

# 클레임코스트를 고려한 프로젝트의 시간-비용 혼합정수계획모형

김종열\*† · 강창욱\*\* · 황인극\*\*\*

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

## Considering Claim Costs in Project Time-Cost Mixed Integer Programming Model

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

Previous researches have focused on the efficiency of project execution and the satisfaction of internal customers in view of the fact that a project is successful if any defects are not found in the short-term performance test of the project final outcome. To execute a project that both internal customer and external customer are satisfied in terms of longer-term benefit perspective, the project claim costs (PCC) which may occur for the warranty period of the project final outcome should be considered. We propose a model included PCC to the linear programming between time and cost to expedite a project and perform the validity test by applying the model to an example project. This model and related procedure will contribute to overall project activities' cost reduction by taking preventive actions for PCC.

Keywords : Project Scheduling, Project Claim Costs, Mixed Integer Programming

### 1. 서 론

프로젝트를 예산범위 내에서 수행하고 계약한 날짜까지 최종결과물을 외부고객(발주자)에게 인도할 때 단 시간의 성능 또는 품질점검에서 문제가 나타나지 않으면 성공한 프로젝트로 간주한다. 이것은 시간, 예산 및 기술규격에 대한 성과로서 근본적으로 프로젝트를 수행하는 조직내부 고객의 기대를 충족하는 것이다[11].

프로젝트를 수행하는 조직의 경영자들이 프로젝트

의 개념단계, 계획단계와 실행단계에 관심을 두고 있어 조직적으로 상하관계에 있는 프로젝트관리자로서는 예산과 납기일에 맞추어 프로젝트를 완료하려는 단기 효율성 관점에서 프로젝트를 수행 할 수밖에 없고 프로젝트의 생애주기 중 종료단계가 상대적으로 취약하다.

실제 프로젝트의 성공여부는 설정한 시간 기준에 따라 달라질 수 있으므로 단기와 장기적인 관점을 모두 고려해야한다[25]. 프로젝트를 발주한 외부고객은 장기적인 관점에서 수익성을 기대하기 때문에 최종결과물

을 인도받을 당시에 확인할 수 없는 불확실한 품질문제를 고려하여 일정기간동안 하자보증계약을 한다. 외부고객이 기대하는 프로젝트의 성공기준은 프로젝트관리자가 생각하는 단시간의 성능 또는 품질이 아니라 장기간 사용하면서 보완하거나 수리할 필요 없이 효율적으로 기능할 수 있는 최종결과물이다.

미국의 건설산업연구소(the Construction Industry Institute)가 9개 건설프로젝트를 조사한 결과 프로젝트설계와 건설과정에서 품질결함으로 인한 재작업코스트가 전체 프로젝트 비용의 12.4%로 나타났다[12]. 품질결함들 중 일부는 건설프로젝트의 최종결과물에 대한 단시간 품질시험에서 발견되지 않고 사용 중에 나타나 클레임코스트를 상승 시킬 수 있다. 건설프로젝트 수행 중에 발생한 일부 활동들의 재작업으로 잔여공정작업들은 더욱 시간단축 압력을 받고 공기지연 클레임을 회피하기위해 조급하게 수행한 작업들의 잠재된 결점들이 최종결과물의 사용 중에 나타나 클레임코스트를 증가시킨다.

내·외부고객의 기대를 모두 충족하는 프로젝트를 수행하기 위해서는 프로젝트의 계획단계에서 기존의 프로젝트 생애주기 범위를 확장하여 하자보증기간 동안에 발생하는 클레임코스트까지 고려해야 한다. 클레임코스트의 증가는 프로젝트 계획단계의 미래불확실성, 실행단계와 최종결과물의 인도과정에서 발견되지 않은 품질결함에 기인한다고 할 수 있다.

글로벌비즈니스 환경의 급속한 변화와 기술의 발전으로 프로젝트관리자는 끊임없이 프로젝트기간 단축 압력을 받는다. 프로젝트기간 단축 시에는 활동별 시간-비용 상충관계에서 품질이 영향을 받고 있어 실행 가능한 프로젝트일정과 비용을 결정하기위해서는 내·외부 고객을 모두 만족하는 새로운 도구와 기술개발이 필요하다[17]. 본 연구는 프로젝트의 최종결과물을 외부고객에게 인도한 후 하자보증기간에 발생할 PCC를 고려한 혼합정수계획(mixed integer programming) 모형을 제안하고, 최적 프로젝트기간 설정과 클레임코스트를 최소화하는데 도움을 주고자 한다.

제 2장은 건설프로젝트들을 중심으로 시간, 비용 및 품질간의 선행연구들을 조사하고, 제 3장에서 프로젝트 최종결과물의 하자보증기간에 발생할 수 있는 PCC를 고려한 혼합정수계획모형을 제안하며, 제 4장에서는 제안모형의 타당성 검토를 위해 본보기(example) 프로젝트에 적용한다. 제 5장은 결론 및 향후 연구에 대해 기술한다.

## 2. 선행연구들에 대한 검토

텍사스대학교(The University of Texas)에서 건설프로젝트관련 파일럿연구결과 주로 사용되는 건설프로젝트의 성공측정기준 항목은 예산, 일정 및 성능에 대한 성과와 고객, 프로젝트관리자 및 프로젝트팀의 만족인 것으로 나타났다[3, 30]. 건설 산업의 프로젝트관리체제는 품질을 간과하거나 거의 고려하지 않아 공기지연, 조악한 품질 등으로 많은 클레임을 유발하고 있어 시간, 비용 및 품질을 관리하기 위한 통합적 접근이 필요하다[24].

Babu and Suresh[6]는 시간-비용-품질간의 상충관련 선형계획(linear programming)모형을 제시하면서 프로젝트기간을 단축하면 프로젝트의 품질에 영향을 미칠 수 있음을 암시했다. 시간-비용간의 상충문제에서 잠재품질손실코스트를 고려하여 실제 프로젝트일정 수립 시 적용 가능한 혼합정수선형계획(mixed integer linear programming)모형을 제시했다[19].

프로젝트를 예산범위 내에서 일정에 맞춰 종료하기 위해서는 잘 못된 작업 활동들에 의해 야기된 재작업을 줄여야 하고 재작업을 줄이려면 프로젝트의 품질을 최대화해야 한다[17]. 종합적인 품질관리원칙들이 효과적으로 실행되지 않는 건설 산업에서 재작업은 피할 수 없는 현실이고, 재작업으로 인한 부담은 공기지연과 비용 상승으로 이어져 외부고객의 불만으로 나타난다[20].

근대 프로젝트관리에서 사후평가는 유익한 것으로 인식되어왔고 그 사후평가 결과를 활용하여 프로젝트 관리방법과 관행들을 개선할 수 있다. 프로젝트의 사후평가는 주로 3가지 제약 : 시간, 예산 및 기술규격에 초점이 맞추어지고[1], 제약들 간 상충관계에서 중요도는 프로젝트 생애주기 단계별로 달라질 수 있다. 프로젝트 생애주기는 개념단계, 계획단계, 실행단계 및 종료단계로 구분될 수 있다[23]. 프로젝트관리기술은 완료된 프로젝트의 평가과정에서 나타난 공기지연, 예산초과 및 조악한 품질 같은 문제들을 통해서 발전해왔기 때문에 하류에서 상류로 발전하고 있음을 암시한다[9].

프로젝트의 계획과 실행단계에서는 일정과 비용이 우선이지만 일단 프로젝트가 완료된 후에는 품질문제가 핵심과제로 부각 된다[5, 30]. 프로젝트의 기본적인 3가지 요소 : 일정, 예산, 및 기술적인 성능의 충족은 엄격히 말해 프로젝트를 수행하는 관리자의 관점에서 자체 내부고객을 중요시한 것이고 실제 프로젝트의 결과물을 인수받아 사용하는 외부고객의 관점에서는 외부

고객의 요구사항과 만족이 더 중요하다[22, 25]. 아이러니하게도 프로젝트관리에 대한 성공의 판단기준이 그 3가지 요소들로 제한되어 있어 프로젝트의 최종결과물을 사용하는 외부고객의 장기적인 관점에서 수익성이 고려되지 않고 있다[4]. 경영자들이 결정한 기간과 예산범위 내에서 프로젝트 최종결과물을 인도하는 능력을 높이 평가하기 때문에[28], 실제 프로젝트 관리자들은 외부고객이 만족하는 프로젝트 결과물에 대한 장기적인 기준과는 달리 프로젝트 수행과정에 관련된 단기적인 기준에 집착하여 경영자가 원하는 제한된 기간과 예산범위를 초과하지 않으려고 노력한다.

건설 산업의 품질실패비용은 프로젝트 전체 비용의 10~20%를 점유한다[13]. 건설프로젝트에서 기간과 예산목표를 달성하기 위해 흔히 품질이 희생되거나 조정되기 때문에 고리 연결 형태로 작업이 이루어지면서 품질이 취약한 고리의 작업에서 발생한 품질결함으로 재작업이 발생하고 재작업은 건설과정의 일부분으로 인식되어 왔다. 건축프로젝트의 경우, 프로젝트의 결과물로서 건축물을 인도할 당시에는 사용 중에 재작업 또는 수리가 얼마나 발생할지 그 양을 파악할 수 없다[20]. 영국의 건설프로젝트 사례연구에 의하면 프로젝트 종료단계 2개월을 남겨두고 품질실패비용이 급격히 증가하였는데 그 원인으로 수행중인 프로젝트 스텝이 다른 프로젝트로 이동하는 시기이기 때문에 감독이 소홀한 것으로 분석하고 있으나 더 큰 문제는 공사과정에서의 작업 실수들이 프로젝트 수행 중에 발견되지 않고 잠재되어 외부고객에게 인도되고 있다는 사실이다[14].

건설 산업에서 공사기간 연장은 보편화된 분쟁이고 연장된 기간 동안의 추가적인 비용부담과 손실처리가 복잡하기 때문에 홍콩의 건설프로젝트에 적용한 HKGCC, 1993에 의하면 프로젝트관리자는 공사기간연장의 필요성을 제기하는 것과 동시에 모든 전·후 작업들을 재조정하여 공사기간을 단축하도록 요구 받는다[31].

프로젝트기간을 단축함으로써 야기될 수 있는 작업 실수 또는 착오 같은 품질결함들이 프로젝트 수행 중 또는 결과물의 인도 시에 발견되지 않고 결과물의 사용 중에 발생되어 클레임코스트를 증가시킬 수 있다. 그 클레임코스트는 프로젝트의 결과물이 외부고객에게 인도된 이후부터 발생되며[2], 수리, 착오, 정정, 반송, 불만 및 보상처리에 관련된 것이다[8]. 클레임코스트에서 중요한 것은 하자보증부분이고, 하자보증의 범위와 기간에 따라 비용이 다르다[21, 32]. 프로젝트기간 단축 시에는 기존의 프로젝트생애주기를 연장하여 프로

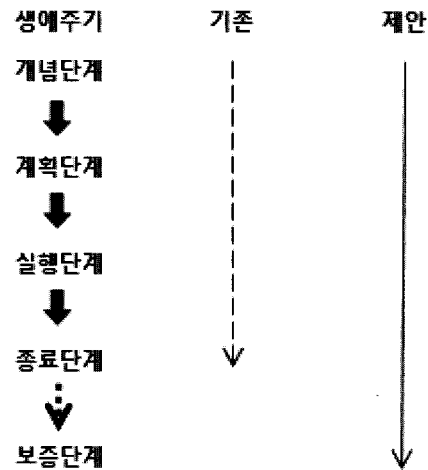
젝트결과물의 하자보증기간에 증가할 수 있는 PCC를 고려한 수학적 모형이 필요하다.

### 3. 문제에 대한 정의 및 수학적 모형

#### 3.1 문제에 대한 정의

전체 프로젝트 기간을 단축하기위해 일부 활동들의 시간을 줄인다. 활동시간이 정상보다 줄어들면 시간-비용간의 상충관계에서 직접비(direct cost)는 선형으로 상승하고 활동시간 단축에 따른 품질결함으로 인해 프로젝트의 최종결과물이 외부고객에게 인도된 이후 하자보증기간 동안에 발생하는 수리, 부품교체 등 클레임이 제기될 수 있어 프로젝트일정 수립 시 PCC를 고려하여 비용에 반영한다. PCC는 프로젝트의 최종결과물이 사용자에게 인도된 후 하자보증기간 중 발생하는 품질결함관련 클레임으로 요구되는 수리 또는 부품교체관련 제비용(諸費用)이다.

다음 <그림 1>은 기존의 프로젝트 생애주기과 하자보증기간까지 연장한 생애주기를 비교한 것이다.



<그림 1> 프로젝트 생애주기 연장

#### 3.2 수학적 모형

프로젝트기간 문제를 해결하기 위한 선행연구들의 접근방법에는 혼합정수선형계획(mixed integer linear programming)과 정수변수(integer variables)를 가진 선형계획을 포함한다[10, 29]. 본 연구에서 제안하는 수학적은 시간-비용 상충관련 선형관계에 프로젝트의 결과물을

사용하는 외부고객에게 인도된 후 하자보증기간 동안에 발생할 수 있는 PCC를 고려한 혼합정수계획모형이다. 다음은 제안된 모형에서 사용되는 표기사항들이다.

결정변수 :

- $Y_j$  활동  $j$ 를 완료하기위한 단축시간
- $W_j$  활동  $j$ 가 프로젝트 결과물의 하자보증기간 동안에 수리 또는 교체를 필요로 하는 클레임 리스크 활동으로 선정되면 1, 아니면 0

매개변수 :

- $m_j$  활동  $j$ 에 대한 단위시간당 직접비
- $t_j$  활동  $j$ 가 정상조건에서 실행될 때 요구된 정상시간
- $C_j$  활동  $j$ 가 정상시간에서 실행될 때 요구된 정상 직접비
- $t'_j$  정상조건에서 보다 추가자원을 더 투입하여 활동  $j$ 를 완료하기위한 단축시간
- $C'_j$  활동  $j$ 가 단축시간에서 완료될 때 요구된 단축 직접비
- $EC_j$  활동  $j$ 가 단축시간에서 완료될 때 요구된 추가 직접비
- $R_j$  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 단축시간
- $X_n$  활동  $n$ 의 시작시간
- $t_n$  활동  $n$ 의 정상완료시간
- $Y_n$  활동  $n$ 의 단축시간
- $D$  프로젝트 만기일
- $N$  프로젝트 내 활동개수
- $r_j$  프로젝트 결과물의 하자보증기간동안 활동  $j$ 에 대한 수리 또는 부품교체관련 제비용
- $k$  임의로 설정한 큰 수

제안모형에 대한 식은 다음과 같다 :

$$\text{Min} \sum_{j=1}^n m_j Y_j + \sum_{j=1}^n r_j W_j \tag{1}$$

Subject to

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

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

$$X_n + t_n - Y_n \leq D \tag{4}$$

$$\sum_{j=1}^n W_j \leq N \tag{5}$$

$$kY_j \geq W_j \quad \text{for } j=1, \dots, n \tag{6}$$

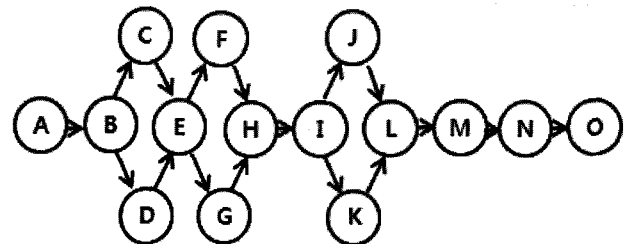
$$W_j \geq 0$$

식 (1)에서 활동  $j$ 의 작업시간을 단축하기 위한 단위 시간 당 직접비의 증가  $m_j = \frac{C'_j - C_j}{t_j - t'_j}$  이고,  $\sum_{j=1}^n m_j Y_j$ 는 전체 프로젝트 기간 단축에 따른 직접비의 증가를 나타내는 선형이며,  $\sum_{j=1}^n r_j W_j$ 에서  $W_j$ 는 이진변수로서 정수형태의 PCC를 나타낸다. 식 (2)에서 각 활동에 대한 단축시간은 그 활동의 최대감소시간으로 제한된다. 식 (3)은  $X_j$ 에서 시작하는 각 활동의 모든 선행활동들은  $X_j$ 시간 전에 완료되어야함을 나타낸다. 식 (4)에 의하면 프로젝트는 적어도 만기일까지 종료되어야 한다. 식 (5)에서 프로젝트 결과물의 하자보증기간동안에 수리 또는 교체를 필요로 하는 클레임리스크활동 수는 프로젝트활동수로 제한된다. 식이 구속(binding)되지 않도록 식 (6)에서 임의의 큰 수  $k$ 가 주어진다.

#### 4. 제안모형의 타당성 검토

G공장의 자동이물발견시스템(AFDS : Automatic Foreign materials Detecting System) 설치 프로젝트에 제안모형을 적용한다. G공장은 완제품에 이물이 발견된다는 소비자들의 불만이 증가하고 있어 방지대책으로 제조공정에서 이물 유입을 사전에 발견할 수 있는 AFDS를 긴급히 설치하기로 했다.

AFDS 설치 프로젝트의 각 활동을 AON(Activity-on-Node) 네트워크상에 표시하면 <그림 2>와 같다.



<그림 2> AFDS 설치 프로젝트활동 네트워크

AFDS 설치 프로젝트는 15개의 활동들로 구성된다 : A-구동부 설계, B-주 전력설치, C-제품결면 그래픽 디자인 확정, D-언와인더 개조 및 조립, E-언와인더 설

치, F-루프 언와인더 개조, G-필름합지 언와인더 조립과 설치, H-접착제 도포장치 설치, I-주 PLC 판넬 간 전기배선, J-주 판넬 간 통신케이블 배선, K-언와인더 프로그램 설치, L-언와인더 테스트, M-전체 시스템 테스트, N-엔지니어링 점검, O-공정점검.

<표 1> 프로젝트 활동별 시간단축관련 데이터

활동	선행 활동	$t_j$ 일	$C_j$ 원	$t'_j$ 일	$C'_j$ 원	$R_j$ 일	$EC_j$ 원	$m_j$ 원/일
A	-	15	25.9	9	58.3	6	32.4	5.4
B	A	7	39.1	4	55.2	3	16.1	5.4
C	B	5	8.6	3	15.5	2	6.9	3.5
D	B	20	92.6	14	173.1	6	80.5	13.4
E	C, D	2	5.8	1.5	10.1	0.5	4.3	8.6
F	E	4	44.3	3	59.7	1	15.4	15.4
G	E	5	76.1	3	93.4	2	17.3	8.7
H	F, G	2	165.2	1.5	168.7	0.5	3.5	7.0
I	H	4	29.1	3	39.7	1	10.6	10.6
J	I	3	13.1	2	18.6	1	5.5	5.5
K	I	5	22.6	3	41.5	2	18.9	9.5
L	J, K	3	10.3	2	18.1	1	7.8	7.8
M	L	6	17.6	4	53.8	2	36.2	18.1
N	M	4	10.4	3	19.4	1	9.0	9.0
O	N	6	20.7	4	38.9	2	18.2	9.1

주)  $C_j, C'_j, EC_j, m_j$ 의 금액단위는 100,000원.

G공장은 소비자불만 증가에 대한 위기감 때문에 긴급히 AFDS를 설치해야하고 동시에 전체프로젝트비용 상승에 대한 우려도 있어, AFDS의 프로젝트기간 단축에 의한 비용 상승은 전체프로젝트활동 비용의 50%를 초과하지 않기로 했다. 비용 상승분에는 프로젝트를 설치 한 후 1년의 하자보증기간 동안에 발생할 수 있는 클레임코스트까지 포함한다.

전문가들과 회사의 과거 유사한 프로젝트 경험과 작업환경정보를 기초로 하여 <표 1>과 같이 활동별 시간과 비용관련 데이터를 산정 했다.  $C_j$ 와  $C'_j$ 에 적용한 직접비는 노무비, 재료비 및 장비관련 비용(장비 사용과 운반)을 포함한다.

#### 4.1 주경로 식별과 경로길이 계산

AFDS 설치 프로젝트는 <표 1>의 자료를 활용하여

경로길이를 계산하면 <표 2>와 같이 8가지 경로가 나온다.

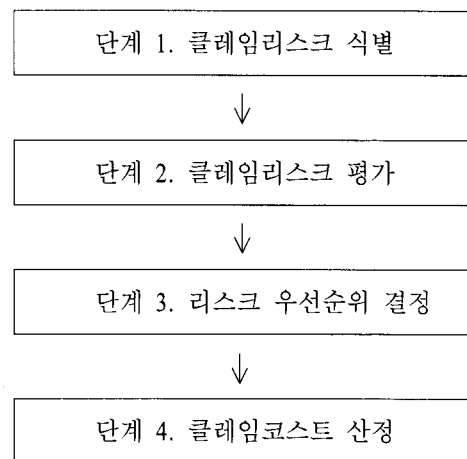
<그림 2> AFD 설치 프로젝트 네트워크상의 8개 경로 중에서 최장 경로는 활동 A, B, D, E, G, H, I, K, L, M, N, 그리고 O로 구성된 것으로 <표 2>의 6번 경로에 해당한다. 이때 경로길이는 79일이다. 클레임코스트를 고려하면서 AFDS 설치 프로젝트를 조기에 완료하기 위해 6번 경로 상 일부 활동들에 대한 시간 단축이 불가피하다.

<표 2> AFDS 설치 프로젝트의 경로

경로번호	경로 상의 활동들	경로길이(일)
1	A-B-C-E-F-H-I-K-L-M-N-O	63
2	A-B-C-E-F-H-I-J-L-M-N-O	61
3	A-B-C-E-G-H-I-K-L-M-N-O	64
4	A-B-C-E-G-H-I-J-L-M-N-O	62
5	A-B-D-E-G-H-I-J-L-M-N-O	77
6	A-B-D-E-G-H-I-K-L-M-N-O	79
7	A-B-D-E-F-H-I-K-L-M-N-O	78
8	A-B-D-E-F-H-I-J-L-M-N-O	76

#### 4.2 하자보증기간 동안의 PCC 산정

본 문제에서는 <그림 3>과 같은 4단계 절차를 통해 AFDS 설치 프로젝트 결과물의 하자보증기간 동안에 발생할 가능성이 있는 PCC를 산정한다.



<그림 3> PCC 산정 흐름도

단계 1 : 클레임리스크 식별  
클레임리스크는 어떤 활동이 완료되어 전체 프로젝트

트 수행 중에는 결함이 발견되지 않고, 그 프로젝트의 결과물이 사용자(외부고객)에게 인도된 후 하자보증기간 중에 발생하여 클레임코스트상승에 영향을 미칠 수 있는 불확실한 것이다. AFDS 설치 프로젝트에 참여한 전문가들이 중심이 되어 각 활동에 대해 클레임리스크를 2가지씩 도출하였다. 다음 <표 3>은 클레임리스크 식별과정에서 도출한 리스크에 코드를 부여하여 목록화한 것이다.

<표 3> 클레임리스크 목록대장

코드	클레임 리스크 내용
A1	기계, 전기장치의 설치위치 오차
A2	각 파트별 기계적 기어비를 부정확
B1	주 전선 duct 간섭발생
B2	main panel부터 local 까지 배선 불량
C1	HMI 시스템 작화위치 오차
C2	PLC와 모니터의 인터페이스 불량
D1	전기적 신호부품 위치착오
D2	언와인더 선속변화
E1	roll 간 설치위치 간격 불균일
E2	servo motor와 encoder 위치 부정확
F1	splice 시 간섭발생
F2	주 기계와 인터페이스 트러블
G1	film festoon roll 불규칙 작동
G2	laminating unwinder 흔들림
H1	접착제컨테이너 위치 결함
H2	각 신호별 출력 착오
I1	flexible cable 간섭
I2	콘넥터 연결, 단자대 접촉불량
J1	회전부분 배선결함
J2	signal 감지기와 encoder의 간섭배선착오
K1	입력신호 plus 값 설정 오차
K2	패턴에 따른 프로그램 결함
L1	각 roll draw 불균일
L2	제품과 기어비를 입력 오차
M1	언와인더 시험시 트로블
M2	그래픽 시험착오
N1	unwinder 기본 작동결함
N2	PLC와 각 입, 출력 통신 장애
O1	안전장치 결함
O2	이물질 검출 불균일

단계 2 : 클레임리스크 평가

리스크가 발생할 가능성이 있는 잠재적 영향을 정성적으로 평가하기 위해 확률(probability)과 영향(impact) 매트릭스가 주된 기법(primary technique)으로 사용되고 이때 매트릭스 상의 수준은 리스크의 상대적인 중요도로서 높음(high), 보통(medium) 및 낮음(low)으로 표현한다[16].

Kendrick[18]은 리스크 확률에 대한 정성적인 평가를 위해 3가지 범위를 사용하고 일반적으로 높음-50% 또는 그 이상, 보통-10%와 50% 사이, 낮음-10% 또는 그 이하로 하지만 범주에 대한 정의는 상황에 따라 다르다고 했다. 식별된 클레임리스크가 하자보증기간 동안에 발생할 확률과 발생했을 때 코스트에 미치는 영향에 대해 ADFS 설치 프로젝트팀원과 관련전문가들의 인터뷰를 통해 평가되었다. 클레임리스크 평가 시 확률과 영향에 대한 정의와 척도는 <표 4>와 <표 5>와 같다.

<표 4> 클레임리스크관련 확률척도와 정의

확률척도	하자보증기간 동안에 클레임 발생가능성
0.10	낮음
0.50	보통
0.90	높음

특히, 평가자들의 논쟁을 고려하여 <표 4>의 확률척도는 0.10, 0.50 및 0.90로서 수준 간 차이를 크게 함으로써 평가자들이 중대한 리스크와 사소한 리스크를 쉽게 차별화 할 수 있게 했다.

<표 5> 클레임리스크관련 영향척도와 정의

영향척도	클레임 수준
0.10	리스크활동의 부분적 수리
0.50	리스크활동의 교체
0.90	리스크활동의 교체 및 연관활동까지 수리 또는 교체

어떤 리스크에 대한 발생할 확률과 영향을 점수(score)로 표현함으로써 리스크들의 상대적인 순위가 결정된다[26]. 리스크에 대한 상대적인 순위(risk rating)는 영향점수(impact score)와 확률점수(probability score)의 산출물로서 계산된다[27]. 상대적인 순위 = 영향점수 × 확률점수. 클레임리스크를 점수로 나타내기 위해 위 <표 4>의 확률과 <표 5>의 영향을 곱해 <표 6> 확률과 영향 매트릭스를 작성했다.

<표 6> 확률과 영향 매트릭스

영향 \ 확률	0.10	0.50	0.90
0.10	0.01	0.05	0.09
0.50	0.05	0.25	0.45
0.90	0.09	0.45	0.81

<표 6> 확률과 영향 매트릭스를 사용해서 <표 3>의 클레임리스크를 코드별로 평가하여 다음 <표 7>에서와 같이 점수로 표현했다.

<표 7> 코드별 클레임리스크 점수

코드	점수	코드	점수	코드	점수	코드	점수
A1	0.63	E1	0.25	I1	0.03	M1	0.05
A2	0.17	E2	0.27	I2	0.09	M2	0.15
B1	0.05	F1	0.07	J1	0.05	N1	0.05
B2	0.05	F2	0.05	J2	0.09	N2	0.07
C1	0.03	G1	0.15	K1	0.09	O1	0.35
C2	0.07	G2	0.05	K2	0.03	O2	0.45
D1	0.35	H1	0.03	L1	0.05		
D2	0.25	H2	0.17	L2	0.07		

단계 3 : 리스크 우선순위 결정

<표 7>에서 리스크점수가 높은 코드부터 순서대로 나열하여 <표 8>과 같이 순위를 정했다.

<표 8> 리스크 순위

점수	코드	순위	점수	코드	순위
0.63	A1	1	0.15	G1, M2	7
0.45	O2	2	0.09	I2, J2, K1	8
0.35	D1, O1	3	0.07	C2, F1, L2, N2	9
0.27	E2	4	0.05	B1, B2, F2, G2, J1, L1, M1, N1	10
0.25	D2, E1	5	0.03	C1, H1, I1, K2	11
0.17	A2, H2	6			

만약 동일한 점수에서 코드가 하나 이상이면, 정상직접비가 큰 활동의 리스크를 우선한다.

단계 4 : 클레임코스트 산정

프로젝트 발주자와 수행자 간의 하자보증계약에 따라 클레임코스트는 달라질 수 있다. 일반적으로 프로젝

트 클레임 코스트에는 노무비(labor costs), 장비설치(equipment), 재료보증수수료(materials guarantee fees), 대출이자(loan interest), 보험료(insurance), 수익(profit) 및 관리(management) 분야에 대한 직·간접 손실을 포함한다.

자사 제품의 구매자와 공급자 간 하자보증계약 시 외부 실패코스트관점에서 수리/교체코스트 뿐만 아니라 고객 불만족에 따른 영업 손실 같은 기회비용도 포함한다[15]. Balachandran and Radhakrishnan[7]의 논문에 의하면, 수리/교체코스트를 기준으로 웨스팅하우스(Westing house)는 4배, 토요타(Toyota)는 6배를 각각 적용한다. 클레임코스트를 정할 때 웨스팅하우스와 토요타의 적용배수에서와 같이 기업의 평판과 기회비용을 고려한 기업의 전략적인 판단이 크다.

AFDS 설치 프로젝트의 클레임리스크 활동에 대한 클레임코스트의 경우는 G공장에서 요구하는 프로젝트 기간단축과 비용한도 등을 고려한 전략적 판단으로 해당 클레임리스크 활동의 정상직접비( $C_j$ )의 2배로 정했다. 예를 들어 활동 A가 클레임리스크 활동으로 선정될 경우, <표 1>에서 활동A에 대한  $C_j$ 가 2,590,000(원)이니까  $r_j = 2,590,000 \times 2 = 5,180,000$ (원)이다.

제안모형식 (1)의  $\sum_{j=1}^n r_j W_j$  부분에 대입하여 산출한 클레임 발생 건수에 따른 PCC는 <표 9>와 같다.

<표 9> 클레임발생수와 PCC

클레임 발생 건	클레임리스크 활동	PCC(원)
1	A	5,180,000
2	A, O	9,320,000
3	A, O, D	18,520,000

4.3 PCC를 고려한 프로젝트기간 설정

LINGO 소프트웨어를 사용하여 ADFS 설치 프로젝트기간 감소에 따른 비용증가분을 산출하고 프로젝트기간의 감소율과 클레임 발생수와 관련이 있다는 가정에 의해 <표 10>과 같이 정리했다.

<표 1>의 자료를 사용하여 AFDS 설치 프로젝트기간 단축으로 인한 비용증가는 전체 프로젝트활동비용(58,140,000원)의 50%로 제한하고 있어  $\sum_{j=1}^n C_j \times 0.5 = 29,070,000$ 원을 초과하지 못한다. <표 10>에서 클레임 발생 3건 범주에서는 PCC가 18,520,000원으로 프로젝트기간 단축 비용증가분을 합하면 29,070,000원을 초과하기 때문에 부적합하고, 기간단축과 비용증가분(클레임

코스트 포함)을 동시에 고려할 때 클레임발생 2건의 범주에 있는 프로젝트기간 56일이 타당하다.

<표 10> 프로젝트기간 감소율과 클레임발생

기간 (일)	비용증가 (원)	기간감소 (일)	기간감소율 (%)	클레임발생 (건)	
79	0	0	0.00	0	
78	540,000	1	1.27		
77	1,020,000	2	2.60		
76	1,620,000	3	3.80		
75	2,160,000	4	5.06		
74	2,700,000	5	6.33		
73	3,240,000	6	7.59		
72	3,780,000	7	8.86		
71	4,320,000	8	10.13		
70	4,860,000	9	11.39		
69	5,600,000	10	12.66	1	
68	6,420,000	11	13.92		
67	7,290,000	12	15.19		
66	8,190,000	13	16.46		
65	9,100,000	14	17.72		
64	10,010,000	15	18.99		
63	10,960,000	16	20.25		
62	11,910,000	17	21.52		
61	12,970,000	18	22.78		
60	14,310,000	19	24.05		
59	15,650,000	20	25.32	2	
58	16,990,000	21	26.58		
57	18,330,000	22	27.85		
56	19,670,000	23	29.11		
55	21,010,000	24	30.38		
54	22,820,000	25	31.65		
53	24,630,000	26	32.91		
52	27,040,000	27	34.18		
					3

5. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 프로젝트의 생애주기를 보증단계까지 연장하여 프로젝트 결과물의 하자보증기간 동안에 발생할 수 있는 PCC를 고려한 시간-비용 간 혼합정수 계획모형을 제안했다. 제안모형에 대한 타당성을 검토

하기위해 AFDS 설치 프로젝트에 적용한 결과 전체프로젝트활동 비용의 50%를 초과하지 않으면서 프로젝트 주경로 79일에서 56일로 단축할 수 있었다.

전체프로젝트기간이 정상기간 대비 29.11%까지 단축되기 때문에 발생할 수 있는 2건의 클레임리스크활동에 대한 PCC는 932만원으로써 프로젝트일정 수립 시 미리 반영되기 때문에 비용초과 우려는 없고, PCC에 대한 예방대책을 마련함으로써 전체프로젝트 활동 비용을 줄이는데 기여할 수 있다. 그러나 클레임리스크를 평가하는 과정에 프로젝트 팀원과 전문가의 판단에 의존해야하는 한계성도 있다.

향후 연구과제로는 프로젝트의 생애주기 단계별로 구분하여 클레임에 미치는 영향, 성과평가에 미치는 영향 등을 생각 해 볼 수 있다.

참고문헌

[1] Anbari, F. T., Carayannis, E. G., and Voetsch, R. J.; "Post-Project Reviews as a Key Project Management Competence," *Technovation*, 28(10) : 633-643, 2008.

[2] Aoieong, R. T., Tang, S. L., and Ahmed, S. M.; "A Process Approach in Measuring Quality Costs of Construction Projects: Model Development," *Construction Management and Economics*, 20 : 179-192, 2002.

[3] Ashley, D. V.; "New Trends in Risk Management," *Internet's 10th International Expert Seminar on New Approaches in Project Management*, Zurich (March 10-12, 2008).

[4] Atkinson, R.; "Project Management : Cost, Time and Quality, Two Best Guesses and a Phenomenon, its Time to Accept Other Success Criteria," *International Journal of Project Management*, 17(6) : 337-343.

[5] Avots, I.; "Information Systems for Matrix Organisations" in Cleveland I (Ed.), *Matrix Management Systems Handbook* Van Nostrand Reinhold, New York, 535-537, 1984.

[6] Babu, A. J. G. and Suresh, N.; "Project Management with Time, Cost, and Quality Considerations," *European Journal of Operational Research*, 88 : 320-327, 1996.

[7] Balachandran, K. R., and Radhakrishnan, S.; "Quality Implications of Warranties in a Supply Chain," *Management Science*, 51(8) : 1266-1277, 2005.

[8] Barber, P., Graves, A., Hall, M., Sheath, D., and Tomkins, C.; "Quality Failure Costs in Civil Engineering Projects," *International Journal of Quality and*



- Reliability Management*, 17(4/5) : 479-492, 2000.
- [9] Barnes, N. M. L. and Wearne, S. H.; "the Future for Major Project Management," *International Journal of Project Management*, 11(3) : 135-142, 1993.
- [10] Brucker, P. and Knust, S.; "Complex Scheduling," Springer-Verlag, 2006.
- [11] Bryde, D. J.; "Project Management Concepts, Methods and Application," *International Journal of Operations and Production Management*, 23(7) : 775-793, 2003.
- [12] CII.; "Cost of Quality Deviations in Design and Construction," *Construction Industry Institute, Quality Management Task Force Publication*, 10-1, 1989.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] Heagy, C. D.; "Determining optimal quality costs by considering cost of lost sales," *Journal of Cost Management*, 4(3) : 64-72, 1991.
- [16] Hillson, D.; "Extending the risk process to manage opportunities," *International Journal of Project Management*, 20 : 235-240, 2002.
- [17] Icmeli-Tukel, O. and Rom, W. O.; "Ensuring Quality in Resource Constrained Project Scheduling," *European Journal of Operational Research*, 103 : 483-496, 1997.
- [18] Kendrick, T.; "Identifying and Managing Project Risk," American Management Association, New York, 2003.
- [19] 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.
- [20] Love, P. E. D., Mandal, P., and Li, H.; "Determining the Casual Structure of Rework in Construction," *Construction Management Economics*, 17(4) : 505-517, 1999.
- [21] Miguel, P. A. C. and Pontel, S.; "Assessing Quality Costs of External Failures (Warranty Claims)," *International Journal of Quality and Reliability Management*, 21(3) : 309-318, 2004.
- [22] Pinto, J. K. and Slevin, D. P.; "Project Success : Definitions and Measurement Techniques," *Project Management Journal*, 19(3) : 67-73, 1988.
- [23] Pinto, J. K. and Covin, J. G.; "Critical Factors in Project Implementation : a Comparison of Construction and R&D Projects," *Technovation*, 9 : 49-62, 1989.
- [24] Rwelamila, P. D. and Hall, K. A.; "Total Systems Intervention : an Integrated Approach to Time, Cost and Quality Management," *Construction Management and Economics*, 13 : 235-241, 1995.
- [25] Shenhar, A. J., Levy, O., and Dvir, D.; "Mapping the Dimensions of Project Success," *Project Management Journal*, 28(2) : 5-13, 1997.
- [26] Simon, P., Hilson, D., and Newland, K.; "Project risk analysis and management guide," The Association for Project Management, Norwich, 1997.
- [27] Ward, S. C.; "Assessing and managing important risks," *International Journal of Project Management*, 17(6) : 331-336, 1999.
- [28] Wateridge, J.; "How can IS/IT projects be measured for success?," *International Journal of Project Management*, 16(1) : 59-63, 1998.
- [29] Wiest, J. D.; "The Scheduling of Large Projects with Limited Resources," Unpublished Ph.D Thesis, Carnegie Institute of Technology, Pittsburgh, 1963.
- [30] Wit, A.; "Measurement of Project Success," *Project Management Journal*, 6(3) : 164-170, 1988.
- [31] Yogeswaran, K., Kumaraswamy, M. M., and Miller, D. R. A.; "Claims for Extensions of Time in Civil Engineering Projects," *Construction Management and Economics*, 16 : 283-293, 1998.
- [32] Yun, W. Y.; "Expected Value and Variance of Warranty Cost of Repairable Product with Two Types of Warranty," *International Journal of Quality and Reliability Management*, 14(7) : 661-668, 1997.