

소프트웨어 고장 간격 시간에 대한 공정능력분석에 관한 연구

김희철* · 신현철**

요 약

소프트웨어 고장 시간은 테스트 시간과 관계없이 일정하거나, 단조증가 혹은 단조 감소 추세를 가지고 있다. 이러한 소프트웨어 신뢰모형들을 분석하기 위한 자료척도로 자료에 대한 추세 검정이 개발되어 있다. 추세 분석에는 산술평균 검정과 라플라스 추세 검정등이 있다. 추세분석들은 전체적인 자료의 개요의 정보만 제공한다. 이러한 분석도구를 다시 세분화하여 품질 관리 측면에서 분석을 시도 할 필요가 있다. 따라서 본 논문에서는 품질관리 측면에서 사용되는 공정 능력지수를 이용한 공정분석을 시도하였다. 소프트웨어 고장 간격 시간은 비음이기 때문에 수명 분포가 정규분포를 가정하는 기존의 공정능력분석방법 대신에 정규화 시켜주는 박스-코스 변환을 이용하여 공정 능력 분석을 시도 하였다. 공정능력에 사용된 고장 간격 시간자료는 실제 자료인 SS3을 이용하였고 그 결과를 나열 하였고 이런 결과들의 활용 방안을 제시 하였다.

The Study for Process Capability Analysis of Software Failure Interval Time

Hee-Cheul Kim* · Hyun-Cheul Shin**

ABSTRACT

Software failure time presented in the literature exhibit either constant, monotonic increasing or monotonic decreasing. For data analysis of software reliability model, data scale tools of trend analysis are developed. The methods of trend analysis are arithmetic mean test and Laplace trend test. Trend analysis only offer information of outline content. From the subdivision of this analysis, new attempt needs the side of the quality control. In this paper, we discuss process capability analysis using process capability indexes. Because of software failure interval time is pattern of nonnegative value, instead of capability analysis of suppose to normal distribution, capability analysis of process distribution using to Box-Cox transformation is attempted. The used software failure time data for capability analysis of process is SS3, the result of analysis listed on this chapter 4 and 5. The practical use is presented.

Key words : Software Failure Interval Time, Box-Cox Transformation, Process Capability Index

* 남서울대학교 산업경영공학과

** 백석문화대학 컴퓨터정보학부

1. 서 론

소프트웨어 테스트 단계에서 소프트웨어 고장수(Number of failure)와 고장 간격 시간에 의해 소프트웨어 고장현상을 수리적으로 모형화하면 소프트웨어에 대한 평가를 보다 쉽게 할 수 있으며 신뢰도 모형에 의해 소프트웨어 고장수, 소프트웨어 고장 발생간격 시간, 소프트웨어 신뢰도 및 고장률 등의 신뢰성 평가측도들이 추정되어 미래의 고장 시간을 예측할 수도 있다.

소프트웨어 고장시간은 수명자료가 된다. 따라서 비음(Nonnegative)의 값을 가지기 때문에 이 분야에서는 주로 지수분포, 와이블분포, 감마분포 등 일반화 감마 분포(혹은 어랑분포)가 많이 사용되어 왔다[1]. 그러나 이러한 감마분포 외에도 통계자료 해석시 자료를 대수변환 이 후에 정규분포로 처리하면 되는 대수정규분포(Lognormal distribution), 이 분포와 유사한 대수로지스틱 분포(Loglogistic distribution)도 이 분야에 사용이 가능하대[3]. 또, 자유도(Degree of freedom ; df)에 의존하는 카이제곱(χ^2 distribution) 분포도 적용이 가능하다. 이러한 카이제곱 분포는 변화가 일어날 때 까지의 대기시간을 나타내는 데 많이 사용되는 감마분포(Gamma Distribution)의 특수한 경우로도 접근 할 수 있기 때문에 소프트웨어 신뢰성 수명분포로 설명 할 수 있다[2].

이 방면에서는 수명분포에 따른 모형의 효율성이 대다수 연구 되었다. 이러한 신뢰모형들을 분석하기 위한 자료척도로 자료에 대한 추세 검정이 개발되어 있다. 추세 분석에는 산술평균 검정(Arithmetic mean test)과 라플라스 추세 검정(Laplace trend test)등이 있다[5]. 산술 평균 검정결과 고장시간이 증가함에 따라 산술 평균이 거의 증가 추세를 보이고 있으면 신뢰성장(Reliability growth) 속성을 가지고 있고 라플라스 추세 검정의 결과도 라플라스 요인(Factor)이 증가하다가 고장시간이 증가함에 따라 음수로서 감소하면 신뢰성장(Reliabil-

ity growth) 속성을 나타내고 있다고 해석한다[6].

그러나 이런 추세분석들은 전체적인 자료의 개요의 정보만 제공한다.

본 논문에서는 이러한 분석도구를 다시 세분화하여 품질 관리 측면에서 분석을 시도 하였다.

제조공정이 소프트웨어 제품의 설계과정에서 계획한 대로 얼마나 균일한 제품을 생산할 수 있는지를 반영하는 것이 중요한 일이다. 만일 어느 제조공정에서 생산되는 제품의 품질변동에 이상이 있음에도 불구하고 어떠한 조치나 개선없이 그 공정을 계속해서 가동시킨다면 그 제품의 품질은 크게 떨어질 것이다. 사전에 공정능력 지수를 도입하여 그 공정 능력을 탐색하여 품질 변동을 관리해 나간다면 소프트웨어 품질에 큰 개선이 이루어 질 것이다[4].

그러나 고장 데이터에 대한 품질관리도 이 분야에 적용하면 효율적인 분석이 될 수도 있다.

본 논문에서는 소프트웨어 고장 시간에 대하여 품질관리 측면에서의 공정능력 지수를 제시하여 공정분석을 하고자 한다. 소프트웨어 고장 시간(간격) 시간은 비음이기 때문에 수명분포가 정규분포를 가지는 경우는 극히 드물다. 따라서 정규화 시키는 Box-Cox 변환을 통하여 해소 할 수 있다[4]. 따라서 기존에 효율적 모형비교에 사용되는 실제 자료를 이용하여 공정분석을 통하여 소프트웨어 고장 자료에 대한 공정 등급을 판정[3]하여 효율적 모형을 판단하는데 사전정보를 제공하는 것을 목적으로 한다.

본 논문의 제 2장에서는 관련 연구로서 공정능력지수에 대하여 서술하였고 제 3장에서는 실제 소프트웨어 고장 시간에 대한 공정능력 분석을 시도 하였으며 제 4장에서는 결론을 나열 하였다.

2. 관련 연구

2.1 공정능력지수

공정능력(Process capability)이란 공정이 관리

상태에 있을 때, 제조공정이 제품의 설계과정에서 계획한 대로 얼마나 균일한 제품을 생산할 수 있는지를 반영하는 공정의 고유능력을 의미한다. 만일 어느 제조공정에서 생산되는 제품의 품질변동에 이상이 있음에도 불구하고 어떠한 조치나 개선 없이 그 공정을 계속해서 가동시킨다면 그 제품의 품질은 크게 떨어질 것이다.

이러한 문제를 방지하고 해결하기 위해 공정관리 활동을 하게 된다. 통계적 공정관리는 첫째, 관리도를 통하여 공정을 관리상태로 유지되도록 하며, 둘째, 공정능력분석 등을 통하여 생산된 제품들이 규격에 맞도록 공정을 관리하는 활동이다. 관리도를 통하여 공정을 관리상태로 유지시키고, 공정에 특별한 이상이 발견되면 이것을 제거하여 공정을 관리상태로 만든다. 이런 경우에도 규격을 벗어나는 불량품이 나올 경우, 생산되는 제품이 규격에 얼마나 잘 맞는지 확인하여야 하고 맞지 않는 부분이 있으면 공정 변동을 조정하는 노력을 해야 한다. 이러한 제반 활동을 공정능력분석이라 하며, 공정능력을 정량화 시킨 것이 공정능력 지수(Process capability index)이다[7, 8].

이때 이 공정은 외부원인에 방해됨이 없이 정상적으로 가동되고 있는 상태라야 한다.

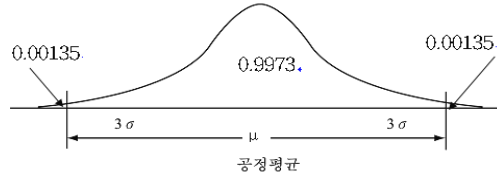
제조공정이 설계규격에 어느 정도 일치하는 제품을 생산할 수 있는지를 평가하는 것은 매우 중요한 일이다. 이의 평가를 위한 방법의 하나로 공정능력지수가 있다. 공정능력지수는 공정의 변동(6σ)을 규격의 폭과의 비로 나타낸다. 양쪽규격(USL, LSL)이 주어진 경우, 공정능력지수는 다음과 같이 정의된다.

$$C_p = \frac{\text{허용가능한 공정의 산포}}{\text{실제공정의 산포}} \quad (1)$$

$$= \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

위의 공정능력지수는 가장 간단한 형태이며 현장에서 많이 사용된다. 일반적으로 실제 공정의 산포로는 정규분포에서 모집단의 99.73%를 포함하는

구간의 폭인 6σ 를 취하며 허용가능한 공정의 산포는 규격의 폭을 사용한다. 품질특성이 정규분포를 따를 때의 공정능력을 나타낸 그림이다[7].



(그림 1) 규격 폭과 6σ 와의 관계

한쪽규격만 주어지는 경우의 공정능력지수는 다음과 같이 정의된다. 규격하한(LSL)만이 있는 경우(예 강도, 전구수명 등)는 다음과 같다.

$$C_p = \frac{\mu - LSL}{3\sigma}$$

규격상한(USL)만이 있는 경우(예 소음, 처리시간, 마모율 등)는 다음과 같다.

$$C_p = \frac{USL - \mu}{3\sigma}$$

공정능력지수에 대한 판정 및 등급의 구분은 제품이나 공정에 따라 다소 차이가 있지만 대체적으로 다음 표와 같이 분류된다[3, 4].

<표 1>공정능력의 등급(판정)

공정능력의 범위	공정능력의 등급(판정)
$C_p \geq 1.67$	공정상태가 매우 우수하고 안정적인
$1.33 \leq C_p < 1.67$	공정상태가 양호함
$1.00 \leq C_p < 1.33$	공정상태는 대체로 괜찮음
$0.67 \leq C_p < 1.00$	공정상태가 양호하지 못함
$C_p < 0.67$	공정상태가 매우 양호하지 못함

또, 치우침을 고려한 공정능력지수 C_{pk} 가 있다. 이 지수는 품질특성치의 분포가 어느 한쪽으로 치우친 경우에는 다음과 같은 치우침의 정도를 고려한 공정능력지수를 사용하는 경우도 있다. 한다.

$$C_{pk} = (1 - K)C_p \quad (2)$$

단, $K = |\mu - M| / d, M = (USL + LSL) / 2,$
 $d = (USL - LSL) / 2.$

공정분포(수명분포)의 중심이 규격 상한과 규격 하한의 중간에 있지 않은 경우 C_p 보다는 C_{pk} 가 공정의 능력을 측정하는 지수로서 더 적절하다. 공정평균과 규격중심이 일치하는 경우는 $C_p = C_{pk}$ 이며, 관계는 항상 $C_p \geq C_{pk}$ 된다. 그리고 공정평균과 목표치를 함께 고려한 공정능력지수 C_{pm} 이 있다. 이 공정능력지수 C_{pk} 는 공정평균 μ 를 고려하였지만 공정평균 μ 가 요구하는 목표치 T 와 다를 수 있는 경우를 고려하지 않았다. 따라서 공정평균 μ 와 목표치 T 의 차이까지도 고려한 공정능력지수가 C_{pm} 이다. 이 공정능력지수는 다음과 같이 정의된다[7,8].

$$C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\sqrt{\{E(X - T)^2\}}} \quad (3)$$

$$= \frac{USL - LSL}{6\sqrt{\{\sigma^2 + (\mu - T)^2\}}}$$

이 때 $\sigma^2 + (\mu - T)^2 \geq \sigma^2$ 이므로 $C_{pm} \leq C_p$ 임을 알 수 있고, 공정평균 μ 와 목표치 T 가 일치한다면 $C_{pm} = C_p$ 임을 알 수 있다.

이러한 공정능력지수들은 수명분포가 정규분포를 따를 경우에 국한 되어 사용된다. 그러나 데이터가 치우쳐 있는 경우에는 즉, 비 정규분포를 따르는 경우에는 정규화한 데이터로 변형하여 공정능력을 계산하는 것이 더 효율적이다.

이런 상황에서 박스-코츠(Box-Cox) 변환(transformation)의 변환모수 λ 을 이용하여 정규분포로 변환하면 위에서 설명한 공정능력지수를 사용 할 수 있다[4].

3. 소프트웨어 고장 시간에 대한 공정 능력 분석

본 절에서는 소프트웨어 모형에 관한 효율성 비

교에 많이 사용되는 소프트웨어 고장 자료인 SS4 자료[6]을 이용하여 공정 분석을 적용하고자 한다. 이 자료는 <표 4>에 나열 되었고 기본정보는 전체 고장수는 197번이고 고장 간격자료에 대한 기초 통계량은 <표 2>에 나열 하였다.

<표 2> 소프트웨어 고장 간격 자료

구분	평균	중위 값	표준 편차	최소 값	최대 값	Q1	Q3
통계값	255009	100860	344025	60	1900620	8340	355170

고장 간격 시간에 대한 수명분포가 정규분포를 가정 할 경우의 공정 능력지수에 대한 분석은 <표 3>에 정리 되었다.

<표 3> 소프트웨어 고장 간격 자료 공정능력 지수 분석

LSL	USL	Target Value	C_p	C_{pk}	C_{pm}
60 (최소값)	1900620 (최대값)	255009 (중위값)	1.11	0.30	0.25
60 (최소값)	1900620 (최대값)	100860 (평균)	1.11	0.30	0.09
8340 (Q_1)	355170 (Q_3)	255009 (중위값)	0.20	0.12	0.10
8340 (Q_1)	355170 (Q_3)	100860 (평균)	0.20	0.12	0.08

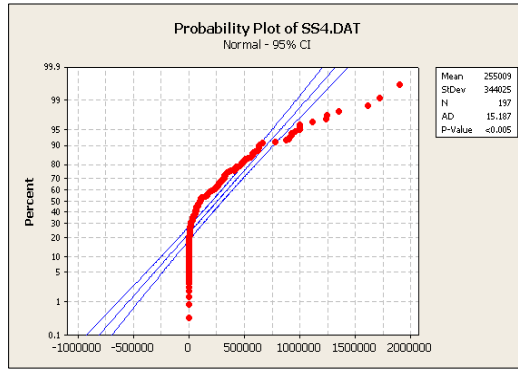
즉 <표 3>에서 규격하한(LSL)과 상한(USL)을 각각 최소 값과 최대 값을 사용하고 목표치(Target Value)을 중위수와 평균을 가정 했을 때의 C_p 값은 1.11로 계산되었고 공정능력의 등급은 공정상태는 대체로 괜찮음으로 판정 할 수 있다. 그러나 제 1사분의 수(Q_1)와 제 3사분위수 (Q_3)를 규격하한과 상한으로 하는 공정능력의 등급은 공정상태가 매우 양호하지 못함이라는 등급으로 판정 할 수 있다.

규격하한(LSL)과 상한(USL)을 각각 최소값과 최대값을 사용하고 목표치(Target Value)을 중위수와

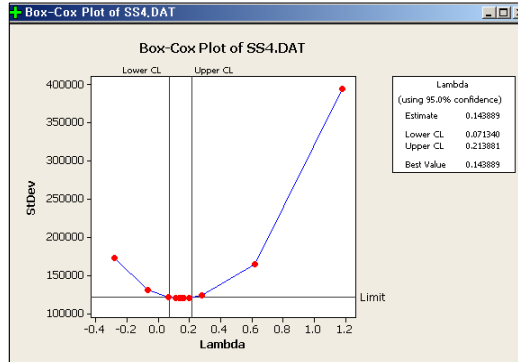
〈표 4〉 소프트웨어 고장 간격 자료(SS4)

Failure number	Failure Interval TIME	Failure number	Failure Interval TIME	Failure number	Failure Interval TIME
1	242460	67	6780	133	1001040
2	6300	68	245820	134	148
3	253680	69	482288	135	116
4	24120	70	429660	136	240
5	37620	71	995536	137	480
6	928380	72	75120	138	840
7	534180	73	460020	139	419340
8	191700	74	32160	140	120
9	11760	75	202500	141	60060
10	159240	76	317820	142	86880
11	19140	77	265260	143	6180
12	595980	78	36180	144	180
13	476220	79	174180	145	98100
14	58980	80	19740	146	3300
15	5820	81	7400	147	342240
16	100620	82	40260	148	1111320
17	6300	83	2940	149	8400
18	328140	84	8700	150	91680
19	4560	85	7080	151	621780
20	6780	86	64020	152	875800
21	69420	87	360	153	634620
22	579120	88	84840	154	420
23	577080	89	180	155	379380
24	631920	90	908340	156	18000
25	120	91	7680	157	62100
26	148200	92	58860	158	8820
27	928140	93	22560	159	503580
28	43860	94	8280	160	275820
29	3600	95	569096	161	348180
30	300	96	69660	162	5100
31	660627	97	293880	163	477900
32	167880	98	6900	164	636420
33	186840	99	259260	165	575340
34	279044	100	3780	166	222360
35	420120	101	311776	167	86580
36	67800	102	111036	168	2760
37	323460	103	413940	169	2820
38	112020	104	271620	170	1560
39	5280	105	64560	171	420
40	634261	106	299400	172	1200
41	1920	107	32880	173	1440
42	902340	108	957960	174	107040
43	2100	109	997780	175	31440
44	4200	110	60	176	304260
45	480	111	113340	177	59100
46	177060	112	466980	178	267960
47	42360	113	511200	179	21720
48	37020	114	276000	180	68760
49	54540	115	185160	181	262380
50	335520	116	323940	182	4560
51	300	117	318420	183	331020
52	152040	118	777960	184	1722300
53	111360	119	4200	185	47520
54	491760	120	573140	186	301170
55	80340	121	2220	187	1020
56	318060	122	1237800	188	168000
57	3120	123	222960	189	113310
58	5400	124	108300	190	1613550
59	184740	125	58980	191	92190
60	15420	126	20100	192	446340
61	100860	127	82320	193	65250
62	235136	128	362160	194	1900620
63	1620	129	600	195	420060
64	621660	130	9000	196	245280
65	560228	131	1245660	197	1347540
66	504420	132	16800		

평균을 가정 했을 때의 C_{pk} 의 값은 같지만 C_{pm} 의 값은 목표치로 중위수를 사용한 경우가 평균을 사용한 경우보다 높게 나타났다. 사분위수를 사용한 경우도 유사하게 나타나고 있다. 그러나 수명분포를 정규분포로 가정할 결과이다. (그림 2)에서 보여 주듯이 정규분포를 따른다고 할 수 없으므로 박스-코스 변환(Box-Cox transformation)의 변환모수 λ 을 이용하여 정규분포로 변환하고자 한다. 미니탭 통계 패키지(14버전)에서는 최적의 변환모수 λ 를 제공하여 주고 그 값은 0.143889로 나타났다. 이 결과는 (그림 2)에 나타나 있다.



(그림 2) SS4 자료의 정규분포 확률 플롯



(그림 3) 박스-코스 변환(Box-Cox transformation)의 변환모수 λ 의 제공 화면

SS4 자료가 정규분포를 따르는지를 확인하기 위

하여 확률 플롯을 미니텡 통계 팩키지(14버전)의 확률플롯(Probability Plot) 메뉴를 이용하여 그린 결과가 (그림 2)에 나타나 있다.

박스-코스의 변환모수 λ 를 이용하여 정규분포로 변환시켜서 공정능력 지수를 계산한 결과는 <표 5>에 나타난 있다.

<표 5> 소프트웨어 고장 간격 자료 공정능력 지수 분석

LSL	USL	Target Value	C_p	C_{pk}	C_{pm}
60 (최소값)	1900620 (최대값)	255009 (중위값)	0.67	0.64	0.37
60 (최소값)	1900620 (최대값)	100860 (평균)	0.67	0.64	0.59
8340 (Q_1)	355170 (Q_3)	255009 (중위값)	0.28	0.26	0.05
8340 (Q_1)	355170 (Q_3)	100860 (평균)	0.28	0.23	0.22

즉 <표 5>에서 규격하한(LSL)과 상한(USL)을 각각 최소값과 최대값을 사용하고 목표치(Target Value)을 중위수와 평균을 가정했을 때의 C_p 값은 0.67로 계산되었고 공정능력의 등급은 공정상태가 양호하지 못함으로 판정 할 수 있고 제 1사분의 수(Q_1)와 제 3사분위수 (Q_3)를 규격하한과 상한으로 하는 공정능력의 등급도 역시 공정상태가 매우 양호하지 못함이라는 등급으로 판정 되었다.

규격하한(LSL)과 상한(USL)을 각각 최소값과 최대값을 사용하고 목표치(Target Value)을 중위수와 평균을 가정 했을 때의 C_{pk} 의 값은 같지만 C_{pm} 의 값은 목표치로 중위수를 사용한 경우가 평균을 사용한 경우보다 낮게 나타났다. 사분위수를 사용한 경우도 유사하게 나타나고 있다. 결론적으로 박스-코스 변환전과 후를 비교하면 수명분포가 정규분포로 가정 했을 때 규격하한(LSL)과 상한(USL)을 각각 최소값과 최대값을 사용하고 목표치(Target Value)을 중위수와 평균을 가정 했을 때는 C_p 값은 1.11로 계산되어 박스-코스 변환한 자

료보다 $C_p(0.67)$ 보다 양호하게 계산되었지만 제 1사분의 수(Q_1)와 제 3사분위수 (Q_3)를 규격하한과 상한으로 하는 경우에는 C_p 값이 더 양호하게 나타남을 알 수 있다. 그리고 C_{pk} 의 값은 고려한 모든 경우에 박스-코스 변환한 자료가 더 양호함을 알 수 있었고 C_{pm} 의 경우에는 사분위수에서 목표치를 중위수를 가정한 경우를 제외하면 고려된 모든 경우에 박스-코스 변환한 자료가 더 양호함을 보여 주고 있다.

4. 결 론

소프트웨어 신뢰성은 개발의 최종단계에 있는 테스트 공정이나 실제 사용단계에 있어서 소프트웨어 내에 존재하는 고장 수나 고장 발생 시간에 의해서 효과적으로 평가할 수 있는 상황으로 그 평가 기술이 중요하게 된다. 따라서 소프트웨어 개발의 테스트 공정이나 실제사용단계에 있어서 고장 발생 환경이나 고장 발생 현상을 수리적으로 모형화가 가능하면 평가를 할 수 있다. 테스트 시간이나 혹은 실행 시간, 발생된 고장 수와 고장 발생시간 과의 관계를 효율적으로 관리함으로써 소프트웨어 신뢰도를 성장 시킬 수 있다. 이러한 과정을 소프트웨어 성장 과정이라고 볼 수 있다.

신뢰모형들을 분석하기 위한 자료척도로 우선 자료에 대한 추세 검정이 개발되어 있다.

추세 분석에는 산술평균 검정(Arithmetic mean test)과 라플라스 추세 검정(Laplace trend test)등이 있다.

그러나 이런 추세분석들은 전체적인 자료의 개요의 정보만 제공한다.

본 논문에서는 이러한 분석도구를 다시 세분화하여 품질 관리 측면에서 분석을 시도 하였다.

제조공정이 소프트웨어 제품의 설계과정에서 계획한 대로 얼마나 균일한 제품을 생산할 수 있는지를 반영하는 것이 중요한 일이다. 만일 어느 제

조공정에서 생산되는 제품의 품질변동에 이상이 있음에도 불구하고 어떠한 조치나 개선없이 그 공정을 계속해서 가동시킨다면 그 제품의 품질은 크게 떨어질 것이다. 사전에 공정능력 지수를 도입하여 그 공정 능력을 탐색하여 품질 변동을 관리해 나간다면 소프트웨어 품질에 큰 개선이 이루어 질 것이다. 따라서 본 논문은 소프트웨어 시스템 설계와 관련 업종에 종사자들로 하여금 공정능력 분석을 사전 정보로 활용하면 소프트웨어 품질의 개선에 도움이 되고 수명분포를 활용한 모형 선택에 있어서도 하나의 척도로 사용 할 수 있다.

향후 이러한 공정 분포에 분포를 이용한 베이지안 적 접근 방법이나 수리적인 추정과 검정 부분에 대한 수리적인 접근이 기대 된다.

참 고 문 헌

- [1] 김희철, 최유순, 박종구, “어랑분포를 이용한 NHPP 소프트웨어 신뢰성장 모형에 관한 연구”, 한국해양정보통신학회논문지, 제10권, 제1호, pp. 7-14, 2006.
- [2] 김희철, “카이제곱 NHPP에 의한 소프트웨어 신뢰성 모형에 관한 연구”, 한국컴퓨터정보학회논문지, 제11권, 제1호, pp. 45-53, 2006.
- [3] 김광수, “품질경영”, 한울출판사, pp. 192-196, 2005.
- [4] 이레테크 미니텀 사업부, “Minitab 실무완성”, 이레테크, pp. 71-88, 2001.
- [5] S. S. Gokhale and K. S. Trivedi, “A time/structure based software reliability model”, Annals of Software Engineering, Vol. 8, pp. 85-121, 1999.
- [6] K. Kanoun and J. C. Laprie. “Handbook of Software Reliability Engineering”, M. R. Lyu, Editor, chapter Trend Analysis, IEEE Computer Society Press, pp. 401-437, 1995.
- [7] D. C. Montgomery, “Design and analysis of experiments”, John Wiley & Sons, New York, pp. 350-365, 1997.
- [8] S. Kotz and N. L., “Process Capability Indices”, CHAPMAN & HALL, pp. 37-83, 1993.
- [9] D. Bissell, “Statistical Methods for SPC and TQM”, CHAPMAN & HALL, pp. 257-279, 1994.
- [10] J. F. Lawless, “Statistical Models and Methods for Lifetime Data”, John Wiley & Sons, New York, 1981.
- [11] H. Pham and L. Nordmann and X. Zhang, “A General Imperfect-Software-Debugging Model with S-Shaped Fault-Detection Rate”, IEEE Trans. on reliability, Vol. 48, No. 2, pp. 169-175, 1999.



김희철

1992년 동국대학교 통계학과 (이학석사)
 1998년 동국대학교 통계학과 (이학박사)
 2005년~현재 남서울대학교 산업경영공학과 전임강사



신현철

2002년 원광대학교 컴퓨터공학과 (공학박사)
 1994년~현재 백석문화대학 컴퓨터정보학부 부교수
 2004년 (주)아이비루션 자문위원