할 수 있어야 하며 빈번하게 발생하는 제품변경과 공정변경에도 빨리 대처할 수 있어야 한다. 이와같은 FMS는 생산시스템에 유연성을 부여함으로써 제품 및 부품 생산에 영향을 미치는 다양한 제한조건들에 무리없이 대처하는 하나의 돌파구로 평가되고 있다[1].

일반적으로 FMS도입에는 크게 계획, 설계, 설치 및 운영의 3단계를 거치는 것으로 되어있다. 계획부문에서는 FMS를 이용하여 생산하고자 하는 제품과 필요한 부품들을 결정해야 하고 필요한 공정 및 생산량도 결정해야 한다. 설계부문에서는 공정에 적합한 기계, 로봇(robot), 컨베이어(conveyor), AGV(automated guided vehicle) 등 FM-S 관련 장비의 선택과 그 비용을 결정해야 하고 각 설비들의 배치도(layout)도 결정해야 한다. 설치 및 운영부문에서는 설계된 FMS를 설치하고 원활한 운영이 되도록 조정하는 것이다. 이와같은 과정을 거치는 FMS도입에 있어 핵심적인 분야의 하나인 설계부문에 있어서는 시스템의 생산능력과 투자회수에 대한 분석이 중요한 요소가 된다. 그러나

이와같은 분석을 한다는 것은 FMS시설 비용이 크고 FMS 자체의 복잡성 때문에 용이한 일은 아니다. 따라서 항상 변화하는 시장수요에 생산시스템을 신속히 적응시키고 그에 대한 분석이 가능한 자동화된 설계 툴(tool)을 마련하는 것이 산업계의 절실한 요구로 남아 있다[2].

FMS를 설계하는 데 있어서 장비들의 성능 평가 및 결정에 보편적으로 사용되고 있는 것은 분석적(analytical) 모델의 한계때문에 시뮬레이션(simulation)이 주류를 이루고 있다. 그러나 이 시뮬레이션도 다양한 지침과 경험적 지식에 의해 전문가가 실행은 하지만 본질적으로 시행착오에 의한 반복 설계방식이다. 따라서 전체 생산시스템이 복잡한 경우 가능한 설계대안이 매우 커지며 적시의 피이드백(feedback)을 지연시킨다는 문제점을 안고 있다. FMS 설계과정을 분석해 보면 다음과 같은 특성을 갖고 있음을 알수있다. 첫째, 결정해야 할 복잡한 사항이 좁은 범위에 한정되어 있고, 둘째, 경험있는 전문가가 존재하며, 셋째, 설계상의 결정은 이론적인 계산에 의한 것이기보다는 주로 발견적(heuristic) 기법에 의한다. 이러한 특성을 고려해 보면 일반적으로 알려져 있는 전문가시스템(Expert System)이 적용되기에 적합한 조건을 갖추고 있음을 알 수 있다[3].

본 논문에서는 시뮬레이션과 전문가시스템을 인터페이스(interface)시켜 FMS설계를 도와주는 디자이너(designer)의 지능화와 자동화의 가능성을 제시하고자 한다. 사용자는 전문가시스템을 통해 설계에 포함시킬 기계에 대한 지식없이도 사용해야 할 기계를 선택받을 수 있고 또한, 시뮬레이션을 통해 현 모델의 생산능력에 대한 평가도 받을 수 있다. 모델이 계획된 생산목표를 달성하지 못하면 전문가시스템은 개선된 설계모델을 제시하고 생산능력도 계산해 준다. 사용자는 전문가시스템이 선택의 상황에서 기준으로 사용하는 룰베이스(rule base)를 변경함으로써 설계기준도 설정할 수가 있

다. 이와 같은 기능을 가진 일체화되고 자동화된 FMS설계시스템을 개발하고 C언어를 사용하여 IRIS 3130 워크스테이션에서 이를 구현한다. 또한, 시뮬레이션 패키지로는 오토보트(AutoBots) [4] 및 오토모드/오토그램(AutoMod/Auto Gram) [5]을 이용한다. 개발된 시스템의 성능과 효율성을 평가해 보기 위해 간단한 예제를 사용하여 실험하고 그 결과를 제시한다.

2. 기존 연구의 고찰

FMS설계에 있어서 생산기계, 물류기기의 성능들을 고려하면서 FMS의 배치도, 설비의 종류, 생산 능력등을 수계산에 의해 어느 정도의 정적(static)인 설계는 가능하다. 그러나 시스템이 복잡해지면 여러가지 요소가 복합적으로 작용하기 때문에 시스템이 실제로 어떻게 작동되는가를 설계단계에서 점검한다는 것은 무척 어렵고 오차도 크게 발생할 수 있는 소지가 많다. 따라서 설계단계에서 설계된 시스템의 생산능력 및 관련된 파라미터(parameter)에 대한 분석이 필요하며 이를 위해 많은 분석 틀들이 개발되었다.

2.1 모델에 기초한 설계 방법

FMS설계에는 여러 형태의 모델을 사용할 수 있으나 일반적으로 분석적 모델과 시뮬레이션 모델이 주로 사용되고 있다. 먼저 분석적 모델을 살펴보면, 주로 폐쇄형 대기 네트워크(closed queueing network) 이론을 바탕으로한 것으로 초기 디자인 단계에서 적은 데이터를 가지고도 설계가 가능하다는 장점이 있다. Solberg[6]는 FMS에 맞는 대기행렬의 네트워크 모델인 CAN-Q를 개발하였다. CAN-Q는 시스템의 수행능력을 측정할 수 있는 여러가지 척도를 제공해주고 있는데 이를 통해서 시스템 설계를 평가해 볼 수 있다. 즉, 가공기계별

가동률, 각 작업장별 대기행렬 길이의 분포도, 생산률, 가공대상 부품들의 가공작업, 이동 및 대기에 소요되는 시간등에 대한 민감도 분석이 가능하다. Suri와 Hildebrant[7]는 CAN-Q 모델을 확장하여 MVAQ라는 모델을 개발하였다. MVAQ는 CAN-Q가 갖는 기본적인 기능들을 수행할 수 있을 뿐만 아니라, 사용자로 하여금 여러종의 가공대상 부품군 및 이들 부품군에 맞는 운반구와 고정구를 지정할 수 있는 기능을 갖추고 있다. 또한, MVAQ는 다른 대기행렬 네트워크의 해법들에 비해 컴퓨터의 기억용량을 적게 차지한다는 장점도 갖고 있다. 가공대상부품 및 가공기계 수가 커지더라도 수치 계산의 안정성과 계산의 효율성은 계속 유지된다. MVAQ는 CAN-Q에서 제공되는 것과 유사한 시스템 성능평가 척도를 제공하기도 하나 고정구의 지원이 제한적일 때는 MVAQ를 이용해야 한다. 기타 여러 모델에 대해서는 [1]에 자세히 설명되어 있다.

이러한 분석적인 수리모델에 있어서는 FMS의 효율적 운영에 일반적으로 큰 영향을 미치는 요인들인 작업지시의 임의 도착, 상황변화를 고려한 작업경로 및 가공계획 변경, 기계의 블럭킹(blocking)등의 동적인 요소를 반영할 수 없다는 전반적인 단점이 있다. 따라서 FMS설계등의 실제적인 상황에서는 시뮬레이션 모델을 사용하는 것이 보편화되어 있다. 시뮬레이션 모델을 사용한 연구들 [3,8,9,10]은 보다 자세한 정보가 필요하나 범용 시뮬레이션 언어를 이용한 생산시스템 전용 시뮬레이터(simulator)들을 개발하여 실험하는데 많은 노력과 시간을 절약하고 있다. 이런 시뮬레이터로는 GCMS[11], FMSSIM[12], GCMS를 확장시킨 MAST[13]등이 있다. 이중 GCMS는 초기에 개발된 생산시스템 시뮬레이터로 시스템내 존재하는 부품, 팔레트, 스테이션, 운송차, 크레인 및 포크리프트와 같은 물류 이동수단을 제공하며 사용자는 수치적인 자료입력만으로 실험결과를 얻을 수

있다.

2.2 전문가시스템을 이용한 설계

시뮬레이션 과정을 개선하기 위한 인공지능 응용에 대한 연구도 진행되어 왔는데 크게 두가지의 접근 방법이 시도되고 있다. 하나는 기존의 시뮬레이션에 지능적 환경을 첨가하여 통합화하는 것이고 다른 하나는 지능적 시뮬레이션 언어 자체를 개발하는 방법이다. 시뮬레이션과 전문가시스템을 이용하여 생산시스템을 설계하고 분석하는 연구로는 Haddock[14]이 SIMAN[15]언어를 사용하여 사용자입력과 시뮬레이션 결과를 분석한 자료를 바탕으로 생산시스템 설계를 위한 시뮬레이션 모델을 개발하였다. Wadhwa et al.[16]은 FAS(Flexible Assembly System)설계를 위한 전문가 시스템인 FASDT를 개발하였다. FASDT는 FASIM(FAS용 시뮬레이터)으로부터의 결과를 바탕으로 수정안을 만드는 시스템이다. Lenz와 Wichmann[17]은 MAST시뮬레이터로부터 결과를 얻어 설계안을 만들어 내는 PROLOG로 된 전문가 시스템인 X-MAS를 개발하였다. Mellichamp와 Wahab[3]은 FMS운영과 비용의 측면을 지식체계화하여 SIMAN 시뮬레이션 모델로부터 나온 결과를 이용하여 시스템을 개선하는 전문가시스템을 개발하였다. 이 시스템은 사용자가 지정하는 대체가능한 기계들 중 시스템의 성능을 향상시킬 수 있는 기계조합을 찾는 방법을 이용하였다.

기존 연구들에서 보는 바와 같이 시뮬레이션과 전문가시스템을 이용한 연구들은 이들 두 기법들이 각각 떨어져 수행되고 있는 것이 일반적이다. Mellichamp et al.[10]도 시뮬레이션과 전문가시스템이 인터페이스되어 일체화되고 자동화된 시스템의 개발이 필요함을 지적하고 있다. 따라서 본 논문에서 시도하는 바와 같은 이들 두기법이 인터페이스되어 일체화되고 자동화된 시스템의 개발은

없었던 것으로 보인다.

3. FMS설계

지능형 FMS 디자인을 개발하는데 있어 선행되어야 할 것은 FMS를 설계하는 경험과 지식을 갖고 있는 전문가의 설계방식을 조사하여 선택의 상황에서 사용될 지식을 얻어야 한다. 따라서 전문가들이 초기 모델을 설계하고 모델을 평가, 수정해 가는 일련의 과정에서 사용하는 지식, 경험등을 파악하여야 한다. 조사된 지식과 경험을 분석 정리하여 정보체제로 구성하고 이를 바탕으로 지능형 FMS 디자인이 자동적으로 FMS를 설계하게 된다.

3.1 전문가에 의한 FMS설계방식

FMS 설계방식을 이해하기 위해서는 전반적인 설계단계에 걸쳐 설계방향의 지침이 되는 요소를 숙지하여야 한다. 설계방식이란 설계방향에 맞도록 단계적으로 진행되는 과정을 종합한 절차를 말한다. 여기서 설계방향이라 함은 결국 FMS를 통해 무엇을 얻고자 하는가의 목표로 볼 수 있다. 전문가들이 중요하게 생각하는 설계상 목표중의 하나는 생산량이다. 즉, 설계된 시스템이 요구되는 각 부품에 대한 수량을 충분히 생산해 낼 수 있을 것인가 하는 문제이다. FMS란 본질적으로 다양한 물품을 다공정 처리기계를 이용하여 자유롭게 가공경로를 변화시켜 생산할 수 있는 시스템을 말한다. 따라서 만족할 만한 생산량을 달성하려면 사용하고 있는 장비의 이용률과 장비에 투입되기 위해 대기 상태에 있는 부품이 어느정도의 수치를 만족해야 한다. 다른 하나의 중요한 목표로는 시설비용에 관한 것으로 원하는 시스템을 총 투자 예산의 범위안에서 구성할 수 있어야 한다는 것이다. 이는 해당 기업체의 경영전략, 경영환경, 자금여력등에 기인

하는 것으로 무엇보다 중요한 요소가 된다[3]. 위의 두가지가 전문가에 의해 제시되는 가장 중요한 FMS 설계 목표로 이를 만족하는 범위에서 다음 과정을 통해 FMS를 설계하게 된다.

전문가가 제안하는 FMS설계방식 [3]을 단계적으로 정리하면,

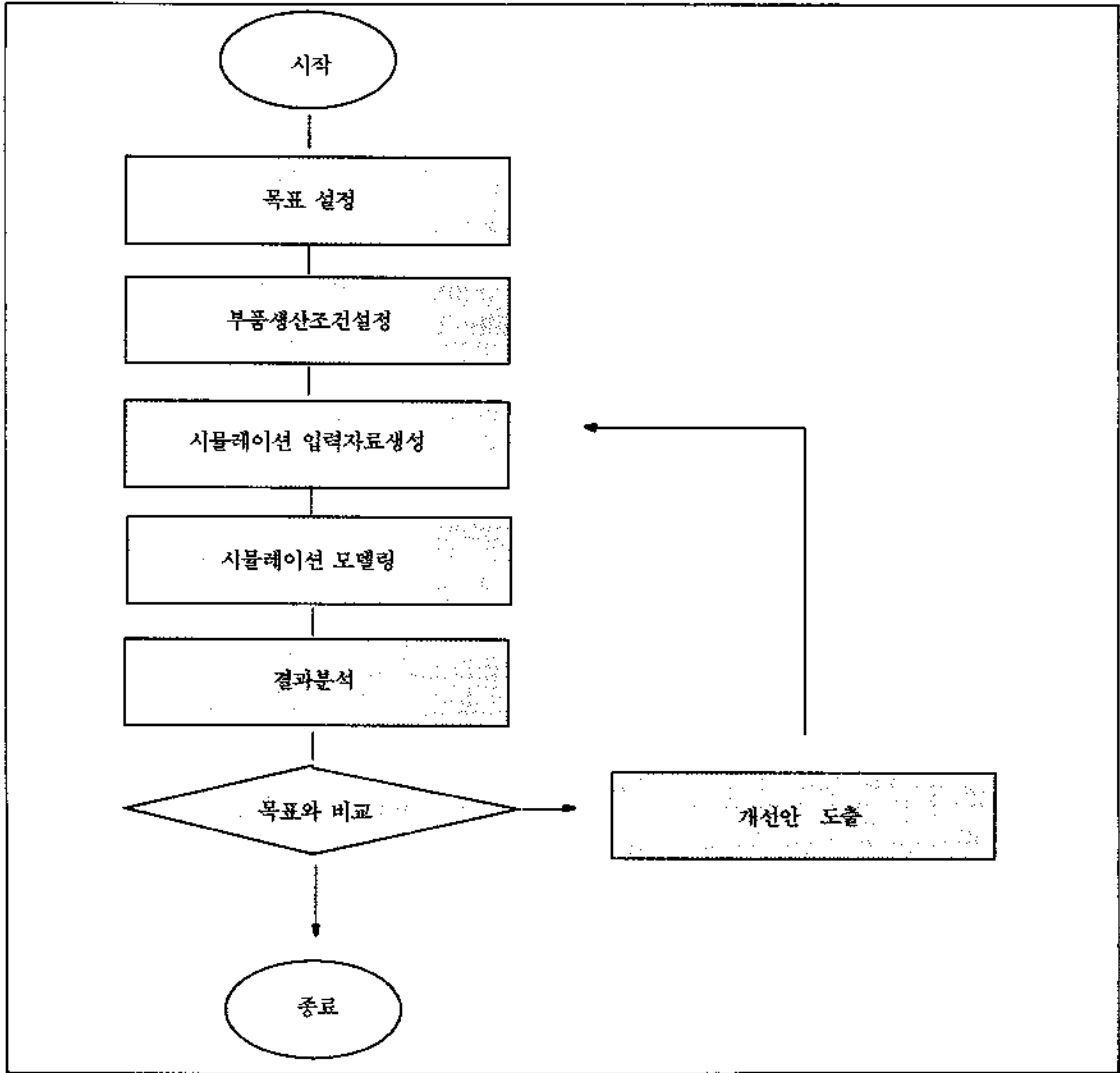
- 1단계 : 설계목표를 정한다.
- 2단계 : 생산시스템의 운영조건을 정한다. 예를 들면 부품스케줄이 여기에 해당된다.
- 3단계 : 초기 FMS에 포함시킬
 - i)물류시스템 ii)가공기계 iii)장착탈용(loading/unloading)기계 iv)제어시스템 등을 결정한다.
- 4단계 : 결정된 사항을 바탕으로 시뮬레이션모델을 개발하여 시뮬레이션을 수행한다.
- 5단계 : 설계안을 바탕으로 구성된 FMS를 분석한다.
- 6단계 : 설계목표에 맞는가를 비교, 평가하여 만족스런 경우 9단계로 가고, 아니면 7단계로 간다.
- 7단계 : 설계상의 문제점(병목현상등)을 찾는다.
- 8단계 : 문제점을 보완한 설계 개선방안을 제시하고 다시 4단계로 진행한다.
- 9단계 : 다른 개선안이 요구되는지를 확인하여 다른 대안이 필요한 경우에는 4단계로 가고, 아니면 10단계로 간다.
- 10단계 : 최종 설계안을 제안한다.

이러한 절차는 만족스러운 설계를 도출하기 위한 전체적인 윤곽에 불과한 것이며 4단계만 하더라도 모델링, 자료수집, 모델해석, 검증, 확인, 실험계획, 실험등의 과정을 거쳐야하는 것이다.

3.2 지능형 FMS 디자이너에 의한 설계방식

우선 필요한 데이터베이스와 설계안을 실험할 수 있는 시뮬레이션 모델러(modeler)(본 논문에서는 AutoMod[5]를 사용한다.)를 구성한 후 실험 결과를 평가하여 문제점을 찾는 전문가시스템을 구축한다. 지능형 FMS 디자이너(이하 디자이너로 약칭함)가 설계안을 만드는 과정은 크게 1)부품의 가공공정을 바탕으로 FMS의 물리적인 요소인 생산설비를 결정, 배치하는 부분과 2)부품의 생산계획을 만족시키도록 생산설비를 이용하는 계획부분으로 대별할 수 있다. 즉, 생산하고자 하는 부품의 수량과 가공공정을 바탕으로 예산한도 내에서 FMS에 포함시킬 기계를 선택하여 배치하는 과정과 각 기계가 처리해야 할 공정들의 결정 및 각 공정의 처리시간을 결정하는 과정으로 요약된다. 이러한 과정은 단 한번의 결정에 의해 완료되는 것이 아니라 시뮬레이션을 통한 실험 결과를 바탕으로 반복되어 수정, 보완된다.

디자이너에 의해 FMS를 설계하는 절차를 [그림 1]에 도사하였다. 첫째, 설계목표 즉, 각 부품별 생산량과 FMS 시설비용 예산을 입력받는다. 디자이너를 이용하는 사용자는 자신이 원하는 FMS를 구축하여 어떤 부품들을 어느 정도의 양만큼 생산할 것인지를 결정하고 책정된 예산을 입력한다. 둘째, 생산 시스템의 운영조건을 입력 받는다. 생산할 부품의 분류번호, 재질, 가공규격 및 가공공정을 라우팅순으로 입력받는다. 셋째, 시뮬레이션 입력자료를 생성한다. 입력받은 정보들을 구축되어 있는 데이터베이스와 비교하여 FMS내에 설치할 기계를 선정하고 각 기계가 처리해야 할 공정에 따라 기계를 배치한다. 또한, 부품 재질과 가공규격을 기준으로 가공시간을 계산하여 시뮬레이션 입력자료로 사용한다. 넷째, 앞에서 결정된 입력사항을 바탕으로 시뮬레이션 모델을 구성하여 시뮬레이션을 행한다. 모델링은 모델베이스와 코드 생성을 통해 프로그램 되어진다. 다섯째, 시뮬레이션 결과를 통해 생산량과 현실계의 시설비용을 구하여 생산목



[그림 1] 지능형 FMS 디자이너의 설계 절차

표와 비교한다. 마지막으로 목표에 도달한 경우 설계안을 제안한다. 반면, 목표에 도달하지 못한 경우는 현재 설계된 FMS모델중 전생산과정의 능력을 저하시키는 공정을 전문가 시스템을 통해 찾아내어 문제해결을 위한 대안을 제시하여 모델 입력을 재구성한다. 이상의 과정을 목표에 도달할 때까지 반복하여 만약 현재의 예산으로 목표를 만족시킬 수 없는 경우 예산 재구성을 제안하거나 현 예산으로 구성된 FMS모델의 생산량을 보고하게 된다.

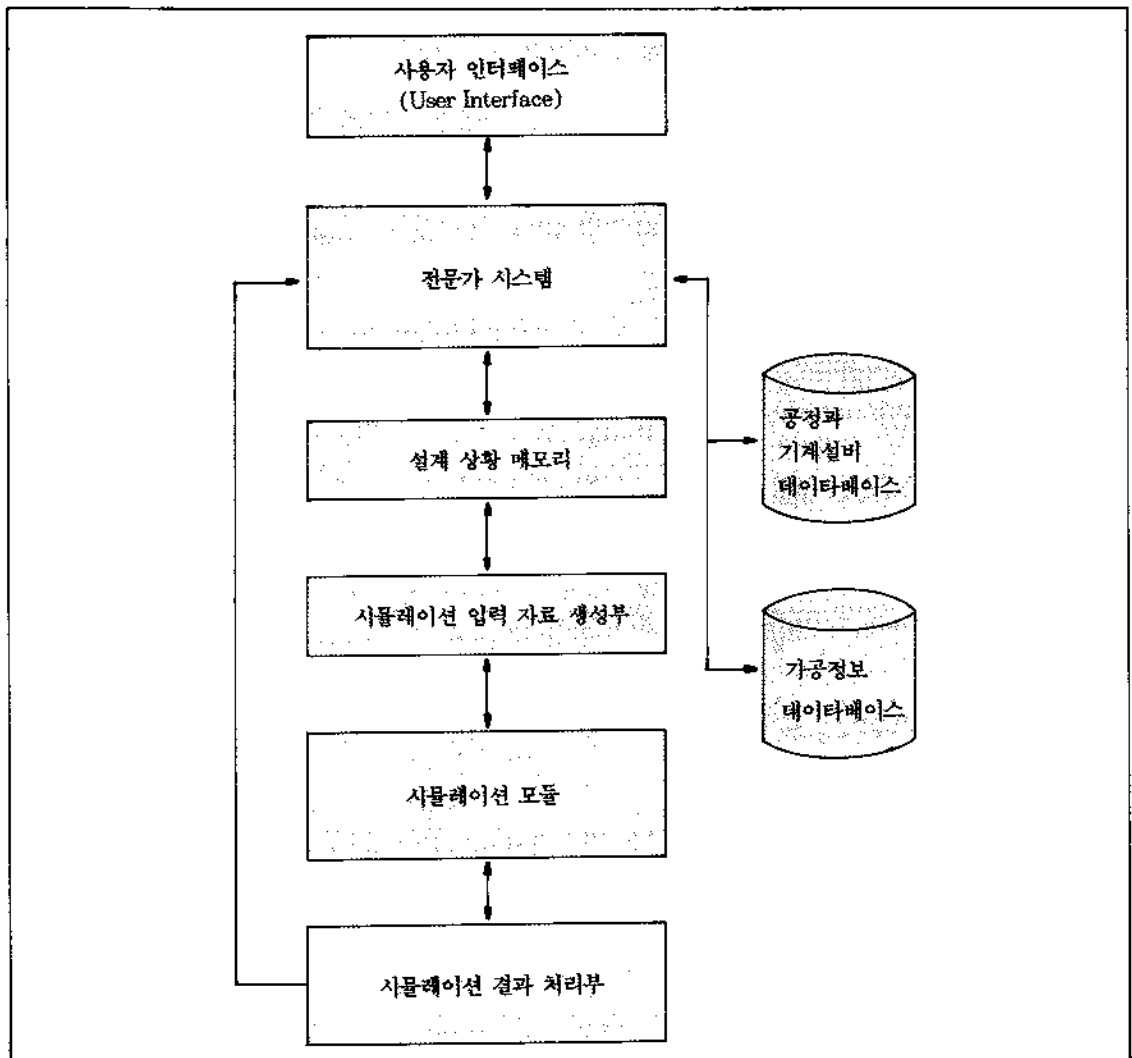
4. 자동화된 지능형 FMS 디자이너의 구성

디자이너를 구성하는데 있어서 원자재 및 가공품을 운반하는 물류시스템은 사각형 폐쇄형 루프(closed-loop)형태의 컨베이어시스템을 사용한다. 컨베이어시스템은 설치되면 변경하기 어렵다는 단점에도 불구하고 저렴한 설치비용 때문에 즐겨 사용되는 시스템이기 때문이다[2,18]. 또한, 사용자

에 의해 정해지는 부품 라우팅의 순서는 변할 수 없는 것으로 가정한다. 그러나, 부품 라우팅을 변경할 필요가 있을 경우에는 사용자가 미리 변경하여 입력할 수 있고, 또한 설비에 병목현상이 발생하면 그 가공작업을 다른 기계에서 수행할 수 있을 경우에는 할당(assign)을 변경시켜 줄 수도 있으므로 무리한 가정은 아닐 것이다.

자동화된 디자이너의 구성을 [그림 2]에 도시하였다. [그림 2]를 살펴보면 먼저 '사용자 인터페이스'를 통해 필요한 정보를 입력한다. '전문가 시스템'은 '사용자 인터페이스'를 통해 입력된 정보와

2개의 데이터베이스 즉, 공정 및 가공정보 데이터베이스를 바탕으로 추론하게 되고 그 결과를 '설계 상황 기록부'에 저장시킨다. 이 때 '시뮬레이션 입력자료 생성부'는 '시뮬레이션 모듈'에 적합하게 '설계상황 기록부'에 저장된 자료를 변환시켜 준다. 생성된 시뮬레이션 입력자료를 바탕으로 시뮬레이션 모듈을 만들어 런(run)을 하게된다. 이 결과가 '시뮬레이션 결과 처리부'에서 자동으로 분석된다. 각 처리부에 대해 좀 더 자세하게 설명하면 다음과 같다.



[그림 2] 자동화된 지능형 FMS 디자이너의 구성

4.1 데이터베이스 시스템

디자이너가 설계서 필요한 정보의 참조와 비교를 위해 필요한 자료를 데이터베이스로 만들고 자료의 수정과 첨가가 자유로운 시스템으로 구축한다. 구축된 데이터베이스 시스템은 공정 및 기계설비에 관한 정보와 가공조건에 대한 정보를 모아둔 두개의 데이터베이스와 이들 데이터베이스를 관리하는 프로그램으로 이루어 진다. 데이터베이스 관리프로그램은 데이터의 수정, 첨가 및 삭제와 디자이너가 필요로하는 정보를 데이터베이스로부터 찾아 제공하는 인터페이스 기능을 담당한다.

공정과 기계설비 데이터베이스는 디자이너가 시뮬레이션 입력자료를 생성하기 위해 참조하는 데이터베이스로 특정 가공공정에 대해 그 공정을 수행할 수 있는 기계설비가 수록되고 각 기계 특성치와 비용항목이 포함된다. 이 데이터베이스가 디자이너에 제공하는 공정은 가공에 있어 기본적인 여덟가지(milling, drilling, reaming, boring, turning, sawing, grinding, tapping)[19]를 바탕으로 구성하였고 사용자에게 의해 첨가, 수정 및 삭제될 수 있도록 설계되어 있다. 각 공정은 경우에 따라 해당 공정 자체로만 구성될 수도 있고 하부공정(sub-process)이 존재할 수도 있다. 예를 들어 밀링(milling)의 경우에는 하부공정으로 face밀링, side밀링, end밀링이 있고 드릴링(drilling)과 같이 하부공정이 존재하지 않는 경우도 있다. 기계별 특성치는 각 기계별로 가공할 수 있는 부품 크기에 관계된 것들로 선반의 경우를 보면, 스윙 폭, 축, 회전 가공 부품의 지름같은 것이다.

가공정보 데이터베이스는 입력된 부품의 가공규격 및 재질에 따른 절삭속도 및 피이드(feed)[20]를 데이터베이스화 한것이다. 부품생산에 필요한 공정이 선택되면 각 공정을 수행하는데 걸리는 시간 정보가 시뮬레이션 모델 구성을 위해 필요하게 된다. 가공시간의 결정은 각 공정에 따라 가공시간

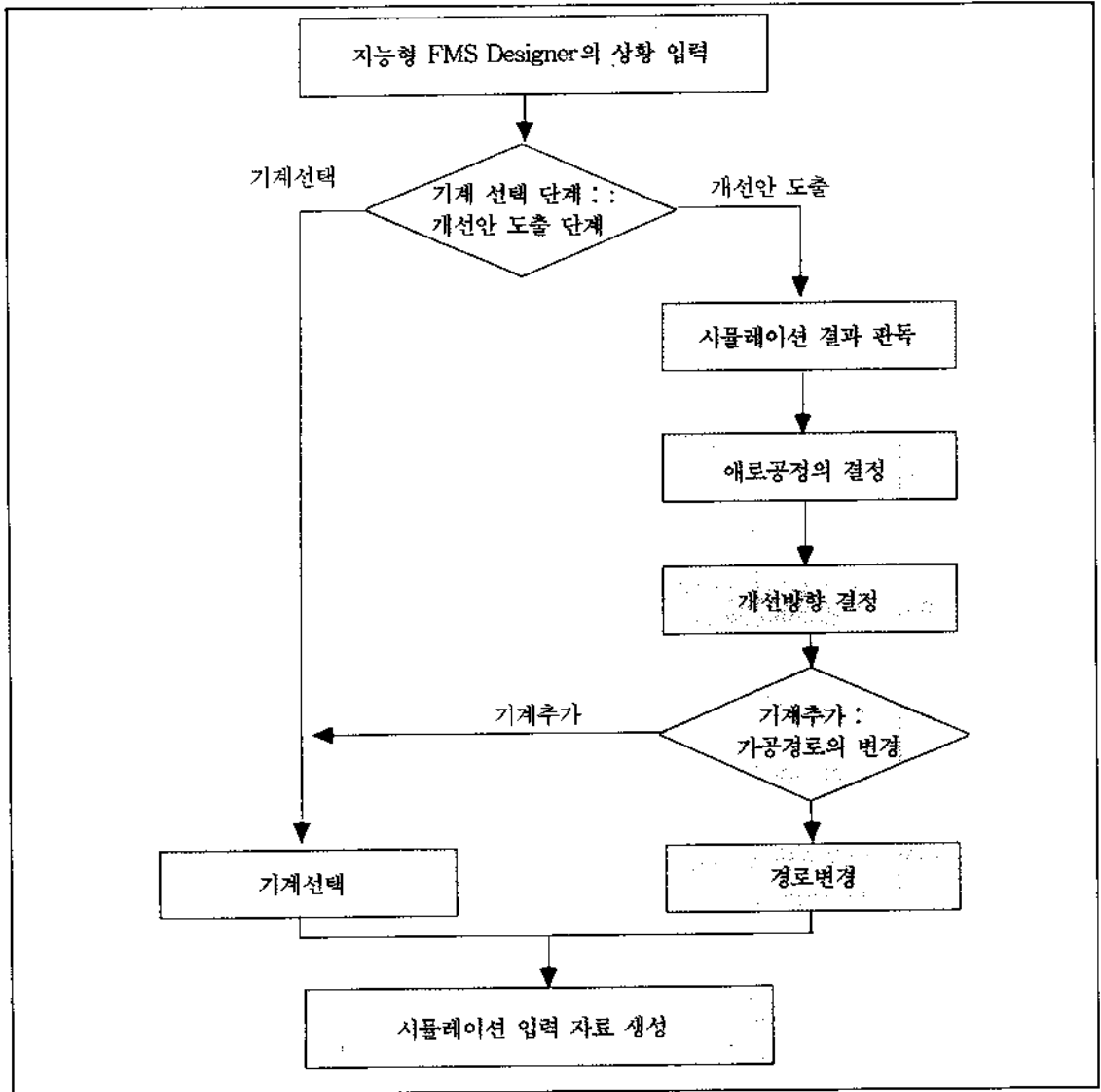
계산방법이 다른데 이에 대해서는 4.4절의 가공시간 계산부에서 설명한다.

4.2 전문가시스템

디자이너가 설계과정에서 기계선택의 상황이나 설계모델 개선의 상황과 같이 의사결정이 필요한 때에는 전문가시스템이 의사결정을 하게된다. 구현된 전문가시스템이 FMS설계시 운용되는 과정을 [그림 3]에 도시하였다. [그림 3]에서와 같이 디자이너가 가공공정에 따라 각 공정을 처리할 기계를 선택하는 경우나 기계의 추가가 필요한 경우에는 가공부품의 규격과 현단계에서의 설계상황에 따라 기계선택틀을 참조하여 사용기계를 선택하게 된다. 또한, 시뮬레이션 분석결과가 생산목표에 도달하지 못한 경우에는 전체 생산시스템의 능력을 저하시키는 공정을 찾아 내고 그에 따른 개선안을 도출하게 된다. 전문가시스템은 룰베이스(rule base), 추론부(inference engine), 그리고 룰에디터(rule editor)로 구성된다. 전문가시스템의 구성을 [그림 4]에 도시하였다. 전문가시스템은 다른 프로그램과의 인터페이스를 쉽게하기 위해 C 언어로 구축하였다. 각각의 구성요소를 좀 더 살펴보면 다음과 같다.

룰베이스

룰베이스는 전문가시스템의 추론부가 결정을 내려야 할 시점에 필요한 의사결정기준을 모아둔 것이다. 기계선택 틀, 애로공정결정 틀, 그리고 개선안도출 틀로 대별된다. 룰베이스에 입력된 틀의 형태는 If...then...구조를 갖는다. '기계선택 틀'은 부품의 가공공정과 공정 데이터베이스를 서로 일치(matching)시켜 사용가능 기계종류 중에서 설계상황에 맞는 기계를 선택하기 위해 사용되는 규칙이다. 가공할 부품의 크기 및 가공조건에 따른 선



[그림 3] 전문가 시스템의 구성

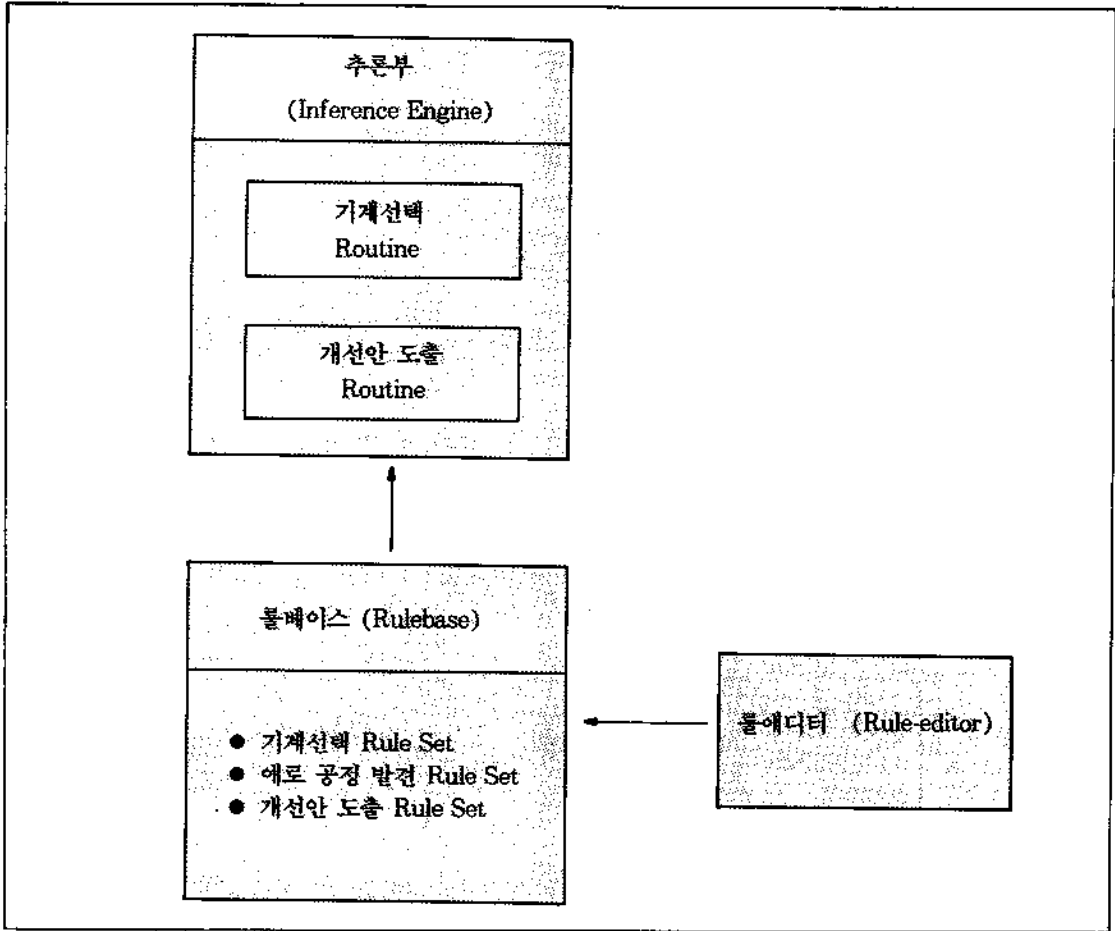
택의 기준을 제공한다. 사용자가 원한다면 각 공정 별로 사용할 기계의 선택기준을 직접 입력할 수도 있다.

'애로공정결정 물'은 시뮬레이션 결과에 따라 생길 수 있는 애로공정의 징후를 기계의 이용률과 대기부품 행렬길이를 나타내어 애로공정 결정의 기준으로 제공한다. '개선안도출 물'은 애로공정이 결정되면 그 공정을 해결하기 위해 다시 두가지의 하부 물인 '기계추가 물'과 '부품 라우팅변경 물'로

구분하여 적용한다.

i) 기계추가 물

애로공정이 결정되면 생산지연을 없애기 위해 해당 작업을 할 수 있는 기계를 추가하는 물이다. 이때 애로공정의 작업을 할 수 있는 기계중에서도 애로공정 작업 이외의 다른 여러가지 공정에 가장 많이 사용될 수 있는 기계를 선택하게 된다.



[그림 4] 전문가 시스템의 구성

ii) 부품라우팅 변경 룰

에로공정을 기계추가로 해결할 수 없는 경우에 에로공정에 해당하는 공정의 작업을 처리할 수 있는 기계중에서 이용률이 가장 낮은 기계를 선택하여 부품의 라우트(route)를 변경시켜 작업을 분산시키는 규칙이다.

추론부

디자이너에서의 추론과정은 전향추론(forward chaining)[22]에 의한다. 추론부는 '기계선택 루우틴(routine)'과 '개선안도출 루우틴'으로 구성된다.

다. 추론부의 역할은 기계선택의 상황에서는 '기계선택 루우틴'을 수행시켜 룰 중에서 현 설계상황에 맞는 룰을 찾아 기계를 선택하는 과정을 담당한다. 또한, 개선안을 만들어야 하는 상황에서는 시뮬레이션 결과를 바탕으로 '개선안도출 루우틴'을 수행시켜 '에로공정결정 룰'에 근거하여 에로공정을 결정된 뒤 '개선안도출 룰'에 의해 에로공정의 해결 방법을 제시하게 된다.

'기계선택 루우틴'은 부품의 가공공정에 따라 해당 공정을 처리할 기계를 부품의 크기등을 기준으로 '기계선택 룰'에 따라 기계를 선택한다. 개선안도출을 위해 기계를 추가하는 경우는 해당 에로공정에 대해서만 이루어짐으로 비교적 간단하다. 그

러나 초기 모델링의 경우는 각 부품에 따른 공정 모두에 대해 기계를 선택해야 하므로 다소 복잡해진다. FMS내에 설치 할 기계들은 처리가능 공정이 하나에 한정되지 않으므로 하나의 가공경로에 포함된 몇 개의 공정을 하나의 기계로 처리할 수 있는 경우도 있다. 또한, FMS는 다수의 부품을 생산하므로 부품간에 동일한 공정이 존재할 수도 있다. 따라서 초기 모델링에서는 이런 모든 공정을 처리할 수 있는 최소의 기계종류 집합을 구하게 된다. 선택된 기계와 각 기계가 처리해야 할 공정은 '설계상황 기록부'에 저장된다.

'개선안도출 루우틴'은 '시물레이션 결과처리부'에서 개선안이 필요하다는 요청이 들어오면 작업을 시작한다. 우선 시물레이션 결과중 애로공정 결정요인인 기계이용률과 버퍼(buffer)에 들어있는 부품의 대기행렬 길이를 입력받게 되고 '애로공정 결정들'을 참조하여 애로공정을 결정한다. 애로공정이 결정되면 '개선안 도출물'로부터 예산 여유분을 참조하여 개선안 도출방법을 결정한다.

롤 에디터

롤 에디터는 롤 베이스의 수정, 첨가, 삭제를 용이하게 해주는 역할을 한다. 전문가시스템은 일반적으로 추론부와 롤베이스가 분리되어야 한다. 의사결정 기준은 상황에 따라 자주 변할 수 있는데 그 적용에 대한 방법이 같이 집적된 경우에는 기준이 변할 때마다 시스템 전부를 수정해야 하는 불편함이 있기 때문이다.

4.3 설계상황 기록부

'설계상황 기록부'는 각 설계단계에서 그 전 단계까지의 설계상황을 참조하여 현 설계안이 제한조건을 만족시키는 범위에서 구성되도록 필요한 정보를 저장하는 부분이다. FMS 구성을 위해 사용되는

공정과 기계간의 관계 및 예산에 대한 정보를 저장한다. 또한, 설계된 FMS에 포함된 기계종류, 각 기계종류에 따라 사용된 기계 댓수, 기계에 의해 구성되는 셀(celi)의 갯수, 각 기계종류가 처리해야 하는 공정들, 공정의 선후관계, 사용된 비용 및 앞으로 사용할 수 있는 예산도 저장한다. 이를 바탕으로 기계배치 및 비용계산, 개선안 도출이 수행된다.

4.4 시물레이션 입력자료 생성부

'시물레이션 입력자료 생성부'는 물리적인 기계 배치를 위한 '기계배치 순서결정부'와 가공시간 계산을 위한 '가공시간 계산부'로 나뉜다. '시물레이션 모듈(4.5절에서 설명한다)'은 기계배치 순서와 공정당 가공시간을 입력받으면 '설계상황 기록부'를 통해 모델을 구성할 수 있게 된다. 각 구성부분을 살펴보면 다음과 같다.

기계배치 순서결정부

디자이너의 개발에 사용된 물류시스템은 단방향으로 움직이고 사각형의 폐쇄형 루프 컨베이어시스템으로 컨베이어 운행방향을 따라 기계가 배치된다. 먼저 전문가시스템에 의해 선택된 기계와 각 기계가 담당하는 공정정보는 '설계상황 기록부'를 통해 입력된다. 입력된 자료를 바탕으로 모든 공정을 소화해낼 수 있는 최소의 기계집합이 초기안으로 선택된다. 각 기계가 처리할 수 있는 공정은 하나가 아니므로 모든 부품의 가공경로를 따라 기계를 배치한다는것은 불가능하다. 기계배치 순서의 최적해를 결정하는 것은 TSP (Traveling Salesman Problem)로 이는 NP-Complete에 해당된다 [22]. 이 부분을 본 논문에서 논하고자 하는것은 아니기 때문에 여기서는 다음과 같은 발견적 기법을 사용하였고 [그림 5]에 그 과정을 pseudo 코

```

Machine_layout_list = [ null ];

Sorting Part process_sequence according to Quantity
    to be produced for descending order ;
part_processes_list = Makelist (sorted result) ;
main_process = Head([part_processes_list]) ;
sub_processes_list =
    Makelist (processes except main_process) ;

while ( [part_processes_list] = empty )
{
    current_working_process =
        Head([part_processes_list]) ;
    while ( i <= Number (current_working_process) )
    {
        Replace (Element (current_working_process) ,
            machine used for that process) ;
        Unify (multiposition machine, first position);
        part_X_machine_list =
            Makelist (result of replacement and unifying);
        i=i+1;
    }
    machineslist=Appendlist ( part_X_machine_list) ;
}

main_process_mashinelist=Head(machineslist);
sub_processes_machinelist=Tail(machineslist) ;

```

[그림 5] 기계배치의 Pseudo Code

```

Machine_layout_list =
    Appendlist (main_process_machine_list);
sub_processes_machine_list=
    Remove(machine on machine_layout_list);
while ( sub_processes_machine_list = empty )
{
    current_machine_list =
        Head(sub_processes_machine_list);
while ( current_machine_list = empty )
{
    machine_to_lay_out = Head(current_machine_list);
    if (Exist (Predessesor(machine_to_lay_out) ,
                Machine_layout_list )
        then Putlist(machine_to_lay_out,
                    next position of predessor on
                        Machine_layout_list;
    else if(Exist(Successor(machine_to_lay_out) ,
                Machine_layout_list)
        then Putlist(machine_to_lay_out,
                    in front of succesor on
                        Machine_layout_list;
    else
        Putlist(machine on the top of
                Machine_layout_list;

```

[그림 5] 기계배치의 Pseudo Code

드로 나타내었다.

[그림 5]에서 보는 바와 같이 우선 기계배치열을 만들어 초기화하고 부품생산에 필요한 기계배치를 한다. 부품당 생산해야 하는 물량을 기준으로 많은 것부터 적은 순으로 부품 가공경로의 순서를 준다. 순서에 따라 가공경로를 차례로 part-process-list에 넣어 가공경로 각각을 원소로 갖는

하나의 리스트로 구성한다. part-process-list의 첫째 원소를 꺼내 main-process로 하고 그외의 것을 sub-processes-list로 정의한다. 부품별 가공경로에 포함된 가공공정을 그 공정을 맡은 기계로 대체시켜 나열하고 나열된 기계열 안에 중복되어 나타나는 기계를 최선행 위치에 하나로 묶는다. 이상의 작업이 완료되면 part-X-machine-list가 만들

어진다. 이를 모아 machineslist를 만든다. 주 가공경로에 따라 배치된 기계열을 main_process_machine.list로 하고 sub_processes.list에 따라 배치된 기계열을 sub_processes_machine.list로 정의한다. main-process-machine-list를 Machine-layout list에 넣어 임시적인 기계배치 순서로 정하고 sub_processes machine-list에서 Machine layout-list에 이미 배치된 기계들을 제거한다. 다음에는 생산물량이 두번째로 많은 가공경로상에 남아있는 기계를 가공경로 순서에 따라 배치한다. 기계배치는 먼저 배치한 기계순서를 변경시키지 않는 범위에서 이루어 지도록 한다. 먼저 배치해야 할 기계(machine-to-layout)의 가공공정상 선행공정을 맡은 기계를 찾아 현재까지 배열된 기계배치열(Machine-layout-list)에 있는지를 확인하고 만약 있으면, 기계 배치열상 뒤에 배치하고 없으면 후행공정을 맡은 기계가 어떤 기계인지를 확인하여 현재까지 배치된 기계열안에 있으면 그 앞쪽에 배치한다. 이 경우에도 현재 기계배치열에 없으면 기계배치열 선두에 배치한다. 위의 과정을 반복하여 모든 기계를 배치한다.

가공시간 계산부

가공시간을 결정짓는 부품의 절삭속도와 피이드는 기계성능보다는 부품의 재질에 따라 결정되며 사용되는 기계에 따라 부품 가공속도 계산에 사용된다[23]. 부품의 절삭부피가 입력되면 절삭속도와 피이드가 각각 어느 방향의 절삭인지를 결정하여 다음 식에 의해 가공시간을 계산하게 된다.

$$T(\text{가공시간}) = \{ \text{절삭방향규격} / \text{절삭속도} \} \times \{ \text{절삭깊이} \times \text{방향규격} / \text{피이드} \}$$

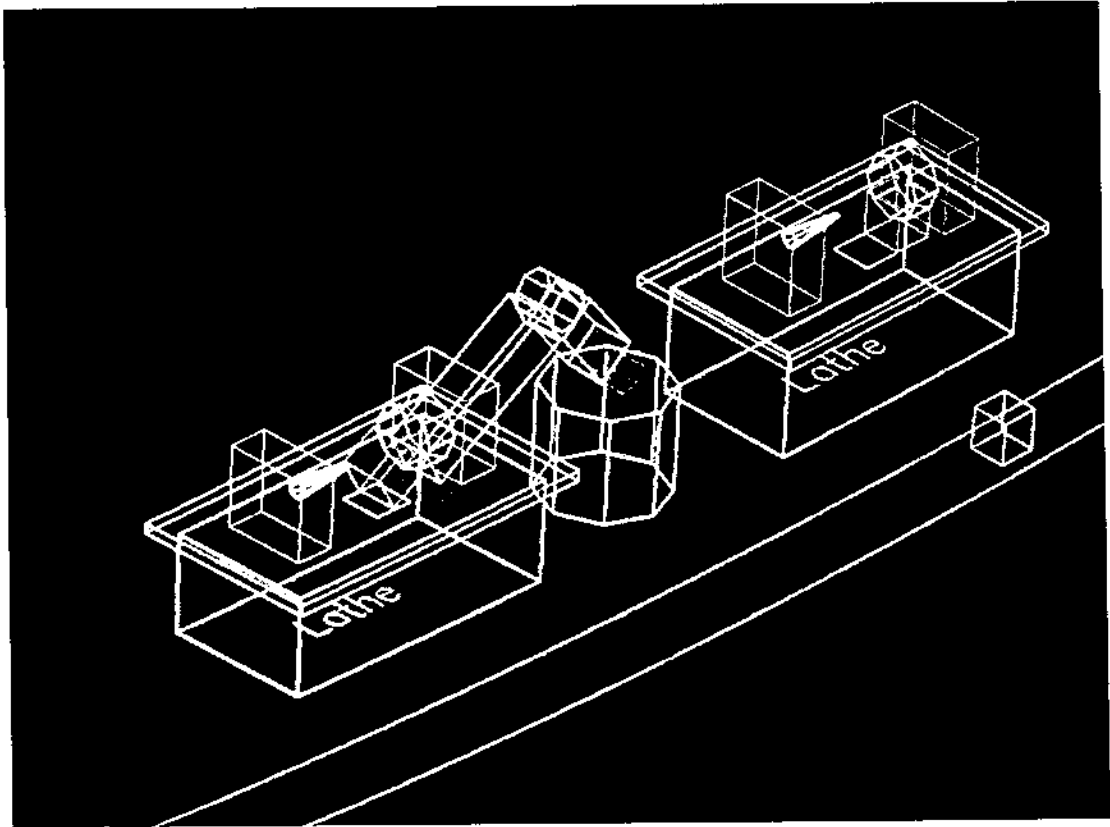
예를 들어, 선반의 경우 회전형상을 가공하는데 turning작업을 하고 부품재질이 공구강이라면 가

공정보 데이터베이스에서 절삭속도는 21m/min, 피이드는 0.25~0.50mm가 선택된다. 선반가공의 경우 절삭속도란 선반의 회전축 방향과 평행하게 절삭하는 속도이고 피이드는 한번 절삭에 톨이 부품을 파고드는 깊이에 해당한다. 따라서 부품의 가공규격이 210mm(표면가공길이)×10mm(절삭해야 하는 깊이)이면 가공시간 T는 피이드가 0.25mm인 경우에는 0.4min, 피이드가 0.50mm인 경우에는 0.2min가 각각 계산된다.

4.5 시뮬레이션 모듈

시뮬레이션 모듈은 현재 설계된 FMS에 맞는 시뮬레이션 모델을 구성하고 구성된 모델을 런하여 분석하는 것으로 '시뮬레이션 모델러'와 '결과 보고자(output reporter)'로 구성되어 있다. '시뮬레이션 모델러'는 다시 모델베이스와 코드 생성부로 나뉘어져 있다. '시뮬레이션 모듈'의 수행절차를 살펴보면, 먼저 '시뮬레이션 입력자료 생성부'로부터 자료를 입력받으면, 사용공정에 따라 필요한 모델베이스를 선택하게 된다. 선택된 모델베이스를 바탕으로 라우팅에 따른 시뮬레이션 코드를 '코드 생성부'를 통해 작성하게 된다. 생성된 코드에 따라 시뮬레이션 런을 하게되고 그 결과를 '결과보고자'를 통해 정리한다.

'시뮬레이션 모델러'는 설계된 FMS에 맞는 시뮬레이션 모델을 작성하게 되는데, '시뮬레이션 입력자료 생성부'에서 기계배치 순서와 부품별 공정에서의 가공시간을 입력받고 '설계상황 기록부'에서 사용된 기계종류와 종류별 기계대수 및 셀의 수를 참조하여 시뮬레이션 프로그램을 구성한다. 모델러의 작업을 편리하게 하기위해 하나의 장착탈용 로봇트와 작업대기를 위한 버퍼, 그리고 그 로봇트에 의해 장착탈 되는 기계를 최대 2개까지 포함시켜 하나의 워크셀(work cell)을 정의한다. '설계상황 기록부'에서 참조된 종류별 기계 수와 셀의 수에 따라 워크셀을 구성하게 되는데 하나의 워크



[그림 6] 워크셀(work Cell)의 예

셀은 같은 종류의 기계로만 구성한다. 워크셀의 예를 [그림 6]에 도시하였다. 모델러는 이런 사실을 바탕으로 각 기계의 크기를 상수로 고정하여 포함되는 워크셀의 숫자에 따라 컨베이어 설치길이를 결정한다. 또한, '시뮬레이션 입력자료 생성부'에서 결정한 배치순서와 결정된 컨베이어에 따라 각 워크셀의 위치, 장착탈용 로봇의 위치, 워크셀별로 사용되는 기계의 위치를 계산 결정하여 FMS의 물리적인 구성을 완성한다.

물리적인 설비배치가 결정되면 FMS내에서 물류 운반 시스템을 통해 설비에 투입되는 부품들의 가공공정을 결정하게 된다. 모델베이스는 워크셀내의 부품이동에 대한 시뮬레이션 프로그램을 만들어 놓은 것으로 로봇동작 프로그램과 기계에 부품을 할당하는 원칙 및 투입된 부품의 가공에 대한 프로그

그램이다. 다시 말하자면, 부품이 로봇에 의해 워크셀내에 투입되어 가공된 후 다시 물류시스템으로 반송될 때까지의 프로그램이다. 따라서 각 워크셀의 가공공정 프로그램은 적절한 모델베이스를 선택하므로써 가능하다. 모델베이스의 예를 [그림 7]에 도시하였다. 다음으로 부품의 라우팅을 고려하여 워크셀간의 부품이동에 대한 프로그램이 코드 생성부에서 작성된다. 즉, 모델베이스는 하나의 워크셀안의 부품이동 시뮬레이션에 해당되고 각 워크셀을 셀내에 들어온 부품별 가공경로에 따라 연결함으로써 전체적인 시뮬레이션 코드를 작성하게 된다.

'결과 보고자'는 시뮬레이션 결과를 전문가시스템이 분석하기 편리한 형태로 정리하는 부분으로서 복잡한 오토모드 시뮬레이션 결과중 기계의 이용률

```

/*      work cell X      ( machine type I ) */
send all_input_part to cell_buffer ;
send all_input_part to Robot for loading ;
load all_input_part to idle machine ;
identify part_ID and machining for that part's time ;
unload machined_part with Robot ;

----- [ variable block ] -----
identify part_ID and send to next process
                                according to it's process_sequence ;

```

[그림 7] 모델베이스의 예

과 버퍼에 대기하고 있는 대기행렬의 크기를 추려 화일을 재구성한 것이다.

4.6 시뮬레이션 결과처리부

시뮬레이션의 결과 즉, 생산량에 대한 결과가 얻어지면 생산목표와 비교하여 생산량이 목적에 도달한 경우 현재의 모델을 사용자에게 설계모델로서 제공한다. 이 때 '설계상황 기록부'에 저장된 사용한 가공기계 비용 및 배치에 대한 결과를 보고하게 된다. 만약 생산목표에 도달하지 못한 경우는 현 설계모델의 시뮬레이션 결과로 각 기계의 이용률, 버퍼상태등을 '시뮬레이션 모듈'중 '결과 보고자'의 결과를 읽어 전문가시스템에 전달한다. 앞의 과정은 만족할 만한 결과가 나올 때까지 반복되나 '설계상황 기록부'로부터 입수한 정보가 개선안을 만들기에 예산이 부족한 경우에 해당되면 전문가시스템에게 사용자로 하여금 예산 추가를 제안할 것을 알리고 현재의 예산범위에서 시뮬레이션 결과로 나온 생산량을 보고하게 된다.

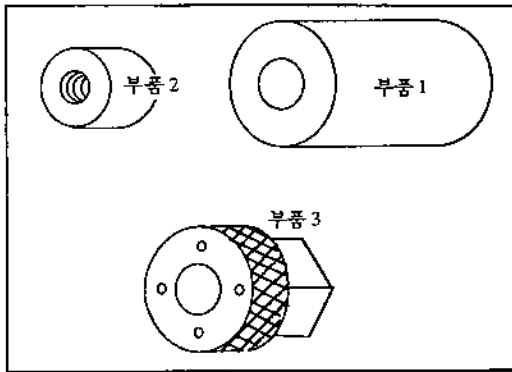
5. 적용사례 및 실험결과

개발된 디자인어를 실험적 문제에 적용하여 그 결과를 토대로 성능을 평가하여 보았다. 실험을 위한 시뮬레이션에 대한 사항으로 1) 기계 가공 시간은 uniform분포를 사용하였고, 2) 시뮬레이션의 결과로는 대안별로 8시간을 수행하여 얻은 결과를 1시간에 해당되는 평균값을 계산하여 사용하였으며, 3) 부품의 발생은 시간당 생산량보다 25% 정도 많은량이 발생하도록 하였고, 4) 버퍼 크기는 10개로 설정하였다. 사례에서는 디자인어의 작업 과정 타당성을 기계매치 중심과 다양하게 대안이나올 수 있는 상황을 설정하여 시험하여 보았다.

5.1 문제 기술

3가지 부품으로 구성된 조립품을 가공생산하는 FMS를 구현한다. 각 부품의 형상을 [그림 8]에 나타내었다. 생산목표로는 부품1을 시간당 16개 이상, 부품2를 시간당 12개 이상, 부품3을 시간당

8개 이상 생산하는 것으로 정한다. 이와같은 생산 능력을 갖는 FMS를 총비용 2억 3천만원의 예산 범위내에서 구성하는 것을 제한조건으로 설정한다. 부품 1은 drilling→boring→reaming→turning→grinding의 순서로, 부품2는 turning→grinding→knurling→drilling→side milling의 순서로, 부품3은 drilling→boring→grinding→tapping의 순서로 가공을 해야한다고 설정한다. 가공하고자 하는 모든 부품의 재질은 주물로 선정하였다.



[그림 8] 생산품의 형상

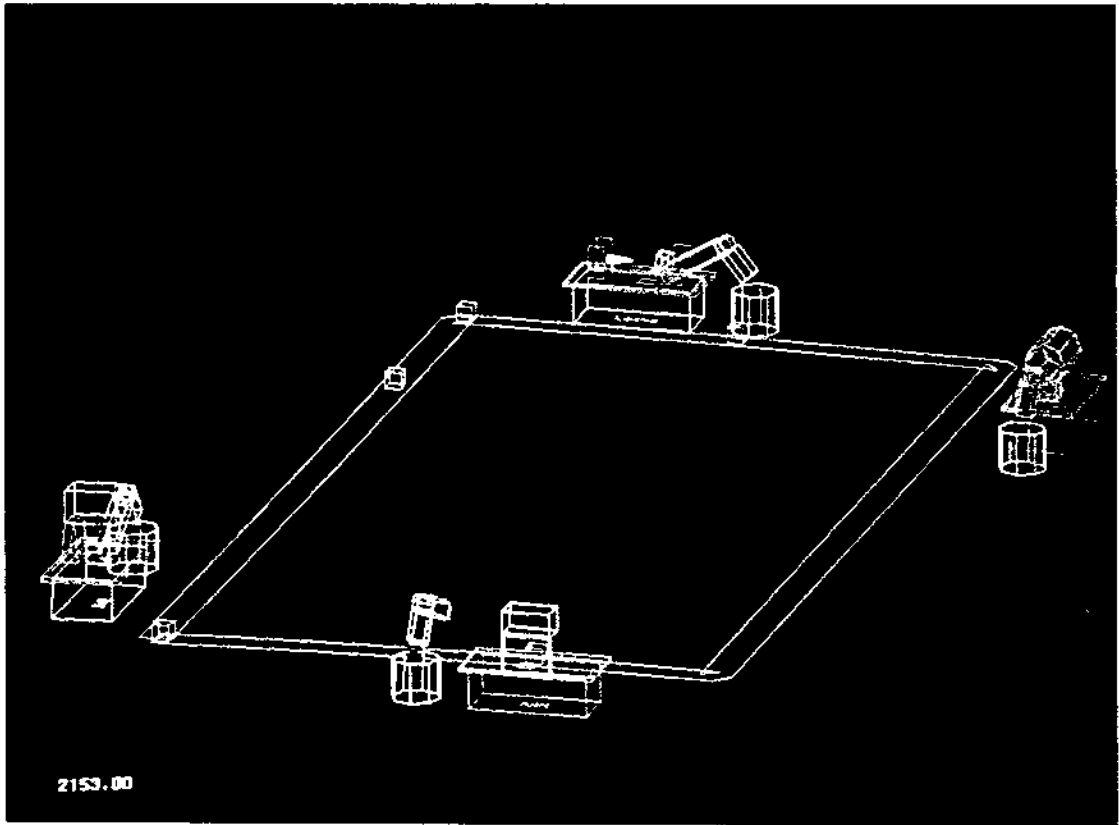
5.2 실험결과 및 분석

상기 상황에 따라 디자이너는 필요한 공정을 처리하기 위한 기계집합으로 밀링머신, 선반, 드릴링머신, 그리고 그라인더를 초기모델 구성을 위해 '공정과 기계설비 데이터베이스'를 참조하여 각각 1대씩 선택하였다. 이 때 밀링머신은 side milling, tapping공정을, 선반은 turning, boring, knurling 및 reaming 공정을, 드릴링 머신은 drilling을, 그라인더는 grinding공정을 처리하게 된다.

기계배치 순서를 살펴보면, 부품1의 생산량이 가장 많으므로 부품1의 가공경로가 주 가공경로가 되고 부품2, 부품3의 순으로 부 가공경로의 순서가 결정된다. 선택된 기계집합은 우선 주 가공경로에 따라 배치순서를 받게 되는데 주 가공경로가 drilling→boring→reaming→turning→grinding

순이므로 기계는 drilling을 맡는 드릴링머신, boring, reaming, turning을 맡는 선반, grinding을 위한 그라인더 순으로 배열되었다. 두개의 부가공경로중 부품2의 생산량이 많으므로 그 가공경로에 따라 주 가공경로의 배치에 변화를 주지않는 범위에서 기계를 첨가 배치하게 되는데 부품2의 가공공정은 turning→grinding→knurling→drilling→side milling으로 선반, 그라인더, 드릴링머신, 밀링머신이 선택되는데 밀링머신의 배치만을 제외하고는 모두 주 가공경로의 배치에서 이미 결정되었다. 밀링머신의 배치를 위해서는 부품2의 가공경로의 선후관계를 보아 선행되는 기계뒤에 우선 배치하고 선행되는 기계가 없는 경우 후행하는 기계앞에 배치한다. 따라서 부품2의 가공경로에서 side milling을 맡는 밀링머신은 side milling앞에 선행작업이 있으므로 제일 뒤에 배치된다. 부품3은 drilling→boring→grinding→tapping순의 가공공정을 거치는데 이들은 이미 주 가공경로의 배치에서 결정되었다. 따라서 최종적으로 배치된 기계순서는 컨베이어를 따라 시계방향으로 드릴링머신, 선반, 그라인더, 밀링머신 순이다.

결정된 기계배치순서와 가공시간의 정보가 시뮬레이션 모듈에 입력되어 나온 초기 모델의 구성이 [그림 9]에 도시되었다. 초기안을 바탕으로 결과를 개선해 가면서 수행한 시뮬레이션 결과를 <표 1>에, 대안별 설비 비용을 <표 2>에 수록하였다. 디자이너가 대안을 만들어가는 과정을 <표 1>과 <표 2>의 결과를 따라 분석해 보면, 초기안의 경우 드릴링머신의 이용률이 82.7%, 대기행렬에 들어있는 부품수도 9.81개로 가장 수치가 높아 드릴링을 위해 많은 부품이 대기상태에 있고 드릴링작업도 상당히 바쁜 것으로 나타났다. 따라서 드릴링머신의 부하를 감소시키기 위해 기계를 추가하는 대안 1이 제시되었다. 대안1의 경우 드릴링 작업을 위해 대기하는 부품수는 줄었으나 추가된 기계와 기존의 기계가 모두 이용률이 감소되지 않았다. 따라



[그림 9] 초기안의 FMS 설계 모델

서 새로운 드릴링머신의 도입이 선택되어 대안2가 만들어 졌다. 대안2의 결과를 보면 그라인더에서의 대기행렬의 길이가 9.28개, 기계이용률이 64.5%로 가장 높아 애로공정이 됨을 알 수 있다. 따라서 그라인더를 추가하는 대안3이 제시되었다. <표 2>에서 알 수 있듯이 대안3의 경우, 선반의 작업이 애로공정이 되어 선반을 추가하는 대안4가 만들어 졌다. 대안4에서는 각 기계의 이용률이 비교적 균등하므로 대기행렬의 값이 다른 기계에 비해 높은 그라인더의 추가가 필요함을 알 수 있다. 그라인더를 추가하여 얻은 대안5의 경우, 각 부품의 생산량이 목표에 도달하였음을 알 수 있다. 즉, 부품1이 시간당 평균 18.3개로 목표량 16개보다 많고 부품

2가 평균 시간당 13.9개, 부품3은 시간당 9.8개로 각각의 목표량 12개, 8개보다 많음을 알 수 있다. 또한 <표 2>에서는 보는 바와 같이 대안5의 시설 비용이 2억 3천만원을 넘지않음을 알 수 있다.

대안5의 실험결과를 보면 이미 목표는 달성하였지만 드릴링머신이 애로공정에 해당된다. 그러나 예산상 드릴링머신의 추가가 불가능하다. 이때 더 자이너지 애로공정의 가공을 할 수 있는 이용률이 낮은 기계를 찾아 부품을 할당하게 된다. 드릴링작업은 선반에서도 가능하므로 드릴링머신으로 들어가는 부품의 일부를 선반으로 할당하게 된다. 이

〈표 1〉 시뮬레이션 결과

대안	구분	기 계				부품	생 산 량
		Mill	Lathe	Drill	Grinder	번호	
초기	대 수	1	1	1	1	1	4.8
	이용률(%)	22.5	61.7	82.7	63.5	2	4.5
	평균대기부품수	1.02	6.30	9.81	0.01	3	4.2
1	대 수	1	1	2	1	1	5.3
	이용률(%)	47.0	61.8	82.5 81.1	63.5	2	10.2
	평균대기부품수	1.23	6.22	5.68	1.01	3	7.4
2	대 수	1	1	3	1	1	7.6
	이용률(%)	49.9	60.7	63.4 63.0 57.9	64.5	2	10.4
	평균대기부품수	1.41	3.74	1.13 2.29	9.28	3	8.1
3	대 수	1	1	3	2	1	10.7
	이용률(%)	56.4	66.1	73.0 72.7 64.1	56.1 52.7	2	11.8
	평균대기부품수	2.70	8.35	1.21 1.53	2.01	3	10.2
4	대 수	1	2	3	2	1	15.6
	이용률(%)	56.7	66.7 65.8	77.4 75.9 69.3	73.2 71.9	2	13.2
	평균대기부품수	5.59	1.31	2.14 2.15	9.74	3	9.5
5	대 수	1	2	3	3	1	18.3
	이용률(%)	55.0	65.0 63.4	80.4 78.3 71.9	67.7 64.4 58.2	2	13.9
	평균대기부품수	7.09	1.23	5.04 3.40	0.59 0.01	3	9.8
6	대 수	1	2	3	3	1	20.4
	이용률(%)	55.0	71.8 71.7	80.0 78.3 70.2	69.3 68.8 52.1	2	14.5
	평균대기부품수	7.41	2.42	2.16 2.16	0.58 0.01	3	8.3

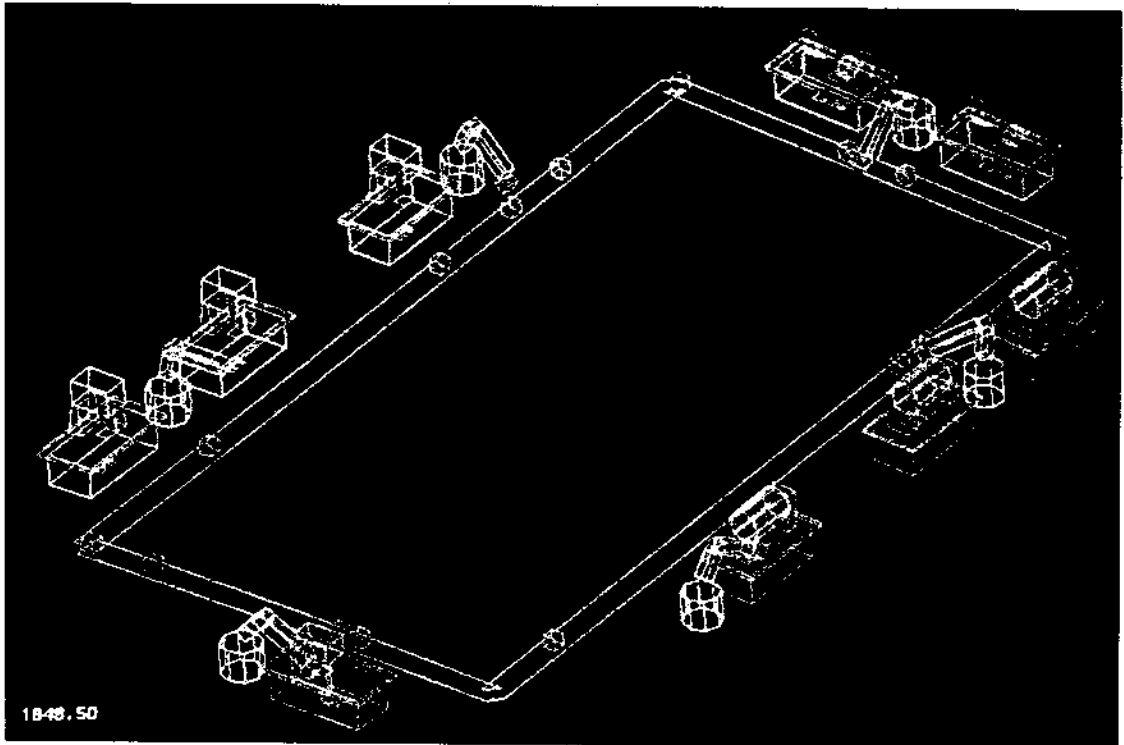
〈표 2〉 대안별 설비비용

(단위 : 천원)

기계	단가	초기안		대안1		대안2		대안3		대안4		대안5		대안6	
		대수	기계비용 합 계	대수	기계비용 합 계	대수	기계비용 합 계	대수	기계비용 합 계	대수	기계비용 합 계	대수	기계비용 합 계	대수	기계비용 합 계
Mill	8,100	1	8,100	1	8,100	1	8,100	1	8,100	1	8,100	1	8,100	1	8,100
Lathe	9,500	1	9,500	1	9,500	1	9,500	1	9,500	2	19,000	2	19,000	2	19,000
Drill	17,000	1	17,000	2	34,000	3	51,000	3	51,000	3	51,000	3	51,000	3	51,000
Grinder	19,500	1	19,500	1	19,500	1	19,500	2	39,000	2	39,000	3	58,500	3	58,500
Robot	15,000	4	60,000	4	60,000	5	75,000	5	75,000	5	75,000	6	90,000	6	90,000
총비용			114,100		131,100		163,100		182,600		192,100		226,600		226,600

결과가 대안6이다. <표 1>의 대안6에서 보면 대안 5에서 이용률이 각각 65.0%, 63.4%이었던 두 대 선반의 이용률이 71.7%, 71.8%로 증가하였고 드 릴링의 경우는 대기행렬안에 있던 부품을 더 많이

가공하게 되어 대기행렬의 길이가 감소된 결과가 나왔다. 최종안인 대안6의 FMS 설계모델을 [그림 10]에 나타내었다.



[그림 10] 최종안의 FMS 설계 모델

6. 결론 및 추후 연구과제

수시로 생산품목이 변하는 FMS의 설계를 위해서는 FMS내에 존재하는 상호 영향 요소를 분석하고 평가할 수 있는 틀이 필요하다. 본 연구에서는 전문가시스템과 시뮬레이션을 통합하고 자동화시켜 효과적으로 FMS를 설계할 수 있음을 보였다. 자동화된 지능형 FMS 디자이너는 시뮬레이션 모델을 만들어 그 결과를 분석하여 실제시스템의 생산능력을 설계단계에서 비교적 정확하게 추정하므로 설계안에 따라 실제시스템을 구현하는 경우 시스템의 특성을 예상된 범위에서 실현할 수 있다. 또한, 단시간에 생산목표에 맞는 대안을 도출하며 계획된 예산의 사용액수도 부수적으로 제공해 준다.

기존의 많은 연구가 설계된 FMS의 평가를 중심으로 이루어졌다. 이에 반하여 지능형 FMS 디자이너는 설계되어 있는 FMS의 평가 뿐만 아니라 부품의 가공공정만을 입력시켜 주면 기계선택 및 FMS 배치도등의 설계문제도 자동적으로 해결해 줄 수 있는 가능성을 제시하였다. 그러나 개발된 지능형 FMS 디자이너는 제한된 구조의 FMS에 적용되고 다양한 형태의 FMS는 수용하지 못한다는 미비점도 있다. 따라서 추후연구에서는 보다 다양한 FMS에 적용될 수 있도록 보완하여야 할 것이다. 추후 연구과제를 간략히 제시하면 다음과 같다.

- 1) 현재의 지능형 FMS디자이너는 사용자를 통해 부품의 가공규격을 받아들이는데 부품의 규격을 CAD로 받아들여 부품가공에 필요한 공정을 계획하는 CAPP(Computer Aided Process Planning) 시스템과 연결된다면 부품설계에서 바로 생산을 위한 FMS를 설계할 수 있을 것이다.
- 2) 기계배치 순서 문제를 새로운 접근방법(e.g. Neural Network)을 통해 개선하므로써 보다 좋은

설계를 할 수 있을 것이다.

- 3) 현재 사용한 물류시스템은 컨베이어 시스템으로 한정되어 있으나 AGV등을 사용하는 물류시스템으로 확장시킨다면 보다 다양한 FMS의 설계가 가능할 것이다.

참고문헌

- [1] 정무영, 이문석, "FMS의 현황과 전망", 「경제영과학」, 제4권, pp. 12~41, 1987.
- [2] 이용규, "자동화된 설계틀의 필요성과 FTL (Flexible Transfer Line)", private communications, (주)한원정기, 1991.
- [3] Mellichamp, J.M. and Wahab, A.F.A., "An Expert System for FMS Design", *Simulation*, Vol. 48, No. 5, pp. 201-208, 1987.
- [4] *AutoBots User's Manual*, AutoSimulations Inc., USA, 1989.
- [5] *AutoMod/AutoGram User's Manual*, AutoSimulations Inc., USA, 1989.
- [6] Solberg, J.J., "Quantitative Design Tools for Computerized Manufacturing Systems", *Proc. of the NAMRAC*, pp. 409-443, 1987.
- [7] Suri, R. and Hildebrant, R.R., "Modelling Flexible Manufacturing Systems Using Mean - Value Analysis", *J. of Manufacturing Systems*, Vol. 3, No. 1, pp. 27~38, 1987.
- [8] Cheng, T.C.E., "Simulation of flexible manufacturing systems", *Simulation*, Vol. 45, No. 6, pp. 299~302, 1985.
- [9] Antonelli, C.J., Volz, R.A., and Mudge, T., "Hierarchical decomposition and simulation of manufacturing cells using Ada", *Simul*

- ation, Vol. 46, No. 4, pp. 141~152, 1986.
- [10] Mellichamp, J.K., Kwon, O., and Wahab, A.F.A., "FMS Designer : An expert system for flexible manufacturing system design", *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 28, No. 11, pp. 2013~2024, 1990.
- [11] Lenz, J.E. and Talavage, J.J., "The optimal planning of computerized manufacturing systems - general computerized manufacturing systems simulator (GC-MS), School of Industrial Engineering, Purdue University, NSF Grant No APR74-15256, Report No. 7, 1977.
- [12] El Marghy, H.A., "Simulation and graphical animation of advanced manufacturing systems", *J. of Manufacturing Systems*, Vol. 1, No. 1, pp. 53~58, 1982.
- [13] Floss, P. and Talavage, J., "A Knowledge-based Design Assistant for Intelligent Manufacturing Systems", *J. of Manufacturing Systems*, Vol. 9, No. 2, pp. 87~102, 1987.
- [14] Haddock, J., "An Expert System Framework Based on a Simulation System", *Simulation*, Vol. 48, No. 2, pp. 45~53, 1987.
- [15] Pegden, C.D., *Introduction to SIMAN*, Systems Modelling Corporation, State College, PA, USA, 1985.
- [16] Wadhwa, S., Felix, C. and Browne, J., "A Goal Directed Data Driven Simulator for FAS Design", *Proceedings of the European Simulation Conference*, 1987.
- [17] Lenz, J.E. and Wichmann, K.E., "Expert System for FMS Design", *Flexible Manufacturing Systems*, Chicago, 1986.
- [18] Sims Jr., E.R., "Conveyors Are Often Taken For Granted By Material Handling Planners", *Industrial Engineering*, Vol. 24, No. 3, March 1992.
- [19] Chang, T.C., *Expert Process Planning for Manufacturing*, Addison-Wesley, USA, 1986.
- [20] Krar, S.F. and Oswald, J.W., *Technology of machine tools*, McGraw-Hill, fourth edition, USA, 1990.
- [21] Yankee, H.W., *Manufacturing Processes*, Prentice-Hall Inc., 1979.
- [22] Kusiak, A., *Intelligent Manufacturing Systems*, Prentice-Hall Inc., 1990.
- [23] 강구봉, 황영동, 최신 철삭공구와 가공기술, 기전연구소, 1987.