

유전 알고리즘을 이용한 고분자제품의 생산일정 관리 프로그램 개발

소원섭 · 정재학[†]

영남대학교 디스플레이화학공학부
712-749 경북 경산시 대동 214-1
(2006년 3월 20일 접수, 2006년 4월 7일 채택)

Development of Production Scheduling Management Program using Genetic Algorithm for Polymer Production

Won Shoup So and Jae Hak Jung[†]

School of Chemical Engineering and Technology, Yeungnam University, 214-1, Dae-dong, Gyeongsan, Gyeongbuk 712-749, Korea
(Received 20 March 2006; accepted 7 April 2006)

요 약

본 연구는 고분자제품을 생산하는 실제 조업 중인 한 화학공장에서 발생하는 최적 생산일정을 얻어내고 그 결과를 산업에서 비전문가가 사용할 수 있도록 하는 프로그램을 작성한 것이다. 이를 위해 최적 생산계획의 목적함수를 생산량 환산 손실량(톤)으로 한 최적화용 모델을 작성하였고 최적화를 위해 유전 알고리즘을 적용하였다. 이 공장에서는 3가지 제품이 생산된다. 주요 생산품은 두 가지이나 제품 교체가 발생하는 저급 제품을싼 가격에 판매하므로 총 3가지 제품으로 볼 수 있다. 하지만, 제품별로 포장의 종류가 bulk 제품, 국내용 포장제품, 수출용 포장제품 등 3가지(저급제품은 포장 종류가 한 가지)이다. 이 산업체는 여러 가지의 포장 종류에 따른 수요가 늘어 납기일에 제품을 완성하는데 어려움을 겪고 있다. 본 연구에서는 정확한 모델링을 위해 현장 조업상황과 제약조건을 현실감 있게 구성하였고 이 모델을 바탕으로 최적의 생산일정을 찾아내는 S/W 프로그램을 개발하였다. 최적화에 사용된 유전알고리즘은 본 산업체의 공정특성을 최대한 반영하여 최적 해를 이끌어 내어 주었다. 그 결과 기존공정의 생산일정에 비해 50% 이상의 손실액 감소를 얻어내었다.

Abstract – This research is a development of useful S/W program for real industry about optimal product scheduling in real plant for manufacturing polymer products. For this, we used a fine model with total amount of losses in weight(ton) as an objective for optimal scheduling and a genetic algorithm for optimization in this factory they manufacture three different products. Major products are A and B but the product which can be process in the period of products change over. They also sells them as a chap product in market. The major products have several types of packing process-bulk, pack for domestic market, pack for export. The demands of product with each packing type are increased, and frequently they failed keep the deadline for sail. Based on realistic production situation, we composed a fine modeling for optimal scheduling. And we also develop a S/W program for optimal scheduling which can be used by non-specialist in scheduling problem. We used a modified genetic algorithm and it gave us a better solution in process. We can have a result of reducing the total amount of losses in weight by half compared with the losses when existing production schedule.

Key words: Genetic Algorithm, Program, Scheduling, Process, Optimization

1. 서 론

산업혁명 이후 현대적 의미의 대량생산 체제가 대두되어 제품의 단위 시간당 생산량 측면의 발전을 거듭해 오며 따라 산업구조도 단일품종 소량생산체제에서 대기업 중심의 양적 생산체제로 발전해 왔다. 하지만, 최근 화학공업산업에서는 제품의 수요가 늘어나긴 했으나 좀 더 다양하고 질적으로 우수한 제품을 원하는 경향이 나타

나게 되었다. 이러한 소비자의 욕구를 충족시켜 주기 위해서는 기존의 대기업 중심의 양적 생산체제로는 따라갈 수가 없다. 또한, 양적 생산체제는 질적인 향상보다는 같은 시간에 많은 제품을 목표로 하고 있기 때문에 다양한 제품을 생산하기보다 질 낮은 많은 양의 제품을 생산하여 왔다고 할 수 있다. 따라서, 다양한 제품과 질적으로 향상된 제품을 원하는 소비자들을 위해서는 회분식공정이 관심의 대상이 되고 있다. 또한, 이러한 질적인 향상을 위한 회분식 공정도 생산성 측면에서 연속공정의 좋은 점을 가져와 연속 회분식 공정의 양상을 띠게 됨으로써 다양한 제품과 기존의 대량 생산은

[†]To whom correspondence should be addressed.
E-mail: jhjung@yumail.ac.kr

아니지만 높은 생산성의 제품을 생산할 수 있는 공정이 필요하게 된 것이다.

즉 회분식 공정은 다양한 제품의 생산이 가능하다는 장점이 있기는 하지만 생산시간이 많이 걸린다는 단점을 가지고 있다. 또한 이러한 다양한 제품을 생산하는데 많은 생산경비가 소요되게 된다. 이로 인해서 생산시간을 줄이고 소요경비를 줄이는데 노력을 기울이게 되었다.

이러한 소요경비 절감의 노력들이 다양한 형태로 연구되어 왔다. 그중에서도 가장 먼저 연구되어져 온 것이 생산계획(production scheduling)이다. 생산계획이란, 생산해야할 여러 가지의 제품들을 주어진 장치설비에서 어떤 생산순서(production sequencing)로 생산할 경우 가장 효율적인 생산이 될 것인가 하는 것인데, 이러한 최적화 문제는 여러 가지 목적함수가 있겠으나, 그 중 모든 제품의 총 생산 완료시간인 makespan의 최소화를 사용하는 경우가 가장 많이 연구되어져 왔다.

회분식공정은 크게 다품종 회분식공정과 다목적 회분식 공정으로 나눌 수 있다. 다품종 회분식공정은 비슷한 같은 공정조업순서를 갖는 제품들을 생산하는 방법으로 이에 관한 많은 논문이 발표되어졌다. 하지만, 다품종 회분식공정은 주문 제품의 변화에 신속히 대처하기 어렵다는 단점을 가지고 있다. 이런 문제에 유연하게 대처할 수 있는 공정이 다목적 회분식공정이다.

본 연구에서는 이러한 회분식공정을 A사의 고분자제품 생산공정에 응용을 하여 최근 주문량이 늘어난 제품을 기존의 설비에서 가장 적은 손실을 가져오는 생산일정을 만드는 것에 목표로 하였다. A사는 늘어난 주문량을 고객이 원하는 납기일에 납품하여야 한다. 하지만, 납기일에 맞추지 못하는 경향이 생기기 시작하여 shortage 비용이 발생하기 시작하였고 또, 가동시간을 크게 늘어 생산량이 일시적으로 넘쳐 제고의 보관비용과 원료비용의 현금 유동성경직 및

그 이자비용이 발생한다. 이러한 비용의 절감은 A사의 경영 목표 중 가장 중요한 요소가 되기에 이르렀다. 이러한 문제를 해결하기 위해 생산일정을 계획하였고, 본 연구는 이러한 비용의 최소화를 위한 모델링을 수립하였고 또, 모델링을 정확하게 하는 것 이외에 더 중요한 최적의 생산일정을 찾기 위해서 기존의 유전알고리즘을 대상 공정에 맞게 수정하여 최적 해답을 이끌어내었다.

2. 본 론

2-1. A사의 고분자제품 생산공정의 modeling

A사의 고분자제품 공정은 세 가지의 제품을 생산한다. 시장에서 요구되는 제품은 두 가지이나 두 제품의 change over시 생기는 off spec 제품이 또 하나 생겨 저렴한 가격으로 시장에서 팔리고 있어 전체적으로 세 가지의 제품을 생산한다고 볼 수 있다. 제품의 수는 많지 않으나 수요가 많아 회분식공정으로 생산을 하는 상황이며 고객이 요구하는 납기일에 제품을 만들어 내기 위한 생산일정을 정하는 것에 많은 어려움을 가지고 있다. 또한, 생산되는 제품은 두 가지이나 포장방식이 각 제품마다 세 가지씩 존재한다. 또 change over시 생산되는 또 하나의 제품은 포장단위가 1가지이다. 그래서 총 6개의 제품이 된다. 이러한 이유 때문에 이 화학공정은 항상 제품의 납기일이 늦어 많은 손실을 입고 있다. 그래서 본 연구에서는 이러한 손실을 줄이기 위해 공정생산계획의 목적함수를 모델링하고 또 주어진 현장상황을 반영한 제약조건에 따라 유전알고리즘을 이용해 공정의 최적 생산일정을 만들어 내었다.

2-1-1. 대상공정

본 연구에서 모델링은 두 가지의 제품을 생산하는 다음 Fig. 1의 라인을 대상으로 하였다. 제품의 특정 이름을 제품 1, 제품 2라고 하였고 제품 1에서 제품 2로 바뀌는 change over시 생기는 제품은

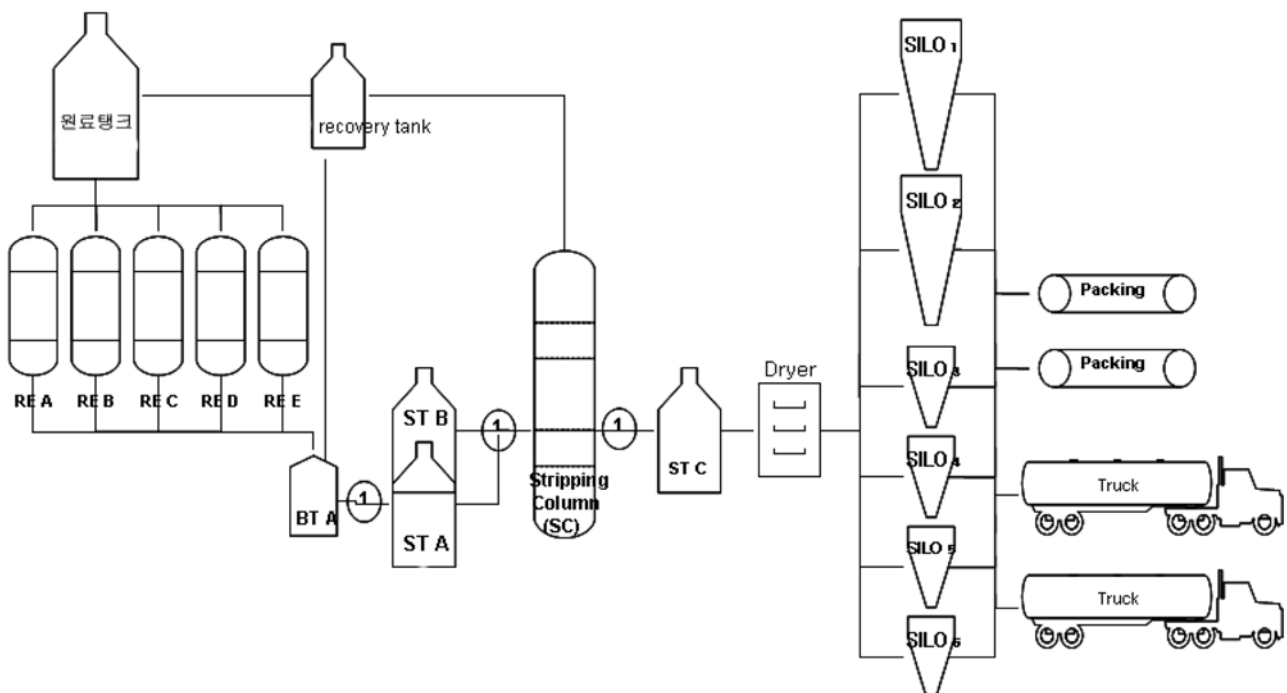


Fig. 1. Process flow chart of target process.

제품 3으로 정하였다. 제품의 생산공정은 Fig. 1에 나타내었다. 대 상공정은 원료탱크에서 반응기 A에서 반응기 E까지 다섯 개의 반 응기에 각각 원료가 투입이 되어 Fig. 1의 공정도에 따라서 제품이 흐르게 되어있다. 이렇듯 각 제품마다 일관화된 공정으로 생산이 되 므로 고분자제품 생산공정 전체를 하나의 unit으로 가정하였다. 또한, 원료는 원료탱크 공정에서 일정하게 공급되므로 원료가 충분 한 환경에서 조업된다고 가정할 수 있다. 그리고 반응기는 회분식 반응기로 각 batch에서 서로 다른 제품을 생산할 경우 grade change 가 고려되었다. 모든 조업이 끝난 제품은 저장의 단계를 거치게 되 는데 이 저장은 silo와 야적의 형태로 저장이 가능하며 야적을 하기 위해서는 silo를 반드시 거쳐 포장이 이루어져야 만이 가능하게 된 다. 야적이란 제품이 대량으로 판매하기 위해 미리 silo에서 포장을 하여 창고와 같은 시설에 보관하는 것을 말한다. Silo의 size는 150 ton × 2개와 75 ton × 6개로 이루어져 있다. 그러나 일반적으로 야적형태의 제품 수요는 silo의 이 모든 양을 합한 것보다 더 많은 양을 필요로 하게 된다. 또한, 하루에 포장을 할 수 있는 양이 정해 져 있어 한꺼번에 포장을 하여 납기일을 맞추기란 불가능하다. 이 러한 제품의 납기일을 맞추기 위해서는 미리 silo에서 출하하는 제 품의 양을 감안해서 다른 납기일에 늦지 않을 정도의 양을 지속적 으로 포장하여야 한다. 특히 이러한 야적형태의 대량 제품 수요는 수출이 대부분을 차지하기 때문에 하루라도 늦어지게 되면 총량에 대한 배상이 요구되어 내수로 생기는 이익보다 더 큰 비용 손실을 가져 올 수가 있게 된다. Silo와 야적의 형태 외에도 각 제품마다 3가지 형태의 포장형태를 가지며, 각 형태의 특성에 따라 출하 방식 이 정해져 있다. 제품 포장의 형태는 국내 판매용인 bulk 제품, 국 내 판매용의 포장, 수출용 포장이 있다. 여기서 bulk 제품이란 silo 에서 바로 제품을 포장하지 않은 상태의 제품을 말한다. 이러한 bulk 의 판매는 지정된 곳에서 일정량을 하루 혹은 이를 단위로 구매를 하는 것으로 이 또한 많은 양을 차지하지만 양이 많은 관계로 납기 일에 바로 출하하는 것이 아니고 납기일까지 하루 혹은 이를 단위 로 조금씩 물건을 가져가는 형태를 취한다. 이러한 대상공정을 가 지고 최소 환산 손실액을 목적함수로 정하고 program을 하였다.

2-1-2. 공정의 제약조건

모델링에 적용이 되어진 공정상의 제약조건들을 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 대상공정에서는 현재 평균적으로 해외 수출 총량의 90% 정 도만을 정확한 납기일에 제품을 수출 한다고 하였다. 이것은 모든 제품의 출하를 수출에만 초점을 두는 것이 아니라 비록 수출이 늦 어지는 현상이 발생을 하더라도 내수에도 중요성을 둔다는 것을 의 미한다. 따라서 모델링에서도 손실액을 책정 할 때 수출에 다소 높 은 비중을 두나 너무 높은 비중이 편중되지 않도록 한다. 수출의 shortage cost는 판매되는 제품의 총량의 10%와 수출용 컨테이너 사 용 환산치인 제품 총량의 5.8%를 더한 값이며 내수 shortage cost인 경우는 bulk는 판매되는 총량의 5% 포장 제품은 판매되는 총량의 20%로 환산한다.

둘째, 제품이 3달 이상 판매하지 못하여 지연이 되면 제품의 질 이 떨어져 원래의 가격보다 크게싼 값으로 판매되므로 재고 량은 3달 이상 가지 않도록 제약조건 변수를 준다.

셋째, 생산량은 460 ton/day이다. 또한, silo의 총량이 하루의 생산 량과 거의 비슷한 수치가 되어 silo 내에서 bulk의 수요가 없이 생 산만이 될 경우 더 이상 silo에 제품을 저장하는 것이 불가능하게

된다. 또한, 이러한 현상이 발생 하였을 경우 제품의 포장속도를 최 대로 하여 새로운 제품이 silo에 저장이 되도록 한다. 하지만, 제품 의 포장속도 보다 생산속도가 빨라 silo에 저장이 불가능 해 질 경 우 제품의 생산을 중단하도록 하였다.

넷째, 포장작업을 하는 시간은 하루 16시간 이하이다. 이것은 회 사 측에서도 야간의 작업을 할 경우 잦은 사고로 인해서 야간작업 을 하지 않도록 되어있기 때문이다. 모델링에서는 시간대별로 제품 의 포장을 하도록 프로그램 되어있다. 따라서 야간에는 제품의 포 장이 일어나지 않고 제품의 생산만을 일어나도록 하였다. 이렇게 함 으으로써 제품이 시간별로 silo에 쌓이는 양이나 제품이 야적되어있는 현황을 그리고 제품이 출하될 경우 발생하는 시간대를 결정 할 수 있게 하였다.

다섯째, 제품 1에서 제품 2로 교체가 될 경우 이에 생기는 grade 는 제품 3으로 하여 다른 제품 1과 2와는 차별적으로 저장 판매하 도록 한다. 또한, 제품의 교체에는 시간적 손실이 발생하지 않는다. 그리고 이러한 제품 3은 회사 측에서 포장은 하지 않고 bulk로만 출 하가 된다. 이 또한 모델링에서 일정한 수율을 책정하여 제품이 출 하되고 따로 silo를 정하여 저장을 하도록 한다. 그리고 제품 교체 될 때 발생하는 시간은 제품 3으로 만들어지도록 하였다. 하지만, 제품 1과 제품 2와 큰 차이를 보이지 않기 때문에 만약에 제품 3의 출하 양이 부족하게 되면 제품 1을 대신해서 출하를 하도록 하였다.

여섯째, 대부분 제품의 주문은 대량으로 발생을 하기 때문에 한 번 에 출하하는 형태는 거의 없다. 이러한 현상은 내수에서만 발생 하 도록 하였다. 국외수출은 한꺼번에 배와 같은 운송수단으로써 일어 나기 때문에 아무리 많은 양이라도 가능하나 운송수단이 트럭인 국 내 주문에서는 주문량이 적게는 50 ton 많게는 400 ton씩 발생하는 양을 하루에 수송하는 것은 불가능하다. 따라서 제품의 출하형태는 제품의 주문일로부터 제품의 납기일 동안 조금씩 발생을 하여야한다. 이것은 데이터를 입력하는 부분에서 분할을 시켜주도록 하였다.

2-1-3. 목적함수

공정의 모델링에서는 납기일 지연으로 인한 손실액(shortage cost) 과 재고비용이 고려를 되어있다. 여기서 재고비용은 야적과 silo의 저장시 발생하는 비용이 고려되었고 납기가 지연되었을 경우 수출 의 컨테이너 대여의 비용도 누적비로 적용이 되었다.

대상공정의 목적함수들을 살펴보면 이익은 (1)식에서 나타내었다.

$$(이익) = (판매액) - (원료비) - (납기지연비용) - (재고비용) \quad (1)$$

이익이 이외에도 위에 표시된 몇 가지 이외에도 많은 부분이 있 겠지만 다른 기타의 부분(노동비, 전기세, 세금 등)은 거의 동일하 게 지출이 되므로 목적함수에서는 제외 시켰다. 판매액은 총 생산 량을 기준으로 하였다. 또 위의 (1)식에서 사용된 비용은 납기지연 비용이나 재고비용을 산정하기 어렵고 이 부분의 산정은 지극히 주 관적인 수밖에 없다. 그래서 본 연구에서는 모든 비용을 최종 생산 품의 양으로 환산한 비용가격 값으로 수정하여 사용하였다. 즉 (1) 식을 다음 (2)식과 같이 수정되었다.

$$\text{목적함수: Min(최종손실액에 해당하는 생산물의 ton 수)} = (\text{판매액에 해당하는 생산물의 ton 수}) - (\text{납기지연비용에 해당하는 생산물 ton 수}) - (\text{재고비용에 해당하는 생산물의 ton 수}) \quad (2)$$

2-1-3-1. 납기 지연 비용

납기 지연 비용에 사용된 식들을 살펴보면 다음 (3)식, (4)식, (5)

식과 같다.

각 제품별 납기지연 비용 계산식들은 다음과 같다.

내수 bulk: (생산물의 ton 수) 5%에 해당하는 금액 × 지연기간 (3)

내수 포장: (생산물의 ton 수) 20%에 해당하는 금액 (4)

수출 포장: (생산물의 ton 수) 10%에 해당하는 금액 × 지연기간 (5)

납기지연 식들을 살펴보면 먼저 국내수출 중에서 bulk로 판매가 되는 것은 200 ton의 주문량이 있을 경우 한번에 20 ton이나 30 ton 씩 하루 혹은 이를 단위로 납기일이 생성 되게 한다. 따라서 이것이 지연될 경우 납기일이 아직 지나지 않았으면 그날 가져가야 할 양이 출하되는 날까지 계산을 해서 지연량에 지연기간을 곱하여 계산 하되 그 손실액은 지연된 양의 5%로 하였다. 그리고 내수 포장 일 경우는 납기일에 모든 주문량이 한꺼번에 나가는 형식을 취한다. 이것을 한 달씩 계약을 하는 소비자가 아니라 매일 혹은 며칠 내에 갑자기 생성을 하는 주문량이 된다. 만약 이러한 국내 포장의 주문량이 늦어졌을 경우 소비자는 다른 회사의 제품을 구매하기 때문에 손실액은 한꺼번에 처리가 되며 생산한 비용을 감안해서 총 양과 더불어 20%의 손실을 가지도록 하였다. 마지막으로 수출 포장의 경우는 먼저 국내 판매의 손실액보다 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타난다. 하지만, 판매량을 비교해보면 국내의 bulk보다 약 10배 정도 차이가 나므로 여기서 지연량의 10%로 손실비용을 처리하였다. 이것은 내수와 같은 손실비용이지만 그 양이 많이 상당히 많은 비용이 손실액으로 나타나있다.

2-1-3-2. 재고 비용

재고 비용에 사용된 식들을 살펴보면 다음 (5)식, (6)식, (7)식과 같다.

Silo 재고비: Silo 재고액의 이자(연 5%)에 해당하는 금액 (5)

야적 재고비: 야적 재고액의 이자(연 5%)에 해당하는 금액 (6)

수출 재고비: 재고된 상품의 물류비(18%) 중 창고비(30%)에 해당하는 금액 (7)

재고 비용은 크게 두 가지로 분류를 하였다. 하나는 공장 내의 부지에 보관하는 경우와 수출을 목적으로 항구에 보관하는 경우이다. 공장 내에 재고를 하는 경우는 silo와 공장 내 부지에 야적의 두 가지 형태를 가진다. 이 두 가지 형태 모두 제품을 쌓아둔다고 해서 공장에 큰 손실을 가져오는 일은 없다고 한다. 또한, 포장의 야적을 위한 공장의 부지는 충분히 넓기 때문에 재고비용의 손실액이 없다고 해도 상관이 없어진다. 하지만, 두 번째 형태인 수출 재고비일 경우에는 먼저 수출을 위해서 공장 내에 야적을 하겠지만 수출 납기일이 다가를 경우 항구에 부지를 빌리거나 컨테이너와 같은 창고의 사용비가 부담이 되게 된다. 이러한 이유로 만약에 수출의 납기일에 늦어질 경우 이미 빌려놓은 부지와 컨테이너의 임대비가 계속적으로 누적되는 현상이 발생한다. 이것은 공장 측에서도 상당한 손실을 가져오게 된다. 하지만, 늦추어지지 않고 제시간에 제품이 출하가 될 경우에는 누적되는 비용이 없다고 생각해서 수출의 재고비는 수출의 납기일이 늦어 질 경우만 발생을 한다고 가정한다.

2-1-4. Modeling 결과

본 모델링은 Turbo C로 구성이 되어져 있고 출력의 형태는 text

제품시작날	마지막날	수출(1)내수(2)	제품종류	포장(1)bulk(2)	양
1	13	1	1	1	2000
10	20	1	1	1	1000
17	29	1	1	1	2700
3	16	1	2	1	1200
15	30	1	2	1	1200
1	1	2	1	2	50
2	2	2	1	2	100
3	3	2	1	2	50
3	3	2	2	2	30
4	4	2	1	2	50
4	4	2	2	2	30
4	4	2	1	1	4
5	5	2	1	2	100
5	5	2	2	1	1
6	6	2	1	2	150
6	6	2	1	1	3
7	7	2	2	1	2
7	7	2	2	2	60
8	8	2	1	2	100
8	8	2	1	1	3
8	8	2	2	2	60
9	9	2	1	2	50
9	9	2	2	2	60
10	10	2	1	2	200
10	10	2	1	1	2
10	10	2	2	2	30
11	11	2	1	2	50
11	11	2	2	1	1
11	11	2	2	2	60
12	12	2	1	2	100
12	12	2	1	1	2
12	12	2	2	2	15
13	13	2	1	2	150
13	13	2	2	2	45
14	14	2	1	2	50
14	14	2	1	1	1

Fig. 2. Input data (order data).

file로 출력되도록 하였다. 그리고 입력해야하는 data들은 먼저 주문의 형태와 생산일정을 입력 해야 한다. 한 달간의 주문량 예를 기준으로 먼저 대상공정의 data들로부터 주문일정을 Fig. 2와 같이 구성을 하였다.

Fig. 2는 입력하는 data를 excel로 불러들여서 제 구성한 그림이다. 이러한 주문이 시작한 날을 기준으로 마지막 날은 납기일을 의미한다. 그리고 수출과 내수 결정이 되어야 하고 제품의 종류도 결정이 되어있어야 한다. 그리고 포장의 형태, 출하량을 입력 data로 써 필요로 하게 된다. 또한, 입력되어야할 data들로서 위에 주문 data 외에도 생산일정의 data가 필요하다. 이것 역시 text file로 입력이 되나 이것을 그림으로 나타낸다면 Fig. 3과 같이 나타낼 수가 있다.

생산일정은 먼저 기존의 대상공정에서 사용하는 방법을 재현해보았다. 즉 주문일정에 상관없이 무조건 적으로 제품 1을 5일 생산하고 제품 2를 2일 생산을 하는 것이다. Fig. 3에서는 총 60개의 칸이 나타나있다. 이것은 프로그램 내에서는 batch의 시간이 12시간인 것을 감안하여 생산시간 최소단위를 1/2일로 하였다.

이렇게 두 개의 data를 입력 하게 되면 먼저 DOS 화면에서 프로그램이 실행되면서 일어나는 손실액과 기타 필요한 사항들이 Fig. 4와 같이 출력 된다.

먼저 최종적으로 생기는 손실액을 최종 penalty로 나타내었다. 이 최종 penalty의 기준은 한 달간의 총 생산량인 460 ton × 30일 = 13,800 ton/day를 기준으로 4,849라는 값을 나타내는 것이다. 그리고 최종 손실액 중에서 국내 주문이 늦어져서 생기는 손실액을 내수 penalty로 그리고 국외의 주문이 늦어져서 생기는 손실액을 수출 penalty 마지막으로 재고 비용을 누적 penalty로 나타내었다. 그리고 여기서 factor 값이란 것이 나타나게 된다. 이것은 프로그램 내에서



Fig. 3. Input data (schedule data).

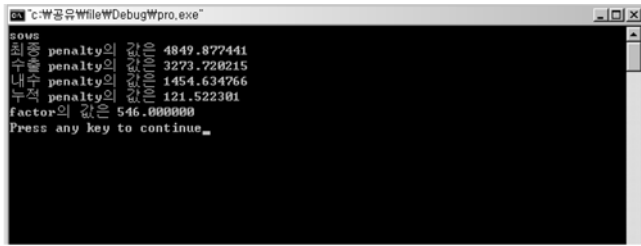


Fig. 4. DOS form output.

임의로 silo의 재고량이 한계가 되어 생산이 중지되게 되는 현상을 방지하기 위해서 비록 주문 일정이 시작되지 않거나 주문이 없는 상태에서도 factor 값이 감소하게 되면 silo의 재고비율을 낮추어 주기 위해서 프로그램 내에서 임의로 그 양을 조절해주는 역할을 하게 된다. 이 값은 프로그램이 실행되는 과정에서 만약 어떤 특정한 날에 silo에 제품이 더 이상 쌓일 수 없게 되었을 때 자동적으로 주문일정과는 무관하지만 포장의 비율을 높여서 생산을 중단하는 현상을 방지하도록 하였다. 출력 화면에서 가장 좋은 factor 값은 1,000이다. 이것은 더 이상 강제적으로 포장을 늘릴 필요가 없다는 것을 의미하게 된다. 하지만, factor 값이 1이 되게 되면 아무리 강제적으로 포장을 늘려도 silo가 더 이상 제품을 쌓아둘 수가 없는 일이 발생한다는 것을 의미한다. 이렇게 DOS 창으로 가장 기본적인 손실액을 나타나게 하고 text file로써 나머지 많은 값들을 출력하도록 하였다. 출력의 형태는 총 7가지의 형태를 나타낸다. 그 첫 번째로 Fig. 5에 나타난 제품 1이 bulk로 빠져나가는 양이며 두 번째로 Fig. 6의 제품 2가 bulk로 빠져나가는 양을 나타낸 data 값들이다.

그리고 세 번째 Fig. 7은 제품 1, 네 번째 Fig. 8은 제품 2의 포장형 출하량을 각각 나타낸 것이다. 이 data는 매일 빠져나가는 양을 확인이 가능하도록 하였다. 각 data의 단위는 ton이다.

파일(F)	편집(E)	서식(O)	보기(V)	도움말(H)
1	1	제	1	50.000000
2	1	제	1	100.000000
3	1	제	1	50.000000
4	1	제	1	50.000000
5	1	제	1	100.000000
6	1	제	1	150.000000
7	1	제	1	0.000000
8	1	제	1	100.000000
9	1	제	1	50.000000
10	1	제	1	200.000000
11	1	제	1	50.000000
12	1	제	1	100.000000
13	1	제	1	150.000000
14	1	제	1	0.000000
15	1	제	1	100.000000
16	1	제	1	100.000000
17	1	제	1	50.000000
18	1	제	1	100.000000
19	1	제	1	100.000000
20	1	제	1	100.000000
21	1	제	1	0.000000
22	1	제	1	100.000000
23	1	제	1	100.000000
24	1	제	1	50.000000
25	1	제	1	0.000000
26	1	제	1	200.000000
27	1	제	1	150.000000
28	1	제	1	11.538406
29	1	제	1	212.307693
30	1	제	1	126.153900

Fig. 5. bulk pack data of Product 1.

파일(F)	편집(E)	서식(O)	보기(V)	도움말(H)
1	2	제	2	0.000000
2	2	제	2	0.000000
3	2	제	2	0.000000
4	2	제	2	0.000000
5	2	제	2	0.000000
6	2	제	2	60.000000
7	2	제	2	60.000000
8	2	제	2	60.000000
9	2	제	2	60.000000
10	2	제	2	0.000000
11	2	제	2	0.000000
12	2	제	2	0.000000
13	2	제	2	180.000000
14	2	제	2	30.000000
15	2	제	2	10.000000
16	2	제	2	10.000000
17	2	제	2	0.000000
18	2	제	2	0.000000
19	2	제	2	0.000000
20	2	제	2	160.000000
21	2	제	2	60.000000
22	2	제	2	40.000000
23	2	제	2	20.000000
24	2	제	2	0.000000
25	2	제	2	0.000000
26	2	제	2	0.000000
27	2	제	2	280.000000
28	2	제	2	60.000000
29	2	제	2	60.000000
30	2	제	2	0.000000

Fig. 6. bulk pack data of Product 2.

파일(F)	편집(E)	서식(O)	보기(V)	도움말(H)
1	1	제	1	320.000000
2	1	제	1	590.000000
3	1	제	1	810.000000
4	1	제	1	1080.000000
5	1	제	1	1310.000000
6	1	제	1	1530.000000
7	1	제	1	1550.000000
8	1	제	1	1870.000000
9	1	제	1	2060.000000
10	1	제	1	2274.755371
11	1	제	1	2299.510742
12	1	제	1	2514.266113
13	1	제	1	2639.021484
14	1	제	1	500.000488
15	1	제	1	760.000488
16	1	제	1	720.909546
17	1	제	1	989.510925
18	1	제	1	1218.112305
19	1	제	1	1426.713623
20	1	제	1	1615.314941
21	1	제	1	650.000366
22	1	제	1	880.000366
23	1	제	1	1100.000366
24	1	제	1	1267.692627
25	1	제	1	1415.384888
26	1	제	1	1623.077148
27	1	제	1	1650.769409
28	1	제	1	1688.461670
29	1	제	1	1796.153931
30	1	제	1	1656.153931

Fig. 7. Inventory of product 1.

또 다섯 번째와 여섯 번째는 제품 1과 2의 silo가 아닌 공장 내의 부지에 누적되는 재고량의 data를 나타낸 Fig. 9, 10이다. 그리고 마지막으로 Fig. 11은 Silo에 누적되는 양들을 각 시간별로 필요한 silo의 개수를 나타낸 data이다. 이러한 data를 이용해서 가상으로 어떤 특정 시점에서의 재고량, silo의 사용개수 등을 자세하게 알아 수가 있다.

파일(F)	편집(E)	서식(O)	보기(V)	도움말(H)
1	제	2에 대한	제	고
2	제	2에 대한	제	고
3	제	2에 대한	제	고
4	제	2에 대한	제	고
5	제	2에 대한	제	고
6	제	2에 대한	제	고
7	제	2에 대한	제	고
8	제	2에 대한	제	고
9	제	2에 대한	제	고
10	제	2에 대한	제	고
11	제	2에 대한	제	고
12	제	2에 대한	제	고
13	제	2에 대한	제	고
14	제	2에 대한	제	고
15	제	2에 대한	제	고
16	제	2에 대한	제	고
17	제	2에 대한	제	고
18	제	2에 대한	제	고
19	제	2에 대한	제	고
20	제	2에 대한	제	고
21	제	2에 대한	제	고
22	제	2에 대한	제	고
23	제	2에 대한	제	고
24	제	2에 대한	제	고
25	제	2에 대한	제	고
26	제	2에 대한	제	고
27	제	2에 대한	제	고
28	제	2에 대한	제	고
29	제	2에 대한	제	고
30	제	2에 대한	제	고

Fig. 8. Inventory of product 2.

파일(F)	편집(E)	서식(O)	보기(V)	도움말(H)
1	제	2에 대한	제	고
2	제	2에 대한	제	고
3	제	2에 대한	제	고
4	제	2에 대한	제	고
5	제	2에 대한	제	고
6	제	2에 대한	제	고
7	제	2에 대한	제	고
8	제	2에 대한	제	고
9	제	2에 대한	제	고
10	제	2에 대한	제	고
11	제	2에 대한	제	고
12	제	2에 대한	제	고
13	제	2에 대한	제	고
14	제	2에 대한	제	고
15	제	2에 대한	제	고
16	제	2에 대한	제	고
17	제	2에 대한	제	고
18	제	2에 대한	제	고
19	제	2에 대한	제	고
20	제	2에 대한	제	고
21	제	2에 대한	제	고
22	제	2에 대한	제	고
23	제	2에 대한	제	고
24	제	2에 대한	제	고
25	제	2에 대한	제	고
26	제	2에 대한	제	고
27	제	2에 대한	제	고
28	제	2에 대한	제	고
29	제	2에 대한	제	고
30	제	2에 대한	제	고

Fig. 10. Package pack data of product 1.

파일(F)	편집(E)	서식(O)	보기(V)	도움말(H)
1	제	2에 대한	제	고
2	제	2에 대한	제	고
3	제	2에 대한	제	고
4	제	2에 대한	제	고
5	제	2에 대한	제	고
6	제	2에 대한	제	고
7	제	2에 대한	제	고
8	제	2에 대한	제	고
9	제	2에 대한	제	고
10	제	2에 대한	제	고
11	제	2에 대한	제	고
12	제	2에 대한	제	고
13	제	2에 대한	제	고
14	제	2에 대한	제	고
15	제	2에 대한	제	고
16	제	2에 대한	제	고
17	제	2에 대한	제	고
18	제	2에 대한	제	고
19	제	2에 대한	제	고
20	제	2에 대한	제	고
21	제	2에 대한	제	고
22	제	2에 대한	제	고
23	제	2에 대한	제	고

Fig. 9. Silo use number data by time.

파일(F)	편집(E)	서식(O)	보기(V)	도움말(H)
1	제	2에 대한	제	고
2	제	2에 대한	제	고
3	제	2에 대한	제	고
4	제	2에 대한	제	고
5	제	2에 대한	제	고
6	제	2에 대한	제	고
7	제	2에 대한	제	고
8	제	2에 대한	제	고
9	제	2에 대한	제	고
10	제	2에 대한	제	고
11	제	2에 대한	제	고
12	제	2에 대한	제	고
13	제	2에 대한	제	고
14	제	2에 대한	제	고
15	제	2에 대한	제	고
16	제	2에 대한	제	고
17	제	2에 대한	제	고
18	제	2에 대한	제	고
19	제	2에 대한	제	고
20	제	2에 대한	제	고
21	제	2에 대한	제	고
22	제	2에 대한	제	고
23	제	2에 대한	제	고
24	제	2에 대한	제	고
25	제	2에 대한	제	고
26	제	2에 대한	제	고
27	제	2에 대한	제	고
28	제	2에 대한	제	고
29	제	2에 대한	제	고
30	제	2에 대한	제	고

Fig. 11. Package pack data of product 2.

3. 대상공정의 최적 생산일정을 얻기 위한 유전 알고리즘(유전 알고리즘)의 개발

3-1. 유전 알고리즘(유전 알고리즘)

자연도태(natural selection)와 자연 유전학(natural genetics)의 역학에 기초를 둔 유전 알고리즘(genetic algorithm)은 Holland(1975)

회계공학 제44권 제2호 2006년 4월

에 의해 도입되었고 자연계의 적응과 진화를 인공적으로 modeling 할 수 있도록 개발되어졌다. 이 유전알고리즘은 여러 개의 peak를 가진 탐색공간(multimodal search space)에서 병렬탐색을 하기 때문에 잘못된 피크를 찾을 확률을 낮추어 줄 수 있다. 또한, 최적해에 대한 발견속도를 증가시키고 복잡한 탐색공간에서 지역 최적해에서

벗어나는 것을 도와주기 때문에 효율적이고 강건한 검색 기법으로 주목을 받고 있는 최적화 기법이다.

이 유전 알고리즘은 게임이론에서부터 기계설계까지 다양한 응용에서 널리 사용되어지고 있다. Goldberg(1978a, 1987b)는 천연가스 pipeline 최적화 문제에 유전 알고리즘을 적용한 바가 있으며, Krishnakumar과 Goldberg(1992)는 제어시스템에 대한 최적화에 유전 알고리즘을 적용한 바 있다.

유전 알고리즘은 인공 개체에 집단 속에서 적자의 생존을 수행하며 매 세대마다 새로운 개체의 집단을 부모집단의 유전자 재조합과 돌연변이에 의해 재생하는 구조를 이루고 있다. 이러한 구조는 확률적인 기원의 결과로부터 기인하는 전역탐색 기법을 이룰 수 있기 때문에 전통적인 최적화 알고리즘의 큰 단점 중 하나인 지역 탐색을 극복할 수 있다. 그러나 이 방법은 단순한 무작위 탐색 방법이 아니고 높은 성능 향상 확률을 가지고 탐색 공간의 새로운 영역을 탐험하기 위해 빠르고 효과적으로 과거의 정보를 활용하게 된다.

유전 알고리즘은 기존의 최적화 방법에 비해 몇 가지 차이점을 가지고 있다.

첫째, 유전 알고리즘은 매개변수(parameter) 자체를 이용하여 탐색하지 않고 매개변수 집합(parameter set)의 펠친 열(coding)을 이용하여 탐색하게 된다. 유전 알고리즘은 매개변수 집합 내에서는 어떻게 조합되는지 관계하지 않고 단지 출력되는 함수의 값만을 이용한다. 이렇게 만들어진 여러 개의 개체, 즉 매개변수집합 코드들을 적절한 확률적인 전이(transition)방법을 이용하여 원하는 목적 함수에 보다 적합한 인자를 선별하고 번식시켜 감으로써 효과적이고 빠르게 탐색을 수행한다. 이렇게 유전 알고리즘이 매개변수코드를 사용하여 탐색을 하므로, 다른 최적화 방안들의 제약점이 되어왔던 함수의 연속성(continuity), 미분 값의 존재, 단일 peak(unimodality) 등에 구축을 받지 않는 장점을 가지게 된다.

둘째, 유전 알고리즘은 한 점만을 이용하는 것이 아니고 동시에 여러 점을 이용하여 탐색한다. 많은 최적화 방법들은 한 점으로부터 일정한 전이규칙(transition rule)을 통해 다른 한 점으로 이동하여 간다. 이러한 방법은 극 값(optimum)이 여러 개 존재할 때 초기 값의 설정에 따라 궁극적인 최적치(global optimum)가 아닌 지역적 최적값(local optimum)을 유도할 수 있는 위험성이 내포되어 있다. 반면, 유전 알고리즘은 여러 개의 매개변수 펠친 열(parameter coding)을 이용하여 동시에 찾아가므로 기존의 방법들보다 전역 최적 값(global optimum)에 도달할 확률이 매우 크다, 이러한 동시성은 유전 알고리즘의 강인성을 보장해 주는 요인이기도 하다.

셋째, 유전 알고리즘은 목적함수의 미분이나, 그 외의 수학적인 보조지식을 필요로 하지 않고 단지 목적함수의 값만을 이용한다. 많은 최적화 방법들은 탐색 과정을 통해 수학적인 지식을 필요로 한다. 예를 들면, 기울기에 의존하는 방법(gradient method)들은 최적 값에 도달하기 위해 미분 값을 보조지식으로 알아야 한다. 하지만, 유전 알고리즘은 미분 값과 같은 보조지식이 전혀 필요하지 않다. 단지 더욱 좋은 값을 효과적으로 찾아가기 위해 각 인자 열들의 목적함수 값만을 필요로 하게 된다.

넷째, 유전 알고리즘이 인과적인 방법(deterministic rule)을 이용하지 않고 확률적인 전이 방법(probabilistic transition rule)을 이용한다는 점이다. 유전 알고리즘은 탐색공간을 찾아가는 안내자 역할을 하는 도구로서 무작위 선택(random choice)이라는 확률적인 방법을 이용한다. 이것은 소위 단순한 무작위 탐색 방법(random search

method)과는 달리 무작위 선택을 통한 진화를 의미한다.

이러한 유전 알고리즘이 많은 분야에서 시도되어지고 있는 이유 중에는 상이한 여러 영역의 문제에 대해서도 그 해를 찾기 위해 필요한 효율성과 유효성 사이의 균형을 나타내는 강건성(robustness)이 강하다는 점이 있다. 이러한 강건성은 주어진 문제의 환경이 변함에 따라 각종 제어조작변수들의 변동과 같은 재설계의 필요성을 줄일 수 있는 장점을 제공해 준다.

유전 알고리즘은 이진 혹은 십진수로 구성된 고정된 길이의 스트링을 취급하기 때문에 그들은 파라미터의 연속성과 목적함수에 대한 미분 가능성을 필요로 하지 않는다. 많은 최적화 기법들은 n 유전 알고리즘 tive gradient direction과 같은 탐색 방향 결정 규칙을 사용하면서 하나의 위치에서 다음 위치로 이동한다. 이러한 직렬 탐색은 여러 개의 피크(peak)를 가지는 탐색 공간(multimodal search space)에서 잘못된 피크를 찾을 수 있기 때문에 종종 global 최적해를 찾지 못하게 된다. 그러나 여러 개의 피크를 동시에 찾기 위하여 병렬탐색을 하기 때문에 잘못된 피크를 찾을 확률을 낮출 수 있게 된다. 이러한 유전 알고리즘의 병렬탐색은 최적해에 대한 발견속도를 증가시키고 복잡한 탐색 공간에서 지역 최적해에서 벗어나는 것을 도와준다. 유전 알고리즘의 이러한 개념들은 Fig. 12에서 보인 유전 알고리즘의 흐름도의 순서에 따라 재생, 교배 및 돌연변이 3

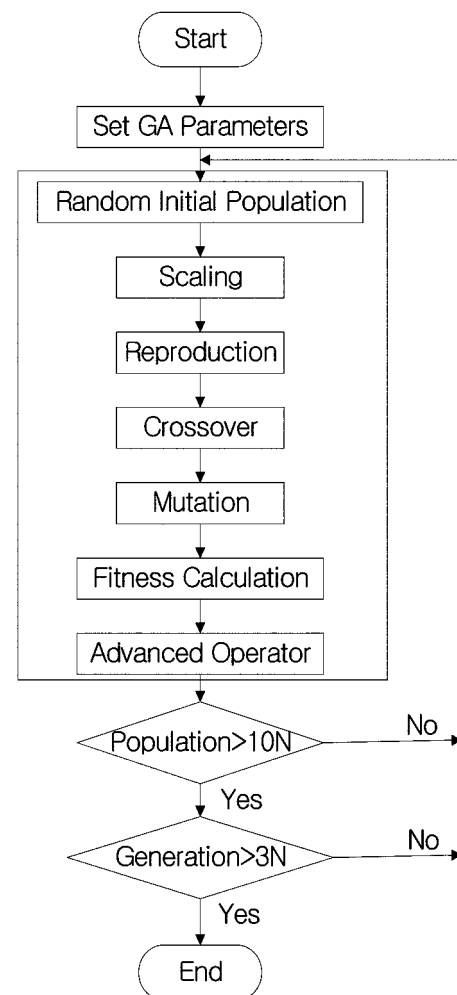


Fig. 12. Genetic algorithm flowchart.

개의 연산자에 의해 수행된다.

3-1-1. 재생 연산자(reproduction operator)

재생 연산자는 자연도태를 인공적으로 구현한 것으로서, 새로운 개체를 재생하기 위해 부모 집단으로부터 적자생존 규칙에 따라 부모를 선택한다. 이를 위해 비대체 추계론적 잔류선택(stochastic remainder selection without replacement)방법에 의한 재생연산을 수행하는데, 이는 각 개체의 기대값(expected value) 정수부분 만큼의 개체를 교배장(mating pool)으로 복사하고, 남아있는 집단의 부분은 그들의 기대값의 소수부를 이용하면서 가중치를 가진 동전 던지기의 수행에 의해 선택된다.

재생 연산자에서는 선택될 부모 개체의 수에 대한 조정이 특히 중요하다. 만일 전형적인 선택 규칙을 따른다면 비정상적인 적합도를 가지는 개체는 한 세대의 유한집단에서 큰 비중을 차지할 것이다. 이것은 조속한 수렴(premature convergence)이나 평균 적합도가 최대 적합도에 가까울 경우 각 개체의 적합도에 대한 무차별화(indiscrimination)의 가능성을 유발할 수 있다. 이러한 문제로 인해 재생 연산자에서는 비슷한 크기의 적합도를 가진 개체들을 차별화하기 위해 적합도 스케일링(scaling)이 필요하게 된다.

유전 알고리즘에서 통상적으로 사용되는 선형 스케일링은 극소수의 열등개체가 집단의 평균적합도 보다 상당히 작을 경우 음수의 스케일 된 개체가 나타나는 문제점을 가지고 있기 때문에 본 연구에서는 S 형태의 sigmoid scaling을 사용하였다. Sigmoid scaling은 다음과 같은 함수를 이용하여 행해지는데,

$$f = \frac{2}{1 + \exp(-\lambda \cdot x)} \quad (8)$$

여기서 λ 는 스케일 된 적합도의 최대값을 결정하는 기울기로서, 다음 식으로 정의되어진다.

$$\lambda = -\frac{\ln\left(\frac{2 - f'_{\max}}{f'_{\max}}\right)}{x_{\max}} \quad (9)$$

여기서 f'_{\max} 는 1.2와 1.9 사이에서 정해주는 값으로서 본 연구에서는 1.5로 선택되어졌다. 여기서 사용되어지는 x 는 편차 적합도로서, 각 string의 적합도에서 그 세대의 평균 적합도를 뺀 값으로 (10)식과 같이 정의되어진다.

$$x = (f - f_{\text{avg}}) \quad (10)$$

따라서, 스케일된 적합도의 평균값을 1로 정의함으로써 스케일된 적합도를 각 개체의 기대값으로 전환시킬 수 있다. 유전 알고리즘에서 재생에 대한 기대값의 의미는 교배를 위한 개체의 선택횟수이다. 예를 들면, 한 개체의 적합도가 30이고 그 세대의 평균적합도가 20이라면, 그 개체의 기대치는 1.5이다. 즉, 그 개체는 한번 선택되고, 교배된다. 마지막으로, 잔여선택 가능성은 0.5이다. 이러한 스케일링을 사용하는 경우 이전의 선형스케일링에서는 어려웠던 문제였던 최대화 문제를 최소화 문제로 바꾸는 과정이 간단히 앞에 (-)부호를 붙임으로써 이루어질 수 있다. 적합도 스케일링에 사용된 sigmoid scaling 함수는 Fig. 13과 같다.

3-1-2. 교배 연산자(Crossover Operator)

교배 연산자는 부모 세대보다 더 나은 후손을 생산하기 위해 부

1.995055

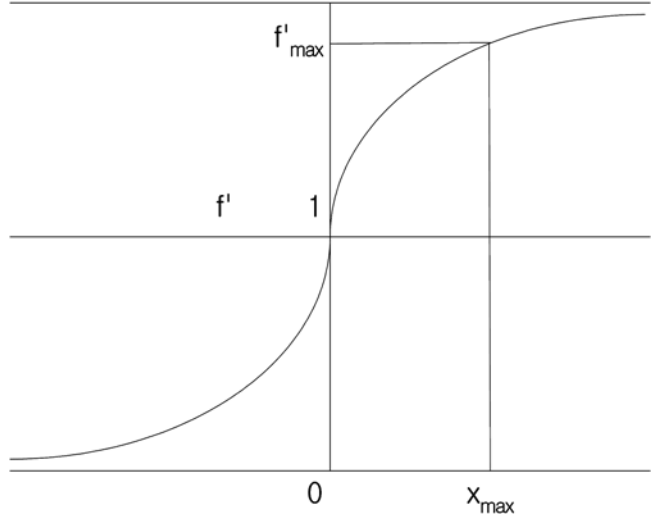


Fig. 13. Sigmoid scaling function.

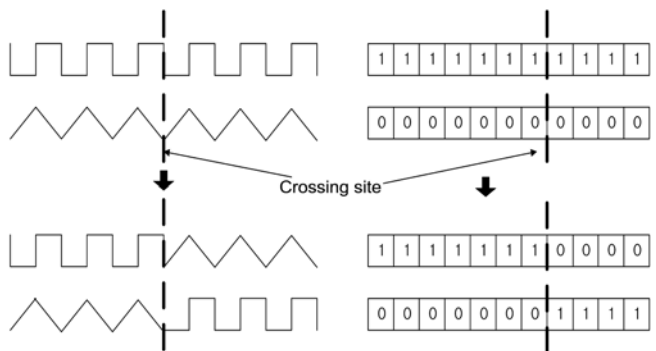


Fig. 14. Example of simple crossover.

모의 유전 정보를 부분적으로 교환하는 역할을 한다. 유전 정보를 교환하기 위해 무작위로 하나의 절단점(crossing point)을 선택하여 절단점 이후의 부위 유전정보와 모의 유전자를 교환하여 자의 스트링을 만든다. 본 연구에서 사용되는 스트링은 2진수로 구성되어 있으므로 십진 정수를 위한 교배연산자인 PMX(partial matched crossover, Goldberg and Lingle)와 OX(order crossover, Davis)방법 대신 단순 교배연산자(simple crossover)를 사용하였다. 본 연구에서 사용된 단순 교배연산자의 예를 Fig. 14에 나타내었다. 그리고 Jung(1998) 등에 제시한 SRS(superior reinforcement strategy) 방법을 이용하여 교배연산을 수행하였다. 이 경우에 두 자손 중 한 자손은 반드시 열등개체로 존재한다. 이것은 우수한 자손의 탄생 확률을 감소시키므로 이러한 경우를 줄이기 위한 한 번의 교배를 수행하여 우수한 1명의 자손을 생산하도록 하는 방법이 SRS 방법이다.

3-1-3. 돌연변이 연산자(mutation operator)

돌연변이 연산자는 무작위로 선택된 위치의 유전 정보를 변경 시킴으로써 부모세대에 나타나지 않았던 새로운 개체를 생성시키는 연산자이다. 이진수로 표현된 스트링의 경우 돌연변이 연산자는 0은 1로 1은 0으로 바꾼다. 즉, 이진스트링에서는 보수의 개념을 사용하여 돌연변이가 연산을 수행한다. 돌연변이 연산자의

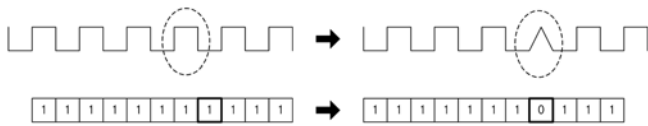


Fig. 15. Example of mutation operator.

수행과정을 Fig. 15에 나타내었다. 허나 본 연구에서는 대상공정의 특성상 돌연변이에 의한 값들이 공정에서 나쁜 결과를 초래하는 관계로 본 연구 프로그램에서는 제외를 시켰다. 대상공정은 연속적인 생산이 중요하지만 이러한 돌연변이가 생길 경우 생산 흐름의 교체가 생겨 불필요한 제품의 3이 생성이 되고 이러한 delay time으로 인해서 원하는 제품들이 모자라는 경우가 발생하게 된다.

3-1-4. Advanced operators & control parameters

유전 알고리즘의 성능을 향상시키기 위해 3개의 기본적인 연산자인 재생, 교배, 돌연변이 외에도 elitist model, expected value model, elitist expected value model, crowding factor model 등과 같은 다양한 전략들이 De Jong에 의해 제시되었다.

유전 알고리즘에서는 대상이 되는 최적화 문제를 적절히 해결하기 위해 몇 가지 제어 파라미터를 설정해 주어야 한다. 이들로는 다음과 같은 것들이 있다.

- (1) 집단의 크기(N)
- (2) 교배 확률(P_c)
- (3) 돌연변이 확률(P_m)
- (4) 세대 차(G)

집단의 크기는 한 세대 내에서 생성시킬 개체들의 수를 말하는 것으로, 일반적으로는 집단의 크기가 증가함에 따라 유전 알고리즘의 성능은 향상되지만, 계산시간도 함께 증가하기 때문에 더 작은 계산시간으로 해의 정확성을 감소시키지 않는 범위 내에서의 적절한 집단의 크기를 설정하는 것이 중요하다. 적절한 집단의 크기는 일반적으로 문제의 성격에 따라 달라지고 문제가 복잡할수록 집단의 크기를 크게 하는 것이 좋은 결과를 보이는 경향이 있다. 교배 확률은 자손을 생성하기 위해 선택된 배우자들이 교배할 확률이다. 그러므로 교배 확률의 보수($1-P_c$)는 자손들이 그들의 부모를 복제하는 확률이다. 만일 교배확률이 0이면 모든 자손은 그들의 부모를 복제한다. 세대 차(G)는 다정 함수(multimodal function) 최적화 문제에서 중첩집단(overlapping population)을 허용하기 위해 De Jong에 의해 도입되었다. 세대 차는 현 세대에서 다음 세대를 생산하기 위해 현 세대에서 만든 자손들로 다음 세대를 대체하는 비율이다. G는 0과 1 사이의 값으로서 G의 값이 1일 경우 비중첩 집단이며, G의 값이 1보다 작을 경우 중첩집단이다. 대부분의 최적화문제에서는 비중첩 집단모델이 더 좋은 결과를 보여준다고 알려졌다.

3-1-5. 개발된 유전 알고리즘(유전 알고리즘)의 응용

본 연구에서는 대상공정이 1/2일 동안 한 batch가 끝이 나는 것을 나타내기 위해서 모델링을 하였지만 1/2시간으로 제품을 교체하게 되면 제품 3이 너무 과량 생산 되어서 제품 1이나 제품 2가 생성이 되어야 하는 시간에 제품 3이 생성되므로 상대적으로 제품의 수요가 많지 않은 제품 3이 과량 생산하게 된다. 따라서 유전 알고리즘을 대상공정에 좀 더 집착을 시키기 위해서 유전 알고리즘을

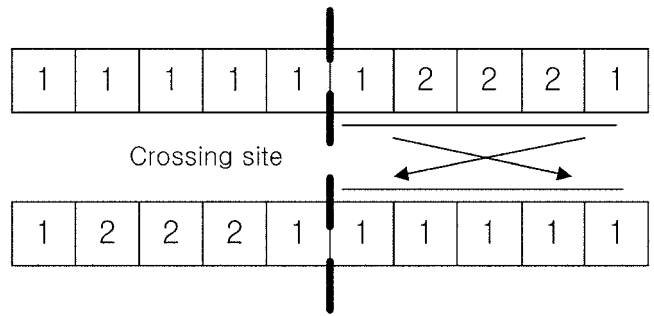


Fig. 16. Example that production ratio by hybridization is changed.

응용하였다. 응용 부분은 유전 알고리즘에서 교배가 이루어졌을 때 먼저 생산되는 제품의 수를 맞추는 과정을 거친 후 다시 한 번 나열되어있는 생산일정에서 임의적으로 생산이 최소 1일 단위로만 들어 주는 과정을 접목을 시켰다. 이것은 제품 3이 너무 많이 생산이 되는 것을 피하는 것이 된다. 먼저 생산일정이 교배가 이루어졌을 경우 제품 1과 제품 2가 7 : 3으로 나타나야하지만 교배에서는 한쪽에 많은 제품이 치우쳐 있을 경우가 종종 발생을 한다. 이러한 경우는 임의적으로 제품의 생산비를 맞추어 생산비가 모자란 제품은 생산비가 남는 제품의 생산일정에서 변형을 시켜 주는 것이다. Fig. 16에서 교배가 이루어졌을 경우 제품의 생산비가 맞지 않는 현상이 나타나는 것을 보여준다.

이러한 현상이 발생할 경우 대상공정에서는 강제적으로 생산비를 맞추게 된다. Fig 17에서 강제적 생산비를 맞추는 과정을 나타내었다.

이렇게 강제적으로 생산비를 맞추게 되면 대상공정에서 피해야 하는 1/2일 생산이 만들어지게 된다. 이러한 현상을 유전 알고리즘 내에서 스케일링을 하는 것이다. 대상 공정을 1일 단위로 만들어지는 과정을 Fig. 18에서 나타내었다.

이렇게 함으로써 생산일정이 대상공정에서 1/2단위의 생산이 사라지게 되고 최소 1일 단위 이상이 만들어지게 되는 것이다. 이러한 스케일링 작업은 생산비를 맞추기 위해 강제 변형을 시킨 후 항상 이루어져야한다.

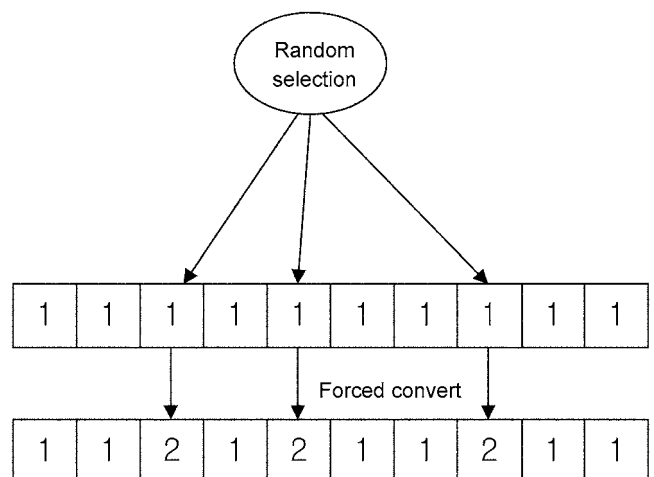


Fig. 17. Example that set production ratio intentionally.

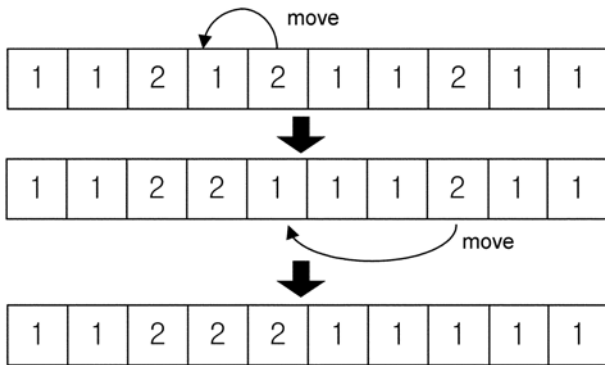


Fig. 18. Example of scaling of scheduled production.

4. 개발된 유전 알고리즘을 이용한 최적화

유전 알고리즘에 적용을 하기 위한 parameter들은 Table 1에 나타내었다. N은 초기에 생성되는 개체의 수이고, Gen은 교배를 이루는 세대의 수, P_c 는 교배확률, G는 세대 차를 나타내었다. 유전 알고리즘을 적용한 simulation program과 이것의 목적함수인 대상공정의 모델링 Turbo C로 작성되어 있다.

4-1. 최적생산계획 결과

초기의 생산일정인 제품 1의 5일 생산 그리고 제품 2의 2일 생산 일정을 적용하여 나온 손실액은 Fig. 19에 나타내었다. 하지만, 유전 알고리즘을 적용하여 생산일정을 만들게 되면 기존의 생산일정으로 인한 손실액보다 절반 정도의 손실로도 조업이 가능한 결과가 나온다. 먼저 대상공정에서 최소 1일 단위 생산을 무시하게 되면 Fig. 20과 같은 최적 생산일정과 그 결과가 도출된다. 여기서 나타나듯이 최종손실액이 유전 알고리즘을 이용해서 만든 생산일정이 기존에 행하여 오던 생산일정과 비교했을 때 확연하게 좋은 값을 가짐을 알 수가 있다. 하지만, 최소단위 생산일정의 change over가 자주 반복될 때 실제 조업에서의 조업 안정성 문제가 대두될 수 있어 대상공정에 적용을 하기 위해서는 최소 단위 생산의 change over를 배제하여 주는 프로그램 내에 생산일정의 스케일링 작업이 들어가야 한다. 이것을 접목을 시켜 simulation한 결과를 Fig. 21에 나타내었다.

최종 손실액이 초기의 유전 알고리즘을 이용한 손실액보다 증가를 하지만 기존의 생산일정보다 두 배 이상 손실액이 감소한 것을

Table 1. Genetic algorithm parameters

Parameter	Given values
N	20
Gen	10
P_c	1.0
G	1



Fig. 19. Simulation result of existent scheduled production.



Fig. 20. Scheduled production that is made using Genetic algorithm before scaling process and cost of loss.

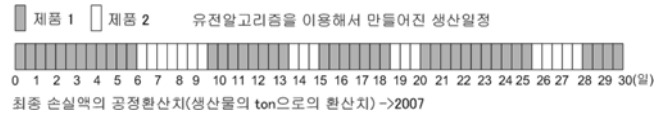


Fig. 21. Scheduled production that is made using Genetic algorithm after scaling process and cost of loss.

알 수가 있다. 즉 Fig. 20의 결과는 향후 자동화라인이 도입될 때 활용할 수 있을 것이며 Fig. 21의 결과는 조업현장에서 바로 적용할 수 있는 결과이다. 향후 Fig. 20에서의 손실액 절감과 자동화에 따른 투자경비를 대비해 회사경영진은 자동화 여부를 결정지을 수 있을 것으로 본다. 또한, 이 생산일정은 대상공정에서도 충분히 적용이 가능한 공정이 되는 것이다. 현 생산일정은 특정적으로 하나의 주문 납기일에 맞추어 만들어져 있다. 대상공정에서 주문의 납기일이 변할 경우 기존의 조업에서는 생산일정의 변화가 없이 그대로 계속적으로 만들어지고 있으나 유전 알고리즘을 이용한 모델링에서는 좀 더 유연하게 대처를 할 수가 있게 된다. 그 외에 조업에 도움을 주는 결과물 출력을 다음 Fig. 22, 23에 나타내었고 조업 관리자는 이들 자료를 이용하여 보다 효율적 조업에 사용하게 될 것이다.

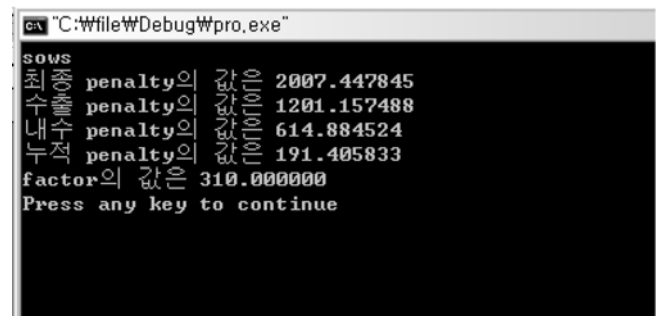


Fig. 22. Amount of loss details particulars that is made using Genetic algorithm before scaling process.

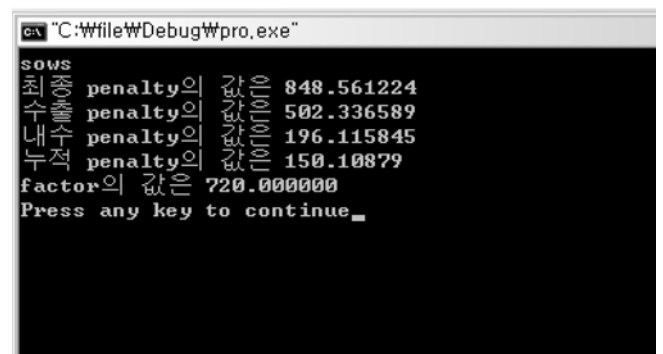


Fig. 23. Amount of loss details particulars that is made using Genetic algorithm after scaling process.

5. 결 론

참고문헌

본 연구에서는 실제산업을 대상공정으로 하여 변화하는 주문에 대해 항상 동일한 생산계획을 가지게 되는 것에서 주문 일정에 대해 유동적으로 대처해 최소의 손실을 가져올 수 있게하는 방법을 모색을 하였다. 이 과정에서 유전 알고리즘을 응용해 생산일정을 만들어내고 그 생산일정을 가지고 대상공정을 모델링한 것에 적용을 해서 손실액의 최소값을 구하도록 프로그램을 하였다. 대상공정의 최적화 modeling을 위한 제약조건은 현장에서의 조업조건 제품출하 방식에 의거하여 실제 현장생산 및 판매에 적용할 수 있도록 하였다. 그래서 여러 가지 손실액에 주는 변수들인 납기일 지연, 재고의 누적 등의 많은 고려사항을 직접 일일이 계산하기에는 현장사정이 허락하지 않아 본 연구에 의한 program으로 simulation 함으로써 보다 손쉽게 손실액 보전결과를 알 수가 있고 가상의 공정을 가동시키는 것도 가능하게 되었다. 또한, parameter들을 변형시키면서 좀 더 다양한 제품의 경우나 생산비, 생산일정 등의 변형으로 operator가 공정을 직접가동 시키기 전에 가상으로 test가 가능하도록 하였다.

마지막으로 주어진 기간 중에 일어났던 기존 생산일정의 손실액과 본 연구에 의해 만들어진 생산일정의 손실액을 비교해 봄으로써 주문의 납기일에 좀 더 유동적으로 생산일정을 변형 시키는 것이 훨씬 적은 손실액을 가져올 수가 있다는 것을 증명하였다. 사람이 손으로 생산일정을 만든다는 것은 거의 불가능에 가까운 일이다. 이것은 생산일정이 두 가지 제품을 기준으로 한 달 동안 1/2단위로 생산일정을 만든다면 총 만들 수 있는 생산일정 경우는 1,152,921,504,606,846,976의 경우의 수가 나오게 된다. 이것은 사람의 수작업으로는 찾는다는 것은 불가능하다고 하겠다. 또한, 이러한 많은 경우를 컴퓨터로 하여금 모두 계산하도록 하는 것 역시 좋은 방법이 될 수 없다. 따라서 유전 알고리즘을 이용해서 계산을 함으로써 최적치(global optimum)및 조업적용 가능한 준 최적값(local optimum)을 찾아낼 수 있도록 하였고 그 결과는 의미가 매우 크다고 하겠다.

본 연구로 인해서 유동적으로 변하는 주문일정에 대해 최소의 손실액을 가지는 생산일정을 만들어 낼 수 있을 것이며 현재 이 결과는 A사의 조업에 적용되어 운용되고 있고 그 결과 과거의 손실액의 약 60%를 아무런 추가 투자 없이 절감하는 결과를 도출하고 있다.

1. Jung, J. H., "Optimal Scheduling and Automation Model for Multi-product Batch Processes", Ph.D. Thesis(1994).
2. Niwa, T., "Pipeless Plant Boost Batch Processing", *Chem. Engng*, June, 102-108(1993).
3. Niwa, T., "Transferable Vessel-type Multi-purpose Batch Process", *Proc. Fourth Intl. Symp. on Proc. Systems Engng*, Montebello, Canada(1991).
4. Shimatan, T. and Okuda, O., "Pipeless Batch Chemical Plants Offer a New Approach", *Chem. Engng*, October, 181-182(1992).
5. Jr Wiede, W. and Reklaitis, G. V., "Determination of Completion Times for Serial Multiproduct Processes-2. A Multiunit Unit Finite Intermediate Storage System", *Comput. Chem. Engng*, **11**(4), 345-356(1987).
6. Jr Wiede, W. and Reklaitis, G. V., "Determination of Completion Times for Serial Multiproduct Processes-3. Mixed iNtermediate Storage System", *Comput. Chem. Engng*, **11**(4), 357-368(1987).
7. Jr Wiede, W., Kuriyan, K. and Reklaitis, G. V., "Determination of Completion Times for Serial Multiproduct Processes-1. A Two Unit Finite Intermediate Storage System", *Comput. Chem. Engng*, **11**(4), 337-344(1987).
8. Realf, M. J., Shah, N. and Pantelides, C. C., "Simultaneous Design, Layout and Scheduling of Pipeless Batch Plants", *Comput. Chem. Engng*, **20**(6-7), 869-883(1996).
9. Pinto, J. M. and Grossmann, I. E., "A Continuous Time Mixed Integer Linear Programming Model for Short Term Scheduling of Multistage Batch Plants", *Ind. Eng. Chem. Res.*, **34**(9), 3037-3051 (1995).
10. Bhatia, T. and Biegler, L. T., "Dynamic Optimization in the Design and Scheduling of Multiproduct Batch Plants", *Ind. Eng. Chem. Res.*, **35**(7), 2234-2246(1996).
11. Pinto, J. M. and Grossmann, I. E., "A Logic-based Approach to Scheduling Problems with Resource Constraints", *Comput. Chem. Engng*, **21**(8), 801-818(1997).
12. Grau, R., Espuna, A. and Puigjaner, L., "Completion Times in MultipurposeBatch Plants with Set-up, Transfer and Clean-up Times", *Comput. Chem. Engng*, **20**(S), 1143-1148(1996).