

품질경영학회 50주년 특별호: 실험계획법 분야 연구 리뷰

김상익* · 이상복** · 임용빈*** · 장대흥****†

* 건국대학교 응용통계학과
** 서경대학교 산업경영시스템공학과
*** 이화여자대학교 통계학과
**** 부경대학교 통계학과

Literature Review on the Experimental Designs in KSQM for 50 Years

Kim, Sang Ik* · Lee, Sang Bok** · Lim, Yong Bin*** · Jang, Dae Heung****†

* Department of Applied Statistics, Konkuk University
** Department of Industrial Engineering, Seokyeong University
*** Department of Statistics, Ewha Womans University
**** Department of Statistics, Pukyong National University

ABSTRACT

Purpose: This article focuses on the reviewing the papers published in the Journal of the Korean Society for Quality Control (JKSQC) and the Journal of the Korean Society for Quality Management (JKSQM) since 1965, in the area of design of experiments. In this paper, moreover, some other contents of another statistical quality control areas is included.

Methods: The reviewed articles are classified into the three main categories: theory and application of experimental designs, response surface methodology and mixture experiments, and roust designs. Some omitted papers in the other areas of reviewing works are also included in this paper, and the contents and relationships of the published articles are examined and summarized in each sub-field.

Results: We summarize the reviewed papers in the chronological road-maps for each sub-field, and outline the relations of the connected papers. We provide comments on the contents and the contributions of the reviewed papers. The future direction of the research in the theory and application areas of experimental designs can be provided by the contents of this research.

Conclusion: The diverse topics on the improving the quality in the various industry fields are studied and published on the theory, methodology and the empirical application in the fields of designs of experiments. We can see that the Korean Society for Quality Management (KSQM) has tremendously contributed on the improvement of quality in the manufacturing and service industries by publishing the reviewed articles in this paper.

● Received 17 May 2016, 1st revised 31 May 2016, accepted 1 June 2016

† Corresponding Author(dhjang@pknu.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.

Key Words: Experimental Designs, Response Surface Methodology, Mixture Experiments, Robust Design, Statistical Quality Control

1. 서 론

한국품질경영학회는 2015년 창립 50주년을 맞아 학회에서 발간하는 품질 전문 학술지인 품질경영학회지에 2015년까지 발표되었던 논문 전체에 대한 내용을 리뷰하고 정리하는 연구프로젝트를 수행하였다. 이러한 연구를 통해 과거 50년 동안 우리나라 품질분야에서 학술적 발전 방향을 고찰하고, 우리나라 대표 품질 전문 학술지인 품질경영학회지가 우리나라 품질 분야에 기여한 바를 재조명함과 동시에 연구자들에게 향후 연구방향등을 제시하고자 하였다. 이 논문은 이러한 연구 과제의 일환으로 수행된 결과물이다.

이러한 리뷰 연구 프로젝트는 품질분야를 품질경영, 품질혁신, 서비스 품질, 통계적 품질관리, 신뢰성, 통계적 기법, 그리고 실험계획법의 7개 분야로 나누어 각 분야별로 발표된 모든 논문들의 내용을 정리하여 연구내용의 상호 연관성 그리고 연구의 발전방향 등을 종합적으로 정리하였다. 이 논문은 이러한 연구 프로젝트의 분야 중 실험계획법의 분야의 논문들 및 다른 분야에서 다루지 못한 통계분야 관련 논문들을 대상으로 하고 있다.

실험계획법 분야는 제조업을 비롯한 서비스산업에 이르기까지 다양한 분야의 기업에서 품질향상을 위한 주요 기법의 하나로 널리 사용되고 있으며, 특히 품질분야 영역에서 실험계획법의 핵심 내용인 공정시스템의 이해 및 최적 공정조건 분석에 필요한 실험의 설계 방법과 수집된 자료에 대한 효과적인 분석 기법은 산업현장의 엔지니어들에게는 필수적인 학습내용이 되고 있다. 이러한 점은 우리나라 산업인력 관리를 담당하고 있는 한국산업인력관리공단에서 실시하고 있는 품질경영기사 자격시험뿐만 아니라 품질경영기술사 자격시험 등에서도 실험계획법 분야가 핵심 필수과목으로 지정되어 있는 것에서도 잘 알 수 있다.

본 연구에서는 실험계획법 분야를 이론 및 적용 사례분야와 산업현장에서 널리 사용되는 실험계획법의 한 분야인 반응표면방법론(response surface methodology: RSM)과 혼합물 실험계획법(mixture experiments)분야, 그리고 일본의 품질학자 다구찌(G. Taguchi)에 의해 개발된 다구찌 방법 혹은 강건설계(robust design)분야 등 세 가지 세부 분야로 구분하여 연구를 진행하였다. 그리고 기타 품질관련 통계기법 분야의 논문들 중 앞에서 언급한 타 연구 분야에서 연구하고 정리하는 과정에서 누락된 논문들은 품질관리 일반분야로 분류하여 종합적으로 정리하여, 전체적으로는 4가지 세부 분야로 구분하여 각 분야별 논문들의 내용을 리뷰하고 그 내용들의 상호 연관성 및 발전해온 방향등에 대해 정리하였다.

2. 실험계획법 분야별 리뷰

2.1 실험계획법 이론 및 사례 연구 분야

실험계획법의 일반적인 방법론에 관한 연구로는 먼저 1980년대에는 Kim, Jung I.과 Park, Sung H.(1982), Kim, Jung I.(1984) 및 Jeon, Jong-Woo et al.(1988)의 연구가 있다. Kim, Jung I.과 Park, Sung H.(1982)은 실험계획도형에서 분산성분(variance component)에 대한 추정방법을 고찰하였으며, 저자들은 이 논문에서 교호작용이 있는 이원배치모형의 처리조합에서 관측값들의 수가 같지 않은 불균형 실험(unbalanced design)을 실시하고 효과들이 변

량효과(random effects)인 경우, 각 효과들의 분산 성분에 대한 신뢰구간을 추정하는 기법을 연구하였다. 특히 이 연구에서는 잭크나이프(jackknife)기법에 의한 추정방법을 고찰하고 모의실험을 통하여 제시한 기법이 기존의 방법보다 우수한 방법이 됨을 고찰하였다. 이러한 연구와 관련하여 Kim, Jung I.(1984)은 지분실험법((nested design)에서 효과들의 분산성분에 대한 추정방법을 고찰하였다. 이 연구에서는 저자는 이원 배치의 지분실험에서 모든 인자들이 변량(random)인자인 경우, 각 효과들의 분산성분에 대해 신뢰구간을 추정하는 방법을 고찰하였으며, 특히 균형실험법에 대한 기존 연구결과와는 달리 불균형 지분실험법인 경우의 추정방법과 함께 추정량의 분포는 점근적으로 카이제곱 분포에 수렴하는 점을 규명하였다.

그리고 Jeon, Jong-Woo et al.(1988)는 여러 개의 처리를 분석하는 완전확률화계획법(completely randomized design)에서 처리효과들에 대한 통계적 분석방법을 고찰하였다. 이 연구에서 저자들은 처리효과들 중에서, 효과의 크기가 큰 몇 개의 처리 효과들에 대한 신뢰구간 추정 방법을 고찰하였다. 특히 이 논문에서는 일정 개수의 효과가 우월한 처리들을 검출하는 방법과 함께 모의 예제 분석을 통해 제안된 방법의 적용기법이 제시되었다.

1990년대에 들어와서 Park, Sang-Gue et al.(1991)은 블록실험법에서 반응변수 값의 순위(rank)를 이용한 분석 방법을 고찰하였다. 저자들은 이 연구에서 확률화 블록실험(randomized block design)에서 여러 개의 처리를 한 개의 대조처리(control treatment)와 비교하는 분석에서 자료의 순위를 이용한 검정통계량들을 제시한 후, 각 검정통계량의 검정력을 표본크기가 작은 소표본에서 모의실험을 통하여 비교 분석하여 효율적인 검정방법을 제시하였다. 그리고 김영일(1993)은 반응변수가 이분산성(heteroskedasticity)의 특징을 갖는 경우에 적절한 최적설계 방법을 고찰하였다. 또한 저자는 이 논문에서 최적설계방법의 평가기준을 제시하고, 단순선형회귀모형과 이차모형에서 이분산성인 경우 제시된 최적기법이 D-최적기준, G-최적기준보다 선호될 수 있는 이점과 유용성을 고찰하고, 새로운 최적설계방법을 제시하였다.

이러한 최적실험법 분야의 연구와 관련하여 강명옥(1996)은 비선형모형에서 최적실험법에 대해 고찰하였다. 저자는 이 연구에서 최적실험법에 대한 평가기준으로 추정량의 분산공분산행렬의 행렬식(determinant)이 최적화되는 D-최적성 평가기준을 사용하여, 비선형모형인 경우 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘(simulated annealing algorithm) 기법에 의한 최적실험법을 설계하는 방법을 제시하였다. 이 연구에서는 더 나아가 제시된 방법이 독립변수가 여러 개인 모형에서도 적용될 수 있을 뿐만 아니라, 모형과 모수에 대한 정보가 있고 새로운 자료를 추가하고자 할 때 제시된 방법이 효과적으로 사용될 수 있음을 입증하였다. 그리고 염준근과 남기성(2000)은 인공지능분야에서 활용되는 유전자 알고리즘(genetic algorithm)을 응용하여 비선형모형에서 추정량의 분산공분산행렬의 행렬식이 최적화되는 D-최적 실험계획을 설계하는 방법을 연구하였다. 이 논문에서 저자들은 제시한 방법이 목적함수가 연속함수가 아닌 경우에도 적용될 수 있을 뿐만 아니라 기존의 방법에 비해 계산 성능이 우수한 효율적인 방법임을 모의실험을 통하여 입증하고 있다. 특히 이러한 유전자 알고리즘 기법은 모수 그 자체를 사용하는 기존의 최적화 알고리즘과 달리 모수집합을 코딩해 사용하고 탐색공간에서 단일 해를 사용하기 보다는 해들의 집단을 사용한다는 점에서 기존의 방법과 차이점이 있다.

그리고 김상익(2004)은 2수준계 요인실험법에서 주효과와 2-인자 교호작용까지 분석이 가능한 해상도-V(resolution-V) 부분요인실험법(fractional factorial design)을 설계하는 방법과 함께 제시된 실험계획의 최적성을 고찰하였다. 이 연구에서 저자는 부분균형배열을 이용하여 설계하는 방법을 소개하고, A-최적성, D-최적성, 그리고 E-최적성 등 다양한 평가기준을 사용하여 제시된 실험계획의 최적성을 및 직교배열에 의해 설계되는 계획과 비교한 효율성을 평가하여 최적의 포화실험법(saturated design)을 제시하였다.

임용빈(1998)은 요인배치법에서 각각의 처리조합에서 표본의 크기가 동일한 균형실험(balanced design)인 경우, 주어진 검정력을 만족시키는 실험의 크기를 결정하는 방법에 대해 고찰하였다. 저자는 이 연구에서 컴퓨터 패키지

MATLAB을 이용하여 비중심 F-분포(non-central F-distribution)의 확률을 계산하는 프로그램을 작성하여 최소검출효과의 크기를 구하는 방법과 함께 기존의 방법을 보완하여 산업체에서 엔지니어들이 실험을 설계할 때 손쉽게 실험의 크기를 결정할 수 있는 방법을 제시하였다.

실험계획의 실험자료분석 방법분야에서 김상익(2000, 2006, 2013)은 교호작용의 검출방법에 대해 연구하였다. 먼저, 김상익(2000)은 3수준계 요인실험법에서 교호작용을 검출하는 방법을 고찰하여, Anderson과 Thomas가 1979년 제시한 해상도(resolution)-VI 부분요인실험법에서 주효과 뿐만 아니라 유의한 교호작용효과를 검출하는 방법을 제시하고, 그 적용사례로 모의실험 자료 분석을 통해 응용방법을 제시하였다. 그리고 김상익(2006)에서는 2-수준계 요인실험법에서 최소의 실험크기로 주효과 및 2-인자 교호작용을 분석하는 방법이 연구되었다. 저자는 이 논문에서 기존 연구인 부분균형배열을 사용하여 실험크기가 최소가 되는 포화실험(saturated)을 설계하는 방법을 소개하고, 베이지안 기법을 적용하여 주효과 및 2-인자 교호작용을 분석하는 방법을 제시하였다. 그리고 이 연구에서는 모의실험에 의해 생성된 자료를 분석하여 제시된 기법의 활용방법도 고찰하였다.

특히 김상익(2013)은 3-수준계 요인실험법에서 반사설계(fold-over design) 방법에 의해 설계되는 해상도(resolution)-VI 부분요인실험법의 통계적 구조와 유의한 효과들을 검출하기 위한 검정 방법과 이에 필요한 추가실험의 전략을 연구하였다. 저자는 이러한 연구를 바탕으로 3-수준계 해상도(resolution)-VI 부분실험에서 유의한 주효과와 교호작용효과들을 검출하기 위해 추가로 실험을 실시해야 하는 처리조합의 결정방법과 축차적인 가설검정에 의한 2-인자 교호작용에 대한 분석방법을 제시하였다.

실험설계에 대한 또 다른 연구로는 임용빈(2005)의 연구가 있다. 저자는 이 연구에서 두 집단 간의 효과의 차이를 분석하고자 할 때 사용될 수 있는 효율적이고도 실용적인 실험을 설계하는 방법을 고찰하였다. 이 연구에서 저자는 분할법(nested design)의 방법을 응용하여 설계하는 두 개의 방법을 제시하고, 실험을 설계할 때 효과적인 반복실험 회수에 대하여 고찰하여 가장 효율적인 반복실험회수를 연구하였다.

그리고 실험계획법 분석방법에 대한 전산프로그램 개발 분야의 연구로, 정수일(1991)은 개인용 컴퓨터에서 활용할 수 있는 실험계획법의 분석방법에 대한 전산프로그램을 개발하였다. 이 연구에서 저자는 컴퓨터 프로그램 sub-routine을 활용하여 이원배치법의 분산분석을 보다 정밀하게 수행할 수 있는 프로그램을 개발하고, 산업체에서 손쉽게 활용할 수 있는 방법을 제시하였다.

실험계획법의 적용 방법과 응용사례에 대한 연구로는 김관래(1987), 윤중범(1988), 구분철과 송서일(1989)의 연구가 있다. 먼저 김관래(1987)는 실험계획법을 의류산업의 신제품 개발에 응용하여 최적의 상품을 개발하는데 적용하는 방법을 고찰하였다. 저자는 이 연구에서 의류업체에서 여성용 신상품을 개발하는데 있어서 이원배치법을 적용하여, 디자인 수준과 연령별 소비자층을 2개의 인자(factor)로 하고, 각 수준조합에서 선호하는 고객의 수를 반응변수로 설정하여 실증사례분석을 통해 소비자들이 가장 선호하는 최적의 디자인 형태와 연령계층을 결정한 사례를 제시하였다.

그리고 윤중범(1988)은 실험계획법 기법을 섬유산업의 공정분야에 응용하여 최적 공정조건을 결정하는데 있어서, 섬유제품의 발수가공 공정에서 면직물의 발수도에 영향을 미치는 요인으로 열처리 온도와 수산화나트륨의 농도를 설정하여 이원배치법의 방법으로 분석하였다. 이 연구에는 최적 공정조건 결정과 함께 분산분석후의 다중비교방법으로는 Fisher의 최소유의차이(least significant difference: LSD)방법을 사용하여 발수도와 요인들 간의 최적 관계식을 분석하는 사례연구도 제시되었다. 구분철과 송서일(1989)은 유지공업분야의 공정에서 실험계획법 방법을 적용하여 공정능력을 향상시킨 사례를 발표하였다. 저자들은 이 사례연구에서 글리세린 제품의 품질을 향상시킨 사례로 글리세린 제품의 주요 품질특성인 염화물의 함유량에 영향을 미치는 요인으로 양이온 교환수지 통과온도와 음이온 교환수지 통과온도를 설정하여 이원배치법을 적용하여 최적 공정조건을 분석하였다. 그리고 공정능력지수가 기

존의 공정조건의 0.63 값에서 최적조건에서는 1.4로 개선되는 결과를 제시하였다.

이러한 실증사례 분석에 대한 최근의 연구로 신상식 외 2인(2015)은 군수산업에서 실험계획법을 응용하여 제품 결함의 원인을 규명한 사례연구를 발표하였다. 이 연구에서 저자들은 우리나라에서 세계최초로 개발한 신개념 소구경화기인 K11 복합형 소총에서 발생한 사격통제장치의 결함을 개선하기 위해 실험계획법과 상관분석을 적용하여 분석하였으며, 그 결과로 효율적으로 결함 발생의 원인을 규명하고 제품을 개선한 사례를 소개하였다. 그리고 이동현 외 2인(2015)은 전자부품 산업에서 검사공정 장비의 불량 선별력 향상을 위해 실험계획법을 적용한 사례를 발표하였다. 이 연구에서 저자들은 전자부품 검사공정의 최적 운용조건을 결정하는 문제에서 칩(chip)위치 정렬장치에서 품질에 영향을 주는 요인으로 노즐의 간격, 노즐 위치, 가이드 압력, 동작 속도 및 전압 등 5개의 인자를 선정하여 실험계획을 설계하고 분석하여 최적 조건을 도출하였으며, 이러한 사례를 통해 전자산업에서도 실험계획법 등이 품질향상을 위해 효율적으로 사용될 수 있음을 제시하였다. 이와 같은 실험계획법의 이론과 방법론 및 응용사례에 대한 연구들을 발표 시기 순으로 정리하여 그림으로 요약하고 내용들을 간략히 제시하면 <Figure 1>과 같다.

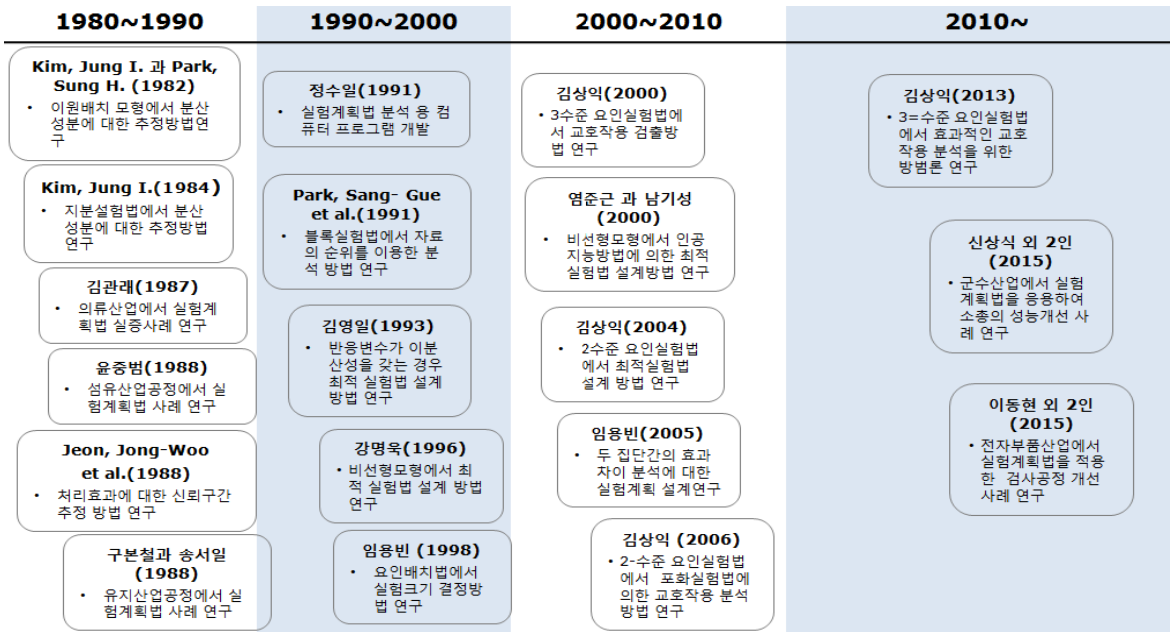


Figure 1. Experimental Design- Theory, Methodology and Empirical Study

2.2 반응표면 분석 및 혼합물 실험계획법 분야

품질특성치인 반응변수와 반응변수에 영향을 주는 인자들 간의 관계식을 추론하고 최적 공정조건을 분석하고자 할 때 사용되는 실험계획 기법으로 산업현장에서 널리 응용되는 방법론으로는, 반응표면분석(response surface methodology: RSM), 혼합물 실험계획법(mixture experiments) 그리고 진화적 조업실험법(evolutionary operation: EVOP)등이 있다.

반응표면분석의 방법론에 대한 연구논문들은 일찍이 1970년대부터 품질경영학회지를 통해 발표되었다. 먼저 박성현(1978)은 반응표면모형이 다항회귀모형인 경우, 가장 적절한 최적의 부분 모형을 선택하기 위한 기준들을 제시하고 산업현장의 예제를 통해서 이 기준에 따른 적절한 모형 선택 방법과 최적조건에 대한 분석방법 등을 제시하였

다. 그리고 이명주(1979)는 반응표면분석에서 최적조건을 찾기 위한 3단계의 방법으로 직교배열표를 활용한 핵심인자의 선별, 최대경사법을 통한 선별된 인자들의 관심영역에서 최적조건 근처의 영역으로 이동, 중심합성계획법에 의한 이차모형 적합 및 최적조건 분석 방법을 산업현장에서 손쉽게 적용할 수 있도록 정리하여 제시한 후 실제 사례분석 등을 통해 활용방법을 설명하였다.

Park, Sung H.과 Ahn, Byung J.(1981)은 반응변수가 3개이고, 이차반응표면 모형을 가정한 경우에 3개의 반응변수의 평균을 탐색하고, 동시에 최적화하는 문제를 고찰하였다. 이 논문에서는 주된 관심이 있는 주요 반응변수를 정하고, 나머지 부수적 반응변수들의 관심 범위를 설정한 후에, 부수적 반응변수들의 관심 영역을 만족하는 설명변수들의 영역에서 주된 반응변수를 최적화하는 이론적 방법과 함께 분석 알고리즘이 제시되었다.

반응표면분석에서 일반적으로 사용되는 이차반응표면 모형에서는 설명변수들의 공간상의 주어진 점에서 기울기의 추정에 관심이 있는 경우, 기울기의 최소제곱추정치의 분산을 모든 가능한 방향으로 평균한 값은 일반적으로 주어진 점과 실험설계의 함수로 주어지게 된다. 그러나 Park, Sung H.(1986)은 기존의 방법론과는 달리 모든 방향에서 평균한 분산 값이 실험공간의 중앙점에서의 거리의 함수로 표현되는 실험 설계인 ‘전방향 기울기회전성(slope-rotatability over all directions)’ 개념을 이용하여, 주어진 제약식을 만족하기 위한 필요충분조건을 고찰한 후, 이에 따르는 실험 설계의 주요 성질들을 고찰하였다. 그리고 Cho, Tae-Kyoung(1997)은 로지스틱 반응표면모형이 이차모형으로 가정된 경우에 회귀계수들에 대한 최우 추정치를 구하고, 점근적 결과에 의한 회귀계수의 최우 추정치들의 점근적 분산공분산 행렬의 계산방법 및 추정된 비율에 대한 신뢰구간을 구하는 방법을 제안하고, 응용기법을 예시했다.

반응표면분석 방법론에 대한 또 다른 연구로, 유정빈(1995)은 반응변수가 여러 개인 다중반응표면모형에서 반응변수들 사이에 선형 종속 관계가 존재하고 각각의 반응변수들의 목표값이 다른 경우에, 최적조건 규명에 대한 새로운 방법을 제시하였다. 이 방법은 반응변수들의 고유치 분석을 통하여 선형종속관계를 발생시키는 변수를 제거한 후 변환된 각 반응변수의 회귀계수 추정치를 활용하여 동시에 최적화를 수행한다는 특징이 있다. 그리고 이우선과 임성수(2001)는 이차다항회귀모형의 반응표면 모형에서 실험영역이 구형으로 주어진 경우, 박스-벤켄 계획(Box-Behnken designs: BBD)의 대칭적인 성질을 활용하여 실험설계의 반경이 요인의 수에 따라 변화하는 새로운 3수준 요인배치법의 실험설계 방법을 제안하였다. 그리고 이 분야의 주목할 만한 연구로 임용빈(2010)은 혼합물 반응표면 분석에서 현재의 공정조건보다 제조 원가를 10% 이상 절감하는 동시에 반응변수의 평균을 향상시키는 최적의 공정조건을 찾기 위한 실용적이고 효율적인 혼합물 반응표면 방법론을 제시하고 있다. 그리고 이 연구에서는 반응표면분석분야의 문헌에서 자주 인용되는 McLean과 Anderson의 조명탄 혼합물 사례분석을 통해서 제시된 방법의 응용기법도 다루고 있다.

이 분야의 또 다른 연구로 정인준(2012, 2014)의 쌍대반응표면분석 방법론에 대한 연구가 있다. 먼저 정인준(2012)은 평균-표준편차 함수를 동시에 고려하여 최적화하는 쌍대반응표면분석에서 평균과 표준편차 간 트레이드오프에 관한 선호도 정보를 최적화 과정에 반영하는 방법을 고찰하였다. 이 논문에서 저자는 선호도 정보의 효과적인 추출 방법으로 잘 알려진 선호도 사후제시법을 개선시킨 반복적 선호도 사후제시법을 제안하고, 활용 예제를 통하여 기존의 방법과의 효율성을 비교하였다. 그리고 정인준(2014)은 평균-표준편차 함수를 최적화하는 쌍대반응표면분석에서 최적화의 기준으로 1995년 Lin 과 Tu가 제안한 평균제곱오차(mean squared error: MSE)의 제곱편차와 분산에 가중치를 부여한 가중평균제곱오차(weighted mean squared error: WMSE)을 사용하여 공정능력지수 기반의 가중치를 결정하는 방법을 고찰하고, 예제를 통해서 기존의 방법과 효율성을 비교 연구하였다.

반응표면분석 방법을 적용한 사례연구에 대한 논문으로는 한국국방연구원에서 운용하고 있는 M&S(modelling and simulation) 모형에 대한 메타모형(meta model)을 구축하는 과정에서 반응표면 기법을 적용한 김상익 외 4인

(2012)의 연구가 있다. 이 연구에서 저자들은 먼저 메타모형이 다항회귀모형으로 설정될 수 있는 근거를 제시하고 반응표면 분석방법을 적용하여 효율적인 실험계획을 수립한 후, 수립된 계획에 따라 M&S 모형을 운용하여 평가적 도인 반응값을 관측한 후, 적절한 모형 찾기를 위한 축차적인 전략을 제시하였다. 특히 이 연구에서는 우리나라 국방 분야에서 운용되고 있는 M&S 모형에 대한 메타모형 구축방법 사례를 가상 데이터를 이용한 분석을 통하여 예시하였다.

그리고 혼합물 실험의 방법론에 대한 연구로 장대홍과 박상현(1996)은 혼합물 실험계획을 확장하고자 할 때 추가 실험점을 결정하는 방법에 대해 고찰하였다. 이 연구에서 저자들은 그래픽 방법인 추정반응값의 분산그림(variance plot)과 추정반응값의 편이그림(bias plot)을 이용하여 추가되는 실험점들을 시각적인 기법에 의해 결정하는 방법을 제시하였다. 특히 이 논문에서 제시된 그래픽 방법은 두 개 이상의 알파벳 최적화 기준에 의해 추천된 실험 설계를 시각적으로 서로 비교, 평가할 수 있고, 각 실험점들이 결측치인 경우에도 실험점의 영향력을 미리 평가하고 활용될 수 있는 점이 장점이라고 할 수 있다. 그리고 김성준과 박종인(2010)은 혼합물 반응표면분석에서 최적조건이 주어진 경우에 최적조건 근처에서의 각 혼합물 성분비에 대한 허용차를 결정하는 방법을 제시하였다. 이 논문에서는 각 성분의 변동과 관련된 총 변동비용의 제약 하에서 최종 품질특성의 분산을 최소화하는 허용차 결정 방법이 고찰되었고, 사례분석을 통한 응용기법 등이 예시되었다.

그리고 임용빈 외 2인(2011)은 혼합물 실험에서 현재의 공정조건에 미세한 흔들림을 주면서 점진적으로 향상된 공정조건을 결정하는 새로운 진화적 조업실험법(EVOP)의 실행 방법을 제시하였다. 이 논문에서는 먼저 흔들림을 결정하는 실험점 결정방법, 핵심적인 성분들을 선택하는 방법, 선택된 성분에 대한 증분의 크기를 결정하는 방법과 한 단계의 실험이 끝난 경우에 새로운 공정조건을 결정하는 방법이 제시되었고, 이 분야에서 잘 알려진 McLean과 Anderson의 조명탄 혼합물 사례분석을 통해 혼합물 EVOP법이 제시되었다. 그리고 혼합물 성분비와 공정변수들에 관한 실험 자료가 주어진 경우, 주어진 실험 자료를 잘 설명하는 적절한 결합모형을 찾는 것은 중요한 과제이고, 다양한 모형 평가 기준과 모형 진단의 결과 여러 개의 적절한 모형이 추천되는 경우가 흔히 일어나는데, 임용빈(2013)은 최적조건을 찾는 방법을 고찰하고 기존 연구에서 분석된 혼합물-공정변수 실험계획 사례를 통하여 제시한 방법의 응용기법 등을 예시하였다.

혼합물 실험계획법을 실제 산업현장에서 적용하여 품질향상을 성취한 사례에 대한 연구로 김성준 외 2인(2014)은 소재 분야의 중소기업 현장에서 제한된 시간 내에 입자의 크기가 미세하고 더 일정한 분말을 얻기 위해 재료의 분쇄를 위해 널리 채택되고 있는 볼밀링 공정에서, 서로 다른 크기의 볼을 사용할 경우 볼밀링 작업의 효율 개선을 위하여 혼합물 실험계획법과 다구찌의 손실함수의 활용을 통해 볼의 최적 배합비를 찾는 방법을 제안하였다. 그리고 변재현 외 4인(2014)은 제약조건이 있는 화합물을 혼합한 접착제를 개발공정에서, 이차 모형을 가정한 제약이 있는 효율적인 혼합물 실험계획법을 이용하여 최적화한 사례를 발표하였다. 이 연구에는 데이터의 수집, 분석, 최적화하는 방법 및 화학분야의 제조 산업에서 보냉제용 고기능성 접착제를 개발한 사례를 예시하였다. 이와 같은 반응표면분석 및 혼합물 실험계획법 분야의 논문들을 발표 시기별로 정리하고 간단히 연구내용들을 요약하면 <Figure 2>와 같다.

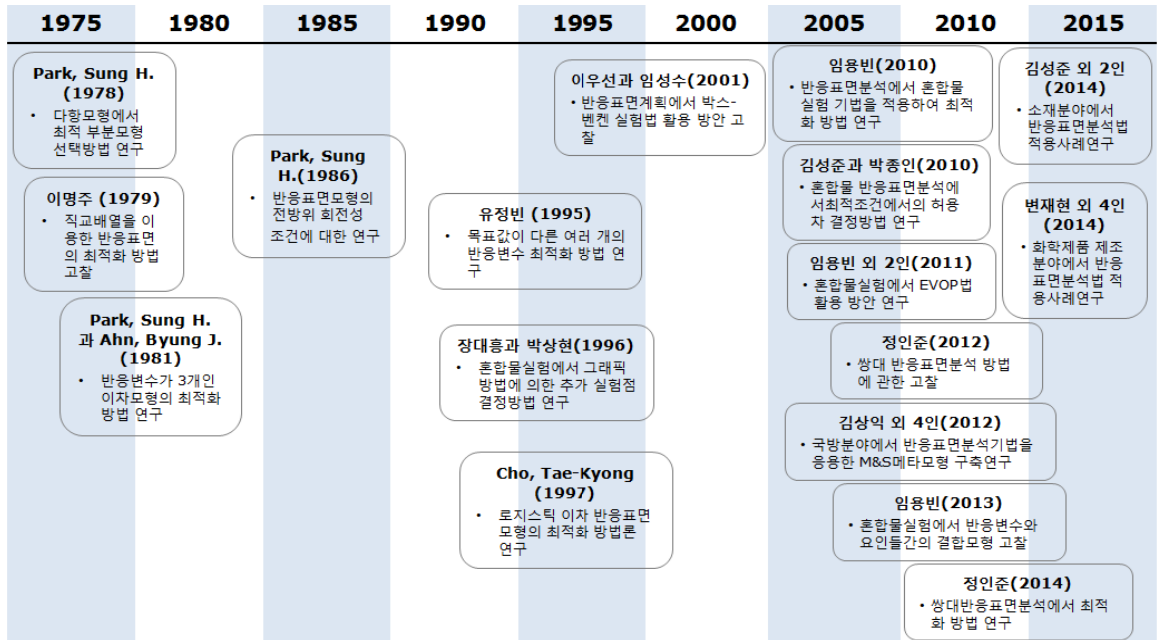


Figure 2. Experimental Design- RSM, Mixture Experiments, and EVOP

2.3 강건설계 분야

흔히 다구찌(Taguchi Method) 방법 혹은 파라미터 설계법(parameter design)이라고도 불리우는 강건설계(robust design)방법은 일본의 품질학자 다구찌(Genichi Taguchi)에 의해 개발된 기법으로 품질특성치에 영향을 미치는 요인들 중 제어나 통제가 어려운 잡음인자(noise factor)들의 영향에 둔감한(robust) 제어인자(control factor)들의 최적조건을 결정하는데 효과적으로 응용될 수 있다. 이러한 강건설계 방법은 1980년대 후반 우리나라에 소개되어 산업현장에서 널리 응용되고 있다. 이 분야의 연구 논문들은 강건설계의 방법론 분야와 강건설계에서 분석 대상이 되는 ‘신호 대 잡음비(signal to noise ratio: SN비)’에 대한 연구, 그리고 응용사례 등으로 세분하여 고찰하였다.

먼저 강건설계의 방법론에 대한 연구로 이우선 외 2인(1999)은 품질특성치가 여러 개인 경우, 강건설계 방법을 반응표면 방법으로 해결하는 방법을 고찰하였다. 이 논문에서는 현장에서 사용하는 실제 자료를 통해 적용방법을 구체적으로 설명하면서 각 단계마다 계산에 사용된 컴퓨터 패키지 SAS의 프로그램 코드를 모두 제공하고 있으며, 기존 예제를 이용하여 풀이과정 및 단계별로 사용된 SAS 코드도 자세하게 제시하여 독자들이 손쉽게 활용할 수 있도록 하고 있다.

이상복(2009)의 연구는 강건설계 분야에서 상대적으로 연구가 많이 진행되지 않은 주제인 잡음인자의 수준을 결정하는 문제를 고찰하고 있다. 이 연구에서는 잡음인자의 확률분포가 정규분포인 경우, 그리고 쌍봉형태인 경우 및 다봉분포인 경우 등 6가지 경우에 잡음 수준을 결정하는 방법을 고찰하였다. 특히 이 논문에서는 잘 알려진 모의실험 방법인 종이 헬리콥터 모의실험을 통해 잡음인자의 수준을 적절하게 결정하는 것이 중요한 것임을 예제를 통해 보여주었다. 이러한 이상복의 연구 내용의 장단점을 고찰한 논문으로 서순근(2010)은 다양한 모형에서 이상복이 제시한 방법과 기존의 다구찌가 제안한 방법과 비교하여 효율성을 고찰하였으며, 두 방법은 경우에 따라 선택적으로

사용하는 것이 타당함을 보였다. 그리고 이상복(2013)은 실험설계가 일원 배치인 경우와 이원 배치인 경우, 종이 헬리콥터 모의실험을 통해 SN비 분석의 최적값과 잡음인자를 고려하지 않은 경우의 최적값의 차이를 분석하여 잡음인자의 영향과 잡음인자 분석의 중요성을 고찰하였다.

강건설계 분야에서 SN비의 문제에 대한 연구로 임용빈(1994)은 SN비를 결정하는데 있어서 반응변수가 망목특성인 경우, 탐색적 자료분석(exploratory data analysis; EDA) 기법으로 반응변수와 인자 간의 종속관계를 추론하여 제어인자의 각 실험조건에서 SN비를 결정하는 방법을 제시하였다. 이 연구에서 저자는 SN비 선택방법에 대한 기존 연구는 현장에서 사용할 때 계산의 복잡성에 주목하여, 자료의 표본평균과 표본표준편차의 산점도를 통해 자료변환 방법을 제안하고 그에 따른 적절한 SN비 결정방법을 제시하였으며 모의예제를 통해 제시한 방법의 효율성을 검토하였다.

그리고 임용빈과 이영조(1995)는 품질특성치가 망목특성인 경우, 여러 가지 SN비 산출방법의 효율성을 비교 고찰하였다. 이 연구에서는 기존의 다구찌가 제안한 방법, 대수변환한 자료에 다구찌 방법을 적용하는 방법, 그리고 저자들이 제시한 방법 및 대수 변환한 자료에 제시한 방법을 적용하는 방법 등, 네 가지 경우에 대해 모의실험을 통해 각 방법의 효율성을 분석하였다. 특히 이 연구에서는 모의실험을 분석을 통해 자료의 변동계수(coefficient variation:CV) 값이 5%보다 큰 경우는 저자가 제시한 방법이 효율적이지만, 변동계수 값이 5%보다 작은 경우는 다구찌가 제시한 방법이 좋다는 결론을 제시하고 있다. 그리고 임용빈과 이영조(1997)의 연구에서는 기존연구에서 제시한 다양한 다구찌 기법의 SN비 계산 방법을 검토하여, 망목특성인 경우에는 SN비의 계산방법이 기존의 방법과는 다르게 산출해야 하는 근거가 고찰되었다. 특히 이 연구에서는 품질특성치가 신호인자의 영향을 받는 동적(dynamic)특성인 경우 제어인자 중 품질특성치의 산포에 영향을 주는 산포제어인자를 분류하는 방법으로 시각적인 그래프적 기법도 제시하고 있다.

이와 같이 품질특성치가 동적(dynamic)특성인 경우의 SN비 산출문제에 대한 연구로 김성준(1998)은 다구찌가 제안한 동특성 SN비의 단점을 보완할 수 있는 SN비의 정량적인 결정 방법을 제안하였다. 이 논문에서 저자는 연구에서 제시한 SN비는 기존의 SS-plot을 통해 감도 조정인자를 선별하는 데 이용하고, r-plot은 정량적 SN비 결정 방법으로 사용할 것을 제안하였으며, 모의실험 분석을 통하여 특정 모형에서는 제시된 방법이 기존 방법보다 효율적임을 입증하였다. 이러한 방법은 감도 조정인자가 여러 개 있는 경우, 기술적 및 비용측면에서 선호도를 정량적으로 반영할 수 있다는 장점이 있다.

강건설계 방법을 다른 통계 분석 방법과 결합하여 응용하는 기법에 관한 연구 결과도 다양하게 발표되었다. 먼저 최종덕과 서순근(1992)은 다구찌의 강건설계를 이용하여 총재고비용을 최소화하는 경제적 발주량 결정 문제에 적용하는 방법을 고찰하였다. 이 연구에서는 품질기간 중 수요의 일부는 재주문되고, 나머지 일부는 유실되는 상황 하에 재발주점과 경제적 발주량을 결정하는 문제를 다루고 있다. 저자들은 이 연구에서 비용계수의 변화에 둔감한 재발주 시점과 경제적인 주문량을 결정하는 알고리즘을 개발하고 모의자료 분석을 제시된 알고리즘의 타당성을 입증하였으며, 최적 재발주 시점과 경제적 발주량은 재고비용 및 표준편차의 변동에 영향을 받지 않는 점을 모의자료 분석을 통해 입증하였다.

그리고 김옥일과 강창욱(1992)은 강건설계 기법을 관리한계를 결정하는 방법 및 검사주기를 결정하는 온라인(on-line) 품질관리 분야에 적용하는 방법에 대하여 고찰하였다. 이 연구에서는 관리한계와 검사주기를 결정하는데 있어서 균등분포(uniform distribution)를 가정하는 기존의 방법과는 달리 새로운 관리한계와 검사주기를 결정하는 방법을 제시하였다. 이와 같은 온라인 품질관리에 강건설계 방법을 적용하는 기법에 대한 또 다른 연구로 김지훈 외 2인(1998)은 기존의 온라인 품질공학에 최적 검사주기와 관리한계 구하는 방법에서 사용한 균등분포의 문제점을 고찰하고, 균등분포대신 삼각분포와 정규분포를 사용하여 최적 검사주기와 관리한계를 결정하는 문제를 고찰하여 보

다 효율적인 결정방법을 제시하였다.

신용백과 윤상원(1993)은 손실함수가 대칭형인 경우와 비대칭형인 경우, 그리고 제품 검사를 100% 전수 검사하는 경우와, 샘플링 검사를 실시하는 경우 등, 네 가지 상황에 대하여 생산자 최적 허용오차를 분석하는 방법을 고찰하였다. 저자들은 이 연구에서는 모의자료 분석을 통해 기존의 다구찌가 제안한 손실함수에 의한 생산자 최적 허용오차와 저자들이 제시한 기대값 함수를 이용한 생산자 최적 허용오차 분석 방법을 제시하고, 최적의 생산자 허용오차를 결정하는 방법을 제시하였다. 이와 유사한 문제에 대한 연구로 Hong, Sung-Hoon(2000)은 이차형의 다구찌 품질손실함수를 사용하여, 품질특성의 최적 목표 값도 동시에 결정하는 문제를 고찰하였다. 이 연구에서 저자는 제품을 품질수준에 따라 여러 등급으로 나누고, 각 등급에 맞게 제품의 사용 용도나 판매시장 결정을 위한 스크리닝(screening) 검사를 제안하였으며, 주 품질특성을 직접 측정하는 경우와 대응특성을 측정하는 경우, 두 가지 모형에 대해 기대 비용을 최소화하는 최적해를 구하는 방법을 제시하였다.

다구찌의 손실함수 개념을 적용하여 공정능력지수(process capability index) 산출 방법에 대한 연구로 구분철과 송서일(1992)이 있다. 저자들은 이 연구에서 생산공정관리 지표로 사용되는 공정능력지수들인 C_p , C_{pk} , C_{pm} , C_{pn} 의 문제점을 고찰하고 이러한 전통적인 공정능력지수의 한계점을 보완하는 방법으로 다구찌 손실함수의 개념을 사용할 것을 제안하였다. 이 논문에서는 1990년 Chan이 제안한 새로운 공정능력지수로서 품질특성치의 분포가 대칭인 경우에 사용하는 지수 C_{pt_0} 와 비대칭 분포인 경우 사용하는 지수 C_{pt_1} 를 소개하고, 품질특성치의 평균값의 변화 범위가 큰 경우에는 다구찌 손실 함수를 이용한 새로운 공정능력지수 C_{pt_0} 와 C_{pt_1} 가 기존의 기법보다 우수함을 보여주었다.

그리고 김성준(1999)은 이원입출력 시스템에서 강건설계의 응용방법을 고찰하였다. 저자는 이 논문에서 다구찌가 제안한 표준 오류율은 두 표본의 표준편차가 같은 경우에 적용할 수 있다는 한계점을 지적하고, 표준편차가 다른 경우에도 적용할 수 있는 로지스틱 분포 모형의 새로운 표준오류율에 대한 분석방법을 제시하였다. 더 나아가 김경모(2001)는 품질 특성치 2개가 서로 상충되는 경우, 경제학 분야의 효용이론을 적용하여 최적값을 결정하는 기법을 제시하였다. 저자는 이 연구에서 경제학의 효용이론을 이용한 새로운 효용함수를 제안하고, 제시된 효용함수를 이용하여 기존 연구에서 다구찌가 제안한 방법에 의해 분석한 사례 등을 재분석하여 저자가 제시한 방법이 보다 효율적인 기법임을 입증하였다. 그리고 차경준 외 3인(2002)은 다구찌 기법이 품질특성과 인자 관계가 비선형모형인 경우에는 비효율적인 점을 개선하기 위해, 크리깅(kriging)기법을 적용하여 보다 효율적인 해를 얻는 기법을 제안하였다. 저자들이 이 연구에서 제안한 방법은 다구찌 기법을 이용해 초기해를 구하고, 초기해에 영향력을 크게 미치는 2개의 인자를 선택하여 보다 광범위한 실험공간에서 최적해를 구하는 기법이라 할 수 있다. 특히 이 연구에서는 저소음 흡기구 설계의 실제 사례에 제안한 기법을 적용한 사례 분석을 통해 기존의 방법보다 저자들이 제안한 방법이 보다 효율적인 기법임을 보여주었다.

이 분야의 주목할 만한 연구로 서순근과 하천수(2004)은 신뢰성 향상을 위한 기존의 신뢰성 실험 방법을 보완하여 다구찌 기법의 SN비를 적용한 열화자료의 새로운 분석방법을 제시하였다. 이 연구에서 저자들은 기존의 실험방법과는 달리 열화량을 품질특성치로, 시간을 신호인자로 한 동특성의 문제로 재설계하여 강건설계 방법을 응용하는 기법을 제시하였다. 특히 이 연구에서는 열화률의 분포가 대수정규분포에 따르는 경우 등 다양한 조건에서 최적 설계조건을 분석하는 방법을 고찰하고 모의실험 분석을 통해 기존 방법과의 효율성을 비교 검토하였다.

이와 같은 연구들은 다양한 실험계획 기법이나 반응표면 분석기법과 같은 전통적인 실험계획분야의 기법뿐만 아니라 강건설계 기법과 같은 새로운 기법도 여타 통계적 품질관리 기법과 결합하여 산업현장의 다양한 영역에서 적용될 수 있음을 보여주는 좋은 연구 결과물들이라 할 수 있고, 그동안 품질분야에서 실험계획 방법론의 다양한 적용방

법을 연구한 결과라 할 수 있다.

그리고 강건설계의 기법을 산업현장에서의 적용한 사례 연구로, 먼저 차경준과 진정연(2000)은 강건설계 방법을 이용하여 흡기계의 소음을 최소화한 사례를 소개하였다. 이 연구에서 저자들은 산업현장에서 사용하는 부품의 소음을 최소화하기 위해, 소음에 관한 이론을 소개 및 기술적으로 해결할 수 없는 잡음인자에 적합한 설계를 위해 강건설계 기법을 적용하였다. 특히 이 사례 연구는 각 단계마다 이론과 실험과정을 자세히 설명하여 산업현장의 엔지니어들이 쉽게 이해할 수 있도록 하였으며, 강건설계 기법을 배우고자 하는 입문자들에게는 좋은 자료라 할 수 있다. 그리고 김경모 외 2인(2001)은 강건설계 기법과 직접탐색법인 콤플렉스법(complex method)을 결합하여 사출성형물을 생산하는 공정의 최적화 사례를 소개하였다. 기존의 강건설계 기법은 품질특성치와 인자들 간의 관계가 선형관계인 경우 효율적이지만, 비선형 관계에서는 비효율적일 수 있다. 이 연구의 특징으로 관계식이 비선형이라고 예측되는 경우, 기존의 방법으로 초기해를 구하고 그 다음 단계로 초기해 근처에서 콤플렉스법을 적용하여 최적해를 탐색하는 방법을 제안하고 있으며 사례 분석을 통해 제시한 방법으로 공정을 개선한 사례를 보여주고 있다. 그러나 이 연구의 내용은 잡음변수 배치방법과 그에 따른 SN비 계산에 대한 설명이 충분하지 못한 단점이 있다.

기존의 강건설계 방법은 기본적으로 품질특성치가 단일 변수이고 품질특성치와 인자들간에 선형관계를 기본으로 하고 있다. 그러나 김경모(2007)는 비선형관계식을 갖는 다변량 품질특성치인 경우의 강건설계 방법을 사례연구를 통해 제시하였다. 저자는 기존의 효용함수를 이용하여 비선형인 경우의 다변량 품질특성인 경우 강건설계 실험계획 절차를 제시하고, Iyer and Krishnamurty가 제시한 방법과 연구에서 제시한 방법의 차이점을 비교 검토 한 후, 산업현장의 I-Beam설계 공정에 적용하여 저자가 제안한 방법이 더 우수함을 입증하였다. 이 연구에서 적용한 공정에서 I-Beam의 품질특성치는 강도와 굽힘 스트레스, 그리고 처짐의 정도로서 강도는 망대특성, 굽힘스트레스와 처짐의 정도는 망소특성이면서 이러한 다변량 품질특성치와 인자들 간에 비선형관계식이 있는 경우의 분석 사례를 통해 저자가 제시한 방법의 효율성을 제시하였다.

그리고 이상복(2014)은 제조현장에서 품질 개선에 많이 사용된 강건설계 기법을 대학에서 강의 만족도 향상에 적용한 사례를 소개하였다. 이 연구에서 저자는 강의 만족도 향상을 위해 교수가 통제할 수 있는 제어인자로 변수 2개와 강의 만족도에 영향을 주는 제어가 어려운 한 개 잡음인자를 선정하여 교수 8명이 참여하여 각자 2과목을 다른 조건에서 강의하는 실험을 강건설계의 방법으로 설계하여, 강의 만족도의 최적 조건을 분석하였다. 특히 이 연구는 강건설계 방법이 제조업을 비롯한 산업현장 뿐만 아니라 대표적인 서비스 분야라 할 수 있는 대학의 강의 부문에서도 최적 조건을 분석하는데 응용될 수 있는 가능성과 실제 성과를 보여준 점이 특징이다. 그리고 <Figure 3>는 앞서 고찰한 강건설계 분야의 논문들을 연대기적으로 정리하고 논문들의 연구내용을 간략하게 요약하여 보여주고 있다.

1990~1995	1995~2000	2000~2005	2005~
구본철과 송서일(1992) • 다구찌 손실함수를 이용한 공정능력지수 고찰	임용빈과 이영조(1997) • SN비 효율성 고찰 및 동특성 SN비 연구	Hong, Sung-Hoon(2000) • SN비 효율성 고찰 및 동특성 SN비 연구	김경모(2007) • 비선형 모형의 다변량 품질특성치 최적화 사례 연구 이상복(2009) • 강건설계에서 잡음인자 수준 결정 방법에 관한 연구 윤원영과 서순근(2010) • 강건설계에서 잡음인자 수준 결정 방법에 대한 효율성 연구 이상복(2013) • 일원배치법과 이원배치법을 이용하는 경우 강건설계의 SN비 효율성 연구 이상복(2014) • 대학에서 강의만족도 향상을 위한 강건설계법 사례 연구
최종덕과 서순근(1992) • 다구찌 손실함수를 이용한 재고모형 고찰	김성준(1998) • 그래픽 방법에 의한 동특성 SN비 산출방법 연구	김경모(2001) • 효율함수를 이용한 강건설계 분석 방법 고찰	
김옥일과 강창욱(1992) • 강건설계 기법을 응용한 관리한계 및 검사주기 연구	김지훈외 2인(1998) • 다구찌 손실함수를 이용한 온라인 품질관리 기법 고찰	김경모 외 2인(2001) • 사출성형을 공정에서 강건설계법 사례 연구	
신용백과 윤상원(1993) • 다구찌 손실함수를 이용한 제품검사 기법 연구	김성준(1999) • 이원입출력시스템에서 강건설계법 적용방법 연구	차경준 외 3인(2002) • 크리깅 기법을 응용한 강건설계법 연구	
임용빈(1994) • 망목특성인 경우 탐색적 방법에 의한 SN비 산출 방법 연구	이우선 외 2인(1999) • 반응표면분석기법을 응용한 다변량 강건설계 연구	서순근과 하천수 (2004) • 2-수준 요인실험법에서 포화실험법에 의한 교호작용 분석 방법 연구	
임용빈과 이영조(1995) • 다양한 SN비의 효율성 비교 연구	차경준과 진정연(2000) • 강건설계를 이용한 흡기계 기능 최적화 사례연구		

Figure 3. Experimental Design- Robust Design

3. 기타 품질관리 분야

본 절에서는 다른 분야의 리뷰연구 분석에서 누락되었던 통계학 분야 논문들을 추가적으로 정리하고자 한다. 본 절에서 다루고자 하는 논문의 수는 21개이며 세부적으로는 통계학 기법을 품질관리 분야에 응용하는 분야인 샘플링 검사 기법, 측정시스템 분석 및 공정능력지수 산출 방법, 그리고 품질시스템 구축을 비롯한 품질관리 일반적인 분야의 세 개의 세부 분야로 구분하여 고찰하고자 한다.

먼저 샘플링검사 기법 세부 분야의 논문들을 살펴보면, 먼저 1980년대의 연구로 Kim, Woo-chul과 Kim, Sung-ho(1982)는 로트를 대상으로 하는 비복원 추출 방법에 의한 축차 샘플링 검사에서 베이지안 기법을 적용하는 방법에 대해 고찰하였다. 저자들은 이 연구에서 Hald의 선형손실함수와 사전분포가 베타-이항분포(beta-binomial)인 경우 베이지안 축차샘플링 검사 방법(Bayes sequential sampling acceptance plan: BSSAP)을 고찰하고 기존의 방법과 효율성을 비교 분석하였으며, 표본 크기가 고정되어 있는 경우의 베이지안 축차샘플링 검사방법이 사전분포로서 균등분포를 이용한 Hald의 단순샘플링 검사 방법에 비해 우수한 방법임을 입증하였다. 그리고 정영배와 황의철(1987)은 베이지안 기법을 적용한 계수 규준형 1회 샘플링 검사방법을 고찰하였다. 저자들은 이 연구에서 로트 불량률의 사전분포가 감마분포를 따르는 경우 샘플링 검사 방법을 제시하고 기존의 방법과 효율성을 비교 연구하였으며, 제안한 방법이 기존의 방법에 비해 표본의 크기가 작아지는 효율적인 방법임을 입증하였다. 특히 이 논문에서는 산업현장에서 응용하기에 편리하도록 연구에서 고찰한 방법에 대해 기존의 검사표와 유사한 새로운 검사표를 제공하고 있다.

계속하여 이 분야의 1990년대 연구로 Jung, Inha와 Lee, Seung-ho(1991) 및 신완선과 김대중(1994)이 있다. Jung, Inha와 Lee, Seung-Ho(1991)는 이항분포 모형에서 모수를 베이지안 방법으로 추정하는 기법을 고찰하고, 그

결과에 대한 응용기법으로 계수형 샘플링검사 방법에 적용하는 방법을 제시하였다. 이 연구에서 저자들은 추출된 자료들이 계속 축적되는 상황에서 누적자료들을 이용하여 모수를 추정하는 방법과 선형손실함수를 이용한 베이지안 추정 방법을 제시하고, 전통적인 샘플링 검사 방법을 보완하는 새로운 검사기법을 제안하고 있다. 그리고 신완선과 김대중(1994)은 계수형 샘플링검사 방법에서 베이지안 기법을 적용한 기법을 고찰하였다. 저자들은 이 연구에 자동화된 생산 시스템 등에서 흔히 발생하는 상황으로 표본으로 추출되는 제품들이 확률적으로 독립적인 상황이 아니고 종속적인 형태로 추출되는 경우, 베이지안 방법을 적용하여 검사 중에 발생하는 총비용을 정량적 지표로 사용하여 최적의 되는 샘플링 검사 방법을 개발하였다. 특히 이 연구에서는 로트의 불량률의 합에 대한 다양한 사전분포 형태에 따라 평균기대검사 비용과 평균출검품질 측면에서 효율성을 비교 연구하였다.

샘플링검사 기법에 대한 2000년대의 연구로 본 절에서 정리한 논문은 최병철과 천영민(2001), 홍성훈 외 4인(2007) 등이다. 최병철과 천영민(2001)은 샘플링 검사 방법 중 연속 생산형 샘플링 검사에 적용할 수 있는 2단계 스킵-로트(skip-lot) 검사방법을 고찰하였다. 이 연구에서 저자들은 1973년 Perry가 제시한 2단계 스킵-로트 검사 단계에 Parker와 Kessler가 1981년 개발한 방법을 적용하여 새로운 형태의 세 가지 2단계 스킵-로트 검사방법을 제안하였으며, 제시한 방법의 검사특성(operating characteristic: OC) 곡선과 평균검사개수(average sampling number: ASN) 및 평균출검품질(average outgoing quality: AOQ)등의 관점에서 효율성을 비교 고찰하였다. 그리고 홍성훈 외 4인(2007)은 품질특성치가 두 개인 경우의 선별형 샘플링검사 방법을 제시하였다. 이 연구에서 저자들은 먼저 관심대상이 되는 주 품질특성(performance variable)과 상관관계가 높은 대용 품질특성(surrogate variable)을 먼저 예비검사를 한 후, 필요한 경우 주 품질특성을 측정하여 검사하는 이변량 선별형 스크리닝 검사계획을 설계하는 방법을 고찰하였다. 특히 이 연구에서는 두 개의 품질특성이 이변량 정규분포를 따르는 경우 상관계수 값을 알고 있는 경우에 대하여 고찰하였으며, 상관계수 값이 미지인 경우에는 추후 연구할 과제로 제시하였다.

더 나아가 공정능력지수 분야의 연구로 여기서 정리한 논문은 Cho, Joong-Jae et al.(2004)와 조중재 외 2인(2014)이다. Cho, Joong-Jae et al.(2004)의 연구에서는 공정능력을 평가하는 지수들 중의 하나인 C_{pmk} 에 대한 신뢰한계를 구하는 방법에 대하여 고찰되었으며, 저자들은 품질특성치가 정규분포에 따르는 경우 전통적인 공정능력지수인 C_p 및 C_{pk} 와 비교하여 효율적인 새로운 공정능력지수인 C_{pmk} 에 대해 붓스트랩(bootstrap) 기법에 의한 신뢰한계를 구하는 방법과 함께 추정된 신뢰한계의 점근분포를 고찰하고 모의실험을 통해 신뢰구간을 추정한 결과를 제시하고 비교 분석하였다. 그리고 조중재 외 2인(2014)에서는 품질특성치가 혼합정규분포를 따르는 프로세스에서 공정능력지수에 대한 통계적 추론방법이 연구되었다. 이 논문에서 저자들은 혼합정규분포 하에서 공정능력지수인 C_p 의 극한분포를 연구하고 이에 따른 가설검정방법을 제시하고 붓스트랩 기법에 의한 모의실험을 통해 가설검정의 방법의 응용기법을 고찰하여 실제 산업현장에서 손쉽게 적용할 수 있는 방법을 제시하였다.

그리고 측정시스템 분야의 연구로 서순근(2014)과 관리도 분야의 논문으로 Shin, Yong-Back(1990)의 연구가 누락되어 있어서 여기서 다루고자 한다. 서순근(2014)은 측정시스템 분야의 정밀도를 평가하는 방법을 고찰하였다. 저자는 이 연구에서 먼저 기존 측정시스템 평가 방법에서 일반적으로 사용되는 측도인 반복성, 재현성과 같은 측도 이외에 생산제품의 규격에 대한 부합여부에 따라 발생하는 생산자 위험과 소비자위험까지 고려한 평가지표를 제안하고, 이러한 평가지표를 체계적으로 관리하고 측정시스템의 평가 방법 및 활용기법을 고찰하였다. 그리고 Shin, Yong-Back(1990)은 관리도 기법에서 중앙값 관리도에 대한 방법을 연구하였다. 이 연구에서 저자는 품질특성치가 정규분포를 따르지 않거나 혹은 비대칭 분포인 경우 기존의 평균값 관리도와 비교하여 중앙값 관리도가 보다 효율적임을 입증하였다. 이 연구에서 저자는 품질특성치가 망소, 혹은 망대 또는 망목특성인 경우에 대해 중앙값 관리도의 효율성을 비교 연구하고 중소기업 등에서 특히 효과적으로 사용될 수 있음을 보여주었다.

마지막으로 품질관리 일반 분야의 연구로 본 연구에서 정리한 논문들은 다음과 같다. 먼저 Lee, Eui-Yong과 Kim, Honggie(1994)의 연구는 포아송 분포를 따르는 재고모형에서 최적화 모형을 고찰한 논문이다. 저자들은 이 연구에서 배달자의 도착시간은 포아송 분포모형에 따르고 배달자가 도착했을 때 재고가 있는 경우에는 배달이 이뤄지지 않고, 재고가 없는 경우에 배달되는 제품의 양이 확률변수일 때, 제품 단위 당 평균재고비용이 최소가 되는 배달 모형을 고찰하였다. 이 연구에서는 배달 사건이 발생할 때와 배달자에 따라 비용이 다른 경우를 가정하여 비용이 최소가 되는 최적 재고모형이 개발되었다. 그리고 Kim, Myung-Soo와 Oh, Geun-Tae(1998)는 샘플링 검사 등에서 흔히 발생하는 확률변수들이 독립적인 베르누이 분포를 따르는 모형에서 단측 가설 검정 방법을 고찰하였으며, 이 논문에서는 검정통계량이 단조우도비(monotone likelihood ratio) 형태 및 균일 최강력 검정 방법(uniformly most powerful test)이 되는 조건 등이 검토되었을 뿐만 아니라, 검정방법에 대한 응용기법도 고찰되었다.

이장희 외 2인(2001)은 인공지능망 기법을 적용한 부품 품질 관리시스템 설계 방법을 고찰하였다. 이 연구에서 저자들은 샘플링 검사 방법 등 기존의 품질관리 시스템의 대안으로 신경회로망의 일종인 SOM(self organizing map)네트워크 기법을 적용하여 부품 품질의 패턴변화를 분석하고, 부품 품질에서 이상이 발생한 경우 신속하게 대응할 수 있는 새로운 시스템 개발 방법을 제시하고 있다. 특히 이 연구에서는 제시한 방법의 적용 사례로 전자회사의 부품 수입검사에 응용한 결과를 제시하여 산업현장에서의 응용 방법도 함께 제시하고 있다.

그리고 연구 개발 분야 및 기업의 품질시스템 구축 분야의 연구로는 김종만 외 2인(2013)은 개별 기업의 연구 및 개발(R&D)분야의 인력예측 모형을 고찰하였다. 이 연구에서 저자들은 연구 및 개발 분야의 특징으로 업무가 정형화되어 있지 않은 경우 업무의 산포를 고려하기 위해 각 업무별로 필요한 인력과 시간에 대한 확률분포를 몬테칼로 시뮬레이션 기법에 의해 추정된 후, 추정된 확률분포를 이용하여 연구개발 분야의 연구프로젝트 수행에 필요한 인력을 예측하는 기법을 제시하였다. 이 논문은 기업 경영자의 관점에서가 아니라 연구개발 분야의 프로젝트 수행관점에서 적정인력을 예측하는 기법을 제시하고 있는 점이 주목할 점이다.

이 분야의 관련된 또 다른 연구로 천영돈 외 4인(2013)은 정부의 연구개발 투자의 효율성 제고 방안을 고찰하였다. 이 연구에서 저자들은 국가 연구개발사업의 연구비에 대한 요인을 분석하여 월별 연구비의 비용항목 중 유의한 세부항목을 분석하였다. 이 연구에서는 연구비에 영향을 미치는 요인으로 연구 분야를 바이오산업분야 등 5개의 분야로 세분하여 각 세부 분야별로 참여인원 등 11개의 세부항목을 설명변수로 하여 회귀분석 기법에 의해 분석하여 연구비의 비용항목에 영향을 미치는 세부 항목의 특징을 비교 고찰하여, 정부의 연구개발 투자비 예산 편성에 대한 기준을 제시한 점에서 의미가 있다. 그리고 김동진과 안용환(1990)은 측정표준실 설치 업체의 투자효과분석을 제시하였다. 이 연구에서 저자들은 우리나라 측정표준실의 설치 업체 QC 담당자를 대상으로 실제조사를 실시하여 통계자료에 대한 분석을 통하여 측정표준실 설치에 대한 효과를 파악하고 개별기업의 측정관리에 대한 투자의 기여도를 평가하였다.

품질보증방법에 관한 연구로 Park, Minjae와 Kim, Jae-Young(2014)은 제품에 대한 비용 문제를 고찰하였으며, 저자들은 제품의 수명 혹은 고장이 날 때까지의 시간과 제품보증기간이 상관관계를 가지고 있는 경우 Freund가 제시한 이변량 지수분포 모형에서 최우추정법에 의한 모수 추정방법을 고찰하고 최소비용에 의한 수리 및 교환회수를 결정하는 방법을 제시하였다. 특히 이 논문에서는 실증 사례 분석으로 우리나라 원자력 발전소에서 발생한 고장사례 및 보증기간 등의 자료를 분석하여 제시한 기법의 응용방법을 보여주고 있다. 그리고 김종호(1977)의 연구는 공산품 양산의 3단계인 표준화·생산·검사에 각각 응용되는 통계학인 규격론, 관리도, 샘플링검사 및 통계적 기법의 용도를 고찰한 논문이다. 이 논문에서 저자는 KS표시업체 100업체를 조사 대상으로 하여 품질관리에 대한 인식 및 도입과 보급방법, 교육에 있어서의 문제점, 활용으로 인한 정착화의 문제 등에 대한 33개 문항 설문조사를 우편조사로 실시하고 그 결과를 정리, 분석하여 우리나라 산업체에서의 품질관리기법의 활용상황 및 기업의 인식 상황을 실증분

석한 점이 주목할 만하다.

그리고 서영호 외 2인(2002)은 시계열분석을 사용하여 한미일 3국 기업의 인터넷 활용 단계 및 발전모델을 제시한 연구이다. 저자들은 웹사이트에 신고 있는 정보수준의 단계별 분류에 기초하여 한국, 미국, 일본 등 3개국 기업들의 웹사이트들의 활용수준을 각각 조사함으로써 국내기업과의 전략상의 차이, 경쟁실태 및 활용현황을 구체적으로 분석하고, 2년 동안 변화된 내용을 비교분석함으로써 각국의 발전수준과 방향을 제시하였다. 김태규와 김명준(2014)의 연구에서는 베이스 추정방식의 품질우수성 지수 적용방안이 제시되었다. 본 논문에서 저자들은 경험적 베이스 추정량을 활용하여 기존의 KS제품 품질우수성 지수를 산출하고 그 결과를 바탕으로 각 문항이 가지는 적합성을 측정하고, 기존 지수의 적합성 수준과 비교 분석하여 베이지안 기법의 효용성을 입증하였다. 2013년 KS제품 품질우수성 지수를 발표하기 위하여 2012년에 조사된 데이터를 활용하여 그 효용성에 대한 실증 분석을 실시한 점이 주목할 만하다.

신상식 외 2인(2013)은 정량적 방법에 의한 군수품 위험등급을 평가하는 기법을 고찰한 연구로, 저자들은 이 연구에서 통신 분야에서 사용하는 확률적 접근 방법을 응용하여 많은 종류의 군수품에 대해 매트릭스 도법에 의해 군수품의 위험등급을 객관적으로 고, 중, 저의 3단계로 평가하는 방법을 제시하였다. 그리고 제시한 기법을 2012년도의 150건의 위험도 평가 자료에 적용하여 분석한 결과를 바탕으로 제시한 방법이 보다 간편하면서도 객관적인 방법임을 입증한 사례분석을 소개하고 있다. 이와 같이 다른 분야에서 누락된 논문들로서 이 절에서 정리한 논문들을 연대기 순으로 정리하고 연구내용을 간략히 정리하면 <Figure 4>와 같다.

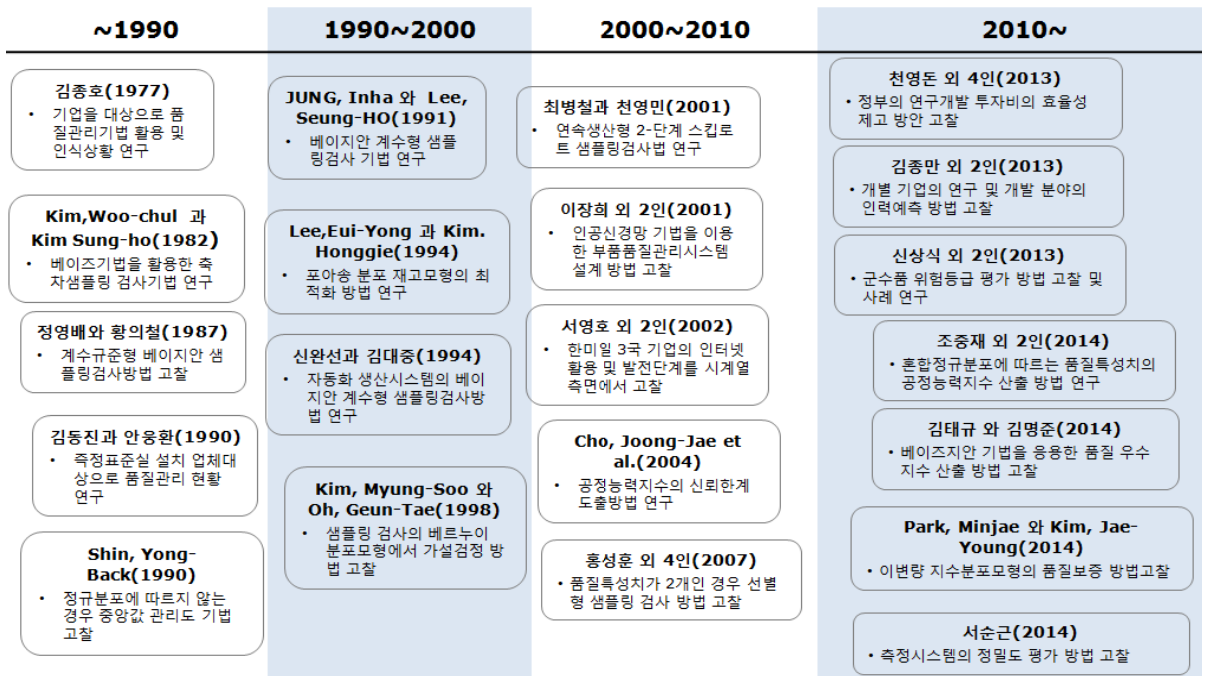


Figure 4. Other Quality Control Methods

4. 결 론

본 연구에서는 지난 50년간 한국품질경영학회가 발간한 우리나라 최초의 품질분야의 종합적인 전문 학술지인 품질관리학회지 및 품질경영학회지에 게재된 논문들 중, 실험계획법 분야의 논문 58편과 기타 다른 분야의 리뷰연구에서 다루지 못한 21편의 논문을 종합적으로 분석하여 그 상호 연관성과 발전과정을 연구하였다. 먼저 실험계획법 분야는 실험계획법 방법론 및 응용, 반응표면분석 및 혼합물 실험계획법, 강건설계의 세 개의 세부 범주로 구분하여 과거 50년 동안 품질경영학회지를 통한 실험계획법의 다양한 분야의 이론 및 응용분야의 발전 과정 및 한국품질경영학회가 학술지를 통해 우리나라 산업의 품질분야의 발전에 기여한 내용을 살펴보았다.

먼저 실험계획 방법론의 분야에서는 2000년대 이전에는 분산성분의 추정 방법 및 효과의 신뢰구간 추정과 같은 통계적 추론 방법 분야의 연구 및 최적 실험 설계 방법론에 대한 연구가 활발히 진행되었고, 2000년대 이후에는 주효과를 비롯한 다양한 교호작용효과들을 분석할 수 있는 실험계획의 설계 및 분석 방법에 관한 연구가 진행되었음을 알 수 있었다. 그리고 일반 제조업뿐만 아니라 군수산업에 이르기까지 여러 산업분야에서 실험계획 기법을 적용하여 공정의 품질을 향상시킨 다양한 사례가 소개되었다.

산업현장에서 많이 응용되는 반응표면분석 및 혼합물 실험계획법 분야에서는 반응표면 분석 함수를 추정하기 위한 효율적인 실험설계 방법뿐만 아니라 다중 반응표면의 최적화 방법론과 그래픽 방법에 의한 반응함수의 분석 기법과 혼합물 실험설계 및 분석 방법 등 다각적 관점에서 이론적 고찰이 수행되어, 연구 결과들이 발표되었음을 알 수 있었다. 특히 이 분야의 사례 적용 연구는 일반 제조 분야의 다양한 공정 최적화 사례와 함께 국방 분야의 위게임(war game)시스템 분야에서 최적 위게임 메타모형(meta model)의 개발 등과 같이 특수 분야에서도 실험계획 기법 등이 적용될 수 있음을 보여주었다.

일찍이 1960년대부터 일본에서 다구찌를 비롯한 일련의 품질철학자들에 의해 개발되었지만, 서구 및 우리나라에는 1980년대 후반에 이르러서야 소개된 강건설계 분야에서도 품질경영학회지를 통해 실로 다양한 연구결과가 발표되었음을 알 수 있었다. 특히 강건설계 분야에서는 기존의 방법의 문제점을 고찰하고 극복하는 연구뿐만 아니라, 샘플링 검사나 공정능력 분석 및 신뢰성 분야, 재고모형의 최적화와 같은 기존 품질관리의 분야로 강건설계의 기본 개념을 확장하는 방법론에 대한 연구가 주목할 만한 점이라 할 수 있다.

마지막으로 본 논문에는 다른 분야에서 리뷰정리하는 연구에서 누락된 21편의 논문도 함께 정리하였으며, 이러한 논문들은 샘플링 검사, 측정시스템 및 공정능력지수, 그리고 품질시스템의 구축 및 분석분야의 세 개의 세부 범주로 분류하여 정리하였다. 특히 이 분야의 리뷰 및 정리 내용은 각 분야와 연결된 다른 분야의 종합적인 리뷰 연구 논문과 연계하여 참고하는 것이 필요하다고 할 수 있다.

REFERENCES

<Experimental Design-Theory, Methodology and Empirical Study>

- Jeon, Jong-Woo, Kim, Woo-Chul, and Jeong, Gyu-Jin. 1988. "Confidence Bounds for Superiority." Journal of the Korean Society for Quality Control 16(2):10-17.
- Jung, Soo Il. 1991. "Studies on the Computerization of Design of Experiments(II)(in Korean)." Journal of the Korean Society for Quality Control 19(1):163-169.
- Kahng, Myung-Wook. 1996. "Computational Methods for Optimal Designs in Nonlinear Models Using the

- Simulated Annealing Algorithm(in Korean).” Journal of the Korean Society for Quality Management 24(4):59-69.
- Kim, Jung I., and Park Sung H. 1982. “Confidence Intervals on Variance Components in Two-Way Classifications with Interaction Model.” Journal of the Korean Society for Quality Control 10(1):7-12.
- Kim, Jung I. 1984. “Interval Estimation of Variance Components for the Random Twofold Nested Classification Model.” Journal of the Korean Society for Quality Control 12(2):11-14.
- Kim, Kwan Rae. 1987. "A Study on the Optimal Goods by Using Experimental Design in Market Research(in Korean).” Journal of the Korean Society for Quality Control 15(2):69-73.
- Kim, Sang Ik. 2000. “Testing on the Existence of Interaction Effects in 3^t Resolution VI Factorial Experiments(in Korean).” Journal of the Korean Society for Quality Management 28(3):59-67.
- Kim, Sang Ik. 2004. “Study on the Optimality of 2-level Resolution V Minimal Fractional Factorial Designs(in Korean).” Journal of the Korean Society for Quality Management 32(3):234-243.
- Kim, Sang Ik. 2006. “A Study on Effective Identification Method for Influential Main Effects and Interactions in the 2-level Factorial Designs (in Korean).” Journal of the Korean Society for Quality Management 34(1):27-33.
- Kim, Sang Ik. 2013. “A Study on the Statistical Structure and Additional Analysis of the 3-level Foldover Resolution-VI Fractional Factorial Designs(in Korean).” Journal of the Korean Society for Quality Management 38(1):42-51. Korean.” Journal of the Korean Society for Quality Management 32(3):234-243.
- Kim, Young Il. 1993. “Characteristics I_A Optimality Criterion Compared to the D-and Heteroscedastic G-Optimality with respect to Simple Linear and Quadratic Regression(in Korean).” Journal of the Korean Society for Quality Control 21(2):140-155.
- Koo, Bon Chul, Song Su Il. 1989. “Improving Process Capability by 2-Way Classification(in Korean).” Journal of the Korean Society for Quality Control 17(2):64-69.
- Lee, Dong Heon, Lee Mi Lim, and Bae, Suk Joo. 2015. “A Study on Optimal Operation Conditions for an Electronic Device Alignment System by Using Design of Experiments(in Korean).” Journal of the Korean Society for Quality Management 43(3):453-466.
- Lim, Yong Bin. 1998. “Study on the Size of Minimal Standardized Detectable Difference in Balanced Design of Experiments(in Korean).” Journal of the Korean Society for Quality Management 26(4):239-249.
- Lim, Yong Bin. 2005. “Practical Experimental Design Strategy and Analysis for the Comparison of Two Treatments(in Korean).” Journal of the Korean Society for Quality Management 33(3):156-160.
- Park, Sang-Gue, Kim, Jeong-il, and Lee, Eun-Koo. 1991. “Rank Tests for Comparing Several Treatments with a Control in a Randomized Block Experiment.” Journal of the Korean Society for Quality Control 19(1):16-27.
- Shin, Sang-Sik, Kim, Byeong Kyu, and Sim, Chul Bo. 2015. “A Study on Crack Formation in the K11 Objective Individual Combat Weapon Fire Control System Using Analsis of Variance(in Korean).” Journal of the Korean Society for Quality Management 43(3):289-298.
- Yoon, Joong Bum. 1988. “ANOVA for Water Repellent Finish Data (in Korean).” Journal of the Korean Society for Quality Control 16(1):43-48.
- Yum, Joon Keun, and Nam, Ki Sung. 2000. “A Study of D-Optimal Design in Nonlinear Model Using the Genetic Algorithm(in Korean).” Journal of the Korean Society for Quality Management 28(2):135-146.

<Response Surface Methodology and Mixture Designs>

- Byun, Jae-Hyun, Seo, Pan Seok, Shin, Ji Eun, Lee, Lyun gyu, and Yum, Ji Hyun. 2014. “A Case Study of Developing Rapid-Hardening Ultra-Low Temperature Adhesives by Mixture Design and Multiple Response Optimization (in Korean).” Journal of the Korean Society for Quality Management 42(4):757-768.
- Cho, Tae-Kyoung. 1997. “The Confidence Regions for the Logistic Response Surface Model.” Journal of the Korean Society for Quality Management 25(2):102-111.
- Jang, Dae-Heung, and Park, Sang-Hyun. 1996. " A graphical method for evaluating the effect of design augmenta

- tion, missing observation, and outliers in mixture experiments (in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 24(4):156–167.
- Jung, In-Jun 2012. "An Iterative Posterior Preference Articulation Approach to Dual Response Surface Optimization (in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 40(4):481–496.
- Jung, In-Jun. 2014. "Weighted Mean Squared Error Minimization Approach to Dual Response Surface Optimization: A process Capability Indices–Based Weighting Procedure (in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 42(4):685–700.
- Kim, Sangik, Kim, Yongdai, Lim, Yongbin, Choi, Kiheon, and Kim, Jeongeun 2012. "A case Study for Finding and Efficient M&S Meta Model through Sequential Response Surface Methodology (in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 40(1):49–59.
- Kim, Seong-Jun, and Park, Jong In 2010. "An Optimal Tolerancing of the Mixture Ratio with Variance Considerations(in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 38(4):580–586.
- Kim, Seong-Jun, Choi, Jai Young, and Shin, Hyunho 2014. "Design and Analysis of Mixture Experiments for Ball Mix Selection in the Ball Milling (in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 42(4):579–590.
- Lee, Myung J. 1979. "Application of Analysis of Response Surface and Experimental Designs: Optimization Methodology of Statistical Methods (in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 7(1):22–27.
- Lee, Woo Sun, and Rheem, Sungsoo 2001. "Some 3-Level Spherical Designs for Response Surface Experiments: Designs Constructed for the Radius of the Spherical Experimental Region to Vary with the Number of Factors (in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 29(1):24–40.
- Lim, Yong B. 2010. "Mixture response surface methodology for improving the current operating condition (in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 38(3):413–424.
- Lim, Yong Bin, Cho, Ho, and Kim, Yoingil 2011. "EVOP in Experiments with Mixtures (in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 39(4):500–506.
- Lim, Yong Bin. 2013. "A Note on Finding Optimum conditions Using Mixture Experimental Data with Process Variables (in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 41(1):109–118.
- Park, Sung H., and Ahn, Byung J. 1981. "Constrained Optimization Problems in Triple Response Systems." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 9(1):12–21.
- Park, Sung H. 1986. "A Class of Multi-Factor Designs for Estimating the Slope of Response Surfaces." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 14(1):26–32.
- Park, Sung H. 1978. "An Application of Response Surface Experiments to control the Quality of Industrial Products: Model Fitting and Prediction of Responses(in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 6(1):14–17.
- Yoo, Jeong-Bin. 1995. "A Study on Simultaneous Optimization of Multiple Response Surfaces (in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 23(3):84–92.

<Robust Designs>

- Cha, Kyung Joon, and Chin, Chung Un. 2000. "The Optimal Design of Low Noise Intake System Using Taguchi Method with Non-controllable Factors(in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 28(1):41–56.
- Cha, Kyungjoon, Park, Youngsun, Ryu, Jeseon, and Chin, Chungun. 2002. "The Kriging Method with Robust Design for Low Noise Intake System(in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 30(1):133–143.
- Choi, Jongdek, and Seo, Sun-Keun. 1992. "Determination of a Robust Economic Order Quantity Using Taguchi Method(in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 20(1):68–79.
- Hong, Sung-Hoon. 2000. "Determination of Optimum Process Mean and Screening Limits under a Taguchi's Loss Function." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 28(2):161–175.

- Kim, Ukil, and Kang, Chang-uk. 1992. "The Determination of Control Limit and Testing Interval in the On-Line Quality Control of Taguchi Method(in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 20(2):11-20.
- Kim, Seong-Jun. 1998. "Determination and Analysis of Signal-to-Noise Ratios for Parameter Design with Dynamic Characteristics(in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 22(1):96-111.
- Kim, Jee Hoon, Jeong, Hai Sung, and Kim, Jae Joo. 1998. "A Study on Taguchi's Feed-back Control System(in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 26(3):60-70.
- Kim, Seong-Jun. 1999. "Robust Design of a Discrete System Using Taguchi's Standard Signal-to-Noise Ratio(in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 27(2):101-111.
- Kim, Kyung Mo. 2001. "Multi -Characteristic Robust Design Methodology Based on Designer's Preference(in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 29(1):47-60.
- Kim, Kyung Mo, Park, Jong Cheon, and Ahn, Heung Il. 2001. "Direct Search-Based Robust Design of Warpage in Injection Molded Parts(in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 29(3):86-96.
- Kim, Kyung Mo. 2007. "Robust Design Methodology under Design Constraints(in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 35(4):52-60.
- Ku, Bon cheol, and Song, Seoil. 1992. "Optimization of Process Capability Index by Loss Function of Taguchi(in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 20(1):80-90.
- Lee, Woo Sun, Lee, Jong Hyup, and Rheem, Sungsoe. 1999. "Multiresponse Optimization Using a Response Surface Approach to Taguchi' s Parameter Design(in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 27(1):165-194.
- Lim, Yong Bin. 1994. "Selecion of Signal-to-Noise Ratios through Simple Data Analysis(in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 22(4):1-12.
- Lim, Yong Bin, and Lee, Youngjo. 1995. "Efficiency Comparison of Signal-to-Noise Ratios through Monte Carlo Simulations(in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 23(2):28-42.
- Lim, Yong Bin, and Lee, Youngjo. 1997. "A Note on Generalized Signal-to-Noise Ratios" *Journal of the Korean Society for Quality Management* 25(4):88-98.
- Ree, Sangbok. 2009. "Method Determining Level of Noise Factor of Taguchi Method under Various Probability Distribution(in Korean)" *Journal of the Korean Society for Quality Management* 37(4):10-15.
- Ree, Sangbok. 2013. "Study on the Result Changes with the Size of the Variance in Taguchi Method and Factor Experimental(in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 41(1):119-134.
- Ree, Sangbok. 2014. "A Study on Improving Lecture Satisfaction using Taguchi Method(in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 42(1):63-70.
- Seo, Sun-Keun, and Ha, Chen-Soo. 2004. "Analysis of Degradation Data U sing Robust Experimental Design(in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 32(1):113-129.
- Shin, Yongbaek, and Youn, Sangwon. 1993. "EA Study on the Determination of optimum producer's Tolerance by Continuous Loss Function of Taguchi(in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 21(2):61-70.
- Yun, Won Young, and Seo, Sun-Keun. 2010. "A Note on Determining the Level of Noise Factor for Smaller-the-Better Characteristics(in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 38(3):408-412.

<Other Quality Control Methods>

- Cheon, Young-Don, Kim, Dong-Guen, Lee, Yoon Been, Hwang, Ji-Ho, and Kim, Yong Soo. 2013. "A Study of Factors Influencing the Costs of Funding as a Function of Research Area and Financial Institutions(in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 41(1):163-180.
- Cho, Joong-Jae, Park, Byoung-Sun, and Park, Hyo-il. 2004. "Better Confidence Limits for Process Capability Index C_{pmk} under the Assumption of Normal Process." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 32(4):229-241.
- Cho, Joong-Jae, Heo, Tae-Young, and Jeong, Jun Chel. 2014. "Statistical Tests for Process Capability Index C_p

- Based on Mixture Normal Process(in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 42(2):209–219.
- Choi, Byoung Chul, and Chun, Young Min. 2001. "Modified Two-Level Skip-Lot Sampling Plan(in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 29(1):113–127.
- Chung, Young Bai, and Hwang, Eui Chul. 1987. "Rectifying Inspection Plan for KSA 3102 with Gamma-Prior Distribution(in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 15(2):55–60.
- Hong, Sung Hoon, Choi Ik Jun, Lee, Yoon Dong, Lee Min Koo, and Kwon, Hyuck Moo. 2007. "Design of Rectifying Screening Inspection under a Bivariate Normal Distribution(in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 35(4):147–158.
- JUNG, INHA, and LEE, SEUNG-HO. 1991. "Empirical Bayes Estimation of Binomial Parameter with an Application to the Acceptance Sampling Problem." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 19(2):86–95.
- Kim, Jong-ho. 1977. "A Study on the Role of Statistics in Industrial Mass Production - Standardization· Production· Inspection(in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 5(2):3–20.
- Kim, Dong Jin, and Ahn, Eung Whan. 1990. "Investment Effect Analysis of Industrial Firms with a Measurement Standard Laboratory(in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 18(1):84–95.
- Kim, Myung-Soo, and Oh, Geun-Tae. 1998. "A Hypothesis Test under the Generalized Sampling Plan." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 26(4):79–87.
- Kim, Woo-chul, and Kim, Sung-ho. 1982. "A Study on Optimal Sampling Acceptance Plans with Respect to a Linear Loss Function and a Beta-binomial Distribution." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 10(2):25–33.
- Kim, Chong Man, Ahn Jung Jin, and Kim, Byung Soo. 2013. "Design of Probabilistic Model for Optimum Manpower Planning in R&D Department(in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 41(1):149–162.
- Kim, Tai. K., and Kim, Myung Joon. 2014. "A Study on the Bayes Estimation Application for Korean Standard -Quality Excellence Index(KS-QEI)(in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 42(4):747–756.
- Lee, Eui-Yong, and Kim, Honggie. 1994. "Optimization of a Model for an Inventory with Poisson Restocking -Optimization of an Inventory Model-." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 22(1):214–218.
- Lee, Jang Hee, Yu, Song Jin, and Park, Sang Chan. 2001. "Design of Intelligent Material Quality Control System Based on Pattern Analysis Using Artificial Neural Network(in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 29(4):38–53.
- Park, Minjae, and Kim, Jae-Young. 2014. "Cost Analysis on Warranty Policies Using Freund's Bivariate Exponential Distribution." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 42(1):1–14.
- Seo, Sun-Keun. 2014. "Two-Dimensional Assessment for Measurement System Analysis(in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 42(4):607–616.
- Shin, Yong-Back. 1990. "A Study of the Effective Approach Method for Median Control Chart of Non-Normally Distributed Process." *Journal of the Korean Society for Quality Control* 18(1):55–64.
- Shin, Wan Seon, and Kim, Dae Joong. 1994. "Economic Design of Bayesian Acceptance Plans for Dependent Production Process(in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 22(1):96–111.
- Shin, Sang-Sik, Lee, Kil-Soo, and Cho, Heung-Gi. 2013. "An Objective Method of Risk Assessment Based on Stochastic Modelling(in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 41(3):465–474.
- Suh, Yung-Ho, Chae, Young Il, and Lee, Hyun-Soo. 2002. "Comparative Analysis of Levels of Internet Usage and Developments in Companies among Korea, U.S., and Japan(in Korean)." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 30(1):47–60.