

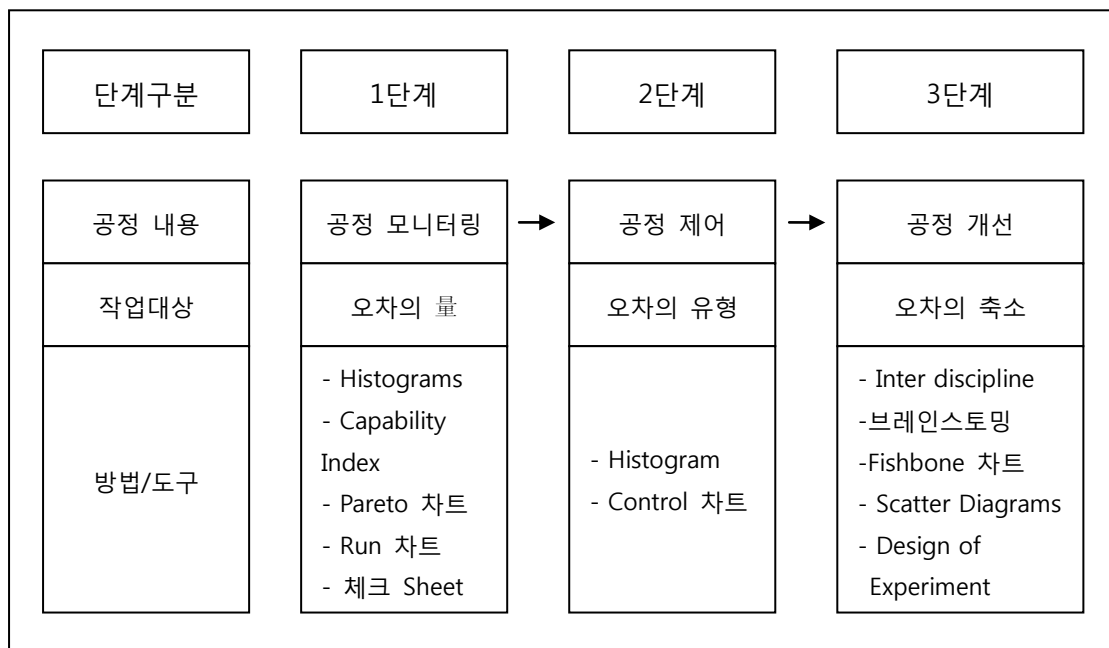
4. 실험계획법(DOE)

제조업체가 선진업체의 품질목표인 6시그마(신뢰도 99.99966%, 백만개 중3~4건의 불량)에 도전하기 위해서는 총체적인 TQM(Total Quality Management)기법의 도입을 필요로 한다, TQM과 CE의 관계는 매우 밀접하다는 점을 제 2장 CE의 역사에서 이미 설명한 바 있다.

CE가 비록 기술부분의 전략정보시스템임과 동시에BPR의 구현목표이지만, CE의 가장 중요한 도구 가운데 하나인 QFD와 마찬가지로 TQM에서 빌려온 CE 도구로는 실험계획법(DOE : Design of Experiments)과 SPC(Statistic Process Control)가 있다. BPR, RQM, CE의 개념상의 상관관계는 매우 흥미 있는 주제인데 제 5장에서 간략히 기술하고자 한다.

기업체에서 주로 사용하고 있는 SPC의 도구로서는 카오루 이시가와(Kaoru Ishikawa)가 제안한 7가지 기본도구가 유명하다. 그것은 검사시트(check sheet), 파레토(Pareto) 차트, 피쉬본(Fishbone) 차트(cause & effect diagram), 히스토그램(histogram), 산포도(scatter plot, 관리도(control chart), 계층 분류(stratification) 등이다. 여기에서는 대체적으로 많이 알려진 SPC는 생략하고 실험 계획법과 다꾸찌 방식(Taguci Method)을 위주로 설명한다.

<그림 3-8> 공정 제어 및 개선 사이클



<출처 : Tech. Ctr. Courseware社>

1) DOE의 개요

QFD가 주로 기획 및 설계(엔지니어링,공정, 생산계획 등)단계의 도구라면, DOE는 제조단계의 불량원인을 사전에 제거하기 위한 시제품 테스트 및 제조

품질 예측/분석기법의 도구라 할 수 있다. <그림 3-8>은 제조공정상의 공정 개선사이클과 DOE의 상관관계를 나타낸 것이다.

초기에 설계자가 상품의 프로토타입을 제작할 경우, 실제로 라인에서의 제조 및 조립과정을 고려하지 못하는 경우가 많다, 왜냐하면 라인에서는 제품의 품질을 결정하는 많은 제조변수가 있기 마련이고 이를 설계자가 완벽히 고려하는 것은 불가능하기 때문이다, 이를테면 작업자의 인위적 실수뿐만 아니라, 가공조건 및 부품의 품질편차 등에 따라 완성된 제품이 목표 품질을 만족시키지 못하게 되는 것이다.

<표 3-2> 2레벨 Fractional Factorial Experiments의 매트릭스 사례

One Factor at a time			Full Factorial			Fractional Factorial		
시험조건	ABC	결과	시험조건	ABC	결과	시험조건	ABC	결과
1	+++	Y1	1	---	Y1	1	+++	Y1
2	--+	Y2	2	++-	Y2	2	++-	Y2
3	+-+	Y3	3	-+-	Y3	3	-+-	Y3
4	+++	Y4	4	++-	Y4	4	---+	Y4
			5	--+	Y5			
			6	++-	Y6			
			7	-++	Y7			
			8	+++	Y8			

(예) 2레벨 DOE 사례
A,B,C: 제조조건의 각 요인,각
요인 당 +,-(또는 1,2로 표기)
의 두개의 레벨로 분석함.

A : 납땜소재(연납,경납)
B : 용접방향(수직,수평)
C : 소재간격(10mm,20mm)
+,- :각 요인 1,2 레벨
Y : 용접선 강도

품질평가 및 공정작업의 보정을 실제 라인에서 개별적으로 실시한다면 이에 따른 비용 손실은 엄청날 것이고 그에 따른 설계변경작업은 납기지연을 유발시킬 것이다. CE팀은 DOE 기법의 수학적 모델을 사용함으로써 <그림 3-2>의 부품 전개 및 공정설계의 항목별 사양을 합리적으로 결정할 수 있게 된다. DOE는 수학적 모델을 시용하므로 용어가 전문적이기는 하나, 개념 자체는 매우 단순한 이론에 기초를 두고 있다.

DOE 기법은 일반적으로 ① Trial and Error, ② One Factor at a time, ③ Full Factorial, ④ Fractional Factorial로 분류된다. 첫번째 기법은 주먹구구식으로 시험하는 방식이며, 두번째 것은 다른 변수는 그대로 둔 채 하나의 변수만을 변경해 결과를 평가하는 방식이다. 세번째 것은 모든 경우의 수를 전부 평가하는 방식으로 현실적인 방식은 아니다. 네번째 것은 통계적 기법에 의해 표본을 선정해 평가하는 방법이다. Fractional Factorial은 Full Factorial 매트릭스 일부 표본집단을 대상으로 하는 것으로 다풀찌 방식으로 널리 알려져 있다. <표 3-2>는 2레벨, 3요인(factor)의 DOE 매트릭스를 나타낸 것이다.

여기서 레벨이라 함은 하나의 제조조건상의 변수항목(예, 용접방향이라는 제조조건 요인에 수평방향, 수직방향의 두 가지 제조변수 레벨이 있다.)을 말한다. 실제 현장에서 이렇게 단순한 경우는 드물며 2레벨의 경우도 <표 3-3>과 같이 검증해야 하는 요인의 수가 증가함에 따라 Full Factorial 매트릭스의 크기는 기하급수적으로 커지게 된다. 그러나 이러한 테스트는 많은 시간

과 비용을 유발시키며 비현실적이기 때문에 Fractional Factorial을 이용해야 한다. 특히 <표 3-2>처럼 각 요인의 레벨 수가 균형 분포된 Fractional Factorial을 Orthogonal Array Design이라 한다.

<표 3-3> 2레벨의 경우 요인수에 따른 Full Factorial 조건수

시험조건 시험조건수 (최소 Fractional Factorial 조건수)	Levels ^{Factors}	총시험수자 (Full Factorial 조건수)
L4	2 ³	8
L6	2 ⁵	32
L8	2 ⁷	128
L11	2 ¹⁰	1,024
L16	2 ¹⁵	32,768
L32	2 ³¹	2,147,483,648

2) 다꾸찌 방식¹⁵⁾

1953년 일본의 한 타일 제조공장은 큰 문제에 봉착했다. 타일은 굽는 가마의 벽으로부터 놓여진 거리에 따라 구워진 타일의 치수가 상이한 문제가 발생한 것이다. 타일이 불균등한 원인은 가마벽과 중심 사이의 온도 차이 때문이었다. 해결방안은 가마를 다시 설계 제작하는 것이었으나, 이것은 너무 많은 투자부담이 됐다.

<표 3-4> 용접샘플 : 요인과 레벨 변수

요인	레벨 1	레벨 2
A. 용접 진동수	125hz	250hz
B. 용접 압력	250psi	500psi
C. 고정 보강재	알루미늄판	에폭시 주형
D. 선형 진폭	10"	20"
E. 용접 시간	2초	4초
F. 결합방식	플랜지형	부채꼴형
G. 용접 방향	수평방향	수직방향

회사 내 전문가들은 대안을 찾았고, 7가지의 주요 조정 가능한 설계 요인을 찾아냈다. 즉 석회석의 성분 첨가제의 미세도, 유약의 성분, 유약의 종류, 원재료의 질, 참가된 페타일의 성분, 장식의 성분 등이다. 소성온도 이외에도 두가지의 조정 불가능한 요소(noise라 칭함.)가 있었는데 소성시간과 상대습도의 조절을 나타냄을 알게 됐다. 석회석을 정도 증가시킴으로써 치수결함은 30%에서 1%로 줄어들었다. 더욱이 전문가들은 타일 금형의 치수(adjustment factor라 불림.)를 변경함으로써 타일의 품질을 더욱 향상시킬 수 있음을 알아냈다.

즉 다꾸찌 방식의 목적은 상대적으로 많은 비용이 드는 제품성능오차의 제거 혹은 감소노력보다는 조정 불가능한 노이즈에 영향 받지 않도록 제조조건을 수정하는 데 있다. 다꾸찌는 품질개선노력에 비용을 고려하도록 요구하고

있으며 상대적으로 수정이 어렵고 많은 비용을 유발시키는 라인에서의 품질 관리보다는 설계단계부터 신뢰성 있는 설계(robust design이라 부름.)를 강조하고 있다. 때문에 그의 기법은 온라인 품질관리라기보다는 오프라인 품질관리에 집중돼 있다.

<표 3-5> L8(2⁷) Orthogonal Array

시험조건	A B C D E F G	시험결과(3회)
1	1111111	79 84 82
2	1112222	91 94 93
3	1221122	82 80 85
4	1222211	94 100 92
5	2121212	89 88 94
6	2122121	88 89 82
7	2211221	91 92 93
8	2212112	87 94 88

3) 다꾸찌 설계의 사례¹⁶⁾

다꾸찌는 3단계의 오프라인 품질관리기법을 제안했다. 시스템설계, 파라미터 설계, 그리고 허용오차(tolerance) 설계가 그것이다. 이 중 파라미터 설계는 ANOVA(Analysis of Variance)라는 통계기법을 사용하는데 각 작업수준을 일레를 들어 간략히 설명하고자 한다.

1) A 용접회사는 고객으로부터 다수의 크레임을 받은 제품의 용접 공정을 개선해야 했다. 고객의 요구조건은 용접부의 인장강도가 85 이상이어야 했으나, 완제품은 불량률이 높았다.

2) 곧 문제 해결팀이 결성됐으며, <그림 3-8>의 1,2단계 작업을 종료한 후 그들은 문제해결을 위해 <표 3-4>의 7가지 요인을 각각 2가지 레벨의 조건으로 테스트해야 한다는 결론을 얻었다.

3) <표 3-3>에 따라 본 문제는 Full Factorial의 경우 128개의 시험조건을 필요로 하나, 문제 해결팀은 L8(2⁷) Orthogonal Array의 Fractional Factorial, 즉 <표 3-5>와 같이 8개 시험조건을 3회 실시하기로 결정했다.

<표 3-6> ANOVA 테이블의 계산 결과

요인	df	SS	MS	F	SS'	%
A	1	15	15	1.65	5.9	0.90
B	1	26	26	2.86	16.9	2.58
C	1	1	1	0.11	0	0
D	1	117	117	12.86**	107.9	16.50
E	1	345	345	37.90**	335.9	51.36
F	1	5	5	0.55	0	0
G	1	0	0	0	0	0
e	16	145	9.1	-	-	28.66

합계	23	654				100.0%
----	----	-----	--	--	--	--------

이때 머신 셋업의 변경비용이 가장 큰 요인을 가능한 한 좌측에 배정하면 테스트 비용의 절감을 도모할 수 있다. 이 경우에는 상대적으로 설비의 셋업 비용이 비싼 용접진동수를 전체 테스트 기간 중에 단지 한번만 변경함으로써 총 테스트 비용의 절감을 도모했다

4) <표 3-5>에 의해 ANOVA 테이블을 작성한 것이 <표 3-6>이다. 여기서 각 항목의 공식 및 설명은 생략하고자 한다. 표 중에서 중요한 값은 F, % 치수이다.

5) 상기 표의 %는 제품품질에 끼치는 각 요인의 영향 도를 나타낸다. 상대적으로 영향도가 적은 A,C,F,G 등의 경우는 제조단가가 저렴한 레벨의 조건을 선택할 수 있었다. 이 경우에는 125Hz, 에폭시주형, 플랜지형 결합, 수평방향 용접이 선정됐다. 영향도가 큰 B,D,F 요인은 비용이 들더라도 품질향상을 높이는 레벨로 조건을 맞추게 됐다. 즉, 용접압력은 500psi, 선형진폭 20” 용접시간 4초로 작업했다.

6) 이 밖에도 ANOVA 테이블을 이용해 각 요인의 최적 조건시 평균용접강도와 신뢰도(95%, 99% 등)내의 최저, 최고 용접강도를 예상할 수 있었다. 마지막으로 문제 해결팀은 확인 테스트를 실시해 DOE의 결과가 최적화된 목표치와 부합하는 것을 확인했다. 결과적으로 단기간에 최소의 테스트 비용으로 높은 품질기준을 만족시킴과 아울러 제조원가를 절감해 경쟁력을 향상시킬 수 있었다.

<표 3-6> ANOVA 테이블의 계산 결과

제품명	업체명	가동환경
RS/Discover ¹⁷⁾	BBN Software Product	AIX, Unix
DoEpack	PQ Systems Inc.	IBM PC
QC-PRO DOE	Pister Group Inc.	IBM PC
DOE	Rapid Data	IBM PC
CAPD-TM	Adv. Sysems & Design	IBM PC
ANOVA-TM	Adv. Sysems & Design	IBM PC
Catalyst/DOE ¹⁸⁾	Catalyst Inc.	Macintosh

4) DOE 지원 소프트웨어 사례

위의 예에서 알 수 있듯이 DOE를 통해 CE팀은 설계 초기부터 저렴한 비용으로 최소한의 시제품 테스트를 거쳐 제조변수에 따른 제품의 품질결과를 시뮬레이션해 볼 수 있으며 최적의 생산공정을 설계해 낼 수 있게 된다. 물론 테스트 결과 발견된 설계 에러는 즉시 변경하게 된다, 제조회사의 생산기술부서는 이와 유사한 기법을 이미 사용하고 있다고 자위할 수 있을 것이다. 그러나 DOE는 CE환경하에서 초기설계보증 시 더 강력한 효과를 발휘한다.

DOE와 다꾸찌 방식의 개념은 이해하기 쉬워도 계산해야 하는 매트릭스의 상용화된 DOE 지원 소프트웨어를 사용함으로써 사용자는 설계생산성을 더욱 향상시킬 수 있다. DOE 소프트웨어는 향후 테스트장비와 연결된 CAT(Computer Aided Test) 혹은 SPC와의 통합을 통해 보다 빠른 엔지니어링 의사결정에 기여할 것으로 예상된다.