

선형계획법을 이용한 협업공급망계획 수립모델

이승근 · 이홍철[†]

고려대학교 산업시스템정보공학과

A Linear Programming Approach for Supply Network Planning based on Supply Chain Collaboration Strategy

Seung-Keun, Lee · Hongchul, Lee

Department of Industrial System and Information Engineering, Korea University, Seoul, 136-701

In this paper, we propose a linear programming model of supply planning process for the supply chain collaboration strategy of a company. The amount of its supplying quantity relies on outsourcing suppliers heavily. Conversely, the revenues of those suppliers are highly dependent on the supplying quota from the supply network planning of the company. In order to keep the supply stable through collaboration, the company builds such a policy to guarantee the fairness on revenue between the supplies. For this, the supply network plan should keep the capacity utilization ratio even for all the suppliers. But the production capacities are different and the distribution of molds is disproportional through suppliers, so the supply network plan is not easily established with simple arithmetic processes. Therefore, we developed the linear programming model with those target function and constraints minimizing the costs for holding inventory and penalty of delayed delivery, simultaneously guaranteeing the even capacity utilization through suppliers. The proposed model has been applied to real case and the evaluation for the planning result from the model would be followed in order to make sure that our model guarantee on extracting the supply network plan subordinated to the policy. Also we mention about further studies for improvement of the model.

Keywords: linear programming, supply chain strategy, collaboration

1. 서론

공급체인관리에 있어서 공급업체와의 협업은 공급능력 안정화와 함께 원가절감 및 고객만족이라는 정량적 효과를 얻을 수 있는 것으로 알려져 있다. 공급체인관리를 위한 협업전략은 공급체인의 특성에 따라 다양하며, 이는 크게 적대적(경쟁적) 협업과 협력적 협업으로 나눌 수 있다. 적대적 관계는 경쟁적 협상, 가격위주의 구매, 단기적 계약, 다수의 공급자 등으로 특징 지워질 수 있고(Mattysens and Bult, 1994), 협력적 관계는 전문적인 구매업무 담당자가 신뢰성 있는 소수의 공급자와 장기간 거래를 통해서 형성된 상호간의 유기적인 관계를 의미한다(Gules and Burgess, 1996). 이 때, 정량적 기법에만 의존하는

공급업체 관리정책은 장기적인 협업적 관계를 유지하기 위한 또 다른 비용이 발생하며, 부적절한 관리정책에 의해 기존 협력업체의 공급사슬 탈퇴와 신규 협력업체의 공급사슬 가입이 빈번히 발생하게 되면 공급능력 불안정과 함께 고객만족도 하락이라는 잠재적 손실을 야기할 수 있다. 따라서 협력업체와의 안정적 협업 프로세스를 유지하는 것은 기업의 최종 이익에 대한 주요 성공요인으로 인식되어야 하며, 이를 위해서는 일반적으로 알려진 표준적 협업전략 외에도 한 기업이 공급사슬 내에서 갖는 위치에 따라 적절한 관리정책이 수립되어야 한다.

본 연구에서는 협력업체로부터의 공급의존도가 높은 한 압출제품 생산업체의 공급망 내 협업정책을 실현하는 물량배분 계획수립과정을 모델링한다. 협력적 협업정책을 통한 안정된

[†] 연락처 : 이홍철 교수, 136-701 서울 성북구 안암동 1-5 고려대학교 산업시스템정보공학과, Fax : 02-929-5888, E-mail : hclee@korea.ac.kr
2004년 5월 3일 접수, 2회 수정 후 2004년 11월 16일 게재 확정.

공급능력을 확보하기 위해, 대상기업은 협력업체들의 공정한 매출수준을 보장해 주고자 하며, 이를 위해서 업체별 가동률을 일정하게 하는 공급물량을 배분하고자 하고 있다. 하지만 업체별 생산능력(압출능력)과 생산가능제품(압출금형)의 분포가 불균형하고 생산가능 품목이 상이하여 산술적 공급계획 수립이 불가능하다. 이는 전형적인 선형계획문제로서, 본 연구에서는 선행재고생산과 납기지연을 최소화하면서 업체별 동일한 생산가동률을 유지하는 모델을 제시한다. 모델링 과정에서 공급체인의 구조 및 금형/업체별 생산능력의 불균형을 반영하고, 적용사례를 통하여 간소한 계획절차와 함께 협력업체 간의 공급물량배분의 공정성을 확보하는지를 확인하도록 한다. 또한 공급체인 관리정책의 개선방안에 대해서도 언급하도록 한다.

2. 연구대상의 이해

2장에서는 연구대상에 대한 비즈니스 환경 및 공급체인관리 정책에 대하여 설명하고, 공급체인 및 계획수립절차 상의 제약 사항에 대해서 살펴보도록 한다.

2.1 비즈니스 환경 및 요구사항

A사는 문들을 생산, 구매하여 판매하는 회사이다. 이 회사는 전체 수요물량의 70%를 협력업체로부터 공급받고 있으며 협력업체 의존도는 점점 높아지고 있는 실정이다. 이 때, 각 협력업체의 생산량은 A사의 물량배분계획에 의해 결정되며, A사로부터의 요청수량만큼을 공급하고 있다. 공급안정성을 확보하고 수요변동에 유연하게 대처하기 위해서는 협력업체와의 장기적이고 상호 우호적인 협력관계를 유지하는 것이 중요하며, 이를 위해서는 공급물량 배분정책에 대한 공정성이 협력업체들 사이에 형성되어야 한다. A사는 협력업체들과의 협의를 통하여 각 업체별 생산능력을 동일하게 유지하도록 공급물량을 배분하겠다는 물량배분정책을 수립하였고, 이에 따라 수요량을 업체별로 동일한 가동률을 유지하도록 배분해 왔다. 하지만 6,500여 개에 달하는 제품의 가지 수 (SKU: Stock Keeping Unit)에 대하여 수작업을 통한 물량배분작업을 수행한다는 것은 많은 시간과 전문지식을 갖춘 전문가를 요구하게 되었고, 이에 대한 관리비용이 상당한 비중을 차지하고 있었다. 따라서 동일한 업체별 가동률을 유지시키는 공급물량 배분계획 프로세스를 구조화하여, 계획시간을 단축시키고 계획절차를 매뉴얼화하고자 한다.

2.2 제품 및 수요 특성

공급계획 수립의 관점에서, 공정은 압출(Extracting)과 래핑(Wrapping), 구성제품은 압출바(Profile)와 장식지(Decorative

sheet)로 구성할 수 있다(<그림 1>). 압출바는 창문틀의 형태를 결정하고 장식지는 창문틀의 색상과 질감을 결정한다.

생산하는 완제품과 반제품의 종류는 다음과 같다.

- (1) 래핑 완제품: 압출바에 장식지를 래핑한 완제품
- (2) 압출바 완제품: 장식지를 래핑하지는 않았지만 반제품 형태로 판매되는 압출바
- (3) 압출바 반제품: 래핑 완제품의 하위자재로 사용되는 압출바

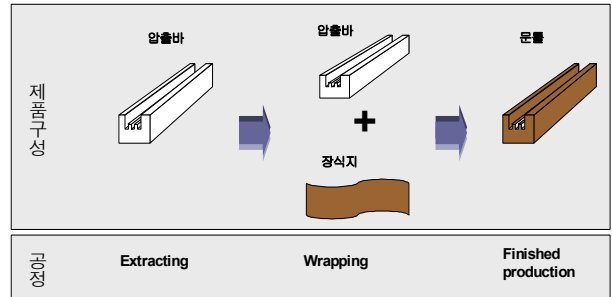


그림 1. 제품의 구조 및 공정.

제품의 가지 수는 압출바의 형태(금형형태)와 길이, 장식지의 색상조합에 의하여 결정된다. 특히 장식지는 소비자의 기호가 빠르게 변하는 만큼 매 월 수십 종의 색상이 개발되며 이에 따라 수백 개의 신제품이 출시되고 있다. 꾸준한 수요가 발생하는 주요 압출바와 장식지의 색상이 정해져 있기는 하지만 매 월 새로운 형태의 수요 패턴이 발생하고 있다. 수요의 특성에 따라 제품의 성격을 분류하면 <그림 2>와 같이 네 영역의 제품 그룹이 형성된다.

		압출바 (금형 종류)	
		주종	구색
장식지 (Color)	주종	1	2
	구색	3	4

그림 2. 수요특성에 따른 제품 그룹.

<그림 2>에서처럼 압출바와 장식지는 주종과 구색종이 있다. 압출바와 장식지가 모두 주종인 그룹 1은 안정적인 수요특성을 가지고 있으나 다른 그룹은 계절이나 일회성 판매의 특성을 보이고 있다. 이 관점에서 공급의 준비수준을 결정하는 것

이 제품공급전략이 될 것이다. 예를 들면 주종 압출바와 장식 지만을 계획에 의해 준비하고 실제 주문이 입력된 후에, 래핑 공정을 수행하여 대응할 것인지(Assemble-To-Order), 아니면 수요예측에 의한 완제품생산을 통하여 재고대응할 수 있도록 할 것인지(Make-To-Stock)를 결정해야 한다. 본 연구에서는 재고대응전략을 선택한 것으로 가정한다.

2.3 공급체인 특성 및 생산계약

A사의 공급체인은 완제품 생산업체, 압출전문업체, 래핑전문업체와 같은 세 가지 형태의 협력업체를 포함하고 있다. 각 협력업체는 생산된 완제품을 A사로 공급하여 A사가 대리점 혹은 대형고객으로부터의 주문에 재고대응할 수 있도록 한다. 이 공급체인은 <그림 3>과 같이 표현될 수 있다. 공급체인에 포함된 각 협력업체의 공급특성은 생산하는 제품의 특성에 따라 래핑전문업체, 압출전문업체, 완제품생산업체로 구분할 수 있다.

- (1) 래핑전문업체: 전형적인 임가공업체로서, 압출전문업체로부터 무상사급을 통해 압출바를 공급받고, A업체로부터 장식지를 구입하여 래핑공정만을 수행하며, 생산된 완제품을 A업체에 공급
- (2) 압출전문업체: 래핑전문업체가 필요로 하는 압출바 반제품 및 압출바 완제품을 생산하여 A 업체 및 래핑전문업체에 공급
- (3) 완제품생산업체: A업체로부터 장식지를 구매하여 압출, 래핑공정을 거쳐 완제품을 공급

2.4 협력업체 관리전략 실행을 위한 공급계획정책

협력업체 물량배분정책의 기준은 업체별 압출능력이다. 이는 래핑능력(단위: m)이 압출능력(단위: Kg)보다 항상 크기 때문이다. 따라서 래핑전문업체의 래핑능력은 물량배분의 기준이 될 수 없으며 래핑전문업체의 배분물량은 압출전문업체의 압출바 반제품 공급능력에 의해 제한된다.

여기서 고려해야 할 점은 압출능력의 업체별 분포가 불균형 하다는 것이다. 만약 모든 업체가 동일한 종류의 금형을 가지고 있고, 금형별 압출능력이 업체의 총 생산능력에 비례하여 보유하고 있다면, 제품별 판매계획을 협력업체의 수와 업체별 생산능력 가중치를 고려하여 산술적으로 공급 배분량을 결정할 수 있을 것이다. 하지만 금형별 압출능력이 업체의 총 생산능력에 비례하여 분포하지 않고, 업체별 금형보유도 불균형하므로 산술적 계산에 의한 계획수립은 불가능하다.

이는 생산계약 요소와 수요를 고려하여 재고저장 및 납기 지연을 최소화하는 전형적인 선형계획문제이며 3장에서 대상 문제를 구조화시켜 본다.

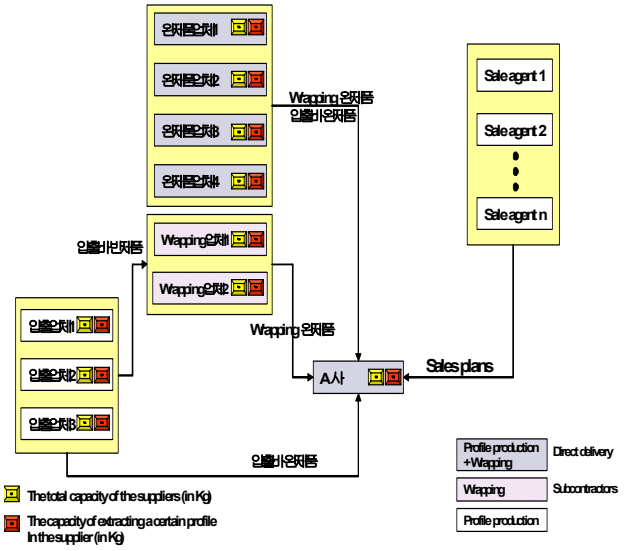


그림 3. A사의 supply chain.

3. 문제해결을 위한 수학적 모델

3장에서는 선형계획 모델링을 위한 목적식과 제약사항을 정의한다.

3.1 모델링을 위한 가정 및 공통변수 정의

완제품의 생산공정은 의사결정을 위해 필요한 단계만을 고려하여 <그림 4>와 같이 간단히 표현할 수 있다.

하나의 완제품을 생산하기 위해서는 하나의 압출바와 완제품 길이만큼의 장식지가 필요하다.

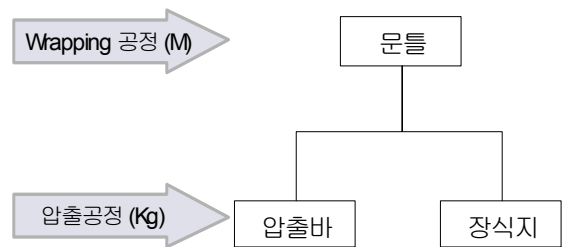


그림 4. 모델링을 위한 완제품 생산공정과 부품표.

완제품(문틀)의 생산을 위한 래핑공정의 생산자원소비 (Resource consumption) 단위는 완제품의 길이(m)와 같고, 반제품(압출바) 생산을 위한 압출공정의 생산자원소비 단위는 압출바의 중량(Kg)과 같다. 단, 본 연구모델에서 래핑능력이 항상 압출능력보다 크므로 압출에 대한 생산자원소비만을 모델링에 고려한다.

모델링을 위한 주요 가정을 정리하면 다음과 같다.

- (1) 고객대응전략은 재고생산(Make-to-stock)이다.
- (2) 래핑능력은 압출능력보다 항상 크다.
- (3) 장식지는 항상 가용한 자재이다.

모델링을 위해 사용할 공통변수를 아래와 같이 정의한다.

- i : 금형
- j : 절단길이
- d : 장식지
- t : 시간기간
- l : 협력업체

P_{ijd} : i 형 금형, j 절단 길이, d 장식지 완제품

e_{ij} : i 형 금형, j 절단 길이 압출바

3.2 의사결정변수

대상기업은 재고유지와 납기지연 때문에 발생하는 판매 기회 손실비용을 최소화시키면서 수요계획을 만족시키기 위해 시간기간(Time bucket, 예를 들면 일, 주, 월)과 생산위치별 생산량, 재고량, 지연수량을 완제품과 반제품에 대하여 결정하여야 한다.

- $q_{p_{ij}dlt}$: t 기간, l 업체 P_{ijd} 완제품 생산량
- $q_{e_{ij}lt}$: t 기간, l 업체 e_{ij} 압출바 생산량
- $I_{p_{ij}dlt}^-$: t 기간 말, l 업체 P_{ijd} 완제품 재고량
- $I_{e_{ij}lt}^-$: t 기간 말, l 업체 e_{ij} 압출바 재고량

이 때, 변수 $I_{p_{ij}dlt}^+$ 와 $I_{e_{ij}lt}^+$ 는 제한이 없는 음수허용변수인데, 그 이유는 음수재고가 판매손실을 나타내기 때문이다. 판매손실에 대해서는 미납을 허용하지 않으므로 재고량을 나타내는 변수 $I_{p_{ij}dlt}^-$ 와 $I_{e_{ij}lt}^-$ 는 제한이 없는 음수허용변수이고 다음과 같은 비음의 변수로 표현할 수 있다.

$$I_{p_{ij}dlt} = I_{p_{ij}dlt}^+ - I_{p_{ij}dlt}^-, \quad \text{여기서 } I_{p_{ij}dlt}^+ \geq 0, I_{p_{ij}dlt}^- \geq 0$$

$$I_{e_{ij}lt} = I_{e_{ij}lt}^+ - I_{e_{ij}lt}^-, \quad \text{여기서 } I_{e_{ij}lt}^+ \geq 0, I_{e_{ij}lt}^- \geq 0$$

$I_{p_{ij}dlt}^+$ 와 $I_{e_{ij}lt}^+$ 는 각각 $I_{p_{ij}dlt}$ 와 $I_{e_{ij}lt}$ 의 양수부분인 완제품과 압출바의 선행생산 재고량을 나타내고, $I_{p_{ij}dlt}^-$ 와 $I_{e_{ij}lt}^-$ 는 각각 $I_{p_{ij}dlt}$ 와 $I_{e_{ij}lt}$ 의 음수부분인 납기지연수량을 나타낸다.

$$I_{p_{ij}dlt}^+ = \begin{cases} +I_{p_{ij}dlt} & , \text{ if } I_{p_{ij}dlt} \geq 0 \\ 0 & , \text{ if } I_{p_{ij}dlt} \leq 0 \end{cases}$$

$$I_{p_{ij}dlt}^- = \begin{cases} 0 & , \text{ if } I_{p_{ij}dlt} \geq 0 \\ -I_{p_{ij}dlt} & , \text{ if } I_{p_{ij}dlt} \leq 0 \end{cases}$$

$$I_{e_{ij}lt}^+ = \begin{cases} +I_{e_{ij}lt} & , \text{ if } I_{e_{ij}lt} \geq 0 \\ 0 & , \text{ if } I_{e_{ij}lt} \leq 0 \end{cases}$$

$$I_{e_{ij}lt}^- = \begin{cases} 0 & , \text{ if } I_{e_{ij}lt} \geq 0 \\ -I_{e_{ij}lt} & , \text{ if } I_{e_{ij}lt} \leq 0 \end{cases}$$

음수허용변수를 통한 선형계획 모델링에 대한 자세한 내용은 참고문헌을 살펴보기 바란다(Hiller and Lieberman, 1989).

3.3 수요제약변수

모든 수요는 A사에 대하여 발생하고, 시간기간별 완제품에 대하여 수요계획이 이루어진다.

$f q_{p_{ij}dlt}$: t 기간의 완제품 P_{ijd} 에 대한 수요계획량

$f q_{e_{ij}lt}$: t 기간의 압출바 e_{ij} 에 대한 종속요구량

3.4 모델링을 위한 수요, 생산, 재고량 결정 프로세스

정의된 변수를 통한 수요, 생산, 재고량 프로세스를 도식화하면 <그림 5>와 같다

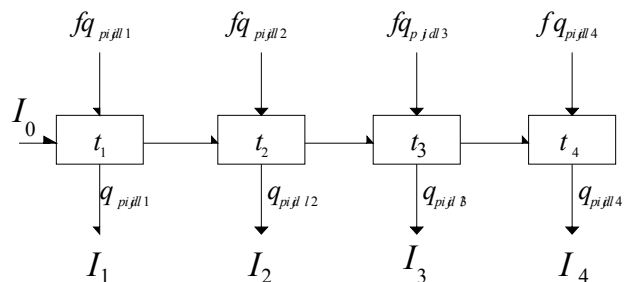


그림 5. 모델변수의 도식적 표현.

3.5 비용모수

생산위치별 생산, 재고, 지연비용을 설정하여 물류정책의 우선순위를 명시한다. 모든 비용은 전 시간기간에 대하여 동일하다고 가정한다.

$c q_{p_{ij}d}$: l 업체 완제품 P_{ijd} 단위생산비용

$c q_{e_{ij}l}$: l 업체 압출바 e_{ij} 단위생산비용

$CS_{p_{ij}d}^+$: l 업체 완제품 $p_{ij}d$ 단위/기간당 저장비용

$CS_{e_{ij}l}^+$: l 업체 압출바 e_{ij} 단위/기간당 저장비용

$CS_{p_{ij}d}^-$: l 업체 완제품 $p_{ij}d$ 단위/기간당 납기지연비용

$CS_{e_{ij}l}^-$: l 업체 압출바 e_{ij} 단위/기간당 납기지연비용

여기서 재고비용과 납기지연비용은 다음의 관계를 만족시켜야 하는데, 이 관계를 만족시키지 않으면, 다음에 생성된 모델이 무한대의 Z 를 산출하는 해를 도출하기 때문이다.

$$\left. \begin{aligned} CS_{p_{ij}d}^+ + CS_{p_{ij}d}^- &\geq 0 \\ CS_{e_{ij}l}^+ + CS_{e_{ij}l}^- &\geq 0 \end{aligned} \right\} \text{when minimizing } Z$$

$$\left. \begin{aligned} CS_{p_{ij}d}^+ + CS_{p_{ij}d}^- &\leq 0 \\ CS_{e_{ij}l}^+ + CS_{e_{ij}l}^- &\leq 0 \end{aligned} \right\} \text{when maximizing } Z$$

3.6 목적식

모델링의 목적은 생산, 저장, 지연비용을 최소화하는 업체별 생산량 및 재고계획을 수립하는 것이며 다음과 같은 식으로 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Min } z = & \sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^n \sum_{t=1}^k \sum_{j=1}^{r_i} \sum_{d=1}^c cq_{p_{ij}d} \times q_{p_{ij}d} + \\ & \sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^n \sum_{t=1}^k \sum_{j=1}^{r_i} cq_{e_{ij}l} \times q_{e_{ij}l} + \\ & \sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^n \sum_{t=1}^k \sum_{j=1}^{r_i} \sum_{d=1}^c CS_{p_{ij}d}^+ \times I_{p_{ij}d}^+ - \\ & \sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^n \sum_{t=1}^k \sum_{j=1}^{r_i} \sum_{d=1}^c CS_{p_{ij}d}^- \times I_{p_{ij}d}^- + \\ & \sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^n \sum_{t=1}^k \sum_{j=1}^{r_i} CS_{e_{ij}l}^+ \times I_{e_{ij}l}^+ - \\ & \sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^n \sum_{t=1}^k \sum_{j=1}^{r_i} CS_{e_{ij}l}^- \times I_{e_{ij}l}^- \end{aligned}$$

여기서 r_i 은 i 형 압출바의 절단길이 종류, m 은 금형 종류, n 은 A사를 포함한 협력업체의 개수, k 는 고려대상 시간간의 수이며 c 는 장식지의 종류이다.

3.7 제약식

(1) 생산량에 의한 제약

생산량에 의한 제약은 기말재고를 기준으로 표현할 수 있

며, 매월의 생산량은 수요계획량과 이를 초과한 재고량의 합으로 표시될 수 있다. I_0 을 초기재고라 할 때, 첫 시간기간의 생산량 제약은 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$I_{p_{ij}d} = I_{p_{ij}d}^0 + q_{p_{ij}d} - fq_{p_{ij}d}$$

이를 일반화하여, 특정시간기간 말의 재고량은 기말의 재고량과 기간 생산량의 합에 대하여 기간의 수요량을 차감한 수량으로 표현할 수 있다. 이를 음수허용변수를 도입하여 일반화시키면 식 (1)과 같이 정의된다.

$$I_{p_{ij}d}^+ - I_{p_{ij}d}^- = I_{p_{ij}d}^{+(t-1)} - I_{p_{ij}d}^{- (t-1)} + q_{p_{ij}d} - fq_{p_{ij}d} \quad \text{for all } i, l, t, j, d \quad (1)$$

압출바 생산요구량(종속수요량)을 계산하기 위해서는 부품표(Bills of Material)의 정보를 이용하여야 하며 부품표 상, 하나의 완제품을 생산하기 위해서는 하나의 압출바가 필요하므로 식 (2)와 같이 전개된다.

$$fq_{e_{ij}l} = \sum_{d=1}^c fq_{p_{ij}d} \quad \text{for all } i, l, t, j \quad (2)$$

압출바 생산요구량을 이용하여 특정시간기간 t 말의 재고량을 다음과 같이 수식화할 수 있다.

$$I_{e_{ij}l}^+ - I_{e_{ij}l}^- = I_{e_{ij}l}^{+(t-1)} - I_{e_{ij}l}^{- (t-1)} + q_{e_{ij}l} - fq_{e_{ij}l} \quad \text{for all } i, l, t, j \quad (3)$$

(2) 협력업체 공급모델에 의한 제약

앞서 설명한 것과 같이 한 완제품과 이를 구성하는 압출바는 하나 이상의 업체에서 생산할 수 있으므로 모든 업체의 특정 제품에 대한 생산량의 합은 그 제품의 총 공급요구량보다 작거나 같아야 한다.

$$\sum_{l^s=1}^n (q_{p_{ij}d} + I_{p_{ij}d}^+ - I_{p_{ij}d}^-) \leq fq_{p_{ij}d} + I_{p_{ij}d}^{+(t-1)} - I_{p_{ij}d}^{- (t-1)} \quad \text{for all } i, t, j, d \quad (4)$$

$$\sum_{l^s=1}^n (q_{e_{ij}l} + I_{e_{ij}l}^+ - I_{e_{ij}l}^-) \leq fq_{e_{ij}l} + I_{e_{ij}l}^{+(t-1)} - I_{e_{ij}l}^{- (t-1)} \quad \text{for all } i, t, j \quad (5)$$

여기서 l^t 는 목적지(Target location), l^s 는 공급지(Source location)를 나타내며 공급체인모델의 구성에 따라 결정된다.

(3) 생산능력에 의한 제약

생산자원의 제약은 압출에 대해서만 고려하도록 하는데, 이는 래핑능력이 압출능력보다 항상 크기 때문이다. 생산자원은 두 가지 관점에서 고려해야 하는데, 하나는 협력업체의 총 생산능력이고 다른 하나는 특정 압출바를 압출할 수 있는 금형의 생산능력이다.

r_{ilt} : t 기간, 업체 l 에서의 i 형 압출바 압출능력

tc_{lt} : t 기간, 업체 l 의 총 생산능력

여기서 중요하게 고려해야 할 점은, 모든 금형에 대한 r_{il} 의 합이 tc_l 가 아니라는 점이다. 그 이유는 압출능력이 금형과 라인의 조합에 따라 이루어지며 각 업체는 라인의 수보다 많은 금형의 수를 가지고 있기 때문이다. 예를 들어 m 형 금형이 5명이 있고 이 금형과 조합하여 m 형 압출바를 압출할 수 있는 w 형 라인이 6개가 있다고 가정해 보자. w 형 라인은 m 형 이외의 금형과도 조합할 수 있는데 평소에는 m 형 금형을 탑재하는 라인을 3개 운영하고, m 형 완제품의 주문이 많은 경우에만 5개의 m 형 금형 라인을 설치하여 대응할 수 있다. 만약 m 형 압출능력을 평소 운영라인의 수와 같은 3개 라인의 압출능력으로 설정한다면, 이 능력을 넘어서는 더 많은 주문이 들어오는 경우에는 5개까지의 라인을 운영할 수 있음에도 불구하고 생산능력제약에 걸려 판매기회를 잃게 될 것이다. 따라서 금형형태별 압출능력은 금형의 개수와 동일하게 설정하도록 하였다. 이렇게 하면 평균적인 수량과 이상수요에 모두 대처할 수 있다.

이제 생산자원의 소비는 압출바의 중량과 같으므로 압출바별 중량을 w_{eij} 라 하면, t 시간기간의 금형별 압출중량의 합은 금형별 압출능력보다 작아야 한다.

$$\sum_{j=1}^{r_i} w_{e_j} q_{e_jlt} \leq r_{ilt} \quad \text{for all } i, l, t \quad (6)$$

또한 전 제품에 대한 압출중량은 업체의 총 생산능력보다 작아야 한다. (수식과 조건 간격 넓힘)

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{r_i} w_{e_i,j} q_{e_jlt} \leq tc_{lt} \quad \text{for all } l, t \quad (7)$$

(4) 비음제약

생산량, 재고량, 지연수량은 0보다 작을 수 없다.

$$q_{p_{jld}t}, q_{e_{jlt}}, I_{p_{jld}t}^+, I_{p_{jld}t}^-, I_{e_{jlt}}^+, I_{e_{jlt}}^- \geq 0 \quad \text{for all } i, l, t, j, d \quad (8)$$

3.8 최종 선형계획모델

지금까지 단계별로 구조화한 선형계획모델을 완성하면 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Min } z = & \sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^n \sum_{t=1}^k \sum_{j=1}^{r_i} \sum_{d=1}^c cq_{p_{jld}t} \times q_{p_{jld}t} + \\ & \sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^n \sum_{t=1}^k \sum_{j=1}^{r_i} cq_{e_{jlt}} \times q_{e_{jlt}} + \\ & \sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^n \sum_{t=1}^k \sum_{j=1}^{r_i} \sum_{d=1}^c cs_{p_{jld}t}^+ \times I_{p_{jld}t}^+ - \\ & \sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^n \sum_{t=1}^k \sum_{j=1}^{r_i} \sum_{d=1}^c cs_{p_{jld}t}^- \times I_{p_{jld}t}^- + \\ & \sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^n \sum_{t=1}^k \sum_{j=1}^{r_i} cs_{e_{jlt}}^+ \times I_{e_{jlt}}^+ - \\ & \sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^n \sum_{t=1}^k \sum_{j=1}^{r_i} cs_{e_{jlt}}^- \times I_{e_{jlt}}^- \end{aligned}$$

subject to

$$I_{p_{jld}t}^+ - I_{p_{jld}t}^- = I_{p_{jld}l(t-1)}^+ - I_{p_{jld}l(t-1)}^- + q_{p_{jld}t} - fq_{p_{jld}t} \quad \text{for all } i, l, t, j, d$$

$$fq_{e_{jlt}} = \sum_{d=1}^c fq_{p_{jld}t} \quad \text{for all } i, l, t, j$$

$$I_{e_{jlt}}^+ - I_{e_{jlt}}^- = I_{e_{jlt}(t-1)}^+ - I_{e_{jlt}(t-1)}^- + q_{e_{jlt}} - fq_{e_{jlt}} \quad \text{for all } i, l, t, j$$

$$\sum_{l=1}^n (q_{p_{jld}l^s t} + I_{p_{jld}l^s t}^+ - I_{p_{jld}l^s t}^-) \leq fq_{p_{jld}l^s t} + I_{p_{jld}l^s(t-1)}^+ - I_{p_{jld}l^s(t-1)}^- \quad \text{for all } i, t, j, d$$

$$\sum_{l=1}^n (q_{e_{jlt}^s} + I_{e_{jlt}^s}^+ - I_{e_{jlt}^s}^-) \leq fq_{e_{jlt}^s} + I_{e_{jlt}^s(t-1)}^+ - I_{e_{jlt}^s(t-1)}^- \quad \text{for all } i, t, j$$

$$\sum_{j=1}^{r_i} w_{e_j} q_{e_jlt} \leq r_{ilt} \quad \text{for all } i, l, t$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{r_i} w_{e_i,j} q_{e_jlt} \leq tc_{lt} \quad \text{for all } l, t$$

$$q_{p_{jld}t}, q_{e_{jlt}}, I_{p_{jld}t}^+, I_{p_{jld}t}^-, I_{e_{jlt}}^+, I_{e_{jlt}}^- \geq 0$$

for all i, l, t, j, d

이제 선형계획법의 해를 도출해야 하며, 심플렉스법은 선형 계획문제를 해결하는 가장 일반적인 방법으로 널리 이용되어

왔다. 자세한 풀이과정은 본 연구의 범위에서 벗어나므로 참고문헌을 살펴보기 바란다(Hiller and Lieberman, 1989).

4. 실험의 단계 및 분석

물량배분계획을 위한 선형계획법을 수행하기 위해서는 계획 프로세스의 단계를 따라 선형계획 모델을 구성하는 의사결정 변수와 제약모수를 발견해 나가야 한다. 모델링의 중요한 고려 사항은 업체별 금형의 제약반영과 업체별 가동률을 일정하게 유지하도록 모수를 설정하는 것이다.

4.1 Planning Process 단계별 선형계획 모델링

협력업체별 가동률을 일정하게 유지하도록 하는 선형계획 모델을 구성하기 위해서는 각 협력업체별 총 생산능력이 일정하도록 제약모수를 설정해야 한다. <그림 6>에서는 공급계획 프로세스를 도식적으로 설명하고 있으며 각 프로세스 단계별로 어떻게 선형계획 모델이 설계되어 가는지 살펴보도록 한다.

Step 1. 제품별 판매계획

A사는 판매계획 수립을 위해서 두 가지 관점에서 접근하고 있다. 주종제품에 대해서는 안정적 수요실적을 바탕으로 한 통계적 수요예측을 수행하고 비주종제품에 대해서는 대리점으로 부터의 주문을 바탕으로 수요계획을 수립한다.

판매계획이 수립되면 $f_{q_{prod}}$ 을 대입하여 3.7절에서 설명한 생산량에 의한 제약식 (1)~(3)과 협력업체 공급모델에 의한 제약식 (4), (5)를 완성할 수 있다.

Step 2. 목표가동률(TCU; Target Capacity Utilization) 산출

목표가동률은 판매계획량에 대응하기 위한 전 업체의 평균

계획가동률을 말한다. 판매계획이 수립되면 제품의 중량을 이용하여 판매계획 수량을 판매계획 중량으로 전환하여 목표가동률을 산출하여야 한다. 이는 업체별 생산능력을 압출중량으로 표현하기 때문이다. 이 때, 래핑업체는 물량배분대상에서 제외하므로 래핑업체의 생산능력은 목표가동률 산출의 대상에서 제외하도록 한다.

$$TCU = \sum_{l^e=1}^n \left\{ \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{t=1}^k \sum_{j=1}^{r_j} w_{e_{ij}} q_{e_{ij}l^e t}}{tc_{l^e}} \right\}$$

여기서 l^e 는 압출 가능업체이다.

Step 3. 업체별 Capacity utilization 설정

목표가동률이 산출되면 3.7절에서 설명한 업체 총 생산능력에 의한 제약 식 (7)을 변형하여 다음과 같은 목표가동률 기준의 생산제약식을 완성할 수 있다.

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{r_j} w_{e_{ij}} q_{e_{ij}l^e t} \leq TCU \times tc_{l^e} \quad \text{for all } l, t \quad (9)$$

Step 4. 물량배분정책에 따른 선형계획 모델비용 정의

생산, 지연, 재고에 대한 비용모수(우선순위)는 기업의 물류 정책에 따라 다를 수 있다. 고객에 대한 납기지연이 매출에 민감하게 영향을 미치지 않는 경우 재고를 최소화하며 대응할 수 있을 것이고, 이 경우에는 재고유지비용을 지연발생비용보다 크게 설정하여 선형계획 엔진이 재고를 최소화하는 방향으로 해를 찾아나갈 수 있도록 한다. 반대로 납기지연이 매출에 민감하게 영향을 미치는 경우에는 재고를 충분히 비축하여 지연발생이 최소화되도록 하기 위해서 지연발생비용을 크게 설정한다.

만일 각 협력업체별 물량배분 우선순위를 조정하기 위해서는 제품-위치별 생산비용을 다르게 설정하여, 대상제품의 생산비용이 낮은 협력업체에서 먼저 공급하도록 한다.

Step 5. 최적화 엔진 수행

선형계획 모델을 수행하여 협력업체별 공급물량을 배분한다. 모델링은 독일 SAP 사의 APO(Advanced Planner and Optimizer)를 이용하고 선형최적화 엔진은 프랑스 I-LOG 사의 최적화 엔진을 사용한다.

Step 6. 결과의 수정 및 확정

정확한 목표가동률을 산출했다고 하더라도 납기지연이나 미납이 발생할 수 있다. 그 이유는 목표가동률을 금형 레벨에서 산출하지 않고 업체 총 생산능력 레벨에서 산출했기 때문



그림 6. 계획 프로세스.

이다. 다음 두 가지 경우가 발생하게 되면 최적화의 수행결과를 수정하여 실행 가능한 공급물량배분이 이루어질 수 있도록 해야 할 것이다.

- (1) 업체의 총 생산능력은 여유가 있으나 금형의 압출능력이 수요를 충족시킬 수 없는 경우
- (2) 금형의 압출능력은 여유가 있으나 업체의 생산능력이 목표가동률에 의하여 제한되는 경우

4.2 시뮬레이션을 위한 데이터 세트

결과분석을 위해 실험단계별 데이터 세트에 대하여 설명하도록 한다.

Step 1. 판매계획 수립

판매계획은 995개의 제품에 대하여 수행하였다. 각 제품의 판매계획량을 이용하여 생산량에 의한 제약식을 완성하였으며, 월간 총 중량은 5832327Kg으로 계산되었다.

Step2. 목표가동률 산출(Target Capacity Utilization)

A사를 비롯한 전 협력업체의 생산능력은 월 13076000Kg이다. 따라서 각 업체의 목표가동률은 다음과 같이 계산된다.

$$TCU = \frac{5832327}{13076000} = 0.446$$

Step 3. 업체별 Capacity Utilization 설정

생산자원에 의한 제약식을 완성하기 위해 각 업체별 총 생산능력을 Target Capacity Utilization으로 제한하였다. 이 때, 단계 2에서 산출된 목표가동률 44.6%를 사용하는 것은 자칫 많은 지연물량을 발생시킬 수도 있다. 그 이유는 앞서 설명한 것처럼 목표가동률이 금형 레벨이 아닌 업체 총 생산능력 레벨에서 산출되었기 때문이다. 본 실험에서는 목표가동률을 46%로 설정하여 실험한다. 이 때 1.4%의 여유능력 때문에 특정업체는 목표가동률을 달성할 수가 없게 된다. 이 경우에는 계획결과를 일부 조정해야 하며, 따라서 계획조정이 용이한 업체의 할당순서를 마지막으로 하는 것이 계획수립에 유리하다.

Step 4. 물량배분정책에 따른 선형계획 모델 비용 정의

비용항목의 우선순위는 지연, 재고, 생산비용의 순으로 설정하였다. 이는 재고를 가능한 낮추면서 생산능력이 부족한 경우 재고비축을 통하여 고객주문에 대응하고자 하는 업체의 정책을 반영한 것이다. 생산비용은 업체 간 배분우선순위를 결정하기 위하여 사용하였다. 계산된 목표가동률을 설정하여도 미납이나 지연이 발생할 수 있으므로 목표가동률을 1.4% 상승시켜 적용하였고, 이로 인하여 일부 협력업체가 목표가동률을 달성하지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 업체에 대해서는 정책물량을 통한 배분량보정을 수행해야 하는데, 자체 공

장과 비교적 작은 생산능력을 갖는 두 개의 협력업체에 대해서 생산비용을 높게 설정하여 배분우선순위를 최하위로 두었는데 그 이유는 다음과 같은 정책을 가지고 있기 때문이다.

- (1) 물량배분의 공정성을 기하고 아웃소싱(Outsourcing)의 비율이 증가하고 있는 점을 고려하여, 자체 공장의 물량 배분우선순위를 최하위로 두고, 배분결과로서 가능한 생산량의 감소를 받아들인다.
- (2) 생산능력이 작은 업체는 할당받을 공급수량이 작으므로 정책적 재고물량을 통하여 고정한 배분량을 보장한다.

Step 5. 최적화 엔진 수행

총 위치-제품(Location product)의 개수는 7800개이며 최적화 수행을 위한 시간기간은 주를 택하였다. 이를 위해 생산제약을 위한 업체의 총 생산능력도 주 단위로 설정하였다. 엔진의 성능은 1.9 GHz CPU 4개를 병렬로 운영하도록 하였으며, 엔진 수행시간은 약 2500초가 소요되었다.

4.3 결과분석

4.3.1 업체별 목표가동률 달성도

최적화 엔진의 수행결과 지연 및 선형 생산은 발생하지 않았으며, 비용을 통한 물량 배분우선순위가 반영되어 자체 공장 생산능력이 작은 업체 i^* 가 낮은 가동률을 나타내었다. 자세한 계획결과를 <그림 7>과 <표 1>에 표시하였다.

선형계획을 수행한 결과, 생산량이 작은 업체의 가동률 34.4%와 자체 공장가동률 42%를 제외한 모든 업체의 가동률이 46%를 나타내고 있다. 이 경우 생산능력이 작은 업체에 대해서는 정책물량을 통해 46%에 가까운 가동률을 유지시킬 수 있으며 그 양은 전체 생산능력의 0.4%에 해당하는 아주 작은 물량이므로 재고유지의 부담도 크지 않다. 자체 공장의 가동률 부족은 회사의 정책에 따라 조정 없이 받아들일 수 있다.

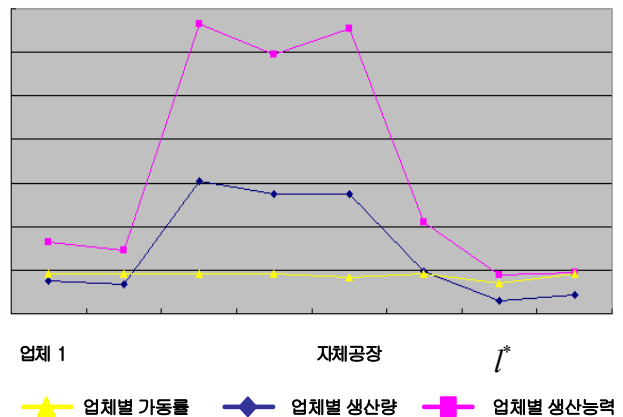


그림 7. 월간 생산량 및 업체별 가동률.

표 1. 선형계획 수행결과로 나타난 업체별 가동률

업체	공급계획 기준 월간 가동률
1	46.0011
2	45.9988
3	45.9654
4	45.9997
자체 공장	42.0401
6	46.0000
7(l^*)	34.3999
8	45.9982

1. 업체별 생산능력은 기업 내부정보이므로 표시하지 않음
2. 래핑업체는 고려대상이 아니므로 제외

금형레벨의 압출능력 때문에 발생할 수 있는 미납이나 지연을 극복하기 위해서 두 가지 방법에 대하여 실험하였다. 하나는 앞서 설명한 것처럼 목표가동률을 조정하는 것이고, 다른 하나는 생산능력 증가를 고려하는 것이다. 생산능력 증가를 고려하기 위해서는 선형계획 모델에 생산능력 증가분에 대한 의사결정변수와 비용 및 생산능력에 의한 제약조건을 추가해야 한다. 하지만 생산능력 증가에 대한 모델링을 통해 최적화를 수행한 경우에는 지연이나 미납을 방지하는 대신 업체별 가동률의 편차가 심해지는 결과가 발생하였다. 여기서 생산능력 증가를 고려한 모델링에 대한 설명은 생략하기로 한다.

4.3.2 금형레벨의 분석

금형레벨에서의 생산평준화를 고려하지 않았으므로 특정 제품이 여러 업체로 공급물량이 할당되기보다는 한 업체로 집중되는 결과를 보인다. 이를 금형레벨에서 살펴보면 업체별 금형의 재배치를 고려할 수 있다. <표 2>를 보면 특정 금형이 설치된 협력업체의 수보다 계획결과 제품이 생산되는 업체의 수가 적음을 알 수 있다. 예를 들어 금형이 두 개의 업체에 설치되어 있으나 계획결과 한 개의 업체로 배분된 금형은 11개이다. 이와 같이 계획된 배분업체 수가 금형이 설치된 업체 수보다 작은 금형은 전체 128개의 금형 중 23%인 30개에 이른다.

현장에서의 계획수행 결과, 금형이 필요 이상 여러 업체에 설치된 결과가 항상 나타났으며 이는 불필요한 관리비용을 발생시키는 것으로 밝혀졌다.

제품레벨에서 계획의 결과를 살펴보면 불필요한 금형 및 제품의 가능 업체배정은 더욱 명확히 확인된다. <표 3>에서는 제품별 계획된 배분업체 수와 금형배치업체 수를 비교한 것이다. 총 995개의 제품 중에서 726개의 제품이 해당 금형이 설치된 업체 수보다 적은 수의 업체에 대하여 공급물량을 할당하였는데 이는 전체 제품 수의 73%에 달한다. 공급물량 배분계획이 업체별 가동률을 일정하게 유지한다는 가정을 충족시킨다는 가정하에, 자체의 공급업체 수를 줄임으로써 불필요한 물류비용과 계획수립비용의 절감효과를 가져올 수 있을 것으로 판단된다.

표 2. 금형레벨의 계획된 배분업체 수와 금형 배치업체 수

계획된 배분업체 수	금형 배치업체 수	대상금형 수
1	1	92
	2	11
	3	1
	4	2
	5	1
2	2	4
	3	3
	4	1
	5	4
3	4	1
	5	1
	6	1
4	4	1
	8	1
5	5	1
	6	2
	8	1

표 3. 제품레벨의 계획된 배분업체 수와 금형 배치업체 수

계획된 배분업체 수	금형 배치업체 수	대상제품 수
1	1	267
	2	41
	3	29
	4	179
	5	95
	6	15
	8	32
	2	2
2	3	81
	4	46
	5	41
	6	42
3	8	107
	4	3
	6	4
4	8	10
	5	1

5. 결론 및 추후 연구방향

기업 물류환경의 복잡성과 기업 간 협업정책이 수익구조에 미치는 영향이 점차 커져가고 있다. 이러한 관점에서 공급망 내에서 한 기업의 위치와 역할을 적절히 반영하지 못한 협력전략의 선택은 현실과 동떨어진 협력 프로세스 모델로 설계될 것이며, 이는 실현 가능성이 적거나 더욱 복잡한 문제를 초래할 수 있다.

본 연구에서는 공급 아웃소싱(Outsourcing)의 비중이 큰 제조회사의 협력적 협업전략에 기반을 둔 공급물량 배분계획 수

립과정에 선형계획법을 적용하였다. 협력업체별로 다른 총 생산능력과 불균형하게 분포된 압출능력을 고려하여 판매계획량을 충족시키면서 협력업체별 가동률을 일정하게 유지하도록 선형계획 모델을 개발하였고, 그 결과 판매계획량의 변화에 따라 유연하게 동일한 업체별 가동률을 얻을 수 있었다.

선형계획을 이용한 공급계획이 수작업을 통해 수행했던 기존 공급계획과 다른 점은, 제품별 배분량이 한 업체에 편중하여 배분되는 경향을 보인다는 것이었다. 이 결과에 따르면, 4.3.2절에서 설명한 바와 같이 제품별 금형 설치공급업체의 수를 줄임으로써 불필요한 물류비용과 계획수립비용을 절감시키는 효과를 가져 올 수 있다는 가능성을 발견할 수 있다. 하지만 제조선호도 관점에서 볼 때, 선형계획 모델의 수행결과로 생성한 배분계획을 모든 협력업체가 만족하지는 않았다. 그 이유는 각 업체별로 저장공간, 운송능력, 그리고 압출능력에 따라 생산, 저장하기 용이한 제품이 다르기 때문이다. 이와 같이 협력업체별 제조선호도를 최대화하고 물류비용을 최소화하는 절충문제는 전형적인 다목적 문제(Goal Programming)이다. 추후 연구를 통해 협력업체별 제품 제조선호도를 측정하고 공급채널별 물류비용을 산출하여 공급정책의 공정성을 유지할 수 있는 공급 매트릭스(Supply matrix)를 개발하도록 할 것이다.

참고문헌

Bakos, J.Y., Brynjolfsson, E. (1993), Information Technology, Incentives, and the Optimal Number of Suppliers, *Journal of Management Information System*, Fall, **10**, 37-53.

Frederick S. Hillier, Gerald J. Lieberman, (1989), *Introduction to Operations Research 4th edition*, Prentice Hall.

Gules, H.K., Burgess, T.F. (1996), Manufacturing technology and the supply chain: Linking buyer-supplies relationships and advanced manufacturing technology, *European Journal of Purchasing & Supply Management*, **2**(1), 31-38.

Kaminsky, Philip, Simch-Levi, David, Simchi-Levi, Edith (2000), *Designing and Managing the supply chain*, McGraw-Hill.

Mattyssens, P., Van den Bult, C.(1994), Getting closed and nicer: Partnership in the supply chain, *Long Range Planning*, **27**(1), 72-83.

Meier-Barthold, Dirk (2001), Optimizing the Supply Network in mySAP Supply Chain Management, SAP info.

Shin H., Collier D.A., and Wilson D.D. (2000), Supply Management Orientation and Supplier/Buyer Performance, *Journal of Operations Management*, **18**, 317~333.



이승근
 동국대학교 산업공학 학사
 동국대학교 산업공학 석사
 현재: 고려대학교 산업시스템정보공학 박사 과정
 관심분야: Supply Chain Strategy, Planning & Collaboration



이홍철
 고려대학교 산업공학 학사
 미국 Univ. of Texas 산업공학 석사
 미국 Texas A&M Univ. 산업공학 박사
 현재: 고려대학교 산업시스템정보공학과 교수
 관심분야: 생산정보시스템, Simulation, SCM, BPM 등