

비정규분포하에서의 공정분석기술에 관한 조사연구

A Research on the Process Analysis Technique under Non-Normal Distribution

김 중 길* · 엄 상 준** · 김 영 섭***

Jong-Gurl Kim* · Sang-Joon Um** · Young-Sub Kim***

Abstract

품질향상을 위한 효과적인 공정관리체계는 기업의 생존에 있어서 매우 중요하다. 최근에는 제품의 수명과 관련된 신뢰성이 강조되면서, 신뢰성분포로 불리는 비정규분포하에서의 공정관리가 핵심과제로 여겨지고 있다. 특히 품질특성치가 비정규분포를 따를 때, 정규가설에 기초한 공정관리기술을 사용한다면 심각한 오류가 초래될 수 있기 때문에, 비정규분포에서의 관리도와 신뢰성샘플링계획에 대한 중요성이 강조되고 있다.

본 연구의 목적은 비정규분포에서의 관리도와 신뢰성샘플링계획에 대한 최근연구를 조사하고, 보다 합리적이고 신뢰도 높은 공정분석에 대한 연구동향을 소개함으로써, 비정규분포하에서의 공정관리에 대한 발전적인 연구방향을 제시하는 것이다.

Keywords : non-normality, control chart, reliability sampling plan

1. 서 론

최근 급속한 산업기술의 발전으로 신기술, 신소재 등에 대한 성능평가가 미흡해지는 한편, 신뢰성평가기간의 단축이 요구되는 실정이다. 이에 따라 제조업에서는 공정관리를 통한 신뢰성확보가 기업의 생존을 위한 핵심과제로 고려되고 있다.

그러나 현재 모집단의 분포가 정규성을 따른다는 가정 하에서 개발, 사용되고 있는 공정관리기술체제로는 제품의 수명과 관련된 비정규분포를 다룰 수 없다.

* 성균관대학교 시스템경영공학과

** 하이닉스 반도체 / 성균관대학교 일반대학원 산업공학과

*** 성균관대학교 일반대학원 산업공학과

즉, 품질특성치가 비정규분포를 따를 때, 정규분포를 기본가정으로 하고 있는 통계적 기법을 적용하면 2종 오류와 같은 잘못된 판단으로 인하여 공정품질과 출하품질의 차이가 발생할 수 있기 때문이다. 따라서 신뢰성분포로 불리는 비정규분포에 대한 공정분석방법연구가 다양한 분야에서 진행되고 있다.[1]

본 연구에서는 공정관리기술 분야 중, 비정규분포에서의 관리도와 신뢰성샘플링계획에 대한 최근연구들을 조사 분석하여, 비정규분포에서의 보다 합리적이고 신뢰도 높은 공정분석에 대한 연구동향을 소개함으로써, 향후 심도 있게 추가 연구 되어야 할 기술 분야와 연구방향을 제시하고자 한다.

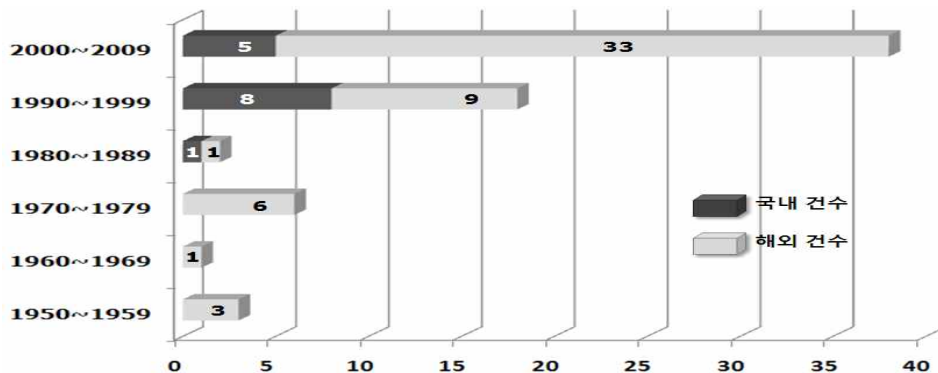
2. 비정규공정관리에 대한 유관연구조사 방법 및 현황

2.1 유관연구논문의 조사

비정규분포하에서의 공정관리에 대한 기술동향조사를 위해, NDSL을 포함해 총 12 곳(Science Direct, IEEE Xplore, Emerald, Springer Link, World Scientific, DBPIA, Informaworld, ACM Digital Library, Wiley Inter Science, EBSCO, ASQ, AIP & APS)의 논문검색 웹-사이트(Web-Site)에서 해외 유관논문을 수집하였고, NDSL, RISS, KISS, 국회도서관 등을 통해 국내유관논문을 수집하였다.

해외유관논문의 조사는 해외저널과 학술대회에 발표된 연구논문에 한정하였으며, 이중 동일저자의 유사내용과 1950년 이전의 데이터는 배제하였다. 국내유관논문의 조사 경우, 국내주요학술지논문과 학위논문에 한정하였으며, 각 대학이나 대학원에서 출간하는 학술지는 학회에서 출간하는 주요학회지에 비해서 연구의 질이나 완성도가 대체적으로 낮은 사실을 감안하여 배제하였다.

이 기준을 통해, 해외학회지(연속간행물포함) 50편, 해외학술대회 3편, 국내주요학회지 9편, 국내학위논문 5편을 합하여 총 67편의 유관논문을 수집하였으며, 본 연구에서는 몇 가지 주요내용을 소개하였다.



<그림 1> 비정규공정관리 유관논문 동향

2.2 비정규공정관리 유관논문 현황

국내외 연도별 비정규공정관리 유관논문의 발표건수를 <그림 1>에 나타내었다. 연도별 논문의 추세를 보면, 1960년대는 1편, 1980년대에는 2편으로 동 분야에 관련된 연구 활동이 미비했지만, 전체적으로 발표논문의 건수는 증가추세에 있으며, 1990년대의 17편과 2000년대의 38편의 발표건수를 통해 비정규공정관리에 대한 관심이 급속히 증가되고 있음을 알 수 있다.

전체 논문 중, 국가별 연구 활동의 활성화를 비교해보고자 국내논문 14편(국내주요학회지논문과 학위논문)을 제외한 53편의 해외논문의 출처를 국가별 논문건수로 <표 1>에 정리하였다.

저자의 소속기관을 기준으로 국가별 논문 건수를 구분하였고, 공동저자의 논문인 경우에는 제1저자의 소속기관을 기준으로 삼았다. 분류된 53편의 해외논문 중, SCI급 저널에 게재된 논문이 13편, SCIE급 저널에 게재된 논문이 29편, 국제 컨퍼런스(학술대회)에 발표된 논문이 3편, 기타 학술지에 게재된 논문이 7편이었다.

SCIE급 이상의 논문은 총 42편이고, 가장 많은 논문 건수의 출처는 대만의 19(15)편으로 조사되었으며, 이것은 1980년대부터 선진기술이전을 통해 기술 강국의 입지를 굳히며 현재 반도체 산업에서 세계적 수준을 자랑하고 있는 대만의 제조공정기술에 대한 우수성을 의미하는 것과 같다. 뒤를 이어 미국은 7(7)편, 인도가 4(4)편으로 자동차와 전자산업 그리고 IT산업에서 선진 국가들의 기술수준이 연구의 활성화와 논문의 수준정도를 통해 대변되었다고 볼 수 있다.

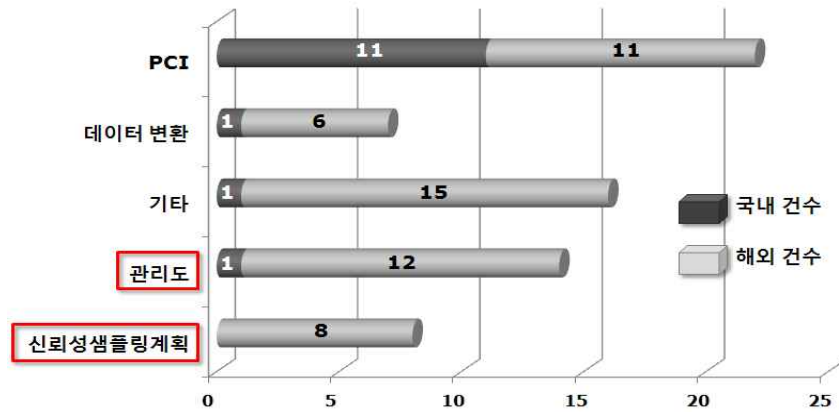
<표 1> 국가별 논문 건수 : 해외논문

국가	논문 건수 (SCIE급 이상)	국가	논문 건수 (SCIE급 이상)	국가	논문 건수 (SCIE급 이상)
대만	19 (15)	캐나다	2 (1)	이스라엘	1 (1)
미국	7 (7)	프랑스	2 (1)	이탈리아	1 (1)
인도	4 (4)	대한민국	2 (1)	일본	1 (1)
싱가포르	4 (4)	덴마크	1	스페인	1 (1)
영국	2 (2)	스웨덴	1	호주	1
이란	2 (2)	요르단	1 (1)		

3. 비정규공정관리 기술의 분류

3.1 연구영역의 구분

비정규분포하에서의 연구영역을 실제 공정의 능력을 정량적으로 평가하는 ‘공정평가’ 분야의 연구논문과 공정의 관리 상태를 모니터링하고 분석하기 위한 ‘공정분석’분야의 연구논문으로 구분하였고, <그림 2>와 같이 조사된 유관논문의 연구영역을 도식화하였다.



<그림 2> 비정규공정관리 유관연구의 영역

본 조사에서는 시간의 흐름에 따른 품질의 변동 상황을 관리한계선이 있는 그래프에 나타내는 ‘관리도’, 주로 신뢰성분포에 관련하여 제품의 수율을 결정하기 위한 효과적인 방법을 제공하는 ‘신뢰성샘플링계획’의 2가지 영역에 대해 언급하고자 한다. <표 2>는 언급한 2가지 영역의 유관논문 21편에 대한 세부내용을 나타낸다.

<표 2> 공정분석에 대한 연구영역의 세부내용

논문	저자	연도	영역	연구형태	구분
The effect of non-normality on the control limits of \bar{X} charts	Schilling and Nelson	1976	관리도	방법론	SCI
비정규 모집단에 대한 일변량 및 다변량 누적합 관리도의 성능 분석	장영순	2006		방법론	국내학회
An evolutionary economic-statistical design for VSI \bar{X} control charts under non-normality	Y.-K. Chen	2003		비교연구	SCIE
Robustness of the Variable Sample Size and Control Limit \bar{X} Chart to Non Normality	LIN and CHOU	2004		비교연구	SCIE
Economic design of \bar{X} control charts for non-normal data using variable sampling policy	Yan-Kwang Chen	2004		비교연구	SCIE
On the design of variable sample size and sampling intervals \bar{X} charts under non-normality	LIN and CHOU	2005		비교연구	SCIE
\bar{X} and R Control Charts for Skewed Populations	BAI and CHOI	1995		비교연구	SCI
Economic Statistical Design of Average Control Charts for Monitoring a Process under Non-normality	C.-Y. Chou et al.	2001		사례연구	SCIE
Non-normality effects on the economic-statistical design of \bar{X} charts with Weibull in-control time	Chen and Cheng	2005		사례연구	SCIE
Robustness of the neural network based control chart pattern recognition system to non-normality	R.-S. Guh	2002		사례연구	해외학회
Minimum-loss design of X-bar control charts for non-normal correlated data	C.-Y. Chou et al.	2002		사례연구	해외학회
Non-normal CV Control Charts	백재원 외	2006		사례연구	해외학술
Robustness to Non-normality of the Multivariate EWMA Control Chart	Zachary G. and Joe H.	2002		사례연구	SCI

<표 2> 공정분석에 대한 연구영역의 세부내용(계속)

논문	저자	연도	영역	연구형태	구분
Acceptance sampling plans based on failure-censored step-stress accelerated tests for Weibull distributions	정상옥 외	2002	신뢰성 샘플링 계획	방법론	해외학회
Accuracy of approximate progressively censored reliability sampling plans for exponential models	C.J and A.J	2007		방법론	SCIE
Progressively Censored Reliability Sampling Plans for the Weibull Distribution	Uditha B. et al.	2000		사례연구	SCI
Reliability Sampling Methodology Using Simulation and Re-Sampling	John N, Jr	2007		사례연구	SCIE
Reliability sampling plans for lognormal distribution, based on progressively-censored samples	Uditha B. and N. B	2000		방법론	SCIE
Reliability sampling plans for the Weibull distribution under Type II progressive censoring with binomial removals	S-K. T. and C.Y.	2003		방법론	SCIE
Reliability sampling plans for Weibull distribution with limited capacity of test facility	T-R T, Y-T L, S-J W	2008		방법론	SCIE
Reliability Sampling Plans Under Progressive Type-I Interval Censoring Using Cost Functions	S-R H and S-J W	2008		방법론	SCIE

4. 비정규분포하에서의 공정분석기술 연구동향

4.1 비정규분포에서의 관리도

비정규분포에서의 관리도에 관련된 연구내용은 주로 관리한계선(Control Limit)과 샘플크기(Sample Size) 설정을 포함한 \bar{x} 관리도의 설계, 비정규 CV 관리도, 슈하트 관리도(Shewhart Chart)와의 비교연구, EWMA 등이 있다. 대부분 2000년 이후의 논문이고 비교연구와 사례연구의 형태이다.

관리도 설계에 대한 연구는 VSI \bar{x} 관리도에 대한 경제적, 통계적 설계에 있어서 Burr분포에 기초한 품질비용모델을 제안한 연구[7][19], Duncan의 비용모델을 목적함수로 사용한 연구[8], 존슨분포의 가정아래 최적설계변수의 결정에 대한 연구[11], VSSI \bar{x} 관리도의 설계를 위해 Burr분포를 사용하여 2가지 형태(대칭-관리한계선 관리도와 비대칭-관리한계선 관리도)에 적용한 연구가 있다.[20]

또 관리도의 관리한계선과 샘플크기의 설정에 대한 연구는 다양한 분포와 샘플크기에 대해 정규 근사하는 방법을 소개한 연구[16], VSSI \bar{x} 관리도와 슈하트 관리도의 민감도를 평가하고 관리한계선과 샘플크기의 설정방법을 제시한 연구[21], \bar{x} 관리도의 관리한계선 설정을 위해 가중분산개념을 적용하여 비대칭도의 정도와 경향에 따라 비대칭적인 관리한계선을 제공하고 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 타 관리도와 비교한 연구가 있다.[9]

기타연구로는 신경망(Neural Network)과 관련하여 비정규성의 영향을 패턴 분석한

연구[14], \bar{x} 관리도의 최소손실 설계를 개발한 연구[6], 변동계수관리도(CV \bar{x} 관리도)를 제안한 연구[12], 다변량(Multivariate) EWMA 관리도에 비정규성이 미치는 영향에 대한 연구[22] 등이 있고, 장영순(2006)은 모집단의 분포가 비정규일 경우 누적합(CUSUM) 관리도의 성능을 평균 런(run) 길이 측면에서 분석하여 강건성을 실험했고, 품질특성치의 분포형태를 정확히 알 수 없는 공정초기에 일변량 또는 다변량 누적합 관리도를 사용하기 위해서는 참고값(reference value)을 0.5이하로 설정하여 사용하는 것이 바람직하다고 언급했다.[2]

4.2 신뢰성샘플링계획

신뢰성샘플링계획(reliability sampling plan)에 대한 연구는 와이블분포, 지수분포 등 신뢰성분포에서의 샘플링계획에 있어서 최적화된 샘플링계획수립 방법을 제안하는 내용이 주류이다.

극한 신뢰성시험이 요구되는 아이템(item), 신뢰성 엔지니어, 수명검사 계획자에게 유용한 단계 스트레스 가속수명시험에 의해 사용할 수 있는 샘플링계획을 소개한 연구[15]가 있고 제품의 수용여부를 결정하기 위해 효과적인 신뢰성샘플링계획방법을 제공하고 일-모수(one-parameter)인 경우 또는 이-모수(two-parameter)인 경우에서 비교 및 그 추가적인 장점(advantage)을 증명한 연구[5], 와이블 분포에서 점근분포이론을 기반으로 한 신뢰성샘플링계획을 소개하고 몬테카를로 시험을 통해 정확도를 측정 한 연구가 있다.[4]

John Nierwinski, Jr.(2006)는 군대의 함대평가를 위해 사용하고 있는 시뮬레이션과 반복샘플링(Simulation and Re-sampling)을 이용한 신뢰성샘플링방법론을 제시했고, 분석 방식에서는 단위(unit)과 단위(unit)간의 변동이 일정하다는 가정에서 계산된 reliability sample size를 사용했다.[13] Uditha Balasooriya and N. Nalakrishnan(2000)은 대수정규 분포에 대한 신뢰성샘플링계획을 제시했고, 일반적인 적용절차와 2개의 사례를 소개했다.[3] 그리고 점근분포이론에 기초해서 표본크기가 n , 합격판정계수가 k 인 샘플링계획을 제시하고 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 유효성을 증명한 연구가 있다.[18]

또 다른 연구내용은 단위당 비용, 단위당 소요시간의 비용, 기각(rejecting)과 채택(accepting)에 대한 비용을 포함하는 비용모델을 통해 와이블 분포에 대한 신뢰성샘플링계획을 수립하고 결정하는 알고리즘을 제시한 연구[17], 지수분포를 따를 때, 총 수명검사비용을 최소화하는 신뢰성샘플링계획의 수립을 위한 접근법을 제시한 연구 등이 있다.[10]

5. 결 론

본 조사연구에서는 비정규분포에서의 공정관리분야를 조사하고 관리도와 신뢰성샘플링계획 영역에 대한 최근 연구동향들의 주요내용을 소개하였다. 조사를 통해 품질특

성이 정규분포를 따르지 않을 때, 공정을 효과적으로 관리하기 위한 다양한 방법론과 비교 및 사례연구가 진행되고 있음을 알 수 있었다.

하지만, 대부분이 특정분포에 대한 부분적 연구로 이루어져있기 때문에 다른 분포에 적용할 경우, 잘못된 결과로 이어질 수 있다. 또한 국내연구논문의 건수가 해외에 비해 매우 미약하기 때문에 신뢰성품질특성을 지닌 다양한 비정규분포에 적용이 가능한 기술적 대안들이 제시되어야 하겠다.

현재 변환기법을 활용하여 신뢰도 높은 공정능력지수(PCI)를 도출하는 공정능력평가 영역의 연구도 활발히 이루어지고 있다. 그러나 공정관리에서는 공정 초기에서 이상 징후를 관찰해낼 수 있는 관리도설계, 모집단의 품질특성을 대표하는 표본의 신뢰도를 높일 수 있는 신뢰성샘플링설계가 보다 핵심적인 영역으로 향후 심도 있게 연구되어야 할 것이다.

6. 참 고 문 헌

- [1] 김종걸, 엄상준, 김영섭, 고재규, “비정규분포하에서의 효과적 공정관리를 위한 기술체계동향 연구”, 대한안전경영과학회 춘계학술대회, 2008
- [2] 장영순, “비정규 모집단에 대한 일변량 및 다변량 누적합 관리도의 성능 분석”, 품질경영학회지, 제34권 제4호, 2006
- [3] Balasooriya, U. ; Balakrishnan, N. "Reliability sampling plans for lognormal distribution, based on progressively-censored samples", IEEE transactions on reliability ,v.49 no.2 ,2000 ,pp.199-203
- [4] Balasooriya, Uditha ; Saw, Sutaip L. C. ; Gadag, Veeresh, "Progressively Censored Reliability Sampling Plans for the Weibull Distribution", Technometrics ,v.42 no.2 ,2000 ,pp.160-167
- [5] Carlos J. Perez-Gonzalez and Arturo J. Fernandez, "Accuracy of approximate progressively censored reliability sampling plans for exponential models", Statistical papers : Statistische Hefte ,v.50 no.1 ,2009 ,pp.161-170
- [6] Chao-Yu Chou, Chun-Lang Chang, Chung-Ho Chen, "Minimum-Loss Design of X-bar Control Charts for Non-normally Correlated Data" Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers, v.19 no.1 ,2002 ,pp.16-24
- [7] Chen, Y.-K., "An evolutionary economic-statistical design for VSI X control charts under non-normality", International journal of advanced manufacturing technology ,v.22 no.7/8 ,2003 ,pp.602-610
- [8] C.-Y. Chou, M.-H. C. Li and P.-H. Wang, "Economic Statistical Design of Average Control Charts for Monitoring a Process under Non-normality", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 17 No. 8 603~609(2001)
- [9] D. S. BAI and I. S. CHOI, " \bar{x} and R Control Charts for Skewed Populations", Journal of Quality Technology, Vol. 27 No. 2 120~131(1995)

- [10] Huang, S.-R. ; Wu, S.-J., "Reliability Sampling Plans Under Progressive Type-I Interval Censoring Using Cost Functions", IEEE transactions on reliability ,v.57 no.3 ,2008 ,pp.445-451
- [11] Huifen Chen, Yuyen Cheng, "Non-normality effects on the economic-statistical design of \bar{x} charts with Weibull in-control time", European Journal of Operational Research, Vol. 176 No. 2 986~998(2005)
- [12] Jae-Won Baek, Chang W. Kang, Jong-Min Oh, Dong-Hyun Baek, Chang-Yong Song, "Non-normal CV Control Charts", Management of Innovation and Technology 2006 IEEE International Conference, Vol. 2 778~782(2006)
- [13] Nierwinski, J. "Reliability Sampling Methodology Using Simulation and Re-Sampling", IEEE transactions on reliability ,v.56 no.1 ,2007 ,pp.125-131
- [14] Ruey-Shiang Guh, "Robustness of the neural network based control chart pattern recognition system to non-normality", International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 19 No. 1 97~112(2002)
- [15] Sang Wook Chung and Young Sung Seo, "Acceptance sampling plans based on failure-censored step-stress accelerated tests for Weibull distributions", Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 12 No. 4 373~396(2002)
- [16] Schilling, Edward G. ; Nelson, Peter R., "Effect of Non-normality on the Control Limits of X bar Charts", Journal of quality technology ,v.8 no.4 ,1976 ,pp.183-188
- [17] Tsai, T.R. ; Lu, Y.T. ; Wu, S.J., "Reliability sampling plans for Weibull distribution with limited capacity of test facility", Computers & industrial engineering ,v.55 no.3 ,2008 ,pp.721-728
- [18] Tse, Siu-Keung ; Yang, Chunyan, "Reliability sampling plans for the Weibull distribution under Type II progressive censoring with binomial removals", Journal of applied statistics ,v.30 no.6 ,2003 ,pp.709-718
- [19] Yan-Kwang Chen, "Economic design of \bar{x} control charts for non-normal data using variable sampling policy", International Journal of Production Economics, Vol. 92 No. 1 61~74(2004)
- [20] Yu-Chang Lina, Chao-Yu Chou, "On the design of variable sample size and sampling intervals \bar{x} charts under non-normality", International Journal of Production Economics, Vol. 96 No. 2 249~261(2005)
- [21] Yu-Chang Lina, Chao-Yu Chou, "Robustness of the Variable Sample Size and Control Limit \bar{x} Chart to Non Normality", Communications in Statistics-Theory and Methods, Vol. 34 No. 3 721~743(2004)
- [22] Zachary G. Stoumbos, Joe H. sullivan, "Robustness to Non-normality of the Multivariate EWMA Control Chart", Journal of Quality Technology, Vol. 34 No. 3 260~276(2002)