

소모성 보조 장비 구입비용 최소화를 위한 잔존가치 기반의 장비 할당 문제

윤성욱 · 정석재*

Machine Allocation Based on Salvage Value for Minimizing Purchasing Costs of Consumable Auxiliary Tools

Sung-Wook Yoon · Suk-Jae Jeong*

ABSTRACT

Small and medium Enterprises (SMEs), which have a manufacturing method of small quantity batch production produce goods using a general-purpose equipment and attached auxiliary tools. Many previous studies have focused on finding the effective resource allocations for improving the firms' productivity. It is very important for SMEs to keep costs low in assigning jobs to each resource, because they should meet the future uncertain demand of consumers under the limited budget. Using the concept of salvage cost, this paper proposes how to effectively allocate the tasks to main resources in the production process. The salvage cost is defined that purchasing cost minus decrease in value by workload, the method considering this is expected to reduce total purchasing costs during business period. To validate the effect of the proposed method, we proceed the real case study targeting on S company, PCB manufacturer to compare purchase amounts and its costs between the allocation proposed based salvage cost and current allocation method of current S company. As a results, In short-term (3 year) business period, salvage allocation have remarkable superior outcome to existing method, but gradually have cancelled out the effects in long-term (8 year) plans. Unlike the cycle allocation method, there exists the idle-equipments in allocation based salvage value. we additionally analyze the profits with respect to rental strategy of them during business period.

Key words : Machine allocation problem, Salvage value of auxiliary tools, Simulation

요약

다품종 소량 생산을 따르는 중소기업들은 범용 장비와 이에 부착된 보조 장비를 활용하여 제품을 생산하고 있다. 이전에 많은 연구들은 이러한 중소기업의 환경에서 생산성 향상 관점의 설비 할당 연구를 진행해 왔다. 그러나 중소기업들은 제한된 예산 하에서 수요를 충족시켜야 하기 때문에 경제적 관점으로 설비와 작업을 할당하는 것이 매우 중요하다. 본 연구는 소모성 보조 장비의 잔존가치 개념을 이용하여 설비 할당 문제를 다루고자 한다. 소모성 보조 장비는 주 장비에 부착된 부품으로써 작업을 위해 꼭 필요한 부품이다. 그렇기 때문에 주 설비의 일정 작업시간 후에는 보조 장비의 구매가 이루어져야 한다. 본 연구에서는 PCB를 제조하는 S기업을 대상으로 잔존가치를 고려한 설비할당 방법과 S기업의 현행 설비할당 방법(Cycle)이 장단기 관점에서 보조 장비의 구매량과 구매비용에 어떤 영향을 미치는지 알아보기 위해 두 전략을 비교 실험하였다. 그 결과, 장단기적 관점에서 모두 본 연구에서 제안하는 설비할당 방법이 현행방법보다 보조 장비의 구매수량 및 구매비용에 대해서 더 효율적인 결과를 보였다. 그러나 장기적으로 갈수록 현행방법과의 차이가 미미해짐을 알 수 있었다. 한편 유휴설비에 대한 대역 전략을 고려할 경우, 기업은 추가적인 이익 효과를 기대할 수 있음을 보였다.

주요어 : 장비할당 문제, 소모성 보조 장비 잔존가치, 시물레이션

Received: 16 July 2014, Revised: 6 November 2014,
Accepted: 24 November 2014

*Corresponding Author: Suk-Jae Jeong
E-mail: sjjeong@kw.ac.kr
Kwangwoon University

1. 서론

일반적으로 다품종 소량 생산을 위해 제조공정은 가공되는 제품에 따라 범용 장비에 소모성 보조 장비(consumable

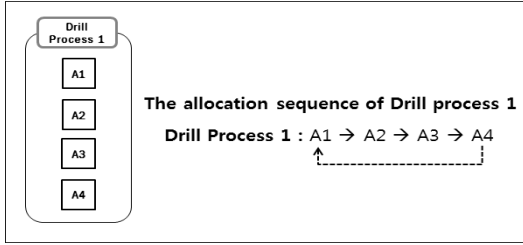


Fig. 1. The allocation sequence of Drill process in S company

auxiliary)를 함께 사용한다. 소모성 보조 장비는 주 설비를 가동하기 위해 반드시 필요한 장비로써 최대수명이 존재하기 때문에 일정시간 경과 후 교체를 해야만 하는 장비를 일컫는다. 또한 소모성 보조 장비들은 생산을 위해 사용되는 횟수가 점차 증가함에 따라 잔존가치가 하락하게 되고, 수명주기가 끝난 보조 장비는 결국 새로운 보조 장비 교체로 인해 보조 장비의 구입비용이 발생하게 된다.

다품종 소량 생산 방식을 따르는 대부분의 중소기업들은 예산에 대한 불확실성 때문에 이러한 소모성 보조 장비의 구매와 같이 단기적으로 발생하는 비용요소를 잘 관리하는 것이 자원 낭비를 최소화하는 데 있어 중요하다.

이러한 소모성 보조 장비의 구매는 설비할당방법에 따라 많은 영향을 받는다. 그러나 대부분의 중소기업은 경험에 의한 설비할당방법을 적용하고 있기 때문에 단기적 계획에 의한 비용관리가 제대로 이루어지지 않고 있는 것이 현실이다.

현재 S기업의 드릴공정의 설비할당방법은 유훈 설비에 대해 우선적으로 작업을 할당하고 있다. 그러나 연속적으로 들어오는 주문에 대한 처리시간의 편차가 크지 않기 때문에, 결국 순차적으로 할당하는 방법(Cycle)의 형태를 취하고 있다고 볼 수 있으며, 이에 대한 설명은 Fig. 1에 나타나있다. 드릴공정 1에서 처리해야하는 작업이 들어오면 4개의 드릴설비(A1~A4)에 순서대로 할당된다. 이와 같은 설비할당방법은 설비 이용률을 평준화 할 수 있다는 장점이 있지만 본 연구에서 고려하는 소모성 보조 장비의 구매 비용 최소화관점에서는 효율적인 전략이라고 볼 수 없다.

Fig. 2에서는 4개의 드릴설비에 대해서 현재까지 사용된 가치(Decrease in value), 잔존가치(Salvage value), 구입 시기(Purchased period), 최대수명(Maximum life) 그리고 구매 리드타임(Lead Time)이 주어졌다. 만약 순차적으로 작업을 할당할 경우, 보조 장비의 잔존가치를 고려하지 않기 때문에 현 시점에서 상대적으로 잔존가치가 적은 설비 A1과 A2의 보조 장비를 구입해야 할 가능성이

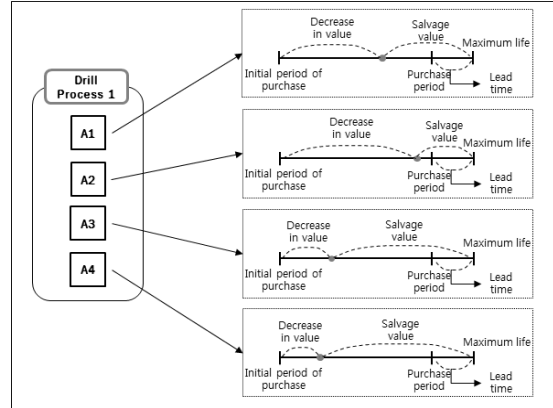


Fig. 2. The concept of salvage value of Drill process in S company

높아진다. 반면 상대적으로 잔존가치가 큰 설비들에 작업들을 우선적으로 할당하게 되면, S기업에서 현행으로 사용하고 있는 설비할당 방법보다 보조 장비의 구매 횟수를 줄일 수 있다.

따라서 본 연구에서는 보조 장비의 구매수량 및 구매 비용을 최소화하기 위한 방안으로 잔존가치를 고려한 설비할당방법의 타당성을 분석하고자 한다. 대부분의 영세한 중소기업의 경우, 미래 수요가 불확실하므로 장기적 의사결정 보다는 단기 계획에 의한 의사결정에 의존하는 경향을 보인다. 이러한 관점에서 본 연구에서는 비교적 기간이 짧은 3년 동안 설비를 운영하는 상황 하에서 잔존가치를 고려하는 할당 방법이 구매비용을 낮추는 효과가 있는지를 보고자 한다. 물론 이 경우에는 계획기간 이후(3년 후)에 설비 구매와 잔존가치의 영향을 파악할 수 없다는 한계가 있지만 미래의 수요는 불확실하므로 특정 기간의 수요에 대한 설비할당 방법을 분석하는 데 의의가 있다.

그러나 단기간 동안 상대적으로 잔존가치가 큰 설비에 우선적으로 작업을 할당하는 방법은 구매수량과 구매비용을 줄이는 데 효과가 있을 수 있지만 S기업의 드릴공정에 대한 총 잔존가치는 하나이고 결국에는 단기적 관점에서 구매가 이루어지지 않은 보조 장비의 구매가 계획기간 이후에 구매 발생 가능성이 높기 때문에 결국 장기적으로 볼 때 그 효과가 미미할 수 있다. 이에 본 연구는 3년 동안의 단기계획과 8년(하나의 보조 장비를 구매해서 약 70%의 가동률로 잔존가치가 0이 될 때까지 소요되는 시간)동안의 비교적 장기계획 하에서 미래 수요가 일정하게 발생한다는 가정 하에서 제안된 방법이 총 구매비용에서 효과가 있는지를 또한 분석하였다.

순차적으로 작업을 할당하는 기존 방식의 경우, 모든 설비들을 활용하지만 잔존가치를 고려하여 보조 장비를 할당할 경우 상대적으로 잔존가치가 큰 설비에 우선적으로 작업이 할당되기 때문에 잔존가치가 적은 설비는 일정 기간 동안 작업이 할당되지 않고 계속 유휴상태로 머물 가능성이 존재한다. 더욱이 수요가 적을수록 이러한 상황이 발생할 가능성은 더욱 높아질 수 있다. 이에 본 연구는 계속적으로 작업이 할당되지 않는 유휴 설비에 대해 일정 기간 임대(rental)할 경우에 대한 수익을 분석하고자 한다.

2. 선행연구 고찰

설비 및 작업 할당 문제는 많은 연구자들에 의해 연구가 진행되어 온 분야이지만, 장비의 잔존가치를 기반으로 한 설비할당 방법에 대한 연구는 미미한 실정이다. Wang and Lin(2002)은 반도체 검사 장비를 대상으로 계획기간 동안의 기업의 이익을 극대화하기 위한 최적의 교체 설비 결정 및 작업 할당 방법 문제에 대한 해법을 제시하였다. 다만, 그들의 연구에서 구매 리드타임과 설비의 시간 가치를 반영하지 않고 있다.

Ge and Asgarpoor(2011)와 Goetz et al. (2008)의 연구에서는 설비의 부하정도와 사용횟수를 고려하여 설비를 할당하는 문제에 대한 해법을 제시하였다.

Wang et al.(2007)은 반도체 검사 공정에 활용되는 복수의 설비들에 대한 투자 의사결정 문제를 다룬 바 있다. 그들은 최적의 설비 포트폴리오를 의사 결정함에 있어 장비들의 구입뿐만 아니라, 적절한 시점에서의 대여 및 매각 결정이 기업의 이익에 미치는 영향이 적지 않음을 보였다.

Wang and Wang(2007)은 재고생산 환경 하에서 장비의 구입 시점을 고려한 작업할당을 통해 장기적 관점에서 기업에 이익을 제공할 수 있음을 수치적으로 보였으며, 문제의 해법으로 제약 프로그램 기반의 유전 알고리즘을 이용하였다.

Yang et al.(2009)은 하이테크, 자본 집약적 산업에서 자원과 작업을 할당하는 문제를 다루었다. 그들은 빠른 기술 발달과 시장 수요의 급격한 변화, 자원이 구입비용의 급격한 상승 하에서 최적의 자원 대수 산정과 이에 따른 작업 할당 방식을 제안하였다. 효과적으로 해를 찾기 위해 Wang et al.(2007)의 연구와 동일하게 제약기반 유전 알고리즘 해법을 제시하였으며, 실제 사례를 통해 해의 적용 가능성을 타진한 바 있다.

Wang and Wang(2013)은 수요와 기술 발달의 불확실성하에서 기대 수익과 리스크 사이의 트레이드오프를 반영한 자원의 포트폴리오와 투자 의사결정 문제를 다루고 있다. 생산과정에서 발생하는 작업 비용과 자원의 잔존가치를 고려하여 최적의 자원 획득 및 운영 방법을 제안하였다.

앞서 고찰된 선행 연구를 토대로, 본 연구는 범용장비를 활용하는 중소기업의 구매 횟수가 상대적으로 잦은 보조 설비를 대상으로 구매 리드타임과 잔존가치, 설비의 구입 및 대여 전략이 기업의 이익 관점에서 미치는 영향을 보고자 한다.

3. 연구모형

3.1 연구범위

본 연구에서는 Fig. 3과 같이 소모성 보조 장비의 잔존

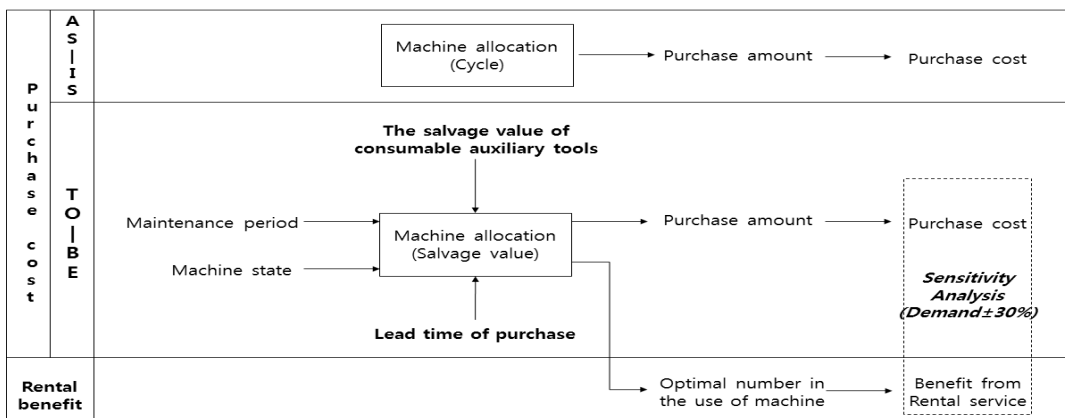


Fig. 3. The research area for the comparison between the existing and proposed machine allocation method

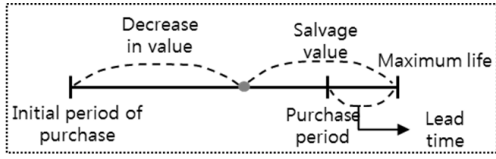


Fig. 4. Determination of purchase period of consumable auxiliary considering the salvage value

가치를 이용한 설비할당 방법과 S기업에서 현재 적용하고 있는 순차적 할당방법(Cycle)을 보조 장비의 구매비용에 대해서 비교하는 실험을 진행하였다. 설비할당 문제는 작업이 들어왔을 때 개별 설비의 할당 우선순위를 계산하여 우선순위가 높은 설비에 작업을 할당하는 문제를 다룬다. 본 연구에서는 주 설비에 부착된 소모성 보조 장비의 잔존가치, 구매비용, 구매 리드타임과 주 설비 정비기간 및 가동상태 등을 고려하여 설비할당 우선순위를 결정하였다. 또한, 본 연구에서 제안한 설비할당 방법을 적용했을 때 산정되는 유헴 설비대수를 이용하여 특정 수유기간 동안 대여 획득될 수 있는 추가적인 수익에 대해서도 분석한다.

3.2 소모성 보조 장비의 구입 시기 결정

소모성 보조 장비의 구입 시기는 Fig. 4의 구성요소들에 의해서 결정된다.

- 1) 현재까지 가치감소 (Decrease in value) : 현재까지 소모성 보조 장비의 가치감소분을 나타내며, 실제 S기업의 자료를 활용하였다.
- 2) 최대수명 (Maximum life) : 소모성 보조 장비의 최대수명은 약 50000시간으로 가정한다.
- 3) 잔존가치 (Salvage value) : 최대수명에서 현재까지 가치감소분을 차감한 부분으로 최대수명까지 보조 장비의 남은 가치를 의미한다.
- 4) 구매시점 (Purchase period) : 현재 S기업에서 사용되는 설비들은 모두 유럽에서 제조된 설비들로서 보조 장비 또한 제조업체로부터 직접 배송 받아야 하는 상황이다. 이에 구매 리드타임(평균 30일)이 상대적으로 긴 특성을 가진다.
- 5) 구매비용 (Purchase cost) : 구매비용은 주 설비의 연식과 종류에 따라서 최소 2,700,000원에서 최대 7,000,000원까지 차이가 나며, 실제 S기업의 자료를 활용하였다.

3.3 소모성 보조 장비의 잔존가치 계산

소모성 보조 장비의 잔존가치는 부품의 최대 수명시간에서 현재까지 감소된 가치정도를 차감한 값으로 정의되며, 장비의 구입시기와 사용정도가 모두 다르기 때문에 각 장비의 잔존가치는 다르게 나타난다. Fig. 5는 실제 S기업의 첫 번째 드릴공정의 주 설비에 대한 개별 보조 장

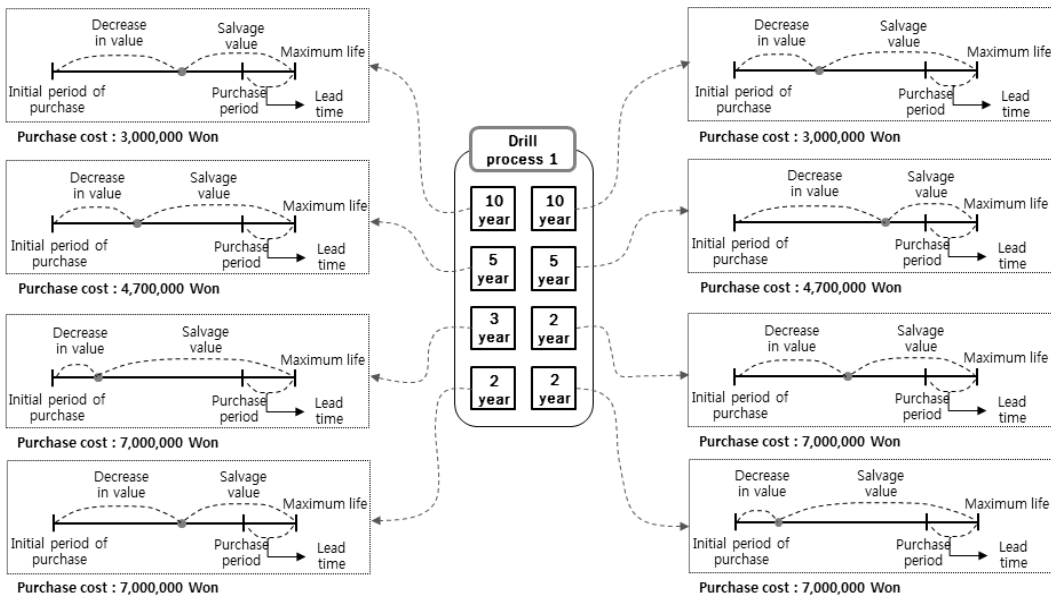


Fig. 5. The salvage value of consumable auxiliary tools per machines in the Drill process 1

비들의 잔존가치와 현재까지 총 가치감소분을 나타내고 있다.

3.4 잔존가치를 고려한 설비할당 방법

S기업은 제품 별로 총 4개의 드릴공정이 있으며, 각 드릴공정에서는 구입년도가 다른 드릴설비들이 구성된다. 각 드릴설비에 장착되어 있는 소모성 보조 장비는 설비의 연식에 따라서 구매비용이 모두 다르며, 각 설비마다 현재까지 누적된 작업시간에 따라 보조 장비의 잔존가치가 다르게 나타난다.

본 연구에서는 잔존가치가 상대적으로 큰 순서대로 설비를 할당하기 위해 각 설비의 소모성 보조 장비의 현재까지 가치감소분, 잔존가치, 최대수명, 구매시점 그리고 구매비용을 고려하여 비용함수를 다음과 같이 정의한다.

- 소모성 보조 장비의 잔존가치
= 구입비용 - 가치감소 비용
- 현재까지 총 가치감소 비용
= 사용시간 * 가치감소 비용/시간당
- 단위 시간당 가치감소폭
= 구입비용 / 최대 수명시간 (50000 시간)

Fig. 6은 비용함수에 대한 예를 보여주고 있다. 현재까지 누적된 작업시간을 작업시간 당 가치감소폭을 적용하여 비용으로 나타냈을 때 약 117만원의 가치가 감소한 것을 알 수 있다. 따라서 이 설비에 장착된 보조 장비의 잔존가치는 구매비용 300만원에서 현재까지 가치감소분을 차감한 183만원이 된다. 이때 새로운 보조 장비의 구매시

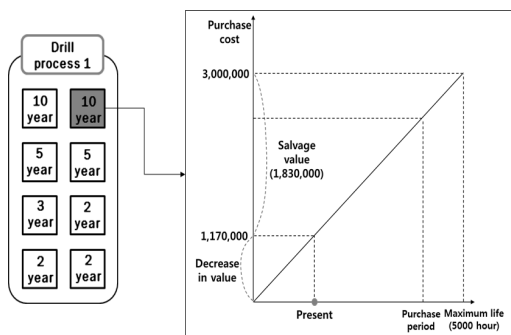


Fig. 6. The cost function considering salvage value, purchase cost and purchase period

점은 최대 수명에서 구매리드타임을 고려하여 결정된다.

이와 같은 비용함수를 설비할당 방법에 적용했을 때 설비의 우선순위가 어떻게 결정되는지 Fig. 7에서 보여주고 있다. Figure 5에서 연식이 10년인 설비의 잔존가치가 연식이 5년인 설비의 잔존가치보다 더 크기 때문에 연식이 10년인 설비에 작업을 우선 할당하게 된다. 그러나 지속적으로 이 설비(연식 10년)에 작업을 할당하게 되면 보조 장비의 가치는 하락하게 되고(구매비용이 클수록 가치 감소 폭은 커짐) 일정시간 후에는 연식이 5년인 설비에 작업이 우선할당 된다.

그러나 보조 장비의 잔존가치가 큰 설비가 작업 중임에도 불구하고 계속해서 작업을 할당시키면 작업 대기시간이 길어지기 때문에 납기율, 사이클 타임, 제품제고 수준 등의 운영성과들이 나빠지는 결과를 초래할 수 있다. 따라서 보조 장비의 잔존가치가 크더라도, 이미 작업이 진행 중에 있으면 그 설비를 제외한 나머지 설비를 대상으로 잔존가치가 큰 순서대로 설비 선택 우선순위를 결정하는 것이 바람직하다. 또한, 실제 S기업의 장비 정비시간을 모형에 반영하여 해당 시간에 작업을 원칙적으로 배제하도록 하였다.

Fig. 8은 본 연구에서 제안하는 설비할당 방법에서 공 정상태 그리고 정비시간을 고려했을 때 우선순위가 결정되는 방법에 대해서 설명하고 있다. 먼저 Fig. 8의 단계 1에서는 잔존가치가 큰 순서대로 1에서 8번까지 우선순위를 할당시키고, 설비의 작업 상태를 확인한다. 만약 우선 순위가 1번인 설비가 현재 작업 중이면 이 설비를 제외한

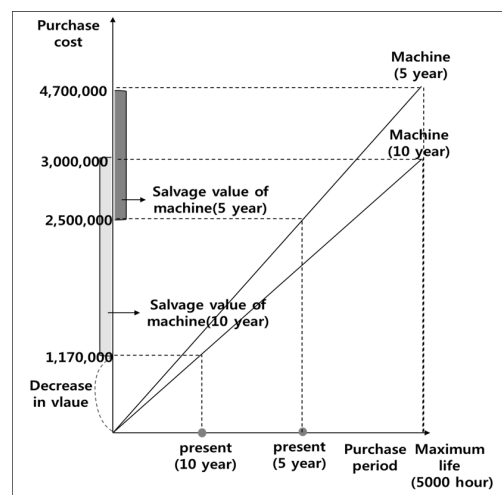


Fig. 7. The priority of machine allocation according to cost function using salvage value

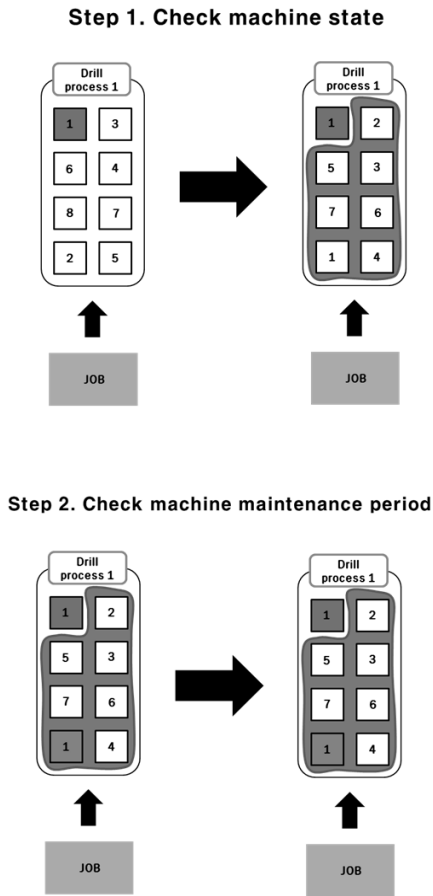


Fig. 8. The priority of machine allocation considering salvage value, machine state and maintenance

나머지 설비들에 대해서 잔존가치가 큰 설비순서대로 우선순위를 할당하게 된다. 단계 2에서는 설비의 정비기간을 확인하고, 만약 모든 설비가 현재 정비기간(가동불능 상태)이 아니면 단계1에서 확정된 우선순위로 작업을 할당 받고, 그렇지 않으면 정비기간인 설비를 제외하고 나머지 설비들에 대해서 다시 우선순위가 할당된다.

3.5 유희 설비대수 산정 방법

본 연구에서 제안하는 설비할당 방법을 적용할 경우, 보조 장비의 잔존가치가 적게 남은 설비는 단기간 동안 유희설비로서 가동되지 않을 수 있다. 이러한 유희설비는 수요가 하락할 때 더 많이 발생하게 된다. Wang et al. (2007) 연구에서 보면, 설비 구매 포트폴리오를 결정함에 있어 구매 시점뿐만 아니라, 이용률이 낮은 설비의 대여 및 매각에 대한 의사결정이 이익에 큰 영향을 미침을 보인 바 있다. 이에 착안하여 본 연구에서는 유희설비에 대한 대여(rental)서비스를 통해 이익을 창출하는 목적으로 단기간 동안의 유희설비대수를 산정하는 방법을 Fig. 9와 같이 적용하였다.

예를 들어, 수요 a, b, c구간에서 잔존가치를 고려한 설비할당 방법을 적용했을 때, 드릴공정 1의 경우 a구간에서 사용되는 설비는 3대, b구간에서 사용되는 설비는 7대, c구간에서 사용된 설비는 7대로 나타났고, 음영처리 된 설비(연식 5년)는 a ~ c 수요기간동안 한 번도 사용되지 않았다. 본 연구에서는 연식이 5년인 설비와 같이 특정 수요기간 동안 한 번도 사용되지 않은 설비를 유희설비로 정의하였다.

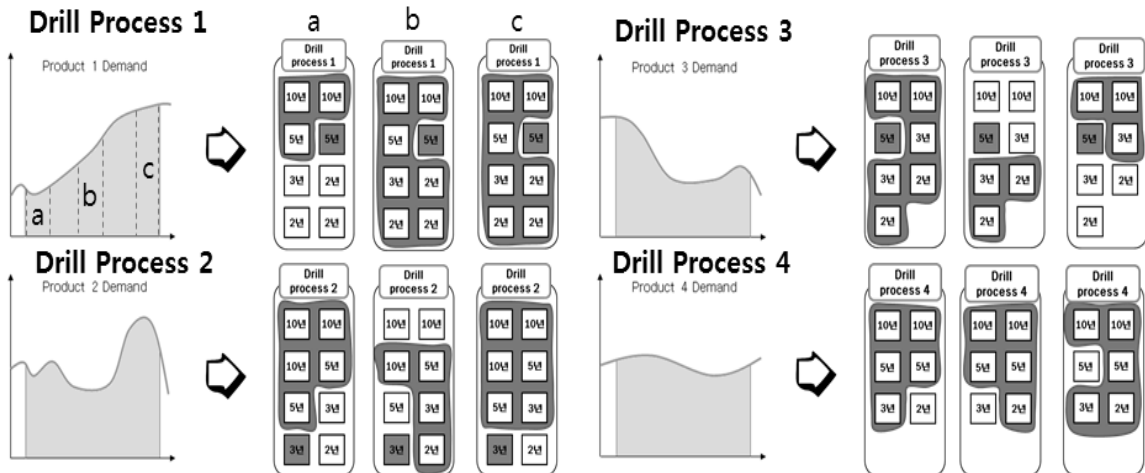


Fig. 9. Decision of optimal number of machine in the application of machine scheduling maximizing salvage value

한편, 드릴공정 4의 경우 전체 수요기간 동안 모든 설비가 사용됐기 때문에 한 번도 사용되지 않는 설비는 존재하지 않는다. 즉, 제품 4의 수요를 처리하기 위해서 모든 설비가 필요한 반면, 제품 1의 수요를 처리하기 위해서 드릴공정 1의 8대 설비 중 연식이 5년인 설비를 제외한 7대의 설비로 수요를 모두 충족시킬 수 있다는 것이다. 이처럼 본 연구에서는 특정 수요기간 동안 유허설비대수를 산정하고, 이 설비들을 대여(Rental)할 경우 추가적으로 발생하는 수익을 분석하였다.

4. 소모성 보조 장비 정의 및 시뮬레이션 모델

4.1 S기업 PCB공정 시뮬레이션 모델

S기업은 회로 설계가 완료된 후 설계에 맞는 공법을 선택하여 단면, 양면, 또는 다층 PCB로 구분하여 제조하게 되며, 그에 따른 공정 절차와 처리시간에 차이성이 존재한다. 또한 S기업은 하루 작업량을 12시간 이내에 완료하는 방식으로 생산한다. 본 연구에서는 제품종류에 따른 PCB처리 절차와 처리시간 그리고 생산방식을 적용하여 시뮬레이션 모델을 구축하였다. 사용된 툴은 ARENA 14.0 package이다. 시뮬레이션을 수행하기 위한 기초 자료는 실제 S기업을 최대한 활용하였으며, Table 1과 같이 수요 데이터의 경우 제품종류가 많기 때문에 이를 간소화하기 위해 제품군으로 일부 조정하여 반영하였다.

4.2 S기업 PCB공정 프로세스

S기업의 PCB공정은 Fig. 10과 같은 공정 프로세스를 따르고 있으며, 본 연구에서는 각 공정의 처리시간을 Table 2와 같이 시뮬레이션에 반영하였다.

4.3 드릴공정 설비특징

S 기업의 드릴공정은 연식이 다른 다양한 설비들이 혼재되어 있는 작업환경 특징을 잘 나타내고 있다. Fig. 11과 같이 드릴공정은 제품 1, 제품2, 제품 3 그리고 제품4를 처리하는 설비로 구분되어 있고, 각 설비는 다음과 같은 특징을 갖는다.

- 각 공정에서 사용되는 설비는 연식(2년, 3년, 5년, 10년)이 다른 설비들로 구성되어 있다.
- 설비의 연식에 따라서 동시에 작업할 수 있는 처리용량이 모두 다르다.
- 소모성 보조 장비는 각 설비에 하나씩 부착되어 있으며, 구입비용은 설비연식과 공정에 따라서 다르다.

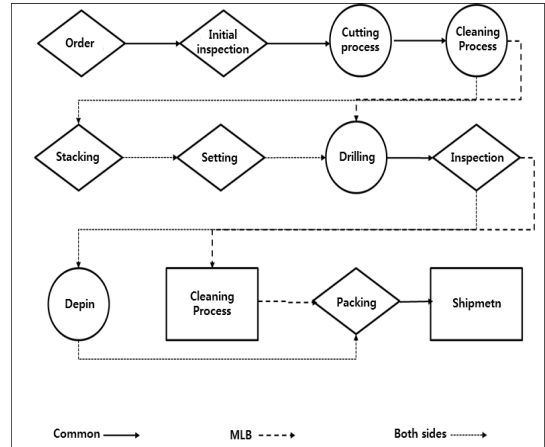


Fig. 10. PCB process flow in S company

5. 결과 분석

5.1 계획기간 변경에 따른 효과 검증

S기업에서 사용하고 있는 현행 설비할당 방법과 본 연구에서 제안하는 설비할당 방법에 대한 결과를 Table 3과 Table 4에서 각각 제시하고 있다. 현행 설비할당 방법으로 적용했을 때는 3년 동안 총 20개의 새로운 보조 장비를 구매하게 되고, 총 구매비용으로 약 9천만 원 정도 발생하는 것으로 나타났다. 그리고 남은 설비의 총 잔존가치는 약 1천2백만 원이었다. 한편, 잔존가치를 고려한 할

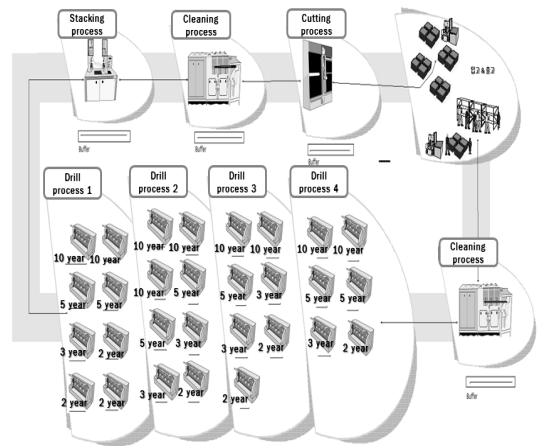


Fig. 11. Current state of drill machine in S company

Table 1. Demand data of S-company

No.	Panel Size	Due Date	Prepreg type	Layer	Thickness	Hole Size	Number of order	Copper Foil Thickness	Number of hole
1	382*325	March 7	DS,LG(7408)	6	3	0.45	35	35	15000
2	241*628	March 7	EMC P.P	8	3	0.5	73	70	9000
3	490*216	March 7	C/L	16	4	0.3	17	70	6000
4	390*344	March 13	P.P.E	16	5	0.5	127	70	17000
5	222*229	March 12	P.P.E	12	4	0.5	94	70	12000
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
46	428*594	April 3	DS,LG(7408)	16	5	0.5	93	70	13000
47	631*548	April 3	RCC	16	3	0.25	69	70	8000
48	474*568	April 6	FPC	22	5	0.35	88	70	12000
49	628*493	April 6	Halogen P.P	8	3.2	0.2	24	70	6000
50	351*210	April 7	Halogen P.P	18	5	0.25	17	70	8000
51	405*639	April 8	Bending	18	4	0.2	58	70	14000
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
63	223*586	May 16	HI-TG	10	5	0.5	93	70	7000
64	305*229	May 20	HI-TG	12	5	0.5	130	70	7000
65	552*293	May 21	HI-TG	16	4	0.2	7	70	12000
66	618*542	May 21	Halogen P.P	12	3	0.45	12	70	11000
67	225*287	May 21	P.P.E	8	3	0.35	77	70	12000
68	417*638	May 25	P.P.E	10	4	0.3	132	70	6000
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴

Table 2. Process time of S-company

Process	Measurement parameter	Process Time
Cutting Process	The type and thickness of panel, panel size, machine capacity	cutting time (36 sec/1 time)*the number of cutting *the number of panel
Cleaning Process	Conveyor(length, speed)	conveyor length (3.5 m)/conveyor speed (0.26 cm/sec)
Inspection Process	fraction defective	Inspection time is diversely measured using fraction defective in S company.
Stacking Process	the number of hole	Stacking time is diversely measured by the number of hole.
Drill Process	capacity, BIT speed (up/down), the number of hole	Drill time is measured by BIT speed, the length between BIT and panel

Table 3. Purchase amount and cost of auxiliary tools (Cycle, 3 years)

Drill Process		salvage value (won)	Purchase amount (EA)	Purchase cost (won)
1	M_1	290,255	1	3,000,000
	M_2	289,822	0	-
	M_3	329,219	1	4,700,000
	M_4	564,860	1	4,700,000
	M_5	806,843	1	7,000,000
	M_6	757,540	1	7,000,000
	M_7	322,792	1	7,000,000
	M_8	844,244	1	7,000,000
2	M_1	266,378	0	-
	M_2	256,619	0	-
	M_3	298,386	1	2,700,000
	M_4	333,494	1	3,500,000
	M_5	380,843	0	-
	M_6	559,405	0	-
	M_7	350,275	1	5,500,000
	M_8	446,819	1	5,500,000
3	M_1	310,225	1	3,200,000
	M_2	307,215	1	3,200,000
	M_3	175,244	1	3,700,000
	M_4	661,676	0	-
	M_5	557,742	1	6,500,000
	M_6	730,617	0	-
	M_7	797,229	0	-
4	M_1	310,445	1	2,700,000
	M_2	232,964	1	2,700,000
	M_3	264,787	1	3,000,000
	M_4	277,365	1	3,000,000
	M_5	100,265	1	5,000,000
	M_6	560,783	0	-
Total		12,384,355	20 개	90,600,000

당방법을 적용할 경우, 보조 장비 구매 수량이 13개이고, 약 5천8백만 원의 구매비용이 발생하였으며, 약 5백7십만 원 정도의 잔존가치가 남은 결과를 보였다. 총 구매비용에서 남은 장비의 잔존가치를 차감한 순 비용으로 비교해 보면, 잔존가치를 고려하는 할당 방법이 기존 방법보다 약 2천5백만 원의 비용절감 효과가 있는 것으로 분석되었다.

다음으로 계획기간을 8년을 확대하여 분석한 결과가 Table 5(기존 방법)와 6(제안 방법)을 통해 비교된다. 순차적으로 설비를 할당할 경우 구매수량은 51개, 이에 따른 구매비용 약 2억 7백여만 원으로 산정되었고, 본 연구에서 제안하는 설비할당 방법은 구매수량 43개, 구매비용 약 2억 6백만 원으로 구매비용 측면에서는 효과가 거의

Table 4. Purchase amount and cost of the auxiliary tools (Salvage value, 3 years)

Drill Process		salvage value (won)	Purchase amount (EA)	Purchase cost (won)
1	M_1	203,139	1	3,000,000
	M_2	206,022	1	3,000,000
	M_3	175,782	0	-
	M_4	146,320	0	-
	M_5	210,163	0	-
	M_6	204,230	1	7,000,000
	M_7	194,710	0	-
	M_8	211,680	0	-
2	M_1	98,816	0	-
	M_2	109,688	0	-
	M_3	158,048	0	-
	M_4	84,000	0	-
	M_5	260,960	0	-
	M_6	150,480	0	-
	M_7	559,236	1	5,500,000
	M_8	214,620	1	5,500,000
3	M_1	328,690	1	3,200,000
	M_2	60,047	0	-
	M_3	112,817	0	-
	M_4	418,946	0	-
	M_5	318,240	0	-
	M_6	222,076	1	6,500,000
	M_7	673,331	1	6,500,000
4	M_1	60,912	0	-
	M_2	80,442	1	2,700,000
	M_3	26,256	1	3,000,000
	M_4	93,173	1	3,000,000
	M_5	39,489	1	5,000,000
	M_6	163,205	1	5,000,000
Total		5,785,518	13	58,900,000

없음을 알 수 있었다. 그리고 잔존가치를 차감한 순 비용에서도 약 7백만 원 정도의 차이로 효과가 미미하였다.

다만, Fig. 12를 통해 우리는 기존 할당방법의 경우 매 시점마다 지속적으로 구매가 발생하는 반면, 제안된 방법은 특정 시점에 동시적으로 구매가 발생함을 알 수 있었다. 이는 구매 리드타임이 긴 보조 장비의 특성 상, 구매

시점을 결정함에 있어 효율성을 제공하는 한편, 공동 구매 등을 통한 수량 할인의 효과도 기대할 수 있을 것으로 본다.

5.2 수요 변화에 따른 효과 검증

중소기업의 특성상 미래 수요의 변동이 극심할 수밖에

Table 5. Purchase amount and cost of auxiliary tools (Cycle, 8 years)

Drill Process	salvage value (won)	Purchase amount (EA)	Purchase cost (won)	
1	M_1	292,604	2	6,000,000
	M_2	434,664	2	6,000,000
	M_3	519,464	2	9,400,000
	M_4	1,352,273	2	9,400,000
	M_5	3,204,842	1	7,000,000
	M_6	3,450,492	1	7,000,000
	M_7	3,022,379	1	7,000,000
	M_8	255,013	2	14,000,000
2	M_1	671,799	2	5,400,000
	M_2	597,770	2	5,400,000
	M_3	765,549	2	5,400,000
	M_4	1,049,044	2	7,000,000
	M_5	1,701,370	1	3,500,000
	M_6	1,102,252	1	5,500,000
	M_7	2,552,124	1	5,500,000
	M_8	2,262,196	1	5,500,000
3	M_1	850,116	3	9,600,000
	M_2	618,218	3	9,600,000
	M_3	1,102,729	2	7,400,000
	M_4	1,289,403	1	6,500,000
	M_5	272,912	1	6,500,000
	M_6	1,456,833	1	6,500,000
	M_7	1,256,260	1	6,500,000
4	M_1	71,011	3	8,100,000
	M_2	669,293	3	8,100,000
	M_3	332,715	3	9,000,000
	M_4	984,388	2	6,000,000
	M_5	341,574	2	10,000,000
	M_6	1,217,998	1	5,000,000
Total	33,697,284	51	207,800,000	

없다. 이에 본 연구에서는 수요 변동에 따른 효과의 민감성을 추가적으로 분석하였다. 현재 수요를 기준으로 30%의 증감을 민감도 분석한 결과가 Table 9에 제시되었다. 수요가 증가 할수록 현행 설비할당 방법(Cycle)과 본 연구에서 제안하는 설비할당 방법(Salvage value)의 보조 장비 구매수량 차이가 약 6개에서 7개정도로 나타난 반

면, 수요가 하락할수록 그 차이는 작아지는 것을 확인 할 수 있었다.

5.3 유희설비 대여 전략 검증

한편, 앞서 5.1절에서 분석한 바와 같이 3년 동안 잔존 가치를 고려하여 할당한 경우 총 3년 동안 5대의 유희설

Table 6. Purchase amount and cost of auxiliary tools (Salvage value, 8 years)

Drill Process	salvage value (won)	Purchase amount (EA)	Purchase cost (won)	
1	M_1	1,198,003	2	6,000,000
	M_2	1,198,799	2	6,000,000
	M_3	1,587,979	0	-
	M_4	2,253,323	0	-
	M_5	3,663,418	0	-
	M_6	291,133	4	28,000,000
	M_7	397,841	3	21,000,000
	M_8	3,266,912	1	7,000,000
2	M_1	1,137,579	2	5,400,000
	M_2	1,175,610	0	-
	M_3	1,175,364	0	-
	M_4	1,423,581	0	-
	M_5	1,175,094	0	-
	M_6	316,936	3	16,500,000
	M_7	1,456,531	2	11,000,000
	M_8	929,015	2	11,000,000
3	M_1	842,269	3	9,600,000
	M_2	842,960	2	6,400,000
	M_3	1,622,885	0	-
	M_4	1,623,469	0	-
	M_5	2,830,537	0	-
	M_6	1,656,957	3	19,500,000
	M_7	74,527	3	19,500,000
4	M_1	1,225,924	2	5,400,000
	M_2	1,226,002	2	5,400,000
	M_3	1,225,728	2	6,000,000
	M_4	1,349,819	1	3,000,000
	M_5	1,225,883	2	10,000,000
	M_6	1,225,573	2	10,000,000
Total	39,619,651	43	206,700,000	

비가 존재하는 것으로 나타났고, 이를 대여하는 경우의 수익을 추정하였다. 대여 수익은 중고 설비 임대 가격을 토대로 실제 설비의 연식 별 중고가격의 5%로 추정하였다.

유휴설비를 대여할 경우, Table 7에서 보는 바와 같이 총 1억9백만 원 정도의 추가 수익을 기업이 기대할 수 있었으며, Table 8과 같이 수요를 변화시켜 분석한 결과 그 수익의 정도는 최소 5천 3백만 원에서 최대 1억8천만 원

정도 범위로 형성되는 것으로 알 수 있었다.

6. 결론

본 연구에서는 보조 장비 잔존가치를 활용한 설비할당 방법을 적용하여 보조 장비의 구매비용을 최소화하는 전

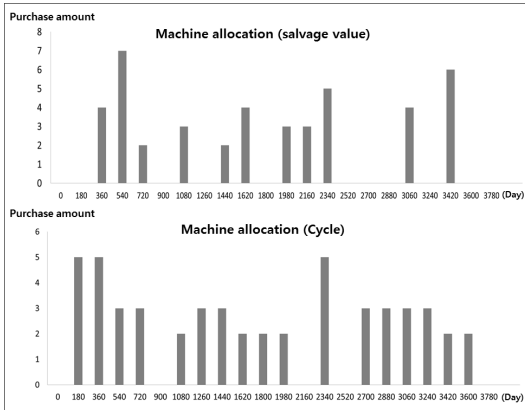


Fig. 12. The comparison of purchase frequency between machine allocation of salvage value and cycle

Table 7. Number of rental machine and rental benefit from Salvage (3 years)

Drill Process	Number of use	Rental service	Rental Benefit (Won)
1	M_1	1941	-
	M_2	3081	-
	M_3	194	-
	M_4	24	-
	M_5	0	Rental
	M_6	5904	-
	M_7	422	-
	M_8	0	Rental
2	M_1	1600	-
	M_2	1170	-
	M_3	600	-
	M_4	0	Rental
	M_5	947	-
	M_6	1734	-
	M_7	1009	-
	M_8	4422	-
3	M_1	2112	-
	M_2	371	-
	M_3	127	-
	M_4	735	-
	M_5	0	Rental
	M_6	3849	-
	M_7	4062	-
4	M_1	0	Rental
	M_2	1562	-
	M_3	1148	-
	M_4	2290	-
	M_5	2442	-
	M_6	4050	-
Total		5 EA	109,500,000

Table 8. Sensitivity analysis about rental benefit (Demand±30%)

Demand	Number of rental (EA)	Rental benefit (Won)
Demand (+30%)	2	53,250,000
Demand (+20%)	4	102,000,000
Demand (+10%)	4	102,000,000
Demand (0%)	5	109,500,000
Demand (-10%)	7	169,500,000
Demand (-20%)	7	143,250,000
Demand (-30%)	9	181,500,000

Table 9. Sensitivity analysis about purchase cost (Demand ±30%, 3 years)

Demand	Scheduling	Purchase amount(EA)	Purchase cost (WON)
Demand (+30%)	Cycle	28	116,400,000
	Salvage	22	106,500,000
Demand (+20%)	Cycle	26	109,900,000
	Salvage	19	85,500,000
Demand (+10%)	Cycle	24	103,700,000
	Salvage	18	84,100,000
Demand (0%)	Cycle	20	90,600,000
	Salvage	13	58,900,000
Demand (-10%)	Cycle	17	77,700,000
	Salvage	12	46,300,000
Demand (-20%)	Cycle	15	67,700,000
	Salvage	11	49,200,000
Demand (-30%)	Cycle	11	48,000,000
	Salvage	8	35,700,000

Cycle : Cycle machine selection scheduling

Salvage : Machine scheduling maximizing salvage value

략에 대해서 연구했다. 중소기업과 같이 연식이 다른 다양한 설비들이 혼재되어 있는 병렬식 작업환경에서 어떤 설비에 작업을 할당해야 좋은 성과를 얻을 수 있는지를 결정하는 설비 할당방법은 매우 중요한 연구 분야이다. 그러나 대부분의 연구가 납기율, 사이클 타임, 제품제고 등 생산성과에 대해서 연구가 이루어진 반면, 본 연구에서는 주 설비에 부착된 소모성 보조 장비의 잔존가치를 고려하면서 보조 장비 구매를 최소화 하는 데 많은 노력을 기울였다.

이러한 설비할당 방법에 의한 최적의 구매의사 결정 방법은 중소기업의 원가 경쟁에서도 굉장히 중요한 부분을 차지한다. 또한, 본 연구에서는 특정 기간 동안의 유휴 설비에 대한 대여 서비스 수익을 분석함으로써 다양한 설비가 혼재되어있는 중소기업에서 적용 할 수 있는 전략을 제시하였다.

References

1. Ge, H. and Asgarpoor, S., 2011. Parallel Monte Carlo simulation for reliability and cost evaluation of equipment and systems. *Electric Power Systems Research*, Vol. 81, pp. 347-356.
2. Goetz, R. U., Hritonenko, N., and Yatsenko, Y. 2008. The optimal economic lifetime of vintage capital in the presence of operating costs, technological progress, and learning. *Journal of Economic Dynamics & Control*, Vol. 32, pp. 3032-3053.
3. Yang S.J.S., Yang F.C., Wang K.J., and Chandra, Y., 2009. Optimizing resource portfolio planning for capital-intensive industries under process-technology progress. *International Journal of Production Research* 47(10), 2625-2648.
4. Wang, K. J., and Lin, S. H., 2002. Capacity expansion and allocation for a semiconductor testing facility with a constrained budget. *Production Planning and Control* 13(5), 429-437.
5. Wang, K.J., Wang, S.M., and Yang, S.J., 2007. A resource portfolio model for equipment investment and allocation of semiconductor testing industry, *European Journal of Operational Research* 179, 390-403.
6. Wang S.M., Chen, J. C., Wang K.J., 2007. Resource portfolio planning of make to stock products using a constraint programming-based genetic algorithm. *Omega* 35(2), 237-246.
7. Wang K.J., and Wang S.M., 2013. Simultaneous resource portfolio planning under demand and technology uncertainty in the semiconductor testing industry, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 29(5), 278-287.



정 석 재 (sjjeong@kw.ac.kr)

한국해양대학교 물류시스템공학과 학사
연세대학교 정보산업공학과 석사
연세대학교 정보산업공학과 박사
현재 : 광운대학교 경영학과 교수

관심분야 : SCM, 시뮬레이션, 생산운영관리



윤 성 욱 (giantguard@naver.com)

광운대학교 경영학과 학사
광운대학교 경영학과 석사

관심분야 : SCM, 시뮬레이션