

TOC(Theory of Constraints)를 기반으로 한 최적생산시스템 연구 A Study on the Development TOC(Theory of Constraints) based Manufacturing system

류인화*, 윤희성*, 김창은**

* 명지대학교 산업공학과 석사과정

** 명지대학교 산업공학과 교수

Abstract

Goldratt박사에 의해 제창된 TOC(Theory of Constraints)는 제약조건을 찾아 개선시켜 없애고 시스템 성과를 높일 수 있는 방안을 찾는 제약이론이다. 생산공정을 포함한 모든 분야에서 제약이란 없을 수가 없다. 따라서 기존의 MRP나 PERT/CPM과 같은 무한 자원 스케줄링으로는 예상하지 못한 문제가 도출될 수밖에 없는 한계를 제약공정의 자원능력이 유한하다는 가정에서 출발하는 제약이론으로 자원활용의 최적화를 도모할 수 있다. 본 논문에서는 TOC와 많은 유사점을 가지고 있는 생산시스템인 JIT와 비교하여 아직 국내에는 활발한 연구가 이루어지고 있지 않은 TOC를 기반으로 최적 생산시스템을 연구하고자 한다.

1. 서론

최근 들어 신경영기법으로 미국과 유럽 등지에서 크게 각광을 받고있는 제약자원이론(TOC : Theory of Constraints)은 세계적인 경영컨설턴트인 골드렛박사에 의해 1980년대 초에 개발되어 그간 포드, GE 등 대기업뿐만 아니라 미국 국방부, 홍콩 항만청 등 공기업들을 포함한 약 오천여개의 기업들에 의해 도입이 되어 경영혁신 기법으로서 뛰어난 실용성을 인정받고있다. 그러나 아직까지 국내에는 제약자원이론(TOC)에 대한 체계적인 연구나 적용이 이루어지지 않고 있다. 기존의 MRP나 PERT/CPM과 같은 무한 자원 스케줄링으로는 예상하지 못한 문제가 도출될 수밖에 없는 한계를 제약공정의 자원능력이 유한하다는 가정에서 출발하는 제약이론으로 자원활용의 최적화를 도모할 수 있다. 이에 본 논문에서는 다양한 생산시스템과 TOC를 비교·분석하여 TOC를 기반으로 한 최적 생산시스템을 도출하고자 한다.

2. TOC의 기본개념

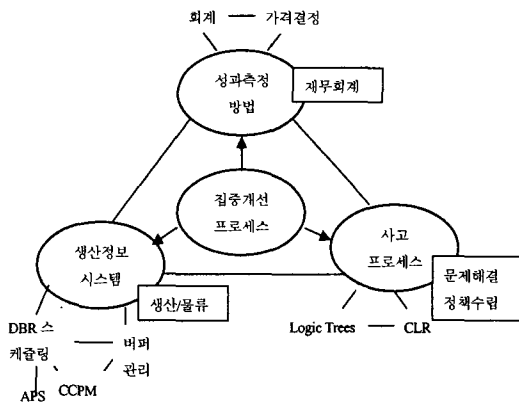
TOC는 골드렛 박사에 의해 1980년대에 개발된 조직경영이론으로서, 근본적인 목적은 제약자원을 효과적으로 관리함으로써 기업의 목적을 달성하고자 하는데 있다. 1970년대에 역시 골드렛박사에 의해 개발되어 세계적으로 널리 사용되고 있는 OPT(Optimized Production Technology)는 TOC의 전신으로서 생산관리에만 적용되는 OPT를 기업경

영전반에 적용될 수 있도록 이론을 체계화/일반화한 것이 TOC이다. 모든 조직에는 설립목적이 있으며 기업의 경우 최대이윤 창출이 될 것이다. 조직 내의 모든 자원은 조직의 목적을 효과적으로 달성하기 위하여 존재하며 이를 위해서는 모든 자원들의 종합적인 노력이 필요하다. 제약자원이란 합은 조직이 목적달성을 위해 나아가는데 방해가 되는 자원을 말하고 따라서 이러한 제약자원을 적절히 관리함으로써 조직의 목적달성을 이룰 수 있다. 제약자원은 크게 조직 내부와 외부의 제약자원, 물리적인 것과 비물리적인 것으로 구분할 수 있다.

TOC의 제약자원관리는 다음의 세 가지 전제로부터 시작한다. 첫째는 모든 조직에는 한 개 이상의 제약자원이 항상 존재한다. 둘째, 만약 제약자원이 없다면 조직의 목적달성은 무한대로 발전할 것이다. 셋째, 조직의 능력은 제약자원에 의해서 결정된다. 바로 이 점에서 조직의 목적 달성을 위해 제약자원을 철저히 관리하는 것이 전체 자원을 활용하는 방법이 된다.

2.1 TOC의 구성

TOC의 적용은 크게 세 가지로 구성된다고 할 수 있다. 기존의 원가회계 방식과 대비되는 쓰루풋 회계를 바탕으로 하는 성과측정 방법, 스케줄링과 버퍼 관리를 중심으로 한 생산정보 시스템, 사고 프로세스(Thinking Process)라 불리는 논리적 사고 방법이다. 이들 세 가지 구성요소들은 5단계의 집중개선 프로세스(five-step focusing process)의 과정을 거쳐 서로 유기적인 관계를 유지한다. 이 관계를 표현하면 [그림-1]과 같다.



[그림 1] TOC의 구성요소

3. 집중개선 프로세스 5단계

집중개선 프로세스는 시스템 사고에 의한 의사결정 과정을 따른다. 이것을 5단계로 표현하면 다음과 같다.

1단계 : 조직의 목적달성에 장애가 되는 모든 자원(혹은 요인)을 밝혀낸다. (Identify the system's constraints)

조직의 물리적 제약조건에는 생산능력, 자재가 될 수 있고 시장의 제약조건은 수요가 부족한 상황이 제약이 된다. 또 정책적 제약조건은 시스템이나 규정, 지표 등이 될 수 있다.

2단계 : 제약자원들 중 가장 장애가 되는 자원을 찾아 그 제약자원을 가장 효율적으로 이용할 수 있는 방법을 고안해 시행한다. (Decide how to exploit the system's constraints)

제약조건에서의 손실은 조직전체의 쓰루풋 손실로 이어진다. 따라서 제약조건을 효율적으로 이용할 수 있는 방법을 찾아야 하는데 이익을 최대화하는 생산계획을 작성해야 한다. 수요가 생산능력을 넘어서는 경우에는 이익을 최대로 하는 Product Mix를 정하고 고객납기를 만족시키면서 제약조건을 최대한으로 활용하는 스케줄을 작성한다. 제약조건의 유효능력을 최대화하기 위해 제약조건은 특별관리하고 100% 가동을 목표로 한다. 제약조건을 보호하는 Buffer를 앞에 설치하고 불량품이 제약조건에 투입되지 않도록 한다.

3단계 : 조직에서의 의사결정을 2단계에서 결정한 제약조건에 종속시킨다. (Subordinate everything else to the decision in step 2)

제약조건의 생산속도에 맞춰서 자재를 생산라인에 투입한다. 그때 자재가 제약조건에 도달하기까지의 시간을 고려한다. 비제약조건에서의 작업 톨은 제품이 있으면 바로 착수하고 없으면 작업하지 않으며 비제약조건의 공정은 가동을 평가에 넣지 않는 것으로 평가지표도 바뀌어야 한다.

4단계 : 제약요인이 해소되지 않으면 새로운 투자를 함으로써 제약자원의 능력을 적극적으로 향상시킨다. (Elevate the system's constraints)

제약조건 공정을 철저히 활용하여도 능력이 부족할 경우는 이 공정이 조직 전체를 제약하지 않을 때까지 강화한다. 프로세스를 개선하고 치공구·설비의

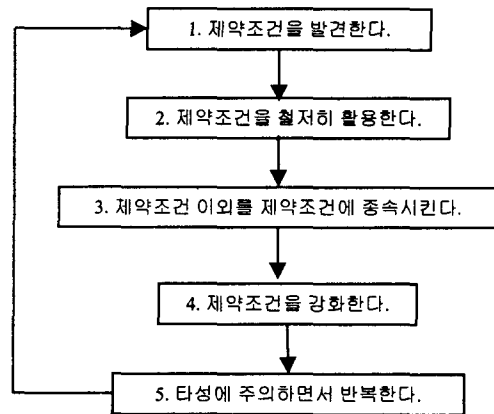
제작·설비의 구입 또는 사람의 채용 등의 방법으로 개선한다.

5단계 : 이 제약자원이 더 이상 제약으로 작용하지 않는다면 1단계로 가고 이제 타성(inertia)이 시스템 제약이 되지 않게 한다.

4단계까지에서 제약이 없어졌다면 다시 단계로 회귀하여 비제약이었던 것이 제약으로 부각되는 제약조건을 찾는다.

집중개선 프로세스 5단계의 전체 과정을 보면 [그림 2]와 같다.

TOC의 집중개선 프로세스 5단계



[그림 2] 집중개선 프로세스 5단계

4. DBR(Drum-Buffer-Rope) 스케줄링

TOC의 DBR(Drum-Buffer-Rope) 스케줄링은 제약조건을 관리하여 각 생산 자원들의 작업속도를 일치시켜 자재가 빠르고 거침없이 흐르게 하는 가장 이상적인 스케줄링이라고 할 수 있다.

DBR 스케줄링 방식은 동기화생산을 추구한다 점에서 JIT와 유사하다. 수요에 의한 끌어당기기 생산이라는 점도 같다. 버퍼관리에서 JIT와 차이가 난다. DBR은 전 작업장의 버퍼를 일률적으로 관리하지 않고 각 작업장의 변동요인을 흡수하려는 취지에서 유연하게 관리하지만 재고는 거의 JIT와 유사하다. DBR은 각 자원의 생산능력이 서로 다르고 또 변동한다는 것을 인정한다. 이런 전제는 DBR의 문제해결 능력과 면역성을 강화하여 JIT와 차별될 수 있는 바탕이 된다.

제약자원(drum)을 중심으로 원자재를 투입하고 작업계획을 세움으로서 전체 생산시스템의 흐름을 균형화 시키려는 제도로서, 완제품 생산을 극대화 하면서 재공품 재고와 생산리드타임을 최소한도로 줄일 수 있다. Drum은 전 생산공정의 작업속도를 통제하며 재공품 재고를 최소한도로 유지할 수 있도록 일의 속도를 결정한다. 드럼은 JIT에서 최종 제품의 실제 수요량에 해당한다. Buffer는 생산계획을 아무리 세심하게 짜더라도 생산시스템의 변동은 있게 마련으로 예정한대로 정시에 생산하기 힘들다. 따라서 제약자원 앞에는 생산에 지장이 없을 만큼 재공품 재고를 항상 유지한다. 버퍼의 개념은 안전재고와는 다르다. 돌발사고로부터 쓰루풋과 납기만족을 보호하기 위하여 안전재고는 각 부품마다 항상 일정 수준의 여유분을 추가로 유지하지만, 버

퍼는 부품마다 매일 다른 수준을 미리 확보해두는 점이 안전재고와는 다르다. Rope는 원자재 투입 시점을 알려준다. 원자재의 투입을 제약공정에서 계속적으로 작업이 진행되면서도 전공정에서의 재공품의 재고를 최소화할 수 있도록 도와준다. 드럼이 생산리듬을 맞춘다고 할지라도 공정마다 작업속도가 다르기 때문에 모든 단계에서 같은 페이스로 일하려면 단계간을 잇는 통신연결이 필요하다. Rope는 제약공정과 선행작업장을 연결하는 통신망이다. 이것은 JIT의 간판과 같은 역할을 한다. Rope는 또한 작업 스케줄링, 원자재구매 계획, 종업원고용 계획, 기계정비 계획 등을 결정하는데 도움을 줄 수 있다.

어느 조직이나 능력제약자원(CCR : Capacity Constraint Resource)이 있기 마련이다. 이것은 생산능력이 가장 적어 공장 생산속도를 결정하는 것으로 작업장, 시장수요, 구득난 자재 등이 해당될 수 있다. 중요한 CCR을 Drum으로 간주하고 이를 유용하게 활용할 수 있는 상세 스케줄 산출을 매우 중요하게 생각한다.

제약자원(CCR) 앞에서의 공정에서 생산차질이 생길 경우 제약자원 바로 앞에 있는 재공품 Buffer가 제약자원 (병목)에서 쉬지 않고 작업이 진행될 수 있도록 보호한다. 이를 '보호버퍼'라 하며 그 크기가 작업 시간으로 표시되므로 '시간버퍼(time buffer)라 불리기도 하며 부품이 미리 도착해서 대기할 시간을 나타낸다. 결과적으로 이 재고는 다른 공정에서 사고가 발생하더라도 최소한 그 재고가 소진되는 시간 동안은 CCR을 가동시켜 공정의 쓰루풋이 떨어지지 않도록 보호하는 역할을 한다. 이런 보호버퍼는 CCR외에도 조립작업의 중단을 막고, 제약자원 자체에서 생산차질이 생길 것에 대비해서 제약자원 직후에도 약간의 재공품 Buffer를 확보한다.

재고가 시간 버퍼에서 정해 놓은 수준보다 더 증가하지 않으려면 자재 투입속도를 제한해야 한다. 이것은 첫 공정과 CCR을 로프로 연결함으로써 해결된다. 이는 첫 공정의 자재 투입속도를 CCR의 생산속도와 일치시키는 것을 말하며 이는 집중개선 프로세스 3단계에서 보았던 모든 자원을 제약자원에 종속시킨다는 의미와 같다.

4.1 DBR 스케줄링

DBR 스케줄링을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 드럼 스케줄을 작성한다.
이것은 시스템 제약자원의 스케줄을 정하는 것인데 제약자원의 능력이 고려된다. 그리고 이 스케줄은 회사의 수입을 늘릴 수 있는 제품배합을 고려한다.
- (2) 버퍼 크기를 정한다.
이것은 주로 로프 길이로 표현된다. 공정의 불확실성을 감안하여 경험적으로 정하는데 보통 공정작업 시간의 3~5배로 정해두고 공정 개선상태에 따라 조정한다.
- (3) 로프 스케줄을 작성한다.
(1),(2)단계의 결과를 기초로 원자재 투입시기를 정한다.

시장수요와 CCR이 2개의 중요한 제약이므로 이를 기초로 스케줄링 한다. 첫 단계로 세 가지 과정을 거쳐 시장수요를 만족시킬 수 있는 CCR의 드럼 스케줄을 작성한다. 다음은 CCR이 아닌 공정의 스케줄을 정한다. CCR이후의 공정은 CCR 스케줄을 기준으로 전진 계산하여 앞 공정의 작업이 끝나

면 바로 시작하도록 작업시기를 정한다. CCR 이전의 공정에 대하여는 후진계산에 의한 로프 스케줄을 구한다. 이렇게 각 공정의 스케줄과 시간 버퍼를 정하면 CCR 능력은 최대한 활용되고 불필요한 재고는 줄게 된다. 특히 시간 버퍼는 CCR 앞 공정의 사고에 대처할 수 있는 시간으로 최소한 이 시간동안은 쓰루풋에 영향이 없다. 재고는 줄어도 쓰루풋은 보호되고 운영비용은 늘지 않는 효과를 거둘 수가 있다. 이렇게 함으로써 공급업체나 작업장에서 돌발사고가 발생하더라도 조립공정 앞에 있는 보호 버퍼가 있는 기간 동안은 조립을 멈추지 않게 하여 납기 지연을 막아준다. 보호 버퍼가 설정되는 곳은 CCR 공정 앞, 그리고 CCR 부품과 비CCR 부품이 조립되는 공정 앞이며 그 외 다른 공정은 해당되지 않는다. 그래서 어떤 부품이든지 보호 버퍼를 한번이상은 거치지 않는다.

이러한 보호 버퍼는 DBR 스케줄링과 JIT의 가장 큰 차이점이 된다. JIT는 어느 한 공정이 멈추면 모든 공정이 멈추기 때문에 이를 방지하기 위해 많은 노력이 필요하며 아무리 많은 노력을 기울여도 막을 수 없는 원인이 있으므로 보호 버퍼에서 완충 작용을 해주는 것이다.

4.2 DBR 스케줄링과 JIT

DBR에서 로프의 개념은 CCR의 일정에 맞추어 첫 공정의 작업을 시작한다는 것이다. 이는 CCR 앞 공정들을 놀리는 경우가 생기더라도 지켜야 할 일이며, 어떠한 경우라도 작업자를 놀리지 않기 위해 작업을 추가해서는 안 된다. DBR 스케줄링은 생산변동의 축소, 소로트화, 생산을 등으로 생산흐름을 원활히 하려는 점에서 JIT와 유사하다. JIT에서는 칸반이 없으면 어떠한 경우에도 작업하지 않는다. DBR은 칸반 대신 로프를 사용하며 CCR 앞의 버퍼를 허용한다는 점에서 JIT와 다르다. JIT는 각 공정의 능력을 평준화시키고, 생산/이동 배치(batch)의 크기도 모든 공정에서 같게 유지하지만 DBR은 공정간 능력의 차이를 인정하고 이를 잘 활용한다. 배치 크기도 서로 다르게 한다. DBR과 JIT를 비교해보면 [표-1]과 같다.

[표-1] DBR과 JIT의 비교

	DBR	JIT
사고방식	전체 최적화	이상요인을 드러나게 함
공정 능력	서로 다른 것을 인정	평준화 시킴
공정 재고	CCR공정 앞에 적정량 유지	모든 공정에서 최소화
재고 수준	JIT보다 약간 높음	최소
버퍼 관리	중요한 기능과 역할	없음
개선 활동	CCR 공정에 집중	모든 공정에 관심
생산/이동 배치	공정마다 다른 것을 인정	모든 공정에서 같게 함
적용 범위	주문생산, 흐름생산, 물류	흐름생산 중심의 물리적 공정
적용 난이도	단기간에 적용가능	많은 준비와 훈련이 필요

DBR 스케줄링과 JIT의 두 가지 큰 차이점을

보면 (1)시스템 내의 변동이나 불균형을 제거하기 보다는 효율적으로 적응하는데 초점을 맞춘다. (2) 일정계획의 접근방식은 JIT의 풀시스템과 MRP의 푸시시스템의 절충형을 취한다. 제품과 절차계획이 다양한 개별생산공자에 JIT의 일정계획은 부적합하지만 TOC의 DBR 스케줄링은 생산흐름을 관리하기에 적합하다.

5. 결론 및 추후연구과제

본 논문에서 살펴본 결과와 같이 TOC의 DBR 스케줄링은 JIT생산과 추구하는 목표들은 전반적으로 유사하나 지향하는 초점은 다르며 JIT가 낭비의 제거와 균살빼기를 강조하는 반면에 주요 목표달성에 제약이 되는 모든 제약에 집중한다. 두 시스템 모두 지속적 개선을 지향하지만 추진방식은 다르다. 그러나 두 시스템은 상호 배타적인 접근방식이 아니며 초점이나 기법들은 종종 중복되기도 한다. 공정개선과 단순성 못지 않게 작업자의 참여를 유도하는 것도 공통점이라 할 수 있다.

이상에서 살펴본 TOC의 장점은 최단기간에 생산성의 증가, 장기적으로는 지속적인 개선 추구, 업무흐름에 근거한 프로세스 위주의 경영개선, 전체적 최적화와 근본문제의 집중관리를 들 수 있다.

추후연구과제로는 이러한 TOC의 장점들을 실제적으로 현장에 적용하였을 때의 성과들을 증명하는 단계가 되어야 할 것이다. 모든 혁신기법들이 그러하듯 이론상의 논리와 실제 현장에서 발생하는 돌발적인 변수들을 분석하여 경영혁신을 이룰 수 있는 최적의 생산시스템을 도출하고자 한다.

참고문헌

- [1] 김재범, 김갑환 “JIT시스템 하에서 조립부품의 공급을 위한 적재패턴의 결정법” 춘계경영과학회/산업공학회 (1999)
- [2] 윤승현, 장양자, 박진우 “생산 용량을 고려한 사건 기반 MRP의 컴포넌트 개발에 관한 연구” 춘계경영과학회/산업공학회 (1999)
- [3] 정남기 “계약이론의 현황과 전망” 추계산업공학회/공업경영학회 (1999)
- [4] 추신, 백원장 “TOC를 기반으로한 MPS 컴포넌트 개발에 관한 연구” 추계산업공학회/공업경영학회 (1999)
- [5] 정남기(1999) “TOC 제약경영” 대청
- [6] 이순룡(2000) “제품·서비스 생산관리론” 4판 법문사