

튜브 제조 시스템의 생산 스케줄링 사례연구

임동순*[†] · 박찬현** · 조남찬** · 오현승*

*한남대학교 산업경영공학과

** (주)한전원자력연료

A Case Study on the Scheduling for a Tube Manufacturing System

D. S. Yim*[†] · C. H. Park* · N. C. Cho* · H. S. Oh*

*Dept of Industrial and Management Engineering, Hannam University

**Korea Nuclear Fuel

This paper introduces a case study for efficient generation of production schedules in a tube manufacturing system. The considered scheduling problem consists of two sub problems : lot sizing for a job and job sequencing. Since these problems require simulation optimization in which the performance measures are obtained by simulation execution, the trade-off between solution quality and computation time is an important issue. In this study, the optimal lot size for every product type is determined from simulation experiments. Then, target production quantity for each product type is transformed to several jobs such that a job consists of determined lot size. To obtain the good solution for a job sequence in a reasonable time, a number of alternatives are generated from heuristic rules developed by intuition and analysis of the considered system, and a job sequence is selected from simulation experiments.

Keywords : Scheduling, Simulation, Optimization

1. 서 론

본 논문에서 다루는 생산 스케줄링은 국내의 특정 튜브 제조 라인을 대상으로 한다. 이 제조 라인에서 생산되는 제품은 모두 24종류로 TREX라고 불리는 동일한 원자재로부터 성형과 가공/검사 공정을 거친다. 수요계획으로부터 생산 계획과 스케줄이 수립되며, 그 절차는 마스터 스케줄링, 단기 스케줄링, 그리고, 일일 스케줄링으로 구성된다. 각 생산계획 수립 단계는 계획 수준에 맞추어진 용량계획과 연계되어 생산계획의 검증을 수행한다.

튜브 생산 스케줄링은 각 제품에 대한 목표 생산량을 잡으로 나누는 것과 나누어진 잡의 투입 순서를 결정하

는 두 가지 의사결정으로 구성된다. 제조 라인의 병목인 압연 설비에서는 여러 종류의 작업물을 처리함으로 빈번한 다이 교체가 발생한다. 더욱이 한 제품에 대한 연속적인 두 압연 공정이 한대의 설비에서 처리되어 동일한 제품의 연속적 생산을 위한 최적 로트 크기가 존재한다. 최적 로트 크기를 구하는 문제는 기존의 로트 사이징(lot sizing), 또는 로트 스트리밍 흐름 생산라인(lot-streaming flow-shop)에서 하부 로트(sublot)의 크기를 구하는 문제[3]와 유사하다. 그러나, 튜브 제조 라인은 기존의 연구에서 다루는 단일 설비 또는 흐름 생산라인과 같은 단순한 제조 시스템이 아닌 다소 복잡한 공정 순서와 제한조건, 그리고, 배취 생산을 하는 열처리 설비 등을 포함한다. 따라서,

논문접수일 : 2009년 07월 07일 논문수정일 : 2009년 08월 27일 게재확정일 : 2009년 08월 27일

[†] 교신저자 dsyim@hnu.kr

※ 이 논문은 2009년도 한남대학교 학술연구조성비 지원에 의하여 연구되었음.

본 연구에서는 시뮬레이션 기법을 이용하여 제조 라인의 공정을 자세히 묘사하고, 실험 결과로부터 최적의 로트 크기를 구하는 방안을 소개한다.

한 제품에 대한 최적의 로트 크기를 구하면 주어진 기간 동안의 목표 생산량을 로트 크기로 나누어 각 로트 크기 만큼의 작업물을 하나의 잡으로 구성토록 한다. 이러한 잡들에 대한 투입 순서를 구하는 문제는 잡의 방출 (release)에 관한 의사결정에 속하여 잡의 순서화(sequencing)문제로 귀착된다. 잡의 순서화 문제는 이미 알려진 바와 같이 NP-hard 문제로 제한된 시간 내에 최적의 해를 구하기 어려운 경우에 속한다. 특히, 시뮬레이션 기법을 이용한 최적화에서는 성능 척도 계산에 많은 실행시간이 소요되어 문제 해결을 더욱 어렵게 한다. 결국 해의 질과 실행시간 복잡성간의 상충(trade-off)이 존재하여 이 둘간의 조화를 이루도록 하는 것이 필요하다.

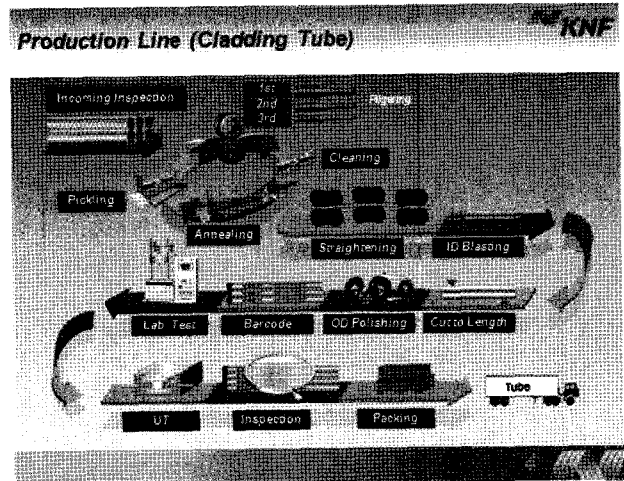
시뮬레이션 최적화[1, 2, 4, 5, 7]에는 다양한 방법이 있지만 메타 휴리스틱에 기초한 방법[6, 8]이 생산 시스템에서 효과적으로 이용되고, 더욱이 상용 시뮬레이션 패키지에 포함되어 있다. 예를 들어, AutoMod에 포함되어 있는 AutoStat는 evolutionary genetic algorithm을 이용하였고, Arena, ProModel, SIMUL8등의 시뮬레이션 패키지에 포함되어 있는 OptQuest는 scatter search와 tabu search를 이용하였다[5]. 그러나, 일반적으로 메타 휴리스틱은 많은 횟수의 시뮬레이션 실행을 필요로 하고, 잡 투입 순서 문제가 속하는 순열 최적화 문제(permutation optimization problem)에서는 조정 변수의 정의가 용이하지 않은 이유로 상용 패키지에 있는 최적화 방법을 사용하는데 어려움이 존재한다.

본 연구에서는 잡 순서화 문제를 해결하기 위해 특별히 고안된 휴리스틱 방안을 이용하여 근사 최적해를 구한 사례를 보고한다. 대상이 되는 튜브 제조 라인의 특성을 분석하여 잡 순서 생성을 위한 휴리스틱 방안을 고안하였고, 생성된 잡 순서 대안들을 시뮬레이션으로 평가하고, 비교하였다. 시뮬레이션 실험을 용이하게 수행하도록 개발된 도구에 대한 간략한 소개도 포함되었다.

2. 문제 정의

2.1 튜브 생산 공정

본 연구에서 대상으로 하는 제조 라인에서 생산되는 24가지 제품은 서로 다른 공정 순서를 가지고 있지만, 전형적인 공정 순서는 <그림 1>과 같이 수입 검사(incoming inspection)에 이어 3 사이클의 압연(pilgering), 세척 및 산세(cleaning and pickling), 열처리(annealing)로 이루어진



<그림 1> 튜브 제조 공정

성형 공정과 교정(straightening), 내면 연마(ID blasting), 절단(cut to length), 외면 연마(OD polishing), 초음파 검사(UT : Ultrasonic Test), 육안 검사(inspection) 등으로 이루어진 가공 공정으로 구성된다. 가장 중요한 공정인 압연은 1대의 50LC Pilger와 3대의 25LC Pilger에서 처리된다. 50LC Pilger에서는 1, 2차 압연을 담당하고, 25LC Pilger에서는 3차 압연을 담당한다. 압연 후 세척 공정을 거쳐 보내지는 열처리하는 두 종류로 1, 2차 사이클에서의 중간 열처리(cold wall furnace)로 보내지고, 3차 사이클에서의 최종 열처리(cold wall furnace)로 보내진다.

튜브들은 로트 단위로 구성되어 제조 라인에 투입되고, 공정 설비 간을 이동한다. 한번 구성된 로트는 최종 공정을 거칠 때 까지 변경되지 않는다. 예를 들어, 제품 A의 경우 한 로트는 6개의 TREX로 구성된다. 라인에 투입된 한 로트는 1차 압연을 거쳐 24개의 튜브로 만들어지고, 2차 압연 후에는 110개의 튜브로 만들어진다. 마지막 3차 압연 후에는 610개의 튜브로 만들어져 나머지 공정을 거치며 모든 공정에서 로트 단위로 처리, 이동된다.

열처리에서는 배척로 작업하여 중간 열처리하는 한번에 최대 10개 로트를 처리할 수 있고, 최종 열처리에서는 한번에 최대 2개 로트를 처리한다. 두 열처리 모두 최대 24시간 동안을 기다려 로트 수를 채운다. 열처리를 제외한 나머지 공정에서는 한번에 하나의 로트만을 처리한다.

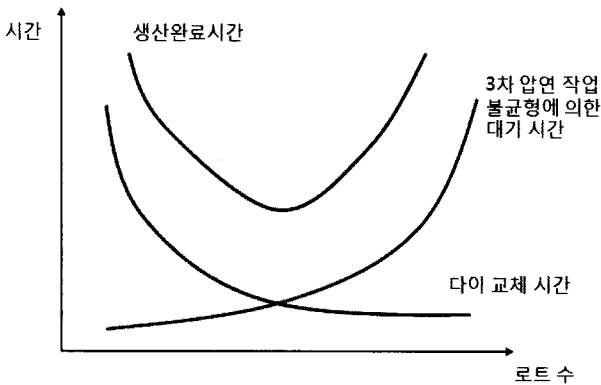
2.2 스케줄링

마스터 스케줄로부터 다음의 두 가지 작업으로 구성된 단기 스케줄링이 수행된다.

- 1) 스케줄링 계획기간 동안의 제품 생산량을 다수의 잡으로 분리한다.

2) 잡들의 투입 순서를 결정한다.

제품 생산량을 잡으로 분리하기 위하여는 각 제품에 대해 한꺼번에 투입될 최적의 로트 수를 결정하여야 한다. 각 제품은 크기(내경, 외경, 길이)가 다르므로, 제품에 맞추어진 규격의 다이를 압연기에 걸어야 한다. 전형적인 성형 공정은 3차례의 압연이 요구되어 이에 따른 각각의 다이가 필요하다. 특히, 50LC Pilger는 1, 2차 압연을 담당하므로 빈번한 다이 교체 작업이 불가피하다. 하나의 배취는 동일한 제품의 다수 로트로 구성되어 한꺼번에 배취에 대한 1차 압연이 수행되고, 다이를 바꿔 한꺼번에 배취에 대한 2차 압연이 수행된다. 때문에, 하나의 배취를 구성하는 로트 수가 작으면 1, 2차 압연에 필요한 다이 교체 횟수가 많아진다. 반면, 배취의 로트 수가 커지면, 다이 교체 횟수가 적어지는 대신 많은 재공 재고가 라인 상에 존재하여 혼잡을 가져올 뿐 아니라 3차 압연의 작업 불균형 현상(많은 작업물이 한꺼번에 3차 압연으로 몰린다)이 발생한다. 따라서, 하나의 배취를 구성하는 적정의 로트 수가 존재하게 된다. 이러한 적정의 로트 수를 결정하는 문제는 준비작업 비용과 재고 비용 간의 상충(trade-off)을 고려한 전형적인 경제적 주문량 문제와 유사하다. 본 연구에서의 로트 사이징 문제에 대한 목적 함수는 주어진 생산량에 대해 성형공정이 완료되는 시간(makespan)을 최소화하는 것이다. 이때 다이 교체 횟수에 따른 준비 시간과 3차 압연을 위한 대기 시간 간의 상충을 고려한다<그림 2>.



<그림 2> 잡을 구성하는 로트 수에 따른 생산완료시간

배취를 구성하는 적정 로트 수는 잡을 구성하는 기본 단위가 되어 생산계획 상의 각 제품에 대한 생산량을 다수의 잡으로 나누고, 각 잡들에 대한 투입 순서를 결정한다. 본 연구에서는 모든 잡의 생산 완료시간을 최소화하는 목적에서의 잡 투입 순서를 결정한다. 예를 들어, <표 1>과 같은 생산 계획에서 각 제품에 대한 적정 로트 수는 표의

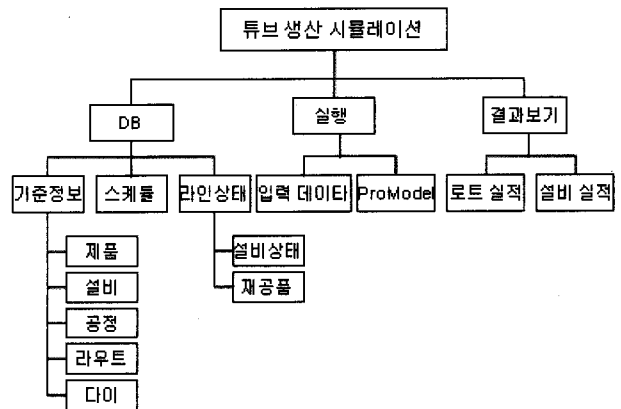
마지막 열에 표시된 바와 같다고 하자. 한 잡은 적정 로트 수 만큼의 로트로 구성되어 제품 A의 50개 생산량을 두개의 잡 A1과 A2로 분리된다. 마찬가지로 B는 B1, B2, C는 C1, C2, 그리고, D는 3개의 잡 D1, D2, D3로 구성된다. 이렇게 분리된 9개의 잡들에 대한 투입 순서를 결정한다. (A1, B1, C1, D1, C2, D2, A2, D3, B2)는 유효한 투입순서의 예를 나타낸다.

<표 1> 생산 계획 예

제품	생산량(로트)	적정 로트 수
A	50	25
B	30	15
C	40	20
D	30	10

3. 튜브 생산 시뮬레이션 도구

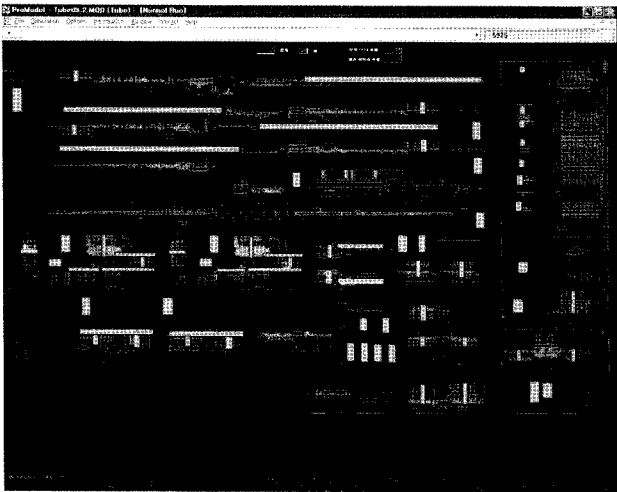
위에서 설명된 로트 수 문제와 잡 투입순서 문제에서 요구되는 성능 척도는 생산을 시작하여 주어진 생산량의 생산을 종료하기 까지 걸리는 시간인 생산 완료 시간이다. 공정, 설비, 라우트의 복잡성으로 인하여 생산 소요시간을 수식적으로 구하기는 불가능하기 때문에 이산 사건 시뮬레이션 기법을 이용하여 구한다. 시뮬레이션을 효과적으로 이용하기 위해 도구를 개발하였으며 이는 크게 데이터베이스, 실행, 결과 보기 모듈로 구성되어 있다<그림 3>.



<그림 3> 튜브 생산 시뮬레이션 도구

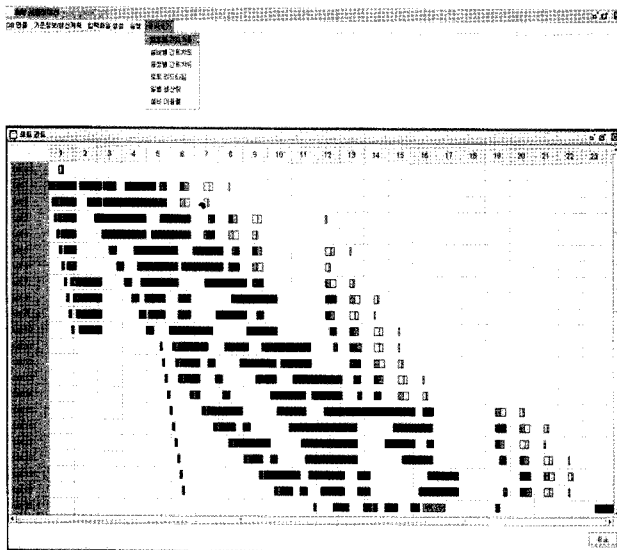
데이터베이스 모듈은 시뮬레이션에 필요한 자료의 입력을 위한 것으로 제품, 설비, 공정, 라우트 등의 기준정보와 마스터 스케줄, 그리고 현재의 라인 상태로 구성되어 있다. 시뮬레이션 모델은 ProModel 패키지를 이용하

여 작성되었으며 데이터베이스 모듈로부터 생성된 입력 데이터를 이용하여 시뮬레이션을 실행한다(<그림 4>). 시뮬레이션 모델은 확률적인 랜덤 효과를 반영하고 있지 않다. 모든 공정 시간과 작업물 이동시간은 상수로 가정하였으며 설비의 고장은 고려하지 않았다. 다음 공정을 수행할 여러 설비가 있을 때는 가장 적은 이용률의 설비를 선택하도록 하였다. 따라서, 시뮬레이션 실행은 한번으로 충분하고, 주어진 목표 생산량의 생산이 완료되면 종료된다.



<그림 4> 시뮬레이션 실행 화면

시뮬레이션 결과는 주된 성능 척도인 생산 완료 시간 외에 생산 실적과 설비이용 실적, 로트별, 설비별 간트 차트 등을 포함한다<그림 5>.

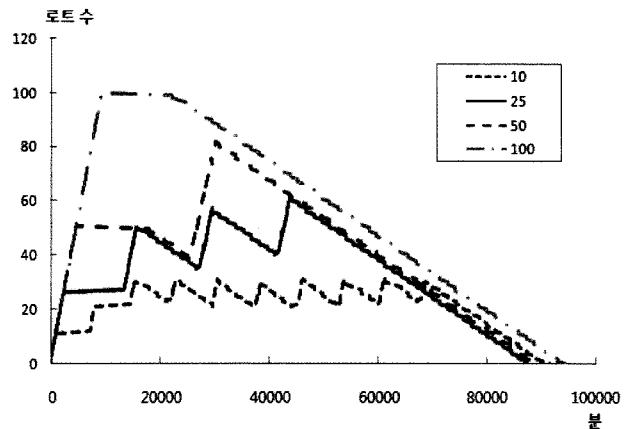


<그림 5> 시뮬레이션 결과인 로트별 간트 차트

4. 시뮬레이션을 이용한 스케줄링

4.1 적정 로트 수

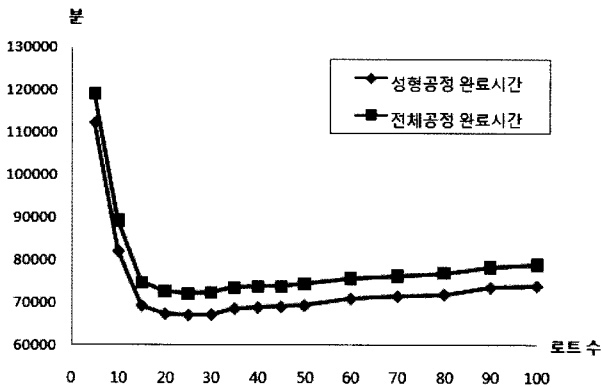
1, 2차 압연을 수행하는 50LC Pilger 설비에서는 한 번의 다이 교체에 240분이 소요된다. 24개 제품 중 하나인 제품 P1의 경우 한 로트에 대한 1, 2차 압연에 각각 90분, 412분이 걸리는 것을 감안하면 다이 교체 시간은 무시할 수 있는 성질의 것이 아니다. 이러한 다이 교체 시간으로 인한 적정 로트 수를 결정하기 위하여 24종류 각각의 제품에 대해 100개 로트를 생산 목표로 하는 시뮬레이션을 수행하였다. 로트 수를 변경하여 실험한 결과 도출된 생산라인 전체의 재공품 수는 로트 수가 커질수록 증가하는 자연스러운 현상을 나타낸다. <그림 6>은 24개 제품 중 제품 P1의 100개 로트를 대상으로 10, 25, 50, 100로트의 4가지 로트 수에 대한 시뮬레이션 결과로 얻은 재공품 수의 추이를 나타낸다. 로트 수가 10인 경우에는 10개의 로트가 1차 압연 된 후 다이를 바꾸어 10개 로트에 대한 2차 압연이 수행되어 최대 32개의 재공품이 라인상에 있게 된다. 반면, 로트 수가 100인 경우에는 100개의 로트가 모두 1차 압연되어야 비로서 2차 압연이 수행되어 최대 100개의 로트가 라인상에 있게 된다.



<그림 6> 로트 수에 따른 재공품 수 추이

제품 P1의 100개 로트 생산에 대한 결과인 <그림 7>에 따르면 성형 공정이나 전체 공정의 생산 완료시간 측면에서 로트 수가 25일 때 가장 바람직한 것으로 나타난다. 따라서, 생산 완료시간 최소화를 위해 최적의 로트 수가 존재하며 이는 시뮬레이션 실험을 통해 결정될 수 있음을 나타낸다.

24개 제품에 대해 이와 같은 방법으로 최적의 로트 수를 결정하여 다음에 설명될 라인에 투입되는 단위인 접의 설정에 이 값들을 이용하였다.



<그림 7> 로트 수에 따른 제품 P1의 100로트 생산 완료 시간

4.2 25LC 압연기에서의 로트/기계 할당 방법

3차 압연을 담당하는 25LC Pilger는 3대가 있어 어느 로트를 어느 기계에 할당하느냐 하는 의사결정이 요구된다. 다이 교체 횟수를 최소화하는 목적에서는 로트의 작업에 맞는 다이가 이미 설치되어 있는 기계를 그 로트에 할당하는 것이 유리할 것이다. 또한 기계가 작업을 끝냈을 때 대기하고 있는 로트 중 다이를 교체할 필요가 없는 동일한 제품의 로트를 선택하여 작업하는 것이 유리할 것이다. 이 같은 방안에 기초한 절차를 자세히 설명하기 위해 다음과 같은 기호를 사용하자.

- $M_i, i = 1, 2, 3$: i 번째 25LC Pilger 기계
- $nLot_j, j = 1, 2, \dots, 24$: 3차 압연을 위해 대기하고 있는 j 번째 제품의 로트 수
- $status_i, i = 1, 2, 3$: i 번째 25LC Pilger의 상태 {IDLE, BUSY}
- $currentDie_i, i = 1, 2, 3$: i 번째 25LC Pilger에 설치된 다이 번호
- $die_j, j = 1, 2, \dots, 24$: j 번째 제품의 3차 압연에 필요한 다이 번호
- $nM_j, j = 1, 2, \dots, 24$: j 번째 제품에 할당 가능한 25LC Pilger 기계 수
- $nA_j, j = 1, 2, \dots, 24$: j 번째 제품에 할당 중인 25LC Pilger 기계 수

nM_j 는 동시에 j 번째 제품에 할당 될 수 있는 25LC Pilger 설비의 수로 1부터 3의 값을 갖는다. 즉, 어느 시각에도 j 번째 제품에 할당되는 기계 수는 nM_j 를 초과할 수 없다. 제품별로 이 값을 결정하는 방안에 대한 자세한 내용은 다음 절에서 설명된다.

다음의 잡/기계 할당 절차는 대기하고 있는 로트와 가

용 가능한 기계를 서로 할당 시키는 것으로 다음의 두 사건이 발생될 때 마다 수행된다.

- $j(j = 1, \dots, 24)$ 번째 제품에 속하는 로트가 도착하여 $nLot_j$ 를 증가시켰을 때 0에서 1로 바뀌면 잡/기계 할당 절차를 수행한다.
- $M_i, i = 1, 2, 3$ 기계가 j 번째 제품에 속하는 잡의 처리를 끝내 BUSY에서 IDLE 상태로 바뀔 때 $nA_j = nA_j - 1$ 로 하고 잡/기계 할당 절차를 수행한다.

잡/기계 할당 절차

```

1   for each machine  $M_i, i = 1, 2, 3$ 
1.1  if  $status_i = IDLE$  then
1.1.1 for each product  $j$ 
1.1.1.1 if  $nLot_j > 0$  and  $currentDie_i = die_j$ 
1.1.1.1.1 assign the lot of  $j$ -th product to  $i$ -th machine
1.1.1.1.2  $nLot_j = nLot_j - 1$ 
1.1.1.1.3  $status_i = BUSY$ 
1.1.1.1.4  $nA_j = nA_j + 1$ 
1.1.1.1.5 break
      endif
    endfor
  endif
  endfor
2   for each machine  $M_i, i = 1, 2, 3$ 
2.1   $nLotMax = 0$ 
2.2   $p = 0$ 
2.3  if  $status_i = IDLE$  then
2.3.1 for each product  $j$ 
2.3.1.1 if  $nLot_j > nLotMax$  and  $nA_j < nM_j$ 
2.3.1.1.1  $nLotMax = nLot_j$ 
2.3.1.1.2  $p = j$ 
      endif
    endfor
2.3.2 if  $nLotMax \neq 0$  then
2.3.2.1 assign the lot of  $p$ -th product to  $i$ -th machine
2.3.2.2  $nLot_j = nLot_j - 1$ 
2.3.2.3  $status_i = BUSY$ 
2.3.2.4  $nA_j = nA_j + 1$ 
      endif
    endif
  endfor
  
```

위 절차는 크게 두 가지 할당 방법으로 구성되어 있

다. 첫번째 할당 방법은 기계에 이미 장착되어 있는 다이에 맞는 제품의 로트를 할당하는 것이다. 두 번째 할당 방법은 가장 많은 대기 로트 수를 가지고 있는 제품을 선택하여 기계에 할당하는 것으로 다이 교체를 유발한다. 기계와 로트의 할당이 요청되면 우선 첫 번째 할당을 실시하고, 할당되지 않은 기계와 로트들을 대상으로 두 번째 할당을 실시한다.

4.3 잡 투입 순서

각 제품 종류에 대한 적정 로트 크기를 이용하여 목표 생산량은 다수의 잡으로 나뉜다. 이 잡들에 대한 투입순서 대안 수는 잡의 수에 따라 기하급수적으로 증가하게 되어 최적해를 구하기 위해 많은 시간이 요구된다. 특히 시물레이션을 이용하여 성능 척도를 구하는 경우에는 보다 많은 시간이 요구된다. 따라서, 최적해 보다는 근사 최적해를 적절한 시간 내에 구하는 것이 바람직하다.

적정 로트 수에 의해 잡을 구성하였을 때 50LC Pilger 설비에서의 다이 교체 횟수는 잡의 투입순서에 무관하다. 어떠한 잡도 1, 2차 압연에 요구되는 두 번의 다이 교체가 필요하기 때문이다. 그러나, 3차 압연을 담당하는 25LC Pilger에서는 잡의 투입순서에 따라 다이 교체 횟수가 달라진다. 예를 들어, 제품 A와 제품 B가 각각 A1, A2, 그리고 B1, B2의 두 잡으로 나뉘었을 때 투입순서 A1, A2, B1, B2는 25LC Pilger에서 한번의 다이 교체가 발생한다. 그러나, 투입 순서 A1, B1, A2, B2는 3번의 다이 교체가 발생한다. 만약, 3대의 25LC Pilger 모두가 두 제품의 생산에 할당됐다면 첫 번째 투입순서에서는 3번, 두 번째 투입순서에서는 9번의 다이 교체가 발생한다. 따라서, 동일한 제품의 잡을 연속적으로 투입하면 25LC Pilger에서의 다이 교체 횟수를 줄일 수 있다. 그러나, 한 제품의 생산에 필요한 설비만을 집중적으로 이용하기 때문에 설비 간의 부하 불균형으로 인한 성능 저하를 초래할 수 있다.

25LC Pilger 설비에서 다이 교체 횟수를 적게 하는 또 다른 방안으로 3대의 25LC Pilger 중에서 일부만을 특정 제품의 3차 압연에 할당할 수 있다. 예를 들어, 제품 A의 3차 압연에 25LC Pilger 1, 2, 3의 3대 모두를 할당하고, 제품 B의 3차 압연에 25LC Pilger 1 설비 하나만을 할당한다면 투입 순서 A1, B1, A2, B2는 9번이 아닌 3번의 다이 교체로 충분하다. 더욱이 B1, B2의 생산량이 A1, A2에 비해 아주 적다면 25LC Pilger 설비의 이용률에 큰 지장을 초래하지 않을 것이다. 그러나, 투입순서 A1, A2, B1, B2에서 이러한 방안을 적용한다면 3번이 아닌 1번의 다이 교체로 충분하지만, 설비 간의 부하 불균형으로 인해 제품 B의 생산에 할당되지 않은 두 대의 25LC Pilger의 이용률이 매우 저조하여 생산 성능이 악

화될 가능성이 커진다. 따라서, 적은 로트로 구성된 잡의 경우에는 3차 압연에 특정 25LC pilger를 할당하고, 큰 로트로 구성된 잡들의 중간에 위치토록 하여 다이 교체 횟수를 줄일 수 있다.

설명된 바와 같은 분석 결과를 바탕으로 다음과 같은 잡 순서화 방안과 25LC Pilger 설비에 제품을 할당하는 방안들을 도출하였다. 25LC Pilger 설비 할당 방안은 이전에서 정의된 변수 $nM_j, j = 1, 2, \dots, 24$ 의 값을 결정하는 방안이다.

잡 순서화 방안

- 방안 1 : 생산량이 많은 제품 순으로 동일한 제품의 잡을 연속적으로 투입한다.
- 방안 2 : 생산량이 적은 제품 순으로 동일한 제품의 잡을 연속적으로 투입한다.
- 방안 3 : 생산량이 많은 제품의 경우 생산량 순으로 동일한 제품의 잡을 연속적으로 투입하고, 생산량이 아주 적은 제품의 경우(하위 10%)에는 생산량이 많은 제품의 잡들 중간에 투입한다.

25LC Pilger 설비 할당 방안

- 방안 1 : 모든 제품에 25LC Pilger 3대 모두를 할당한다.
- 방안 2 : 생산량이 많은 제품은 25LC Pilger 3대 모두를 할당하지만 생산량이 적으면 1 또는 2대의 25LC Pilger를 할당한다.

이 방안들에 의한 스케줄 생성 방법을 설명하기 위해 <표 3>의 목표 생산량을 예로 든다. 목표 생산량은 마스터 스케줄을 통해 작성된 계획 기간 동안의 생산량을 의미한다. 50LC Pilger에서의 다이 교체를 고려한 적정 로트 수에 따라 각 제품의 생산량은 다수의 잡으로 나뉜다. 예를 들어, 제품 P1의 생산량은 50으로 적정 로트 수인 25로 나누면 2개의 잡인 J101, J102로 나뉘고, 각 잡의 크기는 25로트이다.

이 같은 목표 생산량에 대하여 잡 순서화 방안과 25LC Pilger 설비의 할당 방안($nM_j, j = 1, 2, \dots, 24$ 의 값)의 조합에 따라 <표 4>와 같은 6가지 스케줄 대안을 생성하였다. 스케줄 1은 생산량이 많은 제품 순으로 잡을 투입하고, 모든 잡의 3차 압연에 3대의 25LC Pilger를 할당한 결과이다. 스케줄 2는 스케줄 1과 같이 생산량이 많은 제품 순으로 잡을 투입하나, 스케줄 2에서는 3이하의 로트를 포함하는 잡에 1대의 25LC Pilger를 할당한다. 스케줄 3과 4는 생산량이 많은 제품 순으로 잡을 투입하나, 생산량이 3이하로 작은 로트의 잡은 생산량이 많은 잡의 중간에 투입한다. 3차 압연에 할당되는 25LC Pilger의 수에 대한 대안은 각각 스케줄 1, 2의 경우와 동일하다. 스케줄 5, 6은 생산량이 적은 제품 순으로 잡을 투입하고, 25LC

<표 3> 목표 생산량 예

제 품	생산량 (로트)	적정 로트 수	잡
P1	50	25	J101, J102
P2	3	3	J2
P3	3	3	J3
P4	3	3	J4
P5	3	3	J5
P6	3	3	J6
P7	50	25	J701, J702
P8	3	3	J8
P9	3	3	J9
P10	3	3	J10
P11	3	3	J11
P12	50	25	J1201, J1202
P13	3	3	J13
P14	3	3	J14
P15	3	3	J15
P16	3	3	J16

Pilger 수의 할당은 스케줄 1, 2와 동일하다.

6가지 대안에 대한 시뮬레이션 결과는 <그림 8>과 같이 스케줄 3이 가장 적은 생산 완료시간(154249분 = 107일)을 가져왔다. 즉, 생산량이 많은 순서로 연속적인 잡을 투입하나 생산량이 적은 로트의 잡은 생산량이 많은 잡의 중간에 투입하고 모든 잡에 대한 25LC Pilger 설비수를 3대로 한 스케줄이 생산 완료시간 측면에서 가장 좋은 결과를 나타내었다.

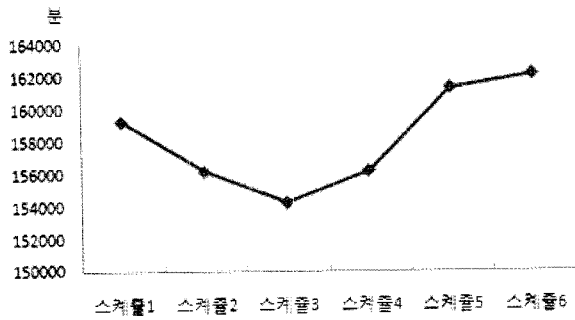
25LC Pilger 설비의 다이 교체 횟수 면에서는 스케줄 3이 가장 좋지 않다<그림 9>. 스케줄 3의 경우 25LC Pilger 에서의 총 다이 교체 시간은 5400분이다. 그러나, 5400분은 25LC Pilger 3대에서의 총 공정시간인 322320분에 비하면 1.6% 정도에 지나지 않아 다이 교체 시간이 생산 완료시간에 큰 영향을 미치지 못함을 알 수 있다. 더욱이 스케줄 3은 제조 라인에 있는 설비들의 균형적인 이용을 가능케 하여 다른 스케줄에 비해 적은 생산 완료시간을 야기하였다.

5. 결 론

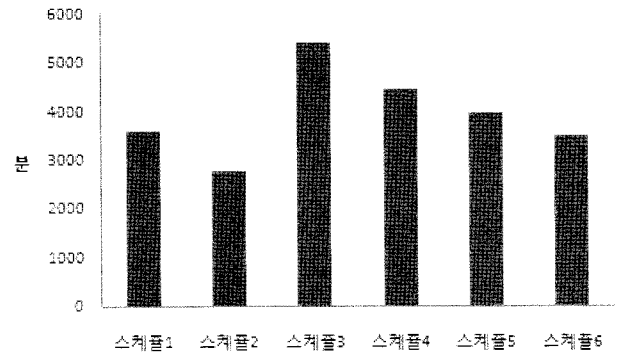
본 연구에서는 튜브 제조 라인을 대상으로 생산 스케줄

<표 4> 스케줄 대안

투입순서	스케줄 1		스케줄 2		스케줄 3		스케줄 4		스케줄 5		스케줄 6	
	잡	nM_j	잡	nM_j	잡	nM_j	잡	nM_j	잡	nM_j	잡	nM_j
1	J101	3	J101	3	J101	3	J101	3	J2	3	J2	1
2	J102	3	J102	3	J2	3	J2	1	J3	3	J3	1
3	J701	3	J701	3	J3	3	J3	1	J4	3	J4	1
4	J702	3	J702	3	J102	3	J102	3	J5	3	J5	1
5	J1201	3	J1201	3	J4	3	J4	1	J6	3	J6	1
6	J1202	3	J1202	3	J5	3	J5	1	J8	3	J8	1
7	J2	3	J2	1	J701	3	J701	3	J9	3	J9	1
8	J3	3	J3	1	J6	3	J6	1	J10	3	J10	1
9	J4	3	J4	1	J8	3	J8	1	J11	3	J11	1
10	J5	3	J5	1	J9	3	J9	1	J13	3	J13	1
11	J6	3	J6	1	J702	3	J702	3	J14	3	J14	1
12	J8	3	J8	1	J10	3	J10	1	J15	3	J15	1
13	J9	3	J9	1	J11	3	J11	1	J16	3	J16	1
14	J10	3	J10	1	J13	3	J13	1	J101	3	J101	3
15	J11	3	J11	1	J1201	3	J1201	3	J102	3	J102	3
16	J13	3	J13	1	J14	3	J14	1	J701	3	J701	3
17	J14	3	J14	1	J15	3	J15	1	J702	3	J702	3
18	J15	3	J15	1	J16	3	J16	1	J1201	3	J1201	3
19	J16	3	J16	1	J1202	3	J1202	3	J1202	3	J1202	3



〈그림 8〉 스케줄 대안들의 생산 완료시간



〈그림 9〉 25LC Pilger에서의 다이 교체 시간

을 작성한 사례를 보고하였다. 스케줄링 문제는 한꺼번에 투입될 제품의 최적 로트 수를 구하는 문제와 최적 로트 수에 의해 나누어진 잡들에 대한 투입 순서를 구하는 문제로 구성된다. 정의된 문제들은 시뮬레이션을 통해 대안들에 대한 성능 척도를 구하는 것으로 시뮬레이션 최적화 분야의 문제에 속한다. 따라서, 별도의 최적화 절차가 시뮬레이션과 결합되어야 한다. 일반적으로 메타 휴리스틱에 기초한 최적화 절차가 사용되나 적지 않은 실행시간과 조정 변수의 정의가 어렵다는 제약 사항이 존재한다. 본 연구에서는 문제에 적합한 휴리스틱 방안에 의해 적은 수의 대안을 도출하였고, 이를 통한 시뮬레이션 평가를 수행하였다. 구체적으로는 최적 로트 수를 구하기 위하여 각 제품에 대해 로트 수 대안들에 대한 시뮬레이션 실험을 수행하였고, 잡 투입 순서를 구하기 위하여 제조 라인의 특성을 분석하여 이를 바탕으로 휴리스틱 방안을 도출하였다. 도출된 대안들에 대한 시뮬레이션 평가를 통하여 가장 좋은 대안을 선택하였다.

향후 보다 효율적인 최적화 루틴을 개발하여 이를 시뮬레이션 도구와 결합하는 연구가 요구된다. 범용의 최적화 루틴 보다는 해결하고자 하는 문제에 적합하게 설계된 루틴을 개발하여 효과적인 최적화를 이루는 것이 필요하다.

참고문헌

[1] Andradottir, S; "A Review of Simulation Optimization

Techniques," Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference : 151-158, 1998.

[2] April, J., Glover, F., Kelly, J. P., and Laguna, M.; "Practical Introduction to Simulation Optimization," Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference : 71-78, 2003.

[3] Chang, J. H. and Chiu, H. N.; "A Comprehensive Review of Lot Streaming," *International Journal of Production Research*, 43 : 1515-1536, 2005.

[4] Fu, M. C.; "Optimization for Simulation : Theory vs. Practice," *INFORMS Journal on Computing*, 14(3) : 192-215, 2002.

[5] Fu, M. C., Glover, F., and April, J.; "Simulation Optimization : A Review, New Development, and Applications," Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference : 83-95, 2005.

[6] Pierreval, H. and Tautou, L.; "Using Evolutionary Algorithm and Simulation for the Optimization of Manufacturing Systems," *IIE Transaction*, 29 : 181-189, 1997.

[7] Tekin, E. and Sabuncuoglu, I.; "Simulation Optimization : A Comprehensive Review on Theory and Applications," *IIE Transactions*, 36 : 1067-1081, 2004.

[8] Yang, T., Fu H. and Yang, K.; "An Evolutionary-Simulation Approach for the Optimization of Multi-Constant Work-In-Process Strategy : A Case study," *Int. J. of Production Economics*, 107 : 104-114, 2007.