모토롤라의 SPC에 의한 6S 品質戰略 事例

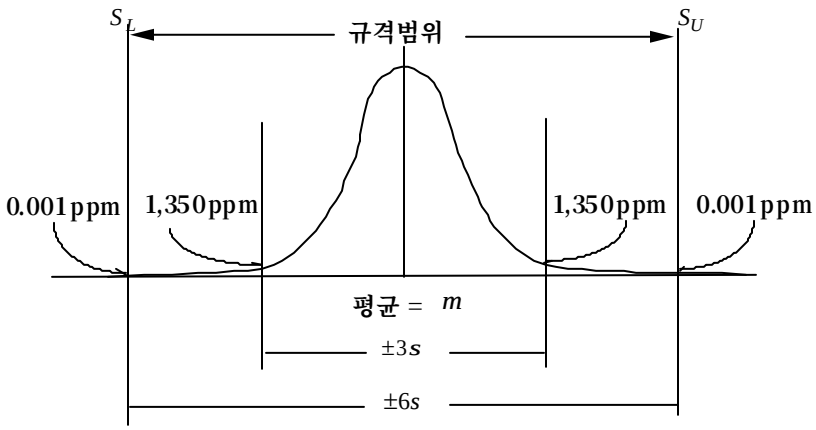
- 품질경영추진론 ; 김원중교수, 권오운 기술사 공저에서 발췌 -

(가) 모토롤라의 6s 품질전략 槪念

6s 계획(six sigma plan)은 미국 모토롤라(Motorola)사의 반도체 사업본부에서 1988년도에 천명한 품질향상전략으로서, 品質設計, 工程設計, 部品 購買管理, 工程管理 등에서 品質의 安定化를 우선으로 하는 품질경영전략을 수립·실천하여, 제품의 품질산포를 최소화하겠다는 것으로, 〔그림 10-14〕 과 같이 규격상한(S_U)과 규격하한(S_L)이 품질의 중심으로부터 6s 의 거리에 있도록 하겠다는 의미에서, 이 계획을 간단히 6s 계획이라고 부른다.

모토롤라사는 반도체산업에서 선도적인 기업으로서, 이 회사의 6s 계획은 품질전략의 차원에서 상당한 의미가 있으므로 참고문헌(Ⅰ-12)에 근거하여 요약구성하여 소개하기로 한다.

다음 쪽의 〔그림 10-14〕 에서 보면 품질분포의 평균 m 로부터 S_L과 S_U가 $\pm 3s$의 거리에 있으면 불량이 양쪽으로 각각 1350 ppm(parts per million)이 발생한다. 즉 100만개의 반도체를 만들면 이 중에서 2700개가 불량품이 된다. 그런데 $\pm 3s$ 대신에 $\pm 6s$ 가 되면 양쪽으로 각각 0.001ppm이 발생하여, 10억 개 중에서 두 개만이 불량으로 되어 불량률이 실질적으로 없는 것과 같이 된다.



〔그림 10-14〕 $\pm 3s$, $\pm 6s$ 인 경우의 불량률 그래프

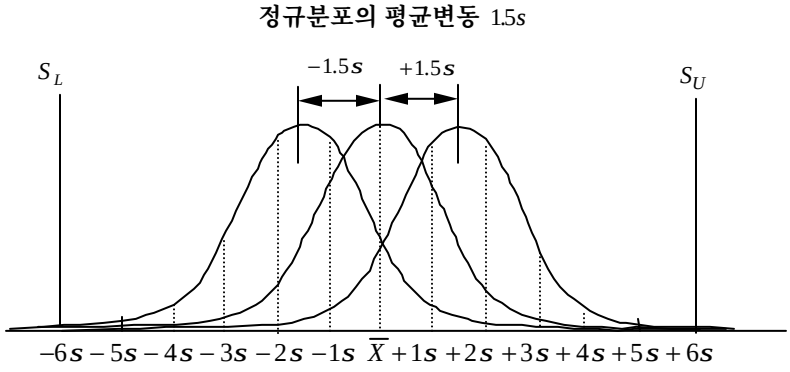
품질이 정규분포를 하는 경우에 규격한계가 $\pm s$ 에서 $\pm 6s$ 로 변함에 따라서 양품률과 불량률을 계산하여 보면 <표 10-12>와 같다.

<표 10-12> 규격한계의 변화에 따른 불량률 변화

규격관계	양품율(%)	불량률(ppm)
$\pm s$	68.27	317,300
$\pm 2s$	95.45	45,500
$\pm 3s$	99.73	2,700
$\pm 4s$	99.9937	63
$\pm 5s$	99.999943	0.57
$\pm 6s$	99.9999998	0.002

그런데 실제공정에서는 품질산포의 여러 가지 원인(사람, 材料, 方法, 裝置, 環境, 測定 등)에 의하여 평균 m 자체가 최대로 $\pm 1.5s$ 까지 흔들릴 수 있다고 평가되고 있다.

그래서 다음의 〔그림 10-15〕 에서 보는 바와 같이 평균이 $\pm 1.5s$ 흔들리더라도 불량률은 3.4ppm으로 충분히 작은 값이 되며, 이는 $\pm 6s$ 도전이 성취되면 불가피한 원인으로 평균이 약간 흔들리더라도 불량률은 100만개 중에서 3.4개 이하로 관리될 수 있다는 것이다 (표 10-13 참조).



〔그림 10-15〕 평균이 $\pm 1.5s$ 흔들리는 경우의 불량품

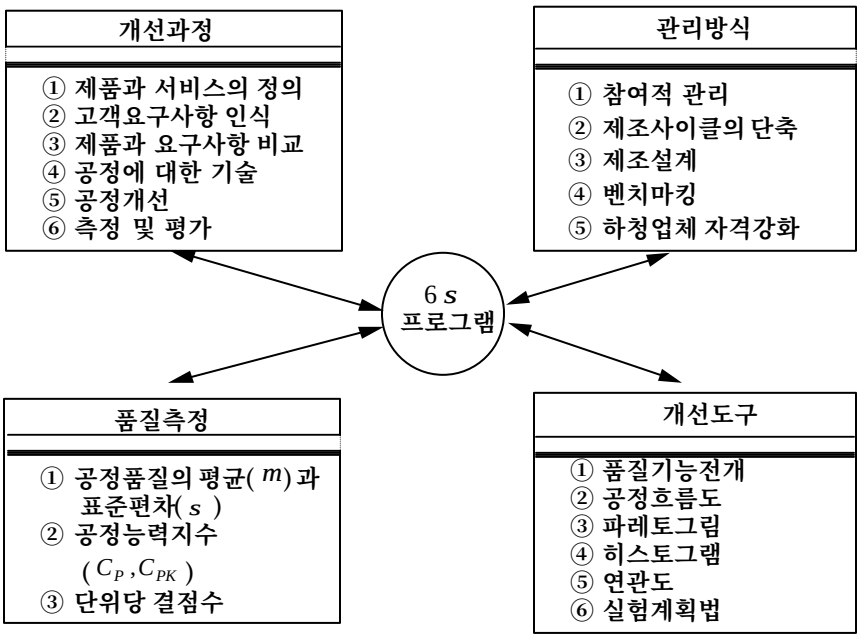
우리나라 반도체산업의 품질수준은 대략 $\pm 5s$ 정도로 파악되고 있는데, 이 경우에는 〔그림 10-15〕 에서 보면 불량률이 233ppm정도로 된다.

<표 10-13> 평균이 ±1.5s 흔들리는 경우의 불량률의 계산

규격한계	양품율(%)	불량률(ppm)
±s	30.23	697,700
±2s	69.13	308,700
±3s	93.32	66,810
±4s	99.3790	6,210
±5s	99.97670	233
±6s	99.99966	3.4

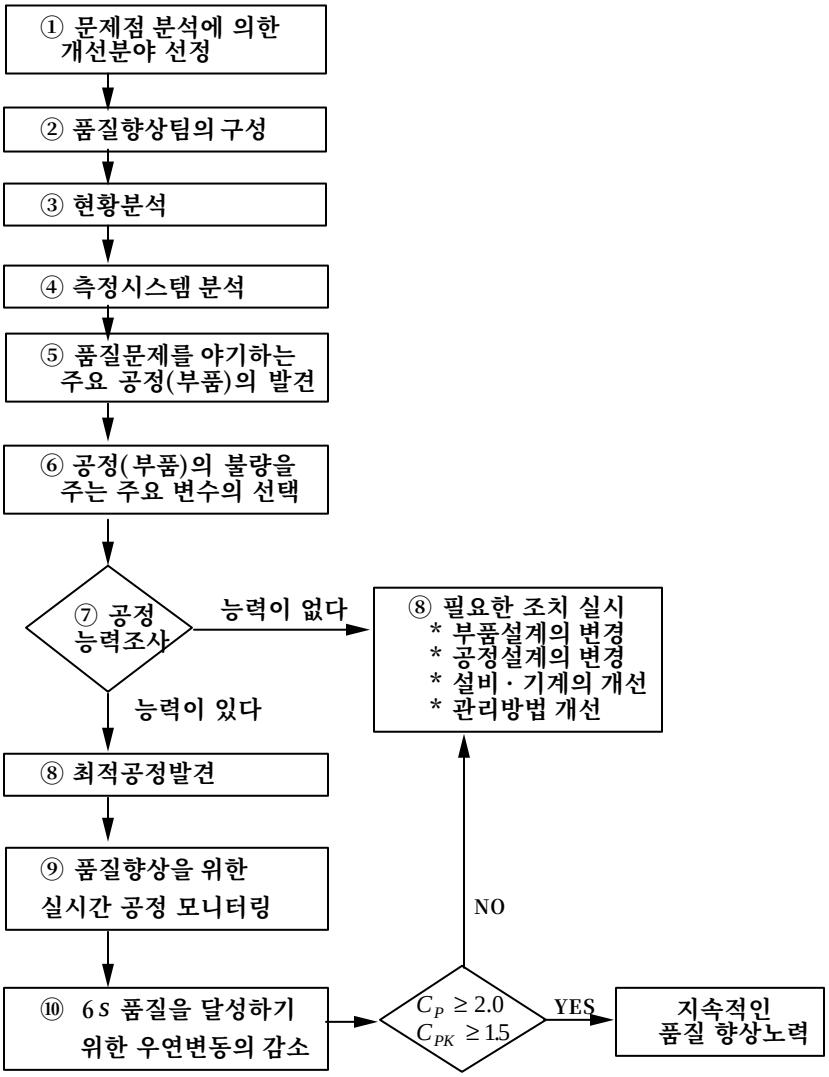
(나) 모토롤라社의 SPC推進 事例

모토롤라(Motorola)사는 6s 를 달성하기 위하여 품질경영에 근본을 두고 SPC프로그램을 도입하여 지속적인 공정향상 계획을 수립하여 제품의 품질을 향상시키고 궁극적으로 기업의 품질문화를 변혁시킴으로써 1988년에 미국에서 수상하는 멜콤볼드리지상을 수상하였다. 이 SPC프로그램은 모토롤라의 설계, 제조, 관리부문 등의 모든 조직과 납품업자까지 포함시킨 총체적인 품질향상을 위한 접근방법이라 볼 수 있는데, 이 프로그램의 주요 구성요소는 아래의 〔그림 10-16〕 와 같다.



〔그림 10-16〕 모토로라 6s 프로그램의 구성요소

좌측의 개선과정과 품질측정은 6s 품질을 달성하기 위한 프로그램의 핵심이고, 우축의 관리방식과 개선도구는 지속적인 품질향상활동을 유지하여 나가기 위한 수단이다. SPC추진방법은 다음과 같이 10단계로 추진되며 이를 흐름도로 나타내면다음 쪽의〔그림 10-17〕과 같고, <표 10-14>는 각 단계에서 사용가능한 SPC도구를 나타내고 있는데, 추진사례를 10단계에 의하여 차례로 설명하면 다음과 같다.



〔그림 10-17〕SPC추진흐름도

▶1단계 : 문제점 분석에 의한 개선분야 선정 - 공정을 개선할 여지가 있는 분야를 선정한다. 특히 어느 분야, 어느 정도, 언제, 그리고 어떻게 공정을 개선할 것인가를 구체

적으로 정한다. 또한 개선 후에는 회사에 미칠 수 있는 장점 즉 품질, 생산성, 품질비용, 소비자 만족도 등을 나타낸다. 이때 사용되는 기법으로는 파레토 분석, 신뢰성보고서, 수율과 손실보고서, 품질비용분석, 브레인 스토밍 (brain storming) 등이 있다.

▶2단계 : 품질향상팀의 구성 - 선정된 과제에 대한 전문지식이 있고, 경험이 있으며, 시간과 관심을 갖고 있는 사람들로 소집단을 구성한다.

▶3단계 : 현황분석 - 품질향상팀은 공정흐름도를 이용하여 변동(variations)을 야기시킬 것으로 판단되는 기계, 작업자, 방법, 부품, 계측기 등을 조사·분석하고, 각 공정에서의 입력과 출력과의 상호관계를 분석한다. 이 단계에서 공정도, 파레토 분석, 과거데이터 자료, 특성요인도, 경향분석, 브레인 스토밍 등을 사용한다.

▶4단계 : 측정시스템 분석 - 공정관리는 모든 것을 측정된 데이터에 근거하고 있으므로 정확한 데이터의 수집과 분석이 매우 중요하다. 만일 측정된 데이터가 정확하지 못하고, 측정과정이 충분히 조사되지 못하면, 측정된 결과가 제품의 실질적 특성을 나타내고 있는지를 알 수 없고 공정을 정확히 이해할 수 없다. 즉 측정된 데이터의 質(quality)에 따라 공정관리의 효율성과 품질비용이 크게 좌우된다. 만일 측정치가 품질특성치의 참값과 거의 같으면 이 측정치의 질은 매우 높다고 할 수 있고, 측정치가 참값과 거리가 있다면 질이 낮다고 할 수 있다.

<표 10-14> 각 단계별 사용도구

단계번호	SPC도구와 실시내용
1	파레토 분석, 신뢰성보고서, 수율과 손실보고서, 품질비용 분석, 브레인 스토밍 (brain storming)
2	팀원의 구성(팀장, 서기, 자문위원, 팀원), 관련된 모든 부서에서 팀원이 선정되도록 한다.
3	공정도, 파레토 분석, 과거데이터 자료, 특성요인도, 경향분석, 브레인 스토밍
4	계측기 정밀도분석, 측정시스템 오차분석
5	특성요인도, 다변량차트, 산점도, 과거데이터 분석, 고장분석 보고서, 경향차트, 문제점의 모형화, 브레인 스토밍
6	실험계획법의 사용(요인배치법, 다구찌방법, 분산분석, 반응표면분석 등), 산점도, 회귀분석, 다변량차트
7	공정능력지수, 관리도, 정규분포검증, 합리적인 샘플링 계획수립
8	SPC공정도, 파라미터 설계, 품질지수, 고장분석 보고서, 공정능력지수
9	공정능력지수, 품질지수
10	관리방식결정, 6S의 점검, 경영자의 품질경영방침 천명. 품질개선계획

통계적인 正確度와 精密度에 의해 측정데이터의 질을 일반적으로 평가한다. 여기서 正確度란 측정값과 참값과의 차이를 의미하며, 精密度란 동일한 제품을 측정하였을 때 파생되는 측정값의 변동이다. 만일 측정시스템에 정확성이나 산포가 크게 발생한다면 이런 계측기를 사용하여 제조공정을 분석하는 것은 제조공정에서 발생하는 문제점을 정확히 파악할 수 없다.

그러므로 측정시스템이 제품이나 공정을 정확히 측정하여 올바른 데이터를 산출할 수 있는지 반드시 평가되어야 한다. 만일 정확히 평가되지 않고 사용된다면, 잘못된 측정시스템으로 인하여 공정을 정확히 판단할 수 없으며 이로 인하여 품질비용은 상승하게 되고 지속적으로 제품의 품질을 개선시킨다는 것은 매우 어려울 것이다. 측정시스템의 평가성질로는 正確度, 精密度, 再現性 등이 있다.

▶5단계 : 품질문제를 야기시키는 주요 공정의 발견 - 과대한 분산이나 평균치의 이동 등 품질문제를 야기시키는 주요 공정을 특성요인도, 다변량차트, 산점도, 과거 데이터 분석, 고장분석 보고서, 경향차트, 문제점의 모형화, 브레인 스토밍(brain storming) 등을 사용하여 기록하고 서술한다.

▶6단계 : 공정에 불량을 주는 주요 변수의 선택 - 다섯번째 단계에서 발견한 품질에 크게 영향을 미치는 공정에 대하여 영향을 미치는 주요 변수를 찾아낸다. 공정분산이나 제품의 문제점에 대하여 실험계획법, 산점도, 회귀분석, 다변량차트 등을 사용하여 근본적인 원인을 찾아낸다.

▶7단계 : 工程能力 調査 - 공정에서 생산되는 제품의 품질변동이 작으면 그 공정의 공정능력은 좋다고 말하고, 품질변동이 크면 공정능력이 나쁘다고 말할 수 있다. 공정능력(process capacity)이란「공정이 관리상태에 있을 때 그 공정에서 생산되는 제품의 품질변동이 어느 정도인가를 나타내는 양」이라고 할 수 있다. 공정능력은 5M(man, machine, method, measurement, material)과 1E(environment)에 의하여 주로 영향을 받는다. 공정능력을 정보로서 활용하기 위해서는 공정능력을 양적으로 표현하여야 한다.

여기서 공정능력을 정량화시키는 방법은 다음과 같다.

양쪽 규격(규격상한 S_U , 규격하한 S_L)이 있고 제품의 품질특성의 분포가 치우침이 없이 되어 있다고 가정되는 경우에 공정능력의 평가는 공정능력지수(process capability index)는 다음과 같다.

$$C_P = \frac{S_U - S_L}{6s}$$

그리고 한쪽 규격만 있는 경우에는 다음 식과 같고, 여기서 L은 Lateral(한쪽의)을 의미하는 것으로서 첨자를 붙인다.

$$C_{PL} = \frac{S_U - m}{3s}$$: 규격상한만 있는 경우

$C_{PL} = \frac{m - S_L}{3s}$: 규격하한만 있는 경우

또한 품질특성치의 분포가 양쪽 규격의 중앙에 위치하지 않고 한쪽으로 치우침이 있는 경우는 다음과 같다.

$C_{PK} = (1-K)C_P$

여기서, 치우침도 $K = \frac{|M - \bar{x}|}{T/2}$, $M = \frac{S_U + S_L}{2}$, 허용공차 $T = S_U - S_L$

그리고 공정능력조사 단계에서 활용되는 기법으로는 위의 공정능력지수와 관리도, 정규분포 검증, 합리적인 샘플링 계획수립 등이다.

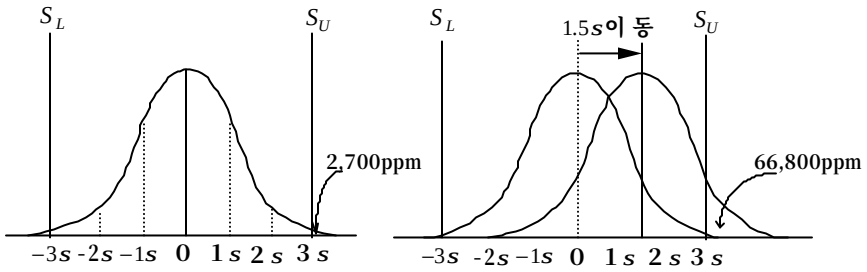
▶8단계 : 最適工程發見 혹은 필요한 조치(工程變更 및 改善)실시 - 공정능력이 목표치에 미흡할 경우에는 품질특성치의 변동을 줄이고 공정평균이 목표치에 도달하도록 부품 및 공정설계를 변경하거나, 설비·기계를 개선하여야 한다.

그러나 공정능력이 목표치에 합당한 경우에는 품질특성치의 변동을 야기시키는 이상원인이 발생하는 것을 미리 예방하기 위한 작업활동을 하여 공정의 안정을 꾀한다. 특히 통계적 공정관리기법이나 파라미터 설계를 사용하여 우연원인에 의한 품질특성치의 변동을 가능한 줄일 수 있는 공정을 찾는다.

▶9단계 : 품질향상을 위한 실시간(real time) 공정 모니터링 - 공정을 계속해서 관리하고 품질특성치를 실시간에 측정하며, 모든 시스템과 생산의 운영은 공정상에 이상요인이 발생하는 것을 예방할 수 있어야 한다. 만일 어떤 문제점이 발생하면 조속한 시간 내에 이를 시정조치하여 계속해서 불량품을 생산하는 것을 방지하여야 한다.

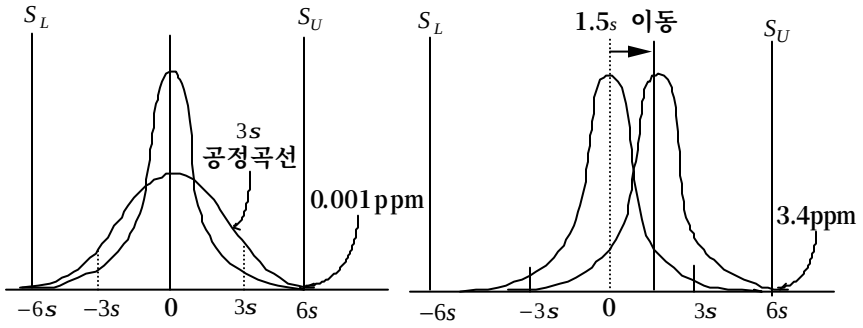
이 단계에서는 SPC공정도, 파라미터설계, 품질지수, 고장분석보고서, 공정능력지수 등이 활용된다.

▶10단계 : $6s$ 품질을 달성하기 위한 우연변동의 감소와 지속적 개선활동 - 제품의 품질을 향상시키기 위하여는 우연변동을 감소시키고 궁극적으로는 제거하고, 지속적인 경영층의 의지와 지원하에 SPC활동을 전개함으로써 $6s$를 달성할 수 있다. 이를 달성할 수 있다. $6s$라는 이름이 붙여진 것은 품질특성치의 평균값에서 $\pm 6s$의 범위까지 결점률을 줄이려고 하는 데서 기인한 것이다.



(1) (2)

〔그림10-18〕 3s 공정



(1) (2)

〔그림 10-19〕 6s 공정

〔그림 10-18(1)〕에서 규격상한선(*USL* ; upper specification limit)과 규격하한선(*LSL* ; lower specification limit)을 정규분포의「평균(m)±3s」라고 하면 그에 해당하는 면적은 전체의 99.73%이므로 0.27%(2,700ppm)가 결점율이 된다. 이런 결점률은 언뜻 보기에 대단한 문제로 여기지 않을 수 있으나, 만일 동일한 품질로 구성된 100개의 부품으로 이루어진 완성품의 경우 합격할 확률은 77%이하가 된다고 보았다.

품질을 개선하고 향상시켜 제조한 제품이 정규분포의 평균(m)±6s 로 된다면〔그림 10-19(1)〕과 같이 규격상한을 벗어날 결점률이 0.001ppm으로 줄어든다. 따라서 제품의 결점률을 ±6s 에 해당하는 수준까지 줄이고자 하는 의미에서 6s 라는 이름이 붙여졌으며 이것은 무결점을 추구하는 것과 동일한 개념이라 할 수 있다.

그러나 여기에서는 공정 품질특성치의 평균값이 정규분포의 중심에 위치하고 있다는 가정을 하고 있으나 실제로는 그렇지 않은 경우가 많다. 공정이 안정상태하에 있더라도 평균값이 ±1.5s 이내에서 이동한다는 사실이 경험적으로 증명된 바 있다고 한다. 만일 평균값이 최대한 1.5s 만큼 이동해 있는 경우에는〔그림 10-18(2)〕와 같이 단지 93.32%만

이 규격한계선 안에 존재하며 불량율은 66,800ppm이 된다.

그러나 6s 의 공정을 유지하게 되면〔그림 10-19(2)〕와 같이 평균값이 1.5s 만큼 이동하게 되더라도 불량률은 3.4ppm이 된다. 즉 백만 개의 제품 중에서 최대 네 개의 불량품이 발생하게 되는 것이다. 만일 불량률이 3.4ppm인 동일한 품질의 100개의 부품으로 이루어진 완성품의 경우라도 완성품의 합격율은 99.9%이상이 된다는 것이다.

이 프로그램에서는 공정능력의 측정치로서 공정능력지수(C_P)를 사용한다. 즉 모토롤라는 공정능력지수의 목표치를 2로 정하고 추진하여 달성하였으며, 지금은 그 이상을 추구하고 있다고 한다.

지금까지 설명한 6s 품질전략의 성패는 최고경영자의 열의, 종업원의 참여, 교육과 훈련에 의한 능력개발 등이 얼마나 효율적으로 이루어지느냐에 달려 있다고 보았다. 특히 품질은 사람에 의하여 만들어진다는 사고하에 모토롤라에서는 종업원에 대한 교육을 중시하여 교육센터를 설립하였으며 1983년부터 1987년까지 종업원 교육에 1억 7천만 달러를 투자하였다고 한다. 1988년의 경우 총교육비에서 품질관련 교육에 사용된 금액은 40%에 이르렀고, 종업원의 직무에 대한 만족도를 조사하여 문제점을 해결하였으며, 품질개선 성과에 대해서는 팀별로 포상을 하고, 종업원과의 의사소통을 원활히 하기 위하여 최고경영자들과 종업원들과의 토론을 분기별로 시행하였다.

이상과 같은 시도에 의하여 기업체질의 변혁에 성공한 모토롤라의 사례는『4s 기업에서는 내적·외적 품질비용이 매출액년 10%이상을 차지하는 반면, 6s 의 기업에서는 1%미만이다. 결국 4s 기업은 6s 기업과의 경쟁에서 이길 수 없다. 더욱 높은 수준의 품질을 창출하는 것은 기업의 선택사항이 아니라 기업 존폐에 따른 절실한 것이다.』라는 교훈을 우리에게 가르쳐 주고 있다.

본 원리 및 추진법은 김원중교수 권오운 위원 공저 "품질경영추진론"에 게재된 글이므로 저자의 허락없는 무단전재 및 게시를 금합니다. 저자 백