

- [6] Bounds, G., Yorks, L., Adams, M., and Ranney, G.(1994), *Beyond Total Quality Management : Toward Emerging Paradigm*, McGraw Hill, New York.
- [7] Burrow, P.(1992), "TQM Reality Check : It Works, but It's not Cheap or Easy", *Electronic Business*, Vol. 18, pp. 47-54.
- [8] Capon, N., Kaye, M., and Wood, M.(1995), "Measuring the Success of a TQM Program", *International Journal of Quality Reliability Management*, Vol. 12, pp. 8-22.
- [9] Choi, T. Y. and Karen Eboch(1998), "The TQM Paradox : Relations among TQM Practices, Plant Performance, and Customer Satisfaction", *Journal of Operations Management*, Vol. 17, pp. 59-75.
- [10] Dean, J. W. and Bowen, D. E.(1994), "Management Theory and Total Quality : Improving Research and Practice through Theory Development", *Academy of Management Journal*, Vol. 19, pp. 392-418.
- [11] Dean, J. W. and Bowen, D. E.(1994), "Management theory and total quality : improving research and practice through theory development", *Academy of Management Journal*, Vol. 19, pp. 392-418.
- [12] Deming W. E.(1986), *Out of Crisis*, MIT Press, Cambridge, MA.
- [13] Economist(1992), April, 18, 67.
- [14] Eskildson, L.(1994), "Improving the odds of TQM's success", *Quality Progress*, Vol. 27, pp. 61-63.
- [15] Flynn, B. B., Sakakibara, S., and Schroeder, S. G.(1995), "Relationship between JIT and TQM : practices and performance", *Academy of Management Journal*, Vol. 38, pp. 1325-1360.
- [16] G.A.O.(1991), *Management Practices : US Companies Improve Performance through Quality Efforts*, General Accounting Office, Washington D.C.
- [17] Gerbing, D. W. and Anderson, J. C.(1988), "An Updated Paradigm for Scale Development Incorporating Unidimensionality and Its Assessment", *Journal of Marketing Research*, Vol. 25, pp. 186-192.
- [18] Gortsch, D. L. and Davis, S.(1994), *Introduction to Total Quality : Quality, Productivity, and Competitiveness*, Merrill, New York.
- [19] Hackman, J. R. and Wageman, R.(1995), "Total Quality Management : Empirical, Conceptual, and Practical Issues", *Administrative Science of Quarterly*, Vol. 40, pp. 309-342.
- [20] Jaccard, J. and Wan, C. K.(1996), *Lisrel Approach to Interaction in Multiple Regression*, Thousand Oaks, Sage, California.
- [21] Juran, J. M.(1989), *Juran on Leadership for Quality*, Free Press, New York.
- [22] Kanji, G. K.(2001), "An integrated approach of organizational excellence", [www, gopal-kanji.com](http://www.gopal-kanji.com), December.
- [23] Pegels, C. C.(1995), *Total Quality Management : A Survey of Its Important Aspects*, boyd and Fraser, Boston, MA.
- [24] Ross, J. E.(1995), *Total Quality Management : Text, Cases and Readings*, St. Lucie Press, Delray Beach, FL.
- [25] Taylor, S. A. and Baker, T. L.(1994), "An Assessment of the Relationship between Quality Management and Customer Satisfaction in the Formation of Consumers' Purchase Intention", *Journal of Retailing*, Vol. 70, pp. 163-178.
- [26] Thomas, P. R.(1989), "Put Time on your Side", *Executive Excellence*, Vol. 6, pp. 19-20.
- [27] Zairi, M., Letza, S. R., and Oakland, S. R. (1994), "Does TQM Impact on Bottom-Line Results?", *TQM Management*, Vol. 6, pp. 38-43.

6시그마 도입을 통한 EOP 측정시스템 개선 사례연구 : D사의 6시그마 활동 사례를 중심으로

최천규*†

* 경기대학교 경영학과

A Case Study for Improvement of EOP Measurement System through 6 Sigma Introduction

Cheonkyu Choi*†

* Department of Business Administration, Kyonggi Univ.

Key Words : PR(photoresist), Semiconductor, CTQ, Thickness, EOP, COPQ

Abstract

This paper is dealing with a 6 sigma application in chemical industries. The company is enterprise which produce PR that is semiconductor material. CTQ is consisted of thickness (Big Y₁) and EOP (Big Y₂). After 6 sigma improvement activity that thickness (Big Y₁) improved from 0.98 sigma to 2.80 sigma and EOP (Big Y₂, energy optimizer) improved from 1.53 sigma to 3.98 sigma. The effectiveness of financial scope reduced 58,200,000 won of COPQ. But there are some problems to enforce 6 sigma in small enterprises. First, it is a lack of complete charge manpower enforcing 6 sigma activity. Second, it is a lack of professional knowledge of project leaders. Third, the passion of sponsorship (champion) is a lacking. Nevertheless useful tool was certified so that 6 sigma achieves quality reform in small enterprises.

1. 서 언

1980년대 가격이 저렴하고 품질이 우수한 반도체와 셀룰러폰, 페이지(일명 삐삐) 등 일본과의 상품전쟁에서 패배한 미국의 기업들은 매출하강으로 인한 심각한 경영위기상태에 접어들었다. 이러한 미국의 기업들이 다시 세계 최고수준의 품질경쟁력을 회복할 수 있었던 것은 1987년 모토로라에 근무하던 마이클 해리에 의해 제안된 6시그마 품질혁신활동에 의한 성과라고 할 수 있다. 모토로라에 도입된 6시그마활동은 품질혁신을 위한 공통의 화두가 되었으며, 제품 및 서비스의 완벽한 품질만이 경쟁력을 확보할 수 있는 새로운 품질의 시대(the new era of quality)가 도래한 것이다(원유

동, 2004).

일본기업들에 비해 경쟁력을 상실했던 미국의 기업들은 모토로라가 6시그마를 통하여 품질혁신을 달성한 후 텍사스인스트루먼트(1992년), ABB(1993년), 얼라이드시그널(1994년), 제너럴일렉트릭(1995년) 등으로 확산되면서 시장에서의 경쟁력이 되살아나게 되었다. 이러한 성과는 이후 6시그마 개선활동이 품질혁신의 중요한 수단으로 인식되는데 큰 역할을 하게 되었다(박진영, 2002).

국내기업들도 1996년 LG전자와 삼성SDI를 시작으로 6시그마를 도입하기 시작하였으며, 이후 몇몇 선도기업들의 성공적인 사례가 다수 발표되면서부터 6시그마의 유효성 및 재무적 성과가 입증되자 많은 기업들이 앞 다투어 도입하고 있는 실정이다. 심지어 제조기업 뿐만 아니라 서비스업체, 공공기관과 지방자치단체에 이르기까지 폭넓게 도입하고 있다

† 교신저자 andrew4u@kornet.net

(구일섭 외, 2003).

금융권에서는 GE캐피탈 한국법인(1996년), 씨티뱅크(1997), 아멕스카드(1999), LG캐피탈(1999), LG투자증권(1999)이 도입하였으며, 일반서비스기업의 경우 LG유통(1999), LG텔레콤(1999), 철도청(2000), 삼성에버랜드(2000) 등이 역시 6시그마 도입을 통해 서비스품질을 획기적으로 개선해 왔다(장대성 외, 2004).

최근에는 정부에서도 정부기관의 혁신활동을 꾸준히 추진하기 위하여 BSC(balanced score card, 균형성과지표)와 더불어 6시그마의 도입을 적극 추진하고 있는 실정이다.

제조기업 뿐만 아니라 서비스기업, 심지어 정부기관에서조차 6시그마를 도입하고자 하는 이유는 6시그마 활동이 단순히 경영의 특정부문(생산부문)에 한정된 개선방법이 아니라 넓은 의미의 품질을 향상시키는 경영전반에 걸친 혁신운동으로 인식되고 있기 때문이다. 즉 6시그마는 제품 및 서비스와 관련된 품질혁신만을 다루는 것이 아니라 판매와 구매, 회계와 경영전략 등 모든 프로세스와 관련해 총체적인 접근법을 활용하고 있는 종합적인 경영혁신활동이다. 또한 고객관점에서 품질문제를 과학적으로 접근하여 무결점 품질을 추구하며, 품질불량으로 인한 대규모의 손실비용(COPQ : cost of poor quality)을 제거함으로써 경영이익을 극대화시키는 경영혁신활동인 것이다(신동설, 안영진, 2003).

그러나 이러한 놀라운 성과를 나타낼 수 있는 6시그마 품질혁신활동도 각 기업의 특성과 공정조건에 적합한 창의적인 6시그마활동을 개발할 때 성공할 수 있다(박성현, 2002). 또한 최고경영층의 리더십과 6시그마 활동에 대한 보상 및 인센티브, 공정유형별 특성에 적합한 6시그마기법, 추진단계별 주요요인별 특성차이의 인식 등이 6시그마활동의 성공에 중요한 영향을 미치는 것이다(신동설, 안영진, 2003).

본 연구에서는 국내의 중견기업인 D사의 6시그마 도입사례를 통해 6시그마가 현장에서 어떻게 활용되는지를 살펴보고자 하였다. 특히 일반적인 6시그마 문제해결기법인 DMAIC(Define, Measure, Analyze, Improve, Control) 실제 적용사례를 통해 타 기업들이 이를 벤치마킹할 수 있도록 하는데 본 연구의 목적이 있다.

2. 연구의 범위 및 방법

2.1 연구의 범위

2.1.1 범위

본 사례연구에서의 범위는 크게 두 가지로 구분된다. 첫째, 공정범위에 관한 것으로 반도체의 패턴을 결정하는 EOP(energy optimizer)의 패턴 정밀도(즉 측정시스템)에 관한 프로세스를 연구의 범위로 한다. 즉 코팅(coating)-베이킹(bake)-노광(exposure)-현상(developing)의 포토레지스트(이하 'PR'이라 함) 공정을 연구범위로 한다. 둘째, 6시그마 문제해결기법의 범위에 관한 것으로 DMAIC 범위에 한해 적용사례를 기술하고자 한다.

2.1.2 방법

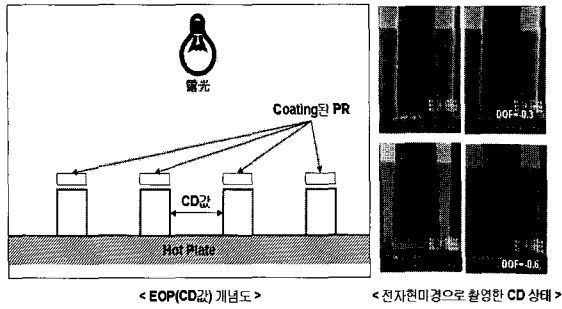
본 사례연구에는 국내 중소기업에서 활용되는 6시그마 적용사례를 파악하기 위하여 사례연구방법을 활용한다. 사례연구에 적용된 방법은 미니탐을 활용한 통계분석기법과 각종 6시그마 문제해결기법(SIPOC, C&E, FMEA 등)을 활용한다.

2.2 연구개념(EOP)에 대한 이해

반도체를 생산하는데 있어 PR제품은 반도체의 패턴(pattern)을 세우는데 있어 매우 중요한 역할을 담당하는 현상액이다. 특히 현상액의 품질을 결정하는 것은 현상액을 코팅한 후 열을 가해 구운 다음 빛에 노출시켜 패턴을 만드는데 패턴과 패턴사이의 EOP(혹은 CD값, critical dimension)가 일정하게 나타나야 품질안정성이 뛰어난 PR제품으로 인정받는 것이다.

PR제품을 생산한 후 PR제품의 품질안정성을 측정하기 위한 EOP 측정은 각각의 시료마다 3장씩의 웨이퍼를 준비(ref-1, ref-2, sample)1)해 측정하고자 하는 10~15개 정도의 포인트를 측정해 이를 산술평균한 다음 ref-1, ref-2 대비 환산값을 계산해 값의 안정성을 비교하는 것이다.

1) ref-1, ref-2 : reference-1, reference-2라는 의미로 측정하고자 하는 sample PR과 상대적으로 비교하고자 하는 웨이퍼.



<그림 1> EOP(CD값)의 개념도

이때 ref-1, ref-2와 현저한 차이가 발생하거나 편차가 클 경우에는 PR제품의 안정성이 그만큼 낮다는 것을 의미하고, 결과적으로 고객사 반도체제품의 품질안정성을 하락시키는 주요한 원인이 되는 것이다. 따라서 D사에서는 생산되는 PR제품의 품질안정성을 확보하는 것이 자사의 고객을 만족시키는 것뿐만 아니라 고객사인 S사, 나아가 국가경쟁력을 향상시키는데 있어 매우 중요한 사안임을 이해하고 이를 개선하고자 6시그마 혁신활동을 도입한 것이다.

3. D사의 6시그마 적용사례분석

3.1 회사의 개요

D사는 1967년에 설립된 회사로 반도체 및 LCD용 재료(photoresist)와 발포제를 제조 판매하는 기업이다. 연매출액 규모는 약 2500억원 규모의 중견기업이다. 회사설립 초기에는 PVC 및 고무발포제를 국내 최초로 개발, 성장의 틀을 마련하였다. 최근에는 반도체 전자재료사업 위주로 사업 포트폴리오를 구축해 제 2성장의 틀을 마련하고 있으며, 2001년 대만에 공장을 설립해 세계시장 진출을 위한 교두보로 활용하고 있다.

D사는 고객을 가장 중요시하며, 최고품질의 제품과 서비스 제공으로 고객에게 최대의 기쁨과 만족을 주는 것을 제일목표로 하는 품질경영방침을 설정하여 품질혁신을 추진하고 있다.

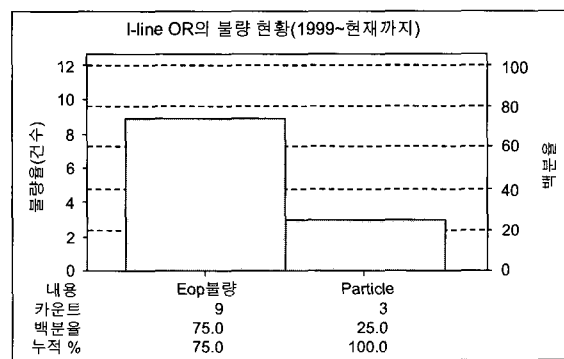
3.2 6시그마 도입사례

3.2.1 문제의 인식

D사는 주제품인 S전자의 I라인용 포토레지스트제품(이하 PR이라 함)에 대한 고객 클레임이 빈번해

고객관리에 많은 어려움을 겪고 있었다. 특히 고객 클레임 중 75% 이상이 EOP 특성에 의한 불량으로 나타나고 있어 시급한 개선이 요구되고 있는 상황이다. 만약 이를 개선하지 못할 경우 다른 PR제품의 개발 신뢰성에 대해서도 장담할 수 없는 상황이다.

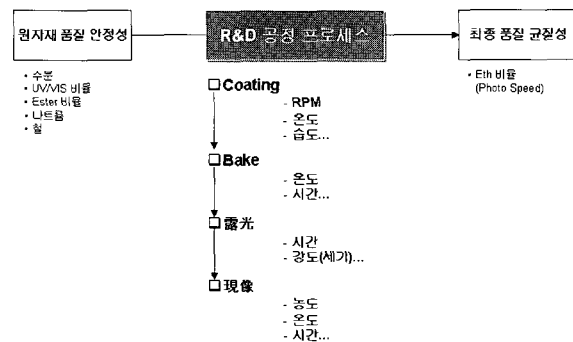
D사에서는 1999년부터 2005년 6월 현재까지 I라인용 PR 664로트(79,692겔론)를 생산하였으며, 이 중 12로트의 불량(1.8%)이 발생하였다. 불량 발생 12로트 중 75.0%에 해당하는 9로트의 PR이 EOP에 의한 불량으로 나타나고 있었으며, 특히 EOP 측정시스템의 불량으로 인해 측정편차가 많이 발생하는 것으로 원인이 분석되었다.



<그림 2> I 라인용 PR의 불량현황

3.2.2 생산 프로세스에 대한 이해

D사의 PR제품 생산 프로세스를 보면 원료공급자로부터 PR 원료를 공급받아 R&D 공정프로세스를 거쳐 최종 제품을 납품하는 프로세스로 이루어져 있다.



<그림 3> PR제품의 공정 프로세스

이때 생산되는 PR제품의 품질 안정성은 원자재의 품질안정성(수분이나 UV/VIS비율, Ester 비율, 나

트립, 철)에 의해 영향을 받을 수 있으며, 공정 프로세스에서는 coating, bake, 노광(露光, exposure), 현상 등의 과정에서 품질에 영향을 미칠 수 있다. 즉 R&D 품질, Recipe 품질, 생산공정 프로세스 품질, 기타 가변적인 요소들에 의해 품질이 영향을 받게 된다. 또한 고객 상황이나 기타 외생변수 등에 의해 품질안정성이 영향을 받을 수 있다.

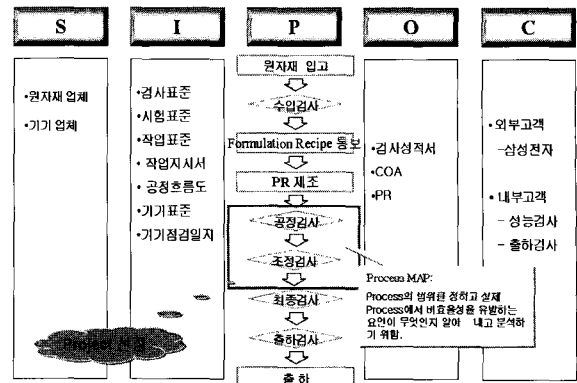
3.2.3 잠재적인 문제의 영향도 평가

D사에서는 I라인용 PR제품의 EOP 측정시스템에 문제가 있음을 인식하고 이를 해결하고자 잠재적인 문제해결방안들을 검토하였다. 이러한 검토의견 중 개선활동의 우선순위를 결정하기 위하여 잠재적인 문제의 영향도 평가 매트릭스를 활용해 분석하였다. 분석한 결과 EOP 측정시스템의 개선이 가장 시급한 것으로 평가되었다.

잠재적인 문제의 영향도를 파악하기 위한 평가기준은 고질적인 문제인가의 여부 ② 사업에의 영향도 정도 ③ 성공 가능성 정도 ④ 측정 가능성 정도 ⑤ 관리 가능성 정도 ⑥ COPQ 절감의 정도 ⑦ 고객 만족에의 영향도 정도 ⑧ 사안의 시급성 정도 등이다. 평가척도는 10점 척도를 활용하였으며, 매우 중요하다면 10점으로 평가하도록 하였다.

3.2.4 과제 의 범위 설정

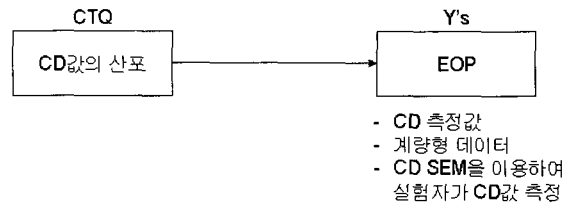
D사에서는 EOP 측정시스템을 개선하기 위한 과제의 범위를 설정하기 위하여 SIPOC기법(supplier, input, process, output, customer)을 활용하여 공정검사와 조정검사의 단계로 설정하였다.



<그림 4> 상위 프로세스 맵

3.2.5 핵심품질요인(CTQ)의 도출

D사는 EOP에 대한 문제를 해결하기 위하여 최우선적으로 핵심품질요인인 CTQ(critical to quality)를 CD값으로 설정하였다. CD값은 결과적으로 EOP의 값을 결정하는 중요한 특성이기 때문이다.



<그림 5> CTQ와 Big Y's의 관계

3.2.6 Big Y's와 성과척도 매트릭스

I라인용 PR의 EOP는 공정 프로세스에서 PR의 두께(thickness)에 의해 영향을 받게 된다. 즉 PR의

<표 1> 잠재적인 문제의 영향도 평가

평가항목 잠재적인 문제해결 방안	상대적 중요도	고질적 문제	사업 영향도	성공 가능성	측정 가능성	관리 가능성	COPQ 절감	고객 만족도	시급성	종합 점수
		10	5	5	5	5	10	8	10	
Resin 분급 안정화를 통한 Eop 특성 개선		8	3	3	3	3	10	5	9	370
PR Thermal 안정화를 통한 Eop 특성 개선		7	3	3	3	3	10	5	8	350
Eop 측정시스템 개선		10	3	3	5	3	10	10	10	440
생산 시스템 개선		5	1	1	1	3	1	5	5	180

두께가 지나치게 두꺼우면 노광단계에서 PR 현상이 일정하게 나타나지 않아 EOP에 영향을 줄 수 있기 때문이다. 따라서 D사에서는 EOP를 개선하기 위하여 두 개의 Big Y를 설정하였다. 첫 번째 Big Y는 두께(thickness)로 설정하였으며, 두 번째 Big Y는 EOP(CD값)로 설정하였다. 결과적으로 Big Y₁은 Big Y₂의 선행변수중의 하나이며, 이들의 관계를 도식화하면 <그림 6>과 같다. Big Y₁과 Big Y₂의 인과관계는 회귀분석기법을 활용하여 분석하였다.



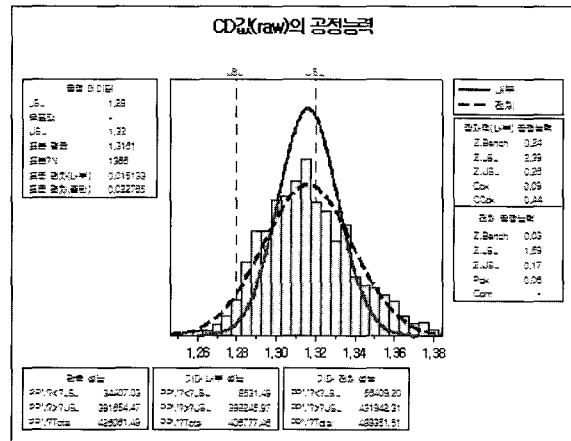
<그림 6> Big Y₁과 Big Y₂의 관계

Big Y's를 설정한 후 이를 해결하기 위하여 성과 척도 매트릭스분석을 통해 측정하고자 자료의 수집 방법과 달성하고자 하는 목표를 설정하였다. PR의 코팅두께는 트랙온도 및 습도, Hot Plate의 온도변화 등에 따라 동일 실험자가 코팅 후 3명의 실험자가 두께를 측정하는 것으로 자료를 수집하였다. EOP는 두께가 일정하게 유지된 웨이퍼를 ETRI(한국전자통신연구원)에서 노광 후 3명의 실험자가 CD SEM을 활용하여 CD값을 측정하는 것으로 자료를 수집하였다.

3.2.7 공정능력분석

D사에서 현재까지 생산된 I라인용 PR제품의 공

정능력을 분석하였다. 규격상한(USL)은 1.32, 규격하한(LSL) 1.28, 표본평균은 1.32였으며, 전체 표본의 수는 1,366개의 데이터를 활용하였다. 규격하한을 넘는 불량률은 34,407.03ppm이며, 규격상한을 넘는 불량률은 391,654.47ppm으로 불량률이 매우 높게 나타나고 있었다. 중심이동을 고려한 D사의 장기 시그마 수준은 1.53시그마로 즉각적인 개선을 요하는 매우 낮은 수준의 품질수준인 것으로 나타났다.



<그림 7> D사의 공정능력분석결과

3.2.8 측정시스템분석

6시그마 문제를 해결하기 위해 측정시스템(MSA, measurement system analysis)을 분석하였다. 측정시스템을 분석하기 위한 방법으로 Gage R&R을 사용하여 반복성(repeatability)과 재현성(reproducibility)을 검증하였다.

<표 2> Big Y의 성과척도 매트릭스

No	Y's	Y 정보					규격 설정		측정 신뢰성	Baseline		Goal(목표)		
		산출공식/운용정의	자료원	주기	단위	유형	USL	LSL		지표	Zst	지표	Zst	
1	코팅 두께	Track 온도/습도/hotplate 온도 변화에 따라 동일 실험자가 coating 후 3명의 실험자가 두께를 측정한다.	현장 분석 Excel sheet	발생시	A°	C	17480	17280	만족			3.89		4.50
2	Eop (CD)	두께가 일정하게 유지(30A° 이내 조절)된 wafer를 ETRI에서 노광 후 3명의 실험자가 CD SEM을 이용하여 CD 값을 측정한다.	현장 분석 Excel sheet	발생시	nm	C	1320	1280	G R&R (수치화)			2.68 (2.05)		3.68 (3.05)

※ Data유형 : C-Continuous

우선 Big Y₁인 두께에 관하여 측정시스템을 분석하였다. 10장의 웨이퍼를 코팅한 후 3명의 측정자가 각 웨이퍼마다 5 포인트씩 두께를 측정할 값을 활용하였다. 분석결과 측정시스템에 의한 변동은 0.49%로 평가기준인 1%보다 낮게 나타나고 있어 양호한 측정시스템인 것으로 나타났다. 그러나 부품간의 차이에 의한 변동은 99.51%로 매우 크게 나타나고 있다.

Gage R&R 산포 중 재현성에 의한 산포가 0.44로 대부분을 차지하고 있었다. 연구변동은 6.99%로 평가기준인 10% 이하로 측정시스템이 양호한 것으로 나타났으며, 측정시스템의 차별력을 나타내는 범주의 수는 평가기준인 10 이상으로 나타나고 있어 우수한 것으로 분석되었다. 두 번째 Big Y인 EOP (CD 값)에 대한 Gage R&R을 실시한 결과를 보면 측정시스템의 변동이 57.87%로 평가기준인 10%를 훨씬 초과하고 있어 즉각적인 개선활동이 요구되고 있다.

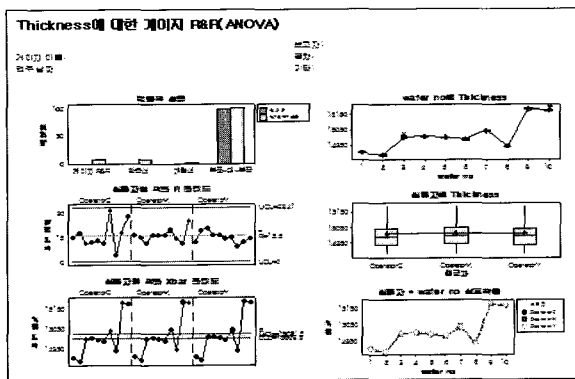
<표 3> 두께 게이지 R&R 통계량

출처	분산 성분	%기여(분산 성분의 표준)	
총 게이지 R&R	48.62	0.49	
반복성	43.49	0.44	
재현성	5.13	0.05	
실험자	5.13	0.05	
부품 대-부품	9906.43	99.51	
총 변동	9955.05	100.00	
출처	편차(SD)	연구 변동(6*SD)	%연구 변동(%SV)
총 게이지 R&R	6.9727	41.836	6.99
반복성	6.5947	39.568	6.61
재현성	2.2647	13.588	2.27
실험자	2.2647	13.588	2.27
부품 대-부품	99.5310	597.186	99.76
총 변동	99.7750	598.650	100.00
구별되는 범주의 수	= 20		

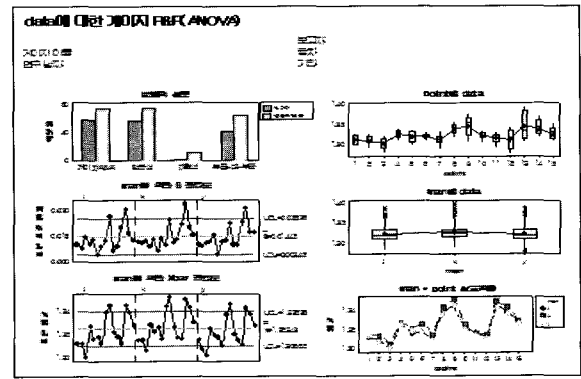
특히 변동성 57.87% 중 56.54%가 반복성에 의한 편차인 것으로 나타나고 있어 이에 대한 개선이 필요한 것으로 나타났다. 반복성에 의한 산포는 동일한 시료에 대하여 한 명의 측정자가 동일 계측기기를 사용하였을 때 얻을 수 있는 산포로 계측기 산포(EV, equipment variation)는 곧 측정시스템에 의한 산포를 의미하므로 EOP를 측정하고자 하는 측정시스템의 즉각적인 개선을 개선이 요구되는 것으로 나타났다. 부품간의 차이에 의한 변동은 42.13%로 그다지 크지 않은 것으로 나타났다. 연구 변동은 76.07%로 개선이 요구되는 평가기준 30%를 훨씬 웃돌고 있어 측정시스템의 개선이 요구되고 있다. 구별되는 범주의 수 역시 5 미만으로 나타나고 있어 측정시스템의 차별력이 유효하지 못한 것으로 나타났다.

<표 4> EOP 게이지 R&R 통계량

출처	분산 성분	%기여(분산 성분의 표준)	
총 게이지 R&R	0.0002483	57.87	
반복성	0.0002426	56.54	
재현성	0.0000057	1.33	
man	0.0000057	1.33	
부품 대-부품	0.0001808	42.13	
총 변동	0.0004291	100.00	
출처	표준 편차(SD)	연구 변동(5.5*SD)	%연구 변동(%SV)
총 게이지 R&R	0.0157579	0.086669	76.07
반복성	0.0155760	0.085668	75.19
재현성	0.0023875	0.013131	11.53
man	0.0023875	0.013131	11.53
부품 대-부품	0.0134453	0.073949	64.91
총 변동	0.0207144	0.113929	100.00
구별되는 범주의 수	= 1		



<그림 8> 두께 게이지 R&R 결과



<그림 9> EOP 게이지 R&R 결과

이와 같이 Big Y₁(두께)과 Big Y₂(EOP)에 대하여 Gage R&R을 실시한 결과 EOP를 측정하기 위한 측정시스템의 산포가 큰 것으로 나타나 이를 즉각적으로 개선할 필요성이 있는 것으로 분석되었다.

3.2.9 잠재인자의 도출

6시그마 품질혁신을 위해서는 CTQ를 구성하는 잠재적인 중요인자에 대한 파악에 우선적으로 필요하며, 이들의 우선순위에 따라 개선활동을 펼쳐나가야 한다.

D사에서는 Big Y에 대하여 잠재인자를 도출하기 위해 C&E(Cause & Effect)다이아그램, FDM(functional deployment matrix, 기능전개 매트릭스)방법과 FMEA(failure mode & effects analysis, 고장/효과유형분석)방법을 통해 중요 잠재인자를 도출하였다.

<표 5> FDM을 이용한 잠재인자 도출

이상과 같이 FDM이나 FMEA를 활용해 Big Y₁(두께)의 잠재인자를 도출하였다. 잠재인자로는 ①

<표 6> FMEA를 이용한 잠재인자 도출

번호	프로세스 단계 (프로세스 기능)	잠재적 고장 유형	장제적 영향 (KPOV's)	심각도	등급	잠재적 원인 (KPIV's)	발생도	현재 프로세스 관리상태	검출도	RPN
1	Track온/습도유지	온도/습도 변화 큼	두께 변화 발생	5		C/R 온습도 변화폭 큼	2	관리 안됨	6	60
2	Wafer 준비	P/C 존재	두께 변화 발생	1		Wafer 전처리 문제	1	관리상태	6	6
3		HMDS 처리 미비	두께 변화 발생	1		HMDS 처리양 문제	1	관리상태	3	3
4	PR 준비	온도 안정화 미비	두께 편차 발생	1		상온 유지시간 관리 문제	1	관리상태	1	1
5	Coating	Coating 균일성 결여	두께 변화 발생	3		Coater 중심축 관리 문제	5	관리 안됨	5	75
6	Soft bake	온도/time 일정유지 부족	두께 편차 발생	3		온도/time 편차 발생	4	관리상태	5	60
7	Hard bake	온도/time 일정유지 부족	두께 변화 발생	3		온도/time 편차 발생	1	관리상태	1	3
8	두께 측정	Uniformity 결여	Wafer 내의 두께 편차 발생	5		Coater rpm 변화	5	작업자 교육	5	125
9	진공 포장	진공도 부족/공기 삽입	Wafer 내의 두께 편차 발생	5		진공도 변화	5	관리 안됨	5	125
번호	프로세스 단계 (단계)	잠재적 고장 유형 (프로세스 결합)	장제적 영향 (KPOV's)	심각도	등급	잠재적 원인 (KPIV's)	발생도	현재 프로세스 관리상태	검출도	RPN
10	ETRI 의뢰	Stepper 조건 불안정	CD 값 변화	8		Stepper 관리 표준	8	전혀 관리 못함	7	448
11	"	Energy 변화 발생	CD 값 변화	8		노광 에너지	8	전혀 관리 못함	7	448
12	"	Develop 농도 변화 발생	CD 값 변화	8		노동 변화	8	전혀 관리 못함	7	448
13	"	Developer 온도 변화 발생	CD 값 변화	8		약액 온도 변화	8	전혀 관리 못함	7	448
14	CD 측정	SEM 조건 안정화 결여	CD 값 변화	6		SEM 표준관리 미비	5	작업자 교육	2	60
15	"	Coating 두께 변화 or ETRI 조건 불안정	CD 값 변화	8		노광 후의 wafer 내의 pattern 변화	8	관리 안됨	4	256
16	"	PR pattern 붕괴리짐 or ETRI 조건 불안정	CD 값 변화	8		cell 내에서의 pattern size의 변화	8	관리 안됨	4	256
17	"	Coating 두께 변화 or ETRI 조건 불안정	CD 값 변화	8		Wafer 간의 pattern size의 변화	8	관리 안됨	4	256
18	"	PR 변성 or ETRI 조건 불안정	CD 값 변화	8		시간 경과에 따른 동일 PR의 CD 값 변화	3	관리 안됨	1	24

트랙의 온도변화 ② 트랙의 습도 변화 ③ 트랙내의 회전속도 변화(트랙내의 RPM) ④ 핫플레이트 위치별 온도 ⑤ 코팅된 웨이퍼의 균일성 ⑥ ETRI 이동시 코팅 균일성 변화 등이며, 이들 잠재인자들과 두께와의 함수관계는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y_1(\text{두께})=f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6) \quad (1)$$

x_1 : 트랙내의 온도 변화
 x_2 : 트랙내의 습도 변화
 x_3 : 트랙내의 회전속도 변화
 x_4 : 핫플레이트 위치별 온도
 x_5 : 코팅된 웨이퍼의 균일성
 x_6 : ETRI 이동시 코팅 균일성 변화

또한 PR제품의 품질 안정성을 나타내는 Big Y₂ (EOP 혹은 CD값)의 잠재인자는 ① 두께 변화(=Big Y₁) ② ETRI 스텝퍼의 측정오차(DOF/노광량 시간 변화) ③ ETRI 실험조건의 변화(develop 온도 및 농도) ④ 노광 후 웨이퍼내 패턴 사이즈 ⑤ 노광 후 웨이퍼간 패턴 사이즈 등 5가지의 잠재요인이 설정되었다. 분석의 편의를 위해 잠재요인 ②와 ③을 각각 'ETRI 기기조건 1'과 'ETRI 기기조건 2'로 명명하였다. 이들 잠재요인들과 Big Y₂(EOP)의 함수관계를 수식으로 표현하면 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Y_2(\text{EOP})=f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) \quad (2)$$

x_1 : 두께 변화
 x_2 : ETRI 스텝퍼의 측정오차(DOF/노광량 시간변화)
 x_3 : ETRI 실험조건의 변화(develop 온도 및 농도)
 x_4 : 노광 후 웨이퍼내 패턴 사이즈
 x_5 : 노광 후 웨이퍼간 패턴 사이즈

3.2.10 잠재인자의 분석(Analyze)

도출된 Big Y₁의 잠재인자와 Big Y₂의 잠재인자의 유의성을 검증하였다. 검증방법은 일원분산분석과 다중회귀분석, paired t-test 등을 이용하였으며, 검증결과는 <표 7>과 <표 8>에 나타나 있다. 검증결과 Big Y₁(두께)의 잠재인자 중 x_4 와 x_5 인자의 유의성이 없는 것으로 검증되었으며, Big Y₂의 잠재인자 중 현장실사를 통해 검증한 ETRI 기기조건을

제외하고 3가지 잠재인자 모두 유의한 것으로 검증되었다.

<표 7> Big Y₁ 잠재인자 검증결과

No	중요 X's 인자	검증기법	p값
x ₁	트랙의 온도변화	다중회귀	0.000
x ₂	트랙의 습도변화	다중회귀	0.000
x ₃	트랙내의 회전속도(RPM) 변화	다중회귀	0.000
x ₄	핫플레이트 위치별 온도	일원분산	0.100
x ₅	코팅된 웨이퍼의 균일성 변화	일원분산	0.166
x ₆	ETRI 이동시 코팅 균일성 변화	t-test	0.000

<표 8> Big Y₂ 잠재인자 검증결과

No	중요 X's 인자	검증기법	p값
x ₁	코팅 두께	일원분산	0.003
x ₂	ETRI 기기조건 1(스테퍼)	현장실사	-
x ₃	ETRI 기기조건 2(디벨로퍼)	현장실사	-
x ₄	노광 후 웨이퍼내 패턴 사이즈	Kruscal Wallis	0.000
x ₅	노광 후 웨이퍼간 패턴 사이즈	Kruscal Wallis	0.000

3.2.11 개선(Improve)

검증결과를 활용하여 재정의 된 중요핵심인자(vital few X's)에 대하여 개선계획을 수립하였다. 각각의 Big Y's에 대한 분석기법과 분석결과, 개선전략을 정리하면 <표 9>와 같다.

<표 9> CTQ 개선전략

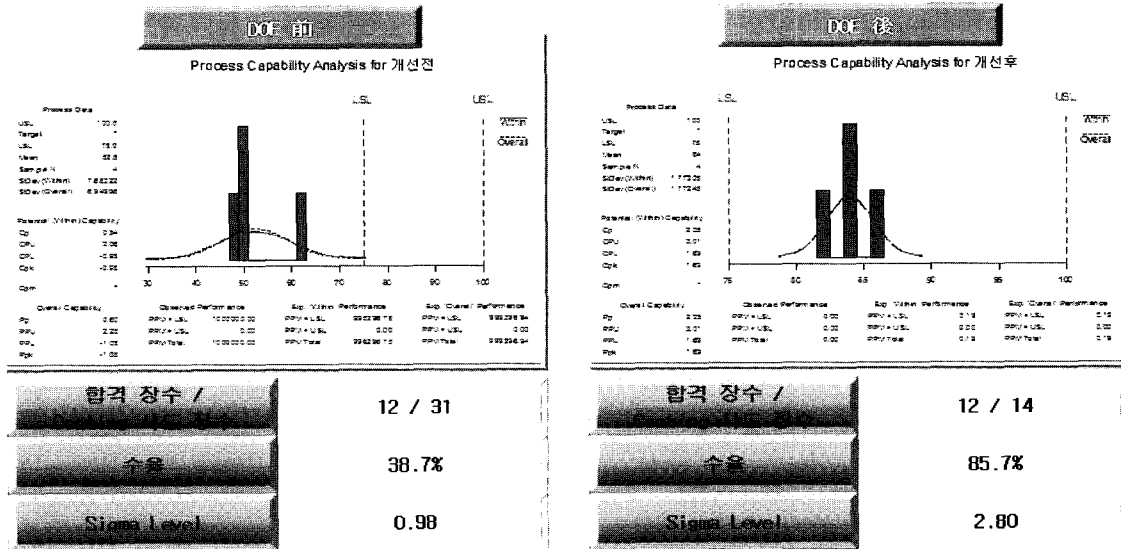
CTQ	인자	분석 기법	분석 결과	개선 전략
Y ₁	x ₁	다중회귀	유의함	DOE (최적조건 설정)
	x ₂			
	x ₃			
Y ₂	x ₆	paired t-test	유의함	Non Doe (공정조건 설정)
	x ₂	현장검토 (Process Map)	실험 계획	Non DOE (공정조건 설정)
	x ₃			
	x ₄	Kruscal Wallis	유의함	Non DOE (공정조건 설정)
x ₅	Kruscal Wallis	유의함	Non DOE (공정조건 설정)	

Big Y₁(두께)의 핵심인자의 유의성을 검증한 결과 4개 인자 모두 유의한 것으로 나타났다. 이들 인자 중 x₁(트랙의 온도 변화), x₂(트랙의 습도변화), x₃(트랙내의 회전속도 변화)은 DOE(실험계획법)에 의해 최적조건을 설정하는 것으로 개선 전략을 세웠으며, x₆(ETRI 이동시 코팅 균일성 변화)은 Non DOE인 공정조건 설정을 통해 개선하고자 하였다.

Big Y₂(EOP)의 핵심인자 x₄(노광 후 웨이퍼내 패턴 사이즈), x₅(노광 후 웨이퍼간 패턴 사이즈)에 대

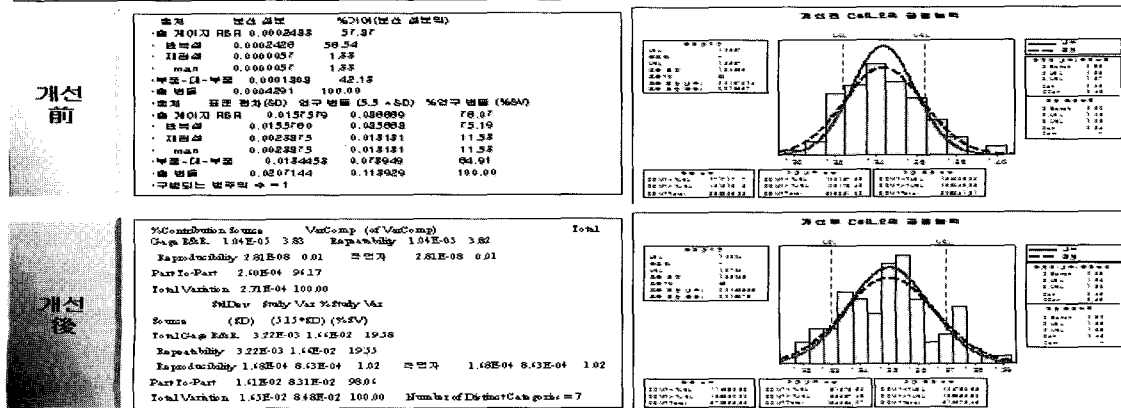
하여 Kruscal-Wallis 검증을 실시한 결과 유의한 것으로 나타나 Non DOE(공정조건 설정)를 통해 개선하고자 하였다. ETRI 기기조건인 x₂와 x₃은 현장 검토를 통해 프로세스 맵을 작성하였으며, 역시 공정조건 설정을 통해 개선하고자 하였다.

D사에서는 이러한 개선전략에 입각해 개선활동을 실시하였으며, <그림 10>, <그림 11>, <그림 12>에 나타난 바와 같이 공정능력이 크게 향상되었다.

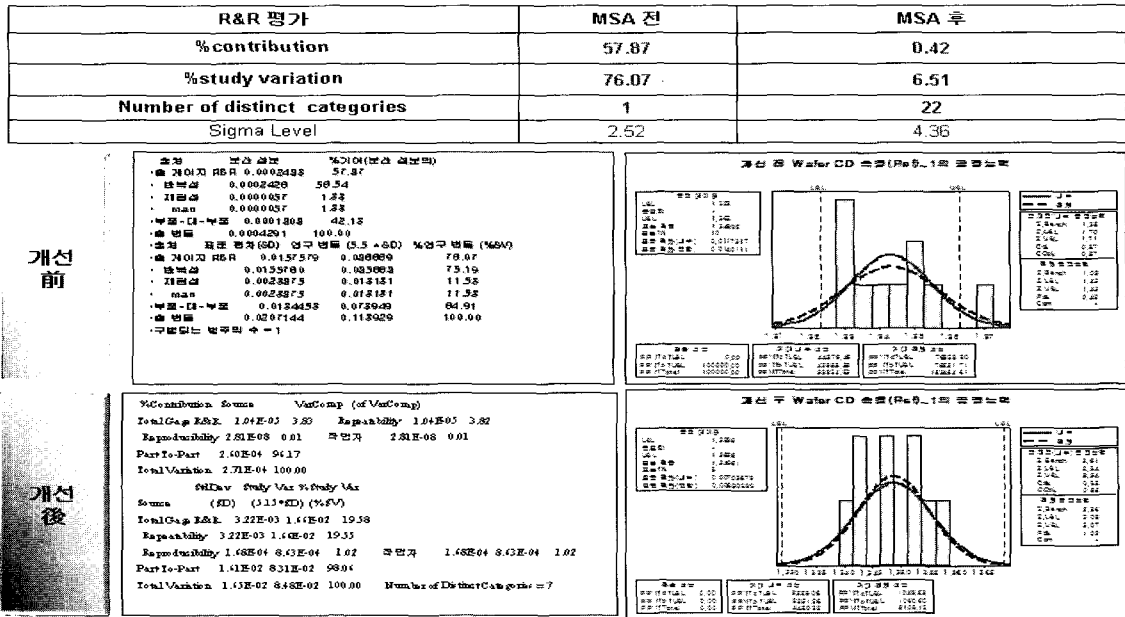


<그림 10> Big Y₁의 DOE 전·후 공정능력 향상

R&R 평가	MSA 전	MSA 후
%contribution	27.79	3.83
%study variation	52.72	19.58
Number of distinct categories	2	7
Sigma 수준	2.00	2.30



<그림 11> 노광 후 웨이퍼내 패턴'사이즈 공정능력 개선결과



<그림 12> 노광 후 웨이퍼간 패턴 사이즈 공정능력 개선결과

즉 Big Y₁(두께)의 공정능력을 향상시키기 위해 DOE를 실시한 결과, DOE 전에는 수율이 38.7% (0.98시그마)에 불과하였으나 DOE 후 85.7%(2.80 시그마)로 향상되었다. Big Y₂(EOP)의 핵심인자 x₄(노광 후 웨이퍼내 패턴 사이즈)와 x₅(노광 후 웨이퍼간 패턴 사이즈) 역시 공정능력에서 양호하게 개선되고 있다. x₄ 인자의 경우 개선 전에 비해 개선 후에 %기여(% contribution)와 %연구변동(% study variation), 구별되는 범주의 수(distinct categories) 모두 양호한 수준으로 개선되었다. 시그마 수준 역시 개선 전에는 2.0 시그마 수준이었으나 개선 활동 후 2.30 시그마로 향상되었다. x₅ 인자의 경우 %기여와 %연구변동 모두 우수하게 개선되었다. 시그마 수준 역시 개선 전 2.52 시그마에서 개선활동 후 4.36 시그마로 향상되었다.

3.2.12 6시그마 추진 효과

D사는 2005년 하반기부터 6시그마 혁신활동을 시작해 매우 양호한 성과를 거두고 있다. 반도체용 PR의 품질안정성을 결정하는 핵심요인인 두께(thickness)와 EOP의 시그마 수준이 혁신활동 이전에 각각 0.98시그마와 1.53시그마였으나 혁신활동 후 각각 2.80시그마와 3.98시그마로 개선되었다. 개선활동 기간인 2005년 11월부터 2006년 3월까지 5개월간

개선된 COPQ는 총 5천8백2십만 원으로 나타나고 있다. EOP의 품질안정성을 나타내는 핵심요인인 ‘노광 후 웨이퍼내 패턴 사이즈’와 ‘노광 후 웨이퍼간 패턴 사이즈’의 시그마 수준 역시 각각 2.0시그마에서 2.3시그마, 2.52시그마에서 4.36시그마로 향상되었다.

4. 결 언

국내기업들이 품질혁신을 위해 6시그마를 도입한 이래 많은 기업들이 가시적인 성과를 거두었다. 특히 도입초기인 1996년부터 LG전자와 삼성SDI, GE 캐피탈 한국법인, 씨티뱅크, 아멕스카드, LG캐피탈, LG투자증권 등 대기업 중심으로 도입되어 왔으며, 6시그마 성과 역시 대기업의 성과들이 각종 매체와 연구 자료를 통해 소개되었다. 최근에는 중견기업이나 중소기업, 정부기관 등이 경영효율성 제고 및 경영품질향상을 위해 BSC와 더불어 6시그마 도입에 활발한 움직임을 보이고 있다.

사례로 기술한 D사와 같이 중소기업은 비록 대기업보다 물적, 인적, 재정적 측면에서 불리하기는 하나 6시그마 혁신활동을 통해 충분한 재무적 성과를 달성할 수 있다는 것을 실증적으로 보여주고 있다. 그러나 문제점이 없는 것만은 아니다. D사의 사례를

연구하는 중에 나타난 문제점은 크게 세 가지로 분류할 수 있다. 첫째, 인력부족의 문제를 들 수 있다. 현장에서 산재한 문제들을 즉 실천의 방법으로 해결하고는 있으나 보다 근원적인 문제를 해결하는데 있어 문제해결에만 몰입할 수 있는 인적자원이 부족하다는 것이다. 그렇기 때문에 6시그마 리더가 본연의 업무를 수행하면서 6시그마 혁신활동을 부차적인 관점에서 수행해 관심도와 열의가 떨어지는 단점이 발생하였다. 둘째, 추진인력의 비전문성을 들 수 있다. 현장에서 R&D나 생산에 근무하기 때문에 통계적 지식의 습득에 제한이 있어 추진에 어려움이 있다는 것이다. 셋째, 6시그마의 성공 가능성에 가장 큰 영향을 미치는 챔피언들의 적극성 결여를 들 수 있다. 도입 초기에는 열정과 비전을 가지고 임하였다 하더라도 혁신활동이 진행되는 동안 경영상의 다른 문제들로 인해 혁신활동에 대한 열의가 사라지는 단점들이 나타났다.

이와 같은 문제점들은 여타의 중견기업이나 중소기업들이 6시그마를 도입하는데 있어 공통적으로 느끼는 문제들일 것이다. 그러나 이러한 문제가 상존한다 하더라도 D사의 사례에서 보여주는 바와 같이 중견기업에서도 매우 훌륭하게 6시그마 혁신활동이 성공할 수 있다는 것이 검증된바 자사의 경쟁력이나 국가경쟁력 향상을 위해서도 국내 중견기업이나 중소기업들의 분발이 요구된다.

참 고 문 헌

- [1] 구일섭 외(2003), “6시그마가 품질분임조활동에 끼친 영향에 대한 실증연구”, 『품질경영학회지』, 31권, 1호, pp. 1-10.
- [2] 마이클 해리, 리처드 슈뢰더/안영진 역(2000), 『6시그마 기업혁명』, 김영사, pp. 239-251.
- [3] 박성현(2002), “서비스산업에서의 6시그마 도입과 추진전략”, 『서울대학교 경영정보논총』, 12권, 1호, pp. 39-50.
- [4] 박진영(2002), “식스시그마와 품질분임조 활동 비교연구”, 『인하대학교 산업경제연구소 경상논집』, 16집, 1호, pp. 183-200.
- [5] 신동철, 안영진(2003), “블랙벨트를 통해 본 6시그마 성공의 핵심요인에 관한 실증적 연구”, 『품질경영학회지』, 31권, 4호, pp. 81-94.
- [6] 원유동(2004), 『미니탭을 이용한 6시그마 기초실무』, 무역경영사.
- [7] 장대성 외(2004), “한국 서비스산업의 6시그마 기법 시행과 그 성과에 관한 실증적 연구”, 『품질경영학회지』, 32권, 1호, pp. 4-5.
- [8] Hahn, G. J., Doganaksoy, N., and Hoerl, R. (2000), “The Evolution of Six Sigma”, *Quality Engineering*, Vol. 12, No. 3, pp. 317-326.