

용량제약하의 단일제품 동적생산계획에 있어서의 가동준비절감효과에 관한 연구

안 병 훈*
현 재 호*
장 영 권**

1 서론

1970년대 이후 일본의 생산성이 서구 선진제국에 비해서 높게 나타나면서, 많은 학자들의 연구의 대상이 되어 왔으며, 이들 연구과정에서 일본의 경영관리 기법(JIT: Just - In - Time, TQC: Total Quality Control, TPM: Total Preventive Maintenance)이 서구의 합리론적이고 단기적인 개념에서 비롯된 경영관리기법에 비하여 더 효율적인 방법인 것으로 보는 경향이 증대되고 있다.

미국의 기업들이 일본으로부터 경영관리기법을 배우는 과정에서 일본의 경영관리기법이 일본기업만이 이용할 수 있는 새로운 기법이 아니며, 미국의 초기 산업발전과정에서도 내재해 있었다는 사실이 알려지기 시작하였다. 그럼에도 불구하고 일본의 경영관리 기법이 미국의 기업들에 있어서 새롭게 받아들여지고 있는 데에는 세계 제2차대전 이후 미국의 기업들이 제조부문보다 재무/회계, 마케팅등 다른 부문에 집착하면서 제조부문관리기법을 단기적인 기법으로만 발전시킨 결과라 할 수 있다.

이러한 일본의 경영관리 시스템에 대한 일련의 연구과정에서 기존의 OR 학자들은 JIT개념을

OR 모형화 및 OR 기법을 활용한 분석을 시도하여 의미있는 이론적 발전을 이룩하였다. 대표적인 연구로써 Porteus[6, 7, 8], Zangwill[10, 11], Billington [3]등을 들 수 있는 데, 이들 연구들은 JIT시스템에 지대한 영향을 끼치는 요인중에 하나인 가동준비(setup)에 초점을 두어 가동준비비용의 절감에 따른 효과 또는 절감을 위한 투자문제를 다루고 있다(JIT 시스템에서 가동준비시간 또는 비용은 부가가치 요인이 아니라 단순히 제조원가를 증가시키는 가격상승 요인으로 간주하고 있다).

Porteus[6, 7] 및 Billington[3]은 기존의 EOQ (Economic Order Quantity)모형에서 가동준비비용절감을 위한 투자비용변수를 포함하여 가동준비(Setup)에 대한 분석을 하고 있으며, 이들 연구에서는 가동준비의 절감에 따라 최적 생산계획이 어떠한 특성을 갖게 되며, 가동준비 비용의 차이에 따른 경쟁성에 대한 논의도 언급하고 있다. 또한 Porteus[8]는 가동준비와 품질불량과의 관계에 대해 언급하고 가동준비의 절감이 어떻게 품질의 향상(Quality Improvement)에 영향을 끼칠 수 있으며, 이때의 최적 생산계획의 운용은 어떠한 것인가에 대하여 논의하고 있다. 이들 모형들은 모두가 EOQ모형에 근거하고 있

* 한국과학기술원 경영과학과

** 한국과학기술원 시스템공학센터

어서 분석이 쉽고, 그러한 분석에 따른 시사점이 크다고 볼 수 있으나, 수요가 변동하지 않는다는 강한 가정위에 이루어지고 있다.

반면 Zangwill[10, 11]은 앞의 EOQ모형에 근거한 연구결과가 기본적인 가정의 차이로 인하여 최적의 생산계획운용이 되지 못하는 예(Counterexample)를 제시하고, DLSM(Dynamic Lot Sizing Model)을 활용하여 가동준비절감효과를 분석하고 있다.

그러나 Zangwill연구를 비롯한 이들 연구들은 대부분 생산능력에 대한 제약이 없다는 가정하에서 분석을 시도하였다. 생산능력에 제약이 주어지는 경우에 대해 Spence & Porteus[9]가 다종제품 EOQ모형을 활용하여 생산준비시간의 절감에 따른 생산능력확충에 대해서 논의를 하고 있으나, 생산능력의 제약이 구체적으로 주어지는 경우에 있어서의 연구진척이 많지 못하였다. 이는 일본의 JIT시스템이 충분한 생산능력이 있다는 가정하에서 구축되어 왔고 따라서 충분한 생산능력이 JIT시스템구축에 있어서 필요조건이라는 인식때문이라고 할 수 있다. 이외에도 생산능력제약하의 수리적인 모형수립과 분석이 필요조건이라는 인식때문이라고 할 수 있다. 이외에도 생산능력제약하의 수리적인 모형수립과 분석이 쉽지 않다는 점도 원인으로 들 수 있겠다.

그러나 실제 JIT시스템을 구축하려는 기업의 입장에서 볼 때 생산능력이 충분하지 못한 상황은 얼마든지 발생할 수 있다. 예를 들면 수요가 기간에 따라 동적(Dynamic)으로 변동할 때 특정기간에 있어서 수요가 생산능력을 초과하는 경우를 쉽게 생각할 수 있다. 특히 제품의 수명주기상 성장기에 해당하는 경우 초과수요 현상은 쉽게 나타날 수 있다고 볼 수 있다. 따라서 생산능력제약이 부과되는 경우에 대한 가동준비절감효과에 대한 분석은 현실적인 의의가 큰 연구대상이라 하겠다.

본 연구에서는 수요가 변동하는 동적수요상

황하에서 생산능력에 제약이 주어지는 경우에 있어서 가동준비절감효과에 대한 분석을 다루고 있다. 본 연구는 심도있는 이론적인 전개보다는 이 분야의 연구전개를 위한 사전적인 내용 및 주요 이슈에 대한 개괄 검토를 하고자 한다.

2 전략적인 개념의 생산계획

1970년대 후반에 접어들면서 과거에는 가격에 의존하는 단순한 경쟁상황에서 비가격 경쟁 등 더욱 복잡한 경쟁양상으로 변함에 따라 경쟁력 우위를 점하기 위한 노력이 많이 진행되었다고 할 수 있다. 특히 최근 들어 컴퓨터산업을 포함한 전자산업의 발전으로 인하여 CIM, FMS, CAD/CAM 등 새로운 기술이 제조업에 응용됨에 따라 과거의 5-10년인 제품수명주기가 1년 이내로 단축되는 경우가 많아졌고, 또한 제품의 리드타임이 매우 단축되게 되었다. 이러한 상황변동으로 인하여 전략적 의사결정이 더욱 중요한 이슈로 부각됨에 따라 제조부문의 의사결정도 기업의 가격경쟁, 품질경쟁 또는 서비스 경쟁 등 상황에 따른 전략적인 기능을 지원하는 방향에 이루어 져야 될 것이다. 예를 들어, 기업이 가격경쟁력을 추구하고 있다면 생산계획도 비용최소화의 방향에서, 품질경쟁력을 추구하고 있다면 품질향상의 방향에서(Porteus[8]의 모형에서 품질비용을 다루고 있음), 서비스경쟁을 추구하고 있다면 생산계획의 유연성을 높이는 방향에서 수립되어야 할 것이다.

그러나, 최적의 생산량을 계획하는 기존의 생산계획과정에서는 의사결정변수(Decision Variable)를 전략적 의사결정변수(Strategic Decision Variable)와 운용적 의사결정변수(Operational Decision Variable)로 구분하여 계획함으로써 두 의사결정이 따로 운용되어 왔다고 볼 수 있다. 즉 생산능력이나 설비의 효율성 또는 가동준비와 같은 변수는 대형 자본투자와 같은 전략적의사결정으로 정해지고, 생산계획과 같은

운용계획은 앞서 결정된 전략변수를 주어진 제약조건으로 하여 최적의 해를 찾는 문제가 되어 왔다고 할 수 있다. 그러면 JIT시스템에서는 제조부문의 전략적인 의사결정을 어떻게 다루고 있는지 살펴 볼 필요가 있다. JIT시스템에서는 과거에 대형 투자를 통해서만 얻을 수 있다고 생각되었던 생산능력이나 특정 수준의 가동준비시간등 과거의 전략변수들이 한번의 대형 투자로 얻기보다는 꾸준한 공정개선(계속되는 작은 투자)을 통하여 얻을 수 있는 변수로 본다는 시각이 특징이라고 할 수 있다. 이러한 시각차이로 인하여 과거에는 전략적 의사결정과 운용적 의사결정이 독립적으로 이루어졌다고 할 수 있으며, 두 변수들간의 연계분석이 용이하지 않았으나, JIT의 시각은 두단계의 의사결정을 연결한 분석을 가능케 하였다고 볼 수 있다. 앞에서 거론된 최근의 연구들에서는 이러한 점을 반영하여 가동준비와 같은 전략적 의사결정과 운용적 의사결정간의 상호 영향관계를 분석할 수 있었다고 할 수 있다. 본 연구에서도 생산계획과정이 전략적인 시각에서 운용될 수 있는 점을 고려하여 가동준비시간에 대한 전략적 의사결정변수와 계획생산량이라는 운용변수를 포함한 모형을 수립하고 가동준비시간의 절약이 생산계획 운용에 어떻게 영향을 끼치는 지에 대하여 분석하고 있다.

3 모형의 수립 및 분석

본 연구에서 다루고 있는 모형은 단일제품 동적수요 생산계획모형을 근간으로 하고 있으며 (Florian & Klein [5] 참조), 간단히 요약하면 아래와 같다.

모형(M1)

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^n [K_i \delta(X_i) + h_i(I_i)] \quad (1)$$

$$\text{Subject to } I_{i-1} + X_i - I_i = d_i \quad i=1, \dots, n \quad (2)$$

$$X_i \leq C_i \quad i=1, \dots, n \quad (3)$$

$$X_i \geq 0, I_i \geq 0, I_0 = 0 \quad i=1, \dots, n \quad (4)$$

$$\delta(X_i) = \begin{cases} 0 & X_i = 0 \\ 1 & X_i > 0 \end{cases}$$

위 모형에서 $K_i=i$ 기의 가동준비비용, $d_i=i$ 기의 주어진 수요, $X_i=i$ 기의 생산량, $I_i=i$ 기말의 재고보유량, $h_i(I_i)=I_i$ 에 대한 재고비용, $C_i=i$ 기의 생산능력 제약량을 나타내고 있다. 제품 한 단위당 생산비용은 일정하다고 가정하여 모형의 목적식에서는 생략하였다.

위 모형에 대한 기존의 연구들은 가동준비비용 K_i 를 일정하게 고정시켜 최적의 생산계획을 수립하는 알고리즘을 개발하고 있으며, 최적해는

$$X_i(C_i - X_i)I_{i-1} = 0 \quad (5)$$

의 특성을 나타낸다고 증명하였다.

본 연구에서는 가동준비비용을 가동준비시간의 함수로 변환하여, 가동준비시간의 줄어감에 따라 생산계획이 운용될 수 있는 패턴을 분석하고자 한다. 가동준비시간에 대한 절감효과를 분석하기 위해서는, 기존의 생산계획 모형에서 주어진 비용으로 다루고 있는 가동준비비용을 좀 더 세분할 필요가 있다. JIT시스템에서 가동준비의 절감은 보통 꾸준한 공정개선을 통한 가동준비시간의 단축이라는 형태로 나타난다고 볼 수 있고 가동준비시간의 단축은 가동준비비용의 단축을 의미한다고 할 수 있다. 가동준비비용은 가동준비시간의 함수라고 보고, 가동준비비용과 가동준비시간사이의 관계가 선형이라고 가정하면 가동준비비용은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{가동준비비용} = \text{고정가동준비비용} + \text{변동가동준비비용}$$

$$K_i = a_i + bS_i \quad (6)$$

위 식에서 a_i 는 가동준비시간에 관계없이 발생하는 i 기간의 고정가동준비비, b 는 단위가동준비

시간당 비용, $S_i=i$ 기간의 가동준비시간을 나타낸다.

이제 식 (6)를 이용하여 분석하고자 하는 모형을 수립하자. 우선 모형(M1)에서 생산능력제약식 (3)을 시간으로 나타내면

$$t_i X_i + S_i \delta(X_i) \leq T_i, \quad i=1, \dots, n$$

즉,

$$X_i \leq (T_i - S_i) / t_i \quad i=1, \dots, n \quad (7)$$

로 변환이 가능하다($t_i=i$ 기간의 단위당 생산소요시간, $T_i=i$ 기의 총 작업가능시간).

가동준비시간의 단축량을 R 이라고 하면, 단축후의 가동준비비용은 식 (6)에서

$$K_i(R) = a_i + b(S_i - R) \quad (8)$$

로 되고, 생산능력제약식은 식 (7)에서

$$t_i X_i + (S_i - R) \delta(X_i) \leq T_i \quad i=1, \dots, n$$

즉,

$$X_i \leq (T_i - S_i + R) / t_i \quad i=1, \dots, n \quad (9)$$

로 변환이 된다.

이제까지의 식을 다시 정리하면 아래의 모형(M2)로 요약할 수 있다.

모형(M2)

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^n [(a_i + b(S_i - R)) \delta(X_i) + h_i(I_i)] \quad (1')$$

$$\text{Subject to } I_{i-1} + X_i - I_i = d_i \quad i=1, \dots, n \quad (2)$$

$$X_i \leq (T_i - S_i + R) / t_i \quad i=1, \dots, n \quad (9)$$

$$X_i \geq 0, I_i \geq 0, I_0 = 0 \quad i=1, \dots, n \quad (4)$$

$$\delta(X_i) = \begin{cases} 0 & X_i = 0 \\ 1 & X_i > 0 \end{cases}$$

모형(M2)는 매개변수 R 의 변화에 따른 최적의 생산계획을 수립하는 문제가 된다(Parametric Dynamic Lot Sizing Model). 제약식 (9)를 보면 가동준비시간의 길이에 따라 작업가능시간이 변동함을 알 수 있다. 만약 가동준비시간을 R 만큼 단축시켰다고 하면 i 기의 가동가능시간이 R 만큼 증가하게 되고 생산가능량은 R/t_i 만큼 증가하게 된다. 이는 수요변동에 더 유연하게 대응할 수 있어서 생산계획의 유연성(Flexibility)을 향상시킨다고 볼 수 있다. 또한 비용면에 있어서도 생산이 이루어지는 기간에 있어서 bR 만큼 가동준비비용이 절감된다고 할 수 있다(식(8)). 따라서 생산준비시간의 단축은 생산비용을 줄이는 비용절감효과(Cost Saving Effect)와 유효생산능력을 확충시키는 생산능력확대효과(Capacity Expansion Effect)를 가져다 준다고 하겠다. 그러나 이들 두가지 기대효과는 가동준비횟수에 영향을 끼치는 방향에 있어서 서로 상충되는 관계에 있다고 할 수 있다. 즉, 비용절감효과는 가동준비비용이 작아지므로 가동준비횟수가 많아지는 생산계획을 수립하려 할 것이고, 생산능력확대효과는 가동준비횟수가 적어지는 생산계획을 수립하려 할 것이다(왜냐하면, 한번의 가동준비로 생산해야 최적인 생산계획인데도 불구하고 생산능력의 제약으로 두번이상의 가동준비를 해야 한 경우라면 생산능력이 충분히 늘어난 후에는 한번의 가동준비로 생산할 것이므로). 다만 가동준비시간의 단축에 따른 생산능력확대효과는 생산능력이 수요를 충족하기에 충분한 수준에 이르게 되면(즉 생산능력제약이 없어져 생산능력에 대한 잠재가격이 영(Zero)이 되면) 더 이상 최적의 생산계획에 영향을 끼치지 못한다. 이때는 Wagner - Whitin해와 같은 생산계획이 수립된다.

[생산능력제약이 없는 경우]

Zangwill[10]은 생산능력제약이 없는 DLSS모형에서, 가동준비비용의 절감으로 인한 비용절

감효과는 한계수익(Marginal Return)이 증가(Increasing)하는 패턴으로 나타난다고 보였다. 위 모형의 경우도(단순히 가동준비비용을 가동준비시간으로 변환하였으므로) 가동준비시간의 단축량 R 이 늘어남에 따라 한계수익이 증가한다. 우선 기호를 정의하자.

$$g(s) = \text{생산준비시간이 줄기전에 } s \text{번 생산했을 때의 최적총비용,}$$

$$f_s(R) = \text{생산준비시간이 } R \text{만큼 단축되고 } s \text{번 생산했을 때의 최적총비용,}$$

$$f(R) = \text{생산준비시간이 } R \text{만큼 단축된 때의 최적총비용,}$$

이라고 하면 다음의 식들이 성립한다.

$$f_s(R) = g(s) - sbR$$

$$f(R) = \min\{f_s(R)\} = \min\{g(s) - sbR\} \quad (10)$$

식 (7)에서 $f(R)$ 은 선형함수들의 최소값이므로 R 에 대해 위로 볼록함수(Concave)이고 목적식 (1)'에서 $f(R)$ 은 단조감수함수이므로 기울기 sb 의 값은 증가하지 않는다(Nonincreasing). 그리고 b 값은 상수이므로 s 값은 증가하지 않는다. 따라서 다음의 정리가 성립한다.

정리 1. 모형(M2)에서 생산능력제약이 없다고 하면, 가동준비시간의 감소량 R 이 증가함에 따라 가동준비횟수는 증가하며, 최적 총비용은 단조 감소하고(Monotone Decrease), 한계수익은 증가한다(Increasing Marginal Return).

정리 1은 이른바 일본 기업들의 JIT시스템의 운용상태를 잘 설명해 준다. 우선 일본의 기업들의 생산능력전략을 보면, 서구의 기업체에 비해서 하나의 라인으로 생산되는 제품수를 줄임으로써(Focusing)설비의 이용율을 높이고, 이에 따른 원가절감만큼 가격을 낮춤으로써 시장

점유율을 높이고 따라서 규모의 경제를 추구할 수 있게 되고, 또다른 전용라인을 설치하는 순환구조를 나타낸다고 볼 수 있다. 이러한 과정에서 대부분의 기업들에 있어서 생산능력제약은 문제되지 않을 정도로 전용라인이 구축되었다고 볼 수 있다. 따라서 정리 1은 현재 대부분의 일본 기업들의 JIT시스템에 있어서 가동준비시간을 줄이려는 노력을 계속하고 있고, 또한 생산계획의 운용 측면에서도 자주 가동준비를 함으로써 유연성을 확보하여 세계시장에서 경쟁력을 확보하고 있는 점을 설명해 주고 있다고 볼 수 있다.

[생산능력제약이 있는 경우]

이미 Spence & Porteus[9]는 다제품 EOQ모형을 이용하여 가동준비시간의 단축에 따라 늘어난 생산능력은 더 많은 량의 수요를 충족하거나 가동을 자주하는데 이용될 수 있다고 발표한 바 있다. 이들은 연구에서 연간 수요를 서서히 증가시켜 가면서 최적의 가동준비단축량과 운용계획이 어떠한 패턴으로 나타날 수 있는지를 잘 설명하고 있다고 할 수 있다. 그러나 수요가 변동하는 동적인 상황하에서는 수요자체가 증가하지 않더라도 가동준비횟수가 줄 수도 있고 감소할 수도 있는데, 이러한 동적인 패턴(Dynamics)은 설명하지 못하고 있다.

우선 생산능력증가효과만 있는 경우, 즉 변동가동준비비용이 영(Zero)인 경우($b=0$)를 생각해 보자. 가동준비시간의 단축량 R 이 증가함에 따라 유효생산능력을 증가한다. 생산능력이 충분하였다면 Wagner-Whitin과 같은 최적의 생산계획을 수립하였을 것이나 생산능력상의 제약으로 인하여 생산롯트량을 분할하여 생산함으로써 가동준비비용 또는 재고비용이 늘고, 따라서 총비용은 상승하게 된다. 이 때는 최적해의 조건 (5)에 의해서 생산능력한계에 생산하는(즉, 생산능력제약식이 Binding하는) 해가 구

해지며, 생산능력제약에 대한 잠재비용(Shadow Value)은 영보다 크거나 같아진다. 만약 가동 준비시간을 R 만큼 단축시켰다면, 생산능력 식(9)에 나타난 바와 같이 증가하게 되고, 생산능력제약에 대한 잠재비용만큼의 비용효과가 나타나는 최적계획으로 변한다. 최적의 생산계획이 움직이는 패턴을 보면 생산능력이 서서히 증가함에 따라 우선 재고보유량이 줄어들기 시작한다. 따라서 재고비용이 감소하고 이는 총비용의 감소를 가져다준다. 계속해서 생산능력이 확장되면서 재고보유량이 더 감소할 수 없는 선에 이르면 생산횟수가 감소하게 된다. 이때는 재고보유량이 일시적으로 급격히 증가하는 패턴이 나타날 수 있다. 생산횟수가 감소된 다음에는 또 다시 재고비용이 감소하는 패턴을 나타내고, 이러한 패턴은 생산능력제약에 대한 잠재비용이 영이 될 때까지 반복된다. 이렇게 볼 때 총비용은 연속적으로 단조감소하지 않으며, 또한 가동준비시간 단축에 따른 한계수익도 항상 증가한다고 할 수 없다.

생산능력증가효과(Capacity Expansion Effect)와 비용절감효과(Cost Saving Effect)가 동시에 나타나는 경우라 하더라도 위의 패턴을 따를 것이므로 앞의 정리1은 역시 성립하지 않는다고 할 수 있다.

이제 가동준비시간이 감소함에 따라 움직이는 최적생산계획의 운용패턴을 Zangwill [10]에 나타난 3-기간 생산계획문제를 가지고 살펴보자. 제시된 문제는 아래와 같다.

| 기 간(i) | 1 | 2 | 3 |
|-------------------|---|---|---|
| 수 요(d_i) | 1 | 2 | 1 |
| 총이용가능시간(T_i) | 8 | 8 | 8 |
| 고정가동준비비용(a_i) | 1 | 0 | 0 |
| 변동가동준비비용(b_i) | 1 | 1 | 1 |
| 가동준비시간(S_i) | 6 | 6 | 6 |
| 총가동준비비용(K_i) | 7 | 6 | 6 |
| 단위당처리시간(t_i) | 1 | 1 | 1 |
| 재고유지비용(h_i) | 1 | 1 | 1 |

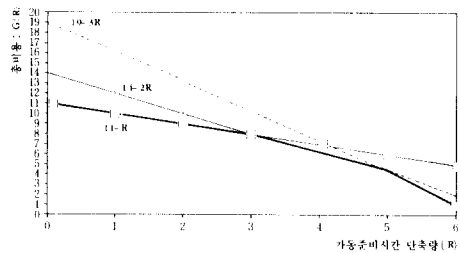
이때 생산능력이 무한하다는 가정하에 R 을 증가시켜 가면서 최적해를 구해보면 Parametric Solution은

$0 \leq R \leq 3$ 이면 $X=(4, 0, 0)$ 이고 총비용은 $11-R$,
 $3 \leq R \leq 5$ 이면 $X=(1, 3, 0)$ 이고 총비용은 $14-2R$,
 $5 \leq R \leq 6$ 이면 $X=(1, 2, 1)$ 이고 총비용은 $19-3R$,

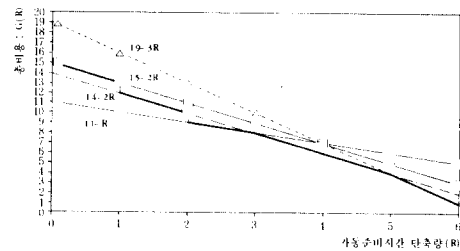
과 같이 구해지고, 이를 그래프로 나타내면 <그림 1>과 같다. 이제 생산능력제약을 고려하여 해를 구해보자. R 을 증가시켜 가면서 최적해를 구하면,

$0 \leq R \leq 1$ 이면 $X=(2, 2, 0)$ 이고 총비용은 $15-2R$,
 $1 \leq R \leq 2$ 이면 $X=(1, 3, 0)$ 이고 총비용은 $14-2R$,
 $2 \leq R \leq 3$ 이면 $X=(4, 0, 0)$ 이고 총비용은 $11-R$,
 $3 \leq R \leq 5$ 이면 $X=(1, 3, 0)$ 이고 총비용은 $14-2R$,
 $5 \leq R \leq 6$ 이면 $X=(1, 2, 1)$ 이고 총비용은 $19-3R$

이 되고, 이때의 그래프는 <그림 2>에 나타나 있다.



<그림 1> 생산능력제약이 없을 때의 가동준비시간 단축효과



<그림 2> 생산능력제약이 있을 때의 가동준비시간 단축효과

전술한 바와 같이 생산능력이 존재하는 경우 <그림 2>를 보면, 가동준비시간의 감소량 R 이 늘어남에 따라 총비용이 감소하는 패턴이 <그림 1>과는 다르게 나타나고 있다. 특히 총비용이 불연속적으로 감소하는 패턴(그래프에서 점 A, B)이 나타나고 있는데, 이는 생산능력 확대효과로 재고보유량이 줄어들어 재고비용의 감소에 따른 효과이다. 또한 가동준비시간이 계속 줄어 R 이 2보다 커지면 생산능력제약으로 인한 잠재비용은 영(Zero)이 되어 생산능력제약이 없는 경우와 같은 패턴을 유지하게 된다. 그리고 <그림 1>에서 한계수익은 정리1에 나타난 바와 같이 항상 증가하는 패턴을 나타내고 있으나, <그림 2>에서의 한계수익은 다르게 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한 각 그래프에 있어서의 기울기는 가동준비횟수에 따라 정해진다고 볼 수 있고, <그림 2>에서 기울기가 증가-감소-증가의 형태를 나타내고 있는데, 기울기는 가동준비횟수에 따라 정해진다고 볼 수 있으므로 절감된 가동준비시간이 더 잦은 가동준비를 위하여 이용될 수도 있고, 잠재수요(Potential Demand)에 따른 변동을 흡수할 수 있는 여력(Flexibility)을 가지는데 활용할 수 있음을 나타낸다고 할 수 있다. 그러나 중요한 사실은 <그림 1>과 <그림 2>에서 볼 때, 생산능력제약이 존재하는 경우가 비용절감효과와 생산능력확대효과를 동시에 얻을 수 있으므로 해서 생산능력제약이 없는 경우보다(한계수익은 항상 증가하지 않지만) 더 가동준비시간 절감효과가 크다는 사실이다(그래프에서 보면 $R=6$ 일때 총비용 감소효과가 생산능력제약이 없는 경우는 10, 생산능력제약이 존재하는 경우는 14만큼 나타나고 있다). 이는 생산능력이 많고 적음에 관계없이 가동준비시간을 단축함으로써 많은 효과를 기대할 수 있으므로 가동준비시간 단축을 위한 노력은 꾸준히 계속되어야 함을 나타내고 있다고 하겠다.

실제 Edstrom & Olhager [4]는 일본의 기업

들에 대한 설문조사를 통하여, 절감된 가동준비시간만큼 더 자주 가동준비를 함으로써 생산시스템의 유연성을 향상시키는 회사와 더 많은 량의 수요를 충당하기 위한 생산능력확대효과로 활용하고 있는 회사가 동시에 공존하고 있음이 발표된 바 있다. 생산능력이 무한하다는 가정하의 모형은 전자의 계획운용형태를 설명할 수 있고, 생산능력제약이 주어지는 경우에는 후자의 경우를 설명할 수 있다고 볼 수 있다.

이러한 관계를 제품수명주기이론(Product Life Cycle Theory)에 비추어 보자. 제품이 성숙기나 경화기에 위치한 회사는 보통 생산능력이 충분한 경우가 많다고 볼 수 있고 또한 가격전략(Price Strategy) 또는 유연성전략(Flexibility Strategy)을 추구하는 경우를 생각할 수 있다. 이 경우에는 경쟁력확보 수단인 유연성(Flexibility)을 높이기 위하여 절감된 가동준비시간만큼 가동준비횟수를 늘리는데 활용할 것으로 기대된다. 반면 제품이 성장기에 해당하고 있는 상황이라면 생산능력확충이란 측면이 중요한 문제로 부각되고, 이때는 절감된 가동준비시간을 더 많은 량의 제품을 생산하는데 활용할 것으로 기대된다. 이렇듯 제품의 수명주기이론에서 기업의 설비전략과 대비시켜 볼 때, 기업의 상황 특성에 따라 절감된 가동준비시간을 활용하는 패턴이 다르게 나타날 수 있다.

4 해 법

위에서 검토된 설비능력제약하의 최적계획의 특성과 가동준비와의 이론적 관계는 계속 이론적으로 연구가 추진되어야 하나, 최적계획의 탐구 또는 시뮬레이션을 위한 해법을 개략적으로 검토하기로 한다. 즉, 앞의 모형(M2)를 분석할 수 있는 매개변수적 알고리즘은 Florian & Klein [4]의 해법절차를 수정하여 구성이 된다고 할 수 있다. 우선 해법절차에 이용되는 기호를 정의하면 다음과 같다.

s =가동준비횟수,

$g_i(s | R)$ =작업가능시간이 R 만큼 늘었을 때,
기간 $i+1, \dots, n$ 동안의 수요를 s 번 생
산으로 충당할 때의 최적 총비용,

$d_w(s | R)$ =작업가능시간이 R 만큼 늘었을 때,
기간 $u+1, \dots, v$ 동안의 수요를 s 번
생산으로 충당할 때의 최적 비용
($I_u=I_v=0$).

이들간의 동적계획법의 순환관계식(Recursive Equation)은 아래와 같이 도출된다.

$$g_n(s | R) = 0 \text{ (모든 } s \text{에 대하여),}$$

$$g_u(s | R) = \text{Min}\{d_w(k | R) + g_v(s-k | R)\},$$

$$s = 0, \dots, n-u, \quad u = 0, \dots, n-1,$$

$f_i(R) = \{g_0(s | R) - sbR\}$ 이라 하면,

$$f(R) = \text{Min}\{f_i(R)\} = \text{Min}\{g_0(s | R) - sbR\}$$

이 순환관계식을 이용하면 가동준비횟수와 가동준비시간단축과의 관계를 분석할 수 있다. 참고로 위의 순환관계식을 이용한 알고리즘의 계산량(Computational Complexity)에 대해서 분석해 보면, Florian & Klein [4] 해법의 계산량이 $O(n^4)$ 이므로 가동준비횟수와 가동준비시간의 감소량($0 \leq R \leq S = \min_i\{S_i\}$)이라는 두 변수가 추가되어 전체계산량은 $O(Sn^5)$ 이 된다.

5 추후 연구방향 및 결론

본 연구에서는 생산능력제약이 주어지는 경

우에 있어서 가동준비시간의 절감효과 분석을 위한 모형을 수립하고 이 모형을 이용하여 여러가지 분석을 하고 마지막으로 알고리즘을 제시하였다. 특히 동적수요를 가정함으로써 기존의 EOQ모형연구에서 분석할 수 없었던 분석이 가능하였고, 수요가 변동하는 상황이라 하더라도 생산능력제약이 없는 경우의 결과가 나올 수 있음을 보였다.

모형분석의 대표적인 결과로써 (1)생산능력제약이 존재하는 경우는 생산능력제약이 없는 경우에 비하여 가동준비절감효과가 더 크게 나타나며, 절감된 가동준비시간의 운용방법은 기업의 상황에 따라 달라질 수 있으며, (2)절감된 가동준비시간의 활용은 제품수명주기이론과 기업전략 및 생산전략에 따라서 달라져야 하고, (3)주어진 수요가 변동하면(Dynamic Demand) 가동준비시간이 단축됨에 따라 가동준비횟수는 단조 감소하지 않을 수 있음 등을 들 수 있다.

이러한 분석외에도 본 연구는 앞으로의 연구 방향 및 과제를 제시하고 있다고 할 수 있다. 우선 가동준비시간을 단축하기 위한 자본비용을 고려한 계획모형에 대한 연구를 생각할 수 있다. 또한 단축된 가동준비시간의 운용패턴은 기업의 특수한 상황 즉, 전략이나 제품 및 생산기술 수준의 위치, 설비와 수요상황 등에 따라 달라질 수 있는데, 이에 대한 구체적인 연구는 추후 진행되어야 할 연구과제라 할 수 있다. 그리고 가동준비시간의 단축에 따른 비용이외의 2차적인 효과를 기대할 수 있는데 이에 대한 분석도 중요한 연구과제라 할 수 있다.

참 고 문 헌

1. Axsater, S. and J. Olhager, "The Impact of Capacity Investments on Work - In - Process and Inventories," *Engineering Costs and Production Economics*, Vol. 9(1985), 119-124.
2. Van Beek, P. and C. Van Putten, "OR Contributions to Flexibility Improvement in Production/Inventory Systems," *European Journal of Operational Research*, Vol. 31(1987), 52-60.
3. Billington, P. J., "The Classical Economic Production Quantity Model with Setup Cost as a Function of Capital Expenditure," *Decision Sciences*, Vol. 18(1987), 25-42.
4. Edstrom, A. and J. Olhager, "Production Economic Aspects on Setup Efficiency," *Engineering Costs and Production Economics*, Vol. 18(1987), 99-106.
5. Florian, M. and M. Klein, "Deterministic Production Planning with Concave Costs and Capacity Constraints," *Management Science*, Vol. 18, No. 1(1971), 12-20.
6. Porteus, E. L., "Investing in Reduced Setups in the EOQ Model," *Management Science*, Vol. 31, No. 8(1985), 998-1010.
7. Porteus, E. L., "Investing in New Parameter Values in the Discounted EOQ Model," *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol. 33(1986), 39-48.
8. Porteus, E. L., "Optimal Lot Sizing, Process Quality Improvement and Setup Cost Reduction," *Operations Research*, Vol. 34, No. 1(1986), 137-144.
9. Spence, A. M. and E. L. Porteus, "Setup Reduction and Increased Effective Capacity," *Management Science*, Vol. 33, No. 10(1987), 1291-1301.
10. Zangwill, W. I., "From EOQ Towards ZI," *Management Science*, Vol. 33, No. 10(1987), 1209-1233.
11. Zangwill, W. I., "Eliminating Inventory in a Series Facility Production System," *Management Science*, Vol. 33, No. 9(1987), 1150-1164.