

다기준하 동일 한정 자원의 배당 우선순위 결정

The Allocation Precedence of the Limited Same Resource to the Concurrent Activities under Multiple Criteria

황진하*

Hwang, Jin-Ha

요 약

건설사업관리는 건설사업의 초기부터 완성에 이르기까지 범위, 시간, 비용, 품질 등 관련 요소에 대한 통합 관리를 통해 프로젝트를 성공적으로 완수하기 위한 조직적 활동이며, 이의 궁극적 목표는 전사적 경영효율을 극대화하는 것이다. 이를 위해 관리자는 작업의 범위와 방법과 순서 및 비용과 일정을 계획, 실행, 감시 및 통제하며 그들에 수반되는 자원을 할당하고 조정한다. 자원배분은 공기 및 비용과 밀접하게 연관되고, 따라서 이들 관계에 근거한 효과적 자원배당은 하나의 의사결정문제로 모형화될 수 있다. 여기서 문제를 구성하는 의사결정기준과 대안의 성과뿐만 아니라 가중치 또한 중요한 기능을 하므로, 이들의 산정에는 일관성과 객관성이 담보되어야 한다.

본 논문은 다수의 의사결정기준하에 동시에 계획된 단일(복수) 프로젝트(현장)에 속한 활동들간에 한정된 동일 자원의 효과적 투입을 위한 우선순위를 결정하는 개념과 방법을 제시하였다. 기반 도구로 다기준 의사결정기법의 하나인 계층분석법을 활용하였으며, 세 가지 유형의 사례에 적용하여 그에 대한 타당성과 유용성을 보였다. 사례 1은 각 활동이 주공정상에 위치하며 선택기준으로 조기종료시간, 잔여후속공기, 후속활동수, 자원요구량 등을 선정하였으며, 사례 2는 경쟁 활동이 상이한 여유시간과 조기종료시간, 자원일수, 후속잔여공기, 후속활동수 등을 의사결정속성으로 선정하였다. 사례 3은 이미 수행된 4개의 공사에 대해 본 연구의 방법을 피드백하여 유용성을 검토하였다.

키워드 : 동시 활동, 자원배당, 계층분석법, 다기준 의사결정, 쌍체비교행렬, 일관성검증

1. 서론

건설프로젝트는 정해진 기간과 주어진 예산 범위 내에서 복합 자원을 투입하여 요구된 품질을 목표로 수행되는 단단계 복합공정사업으로 각각은 유일한 특성을 갖는다. 따라서 이러한 복합 프로젝트를 효과적으로 수행하기 위해서는 과학적 의사결정과정에 엄격한 실행 수단을 갖는 효율적 사업관리체계가 요구된다. 건설사업관리는 건설사업전반의 목표된 라이프사이클에 대한 기획, 조사, 분석, 설계, 조달, 계약, 시공, 사후관리 등에 관한 관리업무를 말한다. 미국 건설관리협회(Construction

Management Association of America : CMAA)에서는 CM(Construction Management)을 시간, 범위, 비용, 품질 등에 대한 관리를 목적으로 사업의 초기부터 완성에 이르기까지 건설사업에 적용하는 전문 관리과정으로 정의한다. 여기에 과학적 관리기법이 활용되고 있으며, 이들의 궁극적 목표는 전사적 경영효율을 극대화하는 것이다. 이와 관련 건설을 포함한 포괄적인 프로젝트를 관리하기 위한 방법론으로 프로젝트관리(PM: Project Management)기법이 전 산업분야에서 폭넓게 도입 활용되고 있다.

대표적인 PM조직인 미국 PMI(Project Management Institute)의 PMBOK(Project Management Body of Knowledge)에서는 9가지 PM 지식영역과 5가지 PM 프로세스 그룹이 다중 매핑으로 연관되어 모두 44개의 세부 프로젝트관

* 일반회원, 충북대학교 토목공학부 교수, 공학박사
jhhwang@chungbuk.ac.kr

이 논문은 2006학년도 충북대학교 학술연구지원사업의 지원으로 이루어짐.

리 프로세스를 논한다. 전자는 통합, 범위, 시간, 원가, 품질, 인적자원, 의사소통, 위험, 조달의 관리지식영역으로 후자는 착수, 기획, 실행, 감시 및 통제, 종료 그룹으로 구성되어 있다.²⁾ CM 업무체계 또한 상응하는 구조를 갖고 있다. 흔히 'within budget', 'on time', 'as specified'로 표현되는 비용과 시간, 범위 및 품질이 관리의 핵심대상이며 이들은 'scope'에 포함되는 작업을 단위로 상호 연관된다. 다르게 표현하면 공사관리의 목적은 표현된 설계도서를 발주자의 최종요구에 맞춰 형상화시키는 것이며, 이를 위해 관리자는 해당 작업의 방법과 순서 및 일정을 계획하고 자원을 할당하고 조정한다.

여기서 자원배분은 공기 및 비용과 밀접하게 연관되고, 이를 위해 이론적 및 경험적인 다양한 방법들이 활용되고 있으나 기본적으로 단편적 수준에 머물러 있다. 경영 측면에서 공사관리를 시공에 관계되는 범위, 비용, 일정, 품질을 주목표로 갖는 일련의 의사결정과정이라 할 때, 기업의 전사적 전략목표로부터 하위 수준의 작업에 이르기까지의 제반 사항 및 상호 영향들을 고려한 효과적인 의사결정이 요구된다.

이것을 위해서는 수학이나 통계학 또는 경영학 등을 응용하는 다양한 접근방법이 있을 수 있으나, 어떠한 것이든 효과적인 자원배분은 결국 하나의 의사결정문제로 모형화할 수 있다. 또한 의사결정에 있어서는 의사결정의 기준뿐만 아니라 가중치 또한 중요한 기능을 하므로, 풍부한 경험과 자료 등의 분석을 통해서 가중치 산정을 보다 객관화할 필요가 있다.

본 논문은 한정된 자원이 동시에 요구되는 프로그램 또는 프로젝트의 여러 현장에 대한 자원의 효과적 투입을 위한 우선순위를 결정하는데 목적이 있다.

2. 자원배당문제

자원관리의 기본 목표는 주어진 공기와 예산 범위 내에서 자원의 이용효율을 높이고 유휴비용을 줄임으로써 경제적인 공정운용을 하는 것이다. 이것은 사업관리의 핵심 요소인 일정관리 및 비용관리와 밀접하게 연동되며 전체 공사관리의 성패에 커다란 영향을 미친다. 자원의 주요 요소는 인력, 장비, 자재 등이며 각각은 하나의 사업 중에 다수의 작업에 관련되고 복합 작업으로 한데 묶여 배분되기도 한다. 몇 개의 작업이 병렬적으로 진행될 때는 균형 배당이 요구된다. 인력의 경우, 적시 확보의 어려움과 변동에 수반되는 추가 비용뿐만 아니라 현장조건 등에 따라 동원에 한계가 있기 마련이다. 특히 고정인력의 경우 완전 고용상태일 때 최적의 효율성을 갖고, 적시 적소에 투입되어야 한다. 자재의 경우, 품질 및 재고 비용을 고려할 때, 구매 및 공급

의 연결이 중요하며, 특히 장비의 경우, 임차의 문제와 맞물려 그것에 대한 적시 운용이 대단히 중요하다.^{3),6),7)}

자원배당이란 자원 소요량과 가용 자원량의 균형을 이루는 것이다. 보편적으로 건설공사는 시간과 자원의 제약을 갖고 있다. 자원이 한정된 경우 기본적으로 1, 2차 동원가능수준 및 허용 지연 등을 고려하고 새로운 대안에 대한 모의실험이 필요하다. 활동에 필요한 것보다 동원가능 자원수가 부족할 경우, 어느 활동에 우선적으로 자원을 배당할 것인가에 대한 우선순위를 결정하여야 한다. 일반적으로 자원에 관한 어떤 순열의 우선순위규칙이 대상 공사에 최선의 결과를 가져다주는지는 미리 예측하기 어렵다. 규칙 또는 규칙의 조합을 적용한 결과는 각 경우마다 일정하지 않다. 보편적으로 많이 사용되는 우선순위규칙들로는 최소여유시간, 최소조(만)기 시작시간, 최소조(만)기 종료시간, 최장(단)기간, 최조후속활동, 최다후속활동, 후속활동의 최소여유시간, 최대자원요구, 최대자원일수, 최장후속공정 등과 같은 것을 들 수 있다.^{1),4),5),8)}

자원의 효율적 운용을 위해서는 자원변동의 분산을 최소화하는 평준화가 필요하다. 이것은 자원 활용의 기복을 최소화하여 낭비를 줄이기 위한 것으로 주공정상에 있지 않은 작업의 착수일을 조정하여 연속성을 취한다. 즉, 여유시간을 이용하여 요소작업의 착수 일자를 조정함으로써 자원투입의 균형을 도모하나 가용 자원의 제한이 있는 경우는 공기가 주공정대로 되지 않아 연장이 불가피해진다. 이럴 때 여유시간을 갖는 요소작업의 자원을 전용하거나 정상시간을 적용한 주공정 요소작업에 대한 비용구배의 값이 작은 요소작업시간을 긴급시간으로 대체하여 공기를 단축한다. 자원전용이나 시간-비용 교역분석(time-cost trade-off analysis)에 의한 것도 비교적 단순한 직렬의 주공정 정보에 근거한다. 그러나 자원 제한이 있을 경우, 어느 활동에 먼저 자원을 배정할 것인지에 대한 우선순위규칙을 세워야 한다. 특히, 하나가 아닌 복수의 공사 또는 구간에서 동시에 한정된 자원을 투입해야 할 경우, 어느 공사의 어느 활동에 먼저 자원을 투입해야 하는가에 대한 선택이 불가피하다.

3. 다기준 계층분석 의사결정

일반적으로 의사결정의 환경은 확실한 상황과 위험을 포함한 불확실한 상황으로 나뉜다. 전자는 의사결정에 필요한 여러 가지 정보를 모두 갖고 있는 것으로 간주하고, 이러한 경우에는 수리계획법 등의 수학적인 방법 등을 이용할 수 있다. 그러나 현실적으로 불확실한 상황에서 의사결정이 더 많이 이루어진다. 이러한 경우 통계학적 방법 등을 활용할 수 있으나, 어떠한 방법이

최선이라 하기는 어렵고 상황과 주체에 따라서 서로 다른 판단 방법과 기준을 적용해야 한다. 기본적인 것들로는 의사결정자의 성향이나 조직의 전략에 따라 일어날 수 있는 미래 상황에 대해서 각각의 대안이 갖는 성과나 기회손실의 관점에서 성과표나 기회손실표를 만들고 적용하는 maximin과 maximax나 minimax 등의 기준과 의사결정나무방법 등을 들 수 있다. 각각의 경우와 문제에 따라 성과, 가치, 효용 등을 점수화해 발생 확률에 대한 정보를 이용하거나 그것을 가정하여 금전적 기대가치를 셈하여 높은 것을 취한다.¹⁰⁾ 그러나 의사결정에 있어서 대안의 성과뿐만 아니라 가중치 또한 중요한 영향을 미치기 때문에 경험과 자료 및 전문가 면담 등을 통한 과학적이고 객관적인 가중치 산정이 필요하다. 계층분석법(AHP : Analytic Hierarchy Process)은 Thomas L. Saaty에 의해 개발된 다기준하의 의사결정방법이다.¹¹⁾ 이것은 의사결정자가 의사결정요인의 상대적 중요성에 대한 판단과 각 요인별로 각 대안의 선호도를 제시하면 각 대안에 대한 전체적인 우선순위를 제공해준다. 계층분석법은 다음과 같이 요인별 대안의 우선순위계량화단계와 대안의 우선순위결정단계 등으로 나누어 진행된다.

쌍체비교행렬 작성

쌍체비교(pairwise comparison)는 각 요인별로 대안의 우선순위를 계량화하기 위하여 한 번에 두 개의 대안만을 직접 비교한다. 쌍체비교의 척도로서 표 1의 9점 척도를 활용하며, 전체 대안들에 대한 쌍체비교척도를 요소로 쌍체비교행렬을 작성한다.

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서, P 는 쌍체비교행렬

$$P_{ij} = 1/P_{ji} \text{는 쌍체비교척도, } P_{ii} = 1$$

이것은 '차이가 없다'를 1점, '조금 지배적이다'를 3점, '지배적이다'를 5점, '아주 지배적이다'를 7점, '절대적으로 중요(지배적)하다'를 9점으로 그들 사이에는 각각 2, 4, 6, 8점을 매긴다. 행과 열을 대안으로 하고 행에 있는 대안과 열에 있는 대안과의 교차점에 행에 있는 대안의 열에 있는 대안에 대한 쌍체비교 선호척도를 기재하고, 같은 대안의 비교척도는 1로 기재하며, 대칭 위치에는 선호척도의 역수를 기재한다. 예를 들면 A:B의 척도가 2이면, B:A의 척도는 1/2을 기재한다.

표1. 비교척도

척도	정의
1	차이가 없다
3	조금 중요하다 또는 지배적이다
5	중요하다 또는 지배적이다
7	아주 중요하다 또는 지배적이다
9	절대적으로 중요하다 또는 지배적이다
2, 4, 6, 8	중간값

상대적 우선순위결정

여기에서는 각 요인별로 대안의 우선순위를 계량화하여 상대적 우선순위를 결정하는데 그것은 다음 고유치문제의 최대 고유치에 상응하는 고유벡터의 원소를 우선순위에 대한 가중치로 한다.

$$P\omega = \lambda\omega \quad (2)$$

또는

$$(P - \lambda I)\omega = 0 \quad (3)$$

$$\sum_i \omega_i = 1, i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

여기서, P 는 쌍체비교행렬

λ 는 P 의 고유벡터

$\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)$ 는 가중치벡터

가중치를 계산하는 반복 과정은 스프레드시트를 통해 효과적으로 수행될 수 있으며, 그 절차는 다음과 같다.

step 1 : 쌍체비교행렬에서 각 열의 합을 구한다.

step 2 : 각 열의 원소를 각 열의 합으로 나눈 결과를 행렬로 만든다. 이렇게 정규화된 행렬을 표준쌍체비교행렬(normalized pairwise comparison matrix)이라고 한다.

step 3 : 표준쌍체비교행렬에서 각 행의 원소값의 평균을 구한다. 이 평균이 쌍체비교를 한 요인에서의 각 대안별 선호도 점수(rating or scores) 또는 상대 가중치(relative weights)가 된다.

일관성검정

위에서 구한 우선순위는 의사결정자의 판단에 따른 쌍체비교에 근거를 두고 있다. 따라서 우선순위가 신뢰성을 갖기 위해서

는 의사결정자의 판단이 일관성(consistency)을 갖는 것이 전제 된다. 판단의 일관성이 우선순위의 신뢰도에 결정적인 역할을 하기 때문에 그에 대한 검증이 필요하다. 다만 쌍체비교에서의 완전한 일관성을 유지하는 것은 대단히 어려워 어느 정도 결여를 허용하고 있다. 보통 일관성비율이 10%를 상회하면 판단의 일관성에 많은 문제가 있음을 뜻하고, 10% 이하이면 쌍체비교 판단의 일관성에 문제가 없는 것으로 수용한다. 일관성비율이 10%를 상회하면 수정된 쌍체비교를 시도해야 한다. 일관성비율을 계산하는 절차는 다음과 같다.

step 1 : 가중치합벡터를 구한다.

$$q = P\omega \quad (5)$$

여기서, $q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$ 는 가중치합벡터

step 2 : 가중치합벡터와 선호도점수벡터 성분간의 비값을 구한다.

$$r_j = q_j / S_{ij}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

여기서, $r = (r_1, r_2, \dots, r_n)$ 은 두 벡터 성분 간의 비값.

step 3 : 비값의 평균을 구한다.

$$\lambda_{max} = \sum_j r_j / n \quad (7)$$

이들 값들을 이용하여 다음과 같이 일관성지수와 일관성비율을 계산한다.

일관성지수(Consistency Index : CI)는 다음 공식으로 구한다.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (8)$$

여기서, n은 쌍체비교 속성의 수

일관성비율(Consistency Ratio : CR)은 다음 식으로 구한다.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (9)$$

여기서 RI는 쌍체비교행렬의 무작위지수로서 쌍체비교하는 대안의 수에 따라 주어지며 그 값은 표 2와 같다.

표 2. 무작위지수

n	3	4	5	6	7	8
RI	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.42

요인 가중치 계산

다음으로 의사결정요인간의 쌍체비교를 하는데, 그 절차는 각 대안에 대한 요인별 쌍체비교절차와 같다.

대안의 우선순위결정

대안의 각 요인별 점수에 요인의 상대적우선순위(가중치)를 곱하여 고려된 의사결정기준에서의 각 대안의 전체적인 우선순위를 결정한다.

$$S_j = \sum_i (\omega_i S_{ij}) \quad (10)$$

여기서, S_j 는 작업의 가중점수, 우선순위
 ω_i 는 속성 또는 기준 i의 가중치
 S_{ij} 는 속성 i에 대한 작업 j의 점수

4. 적용 및 분석

한정된 수나 양을 갖는 가용 자원을 동시에 수행되는 복수의 프로젝트 또는 현장에 투입할 우선순위를 결정하는 것은 실제 건설사업관리에서 자주 부딪치게 되는 어려운 의사결정문제들 중의 하나이다. 이와 같은 문제를 해결하기 위한 본 연구의 방법 및 절차를 세 가지 사례를 통해 설명하고자 한다. 첫 번째 사례는 해당 자원의 투입대상 활동들이 주공정상에 위치한 프로젝트이고 두 번째 사례는 보다 일반적인 경우에 해당된다. 세 번째 사례는 기 수행된 4개의 공사에 대해 본 연구의 방법을 피드백하여 역검증하였다. 여기서 자원이라 함은 인력, 자재, 장비 등의 주자원 또는 자금이 될 수 있고, 활동(activity)은 자원들이 투입되어 최종 인도물(deliverables)을 생산해 내는 작업군(work package)의 하부 단위를 말한다. 예를 들어 작업군은 목공작업, 콘크리트작업, 토공작업 등을, 활동은 후자의 예에서 거푸집제작, 콘크리트 타설, 양생, 제거 등이 될 수 있다. 본 연구의 방법은 다양한 유형의 자원배당문제에 적용될 수 있으며, 다음 사례들은 여러 경우들에 대한 응용으로 볼 수 있다. 따라서 기본 예제로서 제시되기 때문에 구체적인 자원 또는 작업을 표시하지 않고 PMBOK 5장 프로젝트범위관리의 표본 WBS를 인용해 작업군의 코드번호로 표시한다. 의사결정기준 또한 많은 종류의 기준들 가운데 편의상 선정되었다.³⁾

사례 1. 주공정상 복수 활동

가칭 한국건설은 주공정상에 위치한 세 곳의 활동에 한정된 동일 자원을 투입해야한다. 자원배당을 위한 여러 사항들 가운데 조기종료시간, 잔여후속공기, 후속활동수, 자원요구량 등을 고려하여 현장 투입 우선순위를 결정하려고 한다.

먼저 각 기준별로 대안들의 상대적 우선순위와 각 기준의 우선순위를 구하기 위해 쌍체비교행렬을 작성한다. 비교척도로는 9점 척도를 쓴다.

표 3.a. 조기종료시간 쌍체비교행렬

	작업군1	작업군2	활동 3	products
작업군1	1	2	4	1.714
작업군2	1/2	1	2	0.857
활동 3	1/4	1/2	1	0.429

표 3.b. 표준쌍체비교행렬 및 점수

	작업군1	작업군2	활동 3	scores
작업군1	0.571	0.571	0.571	0.571
작업군2	0.286	0.286	0.286	0.286
활동 3	0.143	0.143	0.143	0.143

표 3.c. 일관성검정

	ratios	λ_{max}	CI	CR
작업군1	3.000	3.000	0.000	0.000
작업군2	3.000			
활동 3	2.999			

먼저 '조기종료시간' 조건에서 활동 대안들 간에 쌍체비교를 하면 표 3.a와 같다. 즉 활동(현장) 1은 활동 2에 비해 '차이가 없다'와 '조금 중요하다'의 중간값을 갖는다. 그리고 그것은 현장 3에 비해 '조금 중요하다'와 '중요하다'의 중간값을 갖는다. 마찬가지로 현장 2는 현장 3에 비해 '차이가 없다'와 '조금 중요하다'의 중간값을 갖는다는 것을 보인다. products는 쌍체비교행렬의 각 행과 표준쌍체비교행렬을 통한 우선순위점수벡터의 곱으로 구성되는 벡터로 일관성검정을 위한 가중점수의 합벡터이다. 표 3.b는 쌍체비교행렬을 정규화한 표준쌍체비교행렬과 그것의 행요소들의 평균값으로 구성된 각 대안에 대한 상대적 점수를 나타낸다. 표 3.c의 첫 열에 위치한 값들은 표 3.a의 가중점수합 벡터와 표 3.b의 상대점수벡터의 상응하는 값들 사이의 비(ratio)를 나타내고, 그들의 평균이 λ_{max} 로 표시되어 있다. CI와 CR은 앞에서 설명된 일관성지수와 일관성비율로서 이 경우, CR이 '0.0'으로 '0.1'보다 작으므로 의사결정자의 쌍체비교 판단에 일관성문제는 없다고 할 수 있다.

여기서 쌍체비교행렬 P를 일관성 검증결과와 함께 아래 식 (11)과 같이 수학 행렬

$$P_1 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 4 \\ 1/2 & 1 & 2 \\ 1/4 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}, \begin{matrix} \lambda_{max}=3.000 \\ CI=0.000 \\ CR=0.000 \end{matrix} \quad (11)$$

로 다시 표현한다. 이와 같은 방식으로 나머지 잔여후속공기, 후속활동수, 자원요구량 등의 기준에 대해 각 현장 활동들에 대한 쌍체비교한 결과는 각각 식 (12), (13), (14)와 같다. 또한 각각의 쌍체비교에 대한 일관성비율은 0.047, 0.006, 0.002로서 판단의 일관성에 특별한 문제가 없는 것으로 수용할 수 있다.

$$P_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 1/3 \\ 2 & 1 & 1/3 \\ 3 & 3 & 1 \end{bmatrix}, \begin{matrix} \lambda_{max}=3.054 \\ CI=0.027 \\ CR=0.047 \end{matrix} \quad (12)$$

$$P_3 = \begin{bmatrix} 1 & 1/7 & 1/3 \\ 7 & 1 & 3 \\ 3 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}, \begin{matrix} \lambda_{max}=3.007 \\ CI=0.004 \\ CR=0.006 \end{matrix} \quad (13)$$

$$P_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1/4 & 1/7 \\ 4 & 1 & 1/2 \\ 7 & 2 & 1 \end{bmatrix}, \begin{matrix} \lambda_{max}=3.002 \\ CI=0.001 \\ CR=0.002 \end{matrix} \quad (14)$$

마지막으로 각 의사결정요인간의 쌍체비교는 표 4와 같다. 상대적 우선순위 벡터는 (0.472, 0.119, 0.252, 0.157)로 나타난다. 이를 통해 현장투입을 위한 결정기준의 상대적 우선순위는 조기종료시간이 0.472로 가장 높고, 그 다음은 후속활동수 0.252, 자원요구량 0.157, 잔여후속공기 0.119 순이라는 것을 볼 수 있다.

표 4. 의사결정요인간 쌍체비교행렬

	조기종료시간	잔여후속공기	후속활동수	자원요구량	weights
조기종료시간	1	3	2	4	0.472
잔여후속공기	1/3	1	1/2	1/2	0.119
후속활동수	1/2	2	1	2	0.252
자원요구량	1/4	2	1/2	1	0.157

$$\lambda_{max}=4.098, CI=0.033, CR=0.036$$

마지막으로 각 현장 활동의 각 기준별 점수에 해당 기준의 상

대적우선순위를 가중치로 곱하여 각 대안의 전체적인 우선순위를 결정한다. 그 결과가 표 5에 표시되어있다. 즉 각 현장별 자원 투입 우선순위는 다음과 같다. 의사결정자의 쌍체비교가 적절한 것이라면 현장 2, 1, 3의 순으로 한정된 자원을 투입하는 것이 바람직하다는 것을 보여주고 있다.

표 5. 작업우선순위

	조기종료시간	잔여후속공기	후속활동수	자원요구량	우선순위
작업군1	0.571	0.159	0.088	0.082	0.324
작업군2	0.286	0.252	0.669	0.315	0.383
작업3	0.143	0.589	0.243	0.603	0.294

사례 2. 상이한 여유시간을 갖는 복수 작업 현장

가칭 중앙개발은 동일 시점에서 네 곳의 현장에 한정된 동일 자원을 투입해야한다. 자원배당을 위한 여러 가지 고려 요인들 가운데 현 상황에 적절한 여유시간, 조기종료시간, 자원일수, 후속잔여공기, 후속활동수 등을 선정하였다. 모두 다섯 가지 조건 아래 어떠한 순서로 네 개의 활동에 투입할 것인지를 결정하려고 한다. 동일 시점에서 각 활동들은 동일 또는 다른 프로젝트에 속할 수 있고 주공정상에 위치하는지 여부는 특정되지 않는다. 프로젝트의 성공적 수행을 위한 필수 조건이 주어진 기간 내에 실행되어야 한다는 점을 고려할 때 일반적으로 여유시간이 없는 주공정상에 위치한 활동이 우선된다.

여기서 여유시간을 하나의 기준으로 포함하는 다기준하의 자원투입을 의사결정문제로 설정하고 계층분석법을 활용한 효과적인 일반적 해결방법을 제시하고 그 타당성 및 효용성을 보이기로 한다.

먼저, 9점 척도로 쌍체비교행렬을 작성하고 대안과 기준에 대한 상대적 우선순위를 구한다.

첫째, '최소여유시간' 조건에서 활동대안들 간에 쌍체비교를 하면 표 6.a와 같다. 즉 활동(현장) 1이 활동 2보다 '조금 여유가 없으며', 활동 3의 공사에 비해서는 두 등급 더 '여유가 없다'고 판단한다. 그리고 그것은 활동 4에 비해 '아주 여유가 없다'와 '훨씬 여유가 없다'의 중간값을 갖는다. 마찬가지로 활동 2의 공사는 활동 3의 그것에 비해 '차이가 없거나', '조금 여유가 없다'의 중간이며, 활동 4의 공사에 비해 '조금 여유가 없다'는 것

표 6.a. 최소여유시간 쌍체비교행렬

	A 2,2,1	A 3,1	B 4,1,3	C5,2,1,1	products
A 2,2,1	1	3	5	8	2,429
A 3,1	1/3	1	2	3	0.879
B 4,1,3	1/5	1/2	1	4	0.607
C5,2,1,1	1/8	1/3	1/4	1	0.239

을 나타낸다. 표 6.b에서 CI와 CR은 앞에서 설명된 일관성지수와 일관성비율로서 이 경우, CR이 '0.045'로 '0.1'보다 작으므로 의사결정자의 쌍체비교 판단에 일관성이 있다고 판단된다.

표 6.b. 일관성검정

	scores	λ_{max}	CI	CR
A 2,2,1	0.582	4.120	0.040	0.045
A 3,1	0.209			
B 4,1,3	0.149			
C5,2,1,1	0.059			

여기서 쌍체비교행렬 P 를 일관성 검증결과와 함께 다시 식 (15)과 같이 수학 행렬로 표현한다.

$$P_1 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & 8 \\ 1/3 & 1 & 2 & 3 \\ 1/5 & 1/2 & 1 & 4 \\ 1/8 & 1/3 & 1/4 & 1 \end{bmatrix}, \begin{matrix} \lambda_{max}=4.120 \\ CI=0.040 \\ CR=0.045 \end{matrix} \quad (15)$$

이와 같은 방식으로 나머지 조기종료시간, 자원일수, 잔여후속공기, 후속활동수의 기준에 대해 각 현장 활동들에 대한 쌍체비교한 결과는 각각 식 (16), (17), (18), (19)와 같다. 또한 각각의 쌍체비교에 대한 일관성비율은 0.027, 0.063, 0.051, 0.078로

$$P_2 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 6 & 3 \\ 1/2 & 1 & 4 & 2 \\ 1/6 & 1/4 & 1 & 1/4 \\ 1/3 & 1/2 & 4 & 1 \end{bmatrix}, \begin{matrix} \lambda_{max}=4.072 \\ CI=0.024 \\ CR=0.027 \end{matrix} \quad (16)$$

$$P_3 = \begin{bmatrix} 1 & 5 & 1/2 & 1/3 \\ 1/5 & 1 & 1/7 & 1/9 \\ 2 & 7 & 1 & 1/4 \\ 3 & 9 & 4 & 1 \end{bmatrix}, \begin{matrix} \lambda_{max}=4.169 \\ CI=0.056 \\ CR=0.063 \end{matrix} \quad (17)$$

$$P_4 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 7 & 5 \\ 1/2 & 1 & 4 & 3 \\ 1/7 & 1/4 & 1 & 2 \\ 1/5 & 1/3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}, \begin{matrix} \lambda_{max}=4.137 \\ CI=0.046 \\ CR=0.051 \end{matrix} \quad (18)$$

$$P_5 = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 2 & 5 \\ 3 & 1 & 4 & 8 \\ 1/2 & 1/4 & 1 & 7 \\ 1/5 & 1/8 & 1/7 & 1 \end{bmatrix}, \begin{matrix} \lambda_{max}=4.211 \\ CI=0.070 \\ CR=0.078 \end{matrix} \quad (19)$$

서 판단의 일관성에 특별한 문제가 없는 것으로 수용할 수 있다.

마지막으로 각 의사결정기준간의 쌍체비교는 표 7과 같다. 일관성비율은 0.018로서 문제되지 않는다. 상대적 우선순위 벡터는 (0.432, 0.269, 0.049, 0.077, 0.173)으로 나타난다. 이를 통해 현장투입을 위한 결정기준의 상대적 우선순위는 최소여유시간이 0.432로 가장 높고, 그 다음은 조기종료시간으로 0.269, 후속활동수 0.173, 잔여후속공기 0.077, 자원일수 0.049 순이라는 것을 볼 수 있다.

표 7. 의사결정요인간 쌍체비교행렬

	여유시간	조기 종료시간	자원일수	후속 잔여공기	후속활동수	weights
여유시간	1	2	7	5	3	0.432
조기종료시간	1/2	1	5	4	2	0.269
자원일수	1/7	1/5	1	1/2	1/4	0.049
후속잔여공기	1/5	1/4	2	1	1/3	0.077
후속활동수	1/3	1/2	4	3	1	0.173

$$\lambda_{max} = 5.079, CI = 0.020, CR = 0.018$$

각 현장 활동의 각 기준별 점수에 해당 기준의 상대적 우선순위를 가중치로 곱하여 각 대안의 전체적인 우선순위를 결정한다. 그 결과가 표 8에 표시되어있다. 즉 각 활동별 자원 투입 우선순위는 다음과 같다. 의사결정자의 쌍체비교가 적절한 것이라면 한정된 자원을 작업 활동 1, 2, 3, 4의 순으로 투입하는 것이 바람직하다는 것을 보여주고 있다.

표 8. 활동우선순위

	여유시간	조기 종료시간	자원일수	후속 잔여공기	후속활동수	우선순위
A 2,2,1	0.582	0.478	0.168	0.529	0.231	0.469
A 3,1	0.209	0.276	0.042	0.286	0.541	0.282
B 4,1,3	0.149	0.064	0.241	0.102	0.182	0.133
C5,2,1,1	0.059	0.182	0.548	0.083	0.046	0.116

사례 3. PMS 연동 운용

이 사례는 이미 수행된 4개의 공사에 대해 본 연구의 방법을 피드백하여 역검증한 것이다. 기본 PMS는 MS Project이고 본 연구 부분은 MS Excel로 작성되었으며, 변형된 표준정보분류 체계에 근거한 코드관리자가 시설, 공간, 자원 및 공종 등에 관한 코드정보를 연동 관리한다.

특정일자인 10월 11일 이후 프로그램 계획은 현장 D의 철근 가공 및 조립작업이 종료되고, 그 대신 현장 A, 현장 B, 현장 C에서 동종 작업이 예정되어 있거나 진행되고 있다.

그림 1에서는 분산 프로젝트 관리 시스템 상에서 실제 공사가

수행된 4개의 현장 A, B, C, D에 대한 10월 10일 이후 작업 진행상황 분석화면을 나타내고 있다.

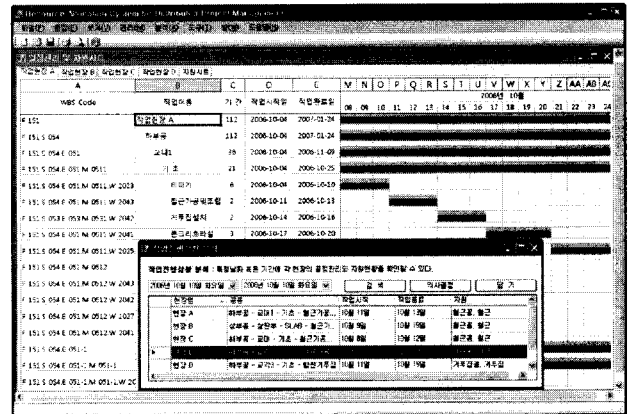


그림 1. 현장별 작업진행사항 분석

자원배당을 위한 여러 가지 기준 중 현 현장 상황을 고려하여 우선순위 규칙은 최소여유시간, 조기시작시간, 후속공정의 최소 시작시간, 최대후속활동, 최대자원요구의 5가지 요인으로 설정하고 쌍체비교행렬과 결과는 식 (20)~(24)에 표현하였다.

$$P_1 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 1/2 & 1 & 2 \\ 1/3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}, \begin{matrix} \lambda_{max} = 3.009 \\ CI = 0.005 \\ CR = 0.008 \end{matrix} \quad (20)$$

$$P_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 1/4 \\ 2 & 1 & 1/3 \\ 4 & 3 & 1 \end{bmatrix}, \begin{matrix} \lambda_{max} = 3.018 \\ CI = 0.009 \\ CR = 0.016 \end{matrix} \quad (21)$$

$$P_3 = \begin{bmatrix} 1 & 1/5 & 1/2 \\ 5 & 1 & 4 \\ 2 & 1/4 & 1 \end{bmatrix}, \begin{matrix} \lambda_{max} = 3.025 \\ CI = 0.012 \\ CR = 0.021 \end{matrix} \quad (22)$$

$$P_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 1/3 \\ 2 & 1 & 1/2 \\ 3 & 2 & 1 \end{bmatrix}, \begin{matrix} \lambda_{max} = 3.009 \\ CI = 0.005 \\ CR = 0.008 \end{matrix} \quad (23)$$

$$P_5 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 2 \\ 1/3 & 1 & 1/2 \\ 1/2 & 2 & 1 \end{bmatrix}, \begin{matrix} \lambda_{max} = 3.009 \\ CI = 0.005 \\ CR = 0.008 \end{matrix} \quad (24)$$

각 의사결정 규칙들에 대한 CR값은 0.008, 0.016, 0.021,

0.008, 0.008으로 모두 0.1이하이며, 따라서 판단의 일관성에 문제가 없다고 수용한다. 그림 2는 각 의사결정요인들간의 표준 쌍체비교행렬 및 활동우선순위 결정에 대한 결과를 화면 캡처하여 나타내고 있다. 의사결정 규칙들간의 상대적 우선순위 벡터는 최소여유시간, 조기시작시간, 후속공정의 최초시작시간, 최다후속활동, 최대자원요구 순으로 나타난다.

의사결정요인	소스여유시간	후속공정의 최초시작시간	조기시작시간	후속공정의 최초시작시간	최다후속활동	우선순위	PIBC	Index	CI	CR
소스여유시간	3.438	0.439	0.459	0.361	0.333	0.416	0.116			
후속공정의 최초시작시간	0.146	0.146	0.122	0.151	0.290	0.161	0.082			
조기시작시간	0.219	0.293	0.285	0.266	0.257	0.262	0.108	0.068	0.011	0.015
후속공정의 최초시작시간	0.073	0.073	0.092	0.105	0.131	0.099	0.022			
최다후속활동	0.085	0.049	0.061	0.046	0.067	0.062	0.034			

의사결정요인	후속공정의 최초시작시간	조기시작시간	후속공정의 최초시작시간	최다후속활동	우선순위
현장 A	0.563	0.137	0.118	0.164	0.765
현장 B	0.257	0.240	0.691	0.257	0.205
현장 C	0.164	0.523	0.231	0.539	0.460

그림 2. MS Excel 상에서 자동화된 의사결정 Sheet

마지막으로 각 대안의 전체적인 자원 투입 우선순위는 현장 B, 현장 A, 현장 C 순이 된다는 것을 알 수 있다. 이러한 결과를 통하여 현장 D에서 철수되는 철근 가공 및 조립을 10월 11일부터 현장 B로 재배치하게 된다.

5. 결론

공사관리는 작업을 축으로 공기, 비용, 품질 등 핵심요소를 포함한 공사 전반에 대해 계획, 실행, 조정하는 일련의 의사결정과정이다. 여기서 자원은 공기 및 비용에 밀접하게 연관되며 분할된 작업 및 활동에 배분된다. 이를 위해 이론적 및 경험적인 다양한 방법들이 활용되고 있으나 기본적으로, 많은 부분 경험과 직관에 따른 시행착오를 반복한다.

특히 다수의 프로젝트와 그에 관련된 분산된 현장에서 동시에 다수의 작업 활동이 수행될 때 시간과 비용의 교역을 통한 자원의 배분은 상당한 복잡성을 갖는다. 따라서 세부 목표 또는 기준들이 상충되는 현장 상황을 고려한 과학적인 방법이 요구된다.

효과적 자원배분은 의사결정문제로 모형화될 수 있고 그 경우 의사결정요인의 선정뿐만 아니라 가중치 또한 중요한 기능을 하므로, 풍부한 경험과 자료 등의 분석을 통해서 그들을 보다 객관

화할 필요가 있다.

본 논문은 한정된 자원이 동시에 요구되는 복수 현장에서 다 기준 의사결정기법의 하나인 계층분석법을 활용하여 자원의 효과적 투입을 위한 우선순위를 결정하는 개념과 방법 및 절차를 제시하고 그에 대한 타당성과 유용성을 보였다. 건설사업의 속성상 각각의 프로젝트가 유일성을 갖고 제반 환경과 상황이 유동적이거나, 본 연구의 방법론이 일반적이어서 여러 유형의 프로젝트에 폭넓게 적용할 수 있다. 특히 기존의 프로젝트관리시스템과 연동될 경우 다각적인 분석 및 의사결정능력이 배가될 수 있을 것이다. 연구에서 제시된 방법론을 실제 활용하는 데 있어, 의사결정기준의 선정과 쌍체비교행렬의 작성은 PMO의 판단에 종속된다. 본 방법은 정량화와 일관성검증을 통해 주관적 판단의 오류를 최소화할 수 있으나, 기업의 전략적 목표에 맞춰 내외부의 면밀한 토의와 검토가 보다 성공적인 결과를 이끌어 낼 수 있을 것이다. 또한 외적 환경의 불확실성과 시간 변동성 및 다수 프로젝트가 상충하는 복잡성을 고려한다면, 어떠한 방법이든 인간의 경험과 판단을 배제하는 것이 아니라 그것을 과학적으로 보완하고 체계화시킴으로써 시너지 효과를 얻을 수 있다.

참고문헌

1. "건설프로젝트관리기술개발", 쌍용건설, 1996.
2. "Project Management Body of Knowledge", 3rd. ed., PMI, 2004.
3. Ahuja, H. N., "Construction Performance Control by Networks", Wiley, 1976.
4. Gido, J. and Clements, J. P., "Successful Project Management", ITP, 1999.
5. James S. Pennypacker, Lowell D. Dye, "Managing Multiple Projects", Marcel Dekker, Inc, 2002.
6. Mantel, Jr., S. J., et. al., "Project Management in Practice", John Wiley & Sons, 2001.
7. Meredith, J. R. and Mantel, Jr., S. J., "Project Management: Managerial Approach", 4th. ed., John Wiley & Sons, 2000.
8. Rasdorf, W. J. and Abudayyeh, O. Y., "Cost and Schedule-Control Integration: Issues and Needs", J. Construction Engineering and Management, ASCE, Vol.117, No.3, 1991.
9. Saaty, T. L., "The Analytic Hierarchy Process", McGraw Hill, 1980.
10. Winston, W. L., "Operations Research", 4th. ed., Brooks/Cole, 2004.

논문제출일: 2007.09.04

심사완료일: 2008.05.19

Abstract

This study provides a effective approach to the construction management problem with the limited number or amount of available resources using the analytic hierarchy process. Construction management is a series of decision making processes for planning and controlling of cost, time and quality as main objectives in construction works. When several activities need the limited same resource at the same time, it is very hard to decide the priority of the activities in the real situations. For that the scientific decision making method and procedure for resource allocation are required. This study solves the resource allocation problem by dealing with the decision making problem which the activities are distributed to multiple projects and under multiple criteria. The analytic hierarchy process is a method devised to solve complex multi-criteria decision problems. The result shows that this study can be effectively used to make decisions in situations involving multiple objectives by evaluating the prioritized ranking and degree of the activity alternatives based on the overall preferences.

Keywords : concurrent activities, resources allocation, analytic hierarchy process, multiple criteria decision making, pairwise comparison matrix, consistency verification