통계적 공정관리를 위한 전문가 시스템†

김 성 인* · 신 용 석*

An Expert System for Statistical Process Control†

Seong-in Kim* and Yong Seok Shin*

Abstract

Various types of control charts are available, but their full advantages are not being utilized due to the lack of experts who can select, design, implement, and interpret. An expert system is developed which would perform these functions as if each process had a resident expert.

1. 서 론

공정관리에 널리 쓰이는 통계적 품질관리 기법의 하나로 관리도(control chart)를 들 수 있다. 관리도는 생산공정에 대한 목표나 표준을 설정하여 이를 달성하기 위한 수단으로 사용된다. 즉, 관리도의 적용을 통하여 생산공정(production process)의 변화를 신속하게 탐지하여 생산공정에서 일어나는 품질의 변동이 우연요인(chance cause)에 의한 것인가, 아니면 이상요인(assignable casue)에 의한 것인가를 판별할 수 있으며, 이상요인이 존재할 때 그 원인을 파악하여 시정조치를 내릴 수 있게 된다. 또한 공정의 품질특성치에 대한 평균과 불량률 등의 모수(parameter)를 추정하고, 공정능력(process capability)을 평가할 수 있다[16].

현재까지 개발된 관리도의 형태는 약 14종류로 분류할 수 있고 이 중 많이 활용되는 것은 8가지 정도로서[6], 이들은 각기 적용되는 생산 현장의 상황이나 조건 또는 추구하는 목적이 서로 다르다. 예전의 관리도 적용에서는 관례적으로 평균치에 대하여 3σ 관리한계선(control limit)을 갖고 이 관리한계선을 벗어나는 점들에 대한 관리에 국한되었

† 이 연구는 한국과학재단 목적기초연구와 국방과학연구소 기초연구의 연구비 지원으로 이루어졌음.

* 고려대학교 공과대학 산업공학과

다. 그러나 관리도의 설계에 있어서도 여러가지 경제적인 요인을 고려하여 샘플의 크기(sample size), 샘플링의 빈도(sampling frequency), 샘플간의 간격(interval between samples), 관리한계선(control limit) 등을 결정한다. 따라서 적절한 관리도의 선택과 설계는 품질관리에 있어 아주 중요하면서도 어려운 문제이다.

관리도의 선택 및 설계가 완료되면, 이의 운용은 예비 관리도의 작성, 모수의 추정, 관리 목표나 표준의 설정, 해석, 시정조치의 실행, 표준의 개정 등의 절차를 거친다. 점들의 위치를 관리한계에 따라서 또는 점들의 움직임을 양상에 따라서 해석하고, 공정에 이상이 있다고 판단될 때에는 이에 따른 시정 조치가 이루어질 수 있어야 한다.

우리나라 기업에서도 관리도의 중요성을 인식하고 관리도의 사용을 적극 권장하고 있지만 각 생산현장에 전문적인 지식을 갖춘 전문가(expert)의 부족으로 단지 형식적이고 展示的인 면에서만 사용하고 있는 것이 현실이며, 나아가서 개념에 맞지 않게 잘못 적용하고도 있다. 즉, 관리도의 선택, 설계, 해석, 운용이 관리도의 利點을 충분히 살리지 못하고 나아가서 잘못 사용되고도 있어 관리도 본연의 기능을 제대로 살리지 못하고 있다.

지금까지 여러 종류의 품질관리 소프트웨어가 개발되어 있지만 지나치게 전문적이고 설명기능 등이 미비하여 통계나 품질관리에 대한 기초적인 지식이 없는 사용자가 운용하는 데에는 어려움이 많다. 또한 정량적으로 표현할 수 없는 定性的 자료나 지식을 처리하지 못하는 단점으로 인하여 소기의 목적을 달성하지 못하고 있다. 따라서 이에 대한 대책이 시급하며 이의 한 방법으로 전문가 시스템의 적용을 생각할 수 있다.

전문가 시스템(expert system)은 기존의 소프트웨어들이 갖고 있는 이러한 문제점들을 해결할 수 있는 인공지능(artificial intelligence)의 한 분야로서 선정된 작업영역(domain)에 대한 전문가의 지식을 컴퓨터 프로그램화하여 비전문가의 작업능력을 전문가의 수준으로 끌어올릴 수 있도록 도와주는 컴퓨터 프로그램이다[25].

현재 품질관리 분야에서 개발되어 사용되고 있는 전문가 시스템은 관리도의 선택을 도와주는 전문가 시스템[6], 최종 검사 단계에서 IBM 3380 DASD (Direct Access Storage Device)의 결점을 진단해 주는 DEFT(Diagnostic Expert for Final Test) [20], 설계 초기 단계에서 소비자 요구를 파악하고 설계 변동시 이를 돕는 QFD(Quality Function Deployment)[23], MIL-STD-105D 검사방식을 보다 쉽게 사용할 수 있도록 도와주는 STANLEY, Toyota사에서 개발한 자동차 엔진의 이상을 진단해 주는 ATREX, GTE사에서 개발한 전화교환기의 효율적인 관리를 도와주는 COMPASS, Boole & Babbage사에서 개발한 DASD의 사용법을 교육하고 문제점을 분석하여 이상요인을 발견하고 이에 대한 시정 조치를 제공하여 주는 DASD Advisor, AT & T사에서 개발한 장거리 전화선의 결함을 진단해 주는 GEMSTTA, FMC사에서 개발한 형광체 생산공정을 관리하기 위하여 데이타를 수집하고 분석해 주는 PBA 등이 있다. 한편 John과 Mahesh[13]는 품질관리에서 여러 전문가 시스템이 차지하는 위치를 종합적으로 분석하고 있다.

본 논문의 목적은 보다 적절한 관리도의 선택과 경제적인 설계 그리고 이의 효율적인 운용을 도와줄 수 있는 전문가 시스템을 개발하여 품질관리의 전문가가 없는 현장에서도 어려움 없이 관리도를 사용하여 품질관리에 많은 도움을 줄 수 있도록 하는 것이다. 개발되는 전문가 시스템은 사용자와의 대화를 통하여 입력되는 생산현장의 상황과 여건 등을 고려하여 적합한 관리도를 선택하고, 선택된 관리도에 대하여 여러가지 비용 요인을 고려하여 경제적인 관리도를 설계하며, 이상요인의 유무를 판단하고, 그 원인을 발견하여, 적절한 시정 조치

를 취하게 함으로써 효율적인 공정관리에 도움을 준다.

한편, 공정관리는 신속한 처리가 필수 조건이므로 공정에 이상이 발생하였을 때 이를 바로 탐지하여 시정조치가 이루어질 수 있어야 한다. 이를 위하여 본 논문에서 개발하는 시스템은 현장의 검사 데이타가 계측기기를 통하여 實時間으로 시스템에 입력되면 이를 관리도에 나타내고 해석하여, 공정에 이상이 있다고 판단될 때 즉시 시정조치를 취할 수 있도록 한다.

또한 요즘의 생산관리 추세는 컴퓨터 통합생산(CIM : Computer Intergrated Manufacturing) 시스템이 되고 있다. CIM 시스템은 생산부문에서 영업부문까지의 모든 정보에 대하여 컴퓨터를 네트웍으로 연결하여 제품의 설계, 제조, 생산관리에 관한 데이타베이스를 공유함으로써 수주에서 출하에 이르기까지 종합적으로 물자와 정보흐름의 자동화를 이룩하여 경영의 효율화를 이루기 위한 유연생산시스템이다. 본 전문가 시스템은 CIM의 일부분으로서 공정관리에 도입됨으로써 다른 부분과의 조화를 이루게 된다.

제2절에서는 적절한 관리도를 선택, 설계하고, 이상유무를 판단, 시정 조치를 취하는데 사용되는 전문 지식을 기술한다. 전문가 시스템이 갖추고 있는 전문 지식에는 적합한 관리도를 선택하기 위하여 목적, 특징, 사용 여건 등을 토대로 분류한 관리도의 종류, 관리도를 설계하기 위하여 각 관리도의 비용함수 등을 토대로 개발된 경제적 관리도의 설계 모델, 관리도의 운용을 위하여 사용된 관리도의 해석, 이상 형태 및 그 원인 등이 있다. 제3절에서는 전문가 시스템 개발에 사용된 도구 및 지식의 표현 방법과 시스템의 기능에 대해 서술한다. 제4절에서는 소프트웨어 및 하드웨어, 시스템의 메뉴 구성, 그리고 사용자의 편의를 위한 기능을 설명한다.

2. 지식 베이스

1) 관리도의 선택 및 설계

계수형 관리도와 계량형 관리도. 이 시스템이 대상으로 하는 계수형 관리도로는 공정의 불량률을 관리하는 p 관리도, 제품당 결점수를 관리하는 c 관리도, 제품 검사에 대한 판정을 여러 등급으로 나누어 관리하는 chi-square 관리도[15] 등이 있다. 이밖에 이들의 변형으로서, 불량품의 갯수를 관리하는 np 관리도, 검사의 오류를 보정하는 p 관리도, 샘플의 크기가 일정하지 않을 때 사용되는 p 관리도, 단위제품당 결점수를 관리하는 u 관리도, 샘플의 크기가 일정하지 않을 때 사용되는 u 관리도 등이 있다.

계량형 관리도로는 공정의 산포가 일정한 경우에 평균만을 관리하는 Xbar 관리도, 산포를 관리하는 R 관리도, 평균과 산포를 동시에 관리하는 Xbar-R 관리도, 공정의 작은 변화도 관리하는 cusum 관리도 등을 고려한다. 이밖에 생산속도가 아주 느려 부분군을 형성하기가 어려울 때 사용되는 X 관리도, 공정의 평균과 분산을 모를 때 사용되는 Q 관리도[1], 표준편차에 대한 표준값(standard value)이 설정되어 있지 않은 경우에 사용되는 s 관리도, 과거의 데이타를 고려하여 EWMA(Exponentially Weighted Moving Average)를 사용하는 관리도로서 평균을 관리하는 EWMA 관리도, 산포를 관리하는 EWMA 관리도 등이 있다.

계수형 관리도와 계량형 관리도 간의 선택에는 관리항목의 성질(계수치 또는 계량치), 검사의 종류(파괴검사 또는 비파괴검사)를 고려한다. 이에 대한 연구로는 Roberts[19], Dagli와 Stacey[6] 등이 있다. 본 시스템은 두 형태의 관리도 중에서 선택하기 위하여 고려하는 항목에 대하여 적합도 계수를 설정한다. 적합도 계수는 −1과 +1사이의

값으로서 고려하는 항목에 따라 관리도의 형태가 적합한 정도를 나타내는 수치이다. 적합도가 −1인 관리도 형태는 고려대상에서 제외되고, +1인 관리도 형태는 완전히 적합한 것임을 의미한다. 고려하는 항목에 대한 적합도 계수는 〈표 1〉과 같다.

두 항목에 대한 적합도 계수 S_1과 S_2는 다음의 규칙에 의하여 결합된다.

$$S=\begin{cases} S_1+S_2-S_1S_2, & S_1>0,\ S_2>0 \\ S_1+S_2+S_1S_2, & S_1<0,\ S_2<0 \\ (S_1+S_2)/(1-\min(|S_1|,|S_2|)), & \text{그 밖의 경우.} \end{cases}$$

이러한 방법은 Hoffman과 Valentin[12]에 의하여 석유 활성화 공정의 선택에, 김성인 등[27]에 의하여 검사방식의 선정에 응용되었다.

계수형 관리도의 선택. 계수형 관리도 중에서의 선택은 판정(두 등급 또는 여러 등급), 대상(불량품 또는 결점), 샘플 크기의 변화 여부, 판정의 오류(많다 또는 적다) 등을 고려하여 결정되다. [그림 1]은 이 과정을 의사 결정 나무(decision lattice)

〈표 1〉 적합도 계수

고려 항목	계수형	계량형
고려하는 관리항목의 수는?		
1. 여러 개	0.7	0.0
2. 한 개	0.0	0.2
계량데이타 얻을 수?		
1. 없다	1.0	−1.0
2. 있다	0.0	0.2
관리도 선택시 고려사항은?		
1. 검사의 용이성	0.3	−0.3
2. 검사량 절감	−0.3	0.3
계측기 유지비용은?		
1. 비싸다	0.2	−0.2
2. 싸다	−0.1	0.3
계수형 데이타를 얻을 때 비용에 비해 계량형 데이타를 얻을 때의 비용이?		
1. 4배 이상	0.6	−0.6
2. 4배 이하	0.2	0.0
계량형 관리도를 이용할 때 공정이상을 찾는 데 소요되는 시간이 계수형 관리도를 이용할 때의?		
1. 1/2 이하	−0.4	0.5
2. 1/2 이상	0.0	0.0
불량률 이외의 정보 필요?		
1. 예	−0.4	0.6
2. 아니오	0.0	0.0

로 표시하고 있다.

계량형 관리도의 선택. 계량형 관리도 중의 선택은 평균과 분산의 파악 여부, 공정 특정치의 분포 형태, 과거 데이타의 사용 여부, 규격한계의 폭, 관리의 대상(중심성 또는 변동성), 변동성 측정의 기준(범위 또는 표준편차) 등을 고려하여 결정된다. [그림 2]에 이 과정이 의사결정 나무로 표시되어 있다.

통계적 설계와 경제적 설계. 본 시스팀은 관리도의 통계적 설계뿐만 아니라 경제적인 설계도 다룬다. 통계적인 설계는 주로 과거의 관리도들이 관례적으로 사용한 $\pm 3\sigma$를 관리한계선으로 하는 설계를 말한다. 경제적인 설계는 여러가지 비용요인을 고려하여 관리도 운용상의 총손실을 최소화하는 설계를 말한다.

경제적 설계에서 고려하는 비용요소는 검사비용, 이상요인을 제거하는 비용, 이상상태에서 생산이 이루어졌을 때 발생하는 손실비용(penalty cost), 이상요인의 발생빈도 등이다. 이로부터 샘플 크기, 샘플링의 빈도, 샘플간의 간격, 관리한계선 등이 결정된다. 이에 대한 연구로는 Montgomery[16], Jones와 Case[14], Saniga[22], Rahim[18], Gibra[9], Gibra[10], Goel & Wu[11], Woodall [26], Duncan[8], Chiu[2], Chiu[3], Collani[5] 등을 들 수 있다.

통계적인 설계는 관리도를 운용하는 비용보다는 관리도가 공정의 변화를 탐지할 확률에 근거를 두고 설계하므로 공정에 대한 관리를 철저히 할 수 있다는 장점을 갖을 수 있으며, 경제적인 설계는 관리도를 운용하는 비용, 이상요인의 발생으로 인한 손실 등을 고려하여 설계하므로 최소비용으로 관리도를 운용할 수 있다는 장점이 있다.

경제적 설계에는 상황에 따라 여러 모델들이 개발되어 있고, 본 시스팀에서는 다음의 모델들을 대상으로 하고 있으며, 그 선택 방법은 [그림 1]과 [그림 2]에 표시한 바와 같다.

(1) Xbar 관리도: Duncan[8], Chiu와 Wetherill [4]
(2) Xbar-R 관리도: Saniga[21], Saniga[22], Rahim[18]
(3) CUSUM 관리도: Taylor[24], Goel과 Wu [11]
(4) p 관리도와 np 관리도: Chiu[2], Duncan[7]
(5) Chi-square 관리도: Duncan[7]
(6) Q 관리도: Paul[7]
(7) 합격판정 관리도(Acceptance Control Chart)
(8) 그 밖의 관리도

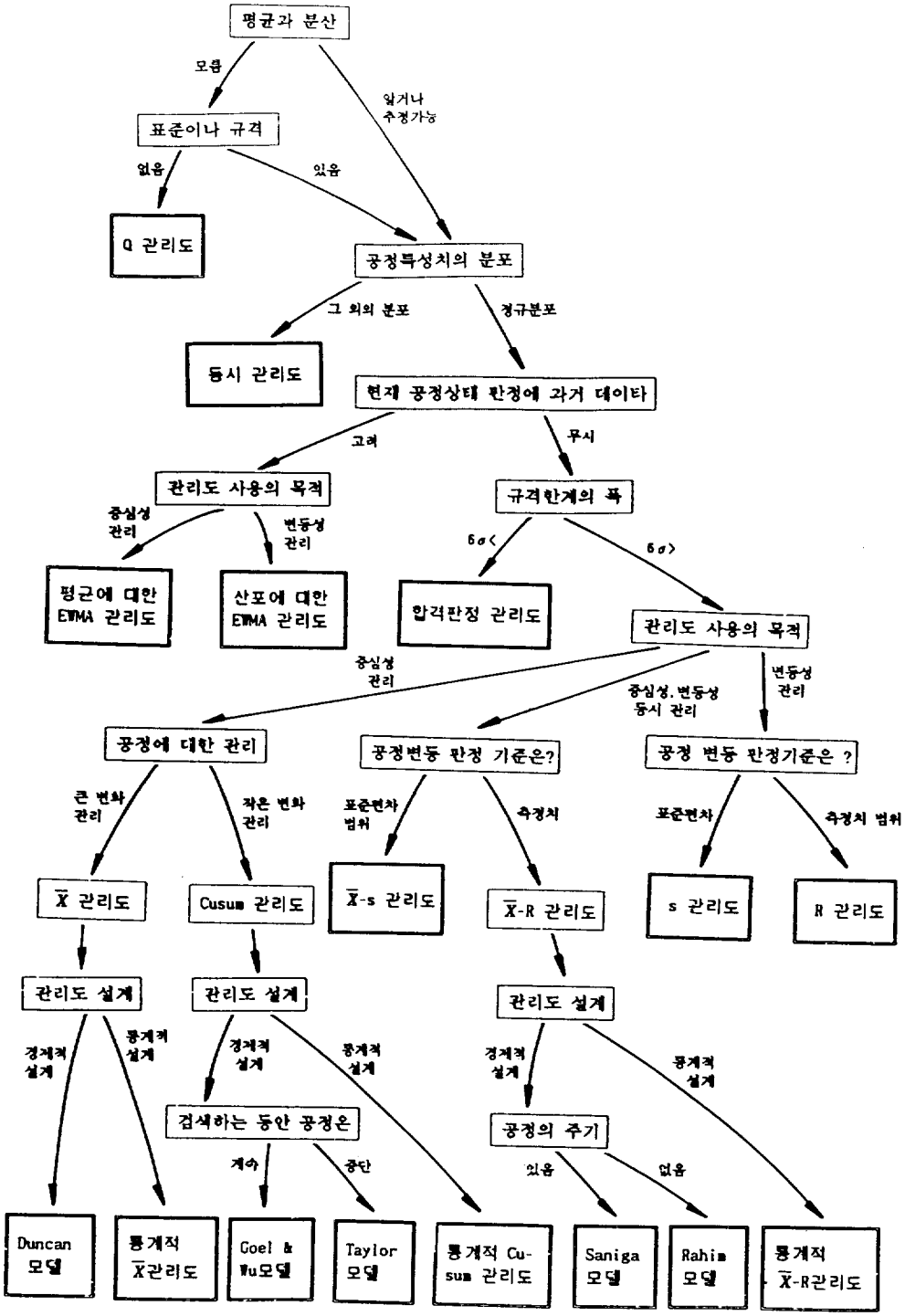
2) 이상 상태의 판단 및 조치

먼저 통계적 설계에서는 관리도의 구역을 중심선으로부터 상하로 $\pm 1\sigma$, $\pm 2\sigma$, $\pm 3\sigma$의 3개의 구역으로 나누고, 이를 각각 A, B, C로 표시한다. 점들의 위치가 다음과 같을 때 공정에 이상이 있다고 판단한다.

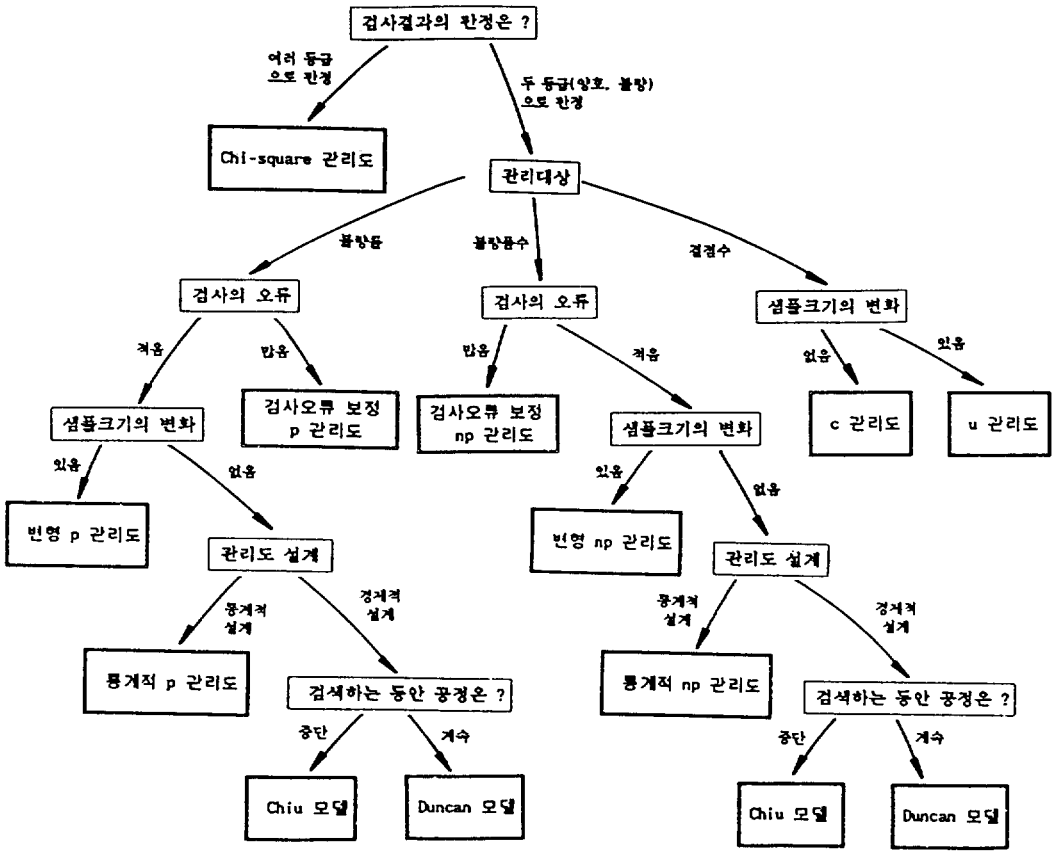
(i) 구역 A밖에 점이 나타나는 경우
(ii) 연속되는 3점 중 2점 이상이 구역 A 또는 구역 A밖에 나타나는 경우
(iii) 연속되는 5점 중 4점 이상이 구역 B 또는 구역 B밖에 나타나는 경우
(iv) 연속되는 8점이 중심선 한 쪽에만 나타나는 경우

점들의 위치뿐만 아니라 점들이 움직이는 양상으로부터 공정의 이상 유무를 판단하고 그 원인을 추정한다. 본 시스팀에서는 다음과 같은 양상들을 파악하고 있다.

(i) 불안정(instability)
(ii) 규칙적 변동(systematic variation)
(iii) 경향(trend)
(iv) 순환(cycle)
(v) 혼합(mixture)



[그림 1] 계량형 관리도의 분류.



[그림 2] 계수형 관리도의 분류.

(vi) 기형(freaks)

(vii) 상호작용(interaction)

(viii) 층화(stratification)

(ix) 급변(sudden shift)

지면관계상 불안정만을 설명하기로 한다. 점들의 움직임이 크면 이는 불안정이며, 시스템에서는 두 점을 잇는 선의 길이가 긴 경향이 있으면 이를 불안정으로 판단한다. 이에 대한 원인으로는 다음을 파악하고 있다.

불안정(instability). 관리한계선 밖에 점들이 나타나거나 점들의 움직임이 비정상적으로 큰 폭으로 움직일 때 이를 불안정으로 분류한다. 각 관리도별로 불안정이 나타나는 원인은 다음과 같다. 이에 대한 조치는 공정에 따라서 구체적으로 주어진다.

p 관리도:

(1) 미숙련 작업자 또는 작업 부주의

(2) 기계, 공구 등의 정비불량

(3) 원료 또는 부품의 불량

(4) 샘플 크기의 변화

(5) 가끔 나타나는 아주 나쁜 또는 아주 좋은 품질의 로트

(6) 랜덤 샘플링에 의하지 않은 샘플추출

(7) 부정확한 검사 등

Xbar 관리도(R 관리도는 관리상태에 있어야

함):

(1) 너무 빈번한 기계의 조정
(2) 온도나 시간조절의 불안정
(3) 자동조절장치의 불안정
(4) 재료의 차이
(5) 규격한계(상한 또는 하한)에 가까운 작업
(6) 측정기구 간의 오차 등

R 관리도:

(1) 미숙련 작업자 또는 작업 부주의
(2) 수리를 요하는 기계
(3) 불안정한 시험기구
(4) 부품의 불량 등

3. 전문가 시스템의 개발

1) 메뉴

개발되는 전문가 시스템은 [그림 3]에서 보는 바와 같이 다음과 같은 메뉴를 갖는다.

현재. 관리항목에 대하여 현재 사용하고 있는 관리도의 종류와 모수를 나타낸다.

직접입력. 화면에 나타나는 표를 이용하여 사용자가 직접 관리도의 종류를 선택한다.

간접입력. 시스템과 사용자와의 대화를 통하여 관리도의 종류와 모수를 선택하여 준다.

데이타 화일. 화일에 저장된 데이타를 이용하여 관리도를 그리고 공정의 상태를 판정하여 준다.

데이타 생성. 시스템에서 임의의 난수(random number)를 발생시켜 이를 이용하여 관리도에 나타날 수 있는 점들의 양상을 보여준다.

추가. 새롭게 관리도를 이용하여 관리하고자 하는 관리항목을 데이타베이스에 추가시킨다.

삭제. 더 이상 관리할 필요가 없는 관리항목을 데이타베이스에서 삭제한다.

통계. 관리도를 운용하면서 얻어진 데이타를 이용하여 공정의 평균, 분산, 평균불량률 등을 추정하여 준다.

끝. 시스템을 종료한다.

2) 개발 방법 및 도구

개발도구. 대부분의 모듈은 일반적으로 프로그램밍 언어 중 전문가 시스템 구축에 많이 사용되는 지식표현 언어인 PROLOG를 사용하며 관리도의 경제적 설계시 수학적 모델의 해를 구하는 모듈, 관리도의 그래픽 도시를 위한 모듈 등은 C 언어를 사용하여 작성한다. 또한 화면 구성과 사용자 선택 메뉴 작성은 Turbo PROLOG에서 제공하는 toolbox를 사용한다.

지식 획득 및 표현 방법. 의사결정 나무로 표현될 수 있는 지식은 의미 네트웍으로, 그 밖의 지식은 IF-THEN 형식의 규칙으로 표현한다.

기능. 본 시스템은 사용자의 편의를 위하여 다음의 기능을 첨가하였다.

(1) 설명 및 대화 기능. 설명 기능은 사용자와 시스템간의 대화 중 또는 시스템에 의하여 도출된 결과에 대하여 사용자에게 전문용어의 설명이나 현재 시스템이 제공하는 내용 등을 설명하여 원활한 시스템의 사용을 도와준다. 본 시스템에서는 [그림 4]와 같이 관리도의 선택을 위한 사용자와의 대화시 질문사항에 대한 설명과 관리도의 형태와 모수가 결정되었을 때 각 모수의 뜻과 이를 사용하는 방법을 제공하여 비전문가일지라도 충분히 이해할 수 있도록 한다.

(2) 그래픽 기능. 관리도의 종류와 모수의 결정과정, 관리도 운용에서 관리도의 작성, 관리도 해석

의 진행 과정을 [그림 5]나 [그림 6]에서와 같이 그래픽을 이용하여 사용자에게 보여줌으로써 현재의 공정상태나 시스템의 처리과정에 대한 사용자의 이해를 수월하게 한다.

(3) 종합 화면 및 수행도 제시. 시스템은 [그림 7]과 같이 입력된 상황과 이에 따라 선택된 관리도를 종합하여 보여준다. 또한 [그림 8]과 같이 선택된 관리도의 수행도를 보여준다.

하드웨어의 구성. 본 연구에서 개발한 시스템을 운용하기 위하여 필요한 하드웨어의 구성은 다음과 같다.

(i) 기종: IBM PC XT/AT/386/486 또는 호환 기종

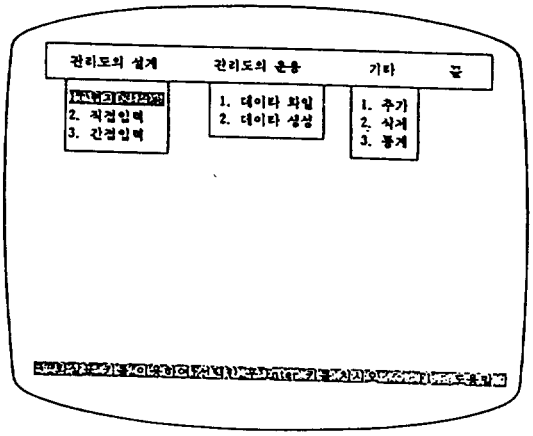
(ii) 운영 체제: 한글 DOS 버젼 3.0 이상

(iii) 기억용량: 640KB 이상

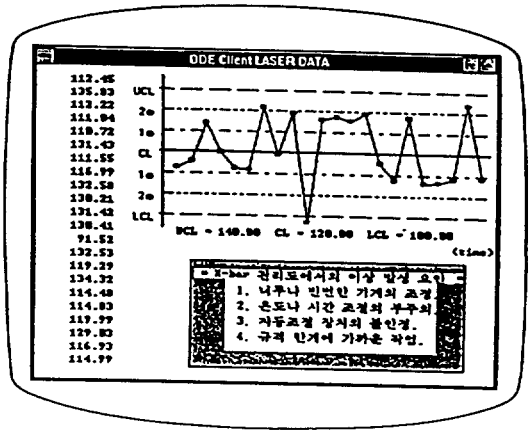
(iv) 한글 코드 체계: 조합형 한글

(v) 그래픽 어댑터 카드: Hercules 또는 VGA

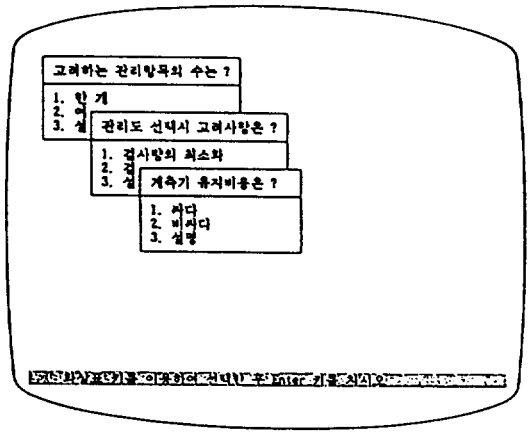
(vi) 디스켓 드라이브: 5.25 인치 또는 3.5 인치



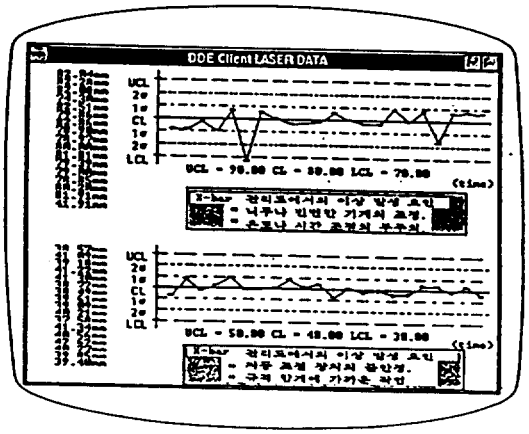
[그림 3] 메뉴.



[그림 5] 그래픽 기능 (1).

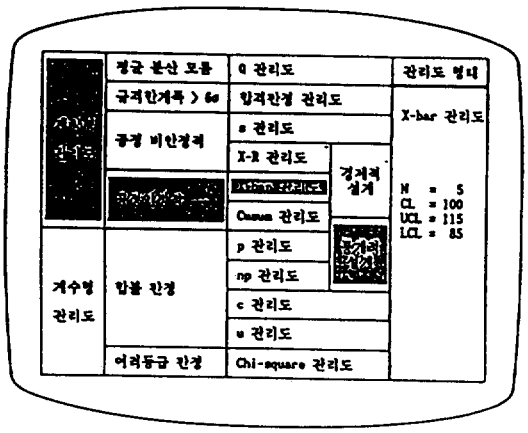


[그림 4] 설명 및 대화 기능.

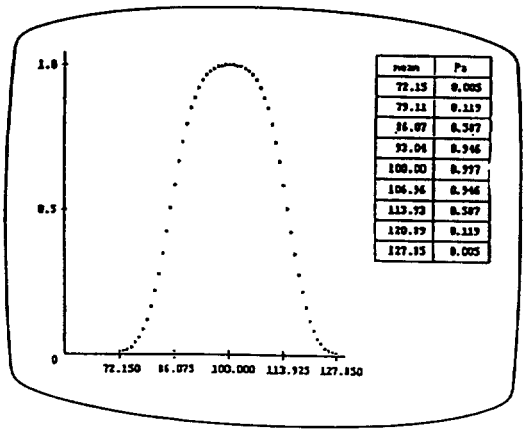


[그림 6] 그래픽 기능 (2).

(vii) 하드 디스크 드라이브: 30M 이상(단, 데이타 베이스 양에 따라 그 이상이 필요할 수도 있음)



[그림 7] 종합 화면.



[그림 8] 수행도.

4. 결 론

다양한 관리도가 개발되어 있어 목적, 환경에 맞게 사용하면 공정관리에 커다란 도움을 받을 수 있다. 그러나 전문가의 부적으로 인하여 적합한 관리도가 선택되지 못하거나 잘못 적용되고 있는 실정이다.

본 논문에서는 비전문가일지라도 손쉽게 관리도를 운용할 수 있는 전문가 시스템을 개발하였다. 본 연구에서 개발한 시스템은 과거에 관례적으로 사용된 통계적 설계뿐만 아니라 경제적 설계의 모델을 제공하여 비용의 절감을 꾀할 수 있도록 하였으며, 시스템이 관리도를 직접 도시하므로 일일이 손으로 그리는 수고를 덜게 하였고, 공정특성치의 평균, 분산, 불량률 등을 추정하는 기능을 추가하여 공정의 현 상태를 보다 쉽게 파악할 수 있도록 하였다.

일반적으로 공정의 관리는 이상이 발생했을 때 신속히 조치를 취하여야 손실을 최소화할 수 있다. 따라서 본 시스템을 검사부분과 컴퓨터 통신을 이용하여 직접 접촉시켜 사용하면 효율을 증대시킬 수 있다. 또한 이 시스템은 CIM의 한 부분으로 끼어들 수 있다.

참 고 문 헌

[1] Charles, P.Q., "SPC Q Charts for Start-up Process and Short or Long Runs," *Journal of Quality Technology*, 23(1991), 213-224.

[2] Chiu, W.K., "Economic Design of np Charts for Process Subject to a Multiplicity of Assignable Causes," *Management Science*, 23(1976), 404-411.

[3] Chiu, W.K., "Economic Design of Attribute

Control Charts," *Technometrics*, 17(1975), 81-87.

[4] Chiu, W.K. and Wetherill, G.B., "A Simplified Scheme for the Economic Design of X bar Charts," *Journal of Quality Technology*, 6(1974), 63-69.

[5] Collani, E., "A Simple Procedure to Determine the Economic Design of an X bar Control Chart," *Journal of Quality Technology*, 18(1986), 145-151.

[6] Dagli, C.H. and Stacey, R., "A Prototype Expert Systems for Selecting Control Charts," *International Journal of Production Research*, 26(1988), 987-996.

[7] Duncan, A.J., "The Economic Design of p-Charts to Maintain Current Control of a Process: Some Numerical Results," *Technometrics*, 20(1978), 235-243.

[8] Duncan, A.J., "The Economic Design of X-Charts used to Maintain Current Control of a Process," *Journal of American Statistical Association*, 51(1956), 228-242.

[9] Gibra, I.N., "Economically Optimal Determination of the Parameter of np-Control Charts," *Journal of Quality Technology*, 10(1978), 12-19.

[10] Gibra, I.N., "Economically Optimal Determination of the Parameter of X bar-Control Chart," *Management Science*, 17(1971), 635-646.

[11] Goel, A.L. and Wu. S.M., "Economically Optimum Design of Cusum Charts," *Management Science*, 19(1973), 1271-1282.

[12] Hoffman, F.C. and Valentin, E.P., "Opus: An Integrated Assistance System for Oil Production," *Expert System*, 4(1987), 242-250.

[13] John, F.A. and Mahesh, C., "Quality Assurance and Expert System-A Framework and Conceptual Model," *Expert System with Applications*, 1(1990), 147-153.

[14] Jones, L.L. and Case, K.E., "Economic Design of a Joint X bar-and R-Control Chart," *AIIE Transactions*, 13(1981), 182-195.

[15] Lloyd, S.N., "A Chi-Square Control Chart for Several Propotion," *Journal of Quality Technology*, 19(1987), 229-231.

[16] Montgomery, D.C., "The Economic Design of Control Charts: A Review and Literature Survey," *Journal of Quality Technology*, 12(1980), 75-87.

[17] Paul, C.C., "A Process Capability Study Using Control Charts," *Journal of Quality Technology*, 3(1971), 107-111.

[18] Rahim, M.A., "Determination of Optimal Design Parameters of Joint X bar and R Charts," *Journal of Quality Technology*, 21(1989), 65-70.

[19] Roberts, S.W., "A Comparison of Some Control Chart Procedure," *Technometrics*, 8(1966), 411-430.

[20] Roland, J.B., "Turning Computers into Experts," *Quality Progress*, February 1990, 71-75.

[21] Saniga, E.M., "Joint Economically Optimal Design of X bar and R Control Charts," *Management Science*, 24(1977), 420-431.

[22] Saniga, E.M., "Joint Economically Design of X bar and R Control Charts," *AIIE*

Transactions, 11(1979), 254-260.

[23] Sullivan, L.P., "Policy Management through Quality Function Deployment," *Quality Progress*, June 1988, 18-21.

[24] Taylor, H.M., "The Economic Design of Cumulative Sum Control Charts," *Technometrics*, 10(1968), 479-488.

[25] Waterman, D.A., *A Guide to Expert Systems*, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts, 1986.

[26] Woodall, W.H., "The Design of Cusum Quality control Charts," *Journal of Quality Technology*, 18(1986), 99-102.

[27] 김성인, 이춘섭, 양재열, 왕한철, "합리적인 검사 운영을 위한 전문가 시스템," 대한산업공학회지, 17(1991), 17-27.

저 자 소 개

김성인(金成寅)

1946년생. 고려대학교 산업공학과에 재직중이며, 학회의 부회장을 역임하였다. 관심 분야는 응용 통계, 통계적 품질관리이며, 최근 전문가 시스팀과 통계적 기법을 접목시키고 있다. 1970년 서울대학교 경제학과 졸업(학사), 1973년 서울대학교 응용수학과 졸업(학사), 1979년 한국과학원 산업공학과 졸업(석사, 박사).

신용석(申龍錫)

1967년생. 금성사 안양 연구소에 재직중이다. 관심분야는 통계적 공정관리이다. 1990년 고려대학교 산업공학과 졸업(학사), 1992년 동 대학원 졸업(석사).