

된 후 다른 기계 센터, 또는 조립 기계로 부품을 운반하기 위해 사용되며 쌍방향으로 운행된다.

기계 센터(MC)는 컴퓨터로 제어되며 각 유입 부품에 필요한 가공을 대부분 수행할 수 있지만, 가공 시간의 차이로 인해 가공 효율(Efficiency)은 다르다. 5대의 기계 센터는 두 종류의 기계군으로 분류되는데, MC1과 MC2가 제 1기계군, 그리고 MC3, MC4, 와 MC5가 제 2기계군이다. 유입된 부품은 제 1기계군중의 1대의 기계 센터에서 가공되고, 제 2기계군중 2대의 기계 센터에서 가공된 후에 조립라인으로 이동된다. 이로써 유입된 부품은 3단계의 기계 작업을 받게된다. 따라서 가능한 기계가공 순서에는 모두 12경로가 존재한다. 또한, 각 기계 센터는 유입 부품과 출력 부품을 위한 버퍼를 가지고 있는데, 출력 부품을 위한 버퍼는 AS/RS CART의 도착을 대기하기 위해 필요하다. 1대의 조립 기계(Automated Assembly Station)는 5 단계의 조립 작업(Wheel, Front Frame, Axle, Frame, End Product)을 비순차적으로 행한다. 각 단계의 조립 작업은 조립 작업에 필요한 중간 가공품(parts)들이 중간 가공품 저장 버퍼(예, SA1)에 유입된 이후에야 가능하다. 예를 들어, 중간 가공품인 AXLE 조립이 수행하려면 부품 C와 중간 가공품 WHEEL이 필요하며, 중간 가공품 WHEEL 조립에는 기계 센터의 가공을 마친 부품 A1, A2, A3가 필요하다.

KBCS에 유입되는 부품은 모두 9 종류이다. 이들은 각각 5개의 중간가공품 조립에 사용되며 5개의 중간 가공품이 조립되어 완성품(End Product)으로 출력된다. 9가지의 부품은 3단계의 기계 가공을 거친후에 조립 라인으로 운반되는데, 각 기계의 부품에 따른 가공 시간과 순서는 정적 데이터베이스(Static Database)에 저장되어 있다. 조립 기계가 가공 가능하고 필요한 중간 가공품들이 존재할 경우 조립 작업이 수행된다.

MHS는 유입 부품이 3단계의 기계 작업을 끝내고 조립 작업으로 운반될때 사용하는 컨베이어 벨트로 구성된다.

3. 지식 베이스형 제어기 구성

지식 베이스형 제어기(KBCS)는 데이터베이스(Database), 지식베이스(Knowledge-base), 지식 추출 시스템(Knowledge Acquisition System), 최적화 기법(Optimization Technique), 그래픽 감시 기능(Graphic Monitoring System) 등으로 구성되며 이에 의한 생산 계획 시스템의 구조를 도시하면 그림 2와 같다.

그림에서 동적 데이터베이스(Dynamic Database)는 시변되는 실시간 정보를 저장하는데, 버퍼 수준, 기계 센터 상태, 대기 시간 등이 저장되며, 정적 데이터 베이스(Static Database)는 시불변적인 정보들인 기계 가공 구조, 각 기계의 유입 부품에 따른 가공 시간, 조립 구조 등 대상 시스템 전반에 관한 정보들이 저장된다. 이러한 데이터베이스 구성은 결정 수립에 있어서의 신속한 판단과 생산 시스템의 돌발적 상황에 대한 유연성을 제어기에 부여하기 위한 것이다.

운전 지식(Behavioral Knowledge)은 시스템 운전 상태를 기술하는 규칙, 경로 선정시 사용될 두 데이터베이스의 정보를 추출하는 시스템 등으로 구성된다. 알고리즘 지식(Algorithmic Knowledge)은 이 운전 지식과 데이터 베이스를 사용해서 여러가지 가능 경로 등을 계산하고 평

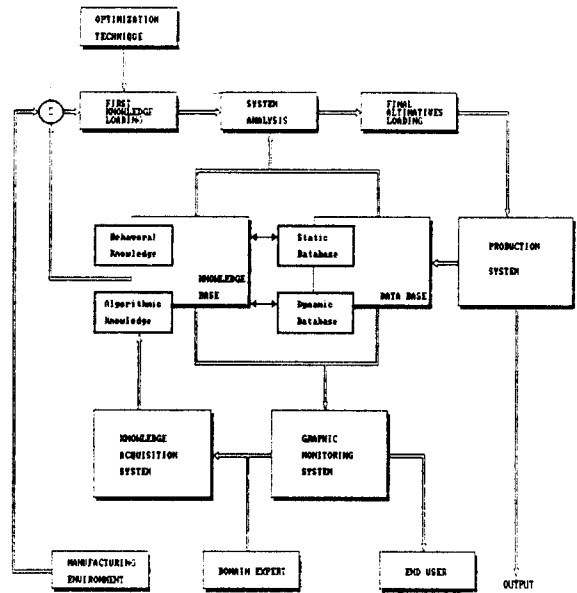


그림 2 생산계획 시스템의 구조

가하는 부분이다.

최적화 기법에서는 2단계로 이루어졌는데, 첫번째 단계는 경로 선정에 필요한 모든 지식을 고려하여 제 1차적인 해답을 구하고, 두번째 단계로 시스템 분석을 통해 구축된 메타 지식(Meta-Knowledge)을 참조하여 재어를 행하는 자체 수정 보완기능을 가진다.

또한 본 제어기는 효과적인 지식 획득 체계를 확립하고 사용자에게 친숙성을 제공하기 위하여 그래픽 감시 기능을 도입하고 있는데, 이는 생산 시스템에 대한 참조 기능 뿐만 아니라 지식베이스와 사용자 및 지식 추출 시스템 등의 제어기 전체를 유기적으로 총괄하는 기능을 담당하고 있다.

4. 경로 결정

경로 결정은 순차 지식을 이용하여 수행하는 부분으로서 다음과 같은 4가지 알고리즘으로 구성된다.

1) 타이밍(Timing) 알고리즘

각 부품이 조립 라인에 도달할 기대 시간(Expected Time)을 결정하는 것으로 아래 그림 3에 흐름도가 도시되어 있다.

부품들로부터 구성된 최하위 Subtree들을 찾고 이 Subtree원소들의 기대시간을 제로로 설정한다. 다른 Subtree들에 대해 다음번 기대시간은 조립시간 만큼 변경시킨다.

그러한 Subtree들의 상위 노드 요소들인 부품과 중간 가공품들의 기대시간을 변경된 기대시간 만큼 증가시킨다.

최상위노드인 Root노드에 이를때까지 반복해서 실행시키는 루틴으로 구성되어 있다.

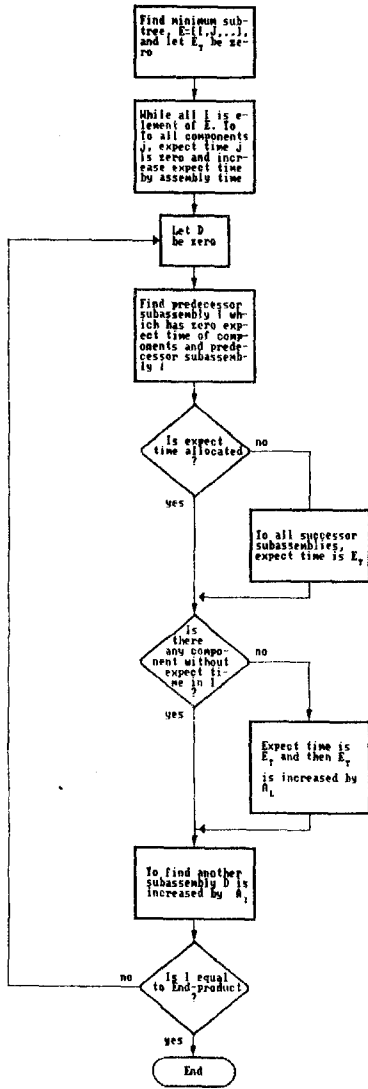


그림 3 타이밍 알고리즘의 흐름도

2) 순차(Sequence) 알고리즘

유입된 부품에 대해 기대 시간, 대기 시간(Waiting Time), 버퍼수 등을 감안해서 가장 최적인 경로를 탐색하는 알고리즘으로 부품이 유입될 때 마다 고려되며 구성 요소의 가중치를 조정하여 원하는 요소의 우선순위를 높일 수 있다. 흐름도는 그림 4와 같다.

대기 시간을 최소화하는 경로를 탐색하는 1단계와 기대 시간이 허용하는 범위내에서 최적인 경로를 다시 탐색하는 2단계의 루틴으로 구성되어 있다.

3) 벌칙(Penalty) 알고리즘

기계의 고장이나 과부하시에 적용되는 알고리즘이다. 경험적 규칙의 예로서는 다음과 같은 것이 있다.

- **IF** The remaining repair time of a failed machine is shorter than the shortest

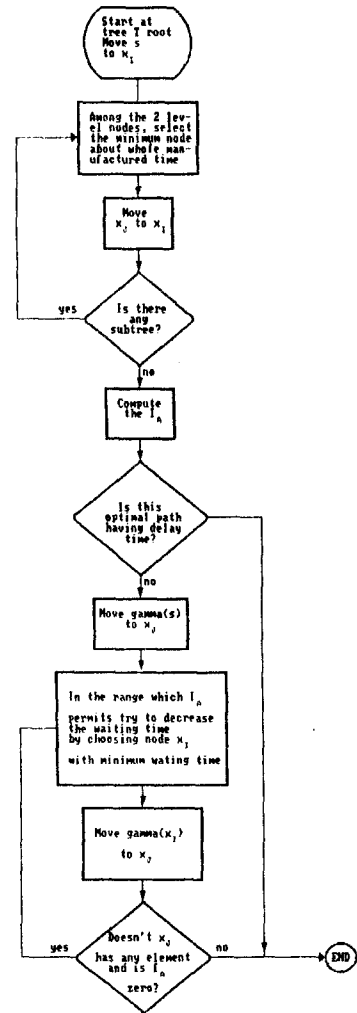


그림 4 순차 알고리즘의 흐름도

time in a buffer of running machine.

Then Select a failed machine.

4) 카트(Cart) 알고리즘

AS/RS Cart를 최적으로 제어하기 위한 알고리즘으로써 경험적 규칙의 예로서는 다음과 같은 것이 있다.

- **IF** Incoming components appears.
- Then** Move the cart to AW as a top priority
- **IF** The component finished in MC3, MC4, MC5 should be transported to the assembly line.
- Then** Cart must transport this component.
- **IF** The job of the cart is completed
- AND IF** There is a component which is closer to the cart than any other components.
- THEN** The cart must transport this component

5. 시뮬레이션 및 결과 고찰

개발된 지식 베이스형 제어기의 성능을 검토, 확인하기 위하여 IBM-386/PC를 사용하여 약 2500스텝의 C 프로그램을 작성하여 시뮬레이션을 수행하였다.

생산 계획 주기는 1분으로 총 2000사이클을 수행하였으며, 생산 체계의 초기화가 완료되는 40사이클에서 2000사이클 까지 매 4.5사이클 마다 부품가공이 완료되었고 매 15.3사이클 마다 조립 작업이 한 단계씩 수행되며 최종 완성품(End Product)은 매 76사이클 마다 만들어졌다. 유입된 부품이 선택하는 경로를 분류한 결과는 아래의 표 1에 나타내었다.

표 1. 유입 부품의 경로 선정 결과

	PATH1	PATH2	PATH3	PATH4	PATH5	PATH6	PATH7	PATH8	PATH9	PATH10	PATH11	PATH12
A1	15	27	3	8	15	4	21	16	16	0	16	6
A2	26	10	51	0	12	5	28	25	20	4	13	2
A3	27	21	19	0	12	7	14	20	21	2	18	1
B1	19	14	28	0	11	0	14	9	7	16	0	0
B2	3	12	1	2	13	1	50	19	19	7	27	5
B3	21	10	18	0	20	6	42	24	22	7	18	2
C	11	15	9	0	14	5	48	24	42	4	30	3
D	28	24	34	5	27	4	15	22	25	6	19	2
E	17	16	27	4	23	4	35	22	25	4	29	5
TOTAL	248	198	248	41	198	41	252	216	252	40	216	40

표 1에서 알 수 있듯이 부품 A1, A2는 PATH1 ~ PATH6를 비교적 많이 선정하며, 부품 B2와 B3는 PATH7 ~ PATH12를 많이 선택한다. 동일 가공품을 가공하는데 소요되는 시간이 기계마다 차이가 나고 이로 인해 A1, A2는 MC1이 속한 경로를 선택하고 B2, B3은 MC2가 속한 경로를 선택하기 때문이다. 이에 대해 부품 A3와 B1은 반대편 경로를 선택하는 반향적 경향을 보여줌으로써, 경로 선택의 균형을 이루어주고 있다.

시뮬레이션이 수행되는 과정을 아래 그림 5-(a)와 5-(b)에서 표현했다. 그림 5-(a)는 673 사이클에서 수행 중인 시뮬레이션 과정이며 그림 5-(b)는 674 사이클에서 수행 중인 시뮬레이션 과정으로 1사이클 동안 진행된 시뮬레이션 내용을 도시하고있다.

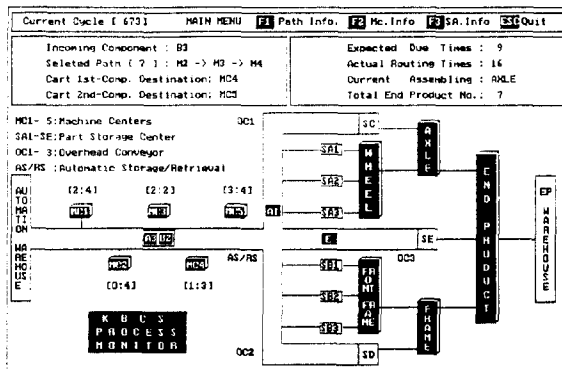


그림 5-(a) 지식베이스형 제어기의 시뮬레이션 과정 (673 사이클)

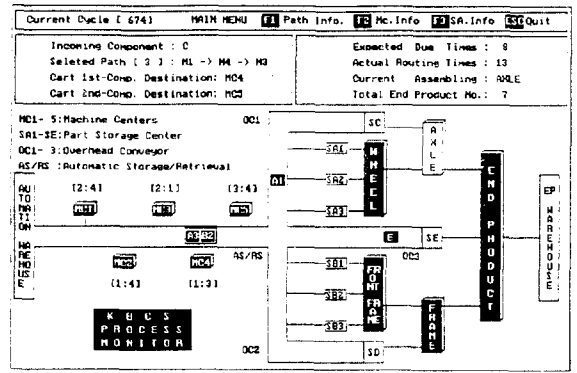


그림 5-(b) 지식베이스형 제어기의 시뮬레이션 과정 (674 사이클)

그림 6은 부 메뉴(Submenu)에 의한 생산 정보의 참조 상황으로 경로 선정(Path Infomation) 참조를 도시한 것이다.

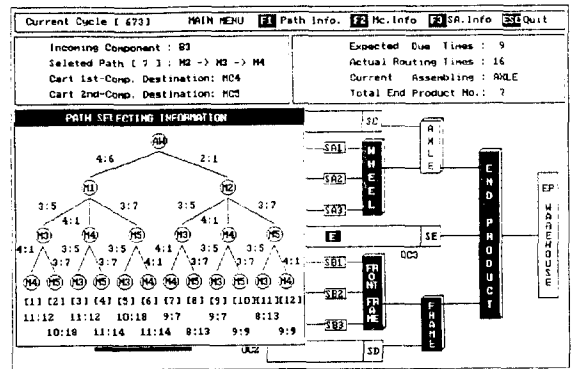


그림 6 부메뉴에 의한 생산정보의 참조

표 2는 각 기계센터의 평균 버퍼수준과 평균 가동률 그리고 완료 작업수를 나타낸 것이다.

5대의 기계센터들이 비교적 고른 버퍼수준을 나타내주고 있으며, 가동률에 있어서도 좋은 결과를 보여주고 있다.

완료 작업수는 유입된 부품이 조립라인으로 이동되기 까지 완료해야 할 3단계의 기계작업을 각 기계센터별로 분류한 것이다.

표 3에서는 중간 저장소에서의 평균 버퍼수준을 보여주고 있는데, 조립라인에서는 중간 가공품이 유입되면 즉시 조립작업을 수행하므로 기계 센터 버퍼수준에 비해 상대적으로 훨씬 낮은 수치를 보이는 것은 만족 할 만한 결과이며 또한 고른 분포를 보이고 있는 것은 원활한 조립작업 수행을 위해 필수적이다.

표 2. 평균 버퍼수준, 평균 가동율, 완료 작업수

Machine	Average Buffer Length
Machine 1	1.93
Machine 2	2.87
Machine 3	0.85
Machine 4	2.01
Machine 5	2.31
Machine	Average Machine Utilization
Machine 1	99.6%
Machine 2	99.7%
Machine 3	88.9%
Machine 4	84.2%
Machine 5	88.1%
Machine	Number of Operations per Machine
Machine 1	323
Machine 2	336
Machine 3	313
Machine 4	263
Machine 5	194

표 3 조립라인에서의 평균 버퍼수준

	Average Assembly Buffer Length
CA1	0.036
CA2	0.033
CA3	0.030
CB1	0.036
CB2	0.018
CB3	0.026
CC	0.012
CD	0.026
CE	0.016

6. 결론

본 지식베이스형 제어기의 구성 취지는 조립라인에서의 원활한 조립작업 수행을 위하여 가공 부품들의 조립라인 도착을 신속히 하자는데 있다.

따라서, 가장 최적인 기계가공 경로를 선택하도록 반복적인 시뮬레이션을 토대로 본 제어기의 지식베이스를 구축하였다.

본 제어기는 표 1에서 볼 수 있는 바와 같이 각 유입 부품의 가공시간등을 고려해 특정 경로를 선택하면서 전체적으로는 일정 경로에 편중되는 것을 지양함으로써 최적의 결과를 얻도록 시도하고 있으며, 표 3에서와 같이 조립라인에서의 버퍼수준이 균형을 이루어 특정 부품때문에 전체 시스템이 정체되는 것을 막을 수 있도록 하고 있다.

사용자의 특정 요구에 부응할 수 있는 가변 시스템과 KBCS모델을 일반화 한다면 좀 더 높은 효율과 범용성을 지니는 생산 계획 수립용 시스템을 구성할 수 있을 것으로 기대한다.

7. 참고 문헌

1. F.A. Rodammer and K.P. White, JR, "A recent survey of production scheduling," IEEE Trans. on System, Man, and Cybernetics, Vol. 18, No. 6, pp. 841 - 851, 1988
2. R.H. Choi and E.M. Malstrom, "Evaluation of traditional system with a physical simulator," Journal of Manufacturing Systems, Vol. 7, No. 1, pp. 33 - 45, 1987
3. K. Iwata, "A knowledge-based production control system to accomodate unscheduled disruptions in the manufacturing process," Annals of CIRP, Vol. 37, No. 1, pp. 439 - 442, 1988
4. S. Kochbar and R.J.T. Morris, "Heuristic method for flexible flow line Scheduling," Journal of Manufacturing Systems, Vol. 6, No. 4, pp. 299 - 314, 1987
5. D.B. Arieih, B. Sheva, C.L. Moodie, and W.Lafayette, "Knowledge-based routing and sequencing for discrete part production," Journal of Manufacturing Systems, Vol. 6, No. 4, pp 287 - 297, 1988
6. H. Wakai, S. Kado, C. Sakamoto, and T. Sata, "KCSMO - a simulator for flexible manufacturing systems," Annals of the CIRP, Vol. 35/1, pp. 347 - 350, 1986
7. 정 현호, 이 창훈, 서 기성, 우 광방, "FMS에서의 지능 제어형 생산계획을 위한 전문가 시스템," 전기학회논문집, 제 39권 제 5호, 1990년 5월