

일정한 납기구간을 갖는 유연생산시스템에서의 AGV 경로에 관한 연구

최현선* · 유용석** · 노인규**

*한국농수산물방송 SCM팀

**한양대학교 산업공학과

Automated guided vehicle routing for the fixed-interval deliveries of a flexible manufacturing system

Hyun-Seon Choi* · Yoong-Seok Yoo** · In-Kyu Ro**

*SCM Team, Korea Nongsusna TV, Seoul, Korea

**Dept. of Industrial Engineering, Hanyang University, Seoul, Korea

Modern automated manufacturing processes employ automated guided vehicles(AGVs) for material handling, which serve several machining centers(MCs) in a factory. Optimal scheduling of AGVs can significantly help to increase the efficiency of the manufacturing process by minimizing the idle time of MCs waiting for the raw materials.

In this paper, we will analyse the requirements for an optimal schedule and then provide a mathematical framework for an efficient schedule of material delivery by an AGV. With this model, the optimal number of MCs to be utilized will also be determined.

Finally, the material delivery schedule employing multiple journeys to the MCs by the AGV will be carried out. Through rigorous analysis and simulation experiments, we shall show that such a delivery strategy will optimize the overall performance.

Keywords : AGVs, vehicle routing, genetic algorithm

1. 서론

오늘날 제조업이 직면하고 있는 어려움 가운데 가장 일반적인 것 중 몇 가지가 바로 고객의 요구가 다양해지고, 제품의 수명주기가 짧아지며 제조기술이 급변하는 것 등을 들 수 있다. 이러한 환경에서 발생하는 가장 큰 문제점 중의 하나는 수시로 발생하는 주문과 품목의 변화에 따라 공정의 준비시간(setup time)이 늘어난다는 점이다.

유연생산 시스템은 중·소량단위의 생산 환경 내에서 대량 생산효과에 접근하기 위하여 NC machine-tool과

material handling system, 그리고 그 밖의 외부 생산 장비를 컴퓨터로 통합 컨트롤하는 생산 방식이다[12].

이러한 유연 생산 시스템은 첫째, 생산시간(lead time)과 제품(WIP)을 줄이고, 시장변화에 빠르게 대처할 수 있고, 둘째, 제품의 품질을 높일 수 있으며, 셋째, 장비의 이용률을 높일 수 있다. 이와 같은 장점들은 유연 생산 시스템이 제조업자들에게 아주 중요한 관심사가 되어온 이유가 된다.

그러나 유연 생산 시스템은 생산하고자 하는 부품의 종류의 수가 증가함에 따라 일정계획에 소요되는 시간이 증가하는 문제점이 있다. 특히 일정계획문제 중 다양

한 부품에 사용되는 원자재를 수시로 운반하여 공급하여야 하는데 원자재의 공급지연은 설비의 유휴시간의 발생을 초래하여 생산성 저하를 발생시킬 수 있다.

본 연구에서는 여러 개의 공정에서 서로 유사한 부품을 생산함에 있어서 일정 시점 마다 가공설비에서 원자재의 공급 요청을 받아 원자재를 공급하는 무인 운반차(automated guided vehicle: AGV)의 경로를 설정하며 이때 좀더 빠른 시간 안에 AGV의 경로를 결정하여 소요되는 시간을 줄임으로써 가공 설비들에 대한 원자재 공급에 차질이 없도록 하여 설비의 유휴시간을 줄이고자 한다.

2. 기존연구 고찰

서비스 납기구간이 정해진 상황에서 주어진 납기 시간 안에 서비스를 완료하기 위한 차량이 경로를 결정하는 방법에 대한 기존 연구들을 살펴보면 다음과 같다.

서비스 납기 구간이 정해진 문제의 경우 서비스 지연이 허용되어 지연에 따른 penalty cost가 부여 되는 문제가 있고 이때의 목적함수는 차량의 이동거리의 최소화 와 더불어 penalty cost의 최소화가 될 수 있다.

또한 서비스 납기 지연의 발생이 허용되지 않는 문제의 경우 서비스 구간 안에 서비스를 제공할 수 없을 경우 차량의 추가 투입이 허용되는 문제로 변화된다.

박양병[2]은 서비스 납기가 주어진 상황에서 소요차량의 수와 차량의 이동거리, 서비스 납기지연시간의 최소화를 목적으로 하는 다목적혼성유전자 알고리즘을 제안 하였으나 일정계획을 수립하는데 소요되는 시간이 너무 길다는 문제점이 있었다.

Fisher등[9]은 기존의 발견적 기법과는 다른 K-tree relaxation과 lagrangian decomposition 방법을 이용하여 차량의 최소비용을 구하였다.

Solomon[14]은 기존의 차량경로문제를 위한 순차접근 방법의 발견적 기법들을 서비스시간대 제약이 존재하는 차량경로문제에 맞도록 수정하였다.

끝으로 Dumas 등[8]은 서비스시간대를 갖는 동적 외판원문제를 고려하여 서비스시간대(상한-하한)를 변동하여 실험한 후, 각각의 서비스시간대에 따른 최소 차량이동비용을 보여주었다.

3. 납기 우선순위에 의한 그룹결정 알고리즘

유연생산시스템 특성상, 시스템으로 여러 가지 종류의 부품들이 매 시간에 다양한 시스템상태로 투입된다. 이러한 다양한 부품을 생산하기 위해 NC machine-tool과

material handling system의 사용이 필요하게 된다.

전체 N개의 공정으로 구분되는 작업장이 있다고 가정하면, 각각의 공정에서는 가공을 위해 필요로 되어지는 부품이나 원자재를 일정시점 마다 요구하게 된다. 이때 각 공정들은 현재 가공 속도를 버퍼의 크기를 고려하여 미래 주문시점에 도달할 부품이나 원자재의 양이나 납기 시간을 정한다. 또한 각 공정들은 가공하는 제품의 특성에 따라 다른 가공속도를 가지며 이에 따라 버퍼에 쌓여있는 부품이나 원자재가 소모되는 속도가 다르다. 그러므로 일정시점에 주문을 할 때 일정 구간의 납기구간을 갖게 된다.

예를 들어 어떤 임의의 가공공정에서는 부품이나 원자재의 부피는 크고 상대적으로 가공속도는 빠르다고 하면 이 제품의 가공에 필요한 원자재나 부품을 한번에 많이 주문하게 된다. 그러나 이를 운반 할 수 있는 운송 도구에는 용량의 한계가 있다. 그러므로 주문이 빈번하게 발생되며 주문 후 되도록 빠른 시간 내에 서비스가 완료되기를 기대할 것이다. 이때 이 공정은 일정한 구간의 납기를 갖게 된다.

본 모형에서는 아래와 같은 7가지 가정을 하도록 한다.

- 가정1 : 수요지점은 각각 일정한 서비스 납기 구간을 갖는다.
- 가정2 : 차량은 원점을 출발하여 다시 원점으로 복귀한다.
- 가정3 : 수요지점은 제시된 서비스 납기구간 안에서 한번만 방문한다.
- 가정4 : 수요지점의 수요량은 배정된 차량의 적재 용량을 초과 할 수 없다.
- 가정5 : 주문은 모든 공정에 대하여 일정시점에서 허용한다.
- 가정6 : 서비스 납기 지연은 허용되지 않으며 납기구간 안에 서비스의 완료가 불가능 할 경우 차량이 추가 투입한다.
- 가정7 : 차량의 용량 초과가 발생시 원점으로 복귀하여 원자재를 적재 후 재출발한다.

일정계획의 수립 과정에서는 제약조건이 많아지고 방 문해야 하는 경로의 수가 증가할 경우 계획의 수립에 소요되는 시간은 증가 하며 제약조건 때문에 실행 가능한 해 중에서 우수한 해를 찾는데 시간이 많이 소요되는 문제점이 있다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위해 병렬 유전자 알고리즘의 부분모집단 모형에서의 개념을 이용하여 전체 경로를 몇 개의 소규모의 집단으로 분리 하여 실행 가능한 경로의 조합 중 우수한 해를 찾고 동시에 계산시

간을 감소시키는 방법에 대하여 제안하고자 한다.

그러나 전체경로를 여러 개의 소집단으로 나눌 경우 해의 질이 저하 될 수 있다는 문제점이 있다.

4. 우선순위에 의한 그룹결정

4.1 초기 모집단 생성

본 연구에서 정의한 문제 환경의 경우 각 공정들은 일정한 납기구간을 갖기 때문에 공정들 간에는 납기의 발생 시점이 항상 일정하므로 원자재공급을 위한 경로 설정에서 변화되는 경우의 수가 작다고 할 수 있다. 그러므로 공정들에 대하여 납기시간을 고려하여 납기우선순위를 부여하고 동일 구간의 공정들을 같은 그룹으로 하여 타 그룹에 속해 있는 공정들에 대하여 불필요한 계산이 이루어지는 것을 방지 할 수 있다.

예를 들어서, 총 300개의 공정이 있고 각 공정들은 서로 다른 부품을 가공하는 작업을 수행하는 NC 머신이라고 할 때 각 공정들은 일정한 납기구간을 갖는다. 임의의 시점에서 공정들에 대하여 원자재 공급요청이 발생할 경우 원자재의 공급을 위해 AGV의 경로를 결정하여야 한다. 만약 60개의 공정에서 원자재 공급 요청이 발생하였다면 60개의 공정들에 대하여 차량을 할당하여 초기 모집단을 생성한다. 초기 모집단의 생성은 원자재 주문요청이 발생한 공정들에 대하여 납기가 빠른 공정에서부터 차량1을 할당한다[그림 1].

모든 공정에 대하여 차량1을 할당하는 도중에 공정에서 요구한 납기시간 안에 원자재를 공급 할 수 없을 경우 납기제약 원칙에 의해 차량1의 할당은 불가능하다. 또한 차량의 용량이 초과 되었을 경우 차량은 원점으로 복귀하여 원자재를 새로 적재 한 후 재출발하여야 한다. [그림 1]에서와 같이 공정8번 5번 6번의 경우 차량의 용량제약에 의해 차량1이 원점으로 복귀하였다 재출발하는 시간 구간 내에 납기시간을 갖기 때문에 다른 차량에 의해 원자재의 공급이 이루어진다.

차량1의 할당이 더 이상 가능한 공정이 없을 경우 차량2에 의해 차량1에서 제외된 공정들에 대하여 할당이 이루어진다. 차량2의 경우도 마찬가지로 납기 제약이나 용량제약에 의해 차량 할당이 불가능한 경우 다음 차량에 의해 할당이 이루어진다.

이상에서의 방법에 의해 주문 요청이 발생한 모든 공정에 대하여 차량 할당이 이루어지면 초기 모집단의 형성은 끝나쳐진다.

각 공정별 차량할당 결과를 보면 차량1을 최초 출발점(0)에서 출발하여 공정3, 공정9, 공정1, 공정10, 공정7

을 지나 출발점으로 복귀한다.

마찬가지로 차량2는 출발점(0)에서 출발하여 2,4,5,6의 공정을 지나 출발점으로 복귀한다.

마지막으로 차량3은 출발점 공정8을 거쳐 원점으로 복귀하는 경로를 가진다.

공정	3	9	2	1	4	10	8	5	6	7
차량번호	1	1		1		1				1

공정	3	9	2	1	4	10	8	5	6	7
차량번호	1	1	2	1	2	1		2	2	1

공정	3	9	2	1	4	10	8	5	6	7
차량번호	1	1	2	1	2	1	3	2	2	1

납기제약 용량제약

[그림 1] 초기 모집단 생성방법의 예

4.2 공정간 우선순위 결정

초기 모집단이 형성되어 차량 할당이 완료되어진 상황에서 각 공정들은 납기시간에 의해 타 공정들과 우선순위를 결정하여 우선순위 매트릭스에 표시되어진다.

각각의 공정들에 대한 우선순위를 결정하여야 한다고 할 때 우선순위결정에 있어서 우선순위를 분명하게 구분 할 수 있는 경우와 우선순위가 불분명한 경우로 구분되어진다.

※ 공정간 선후 관계가 분명한 경우

$$\text{공정 A의 max} < \text{공정 B의 min}$$

10	20	30	40
공정 A		공정 B	

[그림 2] 공정간 선후 관계가 분명한 공정

※ 공정간 선후 관계가 불분명한 경우

$$\text{공정 A의 max} > \text{공정 B의 min} \quad \text{and} \\ \text{공정 A의 min} < \text{공정 B의 max}$$

10	20	15	25
공정 A		공정 B	

[그림 3] 공정간 선후 관계가 불분명한 공정

공정 간의 우선순위는 다음 그림에서와 같이 우선순위 매트릭스에 의해 표현되어진다. 공정간 선행관계가 분명한 경우에는 1로 표시하며, 선행관계가 불분명한 경

우에는 0으로 표시한다. 이러한 선행관계 규칙을 이용하여 우선순위 매트릭스를 만들면 아래 [그림 4]와 같다.

공정	A	B	C	D
A		0	1	1
B	0		1	1
C	-1	-1		0
D	-1	-1	0	

[그림 4] 공정간 우선순위 매트릭스

4.3 납기우선순위에 의한 그룹결정

모든 공정에 대하여 공정 간의 우선순위가 결정되어진 후 비슷한 납기구간을 가지는 공정들 별로 그룹을 형성하여야 한다. 이때 임의의 그룹에 속해있는 공정들은 다른 그룹의 모든 공정들에 대하여 항상 우선순위가 분명하여야 한다. 두개의 그룹 1과 그룹2가 있다고 할 때 그룹1의 공정1, 2, 3은 그룹2의 공정 4, 5, 6에 대하여 어떤 공정과 비교하여도 우선순위가 항상 높아야 한다.

두개의 그룹에 속해있는 공정들 간의 우선순위가 항상 분명하게 구분되어질 경우 그룹1의 공정들은 그룹2의 모든 공정에 대하여 납기우선순위가 높기 때문에 그룹1의 공정들은 그룹2의 공정들에 비해 항상 먼저 원자재를 납품 받는다. 그러므로 일정계획을 수립할 경우 그룹1에 있는 공정들과 그룹2에 있는 공정들 간의 원자재 공급의 순서를 고려할 필요가 없어 신속한 일정계획의 수립이 가능하다. 이를 단계별로 살펴보면 아래와 같다.

- Step1.** 공정별로 정해진 납기구간의 우선순위에 대하여 오름차순으로 정렬
- Step2.** 오름차순으로 정렬된 공정 순서대로 그룹결정
 - ⇒ 현재 공정에서 나머지 공정에 대하여 우선순위를 비교하고 현재 공정보다 우선순위가 낮은 공정은 모두 현재 공정의 그룹보다 낮은 그룹으로 편성
 - ⇒ 우선순위가 불분명한 공정은 어떠한 그룹에도 속하지 않는다.
- Step3.** 현재 공정의 그룹이 불분명한 경우
 - ⇒ 현재 공정보다 우선순위가 낮은 후행 공정들의 그룹에 대하여 항상 우선순위가 높을 경우 현재 공정은 후행 공정들의 그룹보다 한 단계 높은 그룹에 속하게 된다.
- Step4.** 현재공정의 그룹 타당성 검사

⇒ 후속공정 중 우선순위가 불분명한 상태에서 현재공정과 후속공정이 서로 다른 그룹에 속해 있을 경우 현재 공정은 어떠한 그룹에도 속할 수 없다.

5. 실험

이 장에서는 본 연구에서 제안하는 납기우선순위에 의한 그룹형성 후 일정계획을 수립하는 방법에 대한 평가를 위해 기존에 서비스 납기가 주어진 환경에서의 병렬유전자 알고리즘과 비교하였다.

알고리즘은 Visual C++ 6.0을 사용하여 구현하였으며, 실험은 Pentium III 866 Mhz CPU, RAM 125MB를 장착하고 OS로 Windows2000을 사용하는 PC에서 수행하였다.

5.1 실험 자료

실험 자료는 전체 가공 공정의 수를 300개로 하고 1일 8시간 생산 활동을 하며 2시간 마다 각 공정별로 원자재 주문을 받는다. 300개의 공정 중 원자재를 필요로 하는 공정들은 랜덤하게 발생하며 2시간 마다 주문을 받는 시기에 원자재 공급을 요청하지 않을 경우 다음 주문시기까지 원자재 공급 요청은 불가능하다.

차량의 용량은 50으로 동일하며 일일 4회의 원자재 요청을 받으며 공정의 수는 매회 랜덤하게 발생 하는 것으로 하였으며 가공하는 부품의 종류와 가공시간 등은 고려하지 않았기 동일 공정이 매회 주문요청이 발생할 수도 있다.

이러한 상황에서 원자재 공급을 위해 사용된 소요 차량의 수와 운반경로 일정계획 수립에 소요되는 시간을 파악하여 전체 공정의 완료시간을 파악하였다.

본 연구에서 제안하는 알고리즘의 우수성을 입증하기 위해서 임의의 방법대로 그룹을 설정하고 그룹 내 경로 결정 방법은 병렬 유전자 알고리즘을 사용하는 방법과 납기 우선순위에 의해 그룹을 나누고 그룹간의 연결을 통해 전체 경로를 결정하는 방법을 비교 실험하였다.

5.2 매개변수 설정 실험

예비실험에서 모집단수는 100, 200개로 하였으며 차량의 용량은 30, 40, 50으로 하였다. 본 논문에서는 초기 납기제약과 차량용량제한으로 초기모집단에서부터 해의 진화를 실시하였으므로 교배율은 적용되지 않는다. 교배율을 적용시켜 실험을 할 경우 랜덤하게 생성된 초기모집단의 실행가능성이 낮고 필요로 하는 차량의 수가 증

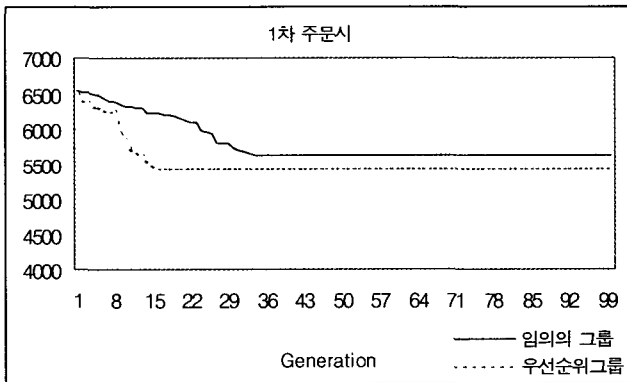
가하므로 랜덤하게 초기 모집단을 생성하여 교배율을 적용하는 기존의 방법은 효율성이 떨어진다.

예비실험 결과 차량의 용량은 50으로 하며 돌연변이율은 4% 에서 해의 진화가 가장 빠르게 이루어졌다.

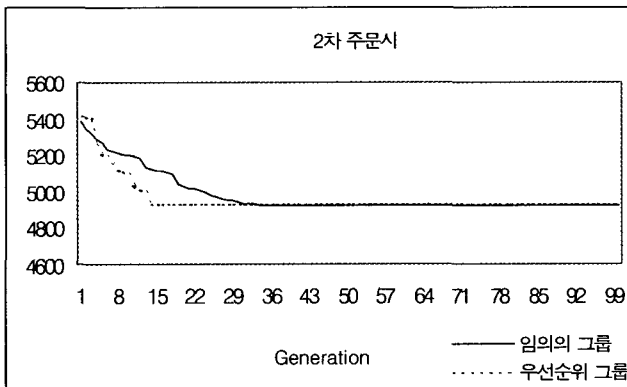
실험의 종료조건은 1000회 동안 세대가 진화되는 도중에 200회 이상 해의 진화가 발생하지 않을 경우 실험을 종료 시켰다.

5.3 실험 결과 및 분석

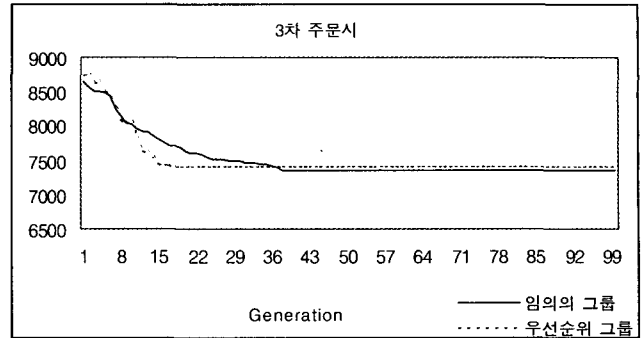
원자재 공급은 요청한 공정의 수가 매회 주문요청을 받을 때 마다 랜덤하게 발생한다고 할 때 1회에는 102 2회에는 83 3회 153 4회에는 119개의 공정에서 원자재 공급요청이 발생하였으며 일정한 속도로 이동하며 원자재를 공급하는 차량이 주어진 주문회수의 모든 공정에 원자재를 공급하고 원점으로 복귀하는 시점에서 다음 회수의 주문을 받으며 다시 일정계획이 수립된다. 그러므로 원자재 공급에 소요되는 시간을 감소함에 따라 주문을 받는 시간도 빨라지며 일정계획을 수립의 시기도 빨라지게 되며 차량의 재출발도 빨라진다.



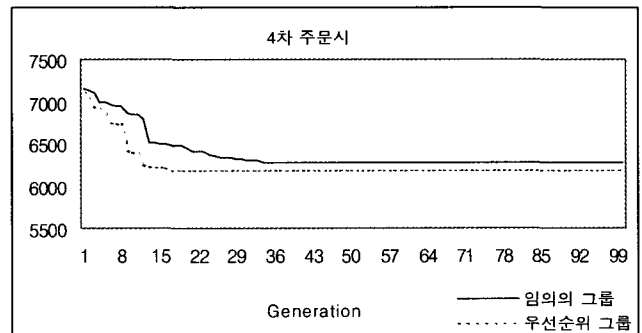
[그림 5] 1차 주문시 102개 공정의 해의 진화



[그림 6] 2차 주문시 83개 공정의 해의 진화



[그림 7] 3차 주문시 153개 공정의 해의 진화



[그림 8] 4차 주문시 119개 공정의 해의 진화

위의 [그림 5~8]은 4회에 걸쳐 랜덤하게 원자재공급을 요청한 공정들의 경로를 구하는데 있어서 해의 진화를 나타내고 있다. 그룹의 결정방법에 따라 해의 수렴속도는 현격한 차이를 나타내고 있으며 임의의 방법에 의해 그룹을 형성 했을 때와 본 논문에서 제시한 방법에 의해 그룹을 결정하여 차량의 경로를 계획하는 방법들에서 차량의 경로에서는 큰 차이를 보이지 않았다.

위에서 구하여진 차량의 경로에 따라서 이동거리는 아래 [표 1]과 같다.

[표 1] 차량의 이동거리

이동거리		주문회수			
		1차	2차	3차	4차
공	정 수	102	83	153	119
기	초기값	6538	5386	8629	7159
	종료값	5627	4924	7354	6283
납기우	초기값	6497	5418	8761	7095
	종료값	5429	4926	7421	6195
차	이	198	-2	-67	88
백	분 율	103%	99.9%	99.1%	101%

이때 일정계획에 소요되는 시간을 구하면 아래 [표 2]와 같다.

다음으로 [표 3]은 원자재공급에 할당된 차량의 수를 나타내는 표이다.

본 논문에서 제시한 알고리즘과 기존연구방법에서의 해의 수립시간에 대한 실험결과 본 논문에서 제시한 알고리즘은 4회에 걸쳐 주문을 받고 차량의 경로를 결정하는데 있어서 절반 정도의 시간 안에 서로 비슷한 수준의 해를 도출하였다.

[표 2] 해의 수립에 걸리는 시간

주문 시간	1차	2차	3차	4차
공 정 수	102	83	153	119
기 존 연 구	191.82	86.54	282.67	205.57
납기우선그룹	91.36	41.82	124.15	106.92
차 이	100.46	44.72	158.52	98.65
백 분 율	47.63%	48.32%	43.92%	52.01%

[표 3] 소요차량의 수

주문 차량	소요 차량의 수				차이
	기존연구		납기우선그룹		
	최초	종료	최초	종료	
1차	8	6	8	6	0
2차	7	5	7	5	0
3차	11	8	11	7	-1
4차	9	7	9	6	-1

6. 결론 및 추후연구

실험을 통해 기존연구 방법과 본 연구에서 제안하는 알고리즘을 비교해 본 결과 차량의 이동거리에 대해서는 차이가 발생하지 않았으나 일정계획을 수립하는데 소요되는 시간은 본 연구에서 제안하는 알고리즘이 기존 연구 방법에서의 방법에 비해 50% 전후로 수립시간이 짧다는 것을 알 수 있다.

본 연구에서 제안하는 알고리즘이 기존연구의 방법보다 더 빠른 시간 안에 해의 수립이 가능한 이유는 기존 연구방법에서는 그룹결정방법이 임의의 그룹을 형성하여 각 그룹별로 해의 진화를 꾀하였다. 따라서 이러한 방법은 그룹 내의 경로가 결정된 후 타 그룹에 속해있

는 공정들과의 연결을 고려하여야 함으로 계산시간이 증가 하였다.

그러나 본 연구에서는 각 공정별로 가공하는 부품의 유사 정도에 따라 일정한 시간 구간 안에서 항상 주문을 하는 공정별 납기시간의 특성을 고려하여 그룹을 결정하였다.

즉 각각의 그룹에 속해있는 공정들은 납기우선순위에 의해 납기의 선후 관계를 파악하고 각 그룹의 공정들은 타 그룹의 공정들과의 연결을 고려하지 않아도 되므로 불필요한 계산을 줄일 수 있었다.

또한 소요되는 차량의 수를 비교해 본 결과 두 가지 알고리즘에서 초기 차량할당이 단순하게 납기우선순위에 의해 차량을 할당함으로써 소요차량의 수가 많았다. 그러나 휴리스틱 방법에 의해 차량의 경로를 감소시키며 차량할당의 실행가능영역 안에서 최대한의 차량활용을 가능하게 함으로써 소요차량의 수를 감소시킬 수 있었다.

차량의 수의 경우 각 공정별 납기제약이나 용량제약 때문에 초기 할당 상태에서 일정계획이 완료된 시점에서 소요되는 차량의 수의 감소가 크게 나타나지 않았다.

그러므로 본 논문을 통해 서비스 납기에 대한 특성을 파악 하여 일정계획의 수립에 있어 해의 질의 저하를 방지함과 동시에 불필요한 계산을 줄임으로써 신속한 일정계획을 수립 할 수 있었다.

추후연구과제로는 본 논문에서 제시한 각 공정들의 납기구간의 결정에 있어서 좀 더 현실적인 방법에 대한 연구가 필요하다고 생각되며 공정별 버퍼의 크기나 부품의 종류별 가공속도를 고려함으로써 원자재공급을 요청하는 시기에 대하여 연구가 필요하다고 생각된다.

참고문헌

- [1] 김여근, 윤복식, 이상복, “메타휴리스틱”, 영지문화사, 1999.
- [2] 박양병, “서비스납기가 주어진 다목적차량일정문제를 위한 혼성유전자 알고리즘의 개발”, 한국경영과학회지, Vol 24, No. 2, pp. 121-134, 1999.
- [3] 유용석, 노인규, “병렬유전알고리즘을 이용한 차량 경로문제에 대한 연구”, 대한산업공학회지, Vol 25, No. 4, pp. 490-499, 1999.
- [4] 전인환, “전자상거래 환경에서 사용 가능한 동적차량할당문제”, 한양대학교 대학원 석사학위논문, 2000.
- [5] Cai, X., T. Kloks and C. K. Wong, “Time-Varying Shortest Path Problems with Constraints,” Networks, Vol. 29, pp. 141-149, 1997.
- [6] Christofides, N. and S. Eilon., “An Algorithm for the

- Vehicle Dispatching Problem,” *Operational Research Quarterly*, Vol. 20, No. 3, pp. 309-318, 1969.
- [7] Clarke, G. and J. Wright, “Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points,” *Operations Research*, Vol. 12, No. 4, pp. 568-581, 1964.
- [8] Dumas, A., Desrosiers, J. and Gelinas, E., “ An Optimal Algorithm for the Traveling Salesman Problem with Time Windows,” *Operations Research*, Vol. 43, No.2, pp. 367-371, 1995.
- [9] Fisher, L., Jornsten, O. and Madsen, B., “Vehicle Routing with Time Windows : Two Optimization Algorithms”, *Operation Research*, Vol. 45, No. 3 pp. 488-458, 1969
- [10] Gendreau, M., Guertin, F., Potvin, J and Taillard, E., “Parallel Tabu Search for Real-Time Vehicle Routing and Dispatching,” *Transportation Science*, Vol.33, No. 4, pp. 381-390, 1999.
- [11] Jacques Renaud, Faye F. Boctor, “ A sweep-based algorithm for the fleet size and mix vehicle routing problem,” *European Journal of Operational Research*, pp. 618 - 628, 2002.
- [12] Louis, J., Yin, X., and Zhen Ya Yuan, “Multiple Vehicle Routing with Time Windows using Genetic Algorithms,” *Proceedings of the IEEE*, pp. 1804-1808, 1999
- [13] Ronald G. Askin, Charles R. Standridge, “Modeling and Analysis of Manufacturing system”, John wiley & Song, inc, 1993.
- [14] Solomon, M., “Algorithms for the Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints,” *Operations Research*, Vol. 35, No.2, pp. 254-265, 1987.
- [15] Wan-rong Jih and Jane Yung-jen Hsu, “Dynamic Vehicle Routing Using Hybrid Genetic Algorithms”, *Proceedings of the IEEE*, pp. 453-458, 1999
- [16] Zbigniew Michalewicz, “Genetic Algorithm + Data Structure = Evolution Programs,” *Springer-Verlag*, Berlin Heidelberg.