

## 금형 공장에서 자원제약 하의 생산일정계획 (Production scheduling in mold manufacturing system under resource constraints)

구평희  
부경대학교 산업공학과

### Abstract

사출성형금형은 일반적으로 주문설계생산(Engineer-to-Order)방법에 의해 단품 또는 소량으로 제작된다. 금형을 제작하기 위한 생산일정계획은 여러 금형을 동시에 생산하기 위하여 자원을 언제 어떤 공정 및 부품에 할당할 것인가를 결정한다. 일반적으로 제조공장의 능력은 유한하므로 자원의 제약이 일정계획에 직접적인 영향을 준다. 본 논문에서는 자원 제약 하에 있는 금형 공장에서 공정외주 비용과 납기 미준수 비용을 고려하여 금형을 구성하는 각 부품의 생산일정과 내외작 여부를 결정하는 최적화 모형과 이를 현실적으로 해결하는 휴리스틱 모형을 제시한다. 제시된 휴리스틱 모형은 조립공정배치 알고리즘인 COMSOAL을 기반으로 job shop 형태의 생산공장과 프로젝트 일정계획을 혼합한 형태를 갖는다.

### 1. 서론

사출금형(injection mold)은 전기전자 제품, 생활용품, 자동차 부품 등의 플라스틱 제품을 생산하기 위한 성형 형태이다. 사출금형 제조업은 전형적인 중소기업 형 공업으로 고객의 주문을 받아 금형설계, 모델링, 캐비티 코아 등의 주요 부품 가공 및 외주 부품 구입, 금형 세트 조립, 그리고 시험 단계를 거쳐 주문자에게 인도 되는 주문설계생산(Engineer-to-Order)방법에 의해 제작 된다. 주문설계생산 환경에서는 생산해야 할 제품의 종류와 수량이 자체의 계획에 의해서가 아니라, 소비자의 수요에 의해서 결정된다. 최근 제품의 다양화, 단명화의 추세에 따라서 금형제작 기간의 단축과 납기 준수가 금형산업에서의 경쟁력을 결정하는 중요 요소가 되고 있다.

금형은 주로 단품 또는 소량으로 수주 되는데, 수주 단계에서는 납품 일자 조정, 예상 소요 공수 산정, 제품 가격 견적과 관련된 업무를 수행한다. 주문 수주시에는 세부적인

공정설계(PP)가 없으므로 경험에 의한 대략적인 공수를 이용한 의사 결정을 수행한다. 수주가 확정되면 유사 금형의 BOM 및 공정흐름을 기준으로 임시 일정계획을 수립하고 동시에 공정 및 부품의 내외작 여부를 결정한다. 공정 및 부품의 외주화는 설비나 인력 자원의 과다한 부하, 특수한 작업, 외주에 의한 원가 절감 등의 이유에 의해 행해진다. 하나의 금형세트는 여러 가지의 부품으로 이루어져 있으므로 설계와 모델링이 완성되면 여러 부품은 동시에 가공되거나 구매된다. 모든 부품이 준비되었으면 금형세트로 조립하고 이를 이용하여 시제품을 생산하여 문제가 없음을 확인한 후 주문자에게 인도 된다.

금형을 제작하기 위한 일정계획은 여러 금형을 생산하기 위하여 자원을 언제 어떤 공정 및 부품에 할당 할 것인가를 결정하는 것이다. 일반적으로 제조공장의 능력은 유한하므로 자원의 제약이 일정계획에 직접적인 영향을 준다. 금형제작을 위한 일정계획은 아래 열거한 특징으로 인해 job shop 형태의 생산공장과 건설 등 프로젝트 일정계획을 혼합한 형태라고 볼 수 있다.

- 하나의 주문 금형 세트는 여러 부품으로 이루어져 있고, 각 주문은 납기가 정해져 있다. 따라서 한 금형을 구성하는 부품의 납기는 동일하다.
- 주문을 받아 제작하여 납품할 때까지의 소요 기간이 일반적으로 1개월 이상으로 길다.
- 주문을 받으면 설계와 모델링은 금형세트 단위로 행해지고 가공은 부품별로 행해지며, 조립 및 시험가동은 다시 금형세트 단위로 행해진다. 각각의 공정은 선후관계가 존재한다.
- 금형을 이루는 부품 또는 부품을 가공하는 공정 단위로 외주화 하는 것이 일반화 되어 있다.
- 금형 공장의 일정계획은 일반적으로 재일정 계획이다. 즉, 새로운 주문이 있을 때,

이미 공장 내에서 가공 중인 또는 설계나 모델링 중인 제품들을 고려하여 기존의 일정계획을 새로운 환경에 맞게 다시 일정계획을 세워야 한다.

- 금형 제작 단계에서 설계 및 모델링은 공수로, 기계는 시간으로 능력과 부하를 산출한다. 따라서 기계 시간은 자원의 다소에 영향을 받지 않으나 설계 및 모델링은 참여하는 엔지니어 수에 따라 소요 시간이 다르다.
- 금형을 구성하는 부품 중에서 각종 코아 및 형판이 대부분의 가공 설비 시간을 소비한다. 각 부품의 가공 순서는 서로 상이하고, 한 공정의 가공시간은 수 시간에서 수십 시간으로 일반적인 job shop에서의 기계 가공 시간보다 길게 소요된다.
- 납기보다 늦게 금형이 출하되는 경우에는 늦은 일수에 비례하여 일정한 벌금이 부과되며, 더 이상 늦출 수 없는 절대납기가 존재한다.

하나의 금형은 많은 부품으로 이루어져 있고, 각 부품은 선후 관계가 있는 여러 가공공정을 거쳐서 하나의 완성된 부품이 되므로 적절한 일정 계획을 수립하는 것은 복잡하고 어려운 일이다. 특히 머시닝센터, 밀링기계, 선반, 방전가공기, 연삭기 등으로 이루어진 금형공장의 생산 설비는 그 능력이 제한적이고, 또한 각 제품의 생산이 진행되는 과정에서 생산부하가 시간에 따라 변화하게 되어, 주문된 금형은 납기를 어기게 되는 경우가 자주 발생한다.

금형공장의 일정계획에 대한 연구로서, Lee et al. (1994)은 수주단계에서 불확실한 제품 생산정보를 이용하여 부하분석과 일정계획을 수립하는 방법을 제시하였고, Kong and Kim(1996)은 다단계 일정계획 수립 방안을 제시하고 이를 자동차 공장에 적용한 사례를 연구하였다. Lee and Lee (1997)는 신경망을 이용하여 시스템의 상황에 따라 공정선택 규칙을 결정하는 방안을 제시하였다. 최근에는 User Interface기능을 향상시키기 위하여 상용 소프트웨어를 이용한 일정계획 사례들이 보고되고 있다.(Jeong et al. 2000, Ju and Ok 2000)

본 논문에서는 금형을 제작하는 제조현장에서 능력의 제한이 있는 자원을 최적으로 활용할 수 있도록 최적의 일정 및 부하계획 방안을 수립하는 최적화 모형과 휴리스틱 절차를 제시한다. 제시되는 모형은 금형제작이 프로젝트 스케줄링 환경과 유사하다는 점을 이용하여 많은 연구가 되어온(Tavares 2002 및

Brucker et al. 1999 의 조사논문 참조) 프로젝트 스케줄링 개념을 활용한다. 또한 휴리스틱 절차는 조립라인의 라인 밸런싱 알고리즘인 COMSOAL (Arcus 1966)을 기반으로 한다. COMSOAL은 조립라인의 균형 문제 뿐 아니라 최근에는 제한적인 자원 할당 문제에서도 적용되고 있다. (Depuy and Whitehouse 2000, Nkasu 1994) 본 논문에서는 COMSOAL의 일반적인 임의 반복 방법을 개선한 우선선택 개념을 포함하여 빠른 시간 안에 좋은 해를 얻을 수 있는 방안도 함께 제시한다.

## 2. 금형제작 일정계획 및 내외작 결정 최적화 모형

본 절에서는 설비자원 및 인력 자원의 제약이 있는 경우에 납기 미준수 비용과 외주비용의 합을 최소로 하는 금형제작 일정계획을 위하여 최적 스케줄링모형을 제시한다.

### 2.1 사용되는 기호

$i$	제품 인덱스; $i = 1, 2, \dots, N$
$j$	공정 인덱스; $j = 1, 2, \dots, J_i$
$k$	자원 인덱스; $k = 1, 2, \dots, K$
$m$	mode 인덱스; $m = 1, 2, \dots, M_{ij}$
$t$	시간 인덱스; $t = 1, 2, \dots, T (T = \text{Max}(D_i))$
$p_{ijm}$	공정 ( $i, j$ )가 mode $m$ 을 이용하는 경우의 작업시간 ( $p_{ij0}$ 는 외주 소요시간)
$d_i$	제품 $i$ 의 요구 납기
$D_i$	제품 $i$ 의 절대 납기
$R_{kt}$	자원 $k$ 가 $t$ 시점에서의 가용 자원 수
$r_{ijmk}$	공정 ( $i, j$ )이 mode $m$ 을 이용하는 경우의 자원 $k$ 의 필요 수
$B_i$	제품 $i$ 의 납기 미준수 비용
$C_{ij}$	공정 ( $i, j$ )의 외주 추가 비용
$e_{ij}$	공정 ( $i, j$ )의 가장 빠른 시작 시각
$l_{ij}$	공정 ( $i, j$ )의 가장 늦은 시작 시각

결정변수:

$$x_{ijmt} = \begin{cases} 1 & \text{if 공정 } (i, j) \text{가 모드 } m \text{을 이용하여} \\ & \text{시간 } t \text{에 작업이 시작} \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases}$$

$$y_{ijt} = \begin{cases} 1 & \text{if 공정 } (i, j) \text{가 시간 } t \text{에 외주} \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases}$$

$$z_i: \text{ 제품 } i \text{의 생산 완료 시간}$$

$$g_i = \max[(z_i - d_i), 0]$$

위에서 mode란 금형의 설계 작업과 모델링 작업에서와 같이 인력이 작업시간에 직접적인 영향을 주는 경우에 사용된다. 즉, 금형의 설계나, 모델링 작업은 man-hour에 의해 표현되고, 설계자의 투입 인원에 따라 설계에

소요되는 시간이 다르다. 예를 들어 1명이 4 일 동안에 완성하는 금형 설계를 2명이 함께 수행하면 2일로 단축 될 수도 있다. 이러한 각각의 경우를 하나의 mode로 하여 최적화 모형에 의해 결정하게 한다. 또한  $e_{ij}$  는 각 mode 중 가장 적게 소요되는 시간을 이용한 금형제작 CPM 네트워크에서 forward computation으로 얻는 가능한 빠른 시작시간 (earliest start time) 이고,  $l_{ij}$  는 backward computation으로 얻는 적어도 이시간 전에는 작업이 시작되어야 하는 시간 (latest start time) 을 의미한다. 또한  $g_i$ 는 납기 미준수 기간으로 생산완료시간  $z_i$ 의 값에 의해 결정되는 변수이다.

## 2.2 최적화 모형

자원 제약 하의 금형제작 시스템에 대하여 납기 미준수 비용과 외주비용의 합을 최소로 하는 금형제작 최적 일정계획 모형은 아래와 같다.

### 목적 함수

$$\begin{aligned} \text{Minimize } f &= \text{납기 미준수 비용} + \text{외주비} \\ &= \sum_i \max(z_i - d_i) B_i + \sum_i \sum_j \sum_t y_{ijt} C_{ij} \\ &= \sum_i g_i B_i + \sum_i \sum_j \sum_t y_{ijt} C_{ij} \end{aligned}$$

### 제약식

- (1) 공정 완료 조건.

$$\sum_{t=e_{ij}}^{l_{ij}} \sum_m^{M_{ij}} (x_{ijmt} + y_{ijt}) = 1, \quad \text{for all } (i,j)$$

- (2) 프로젝트 완료 조건:

$$\sum_m \sum_{t=e_{ij}}^{l_{ij}} [(t + p_{ij,m}) x_{ij,m,t} + (t + p_{ij,o}) y_{ijt}] \leq z_i, \quad \text{for all } i$$

- (3) 공정의 선후관계 제약 ( $a$  공정이  $b$ 공정의 선행공정)

$$\sum_{t=e_{ia}}^{l_{ia}} \sum_m^{M_{ia}} (t + p_{iam}) x_{iamt} \leq \sum_{t=e_{ib}}^{l_{ib}} \sum_m^{M_{ib}} t x_{ibmt}, \quad \text{for all } (i,a) \rightarrow (i,b)$$

- (4) 자원 제약

$$\sum_i \sum_j \sum_m \sum_{q=t-p_{ijm}+1}^t r_{ijmk} x_{ijmq} \leq R_{kt}, \quad \text{for all } k \text{ and } t$$

- (5) 절대납기 준수.

$$z_i \leq D_i, \quad \text{for all } i$$

- (6) 납기 미준수 기간.

$$g_i \geq z_i - d_i, \quad \text{for all } i$$

- (7) 정수조건

$$x_{ijmt}, y_{ijt} = 0 \text{ or } 1, \quad z_i, g_i \geq 0$$

목적식은 납기를 어긴 제품에 대해서 지불해야 하는 비용과 공정을 외주 주었을 때의 외주비용을 합한 비용을 최소로 하는 것이다. 제약식 (1)은 모든 공정은 자체 제작되거나 외주 되어야 한다는 조건이고, 제약식 (2)는 마지막 공정의 완료시각은 제품의 완료 시간 보다 늦을 수 없다는 조건으로 이는 제품의 완료시간을 정의한다. 제약식 (3)은 선행작업은 후행작업이 시작되는 시간보다 늦게 완료 되면 안 된다는 선후관계 조건이고, 제약식 (4)는 한 시점에서 자원의 사용량은 해당자원의 능력을 초과할 수 없으며, 제약식 (5)는 절대 납기는 반드시 지켜야 함을 의미하고, 제약식 (6)은 목적식에서 비 선형식인  $\max(z_i - d_i, 0)$ 을 선형식인  $g_i$ 로 치환하기 위하여 추가된 것이다.

제시된 최적화 모형은 자원제약하의 프로젝트 스케줄링 모형과 유사하다. 이러한 최적화 모형은 규모가 작은 문제에서는 사용될 수 있으나 금형과 같이 여러 부품으로 이루어지고 각 부품은 또한 여러 공정을 거쳐야 하는 복잡한 문제를 해결하기는 현실적으로 부적합하다. 따라서 현실적인 문제를 해결하기 위하여 다음 절에서 휴리스틱 방법을 제시한다.

## 3. COMSOAL기반의 금형제작 일정계획 휴리스틱

본 절에서 제시되는 금형제작 일정계획 휴리스틱 절차는 조립 작업 라인의 작업장 설계에 사용되는 COMSOAL을 기반으로 한다. 우선, 사출금형 제작에 필요한 각 공정을 선후관계를 고려하여 네트워크로 표현한다. 이는 제품 조립 과정을 네트워크로 표현하는 것과 유사하다. 본래의 COMSOAL이 생산자원과 공간자원에 작업을 배정한 것이라면, 본 연구에서의 제시된 절차는 생산자원과 시간자원에 작업을 배정한 것이라 볼 수 있다. COMSOAL 기반의 금형제작 일정계획 절차는 아래와 같다.

1. 시간  $tnow$ 를 0으로 초기화한다
2. 후보공정리스트를 작성한다. 후보공정리스트에는  $tnow$ 에서 자원에 할당할 수 있는 모든 공정을 포함한다. 리스트 내의 각 공정은 (1) 모든 선행 공정이  $tnow$ 에서 완료되어야 하고, (2)  $tnow$  시점에서 필요한 자원이 가용한 상태여야 한다.
3. 리스트에서 한 공정을 무작위로 (at random) 선택하여 스케줄링 한다.
4. 선택된 공정과 관련된 다음의 데이터를 갱

신한다.

- (1) 해당 공정이 필요로 하는 자원의 가용량을 감소시킨다.
  - (2) 선택된 공정의 완료시간을 계산한다
  - (3) 선택된 공정의 후행 공정들의 선행공정정보를 갱신한다
5. 새로운 후보공정리스트를 작성한다.
  6. 후보공정리스트에 공정이 없을 때까지 단계 3과 5를 반복한다. 자원이 충분하지 않거나 선행작업이 모두 완료된 작업이 없는 경우에 리스트 내에는 공정이 없다. 이때에는 스케줄링된 공정 중에서 가장 일찍 완료되는 시간으로  $inow$ 를 변경한다. 새로운 후보공정리스트를 작성한 후 단계 3과 5를 반복한다.
  7. 모든 공정이 완료될 때까지 단계 3에서 단계 6까지를 반복한다.
  8. 단계1~6을 마치면 새로운 해가 도출된다. 이러한 절차를 반복적으로 수행하여 그 중에서 가장 좋은 해를 선택한다.

COMSOAL 기반의 일정 계획의 특징은 다음에 할당될 공정을 무작위로 선택하여 일정계획을 수립하고 이러한 일정계획을 반복하여 수행하여 그 중 가장 좋은 결과를 제공하는 일정계획을 선택한다. 그러나 예비 실험을 통해 납기 미 준수에 따른 비용을 줄이기 위해서는 랜덤한 방법보다 긴급한 제품의 공정을 우선적으로 할당하는 전략을 사용하는 것이 효과적인 것으로 분석되었다. 따라서 본 논문에서는 일반 COMSOAL 방식과 우선 규칙 방식을 혼합한 복합 휴리스틱을 함께 제시한다. 복합 휴리스틱에서는 상기의 일반 휴리스틱 절차 중에서 나머지 부분은 동일하고 step 3의 공정선택 방식만 변경된다. 즉, 후보공정리스트에 있는 각 공정에 대해 2절에서 언급한  $e_j$ 와  $l_j$ 를 이용하여 이들의 차를 slack이라 하고 이 slack이 작은 공정을 확률적으로 우선적으로 할당할 수 있도록 한다.

본 연구에서는 긴급도와 더불어 해당 공정과 연관된 후공정의 수를 고려한 방법도 함께 제시한다. 일반적으로 생산시스템에서 시스템 내에 머물러 있는 시간은 가공시간보다는 공정대기(WIP) 상태로 있는 시간이 더 많다. 가공 시스템에서 제품 생산의 Lead Time에서 가공 시간이 차지하는 비율은 5%이내이고 나머지 95% 이상은 비가공 활동 상태인 것으로 알려져 있다. 이 비가공 시간 중에서 각 공정이 수행되기 위해서 기다리며 대기하는 WIP 상태가 대부분을 차지한다. 후공정이 많으면 WIP상태로 지연되는 시간이 증대될 것

이다. 따라서 slack과 더불어 후공정의 수를 감안하여 공정 선택의 확률을 조정하는 방법이 COMSOAL 기반의 세 번째 일정계획 방법이다.

제시된 세가지 COMSOAL 기반의 일정계획 알고리즘을 요약하면 아래와 같다.

- (1) *COMSCH*: 일반적인 COMSOAL에서처럼 후보공정 중에서 랜덤하게 다음 공정을 선택하는 스케줄링.
- (2) *COMSLK*: slack을 고려하여 다음 공정을 선택하는 스케줄링.
- (3) *COMSUC*: slack과 후공정을 고려하여 다음 공정을 선택하는 스케줄링.

#### 4. 제시된 일정계획 방법의 검증

제시된 일정계획 알고리즘의 performance를 조사하기 위하여 자주 사용되는 리스트 휴리스틱과 비교한다. 리스트 휴리스틱은 설비, 노동력 등의 생산 자원과 공정들 간의 선후관계를 고려하여 후보공정 리스트를 작성하고 대상 후보공정 중에서 우선선택규칙에 따라 공정을 할당한다. 사용될 우선선택규칙으로는 납기가 결정되고 납기 미 준수 페널티가 정해진 상태에서 좋은 결과를 제공하는 것으로 알려진 공정의 납기가 빠른 공정을 우선 선정하는 *OPEDD* (*Operation Earliest Due Date*), 가동률이 높은 경우에 좋은 결과를 제공하는 것으로 알려진 짧은 가공시간의 공정을 우선 선택하는 *SPT* (*Shortest Processing Time*), 여유시간이 적은 공정을 우선적으로 선택하는 *SLACK*, 그리고 slack과 후공정의 수를 고려하여 여유시간을 분배하는 *SLKSUC* (*slack and successors*)를 선택하였다. 위의 리스트 스케줄링 휴리스틱과 본 논문에서 제시한 COMSOAL, COMSLK, COMSUC 결과와 비교 분석 한다.

비교분석을 위하여 10가지의 자원이 10벌의 금형을 생산하는 경우를 대상으로 했다. 각 자원의 능력은 1-3이고 각 금형이 필요로 하는 공정 수는 5 - 20으로 하였다. 각 공정의 공정시간은 2시간에서 20시간 사이이고 각 제품의 납기는 100시간에서 300 시간 내에 있다. 모든 데이터는 랜덤 넘버를 발생시켜 확률적으로 구했고 이렇게 얻어진 30개의 상황에 대해 시뮬레이션을 수행 하였다. 제시된 COMSOAL기반의 스케줄링은 3000번 반복 수행하여 결과를 얻었다.

그림 1은 각 스케줄링 방법에 대해 납기를 어긴 기간을 나타내고 있다. COMSOAL을 기반으로 하는 스케줄링이 리스트 스케줄링

보다 좋은 결과를 얻을 수 있다는 것을 보여주고 있다. 리스트 스케줄링에서는 시간적으로 긴급한 공정을 우선 생산하는 OPEDD 방법과 CPM네트워크에서 계산된 여유시간을 이용한 SLK 방법이 비교적 좋은 결과를 제공한다. COMSOAL 기반의 스케줄링 알고리즘에서는 COMSCH보다 COMSLK와 COMSUC가 더 좋은 결과를 보임을 알 수 있다. 이는 반복적인 방법에서 랜덤하게 다음 공정을 선택하는 것 보다 여유시간이 없는 공정을 우선 배정되는 확률을 높이는 방법이 효과적이라는 것을 보여준다. SLKSUC와 COMSUC 등 후공정을 고려하여 공정을 선택한 방법은 오히려 SLK와 COMSLK등과 같이 후 공정을 고려하지 않는 경우보다 좋은 결과를 제공하지 못하고 있다. 이는 금형제작 공정에서는 앞 공정에 의해 생산된 부품을 모두 모아 조립해야 하는 특성상 앞 공정이 빠르게 완료되었다 하더라도 뒤의 완료공정이 늦어지면 오히려 금형 세트의 인도 시점은 늦어지기 때문으로 분석된다.

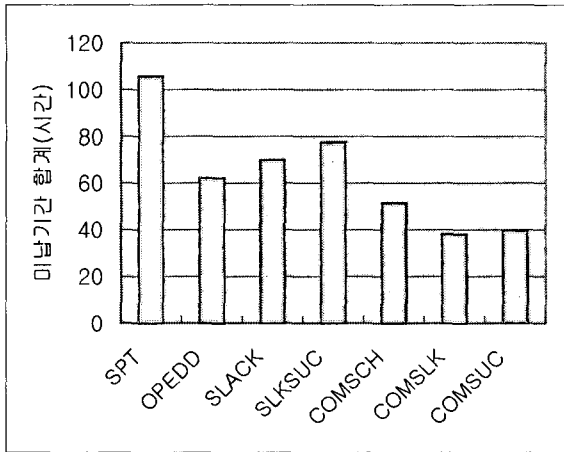


그림 1. 스케줄링 방법별 미납기간 비교

그림 2는 제시된 COMSOAL을 기반으로 하는 3가지의 휴리스틱 절차를 반복 횟수에 따라 비교한 것으로 일반적인 COMSOAL기반의 휴리스틱 보다는 공정의 긴급도나 후공정을 고려한 휴리스틱 일정계획이 빠른 시간 안에 좋은 결과에 도달하고 있음을 볼 수 있다. 500개의 공정을 갖는 시스템을 3000번 반복 시행 하는데 Pentium4 1.3 GHz급의 컴퓨터로 약 15분 정도 소요되고 있음을 감안하면 좋은 결과에 빠르게 도달 하는 것은 알고리즘 선택에 중요한 요소이다.

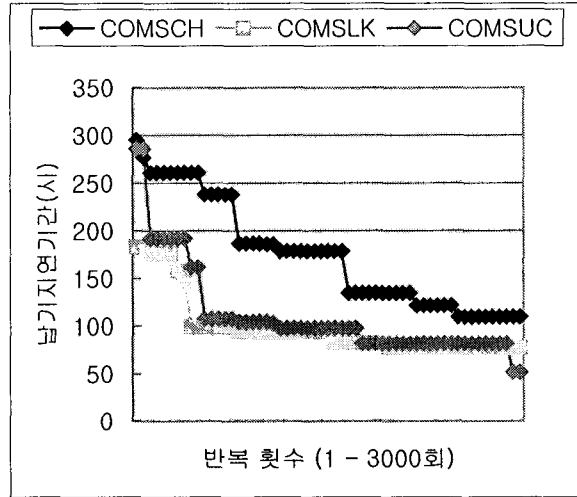


그림 2. 반복 횟수별 납기지연 시간변화 추이

## 5. 결론

본 논문에서는 금형 제작 공정의 효율화를 위하여 제한적인 자원을 고려한 생산 일정 계획과 내외작 결정을 지원하는 프로젝트 스케줄링 접근법과 유사한 최적화 모형을 제시하고, 현실적인 문제에서의 금형제작 일정계획을 위하여 제품 조립라인의 라인 밸런싱을 위해 개발된 COMSOAL을 기반으로 스케줄링하는 절차를 설명하였다. 실험을 통하여 기존의 여러 리스트 스케줄링 방법보다 우수한 결과를 제공함을 확인하였다. 또한 일반적인 COMSOAL에서 랜덤하게 공정을 선택하는 단점을 보완하기 위하여 제품의 납기를 고려하여 공정의 긴급도와 후 공정을 고려하여 공정 선택의 확률을 달리 하는 방법을 제시하고 이를 실험을 통하여 그 효용성을 입증하고 있다. 제시된 COMSOAL 기반의 알고리즘은 개념이 비교적 간단하여 쉽게 적용될 수 있다는 장점이 있다.

본 논문에서 내외작의 결정에 대해서는 최적화 모델에 포함되었으나 휴리스틱에서는 고려하지 않았다. 어떤 공정을 외주 시킬 것인가는 생산시스템의 상황과 외주 비용을 고려하여 그 효과가 큰 것을 선택해야 할 것이다. 즉, 에로공정에서의 작업시간이 커서 외주함으로써 에로자원의 부하를 줄여주고 외주화함에 따라 손실되는 비용이 작은 공정을 외주시키는 것이 합리적이다. 이러한 외주화를 포함한 휴리스틱의 개발은 다음 단계에서 수행될 연구 과제이다.

## 참고문헌

- Arcus, A.L. (1966), COMSOAL: a computer method of sequencing operations for assembly lines, *International Journal of Production Research*, 4, 259-277.
- Brucker, P., Drexel, A., Mohring, R., Neumann, K and Pesch, E. (1999), Resource-constrained project scheduling: notation, classification, models and methods, *European Journal of Operational Research*, 112, 3-41.
- DePuy, G.W. and Whitehouse, G.E. (2000), Applying the COMSOAL computer heuristic to the constrained resource allocation problem, *Computers and Industrial Engineering*, 38, 413-422.
- Jeong, H.I., Chung, D.Y., Kim, K.D., Park, C.K. and Park, J.W. (2000), A study on developing a scheduling system for a die manufacturing system using ILOG, *IE Interface*, 13(4), 64-571
- Ju, S.Y and Ok, K.J. (2000), Development of a scheduling system for mold and die manufacturing factory using Microsoft Project 98, *IE Interface*, 13(2), 246-252.
- Kong, M.D. and Kim, J.J. (1996), Development of an application software for the die-production information management, *IE Interface*, 9(2), 143-158.
- Lee, M.S., Rho, H.M. and Lee, S.Y. (1994), Quick order acceptance evaluation system with due dates in mold manufacturing factory, *Journal of Korean Institute of Industrial Engineering*, 20(4), 181-192.
- Lee, H.K. and Lee S.K. (1997), A study on scheduling system for mold factory using neural network, *IE Interface*, 10(3), 145-153.
- Nkasu, M.N. (1994), COMSARS: a computer-sequencing approach to multiresource-constrained scheduling: Part 1: deterministic networks, *International Journal of Production Management*, 12(3), 183-192.
- Tavares, L.V.(2002) A review of the contribution of operational research to project management, *European Journal of Operational Research*, 136, 1-48.