

효과적인 프로세스 관리를 위한 PCM(Process Capability Metric) 지원 도구 설계

염희균*, 정일재**, 채현철**, 황선명***
대전대학교 컴퓨터공학과
*e-mail: yeom@dju.ac.kr

Design on Supporting Tool of Process Capability Metric for Effectiveness Process Management

*Hee-Gyun Yeom, **Il-Jae Jung, **Hynn-Choul Chae, ***Sun-Myung Hwang
Dept of Computer Engineering, Daejeon University

요 약

효과적인 소프트웨어 프로세스 개선을 위해 SPICE와 CMMI 프로세스 심사 표준을 도입하려는 노력을 하고 있다. 이러한 표준을 통해 효과적인 개선하기 위해서는 개선점과 위험을 식별하고 이들 이슈들을 개발환경에 적용시켜서 조직의 비전에 대응한 작업성능을 높여야한다. 지속적인 개선을 필요로 하는 조직은 현재의 작업성능을 측정하고 이를 개선하기 위한 개선점을 찾아내는 능력과 경험을 축적하여 체계적으로 관리하는 것이 중요하다. 하지만 기존의 SPI 모델들은 무엇을 수행해야 하는지에 대한 지침은 제공하고 있지만, 정량적인 작업성능 측정 및 특정 환경의 소프트웨어 개발 조직의 SPI를 위해 필요한 구체적인 지침을 제시하고 있지는 않다. 따라서, 본 논문에서는 정량적인 SPI를 위해 프로세스 측정 메트릭 정의와 심사 경험이 분석되어 활용될 수 있는 PCM(Process Capability Metric) Experience Factory 모델을 제안한다.

1. 서론

최근 들어 국내에서는 해외에 진출하고자 하는 SI업체 및 S/W 개발업체 또는 해외 바이어의 요구에 의해 일정한 품질의 제품을 생산하고자 하는 임베디드 시스템 업체를 중심으로 SPI를 추진하고자 하는 분위기가 확산되고 있으며, 금융업등 다양한 분야로 확산되고 있다. 이에 따라 업계에서도 납기 단축, 비용 절감 및 효율적인 프로세스 관리 등 경쟁력 제고 차원에서 SPI 모델을 도입하려는 노력이 팽배해지고 있다.

이렇게 여러 가지 목적 달성을 위해 SPI를 추진하려는 국내의 많은 기업들에게 필요한 것이 바로 경험이다. 경험을 활용한다면, 목적 달성을 위해 어떤 개선 활동을 먼저 수행해야하는 지 결정할 수 있으며, 개선 활동의 효과를 예측하고, 개선 활동으로 인한 조직의 제약사항과 구조의 변화에 대응할 수 있다[6]. 하지만 위에서 언급한 SPI 모델들은 무엇을 수행해야 하는 지에 대한 지침은 제공하고 있지만, 특정 환경의 소프트웨어 개발 조직의 SPI를 위해 필요한 구체적인 방법을 제시하고 있지는 않다.

SPI를 위해서는 표준 프로세스 심사 모델을 기반으로 하는 조직의 프로세스 역량이 정량적으로 관리가 되어야

한다. 이를 위해 프로세스 측정이 필요하고, 이를 통해 프로세스 개선 여부의 진행 상태를 정량적으로 확인할 수 있는 측정 도구인 메트릭이 필요하다.

2. 기반 연구

2.1 프로세스 개선과 메트릭(Metric)

메트릭은 일반적으로 측정 대상을 기초로 그룹화 할 수 있다. 개발 프로세스의 기간, 비용, 효율을 측정하는 것과 개발한 소프트웨어, 즉 프로덕트 자체의 특성을 측정하는 메트릭이 있으며, 소프트웨어 개발 인력, 팀, 동원되는 소프트웨어 및 하드웨어 등의 자원을 측정하는 메트릭등으로 나누어 볼 수 있다. 이들 메트릭 중 하나의 측정값으로 표현할 수 있는 것이 직접 메트릭 이며 여러 개의 측정값의 비율 또는 함수로 표현되는 것이 간접 메트릭 이다. <표 1>은 측정 대상에 대한 직접, 간접 척도의 예를 보여준다.

<표 1> 메트릭 구분

구분	측정 대상	타입	척도의 예
프로덕트	원시 코드	직접	크기
		간접	신뢰도
프로세스	테스트	직접	노력
		간접	비용
자원	인력	직접	경력
		간접	생산성

1) 본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성 사업의 연구결과로 수행되었음

ISO/IEC 15504 에서는 프로세스 측정의 중요성을 인식하여 프로세스 측정을 위한 틀도 제공하고 있지만 각 수준별로 구체적인 메트릭을 제공하고 있지는 않다. 따라서 메트릭을 설계함으로써 프로세스 능력을 측정하여 예상 목표와 결과를 분석하여 개선점을 파악한다. 계획한 개선을 실행한 후에는 다음 사이클에서 더 좋은 결과를 얻게 되었는지 개선 확인을 하게 된다.

2.2 GQM(Goal-Question-Metrics) 방법

GQM 방법을 통해서 조직의 목표를 만들고 그 목표에 부합하기 위한 각각의 영역에서 프로젝트 목표를 만들어 이를 해결하기 위한 질문(Question)을 하고 이를 측정할 수 있는 메트릭을 만들어 측정하는 것이다[4][5].

본 논문에서는 ISO/IEC 15504 프로세스 측정을 위한 메트릭 설계 방법으로 GQM 방법을 활용한다.

3. 표준 메트릭 설계

3.1 프로세스 측정 메트릭

프로세스 측정을 위한 37개의 표준 메트릭을 [그림 1]의 표준 정의서를 기반으로 설계 하였다.

메트릭명	시스템 요구 항목과의 일치 비율	범주	요구사항	ISO/IEC 15504	ENG 1 Requirement elicitation
메트릭 ID	M01		50	상한값	100
보고시기	ENG 2 권	하한값		단위	%
계산식	A/B * 100				
구경 측정치 정보					
A	소프트웨어 요구 분석 수				
B	시스템 요구 분석내의 소프트웨어 요구 수				
활동 가이드					
개요	소프트웨어에 할당된 요구사항들과 균형을 맞추기 위한 시스템 요구사항들이 있는지를 나타낸다.				
분석방법	(소프트웨어 요구 분석 수/시스템 요구 분석내의 소프트웨어 요구 수) * 100				
인디케이터	위은선 그래프				
결과 해석	비율이 100에 가까울수록 시스템 요구사항이 균형을 이루었다고 해석 가능함				

[그림 1] 메트릭 정의서

표준 메트릭은 프로세스 심사 시에 프로세스 목적 성취 정도를 계량화 하여 객관적인 수치로 나타내지며 이를 통하여 능력 수준 달성 여부를 판단하는데 사용되어진다. 그러나 정의된 표준 메트릭은 여러 조정 작업이 필요하며 많은 실험 데이터의 수집과 분석을 통하여 검증되어야 한다. ENG그룹 세부 프로세스 별 PA(Process Attribute) 달성 정도 측정에 사용 될 때에는 [그림 2]와 같이 수정 되어야 한다.

범주	메트릭 명	프로세스 영역
비용	예산대비 실제 공수 비율	MAN.3 Project Management
	예산대비 실제 비용 비율	MAN.3 Project Management
	목표대비 진메트릭 비율	MAN.3 Project Management
일정	프로젝트 추적 및 감독 보고 회수	MAN.3 Project Management
	시스템 품의 생산성	ENG.1 Requirement elicitation
	시스템 설계 생산성	ENG.1 Requirement elicitation
	소프트웨어 요구 분석 생산성	ENG.4 Software requirement analysis
생산성	소프트웨어 구축 생산성	ENG.4 Software requirement analysis
	소프트웨어 설계 생산성	ENG.5 Software design
	소프트웨어 시험 생산성	ENG.6 Software construction
	시스템 시험 생산성	ENG.7 Software integration
	변경사항의 시험 생산성	ENG.12 System and software maintenance
	시스템요구항목과의 일치비율	ENG.1 Requirement elicitation
	시스템 요구 항목 일치 비율	ENG.2 System requirement analysis
요구사항	요구사항들과 시스템 컴포넌트의 매핑 비율	ENG.3 System architecture design
	고객의 요구사항 변경 비율	ENG.4 Software requirement analysis, C/F,4 Change Request Management
	소프트웨어 확인 기준 비율	ENG.4 Software requirement analysis
	소프트웨어 요구분석과의 일치 비율	ENG.5 Software design

[그림 2] 프로세스와 메트릭 매핑

그러나 프로세스 각 그룹과 한 개의 메트릭만이 매핑 되지 않음을 ISO/IEC 15504와 CMMI KPA간의 대응관계로

알 수 있다[8]. 따라서 각 세부 프로세스의 기본 목적을 최대한 커버할 수 있는 Root Word들로 매핑을 하였다.

위의 [그림 2]에서 '시스템 요구 항목과의 일치 비율' 메트릭의 예를 들면, 소프트웨어에 할당된 요구사항들과 균형을 맞추기 위한 시스템 요구사항들이 있는지를 나타낸다. 즉, 소프트웨어 요구 분석 수와 시스템 요구 분석내의 소프트웨어 요구 수를 기록하여 요구 시스템 요구 항목과의 일치 비율을 파악하는 것이다. 일치 비율이 100에 가깝다는 의미는 시스템 요구사항이 균형을 이루었다고 해석 가능하다.

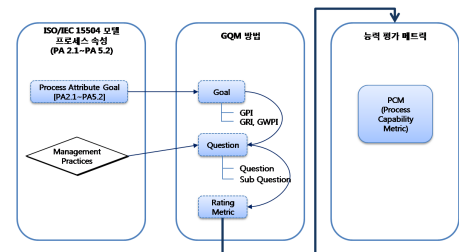
'예상 대비 실제 비용 비율' 메트릭은 최초 예상 비용은 IPR 작성을 통해 측정하며 IPR의 변경 관리를 통해 예상 비용의 변경을 관리하고 실제 공수는 각 단계마다 측정한다. [그림 3]에서는 [그림 2]의 과정을 통해 식별, 정의된 ISO 15504 모델의 활동을 평가하기 위한 메트릭과 관련 데이터, 함수를 나타내고 있다.

메트릭 ID	메트릭명	데이터	함수
ENG.01	시스템 요구 항목과의 일치 비율	소프트웨어 요구 분석 수 시스템 요구 분석내의 소프트웨어 요구 수	소프트웨어 요구 분석 수/시스템 요구 분석내의 소프트웨어 요구 수
ENG.02	시스템 요구 항목 일치 비율	시스템 기능 요구 개수 시스템 비 기능 요구 개수	(시스템 기능 요구 개수+시스템 비 기능 요구 개수)/고객 요구 사항
ENG.03	요구사항들과 시스템 컴포넌트의 매핑 비율	시스템 컴포넌트 개수 시스템 요구사항 개수	시스템 컴포넌트 개수/시스템 요구사항 개수
ENG.04	고객의 요구사항 변경 비율	수정된 요구사항 수 고객에게 전달된 요구 사항 수	수정된 요구사항 수/고객에게 전달된 요구 사항 수
ENG.05	소프트웨어 확인 기준 비율	요구사항에 의한 확인 기준 수 소프트웨어 전체 확인 기준 수	요구사항에 의한 확인 기준 수/소프트웨어 전체 확인 기준 수

[그림 3] GQM 방법을 통해 식별된 프로세스 활동 평가 메트릭 예

3.2 프로세스 성숙도 측정 메트릭 설계 및 적용

프로세스 성숙도 평가를 위한 메트릭 개발은 [그림 4]의 과정을 통해 설계한다.



[그림 4] 프로세스 성숙도 측정 메트릭 설계 절차

ISO/IEC 15504 프로세스 그룹의 각 프로세스의 성숙도를 측정하는 PA Goal 은 프로세스 수행 능력을 만족하기 위해 반드시 달성해야 하는 필수 요소이므로, GQM 방법론의 Goal 에 대한 입력물로 맵핑하였다. Management

Practice 는 필수 요소를 달성하기 위해 구현해야 하는 기대 요소이다. 위의 기대 요소는 GQM 방법론의 Question 에 대한 입력물로 맵핑하여 Practice 평가를 위한 메트릭으로 정의한다.

각 프로세스의 성숙도를 측정하기 위한 프로세스 능력 결정 메트릭은 다음과 같은 일반화 함수로 정의한다.

$$PCM = 5 \times \left(\sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{100} \right) \times \frac{1}{n}$$

PCM=Process Capability Metric

5 = 능력 수준 (수준1~수준5)

Q_i = 항목별 측정된 값(평균값)

n = 측정된 항목 수

수준 2, 3 측정을 위한 메트릭 정의서를 각 심사자별로 심사 시에 입력하게 된다. 입력 도구는 [그림 5]와 같이 엑셀을 이용하여 설계하였다.

Process Capability Metric Table (PCMT)										
심사자에 명 - A 사										
구분		목적	중요도	중요성	중요도	중요성	중요도	중요성	중요도	중요성
GPI를 위한 질문										
Goal: 프로세스가 관리되어야 한다.										
Q1	최저의 요구사항에, 최종물류 계획 정보에 근거하는가?	95	95	50	100	100	420	94		
Q2	최저의 요구사항에, 기술적 자료에 근거하는가?	95	95	50	100	100	420	94		
Q3	최저의 요구사항에, 프로젝트 운영에 근거하는가?	100	100	100	95	50	425	97		
Q4	수출물 사용된 프로세스, 특이점 식별되고 사용되는가?	95	100	100	100	100	485	97		
Q5	수출물자가 할당자로 오인되고, 프로젝트 운영 중에 사용되는가?	100	95	100	100	100	485	97		
Goal: 프로세스가 관리되어야 한다.										
Q6	식별된 위험요인, 위험요인 관리가 되는가?	100	95	95	100	95	495	97		
Q7	프로젝트 위험, 위험을 조기에 식별하고 있는가?	100	100	100	95	50	490	96		
Q8	WorkFlow 가 관리되고 있는가?	95	100	95	95	95	440	98		
Q9	Team work 및 의사 결정 관리가 되는가?	100	100	100	95	50	490	96		
Q10	Problem, issue, defect, risk를 관리하는 체계가 운영되는가?	100	100	100	95	50	490	96		
Goal: 프로세스가 관리되어야 한다.										
Q11	프로세스, 정보의 일관성에 의한 평가 보고가 되는가?	100	100	100	95	50	495	97		
Q12	프로젝트 위험, 위험을 조기에 식별하고 있는가?	100	100	100	95	50	490	96		
Q13	수출물, 관리 위험의 의사 결정을 관리하고 있는가?	100	95	95	50	95	465	93		
Q14	수출물, 위험을 조기에 식별하고 있는가?	100	100	100	95	95	470	94		
Q15	수출물, 위험을 조기에 식별하고 있는가?	95	50	100	95	100	465	93		
GPI를 위한 질문										
Goal: 프로세스가 관리되어야 한다.										
Q16	최저의 요구사항에, 평가가 이루어지는가?	95	95	95	50	50	395	71		
Q17	프로젝트 위험, 위험을 조기에 식별하고 있는가?	95	100	100	95	50	465	93		
Q18	GPI의 목적, 위험을 조기에 식별하고 있는가?	100	100	100	95	100	485	97		
Q19	수출물, 위험을 조기에 식별하고 있는가?	95	50	95	50	100	395	67		
Q20	수출물, 위험을 조기에 식별하고 있는가?	95	50	95	15	95	365	57		
GPI를 위한 질문										
Goal: 프로세스가 관리되어야 한다.										
Q21	최저의 요구사항에, 평가가 이루어지는가?	95	100	100	50	100	435	87		
Q22	프로젝트 위험, 위험을 조기에 식별하고 있는가?	95	100	95	95	95	465	93		
Q23	수출물, 위험을 조기에 식별하고 있는가?	100	100	95	50	100	435	87		
Q24	수출물, 위험을 조기에 식별하고 있는가?	100	100	95	100	100	485	97		
Q25	수출물, 위험을 조기에 식별하고 있는가?	100	100	95	100	100	485	97		
Q26	수출물, 위험을 조기에 식별하고 있는가?	100	95	95	95	440	485	97		
GPI를 위한 질문										
Goal: 프로세스가 관리되어야 한다.										
Q27	수출물, 위험을 조기에 식별하고 있는가?	100	100	100	100	100	500	100		
Q28	수출물, 위험을 조기에 식별하고 있는가?	100	50	50	100	100	400	80		
Q29	수출물, 위험을 조기에 식별하고 있는가?	100	100	95	100	50	435	87		
Q30	수출물, 위험을 조기에 식별하고 있는가?	100	100	95	100	50	435	87		
Q31	수출물, 위험을 조기에 식별하고 있는가?	100	100	95	100	50	435	87		
Q32	수출물, 위험을 조기에 식별하고 있는가?	100	100	95	100	50	435	87		
Q33	수출물, 위험을 조기에 식별하고 있는가?	100	100	95	100	50	435	87		
Q34	수출물, 위험을 조기에 식별하고 있는가?	100	100	95	100	50	435	87		
Q35	수출물, 위험을 조기에 식별하고 있는가?	100	50	50	100	95	395	71		

[그림 5] PCM 입력 도구 설계 화면

이때 값의 결정은 자격을 갖춘 심사원들의 판단에 의해 결정되어진다. 심사원이 소수일 경우에는 편차가 커질 수 있으므로 적정 수(8-12명)의 심사원들의 참여가 필요하다. 그리고 다음의 몇 가지 전제 조건을 따라야 타당한 프로세스 수준을 얻을 수 있다.

- 목표한 수준보다 한 단계 상위 수준의 지표 항목까지 심사한다.
- ISO/IEC 15504 Part 5 표준에서 일반적 활동 항목(GPI)은 필수적으로 모두 선택하여 평가하고 기타 활동 항목은 심사원 합의 후 통일하여 선택한 후 측정한다.
- 같은 일반적 활동 항목에 대한 평가는 여러 심사원들의 평가 점수 평균으로 측정 한다

4. 정량적 프로세스 관리를 위한 메트릭 측정 경험(PCMEF) 모델

ISO/IEC 15504를 통해 지속적인 프로세스 개선을 추진하려는 조직은 그들의 추진 경험을 체계적으로 축적하고

분석하여 활용하는 것이 중요하다.

첫째, 조직의 목적 달성을 위해 어떤 개선활동을 먼저 수행해야 하는지 결정할 수 있다.

둘째, 개선활동의 효과를 예측할 수 있다.

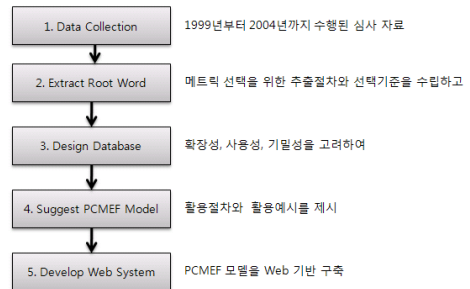
셋째, 경험을 통해 효율이 극대화된 프로세스를 수립할 수 있다.

넷째, 개선활동으로 인한 조직의 제약사항과 구조의 변화에 대응할 수 있다.

위와 같은 이유로 ISO/IEC 15504를 추진했던 여러 기업들의 메트릭 측정 경험을 수집하여 활용될 수 있는 모델이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 ISO/IEC 15504 메트릭 측정 경험이 분석되어 활용될 수 있는 PCMEF(Process Capability Metric Experience Factory) 모델을 제안한다.

4.1 PCMEF 모델 설계 절차

PCMEF 모델의 설계 절차는 [그림 6]과 같다.



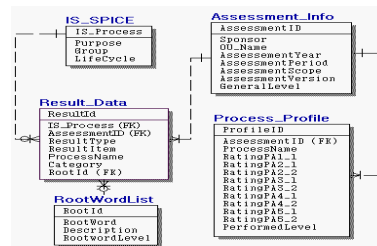
[그림 6] PCMEF 모델 설계 절차

본 연구를 위해 1999년부터 2004년까지 한국에서 수행되었던 SPICE 심사의 결과자료를 수집하였다.

수집된 자료를 분석하기 위하여 선택기준과 추출절차를 수립하여 Root Word를 추출하였다. 분석된 자료를 축적하고 관리하기 위하여 확장성, 사용성, 기밀성을 고려하여 데이터베이스를 설계하여 구축하였다.

4.2 SPICE심사 자료 DB 설계

데이터베이스의 역할은 SPICE 경험들을 저장하고 그들을 PCMEF모델의 활용 목적에 따라 공급하는 것이다. 그러므로 PCMEF 모델이 필요로 하는 정보를 제공할 수 있도록 설계되어야 한다.



[그림 7] ER 다이어그램

맞춤화 단계에서는 위 단계에서 도출한 SPICE 수준과

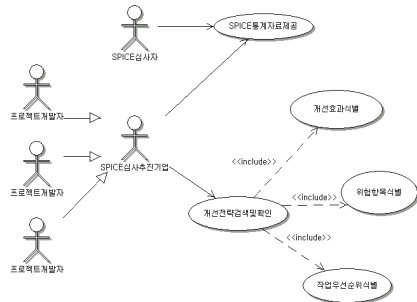
프로세스의 각 메트릭 값을 데이터베이스와 비교하여 현 수준에서 선택할 수 있는 최적의 개선 전략 및 메트릭을 도출해낸다.

Root_Metadata 테이블에는 Root Word를 매핑하고 있다. 조직은 Root_Metadata 테이블을 검색하여 개선 우선 순위의 카테고리에 해당하는 Root Word를 도출한 후 Process_Profile 테이블에서 조직의 현 수준과 일치하는 항목을 도출하여 비교한다.

일반화 단계는 위 두 단계의 기반이 되는 단계이다. 심사결과와 모든 강점/개선점 항목들은 Root Word로 일반화 되어 있다. 이 단계를 기반으로 조직은 PCMEF 모델을 통해 해당하는 Root Word를 도출하고 그 Root Word에 해당하는 강점/개선점을 도출하는 것이 가능해진다.

4.3 시스템 요구사항 분석

PCMEF 시스템의 목적은 프로세스 엔지니어에게 SPICE 추진 경험을 쉽고 빠르게 제공하기 위한 것이다. [그림 8]은 PCMEF 시스템의 Use Case 다이어그램이다.



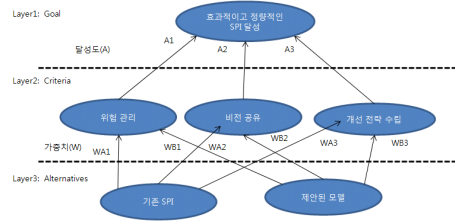
[그림 8] PCMEF 시스템의 Use Case 다이어그램

SPICE를 처음 추진하는 기업이나, 경험이 부족한 기업은 SPICE를 위해 어떤 작업을 추진해야 하는지, 또한 보다 높은 성숙도를 달성하기 위해서는 어떤 활동이 우선이 되어야 하는지를 명확하게 알지 못한다. PCMEF 시스템이 각 프로세스의 강점에 대한 Root Word와 그에 따른 메트릭과 심사항목들을 제공함으로써 어떤 활동을 수행해야 하는지 확인할 수 있다.

4.4 AHP 기법을 이용한 모델의 이론적 신뢰성 검증

AHP 방법은 대안평가 및 채택을 위한 의사결정 및 추론 기법이다[12]. 가장 중요한 장점은 의사결정 대안(Alternatives)들을 평가할 때, 정량적, 정성적 요인을 포함한 다차원 변수를 고려할 수 있다는 점이다. 본 절에서는 기존의 SPI 방법과 제안된 PCMEF 모델 사이에서 어느 방법이 더 효과적인지 측정하기 위해 AHP 추론 기법을 사용하였다.

AHP 추론 기법 중 1단계로서, 의사결정 요인들 간의 관계를 분석하여 계층적 구조(Hierarchical Structures)로 [그림9]와 같이 나타내었다.



[그림 9] AHP 추론 기법 계층적 구조 1단계

2단계에서는 각 Layer에 있어서 의사 결정 요인들의 쌍대 비교(Pairwise Comparisons)를 하고, 3단계는 [그림10]에서 2단계 과정을 보여준다.

평가기준	위험 관리(A1)	비전 달성(A2)	개선 전략 수립(A3)	
달성도	0.187	0.2629	0.5222	
가중치	(WA1)	(WA2)	(WA3)	종합 평가
기존 SPI	0.333	0.2499	0.333	0.3053
제안모델	0.666	0.7500	0.666	0.6940
	(WB1)	(WB2)	(WB3)	

[그림 10] AHP 추론 기법 4단계 - 종합적 중요도 계산

[그림 10]은 AHP 기법의 계층적 구조와 종합적 중요도 계산 결과를 보여준다. 기존의 SPI 방법보다 제안된 PCMEF 모델이 38.87% 높은 결과가 나왔음을 확인할 수 있다. 이를 통해서 제안된 PCMEF 모델이 위험 관리, 비전 공유, 개선전략 수립의 관점에서 기존의 SPI 방법보다 우수한 모델임을 증명하였다. 뿐만 아니라 PCMEF 모델의 이론적 신뢰도도 함께 검증되었다.

5. 결론 및 향후 연구

본 연구에서 제시하는 프로세스별 메트릭은 조직의 능동적인 프로세스 개선 방향을 예측 가능하게 하고 구체적으로 현재 프로세스 상태를 정량화할 수 있으며 프로세스 목표를 실현할 수 있다.

GQM 방식을 통한 기존 프로세스 심사 모델에서 제공하지 않는 ISO/IEC 15504 기반으로 한 객관적인 프로세스 메트릭을 활용하여 능력 수준을 측정할 수 있다.

메트릭 활용을 통하여 결함, 문제점, 수행 프로세스의 상태를 판단할 수 있다
향후 연구방향으로는 PCMEF 시스템의 사례연구를 통한 실질적인 신뢰성 검증이 필요하다.

참고문헌

- [1] Richard L.Lynch, Kelvin F. Cross, "Measure up!", Blackwell, 1995.
- [2] Williams A. Florac, Anita D. Carleton, "Measuring the software process", SEI Series, Addison Wesley, 1999.
- [3] Kyung whan Lee, "Quantitative Analysis for SPI
- [4] Barry Boehm, "Value-Based Software Engineering: Case Study", IEEE Computer, pp33-41, 2003.
- [5] KSPIICE (Korea Association of Software process Assessors), SPICE Assessment Report <http://kaspa.org>, 2002~2004
- [6] Frank Van Latum, Rini Van Soligen, "Adopting GQM-Based Measurement in an industrial Environment", IEEE software, 1998.