

# 확률적 공기산정에 의한 공정계획 합리화 방안

## An Optimal Scheduling Method Using Probability on the Estimation of Construction Duration

김 상 중\* · 이 재 섭\*\*

Kim, Sang-Joong · Lee, Jae-Soeb

### 요 약

기존의 CPM 관리방식은 정해진 시간과 비용 내에서 프로젝트를 완료하기 위한 목적으로 건설분야에 활용되어 공기지연이 발생하지 않도록 관리하는데 초점을 두고 있으나, 조기 완공을 유도하지는 못하여 왔다. 기존의 CPM 공정계획의 경우에 학생증후군(Student Syndrome)과 파킨슨법칙(Parkinson's Law)이 작용할 경우 조기 완공의 효과를 얻기는 어렵다. 본 연구는 건설 프로젝트의 공기 산정에 제약이론(Theory of Constraints)을 적용하였으며, 이는 공정계획에서의 새로운 관리 기법을 개발하는데 사용되어온 Critical Chain을 일컫는다. 이러한 Critical Chain의 개념은 기존 공정계획 방법에서의 문제점을 해결하기 위하여 이용되었다. 본 논문에서는 기존 공정계획 방법의 문제점을 해결하기 위하여 Critical Chain의 개념을 적용하여 확률적인 공기산정과 공정버퍼(buffer)를 이용한 공정계획 합리화 방안을 제시하였다.

키워드 : 공정계획, CCPM, 확률적 공사기간 산정, 공정버퍼

## 1. 서론

### 1.1 연구 배경 및 목적

건설 프로젝트에서 공정관리는 공기 준수를 위한 중요한 업무이며, 건설공사가 대형화·복잡화됨에 따라 공정의 합리적인 계획과 관리는 건설 프로젝트의 성공에 밀접한 영향을 미친다. 그러나 공정관리의 기본인 공정계획은 합리적인 사전계획 없이 현장기술자의 경험과 능력에 따라 계약공기에 맞추는 방식으로 추진되어 왔다. 또한 공정계획의 핵심인 공기산정은 객관적이지 못해 업체마다 차이를 보이고 있다. 현재 건설산업에서는 공정계획의 부실로 인해 다양한 공기지연이 발생하고 있다. 건설교통부 정책보고서(1999)에 의하면 표 1과 같이 국내 대형 공공공사에서 주먹구구식 사업계획 수립으로 인하여 평균 3회의 공기 및 사업비의 변경이 발생하였고, 계획된 공기 내에 완공된 비율은 20%에 불과하며, 준공시기가 평균 3년 지연되고 있다<sup>1)</sup>. 대형 신규사업의 경우 건설 공정상의 불확실성과 역동성에 따라 리스크가 크게 증가하여 이에 따른 공정의 변동은 빈번한 공기지연으로 이어지고 있다.

그러나 O'Brien(1993)에 의하면 기본적인 CPM 기법의 적용 및 응용과 같은 공정관리업무를 체계적으로 수행할 경우, 표 2와 같이 품질향상과 공기지연을 사전에 예방하고, 자원(노무, 자재, 장비 등)의 효율적인 배분을 통해 공기단축 및 원가절감을 꾀할 수 있는 것으로 예측되었다<sup>2)</sup>. 특히, 자원투입관리와 조기기성계획을 통하여 상당한 원가절감을 할 수 있음을 알 수 있다.

표 1. 공공 건설사업 사업비 및 사업기간 변경 사례

구 분	변경회수 (사업비, 기간)	사업비 (억원)		사업 기간	
		계획	실제	계획	실제
경부고속철도	3회	58,646	184,358	98	2004
인천국제공항	4회	34,165	74,486	97	2000
여수공항	1회	935	1,994	2000	2002
탐진 다목적댐	1회	2,200	3,264	2001	2001
서울지하철 2단계	2회	25,460	38,162	96	99
부산지하철 2호선	2회	12,175	25,307	97	2001
서해안 고속도로	3회	31,805	48,079	97	2001
평균 증가상황	3회	약 2배 증가		약 3년 연장	

건설 프로젝트의 효과적인 공정관리를 위해서는 우선 합리적인 공정계획을 수립하여야 한다. 합리적인 공정계획 수립을 위해서는 공사기간 산정방식의 개선을 통한 현실적인 공사기간의

\* 학생회원, 동국대학교 건축공학과 석사/삼부토건(주)

\*\* 일반회원, 동국대학교 건축공학과 조교수, 공학박사

1) 건설교통부, 공공건설사업 효율화 대책, 1999.7

2) O'Brien, CPM in Construction Management, McGraw-Hill, 1993

산정이 필수적이며, 부과된 공사기간의 효율적인 사용도 함께 고려되어야 한다. 또한 건설 프로젝트가 대형화·복잡화됨에 따라 건설공정에서 증가되고 있는 불확실성과 역동성을 수용할 수 있어야 한다. 그러나 기존 공정계획은 계획과 실제의 공기 및 작업순서의 차이, 제약요소 및 자원제약에 대한 반영 미비, 공정상의 불확실성의 수용 및 제어 능력 부족으로 합리적인 공정계획의 수립이 어렵다.

따라서 본 연구에서는 현재 제조업에서 적용중인 CCPM(Critical Chain Project Management)의 확률적 공기산정과 공정버퍼의 개념을 건설 프로젝트에 적용하여 공정의 변동을 수용할 수 있는 합리적인 공정계획 수립 방안을 제시하려 한다.

표 2. 공정관리 도입 시 총 공사금액 절감 기대효과

구분	비용절감	시공자	발주자
기본계획 수립	입찰전 초기 작업계획	1.00 %	1.00%
	시공전 초기작업계획	-	1.00%
	일정계획	-	0.50%
	소계	1.00 %	2.50%
공사운영단계	자원투입관리	3.00%	-
	소요자금계획	0.25%	0.50%
	조기기성계획	2.40%	1.60%
	소계	5.65%	2.10%
합계		6.65%	4.60%

출처 : O'Brien(1993)

### 1.2 연구 방법 및 범위

본 연구에서는 공정계획의 핵심이라고 할 수 있는 공기의 산정방식 및 공기의 효율적인 사용, 그리고 공정 운영상의 불확실한 요소에 대한 공정의 유연성 측면의 개선방안 제시하였다. 개선방안의 타당성은 공동주택 골조공사의 실제 공기 자료를 이용하여, 기술통계분석을 통하여 검증하였다. 본 연구의 수행 방법은 다음과 같다.

- 1) 현행 공정계획의 문제점 분석
- 2) 제약이론의 CCPM 개념 고찰
- 3) 공정계획 개선방향 정립
- 4) 개선된 공정계획안의 프로세스 모델링
- 5) 사례연구를 통한 검증

## 2. 예비적 고찰

### 2.1 공정 관련 연구의 고찰

공정계획은 작업분할, 작업순서, 작업소요시간을 산정하여 공정표를 작성하는 절차이다<sup>3)</sup>. 이러한 공정계획과 관련하여 공기

산정방식의 개선 등 공정계획 개선에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나 기존연구에서의 문제점은 표 3에서와 같이 첫째, 공정계획과 실제현장에서의 공기 및 작업순서의 차이, 둘째, 공정 계획단계에서의 제약요소 및 자원제약에 대한 반영 미비, 셋째, 공정상의 불확실성의 수용 및 제어 능력 부족으로 요약될 수 있다.

표 3. 현행 공정관리업무의 한계 및 개선점

구분	현행 공정계획에서의 공통적인 문제점 인식	기존연구의 한계 및 개선점
공기 산정	계획과 실제 차이를 인식하고 있으며, 현행 공기산정방식에 대한 한계 인식	기존방식은 세분화된 방식으로 공기산정의 정확성만을 추구 전체 공기 관점의 고려가 필요공정
공정 계획	공정계획상 제약요소의 고려가 필수적임	공정 제약 중 정량화 가능한 부문에 대한 고려만 이루어짐 불확실성에 대한 고려가 필요
공정 운영 및 관리	공정변이의 전체 공정시스템에서의 영향을 고려해야 함	변이 통제의 방법 제시 미흡 공정상에서 변이를 수용하기 위한 방법이 제시되어야 함

## 2.2 현행 공정계획의 문제점

### 2.2.1 공정계획과 실제 작업순서의 불일치

작업순서의 차이는 공정계획에서 공법, 작업계획, 자원요소에 따른 제약사항을 공정에 정확히 반영하지 못한 결과이며, 또한 공정상의 불확실성의 영향으로 인해 나타난다. 현재 건설산업에서는 공정계획에서 미처 예상하지 못했던 사안들로 인한 작업순서의 불일치가 빈번히 발생하고 있으며, 이로 인해 공기 부족 및 지연이 발생하고 있다.

### 2.2.2 공기산정 방식의 문제점

현행 공기산정은 계약서에 제시된 공기에 맞추어 추정하는 경우가 대부분이며, 공기 산정방식도 업체에 따라 다양하게 수행되고 있다. 현행 공기 산정방식의 가장 큰 문제점은 계획공기 산정 시에 불확실성을 고려하여 안전치(safety factor)를 감안하기 때문에 실제 현장에서의 일정과 차이를 보인다는 것이다. 그림 1은 현재 국내 건설업체의 골조공사기간의 다양한 형태를 보여주고 있다. 현행 공동주택의 골조공사기간 산정 방식은 총수 또는 면적을 변수로 하는 산정식을 기본으로 이루어지고 있다<sup>4)</sup>.

3) PMI, PMBOK, 1998

4) 대한주택공사, 건설공사의 적정 표준공사기간 산정방법에 관한 연구, 1998.2

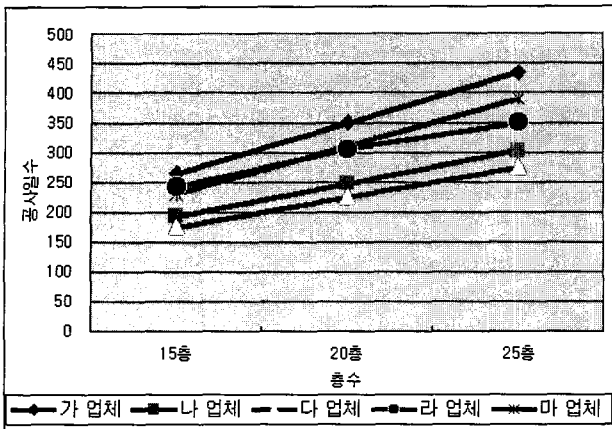


그림 1. 업체별 공기산정 방식에 따른 골조공기 비교

2.2.3 공기의 효율적 사용 방안 부재

현행 공정계획에서는 시작과 완료시간을 규정하고 있으나, 이러한 시간들이 그대로 지켜지거란 힘든 일이다. 현행 공정계획 아래에서 공정운영상 발생하는 공기의 비효율적 사용의 형태는 두 가지로 집약될 수 있다.

첫째, 여유시간과 부족시간이 서로 상쇄되지 않으며, 둘째, 부족시간은 발생하지만 여유시간은 발생하지 않는다. 이러한 현상은 인간 행동의 특징인 '학생증후군'과 '파킨슨법칙'으로 설명할 수 있으며, 일상에서는 물론이거니와 건설현장에서 빈번히 발생하고 있다<sup>5)</sup>.

건설산업은 불확실성이 큰 산업으로 이러한 리스크에 대비하기 위해 공사기간 산정시 기초지반여건의 감안이나 물공사 중단 기간과 같은 여유시간을 공사기간에 포함시키고 있다. 여유시간은 지역 및 착수시기에 따라 다르며, 건설 프로젝트의 성공에 큰 영향을 주고 있다. 그러나 이러한 여유시간들에 대한 관리 방법이 기존의 공정계획에서는 미흡한 실정이다. 현재 여유시간은 대공정 또는 총공사기간에서 산정되어 각 작업별로 기계적으로 배분되고 있다. 이로 인해 일부 여유시간들이 사장되는 경우가 발생하고 있고, 공사기간의 낭비가 초래되고 있다.

이와 같이 기존의 공정관리방식에서는 공기지연이 발생하지 않도록 공기준수를 강조하고 있으나, 여유시간의 효율적 활용을 통한 조기 완공을 유도하지는 못하고 있다<sup>7)</sup>.

5) 학생증후군(Student Syndrome) : 항상 작업종료일정에 초점을 두어 작업을 수행한다. 파킨슨법칙(Parkinson's Law) : 실제작업시간은 배정된 시간보다 짧아지지 않는다  
 6) 정남기, TOC기반의 애로사슬(Critical Chain) 프로젝트 관리, IE산업연구회, 1999  
 7) Tarek Hegazy, Computer-Based Construction Project Management, Prentice-Hall, 2002

3. CCPM(Critical Chain Project Management)

3.1 불확실성에 대한 유연성의 필요성

건설공정은 불확실성으로 인한 변이의 발생가능성이 매우 크다. 변이란 내재 또는 외재되어 있는 불확실성으로 인하여 일정한 값으로 나타나지 않고 변화하는 현상을 의미한다<sup>8)</sup>. Tommelein(1998)은 공정시스템에서 변이가 전체 생산성 효율에 미치는 영향을 시뮬레이션 'Parade Game'<sup>9)</sup>을 통해 보여주었다. 'Parade Game' 수행결과 공정변이로 최대 50% 이상의 기간이 증가되었다. 건설공정은 이러한 변이들의 영향을 공정시스템에서 최소화 할 수 있어야 하며, 이를 위해 나타난 기법이 CCPM이다.

3.2 CCPM의 배경<sup>10)</sup>

Critical Chain의 원리는 1997년 Goldratt 박사의 경영 소설인 "The Goal"에서 제시된 제약이론(Theory of Constraint)을 기반으로 처음 제시가 되었고, 이후 "Critical Chain"이라는 동명소설에서 체계화되었다. 이후 1980년대 후반부터 생산 현장에서의 적용과 함께 프로젝트 관리 분야에 적용되어 왔고, 많은 이론적인 비판에도 불구하고 현재 다양한 산업에 적용하여 커다란 성과를 거두고 있다. 표 4는 미국의 AGI-Goldratt Institute에서 CCPM 적용사례와 성과를 분석한 것이다. CCPM은 대부분 제조업과 개발사업에 적용되고 있으며, 해당 분야에서 프로젝트의 성공에 영향을 주었다.

표 4. CCPM 적용사례 분석

회사/단체	업종/부문	효과
Air Force Operational Test & Evaluation	미 공군 무기성능 평가	검사능력 향상, 변이에 대한 대응능력 향상
BAE System	비행 시뮬레이션 제작/훈련	프로젝트의 정시완료
Balfor Beatty	영국 건설회사, 도로, 터널의 건설 및 보수	프로젝트 조기완료
Better On-line System	소프트웨어 개발	프로젝트 조기완료
Cisco System	Routing switching 제품 개발	프로젝트 기간 27% 절감
Elbit System	전쟁무기 개발	프로젝트 조기완료
Etat de Vaud	Telecom	프로젝트 30일 조기완료

8) 한국건설관리학회, 사무소 건축의 마감공기 단축을 위한 영향요인 분석 및 관리기법에 관한 연구, 2002.4  
 9) Iris D. Tommelein, Parade Game, Journal of construction engineering and management, ASCE, 1998  
 10)AGI-Goldratt Institute, http://www.goldratt.com

3.3 CCPM 공정계획의 특징<sup>11)</sup>

1) CCPM의 공사기간 산정

CCPM에서 각 작업기간의 추정치는 CCPM 공정계획의 가장 큰 특징이다. CCPM 공정계획에서는 불확실한 요인에 의한 생산성의 변화(변동성)를 공정에서 수용할 수 있도록 통계적 접근에 의해 작업기간이 추정된다. 3점 견적을 통하여 작업소요시간의 기대치를 산정하는 PERT와는 달리 각 작업기간에 포함된 잠재적 안전치(safety)를 제거하여 해당 작업을 완료할 확률을 50%로 하여 작업기간을 산정한다. 이 경우 감소된 안전치를 대신하여 충격 흡수재로서 버퍼(buffer)를 주요 지점에 삽입한다. 이와 같이 확률적 작업기간 산정 과정에서의 개별 여유시간을 전체의 합(공정버퍼)으로 관리하여 변동성의 시스템적 수용 및 대응을 용이하게 한다.

2) CCPM의 공정버퍼

CCPM에서는 확률적 작업기간의 추정분 외의 기간을 공정버퍼로 준비해 둬으로써 실행도중 발생하는 예기치 않은 일이 전체 공기에 영향을 미치지 않도록 한다. 공정버퍼는 여유시간들을 합한 것이며, 진도관리의 대상이 된다. 즉 공정버퍼를 통해 여유시간들의 효과적인 관리를 피하고, 진도관리 측면에서 주요 관리시점에 버퍼를 설치하여, 그 증감추이를 파악함으로써 실제 공정관리의 유연성을 더하는 한편 모니터링 기능을 보다 강화하고 있다.

4. 확률적 공기산정에 의한 공정 합리화

본 연구에서는 2장에서 제시한 기존 공정계획의 문제점을 해결하기 위하여 공동주택 골조공사의 실제 공사기간 분포 분석을 통하여 공사완성 확률에 근거한 공기산정 방안과 공정버퍼 설정을 통한 공정계획 방안을 제시하였다.

4.1 공동주택 골조 사이클 실적자료 분석

건설 프로젝트에서의 공기는 공사여건이나 시공능력 등의 변수에 따라 차이를 나타내며, 부여된 공기 내에 특정 수급자가 공사를 완성할 가능성은 확률적 특성을 가지고 있다<sup>12)</sup>. 이에 본 연구에서는 공동주택 52개 동에 대한 층당 골조 사이클을 지상1층과 2~15층, 16층 이상으로 구분하여 기술통계분석을 실시하여 실제 공사완공의 확률분포를 조사하였다. 그 분포 결과는 그림 2와 같다.

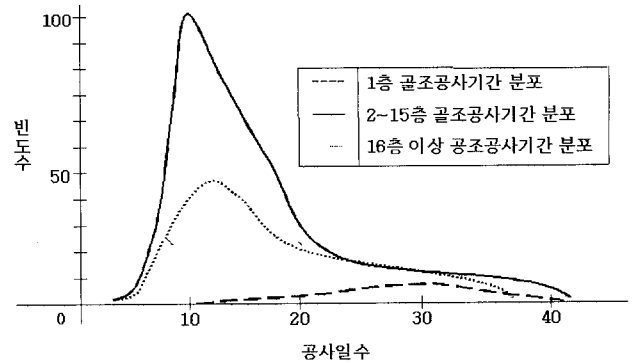


그림 2. 골조공사 공사완성 기간의 분포

표 5는 기술통계분석 결과를 나타낸 것으로, 공동주택의 골조 사이클에서 2~15층 공사와 16층 이상의 공사는 왜도 (Skewness)<sup>13)</sup>가 1.70과 1.39로 왼쪽으로 치우친 형태의 분포를 나타나고 있는데 비해 1층 공사는 왜도가 -0.64를 나타내어 오른쪽으로 치우친 형태를 보이고 있다. 특히 첨도(Kurtosis)<sup>14)</sup>는 2~15층, 16층 이상의 골조공사는 각각 4.92, 3.90을 나타내어 급격한 첨도를 보이고 있다.

표 5. 골조공사 공기분포 분석

1층 골조공기 분석		2~15층 층당 골조공기 분석		16층이상 층당 골조공기 분석	
평균	28.64	평균	13.23	평균	13.95
중앙값	29	중앙값	12	중앙값	13
최빈값	29	최빈값	10	최빈값	12
표준편차	5.88	표준편차	4.62	표준편차	4.33
첨도	0.67	첨도	4.92	첨도	3.20
왜도	-0.64	왜도	1.70	왜도	1.39
최소/최대값	11/41	최소/최대값	6/45	최소/최대값	7/36

4.2 공동주택 골조공사의 확률적 공기산정

4.2.1 확률적 공기산정 방안

본 연구에서는 실적공기 자료를 분석하여 통계적 접근으로 공기를 추정하였다. 기존의 공기산정방식과 달리 수급자의 공사 완성확률을 바탕으로 공기를 제시하였다. 각 층에 따른 실적자료의 평균시간(완성확률 50%의 추정값)을 순공사 기간으로 제안하며, 공기분포의 표준편차를 해당 공사의 여유시간으로 추정하여 공정버퍼로 활용한다. 본 연구에서 제안하는 공기산정방식은 식 ①과 같으며, 공기의 자세한 사항은 표 6과 같다.

11) 고현우, 계약경영과 크리티컬 체인 프로젝트관리 접근방법 연구, 프로젝트관리기술, 제43호, 2003.2

12) 상계서

13) 왜도 : 분포의 기울어진 정도,  $-0.5 < \text{왜도} < 0.5$  : 정규분포,  $\text{왜도} < -0.5$  : 오른쪽으로 치우친 형상,  $\text{왜도} > 0.5$  : 왼쪽으로 치우친 형상

14) 첨도 : 분포의 뾰족한 정도,  $\text{첨도} = 3$  : 정규분포,  $\text{첨도} > 3$  : 급첨,  $\text{첨도} < 3$  : 저첨

$$\text{공기} = m + \sigma \text{-----} \text{①}$$

$m$  : 예상 추정공기(공사완공 확률 50%)

$\sigma$  : 공정버퍼(여유시간)

표 6. 공사완성 확률에 근거한 공동주택 골조 사이클

구분	공정계획 시 공기 (평균값:A)	여유시간 (표준편차 :B)	총공기 (A+B)	순공기 비율	공사 완공확률
1층	약 29일	약 6일	35일	82.96%	91.49%
2~15층	약 13일	약 5일	18일	74.11%	92.50%
16층 이상	약 14일	약 4일	18일	73.68%	96.67%
평균				76.02%	90.22%

4.2.2 확률적 공기산정을 통한 공정계획 방안

(1) 공정 구성

공사완성 확률에 의한 공기는 앞에서 언급했듯이 50% 완성확률(순공기)과 공기분포의 표준편차(여유시간)로 구성되어 있다. 공정계획 시에는 공사완성 확률 50%에 해당하는 공기로 공정을 구성하는데, 이는 작업의 단축에 따른 효과를 후속작업에서 최대한 활용하기 위한 방안으로, 공기의 효율적인 운영을 꾀할 수 있다.

(2) 공정버퍼의 설정

공기 중 표준편차에 해당되는 여유시간은 공정버퍼로서 활용하여 공정의 주요 관리 지점에서 모아서 공정의 불확실한 변이를 통제하기 위한 수단인 버퍼로서 활용한다. 여유시간들의 합계로 표시된 공정버퍼를 통하여 기존 방식에서 각 작업별로 분배되어 비효율적으로 관리되었던 여유시간을 통합하여 관리함으로써 효율적으로 이용할 수 있게 된다.

4.3 공정버퍼의 개념 및 활용

4.3.1 공정버퍼의 개념

기존에 개별적으로 배분되어 효과적으로 활용될 수 없었던 여유시간을 공정버퍼로서 필요 시점에 모아서 사용하면 보다 효과적으로 여유시간들을 사용할 수 있으며, 공기의 낭비를 최소화할 수 있다. 즉, 여유시간을 별도로 관리한다면 표준편차의 개별합  $\sum \sigma_i$  만큼 작업시간의 편차가 발생하지만, 여유시간을 모아서 관리한다면 작업시간 편차는  $\sqrt{\sum \sigma_i^2}$  로 줄어든다. 이를 수식으로 표현하면 식 ②와 같다.

$$\sum \sigma_i > \sqrt{\sum \sigma_i^2} \text{-----} \text{②}$$

$\sum \sigma_i$  : 개별 작업시간 편차의 합

$\sqrt{\sum \sigma_i^2}$  : 통합된 작업시간 편차의 합

버퍼 설정 방식은 각 작업별로 할당되어 있는 여유시간을 모아서 사용하는 것으로 공기의 효율적인 사용을 의미한다. 또한 적은 여유시간만으로 공사를 수행할 수 있기 때문에 공기내의 공사완성능력을 향상시킬 수 있다.

4.3.2 공정버퍼 관리(Buffer Management) 개념

설정된 버퍼는 공정운영 및 관리단계에서는 버퍼소모량의 모니터링을 통하여 즉각적인 공정의 상황을 판단하여 공정을 관리하게 된다. 버퍼를 그림 3과 같이 안전구역(버퍼소모량 40%이하), 주시 및 계획구역(버퍼소모량 40~70%), 신속처리 구역(버퍼소모량 70%이상)으로 구분하여 공정을 모니터링하게 된다. 이러한 방법은 공정진행 시 공정의 진도 파악을 용이하게 하며, 버퍼의 침투량에 따라 공정관리를 유연하게 할 수 있다.

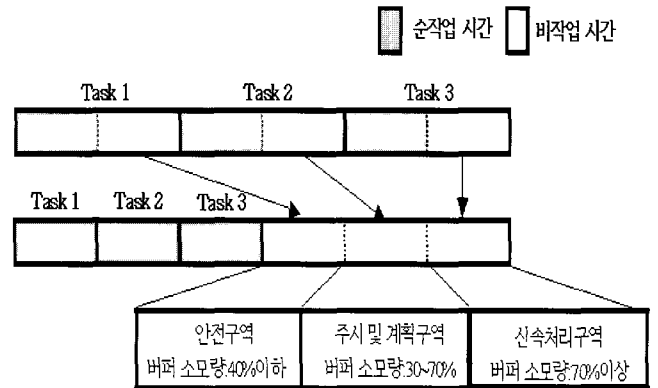


그림 3. 공정버퍼의 개념 및 활용

4.4 기존 공정계획과의 비교 및 개선안 모델링

본 연구에서 제안된 공정계획을 기존의 공정계획과 비교 검토하였다. 세부사항은 표 7과 같다.

표 7. 기존의 공정계획과 개선안의 비교

구분	기존 공정관리 업무방법	공정관리업무 개선안	비 고
작업 기간	순작업시간+비작업 시간의 확정값으로 추정	공사완성 확률분포에서 추정	여유시간의 효율적인 활용 방안 제시
공정 계획	시작과 완료시간이 명시된 공기로 구성	공사완성 확률 50%의 값으로 공정 구성	공기단축의 효과를 전체공정에서 수용
여유 시간 활용	여유시간의 균등 분 배로 사장되는 시간 발생	사장되는 여유시간 최소화	공기의 효율적 사용방안 제시
진도 관리	개별작업의 진도 추정	버퍼관리를 통해 전체 진도에 초점	즉각적인 공정진도 상태의 파악 가능

본 연구에서는 제안된 공정계획 프로세스를 IDEF0 방법론을 이용하여 모델링 하였다. 본 연구에서는 공정계획을 공기산정, 공정계획 및 버퍼설정의 두 단계로 구분하였으며 각 단계에 대한 개선안을 제시하였다. 본 모델은 공정관리업무의 적용을 위한 수행절차와 발생정보에 초점을 두어 구축되었으며, 공정계획 프로세스 모델을 구축함으로써 공정계획의 효율화와 프로세스의 정확한 이해를 높이는데 그 목적을 두었다. 그림 4와 5는 공정관리업무의 하부 목표에 대한 순차적인 절차와 프로세스를 통해 발생하는 정보들에 대한 상호관계를 나타낸다.

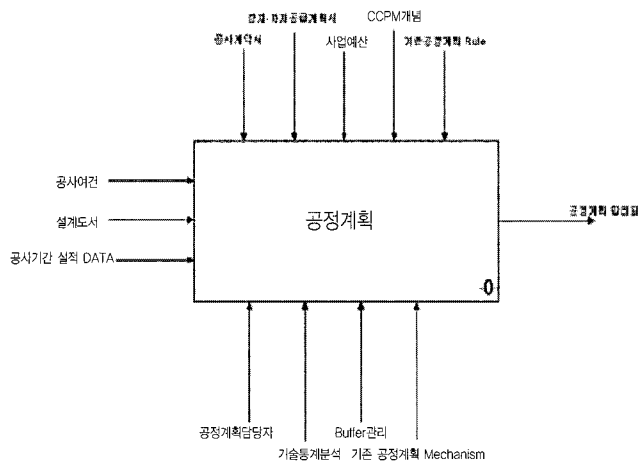


그림 4. 공정계획 Level 1(A0) 모델

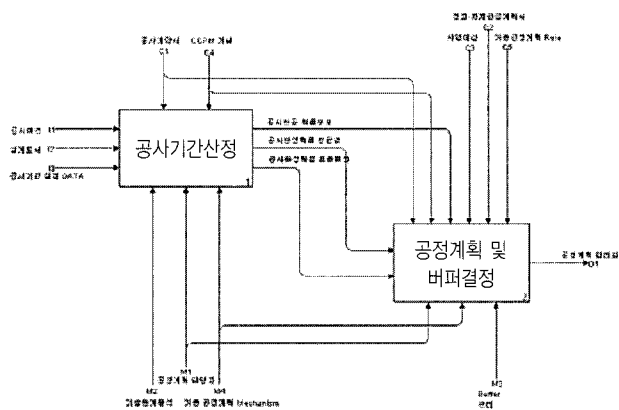


그림 5. 공정계획 Level 2(A1) 모델

## 5. 사례연구

### 5.1 사례연구 개요

본 연구에서 제시된 공정계획 방법을 공동주택 골조공사 (2~15층) 사례에 적용하여 제시된 공정계획 방법의 타당성을 검증하였다.

사례공사는 그림 6과 같으며, 총 공기는 18일이다. 굵은 선으로 표시된 액티비티가 주공정선이며, D작업과 G작업은 주공정

에 포함되지 않으며 각각 2일의 총여유시간(TF)을 가지고 있다.

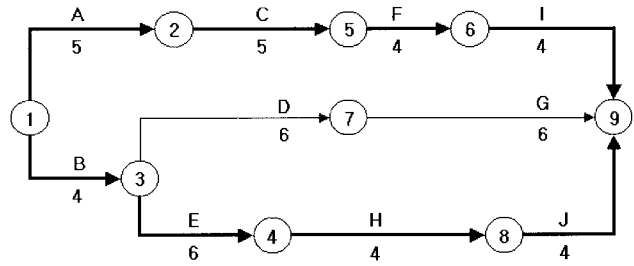


그림 6. 기존 공정관리 방식에 의한 공정계획

### 5.2 확률적 공기산정에 의한 공정계획

공동주택 골조공사의 경우 표 6에 따라 2~15층의 경우 18일의 공기를 산정하며, 공정계획은 앞에서 언급했듯이 공사완성확률이 50%(순공기)에 해당하는 공기를 적용하였다. 골조공사의 경우 실적자료를 분석한 결과 13일의 순공기와 5일의 여유시간으로 구성되어 있었다. 기존의 공정계획에서와는 달리 주공정선상의 각 액티비티의 기간이 변화하였으며, 총 공기 14일(버퍼 제외)의 공정계획을 수립하였다. 그림 7은 확률적 공기산정에 의한 공정계획을 나타낸 것이다. 공기분포의 표준편차(여유시간) 4일은 공정버퍼로서 작업의 마지막 부분에 배치하였다.

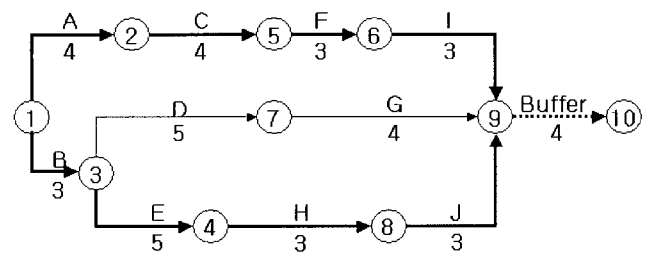


그림 7. 확률적 공기시간 산정에 의한 공정계획

### 5.3 자연사건에 대한 공정계획의 비교

공정계획에서는 공기자연 원인을 파악하여 그에 대한 대처가 이루어지는 공정계획이 가장 이상적일 것이다. 그러나 건설공정에는 수많은 변이들이 내재 또는 외재해 있다. 따라서 본 사례연구에서는 예상하지 못했던 자재의 수급 지연으로 인해 동일 자재를 사용하는 D작업과 E작업이 병행 불가능 할 경우에 대하여 분석하였다.

#### 5.3.1 기존공정계획에서 자연사건의 영향

기존 공정계획에서는 공기자연 상황의 발생에 따른 작업지연이 전체 공기에 영향을 미치게 된다. 결국 대상사례에서도 자연사건의 영향으로 전체 공기의 지연을 초래하게 된다. 아래의 그

림 8과 같이 기존의 공기 18일에 비하여 D작업과 E작업의 병행 수행이 불가능함에 따라 D작업의 여유시간(Total Float)을 모두 소모하고 전체공사에 4일의 지연이 발생하여 22일의 공기를 구성하게 된다. 이는 현 공정계획 방식에서 작업의 지연은 대부분 전체 공정의 지연으로 이어지며, 이것은 확정적 작업기간으로 구성된 기존 공정관리 방식에서 공기지연 요소에 대한 공정시스템의 수용이 미비하기 때문이다.

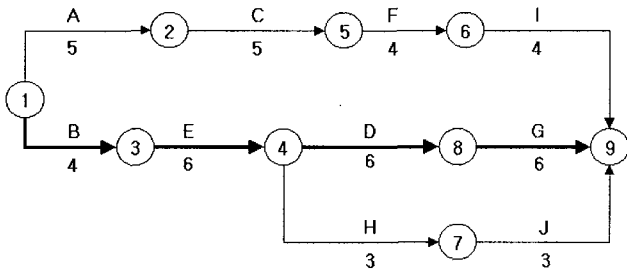


그림 8. 공기지연 발생시 기존 공정계획에서의 영향

5.3.2 개선 공정계획에서 지연사건의 영향

기존 공정계획에 비해 개선 공정계획에서는 모든 작업이 50%의 공사완성 확률을 만족한다면 전체 공사의 지연은 발생하지 않으며, 계획공기 보다 3일이 지연된 17일(버퍼 제외)의 공기를 구성하게 된다. 지연일수 3일은 공정버퍼의 침투로 이어졌다. 실제 공정관리 시에 공정관리자는 3일의 버퍼 침투량을 통해 공정의 현황을 쉽게 파악할 수 있다. 또한 지연 공정에 대한 대책을 마련할 시점을 찾을 수 있다. 그림 9는 주공정 상의 모든 작업들이 50% 완성확률을 만족했을 경우의 공정표를 나타낸 것이다. 이는 공기의 효율적 이용을 통해 변이에 의한 공정지연 요소의 영향을 최소화 한 것이다.

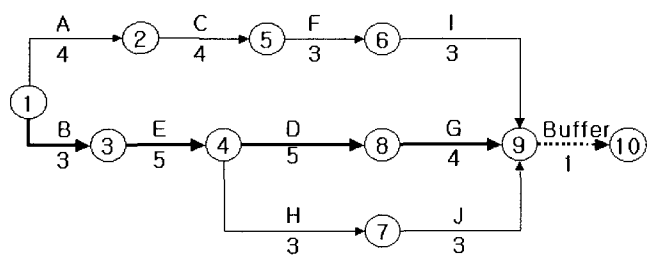


그림 9. 공기지연 발생시 개선 공정계획에서의 영향

5.4 기존 공정계획과 개선 공정계획의 비교

개선 공정계획에서는 공기 50% 완성 확률로 공정을 구성하였다. 그러나 모든 작업이 공사 완성확률 50%를 만족하지 않는다. 개선 공정계획에서 모든 작업들이 50% 완성확률을 만족하지 못하는 경우 총 공기가 22일로 기존 공정계획과 같게 나타

났지만, 1개의 작업이라도 50% 완성 확률을 만족하는 경우는 기존 공정계획의 지연의 영향에 대해 최소 1일에서 최대 3일의 공기단축을 기대할 수 있다. 이는 본 연구에서 제안된 공정계획안이 공기의 효율적인 사용과 공기단축의 효과를 공정상에서 최대한 수용할 수 있다는 것을 의미하며, 자세한 내용은 표 8과 같다.

표 8. 개선 공정계획에서 지연사건의 영향

구 분	공기 변동	공기지연 일수	지연사건 영향
기존 공정계획	22일	공기지연 4일	공기지연 4일 발생
개선 공정계획에서 공사완공확률 50%(m값) 충족작업이 없는 경우	22일	공기지연 4일	기존 공정계획과 동일
개선 공정계획 주공정상의 1개 작업이 공사완공확률 50%(m값) 충족	21일	공기지연 3일	기존 공정계획보다 지연기간 1일 단축
개선 공정계획 주공정상의 2개 작업이 공사완공확률 50%(m값) 충족	20일	공기지연 2일	기존 공정계획보다 지연기간 2일 단축
개선 공정계획 주공정상의 3개 작업이 공사완공확률 50%(m값) 충족	19일	공기지연 1일	기존 공정계획보다 지연기간 3일 단축
개선 공정계획 주공정상의 4개 작업이 공사완공확률 50%(m값) 충족	18일	지연 없음	주공정의 변화 지연발생 없음
비주공정상의 작업의 공사완공확률 50%(m값) 여부	주공정의 변화가 발생하는 경우에도 기존 공정 계획에서의 지연기간을 초과하지 않음		

5.5 개선 공정계획의 한계 및 의의

본 연구에서 수행된 사례연구를 검증하기 위하여 간략한 시뮬레이션을 실시하였다. 본 시뮬레이션은 MS사의 스프레드시트를 이용한 난수생성<sup>15)</sup>을 통한 공정을 구성하여 수행되었으며, 총 3회 실시하였다. 본 연구에서 수행된 3회의 시뮬레이션 결과 최소 12일에서 최대 23일의 공사기간을 나타냈으며, 평균 15.52일(약 16일)의 공사기간을 나타냈다. 이러한 시뮬레이션 결과는 본 연구에서 제시한 계획공사기간 14일과 차이를 보이고 있다.

이는 본 연구에서 제시한 공사기간이 공정 및 공사의 제약사항을 공사기간에 포함시키지 않고, 공정버퍼로써 통합하여 관리하는 방법이 선택하였기 때문이다. 완벽한 공정계획이라는 것이 현실적으로 불가능함에 따라 공정 제약사항이 공정에 영향을 미치게 될 것이며, 이러한 제약사항으로 인하여 지연사건이 발생한 사례공사의 경우와 같이 공기는 지연될 수 있다. 이러한 지연 요소에 대해 기존의 공정계획에서는 전체 공사기간의 지연으로 이어지는 경우가 대부분인데 반하여, 본 연구에서 제시한 공정 계획에서는 지연요소의 영향을 공정버퍼의 설치를 통하여 완화하고 감소시킬 수 있다.

15) 난수 (random numbers) 일반적으로 "랜덤으로 선택된 수"라고 하는데 완전한 랜덤의 한 숫자를 말하지 않고 어떤 확률분포를 따르는 서로 독립된 난수의 수열이라는 의미로 많이 사용된다.

## 6. 결론

본 연구에서는 기존 공정계획의 문제점을 인식하여 확률적 공사기간 산정과 공정버퍼의 개념을 적용한 공정계획 개선방안을 도출하였다. 제시된 공정계획 개선안의 특징은 확률적 공사기간 산정을 통한 공정버퍼의 설치로 요약될 수 있다. 이는 공사기간의 효율적인 사용과 전체 공정의 유연성을 증가시킬 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구에서 제시한 개선된 공정계획방안의 장점은 다음과 같이 요약될 수 있다.

- 1) 공사 완성확률을 분석하여 공사기간 중 순작업시간과 여유시간을 분리하는 공사기간 산정방식을 적용함으로써, 공사기간의 효과적인 사용과 기준에 비효율적으로 관리·운영되던 여유시간의 효율적 사용을 통한 공사완공능력을 증대시킬 수 있다.
- 2) 여유시간으로 공정버퍼를 설정하여, 공정 및 공법 제약요소 등의 다양한 작업 지연으로부터 공정을 보호하며, 공사기간 준수능력을 향상시킨다. 또한, 기존 공정계획에서 사장되었던 여유시간에 대한 효과적인 활용을 통하여 공정의 유연성을 더할 수 있다.
- 3) 공사기간 확률분포에서 공사 완성확률 50%의 공사기간으로 공정을 구성함으로써, 작업의 단축에 따른 효과를 후속작업에서 최대한 활용할 수 있다.
- 4) 공정버퍼(buffer) 모니터링을 통하여 전체 프로젝트 및 주요 공종의 현황을 즉각적으로 판단할 수 있으며 대처가 가

능하다. 따라서 버퍼를 통한 공정 모니터링은 기존의 공정계획에 비해 보다 유연한 공정관리를 가능토록 해 준다.

## 참고문헌

1. 건설교통부, 공공건설사업 효율화 대책, 1999.7
2. 고현우, 제약경영과 크리티컬 체인 프로젝트관리 접근방법 연구, 프로젝트관리기술, 제43호, 2003.2
3. 대한주택공사, 건설공사의 적정 표준공기 산정방법에 관한 연구, 1998
4. 정남기, TOC기반의 애로사슬(Critical Chain) 프로젝트 관리, IE산업연구회, 1999
5. 한국건설관리학회, 사무소 건축의 마감공기 단축을 위한 영향요인 분석 및 관리기법에 관한 연구, 2002.4
6. AGI-Goldratt Institute, <http://www.goldratt.com>
7. Eliyahu M. Goldratt, The Goal, 동양문고, 1997
8. Iris D. Tommeleim, Parade Game : Impact of work flow variability on trade performance, Journal of construction engineering and management, ASCE, 1998
9. James J. O'Brien, CPM in Construction Management, McGraw-Hill, 1993
10. PMI, PMBOK, 1998
11. Tarek Hegazy, Computer-Based Construction Project Management, Prentice-Hall, 2002

## Abstract

Critical Path-based project management has been applied to the construction projects with a goal of delivering projects within original costs and time estimates. These current project management methods, rarely make early finishes of construction projects. In addition, current practices on time management seems not to take advantages of early finishes concepts due to student syndrome and Parkinson's Law. This research study applied the Theory of Constraints(TOC) in the estimation of construction project duration. While the TOC includes variety of management techniques, in this study, it refers to critical chain that has been used to develop the specific management technique in scheduling. The concept of critical chain is applied to this study to solve the problems associated with the current scheduling method. The efforts focus to solve the problems associated with current construction project scheduling methods by adopting both stochastic estimation technique and the concept of schedule buffer.

**Keywords** : Schedule Planning, CCPM, Probability Time Estimate, Schedule Buffer