

# 컴퓨터를 이용한 工程品質管理 시스템\*

(A Computer-Based Process Quality Control System)

裴 道 善\*\*  
金 珍 煜\*\*

## Abstract

A process quality control system is designed which incorporates run tests, normality test, process capability studies, etc., into control chart scheme, and a software package for microcomputers is developed. The system is interactive and has data base management capabilities. All programs are written in BASIC language.

## I. 序 論

品質管理의 목적은 消費者가 만족할 수 있는 좋은 품질의 製品을 經濟的으로 生産하는데 있다. 제품의 품질을 결정하는 工程要因으로는 기계, 作業자, 원자재, 作業방법등 많은 변수가 있는 바, 이들을 總括的으로 관리해야만 만족 할 만한 품질의 제품을 生産할 수 있다. 따라서 효과적인 工程品質管理를 위해서는 이러한 변수들이 工程에 正常的으로 작용하고 있는가를 항상 파악하는 것이 중요하

다.

오늘날 品質管理의 중요성이 증대하고 있는 것은 대량생산 및 公정의 복잡화로 公정이 異狀狀態에 빠지면 높은 品質費用이 發生하기 때문이다. 따라서 정상적인 工程狀態를 유지하여 좋은 품질의 제품을 經濟的으로 生産하기 위해서는 현재의 公정 상태를 신속히 파악하여, 異狀要因으로 인하여 不良品이 發生하는 경우 즉시 그 要因을 제거할 수 있어야 한다.

公정의 異狀有無를 파악하기 위해서는 在工品이

\*本 研究는 産學協同財團의 支援에 依한 것임

\*\* 韓國科學技術院

나 製品을 검사하고, 시간에 따른 品質의 變動을 잘 나타내주는 管理圖法이나 工程能力分析, 파레토 分析 등 제반 統計的 技法들을 이용하여 검사된 자료들을 分析하게 된다. 이러한 分析의 필요성은 수시로 발생하게 되며, 工程의 이상 유무는 신속히 발견해야 하므로 컴퓨터 등을 이용하여 공정 內에 체계적인 분석 장치를 마련하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

컴퓨터 기술의 발달로 저렴하고 사용하기 간편한 마이크로 컴퓨터의 보급이 확대되고 있는 바, 생산 현장에서 工程品質管理를 효율적으로 실시하기 위해서는 현장에서 분석의 결과들을 즉시 받아 볼 수 있어야 하므로, 사용자가 조작하기에 간편한 마이크로 컴퓨터를 사용하는 것이 유리하다. 특히 마이크로 컴퓨터가 특정 부분의 專用 파일(File)處理에 적격한 점을 감안하면 마이크로 컴퓨터에 응용될 수 있도록 工程品質管理를 위한 통계적 기법들을 소프트웨어화 하는 것이 필요하다고 여겨진다.

現在 미국등에서 판매되고 있는 마이크로 컴퓨터용 工程品質管理 소프트웨어 들이 管理圖만 그리는 기능을 가졌거나 데이터베이스화 되지 않아, 分析時 모든 자료들을 再入力시켜야 하는 불편한 점이 있다. 따라서 본 연구에서는 데이터베이스를 고려하고, 管理圖를 중심으로 런 檢定(Run Test), 工程能力分析(Process Capability Study), 警戒限界를 고려한 檢정, 正規性檢定(Normality Test), 히스토그램, 파레토圖, 散點圖(Scatter Diagram), 回歸分析(Simple Linear Regression) 등의 기법들을 체계적으로 연결시키는 소프트웨어를 개발한다.

## II. 工程品質管理 시스템

工程品質管理란 散發的으로 발생하는 異狀要因에 의한 工程變動 현상을 사전에 예방함으로써 안정된 공정을 유지하는 일련의 활동을 의미한다.

Feigenbaum(4)은 品質管理의 活動을 計劃, 測定, 分析의 세 단계로 구분했는데, 品質計劃은 생산품의 品質管理를 위한 기본적 시스템을 계획하는 단계이고, 品質測定은 品質計劃에 따라 部品 및 製品이 規格에 일치하는가를 평가하는 단계이다. 品質分析의 단계는 여러 統計的 技法들을 이용하여, 測定

된 자료들을 分析하며 計劃에 必要한 정보를 제공 하는 것이다. 따라서 이 단계에서 컴퓨터를 이용하면 제반 統計的 技法들을 신속하고 정확하게 적용할 수 있게 되므로 工程品質管理의 活動을 더욱 활성화 시킬 수 있게 된다.

그림 II-1은 본 연구에서 고려한 工程品質管理 시스템의 개요이다. 먼저 검사원이나 작업자에 의해 정기적 또는 부정기적 검사가 실시되면, 검사의 자료들을 즉시 컴퓨터에 입력하게 된다. 입력된 자료들은 즉시 저장이 되며, 오류의 수정이 끝나면 자료의 分析을 위하여 제반 統計的 技法들이 선택적으로 적용되어 分析이 실시된다. 이 分析에 의해서 意思決定者는 품질향상을 위해 필요한 조치를 취하게 되는데, Juran과 Gryna(6)에 의하면 工程에서 品質에 영향을 미치는 要因을 準備作業, 機械, 作業員, 部品 등 4가지로 구분하는 바, 이 중에서 특별히 不良要因으로 作用하는 要素를 찾아서 1. 要因을 중점적으로 管理해야 工程品質管理가 효과적으로 이루어질 수 있다. 이상과 같이 본 연구에서의 공정품질관리 시스템은 검사→분석→개선→검사의 단계로 이루어지는 피이드백 사이클(Feed back Cycle)을 형성한다.

分析의 단계에서 사용되는 주된 統計的 技法은 管理圖이다. 관리도가 공정품질관리 수단으로 중요시 되는 것은 生産 工程에서 發生하는 品質의 변동이 偶然한 要因에 의한 것인가 아니면 異狀要因에 의한 것인가를 구분해 주는 능력때문이다. 이러한 管理圖를 중심으로 여러 統計的 分析技法들을 活用함으로써 生産 工程에서 發生하는 여러가지 문제를 해결하고 製品의 品質을 향상시킬 수 있다. 본 연구에서 개발한 소프트웨어를 사용하기 위해서는 다음과 같은 컴퓨터 및 주변기기들이 필요하다.

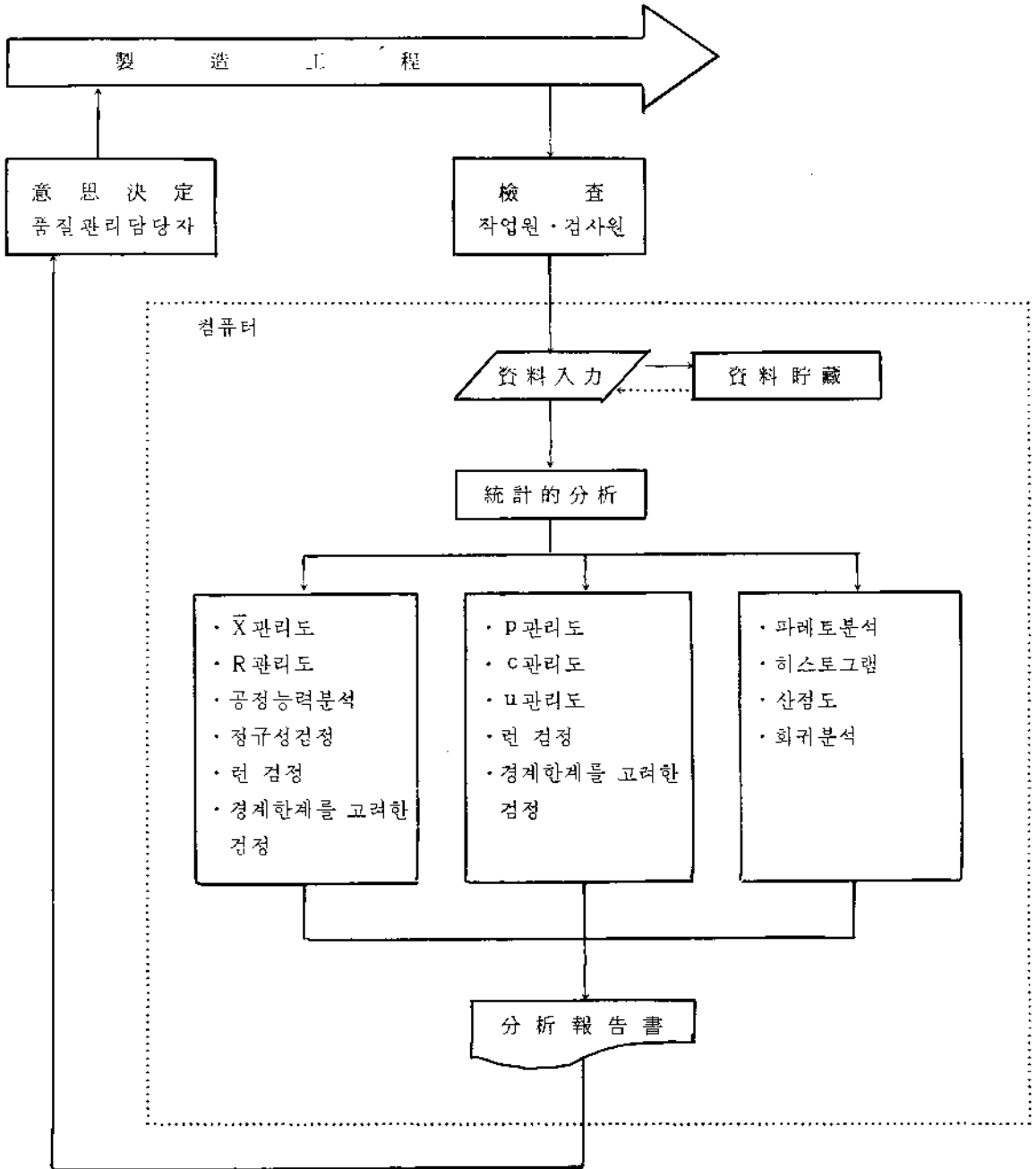
첫째, APPLE II 마이크로 컴퓨터 또는 이와 互換性이 있는 컴퓨터,

둘째, 모니터,

셋째, 디스크 드라이브(1대 또는 2대),

넷째, 5¼ inch 플로피 디스켓,

다섯째, 프린터(선택적 기기).



〈그림 II - 1〉 工程品質管理 시스템의 개요

### Ⅲ. 프로그램의 內容 및 運用\*

본 研究에서 설계한 工程品質管理를 위한 소프트웨어는 資料의 특성에 따라 計量值 資料의 分析을

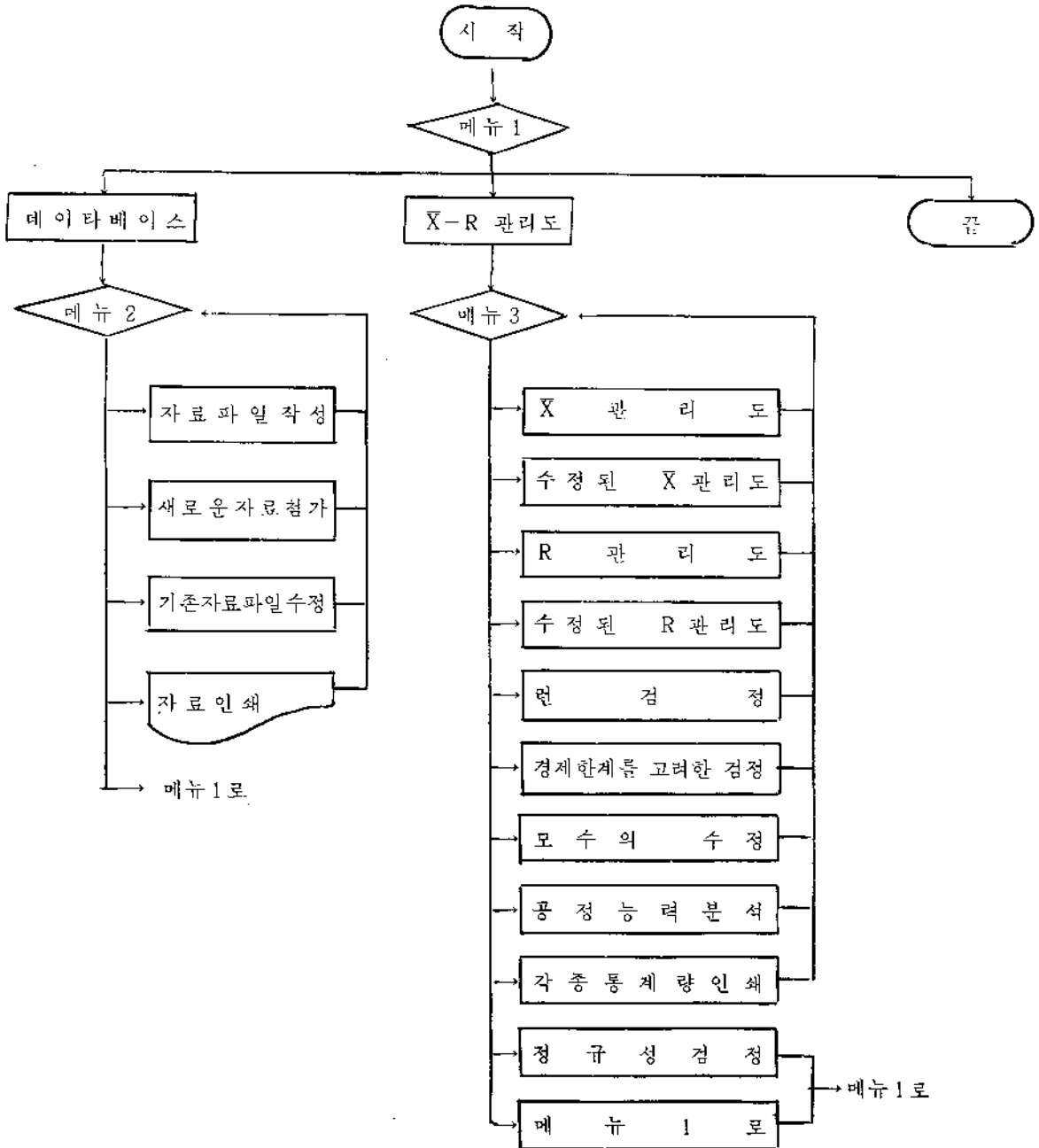
위한 下部 시스템과 計數值 資料의 分析을 위한 下部 시스템으로 구분되며, 圖表를 이용한 分析의 補助技法들을 포함하는 下部 시스템과 함께 新개의 下部 시스템으로 구성되어 있다.

\* Program List 는 저자에 요청하면 받아 볼 수 있음.

### Ⅲ-1. 計量值 資料의 分析을 위한 下部시스템

이 下部 시스템은 검사 자료가 제량치일 경우의 分析을 위한 것으로서,  $\bar{X}$ -R 관리도, 런 검정, 경계한계를 고려한 檢定, 母數의 適應의 수정, 工程能力分析, 正規性 檢定 등으로 구성된다. 또한 資料

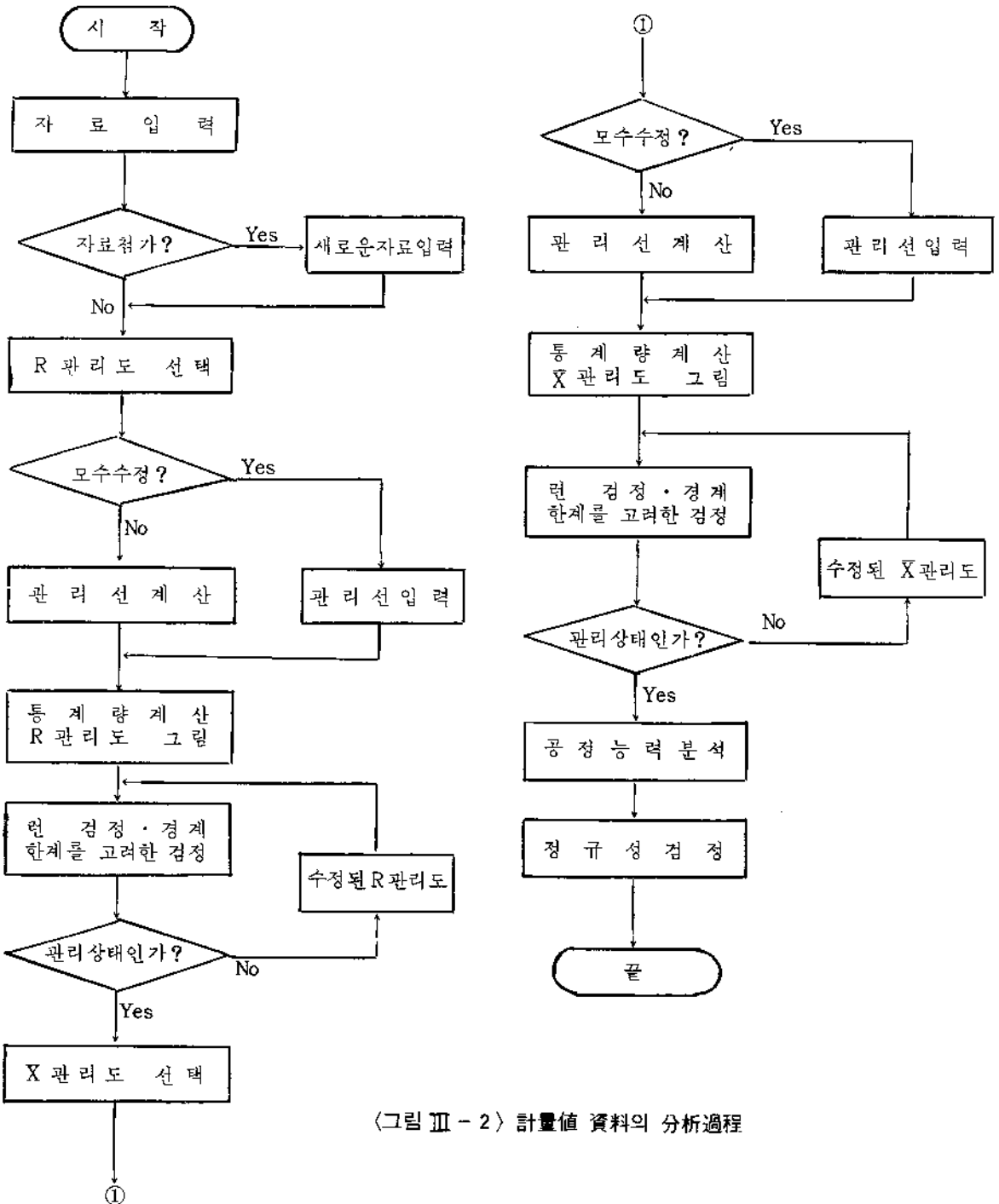
가 입력되면 즉시 저장되며, 저장된 자료들을 修正하거나 除去하며 새로운 資料를 添加할 수 있도록 데이터베이스도 포함하고 있다. 그림 Ⅲ-1은 전체적인 프로그램의 구성도이다.



(그림 Ⅲ-1) 計量值 資料의 分析을 위한 下部시스템의 構成圖

작업의 실행은 메뉴로 부터 시작되는데, 새로운 資料가 있을 경우는 데이터 파일을 만들고 管理圖를 비롯한 分析들을 실시한다. 만일 既存의 資料가 있을 경우에는 데이터 파일에서 자료를 읽은 후에

필요한 작업을 선택하여 실행한다. 計量值 資料들의 分析을 위한 技法들은 선택적으로 실시할 수 있으므로 分析의 순서가 달라질 수 있으나 대개 그림 III-2의 진행과정을 따른다고 할 수 있다.

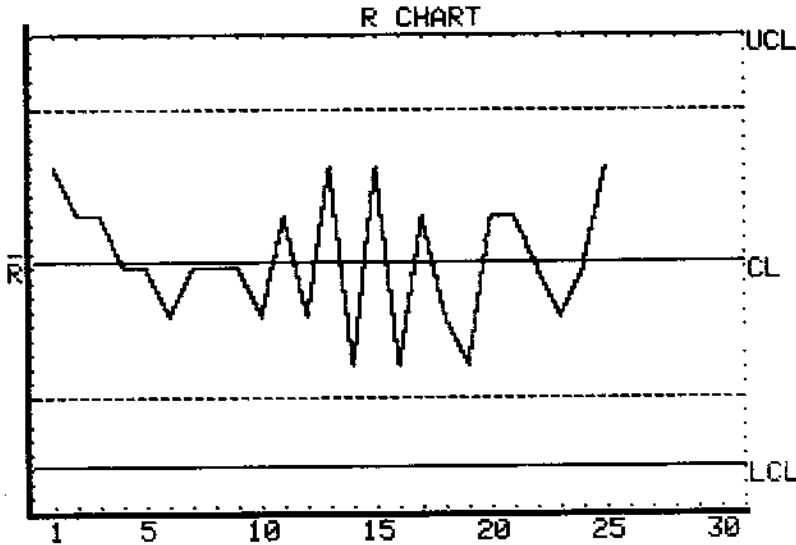


(그림 III - 2) 計量值 資料의 分析過程

X-R 管理圖를 작성하는데 필요한 部分群의 총 수는 60 개 이하로 하며, 각 部分群의 크기는 2 - 10 사이의 整數로 한다. 管理限界線은 프로그램 內에 관리한계선의 계수치  $A_2, D_3, D_4$  들을 수록 하고 있어 部分群의 크기에 따라 계산되어 지나거나 특정값(品質規格)으로 미리 지정될 수도 있다. 또한 관리도의 크기는 자료의 특성에 따라 자동적으로

결정된다.

다음은 製品의 규격이  $.500 \pm .008$  인치인 장석 용 못(Stud)을 시간당 150 개 생산하는 공정에서, 시간당 5 개씩 25 회 추출해서 검사한 資料<sup>2)</sup>에 대해 이 下部시스템을 적용한 例이다. 먼저 檢査資料가 컴퓨터에 입력되고, 입력된 자료에 오류가 없으면 그림 III-3 과 같이 R 管理圖를 작성한다.



Warning Limits :  $7.18253335 E - 03$  &  $1.37333334 E - 03$

UCL =  $8.71380003 E - 03$

CL =  $4.12000001 E - 03$

LCL = 0

Out of Control Points (^) = None

Unnatural Pattern (\* : 2 out of 3) = None

REN TEST

The runs down are

Runs down of 1 ..... 8

Runs down of 2 ..... 2

Runs down of 3 ..... 0

Runs down of 4 ..... 0

Runs down of 5 ..... 0

Runs down of 6 ..... 0

Total ..... 10

The runs up are

Runs up of 1 ..... 7

Runs up of 2 ..... 1

Runs up of 3 ..... 0

Runs up of 4 ..... 0

Runs up of 5 ..... 0

Runs up of 6 ..... 0

Total ..... 8

The total number of runs up and down is 18.

The .05 limiting value is 7. (s=12, r=9)

..... This data is judged to be random.

〈그림 III - 3〉 R 관리도

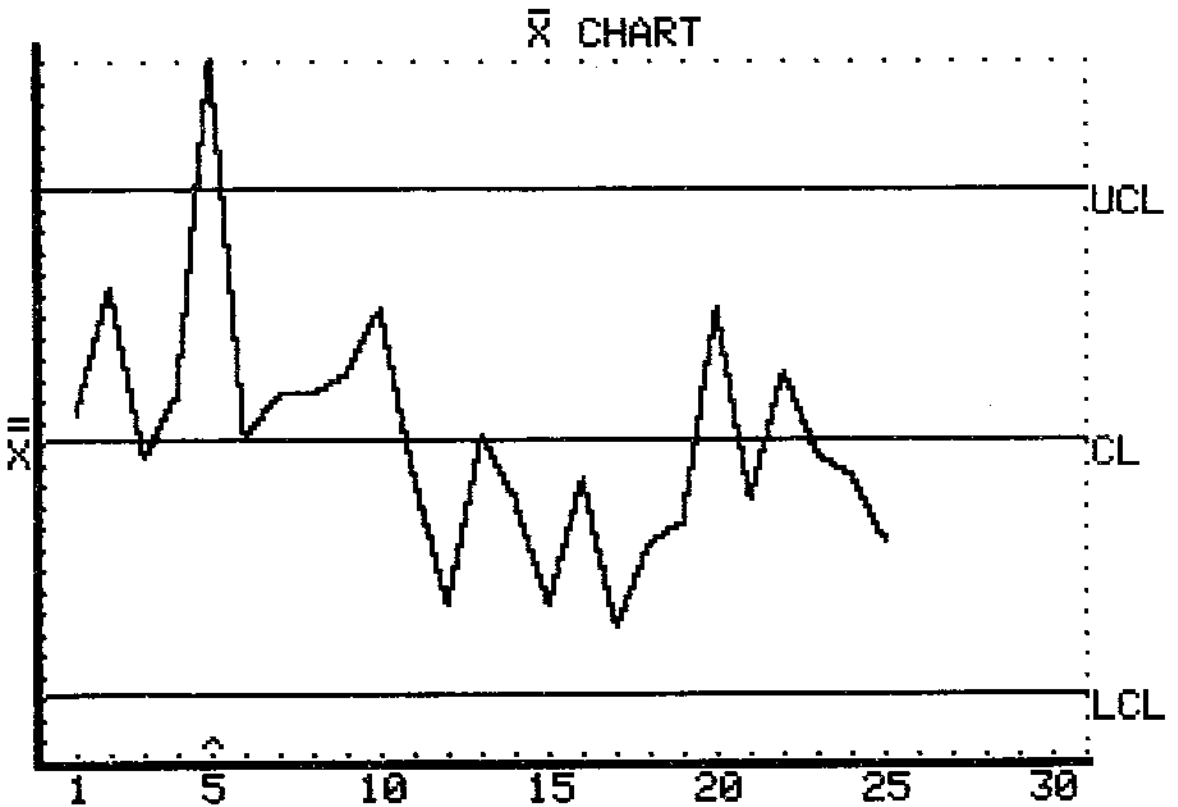
註 1)  $A_2 = 3/d_2\sqrt{n}$ ,  $D_3 = 1 - 3d_3/d_2$ ,  $D_4 = 1 + 3d_3/d_2$

2) 자료원 : Feigenbaum(4) pp. 263

R 관리도에서 管理限界線을 벗어난 部分群은 없으며, 런 검정의 결과를 보면 이 자료들이 랜덤하다는 것을 알 수 있다. R 관리도가 관리상태하에 있으므로  $\bar{X}$  관리도를 작성한다. 그림 III-4는  $\bar{X}$  관리도를 보여 주는데, 다섯번째 部分群의 평균이 관리한계선을 벗어나 있음을 알 수 있다. 이 部分群을 제거하고 修正된 (Revised)  $\bar{X}$  관리도를 작성한 것이 그림 III-5이다.

修正된  $\bar{X}$  관리도에서는 관리한계선을 벗어난 部

分群은 없으며, 런 검정을 실시한 결과에서도 자료들이 랜덤하다고 할 수 있다. 또한 이 예에서는 警戒限界를 고려한 검정도 하였는데, 이는 "연속한 3개의 部分群의 平均들 중에서 2개의 平均들이 警戒한계선(2σ선)을 벗어날 확률은 .0030이다."<sup>3)</sup> 라는 점을 근거로 檢定을 실시한 것이다. 例에서 警戒한계선을 벗어나서 異常狀態를 보이는 부분군들이 없으므로 이 工程은 管理狀態下에 있다고 할 수 있다.



$$UCL = .50375324$$

$$CL = .501376$$

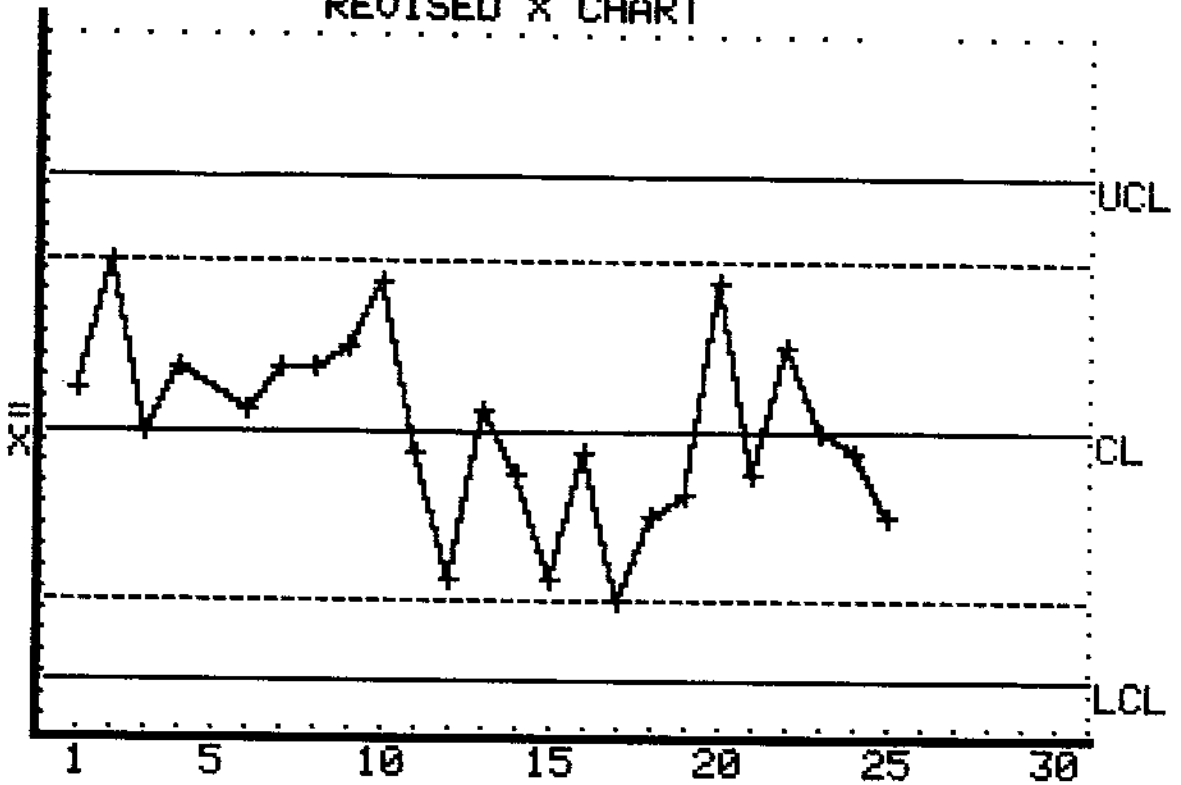
$$LCL = .49899876$$

$$\text{Out of Control Points } (\wedge) = 5/$$

〈그림 III-4〉  $\bar{X}$  관리도

註3) Western Electric Company (14) pp. 180-181

# REVISED $\bar{X}$ CHART



UCL = .503605125

CL = .501225

LCL = .498844875

Out of Control Points (^) = None

## \\\\ RUN TEST \\\

The runs down are

Runs down of 1 ..... 4  
 Runs down of 2 ..... 2  
 Runs down of 3 ..... 1  
 Runs down of 4 ..... 0  
 Runs down of 5 ..... 0  
 Runs down of 6 ..... 0  
 Total ..... 7

The runs up are

Runs up of 1 ..... 6  
 Runs up of 2 ..... 1  
 Runs up of 3 ..... 1  
 Runs up of 4 ..... 0  
 Runs up of 5 ..... 0  
 Runs up of 6 ..... 0  
 Total ..... 8

The total number of runs up and down is 15.

The .05 limiting value is 7. ( $s = 11, r = 11$ )

..... This data is judged to be random.

〈그림 III - 5〉 수정된  $\bar{X}$  관리도



計量値 管理圖의 사용시 자료가 正規分布를 따르지 않는다면, 관리한계선은 그 의미를 잃게되므로 正規性 檢定을 실시할 필요가 있다. 이 下部시스템에서는 Lin 과 Mudholkar(10)의 檢定法을 사용했는데, 이는 "모집단이 正規分布를 따르기 위한 필요 충분조건은 표본평균( $\bar{X}$ )과 표본분산( $S^2$ )이 서로 독립이다"는 사실을 이용한 것이다. 본 프로그램은 이 檢定법을 Nelson(12)이 간단하게 적용할 수

있게 수정한 것을 근거로 하였다. 有意水準은 10%, 5%, 1% 중에서 선택할 수 있으며, 相關係數( $r$ )가 주어진 유의수준에서의 限界値보다 크면 正規性이란 가정을 棄却한다. 표Ⅲ-1은 앞서의 관리도를 작성한 자료에 대해 정규성 檢定을 실시한 결과인데, 유의수준 10%에서의 한계치가 .247인데 비해  $r$ 이 .068 이므로 이 자료가 正規分布를 따르지 않는다고 할 수 없다.

### 〈표 Ⅲ - 1〉 정규성 檢定

#### 〈NORMALITY TEST〉

Null Hypothesis : This data comes from a normal population.

Sample size = 125

Significance	Critical value
.10	.247
.05	.291
.01	.371

\*\* The correlation coefficient ( $r$ ) is .0677095924.

\*\* Null hypothesis is accepted.

이 하부시스템은 工程能力分析도 포함하고 있는데, 이것은 分析 중에 있는 工程이 주어진 品質規格에 대해서 어느 정도의 不良品이 발생하는가를 추정하며, 또한 공정능력비<sup>4)</sup>를 구하여 公정이 품질규격에 맞는 제품을 생산할 능력이 있는가를 판

단하는 것이다. 공정능력분석은 工程이 正規分布를 따른다는 가정을 해야하므로, 먼저 正規性 檢定을 하거나 R관리도가 관리상태하에 있는가를 점검해야 한다. 例의 자료<sup>5)</sup>는 2가지 조건을 모두 만족하므로 공정능력분석을 실시할 수 있다. 표 Ⅲ-2는

### 〈표 Ⅲ - 2〉 공정 능력 분석

#### 〈PROCESS CAPABILITY ANALYSIS〉

Estimate of mean = .501225

Estimate of std. dev. = 1.77343079 E-03

	Specification Limit	Estimated Defective (%)	z Value
Upper	.508	.03	3.82027885
Lower	.492	0	-5.2017817
Total		.03	

\*\* If the process were centered in the middle of the spec. range, 0% or less defective would be produced. ( $z = 4.51103028$ )

CAPABILITY RATIO = .665036548

\*\* This process is capable of meeting spec. 's.

註 4) 공정능력비 =  $6\hat{\sigma}/(U-L)$  또는  $3\hat{\sigma}/(U-\hat{\mu})$  또는  $3\hat{\sigma}/(\hat{\mu}-L)$

5) 자료원 : Feigenbaum (4) pp. 263

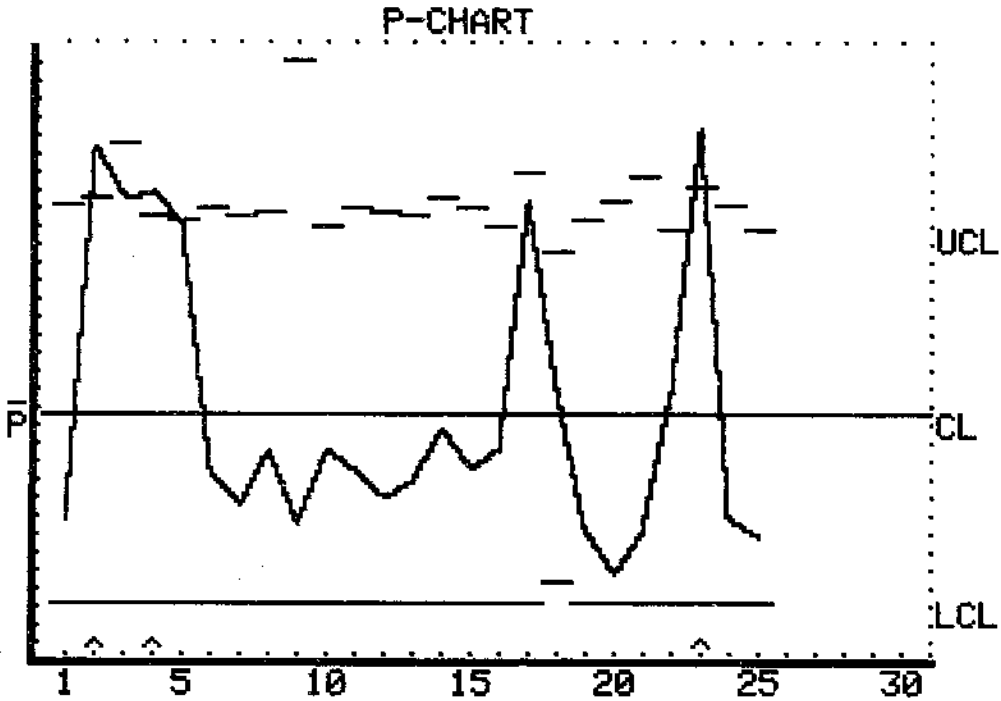
공정능력분석을 실시한 결과인데, 上限이 .508 이고 下限이 .492 일 경우 不良品の 발생율은 .03 %이며, 공정능력비는 .66 (<1) 이므로 이 工程은 품질규격에 맞는 제품을 생산할 능력이 있다고 판단된다.

### Ⅲ-2. 計數値 資料의 分析을 위한 下部시스템

이 하부시스템은 檢査資料가 計數値인 경우의 分析을 위한 것으로서 P 관리도, C 관리도, U 관리도, 런 검정, 경제한계를 고려한 검정, 모수의 적응적 수정 등의 작업을 할 수 있다. 또한 검사된 제품의 수가 각각 다를 경우에는 標準化된 관리도를 작성할 수 있도록 설계했다. 계수치 資料를 분석하는 이 시

스템의 구성도나 분석과정은 計數値 資料의 분석 시스템과 비슷하다.

다음은 어떤 전자제품에 들어가는 部品을 매일 全數檢査한 4개월의 자료 중에서 마지막 달의 25개 자료<sup>6)</sup>에 대해서 P 관리도를 작성한 예이다. 그림 Ⅲ-6은 P 관리도인데, 그림의 아래 부분에 있는 한계선들의 값은 가변한계들의 평균치이다. 그림에서 관리한계선을 벗어난 로트는 2, 4, 23이며, 이들은 除去한 후 修正된 P 관리도를 작성하면 다시 3, 5, 17 번째 로트가 관리한계선을 벗어나게 된다. 따라서 2, 3, 4, 5, 17, 23 번째 로트를 除去한 후 P 관리도를 작성한 것이 그림 Ⅲ-7이다.



SPECIFICATION LIMITS (UCL/LCL)

UCL = 5.7949589 E-03

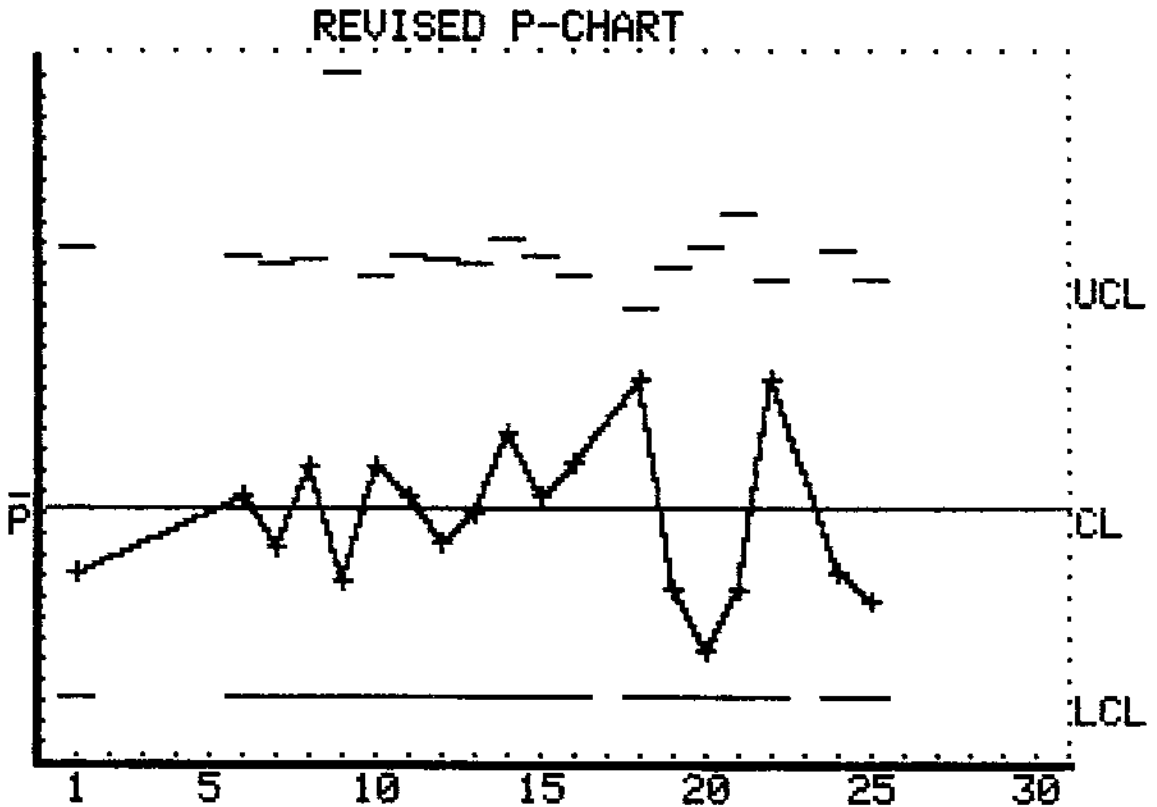
CL = 2.68271242 E-03

LCL = 1.25085185 E-05

OUT OF CONTROL POINTS (^) = 2/4/23/

〈그림 Ⅲ-6〉 P 관리도

註 6) 자료원 : Grant (5) pp. 232



SPECIFICATION LIMITS (UCL/LCL)

UCL = 4.502648 E-03

CL = 1.78430959 E-03

LCL = 0

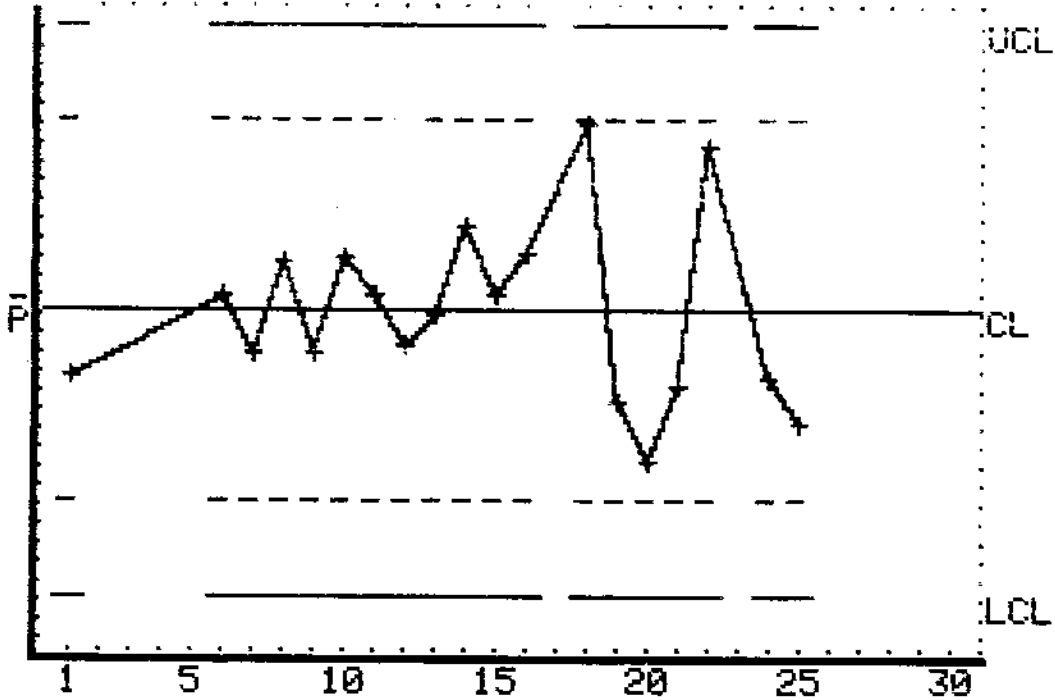
OUT OF CONTROL POINTS (^) = None

〈그림 III - 7〉 수정된 p 관리도

可變限界管理圖에서는 검사의 크기 (Inspection Size)가 각각 다르기 때문에 런 검정을 실시할 수 없다. 따라서 표준화된 p 관리도를 작성한 후 런 검정을 적용하게 되는데, 그림 III-8은 수정된 p 관리도의 표준화된 관리도이다. 그림의 아래 부분에

있는 런 검정의 결과를 보면 자료들이 랜덤하다고 할 수 있으며, 경계한계를 고려한 검정에서도 이상 상태를 발견할 수 없으므로 이 공정은 관리상태에 있다고 할 수 있다.

# REVISED & STABILIZED P-CHART



SPECIFICATION LIMITS (UCL/LCL)

UCL = 3

CL = 0

LCL = -3

OUT OF CONTROL POINTS (^) = None

WARNING LIMITS (UWL/LWL)

UWL = 2

LWL = -2

UNNATURAL PATTERN(+) = None

... (2 out of 3) = None

## /// RUN TEST ///

The runs down are

Runs down of 1 ..... 3  
 Runs down of 2 ..... 3  
 Runs down of 3 ..... 0  
 Runs down of 4 ..... 0  
 Runs down of 5 ..... 0  
 Runs down of 6 ..... 0  
 Total ..... 6

The runs up are

Runs up of 1 ..... 3  
 Runs up of 2 ..... 3  
 Runs up of 3 ..... 0  
 Runs up of 4 ..... 0  
 Runs up of 5 ..... 0  
 Runs up of 6 ..... 0  
 Total ..... 6

The total number of runs up and down is 12.

The .05 limiting value is 6. (s = 9, r = 9)

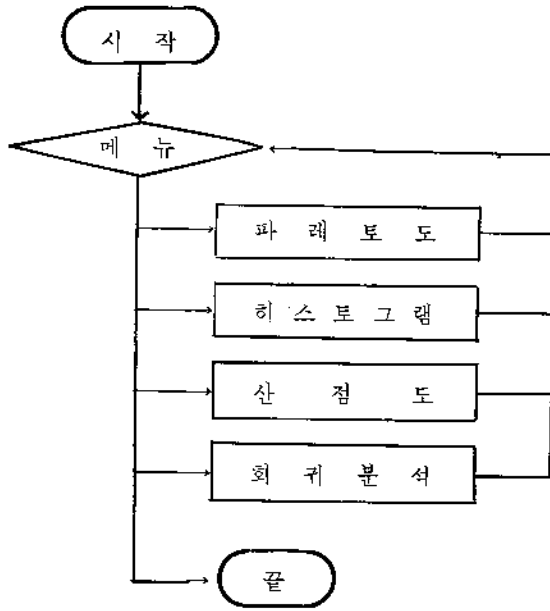
..... This data is judged to be random.

〈그림 III - 8〉 표준화된 p 관리도

Ⅲ-3. 圖表에 의한 分析의 補助시스템

이 下部시스템은 파레토圖, 산점도, 히스토그램, 회귀분석 등으로 構成되어 있으며, 앞에서 제시한

下部시스템들을 보조하는 시스템으로서 이들과는 독립적으로 실시할 수 있게 하였다. 그림 Ⅲ-9는 이 시스템의 構成圖이다.



〈그림 Ⅲ-9〉 圖表에 의한 分析의 補助시스템의 構成圖

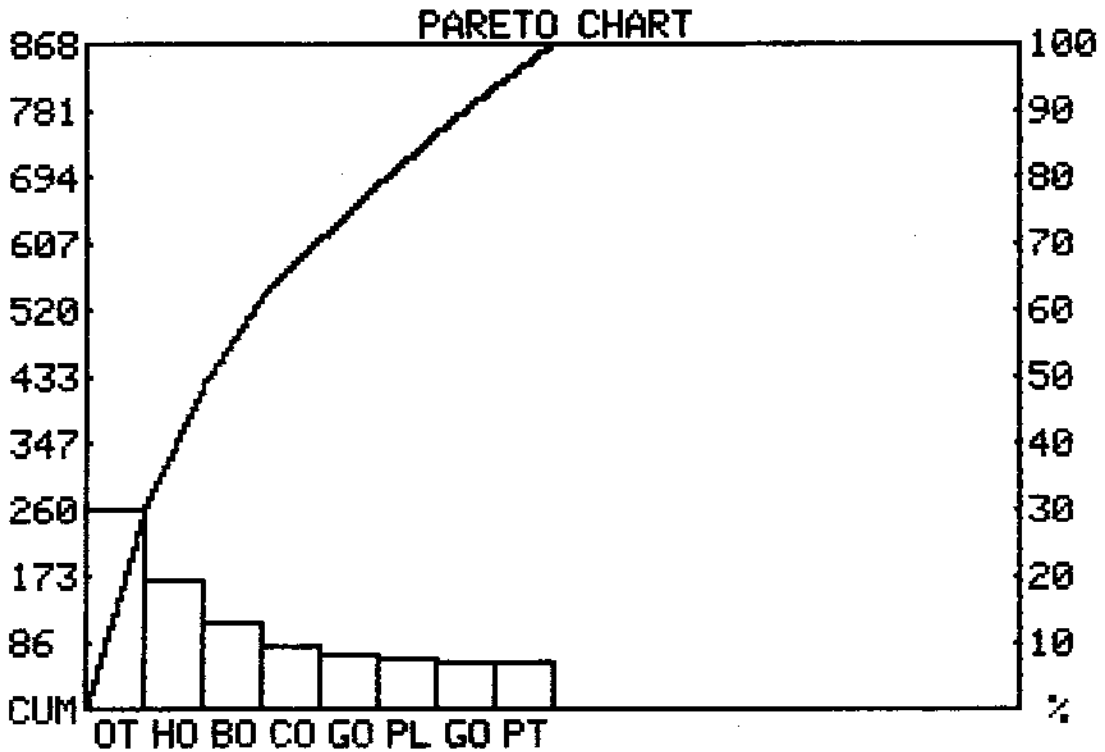
파레토도는 어느 일정기간 동안에 발생한 不良을 原因別로 나누어 주요 원인을 찾고, 이를 중점적으로 管理할 목적으로 사용된다. 分類項目은 15개 까지 가능하며, 각 項目이 차지하는 비율이 큰 순으로 나열되어 累積占有圖를 그리게 된다. 표 Ⅲ-3은 기판(Printed Circuit Board)의 수입검사 결과 27개의 不良要因을 8개 項目으로 나누어서

이들을 크기 순으로 나열한 資料<sup>7)</sup>이며, 그림 Ⅲ-10은 이 資料로 파레토도를 그린 것이다. 그림에서 27개의 項目 중에서 7개의 項目이 차지하는 불량율이 70.4%로 전체의 대부분을 차지하므로 이 7개의 項目의 不良要因을 중점적으로 관리해야 한다. 파레토도 외에도 히스토그램, 산점도, 회귀분석 등도 비슷한 과정으로 실시할 수 있다.

〈표 Ⅲ-3〉 파레토도의 자료

ITEM NAME	(Abbr.)	# OF ITEM	PCT (%)
OTHERS (20)	(OT)	257	29.6
HOLE SIZE	(HO)	165	19
BOARD DIMENSIONS	(BO)	110	12.7
COND. DEFECTS	(CO)	79	9.1
GOLD THICKNESS	(GO)	69	7.9
PLATING VISUAL	(PL)	66	7.6
GOLD VISUAL	(GO)	61	7
PTH THICKNESS	(PT)	61	7
TOTAL		868	99.9

註 7) 資料원 : Bowers (1) pp. 71



〈그림 Ⅲ - 10〉 파레토도

#### Ⅳ. 結 論

本 研究에서는 관리도를 中心으로 런 檢定, 正規性 檢定, 工程能力分析, 파레토 分析 등을 포함하는 總體의인 공정품질관리체제를 수립하고, 이러한 공정품질관리체제가 마이크로컴퓨터를 이용하여 효과적으로 운용될 수 있도록 소프트웨어를 개발하였다. 本 시스템은 사용자가 對話式으로 사용할 수 있으며, 품질에 관한 分析報告書를 작성하며, 母數를 適應的으로 修正할 수 있도록 설계하였다. 이 시

스템은 특별한 統計的 지식 없이도 사용이 가능하며, 공정품질관리 뿐만 아니라 기계의 性能 調査, 完製品의 品質評價, 購買諸品의 品質評價 등에도 적용할 수 있다.

앞으로 연구되어야 할 과제는 화면의 文字를 '한글화'함으로써 시스템의 利用度를 높이는 문제와 각 作業場에서 수집된 資料가 中央의 大型 컴퓨터로 集約되어 作業場 간의 意思疎通의 원활화 및 공장 全般에 걸친 總체적인 품질개선 시스템을 확립하는 것 등이다.

## References

1. Bowers, V.L., "Procurement Quality Assurance of PC Boards," *ASQC Technical Conference Transactions*, Vol. 32, pp.69-72, 1978.
2. Denisoff, B.A., "Process Control Management," *Quality Progress*, Vol. 6, pp.14-16, 1980.
3. Duncan, A.J., *Quality Control and Industrial Statistics*, 4th ed., R.D. Irwin, Inc., 1974.
4. Feigenbaum, A.V., *Total Quality Control*, McGraw Hill, Inc., 1961.
5. Grant, E.L., and Leavenworth, R.S., *Statistical Quality Control*, 5th ed., McGraw Hill, Inc., 1980.
6. Juran, J.M., and Gryna, Jr., F.M., *Quality Planning and Analysis*, 2nd ed., McGraw Hill, Inc., 1980.
7. Larson, K.E., "Plotting  $\bar{X}$ -and R-Charts," *Journal of Quality Technology*, Vol. 1, No. 2, pp.217-220, 1969.
8. Larson, K.E., "Plotting p and np Charts," *Journal of Quality Technology*, Vol. 1, No. 3, pp.217-220, 1969.
9. Larson, K.E., and Rahikka, R.E., "Plotting c-and u-Charts," *Journal of Quality Technology*, Vol. 1, No. 4, pp.285-288, 1969.
10. Lin, C.C., and Mudholkar, G.S., "A Simple Test for Normality Against Asymmetric Alternatives," *Biometrika*, Vol. 67, pp.455-461, 1980.
11. Munro, B., "The Quality Information System," *ASQC Technical Congress Transactions*, Vol. 36, pp.327-334, 1982.
12. Nelson, L.S., "A Simple Test for Normality," *Journal of Quality Technology*, Vol. 13, No. 1, pp.76-77, 1981.
13. Olmstead, P.S., "Distribution of Sample Arrangements for Runs Up and Down," *Annals of Mathematical Statistics*, Vol. 17, pp.24-33, 1946.
14. Western Electric Company, *Statistical Quality Control Handbook*, Mack Printing Company, 1956.