

대규모 시스템의 모사와 관리를 위한 PERT네트워크 완료일자 추정기법에 관한 고찰

An Investigation of Project Completion Time Estimation Method in PERT Network for Planning and Management in Large-Scale Systems

이제명*, 이호재, 박미정, 이정재 (서울대학교)

Jae-Myung Lee*, Ho-Jae Yi, Mee-Jeong Park, Jeong-Jae Lee (Seoul National University)

Abstract

Propriety of PERT network for planning and management in large-scale systems was investigated. We also review the example of small and middle size system to compare the appropriateness of PERT analysis method. For comparing the appropriateness of PERT analysis method the calculation time, and the variances were estimated. Eventually, we proposed the criteria of PERT analysis method for planning and management large-scale systems.

Keywords: Large-Scale System, PERT, Planning and Management

I. 서론

본 연구에서는 대규모 시스템을 PERT 네트워크로 모사하여 분석해봄으로써, 대규모 시스템을 계획하고 유지·관리하기 위한 PERT 분석기법들의 적용가능성을 살펴보았다. 신공항건설이나 원자로공사와 같이, 새롭고 복잡하며 대규모로 이루어지는 프로젝트의 경우 과거의 반복적인 경험이 없어 프로젝트 완료일자를 추정하기가 어렵다. 프로젝트의 완료일자를 추정하기가 어려워 프로젝트의 성공여부가 불확실할 경우 발주자 입장에서는 프로젝트를 추진하기 어렵게 되며 시행자 입장에서는 정해진 기일 내에 마무리되도록 프로젝트를 설계하고 관리하기가 어려워진다. PERT(Program Evaluation and Review Technique)는 이러한 문제점을 해결하고 대규모 프로젝트의 완료일자를 추정하고자 미 해군에서 연구·개발한 공정관리 기법이다. PERT는 프로젝트가 완료기일 내에 끝날 수 있도록 전체 공정 네트워크를 설계·관리하는 기법으로, PERT를 이용하면 변화된 상황을 반영하여 정해진 기일 내에 프로젝트가 완성될 수 있도록 전체 공정을 재조정하는 등 프로젝트의 관리가 용이해지며, PERT에 CPM(Critical Path Method)을 도입하여 전체 공정기일에 영향을 주는 요소를 집중적으로 관리할 수 있다.

초기의 PERT 네트워크가 현실의 불확실한 상황을 고려하지 못하는 단점을 보완하기 위한 PERT 네트워크 분석방법으로 유전적 알고리즘, PCI와 ACI 등의 개념을 도입하거나 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하여 발생 가능한 상황을 충분히 고려하는 등 여러 기법들이 제안되었다. 그러나 이들 방법은 계산방법이 복잡하거나 계산량이 많아, 적용할 수 있는 프로젝트 규모에 한계가 있다. 유전적 알고리즘의 경우 프로젝트의 규모에 제곱으로 계산량이 증가함을 Chan 등[2]의 연구에서 밝힌 바 있으며, Hegazy and Petzold[10]는 유전적 알고리즘을 이용한 분석은 PERT 활동(Activity) 개수를 66개 이하로 제한할 것을 제안한 바 있다. Kandil and El-Rayes[11]의 연구에 의하면 대규모 프로젝트를 PERT 네트워크로 모사하여 분석 시, 현실의 불확실성을 반영하는 PERT 네트워크 분석기법을 사용할 경우 과도한 계산시간이 필요하다고 언급하였다.

Liberatore 등[12]의 연구에 의하면 일반적인 중규모 건설공사의 경우 PERT 활동(Activity) 개수가 300개 이상이라고 한다. 대규모 시스템을 모사할 경우 300개보다 훨씬 많은 수의 PERT 활동(Activity)을 생성해야 할 것이다. 앞서 소개된 기존의 방법으로 300개 이상의 활동(Activity)으로 이루어진 대규모 시스템의 완료기일을 분석하고 애로공정(Critical Path)을 판별하는 등의 시스템 관리를 수행하기에는 계산에 소요되는 시간이 감당할 수 없을 정도로 많다. 따라서 본 연구에서는 대규모 시스템의 모사와 관리를 위해 활용할 수 있는 PERT 기법들의 적용가능성을 살펴보고, 대규모 시스템을 모사하기 위해서는 어떠한 조건들을 충족시켜야 하는지를 살펴보고자 한다.

II. 수학적 모델 이용 방법

프로젝트 완료일자를 추정하기 위한 방법 중 분석적 방법은 프로젝트 전체 공정의 작업시간 분포에 관한 함수 $T, F(T)$ 를 구하는 방법이다. Charners 등[3]은 활동(Activity) 기간이 지수분포를 이룬다는 가정을 도입하였다. Fatemi Ghomi 와 Hashemin[7]은 적분공식을 통하여 프로젝트의 완료일자 분포를 추정하였으며 Fatemi Ghomi, Rabbani[5]는 PERT네트워크 분석을 위해 구조적 기법을 이용하여 작업경로를 축약하는 방법을 제안했다. 권[18]은 프로젝트 성공확률을 측정하기 위한 방법을 제안하였으며, Martin[13]는 PCI(Path Critical Index)와 ACI(Active Critical Index)를 도입되어 각 작업경로와 공정 하나하나가 프로젝트 완료일자에 주는 영향을 분석하였다. 이를 발전시켜 Dodin, Elmaghraby[4], Mummolo[14], Pontrandolfo[15], Fatemi Ghomi, Teimouri[6]등이 PCI와 ACI를 계산하고 프로젝트의 성공확률을 계산하는 방법을 연구하였다. 그러나 이들 방법은 프로젝트의 규모가 커질 경우 고려해야하는 작업경로의 수가 늘어나서 계산자세가 복잡해지거나 혹은 계산한 결과의 분산 값이 커져서 적용할 수 있는 프로젝트 규모에 제한이 있다.

III. 시뮬레이션 기법

프로젝트 완료기간을 추정하기 위한 시뮬레이션은 대부분 몬테카를로 시뮬레이션 기법으로 수행되었다. Van Slyke[17]이 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 PERT 네트워크에서 프로젝트 완료기간을 추정하였다. Burt, Garman[1], Garman[9], Sigal 등[16], Fishman[8] 등이 conditionla sampling을 통해 시뮬레이션 시 고려하는 활동(Activity)을 선별하여 시뮬레이션을 수행함으로써 추정한 완료기간의 분산을 줄였다. 이러한 몬테카를로 시뮬레이션은 프로젝트의 크기가 커질수록 계산시간이 기하급수적으로 커지는 단점이 있어 적용할 수 있는 프로젝트의 규모가 제한적이다. Kandil and El-Rayes[11]은 이러한 계산시간을 줄이기 위해서 병렬처리기법을 도입하여 계산시간을 최대 8배까지 단축하였으나 PERT 활동(Activity) 개수가 증가함에 따라 기하급수적으로 계산시간이 증가하는 문제는 해결하지 못하였다.

IV. 기법의 적용

적용 기법에 따라 프로젝트의 규모별 완료일자 계산시간과 분산이 어떻게 변화하는지를 알아보기 위해 소·중·대 각 규모별 시스템을 PERT 네트워크로 모사하였다. 중규모 시스템의 경우

PERT 활동(Activity) 개수가 300개로 연구된 바 있으므로[12], 소규모 시스템은 활동(Activity) 개수를 10, 50, 100개, 중규모 시스템은 PERT 활동(Activity)를 300개, 대규모 시스템은 중규모시스템의 2배 규모인 600개로 가정하여 각 규모별 시스템을 모사하였다. 적용 기법은 크게수학적 모델을 이용한 기법과 시뮬레이션 기법으로 나누었으며 수학적 모델을 이용한 기법은 기존의 PERT 분석 방법(traditional method), 유전적 알고리즘(Generic Algorithm) 이용방법, 애로공정지수(Path Critical Index, Active Critical Index) 이용방법을 적용하였으며, 시뮬레이션 기법은 몬테카를로(Crude Monte-Carlo)과 Conditional Sampling 몬테카를로 기법을 적용하였다.

1. PERT Activity 개수 증가에 따른 계산시간의 변화

PERT 활동(Activity) 개수가 10, 50, 100, 300, 600 일 때 각 기법으로 PERT 네트워크의 완료기일을 계산하는 데에 소요된 시간을 측정하여 그림 1.에 그래프로 나타내었다. 공정의 불확실성을 고려하지 않는 전통적인 PERT 기법을 제외하고는 모두 PERT 활동(Activity) 개수가 증가함에 따라 계산시간이 크게 증가하는 경향을 보였다. 대략적으로 계산시간은 시스템 규모의 제곱에 비례하는 경향을 보였다. 이러한 현상은 분석할 수 있는 시스템의 규모에 제약을 가져온다.

계산결과를 살펴보면 전통적인 PERT 분석기법을 제외하고는 모두 PERT 활동(Activity) 개수가 증가함에 따라 계산시간도 기하급수적으로 증가하는 모습을 보였다. 대규모 시스템을 모사한 해당하는 활동(Activity)개수가 600인 PERT 네트워크를 분석하는 데에 소요된 시간은 전통적인 분석기법을 제외하고는 모두 감당하기 힘든 계산시간을 보여주었다.

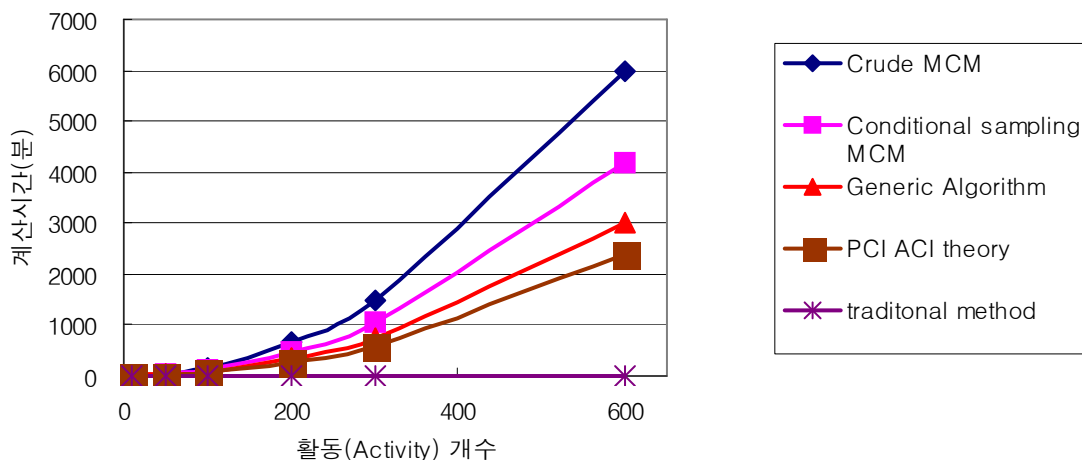


그림 1. PERT 활동(Activity) 개수 증가에 따른 계산시간의 변화

2 PERT Activity 개수 증가에 따른 추정완료기일 분산의 변화

PERT 활동(Activity) 개수 증가에 따른 추정된 완료기일의 분산이 어떻게 변화하는 지를 그림 2.에 나타내었다. 몬테카를로 시뮬레이션과 conditional sampling 몬테카를로 시뮬레이션 모두 추정된 완료기일의 분산이 PERT 활동(Activity) 개수에 크게 영향을 받지 않는 모습을 보여주었다. 그러나 유전적알고리즘, 애로공정지수기법, 전통적기법 모두 PERT 규모의 제곱에 비례하여 분석결과 분산이 증가하는 경향을 나타내었다. 추정된 완료기일의 분산이 크다는

것은 그만큼 추정된 결과 값을 신뢰할 수 없다는 것을 의미한다. 시뮬레이션 기법을 제외한 다른 수학적 공식을 이용한 기법과 전통적인 기법은 대규모 시스템을 모사한 PERT 네트워크에서는 완료기간의 분산이 평균의 100%를 넘는 값을 보였다. 따라서 시뮬레이션 기법을 제외하고는 모두 대규모 PERT 네트워크의 분석결과를 신뢰할 수 없다.

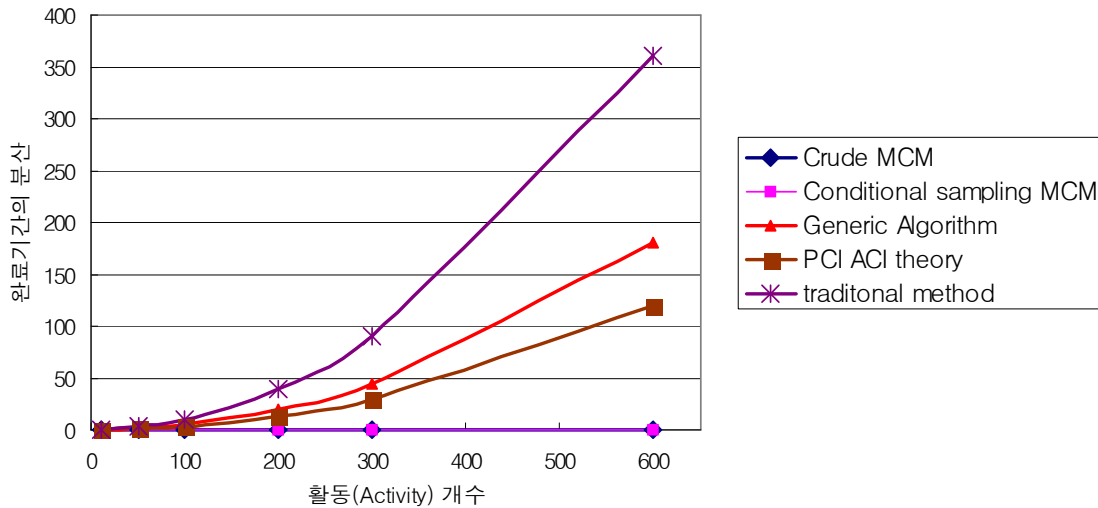


그림 2. PERT 활동(Activity) 개수 증가에 따른 추정완료기일 분산의 변화

V. 결론

보 연구에서는 대규모 시스템을 모사하고 관리하기 위하여 PERT 네트워크를 구성하여 시스템을 모사하였다. 또한 각 PERT 네트워크 분석기법을 수행하여 PERT로 대규모 시스템을 모사하고 관리하는 데에 제약사항이 있는지를 살펴보았다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) PERT 규모와 분석시간을 살펴본 결과 전통적인 PERT 분석기법을 제외하고는 모두 PERT 규모가 증가할수록 분석시간이 규모의 제곱에 비례하여 기하급수적으로 증가하는 모습을 보였다. 대규모 시스템으로 가정한 활동(Activity) 600개인 PERT 네트워크를 분석하였을 때 전통적인 PERT 분석기법을 제외하고는 모두 35시간이 넘는 계산시간을 보였다. 계산시간만을 고려하였을 때 전통적인 PERT 분석기법을 제외하고는 모두 대규모 시스템의 분석에 부적합한 것으로 나타났다.
- 2) PERT 규모와 분석결과 분산의 분산을 살펴본 결과 시뮬레이션 기법을 제외하고는 모두 PERT 규모가 증가할수록 분산이 규모의 제곱에 비례하여 기하급수적으로 증가하였다. 시뮬레이션 기법을 제외한 여타 기법으로 PERT 활동(Activity) 개수 600개인 대규모 시스템을 분석하였을 때 그 결과의 분산이 모두 평균의 100%가 넘는 값을 보여 결과의 신뢰성을 현저히 낮았다. 추정된 완료기간의 분산만을 고려하였을 때 시뮬레이션 기법을 제외하고는 모두 대규모 시스템의 분석에 부적절한 것으로 나타났다.

대규모 시스템을 PERT 네트워크로 모사하여 분석한 결과 계산시간이 과도하게 소요되거나 결과의 분산이 평균의 100%를 넘는 결과를 보였다. 따라서 기존의 PERT 네트워크 분석기법의 적용을 통해서 대규모 시스템을 모사하고 관리하기에는 한계가 있다. 따라서 PERT 네트워크

를 이용하여 대규모 시스템을 모사하고 관리하기 위해서는 PERT 네트워크의 분석시간이 규모에 비례하여 증가하고, 계산결과의 분산이 규모에 크게 영향을 받지 않는 PERT 네트워크 분석 기법이 필요하다.

본 연구는 농림기술관리센터 ‘농업시설의 계획 • 설계를 위한 CAD와 GIS 자료구조 통합 시스템 개발’(과제번호: 203103-03-3)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] Burt J., Garman M., 1971, Conditional Monte Carlo: A simulation technique for stochastic network analysis, *Management Science* 18, pp.207-217.
- [2] Chan W.T., Chua D.K.H., Kannan G., 1996, Construction resources scheduling with genetic algorithm, *Journal of Construction Engineering and Management* 122(2), pp.125-132.
- [3] Charnes A., Cooper W., 1964, Thompson G., Critical path analysis via chance constrained and stochastic programming, *Operations Research* 12, pp.629-632.
- [4] Dodin B., Elmaghraby S.E., 1965, Approximating the criticality indices of the activities in PERT networks, *Management Science* 31, pp.207-223.
- [5] Fatemi Ghomi S.M.T., Rabbani M., 2003, A new structural mechanism for reducibility of stochastic PERT networks, *European Journal of Operational Research* 145, pp.394-402.
- [6] Fatemi Ghomi S.M.T., Teimouri E., 2002, Path critical index and activity critical index in PERT networks, *European Journal of Operational Research* 141, pp.147-152.
- [7] Fatemi Ghomi S.M.T., Hashemin S., 1999, A new analytical algorithm and generation of Gaussian quadrature formula for stochastic network, *European Journal of Operational Research* 114, pp.610-625.
- [8] Fishman G., 1985, Estimating critical path and arc probabilities in stochastic activity networks, *Naval Research Logistic Quarterly* 32, pp.249-261.
- [9] Garman M., 1972, More on conditional sampling in the simulation of stochastic network, *Management Science* 19, pp.90-95.
- [10] Hegazy T., Petzold K., 2003, Genetic optimization for dynamic project control, *Journal of Construction Engineering and Management* 129(4), pp.396-404.
- [11] Kandil A., El-Rayes K., 2005, Parallel Computing Framework for Optimizing Construction Planning in Large-Scale Projects, *Journal of Computing in Civil Engineering* 19(3), pp.304-312.
- [12] Liberatore M., Pollack-Johnson B., Smith C., 2001, Project management in construction: Software use and research directions, *Journal of Construction Engineering and Management* 127(2), pp.101-107.
- [13] Martin J.J., 1965, Distribution of the time through a directed, acycle network, *Operations Research* 13, pp.46-66.
- [14] Mummolo G., 1997, Measuring uncertainty and criticality in network planning by PERT-path technique, *International Journal of Project Management* 15(6), pp.377-387.
- [15] Pontrandolfo P., 2000, Project duration in stochastic networks by the PERT-path technique, *International Journal of Project Management* 18, pp.215-222.
- [16] Sigal C., Prisker A., Solberg J., 1979, The use of cutsets in Monte-Carlo analysis of stochastic networks, *Mathematical Simulation* 21, pp.376-384.
- [17] Van Slyke R.M., 1963, Monte Carlo methods and the PERT problem, *Operations Research* 11, pp.839-860.
- [18] 권치명, 2000, 통제변수를 이용한 PERT 네트워크에서 프로젝트 완료확률의 추정, 한국시뮬레이션학회 제 9권 제4호, pp.67-75.