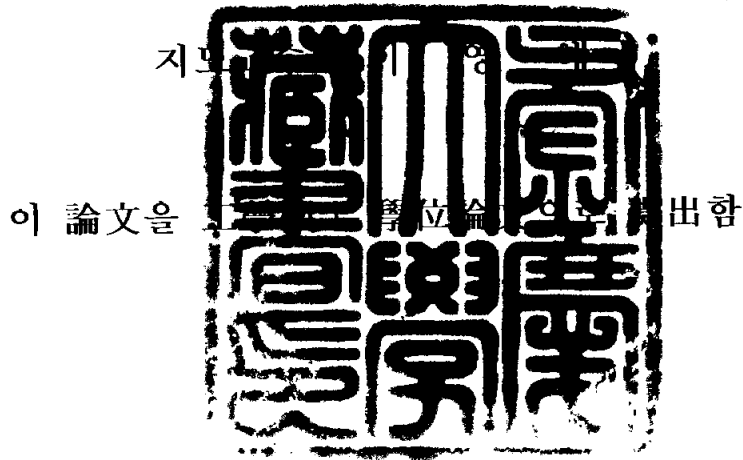


공 학 석 사 학 위 논 문

산 정 방 법 에 따 른  
일 정 · 비 용 의 비 교 연 구



2004년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

건설사업관리공학협동과정

박 정 현

# 박정현의 공학석사 학위논문을 인준함

2003년 12월 26일

주

심

공 학 박 사

김 수 용



위

원

공 학 박 사

이 종 출



위

원

농 공 학 박 사

이 영 대



# 목 차

|             |     |
|-------------|-----|
| 표 목 차 ..... | iii |
| 그림 목차 ..... | V   |

## 1. 서 론

|                       |   |
|-----------------------|---|
| 1.1 연구의 배경 및 목적 ..... | 1 |
| 1.2 연구의 범위 및 방법 ..... | 3 |
| 1.3 연구동향 .....        | 4 |

## 2. 이론적 고찰

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 2.1 몬테카를로 모의실험 .....        | 6  |
| 2.1.1 몬테카를로 모의실험의 개념 .....  | 6  |
| 2.1.2 모의실험 기본절차 .....       | 8  |
| 2.2 최적의 확률분포의 선택 .....      | 10 |
| 2.2.1 일정·비용의 확률분포의 선택 ..... | 10 |

## 3. 사례분석

|                    |    |
|--------------------|----|
| 3.1 사례자료수집 .....   | 18 |
| 3.1.1 사례공사개요 ..... | 18 |
| 3.2 사례분석절차 .....   | 19 |
| 3.2.1 수행절차 .....   | 19 |

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 3.2.2 소요공기와 비용 산정 .....   | 20 |
| 3.2.3 모의실험의 적용 .....      | 23 |
| <br><b>4. 고찰</b>          |    |
| 4.1 일정에 대한 고찰 .....       | 36 |
| 4.2 비용에 대한 고찰 .....       | 41 |
| <br><b>5. 결론</b> .....    | 46 |
| <br><b>참고문헌</b> .....     | 47 |
| <br><b>Abstract</b> ..... | 49 |

# 표 목 차

|      |                            |    |
|------|----------------------------|----|
| 표 1  | 각 분포의 특성 비교 .....          | 11 |
| 표 2  | 활동기간의 삼각분포의 예 .....        | 15 |
| 표 3  | 분석 통계치 .....               | 16 |
| 표 4  | Case 1의 개요 .....           | 18 |
| 표 5  | Case 2의 개요 .....           | 18 |
| 표 6  | Case 3의 개요 .....           | 19 |
| 표 7  | Case 1의 일정 .....           | 21 |
| 표 8  | Case 1의 비용 .....           | 21 |
| 표 9  | Case 2의 일정 .....           | 21 |
| 표 10 | Case 2의 비용 .....           | 22 |
| 표 11 | Case 3의 일정 .....           | 22 |
| 표 12 | Case 3의 비용 .....           | 22 |
| 표 13 | Case 1의 일정에 대한 분석통계치 ..... | 24 |
| 표 14 | Case 1의 프로젝트가 완료될 확률 ..... | 25 |
| 표 15 | Case 1의 비용에 대한 분석통계치 ..... | 26 |
| 표 16 | Case 1의 프로젝트가 완료될 확률 ..... | 27 |
| 표 17 | Case 2의 일정에 대한 분석통계치 ..... | 28 |
| 표 18 | Case 2의 프로젝트가 완료될 확률 ..... | 29 |
| 표 19 | Case 2의 비용에 대한 분석통계치 ..... | 30 |

|      |                             |    |
|------|-----------------------------|----|
| 표 20 | Case 2의 프로젝트가 완료될 확률 .....  | 31 |
| 표 21 | Case 3의 일정에 대한 분석통계치 .....  | 32 |
| 표 22 | Case 3의 프로젝트 달성 확률 .....    | 33 |
| 표 23 | Case 3의 비용에 대한 분석통계치 .....  | 34 |
| 표 24 | Case 3의 프로젝트가 완료될 확률 .....  | 35 |
| 표 25 | Case 1의 각 일정값의 비교 .....     | 36 |
| 표 26 | Case 1의 각 일정값의 차이와 비율 ..... | 37 |
| 표 27 | Case 2의 각 일정값의 비교 .....     | 38 |
| 표 28 | Case 2의 각 일정값의 차이와 비율 ..... | 38 |
| 표 29 | Case 3의 각 일정값의 비교 .....     | 40 |
| 표 30 | Case 3의 각 일정차이와 비율 .....    | 40 |
| 표 31 | Case 1의 각 비용에 대한 비교 .....   | 41 |
| 표 32 | Case 1의 각 비용차이와 비율 .....    | 42 |
| 표 33 | Case 2의 각 비용에 대한 비교 .....   | 43 |
| 표 34 | Case 2의 각 비용의 차이와 비율 .....  | 43 |
| 표 35 | Case 3의 각 비용에 대한 비교 .....   | 45 |
| 표 36 | Case 3의 비용의 차이와 비율 .....    | 45 |

## 그림 목차

|       |                                            |    |
|-------|--------------------------------------------|----|
| 그림 1  | 연구흐름도 .....                                | 4  |
| 그림 2  | 몬테카를로 모의실험의 해석 .....                       | 7  |
| 그림 3  | 누적확률분포 .....                               | 8  |
| 그림 4  | 몬테카를로 모의실험의 기본 절차 .....                    | 10 |
| 그림 5  | $\alpha$ 와 $\beta$ 의 변화에 따른 곡선형태의 변화 ..... | 12 |
| 그림 6  | 삼각분포의 일반적인 모델 .....                        | 13 |
| 그림 7  | 히스토그램 .....                                | 16 |
| 그림 8  | 누적확률분포 .....                               | 17 |
| 그림 9  | 사례분석절차 .....                               | 20 |
| 그림 10 | Case 1의 모의실험 수행 .....                      | 23 |
| 그림 11 | Case 1의 비용에 대한 모의실험 수행 .....               | 26 |
| 그림 12 | Case 2의 일정에 관한 모의실험 수행 .....               | 28 |
| 그림 13 | Case 2의 비용에 관한 모의실험 수행 .....               | 30 |
| 그림 14 | Case 3의 일정에 관한 모의실험 .....                  | 32 |
| 그림 15 | Case 3의 비용에 대한 모의실험 .....                  | 34 |
| 그림 16 | Case 1의 각 일정값의 차 .....                     | 37 |
| 그림 17 | Case 2의 각 일정값의 차 .....                     | 39 |
| 그림 18 | Case 3의 각 일정값의 차 .....                     | 40 |
| 그림 19 | Case 1의 각 비용의 차 .....                      | 42 |

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 그림 20 Case 2의 각 비용의 차 ..... | 44 |
| 그림 21 Case 3의 각 비용의 차 ..... | 45 |

# 1. 서 론

## 1.1 연구의 배경 및 목적

오늘날의 국내건설시장은 대외적으로는 세계화, 국제화, 개방화로 인하여 세계 우수 업체들과의 경쟁이 불가피하게 되었으며, 대내적으로는 국가 경제의 위축으로 인해 직접 또는 간접적인 영향이 건설사업에 다양하게 영향을 미치고 있는 실정이다.

이러한 실정 아래 최근 건설 프로젝트는 건설 산업의 정보화 및 첨단화, 건설 환경과 시장구조의 복잡성, 프로젝트 규모의 대형화 및 고층화, 이에 따른 요구기능의 전문성과 다양성, 새로운 공법 및 시공기술의 고도화와 같은 다양한 환경변화에 직면하면서 많은 리스크와 불확실성 인자를 수반하게 되었다.

건설사업은 초기의 기획·계획 단계부터 설계·계약·시공·준공·사용·유지관리에 이르는 전 과정에 걸쳐 다른 어떠한 사업보다 복잡·다양하면서도 심각한 유형의 리스크와 불확실성에 노출되어 있다. 따라서 불확실성 상황에서의 리스크 관리가 사업의 성패와 부가가치 결정에 커다란 영향을 주는 핵심관리영역중의 하나이며 리스크 관리가 지금은 더욱 절실해지는 시점이라 할 수 있다.

기존의 CPM(Critical Path Method)기법은 예정공기에 맞출 수 있는 각 활동의 시작과 종료시점을 확정적인 값을 사용함으로 각 활동에 포함된 불확실 요인이나 리스크를 정확히 고려할 수 없고 완료일자의 정확한 예측을 위해서는 각각 작업수행이 예정대로 지켜져야 하는 단점이 존재한다. 이에 대한 대안으로 PERT(Program Evaluation and Review Technique) 기법이 도입되어 확률적 요소를 도입한 3점 추정값을 사용하였으나 사용자가 모형에 관한 통계기법을 이해하기가 어렵고(베타분포, 세 가지 시간

값의 추정, 분산 등), 소요시간의 과대(작업활동이 원활하지 못하고 경영자가 덜 중요한 작업에 관심을 가지게 됨) 혹은 과소(자원의 재분배를 유발하여 프로젝트의 비용 증가를 가져옴)평가로 인한 비용이 발생하게 되는 등의 문제점이 있다

공사비용 또한 과거의 축적된 자료들과 많은 경험을 가진 전문가들에 의한 과학적인 방법이 아닌 직관적인 방법으로 리스크는 고려하지 않은 채 산정하고 있는 실정이다.

공사 입찰시에 엔지니어들이 공사기간 및 비용을 견적하게 되는데 견적된 공기와 비용은 그대로 사용되기보다는 회사의 고위층에 의해 일방적으로 단축되는 경우가 대부분이다. 그러나 회사 고위층의 태도는 일면 무모해 보이지만, 이면에는 발주자측이 자기들의 필요에 의해, 정책적으로 공기 및 비용을 정해놓고 이를 입찰자에게 강요하게 되고, 수주를 위해 이를 수락하는 건설업체들은 공기와 비용의 리스크를 안고 사업을 추진하게 된다. 또한 적정공사비가 부족할 경우에도 예상치 않게 공사지연을 초래하게 된다. 공사가 계약되면 업체에서는 실행예산을 편성하게 되는데, 이 실행예산은 극히 이례적인 경우를 제외하고는 대부분 계약금액 범위 내로 편성해야 경영자의 승인을 받을 수 있다.

궁극적으로 프로젝트의 최종목적은 주어진 공기와 비용내에서 작업을 완료하고 결과물을 발주자에게 인도하는데 있으나, 경우에 따라서 공거나 비용을 초과하여 달성하게 된다. 따라서 일정이나 비용을 좀 더 논리적이고 과학적인 방법으로 산정하여 공기의 지연이나 비용의 증가를 최소한으로 하고자 하는 연구가 필요하다.

따라서 본 논문에서는 산정방법에 따른 일정·비용의 사례분석을 통하여 비교 연구하는데 그 목적이 있다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

건설공사에서 최적의 소요공기 및 비용을 산정하기 위해서는 유사 프로젝트에 대한 신뢰할 만한 축적된 기본 자료가 있어야 하며, 모든 프로젝트 이해당사자들이 수용할 만한 산정방식을 사용해야 한다. 그래서 주관적이고, 경험적인 판단에 기초한 소요공기 및 비용의 산정방식보다는 논리적이고 체계적인 정량적 분석기술에 의해서 산정되어야 한다.

본 연구는 사례분석에 사용된 공사의 기본 공정표를 바탕으로 하여 CPM기법에 의한 프로젝트 공정표를 작성하고, CP(Critical Path)를 찾아낸다. 다음으로 CP에 해당되는 각각 활동들의 낙관적인 값(Optimistic), 최빈값(Most Likely), 비관적인 값(Pessimistic)들을 수집하고 Monte Carlo 모의실험으로 소요공기 및 비용 분석을 수행하게 된다. 그리고 실제 프로젝트를 완료하는데 소요된 일정과 투입된 비용을 모의실험과 PERT로 얻은 값과의 비교를 실시하게 된다. 본 연구의 수행절차를 도시화하면 다음의 그림 1과 같다.

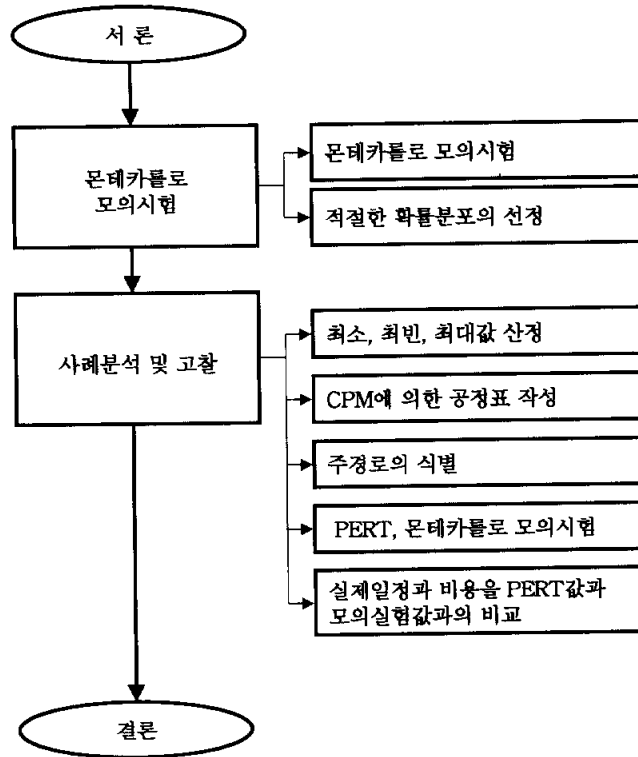


그림 1. 연구흐름도

### 1.3 연구동향

국내 건설분야의 몬테카를로 모의실험과 관련된 연구는 주로 리스크 인자의 식별 단계와 관련된 연구, 리스크 계량화 단계에서의 연구, 리스크 대응단계와 관련된 연구가 주류를 이루어 왔다.

김창학(1998)은 “건설공사 리스크 분석을 통한 예비비 산정모형 구축에 관한 연구”에서 영향도, 의사결정나무, 그리고 몬테카를로 모의실험의 세 가지 분석기법을 사용하여 리스크를 정량화하기 위한 예비비산정 모델을 제안하였다.

강인석(2000)은 “건설공사의 일정계획수립을 위한 리스크관리기법에 관한 연구”에서는 건설공사의 일정관리에서 발생할 수 있는 리스크 요소

와 불확실 요인을 다루기 위해 몬테카를로 모의실험 기법을 도입하여 리스크를 관리할 수 있는 일정관리모델구축에 관한 기초적 연구를 실시하였다.

오세대(2001)는 건설 프로젝트의 코스트 리스크 분석에 관한 연구”에서 비용요소들의 분포 결정시에 베타분포의 부정확성을 개선시키기 위해 몬테카를로 모의실험의 적용과 비용요소들의 상관성 분석을 통해 주성분으로부터 코스트 리스크 분석을 실시하는 방안을 제시하였다.

김두현(2003)은 “리스크 분석에 기초한 대형건설공사의 예비비 산정에 관한 연구”에서 사업추진과정에서의 공사비 증액이 매우 제한되어 있는 관계로 입찰단계에서 견적금액의 불확실성 요소(예비비)를 고려해야만 하는 턴키공사 등 대형 건설공사를 대상으로, 공기와 공사비에 영향을 미치는 리스크 인자를 도출하고 이의 정량화를 통한 합리적인 예비비를 산정하기 위한 모델을 제시하였다.

국외의 경우, Chau, K. W(1995)는 “Monte Carlo Simulation of Construction Costs Using Subjective Data”에서 공사비 견적 리스크 산정을 위해 몬테카를로 모의실험을 도입하였다.

Javier Fente 외 3명(2000)은 “Defining a Probability Distribution Function For Construction Simulation”에서 건설공사에서 모의실험 모형화를 통하여 누적확률분포를 결정하는 방법에 대하여 연구하였다.

W. Edward Back 외 2인(2000)은 “Defining Triangular Probability Distribution From Historical Cost Data”에서 과거의 비용데이터를 바탕으로 몬테카를로 모의실험을 수행하였다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 몬테카를로 모의실험

#### 2.1.1 몬테카를로 모의실험의 개념

모의실험(Simulation)은 조직운영상 발생하는 각종의 문제점들을 분석하고 해결하는데 효율적인 도구로서 오랫동안 각종 산업에 이용되어 왔다. 특히 건설산업은 수학적 모델로 해석이 어려운 경우가 많고 불확실성이 크기 때문에 위험요소가 타 산업에 비해 상대적으로 많다. 따라서 건설업에서 모의실험의 활용은 시간상의 제약을 극복할 때 매우 유용하게 사용할 수 있다.

모의실험이란 “실제 시스템을 모형화(Modeling)하고 그 모형을 통해 시스템의 거동을 이해하려고 실험을 하거나, 그 시스템의 운영을 개선하기 위하여 다양한 전략을 평가하는 과정(Process)”을 말한다(Shannon 1975). 따라서 실제시스템 그 자체에서는 불가능한 실험이 모의실험에서는 가능해진다.

수학적 관계에 기초한 모의실험 모형에는 확정적(Deterministic) 모형, 확률적(Stochastic) 모형, 정적(Static) 모형, 동적(Dynamic) 모형이 있다. 확정적 모형에는 변하지 않은 고정변수만이 포함된다. 이에 비하여 확률적 모형에는 무작위로 변하는 특성을 지닌 확률변수가 포함된다. 정적모형에서는 변수 및 매개 변수들이 시간과 독립적이다. 이에 비해 동적모형에서는 속성이 시간에 따라 변한다.

몬테카를로 모의실험은 확률적 모형의 하나로 리스크 평가방법 중에서 가장 널리 사용되고 있는 방법 중의 하나이다. 이것은 여러 가지 분포를

이용해서 제약조건내에 기준을 만족하는 무작위수를 만들어 공사에 미치는 영향을 수백 번 내지는 천 번까지 반복계산 할 수 있는 장점이 있다.

이 값은 공사 수행 시 발생할 수 있는 모든 값들을 나타낼 수 있으며, 또한 매우 현실적인 값이 될 수 있다. 모의실험의 횟수는 300~1000회를 반복계산하는 것이 일반적이다. 300회보다 작게 계산되면 값을 신뢰하기가 힘들고, 1000회 정도면 대부분의 상황들과 차이가 거의 없게 된다.

몬테카를로 모의실험의 기본원리는 어떤 사건이 발생할 통계적인 분포를 나타내는 것으로 정규 분포 함수를 포함한 다양한 확률분포 함수로 나타낼 수 있으며, 각 확률분포 함수는 함수 변환에 의해 확률 누적 함수로 나타낼 수 있다. 따라서 0에서 1까지의 확률적으로 등 분포하는 난수를 컴퓨터상에서 발생시켜 확률누적함수에 대응시키면 컴퓨터상에서 실제 건설사업에서 발생할 사건에 대한 통계적인 분포를 재현하게 된다. 이렇게 반복 계산한 값은 현실적인 값을 반영한 것으로 볼 수 있으며, 이 모의실험 결과치는 그림 2와 같이 나타나게 된다. 그림 2에서와 같이 어떤값이 특정 값을 초과할 확률이 모의실험 결과 20%를 초과하면 이것은 현실에서 이 값을 초과할 확률이 20%임을 나타내는 것이다.

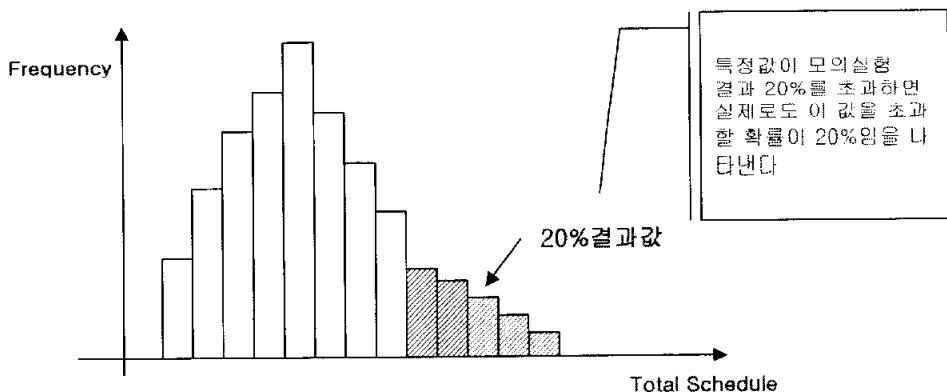


그림 2. 몬테카를로 모의실험의 해석

리스크 평가시 일반적으로는 보통 목표값을 설정하고 특정값이 이 목표치나 한계치를 벗어나는 확률에 관해 관심을 가지게 되므로 그림 5을 좀 더 자유롭게 나타낼 수 있는 것이 그림 6과 같은 누적확률분포 곡선이다. 본 그림은 총 일정을 초과할 확률이 20%임을 나타내고 있다.

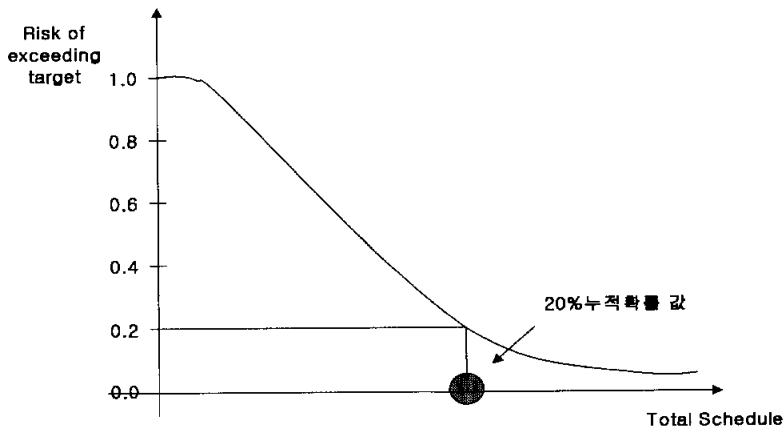


그림 3. 누적확률분포

## 2.1.2 모의실험 기본절차

시스템 내에서 확률적으로 변하는 요소들을 찾아내면 몬테카를로 모의실험 기법이 적용가능하다. 몬테카를로 모의실험의 핵심은 모형 내 확률요소의 무작위 표본화를 통한 실험이다. 몬테카를로 모의실험의 기본절차는 다음과 같다.

### 1) 확률변수의 확률분포를 얻는다.

몬테카를로 모의실험의 기본적인 아이디어는 모형을 구성하는 변수들의 값을 발생시키는 것이다. 실제 시스템에서 고려되는 확률변수의 예는 다음과 같다.

- 매일 또는 매주의 재고수요량
- 서비스 시간
- 기계고장 사이의 시간
- 프로젝트의 활동을 완료하는 시간
- 매일 결근하는 종업원 수

확률변수의 확률분포를 얻는 보편적인 방법은 과거의 자료를 검토하거나 경험이 많은 전문 관리자의 예측으로부터 얻는 것이다. 이 분포는 포아송, 지수, 이항 또는 정규분포로 나타낼 수 있다.

2) 변수에 대한 누적확률분포 구성한다.

누적확률분포는 내림차순으로 더해 나가는 ‘이하’ 형이거나, 오름차순으로 더해가는 ‘이상’ 형일 수가 있다. 일반적으로 얼마 이하일 확률을 나타내는 ‘이하’ 형 누적확률이 사용된다.

3) 확률변수의 값이나 값의 범위를 나타내기 위해 적절한 난수의 집합인 난수구간을 할당한다.

이 단계에서는 먼저 전체적인 난수의 범위를 결정하고, 이 범위를 적절한 구간으로 나누어야 한다. 각 구간은 하나의 특정한 결과와 대응되어야 하며 이 구간의 길이는 대응되는 특정 결과의 발생비율과 같아야 한다.

4) 랜덤 샘플링을 이용하여 모의실험을 수행한다.

5) 행동방안을 설계 · 시행하고 통제한다.

여기에서는 모의실험 된 자료를 검토하고 이것들을 이용하여 행동방안들을 설계 · 수정 · 재 시행 · 통제하게 된다. 이상을 도시하면 다음 그림 4

와 같이 나타낼 수 있다.

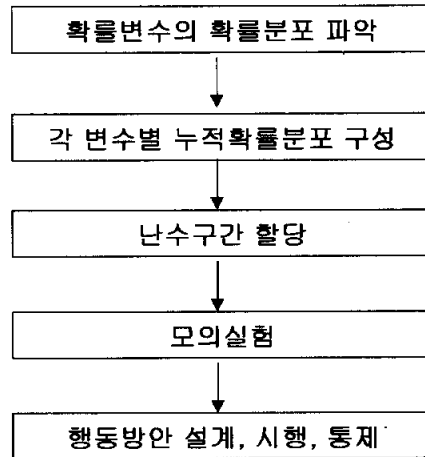


그림 4. 몬테카를로 모의실험의 기본 절차

## 2.2 최적의 확률분포의 선택

### 2.2.1 일정·비용 확률분포의 선택

일정과 비용요소를 표현하기 위한 확률분포의 선택은 일정·비용 리스크 분석 시 매우 중요한 점이다. 특히 모의실험 방법을 이용할 경우 건설 프로젝트의 일정·비용요소들의 분포는 다음과 같은 특성을 가지게 된다.

첫째, 일반적으로 상한과 하한이 존재하는 프로젝트 일정·비용견적에서는 그 한계를 넘어서는 값은 존재하지 않을 것이다. 범위견적은 통계학적 의미로 구간 추정을 의미하며 상한과 하한을 가진 신뢰구간을 추정하므로 추정된 일정과 비용은 상한과 하한의 신뢰구간 내에서만 존재하게 된다. 따라서 일정·비용요소들의 확률분포는 닫힌 분포가 바람직하다.

둘째, 일정·비용 분석 시 적용되는 확률론적 견적법은 3점(최소, 최빈, 최대값) 견적법 이므로 이때 견적된 예상비용은 상한과 하한에 접근할수

록 그 발생확률이 감소한다. 따라서 확률분포는 오목한 것이 아니라 볼록한 것이며, 그 값들은 하나이어야 하므로 단봉이어야 한다.

셋째, 일정·비용분포는 비대칭이다. 이것은 최빈값이 최대값이나 최소값 중 어느 한 쪽으로 기울어질 수 있음을 의미한다.

이것으로 미루어 볼 때 다음 표 1에서 볼 수 있는 바와 같이 경계가 있으면서 단봉인 형태는 베타분포와 삼각분포가 가장 바람직한 확률분포의 형태라 할 수 있다.

표 1. 각 분포의 특성 비교

| 분포     | 경계     | 특성 |     |
|--------|--------|----|-----|
|        |        | 단봉 | 기울기 |
| 정규분포   | 없음     | ○  | ×   |
| 로그정규분포 | 한쪽만 존재 | ○  | ○   |
| 감마분포   | 한쪽만 존재 | ○  | ○   |
| 균등분포   | 있음     | ×  | ×   |
| 삼각분포   | 있음     | ○  | ○   |
| 베타분포   | 있음     | △  | ○   |

### 1) 베타분포

지금까지는 일정·비용 분석연구들은 PERT기법의 적용을 위해 개발된 3점 견적법의 효용성으로 인해서 베타분포를 널리 사용하였으나 베타분포의 특성상 실제 공사와는 차이를 보이게 된다.

베타함수의 식은 다음과 같다.

$$B(\alpha, \beta) = \int_0^1 x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1} dx \quad , \quad (\alpha, \beta > 0, 0 < x < 1) \quad (2.1)$$

$$f(x) = \frac{1}{B(\alpha, \beta)} x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1} \quad , \quad (0 < x < 1) \quad (2.2)$$

여기서,  $x$  : 확률분포

$\alpha, \beta$  : 곡선의 기울기를 결정하는 계수

위 식에 기초한 베타분포는  $\alpha$ 와  $\beta$ 가 포함된 4변수 분포이므로 3가지 변수만으로 분포를 결정하는 일정·비용분석에는 적절하지 못하다. 즉, 일정·비용요소들이 베타분포임을 결정하기 위해서는 4가지 변수들이 명시되어야 한다. 다음 그림 5는 곡선의 기울기를 결정하는  $\alpha, \beta$ 의 변화에 따른 곡선의 변화를 나타낸 것이다. (a)와 (b)는 ‘단봉이어야 하며 볼록한 형태이어야 한다.’라는 조건에 위배되며, (c)와 (d)는 수렴이 되는 상태이다. 이렇게 3점 값보다  $\alpha$ 와  $\beta$ 의 두 변수들이 더 중요한 것이므로 단지 3점으로 일정과 비용요소들의 분포를 파악하게 될 경우 불확실성을 포함하게 된다.

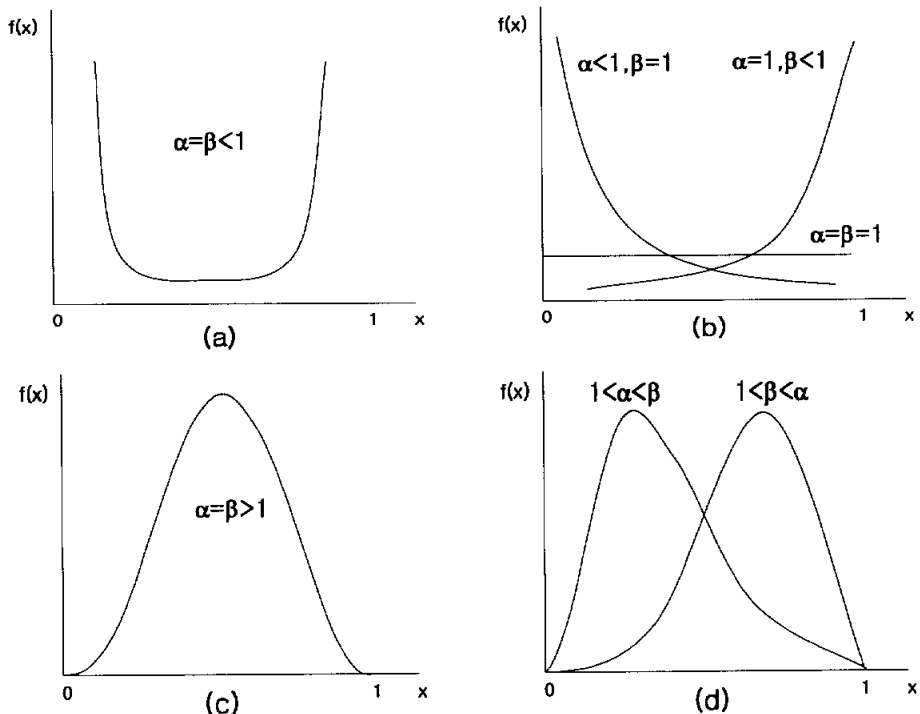


그림 5.  $\alpha$ 와  $\beta$ 의 변화에 따른 곡선형태의 변화

유사한 데이터의 추출이 어려운 경우에는 그 적용에 있어서 실제 현실과 매우 큰 오차를 가지게 되므로 일정·비용분석 리스크 분석을 수행하는 데 있어서 한계가 있음을 알 수 있다.

또한 베타분포의 경우 많은 데이터 자료들이 있을 경우에는 상당히 신뢰할 만큼의 값을 얻을 수 있으나, 삼각분포의 경우는 데이터 수가 작을 때에 간단하면서도 유용하게 신뢰할 만한 값을 얻을 수 있다.

이러한 이유로 인해 데이터 수가 작은 본 논문에서는 일정·비용 분석 시에 상대적으로 베타분포는 삼각분포와 비교할 때 사용하기가 유용하지 않다.

## 2) 삼각분포

삼각분포는 최소(Minimum), 최빈(Most likely), 최대(Maximum)의 3점을 가지는 형태로 나타나며, 최빈값은 최소나 최대의 어느 한쪽으로 쏠리는 경향을 취하게 되는 그림 6과 같은 삼각형의 형태를 나타내게 된다.

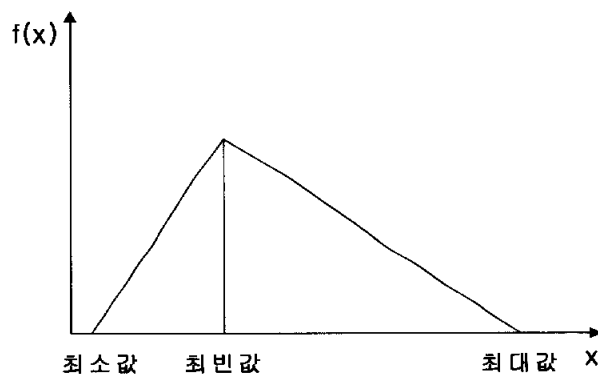


그림 6. 삼각분포의 일반적인 모델

이러한 삼각분포는 그 형태에 따라서 일정·비용분석 시 평균과 분산

의 계산에 무시할 수 있을 정도의 영향만을 미친다. 또한 삼각분포는 위의 그림에 나타난 바와 같이 단지 3점에 의해 그 분포를 결정할 수 있으므로 일정·비용요소의 데이터 수가 작을 때에도 크게 영향을 받지 않는다. 따라서 신뢰성 있는 유사한 일정·비용데이터를 추출하기가 현실적으로 어려운 건설 프로젝트의 일정·비용 분석 시 삼각분포는 적절한 분포라 할 수 있다.

삼각분포의 기대치는 다음과 같이 구한다. 이 방정식은 일반적으로 많이 사용하고 있는 PERT의 가중치를 부여한 3점 견적법으로 구하는 것이 아니라 가중치를 부여하지 않은 일반적인 방법이다.

$$\text{기대값} = \frac{(\text{최저값} + \text{최빈값} + \text{최고값})}{3} \quad (2.2)$$

### 3) 일점견적법

일정과 비용의 영향을 미치는 요인들을 분석하여 몇몇의 요소들이 일정 및 비용에 영향을 미치게 되는지 밝혀낸다 하더라도 PERT에서는 앞에서 언급한 것과 같이 베타분포에 기초하고 있는 이론이므로 사용하기가 힘들고 CPM 기법에서는 특정업무를 수행하기 위해 필요한 시간에 대해 일점견적법(Single-Point Estimate)을 사용하므로 어떤 것들이 전체 공기나 비용에 어떠한 영향을 미치는지 파악하기가 힘들게 된다.

다음 표 2는 CPM으로 산정한 공기와 최소·최대값을 고려한 즉, 리스크를 고려한 일정에 대한 예를 나타내고 있다. CPM 기법으로 산정한 값은 80일인데 반해, 최소일정과 최대일정을 사용하여 CPM의 확정적인 값과의 3점 견적법을 사용하여 도출된 평균값은 90일로 10일이 더 증가함을 알 수 있다. 이 삼각분포로부터 계산된 평균값과 CPM값과의 차이에서 공

기가 증가되거나 부족하게 될 가능성을 나타내고 있다. 그러나 이 평균값에는 CPM에서 고려하지 못한 불확실 요소를 고려하고 있음을 알 수 있다.

표 2 활동기간의 삼각분포의 예

| 활동(Activity) | Duration |      |      |      |
|--------------|----------|------|------|------|
|              | CPM일정    | 최소일정 | 최대일정 | 평균일  |
| Activity A   | 30       | 20   | 60   | 36.7 |
| Activity B   | 50       | 40   | 70   | 53.3 |
| Total        | 80       | 60   | 130  | 90   |

다음 그림 7과 표 3는 표 2의 값을 몬테카를로 모의실험을 수행한 값을 나타내고 있다. 그림 7에서 나타나 있는 바와 같이 가장 많은 빈도를 차지하고 있는 곳은 대략 88~90일 사이에서 많이 나타나고 있고, 표 3에서도 볼 수 있듯이 값은 89.87 즉, 거의 90일을 나타내었다. 그러므로 삼각분포에 의한 3점 견적법이 타당성이 있음을 알 수 있다. 그리고 그림 8에서 알 수 있듯이 CPM에 의해 산정된 일정 80일은 누적확률분포 상에서 20%에 못 미치는 달성 가능성을 나타내고 있으나, 90일 일 때 공사완료가능성은 거의 50%에 가깝게 나타나고 있음을 알 수 있다.

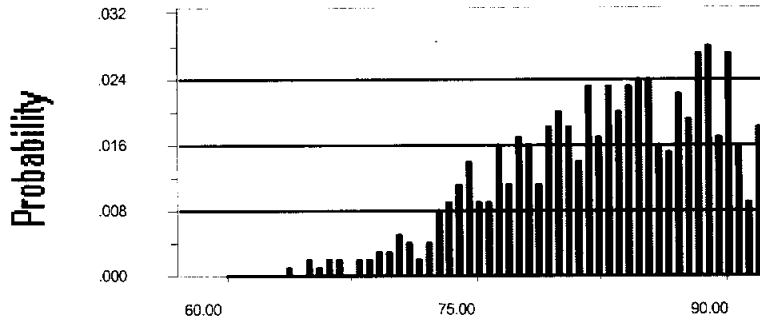


그림 7. 히스토그램

표 3. 분석 통계치

| Statistics            | Value        |
|-----------------------|--------------|
| Trials                | 1000         |
| Mean                  | <b>89.87</b> |
| Median                | 89.08        |
| Mode                  | -            |
| Standard Deviation    | 10.67        |
| Variance              | 113.83       |
| Skewness              | 0.27         |
| Kurtosis              | 2.65         |
| Coeff. of Variability | 0.12         |
| Range Minimum         | 64.17        |
| Range Maximum         | 122.64       |
| Range Width           | 58.47        |
| Mean Std. Error       | 0.34         |

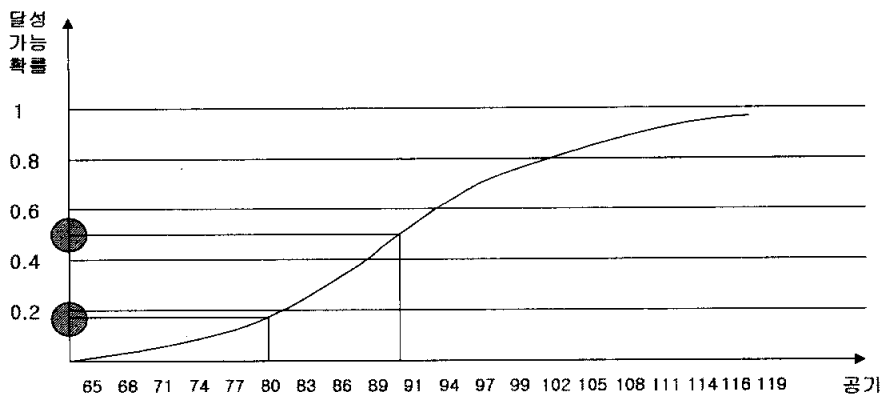


그림 8. 누적확률분포

### 3. 사례 분석

#### 3.1 사례 자료 수집

##### 3.1.1 사례 공사 개요

본 사례는 Case 1(OOO 재가설공사), Case 2(OOO 공사), Case 3(OOOO 공사) 등 3개의 공사현장을 선정하였다. 현장의 조건, 상태, 시공 방법이 서로 다르므로 적용된 작업의 범위는 최상위 계층으로 한정하였으며 작업의 개수는 각각 4개, 6개, 5개로 나타났다. 각각 현장의 공사개요를 요약하면 다음 표 4, 표 5, 표 6과 같다.

표 4. Case 1의 개요

| 항 목     | 내 용                       |
|---------|---------------------------|
| 공 사 명   | OOO 재가설공사                 |
| 사 업 규 모 | L=225m, B=20m             |
| 시 공 자   | OO 종합건설외 2개사              |
| 공 사 기 간 | 1997. 06. 02~1997. 09. 22 |

표 5. Case 2의 개요

| 항 목     | 내 용                       |
|---------|---------------------------|
| 공 사 명   | OOO 건설공사                  |
| 사 업 규 모 | L=420m, B=29.0~32.0m      |
| 시 공 자   | OO 건설                     |
| 공 사 기 간 | 2001. 02. 23~2003. 11. 22 |

표 6. Case 3의 개요

| 항 목     | 내 용                       |
|---------|---------------------------|
| 공 사 명   | OOOO 건설공사                 |
| 사 업 규 모 | L=360m, B=24m             |
| 시 공 자   | OO 종합건설외 2개사              |
| 공 사 기 간 | 1996. 10. 25~2000. 01. 28 |

## 3.2 사례분석절차

### 3.2.1 수행절차

본 사례연구의 수행절차는 다음과 같다.

#### 1) 소요공기와 비용 산정

사례분석에 사용된 공사의 기본 공정표를 바탕으로 CPM기법에 의한 프로젝트 공정표를 작성하고, CP를 찾아낸다. 다음으로 CP에 해당되는 공정에 따른 최소, 최빈, 최대의 일정 및 비용을 수집한다.

#### 2) 모의실험의 적용

Crystal Ball을 사용하여 일정과 비용에 대한 몬테카를로 모의실험을 수행한다.

#### 3) 일정·비용에 대한 비교 분석

실제 공사가 완료된 일정과 비용을 모의실험 및 PERT로 도출된 값과의 비교하여 현실공사에서 최적의 일정과 비용 판단하게 된다.

다음 그림 9는 사례분석절차를 도시화 한 것이다.

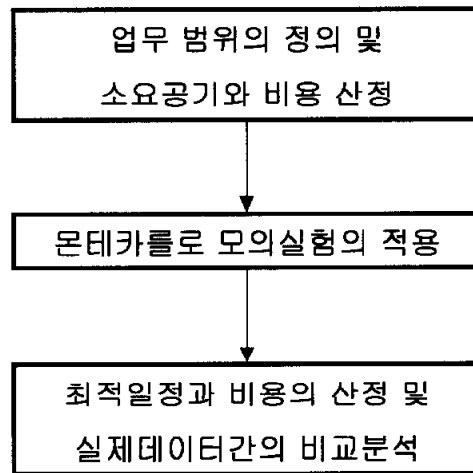


그림 9. 사례분석절차

### 3.2.2 소요공기와 비용 산정

Case 1은 000 재가설공사로, 4개의 최상위업무로 구성되어 있어있고 Case 2는 000 공사로서, 6개의 최상위업무로 구성되어 있어있고 Case 3는 0000 공사로서 5개의 최상위업무로 구성되어 있어있다. 그리고 각각 그 자체의 작업이 CP로 되어있다.

다음의 표들은 각 공사의 일정과 비용을 나타내고 있다.

표 7과 표 8은 Case 1의 최저, 최대, 개연적인 일정과 비용들을 나타내고 있다.

표 7. Case 1의 일정

|       | 일정(일) |       |       |
|-------|-------|-------|-------|
|       | 개연일정  | 최저일정  | 최대일정  |
| 접속도로공 | 140   | 124   | 154   |
| 교량공   | 480   | 461   | 510   |
| 가설교량공 | 186   | 171   | 206   |
| 부대공   | 261   | 245   | 287   |
| 합계    | 1,067 | 1,001 | 1,157 |

표 8. Case 1의 비용

|       | 비용(원)          |                |                |
|-------|----------------|----------------|----------------|
|       | 개연비용           | 최저비용           | 최대비용           |
| 접속도로공 | ₩162,835,000   | ₩149,564,000   | ₩197,489,000   |
| 교량공   | ₩4,196,094,000 | ₩3,748,000,000 | ₩4,308,250,000 |
| 가설교량공 | ₩435,925,000   | ₩400,950,000   | ₩463,652,200   |
| 부대공   | ₩3,993,491,000 | ₩3,758,400,000 | ₩4,190,536,000 |
| 합계    | ₩8,788,345,000 | ₩8,056,914,000 | ₩9,159,927,200 |

표 9와 표 10은 Case 2의 최저, 최대, 개연적인 일정과 비용들을 나타내고 있다.

표 9. Case 2의 일정

|        | 일정(일) |      |       |
|--------|-------|------|-------|
|        | 개연일정  | 최저일정 | 최대일정  |
| 토공     | 146   | 132  | 154   |
| 교량공    | 644   | 618  | 650   |
| 도로구조물공 | 21    | 18   | 24    |
| 배수공    | 25    | 23   | 28    |
| 포장공    | 165   | 149  | 173   |
| 부대공    | 60    | 50   | 65    |
| 합계     | 1,061 | 990  | 1,094 |

표 10. Case 2의 비용

|        | 비용              |                 |                 |
|--------|-----------------|-----------------|-----------------|
|        | 개연비용            | 최저비용            | 최대비용            |
| 토공     | ₩861,467,122    | ₩847,985,200    | ₩889,748,620    |
| 교량공    | ₩14,909,729,559 | ₩13,546,925,800 | ₩16,895,870,600 |
| 도로구조물공 | ₩74,616,600     | ₩73,569,820     | ₩77,480,900     |
| 배수공    | ₩53,221,280     | ₩51,469,800     | ₩57,894,800     |
| 포장공    | ₩255,691,100    | ₩235,667,100    | ₩304,098,570    |
| 부대공    | ₩1,097,705,408  | ₩985,703,600    | ₩136,548,900    |
| 합계     | ₩17,252,431,069 | ₩15,741,321,320 | ₩18,361,642,390 |

마지막으로 표 11와 표 12는 Case 3의 최저, 최대, 개연적인 일정과 비용을 나타내고 있다.

표 11. Case 3의 일정

|     | 일정(일) |      |      |
|-----|-------|------|------|
|     | 최빈일정  | 최저일정 | 최대일정 |
| 토공  | 65    | 58   | 70   |
| 교량공 | 324   | 309  | 329  |
| 배수공 | 29    | 24   | 32   |
| 포장공 | 42    | 36   | 48   |
| 부대공 | 56    | 51   | 62   |
| 합계  | 516   | 478  | 541  |

표 12. Case 3의 비용

|     | 비용(원)          |                |                |
|-----|----------------|----------------|----------------|
|     | 개연비용           | 최저비용           | 최대비용           |
| 토공  | ₩81,653,000    | ₩78,598,000    | ₩83,641,000    |
| 교량공 | ₩3,507,059,800 | ₩3,251,407,000 | ₩3,748,950,100 |
| 배수공 | ₩37,451,000    | ₩35,146,200    | ₩40,958,100    |
| 포장공 | ₩76,928,100    | ₩75,254,000    | ₩77,480,900    |
| 부대공 | ₩910,980,000   | ₩871,420,000   | ₩980,084,000   |
| 합계  | ₩4,614,071,900 | ₩4,311,825,200 | ₩4,931,114,100 |

### 3.2.3 모의실험의 적용

몬테카를로 모의실험의 적용을 위해서 Crystal Ball Student 버전을 사용하였다.

#### 1) Case 1의 모의실험 수행

##### ① 일정에 대한 모의실험 수행

일정에 대한 몬테카를로 모의실험을 수행한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 위의 표 7에서 총일정은 1067일인데 반해 몬테카를로 모의실험을 수행한 값은 아래 그림 10과 표 13에서 보는 바와 같이 1076일로 약 9일정도 더 소요됨을 알 수 있다.

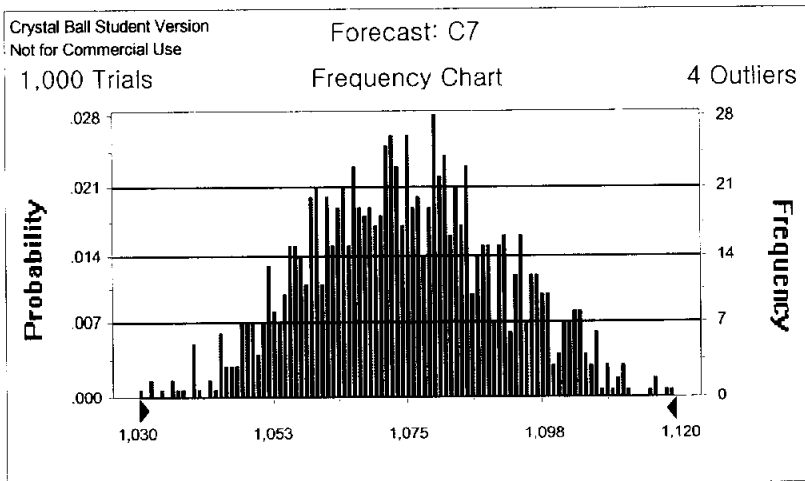


그림 10. Case 1의 모의실험 수행

표 13. Case 1의 일정에 대한 분석통계치

| Statistics            | Value        |
|-----------------------|--------------|
| Trials                | 1000         |
| <b>Mean</b>           | <b>1,076</b> |
| Median                | 1,075        |
| Mode                  | —            |
| Standard Deviation    | 16           |
| Variance              | 262          |
| Skewness              | 0.11         |
| Kurtosis              | 2.84         |
| Coeff. of Variability | 0.02         |
| Range Minimum         | 1,030        |
| Range Maximum         | 1,134        |
| Range Width           | 105          |
| Mean Std. Error       | 0.51         |

또한 1067에 공사가 완료될 확률은 다음의 표 14에서 보는 바와 같이 대략 30%이며, 몬테카를로 모의실험에 의해 계산된 1076일에 공사가 완료될 확률은 50%임을 알 수 있다.

표 14. Case 1의 프로젝트가 완료될 확률

| Percentile | Value        |
|------------|--------------|
| 0%         | 1,030        |
| 10%        | 1,055        |
| 20%        | 1,061        |
| <b>30%</b> | <b>1,066</b> |
| 40%        | 1,071        |
| <b>50%</b> | <b>1,076</b> |
| 60%        | 1,079        |
| 70%        | 1,083        |
| 80%        | 1,089        |
| 90%        | 1,097        |
| 100%       | 1,134        |

## ② 비용에 대한 모의실험 수행

비용에 대한 몬테카를로 모의실험 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 위의 표 8에서의 개연비용은 8,788,345,000원인데 반해서 몬테카를로 모의실험을 수행한 아래 그림 11과 표 15에서 볼 수 있듯이 비용의 값은 8,724,112,447원으로 모의실험을 수행한 값이 64,232,553원 정도 적음을 알 수 있다.

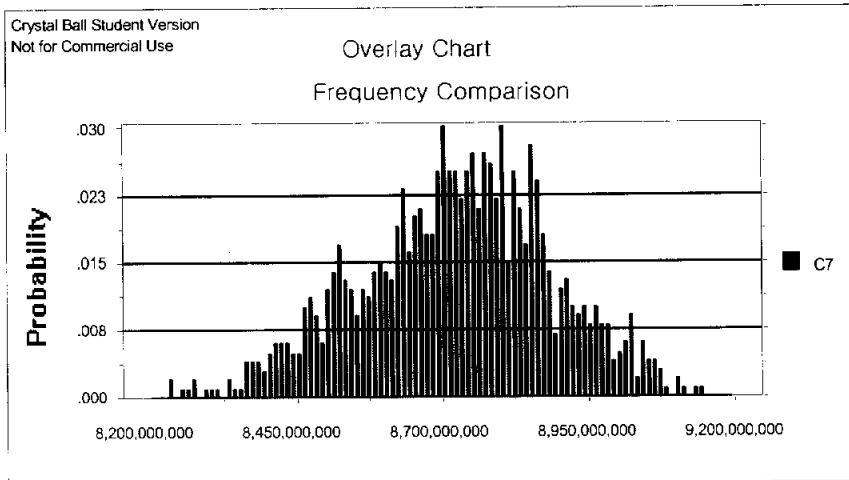


그림 11. Case 1의 비용에 대한 모의실험 수행

표 15. Case 1의 비용에 대한 분석통계치

| Statistics            | Value                |
|-----------------------|----------------------|
| Trials                | 1000                 |
| <b>Mean</b>           | <b>8,724,112,447</b> |
| Median                | 8,733,634,453        |
| Mode                  | ---                  |
| Standard Deviation    | 164,898,563          |
| Variance              | 3E+16                |
| Skewness              | -0.18                |
| Kurtosis              | 2.80                 |
| Coeff. of Variability | 0.02                 |
| Range Minimum         | 8,236,121,713        |
| Range Maximum         | 9,208,330,311        |
| Range Width           | 972,208,598          |
| Mean Std. Error       | 5,214,550.41         |

또한 개연비용 8,788,345,000에서 공사가 달성될 확률은 표 16에서 보는 바와 같이 60%를 넘어서며, 모의실험에 의해 구해진 평균비용이 달성될 확률은 약 50%정도임을 알 수 있다. 그러므로 비용계획이 잘 되어있음을 알 수 있다.

표 16. Case 1의 프로젝트가 완료될 확률

| Percentile | Value                |
|------------|----------------------|
| 0%         | 8,236,121,713        |
| 10%        | 8,503,214,255        |
| 20%        | 8,581,680,203        |
| 30%        | 8,642,517,328        |
| 40%        | 8,694,967,204        |
| <b>50%</b> | <b>8,733,634,453</b> |
| <b>60%</b> | <b>8,773,959,375</b> |
| 70%        | 8,816,104,763        |
| 80%        | 8,860,030,875        |
| 90%        | 8,932,569,185        |
| 100%       | 9,208,330,311        |

## 2) Case 2의 모의실험 수행

### ① 일정에 대한 모의실험 수행

일정에 대한 몬테카를로 모의실험을 수행한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 위의 표 9에서 개연일정은 1061일인데 반해 몬테카를로

시 모의실험을 수행한 값은 아래 그림 12와 표 17에서 보는 바와 같이 1059일로 약 2일정도 더 적음을 알 수 있다.

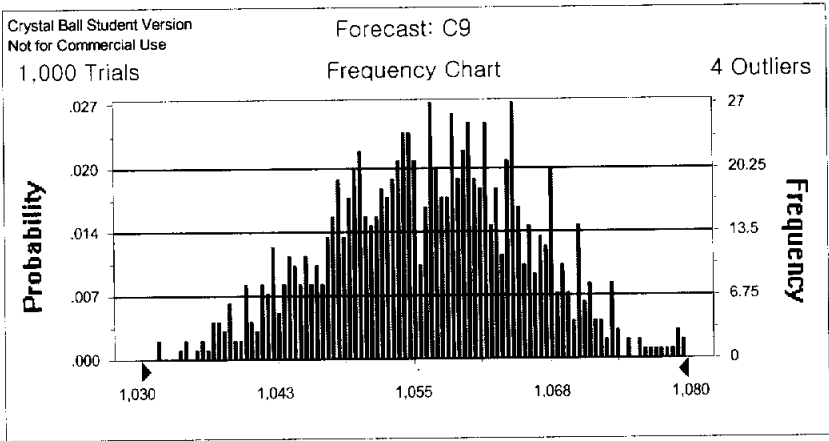


그림 12. Case 2의 일정에 관한 모의실험 수행

표 17. Case 2의 일정에 대한 분석통계치

| Statistics            | Value        |
|-----------------------|--------------|
| Trials                | 1000         |
| <b>Mean</b>           | <b>1,059</b> |
| Median                | 1,057        |
| Mode                  | ---          |
| Standard Deviation    | 9            |
| Variance              | 83           |
| Skewness              | -0.16        |
| Kurtosis              | 2.77         |
| Coeff. of Variability | 0.01         |
| Range Minimum         | 1,027        |
| Range Maximum         | 1,080        |
| Range Width           | 53           |
| Mean Std. Error       | 0.29         |

또한 1061일에 공사가 완료될 확률은 표 18에서 보는 바와 같이 60%를 넘어서며, 모의실험에 의해 구해진 평균일정 1059일이 달성될 확률 또한 60%를 넘어섬을 알 수 있다.

표 18. Case 2의 프로젝트가 완료될 확률

| Percentile | Value        |
|------------|--------------|
| 0%         | 1,027        |
| 10%        | 1,044        |
| 20%        | 1,048        |
| 30%        | 1,051        |
| 40%        | 1,054        |
| 50%        | 1,057        |
| <b>60%</b> | <b>1,059</b> |
| 70%        | 1,062        |
| 80%        | 1,064        |
| 90%        | 1,068        |
| 100%       | 1,080        |

## ② 비용에 대한 모의실험 수행

비용에 대한 몬테카를로 모의실험 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 위의 표 10에서의 개연비용은 17,252,431,069원인데 반해서 몬테카를로 모의실험을 수행한 결과는 아래 그림 13과 표 19에서 볼 수 있듯이 비용은 17,552,153,349원으로 모의실험을 수행한 값이 299,722,280원 정도 증가됨을 알 수 있다.

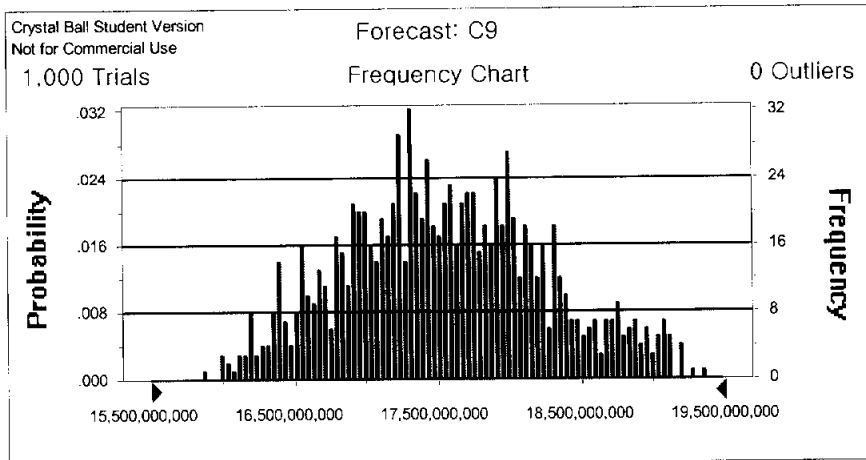


그림 13. Case 2의 비용에 관한 모의실험 수행

표 19. Case 2의 비용에 대한 분석통계치

| Statistics            | Value                 |
|-----------------------|-----------------------|
| Trials                | 1000                  |
| <b>Mean</b>           | <b>17,552,153,349</b> |
| Median                | 17,518,111,139        |
| Mode                  | ---                   |
| Standard Deviation    | 699,773,345           |
| Variance              | 5E+17                 |
| Skewness              | 0.15                  |
| Kurtosis              | 2.51                  |
| Coeff. of Variability | 0.04                  |
| Range Minimum         | 15,860,479,870        |
| Range Maximum         | 19,375,115,507        |
| Range Width           | 3,514,635,637         |
| Mean Std. Error       | 22,128,776.15         |

또한 공사를 완료하기 위해서 필요한 비용인 17,252,431,069원이 달성될 확률은 표 20에서 보는 바와 같이 30%를 넘어서며, 모의실험에 의해 구해진 평균비용이 달성될 확률은 50%를 넘어서음을 알 수 있다.

**표 20. Case 2의 프로젝트가 완료될 확률**

| Percentile | Value                 |
|------------|-----------------------|
| 0%         | 15,860,479,870        |
| 10%        | 16,624,653,805        |
| 20%        | 16,937,778,437        |
| 30%        | 17,163,266,659        |
| 40%        | 17,335,406,940        |
| <b>50%</b> | <b>17,518,111,139</b> |
| 60%        | 17,723,574,727        |
| 70%        | 17,934,399,816        |
| 80%        | 18,143,761,533        |
| 90%        | 18,487,769,356        |
| 100%       | 19,375,115,507        |

### 3) Case 3의 모의실험 수행

#### ① 일정에 대한 모의실험 수행

일정에 대한 몬테카를로 모의실험을 수행한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 위의 표 11에서 공사가 완료되기 위한 일정은 516일인데 반해 몬테카를로 모의실험을 수행한 값은 아래 그림 14와 표 21에서 보는 바와 같이 519일로 약 3일정도 공사가 빨리 완료됨을 알 수 있다.

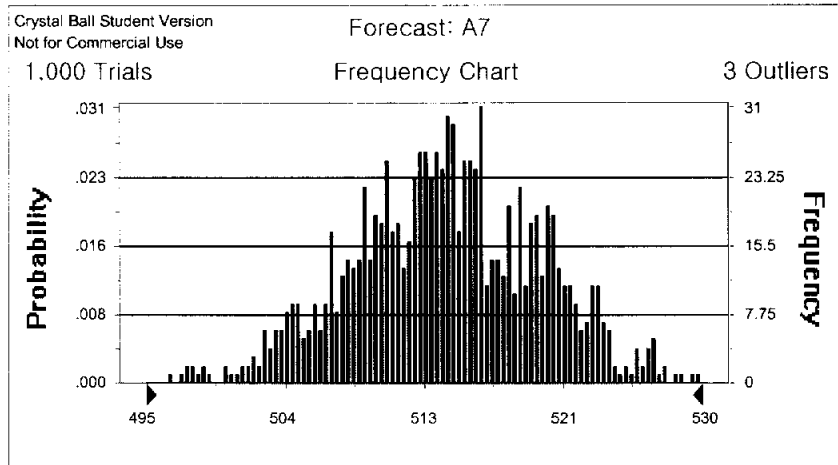


그림 14. Case 3의 일정에 관한 모의실험

표 21. Case 3의 일정에 대한 분석통계치

| Statistics            | Value      |
|-----------------------|------------|
| Trials                | 1000       |
| <b>Mean</b>           | <b>519</b> |
| Median                | 514        |
| Mode                  | —          |
| Standard Deviation    | 6          |
| Variance              | 36         |
| Skewness              | -0.07      |
| Kurtosis              | 2.89       |
| Coeff. of Variability | 0.01       |
| Range Minimum         | 495        |
| Range Maximum         | 532        |
| Range Width           | 37         |
| Mean Std. Error       | 0.19       |

또한 공사가 완료되기 위한 일정인 516일이 달성될 확률은 표 22에서 보는 바와 같이 65%이며, 모의실험에 의해 구해진 평균일정이 달성될 확률도 50%를 넘어섬을 알 수 있다.

**표 22. Case 3의 프로젝트 달성 확률**

| Percentile | Value      |
|------------|------------|
| 0%         | 495        |
| 10%        | 506        |
| 20%        | 509        |
| 30%        | 511        |
| 40%        | 513        |
| <b>50%</b> | <b>514</b> |
| 60%        | 515        |
| 70%        | 517        |
| 80%        | 519        |
| 90%        | 522        |
| 100%       | 532        |

## ② 비용에 대한 모의실험 수행

비용에 대한 몬테카를로 모의실험 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 위의 표 12에서의 개연비용은 4,614,071,900원인데 반해서 몬테카를로 모의실험을 수행한 아래 그림 15와 표 23에서 볼 수 있듯이 비용의 값은 4,618,957,426원으로 모의실험을 수행한 값이 4,885,526원 정도 더 증가함을 알 수 있다.

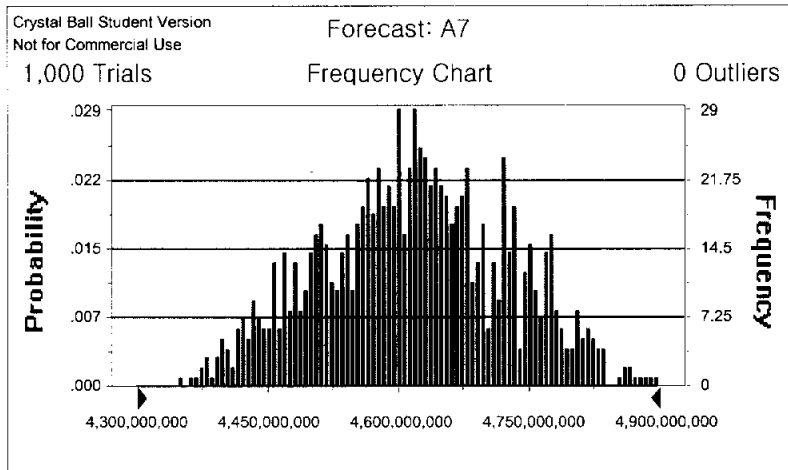


그림 15. Case 3의 비용에 대한 모의실험

표 23. Case 3의 비용에 대한 분석통계치

| Statistics            | Value                |
|-----------------------|----------------------|
| Trials                | 1000                 |
| <b>Mean</b>           | <b>4,618,957,426</b> |
| Median                | 4,620,257,648        |
| Mode                  | ---                  |
| Standard Deviation    | 106,684,944          |
| Variance              | 1E+16                |
| Skewness              | -0.01                |
| Kurtosis              | 2.49                 |
| Coeff. of Variability | 0.02                 |
| Range Minimum         | 4,349,893,521        |
| Range Maximum         | 4,895,197,454        |
| Range Width           | 545,303,934          |
| Mean Std. Error       | 3,373,674.17         |

그리고 개연비용이 달성될 확률은 표 24에서 보는 바와 같이 50%를 넘어서며, 모의실험에 의해 구해진 평균비용이 달성될 확률도 50%를 넘어

섬을 알 수 있다.

표 24. Case 3의 프로젝트가 완료될 확률

| Percentile | Value                |
|------------|----------------------|
| 0%         | 4,349,893,521        |
| 10%        | 4,473,103,943        |
| 20%        | 4,520,947,278        |
| 30%        | 4,563,464,938        |
| 40%        | 4,593,111,315        |
| <b>50%</b> | <b>4,620,257,648</b> |
| 60%        | 4,645,330,261        |
| 70%        | 4,675,044,271        |
| 80%        | 4,719,033,981        |
| 90%        | 4,762,320,009        |
| 100%       | 4,895,197,454        |

## 4. 고찰

### 4.1 일정에 대한 고찰

#### 1) Case 1

Case 1의 일정의 경우 다음과 같은 결과를 나타내었다.

다음의 표 25, 표 26에서 알 수 있듯이 모의실험으로 달성된 일정은 1076일이고 실제적으로 달성된 일정은 1110일로 34일의 차이를 나타내었으며 실제일정을 100%이라고 하였을 때 모의실험에 의한 일정의 비율은 97%였다. 그리고 PERT로 계산한 값은 1071일로 39일의 차이를 보였으며 그 비율은 96%였다. 본 공사일정의 신뢰도를 95%로 보았을 때 본 공사의 경우 PERT나 모의실험이나 일정을 지연시키는 요인들을 어느 정도 정확히 반영했다고 볼 수 있지만 본 공사에서는 실제일정과 비교를 통해서 모의실험을 수행한 값이 PERT값보다는 조금 더 실제일정에 가까움을 알 수 있다.

표 25. Case 1의 각 일정값의 비교

(단위 : 일)

|       | 실제일정  | PERT  | 모의실험  |
|-------|-------|-------|-------|
| 점속도로공 | 124   | 140   | 139   |
| 교량공   | 420   | 482   | 484   |
| 가설교량공 | 217   | 187   | 188   |
| 부대공   | 349   | 263   | 265   |
| 합계    | 1,110 | 1,071 | 1,076 |

표 26. Case 1의 각 일정값의 차이와 비율

|            | 차이(일) | 비율(%) |
|------------|-------|-------|
| 실제 일정-PERT | 39    | 96    |
| 실제 일정-모의실험 | 34    | 97    |

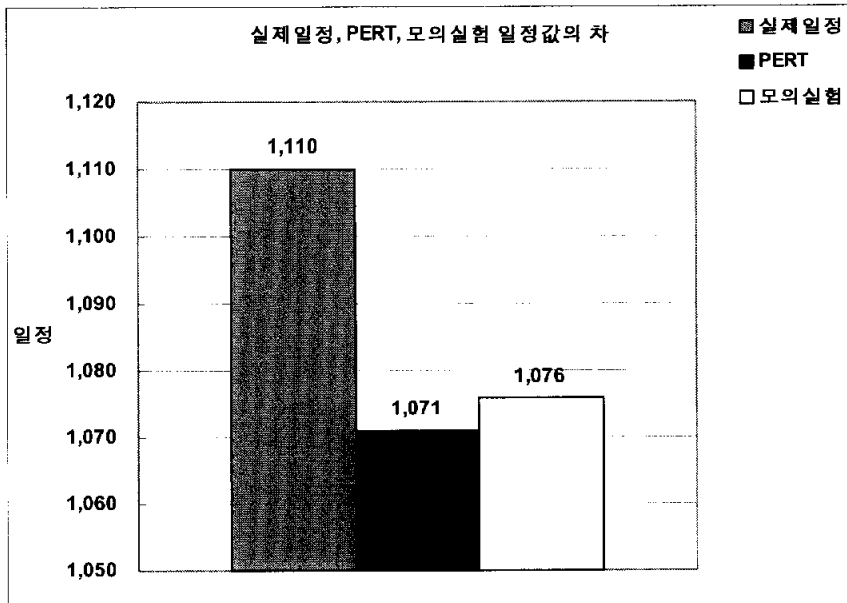


그림 16. Case 1의 각 일정값의 차

## 2) Case 2

Case 2의 일정의 경우 다음과 같은 결과를 나타내었다.

다음의 표 27과 표 28에서 알 수 있듯이 실제 완료된 일정을 100%로 보았을 때 모의실험으로 계산된 값은 1059일을 나타내고 있지만 실제로 공사가 완료되었을 때의 일정은 1067일을 나타내어 8일의 차이를 두고 있으며 그 비율은 99%정도이다. 그리고 PERT로 계산한 값은 1057일을 나타내고 있어 10일의 차를 나타내고 있고 그 비율은 98%이다. 본 공사의

경우에도 신뢰도를 95%수준으로 보았을 때 PERT나 모의실험이나 실제일정에 가깝게 나타나고 있어 일정계산시에 고려되는 요인들이 잘 반영이 되어 있다고 할 수 있다. 그러나 본 공사에서도 모의실험 값이 PERT값에 비해서는 실제 일정에 더 가까움을 알 수 있다.

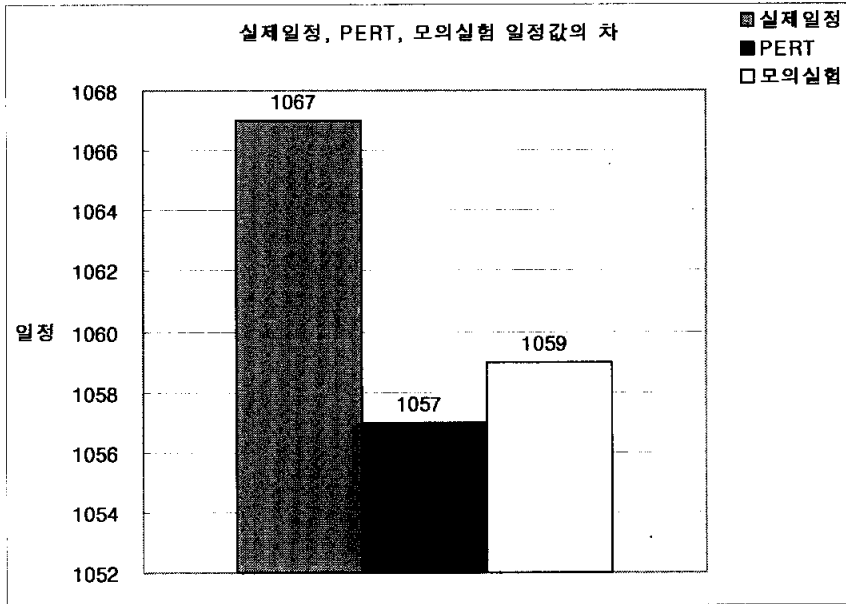
표 27. Case 2의 각 일정값의 비교

(단위 : 일)

|        | 실제일정 | PERT | 모의실험 |
|--------|------|------|------|
| 토공     | 149  | 145  | 145  |
| 교량공    | 634  | 641  | 639  |
| 도로구조물공 | 29   | 21   | 22   |
| 배수공    | 28   | 26   | 26   |
| 포장공    | 155  | 164  | 166  |
| 부대공    | 72   | 60   | 61   |
| 합계     | 1067 | 1057 | 1059 |

표 28. Case 2의 각 일정값의 차이와 비율

|           | 차이(일) | 비율(%) |
|-----------|-------|-------|
| 실제일정-PERT | 10    | 98    |
| 실제일정-모의실험 | 8     | 99    |



**그림 17. Case 2의 각 일정값의 차**

### 3) Case 3

Case 3에 대한 결과값은 다음의 표와 같다. 표 29와 표 30에서 알 수 있듯이 모의실험의 결과값은 519일을 나타내고 있으며, 실제일정은 530일로 11일의 차를 나타내고 있다. 이것은 실제일정을 100%라고 보았을 때 약 98%의 비율을 차지하고 있다. 또한 PERT는 515일을 나타내고 있으며 이것은 실제일정과 약 15일의 차이를 나타내고 있다. 이것은 실제일정대비 97%의 비율을 나타내고 있다. 본 공사의 경우에도 신뢰도를 95% 수준으로 보았을 때 일정은 PERT나 모의실험이나 어느 정도 정확히 일정을 예측했다고 할 수 있으나 모의실험이 실제 일정과 좀 더 가까운 결과를 얻은 것을 알 수 있다.

표 29. Case 3의 각 일정값의 비교

(단위 : 일)

|     | 실제일정 | PERT | 모의실험 |
|-----|------|------|------|
| 토공  | 71   | 65   | 65   |
| 교량공 | 339  | 323  | 325  |
| 배수공 | 26   | 29   | 29   |
| 포장공 | 39   | 42   | 43   |
| 부대공 | 55   | 56   | 57   |
| 합계  | 530  | 515  | 519  |

표 30. Case 3의 각 일정차이와 비율

|           | 차이(일) | 비율(%) |
|-----------|-------|-------|
| 실제일정-PERT | 15    | 97    |
| 실제일정-모의실험 | 11    | 98    |

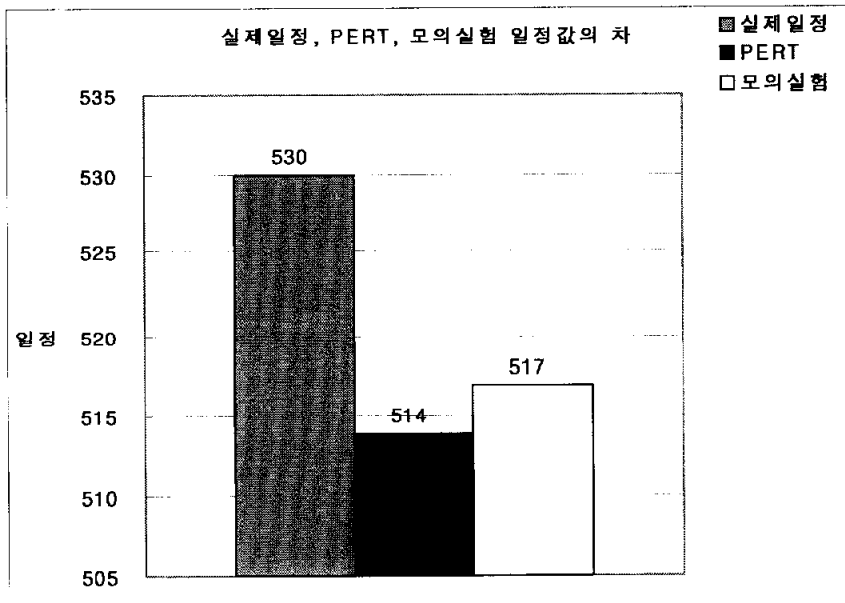


그림 18. Case 3의 각 일정값의 차

## 4.2 비용에 대한 고찰

### 1) Case 1

Case 1의 비용에 대한 결과는 다음의 표 31, 표 32로 확인할 수 있다. 표에서 볼 수 있듯이 모의실험결과 산정된 비용은 8,734,112,447원이며, 실제로 투입된 비용은 10,014,834,065원으로서 1,280,721,618원 더 투입이 되었으며, 실제 달성 비용을 100%로 보았을 때 그 비율은 87%나타나고 있다. 또한 PERT는 8,728,370,200원으로 그 차이는 1,286,463,865원 더 투입이 되었으며 그 비율은 87%로 나타났다. 본 공사에서는 신뢰도를 95%로 보았을 때 모의실험이나 PERT는 10%이상 더 투입이 되어서 PERT와 모의실험에 의한 비용이 실제 비용보다 부족하게 산정되어 있음을 알 수 있다.

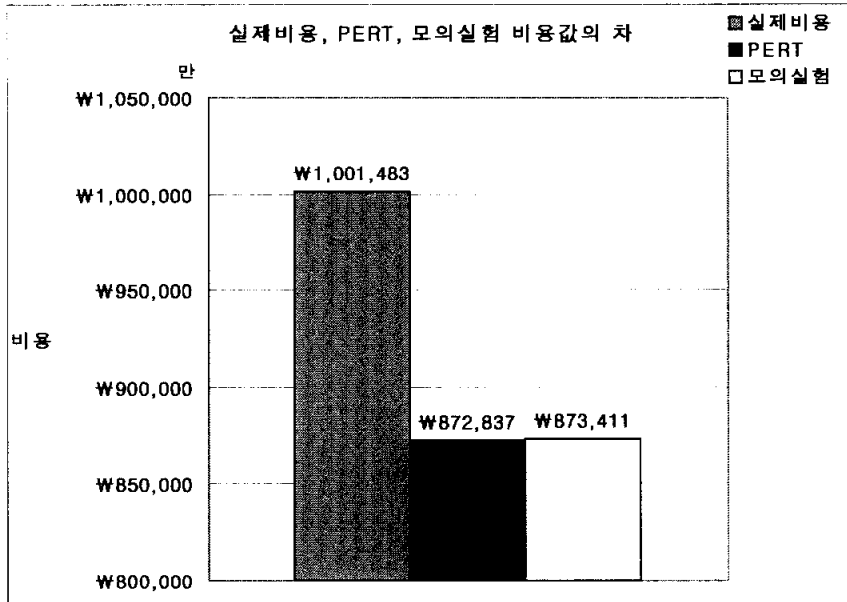
표 31. Case 1의 각 비용에 대한 비교

(단위 : 원)

|       | 실제비용           | PERT          | 모의실험          |
|-------|----------------|---------------|---------------|
| 접속도로공 | 142,391,096    | 166,398,833   | 169,322,360   |
| 교량공   | 4,104,385,735  | 4,140,104,333 | 4,126,198,778 |
| 가설교량공 | 565,708,548    | 434,717,033   | 433,321,053   |
| 부대공   | 5,202,348,686  | 3,987,150,000 | 4,005,270,256 |
| 합계    | 10,014,834,065 | 8,728,370,200 | 8,734,112,447 |

표 32. Case 1의 각 비용차이와 비율

|           | 차이(원)         | 비율(%) |
|-----------|---------------|-------|
| 실제비용-PERT | 1,286,463,865 | 87    |
| 실제비용-모의실험 | 1,280,721,618 | 87    |



**그림 19. Case 1의 각 비용의 차**

## 2) Case 2

Case 2에 대한 결과는 다음의 표 33과 표 34에 나타나 있다. 모의시행을 수행하여 얻은 비용은 17,552,153,349원이고, 실제로 투입된 비용은 18,257,779,200원으로 약 705,625,857원 더 투입이 되었으며 그 비율은 실제비용을 100%로 하였을 때 96%이었다. 또한 PERT로 구한 비용은 17,185,447,998원으로 실제비용과의 차이는 1,072,331,202원으로 나타났으며 94%를 나타내었다. 본 공사에서는 모의실험으로 구한 값은 신뢰도를 95%를 만족하였으나 PERT로 구한 비용은 신뢰수준 95%를 만족하지 못하였다. 그러므로 모의실험을 통해 구한 값이 PERT로 구한 것보다 실제에 좀 더 가깝게 나타났으므로 모의실험이 좀 더 실제 비용에 가깝다고 할 수 있다.

표 33. Case 2의 각 비용에 대한 비교

(단위 : 원)

|        | 실제비용           | PERT           | 모의실험           |
|--------|----------------|----------------|----------------|
| 토공     | 879,189,000    | 863,933,718    | 867,189,270    |
| 교량공    | 15,746,250,000 | 15,013,619,106 | 15,142,096,959 |
| 도로구조물공 | 75,869,000     | 74,919,520     | 75,209,673     |
| 배수공    | 56,925,000     | 53,708,287     | 54,174,163     |
| 포장공    | 234,651,000    | 260,421,678    | 265,540,623    |
| 부대공    | 1,264,895,200  | 918,845,689    | 1,147,942,661  |
| 합계     | 18,257,779,200 | 17,185,447,998 | 17,552,153,349 |

표 34. Case 2의 각 비용의 차이와 비율

|           | 차이(원)         | 비율(%) |
|-----------|---------------|-------|
| 실제비용-PERT | 1,072,331,202 | 94    |
| 실제비용-모의실험 | 705,625,851   | 96    |

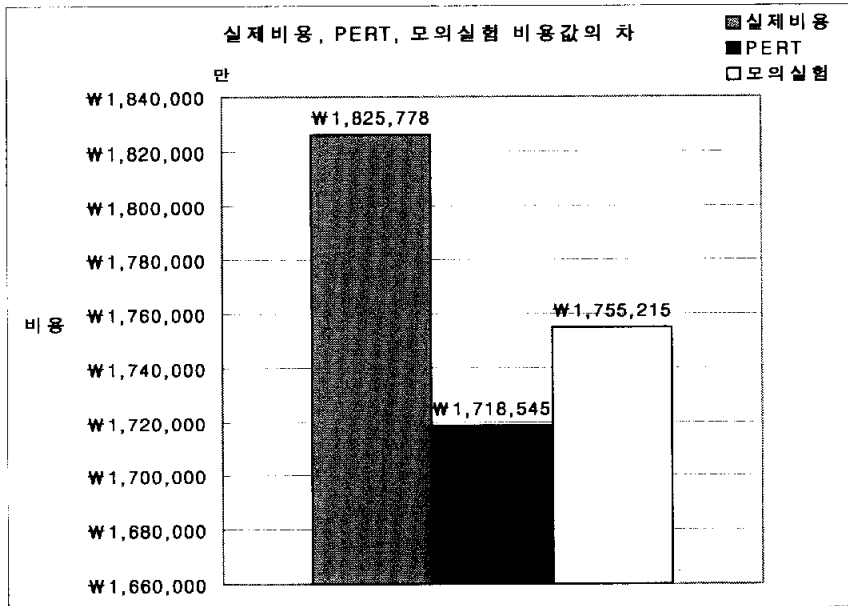


그림 20. Case 2의 각 비용의 차

### 3) Case 3

Case 3에 대한 결과는 다음 표 35와 표 36에서 알 수 있다. 모의실험을 수행한 결과 총 비용은 4,618,957,427원으로 나타났으며 실제 비용은 4,763,399,500원으로 그 차이는 144,442,073원이었다. 그리고 비율은 97%였다. 또한 PERT로 얻어진 비용은 4,616,537,817원으로 실제 투입된 비용과는 146,861,683원의 차이가 발생하였고, 그 비율은 97%였다. 본 공사 또한 신뢰도 95%에서 PERT나 모의실험 둘 다 실제비용과 가깝게 추정이 되었지만 모의실험이 조금 더 나은 결과를 얻을 수 있었다.

표 35. Case 3의 각 비용에 대한 비교

(단위 : 원)

|     | 실제비용          | PERT          | 모의실험          |
|-----|---------------|---------------|---------------|
| 토공  | 87,098,500    | 81,475,167    | 81,299,417    |
| 교량공 | 3,606,984,000 | 3,504,766,050 | 3,501,620,405 |
| 배수공 | 35,648,000    | 37,651,383    | 37,794,897    |
| 포장공 | 74,965,000    | 76,741,217    | 76,562,285    |
| 부대공 | 958,704,000   | 915,904,000   | 921,680,423   |
| 합계  | 4,763,399,500 | 4,616,537,817 | 4,618,957,427 |

표 36. 모의실험의 비용의 차이와 비율

|           | 차이(원)       | 비율(%) |
|-----------|-------------|-------|
| 실제비용-PERT | 146,861,683 | 97    |
| 실제비용-모의실험 | 144,442,073 | 97    |

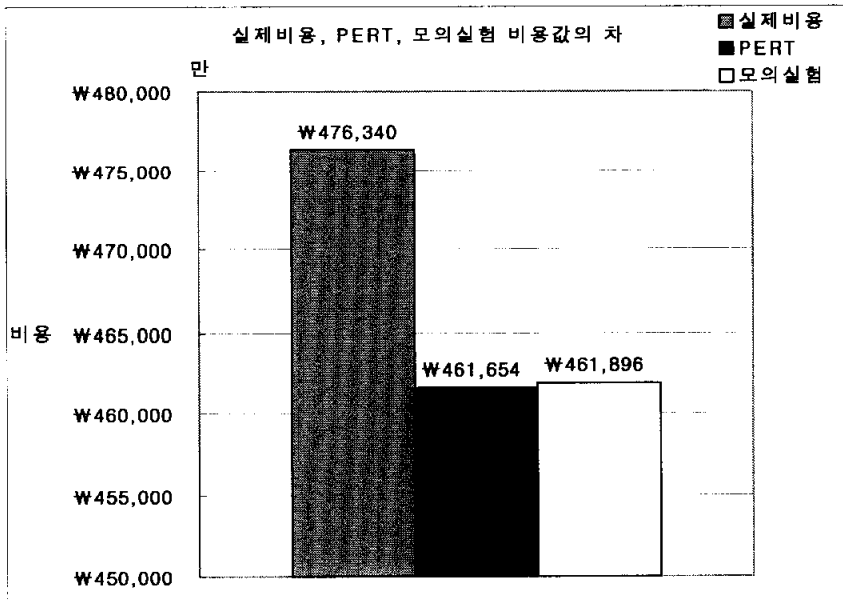


그림 21. Case 3의 각 비용의 차

## 5. 결 론

산정방법에 따른 일정·비용의 사례 분석을 위하여 Monte Carlo 모의 실험과 PERT기법을 수행하고 그 결과값을 실제로 소요된 일정 및 비용과 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 3가지 경우의 공사에 대한 모의실험, PERT를 실제 일정과 비교한 결과 신뢰도 95% 수준에서 모의실험에 의해 산정된 값은 평균 98%, PERT에 의해 산정된 값은 평균 97%로 나타났다. 그러므로 실제 일정이 모의실험이나 PERT에 계산된 값보다 3~5%정도 초과되었다.
2. 3가지 경우의 공사에 대한 모의실험, PERT를 실제 비용과 비교한 결과 신뢰도 95% 수준에서 모의실험에 의해 계산된 값은 평균 94%, PERT에 의해 계산된 값은 평균 92%로 나타났다. 그러므로 실제 비용이 모의실험이나 PERT로 계산된 값보다 6~8%정도 높게 나타났다.
3. 실제일정을 PERT와 모의실험으로 비교한 결과 본 세 가지 공사에서는 모의실험을 사용하여 일정과 비용을 산정하는 것이 PERT보다는 실제일정과 비용을 더 가깝게 나타내었다.

일정과 비용은 공사를 달성하는데 가장 중요한 인자들이다. 그러나 축적되어 있는 자료들이 부족하고 일정과 비용이 서로 어떤 상관관계를 가지고 있는지에 대한 연구가 이루어지지 않았다. 또한 소프트웨어의 제한성으로 세부적인 사항까지 설정하는 데는 문제가 있었다. 따라서 일정과 비용의 상관관계를 고려하고 좀 더 신뢰성 있는 자료들을 사용한다면 보다 좋은 결과들이 얻어질 것이다.

## 참 고 문 헌

1. 한국건설산업연구원, “건설관리 및 경영”, 보성각, 2000
2. 김인호, “건설사업의 리스크 관리”, 기문당, 2001
3. 과학기술부, “프로젝트 위험관리 실무”, 2001
4. 한국건설관리학회, “건설관리의 개념과 실제”, 한국 맥그로힐, 2000
5. 이진휘, “터널공사에서 EVMS를 이용한 패턴별 리스크 영향도 분석”  
부경대학교 대학원 석사학위논문, 2003
6. 김민구, “몬테카를로 시뮬레이션과 선형계획법을 이용한 최적의 일정  
및 비용 산정방법”, 부경대학교 대학원 석사학위논문, 2003
7. 최동찬, “건설 리스크 사건의 분석 및 평가를 위한 폴트 트리 적용 방  
안”, 중앙대학교 대학원 석사학위논문, 2001 p8~9
8. 강인석 외, “건설공사 리스크 분석·관리 시스템 모형 구성방안 연구  
”, 대한토목학회 학술발표회, 2000
9. 강인석 외, “건설공사 공정관리이행의 감소를 위한 개선방안”, 한국  
건설관리학회 논문집, 2000
10. 강인석 외, “건설공사의 일정계획수립을 위한 리스크관리기법에 관한  
연구”, 대한토목학회 학술발표회, 1998 p201~204
11. 전천운, “개량의사결정론”, 학문사, 1995
12. Stephen Grey, “Practical Risk Assessment for Project Management  
”, JOHN WILEY & SONS, 1995
13. R. MAX Wideman, “Project and Program Risk Management”,  
PMI, 1992
14. Barry Render · Ralph M. Stair Jr. · Michael E. Hanna, “  
Quantitative Analysis for Management - Eighth Edition”, Prentice  
Hall, 2003

15. David T. Hulett, "Schedule Risk Analysis Using Risk+ - Advanced Project Schedule Risk Analysis" , Hulett & Associates, 2003
16. David T. Hulett, "Project Cost Risk Analysis Using Crystal Ball" , Hulett & Associates, 2000
17. David T. Hulett, "Will YOUR Project Overrun? - Do a Cost Risk Analysis" , Hulett & Associates, 2000
18. John P. Kindinger · John L. Darby, "Risk Factor Analysis - A New Qualitative Risk Management Tool" , PMI Annual Seminars & Symposium, 2000
19. Daji Gong, "Optimization of Float Use in Risk Analysis-Based Network Scheduling" , International Journal of Project Management, 1997
20. Donald L. Keefer and Samuel E. Bodily, "Tree-Point Approximation for Continuous Random Variables" , Management Science, Vol29, 1983
21. David R. Graham, "Cost Risk and CAIV" , SCEA CAIV Conference, 1998
22. W. Edward Back, Walter W. Boles, and Gary T. Fry, "Defining Triangular Probability Distributions From Historical Cost Data" , Journal of Construction Engineering and Management, 2000
23. Cristiano Maio, Cliff Schexnayder, Kraig Knutson and Sandra Weber, "Probability Distribution Function for Construction Simulation" , ASCE, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 126, 2000

# A Comparative Study of Schedule and Cost According to Calculation Method

Jeong-Hyun, Park

*Interdisciplinary Program of Construction Engineering and Management  
Graduate School Pukyong National University*

## **Abstract**

Schedule and costs are the most important factors for success of any construction works. Correct estimation and forecasting of these factors can save considerable amount time and cost..

This thesis is based on a bridge construction work. Data for schedule and cost of the work was collected and analyzed by comparing with Monte Carlo simulation and PERT techniques.

From the analysis, it is found that schedule calculated by Monte Carlo Simulation and PERT techniques saved 3~5% than field value, and accordingly, construction cost found to be lowered 6~8% than field cost.

The research shows that it can be useful to calculate more correct schedule and cost in the beginning of construction by using the Monte Carlo simulation and PERT techniques.

## 감사의 글

입학한 지가 엇그제 같은데 벌써 2년이라는 세월이 흘러 졸업을 앞두고 또 다른 출발점에 서 있게 되었습니다. 좁고 협소한 연구실이란 곳에서 교수님들과 선배님들과 함께 생활한 나날들이 주마등처럼 지나가고 있습니다. 뒤돌아보면 힘들었던 시간도 있었고 아무런 감정없이 허무하게 보냈던 시간도 많았지만 즐겁고 알차게 보낸 시간이 더 많았습니다. 그래서 그 시간들은 저에게 또 다른 양분이 되어 저를 지금까지 서 있게 하는 것 같습니다.

언제나 저를 향해 따뜻한 말씀을 늘 놓지 않으시던 저의 이영대 교수님. 언제나 부족한 모습만 보여드리고 마지막에 큰 잘못을 안겨드렸지만 당신의 제자에게 잘못을 꾸짖으시기 보다는 위로의 말씀들을 던져주시던 그 모습을 언제나 간직하여 마음의 표상으로 삼겠습니다. 그리고 저의 교수님의 영원한 파트너이시자 곧은 모습으로 소나무와 같은 푸르름을 보여주시는 이종출 교수님께도 머리 숙여 감사드립니다. 또한 저의 주임교수님이신 김수용 교수님. 항상 웃으시며 반갑게 맞아주시던 모습도 잊혀지지 않을 것입니다. 그리고 논문심사 때 수고했다는 한 말씀과 함께 여러 좋은 말씀을 많이 해 주신 이수용 교수님께도 감사의 말씀을 올립니다.

그리고 저희 과에서 같이 만학의 꿈을 버리지 않고 함께 수학을 해 오신 모든 분들께도 언제나 감사드립니다.

또한 2년간 연구실에서 생활하면서 잘 적응할 수 있도록 도와주고 저를 늘 걱정해 주신 병욱이 형, 풍부한 지식으로 항상 공부하는 자세를 가르쳐 준 영이 형, 그리고 길지 않은 시간이었지만 항상 말과 행동의 일치됨에 대해서 몸소 가르쳐 주고 다양한 조언을 아끼지 않았던 용현이 형과 후배 용득 그리고 마지막 결정적인 순간에 영문요지를 도와준 멀리 네팔에서 온 Nirmal 에게도 고마움을 느낍니다. 그리고 옆방인 측량연구실에서 함께 2년간을 같이 한 상민이 형과 신이 형, 동주선배님, 태호선배님, 호식선배님, 진수선배님께도 감사하다는 말씀을 올립니다.

다. 또한 우리와는 끝과 끝에서 오고가던 재환이형과 얼마 후에 결혼하는 도형이 형에게도 감사드립니다.

그리고 저에게 친형보다 더 소중한 사람들인 튼나무 식구 여러분. 장부형, 민호형, 웅규형, 용길이형, 세청이형. 형들이 없었으면 저는 여기까지 올 수 없었을 겁니다. 항상 동생 걱정하시고 언제나 파끔한 충고를 아끼지 않으시던 형들. 기쁜 일들은 항상 나누고 슬픈 일은 모두가 머리를 맞대고 함께 고민해주던 사람들이 있어 늘 즐겁게 웃으며 살수 있었습니다. 세상에 늘 감사하며 살거구요, 앞으로도 우리 튼나무의 의미처럼 언제나 돈독하게 함께 했으면 좋겠습니다.

지금은 멀리 떨어져 있지만 늘 제 마음속에 한 구석을 차지하고 있는 사람과 지금은 직장에 나가서 열심히 일하고 있는 나의 영원한 벗인 우영이, 학업에 열중하고 있을 우준이, 직장 잡으려고 매뚜기처럼 한창 뛰어다니고 있을 영훈이에게도 고마움을 전합니다.

언제나 저를 최고로 아는 하나밖에 없는 나의 소중한 동생인 원진이와 자식에 대한 걱정으로 잠 못 이루시는 저의 든든한 버팀목이자 큰 하늘이신 부모님. 어려서부터 지금까지 뒷바라지 하신다고 모든 청춘을 다 바치신 부모님께서는 세상에 있는 모든 언어로 표현을 하더라도 모자랄 정도로 희생을 하셨습니다. 그런 부모님께 부끄럽지 않는 아들이 되도록 최선을 다할 것이며 이 세상 누구보다도 사랑한다는 말을 전하고 싶습니다.

부족한 논문을 저의 부모님께 바치며 늘 행복하시기를 기원합니다.

2004년 1월 박 정 현 올림