

# 불확실한 수요를 갖는 주문 조립 환경에서의 부품 조달 계획에 관한 연구\*

이근철\*\* · 김정욱\*\*\* · †홍정만\*\*\*

## Component Procurement Planning with Demand Uncertainty Under Assemble-to-Order Environments

Geun-Cheol Lee\*\* · Jung-Ug Kim\*\*\* · †Jung Man Hong\*\*\*

### ■ Abstract ■

In this study, we consider a component procurement planning problem where the procurement amounts of components are determined under assemble-to-order systems with demand uncertainty. In the problem, procurement amount of each component is decided before the demands of finished products are known and after the demands are identified the assembly amounts of the finished products are decided. In this study, the objective function of the problem is minimizing the total costs which are composed of purchase and inventory costs of the components and the backorder costs of the finished products. We assume that the uncertain demand information is given as multiple scenarios of the demands, and we propose procurement planning methods based on stochastic models which considering the multiple demand scenarios. To evaluate the performances of the proposed methods, computational experiments were carried out on the proposed methods as well as benchmarks including a method based on deterministic mathematical model and a heuristic. From the results of the computational tests, the superiorities of the proposed methods were shown.

Keywords : Component Procurement Planning, Assemble-To-Order, Stochastic Programming, Scenario Generation

논문접수일 : 2012년 08월 19일    논문수정일 : 2012년 09월 21일    논문게재확정일 : 2012년 10월 04일

\* 이 논문은 2011학년도 건국대학교의 지원에 의하여 연구되었음.

\*\* 건국대학교 경영대학

\*\*\* LG CNS Entrue 컨설팅사업부문

† 교신저자

## 1. 서 론

본 연구에서는 주문 조립(assembly-to-order, ATO) 시스템에서 동적으로 발생하는 완제품의 수요에 대응하여 부품 조달 계획을 수립하는 방안을 제안하고자 한다. ATO 시스템은 고객의 수요에 빠르게 대응할 수 있는 make-to-stock(MTS) 시스템의 장점과 다양한 수요에 대응할 수 있는 make-to-order(MTO) 시스템의 장점을 동시에 갖고 있다는 점에서 많은 관심을 받아왔다[5]. 일반적으로 ATO 시스템에는 복수의 완제품 종류와 복수의 부품 종류가 존재한다. 하나의 완제품 종류는 여러 부품 종류를 필요로 하고, 하나의 부품 종류도 여러 완제품 종류에 사용될 수 있다. ATO 시스템의 특징은 수요가 완제품에 대해서 발생하지만 완제품의 재고는 존재하지 않고, 부품의 재고만 존재한다는 것이다[22]. 즉 완제품의 수요가 발생하는 경우, 빠른 시간 안에 완제품을 조립 완성하여 수요를 충족시킬 수 있기 때문에 완제품의 재고는 필요치 않으며, 완제품의 조립을 위해서 미리 부품이 조달되어 있어야 하기 때문에 부품의 재고가 요구된다. 따라서 ATO 시스템에서 적절한 수요 대응을 위해서는 완제품보다는 부품에 대한 조달 계획 및 재고 관리가 매우 중요하다고 볼 수 있다.

ATO 시스템에서 부품의 재고 정책에 대한 연구는 1990년대부터 꾸준히 수행되고 있는데, ATO 시스템에서 고려되는 부품은 공급망(supply chain) 상에서 인접한 복수의 공급자에게서 조달받는 것이 일반적이기 때문에 공급망 관리 연구와도 깊은 연관이 있다[16]. 초창기 ATO 시스템에서의 재고 정책에 대한 연구에서는 단순한 시스템 상황을 대기행렬로 모형화하여 부품의 적정 재고수준을 결정하는 방안을 제시하고 있다[15, 20]. 이후 연구에서는 고객 서비스 수준을 최대화 하면서 재고비용을 최소화할 수 있는 최적 재고 수준을 결정하는 모형을 제시하거나[21], 완제품과 부품의 가격이 리드타임에 따라 달라지는 상황에서의 최적 제조 및 재고 정책을 제시하는[11, 17] 연구 등이 있는데, 대부분

완제품의 종류가 하나인 상황만을 고려하고 있다. 최근 들어서는 복수 완제품, 복수 부품, 복수 기간을 고려한 ATO 시스템에서의 부품별 재고 수준 결정 방안을 제시한 연구가 늘어나고 있다[10, 18]. 위에 소개된 연구들은 부품의 적정 재고 수준을 결정하는 기준재고정책(base stock policy)을 기본으로 한다는 측면에서 본 연구에서 고려하는 부품 조달 계획과는 차이를 갖고 있다.

ATO 시스템이 존재하는 가장 대표적인 곳으로 PC 산업을 들 수 있고, 관련된 부품 조달 계획 연구들도 적지 않게 찾아볼 수 있다. IBM 사례와 같이 서비스 요구 수준을 만족하면서 재고 비용을 최소화하는 부품별 재발주점을 결정하는 방안[13], 또는 ATO 환경하에서 PC 제조회사의 부품 조달 계획과 관련된 의사결정을 수리 모형화하는 최적화 방안 등이 적용되었다[6, 14]. 본 연구는 주어진 계획기간에 대해 부품별 조달량을 결정한다는 측면에서 기존 연구에서 다루었던 의사결정과 동일하지만, 완제품의 예측 수요가 주어졌던 기존 연구와는 달리 완제품의 수요가 불확실한 상황을 고려하고 있다는 점에서 차이점을 갖고 있다.

본 연구에서 고려하는 부품 조달 계획 문제는, 완제품의 수요를 모르는 상황에서 부품의 조달량이 결정되어야 하고 수요가 확정된 후 완제품의 조립량이 결정되어야 한다는 측면에서, 2단계 추계적 수리모형의 적용이 적합한 구조를 갖고 있다. 해당 모형의 변수는, 수요 시나리오에 상관없이 변하지 않는 단계 1의 변수와 발현된 수요 시나리오마다 달라지는 단계 2의 시나리오 변수로 구성된다. 추계적 계획(stochastic programming)에 관한 기본적인 이론 및 내용은 이미 교과서 형식으로 잘 정리되어 되어 있을 정도로 성숙되어 있는데 반해[12, 19], 국내에서는 실제 응용 사례를 찾는 것이 쉽지 않다. 주로 수자원공학 분야에 활용된 연구들이 있고[1, 7, 8], Newsboy 문제와 같은 기본적인 재고 모형에 적용된 경우 등이 있다[3, 4, 9]. 이에 반해 국외에서는 추계적 계획의 적용사례를 어렵지 않

게 찾아볼 수 있으며, 특히 근래에 들어서는 컴퓨터 계산력 향상과 최적화 솔루션의 성능 개선으로 문제 사이즈가 클 수 밖에 없는 추계적 수리 모형의 해결이 점차 용이해지면서 그 응용범위가 증가하고 있다[2].

본 연구에서는 그 동안 국내에서 많이 사용되지 않았던 추계적 계획법을 부품 조달 계획 문제에 적용하여 불확실한 수요 하에서 강건한 해를 찾는 데 추계적 계획의 유용성을 확인하고자 한다. 본 연구에서 고려하는 문제는 부품 조달 계획을 수행하는 현업에서는 필요로 하지만, 관련 기존 연구가 부족하고, 특히 불확실한 수요를 고려하고 있다는 점과 추계적 수리모형을 적용한다는 점에서 기존 연구가 다루지 않은 문제와 접근방법을 다룬다고 할 수 있다. 본 연구에서는 불확실한 수요를 시나리오로 표현하는데, 전체 시나리오 정보를 이용하여 부품 조달 계획을 수립하는 통합적 방법과 축약 시나리오 정보를 이용하는 하이브리드 방법, 이렇게 두 가지 종류의 추계적 계획에 기반한 방법을 제안하고자 한다. 본 논문의 나머지 내용은 다음과 같이 구성되어 있다. 다음 장에서는 본 연구에서 고려하고 있는 부품 조달 계획 문제에 대해 상세히 설명하고, 제 3장에서는 고려하는 문제를 해결하기 위해 제안된 모형 및 기존 연구에 기반한 벤치마킹 방법 등을 소개한다. 제안 방법의 성능을 평가하기 위해서 수행된 계산 실험의 결과가 제 4장에 정리되고, 마지막 장에 결론과 추후 연구 방향이 소개된다.

## 2. 부품 조달 계획

본 연구에서 고려하는 부품 조달 계획이란 주어진 계획기간 동안에 완제품 조립을 위한 부품별 조달량을 결정하는 것을 말한다. 이러한 부품 조달 계획을 수립하기 위해서는 ATO 시스템에서 완제품과 부품의 관계, 동적 수요의 특성 등과 같은 정보와 부품 조달 계획 문제의 목적함수 및 결정변수를 명확히 이해할 필요가 있다.

### 2.1 완제품과 부품

본 연구에서는 조달된 부품을 조립하여 제품을 완성하는 조립 생산 시스템을 고려하는데, 조립 생산 시스템 중에서 PC 조립과 같이 일단 부품이 준비되면 완제품의 조립은 상대적으로 빠른 시간 안에 수행되는 조립 생산 시스템을 대상으로 한다. 이러한 조립 생산 시스템에서는 완제품의 생산계획보다는 완제품을 조립하는데 필요한 부품을 적시에 조달하는 문제가 더 중요한 문제로 인식된다[10]. 예를 들어 휴대폰의 경우, 통신칩, 메모리, LCD 등 주요 부품을 조달하는 데는 8~12주의 리드타임이 소요되지만, 필요한 부품이 모두 준비되어 있을 때 1주 정도면 휴대폰 조립을 완성하여 전 세계 판매처 및 통신사에 공급할 수 있다. 따라서 상대적으로 많은 시간을 필요로 하는 부품 조달과 관련된 의사결정이 완제품 조립에 관련된 그것 보다는 더 중요한 것으로 인식된다.

조립 생산 시스템에서는 같은 종류의 부품이 여러 종류의 완제품에 사용될 수 있다. 예를 들어, PC 조립에서 두 가지 완제품이 메모리는 동일한 1GB RAM 부품을 사용하더라도 다른 크기의 하드디스크 부품을 사용한다면, 서로 다른 종류의 완제품으로 본다. 따라서, 몇 가지 주요 부품의 조합으로부터 꽤 많은 완제품 종류가 나타날 수 있다. 완제품별로 해당 제품의 조립에 필요한 부품의 정보, 즉 자재명세서 정보는 부품 조달 계획 수립 전에 미리 주어져 있다.

### 2.2 완제품 수요 시나리오

앞서 언급되었듯이 부품 조달에 대한 리드타임은 완제품 조립보다 훨씬 더 길기 때문에, 부품 조달 계획은 완제품 수요가 알려지기 전에 결정되는 경우가 많다. 부품 조달 계획 수립 시 완제품 수요는 모르지만, 이러한 불확실한 수요를 모형화하기 위하여 완제품 수요에 대한 복수의 시나리오가 주어졌다고 가정한다. 완제품별 복수의 수요 시나리

오 중 해당 완제품의 참 수요를 갖고 있는 시나리오가 하나 존재하고, 부품 조달 계획 수립 후에 해당 시나리오가 참 수요로 발현된다고 가정한다. 수요 시나리오의 자세한 생성 방법은 제 4장에 설명되어 있다. 시나리오별로 완제품의 수요가 주어지면, 부품별 수요는 해당 부품이 사용되는 완제품의 수요로부터 산술적으로 계산되어 얻어질 수 있다. 그리고, 일반적으로 공급업체로부터 단위 기간 동안 조달할 수 있는 부품의 양에는 상한치와 하한치가 존재하기 때문에 이러한 제약사항과 부품별 수요를 고려하여 조달량을 결정해야 한다.

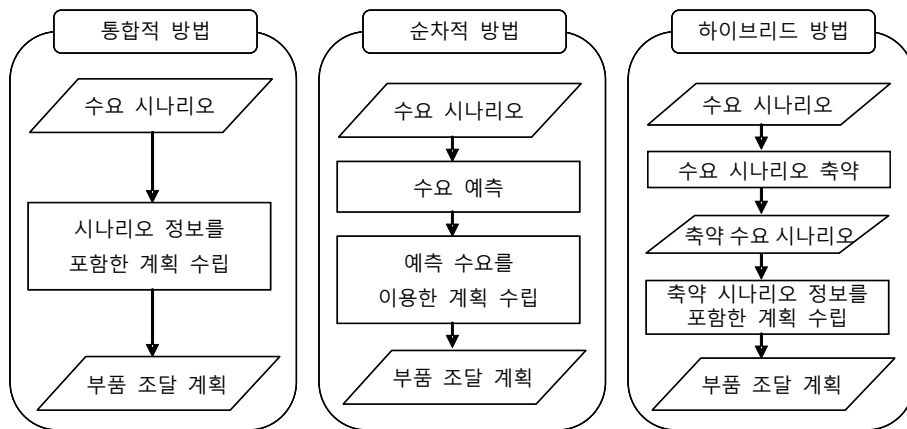
### 2.3 부품 조달 계획 문제의 결정사항 및 목적 함수

본 연구에서는 부품의 조달량이 주요 결정변수이지만, 추가적으로 완제품의 조립량, 완제품의 품질량, 부품의 재고량 등이 결정된다. 하지만, 조달량을 제외한 조립량, 품질량, 재고량은 완제품의 수요가 알려진 후에 정확히 구해질 수 있다. 수요를 알기 전에 부품의 조달량을 결정하고, 수요가 알려지면 그에 따라 적절하게 완제품의 조립량을 결정한다. 완제품의 조립량이 결정되면, 완제품의 품질량과 부품의 재고량은 산술적으로 계산되어 얻어질 수 있다.

본 연구에서 고려하는 부품 조달 계획 문제에서는 부품 조달 계획 수립에 따른 총 비용을 최소화하는 것을 목적함수로 삼는다. 총 비용에는 재고 비용, 품질 비용, 그리고 구매 비용이 포함된다. 먼저, 구매 비용은 부품 구매에 소요되는 비용으로 부품의 조달량과 단위 구매 비용으로부터 구할 수 있다. 재고 비용은 부품이 필요량보다 많이 조달되어 다음 기간으로 이월될 때 초과되는 양에 대해 발생하는 비용이다. 완제품은 수요에 맞추어 조립이 되기 때문에 재고는 발생하지 않는다고 가정한다. 대신, 완제품을 조립하는데 필요한 부품이 부족하여 수요를 만족시키지 못하는 경우에는 품질이 발생한다. 정리하면, 총 비용은 부품의 구매 비용과 재고 비용, 그리고 완제품의 품질 비용으로 구성되어 있고, 본 연구에서는 이와 같은 총 비용을 최소화하는 부품 조달 계획의 수립을 목표로 한다.

### 3. 부품 조달 계획 수립

불확실한 수요에 대한 정보가 시나리오 형태로 주어졌을 때, 부품 조달 계획을 수립하는 방법은 크게 세 가지로 구분될 수 있다. 첫 번째는 전체 시나리오 정보를 계획 수립 절차에 포함시켜 계획을 수립하는 통합적 방법이고, 두 번째는 시나리오 정보로부터 수요를 예측한 후에 예측된 수요를 이용



〈그림 1〉 부품 조달 계획 수립의 세 가지 방법

하여 계획을 수립하는 순차적 방법이다. 마지막으로 앞선 두 방법의 중간 형태로 축약된 시나리오 정보를 이용하여 계획을 수립하는 하이브리드 방법이 있다. <그림 1>은 세 가지 방법의 차이를 간략히 도식화하여 표현하고 있다.

통합적 방법이 더 큰 해 공간(solution space)을 고려하고 있기 때문에 더 좋은 해를 찾을 가능성이 높다고 예상되지만, 해 공간이 큰 만큼 최적해를 찾는 데 많은 시간이 소요될 수 있다. 반면에 순차적 방법은 통합적 방법에 비해 훨씬 작은 해 공간을 고려하기 때문에 빠른 시간 안에 해를 구할 수 있는 장점을 갖고 있다. 하이브리드 방법은 좋은 성능이 예상되는 통합적 방법의 장점과 해를 빠르게 구해주는 순차적 방법의 장점을 동시에 취할 수 있는 방안으로 볼 수 있다. 기존 연구들이 수요를 예측한 후, 확정적인 상황에서 부품 조달 계획을 수립하는 순차적 방법을 주로 사용한 것에 반해, 본 연구에서는 수요의 불확실한 상황을 반영하기 위해 부품 조달 계획 시 (축약) 시나리오 정보를 포함하는 통합적 방법과 하이브리드 방법을 제안한다. 우선, 통합적 방법에 대한 설명부터 진행한다.

### 3.1 통합적 방법

본 연구에서는 고려하는 부품 조달 계획 문제를 해결하기 위하여 시나리오 정보를 포함하는 수리모형을 제안한다. 이 모형은 시나리오에 상관없이 결정되는 변수와 시나리오에 따라 다른 값을 갖는 시나리오 변수가 존재하는 전형적인 2단계 추계적 계획(Two-stage Stochastic Programming) 모형으로 볼 수 있다. 모형에서 사용되는 파라미터 및 변수 등이 먼저 소개된다.

#### 파라미터

- $T$  계획 기간 집합
- $P$  완제품 종류 집합
- $M$  부품 종류 집합
- $S$  수요 시나리오 집합

- $B_{pm}$  = 1, 만약 부품  $m$ 이 완제품  $p$ 의 조립에 필요하다면; 그렇지 않다면 0
- $\Phi_m$  부품  $m$ 이 사용된 완제품의 집합, 즉  $\{p | B_{pm} = 1\}$
- $D_{spt}$  시나리오  $s$ 에서 완제품  $p$ 의 기간  $t$ 에서의 수요량
- $w_s$  수요 시나리오  $s$ 의 발현 확률
- $c_{mt}$  부품  $m$ 의 기간  $t$ 에서의 단위 구매 비용
- $h_{mt}$  부품  $m$ 의 기간  $t$ 에서의 단위 재고 비용
- $b_{pt}$  완제품  $p$ 의 기간  $t$ 에서의 단위 품질 비용
- $L_m$  부품  $m$ 의 단위 기간 동안의 조달량의 하한값
- $U_m$  부품  $m$ 의 단위 기간 동안의 조달량의 상한값

#### 결정변수

- $x_{mt}$  부품  $m$ 의 기간  $t$ 에서의 조달량
- $y_{mt}$  = 1, 만약, 부품  $m$ 의 기간  $t$ 에서의 조달량이 양수라면, 그렇지 않다면 0.

#### 시나리오변수

- $i_{smt}$  시나리오  $s$ 에서 부품  $m$ 의 기간  $t$ 에서의 기말 재고량
- $X_{spt}$  시나리오  $s$ 에서 완제품  $p$ 의 기간  $t$ 에서의 조립량
- $Y_{spt}$  시나리오  $s$ 에서 완제품  $p$ 의 기간  $t$ 에서의 품질량

먼저, 부품 조달 계획의 기간 및 고려되는 완제품, 부품, 그리고 수요 시나리오의 집합 정보가 주어진다. 완제품과 부품간의 관계가  $B_{pm}$ 과  $\Phi_m$ 으로 표현되고, 시나리오별 완제품의 수요가  $D_{spt}$ 로 표현된다. 시나리오별 발현 확률은 미리 알려져 있다고 가정한다. 부품별 구매 및 재고 비용과 조달량의 최소/최대치, 그리고 완제품의 품질 비용도 파라미터로 표시되어 데이터로 주어진다.

변수는 두 가지 종류로, 부품의 조달량에 관계된  $x_{mt}$ 와  $y_{mt}$ 는 시나리오에 상관없는 결정 변수이고, 부품의 재고량( $i_{smt}$ )과 완제품의 조립량( $X_{spt}$ ) 및

품질량( $Y_{spt}$ )은 시나리오에 따라 다른 값을 갖는 시나리오 변수들이다. 위의 기호들을 이용하여 다음과 같은 수리 모형을 만들 수 있다.

모형(SIP)

Min

$$\sum_{s \in S} \{w_s \cdot \sum_{t \in T} (\sum_{p \in P} b_{pt} Y_{spt} + \sum_{m \in M} h_{mt} i_{smt})\} + \sum_{t \in T} \sum_{m \in M} c_{mt} x_{mt} \quad (1)$$

$$\text{s.t. } i_{smt} = i_{smt-1} + x_{mt} - \sum_{p \in \Phi_m} X_{spt}$$

for all  $s, t, m$  (2)

$$Y_{spt} = Y_{spt-1} + D_{spt} - X_{spt} \quad \text{for all } s, t, p \quad (3)$$

$$L_m \cdot y_{mt} \leq x_{mt} \quad \text{for all } t, m \quad (4)$$

$$U_m \cdot y_{mt} \geq x_{mt} \quad \text{for all } t, m \quad (5)$$

$$X_{spt} \geq 0 \quad \text{for all } s, t, p \quad (6)$$

$$Y_{spt} \geq 0 \quad \text{for all } s, t, p \quad (7)$$

$$x_{mt} \geq 0 \quad \text{for all } t, m \quad (8)$$

$$i_{smt} \geq 0 \quad \text{for all } s, t, m \quad (9)$$

$$y_{mt} \in \{0, 1\} \quad \text{for all } t, m \quad (10)$$

식 (1)에서 보듯이 목적함수는 총 기대 비용(expected cost)을 최소화하는 것이다. 총 기대 비용은 완제품의 기대 품질 비용과 부품의 기대 재고 비용 및 구매 비용으로 구성되어 있다. 식 (2)는 완제품의 조립량을 초과하는 부품량은 다음 기간으로 이월 되는 것을 나타내고, 식 (3)은 완제품의 조립량을 초과하는 수요량만큼은 품질되는 것을 나타낸다. 식 (4)와 식 (5)로 인하여 부품별 조달량은 주어진 상하한값에 제약을 받는다. 모든 변수는 비음이고,  $y_{mt}$ 는 이진정수이다(6-10).

제안되는 수리 모형은 주어진 시나리오 집합을 고려한 부품 조달 계획 문제에 대해서는 최적해를 구해 주지만, 참 수요가 주어졌을 때의 부품 조달 계획 문제의 최적해를 구한다는 보장은 없다. 따라서 위 모형을 이용해 수립된 부품 조달 계획의 최종적인 성능 평가는 참 수요가 주어졌을 때 수행되어야 한다. 본 연구에서 소개되는 모든 부품 조달 계획 방법들의 최종적인 성능 평가 절차는 제 4.3절에 소개

되어 있다. 위의 수리 모형은 추계적 정수 계획(Stochastic Integer Programming) 모형이라고 할 수 있고, 본 연구에서는 줄여서 SIP 모형이라고 지칭 하겠다.

## 3.2 순차적 방법

본 연구에서는 통합적 방법에 대응하여 두 가지 순차적 부품 조달 계획 방법을 벤치마킹 방법으로 소개한다. 앞서 언급된 바와 같이 순차적 방법에서는, 첫 번째 단계에서 수요 예측을 통해 예측 수요를 구한 후, 두 번째 단계에서 확정된 예측 수요 정보를 고려하여 부품 조달 계획을 수립한다.

두 가지 벤치마킹 방법에서는 다음과 같은 동일한 방법으로 완제품별 각 기간의 수요를 예측한다. 각 시나리오의 발현 확률과 시나리오별 해당 완제품의 해당 기간의 수요량의 곱의 합으로부터 완제품별 각 기간에 대한 예측 수요량을 구한다. 즉, 모든 완제품  $p$ 와 기간  $t$ 에 대해서 예측 수요량,  $\hat{D}_{pt}$ 는  $\sum_{s \in S} (w_s \cdot D_{spt})$ 로부터 얻어진다.

### 3.2.1 수리모형을 이용한 방법

첫 번째 벤치마킹 방법은 수리 모형을 이용한 방법으로, 완제품의 수요가 확정적인 상황하에서 최적의 부품 조달 계획을 수립하는 기존 연구의 방법에 기반한다[6]. 본 연구에서는 CTO(Configuration-To-Order) 시스템 하에 부품 조달 계획을 수립하기 위한 기존 수리 모형을 ATO 시스템에 맞게 변형하여 정리하였다. 추가적으로 사용되는 기호와 확정적 수리 모형은 다음과 같다.

파라미터

$\hat{D}_{pt}$  완제품  $p$ 의 기간  $t$ 에서의 예측 수요량

결정변수

$i_{mt}$  부품  $m$ 의 기간  $t$ 에서의 기말 재고량

$X_{pt}$  완제품  $p$ 의 기간  $t$ 에서의 조립량

$Y_{pt}$  완제품  $p$ 의 기간  $t$ 에서의 품질량

모형(MIP)

$$\text{Min } \sum_{t \in T} \sum_{p \in P} b_{pt} Y_{pt} + \sum_{t \in T} \sum_{m \in M} (h_{mt} i_{mt} + c_{mt} x_{mt}) \quad (11)$$

$$\text{s.t. } i_{mt} = i_{m,t-1} + x_{mt} - \sum_{p \in \Phi_m} X_{pt} \text{ for all } t, m \quad (12)$$

$$Y_{pt} = Y_{p,t-1} + \hat{D}_{pt} - X_{pt} \text{ for all } t, p \quad (13)$$

$$X_{pt} \geq 0 \text{ for all } t, p \quad (14)$$

$$Y_{pt} \geq 0 \text{ for all } t, p \quad (15)$$

$$i_{m,t} \geq 0 \text{ for all } t, m \quad (16)$$

(4), (5), (8), and (10)

앞서 소개된 추계적 모형(SIP)과는 다르게, 이 모형에서는 모든 결정변수가 확정적 상황에서 동시에 구해진다. 하지만 이 수리 모형 역시 주어진 예측 수요에 대해서는 최적해를 구해 주지만, 참 수요가 주어졌을 때의 부품 조달 계획 문제의 최적해를 구한다는 보장은 없다. 위의 모형은 정수 변수가 포함된 혼합 정수 계획(Mixed Integer Programming) 모형으로 볼 수 있으며, 본 연구에서는 줄여서 MIP 모형으로 지칭하겠다.

### 3.2.2 휴리스틱

본 연구에서는 현업에서 사용되고 있는 부품 조달 방법을 휴리스틱으로 구현하여 두 번째 벤치마킹 방법으로 사용한다. 벤치마킹 방법은 조립 생산 업체 중 하나인 PC 회사의 실제 담당자와의 인터뷰를 기초로 하여 기존 연구에서 만들어진 휴리스틱을 본 연구의 문제에 알맞게 수정하여 사용한다. 벤치마킹 방법에서는 부품 조달 시 품질이 없도록 부품 조달 계획을 수립한다는 현업의 상황을 반영하여 품질이 발생되지 않도록 모든 부품이 필요한 시기에 조달되도록 계획이 수립된다. 앞서 소개된 첫 번째 벤치마킹 방법과 마찬가지로 완제품의 수요는 예측값을 사용하고, 수요 예측 방법도 동일하다. 예측 수요가 주어졌을 때, 이 방법은 마지막 기간부터 첫 기간까지 역으로 부품 조달량을 결정해 나가기 때문에 BCPPM(Backward Component Procurement Planning Method)이라는 명칭을 사용한다[6]. 다음

은 BCPPM의 단계별 절차이다. 각 제품에 대해 아래 절차를 적용한다.

- BCPPM 절차(m)

단계 0 : 부품의 예측 수요량( $\hat{d}_{mt}$ )을 구한다, 즉  $\hat{d}_{mt} := \sum_{p \in \Phi_m} \hat{D}_{pt}$ . 초기 재고량( $i_{m0}$ )으로 첫 기간부터 순서대로 모든 기간에 걸쳐, 예측 수요량( $\hat{d}_{mt}$ )을 차감해 가면서 수정 수요량( $\acute{d}_{mt}$ )을 구한다.  $t := T$ .

단계 1 : 만약  $t$ 가 0이라면 종료한다. 그렇지 않으면 단계 2로 간다.

단계 2 : 만약  $\acute{d}_{mt}$ 가  $U_m$ 보다 크면,  $\acute{d}_{m,t-1} := \acute{d}_{m,t-1} + (\acute{d}_{mt} - U_m)$ ,  $x_{mt} := U_m$ ,  $t := t-1$ 로 설정하고 단계 1로 간다; 그렇지 않으면 단계 3으로 간다.

단계 3 : 만약  $\acute{d}_{mt}$ 가  $L_m$ 보다 작으면,  $x_{mt} := L_m$ ,  $t := t-1$ 로 설정하고 단계 1로 간다; 그렇지 않으면 단계 4로 간다.

단계 4 :  $x_{mt} := \acute{d}_{mt}$ ,  $t := t-1$ 로 설정하고 단계 1로 간다.

### 3.3 하이브리드 방법

앞서 소개된 통합적 방법의 경우에는 고려하는 문제의 최적해를 구할 수 있다는 장점이 있지만, 전체 시나리오 정보를 이용하기 때문에 고려해야 할 해 공간이 매우 증가하게 되어 문제 해결 시간이 크게 증가하고 심지어 합리적인 시간 안에 해의 도출이 불가능한 경우가 발생한다(제 4장 실험 결과 참조). 따라서 통합적 방법이 제공하는 높은 해의 품질을 최대한 유지하면서, 순차적 방법처럼 빠르게 해를 도출할 수 있는 방법의 고안이 필요하다.

본 연구에서는 주어진 시나리오 정보를 압축하여 적은 수의 시나리오 정보로 변환한 후 축약된 시나리오 정보를 이용하여 통합적 방법에서 제시한 수리모형을 이용하여 해를 구하는 방안을 제시한다. 제안되는 방법은 통합적 방법과 순차적 방법의 특

정을 모두 갖고 있다는 측면에서 하이브리드 방법이라고 지칭하겠다. 하이브리드 방법을 적용하기 위해서는 먼저 주어진 전체 수요 시나리오를 축약하는 작업이 필요하다. 본 연구에서는 축약 수요 시나리오의 개수( $n$ )가 주어졌을 때,  $|S|/n$ 개 만큼의 수요 시나리오를 전체 시나리오 집합에서 임의로 선택하여 해당 수요 시나리오들의 평균값으로 하나의 축약 수요 시나리오를 생성한다. 해당 축약 시나리오의 발현 확률도 선택된 시나리오들의 발현 확률의 평균 값으로부터 얻어진다. 이와 같은 절차를 반복하여  $n$ 개의 축약 수요 시나리오와 각각의 발현 확률을 구할 수 있다.

축약 수요 시나리오가 구해졌다면, 이후 절차는 고려하는 시나리오의 개수만 다를 뿐 앞서의 SIP 모형을 적용하는 것과 동일하다. 변경된 사항만 고려하여 새롭게 사용되는 파라미터와 모형을 정리하면 다음과 같다.

#### 파라미터

$\acute{S}$  축약 수요 시나리오 집합

$\acute{w}_s$  축약 수요 시나리오  $\acute{s}$ 의 발현 확률

#### 모형(SSIP)

$$\text{Min } \sum_{\acute{s} \in \acute{S}} \{ \acute{w}_s \cdot \sum_{t \in T} (\sum_{p \in P} b_{pt} Y_{spt} + \sum_{m \in M} h_{mt} \acute{i}_{smt}) \} + \sum_{t \in T} \sum_{m \in M} c_{mt} x_{mt} \quad (17)$$

$$\text{s.t. } \acute{i}_{spt} - \acute{i}_{spt-1} + x_{mt} - \sum_{p \in \Phi_m} X_{spt} \quad \text{for all } \acute{s}, t, m \quad (18)$$

$$Y_{spt} = Y_{spt-1} + D_{spt} - X_{spt} \quad \text{for all } \acute{s}, t, p \quad (19)$$

$$X_{spt} \geq 0 \quad \text{for all } \acute{s}, t, p \quad (20)$$

$$Y_{spt} \geq 0 \quad \text{for all } \acute{s}, t, p \quad (21)$$

$$(4), (5), (8), (9), \text{ and } (10)$$

SIP 모형과 마찬가지로 위의 모형은 주어진 축약 시나리오 집합을 고려한 부품 조달 계획 문제에 대해서는 최적해를 구해 주지만, 참 수요가 주어졌을 때의 부품 조달 계획 문제의 최적해를 구한다는 보장은 없다. 이 추계적 계획 모형은 표본 시나리오를

이용하는 것과 유사하다는 측면에서 표본 추계적 정수 계획(Sampling Stochastic Integer Programming) 모형이라고 할 수 있으며[7], 본 연구에서는 줄여서 SSIP 모형이라고 지칭하겠다.

## 4. 계산실험

본 연구에서는 하나의 통합적 방법과 두 개의 순차적 방법, 그리고 하나의 하이브리드 방법간의 성능을 비교 평가하기 위하여 다양한 종류의 문제를 생성하고 계산실험을 수행하였다. 최적화 모형을 이용한 방법은 Xpress-MP 7.3을 사용하였고, 휴리스틱 방법은 C언어를 이용하여 개발하였다. 모든 실험은 Pentium 3.41GHz CPU와 2GB RAM을 갖고 있는 PC에서 수행되었다.

### 4.1 문제 생성

본 연구에서 소개된 부품 조립 계획 수립 방법들을 실행하기 위해서는 주어진 파라미터들에 대한 데이터가 필요하다. 실제 조립 생산 업체의 데이터는 보안관계상 획득이 어려운 관계로, 현업 관계자와의 인터뷰를 기초로 하여 실제 데이터와 유사한 데이터를 생성하여 계산 실험에 이용하고자 한다.

본 연구에서는 조립 생산 업체의 대표 사례인 PC 조립 회사의 부품 조달 관련 담당자를 통하여 근사 문제를 생성하였다. 먼저, 계획기간은 16주로 지정하였고, 주어진 수요 시나리오의 최대 개수는 문제당 100개로 지정하였다. 완제품의 종류와 부품의 종류는 비례 관계가 있는데, 본 연구에서는 부품 종류가 15개, 24개, 30개일 때 완제품 종류가 각각 125개, 512개, 1,000개를 갖는 세 가지 경우를 고려한다. 완제품과 부품간의 관계인 자체명세서 정보는 각 완제품 종류가 유일한 부품 조합을 갖도록 미리 만들어져 있다. 그리고 부품 조달량의 상한값은 세 가지 문제 크기에 따라 각각 5,000개, 12,000개, 18,000개로 가정하고 하한값은 상한값의 10분의 1로 정한다.

이와 같은 사항을 바탕으로 다양한 문제 상황을



생성하기 위하여, 부품 조달 계획에서 필요로 하는 완제품 수요 정보와 부품 재고 비용, 완제품 품질 비용, 부품 구매 비용 등의 비용 정보 등을 적절하게 생성한다. 본 연구에서 문제 생성과 관련하여 사용되는 파라미터들의 데이터에 대하여 <표 1>에 간략히 정리되어 있다. 추가적으로 수요 시나리오와 비용 정보의 상세한 생성방법은 제 4.1.1절과 제 4.1.2절에 소개된다.

### 4.1.1 수요 시나리오 생성

수요 시나리오의 생성 단계는 두 단계로 나뉜다. 첫 단계에서 씨앗 수요(seed demand)를 생성하고, 두 번째 단계에서 씨앗 수요를 기준으로 하여 복수의 수요 시나리오를 생성한다. 먼저, 씨앗 수요를 일반적인 PC의 제품 생명 주기(product life cycle)에 근거하여 생성하기 위하여, 특정 완제품 수요의 수요 기간 범위, 수요 시작 시점, 주별 수요량 등에 대한 값을 적절히 생성한다. ‘수요 기간 범위( $\rho$ )’는 수요가 발생하는 기간, 즉 완제품의 수명을 의미하며 26주(6개월)에서 52주(12개월) 사이의 값을 갖는다고 가정하여  $D(26, 52)$ 로부터 결정된다. 이때  $D(a, b)$ 는 범위  $[a, b]$ 를 갖는 이산 균등 분포를 말한다. ‘수요 시작 시점’은 수요가 시작되는 주를 의미하여  $D(1-\rho, T)$ 로부터 구해진다. 계획기간 이전부터 수요가 발생한 완제품도 계획기간 동안 수요

가 발생한다면 부품 조달 대상이 된다. 반면에 계획 기간 이후에 수요가 발생한 완제품은 계획기간 동안에는 수요가 발생하지 않기 때문에 부품 조달 대상이 아니다. 마지막으로 각 완제품에 대해 앞서 정해진 수요 기간 범위에 걸쳐 최저 0개에서 최고 700개의 값을 갖는 ‘주별 수요량’을 생성한다. 수요 기간에 걸친 수요 생성 형태는 일반적인 제품수명 주기 형태인 역 U자 형태이며, 구체적인 방법은 기존연구[6]의 방법을 사용하였다.

위와 같이 특정 완제품에 대한 씨앗 수요가 생성되면, 해당 씨앗 수요의 수요 기간 범위, 수요 시작 시점, 주별 수요량에 변동을 주어 복수의 수요 시나리오를 생성한다. 먼저, 수요 기간 범위와 수요 시작 시점은 각각  $\pm 10$ 주와  $\pm 2$ 주사이의 값만큼 변동이 발생할 수 있게 생성하였다. 주별 수요량에 대해서는 씨앗 수요량에 대해서 미리 정해진 수요 변동률( $\mu$ )만큼 변화가 발생하도록 하였다. 즉 씨앗 수요량에 대해서  $\pm(\text{씨앗 수요량} \times \mu)$ 사이의 값만큼 변동이 발생할 수 있다. 본 연구에서는 시나리오 수요의 변동률이 각각 10%, 20%, 그리고 30%의 세 가지 경우에 대해 실험을 수행한다.

본 실험에서는 문제마다 총 100개의 수요 시나리오를 위에 설명된 방식으로 생성하고, 각 수요 시나리오의 발현 확률은 모두 동일하다고 가정한다. 따라서 수요 시나리오가 100개가 주어졌다면, 각

<표 1> 문제 생성을 위한 파라미터 데이터

파라미터	데이터 값(범위)	생성 근거
계획기간	16주	하이테크 제품 제조사들의 Global 공급계획기간은 3~4개월 수준
주요 부품 개수	15, 24, 30	Global 공급계획 수립 시 고려되는 Key Part는 20~30개 수준
완제품 종류	125, 512, 1,000	주요 부품 별 3~4개 썩의 조합으로 생성되는 최종 제품의 수
조달량의 상한값	5,000, 12,000, 18,000	가정
수요 시나리오 개수	100	가정
시나리오 발현 확률	1/100	가정
제품 생명 주기	26~52주	PC, 모바일 등 하이테크 제품의 수명 주기는 1년 이하
완제품 주별 수요량	0~700	가정(현업 인터뷰)
부품 구매 비용	10~20만원	판매가로부터 예측
부품 재고 비용	구매 비용의 5%	가정(시장 이자율 고려)

수요 시나리오가 실제 발현될 확률은 100분의 1씩으로 가정한다.

#### 4.1.2 비용 정보 생성

본 연구에서는 완제품의 품질 비용과 부품의 구매 및 재고 비용으로 이루어진 총 비용을 최소화하는 부품 조달 계획을 수립하고자 한다. 각 비용 정보는 계획 수립 전에 주어진 값으로 다음과 같이 생성한다. 먼저, 부품의 구매비용은 판매가로부터 예측하여 생성하는데, 8~12주 마다 가격하락이 5% 정도 발생한다고 가정한다. 재고 비용은 구매 비용의 일정 비율로 정하는데, 본 연구에서는 구매 비용의 5%를 해당 부품의 주당 재고 비용으로 가정한다. 완제품의 품질 비용은 기본적으로 완제품에 속한 모든 부품의 구매 비용 총합의 일정 비율로 정한다. 본 연구에서는 품질이 발생한다면 판매 원가(구매 비용의 총합)의 10% 정도 기대되는 수익을 취할 수 없고 추가적으로 10%의 기회손실이 발생한다는 측면에서 구매 비용 총합의 20%를 품질 비용으로 가정한다.

#### 4.2 부품조달계획 평가

본 연구에서 고려하는 네 가지 방법은 참 수요를 알기 전에 부품 조달 계획을 수립한다. 따라서 부품 조달 계획의 성능은 참 수요가 알려진 후에 완제품의 조립량이 최적으로 결정된 상태에서 평가되어야 한다. 본 계산 실험에서는 수요 시나리오를 생성할 때 사용하였던 씨앗 수요를 참 수요로 가정한다. 부품 조달 계획이 구해진 후, 참 수요가 알려졌을 때 해당 부품 조달 계획의 성능은 다음의 선형 계획 모형으로부터 얻어질 수 있다.

##### 파라미터

$D_{pt}$  완제품  $p$ 의 기간  $t$ 에서의 참 수요량

$x_{mt}$  부품 조달 계획으로부터 구해진 부품  $m$ 의 기간  $t$ 에서의 조달량(소개된 네 가지 방법으로부터 얻어진다)

##### 모형(LP)

$$\text{Min } \sum_{t \in T} \sum_{p \in P} b_{pt} Y_{pt} + \sum_{t \in T} \sum_{m \in M} (h_{mt} i_{mt} + c_{mt} x_{mt}) \quad (22)$$

$$\text{s.t. } i_{mt} = i_{m,t-1} + x_{mt} - \sum_{p \in \Phi_m} X_{pt} \text{ for all } t, m \quad (23)$$

$$Y_{pt} = Y_{p,t-1} + D_{pt} - X_{pt} \text{ for all } t, p \quad (24)$$

(14), (15), and (16)

#### 4.3 실험결과

계산 실험은 문제 준비, 문제별 네 가지 방법론 적용, 각 방법의 성능 평가 및 결과 정리의 순으로 진행된다. 먼저 다음과 같은 조합의 실험 문제를 준비한다. 실험 문제 조합은 완제품 및 부품 종류 수준 세 가지{(15,125), (24, 512), (30, 1000)}와 시나리오 수요 변동률 수준 세 가지(10%, 20%, 30%), 그리고 아홉 가지 조합당 10가지의 문제를 생성하여, 총 90개의 문제 세트를 준비한다. 준비된 각 문제에 대하여 SIP 모형과 SSIP 모형을 각각 적용하여 부품별 조달량을 구한 후 LP 모형을 이용하여 부품별 재고량, 완제품별 품질량, 그리고 목적함수 값인 총 비용을 산출한다. 순차적 방법에서는 각 문제에 대하여 먼저 수요 예측값을 먼저 구한 후에 MIP 모형과 BCPPM 방법을 부품별 조달량을 얻는다. 해당 부품 조달 계획에 대한 총 비용 값은 마찬가지로 LP 모형을 이용하여 얻을 수 있다.

<표 2>에는 전체 실험 결과가 정리되어 있다. 표에는 세 가지 문제 크기에 대해 각 방법마다의 평균 총 비용과 휴리스틱 대비 총 비용의 감소 비율을 보여주고 있다. 먼저, 통합적 방법인 SIP 모형을 이용한 방법은 가장 작은 문제 사이즈에 대해서만 해를 구할 수 있었고, 나머지 (24, 512)와 (30, 1000)에 대해서는 10,000초 이내에 해를 구할 수 없었다. 대신 하이브리드 방법(SSIP)에서는 전체 시나리오를 10분의 1수준으로 줄인 10개의 축약 수요 시나리오 정보를 이용하여 해를 구하였고, 큰 사이즈의 문제에 대해서도 해를 구할 수 있었다. 표에서 보듯이 전체적으로 추계적 수리모형을 이용하고 있는 통합적 방법과 하이브리드 방법이 총 비용 측면에서 확정적

〈표 2〉 전체 실험 결과

		SIP	SSIP(10 <sup>**</sup> )	MIP	BCPPM
(부품종류, 완제품종류)	(15, 125)	5,465,437 <sup>†</sup>	5,726,933	8,643,999	8,778,388
		37.7% <sup>‡</sup>	34.8%	1.5%	0.0%
	(24, 512)	-*	22,291,177	31,347,764	31,497,364
			29.2%	0.5%	0.0%
	(30, 1000)	-	41,098,832	54,078,671	54,056,512
			24.0%	0.0%	0.0%

주) <sup>†</sup> 총 비용.

<sup>‡</sup> 휴리스틱(BCPPM) 방법 대비 총 비용 감소율.

\* 10,000초 이내에 해를 구하지 못함.

\*\* 10개로 축약된 시나리오를 이용함.

상황을 고려하는 순차적 방법에 비하여 뛰어난 성능을 보이고 있고, 특히 하이브리드 방법의 경우에 통합적 방법과 성능측면에서 큰 차이가 없음에도 불구하고 모든 문제 경우에 대해 해를 찾고 있다.

〈표 3〉에는 수요 변동율에 따른 각 방법의 실험 결과가 정리되어 있다. 통합적 방법의 경우 문제 사이즈가 큰 경우에는 해를 구하지 못하였기 때문에 각 수요 변동율마다 완전한 실험 결과를 얻을 수 없어 비교에서 제외하였다. 표에서 보듯이 제안된 하이브리드 방법(SSIP)이 수요 변동율에 상관없이 기존 방법(BCPPM) 대비 평균적으로 25% 이상 개선된 비용 결과를 보이고 있음을 확인할 수 있다.

을 의미하며, 초 단위로 정리되어 있다. 앞서 언급되었듯이 SSIP 모형은 문제 사이즈가 큰 경우에는 해를 구하지 못하는 경우가 발생하며, 가장 작은 문제 사이즈에 대해서도 평균적으로 1시간(3,600초) 이상의 수행 시간을 필요로 한다. 반면에 SSIP 모형을 이용하는 경우에는 SIP보다 훨씬 더 적은 시간이 소요되는 것을 확인할 수 있다. 다만, 문제 사이즈가 커짐에 따라 마찬가지로 수행시간이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 순차적인 방법의 경우에는 문제 크기에 상관없이 평균적으로 1초 내외의 계산시간이면 해를 구할 수 있었다.

〈표 3〉 수요 변동율에 따른 실험 결과

		SSIP(10)	MIP	BCPPM
수요 변동율	10%	22,779,711 <sup>†</sup>	30,347,943	30,406,882
		25.1% <sup>‡</sup>	0.2%	0.0%
	20%	23,969,346	32,699,641	32,714,065
		26.7%	0.0%	0.0%
	30%	22,367,885	31,022,850	31,211,317
		28.3%	0.6%	0.0%

주) <sup>†</sup> 총 비용.

<sup>‡</sup> 휴리스틱(BCPPM) 방법 대비 총 비용 감소율.

〈표 4〉에는 각 방법의 계산 수행 시간 결과가 정리되어 있다. 계산 수행 시간은 각각의 방법을 사용하여 부품의 조달량을 구하는 데까지 걸린 시간

〈표 4〉 평균 계산 수행 시간(초 단위)

		SIP	SSIP(10)	MIP	BCPPM
(부품종류, 완제품종류)	(15, 125)	3,941	34	< 1 <sup>**</sup>	< 1
	(24, 512)	-*	367	< 1	< 1
	(30, 1000)	-	1,287	1	< 1

주) \* 10,000초 이내에 해를 구하지 못함.

\*\* 1초 이내로 걸림.

실험 대상인 네 가지 방법의 성능간의 통계적 유의성을 확인하기 위하여 각 방법 쌍 조합별로 쌍-t 검정을 수행하였고 결과를 〈표 5〉에 정리하였다. 단, SIP와 다른 방법들간의 쌍 t-검정은 문제 사이즈 (15, 125)인 30개 문제에 대한 결과이다. SIP와 SSIP 사이, 그리고 MIP와 BCPPM 사이에는 유의

수준 0.01에서도 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않는다는 결과를 얻을 수 있었고, SIP와 MIP/BCPPM 사이, 그리고, SSIP와 MIP/BCPPM 사이에는 매우 작은 유의수준에서도 통계적으로 유의한 차이를 보인다는 것을 확인할 수 있었다.

〈표 5〉 쌍 t-검정 결과

	SSIP(10)	MIP	BCPPM
SIP		**	**
SSIP(10)		**	**
MIP			

주) \*\* 유의수준 0.001에서 통계적으로 유의한 차이가 있음.

전체적인 실험 결과에서 보듯이 본 연구에서 제안하는 하이브리드 방법이 해의 성능을 유지하면서 합리적인 시간 안에 해를 도출할 수 있는 방안이 될 수 있다. 단, 하이브리드 방법의 적용 전에 어느 정도 수준으로 시나리오를 축약할 것인지에 대한 결정이 이루어질 필요가 있는데, 구체적인 아이디어를 얻기 위하여 다음과 같은 추가 실험을 수행하였다. 〈표 6〉와 〈그림 2〉에서는 하이브리드 모형의 축약 시나리오 개수에 따른 성능 결과를 정리하고 있다. 축약 시나리오의 개수는 100, 10, 5, 2, 1로 다섯 가지의 경우를 고려하고 있는데, 이중 100개의 축약 시나리오를 고려한다는 것은 전체 시나리오를 고려하는 경우이기 때문에 SIP 모형을 적용하

〈표 6〉 시나리오 축약 정도에 따른 하이브리드 방법의 성능

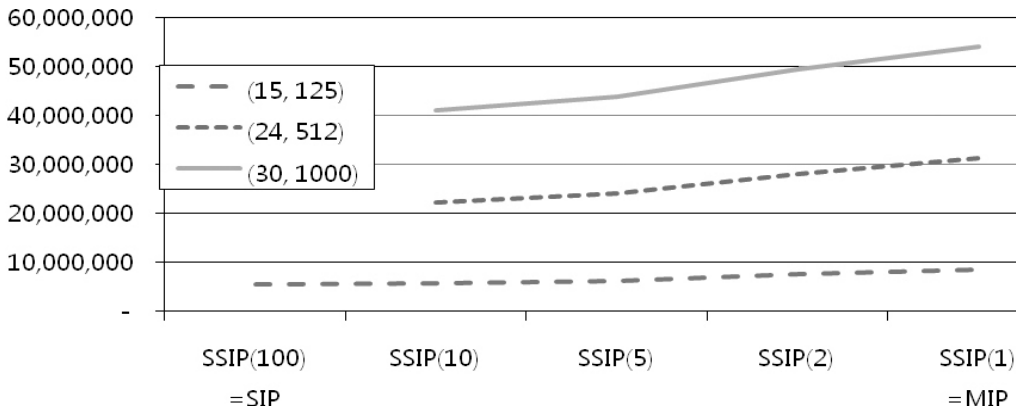
		SSIP(100) = SIP	SSIP(10)	SSIP(5)	SSIP(2)	SSIP(1) = MIP
(부품종류, 완제품종류)	(15, 125)	5,465,437 <sup>†</sup>	5,726,933	6,304,367	7,597,349	8,643,999
		3,941 <sup>‡</sup>	34	6	1	< 1 <sup>**</sup>
	(24, 512)	- <sup>*</sup>	22,291,177	24,047,453	28,032,154	31,347,764
			367	50	8	< 1
	(30, 1000)	-	41,098,832	43,981,163	49,344,186	54,078,671
			1,287	165	22	1

주) <sup>†</sup> 총 비용.

<sup>‡</sup> 평균 계산 수행 시간(초 단위).

<sup>\*</sup> 10,000초 이내에 해를 구하지 못함.

<sup>\*\*</sup> 1초 이내로 걸림.



〈그림 2〉 시나리오 축약 정도에 따른 하이브리드 방법의 성능 추이

는 것과 동일하고, 1개의 축약 시나리오를 고려한다는 것은 하나의 예측 수요량을 이용하는 MIP 모형을 적용하는 것과 동일하다고 볼 수 있다. 결과에서 보듯이 축약의 정도가 높을수록 해의 질은 악화되지만, 빠른 시간 안에 해를 구할 수 있고, 축약의 정도가 낮을수록 해의 질은 개선되지만, 해 도출에 오랜 시간이 소요된다. 이러한 절충관계를 고려하여, 즉 부품 조달 계획 수립에 주어진 시간을 최대한 활용하면서 가장 좋은 성능을 보일 수 있는 시나리오 축약 정도를 알맞게 선택하여 하이브리드 방법을 적용한다면 주어진 상황에서 가장 적합한 해를 도출할 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 수요가 불확실한 상황에서 주문 조립 시스템의 부품의 적정 조달량을 결정하는 문제를 고려하였다. 다양한 수요 시나리오에 대해 강건한 해를 얻기 위하여 2단계 추계적 계획법 모형에 기반한 방법을 제시하였다. 이와 같이 복수의 수요 시나리오를 동시에 고려하여 부품 조달 계획을 수립하는 방법을 통합적 계획 수립 방법이라 하였다. 그리고 통합적 방법이 계산 시간이 오래 걸리거나 해를 찾지 못하는 단점을 보완하기 위하여 축약 시나리오 정보를 이용하여 추계적 수리모형을 적용하는 하이브리드 방안을 제안하였다. 제안된 방법의 성능을 평가하기 위하여, 수요 예측값을 먼저 구한 후 확정적인 수요에 대해 부품 조달 계획을 수립하는 벤치마킹 방법을 두 가지 소개하였다. 계산 실험을 통하여 제안된 하이브리드 방법이 통합적 방법만큼의 해 품질을 유지하면서 합리적인 시간 안에 해를 도출할 수 있는 장점을 갖고 있는 방안이라는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구에서 고려하고 있는 부품 조달 계획 문제는 실제 PC 제조 회사의 부품 조달 상황에서 모티브를 받은 사례로써, 현업에 맞게 적용이 된다면 관련 기업의 부품 조달 계획 수립의 의사결정 도구로 이용될 수 있으리라 기대한다. 더 나아가 PC를 포함하여,

핵심 부품을 조합하여 다양한 스펙의 수 많은 최종 제품 모델을 생산하는 주문 조립 시스템의 특성을 갖고 있는 휴대폰, TV, 프린터 등 여러 하이테크 제품 제조 산업에도 본 연구에서 제안하고 있는 부품 조달 계획 방법론이 적용 가능하리라 기대한다.

본 연구는 향후에 여러 가지 측면에서 확장된 연구가 수행될 수 있다. 먼저, 본 연구에서는 복수의 완제품 종류, 복수의 부품 종류, 복수 계획 기간 등 다양한 실제 상황을 고려하고 있으나 리드타임에 대한 직접적인 고려가 포함되지 않았기 때문에 리드타임을 고려한 연구가 필요하다. 특히 부품의 조달 리드타임이 불확실한 경우에 대한 추후 연구가 요구된다. 두 번째로, 본 연구에서 고려하는 추계적 모형에서는 시나리오 정보가 중요한 역할을 수행하고 있는데, 몇 가지 추후 연구가 필요한 부분이 있다. 먼저, 하이브리드 방법에서 사용된 시나리오 축약 방법은 단순한 형태이기 때문에 좀 더 많은 축약에도 해 성능의 감소가 최소화될 수 있는 개선된 시나리오 축약 방법의 고안이 필요하다. 그리고 본 연구에서 생성하고 있는 시나리오는 복수 계획기간을 고려하고 있음에도 불구하고 기간 단위별로 시나리오가 발현되는 시나리오 트리 형태를 갖고 있지 않다. 시나리오 트리를 포함하여 시나리오 생성방법의 개선도 향후 연구에서 요구된다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김승권, "불확실성을 고려한 수자원 시스템 계획 수립 및 모형 개발 기술 연구", 한국수자원학회 2006년 분과위원회 연구과업보고회 수자원 시스템분과.
- [2] 김승권, "수자원 공학에서의 최적화 기법의 활용(II)", 『한국수자원학회지 물과 미래』, 제39권, 제8호(2006), pp.108-117.
- [3] 민대기, "추계적 계획법을 이용한 수술실 예약 모델과 Newsvendor 비율의 자원 효율성에 대한 영향 분석", 『경영과학』, 제28권, 제2호, (2011), pp.17-29.

- [4] 박상욱, 김수욱, “수요 불확실성과 공급 불확실성의 상호 작용이 공급 사슬 비용에 미치는 효과에 대한 연구”, 『한국경영과학회지』, 제30권, 제3호(2005), pp.81-93.
- [5] 박찬우, 이효성, “주문-조립시스템의 설계 및 성능평가”, 『한국경영과학회지』, 제27권, 제4호(2002), pp.41-65.
- [6] 이근철, 김정옥, “CTO(Configure-To-Order) 환경하의 PC 모듈 조달 계획에 관한 연구”, 『한국생산관리학회지』, 제21권, 제2호(2010), pp.123-135.
- [7] 이용대, 김승권, 김재희, “저수지군 연계운영을 위한 표본 추계학적 선형 계획 모형”, 대한산업공학회/한국경영과학회 춘계학술대회논문집, (2004), pp.672-675.
- [8] 임동규, 김재희, 김승권, “담 균 월별 운영 정책의 도출을 위한 추계적 동적 계획 모형”, 『경영과학』, 제29권, 제1호(2012), pp.1-14.
- [9] 정원찬, 김중수, “확률적 수요를 갖는 단일구매자와 단일공급자 시스템의 다품목 통합발주문제”, 『한국경영과학회지』, 제36권, 제3호(2011), pp.91-105.
- [10] Akçay, A. and S.H. Xu, “Joint Inventory Replenishment and Component Allocation Optimization in an Assemble-to-Order System,” *Management Science*, Vol.50(2004), pp.99-116.
- [11] Benjaafar, S. and M. ElHafsi, “Production and Inventory Control of a Single Product Assemble-to-Order System with Multiple Customer Classes,” *Management Science*, Vol.52(2006), pp.1896-1912.
- [12] Birge, J.R. and F. Louveaux, *Introduction to stochastic programming*, 2nd Ed., Springer, New York, 2011.
- [13] Cheng, F., M. Ettl, G. Lin, and D. Yao, “Inventory-Service Optimization in Configure to Order Systems,” *Manufacturing and Service Operations Management*, Vol.4(2002), pp.114-132.
- [14] Ettl, M., P. Huang, K. Sourirajan, and F. Cheng, “Product Offering Conditioning in Assemble-to-Order Supply Chains,” IBM Research Report, RC23878(W0602-125), 2006.
- [15] Glasserman, P. and Y. Wang, “Leadtime-Inventory Tradeoffs in Assemble-to-Order Systems,” *Operations Research*, Vol.46(1998), pp.858-871.
- [16] Gunasekaran, A. and E.W.T. Ngai, “Modeling and Analysis of Build-to-Order Supply Chains,” *European Journal of Operational Research*, Vol.195(2009), pp.319-334.
- [17] Hsu, V.N., C.Y. Lee, and K.C. So, “Optimal Component Stocking Policy for Assemble-to-Order Systems with Lead-Time-Dependent Component and Product Pricing,” *Management Science*, Vol.52(2006), pp.337-351.
- [18] Lu, Y., J.-S. Song, and D.D. Yao, “Backorder Minimization in Multiproduct Assemble-to-Order Systems,” *IIE Transactions*, Vol.37(2005), pp.763-774.
- [19] Shapiro, A., D. Dentcheva, and A. Ruszczyński, *Lectures on Stochastic Programming : Modeling and Theory*, MPS-SIAM Series on Optimization, Philadelphia, 2009.
- [20] Song, J.-S., “On the Order Fill Rate in a Multi-Item, Base-Stock Inventory System,” *Operations Research*, Vol.46(1998), pp.831-845.
- [21] Song, J.-S. and D.D. Yao, “Performance Analysis and Optimization in Assemble-to-order Systems with Random Leadtimes,” *Operations Research*, Vol.50(2002), pp.889-903.
- [22] Song, J.-S. and P. Zipkin, “Supply Chain Operations : Assemble-to-Order Systems,” *Handbooks in OR and MS*, Vol.11(2003), pp.561-596.