

Fluid Control 자재 생산라인에 TOC/DBR을 적용한 프로세스 개선

A Study of the Process Improvement for the Fluid Control Factory Based on TOC/DBR

현승용*, 박혁준**

Hyun, Seung Yong · Park, Hyuk Jun

Abstract

Fluid Control materials which control the flow of fluid and gas and play a role in connecting pipelines are a kind of a machine part used in diverse sectors such as shipbuilding, construction and car industry. As Fluid Control materials industry which has rapidly grown as of 2012, S company this study conducted is best-known, constructs unequalled field. But the part of production process needs to be reformed as the side effect caused by the rapid growth. This study examines the ways to reform the production process by using TOC/DBR. In the whole process of production demand, cut and T/C, the problems found in each process were improved and T/C process was recognized as the most restricted process during this process. As a result, the utilization of machine equipment becomes more efficient and the due-date performance is improved.

핵심주제어 : Fluid Control, TOC, DBR, 프로세스 개선

I. 서론

Fluid Control 자재란 어원 그대로 유체(Fluid)를 통제(Control)하는 제품에 사용되는 부품을 통칭한다. 조선기자재를 비롯한 육상 플랜트, 건설, 자동차 부품에 이르기까지 전 업종에 사용되어지므로 넓은 시장범위로 인해 밝은 미래전망을 가지고 있다. 그러나 현재 중소 Fluid Control 자재업체들은 외적인 불경기와 더불어 다품종 소량의 긴급 수주라는 업계특성과 시설 장비의 노후화로 인한 품질문제, 다양하면서도 연속성 없는 공정에 대한 총체적인 생산기술 및 공정관리 부족, 빈번한 수주 변경 등 많은 현실적 어려움에 처해있다.

이를 위해 중소 Fluid Control 자재업체들은 수많은 공정과 불규칙적이며 변화무쌍한 생산 환경 안에서 최대한 지체와 낭비를 줄이고, 긴급발주와 다품종 소량생산이라는 문제에 보다 더 효율적으로 대응하기 위한 경쟁력을 갖추어야 한다. 즉, 전체 생산스케줄을 간섭하지 않으면서 불규칙한 패턴의 긴급수주물량에 대한 대응력을 향상시킬 수 있는 유연한 운용능력이 필요하다 하겠다.

* 동아대학교 경영학과 교수

** (주)신일에이스 생산팀장

따라서 본 연구는 불규칙적 수주와 긴급 발주 환경의 스케줄 관리로 많이 사용되고 있는 TOC(Theory of Constraint: 제약이론)의 DBR(Drum-Buffer-Rope)을 Fluid Control 자재 분야의 중추적 역할을 하는 Instrument Fitting과 High Pressure Valve 생산 공정에 적용시켜 개선책을 모색하고자 한다. 그리고 공정개선 전·후의 자료비교를 통해 개선 결과를 확인하고자 한다.

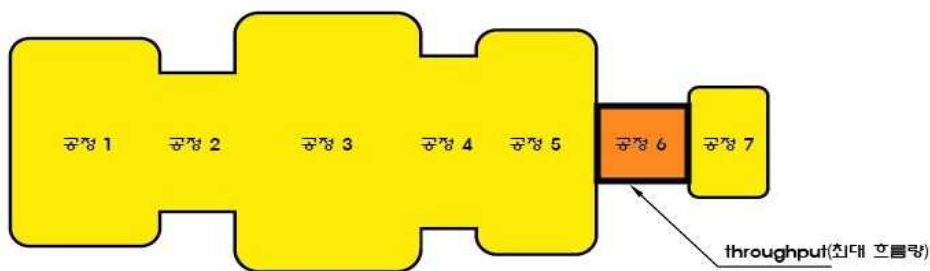
II. 이론적 고찰 및 문헌연구

1. TOC (Theory of Constraint : 제약이론)

세계 경제의 최강자로서 위치하고 있던 미국은 보다 효율적인 생산구조를 바탕으로 비약적 발전을 이룩한 일본에 밀려 경제적 위기에 봉착하게 된다. 당시 일본의 대표적인 생산전략은 토요타 생산 방식으로써, 소품종 대량 생산방식에 특화된 생산기법이였다. 이에 미국은 보다 혁신적인 생산방식을 필요로 하였고, 이스라엘 물리학자 Goldratt(1984) 기업 생산 스케줄링 기법에 관련한 제약이론(TOC : Theory of Constraint)을 제시하였다.

TOC는 전체 공정 중 약한 공정이 전체 시스템의 제약요소이며, 제약요소가 전체 시스템의 능력을 결정짓기 때문에 개선해야 한다는 것이다. 전체 시스템 성능에 대해 만족할 수 없을 때, 내부에 산재해있는 제약요소를 찾아 고치면 가시적인 효과를 낼 수 있고, 제약요소가 아닌 다른 요소의 개선은 시스템 전체의 개선에 효과가 없다는 것이 TOC의 내용이다.

<그림 1>은 최초 공정이 여러 가지 공정을 거쳐서 완성공정으로 진행되는 과정으로, 공정상 길이나 내용보다는 폭이 가장 작은 ‘공정 6’이 전체 시스템의 제약공정이 된다. 공정 전체 흐름의 속도를 판가름하는 최대흐름량(Throughput)이 그곳에서 산출되기 때문이다. Goldratt 박사는 비제약공정의 개선은 공정 전체의 최적화와 같지 않다고 주장하며 제약요소에 집중해야 한다고 하였다.



<그림 1> 제약이론(TOC)의 개념도

또한 제약이론의 기본은 목표달성에 있어서 모든 조직은 제약요소를 내재하고 있다는 것에서 시작되며, <그림 2>와 같은 반복 과정을 거쳐 지속적인 개선이 이루어져야 한다.



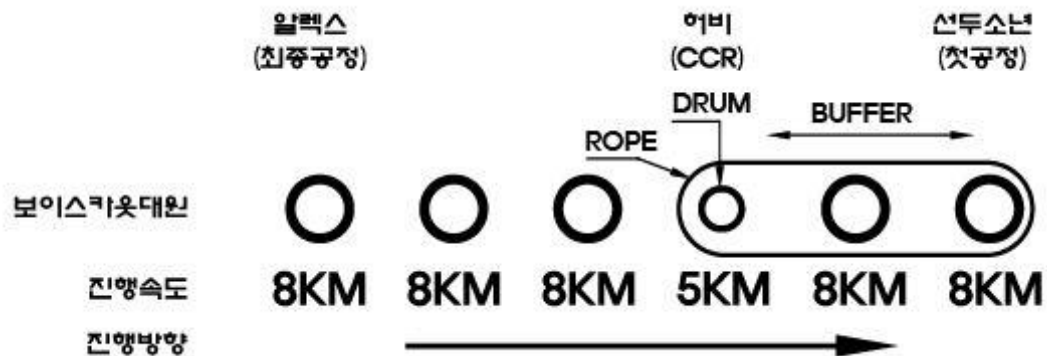
<그림 2> 제약 이론의 전개 과정

(자료 : 한국 TOC 컨설팅 <http://www.ktoc.co.kr/index.htm>)

제약이론은 생산의 스케줄링 문제를 해결하는 과정에서 점점 마케팅과 경영전략, 관리회계와 측정지표, 프로젝트 관리, 정보시스템 및 조직변화 관리, 즉 기업 경영의 전사적인 부분에 적용되는 사상과 철학, 과학적이고 논리적인 사고 과정으로 발전하게 된다.

2. DBR(Drum-Buffer-Rope : 버퍼 관리)

DBR 방식은 Goldratt(1984)이 The Goal이라는 책을 통하여 <그림 3>과 같이 보이스카우트 단원들의 가두행진을 인용하여 원리를 설명하였다. DBR은 공정 내의 제약자원을 도출하여 가장 효율성 있게 활용하고 비 제약자원을 제약자원에 종속시켜 제약자원이 생산의 흐름을 통제하도록 함으로써 개선의 효과를 극대화시켜 준다.



<그림 3> DBR 스케줄링의 예시 - 보이 스카우트 행진

상기 그림에서 Drum과 Buffer, Rope, CCR,을 볼 수 있다. 이는 TOC/DBR의 가장 기본적인 구간이 되는 요소이며, 원리이다. 가장 속도가 느린 시속 5Km의 소년, 즉 허비인 Drum은 공정 내에서 생산 능력이 가장 낮은 제약요소이며, 전체 공정의 생산속도를 결정한다.

여기서 CCR이란 Capacity Constraints Resource로 전체 공정의 생산 속도를 결정하는 능력 제약자원을 뜻한다. 제약이론에서 모든 공정은 CCR을 고려하여 전체 시스템의 보조를

결정한다. 선두소년과 허비의 완충역할을 하는 Buffer는 허비가 행군을 하는데 허비 앞의 소년이 문제가 생겨도, 허비는 쉽 없이 행군할 수 있도록 하는 역할을 한다. Rope는 행군이 이뤄지는 행렬의 기준이 모두 허비 즉 Drum에게 맞춰 질수 있도록 하는 역할을 한다.

하지만 TOC/DBR가 매우 단순한 원리로 이루어져 있다고 해도, 현장에서 쉽게 적용 실행이 되지 않는다. 이는 경영자의 확고한 의지와, 우수한 결과를 위한 확실한 교육이 회사 내 전사적으로 이루어져야 되기 때문이다. 어떠한 시스템이라도 이런 사항이 지켜지지 않는다면 Process 개선이 이루어지지 않는다.

3. 선행연구

TOC관련 연구사례들을 살펴보면, TOC 단독 개념의 적용도 많이 이루어지고 있고 나아가 그 역할을 확대시키기 위해 SIX SIGMA와 ERP, MRP와 결합된 형태로 많이 연구되고 있다. TOC로써 제약요소를 도출하고 지속적 개선을 시행한 후 SIX-SIGMA로써 점검하여 그 효과를 극대화시키고, TOC와 MRP, ERP를 연동 운영하여 재고 감소와 수요에 대한 대응 능력 향상, 그 외에도 보다 더 전사적인 기업 운영의 활용방안이 연구되고 있다.

김승권(2010)은 반도체 조립공정에 TOC를 접목한 연구에서 Wire 공정을 제약요소로 판단하고, Wire Bonding 공정에서 Wire Factor작업을 실행함으로써 자원소요계획이 간편하게 구축되고 전체공정이 보다 신속하게 진행될 수 있음을 보였다. 조종래·하재원(2006)은 다품종 소량생산 시스템 라인의 계획 생산품 비중이 낮고 체계화되지 않은 생산공정에 TOC와 SIX-SIGMA를 활용한 총체적인 개선을 연구하였다. 이를 위해 도료 공장의 공정에서 문제를 도출하여, TOC의 TP(Thinking Process)기법을 이용하여 지속적인 개선을 실시하였으며, Six-Sigma에 TOC-TP적용한 Process 개선 방법론을 제시하였다.

김우상(2009)은 생산라인에 TOC를 이용한 생산운영체계와 DBR을 이용한 스케줄링에 관한 연구를 실시하였다. 절삭 가공기계를 전문적으로 생산하는 회전기공의 생산라인에 TOC/DBR을 ERP와 결합 적용하여 기존의 MRP와 ERP의 한계점을 TOC/DBR로 극복하고자 하였다. 전체 공정에서 황삭공정을 제약요소로 판단하고, DBR 스케줄링에 근거 황삭공정의 Throughput을 기준으로 전 공정의 일정을 재구축하였다. 그 결과 생산 리드타임의 단축과 더불어 재고 운용 및 생산요청에 대한 대응력이 향상되었다.

TOC/DBR은 제약요소에 근거한 최대흐름량 기준 스케줄링으로 다품종 소량, 소품종 대량 생산을 막론하고 효율적인 결과를 도출 해낼 수 있다는 장점 때문에 현재 생산스케줄 개선과 흐름량 구축 개선에 많이 사용되고 있다. 하지만 Fluid Control 자재 산업에서는 TOC/DBR과 관련한 선행연구가 전무하며 따라서 TOC/DBR을 활용한 Fluid Control 자재 산업의 개선의 사례를 제시하고자 한다.

III. TOC에 의한 공정분석 및 문제점 파악

1. 사례기업 소개

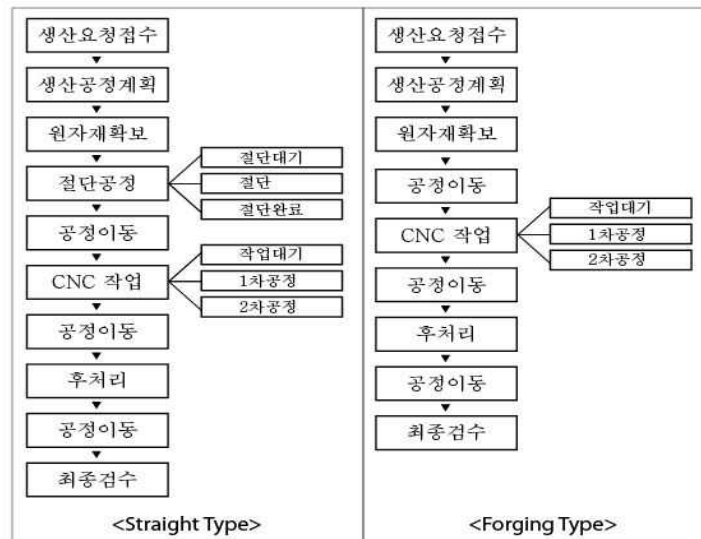
S사는 1997년 창립이후 매출 180억원, 직원 68명의 중소기업으로 주요 생산 품목으로는 High Pressure Valve와 Instrument Fitting있으며, Special Type의 Fitting과 Valve도 자체

개발 제작하고 있다. CNC를 비롯한 최첨단 장비를 보유하고 있고, 자체 단조공장을 보유하여 소재를 자체생산 함으로써 원가절감과 품질향상을 기하고 있다. 고객요구에 부합하기 위하여 현재 용접물량을 생산하는 2공장, 자재 창고, 그리고 Forging 소재를 생산하는 3공장으로 운영되고 있으며 그 영역을 확대하고 있다. 또한 국내 대형 조선소와 건설업계 및 세계 유수의 관련 업계와 끊임없는 R&D를 거쳐 동종업계에서 입지를 넓혀가고 있다.

하지만 급격한 성장과 다양한 제품군으로 인해 생산 구조와 내부 운영체계에 많은 문제점이 드러나고 있다. 따라서 본 논문에서는 급격한 성장으로 인한 내부 시스템 미비와 생산 운영체계의 비효율성으로 인한 문제점 등 내부에 산재하고 있는 많은 문제점 중 생산 가공공정의 문제점을 중심으로 TOC/DBR을 적용하여 개선해보고자 한다.

2. S사의 생산공정

Instrument Fitting과 High Pressure valve의 특성상 고온 고압 환경에 견뎌야 하기 때문에 주로 경도가 높은 소재를 사용하며, 가공 장비와 공정의 특성들이 이러한 요소들을 반영하고 있다. 크게 직선형 Instrument Fitting과 High Pressure Valve Type 제작시 사용되는 Straight type Sawing공정과 곡각형 Instrument fitting과 High Pressure Valve Forging Type 제작시 사용되는 Forging공정 두 가지로 나뉘며 <그림 4>, <그림 5>와 같다.

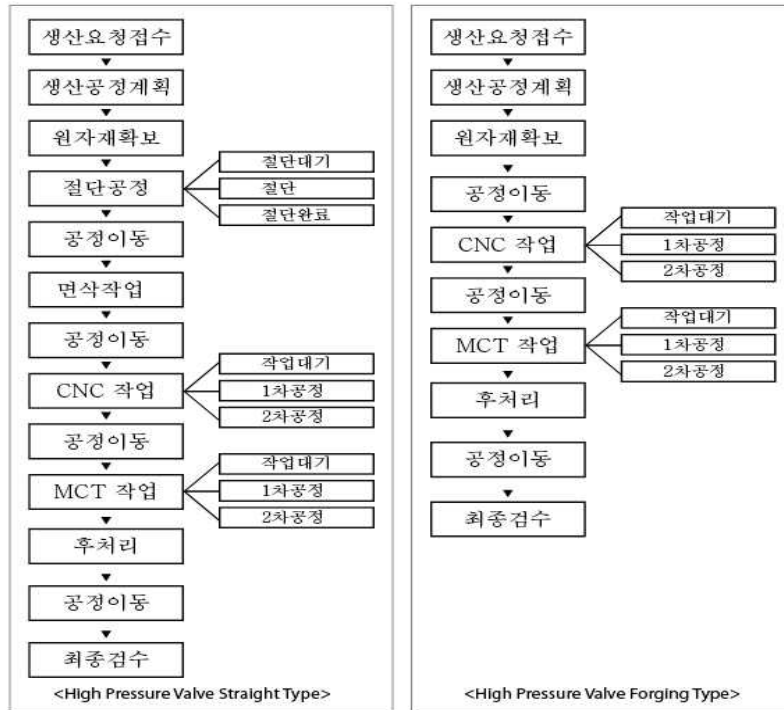


<그림 4> S사의 Instrument Fitting의 Straight / Forging type 생산공정도

High Pressure Valve의 경우 Instrument Fitting보다 가공성이 낮고 난이도가 높아 Turning Center외에 MCT가공이 필요하며 더 많은 단계의 공정을 거친다. 공정 중 면삭작업은 금속 표면을 필요한 형상이나 표면 정도로 가공하는 작업이며, CNC(Computer Numerical Control)는 수치정보를 통해 자동으로 기계를 제어 하는 방식인 NC(Numerical Control)에서 컴퓨터가 내장되어 있는 것이다. 보통 단품과 정밀도의 요구치가 높지 않은 제품은 Lathe(선반)를 이용하여 제작하지만, Instrument Fitting과 High Pressure Valve의 경우 요구되는 정밀도가 높기 때문에 Turning Center(T/C)에서 CNC 작업이 이루어진다.

MCT(Machining Center)는 CNC밀링과 같은 다수의 공구가 자동으로 교체되면서 가공이 가능한 기계로 주로 복잡한 외형 작업과 정밀 편심 홀 가공에 활용된다.

S사는 생산품목별 공정차이가 있지만, Instrument Fitting과 High Pressure Valve 대부분이 T/C공정을 필수적으로 거치게 된다. 소재의 질과 후처리 등 여러 공정들이 품질에 영향을 끼치지만, 실질적으로 T/C 가공이 제품 완성도와 공정 구성에 가장 큰 비중을 차지한다.



<그림 5> "S"사의 High Pressure Valve Straight Type / Forging Type 생산공정도

3. TOC에 의한 제약 분석

S사는 70% 이상이 다품종 소량생산과 불규칙적인 긴급수주에 의한 생산이며, 원자재로 사용되는 소재가 다양하고 규격의 변동성이 크기 때문에 공정상의 Module화 구축이 매우 어렵다. 하나의 제품은 최소 5공정에서 많게는 10공정을 거쳐야 하며, 긴급생산요청이 있는 경우 진행 중인 공정의 중단으로 지연과 예상스케줄의 변동으로 납기준수에 어려움이 많다.

Fluid Control 자재 생산의 첫 시작인 생산가공공정의 지연은 부차적 검수, 조립, 최종검수 일정을 연쇄적으로 지연시킴에 따라 전체 공정에서 가장 큰 제약요소이다. 특히 생산요청접수와 생산일정구축 공정, 소재수급 및 절단 공정, 그리고 T/C공정은 현 S사의 생산가공 공정 제약요소로 구분할 수 있으며, 각 공정별로 산재해 있는 문제점과 개선점을 찾은 후 DBR을 활용하여 전체 공정의 개선점을 제시하고자 한다.

3.1 생산요청접수와 생산일정구축 공정

생산가공공정의 출발점인 생산요청공정에 산재해 있는 제약요소는 전체 공정에 악영향을

끼친다. 생산요청 공정은 재고와 개발에 의한 요청이 20%, 나머지는 수주에 의한 요청이다. <표 1>와 같이 영업, 개발, 자재, 생산, QA 등 관련 모든 직원들이 요청할 수 있으며, 접수된 생산요청서에 근거하여 생산일정을 구성하고 상시 생산지시가 이뤄진다.

실질적으로 생산요청공정은 생산일정을 수립하는 공정으로 신속한 생산보다는 효율성 있고 체계적인 생산공정 분배와 생산 가공 설비 활용의 극대화가 필요한 과정이다. 신속한 업무처리로 따져 보았을 때는 TOC중 Drum으로 판단되나, 개선의 여지를 많이 산재하고 있기에 결과적으로 Buffer를 발생시킨다.

부서	생산요청품목	요청목적	생산유형
개발부	신규개발 샘플	설계 승인 및 양산 적합성 여부	극소량 다품종 및 설계 변경으로 인한 많은 준비 시간
영업부	수주 품목	수주에 의한 판매	출하 기일에 기준한 기한생산 및 긴급생산
자재부	Stock	적정 재고 유지	스케줄 구축이 가능한 기한 생산
생산부	생산기재	생산되는 제품을 가공하기 위한 공구 및 받침대	보통 생산기재 파손이나 개발 목적으로 제작되기 때문에 긴급생산의 유형.
QA부	검사기재	신규 개발건과 기존 제품 Testing 치구	검사 기일을 기준한 기한 생산

<표 1> 생산요청의 형태 및 유형

S사는 특성상 다품종 소량생산, 긴급생산요청으로 생산일정에 대한 고려 없이 무분별한 생산요청이 이루어지고, 그 결과 납기 준수 비율 감소, 가공절차 간소화로 인한 품질저하, 가공 공구의 잦은 교체로 비용적인 손실도 매우 크다. 부차적으로 생산요청자의 실수로 발생하는 중복 요청과, 기존 재고를 보유하고 있음에도 재차 생산됨으로 생겨나는 관리비용 및 시간적 손실이 발생하고 있다.

S사에서는 생산요청서가 접수되고 대표이사 승인이 떨어지면 수주생산일정표에 등록한 후 생산가공부에 생산지시가 하달된다. 생산가공일정은 기본 지시하달일 기준으로 완성까지 Instrument Fitting의 Straight Type은 9일, Forging Type은 12일, High Pressure Valve의 Straight Type은 12일, Forging Type은 15일을 기본으로 한다. 여기서 중요한 점은 생산요청서의 납기와 현재 진행되고 있는 작업, 그리고 대기 중인 작업과 효율적인 공정분배가 필요하다.

하지만 S사는 납기에 대한 고려보다 설비운용의 편이에 우선순위를 두고 제품 규격과 원소재가 상응하는 설비에 작업이 배정된다. 이러한 방식은 앞선 생산요청자의 다분화로 인해 발생하는 Buffer와 더불어, 납기 관리와 효율적인 공정 계획의 Buffer가 발생 하는 것이다. 즉 배정된 설비가 과부하 이거나, 긴급납기품목이 겹쳐지게 되면 기존 일정대로 진행되고 있는 품목에 대한 납기의 병목현상이 발생되기 때문이다.

3.2 원자재 확보 공정과 절단공정의 제약요소

S사의 원자재는 Standard 규격과 Special 규격이 있으며, 사용빈도가 높은 Standard 소재는 상시 적정재고량을 보유하고 있기 때문에 원소재 확보로 인한 공정진행 시간은 비교적 짧은 편이다. 그러나 소재 입출고와 절단공정 일정의 구성, 소재의 공정간 이동, 절단 수량

과 규격별로 발생하는 기계별 시간차로 인해 시간적 손실이 발생하고 있다.

이는 이전 공정인 생산요청공정에서 발생하는 제약요소의 연장으로, 생산요청자의 다분화와 다발적인 생산지시 하달로 인한 부작용이 원자재 확보와 절단 공정의 병목현상을 발생시킨다. 절단공정 역시 소재 및 규격별로 설비가 구분되어 있어 폐기물 수거가 용이하고 준비시간 절약 등의 장점이 있으나, 다품종 소량 생산 및 긴급수주에 효율적이지 못한 운용이 발생되어 한계점을 드러냈다.

3.3 Turning Center 공정의 제약요소

S사의 Turning Center 공정은 스크랩 수거의 용이성과 작업준비시간을 절약하기 위해 역시 소재와 규격별로 설비를 구분하고 있다. Straight type은 S사에서 가공하고 있으며, Forging Type은 아웃소싱되기 때문에 본사 생산가공라인에 배분되지 않는다. 총체적인 수요량과 평균 수주 및 생산량에 근거하여 T/C에 배치하고 있지만, 불규칙적 수주와 긴급생산요청이 주를 이루는 환경은 규격별 T/C 공정에서 대기 품목의 수량차이를 발생시킨다.

전체적으로 SUS소재를 위한 T/C 라인에 대기 공정이 많이 몰려 있다. 대형 10"는 T/C에 대기하고 있는 공정의 수가 현저히 낮은 반면 중형 8"은 T/C공정이 포화 상태이다. 즉 SUS 라인의 10"은 Drum이며 8"은 Buffer이다. 그리고 전체 T/C공정에서 Drum은 Brass소재 라인이며, Buffer는 SUS소재 라인이다.

IV. DBR을 활용한 제약공정의 개선

공정별로 발생하는 제약요소로 인한 공정지체도 있지만 더 큰 문제점은 S사의 생산요청 공정부터 시작해서 누적된 제약요소로 인한 병목의 발생이다. 따라서 이러한 문제들에 대해 해결책을 모색하고, 그 후 개선된 각 공정에 DBR을 적용하여 일정을 조율하는 효율적인 생산운영 방식을 구축하고자 한다.

1. 생산가공공정의 제약공정 개선

1.1 생산요청접수와 생산일정구축 공정개선

생산요청접수와 생산일정구축 공정에서 병목현상을 일으키는 가장 큰 요인은 생산요청자의 다분(多分)화와 생산일정구축 및 지시하달의 비주기화로 볼 수 있다. 이로 인해 기존 일정 진행의 어려움과, 생산라인 제대로 활용 되지 않는 문제점, 긴급납기에 대한 대응력 저하의 문제점이 발생한다.

생산요청품목	수량	생산요청일시	요청납기일	생산요청자
SBU316-10	10,000EA	2012-02-14-09:50	2012-03-14	자재 P사원
SNV316-10	2,000EA	2012-02-14-10:45	2012-03-14	벨브 S과장
SFU316-10	1,500EA	2012-02-14-19:55	2012-02-21	영업 K과장
SFUR316-30-20	1,000EA	2012-02-14-13:05	2012-03-02	영업 Y부장
RSB-S45C	2EA	2012-02-14-13:55	2012-02-15	생산 Y사원
SSV316-32	4EA	2012-02-14-15:00	2012-02-26	개발 P주임
SDUR C3604-25S-10S	30EA	2012-02-14-15:00	2012-02-16	영업 J차장

<표 2> 기존 생산요청 현황

<표 2>는 S사의 생산요청 현황으로 SBU316-10과 SFU316-10, SFUR316-30-20과 SDUR C3604-25S-10S는 원소재의 재질과 규격이 각각 같으므로 절단공정부터 T/C공정까지 같은 생산라인에 배정된다. 하지만 생산요청 순서대로 수주생산일정에 등록되고 절단공정에 생산 지시를 하달하면, 절단공정에 대기시키거나 투입한다. 절단 시간은 1EA당 20초로 10,000개 생산에 약 56시간가량이 걸리게 된다. 하지만 동일 설비에 긴급생산품목에 대한 생산지시가 하달되면, 진행 중이던 절단작업을 중단하고 긴급납기품목의 절단 작업을 처리한다. 그 과정에서 준비시간으로 인한 병목현상 즉 Buffer가 발생하게 된다.

절단공정의 Buffer 완화와 무분별한 생산 지시 하달로 인해 시간적 Drum인 생산요청 및 생산일정구축 공정에 완충 Rope를 구축하기 위하여 생산요청자들의 구조변경과 생산요청 접수시각을 지정하여 운영하는 상황을 <표 3>과 같이 가정해보았다.

품목	요청자	생산요청일자	납기	변경 전 접수시각	변경 후 접수시각
SBU316-10	생산요청담당 K과장	2012-02-14-09:50	2012-03-14	02-14-10:00	02-14-15:30
SFU316-10		2012-02-14-10:45	2012-02-21	02-14-10:55	
SDUR C3604-25S-10S		2012-02-14-15:00	2012-02-16	02-14-15:30	
SFUR316-30-20		2012-02-14-13:05	2012-03-02	02-14-13:10	
RSB-S45C	긴급처리담당 P사원	2012-02-14-13:55	2012-02-15	02-14-13:55	02-14-13:55
SSV316-32		2012-02-14-15:00	2012-02-26	02-14-15:00	02-14-15:00
SNV316-10		2012-02-14-10:45	2012-03-14	02-14-10:45	02-14-10:45

<표 3> 생산요청자 구조 및 생산요청 접수시각 변경 전·후

<표 3>은 생산요청자를 다분화 구조에서 긴급처리와 생산요청을 전담하는 두 명의 직원으로 구성한 것이다. 생산요청을 담당자가 취합하여 생산요청 단계에서부터 공통된 공정에 대한 모듈 계획을 수립하도록 하여 효율적인 생산일정 구축과, 기존 제약요소로 작용했던 생산요청의 혼선과 문제를 해결할 수 있었다.

또한 생산요청 접수기한을 설정해 즉각적인 생산 접수공정을 거쳐 생산 지시가 하달되더라도 곧바로 절단공정이 진행되지 않고, 평균 하루에서 이틀, 많게는 3일의 대기시간을 가지게 하였다. 즉각적인 생산지시 하달은 긴급품목에 대한 빠른 대응은 가능하지만, 납기기간이 길고 동일한 공정을 가진 품목에 대해서는 대기시간만 가중시킬 뿐이다. 따라서 생산요청접

수 과정에 기한을 설정하여 생산 일정을 구축하면, 동일한 공정을 가진 품목에 대해 Module 공정을 구축 할 수 있고 생산일정 구축 시 생산요청 품목의 납기스케줄에 대한 모니터링이 용이하며 효율적인 생산일정 구축이 가능하다.

1.2 소재수급 및 절단 공정의 개선

생산요청접수와 생산일정구축 공정의 개선은 Buffer인 소재수급 및 절단 공정과 Rope가 구축될 수 있는 조건을 만들어 준다. 즉 Buffer를 더욱 가중시키던 생산요청접수와 생산일정구축 공정은 문제개선을 통해 계산에서 배제되었고, Buffer 공정인 소재수급 및 절단 공정을 개선하여 Buffer와 Drum의 Rope를 도출하고자 한다. 소재수급과 절단 공정은 생산 지시가 하달되는 즉시, Standard 소재를 절단공정 대기열에 적재하고 대기번호를 등록한다. 하지만 긴급발주가 빈번하여 정해진 일정에 따라 생산되는 품목에는 적합하지 못한 방식이며, 가장 느린 공정인 Buffer에 기준한 스케줄링을 해야 하는 DBR에 어긋나는 방법이다.

절단공정은 <표 4>와 같이 총 7대로 소재와 규격별로 운영되고 있으며, 모두 중형으로 절단 시간은 같으나, Barfeed(자동 소재 공급기)의 장착 여부에 따라 용도가 구분된다. 각 공정별로 대기품목수가 다르며, 대기품목이 물리는 절단기계는 결국 다음공정의 지체로까지 연결되게 되며, 대기품목수가 적은 절단기계는 멈춰있는 현상이 발생하게 된다.

소재와 규격별 절단기계의 운영은 절단공정을 전체공정에서 Buffer로 작용하게 만든다. 앞선 생산요청자 통합과 생산지시하달시점의 지정은 절단기계의 작업 배분이 기존과 같아 효과를 극대화시키기 역부족이었으며, 따라서 기계운용과 공정배분에 대한 새로운 구성과 소재와 규격 위주의 기계할당이 아닌 새로운 우선순위 기준을 선정하였다.

S/W No.	Barfeed	변경 전			변경 후		
		담당 소재	담당규격	평균대기 품목	담당 소재	담당규격	평균대기 품목
S1	X	SUS316	36mm~	3	SUS316	36mm~	1.5
S2	O	SUS316	22mm~36mm	4	SUS316	22mm~36mm	2
S3	O	SUS316	~22mm	4	SUS316	~22mm	2
S4	X	ST	~24mm	0.5	ST/SUS316	전규격	2
S5	O	ST	24mm~	0	ST/SUS316	전규격	2
S6	O	BRASS	전규격	0	BRASS/ SUS316	BS : 전규격, SUS316 : ~36mm	2
S7	X	BRASS/비철	전규격	0	긴급생산품목	전규격	0

<표 4> S/W Line 별 소재, 규격별 분류 현황 변경 전·후

<표 4>는 소재별 규격별로 분류해 놓았던 기존의 방식에서 기계의 능력치에 따라 절단 공정을 배분하는 방식으로 변경된 것을 나타낸다.

변경 전						변경 후		
T/C NO	담당 소재	담당 규격	배치 규격	대기 품목 평균 가공시간(S)	대기 품목	T/C NO	담당 소재	대기 품목
TC06-1	SUS	~32mm	H27	45	3	TC06-1	SUS	3
TC06-2	SUS	~32mm	H27	42	4	TC06-2	SUS	3
TC06-3	SUS	~32mm	H24	43	3	TC06-3	SUS	3
TC06-4	SUS	~32mm	H24	37	2	TC06-4	SUS	3
TC06-5	SUS	~32mm	H32	58	3	TC06-5	SUS	3
TC06-6	SUS	~32mm	H32	55	4	TC06-6	SUS	3
TC06-7	SUS	~32mm	H19	26	3	TC06-7	SUS	3
TC06-8	SUS	~32mm	H17	25	4	TC06-8	SUS	3
TC06-9	SUS	~32mm	H17	25	3	TC06-9 E	SUS	5
TC06-10	SUS	~32mm	H17	25	3	TC06-10 E	SUS	5
TC06-11	ST	~32mm	Ø 20	24	2	TC06-11	ST,SUS	3
TC06-12	ST	~32mm	Ø 16	24	1	TC06-12	ST,SUS	3
TC06-13	ST	~32mm	H24	27	2	TC06-13	ST,SUS	3
TC06-14	ST	~32mm	H32	36	2	TC06-14	ST,SUS	3
TC06-15	ST	~32mm	H32	34	2	TC06-15 E	ST,SUS	6
TC06-16	ST	~32mm	H14	24	2	TC06-16 E	ST,SUS	5
TC06-17	BS	~32mm	Ø 20	25	1	TC06-17	BS,SUS	3
TC06-18	BS	~32mm	Ø 20	25	1	TC06-18	BS,SUS	3
TC06-19	BS	~32mm	H32	32	2	TC06-19	BS,SUS	3
TC06-20	BS	~32mm	H24	20	2	TC06-20	BS,SUS	3
TC06-21	BS	~32mm	H32	27	3	TC06-21	BS,SUS	3
TC06-22	BS	~32mm	Ø 30	32	2	TC06-22	BS,SUS	3
TC08-1	SUS	24mm~330mm	H36	83	3	TC08-1	SUS	2
TC08-2	SUS	24mm~330mm	H36	80	3	TC08-2	SUS	2
TC08-3	SUS	24mm~330mm	H41	96	4	TC08-3	SUS	2
TC08-4	SUS	24mm~330mm	H41	120	3	TC08-4	SUS	2
TC08-5	SUS	24mm~330mm	H60	178	3	TC08-5	SUS	2
TC08-6	SUS	24mm~330mm	H60	186	4	TC08-6	SUS	2
TC08-7	SUS	50mm~330mm	H55	165	3	TC08-7	SUS	2
TC08-8	SUS	50mm~330mm	H55	172	4	TC08-8	SUS	2
TC08-9	SUS	50mm~330mm	H60	223	3	TC08-9	SUS	2
TC08-10	SUS	50mm~330mm	Ø 45	160	2	TC08-10 E	SUS	4
TC08-11	ST	24mm~330mm	Ø 60	387	2	TC08-11 E	ST,SUS	6
TC08-12	ST	24mm~330mm	Ø 48	298	1	TC08-12	ST,SUS	3
TC08-13	ST	24mm~330mm	H70	255	2	TC08-13	ST,SUS	3
TC08-14	ST	50mm~330mm	H65	365	1	TC08-14	ST,SUS	3
TC08-15	ST	50mm~330mm	H60	402	3	TC08-15	ST,SUS	3
TC08-16	ST	50mm~330mm	H65	197	2	TC08-16 E	ST,SUS	4
TC08-17	BS	24mm~330mm	Ø 100	210	1	TC08-17	BS,SUS	3
TC08-18	BS	24mm~330mm	Ø 100	197	2	TC08-18	BS,SUS	3
TC08-19	BS	24mm~330mm	H65	210	1	TC08-19	BS,SUS	3
TC08-20	BS	24mm~330mm	H55	180	2	TC08-20	BS,SUS	3
TC08-21	BS	24mm~330mm	Ø 72	402	1	TC08-21	BS,SUS	3
TC08-22	BS	24mm~330mm	Ø 72	399	2	TC08-22 E	BS,SUS	5
TC10-01	SUS	50mm~600mm	Ø 120	315	3	TC10-01	SUS	2
TC10-02	SUS	50mm~600mm	Ø 210	409	2	TC10-02	SUS	2
TC10-03	SUS	50mm~600mm	Ø 100	210	2	TC10-03	SUS	2
TC10-04	SUS	50mm~600mm	Ø 150	235	2	TC10-04	SUS	2
TC10-05	SUS	50mm~600mm	Ø 300	587	3	TC10-05	SUS	2
TC10-06	SUS	50mm~600mm	Ø 300	587	3	TC10-06	SUS	2

TC10-07	ST	50mm~600mm	Ø 250	375	2	TC10-07	ST,SUS	2.5
TC10-08	ST	50mm~600mm	Ø 270	370	2	TC10-08	ST,SUS	2.5
TC10-09	ST	50mm~600mm	Ø 350	665	1	TC10-09 E	ST,SUS	3

<표 5> T/C 공정 배분 현황 변경 전·후

소재와 규격에 대한 구분을 해제하여 S2와 S3의 과부하를 같은 Barfeed를 장착하고 있는 S4와 S5로, S1의 과부하는 S4로 배분하였다. 마지막 S7은 긴급생산품목을 위한 상시 대기 로 설정하여, 기존 공정에 대한 방해 방지는 물론 긴급생산품목에 대한 적극적인 대응을 가능케 하였다. 이로 인해 평균대기 품목이 2 품목이하로 떨어져서 전체 공정의 효율성이 증가하였고 대기품목 수량이 일정부분 균일하게 구성되어 다음 공정 진행이 보다 더 용이하게 되었지만, 재질별로 다른 스크랩의 수거시간이 증가하였고 작업자들의 업무가 가중되었다.

1.3 T/C공정의 개선

S사에서 생산되는 모든 Instrument Fitting과 High Pressure Valve는 T/C 공정을 거치는 만큼 전체 공정에서 차지하는 비율이 매우 크고, 공정진행에 지대한 영향을 끼친다. T/C 공정은 절단공정과 달리 한품목당 여러 공정을 순차적으로 처리해야 하므로 보통 4~5배 많은 기계수를 보유하고 있다. S사에서는 현재 55대의 T/C를 보유하고 있고 역시 소재와 규격별로 작업을 기계에 할당하고 있다. S사는 Straight type만 사내에서 생산하고 있으며, 생산성이 떨어지고 고비용의 Forging Type은 아웃소싱하고 있다. <표 5>의 변경전 T/C가동 현황을 보면 대기품목이 SUS소재에 과집 되어있고 나머진 비교적 여유로운 것을 알 수 있다.

SUS 관련 제품의 생산 요청량이 많은 이유도 있겠지만, 절단공정과 달리 T/C공정이 소재경도와 질감성에 영향을 받는 이유도 있다. SUS 담당 설비의 비중을 더 늘릴 수도 있겠지만, 생산 요청량이 항상 일정하지 않고 고객요청에 따라 사용되는 소재비중도 달라질 수도 있어 추가할당으로 문제가 해결되지 않는다. 특히, SUS라인에 배분된 업무 종료시점을 기준으로 계산 했을 때, SUS 8" 10" T/C 라인이 현 공정에서 Buffer이고 BS 08", ST 10" 라인이 Drum으로 위치하고 있다. 따라서 작업용이성과, 작업준비시간 손실 보다 전체 효율을 위해 소재와 규격 기준 할당에서 유연성 있고 형평성 있는 분배위주의 일정을 구축하였다.

<표 5>의 변경 후 T/C No. 중 TC-00-00뒤에 E가 붙는 설비는 규격별 긴급대응라인으로 수주생산일정과 관계없이 긴급생산요청시 곧바로 배치되며, 이들 기계 중 2대 이상 공정 진행이 없을시, 과부하 걸린 다른 라인을 위해 운영된다. 이는 기존의 기계배치보다 전체 기계라인의 품목 대기과 기계운용 능력의 균일화를 이룰 수 있었고, 현 공정 전체 공정시간이 절약되는 결과를 얻을 수 있었다.

2. DBR을 적용한 개선된 공정의 리스케줄링

DBR을 적용한 공정계획 수립을 위하여, <표 6>에 명시된 품목을 예제로 수주부터 생산 완료의 단계까지를 가정해 보았다. 동일 날짜에 생산요청을 받았다는 전제하에 현재 시행되고 있는 방식 그대로 작업준비시간은 ITEM별 2시간, 공정별 이동시간은 30분으로 지정하였다. 대기품목은 없으며 절단기계 2대, T/C기계 3대의 설비로 스케줄링 하였다.

공정 / 품목	316UNION - 10L	316UNION - 38S	316UNION - 30S	316UNION - 20S
주문량	3,000EA	500EA	1,000EA	1,500EA
생산요청	03-15	03-15	03-15	03-15
요청납기	03-19	03-23	03-21	03-20
지시하달	03-15 / 0.5D	03-15 / 0.5D	03-15 / 0.5D	03-15 / 0.5D
S/W소요시간	03-16 / 20H 8M	03-16 / 22H 22M	3-16 / 26H 39M	3-16 / 23H 33M
T/C소요시간	03-17 / 40H 16M	3-17 / 47H 01M	3-17 / 44H 44M	3-17 / 38M 15M

<표 6> 품목별 주문정보 및 작업시간 (진행일자/작업시간, D:일, H:시간, M:분)

생산요청과 접수시각은 15시 30분으로 당일 저녁부터 절단공정이 시작될 수 있도록, 소재 확보와 절단대기를 준비한다. 절단공정은 24시간, T/C공정은 평일 하루 총 10시간과 주말 8시간으로 주당 58시간 가동되며 이를 기준으로 생산일정을 구축한다. 기존 생산일정 구축이 작업 편이와 작업준비시간 절감을 위한 소재와 규격별 기계 배분이었다면, DBR을 적용한 생산일정 구축은 생산흐름 증대와 전체적 효율을 중요시 여긴다. DBR은 유한능력 스케줄링으로 자원의 능력을 감안하여 계획을 수립하고 실현 가능한 생산일정을 제공한다.

계약공정 T/C 스케줄			자재투입스케줄			
생산품목	생산량	시작일	리드타임	소재규격	투입량	투입일
316UNION-10L	3,000	3-17	24H 08M	H17	3,000	3-15
316UNION-38S	500	3-19	49H 55M	H55	500	3-15
316UNION-30S	1,000	3-19	50H 47M	H36	1,000	3-15
316UNION-20S	1,500	3-17	27H 33M	H17	1,500	3-15

<표 7> DBR 스케줄링 (H:시간, M:분)

생산량을 증대시키고 기타 공정진행에 의한 공정 시간 소비를 줄이기 위해, 중첩된 스케줄을 활용하여 공정 이동에 시간적 손실을 최소화 할 수 있다. 공정능력 분석과 현재 리드타임을 기준으로 보았을 때, 대기 공정이 가장 많은 T/C공정이 전체 공정 중 병목공정임을 알 수 있다. 제약공정인 T/C공정이 생산가공공정 전체의 생산능력을 결정하기 때문에 최대한 활용할 수 있도록 스케줄링 하고 드럼을 작성한다. 납기를 기준으로 역산하여 제약공정의 작업 시작시점과 종료시점을 결정한다. 버퍼는 생산요청접수 버퍼, 절단공정 버퍼, T/C공정 버퍼로 구분하여 변동성을 부여한 후 첫 공정의 자재 투입시기를 정한다. DBR을 적용한 생산가공공정의 생산관리시스템 구축과 스케줄링은 <표 7>과 같다.

3. DBR을 활용한 최종 개선안의 적용

본 연구에서 제시한 제약요소 개선과 DBR 스케줄링을 실제 S사 생산가공공정어케 적용하기 위해, SUS소재 절단기계 1대와 T/C 6" 2대의 설비를 가지고 테스트 해보았다. 테스트 품목은 <표 8>과 같이 3가지로 정기적으로 월별 생산되는 I-lok Union, 긴급생산품목인 Thermowell, 그리고 두 품목의 가운데 성격으로 짧은 납기일을 가지는 I-lok male adaptor에 대해 납기위주의 DBR 스케줄링을 적용하여 생산일정을 구축하고 공정을 진행하였다.

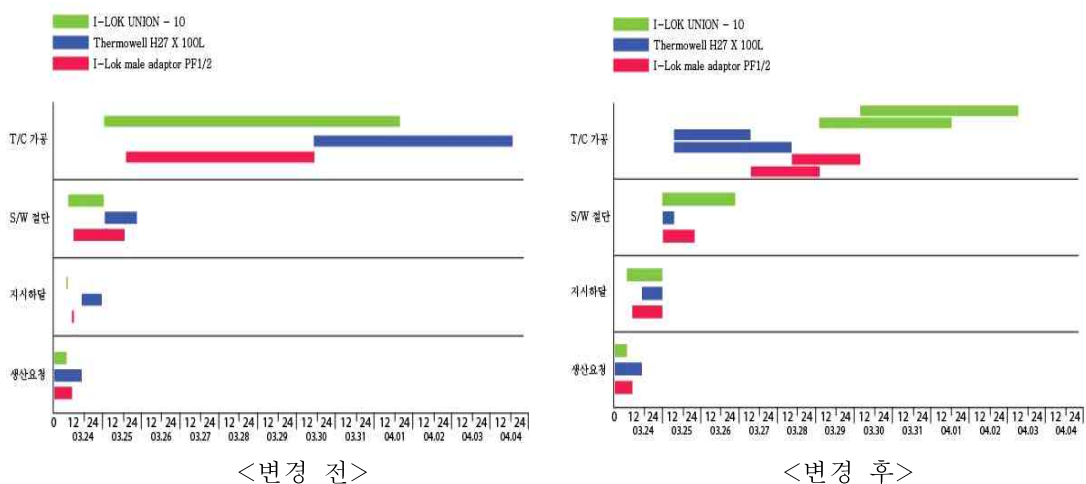
<표 8> 품목별 생산요청 현황 및 리드타임(H:시간, M:분, S:초)

생산품목	주문량	생산요청	요청납기	소재규격	절단	T/C(1차-2차)
I-LOK UNION - 10	3,000EA	03-24	04 - 05	H17	25S	37S-37S
Thermowell H27 X 100L	250EA	03-24	03 - 28	H27	45S	8M 27S-5M45S
I-Lok male adaptor PF1/2	1,000EA	03-24	03 - 30	H24	33S	35S-42S

먼저 생산요청 시각이 각기 다른 세 가지 품목을 취합하여, 15시 30분 생산가공부에 생산 지시를 하달하였다. 생산가공부에서는 원소재 유무를 파악하고 소재를 확보한 뒤 17시 30분에 소재 창고에서 절단공정으로 이동시킨다. 절단공정은 업무가 종료되는 20시 30분까지 절단 준비를 완료하고, 자동가공으로 절단을 시작한 후 당일 업무는 종료된다.

동일한 시점에 하달된 생산지시는 한정된 기계를 가지는 생산라인의 최적화된 활용을 위해 요구된 납기를 준수할 수 있는 가장 효율적인 스케줄을 구성해야 한다. <표 8>을 살펴보면 T/C공정이 제약공정임을 알 수 있고, 따라서 진행되고 있는 공정을 T/C공정의 리드타임에 맞춰서 진행할 수 있도록 한다. 납기를 최우선시하여 공정일정을 구축해야 하며, 공정진행 시간은 공정별 리드타임과 작업준비시간을 포함하고 S사의 작업시간인 58시간을 기준으로 진행 스케줄을 계획해야 한다.

변경 전 공정진행을 살펴보면, 가시적인 공정진행은 빨라 보이지만 즉각적인 생산요청과 생산지시하달은 납기에 대한 계획과 공정스케줄 구축에 대한 대응이 미비해질 뿐만 아니라 긴급생산품목 때문에 납기를 만족시킬 수가 없었다. 그로 인해 절단공정 역시 납기를 충족시켜줄 수 없고, 전 공정에서 발생한 제약요소로 인해 수동적인 진행이 발생한다. T/C공정 역시 1대당 1제품을 가공해야 하는 기존의 방식은 T/C 1대는 공정이 진행되고 있는 반면, 나머지 1대는 절단공정이 완료되어야 가동 되는 비효율적인 문제점을 안고 있다. 이와 같이 각 공정별로 발생하는 문제점과 제약요소들의 개선점을 적용시켜 DBR에 근거한 공정을 <그림 6>과 같이 구축하였다.



<그림 6> 변경 전후 공정별 작업 배분 및 일정 진행차트

기존의 즉각적인 생산요청과 생산지시하달이 이루어졌던 방식에서, 시점별로 분기를 나누어 생산관리부에서 공정일정을 총괄적으로 계획한 후 생산지시를 하달한다. 그 결과 계획성

있는 절단공정의 진행으로 T/C공정 스케줄 구성도 용이하였고 전체 공정의 공정이동의 모니터링도 가능하게 되었다.

가장 긴시간을 차지하는 T/C공정의 작업배분시, 한 품목에 한대의 기계로 작업하던 기존 방식에서 납기의 긴급성과 기계 효율성을 높이기 위해 품목별로 필요한 1차와 2차 가공을 2대에 나누어 처리한다. 작업준비를 여러 번 해야 하는 작업자의 번거로움이 있지만, T/C공정의 기계를 적극 활용을 함으로써 효율성을 높이고 병목현상을 최소화하여 납기에 근거한 생산 계획을 세울 수 있게 되었다. <표 9>은 DBR 적용 전·후의 수치적 결과이다. 확연히 눈에 띄는 점은 납기를 만족시킨다는 점이며, 전체 공정진행시간 또한 24시간 줄어들었다.

여기서 일일 공정진행은 11시간이고 13시간의 비가공시간이 발생하게 된다. 긴 공정진행시간 만큼 비가공시간이 늘어나 전체 공정이 지체되어 병목현상을 증대시키게 된다.

진행공정 생산품목	생산요청 및 지시		S/W		T/C		납기		
	요청	하달	시작	종료	시작	종료	기한	준수	
적용 전	I-LOK UNION - 10	03-24 14:00	03-24 14:30	03-24 14:00	03-25 11:30	03-25 13:00	04-01 20:30	04-05	O
	Thermowell H27 X 100L	03-24 18:30	03-24 19:00	03-26 08:30	03-26 12:00	03-31 08:30	04-04 20:30	03-28	X
	I-Lok male adaptor PF1/2	03-24 15:30	03-24 16:00	03-25 13:00	03-25 22:30	03-26 08:30	03-30 20:30	03-30	X
적용 후	I-LOK UNION - 10	03-24 14:00	03-25 08:30	03-25 08:30	03-25 16:00	03-29 08:30	04-03 20:00	04-05	O
	Thermowell H27 X 100L	03-24 18:30	03-25 08:30	03-25 08:30	03-25 12:00	03-25 13:00	03-28 11:30	03-28	O
	I-Lok male adaptor PF1/2	03-24 15:30	03-25 08:30	03-25 16:00	03-26 01:00	03-26 08:30	03-30 11:00	03-30	O

<표 9> DBR 적용 전·후 공정 진행 소요 시간

이에 기존 T/C공정의 운영방식인 직렬가공방식을 벗어나, 1차와 2차를 2대로 분산하여 가공하는 병렬가공방식을 채택하였고, 이로 인해 공정 내 기계 활용도와 생산성을 높일 수 있었다. 그리고 다품종 소량생산 시스템에서 가장 널리 사용되어 왔던 직렬 가공방식보다 병렬 가공방식이 활용도와 라인운영의 효율성이 더 뛰어나다는 사실을 알 수 있었다.

품 목	총 공정소요시간	유효기계 가동시간		유효기계 가동률		라인최대 활용률		
		TC1	TC2	TC1	TC2			
적용 전	I-LOK UNION - 10	198시간 30분		91H	111H	50.6%	51.3%	63%
	Thermowell H27 X 100L	266시간						
	I-Lok male adaptor PF1/2	125시간						
적용 후	I-LOK UNION - 10	222시간		119H	103H 30M	54%	57%	81.3%
	Thermowell H27 X 100L	89시간						
	I-Lok male adaptor PF1/2	115시간 30분						

<표 10> DBR 적용 전·후 품목별 공정 소요시간과 기계가동률

<표 10>은 DBR적용 전·후 총공정시간과 기계가동률이다. 그리고 <표 11>은 기계가시간과 가동률에 대한 계산법과 수식에 대한 정의이다.

수식명	수식	내 용
유효기계 가동시간	총공정시간 - 총공정 내 비가동시간	총 공정 시간 중 기계가 가동되지 않는 비가동시간을 제외한 기계가 실질적으로 가동되는 시간
유효기계 가동률	유효 가동시간 / 총공정시간	총 공정 내 유효 기계 가동시간에 대한 비율
라인 최대활용률	Line 내 T/C 동시 가동 시간 / 총공정시간	총 공정 내 T/C Line이 최대 활용되는 시간에 대한 비율
총공정시간		Line에 투입된 총 공정이 Input에서부터 Output되는 총 시간
총공정 내 비가동시간		총공정시간에서 기계가 가동되지 않는 시간

<표 10> 수식 명칭과 정의

생산요청 단계에서 자체적인 스케줄링을 통하여 공정을 진행하고 TOC/DBR 스케줄링으로 제약공정이었던 T/C공정을 병목배열로 진행하여 전체 공정시간이 단축되고, 설비활용률도 증가하는 등 전체성과가 향상되었다. 즉, 생산성이 향상됨은 물론, 기존의 생산라인을 최대한 유지하면서 긴급생산의 투입이 가능해져 결과적으로 <표 11>과 같이 생산라인의 설비활용률이 향상되고 납기준수가 100%가 되는 결과를 달성하였다.

품목	공정시간		설비활용률		납기준수	
	Before	After	Before	After	Before	After
I-LOK UNION - 10	198H30M	222H	63%	81%	U4D	U1D
Thermowell H27 X 100L	266H	89H			O7D	OD
I-Lok male adaptor PF1/2	125H	115H30M			O1D	OD

<표 11> DBR 스케줄링 전후 결과 비교

IV. 결론 및 시사점

S사는 단기간 급격한 성장에 따른 비효율적인 생산시스템과, 다품종 소량생산의 비율이 높은 생산구조상, 혁신적이고 실효성 있는 생산운영체제가 절실한 상황이었다. 따라서 TOC/DBR을 적용하여 S사의 주 분야인 생산가공공정에서 발생하는 제약요소와 문제점을 개선하였고, DBR을 적용한 생산일정을 구축하여 납기에 대한 대응력 상승과 긴급생산품목에 대한 계획생산이 가능해졌다.

비록 한정된 공정이지만 DBR을 적용한 직접적인 일정구축과 공정진행, 계획성 있는 공정

배분으로 다품종 소량생산에도 용이한 생산일정을 계획할 수 있었다. 이를 통하여 중소형 T/C가공업체들에게 고비용의 혁신적인 시스템 도입과 대대적인 운영체제의 개편이 아닌 내부에 산재해 있는 제약요소에 대한 통찰을 통해 기업의 운영능력을 향상시킬 수 있음을 제시하였다.

본 연구는 생산가공공정의 개선책으로 생산요청에서부터 T/C가공까지의 공정에 DBR을 적용시켰지만, 향후 S사 전체생산 라인에 TOC/DBR을 적용하여 생산성을 높을 수 있는 방안들을 모색해야 하며, 이를 영업, 생산, 경영, 회계, 재고관리 등 기업운영의 전반적인 부분에 ERP와 함께 적용할 수 있는 방안에 대한 연구가 추가 될 필요가 있다. 더불어 작업자들의 작업준비시간 증가로 인한 업무 부담감과 피로도의 증가에 대한 처우 개선에 대한 연구와 조사가 필요할 것이다.

참고문헌

- [1] Goldratt, E. M.(1984), "The Goal: A Process of Ongoing Improvement," North River Press.
- [2] 한국 TOC컨설팅, <http://www.ktoc.co.kr>.
- [3] 김승권(2010), "제약이론(TOC)에 기반한 반도체 Assembly공정에서의 자원 소요 계획에 대한 연구: FBGA Package 중심으로", 연세대학교 대학원 석사학위논문.
- [4] 김우상(2009), "TOC 기반의 생산관리 시스템 구축사례 : (주)화천기공", 전남대학교 대학원 석사학위논문.
- [5] 조종래, 하재원(2006), "6시그마 활동에서 TOC-사고프로세스 활용 프레임워크 : 제조기업의 생산성 개선 사례", 대한설비관리학회지, Vol.14 No.1, pp.11-19.