

몬테카를로 시뮬레이션과 선형계획법을 이용한 최적의 일정 및 비용 산정방법

A method of Calculating Optimal Duration and Cost Using Monte Carlo Simulation and Linear Programming

김 용 득* 이 영 대**
Kim, Yong-Deuk Lee, Young-Dae

요 약

프로젝트의 계획단계에서 명확한 업무의 정의와 업무간의 상관관계, 자원계획 및 일정계획이 수행되지 않으면, 공사의 진행 시에 많은 변경과 일정·비용 상의 문제를 가져올 수 있다. 그래서 본 연구에서는 사례연구를 중심으로 프로젝트 계획단계에서 최적의 소요공기 산정을 위해서 몬테카를로 시뮬레이션과 선형계획법을 적용한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

몬테카를로 시뮬레이션을 사용함으로써 각각의 활동이 독립적이고, 프로젝트 소요시간에 대해서 정규분포를 따른다는 가정의 제약조건을 해소함으로써 보다 신뢰할 만한 일정 추정이 가능하였으며, 주 경로와 주 경로에 근접한 경로에 신뢰할 만한 일정편차를 계산할 수 있었다. 또한, 선형계획법을 통해서 최적의 소요비용 산정이 가능하였으며, 프로젝트 목표소요공기의 변동에 따른 최적의 목표공기를 산정할 수 있었다.

키워드: 몬테카를로 시뮬레이션, 선형계획법, 민감도 분석, 공정계획, PERT 기법

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

프로젝트의 계획단계에서 명확한 업무의 정의와 업무간의 상관관계, 자원계획 및 일정계획이 수행되지 않으면, 공사의 진행 시에 많은 변경과 일정·비용 상의 문제를 가져올 수 있다. 그러나 건설공사에서는 여러 가지 제약에 의해서 프로젝트의 계획단계에 많은 노력을 기울이지 못하고 있으며, 프로젝트 생애주기(Life Cycle) 전반에 대한 정확한 수행체계가 정립되어 있지 못한 상황에 있다.

프로젝트의 최종 목표는 주어진 소요공기 및 예산 내에서 프로젝트 최종 목적물을 인도하는 것이며, 계획단계에서는 정확한 소요공기 및 소요비용을 산정 하는 것이 무엇보다 중요하다. 국내의 건설공사에서 CPM(Critical Path Method)을 이용해서 공정계획을 수행하고 있으나, 많은 건설공사에서 전체공사에 대한 세부적인 측정 및 관리가 수행되지 못하고 있는 실정이다.

그래서 본 연구에서는 사례연구를 중심으로 프로젝트 계획단계에서 최적의 소요공기 산정을 위해서 확률적 소요공기 산정방식인 PERT기법을 도입하고, 확률적 오차를 줄이

기 위해 몬테카를로 시뮬레이션방식을 적용하고자 한다. 또한 최적의 소요비용을 산정하기 위해서 최대·최소문제를 해결하는 의사결정방식인 선형계획법을 적용하는 방안에 대해서 연구하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 절차

프로젝트 계획단계에서 정확한 소요공기 및 비용을 산정하기 위해서는 유사 프로젝트에 대한 신뢰할 만한 축적된 기본 자료가 있어야 하며, 모든 프로젝트 이해당사자들이 동의할 수 있는 신뢰할 만한 산정방식을 사용해야 한다. 그래서 주관적이고, 경험적인 판단에 기초한 소요공기 및 비용의 산정방식 보다는 논리적이고 체계적인 정량적 분석기술에 의해서 산정 되어야 한다.

본 연구에서는 프로젝트 계획단계에서 확률적인 소요공기 산정방식인 PERT기법을 이용해서 예상소요공기를 산정하고, 확률상의 오차를 해소하기 위해서 난수를 발생시켜 반복적 계산을 수행하는 몬테카를로 시뮬레이션을 적용하고자 한다. 또한 각 활동별 단축가능일수를 파악하여, 최소의 소요비용으로 전체 프로젝트 소요공기를 단축하기 위해서 최대, 최소의 문제를 해결하는 선형계획법을 적용하고자 한다. 마지막으로 소요공기 및 비용 상의 변동을 가져올 수 있는 중요한 변수인자를 식별하여, 민감도 분석을 수행하는 것을 연구의 범위로 정한다.

* 학생회원, 부경대학교 대학원 토목공학과, 석사과정

** 종신회원, 부경대학교 건설공학부 교수, 농공학박사

2. 이론적 연구

2.1 몬테카를로 시뮬레이션의 적용

2.1.1 시뮬레이션의 개념

시뮬레이션이란 실제로 한 시스템이 구축되기 전에 축소된 물리적인 모형이나, 수학적인 모델, 또는 시스템을 묘사하는 다양한 모델을 구축하고, 이를 통해 다양한 환경(시스템의 효율성에 영향을 미치는 매개 변수들) 아래에서 시스템의 거동을 실험함으로써 그 시스템의 거동을 사전에 예측하거나, 다양한 목적(시간, 비용의 효율성, 위험분석 등)을 만족시키는 시스템을 설계하기 위한 도구이다. 따라서 시뮬레이션은 실제 건설사업을 수행하기 이전에 다양한 조건하에서 컴퓨터 상에 수행해 봄으로써, 건설사업의 수행에 있어서 많은 문제점을 사전에 예측하고 분석하며, 시간과 비용측면에서 최적의 계획을 가능케 하는 사업관리에 있어서의 중요한 도구를 제공한다.

2.1.2 몬테카를로 시뮬레이션의 개념

몬테카를로 시뮬레이션이란 불확실한 상황에서의 의사결정을 목적으로 확률적 시스템(probabilistic system)의 모의 실험에 이용되는 절차를 말한다. 몬테카를로 시뮬레이션의 핵심은 모델의 확률요소들에 대한 실험인데 이는 확률적 또는 우연결과(chance outcomes)를 발생시켜 주는 도구를 이용하여 수행된다. 이 도구는 모델에서 가정한 확률분포에 따라 랜덤 샘플링(random sampling)에 의해서 우연결과를 발생시켜 주는 데 이용된다. 따라서 몬테카를로 시뮬레이션을 모의적 샘플링 기법(simulated sampling technique)이라고 한다.

우연결과 또는 확률적 결과를 발생시켜 주는 데 이용되는 도구로는 주사위나 룰렛바퀴(roulette wheel) 등이 있으며, 가장 일반적으로 쓰이는 것은 난수(random number)나 컴퓨터에 의해 발생하는 의사난수(pseudo-random number) 등이 있다.

2.1.3 몬테카를로 시뮬레이션의 수행절차

시스템 내에서 확률변동을 하는 요소들을 포함하면 몬테카를로 시뮬레이션 기법이 적용가능하다. 몬테카를로 시뮬레이션의 핵심은 모델 내 확률요소의 랜덤 샘플링(random sampling)을 통한 실험이라고 했듯이 주된 관심은 바로 이 모델의 시행에 있으며, 몬테카를로 시뮬레이션의 시행을 위한 단계적 절차는 그림 1과 같다.

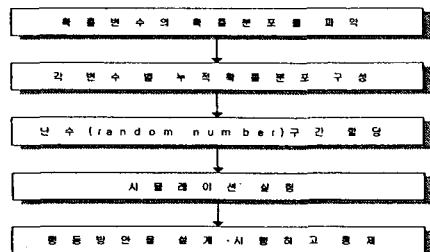


그림 1. 몬테카를로 시뮬레이션의 수행절차

2.1.4 몬테카를로 시뮬레이션의 적용

몬테카를로(Monte Carlo) 시뮬레이션은 주 경로와 주 경로가 될 가능성이 있는 경로의 영향을 고려하는 방식이다. 각각의 활동시간 추정값은 확률분포로부터 무작위로 선택되어진다. 그리고 주 경로는 이러한 시간을 통해서 계산된다. 이러한 절차가 프로젝트 전체소요공기의 분포를 생성하기 위해서 수 천번 반복되는 방식이다. 이러한 방식은 이전의 PERT 확률분석에 비해서 더욱 현실적인 프로젝트 소요시간과 표준편차를 산정할 수 있다. 또한 다른 경로가 주 경로가 될 확률 또한 계산할 수 있다.

이러한 방식은 기존의 PERT의 확률분석에서 각각의 활동은 독립적이고, 프로젝트 소요시간에 대해서 정규분포를 따른다는 가정의 제약조건을 피할 수 있다.

그림 2는 몬테카를로 시뮬레이션에 의한 프로젝트 완료시간을 추정한 것이다.

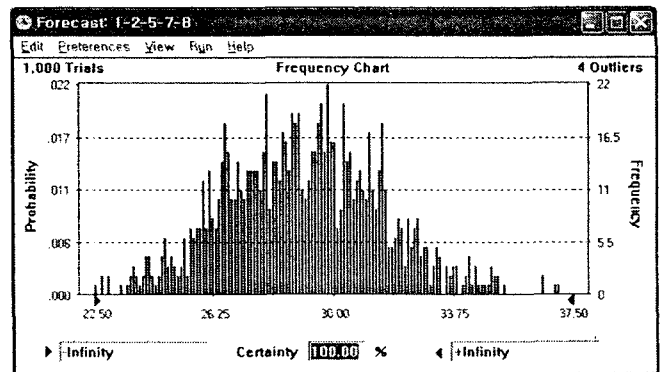


그림 2. 몬테카를로 시뮬레이션에 의한 프로젝트 소요공기의 추정

2.2 선형계획법(Linear Programming Models)의 적용

2.2.1 선형계획법의 개념

많은 관리자들은 조직의 자원을 가장 효과적으로 사용하려고 노력하며, 자원은 일반적으로 장비, 인부, 자금, 시간, 저장 공간, 원자재 등을 포함하며, 이러한 자원은 제품이나 서비스를 제공하는데 사용된다. 선형계획법은 프로젝트 관리자가 최적의 자원할당 및 비용추정과 관련하여 계획하고, 의사결정을 수행할 때 사용되는 수치적 모델링 기술이다.

선형계획법은 모든 선형제약조건을 동시에 만족시키면서 선형 목적함수(objective function)를 최대(maximization) 또는 최소(minimization)화하는 결정변수(decision variables)들의 값을 찾아내는 방식이다. 이렇게 찾아진 결정변수의 값을 최적해(optimal solution)라고 한다.

2.2.2 민감도 분석(Sensitivity Analysis)

선형계획문제의 최적 해는 고정된 기술, 가격, 자원수준 등 모델의 매개변수가 일정함을 전제한다. 이러한 가정은 확실성, 정태적 조건, 완전한 지식을 의미한다. 그러나 이러한 매개변수들은 실제로 예측치이기 때문에 시간이 흐름에 따라 변경할 수 있고 따라서 모델을 작성할 때와 상이할 수가 있다.

따라서 최적해가 모델의 데이터 및 매개변수의 변화에 어느 정도 민감한가를 결정할 필요가 있다. 민감도분석이란 모델의 여러 가지 계수가 변할 때 최적해와 목적함수의 값이 어떻게 영향을 받는지를 연구하는 분야이다. 민감도분석은 최적해가 구해진 이후에 시작하므로 사후분석(post-optimality analysis)이라고 한다. 최적 해에 영향을 미치는 변화는 다음 다섯 가지로 구분할 수 있다.

- 목적함수 계수의 변화
- 가용자원 또는 생산요구량 수준의 변화
- 기술계수의 변화
- 새로운 제약조건식의 추가
- 새로운 변수의 추가

(1) 목적함수 계수의 변동

현실적인 문제에서는 목적함수상의 이익이나 비용의 분배비율은 기간에 따라 변동하게 된다. 이것은 그래프상에 제약조건식에 의해서 형성되는 유효영역은 정확하게 변동이 없이 같을 지라도, 비용선(cost line) 및 수익선(profit line)의 경사가 변동하게 된다. 그림 3은 이익의 분배비율의 변동에 따른 수익선의 변동을 나타내고 있다.

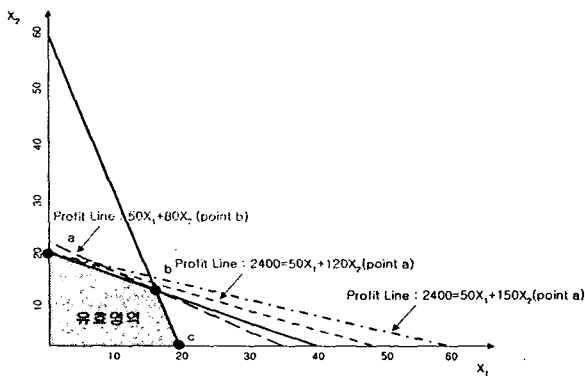


그림 3. 목적함수 계수의 변동에 따른 민감도

(2) 기술계수의 변동(Change in the Technological Coefficients)

기술계수의 변동은 기술적 상황의 변동을 반영한 것이다. 만일 필요한 자원이 많아지거나 작아진다면, 제약조건 방정식 상의 계수가 변동이 발생하게 된다. 이러한 변동은 목적함수에는 아무런 영향을 주지 못하지만, 제약조건식의 변동에 의해서 유효영역의 모양이 변동하게 되고, 그에 따라 최적의 수익과 비용도 변동하게 된다.

(3) 자원 및 우항(RHS:Right Hand Side)의 변동

선형계획법의 제약조건식에서 우변에 있는 값들은 회사가 이용할 수 있는 자원을 나타내는 것으로 생각할 수 있으며, 이러한 자원은 이용할 수 있는 노동시간 또는 장비의 소요시간 및 생산 원자재 와 비용으로 나타낼 수 있다. 동적인 시장조건 하에서는 이러한 자원상의 변동에 따른 민감도를 파악하는 것을 아주 중요하다.

2.2.4 네트워크 상에 선형계획법의 적용

선형계획법은 비용이나 수익에 대한 최소값 및 최대값을 구하는 경우에 자주 사용되는 의사결정기법으로 건설 프로젝트의 영역에도 적용이 가능하다. 프로젝트 계획단계에서 업무의 범위를 정의하고, 각각의 활동에 대한 소요공기와 소요비용을 추정한다면, 최적의 소요공기를 추정하기 위해서 소요비용의 최소화문제를 선형계획법으로 적용이 가능하다.

프로젝트 계획단계에서 소요비용의 최소화문제를 해결하기 위해서 선형계획법을 적용하는 수행절차는 다음과 같다.

- (1) 프로젝트의 업무범위 및 업무관계를 정의한다.
- (2) 프로젝트의 여러 활동에 대한 소요공기 및 소요비용을 추정한다.
- (3) 프로젝트에 대한 네트워크 다이어그램을 구성한다.
- (4) 각각의 활동에 대한 단축가능일수와 공기단축에 따른 추가소용비용을 추정한다.
- (5) 최소의 소요비용으로 프로젝트 목표일정 이내에 완료할 수 있도록 선형계획법을 적용한다.

3. 사례연구

3.1 사례연구 개요

본 사례는 부산지하철 ○호선 ○○○공구 토목공사로써 본선구간공사에 대한 네트워크를 구성하고 최적의 소요공기 및 소요비용을 산정해 보고자 한다. 표 1은 본선구간에 대한 사례의 세부개요를 나타내고 있다.

표 1. 본선구간 세부개요

본선구간		
	본채구간	환기구 #3
위치	덕천R ~ 구포 배수펌프장 앞	덕천교차로 구포 성삼병원 앞
연장	L=177.0M	L=32.80M
규격	H=7.5M, B=20.0M	H=12.9M, B=24.3M
실계수량	파일박기 : 306본	파일박기 : 76본
	차 수 공 : 11,927M	차 수 공 : 3,057M
	토공굴착 : 53,584M³	토공굴착 : 17,632M³
	구조물 : 7,957M³, 1,896TON	구조물 : 3,220M³, 592TON
	되메우기 : 36,636M³	되메우기 : 12,113M³
포 장 :	39.64a	7.80a

3.2 사례분석절차

본 사례연구의 수행절차는 다음과 같다.

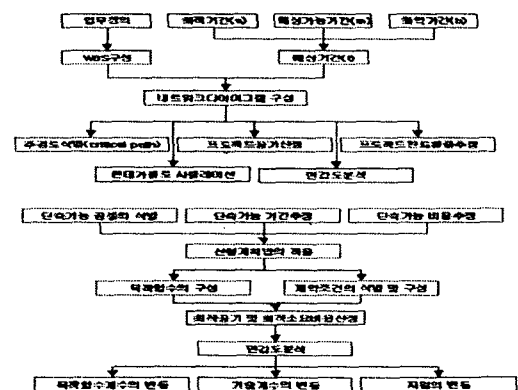


그림 4. 사례연구의 수행절차

3.3 소요공기 및 소요비용의 추정

본선구간에는 본체와 환기구#3업무로 분류되며, 하위의 18개 실행업무로 정의된다. 각각의 소요공기를 산정하기 위해서 PERT기법을 이용한 3점 견적법을 적용하였으며, 표 2는 사례공사의 예상기간(t)과 분산을 산정한 값이다.

표 2. 사례공사의 3점견적법에 의한 예상기간의 계산

WG	공종	예상기간(t)	최악기간(t)	예상기간(t)	최악기간(t)	분산
A	본선구간					
A1	본체					
A1.1	복공설치 및 차수공	334	290	334	378	215.11
A1.2	토공굴착	273	264	273	294	32.11
A1.3	본선구조물	365	365	365	394	40.11
A1.4	부대시설구조물	153	138	151	183	53.78
A1.5	바탕보설치	245	235	240	275	44.44
A1.6	가시살해체	488	472	485	515	51.36
A1.7	축벽외폐우기	457	435	456	480	56.25
A1.8	노체/노상	92	75	92	110	34.00
A1.9	포장	88	82	88	103	12.25
A1.10	빗정리	61	47	61	72	17.36
A2	환기구#3					
A2.1	복공설치 및 차수공	304	315	332	362	61.36
A2.2	토공굴착	304	297	303	315	9.00
A2.3	구조물(지하1,2,3층)	365	354	364	392	21.78
A2.4	바탕보설치	245	244	244	268	44.44
A2.5	가시살해체	335	315	335	366	44.44
A2.6	축벽외폐우기	273	251	272	298	64.00
A2.7	노체/노상	122	108	122	137	23.00
A2.8	포장	92	83	91	110	25.00

본 사례의 소요비용의 산정은 도급내역서를 통해서 산정하였으며, 프로젝트 전체 소요공기의 단축을 위해서, 각각의 활동에 일정을 단축하는데 소요되는 비용과 단축가능일수를 산정하였다. 그리고 각 활동별 일정단축에 따른 영향 정도를 나타내고 비용경사도 산정하였다.

표 3은 사례공사의 소요비용개요를 나타내고 있다.

표 3. 사례공사의 소요비용 개요

WG	공종	수량	단위비용	일정단축비용	수요공기	단축가능일수	비율경사
A	본선구간	3,507,521,031	5,736,419,831				
A1	본선구간	3,507,521,031	4,366,726,829				
A1.1	복공설치 및 차수공	1,392,457,600	1,847,046,720		334	61	7.616,215
A1.2	토공굴착	542,497,798	597,310,453		273	63	870,042
A1.3	본선구조물	1,124,584,352	1,410,238,781		365	61	4,693,842
A1.4	부대시설구조물	37,937,531	58,997,116		153	61	343,600
A1.5	바탕보설치	65,671,498	74,121,246		245	32	256,033
A1.6	가시살해체	249,744,424	295,937,442		488	123	131,851
A1.7	축벽외폐우기	40,064,161	43,355,160		457	122	28,373
A1.8	노체/노상	22,169,028	22,859,235		92	31	22,283
A1.9	포장	37,806,663	40,925,126		88	30	110,608
A1.10	빗정리	4,787,761	5,975,520		61	30	39,542
A2	환기구#3	1,156,980,600	1,388,693,022				
A2.1	복공설치 및 차수공	335,541,141	430,508,520		304	61	1,556,842
A2.2	토공굴착	228,853,635	254,686,806		304	23	890,421
A2.3	구조물(지하1,2,3층)	435,321,741	521,107,490		365	61	1,389,900
A2.4	바탕보설치	35,208,928	37,815,295		245	3	868,793
A2.5	가시살해체	89,604,500	93,009,378		335	62	55,401
A2.6	축벽외폐우기	18,485,681	18,724,940		273	31	7,969
A2.7	노체/노상	4,754,590	4,955,180		122	31	7,003
A2.8	포장	7,210,192	7,846,362		92	31	20,522

3.4 네트워크 다이어그램의 구성

프로젝트 전체의 업무범위와 소요공기 및 소요비용이 산정되었으므로, 다음 단계는 네트워크 다이어그램의 구성이다. 각각의 활동에 대한 명확한 선후행 관계를 정의하였으며, 그림 5는 사례공사의 네트워크 다이어그램을 구성한 것이다.

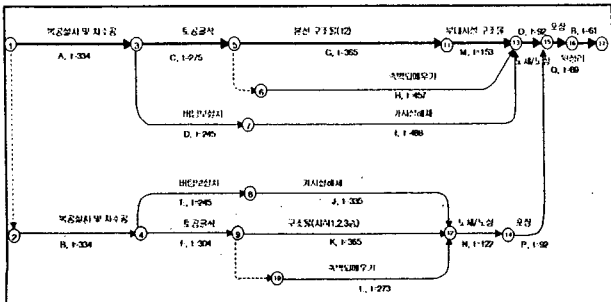


그림 5. 사례공사의 네트워크 다이어그램의 구성

3.5 주 경로 분석

사례공사의 네트워크 다이어그램 및 공정표가 구성을 통해서 프로젝트 전체소요공기와 각각의 활동 간의 선후행 관계를 명확하게 정의하였다. 다음 단계는 전체 프로젝트에 대한 주 경로를 분석하는 것이다.

그림 6은 사례공사의 주 경로를 나타낸 것으로 본체구간의 하위활동인 복공설치 및 차수공, 토공굴착, 본선구조물, 부대시설구조물, 노체/노상, 포장, 뒷정리의 활동으로 구성된다.

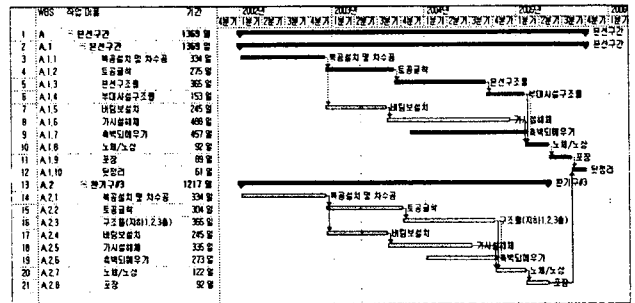


그림 6. 사례공사의 주요의 경로의 식별

3.6 기간별 소요비용의 산정

네트워크 다이어그램을 통해서 명확한 활동 간의 선후행 관계가 정의하였다면, 전체 활동에 대한 초기일정과 만기일정을 구성할 수 있으며, 각 일정에 따른 소요비용을 산정할 수 있다. 전체프로젝트 초기일정과 만기일정의 범위를 벗어나는 안되며, 범위 내에서 활동이 원활하게 수행될 수 있도록 조정되어야 할 것이다.

그림 7은 초기일정과 만기일정에 따른 누적 비용-일정곡선(S-curve)를 나타낸 것이다. 프로젝트 중반시점에서 각 일정에 따른 비용편차가 상대적으로 크게 남을 알 수 있으며, 중반시점에 여유공기(float)에 대한 효율적인 조정을 통해서 최적의 공정관리를 수행할 수 있을 것이다.

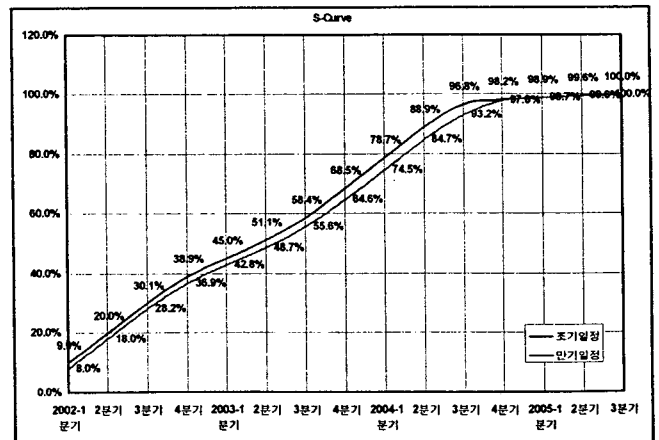


그림 7. 초기일정과 만기일정에 따른 S-Curve(기간별 소요비용 비율)

4. 고찰

4.1 몬테카를로 시뮬레이션의 적용

사례공사에 대한 네트워크의 구성으로 6가지 경로를 식별할 수 있으며, 각 경로에 대한 예상기간과 완료확률을 산정하였다. 그래서 모든 경로가 프로젝트의 주 경로상의 소요공기인 1369일 이전에 완료할 수 있는 전체 프로젝트의 완료확률은 81.59%로 나타났다. 그리고 B-F-K-N-P-Q-R 경로는 예상기간이 1367일로써 주 경로의 소요공기인 1369일 가장 근접한 경우로써, 주 경로가 될 가능성이 가장 큰 경로로 나타났다.

표 4는 여러 경로에 따른 전체 공정의 완료확률을 나타내고 있다.

표 4. 여러 경로에 따른 전체공정의 완료확률

경로	예상기간	최소기간	가장기간	최대기간	분산	평균분산	Z-value	완료확률
A-C-G-M-O-Q-R	1369	1250	1364	1535	57.82	7.60	0.00	50.00%
A-C-H-O-Q-R	1308	1193	1304	1441	61.19	37.96	1.61	94.60%
A-D-I-O-Q-R	1309	1201	1301	1453	62.43	38.12	1.57	94.23%
B-E-J-N-P-Q-R	1278	1175	1274	1407	32.60	37.51	2.43	99.24%
B-F-K-N-P-Q-R	1367	1283	1362	1481	24.30	38.48	0.05	92.07%
B-F-L-N-P-Q-R	1275	1180	1270	1396	30.33	37.39	2.51	99.40%
전체공정의 완료확률								81.59%

여러 경로에 대한 완료확률을 분석한 결과, 주 경로와 주 경로에 가장 근접한 경로에 대한 세부적인 분석이 요구된다. 표 5와 표 6은 주 경로와 주 경로에 가장 근접한 경로에 대한 예상기간과 분산을 나타내고 있다.

주 경로의 예상기간은 1369일이며, 분산은 57.82로 나타났으며, 주 경로에 가장 근접한 경로는 1367일이며, 분산은 24.30으로 나타났다.

표 5. 주경로의 예상기간 및 분산

WBS	공종	항목	예상기간 (n)	최소기간 (a)	예상기간 (m)	최대기간 (b)	분산	
A.1.1	복공설시 및 치수공	A	334	290	334	378	215.11	
A.1.2	토공굴착	C	273	264	272	298	32.11	
A.1.3	본선구조물	G	365	365	365	394	40.11	
A.1.4	부대시설구조물	M	153	136	151	180	53.78	
A.1.8	노제/노상	O	92	75	92	110	34.03	
A.1.9	포장	O	89	82	89	103	12.23	
A.1.10	덧정리	R	61	47	61	72	17.36	
합계							1369	57.82

표 6. 주경로에 가장 근접한 경로의 예상기간 및 분산

WBS	공종	항목	예상기간 (n)	최소기간 (a)	예상기간 (m)	최대기간 (b)	분산	
A.1.9	포장	O	89	82	89	103	12.23	
A.1.10	덧정리	R	61	47	61	72	17.36	
A.2.1	복공설시 및 치수공	B	334	315	332	362	61.36	
A.2.2	토공굴착	F	304	297	303	315	9.00	
A.2.3	구조물(저하1,2,3층)	K	365	354	364	382	21.78	
A.2.7	노제/노상	N	122	108	122	137	23.36	
A.2.8	포장	P	92	80	91	110	25.00	
합계							1367	24.30

주 경로와 주 경로에 가장 근접한 경로의 예상기간의 추정은 각각의 활동은 베타분포에 의해서 예상기간이 추정되고, 경로에 대한 예상기간의 추정은 정규분포에 의해서 구해진 값으로 확률적인 오차가 발생할 가능성이 크다. 그래서 예상기간에 대한 신뢰할 만한 값을 추정할 필요가 있으며, 반복적인 시행에 의해서 확률적인 오차를 줄이는 몬테카를로 시뮬레이션을 적용하였다.

그림 8은 주 경로에 가장 근접한 경로에 대한 몬테카를로 시뮬레이션의 적용결과를 나타내고 있다. 1000번의 반복

에 의해서 산출된 도수분포표이다.

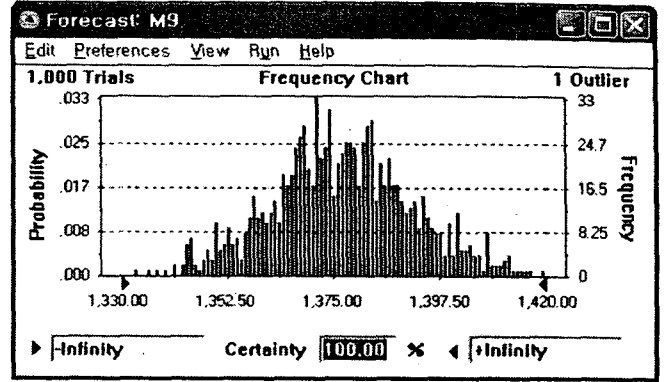


그림 8. 주 경로에 가장 근접한 경로의 몬테카를로 시뮬레이션 적용

주 경로와 주 경로에 가장 근접한 경로에 대한 완료확률을 분석한 결과, 표 7과 같이 나타났다. 3점 견적법에 의해 추정된 주경로에 대한 프로젝트 소요공기가 1369일 나타났으나, 몬테카를로 시뮬레이션을 통한 현실적 값을 추정한 결과 1385일로 나타났다. 이는 3점 견적법의 추정을 통한 전체 프로젝트 소요공기가 비교적 낙관적으로 추정되었음을 알 수 있다. 그리고 주경로와 근접경로의 차가 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 산정한 결과, 9일의 편차가 있으며 이는 3점 견적법에 의한 추정시 2일 보다 크게 벌어진 것을 알 수 있다.

표 7. 프로젝트 완료확률에 따른 프로젝트 소요공기

Percentile	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
주경로	1312	1353	1364	1372	1378	1385	1390	1397	1404	1415	1430
근접경로	1332	1357	1364	1369	1372	1376	1380	1384	1389	1396	1420

4.2 선형계획법의 적용

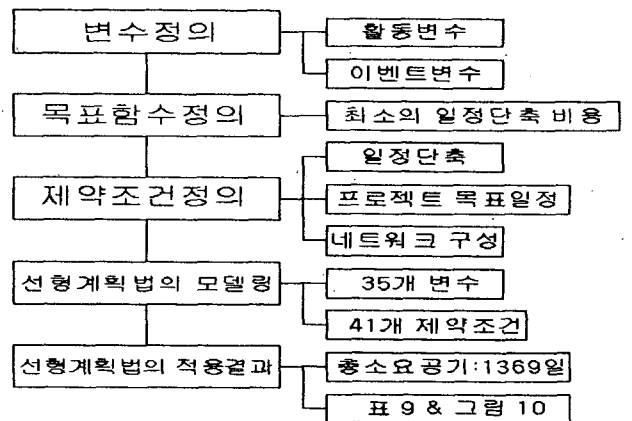


그림 9. 선형계획법의 적용

표 8. 목표공기에 따른 최소공기단축비용

목표공기(일)	1350	1300	1250	1200	1150	1100	1050
최소단축비용	1,589,044	4,445,867	17,255,374	96,035,819	232,036,932	618,632,381	664,497,666
총공사비 대비 단축비용비율	0.03%	0.10%	0.37%	2.06%	4.98%	13.27%	14.25%

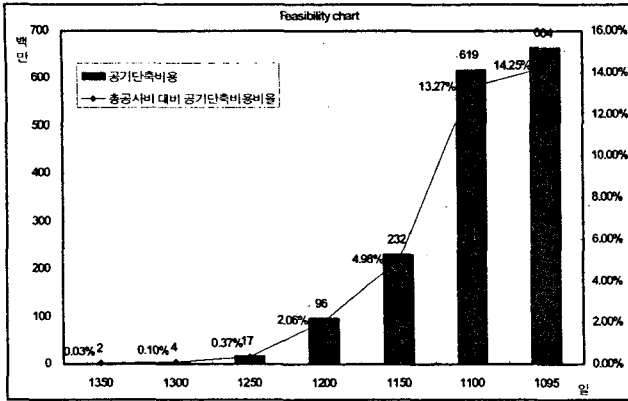


그림 10. 목표공기에 따른 최소공기단축비용

5. 결론

최적의 소요공기와 소요비용을 산정하기 위해서 몬테카를로 시뮬레이션과 선형계획법을 적용한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

몬테카를로 시뮬레이션을 사용함으로써 각각의 활동이 독립적이고, 프로젝트 소요시간에 대해서 정규분포를 따른다는 가정의 제약조건을 해소함으로써 보다 신뢰할 만한 일정을 추정이 가능하였으며, 주 경로와 주 경로에 근접한 경로에 신뢰할 만한 일정편차를 계산할 수 있었다.

선형계획법을 통해서 대규모 공사의 수백 개의 공종에 대한 변수 및 제약조건을 정의할 통해 최적의 소요비용 산정이 가능하였으며, 프로젝트 목표소요공기의 변동에 따른 총공사비 대비 단축비용의 비율을 파악하여 최적의 목표공

기를 산정할 수 있었다.

사례 프로젝트를 통해서 주 경로와 주 경로에 가장 근접한 경로에 대한 완료확률을 분석한 결과, 3점 견적법에 의해 추정된 주 경로에 대한 프로젝트 소요공기가 1369일로 나타났으며, 몬테카를로 시뮬레이션을 통한 현실적 값을 추정한 결과 1385일로 나타났다. 이는 3점 견적법의 추정을 통한 전체 프로젝트 소요공기가 비교적 낙관적으로 추정되었음을 알 수 있다. 그리고 주 경로와 근접경로의 차이를 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 산정한 결과, 9일의 편차가 있으며 이는 3점 견적법에 의한 추정시 2일보다 크게 벌어진 것을 알 수 있다.

목표공기의 변동에 따른 최소공기단축비용을 분석한 결과, 기존 프로젝트 목표공기(1369일)에 대비하여 1200일로 단축할 경우, 단축에 따른 소요비용은 9600만원으로 나타났으며, 전체 공사비대비 2.06%로 나타났다.

참고문헌

1. 박광태, 김민철, "의사결정" 박영사, 1999
2. 한국건설산업연구원, "건설관리 및 경영", 보성각, 2000
3. 김문한, "건설경영공학", 기문당, 2003
4. Kim, Kyong J. and Gibson, G. E. "A New Approach to Simulation of Heavy Construction Operations." 14th ISARC, Pittsburgh, 1997
5. Law, A.M. and Kelton, W.D, Simulation Modeling and Analysis, Second Edition. Mcgraw Hill, Inc., New York, 1991

Abstract

In can occur to many problems on progressing step without close scope definition, interrelation definition between activities, resource plan, and schedule plan on planning step. But it have not closely defined performance system on planning step because of many constraints of domestic construction industry. Therefore this paper intends to discuss a method of calculating optimal cost and duration using Linear Programming that solves maximizing or minimizing problems among decision making methodology and Monte Carlo Simulation that decreases to probability errors. With outcoms applying Linear Programming and Monte Carlo Simulation for calculating optimal cost and duration, follow as :

With outcomes applying Monte Carlo Simulation, it could calculate reliable estimator about project duration through removing various constraints.

With outcomes applying Linear Programming, it could calculate optimal value about project cost through defining various variables and constraints on many activities.

Keywords : Monte Carlo simulation, Linear programming, Sensitivity analysis, Time scheduling, PERT method