

☒ 연구논문

## 100 PPM 관리체제하의 실시간 공정관리 방안

조남호

건국대학교 산업공학과

신숙현

건국대학교 산업공학과 석사과정

### Real Time Process Control System under 100 PPM Management System

Nam-ho Cho

Professor, Dept. of Industrial Engineering, Kon Kuk University

Suk-hyun Shin

Dept. of Industrial Engineering, Kon Kuk University

#### Abstract

The present automated manufacturing environment is very different when the classical statistical process control method based on batch processing were used.

Therefore these must be replaced by automated statistical process control method.

In this point of view, this paper intends to develop the automated statistical process control method which can be implemented in the present automated manufacturing environment.

Specially this study developed the rules to identify the special causes of the manufacturing process in the aspect of the 100 PPM management, and a numerical example is demonstrated to verify the usefulness of these rules.

## 1. 서론

### 1.1 연구목적

점점 치열해지는 국제경쟁력 속에서, 그리고 날로 다양해지는 소비자의 의식변화에 서 기업이 살아남기 위하여 기술개발과 품질향상은 필수적인 요소가 되고 있다. 그러므로 기업은 과거의 형식적인 품질경영에서 벗어나 철저한 품질경영(QM; Quality Management)을 실행하여 불량품이 소비자에게 하나라도 넘어가지 않도록 하는 ZD(Zero Defect)에 목표를 두어야 한다.

제품의 품질에 있어서의 변동은 어디에서나 존재하는 것이고, 품질의 변동이 있는 곳에서 통계적 기법은 공정개선, 공정관리, 실험, 최종제품에 대한 판단 등에 적용될 수 있다. 이렇게 데이터를 분석하여 만족스러운 품질을 경제적으로 제조하기 위하여 통계적 기법을 응용하는 것이 통계적 품질관리(SQC; Statistical Quality Control)이고, SQC기법 중 생산공정에 적용되고 있는 기법이 통계적 공정관리(SPC; Statistical Process Control)이다. SPC의 주요 목표는 예측 가능한 제품수준을 유지하기 위하여 공정의 이질적인 산포를 인식하여 관리하는 것이다[Hwang, Hubele, 1993].

SPC 기법 중 대표적인 수단이 샘플링에 의한 관리도이다. 그러나 현대의 생산방식은 대량생산에 따른 자동생산이고, 검사방법 역시 컴퓨터의 자동조절, 관리에 따른 자동검사방식이다. 따라서 시료를 채취하여 검사하고, 그 결과를 통계적으로 분석하여 공정의 관리상태를 점검하는 SPC 기법에 많은 문제점이 대두되고 있다[Groover, 노인규 역, 1993].

현대의 기계생산이나 자동화생산에는 향상된 자동계측 장치나 컴퓨터에 의하여 제품의 전수검사방식이 가능하고, 불량품 단위가 PPM 단위로 되어 가고 있어서 전수검사방식의 적용이 불가능한 특정제품을 제외하고는 샘플링검사나 관리도를 이용하는 통계적 품질관리 기법의 적용이 곤란한 경우가 점점 많아지고 있다.

따라서 본 논문에서는 이제까지 관리기법으로 사용한 샘플링방법과 관리도기법의 문제점을 지적하고, 자동생산 및 자동검사에 맞는 공정능력도를 사용하여 전수검사를 함으로써 100PPM 및 PPM 단위의 불량률을 관리하는 생산체제를 구축하며, 이 체제에 맞는 새로운 이상판별규칙을 제안하여 100PPM 및 PPM 관리에 맞는 품질경영시스템을 고찰하고자 한다.

## 2. 기존 품질관리 기법의 문제점

### 2.1 기존 품질관리 기법

기존 품질관리 기법 중 대표적인 것이 SPC이다. SPC란 통계적 공정관리(Statistical Process Control)의 약자로서 품질규격에 합격할 수 있는 제품을 만들어 내기 위하여 통계적 방법에 의한 관리도구를 이용하여 관리하여 나가는 관리방법을 의미한다.

그러므로 SPC를 통하여 우리가 목표로 하는 가장 중요한 것은 품질산포가 보다 적은 균일한 품질의 제품을 생산하려고 하는 것이다. 즉, SPC적 관리를 통하여 공정의 변동을 줄여 나가고자 하는 것이다.

현재 사용되고 있는 SPC 중 대표적인 기법은 샘플링과 관리도 이론이 있다. 한편 관리도에서 관리한계선 안에 있어도 이상상태를 판단하는 기준으로 三浦新, 今泉益正 기준[三浦新, 今泉益正, 1979], (이를 三浦 등 기준이라고 함), Nelson 기준[Nelson, 1984], Western Electric 사의 Statistical Quality Control Handbook에 나와 있는 기준[Western Electric, 1956](이를 WECO 기준이라 함) 등이 있다. 그 중 三浦新, 今泉益正 기준을 살펴보면 <표 2-1>과 같다.

< 표 2-1 > 이상상태 판별규칙

	규 칙
三浦 등 기준	1 : 연속되는 7점이 중심선 한쪽으로 나타나는 경우
	2 : 연속되는 11점 중 10점이 중심선 한쪽으로 나타나는 경우
	3 : 연속되는 14점 중 12점이 중심선 한쪽으로 나타나는 경우
	4 : 연속되는 17점 중 14점이 중심선 한쪽으로 나타나는 경우
	5 : 연속되는 20점 중 16점이 중심선 한쪽으로 나타나는 경우
	6 : 연속되는 3점 중 2점이 중심선 한쪽 $2\sigma$ 밖에 나타나는 경우
	7 : 연속되는 7점 중 3점이 중심선 한쪽 $2\sigma$ 밖에 나타나는 경우
	8 : 연속되는 10점 중 4점이 중심선 한쪽 $2\sigma$ 밖에 나타나는 경우
	9 : 연속되는 7점이 변화없이 증가 또는 감소하는 경우
	10 : 연속되는 3점 중 2점이 $\pm 2\sigma$ 밖에 나타나는 경우
	11 : 연속되는 7점 중 3점이 $\pm 2\sigma$ 밖에 나타나는 경우
	12 : 연속되는 10점 중 4점이 $\pm 2\sigma$ 밖에 나타나는 경우

## 2.2 생산 및 검사시스템의 변화

인간의 요구가 점차 다양화하고, 소득수준이 점점 향상됨에 따라 소비자의 소비형태는 고급화 및 다양화되어 가고 있다. 또한 새로운 시장에서의 철저한 소비자 보호주의 경향은 경쟁력이 있는 제품과 서비스의 생산을 절실히 요구하고 있으며, 특히 기술과 환경에 대한 관련사항도 완전하게 보호하려는 성향은 우리의 기업환경을 더욱 복잡하게 만들고 있다. 따라서 생산은 공급자중심에서 고객중심으로 변화하고 있다. 즉, 예전에는 기업이익 중심의 공정관리에서 지금은 고객의 만족을 우선으로 하는 관리체제로 변모하고 있다. 따라서 고객만족을 위하여 가장 중요시하여야 할 것은 지속적인 품질개선에 의하여 적합품을 생산하는 것이다. 불량품 문제에 대한 사후대체보다는 품질문제의 발생억제, 즉 ZD를 달성목표로 하는 것이 가장 중요하다.

현재와 같이 고임금과 노사간의 분류가 극심한 상황에서는 원가를 절감하고 불량품을 감소시키기 위하여 제조공정의 자동화뿐만 아니라 검사나 품질관리의 자동화 방안도 강구하지 않으면 안되는 실정이다. 더구나 공장자동화에서 CIM 시스템으로 발전

되고 있는 상황 아래에서는 검사나 품질관리는 자동화되지 않을 수가 없다.

검사를 자동화하면 검사원의 수를 감소시킬 수 있을 뿐 아니라 검사비용도 절감되고 검사속도도 빨라지며, 정확한 정밀도의 검사가 실현된다. 그리고 단순작업의 반복에 의한 권태감 해소와 인간기계의 오명을 씻게 되므로 작업자의 인간성 존중 면에서도 기여하게 된다. 이와 같은 여러 가지 이유와 공장자동화의 추세에 따라 검사자동화(CAT; Computer Aided Test)는 점점 확대되고 있으며, CIM의 발전과 더불어 달라지고 있는 것이 품질관리의 새로운 동향이다. 즉 지금까지는 품질데이터의 수집과 통계적 해석을 사람이 행하였지만 품질데이터는 자동검사기로 측정되고, 이 데이터는 컴퓨터에 의해 실시간(Real Time)적으로 해석되고 조치가 행하여진다. 따라서 기업은 품질데이터의 정확한 수집과 적절한 통계적 기법을 사용한 통계적 해석보다는 자동검사기기의 개발과 검사자동화에 힘을 기울여야 한다.

이와 같은 자동검사기기에 의한 검사결과는 컴퓨터에 직접 입력되고 자동적으로 컴퓨터에 의하여 기준치와 비교·분석된 후 결과가 출력되어 계측과 비교·판단을 자동적으로 신속하게 하고, 제품의 정밀도를 향상시키며, 또한 검사항목에 대한 검사기능뿐 아니라 선별하는 기능도 가지고 있다[8].

### 2.3 SPC 관리의 문제점

이런 자동생산 및 자동검사 하에서 기업은 종래의  $\mu \pm 3\sigma$  관리기준인 10000개중에 27개(0.27%)의 불량률을 허용하는 관리기법에서 이제는 100PPM 관리, 나아가 PPM 관리로 향하고 있다. 100PPM 관리만 하더라도 10000개 중에 1개의 불량률 허용하는 관리이기 때문에 합격 로트중에서 어느 정도 불량품이 허용되어야 한다는 조건에 맞게 샘플링을 하기가 어렵다. 이 조건에 맞게 샘플링을 하려면 많은 샘플을 채취하여야 하기 때문에 샘플링한다는 의미가 사라지게 된다. 더욱이 PPM 관리에 맞추기 위하여 샘플을 채취하려면 거의 전수검사에 가깝게 많은 샘플을 채취하여야 한다. 그리고 PPM 관리 아래에서 샘플을  $\mu \pm 3\sigma$  관리기준대로 샘플링을 하면 이 때에는 관리한계의 폭이  $\mu \pm 3\sigma$  법에 따른 관리한계는 100PPM 및 PPM에 따른 관리한계보다  $1\sigma$ 의 범위가 넓어 PPM관리기준으로 적합하지 않다. 그리고  $\mu \pm 3\sigma$  관리기법인 관리도에서 관리한계선을 벗어나는 확률은 0.27%이기 때문에 불안정한 상태(층별, 경향, 혼합 등)로 점이 찍힐 확률도 거의 0.27%에 가깝게 이상상태 판별규칙을 정한 것이다. 즉, 이상이 나타날 확률이 0.27% 라는 의미이다. 그러나 100PPM 관리에서는 이상이 나타날 확률이 0.01%이기 때문에 샘플링하여 관리도를 그려서 관리한계선을 벗어나는 점을 찾는다는 것은 어렵게 되고, 이상상태 판별규칙을 사용하여 불안정한 상태를 체크하는 경우에도  $\pm 3\sigma$  밖으로 나가고, 규격치 안으로 들어오는 데이터에 대한 기준이 없고, 또 관리도에서 사용하는 이상 판별규칙을 그대로 사용한다는 것은 오히려 불량이 아닌데도 불량이라고 판단하는 제 1 종의 과오를 증가시킬 수 있다. 그리고 또 규격치에 대한 공정능력지수가 1.3만 되면 100PPM 관리의 불량률이 나오기 때문에 샘플링을 하는 것은 시간과 비용만 낭비할 뿐 이용가치가 없어진다.

그리고 전수검사를 하는 것보다 샘플링을 하는 것이 유리한 경우는 검사항목이 많을 때나 불완전한 전수검사에 비하여 오히려 높은 신뢰성이 얻어지는 경우 등이 있는데 그러나 이런 경우는 자동생산 및 자동검사 하에서는 기계나 컴퓨터가 모두 감당하기 때문에 작업자의 단조로움이나 피로 때문에 발생하는 검사미스는 사라지게 되므로 이런 상황 아래에서는 샘플링을 하는 것이 유리하다고 말할 수 없게 된다. 소비자에게 불량품이 하나라도 넘어가면 기업이 막대한 손실을 입는다는 고객중심의 사고로 변환된 현재의 상황에서 샘플링하여 관리도를 그리는 이제까지의 관리기법은 부적합하게 되었다.

## 2.4 자동생산 및 자동검사 체제의 SPC

상기한 바와 같이 자동생산 및 자동검사 체제하에서는 샘플링에 기초한 관리도를 그린다는 것이 의미가 없음을 알 수 있었다. 따라서 자동생산 및 자동검사 체제의 통합적인 자동전수검사를 바탕으로 공정능력도[15, 16]에 의한 공정 관리체제가 합당하다고 여겨지므로 이것에 대하여 고찰하여 보기로 한다.

공정능력(Process Capability)이란 생산공정이 얼마나 균일한 품질의 제품을 생산할 수 있는가를 반영하는 공정의 고유능력을 의미하며, 그 척도로서 일반적으로  $6\sigma$ 를 사용한다. 제품의 품질특성이 정규분포를 따르는 경우 거의 대부분의 제품(99.73%)이 평균을 중심으로  $6\sigma$  범위 내에 포함된다[박창순, 1995]. 규격과 관련하여 공정능력을 평가하는 척도로서 공정능력지수(Process Capability index;  $C_p$ )는 공정능력( $6\sigma$ )과 규격의 폭과의 비율로서 공정이 규격에 맞는 제품을 생산할 능력을 가지고 있는가를 나타내는 지수이다. 양쪽규격( $S_U, S_L$ )이 주어진 경우 공정능력지수는 다음과 같이 정의된다.

$$C_p = T / 6\sigma, (T = S_U - S_L)$$

공정평균이 규격을 중심으로 어느 한쪽으로 치우쳐 있는 경우에는 다음과 같이 치우침 K를 고려한 공정능력지수를 이용한다[박성현, 박영현, 1995].

$$K = [ |(S_U + S_L) / 2 - \mu| ] / (S_U - S_L) / 2$$

$$C_{pk} = [(1 - K)(S_U - S_L)] / (6\sigma) = (1 - K)C_p$$

공정능력을 분석하는 데는 히스토그램에 의한 방법, 관리도에 의한 방법, 확률지, 왜도와 첨도를 이용하는 방법 등이 있다.

### 3. 자동생산 및 자동검사 하의 합리적인 관리방법 구축

상술한 바와 같이 자동생산 및 자동검사 생산체제 하에서 공정을 관리하는 도구로서 샘플링에 기초한 관리도보다는 전수검사에 바탕을 둔 공정능력도를 사용하는 것이 합리적이라는 것을 알 수 있었다.

공정능력도는 모든 데이터를 타점할 수 있기 때문에 이것을 작성하여 봄으로써 데이터의 분포의 형태가 규격의 기준치를 중심으로 위로나 아래로 치우쳐 있지는 않는가, 산포의 정도는 어떠한가를 정확히 알 수 있다.

규격한계치를 벗어나는 점은 불량으로 간주되어 제거하거나 수리하기 때문에 불량품을 그대로 내보내는 일은 거의 없다고 할 수 있으나 모든 점이 규격한계 안에 있다고 하더라도 관리상태라고 할 수 있는 것은 아니다. 데이터의 평균이 기준치에 대하여 위로나 아래로 많이 치우쳐 있다거나 산포가 너무 넓게 퍼져서 언제 규격한계치를 벗어날지 모르는 불안정한 상태일 때는 평균을 이동한다거나 산포를 줄이는 방향으로 조치를 취하여야 할 것이다. 그러나 얼핏보기에 치우침과 산포가 어느 정도 안정되어 있다고 하더라도 역시 관리이상상태가 나타날 수 있다. 관리도에서는 관리도 이상판별규칙이 있어서 그것에 의존하여 관리이상상태를 찾을 수 있겠으나 공정능력도에서는 전수검사에 의한 타점이기 때문에 관리도에서 이용하는 이상판별규칙을 그대로 사용할 수 없다.

그러므로 전수검사 적용이 가능한 공정능력도에서 사용할 수 있는 새로운 이상상태 판별규칙을 적용하여야 한다. 본 논문에서는 이러한 이상상태 판별규칙을 제안하여 사용하고자 한다. 또한 공정능력도에서 관리되고 있는 상태가 100PPM의 정도로 관리되고 있는가, PPM의 정도로 관리되고 있는가에 따라서 불량률이 크게 차이가 있기 때문에 PPM 관리의 정도에 따라서 이상상태 판별규칙은 달라져야 한다. 만약 PPM 정도의 불량률 나오는 데 100PPM 정도의 규칙을 그대로 사용하면 불량률 양호로 판단하는 제 2 종의 과오를 크게 범할 수 있어서 A/S에 따른 수리비용 등이 증가하게 되고, 또 100PPM 정도의 불량률 나오는 데 PPM 정도의 규칙을 그대로 사용하면 오히려 양호를 불량으로 판단하는 제 1 종의 과오가 나타날 수 있다.

본 논문에서는 불량률 나오는 정도를  $C_p$ 에 따라서 판단하여  $C_p$ 에 따라 탄력적이며, 구체적인 이상판별규칙을 제시하고자 한다.

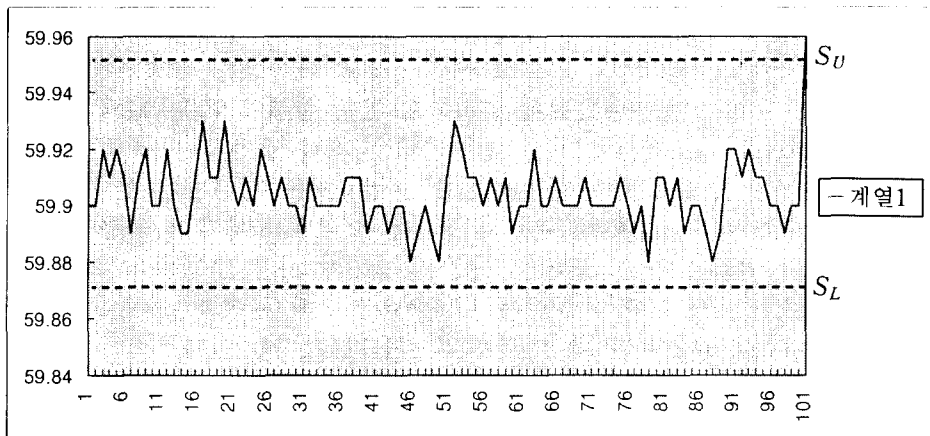
#### 3.1 히스토그램에 의한 평균 및 산포관리

공정능력도를 작성하여 분포의 형태가 규격치에 얼마나 적절한가, 산포의 정도는 어떠한가를 공간적 또는 시간적으로 히스토그램을 작성하여 파악할 수 있다. 또한 전수검사에 의한 검사일 때 모든 데이터에 대한 양·불량의 상태를 알 수 있기 때문에 규격치를 벗어나는 것은 제거하므로 불량품을 출하하는 일은 거의 없고, 공정능력도의 분포의 모양을 판독하여 공정의 상태도 쉽게 파악할 수 있다. <표 3-1>에 의한 공정능력도의 예를 <그림 3-1>에 나타냈다.

< 표 3-1 > 선반치수의 데이터

(단위 : 0.01mm)

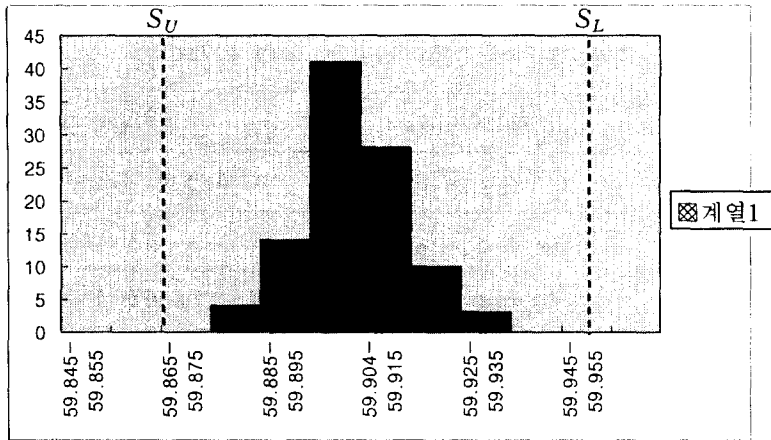
1	59.90	21	59.91	41	59.90	61	59.90	81	59.91
2	59.90	22	59.90	42	59.90	62	59.90	82	59.90
3	59.92	23	59.91	43	59.89	63	59.92	83	59.91
4	59.91	24	59.90	44	59.90	64	59.90	84	59.89
5	59.92	25	59.92	45	59.90	65	59.90	85	59.90
6	59.91	26	59.91	46	59.88	66	59.91	86	59.90
7	59.89	27	59.90	47	59.89	67	59.90	87	59.89
8	59.91	28	59.91	48	59.90	68	59.90	88	59.88
9	59.92	29	59.90	49	59.89	69	59.90	89	59.89
10	59.90	30	59.90	50	59.88	70	59.91	90	59.92
11	59.90	31	59.89	51	59.91	71	59.90	91	59.92
12	59.92	32	59.91	52	59.93	72	59.90	92	59.91
13	59.90	33	59.90	53	59.92	73	59.90	93	59.92
14	59.89	34	59.90	54	59.91	74	59.90	94	59.91
15	59.89	35	59.90	55	59.91	75	59.91	95	59.91
16	59.91	36	59.90	56	59.90	76	59.90	96	59.90
17	59.93	37	59.91	57	59.91	77	59.89	97	59.90
18	59.91	38	59.91	58	59.90	78	59.90	98	59.89
19	59.91	39	59.91	59	59.91	79	59.88	99	59.90
20	59.93	40	59.89	60	59.89	80	59.91	100	59.90



< 그림 3-1 > 공정능력도

공정능력도에서 모든 점이 규격한계 안에 들어있다고 하더라도 분포의 중심이 규격의 중앙치에서 위로나 아래로 지나치게 많이 치우쳐 있을 수 있다. 그러나 이것은 데이터가 언제 규격치를 벗어날지 모르는 불안정한 상태이기 때문에 관리상태라고 할 수 없다. 이러한 상황일 때에는 분포의 중심을 규격중앙치로 옮기기 위한 조치를 취하여야 할 것이다. 그리고 또 산포가 지나치게 넓게 확산되어 있다면 줄이도록 노력하여야 할 것이다.

이와 같은 분포의 중심과 산포의 정도를 보다 더 보기 쉽게 하기 위한 방법은 <그림 3-1>의 공정능력도의 데이터로 히스토그램을 작성하여 규격한계와 중앙치를 기입한다. 히스토그램의 상태가 규격한계치를 넘지 않는 산포를 가진 정규분포형인 일반형으로 나타나면 관리상태라고 할 수 있지만 그렇지 않은 경우에는 원인을 찾기 위하여 총별한다든가 기타 적절한 조치를 취하여야 한다. <그림 3-1>에 대한 히스토그램을 작성한 것이 <그림 3-2>이다.



< 그림 3-2 > 규격치를 기입한 히스토그램

<그림 3-2>에서 알 수 있는 바와 같이 히스토그램에 규격한계치만 기입하여 보면 평균과 산포의 형태를 분명히 알 수 있다. <그림 3-2>는 평균과 산포가 상당히 안정되어 있다고 할 수 있고, 왜도와 첨도를 계산하여 보면 이러한 사실을 보다 더 정량적으로 알아낼 수 있다.

그러나 만약 히스토그램의 분포가 규격한계치에 대하여 너무 안정되어 있으면 불량은 거의 나타나지 않는다고 판단되므로 샘플링에 의한 관리도에서 사용한 이상판별규칙과 동일한 방식으로 관리를 한다면 제 2 종의 과오를 범할 수 있기 때문에 즉, 불량품을 양품으로 판단하여 출하되었을 경우 A/S, 교환에 드는 직접적인 비용뿐만 아니라 기업이미지 하락이라는 면에서 간접적인 비용도 증가한다. 이 때 비용을 줄이고 제 2 종의 과오를 줄이기 위하여는 이에 걸맞는 관리방법을 선택하여야 한다. 그러나 반대로 규격한계치에 대하여 많이 치우쳐 있거나 산포가 클 때에는 기존의 방법으로 관리를 계속한다면 불량품이 그대로 출하될 수도 있다. 그러므로 규격한계치를 넓히거나 이에 합당한 관리기준을 사용하여야 한다. 그러나 바이어의 규격인 경우에는 자체적으로 규격을 변경할 수 있는 권한이 없으므로 공정의 산포를 줄여서 공정능력이 충분하도록 조치하는 노력이 필요하다. 산포에 대한 정량적인 기준은 공정능력지수  $C_p$ 를 사용하여 이  $C_p$ 에 따라서 새로운 관리규칙을 제시한다.



### 3.2 공정능력과 공정능력지수의 활용

공정능력의 각 등급별 판정 및 조치의 지침으로서는 1급은 공정상태가 매우 만족하므로 더욱 정밀도 높은 물품을 가공하도록 노력하며, 나아가 단위당 가공시간(공수)을 단축하여 양적인 생산능력의 향상을 시도하여야 한다. 2급은 현재의 규격에 겨우 맞추고 있음을 말하는 데 1급으로 향상되도록 더욱 노력하여야 한다. 3급 및 4급의 경우는 공정능력이 매우 부족함을 의미하므로 필요한 조치로서는 다음과 같은 것을 고려할 수 있다.

< 표 3-2 > 기존의  $C_p$ 에 따른 관리방법

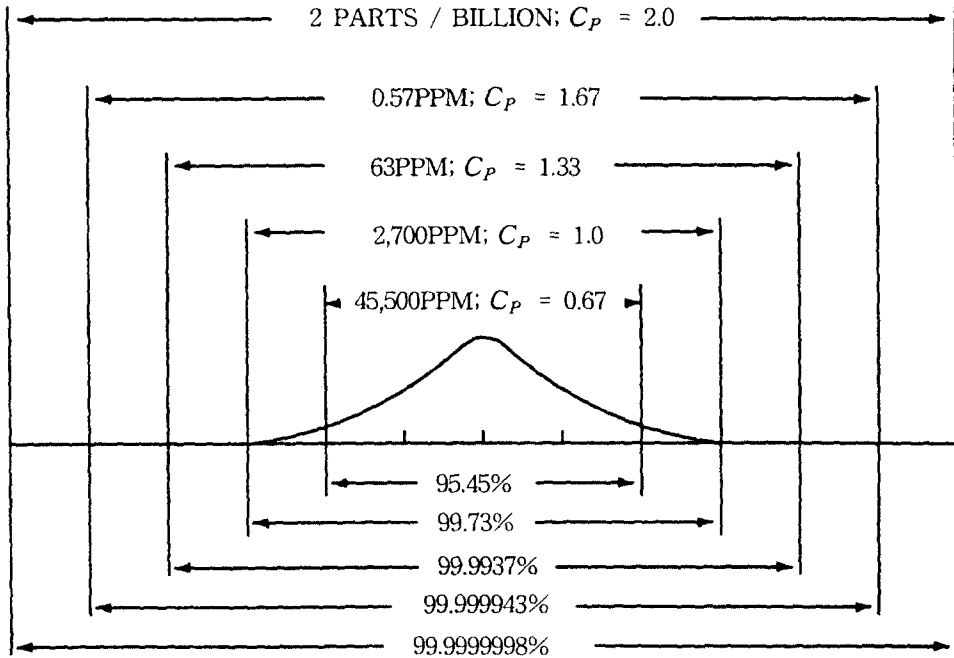
공정의 구분	공정능력지수 ( $C_p$ )	공정관리의 정도
1급의 공정	$C_p \geq 1.33$	특별한 관리가 필요 없음
2급의 공정	$1 < C_p \leq 1.33$	공정관리 필요
3급의 공정	$0.67 \leq C_p < 1$	공정개선 필요
4급의 공정	$C_p < 0.67$	공정개선 필요

- ① 보다 더 적절한 능력을 보유한 공정(기계, 설비)으로 작업을 수행하거나.
- ② 현공정의 능력을 향상시키기 위한 투자를 한다던가.
- ③ 어쩔 수 없을 때에는 규격을 재검토하여 조정을 한다던가.
- ④ 특별한 관리가공법 등을 고안하도록 하여 공정능력의 향상에 주력하여야 한다.

그러나 <표 3-2>와 같은 공정관리의 정도에 대한 설명은 너무 막연하고 모호하다. 그리고 자동생산 및 검사 아래에서는 PPM 관리를 목표로 수행하고 있기 때문에 보다 향상된 공정능력지수가 되므로 <표 3-2>에 따른 3급 및 4급은 거의 발생하지 않는다. 본 논문에서는 자동생산 및 검사 아래에서 전수검사를 실시하고 있기 때문에 자동생산기계의 정밀도향상에 따른 결과로 공정능력지수가 1보다 작은 공정은 나오지 않는다고 가정한다.

공정능력도에서  $\sigma$ 값의 변화에 따른 정규분포의 면적(확률)을 살펴보면 <그림 3-3>과 같다.

<그림 3-3>에서  $\mu \pm 3\sigma$ 의 한계치에 규격치가 맞는 경우에는 0.27% 정도의 불량률이 나온다. 이 경우에  $C_p = 1$ 이다. 그러나  $\mu \pm 3\sigma$  이상으로 규격한계치가 나타나는 경우에는 훨씬 적은 불량률이 나오고, 따라서  $C_p$  값도 향상되며, 공정이 훨씬 안정되어 있다고 말할 수 있다. 그러나 역으로  $\mu \pm 3\sigma$  이내에 규격한계치가 있는 경우에는 많은 불량률이 발생하고,  $C_p$ 값은 감소하게 되며, 공정은 불안정한 상태에 있다고 말할 수 있다.



< 그림 3-3 >  $\sigma$  값의 변화에 따른 정규분포의 확률

<표 3-3>에 상기한 관계 즉, 공정능력지수의 변화에 따른 예상 불량률을 나타낸 것이다.

<표 3-3>에서도 알 수 있는 바와 같이  $C_p$  값이 커질 때에는 커진 만큼 예상 불량률이 감소하기 때문에  $C_p$  값이 작을 때와 동일한 방법의 이상상태 판별규칙에 따라 판단하면 제 2 종의 과오가 증대하므로 많은 비용이 발생하게 될 것이고, 역으로  $C_p$  값이 작을 때  $C_p$  값이 클 때와 동일한 이상상태 판별규칙으로 판단한다면 이 때는 제 1 종의 과오가 증대하게 되어 불량품이 다발하는 결과가 된다.

그러므로 본 논문에서는 <표 3-3>의  $C_p$  값에 따라 <표 3-4>와 같이 조정된 등급을 정하고, 각 등급에 적절하게 탄력적인 관리방법을 제시하여 비용과 불량률을 절감하는 방법을 제시하고자 한다.

< 표 3-3 >  $\sigma$ 와 예상불량률의 관계

공정능력지수 ( $C_p$ )	$\sigma$ 의 배수	영역	예상 불량률
0.33	1.00	0.6827	31.73 %
0.86	2.58	0.9900	1.0 %
1.00	3.00	0.9973	0.27 %
1.10	3.29	0.9990	0.1 %
1.30	3.89	0.99990	100 PPM
1.32	3.95	0.999921	79 PPM
1.33	4.00	0.999937	63 PPM
1.47	4.42	0.999990	10 PPM
1.63	4.90	0.999999	1 PPM
1.65	4.95	0.99999926	0.74 PPM
1.67	5.00	0.99999943	0.57 PPM
1.77	5.30	0.99999990	0.10 PPM
2.00	6.00	0.999999998	0.002 PPM

< 표 3-4 > 조정된  $C_p$ 값에 따른 관리방법

공정의 구분	공정능력지수 ( $C_p$ )	공정관리의 정도
1급의 공정	$C_p > 1.67$	특별한 관리가 필요 없음
2급의 공정	$1.33 < C_p \leq 1.67$	PPM 이상판별관리규칙
3급의 공정	$1 < C_p \leq 1.33$	100PPM 이상판별관리규칙
4급의 공정	$C_p \leq 1$	개선공정이 필요

### 3.3 공정능력도에서 PPM 관리를 위한 새로운 이상상태 판별규칙

관리도에서  $\mu \pm 3\sigma$  내에 데이터가 모두 타점된다고 하여도 항상 관리상태라고 할 수 없다는 것은 전 2.1절에서 언급한 관리이상규칙(三浦 등의 규칙, Nelson 규칙, WECO 규칙)에 따라 이상상태를 판정하였다. 그러나 이러한 이상규칙을 공정능력도에 그대로 적용할 수는 없기 때문에 공정능력도를 작성한 다음  $C_p$ 값을 계산하여 공정상태에 적합한 관리규칙을 고안하기 위하여 제 1 종의 과오를 예상 불량률에 맞추어 다음과 같은 규칙을 고안할 필요가 있다.

#### 1) 1급의 공정 ( $C_p > 1.67$ 인 경우)

특별한 관리대상이 되지 않으므로 이러한 공정능력지수가 나타나면 공정상태가 양호하기 때문에 다음 공정으로 출하하여 생산속도의 가속화를 도모하고, 계속생산을 꾀한다.

2) 2급의 공정 ( $1.33 < C_p \leq 1.67$  인 경우)

이 경우에는 불량률의 PPM 관리가 필요하기 때문에 다음과 같이 이 논문에서 이상상태 판별규칙을 이용한다. 제 1 종의 과오는 PPM 단위의 예상불량률 즉, 한 점이 규격한계치를 벗어날 확률이 0.000001에 근사하게 맞추어 계산한 결과가 <표 3-5>에 나와 있다.

< 표 3-5 > 2급의 규칙

상태	규칙	2급의 규칙 내용	제1종의 과오
불안정	1	한점이 공정능력도(규격한계치) 밖으로 나가는 경우	0.000001
	2	연속되는 20점이 중심선 한쪽으로 나타나는 경우	0.000000954
	3	연속되는 26점 중 25점이 중심선 한쪽으로 나타나는 경우	0.000000775
	4	연속되는 30점 중 28점이 중심선 한쪽으로 나타나는 경우	0.00000081
	5	연속되는 33점 중 30점이 중심선 한쪽으로 나타나는 경우	0.00000127
	6	연속되는 37점 중 33점이 중심선 한쪽으로 나타나는 경우	0.000000961
	7	연속되는 33점 중 2점이 중심선 한쪽 $4\sigma$ 밖에 나타나는 경우	0.000001047
	8	연속되는 12점 중 3점이 중심선 한쪽 $3\sigma$ 밖에 나타나는 경우	0.000001069
	9	연속되는 45점 중 4점이 중심선 한쪽 $3\sigma$ 밖에 나타나는 경우	0.000000936
	10	연속되는 8점 중 5점이 중심선 한쪽 $2\sigma$ 밖에 나타나는 경우	0.000000644
	11	연속되는 15점 중 6점이 중심선 한쪽 $2\sigma$ 밖에 나타나는 경우	0.000001143
	12	연속되는 12점 중 10점이 중심선 한쪽 $1\sigma$ 밖에 나타나는 경우	0.000000947
층 별	13	연속되는 36점이 $-1\sigma \sim +1\sigma$ 에만 나타나는 경우	0.000001071
경 향	14	연속되는 20점이 변화없이 증가 또는 감소하는 경우	0.000000954
혼 합	15	연속되는 12점이 $\pm 1\sigma$ 밖에 나타나는 경	0.000001045
	16	연속되는 9점 중 5점이 $\pm 2\sigma$ 밖에 나타나는 경우	0.000000657
	17	연속되는 14점 중 7점이 $\pm 2\sigma$ 밖에 나타나는 경우	0.000001015
	18	연속되는 19점 중 8점이 $\pm 2\sigma$ 밖에 나타나는 경우	0.000000846
	19	연속되는 8점 중 3점이 $\pm 3\sigma$ 밖에 나타나는 경우	0.000001085
	20	연속되는 28점 중 4점이 $\pm 3\sigma$ 밖에 나타나는 경우	0.00000102
	21	연속되는 23점 중 2점이 $\pm 4\sigma$ 밖에 나타나는 경우	0.000001003

3) 3급의 공정 ( $1 < C_p \leq 1.33$  인 경우)

이 경우에는 불량률이 100PPM의 관리를 목표로하기 때문에 다음과 같이 이 논문에서 제시하는 이상상태 판별규칙을 이용하는 것이 좋다. 제 1 종의 과오는 100PPM의 예상불량률 즉, 한 점이 규격한계치를 벗어날 확률이 0.0001에 근사하게 맞추어서 계산한 결과가 <표 3-6>에 나와 있다.

4) 4급의 공정 ( $C_p \leq 1$  인 경우)

자동생산 및 자동검사 하에서 이러한 공정능력지수가 나타난다는 것은 원천적인 문제가 있는 것이기 때문에 원인을 찾아서 공정을 개선하도록 조치한다.

이 논문에서 제시한 규칙에서 제 1 종의 과오를 계산하는 기준은 100PPM을 목표로 하는 규칙 9인 경우 1 점이 중심선 한쪽  $2\sigma$  밖으로 나타날 확률은 0.0228이므로  $p$ 가 0.0228,  $n$ 이 4,  $x$ 가 3인 이항분포의 확률을 계산한 결과이다. 그러므로 제 1 종의 과오는  $\binom{4}{3} (0.0228)^3 (1 - 0.0228)^1 \times 2 = 0.000092657$ 이 되고, 중심선을 기준으로 양쪽으로 같은 확률이 존재하므로 2배 하였다.

이와 같이 공정능력지수에 따라 예상불량률에 합당한 규칙을 제시할 수 있고, <표 3-7>에는 관리도에서 이용하는 三浦 등의 규칙 및 WECO 규칙과 100PPM에 이용하는 규칙, 그리고 PPM에서 이용하는 규칙과 비교한 것이다

< 표 3-6 > 3급의 규칙

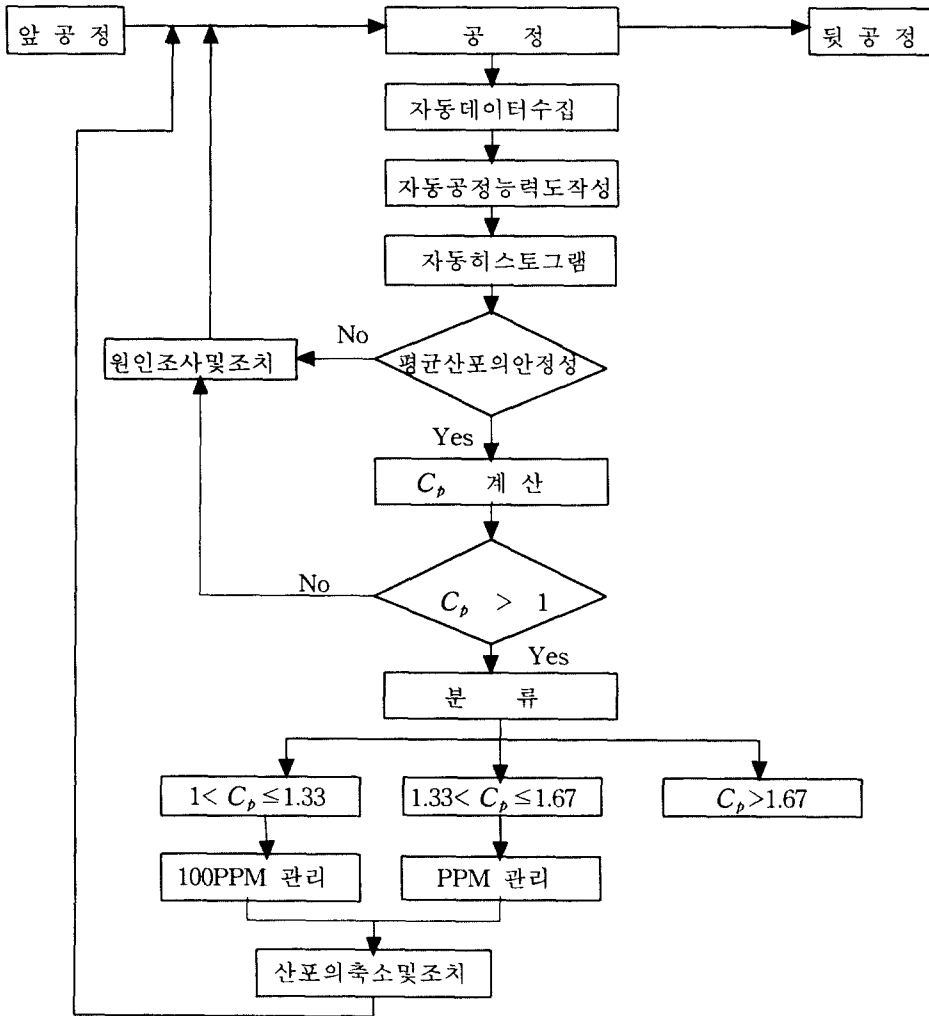
상태	규칙	3급의 규칙 내용	제1종의 과오
불안정	1	한점이 공정능력도(규격한계치) 밖으로 나가는 경우	0.0001
	2	연속되는 14점이 중심선 한쪽으로 나타나는 경우	0.00012207
	3	연속되는 18점 중 17점이 중심선 한쪽으로 나타나는 경우	0.000137329
	4	연속되는 22점 중 20점이 중심선 한쪽으로 나타나는 경우	0.000110149
	5	연속되는 25점 중 22점이 중심선 한쪽으로 나타나는 경우	0.000137091
	6	연속되는 32점 중 27점이 중심선 한쪽으로 나타나는 경우	0.000093773
	7	연속되는 8점 중 2점이 중심선 한쪽 $3\sigma$ 밖에 나타나는 경우	0.000101
	8	연속되는 52점 중 3점이 중심선 한쪽 $3\sigma$ 밖에 나타나는 경우	0.000101783
	9	연속되는 4점 중 3점이 중심선 한쪽 $2\sigma$ 밖에 나타나는 경우	0.000092657
	10	연속되는 10점 중 4점이 중심선 한쪽 $2\sigma$ 밖에 나타나는 경우	0.00009883
	11	연속되는 19점 중 5점이 중심선 한쪽 $2\sigma$ 밖에 나타나는 경우	0.000101382
	12	연속되는 9점 중 7점이 중심선 한쪽 $1\sigma$ 밖에 나타나는 경우	0.000129203
총 별	13	연속되는 24점이 $-1\sigma \sim +1\sigma$ 에만 나타나는 경우	0.000104711
경 향	14	연속되는 14점이 변화없이 증가 또는 감소하는 경우	0.00012207
혼 합	15	연속되는 8점이 $\pm 1\sigma$ 밖에 나타나는 경우	0.0001
	16	연속되는 7점 중 4점이 $\pm 2\sigma$ 밖에 나타나는 경우	0.000137844
	17	연속되는 12점 중 5점이 $\pm 2\sigma$ 밖에 나타나는 경우	0.000112632
	18	연속되는 18점 중 6점이 $\pm 2\sigma$ 밖에 나타나는 경우	0.000095329
	19	연속되는 6점 중 2점이 $\pm 3\sigma$ 밖에 나타나는 경우	0.000108174
	20	연속되는 33점 중 3점이 $\pm 3\sigma$ 밖에 나타나는 경우	0.000099024

### 3.4 지속적 관리를 위한 품질향상의 관리

전 3.1절, 3.2절 및 3.3절에서 살펴본 바와 같이 자동생산 및 자동검사체제 아래 자동 데이터 수집하여 공정능력도를 그리고 규격치를 기입한 히스토그램을 그려서 분포모양이 규격치를 벗어나지 않는 일반형으로 나오면  $C_p$ 를 계산하여  $C_p$ 값에 따라 이상상태 판별규칙을 적용하여서 이상상태로 판정되면 공정에 주의를 하여 지속

적으로 관리하여 나가면 공정능력지수를 향상시킬 수 있게 되고, 또 이에 적합하게 관리하여 나가면 비용도 절감할 수 있으며, 품질도 향상시킬 수 있게 된다. 그리고 공정능력지수가 1.67이상이 되면 거의 불량률이 발생하지 않는다고 판단할 수 있으므로 규격치를 설정할 때 고려하여야 할 것이다. 이러한 절차를 <그림 3-4>에 보인다.

<그림 3-4>의 흐름도에 따라 공정능력도를 이용하여 관리하여 나간다고 하면 생산 제품의 품질, 생산성을 일정한 수준이상으로 유지하고, 더 나아가서는 향상시킬 수 있으며, 다른 한편으로는 제조활동에 소요되는 비용(코스트)도 절감할 수 있고, 또 우수한 상품을 생산하면 가격, 품질면의 경쟁력이 있어 시장확장에도 기여할 수 있게 된다.



< 그림 3-4 > 공정능력도와 공정능력지수에 의한 관리흐름

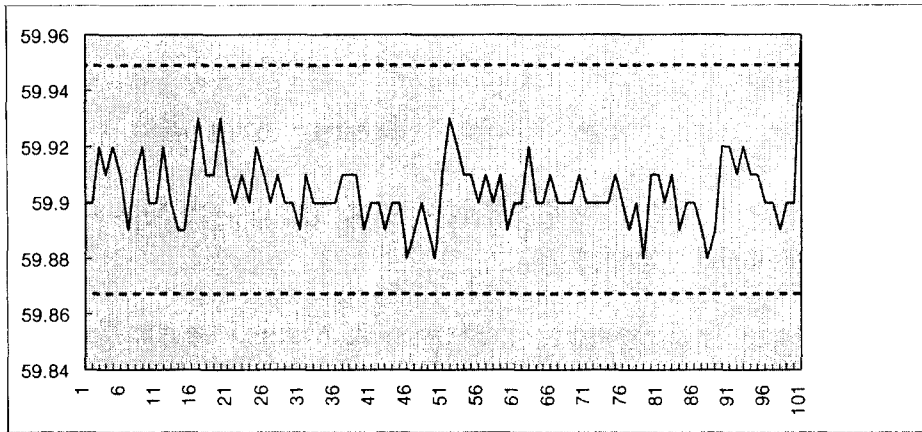
&lt; 표 3-7 &gt; 관리도, 100PM, PPM 관리에 따른 이상판별규칙의 비교

	관 리 도	규칙	100PPM	규칙	PPM	
WECO1	한점이 관리한계선 밖에 나간 경우	1	한점이 공정능력도(규격치)밖에 나간 경우	1	한점이 공정능력도(규격치)밖에 나간 경우	
三浦동1	연속되는 7점이 중심선 한쪽으로 나타나는 경우	2	연속되는 14점이 중심선 한쪽으로 나타나는 경우	2	연속되는 20점이 중심선 한쪽으로 나타나는 경우	
三浦동2	연속되는 11점 중 10점이 중심선 한쪽으로 나타나는 경우	3	연속되는 18점 중 17점이 중심선 한쪽으로 나타나는 경우	3	연속되는 26점 중 25점이 중심선 한쪽으로 나타나는 경우	
三浦동3	연속되는 14점 중 12점이 중심선 한쪽으로 나타나는 경우	4	연속되는 22점 중 20점이 중심선 한쪽으로 나타나는 경우	4	연속되는 30점 중 28점이 중심선 한쪽으로 나타나는 경우	
三浦동4	연속되는 17점 중 14점이 중심선 한쪽으로 나타나는 경우	5	연속되는 25점 중 22점이 중심선 한쪽으로 나타나는 경우	5	연속되는 33점 중 30점이 중심선 한쪽으로 나타나는 경우	
三浦동5	연속되는 20점 중 16점이 중심선 한쪽으로 나타나는 경우	6	연속되는 32점 중 27점이 중심선 한쪽으로 나타나는 경우	6	연속되는 37점 중 33점이 중심선 한쪽으로 나타나는 경우	
				7	연속되는 33점 중 2점이 중심선 한쪽 4σ 밖에 나타나는 경우	
			7	연속되는 8점 중 2점이 중심선 한쪽 3σ 밖에 나타나는 경우	8	연속되는 12점 중 3점이 중심선 한쪽 3σ 밖에 나타나는 경우
			8	연속되는 52점 중 3점이 중심선 한쪽 3σ 밖에 나타나는 경우	9	연속되는 45점 중 4점이 중심선 한쪽 3σ 밖에 나타나는 경우
三浦동6	연속되는 3점 중 2점이 중심선 한쪽 2σ 밖에 나타나는 경우	9	연속되는 4점 중 3점이 중심선 한쪽 2σ 밖에 나타나는 경우			
三浦동7	연속되는 7점 중 3점이 중심선 한쪽 2σ 밖에 나타나는 경우	10	연속되는 10점 중 4점이 중심선 한쪽 2σ 밖에 나타나는 경우	10	연속되는 8점 중 5점이 중심선 한쪽 2σ 밖에 나타나는 경우	
三浦동8	연속되는 10점 중 4점이 중심선 한쪽 2σ 밖에 나타나는 경우	11	연속되는 19점 중 5점이 중심선 한쪽 2σ 밖에 나타나는 경우	11	연속되는 15점 중 6점이 중심선 한쪽 2σ 밖에 나타나는 경우	
Nelson 6	연속되는 5점 중 4점이 중심선 한쪽 1σ 밖에 나타나는 경우	12	연속되는 9점 중 7점이 중심선 한쪽 1σ 밖에 나타나는 경우	12	연속되는 12점 중 10점이 중심선 한쪽 1σ 밖에 나타나는 경우	
WECO5	연속되는 15점이 $-1\sigma \sim +1\sigma$ 에만 나타나는 경우	13	연속되는 24점이 $-1\sigma \sim +1\sigma$ 에만 나타나는 경우	13	연속되는 36점이 $-1\sigma \sim +1\sigma$ 에만 나타나는 경우	
三浦동9	연속되는 7점이 변화 없이 증가 또는 감소하는 경우	14	연속되는 14점이 변화 없이 증가 또는 감소하는 경우	14	연속되는 20점이 변화 없이 증가 또는 감소하는 경우	
WECO6	연속되는 8점이 $\pm 1\sigma$ 밖에 나타나는 경우	15	연속되는 8점이 $+1\sigma$ 밖에 나타나는 경우	15	연속되는 12점이 $\pm 1\sigma$ 밖에 나타나는 경우	
三浦동10	연속되는 3점 중 2점이 $+2\sigma$ 밖에 나타나는 경우	16	연속되는 7점 중 4점이 $+2\sigma$ 밖에 나타나는 경우	16	연속되는 9점 중 5점이 $+2\sigma$ 밖에 나타나는 경우	
三浦동11	연속되는 7점 중 3점이 $\pm 2\sigma$ 밖에 나타나는 경우	17	연속되는 12점 중 5점이 $+2\sigma$ 밖에 나타나는 경우	17	연속되는 14점 중 7점이 $\pm 2\sigma$ 밖에 나타나는 경우	
三浦동12	연속되는 10점 중 4점이 $+2\sigma$ 밖에 나타나는 경우	18	연속되는 18점 중 6점이 $+2\sigma$ 밖에 나타나는 경우	18	연속되는 19점 중 8점이 $+2\sigma$ 밖에 나타나는 경우	
			19	연속되는 6점 중 2점이 $+3\sigma$ 밖에 나타나는 경우	19	연속되는 8점 중 3점이 $+3\sigma$ 밖에 나타나는 경우
			20	연속되는 33점 중 3점이 $+3\sigma$ 밖에 나타나는 경우	20	연속되는 28점 중 4점이 $\pm 3\sigma$ 밖에 나타나는 경우
				21	연속되는 23점 중 2점이 $\pm 4\sigma$ 밖에 나타나는 경우	

### 4. 사례

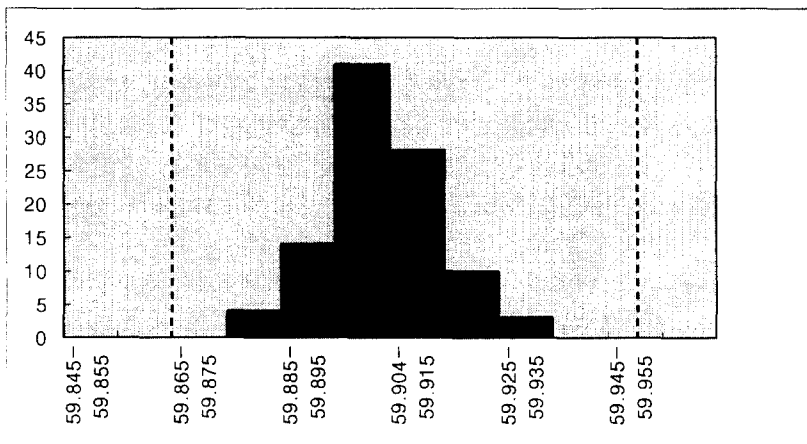
타렛 선반(Turret Lathe)의 요크(Yoke)의 외경에 대한 데이터를 이용하여 사례를 다루어 보기 위하여 전 3 장의 <표 3-1>에서 사용된 데이터를 가지고 본 논문에서 제안한 방법에 따라 살펴보기로 한다.

단계 1. <표 3-1>의 데이터가 자동적으로 컴퓨터에 입력되어 <그림 4-1>과 같은 공정능력도를 그린다.



< 그림 4-1 > 공정능력도

단계 2. 분포의 모양을 알기 위하여 컴퓨터의 프로그램에 따라 <그림 4-2>와 같이 히스토그램을 그리고 규격치를 기입한다.



< 그림 4-2 > 히스토그램



히스토그램의 분포가 규격치 안에 들어오면 자동적으로 왜도와 첨도가 구해지며 일반형이라고 판단되면 다음 단계 3으로 넘어간다. <표 3-1>에 대한 데이터의 왜도와 첨도 값을 계산한 것이다. 이 데이터에 대하여서는 분포의 모양이 규격치 안으로 들어오고 왜도와 첨도도 상당히 안정되어 있다고 할 수 있다. 이 데이터에 대한 왜도와 첨도 값은 다음과 같다.

$$A_3 = 0.1724, \quad A_4 = 0.1849$$

단계 3. 공정능력지수를 구한다.

<표 4-1>의 데이터에 대하여  $\sigma$  값은 다음과 같다.

$$\sigma = 0.0106$$

따라서 공정능력지수는

$$C_p = (S_U - S_L) / (6\sigma) = (59.95 - 59.866) / (6 \times 0.0106) = 1.32$$

단계 4. 공정능력지수에 따라 본 논문에서 제안한 제 3 장의 <표 3-4>와 같은  $C_p$  값에 따라 관리방식을 택한다.

이 데이터에 따르면 공정능력지수가 1.32이므로 본 논문에서 제안한 3급에 해당된다. 따라서 100PPM 관리가 가능하므로 100PPM 이상판별규칙을 적용하여 판단하면 이상이 발생하지 않으므로 100PPM 정도로 잘 관리되고 있다고 할 수 있다.

따라서 우선은 이 기준에 따라 관리를 계속하여 나아갈 수 있다고 판단되나 앞으로 산포를 보다 더 관리하여 산포값이 줄어들도록 계속적으로 품질향상책을 강구할 필요가 있다.

## 5. 결론

종전에는 수작업으로 제품에 대한 데이터를 수집하고 분석하여 공정을 관리하는 가장 효과적인 도구로 샘플링에 의한 관리도를 사용하여 왔다. 그렇기 때문에 한정된 검사원으로 모든 데이터를 검사한다는 것은 사실상 불가능하고 시간과 비용이 많이 들기 때문에 특정제품을 제외하고는 샘플링검사로 인하여 고객에게 불량품이 어느 정도 인도됨으로써 어느 정도의 손실은 커버할 수 없었다.

그러나 전술한 바와 같이 현재의 기업은 고객의 의식변화와 자동화의 발달에 힘입어 자동생산 및 자동검사 체제로 나아가고 있다. 자동생산 및 자동검사라고 하는 것은 모든 생산은 자동화에 힘입어 인간에 의해서가 아니라 기계(컴퓨터포함)에 의하여 이루어지고, 검사 역시 컴퓨터에 의하여 자동으로 실시되고 분석되어 공정에 이상이 나타났다고 판단되면 조치를 취할 수 있게 됨을 말한다. 이러한 상황에서 샘플링을 한다는 것은 불량품을 찾아내지 못할 뿐만 아니라 시간만 낭비하는 결과를 낳게 되어

의미를 잃게 되었다. 따라서 고객에게 불량품이 하나라도 인도되지 않게 하기 위하여는 본 논문에서 제안한 공정능력도를 이용하여 전수검사에 알맞은 공정관리 기법의 새로운 시스템을 사용하여야 한다. 공정능력도를 이용하여 자동적으로 모든 데이터를 타점하는 것이기 때문에 샘플링에 기초하여 관리도를 사용한 데이터보다 더 정확하게 또 실시간(Real Time)으로 공정의 상태를 파악하고 관리할 수 있게 되었다.

그리고 기업에서는 지금까지 불량률 관리인  $\mu \pm 3\sigma$  방법에서 자동생산 및 자동검사 체제 아래에서는 100PPM 나아가서는 PPM 관리를 향하여 노력하고 있다. 그러므로 공정관리도 PPM 관리에 알맞은 관리체제를 갖추어야 하기 때문에 본 논문에서는 PPM 관리체제에 적절한 공정능력도를 활용하여 규격치를 벗어나지 않은 데이터에 대하여서도 이상을 찾을 수 있는 PPM 계층에 따라 탄력적인 이상판별규칙을 제시하고, 이에 따라 관리하여 나아가는 방법을 동시에 제시하였다.

본 논문에서는 공정능력도를 사용하여 계량치에 관한 것만을 다루었으나 계수치에 대한 것도 최고경영층이나 바이어들이 정하는 불량률을 잠정 규격치로 설정하여 공정능력도를 활용하면 계량치와 동일한 방법으로 관리할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 현재의 자동생산 및 자동검사 체제에 적합한 공정관리기법을 제시함으로써 현실감각에 적합하며, 실시간으로 효과적인 품질관리 방법을 제시하였다.

본 논문과 관련하여 추가적인 연구는 자동검사기기에 대한 개발과 자동생산 및 자동검사체제 하에서 보다 발전적인 품질경영시스템의 지속적인 연구가 필요하다.

## 참고문헌

- [1] 金永輝(1994), 「품질관리」, 淸文閣.
- [2] 박성현, 박영현(1995), 「통계적 품질관리」, 민영사, pp. 498~501.
- [3] 박창순(1995), 「통계적 품질관리」, 栗谷出版社, p. 278.
- [4] 배도선(1992), 「최신 통계적 품질관리」, 영지문화사, pp. 228~238.
- [5] 三浦 新, 今泉益正(1979), 「관리도」, 한국공업표준협회, pp. 66~72.
- [6] 安在鳳(1990), 「FA시스템 活用 技術」, 圖書出版 技術, pp. 2~9.
- [7] 李根熙(1994), 韓國管理技術開發院, 「品質管理(理論과 實際)」, 尙潮社, p. 239.
- [8] 이상용(1994), 「시스템공학」, 경문사, p. 93, pp. 110~112.
- [9] 田昌熙(1996), “PPM 관리를 위한 실시간 공정관리 시스템,” 박사학위 청구논문 건국대학교.
- [10] 조재립(1995), 「품질경영」, 淸文閣, pp. 70~82.
- [11] 韓國工業標準協會(1973), “샘플링검사,” 韓國工業標準協會, p. 1.
- [12] 한국표준협회(1996), “SPC 실무,” 한국표준협회, p. 25.
- [13] 黃義徹(1992), 「品質經營」, 博英社, p. 718.

- [14] 日本規格協會品質管理便覽編輯委員會(1983), 品質管理便覽, 技多利.
- [15] 日科技連 QC 리サーチ·그룹즈(1986), 「管理図法」, 日科技連出版社, pp. 102~114.
- [16] Juran, J.M.(1962), 「Quality Control Handbook」, McGraw-Hill Book Company, pp. 11-15~11-23.
- [17] Groover, M.P. 저, 노인규 역(1993), 「자동생산시스템」, 도서출판 기술, p. 223, pp. 110~112.
- [18] Hogg, R.V., and Craig, A.T.(1985), 「Introduction to Mathematical Statistics」, 塔出版社, p. 56.
- [19] Rembold, U., Nnaji, B.O., Storr, A.(1993), 「Computer Integrated Manufacturing and Engineering」, Addison-Wesley Publishing Company, pp. 191~197.
- [20] Western Electric(1956), 「Statistical Quality Control Handbook」, American Telephone and Telegraph Company, Chicago, IL.
- [21] Hwang, H.B., and Hubele, N.F.(1993), "Back-Propagation for  $\bar{X}$  Control Chart : Methodology and Performance," *Computer ind. Engng*, Vol. 24, No. 2, pp. 219~235.
- [22] Nelson, L.S.(1984), "The Shewhart Control Chart-Tests for Special Causes," *Journal of Quality Technology*, Vol 16, No. 4, October, pp. 237~239.