

유전 알고리즘을 이용한 선박 가공 작업일정계획 시스템의 개발에 관한 연구

조규갑* · 김영구* · 류광렬** · 황준하*** · 최형림***

Operation Scheduling System for Hull Block Fabrication in Shipbuilding using Genetic Algorithm

Kyu-Kab Cho · Young Goo Kim · Kwang Ryel Ryu · Junha Hwang · Hyung Rim Choi

〈Abstract〉

This paper presents a development of operation scheduling and reactive operation scheduling system for hull fabrication. The methodology for implementing operation scheduling system is HHGA(Hierarchical Hybrid Genetic Algorithm) which exploits both the global perspective of the genetic algorithm and the rapid convergence of the heuristic search for operation scheduling. The methodology for the reactive operation scheduling is the revised HHGA which consists of manual schedule editor for occurrence of exceptional events and the revised scheduling method used in operation scheduling. As the results of experiment, it has been confirmed that HHGA is able to search good operation scheduling within reasonable time, and the revised HHGA is able to search load-balanced reactive operation scheduling with minimum changes of initial operation schedule within short period of time.

1. 서 론

조선업(shipbuilding industry)의 경쟁력 강화를 위해서는 생산자원의 효율 극대화를 통한 선박의 납기준수가 관건이며, 이 목적을 달성하기 위해서는 선박의 수주로부터 인도까지의 모든 업무, 즉 영업, 개발, 설계, 자재발주, 제조, 검사, 생산실적 집계 등 조선생산시스템 전반에 걸쳐 관리체계를 합리화하고 전사적 관점에서 모든 생산활동들이 체계적으로 통합화, 자동화된 조선의 컴퓨터통합생산시스템(CIMS)을 구현하는 것이 필요하다[2].

조선 CIMS의 개발을 위해서는 선박의 건조일정과 직접 연관되어 제조원가에 바로 반영되는 작업일정계획을 자동화하는

효율적인 시스템의 구축이 선행되어야 할 것이다. 일반적으로 작업일정계획은 생산계획을 기초로 하여, 구체적으로 어떤 생산설비를 사용해서 언제, 어느 작업자가, 어떤 작업을 수행할 것인가를 결정하는 상세한 시간적 계획을 의미한다[8]. 조선업은 작업자의 수작업에 의존하는 정도가 높아 예외상황 발생의 빈도가 잦기 때문에 이러한 예외상황을 고려하여 초기에 수립된 작업일정계획을 수정할 것이 요구된다. 그러므로, 이미 수립된 일정의 변화를 최소화하며 발생된 예외상황문제를 해결할 수 있는 작업일정계획 재조정 시스템이 필요하다.

본 연구와 관련된 연구에는 작업일정계획 수립방안에 대한 연구, 유전 알고리즘의 일정계획 응용에 관련된 연구, 작업일

* 부산대학교 산업공학과

** 부산대학교 컴퓨터공학과

*** 동아대학교 경영정보학과

정계획 재조정에 관련된 연구 등이 있다.

작업일정계획에서 부하평준화 문제에 관한 연구로는 이재동 등[4]과 Wiest[14]가 있다. 이재동 등은 선각불력 조립공장의 부하 평준화문제에 대한 수리모형에 발견적 기법을 사용하여 부하를 평준화하는 연구를 하였고, Wiest는 최단 공기, 표준 공기, 최장 공기의 3단계로 공기를 구분하는 방법을 도입하여 부하를 평준화하는 발견적 기법을 제안하였다. 그러나, 대상 문제의 자동화를 위한 실제 응용 연구는 아직 많은 연구가 이루어지지 않고 있는 실정이다.

유전 알고리즘을 일정계획 문제에 적용한 연구로는 Fang[6], 김석준[1], Lew 등[9], Ryu 등[12]이 있다. Fang은 작업의 순서정보를 부호화한 후 Schedule builder를 이용하여 재구성한 다음 gene의 분산에 기초하여 교차나 변종에 관한 연구를 job-shop, open-shop 벤치마크를 통해서 연구하였고, 김석준은 수행시간의 합을 최소화하는 작업일정계획 문제를 해결하기 위하여 별별 유전 알고리즘을 이용하였으며, Lew 등은 유전 알고리즘을 이용한 조립라인 평준화문제를 해결하였다. Ryu 등은 선각 평불력 공장을 대상으로 유전 알고리즘과 국지적 탐색기법의 장점을 결합한 계층적 하이브리드 유전 알고리즘을 이용하여 작업일정계획 시스템을 구축하였다.

작업일정계획 재조정 시스템과 관련된 연구로는 인공지능 기법인 CSP(constraint satisfaction problem) 모형을 활용한 ISIS[7], OPIS[11]와 같은 시스템과 Sadeh[13], Muscettola[10], Chung[5]등의 연구가 있다. ISIS는 CSP모형에 새로운 제약을 첨가하였고, OPIS는 자원, 주문, 사건에 따라 문제형태를 달리 설정하였으나 이들 시스템들은 계산시간이 너무 길어 예외 상황 대처능력이 떨어진다. Sadeh의 MicroBOSS는 시간지정 방법에 의한 job-shop 스케줄링 시스템으로, 작업시간이 시작될 때마다 각 기체의 부하를 새로 추정하여 다음 시간지정에 활용하고 있으며, Muscettola의 연구는 기본적으로 시간지정방법을 사용하고 탐색의 능률을 높이기 위해 순서지정의 아이디어를 활용하였다. Chung은 일정계획시 납기를 만족하는 융통성있는 스케줄을 이용하여 작업일정변경시 변경가능 구간내에서 계획일자를 변경하였다.

작업일정계획 재조정 관련 연구는 위에 기술한 바와 같이 그 중요성을 인식하고는 있으나 문제해결의 복잡성 및 다양성으로 인해 효율적인 방법론의 개발이 상당히 어렵고 개발된 몇몇 시스템들은 재조정 방법을 사용자들의 수작업에만 일임하고 있다. 그리고 간단한 문제에 대하여 적용된 방법론은 문제의 규모가 커지면 적용하기가 불가능해지므로 현장문제를

해결할 수 있는 효율적인 작업일정재조정 시스템의 개발에 관한 연구는 거의 없는 실정이다.

본 연구에서는 선각 가공공장을 대상으로 작업일정계획을 수립하기 위한 방법론으로 대상문제에 대한 지식이 있을 때 해의 탐색시간이 적게 소요되어 해의 수렴속도가 빠른 장점을 가진 휴리스틱 기법과 전역적 탐색(global search)을 통하여 국소최적화(local optimal)를 방지해 주는 유전 알고리즘을 접목 시킨 계층적 하이브리드 유전 알고리즘 모델을 적용하고, 재조정된 작업일정계획을 수립하기 위한 방법론으로는 작업일정 계획에서 사용한 계층적 하이브리드 유전 알고리즘을 문제에 맞게 수정하여 시스템을 개발하였다.

시스템 개발 도구는 Visual C++을 사용하였고 유전알고리즘 구현의 도구로는 GAlib를 사용하였다. 구현한 시스템은 실제 연구사례를 통하여 그 유효성을 검증하였다.

2. 선각 가공공장의 작업일정계획

조선의 생산 일정계획은 계획시점과 계획기간에 따라 장기계획, 중일정계획, 작업일정계획의 순으로 진행된다. 장기계획은 호선별 계획을 통해 주요 자재관리 및 장기부하분석에 사용되며, 중일정계획은 3개월 또는 6개월 계획으로서 평불력 조립공장과 곡불력 조립공장의 월별 부하 균형, 강제 벌주 계획, 강제 적재 계획 등의 목적으로 활용된다. 작업일정계획은 현장의 작업진행 상황을 고려한 물량의 작업장별 배분과 착수 완료일 조정을 통해 작업장별 부하 평준화 및 일자별 부하 평준화를 극대화 함으로써 실행 가능한 일정계획을 수립한다. 본 논문은 선각 가공공장에서의 작업일정계획 문제를 대상으로 한다.

선각 내업의 작업일정계획은 중일정계획 시스템으로부터 처리해야 할 Lot들과 각 Lot에 대한 착수일자 및 완료일자를 입력받고 공정설계 시스템으로부터 공정설계 결과로 생성된 공수를 입력 받아서 계획대상인 Lot물량을 작업장 및 일자별로 배정하게 된다. 작업물량을 배정할 때, 각 작업장 및 일자별로 Lot별 일일작업공수를 평준화할 수 있게 해 주는 것이 중요한데, 본 연구에서는 작업 착수일자에서 완료일자까지의 기간인 공기로 각 Lot의 작업공수를 나눔으로 Lot별 일일작업공수를 산출하는 방식을 취하였다.

작업일정계획의 목표는 중일정계획으로부터 받은 물량을 각 작업장마다 공평하게 배분하는 것과 각 Lot의 착수, 완료일을 조정하여 작업장의 일자별 부하를 평준화하는 것이다. 일자별

부하 평준화는 작업을 이루고 있는 세부 작업물량단위 각각의 평준화를 동시에 만족시켜야 한다.

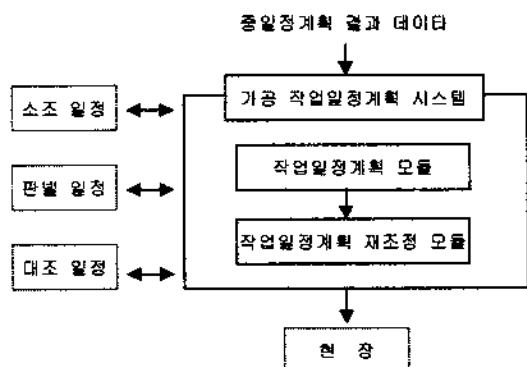
조선에서의 선박건조는 가공, 소조립, 중조립, 대조립의 순서로 작업이 진행되며, 본 논문의 대상 작업장인 선각기공공장은 조선소에서 선각 블럭 조립시 소요되는 부재를 만드는 공장으로 강판(steel plate) 및 형강재(steel section)로부터 절단 및 벤딩 공정을 거쳐 생산하게 되며 선박건조의 제일 첫번째 작업이 이루어 진다. 본 연구에서는 절단작업과 벤딩작업을 통칭하여 가공작업(fabrication operation)으로 정의한다.

작업일정계획 대상물량인 Lot는 가공 후 소조립공장으로 보내어지는 1 GR(Group) 물량과 대조립공장 및 완별조립공장으로 직송되는 2 GR물량으로 구분하고, 후행 조립장 및 물량특성에 따라 가공작업장 및 일자를 초기배분한 후, 각 작업장의 능력을 고려하여 타 작업장으로 작업물량을 이관하거나 일자리를 조정하게 된다. 강재취급상의 능력제약으로 인해 같은 Lot 내에 있는 강재들은 모두 한 작업장으로 배정되는데, 한 Lot를 이루고 있는 강재는 물량특성에 따라 Plasma 절단물량, Gas 절단물량, Frame Planner (F/P) 절단물량으로 구분한다.

선각 기공공장은 선박 건조과정 중 가장 처음으로 작업이 이루어지는 공장이므로 여기에서 작업이 지연되면 후행 조립작업장 전체의 작업에 혼란을 가져오게 된다. 또, 선각 기공공장은 강재처리장에서 강재를 수급받아 후행 조립작업장으로 공급하게 되는 중간에 있으므로 강재 수급에 문제가 발생했다는지 조립작업장에서 특정 물량을 긴급 작업해 줄 것을 요청하는 등의 예외상황이 발생한다. 이러한 예외상황을 반영하여 계획을 수정하여야 한다.

3. 선각 기공공장 작업일정계획 시스템

본 연구에서 작업일정계획 시스템은 <그림 1>과 같이 작업일정계획 모듈과 작업일정계획 재조정 모듈로 구성된다. 작업일정계획 모듈에서는 중일정계획으로부터 입력받은 물량을 후행 조립부서의 일정을 고려하여 작업장내의 부하를 평준화하는 작업물량배정 계획을 수립하고, 작업일정계획 재조정 모듈에서는 예외상황이 발생하였을 때 이미 수립된 작업일정계획의 일부를 수정하거나 수동변경으로는 문제가 해결되지 않는 경우에는 작업일정계획을 재수행하여 계획을 수립한다.



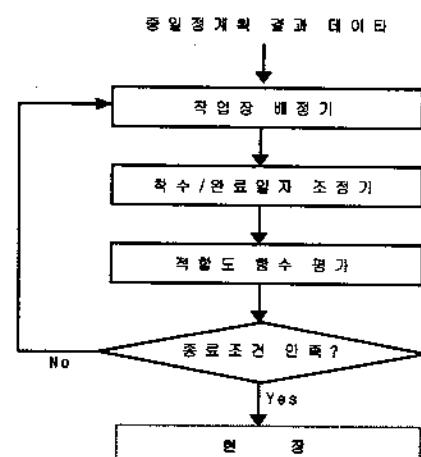
<그림 1> 가공 작업일정계획 시스템의 구성도

3.1 작업일정계획 모듈

작업일정계획 모듈에서는 중일정계획에서 입력받은 계획대상물량을 작업장 및 작업일자별로 부하 평준화가 될 수 있도록 배정하는 계획을 수립한다.

1) 작업일정계획 모듈의 구성

작업일정계획 모듈의 구성은 <그림 2>와 같다.



<그림 2> 작업일정계획 모듈의 흐름도

작업일정계획 모듈에서는 중일정계획 결과 데이터를 입력받고 종료조건이 만족될 때까지 작업장과 작업착수/완료일자를 조정함으로써 작업장 사이의 부하 평준화와 일자별 부하 평준

화를 극대화할 수 있는 일정계획을 수립하게 된다.

(1) 작업장 배정기

작업장 배정기는 계획대상물량을 작업장별로 배정하는 역할을 담당한다. 작업장 배정시에는 차수/완료일자를 조정하지 않고 중일정계획 결과의 차수/완료일자로 고정한다.

작업장 배정을 위한 과정은 <그림 3>과 같다. 데이터 읽어오기는 일정계획 대상 작업장의 데이터를 읽어 들이는 기능을 수행하고 작업달력 작성은 평일과 토요일, 일요일의 작업량과 작업능력을 고려한 작업달력을 생성하는 기능을 수행한다. Gene Mapping은 동일 Lot명을 하나의 Gene으로 구성하는 기능을 수행한다. 부하적재 초기화는 부하적재기에 대한 초기화를 수행한다.



<그림 3> 작업장 배정 과정

각 일자에 대해서 토요일, 평일을 고려하여 작업능력을 계산한다. 부하적재는 Gene 정보를 이용해서 해당 Lot의 공수를 부하적재기에 쌓아 놓는 역할을 수행한다. 이때 공기를 고려하여 1일마다 균등하게 공수를 배분하게 된다. 부하분석은 유전알고리즘에 있어서 적합도를 계산하는 기능을 수행한다. 마지막으로 별점 계산은 제약조건을 위배하는 경우에 별점을 부여하여 적합도 계산에 반영한다.

Gene Mapping을 통한 유전자와 각 Lot 사이의 관계를 예를 들어 나타내면 <그림 4>와 같다.

GA를 수행한 결과로 얻어지는 염색체의 값대로 작업장이 배정되며, 그림과 같이 염색체가 <3,5,...,4,3,...,3,5>이면 첫번째 대상 Lot인 E52는 3베이에 그대로 배정되지만 E53의 경우에 4베이 물량이었지만 유전알고리즘의 수행 결과에 의해서 5

Lot 명 Bay			Lot 명 Bay		
E52	3	..	3	E52	3
E53	4	..	5	E53	5
..
B50	3	..	4	B50	4
B51	5	..	3	B51	3
..
E34	4	..	3	E34	3
E33	5	..	5	E33	5

<GA 수행전 작업장> 염색체 <GA 수행후 작업장>

<그림 4> 작업장 배정기의 gene 사상

베이에 배정되며, B50은 4베이, B51은 3베이, E34는 3베이, E33은 5베이에 배정됨을 알 수 있다. 적합도 계산을 위한 적합도 함수는 작업장 배정기, 차수/완료일자 조정기에 걸쳐서 모두 동일하다.

적합도 계산을 위한 고려조건에는 작업장 사이의 부하 평준화 정도와 일자별 부하 평준화 정도가 있다. 작업장 사이의 부하 평준화를 위해서는 계획기간동안에 걸친 전체 물량을 비교하며 개별물량의 공수(Plasma 공수, Gas 공수, FP(Flame Planner)공수)의 평준화를 동시에 고려한다. 일자별 부하 평준화도 각 작업장별로 개별물량의 공수 평준화를 동시에 고려한다. 평준화 정도는 분산을 사용하며 각 베이의 장비능력을 고려하여 계산된다. 대상 Lot에 속한 물량이 제약조건을 위배할 경우 별점을 부여한다.

(2) 차수/완료일자 조정기

차수/완료일자 조정기는 계획대상 물량인 Lot의 작업장을 고정시키고 차수/완료일자를 조정하므로써 일자별 부하 평준화를 유도한다. 차수/완료일자의 조정은 <표 1>의 범위내에서 가능하다. <표 1>에서 code는 차수/완료일자 조정기의 유전 알고리즘에서 chromosome의 gene 하나하나가 가질 수 있는 값을 의미하며 해당 값은 차수일자 조정, 완료일자 조정 column과 같이 해석된다. 예를 들어 어떤 gene의 값이 2라면 해당 gene이 가리키는 Lot의 차수일은 중일정계획의 차수일과 같고, 완료일자는 중일정계획의 완료일에서 -1만큼 조정된다는 의미이다.

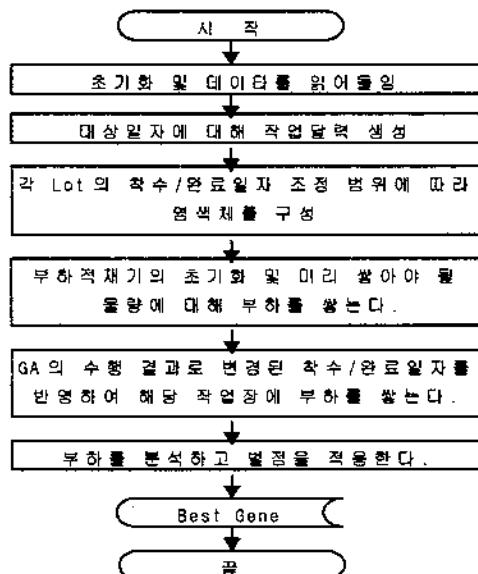
여기서 주어진 차수/완료일자의 조정 범위는 사용자에 의해 결정되며 Lot마다 개별적으로 정의된다.

차수/완료일자 조정기의 수행과정은 <그림 5>와 같으며 작

〈표 1〉 착수/완료일자 조정 범위

Code	착수일자 조정	완료일자 조정	공기 조정
0	-1	0	+1
1	-1	-1	0
2	0	-1	-1

업장별 물량 초과/부족 Code를 결정하는 과정을 제외하고는 작업장 배정 과정과 동일하다.



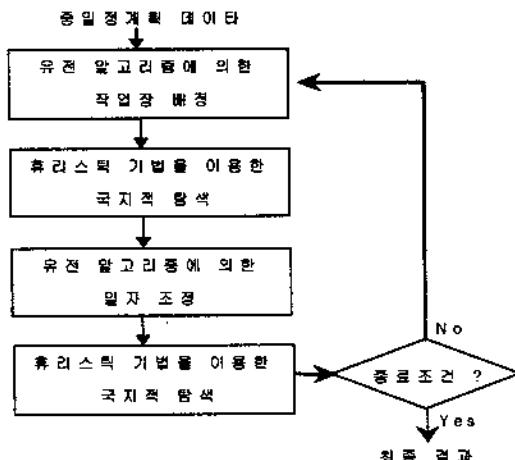
〈그림 5〉 착수/완료일자 조정 과정

2) 계층적 하이브리드 유전 알고리즘

본 연구의 경우에서처럼 복잡하고 규모가 큰 일정계획 문제 해결을 위해 사용되는 최적화 방법 중 휴리스틱 기법을 이용하여 해를 찾는 국지적 탐색은 일정계획 수립시간이 적게 걸리는 장점이 있지만 하나의 Lot 단위 대상으로 Hill Climbing 탐색을 이용해 일정계획을 수정하기 때문에 여러개의 Lot들을 동시에 고려함으로써 생기는 보다 좋은 방향으로의 일정계획을 고려할 수가 없다는 단점이 있다. 반면에 단순한 유전 알고리즘은 광범위한 탐색 공간을 동시에 고려함으로써 전역적 최적화를 유도하는 장점이 있지만 해의 수렴 속도가 느리다는 단점이 있다.

본 논문에서는 계층적 하이브리드 유전 알고리즘을 적용하였는데[8], 이 방법은 유전 알고리즘과 휴리스틱 기법의 단점을 상호 보완하기 위해 유전 알고리즘의 전역적 최적화와 국지적 탐색의 빠른 수렴속도를 결합한 방법이다. 이 방법을 적용하여 최적해 부근까지 도달하기 위해서 유전 알고리즘을 사용하고 최적해를 찾기 위해 다시 국지적 탐색을 하게 구성하여, 유전 알고리즘이나 휴리스틱 기법 중 하나만을 사용한 경우보다 더 평준화된 일정계획 결과를 얻을 수 있었다[3].

계층적 하이브리드 유전 알고리즘은 〈그림 6〉에 나타낸 바와 같이 계층적 유전 알고리즘의 각 계층 즉, 작업장 배정기와 일자별 부하조정기 각각을 실행한 후에 수행 결과가 가장 좋은 일정계획 결과로부터 휴리스틱을 실행하는 구조로 구성되었다. 이렇게 시스템을 구성함으로써, 전역적 탐색을 통해 부분최적화에 빠지는 것을 방지하게 되고 휴리스틱 기법을 사용함으로 보다 빠른 해탐색이 가능하게 된다.

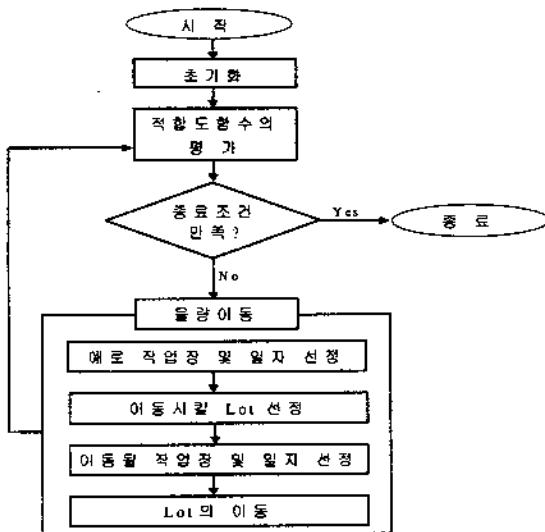


〈그림 6〉 계층적 하이브리드 유전 알고리즘의 흐름도

본 연구에서 계층적 하이브리드 유전 알고리즘에서 사용된 휴리스틱 기법은 〈그림 7〉과 같은 구조로 이루어져 있으며 다음과 같은 단계를 거쳐서 수행된다.

[단계 1] 유전 알고리즘의 실행을 통하여 얻어진 작업일정 계획 결과대로 작업장 및 작업일자에 작업물량을 배정한다.

[단계 2] 적합도 함수를 이용하여 부하평준화 정도를 평가 한다.



〈그림 7〉 작업일정계획 모듈의 허리스틱기법의 흐름도

[단계 3] 사용자가 정한 한도보다 더 좋은 부하평준화 값이 결과로 나오거나 수행 반복수를 넘으면 종료 한다.

[단계 4] 대상기간동안의 모든 작업장 및 일자에서의 개별 물량(Plasma, 가스, F/P) 중 조업도가 가장 높은 항목을 찾는다.

[단계 5] 단계 4에서 찾은 개별물량이 포함되어 있는 Lot들을 찾고 전체 물량에 비해 위의 개별물량이 차지하고 있는 비중이 가장 작은 Lot를 이동대상 Lot로 선정한다.

[단계 6] 단계 5에서 찾은 물량이 이동 가능한 일자 및 작업장을 찾고, 그 중에서 단계 4에서 찾은 개별물량의 비중이 가장 작은 일자 및 작업장으로 Lot(단계 5에서 찾은)를 이동시킨다. 단계 2로 간다.

이러한 허리스틱을 수행하면서 작업장간 부하 평준화와 일자별 부하 평준화에 가장 도움이 되지 못한다고 판단되는 Lot를 선정한 후 작업장과 일자를 재배정하여 부하 평준화가 가장 좋게 되는 작업일정계획을 수립하게 된다.

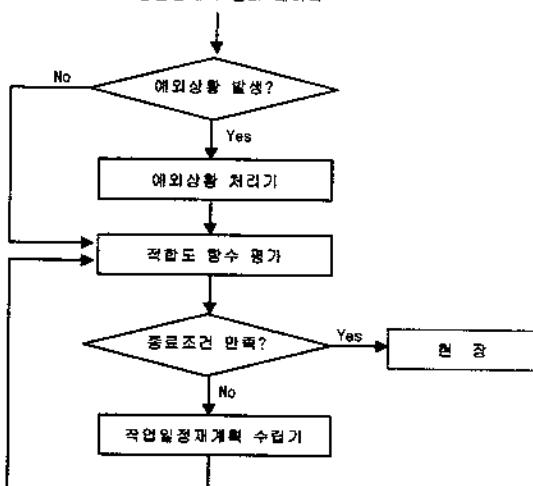
3.2 작업일정계획 재조정 모듈

작업일정계획 재조정 모듈에서는 예기치 않은 예외상황이 발생하였을 때 수동조정으로 계획을 변경하여 주고, 일부변경만으로는 문제를 해결할 수 없거나 좋은 일정계획 결과를 기대할 수 없을 경우에는 작업일정재계획을 수행하게 된다.

1) 작업일정계획 재조정 모듈의 구성

작업일정계획 재조정 모듈의 구성은 〈그림 8〉과 같다. 즉, 작업일정계획 재조정 모듈에서는 작업일정계획 결과 데이터를 입력받고 일정계획 진행상의 문제가 발생할 때마다 예외상황 처리기에서는 조사된 예외상황에 대한 해결방안을 제시하고 수동으로 작업일정계획을 조정하게 된다. 그 후 부하 평준화 정도를 평가하여 작업일정재계획을 실행해야 하는지를 검사하며 재계획이 필요한 경우 변경가능한 범위내에서 작업일정을 조정하여 보다 나은 결과를 탐색하게 된다.

작업일정계획 결과 데이터



〈그림 8〉 작업일정계획 재조정 모듈의 흐름도

(1) 예외상황 처리기

강제가 계획된 일자에 수급이 이루어지지 않거나 후행 조립작업장에서 일부 물량을 계획보다 미리 앞당겨서 작업할 것을 요구하는 등의 예외상황이 발생하면, 예외상황 처리기에서는 조사된 예외상황에 대한 해결방안을 제시하게 되고 수동으로 작업일정계획을 조정하게 된다. 작업일정 수동조정시에는 특정작업물량을 다른 일자 및 작업장으로 이동시키려 할 때 가

장 부하평준화가 좋게 되는 배정방안을 제시한다.

장기간의 장비고장 등과 같은 예외상황이 발생하였을 경우에 계일정을 수립하게 한다든지 혹은 2주간의 작업일정계획을 작성하도록 요청한다. 조사한 예외상황 및 해결 방안은 다음과 같다.

① 강제의 공급에 차질 발생

항목	예외상황- 1
상황	• 강제의 공급(도착)의 지연
해결 방법	<ul style="list-style-type: none"> 여분의 강제인 잉여재를 이용하여 해결하며, 잉여재로 해결할 수 없는 경우에는 강제 수급에 문제가 없는 일자로 작업일자를 변경하는 계획을 세운다. ※ 잉여재 : 강제의 도착이 지연될 때나 오작 발생으로 긴급 강제가 필요할 때를 대비해 비축해 두는 안전재고 물량
영향	• 가공 작업 횟수 및 완료일에 크게 영향을 미치지 않음

② 가공 작업 진도가 너무 빠른 경우

항목	예외상황- 2
상황	• 특정 베이의 진도가 작업일정계획보다 너무 빠르다.
해결 방법	<ul style="list-style-type: none"> Lot의 작업장 이관 다른 작업장에서 작업해야 할 Lot를 이관하여 더 수행 한다. Lot의 작업일자 이동 다음주 작업대상 Lot들 중 일부를 미리 앞당겨서 작업을 한다.
영향	<ul style="list-style-type: none"> 작업자들의 지원 필요 타 조립부서 착수일자/작업장 변경

③ 가공 작업 진도가 너무 느릴 경우

항목	예외상황- 3
상황	• 특정 베이의 진도가 작업일정계획보다 너무 느린다.
해결 방법	<ul style="list-style-type: none"> Lot의 작업장 이관 다른 작업장으로 Lot를 이관시켜서 작업을 진행한다. Lot의 작업일자 이동 이번 주 작업해야 할 Lot들 중 일부를 다음 주로 연기 한다.
영향	<ul style="list-style-type: none"> 작업자들의 지원 필요 타 조립부서 착수일자/작업장 변경

④ 후행 조립 작업장 요구물량의 변경 발생

항목	예외상황- 4
상황	• 후행 조립작업장에서 특정 Lot를 예정일이 아닌 일자에 요구
해결 방법	• 후행 조립부서에서 가공부에 요구하는 Lot가 변경될 때는 그 전주까지 통보를 해주면 변경된 사항에 맞게 무리없이 가공계획을 작성할 수 있다. 조립부서의 통보가 늦어졌을 경우는 앞의 예외상황- 3에서 사용한 해결방법을 통하여 작업을 수행하게 된다.
영향	• 착수일자 변경

이상의 예외상황을 처리하기 위해 시스템이 갖추어야 할 기능은 다음과 같다.

- 예외상황을 수동으로 입력하는 기능
- 물량을 이관 또는 교환하는 기능
- 특정 Lot의 착수/완료일을 수동으로 조정하는 기능
- 당일 실적을 분석하는 기능

(2) 작업일정계획 수립기

예외상황 처리기로 만족할만한 계일정결과를 얻을 수 없어서 작업일정을 새롭게 수립해야 하는 경우나 노사분규 등의 이유로 작업일정계획의 전체적인 변경이 불가피한 경우에는 작업일정계획을 수행한다.

제계획시 작업대상 물량의 작업장 및 일자배정 방법은 작업일정계획 방법론과 비슷하나, 계획물량의 특성에 따라 계일정 수립시 ① 일정을 변경할 수 없는 물량, ② 일정을 변경하여 주지 않는 것이 좋은 물량, ③ 일정변경이 자유로운 물량의 세가지로 구분하여 나타내며, 이러한 특성을 고려하여 시스템을 구축한다. 즉, 일정계획변경이 불가능한 물량은 재일정 수립시 조정이 불가능하고 변경이 자유로운 물량은 부하평준화를 향상시키는 일자 및 작업장으로 작업일정계획을 변경하며, 일정을 변경하지 않는 것이 좋은 물량의 일정이 변경될 때에는 벌점을 주어 일정이 변경되지 않는 방향으로 유도한다.

위에서 구분한 물량 중 일정을 변경할 수 없는 물량은 작업일정계획 대상기간의 시작일 시점에 보았을 때, 이미 착수되어 작업이 진행되고 있어서 일정을 변경할 수 없는 Lot 물량이나 작업일정계획 담당자가 후행 조립작업장에서의 요구 등으로 인하여 예외상황처리기에서 수작업으로 작업일정계획

을 변경한 물량으로 작업일정계획을 수행할 때 작업장 및 작업일자를 변경할 수 없게 고정한다.

일정을 변경하여 주지 않는 것이 좋은 것으로 구분되는 물량은 작업일정계획 대상기간의 시작일과 가까운 날짜에 축수되는 Lot 물량들로, 부하평준화를 위하여 작업일정이 변경되는 경우에는 별점이 주어진다.

일정변경이 자유로운 물량은 앞에서 언급한 두 물량을 제외한 나머지 물량을 말하는 것으로, 작업일정계획 대상기간의 시작일보다 작업착수를 충분히 늦게 시작하는 Lot 작업물량으로서 부하평준화의 목적으로 자유롭게 다른 작업장 및 일자로 이동될 수 있다.

작업일정계획 문제와 마찬가지로 작업일정계획 재조정 문제 역시 복잡하고 해탐색 공간의 규모가 크므로 문제해결을 위해서는 해탐색 시간이 적게 걸리면서 국소 최적에 빠지지 않는 계층적 하이브리드 유전 알고리즘을 사용하는 것이 효과적이다. 그러나 작업일정계획의 문제와 작업일정계획 재조정의 문제는 해결방법에 다소 차이가 있으므로 맞게 수정하여 적용한다.

작업일정계획 재조정 모듈에서는 작업일정계획 모듈에서 와는 달리 다음과 같은 사항을 시스템 구축시에 고려해야 한다.

첫째, 일정이 변경되는 상황에 대한 작업일정 재조정 결과를 신속히 산출할 수 있어야 한다. 즉, 후행 조립작업장에서 일부 Lot들을 예정보다 빨리 가공해 줄 것을 요구하였을 때, 예외상황 조정기에서 수행한 결과를 바탕으로 재일정을 수행한 결과를 빨리 얻을 수 있어야 후행 조립작업장의 요구를 모두 받아들일 수 없다는 등의 의사결정을 후행 작업장에 신속히 통보해 줄 수 있다.

둘째, 이미 현장에 통보된 작업일정계획 결과의 변경을 많은 계획은 혼란을 야기하므로 재조정 결과는 일정계획 변경을 최소화해야 한다(Stability 유지).

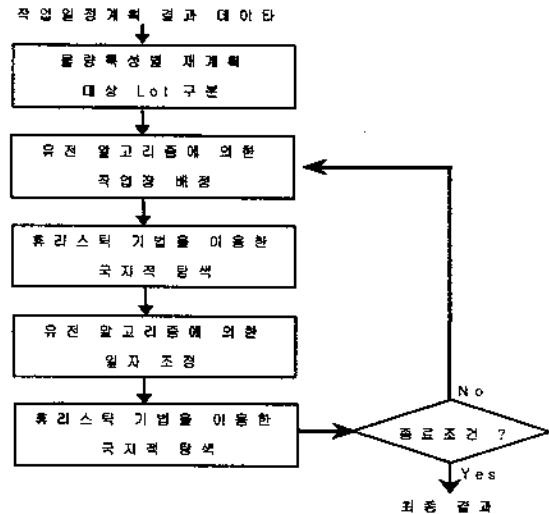
세째, 위에서 설명한 일정계획 대상물량의 특성에 따른 물량 구분을 해 주어야 한다.

위에 서술된 세가지 사항을 모두 지키는 방안 즉, 신속하고 변경사항이 최소화되며 계획대상물량의 특성을 고려한 작업일정계획을 구현하기 위해서는 작업일정계획 수행시 사용하였던 방법론을 수정해야 한다.

2) 수정된 계층적 하이브리드 유전 알고리즘

작업일정계획의 문제 해결에 맞게 기존의 계층적 하이브

리드 유전 알고리즘을 수정한 알고리즘의 전체적인 구조는 〈그림 9〉와 같다.

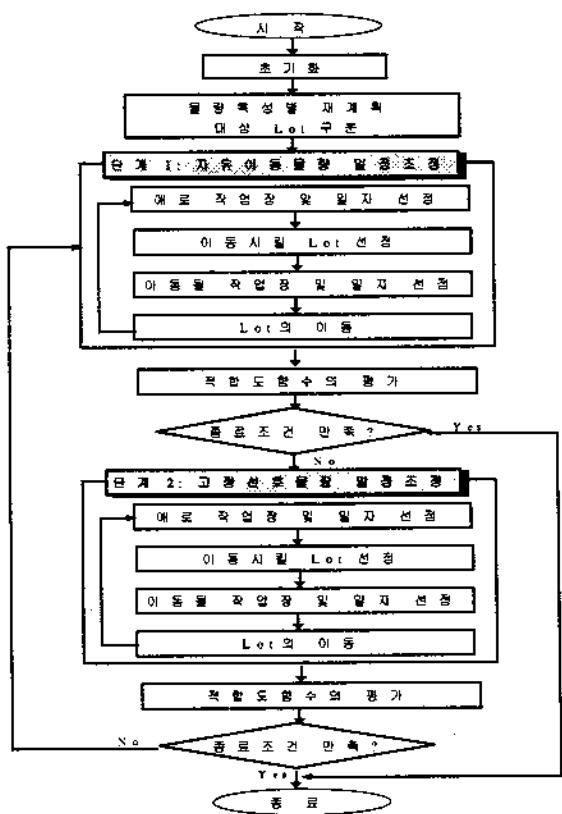


〈그림 9〉 수정된 계층적 하이브리드 유전 알고리즘의 흐름도

수정된 방법론은 작업일정계획 결과를 입력받아서, 예외상황 조정기에서 일정계획을 변경한 작업물량은 일정계획 고정물량으로 구분하는 등으로 대상물량의 특성을 고려하여 재일정계획 대상물량을 구분한 후에 유전 알고리즘과 국지적 탐색 기법을 이용하여 작업장 및 일자조정은 모든 계획대상 물량을 대상으로 이루어지지 않으며 물량특성별 재계획 대상 Lot들을 구분할 때, 이동이 자유로운 물량 및 일정고정선호 물량으로 구분되는 물량들만을 대상으로 하게 된다. 앞서 설명하였듯이 작업장 및 일자조정은 모든 계획대상 물량을 대상으로 이루어지지 않으며 물량특성별 재계획 대상 Lot들을 구분할 때, 이동이 자유로운 물량 및 일정고정선호 물량으로 구분되는 물량들만을 대상으로 하게 된다. 즉, 일정계획 고정물량으로 구분된 Lot는 재계획시 일정이 고정되어 변경되지 않게 되며, 그 외 물량을 대상으로 부하 평준화의 목적으로 작업장 및 작업일자를 변경하게 된다. 이 때 고정선호물량의 일정이 변경되는 경우에는 별점을 부가하게 되어 기존의 일정계획을 많이 변경시키지 않는 범위내에서 계획을 수립할 수 있도록 하였다.

여기에서 사용된 휴리스틱 기법의 전체적인 흐름은 〈그림 10〉와 같은 구조와 같이 이루어져 있으며 다음과 같은 단계를 거쳐 수행된다.

[단계 1] 유전 알고리즘의 실행을 통하여 얻어진 작업일정 계획 결과대로 작업장 및 작업일자에 작업물량



〈그림 10〉 작업일정계획 재조정 모듈의 휴리스틱 흐름도

을 배정한다.

- [단계 2] 작업물량 특성별로 재계획 대상 Lot를 일정계획 고정물량, 이동이 자유로운 물량, 일정고정선호 물량으로 구분한다.
- [단계 3] 작업물량 중 이동이 자유로운 물량에 대해서 단계 4에서부터 단계 6까지를 실행한다.
- [단계 4] 대상기간동안의 모든 작업장 및 일자에서의 개별 물량(Plasma, 가스, F/P) 중 조업도가 가장 높은 항목을 찾는다.
- [단계 5] 단계 4에서 찾은 개별물량이 포함되어 있는 Lot들을 찾고 전체 물량에 비해 위의 개별물량이 차지하고 있는 비중이 가장 큰 Lot를 이동대상 Lot로 선정한다.
- [단계 6] 단계 5에서 찾은 물량이 이동 가능한 일자 및 작업장을 찾고, 그 중에서 단계 4에서 찾은 개별물량의 비중이 가장 작은 일자 및 작업장으로 Lot(단

계 5에서 찾은)를 이동시킨다. 자유이동물량 일정변경을 했을 때에는 단계 7로 가고 고정선호물량의 일정변경을 했을 때에는 단계 8로 간다.

- [단계 7] 적합도 함수결과치로 평가하여 종료 조건을 만족하지 않으면 단계 9로 간다.
- [단계 8] 적합도 함수결과치로 평가하여 종료 조건을 만족하지 않으면 단계 10으로 간다.
- [단계 9] 작업물량 중 고정선호물량에 대해서 단계 4에서부터 단계 6까지를 실행한다.
- [단계 10] 작업물량 중 자유이동물량에 대해서 단계 4에서부터 단계 6까지를 실행한다.

4. 사례연구

본 연구에서는 H중공업 조선소를 대상으로 하여 사례를 적용하여 시스템을 구축하였으며, 구축한 시스템을 실제 작업물량에 적용하였다.

본 장에서는 대상 문제의 정의 및 가정을 하였으며, 필요한 입출력 정보에 대한 정의를 하고, 최종적으로 실제 작업물량을 구축한 시스템으로 실행하였을 때의 결과를 분석 및 평가하여 대상작업장의 작업일정계획 문제 해결에 효율적임을 검증하였다.

4.1 사례문제의 정의 및 가정

1) 문제의 정의

조선소에서 여러개의 조립블럭들을 도크(dock)에 탑재하기 이전에 조립블럭들을 생산하는 과정을 선각내업이라 한다. 선각내업 중 본 연구에서 적용할 문제는 선각 블럭 구성부품을 절단 및 벤딩하여 조립작업장에 보내기 이전까지의 작업을 수행하는 가공공장이다. 가공공장에서의 작업은 절단 및 벤딩작업으로 구성되어 있는데, 작업물량의 작업장 이동은 Lot단위로 이루어지므로 본 연구에서는 Lot 작업물량을 각 작업장에 일자별로 배정하는 문제를 다루었다.

각 작업장별 능력의 기준은 현장에서 사용하는 능력기준인 Plasma 절단물량, Gas 절단물량, Frame Planner (F/P) 절단물량으로 구분하였으며 이 세가지 능력 척도를 기준으로 부하평준화 정도를 평가하였다.

이러한 문제의 정의에 맞게 작업일정계획에서의 작업장 및 일자별 평준화를 적합도 계산식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}Fitness = & w_1 \cdot WV(GR_1) + w_2 \cdot WV(GR_2) + w_3 \cdot WV(GR_3) + \\& w_4 \cdot DV(GR_1) + w_5 \cdot DV(GR_2) + w_6 \cdot DV(GR_3) + \\& \text{Penalty}\end{aligned}$$

단, w_i : 가중치

GR_1 : 작업물량의 특성(GR_1 은 1GR물량, GR_2 는 2GR물량 중 판별송선 물량, GR_3 은 2GR물량 중 2 베이 작업 물량)

$WV(GR_i)$: 작업장간 분산값

$DV(GR_i)$: 일자별 분산값

Penalty : 제약조건 위배에 따른 벌점

1GR물량에서의 예를 들어 〈표 2〉와 같이 작업장 및 일자별로 물량이 배정되어 있을 때, 작업장간 및 일자별 분산값 $WV(GR_i)$ 과 $DV(GR_i)$ 을 구하면 다음과 같다.

작업장간 분산은 각 작업장별 부하를 합한 값들 사이의 분산값으로, 예에서는 각 베이별 부하합 4.5, 5.1, 4.0의 분산인 0.202가 되며, 일자별 분산은 각 작업장별의 일자간 부하 분산값을 합한 값으로, 3베이내의 분산인 0.082, 4베이의 0.187, 5베이의 0.035 각각에 가중치를 곱한 합이 된다. 마지막으로 제약조건 위배에 따른 벌점을 합산하며, 벌점은 실험적으로 결정되었다.

〈표 2〉 물량배정된 부하 예

일자	부하 (Load/Capacity)		
	3 베이	4 베이	5 베이
1/8	1.2	1.0	1.0
1/9	1.5	0.9	0.7
1/10	0.7	1.1	1.1
1/11	1.1	2.0	1.2
Total	4.5	5.1	4.0

작업일정계획 재조정 문제에서는 앞에서 설명했던 바와 같이 신속하고 작업일정계획 변경사항이 최소화되며 계획물량의 특성을 고려하여 시스템을 구현하기 위하여 작업일정계획 수행시 사용하였던 적합도 계산식의 내용을 수정해야 한다.

이러한 문제의 정의에 맞게 작업일정계획 재조정에서의 작

업장 및 일자별 평준화를 적합도 계산식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}Fitness = & w_1 \cdot WV(GR_1) + w_2 \cdot WV(GR_2) + w_3 \cdot WV(GR_3) + \\& w_4 \cdot DV(GR_1) + w_5 \cdot DV(GR_2) + w_6 \cdot DV(GR_3) + \\& w_7 \cdot MW(GR_1) + w_8 \cdot MW(GR_2) + w_9 \cdot MW(GR_3) \\& + w_{10} \cdot MD(GR_1) + w_{11} \cdot MD(GR_2) + w_{12} \cdot MD(GR_3) + \text{Penalty}\end{aligned}$$

단, w_i : 가중치

GR_i : 작업물량의 특성(GR_1 은 1GR물량, GR_2 는 2GR물량 중 판별송선 물량, GR_3 은 2GR물량 중 2 베이 작업 물량)

$WV(GR_i)$: 작업장간 분산값

$DV(GR_i)$: 일자별 분산값

$MW(GR_i)$: 작업일정제계획시 고정선호 물량의 작업장 변경 횟수

$MD(GR_i)$: 작업일정제계획시 고정선호 물량의 작업일자 변경 횟수

Penalty : 제약조건 위배에 따른 벌점

위의 적합도 계산식에서는 작업일정제계획문제에 고려되지 않았던 작업장 및 작업일자 변경에 따른 벌점을 주어져 있다. 작업일정계획 재조정시에 예외상황처리기에서 일정을 변경한 물량과 재계획시에 고정물량으로 구분되는 물량들은 재계획 초기 상태에서 고정시키고 실행하기 때문에 여기에서 따로 벌점을 고려할 필요가 없고, 일정변경이 자유로운 물량으로 구분되는 Lot들은 부하 평준화의 목적으로 재계획에 있어서 아무런 제약이 없으므로, 여기에서는 고정선호물량들의 작업장 및 작업일자 변경시에만 벌점을 부여하였다.

제안하는 방법론의 유효성을 보이기 위하여 여러가지 경우에 있어서의 상황들로 구현하여 검증해 보았다.

2) 문제의 가정

현장의 상황에 맞게 문제를 다음과 같이 가정하기로 한다.

- 한 Lot가 어떤 작업장에 배정되었을 때 1회만 가공작업이 수행되며, 오작으로 인한 재작업은 없다.
- 한 작업장에서 가공이 진행중인 Lot물량은 작업이 완료되기 이전에 부하 평준화의 이유로 다른 작업장으로 옮겨

서 작업을 수행할 수 없다.

- 납기는 정해져 있는 것으로 한다.
- 1일 작업대상 Lot의 우선순위는 고려하지 않는다.

4.2 입력 및 출력 정보

1) 입력정보

작업일정계획 수행을 위해 필요한 입력정보는 다음과 같다.

- 시스템 사용자가 조정하는 전략값 정보
- 작업대상 물량인 Lot에 관한 정보
- 작업장 관련 정보

2) 출력정보

출력은 텍스트 형태 혹은 그래프 형태로 할 수 있는데, 주요 출력 항목은 다음과 같다.

- 2주간 Lot별 착수일자/완료일자, 작업 베이
- 바 차트
- 부하 분석표(일자별/베이별 비교)

4.3 실행결과 분석 및 평가

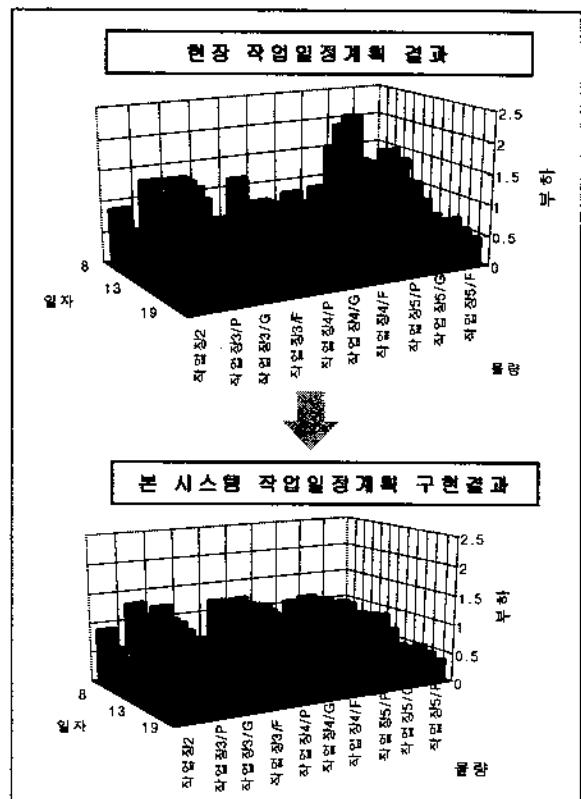
본 논문에서는 선각 가공공장 작업일정계획 시스템을 구축하여 작업일정계획과 작업일정계획 재조정을 구현하였다. 작업일정계획은 계층적 유전 알고리즘으로 구현하여 현장 일정계획 담당자가 수립한 계획과 비교해 보았으며, 작업일정계획 재조정은 예외상황이 발생하였을 때 이를 수동조정하고 계획 대상물량의 특성을 고려하여 평준화된 결과를 얻을 수 있는 수정된 계층적 하이브리드 유전 알고리즘으로 구현하여 여러 가지 상황하에서의 결과를 비교해 보았다.

작업일정계획시스템의 수행을 위한 실험대상 계획물량으로 H사의 96년 1월분 물량중에서 1월5일~1월18일의 2주간의 물량을 사용하였다. 공휴일을 제외한 실제 작업일정계획기간은 12일이며, 251개의 Lot를 일자별로 6개의 작업장(1Bay~6Bay)에 배정하여 부하평준화정도를 최대화하는 것이 작업일정계획 문제가 된다. 실제로 작업일정계획 결과를 현장에서 사용하기 위해서는 적절한 시간안에 실행을 마쳐야 하므로 제한 시간을 30분으로 두어 실행 빈복회수를 정하였다. 모집단(population)의 크기는 500으로 하고, 세대(generation) 수는 100으로 정하

였을 때의 수행결과를 현장 작업일정계획 담당자가 수립한 계획과 비교하여 <그림 11>에 부하그래프 형태로 나타내었다.

현장 작업일정계획 담당자가 수립한 결과의 적합도 함수값이 42.75인 것에 반해 본 계층적 하이브리드 유전 알고리즘의 방법론으로 구축한 본 시스템에서는 적합도 함수값이 16.86으로 결과가 많이 향상된 것을 알 수 있다.

작업일정계획 재조정은 앞에서 기술한 바와 같이 예외상황이 발생하였을 때 수동조정을 수행하는 기능과 작업일정계획을 수립해 주는 기능이 있다.



<그림 11> 작업일정계획 시스템 수립결과 그래프

예외상황발생으로 인한 작업실적 및 일정의 수동조정, 변경은 <표 3>과 같다.

작업일정계획대로 진행하다가 예외상황이 발생한 때는 앞장에 정리한 예외상황처리기를 이용하여 수동조정으로 위의 <표 3>과 같이 일정을 변경하고 이 때 일정이 변경된 Lot들은 작업일정계획시에 일정고정물량으로 되어 부하 평준화의 목적으로 작업장 및 작업일자를 변경할 수 없게 된다.

〈표 3〉 작업실적 결과 및 일정변경 예

호선	Lot 명	착수 예정 일	완료 예정 일	실체 착수 일	실제 완료 일	Bay (계획/ 설제)	일정 변동 사유
H915	F11	1/6	1/8	1/8	1/10	3/3	장재의 지연
H931	E54	1/9	1/11	1/6	1/8	5/4	후행 조립장의 요구
H916	S11	1/9	1/12	1/9	1/12	3/5	작업진도 지연 → 이관
H908	SD8	1/11	1/14	1/9	1/12	4/4	작업진도 빠름 → 앞당김
H933	T15	1/13	1/16	1/14	1/17	5/5	작업진도 지연 → 연기

이렇게 수동조정으로 Lot들의 작업Bay 및 작업일자를 변경하면 작업일정계획 실행으로 향상되었던 부하평준화 정도가 나빠지는데, 이때 수정된 계층적 하이브리드 유전 알고리즘을 수행하면 이 상황에서 일정변경을 적게 하면서도 좋은 부하평준화 결과를 얻을 수 있게 된다. 이렇게 수행한 결과를 작업일정계획에서의 방법론인 계층적 하이브리드 유전 알고리즘에서의 결과와 비교하여 아래 〈표 4〉와 같이 나타내었다.

〈표 4〉 작업일정계획 결과의 비교

평가기준		수정된 계층적 하이브리드 유전 알고리즘	계층적 하이브리드 유전 알고리즘
부하평준화 값		20.04	18.75
일정조정 갯수	고정 선호	15	36
	조정 자유	65	63
비 고		고정선호 및 조정자 유물량의 일정계획 특 성 구분함	고정선호 및 조정자유 물량의 일정계획 특성 구분안함. 모두 조정 자 유로 취급

수정된 계층적 하이브리드 유전 알고리즘에서는 기존의 계층적 하이브리드 알고리즘과는 달리 Lot들을 고정선호와 조정자유물량으로 구분하고 있다. 부하평준화의 목적을 달성하기

위해서 기존의 계층적 하이브리드 유전 알고리즘과 마찬가지로 고정선호 또는 조정자유물량의 일정을 재수립하되, 고정선호물량의 일정 조정에 대해 별점을 부과함으로써 고정선호물량의 일정 조정을 최소화하였다. 이상과 같은 방법을 사용하여 작업일정계획 재조정시 일정계획의 변화를 최소화하였으며 착수일자가 현재 날짜보다 가까운 물량들을 고정선호 물량으로 지정하여 이와 같이 중요한 물량들의 일정계획 변화가 최소화되도록 유도하고 있다.

수정된 계층적 하이브리드 유전 알고리즘에서는 고정선호물량의 일정계획 변경시 별점을 부과하므로 부하평준화값은 기존의 계층적 하이브리드 유전 알고리즘을 이용한 결과에 비해서 약간 좋지 않은 결과를 나타내지만, 고정선호물량의 일정계획을 변경한 수는 훨씬 적으며 전체일정변경수도 적다는 것을 알 수 있다. 그러므로, 본 논문에서 제안하는 수정된 계층적 하이브리드 유전 알고리즘을 이용한 작업일정계획 재조정의 방법론이 여러가지 요인을 고려해 볼 때 우수한 방법론이라는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문은 선각 가공공장을 대상으로 작업일정계획 및 작업일정계획 재조정을 수행할 수 있는 시스템을 계층적 하이브리드 유전 알고리즘을 도입하여 개발하였고, 실제 선각 가공공장에 적용하여 그 유통성을 검증하였다.

시스템을 구현하기 위한 방법론으로는 대상문제에 대한 지식이 있을 때 해(solution)의 탐색시간이 적게 소요되는 휴리스틱 기법과 국부최적을 방지해 주는 유전 알고리즘을 접목시킨 계층적 혼합형 유전 알고리즘을 작업일정계획에 적용하였고, 작업일정계획 재조정에서는 예외상황발생시 대처할 수 있도록 하는 수동조정과 작업일정계획에서 사용한 방법을 수정한 방법론을 사용하였다.

본 연구에서 개발한 작업일정계획 시스템의 성능을 검증하기 위하여 현장 작업일정계획 담당자가 수립한 계획결과와 본 시스템에서 수립한 작업일정계획 결과를 비교하였으며, 작업일정계획 재조정의 성능을 검증하기 위하여는 본 시스템의 작업일정계획에서의 방법론인 계층적 하이브리드 유전 알고리즘과 본 시스템에서 제안하는 방법론인 수정된 계층적 하이브리드 유전 알고리즘에서의 결과를 비교하였다. 작업일정계획 수립시에 현장의 일정계획 담당자는 3일정도가 소요되지만 본 시스템에서는 계층적 하이브리드 유전 알고리즘을 이용한 방

법으로 30분 정도의 짧은 시간안에 더 좋은 결과를 얻을 수 있었으며, 수정된 계층적 하이브리드 유전 알고리즘을 이용한 방법론으로 작업일정계획 재조정을 수행하였을 때 작업일정변경이 적게 되면서 부하평준화된 결과를 20분 정도의 짧은 시간 내에 얻을 수 있음이 확인되었다.

【후기】

본 연구는 현대중공업(주)의 지원에 의하여 이루어졌으며 관계자 여러분들에게 감사드립니다.

【참고문헌】

- [1] 김석준, 이채영, “작업일정계획 문제 해결을 위한 유전 알고리즘의 응용”, 한국경영과학회지, 177권, 3호, pp.1-12, 1992.
- [2] 이규열, 조선 CIMS를 위한 시스템 통합 방법 연구, 대우 조선공업주식회사, 1993.
- [3] 이동곤, 정성재, 김수영, “유전적 알고리즘과 직접탐색법의 결합에 의한 효율적인 최적화방법에 관한 연구”, 대한 조선학회논문집, 제 31권 제 3호, pp.12-18, 1994.
- [4] 이재동, 홍유신, “블록조립공장의 부하평준화를 위한 생산 일정계획”, 산업공학, 제7권 제2호, pp.75-85, 1994.
- [5] Chung, N. K., “A Study on the Dynamic Scheduling for Distributed Management Systems”, Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, Vol.21, No.2, pp.207-216, 1995.
- [6] Fang, H., Ross, P., and Corne, D., “A Promising Genetic Algorithm Approach to Job-Shop Scheduling, Rescheduling, and Open-Shop Scheduling Problems”, International Conference on Genetic Algorithm, Urbana-Champaign, IL, pp. 375-382, 1993.
- [7] Fox, M. S., and Smith, S. F., “ISIS-A knowledge-based system for factory scheduling”, Expert Systems, Vol.1, No. 1, pp. 25-49, 1984.
- [8] Hitomi, K., Manufacturing Systems Engineering, Taylor & Francis, London, 1996.
- [9] Lew, Y., Lance, A. M., and Loren, P. R., “Assembly Line Balancing using Genetic Algorithms with Heuristic-Generated Initial Populations and Multiple Evaluation Criteria”, Decision Sciences, Vol.25, No.4, pp.581-606, 1993.
- [10] Muscettola, N., “Scheduling by iterative partition of bottleneck conflicts”, In Proc. IJCAI-89, Detroit, MI, 1989.
- [11] Ow, P. S., and Smith, S. F., Viewing scheduling as an opportunistic problem solving process, Working paper, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, 1986.
- [12] Ryu, K. R., Hwang, J. H., Choi, H. R., and Cho, K. K., “A Genetic Algorithm Hybrid for Hierarchical Reactive Scheduling”, International Conference on Genetic Algorithm, Michigan State University, East Lansing, MI, pp. 497-504, 1997.
- [13] Sadeh, N., Micro-opportunistic scheduling : The Micro-boss factory scheduler, The Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, 1993.
- [14] Wiest, J. D., “A Heuristic Model for Scheduling Large Projects with Limited Resources”, Management Science, Vol.13, No.6, pp.359-377, 1967.



조규길	
1966년	부산대학교 기계공학과 학사
1969년	부산대학교 대학원 기계 공학 석사
1973년	미국 Alabama 대학교 대학원 산업공학과 석사
1982년	미국 Pennsylvania 주립 대학교 대학원 산업공학과 생산공학 박사
현 재	부산대학교 산업공학과 교수
관심분야	생산시스템 공학, 전문가 시스템의 응용, CAPP, CIM 등



최형립

1979년 서울대학교 경영학과 학사
 1986년 한국과학기술원 경영과 학과 석사
 1993년 한국과학기술원 경영과 학과 박사
 현 재 동아대학교 경영정보학과 부교수

관심분야 전문가시스템, DSS, 생산정보시스템, 물류관리, 전자상거래 등

98년 2월 최초접수, 98년 7월 최종수정

김영구

1996년 경남대학교 산업공학과 학사
 1998년 부산대학교 산업공학과 석사
 현 재 현대정보기술(주)
 관심분야 생산관리, 스케줄링, 인공지능, CIM 등



류광렬

1979년 서울대학교 전자공학과 학사
 1981년 서울대학교 전자공학과 석사
 1992년 University of Michigan 컴퓨터 공학 박사
 현 재 부산대학교 컴퓨터공학과 부교수
 관심분야 인공지능, 기계학습, 사례기반추론, Genetic Algorithms, 지능생산시스템, 정보검색 등



황준하

1995년 부산대학교 컴퓨터공학과 학사
 1997년 부산대학교 컴퓨터공학과 석사
 현 재 부산대학교 컴퓨터공학과 박사과정
 관심분야 인공지능, 기계학습, Genetic Algorithms, 최적화