

# 소프트웨어 통합테스트를 위한 결함예측모델 설계

김명신\*, 강동수\*\*, 백두권\*\*

\*고려대학교 컴퓨터정보통신대학원 소프트웨어공학과

\*\*고려대학교 컴퓨터전파통신공학과

e-mail : [mskim@kds.co.kr](mailto:mskim@kds.co.kr), [greatkoko@hotmail.com](mailto:greatkoko@hotmail.com), [baikdk@korea.ac.kr](mailto:baikdk@korea.ac.kr)

## A Design of Fault Prediction Model for Software Integration Test

Myeong-Shin Kim\*, Dongsu Kang\*\*, Doo-kwon Baik\*\*

\*Dept. of Software Engineering, Computer Information and Communications, Korea University

\*\*Dept. of Computer Science and Engineering, Korea University

### 요 약

소프트웨어 제품의 품질을 보장하기 위해서는 제품을 개발하는 단계에 미리 결함율을 예측하여 원하는 수준의 품질을 확보하는 것이 중요하다. 결함은 사용자의 요구사항이 제품으로 구현되고 기능에 대한 테스트가 수행되는 단계에 가장 객관적이며 정량적으로 관리될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 통합테스트에 대한 계획을 수립하는 단계에 제품에 대한 결함율을 미리 예측하여 제품 결함율이 조직의 관리범위에 들어올 수 있도록 통제하는 결함예측모델을 제안한다. 조직의 제품 결함율 베이스라인을 설정하고 통합테스트 결함율에 영향을 미치는 변수들과의 회귀분석을 통해 통합테스트 결함예측모형을 구축한다. 또한 제품 결함율에 영향을 미치는 변수들과의 회귀분석을 통해 제품 결함예측모형을 구축하고 결함예측모형을 활용하여 제품 결함율을 분석 및 통제한다. 본 논문에서 제안한 결함예측모델은 실제 프로젝트에 적용하여 실효성을 검증하였으며 제품이 완성되기 전에 결함율을 예측하여 통제할 수 있게 함으로써 소프트웨어 품질을 향상한다.

### 1. 서론

소프트웨어 개발 프로젝트가 점차 대형화되고 복잡해짐에 따라 소프트웨어 품질에 대한 중요성이 높아지고 있다. 품질은 요구사항의 준수 또는 사용목적의 적합성이라 정의할 수 있다. 즉, 품질이 좋은 소프트웨어란 결함을 발생시키지 않고 고객의 요구사항이나 사용목적에 충족시키는 것을 말한다. 제품에 대한 결함은 제품이 완성되고 사용자에게 인도되기 직전이나 인도된 후에 발견되는 것이어서 사전에 결함율을 낮추기 어렵다. 따라서 제품을 만드는 프로세스에 결함율을 미리 예측해보고 공급할 제품의 결함율이 조직이 허용하는 관리범위 내에 위치하도록 하는 연구가 필요하다.

소프트웨어 개발 프로세스에 대한 중요성이 부각되면서 많은 기업들이 CMMI 를 도입하고 있다. CMMI 는 조직의 소프트웨어 개발 프로세스의 성숙도 수준을 평가하는 모델로 프로세스 성숙도가 높아지면 제품의 품질 및 개발기간, 공수 등에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. CMMI Level 4 는 프로세스가 정량적으로 관리 및 통제되고 성과 예측이 가능한 수준을 말한다. 소프트웨어 개발 조직에서는 결함을 정량적으로 관리 및 통제하기 위해 결함율에 대한 성과모델을 구축하여 활용할 수 있을 것이다.

소프트웨어 개발 프로세스 중 결함을 발견하고 수정하는 활동은 주로 인스펙션에 의해 수행된다. 분석, 설계단계의 인스펙션은 주로 개발 문서를 대상으로 한 것이어서 문서라는 특성상 표현의 한계와 구체성이 결여되어 결함 발견에 대한 효과가 떨어진다. 그러나 사용자 요구사항이 제품으로 구현되고 기능에 대한 테스트가 수행되는 단계에서는 결함에 대한 관리를 정량적으로 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 단위테스트가 완료되고 통합테스트에 대한 계획을 수립하는 시점에 제품에 대한 결함율을 미리 예측하여 제품 결함율이 조직의 관리범위에 들어올 수 있도록 프로젝트 변수를 정량적으로 조정할 수 있는 결함예측모델을 제안한다.

본 논문은 아래와 같이 구성되어 있다. 2장은 관련연구로 CMMI Level 4 프로세스와 기존 결함예측모델을 분석했다. 3장은 결함예측모델을 제안한 것으로 조직의 제품 결함율 베이스라인을 구축하고 통합테스트에 영향을 주는 변수들과의 회귀분석을 통한 통합테스트 결함예측모형 구축, 제품 결함율에 영향을 미치는 변수들과의 회귀분석을 통한 제품 결함예측모형 구축, 제품 결함율 분석 및 통제에 관해 기술한다. 4장에서는 본 논문에서 제안한 결함예측모델을 실제 프로젝트에 적용하여 결함예측모델의 실효성을 검증하며, 5장에서는 결론 및 향후 연구를 기술한다.

\* 이 연구에 참여한 연구자는 '2 단계 BK21 사업'의 지원과 정보통신산업진흥원의 SW 공학 요소기술 개발과 전문인력 양성사업의 결과물임을 밝힙니다.

## 2. 관련 연구

CMMI Level 4 는 조직 프로세스 성과(Organization Process Performance)와 정량적 프로젝트 관리(Quantitative Project Management) 프로세스로 구성되어 있다. 조직 프로세스 성과 프로세스는 조직 표준 프로세스들의 수행 결과를 바탕으로 품질 및 프로세스 성과 목표를 수립하고, 정량적인 프로젝트 관리를 위한 프로세스 성과베이스라인과 프로세스 성과모델을 제공하기 위한 것이다[1]. 프로세스 성과 모델을 이용하면 프로젝트 후반부에서나 측정이 가능한 성과에 대해 프로젝트 초기에 수집된 프로세스 속성을 기반으로 예측할 수 있게 해준다[1]. 정량적 프로젝트 관리 프로세스는 프로젝트 프로세스를 정량적으로 관리하여 프로젝트의 품질 및 프로세스 성과 목표를 달성하기 위한 것이다[1].

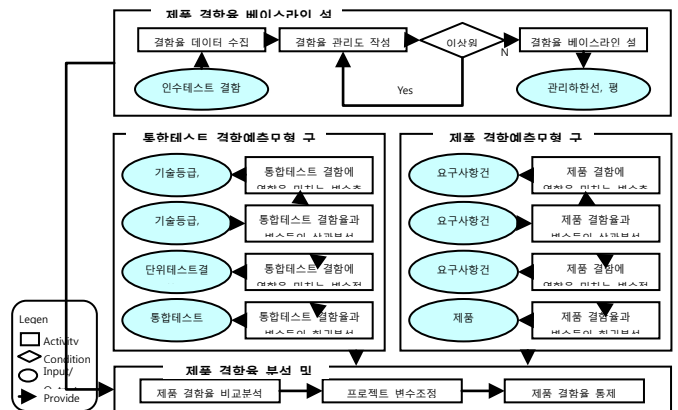
기존 결함예측모델은 경험적 단계기반 예측모델, Rayleigh 모델, COQUALMO 등이 있다. 경험적 단계기반 예측모델은 개발단계별로 결함을 예측하고 개발 중에 발생할 결함건수를 찾아내는 방법이다. 개발단계별 결함유입율과 결함제거율을 input 으로 하여 결함제거 패턴을 만들며 테스트 전의 모든 개발단계에 대한 결함 추적을 필요로 한다. 이 모델에서 사용한 공식은 소프트웨어 프로젝트에 사용하기 쉽고 이해하기 용이하다. 그러나 다른 모델과는 달리 제품 품질 레벨에 대한 측정을 신뢰할 수 없다. 결함발생율이 같은 개발 팀 사이에서도 케이스별로 다르기 때문이다. 또한 이 모델은 소프트웨어 조직의 안정된 프로세스와 소프트웨어 라이프사이클의 표준화를 요구하고 있어 프로젝트와 구성원, 플랫폼의 변화를 반영할 수 없다[2].

Rayleigh 모델은 다른 개발단계내의 결함 탐지는 Rayleigh 분산 기능을 따를 것이라고 가정한다. 경험적으로 잘 설계된 소프트웨어 프로젝트는 Rayleigh 밀도 곡선에 의한 라이프사이클 패턴을 따른다. 이 특성을 사용하여 전체 개발 단계의 총 결함분포를 만들 수 있다. Rayleigh 모델은 Weibull 분포 중 하나이다[3]. 확률적 밀도 함수의 꼬리가 0 으로 가까워지지만 그것이 0 은 되지 않는다는 것이다. 이 특징은 소프트웨어 프로젝트의 결함분포와 매우 유사하다[4]. 이 모델은 소프트웨어 개발 라이프사이클의 단계별 결함을 수학적으로 예측할 수 있게 하지만 프로젝트와 구성원, 플랫폼에 따른 예측 방정식 매커니즘을 조절할 수 없는 한계가 있다[4].

COQUALMO 는 각기 다른 개발단계의 결함 건수를 예측하는 COCOMO II 모델의 확장이다[5]. 이 모델은 “tank and pipe” 로 소개된 모델과 유사한 두 가지 하위모델을 가지고 있는데 결함유입(DI)과 결함제거(DR)이다[6]. 이 모델은 분석, 설계, 코딩, 3 단계에 대해 결함예측이 가능하지만 테스트 또는 배포 전 결함은 예측할 수 없다.

## 3. 결함예측 모델

본 장은 소프트웨어 제품의 결함예측모델을 제안한다. 제품의 결함예측을 위해 먼저 조직의 제품 결함을 베이스라인을 설정하고 통합테스트 결함율에 영향을 미치는 변수들과의 회귀분석을 통해 통합테스트 결함예측모형을 구축하였다. 또한 제품 결함율에 영향을 미치는 변수들과의 회귀분석을 통해 제품 결함예측모형을 구축하고 결함예측모형을 활용하여 제품 결함율을 분석 및 통제한다. 본 논문에서 제시하는 결함예측모델 개요도는 (그림 1)과 같다.



(그림 1) 결함예측모델 개요도

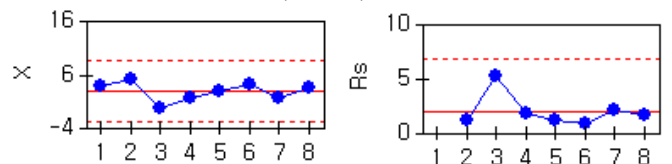
### 3.1 제품 결함율 베이스라인 설정

소프트웨어 개발조직의 제품에 대한 결함율 베이스라인을 설정하기 위해 다음과 같은 절차를 거친다.

먼저, 조직의 제품 결함율을 파악할 수 있는 관련 데이터를 수집한다. 제품 결함율은 사용자 요구사항이 누락되지 않고 기능상의 결함 없이 제품에 구현되었는지 확인하는 사용자 인수테스트를 수행할 때 발견된 결함을 기준으로 한다. 따라서 제품 결함율은 인수테스트케이스 수 대비 인수테스트 시 발견된 결함 건수로 산정한다(1).

$$\text{제품 결함율} = \frac{\text{인수테스트결함건수}}{\text{인수테스트케이스수}} \quad (1)$$

다음으로 결함율 베이스라인 초안을 작성한다. 베이스라인은 관리도(Control Chart)를 작성하여 얻을 수 있다. 관리도 작성 목적은 개별 측정치의 분포가 규격의 상한 및 하한의 한계선을 벗어나는 편차를 추적 관리하기 위한 것이다. 본 논문에서는 X-Rs 관리도를 사용하였으며 결과는 (그림 2)와 같이 나타났다.



(그림 2) 제품 결함율에 대한 X-Rs 관리도

이상원인이 발생된 경우 그 원인을 파악하여 대책을 강구하고 다시 측정하거나 해당 측정치를 제거하여 관리도 상의 이상원인이 없어질 때까지 반복한다. 모든 데이터가 관리범위 안에 존재할 때, 즉 그 프로세스의 공정이 안정되었을 때 관리상한선과 평균, 관리

하한선을 조직의 제품 결함율 베이스라인으로 설정한다.

**3.2 통합테스트 결함예측모형 구축**

통합테스트 단계의 결함율을 예측하기 위해 다음과 같은 절차를 거친다.

먼저 통합테스트 결함율에 영향을 미치는 변수들이 무엇인지 파악하기 위해 예상되는 변수들을 추출하여 통합테스트 결함율과의 상관관계를 분석한다. 통합테스트 결함율은 통합테스트케이스 수 대비 통합테스트 결함건수로 계산한다(2).

$$\text{통합테스트 결함율} = \frac{\text{통합테스트결함건수}}{\text{통합테스트케이스수}} \quad (2)$$

통합테스트 결함율에 영향을 주는 변수들은 투입인력의 기술등급, 요구사항 난이도, 단위테스트 결함율, 투입되는 인력의 공수로 추정된다. 통합테스트 결함율과 각 변수들이 선형 상관성이 있는 지 확인하기 위해 상관분석을 한 결과 <표 1>과 같은 결과가 도출되었다.

<표 1> 통합테스트 결함율과 변수들의 상관관계

| 변수명           | 상관계수        |
|---------------|-------------|
| 투입인력 기술등급(초급) | 0.20309075  |
| 투입인력 기술등급(중급) | 0.39605707  |
| 투입인력 기술등급(고급) | 0.19059397  |
| 투입인력 기술등급(특급) | 0.32260660  |
| 요구사항 난이도(상)   | 0.37779513  |
| 요구사항 난이도(중)   | 0.21816520  |
| 요구사항 난이도(하)   | 0.30018074  |
| 단위테스트 결함율     | -0.59261352 |
| 투입인력공수        | 0.77663640  |

<표 1>의 상관계수를 통해 다음과 결론을 얻을 수 있다. 통합테스트에 투입되는 인력의 기술등급(초급, 중급, 고급, 특급), 요구사항 난이도(상, 중, 하)는 통합테스트 결함율과 상관성을 가지지 않는다. 또한 단위테스트 결함율과 통합테스트 결함율의 상관계수는 -0.59261352 로 음의 상관관계를 갖는다. 즉, 단위테스트에서 결함을 많이 발견할수록 통합테스트 결함율은 줄어드는 것을 알 수 있다. 투입된 인력공수는 상관계수가 0.7766364 로 통합테스트 결함율과 높은 상관관계를 보이고 있다. 이를 종합하면 통합테스트 결함율에 영향을 주는 변수는 단위테스트 결함율과 투입인력공수임을 알 수 있다.

다음은 통합테스트에 영향을 주는 변수들의 조합을 찾아내 가장 적합한 결함예측모형을 추정하기 위해 회귀분석을 실시한다. 결과는 <표 2>와 같다.

<표 2> 통합테스트 결함율 회귀분석 결과

| 구분          | Estimate   | Std. Error | t value | Pr(> t ) |
|-------------|------------|------------|---------|----------|
| (Intercept) | 0.0960904  | 0.0133546  | 7.195   | 0.000807 |
| 단위테스트결함율    | -0.0005296 | 0.0001590  | -3.331  | 0.020745 |
| 투입인력공수      | 0.0035954  | 0.0006265  | 5.738   | 0.002251 |

위 결과를 신뢰수준 95%에서 F-Test로 검증하면 F값

은 17.78, p-value는 0.00533로 p-value가 0.05보다 작으므로 회귀식은 통계적으로 유의미하다. 또한 T-test로 검증하면 단위테스트 결함율 T값은 -3.331, p-value는 0.020745, 투입인력공수 T값은 5.738, p-value는 0.002251로 모두 p-value가 0.05보다 작으므로 통계적으로 유의미하다. R제곱도 0.8767로 모형을 설명하기에 상당히 좋은 편이다. 따라서 최종적인 통합테스트 결함예측모형은 (3)과 같다.

$$\text{통합테스트 결함율} = 0.0960904 + (-0.0005296 * \text{단위테스트결함율}) + (0.0035954 * \text{투입인력공수}) \quad (3)$$

**3.3 제품 결함예측모형 구축**

사용자에게 제공할 제품의 결함예측모형은 통합테스트 결함예측모형 구축절차와 동일하다. 제품 결함율은 인수테스트케이스 수 대비 인수테스트 결함건수로 계산한다. 제품 결함율에 영향을 주는 변수들은 요구사항 건수, 프로그램 본수, 투입인력의 기술등급, 투입인력공수, 단위테스트 결함율 대비 통합테스트 결함율, 개발기간으로 추정된다. 제품 결함율과 각 변수들의 상관관계를 분석한 결과는 <표 3>과 같다.

<표 3> 제품 결함율과 변수들의 상관관계

| 변수명                 | 상관계수       |
|---------------------|------------|
| 요구사항 건수             | 0.64321790 |
| 프로그램 본수             | 0.29096752 |
| 투입인력 기술등급(초급)       | 0.06785227 |
| 투입인력 기술등급(중급)       | 0.26868422 |
| 투입인력 기술등급(고급)       | 0.37454271 |
| 투입인력 기술등급(특급)       | 0.25735178 |
| 투입인력공수              | -0.6738435 |
| 통합테스트 결함율/단위테스트 결함율 | -0.7289338 |
| 개발기간                | 0.40935555 |

<표 3>의 상관계수를 통해 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다. 프로그램 본수 및 투입인력의 기술등급, 개발기간은 제품 결함율과 상관성을 가지지 않는다. 요구사항 건수가 많을수록 제품 결함율은 높아지며 투입인력공수와 단위테스트 결함율 대비 통합테스트 결함율은 제품 결함율과 음의 상관관계를 갖는다.

제품 결함예측모형을 추정하기 위해 회귀분석을 실시한 결과는 <표 4>와 같으며 이에 따라 제품 결함예측모형은 (4)와 같다.

<표 4> 제품 결함율 회귀분석 결과

| 구분          | Estimate   | Std. Error | t value | Pr(> t ) |
|-------------|------------|------------|---------|----------|
| (Intercept) | 0.0491578  | 0.0217915  | 2.256   | 0.109    |
| 요구사항 건수     | 0.0005495  | 0.0002627  | 2.092   | 0.128    |
| 통합/단위결함율    | -0.0133642 | 0.0070357  | -1.899  | 0.154    |
| 투입인력공수      | -0.0041718 | 0.0020977  | -1.989  | 0.141    |

$$\text{제품 결함율} = 0.0491578 + (0.0005495 * \text{요구사항 건수}) + (-0.0133642 * \text{통합테스트결함율/단위테스트결함율}) + (-0.0041718 * \text{투입인력공수}) \quad (4)$$

### 3.4 제품 결함율 분석 및 통제

프로젝트의 실제 변수값을 통합테스트 결함예측모형과 제품 결함예측모형에 대입하여 제품의 결함율을 예측하고 예측 결과가 조직의 결함율 베이스라인 관리범위 내에 있는 지 확인한다. 결함예측 결과가 관리상한선을 초과한 경우에는 결함율이 조직의 결함율 베이스라인 관리범위 안에 들어올 수 있도록 프로젝트의 변수값을 제품 결함예측모형에 대입하여 시뮬레이션을 반복한다. 도출된 변수값을 프로젝트에 반영하여 제품의 결함율이 관리 및 통제되도록 한다.

## 4. 사례를 통한 결함예측모델 검증

프로젝트 A 에 본 논문에서 제안한 결함예측모델을 적용하여 결함예측모델의 실효성을 검증하였다. 먼저 조직에서 과거에 수행했던 프로젝트의 인수테스트 결함건수 및 인수테스트케이스 수를 수집한다. 관리도를 사용해 수집된 데이터가 이상원인이 있는 지 확인하고 이상원인 발생 시 이상원인을 제거함으로써 최종적인 조직의 제품 결함율 베이스라인을 설정한다. 제품 결함율 관리범위는 3 시그마를 적용하였으며 수집된 데이터로부터 제품 결함율 베이스라인 관리상한선은 0.0881, 평균은 0.0309 로 산정되었다. 관리하한선의 경우 -0.0263 이나 결함율은 제로를 지향하므로 0 로 대체한다.

통합테스트 계획단계에 예상되는 통합테스트 결함율을 예측하기 위해 (3)의 식에 프로젝트 변수를 대입한다. 통합테스트 결함에 영향을 주는 변수인 단위테스트 결함율은 0.23833333 이며 투입인력공수는 60 이므로 통합테스트 결함율은 0.06024018 로 예측된다.

이 결과를 토대로 프로젝트 A 의 제품 결함율을 예측해 보면 제품 결함에 영향을 미치는 변수인 통합테스트 결함율은 0.06024018, 단위테스트 결함율은 0.23833333, 투입인력공수는 60 이므로 제품 결함예측모형 (4)에 대입하여 제품 결함율은 0.136711 임을 알 수 있다. 이는 조직의 제품 결함율 베이스라인 관리상한선 0.0881 을 초과하는 수치로 제품 결함율 관리범위를 벗어난 것이다. 따라서 프로젝트 A 의 제품 결함율이 관리범위 안에 위치하도록 프로젝트 변수를 조정할 필요가 있다.

제품 결함율에 영향을 미치는 변수 중 요구사항 건수나 이미 수행시기가 지난 단위테스트 결함율은 조정이 불가능한 변수이므로 투입인력공수를 조정하도록 한다. 제품 결함예측모형 (4)에 투입인력공수를 대입하여 제품 결함율이 조직의 제품 결함율 평균인 0.0309 에 근접하도록 시뮬레이션을 반복한다. 그 결과 적정 투입인력공수는 85 임을 알 수 있다. 따라서 제품의 결함율을 낮추기 위해서 통합테스트 수행 시 기존 투입인력공수 60 외에 25 를 추가로 투입해야 함을 알 수 있다.

위와 같은 결론을 통해 본 논문에서 제안한 결함예측모델은 프로젝트 수행 프로세스 상에 미리 제품의 결함율을 예측하고 통제할 수 있는 모델임을 검증하였다.

## 5. 결론 및 향후 연구

소프트웨어 제품의 품질을 보장하기 위해서는 제품을 개발하는 단계에서 미리 결함율을 예측해 보고 원하는 수준의 품질을 확보하도록 조치할 필요가 있다. 제품의 결함율은 객관적이며 정량적으로 예측하는 것이 중요하기 때문에 결함율 예측은 사용자의 요구가 제품에 구현되고 기능을 테스트할 수 있는 단계에서 하는 것이 가장 효과적이다.

본 논문에서는 통합테스트 계획단계에 제품의 결함율을 예측하는 모델을 제시하였다. 먼저, 조직이 과거에 수행했던 프로젝트의 제품 결함율을 기반으로 조직의 결함율 베이스라인을 설정하였다. 통합테스트 결함율을 예측하기 위해 통합테스트 결함율에 영향을 미치는 변수들을 상관분석을 통해 정의하고, 변수들의 가장 적절한 조합을 산정하는 회귀분석으로 통합테스트 결함예측모형을 구축했다. 또한 사용자에게 인수될 제품의 결함율에 영향을 미치는 변수들의 상관분석 및 회귀분석을 통해 제품 결함예측모형을 구축했다. 프로젝트에서는 통합테스트 계획단계에 통합테스트 결함예측모형과 제품 결함예측모형을 활용해 제품의 결함율을 예측한다. 프로젝트의 제품 결함율이 조직의 제품 결함율 관리범위를 벗어난 경우에는 결함율에 영향을 미치는 프로젝트 변수를 조정하여 프로젝트 제품 결함율이 통제될 수 있다.

향후에는 제품 결함율에 영향을 미치는 더 많은 변수들을 도출하여 프로젝트에 조정하여 대입할 수 있는 다양한 변수들을 정의하는 게 필요하다. 또한 테스트 단계뿐 아니라 소프트웨어 개발 단계별로 미리 결함율을 예측하고 통제할 수 있는 모델에 관한 연구를 진행할 예정이다.

## 참고문헌

- [1] 이민재, 박남직, "CMMI 의 이해", ㈜피어슨에듀케이션코리아, 2006.
- [2] Brad. C, Dave Z., "How Good is the Software: A Review of Defect Prediction Techniques", Carnegie Mellon University, Software Engineering Institute, 2001.
- [3] Stephen H. Kan, "Metrics and Models in Software Quality Engineering, "2nd ed., Addison-Wesley, 2002.
- [4] Young-Ki Hong, A Value-Added Predictive Defect Type Distribution Model Based On Project Characteristics, pp.11, pp.21.
- [5] Hans Sassenburg, "Design of a Methodology to Support Software Release Decisions", PhD Thesis, University of Groningen, 2005.
- [6] Jones C., "Programming Defect Removal", Proceedings, GUIDE 40, 1975.