

# 개선된 자원 평준화 기법을 활용한 적정 공기산정 방안

## Optimal Project Duration Estimation Through Enhanced Resource Leveling Technique

김 경 환\* · 윤 영 상\*\* · 김 재 준\*\*\*

Kim, Kyung-Hwan · Yoon Yung-Sang · Kim, Jae-Jun

### 요 약

건설프로젝트는 일정한 기간 동안 주어진 목표를 수행하기 위한 작업들의 모임이라 정의할 수 있으며, 이를 위해서는 필요한 자원의 효율적 계획 및 관리가 필요하고, 이때 자원배당 및 자원평준화 기법이 활용된다. 하지만 자원제약이 있는 자원배당과 공기 제한이 있는 자원평준화 방법은 하나의 프로젝트에 개별적으로 적용되고 있어 전체 프로젝트의 공기와 효율적 자원이용 측면에서 적정화하기는 어렵다. 따라서 본 연구는 자원 평준화 방법의 Minimum Moment Algorithm 개념을 확대·적용하여 적정 자원이용 및 공사기간을 산출하고자 한다. 이때 자원 활용의 상태를 나타내는 5가지 지표가 사용되며, 이들간의 중요도를 파악하기 위해 공정전문가를 대상으로 설문조사를 실시하였다. 마지막으로 가상 프로젝트의 적용을 통해 본 모형의 적용 가능성을 검증하고자 하였다.

키워드 : 일정계획(Scheduling), 자원(Resource), 자원평준화(Resource Leveling), 공기산정(Projection Duration Estimation)

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

건설프로젝트는 일정한 단위기간 동안 주어진 목표를 수행하기 위한 작업들의 모임이라 정의할 수 있으며, 이를 관리하기 위해서는 필요한 자원(자재, 장비, 인력)을 조화롭게 할당하여 운영하는 노력이 필요하다. 하지만 현재 건설산업이 사회 발전과 더불어 점차 복잡화, 다양화, 대형화 되어감에 따라 자원의 수급이 어려운 상태이며, 이는 현재 뿐만 아니라 미래에도 중요한 문제로 대두될 것으로 예상된다<sup>1)</sup>. 이를 해결하기 위해서는 자원의 효율적인 계획 및 관리가 요구된다. 즉 공정계획을 바탕으로 하여, 각 작업의 착수 및 완료일정과 여유시간을 계산하여 전체 공사기간을 산정하고, 자원을 평준화하거나 적절하게 배당하며, 공정관리 이론을 적용하여 공사기간의 조정이 필요하다(변상봉 1987, 권춘안 2000, 김경환 2004).

이와 같이 공정관리는 시간적 관리뿐만 아니라 자원을 효과적

으로 활용하는 방법 및 수단이라 말할 수 있으며<sup>2)</sup>, 이때 자원배당(Resource-Constrained Scheduling 혹은 Resource allocation, 이하 RCS) 및 자원평준화(Resource Leveling) 기법이 활용된다<sup>3)</sup>. 하지만 자원제약이 있는 자원배당과 공기 제한이 있는 자원평준화 방법은 하나의 프로젝트에 동시에 적용되는 것이 아니라 개별적으로 적용되고 있어 전체 프로젝트의 공기와 비용을 적정화하기는 어렵다(Karshens and Haber 1990).

따라서 본 연구는 자원 평준화 방법의 Minimum Moment Algorithm(MMA) 개념을 확대·적용하여 적정 자원이용 및 공사기간을 산출하고자 한다.

### 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 발주처에서 제시한 공기보다 시공사의 자체 데이터로 예측한 공기가 여유 있는 공사 혹은 도심지와 멀리 떨어져 있어 즉각적인 자원 수급이 어려운 공사로 그 범위를 한정하여 아래와 같은 방법으로 진행하였다.

- (1) 기존의 자원을 고려한 공정계획(Resource-Based Scheduling)을 고찰한다.

\* 일반회원, 한양대학교 건설연구소 연구원, 공학박사

\*\* 학생회원, 한양대 대학원 석사과정

\*\*\* 중신회원, 한양대 건축공학부 부교수, 공학박사

1) Donald S. Barrie, Biyd C. Paulson, "Professional Construction Management 건설관리의 개념과 실제", 한국건설사업관리학회 역, 2000.

2) 김경래 외 8명, "최신 공정관리학", 기문당, 2003, p.33

3) 2.1 자원을 고려한 공정계획 참고

- (2) 위 공정계획의 문제점을 도출하고 효과적인 해결 방안을 제안한다.
- (3) 공정관리 전문가를 대상으로 설문조사를 실시하여 자원을 고려한 공정계획에 있어 주요 지표들간의 중요도를 AHP 기법<sup>4)</sup>을 통해 파악한다.
- (3) 위 사항을 바탕으로 프로젝트 전체 적정 공기를 산정한다.
- (4) 가상 프로젝트의 적용을 통해 본 모형의 적용 가능성을 검증한다.

## 2. 문헌고찰

### 2.1 자원을 고려한 공정계획

PERT/CPM기법은 건설분야에서 시간관리 분야에 국한되어 활용되어 왔으나 자원관리 분야에는 사용되지 않았다(Lawrence Bennett 1968, 김정진 1984). 그러나 최근에는 한정된 자원의 효율적 계획 및 관리가 요구되고 있다. 이러한 자원을 효과적으로 사용하기 위해서는 소요 자원의 급격한 변동을 피하면서 자원을 최소화시키고, 대기 및 유휴기간을 줄이며, 주어진 공기내에 작업인원을 균등하게 하여 공사가 완료되도록 해야 한다. 이는 공사규모 및 프로젝트 완료시기와 밀접한 관계를 가지고 있으며, 프로젝트의 성패를 좌우하게 된다<sup>5)</sup>.

성공을 위한 구체적이고 실시 가능한 계획수립은 소요되는 경비나 인력 등의 자원을 기존의 일정계획에 추가하는 것이다<sup>6)</sup>.

미국의 경우에는 법정 분쟁 발생시 자원이 투입되지 않는 공정계획은 현실성이 반영되지 않는 것으로 간주되어 증거 자료로써 인정해 주지 않고 있다는 점을 고려해 볼 때 자원을 고려된 공정계획 및 적절한 자원의 분배 계획은 필요하다<sup>7)</sup>. 예를 들어 필요 이상의 자원이 투입될 경우 작업공간이 협소 및 각 작업간의 간섭 등으로 효율성이 감소되고, 일시적으로 많이 필요할 경우에는 자원의 확보가 어려우며 확보했다 해도 특정 기간에 편중되어 할당이 되므로 수용을 위한 제반 시설 준비면에서 비경제적일 수밖에 없다.

이러한 자원을 고려한 공정계획에는 자원계약이 있는 자원배당과 공기 제한이 있는 자원평준화 기법이 있다. 자원배당이란 자원 사용 가능량을 기준으로 사용자에게 의해서 정의된 우선 순

위에 따라 자원을 배분하는 것을 말하며 Serial과 Parallel 방법이 있다. 반면에 자원평준화란 작업일간 작업소요량의 변동(Peak and Valley)에 대한 차이를 최소화하기 위하여 사용 가능한 여유일수 범위 안에서 공정계획을 하는 것이다(Moselhi and Lortterapong 1993). 이는 자원변동량을 변수로 하여 자원을 평준화하는 Ahuja의 평준화 방법, 자원모멘트를 변수로 하여 자원을 평준화 하는 Burgess의 평준화 방법, 자원증진인자(RIC)를 변수로 하여 자원을 평준화하는 Harris의 평준화 방법 등이 있다. 이들 자원평준화 방법은 모두가 휴리스틱(Heuristic) 방법을 사용하고 있다.

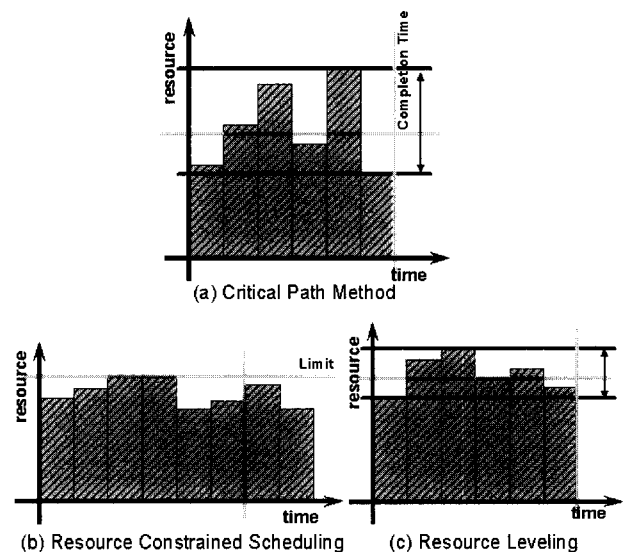


그림 1. CPM, RCS, Resource Leveling 비교

### 2.2 휴리스틱(Heuristic) 방법

휴리스틱 방법이란 당면한 문제의 해답을 도출할 것을 목적으로 하며, 결정적이거나 정확하지는 못하지만 긍정적인 혹은 타당한 결론을 얻기 위한 것이다. 근래에는 대규모의 조합에 의하여 생기는 문제를 해결하기 위해 휴리스틱 방법이 많이 쓰이고 있다. 이는 건축 공정관리에 있어 한 프로젝트가 갖는 가능한 공정계획의 수는 모든 요소활동이 갖는 총여유일수 만큼의 조합이 있고, 자원의 경우에도 자원이 충분한 경우와 부족한 경우 두 가지가 있다고 볼 때 공사계획에 있어 휴리스틱 방법이 적절하다는 것을 알 수 있겠다. '휴리스틱'이란 말은 정의함에 있어서 어떤 문제를 해결하는데 필요한 요구상황(Problem-Solving Situation)을 줄이는 방법 또는 지침 혹은 여러 번 반복하여 시행하고 그 중 가장 좋은 결과치를 선택하는 방법이라고 표현할 수 있겠다.

가령 우리가 항상 겪는 반복적인 문제는 간단한 상식적인 규칙으로 그 문제를 해결할 수 있다. 그러나 복잡하고 방대한 요소

4) 2.3 계층화 의사결정 기법(Analytic Hierarchy Process :AHP) 참고  
 5) 김정래 외 8명, "최신 공정관리학", 가문당, 2003.  
 6) 김석봉, "PERT/CPM에 의한 건축공사의 공정관리합리화 방안에 관한 연구", 서울대, 1983, p.24  
 7) Wickwire, J. M., Driscoll, T. J., and Hurlbut, S. B., Construction Scheduling : Preparation, liability, and claim, 2001 cumulative supplement, Aspen Law & Business, New York, 1999

로 구성된 문제일 경우 그렇지 못하다. 이런 문제에 있어서 정확한 해결책은 찾을 수 없지만 합리적(분석적)인 방법으로 가장 적절하고 타당한 방안을 제시하는 것이 휴리스틱 방법이다. 이와 같이 합리적인 방법으로 목적에 맞게 자료를 수집하여 정하는 것을 '휴리스틱 프로그램(Heuristic Program)' 이라고 한다.

2.3 계층화 의사결정 기법(Analytic Hierarchy Process : A.H.P)

AHP 기법은 객관적인 평가요인 및 주관적인 평가요인을 사용하는 매우 유연한 의사결정기법으로서 수학적인 이론보다도 직관을 바탕으로 하기 때문에 그 논리가 매우 쉽다는 장점이 있다. 이 논리의 주요 특징은 다음과 같다.

첫째, 정량적인 방법으로 문제를 해석하기 때문에 이해하기 쉬운 요인과 명확한 구조를 가진다. 둘째, 복잡하고 불분명한 문제에 대해서는 여러 계층으로 분리하여 부분적인 관계를 1:1로 비교를 하여 중요도를 분석한다. 셋째, 주관적인 판단을 하여 이를 조합하여 결론을 내리고 이를 통하여 경험을 살린 의사결정을 할 수가 있다. 넷째, 관계자간의 의사결정에 있어서 각각의 사를 1:1 비교를 하여 접근할 수 있다. 이 1:1 비교치를 집산하여 기하평균을 적용함으로 객관적인 결정을 할 수 있다. AHP 기법을 사용하여 문제를 해결하면 문제의 요소를 최종목표-평가기준-기대치의 관계를 취하여 계층구조를 만든다. 그리고 최종목표에서 평가기준의 가중치를 구하고 그 다음에 각 평가기준에서 대처안의 달성도를 평가한다. 최종적으로는 최종목표에서 본 대처안의 평가치로 환산한 결과로서 의사결정을 한다. AHP 기법을 이용하여 의사결정을 실시할 경우에는 다음과 같은 계층도를 작성한다.

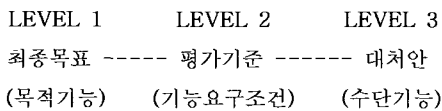


그림 2. AHP 계층도

Thomas, L. Satty(1980)에 의하면 계층적 구조는 "최상부 단계는 목적과 관련된 원소(Element)를 가지며 주어진 단계에서의 각 원소는 바로 하부단계의 원소를 지배한다. 또한 최하부 단계의 원소들을 비교하기 위해서는 바로 상부의 단계로부터 최상부까지의 영향을 고려한다"는 특징을 가진다고 설명하였다. 따라서 최하위 단계인 대처안(수단기능)에 대한 기능별 우선도를 평가하기 위해 바로 상위단계인 평가기준(기능요구계수)과 최종 목표인 목적 기능의 영향을 고려하여 계층적으로 평가해야 한다.

이를 위하여 계층가중기법(Hierarchical Additive Weight

Method)에 의한 기능평가를 실시한다. 각 단계별 요소를 하나씩 차례로 개별 비교한다. 의사결정자에게 "요소 i는 요소 j와 비교하여 어느 정도 중요한가?"를 물어 그 반응 값을 표1에 나타나 있는 수치 1-9로써 기입하여 n×n 행렬 A=[aij]를 만든다.

표 1. 작업 분류 및 작업의 연관 관계

요소 i와 요소 j	→	(aij)
똑같이 중요하다	→	1
약간 중요하다	→	3
꽤 중요하다	→	5
상당히 중요하다	→	7
절대적으로 중요하다	→	9
* 2개 사이의 중간치	→	2, 4, 6, 8

a<sub>ii</sub>와 a<sub>jj</sub>=1, a<sub>ij</sub>=1/a<sub>ji</sub>

이때 중요하다는 의미는 '좋다 · 가능성이 있다' 등 상황에 따라 바뀔 수 있으며 a<sub>ii</sub>와 a<sub>jj</sub>=1, a<sub>ij</sub>=1/a<sub>ji</sub> 라고 가정한다. 여기서 n개의 요소가 있으면 n(n-1)/2회의 비교가 이루어지고 표2와 같은 행렬이 생긴다. 개별비교를 할 경우에는 팀 전원의 의견이 일치하면 좋으며 서로 의견을 통하여 값을 정하거나 다수결의 원칙을 적용하기도 하며, 지위나 책임, 경험에 따라 각자의 점수를 부여하는 방법도 있다.

표 2. 행렬

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	...
F1	1	A12	A13	A14	A15	A16	
F2	A21	1	A23	A24	A25	A26	
F3	A31	A32	1	A34	A35	A36	
F4	A41	A42	A43	1	A45	A46	
F5	A51	A52	A53	A54	1	A56	
F6	A61	A62	A63	A64	A65	1	
...							

3. 개선된 자원 평준화 기법을 활용한 공기산정

자원평준화는 소요작업인원의 급격한 변동(Peak and Valley)의 최소화, 유휴시간(Idle time)의 최소화 및 자원의 속성상 가능한 균형있게 규칙적으로 투입하기 위해서 실행된다. 이런 기능을 갖는 자원평준화를 수행함으로써 시공자는 경제적이고도 합리적인 공사를 할 수 있다. 하지만 자원평준화는 전체 마감 공기가 변하지 않는다는 전제로 실행되어 그 자체적인 목적은 달성할 수 있지만, 공기 조정을 통한 보다 더 개선된 결과를 얻을 수 없다.

즉, 그림3과 같이 휴리스틱 방법을 통하여 전체 공기를 연장하고, AHP기법으로 자원의 상황을 나타내는 지표간의 중요도를 파악하여 연장 시점마다 순위를 매김으로써 자원평준화에 따른 적정 공기 연장 시점을 찾을 수 있을 것이다. 이는 하도급업

체, 자재 공급업체 및 이를 관리하여 효율적으로 공사를 이끌어 가야하는 원도급업체에게 꼭 필요한 정보일 것이다. 왜냐하면 차후 자원 수급에 따른 예상치 못한 공기연장은 재공정 계획으로 이어져, 자재를 일정하게 공급하려는 자재 공급업체, 진행 공정에 맞게 자원을 유지하려는 하도급업체와 이들을 관리하는 원도급업체에게 능력과 비용면에서 곤란하기 때문이다<sup>8)</sup>.

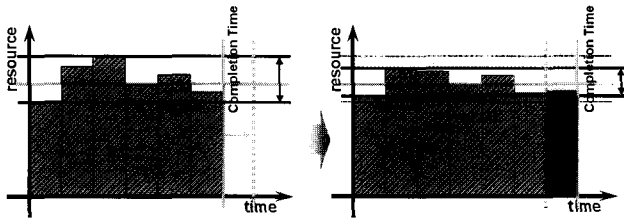


그림 3. 자원평준화에서의 공기연장에 따른 자원 변동량

예제를 통하여 자원평준화를 통한 공기 적정화 과정을 살펴보면 다음과 같다.

먼저, 1단계로 기존의 CPM 기법을 적용한다. 표3은 예제로 쓰일 각 작업들 사이의 연관관계를 나타낸 것이고, 이를 1단계 과정인 CPM 기법을 실행하면 다음의 그림4와 같다.

표 3. 작업의 분류 및 작업의 연관 관계

Prof. ID	# of Dur.	# of Res.	Pred.	Prof. ID	# of Dur.	# of Res.	Pred.
A	1	1	-	F	6	4	C
B	2	6	A	G	7	5	D
C	3	4	A	H	8	3	E,F
D	4	3	B,C	I	1	1	G,H
E	5	3	C				

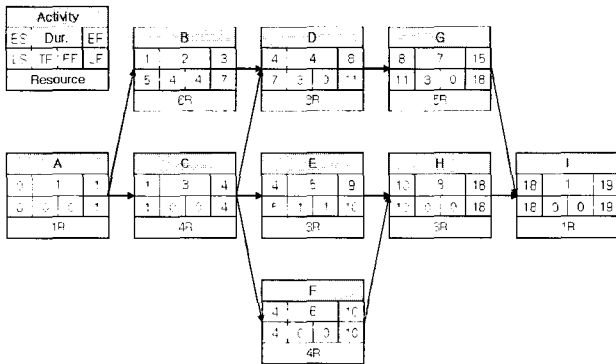


그림 4. CPM 네트워크

2단계에서는 MMA(Minimum Moment Algorithm)<sup>9)</sup>를 사용하는 자원평준화를 실시하며, 그 과정을 간단히 살펴보면 아래

과 같다.

- (1) CPM Chart를 이용하여 각 액티비티(Activity)의 순위(Sequence)를 확인한다.
- (2) 각 액티비티의 여유공기(Free Float)를 확인하면서 높은 단계(Sequence)에서부터 거꾸로(Backward) MMA의 IF(Improvement Factor)값을 구한다.
- (3) 가장 높은 IF를 가진 액티비티부터 이동한다. 이때, IF값이 같을 경우 자원 1)요구량이 많은 액티비티, 2)선행작업에 많은 여유공기를 줄 수 액티비티, 3)가장 늦은 시작 시간(the latest start time)를 갖는 액티비티 순서로 액티비티를 선택한다.
- (4) 나머지 다른 액티비티들도 IF값이 '0' 미만이 될 때까지 실행한다.
- (5) 다음 순위로 이동하여 2,3,4의 과정을 거쳐 맨 마지막 열까지 실행한다.
- (6) 모든 작업이 끝나면 이번에는 낮은 단계부터 순차적(Forward)으로 2,3,4 과정을 수행한다.

그림5는 위와 같은 자원평준화 과정을 CPM LEVEL Program<sup>10)</sup>을 사용하여 나온 그래프이다. 이는 액티비티들이 Free Float을 이용하여 자원요구량이 적은 날짜로 이동함으로써 전체적으로 완만한 자원요구량의 그래프가 형성되어 가는 과정을 보여준다.

3단계는 본 논문이 제시하는 적정공기 산정에 관한 부분이다. 이를 살펴보면 먼저 전체 공기를 하루씩 연장하면서 그에 따른 지표들의 결과값을 산출한다. 이때, 마감 공기 연장을 위해 기존의 작업과 아무런 관계(Link)가 없는 하나의 더미 액티비티(Dummy Act.)를 만들어서 공기를 하루씩 증가시켜 나간다. 공기연장 후부터 프로젝트 전체 Critical Path는 없어지게 된다.

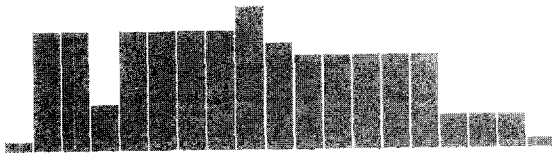
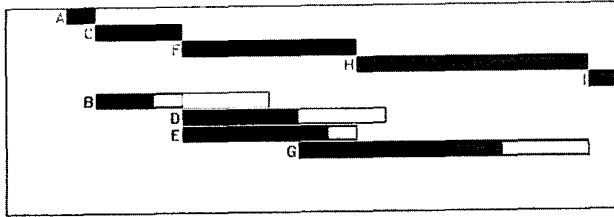
위와 같이 하루씩 공기를 연장하면서 자원평준화를 할 경우 Critical 액티비티를 제외한 나머지 액티비티들이 서로 겹치지 않고 하나의 액티비티씩 일렬로 일정이 계획되는 시점에 이르면 추가적인 개선이 이루어지지 않게 된다. 예제 프로젝트는 총 18 일째 연장되는 시점이 여기에 해당한다. 19일째 연장하는 날로부터는 더 이상 추가적인 평준화 작업은 일어나지 않고 자원요구량이 없는 날만 늘어나게 된다. 이때 사용되는 5가지 지표들은 3가지 자원평준화 기법에서 각각의 상황을 나타내는 지표로

8) William J., and Martin A., O'Brien, Importance of Capacity Constraint to Construction Cost and Schedule, J. Constr. Eng. and Manag., ASCE, Vol 126, No. 5, 2000, p.371

9) x축(혹은 시간 축)에 대한 시간 단위별 자원 사용량의 모멘트를 최소화하여 프로젝트 수행 기간동안 전체 자원사용의 균등화 하는 방법

10) Martinez J., and Loannou P., J. Constr. Eng. and Manag. Program, Dep. of Civil Eng., G. G. Brown Building, The Univ. of Michigan, Ann Arbor, MI 48109-2125, tel. (313) 764-8495

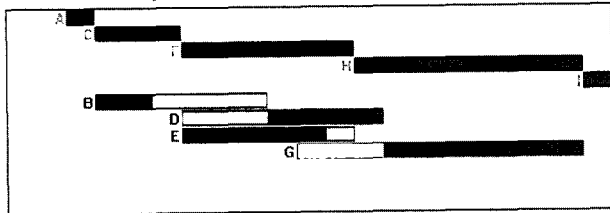
Bar Chart and Histogram for Activities Scheduled at Recommended Start Dates (RSD)



start RIC=1.2224 Day: Histogram: Proceed Step

(a) 자원평준화 전 Bar-Chart 및 소요 자원 그래프

Bar Chart and Histogram for Activities Scheduled at Recommended Start Dates (RSD)



D > 3 RIC=1.1279 B > 1 RIC=1.1279 B < 1 RIC=1.1279 Day: Histogram: Close

(b) 자원평준화 후 Bar-Chart 및 소요 자원 그래프

그림 5. CPMLEVEL 프로그램을 이용한 자원평준화

써 이에 대해 살펴보면 아래와 같다.

(1) 자원 모멘트(Mx) : 각각의 날에 필요한 자원의 하중(각각의 날에 꼭 필요한 자재, 장비, 인력 등을 수급해야 하는 부담감 혹은 리스크)을 제공하여 더한 값을 나타내는 지수이다.

$$\sum_{i=1}^n (Di)^2$$

(2) 자원 모멘트(My) : 미래의 각 날에 수급해줘야 하는 자원의 하중(미래의 각 날에 필요한 자재, 장비, 인력 등을 꼭 수급해줘야 하는 부담감 혹은 리스크)을 더한 값을 나타내는 지수이다. 즉, 미래에 필요한 자원의 수급 불확실성을 나타내는 것으로 미래로 갈수록 불확실성이 커지게 된다.

$$\sum_{i=1}^n (Di * i)$$

(3) 자원향상계수(Resource Improvement Coefficient, RIC) : 자원모멘트 Mx값의 이상(理想)적인 정도를 나타낸 값으

로 여기서 이상적이라 함은 꼭 필요한 시기에 꼭 필요한 자원이 투입되었음을 의미한다.

$$\{n * Di^2\} / \{(Di)^2\}$$

(4) 자원변동량 : 앞선 작업과의 자원 변동치를 제곱하여 더한 값으로 자원의 변화 정도를 보여준다. 즉, 자원의 안정적 수급을 나타내는 지표이다.

$$\sum_{i=1}^n [(Di-1) - (Di)]^2$$

(5) 자원이용률 : 자원의 가용률을 나타내는 지수로 최대 가용할 수 있는 자원에 따른 전체 자원 사용정도를 나타낸다.

$$\sum_{i=1}^n [(Di / n) / (Di의 Max값)]$$

Di = i날의 자원 요구량, n = 전체 공사 기간

위 5가지 지표에 대해 공·사기업에 근무하는 공정전문가 49명을 대상으로 적정 공기 산정을 위한 중요도를 조사하였고, 이를 AHP기법을 통하여 분석하였다. 표4는 한 전문가의 설문 내용을 정리한 것이며, 표5는 이를 AHP기법을 통하여 분석한 것이다. 나머지 설문에 대한 가중치 값도 이와 같은 방식으로 구하였으며, 최종적으로 각 지표의 가중치는 전체값을 평균하여 산출하게 되었다.

그 결과 표5처럼 자원향상계수(RIC)의 가중치가 '0.26'으로 가장 높게 나왔으며, 그 다음으로 자원모멘트My와 자원이용률이 '0.20'을 기록하였다. 나머지 자원 변동량과 자원모멘트Mx는 '0.17'과 '0.16'으로 나타났다.

표 4. 한 전문가의 설문지 내용

	절대 중요	매우 중요	중요	약간 중요	중등	약간 중요	중요	매우 중요	절대 중요							
자원 모멘트Mx	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	자원 모멘트My
자원 모멘트Mx	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	RIC
자원 모멘트Mx	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	자원 변동량
자원 모멘트Mx	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	자원이용률
자원 모멘트My	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	RIC
자원 모멘트My	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	자원 변동량
자원 모멘트My	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	자원이용률
RIC	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	자원 변동량
RIC	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	자원이용률
자원 변동량	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	자원이용률

표 5. AHP기법을 통한 한 전문가의 가중치 값 및 전체 평균 가중치 값

	자원 모멘트	(Mx)자원 모멘트 (My)	RIC	자원 변동량	자원 이용률	가중치	전체 가중치 평균
자원 모멘트 (Mx)	1	3	3	5	3	0.412	0.16
자원 모멘트 (My)	1/3	1	7	3	3	0.284	0.20
RIC	1/5	1/7	1	1	1/3	0.061	0.26
자원 변동량	1/3	1/3	1	1	1/5	0.072	0.17
자원 이용률	1/3	1/3	3	5	1	0.171	0.20

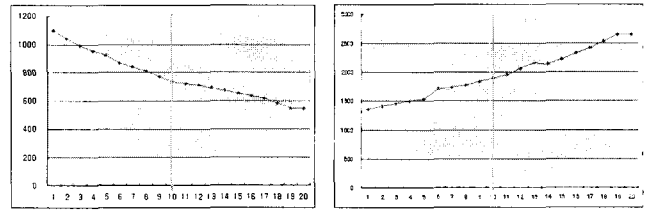
다음으로 각 지표마다 총 19일을 연장하였고 산출된 값들을 백분율(최고값 100%와 최적값 0%)로 환산하였다. 이를 연장 시 점별로 가중치를 곱하여 더해본 결과 아래 표6과 같은 결과값을 구하게 되었다.

이를 살펴보면 전체 공기가 28일인 9일째 연장하는 시점이 '73.65'로 자원평준화에 따른 효과가 가장 큰 것으로 나타났고, 그 다음으로 10일째 연장하는 시점으로 조사되었다.

표 6. 공기 연장에 따른 결과값\_예제

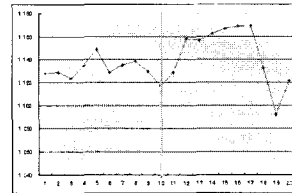
	자원 모멘트 (Mx)	자원 모멘트 (My)	RIC	자원 변동량	자원 이용률	최종 결과값 및 순위
가중치	0.16	0.20	0.26	0.17	0.20	
연장전 Leveling	0.00(20)	100.00(1)	53.35 (5)	20.79(18)	100.00(1)	57.41 (9)
1일연장	9.78(19)	96.28 (2)	52.09 (6)	32.67(15)	91.43 (3)	58.20 (7)
2일연장	19.57(18)	92.56 (3)	58.41 (4)	30.69(17)	83.67 (5)	58.78 (5)
3일연장	26.09(17)	88.84 (4)	44.50(11)	0.00(20)	76.62 (7)	48.84(11)
4일연장	31.52(16)	84.05 (5)	25.97(14)	20.79(18)	70.19 (9)	46.58(14)
5일연장	41.30(15)	73.02 (6)	52.09 (6)	74.26 (8)	79.37 (6)	63.25 (3)
6일연장	46.74(14)	70.23 (7)	43.66(12)	59.41(13)	73.33 (8)	57.64 (8)
7일연장	52.17(13)	67.44 (8)	39.45(13)	74.26 (8)	67.77(10)	58.27 (6)
8일연장	58.70(12)	62.29 (9)	50.82 (9)	80.20 (6)	62.61(11)	61.32 (4)
9일연장	65.22(11)	58.14(10)	67.25 (2)	89.11 (2)	94.74 (3)	73.65 (1)
10일연장	68.48(10)	53.49(11)	52.09 (6)	100.00(1)	89.02 (4)	70.00 (2)
11일연장	69.57 (9)	45.12(12)	14.17(16)	44.55(14)	49.21(12)	41.25(16)
12일연장	73.91 (8)	37.67(14)	16.28(15)	31.68(16)	45.32(13)	38.04(18)
13일연장	77.17 (7)	39.67(13)	8.27(17)	82.18 (5)	41.67(14)	44.71(15)
14일연장	80.43 (6)	32.09(15)	2.80(18)	64.36(11)	38.25(15)	8.60(17)
15일연장	83.70 (5)	24.65(16)	0.00(19)	64.36(11)	35.02(16)	36.27(19)
16일연장	86.96 (4)	17.21(17)	0.00(19)	73.27(10)	31.98(17)	36.21(20)
17일연장	93.48 (3)	8.60(18)	47.03(10)	79.21 (7)	29.11(18)	48.19(12)
18일연장	100.00(1)	0.00(19)	99.69 (1)	88.12 (3)	1.94(19)	57.29(10)
19일연장	100.00(1)	0.00(19)	61.36 (3)	88.12 (3)	0.00(20)	46.93(13)

( )안에 숫자:결과값에 따른 순위, 단위:%

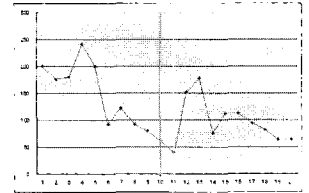


(a) 자원모멘트(Mx) 그래프

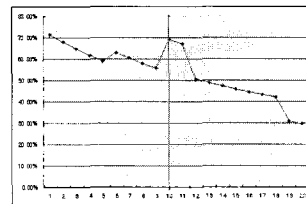
(b) 자원모멘트(My) 그래프



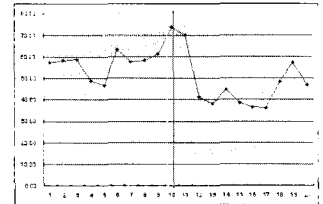
(c) RIC 그래프



(d) 자원 변동량 그래프



(e) 자원 이용률 그래프



(f) 최종 결과값 그래프

그림 6. 지표별 결과값의 추이\_예제

공사 관리자는 이를 바탕으로 공정을 계획하고 공사를 진행해 나갈 것이다. 앞선 결과값을 그래프를 통해 살펴보면 그림6,7과 같다.

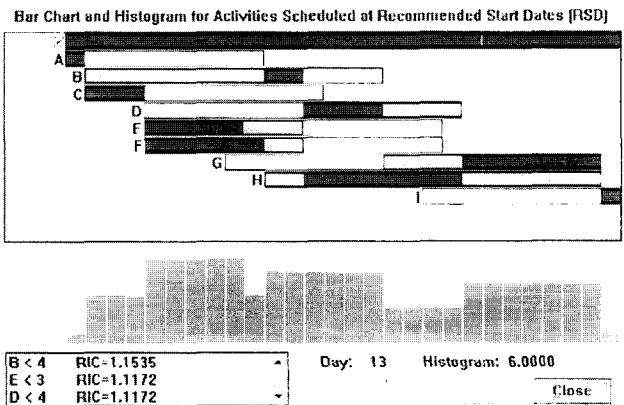


그림 7. 공기 9일 연장에 따른 자원평준화 후 그래프

#### 4. 가상 프로젝트

본 연구에서는 실제 공사와 유사한 가상 프로젝트<sup>12)</sup>를 통해 모

11) (65.22×0.16)+(58.14×0.2)+(67.25×0.26)+(89.11×0.17)+(94.75×0.2)=73.65

12) Kim, K., and de la Garza J. M., Phantom Float, J. Constr. Eng. and Manag., ASCE, Vol 129, No. 5, 2003, p.512

델의 적용 가능성을 알아보고자 한다. 세부 작업간의 연관관계는 표7과 같다.

표 7. 가상 프로젝트의 작업의 분류 및 연관 관계

Prof. ID	# of Dur.	# of Res.	Suc	Prof. ID	# of Dur.	# of Res.	Suc
1	0	0	2	16	8	4	18
2	0	0	3,4,5,6,7,8	17	8	4	19
3	8	4	29	18	7	3	20
4	6	2	19	19	4	4	21
5	12	4	15	20	0	0	22,29
6	8	4	9,10	21	4	4	23
7	7	2	24	22	12	4	24,25
8	12	4	22	23	6	2	26
9	18	8	11	24	6	2	27
10	0	0	14	25	4	2	27
11	8	3	12	26	4	2	28
12	5	2	12a	27	0	0	30
12a	0	0	13,14	28	6	2	30
13	4	4	15,18	29	4	4	30
14	4	2	16	30	8	4	
15	4	4	17				

하지만 기존 자료는 자원을 고려한 공정 계획에 기초하여 공사가 이루어진 경우가 아니므로 자료로 사용하기에 부적절하다. 따라서 자원을 고려한 공정 계획을 검토한 결과 표8 및 그림8과 같은 결과값이 측정되었고, 이때 전체 공기 47일인 20일째 연장하는 시점이 '67.06'<sup>13)</sup>로 가장 높게 나타났으며, 30일째 연장하는 시점이 57일로 두 번째로 높게 나타났다.

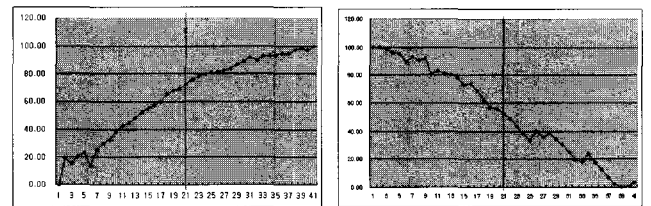
표 8. 공기 연장에 따른 결과값\_가상 프로젝트

	자원 모멘트 (Mx)	자원 모멘트 (My)	RIC	자원 변동량	자원 이용률(%)	최종 결과값 및 순위
가중치	0.16	0.20	0.26	0.17	0.20	
연장전 Leveling	0.00(41)	100.00(1)	48.60(29)	35.71(20)	100.00(1)	58.71(13)
1일연장	19.34(38)	99.90(2)	57.90(28)	28.57(31)	90.98(2)	61.44(7)
2일연장	15.41(39)	98.75(3)	64.96(25)	28.57(31)	82.57(3)	60.48(10)
3일연장	20.66(37)	96.19(4)	66.46(22)	35.71(20)	74.73(5)	60.84(9)
4일연장	23.28(36)	95.51(5)	58.60(27)	35.71(20)	67.38(8)	57.61(14)
5일연장	13.77(40)	89.46(9)	0.00(41)	20.00(34)	60.50(10)	36.45(41)
6일연장	25.57(35)	93.22(6)	32.10(39)	25.00(34)	54.04(13)	46.14(31)
7일연장	29.84(34)	90.71(8)	33.29(38)	25.00(34)	47.95(16)	45.41(32)
8일연장	32.46(33)	91.91(7)	28.03(40)	35.71(20)	42.21(19)	45.38(33)
9일연장	38.36(32)	80.96(11)	39.05(37)	32.14(30)	54.04(13)	48.75(28)
10일연장	42.95(31)	83.18(10)	45.22(34)	14.29(38)	31.67(23)	44.03(37)
11일연장	44.92(30)	80.91(12)	39.44(36)	7.14(39)	26.81(25)	40.20(39)
12일연장	48.20(29)	80.57(13)	40.93(35)	50.00(16)	22.21(28)	47.41(30)
13일연장	52.13(28)	78.04(14)	46.76(32)	78.57(7)	17.83(30)	53.03(23)
14일연장	54.75(27)	73.00(16)	46.52(33)	57.14(13)	13.67(33)	47.90(29)
15일연장	57.38(26)	73.89(15)	46.97(31)	85.71(4)	9.70(35)	52.68(24)
16일연장	60.00(25)	68.86(17)	48.12(30)	42.86(18)	5.92(36)	44.35(36)
17일연장	65.25(24)	61.89(18)	65.20(24)	5.36(40)	79.90(4)	56.65(18)

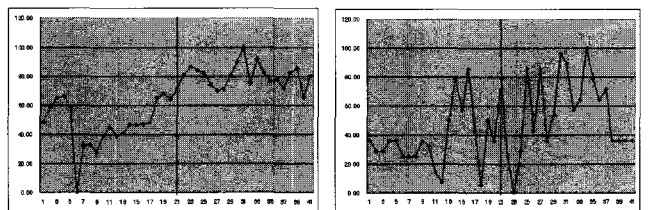
13) (72.46×0.16)+(82.09×0.2)+(71.85×0.26)+(78.57×0.17)+(65.04×0.2)=67.06

	자원 모멘트 (Mx)	자원 모멘트 (My)	RIC	자원 변동량	자원 이용률(%)	최종 결과값 및 순위
18일연장	67.87(23)	56.89(19)	68.08(21)	50.00(16)	74.73(5)	63.38(5)
19일연장	69.26(22)	55.95(20)	64.48(26)	35.71(20)	69.78(7)	58.99(12)
20일연장	72.46(21)	82.09(21)	71.85(18)	78.57(7)	65.04(9)	67.06 (1)
21일연장	75.74(20)	48.64(22)	80.87(10)	25.00(34)	60.50(10)	59.22(11)
22일연장	78.36(19)	43.64(23)	86.52(4)	0.00(41)	56.15(12)	54.99(20)
23일연장	79.67(18)	38.52(25)	84.21(6)	28.57(31)	51.97(15)	57.60(15)
24일연장	80.98(17)	33.20(29)	82.24(9)	85.71(4)	47.95(16)	65.14(4)
25일연장	81.31(16)	40.56(24)	73.86(16)	42.86(18)	44.09(18)	56.43(19)
26일연장	82.30(15)	35.76(27)	70.16(20)	85.71(4)	40.37(20)	61.21(8)
27일연장	83.93(14)	38.42(26)	71.39(19)	35.71(2)	36.80(21)	53.11(22)
28일연장	86.56(13)	34.45(28)	80.20(12)	53.57(15)	33.35(22)	57.37(17)
29일연장	89.18(12)	30.49(30)	89.71 (3)	96.43 (2)	30.02(24)	66.09(3)
30일연장	91.80(10)	25.27(31)	100.00(1)	89.2(3)	26.81(25)	66.28(2)
31일연장	89.84(11)	19.41(33)	75.64(15)	57.14(13)	23.72(27)	52.38(25)
32일연장	93.11(8)	18.31(34)	91.72 (2)	64.29(11)	20.72(29)	57.48(16)
33일연장	93.11(8)	23.92(32)	82.69 (7)	100.00(1)	17.83(30)	61.75(6)
34일연장	93.44(7)	17.34(35)	76.31(14)	78.57(7)	15.03(32)	54.62(21)
35일연장	94.75(6)	12.49(36)	78.06(13)	64.29(11)	12.33(34)	51.35(26)
36일연장	95.08(5)	7.07(37)	71.98(17)	71.43(10)	9.70(35)	49.42(27)
37일연장	97.38(4)	2.06(39)	82.61 (8)	35.71(20)	7.16(37)	44.97(35)
38일연장	98.69(3)	0.00(41)	85.40(5)	35.71(20)	4.70(39)	45.01(34)
39일연장	97.38(2)	0.65(40)	65.68(23)	35.71(20)	2.31(40)	39.32(40)
40일연장	100.00(1)	3.21(38)	80.42(11)	35.71(20)	0.00(41)	43.62(38)

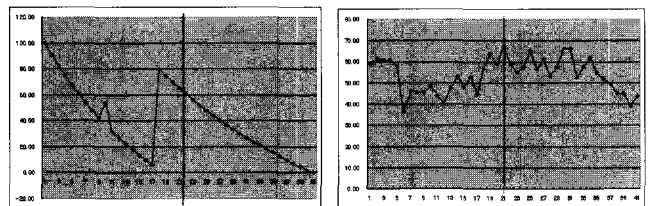
( )안에 숫자:결과값에 따른 순위, 단위:%



(a) 자원모멘트(Mx) 그래프 (b) 자원모멘트(My) 그래프



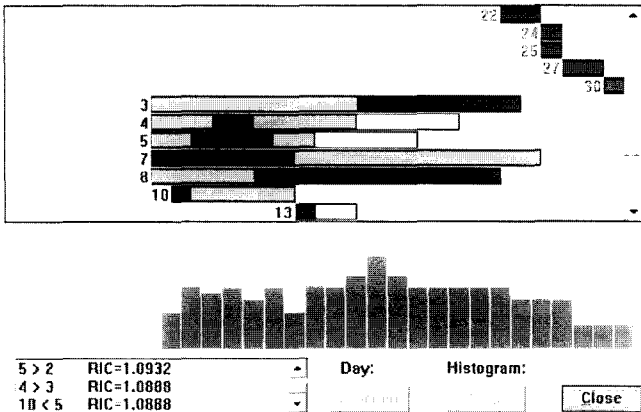
(c) RIC 그래프 (d) 자원 변동량 그래프



(e) 자원 이용률 그래프 (f) 최종 결과값 그래프

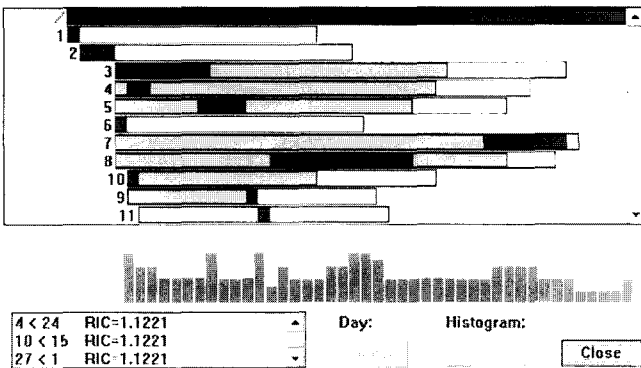
그림 8. 지표별 결과값의 추이\_가상 프로젝트

Bar Chart and Histogram for Activities Scheduled at Recommended Start Dates (RSD)



(a) 최초 공기의 자원평준화 후 Bar-Chart 및 소요 자원 그래프

Bar Chart and Histogram for Activities Scheduled at Recommended Start Dates (RSD)



(b) 적정 공기인 47일날의 자원평준화 후 Bar-Chart 및 소요 자원 그래프

그림 9. 최초 공기와 최종 공기인 47일날의 자원평준화 후 그래프

결론적으로 가상 프로젝트는 47일에 준공되도록 계획되었다. 만약 두 번째로 높게 나타난 30일째 연장하는 시점인 57일이 계약 공기보다 늦다면 추가적인 손해가 예상되므로 계약 공기 이전에 분포한 순위를 참조하는게 바람직 할 것이다. 또한 공기연장에 따른 간접비와 손익관계가 연구가 된다면 최종 순위 7위와 9위도 공정계획시 의사결정의 고려 대상이 될 것이다. 그림9는 최초 예측한 공기인 27일과 최종 공기인 47일 공기에 대한 자원 분포도이다.

### 5. 결론 및 향후 연구 방향

건축공사의 공정계획은 공사계획에 따라 적절한 공사자원을 배분하고 이를 준수하기 위해 수립된다. 이러한 공정계획에서 고려해야 할 여러 가지 요소 중에서 내역중심 관리체계로 구축되어진 비용관리 초점이 아닌 부족한 자원의 효율적인 관리 방법 중의 하나인 자원 평준화 방법(Resource Leveling)의 변형을 통하여 적정 공사기간을 산출하고자 하였다. 이는 프로젝트를 성공적으로 수행해야 하는 관리자의 의사결정에 도움을 줄 수

있을 것으로 사료되며, 그 과정을 살펴보면 다음과 같다.

- (1) 기존의 자원을 고려한 공정계획 (Resource-Based Scheduling)을 고찰함으로써 기존 공정관리 방법의 문제점을 도출하였다. 즉, 하나의 프로젝트에 동시에 적용되는 것이 아니라 프로젝트마다 개별적으로 적용되고 있어 공기와 자원 측면에서 비효과적이라는 문제점이 있었다.
- (2) 효율적 자원관리를 위해 자원평준화의 효과를 극대화하는 측면에서 적정 공사기간 산출이라는 방법을 제안하였다.
- (3) 이때 공정관리 전문가를 대상으로 한 설문조사를 바탕으로 자원을 고려한 공정계획의 지표들간 중요도를 AHP 기법을 통해 파악하였다.
- (4) 마지막으로 가상 프로젝트를 통해 본 제안 모델의 적용 가능성을 검증하였다. 그 결과 47일에 준공할 수 있는 공정계획을 수립하게 되었다.

본 연구는 비용 개념이 아닌 주어진 조건 내에서 가용자원(인력, 자재, 장비, 자금, 기술 등)의 합리적 활용을 통한 적정 공기를 산정해 보았다는 점에 의의가 있다. 향후 연구 과제로는 자원평준화 기법에서 공기 연장에 따른 간접비 발생과의 연계를 통해 프로젝트 전체적인 관점에서의 손익관계를 파악하는 연구가 필요하다. 또한 자원배당, 자원평준화 등 기존 공정관리 기법과의 상호 연계를 통해 보다 효율적인 공정관리 기법에 관한 연구도 이루어 질 수 있을 것으로 사료된다.

### 참고문헌

1. 권춘안, “건설공사 일정계획의 시스템 개선에 관한 연구”, 대한건축학회지, 대한건축학회, 제17권 제2호, 2000, pp.83-92
2. 김경래, “최신 공정관리학”, 기문당, 2003, p.33
3. 김경환, “RCPM 기법을 이용한 일정관리와 공기연장 분석 방법”, 대한건축학회지, 대한건축학회, 제20권 제1호, 2004, pp. 157-164
4. 김석봉, “PERT/CPM에 의한 건축공사의 공정관리합리화 방안에 관한 연구”, 서울대학교 대학원 석사학위논문, 1984
5. 김정진, “PERT/CPM을 활용한 건축공사의 적정인력 배당에 관한 연구”, 연세대학교 대학원 박사학위논문, 1983
6. 변상봉, “Heuristic Resource Leveling Method에 의한 Unlimited Resource의 Leveling에 관한 연구”, 중앙대학교 대학원 석사학위논문, 1987



7. 조근태 외 2명, "앞서가는 리더들의 계층분석적 의사결정", 동현출판사, 2003
8. Karshens, "Economic Optimization of construction project scheduling", J. Constr. Mang. and Economics, E&FN Spon, Vol. 8, No. 2, 1990, p.135
9. Kim, K., "Phantom Float", J. Constr. Eng. and Manag., ASCE, Vol. 129, No. 5, 2003, p.51
10. Donald S. Barrie, Professional Construction Management 건설관리의 개념과 실제, 한국건설관리학회 역, 2000
11. F. Lawrence Bennett, "Critical Path Scheduling Algorithm", J. of Constr. Div., Vol. 94, No. 2, 1968, p.161
12. Moselhi, "Least impact algorithm for resource allocation", Can. J. Civ. Eng., CSCE, Vol. 20, No. 2, 1993, p.180
13. Martinez J., and Loannou P., J. Constr. Eng. and Manag. Program, Dep. of Civil Eng., G. G. Brown Building, The Univ. of Michigan, Ann Arbor, MI 48109-2125, tel. (313) 764-8495
14. Wickwire, J. M., Driscoll, T. J., and Hurlbut, S. B., Construction Scheduling : Preparation, liability, and claim, 2001 cumulative supplement, Aspen Law & Business, New York, 1999
15. William J., and Martin A., O'Brien, "Importance of Capacity Constraint to Construction Cost and Schedule", J. Constr. Eng. and Manag., ASCE, Vol. 126, No. 5, 2000, p.371
16. Thomas, L. Satty, The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, 1980

---

### Abstract

Since a construction project is a series of works that utilizes resources to accomplish the project goal for a given time period, efficient resource management is a prerequisite for the success of the project. Two major areas of resource management are resource constrained scheduling focusing on the limited resource availability and resource leveling focusing on smoothing resource usage pattern on the fixed project completion time. It is not available, however, to apply both techniques to a project at the same time. This paper proposes a model to enhance the minimum moment algorithm of resource leveling, aiming to find an efficient usage of resources and an appropriate project completion time. A survey was performed to evaluate the major five factors in the model. A case study demonstrates the value of the proposed resource leveling technique.

**Keywords** : Scheduling, Resource, Resource Leveling, Projection Duration Estimation

---