소표본인 경우 비모수 순위척도를 이용한 정규성 검정

이 창 호* · 최 성 운**
*인하대학교 아태물류학부 · **경원대학교 산업공학과

- Normality Tests Using Nonparametric Rank Measures for Small Sample -

Changho Lee* · Sungwoon Choi**
*Asia Pacific School of Logistics, Inha University
**Department of Industrial Engineering, Kyungwon University

Abstract

The present study proposes two normality tests using nonparametric rank measures for small sample such as modified normal probability paper(NPP) tests and modified Ryan-Joiner Test. This research also reviews various normality tests such as χ^2test, and Kullback -Leibler test. The proposed normality tests can be efficiently applied to the sparsity tests of factor effect or contrast using saturated design in k^nfactorial and fractional factorial design.

Keywords : Normality Tests, Nonparametric Rank Measures, Small Sample, Modified NPP Test, Modified Ryan-Joiner Test, Sparsity Test, Factor Effect, Contrast

1. 서 론

데이터는 사실(Fact)의 증거 및 경험의 규칙(Rule)으로 정보(Information), 지식(Knowledge)체계를 구축하고 분석하는 경우 유용하게 사용된다. 대량의 데이터를 효율적, 시각적으로 표현하기 위해 확률함수를 사용하는데 이것이 바로 통계에서의 확률분포(Probability Distribution)이다. 연속형(계량형)분포로는 평균변화를 알아보기 위한 정규분포, t분포가 있고 분산변화를 알아보는 χ^2분포, F분포가 있다. 이산형(계수형)분포로는 불량(부적합품)변화를 알아보기 위해 초기하분포, 이항분포, 포아송분포를 사용하는 데 이 경우 초기하분포는 가장 정밀하나 계산이 복잡하고 포아송분포는 계산은 간단하나 가장 정밀하지 못해서 이항분포를 대표적으로 사용하고 있다. 결점(부적합)변화를 알아보기 위해서는 포아송분포를 사용한다.

정규분포는 연속형분포의 대표적인 분포로 모수 μ와 σ^2의 정보를 사전에 오랫동안 누적시키거나 이미 알려져 있는 경우 사용되며 충분한 샘플의 크기 n이 고려되었기 때문에 면적에 의한 표준정규값을 쉽게 구할 수 있다는 장점 때문에 많이 활용된다. t분포, χ^2분포, F분포 역시 정규분포를 가정한 표본분포(Sampling Distribution)이며 불량분포인 이항분포, 결점분포인 포아송분포인 경우 역시 효율적인 계산과 사용을 위하여 각각 $np\geq5$, $c\geq5$인 경우 정규근사를 이용한다.

SPC(Statistical Process Control)의 관리도, 공정능력지수, 히스토그램과 DOE(Design of Experiment), 회귀분석(Regression Analysis)의 오차항의 가정에서는 정규성 검정(Nomarlity Test)이 전제적으로 요구된다. 그러나 대부분의 사용자들은 정규성 검정의 검토없이 무조건 통계적 품질기법들을 사용하여 오도된 분석에 의한 그릇된 의사결정을 하게 된다.

† 교신저자: 최성운, 경기도 성남시 수정구 북정동 산65 경원대학교 산업공학과
M · P: 011-256-0697, E-mail: swchoi@kyungwon.ac.kr
2008년 7월 접수; 2008년 8월 수정본 접수; 2008년 8월 게재확정

따라서 본 연구에서는 우선 χ^2 검정, Kolmogorov-Smirnov 검정, Anderson-Darling 검정, Shapiro-Wilk 검정, 표본 Entropy 검정, Kullback-Leibler 검정 등을 고찰한다. Fothergill[7]은 메디안 순위를 불완비 베타 분포에 의해 정확히 구하는 방법을 제시하였으며 Keccioglu[10]는 F분포를 이용하여 퍼센타일 p를 구할 수 있는 순위 방법을 제안하였다. Jacquelin[8,9]과 Cacciari et al.[6]는 비모수 순위척도의 근사추정 방법을 제시하였고 최[4]는 신뢰성 순위 비모수 척도를 제안하였다. 비모수 순위 척도는 EDF(Empirical Distribution Funtion), 계단함수 오자이브 (Step-Function Ogive), P-P Plot, Q-Q Plot 에 적용 가능하다.

따라서 본 연구에서는 다품종 소량생산의 소표본에서 효율적으로 적용될 수 있는 비모수 순위척도를 활용하여 두가지 새로운 정규성 검정방법을 개발하고 이를 실험계획법의 포화실험(Saturated Design)[5]에 적용하는 방안을 제시한다. 즉 본 연구에서는 소표본인 경우 Jacquelin 추정량, Filliben 추정량, 메디안(Median) 순위, 모드(Mode) 순위, 평균(Mean) 순위, IEC 56 추정량 Blom 추정량, Kaplan - Meier 추정량, Tuke 추정량, Gumbel 추정량 등의 비모수 순위척도(Nonparametric Rank Measures)를 이용하여 통계의 전문지식이 없는 사용자도 쉽게 활용할 수 있는 수정된 정규확률지 검정, 수정된 Ryan-Joiner 검정 등을 제시하고 k^n요인배치법에서 포화실험에 의한 요인효과의 검정의 적용방안을 제안한다..

2. 정규성 검정방법

2.1 χ^2 적합도검정

χ^2 적합도 검정의 3단계는 다음과 같다.[3]

단계 1 : 가설설정

H_0 : 정규분포를 만족한다.

H_1 : 정규분포를 만족하지 않는다.

단계 2 : 검정통계량 계산

2.1) 각 범주별 기대도수가 5이상이 되도록 표본의 크기를 증가시키든지 인접한 범주를 결합한다.

2.2) 실제도수를 n_i, 기대도수를 nP_{i0}라고 할 경우 각 범주별 이론확률 P_{i0}는 표준정규분포 함수를 사용하여 구한다. 정규분포이외의 연속형 분포일 경우 PDF (Probability Density Function)로 이산형 분포일 경우 PMF (Probability Mass Function)로 구한다.

2.3) 검정통계량 $\chi^2 = \sum_{i=1}^{k}(\frac{E_i - O_i}{E_i}) = (\frac{n_i - nP_{i0}}{nP_{i0}})^2$을 계산한다.

단계 3 : 판정

검정통계량 χ^2의 유의확률 P-Value가 유의수준 α보다 클 경우 H_0가설을 채택하여 정규분포를 만족한다는 결론을 내린다.

2.2 Kolmogorov-Smirnov 검정

Kolmogorov-Smirnov 검정의 3단계는 다음과 같다.

단계 1 : 가설설정

H_0 : 정규분포를 만족한다.

H_1 : 정규분포를 만족하지 않는다.

단계 2 : 검정통계량 계산

2.1) 데이터 x_i를 i번째 오름차순으로 정렬한다.

2.2) $F(x_i) = \Phi(E_i) = \Phi(\frac{x_i - \bar{x}}{s})$를 계산한다.

2.3) 검정통계량 $KS = \max_i(\max_i(\frac{i}{n} - F(x_i)), \max_i(F(x_i) - \frac{i-1}{n})$를 계산한다. 이는 ECDF (Empirical CDF)를 가지며 가장 많이 사용하나 검출력 (Power of Detection)은 다른 방법에 비해 좋지 않다.

단계 3 : 판정

3.1) 검정통계량 KS의 유의확률 P-Value가 유의수준 α보다 클 경우 H_0가설을 채택하여 정규분포를 만족한다는 결론을 내린다.

3.2) 3.2절의 정규확률지 검정으로 $(x_i, F(x_i))$의 직선 시각화에 의한 이해를 돕는다.

2.3 Anderson-Darling 검정

Anderson-Darling 검정의 3단계는 다음과 같다. [3]

단계 1 : 가설설정

H_0 : 정규분포를 만족한다.

H_1 : 정규분포를 만족하지 않는다.

단계 2 : 검정통계량 계산

2.1) 데이터 x_i를 i번째 오름차순으로 정렬한다.

2.2) $F(x_i)=\Phi(E_i)=\Phi(\frac{x_i-\bar{x}}{s})$를 계산한다.

2.3) 검정통계량 $AD=-n-\sum_{i=1}^{n}(\frac{2i-1}{n}[\ln F(x_i)+\ln(1-F(x_{n+1-i}))]$를 계산한다. 이는 ECDF(Empirical CDF)를 가지며 우수한 검정을 가지며 이상값(Outlier)을 탐지하는데 효과적이다. 수정된 통계량 $AD^*=AD(1+\frac{0.75}{n}+\frac{2.25}{n^2})$이며[2], Cramer-Von Mises 통계량 $CM=\sum_{i=1}^{n}(F(x_i)-\frac{2i-1}{2n})^2+\frac{1}{12n}$이다. [1]

단계 3 : 판정

3.1) 검정통계량 AD의 유의확률 P-Value가 유의수준 α보다 클 경우 H_0가설을 채택하여 정규분포를 만족한다는 결론을 내린다.

3.2) 3.1절의 정규확률지 검정으로 $(x_i, F(x_i))$의 직선 시각화에 의한 이해를 돕는다.

2.4 Shapiro-Wilk 검정

Shapiro-Wilk 검정의 3단계는 다음과 같다.

단계 1 : 가설설정

H_0 : 정규분포를 만족한다.

H_1 : 정규분포를 만족하지 않는다.

단계 2 : 검정통계량 계산

2.1) 데이터 x_i를 i번째 오름차순으로 정렬한다.

2.2) 검정통계량 $SW=\frac{\sum_{i=1}^{n}a_{n-i+1}(x_{n-i+1}-x_i)}{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}$를 구하며, Shapiro-Wilk는 $n=3$에서 50까지 근사시킨 a_i값을 제시하였다. [1]

단계 3 : 판정

검정통계량 SW의 유의확률 P-Value가 유의수준 α보다 클 경우 H_0가설을 채택하여 정규분포를 만족한다는 결론을 내린다.

2.5 표본 Entropy 검정

표본 Entropy 검정의 3단계는 다음과 같다.

단계 1 : 가설설정

H_0 : 정규분포를 만족한다.

H_1 : 정규분포를 만족하지 않는다.

단계 2 : 검정통계량 계산

2.1) 데이터 x_i를 i번째 오름차순으로 정렬한다.

2.2) 검정통계량 $E=\frac{n}{2ms}\prod_{i=1}^{n}(x_{i+m}-x_{i-m})^{1/n}$으로 m은 $\frac{n}{2}$보다 작은 양의 정수이다. [2]

단계 3 : 판정

검정통계량 E의 유의확률 P-Value가 유의수준 α보다 클 경우 H_0가설을 채택하여 정규분포를 만족한다는 결론을 내린다.

2.6 Kullaback-Leibler 검정

Kullaback-Leibler 검정의 3단계는 다음과 같다.

단계 1 : 가설설정

H_0 : 정규분포를 만족한다.

H_1 : 정규분포를 만족하지 않는다.

단계 2 : 검정통계량 계산

2.1) 데이터 x_i를 i번째 오름차순으로 정렬한다.

2.2) 검정통계량 $KL=\frac{n}{2m}\prod_{i=1}^{n}(x_{i+m}-x_{i-m})^{1/n}$으로 m은 $\frac{n}{2}$보다 작은 양의 정수이다. [2]

단계 3 : 판정

검정통계량 KL의 유의확률 P-Value가 유의수준 α보다 클 경우 H_0가설을 채택하여 정규분포를 만족한다는 결론을 내린다.

3. 비모수 순위척도 정규성 검정

3.1 수정된 정규확률지 검정

정규확률지(Normal Probability Paper)는 좌우대칭 종모양의 정규분포에 대한 누적분포함수(CDF : Cumulative Distribution Function) $F(x)$의 값이 직선으로 되도록 가로, 세로 칸을 조정해 놓은 양식이다. MINITAB 등 통계 소프트웨어를 활용할 수 없거나 통계적 전문지식이 없는 사용자도 데이터 x_i에 대한 $F(x_i)$의 점을 플로팅(Plotting)하여 직선여부를 판정하며 1차 회귀분석의 P-Value에 의해 정규성 검정을 실시하여 주관적 판단에 의한 오류를 지양한다. 대부분의 순서 통계량(Order Statistics)에 의한 MINITAB 정규성 검정에서는 검정 통계량의 P-Value에 의한 정규성 판정시 시각적인 정규확률지의 직선그래프를 제시하여 사용자의 이해도를 높인다.

수정된 정규확률지 검정의 3단계는 다음과 같다.

단계 1 : 가설설정

H_0 : 정규분포를 만족한다.

H_1 : 정규분포를 만족하지 않는다.

단계 2 : $F(x_i)$계산

2.1) 데이터 x_i를 i번째 오름차순으로 정렬한다.

2.2) i번째 x_i에 대한 CDF $F(x_i)$를 다음 10가지 비모수 순위척도를 사용하여 구한다.

i) Jacquelin 추정량

$$F(x_i)=\frac{i-c}{n-2c+1}, \qquad c=c_i+c_{n-i+1}-0.2784,$$

$$c_k=(1-(k+1)(0.5)^{-\frac{1}{k}})/(1-2(0.5)^{-\frac{1}{k}})$$

ii) Filliben 추정량

$$F(x_i)=\frac{i-0.3175}{n+0.365}$$

iii) 메디안 순위 (Median Rank, Bernard & Bos-Levenbach) 추정량: SAS 지원

$$F(x_i)=\frac{i-0.5}{n+0.4}$$

왜곡 (Skewed) 분포에 적용가능하며 최소 절대 편차합의 회귀로 누적분위 (Quantile Rank)를 추정한다.

iv) 중간위치 순위 (Midpoint Rank, 수정 Kaplan- Meier, Hazen) 추정량: MINITAB 지원

$$F(x_i)=\frac{i-0.5}{n}$$

$\frac{i}{n}$와 $\frac{i-1}{n}$의 중간위치로 정규분포에 적용한다.

v) 평균 순위 (Mean Rank, Herd-Johnson, Weibull) 추정량: SAS, MINITAB 지원

$$F(x_i)=\frac{i}{n+1}$$

정규분포에 최소 제곱합의 회귀로 누적분위 확률을 추정한다.

vi) IEC 56 추정량

$$F(x_i)=\frac{i-0.5}{n+0.25}$$

vii) Blom 추정량: SAS, MINITAB 지원

$$F(x_i)=\frac{i-0.375}{n+0.25}$$

viii) Kaplan-Meier 추정량

$$F(x_i)=\frac{i}{n}$$

$(-\infty,\infty)$ 치역분포에 대해서 가장 큰 값을 플롯할 수 없다. 반면에 $\frac{i-1}{n}$은 가장 작은 값을 플롯 할 수 있다.

이 추정량은 $\frac{1}{n}$증가 계단함수의 선험 (Empirical)분포에 적용한다.

ix) Tukey 추정량: SAS 지원

$$F(x_i)=\frac{i-1/3}{n-1/3}$$

x) 모드 순위 (Gumbel) 추정량

$$F(x_i)=\frac{i-1}{n-1}$$

양 끝에 데이터를 플롯 할 수 없다.

단계 3 : 판정

3.1) 주관적 판정 : 타점된 $(x_i, F(x_i))$가 직선으로 나타나는 경우 H_0가설을 채택하여 정규분포를 만족한다는 결론을 내린다.

3.2) 통계적 판정 : x_i와 $F(x_i)$를 각각 독립변수, 종속변수인 1차 회귀분석의 유의확률(Significant Probability) P-Value가 유의수준(Significant Level) α보다 클 경우 H_0가설을 채택하여 정규분포를 만족한다는 결론을 내린다.

3.2 수정된 Ryan-Joiner 검정

Ryan-Joiner 검정의 3단계는 다음과 같다.

단계 1 : 가설검정

H_0 : 정규분포를 만족한다.

H_1 : 정규분포를 만족하지 않는다.

단계 2 : 검정통계량 계산

2.1) 데이터 x_i를 i번째 오름차순으로 정렬한다.

2.2) i번째 x_i에 대한 CDF $F(x_i)$를 다음 10가지 비모수 순위척도를 사용하여 구한다.

i) Jacquelin 추정량

$F(x_i)=\frac{i-c}{n-2c+1}$, $c=c_i+c_{n-i+1}-0.2784$,

$c_k=(1-(k+1)(0.5)^{\frac{1}{k}})/(1-2(0.5)^{\frac{1}{k}})$

ii) Filliben 추정량

$F(x_i)=\frac{i-0.3175}{n+0.365}$

iii) 메디안 순위 (Median Rank, Bernard & Bos-Levenbach) 추정량: SAS 지원

$F(x_i)=\frac{i-0.5}{n+0.4}$

왜곡 (Skewed) 분포에 적용가능하며 최소 절대 편차합의 회귀로 누적분위 (Quantile Rank)를 추정한다.

iv) 중간위치 순위 (Midpoint Rank, 수정 Kaplan- Meier, Hazen) 추정량: MINITAB 지원

$F(x_i)=\frac{i-0.5}{n}$

$\frac{i}{n}$와 $\frac{i-1}{n}$의 중간위치로 정규분포에 적용한다.

v) 평균 순위 (Mean Rank, Herd-Johnson, Weibull) 추정량: SAS, MINITAB 지원

$F(x_i)=\frac{i}{n+1}$

정규분포에 최소 제곱합의 회귀로 누적분위 확률을 추정한다.

vi) IEC 56 추정량

$F(x_i)=\frac{i-0.5}{n+0.25}$

vii) Blom 추정량: SAS, MINITAB 지원

$F(x_i)=\frac{i-0.375}{n+0.25}$

viii) Kaplan-Meier 추정량

$F(x_i)=\frac{i}{n}$

$(-\infty,\infty)$ 치역분포에 대해서 가장 큰 값을 플롯할 수 없다. 반면에 $\frac{i-1}{n}$은 가장 작은 값을 플롯 할 수 있다.

이 추정량은 $\frac{1}{n}$증가 계단함수의 선험 (Empirical)분포에 적용한다.

ix) Tukey 추정량: SAS 지원

$F(x_i)=\frac{i-1/3}{n-1/3}$

x) 모드 순위 (Gumbel) 추정량

$F(x_i)=\frac{i-1}{n-1}$

양 끝에 데이터는 플롯 할 수 없다.

2.3) $F(x_i)$에 대한 표준 정규값 $E_i=\Phi^{-1}(F(x_i))$를 구한다.

2.4) (x_i, E_i)의 상관계수 r을 구한다.

단계 3 : 판정

3.1) (x_i, E_i) 상관분석의 유의확률 P-Value가 유의수준 α보다 클 경우 H_0가설을 채택하여 정규분포를 만족한다는 결론을 내린다.

3.2) 3.1절의 정규확률지 검정으로 $(x_i, F(x_i))$의 직선 시각화에 의한 이해를 돕는다.

4. 포화실험의 적용방안

오차항의 자유도가 0인 포화실험에서는 실험계획법의 주요 분석 도구인 ANOVA(Analysis of Variance)를 사용할 수 없고 PSE(Pseudo Standard Error) 검정방법과 요인효과의 흩어짐(Sparsity)검정 방법을 사용해야 한다.

PSE 검정은 CRD의 k^n요인배치법에서 요인효과의 유의성 여부를 판정할 경우 오차항의 자유도가 0인 SD 분석방법이다. PSE는 1단계로 요인 효과 또는 대비 C_j (Contrast)의 절대값의 메디안에 1.5를 곱하여 초기범위 (R_0)를 구한 후 2단계로 요인효과가 2.5 R_0를 초과하는 것을 제외한 메디안에 1.5를 곱하여 생성한다.

1단계 : 초기범위 R_0계산

$$R_0=1.5\cdot Median\{|C_j|\}$$

2단계 : PSE 계산

$$PSE=1.5\cdot Median\{|C_j|:|C_j|\le 2.5R_0\}$$

예를 들어 2^3요인배치법에서 요인효과의 절대값이 {13, 4.5, 2.5, 26.5, 5.5, 3.1, 7.3}일 경우 메디안은 5.5이고 초기범위 $R_0=1.5\times 3.5=5.25$이다.

2.5 R_0인 20.625를 벗어나는 요인효과 26.5를 제외하고 $PSE=1.5\cdot Median\{11, 2.5, 0.5, 3.5, 1.1, 5.3\}=1.5\times 3=4.5$이다.

PSE는 요인효과의 유의성 판정기준이 되는 개개의

요인효과 비교 검정기준인 ME 또는 IER(Individual Error Rate)과 임의의 요인효과의 다중비교(Multiple Comparison) 검정기준인 SME 또는 ERR(Experimentwise Error Rate)를 계산할 시 사용된다.[5]

따라서 본 절에서는 3절에서 개발된 수정된 정규성검정과 수정된 Ryan-Joiner 검정을 포화실험의 요인효과 흩어짐 검정에 적용하는 단계를 다음과 같이 제시한다.

단계 1 : k^n요인배치법 또는 k^n일부실시법에 따라 실험을 실시하고 요인에 대한 수준별 평균차인 요인효과(Effect) 또는 대비(Contrast)를 구한다. 예를 들어 2^4 요인배치법인 경우 A, B, C, D, AB, AC, AD, BC, BD, CD, ABC, ABD, ACD, BCD, ABCD의 요인이 나오며 A의 -1수준 평균이 -10, +1수준 평균이 15일 경우 A요인효과=15-(-10)=25가 되며 ABC의 -1수준평균이 10, +1수준 평균이 -23일 경우 ABC 요인효과=-23-10=-33이 된다.

단계 2 : 단계 1의 요인효과 또는 대비를 오름차순으로 정렬한다.

단계 3 : 요인효과 x_i순위에 대해 3절에서 제안한 10가지의 비모수 순위척도를 사용하여 누적확률 $F(x_i)$를 구한다. 1단계 2^4요인배치법의 예에서 $n=15$, i는 순위를 나타낸다.

단계 4. : 요인효과 x_i순위와 7가지 비모수 순위척도에 의한 누적확률 $F(x_i)$에 대해 3절에서 제안한 수정된 정규성 검정과 수정된 Ryan-Joiner검정을 적용한다.

단계 5 : 단계 4에서 H_1가설 채택 즉 정규확률도의 직선에 위치하지 않거나 정규분포를 만족하지 않는 유의적인 판정의 요인효과 또는 대비는 오차항으로 풀링하고 ANOVA를 실시한다.

5. 결 론

본 연구에서는 관리도, 공정능력지수, 히스토그램 등의 SPC와 분산분석의 DOE 및 회귀분석의 오차항에 대한 정규성 검정을 소표본에서 10가지의 비모수 순위척도를 이용하여 수정된 정규확률지 검정과 수정된 Ryan-Joiner 검정 방법을 제안하였다. 비모수 순위척도를 위해 Jacqueline 추정량, Filliben 추정량, 메디안 순위, 모드 순위, 평균 순위, IEC 56 추정량 등을 사용했으며 이는 편차가 작은 순서이다. 수정된 정규확률지 검정과 수정된 Ryan-Joiner 검정은 다품종 소량생산의 소표본에서 특히 k^n요인배치법의 포화실험에 의한 요인효과의 검정의 적용시 통계의 전문적 지식이 없는 실무자가 쉽고 효율적으로 사용할 수 있다.

향후 연구로 CDF분포의 특성에 따른 10가지 비모수 순위 척도의 민감도분석에 의한 수정된 정규성 검정 방법의 적용사례 개발에 있다.

6. 참 고 문 헌

[1] 곽민신, “정규성 검정을 위한 P-P 플롯의 고찰,” 충남대학교 석사학위논문, 2006.

[2] 엄준혁, “정규성 검정방법들의 경험적 비교 연구,” 대구카톨릭대학교 석사학위논문, 2006.

[3] 이승훈, MINITAB을 이용한 공학통계 자료분석, 이레테크, 2006.

[4] 최성운, “소표본인 경우 신뢰성 순위척도의 고찰,” 대한안전경영과학회지, 9(2)(2007) 161-169.

[5] 최성운, “k^n요인배치법에서 포화실험에 의한 요인효과의 검정”, 대한안전경영과학회 춘계학술대회 논문집, (2008) 295-299.

[6] Cacciari M, Montanari G.C., "Discussion on Estimating the Cumulative Probability of Data Points to be Ploted on Webull and Other Probability Paper", IEEE Transactions on Electrical Insulation, 26(6)(1991)1224-1229.

[7] Fothergill J.C., "Estimating the Cumulative Probability of Failure Data Points to be Plotted on Weibull and Other Probability Paper", IEEE Transactions on Electrical Insulation, 25(3)(1990) 489-492.

[8] Jacquelin J., "Generalization of the Method of Maximum Likelihood", IEEE Transactions on Electrical Insulation, 28(1) (1993)65-72.

[9] Jacquelin J., "A Reliable Algorithm for the Exact Median Rank Function", IEEE Transactions on Electrical Insulation, 28(2)(1993)168-171.

[10] Keccioglu D., Reliability and Life Testing Handbook, PTR Prentice Hall Inc., 1993.

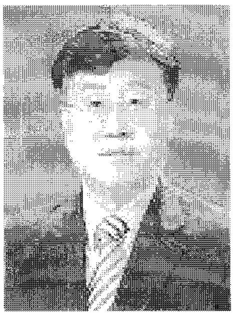
저 자 소 개

이 창 호

현재 인하대학교 아태물류학부 교수로 재직 중. 인하대학교 산업공학과 학사, 한국과학기술원 산업공학과 석사, 한국과학기술원 경영과학과 공학박사 취득. 주요 연구 관심분야는 인천항의 물류관리, RFID를 활용한 응용시스템, 항공산업 관련 스케줄링과 중소기업의 ERP 개발 등이다.

주소: 인천광역시 남구 용현동 253 인하대학교 대학원 산업공학과

최 성 운



현 경원대학교 산업공학과 교수. 한양 대학교산업공학과에서 공학사, 공학석사, 공학박사 학위를 취득하고, 1994년 한국과학재단 지원으로 University of Minnesota에서 1년간 Post-Doc을 수행했으며, 2002년부터 1년 반동안 University of Washington에서 Visiting Professor를 역임하였음. 주요 관심분야는 자동화 생산 및 장치 산업에서의 품질관리이며, 컴퓨터, 정보시스템의 신뢰성 설계 및 분석, 서비스 사이언스, RFID, ITSM 시스템에도 관심을 가지고 있음.

주소: 경기도 성남시 수정구 복정동 산65번지 경원대학교 산업공학과