creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:21031-000002299692

공 학 석 사 학 위 논 문

자동차 부품 제조업체의 조립공정 불량률 개선을 위한 6시그마 프로젝트 사례연구

2016년 6월

부 경 대 학 교 일 반 대 학 원

기술경영협동과정 석사과정

김 형 주

공 학 석 사 학 위 논 문

자동차 부품 제조업체의 조립공정 불량률 개선을 위한 6시그마 프로젝트 사례연구

지도교수 이 운 식

이 논문을 공학석사학위논문으로 제출함.

2016년 6월

부 경 대 학 교 시스템경영공학부 교수

김형주의 공학석사 학위논문을 인준함.

2016년 6월

위 원 장 공학박사 권 혁 무 (인)

위 원 공학박사 신 승 준 (인)

위 원 공학박사 이 운 식 (인)

자동차 부품 제조업체의 조립 공정 불량률 개선을 위한 6시그마프로젝트 사례 연구

김 형 주

부경대학교 일반대학원 기술경영협동과정

요 약

6 시그마 기법은 1987년 Motorola에서 태동하여 그 효과성을 선보인 이래 세계적인 선진 기업들에서 혁신적이고 효과적인 개선 도구임이 입증되어 전 세계 기업들에게로 확산되어 적용되어 오고 있다.

본 논문에서는 "S"사에서의 플랜지 런아웃 불량률 개선을 위하여 6시그마 개선 활동의 로드맵인 DMAIC절차에 따라 진행한 6시그마 프로젝트 수행과정을 소개한다.

6시그마 프로젝트 수행 방법으로는 우선 고객요구사항을 기준하여 플랜지 런아웃 불량발생에 대한 주요 입력변수를 SIPOC, Pmap분석, C&E분석, FMEA분석을 통하여 주요 입력변수들을 선정하였고, 이를 대상으로 분석과정을 거쳐 핵심 입력변수를 도출하였다. 핵심 입력변수로 규명된 인자들이 불량률에 미치는 영향을 분석한 후 이를 통해 최적의 개선안을 도출하였다.

도출된 개선안을 해당 라인에 적용한 후 공정의 관리 상태를 체크하고 평가하여 만족할 만한 성과를 얻어냈고 그 결과를 표준화하여 작업자들의 실수방지와 편리성 그리고 생산의 효율성을 도모하였다. 이러한 일련의 개선활동을 통하여 고객이 요구한 목표를 달성하게 되었고 잠재적인 플랜지 불량률을 기존 공정 대비 83% 절감한 효과를 얻을 수 있었다.

본 논문의 목적은 실제 프로젝트 실행 과정을 단계별로 소개함으로써 6시그마 기법을 적용하여 자동차 부품 산업 제조현장에서의 각종 문제점들을 개선하고자 하는 실무자들에게 도움이 되고자 한다.

목 차

I. 서 론 ····· 1

II. 국내 자동차 산업의 6시그마 경영혁신 활동 ····· 4
1. 국내 H사의 6시그마 도입 배경 ····· 4
2. H사의 6시그마 추진 과정 및 성과 ····· 6
3. 국내 자동차 산업의 6시그마 경영혁신 활동 동향 ····· 8
4. 국내 6시그마 경영혁신 활동 연구 동향 ····· 10
III. 6시그마를 활용한 단계적 적용 절차 ····· 17
III-1. 제품 공정 및 공정 개요 ····· 17
1. 제품 및 프로세스 소개 ····· 17
2. 프로젝트 추진 배경 ····· 23
3. 개선 목표 ····· 24
III-2. DMAIC ····· 25
1. 프로젝트 선정 (Define) ····· 25
2. 측정 (Measure) ····· 28
가. 측정 시스템 분석 ····· 28
나. 공정능력 분석 ····· 33
다. 주요 입력변수의 선정 ····· 35
3. 분석 (Analyze) ····· 42
가. 주요 개선 인자 ····· 42
4. 개선 (Improve) ····· 48
가. 플랜지 선삭 단면 가공 설비 개선 ····· 49

나. 제품 형상 개선을 통한 모서리부 손상 개선 ····· 52
5. 관리 (Control) ····· 55
III-3. 프로젝트 의미 ····· 61

IV. 결 론 ····· 63

참 고 문 헌 ····· 65

그 림 목 차

[그림 1] 승용차용 허브유니트 베어링 부품 장착도 ····· 18
[그림 2] 승용차용 허브유니트 베어링 부품의 장착 단면도 ····· 19
[그림 3] 승용차용 허브유니트 베어링 부품의 도해도 ····· 20
[그림 4] 자동차용 허브유니트 베어링 부품의 제조 공정 ····· 21
[그림 5] 자동차용 허브유니트 베어링 개략도및 플랜지 런아웃 측정 결과 ··· 22
[그림 6] 프로젝트 Chart 1/2(선정) ····· 26
[그림 7] 프로젝트 Chart 2/2(선정) ····· 27
[그림 8] 플랜지 런아웃 수동 검사용 전용 검사 게이지 ····· 29
[그림 9] 수동 계측기에 대한 측정 시스템 분석 결과 ····· 30
[그림 10] 플랜지 런아웃 자동 검사용 장비 ····· 31
[그림 11] 자동 계측기에 대한 측정 시스템 분석 결과 ····· 32
[그림 12] 현 공정의 플랜지 런아웃 산포 ····· 34
[그림 13] 관리공차 변경시의 잠재 불량률 예측 결과 ····· 34
[그림 14] 3차 선삭 공정에 대한 SIPOC의 입력변수와 출력변수 ····· 36
[그림 15] 연삭 공정에 대한 SIPOC의 입력변수와 출력변수 ····· 37
[그림 16] 조립 공정에 대한 SIPOC의 입력변수와 출력변수 ····· 38
[그림 17] 프로세스 맵의 입력변수와 출력변수 ····· 41
[그림 18] C&E 매트릭스 분석 및 파레토 차트 결과 ····· 42
[그림 19] FMEA 분석 내용 ····· 44
[그림 20] ANOVA Test 결과 ····· 45
[그림 21] 공정 안정성 테스트 결과 ····· 47
[그림 22] C&E 분석의 주요 입력 변수 ····· 48

[그림 23] FMEA 분석의 주요 입력 변수 ····· 49
[그림 24] 클램핑 툴의 개선 사진 ····· 50
[그림 25] 신규 툴에 대한 t-테스트 결과 ····· 51
[그림 26] 모서리부 손상 개선 전/후 사진 비교 ····· 53
[그림 27] 모서리부 찍힘 개선에 대한 t-Test 결과 ····· 54
[그림 28] 2 sample t-Test 결과 ····· 54
[그림 29] 제조 공정내 잠재 불량률 추이 분석 결과 ····· 55
[그림 30] FMEA 개정 ····· 56
[그림 31] 공정 관리 계획서 개정 ····· 57
[그림 32] 셋팅 체크 시트 ····· 58
[그림 33] 단위 작업 표준서 ····· 60

표 목 차

[표 1] 주요 입력 변수 List ····· 47
[표 2] 프로젝트 성과 ····· 61
[표 3] 프로젝트 성과의 지속 ····· 62

I. 서론

6시그마 기법은 1987년 미국의 Motolora에서 혁신적인 품질개선을 목적으로 개발되었으며, 2000년을 전후하여 효과적인 품질 개선 도구임이 입증되어 전 세계적인 선진 기업들에게로 확산되기 시작했다(김상부 등(1998), 권혁무(2003), 홍성훈 등(1999)).

국내에서는 1996년 LG전자, 두산중공업, 삼성SDI 등을 선두로 하여 6시그마 기법을 도입한 이래 많은 기업들이 6시그마 경영혁신을 도입하였고 최근에는 금융, 서비스업종, 공공기관, 병원, 교육기관 등에서 6시그마 혁신활동을 도입하여 적용하고 있다(이동혁 등(2000)).

또한 삼성전자, 현대자동차, 포스코, LG화학과 같은 국내 대형 제조업체에서도 6시그마 기법을 도입하여 제품 및 프로세스의 품질향상 및 경영 혁신에 큰 도움이 되었다. 더욱이 KIST, 삼성 종합기술원, 한화종합화학연구소 등의 연구개발 분야와 KT, 삼성에버랜드, 시티뱅크, LG투자증권 등의 서비스 분야, 그리고 정보통신부, 한국철도공사 등 정부 및 공공 서비스 분야에서 6시그마 기법이 널리 활용되고 있다(최봉 등(2007), 황여제 등(2006)).

6시그마 혁신 활동이 국내 대기업을 중심으로 추진되면서, 기업 프로세스를 6시그마 수준으로 달성하기 위해 협력회사에서도 6시그마 기법을 도입하여 적극적인 혁신활동을 진행할 것을 요구받고 있다. 따라서 협력업체에서도 자발적 또는 모기업의 권유로 6시그마 혁신활동을 적극적으로 도입하기 위한 검토가 진행 중이며 6시그마 기법의 도입에 따른 어려움이 있더라도 적극적으로 추진해야 할 과제인 것이다(이팔훈(2006)).

이에 부응하여 국내 중소기업들의 6시그마 혁신활동의 도입을 통한 프로젝트의 수행 및 성공사례에 대한 논문들이 알려지고 있고(이민구 등(2005), 홍성훈 등(2006)), 또한 중소기업형 6시그마 경영모델에 관한 연구도 국내·외 연구자들에 의해 소개되고 있다(정동호 등(2004), 황여제 등(2006), Bertels(2004), Davis(2003)).

본 논문에서는 6시그마 기법을 자동차부품 제조업체에 적용하여 부품 조립공정에서의 잠재 불량률을 대폭적으로 절감한 사례를 소개한다.

6시그마 프로젝트가 수행된 회사(이하 "S"사로 지칭함)는 차량 바퀴용 허브유니트 베어링 및 스트러트용 베어링 등을 생산하여 국내 자동차 모기업 및 해외 글로벌 자동차 모기업에 공급하고 있는 회사로서, 유럽에 본사를 둔 세계 베어링 생산 최고 수준이며 높은 수준의 기술력 및 시장 점유율을 자랑하는 다국적 종합 베어링 제조사의 한국 내 자회사이다.

이 회사는 1994년에 합작회사로 국내에 설립되어 ISO 14001, TS 16949, OHSAS 18001 등을 획득하였고, 회사가 속한 그룹 내에서도 2014년 Automotive 공장부분 평가에서 최고의 명예를 획득한 모범적인 회사이다.

그룹의 6시그마 도입방침에 따라 2000년 초부터 본 6시그마 혁신활동이 시작되었으며, 관련 교육의 실시 및 엄격한 성취도 평가를 걸쳐 6시그마 프로젝트 실행 유자격자를 선정하고 현재 6시그마 챔피언 1명, BB(Black Belt) 2명, GB(Green Belt) 13명을 보유하고 있으며 연간 벨트별 평균 2건을 개선 목표로 6시그마 개선 활동을 수행하고 있다.

본 프로젝트 대상은 자동차 바퀴용 허브유니트 베어링 생산 라인으로서 차량 전륜용 및 후륜용 허브유니트 베어링을 생산한다.

허브유니트 베어링은, 자동차의 연비 및 효율성이 요구됨에 따라, 1967년 미국의 GM에서 개발하기 시작하여 전륜 허브용으로 유니트화된 베어링을 채용한 이후로 전 세계적으로 확산되기 시작하였다 (이상훈(2000)).

허브유니트 베어링은 차량 너클, 허브 및 베어링을 일체화한 베어링으로서 부품의 감소로 인한 부품단순화, 차량 무게 경량화, 자동차 업체에서의 조립공정 불량 감소, 조립 공정 단순 용이화, 시장 정비성 개선, 프랜지 회전 정밀도 향상, 틈새/예압 사전 조정으로 인한 허브 베어링 수명 극대화 등의 장점으로 전 세계 자동차 업체에서 급속히 채용되고 있는 첨단 기술의 베어링이다. 국내 자동차 업체에서도 전륜용 및 후륜용으로 확대 적용 중에 있다. 본 허브 유니트 베어링의 특징은 기존의 허브용 베어링과 달리 그리스와 씰이 내장된 형태로서 기존의 베어링과 구분된다.

본 프로젝트의 성공적인 수행을 위하여 “S″사에서는 사내 6시그마 챔피언을 포함한 생산, 품질, 기술 및 기타 관련부서의 경험 있는 주요 스탭들로 팀을 구성하였고, 현장에서의 통상적인 6시그마 개선 로드맵인 DMAIC를 이용하여 프로젝트를 진행하였다.

본 논문의 Ⅱ장에서는 국내 자동차 산업의 6시그마 프로젝트 수행을 통한 경영혁신 활동을 소개하였고, Ⅲ장에서는 대상기업에 대한 제품공정 및 공정개요를 설명하였고 6시그마 개선 로드맵인 DMAIC의 단계적 적용절차를 체계적으로 소개하였다. 마지막으로 Ⅳ장에서는 6시그마 프로젝트의 수행 결과를 요약하여 서술하였다.

II. 국내 자동차 산업의 6시그마 경영혁신 활동

본 논문에서는 국내 자동차 산업의 6시그마 경영혁신 활동 진행 동향 및 사례에 대하여 국내 최대의 자동차 메이커인 H사의 6시그마 성공 사례를 중심으로 기술하고자 한다.

1. 국내 H사의 6시그마 경영혁신 활동 도입 배경

H사에서는 6시그마 경영혁신 활동의 도입 이전 TQC, VE 등의 다양한 품질 개선 활동이 전사적으로 전개되어 왔으며 6시그마 경영혁신 활동은 북미 시장 진출과 함께 시작되었다.

H사의 북미 시장 진출과 함께 자동차 품질과 관련한 고객의 불만이 고조되었고, 품질불만 관련 리콜의 증가로 자동차 판매에 막대한 영향을 받게 되었다. 자동차 판매가 최저치로 곤두박질치는 위기상황이 초래되자 미국 소비자들의 인식, 즉 “품질이 낮은 싸구려 자동차”라는 이미지에서 탈피하기 위해 전사적인 조치가 필요했고, 이때 H사 회장이 살아남기 위해 제시한 것이 바로 6시그마 경영혁신 활동이었다. (해피 캠퍼스(2005)).

당시 H사 회장은 “6시그마 경영은 불가능에 도전하는 새로운 경영기법이자 21세기 무한 경쟁에서 살아남기 위한 생존방안”이라고 극찬을 아끼지 않았을 정도로 6시그마 경영혁신 활동에 강한 의지를 보였다. 어려

운 상황을 극복하기 위하여 H사 회장의 전략적인 일환으로 “10년, 10만 마일 워런티”라는 소비자 만족의 새로운 이정표를 제시하였고 이에 따라 자동차 판매 실적을 높일 수 있었다.

워런티 연장에 따른 비용 상승분은 미리 준비해 놓은 비용으로 처리하도록 하였고, 어려운 회사 상황을 극복하고 경쟁 상태에서 살아남기 위하여 1999년 11월부터 본격적인 6시그마 경영혁신 활동을 실시하게 되었다.

또한 중장기적인 향후 목표로서 2005년까지는 세계 5위의 자동차 품질을 확보하고 2010년까지는 세계 5대 자동차 메이커에 진입하겠다는 계획을 수립하였다. 결국 무한 경쟁 체제에서 살아남기 위해서는 무엇보다도 자동차의 품질개선이 시급히 필요하다고 판단했기 때문이었고, 이러한 목표를 달성하기 위하여 중요한 것은 지속적인 품질향상과 원가절감인데, 과학적으로 개선 할 수 있는 방법이 바로 6시그마 경영혁신 활동이기 때문이었다.

이와 동시에 H사에서는 객관적인 소비자 만족도 평가를 위하여 미국의 권위있는 소비자 만족도 조사기관인 J.D파워로부터 권고 사항을 받아들이게 된다. 세부적인 권고 사항으로서 고객의 목소리를 반영하고, 고질적인 품질 문제는 모델이 바뀌어도 반복 발생하므로 문제 해결에 대한 대책을 완벽하게 하여 시장 상황을 개선시켜야 하며, 대당 문제점 건수가 전체 평균보다 2~3배 높은데 이를 위하여 협력업체의 품질관리를 강화해야 한다는 것 이었다.

결국 J.D파워의 권고 사항을 기본으로 하여 H사에서는 전략적인 품질전략을 수립하게 되었다.

2. H사의 6시그마 혁신활동 추진 과정 및 성과

본격적인 6시그마 경영혁신 활동 도입에 앞서 H사에서는 국내 6시그마 성공기업을 벤치마킹하고 외국 전문 교육기관을 방문하는 등 6시그마 경영혁신 활동에 대한 다양한 정보수집 활동을 하였다. 이를 토대로 외부의 사례를 그대로 적용하기 보다는 H사 고유의 6시그마 체계로 전환하여 도입할 필요성을 느끼게 되었다. 아무리 훌륭한 제도이더라도 자사의 상황을 무시한 적용은 예상치 못한 부작용을 낳을 수도 있기 때문이었다.

즉, 6시그마 경영혁신 활동 도입후 발생 가능한 모든 문제점을 미리 예방하고 보다 나은 결과를 얻기 위하여 충분한 준비 기간을 갖고 정보수집 및 분석 활동을 갖게 되었다.

1) 6시그마 경영혁신 활동의 전개

6시그마 경영혁신 활동의 추진 방향은 6시그마 경영혁신 활동의 본질을 파악하여 기업고유 문화와 연계하고, 주기적인 회사 경영층으로의 보고를 통하여 경영자의 참여를 유도하며, 6시그마 경영혁신 활동 전문가를 양성하여 객관적인 데이터에 근거한 개선 활동을 일상 업무화하여 지속적인 개선을 추구하는 것이다.

H사에서는 효율적인 6시그마 경영혁신 활동 추진을 위하여 조직을 제조부문과 비제조 부문으로 구분하고 각 부문별 추진팀을 구성하여 전사적으로 전개하고 있다.

전사 추진 사무국은 부문별 6시그마 경영혁신 활동을 총괄하고 고유한 교육시스템을 개발 운영하고 있으며, 각 부문별 6시그마 경영혁신 활동

추진팀은 부문 내에서의 6시그마 활동 창구 역할을 수행하고 있다.

전 사원의 공감대 형성 및 6시그마 경영혁신 활동에 대한 홍보를 위하여 초기 단계에서 6시그마 활동에 대한 기본적인 내용을 사내 통합정보관리 시스템을 통해 공지하고, 현장 작업자를 포함한 전 사원을 대상으로 6시그마 경영혁신 활동의 이해를 돕기 위한 교육용 비디오를 자체 제작하여 배포하고 교육을 실시하였다.

6시그마 경영혁신 활동을 체계적으로 전개하기 위하여 6시그마 운영, 교육훈련, 자격부여, 프로젝트 평가 및 승인 등의 제반 업무 표준을 제정하였고 이에 준하여 관련업무가 실행되고 있다.

또한 부문별 개선사례 발표대회 및 전사 개선 사례 발표대회를 통하여 우수한 사례에 대한 시상 및 포상을 정기적으로 실시하고 있다.

아울러 협력업체의 부품 품질 향상을 통한 경쟁력 강화를 위하여 협력업체를 대상으로 한 6시그마 혁신활동에 대한 보급을 추진하고 있으며 이를 위하여 협력업체 최고 경영자 교육을 실시하였고, 협력업체를 대상으로 6시그마 전문가 교육과 지도를 병행하고 있다.

2) 6시그마 경영혁신 활동의 성과

전사적인 6시그마 경영혁신 활동에 힘입어, 2004년 미국 J.D파워 신규자동차 품질 조사에서 H사의 중형자동차 부문 1위, SUV 부문 2위, 회사별 평가에서는 일본의 경쟁사와 더불어 공동2위라는 괄목한만한 성과를 이루었고, 미국 고속도로 교통안전국(NHTSA)의 신모델 대상 신규 자동차의 안정성 평가에서는 2개 모델에서 최고등급인 별5개를 획득하였다. 또한 2004년도 미국 소비자 보고서에서 올해의 추천자동차로 선정되는 영예를 얻게 되었다.

H사 사내 여러 부문에서도 6시그마 경영혁신 활동의 성공사례가 많이 나왔는데 대표적인 것으로는 품질개선 관련하여 제품이송 개선, 차량 사이드프레임 세팅 및 사양개선 등이 있고, 원가절감 관련하여서는 보수자재 관리비용 절감, 재료비 절감 등이 있으며, 이외에 서비스 부문 개선 사례, 환경부문 개선 사례 등이 있다.

결국 6시그마 경영혁신 활동을 통하여, 높은 품질 수준을 확보하고 유지할 수 있는 혁신적이고 과학적인 기준을 마련하여 고객을 만족시키고, 기업경영의 탁월성을 이루어 품질 개선 운동에 전 종업원이 참여하는 것은 물론 모든 업무 프로세스의 질을 높이고 관련 비용을 획기적으로 저감하여 경쟁력을 향상시킴으로써 세계 최고의 자동차 메이커가 되도록 추진하고 있다.

3. 국내 자동차 산업의 6시그마 경영혁신활동 동향

국내 자동차 부품 협력업체의 부품 품질 향상을 통한 경쟁력 강화를 위하여 H사에서는 협력업체를 대상으로 한 6시그마 혁신활동에 대한 보급을 추진하고 있으며, 이를 위하여 협력업체 최고 경영자 교육을 실시하였고 협력업체를 대상으로 6시그마 경영혁신 활동 전문가 교육과 지도를 병행하고 있다.

6시그마 경영혁신 활동의 세부전략으로서 협력업체 품질관리 시스템 HQS(현대품질인증제도)를 도입하였고, 이는 GM, 포드, 다임러크라이슬러 등 자동차 업계 빅3에 적용된 글로벌 규격과 같은 수준의 기준에 협력업체의 납품실적 평가결과를 더한 것이다. HQS 심사결과 기준으로 협

력업체를 등급별 분류, 업체별 지원 폭 조정 등을 실시하고 있다.

또한 5스타 등급제도를 운영하고 있는데 이는 자동차 부품 협력업체의 품질수준 관리를 위한 품질운영시스템 평가제도이고, 부품 협력업체가 납품하는 부품품질과 기술력등을 별점으로 종합평가하여 평가결과를 공개하여 투명성과 공정성을 유지하도록 하고 있다. 이 제도는 부품 협력업체에 대한 지속적인 기술개발과 품질향상을 위한 동기부여 장치이며 품질개선에 적극적인 업체에는 인센티브를 부여하고 그렇지 않은 업체에 대하여는 불이익을 주는 제도이다.

이외에 부품업체 2차 협력업체를 대상으로 SQ마크 인증제도를 운영하고 있는데, 부품 최종 품질에 중요 영향을 주는 전문 업종을 선정하여 현장 위주의 품질관리 및 점검을 실시하여 SQ마크 인증을 부여하도록 한 제도이다. 또한 부품 협력업체 직업훈련 컨소시엄을 운영하여 2차 협력업체들의 체계적인 경쟁력 향상을 위한 교육을 분야별로 수시로 개설하여 운영하고 있다.

이미 소개한 H사 이외에 국내 K사에서도 1999년말부터 품질혁신, 업무혁신, 의식혁신 등 3대 틀을 주축으로 6시그마 경영혁신 활동을 벌이고 있다. 6시그마 경영혁신 활동을 통하여 품질개선 전문가를 육성하고 각종 품질개선 프로젝트를 추진하여 많은 비용절감 효과를 얻었다. 완성차 조립 생산 합격률의 경우, 초기년도의 80% 수준에서 6시그마 경영혁신 활동 시작후 2년차에는 97%까지 향상되었다.

또한 전 직원의 10%를 6시그마 전문가로 양성하여 핵심 개선과제 해결을 통하여 미국시장에서의 초기 품질지수인 IQS 점수를 선진 자동차 메이커 수준으로 향상시킬 계획이다.

국내 자동차부품 업체의 경우, 글로벌 해외 기업의 국내 업체를 중심

으로 부분적으로는 6시그마 경영혁신 활동이 진행 중에 있으나, 전반적인 6시그마 경영혁신 활동은 도입단계이다. 앞에서 소개한 바와 같이 많은 국내 자동차 부품 업체의 경우, 처음에는 H사 등 자동차 모기업의 요구에 의해 6시그마 경영혁신 활동을 추진하였으나 예상보다 상회하는 경영성과의 향상으로 6시그마 혁신활동 도입을 점차로 증가하는 추세이다.

6시그마 수행을 위한 인프라를 구축을 위해서는 장시간의 투자와 노력을 요구되며, 가시적인 성과가 나타나기 까지는 적어도 2~3년의 시간이 필요하다. 또한, 인프라 구축 과정에서 프로세스에 대한 표준화가 이루어져야 하고 모든 실행 과정에서의 과학적이고 통계적인 사고가 밑바탕을 이루고 있어야한다. 따라서 단기적이 아닌 중장기적인 관점에서 6시그마 경영혁신 활동을 추진해야 하며, 각사에 부합되는 6시그마 경영혁신 활동 정착이 필요하다.

4. 국내 6시그마 경영혁신 활동 연구 동향

이팔훈(2006)의 논문에서는 6시그마 경영혁신 활동을 다음과 같이 서술하고 있다. 6시그마 경영혁신 활동은 도입 초기에는 생산현장에서 주로 진행되었으나 현재는 연구개발, 영업 및 마케팅, 구매 및 물류, 재무 및 인사, 기획 등 회사 내의 모든 영역에서 활용되고 있는 뛰어난 혁신기법이라 할 수 있다. 이를 반영하여 최근에는 모든 혁신기법을 6시그마 경영혁신 활동으로 통합하여 운영하려는 노력이 이루어지고 있으며 앞으로도 상당기간 6시그마 경영혁신 활동은 국내 기업의 혁신활동의 중심에서 있을 것으로 예상된다. 현재, 많은 국내기업들이 6시그마를 통한 성공적인 재무성과를 발표하고 있으며 경영혁신의 주된 요인으로 6시그마 경

영혁신 활동을 평가하고 있다. 반면 현장에서는 6시그마 경영혁신 활동이 아직도 형식적이고 관리중심으로 이루어진다는 비판이 있는 것도 사실이다. 한국의 6시그마 경영혁신 활동이 짧은 기간 내에 많은 발전을 이루었음에도 불구하고 아직도 현장에서 형식적이고 관리 중심으로 이루어진다는 비판을 받는 이유는, 많은 6시그마 경영혁신 활동이 기업의 중장기 전략과 연계되거나 현업의 주요 문제를 다루기보다는 프로젝트를 위한 프로젝트를 발굴하거나 6시그마 경영혁신 활동의 프로젝트의 수행건수, 벨트 인력과 같은 단순한 외형적 지표로 관리하기 때문이라고 주장한다. 이를 개선하기 위한 방법으로는 프로젝트 발굴단계에서부터 기업 임원의 적극적인 참여를 유도해야 하고, 단기 전략과 기업 중장기 혁신전략을 명확히 하여 기업의 역량을 이에 집중하는 것이 필요하다.

상기에서 언급된 것처럼 한국의 6시그마 경영혁신 활동은 과연 성공적으로 정착했다고 평가할 수 있는가? 6시그마 경영혁신 활동의 성공적 정착을 평가할 수 있는 기준은 무엇인가? 이를 위하여 한국 기업이 해야 할 일은 무엇인가? 등에 대한 연구가 진행되어 발표되고 있다.

또한 한국기업의 6시그마 경영혁신 활동이 일본 및 미국 기업의 경영혁신 활동과 어떻게 차별화되어 있는 지에 대한 연구도 진행되어 한국, 일본 및 미국 기업의 6시그마 경영혁신 활동 프로젝트 선정방식에서 국가별 차이가 있음이 확인되었다. 즉, 일본 기업은 Top-down 방식과 Bottom-up 방식이 혼재되어 있으나 현장의 자발성에 기인한 Bottom-up 방식의 프로젝트 발굴이 강한 반면 미국기업은 경영층의 전략을 하부로 전개하여 이로부터 프로젝트를 발굴하는 Top-down 방식이 강하다. 이는 아직도 평생직장의 개념이 강한 일본기업과 기업가 정신이 강한 미국기업의 문화적 차이에서 기인한 것으로 판단된다. 반면 일본과 미국 기

업의 경영혁신 활동을 모두 도입한 한국기업은 두 가지 모습이 공존하고 있으나 급변하는 환경에 빠르게 적응하기 위하여 Top-down 방식을 보다 강조하고 있다. 이는 서로 다른 혁신 기법의 운영체계 및 조직구조 등이 현장에 전파되어 서로 공존하고 있는 실정으로 한국 기업에 맞는 6시그마 경영혁신 모습에 대한 연구 활동이 활발해지리라고 판단된다.

홍성훈 등(1999)의 논문에 의하면, 1987년 미국 Motorola사에서 6시그마활동이 시작된 배경, 6시그마활동의 범위, 국내 기업에 도입된 현황, 외국기업의 6시그마활동 성공사례, 6시그마활동 추진방법으로서 5단계가 아닌 MAIC의 4단계가 소개되어 있다.

황영제 등(2006)의 논문에 의하면 중소기업에서의 6시그마 도입 시의 장애요소, 중소기업의 6시그마 전략 추진 모형, 국내 중소기업 6시그마 성공사례가 소개되어 있다.

최봉 등(2007)의 논문에 의하면 성공적인 6시그마 수행을 위한 주요 요인, 이론적 배경 및 연구모형이 소개되어 있고 이에 대한 실증분석이 절차, 분석도구, 검증 및 결과분석의 단계를 통하여 상세히 서술되어 있다.

다음의 논문들은 생산현장 내에서 6시그마 경영혁신 활동을 성공적으로 진행한 국내기업들의 사례를 소개하고 6시그마 프로젝트 수행 방법론으로는 통상적인 DMAIC를 채택하여 수행된 사례들이다.

첫 번째로, 이경종(2008)은 삼성 SDI에 전지부품을 공급하는 2차 전지 핵심부품 제조기업에서의 성공적인 6시그마 경영혁신 활동 수행결과를 소개하였다. 대상 프로젝트는 CAP Ass'y 공정의 6시그마 드림공정 구축으로서 진행 순서는 DMAIC의 5단계에 따라 개선 추진하였다.

프로젝트 선정 배경은 전지부품의 제조관련 주요 지표 중 공정불량률

이 과다하고(14,700PPM), 설비 종합 요율이 65.1% 수준이었으며, 인당 1일 생산수량은 6,675개였고, 1일 재고수량은 1,647,983개 수준으로 기업 생존을 위한 전사적인 개선 활동을 시급히 착수하여야만 하였다.

절차에 따라 프로젝트의 목표와 범위를 선정하고, 현상파악, 게이지 R&R 분석, C&E 분석, FMEA 분석을 통한 측정 단계를 진행하였고, 이를 바탕으로 분석을 실시하여 13가지의 개선안을 도출해 내어 개선 활동을 실시하였다. 이를 통하여 공정불량률은 61.1% 개선된 5,870PPM이 되었고, 설비 종합효율은 28.1% 향상된 83.4%, 1일 생산 수량은 51.6% 개선된 10,120개, 1일 재고 수준은 35.8% 감소한 1,058,000개가 되는 성공적인 6시그마 경영혁신 활동 결과를 얻어내었다.

두 번째로, 양성남 등(2012)은 자동차부품 및 모듈을 생산하는 I사의 PCVS(Purge Control Solenoid Valve)를 대상으로 한 6시그마 경영혁신 활동 성공사례를 소개하였다. 가솔린을 연료로 사용하는 자동차에서는 주유 또는 운행 중에 연료탱크에서 일산화탄소가 발생되며, 일산화탄소는 대기로 방출되면 환경오염을 유발하므로 허용치 이하로 방출되도록 법적으로 규제하고 있고 이를 예방하기 위하여 별도의 장치 설치 후 일산화탄소를 필터링하고 대기유출을 방지하는 시스템으로 구성되어있다. 여기서 언급한 PCS 밸브는 이와 관련된 유량조절 밸브로서 문제가 발생시에는 엔진경고등이 수시로 점화되어 운전자의 불만제기는 물론 운전자 불만에 따른 기업의 신뢰성 실추 및 차량 점검 및 수리에 따른 비용이 발생하게 되는 엔진 룸에 장착되는 중요한 보안 부품이다.

자동차용 PCSV의 품질수준은 개선 전에 약 25,000PPM수준으로서 타 경쟁사 수준인 100PPM수준 보다 월등히 저조하여 시급한 개선이 절대적으로 필요하였고 이로 인한 연간 손실비용은 연간 약 1,300만원에 이

르는 것으로 산출되었다. 개선을 위한 프로젝트 대상공정은 주요 4대 공정인 미성형, 넘침, 1차검사, 2차검사 중 규모가 가장 큰 성형 불량을 개선대상으로 선정하였으며, 넘침불량은 성형공정의 숨겨진 공정으로서 비부가가치적 공정이었다.

6시그마 경영혁신 활동의 대표적인 절차인 DMAIC 단계를 따라 프로젝트를 진행하였다. 우선 공정의 CTQ(Critical To Quality)를 미성형과 넘침으로 정하고 주요 불량형태에 대하여 원인파악을 한 후 항목별 특성요인도를 통하여 주요 X를 도출하였다. 분석 단계에서는 이미 파악된 잠재적 인자에 대한 분석을 실시하여 7개의 주요 인자를 도출하였고, 이 중 4가지 인자에 대하여는 이상현상이라고 판단하여 개선조치를 하였으며, 3가지 잠재 인자에 대하여는 데이터 수집 및 통계적 수법을 이용하여 분석을 실시하였다. 이 후 가설 검정을 통하여 사출압력, 사출거리, 계량거리에 따라 불량에 차이가 있음을 확인하였고 본 3가지 잠재 인자를 개선 목표로 하여 개선을 실시하여 최적 조건을 도출할 수 있었다.

이를 통하여 I사는 PCSV 불량률의 72% 감소, 생산성 향상 24.2%을 달성하여 연간 약 2000만원의 손실 비용을 절감하게 되는 성공적인 결과를 얻게 되었다.

세 번째로, 홍성훈 등(2006)은 상용트럭의 적재함인 RR DECK 게이트의 도장 불량을 줄이기 위한 6시그마 경영혁신 활동 수행결과를 소개하였다. 도장공정에서의 평균 불량률이 7.25%으로서 연간 손실 비용은 약 2억8500만원 수준이었으며 고객의 불만고조로 전사적인 개선 활동을 시급히 착수하여야만 하였다. 개선활동 진행순서는 DMAIC의 5단계에 따라 개선 추진하였다. 우선 VOC(Voice Of Customer) 분석을 실시하여 개선 활동의 목표와 범위를 측정시스템 분석, 공정능력분석, FMEA 분

석을 통한 주요입력변수의 선정을 통한 측정 단계를 진행하였다. 이를 바탕으로 분석을 실시하여 도료온도와 도료점도가 도장공정에 큰 영향을 주고 있음을 확인하였고 이에 대한 개선 활동을 실시하였다. 이후 사후 관리 방안 및 실수방지, 표준화를 통하여 공정불량률은 1.53%로 3.66 시그마 수준으로 개선된 성공적인 6시그마 경영혁신 활동 결과를 얻어내었다.

위에서 소개된 성공적인 6시그마 경영혁신 사례들과 본 논문은 6시그마의 대표적인 방법론인 DMAIC의 5단계를 사용하여 프로젝트를 진행하였다는 점에서는 동일하나 근본적인 프로젝트의 접근 방법에서 차이가 있으며 그 내용은 다음과 같다.

첫 번째는 개선활동에 대한 배경 및 진행 과정을 언급하고자 한다. 우선 프로젝트 추진 배경으로서 소개된 6시그마 개선 활동 프로젝트들은 문제가 이미 발생한 또는 노출된 상태에서 개선을 실시하였으나, 본 논문에서는 잠재적 문제발생에 대한 대비책을 사전에 연구하여 문제를 예방한 사례이다. 이는 향후에 여러 동일 또는 유사 자동차 부품 제조업체에서 진행해야 할 과제인 것으로 판단된다. 즉, 잠재 문제를 사전에 감지하여 관리할 수 있도록 현재 수준에서 적절한 방법을 찾아 개선 후 이를 사내 표준에 반영하는 활동은 실제 문제가 발생하여 개선하였을 경우와 비교하여 손실비용, 신뢰성 확보 측면에서 차이가 크다고 판단된다. 또한 본 논문의 경우에는 DMAIC 단계진행에 따른 활동 내역이 상세히 기술되어 있어 6시그마 전문인력 및 관련지식이 부족한 중소기업에서 6시그마 개선 활동 진행시 진행 과정에 대한 이해가 쉽고 활용도가 높을 것으로 판단되며, 개선 효과 분석에 따른 투자비용이 명확히 서술되어 있어 실질적인 개선효과 분석이 가능하도록 하였다.

두 번째로 본 논문에서는 전장에서 성공적으로 6시그마 경영혁신 활동을 도입한 것으로 소개된 기업들과 생산품목이 동일하지 않다는 점이다. 일반적으로 기계 산업을 비롯한 자동차 산업의 핵심 요소인 베어링을 개선 대상으로 하여 발굴된 프로젝트는 문헌 상에 나타나지 않는 실정이며 본 논문에서는 승용차용 허브유니트 베어링의 제조공정을 대상으로 6시그마 개선 프로젝트를 진행한 과정을 소개함으로써 필요시 벤치마킹 등의 기회를 부여하여 국내 자동차 산업의 경쟁력 강화에 도움이 되고자 하였다.

III. 6시그마를 활용한 단계적 적용 절차

III-1.제품 공정 및 공정 개요

본 논문은 차량용 허브유니트 베어링을 생산하는 조립라인에서 고객으로부터의 최종 출하 완제품에 대한 관리 공차 축소 요청에 따라 플랜지 런아웃 측정 공정에서의 불량률이 크게 증가될 수 있는 문제점을 개선하는 것에 관한 연구이다.

추가 개선 활동과 투자 없이 현재 상태에서의 관리 공차 축소로 인해 생산성 저하, 추가적인 품질 비용 발생 등으로 원가상승이 유발되고 또한 공정 잠재 불량률 증가에 따른 공장내 제품 생산능력 감소효과의 문제점이 대두될 수 있어 이를 개선하기 위한 프로젝트의 진행이 시급히 필요하였다.

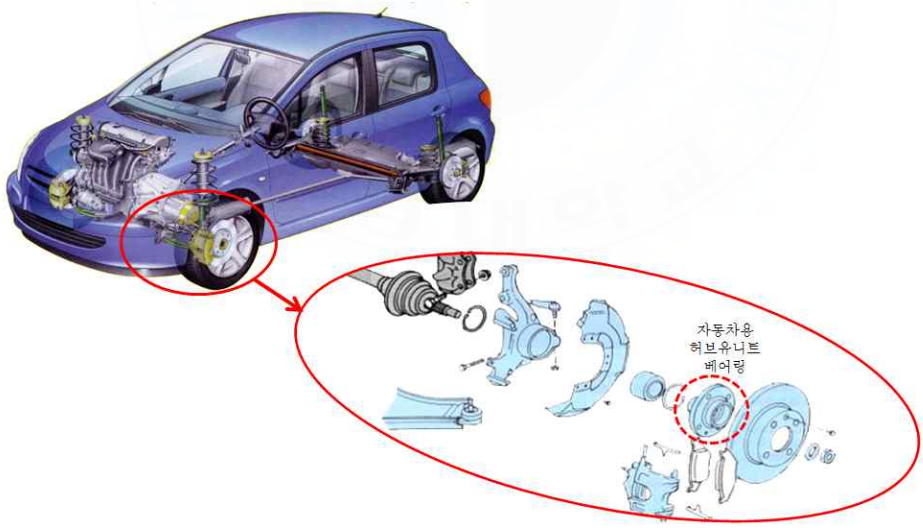
우선 본 개선 프로젝트팀의 내부협의를 통하여 프로젝트 대상 라인 선정 매트릭스를 작성하였고 경제성, 시급성, 성공가능성, 측정가능성 등을 기준으로 몇 개의 허브유니트 베어링 조립 라인 중 고객이 개선 요구한 베어링을 생산하는 라인을 선정하여 본 프로젝트를 진행하기로 결정하였다.

1. 제품 및 프로세스 소개

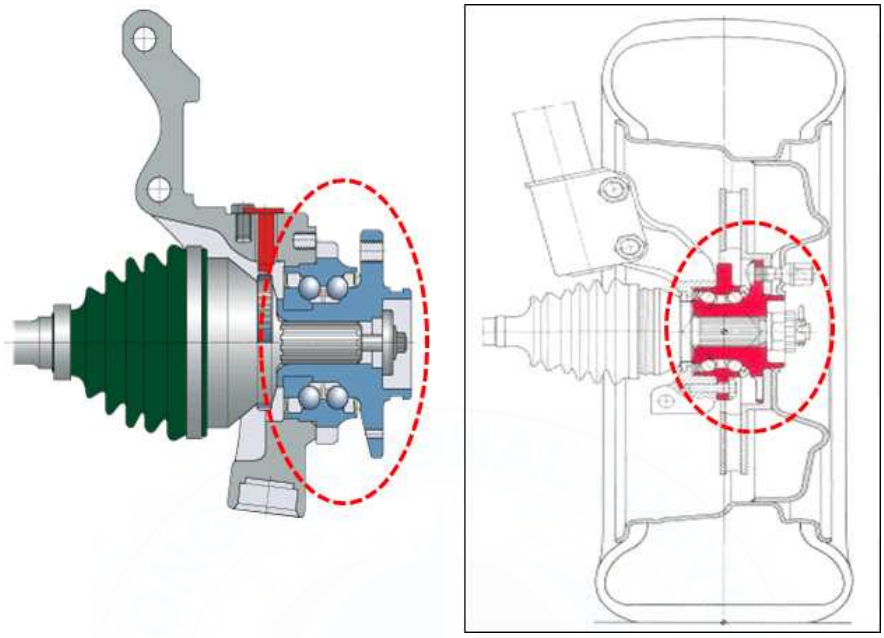
먼저, 차량 바퀴용 허브유니트 베어링의 차량내 부품 위치도 및 장착

단면, 부품의 해부도에 대한 이해를 돕기 위해, [그림 1] [그림 2] [그림 3]에 도식을 통한 설명을 소개한다.

[그림1]과 [그림2]는 자동차 전체의 모형에서 승용차용 허브유니트 베이링의 위치와 주변 부품의 관련성에 대한 도식으로서, 허브유니트 베어링의 가장 중요한 역할은 차량의 하중이나 주행 중 발생되는 많은 외부 진동과 충격으로부터 차량을 지탱하면서, 차량 엔진에서 발생되는 동력을 이용하여 고속 회전 운동(차량의 전진 또는 후진)이 가능하도록 하는 중요 부품이라고 할 수 있다. 허브유니트 베어링은 차량의 동력 전달 장치인 씨브 조인트나 너클 암 등과 결합하여 차량에 장착되며, 장착된 허브유니트 베어링에 차량 제동 역할을 하는 브레이크 디스크나 브레이크 패드가 결합되는 구조를 보이며, 이 브레이크 디스크 단면에 타이어가 장착되는 것이다.

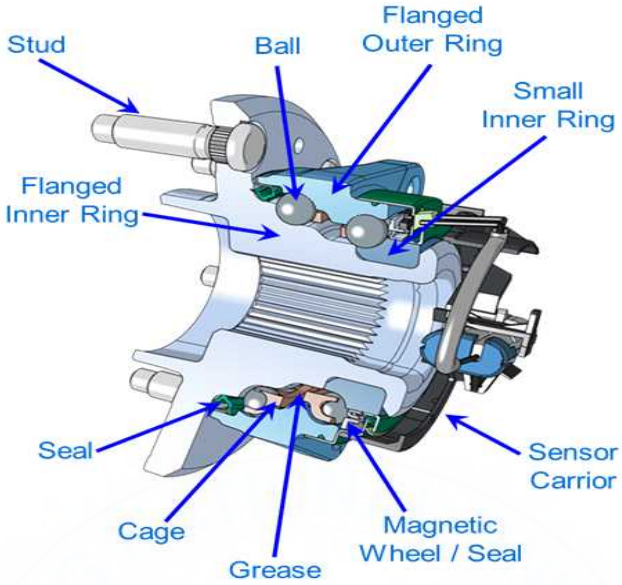


[그림 1] 승용차용 허브유니트 베어링 부품 장착도



[그림 2] 승용차용 허브유니트 베어링 부품의 장착 단면도

[그림3]은 승용차용 허브유니트 베이링의 구조와 부품 설명을 위한 도식으로서, 회전 역할을 하는 두 궤도에 위치한 Ball을 중심으로 안쪽으로는 Flanged Inner Ring과 Small Inner Ring이 궤도 역할을 하고 있으며, 바깥쪽으로는 Flanged Outer Ring이 궤도 역할을 하고 있다. 이 3가지 부품을 중심으로 하여 외부에는 승용차의 바퀴 회전수 감지를 위한 Magnetic Wheel/Seal과 Sensor Carrior와 타이어 장착을 위한 Stud가 조립되며, 내부에는 차량 하중 충격과 회전 운동시의 부하 배분을 위한 Cage, 이물질의 유입을 차단하는 Seal 그리고 회전 운동 시의 윤할 역할 하는 Grease가 도포되어 있다.

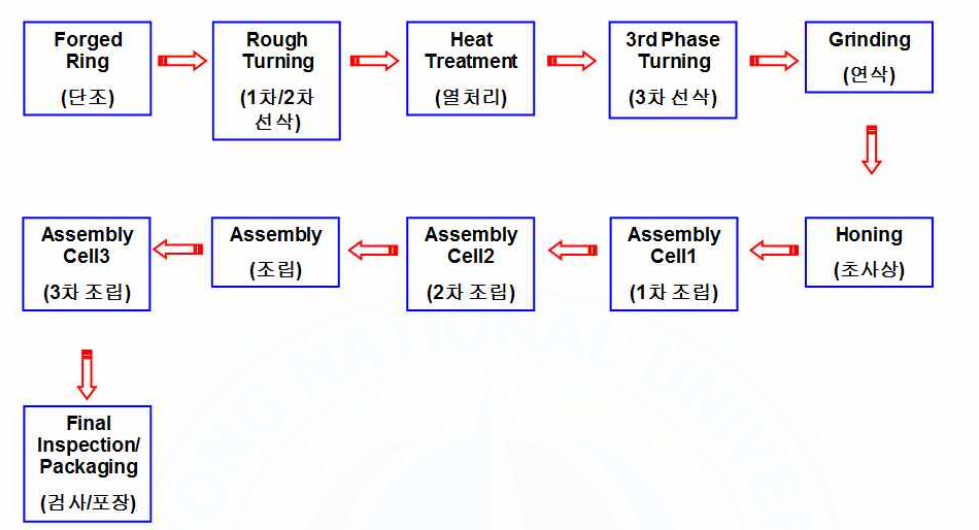


[그림 3] 승용차용 허브유니트 베어링 부품의 도해도

또한, 차량 허브유니트 베어링 부품의 제조 공정에 대한 이해를 돕기 위해, [그림 4]의 도식을 통해 이해를 돕도록 한다.

Flanged Outer ring, Flanged Inner Ring 그리고 Small Inner Ring의 경우, 가장 먼저 단조 공정을 거쳐 금속 Bar 형태의 원재료를 부품 형상에 매우 근접한 모양으로 성형을 하고, 성형된 각각의 부품을 황삭 선삭(1차와 2차 선삭으로 구성) 후, 고속 회전과 외부 하중에 견딜 수 있는 강한 금속 소재로의 성질 변형을 위해 Ball이 회전되는 궤도를 중심으로 각각의 부품에 대한 열처리 작업을 실시한다. 그 후 정삭선삭(3차 선삭)을 통해 외부 정밀 치수 가공을 실시하고, 궤도 부위를 중심으로 연삭 숫돌을 이용한 정밀 연마 작업과 궤도 표면 거칠기 개선을 위한 초사상 공정을 거친다. 가공 완료된 부품과 부품 협력사를 통해 제작된 모든 부품들을 각각의 조립 공

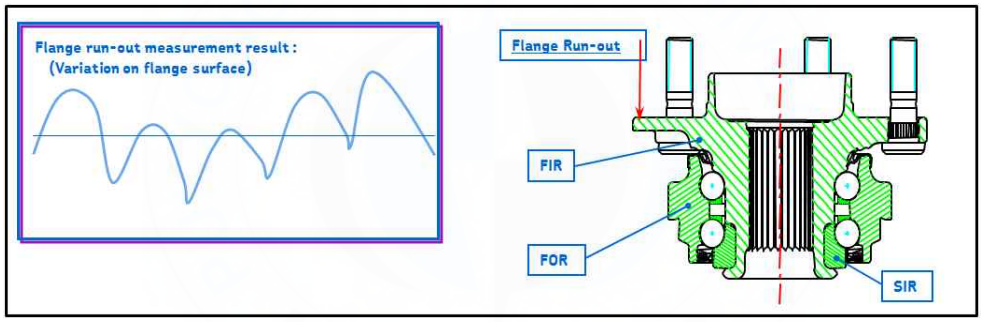
정을 거쳐 조립 및 검사가 자동 진행되며, 최종 완제품 검사 와 고객 사양에 따른 최종 포장 납입의 순으로 진행된다.



[그림 4] 자동차용 허브유니트 베어링 부품의 제조 공정

[그림 5]는 승용차용 허브유니트 베어링의 플랜지 런아웃 측정 결과값의 형태를 나타낸 것이다. 앞서 설명한 Flanged Inner Ring(이하 FIR), Flagned Outer Ring(이하 FOR)외 다수의 부품 조립을 통해 완성된 제품에 대해, 차량에 장착되는 FOR을 기준면으로 하여 적색 화살표 표시된 FIR의 Flange 단면의 흔들림을 플랜지 런아웃이라 하며, 부품의 특성과 고객 요구 사항을 고려하여 측정 방법과 관리 기준을 선정한다. [그림 5]의 좌측 그래프를 예로 들어 설명하면, Flange 단면의 특정 측정 위치에서 360도 회전하여 Flange 단면의 흔들림을 미크론 단위로 그래프화한 것으로서, 관리 규격이나 판독 방법을 선정하는 방법은 크게

두 가지로 구분되어 진다. 첫 번째 방법은 베어링의 Flange 단면과 접촉되는 상대 부품의 접촉면을 기준으로 런아웃을 관리하는 'Peak to Peak' 관리 방법으로, 360도 측정된 그래프 상에서 선명하게 관찰되는 5개의 꼭지점 중 가장 높은 꼭지점과 가장 낮은 꼭지점의 값 차이를 런아웃 값으로 규정하는 방법이다. 두 번째 방법은 베어링 자체의 Flange 런아웃만으로 관리하는 'Peak to Valley' 관리 방법으로, 360도 측정된 그래프 상에서 관찰되는 가장 높은 점과 가장 낮은점의 값 차이를 런아웃 값으로 규정하는 방법이다. 본 논문에서 소개하고자 하는 사례는 첫 번째 관리 방법에 기준한 런아웃 관리값 개선을 다루고자 한다.



[그림 5] 자동차용 허브유니트 베어링 개략도및 플랜지 런아웃 측정 결과

앞선 그림들을 통해 나타나 있듯이, 1차, 2차와 3차 선삭 공정 및 연삭 공정을 통해 가공되는 플랜지 형상의 품질과 여러 조립 공정을 거치면서 조립되는 각종 부품 간의 조립 품질이 종합적으로 최종 표출되는 것이 차량용 허브유니트 베어링의 플랜지 런아웃 품질임을 알 수 있다.

2. 프로젝트 추진 배경

“S″사는 주요 고객사들 중 한 고객사로부터 허브유니트 베어링 조립후 최종 출하전 제품의 플랜지 런아웃 관리 공차를 현재 수준에서 60% 이상 대폭적으로 축소해 달라는 요청을 받았다. 이유는 고객사 차량의 시장 출하 품질상 주요 예상 문제점을 즉각적으로 개선하기 위함이라고 하였다.

기존 고객사와의 거래 관계 및 시장 품질 문제의 최우선 개선 조치 요구에 따라 “S″사에서는 제반 어려움이 따르더라도 즉각적인 개선 활동을 착수하지 않으면 안 되었다.

고객 요청에 따라 플랜지 런아웃 공차를 추가 투자활동 없이 현재 수준에서 60% 축소 조정할 경우에, “S″사에서는 조립 공정 중 플랜지 런아웃 컨트롤 공정에서의 불량률이 현재의 수준에 비하여 급격한 증가가 예상되었다.

이는 결국 제품 생산성 저하, 추가적인 품질 비용 증가로 이어져 즉각적인 개선 대응 조치를 하지 않으면 자체의 생산라인 공급능력 감소 효과의 문제 발생도 예상되어 향후 고객사로의 정상적인 제품 공급에도 영향을 줄 수 있는 매우 민감하고 위험한 상황이 되었다.

따라서 허브유니트 베어링 플랜지 런아웃 공정에서의 불량률 감소를 위한 개선활동이 최고의 우선순위로 선정되어 6시그마 개선 활동을 전사적으로 시작하게 되었다.

또한, 고객으로부터 요구되어지는 제품 품질 특성의 개선을 위해서는 각 제조 공정의 제조 품질 특성에 대한 이해와 공정간의 품질 특성에 대한 이해, 제품 설계 측면에서의 설계 품질에 대한 이해가 종합적으로 요

구되었으며, 이의 체계적이고 종합적인 접근을 위한 전사적 개선 활동이 요구되어 졌다.

3. 개선 목표

개선 목표는 우선 고객사에서 요청한 관리 공차를 현재의 수준에서 60% 축소한 기준으로 설정하였다. 이는 결국 관리 공차 범위가 60%로 축소된 상황에서도 플랜지 런아웃 컨트롤 공정의 공정 능력을 충분히 확보(Cpk > 1.33)하는 것으로 설정하였다.

Cp란 공정능력지수(Process capability Index)로서, 선정된 공정의 샘플에서 관찰되는 산포 발생 정도에 따른 공정의 능력을 판단하는 수준으로 활용되는 통계적 지수를 의미한다. 즉, 관리 공차의 전체 범위(상한 공차와 하한 공차의 범위)와 샘플에서 관찰된 표준편차의 비를 평가하여 선정된 공정의 능력을 평가하는 것이며, Cpk는 평가된 Cp값에 관리 공차의 중심치에서 어느 일방(상한 또는 하한)으로 치우침이 있는 지를 평가하기 위하여, 치우침 상수 k를 반영한 공정 능력 평가 지수이다. 통상 Cp와 Cpk 값이 유사하게 나타나면, 샘플이 관리 공차의 중심치에서 작업되었음을 의미하여, Cpk값이 Cp값보다 현저하게 적으면 샘플이 관리 공차의 어느 일방으로 치우쳐 작업되었음을 의미한다.

III-2. DMAIC

“S"사에서는 현장 개선의 통상적인 6시그마 기법 진행 절차인 프로젝트 선정 (Define), 측정 (Measure), 분석 (Analyze), 개선 (Improve), 관리(Control)로 구성되는 DMAIC 사이클을 따라 플랜지 런아웃 불량률 감소를 위한 프로젝트 활동을 시작하였고 단계적인 내용을 아래와 같이 소개한다(권혁무 등(2000), 윤희성 등(2000)).

1. 프로젝트 선정 (Define)

이미 언급하였듯이 "S"사에서는 고객사의 요청 사항을 사내 최우선 순위의 개선 추진 프로젝트로 설정하였다. 각 관련 부서가 참여하는 프로젝트 조직이 구성되었고 프로젝트의 목표, 일정, 범위, 업무 책임 등이 구체적으로 결정되어 [그림 6]과 [그림 7]의 프로젝트 Chart가 작성되었다.

Project Title: **From ... to ... statement**	H3 [redacted] ,Flange Runout scrap ratio reduction from 1.4% to 0.5 %. (Flange runout tolerance will be changed from 50micro to 20~25micro due to customer's requirement)		
Project Number:	Sp-0701	**Last update:**	22nd of Nov '07

General information			
Division:	Car Corner	**Business Unit:**	HBU
Site or location:	[redacted]	**Product/Service Family:**	HBU Bearing
Belt:	[redacted]	**Category of Project:**	☑ Black Belt ☐ Green Belt
Project Sponsor:	[redacted]		
Deployment Champion:	[redacted]	**Strategic Impact:** (Tick One)	☐ 10% Profit Margin Level ☐ 6% Growth per Annum ☑ Zero Defects ☐ Zero Broken Promises ☐ Zero Accidents ☐ Zero Loss making Business ☐ Beyond Zero
Process Owner:	[redacted]		
Project Team Members:	[redacted] [redacted]- Quality/GB [redacted]- Process eng. [redacted] S/Chain [redacted] engineering/GB		
Controller:	[redacted]	**Project Start Date:**	Mid of Jun'07
Project Receiver: (Who to handover the project implementation to, if it is not the Project Sponsor)	[redacted]	**Project Target Completion Date:**	End of Dec'07

[그림 6] 프로젝트 Chart -1/2 (선정)

[그림 6]의 프로젝트 Chart에는 고객 요구 사항을 토대로, 달성 가능한 목표 수립을 위해 정량화된 Title과 구체적인 목표를 수립하였으며, 앞서 설명된 전사적 개선 활동의 전개를 위하여, 종합 품질 특성의 개선 활동에 필수적인 생산팀, 기술팀, 품질팀, Supply Chain팀의 담당자로 구성된 프로젝트 팀과 6시그마 기법 적용을 위한 담당 밸트를 지정하였다.

또한, 프로젝트 진행중 부서간 협력 관계, 각종 Resource의 적절한 지원과 배분을 위한 컨트롤러와 프로세스 오너를 명확히 지정하여, 프로젝트의 진행을 항시 지원하고 관리하도록 하였다.

[그림 7]의 프로젝트 Chart에서는 고객으로부터 요구된 개선 품질 특성에 대한 문제점과 현황을 명기하였으며, 효율적인 자원의 투입 및 활용을 위한 대상 공정의 범위와 대상을 명기토록 하였다. 또한, 프로젝트

진행에 따른 유무형의 개선 기대 효과에 대해서도 명기하여, 전 팀원의 개선 의지와 필요성을 명확히 공유하였다.

Element	Description	Charter
1. Problem Statement	State project's problem and background; ("What, where when, who, why, how")	The flange runout tolerance will be reduced from 50 micro to 20~25micro due to the customer's requirement to improve the break efficency. The customer's assembly tolerance with break disk is max micro.
2. Process Impacted	Describe the Process where improvement opportunity exists	-. FIR Turning Process. -. FIR Grinding Process. -. Assembly.
3. Benefit to Internal and External Customers	Define the customers and their most critical requirements. (Include the projects "CTQ's")	External customer: -. Customer satisfaction including vehicle driver. -. Rejection ratio reduction at customer's assembly process. Internal customer: -. Rejection ratio reduction at flange runout inspection process.
4. Benefit to the Business	Describe Project relevance to the business strategies and objectives; i.e. increased profit margin by; reduced cost by; increased sales & market share by, reduced customer complaints by, improved customer satisfaction by, etc.	-. Improve the customer satisfaction because the customers are doing re-assembly to reduce disk runout in customer's assembly process.
5. Constraints	Describe any constraints which influence the project	-
6. Project Scope	Define the part of the process (start and end point) or product(s) that will and will not be investigated. Describe how the project conditions are when it is finished, e.g. proposal, investigation, full or partly implementation etc.	Included:-. FIR final Turning process. -. Internal transportation process. -. FIR Groove grinding process. -. Work cell 1 -. Flange runout inspection process. Excluded: -. FOR Grinding/Turning process. -. Final visual inspection.

[그림 7] 프로젝트 Chart -2/2 (선정)

프로젝트 목표 선정 단계에서 현 관리 공차에 따른 플랜지 공정 불량

률과 고객사에서 대폭적으로 축소 요청한 관리 공차 적용시의 공정 불량률에 대한 명확한 구분을 설정하였으며, 이를 위해 축소 관리 공차 적용시의 검사 공정 불량률을 잠재 불량률(Potential Rejection Ratio)이라고 설정하였다.

2. 측정 (Measure)

가. 측정 시스템 분석

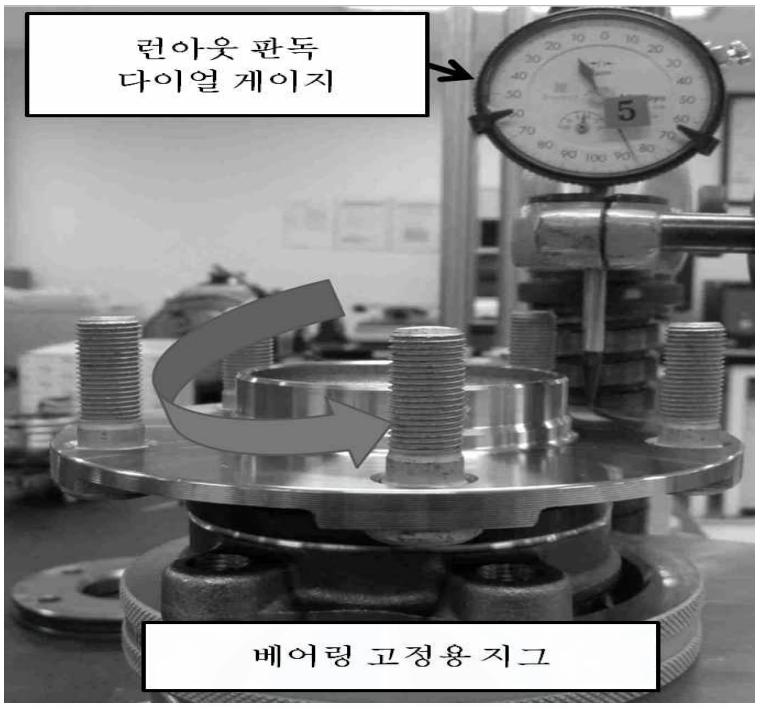
우선적으로 본 프로젝트의 측정 시스템 신뢰도를 평가하기 위하여 플랜지 런아웃 측정용 수동계측기 및 자동검사기의 R&R을 조사하기로 하였다.

각각의 측정 단위는 미크론으로 하였고, 수동계측기에 대하여는 10개의 샘플을 3명의 검사원 간 반복 측정을 실시하여 결과 값의 차이가 없음을 확인하였고, 자동검사기에 대하여는 20개의 샘플을 3회 반복 측정하여 측정값의 차이가 없음을 확인하였다.

조사 결과 각각의 계측기 신뢰도는 [그림 9]와 [그림 11]과 같이 Gage R&R값이 18.74(수동계측기) 및 22.19(자동계측기)로 양호하여, 본 계측기의 계측신뢰성에 문제가 없음을 확인하였다.

1) 수동 계측기에 대한 측정 시스템 분석

수동 측정 시스템에서 사용된 게이지는 [그림 8]과 같이, 현 제조 공정 내에서 사용되는 플랜지 런아웃 수동 검사용 UD 전용 검사 게이지를 사용하였다.

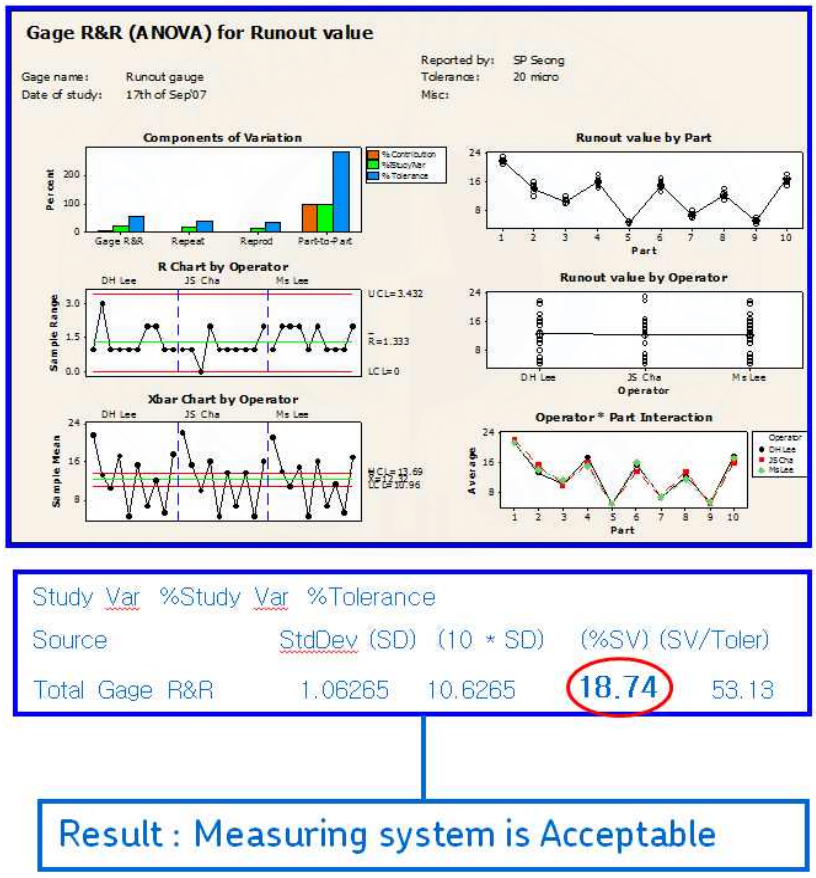


[그림 8] 플랜지 런아웃 수동 검사용 전용 검사 게이지

[그림 9]의 결과에서와 같이 작업자 간의 산포와 제품 간의 산포에 대하여 수동 검사구 Gage R&R 분석을 실시하였다. Gage R&R 방법은 각각의 수동 검사구를 사용하는 검사원 3명에 대하여 런아웃 관리 공차의 변경 목표 공차인 최대 20미크론의 공차 범위내에서 고르게 산포된 총 10개의 제품을 샘플링하여, 검사원별 총 3회에 걸친 반복 측정을 실시하였다.

측정하고자 하는 품질 특성의 초정밀 단위(미크론) 특성상, 측정된 데이터의 분석을 위해 상당한 주의가 요구되어 졌으며, [그림 9]와 같이 한 명의 작업자가 동일 샘플을 반복 측정할 때 발생되는 측정 산포(Repeatability)와 동일 샘플을 3명의 작업자가 각자 측정할 때 발생되는

제품들의 측정 산포(Reproducibility)가 그래프를 통해 각각 분석되어 졌으며, R Chart를 통해 Discrimination이 양호함을, X bar Chart를 통해 Repeatability가 양호함을 확인하였고, 작업자별 측정값 Graph를 통해서도 Reproducibility가 양호함을 확인하였다. 이러한 측정 산포 모두를 반영한 Gage R&R 값이 18.74로 평가되어 졌다. 이는 미크론 단위의 정밀 측정 단위임을 감안할 때 수동 측정 장비에 대해 신뢰할 수 있는 양호한 수준으로 평가되어 졌다.



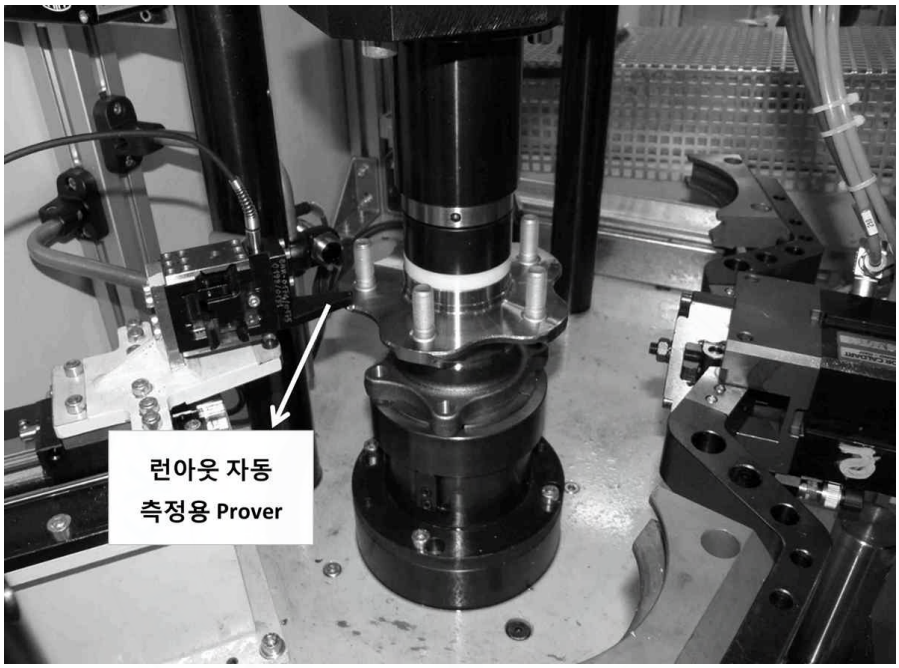
Study Var	%Study Var	%Tolerance	
Source	StdDev (SD)	(10 * SD)	(%SV) (SV/Toler)
Total Gage R&R	1.06265	10.6265	18.74 53.13

Result : Measuring system is Acceptable

[그림 9] 수동 계측기에 대한 측정 시스템 분석 결과

2) 자동 계측기에 대한 측정 시스템 분석

자동 측정 시스템에서 사용된 게이지는 [그림 10]과 같이, 현 제조 공정내에서 사용되는 플랜지 런아웃 자동 검사용 장비를 사용하였다.

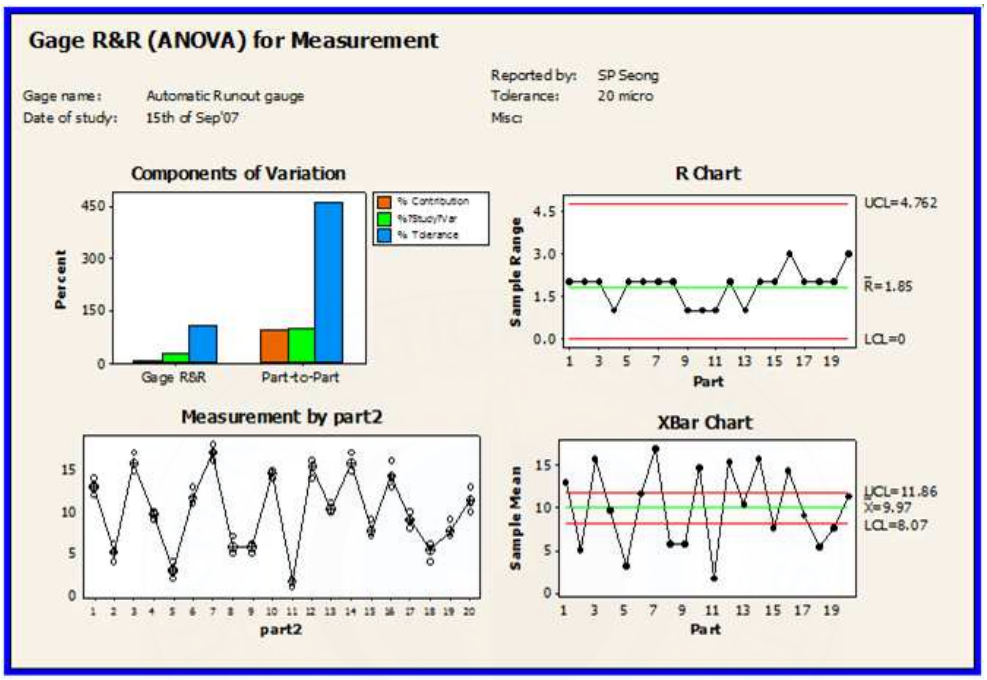


[그림 10] 플랜지 런아웃 자동 검사용 장비

[그림11]의 결과에서와 같이 자동 검사 장비에 대한 Gage R&R 방법은 유일한 자동 검사 설비에 대하여 런아웃 관리 공차의 변경 목표 공차인 최대 20미크론의 공차 범위 내에서 고르게 산포된 총 20개의 제품을 샘플링하여, 총 3회에 걸친 반복 측정을 실시하였다.

앞서 [그림 9]에서 설명한 바와 같이, R Chart와 X bar Chart 그리고 샘플내 산포 등을 통하여 측정값의 산포가 양호함을 확인하였고, 이러한 측정 산포 모두를 반영한 Gage R&R 값이 22.19로 최종 평가되어 졌다.

이 또한 미크론 단위의 정밀 측정 단위임을 감안할 때 자동 측정 장비에 대해 신뢰할 수 있는 양호한 수준으로 평가되어 졌다.



Study Var	%Study Var	%Tolerance	
Source	StdDev(SD)	(20 * SD)	(%SV)	(SV/Toler)
Total Gage R&R	1.04881	20.9762	22.19	104.88

Result : Measuring system is Acceptable

[그림 11] 자동 계측기에 대한 측정 시스템 분석 결과

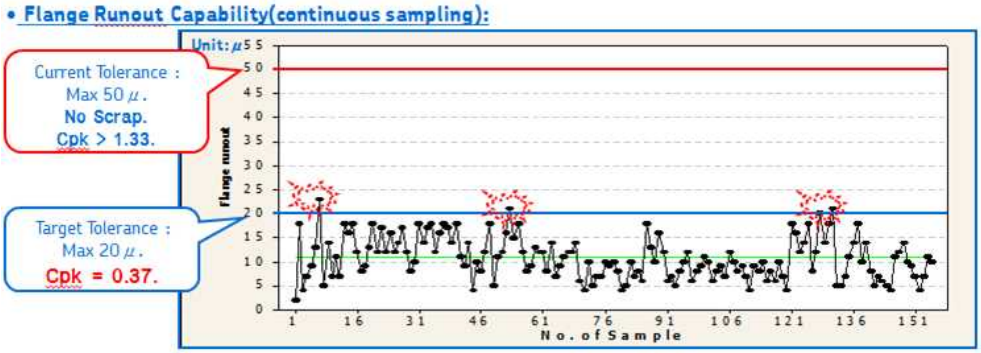
나. 공정능력 분석

다음 단계로 프로젝트 수행전 해당 조립라인의 공정능력을 알아보기 위한 분석을 실시하였다. 현재의 공정능력에 대한 조사가 실시되어 현재 수준의 플랜지 런아웃 공정능력이 조사되었고, 현재 관리 공정 능력 하에서의 고객사에서 요구 중인 관리 공차 축소를 적용할 경우의 잠재적인 불량률도 평가되었다.

1) 현재 관리 공차에서의 플랜지 런아웃 공정 기준

- Cpk > 1.33
- 불량률 ZERO

[그림 12]에서 처럼, 제조 공정내 플랜지 런아웃 자동 검사 공정에서 연속 샘플링을 통한 제품 측정값 분석 결과, 현 공정 관리 공차인 Max 50 미크론(적색 실선)하에서의 공정 능력은 양호하였으며, 불량 발생률도 “0”으로 분석되었다. 반면, 고객사에서 요구중인 관리 공차 Max 20 미크론(청색 실선)으로 변경 적용 시 공정능력 Cpk가 0.37로 나빠짐을 알 수 있었다.

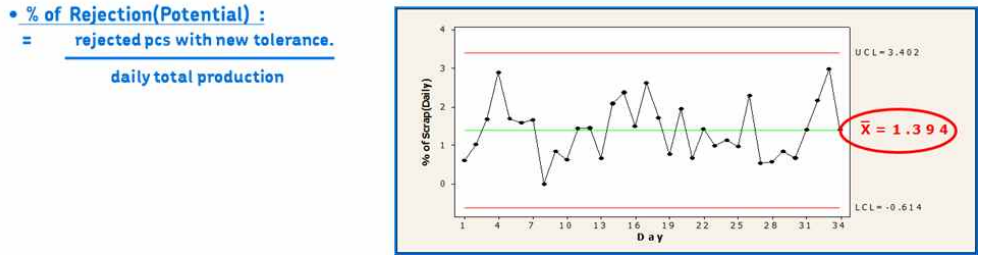


[그림 12] 현 공정의 플랜지 런아웃 산포

2) 현 공정 능력하에서 관리 공차 축소시의 잠재 불량률 예측

- 잠재 불량률 : 1.394%

또한, 현 플랜지 런아웃 자동 검사 공정에서 연속 샘플링을 통한 일별 측정값의 분석을 통하여, 고객 요구 사항에 따른 공차 축소 적용시(Max 20 미크론)의 잠재 불량률을 분석한 결과, 일별 발생 가능한 평균 잠재 불량률이 [그림 13]과 같이 1.394%로 예측되었다. 잠재 불량률의 예측은 일별 샘플링을 통해 얻은 시료의 샘플값에, 축소된 공차를 적용시 관리 공차를 초과하는 제품의 수를 전체 샘플의 수로 나눈 %로 하였다.



[그림 13] 관리공차 변경시의 잠재 불량률 예측 결과

분석의 척도로 일일 잠재 불량률%를 사용하기로 하였으며, 이는 일일 생산 활동 후에 총 투입수량에서 불량 발생수량을 나누어 일일 계산되어 일일 작업일지에 기록된다.

현재 관리 공차를 기준으로 할 경우의 불량률을 100%로 가정 시 고객이 요청하는 대폭 절감된 관리 공차를 적용하면 불량률이 35% 수준이 되도록 개선해야만 하였다(기존 잠재 불량률 1.4% → 0.5%).

다. 주요 입력변수의 선정

주요 입력변수를 선정하기 위해 먼저 프로세스를 파악하고 SIPOC, 프로세스 맵을 통해 출력변수에 영향을 주는 입력변수를 조사하였고, 이후 C&E Analysis가 실시되었다. ([그림 14], [그림 15], [그림 16], [그림 17], 그리고 [그림 18] 참조).

주요 공정으로 지목된 3차 선삭 공정, FIR 연삭 공정 그리고 조립에 대하여 [그림 14], [그림 15] 그리고 [그림 16]과 같이 SIPOC을 실시하였으며, 해당 공정에 영향을 미치는 이전 공정의 명칭을 Supplier란에, 입력 변수들과 입력 변수별 요구 조건들은 Input란에, 해당 공정의 작업 내용 또는 공정 내용은 Process란에, 출력 변수들과 출력 변수별 요구 조건들은 Output란에, 그리고 출력 변수에 영향을 받는 공정 또는 대상은 Customer란에 각각 구분하여 주요 인자들을 상세히 열거해 주었다.

[그림14]에서와 같이, 3차 선삭 공정의 주요 입력변수로는 열처리 공정으로부터 공급되는 피가공물의 품질 상태, 선삭 공정의 형번 교체용 Setup data 상태, 설비별 작업자의 기능 상태, 가공 제품의 이송 상태, 선삭 가공시의 쿨런트 공급 상태, 선삭용 바이트의 사양, 쿨런트 공급 압

력, 검사구의 상태, 선삭 설비의 5S 관리 상태, 지그와 형번 교체용 Tool의 상태 및 생산 형번별 변화 등 총 11개의 주요 입력 변수가 선정되었고, 이에 따른 출력 변수로 완제품 플랜지 런아웃의 시작점이 되는 FIR 단품의 플랜지 런아웃과 평면도가 결정되는 가장 중요한 공정임을 알 수 있었다.

Process Name: H3 Flange runout scrap % reduction (FIR Turning)
Process Owner:

S	I		P	O		C
Suppliers	Inputs		Process	Outputs		Customers
Providers of the required resources	Resources required by the process	Numerical requirements on inputs	Top level description of the activity	Deliverables from the process	Numerical requirements on outputs	(Stakeholders who place the requirements on the outputs)
		Requirements			Requirements	
FIR turning process	Heat treated ring	Drawing dimension material specification	Ring Loading	Turned FIR	**Flatness : Max micro** **Flange Runout : Max micro** No damage/scratch Other dimensions	Internal grinding Operation
	Turning bite	Counsumbale tool Stable tool life	FIR 3rd Phase Turning			
	Turning Utility	Proper coolant Stable Coolant Pressure/Q'ty (Min bar) Stable ele. condition		Daily Production report	Efficiency Scrap ratio D-time Production q'ty Cycle time	Management team S/Chain team
	Clamping Jig and Tooling	**Stable clamping** **Clamping variation** **Jig concentricity**				
	Turning program & Set up data	Proper feed-rate Proper RPM Stable Removal stock Proper Cycle time		Worn consumable tool	Waste of consumable tool	S/Chain team EHS
	Work instruction	Setup instruction Operating instruction Trouble instruction Bite change instru.				
	Transfer Handling	**No dents** No dirts				
	Operator	Training records Skill evaluation				
	Measuring gauge	reliable gauge Calibrated gauge	Unloading & moving to FIR Grinding			

[그림 14] 3차 선삭 공정에 대한 SIPOC의 입력변수와 출력변수

[그림15]에서와 같이, 연삭 공정의 주요 입력변수로는 선삭 공정으로부터 공급되는 피가공물의 품질 상태, 연삭 공정에서 사용되는 Consumable tools(지석이나 스톤), 연삭용 쿨런트 공급 상태나 압력, 공급량, 전자 제어 상태, 클렘핑 지그의 안정성, 연삭 cycle의 프로그래밍 설정 상태(이송 속도, 회전 속도, 취대 관리 상태, 각종 cycle time 설정 상태 등), 형번 교체용 Setup data 상태, 설비별 작업자의 기능 상태, 공

정내의 작업 지침서 내용, 검사구의 신뢰도 및 검교증 상태 등 총 9개의 주요 입력 변수가 선정되었고, 이에 따른 출력 변수로 완제품 플랜지 런아웃에 영향을 주는 연삭후 FIR 단품의 플랜지 런아웃과 평면도가 결정되는 중요 공정임을 알 수 있었다.

Process Name: H3 Flange runout scrap % reduction(FIR Grinding)
Process Owner:

S	I		P	O		C
Suppliers	Inputs		Process	Outputs		Customers
Providers of the required resources	Resources required by the process	Numerical requirements on inputs	Top level description of the activity	Deliverables from the process	Numerical requirements on outputs	(Stakeholders w ho place the requirements on the outputs)
		Requirements			**Requirements**	
FIR Grinding process	FIR turned ring	Drawing dimension	Ring Loading			
		material specification	FIR Grinding	Finished grinding FIR	**Flatness : Max micro**	Internal customer (Assembly)
	Consumable tool	Wheel specifiction			**Concentiricity : Max micro**	
		Wheel dimension			No damage/scratch	
		Stable tool life			Others drawing dimension	
	Grinding Utility	Proper coolant		Daily Production report	Efficiency	Management team
		Stable Coolant			Scrap ratio	S/Chain team
		Pressure/Q'ty			D-time	
		Clean/functional			Production q'ty	
		Stable electric condition			Cycle time	
	Clamping Jig and tooling	**Stable clamping**				
		Clamping variation				
		Jig concentricity				
	Grinding program	Proper feed-rate		Worn consumable tool	Waste of consumable tool	S/Chain team
		Proper RPM				EHS
		Stable Removal stock				
		Proper Cycle time				
	Work instruction	Setup instruction				
		Operating instruction				
		Trouble instruction				
		Wheel change instruction				
	Operator	Training records				
		Skill evaluation				
	Measuring gauge	reliable gauge	Unloading & moving to Assembly			
		Calibrated gauge				

[그림 15] FIR 연삭 공정에 대한 SIPOC의 입력변수와 출력변수

[그림16]에서와 같이, 조립 공정의 주요 입력변수로는 연삭 공정으로부터 공급되는 피가공물의 품질 상태, 조립 공정으로 공급되는 FOR 및

SIR의 품질 상태, 이송 방법, 완제품 베어링 생산에 필요한 각종 부품 (Stud, Cage, Ball, Seals, Grease 등)의 품질 상태, 각종 작업 지침서 (Setup 지침서, 작업 지침서 등), 설비별 작업자의 기능 상태, 검사구의 신뢰도 및 검교증 상태등 총 8개의 주요 입력 변수가 선정되었고, 이에 따른 출력 변수로 완제품의 플랜지 런아웃 값과 각종 공정 기록물 등이 확인되었다.

Process Name: H3 Flange runout scrap % reduction(Assembly)
Process Owner:

S	I		P	O		C
Suppliers	Inputs		Process	Outputs		Customers
Providers of the required resources	Resources required by the process	Numerical requirements on inputs	Top level description of the activity	Deliverables from the process	Numerical requirements on outputs	(Stakeholders who place the requirements on the outputs)
		Requirements			Requirements	
Assembly	**FIR Ground ring**	**Drawing dimension** **material specification**	Ring Loading FIR Grinding	Assembled Bearing	**Flange runout : Max micro** No damage/scratch Others dimensions	OEM Customer
	FOR Ground ring	Drawing dimension material specification				
	SIR Ground ring	Drawing dimension material specification		Daily Production report	Efficiency Scrap ratio D-time Production q'ty Cycle time	Management team S/Chain team
	Transfer	**Not dents** **Clear mateirals** **No dirts**				
	Components	Stud Cage Ball Seals Grease		Worn consumable tool	Waste of consumable tool	S/Chain team EHS
	Work instruction	Setup instruction Operating instruction Trouble instruction Wheel change instruction				
	Operator	Training records Skill evaluation				
	Measuring gauge	reliable gauge Calibrated gauge	Unloading & moving to Assembly			

[그림 16] 조립 공정에 대한 SIPOC의 입력변수와 출력변수

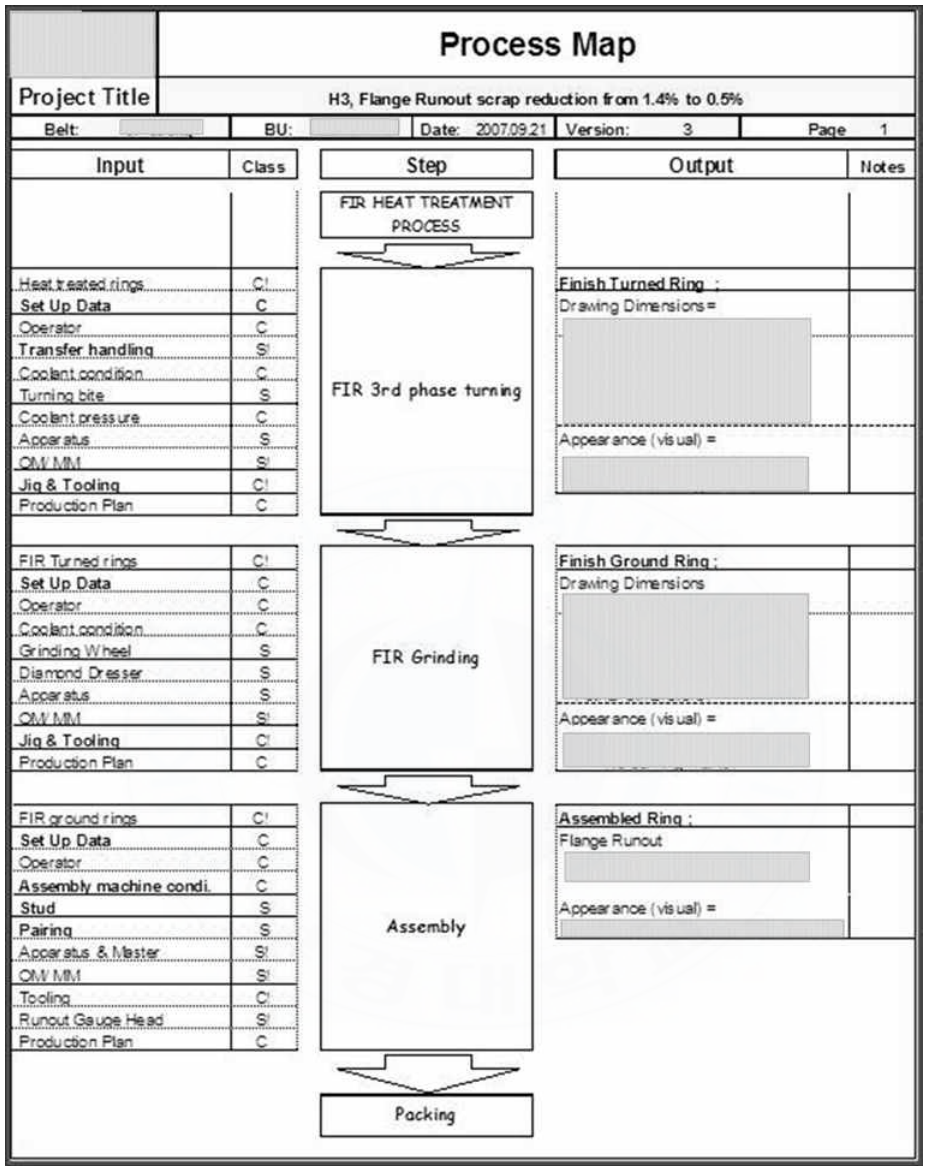
또한, [그림 17]의 프로세스 맵을 통해 허브유니트 베어링의 플랜지 런

아웃에 영향을 줄 수 있는 각각의 공정별 주요 입력 변수와 이를 통한 출력 변수를 조사하였다. 공정별 미미한 차이는 있지만 주요 입력 변수로서는 이전 공정으로부터 공급되는 제품의 상태, 공정 Setup data, 공정내 이동 경로, 작업 조건, 설비 조건, 치공구 상태, 작업자 및 검사구 상태 등이 돌출되었으며, 각각의 입력 변수 항목에 대하여서는 Controllable(C), Noise(N) 또는 Standard operating procedure(S)로 구분하여 식별 표기하였다. 그리고, 공정별 출력 변수로서는 공정내 명기된 도면상의 관리 규격인 런아웃 공차, 평면도, 동심도 그리고 외관 검사 기준(이상 가공 마크 없을 것과 스크래치 없을 것) 등이 지목되었음을 알 수 있다. 이와 같은 주요 공정별 입력 변수를 바탕으로 C&E 분석을 통해 주요 입력 변수를 도출하였다.

[그림 18]과 같이, XY 매트릭스에서는 선정된 출력 변수들을 Key process output란에 기입 후, 각각의 출력 변수들에 대하여 Customers에 영향을 미치는 중요도에 따라, 중요도가 높은 경우 최대 10점부터 중요도가 낮은 경우 최소 1점 기준으로 점수를 부여하였다. 그리고, 공정별 선정된 각각의 입력 변수들을 Process step 및 Process Input 란에 모두 기입 후, 각각의 입력 변수들에 대하여 Process output 항목에 영향을 미치는 중요도에 따라, 중요도가 높은 경우 최대 9점부터 중요도가 낮은 경우 최소 0점 기준으로 점수를 부여하였다. 이러한 방법으로 각각의 입력 변수와 출력 변수간의 중요도를 개별 평가하였다. 그 결과 [그림 18]의 노란색 표식 부분과 같이, 각각의 총합 점수가 가장 높은 변수를 주요 입력 변수로 선정하였다. 즉, 총 32개의 입력 변수 중 3차 선삭 공정의 Clamping Jig, 3차 선삭 공정이후의 이송 과정, 3차 선삭 공정의 Tool setup data 그리고 조립 공정에서의 제품 이송 과정이 주요 입력

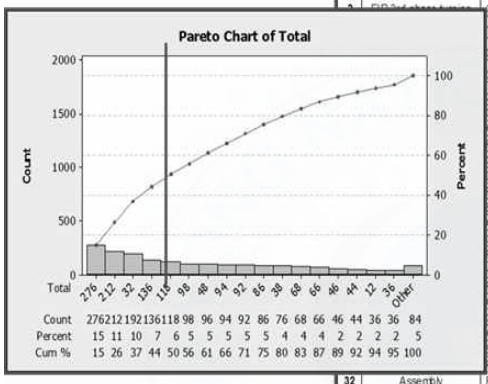
변수로 선정되었다. 이렇게 선정된 총 4개의 주요 입력 변수는 [그림 18]의 파레토 차트에서와 같이, 전체 변수의 51%를 차지하는 것으로 분석되었으며, 이는 개선 활동의 효율성과 Resource의 배분에 유효할 것으로 판단되어 졌다.

즉, 내륜 플랜지 선삭 가공을 위한 제품 안착 시의 안착부 불안정이나 생산 공정 간 이동 시의 충격에 의한 이상 변형 현상, 기타 설비 셋업 데이터의 변화에 따른 가공 변형 등의 인자들이 높은 순위를 차지하고 있음을 볼 수가 있었다.



[그림 17] 프로세스 맵의 입력변수와 출력변수

			12	8	3	11	10	1	7	6	4	9	13	5	2	
		Rating of Importance to Customer	10	8	8	6	6	6	4	4	4	2	2	4	2	
		Key Process Outputs	Assembled brg Flange runout	Ground FIR Flange runout	Turned FIR Flange runout	FIR Appreance	Ground FIR Groove position&variation	Turned FIR Flange Flatness	Ground FIR Flange Flatness	Turned FIR flange Roughness	Turned FIR Spigot valiation	Ground FIR Profile	Assembled brg Friction torque	Turned FIR Spigot diameter	Turned FIR Profile	
	Process Step	Process Input														Total
10	FIR 3rd phase turning	Clamping Jig	9	9	9	1	0	3	1	1	1	0	0	1	1	276
9	FIR 3rd phase turning	Transfer	3	9	9	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	212
2	FIR 3rd phase turning	Set Up Data of tools	3	3	3	1	1	3	3	1	1	1	0	1	1	136
20	Assembly	Transfer	9	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	132
6	FIR 3rd phase turning	Turning bite	3	1	1	1	0	3	1	3	1	1	0	1	1	98
12	FIR Grinding	FIR Turned rings	3	3	3	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	94
30	Assembly	Tooling	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	92
13	FIR Grinding	Set Up Data	3	3	0	1	3	0	0	0	0	3	1	0	0	86
19	FIR Grinding	OM/ MM	1	3	0	1	3	0	1	0	0	3	0	0	0	68
[illegible]	[illegible]	Operator	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	66
[illegible]	[illegible]	Transfer handling	1	1	1	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	48
[illegible]	[illegible]	Coolant condition	1	1	0	3	1	0	1	0	0	1	0	0	0	48
[illegible]	[illegible]	Coolant pressure	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	46
[illegible]	[illegible]	Coolant condition	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	44
[illegible]	[illegible]	Operator	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	38
[illegible]	[illegible]	Apparatus	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	38
[illegible]	[illegible]	Pairing	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	36
[illegible]	[illegible]	Grinding Wheel	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	32
[illegible]	[illegible]	Diamond Dresser	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	32
[illegible]	[illegible]	FIR ground rings	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	32
[illegible]	[illegible]	Set Up Data	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	32
[illegible]	[illegible]	Apparatus & Master	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	32
[illegible]	[illegible]	OM/ MM	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	32
[illegible]	[illegible]	Runout Gauge Head	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30
[illegible]	[illegible]	Heat treated rings	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	22
[illegible]	[illegible]	Production Plan	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16
[illegible]	[illegible]	Apparatus	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	12
[illegible]	[illegible]	Operator	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	12
[illegible]	[illegible]	Assembly machine condi.	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	12
[illegible]	[illegible]	Stud	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
[illegible]	[illegible]	Production Plan	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
32	Assembly	Production Plan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total			740	344	240	144	90	90	52	40	32	30	28	24	16	



[그림 18] C&E 분석 및 파레토 차트 결과

3. 분석 (Analyze)

플랜지 런아웃 공정 불량률 개선 관련 주요 입력 변수들 중에서 핵심 입력변수로 선정된 요인들의 분석이 필요하였다. 현재의 상황을 좀더 상세하게 파악하기 위하여 플랜지 런아웃 공정에 대하여 몇 가지 분석을 실시하기로 하였다.

가. 주요 개선 인자

앞서 언급되었던 바와 같이, 주요 개선 인자 발굴 방법으로, SIPOC, Pmap 분석, C&E(Cause & Effect) 분석 및 FMEA(Failure Mode and Effect Analysis) 분석을 실시하였다.

FMEA 분석을 통하여 총 8개의 고장 모드를 발굴하였는데 4개는 공통적인 일반요인으로 베어링 가공 공정에서의 베어링 클램핑량 변동인자, 4개는 특수 요인으로서 베어링 가공시의 불완전한 취급이었다.

앞서 언급된 C&E 분석을 통해 선정된 공정별 주요 입력 변수들을 FMEA의 Process step과 Input란에 명기하였으며, 각각의 Input으로 인한 Potential Failure mode를 모두 열거 하였다. 또한, Potential Failure mode로 인한 Potential Effect를 Failure mode별 분석 기록하였고, Failure mode별 발생 원인에 대한 분석 기록도 실시하였다.

공통적인 일반 요인으로는 지그나 툴의 이상 장착으로 인한, 플랜지 단면의 평면도 이상, 동심도 이상, 플랜지 런아웃 이상의 발생 요인과 가공 설비의 셋업 데이터 관리 이상에 의한 플랜지 런아웃 이상의 발생 요인으로 총 4개의 고장 모드를 발굴하였으며, 특수 요인으로는 선삭 가공 공정에서 발생 가능한 제품 가공부의 손상에 대한 고장 모드 2개와 조립 공정에서 발생 가능한 제품 가공부의 손상에 대한 고장 모드 2개로 총 4개의 특수 요인에 의한 고장 모드를 발굴하였다.

분석된 각각의 Failure mode에 대한 심각도(Severity), 발생도(Occurrence) 그리고 검출도(Detection)를 산출하여, Failure mode별 RPN(=심각도 * 발생도 * 검출도)값을 산출하였다. 그 결과, 클램핑량 이상이나 불안정한 부품 공급에 따른 내륜 플랜지의 기울어짐 현상이 런아

웃 개선의 주요 관리 인자로써 가장 높은 RPN값(400)을 보였으며, 뒤를 이어 날카로운 형상에 기인한 선삭 공정에서의 가공 단면 손상이 RPN값(280), 조립 공정에서의 가공 단면 손상이 RPN값(196), 작업자의 셋팅 미숙이나 툴 셋업 데이터 관리 미흡으로 인한 클램핑 죠의 런아웃 이상이 RPN값(160)으로 평가되었다. 이는 개선이 필요한 우선 순위를 선정하는 중요한 기준 설정이 되었다.

Item or Process	HBU3 Flange Runout	Process Responsibility	FMEA Number Prepared by:
Product /Service Family		Key Date	PFMEA Date (Orig) _2007. 10. 07

Core team

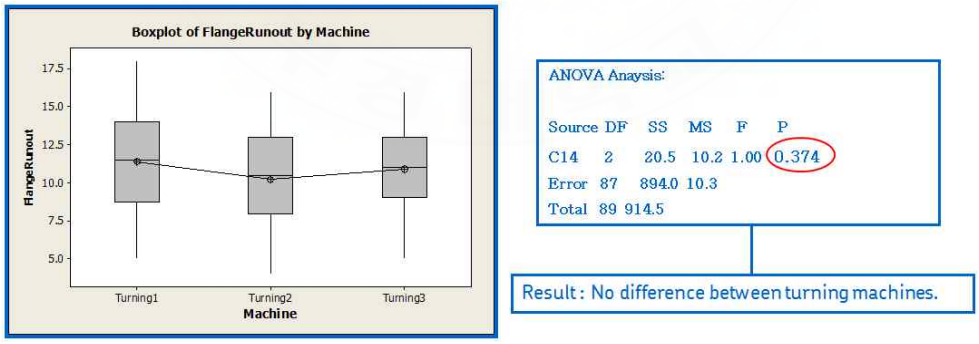
Process Step	Input	Potential Failure Mode(성능 상실의 원인?)	Potential Effect(s) of Failure (customer에게 미치는 영향?)	rity	Sev e	Cl as s	Potential Cause(s)/Mechanisms of Failure(failure mode의 원인?)	r r e n	O c c u	Current Process Controls Detection	c t i o	D e t e	RPN
FIR 3rd phase turning	Jig & Tooling	too higher flatness	FIR Flange inclination & higher flange runout after assembly				Jig and Tooling error. (Wrong clamping + wrong Parallerism of tools)			Resetting check sheet			16
		too higher Concentiricity	Over Spigot Runout and FIR Flange inclination				Wrong clamping due to Jig and tooling arrangement error			SPC control by operator			70
		Too higher runout	FIR Flange inclination				Wrong clamping or clamping deviation during loading			No inspection standards			400
FIR 3rd phase turning	Transfer	Dents after 3rd pahse turning on edge of flange	Over flange runout after module mounting.				Sharp edge on flange and handling damage			Visual inspection			280
							No standard for internal packing			Visual inspection			196
FIR 3rd phase turning	Set up data of tools	higher runout on clamping jaw.	Over flange runout				Operator setting error			Resetting check sheet			160
Assembly	Manual transfer and handling	Dents on the edge of flange	Over Assembly runout with disk mounting				Manual semi- auto machine and manual transfer			Visual inspection			196
							too small chamfer on the edge of Flange			Visual inspection			196

[그림 19] FMEA 분석 내용

또한, 주요 입력 변수인 선삭 공정에 대한 입력변수와 출력변수에 대한 가공 설비간의 차이를 확인하기 위하여 가설 검정을 실시하였다.

가설 검증 실시 방법은 총 3대의 3차 선삭 가공 설비 간에 플랜지 런아웃값의 유의한 차이가 있다는 가설 하에 각각의 설비별 가공된 피가공체를 샘플링하여 플랜지 런아웃 값을 측정하였고, 그 측정값 간의 유의성 확인을 위한 ANOVA 분석을 실시하였으며, 그 실시 결과 [그림 20]의 Boxplot 도표와 같이 가공 설비별 평균값과 산포를 확인할 수 있었다. P value가 0.374로서 3대의 가공 설비별 유의한 차이가 있음을 기각하는, 다시 말해 3대의 가공 설비별 플랜지 런아웃값의 통계적 유의한 차이가 없음을 확인하였다.

즉, 현 선삭 가공 공정내 설치되어 있는 총 3대의 선삭 장비별 가공후 피절삭체의 플랜지 런아웃 측정값의 차이를 분석한 결과, 앞서 언급된 선삭 가공 공정의 주요 입력 변수에 따른 설비별 출력 변수의 유의한 차이가 없는 것을 확인하였고, 이는 향후 개선을 위한 입력 변수 개선 방향에 설비 각각의 입력 변수 관리 상태의 차이에 기인한 출력 변수의 차이기 발생하지 않음을 검증한 것이다.

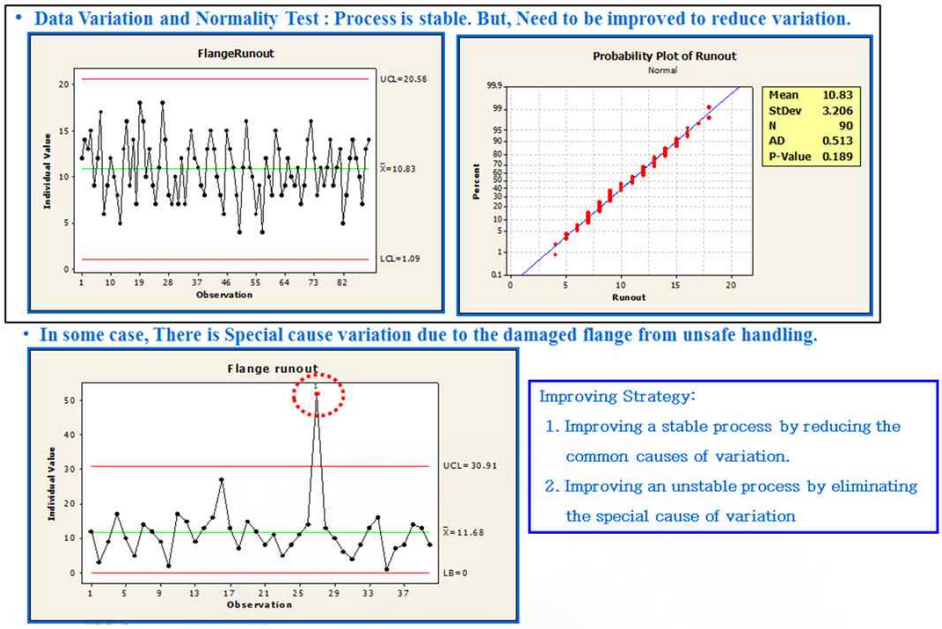


[그림 20] ANOVA Test 결과

그리고, 가공 공정의 산포 발생 현상에 대한 통계적 분석을 위하여, 공

정 안정성 테스트(Process Stability Test)를 실시하였으며, [그림 21]에서와 같이, 일상 공정에서 측정된 공정내 피가공체의 플랜지 런아웃값에 있어 피가공체 개별 산포는 관찰되었으나, Probability Plot에서와 같이 안정적인 분포를 나타내는 것(P value=0.189)을 확인할 수 있었고, 분석 과정 중에서 [그림 21]의 아래 그래프와 같이 일부의 샘플에서 이상 산포를 나타내는 것을 확인하였다. 또한, 이상 산포를 나타내는 샘플의 가공 단면 점검 결과, 가공면의 손상에 기인한 단면의 미세한 돌출 현상 또는 함몰 현상을 육안으로 관찰할 수 있었다. 즉, 앞서 소개한 주요 입력 변수의 선정 과정에서 언급된 가공 공정과 조립 공정의 주요 입력 변수(가공중의 플랜지 런아웃 산포 발생 요인과 이송 또는 작업중 제품간의 간섭에 의한 변형 등)가 공정 안정성 테스트에서도 산포 발생의 주요 인자임을 확인 할 수 있었다. 이는 안정된 공정으로부터의 공통적인 산포 요인과 외관 손상에 기인한 부품으로부터의 특수 변동 요인을 확인하게 되었다.

[표 1]에서와 같이, FMEA분석 등을 통하여서도 8개의 고장 모드를 발굴하였는데, 4개는 공통적인 일반요인으로 베어링 가공 공정에서의 베어링 클램핑량 변동, 4개는 특수 요인으로 베어링 가공시 또는 이송중의 불안전한 취급이었다.



[그림 21] 공정 안정성 테스트 결과

[표 1] 주요 입력 변수 List

구 분	입력 변수
공통적인 산포 요인	3차 선삭 제품 공급시 이상 클램핑
	3차 선삭 작업자 Setup data 이상
	3차 선삭 클램핑 지그 장착 이상
	3차 선삭 툴링 에러
특수 산포 요인	3차 선삭에서의 가공 단면 손상
	3차 선삭후의 이송중 단면 손상
	조립 반자동 공정에서의 제품 취급시 단면 손상
	조립 공정에서의 이송중 단면 손상

4. 개선 (Improve)

분석 결과 현재 베어링 제조공정에서 가장 문제가 되는 부분은 [그림 22] C&E 분석에서 점수가 가장 높게 평가된 3차 선삭 공정에서의 클램핑 지그(276점) 영향 및 [그림23] FMEA 분석에서 점수가 가장 높게 평가된 3차 선삭 공정에서의 클램핑 이상이나 제품 안착 불안정(400점)에서와 같이, 3차 선삭 가공 시 클램핑되는 제품의 흔들림이었다.

			12	8	3	11	10	1	7	6	4	9	13	5	2	
		Rating of importance to Customer	10	8	8	6	6	6	4	4	4	2	2	4	2	
		Key Process Outputs	Assembled brg Flange runout	Ground FIR Flange runout	Turned FIR Flange runout	FIR Appreance	Ground FIR Groove position variation	Turned FIR Flange Flatness	Ground FIR Flange Flatness	Turned FIR flange Roughness	Turned FIR Spigot valiation	Ground FIR Profile	Assembled brg Friction torque	Turned FIR Spigot diameter	Turned FIR Profile	
	Process Step	Process Input														Total
10	FIR 3rd phase turning	Clamping Jig	9	9	9	1	0	3	1	1	1	0	0	1	1	276
9	FIR 3rd phase turning	Transfer	3	9	9	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	212
2	FIR 3rd phase turning	Set Up Data of tools	3	3	3	1	1	3	3	1	1	1	0	1	1	136
20	Assembly	Transfer	9	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	132

[그림 22] C&E 분석의 주요 입력 변수

또한, 정상적인 생산 공정 중에서 가공 자체의 문제가 아니더라도 제품 이동 중 또는 예상치 못한 제품끼리의 충돌에 의한 플랜지 모서리부 찍힘으로 인하여 플랜지 런아웃이 고객 요구 조건을 만족하지 못할 경우가 관찰되었다.

Item or Process	HBU3 Flange Runout	Process Responsibility	FMEA Number
Product /Service Family		Key Date	Prepared by:
			PFMEA Date (Orig) _2007. 10. 07

Core team

Process Step	Input	Potential Failure Mode(성능 상실의 원인?)	Potential Effect(s) of Failure (customer에게 미치는 영향?)	Severity	Class	Potential Cause(s)/Mechanisms of Failure(failure mode의 원인?)	Occurrence	Current Process Controls Detection	Detection	RPN
FIR 3rd phase turning	Jig & Tooling	too higher flatness	FIR Flange inclination & higher flange runout after assembly			Jig and Tooling error. (Wrong clamping + wrong Parallerism of tools)		Resetting check sheet		16
		too higher Concentiricity	Over Spigot Runout and FIR Flange inclination			Wrong clamping due to Jig and tooling arrangement error		SPC control by operator		70
		Too higher runout	FIR Flange inclination			Wrong clamping or clamping deviation during loading		No inspection standards		400

[그림 23] FMEA 분석의 주요 입력 변수

따라서 FMEA 결과 및 통계자료 분석결과를 기준하여 “플랜지 선삭 단면 가공 설비 개선”과 “제품 형상 개선을 통한 모서리부 손상 개선”의 두 가지 개선 활동이 집중적으로 실시되었다.

가. 플랜지 선삭 단면 가공 설비 개선

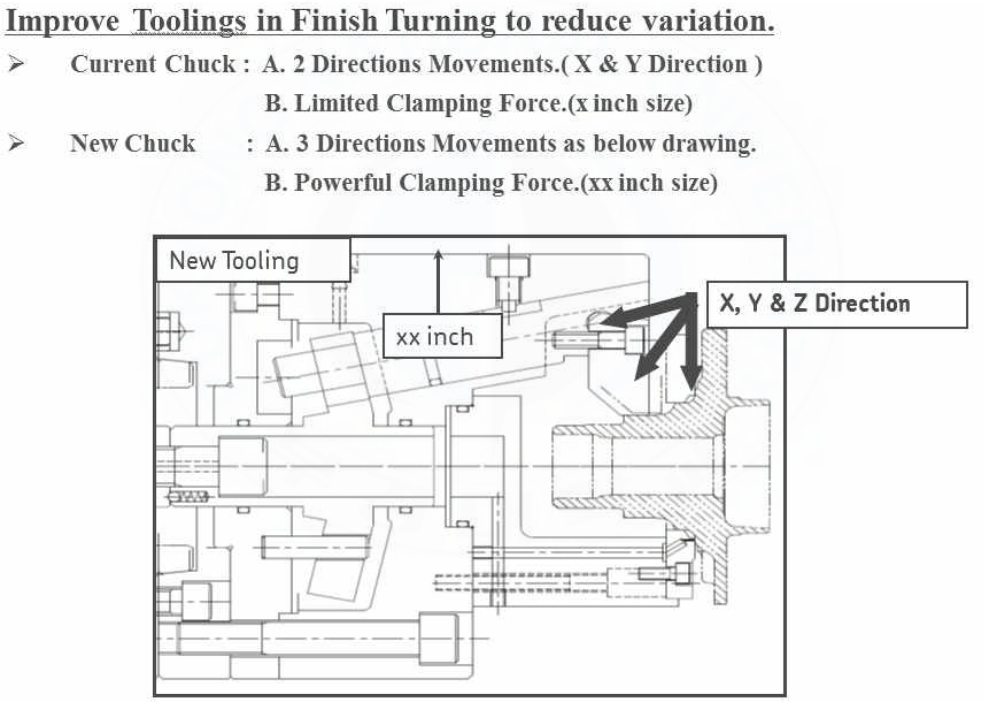
최우선적으로 플랜지 런아웃 단면 가공 시 제품의 안착 불안정 요인 개선을 위하여 [그림 24]와 같이 가공 설비 내 클램핑 툴의 안착 방식 변경 및 고정력 강화를 위한 새로운 설계 방식의 툴을 제작하여 장착하였다.

선삭 가공시의 관리 공차 대비 제품 안착시의 제품 불안정에 대한 공정 조사를 실시하였으며, 가공 제품 정도의 변화에 가장 많은 영향을 초래하는 것으로는 제품 고정척의 클램핑 운동시, 제품의 안착 위치나 피절삭물의 상태에 따라 제품의 미세한 유격이 관찰되는 것이었다.

즉, 현 클램핑 척의 특성상, X축과 Y축 운동 방식의 움직임으로는 제

품의 안착면과 클램핑 면을 항상 균일하게 유지하는데 한계가 있음을 확인하였으며, 현 클램핑 척의 클램핑 압력도 다양한 피절삭체의 상태 변화 대비 안정적인 클램핑 역할을 위해서는 한 단계 클램핑력을 증대시키는 것이 바람직함을 확인하였다.

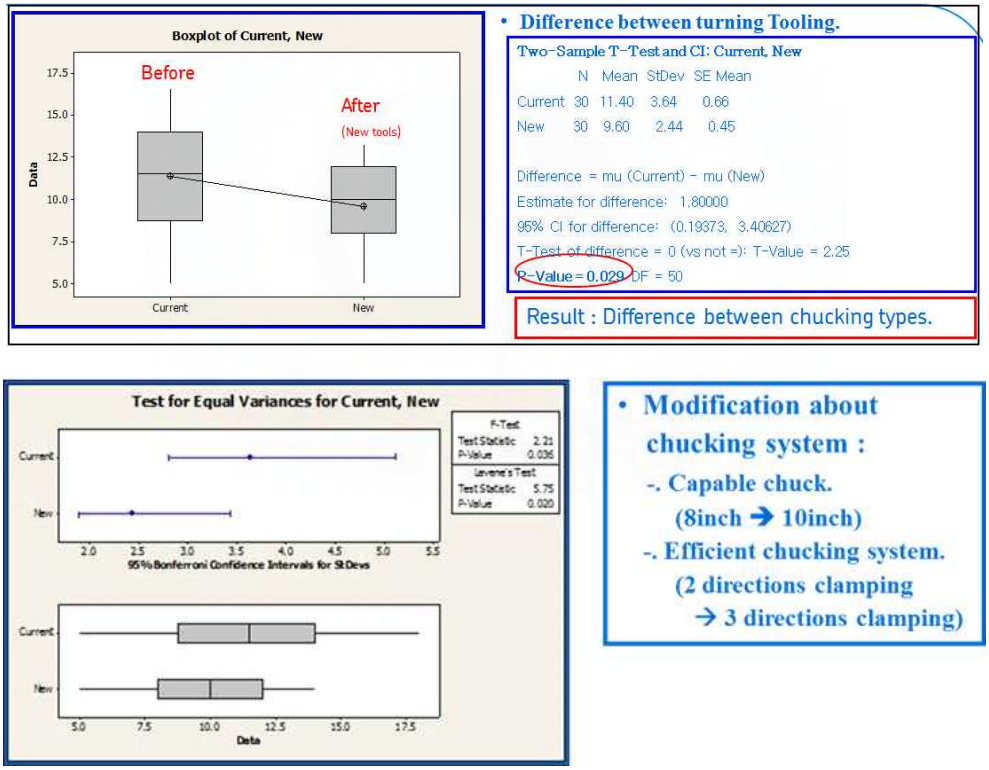
즉각적인 툴 개선 변경 요청에 따라 협력업체로 부터의 개선된 툴이 다소 입고 지연되었으나 전체적인 프로젝트 진행 일정에는 문제가 없이 진행되었다.



[그림 24] 클램핑 툴의 개선 사진

제품 개선 효과의 분석을 위하여 개선된 클램핑 툴에 대한 t-Test를 실시하였으며, 새로운 툴에 대한 t-테스트 결과는 [그림 25]과 같이, 개

선전(Before) 피가공체의 플랜지 런아웃 측정값과 개선후(After) 피가공체의 플랜지 런아웃 측정값간의 유의차가 없다는 가설 하에, 각각의 데이터 30개에 대한 테스트를 실시하였으며, 테스트 결과, P value가 0.05보다 적은 0.029를 얻어 개선 효과에 대한 유의한 차이가 없다는 가설을 기각함을 확인하였다. 또한, Equal Variances Test 그래프에서와 같이, 동일한 방법으로 개선전(Current)의 산포와 개선후(New)의 산포가 통계적으로 유의한 차이가 있음을 확인하였다. 즉, 플랜지 런아웃에 대한 개선 결과가 유효함을 검증할 수 있었다.



[그림 25] 신규 툴에 대한 t-테스트 결과

나. 제품 형상 개선을 통한 모서리부 손상 개선

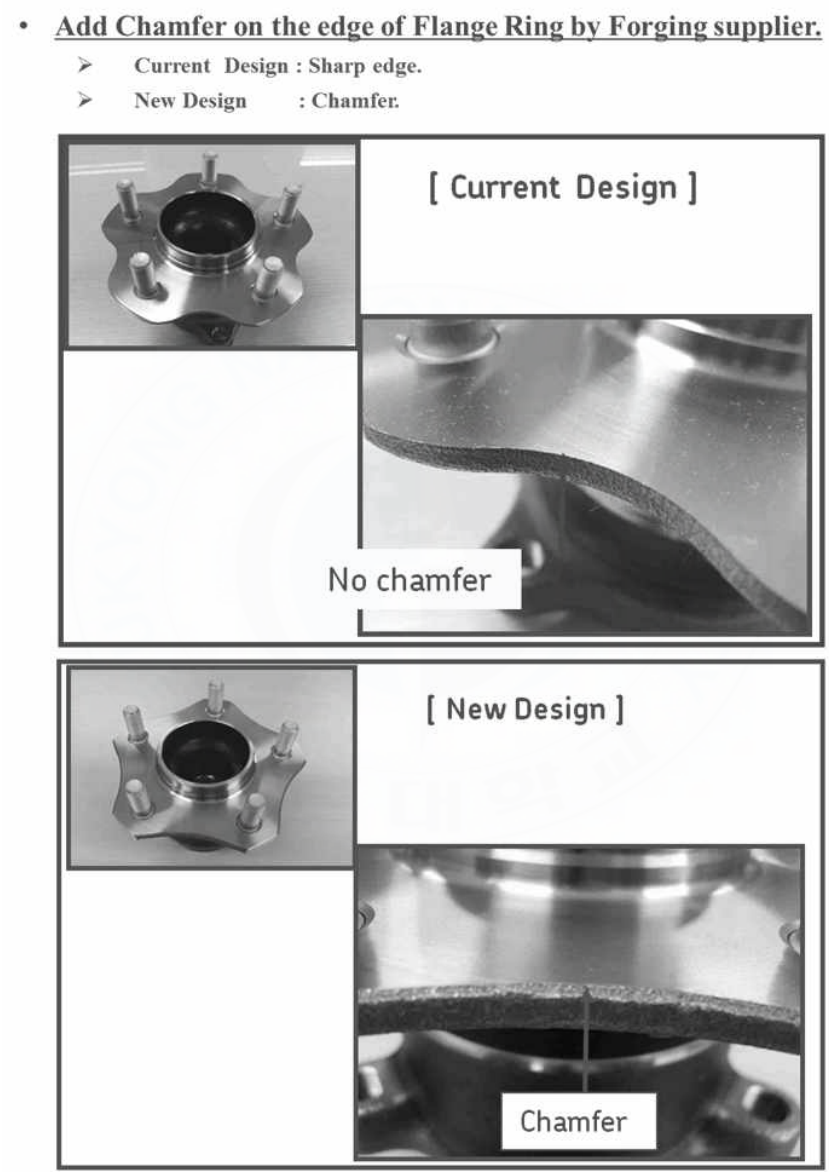
2개의 주요 개선 필요 항목 중 두 번째인 제품 모서리부 손상 개선을 위한 프로젝트팀 활동이 동시에 실시되었다.

개선을 위한 여러 번의 회의 및 브레인스토밍 등의 활동을 통해 제기된 여러 가지 개선안 중에서 모서리부 손상 가능성을 근본적으로 제거할 수 있고 기술적으로 실현 가능 타당성이 확보된 개선 활동 방안을 선정하여 개선하기로 결정하였다. 모서리부 손상 개선 전/후 사진을 비교하면 [그림 26]와 같다.

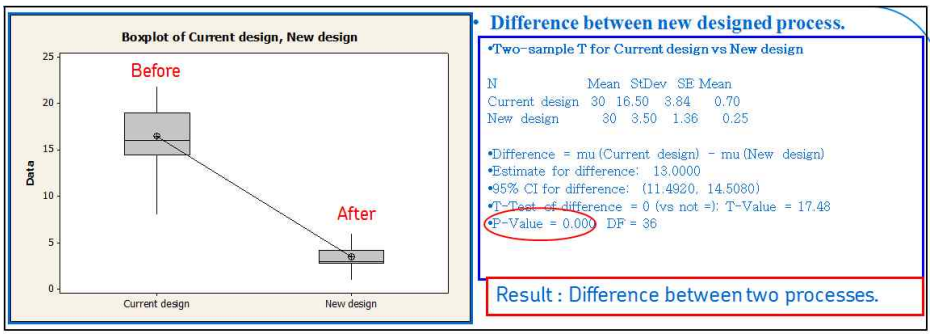
이후 개선 효과의 분석을 위하여 개선된 디자인에 대한 모서리부 손상 발생 건수에 대한 t-Test를 실시하였으며, 새로운 툴에 대한 t-테스트 결과는 [그림 27]와 같이, 개선전(Before) 피가공체의 플랜지 런아웃 측정값과 개선후(After) 피가공체의 플랜지 런아웃 측정값간의 유의차가 없다는 가설 하에, 각각의 데이터 30개에 대한 테스트를 실시하였으며, 테스트 결과, P-value가 0.05보다 적은 0.000을 얻어 개선 효과에 대한 유의한 차이가 없다는 가설을 기각함을 확인하였다. 즉, 플랜지 런아웃에 대한 개선 결과가 유효함을 검증할 수 있었다.

최종적으로, 두 항목의 개선 활동에 의한 개선품의 최종적인 프로세스 유효성 점검을 위하여 제조 공정 능력의 변화 여부와 이상품 발생 추세의 변화 여부를 검증하기 위해 2 sample T-test를 실시하였고, 먼저 [그림 28]에서와 같이 개선전(Before) 플랜지 런아웃 측정값과 개선후(After) 플랜지 런아웃 측정값간의 유의차가 없다는 가설 하에, 각각의 데이터 100개에 대한 테스트를 실시하였으며, 테스트 결과, P-value가 0.05보다 적은 0.000을 얻어 개선 효과에 대한 유의한 차이가 없다는 가

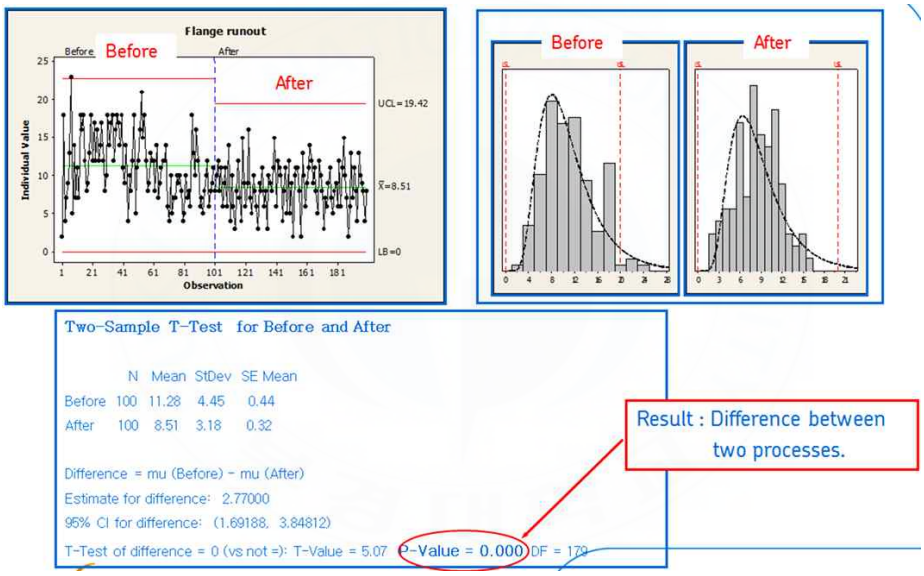
설을 기각함을 확인하였다. 즉, 플랜지 런아웃에 대한 개선 결과가 유효함을 검증할 수 있었다.



[그림 26] 모서리부 손상 개선 전/후 사진 비교



[그림 27] 모서리부 찍힘 개선에 대한 t-Test 결과

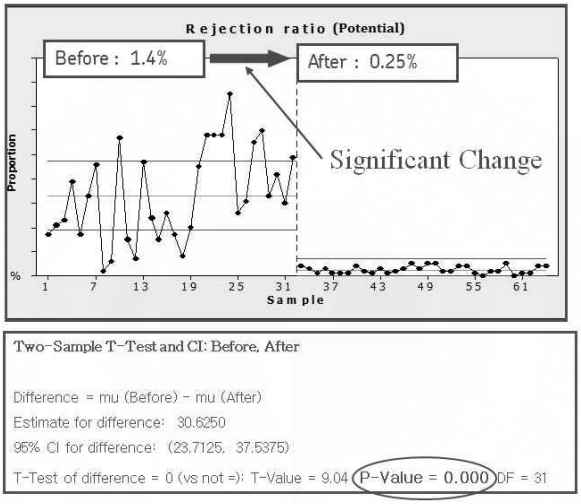


[그림 28] 2 sample t-Test 결과

그리고, [그림 29]에서와 같이, 이에 따른 이상품 발생 추세의 변화 여부 검증을 위하여 개선전(Before) 불량 발생률과 개선후(After) 불량 발생률의 유의차가 없다는 가설 하에, 각각의 한달간의 발생률 데이터에 대한 테스트를 실시하였으며, 테스트 결과, P-value가 0.05보다 적은

0.000을 얻어 개선 효과에 대한 유의한 차이가 없다는 가설을 기각함을 확인하였다. 즉, 플랜지 런아웃 불량률 개선에 대한 개선 결과가 유효함을 검증할 수 있었다.

이에 따른 이상품 발생률은 기존 예측된 발생률을 100%라 가정하였을 때, 당초 프로젝트 개선 목표로 설정한 35% 수준을 초과한 17% 수준을 달성하게 되었다 (잠재 불량률 1.4% → 0.25%로 하향).



[그림 29] 제조 공정내 잠재 불량률 추이 분석 결과

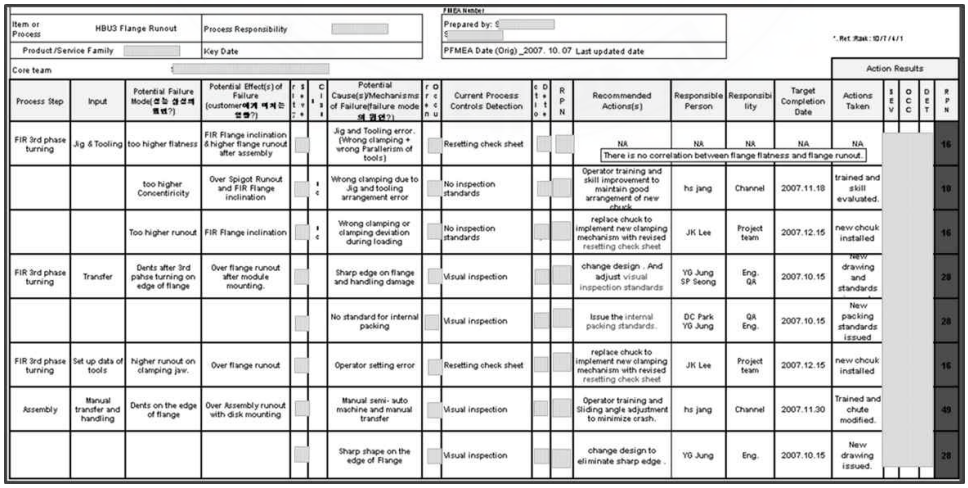
5. 관리 (Control)

검증된 개선 효과를 지속적이고 안정적으로 관리하기 위하여, 주요 관련 인자의 세부적인 관리 계획을 반영하기 위한 FMEA 개정 및 공정 관리 계획서의 개정을 실시하였다([그림 30]과 [그림 31] 참조).

[그림 30]의 개정된 FMEA는 분석 단계에서 작성된 [그림 19]의

FMEA에 명기된 Failure mode별 8가지의 원인 각각에 대한 개선 활동 내용 및 향후 공정 관리를 위한 개정 표준 문서 개정 사항, 담당팀 및 담당자 그리고 최종 완료 일자에 대해 상세 개정 기록하였다. 또한, 최종 개선 활동이 완료된 후 각각의 Failure mode 원인들에 대한 심각도(Severity), 발생도(Occurrence) 그리고 검출도(Detection)를 재평가하여, 항목별 RPN(=심각도 X 발생도 X 검출도)값을 재산출하였다. 한 예로, 개선전 RPN값이 400으로 평가되었던 Clamping 이상이나 불안정한 부품 공급에 따른 FIR 플랜지의 기울러짐 현상에 대한 RPN값 재평가 결과, Clamping chuck 변경과 Resetting check sheet 개정 운영을 통하여 RPN값이 16점으로 개선되었다. 각 항목별 개선된 RPN값은 [그림 30]의 적색 부분에 항목별로 명기되어 있다.

또한 제품 가공 및 이송중 상호 찍힘에 따른 플랜지 이상품을 제거하기 위한 부품 도면 변경을 확인하기 위하여 조립 공정에서의 제품 외관 검사를 추가하였다.



Item or Process	HBU3 Flange Runout	Process Responsibility	FMEA Number	Prepared by:
Product/Service Family		Key Date		PFMEA Date (Orig) _2007. 10. 07 Last updated date
Core team				

Process Step	Input	Potential Failure Mode(결함 잠재에 대변?)	Potential Effect(s) of Failure (customer에게 미치는 영향?)	Sev	Class	Potential Cause(s)/Mechanisms of Failure(failure mode 원인?)	Occ	Current Process Controls Detection	Det	RPN	Recommended Actions(s)	Responsible Person	Responsibility	Target Completion Date	Action Results: Actions Taken	SEV	OCC	DET	RPN
FIR 3rd phase turning	Jig & Tooling	too higher flatness	FIR Flange inclination & higher flange runout after assembly			Jig and Tooling error. (Wrong clamping + wrong Parallerism of tools)		Resetting check sheet			NA There is no correlation between flange flatness and flange runout.	NA	NA	NA	NA				16
		too higher Concentricity	Over Spigot Runout and FIR Flange inclination		c	Wrong clamping due to Jig and tooling arrangement error		No inspection standards			Operator training and skill improvement to maintain good arrangement of new chuck.	hs jang	Channel	2007.11.18	trained and skill evaluated.				18
		Too higher runout	FIR Flange inclination		c	Wrong clamping or clamping deviation during loading		No inspection standards			replace chuck to implement new clamping mechanism with revised resetting check sheet	JK Lee	Project team	2007.12.15	new chcuk installed				16
FIR 3rd phase turning	Transfer	Dents after 3rd pahse turning on edge of flange	Over flange runout after module mounting.			Sharp edge on flange and handling damage		Visual inspection			change design . And adjust visual inspection standards	YG Jung SP Seong	Eng. QA	2007.10.15	New drawing and standards				28
						No standard for internal packing		Visual inspection			Issue the internal packing standards.	DC Park YG Jung	QA Eng.	2007.10.15	New packing standards issued.				28
FIR 3rd phase turning	Set up data of tools	higher runout on clamping jaw.	Over flange runout			Operator setting error		Resetting check sheet			replace chuck to implement new clamping mechanism with revised resetting check sheet	JK Lee	Project team	2007.12.15	new chcuk installed				16
Assembly	Manual transfer and handling	Dents on the edge of flange	Over Assembly runout with disk mounting			Manual semi- auto machine and manual transfer		Visual inspection			Operator training and Sliding angle adjustment to minimize crash.	hs jang	Channel	2007.11.30	Trained and chute modified.				49
						Sharp shape on the edge of Flange		Visual inspection			change design to eliminate sharp edge .	YG Jung	Eng.	2007.10.15	New drawing issued.				28

[그림 30] FMEA 개정

[그림 31]에서처럼 공정 관리 계획서도 관리 대상 출력 변수인 플랜지 런아웃값과 외관 손상 유무에 대한 관리 기준을 새롭게 지정하였다. 공정 관리 계획서에는 새로운 관리 기준, 샘플 싸이즈, 주기, 검사 방법, 이상품 발생시 조치 방법, 확인 기준 자료, 사용 Check sheet 그리고 담당자를 명확히 지정하여 개정 후 배포하였다.

Output	Input	Process Spec (LSL.USL.Targ	Cp.Cpk /Date	Measurement	% R&R P/T	Sample Size	Sample frequenc	Control Method	Reaction Plan	Performance Chart	Owner
FIR Flange runout	FIR/Process Drawing	Max							Stop machine Segregate suspicious report & adjust	Check sheet	CH. Manager
Dents	Work Instruction	No dents	-	Naked eye	Acceptable	100%	100%	Visual	Segregate suspicious report & adjust	Check sheet	CH. Manager
Dents	Packing Drawing	Free Defects	-	Naked eye	Acceptable	1 box	quarter	Visual	Segregate suspicious report & adjust	Audit sheet	QA Manager

[그림 31] 공정 관리 계획서 개정

아울러 [그림 32]의 셋팅 승인서와 같이 형번 교체 시 작업자들의 부주의에 따른 오작업 또는 이상품 발생 방지를 위하여 제품 셋팅시마다 작업자들이 관련 체크시트에 따라 측정 및 확인을 하고, 그 결과를 관련 기록지에 기입, 제출토록 하였다. 물론, 양산 공정에서의 지속적인 관리를 위하여, 개정된 셋팅 승인서에 대한 교육이 먼저 선행되었으며, 교육시에는 새롭게 강화 적용되는 제품 품질 특성에 설명과 변경된 공차에 대한 설명을 비롯하여, 변경 사항에 대한 기록 관리 방법에 대한 내용도 교육 되었다. 해당 셋팅 승인서는 공정 작업자가 작성 후, 셋팅 초품 승인을 위한 샘플 제출시 품질 부서에 같이 제출토록 하여, 지속성을 담보하도록 하였으며, 품질 부서는 제출된 제품과 승인서의 내용을 확인 후

양산 승인하는 업무 절차를 유지, 감독하도록 하였다. 이러한 절차에 따라 현재도 개정된 내용 및 절차서가 유효함을 지속적으로 관리 감독하고 있다.

보존년한:10년

셋팅 승인서 (RESETTING CHECK PARAMETER)

PROCESS	TYPE	DATE	OPERATER	PRODUCT DEPT'	Q.A DEPT'
OP I	XXX - XXXX	. . .			

	PARAMETER (측정 항목)	중요도	TOLERANCE (관리 규격)	MEASURED DATA (측정치)				RESULT(결과)	
				NO1	NO2	NO3	NO4	OK	NG
1	Flange thickness [프랜지 두께]			mm	mm	mm	mm		
2	Boss thickness [보스 두께]			mm	mm	mm	mm		
3	Spigot end(or Flange) to O/B seal contact [스피곳 끝단(또는 플랜지면)~ O/B 씰 접촉면]			mm	mm	mm	mm		
4	Flange to spigot [스피곳외부길이]			mm	mm	mm	mm		
5	Rolling part to flange [노즈~플랜지면]			mm	mm	mm	mm		
6	Bore dia. [보어 내경]			mm	mm	mm	mm		
7	Small Spigot dia. [스몰 스피곳 경]	SC		mm	mm	mm	mm		
8	Large spigot dia [라지 스피곳 경]	SC		mm	mm	mm	mm		
9	Flange diameter [프랜지 외경]			mm	mm	mm	mm		
10	Concentricity [동심도]			mm	mm	mm	mm		
11	Flange run-out	SC	max xxx micro	micro	micro	micro	micro		

	Check parameter	확인 결과치	RESULT(결과)	
			OK	NG
1	게시되어 있는 도면 형번	도면형번 :		
2	게시되어 있는 작업표준서 형번	작업표준서형번 :		
3	작업장 및 검사대 주위에 他형번이 있는가?			
4	작업장 및 검사대 주위에 정보표시가 없는 제품이 있는가?			
5	기타 특이사항			

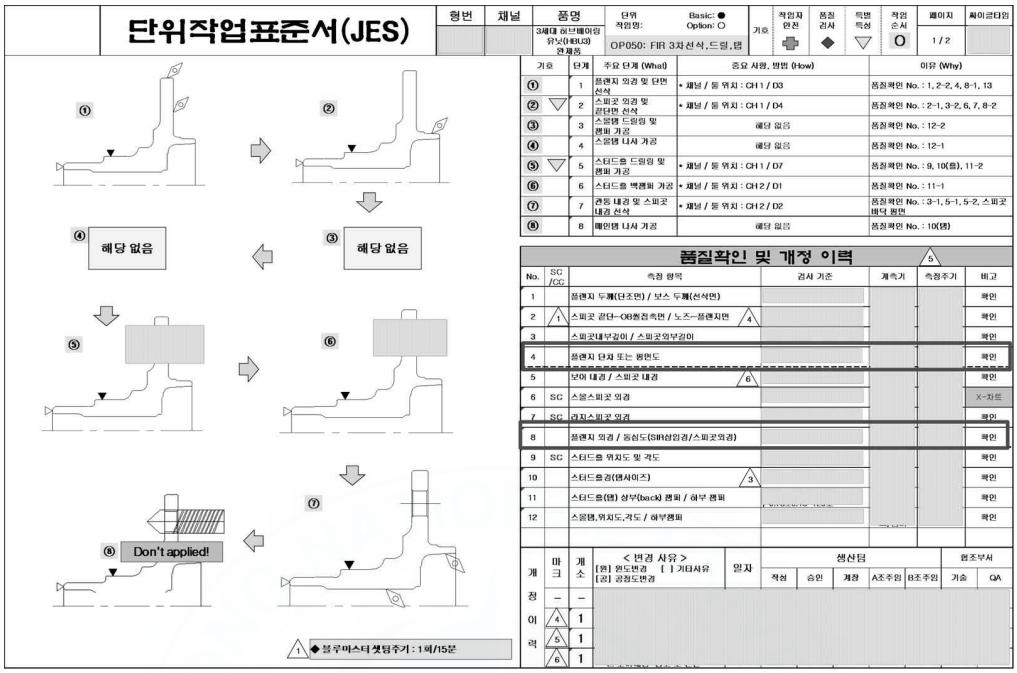
1. INSIDE PROFILE [ ] See enclosed
2. OUTSIDE PROFILE [ ] See enclosed

Edition date (도면 변경일)

[그림 32] 셋팅 체크 시트

또한 제품끼리의 부딪힘에 따른 플랜지 런아웃 손상 개선 상태를 지속적으로 파악하기 위하여도 최종 완제품 출하 검사 시 육안으로 플랜지 단면의 손상 상태를 검사 후 결과를 기재하도록 하였고, 이의 유효성을 점검하도록 매분기마다 품질부서에서 완제품 1 박스를 무작위로 추출하여 외관 상태를 점검하고 그 결과를 Audit check sheet에 기재하도록 하였다.

최종적으로는 [그림 33]과 같은 3차 선삭 가공 공정의 단위 작업 표준서를 업데이트하여 해당 공정에 게시함으로써 변경 사항에 대한 표준화를 실시하였다. 주요 사항으로는 공정내 작업자가 주기적으로 점검 및 관리하여야 하는 품질 확인 항목을 세부적으로 명기하고, 변경 사항에 대해서는 쉽게 인지 가능토록 적색 식별 표시를 추가하여, 금번 Clamping chuck 개선에 따른 공정내 관리 항목을 정확하게 인지할 수 있도록 개정하였으며, 각 항목별 검사 기준, 사용 계측기, 품질 확인 주기를 명확히 하였다. 물론, 개정 사항에 대한 교육이 동반 실시되었으며, 작업자의 이행 상태 점검을 위한 품질 부서의 공정 감사도 매년 주기적으로 진행되고 있다. 이러한 표준류를 통하여 작업에 관계되는 사람들의 편리성이 향상되었고, 해당 작업을 문제없이 효율적으로 실행하게 되었다.



[그림 33] 단위 작업 표준서

III-3. 프로젝트 의미

[그림 24]와 [그림 26]에서와 같이, 개선 활동을 통해 선정된 조건들을 해당 공정 내에 적용시킨 후, 변경된 고객의 관리공차 축소조정 요청사항을 개선 없이 수용할 경우와 비교하여, 기존 대비 83%의 공정 잠재 불량률이 저감되는 획기적인 개선 효과를 이루어 낼 수 있었다. 또한 고객 요구 사항의 충족을 위한 추가 투자비용을 최소화함으로써, 고객 및 "S"사가 상호 수용할 수 있는 만족스러운 결과를 얻을 수가 있었다.

이러한 개선 효과는 [표 2]과같이 유형적으로 연간 9천만원 가량의 불량 비용을 절감할 수 있었고, 무형적으로는 변경된 고객의 요구 사항을 효과적으로 개선 대응함으로써의 고객 신뢰 확보는 물론 플랜지 런아웃 불량의 획기적인 축소를 통한 고객 만족을 기대할 수 있었다.

[표 2] 프로젝트 성과

	개선 항목	개선 전	개선 후	개선 효과 (%) *
Actual saving	공정내 이상품 발생 비용 (Mkrw / year)	108	18	83%
Potential saving	표준화에 따른 셋업 시간 절감(시간)	6.5	5.3	18%
Potential saving	고객 요구 사양 적용을 위한 투자 비용 절감 (Mkrw)	150	25	83%

* 개선 효과(%) = (개선전 - 개선후)/(개선전)*100

또한, [표 3]에서와 같이 상기의 개선 효과들은 개선 활동 당해년도에 한하여 발생되는 것만은 아니고, 고객으로부터의 제품 수요가 매년 지속적으로 발생됨에 따라, 표준화된 공정 관리 기준의 적용과 실행을 통하

여, 제품 공급이 지속되는 기간 동안은, 매년 6.5천만원 ~ 1억여원의 지속적인 비용 절감 효과를 가져 올 수 있었다.

무엇보다도 본 개선 활동을 통해 최종 목표인 고객 만족을 실현하여 S사의 신속한 대응능력 및 문제점 해결 능력을 인정받게 되어, 고객사로부터의 후속 모델에 S사 제품을 적용하게 되었다. 본 프로젝트에서 적용된 모서리 손상방지 디자인은, 새롭게 출시되는 제품 중 유사한 플랜지 형상에 적용되어, 모서리 손상을 방지하기 위한 Chamfer를 개발 초기 단계부터 적용하여, 지속적인 고객 만족과 높은 품질 수준을 유지할 수 있었다.

[표 3] 프로젝트 성과의 지속

개선 항목	2013년	2014년	2015년
공정내 이상품 발생률 (%)	0.21	0.27	0.20
이상품 발생 비용 절감액 (Mkrw/year)	97	65	87
평균 셋업 절감 시간 (시간/셋업)	0.95	1.1	0.78
모서리 손상 방지 설계 확대 적용 건수 (건/year)	2	2	1

IV. 결 론

본 논문에서는 “S”사에서의 플랜지 런아웃 불량률 개선을 위하여 6시그마 개선 활동의 로드맵인 DMAIC절차를 따라 수행한 프로젝트 과정을 소개하였다.

우선 고객요구 사항을 기준하여 조립 라인에서의 플랜지 런아웃 불량 발생에 대한 주요 입력 변수를 SIPOC, Pmap 분석, C&E 분석, FMEA 분석을 통하여 주요 입력 변수를 선정하였고, 이를 대상으로 분석 과정을 거쳐 핵심입력 변수를 도출하였다.

핵심 입력변수로 규명된 인자들이 불량률에 미치는 영향을 분석한 후 이를 통해 최적의 개선안을 도출하였다.

도출된 개선 안을 해당 라인에 적용한 후 공정의 관리상태를 체크하였다. 그리고 새로 변경된 공정에 대하여 평가하여 만족할 만한 결과를 얻어냈고 그 결과의 표준화를 실시하여 작업자들의 실수 방지와 편리성, 생산의 효율성을 도모하였다.

이러한 일련의 활동을 통하여 고객이 요구한 목표 달성을 하게 되었고 잠재적인 플랜지 런아웃 불량률이 83% 개선되는 효과를 얻었으며 이는 유형효과 9천만원/년, 무형 효과로서는 투자비용 최소화 및 고객신뢰를 통한 고객 만족을 얻어낼 수 있었다.

또한 프로젝트 진행 과정중 수시로 진행된 회의와 품질 관련 교육으로 작업자들에게 고객의 품질 요구사항을 효율적으로 대처 할 수 있는 방법을 터득하게 되는 좋은 기회가 되었다.

본 프로젝트의 시급성 및 중요성을 감안하여 프로젝트 초기 단계부터 명확하게 프로젝트의 목표, 일정, 범위 등을 정하였고 이후 15회의 점검

및 보완회의를 거쳐 마침내 DMAIC를 완성하고 성공적인 목표 달성으로 본 프로젝트를 마무리 할 수 있었다.

무엇보다도 본 프로젝트를 통하여 “S”사는 6시그마 DMAIC tool을 사용하여 프로세스를 개선할 수 있다는 자신감을 얻게 되었고 이는 유사업체 등에서도 활용될 수 있을 것으로 판단되고 특히 6시그마 기법을 적용하여 제조 현장에서의 각종 문제점들을 개선하고자 하는 현장 실무자들에게 도움이 되었으면 한다.

마지막으로 본 프로젝트를 수행하면서 절실히 필요했던 관련자들에 대한 사전 정보 공유 및 관련 교육의 필요함을 느꼈다. 즉 프로젝트 진행 단계별 세부 진행 사항, 향후 일정 등을 사전에 팀원들과 충분히 공유하지 않으면 예기치 않은 문제점들이 발생하곤 했고 이로 인하여 프로젝트가 원활히 진행되지 못 하였던 경우도 있었다. 기본적으로 6시그마 관련 교육은 충분히 사전 실시되어야 6시그마 툴을 효과적으로 사용할 수 있었다.

본 프로젝트의 결과가 자동차 부품 제조업체의 6시그마를 이용한 제품 품질 개선 및 경영 혁신을 추진하는 실무자들, 특히 허브유니트 베어링을 포함한 자동차용 베어링 부품업체에 종사하는 현장 작업자들에게 도움이 되는 지침서가 되기를 기대한다.

참고 문헌

[1] 권혁무, “우리나라 Six Sigma의 현황과 올바른 정착 방안,” 대한산업공학회 추계학술대회 논문집, 2003.

[2] 김상부, 홍성훈, 권혁무, 이민구, “우리나라 기업의 6시그마 적용을 위한 방안,” 대한산업공학회 추계학술대회 논문집, 1998.

[3] 안병하, “자동차 협력업체의 생존 혁신,” 도서출판 골든벨, pp.135-165, 2015.

[4] 양성남, 노성호, 서종현, “자동차 PCSV 제조공정의 누적수율 개선을 위한 6시그마 적용연구”, 대한안전경영과학회지, 제14권, 제1호, 2012.

[5] 윤희성, 김창은, “6시그마 프로젝트 수행을 위한 개선 프로젝트에 관한 연구,” 대한산업공학회 추계학술대회 논문집, 2000.

[6] 이경종, “싱글 PPM품질혁신을 위한 6시그마드림공정 구축,” 대한산업공학회지, 제31권, 제1호, 2008.

[7] 이동혁, 김창은, “우리나라 기업의 효과적인 6시그마 적용을 위한 방안 연구,” 대한산업공학회 추계학술대회 논문집, 2000.

[8] 이민구, 곽효창, “스폿 용접공정의 TIP 수명 향상을 위한 6시그마 프로젝트 사례”, 품질경영학회지, 제33권, 제1호, pp.88-100, 2005.

[9] 이상훈, “자동차용 베어링의 설계와 응용”, 월간 기계 기술, 6월호, 2000.

[10] 이팔훈, “한국적 6시그마 정착 방향”, 대한산업공학회지, 제32권, 제4호, pp. 268-278, 2006.

[11] 정동호, 홍성조, “프로세스 접근 방법에 의한 중소기업형 6시그마 경영모형에 관한 연구”, 품질경영학회지, 제32권, 제4호, pp. 140-150, 2004.

[12] 최봉, 정남호, 권순재, 이건창, “성공적인 6시그마 혁신을 위한 업종별 추진전략에 관한 연구”, 한국경영과학회지, 제24권, 제1호, pp. 147-160, 2007.

[13] 홍성훈, 김상부, 권혁무, 이민구, “식스 시그마 성공사례,” 품질경영학회지, 제27권, 제3호, pp. 202-208, 1999.

[14] 홍성훈, 최익준, “게이트 도장 품질 혁신을 위한 6시그마 프로젝트 연구”, 품질경영학회지, 제34권, 제1호, pp.1-12, 2006.

[15] 황영제, 권혁무, 홍성훈, 이민구, “중소기업을 위한 6시그마 모형 및 사례연구”, 대한산업공학회지, 제32권, 제4호, pp.291-297, 2006.

[16] 해피 캠퍼스, “현대・기아 자동차 6시그마 성공사례”, 11월호, 2005.

[17] Bertels, T., “Faster Development for Europe Small/Medium Business”, Europe Six Sigma & Quality Article Archive, iSix Sigma, 2004.

[18] Davis, A. G., “Six Sigma for Small Companies”, Troy, Vol. 42, No. 11, pp. 20, 2003.