

품질보증 이슈 조기감지 시스템의 경제성 평가

정 성 환[†]

삼성SDS 하이테크컨설팅그룹

Economic Evaluation of Early Detection System for Warranty Issues

Sung Hwan Jung[†]

High Tech. Consulting Group, Samsung SDS

Key Words : Warranty Claim Issues, Early Detection, Economic Analysis, ROI

Abstract

An early detection system for warranty issues periodically collects customers' claim data and automatically reports alarms about emerging issues based on statistical algorithms. It helps companies to reduce an issue definition time and save the handling cost of warranty claims. This paper provides an evaluation framework to validate the economic effect of an early detection system project. For this purpose, we present economical index of a project with explicit formulas such as ROI(return on investment), PP(payback period), NPV(net present value), PI(profitability index) and IRR(internal rate of return) and analyze the sensitivities of the index according to the variation of project input parameters. The proposed analysis framework is expected to be used for evaluating economic values of various system integration projects.

1. 서 론

품질보증(warranty)이란 판매된 제품이나 서비스가 명시된 기능이나 상태임을 구매자에게 보증하는 행위이다 「Murthy and Djamaludin, 2002」. 명시된 품질보증기간(warranty limit)안에 제품에 하자가 발생하면 구매자는 다양한 경로를 통해 클레임을 하게 되고, 기업은 부품교환 또는 교체 등의 방법으로 제품 문제를 해결해 주어야 한다. 이러한 프로세스와 연관되어 기업이 부담하는 모든 비용을 품질보증비용(warranty cost)라 정의할 수 있다. 상당수의 기업에서 품질보증비용은 이미 신제품 개발비나 기업의 순이익율(net profit margin)에 근접해 있으며, 이러한 현상은 특히 PC나 TV, 개인용 프린터 등 표준화된 제품(commodity type)을 다루는 산업에서 두드러진다 「Mueller(2008)」. 근래에 들어 기업의 품질보증비용을 절감하기 위한 연구와 노

력은 최적의 품질보증정책(warranty policy)수립과 품질보증비용 분석(warranty cost analysis)을 큰 축으로 하여 제품개발, 마케팅, 그리고 물류나 서비스 센터 등을 아울러서 매우 활발하게 이루어지고 있다 「김제승과 Murthy, 2000, 백재욱과 조진남, 2003, 서용성의, 1996」.

최근에는 정보기술의 발달과 통계학의 발달로 방대한 분량의 품질보증이력자료(warranty data)를 효과적으로 수집, 가공, 분석할 수 있게 되었고, 이를 활용하여 시장에서 발생한 품질이슈를 조기에 탐지하여 이에 신속히 대처함으로써 품질보증비용을 줄일 수 있는 솔루션들이 많이 등장하고 있다. 본 연구에서는 이것을 품질이슈 조기 감지 시스템(early detection system for warranty issues)이라고 명명하기로 한다.

조기감지 알고리즘은 전통적으로 변화 감지 문제(change detection problem)로 모델링 된다. 변화감지 문제는 통계적 가설검정(statistical hypotheses test-

[†] 교신저자 jsh5810@gmail.com

ing)의 형식을 취하며, 모니터링하기 원하는 성능척도(performance parameter)가 특정한 파라미터(θ_0)를 갖는 분포로부터 생성되어진다고 가정하고, 시간의 변화에 따라 프로세스가 변화되었는지의 여부를 귀무가설($H_0: \theta = \theta_0$)과 대립가설($H_1: \theta = \theta_1$)을 수립하여 결정하게 된다. 이를 위하여 프로세스를 일정 시간간격으로 샘플링한 데이터를 이용하여 검정통계량(detector)를 계산하고 이 값이 일정한 임계치(threshold)를 넘어서는 경우에 대립가설을 채택하여 경고(alarm)를 울릴 수 있도록 감지알고리즘(detection algorithm)과 종료조건(stopping rule)을 구성하게 된다. 감지알고리즘의 성능은 크게, 대립가설이 참일 때 이를 제대로 감지할 확률인 POD(probability of detection), 귀무가설이 참임에도 불구하고 오경보하게될 PFA(probability of false alarm) 그리고, 변화를 감지할 때까지 걸리는 시간(alarm time) 등으로 평가된다.

최근에는 특히 자동차 산업을 중심으로 품질보증 조기감지를 위한 위원회 구성 및 각종 세미나가 활발하게 이루어지고 있으며, 조기감지시스템에 대한 다양한 이론 및 응용에 대한 연구들이 활발히 진행되고 있다 「Vittal and Neuman, 2008」.

기업이 품질보증 이슈 조기 경고 시스템을 구축함으로써 얻을 수 있는 정성적인 측면의 효과로는 이슈 감지 및 근본 원인 탐색 기간의 단축, 기업고객 및 대형 거래선에 대한 협상력 강화, 품질개선 및 고객 만족도 증대 그리고 궁극적으로 고객 충성도 제고 및 브랜드 이미지 강화 등을 열거할 수 있을 것이다. 그러나 시스템을 기업 실무에 도입하여 성공하기 위해서는 잘 정비된 현장 데이터의 확보와 통계솔루션의 도입 및 자사에 맞는 조기 알고리즘의 개선(customizing)이 선행되어야 하므로 초기에 많은 프로젝트 비용이 소요되며, 또한 시스템을 유지하고 성능을 개선하기 위한 운영비용이 지속적으로 발생하게 된다. 따라서 기업의 품질보증 비용과 프로세스를 담당하는 임원 및 CIO(chief information officer) 그리고 심지어 통계솔루션 공급업자 측면에서도 품질이슈 조기감지 시스템의 정성적 효과뿐만 아니라, 정량적 효과인 경제적 타당성을 증명하고 확인하는 것은 시스템을 구축하기 전에 반드시 선행되어야 하는 작업이다.

본 연구에서는 기업에서 품질이슈 조기감지 시스템을 도입하는 프로젝트를 추진할 때, 이에 대한 경제적 효과성을 입증하기 위한 분석틀을 제공하고자 한다. 이를 위하여 일반적으로 프로젝트 추진시 재무적인 평가

척도로서 사용하고 있는 ROI, 회수기간, 순현재가치와 내부수익율을 경제성 평가지표로 채택하고 이를 계산하는 절차와 공식 그리고 입력변수에 대한 민감도 분석을 제공함으로써 조기경보 시스템을 기업이 도입할 때, 경제적 타당성을 검증하기 위한 효과적인 의사결정 체계를 제시하고자 한다.

2. 품질보증 이슈와 조기감지시스템의 경제적 효과

본 연구는 기업에서 지불하는 품질보증비용 중에서 품질보증기간 내에 제품의 이상으로 인해 고객들이 제기한 클레임을 처리하는 비용을 분석의 대상으로 한다. 이 비용은 품질비용(Q-cost) 항목 중 외부 실패비용(external failure cost)의 한 계정에 속하며 본 연구에서는 이 비용을 보증수리처리비용(warranty claim cost)이라고 정의하기로 한다.

2.1 클레임 발생율과 품질보증 이슈 발생율

보증수리처리비용은 고객클레임 발생율과 클레임건당 소요되는 처리비용의 합으로 구성된다 「Mueller (2008)」. 본 연구에서는 고객클레임 발생율이 제품의 1)생산불량률(manufacturing defects rate), 2)사용고장율(usage-related failure rate) 그리고 3)품질보증 이슈 발생율(warranty issue rate)에 의해 영향을 받는다고 가정한다.

생산불량률이란 제품설계 및 생산시점의 품질관리 기준에서 이미 벗어났으나 품질검사시 걸러내지 못한 결함과 제품의 운송 및 판매과정에서 발생한 고장 등에 의해서 발생한 불량률을 의미한다 「Murthy and Djamaudin, 2002」. 생산불량률은 고객이 제품을 개봉하여 사용할 때 이미 정상적인 작동을 하지 않고 있음으로 인해서 고객이 수리요청을 하게 되는 빈도를 설명해 준다.

둘째, 사용고장율이란 고객이 제품을 구입하여 사용할 때는 정상적으로 작동되었지만, 사용 시간이 경과할수록 고객의 사용 환경 및 사용 패턴, 노후화 또는 기타 랜덤하게 발생하는 이상 원인 등에 의해서 발생하는 고장의 빈도를 의미한다. 사용고장율은 사용시간의 함수로서 표현되며 일반적으로 잘 알고 있는 와이블분포(Weibull distribution), 지수분포(Exponential distribution), 대수정규분포(log-Normal distribution) 등으로 모델링 된다.

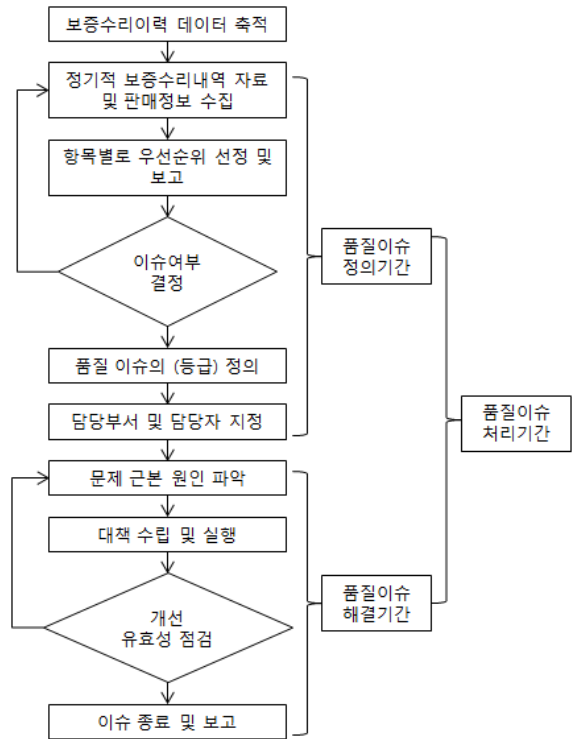
마지막으로 품질보증 이슈 발생율이란, 장기적인 관점에서는 생산불량률이나 사용고장률에 포함되는 고장율이지만, 단기적인 관점에서는 설계 및 부품, 생산, 유통 등의 여러 요인들에 의해 시장에서의 품질 불량률이 급격하게 증가하는 현상이 발생하는 빈도를 의미한다. 여기서 불량이 급격하게 증가한다는 의미는 품질이슈 조기탐지 알고리즘에 의하여 정의된 기준치(threshold)를 넘어서는 경우로서 관측치의 통계량이 기존 데이터에서 추정된 분포와 통계적으로 유의한 차이가 있다고 결정할 수 있는 기간역에 포함되는 경우 또는 엔지니어의 경험치에 의해 미리 설정한 기준치(user defined threshold)를 넘어서는 경우이다.

2.2. 품질이슈 처리 프로세스와 조기감지 시스템의 비용절감 효과

클레임이 과대하게 증가되는 이상 현상이 발생할 때 이를 해결하기 위해 소요되는 비용은 이상 현상의 심각성 정도(이상 등급) 및 품질이슈 처리 기간에 영향을 받는다. 즉, 발생한 이슈가 심각(critical)할수록 클레임 건당 처리 비용이 커지므로 비용발생이 비례적으로 증가하며, 이슈 처리 기간이 길어질수록 시장에 출시되는 제품 중 이상 요인에 의해 영향을 받는 제품수가 증가하기 때문에 아울러 비용이 증가하게 된다. 조기감지 시스템을 적용하여 비용 절감 효과를 창출할 수 있는 동인(動因)은 시스템이 품질보증 이슈 처리기간을 획기적으로 단축시켜주는 효과를 가져다 주기 때문이다 「Spraker, 2006」. 기업이 시장에서 발생하는 품질이슈를 인지하고, 보고하고 해결하는 일반적인 프로세스는 <그림 1> 과 같다.

<그림 1> 에서 조기감지 시스템은 시장에 출시된 전체 모델별 보증수리내역 자료-클레임 건수등-와 판매정보를 연계시켜 데이터를 자동수집하고, 조기감지 자동 알고리즘에 의하여 모니터링 값이 정상적인 값을 넘어서는 이상 현상이 발생할 때, 품질 담당자에게 자동으로 통보해 주며, 때에 따라서는 항목별 우선순위에 계산하여 리포팅할 수 있는 자료도 제공해 준다. 또한 품질보증 이력 및 생산데이터가 연관분석(linkage analysis)이 가능하도록 잘 통합되어지고 고급 통계분석 툴을 도입함으로써 이슈의 1차 원인 파악 시간 및 담당부서를 결정하는 등의 부서간 협의 시간을 단축할 수 있게 해준다. 결론적으로 품질보증 이슈 조기감지 시스템은 <그림 1>의 품질이슈 처리기간 중에서 품질이슈 정의

기간을 단축시켜 줌으로 비용 절감효과를 창출하며, 그것이 가능한 동인은 다음과 같이 정리될 수 있다.



<그림 1> 품질보증 이슈 처리 프로세스

- 1) 자동 알고리즘 및 모니터링 자동화에 따른 이상발생 감지 기간 단축
- 2) 판매, 생산 데이터 및 보증수리이력 데이터의 통합 및 통계분석툴을 활용한 1차 원인 파악 시간 단축
- 3) 리포팅툴을 통한 담당부서 협의 및 원인 부서 이슈 이관 시간의 단축

본 연구에서는 조기감지 시스템의 도입으로 품질이슈 해결기간이 단축되지는 않는다고 가정한다. 즉, 이슈 발생시 품질이슈 해결 프로세스는 동일하다고 가정한다.

3. 조기감지 시스템의 경제적 효과 추정

3.1 경제성 평가 지표의 선정

본 연구에서는 IT(information technology) 프로젝

트의 경제성을 평가할 때 가장 일반적으로 사용되는 다음의 4가지 지표를 품질보증 조기감지시스템의 경제성을 평가하는 지표로 제시하고자 한다. 각 지표는 산출되는 과정에서 도출된 장점 및 한계가 있으므로 한 가지 지표만을 활용하기 보다는 모든 지표를 총체적으로 고려할 필요가 있다. 여기서는 각 지표의 정의 및 본 연구와 연관된 핵심적인 내용만 언급하기로 하고 각 지표에 대한 자세한 설명은 문헌을 참고하기 바란다 [박용태, 2011, Thuesen and Fabrycky, 1993, Pisello and Strassmann, 2002].

3.1.1 투자수익률(ROI: return on investment)

자본 투자에 따른 수익을 의미하는 일반적인 지표로 가장 많이 사용되며, 프로젝트의 누적순이익(cumulative net benefit)을 누적총비용(cumulative total cost)로 나누어 계산한다. 적정한 프로젝트 ROI를 얼마로 보아야 하는가는 기업전략과 투자담당자의 관점에 따라 큰 차이가 있겠지만 일반적으로 IT 프로젝트의 경우에는 리스크를 감안한 경우 30% 이상, 리스크가 적용되지 않은 시, 100% 이상이 확보되어야 한다고 알려져 있다 [Pisello and Strassmann, 2002]. 본 연구에서는 전통적인 ROI 분석 방법에서와 같이 화폐의 시간개념을 고려하지 않고 단순 총비용과 총 순이익의 합으로서 ROI를 계산하는 방식을 따르기로 한다.

3.1.2 회수 기간(PP: payback period)

회수 기간은 전통적인 경제성 분석에서 가장 이해하기 쉬운 직관적인 지표로서 프로젝트 시작부터 누적 현금 흐름이 양(+)으로 돌아서는 시점까지의 기간으로 정의된다. 회수기간이 짧을수록 바람직한 대안이 되며 IT 프로젝트의 경우에는 최근 들어 수익발생 시점을 강조하는 경향이 두드러지고 있다.

3.1.3 순현재가치(NPV: net present value)와 수익성지표(PI: profitability index)

순현재가치는 예상 투자비용의 할인 가치를 예상 수익의 할인가치에서 공제했을 때 나온 값들의 합으로 정의된다. 순현재가치는 화폐의 시간가치(time value of money)를 고려해서 시간경과에 따른 지출과 수익을 조정하고 계산한 것으로 투자 의사결정시 가장 널리 통용되는 방법이다. 순현재가치가 클수록 바람직한 대안이 된다. 본 연구에서는 프로젝트 투입요소의 상대적인 비율에 따른 민감도 분석을 위하여 현금유입의 순현재가

치를 현금유출의 순현재가의 합계로 나눈 값인 수익성지표(PI)를 NPV의 대체 지표로 사용하기로 한다. 수익성지표는 그 정의에 의하여 값이 1보다 클 때 경제적인 미를 가진다 [박용태, 2011].

3.1.4 내부수익률(IRR: internal rate of return)

내부수익률은 순현재가치를 0으로 만드는 할인율을 의미한다. 즉, 이 방법은 현실적인 할인율을 정하여 순현재가치를 계산하기 어려울 때 보완적으로 사용되는 방법으로서 자본과 인력을 프로젝트에 투입함으로써 생기는 예상리스크를 감수했을 때, 그만큼 가치의 수익을 기대할 수 있는지 여부를 검토할 수 있다.

3.2 초기 투자 비용 및 시스템 운영비용

프로젝트의 초기 투자 비용과 연간 운영 비용을 $C_{Initial}$, C_{op} 로 각각 표기하기로 한다. 초기 투자 비용과 운영 비용의 일반적인 구성 항목은 Keen and Digrius (2002)가 제시한 내용을 참조하여 다음의 <표 1>과 같이 나타낼 수 있다.

<표 1> 프로젝트 투자 비용 항목

비용 항목	세부항목
초기 투자 비용 ($C_{Initial}$)	Hardware 도입비용
	Software 도입비용
	조기경보 알고리즘 구현 컨설팅 비용
	시스템 개발 인건비
연간 시스템 운영 비용 (C_{op})	기타 프로젝트 경비
	Hardware 증설 비용
	Software 라이선스 비용
	시스템 운영 인건비

3.3 품질이슈에 의한 연간 발생 비용 추정

품질이슈에 의해 발생하는 연간 보증수리처리비용(warranty claim cost)은 보증 수리 유형(warranty event type)과 그 발생빈도에 의해서 결정되며, 보증 수리 유형과 발생빈도 데이터는 기존 보증수리 이력 데이터베이스에서 획득가능하다고 가정한다. 기본적으로는 과거의 비용이력 자료에 의해서 추정될 수 있으며, 그 추정을 위한 근거는 다음의 가정에 의한다.

가정1) X_i^m 을 출시된 모델 m 의 품질보증 이슈 발생간격이라 하자. $\{X_i^m, i \geq 1\}$ 은 특정한 분포를 따르는 iid (independently and identically distributed) 확률변수들이다.

가정2) C_i^m 를 출시된 모델 m 의 i 번째 이슈 때마다 발생하는 보증수리처리비용이라고 하자. $\{C_i^m, i \geq 1\}$ 은 확률변수이며 평균값이 $E[C^m]$ 를 갖는다.

가정1)과 가정2)에 의해 각 모델별 이슈발생은 재생과정(renewal process)을 따르며, 특정 시점 t 까지의 이상 발생에 의한 보증수리처리비용의 합은 재생보상과정(renewal reward process)을 따른다 「이호우, 2006」. 모델 m 의 시간 t 동안 발생한 품질 이슈에 의한 총 보증수리처리비용을 $TC^m(t)$ 라 하면, $TC^m(t) = C_1^m + \dots + C_{N(t)}^m$ 이다. 단, 여기서 $N(t) = \max\{n : S_n \leq t\}$ 이며 $S_n = X_1 + X_2 + \dots + X_n$ 를 나타낸다.

단위 시간당- 본 논문에서는 연간-품질이슈 발생에 의한 보증수리처리비용은 $c^m = \lim_{t \rightarrow \infty} TC^m(t)/t$ 이며, 이것은 재생보상정리(renewal reward theorem)에 의하여 식 (1)이 성립된다.

$$c^m = \lim_{t \rightarrow \infty} TC^m(t)/t = E[C^m] / E[X^m] \quad (1)$$

재생보상정리가 성립되기 위해서는 이론적으로 t 의 길이가 충분히 길어야 한다는 가정을 전제로 하고 있다. 따라서 모델의 시장 유통기간이 길수록 추정에 필요한 데이터를 포함한 기간도 길어지므로 더 정확한 추정치를 얻을 수 있다. 시장에 아직 출시되지 않은 신규 모델이나 시장 출시 시기가 오래되지 않은 모델의 클레임 비용을 반영하는 경우에는 충분한 과거 데이터를 확보하고 있는 유사 모델로 대체하여 비용을 추정할 수 있는 지를 검토해야 하고, 관계자들의 기술적, 경험적 합의가 선행되어야 할 것이다. 본 연구에서는 새로운 모델 또는 제품이라도 기존 제품과 유사한 구조와 기능을 갖는 것이 많으며 모델 또는 제품 구분별 기간별 판매대수와 클레임 발생율은 유사 모델의 과거 데이터를 이용하여 추정 또는 예측이 가능하다고 가정하기로 한다. $E[C^m]$ 과 $E[X^m]$ 은 과거 동일 모델의 품질비용(Q-cost)중 외부실패비용 계정 항목 데이터를 통해서 계산이 가능하며, 신규 모델인 경우에는 비슷한 제품 구조와 연간 판매량 실적이 근소한 유사 모델의 데이

터를 통해서 추정가능하다고 가정한다. 유사 모델을 선정할 때 고려해야 할 요소인 제품 구조는 클레임 발생간격 및 클레임 처리 유형에 영향을 미치고, 판매량 실적인 클레임 처리비용에 영향을 미치게 된다. 같은 등급의 결합이라도 판매된 제품의 개수가 많으면 클레임 처리비용은 그에 비례해서 커지기 때문이다.

3.4 조기경보 시스템에 의한 비용 절감 효과 추정

이슈의 조기감지에 의한 비용 절감 효과를 정량적으로 추정하기 위하여 가정3)을 설정하였다.

가정3) LT_i^m 는 출시된 모델 m 의 i 번째 이슈를 처리하는데 소요된 이슈처리기간이라고 하자. 이 때 발생한 보증수리처리비용, C_i^m 은 이슈 처리 시간의 함수이며 비례관계에 있다. 즉, $C_i^m = K \cdot LT_i^m$ 이며, K 는 특정 모델과 관계없는 비례상수이다.

가정3)에서 비례상수 K 는 과거 보증수리 이력 데이터를 통해 추정가능하다. α 를 조기 경보에 의한 이슈처리기간 감소율이라고 하자. 조기감지 시스템의 도입을 통해서 이슈당 처리기간을 $(1-\alpha)LT_i^m$ 로 줄일 수 있다고 하면, 가정3)에 의해서 이상 발생에 의한 단위 시간당 보증수리처리비용도 동일한 비율로 줄어 들게 된다. 가정3)이 가지는 의미는 조기감지 시스템의 비용절감은 이슈처리기간 감소율인 α 에 의해 결정된다는 것이다. 즉, $(c^m)'$ 을 조기경보 시스템을 적용한 후 모델별 이상발생에 의한 연간 비용이라고 하면, 가정3)에 의해 $(c^m)' = (1-\alpha) \cdot c^m$ 이 성립하고 조기경보에 의한 연간 클레임 비용의 감소분은 $\alpha \cdot c^m$ 이 된다.

3.5 경제성 지표 계산

본 연구에서는 이슈 조기감지에 의한 비용절감을 수익으로 설정하여 경제성 지표 계산식을 전개하기로 한다. 시스템의 오경보(false alarm)에 의한 비용은 무시할 수 있다고 가정한다. 왜냐하면 알고리즘에 의한 경보의 진위 여부를 담당자가 판단하는 것은 비용이 발생할 정도의 장기간의 시간이 걸리지 않는 것이 일반적이기 때문이다. 경제성 지표 계산식을 유도하기 위해 사용된 기호를 정리하면 다음과 같다.

α	품질이슈 처리기간 감소율
r	연간 할인율(discount rate)
N	비용 분석 기간 (단위: 년)
M	모델 또는 제품의 총 개수
c^m	품질이슈 발생으로 인한 모델 m 의 연간 보증수리 처리 비용
C_{Issue}	품질이슈로 인한 연간 총 비용

$$\begin{aligned}
 NPV(N,r) &= -C_{Initial} + \left(\sum_{m=1}^M \alpha c^m - C_{op} \right) (P/A,r,N) \\
 &= -C_{Initial} + (\alpha C_{Issue} - C_{op}) (P/A,r,N)
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

식 (6)에서 $(P/A,r,N)$ 는 등가지불 현재계수(equal-payment-series present-worth factor)로서 아래식과 같이 계산된다.

$$(P/A,r,N) = \frac{1}{r} \left[1 - \frac{1}{(1+r)^N} \right]
 \tag{7}$$

수익성지표(PI)도 수익과 비용의 비율로서 식(8)과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned}
 PI(N,r) &= \frac{\sum_{m=1}^M \alpha c^m (P/A,r,N)}{C_{Initial} + C_{op} (P/A,r,N)} \\
 &= \frac{\alpha C_{Issue} (P/A,r,N)}{C_{Initial} + C_{op} (P/A,r,N)}
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

3.5.1 투자수익율(ROI)

투자수익율(ROI)는 조기감지 시스템 구축 및 운영에 소요되는 총비용과 조기감지 시스템을 통한 비용 절감 효과분의 비율로서 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$ROI = \left\{ \frac{N \sum_{m=1}^M \alpha c^m - (C_{Initial} + N \cdot C_{op})}{C_{Initial} + N \cdot C_{op}} \right\} \cdot 100
 \tag{2}$$

(단위 : %)

식 (2)에서 $\sum_{m=1}^M c^m$ 는 모든 모델 또는 제품에 대하여 발생하는 이슈에 의한 연간 비용 총액이므로 C_{Issue} 라고 두면, 식 (2)는 다음과 같이 단순화 된다.

$$ROI = \frac{N \alpha C_{Issue} - (C_{Initial} + N \cdot C_{op})}{C_{Initial} + N \cdot C_{op}}
 \tag{3}$$

3.5.2 회수기간(PP)

$CC(n)$ 를 n 년차의 누적 총 현금이라고 정의하면 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$CC(n) = \sum_{m=1}^M \alpha c^m \cdot n - C_{Initial} - C_{op} \cdot n
 \tag{4}$$

식 (4)의 $CC(n)$ 을 0 이 되게 하는 n 이 회수기간이 되므로, 회수기간(PP)은 다음과 같이 계산된다.

$$PP = \frac{C_{Initial}}{\alpha \sum_{m=1}^M c^m - C_{op}} = \frac{C_{Initial}}{\alpha C_{Issue} - C_{op}}
 \tag{5}$$

3.5.3 순현재가치(NPV)와 수익성지표(PI)

프로젝트의 순현재가치(NPV)는 화폐의 시간적 가치를 고려한 값이므로, 프로젝트의 비용 분석기간인 N 과 이자율인 r 의 함수로 표현되며, 이자공식이 적용되어 다음과 같이 표현된다.

3.5.4. 내부수익률(IRR)

내부수익률(IRR)은 프로젝트의 순현재가치를 0으로 하는 이자율이므로 $NPV(N,r) = 0$ 을 만족하는 r 로 정의되며, 프로젝트 분석기간인 N 의 함수가 된다.

$$-C_{Initial} + (\alpha C_{Issue} - C_{op}) (P/A,r,N) = 0
 \tag{9}$$

위 식 (9)를 만족하는 r 값을 r^* 로 정의하면, $IRR(N) = r^*$ 이 된다.

4. 민감도 분석

본 장에서는 프로젝트 비용 요소의 상대적 비율 변화가 여러 경제성 지표에 미치는 민감도(sensitivity)를 분석함으로써 조기감지 시스템 도입의 경제적 타당성을 파악하는 기초 자료를 제공하고자 한다. 시스템 구축 이후 연간 시스템 운영비용은 분석의 용이성을 위하여 일정하다고 가정하며 초기투자비용의 비율로 나타낼 수 있다. 이 때, 비례상수를 β 로 표기하고 이를 연간 운영비 할당비율로 명명하기로 하자. 즉, 식 (10)이 성립된다.

$$C_{op} = \beta \cdot C_{Initial}
 \tag{10}$$

본 민감도 분석에서는 연간 운영비용이 프로젝트 초

기 투자 비용의 10%라고 가정하였으며 이 값은 몇 개의 프로젝트 사례들을 통해 추정된 것이므로, 본 분석의 결과를 모든 프로젝트에 적용시켜 일반화시키기에 는 무리가 있을 수 있음을 밝혀두는 바이다.

4.1 ROI 관점 분석

식 (3)과 (10)에 의해 ROI는 식(11)과 같이 표현될 수 있다.

$$ROI = \frac{N\alpha}{(1+N\beta)} \left(\frac{C_{Issuc}}{C_{Initial}} \right) - 1 \tag{11}$$

식(11)에서 ROI는 α 와 β 가 고정값일 때, 초기투자 비용과 품질이슈로 인한 연간총비용의 비율의 1차 함수로 표현된다.

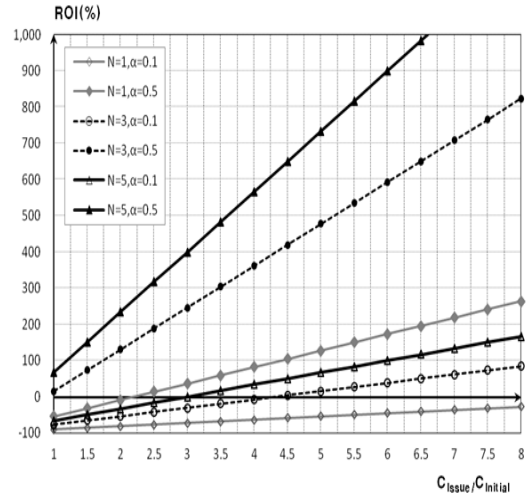
<그림 2>는 연간 운영비용이 초기투자비용의 10%라고 가정할 때, 초기투자비용과 연간 품질이슈 총비용의 비율에 따른 ROI의 추세를 나타낸다. 이 그래프는 프로젝트 초기투자비용 대비 연간 품질이슈 비용이 클수록, 품질이슈 처리기간 감소율이 클수록 또한 시스템 운영기간이 길수록 투자수익은 증가하는 것을 정량적으로 파악할 수 있게 해준다.

<그림 3>은 품질보증이슈처리기간 감소율의 변화에 따라 ROI가 최소 100%를 보장해 주는 초기투자비용 대비 연간 품질이슈총비용 비율값의 추세를 나타낸다. <그림 3>은 기업이 품질조기감지 시스템 도입을 통해서 품질이슈 처리기간을 어느 정도 감축시켜야 최소한의 투자수익을 확보할 수 있게 해 주는지에 대한 정보를 제공해 준다. 예를 들어 연간품질이슈 발생비용이 2억원인 기업이 자사의 이슈 조기감지 시스템 도입을 위한 프로젝트 비용으로 1억원이 소요된다고 추정했다면, 이 기업이 5년간에 100% 투자수익율을 확보하기위해서는 품질이슈 처리기간을 최소한 30%이상 줄이는 것을 프로젝트의 구축 목표로 설정해야 함을 알 수 있다.

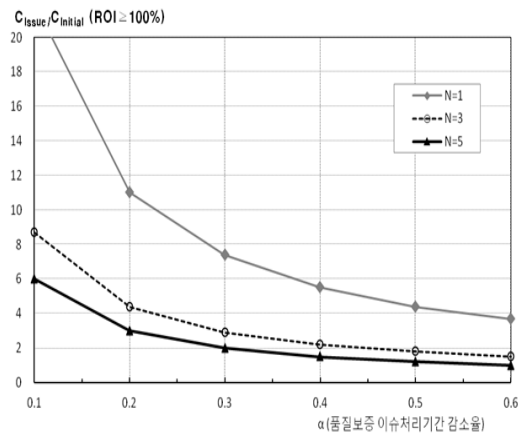
4.2 PP 관점 분석

프로젝트 회수기간은 식 (5)와 (10)에 의해 식 (12)와 같이 표현된다.

$$PP = \frac{1}{\alpha \left(\frac{C_{Issuc}}{C_{Initial}} \right) - \beta} \tag{12}$$

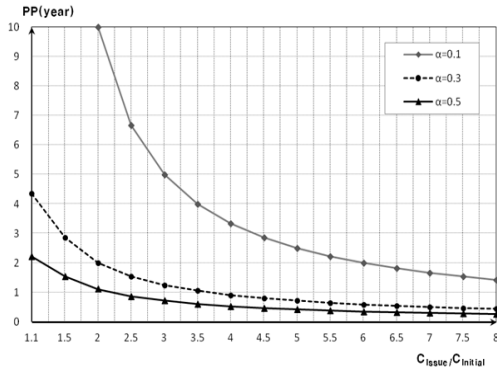


<그림 2> 초기투자비용과 품질이슈비용 비율에 따른 ROI 변화 (beta=0.1)



<그림 3> 이슈처리기간 감소율에 따른 초기투자비용과 품질이슈비용 비율 변화(beta=0.1)

식 (12)에서 회수기간은 α 와 β 가 고정일 때, 초기투자 비용과 품질이슈로 인한 연간총비용의 비율과 반비례한다는 것을 알 수 있다. <그림 4>는 연간 운영비용이 초기투자비용의 10%라고 가정할 때, 초기투자비용과 연간 품질이슈비용 비율값의 변화에 따른 회수기간의 추세를 나타낸다. 이 그래프는 적절한 프로젝트 회수기간을 확보하기 위해서 타당한 프로젝트 투자비용 또는 프로젝트를 통해서 달성해야할 품질이슈처리기간의 감소율 목표에 대한 정량적인 정보를 제공해 준다.



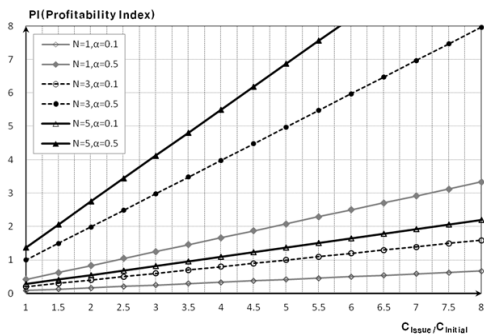
<그림 4> 초기투자비용과 품질이슈비용 비율값에 따른 회수기간 추세 ($\beta=0.1$)

4.3 PI 관점 분석

이자율을 반영한 수익과 비용의 비율인 식 (8)의 수익성지표는 식 (10)에 의해 다음과 같이 표현될 수 있다.

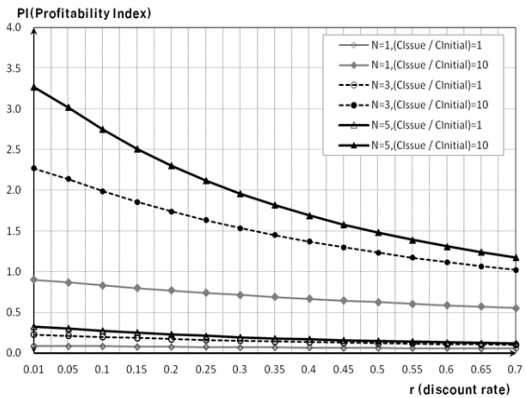
$$PI(N,r) = \frac{\alpha(P/A,r,N)}{1 + \beta(P/A,r,N)} \left(\frac{C_{Issuc}}{C_{Initial}} \right) \quad (13)$$

식 (13)에서 수익성지표는 α 와 β 가 고정일 때, 초기 투자 비용과 품질이슈로 인한 연간총비용의 비율과 정 비교한다는 것을 알 수 있다. <그림 5>는 연간 운영비용이 초기투자비용의 10%이고, 할인율이 연간 10%라고 가정할 때, 초기투자비용과 연간 품질이슈비용 비율값의 변화에 따른 수익성지표의 추세를 나타낸다. <그림 5>에서 분석기간을 최대 3년 또는 5년으로 하고, 이슈처리기간 감소율을 최대 50%까지 줄이는 경우, 초기 투자비용 대비 품질이슈비용 비율이 1보다는 커야 프로젝트가 경제적인 타당성을 가진다는 것을 알 수 있다.

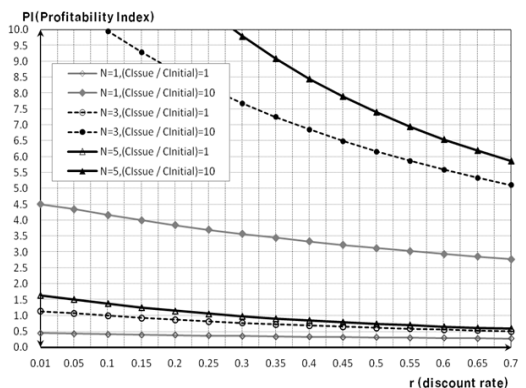


<그림 5> 초기투자비용과 품질이슈비용 비율값에 따른 수익성지표 추세 ($\beta=0.1, r=0.1$)

<그림 6>과 <그림 7>은 품질이슈 처리기간 감소율을 최소 0.1에서 최대 0.5라고 가정할 때, 할인율 변화에 따른 수익성지표의 추세를 각각 나타낸다. 이 그래프를 통해서 할인율이 증가할수록 즉, 화폐의 미래가치가 감소할수록 수익성지표는 감소함을 알 수 있다. 또한 <그림 6>과 <그림 7>에서 할인율 값의 변화에 따른 수익성지표값의 변화폭이 그 값이 1인 근처에서 매우 완만함을 볼 수 있다. 이것은 연간 운영비용이 초기투자비용의 대략 10%이고, 경제적인 의미가 있는 수익성지표의 기준 값을 일반적으로 1이라고 볼 때, 할인율의 변화가 프로젝트의 경제적 성과를 좌우할 정도로 중요한 요인이 되지 못함을 시사해 준다.



<그림 6> 할인율에 따른 수익성지표 추세 ($\beta=0.1, \alpha=0.1$)



<그림 7> 할인율에 따른 수익성지표 추세 ($\beta=0.1, \alpha=0.5$)

4.4 IRR 관점 분석

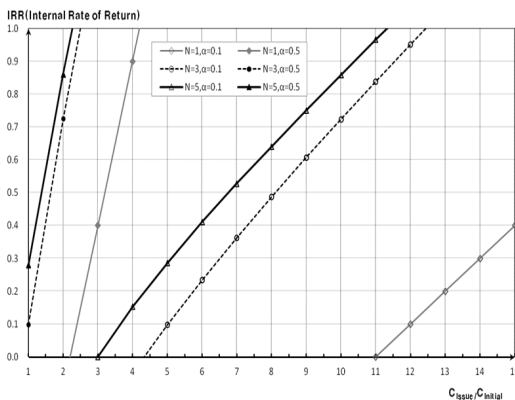
프로젝트 내부수익율은 식 (9)와 (10)에 의해 식

(14)를 만족시키는 r 값이 된다.

$$\frac{1}{\alpha \left(\frac{C_{Issuc}}{C_{Initial}} \right) - \beta} = \frac{1}{r} \left\{ 1 - \frac{1}{(1+r)^N} \right\} \quad (14)$$

내부수익율이 유일하게 하나 존재하기 위한 조건은 1)처음 현금흐름은 (-)이어야 할 것, 2)일련의 현금흐름이 단 한 번의 부호의 변화를 나타낼 것, 3)NPV>0 (PI>1)을 만족해야 한다는 사실을 주지하자 「Thuesen and Fabrycky, 1993」.

<그림 8>은 초기투자비용과 품질이슈비용 비율 값의 변화에 따른 IRR의 추세를 나타내고 있다. IRR이 경제적으로 의미있는 범위는 $0 \leq IRR < \infty$ 이다. 여기서는 $0 \leq IRR \leq 1$ 인 구간만을 나타내었다. <그림 8>에서 IRR의 증가는 품질보증 이슈처리기간 감소율인 α 에 의해 결정됨을 알 수 있으며, 분석기간을 얼마로 잡느냐도 프로젝트의 경제적 타당성을 결정하는 중요한 요인이 됨을 알 수 있다. 예를 들어 <그림 8>에서 이슈처리기간 감소율이 10%정도인 경우에는 분석기간을 최대 5년으로 잡더라도 연간 품질이슈 처리비용의 합이 프로젝트 초기투자비용보다 3배이상 커야 투자에 대한 경제적인 의미를 가진다는 것을 알 수 있다.



<그림 8> 초기투자비용과 품질이슈비용 비율 값에 따른 IRR 추세($\beta=0.1$)

5. 결 론

본 연구에서는 품질보증이력자료를 시스템적으로 수집하고 통계적으로 분석하여 시장에서 발생하는 품질이슈에 대한 조기감지를 지원해 주는 품질이슈 조기감지 시스템 구축의 경제적 타당성을 분석하기 위한 경제

성 지표들을 제시하고 이에 대한 민감도 분석을 수행하였다. 품질이슈 조기감지 시스템 구축의 경제적 효과는 품질이슈 처리기간 감소율에 의해 결정되며, 시스템의 도움을 통해 기업의 품질이슈 정의기간이 얼마나 단축될 수 있는지를 파악하는 것이 경제성 평가의 가장 중요한 요소임을 알 수 있었다. 일반적으로 시스템 연간 운영비용이 초기투자 비용의 10%라고 가정했을 때 민감도 분석을 통해서 연간 품질이슈비용이 프로젝트 초기투자비용보다는 큰 경우에 프로젝트의 경제성 분석이 의미가 있음을 확인할 수 있었다. 또한 경제적 의미가 있는 수익성 지표의 기준을 1로 볼 때, 화폐의 시간적 가치를 고려한 할인율의 변화는 프로젝트의 경제성을 결정하는데 결정적인 요인이 되지 않음을 알 수 있었다. 본 연구는 기업 업무를 지원하기 위한 유사한 IT 프로젝트의 경제성 분석을 수행하기 위한 방법론으로도 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] 김제승, Murthy, D.N.P.(2000), “이차원 보증정책을 갖는 제품의 보증비용 모형”, 「품질경영학회지」, 28권, 1호, pp. 57~77.
- [2] 박용태(2011), 「공학도를 위한 기술과 경영」, 2판, 생능출판사.
- [3] 백재욱, 조진남(2003), “2차원 품질보증데이터 모델링”, 「품질경영학회지」, 31권, 4호, pp. 219~225.
- [4] 서용성, 박영택, 손은일(1996), “A Literature Survey on Warranty Policies”, 「품질경영학회지」, 24권, 2호, pp. 102~112.
- [5] 이호우(2006), 「대기행렬이론」, 3판, 시그마프레스.
- [6] Keen, J. M. and Digrius, B.(2002), *Making Technology Investments Profitable*, John Wiley Sons, INC.
- [7] Pisello, T. and Strassmann, P.(2002), *IT ROI & IT Value Chain Management*, John Wiley Sons, INC.
- [8] Thuesen, G. J. and Fabrycky, W. J.(1993) *Engineering Economy*, 8th Ed., Prentice-Hall, Inc.
- [9] Majeske, K. D.(2003), “A mixture model for automobile warranty data”, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 81, No. 1, pp. 71-77.
- [10] Mueller, R. H.(2008), “Design for Warranty Cost Reduction”, *Reliability and Maintainability Symposium*, pp. 200-205.
- [11] Murthy, D.N.P. and Djameludin, I.(2002), “New Product warranty-A Literature review”, *Internati-*

- onal Journal of Production Economics*, Vol. 79, pp. 231-260.
- [12] Spraker, G.(2006), "Reporting vs. Analytics for Warranty Management", White Paper, SAS. (<http://www.sas.com/offices/asiapacific/korea/resource/papers.html>)
- [13] Vittal, S. and Neuman, H.(2008) , "Early Detection of Warranty Issues: A Multi-Disciplinary Literature Survey", *Reliability and Maintainability Symposium*. pp. 181-186.
- [14] Wu, H. and Meeker, W. Q.(2002), "Early Detection of Reliability Problems Using Warranty Data Bases", *Technometrics*, Vol. 44, pp. 120-133.

2012년 1월 16일 접수, 2012년 3월 2일 1차 수정, 2012년 3월 8일 채택