

# 유전자알고리즘을 이용한 공기-비용 절충방안

- 초고층 마감공사를 중심으로 -

## Scheduling Method

by Using Genetic Algorithms to Solve Time-Cost Trade-Off Problems

- Focused on High-rise Building Finishing Work -

노 산\*

이 현 수\*\*

Roh, San

Lee, Hyun-Soo

박 문 서\*\*\*

류 한 국\*\*\*\*

Park, Moon-Seo

Ryu, Han-Guk

### Abstract

As buildings are high-rised, diversified, complex and large-sized, it is necessary to develop a more efficient algorithm for good and optimal solutions for construction project. High-rise building is composed of repetitive activities. Tact, one of the well structured management system for the repetition is proposed to manage scheduling technique in this paper and a process is suggested to solve Time-Cost Trade-Off Problem(TCTP). Time-Cost Trade-Off is a scheduling method to shorten the duration within a minimum added cost. Traditional Time-Cost Trade-Off analysis assumes that time and cost of an option for an activity are deterministic and focus on the techniques to minimize construction cost and time. However, method for generating the options is not studied to solve the TCTP in the previous studies. Therefore, the objective of this study is to help construction manager make a decision by proposing the option generating method and the relationship of time and cost according to these options using genetic algorithm for high-rise building finishing work.

키워드 : 옵션, 초고층 건축물, 마감작업, 공기-비용 절충, 유전자 알고리즘, 택트

Keywords : Option, High-rise Building, Finishing Work, Time-Cost Trade-Off, Genetic Algorithms, Tact

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

최근 건축물이 고층화, 다양화, 복잡화, 대형화하고 있으며 특히 초고층 건축물은 주위의 많은 관심을 끌고 있다. 이들 건축물들은 초고층이라는 특수성으로 반복 공종의 수가 증가하고 마감공사에서 다양한 관련공종이 동시에 진행되므로 연속성 향상과 여유시간 최소화가 중요하다. 이러한 건축공사의 특성반영을 위해 새로운 방식의 공정관리 기법이 필요하게 되었으며 이에 따라 생산의

평준화와 작업의 낭비를 줄이는 생산방식인 택트공정관리(TACT System)방식이 대두되었다(윤유상 외 5명, 2003).

이에 본 연구는 마감공사의 합리적 운용을 위해 사전식 공정관리방식의 일종인 LOB(Line of Balance) 관리기법과 린건설(Lean Construction)이론을 고려한 택트 공정관리기법을 중심으로 공기-비용 절충(Time-Cost Trade-Off Problem)방안을 분석하려 한다.

건설 산업에 있어서는 자원을 많이 투입하면 공기는 감소하게 되지만 직접비는 늘어나고, 감소한 공기만큼 간접비는 줄어들게 된다. 따라서 비용과 공기에는 둘 사이의 관계를 최소화하는 점이나 구간이 존재하게 되는데 이를 해결하는 것이 공기-비용 절충 방안이다.

택트 공정관리기법이란 프로젝트를 이루는 액티비티들을 그룹화하고 선후행 작업의 흐름을 연속적으로 하여 동기화<sup>1)</sup>(윤유상 외 5명, 2003)하는 것을 말한다. 택트 공

\* 서울대 대학원 석사과정

\*\* 서울대 건축공학과 교수, 공학박사

\*\*\* 서울대 건축공학과 교수, 공학박사

\*\*\*\* 서울대 대학원 박사수료

본 논문은 초고층 건축물 건설기술개발(03산C04-01) 연구결과의 일부이며 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2005년도 건설기술기반구축사업(과제번호 : 05 기반구축 D05-01)의 지원으로 이루어졌습니다.

1) 생산 각 공정의 작업시간이나 재료, 부품의 공급시간등을 일치시켜 생산 공정 전반에 걸쳐 대기시간을 만들지 않는 것

정관리에서는 효율적인 공사관리를 위해 택트 타임과 택트 작업순서를 결정시 협력업체 소장 및 반장, 그리고 시공사 현장소장 및 직원들이 함께 작성하는 것이 필요하다(김영재 외 5명, 2003).

일반 공정관리기법과 마찬가지로 택트 공정관리기법도 노무, 자재, 장비의 투입 종류 및 수량에 따라 각각 다른 대안들을 갖는 액티비티들의 수많은 조합들이 있다. 이 액티비티들의 조합에 있어서 최소의 공기와 비용으로 공사를 완료하기 위해서는 공기-비용 절충이 필요하게 된다. 그러나 협력업체 및 시공사 관계자들과의 분석 및 협의 과정은 과거 유사 프로젝트를 수행한 경험을 바탕으로 산정된 것으로 많은 노력과 시간을 요구한다. 따라서 택트 공정관리에 있어서 새로운 공기-비용 절충 방안이 필요시된다고 할 수 있고 이에 따라 본 연구에서는 유전자 알고리즘을 이용한 공기-비용 절충 방안을 제시하고자 한다.

기존의 공기-비용 절충에 관련된 연구들은 (1)경험적 방법 (2) 수학적 방법 (3) 유전자 알고리즘을 적용한 방법으로 나뉜다(신윤석 외 3명, 2004).

이중 경험적인 방법은 전체 최적해가 아닌 부분 최적해만을 도출가능하다(Feng et al., 1997).

수학적인 방법은 세부적으로 선형계획법과 정수계획법, 선형/정수계획법으로 나뉜다. 그러나 시간-비용 관계는 본질적으로 이산형임에도(Li et al., 1999) 선형계획법은 선형적인 관계만을 고려하였다. 이를 보완하기 위해 시간-비용 관계를 이산형으로 고려한 정수계획법은 액티비티들의 수가 많아지고 복잡해짐에 따라 과도한 프로그래밍작업이 요구된다. 그리고 이들의 단점을 보완한 선형/정수 계획법의 혼합방법이 있지만 마찬가지로 액티비티의 종류가 커지고 복잡해짐에 따라 과도한 컴퓨터 프로그래밍 작업을 요구하는 것이 단점이다(Feng et al., 1997).

유전자 알고리즘을 적용한 방법은 적자생존의 진화원리를 컴퓨터에서 재현한 방법으로 자연적인 선택과 교배, 돌연변이를 통해 최적해를 구하는 방법이나 다른 방법들과 유사하게 선형적인 관계를 기본 가정으로 하고 있으며 이산적인 관계를 표현 가능하더라도 네트워크 공정표를 활용하므로 택트 공정관리기법에서는 적용이 제한되어왔다.

이들은 표 1에 정리되었듯이 네트워크 공정표를 활용하여 수학적 계산이나 알고리즘을 이용, 단위작업(activity)을 구성하는 옵션<sup>2)</sup>(홍성준 외 3명, 2004)들의 존재를 가정한 채 이를 해결하는 기법을 중시하였다.

이에 본 연구는 초고층마감단계에 있어서 적용가능한 옵션을 제안하며 네트워크 공정표를 기반으로 하는 공정

표 1. 공기-비용 절충에 관련된 연구

연구명	저자	주요내용	분석
Project Time-Cost Trade-Off Optimization By Maximal Flow Theory	Jimmimg Liu	PDM네트워크상에서 MFMC 이론을 바탕으로 프로젝트 공기를 최적화	MFMC(Maximal Flow Minimal Cut)이론으로 TCTP 해결기법 중시
Construction Time-Cost Trade-Off analysis Using LP/IP Hybrid Method	Liang Liu	CPM네트워크상에서 TCTP를 해결하기 위해 선형 및 정수계획법의 혼합방법 제시	액티비티를 구성하는 옵션의 이산적인 관계를 설명가능하나 과도한 노력필요
Using Genetic Algorithms To Solve Construction Time-Cost Trade-Off Problems	Chung-W ei Feng	CPM네트워크상에서 TCTP를 해결하기 위해 유전자알고리즘을 이용	GA(Genetic Algorithm)을 통하여 TCTP 해결기법 중시
Using machine learning and GA to Solve Time-cost Trade-Off Problems	Heng Li	시간-비용관계를 최적화 하기위해 머신러닝과 유전자알고리즘을 이용	시간-비용관계를 최적화하나 선형적인 관계를 벗어나지 못함

관리기법의 제한점을 극복하고자 새로운 공정관리방식인 택트공정관리 기법에서의 경험적인 공기-비용 절충순서를 체계화한다. 또한 택트공정관리에서 공기-비용 절충시 소요되는 과도한 노력과 시간을 줄이기 위해 제시된 옵션들을 활용하여 유전자 알고리즘을 이용한 분석들을 제안한다.

1.2 연구의 방법 및 절차

본 연구에서는 택트 공정관리기법 내에서 공기-비용 절충방안을 분석하기 위해 유전자 알고리즘(상용프로그램 evolver 4.0.8)을 적용한다. 이를 위한 연구의 방법은 그림 1과 같다.

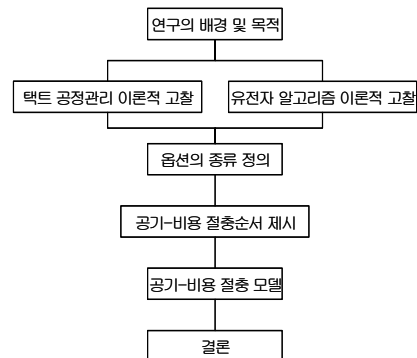


그림 1. 연구의 흐름

- (1) 택트 공정관리의 이론적 고찰을 수행한다.
- (2) 유전자 알고리즘의 이론적 고찰을 수행한다.
- (3) 마감공사에서 초고층 건축물에 적용 가능한 옵션의 종류를 정의한다.

2) 단위 작업 수행시 선택 가능한 대안들로 예를 들어 하나의 공중수행시 A라는 대안은 이를 소요되며 비용은 100원이고, B라는 대안은 3일 소요되고 비용은 80원일때 이들 대안들이 옵션임.

(4) 택트 공정관리에서의 경험적 공기-비용 절충순서를 제시한다.

(5) 제시된 공기-비용 절충순서를 용이하게 해결할 수 있도록 유전자알고리즘을 이용한 공기-비용 절충 모델을 제시한다.

(6) 제시된 공기-비용 절충 모델을 이용한 사례를 분석한다.

## 2. 예비적 고찰

### 2.1 택트 공정관리

택트 공정관리는 택트기법을 적용하여 LOB 공정표로 나타낸 것을 말하며 린건설이론의 개념이 적용된 공정관리기법이다. 택트란 박자라는 의미로 오케스트라에서 지휘자의 지시에 따라 각종 악기가 종합적으로 연주되면서 리듬있게 음악이 창출되어지는 의미이며 주요 액티비티와 부수 액티비티가 그룹핑(grouping)된 것으로 노무의 연속화가 가능하게 그룹핑하여 순차적으로 진행하는 기법을 말한다(왕인수, 2004).

택트 공정관리기법은 작업의 프로세스를 명확하고 세밀하게 예상하여 반복되는 각각의 소단위 작업(activity)을 서로 간섭되지 않게 조정하여 하나의 그룹으로 만들고 그러한 그룹끼리 순서를 지정하여 동일한 택트타임<sup>3)</sup>을 기준으로 반복적으로 쌓아가는 방식이라 할 수 있다. 표 2(윤유상의 5명, 2003)는 택트공정관리의 개념을 정리한 것이다. 본 연구에서는 초고층 프로젝트에서 택트 기법을 적용한 택트 공정관리에서의 공기-비용 절충에 대해 분석하고자 한다.

표 2. 택트공정관리의 개념

정 의	작업구역을 일정하게 통일시켜 선행 작업의 흐름을 연속적으로 만드는 공정기법
목 표	정시간 정량생산 시공에 의한 자원평준화와 공정간 보유시간을 "0"으로 함으로써 공기단축 및 품질향상 도모
관리포인트	-협력업체의 의견수렴으로 협의와 자율에 의한 공정관리 -택트공정관리 시행을 위한 전제조건은 사전계획 완비임 -지속적인 점검과 협의로 합의사항 및 일정준수하여 선행공정이 후행공정에 피해를 주지 않도록 실시

### 2.2 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘은 적자생존과 자연도태의 원리를 토대로하여 최적화 해를 구하는 방법(Feng et al, 1997)으로 유전자 알고리즘에 관계된 용어 및 알고리즘을 정리하면 다음과 같다.

3) 택트 작업의 작업구역내에서 작업팀, 작업자의 작업소요기간

#### ① 스트링

유전자 알고리즘에서 하나의 스트링(string)은 검색체들의 조합으로 각각의 스트링은 하나의 해를 나타낸다. 예를 들어 액티비티 1(X<sub>1</sub>)에서의 옵션이 A이고 액티비티 2(X<sub>2</sub>)에서의 옵션이 C이며 액티비티 3(X<sub>3</sub>)에서의 옵션이 B로 선택되었을때 이때의 스트링은 A-C-B가 되는 것이다.

#### ② 교배

교배란 선택된 스트링간의 검색체를 교환하는 것을 말한다.

#### ③ 돌연변이

돌연변이란 선택된 스트링에서 하나이상의 검색체가 임의로 바뀌는 것을 말한다. 이상을 정리하면 그림 2와 같다.

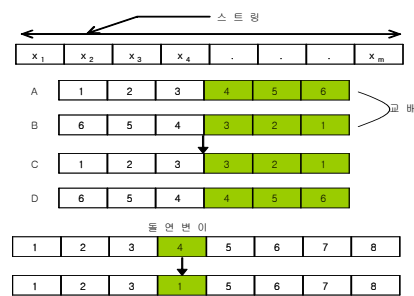


그림 2. 유전자 알고리즘의 구조

#### ④ 알고리즘

유전자 알고리즘의 구현은 그림 3과 같은 순서로 진행된다.

- (1) 부모세대를 임의로 선택한다.
- (2) 목적함수에 비추어 선택된 개체의 적합도를 평가한다.
- (3) 적합도 평가의 결과로 자손을 재생산 한다.
- (4) 재생산한 자손을 교배율에 따라 교배한다.
- (5) 교배한 자손을 돌연변이한다.
- (6) 정지조건을 만족하면 결과를 도출하고 만족하지 않는다면 개체의 적합도 평가를 다시 시작한다.

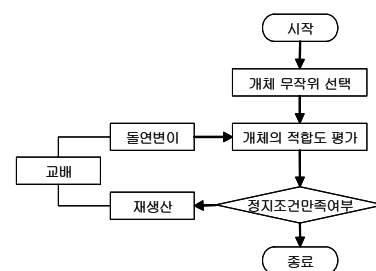


그림 3. 유전자 알고리즘

## 3. 택트 공정관리에서의 옵션 생성과 공기-비용 절충

### 3.1. 마감공사 적용가능 옵션

대부분의 건설공사에 있어서 공기의 단축은 다음 세가지 이유로 시도되어진다. 첫째로 공사를 정해진 공기내에

완료하기 위해서, 둘째로 불확실성에 의한 리스크 대응으로 버퍼를 두고 최초 계획된 공기보다 조기에 공사를 종료하기 위해 이루어진다는 측면과, 마지막으로 늦어진 공기를 만회하기 위해서이다. 이를 위해 대부분의 경우 추가비용을 투입하여 공기-비용 절충을 시도하는데 특히 공기단축기법(Crashing Process)은 공기와 비용의 상관관계에서 최소의 비용으로 공기를 줄이는 의사결정을 지원하며 여러 가지의 공정대안과 비용 옵션의 결정을 가능하게 한다.

공기단축을 위해 소요되는 공사비 중 본 연구는 직접공사비의 관점에서 분석한다. 직접공사비 중에서도 재료비와 경비는 시장가격에 의해 결정되며 관리(management)의 영향이 적다. 그러나 노무비는 건설프로젝트에서 가장 불확실성이 큰 요인(Awad S et al., 2005)이므로 노무비 차원에서 옵션을 구성하되 직접비와 간접비를 동시에 고려한다.

전통적으로 공기의 단축을 위해서는 작업원의 연장근무와, 교대작업조 투입등이 사용되어왔다. 본 연구에서는 표 3에 제시된 바와 같이 TCTP에 가장 큰 영향을 미칠 것으로 판단되는 노무비의 변화에 초점을 맞추어 노무의 투입을 옵션의 핵심으로 분석한다.

표 3. 마감공사에서 적용가능한 노무비 옵션

옵션	설명
평면적 작업조의 증가 (Multi-team)	동일 시간대에 2개 이상의 팀이 작업 수행
시간적 작업조의 증가 (Shift-team)	각기 다른 시간대에 2개 이상의 팀이 작업 수행
작업원의 연장근무 (Extended work time)	주5일, 1일 8시간 초과 작업 수행

평면적 작업조의 증가는 일정한 작업량을 2개 이상의 팀이 추가되어 작업을 수행한다는 의미이고, 시간적 작업조의 증가는 동일한 작업량을 2개 이상의 팀이 시간대별로 분할하여 작업을 수행하는 의미이며, 작업원의 연장근무는 주5일, 1일 8시간을 기준으로 이를 초과 작업한다는 의미이다.

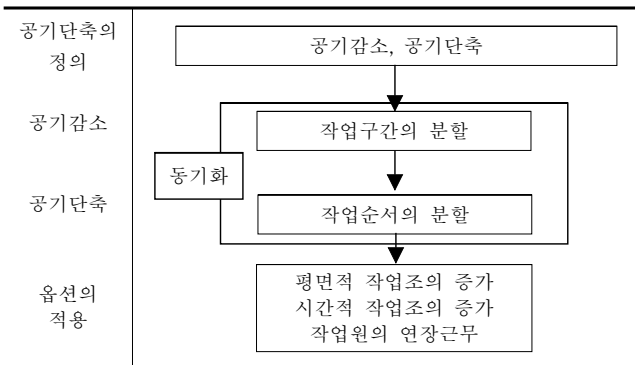


그림 4. 공기-비용 절충 순서

3.2. 공기-비용 절충

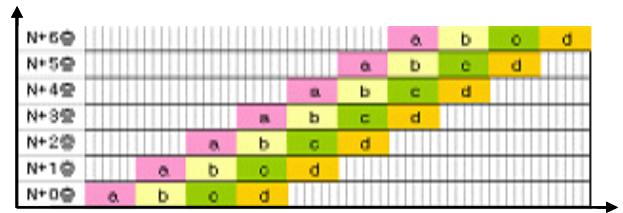
그림 4에서 보듯이 본 연구에서 제시하는 공기-비용 절충 순서는 크게 (1)공기단축의 방법 정의, (2)공기감소,

(3)공기단축, (4)옵션의 적용의 4단계로 구분된다. 그림 4는 본 연구에서 제시한 텍스트공정관리 프로세스에서의 공기-비용 절충순서를 도식화한 것이다.

(1) 공기단축방법의 정의

공기단축방법에는 공기 감소(Schedule reduction : reduction in time without cost)와 공기 단축(Schedule compression : reduction in time with cost)으로 나눌 수 있다(Liu et al, 2004). 공기감소는 작업구역등을 적절히 분할하여 비용의 증가 없이 공기를 절감하는 것이며 공기단축은 자원의 투입으로 공기감소 효과를 달성하는 것으로 정의한다.

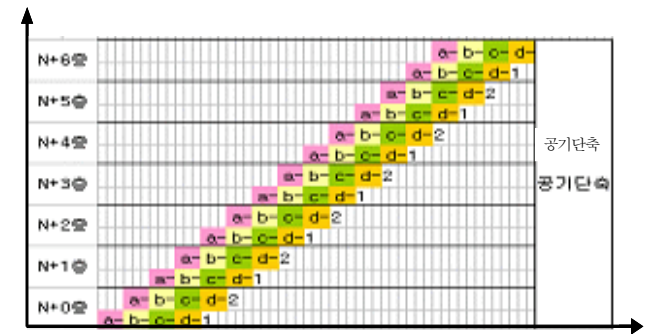
(2) 작업구간의 분할



범례 : a,b,c,d : 액티비티 명  
 작업순서 : a → b → c → d  
 X축 : 시간(일), Y축 : 작업구간

그림 5. 텍스트 타임 6일시 텍스트 공정관리

작업구간의 분할은 공기감소의 특성을 가진다. 그림 6은 작업구간의 분할시 추가적인 자원의 투입없이 공기감소가 이루어짐을 보여준다. (텍스트 타임 6일 기준)



범례 : a-1 : 코어 작업구역의 a 액티비티 명  
 a-2 : 세대 작업구역의 a 액티비티 명  
 작업순서 : a-1 → b-1 → c-1 → d-1  
 a-1 → b-2 → c-2 → d-2

그림 6. 작업구간의 분할

그림 5와 같이 4개의 텍스트가 각각 6일의 텍스트타임을 가진다고 가정했을 때 N층에서 N+6층까지 작업시 60일이 소요되나 그림 6과 같이 1개층을 코어 작업구역과 세대 작업구역으로 나눈다면 9일의 공기감소효과를 얻을 수 있다.

(감소된 공기(9일)) : 최초공기-(분할된 텍스트타임×텍스트개수 + 분할된 텍스트타임×(작업유닛 수-1))

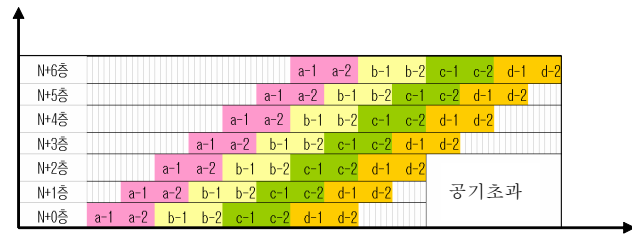
이는 작업구간의 분할을 세분화할수록 공기 감소효과

가 증대됨을 유추할 수 있다. 그러나 현실적으로는 지나치게 많은 자료를 입력해야하므로 실용성이 저하될 수 있기 때문에(이규진, 1998) 인력관리, 작업구획등을 고려하여 기본적으로는 층단위로 분할된다.

(3) 작업 순서의 분할

작업 순서의 분할은 공기단축의 특성을 지닌다. 자원의 투입이 이루어지지 않고 작업순서의 분할이 이루어진다면 공기초과를 수반하게 된다. 예를 들어 작업순서의 분할은 그림 5에서 a 택트를 8명 1개조로 천정 공중 수행시 그림 7과 같이 이를 천정 후레임 설치(a-1)와 천정 석고보드 설치(a-2)로 나누었을때 자원의 투입이 이루어지지 않는다면, 다시 말해 천정 후레임 설치를 4명이 수행하고 다른 4명이 천정 석고보드 설치를 수행한다면 그림 5의 경우를 기준으로 그림 7 과 같이 24일의 공기초과가 수반된다.

따라서 공기단축을 목적으로 작업 순서의 분할시 자원의 투입이 필연적으로 수반된다. 그림 8은 8명이 1개조로 추가 팀이 투입되었을 때의 공기단축효과를 나타낸다.



범례 : a-1 : 천정 후레임 설치 공사  
 a-2 : 천정 석고보드 설치 공사  
 작업순서 : a-1→ a-2→ b-1→ b-2→  
 c-1→ c-2→ d-1→ d-2

그림 7. 작업 순서의 분할시 공기초과

그림 8과 같이 각 공중의 작업순서를 2개로 분할한다면 그림 5를 기준으로 18일의 공기단축효과를 얻을 수 있다.

(단축된 공기(18일) : 최초공기-(분할된 택트타임×택트개수 +분할된 택트타임×(작업유닛 수-1))

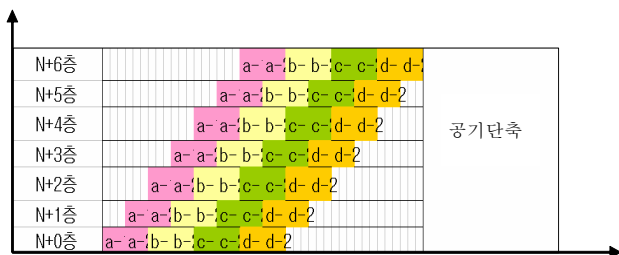


그림 8. 작업순서의 분할시 공기단축

(4) 옵션의 적용

작업구간의 분할 및 작업순서의 분할로 동기화가 이루어졌다면 옵션을 적용하여 공사관리자 및 발주자가 선택 가능한 대안을 구성해야한다. 이러한 옵션은 표 4에서 제시한 바와 같이 평면적 작업조의 증가와 시간적 작업조의 증가, 작업원의 연장근무로 나뉘 수 있으며 표 4는 천

표 4. 옵션 적용의 예

공중	옵션	소요공기(일)	팀수	비고
천정도장	평면적 작업조 증가	8	1	층별 1팀
		4	2	층별 2팀
		2	4	층별 4팀
		1	8	층별 8팀
	시간적 작업조 증가	2.67	3	24시간 3교대
		작업원의 연장근무	6.4	1
	3.2		2	
	1.6		4	
	0.8		8	1일 12시간
	5.33		1	
2.67	2			
도장샌딩	.	.	.	.
	.	.	.	.
	.	.	.	.
도장정벌	.	.	.	.

정도장시 표 3에서 제시한 옵션적용의 예를 나타낸다.

층당 8개 세대를 기준으로 평면적 작업조의 증가는 1개팀이 8개실 작업 수행시 8일 소요된다면 8개팀은 1일 소요되는 것으로, 시간적 작업조의 증가에서는 24시간동안 연속적으로 교대작업조를 투입하는 것으로, 작업원의 연장근무는 1일 10시간, 1일 12시간근무시 평면적 작업조의 증가와 복합적으로 옵션을 구성하였다.

그림 9와 그림 10은 옵션의 변화(평면적 작업조의 증가 : 2조, 3개조)에 따라 공기단축이 이루어짐을 보여준다. 이때 단축되는 공기(30일, 40일)는 그림 5를 기준으로 최초공기-(택트타임÷조수×택트개수+택트타임÷조수×(작업유닛 수-1))이다.

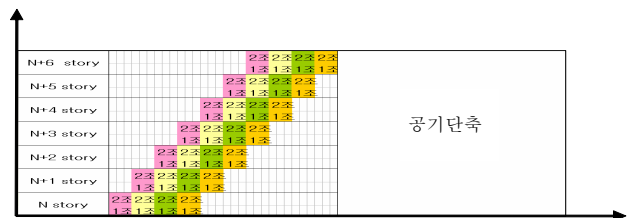


그림 9. 2개조 투입



그림 10. 3개조 투입

4. 공기-비용 절충 모델 제시

4.1 공기-비용 절충 모델의 개요

본 연구는 그림 4에서 제시한 공기-비용 절충순서에서 공기단축및 옵션의 적용을 용이하게 해결 가능한 새로운

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
2			initial value				공기관련·비용관련상수							tact time	4	일				
3		1		default value			1	1.0												
4		2		평면적작업조증가(2개팀)			2	2.0						total dur		12	day time			
5		3		시간적작업조증가(3교대)			2.6	4.0						total direct	11,041,024	won				
6		4		작업원의연장근무(2시간)			1.2	1.4						total indir	1,200,000	won				
7		5		작업원의연장근무(4시간)			1.4	1.8						total cost	12,241,024	won				
8														total idle	0.50	time				
9																				
10																				
11																				
12	참조ID	공종	공종ID	세부공종	activity		real_opt	critic	durati	cost	adj_dur	adj_cost	cri_adj_dur	cum_dur	adj_cum_dur	idle time	tact_ID	right?		
13	1	천정공사	1	천정금속설치	천정관련 맥매김	2	1	1	109,946	0.500	219,892	0.500	0.500	0.500	4	0.000	1	TRUE		
14	2		1		등박스, 단천정설치	2	1	2	164,919	1.000	329,838	1.000	1.500	1.500	4	0.000	1	TRUE		
15	3		1		천정 절점구 설치	2	1	1	40,006	0.500	80,012	0.500	2.000	2.000	4	0.000	1	TRUE		
16	4		1		커텐박스 설치	2	0	1	98,094	0.500	196,188	0.000	2.000	2.000	4	0.000	1	TRUE		
17	5		1		화장실 트랜치, 골조보강	2	1	3	849,461	1.500	1,698,922	1.500	3.500	3.500	4	0.000	1	TRUE		
18	6		1		전기천장배선	2	0	1	602,730	0.500	1,205,460	0.000	3.500	3.500	4	0.500	1	TRUE		
19	7		1	천정M-BAR	천정 M-BAR설치	4	1	4	4,664,084	3.333	6,413,116	3.333	6.833	6.833	8	0.000	2	TRUE		
20	8		1		스프링롤러 헤드고정	4	0	1	87,242	0.833	119,958	0.000	6.833	6.833	8	0.000	2	TRUE		
21	9		1	천정석고1PLY	천정 맥매김	4	1	1	158,320	0.833	217,691	0.833	7.667	7.667	8	0.000	2	TRUE		
22	10		1		천정절점구	4	0	1	40,006	0.833	55,008	0.000	7.667	7.667	8	0.333	2	TRUE		
23	11		1		천정석고1PLY	2	1	3	252,470	1.500	504,940	1.500	9.167	9.167	12	2.833	3	TRUE		

그림 11. 엑셀 시트상에 구축한 시간-비용 상관관계 분석 모델

공기-비용 절충 모델을 제시한다. 택트 공정관리기법에서는 액티비티의 그룹과 그룹핑된 액티비티에 적용할 옵션들의 수많은 조합들이 있다. 예를 들어 11가지 액티비티에서 선택 가능한 옵션이 5가지라면 이때의 가능조합은 5<sup>11</sup>으로 48,828,125가지이다. 이러한 조합을 모두 열거하며 손으로 계산하기는 제한되므로 신윤석 외 3명(2004), Feng et al.(1997)이 제안한 엑셀 시트상에서 유전자 알고리즘을 이용, 최적의 해를 찾는 방법을 활용한다.

본 모델은 다음과 같은 가정하에서 이루어진다.

- (1) 공기-비용의 상관관계는 본질적으로 이산형이다 (Fulkerson et al,1961).
- (2) 간접비는 일정한 기울기를 가지고 시간에 따라 증가한다.
- (3) Tact 공정관리기법에서 각각의 Tact는 동일한 옵션을 가진다.
- (4) Tact는 액티비티의 그룹이므로 Tact내의 액티비티들 상호간에 크리티컬 패스와 크리티컬패스가 아닌 것이 존재한다.

그림 11은 위 가정을 전제로 엑셀시트상에 구현한 내용이다. 이는 직접비중 노무비와 간접비를 합한 총 공사비를 최소화할 때 최적의 옵션을 제시해 준다.

엑셀 시트상에서 사용한 공식을 정리하면 표 5와 같다. 여기서 공기관련 상수는 야간작업시 능률저하 20%를 반영한 것이며 비용관련 상수는 야간작업시 임금의 1.5배를 적용한 것이다. 목적 함수는 총 공사비를 최소화 하는 것으로 전통적인 공기-비용 절충에 따라 자원을 많이 투입하면 공기는 감소하게 되지만 직접비는 늘어나며 감소한 공기만큼 간접비가 줄어들므로 총공사비가 최소화될 때의 공기도 산출가능하다. 이때 간접비는 시간에 따라 일정한 기울기를 가지고 증가한다.

시간-비용 상관관계분석 모델은 이러한 가정하에 유전자 알고리즘에 의하여 I열(I13~I23)에 5가지 옵션이 임의로 선택되어지며 이에 따라 조정된 공기와 비용을 산출하게 된다. 이후 크리티컬 작업인 액티비티의 공기의 합

과 모든 액티비티의 비용을 산출하게 되며 이때 누적공기를 이용하여 택트작업 공기를 산출하게 되고 산출된 택트작업 공기와 택트 번호로 액티비티를 그룹화 하게 된다.

#### 4.2 유전자 알고리즘의 매개변수 설정

본 연구에서는 그림 12와 같이 개체집단의 크기 50, 교배확률 0.5, 돌연변이 확률 0.25를 적용하였으며 유전 알고리즘의 정지조건은 목적함수의 값이 300세대 동안 0.01% 범위에서 변화가 없는 경우 정지하도록 하였으며 추가적인 제한 조건으로 S열의 값이 모두 "TRUE"를 만족하도록 함으로써 구해진 택트ID에 따라 일치된 옵션을 적용토록 하였다.

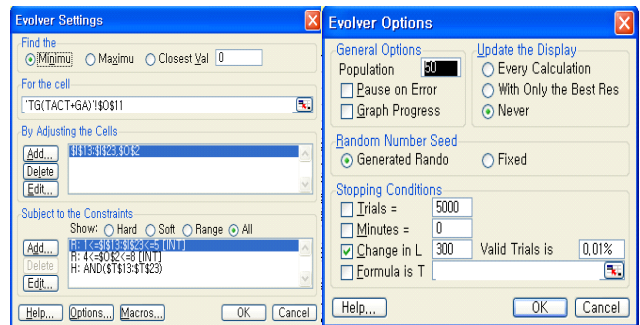


그림 12. 매개변수 설정 화면

#### 4.3 적용 결과

본 연구에서는 실제공사중 천정공사의 일부 액티비티를 통하여 앞서 제안한 공기-비용 절충모델의 적용 가능성을 검토하였다.

그림 11은 공기-비용 절충모델을 통해 최적화한 결과로 비용을 최소화 하는 것으로 목적함수를 부여하였다. 목적함수가 최소화될 때의 비용은 직접비가 11,041,024원이고 간접비가 1,200,000원으로 12,241,024원이며 공기는 12일이다. 이때 각 액티비티에 적용된 옵션은 전체 비용을 최소화할 때의 옵션으로 각 택트내의 액티비티는 1번



표 5. 사용된 공식

셀	구분	설명	공식
G3~G6	-	공기관련 상수	=1 / =2 / =1+0.8*2 / =1+0.8*2/8 / =1+0.8*4/8
H3~H6	-	비용관련 상수	=1 / =2 / =1+1.5*2 / =1+2/8*1.5 / =1+4/8*1.5
O3	tact time	택트 타임	사용자가 입력
O5	total dur	총 공사기간	=roundup(Q23,0)
O6	total dircost	총 직접비	=SUM(N13:N23)
O7	total indircost	총 간접비	=O5*100000
O8	total cost	총 공사비	=O6+O7
O9	total idle time	총 유휴시간	=SUM(R13:R20)
B13	참조 ID	액티비티의 ID	사용자가 직접 입력
C13	공종	해당 공종	
D13	공종 ID	해당 공종의 ID	
E13	세부공종	세부공종	
F13	activity	액티비티	
I13	real_option	적용할 옵션	
J13	critical	액티비티의 크리티컬 여부	사용자가 직접 입력
K13	duration	액티비티의 공기	
L13	cost	액티비티의 비용	
M13	adj_dur	옵션 적용시 공기	=K13/VLOOKUP(I13,\$C\$3:\$G\$11,5)
N13	adj_cost	옵션 적용시 비용	=VLOOKUP(\$I13,\$C\$3:\$H\$11,6)*L13
O13	cri_adj_dur	옵션 적용시 크리티컬 액티비티의 공기	=IF(J13=1,M13,0)
P13	cum_dur	옵션 적용시 크리티컬 액티비티의 누적공기	=O13
Q13	adj_cum_dur	누적공기에 따른 택트공기	=ROUNDUP(P13/\$O\$3,0)*\$O\$3
R13	idle time	유휴공기	=IF(S13<>S14,Q13-P13,0)
S13	tact_ID	택트 ID	=Q13/\$O\$3
T13	right?	택트ID와 옵션의 일치여부	IF(AND(S13=S14,I13=I14),TRUE,IF(AND(S13<>S14,I13<>I14),TRUE,IF(AND(S13<>S14,I13=I14),TRUE,FALSE)))

택트는 6개 액티비티로 2번 옵션(평균적 작업조의 증가)을, 2번택트는 4개 액티비티로 4번 옵션(작업원의 2시간 연장근무)을, 3번 택트는 1개 액티비티로 2번 옵션(평균적 작업조의 증가)을 가진다. 이는 유전자 알고리즘으로 선택되어지며 각 택트내의 옵션은 위에서 가정 했듯이 동일한 옵션을 가지게 된다. 또한 제시된 공기-비용 절충 모델에서는 유전자 알고리즘에 의해 자동적으로 옵션이 선택되기에 하나의 옵션을 선택하기 위한 선택비용<sup>4)</sup>의

차원에서 유휴공기는 0.5일이다. 유휴공기는 옵션의 종류를 다양화 하면 줄일 수 있는 가능성이 있다.

이를 경험적인 방법을 사용한다면 총 48,828,125가지 조합을 모두 열거하며 손으로 계산하기는 제한될 것이므로 최적화된 해를 찾기에는 거의 불가능할 것으로 판단된다. 따라서 제시된 방법을 사용한다면 경험적인 방법에 비해 쉽고 정확하게 최적화된 값을 찾아주기에 본 연구의 모델은 실무에서 적용가능성이 있다고 판단된다.

4) 다양한 옵션중에서 하나의 옵션을 선택했기 때문에 감수해야 하는 비용

5. 결론 및 향후 연구

본 연구의 주요 연구내용은 다음과 같다. 최근 건물이 초고층화 되고 있음에 따라 복잡화, 다양화, 고층화, 반복화 등의 특수성을 갖는 초고층 건물에서 이를 효율적으로 관리하기 위한 새로운 공정관리 프로세스가 요구되고 있다. 이에 따라 초고층 건물에 적합한 공정관리 기법인 택트를 이용한 TCTP 해결에 중점을 두어

첫째, 택트 공정관리 기법의 적용을 위한 내부 알고리즘 즉, 작업구간의 분할과 작업 순서의 분할을 정의하였으며, 둘째, 택트 공정관리 기법의 적용을 위한 수많은 대안들 중에서 최적해를 찾는 노력이 과다하게 소요되는 이유로 이를 해결하기 위해 컴퓨터의 도움으로 쉽고 빠르게 최적해를 도출하는 방법을 제시하였고, 셋째 도출된 최적해는 Heng Li et al.(1997)이 제시한 건설산업의 특징인 이산형적인 관계를 만족하도록 반영한 것이다.

그 결과 적자 생존과 자연도태의 원리를 토대로 최적화된 해를 찾는 유전자 알고리즘을 적용하여 초고층 건물에서의 공기-비용 상충시 수많은 대안들 중에서 공사관리자 및 발주자의 의사결정에 지원가능한 공정관리기법을 제시하였다.

그러나 본 연구에서는 작업구역 내에서 공간과 관련된 노무효율성감소와 작업원의 연장근무로 인한 효율성을 고려하지 못하였기에 향후 연구에서는 이러한 요소들이 공기-비용 절충 방안에 어떠한 영향을 미치는지 규명이 필요하며 이를 반영한 옵션의 구성이 요구된다. 또한 유전자 알고리즘 적용시 액티비티의 개수가 늘어나고 옵션의 개수가 증가하면서 해를 찾기 위한 컴퓨터의 동작시간이 늘어남에 따라 이산형적인 분포를 보이는 시간-비용 상관관계에 있어 이를 단축시키는 기법이 필요하다.

참고문헌

1. 김영재, 한주연, 신동우, 김경래, 김창덕, 서상욱(2003), 건축공사 마감공기 단축을 위한 택트공정관리 프로세스 모델. 대한건축학회 논문집, 구조계, 19(1), pp. 161~168
2. 신윤석, 김제엽, 서덕석, 강경인(2004), 유전 알고리즘을 이용한 시간-비용 상관관계(Time-Cost Trade-Off) 분석 모델에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 구조계, 20(8), pp. 91~98
3. 왕인수(2004), 초고층 주거건축물의 시공사례, 대한건축학회지, 건축, 48(10), pp. 74~81
4. 윤유상, 정영권, 서상욱, 신동우, 김창덕, 김경래(2003), 작업구역의 합리적 분할에 의한 건축 마감공사의 공정운영 개선, 한국건설관리학회 논문집, 4(2), pp. 59~65
5. 이규진(1998), 건축공간을 고려한 건축공사 공정계획 기법, 박사학위논문, 서울대학교 대학원 건축학과.
6. 홍성준, 류한국, 유경호, 이현수(2004), 자원 제약 조건이 공기-비용 교환 문제에 미치는 영향 분석, 대한건축학회 논문집, 구조계, 24(1), pp.523~526
7. Awad S. Hanna, Craig S. Taylor, and Kenneth T. Sullivan. (2005), "Impact of Extended Overtime on Construction Labor Productivity" Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol. 131, No. 6, pp.734~739

8. Chung-Wei Feng, Liang Liu, and Scott A. Burns(1997), "Using Genetic Algorithms To Solve Construction Time-Cost Trade-Off Problems" Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol. 11, No. 3, pp.184~189
9. David Arditi, Onur B. Tokdemir, and Kangsuk Suh(2002), "Challenges in Line-of-Balabce Scheduling" Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol. 128, No. 6, pp. 545~556
10. Fulkerson, D(1961), "A Network Flow computation for Project Cost Curves" Mgnt.Sci., 7, 167~178
11. Heng Li and Peter Love(1997), "Using Improved Genetic Algorithms to Facilitate Time-Cost Optimization" Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol. 123, No. 3, pp. 233~237
12. Heng Li, J.-N. Cao, P. E. D. Love(1999), "Using Machine Learning and GA to Solve Time-Cost Trade-Off Problems" Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol. 125, No. 5, pp. 347~353
13. Jimming Liu and Fred Rahbar(2004), "Project Time-Cost Trade-Off Optimization By Maximal Flow Theory" Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol. 130, No. 4, pp. 607~609
14. Khaled EI-Rayes and Amr Kandil(2005), "Time-Cost-Quality Trade-Off Analysis for Highway Construction"Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol. 131, No. 4, pp. 477~486
15. Liang Liu, Scott A. Burns and Chung-Wei Feng(1995), "Construction Time-Cost Trade-Off Analysis Using LP/IP Hybrid Method" Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol. 121, No. 4, pp. 446~454

(接受: 2006. 3. 6)