

TOC- TP Six - Sigma

A study on the Improvement of the Productivity based on TOC- TP and Six - Sigma

*
**

*,
,

**,
(cjrkjs@hanmail.net)

(jwha@chonbuk.ac.kr)

Abstract

산업사회와 소비자는 갈수록 소량 다품종과 빠른 Delivery를 요구하고 있다. 생산라인은 급격히 자동화되어 가면서 기존의 단순한 Cost 구조에서 복잡한 Cost 구조로 심화될 뿐만 아니라 제조간접비용의 중요성도 점차 이슈화 되어 가고 있으며 시장에서의 경쟁은 갈수록 치열해 짐에 따라 판매비, 광고비 등의 부담도 점차 증가되고 있다고 하겠다. 이러한 시점에 세계 유수한 기업들은 Six Sigma 품질 혁신 활동을 통해 그들에 절대적인 부담이 되고 있는 비용의 절감뿐 아니라 품질 향상을 통한 고객 만족을 이끌어 내고 있다. 본 연구는 Six Sigma 품질 혁신 활동과 제약경영 이론(Theory of Constraint)의 조합을 통한 시너지 효과로 생산 라인의 생산성 향상을 성공적으로 이끌어 낸 사례를 제시하고 있다. 즉, 본 연구의 목적은 Six Sigma 경영 혁신활동과 TOC 이론의 조합을 통해 생산 라인의 생산성 향상을 극대화 하고자 하는데 있다고 하겠다. 이를 위해 개선 활동의 프로세스 진행은 Six Sigma 활동의 DMAIC 프로세스를 따랐으며 세부 단계에서의 개선 아이디어를 발굴하기 위하여 Thinking Process를 적용하였다.

운동으로 출발한 Six-Sigma는 이제 전 부분에 적용되는 혁신활동의 대명사가 되어가고 있는 것이다. Six-Sigma는 “효과성”과 “참여도”를 가장 높은 수준으로 끌어올린 혁신활동이라고 평가할 수 있다. 즉, 경영혁신을 효과적으로 추진하기 위한 방법론이 정교화되고 추진조직이 체계화되었으며, 추진영역이 확대되는 방향으로 발전하여 가고 있는 것이다. 또한 TOC 이론은 1980년대 초 OPT라는 개념으로 등장하게 되었으며 기업의 존재 목적을 “현재도 돈을 벌고, 미래에도 계속해서 돈을 버는 것” 이라고 정의를 내려 우리가 늘 강조하는 기업의 존재 목적에 잘 부합하는 System 적 개선을 추구하고 있다.

이러한 짧지 않은 경험에도 불구하고 본 연구원이 근무 중에 있는 생산라인처럼 규모가 크면서도 단일 품종이 아닌, 계획생산품(상시 비축품)의 비중이 그리 크지 않은 소량 다품종 생산 라인에 적용하여 체계화된 실례는 그리 많지 않은 실정이다. 이러한 차원에서 본 연구는 생산라인의 System적 개선과 품질 개선을 동시에 얻기 위해 TOC의 집중개선프로세스의 일부인 Thinking Process를 활용하여 조직의 System적 개선이 필요한 제조 프로세스의 개선목표를 선정, 개선활동을 하고 개선목표를 달성하기 위한 세부 품질 현황 검토 및 향상 여부에 대한 점검/평가는 Six-Sigma 품질혁신 방법과 Minitab 통계 Tool을 활용하여 이 라인의 생산성 향상을 극대화하여 보고자 한다.

1. 연구의 배경

21세기의 무한 경쟁시대에 돌입한 즈음 기업들은 치열한 경쟁 속에서 서로의 목표를 달성하기 위하여 최대의 노력을 경주하고 있다. 기업의 평균 수명은 점차 낮아지고 있고 변화하는 시장 질서에 성장 동력을 끊임없이 갖추지 않으면 역사의 뒤안길로 사라질 수도 있으며 시장변화에 대한 준비와 고객만족, 신속한 의사결정과 창조적 사고로 앞서가야 하는 데에는 더 이상 망설일 수 없는 시대가 되었다. 이제는 덩치가 큰 기업이 작은 기업을 이기는 시대가 아니라 지식과 정보로 무장한 변화에 빨리 대응할 줄 아는 기업이 느린 기업을 이기는 시대가 되어가고 있음이다.

변화에 능동적으로 대처하고 앞장서 가기 위한 기업의 경영혁신 활동의 일환으로 Six-Sigma 품질경영활동과 TOC(제약경영이론) 이론이 우리의 생산 라인에 도입이 된지는 너무나 오래되었다. Six-Sigma 경영활동이 국내에 처음 소개된 것이 1996년으로서 세계적인 선진기업들 및 국내 대기업 등에서 Six-Sigma 경영활동을 통하여 가시적인 경영성과를 창출하고 전사적으로 확대 실시하고 있는 상황에 이르렀으며 국내의 다양한 비즈니스 업종에서도 앞 다투어 도입하기 위하여 많은 검토와 관심을 기울이고 있는 상황이 되었다. 1980년대 중반 모토로라에서 생산현장의 무결함

2. TOC의 개념

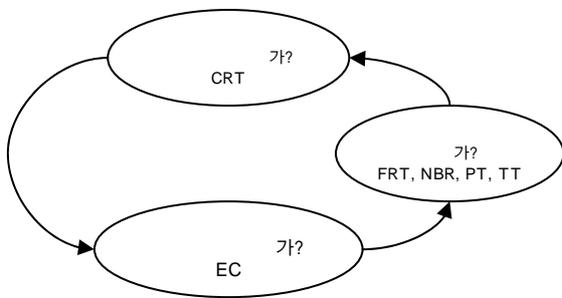
TOC란 Theory of Constraint(제약경영이론)의 약어로서 조직의 목표를 달성하는데 제약이 되는 요인을 찾아 집중적으로 개선함으로써, 단기적으로는 가시적인 경영개선 성과를, 장기적으로는 시스템의 전체적 최적화를 달성하는 프로세스 중심의 경영혁신 기법이라 할 수 있겠다. 이를 좀더 일상적인 말로 표현한다면 ‘지속적으로 돈을 벌기 위하여 이에 방해되는 제약을 찾고 이를 극복하기 위한 체계적인 개선 방법이다’ 라고 할 수 있겠다. 국내에는 80년대 말과 90년대 초에 TOC의 개론서라고 할 수 있는 The Goal이 대기업을 중심으로 주목을 끌긴 했으나 본격적인 도입이 되고 있지 않다가 90년대 말부터 관심이 점차 증가되면서 근래에 와서야 많은 기업에서 도입하여 사용되고 있다.

2.1 Thinking Process

TOC의 창시자인 골드렛 박사는 이러한 개선 활동을 진행하던

중에 또 다른 문제에 대해 깨닫기 시작했다. 하나는 TOC의 생산 개선의 방법을 추진하는 경우에, 방침상의 제약조건이 커다란 장애가 되는 경우가 여러 번 있었던 것이었다. 복수의 부문이 복잡하게 얽혀 많은 대립이 발생하여 좀처럼 논의가 앞으로 진행되지 않는 경우가 많았던 것이다. 또 하나의 문제는 TOC 생산 개선 방법을 적용하여 생산 능력에 여유가 생겨도 그것에 대응하여 매출이 늘지 않는 때의 문제였다. 이와 같은 상황이 많은 경우, 생산부문의 Layoff(구조조정)로 연결되어 버렸다. 그러나 일단 Layoff가 행해지면 이들 부문에서는 개선 활동이 흔적도 없이 사라져 버렸고, 이는 개선을 진행한 부문이 희생되는 가장 좋지 않은 결과만 남게 되는 것이었다. 그래서 골드렛 박사는 생산 부문의 개선과 병행하여 시장을 확대하는 수법이 필요하다는 것을 절감했다. 이러한 배경 아래 만들어진 것이 사고 프로세스 (TP: Thinking Process)라고 불리는 방법이다.

골드렛 박사는 Thinking Process를 1980년대 후반부터 개발하기 시작해 1994년에는 그것을 해설한 It's Not Luck이라는 소설을 다시 출판했다. 이 결과 TOC는 제조업에서의 생산 문제뿐만이 아닌 마케팅 등의 정책적 제약과 관련된 부분까지 확대될 수 있었으며, Service 산업이나 금융, 군대, 학교와 같이 다양한 분야의 조직 문제 해결에 활용되고 있다. TP(Thinking Process; 사고과정)는 무형적인 제약요인을 찾아내고 이를 개선하는 기법으로 개발이 되었다. TP는 지속적인 개선과정을 위한 일련의 기법(Tree)들로 구성되어 있으며, 이를 해결할 수 있는 방안을 찾아 실행에 옮김으로써 조직의 성과를 개선한다. 즉, 그림과 같은 세 가지의 연속적인 물음에 대한 답을 찾는 과정이다.



[그림 1] TP의 연속적인 세 가지 과정

3. Six-Sigma의 개념

악히 알려진 바와 같이 Six Sigma는 1987년 Motorola에서 처음으로 시작되었다. 1981년 당시 Motorola의 회장이었던 Robert W. Galvin 은 5년에 걸쳐 10%가 아닌 10배의 개선을 달성한다는 야심 찬 계획을 구상하였다. 당시 Motorola사에서는 모든 부분의 낭비를 줄이는 방법에 대한 연구가 활발히 진행 중이었다. 그러한 활동의 일환으로 Bill Smith라는 엔지니어가 재미있는 연구를 한가지 하였다. 현장에서 수집된 제품의 A/S(After Sales Support) 데이터를 분석하는 과정에서, 대부분의 고장 난 제품이 제조 시에 재작업이나 수리를 거친 제품이었다는 것을 발견하였다. 즉, 고객이 사용한 제품의 초기 고장 시간과 그 제품이 제조되는

과정에서 재 작업을 어느 정도 받았는가에 대한 상관관계를 알아본 결과, 놀랍게도 제조 과정에서 결함이 발견되어 재작업 과정을 거친 제품일수록 고객에 의한 초기 사용 단계에서 고장이 많았다는 사실을 발견하였다. 결함으로 인해 재 작업 과정을 거친 제품은 재 작업 과정에서 제거된 결함 이외에 다른 결함을 포함하기 쉬우며 이와 같은 결함이 발견되지 못하고 출하되는 관계로 인하여 제품의 사용 초기에 고장이 많이 발생한 것이었다. 이것을 역으로 말하면, 결함 없이 조립된 제품은 고객이 사용할 때 초기 고장이 거의 발생하지 않는다고 말할 수 있는 것이다. 이와 더불어 Motorola사는 어느 분야이든지 그 분야에서 세계 최고인 기업은 제품의 제조 과정에서 수리나 재 작업이 없는 제품을 생산한다는 사실을 알았다. 이는 Six Sigma 전략의 주요 개념 가운데 하나인 "숨은 공장(Hidden Factory)" 과 "전체 수율 (Rolled Throughput Yield)" 등에 대한 아이디어를 제공했다고 할 수 있다. Motorola사의 경영층이 Smith의 보고서를 받아들였지만 구체적인 실천전략을 수립하는 것은 또 다른 문제였다. 그 이후 Mikel J. Harry 등이 주축이 되어 Six Sigma를 달성하기 위한 구체적인 전략과 방법론이 개발되었으며, 다른 기업으로 전파 되면서 각 기업에 맞는 형태로 수정되고 발전되었다.

3.1 Six-Sigma 활동의 추진 방법(추진 단계)

Six-Sigma 품질경영 활동의 추진 단계는 크게 세 가지 과정으로 구분해 볼 수가 있는데, 그 첫 번째가 고객 만족의 핵심요소(CTQ - Critical To Quality)가 무엇인지를 찾아내는 Define(정의) 과정이고, 둘째는 고객만족요소를 결정짓는 내부 프로세스는 무엇인지를 명확히 밝혀내는 특성화(Characterization) 과정이며, 셋째는 밝혀낸 핵심 내부프로세스가 고객만족 지향적이 되도록 최적화(Optimization)하는 과정이다. 특성화 과정은 다시 측정(Measure)단계와 분석(Analyze)단계로 나눌 수 있으며, 최적화 과정은 개선(Improve) 단계와 관리(Control) 단계로 나누어 볼 수 있다. 이와 같은 다섯 단계를 DMAIC 단계라고 간단히 표기하며 아래 표와 같이 각 단계별 주된 활동을 구분할 수 있다.

[표 1] DMAIC 요약

문제의 정의 단계	특성화 단계		최적화 단계	
	Measure	Analyze	Improve	Control
CTQ의 선정	측정장치분석과 Data 수집	Vital Few 도출	Vital Few의 개선	지속적인 유지 관리

*CTQ : Critical to Quality

3.2 Six-Sigma의 국내외 도입 현황

Six-Sigma 경영기법은 Motorola사에 이어 1988년에는 반도체 사업체인 텍사스 인스트루먼트 (Texas Instrument)사, 1993년과 1994년에는 스웨덴의 ABB(Asea Brown Boveri)사와 화학업체인 얼라이드 시그널(Allied Signal)사가 새로운 경영기법으로 도입하였으며, 1995년에는 GE사에서 도입한 것을 계기로 확산되기 시작하였다. 그리고 플라로이드

(Polaroid)사, 봄바디어 (Bombardier)사, 그리고 세계 최대의 컴퓨터 생산업체인 IBM사, 항공기 제작회사인 록히드틴(Lockheed Martin)사 등 세계적인 대기업들이 도입하여 적용하고 있다.

아시아에서는 일본의 소니(SONY)사와 NEC사가 이미 도입하였으며, 우리나라에서는 GE Plastics 와 같은 한국 내 미국 기업들과 삼성의료기와 같은 미국의 대기업과 공동 투자한 기업들에 의해 도입되기 시작하였다. 그리고 1996년 10월 삼성전관에서 Six-Sigma 경영 운동을 추진하기 시작하였으며 삼성SDI, LG전자, LG전선, 한국중공업뿐만 아니라 POSCO에서도 Six-Sigma 경영을 도입하고 있다.

이러한 기업들 중 Six-Sigma 경영 기법을 가장 성공적으로 도입한 기업은 Six-Sigma 경영기법의 시조 격인 Motorola사와 1995년에 Six-Sigma 운동을 시작한 미국의 GE사 일 것이다.

1996년 1월 GE사의 웰치 회장은 Six-Sigma 경영의 추진을 선언한 이후 모든 간부들에게 Six-Sigma 경영기법에 의해 모든 경영활동을 수행하라고 지시하였다. 그리고 일정기간 내에 교육을 받고 자격증을 의무적으로 소유하지 못하면 간부로 승진할 수 없도록 회사규정을 개정하였으며, 그 결과 1997년에는 1만 5천명의 임직원이 Six-Sigma 전문가 교육과정을 수료하게 되었다. 그리고 2000년까지는 27만 명에 달하는 GE사 전 직원들에게 Six-Sigma 경영의 기본 개념과 경영방식을 교육하려는 대규모 계획을 수립한 바 있다.

Six-Sigma 경영의 도입 결과로 GE사의 1997년 경영실적은 전년에 비해 연간 매출액이 13%가 증가하였으며, 당기 순이익 증가율은 13%, 경영마진은 불가능 선으로만 알려졌던 15% 벽을 넘어서게 되었다. GE사는 다른 대기업에 비해 Six-Sigma 경영의 도입시기가 늦었지만, 웰치회장의 강력한 추진력과 타 회사에서 겪었던 시행착오를 되풀이하지 않으면서 신속하게 Six-Sigma 경영을 수행해 간 결과 획기적인 경영효과를 거둘 수 있었던 것이다.

4. 사례 연구 환경

본 연구는 도료 생산 전문 회사의 분말 도료 제조현장에 적용을 한 사례에 대한 보고서이다.

4.1 분말도료의 개요

분말도료란 기존의 Solvent를 함유한 유용성 도료의 환경적인 문제를 개선할 수 있도록 용제(Solvent) 또는 희석제(Thinner)를 사용(또는 함유)하지 않으며 (기존의 유용성 도료는 도장 후 용제 또는 희석제가 대기 중에 방출됨) 대기 중에 방출되는 휘발 성분이 없는 환경 친화형으로 설계된 분말상의 도료를 칭한다.

4.2 분말도료의 특징

- ✧ 용제(Solvent나Thinner)에 의한 중독이나 화재의 위험성이 없다.
- ✧ 대기오염이나 도장실의 배수등에 의한 공해 문제가 없다.
- ✧ 액상의 도료보다 저장이나 수송이 유리하다.
- ✧ 도막 형성시 주름 현상이나 흐름 현상이 없고 점도조절

이 필요 없다.

- ✧ 도장후 Setting이 필요없어 도장작업 공정의 단축이 가능하다.
- ✧ 도장작업이 간단하다.
- ✧ 부족한 도료는 100% 도막을 형성하므로 도장 Cost를 절감할 수 있다.
- ✧ 회수도료 재사용이 가능하다.
- ✧ 1회에 도장방법에 따라 40 μ m ~ 100 μ m 이상 (기능성 도료는 800 μ m 이상)의 다양한 도막을 얻을 수 있다.

4.3 제조 현황

이 공장의 도료 생산량은 내수와 수출품을 포함하여 연간 약 13,000여 톤을 생산하고 있으며 내수용 70%와 수출품 30%를 포함하고 있다.

생산 품목의 분류는 크게는 옥내용품 도장용과 옥외용품 도장용, 그리고 PCM강판 도장용으로 분류할 수 있다.

제품의 품목 수는 위와 같은 유형을 기준으로 연간 약 2천여 색상(Color)의 제품을 생산하고 있으며 매 품목 생산 시마다 설비 Set Up 작업을 해 주어야 한다. 이를 통상 "색상교환작업" 이라 한다.

생산 유형은 Batch 방식에 가까우며 1품목의 1회 생산량은 100Kg에서부터 100Ton에 이르기까지 다양하다. 1 Batch Size의 최대는 1,000Kg이 한정적이므로 (1회에 배할할 수 있는 Container의 Size에 의해 한정적임) 1회 생산량이 1,000Kg을 넘어서는 품목은 연속적으로 Batch를 Call하여 생산을 한다. 이때는 별도의 색상 교환작업이 없이 Batch만 교체하여 연속 생산이 가능하다. 따라서 1회 생산량이 커질수록 색상교환 작업의 Loss가 줄어든다고 할 수 있으나 최근의 시장 경향은 고객은 재고를 쌓아 두려고 하지 않으며 다양한 색상의 제품을 적기에 공급받아 사용하기 원하므로 소량 생산, 다품종, 짧은 Delivery를 선호하는 경향으로 기울어 가고 있는 추세이다.

4.4 제조 프로세스

분말도료는 크게 다음과 같은 4가지 공정을 거쳐 제조하게 되며 전체 생산량의 약 10% 정도가 되는 일부 제품의 경우 분말상의 도료를 기타 첨가제와 혼합하는 소위 Dry-Blending이라는 공정을 거쳐 금속 표면과 같은 무늬, Hammertone무늬, 다채 무늬, Wrinkle 무늬 등의 특수무늬형의 제품을 생산하게 된다. 이 공장의 제조 프로세스를 간략히 표현하면 다음과 같다.

원재료배합 → 예비혼합(Pre-Mixing) → 분산(Extruding/반제품 제조) → 분쇄(Pulverizing/완제품 제조) → 혼합(Dry-Blending/특수무늬제품 제조)

1) 원재료 배합

도료 제조에 사용되는 5 가지 구성 성분(Resin-수지-도료의 골격, Hardener-경화제, Pigment-안료, Additive-첨가제, Solvent-용제) 중 전술한 바와 같이 용제(Solvent)를 제외한 4가지 성분을 각 도료의 Formula에 맞춰 적정한 용기에 계량한다.

2) 예비 혼합(Pre-Mixing)

배합 된 Container 속의 4가지 성분의 원료를 High Speed Mixer를 사용하여 균일한 상태로 예비 혼합한다.

3) 분산(Extruding)

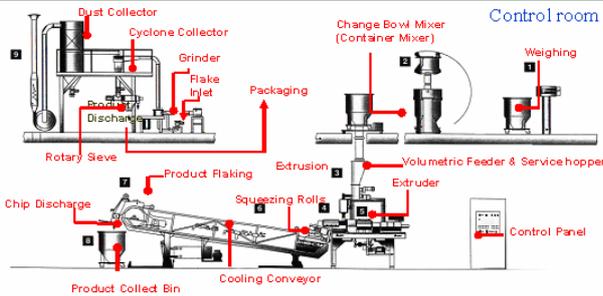
예비 혼합 된 원료를 Extruder라고 하는 분산기기에 투입하여 용융/분산하고 Squeezing Roll 과 Cooling Belt를 통과하여 Sheet 상으로 냉각한 후 Crusher를 통해 조분쇄하여 Flake상의 반제품을 제조한다.

4) 분쇄(Pulverizing)

Flake 상의 반제품을 Pulverize(분쇄기)에 투입하여 미세한 분말로 분말화 하고 적절한 입자만을 포집하여 완제품의 분말 도료를 제조한다.

입자를 분쇄하는 설비는 여러 가지 Type의 설비가 있을 수 있으나 이 공장의 분쇄 설비는 ACM(Air Classifying Mill) 기종으로서 분쇄 시 발생하는 열을 최소화 하면서 미세 분말화 할 수 있는 설비를 이용한다.

분쇄가 완료된 일부 분말상의 도료를 또 다시 각각의 기능을 가진 첨가제나 타 분말 도료 혹은 Pigment (안료) 등과 혼합하여 특수수니 형 분말 도료를 제조한다. 이와 같은 공정을 그림으로 나타내면 다음 그림과 같다.



[그림 2] 분말도료의 제조 Process

4.5 품질평가항목 및 품질평가방법

이 공장의 분체도료 품질평가 항목 및 평가 방법은 다음 표와 같다.

[표 2] 품질 평가 항목 및 평가 방법

		가	
	가	Color Computer	E
	가 / 가	Bar 가 (Film) Crack	
	Glossy		
외관 검사	Crater		
	가		
	Spot		
	Gel	Micro-scope	
	Level	Film Toughness Gauge	
	Hazy	Haziness	
	Size (Content)	Particle Size Analyze	

5. TOC-TP와 Six-Sigma를 이용한 개선

5.1 TOC-TP를 적용 한 System의 개선 목표 선정

생산 현장의 제약공정, 생산성을 저해하는 요인 등을 발굴하여 TOC-TP의 첫번째 단계인 CRT 작성을 위한 UDE(Undesirable Effect)를 아래와 같이 열거하여 CRT를 그려보았다.

- 생산 품목수가 다양하다.
- 불량유형이 다양하다.
- 수정작업 Loss가 여전히 많다.
- 분산기(Extruder) 기종(및 Size)이 다양하다.
- 설비 조작이 어렵다.
- 설비는 점차 노화되고 있다.
- 설비보수 외주화로 긴급 조치가 어렵다.
- 주.야 교대 작업으로 작업자의 피로도 증가
- 작업자는 쉬운 일을 선호한다.
- 불필요한 단속 작업이 많다.
- 상비품목보다 주문품 품목이 많다.
- 소량주문품목이 많다.

품목수의 80%를 차지하는 소량 품목의 합계 물량은 전체 물량의 20% 수준에 머물고 있다.

- 월 중복 발주로 인한 교환작업 Loss가 다발
- 막 생산을 마친 품목을 타 지점에서 주문을 내는 경우와 같은 지점에서 동월 2회 이상 주문을 내는 경우가 다반사이다.
- 티 발생 시 망 상향으로 토출량이 떨어진다.
- 생산성이 낮은 고 기능성 품목의 증가
- 고객 요구 품질 수준의 상향
- 용역 증가로 평균 기능력의 저하
- 기존 사원의 기능력 증가는 둔화되고 있으나 용역 인원이 늘어 남으로서 평균 기능력이 저하되고 있다.
- 수동 사입이 늘어나고 있다.
- 제품의 요구 기능이 다양해짐에 따라 신규 원료가 늘어나는 만큼 이들 원료들은 거의 수동으로 사입하고 있다.

1) CRT 작성(생산성 향상의 저해 요인)

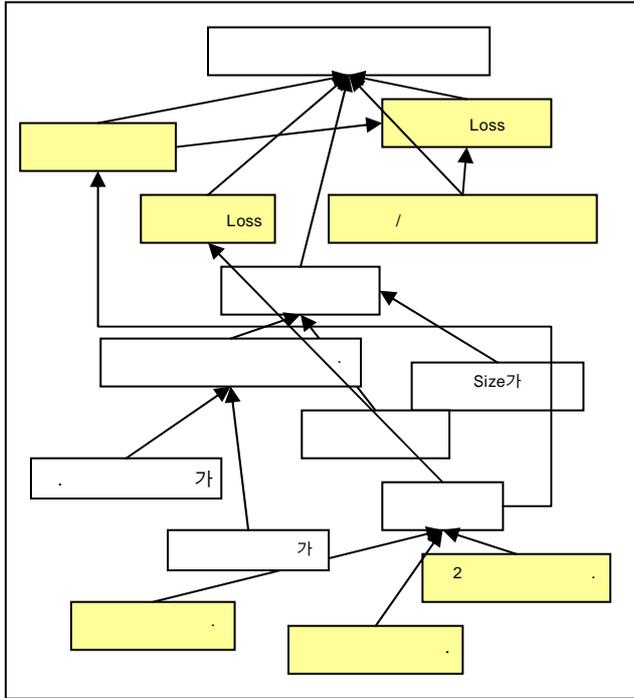
이 공장의 UDE(Un-desirable Effect)를 열거하여 CRT Diagram을 작성 한 바 생산성을 떨어뜨리거나 생산성 향상에 저해되는 주 요인은 제조 공정에서 발생하는 품질 문제들과 소량 다품종 생산에 의해 수반되는 문제들이 주 요인들인 것으로 파악이 되었다. 따라서 이 공장의 생산성을 향상을 위해서는 품질 개선과 Batch Quantity의 증대가 우선적으로 이루어 져야 하는 것으로 판단되었다.

5.2 Six-시그마 활동 단계에서의 TOC-TP 적용

1) Define 단계

본 연구에서의 개선 목표는 CRT에서 열거한 바와 같은 이 공장의 주요 UDE들을 근거로 수립하였다. 이 공장의 주요 UDE들은 대부분 품질 관련 사항과 소량 주문품의 증가, 주문품의 반복주문 생산 등 생산 Batch Quantity와 관련된 것이 주종이었다. 따라서 이 공장의 System개선의 주안점은

품질개선과 Batch Quantity 증가를 통한 생산성 향상에 주안을 두었으며 개선 활동 단계에서는 D-M-A-I-C 각 단계에서 TOC-TP를 접목하여 개선 업무를 진행 하였다. 또한 Define 단계에서는 이 연구의 목표를 정의하기 위하여 6-시그마 활동에서 적용하고 있는 프로젝트 기술서를 [표 3]과 같이 작성하였다.



[그림 3] 생산성 향상의 저해요인 CRT

[표 3] 프로젝트기술서

PCPI-01	CTQ	, Batch Quantity	
		5%	
BB/GB		BSL	GOAL
MBB			
		COPQ(\$)	
		DPMO	
2		2.5	3.5
/			
/		10%	
가			
		10%	
/			

2) Measure

(가) Data의 수집 및 분석

이 공장의 제품 검사는 반제품 제조 과정과 완제품 제조과정 2개소에서 이루어 지며 금번 개선 작업은 완제품 제조 시 티 발생에 의한 생산성 저하를 개선하고 Batch Quantity를 증대하여 생산성을 향상하는데 목적이 있으므로 Data의 수집은 완제품 검사과정에서 발생하는 Data와 제조지시 건수와 물량 등과 같은 기존의 수집 Data와 관리 자료를 그대로 활용하였다.

(나) 티불량 Data의 시그마 수준

매 생산 건별 검사 결과를 분석한 결과 15.79%의 불량률(공정 중에 여과체의 Mesh를 상향하여 정상품을 생산할 수 있도록 수정한 경우를 모두 포함한 경우 임), 약 2.5시그마 수준인 것으로 분석이 되었다.

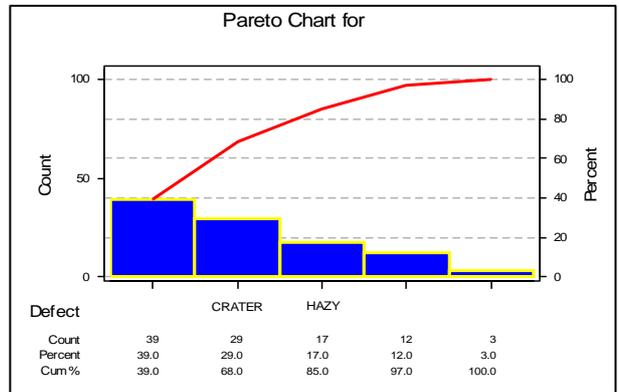
(다) 생산 품목의 Batch Quantity

이 공장의 관리 항목인 Batch Quantity에 대해 비축생산품목(상비품)과 주문품목에 대한 건당 Kg, 또한 대량 생산품목과 소량 생산품목에 대한 건당 Kg에 대해 각각 Group화 하여 일일 관리하고 월단위로 집계, 분석하여 관리의 도구로 삼았으며 이들에 대한 수치는 KPI(Key Performance Indicator) 관리 지표로 별도 관리하였다.

3) Analyze

이 공장의 공정 수준 및 개선 여부를 통계적으로 판단키 위해 최근 Six-Sigma활동의 통계 Tool로 주로 활용하고 있는 Minitab 소프트웨어 프로그램을 주로 활용하여 분석 하였다.

전술한 이 공장의 검사 항목에 대한 불량 발생의 정도를 분석하고 Vital Few를 도출하기 위해 QC 7가지 도구 중 Pareto Chart를 Minitab 소프트웨어 프로그램을 이용하여 분석하여 보았으며 그 결과는 다음 그림과 같다.



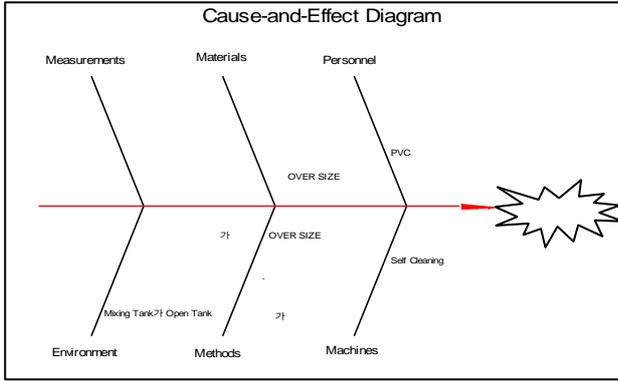
[그림4] 불량 유형의 파레토 그래프

(가) Pareto Chart에서와 같이 이 공장의 품질 요인의 가장 주된 요인은 티 발생에 의한 품질 문제인 것을 확인할 수 있었으며 이로 인한 2차적인 문제점은 다음과 같다.

- ▶ 분쇄 공정에서 망(Sieve)의 Mesh를 상향함으로 인한 여과시간 과다 소요
- ▶ 부적합품의 별도 가공(재 여과)에 따른 수정시간 과다 소요
- ▶ 수정 작업으로 인한 Yield의 저하
- ▶ 품질 불균일로 인한 고객 불만의 잠재

(나) Vital Few에 대한 개선 안 도출을 위한 방안으로 미니맵을 활용한 이 공장의 가장 큰 품질 요인인 티 불량에

대해 5M 1E (Man, Machine, Material, Method, Measurement, Environment)를 대상으로 Cause-and-Effect Diagram(특성요인도)를 그려보았다.



[그림 5] 티 발생 특성 요인도

(다) 티 발생 개선을 위한 개선 아이디어 발굴(Brain Storming)

- 분산기 PVC 주기를 단축
- 분산기 Screw 교체 주기 단축
- 세척수지 사용량을 증가
- Chip 재분산 후에는 필히 PVC 청소 후 후속작업 진행
- 저온에서 분산
- 지경화형 도료 위주의 생산
- 속경화형 도료 생산 후에는 필히 PVC 청소 진행

(라) 생산성 향상을 위한 개선 Idea 발굴

- Lot Size를 크게 한다.
- 각 영업소별 주문품을 합쳐서 작업한다.
- 상비품(상시 비축 품목) 중 적정 품목을 선별하여 격월로 생산하여 이들 품목에 대한 1회 생산Size를 키운다.

이 Project의 주 목적은 전술한 바와 같이 생산성 향상에 주안점이 있으며 생산성 향상에 장애가 되는 제약조건을 CRT Diagram을 통해 확인할 수 있었고 각 제약 조건을 개선하여 도달하고자 하는 목표인 생산성 향상에 도달하기 위해 Improve단계에서 TOC-TP의 두번째 단계인 EC를 통해 해결방안을 도출해 보기로 했다. 또한 개선여부의 결과 비교는 Control 단계에서 비교기로 한다.

4) Improve

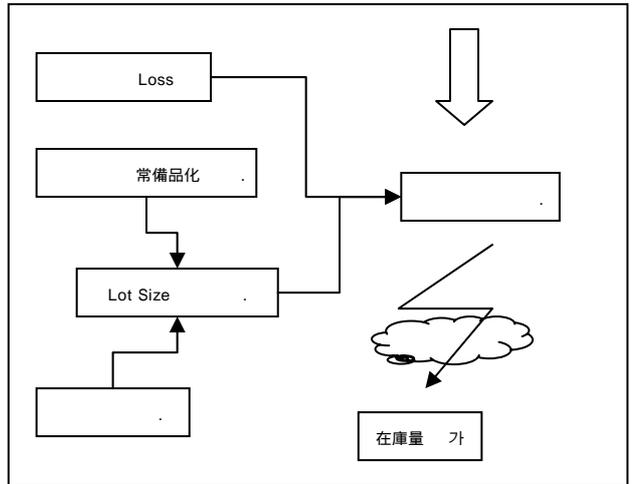
(가) 생산성 향상 방안의 구현을 통한 FRT (Future Reality Tree) 작성

[그림5]와 같이 이 공장의 개선 목표 달성을 통한 미래 상황 Tree를 작성해 보았다. 궁극적인 목표는 생산성 향상이며 생산성 향상을 위해 위해서 보아온 바와 같이 이 공장의 UDE들의 주종인 품질 관련 사항과 Batch Quantity관련 사항을 개선하여 결론의 생산성 향상을 기할 수 있을 것이다.

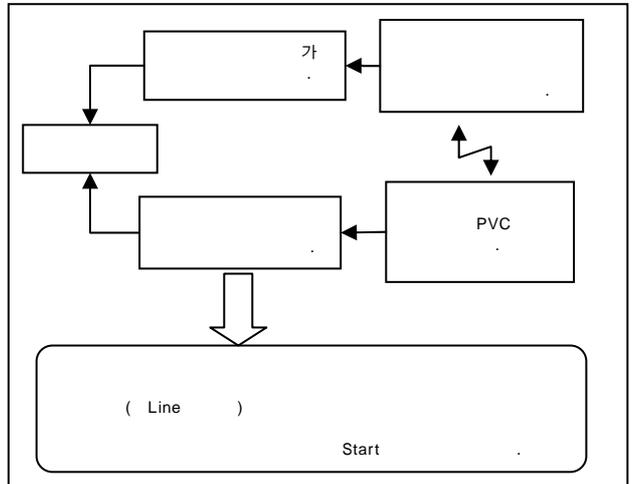
(나) 티 발생 개선을 위한 EC 적용

티 발생을 개선하기 위해서는 분산기 내부에 Build Up 되어 있는 Gel화물을 여하히 제거하여 후속 작업에 혼입이 되지 않도록 하는 것이 무엇보다 중요하다. 이를 위해서는 교환 작업 시 세척수지를 과량으로 사용하여 前작업 도료를 깨끗이 밀어내는 방법이 있을 것이며 또 다른 방법은 PVC 청소 주기를 단축하여 분산기 내부에 Build Up 되어 있는

Gel화 물질을 자주 청소하여 제거하여 주는 방법이 될 것이다. 그러나 이러한 방법은 티 발생을 줄여 생산성을 향상시킬 수 는 있겠으나 세척수지 과다 사용 시 이 또한 비용의 증가가 수반될 수 있으며, PVC 청소 주기를 단축하면 할수록 작업에 걸리는 시간보다는 청소(PVC청소: PVC Compound를 이용하여 분산기 내부의 Gel化物를 밀어내고 분산기 Barrel을 Open하여 Screw와 Barrel에 Build Up 되어 있는 Gel化物를 깨끗이 벗겨낸 후 다시 조립하여 후속 작업하는 청소 방법 임)에 소요되는 시간이 많이 소요되어 결국은 생산성을 향상할 수 없는 부작용을 낳을게 뻔하다. 이러한 부작용을 극복하면서 티발생에 의한 부적합 공정 Loss를 줄여 생산성을 향상할 수 있는 방법으로는 애당초 분산기를 재 Start를 하기 위해 과다 예열을 하지 않아도 재 Start를 할 수 있는 방법을 모색하는 것이다. 예열을 하지 않고 분산기를 재 Start를 하기 위해서는 분산기 내부에 前작업 도료분이 비워져 있는 Empty 상태이면 재 Start가 가능할 것이나 근본적으로 Empty상태를 만들기는 불가능하므로 전 작업 도료의 생산이 끝나면 세척수지를 투입하여 전 작업 도료를 밀어낸 후 분산기를 냉각하여 Screw를 정지시켜 두던 것을, 특정 온도까지 냉각은 계속하되 분산기 Screw를 정지하지 않고 지속적으로 저속 회전을 시켜 놓음으로써 후속 작업 Start 시 예열을 하지 않고도 재 Start할 수 있도록 함으로서 과다 예열에 의한 Gel화물 발생을 저감할 수 있을 것이라는 Idea를 발굴해 내게 되었다.

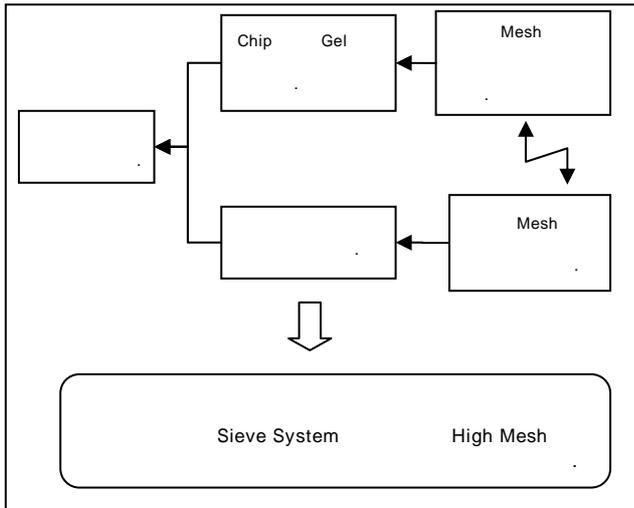


[그림 5] 생산성 향상을 통한 FRT



[그림 6] 티 발생 개선을 위한 EC

(다) 여과방법 개선을 위한 EC 적용



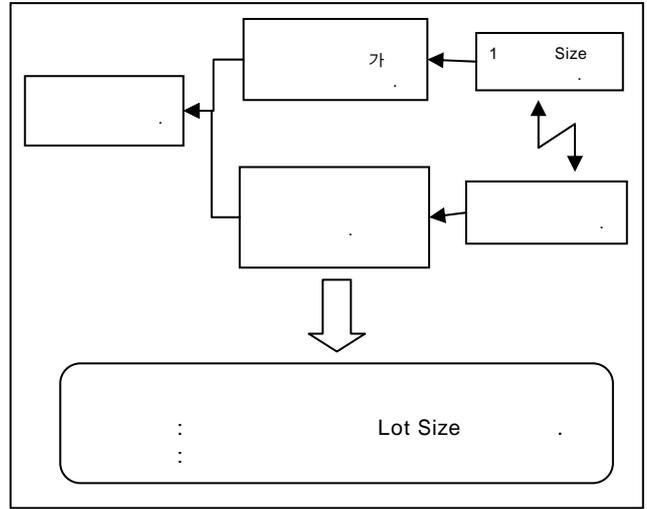
[그림 7] 여과방법 개선을 위한 EC

분말 도료의 여과량(생산량)은 여과체의 Mesh수에 따라 기하급수로 변화된다. 일반적으로 100Mesh 체의 여과량과 120Mesh 체의 여과량은 유사한 평균 입자를 가지는 분말이라면 동일한 시간에 약 20%이상의 Throughput 차이가 있는 것으로 경험적으로 확인 되었다. 따라서 생산량을 향상시키기 위해서는 여과 체의 Mesh수를 낮추어야 하나 여과 체의 Mesh가 낮아 질수록 분말의 입자 분포는 Broad하게 되어 분말 도료가 가져야 품질적 특성이 떨어질 수 있으며 동시에 상대적으로 큰 입자인 티 Particle이 여과되지 않음으로 인해 도막에 티 불량을 야기시킬 수 있는 가능성이 높아진다고 예측할 수 있다. 이러한 문제점을 여하히 개선하기 위해 Ultrasonic Vibrating Sieve를 도입하게 되었다. Ultrasonic Vibrating Sieve는 기존의 Sieving System 전체에 가하는 Vibrating뿐만 아니라 Sieve의 Screen 자체에 초음파 진동을 더 가하여 Sieve 눈금 사이에 도료 입자가 걸림이 없이 잘 통과할 수 있도록 하는 장치이다. 이 장치를 사용하여 Throughput을 기존과 동일하거나 그 이상을 얻으면서 기존보다 높은 Mesh수의 체를 사용할 수 있음으로 인해 도료의 입자분포 역시 기존보다 더 Narrow한 입자를 얻을 수 있었다.

(라) Lot Size 증대를 통한 생산성 향상 EC 적용

이 공장의 생산성을 향상시키기 위한 또 한가지의 방법으로는 1회 생산량(Batch Size)을 키워서 교환작업 시간을 줄임으로써 결국은 교환작업에 투입되는 시간보다 생산에 투입되는 시간의 늘어남에 의한 생산성 향상 방법이 되겠다. 1회 생산량을 키우는 방법에 대해 두가지의 측면으로 Idea를 세웠으며 그 하나는 상비품목에 대한 Size를 키우는 방법과 또 하나는 주문품목에 대한 생산Size를 키우는 방법이 되겠다. 양쪽 모두 결국 공장의 재고량을 불필요하게 늘이지 않는 범위 내에서 실행 되어야겠기에 이러한 부작용을 고려하여 Idea를 발굴 하였다. 상비품목에 대해서는 특정 품목을 선정하여 격월로 생산을 함으로써 생산Size를 키우면서 공장 재고를 늘이지 않는 방법 쪽으로 발굴을 하였고 주문 품목은 이전 6개월의 생산 이력을 근거로 주문량을 그대로 생산 하는 게 아니라 생산이력을 근거로 한 예측 증량생산을 실시 하였다. 물론

주문품목은 대부분 소량Size가 주종이므로 공장 재고의 증가에는 큰 영향을 미치지 않았으며 품목 수로는 많은 품목을 차지하고 있었으므로 결국 주문품목의 예측 증량생산 건수가 많을수록 교환 작업 건수를 획기적으로 줄일 수 있었다.



[그림 8] Lot Size 증대를 통한 생산성 향상 EC

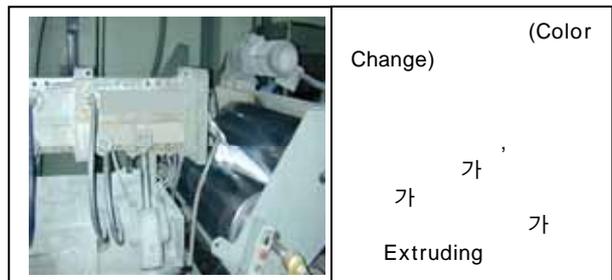
5) Control

(가) 분산기 교환작업 시 空回轉 전.후의 티 발생 결과 비교

분산기 교환 작업 시 정지시켜 두었다가 다시 예열하여 가동시켜야 하는 기존의 방법과 교환 작업 중 저속으로 空回轉을 시키면서 냉각한 후 후속 작업 시 별도의 예열없이 가동을 함으로서 분산기 내부의 잔류 도료 Gel화에 의한 티 발생이 현저히 감소함과 동시에 티 발생으로 인한 재여과 작업 공수 Loss 등 공정 Loss가 현저히 감소하였다.

[표 4] 분산기 空回轉 전.후의 티발생 결과 비교

구 분	설비 : Z70-A		
	개선 전	개선 후	비 고
생산 품목 수	38 품목	43품목	
티 발생 건수	6 건	2 건	
발생 비율(%)	15.79%	4.65%	
시그마 수준	2.5 시그마	3.2 시그마	
개선 비율	71% 개선		

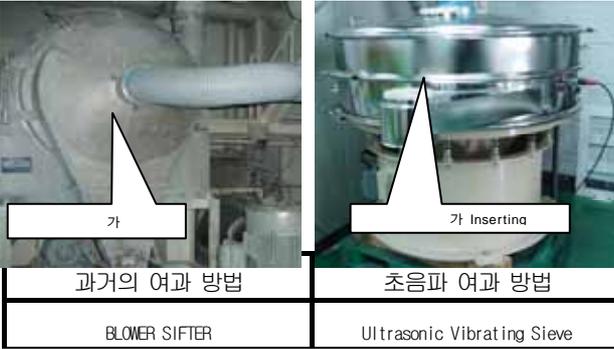


[그림 9] 분산기의 도료 용융 분산

(나) 여과 방법 변경 전.후의 분쇄기 토출량과 도료

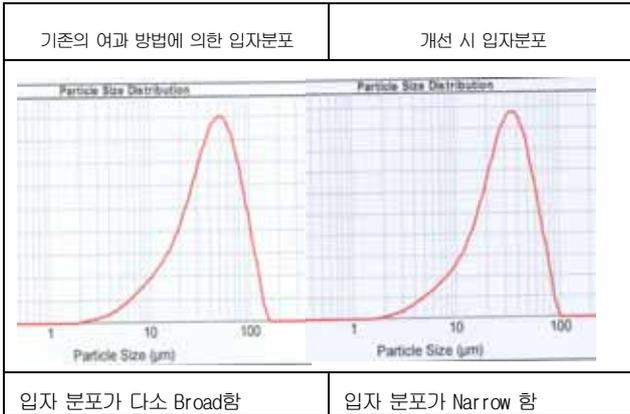
품질 비교

기존의 여과 방법은 Blower의 흡인력을 이용하여 분말화 된 도로 입자를 통과시키면서 여과하는 방법이나 흡인력의 변화가 발생한다 던지 작업시간이 길어 질수록 체의 눈 막힘이 발생하여 통과량이 현저히 떨어지는 문제점을 가지고 있었으나 Ultrasonic Vibrating Sieve를 사용함으로써 시간당 여과량(Kg/Hr)의 증가는 물론 장시간 사용시에도 눈막힘이 일어나지 않음으로써 여과량이 감소하지 않아 균일한 입자 Size를 얻을 수 있었다.



[그림 10] 기존의 여과 방법과 초음파 여과 방법

[그림 11]은 기존의 여과 방법을 사용하였을 때 분말의 입자 분포와 여과 방법을 변경 하였을 때 분말의 입자 분포를 나타내는 그림이다.



[그림 11] Particle Size Distribution 비교

그림의 좌측 분포도는 기존의 여과 체 방법으로 여과된 입자의 입자 분포를 보여주는 그림이며 우측 분포도는 Ultrasonic Vibrating Sieve를 사용하여 여과한 입자의 입자 분포를 보여주는 그림이다. 기존의 여과 체는 시간당 320kg을 여과할 수 있는 100Mesh의 체로 여과한 입자이며 Ultrasonic Vibrating Sieve는 340kg을 여과할 수 있는 120Mesh의 체로 여과한 입자의 입도 분포이다. 따라서 Ultrasonic Vibrating Sieve로 여과한 입자의 분포 상한 영역이 좁아진 것을 볼 수 있으며 입도 분포의 Sharpness정도를 지시하는 Span값이 기존의 Sieve에서 보다 적음을 알 수 있다.

[표 5] 여과 방법 변경 전.후의 분쇄기 토출량과 도로 품질 비교

구분	설비 : A30-2		
	기존 여과 방법	초음파 Sieve	비교

여과 Mesh	100 Mesh	120Mesh	
생산 품목 수	30 품목	34 품목	
티 발생 건수	8 건	4 건	
발생 비율(%)	26.67%	11.76%	
입도 분포	1.85	1.75	Span 값
Throughput(Kg/Hr)	320	340	
개선 현황	1. 높은 Mesh의 체를 사용하여 티 발생이 감소됨 2. 높은 Mesh의 체를 사용하여 입도분포가 Narrow 하면서도 Throughput이 높음		

Ultrasonic Vibrating Sieve를 사용함으로써 보다 높은 Mesh의 체를 사용하여 티 Particle을 여과히 걸러내어 티 불량 건수를 감소할 수 있었으며 이러한 품질을 얻으면서도 Throughput이 기존의 여과방법보다 높아졌음을 알 수 있다.

(다) 제조 원단위와 1회 생산 Size와의 상관관계 분석-Minitab 예

이 공장의 Kg당 제조 원단위와 Lot Size와의 상관 관계를 분석하여 본 바 다음과 같은 상관 관계를 확인할 수 있었다.

[표 6] Result of Regression Analysis

		/Kg	Kg/	Kg/	Kg/	Kg/
Kg/	Correlation	0.213				
	P-Value	0.646				
Kg/	Correlation	-0.562	-0.671			
	P-Value	0.189	0.099			
Kg/	Correlation	-0.651	-0.380	0.598		
	P-Value	0.113	0.401	0.156		
Kg/	Correlation	0.450	-0.489	0.263	0.215	
	P-Value	0.312	0.265	0.569	0.644	
Kg/	Correlation	-0.702	-0.58	0.979	0.612	0.077
	P-Value	0.079	0.172	0.000	0.144	0.869

- ✧ 이 공장의 Kg당 제조 경비는 건당 생산량, 즉 1회 생산 Lot Size가 커 질수록 유리할 수 있음을 알 수 있다.
- ✧ 또한 상비 품목 보다는 주문품목, 주문품목 중에서도 대량품의 Lot Size가 커 질수록 제조단가는 감소함을 예상할 수 있다.
- ✧ 1회 생산 Size는 무엇보다도 주문품의 생산Size와 아주 밀접한 관계가 있으며 주문품목의 1회 주문Size가 커지거나 주문품을 임의 증량하여 1회 생산 Size를 키울 때 제조경비를 보다 더 절감할 수 있음을 예상할 수 있다.

6. 결론

6-시그마는 지금까지의 그 어떤 기법보다도 획기적이고 혁신적인 경영기법이라고 할 수 있다. 논리적이고 체계적인 방법론과 역량 있는 추진조직을 통해서 계속해서 번진전략을 구축하고 있으며, 통계적인 분석과 새로운 기법들과의 접목을 통해서 보다 나은 방향으로의 개선을 지속적으로 꾀하고 있다. 이러한 상황에서 이슈가 되고 있는 TOC(제약이론)와의 접목 시도는 시의 적절한 선택이라는 생각이 든다.

본 논문에서는 전체 적인 Process에서의 제약 공정을 발체하여 개선하는 Tool로서는 TOC-TP를 접목하였고

제약공정의 원인이 되고 있는 품질요인을 개선하는 과정에서는 Six-Sigma 품질혁신 Tool을 사용하였다. 이러한 과정 중에 발생하는 Data를 KPI 항목을 설정하여 일단위, 주단위, 월단위로 분석하여 각각의 개선 여부를 점검/지속적인 개선 Cycle을 유지하는데 활용 하였다.

특히 본 공장과 같이 연속 공정인 듯 하면서도 Batch 공정인, 단일품목이 아닌 다양한 품목의 생산을, Batch Quantity가 일정하지 않고 아주 다양한 공정에서 공정 개선의 방법을 특별한 한가지의 Tool을 적용하기 보다는 본 공장에서 경험이 많았던 본 연구원이 직접 다양한 개선 Tool을 적용, 개선하여 나감으로써 어느 하나의 Tool만을 적용해서는 개선효과를 잘 보지 못했던 라인에 유효 적절히 개선 효과를 얻을 수 있었던 것으로 생각된다.

참고 문헌

[1] The Goal, 엘리 골드렛, 동양문고, 2002
 [2] The Goal II(It's Not Luck), 엘리 골드렛, 동양문고, 2002
 [3] <http://www.ktoc.co.kr> 한국TOC연구소
 [4] <http://www.toc-gk.org> 한국TOC경영아카데미
 [5] <http://pm.chonnam.ac.kr> 전남대TOC연구회
 [6] <http://seri.org> 삼성경제연구소

[7] <http://ksa.or.kr> 한국표준협회
 [8] 시바타 마사하루, 도요타 최강경영, 일송미디어, 2001
 [9] 정남기, TOC 제약경영, 대청미디어, 1999
 [10] 정남기, TOC 골드룰, 한언, 2002
 [11] 최광식, 기업 회생을 위한 패스워드 TOC, 한.언, 2003
 [12] 최도환, 권혁무, 제조공정 혁신활동과 연계한 6시그마 개선사례 연구, 대한산업공학회 2005 춘계학술대회 논문집
 [13] 허원석, 김동준, 장중순, Lean과 TOC 시각에서의 6시그마 전개 방안, IE Interface VOL 16, Special Edition, pp60-64, December 2003.
 [14] 홍성훈, 김상부, 권혁무, 이민구, 식스시그마 성공사례, 1999
 [15] 홍성훈, 권혁무, 이민구, 김상부, 6-시그마를 위한 기초통계 및 MINITAB사용법, 한국표준협회
 [16] 홍성훈, 최익준, 게이트 도장 품질 개선을 위한 6시그마 프로젝트, 대한산업공학회/ 한국경영 과학회 2004 춘계 학술대회 논문
 [17] 히노 사토시, TOYOTA무한성장의비밀, 히노사토시, 2003