

활동기준예방에 의한 프로젝트 품질코스트 최소화

김종열*[†] · 강창욱** · 황인극***

*한양대학교 산업공학과
**한양대학교 ERICA 캠퍼스 산업경영공학과
***공주대학교 산업시스템공학과

Minimizing Project Quality Costs by Activity-Based Prevention

Jong Yul Kim*[†] · Chang Wook Kang** · In Keuk Hwang***

*Dept. of Industrial Engineering, Hanyang University
**Dept. of Industrial and Management Engineering, ERICA Campus, Hanyang University
***Dept. of Industrial and Systems Engineering, Kongju National University

Traditional quality control for manufacturing or service sector is not suitable for the quality control of a project as the project is one-time task constrained by time, cost, and quality. To meet the internal and external customers' requirements, quality costs approach to the project will be effective. Hence, we propose PONC (price of nonconformance) estimation procedure and a mathematical model, which are focused on activity-based prevention in the execution step and warranty step of EPLC (extended project life cycle). This procedure and model will help project manager develop preventive action plan for project quality costs minimization from nonconformance risk activities and PONC estimates information.

Keywords : Project Quality Costs, Activity-Based Prevention, Price of Nonconformance

1. 서 론

기업이 추진하는 신제품 또는 서비스개발 프로젝트의 성패는 그 기업의 지속가능성에 중대한 영향을 미치고 있어 전통적 프로젝트관리이론과 품질관리 관행으로는 급변하는 시장요구에 시의 적절하게 대응하기 어렵다. 프로젝트는 특성상 제품, 서비스 또는 결과물을 창출하기 위해 수행하는 한시적인 업무이기 때문에 어떤 프로젝트에 대해 효과적인 품질관리를 하려면 반복 프로세스를 가진 일반 제조 또는 서비스부문에 적용하는 전통적 품질관리와는 접근방법이 달라야한다. 프로젝트를 수행하는 기업의 관리자는 프로젝트 결과물의 품질에 영향을 미치는 일정과 예산 관련 프로세스관리에 초점

을 맞추어야 할 것이다.

품질관리의 성과는 부적합비용(PONC, price of nonconformance)에 의해 측정될 수 있고, 프로세스의 품질이 개선되면 프로세스에서 결점이 줄어들어 비용이 절감된다[9]. 제조 또는 서비스부문의 품질코스트는 기업 전체 매출액의 20%에 이르며 프로젝트의 비용절감수단으로 효과적일 수 있다[11].

품질코스트는 평가코스트(appraisal costs), 예방코스트(prevention costs), 내부 실패코스트(internal failure costs) 및 외부 실패코스트(external failure costs)로 세분된다. 세분된 품질코스트의 비율은 산업분야와 기업별로 다를 수 있지만 내부 실패코스트와 외부 실패코스트를 합한 실패코스트는 전체 품질코스트의 45~80% 범위에

있다[17].

프로젝트의 품질을 측정하기 위해 품질코스트를 적용할 때 내·외부고객의 요구사항들을 동시에 고려한다면 부적합비용에 해당하는 실패코스트 중심으로 확장된 프로젝트 생애주기(EPLC, extended project life cycle)와 접목하는 것이 효과적일 것이다.

프로젝트의 기간을 단축할 때는 실행단계에서 발생할 수 있는 활동의 재작업 또는 수정작업에 의한 내부 실패코스트와 보증단계에서 발생할 수 있는 수리 또는 교체작업에 의한 외부 실패코스트를 최소화 하기 위해 활동기준 관련 리스크들을 그 프로젝트의 계획단계에서 사전에 식별하여 프로젝트 일정수립 시 중대한 실패코스트리스크들에 대한 방지대책을 마련할 필요가 있다.

본 연구는 프로젝트의 품질코스트를 최소화 하기 위해 필요한 활동기준 시간-비용 관련 수학적 모형과 절차를 제안하며, 프로젝트 일정 수립 시 제안된 모형과 절차를 활용함으로써 프로젝트 품질코스트 최소화에 기여하고자 한다.

제 2장은 품질코스트, 프로젝트생애주기 및 3중 제약(시간-비용-품질) 관련 이론적 배경에 대해 고찰하고, 제 3장에서 프로젝트의 실행단계와 보증단계에서 발생할 수 있는 부적합비용을 고려한 EPLC-품질코스트 및 수학적 모형을 제안하며, 제 4장에서는 제안모형의 타당성 검토를 위해 사례 프로젝트에 적용한다. 제 5장은 결론 및 향후 연구에 대해 기술한다.

2. 이론적 배경

2.1 품질코스트

Feigenbaum은 품질코스트를 크게 예방-평가-실패(PAF, prevention-appraisal-failure)범주로 분류하고 실패코스트를 다시 내부 결점코스트와 외부 결점코스트로 세분했다[13]. 전체 품질코스트 중 범주별 코스트의 비율은 산업부문 간 또는 동종 산업 내에서도 기업들 간에 다르지만 일반적으로 내부 실패코스트 25~40%, 외부 실패코스트 20~40%, 평가코스트 10~50% 및 예방코스트 0.5~5% 범위에 있다[17]. Abdelsalem[2]은 PAF접근법에 의한 주택건설 프로젝트의 품질코스트분석 사례연구에서 프로젝트 결과물의 사용 중에 품질결함발생으로 실패코스트가 상당히 증가할 것으로 예상했다.

Crosby[10]는 Feigenbaum의 품질코스트 개념을 기초로 하여 분류하는 명칭을 적합비용(POC, price of conformance)과 부적합비용(PONC, price of nonconformance)

이라했고, 적합비용은 어떤 일을 처음부터 올바르게 하기 위해 소요되는 품질 관련 비용이며, 부적합비용은 어떤 일을 처음에 올바르게 하지 못했을 때 발생하는 품질 관련 모든 비용으로 정의 했다. Cnuddle[8]에 의하면 건설프로젝트 비용 중 10~20%는 부적합비용이다.

2.2 프로젝트 생애주기

PMI[26]는 프로젝트 생애주기(PLC, project life cycle)를 프로세스 중심으로 접근했으며 착수단계 → 계획단계 → 실행단계 → 종료단계로 구분하고 각 단계마다 모니터링과 통제를 중요시했다. 프로젝트가 종료된 후에는 일정과 비용문제는 사라지고 품질문제가 핵심으로 부각되고 있어 결국, 프로젝트의 성공과 실패는 시간에 따라 달라진다[3, 27, 30]. 일반적으로 프로젝트활동들의 시간지연과 비용증가는 전체 프로젝트의 비용증가로 연결되지만 설계단계에서 비용을 더 투입한 쿠웨이트 민영주택의 경우, 프로젝트 실행단계에서 시간지연과 비용증가가 많이 줄어들었다[24].

프로젝트 일정수립 시에는 기존 PLC범위를 하자보증 기간까지 연장해서 고려해야 한다[1]. Barnes and Wearne[5]는 프로젝트관리기술이 PLC의 하류(downstream)에서 상류(upstream)로 향하는 마지막 부분에서 나타난 문제점들로부터 발전해왔기 때문에 프로젝트의 잠재적 문제점들을 미리 예측하여 리스크를 줄이는 “what if?” 시나리오 테스트의 필요성을 강조했다.

2.3 프로젝트 3중 제약

프로젝트 관리자가 프로젝트의 목표달성과 고객만족을 실현하기 위해 3요소인 시간(time), 비용(cost) 및 범위(scope) 간 균형을 유지하려고 하지만 이들 간에는 상충이 발생한다. Burke[6]는 3중 제약을 통제목표의 삼각형(triangle of objectives)이라는 명칭을 사용했다. 전통적인 시간-비용 간 상충분석 과정에서는 품질부분이 명확하게 고려되지 않았다[19].

1950년대 말 주 경로법(CPM, critical path method)이 개발된 이래 프로젝트 일정수립 시 고려되는 시간-비용 상충문제에 대해 많은 연구들이 진행되어 왔다. Kelley[20], Ford and Fulkerson[14], Siemens[28], Goyal[15] 및 Elmaghraby and Salem[12]같은 선행연구자들은 시간-비용 간 선형관계모형과 절차들을 제안했고, Lamberson and Hocking[25], Kapur[18] 및 Siemens and Gooding[29]은 시간-비용 간 비선형관계에 대해 연구했다.

Babu and Suresh[4]는 프로젝트의 기간을 단축하면 완료된 프로젝트의 품질에 영향을 미칠 수 있음을 전

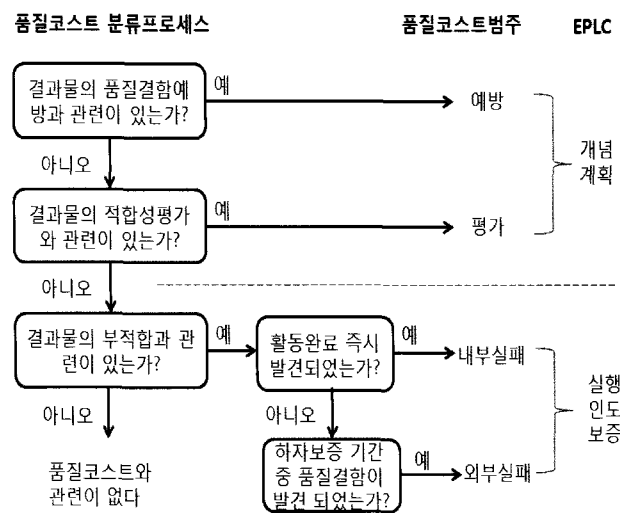
제하고 시간-비용 상충문제에 품질을 추가한 선형계획 모형을 제안했다. Khang and Myint[22]는 Babu and Suresh [4]의 시간-비용-품질 간 선형계획모형을 실제 시멘트공장 건설프로젝트에 적용한 결과, 프로젝트활동 품질에 대해 선형계획이 적합하지 않다고 했다. Kim et al.[23]은 잠재품질손실코스트를 시간-비용 상충 문제에 포함하는 혼합정수선형계획모형을 제안했다. 활동을 기준으로 한 시간-비용 상충문제에서 전체 프로젝트활동들에 대한 품질코스트를 다루는 수학적 모형연구가 필요하다.

3. EPLC-품질코스트 및 수학적 모형

3.1 EPLC-품질코스트 프레임워크

품질코스트 자료의 주된 목적은 코스트를 절감하기 위해 기회를 찾는 것이고, 실패코스트가 전체 품질코스트의 45~80% 범위에 있기 때문에 어떤 활동을 처음부터 올바르게 하기위해 소요되는 적합비용 보다는 처음에 올바르게 하지 못하여 발생하는 부적합비용을 파악하는 것이 효과적이다. 품질코스트 범주분류에서 적합비용은 예방코스트와 평가코스트에 해당하고, 내부 실패비용과 외부 실패비용은 부적합비용에 해당한다.

다음 <그림 1>은 EPLC, 품질코스트 분류프로세스와 범주에 대한 개념도를 나타낸다. <그림 1>의 점선 아래에서 발생하는 실패코스트를 절감하기위해 EPLC의 개념 또는 계획단계에서 예방대책을 마련한다. 프로젝트의 계획단계에서 일정을 수립할 때 실행단계에서 발생할 수 있는 내부 실패코스트와 보증단계에서 발생할 수 있는 외부 실패코스트를 산정하여 프로젝트 예산에



<그림 1> EPLC-품질코스트 프레임워크

반영하면서 동시에 품질코스트를 최소화하기 위해 예방대책을 수립한다.

활동기준예방(ABP, activity-based prevention)은 프로젝트의 작업분류체계(WBS, work breakdown structure)의 하위 기본단위인 활동을 처음에 올바르게 하지 못하여 발생할 수 있는 부적합리스크활동과 관련 부적합비용을 산정하여 프로젝트 계획단계에서 예방대책을 수립하도록 정보를 제공하는 프로세스이다.

3.2 프로젝트의 부적합비용 산정

어떤 프로젝트의 부적합비용은 EPLC-품질코스트 프레임워크 상에서 내부 실패코스트와 외부 실패코스트이고 각각에 대한 산정프로세스는 다음과 같다.

3.2.1 내부 실패코스트

EPLC의 실행단계에서 발생하는 활동들의 재작업 또는 수정작업에 소요되는 비용으로서 3단계 프로세스를 통하여 산정된다.

단계 1 : 활동에 대한 부적합리스크 식별

부적합리스크란 어떤 활동이 완료된 직후 발생할 경우, 프로젝트 활동비용에 부정적으로 영향을 미칠 수 있는 불확실성을 의미한다. 프로젝트에 참여한 전문가와/또는 관련 이해관계자들로부터 각 활동에 대한 부적합리스크를 도출하고 코드를 부여한다.

단계 2 : 활동에 대한 부적합리스크 평가

Kendrick[21]에 의하면 피할 수 있는 문제에 의해 야기된 비용과 불만은 프로젝트 활동들에 대한 리스크 분석을 통해 감소될 수 있으며, Cervone[7]은 리스크가 일어날 확률(probability)을 높음(high), 중간(media) 및 낮음(low)로 분류하고 5점, 3점, 1점 척도로 구분했다.

단계 1에서 식별된 각 부적합리스크가 발생할 확률에 대해 정성적인 평가를 하기위해 1점에서 5점 사이의 척도(point)를 사용한다. 부적합리스크를 평가하는 척도와 정의는 <표 1>과 같다.

<표 1> 부적합리스크 평가척도와 정의

척도	활동이 완료된 후 부적합으로 될 가능성
1점	15% 미만
2점	15%~25% 미만
3점	25%~35% 미만
4점	35%~45% 미만
5점	45% 이상

단계 3 : 프로젝트의 내부 실패코스트 산정

부적합리스크활동에 대한 재작업 또는 수정작업에 소요되는 비용은 그 활동의 단축직접비와 동일하다고 가정한다. 부적합리스크활동의 수는 프로젝트의 특성에 따라 달라질 수 있으나 파레토원리(Pareto's Principle)를 적용하여 전체 프로젝트활동 수의 20%로 한다.

3.2.2 외부 실패코스트

EPLC의 보증단계에서 발생하는 프로젝트 결과물의 품질결함은 작업패키지(WP, work package)상태에서 발생할 수 있다는 가정에서 작업패키지 형태의 수리 또는 교체비용으로 3단계 프로세스를 통해 산정한다.

단계 1 : 활동들의 작업패키지 그룹화

사용자가 프로젝트의 결과물을 사용하는 중(하자보증 기간)에 작업패키지 형태의 수리 또는 교체비용이 발생하기 때문에 활동들에 대한 조립과정을 고려하여 그룹으로 묶는다.

단계 2 : 작업패키지의 부적합리스크 우선순위 결정

3.2.1 내부 실패코스트 단계 2에서 평가한 각 활동의 부적합리스크 점수가 포함된 작업패키지들 중 점수가 높은 것부터 우선순위를 결정한다. 만약 동일한 점수대에서 부적합리스크 작업패키지가 2개 이상이면, 단축직접비가 상대적으로 높은 작업패키지의 리스크를 우선한다.

단계 3 : 프로젝트의 외부 실패코스트 산정

단계 2에서 작업패키지들의 우선순위에서 가장 리스크가 높은 작업패키지에 대해 수리 또는 교체비용을 산정한다.

3.3 수학적 모형

프로젝트 기간단축을 고려할 때는 시간-비용 간의 상충관계에서 EPLC의 실행단계에서 발생하는 재작업 또는 수정작업에 의한 내부 실패코스트와 프로젝트의 결과물이 사용자에게 인도된 이후 하자보증기간 동안(보증단계)에 발생할 수 있는 작업패키지 형태의 수리 또는 교체에 의한 외부 실패코스트를 동시에 고려한 수학적 모형과 표기사항은 다음과 같다.

결정변수 :

Y_j : 활동 j 를 완료하기위한 단축된 시간

Z_j^{IN} : 활동 j 가 실행단계에서 재작업 또는 수정작업을 필요로 하는 부적합리스크활동으로 선정되면

1, 아니면 0

Z_j^{EX} : 활동 j 가 보증단계에서 수리 또는 교체를 필요로 하는 부적합리스크활동으로 선정되면 1, 아니면 0

매개변수 :

m_j : 활동 j 에 대한 단위시간당 직접비 감소

t_j : 활동 j 가 정상조건에서 실행될 때 요구된 정상시간

C_j : 활동 j 가 정상 시간에서 실행될 때 요구된 정상직접비

t'_j : 정상조건에서 보다 자원을 더 투입하여 활동 j 를 완료하기위한 단축된 시간

C'_j : 활동 j 가 단축된 시간에서 완료될 때 요구된 단축직접비

EC_j : 활동 j 가 단축된 시간에서 완료될 때 요구된 추가직접비

R_j : 활동 j 의 줄어든 시간

X_j : 활동 j 의 시작시점

X_i : 선행활동 i 의 시작시점

K : 선행활동 i 의 정상완료시간

Y_i : 선행활동 i 의 단축된 시간

X_n : 활동 n 의 시작시점

t_n : 활동 n 의 정상완료시간

Y_n : 활동 n 의 단축된 시간

D : 프로젝트 만기일

N : 프로젝트 내 활동개수

q_j^{IN} : 활동 j 에 대한 실행단계에서의 재작업 또는 수정작업 관련 비용

q_j^{EX} : 활동 j 에 대한 보증단계에서의 수리작업 또는 교체작업 관련 제비용

k : 임의로 설정한 큰 수

수학적 모형에 대한 식 :

$$\text{Min} \sum_{j=1}^n m_j Y_j + \sum_{j=1}^n q_j^{IN} Z_j^{IN} + \sum_{j=1}^n q_j^{EX} Z_j^{EX} \quad (1)$$

Subject to

$$Y_j \leq R_j \quad \text{for } j=1, \dots, n \quad (2)$$

$$X_j \geq X_i + (K - Y_i) \quad \text{for } j=1, \dots, n \quad (3)$$

$$X_n + t_n - Y_n \leq D \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n Z_j^{IN} \leq N \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n Z_j^{EX} \leq N \quad (6)$$

$$kY_j \geq Z_j^{IN} \quad \text{for } j=1, \dots, n \quad (7)$$

$$kY_j \geq Z_j^{EX} \quad \text{for } j=1, \dots, n \quad (8)$$

$$Y_j \geq 0, \quad Z_j^{IN} \geq 0, \quad Z_j^{EX} \geq 0$$

$$m_j = \frac{C'_j - C_j}{t_j - t'_j}$$

식 (1)에서 $\sum_{j=1}^n m_j Y_j$ 는 프로젝트활동들의 단위당 감소 비용을 나타내는 선형이고, $\sum_{j=1}^n q_j^{IN} Z_j^{IN}$ 는 내부 실패 코스트, $\sum_{j=1}^n q_j^{EX} Z_j^{EX}$ 는 외부 실패코스트로서 정수형태이다. 식 (2)에서 각 활동에 대한 시간은 그 활동의 감축 시간보다 더 줄어들 수 없다. 식 (3)에 의하면 X_i 는 활동 j 에 대한 선행활동들 중 하나를 나타내고, X_j 에서 시작하는 각 활동의 모든 선행활동들은 X_j 시간 전에 완료된다. 식 (4)은 프로젝트가 만기일까지 종료되어야 함을 나타낸다. 식 (5)에서 프로젝트의 실행단계에서 발생할 수 있는 부적합리스크활동의 수는 전체 프로젝트 활동 수로 제한된다. 식 (6)에 의하면 프로젝트의 보증 단계에서 발생할 수 있는 부적합리스크활동의 수는 전체 프로젝트활동 수로 제한된다. 식이 구속(binding)되지 않도록 식 (7)과 식 (8)에서 각각 임의의 큰 수 k 가 주어진다.

4. 수학적 모형의 적용

제 3장의 부적합비용 산정절차와 수학적 모형을 사례 프로젝트에 적용하여 타당성을 검토한다. 이 사례는 Y사의 로봇파렛타이징 시스템(RPS, robot palletizing system)프로젝트로서 Kim et al.[23]의 자료가 활용된다. Y사 경영진은 신제품 생산량 증가와 더불어 파렛트포장 공정개선이 시급하기 때문에 RPS설치 프로젝트에 US\$ 480,000을 긴급히 예산으로 배정하고 20일 이내에 완료할 것을 요구한다. 또한, 설치 후 하자보증기간은 1년이고 최대한 설치비용을 줄여야 한다는 가정에서 프로젝트가 수행된다.

RPS설치 프로젝트는 활동 A에서부터 활동 R까지 18개 활동들로 네트워크를 형성한다. 18개 활동 : A-바닥 고르기, B-콘베어 전기배선, C-포장기 전기배선, D-로봇 전기배선, E-콘베어 전기판넬 설치, F-포장기 전기판넬 설치, G-로봇 전기판넬 설치, H-콘베어 부품조립, I-포장기 베이스 설치, J-로봇 부품조립, K-콘베어 설치, L-파렛타이저 설치, M-로봇설치, N-로봇프로그램 설치, O-

로봇 테스트, P-조립된 전체시스템 테스트, Q-엔지니어링 점검, R-공정점검.

RPS설치 프로젝트팀은 과거 유사한 프로젝트를 수행한 경험과 전문가들의 자문에 의하여 <표 2>와 같이 각 활동별 시간과 비용 관련 데이터를 산출했다. 각 활동에 대한 비용은 노무, 재료 및 장비사용 관련 직접비이다.

RPS설치 프로젝트의 네트워크에서 최장 경로는 A-D-G-J-M-N-O-P-Q-R로서 경로길이가 26일이다. RPS설치 기간이 20일로 되어있어 네트워크상의 일부 활동들에 대한 시간단축을 필요로 한다.

<표 2> 프로젝트 활동별 시간과 비용 관련 자료

활동	선행 활동	t_j 일	C_j \$	t'_j 일	C'_j \$	R_j 일	EC_j \$	m_j \$/일
A	-	3.0	17.88	2.0	20.11	1.0	2.23	2.23
B	A	3.0	41.71	1.5	44.32	1.5	2.61	1.74
C	A	4.0	69.41	2.0	89.37	2.0	19.96	9.98
D	A	4.0	65.96	2.0	84.54	2.0	18.58	9.29
E	B	3.0	138.10	1.5	170.06	1.5	31.96	21.31
F	C	2.0	327.81	1.5	431.13	0.5	103.32	206.64
G	D	3.0	189.99	1.5	210.22	1.5	20.23	13.49
H	E	1.5	28.14	1.0	38.29	0.5	10.15	20.30
I	F	2.0	16.83	1.0	22.08	1.0	5.25	5.25
J	G	1.5	79.86	1.0	92.55	0.5	12.69	25.38
K	H	6.0	123.86	3.0	167.37	3.0	43.51	14.50
L	I	2.0	62.62	1.5	74.91	0.5	12.29	24.58
M	J	4.0	625.93	2.0	655.86	2.0	29.93	14.97
N	M	3.0	51.97	1.0	71.85	2.0	19.88	9.94
O	N	2.0	14.90	1.5	20.11	0.5	5.21	10.42
P	K, L, O	2.0	35.75	1.0	43.94	1.0	8.19	8.19
Q	P	2.0	59.89	1.5	76.94	0.5	17.05	34.10
R	Q	1.5	40.61	1.0	51.34	0.5	10.73	21.46

주) C_j, C'_j, EC_j, m_j 의 금액단위는 US\$100.

4.1 내부 실패코스트 산정

RPS설치 프로젝트팀원들과 관련 전문가들의 평가 참여를 통해 실행단계에서 각 활동별로 식별된 발생 가능한 부적합리스크는 <부록 1>과 같다.

RPS설치 프로젝트팀원들 중 유사한 경험과 지식을 가진 사람들이 중심이 되어 <부록 1> 부적합리스크 목록 대상의 각 코드별 부적합리스크에 대한 평가가 실시되었다. 이때 평가자가 2명 이상인 경우 산술평균(arithmetic mean) 했으며 결과는 <표 3>과 같다.

<표 3> 코드별 부적합리스크 평가점수

코드	점수	코드	점수	코드	점수	코드	점수
A1	4.0	E3	2.3	J2	4.0	O1	3.2
A2	2.0	F1	2.0	J3	3.5	O2	2.7
A3	4.0	F2	4.0	K1	3.8	O3	2.5
B1	3.5	F3	2.3	K2	3.0	P1	2.7
B2	3.5	G1	2.5	K3	3.5	P2	2.7
B3	3.0	G2	4.0	L1	3.5	P3	3.5
C1	3.0	G3	2.0	L2	2.5	Q1	3.3
C2	3.0	H1	2.3	L3	3.0	Q2	3.3
C3	3.2	H2	4.0	M1	4.0	Q3	3.4
D1	3.5	H3	4.0	M2	4.0	R1	3.1
D2	3.0	I1	3.0	M3	3.5	R2	3.6
D3	3.5	I2	4.0	N1	4.0	R3	2.9
E1	2.0	I3	3.0	N2	2.5		
E2	4.0	J1	3.5	N3	3.5		

<표 3> 코드별 부적합리스크 평가에서 점수대가 높은 것부터 순위를 정하면 4.0점대에 속한 코드는 A1, A3, E2, F2, G2, H2, H3, I2, J2, M1, M2, 및 N1이다. 내부 실패코스트를 줄이는 관점에서 같은 점수대에서는 단축직접비가 상대적으로 높은 활동을 우선했다. <표 2>의 단축직접비(C_j^I)를 참고하여 활동에 대한 단축직접비가 높은 것부터 순서대로 나열하면 <표 4>와 같다.

<표 4> 부적합리스크 활동 우선순위

순위	활동	단축직접비(\$)	순위	활동	단축직접비(\$)
1	M	65,586	6	N	7,185
2	F	43,113	7	H	3,829
3	G	21,022	8	I	2,208
4	E	17,006	9	A	2,011
5	J	9,255			

3.2.1 단계 3 프로젝트의 내부 실패코스트 산정 시 부적합리스크활동 개수는 파레토원리에 따라 전체 프로젝트활동 수의 20%를 적용하면 $18 \times 0.2 = 3.6$ 이므로 <표 4>에서 순위 4번 까지 4개의 활동을 선택했다. 식 (1)의 $\sum_{j=1}^n q_j^{IN} Z_j^{IN}$ 에 선택된 4개 활동에 대한 각 단축직접비를 입력하니 내부 실패코스트가 US\$ 146,727로 산정됐다.

4.2 외부 실패코스트

RPS설치 프로젝트가 완료된 이후 결과물을 사용하면 서 하자보수기간 중에 발생하는 품질결함이라는 관점에

서 RPS설치 프로젝트의 18개 활동들을 <표 5>와 같이 작업패키지로 그룹화 했다.

<표 5> 프로젝트 활동들에 대한 작업패키지

작업패키지	작업패키지 내 활동	비고
WP-1	A, ①	바닥 기초 다지기
WP-2	B, ②, ③, K	콘베어
WP-3	C, ④	포장기
WP-4	D, ⑤, ⑥, ⑦, ⑧	로봇
WP-5	L	파렛타이저
WP-6	O, P, Q, R	시험, 점검

Hall and Tomkins[16]는 프로젝트 수행과정에서의 작업 실수들이 프로젝트 수행 중에 발견되지 않고 잠재되어 외부고객에게 인도 된다고 했다. RPS설치 프로젝트의 실행단계에서 발생할 수 있는 부적합리스크활동이 보증단계에서도 영향을 미칠 수 있다는 가정에서 <표 5>의 작업패키지 내 활동들 중 실행단계에서 4.0점대에 있었던 활동은 동그라미 표시를 했다.

동그라미가 표시된 활동을 포함한 작업패키지는 WP-1, WP-2, WP-3 및 WP-4이며 작업패키지 단위로 동그라미 표시된 활동의 단축직접비를 계산했더니 <표 6>과 같다.

<표 6> 작업패키지에 대한 단축직접비

작업패키지	작업패키지 내 활동	단축직접비(\$)	순위
WP-1	A, ①	4,219	4
WP-2	B, ②, ③, K	20,835	3
WP-3	C, ④	43,113	2
WP-4	D, ⑤, ⑥, ⑦, ⑧	103,048	1

3.2.2 단계 3 프로젝트의 외부 실패코스트를 산정할 때 비용효과적인(cost effective)접근을 위해 4개의 작업패키지 중 외부 실패코스트에 가장 크게 영향을 미칠 수 있는 WP-4를 선택했다. 식 (1)에서 $\sum_{j=1}^n q_j^{EX} Z_j^{EX}$ 에 활동 ⑤, ⑥, ⑦, 및 ⑧의 단축직접비를 <표 2> 또는 <표 4>에서 찾아 입력하니 외부 실패코스트는 US\$ 103,048로 산정되었다.

4.3 적용 결과

LINGO(version 6.01) 소프트웨어를 사용하여 RPS설치 프로젝트 사례를 입력한 결과 프로젝트 완료기간에 서 17.5일로 산정되어 식 (4)을 충족했다. RPS설치 프

로젝트의 부적합비용은 <그림 1> EPLC-품질코스트 프레임워크의 내부 실패코스트와 외부 실패코스트를 합한 것으로서 식 (1)에서

$$Min \sum_{j=1}^n m_j Y_j + \sum_{j=1}^n q_j^{IN} Z_j^{IN} + \sum_{j=1}^n q_j^{EX} Z_j^{EX}$$

$$\sum_{j=1}^n q_j^{IN} Z_j^{IN} + \sum_{j=1}^n q_j^{EX} Z_j^{EX} = 146,727+103,048 = \text{US\$ } 249,775$$

이었다. 산정된 부적합비용 US\$ 249,775은 프로젝트를 처음부터 올바르게 하지 못했을 때 발생할 수 있는 품질코스트로서 RPS설치 프로젝트 예산(US\$ 480,000)의 52.04%에 달했다.

5. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 프로젝트의 한시적인 업무특성을 고려한 품질코스트이론에 프로젝트 결과물의 보증단계까지 확장한 EPLC개념을 접목했으며, 활동기준예방에 초점을 둔 부적합비용 산정과 관련 수학적식을 제안했다.

제안된 수학적식과 부적합비용 산정절차를 RPS설치 프로젝트 사례에 적용한 결과, 고객이 요구한 프로젝트기간 20일을 충족할 수 있었고 내부 실패코스트와 외부 실패코스트를 합한 프로젝트의 부적합비용은 US\$ 249,775로 산정되었다. EPLC의 실행단계에서 발생할 수 있는 부적합리스크활동이 보증단계에 까지 영향을 미칠 수 있어 전체 부적합비용이 다소 높게 나타났으나 제안된 수학적식과 부적합비용 산출절차는 타당하다고 할 수 있다.

산정된 프로젝트의 부적합비용과 관련된 부적합리스크 활동정보는 프로젝트 기간단축을 필요로 하는 프로젝트의 개념단계와 계획단계에서 예방대책 수립에 활용될 경우, ABP 관점에서의 프로젝트 품질코스트 최소화에 기여할 수 있다.

프로젝트에 대한 제안된 과거경험과 정보는 프로젝트 활동에 대한 부적합리스크 식별과 부적합리스크 평가에 어려움으로 남아 있어 극복해야 할 과제이기도 하다.

향후 연구로는 프로젝트기간 지연에 따른 간접비증가, 프로젝트의 계획단계에서 투입하는 자원과 부적합비용과의 관련성 등을 고려할 수 있다.

참고문헌

[1] 김종열, 강창욱, 황인극; “클레임코스트를 고려한 프로젝트의 시간-비용 혼합정수계획모형”, 한국산업경영시스템학회지, 34(3) : 77-85, 2011.
 [2] Abdelsalam, H. M. E. and Gad, M. M.; “Cost of quality

in Dubai : An analytical case study of residential construction projects,” *International Journal of Project Management*, 27 : 501-511, 2009.
 [3] Avots, I.; “Information systems for matrix organisations in Cleveland David,” 1st ed., Matrix management systems handbook Van Nostrand Reinhold, New York, 1984.
 [4] Babu, A. J. G. and Suresh, N.; “Project Management with Time, Cost, and Quality Considerations,” *European Journal of Operational Research*, 88 : 320-327, 1996.
 [5] Barnes, N. M. L. and Wearne, S. H.; “The future for major project management,” *International Journal of Project Management*, 11(3) : 135-142, 1993.
 [6] Burke, R.; “Project Management Planning and Control, Stratford Upon Avon,” Management Press, 1995.
 [7] Cervone, H. F.; “Project risk management,” *OCLC Systems and Services : International Digital Library Perspectives*, 22(4) : 256-262, 2006.
 [8] Cnuddle, M.; “Lack of quality in construction economic losses,” in *Proceedings of 1991 European Symposium on Management, Quality and Economics in Housing and other Building Sectors*, 508-515, 1991.
 [9] Crosby, P. B.; “Quality Is Free,” McGraw-Hill, New York, 1979.
 [10] Crosby, P. B.; “Quality Without Tears,” Penguin Books, Ontario, 1984.
 [11] Dale, B. G. and Plunkett, J. J.; “Quality Costing,” Chapman and Hill, London, 1995.
 [12] Elmaghraby, S. E. and Salem, A.; “Optimal linear approximation in project compression,” *IIE Transactions*, 16(4) : 339-347, 1984.
 [13] Feigenbaum, A. V.; “Total quality control,” *Harvard Business Review*, 34(6) : 93-101, 1956.
 [14] Ford, L. R. and Fulkerson, D. R.; “Flows in net works,” Princeton University Press, New Jersey, 1962.
 [15] Goyal, S. K.; “A note on simple CPM time-cost tradeoff algorithm,” *Management Science*, 21(6) : 718-722, 1975.
 [16] Hall, M. and Tomkins, C.; “A Cost of Quality Analysis of a Building Project: towards a Complete Methodology for Design and Build,” *Construction Management and Economics*, 19 : 727-740, 2001.
 [17] Juran, J. M. and Gryna, F. M.; “Quality Planning and Analysis,” McGraw-Hill, 2nd ed., 1980.
 [18] Kapur, K. C.; “An algorithm for the project cost/duration analysis problem with quadratic and convex cost

- functions," *IIE Transactions*, 5 : 314-322, 1973.
- [19] Kelley, J. E. and Walker, M. R.; "Critical Path Planning and Scheduling : An Introduction," *Mauchly Associate*, Ambler, PA, 1959.
- [20] Kelley, J. E.; "Critical-path planning and scheduling : mathematical basis," *Operations Research*, 9(3) : 296-320, 1961.
- [21] Kendrick, T.; "Identifying and Managing Project Risk," AMACOM, New York, 2003.
- [22] Khang, D. and Myint, Y.; "Time, cost and quality tradeoff in project management: a case study," *International Journal of Project Management*, 17(4) : 249-256, 1999.
- [23] Kim, J. Y., Kang, C. W., and Hwang, I. K.; "A Practical Approach to Project Scheduling : Considering the Potential Quality Loss Cost in the Time-Cost Tradeoff Problem," Published online of : *International Journal of Project Management*, 2011.
- [24] Koushki, P. A., Al-Rashid, K., and Kartam, N.; "Delays and cost increases in the construction of private residential projects in Kuwait," *Construction Management and Economics*, 23 : 285-294, 2005.
- [25] Lamberson, L. R. and Hocking, R. R.; "Optimum time compression in project scheduling," *Management Science*, 16(10) : B597-B606, 1970.
- [26] Project Management Institute; "A Guide to the Project Management Body of Knowledge," 4th ed., PMI Publications, Pennsylvania, 2008.
- [27] Shenhar, A. J., Levy, O., and Dvir, D.; "Mapping the dimensions of project success," *Project Management Journal*, 28(2) : 5-13, 1997.
- [28] Siemens, N.; "A simple CPM time-cost tradeoff algorithm," *Management Science*, 17(6) : B354-B363, 1971.
- [29] Siemens, N. and Gooding, C.; "Reducing project duration at minimum cost : a time/cost trade-off algorithm," *OMEGA*, 3 : 569-581, 1975.
- [30] Wit, A. D.; "Measurement of project success," *Project Management*, 6(3) : 164-170, 1988.

<부록 1> 부적합리스크 목록대장

코드	부적합리스크	코드	부적합리스크
A1	콘크리트작업 시 바닥수평 불균일	J1	흡입판 수평오차
A2	오염된 바닥	J2	로봇팔의 조립 결함
A3	바닥콘크리트강도 저하	J3	로봇팔이 상자를 집을 때 위치 부정확
B1	전원상간 역결선	K1	콘베어 설치를 위한 지지대의 볼트 느슨함
B2	커넥터 또는 단자대 접촉 불량	K2	콘베어 감지기 간 time interval 오차
B3	콘베어케이블 간 오배선	K3	L형 회전지점에서 충돌
C1	포장기 회전 시 느슨해진 케이블	L1	magazine stand의 수평오차
C2	단자대 접촉 불량	L2	magazine stand로부터 나온 파렛트의 트러블
C3	포장기케이블 오배선	L3	유압, 공압 브레이크 및 공정스위치의 불완전한 작동
D1	로봇팔 이동 시 flexible cable간섭	M1	프로그램 착오(로봇 위치)
D2	로봇단자대 접촉 불량	M2	pattern 재조정(기술적 위치)
D3	로봇케이블 내부 결선 착오	M3	interlock 시스템 오작동
E1	전기판넬 내부 단자대 파손	N1	데이터 처리시스템 트러블
E2	전기판넬 내부 control unit 소손	N2	각 패턴에 관련된 프로그램 재점검
E3	먼지 누적으로 인한 누전	N3	backup 파일 준비
F1	전기판넬 내부 단자대 파손	O1	파렛트상자 준비 카운터 작동 불능
F2	전기판넬 내부 controller 또는 drive 파손	O2	많은 상자에 대한 테스트 부하
F3	전기판넬 내부로 먼지 유입	O3	장시간 데이터 수집 부하
G1	전기판넬 내부 단자대 파손	P1	유압 또는 공압 브레이크에 트러블
G2	전기판넬 내 control unit 파손	P2	콘베어 운송에 트러블
G3	누적된 먼지로 인한 누전	P3	bar code 스캐너 오작동
H1	콘베어 체인 정렬 불량	Q1	느슨한 케이블
H2	콘베어 라인 합류지점에서의 상자 간 충돌	Q2	역방향 회전
H3	자동 reject system에 트러블	Q3	interlock 시스템에 트러블
I1	wrapper-lifting 시스템 오작동	R1	공정 간 연결 결함
I2	wrapper 승·하강 시 충돌	R2	안전장치 접촉 불량
I3	wrapping arm과 상자 간 간격 불균일	R3	자동통제시스템의 불완전한 작동