

## 조립생산시스템을 위한 DBR 적용 사례연구

윤재홍\* · 김순문\*\*

A Case Study on Applying DBR for Assembly Production System

Yoon, Jae Hong\* · Kim, Soon Moon\*\*

### Abstract

The DBR(Drum-Buffer-Rope) approach of TOC(Theory of Constraints) is used to achieve the global optimization of unbalanced factory by focusing on the management of capacity constrained resources which restrict throughput of the production system. DBR has widely been recognized as an efficient tool to lower the stock level and to shorten the lead time by pursuing the whole profit rather than achieving a local efficiency. The satisfaction of due date is important competitiveness in the thruster factory which has the characteristics of the product variety and frequent order change. Thus, it is desirable to apply the DBR approach to the thruster factory in order to develop an efficient assembly production system for better productivity. This paper presents the DBR scheduling system for the thruster factory and to apply the DBR scheduling system to the thruster factory. Along this line, this study first introduces general steps of DBR scheduling system in detail and describes the methodology of developing the DBR scheduling system for the thruster factory. The proposed DBR scheduling system is applied to the thruster production process in order to demonstrate the procedures of production scheduling based on DBR.

-----  
\* 동아대학교 경영대학 경영학과 교수

\*\* 동아대학교 대학원 경영학과 박사과정

## I. 서론

지금까지 제조업은 제조기능을 철저히 분업화 및 효율화하고 양질의 제품을 어떻게 하면 빠른 시간 내에 저비용으로 제공할 수 있는지에 관심을 기울여왔다. 그러한 환경하에서는 TPM(Total Productivity Management), TQC(Total Quality Control), JIT(Just-In-Time) 등 개별 지표를 향상 시키는 개선 기법이 상당히 유효하였다.

또한 최근에 제조산업의 패러다임이 변화됨으로써 많은 기업들이 도입하여 적용하고 있는 제약이론(TOC, Theory of Constraints)은 회사의 목적 달성을 위한 새로운 개념을 제시하여 주고 있으며, TOC가 제조업을 다양한 방면에서 개선을 하는 좋은 이론임이 입증되고 있다. 다만 학문적으로 수리과학적인 접근 방법의 부족한 부문과 구체적인 실행방안에 대해 명확한 제시가 없기 때문에 실제 많은 기업들에서 이를 적용시키기에는 현실적으로 어려움이 따른다.

그러나 TOC는 현실적으로 기업의 발전을 위한 지속적인 개선활동을 위한 좋은 도구임에는 틀림없다. 따라서 본 연구의 목적은 제조현장에서 보다 쉽고 현실적인 접근이 가능한 TOC의 방법론을 생산현장에 적용하여 기업 이익 증대에 기여하고자 한다.

국내에서의 TOC 적용 분야는 10년 전만 하더라도 단지 DBR(Drum-Buffer-Rope)을 이용한 생산 분야에 국한되어 있었으나, 최근에는 재무관리, 프로젝트관리, 분배와 공급체인, 마케팅, 판매, 인력관리를 포함해서 기업 활동에 광범위하게 적용되고 있다.

TOC 관련 기존연구를 살펴보면, 우선 TOC 환경에서의 성과측정 (Performance Measurement)이 이루어 졌는데, Lockamy III와 Spencer는 TOC기반 성과측정 시스템의 적용을 시험하였고, Gupta 등은 Job-Shop환경에서 TOC 시뮬레이션 모델을 개발하고 그 수행을 측정하였다. TOC의 우수성을 나타내기 위해 JIT(Just In Time), MRP(Material Requirements Planning)와 TOC를 비교하는 연구도 이루어졌다. Miltenburg는 MRP가 JIT 및 TOC와 쉽게 공유될 수 있음을 설명하고 MRP 시스템 안에 TOC가 삽입된 embedding TOC를 구현하고 그 효능을 입증하였다.

Luebbe와 Finch(2000)는 TOC와 선형계획법(Linear Programming; LP)을 비교하였으며, Balakrishnan과 Cheng(2000)은 다시 고찰하여 그 결과를 명백히 하고 LP가 TOC분석의 유용한 도구임을 강조하였다. Simons 등(1996)은 제약자원에서의 스케줄링을 수식화하여 표현하였다.

제품혼합과 관련하여 Fredendall과 Lea(1997)는 TOC를 적용한 개선된 제품조합 탐색적 방법(Heuristic Methods)을 개발하였다. Onwubolu(2001)는 Tabu 탐색을 기반으로 하는 알고리즘을 이용한 제품혼합 의사결정을 연구하였고, Onwubolu와 Mutingi(2001)는 여러 종류의 자원이 제약인 경우의 제품조합 문제를 해결하기 위하여 유전 알고리즘을 기반으로 하는 알고리즘을 제시하였다.

DBR에 관련된 연구로는 최정길 등은 골드렛 박사가 Haystack Syndrome에서 기술한 이상적인 정보시스템과 DBR 구현을 위한 방법에 기초하여 APS(Advanced Planning & Scheduling) 시스템의 상세 설계방법론을 연구하였다. 고시근과 김재환(2002)은 MRP가 정보시스템에서 직면했던 문제점들이 DBR에서도 발생할 수 있다고 지적하고 JIT방식의 칸반(Kanban)을 사용해 이와 같은 문제를 해결 할 수 있다고 제안하였다.

고시근과 윤훈용(2001)은 DBR방식에서 대기행렬 이론을 사용하여 제약버퍼의 크기를 결정하는 모형을 개발하였다. 그리고 함정근은 DBR에서 버퍼의 개념, 역할 및 종류에 대해뿐만 아니라 버퍼의 크기 및 관리방법까지 설명하였다.

이상에서 고찰된 TOC방법론의 적용에 대한 기존 연구의 내용을 <표-1>에 요약하여 정리하여 보았다. 따라서 본 연구의 내용은 기존 연구들의 방법론을 응용하여 실용적인 적용으로 기업의 개선에 기여하고자 한다.

<표-1> TOC 기반의 기존 연구

분 야	저 자
성과측정	Lockamy III, Spencer(1998), Gupta, Ko, Min(2000)
타 시스템과 연계	Miltenburg(1997), 정남기, 정문기(2001)
LP와 비교	Luebbe, Finch(1992), Simons 외(1996)
제품조합 (Product Mix)	Fredendall, Lea(1997), Onwubolu(2001) Onwubolu, Mutingi(2001)
DBR Scheduling	최정길 외 (2001), 고시근, 김재환(2002) 이성진, 선지용(2002), 구평희 외(2003) 이준영 (2004), 신정훈(2005)
Buffer Management	고시근, 윤훈용(2001), 함정근 (2002)
서비스 분야	Spencer(2000)

따라서 본 연구는 대표적인 프로젝트 산업의 하나인 조선기자재 업체에 TOC의 생산 및 물류분야에서 널리 사용되고 있는 DBR 방법론을 적용하여 제조 현장의 문제를 해결하고자 한다. 조선산업은 60년대 초부터 국가 경쟁력 향상의 일환으로 주력산업으로 육성되면서 비약적인 발전을 거듭하였다. 또한 국내 조선기자재 산업은 부품 및 소재부문에서의 높은 경쟁력과 높은 기술수준 그리고 납기준수, 생산시간 등의 비 가격경쟁력 측면에서 강점을 가지고 있다. 그러나 최근 조선산업의 비약적인 발전과 호황에도 불구하고 급격한 원자재 가격 상승 및 인건비 상승, 후발 경쟁국가의 부상에 따른 경쟁력 상실 위기 등으로 인하여 향후 국내 생산기반은 약화될 위기에 처해 있으며 나날이 떨어지는 조선기자재 산업에서의 가

경쟁력을 강화하기 위해, 생산의 효율성 증대와 생산관리의 향상을 통한 경쟁력 제고가 요구되고 있다.

이런 문제를 해결하기 위해 생산시스템에 DBR을 적용하여 문제점을 분석하고, 납기를 단축하여, 재고를 줄임으로써 비용절감과 동시에 고객을 만족시킨다면 경쟁력 향상에 좋은 방안이 될 것이다. 특히 조립생산 공정의 경우, TOC에서 제시하는 전형적인 A형 공장으로서 DBR이 성과를 거두기 위해 TOC의 기본적인 이해와 함께 DBR을 이용한 생산일정계획 시스템 통제가 유기적으로 잘 결합되어야 한다. 이것은 DBR의 버퍼관리를 이용하여 보호능력 크기에 따라 달라지는 동적 버퍼의 개념을 실제 제조업 공정에 적용하였다.

따라서 본 연구는 실제 제조현장에 TOC의 적용과 관련된 지도를 통하여 현장에 필요한 DBR 방법론을 조립공정에 적용하였으며 안정적인 생산시스템구축과 전체적인 리드타임 감축을 통하여 기업개선활동에 기여하고자 하였다.

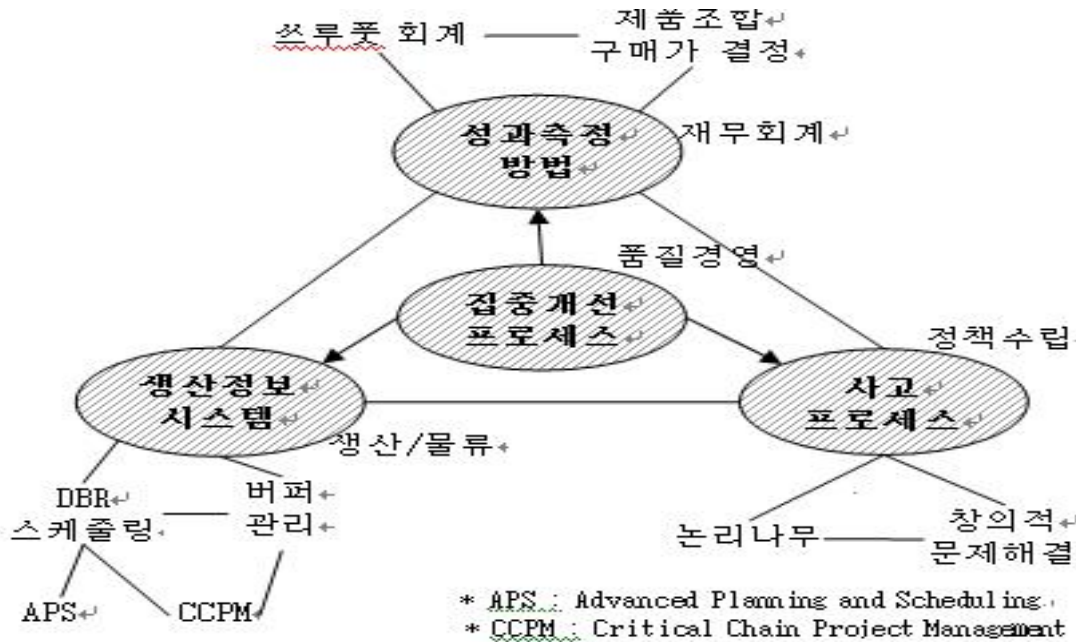
## II. TOC/DBR에 대한 이론적 배경

### 1. TOC의 이론적 배경

#### 1) TOC의 기본 개념

TOC는 이스라엘의 물리학자 골드렛 박사에 의해 개발되었다. 그는 독창적인 생산 계획 모델을 더욱 정교하게 다듬어서, 1979년 이를 OPT(Optimized Production Technology)라는 생산 계획 프로그램으로 만들었다. 또한 1980년대 초부터 본격적인 OPT 사업을 시작되면서 제너럴 모터스, 제너럴 일렉트릭, 아브코, 포드, 밴딕스 등의 대기업에서 OPT를 이용하여 짧은 기간 내에 재고와 생산리드타임을 줄이는 등 생산관리 면에서의 획기적인 개선을 이루게 되었다. 따라서 OPT는 점차 생산계획의 새로운 표준 모델로 기업들에 의해 받아들여지게 되었다. TOC의 기본사상을 보급하기 위하여 1984년 '더 골(The Goal)'을 출판하였으며, 이를 통해 DBR의 개념 및 다양한 TOC 사상을 전파하였고 이후 골드렛 박사는 OPT의 배후에 있는 사고를 TOC라고 이름 지었다. 이것은 OPT의 생산 스케줄링 모델이 공장내의 비병목 공정, 즉 생산의 제약조건에 따른 것이었기 때문이었다. 또한 TOC를 생산 스케줄링 방법에 있어 기존의 표준원가 시스템과 그것에 기초한 생산부문의 평가지표가 TOC 채용의 장애로 되고 있다고 생각하고 '쓰루풋 회계(Throughput Accounting)'라는 방법을 제창했다.

골드렛 박사는 사고 프로세스를 1980년대 후반부터 개발하기 시작해 1994년에는 그것을 해설한 'It's Not Luck' 을 통해 사고프로세스의 자세한 방법을 알려주었다. 이 결과 TOC는 제조업에서의 생산 문제뿐만이 아닌 마케팅 등의 정책적 제약과 관련된 부분까지 확대될 수 있었으며, 서비스 산업이나 금융, 군대, 학교와 같이 다양한 분야의 조직 문제 해결에 활용되고 있다.



<그림-1> TOC의 구성도

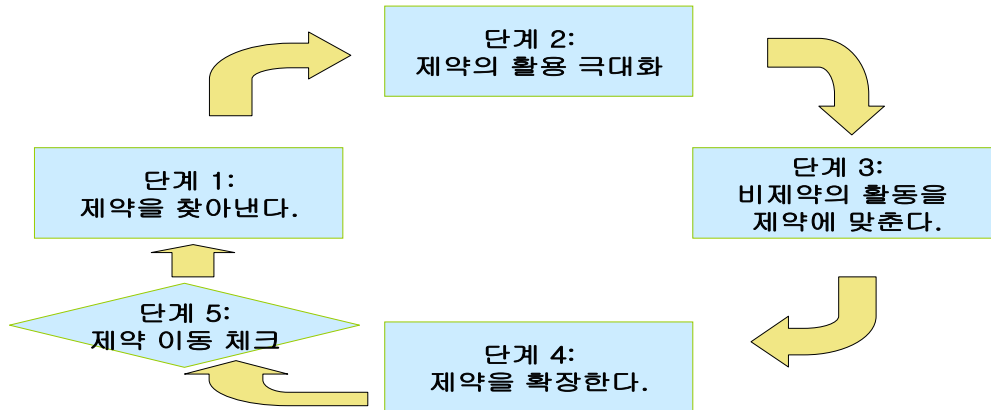
이처럼 TOC는 기존의 원가회계 방식과 대비되는 쓰루풋 회계(Throughput Accounting)를 바탕으로 하는 성과 평가 시스템, 스케줄링과 버퍼관리를 중심으로 한 생산정보시스템, 사고 프로세스(Thinking Process)라 불리는 논리적 사고방법 등으로 구성되어 있다. 이들 구성요소들은 5단계의 집중개선 프로세스(Five-step Focusing Process)의 과정을 거쳐 서로 유기적인 관계를 유지하고 있으며, 그 구성도는 위 <그림-1>과 같다.

또한 TOC의 집중개선 프로세스는 <그림-2>에 표시한 바와 같이 다음의 5단계의 절차를 따른다.

## 2) 국내외 TOC 활동

### (1) 삼성전기의 TOC 추진 현황

삼성전기에서는 TOC의 동기화 경영 원칙의 적용을 통해 제약자원의 기준 정보를 관리, 제약자원 소모량을 관리, 투입 버퍼의 기준 정보를 관리, 투입 버퍼를 관리, 타임 버퍼의 공정 진행 관리, 긴급 기종 및 투입 우선 순위 관리 및 정체 보류 일정 관리를 통해 리드 타임을 33일에서 10일로 줄였으며, 공정 재공을 42% 감소시켰으며, 납기 준수율을 44% 향상하였다.



<그림-2> 5단계 집중개선 프로세스

(2) 해전유전 굴착 장비 업체 사례

해저 유전 굴착장비 제조업체의 경우, 수주 설계 생산 및 프로젝트 생산의 형태로 제조 리드타임이 고객의 요구하는 것 보다 많이 길어 어려움을 겪고 있었다. 리드타임 단축, 실제 부하와 능력에 대한 가시성 제고, 스케줄링의 안정화, 최종조립의 동기화를 위해서 TOC DBR 시스템을 도입하였다. 그리고 TOC의 평가 지표를 도입 정착함에 따라, 재고회전율을 2.9회에서 3.4회로 향상, 재공품을 40% 감소, 생산리드타임을 3.5 개월로 줄였으며, 납기 준수율을 93% 향상 및 외주가공비를 2억원 절감 및 잔업비를 6억 원 절감하였다.

(3) TOC를 통한 Plant Constraints 개선

MEMC Korea의 경우 본사의 반도체 칩 핵심 소재인 실리콘 웨이퍼를 생산하는 MEMC 코리아는 공장 전체 수익에 가장 나쁜 영향을 미치는 공정을 찾아내어, 금속 붕을 일정한 길이로 유지해 기계에 투입하는 간단한 아이디어로 슬라이싱 공정 효율이 25% 높아지자 전체 수익이 25% 이상 향상되는 효과를 거뒀다.

(4) 제조 구매 부분의 개선 사례

감시제어 시스템을 주로 생산하는 하이트론 시스템스는 TP(Thinking Process)를 통해 회사의 핵심 문제를 파악하여 이를 개선하기 위해 5단계 개선 프로세스를 진행하였다. 이를 통해 구매 자재가 제약으로 파악되었으며, 이를 관리하기 위한 DBR 시스템을 도입하였다. 이를 통해 정시 납기 준수율 15% 향상, 리드타임 단축은 일반 제품 33% 및 전략 제품 77% 향상하였으며, 조직원들의 문제 분석 및 해결 능력 향상, 의식의 동기화 및 긍정적이고 진취적인 건강한 조직문화의 형성 등의 정성적 효과를 이룩했다.

(5) 물류 부분의 개선 사례

물류센터의 경우 때때로 피크타임 병목 발생하고, 이로 인해, 피크 시즌에는 긴급오더가 빈번히 발생하여 물류센터 혼란이 가중되며, 스케줄에 따른 기본 오더와 긴급 오더 해결을 위한 빈번한 야간근무 발생 등의 문제점이 있었다. 이러한 문제점을 개선을 하기 위하여 5 단계 개선 활동을 실시하였으며, 피크시의 정시 납기율이 70%에서 88%로 개선되었다.

2. DBR의 기본 개념

계약 요인이 조직 관리와 경영 개선의 초점을 제공해 준다는 점에서 효율적인 관리는 대단히 중요하다. 그 이유는 조직 내에 존재하는 자원간의 종속성과 통계적 변동이라는 두 가지 현상의 결합으로 인해 조직의 성과가 바로 제약요인에 의해 결정되어지기 때문이다.

더 골(The Goal)'에서는 이러한 종속성과 변동성을 <그림-3>과 같이 소년들의 행진으로 비유하여 설명하고 있다. 소년들은 한 줄로 서서 행진을 하고, 그 어떤 대원도 자신의 앞의 대원을 추월할 수 없는 것은 종속성이고, 아이들의 행진 속도의 차이는 변동성이다.



<그림-3> 간단한 직선형 생산 공정

- 드럼 - 시스템의 제약조건을 고려해서 전체 시스템의 진행속도를 결정한다.
- 버퍼 - 어느 시스템에나 내재되어 있는 혼란으로부터 시스템을 보호한다.
- 로프 - 시스템의 모든 자원을 드럼에 동기화를 하기 위한 메커니즘.

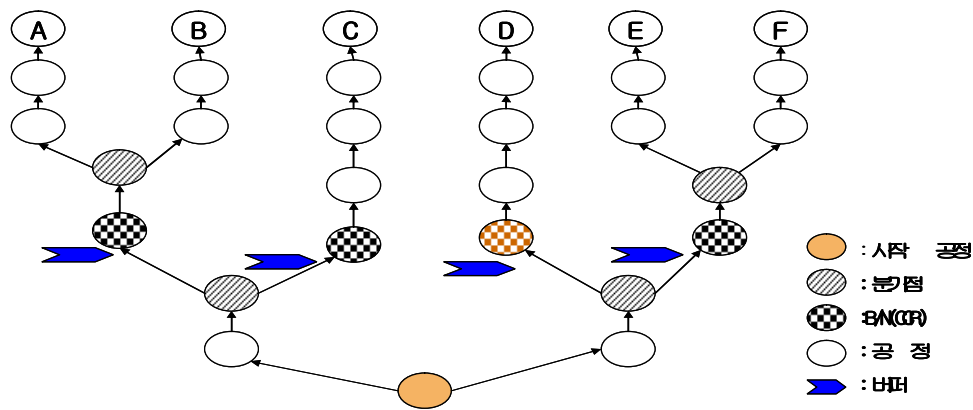
### III. DBR 스케줄링 시스템

#### 1. DBR 스케줄링의 V-A-T 분류

DBR에서는 일정을 위한 자원간의 관계를 NET라는 형태로 나타낸다. 네트를 바탕으로 공장들을 특성에 따라 몇 가지로 분류하면 V형 공장, A형 공장, T형 공장으로 구분된다. 물론 이들의 혼합형도 생각할 수 있으나, 여기서는 이들 세 가지 공장의 특징과 문제점, 그리고 그 원인을 알아보면서 DBR 적용을 위한 모델링 방법을 소개하고자 한다

##### 1) V형 공장

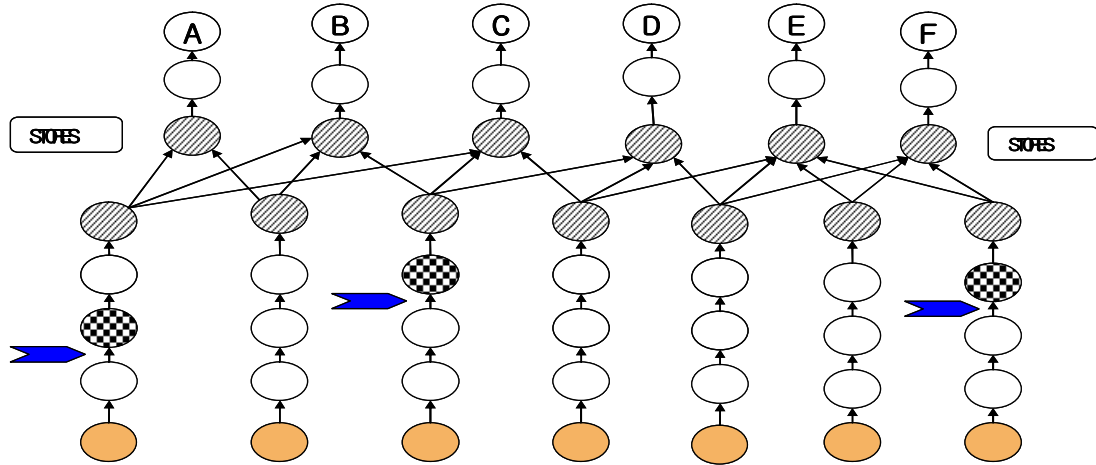
V형 공장은 원자재나 부분 가공된 품목들이 다양한 제품으로 제조되는 형태를 말한다. 여기서 만들어지는 모든 제품들이 고가의 전용설비를 사용하고 같은 공정을 거친다. 그리고 공정을 거치면서 품목 수가 급격히 증가하는 분기점들로 인해 NET는 V자 모양처럼 된다. 대표적인 예는 철강공장이며, V형 공장에서는 대개 준비/교체 시간이 길기 때문에 이를 줄이기 위해 Lot 사이즈를 키운다. 이러한 방법은 그 자원의 가동률을 높일 수 있지만, 일부 품목을 과잉 생산하거나 다른 품목을 제때에 생산하지 못하는 결과를 초래한다. 다음 <그림-4>는 전형적인 V형 공장의 구조를 보여 주고 있다.



<그림-4> 간단한 직선형 생산 공정

V형 공장에서는 CCR(제약능력자원, Constraint Capacity Resource)이 한 개 존재하며, 이곳의 제품 흐름이 성과에 큰 영향을 미친다. 이 CCR을 찾고 이곳에서 적정 Lot 사이즈와 버퍼를 정하는 것이 V형 공장 모델링에서는 무엇보다 중요하다. 또한 적정한 재고를 유지하면서 시간버퍼를 활용해야 한다.





<그림-6> 전형적인 T형 공장의 구조

T형 공장의 어려움은 바로 이 분기점이 모여있는 조립공정에 있다. 이중 가장 큰 문제점은 '부품 빼내 쓰기(stealing)'인데, 이는 공용부품을 사용하기 때문에 자주 발생하는 현상이다.

## 2. 조립공정에서의 DBR 시스템 적용

A형 공장은 특화된 장비로 적은 수량의 자본집약적 제품을 생산하는 업계에서 흔히 볼 수 있다. A형 공장의 주요 성격은 앞에서 제시한 바 있으며 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 가공된 (또한 구매된) 많은 수의 구성부품이 비교적 적은 수의 최종품목으로 조립된다는 것이다.

둘째, 다양한 구성부품들 각각은 특정한 최종 품목에만 사용된다. A형 공장에서는, 각각의 특정 최종 품목은 보통 상이한 제품 사양에 따라 설계된다.

셋째, 생산 과정에 사용되는 기계와 도구들은 범용 용도의 설비로 구성되는 것이 일반적인 경향이다.

## 3. DBR의 적용 프로세스

### 1) 제약조건 찾아내기

A형 공장에서는 DBR 적용의 첫 단계는 물리적 제약조건, 즉 자재 제약조건과 자원 제약조건을 찾아내는 일이다.

(1) 자재 제약조건

자재 제약조건이란 시장의 요구에 대응하는 공장의 능력을 어떤 면에든 제한하는 자재를 말한다. 다른 말로 표현하면, 자재 제약조건은 재고 수준이나 운영경비가 늘어나는 원인이 되기도 하며 또는 throughput이 줄어드는 원인이 되기도 한다.

(2) 능력 제약조건

CCR을 찾아내기 위한 이 체계적인 방법은 두 개의 주요 단계로 나뉜다. 첫째, CCR 후보가 된직한 모든 자원을 찾아낸다. 둘째, 각 후보 CCR에 대해 엄격한 검증과정을 시행한다. 후보 선정에 대한 분석은 조립 직전에 있는 조립용 구성부품 저장장소의 정보로 이루어진다.

2) 버퍼의 설정

제약조건을 찾아낸 후 다음 단계는 버퍼 소요를 결정하는 일이다. 어떤 종류의 버퍼가 적당할까? 어디에 버퍼가 필요할까? 버퍼는 얼마나 커야 할까?

(1) 재고 버퍼

A형 공장에서 재고 버퍼가 어떻게 이용되는지를 이해하는 열쇠는 제품 재고 버퍼(product stock buffer)와 구성부품 재고 버퍼(component stock buffer)간의 차이를 구분하는데 있다.

① 제품 재고 버퍼

완제품이나 부분적으로 가공된 자재로 이루어진 재고 버퍼.

② 구성부품 재고 버퍼

완제품 생산을 위해 다른 구성부품과 조립되어야 하는 구성부품으로 이루어진 재고 버퍼.

(2) 시간버퍼

재고 버퍼는 A형 공장의 비 핵심 자재에 대해 세밀한 통제가 번거롭다는 문제를 해소하는데 사용될 수 있다. 그러나 시간 버퍼는 A형 공장의 생산과 조립 환경에 내재해 있는 내부적 변동성으로부터 시스템의 throughput을 보호하는데 필요하다. 이 내부적 변동성에는 설비의 고장, 결근, 일시적 과부하, 수율 저하 문제 등이 포함된다. A형 공장에는 세 가지 범주의 시간 버퍼가 필요하다.

① 제약조건 시간 버퍼

이 버퍼는 CCR에 부품이 도착하는 여분의 시간을 허용함으로써, CCR에서 가공될 부품의

라우팅 상, CCR 이전의 자원에서 발생하는 혼란이 CCR의 생산 일정과 시스템의 throughput을 손상하지 않도록 한다.

② 출하 시간 버퍼

이 버퍼는, 최종 조립공정 이후 그리고 포장과 같은 출하 전의 모든 최종 준비과정 이후에, 출하 부서에 확립된다. 시간 버퍼의 쿠션은 CCR 이후의 공정, 최종 조립공정 그리고 최종 준비 또는 포장공정에서 발생하는 혼란으로부터 고객과 약속한 출하일을 보호한다.

③ 조립 시간 버퍼

이 버퍼는 조립공정 바로 그곳에 확립된다. 이 버퍼는 CCR 가공을 거친 부품과 조립되는 CCR에서 가공되지 않는 부품 모두를 위해서 설계된다. 이 버퍼는 CCR 부품이 가용하게 되는 순간, 조립공정이 확실히 진행될 수 있도록 하기 위해 설정된다.

(3) 버퍼의 크기

구성부품 재고 버퍼의 크기는 구성부품 소비 속도, 요망하는 서비스 수준 그리고 보충 시간을 포함하는 몇 가지 요인에 좌우된다. 소비 속도의 변동과 보충시간의 변동도 역시 고려될 수 있다. 그러나 구성부품 재고 버퍼의 아이디어는 통제를 단순화하는 것이므로, 복잡한 감시와 보충 시스템은 피해야 한다.

시간 버퍼의 적합한 크기는 구성부품 재고 버퍼 크기의 결정에 중요한 요인이었던, 용도와 요망하는 서비스 수준과는 관련이 없다. 그 대신 시간 버퍼로 완충하는 생산과정의 해당 부분에 내재에 있는 변동에 의해 결정된다. 원칙적으로, 시간 버퍼의 크기는 혼란의 성격을 파악해서 통계적인 분석을 시행함으로써 확립될 수 있다.

3) 기준 일정의 확립

A형 공장에서, 기준생산일정(MPS)은 조립일정이다. 이 일정은 능력과 자재의 가용성에 일치되는 원활한 자재흐름을 이루어 가면서 고객과의 약속을 충족시키는 방법으로 확립되어야 한다. 이것은 일반적으로 MPS가 수주된 그대로의 고객주문과 다를 것이라는 것을 의미한다. MPS가 단지 고객주문을 그대로 반영하는 것이라면, 생산 시스템 전반에 걸쳐 주기적인 과부하와 작업중단을 야기할 것이며, 이것은 바람직한 상황이 아니다. 이와 같은 불규칙한 부하는 조립일정에 걸리는 부하를 평준화함으로써 평탄하게 하는 것이 최선이다.

4) 로프로 연결 - 일정통제지점의 확립

A형 공장에서 관심을 가져야 할 일정통제지점은 자재투입, 능력 제약조건 그리고 조립이다. 로프 시스템을 잘 확립해 얻을 수 있는 중요한 것, 세 가지가 있다.

(1) 세세한 통제 필요성의 해소

전통적으로 A형 공장의 주된 문제는 효과적인 통제의 결여였다. 이것은 언제나 각 워크센터를 보다 밀접하고 보다 세세하게 통제할 필요가 있다는 의미로 받아들여져 왔다. 로프 시스템은 실제로 그것과 정반대의 결과이다.

(2) 가공 배치 크기

비 CCR의 가공 배치 크기는 대폭 작아진다. 많은 전통적인 A형 공장에서, 대부분의 구성 부품 생산에 사용되는 배치 크기는 경제적 배치 크기(economic batch quantity : EBQ) 계산 로직에 따라 확립되며 상세 조립 일정, 즉 MPS와는 관계없이 독립적으로 결정된다.

(3) 작은 이동 배치 권장

DBR 시스템에서, 이동 배치의 크기는 통상 가공 배치보다 훨씬 작다. 이렇게 함으로써 하류의 워크센터는 가공작업을 보다 이르게 시작할 수 있다. 여기에는 시스템을 지나는 자재흐름이 원활해 지며 전반적인 리드타임이 줄어든다는 이점이 있다.

5) 업무성과 및 진도의 감시

DBR 시스템의 적용에서, 여러 계층의 생산관리자들을 적절하게 평가하는 새로운 운영 평가지표가 반드시 필요하다. 또 적합한 업무성과 평가지표는 동기화 경영 시스템으로의 전환을 지원하고 장려한다.

따라서 운영상 필요한 평가지표는 결품의 심각도, 주문에 대한 생산의 적용성, 조립과 비 CCR공정에서의 잔업사용, CCR에서의 Throughput, 제약조건에서의 가공되는 자재의 폐기/수율 등이다.

## IV. 사례기업의 분석

### 1. 사례기업의 일반적 현황

본 연구에서 TOC의 DBR의 버퍼관리를 적용할 S사는 부산에 소재하는 중소 조선기자재 업체로서 주로 Propeller 등 기계장치를 생산하는 업체이다. 특히 본 연구에서 DBR을 적용하게 될 생산 공장은 Thruster를 조립 생산하는 공정이다.

Thruster는 대형 선박에 전후 이동을 위한 추진력을 주는 프로펠라(Propella)와는 달리 주로 대형 컨테이너선 등에서 항만에 접안 할 때, 별도의 접안을 위한 소형 선박의 도움 없이 컨테이너선이 항만에 좌우 이동을 통해 손쉽게 접안 할 수 있는 장치이다.

현재 S사에서 생산 조립되는 Thruster는 크게 약 12가지 Type으로 분류할 수 있으며, 각 제품은 조선사의 배의 수주와 동시에 결정되어 설계 및 생산이 진행되는 전형적인 프로젝트 산업 형태이다. 각 Thruster의 최종 제품은 생산에 사용되는 주요 부품으로 분류하면 약 50여 가지의 구성품으로 조립되며, 일부 PANNEL과 메인 제어 시스템을 제외하고는 구성품들을 국외 수입 및 외주 가공을 통하여 공급 및 조립 생산된다.

S사의 Thruster 공장의 경우, 공급되는 주요 부품인 Gear, Blade, Shaft 등과 같은 핵심 구성부품은 상당수가 공수의 기계가공과 수작업을 이용하여 조립 되어 있다. 따라서 Thruster의 상이한 제품들 간에 이들 구성품은 다양한 설계 사양에 따라 시리즈 조선인 경우를 제외하고는 공통성은 거의 없으며, 이 공장에서는 실제 조립 공정이 주로 이뤄지며 주요 부품들은 해외에서 직수입 또는 국내 공급 업체를 통하여 제작 및 조립된다.

이 Thruster 공장에서 조립 생산 되는 제품 흐름도는 다음 <그림-7>에 도시되어 있으며 제품 흐름도를 보면 명백히 A형 공장임을 알 수 있다.

## 2. 조립공정의 현황

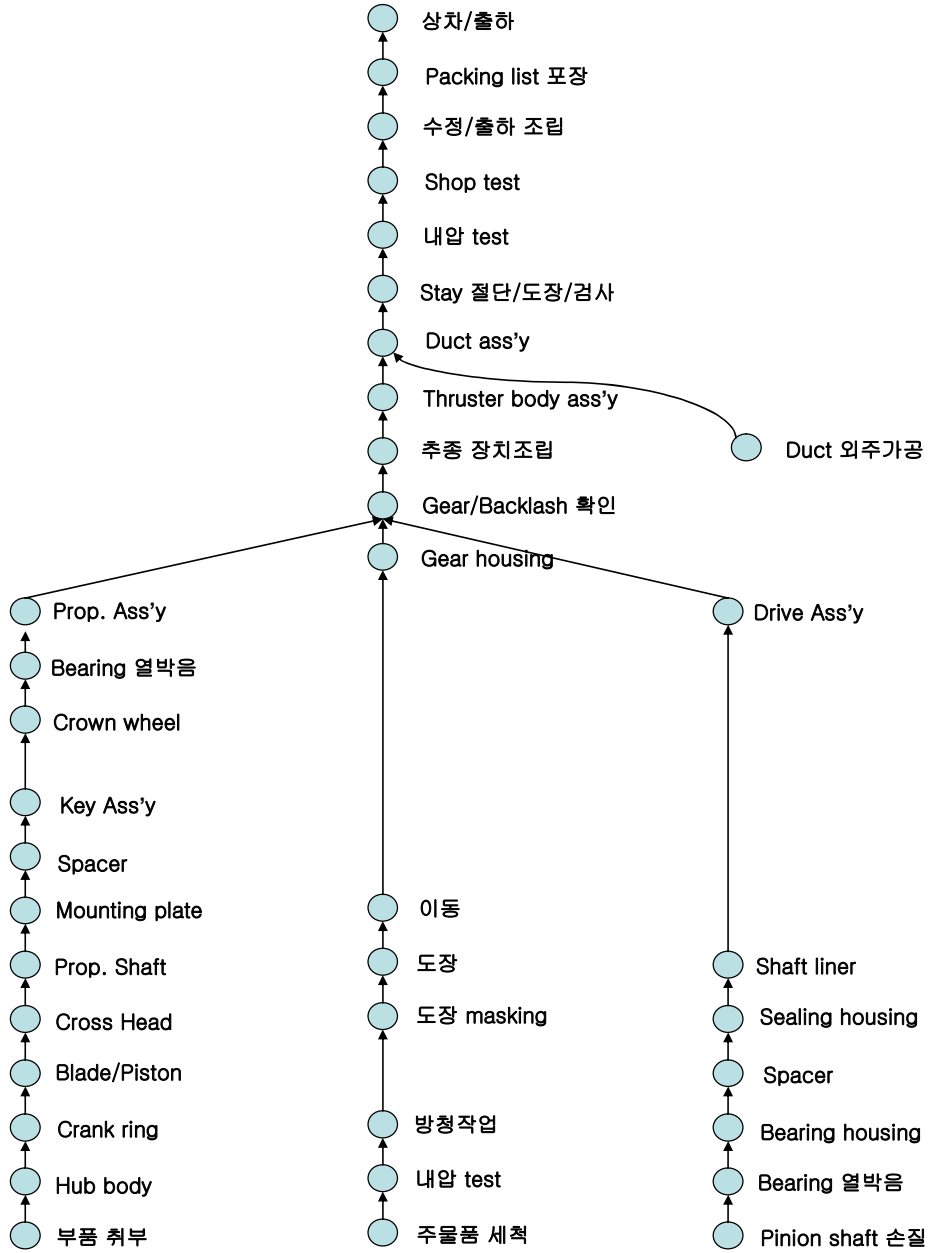
이 Thruster 공장의 일반적인 현황에 대해 살펴보자. 이 공장은 계획된 일정을 기준으로 각 제품 Type에 따른 생산 및 조립을 하고자 하는데 공급업체로부터의 주요 부품이 입고되지 않아 조립을 정해진 일정대로 하지 못하는 경우가 빈번하다. 특히 국외에서 수입되는 부품보다는 국내 공급업체로부터 가공조립 되어 입고되는 부품의 납기지연이 자주 일어나고 있다. 이처럼 수주 당시의 고객이 원하는 납기에 맞춰 조립일정계획이 수립되지만 많은 변동에 의해서 초기 계획이 제대로 이뤄지지 않는다. 초기 계획된 일정에 각 제품에 필요한 부품 중 한 가지 이상이 결품이 되면 어떤 제품도 조립이 되지 않기 때문이다.

또한, 작업자의 생산성도 낮으며, 조립을 포함하여 많은 부서가 잔업을 요청한다. 즉, 생산공정의 능력대비 부하 조정이 외부 요인에 의해 균형화 되지 않아 엄청난 응급조치와 상당한 잔업을 하지 않으면 납기에 맞추기 어렵다. 즉, 고객이 긴 리드타임을 허용하고 있음에도 불구하고(고객으로부터 평균 2년 전에 수주를 받음) 외부 공급업체로부터의 빈번한 납기 지연으로 인한 조립일정계획의 불확실성과 고객의 납기 변경 등에 대해 긴급히 응급조치를 하지 않으면 안되는 어려움을 겪고 있다.

## 3. 조립공정의 DBR 적용 프로세스

### 1) TOC의 도입 단계

이 공장에 TOC의 방법론을 3단계로 나누어 적용하였다. 1단계에서는 공장 전체 TOC에 대한 공감대의 형성과 제약 자원을 파악 및 버퍼 개념을 도입하였으며, 2단계에서는 버퍼



<그림-7> Thruster 공장의 공정

관리에 대한 개념을 도입하였다. 그리고 버퍼 관리 및 신속처리를 위한 생산관리 일보를 만들어 운영한 단계이며, 일단의 DBR 모형이 일차 완료된 시점으로 볼 수 있다.

3단계의 경우 생산이 안정화되고 활용됨에 따라 재고를 줄이기 위한 활동 및 제약 가능성이 있는 공정에 대한 능력향상을 통해 전체 시스템의 생산 능력을 강화하였으며, 이후에 지속적으로 TOC를 관리 업무 및 TP 등 다른 다양한 TOC 기법들을 적용하였다.

S사의 Thruster 공장에 DBR 스케줄링을 적용하기 위해 우선 공장의 2009년도에 생산하여 납품한 각 제품에 따른 Delivery Time과 순수 Thruster의 생산공장에서 이뤄지는 조립 시간을 살펴보면 <표-2>와 같다.

제품에 따른 주요 조립공정의 작업시간 분석에 의하면 각 제품의 Type에 따라 조립 시간의 차이는 있으나 전체의 평균은 약 256시간이 소요되었다. Thruster 제품은 조선소에서 수주하는 배의 설계 사양에 따라 같은 Type이지만 전반적인 구성품과 조립시간에 현저한 차이를 보이기도 한다. 이러한 조립공정에 소요된 작업 시간을 기준으로 이 공장의 생산 능력에 따른 7월 ~ 9월의 능력대비 부하량을 살펴보면 <그림-8>과 같다.

<그림-8>에서 살펴볼 수 있는 것처럼, 이 공장의 부하량 계산을 통하여 7월 ~ 9월까지의 생산 능력은 1일 평균 80시간 (하루 작업시간 : 8시간, 자원 10명)이지만, 대부분의 많은 작업들은 고객의 납기 일정 변경과 주요 부품의 공급지연 등으로 인하여 로드 밸런싱(Load Balancing)이 이뤄지지 않는다. 이 공장의 경우 로드 밸런싱이 이뤄지지 않는 이유는 조립 공정 자체에 대한 부하 증가보다는 최종 조립을 위한 각 구성품의 납기가 계속적으로 지연이 되므로 부하량이 들쭉날쭉하다. 특히 DBR의 버퍼관리 적용을 위하여 Thruster 공장을 대상으로 2009년 7월 ~ 9월까지의 3개월간 잔업(Overtime)율을 조사해 본 결과 약 27.6%가 되었다.

## 2) 제약조건 찾아내기

구성부품의 결품과 고객의 납기 변경에 대한 체계적인 분석을 통해, Thruster 공장의 제약조건을 찾아내고자 한다. 공장의 주요 자재에 대한 7 ~ 9월의 평균 납기준수율을 분석한 결과 다음 <그림-9>와 같다

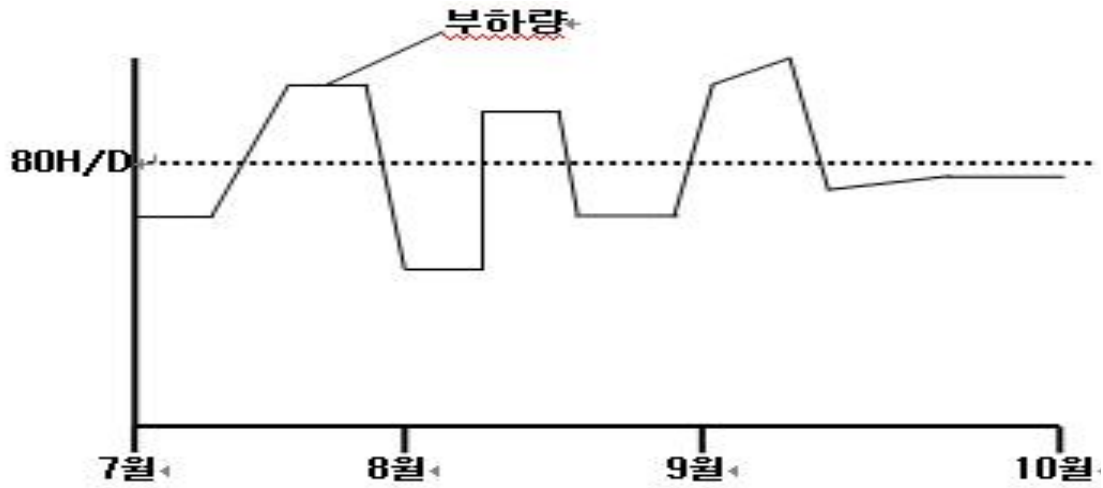
공급자 제약조건을 개선하기 위한 방법으로 본 연구에서는 납기준수율이 아주 낮은 Shaft에 대한 버퍼관리를 진행하였다. 그리고 이 공장의 7월 이후부터 생산이 시작되는 주요 고객사별 납기일정과 생산일정, 리드타임에 대한 정보를 살펴보면 다음 <표-3>과 같다.

<표-3>에서 볼 수 있듯이 고객이 요구하는 납기일을 기준(실제 작업일 기준)으로 세운 생산일정 계획을 살펴보면 평균리드타임이 약 69일 정도 소요된다. 물론 위의 일정계획은 고객과의 계약 당시 체결된 초기 납기일을 기초로 하였으나, 실제 생산이 시작되고 난 이후에는 <표-4>에서 볼 수 있듯이 고객의 생산 일정에 따른 납기일 변동폭은 아주 크다

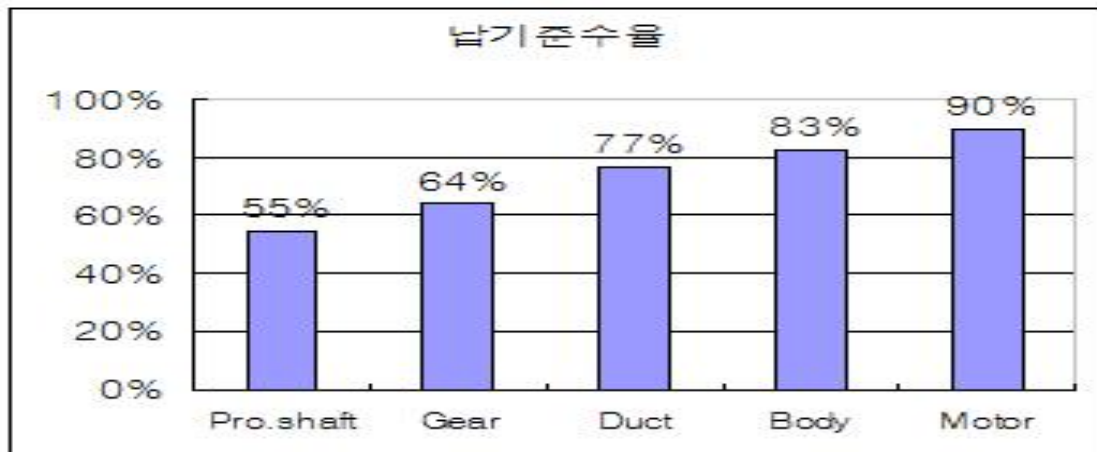
조립생산시스템을 위한 DBR 적용 사례연구

<표-2> 생산 제품의 조립시간

No	Project	TYPE	Delivery	Working Time
1	H-4103	CT-315	2009-01-07	286.0
2	SB-450	CT-165	2009-01-12	177.0
3	H-4101	CT-260	2009-01-15	201.0
4	S-1163	FT-185	2009-01-17	144.0
5	S-2001	FT-165	2009-01-17	187.0
6	S-1164	FT-185	2009-01-19	172.0
7	H-4437	CT-200	2009-01-25	194.0
8	H-4437	CT-220	2009-02-05	222.0
9	S-1174	FT-185	2009-02-23	246.5
10	S-2002	FT-165	2009-03-03	197.0
11	H-4438	CT-200	2009-03-08	220.0
12	SB-451	CT-165	2009-03-10	87.5
13	N-131	CT-280S	2009-03-28	436.0
14	H-4438	CT-220	2009-03-31	221.0
15	H-4107	CT-315	2009-04-07	157.5
16	S-2003	FT-165	2009-04-25	345.5
17	S-1175	FT-185	2009-05-13	260.0
18	N-132	CT-280S	2009-05-24	474.5
19	S-2004	FT-165	2009-06-14	187.5
20	H-4108	CT - 315	2009-07-06	450.0
21	N-138	CT - 280	2009-07-27	375.5
22	S-2005	FT - 185	2009-07-28	187.5
23	S-1186	FT - 185	2009-08-22	195.0
24	H-1537	CT - 280	2009-09-13	361.0
25	H-4111	CT - 315	2009-09-15	429.5
26	H-4442	CT - 220	2009-09-23	189.0
27	S-2006	FT - 185	2009-09-26	173.0
28	H-1694	CT - 220	2009-10-10	205.0
29	S-1187	FT - 185	2009-10-20	177.0
30	S-2018	FT - 185	2009-10-20	188.0
31	N-139	CT - 280	2009-10-21	371.0
32	H-5272	CT - 220	2009-11-01	217.0
33	S -2019	FT - 185	2009-11-08	175.0
34	H-4105	CT - 315	2009-11-25	321.0
35	H-4109	CT - 315	2009-11-29	305.0
36	H-4443	CT - 220	2009-12-09	198.0
37	H-4441	CT - 200	2009-12-20	231.0
38	N-140	CT - 280	2009-12-23	415.5
39	H-5273	CT - 220	2009-12-27	245.0



<그림-8> 공장의 생산 부하량



<그림-9> 주요 부품의 평균 납기준수율

<표- 3> 납기일 기준 생산일정

No.	Project	TYPE	START	Delivery	LEADTIME(Day)
1	H-4108	C - 315	3/25	7/6	74
2	H-4439	C - 260	4/1	7/13	72
3	N-138	C - 280	4/14	7/27	67
4	S-2005	F - 185	4/19	7/28	69
5	S-1186	F - 185	5/4	8/22	66
6	H-1537	C - 280	5/30	9/13	68
7	H-4111	C - 315	5/20	9/15	71
8	H-4442	C - 220	6/8	9/23	69
9	S-2006	F - 185	6/15	9/26	73
10	H-1694	C - 220	6/22	10/10	61
11	S-1187	F - 185	6/27	10/20	72
12	S-2018	F - 185	6/30	10/20	64
13	N-139	C - 280	7/6	10/21	67
14	H-5272	C - 220	7/13	11/1	80
15	S -2019	F - 185	7/22	11/8	73
16	H-4105	C - 315	7/19	11/25	63
17	H-4109	C - 315	7/27	11/29	65

수주 당시에 고객의 초기 요청에 의한 납기일은 약 10일 내외로 변경되며, 긴급할 경우에는 1 ~ 2개월 단축되는 경우가 많아 실제로는 생산 우선순위와 일정이 아주 복잡하다. 따라서 고객의 납기 변경에 충분히 생산일정을 보호하기 위하여 생산 리드타임을 단축시키고, 공급자 제약조건로 알려진 공정에 충분한 부품을 공급받아 재고로 가져가야 한다.

### 3) DBR의 적용(버퍼관리)

Thruster 공장의 제약조건은 Propellar Shaft 공정으로 인하여 리드타임이 길어지고, 납기 변경에 따른 부하의 급격한 변동 및 생산 일정의 불안정 등으로 기인한다는 것을 파악할 수 있게 되었다.

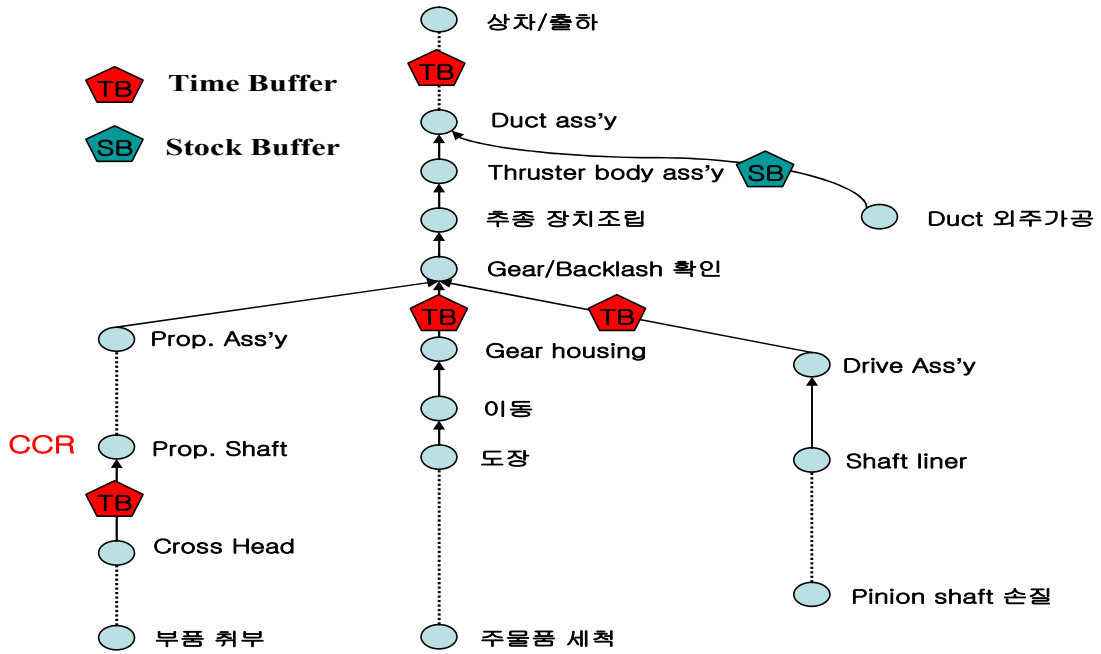
따라서 본 연구에서는 DBR의 버퍼관리 방법을 적용을 위하여 공급자 제약조건인 부품에 대해 집중적인 버퍼관리를 통해 생산일정의 안정화와 리드타임을 단축시켜 고객의 일정변경에 충분히 대처하여 공정을 개선하고자 하였다. 이 공장의 주요 공정상의 시간버퍼와 재고버퍼의 적절한 위치는 <그림-10>과 같다. DBR 버퍼관리는 공급자 제약조건과 대부분의 조립 공정에 대해서는 시간버퍼를 적용하였으며, 외주 공정에는 재고버퍼를 적용하였다.

<표-4> 변경된 납기일

No.	Project No.	TYPE	START	Delivery	변경일	변경폭(+)
1	H-4108	C - 315	3/25	7/6	7/1	-5
2	H-4439	C - 260	4/1	7/13	7/10	-2
3	N-138	C - 280	4/14	7/27	8/15	16
4	S-2005	F - 185	4/19	7/28	7/19	-8
5	S-1186	F - 185	5/4	8/22	9/4	17
6	H-1537	C - 280	5/30	9/13	9/22	9
7	H-4111	C - 315	5/20	9/15	9/1	-12
8	H-4442	C - 220	6/8	9/23	8/30	-22
9	S-2006	F - 185	6/15	9/26	9/10	-13
10	H-1694	C - 220	6/22	10/10	10/30	18
11	S-1187	F - 185	6/27	10/20	9/14	-33
12	S-2018	F - 185	6/30	10/20	10/28	6
13	N-139	C - 280	7/6	10/21	11/6	14
14	H-5272	C - 220	7/13	11/1	10/19	-11
15	S -2019	F - 185	7/22	11/8	11/1	-6
16	H-4105	C - 315	7/19	11/25	10/27	-26
17	H-4109	C - 315	7/27	11/29	12/26	27
18	H-4443	C - 220	7/30	12/09	12/6	-7
19	H-1728	C - 280	8/11	12/14	12/20	6
20	H-4441	C - 200	8/19	12/20	1/7	15
21	N-140	C - 280	8/25	12/23	1/20	27
22	H-5273	C - 220	8/30	12/27	1/15	14

결국 DBR의 버퍼관리는 작업현장을 통제하는 방법이며, 계획 대비 실적으로 모니터링 하면서 시간버퍼를 관리하여 전반적인 공정을 개선하게 된다. 이 공장의 초기 버퍼의 크기는 3 주간(주 근무일 : 5일 기준)으로 설정하여 <그림-11> 처럼 신속처리 / 추적 / 안전구역으로 나누어 공급자 제약조건에 대한 버퍼관리를 4개월간 시행하였다. 초기에는 많은 혼란이 있었지만, 전 직원들을 대상으로 한 DBR교육과 더불어 현장 적용을 통하여 약 2개월이 지난 뒤에서 전체 재고량과 리드타임이 점진적으로 줄어들게 되었다.

조립생산시스템을 위한 DBR 적용 사례연구



<그림-10> 공장의 시간버퍼와 비축버퍼의 위치

4. DBR의 적용 효과

이 공장에 DBR의 버퍼관리를 약 4개월간 적용해 본 결과, 개략적인 개선 효과는 수주부터 출하까지의 리드타임의 감소와 구성부품 및 완제품의 재고량이 감소하는 개선효과를 보게 되었다.

	12월 19일(월)	12월 12일(월)	12월 5일(월)	
	1576+	1563+	1558+	금요일 18시
	1584+	1560+	1528+	
	1571+	1544+	1540+	월요일 8시
	1555+	1539+	1538+	
	1567+	1545+	Job No. 1536+	
	안전구역	추적 구역	신속처리 구역	
최적상태	20% 도착	60~70% 도착	계획대비80~90% 도착	

<그림-11> 초기 3주간의 버퍼 크기 설정



## V. 결 론

본 연구에서는 실제 제조현장에서 일어나는 다양한 경영환경들에 대한 문제점들과 불확실성을 극복하기 위하여 TOC의 생산관리 방법인 DBR을 제조공정에 적용하여 그 효과성과 우수성을 살펴보았다.

DBR은 전체 공정에서 제약자원에 모든 것을 집중하여 관리함으로써 현실적으로 생산 현장에서 쉽게 적용하기 힘들었던 기존의 다양한 경영혁신 방법들에 비해 현장 작업자들이 사용하기에 다소 용이하고 보다 신속한 적용으로 단기간에 효과를 볼 수 있었다.

본 연구에서는 조립공정에 DBR을 적용하여 생산성을 향상시키고자 하였으며, 특히 A형의 조립공정에 DBR을 이용하여 안정적인 제품 생산 및 전체적인 리드타임 감축하고자 하였다. 결과를 요약하면 첫째, TOC/DBR을 조립생산시스템에 적용한 결과 그 즉시 안정화되는 경향을 나타내었으며, 안정화를 바탕으로 한 관리를 통하여 획기적으로 고객 납기율을 향상시켰다. 둘째, 제약을 파악하고 집중하여, 그 활용을 통해 추가적인 투자를 하지 않더라도 높은 생산성 향상을 이룩하게 되었다.

향후 연구에서는 다양한 사례를 통한 실증연구 및 이에 따른 검증이 요구되며, 제조업체들의 경쟁력 향상에 TOC가 얼마나 기여하는지를 파악하고 분석하는 것이 필요하며, 다른 TOC 관련 기법들의 적용 사례에 대한 연구가 지속적으로 이뤄져야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- 고시근, 김재환(2002), “안정된 수요를 갖는 생산라인에서 칸반을 사용한 DBR 시스템 구현”, IE Interfaces, 15, pp.99-106.
- 고시근, 윤훈용(2001), “제약이론에서 제약버퍼의 크기 결정”, IE Interfaces, 14, pp.334-340.
- 구평희, 고시근, 하재원(2003), “TOC구현을 위한 스프레드시트 활용 사례”, 대한산업공학회/한국경영과학회 2003 춘계공동학술대회 논문집, pp.638~641.
- 문제창, 임석철(2001), “제약이론 기반이 기업이익 최적화 방법론”, IE Interfaces Vol 14, No.4, pp.356-364.
- 신정훈(2005), “DBR을 이용한 생산일정계획 시스템에 관한 연구”, 부산대학교 석사학위논문.
- 이성진, 선지용(2003), “제약이론의 DBR 스케줄링 기법을 이용한 생산 스케줄링 시스템 개발”, 대한산업공학회 2003 추계학술대회 논문집.
- 이준영(2004), “TOC/DBR 생산관리 시스템 도입에 대한 실증 사례 분석”, 경북대학교

석사학위논문.

정남기(1999), “TOC 제약경영”, 대청.

정남기(2002), “TOC 골든 룰”, 한언.

정남기, 정문기(2001), “TOC와 6시그마의 협력방안”, 품질혁신, 제2권 제1호, pp.41~48.

최정길, 김수진, 주정민, 정선화, 정남기(2001), “DBR기반의 APS시스템 상세설계”, IE Interfaces, 14, pp.348-355.

함정근(2002), “버퍼와 버퍼관리”, 대한산업공학회/한국경영과학회 2002 춘계공동학술대회 논문집.

함정근, 최원준(2005), “TOC 동기화 경영”, 동양문고.

Balakrishnan., J., and Cheng., C. H.(2000),, ”Theory of constraints and linear programming: a re-examination”, *International Journal of Production Research*, 38, pp.1459-1463.

Dettmer, H. W.(1997), “*Goldratt's Theory of Constraints: A Systems Approach to Continuous Improvement*”, ASQ Quality Press.

Fredendall, L.D., and Lea, B. R.(1997), “Improving the product mix heuristic in the theory of constraints”, *International Journal of Production Research*, 35, pp.1535-1544.

Goldratt(1992), E. M., and Cox, J., “*The Goal*”, Second revised edition, North River Press, 1992.

Goldratt(1990), E. M., “*The Haystack Syndrome*”, North River Press.

Goldratt, E. M., Schragenheim, E., and Ptak, C(2001)., “*Necessary but Not Sufficient: A Theory of Constraints Business Novel*”, Ashgate Pub Co.,

Gupta., M., Ko., H. J., and Min., H.(2002), “TOC-based performance measures and focusing steps in a job-shop manufacturing environment”, *International Journal of Production Research*, 40, pp.907-930.

Lockamy III., A., and Spencer, M. S(1998)., “Performance measurement in a theory of constraints environment”, *International Journal of Production Research*, 36, pp.2045-2060.

Miltenburg., J.(1997), “Comparing JIT, MRP, and TOC and embedding TOC into MRP”, *International Journal of Production Research*, 35, 4, pp.1147-1169.

Mokshagundam L., Srikanth, M., and Umble, M.(1997), “*Synchronous management: profit-based manufacturing for the 21st century*”, Spectrum Publish.

Onwubolu, G. C.(2001), “Tabu search-based algorithm for the TOC product mix

- decision”, *International Journal of Production Research*, 39, pp.2065-2076.
- Onwubolu, G. C., and Mutingi. M(2001), “Optimizing the multiple constrained resources product mix problem using genetic algorithm”, *International Journal of Production Research*, 39, pp.1897-1910.
- Simons Jr., J. V., Simpson III, W. P., Carlson, B. J., James, S. W., Lettiere, C. A., and Mediate Jr., B. A(1996)., “Formulation and solution of the drum-buffer-rope constraint scheduling problem(DBRCSP)”, *International Journal of Production Research*, 34, 9, pp.2405-2420.
- Stein, R. E(2003)., “*Re-Engineering the Manufacturing System*”, Second Edition, Marcel Dekker, Inc..