

# 품질경영학회지 50주년 특별호: 통계적품질관리 분야 연구 리뷰

권혁무\* · 홍성훈\*\*† · 이민구\*\*\* · 임성욱\*\*\*\*

\* 부경대학교 시스템경영공학  
\*\* 전북대학교 산업정보시스템공학과  
\*\*\* 충남대학교 정보통계학과  
\*\*\*\* 대진대학교 산업경영공학과

## Literature Review on the Statistical Quality Control in Journal of the KSQM for 50 Years

Kwon, Hyuck Moo\* · Hong, Sung Hoon\*\*† · Lee, Min Koo\*\*\* · Lim, Sung Uk\*\*\*\*

\* Division of Systems Management and Engineering, Pukyong National University

\*\* Department of Industrial and Information Systems Engineering, Chonbuk National University

\*\*\* Department of Information and Statistics, Chungnam National University

\*\*\*\* Department of Industrial and Management Engineering, Daejin University

### ABSTRACT

**Purpose:** This paper reviews the papers on statistical quality control issues which are published in Journal of the Korean Society for Quality Management (KSQM) since 1965. The literature review is purposed to survey a variety of statistical quality control issues.

**Methods:** By grouping all of statistical quality control issues into 3 categories: quality inspections, control charts, and process capability analysis.

**Results:** Grouping all of papers on statistical quality control published in journal of the KSQM for 50 years into 3 categories, we provide a chronological roadmap for individual categories, and summarize the contents and contributions of surveyed papers.

**Conclusion:** The review paper is expected to provide future direction to improve statistical quality control theories and applications in manufacturing and service industries.

**Key Words:** Control Charts, Process Capability Analysis, Quality Inspections, Statistical Quality Control

● Received 30 January 2016, 1st revised 8 March 2016, accepted 9 March 2016

† Corresponding Author(shhong@jbnu.ac.kr)

© 2016, The Korean Society for Quality Management

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-Commercial use, distribution, and re-production in any medium, provided the original work is properly cited.

# 1. 서론

품질경영학회에서는 학회지 창간 50주년을 기념하여 창간호 이래 지금까지 게재된 논문들을 분야별로 나누어 총 7편의 리뷰 논문을 기획하였다. 이들 7편의 논문은 각각 품질경영, 품질혁신, 서비스품질, 통계적품질관리, 통계적 기법, 신뢰성, 그리고 실험계획법 분야에 관련된다. 그 중에서도 본 논문에서는 통계적품질관리 (statistical quality control; SQC) 분야의 논문들에 대해 살펴본다. SQC란 통계적 이론을 적용한 품질기법을 총칭하는데 넓은 의미에서는 본 논문에서 다루는 주제들 뿐만 아니라 다른 통계적 기법들과 신뢰성, 실험계획법 등도 포함한다. 그러나 여기서는 좁은 의미의 SQC의 핵심 주제인 품질검사, 관리도, 그리고 공정능력분석관련 논문들에 초점을 맞추어 연구 결과들을 소개한다. 여기서 취급되지 않은 다른 통계적 기법들에 대해서는 통계적 기법, 신뢰성, 실험계획법 등의 리뷰 논문을 참고하면 될 것이다.

샘플링 검사와 관리도는 1920년대에 미국에서 개발된 이후 세계적인 품질 저널들에서 많은 연구 결과물들이 발표되었다. 품질경영학회지에서도 초창기부터 이 분야에 대한 많은 논문들이 발표되어 왔으며, 현재까지 그 수가 약 100여 편에 이르고 있다. 본 논문에서 품질검사는 샘플링 검사와 전수검사로 구분하였고, 관리도는  $3\sigma$  계량형 관리도,  $3\sigma$  계수형 관리도, 그리고 특수 관리도 (EWMA, CUSUM 등의 특수목적 관리도를 묶어 특수 관리도라 칭함)로 구분하였으며, 공정능력분석은 단순히 공정능력을 평가하는 분야와 공정능력 응용 분야로 구분하였다. 즉, SQC 분야의 연구결과를 총 7개의 소분류로 나누어 지난 50년간의 연구 내용과 각 범주 별 로드맵을 소개한다. 이를 통해 SQC 분야의 연구 결과들의 시대적 흐름을 재조명하고, 추후 이 분야 연구방향을 설정하는데 도움을 주고자 한다.

## 2. 통계적 품질관리 분야별 리뷰

### 2.1 품질검사

품질검사에 대해서는 1920년대 이후 전 세계적으로 많은 연구가 진행되어 왔다. 초기에는 샘플링 검사가 연구의 대부분을 차지하고 있었으나, 1980년 대 이후에는 무결점을 지향하는 완벽 품질보증을 위해 전수검사나 대용특성을 활용한 스크리닝 검사가 많이 연구되어 왔다. 품질경영학회지에 게재된 논문들도 이러한 추세를 그대로 반영하고 있다. 1970년대부터 2000년대 초까지는 샘플링검사에 대한 많은 연구가 있었지만, 그 이후에는 논문이 적고 전수검사가 주로 연구되어 왔음을 알 수 있다.

#### 2.1.1 샘플링검사

신용백(1977a)은 계수 규준형 샘플링 검사방식의 설계와 그 특성에 대한 연구를 하였고, 신용백(1977b)은 불량률이 매우 낮은 공정에서 샘플 수를 줄이기 위한 축차샘플링 검사에 대해 연구하였다. 황의철(1979)은 KS A 3103 계량규준형 샘플링검사방식의 이론을 소개하는 논문을 발표하였다. 김광섭과 이경학(1979)은 계수형 샘플링 검사에서 품질검사 관련 총비용을 최소화하는 경제적 수입검사 절차에 대해 연구하였다. 김성인 (1980)은 다양한 샘플링 절

차 하에서 좋은 통계적 특성을 갖는 공정불량률 p를 추정하는 방법론에 대한 연구를 하였고, 황의철과 정영배(1980)는 파괴검사를 요하는 공정에서 품질검사 관련 총비용을 최소화하는 계수형 1회 샘플링검사를 연구하였다. 박병기(1982)는 섬유제품의 품질검사를 위한 기술 논문을 발표하였다. 장경과 신현재(1983)는 연속생산형 샘플링검사방식 CSP-1에서 품질검사 관련 비용을 경제적 관점에서 분석하였다. 류문찬(1987)은 파괴검사를 필요로 하는 제품에 대해 LTPD 보증 계수선별형 샘플링 검사방식을 제안하였다. 주용준 등(1992)은 연속생산공정에서 CSP-1을 적용할 때 생산공정의 형태가 AOQ에 미치는 영향을 분석하였다. 유정상과 황의철(1993)은 마코프 종속 생산 공정에서 샘플링 검사방식을 경제적 관점에서 설계하는 문제를 연구하였고, 이경종과 이상용(1993)은 2단계 생산 공정에서 품질검사 관련 비용을 최소화하는 샘플링검사방식을 구하였다. 신완선과 김대중(1994)은 제품 품질의 종속성을 고려한 베이지안 샘플링 검사방식의 경제적 설계에 대해 연구를 하였고, 신민웅과 신기일(1995)은 로트의 불량률 보증 계량형 샘플링검사방식에서 베이스 통계량 또는 경험적 베이스 통계량을 사용하는 방법에 대한 연구를 하였다. 이재현 등 (1996)은 불량계수를 관리하는 축차샘플링검사서 검사특성함수와 평균샘플수를 추정하고, 샘플링검사를 설계하였고, 강보철과 조재립(1996)은 선별형 2회 샘플링검사방식의 설계를 위한 알고리즘을 개발하였다. 홍성훈과 이승환(1996)은 ISO 3951 계량조정형 샘플링검사절차를 소개하고 엄격도 조정규칙에 따른 검사의 수행도를 종합 OC곡선과 ASN 곡선 관점에서 평가하였으며, 홍성훈 등(1999)은 ISO/DIS 2859-1, 계수조정형 샘플링검사 절차에 대하여 동일한 연구를 수행하였다. 김원경(1997)은 품질특성이 상호 종속되어 있는 생산공정에서 축차샘플링검사방식을 설계하였고, 최병철과 천영민(2001)은 2단계 스킴-로트 샘플링 검사방식을 설계하였다. 안남수 등(2012)은 군수품 품질보증을 위한 맞춤형 샘플링 검사를 소개하였으며, 전투 물자 및 탄약의 품질검사 적용사례를 소개하였다.

전통적 품질검사 외에 신뢰성 샘플링 검사에 대해서도 일부 논문이 게재되었는데, 전영록(1995)은 제 2종 관측중단의 경우 지수수명분포에 대한 가속수명시험 샘플링검사방식을, 강보철과 조재립(2002)은 소비자 보호를 위한 선별형 샘플링검사와 신뢰성 샘플링검사를, 그리고 권영일(2002)은 불량률이 변하는 공정에서 수명시험 샘플링검사방식을 설계하였다. Figure 1은 그 동안 품질경영학회지에 게재된 샘플링검사에 관한 연구결과들을 연도 별로 정리한 것이다.

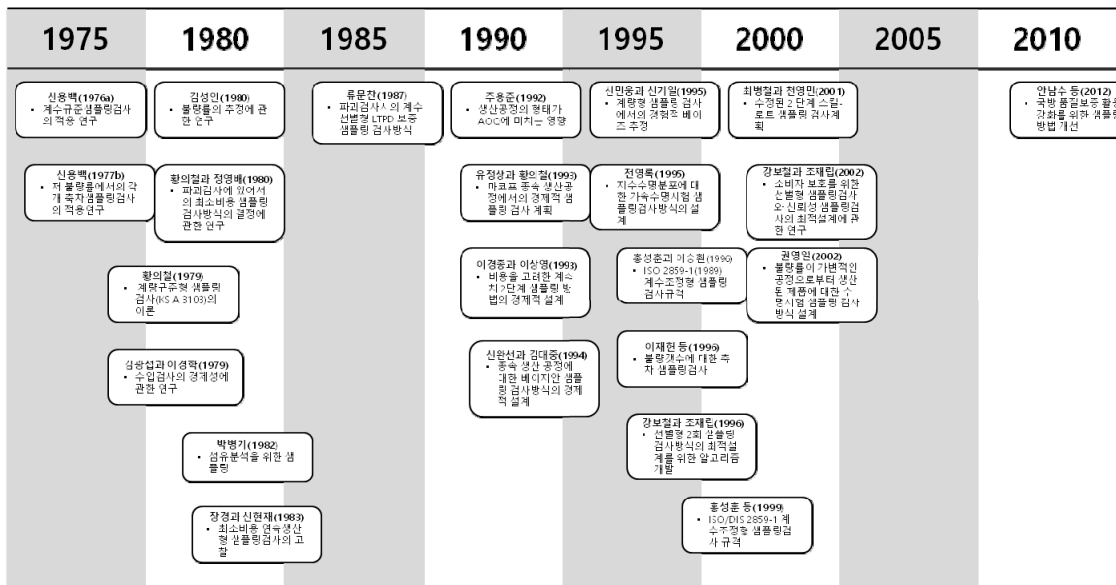


Figure 1. Sampling Plans

### 2.1.2 전수검사

1980년대 이후 다양한 자동화된 품질검사 기기들이 개발되고, 무결점 등 품질제일주의가 대두됨에 따라 품질검사에서도 전수검사 기법이 적극적으로 연구되어 왔다. 전수검사는 주품질특성을 활용한 전수검사와 대응특성을 활용한 스크리닝 검사로 구분할 수 있다. 먼저, 주품질특성을 검사하는 연구를 살펴보면 정원과 정영구(1995)는 전자부품의 품질향상을 위한 자동검사시스템을 개발하였고, 이성기와 윤덕균(1996)은 다단계 생산공정에서 품질검사 지점을 경제적 관점에서 할당하는 문제를 다루었다. 박영현과 이창호(1997)는 다 공정 제조시스템에서 전수검사 방식에 대해 연구하였고, 신완선과 조원양(1997)은 컴퓨터 시뮬레이션에 근거한 대화형 품질검사 의사결정 지원시스템을 개발하였다. 송명식(2004)은 공정 중 불량 감소를 위한 영상자동검사 시스템의 구축 사례를 발표하였고, 권혁무와 김영진(2005)은 검사요류가 있을 때 주품질특성을 활용한 다단계 전수검사 방식을 설계하였다. 최익준과 홍성훈(2008a)는 전수검사에서 제한된 생산용량의 효과를 분석하였다.

김상부(1994)는 공정에 대한 사전정보가 있을 때 대응특성을 활용한 스크리닝 검사에 대해 연구하였다. 권혁무 등(1998)은 통계적 가설검정 측면에서 스크리닝 검사의 특성을 분석하였고, 이종설과 윤원영(2001)은 전자부품 검사에서 대응특성을 활용한 스크리닝 검사의 사례연구를 하였다. 홍성훈 등(2007)은 주품질특성과 대응특성이 이변량정규분포를 따를 때 선별형 스크리닝 검사를 설계하였고, 최익준과 홍성훈(2008b)은 스크리닝 검사에서 제한된 생산용량의 효과를 분석하였다. 홍성훈과 정민영(2009)은 양품의 불합격확률을  $\alpha$ , 불량품의 합격확률을  $\beta$ 이하로 유지하기 위한 규준형 스크리닝 검사를 제안하였다. Figure 2는 그 동안 품질경영학회지에 게재된 전수검사에 관한 연구결과들을 연도 별로 정리한 것이다.

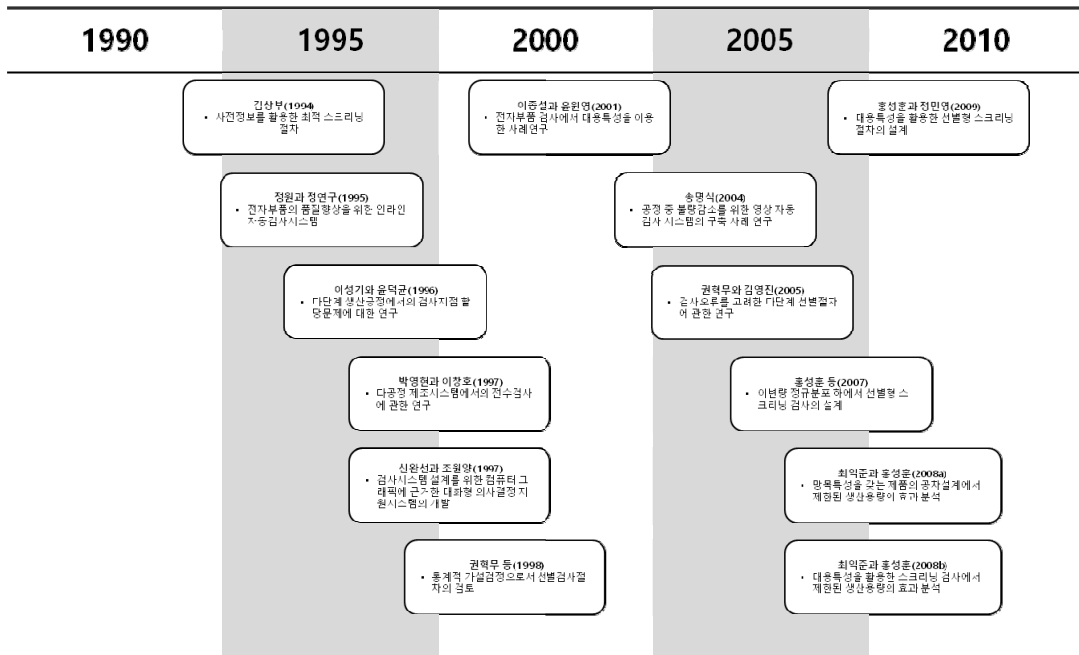


Figure 2. Complete Inspection Plans

## 2.2 관리도

관리도는 1920년대 Shewhart가 제품의 품질변동을 관리하기 위하여 통계적 품질관리의 개념을 제창하면서 사용되기 시작하였다. 초기에는  $3\sigma$  관리한계선을 갖는 계량형 및 계수형 관리도가 연구의 대부분을 차지하고 있었으나, 1980년대 이후에는  $3\sigma$  관리도의 단점을 보완하기 위한 특수 관리도와 품질특성치의 분포가 비대칭인 경우에 대한 연구가 많이 진행되어 왔다. 품질경영학회지에 게재된 논문들도 이러한 추세를 그대로 반영하고 있다. 1990년대까지는  $3\sigma$  관리한계선을 갖는 계량형 및 계수형 관리도에 대한 연구가 주를 이루었고 1990년 이후에는 특수 관리도에 대한 연구의 비중이 높아졌다.

### 2.2.1 계량형 관리도

김현철(1969)은 중위수를 이용한 중위수 관리도와 중위수 범위 관리도를 제안하고 실제 사례를 제시하였다. 김광섭(1979)은 타회사에 제품을 납품하는 협력회사의 성격을 갖는 공장이나 규격을 벗어나는 제품을 적극적으로 방지해야 하는 공정에 적용할 수 있는 제품규격중심 관리도를 제안하였다. 한병돈과 황의철(1984)은  $\bar{X}$  관리도에서 비용을 최소로 하는 표본의 크기와 관리한계선을 결정하는 관리도의 경제적 설계문제를 다루었다. 강효신(1984)은 제조업체들의 현실에 맞게 경고한계선을 관리도에 도입하였으며, 경고한계선을 도입한 관리도가 Shewhart가 제시한 관리도 보다 더 우수한 경우에 대한 상황을 제시하였다. 신용백과 황의철(1986 a)은 품질특성치가 정규분포가 아닌 비대칭분포를 따를 때 공정평균과 산포를 관리할 수 있는  $\bar{X}$ -R 관리도를 제안하였다. 원형규(1997)는 부자연스런 패턴에 둔감한 추정량을 제안하고 이를 기반으로  $\bar{X}$ -S 관리도를 제안하였다. 심성보와 강창욱(2000)은 품질변동의 원인이 한 개가 아니라 두 개인 경우에 적용할 수 있는 VSS (variable sampling size)  $\bar{X}$  관리도의 통계적 설계문제를 연구하였다. 남호수와 강중철(2001)은 Gini의 평균차이에 기초한 산포추정법을 이용하여 관리한계선을 설정하는  $\bar{X}$  관리도를 제안하고, 몬테칼로 모의실험을 실시하여 검정력함수 또는 검사 특성곡선의 측면에서 제안된 관리도가 기존의  $\bar{X}$  관리도에 비하여 우수함을 입증하였다. 박성균과 김영균 (2002)은 계량형 관리도에 사용되는 여러 계수 값들의 관계를 파악하고 공정능력지수 및 시그마수준계산 등의 상호 관련성을 연구하였다. 임태진과 김용덕(2003)은 관리도의 통계적설계와 경제적설계를 결합한 합성관리도의 경제적 모형을 개발하고 합성  $\bar{X}$  관리도가 전통적인  $\bar{X}$  관리도에 비해 보다 경제적인임을 보였다. 이호중과 임태진(2004)은 두 개의 이상원인이 존재하는 공정에도 VSSI (variable sampling size interval) 관리도가 기존의 관리도에 비해 효율적인임을 입증하였다. 송서일과 박현규(2005)는 기존에 제시되었던 합성관리도 보다 공정 평균의 변화에 보다 빨리 반응하는 VSI  $\bar{X}$  CRL (conforming run length) 관리도를 제안하고 이 관리도가 공정의 작은 변화와 큰 변화를 감지하는데 있어서 우수하다는 것을 보였다. 송서일 등(2007)은 학습효과에 의한 비용 감소에 초점을 둔 공정 개선을 위한 비용 모델을 VSI  $\bar{X}$  관리도의 경제적 설계에 적용하기 위한 절차를 제안 하고 수행도 평가를 통하여 제안한 모델의 유용성을 입증하였다. 임태진(2008)은 적응형 (adaptive) 관리도를 제안하고 VSI (variable sampling interval) 관리도, VSS 관리도 및 VSSI 관리도와 비교하고 분석하여 제안한 관리도의 통계적 특성 및 경제적 특성에 대한 기준을 제시하고, 기대 주기시간과 기대 주기비용을 계산하는 방법을 비교하여 통합적인 모형을 제시하였다. 김영복 등(2008)은 기존의 Shewhart 관리도의 민감도를 향상시키기 위해 기존의 제안된 방법을 수정하여 새로운 관리방법을 제안하고, 수정된 관리방법들이 가지는 통계적 성능을 Shewhart 관리도와 비교하고 분석하여 연구의 타당성을 검증하였다. 정민수와

임태진(2009)은 Lorenzen와 Vance의 경제적 설계 모형에 기초하여 두 개의 이상원인이 존재하는 2단계 공정에 대한 VSSI 원인선별 관리도의 경제적이고 통계적인 설계 절차를 제안하였으며, 수치예제 분석을 통하여 VSSI 원인선별 관리도가 FSSI (fixed sampling size interval) 관리도에 비해 통계적이고 경제적인 측면에서 우수함을 검증하였다. 이태훈 등(2009)은 품질특성치 (성능변수) 대신에 대응변수를 활용하여 공정을 모니터링 할 때 경제적 관점 하에서 관리도를 설계하는 새로운 방법을 제안하였으며, 수치예제를 통해 기존 모형과의 비교 및 민감도 분석을 통해 제안한 관리도의 우수성을 검증하였다. 강분규와 임태진(2010)은 Shewhart  $\bar{X}$  관리도의 민감도를 향상시키기 위한 방법으로 런 규칙과 VSI 개념을 적용한 VSI RR (Run Rule) 관리도를 제안하고, 민감도 분석을 통해 사용 가이드라인을 제시하였다. 박진영과 서순근(2012a)은  $\bar{X}$  관리도에 대한 기존연구를 조사하고 관리도 설계의 기준이 되는 관리상태 하의 ARL을 재정립하고 새로운 런 규칙 제안하였으며, 마코브 체인 (Markov chain)을 모형화하여 ARL과 관리한계를 구하는 절차를 제시하였다. 정동욱과 이주호(2012)는 와이블 고장모형을 따르는 Banerjee와 Rahim 모형에 경고한계선이 추가된 관리도의 설계문제를 다루었으며 비용모수에 따른 민감도 분석을 통하여 제안한 관리도의 효용성을 분석하였다. 박진영과 서순근(2012b)은 기존의 런 규칙을 사용하여 이상상태를 판정하는 경우에 발생하는 비합리적인 문제를 해결하기 위하여 새로운 3 중 2 런 규칙 및 보조 런 규칙을 제안하고, 3 중 2 런 규칙을 대상으로 다양한 수치실험을 통해 제안한 방법의 유용성을 확인하였다. Figure 3은 그 동안 품질경영학회지에 게재된 3 $\sigma$  계량형 관리도에 관한 연구결과들을 연도 별로 정리한 것이다.

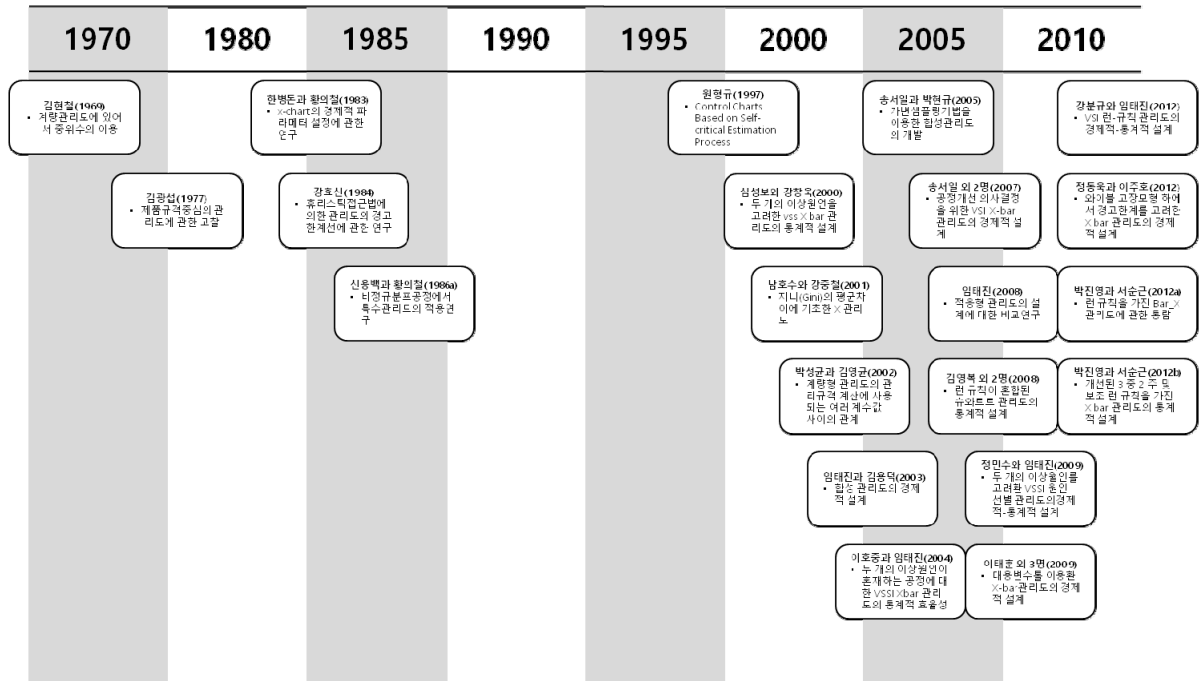


Figure 3. 3 $\sigma$  Variable Control Charts

### 2.2.2 계수형 관리도

황의철(1968)은 P 관리도에서 표준편차와 관리한계선의 관계를 수학적이고 통계적으로 분석하여 현상실무자나 초보자가 P 관리도를 이해하기 쉽게 하였다. 장경과 양문희(1997)는 P관리도가 모비율 P의 변화를 얼마나 잘 탐지

하는지를 연구하고, 모비율 P의 변화를 탐지하기 위해서는 표본의 크기를 얼마로 해야 하는지를 계산하였다. 조남호와 신숙현(1997)은 샘플링 방법과 관리도 기법의 문제점을 지적하고 자동생산 및 자동검사 공정에 활용할 수 있는 100PPM 및 PPM단위의 불량률을 관리하기 위한 관리도를 제안하였다. 조규형 등(1997)은 불량품 수를 모니터링하기 위한 VSI CUSUM (cumulative sum) 관리도를 제안하고, 부분군의 채취빈도가 일정한 경우와 일정하지 않은 경우에 대하여 ATS (average time to signal)를 비교하였다. 김계완 등(2004)은 퍼지 집합 이론의 기본 개념을 소개하고 P 관리도가 적합하지 않은 상황에서 퍼지 데이터를 사용한 P 관리도의 설계문제를 연구하였다. 계수형 관리도에 대한 연구는 계량형 관리도에 비해 상대적으로 적은 연구가 이루어졌다.

### 2.2.3 특수 관리도

신용백과 황의철(1986 b)은 품질특성치가 와이블 분포를 따를 때 순서통계량 중에서 중심성향을 잘 나타내는 표본의 중위수를 이용하여 공정을 모니터링 할 수 있는 중위수 관리도를 제안하였다. 신용백과 황의철(1987)은 품질특성치가 정규분포가 아닌 와이블 분포를 따를 때 표본의 중위수를 이용하여 공정을 모니터링 할 수 있는 확률한계선을 이용한 중위수 관리도를 제안하였다. 이정진(1995)은 분포의 치우침 정도를 측정하는 데 사용하는 왜도를 이용한 관리도를 제안하였다. 윤상원 등(1996)은 동적 품질 시스템 구축을 위하여 칼만계인 재환평균 (recursive average)을 이용한 적응형 EWMA(exponentially weighted moving average)관리도를 제안하였다. 한정혜와 조중제(1998)는 두 공정 특성변수 사이의 상관계수를 관리하기 위하여 표본상관계수 값을 활용한 EWMA 관리도를 제안하였다. 이정현 등(1998)은 공정 변동을 관리하기 위하여 한 선형통계량을 제안하고 이 선형통계량과 모분산의 차이의 제곱에 대한 CUSUM 관리도를 설계하고, 몬테카를로 모의실험을 통하여 제안한 관리도의 우수성을 확인하였다. 김윤배와 박대수(2000)는 상호 독립적이고 동일한 분포를 따르는 관측치들에 대한 고전적 붓스트랩 방법과 자기상관이 존재하는 관측치들을 위한 개량된 분계점 붓스트랩 방법의 구조와 통제적인 특성을 파악하고 자동상관을 갖는 공정에 적용할 수 있는 분계점 붓스트랩  $\bar{X}$  관리도를 제안하였다. 성용현과 박동련(2001)은 다변량자료에서 이상값이 공분산행렬에 많은 영향을 미치는 경우에 공분산행렬의 추정에 영향을 최소화 시킬 수 있는 로버스트 방법을 제안하고 이를 활용한 다변량 T2 관리도를 제안하였다. 송서일과 정혜진(2002)는 VSI EWMA관리도의 경제적 모형 세우고 비용함수를 최소화 하는 관리도 설계모수의 선정 문제를 다루었다. 나상민 등(2003)은 중요도가 다른 결점들을 동시에 관리하기 위한 방법인 Demerit 관리도를 수정한 Demerit CUSUM 관리도를 제안하고, 이상신호 발생 시 해석방법을 소개하고 관리도의 수행도를 평가하였다. 강해운 등 (2004)은 기존의 CUSUM 관리도의 문제점을 보완할 수 있는 새로운 CUSUM 관리도를 제시하고 미니탭을 활용한 예시 문제를 다루었다. 이운동과 김상익(2005)은 열량분포에 대한 측차확률비 검정과 관련된 이론을 검토하고 이를 이용하여 공정의 분산 관리를 위해 표본 분산 S2을 이용한 CUSUM 관리도의 사용방법을 연구하였다. 이운동과 안병진(2005)은 CUSUM 관리도의 성능 평가를 위하여 기존의 정의된 ARL (Average Run Length)을 분석하고 이 기준들이 갖는 문제점과 그 대안에 대하여 논의하였다. 장영순(2006)은 다양한 왜도와 첨도를 갖는 일변량 및 다변량 대수정규분포와 t분포 하에서 CUSUM 관리도의 성능을 ARL 관점에서 분석하였다. 또한 CUSUM 관리도의 참고값과 품질특성치의 상관관계에 따른 관리도의 성능변화를 분석하였다. 임태진(2007) 새로운 선택적 이동평균 (S-MA) 관리도를 제안하고 ARL 식을 유도하여 그 통계적 특성을 규명하였으며, 현실적인 측면에서 S-MA 관리도의 운용방안을 제시하고 민감도 분석을 실시하였다. 이재준과 이종섭 (2008)은 ARMA(1,1) 과정을 중심으로 자기상관 공정에서 평균변화의 발생을 탐지할 수 있는 CUSUM 관리도의 설계방법과 그 효용성을 분석하고 대안을 제시하였다. 이정훈 등(2010)은 CV (coefficient of variation) 관리도에 CUSUM 기법이 적용된 CV-CUSUM 관리도와 공정 초기에 큰 폭의 공정 변화가 발생한 경

우에 적용 가능한 FIR (fast initial response) 기법이 적용된 FIR CV-CUSUM 관리도를 제안하고, 공정의 상황에 맞게 두 관리도를 적절하게 사용하는 방법을 제안하였다. 박승환 등(2010)은 주기신호를 대상으로 하는 이상탐지 방법인 SVR-R (support vector machine regression) 관리도를 제안하고 비선형 형태의 주기신호를 모델링하여 SVR-R 관리도를 구축하였다. 김용준 등(2012)은 오염된 공정을 관리하기 위한 강건한 관리도를 제안하기 위해 기존의 관리도에 비해 강건하게 대응할 수 있는 절사율의 개념을 도입한 관리도를 제안하였다. 김정훈과 김성범(2012)은 데이터의 지역적 특성만을 반영한 T2 관리도를 제안하고 모의실험을 통해 제안한 방법의 우수성을 입증하였다. Figure 4는 그 동안 품질경영학회지에 게재된 특수 관리도에 관한 연구결과들을 연도 별로 정리한 것이다.

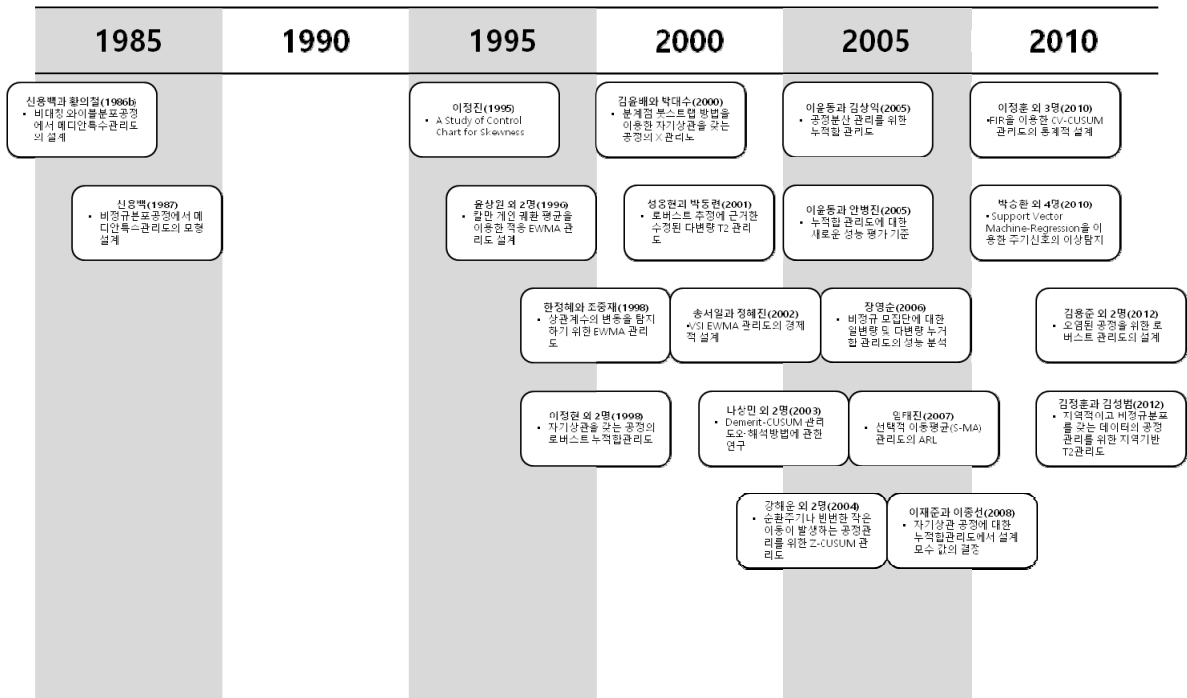


Figure 4. Special Control Charts

### 2.3 공정능력

공정능력은 포괄적인 의미로 사용될 경우 제조공정 혹은 서비스프로세스가 고객이 중시하는 품질특성을 요구된 사양에 맞추어 가공 내지 제공할 수 있는 능력을 의미한다. 1974년 공정능력을 판단하기 위해 Juran이 제안한 초기의 지표 Cp는 제조공정에 허용된 공차에 비해 공정의 가공품질변동이 얼마나 큰가를 나타낸 것이다. 그러나 가공된 품질특성의 평균치가 얼마나 목표치에 근사한가 하는 정도 역시 고객의 요구사항과 직접적인 관련이 있으므로 공정능력을 평가할 때 가공품질의 변동으로 나타난 산포뿐만 아니라 평균도 함께 고려할 필요가 있다. 이와 같은 필요에 따라 공정능력을 올바르게 평가하기 위한 후속 지표로서 Cpk, Cpm, Cpmk 등의 여러 지표들이 개발되었다. 이어서 비대칭 허용공차일 경우, 여러 부분군으로 구성된 표본이 얻어졌을 경우, 공구의 마모문제가 개입될 경우, 측정오차가 있을 경우, 여러 품질특성이 있을 경우 등 다양한 상황에서 어떤 방법으로 공정능력을 평가할 것인가 하는 문제들에 대해 확장된 연구들도 뒤따랐다. 또한 공정능력분석을 샘플링검사에 적용하거나 공급자 선정문제에 적용하는 등



응용범위를 확대하는 연구들도 많이 나오고 있다. 한편, 단순한 평가를 넘어서 공정능력을 향상시키기 위해 최적 평균을 설정하거나 공차를 설계하는 연구들도 있다.

1970년대 이후 공정능력에 관련된 연구들은 과거연구에 대한 검토논문만도 10편을 넘고 2000년대 이후의 논문들만 하더라도 500편을 훨씬 상회하므로 모두 살펴보려면 많은 노력과 함께 상당한 지면을 할애해야 할 것이다. 그러나 이 절에서는 공정능력에 관련된 모든 연구들을 망라하여 정리하는 것을 지양하고 품질경영학회지에 게재된 논문들만을 대상으로 지금까지 연구되었던 주제들을 정리한다. 공정능력에 관련된 전체 연구들을 검토한다면 방대한 양을 고려할 때 공정능력 평가지표의 개발에 관련된 분야를 포함하여 수율 관점에서 분석한 연구 분야, 손실관점에서 분석한 연구 분야, 표본 채취과정을 고려한 연구 분야, 측정오류를 고려한 연구 분야, 마모 등 공정의 불가피한 계통적 변화를 고려한 연구 분야, 다 품질특성을 고려한 연구 분야, 여러 하위공정으로 구성된 공정에 관련된 연구 분야, 공정능력 향상을 위한 최적화에 관련된 연구 분야, 샘플링검사 혹은 공급자 선정 등 타 분야에의 응용연구 등 여러 분야로 분류하여 정리하는 것이 전반적인 연구동향 파악에 도움이 될 것이다. 그러나 창간호 이래 품질경영학회지에 게재된 공정능력 관련 논문들은 불과 15편에 지나지 않으므로 크게 공정능력 평가에 관련된 연구들과 최적 공정조건 설정 등 타 분야 응용에 관련된 연구들로 2대별하여 살펴보기로 한다.

### 2.3.1 공정능력 평가

품질경영학회지에 공정능력 평가와 관련하여 처음 게재된 논문은 김평구와 조중재(1995)의 ‘공정능력지수에 대한 붓스트랩과 모의실험연구’로서 데이터 수집에 붓스트랩 방법을 적용할 경우 선행 연구자들에 의해 기 연구된 공정능력지수의 신뢰구간의 통계적 성질을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 송서일과 조영찬(1999)은 ppm단위의 높은 품질보증 수준이 요구될 경우 검사설비의 정밀도를 고려하여 필요한 검사설비 수를 정하고 공정능력지수의 값을 구하였다. 임태진과 변시섭(2000)은 불량률과 일관성을 유지할 수 있는 공정능력지수  $C_{pd}$ 를 제안하고 기존의 공정능력지수와 비교하였다. 민성진 등(2002)은 생산 공정의 평균과 분산 및 검사공정의 분산으로 분리되어 관리자에게 보다 많은 정보를 제공할 수 있는 비공정능력지수를 도입하여 공정능력을 평가하는 방법을 제시하였다. 정영배와 문혜진(2002)는 품질특성의 목표치로부터 이탈로 인한 손실이 역정규함수 형태를 가질 때 기대손실을 이용한 공정능력의 평가지표를 제안하였다. 박병선 등(2002)은 품질특성이 둘 이상일 경우 백터 공정능력지수들에 대한 근사적인 신뢰영역 설정에 대해 연구하였다. 임태진과 송현석(2003)은 선행연구에서 제안된 역정규손실함수에 기초한 공정능력지수와 선행적분포를 이용한 공정능력지수를 여러 가지 붓스트랩 방법으로 추정하고 정확성을 비교하였다. 조중재 등(2004)는 공정에서 구현되는 품질특성이 정규분포라는 가정 하에 붓스트랩 방법에 의한  $C_{pmk}$ 의 점근적 신뢰구간을 구하였다. 조중재와 임수덕(2006)은 붓스트랩 방법을 이용할 경우 공정분포가 정규분포가 아닌 여러 가지 상황 하에서도 공정능력지수에 대한 가설검정을 효율적으로 할 수 있음을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 확인하였다. Figure 5는 그 동안 품질경영학회지에 게재된 공정능력 평가에 관한 연구결과들을 연도 별로 정리한 것이다.

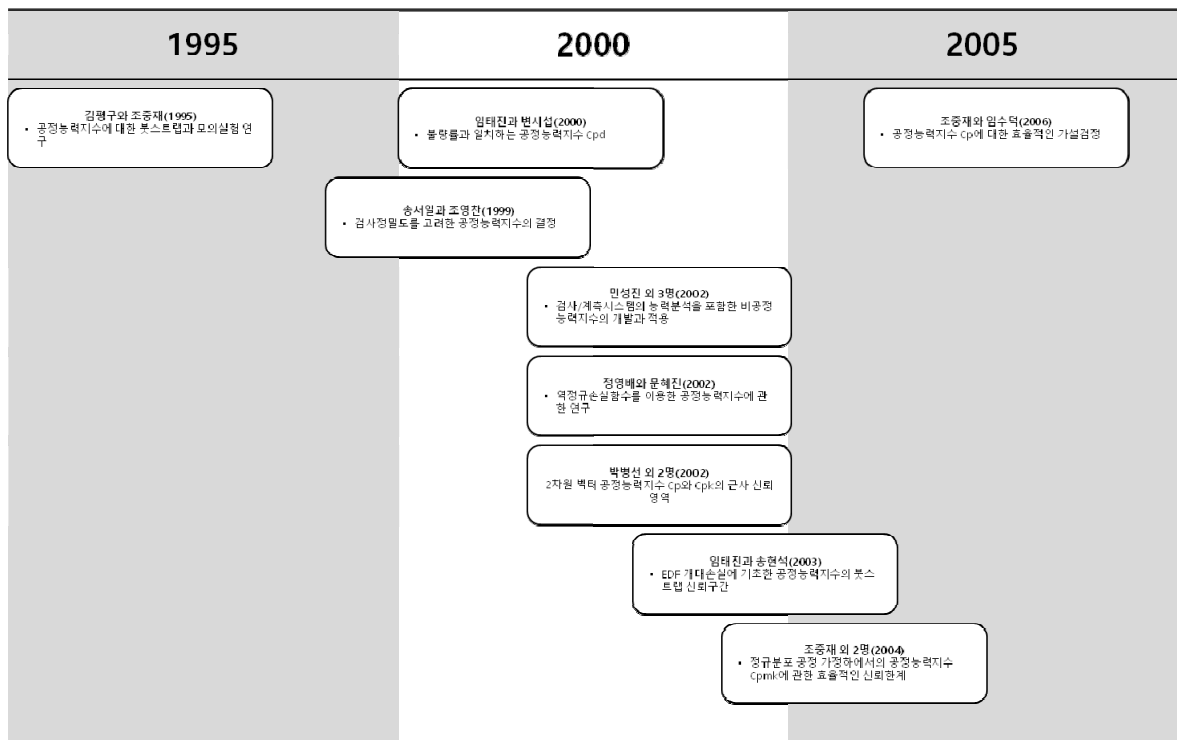


Figure 5. Studies on Process Capability

### 2.3.2 공정능력 응용

공정능력과 관련된 응용 연구로서 품질경영학회지에서 가장 많이 취급된 주제는 공정능력을 고려하여 설정된 경제적 모형을 토대로 최적공정 조건을 설계하는 문제에 관련된 것이다. 이 주제에 대한 연구로서 처음 게재된 논문은 홍성훈과 임훈(1995)의 ‘연속생산공정에서 규격하한과 공정평균의 경제적 설정’이다. 저자들은 본 연구에서 망대특성인 품질특성이 정규분포를 따르고 전수검사를 한다는 가정 하에서 공정능력 향상에 따른 생산원가 증가, 공정능력 저하에 따른 불안전 품질비용 및 불합격 판정비용과 검사비용을 고려한 비용모형을 토대로 규격하한과 공정평균을 설정하는 방법을 제안하였다. 서순근과 이성재(2001)는 자동검사 환경 하에서 투입 재료비, 재가공비, 불량품 출고로 인한 손실 등과 함께 검사장비의 검사오류를 고려한 총기대비용을 최소화하도록 공정목표치를 설정하는 방법에 대해 연구하였다. 이민구(2005)는 단일 품질특성만 있을 경우의 연구를 확장하여 두 가지 주성분으로 구성된 혼합물을 생산하는 공정에서 경제적 모형을 설정하고 각 성분 평균의 최적 목표치를 구하는 문제를 다루었다. 이재훈 등(2010)은 시간 경과에 따라 마모 등의 원인으로 공정평균이 선형적으로 변화하고 그 변화율이 정규분포를 따른다는 가정 하에 손실모형을 설정하여 공정의 최적 가공 목표 값을 구하는 문제에 대해 연구하였다.

그밖에 공정능력과 관련된 응용 연구로서 조문수와 임태진(2002)은 공정평균의 이탈에 따른 품질수준 평가와 함께 정규성 가정이 충족되지 않는 경우 여러 가지 분포에 대해 품질 수준을 평가하고 공정표준편차에 대한 추정오차와 계측기 오차 및 신뢰한계를 고려한 품질보증수준의 변화를 분석하였다. 이종선 등(2007)은 1차 회귀과정에 적합한 자기상관이 존재하는 공정 데이터에 대해 자기상관 해소를 위한 최적 부분군 크기를 제시하고 공정능력지수를 산출하는 방법을 소개하였다. 장대홍(2010)은 품질특성이 정규분포를 따르지 않을 때 붓스트랩을 이용하여 구해진 수백개의 비공정능력지수의 추정치를 토대로 다공정 수행분석차트를 작성하는 방법을 제시하였다. Figure 6은 그

동안 품질경영학회지에 게재된 공정능력 응용에 관한 연구결과들을 연도 별로 정리한 것이다.

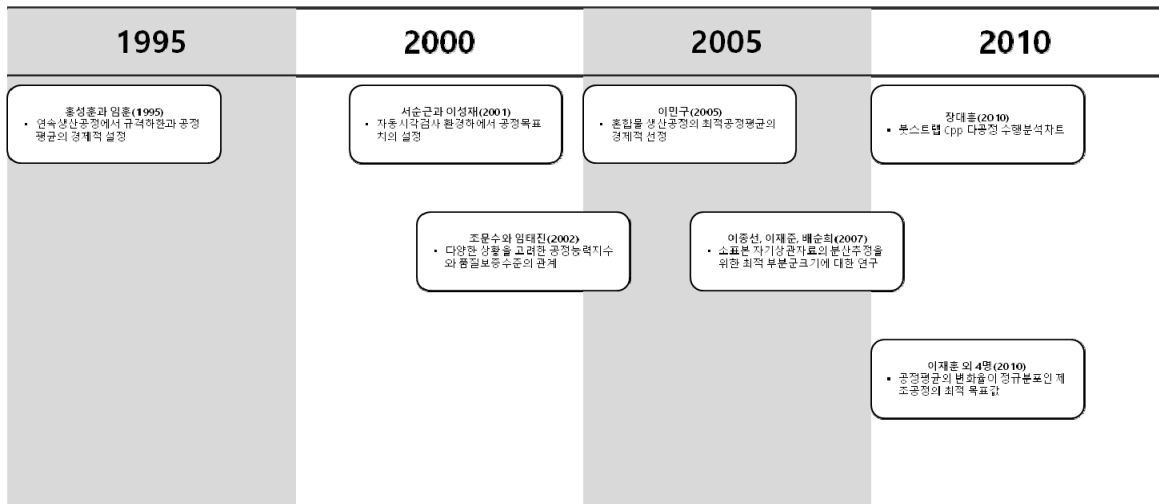


Figure 6. Application Studies on the Process Capability

### 3. 결 론

본 논문에서는 지난 50년 간 품질경영학회지에 게재된 SQC 분야의 논문들을 품질검사, 관리도, 그리고 공정능력 분석 분야로 나누어 소개하였다. 특히 품질검사는 샘플링 검사와 전수검사로, 관리도는 계량형 관리도, 계수형 관리도 및 특수 관리도로, 그리고 공정능력분석은 공정능력 평가와 응용으로 구분해 총 7개 분야에 대한 연구 흐름 및 분야별 로드맵을 제시하였다. SQC 교재들을 살펴보면 샘플링 검사와 관리도에 대한 내용의 비중이 매우 큼을 알 수 있는데, 품질경영학회지에서도 전체 논문의 약 80% 정도가 샘플링 검사와 관리도에 대한 연구였다.

SQC 분야의 연구 흐름을 크게 요약하면 1980년 때 이전까지는 샘플링 검사 규격이나 통계 이론을 소개하는 연구들이, 그 이후에는 통계적 모형을 설정하고 최적화하거나 새로운 통계적 기법을 개발하는 연구들이 진행되고 있으며, 특히 최근에는 개발된 통계 이론들을 현장에 적용하는 응용 논문들도 다수 발표되고 있다. 품질검사에서는 샘플링 검사 중심에서 무결점 품질보증을 위한 전수검사로 연구의 무게 중심이 바뀌고 있었다. 관리도 분야에서는 Shewhart 타입의 3σ 관리도 중심에서 EWMA나 CUSUM 관리도 등 고급 통계 기법을 필요로 하는 연구들이 많이 진행되고 있다. 공정능력분석에서도 단순히 공정능력을 평가하는 차원을 넘어서, 공정최적화를 추구하는 방향으로 연구가 진행되어 왔다.

50년간 발표된 방대한 문헌을 정리하다 보니 일부 논문은 누락될 수 있으며, 또한 어떠한 논문은 저자의 의도와는 다른 범주에 소개될 수 있어 독자의 양해를 구하고자 한다. 하지만 본 50주년 특별 리뷰를 통해 품질경영학회지의 한축을 담당할 SQC 분야에 대한 시대별 흐름을 재조명하고, 이를 통해 SQC 발전방향을 모색할 수 있는 기회를 제공할 수 있다면 그 자체로도 의미가 있을 것이다.

## REFERENCES

- Ahn, N. S., Jeong, J. S., Jeong, W. K., Hwang, W. Y., and Park, S. W. 2012. "Sampling Procedures Enhancement Government Defense Quality Assurance Procedures : Case Studies in Combat Force Support Material & Ammunition Areas." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 40(3):245–258.
- Chang, K., and Shin, H. J. 1983. "An Approach to Select the Lowest Cost CSP-1 Sampling Plan(i, f)." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 11(1):18–23.
- Chang, K., and Yang, M. H. 1997. "Detection of Changes of the Population Fraction Nonconforming in the p Control Chart." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 25(3):74–85.
- Chang, Y. S. 2006. "Effects of Non-normality on the Performance of Univariate and Multivariate CUSUM Control Charts." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 34(4):102–141.
- Cho, G. Y., Ahn, Y. S., and Kim, Y. J. 1997. "Variable Sampling Interval Control Charts for Number of Defectives." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 25(3):62–73.
- Cho, J. J., and Lim, S. D. 2006. "Better Statistical Test for Process Capability Index Cp." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 34(3):66–72.
- Cho, J. J., Park, B. S., and Park, H. I. 2004. "Better Confidence Limits for Process Capability Index Cpmk under the assumption of Normal Process." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 32(4):229–241.
- Cho, M. S., and Lim, T. J. 2002. "The Relation between the Process Capability Index and the Quality Assurance Level Considering Various Conditions." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 30(2):130–151.
- Cho, N. H., and Shin, S. H. 1997. "Real Time Process Control System under 100 PPM Management System." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 25(1):116–134.
- Choi, I. J., and Hong, S. H. 2008a. "Effects of Limited Capacity on Tolerance Design for Products with N-Type Quality Characteristics." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 36(2):20–27.
- Choi, I. J., and Hong, S. H. 2008a. "Effects of Limited Capacity on Screening Procedures Using a Surrogate Variable." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 36(4):77–86.
- Choi, B. C., and Chun, Y. M. 2001. "Modified Two-Level Skip-Lot Sampling Plans." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 29(1):113–127.
- Chung, Y. B., and Mun, H. J. 2002. "A Study on Process Capability Index using Reflected Normal Loss Function." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 30(3):66–78.
- Chun, Y. R. 1995. "Design of Accelerated Life Test Sampling Plans for Exponential Distribution under Type II Censoring." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 23(4):13–27.
- Han, B. D., and Hwang, E. C. 1983. "A study on determination of the economic parameter in  $\bar{X}$  control chart." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 11(1):44–50.
- Han, J. H., and Cho, J. J. 1998. "EWMA Control Chart for Monitoring a Process Correlation coefficient." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 26(1):108–125.
- Hong, S. H., Choi, I. J., Lee, Y. D., Lee, M. K., and Kwon, H. M. 2007. "Design of Rectifying Inspections under a Bivariate Normal Distribution." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 35(4):147–158.
- Hong, S. H., and Jung, M. Y. 2009. "Design of Screening Procedures Using a Surrogate Variable with Specified Producer's and Consumer's Risks." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 37(4):23–30.
- Hong, S. H., and Lee, S. W. 1996. "ISO 2859-1 (1989), Sampling Plans Indexed by Acceptable Quality Level for Lot-by Lot Inspection." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 24(3):77–93.
- Hong, S. H., Lee, S. Y., and Choe, S. I. 1999. "ISO/DIS 2859-1(1997), Sampling Plans Indexed by AQL for Lot-by-Lot Inspection." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 27(1):135–150.
- Hong, S. H., Lim, H. 1995. "Economic selection of the lower limit and the process mean for a continuous production process." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 23(3):20–32.

- Hwang, E. C. 1968. "Standard Deviation and Control Limit in Attribute Control Charts." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 2(5):5-7.
- Hwang, E. C. 1979. "A Theory of the Variable Sampling Plans with Specified Producer's and Consumer's Risk Points(KS A 3103)." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 7(1):35-40.
- Hwang, E. C., and Chung, Y. B. 1980. "A Study on the Determination of a Minimum Cost Sampling Inspection Plan for Destructive Testing." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 8(2):15-22.
- Im, T. J., and Pyun, S. S. 2000. "A process capability index  $C_{pd}$  consistent with the proportion of nonconforming items." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 28(2):103-122.
- Jang, D. H. 2010. "Bootstrap Cpp Multiple Process Performance Analysis Chart." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 38(2):171-179.
- Jeong, D. W. and Lee, J. H. 2012. "Economic Design of  $\bar{X}$  Control Charts with Warning Limits under Weibull Failure Model." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 40(2):186-198.
- Ju, Y. J., Kang, K. S., and Kim, C. E. 1992. "The Effect on AOQ in CSP-1 by a Type of Production Process." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 20(2):55-66.
- Jung, M. S., and Lim, T. J. 2009. "Economic-Statistical Design of VSSI Cause-Selecting Charts Considering Two Assignable Causes." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 37(1):29-39.
- Jung, W., and Chung, Y. K. 1995. "In-Line Automated inspection System for Quality Improvement of Electronic Parts." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 23(3):33-44.
- Kang, B. C., and Cho, J. R. 1996. "An Algorithm for Determining Double Rectifying Inspection Plans." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 24(4):207-223.
- Kang, B. C., and Cho, J. R. 2002. "A Study on the Rectifying Inspection Plan & Life Test Sampling Plan Considering Cost." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 30(1):74-96.
- Kang, B. K., and Lim, T. J. 2010. "Economic-Statistical Design of VSI Run Rules Charts." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 38(2):190-201.
- Kang, H. S. 1984. "A study on the warning limit of statistical control chart by the heuristic approach." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 12(2):15-24.
- Kang, H. W., Kang, C. W., and Paik, J. W. 2004. "The Z-CUSUM Control Chart for the Process with Recurring Cycles or Frequent Small Shifts" *Journal of the Korean Society for Quality Management* 32(2):132-153.
- Kim, H. C. 1969. "Variable Control Charts Using Median." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 3(3):2-7.
- Kim, J. H., and Kim, S. B. 2012. "Local T2 Control Charts for Process Control in Local Structure and Abnormal Distribution Data." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 40(3):337-346.
- Kim, K. S., and Lee, K. H. 1979. "Study on Economic Efficiency of Incoming Inspections - Focused on Sampling Plans by Attributes." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 7(1):26-34.
- Kim, K. S. 1979. "A Study on the Specification-Oriented Control Chart." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 7(2):3-6.
- Kim, K. W., Seo, H. S., and Yun, D. K. 2004. "A Design of Control Chart for Fraction Nonconforming Using Fuzzy Data" *Journal of the Korean Society for Quality Management* 32(2):191-200.
- Kim, P. K., and Cho, J. J. 1995. "Bootstrapping some process capability indices." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 23(4):157-166.
- Kim, S. B. 1994. "Optimum Screening Procedures Using Prior Information." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 22(1):142-151.
- Kim, S. I. 1980. "On the Estimation of Fraction Defective." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 8(2):3-14.
- Kim, Y. B., and Park, D. S. 2000. "X control charts of autocorrelated process using threshold bootstrap method." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 28(2):39-56.
- Kim, Y. B., Hong, J. S., and Lie, C. H. 2008. "Statistical design of Shewhart control chart with runs rules." *Journal*

- of the Korean Society for Quality Control 36(3):34–44.
- Kim, Y. J., Kim, D. H., and Chung, Y. B. 2012. “The Design of Robust Control Chart for A Contaminated Process.” *Journal of the Korean Society for Quality Control* 40(3):327–336.
- Kwon, H. M., and Kim, Y. J. 2005. “A Study on the Multistage Screening Procedure when Inspection Errors are Present.” *Journal of the Korean Society for Quality Control* 33(4):88–95.
- Kwon, H. M., Lee, M. K., Kim, S. B., and Hong, S. H. 1998. “Review of Screening Procedure as Statistical Hypothesis Testing.” *Journal of the Korean Society for Quality Control* 26(2):39–50.
- Kwon, Y. I. 2002. “An Acceptance Sampling Plan for Products from Production Process with Variable Fraction Defective.” *Journal of the Korean Society for Quality Management* 30(2):152–159.
- Lee, H. J., and Lim, T. J. 2004. “Statistical Efficiency of VSSI  $\bar{X}$  Control Charts for the Process with Two Assignable Causes” *Journal of the Korean Society for Quality Management* 32(4):156–168.
- Lee, J. H., Cho, S. S., and Kim, J. J. 1999. “CUSUM of Squares Chart for the Detection of Variance change in the Process.” *Journal of the Korean Society for Quality Management* 26(1):126–142.
- Lee, J. H., Jeon, T. Y., and Cho, S. S. 1998. “Robust CUSUM chart for Autocorrelated Process.” *Journal of the Korean Society for Quality Management* 27(4):123–142.
- Lee, J. H., Kang, H. W., Hong, E. P., and Kang, C. W. 2010. “Statistical Design of CV-CUSUM Control Chart Using Fast Initial Response” *Journal of the Korean Society for Quality Management* 38(3):313–321.
- Lee, J. H., Park, C. S., and Park, J. T. 1996. “Sequential Sampling Inspection Plans for Defectives.” *Journal of the Korean Society for Quality Management* 24(4):1–13.
- Lee, J. H., Park, T., Kwon, H. M., Hong, S. H., and Lee, M. K. 2010. “Optimum target values for manufacturing processes when drifting rate in the Process mean is normally distributed.” *Journal of the Korean Society for Quality Management* 38(4):540–548.
- Lee, J. J. 1995. “A Study of Control Chart for Skewness.” *Journal of the Korean Society for Quality Management* 23(4):1–12.
- Lee, J. J., and Lee, J. S. 2008. “A note on CUSUM design for autocorrelated processes.” *Journal of the Korean Society for Quality Management* 36(4):87–92.
- Lee, J. S., Lee, J. J., and Bae, S. H. 2007. “A Study on Optimal Subgroup Size in Estimating Variance of Small Autocorrelated Samples.” *Journal of the Korean Society for Quality Management* 35(2):106–112.
- Lee, J. S., and Yun, W. Y. 2001. “A case Study on Electronic Part Inspection based on Surrogate variable.” *Journal of the Korean Society for Quality Management* 29(3):124–137.
- Lee, K. J., and Lee, S. Y. 1993. “The Economic Design of Two-Stage Sampling Plan for Attributes.” *Journal of the Korean Society for Quality Control* 12(1):35–43.
- Lee, M. K. 2005. “Economic Selection of Optimum Process Mean for a Mixture Production Process.” *Journal of the Korean Society for Quality Control* 33(4):111–116.
- Lee, S. G., and Yun, D. K. 1996. “The Allocation of Inspection Stations in Multi-Stage production Systems with 0–1 Integer programming.” *Journal of the Korean Society for Quality Management* 24(1):20–31.
- Lee, T. H., Lee, J. H., Lee, M. K., and Lee, J. H. 2009. “Economic Design of  $\bar{X}$  Control Chart Using a Surrogate Variable.” *Journal of the Korean Society for Quality Management* 37(2):46–57.
- Lee, Y. D., and Ahn, B. J. 2005. “A New Performance Criterion for CUSUM Control Chart.” *Journal of the Korean Society for Quality Management* 33(4):96–102.
- Lee, Y. D., and Kim, S. I. 2005. “CUSUM Control Chart for Monitoring Process Variance.” *Journal of the Korean Society for Quality Management* 33(3):149–155.
- Lim, T. J. 2004. “An Adaptive Synthetic Control Chart for Detecting Shifts in the Process Mean.” *Journal of the Korean Society for Quality Management* 32(4):169–183.
- Lim, T. J. 2007. “The ARL of a Selectively Moving Average Control Chart.” *Journal of the Korean Society for Quality Management* 35(1):24–34.
- Lim, T. J. 2008. “A Comparative Study on the Design of Adaptive Control Charts.” *Journal of the Korean Society*

- for Quality Management 36(1):7-19.
- Lim, T. J., and Kim, Y. D. 2003. "Economic Design of Synthetic Control Charts." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 31(2):117-130.
- Lim, T. J., and Song, S. K. 2003. "Bootstrap Confidence Intervals of the Process Capability Index Based on the EDF Expected Loss." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 31(4):164-175.
- Min, S. J., Kim, K.W., Ryu, J. H., and Yun, D. K. 2008. "Development and Application of Process Incapability Index including Capability Analysis of Inspection or Gage System." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 30(1):118-131.
- Na, S. M., Kang, C. W., and Sim, S. B. 2003. "A Study of Demerit-CUSUM Control Chart and Interpretation Method." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 31(1):132-141.
- Nam, H. S., and Kang, J. C. 2001. "An  $\bar{X}$  Control Chart Based on the Gini's Mean Difference." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 29(3):79-85.
- Park, B. K. 1982 "Sampling Plans for Analyzing Fiber." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 10(2):34-38.
- Park, B. S., Lee, C. H., and Cho, J. J. 2002 "On the Confidence Region of Vector-valued Process Capability Indices  $C_p$  &  $C_{pk}$ ." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 30(4):44-57.
- Park, J. Y., and Seo, S. K. 2012. " $\bar{X}$  Control Chart with Runs Rules: A Review." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 40(2):176-185.
- Park, J. Y., and Seo, S. K. 2012. "Statistical Design of  $\bar{X}$  Control Chart with Improved 2-of-3 Main and Supplementary Runs Rules." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 40(4):467-479.
- Park, S. G., and Kim, Y. G. 2002. "Relationships among various factors used in calculating control limits of control chart for variable data." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 30(4):86-93.
- Park, S. H., Kim, J. S., Park, J. C., Kim, S. S., and Baek, J. G. 2010. "A Fault Detection of Cyclic Signals Using Support Vector Machine-Regression." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 38(3):354-362.
- Park, Y. H., and Lee, C. H. 1997. "Design of Screening Inspection in a Multi-Stage manufacturing Systems." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 25(1):1-16.
- Riew, M. C. 1987. "A Rectifying Inspection Plan Giving LTPD Protection for Destructive Testing." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 15(1):68-75.
- Seo, S. K., and Lee, S. S. 2001. "Determination of target value under automatic vision inspection systems." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 29(3):66-78.
- Shin, K. W., and Shin, K. I. 1995. "Empirical Bayes Estimation on Sampling Inspection by Variables." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 23(3):45-56.
- Shin, W. S., and Kim, D. J. 1994. "Economic Design of Bayesian Acceptance Sampling Plans for Dependent Production Process." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 22(1):96-112.
- Shin, W. S., and Cho, W. Y. 1997. "development of an Interactive Graphic-Aided Decision Support System for Designing Inspection Plan." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 25(4):168-184.
- Shin, Y. B. 1977a. "A Study on Attributes Sampling Plans with Specified Producer's and Consumer's Risk Points." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 5(1):11-15.
- Shin, Y. B. 1977b. "A Study on the Item-by-Item Sequential Sampling Inspection of Low fraction Defective." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 5(2):21-28.
- Shin, Y. B., and Hwang, E. C. 1986. "A study on the special purpose control chart for non-normal distribution." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 14(1):11-18.
- Shin, Y. B., and Hwang, E. C. 1986. "Design of median control chart for unsymmetrical weibull distribution." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 14(2):2-8.
- Shin, Y. B. 1987. "Design of median control chart for nonnormally distributed process." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 15(2):10-19.
- Sim, S. B., and Kang, C. W. 2000. "The Statistical Design of VSS X Chart Considering Two Assignable Causes."

- Journal of the Korean Society for Quality Management 28(3):44–52.
- Song, M. S. 2004. “A case Study on Installation and Optimization of Machine–Vision System for Reducing Inferior Products.” *Journal of the Korean Society for Quality Control* 32(1):63–74.
- Song, S. I., and Cho, Y. C. 1999. “Determination of process capability index considering inspection precision.” *Journal of the Korean Society for Quality Control* 27(4):114–122.
- Song, S. I., Kim, J. H., and Jung, H. J. 2007. “Economic Design of VSI  $\bar{X}$  Control Chart for Decision to Improve Process.” *Journal of the Korean Society for Quality Control* 35(2):37–44.
- Song, S. I., and Jeong, H. J. 2002. “An Economic Design of the EWMA Control Charts with Variable Sampling Interval.” *Journal of the Korean Society for Quality Control* 30(4):1–14.
- Song, S. I., and Park, H. K. 2005. “Development of VSI Synthetic Control Chart.” *Journal of the Korean Society for Quality Control* 33(1):1–10.
- Sung, W. H., and Park, D. R. 2001. “Modified Multivariate  $r$ -Chart based on Robust Estimation.” *Journal of the Korean Society for Quality Control* 29(1):1–10.
- Won, H. G. 1997. “Control Charts Based on Self-critical Estimation Process.” *Journal of the Korean Society for Quality Control* 25(1):10–15.
- Yoo, C. S., and Hwang, E. C. “Economic Sampling Inspection Plan for Markov Dependent Production Processes.” *Journal of the Korean Society for Quality Control* 12(1):65–77.
- Yoon, S. W., Yoon, S. H., and Shin, Y. B. 1996. “A Study on the Design of Adaptive EWMA Control Chart using Kalman Gain Recursive Average.” *Journal of the Korean Society for Quality Control* 24(1):73–86.