

공학석사 학위논문

FMS에서의 공구관리 및 일정계획

지도교수 구평희

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함



부경대학교 대학원

산업공학과

백 두 영

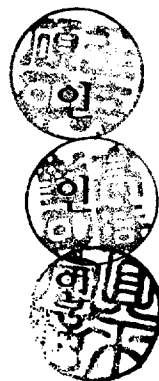
백두영의 공학석사 학위논문을 인준함

2001년 12월 26일

주 심 공학박사 옥영석

위 원 공학박사 고시근

위 원 공학박사 구평희



목 차

제 1 장 서론	1
1.1 연구의 배경	1
1.2 연구목적 및 내용	3
제 2 장 FMS 및 공구운영전략	5
2.1 FMS	5
2.2 FMS에서의 공구운영전략	6
2.3 기존 연구현황	8
제 3 장 공구클러스터링	10
3.1 공구클러스터링의 연구배경 및 목적	10
3.2 시스템 및 모델	10
3.3 공구클러스터링 알고리즘	15
3.4 실험 및 분석	17
3.5 결론	24
제 4 장 유전알고리즘을 이용한 FMS 일정계획	25
4.1 FMS 일정계획의 연구배경	25
4.2 시스템 및 문제정의	25
4.3 유전알고리즘기반 FMS 일정계획	29
4.4 실험 및 분석	37
4.5 결론	43
제 5 장 결론	44
참고문헌	46

그림 목차

그림 2-1. FMS의 구성	5
그림 3-1. 공구일괄교체전략하에서의 공구흐름	11
그림 3-2. 공구클러스터링 경우의 공구흐름	12
그림 3-3. 클러스터링 휴리스틱 절차	17
그림 3-4. 공구매거진 용량에 따른 Makespan 비교	22
그림 3-5. 셋업 비율에 따른 Makespan 비교	23
그림 3-6. 공구 Copy 수에 따른 Makespan 비교	23
그림 4-1. FMS 일정계획의 예	27
그림 4-2. 유전알고리즘의 절차 예	33
그림 4-3. 제시된 일정계획 알고리즘의 수행도 평가	38
그림 4-4. 셋업 비율에 따른 일정계획 수행도 비교	39
그림 4-5. 공구 수에 따른 일정계획 수행도 비교	40
그림 4-6. 기계 수에 따른 일정계획 수행도 비교	41
그림 4-7. IRS와 GAS의 일정계획 수행도 비교	42

표 목차

표 3-1. 최적해와 공구클러스터링 휴리스틱 결과	18
표 3-2. 공구매거진 용량에 따른 Makespan 및 중단시간	19
표 3-3. 셋업 비율에 따른 Makespan 및 중단시간	20
표 3-4. 공구 수에 따른 Makespan 및 중단시간	22
표 4-1. 셋업 비율에 따른 일정계획 수행도 비교	39
표 4-2. 공구 수에 따른 일정계획 수행도 비교	40
표 4-3. 기계 수에 따른 일정계획 수행도 비교	41

제 1 장 서론

1.1 연구의 배경

과거 수년간의 기계가공 작업에는 다양한 제품을 하나의 시스템에서 대응하고자 유연생산시스템(FMS)이 도입되어 왔다. 과거의 생산체제는 소품종 대량생산으로 원가를 낮추어 보다 많은 제품을 판매함으로써 이익을 증대시키고자 하였다. 그러나 최근에는 제품의 수요가 다양해지고 제품수명이 짧아져 가는 추세로 인하여 제조업체는 다품종 소량생산체제로 전환이 되고 있으며 FMS는 이런 외부변화에 대하여 유연하게 대처할 수 있는 대안으로 도입이 되고 있다. FMS의 도입은 낮은 재고수준, 고품질, 생산성 향상, 자재 운송 및 관리비용의 절감, 설비의 가동률 증가 등의 추가적인 이점을 기대할 수 있다.

FMS에서 추구하는 궁극적인 목표는 유연성(Flexibility)의 확보이지만 현재 구축된 대부분의 시스템은 기대하는 만큼의 유연성을 확보하고 있지 못하다. 이는 FMS를 구성하는 기계 및 물류장비의 능력과 제어 기술의 부족에도 그 원인이 있지만 최근에는 공구의 부적절한 관리가 FMS의 유연성을 확보하지 못하는 주요 원인이 되고 있다. 최근의 FMS는 다기능 기계로 다양한 기능을 수행하기 때문에 많은 공구를 필요로 하며 공구는 여러 기계에서 공유가 가능하므로 FMS에서 공구는 시스템의 능력과 유연성을 결정하는 중요한 자원이다. FMS에서 공구와 관련된 의사결정 사항으로는 제품을 생산하기 위하여 필요한 공구에 대해 어떠한 방법으로 기계에 장착하는지를 결정하는 공구할당전략, 제품을 어떤 기계에서 어떠한 순서로 생산하는지를 결정하는 일정계획, 계획기간 내에 어떤 공구를 어떤 기계에 장착할 것인지 결정하는

Machine Loading 문제, 공구수명 및 교체에 관한 정책과 각 유형의 공구를 얼마만큼 보유하고 있어야 하는지의 공구소요계획 등 여러 가지가 있다.

이중에서 공구할당은 제품의 가공에 필요한 공구에 대해 언제, 어떠한 방법으로 공구를 어떤 기계에 할당할 것인가 하는 문제를 다루고 있다. 공구할당 전략은 FMS 환경과 제품의 생산방식에 따라 각기 다른 전략이 사용되며 FMS의 효율 및 일정계획에 많은 영향을 준다. 대표적인 공구할당 전략으로 Tool Sharing, Dynamic Tooling, 공구일괄교체(Bulk Exchange) 전략이 있다. Tool Sharing은 계획기간 초기에 공구를 기계에 장착하여 제품은 가공에 필요한 공구가 있는 기계를 방문하면서 가공을 받게된다. 이 전략은 공구운영이 간편한 장점이 있으나 상황의 변화에 유연하게 대처하기 어렵다는 것이 단점이다. Dynamic Tooling은 각 공정에 필요한 공구만을 개별적으로 기계에 장착하는 방법으로 제품을 가공한다. 이 전략은 한 기계에서 제품의 모든 공정이 이루어지며 시스템 변화에 유연하게 대응할 수 있으나 복잡한 제어시스템 및 현장정보시스템이 갖추어져 있어야 한다. 공구일괄교체는 Tool Sharing과 Dynamic Tooling의 장점을 조합한 전략으로 하나의 공구매거진(Tool Magazine)으로 한 제품의 모든 공정을 수행한다.

본 논문에서는 공구일괄교체환경하에서의 공구운영과 일정계획을 다룬다. 공구일괄교체환경에서의 FMS는 서로 다른 유형의 제품을 생산하면서 그에 따른 공구의 셋팅에 의해 기계의 가동이 중단이 된다. 또한 공구는 여러 기계에서 공유가 가능하므로 다른 기계에서 공구를 사용하게 되면 공구의 부재로 인한 기계중단 시간이 발생한다. 따라서 본 논문에서는 작은 공구 셋팅에 따른 기계의 가동중단 시간을 줄이기 위해 공구클러스터링을 제시한다. 공구클러스터링은 하나의 공구매거진으

로 제품의 가공을 모두 완료하는 공구일괄교체와 같은 방법으로 하나의 공구매거진에서 여러 제품을 가공함으로써 계획기간 동안 제품을 생산하면서 발생하는 공구의 셋팅 횟수를 줄일 수 있게 한다. 여러 기계에서의 공구의 공유로 야기되는 기계중단은 일정계획을 어떻게 하는가에 의해 줄일 수 있다. 잘 계획된 일정계획은 각 기계에서의 동일한 공구의 동시 요청을 최소로 하게 만들어 준다. 본 연구에서는 복수개의 잠재해로 이루어진 해의 집단을 운용하여 해의 탐색성능이 우수한 유전알고리즘을 기반으로 FMS 일정계획 절차를 제시한다.

1.2 연구 목적 및 내용

본 연구에서는 FMS에서의 공구관리 및 일정계획을 다룬다. 공구운영전략 중에서 공구일괄교체(Bulk Exchange) 전략은 한 제품이 필요로 하는 공구를 하나의 공구매거진에 장착하여 기계에 위치시켜 해당 제품의 모든 작업을 수행하는 전략이다. 한 제품의 가공이 완료되고 다음 제품을 생산하기 위해서 공구매거진의 교체가 이루어져야 한다. 이때 다음 제품을 위한 새로운 공구 세트가 구성되어야 하므로 이 시간동안 기계는 공구를 기다리기 위해 가동이 일시적으로 중단된다. 본 논문은 공구 교체에 의한 기계중단과 공구의 운반 횟수를 줄이기 위하여 공구매거진의 용량을 고려하여 유사 제품을 그룹화하고 해당 공구를 클러스터링 하여 하나의 공구매거진에 장착하는 방안을 다룬다. 공구클러스터링을 함으로써 공구 셋팅 횟수가 줄어서 기계중단 시간이 감소될 수 있으나 한 기계가 공구를 오래 점유하게되므로 다른 기계에서는 공구가 없어서 기계가 중단이 될 수 있다. 따라서 적절한 클러스터링 수준을

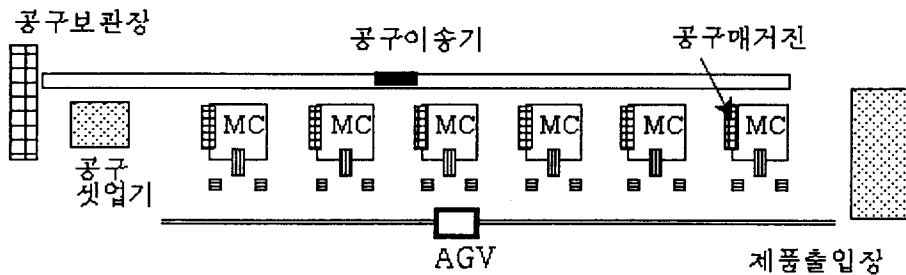
정하는 것이 필요하다. 최적의 클러스터링을 도출하기 위하여 수리적 모형을 제시하고 현실적인 문제를 다루기 위해 유사계수(Similarity Coefficient)를 기반으로 하는 클러스터링 휴리스틱 절차를 개발한다.

일반적으로 다기능 기계로 이루어진 최근의 FMS에서의 공구는 여러 기계에서 공유가 가능하므로 어느 기계에서든 사용될 수 있다. 현재 제품 가공에 필요한 공구가 다른 기계에 의해 사용이 되면 공구의 부재로 인하여 기계의 가동중단이 발생하게 된다. 공구가 없어서 제품의 가공을 하지 못하는 경우 가동중인 기계의 가공이 끝나면 그 기계에 장착되어 있는 공구를 모두 공구보관장(Tool Storage)에 반납하여 공구가 없어서 가공을 못하는 제품에 필요한 공구가 만족되면 공구를 셋팅하여 기계에 장착한 후 제품의 가공을 시작한다. 이때 공구매거진의 셋업 시간이 제품의 가공시간에 추가되어 진다. 공구의 부재로 발생하는 기계 중단시간을 줄이기 위해서 공구 Copy 수를 늘리는 방법이 있을 것이다. 그러나 공구를 구입해야 하는 추가적 비용이 발생하며 제한된 공구 보관장에 공구를 저장하지 못하는 경우가 생기므로 현실적으로 적합하지 않다. 본 연구에서는 시스템의 Makespan을 최소로 하기 위하여 자연선택과 유전법칙을 모방한 확률적 탐색기법인 유전알고리즘을 기반으로 한 일정계획을 함으로써 제한된 공구에서 공구의 부재로 발생하는 기계중단시간을 줄이고자 한다.

제 2 장 FMS 및 공구운영전략

2.1 FMS

<그림 2-1>은 여러 대의 가공 기계와 공구이송기(Tool Carrier), AGV 등의 운반기기, 공구보관장(Tool Storage), 공구매거진(Tool Magazine), 공구셋팅기(Tool Presetter) 등의 Tool 처리 장치, 그리고 제품을 처리하는 제품출입장(Load/Unload Station)으로 구성된 전형적인 FMS의 구조를 나타낸다.



<그림 2-1> FMS의 구성

본 연구에서 다루고 있는 공구일괄교체 전략에서 FMS의 일반적인 제품가공 절차는 제품이 제품출입장에 도착하게 되면 AGV 등의 운반 장치에 의해 기계에 운반되며 어떤 기계에 제품을 할당할 것인가는 Dispatching 방법에 따라 결정된다. 동시에 공구셋팅기에서는 그 제품에 필요한 공구를 셋팅한다. 셋팅된 공구매거진이 공구이송기로 제품이 할당된 기계로 옮겨져 장착되면 가공이 시작된다. 제품의 가공이 끝나게 되면 제품은 제품출입장으로 운반되며 이때 가공을 마친 기계에 있

는 공구매거진은 공구이송기에 의해 공구셋업기로 운반된 후 각 공구는 해제되어 공구보관장에 보관되거나 다른 기계에서 요구가 있을시 재셋팅된다.

FMS는 재고와 품질, 설비가동률 등 여러 장점에도 불구하고 그 시스템의 복잡성으로 인해 설계 및 계획, 운영문제에 많은 어려움이 있다. 계획 문제에는 생산할 제품의 결정, Product Mix, Machine Loading, 공구할당 전략, 일정계획 등 여러 가지가 있다. 생산할 제품의 결정은 계획기간 내에 생산해야 할 제품의 종류를 결정하고 Product Mix에서는 생산될 제품의 상대적인 비율이 결정된다. Machine Loading은 계획기간 내에 어떤 공구를 어떤 기계에 장착할 것인지를 결정하는 문제이다. 공구할당 전략은 제한된 공구를 기계에 어떠한 방법으로 기계에 할당할 것인지를 결정하는 문제이다. 공구의 부적절한 할당은 기계의 효율 및 부하, FMS의 생산성 등에 많은 영향을 끼치게 되므로 제품의 생산방식 등 다른 여러 상황을 고려하여 적절한 방법을 선택하여야 한다. 제품과 공구의 종류가 증가하게 되면 일정계획은 더 복잡하고 어려운 문제가 된다. 기계의 가동률을 증가시키고 제품의 생산시간을 단축시키기 위해 최적의 일정계획이 필요하다.

2.2 FMS에서의 공구 운영전략

FMS에서 제품을 생산하기 위해서는 기계에 공구가 장착되어야 한다. 공구를 기계에 장착하는 대표적인 공구 할당전략에는 Tool Sharing, Dynamic Tool, 공구일괄교체 전략 등이 있다. Tool Sharing 전략은 계획기간 내에 제품이 필요로 하는 공구를 기계에 부착된 공구

매거진에 장착하는 전략이다. 제품들은 공정계획에 따라 필요로 하는 공구가 장착된 기계를 방문하면서 가공을 받는다. 이 전략은 공구운영이 간편하다는 장점이 있으나 생산환경 변화에 대응하기 어렵고 기계간에 부하 불균형을 초래할 수 있다는 단점이 있다(Koo and Tanchoco, 1999). Dynamic Tooling은 최근에 공구운반 및 교환 장치의 자동화, 고속화와 실시간 생산정보시스템의 도입에 의해 가능하게 된 전략으로 개별 공구를 필요로 할 때에 필요로 하는 기계에 운반하여 사용하는 전략이다. 이 전략은 자원을 효율적으로 활용하고 수요변화와 생산현장 상태 변화에 유연하게 대응하며 한 기계에서 한 제품의 모든 공정을 처리할 수 있는 장점이 있으나, 실시간으로 정확한 생산현장정보를 제공하는 시스템과 제어체계 그리고 고속의 공구운반 장치를 필요로 한다. 공구일괄교체 전략은 상기한 두 전략의 혼합된 형태로 하나의 제품이 가공되어야 할 때 필요한 모든 공구를 하나의 이동 매거진에 장착하고 기계에 운반하여 해당 제품의 모든 공정을 수행하는 전략이다. 이 전략은 제품이 한 기계에서 고정된 상태에서 모든 공정이 수행되는 Dynamic Tooling에서의 장점을 유지하면서 고속의 공구 운반장치와 실시간의 현장정보에 대한 필요성이 감소된다.

본 논문에서는 공구일괄교체 전략에서의 공구매거진 Setup에 의해 발생하는 기계중단 시간을 줄이고자 하나의 공구매거진으로 여러 제품을 생산하기 위하여 공구 클러스터링 절차를 제시한다. 또한 공구가 FMS에서의 자원제약으로 있을 때 공구로 인한 기계중단 시간을 줄이기 위해 일정계획을 한다.

2.3 기존 연구 현황

FMS에서 공구운영은 시스템의 유연성을 확보하는데 중요한 자원으로 부각되고 있다. 공구관리에서의 중요한 결정사항은 언제 어떤 공구를 어떤 방법으로 기계에 할당하여 장착 시킬 것인가를 정하는 공구할당방식이다. 공구할당 문제에 관하여 Steckle와 Solberg(1981) 이후 많은 연구가 이루어져 왔다. Steckle(1992)는 실제 FMS의 준비문제에서 공구할당의 중요함을 강조하였고 Carrie와 Perera(1986)는 공구할당 문제는 일정계획 문제에 상당한 영향을 준다는 것을 보여 주었다. Koo and Tanchoco(1999)는 Tool Sharing 전략이 공구운영이 간편하다는 장점이 있으나 생산환경 변화에 대응하기 어렵고 기계간에 부하 불균형을 초래할 수 있다는 단점이 있다는 것을 분석하였다. 공구의 흐름이 중요한 시스템에서는 공구이송 시스템의 능력, 각 기계에 있는 공구매거진의 용량, 제품의 필요 공구 정도에 대하여 영향을 받게 된다(Veeramani et al. 1992). 공구일괄교체 전략은 공구의 이동에 의하여 제품은 한 기계에서 모든 공정을 수행하기 때문에 제품이 공정계획에 따라 기계를 방문하여 가공을 받는 생산형태보다 공구가 적게 사용된다(Zeleny 1985). 또한 한 기계에서 모든 공정을 수행하므로 제품의 품질이 향상된다(Han et al. 1989). 그러나 다양한 제품을 생산하는 경우 잦은 공구 셋업 횟수가 증가하게 되어 기계 중단시간이 길어지게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 공구 클러스터링 전략이 있다. 본 연구에서는 공구 클러스터링 전략에 대한 알고리즘과 이 전략에서 중요한 공구매거진의 용량을 결정하는 절차를 제시한다.

FMS 일정계획은 FMS 제조 환경에서 제품을 언제 어떤 기계에서 생산할 것인가에 대한 결정이다. 지금까지 대부분의 FMS 일정계획은

FMS Loading 결정에 따라 FMS가 셋업된 상태에서 Tool Sharing 정책 하에서 제품의 흐름, 기계간의 부하 균형, 대체공정계획(Flexible process planning), 납기, 대기시간, 준비시간 등을 고려하여 수행 되어 왔다(Lee and Kim 1999, Basnet and Mize 1994). 이때 공구는 이미 기계에 장착되어 있기 때문에 시간에 따른 공구의 가용성은 일정계획에 포함되지 않는다(Liu and MacCarthy 1996, Basnet and Mize 1994). 본 논문에서의 FMS 일정계획은 FMS 셋업 결정이 없는 상태에서 수행된다는 점에서 기존의 연구와 차이가 있다. 이러한 상황에서의 일정계획은 공구가 여러 기계에 의해 공유되므로 공구의 가용성을 고려해야 한다. 공구의 흐름을 고려한 FMS 일정계획에 대한 연구는 주로 하나의 기계로 이루어진 시스템에서 공구의 교환을 최소화 하기 위한 제품 투입의 순서를 결정하기 위해서 이루어졌다(Bard 1988, Hertz et al. 1997, Matzliach and Tzur 2000, Hertz et al. 1998). 이러한 일정계획에서는 단일 기계를 대상으로 행해지므로 공구는 항상 가용하다는 가정 하에 교체되는 공구가 최소가 되도록 하는 공구 교환 문제가 주요 관심사이다. 보다 일반적인 경우는 여러 기계가 공구를 공유하게 될 때 공구의 가용성을 고려하여 일정계획을 수립하는 것이다. Han et al.(1989)는 동일한 기계로 이루어진 FMS에서 시스템 셋업 문제와 일정계획 문제를 다루었다. 제시된 모델은 기계간의 부하 균형을 유지하면서 공구의 이동을 최소화 하는 것을 목표로 하고 셋업과 일정계획 문제를 동시에 다루고 있다. Koo and Tanchoco(1999)는 변화하는 주문환경 하에서 공구의 가용성을 고려한 유연 공정계획을 갖는 제품의 공정 생산일정계획을 네트워크 흐름 모형을 적용하여 수립하였다. 본 논문에서는 동일한 여러 기계가 있는 FMS 제조 환경에서 공구의 흐름을 고려하여 유전알고리즘을 이용한 일정계획 절차를 제시한다.

제 3 장 공구클러스터링

3.1 공구클러스터링의 연구배경 및 목적

공구일괄교체는 생산하는 제품이 바뀔 때마다 그 제품에 맞는 공구를 셋업(Setup)해야 한다. 공구매거진의 셋업 시간 동안에는 기계의 가동이 중단이 되는데 다품종 생산시의 잦은 제품 교환은 셋업 횟수를 증가시키고 기계의 가동중단 시간이 길어지게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방안이 유사한 제품에 대한 공구를 하나의 공구 매거진에 장착하는 공구클러스터링이다. 이 전략에서는 하나의 공구매거진 셋업으로 여러 제품을 생산함으로써 공구 셋업 횟수를 줄일 수 있게 된다.

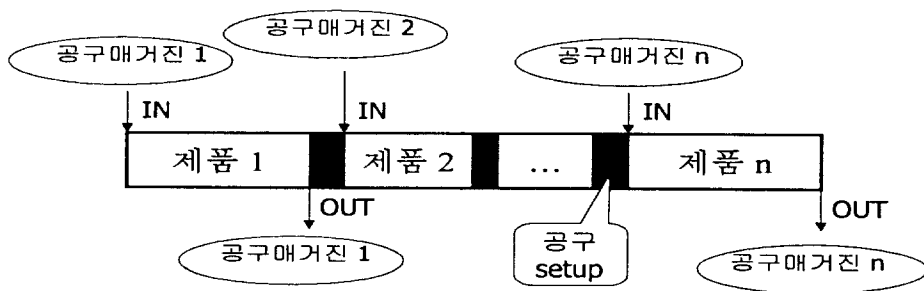
본 절에서는 FMS에서 공구클러스터링에 대한 수리 모델을 제시하고 현실적인 문제를 다루기 위해 유사계수를 기반으로 하는 휴리스틱 절차를 개발한다. 제시된 휴리스틱의 결과를 여러 생산환경에서 수리모델과 비교분석하여 수행도를 검증한다. 또한 공구클러스터링을 하게 되면 공구가 한 기계에서 오래 머무르게 되므로 공구 부족에 의한 기계 중단이 발생하게 된다. 이러한 기계 중단을 최소로 하기 위하여 공구클러스터링과 공구일괄교체의 최적의 운영방안을 실험을 통하여 결정한다.

3.2 시스템 및 모델

본 장에서는 공구일괄교체와 공구클러스터링에서의 공구 흐름을 설명하고 최적의 클러스터링을 위한 수리모델을 제시한다.

공구일괄교체는 각 제품별로 필요한 모든 공구를 하나의 공구매거진

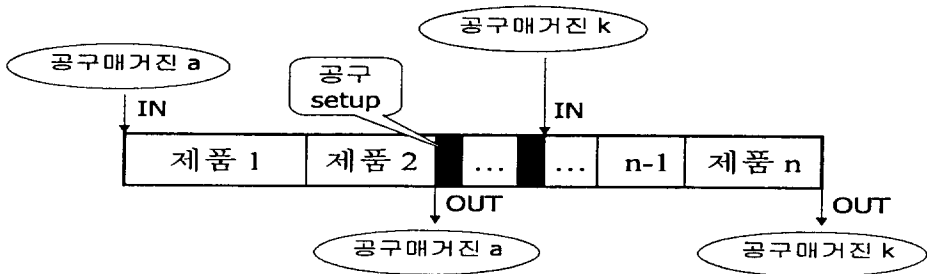
에 장착하고 이 공구매거진을 기계에 Loading하여 하나의 기계에서 제품의 모든 공정을 수행하는 것이다. 일반적으로 각 제품이 필요로 하는 공구의 수는 다르다. 공구매거진의 용량은 가장 많은 공구를 필요로 하는 제품을 수용할 수 있도록 커야 하는데, 어떤 제품을 생산할 때에는 공구매거진의 용량을 모두 사용하지 못하고 일부만 사용한다. 공구일괄교체는 한 제품이 가공 완료되고 다음 제품이 생산되어야 할 때 그 사이에 공구매거진이 교체되어야 한다. 여기서 다음 작업물을 위해서 새로운 공구 세트가 구성되어야 하는데, 이때 기계는 공구를 기다리기 위해 가동이 일시적으로 중단된다. 따라서 제품의 수만큼 공구의 셋업이 필요하다. 공구일괄교체는 제어가 쉬운 반면에 셋업의 횟수가 많고 시스템의 환경변화에 유연하게 대응할 수 없는 단점이 있다. <그림 3-1>은 공구일괄교체에서의 공구 흐름과 기계 가공 상황을 보여주고 있다.



<그림 3-1> 공구일괄교체 전략에서의 공구흐름

공구클러스터링은 이러한 가동중단 상황을 최소로 하고 공구매거진의 이동을 최소로 하는 것을 목표로 한다. 이를 위해서 하나의 공구매거진이 여러 종류의 작업물을 가공하는 방안이 필요하다. 시스템 내에서 생산되는 제품간에는 공통적으로 사용되는 공구가 존재한다. 공통으로 사

용하는 공구가 많은 제품들은 공구매거진의 용량을 고려하여 공구를 그룹화하면 최소의 공구 셋업 횟수로 제품들을 생산할 수 있을 것이다. 공구클러스터링은 공구수요 측면에서 유사한 제품을 위한 공구를 그룹화 하여 제품간의 공구 셋업에 따른 기계가동중단 상황을 줄이기 위한 전략이다. <그림 3-2>는 공구클러스터링에서의 공구 흐름과 기계 가공 상황을 보여주고 있다.



<그림 3-2> 공구클러스터링 경우의 공구흐름

하나의 공구클러스터는 한번의 공구매거진 장착을 의미하고 따라서 최소의 공구클러스터는 공구 셋업에 의한 기계가동 중단을 최소로 하므로 주어진 공구매거진의 용량 하에서 최소의 클러스터를 구성하는 것이 필요하다. 다음은 본 연구에서 사용된 기호이다.

x_{ij} : 제품 i 의 클러스터 j 에 할당 여부 (0,1); $i = 1,...,I$; $j = 1,...,J$.

y_{kj} : 공구 k 가 클러스터 j 에 할당 여부 (0,1); $k = 1,...,K$.

y_j : 클러스터 j 의 존재 여부 (0,1).

z_j : 보조 변수 (0,1).

r_{ik} : 제품 i 의 공구 k 필요 여부 (0,1).

c : 공구매거진 용량

수리모형의 목적은 공구매거진의 용량 하에서 가능하면 많은 제품을 생산할 수 있도록 공구매거진에 공구를 장착한다. 즉, 클러스터의 수를 최소화하는 문제이다. 클러스터의 수를 최소로 하기 위한 수리모형은 아래와 같다.

$$\min \sum_{j=1}^I y_j \quad (1)$$

$$s. t. \sum_{j=1}^I x_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^K y_{kj} \leq c \quad \forall j \quad (3)$$

$$x_{ij} + r_{ik} - 1 \leq y_{kj} \quad \forall i, j, k \quad (4)$$

$$\begin{aligned} -(y_j - 1) &\leq M \cdot z_j \\ \sum_{k=1}^K y_{kj} &\leq M \cdot (1 - z_j) \end{aligned} \quad \forall j \quad (5)$$

$$x_{ij}, y_{kj}, y_j, z_j = 0, 1$$

식 (2)는 한 제품은 한 클러스터에 할당된다는 것을 보여준다. 식 (3)은 클러스터에 장착된 공구의 수는 공구매거진의 용량을 넘지 못한다는 제약을 보여준다. 식 (4)는 한 제품에 필요한 모든 공구는 이 제품이 할당된 클러스터에 장착한다는 것을 나타내고 있다. 만약 제품 i 가 클러스터 j 에 할당이 되고 ($x_{ij}=1$) 제품 i 가 공구 k 를 필요로 한다면 ($r_{ik}=1$), 공구 k 는 클러스터 j 에 할당이 된다($y_{kj}=1$). 이를 선형 식으로 표현한 것이 식 (4)이다. 식 (5)는 클러스터의 구성여부를 나타낸다. 여기서 M 은 임의의 큰 수를 나타낸다. 만약 적어도 하나의

공구가 클러스터 j 에 할당되었다면($\sum_{k=1}^K y_{kj} > 0$), 클러스터 j 는 존재하게 된다($y_j = 1$). 위의 상황을 살펴보면 (5)번식에서 두 번째 식이 항상 만족하기 위해서는 $z_j = 0$ 이 되어야 한다. 만일 $z_j = 0$ 이면 식 (5)의 첫 번째 식에서 y_j 는 1을 가져야만 한다. 반대로 클러스터 j 가 존재하지 않는다면, 식(5)의 두 번째 식에서 z_j 는 0과 1의 두 값을 가질 수 있고 (5)식의 첫 번째 식에서 y_j 도 0과 1의 두 값을 가질 수 있으나, 목적함수가 클러스터의 수를 최소화하는 것이기 때문에 y_j 는 0의 값을 취하게 된다. 따라서 식(5)는 적어도 하나의 공구가 클러스터 j 에 할당되어야지 만이 ($\sum_{k=1}^K y_{kj} > 0$), 클러스터 j 는 존재하게 된다는 것을 보인다.

위 모형은 다차원배낭 문제의 특수한 형태이다. 다차원배낭 문제는 주어진 부피를 갖는 물품들을 상자에 넣는데, 여기서 최소의 상자 수를 구하는 문제이다. 다차원배낭 문제는 아래와 같이 표현된다.

$$\min \sum_{j=1}^m y_j$$

$$s.t. \sum_{j=1}^m x_{ij} = 1 \quad \forall i$$

$$\sum_{i=1}^n w_i x_{ij} \leq k_j y_j \quad \forall j$$

본 연구의 수리모형은 다차원배낭 문제를 기본으로 하여 (4)번식과 (5)번식이 추가적인 조건으로 부가되었다. 다차원배낭 문제는 NP-hard

문제이고, 따라서 본 논문의 수리모형도 NP-hard 문제이다.

3.3 공구클러스터링 알고리즘

앞에서 모델링한 클러스터링 방안은 문제크기가 커지면 현실적으로 해를 찾을 수 없다. 본 연구에서는 실제적인 크기의 문제를 해결하기 위하여 Similarity Matrix를 이용한 휴리스틱을 제시한다. 유사계수를 이용한 휴리스틱은 Group Technology나 Cellular Manufacturing에서 많이 이용되어 왔다. 본 논문에서의 유사계수는 유사한 공구를 사용하는 제품을 그룹화 하기 위해 클러스터링을 진행해 나가면서 각 클러스터간에 공통으로 사용하는 공구의 정도를 나타낸다.

휴리스틱 알고리즘

단계 1 : 각 제품에 필요한 공구목록(t_{ik}), 공구매거진 용량(c) 등의 휴리스틱 절차에 필요한 기초Data를 얻는다.

단계 2 : 유사계수 Matrix를 구성한다.

$$s_{ij} = \frac{\sum_k t_{ik} \cdot t_{jk}}{\min(\sum_k t_{ik}, \sum_k t_{jk})}$$

여기서 분자는 제품간에 공통으로 사용하는 공구의 수를 나타내며, 분모에 min()은 두 제품 중에서 공구를 적게 필요로 하는 제품의 공구 수를 의미하는 것으로 s_{ij} 의 값이 [0,1]값 내에 들도록 하기 위한

것이다.

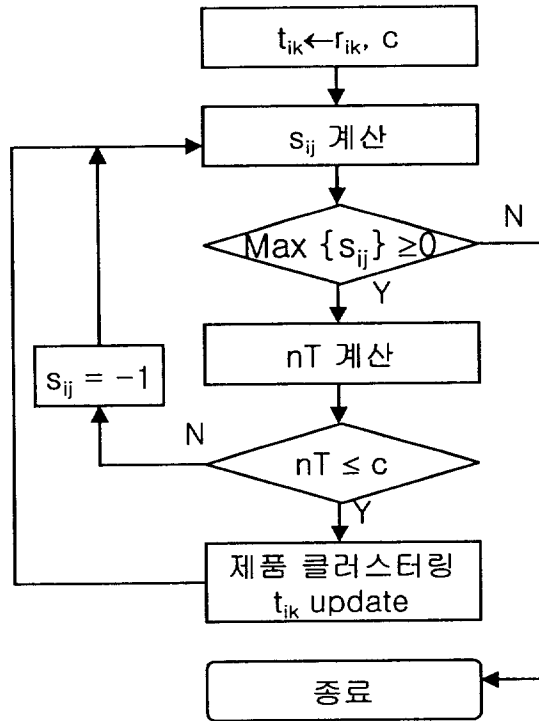
단계 3 : Matrix에서 가장 큰 s_{ij} , $\max\{s_{ij}\}$,를 찾는다. 만약 $\max\{s_{ij}\} \geq 0$ 이면 단계 4로, 그렇지 않으면 단계 6으로 간다.

단계 4 : 선택된 두 Job이 필요로 하는 모든 공구의 수 (nT)를 계산한다. 만일 $nT > c$ 이면 $s_{ij} = -1$ 로 한 후 단계 2로 가고, 그렇지 않으면 두 선택된 Job을 클러스터링 하고, Matrix에서 하나로 합친 후, t_{ik} 를 업데이트 한다.

단계 5 : 단계 2에서 단계 4를 반복한다

단계 6 : 현재의 클러스터 수를 보관하고 종료한다

유사계수의 값이 큰 것일수록 제품간에 공통으로 사용되는 공구가 많다는 것을 의미한다. 단계 4에서 클러스터링 할 제품들이 필요로 하는 공구의 수는 각 제품이 필요한 공구의 수를 더한 후, 공통으로 사용하는 공구의 수를 빼서 계산한다. 이 값이 공구매거진 용량보다 크게되면 Similarity 값을 -1로 두게 되는데 모든 s_{ij} 값이 -1이 되면 더 이상의 클러스터링이 요구되지 않는다는 의미이므로 휴리스틱을 마치게 된다. 상기의 휴리스틱 절차를 <그림 3-3>에 요약하였다.



<그림 3-3> 클러스터링 휴리스틱 절차

3.4 실험 및 분석

본 연구에서 제시한 공구클러스터링 휴리스틱을 검증하기 위하여 여러 문제를 가지고 제 2절에서 제시된 수리모형의 최적해와 휴리스틱에 의한 결과를 비교한다. 또한 일정계획을 하여 공구클러스터링과 공구일괄교체전략에서의 Makespan 및 기계의 가동중단시간을 비교한다. 최적해를 얻기 위해서 수리모형은 AMPL(Advanced Mathematical Programming Language)를 이용하여 모델링 하였고, CPLEX 6.0.2를 이용하여 문제를 풀었다. 본 예제에 사용된 문제에서 각 제품에 필요한

공구의 수와 그 제품에 필요한 공구 목록은 임의로 발생시켰다. 수리모형은 NP-Hard여서 문제 규모가 커지면 컴퓨터에 의해 수행 불가능하여 제품은 8개에서 15개로, 공구는 10개에서 15개로 문제 규모를 제한적으로 분석하였다. <표 1>에는 제품과 공구의 크기, 공구매거진의 용량에 따른 클러스터링 결과를 나타낸다.

<표 3-1> 최적해와 공구클러스터링 휴리스틱 결과

모델 크기			클러스터 수	
제품 수	공구 수	매거진 용량	최적해	휴리스틱
8	10	6	5	5
10	10	6	5	5
10	10	7	3	3
10	15	7	5	5
10	15	8	4	5
15	15	8	5	5
15	12	8	6	6

<표 3-1>에서 보여주는 것과 같이, 제시된 클러스터링 휴리스틱이 수리적 모형에서 나온 최적의 클러스터 수와 다른 결과를 주는 경우는 10개의 제품, 15개의 공구 그리고 공구매거진의 용량이 8인 일 때이고, 나머지 다른 모든 경우에는 동일한 결과를 얻을 수 있었다. 실험으로 나온 결과를 전체적으로 비교할 때 3%만큼 Cluster를 더 만들고 있다. 그러나 본 검증에 위한 실험이 작은 사이즈의 문제를 대상으로 수행되었기 때문에 사이즈가 커지면 최적치와 더 가까운 결과를 줄 것으로 기대된다.

공구클러스터링은 기계의 가동중단 상황을 최소로 하고 공구매거진의

이동을 최소로 하기 위함이다. 이를 검증하기 위한 실험으로 제품 50개, 기계 3대, 공구의 종류는 50가지로 하여 실험을 하였다. 한 제품에 필요로 하는 공구의 종류는 최소 4개에서 최대 6개이고, 제품의 평균 가공시간은 약 30분이다. 각 실험은 제품의 소요공구를 임의로 발생시켜 다섯 가지 경우를 실험하여 평균값으로 나타내었다. 실험은 기계와 공구의 가용성을 고려하여 제품을 임의로 선택해서 일정계획을 하고 이를 반복적으로 실행하여 가장 좋은 일정계획을 선택하는 방법을 사용하였다. <표 3-2>는 공구매거진의 용량의 변화에 따른 공구클러스터링과 공구일괄교체의 Makespan과 기계 중단시간을 나타내고 있으며 공구 Copy 수는 60개이다.

<표 3-2> 공구매거진 용량에 따른 Makespan 및 중단시간

매거진 용량	공구클러스터링		공구일괄교체	
	Makespan	중단시간	Makespan	중단시간
6	557.8	137.8	572.3	165.2
7	570.9	168.2		
8	604.7	235.9		
9	651.6	365.7		
10	720.3	533.4		

공구일괄교체전략에서는 하나의 공구매거진으로 한 제품의 가공에 필요한 공구만을 제공하므로 공구매거진의 용량에 관계없이 일정한 Makespan과 기계 중단시간을 나타낸다. 기계 중단시간은 여러 기계에서 공구를 공유함으로써 가공에 필요한 공구가 없어서 그 공구가 가용할 때까지 기다리며 발생하는 중단시간과 공구매거진을 셋업하는 동안 기계가 중단되는 두 가지 경우가 있다. <표 3-2>의 결과에서는 공구매

거진의 용량이 증가하면서 공구가 기계에 머무르는 시간이 길어져 공구의 부재로 인한 Makespan과 기계 중단시간이 증가함을 볼 수 있다. 그러나 적절한 공구매거진 용량의 선택은 공구의 부재로 발생하는 기계 중단시간의 증가보다 공구 셋업 횟수를 줄임으로써 야기되는 중단시간의 감소폭이 더 크게 나타나게 된다. 공구매거진의 용량이 6일 때가 이러한 경우로 공구일괄교체전략에 비해 Makespan과 기계 중단시간이 좋은 결과를 보이고 있다.

<표3-2>의 결과를 이용하여 공구매거진 용량을 6으로 하고 셋업 비율(평균제품가공시간 대비 셋업시간 비율)과 공구 Copy의 수를 변경시켜 가면서 제시된 공구클러스터링 휴리스틱과 공구일괄교체전략의 일정계획을 실험하였다.

<표 3-3> 셋업 비율에 따른 Makespan 및 중단시간

셋업 비율	셋업시간	공구클러스터링		공구일괄교체	
		Makespan	중단시간	Makespan	중단시간
0%	0	508.0	0	507.8	0
1 %	0.3	510.7	8.3	515.4	8.6
2 %	0.6	513.4	16.0	519.8	19.4
3 %	0.9	516.2	22.4	520.7	29.2
4 %	1.2	519.7	32.6	524.3	27.9
5 %	1.5	521.4	38.0	528.0	46.6
10 %	3.0	535.0	68.2	538.4	80.4
15 %	4.5	546.9	105.5	555.2	118.8
20 %	6.0	557.8	137.8	572.4	165.2
30 %	9.0	582.0	192.0	598.3	239.1

<표 3-3>는 셋업 비율을 변화시키며 일정계획을 한 결과를 나타내고 있다. <표 3-3>에서 보여 주듯이 셋업시간이 증가하면서 공구클러

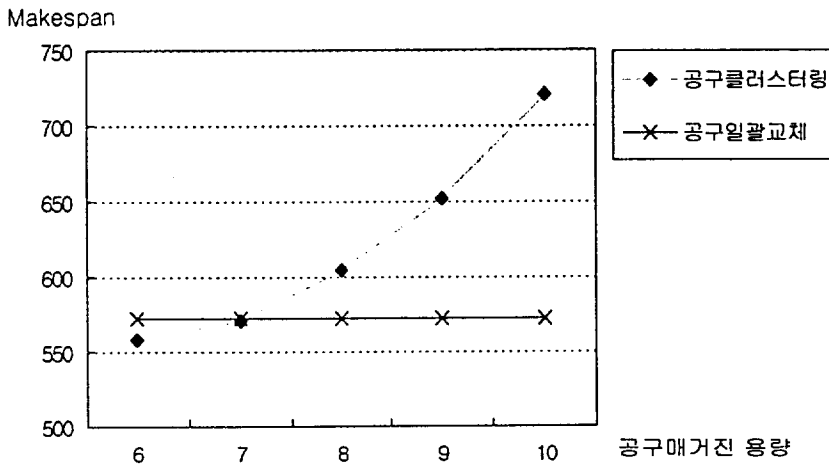
스터링과 공구일괄교체전략에서의 Makespan 및 중단시간의 차이가 더 커지는 것을 볼 수 있다. 본 실험에서는 휴리스틱 알고리즘을 통한 클러스터의 수와 제품의 수가 크게 차이 나지 않았고 셋업비율이 적은 경우 공구클러스터링과 공구일괄교체전략의 Makespan은 차이가 거의 없었다. 그러나 클러스터의 수와 제품 수의 차이가 많이 나고 셋업비율이 낮으면 기계 중단시간은 공구 셋업 횟수에 영향을 받지 않으므로 기계에서 공구를 오래 점유하는 공구클러스터링보다 공구일괄교체전략이 더 나은 결과를 나타낼 것으로 예상된다. 공구 셋업 횟수를 최소로 하는 제시된 공구클러스터링은 셋업시간의 비중이 큰 생산환경에서 더 효율적인 공구운행을 할 것으로 기대된다.

<표 3-4>는 공구 Copy 수를 변화시키며 공구클러스터링과 공구일괄교체전략을 비교분석 하였다. 제시된 공구클러스터링 휴리스틱으로 일정계획을 했을 때 다른 실험들과 마찬가지로 대부분 좋은 결과를 보였다. 공구 Copy가 충분한 경우에는 기계 중단시간은 주로 공구 셋업에 의해서 발생을 하며, 반대로 공구 Copy 수가 적은 경우에는 공구의 부재로 인한 기계 중단시간이 증가하게 된다. <표 3-4>에서 공구 Copy 수가 130개에서 80개인 경우까지는 공구가 충분히 있어서 중단시간은 공구 셋업 횟수에 영향을 많이 받고 있다. 그러나 공구 Copy 수가 적은 60개일 때는 공구 셋업 횟수로 인한 기계중단보다는 공구의 부재로 기계 중단시간이 크게 증가한 것으로 판단된다. 공구 Copy 수가 더 감소된 50개인 경우 공구클러스터링과 공구일괄교체전략에서의 중단시간 차이가 줄어든 것을 볼 수 있다. 이것은 공구클러스터링은 공구를 한 기계에서 오랫동안 점유함으로써 공구일괄교체전략보다 중단시간이 더 많이 증가하게 된 것이다. 즉 제시된 휴리스틱은 공구 Copy 수가 어느 정도 만족이 될 때 적합한 방법임을 알 수 있다.

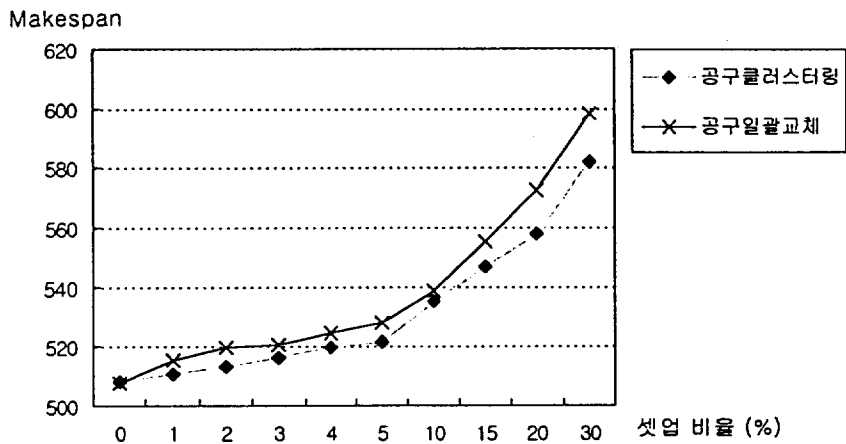
<표 3-4> 공구 수에 따른 Makespan 및 중단시간

Copy 수	클러스터링		공구일괄교체	
	Makespan	중단시간	Makespan	중단시간
130	507.8	0	508.6	0
100	519.0	22.0	524.8	36.7
80	535.0	60.6	536.4	66.4
60	557.8	137.8	572.4	165.2
50	573.4	183.6	582.5	196.8

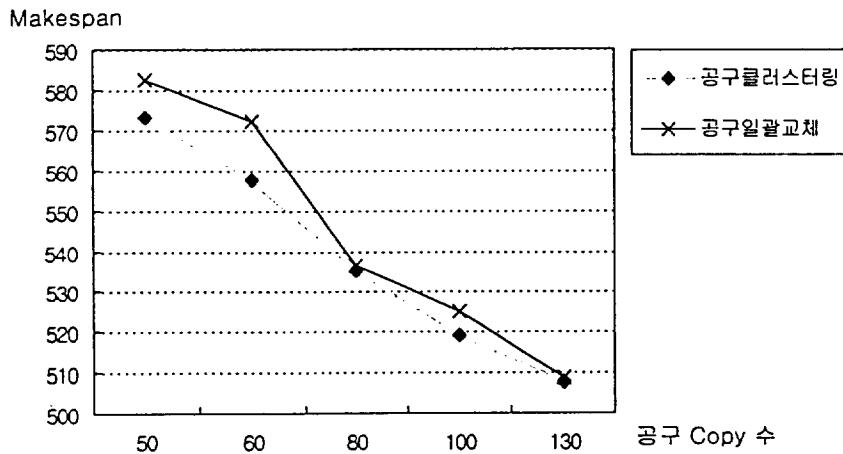
다음 그림들은 <표 3-2>, <표 3-3>, <표 3-4>를 각각 그래프로 나타내었다.



<그림 3-4> 공구매거진 용량에 따른 Makespan 비교



<그림 3-5> 셋업 비율에 따른 Makespan 비교



<그림 3-6> 공구 Copy 수에 따른 Makespan 비교

3.5 결론

본 장에서는 FMS의 공구 운영 전략 중에서 공구일괄교체전략과 관련된 단점, 즉 공구 교체에 따른 기계가동 중단과 잦은 공구 교환 등의 문제점을 해결하고자 유사한 제품이 필요로 하는 공구를 클러스터링 하는 방안을 연구하였다. 우선 공구를 최적으로 클러스터링하는 수리모형을 제시하고, 실제적인 문제를 해결하기 위하여 유사계수를 기반으로 하는 휴리스틱 절차를 제시하였다. 제시된 휴리스틱에 대해 수리모형에서 나온 최적해와 비교하여 그 효용성을 검증하였다. 또한 클러스터링을 한 결과와 공구일괄교체전략으로 일정계획을 하여 Makespan 및 기계 중단시간을 비교하였다. 공구매거진의 용량에 따라 Makespan과 기계 중단시간이 상당한 영향을 받았고 적절한 공구매거진의 용량을 선택하는 것이 필요하다는 것을 알 수 있었으며 실험을 통하여 최적의 공구매거진의 용량을 결정할 수 있었다. 제시된 공구클러스터링은 셋업 비율이 높을수록 공구일괄교체전략보다 더 나은 결과를 보였으며 공구 Copy가 어느 정도 만족이 될 때 적합한 방법임을 판단할 수 있었다.

본 장에서 다루는 공구클러스터링 전략은 공구를 공통으로 사용하는 유사제품들을 하나의 공구매거진으로 생산하여 공구의 셋업에 의한 기계 가동중단을 감소시킬 수 있다. 반면에, 이 전략은 하나의 공구를 하나의 기계에서 오래 동안 사용하기 때문에 이 기간동안에 다른 기계에서 해당 공구를 필요로 할 때 대응해 줄 수 없는 단점이 있다. 따라서 이 두 가지 원인에 의한 기계 중단을 고려하여 최적의 공구운영방법을 선택하는 것이 필요하다.

제 4 장 유전알고리즘을 이용한 FMS 일정계획

4.1 FMS 일정계획의 연구배경

FMS의 유연성과 생산성은 기계의 능력과 더불어 효율적인 공구관리에 의해 결정된다. FMS에서는 여러 제품을 한 시스템에서 생산하므로 수많은 공구를 필요로 하게되고, 이러한 공구는 여러 기계가 공동으로 사용하기 때문에 사용 시점의 조절이 필요하다. 불합리한 공구의 사용은 기계중단을 유발하고 따라서 생산성을 해치는 요인이 된다. 본 장에서는 제품에 대한 생산이 여러 기계 중 한 기계 위에서 이루어지고 필요한 공구가 세트로 구성되어 제공되는 상황에서 공구의 제약을 고려한 FMS 생산일정계획을 수립하기 위하여 유전알고리즘을 기반으로 하는 절차를 제시하고, 실험을 통하여 다른 일정계획 방법과 비교 분석한다.

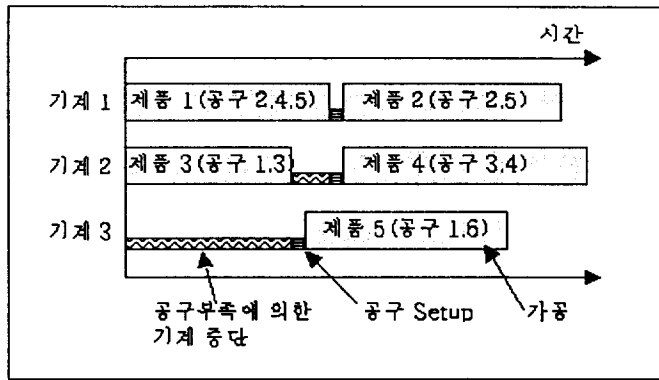
4.2 시스템 및 문제정의

<그림 2-1>에서 여러 대의 가공 기계, 공구셋업기, 공구보관장, 제품출입장 등으로 구성된 전형적인 FMS의 구조를 보았다. 가공 될 제품은 무인운반차(AGV)에 의해 제품출입장에서 기계로 운반된다. 각 제품은 여러 종류의 공구가 필요하며 이들 공구는 공구셋업기에서 공구매거진에 장착되어 기계에 운반된다. 제품이 기계에 올려지고 공구셋이

기계에 장착되면 공정계획에 따라 해당 제품의 모든 가공 공정이 수행된다. 제품의 가공이 완료되면 제품은 AGV에 의해 제품출입장으로 운반되고 해당 공구 매거진은 공구이송기에 의하여 공구셋업기로 운반되어 해체시키고 개별적으로 공구 보관장에 보관되거나 다음작업을 위해 새로운 공구매거진에 장착된다.

대상 시스템은 제품과 공구가 동시에 시스템 내를 이동하고 따라서 효율적인 시스템 운영을 위해서는 이 두 자원의 조화로운 계획이 필요하다. 본 연구에서 수행하는 공구를 고려한 생산일정계획은 동시에 공구사용계획도 함께 이루어짐을 의미한다.

본 연구에서는 계획기간 내에 생산되어야 할 제품의 종류와 수량은 계획단계에서 미리 정해져 있다고 가정한다. <그림 4-1>은 3대의 기계로 구성된 FMS의 일정계획을 보여주고 있다. 하나의 제품이 기계에서 가공 받기 위해서는 해당되는 공구가 장착되어야 하고 그 공구는 다른 기계에서는 사용할 수 없기 때문에 동시에 같은 공구를 필요로 하는 기계가 있다면 한 기계만 가동되고 나머지는 해당 공구가 가용할 때까지 기다려야 할 것이다. 그림 2에서 제품4는 공구 3과 공구 4가 필요한데 이 공구들은 기계 1과 기계 2에서 제품1과 제품2가 가공 완료된 후에 가용하므로 공구를 기다리는 시간이 발생하게 된다. 본 연구에서는 이러한 가동 중단을 최소로 하고 각 기계에 부하를 균형화시키는 것이 일정계획의 목적으로 한다. 이는 제품을 모두 생산 완료하는 시간, 즉 총작업완료시간(Makespan)을 최소화함으로써 달성할 수 있다.



<그림 4-1> FMS 일정계획의 예

다음은 일정계획 수리모형에서 사용된 기호이다.

i : 제품의 인덱스 ($i = 1, 2, \dots, N$)

k : 공구의 인덱스 ($k = 1, 2, \dots, K$)

m : 기계의 인덱스 ($m = 1, 2, \dots, M$)

t : 시간의 인덱스 ($t = 1, 2, \dots, T$)

p_i : 제품 i 의 총 가공시간(Batch 생산인 경우 Batch의 총 가공 시간)

d_k : 공구 k 의 소유량

r_{ik} : 제품 i 의 공정 중 공구 k 의 필요 여부 (0, 1)

s : 공구를 공구매거진에 셋업하는데 소요되는 시간

$C_{\max}$: Makespan

x_{imt} : 제품 i 가 기계 m 에서 시간 t 에 작업의 완료 여부 (0, 1)

일정계획 최적화 수리 모형의 목적함수는 Makespan을 최소화 한다.

$$\min C_{\max}$$

제약식은 다음과 같다.

- (1) Job Completion: 모든 제품은 Makespan 내에 작업 완료된다. 즉, 각 제품은 Makespan 내에서 한번 작업 완료된다.

$$\sum_{m=1}^M \sum_{t=d_i}^T x_{imt} = 1, \quad i=1,2, \dots, N$$

- (2) Machine Availability Constraint: 한 시점에서 한 기계는 하나의 제품만을 가공할 수 있다. 한 제품이 기간 $(t \leq q \leq t + p_i - 1)$ 내의 한 시점 q 에서 완료된다면 시점 t 에서는 제품이 가공되고 있다는 것을 의미한다. 따라서, 기계 제약 조건은 다음과 같이 표현된다.

$$\sum_{i=1}^N \sum_{q=t}^{t+p_i-1} x_{imq} \leq 1, \quad m=1,2, \dots, M; \quad t=1,2, \dots, (T + p_i - 1)$$

- (3) Tool Availability Constraint: 각 기계에서 한 시점에 사용되고 있는 공구의 수는 공구 Copy를 넘지 못한다.

$$\sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^N \sum_{q=t}^{t+p_i-1} r_{ik} x_{imq} \leq d_k, \quad k=1,2, \dots, K; \quad t=1,2, \dots, (T + p_i - 1)$$

- (4) Makespan Constraint: 모든 제품의 완료시점은 Makespan T 를 넘을 수 없다. 즉, T 는 마지막으로 작업이 완료된 제품의 작업종료시간이다.

$$\sum_{m=1}^M \sum_{t=d_i}^T x_{imt} \leq C_{\max}, \quad i=1,2, \dots, N$$

- (5) Integrality Constraint

$$x_{imt} = 1 \text{ or } 0, \quad \text{for all } i, m, t$$

위의 수리모형에서 표현한 여러 대의 다기능 기계로 구성된 FMS에서 Makespan을 최소로 하기 위한 일정계획은 Parallel 일정계획 문제와 동일하고 이는 문제의 Size가 커지면 해결할 수 없는 NP-Hard 문제로 알려져 있다. 더욱이 공구의 가용성을 고려한 일정계획은 문제를 더욱 복잡하게 만든다.

4.3 유전알고리즘기반 FMS 일정계획

여러 대의 다기능 기계로 구성된 FMS에서 Makespan을 최소로 하기 위한 일정계획은 병렬 일정계획 문제와 동일하고 이는 NP-Hard 문제로 알려져 있다. 더욱이 공구의 가용성을 고려한 일정계획은 문제를 더욱 복잡하게 만든다. 본 논문에서는 공구를 고려한 FMS 일정계획을 수행하기 위해 유전알고리즘을 기반으로 하는 휴리스틱방법을 제시한다.

유전알고리즘은 Holland에 의해 연구되기 시작하여 많은 조합최적화 문제에 응용되고 있다. 유전알고리즘은 자연선택과 유전법칙을 모방한 확률적 탐색기법이다. 유전알고리즘은 타부서치나 시뮬레이티드 어닐링과 같은 이웃해 탐색기법이 하나의 해를 운용하는데 반하여, 유전알고리즘은 복수개의 잠재해들로 이루어진 해의 집단을 운용하는 것이다. 이러한 해집단에서 자연선택과 유전법칙의 메커니즘을 적용하여 세대를 진행시키면서 해공간을 탐색해 간다. 유전알고리즘은 그 개념과 이론이 단순하고, 해의 탐색성능이 우수하여 공학, 자연과학 분야뿐 아니라 경영학 및 사회과학 등의 여러 분야의 최적화 또는 의사결정문제에 다양하게 적용 가능하다.

유전알고리즘은 문제의 잠재해를 표현한 개체들로 이루어진 모집단을 가지고 시작한다. 모집단은 매 세대마다 일정한 수의 개체를 유지하면서 각 세대마다 개별 개체의 적응도를 평가하여 다음 세대로 생존할 개체를 선별한다. 이렇게 생존한 개체들 중에서 몇몇 개체들은 교차를 하여 새로운 자손을 만들기도 하고 돌연변이가 발생하기도 한다. 교차로 인해 새로 만들어진 자손은 부모들의 좋은 유전형질을 상속받음으로써 이전 세대의 개체보다 더 좋은 적응도를 가질 수 있게 된다고 생각할 수 있다. 유전알고리즘은 교차와 돌연변이, 적응도를 평가하면서 세대를 진행시켜며 종료조건이 만족될때까지 이러한 과정을 반복하게 된다.

유전알고리즘에서 개체는 염색체(Chromosome)이라 불리고, 각 개체를 이루는 하나의 단위를 유전자(Gene)이라 부른다. 유전알고리즘의 요소로는 표현, 초기모집단, 적응도 평가, 선별, 유전연산자, 유전파라미터 등이 있다.

본 연구가 제시한 문제에서의 일정계획은 생산할 제품들을 어떤 기계에서 어떤 순서로 가공해야 할지를 결정하는 문제이다. 본 문제에서 적응도는 Makespan을 평가한다. 각 개체의 그 문제에서 해가 되는데 표현을 어떻게 하는지에 따라서 해를 달리 해석할 수 있다. 본 연구에서의 일정계획문제나 외판원 문제(Travelling Salesman Problem: TSP)와 같이 순서를 결정하는 문제는 해의 표현, 즉 개체를 주로 순열방식으로 표현을 한다. 만약 이진표현으로 개체를 나타낸다면 교차와 돌연변이 같은 유전연산을 하는 것이 용이할 수 있으나 1과 0의 수로 순서를 결정하는 것은 결코 쉬운 일이 아닐 것이다. 그렇다면 0과 1사이의 난수로 개체를 표현한다고 하면 - 중복된 난수는 없다고 가정한다 - 그 난수를 크기 순으로 다시 바꾸어주어야 하는 보정절차가 필요할 것이다. 개체를 순열방식으로 표현하게되면 다른 보정절차 없이 개체는

바로 해로서 받아들여 질 수 있다. 본 연구에서는 개체내의 유전자를 제품으로 표현하였다. 제품을 가공하는 기계로 개체를 나타내지 않은 것은 유전자가 기계를 나타내기 때문에 문제에서 구하려고 하는 제품의 가공순서를 나타내기 위해서 별도의 절차가 필요하기 때문이다. 유전자가 하나의 제품을 나타냄으로써 개체 내에 있는 유전자의 순서가 바로 제품의 가공순서를 나타낸다. 이러한 이유로 본 연구에서는 개체를 순열방식으로 표현하였다. 그러나 이 표현방법에서는 교차를 함에 있어서 비가능해(Infeasible Solution)이 나올 수 있으므로, 가능해(Feasible Solution)로 바꾸어 줄 수 있는 보정절차가 필요하다. 보정절차는 수치예제에서 살펴보기로 한다.

유전알고리즘기반의 일정계획 절차는 아래와 같다. 여기서 $P(t)$ 는 세대 t 에서의 모집단을 의미한다.

단계 1: $t \leftarrow 0$

모집단크기(Pop_size)의 개체 $P(t)$ 를 생성한다.

$P(t)$ 의 적응도 평가

단계 2: $t \leftarrow t + 1$

$P(t-1)$ 에서 선별 (Elitist 전략 적용)

단계 3: $Pop_size \times$ 교차율(P_c)개의 염색체 교차

비가능해를 가능해로 바꾸는 보정 과정

단계 4: $Pop_size \times$ 선별율(P_m)개의 염색체 돌연변이

단계 5: $P(t)$ 의 적응도 평가

단계 6: If 종료조건 만족 Then 종료 Else 단계 2

각 단계에서의 수행절차를 세부적으로 알아보면 다음과 같다.

단계 1 초기화 및 초기 적응도: 알고리즘을 수행하기 위해 모든 값을 초기화한다. 모집단 $P(t)$ 의 생성은 임의로 Pop_size 만큼의 개체를 만든다. 여기에서 모집단의 크기 Pop_size 가 너무 크면 해 탐색 범위는 넓지만 계산시간이 증가하며 반대로 너무 작게 되면 탐색 영역이 좁아지므로 적절한 크기로 결정하여야 한다. 적응도의 평가는 각 개체에서 최종적으로 생산되는 제품의 가공완료시간인 Makespan을 계산함으로써 이루어진다.

단계 2 선별: 세대를 증가시키고 이전 세대의 모집단에서 Elitist 전략에 의하여 개체를 선별한다. Elitist 전략은 모집단에서 적응도를 평가하여 적응도가 좋은 상위 $Pop_size \times Ps$ 개의 개체를 다음세대로 생존시키는 것이다. 이 전략은 세대가 진행됨에 따라 모집단 내의 우수한 개체를 지속적으로 개선시켜나간다는 장점이 있다.

단계 3, 교차: Pop_size 만큼의 난수를 발행시켜 그 수를 하나의 개체에 할당하여 교차율(P_c) 보다 작은 난수를 가지는 개체들을 선택하여 임의로 두 개씩 짝을 지어 교차를 한다. 본 연구에서의 교차 방법은 유전자 사이의 임의의 교차점을 기준으로 절단하여 두 부모로부터 각각 절단된 한 부분의 스트링(String)씩을 상속받아 자손을 생성하는 일점교차를 사용한다. 교차점은 개체를 일정계획하여 각 제품가공 사이에 기계중단 시간이 가장 큰 곳을 찾아서 교차를 하도록 한다. 교차로 인하여 비가능해가 만들어질 수 있는데 개체에서 중복된 유전자는 제거를 하고 자손에 없는 유전자를 차례로 새로운 개체의 뒤에 적음으로써 가능해로 바꾸는 과정을 거친다.

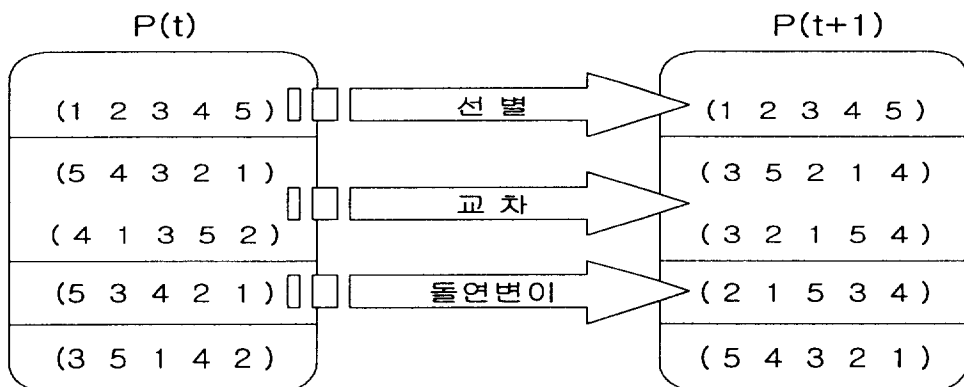
단계 4 돌연변이: 발생된 난수를 각 개체에 할당하여 돌연변이율(P_m)

보다 작은 난수를 가지는 개체를 선택하여 돌연변이를 시킨다. 돌연변이가 하는 방법은 각 개체 중에 기계중단 시간이 큰 곳을 선택하여 그 곳을 기준으로 개체의 기준점 앞과 뒤를 바꾼다. 일반적으로 돌연변이는 개체내의 유전인자의 값을 바꾸거나 한 개체 내에서 다른 곳으로 삽입, 교환을 통하여 이루어지나, 일정계획 문제에서는 유전자의 값을 바꾸는 것은 적합하지 않으므로 제품의 가공순서를 바꾸거나 유전인자를 삽입함으로써 돌연변이를 한다.

단계 5 적응도평가: 각 개체의 Makespan을 계산함으로써 적응도를 평가한다.

단계 6 종료조건: 알고리즘 종료는 최대 반복횟수를 초과하거나 해의 개선이 정해놓은 일정한 수만큼 개선이 되지 않으면 종료를 한다. 종료조건이 만족되지 않으면 단계 2에서 단계6을 반복 수행한다.

<그림 4-2>은 유전알고리즘의 절차를 개략적으로 보여주고 있다.



<그림 4-2> 유전알고리즘의 절차 예

수치예제

기계 수: 2

공구 및 Tool Copy

공구번호	1	2	3	4	5
Tool Copy	1	1	1	1	1

제품정보

제품번호	1	2	3	4	5
가공시간	5	5	6	8	10
필요한 공구	1, 2, 3	2, 5	1, 5	3	3, 4

공구 Setup 시간 = 1

모집단 크기(Pop_size) = 5 , 최대 실행횟수(Max_gen) = 10

선별율(Ps) = 0.2 , 교차율(Pc) = 0.4 , 돌연변이율(Pm) = 0.2

단계 1: 초기 모집단 생성

$$v1^{(0)} = (5 \ 3 \ 4 \ 2 \ 1)$$

$$v2^{(0)} = (3 \ 5 \ 1 \ 4 \ 2)$$

$$v3^{(0)} = (4 \ 1 \ 3 \ 5 \ 2)$$

$$v4^{(0)} = (1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5)$$

$$v5^{(0)} = (5 \ 4 \ 3 \ 2 \ 1)$$

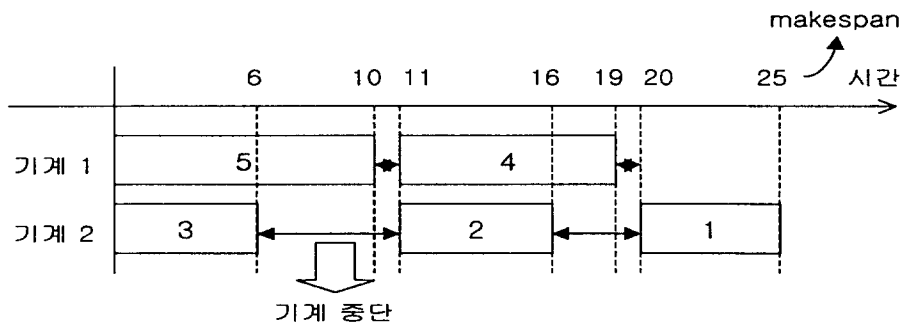
※ $val(v^{(*)})$: 세대 *에서 적응도 값

적응도 평가

$v1^{(0)}$ 의 적응도 평가 (makespan) 예제

$$val(v1^{(0)}) = 25 , val(v2^{(0)}) = 25 , val(v3^{(0)}) = 27 ,$$

$$val(v4^{(0)}) = 30 , val(v5^{(0)}) = 29$$



단계 2: $t = 1$

$Pop_size \times Ps = 1$, 즉 $t - 1$ 세대에서 적응도가 좋은 $v1^{(0)}$ 과 $v2^{(0)}$ 중에서 임의로 하나 선택한 $v1^{(0)}$ t 세대로 생존시킨다.

$$v1^{(1)} = v1^{(0)} = (5 \ 3 \ 4 \ 2 \ 1)$$

단계 3: $t - 1$ 세대의 각 개체에 난수 할당하여 교차율보다 작은 난수를 가지는 개체를 교차시킨다.

개체	난수	교차여부
$v1^{(u)} = (5 \ 3 \ 4 \ 2 \ 1)$	0.35	Yes
$v2^{(u)} = (3 \ 5 \ 1 \ 4 \ 2)$	0.50	No
$v3^{(u)} = (4 \ 1 \ 3 \ 5 \ 2)$	0.12	Yes
$v4^{(u)} = (1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5)$	0.48	No
$v5^{(u)} = (5 \ 4 \ 3 \ 2 \ 1)$	0.64	No

기계 가동중단시간이 큰 곳을 교차점으로 한다.

단계 1 적응도 평가에서 기계중단시간 계산이 되므로 교차점이 결정된다.

마찬가지로 하여 새로운 개체 두 개는 다음과 같다.

$$\begin{array}{l}
 v1^{(0)} = (\underline{5} \ 3 \ 4 \ | \ 2 \ 1) \\
 v3^{(0)} = (4 \ 1 \ | \ \underline{3} \ 5 \ 2)
 \end{array}
 \xrightarrow{\text{일점교차}}
 o1^{(0)} = (\underline{3} \ 5 \ 2 \ | \ 2 \ 1)
 \xrightarrow{\text{보정}}
 o1^{(0)} = (\underline{3} \ 5 \ 2 \ | \ 1 \ 4)$$

$$\begin{array}{l}
 v2^{(1)} = o1^{(0)} = (3 \ 5 \ 2 \ 1 \ 4) \\
 v3^{(1)} = o2^{(0)} = (2 \ 1 \ 3 \ 5 \ 4)
 \end{array}$$

단계 4: $t - 1$ 세대의 각 개체에 난수 할당하여 돌연변이율보다 작은 난수를 가지는 개체를 돌연변이시킨다.

개체	난수	돌연변이여부
$v1^{(u)} = (5 \ 3 \ 4 \ 2 \ 1)$	0.83	No
$v2^{(u)} = (3 \ 5 \ 1 \ 4 \ 2)$	0.54	No
$v3^{(u)} = (4 \ 1 \ 3 \ 5 \ 2)$	0.91	No
$v4^{(u)} = (1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5)$	0.12	Yes
$v5^{(u)} = (5 \ 4 \ 3 \ 2 \ 1)$	0.25	No

본 수치예제에서는 기계 가동중단시간이 가장 큰 곳을 중심으로 앞과 뒤를 바꾼다.

$$v3^{(0)} = (1 \ 2 \ 3 \ 4 \ | \ 5) \Rightarrow v4^{(1)} = v3^{(0)} = (5 \ 1 \ 2 \ 3 \ 4)$$

t 세대에서 현재 모집단 수는 4개이므로 $t - 1$ 세대에서 선별에 의해 선택된 개체를 제외한 나머지 개체 중에 하나를 적응도가 좋은 한 개체를 생존시킨다.

$$v5^{(1)} = v2^{(0)} = (3 \ 5 \ 1 \ 4 \ 2)$$

단계 5: 적응도 평가 단계 1에서와 마찬가지로 새로 생성된 모집단에 대하여 적응도를 평가한다.

단계 6: 종료조건을 확인한다.

$$Max_gen = 10 > t = 1 \text{ 이므로 단계 2}$$

4.4 실험 및 분석

제시된 일정계획 방법의 수행도를 알아보기 위하여 다기능 기계로 이루어진 모델 케이스 FMS에서 여러 가지 일정계획 방법에 의해 수행도를 평가하였다. Model FMS에서는 50 가지 종류의 작업물이 50 가지의 공구에 의해 가공된다. 각 작업물은 최소 4개에서 최대 7개의 공구에 의해서 가공되며 각 공정은 4에서 8분이 소요되어 총 20분에서 45분까지의 가공시간이 필요하다. 공구 중에는 수요가 많기 때문에 여분의 복사본 1개를 더 갖고 있는 것도 있다. 하나의 작업물은 한 기계에서 모든 가공작업이 완료되며 이러한 가공작업에 필요한 모든 공구들은 공구 매거진에 끼워져 가공 전에 기계에 장착된다. 공구가 없어 가동하지 못하는 경우 시간이 지나 공구가 다른 기계에서 사용이 끝나고 해당 기계에 장착되기 위해서는 공구셋업 시간이 필요하다.

본 실험에서의 여러 번의 예비실험을 통하여 파라미터는 다음과 같이 설정하였다.

$$\text{모집단 크기}(Pop_size) = 20$$

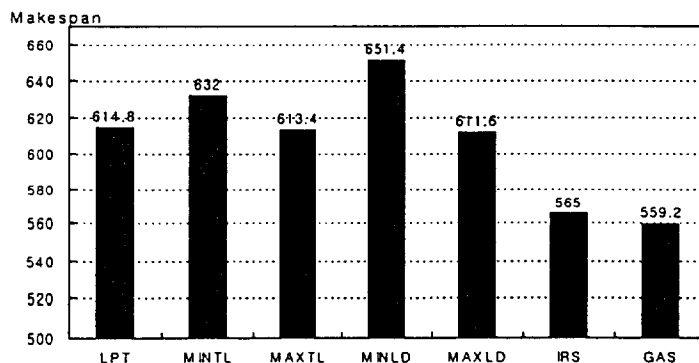
$$\text{선별율}(Ps) = 0.2, \text{교차율}(Pc) = 0.2, \text{돌연변이율}(Pm) = 0.08$$

$$\text{종료조건: 최대실행횟수}(Max_gen) = 100, \text{해의 비개선횟수} = 100$$

제시된 일정계획 방법의 효용성을 검증하고자 기존의 타 방법과 비교

분석 하였다. 일반적으로 병렬기계의 일정계획에서 Makespan을 최소화시키는 것으로 알려진 Longest Processing Time(LPT) 방법, 가장 많은 종류의 공구를 사용하는 제품 우선 선택 (MAXTL), 가장 적은 공구를 사용하는 제품 우선 선택(MINTL), 가장 부하가 많은 공구를 사용하는 제품 선택(MAXLD), 그리고 가장 부하가 적은 Tool을 사용하는 Part 선택(MINLD) 방법을 제시된 모델과 비교 분석하는데 이용하였다. 또한 랜덤 하게 제품을 선택하여 기계와 공구의 가용성을 고려하여 일정계획을 수립하고 이를 반복 수행하여 그중 가장 좋은 일정계획을 선택하는 Iterative Random Selection (IRS)과도 비교 분석한다. 본 절에서의 실험은 앞서 실험한 3.4절과 마찬가지로 임의로 각 제품의 소요공구를 발생시켜 다섯 가지 실험 경우를 평균으로 나타낸 것이다.

<그림 4-3>은 본 장에서의 일정계획방법(GAS)과 다른 방법들의 수행도를 비교 평가한 것이다. 제시된 방법이 타 방법에 비해 Makespan이 짧은 일정계획을 제공한다는 것을 알 수 있다. 타 방법 중에는 임의의 반복적으로 얻어진 일정계획인 IRS방법이 비교적 좋은 수행도를 나타내고 있다.

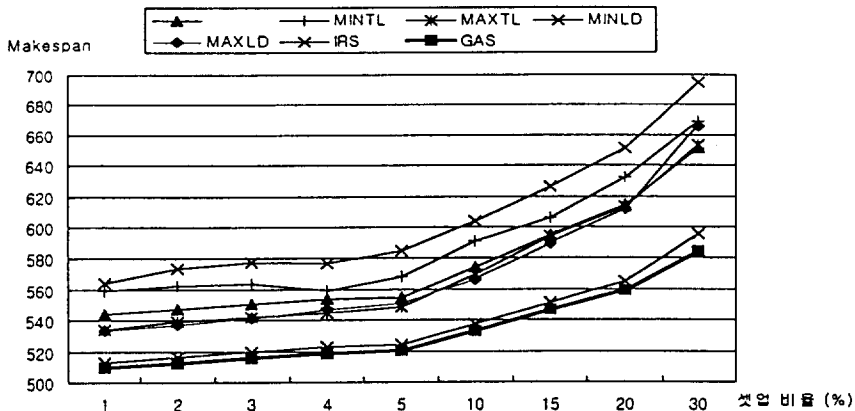


<그림 4-3> 제시된 일정계획 알고리즘의 수행도 평가

<표 4-1>은 셋업 비율의 변화에 따른 수행도를 다른 방법들과 비교한 결과이다. 기계 수는 3대로 고정시키고 공구 Copy 수는 60개로 하였다. 제시된 방법이 다른 방법에 비해 더 나은 결과를 보이며 IRS 방법도 좋은 일정계획을 제공함을 알 수 있다. 셋업 비율이 증가하면서 제시된 방법과 다른 방법들과의 Makespan의 차이는 더 크게 나타났다.

<표 4-1> 셋업 비율에 따른 일정계획 수행도 비교

셋업 비	시간	LTP	MINTL	MAXTL	MINLD	MAXLD	IRS	GAS
1 %	0.3	544.3	559.5	534.3	564.7	533.3	512.9	509.9
2 %	0.6	547.4	562.8	539.3	573.8	537.4	516.7	512.8
3 %	0.9	550.8	563.9	542.0	577.8	541.3	519.7	515.8
4 %	1.2	553.9	559.0	544.9	577.3	547.3	522.8	518.4
5 %	1.5	554.7	568.2	548.6	585.0	551.5	524.4	520.5
10 %	3.0	574.4	590.6	570.0	603.8	566.4	537.6	532.8
15 %	4.5	595.0	605.6	594.2	626.5	589.6	551.4	547.0
20 %	6.0	614.8	632.0	613.4	651.4	611.6	565.0	559.2
30 %	9.0	651.4	669.4	653.4	694.6	665.8	595.4	584.2

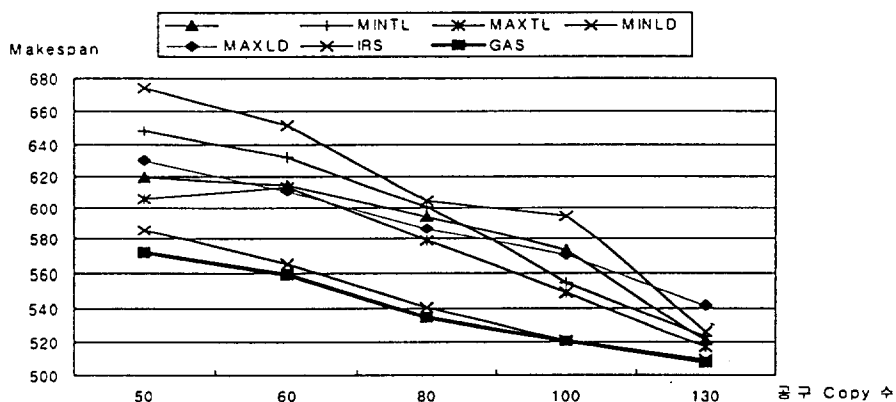


<그림 4-4> 셋업 비율에 따른 일정계획 수행도 비교

<표 4-2>에서는 시스템 내의 기계 수를 3대로 고정하고 공구의 수를 변경시키면서 여러 방법들의 수행도를 비교한 결과를 보여주고 있다. 여러 공구수준에서 제시된 방법이 좋은 결과를 도출하고, 특히 공구의 수가 적은 경우에 다른 방법보다 상대적으로 더 좋은 결과를 보여준다. 공구 Copy 수가 충분히 많게 되면 공구의 제약에 의한 작업 중지 상태가 거의 발생하지 않으므로 공구의 수가 증가되더라도 Makespan의 변화는 조금밖에 변화되지 않았고 또한 반복적인 IRS방법도 비교적 우수한 결과를 제공한다.

<표 4-2> 공구 수에 따른 일정계획 수행도 비교

Copy 수	LTP	MinTL	MaxTL	MinLD	MaxLD	IRS	GAS
130	521.2	523.4	517.4	526.6	542.2	509.2	507.8
100	572.8	554.2	549.2	594.6	570.6	521.6	520.6
80	594.0	600.4	578.8	605.0	586.2	540.8	534.8
60	614.8	632.0	613.4	651.4	611.6	565.0	559.2
50	619.4	648.0	606.0	674.0	630.0	585.0	571.6

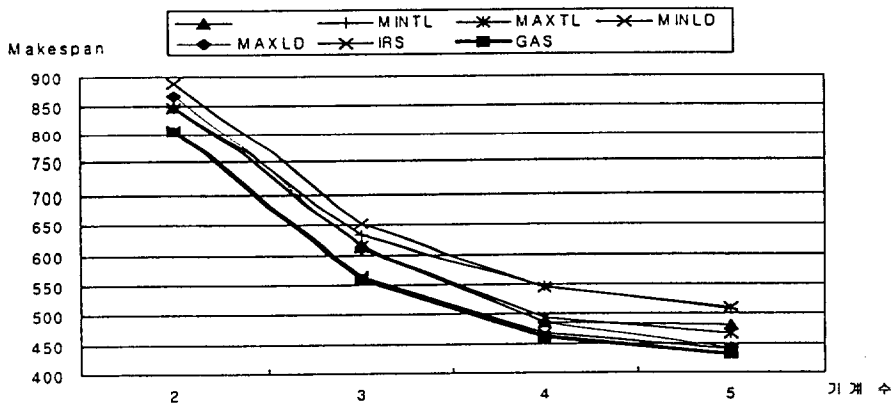


<그림 4-5> 공구 수에 따른 일정계획 수행도 비교

<표 4-3>는 공구 Copy 수는 일정하고 기계 대수의 변화에 따른 수행도를 보여주고 있다. 기계의 수가 적을 때는 기계에서 서로 필요로 하는 해당 공구를 요청하는 경쟁이 느슨해진다. 기계의 수가 2대인 경우 제시된 방법과 IRS의 경우 수행도가 거의 비슷하게 나타났다. 그러나 기계의 수가 증가하게 되면 여러 기계에서 공구를 서로 요청을 한다. 기계의 수가 증가하면서 제시된 방법과 다른 방법들의 수행도의 차이가 많이 났다. 즉 기계의 수가 많을 때 제시된 방법이 보다 효율적임을 알 수 있다.

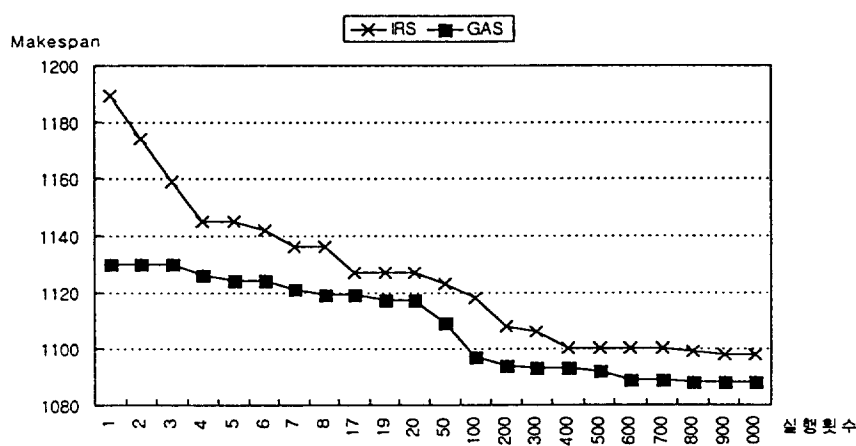
<표 4-3> 기계 수에 따른 일정계획 수행도 비교

기계 수	LTP	MinTL	MaxTL	MinLD	MaxLD	IRS	GAS
2	848.2	848.4	848.0	889.2	866.6	808.2	804.6
3	614.8	632.0	613.4	651.4	611.6	565.0	559.2
4	485.8	546.8	493.8	545.0	485.4	466.8	460.6
5	479.8	506.8	466.0	511.0	443.4	438.8	431.2



<그림 4-6> 기계 수에 따른 일정계획 수행도 비교

본 장에서의 일정계획 실험에서 IRS 방법과 GAS 방법은 다른 방법들에 비해서 좋은 결과를 보여주고 있다. 그리고 여러 실험에서 두 방법의 차이가 크게 나타나지 않았다. 따라서 IRS와 GAS의 성능비교를 위해서 문제의 크기를 더 크게 하여 실행횟수에 따른 수행도를 비교하였다. 제품의 수를 100개로 하고 공구와 기계의 수는 앞서 실험한 예와 동일하게 하여 5회 반복 실험을 하였다. 다음의 결과는 5회 반복 실험의 평균을 나타낸 것이다.



<그림 4-7> IRS와 GAS의 일정계획 수행도 비교

<그림 4-7>에서는 IRS와 GAS의 일정계획 수행도를 비교한 내용을 보여주고 있다. 실행횟수가 증가하면서 두 방법사이의 Makespan은 차이가 점점 줄어들고 있다. 그러나 100회 이하의 실행에서는 Makespan의 차이가 크게 나타났다. 이것은 제시된 GAS 방법이 짧은 시간 내에 더 좋은 해를 얻을 수 있다는 것을 보여주고 있다. 즉 임의로 일정계획을 수립하는 IRS 방법보다 GAS 방법이 시간대비 효율에서 더 우수한 것을 알 수 있다.

4.5 결론

본 장에서는 공구관리가 FMS시스템 전체의 효율성에 크게 영향을 준다는 인식 하에, 제품에 대한 생산이 여러 기계 중 한 기계 위에서 이루어지고 필요한 공구가 세트로 구성되어 제공되는 상황에서 공구의 제약을 고려한 FMS 생산일정계획을 수립하는 유전알고리즘을 제시하였다. 제시된 일정계획 방법과 기존의 여러 일정계획 방법과 비교해본 결과 대부분의 경우 제시된 방법이 우수한 수행도를 제공하는 일정계획을 수립한다는 것을 알 수 있었다. 특히 공구의 제약이 많은 상황에서 제시된 모델이 우수한 결과를 보이고 있다. 본 논문에서는 일정한 기간의 제품 생산량이 주어진 상태에서 일정계획을 수행하였으나, 약간의 수정을 통하여 동적인 생산 환경에서의 일정계획 도구로서도 이용될 수 있을 것이다.

제 5 장 결 론

본 연구에서는 FMS에서의 공구관리 및 일정계획을 다루었다. 공구 운영전략 중에서 공구일괄교체 전략은 한 제품이 필요로 하는 공구를 하나의 공구매거진에 장착하여 기계에 위치시켜 해당 제품의 모든 작업을 수행하는 전략이다. 공구일괄교체에서는 다른 유형의 제품을 가공할 때마다 공구매거진의 교체가 이루어져야 한다. 이때 다음 제품을 위한 새로운 공구 세트가 구성되어야 하므로 이 시간동안 기계는 공구를 기다리기 위해 가동이 일시적으로 중단된다. 일반적으로 다기능 기계로 이루어진 최근의 FMS에서의 공구는 여러 기계에서 공유가 가능하므로 어느 기계에서든 사용될 수 있다. 현재 제품 가공에 필요한 공구가 다른 기계에 의해 사용이 되면 공구의 부재로 인하여 기계의 가동중단이 발생하게 된다.

본 연구에서는 공구매거진의 교체로 인한 기계중단을 줄이기 위해서 하나의 공구매거진으로 여러 제품을 생산할 수 있도록 공구매거진의 용량을 고려하여 공구를 클러스터링하는 절차를 제시하였다. 공구클러스터링은 유사제품을 하나의 공구매거진을 생산하여 공구 셋업으로 인한 기계중단 시간을 줄일 수 있지만, 한 기계에서 공구를 오래 점유함으로써 다른 기계에서 해당 공구를 필요로 할 때 대응을 해줄 수 없게 된다. 따라서 적절한 클러스터의 수를 결정하는 것이 중요하다. 또한 공구의 부재로 인해 발생하는 기계중단 시간을 최소화하기 위해 공구를 고려한 유전알고리즘 기반의 FMS 일정계획을 하였다. 일정계획의 수행도 평가는 계획된 모든 제품을 생산 완료하는 시간을 나타내는 Makespan을 사용하였다. 다른 여러 일정계획 방법과 본 연구에서 제시

한 알고리즘을 비교분석 하였고, 공구 Copy와 기계 대수를 변화시켜 실험을 하였다. 대부분의 경우에서 특히 공구제약이 많은 시스템환경에서 제시된 알고리즘은 다른 일정계획보다 더 나은 결과를 나타내었다.

FMS 일정계획에서 계획기간 동안 생산할 제품은 미리 알고 있는 정적 생산환경이었다. 그러나 주문생산과 같은 생산환경은 실시간으로 생산할 제품이 변화한다. 이런 동적 환경에서 이용될 수 있는 공구운영 전략과 FMS 일정계획이 다음 단계의 연구 내용이 될 것이다.

1. 구평희, Bulk Exchange 공구운영전략 하에서의 FMS Scheduling, 대한산업공학회 2000년 추계학술대회, B06-1, 동국대학교, 2000
2. 구평희, 이승우, 이재종, Tool Management in Flexible Manufacturing Systems, 대한산업공학회지, Vol. 24, No. 1, 61-76, 1998
3. Basnet, C and Mize, J.H., "Scheduling and control of flexible manufacturing system: a critical review", *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 7, No 6, 340-355, 1994
4. Carrie, A. S. and Perera, D. T. S., "Work scheduling in FMS under tool availability constraints," *International Journal of Production Research*, Vol. 24, No. 6, 1299-1308, 1986
5. Grieco, A., Semeraro, Q., Tolio, T. & Toma, S., "Simulation of tool and part flow in FMS," *International Journal of Production Research*, 33(3), 643-658, 1995.
6. Han, M. H., Na, Y. K., and Hogg, G. L., "Real-Time Tool Control and Job Dispatching in Flexible Manufacturing Systems," *International Journal of Production Research*, Vol. 27, No. 8, 1257-1267, 1989
7. Han, M., Y. K. Na, and G. L. Hogg, "Real time tool control and job dispatching in FMS," *International Journal of Production Research*, 27(8), pp. 1257-1267, 1989.
8. Hertz, A, Laporte, G., Mittaz, M. and Stecke, K.E., "Heuristics for minimizing tool switches when scheduling part types on a flexible machine", *IIE transactions*, Vol. 30, 689-694, 1998
9. Koo, P-H. & J.M.A. Tanchoco, "Non-hierarchical shop floor control in SSMS," *International Journal of Flexible Automation and Integrated Manufacturing*, 7(1&2), 19-46, 1999

10. Koo, P-H. & J.M.A. Tanchoco, "Real-time operation and tool selection in SSMS," *International Journal of Production Research*, 37(5), 1023-1039, 1999.
11. Lee, C-S., S.S. Kim, "Determination of operation sequence under dynamic tool allocation strategy in FMS," *Proceedings of NIEMS 2000*, 401-404, 2000
12. Lee, D.H. and Kim, Y.D., "Scheduling algorithms flexible manufacturing systems with partially grouped machines", *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 18, No. 4, 301-309, 1999
13. Matzliach, B and Tzur, M., "Storage management of items in two levels of availability", *European Journal of Operational Research*, 121, 363-379, 2000
14. Roh, H-K. and Y.D. Kim, "Due-date based loading and scheduling methods for a flexible manufacturing system with an automatic tool transporter, *International Journal of Production Research*," 35(11), 2989-3003. 1997
15. Song, C.Y., Hwang, H. and Kim, Y.D., "Heuristic algorithm for the tool movement policy in FMS," *Journal of Manufacturing Systems*, 14(3), 160-168, 1995.
16. Stecke, K. E., "Planning and Scheduling Approaches to Operate a Particular FMS," *European Journal of Operational Research*, Vol. 61, No. 3, 273-291, 1992
17. Stecke, K. E. and Solberg, J. J., "Loading and Control Policies for a Flexible Manufacturing System," *International Journal of Production Research*, Vol. 19, No. 5, 481-490, 1981
18. Veeramani, D., Upon D. M., and Barash, M. M., "Cutting-Tool in Computer-Integrated Manufacturing," *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, Vol. 4, 3/4 237-265, 1992
19. Wu, S. Y. D. and Wysk, R. A., "An Application of discrete-event simulation to on-line control and scheduling in

flexible manufacturing system," *International Journal of Production Research*, Vol. 27, No. 9, 1603-1623, 1989 b

20. Zeleny, J., "Unmanned Technology and Control Strategies in Flexible Manufacturing Systems with Random Flow of Parts and Tools," *Annals of the CIRP*, Vol. 34, No. 1, 391-395, 1985

Tooling Strategy and Scheduling in FMS

Doo-Young Pack

*Department of Industrial Engineering, Graduate School,
Pukyong National University*

Abstract

In flexible manufacturing systems with versatile machines, system capability and flexibility are often limited due to tooling constraints. Among the tooling strategies, bulk tool exchange provides a complete dedicated set of tools for each part type. At the completion of a part run, all tools are returned to the toolroom, to be replaced by a set of tools for the next part type. The machine waits idle until the tool set with tools required for the next part is prepared and delivered to the machine. This paper deals with tool clustering in which similar parts in terms of tool usage are grouped and the tools for the grouped part are clustered. The tool clustering is expected to reduce machine downtime due to the tool setups. A clustering heuristic procedure based on a similarity coefficient is proposed. The experiments show that the tool clustering strategy provides better system performance when the size of tool magazine is selected properly. This paper also proposes an FMS scheduling heuristic to be used in the system under both the bulk tool exchange and tool clustering policies in each of which tooling constraints are taken into consideration. The proposed heuristic is compared with other existing FMS scheduling methods under various FMS environments. The experimental result shows the proposed method results in less machine downtime especially when the tooling is a major resource constraint.

감사의 글

대학에 입학하던 때가 엇그제 같은데 벌써 졸업을 맞이하게 되어 못내 아쉬움이 남습니다. 제가 지금까지 아무 걱정 없이 공부할 수 있도록 뒷바라지를 해주신 부모님께 정말 감사 드립니다. 항상 저 때문에 마음 고생하시고 몸이 편찮으셔도 힘든 일을 하시면 서도 격려의 말을 아끼지 않으셨던 부모님께 이 모든 것을 바치고 싶습니다. 그리고 사랑하는 동생 지영, 미영, 은영에게 고맙다는 말을 전합니다.

대학원 생활동안 부족한 저에게 항상 웃으시며 많은 가르침을 주시고 어려운 일이 있어 힘들어 할 때 위로와 격려를 해주신 구평희 교수님께 진심으로 감사 드립니다. 제가 여기에 있기까지 열의를 다해 가르쳐주신 고시근 교수님, 권혁무 교수님, 김병남 교수님, 김수용 교수님, 오수철 교수님, 옥영석 교수님께 깊이 감사 드립니다.

대학생활에 있어 여러 가지로 도움을 준 조미경, 김정선 조교선생님, 대학입학에서 지금까지 오랜 시간동안 같이 생활하고 많은 도움을 준 한섭에게 고마움을 전하고 싶습니다. 그리고 함께 강의를 듣고 공부를 했던 동원, 동은에게도 고마움을 전하고 싶습니다. 오랫동안 같이 생활을 하지는 못했지만 시스템자동화연구실 후배 성현, 형래, 진욱, 성태, 윤정, 정희, 지선, 정숙, 하나, 희영, 창진, 근찬, 창남, 희정에게도 고맙다는 말을 하고 싶습니다. 그리고 먼저 졸업한 종한, 영일, 정택, 병수, 영명 선배에게 감사의 마음을 전합니다. 저에게 힘이 되고 많은 위로와 좋은 말을 해주었던 효정에게 고마움을 전합니다.

언제나 최선을 다하고 성실한 사람이 되도록 노력하는 삶을 살도록 하겠습니다.

다시 한번 모든 분들께 깊이 감사 드립니다.