

# 설비비용을 고려한 제약자원 결정방법

## Determining CCR by considering facility cost

홍민선\*, 윤철주\*, 민병도\*\*, 임석철\*\*\*

Min-Sun Hong\*, Chul-Ju Yun\*, Byong-Do Min\*\*, Suk-Chul Rim\*\*\*

### Abstract

현재 널리 활용되고 있는 프로세스 설계방법론은 생산의 효율성이나 재고 혹은 리드타임 중심으로 설계되어 있기 때문에 설비에 대한 비용은 적절히 반영하기 어렵다. 본 논문에서는 TOC(Theory of Constraints)와 공정기준원가(Process-Based Cost)를 적용하여 설비비용과 생산리드타임, 재고 등을 동시에 고려할 수 있는 프로세스 설계방법론과 원가구조를 제시하였다. 이 논문의 결과로 복잡한 공정에서 CCR을 찾아내는 노력을 대폭 감소시킬 수 있으며 동시에 제품의 제조비용을 감소시킬 수 있을 것으로 기대된다.

### 1. 서론

오늘날의 기업들이 많은 생산기법들을 활용하고 버리는 것을 반복하면서 추구하고자 하는 것은 이윤의 최대화와 그것을 달성하기 위해 비용을 최소화 시키는 문제이다. 판매량을 늘이는 문제는 양산되는 제품의 상품성 또는 품질에 좌우되는 것으로 이런 문제들은 오늘날의 기업환경에서는 기본능력으로 갖춰야할 사항으로 간주하므로 고객을 대상으로 서비스 만족도를 가치기준으로 볼 때는 납기문제를 가장 중요한 요소로 여긴다. 세부적으로는 고객 대응능력이나 생산 리드타임이 중요한 요소로 작용하고 적절한 대응방안을 강구하지 못하는 상황에서는 재고를 다시 늘여야 하는 문제가 발생하기 때문에 재고라는 양날의 검을 어떻게 해야 하는가 하는 것이 가장 큰 문제로 남는다. 이런 문제들의 핵심요소를 찾아내고 그것들의 관리를 통해 하위 문제까지 해결하면서 전체적 효율을 향상시키고자 Goldratt에 의해 만들어 진 것이 TOC 이다.

TOC의 Drum-Buffer-Rope, Thinking-Process, Throughput Accounting, Critical Chain, 등은 각기 유기적으로 연결되어 있으면서도 별개의 강력한 도구로 활용되어 제조업 및 서비스업 등에서 기존의 기법으로 해결하지 못하는 문제점들에 대해 효과적으로 대처하는 방법을 제시하고 있다.

특히, TOC 분야에서 제조업에 가장 많은 영향을 미칠 수 있는 분야는 DBR이라 할 수 있는데 외국기업의 경우 성공한 사례가 많이 있다고는 하지만 관심을 가지고 있는 국내기업은 소수에 지나지 않으며 TOC에 관심을 가지고 있는 많은 사람들이 자신의 기업에 DBR을 도입시킬 수 있을 만큼 충분한 준비가 되어 있지 않은 것으로 보인다. 설비계획은 생산 시스템의 초기 설계단계에서 생산에 필요한 다양한 설비들의 배치를 설계하는 것을 말한다. 설비계획은 시스템의 운용 비용과 효율에 상당한 영향을 미치고 한번 결정된 설비배치를 바꾸기 위해서는 많은 비용과 노력이 요구되므로 설비계획의 최적화는 효율적인 생산 시스템을 위해서 매우 중요한 문제라고 할 수 있다. 설비배치 문제는 지금까지는 이미 존재하는 공정내의 설비의 재배치 문제에 주로 관심을 보여 왔지만 이제는 공정 설계단계에서 컴퓨터 시뮬레이션 기법을 활용하여 시스템내에 필요한 최적의 설비의 대수 및 배치문제를 결정하는데 관심을 기울이고 있다. 설계단계에서 최적화된 설비계획은 공정의 초기투자비용을 감소시키며 이후의 설비 재배치에 대한 관리비용들을 획기적으로 줄일 수 있기 때문에 예상되는 기대 효과는 매우 크다고 할 수 있다. 또한 제약공정에 치우친 관리로 다소 등한시 될 수 있는 비제약공정에 원가에 대한 목표치를 부여함으로써 공정별로 원가와

납기에 대한 관리를 진행할 수 있는 기반을 마련하였다.

## 2. 관련 연구 및 연구목적

제약이론을 공정에 응용한 논문은 Russell, G. R.외(1997)은 DBR에서 process/transfer batch size의 분리를 강조하고 실험을 통해 batch size에 따른 효과를 분석하였다.[5] Tyan, J. C. 외(2002)는 TOC의 개념을 토대로 한 Dispatching rule을 적용하여 생산성 향상방안에 관해 연구하였다.[6] Guide, V. D.(1995)는 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 재고누적으로 인한 리드타임 증가에 관해 살펴보고 CCR buffer 설정에 관해 연구하였다. 국내 TOC의 DBR 연구는 도입 초기 상태로 제조업에 있어서는 DBR과 관련된 철학적 연구와 기존의 생산기법들과 적절히 조화시켜 활용하는 방안에 관한 연구들이 많이 이루어지고 있다. 고시근외(2002)에서는 KANBAN 시스템을 DBR에 적용시켜 두개의 생산방식을 적절히 혼합하는 방법과 효과를 제시하였다. [1] 이에 반하여 설비비용을 활용한 논문이나 제약공정을 찾는 내는 방법에 있어서는 기존의 부하를 이용한 방법 이외에 연구된 논문은 찾아보기 힘들다.

## 3. 공정기준원가개요

90년대 중반이후 Greenwood, Reeve, Lawson에 의해 제안된 공정기준원가란 활동기준원가의 단점을 보완하기 위하여 제안된 원가 관리 방법론이다. 활동기준원가는 자원을 활동에 연결시키고 다시 활동을 활동요인에 의하여 제품에 연결시키는 반면 공정기준원가는 공정의 변화로부터 자원의 예상되는 비용변화를 연결시키는 원가 방법론이다.[7] 원가시스템에 있어서 활동구조는 제품과 고정의 변화에 따른 영향을 측정할 정보를 조직에 제공하는 것으로 중요하다. 우선 자원의 분류는 시스템의 복잡성을 줄이기 위해 제품비용(Line-item cost)을 집계하여 구성하는데, 해당 분류 내에서 비용의 차이가 있는 경우 세분류하고 이들을 다시 활동구조로 나눔으로써, 생산과정에 있어서 자원분류는 짜여진 공정의 계층구조를 갖는 기능적인 조직 단위에 집계된다. 따라서 공정기준원가 시스템은 활동(Activity)→생산과정분할(Production process segment)→세부공정수준(Sub-process level)→공정수준(Process level)의 계층구조를 구성하게 된다. [10]

## 4. 설계단계에서 TOC를 적용한 제약

## 공정 설계 방법론

### 4.1 TOC 개념의 설비계획 개요

현재 TOC 개념을 활용한 생산라인들은 CCR을 이용율을 측정하여 이용율이 가장 높은 것으로 제약공정으로 결정한다. 그리고 이것을 기준으로 공정의 최적화 및 제품생산계획을 생성하고 있다.

이 경우 공정에 대한 비용 문제를 소홀히 하여 결국 전체 공정에서 기여율이 낮은 부분이 CCR이 되는 경우 원가 구조에 심각한 문제점을 야기할 수 있다. 제약공정은 설계단계에서 비용을 고려하여 선택되어지거나 인위적으로 각 공정능력을 조정하여 제약공정이 만들어져야만 하며 이렇게 만들어진 제약공정을 기준으로 다른 비제약공정들의 설비의 갯수나 공정의 능력(Capacity)을 정하여야 한다. 따라서 본 논문에서는 비용을 고려한 최적의 공정설계를 위하여 [그림 1]과 같은 프로세스를 제안하였다. 제안된 공정설계 프로세스는 예상판매량을 예측하고, 예측된 사항을 기준으로 각 공정설계 및 공정별 비용을 산출한다. 이렇게 산출된 값들을 기준으로 가장 비용이 많이 소요되는 공정을 CCR로 만들며 이 공정에 버퍼와 설비능력을 가지는 제약공정을 설계하게 된다. 그리고 비 제약 공정의 경우에는 제약공정의 능력에 피해가 가지 않도록 Safety factor를 감안하여 능력치를 새로 조정하게 된다.



[그림1] 공정원가와 TOC개념을 적용한 제약 및 비제약공정 설계 Process

### 4.1 CCR공정 선택을 위한 공정비용 분석모델

제약공정을 선택하기 위해서 본 논문에서는 공정별로 소요되는 비용을 분석하고 그중 가장 비용이 많이 소요되는 공정을 제약공정으로 선택하고 이것을 기준으로 공정설계를 한다. 이러한 공정비용 산출활동을 위해서는 공정별 원가 항목이 필요하고, 원가산출 모델이 필요하며 제약공정의 능력 설계와 버퍼 설계, 비제약 공정의 능력 설계가 필요하다.

#### 4.1.1 공정비용 산출을 위한 원가항목 분석

원가를 산출하는 데 있어서 제조비용은 크게 직접비와 간접비로 나뉘 볼 수 있다. 일반적으로 직접비의 경우는 직접재료비, 직접노무비, 직접경비로 나뉘 볼 수 있으며 간접비의 경우도 간접재료비, 간접노무비, 간접경비로 나뉘진다. CCR공정 선택을 위한 비용 계산에 있어서는 설비가 쉬어도 비용이 계속 들어가는 공정을 제약공정으로 만들어 그 공정의 효율을 최대화 하는 것이 중요하기 때문에 변동비 성격의 직접비의 경우에는 공정이 대기중일 때는 비용이 들어가지 않고 공정이 작업상태에 있을 경우에는 비용이 들어가기 때문에 공정의 효율을 따지는 제약공정을 비교하기 위한 원가 집계에는 고려하지 않아야 한다. 따라서 공정이 작업상태일 때 들어가는 직접재료비 같은 경우를 제외한 간접비 위주로 집계가 이루어져야 한다. 따라서 CCR공정 선택을 위한 공정비용 분석 모델의 핵심은 공정별로 직접재료비와 같이 공정 전체에 공통으로 들어가는 비용을 제외한 변동비인 직접노무비와 직접경비 대하여 집계하고 감가상각비, 수선비 같은 간접비를 일정 기준으로 공정별로 집계하여 합산하는 것이다.

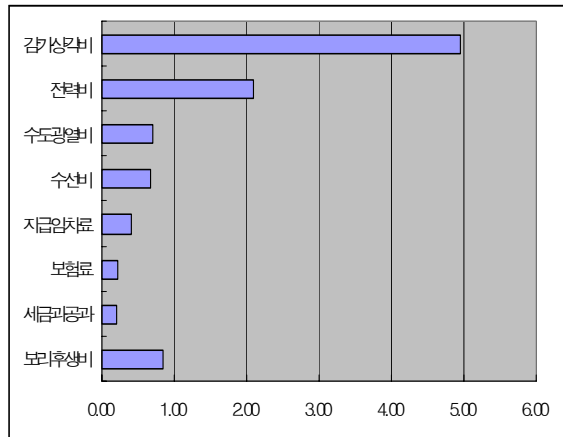
기업에서 흔히 사용되는 간접비와 공정비용의 대상이 되는 간접재료비와 간접 노무비 간접경비의 실제 산출 항목은 공정별로 배분해야 하기 때문에 차이가 있다. 먼저 간접 재료비의 경우 노무비의 경우 특정 공정에 전문적으로 필요한 기능을 가진 전문 인력은 특정 설비에 배치되어 있다. 이 인원은 공정이 대기중이라도 다른 작업을 하지 않고 공정과 함께 대기 중이다. 따라서 이 항목은 간접노무비로 봐야 한다. 간접 경비의 경우 기업 회계상에서는 14가지 항목이 사용되지만(한국공인회계사회, 회계편람 1996) 공정별 비용 산출에서는 [표 1]과 같이 공정과 관련된 비용과 관련된 비용으로 나누어 공정관련 비용만 대상으로 삼아야 한다. 공정관련 활동은 대체로 설비와 관련이 있으며 매물원가를 포함한 감가상각비, 수선유지비, 전력비 수도광열비 등과 관련된 자원소비를 나타낸다. 특히 최근의 기계화와 자동화가 급속히 발전하는 추세에 따라 설비 부분의 비용은 [그림 2]와 같이 높은 비율을 차지하며 따라서 본 논문에서는 공정관련 비용에 따로 관리를 해주었다. 본 논문에서는 이런 기준으로 공정비용 산출을 위한 원가항목 분석을 위해 다음과 같은 항목을 구성하였다.

- (1) 설비관련비용  
설비에 관련된 비용으로 감가상각비와 임차료, 보험료, 수선비 등이 해당된다.
- (2) 간접노무비용  
해당 공정외에 다른 공정의 작업에는 관여하지 않는 노무자의 비용으로 특정 설비 전문공, 설비관리노무자 등에 들어가는 비용이다.
- (3) 기타운영비용  
특정 공정에 생산량에 관계없이 항시 들어

가는 비용으로 전기료, 세척비 등이다.

[표1]공정관련 기준 대비 간접경비 구분[2]

공정관련 간접경비	기타 간접 경비
감가상각비	복리후생비
임차료	여비,교통비
보험료	통신비
제세공과	운임
수선비	특허권사용료
전력비	소모품비
가스수도비	잡비 및 기타



[그림2]제조원가내의 경비비율(%)1980 한국은행

#### 4.1.2 공정비용 산출을 위한 원가 모델 및 CCR 결정 프로세스

CCR 결정을 위한 공정별 소요원가모델은 식 1과 같다. 이 단가는 일정 기간동안에 소요되는 비용을 계산하여야 하며 본 논문에서는 연간비용을 활용하였다.

$$\text{공정별 소요 비용} = \text{설비관련비용} + \text{간접노무비} + \text{기타 운영비} \dots \dots \dots (\text{식} 1)$$

$$(1) \text{ 설비관련비용} \\ \text{총설비관련비용} = \sum \text{연간감가상각비} + \sum \text{연간 임차비용} + \sum \text{연간 보험료} + \sum \text{연간수리비용} \\ \text{설비}$$

$$(2) \text{ 간접노무비용} \\ \text{간접노무비용} = \sum \text{전문기능공연간임금} + \sum \text{전문기능공복리후생비} + \sum \text{기능공연간교육비}$$

$$(3) \text{ 기타운영비용} \\ \text{공정운영비용} = \sum \text{연간공정유지비용} + \sum \text{연간 공정관련잡비}$$

#### 4.1.3 제약 공정 및 비제약 공정의 설계

##### 4.1.3.1 제약 공정 설계

결정된 제약 공정은 공정 설비비 및 유지 비용이 제품 원가 구성에 많은 영향을 미치는 공정이 선택되게 된다. 따라서 이 공정은 효율이 전공정의 효율을 대표하게 되기 때문에

최적 관리가 필요하고 100%에 가까운 운영효율이 절대적으로 요청된다. 따라서 최적화된 공정 능력과 중단없는 운영을 위한 제약버퍼 관리 그리고 효율의 극대화를 위한 가공배치와 이동배치를 결정해야 한다.

(1) 공정능력 결정

공정능력 결정은 예측된 판매량에 의해 합리적으로 결정된다. 따라서 공정설계단계에서 결정된 능력치를 그대로 사용하게 된다.

(2) 제약버퍼 결정

제약 공정의 버퍼의 크기는 버퍼가 대상으로 하고 있는 비제약자원들의 불확실성 정도에 비례한다. 때문에 버퍼의 크기는 항상 고정적이지 않으며 운영도중 버퍼 내의 재고량 변화를 항상 주시하면서 재고량이 증가추세이면 이는 제약 고정의 버퍼크기가 너무 큰 것을 의미하므로 버퍼의 사이즈를 줄여줄 필요가 있다.

(3) 가공배치와 이동배치

이동 배치는 가공 배치와 대부분의 경우 동일해서는 안된다. 이동 배치는 공정과 공정사이를 이동하는 자재의 한 묶음(로트)이며, 가공 배치는 한 공정에서의 한번의 준비교체와 다음에 이어지는 준비교체 사이에 처리되는 자재의 한 묶음(로트)를 가리킨다. 이동 배치와 가공배치는 동일해서는 안되며 이동배치는 그 크기가 적을수록 적다. 하지만 무조건적으로 이동배치사이즈를 작게 할 수는 없고, 제약공정의 이동배치크기를 결정할 때는 후공정의 가공배치사이즈보다 크게 결정해야 한다. 또 가공 배치의 크기는 고정되어서는 안 된다. 가공배치의 크기는 준비비용, 재고유지비용등 다양한 요소를 고려하여 상황에 맞게 변화할 수 있어야 한다.

4.1.3.2 비제약공정 설계

비제약 공정의 활용률은 공정 그 자체에 의해서 결정되는 것이 아니고 공장내에 위치한 제약에 의해서 결정이 된다. 즉 제약이 아닌 공정에서 공정 담당자가 많은 비용과 노력을 들여서 한 시간의 생산 시간 단축을 하는 개선을 했다고 할 때, 그 개선의 효과는 회사 전체적으로 보았을 때, 아무런 의미가 없는 개선일 뿐이다. 비제약공정은 제약공정에 비해 저렴한 설비와 다기능공이 위치하게 되어 있기 때문에 비제약공정 설계의 중점사항은 제약공정의 보호에 있다. 다만 앞에서도 언급한 바와 같이 개선의 노력이 아무런 의미가 없더라도 만일 아무런 목표나 관리가 없을 경우 효율성이 떨어져 전통적 DBR방식의 경우 CCR이 바뀌는 상황도 나타날 가능성이 생긴다. 따라서 본 논문에서는 비제약공정의 원가의식과 목표의식을 가지고 관리할 수 있도록 공정원가라는 개념을 도입하였다.

5. 결론 및 향후 연구 과제

본 연구에서는 설비계획 단계에서 TOC를 활용하여 CCR을 결정하고 CCR에 버퍼를 두고 전체 공정을 구성함으로써 얻을 수 있는 효과에 대해 연구를 수행하였다. 제약공정을 선택하기 위해서 본 논문에서는 공정별로 소요되는 비용을 분석하고 그중 가장 비용이 많이 소요되는 공정을 제약공정으로 선택하고 이것을 기준으로 공정설계를 하였다. 향후 보다 광범위한 사례연구와 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 기존의 설비계획 방법론과의 비교분석을 통한 검증이 필요하다. 그리고 실제 산업 현장에 적용할 때 발생할 수 있는 문제에 대한 검토가 필요할 것이다.

참고문헌

- [1] 고시근, 김재환, 안정된 수요를 갖는 생산 라인에서 Kanban을 사용한 DBR 시스템의 구현, IE Interfaces
- [2] 장문철, 제조원가추정을 위한 설비중심의 간접비용 배치시스템 연구, 아주대학사논문, 2000
- [3] Order review/release and lot splitting in drum-buffer-rope, International Journal of Production Research, 35(3) 1997
- [4] Mahesh Gupta , Activity-Based Throughput Management in a manufacturing company, International Journal of Production Research, 39(6), 2001 pp1163 - 1182
- [5] Russell, G. R., Fry, T. D.(1997), Order review/release and lot splitting in drum-buffer-rope, International journal of production research, 35(3), 827-845
- [6] Tyan, J. C., Chen, J. C., Wang, F.-K.(2002), Development of a state-dependent dispatch rule using theory of constraints in near real world wafer fabrication, 14(3), 253-261
- [7] Thomas G. Greenwood & James M. Reeve, Process Cost Management, Journal of Cost Management, winter, 1994, pp4-16
- [8] Lawson, R. A. 1994. Beyond ABC: Process-based costing. Journal of Cost Management (Fall): 33-43. (Activity mapping, each activity becomes its own cost pool).
- [9] Lawson, R. A. 2002. Managing the cost of capacity using process-based costing. Journal of Cost Management (November/December): 24-29.
- [10] Thomas G. Greenwood & James M. Reeve, Activity Based Cost

Management for Continuous  
Improvement -A Process Design  
Framework, Journal of Cost  
Management, 5(4), winter, 1992,  
pp4-16