

프레스 라인 적정 로트 크기의 결정에 관한 사례 연구

김연민[†]

울산대학교 산업경영공학부

A Case Study of an Optimum Lot Size of Press Line

Yeamin Kim

Department of Industrial Engineering, University of Ulsan

This paper develops a mathematical model which searches an optimum lot size of a press line, and applies this model to the scheduling of the press line. This mathematical model is not a widely studied cost model but a model which considers the utilization of the press line under a lean production system. In this paper, the optimum lot size is a minimum lot size which does not exceed the total work time of the press line. A production volume and the priority of the production in the press line are adjusted using this optimum lot size. A mathematical model developed in this paper will allow determining the optimum lot size easily in case of variable production environments such as an introduction of a new product and a fluctuation of production volume of each item. Therefore, our model will make a better scheduling of the press line and will enhance the utilization of it.

Keyword: optimum lot size, press line scheduling, lean production system

1. 서론

본 연구는 현실적으로 산정하기가 쉽지 않은 생산 관련 비용을 고려하기 보다, 생산에서 현실적으로 중요한 제약조건인 연간 작업 보유시간, 재고 공간, 생산의 가동률 등을 고려하여 적정의 로트 크기를 결정하는 수리 모형을 개발하여 이를 프레스 라인의 생산계획에 적용한 사례 연구이다.

종래의 최적의 로트 크기를 결정하는 문제를 크게 두 가지로 구분하면 여러 산업에서의 모델링 문제(Jans and Degraeve, 2008)와 로트 크기에 대한 해법을 다룬 것(Robinson *et al.*, 2009)으로 구분할 수 있다. 로트 크기의 문제는 최적의 생산시기와 생산량을 결정하는 문제이다. 이 문제는 다시 시간의 척도, 수요의 분포, 및 기간에 따라 구분될 수 있다. 경제적 주문량 모형이 연속적, 일정 수요, 무한 기간의 문제라면 동적 로트 크기 문제

는 이산적 시간, 결정론적, 동적 수요를 가진 유한기간의 문제라고 할 수 있다.

본 연구는 자동차 산업 프레스 라인의 생산계획을 위한 적정 로트 크기를 결정하고 이를 이용하여 생산일정계획을 수립하는 사례를 다루고자 하며, 종래의 이산적 단일 수준 동적 로트 크기 문제와 달리, 준비 비용, 재고 비용, 생산 비용 등의 상충 관계를 고려하기 보다, 린 생산 시스템의 관점에 따라 비용이 아닌 여러 가지 생산 조건을 고려한 최소의 로트 크기를 구하고자 한다.

이것은 로트 크기를 산정하는 대부분의 모델이 생산 관련비용의 상충 관계를 고려하나, 실제 생산에서는 관련 비용을 산정하는 것이 쉽지 않으며, 많은 투자 비용이 이미 과거 비용(Sunk Cost)으로 간주되어 비용을 최소화하는 모델링에는 다소 한계가 있는 것으로 파악되었기 때문이다. 또 비용 상충관계

본 연구는 울산대학교 교내 연구비의 지원을 받았습니니다. 저자는 본 연구 수행에 아낌없는 업무지원을 해준 현대자동차 프레스 생기팀 박재섭 차장과 윤정훈님께 감사 드립니다. 본 논문에 인용된 수치는 회사의 기밀을 보호하기 위해 일부 가공되었음을 밝힙니다.

[†]연락처 : 김연민 교수, 680-749 울산광역시 남구 무거동 산 29 울산대학교 산업경영공학부,

Fax : 052-259-2180, E-mail : ymkim@mail.ulsan.ac.kr

투고일(2010년 06월 08일), 심사일(1차 : 2010년 09월 08일, 2차 : 2011년 05월 11일), 게재확정일(2011년 05월 16일).

를 고려한 로트 크기가 아니라 생산 관련 제약 조건을 만족하면서 로트 크기를 최소화하면, 재공품 재고와 사이클 타임을 줄여 후속 공정의 변화에 더 빨리 대처할 수 있도록 하기 위함이기도 하다.

본 연구는 여러 산업 가운데 자동차 산업 프레스 라인의 생산 계획을 분석하였다. 자동차 산업의 생산계획<그림 1>은 총괄생산계획을 고려하여 생산일정계획이 생성되면 이에 따라 후공정인 의장 라인부터 도장 라인, 차체, 프레스의 생산계획이 차례로 이루어진다. 자동차의 생산은 조립라인을 위한 흐름 생산이 주를 이루나 프레스 공정과 도장 공정 등에서는 묶음 생산이 불가피하다. 프레스의 생산은 펀치, 천공, 성형 등의 복잡한 공정을 거치지만 공정이 일관 작업으로 이루어지므로 생산계획에서는 로트 크기와 생산 순서가 정해지면 된다.

따라서 본 연구는 묶음 생산이 불가피한 프레스 라인의 최적 로트 크기를 결정하고 이를 프레스 라인의 일일 생산 계획에 적용하고자 한다. 이러한 사례는 여러 가지 유사한 묶음 (Batch) 생산 환경에서도 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

본 논문은 제 2장에서는 그간 이루어진 로트 크기 문제에 대한 연구를 검토하고 린 생산 시스템의 관점에서 로트 크기 문제에 대한 접근이 부족함을 보였다. 제 3장에서는 우선 프레스의 생산 실적을 분석하여 최적 로트 크기가 어느 정도인가를 분석한 다음, 최적 로트 크기를 결정하기 위한 모델링을 제시하고 이를 이용하여 프레스 라인의 최적 로트 크기를 구하는 과정을 다루었다. 제 4장에서는 앞에서 구한 최적 로트 크기를 이용하여 프레스 일일 생산계획을 결정하는 과정을 보여 주고자 하며, 본 연구에서 개발된 모델링을 이용한 프레스 생산계획 시스템의 사례를 제시하고 있다.

2. 로트 크기 문제에 대한 종래의 연구

로트 크기 문제는 준비 비용과 재고 비용의 상충관계를 고려한 단일 품목, 용량 비 제한 문제와 다품목, 용량 제한 로트 크기 문제로 모델링 되어 왔다. 다품목 용량 제한 문제는 다시 여러 품목을 같은 기계에서 같은 기간 동안 새로운 startup 없이 생산할 수 있는 large bucket 모델과 전 기간에 생산 되지 않은 품목이 생산 될 때 그 장비에 startup이 필요한 small bucket 모델로 모델링 해 왔다(Jans and Degraeve, 2008)(실제 로트 크기 문제에 대한 자세한 이론적 고찰은 Robinson *et al.*(2009)와 Jans and Degraeve (2008)의 연구를 참조하기 바란다).

로트 크기 문제 가운데 가장 단순한 단일 품목 용량 비 제한 문제는 다음과 같이 모델링 된다.

$$\text{Min} \sum_{t=1}^m (vc_t x_t + sc_t y_t + hc_t s_t) \tag{1}$$

$$\text{s.t} \quad s_{t-1} + x_t = d_t + s_t \quad \forall t \in T \tag{2}$$

$$x_t \leq s d_{tm} y_t \quad \forall t \in T \tag{3}$$

$$x_t, s_t \geq 0; y_t \in \{0, 1\} \quad \forall t \in T \tag{4}$$

여기서 x_t 는 생산수준, y_t 는 생산준비에 대한 결정변수, s_t 는 재고 변수이며, 각각의 비용은 vc_t, sc_t, hc_t 이다. T 는 모든 생산 기간을 나타내며 m 은 마지막 기간을 말한다. 수요는 d_t 이고 알려져 있으며, $s d_{tk}$ 는 기간 t 부터 k 까지의 누적 수요를 나타낸다.

위의 모델에서 식 (1)은 생산 비용, 준비 비용, 재고 비용의 합을 최소화하고자 한다. 식 (2)는 지난 기간의 재고와 이번 기간의 생산량은 이번 기간의 수요와 이번 기간의 재고와 같음

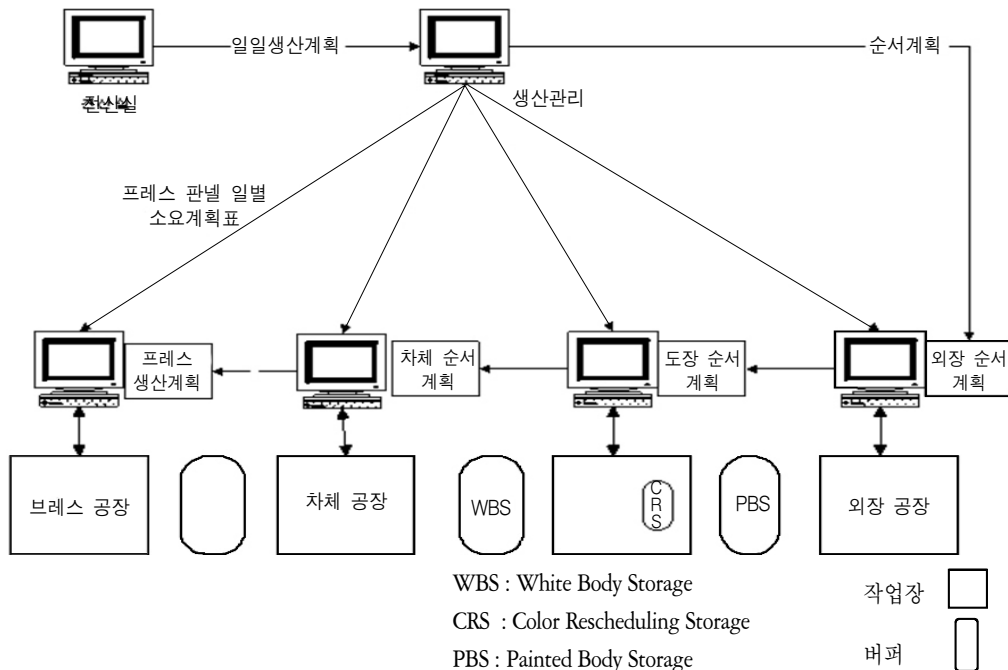


그림 1. 자동차의 생산계획 개념도

을 보여주는 식이다. 식 (3)은 이번 기의 생산량이 t부터 m 시점까지의 누적 수요 보다 클 수 없음을 보여 준다.

로트 크기 문제는 다시 준비(setup), 생산, 재고, 수요, 기간 등을 다양하게 변화시킴에 따라 다양한 문제로 정식화 될 수 있으며, 이러한 로트 크기 문제는 사출, 유리, 소비재, 타이어, 화학, 제약, 제철, 제지, 타일, 전자 산업 등에서 다양하게 이용되어 왔다.

그러나 대부분의 로트 크기 문제에 관한 연구는 기본적으로 식 (1)과 같이 준비 비용과 재고 비용의 상충을 고려한 비용 모형으로 생산에서 중요한 가동률 등을 고려할 수 없으며, 린 생산 환경에서 추구하는 로트의 최소화를 고려하지 못하고 있다.

리틀의 법칙(WIP = TH×CT)은 산출율(TH)이 같을 경우 재공품 재고(WIP)의 감소는 사이클 타임(CT)의 감소로 이어지는 것을 보여 준다(Hopp and Spearman, 2000). 따라서 린 생산 환경에서는 로트 크기를 줄여 재공품 재고를 줄이고자 한다. 그러나 로트 크기와 관련한 린 생산 환경에서의 연구는 주로 실무적이거나 선행적인 내용이 주를 이루었다. 린 생산 환경과 관련된 연구는 주로 흐름 공정의 설계, 전사적 품질관리, 생산계획의 안정, 칸반, 협력업체와의 관계, 재고, 제품 설계 등과 같은 광범위한 주제가 다루어져 왔다. 로트 크기에 관련된 연구도 주로 선행적이거나 실증적인 연구가 대부분이었다.

린 생산과 관련된 로트 크기와 준비 비용에 대한 수학적 연구는 대표적인 것으로 재고정책에서 로트 크기나 버퍼를 하나만 줄이기 보다는 로트 크기와 버퍼 stock을 동시에 줄일 때만 기업에 이익을 가져 온다(Shmanske, 2003)는 연구와 동적 로트 크기 문제에서 준비 비용을 줄인다고 재고가 줄어 들지는 않으며, 준비 비용을 줄이면 재고를 가질 필요가 없는 기간이 늘어난다(Zangwil, 1987) 등의 연구가 있다. 한편 Jamshidi(2005)는 린 환경에서 와그너 위딘 알고리즘을 이용해 생산계획 순서에 대한 연구를 하였다.

로트 크기를 묶음 생산 환경에서 비용을 고려하지 않고서는 이를 어떻게 최소화해야 하는지에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았지만 Askin and Goldberg(2002)는 아래와 같이 로트 크기를 정했다.

내준비 시간 s_{1i}

외준비 시간 s_{2i}

작업시간 t_i

연간 수요 D_i

부품 i+1은 i 뒤에 생산 됨

$$\text{로트 크기 } Q_i \text{ 여기서 } Q_i \geq \frac{s_{2,i+1}}{t_i} \quad (5)$$

$$\sum_i (s_{1i} \frac{D_i}{Q_i} + t_i D_i) \leq 1 \text{ (Year)} \quad (6)$$

Q_i^0 식 (6)을 만족시키는 값

n_1^* 컨테이너의 크기

$$Q_i = \text{Max} \left\{ n_1^*, \left\lceil \frac{s_{2,i+1}}{t_i} \right\rceil, Q_i^0 \right\} \quad (7)$$

위의 식에서 식 (5)는 로트 크기가 외준비 시간 보다 커야 생산이 연속적으로 이루어질 수 있다는 것을 보여 준다. 식 (6)은 금형 교환시간과 생산 시간은 연간 작업시간을 넘지 않도록 하는 제약 조건이다. 그러면 Q_i 는 보유한 컨테이너 용량, 금형 외준비시간 생산량, 연간 작업 시간을 넘지 않는 로트 크기 중 최대값을 취한다(식 (7)).

한편 자동차 산업의 생산계획에 대한 연구로는 제약만족 문제로 자동차 전체 생산계획에 접근한 Ha et al.(2003)의 연구와, 본 연구처럼 자동차 프레스 라인의 생산계획을 다룬 Moon et al.(1996)의 연구가 있으나 Moon et al.(1996)의 연구는 본 연구와 달리 “차체 생산을 위한 흐름 생산 공정의 투입일정 계획을 맞추면서 공정간 재고를 감축하고 프레스 작업의 Setup에 소요되는 총 시간을 Lot Sizing과 Sequencing으로 단축하여 총생산 비용을 최소화하는 것”을 목적으로 삼았다.

3. 최적 로트 크기의 결정

3.1 프레스 생산 실적의 분석

최적 로트 계획을 위한 수식을 정의하기 전에, 과거 프레스의 생산 실적을 이용하면 로트 크기를 어느 정도 까지 최소화시킬 수 있는가를 분석 할 수 있다. 로트 크기를 줄이면 금형 교환시간이 늘어나 프레스 가동률은 낮아지고 총생산 시간은 증가한다. 따라서 최소의 로트 크기는 제 2장의 식 (6)과 같이 연간 작업 보유시간을 초과하지 않는 로트 크기로 정할 수 있다 (<그림 2> 참조).

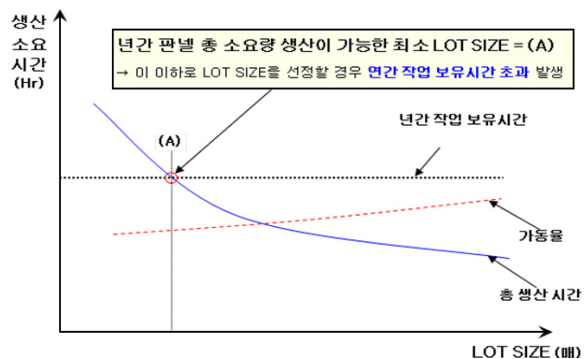


그림 2. 로트 크기에 따른 총 생산 시간과 가동률의 관계

프레스의 총 생산시간은 프레스의 정미 생산시간, 장비고장, 금형 교환시간, 금형 고장시간, 작업대기 등으로 이루어진다. 금형 교환시간은 로트 크기의 영향을 받으나, 금형 고장시간, 작업대기 등의 다른 변수는 로트 크기의 영향을 받지 않는다고 가정하면, 로트 크기를 작게 하면 금형 교환시간이 늘어나 총생

산시간은 증가하고 가동률은 떨어진다. 한편 생산이 연속적으로 이루어지기 위해서는 로트 크기는 식 (5)와 같이 금형 외준비 시간 동안 생산할 수 있는 생산량 보다는 커야 한다. 또 프레스의 일일 생산량은 후 공정인 차체 공장의 생산량보다는 같거나 커야 한다. 프레스 공장에서 컨테이너에 상응하는 것을 팔레트라고 볼 수 있는데 로트 크기는 팔레트에 보관할 수 있는 양(팔레트 재고 수량×팔레트 적입량) 보다는 적어야 한다.

이러한 것을 고려하여 H 공장의 하나의 프레스 라인을 선정하여 지난 해 생산실적을 분석한 결과는 <그림 2>와 같다. 이 프레스 공장의 연간 작업 보유 시간은 4200시간이었으며, 이를 넘지 않도록 생산 간섭을 없애기 위해 공통주기 생산계획을 이용해 각 생산 품목의 로트 크기를 최소화 할 경우 금형 교환 시간이 늘어나 프레스 가동률은 0.686정도가 됨을 보여 주었다. 따라서 <그림 3>에서 연간 작업 보유시간을 넘지 않는 각 생산 품목의 로트 크기는 후 공정인 차체에서 15시간 사용할 수 있는 생산량으로 프레스 라인의 로트 크기를 정해야 함을 알 수 있다.

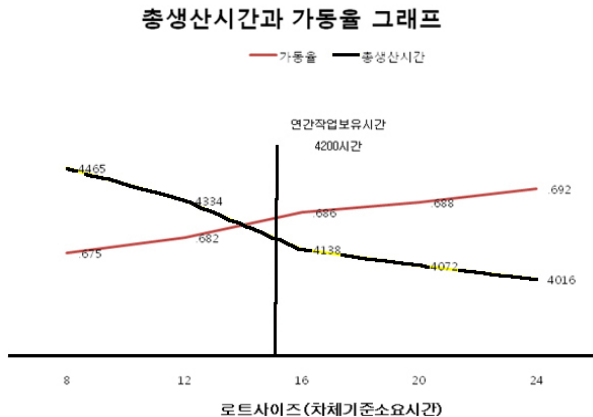


그림 3. 로트 크기에 따른 총 생산 시간과 가동률의 분석 결과

3.2 최적 로트 계획

생산 현장에서는 과거의 실적 데이터가 아닌 향후 변동하는 생산계획을 반영할 수 있는 적정 로트 크기를 찾는 것이 중요하다. 이 최적의 로트 계획은 총괄 생산 계획의 성격을 가지나, 3~4개월 간의 생산 실적이나 목표의 변동에 따라 동적으로 최적의 로트를 변경하는 것도 가능하게 해야 한다. 따라서 제 3.1 절에서 다룬 프레스 생산 실적의 분석과 같은 정태적 방법으로 로트 크기를 계산해서는 이러한 목적을 이룰 수 없다.

최적 로트 계획은 일종의 총괄 생산계획으로 프레스에서 생산하는 품목에 대한 목표 가동률, 후속 공정인 차체의 생산을 (Unit Per Hour; 이하 UPH로 함), 프레스에서 생산되는 품목 (판넬)에 대한 A/S, 외주 생산 등의 추가 생산량을 고려한 최적 로트 계획이 이루어져야 한다. 최적 로트 계획의 목적 함수는 각 생산 품목의 “계획 로트 크기” 식 (1)를 최소화하는 것이다. 즉 이것은 각 생산 품목의 최소 “계획 로트 크기”를 몇 시간 분량

으로 정하는가 하는 문제가 된다.

최적의 로트 계획에 대한 구체적 수식을 정의하기 전에 최적의 로트를 계산하는데 필요한 제약 조건은 다음과 같다.

- (1) 로트 크기는 후 공정인 차체에서 필요한 계획 로트 크기 혹은 금형 외준비 시간 생산량 보다는 커야 한다(식 (4)). 이는 차체에서 필요한 계획 로트 크기를 넘지 않을 때에는 차체의 가동이 중단되고, 금형 외준비 시간 생산량을 넘지 않을 때에는 프레스 생산이 연속적으로 이루어지지 않아 생산 중단되는 것을 막기 위함이다.
- (2) 로트 크기가 줄어들면 금형 교환 시간은 늘어난다. 이것은 다시 프레스 연간 비 가동시간을 늘어나게 한다. 총생산 시간은 프레스 연간 가동시간과 프레스 연간 비 가동 시간의 합이며, 이 총생산 시간은 연간 작업 보유 시간을 초과할 수 없다(식 (10)).
- (3) 로트 크기는 생산된 로트를 보관할 팔레트의 가용량을 넘을 수 없다(식 (11)).
- (4) 프레스의 가동률은 프레스 연간 가동 시간/총 생산시간으로 계산할 수 있는데 이 가동률은 생산에서 목표로 하고 있는 목표 가동률을 초과해야 한다(식 (12)).

이를 위해 다음과 같이 수식을 정의할 수 있다.

생산일수 240일(생산일수는 추후 조정 가능함)

생산 품목 i

프레스 내준비 시간 s_{ii}

프레스 정미 SPM (Stroke per Minute) SPM_i

차체 작업시간 t_i

차체 생산을 UPH_i

프레스 일일 추가 소요량 A_i

계획 로트 (단위 시간) x_i

계획 로트 크기 = $x_i \times UPH_i$ (1)

금형 외준비 시간 생산량 e_i (2)

로트 크기 $L_i = \max(x_i \times UPH_i, e_i)$ (3)

프레스 일일 소요량 = $t_i \times UPH_i + A_i$ (4)

연간 금형 교환 횟수 = 프레스 일일 소요량 × 240(일)/로트 크기
 = $(t_i \times UPH_i + A_i) \times 240 / \max(x_i \times UPH_i, e_i)$ (5)

연간 금형 교환시간 = 연간 금형 교환 횟수
 × 프레스 내준비 시간
 = $(t_i \times UPH_i + A_i) \times 240 / \max(x_i \times UPH_i, e_i) \times s_{ii}$ (6)

프레스 연간 가동시간 = 프레스 일일 소요량
 × 240(프레스 정미 SPM × 60)
 = $(t_i \times UPH_i + A_i) \times 240 / (SPM_i \times 60)$ (7)

프레스 연간 비 가동시간 = 연간 금형 교환 시간
 + 프레스 연간 가동시간 × α (8)

(α 는 가동시간에서 금형 교환을 제외한 비 가동시간이

차지 하는 비율)

$$\begin{aligned} \text{총 생산시간 } T &= \text{프레스 연간 가동시간} \\ &\quad + \text{프레스 연간 비 가동시간} \\ &= \sum_i ((t_i \times \text{UPH}_i + A_i) \times 240 / (\text{SPM}_i \times 60) \times (1 + \alpha) \\ &\quad + (t_i \times \text{UPH}_i + A_i) \times 240 / \max(x_i \times \text{UPH}_i, e_i) \times s_{1i}) \end{aligned} \quad (9)$$

$$\text{총 생산시간}(T) \leq \text{연간 작업보유시간}(W) \quad (10)$$

$$\text{로트 크기}(L_i) \leq \text{팔레트 수량}(P_i) \times \text{팔레트 적입량}(N_i) \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \text{가동률} &= \text{프레스 연간 가동 시간} / \text{총생산시간} \\ &\geq \text{목표 가동률} \end{aligned} \quad (12)$$

먼저 금형 외준비 시간보다 큰 로트 크기를 구하기 위해서는 식 (1) ~ 식 (3)의 수식이 필요하다. 프레스에서 생산해야 할 로트 크기인 계획 로트 크기(식 (1))는 차체에서 필요한 생산량을 계산하기 위해 차체 가동시간에 차체의 생산율(UPH)을 곱해 계산한다. 이 계획 로트는 아직 프레스의 외준비 시간을 고려하지 않은 계획 로트이다. 식 (2)은 금형 외준비 시간을 고려하여 계산한 금형 외준비 시간에 상당하는 프레스의 생산량이다. 로트 크기는 후속 공정인 차체에서 필요한 생산량과 프레스 외준비 시간 생산량 중 큰 값을 가져야 한다(식 (3)). 이는 차체에서 필요한 생산량보다는 커야 차체의 생산이 중단되지 않으며, 프레스 외준비 시간 이상의 생산량일 때만 프레스 공정이 중단되지 않는다는 사실을 반영한다.

로트 크기가 연간 작업보유시간과 팔레트 수량, 목표가동률 등의 제약 조건을 고려하도록 하기 위한 관련 수식은 식 (4)~ 식 (12)가 이를 보여주고 있다. 식 (4) 프레스 일일 소요량은 차체 소요량에다 A/S, 외주 생산 등의 추가 생산량을 고려해야 함을 보여 준다. 식 (5)는 프레스에서의 연간 생산량을 로트 크기로 나누어 연간 금형 교환 횟수를 구하였다. 연간 금형 교환시간(식 (6))은 식 (5)에다 금형 내준비시간을 곱해 구했다. 식 (7)은 프레스의 연간 소요량을 프레스의 생산율로 나누어 프레스 연간 가동시간을 구했다. 식 (8) 프레스 연간 비 가동시간은 프레스의 연간 금형 교환시간에 “프레스 연간 가동시간×가동시간에서 금형 교환을 제외한 비 가동시간이 차지 하는 비율”의 값을 더해 구했다.

금형 교환을 제외한 비 가동시간은 장비 고장, 금형 고장, 대기 시간, Short Stop 시간으로 이루어지고, 현재 가동시간의 약 15%로 추정된다. 프레스의 총생산시간(식 (9))은 프레스 연간 가동시간과 프레스 연간 비 가동시간으로 이루어짐을 보여 준다. 식 (10)은 총생산시간은 연간 작업보유시간을 넘지 않아야 함을 보인다. 식 (11)은 로트 크기는 팔레트 보유 수량×팔레트 적입량 보다 작아야 함을 가리킨다. 식 (12)는 가동률이 목표가동률 보다 커야 한다는 제약조건이다.

최적 로트 계획이 결품 등의 생산품목간의 생산 간섭을 없애기 위해 공통 주기 계획(Common Cycle Scheduling)에 의해 이루어 진다면 공통주기에 해당하는×시간 분량으로 각 생산 품목을 생산하면 되므로 계획 로트(시간) x를 모두 결정변수 x

로 둘 수 있고 식 (10)~식 (12)를 만족하는 각각의 생산품에 대한 최소 로트 크기(min L_i)를 구할 수 있다. 그러나 본 연구에서는 수리계획법으로 최소 로트를 구하기 보다는 해를 얻는 과정을 대화형 화면으로 개발(<그림 6> 참조)하여 계획 로트×(단위 시간)를 직접 입력한 다음 이것이 총생산시간, 팔레트, 가동률에 관한 제약 조건 (10)~조건 (12)를 만족하는지를 보며 계획 로트 x를 조정하며 최소 로트 크기를 구하게 하였다.

한편 본 연구에서 개발된 모형은 Askin and Goldberg(2002)의 아이디어와 상당히 근접함을 추후 발견하였으나, 본 연구의 모형은 Askin and Goldberg(2002)의 연구와 달리, 실제로 구체적인 프레스 라인을 분석한 뒤, 프레스 라인의 구체적인 생산 제약 조건을 고려하도록 개발되었다.

4. 프레스 생산 일정 계획

프레스의 생산 일정 계획은 후 공정인 차체나 프레스 라인의 원활한 생산을 위해서는 필수적인 생산계획이다. 프레스의 생산 일정 계획을 수립하기 위한 기본적인 가정은 다음과 같다.

- (1) 프레스의 생산 일정 계획에서 가장 중요한 것은 프레스 공정의 후 공정인 차체의 생산을 중단 시켜서는 안 된다는 것이다. 이를 위해서 생산 지연 품목의 수를 최소화할 수 있는 EDD 규칙을 적용하여 현 재고를 차체 가동률(UPH)로 나누어 생산품목이 소진되는 시간이 가장 빠른 품목을 우선적으로 생산 순서에서 고려하게 하여야 한다.
- (2) 프레스에서 생산할 로트 크기는 제 3장에서 구한 총생산시간, 팔레트, 가동률에 관한 제약 조건을 만족하는 수리 계획에서 계산된 최적 로트 크기를 이용한다.
- (3) 1에서 구한 생산순서에 따라 이들 품목이 프레스 라인의 당일 작업 보유 시간, 팔레트 수량 등의 구체적 생산 제약 조건을 만족하는지를 고려하여 당일 생산 할 수 있는 생산 품목을 결정한다.
- (4) 생산순서 계획에서 같은 품목을 하루에 두 번 생산해야 할 경우에는 이를 한 번에 생산 할 수 있도록 생산계획을 수정해야 한다.
- (5) 차체나 프레스의 긴급한 생산 관련 변동 사항을 고려할 수 있어야 한다.

제 3장에서 얻은 프레스의 생산 품목별 최소 로트 크기를 이용하여 프레스의 생산 일정 계획은 다음과 같은 과정을 통해 수립된다(<그림 4> 참조).

프레스 생산 일정 계획의 절차는 다음과 같다.

- (1) 현 재고와 당일 차체 생산계획, A/S, CKD(Complete Knock Down) 물량을 고려하고 차체 UPH 를 이용하여 생산계획의 긴급도를 구한다. 생산계획 긴급도는 현재고/차체 UPH 식을 이용한다(<그림 4>, ② 참조).

- (2) 생산계획의 긴급도에 따라 프레스 라인에서 생산할 품목을 정렬한다.
- (3) 제 3.2절에서 구한 해당 생산 품목의 프레스 적정 로트 크기를 가져와 각 생산 품목의 로트 크기를 결정한다.
- (4) 프레스 라인의 현 작업보유시간, 비 가동시간, 가동률, 팔레트 보유량을 고려하여 당일 생산할 수 있는 품목을 결정한다.
- (5) 당일 프레스에서 생산할 수 있는 품목이 결정되면 이를 이용하여 프레스 생산부에서는 결품 가능 품목 등 구체적 생산 요구 사항을 고려하여 프레스 생산 계획을 조정한다.

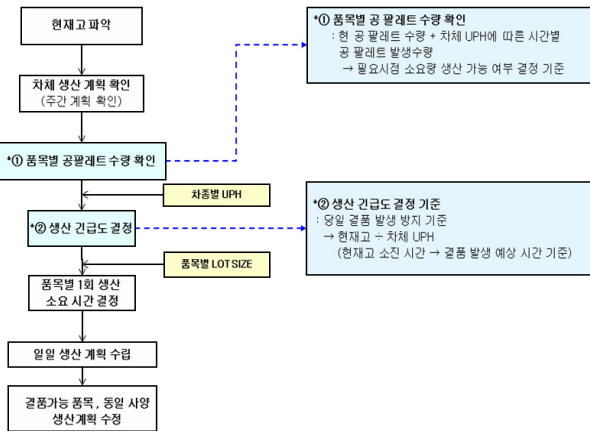


그림 4. 프레스 생산 일정 계획의 절차

생산계획의 긴급도는 현 재고를 차체 UPH로 나누어 현 재고가 언제 소진될지를 계산하였다. 이는 EDD(Earliest Due Date) 규칙과 일치하여 생산 지연 품목의 수를 최소화 할 수 있다. <그림 5>는 최종 프레스 생산 계획 시스템을 개발하기 전에 생산계획 담당자와의 의사소통, 추후 개발의 용이성 및 완결성을 확보하기 위해 EXCEL을 이용하여 프로토타이핑한 프레스 일일 생산 계획으로, 실제 생산계획이 이루어지는 과정을 구체적으로 보여 주고 있다.

프레스 생산 일정 계획(<그림 5> 참조)에서 현재고(①)는 프레스 공장을 매일 조사하여 재고를 파악한 값이며, 당일 차체 조립 대수(②)는 차체 생산 계획에서 가져온 값이다. 프레스 일일 추가 소요량에 해당하는 A/S 및 CKD (③), 차체 UPH (④), 정미 SPM(⑦)는 3.2 절 최적 로트 계획에서 사용한 값을 이용한다. 결품 발생 예상시간(⑤)은 현재고(①)/차체 UPH(④)로 계산할 수 있다. 로트 크기(⑥)는 제 3.2절 최적 로트 계획에서 구한 값을 이용한다. 다음 날 예상재고는(⑧)는 현재고(①)+로트 크기(⑥)-당일 차체 조립대수(②)-A/S 및 CKD 물량(③)으로 계산할 수 있다. 생산소요시간(⑨)은 로트 크기(⑥)/정미 SPM(⑦)으로 계산한다. 이 생산 시간을 이용하여 생산 우선 순위별 누적 생산 시간을 계산할 수 있고 당일 작업 보유시간과 누적 생산 시간을 비교하여 당일 생산 여부를 계산할 수 있다.

최종적으로 개발된 프레스 생산계획 시스템은 크게 최적 로트 계획(<그림 6> 참조)과 프레스 생산 일정 계획(<그림 7>

참조)의 두 부분으로 이루어져 있다. <그림 7>의 프레스 생산 일정 계획은 EXCEL로 프로토타이핑한 프레스 생산 일정 계획 (<그림 6> 참조)을 기반으로 개발되었음을 보여 준다. 한편 프레스 생산계획 시스템은 최적 로트 계획, 프레스 생산 일정 계획 이외에도 시스템 코드 관리, 품목 마스터 관리 등의 부분이 개발되었다.

INPUT											
차종	품번	품목	현재고 (개)	당일 차체 조립 대수 (개)	A/S 및 CKD 물량 (개)	차체 UPH (개/분)	결품 발생 예상 시간 (분)	생산 우선 순위	사양별 로트 사이즈 (개)	정미 SPM (회/분)	일일 예상 재고 (개)
MC	71122-1E000	SIDE OTR FLR	58	88	7	15	4	3	320	7.2	283
MC	71122-1E300	SIDE OTR FLR	109	371	9	15	7	7	320	7.2	49

OUTPUT											
차종	품번	품목	결품 발생 예상 시간 (시간)	생산 우선 순위	생산 순서 조정 (종류별)	사양별 로트 사이즈 (개)	정미 SPM (회/분)	생산소요시간 (시간)	누적생산시간 (시간)	결품 발생 가능 여부	당일 생산 가능 여부
MC	71122-1E000	SIDE OTR FLR	4	3	3	320	7.2	0.74	4.04	없음	OK
MC	71122-1E300	SIDE OTR FLR	7	7	3	320	7.2	0.74	4.78	없음	OK

그림 5. 프레스 생산 일정 계획 EXCEL 화면



그림 6. 적정 로트 크기 계산 화면의 일부



그림 7. 프레스 생산 일정 계획 화면의 일부

5. 토의 및 결론

본 연구는 프레스 라인의 최적 로트 크기를 결정하는 수리계획 모형을 개발하고 이를 프레스 라인의 생산 일정 계획에 적용하였다. 본 연구에서 개발한 수리계획 모형은 기존의 비용 모형이 아닌 가동률 등을 고려한 프레스 라인 최적 로트 크기 모형으로, 이를 이용하여 프레스 라인의 적정 로트 크기를 결정했다.

로트 크기 문제는 대부분 준비 비용과 재고 비용의 상충관계를 중심으로 모델링 되어 왔다. 그러나 본 연구에서와 같이 린 생산 시스템 환경하에서 어떻게 로트 크기를 결정하는가에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았다. 본 연구는 린 생산 시스템 환경하에서 프레스와 후속 공정인 차체의 가동률 등 현실적이고 구체적인 생산 관련 제약 사항을 고려해 프레스에서 생산해야 하는 생산 품목의 최소 로트 크기를 구함으로써, 변화하는 생산 환경에서 적정 로트 계획이 수립될 수 있게 하였을 뿐만 아니라, 이를 이용해 프레스의 생산 일정 계획을 수립할 수 있게 하였다.

본 연구의 한계와 추후 연구되어야 할 사항은 다음과 같다. 본 연구는 팔레트 수량을 고정된 것으로 보고 이를 제약 조건으로 활용하였으나 추후에는 로트 크기를 고려하여 팔레트의 제작 수량을 줄이는 데에도 기여할 수 있을 것이다. 본 연구는 로트 크기를 정할 때 교대 조건이나 일 작업시간을 고려하지 못했다. 현재 프레스 생산에서는 로트 크기를 교대나 일 작업을 고려하여 하루 16시간 분량으로 생산하고 있으나 본 연구에서는 적정 로트 크기를 구할 때 이런 조건을 감안하지 않아, 프레스 생산계획에서 동일 품목이 하루에 두 번 생산하게 되는 상황이 발생할 수 있으나, 팔레트가 부족하지 않을 때에는 이를 다시 묶어 한번에 같이 생산할 수 있게 하였다.

본 연구에서 개발된 수리계획 모형은 다른 모형과 비교해 해를 여러 가지로 비교 시험하지는 못했으나, 수리계획 모형의 해가 제 3.1절 프레스 생산 실적의 분석에서 구한 로트 크기와 일치하고, Askin and Goldberg(2002)의 모형이 본 연구의 아이

디어와 거의 일치해 그 타당성을 입증할 수 있다. 한편 본 연구에서 개발된 수리계획 모형은 생산 현장에서 변화하는 여러 조건을 감안할 수 있도록 대화형으로 만들어 반복적으로 해를 찾아 가도록 프로그램을 개발하였다. 본 연구에서 개발된 모형은 새로운 제품의 도입이나 품목별 연간 생산량의 증감과 같이 생산 조건이 변화해도, 쉽게 적정 로트 크기를 결정하게 하며, 프레스 생산계획을 용이하게 하여 프레스 라인의 효율을 높이는데 크게 기여할 것이다.

아울러 그간의 로트 크기 결정에 관한 연구가 대부분 비용 모형에 치우쳐 있으나, 비용 모형이 아닌 보다 현실적이고 생산 현장에서 필요한 요구 사항을 반영한 모형에 대한 연구도 더욱 활발해져야 것으로 생각된다.

참고문헌

Askin, R. G. and Goldberg, J. B. (2002), *Design and Analysis of Lean Production Systems*, Wiley.

Ha, Y. H., U, S. B., An, H. S., Han, H. S., and Park, Y. J. (2003), An Implementation of the Production Sequence Module in Automobile Production Scheduling System using Constraint Satisfaction Method, *IE Interface*, 16(3).

Hopp and Spearman (2000), *Factory Physics*, 2nd, Ed., McGrawHill.

Jans, R. and Degraeve, Z. (2008), Modeling industrial lot sizing problems : a review, *International Journal of Production Research*, 46(6), 1619-1643.

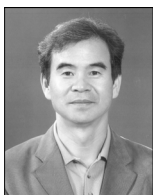
Jamshidi, H. (2005), Lean Manufacturing and Formation of Production Cycles with the Wagner-Whitin Algorithm, *The Journal of Global Business Issues*, 3(1).

Moon, S., U, Sun, J. W., Lee, S., Cha, C. N., Han, K. H., Hong, S. P., and Hwang, H. (1996), Production Planning and Scheduling System Development for Vehicle Side Frame Process, *IE Interface*, 9(2).

Robinson, Powell, Arunachalam Narayanan, Funda Sahin (2009), Coordinated deterministic dynamic demand lot-sizing problem : A review of models and algorithms, *Omega*, 37, 3-15.

Shmanske, S. (2003), JIT and the Complementarity of Buffers and Lot Size, *American Business Review*, 21(1), 100-106.

Zangwill, W. I. (1987), From EOQ towards ZI, *Management Science*, 33(10), 1216-1223.



김연민

서울대학교 산업공학과 학사
 한국과학기술원 경영과학과 석사
 한국과학기술원 경영과학과 박사
 현대중공업 조선사업부 시스템개발부 근무
 미국 Ohio 주립대학 경영과학과 객원교수
 미국 Alabama Auburn 대학 산업공학과
 객원교수
 덴마크 Copenhagen Business School 객원교수
 현재 : 울산대학교 산업경영공학부 교수
 관심분야 : 생산전략, 기술경영, 시뮬레이션