

선형 공정계획 모델의 액티비티 관계의 경계조건 분석

Analysis of Boundary Conditions for Activities' Relationships in Linear Scheduling Model

류 한 국*
Ryu, Han-Guk

김 태 희**
Kim, Tae-Hui

요 약

국내 일부 건설사는 초고층 건축공사와 같이 반복 공종이 많은 건축물에 일종의 선형 공정계획인 택트 공정계획을 수립하고 수행하고 있다. 선형 공정계획 모델(Linear Scheduling Model: LSM)은 작업 공간과 시간의 정보를 제공하는 시각적 도구로서 연구가 되어왔다. CPM 네트워크 공정표의 구속조건(종료 후 종료, 시작 후 종료, 종료 후 시작, 시작 후 시작)과 마찬가지로 선형계획모델 또한 작업간의 관계간의 구속조건이 발생한다. 특히, 네트워크 공정표를 호환하기 위하여 작업간의 중요 속성간의 관계성의 경계 조건을 정의하는 것이 필요하다.

따라서 본 연구는 선형 공정계획을 수립 시 발생하는 액티비티간의 공간상의 경계조건을 분석한다. 또한 선형 공정계획의 액티비티 간의 관계성을 고려하여 현재 일부 건설회사를 중심으로 사용하고 있는 택트 공정계획에 제안한 경계조건을 반영하여 택트 공정계획 수립과 관리를 위해 고려해야 하는 주요 사항을 제시하는 것이 본 연구의 목적이다.

키워드 : 선형 공정계획 모델, 경계조건, 리드스페이스, 리드타임, 택트 공정계획

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 일부 건설사를 중심으로 초고층 건축물 공사를 수행하기 위하여 네트워크 공정표와 함께 층간 반복 작업으로 진행되는 특성을 고려하여 택트 공정계획을 적용하고 있다. 초보자도 용이하게 공정을 이해하고 공정 순서를 시각적으로 확인할 수 있는 LOB공정표를 사용하여 골조의 각 공정이 3일 사이클로 운영할 수 있도록 하고 마감공사는 사무실 44택트, 화장실 28택트, 엘리베이터 홀 23택트를 선정하여 택트 공정관리를 수행하였다.(신범열 2008) 이와 같이 국내 일부 건설사를 중심으로 초고층 건축공사와 같이 반복 공종이 많은 건축물에 일종의 선형 공정계획인 택트 공정계획을 수립하고 수행하고 있다.

기존의 네트워크 공정표는 해야 할 작업 유닛에 초점을 두고 시간에 기반한 릴레이션을 갖춘 작업들로 구성하였다. 네트워크

공정표의 작업은 공간상에 분절된 것으로 간주함에 따라 공간과 작업의 공간 간 연계성이 부족하였다. 이에 네트워크 공정표에 반하는 개념으로 선형 공정계획 (Linear schedule), 반복 공정계획(Repetitive scheduling), LOB(Line of balance)의 선형 공정계획 모델을 적용하게 되었다. 선형 공정계획 모델은 공간기반의 공정표로서 액티비티 자체보다는 액티비티가 공간을 따라 이동하는 것에 주안점을 두었다. 반복 작업의 특성을 고려하여 액티비티 간의 공간 연결을 유연하게 연결하는 것이 중요하다.

기존 선형 공정계획 모델의 연구는 작업 공간과 시간의 정보를 제공하는 시각적 도구에 초점을 맞추어 진행되어왔다. 그러나 CPM 네트워크 공정표의 구속조건(종료 후 종료, 시작 후 종료, 종료 후 시작, 시작 후 시작)과 마찬가지로 선형 공정계획 모델 또한 작업간의 관계 속에 구속조건이 발생한다. 특히, 네트워크 공정표를 선형 공정계획으로 호환하기 위하여 작업 간에 내재하고 있는 관계성의 경계 조건을 정의하는 것이 필요하다.

따라서 본 연구는 선형 공정계획을 수립 시 발생하는 액티비

* 종신회원, 국립창원대학교 건축공학과 조교수, 공학박사, hgryu@changwon.ac.kr

** 종신회원, 국립목포대학교 건축공학과 조교수, 공학박사(교신저자), thkim@mokpo.ac.kr

기간의 공간상의 경계조건을 고찰한다. 또한 선형 공정계획의 액티비티 간의 관계성을 고려하여 현재 일부 건설사를 중심으로 사용하고 있는 택트 공정계획에 제안한 경계조건을 반영하여 택트 공정계획 수립과 관리를 위해 고려해야 하는 주요 사항을 제시하는 것이 본 연구의 목적이다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구를 수행하기 위한 연구의 세부 절차와 연구의 방법은 그림 1과 같다.

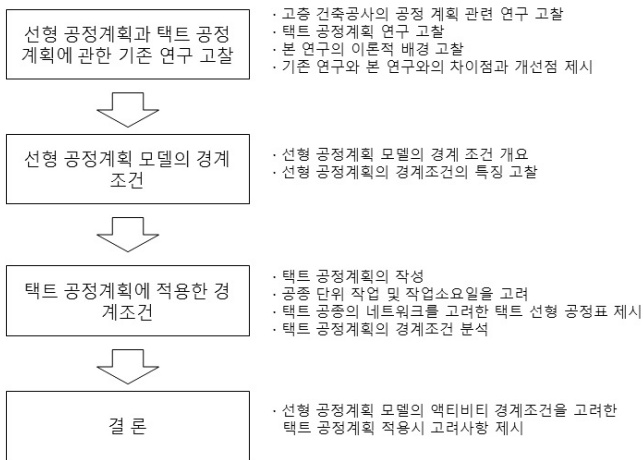


그림 1. 연구의 절차와 연구의 방법

본 연구를 수행하기 위하여 우선 선형 공정계획과 관련한 국내외 연구를 고찰하고 국내에 다소 연구가 활발한 택트 공정계획 연구를 고찰하여 본 연구의 이론적 배경을 제시하고 기존 연구와 본 연구와의 차이점을 제시한다.

선형 공정계획 수립 시 고려해야 하는 경계 조건을 정의하고 경계조건의 특징을 고찰하며 공정 경계조건에 따른 자원 할당의 변화 양상을 제시한다.

택트 공정계획에 적용한 경계조건을 파악하기 위하여 택트 공정계획의 작성 방법을 고찰하여 택트 공중 단위 작업 및 작업 소요일을 파악하고 택트 공중의 네트워크를 고려한 택트 선형 공정표를 제시한다. 이로써 실제 택트 공정계획의 경계조건을 반영하고 분석하여 선형 공정계획 모델의 액티비티 경계조건을 고려한 택트 공정계획 적용시 고려해야 할 사항을 제시한다.

2. 예비적 고찰

2.1 기존 연구 고찰

본 연구의 이론적 배경과 기존 연구와 본 연구와의 차이점과

개선점을 고찰하기 위하여 기존 연구문헌을 고찰하였다. 국외의 연구는 고속도로, 파이프라인, 고층 건물 등 반복 작업이 많은 프로젝트의 계획은 전통적인 네트워크 기법을 사용하는 데 부적합함을 인정하고 그래픽적이거나 분석적인 기법에 근간을 둔 대안적 접근방법으로 선형 공정계획 방법을 제시하고 자원평준화, 여유시간, 작업연속성, 시스템 프로토타입 개발 등의 연구가 다수 있다.(Reda 1990, Suhail과 Neale1994, Thabet과 Beliveau 1994a, Thabet과 Beliveau 1994b, Mattila 1997, Liu 1999, Mulholland와 Chrotian 1999, El-Rayes 2001)

국내의 선형 공정계획과 관련한 연구는 거의 전무한데, 이재섭(2008)은 건설공사의 공기지연을 분석하기 위하여 선형계획법을 사용하였다. 작업 연건 변화에 의한 생산성 손실과 함께 학습효과에 의한 작업진척도의 변화에 의하여 누적된 지연을 분석하기 위해서 생산성 손실과 작업 진척도의 변화를 지연기간으로 변환할 수 있는 방법을 제시하였다. LOB 형태의 공정표는 생산성 변화를 시각적으로 이해하는 데 유용하므로 작업생산성과 작업진척도가 변경되는 경우 학습곡선과 선형계획법을 이용하여 누적지연과 동시발생 공기지연을 분석하는 방법을 제시하였다.

이와 같이 공정표상의 프로젝트의 종료에 초점을 맞춘 선형 공정계획 기법(Barchart, LOB, LS, LSM 등)은 프로젝트 기간의 시각화에 초점을 맞추어 개발되었다. 현재는 수학적 공정계획 기법과 공정관리의 시각화를 컴퓨터 기술과 접목하여 공정계획의 도구(Primavera Project Planner, MS project, Sure-track, Vico Control 등)가 개발되어 사용하게 되었다.

택트 공정계획과 관련한 연구는 고층 건축물의 반복적인 작업에 적용하기 위한 연구로 다음과 같다.

김영재 외 5인(2003)은 사무소 건축공사의 마감공사의 공사관리기법을 향상하기 위하여 택트 공정관리 프로세스를 제시하였다. 택트 공정관리 프로세스 모델은 기본계획 프로세스, 상세계획 프로세스, 운영 및 관리 프로세스로 구분하고 각 단계에 따라 현장에서 준비해야 할 투입요소, 수행내용과 기법의 운영방법, 운영결과물로 구분하여 업무내용을 세분화하였다. 모델의 유효성과 타당성을 사례 적용을 실시하여 검증하여 작업의 연속성과 흐름생산 사례를 정형화하였다.

윤유상 외 5인(2003)은 작업의 특성을 고려하지 않은 작업구역 분할 체계는 출역인원의 정확한 파악을 저해하는 요소로 파악하였다. 이에 사례조사 및 현장 인터뷰를 통하여 현재 작업구역 분할 체계와 맞지 않는 공중을 파악하고 작업의 특성을 고려한 작업구역 분할 체계를 제시하여 사례연구에 적용하였다.

김진국 외 5인(2003)은 작업일보를 이용하여 실질적인 공정관리와 성과측정을 하고 있으나 현장에서는 시스템의 활용이 미

진한 실정임을 인식하고 작업일보 정보를 이용하여 택트 공정관리 방안을 도출하고 공사수행 현황을 실시간으로 분석하고 관리하는 시스템을 개발하였다.

시스템의 정보 입력주체를 협력사 중심으로 하고 각 현장의 협력사 및 근로자의 정보를 근로자이력관리시스템에 입력하고 근로자 이력관리시스템 관리자에게 인증된 정보는 가공 재생산되어 시스템과 연동이 되게 하였다. 택트 공정관리 시스템은 협력사 작업 실적 입력 및 확인과 시스템 관리자에 의한 작업정보 입력 및 작업진도 체크에 의해서 각 현장의 공사진행의 양부를 판별하도록 하며 출력인원 분석기능과 생산성 분석, 대내외 보고 기능을 갖추고 있다.

서상욱 외 4인(2003)은 택트 공정관리를 시스템화하여 현장의 계획단계에서부터 공정진행상의 정보공유, 평가, 피드백에 의한 개선단계에 이르기까지의 프로세스를 개선하여 협력사와의 정보 공유 체계를 확립하였다. 자원의 평가 및 현장수행 평가 지표를 적용하여 출역인원을 관리하고 분석할 수 있는 기준을 제시하였다. 제안한 S-SMART 시스템은 협력업체와의 협의를 통한 평준화된 작업인원 투입과 관리를 통한 작업인원 및 작업부위의 연계로 현장인원 투입현황 및 작업 진도율 관리가 가능하다.

윤유상과 서상욱(2005)는 건축마감공사에서의 택트타임 설정을 통한 작업 조정 프로세스를 개발하였다. 기존 택트공정관리와 관련된 연구는 작업구역분할, 작업일보, 택트 공정관리 프로세스 등을 수행하였지만 작업연속성 확보를 위한 택트타임에 대한 연구가 부족함을 인지하고 3점추정 견적 방법에 의해 택트타임의 설정방법과 작업기간 조정절차를 제시하고 사례 연구로 검증하였다.

박민선 외 3인(2006)은 제약이론을 이용한 택트공정관리 개선에 관한 연구에서 제약이론은 5단계의 집중개선 활동을 통해 전체 시스템의 제약을 파악하고 일부 공정의 작업지연으로 인하여 전체 흐름에 영향을 미치는 문제점을 해결하고자 하였다. 개별 자원간의 공정 능력이 서로 다름을 인정하고 버퍼로 유동성을 관리함으로써 현장에서 발생 가능한 여러 돌발 상황에 대한 대처를 유연하게 할 수 있는 택트 공정관리 기법을 적용하였다.

김지현 외 3인(2007)은 작업흐름 기반의 택트 공정관리 프로세스를 제시하였다. 즉, 계획단계에서는 WBS 분류체계 파악, 작업순서 확인, 시공속도 파악 및 작업군 설정, 작업조 크기를 결정하고 실행 단계에서는 시공속도를 측정하고 시간통제점을 확인하여 택트 공정계획을 수립한다. 측정단계에서는 PPC를 측정하고 공간간 대기일수를 측정한다. 수정단계에서는 일정 및 시공능력을 조정하고 택트공정계획을 수립하는 절차를 제시하고 사례연구를 통하여 적용성을 검증하였다.

신동호 외 3인(2010)은 공동주택 마감공사의 TACT 프로세스 적용방안 연구에서 정해진 공간안에서 많은 작업자들이 다양한 단위공종을 수행하기 때문에 낭비요소가 많음을 인식하고, 공기 지연과 같은 문제점이 발생할 수 있는 공동주택 마감공사 단위세대 프로세스를 개선하기 위한 택트 기법 적용을 통한 프로세스를 제시하였다. 주공종 공정흐름도 작성하여 택트 공정을 결정하고 택트 액티비티를 집계하여 자원을 배분하고 택트 액티비티 흐름도를 작성하여 택트 타임을 결정하는 택트 단위작업 분할 방법을 제시하였다.

이와 같이 건설공사의 공정계획은 건설공사의 기간에 대한 중요성과 일정분석 등의 장점 때문에 비네트워크 기법보다는 네트워크 기반의 공정계획프로그램을 사용해왔다. 그러나 앞서 살펴본 바와 같이 고층 건축물과 같이 반복 작업이 발생하는 공정계획을 반영하는 데는 비네트워크 기반의 선형공정계획 기법을 적용하는 연구가 진행되고 있다. 그러나 기존의 선형 공정계획 기법을 수행하기 위하여 구체적으로 선형계획모델에서 표현되는 액티비티의 관계에 대한 경계조건을 정의하고 이를 택트 공정계획에 적용하기 위한 연구는 전무하다.

3. 선형공정계획 모델의 경계조건

3.1 선형공정계획 모델의 경계조건 개요

네트워크 공정표에서 액티비티는 공간과 작업명을 동시에 표현하고 각 액티비티의 시간 정보는 x축에서 파악이 가능하다.

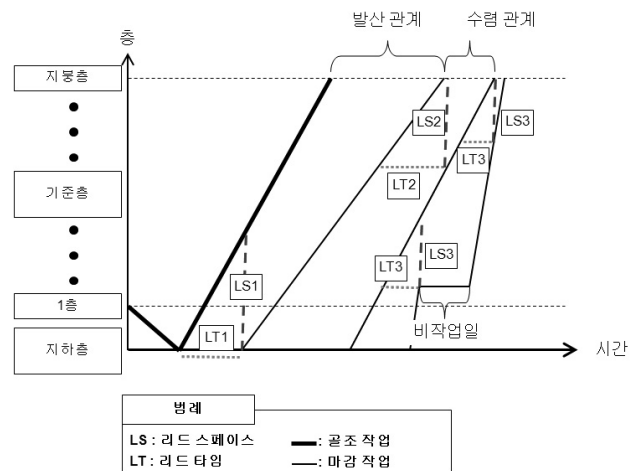


그림 2. 선형공정계획의 작업간의 관계성 정의(리드스페이스와 리드타임)

그러나 선형공정계획에서는 선에 레벨 수준에 따라 작업분류체계를 표현하여 작업명을 알 수 있으며 시간 정보와 공간정보는 x축 또는 y축에서 유추할 수 있게 표현된다. 또한 선형공정계획

에서 시간과 공간은 각각 x축과 y축 또는 y축과 x축으로 표현할 수 있으나 건축공사의 경우 일반적으로 시간을 x축, 공간을 y축으로 표현하므로 본 연구에서는 이와 같이 설정하였다.

선형 공정계획 모델의 작업간의 관계에서 발생하는 경계 조건은 그림 2와 같이 리드스페이스(Lead Space: LS)와 리드타임(Lead Time: LT)으로 정의할 수 있다.

리드스페이스는 후행 작업분류체계의 협력업체가 작업을 할 수 있는 최소한의 공간이 확보되는 크기를 의미한다. 즉, 리드스페이스는 수직 경계 조건으로 선행 작업과의 작업 공간 버퍼로서의 역할을 한다. 이는 후속작업의 노무 작업 생산성이 선행 작업의 생산성과 같지 않기 때문이다. 후속 작업의 협력업체는 선행 작업이 끝남과 동시에 후속작업을 시작하지 않고 생산성을 고려하여 일정량의 작업을 수행할 수 있는 공간을 확보하고 착수하고자 할 것이다. 즉, 협력업체가 리드스페이스 만큼의 작업할 수 있는 공간이 없는 경우에는 작업인원을 투입하지 않는다. 이는 협력업체는 최소한의 작업조로 연속적으로 작업을 할 수 있는 작업공간이 확보되면 작업인원을 투입하고자 하기 때문이다.

반면에, 리드타임은 리드스페이스를 보장하기위하여 적용되는 것으로 수평적인 경계조건이다. 즉, 리드타임은 후속작업을 시작하기 위한 최소한의 작업 준비(노무, 자재, 자원 등의 조달 시간과 준비시간 등.)와 선행작업의 양생시간 등으로 요구되는 작업 시간 버퍼이다. 따라서 리드타임은 후행 작업분류체계의 자원 즉, 작업조, 자재, 장비 등을 준비하는 데 최소한은 확보해야 하는 시간으로 선행 작업분류체계와 후행 작업분류체계와의 관계 사이에 발생할 것이다. 따라서 후행 작업분류체계의 리드타임은 다음 식과 같이 선행 작업분류체계의 작업의 변동성, 후행 작업분류체계 협력업체의 인력조달 등의 공정 조절 능력, 후행 작업분류체계의 자재 및 장비 가용성, 후행 작업분류체계의 주공정선 여부, 후행 작업분류체계의 작업 단위 공간 크기에 따라 영향을 받게 되며 상기한 변수들에 의한 리드타임 중에서 가장 큰 리드타임을 적용해야 한다.

$$Suc_LT \geq \text{Max}\{f(PV), f(SC), f(MC), f(WC), f(WUS)\}$$

- Suc_LT : 후행 작업분류체계의 리드타임
- PV : 선행 작업분류체계의 작업의 변동성 (Predecessor's Variability)
- SC : 후행 작업분류체계 협력업체의 인력조달 등의 공정 조절 능력(Successors's Capacity)
- MC: 후행 작업분류체계의 자재 및 장비 가용성 (Material & Machine Availability)
- WC : 후행 작업분류체계의 주공정선 여부

(Work Criticality)

- WUS : 후행 작업분류체계의 작업 단위 공간 크기 (Work Unit Space Size)

상기한 요인은 공정계획가 또는 공사 관리자가 관리할 수 있는 범위의 내용을 고려한 것으로 날씨, 악천후 등의 불가항력과 예기치 못한 리스크 요인에 의하여 리드타임 또한 고려하여야 할 것이다.

따라서 상기한 요인들이 건설현장에서 반영된다는 가정하여 기존의 작업분류체계의 리드타임과 리드스페이스를 고려하여 선형공정계획에 반영하여야 한다. 새로운 선형공정계획을 수립 시에는 과거 작업분류체계의 리드타임과 리드스페이스를 고려하여 새로운 프로젝트에 부합하도록 리드타임과 리드스페이스를 조정하는 것이 중요하다.

리드타임과 리드스페이스는 최소한의 시간과 작업 단위 공간을 확보한 것으로 작업분류체계 또는 프로젝트의 리스크를 고려하여 일정부분을 할애할 수 있을 것이다. 그러나 기존의 리드타임과 리드스페이스 이상을 확보하게 되면 공사 기간과 공사비가 증가할 것으로 판단된다. 따라서 선형공정계획에서 작업분류체계의 작업 기간과 리드타임을 고려하여 최적의 공사기간이 될 수 있도록 공사 단계에서 최적의 공사관리가 이루어져야 할 것이다.

한편, 선형 공정계획 모델에서 작업간의 경계조건의 관계성은 발산, 수렴, 평행 관계성으로 구분할 수 있을 것이다. 발산 관계성은 후행 작업의 생산성이 선행 작업의 생산성보다 낮은 경우이며 수렴 관계성은 후행 작업의 생산성이 선행 작업의 생산성보다 높은 경우이다. 발산 관계성의 리드스페이스와 리드타임의 경계 조건은 그림 2의 LS1과 LT1의 예와 같다. 반대로 수렴 관계성의 리드스페이스와 리드타임의 경계 조건은 그림 2의 LS2와 LT2의 경우이다. 만일 선행 및 후행작업간의 리드스페이스를 확보하지 못할 경우에는 LS3와 LT3의 예와 같이 비작업일이 발생하여 하단부와 상단부에 LS3를 만족시켜야 할 것이다.

3.2 선형 공정계획의 경계조건의 특징

3.2.1 선형 공정계획 모델의 작업들 간의 이상적 관계성

선형 공정계획 모델의 이상적 관계성은 수렴 관계성이거나 평행 관계성인 택트 공정계획이다. 선형 공정계획 모델의 작업들 간의 이상적인 수렴 관계성은 그림 3과 같다.

골조공사를 제외한 모든 마감 작업들에 있어 관련 후속작업들의 생산성이 점차적으로 높아져 같은 공간과 같은 시간대에 작업을 완료하는 것이다. 그러나 작업조, 공간, 자원 한계성 때문

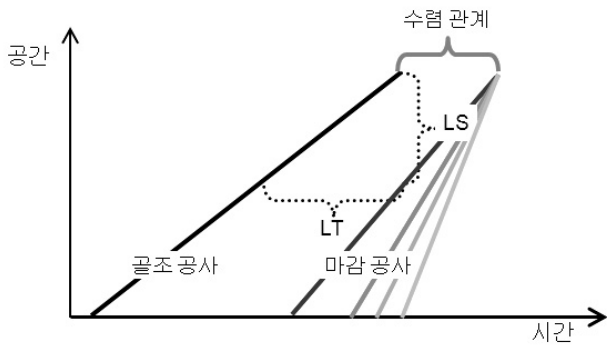


그림 3. 수령관계의 이상적 경계조건

에 작업 공간충돌과 같은 문제가 발생할 것이므로 모든 작업들이 수령 관계가 되기는 어렵다.

실현 가능성이 높은 일종의 선형 공정계획 모델에 있어 작업들 간의 이상적인 경계조건은 택트 공정계획이다. 택트는 충돌이나 공격없이 조화로운 관계를 달성하기 위한 감정과 가치들을 세심하게 고려하는 것이다. (Wikipedia 2006) 택트 공정계획은 일본의 대성건설에서 처음으로 도입되어 제로 유희시간, 변이관리, 자원 평준화 등을 구현한 것으로 일종의 린 건설 철학이 적용되고 있다.

건설공사의 공정계획에서 택트는 마감공사에서 작업시간의 동시성을 추구하여 생산성을 평준화하고 작업의 낭비를 최소화하는 것이다.(윤유상과 서상욱 2003) 택트 공정계획에서 택트는 같은 생산성을 지닌 일련의 작업군들을 의미하며 유기적인 관리체계를 적용하도록 한다.

택트 타임은 선행 작업 공간에서 후행 작업 공간에서 한 단위 택트를 수행하는 데 필요한 작업시간을 의미한다. 현장에서 적용함에 따라 약간의 택트간의 생산성의 차이가 발생한다. 택트 공정계획을 적용하면 그림 4와 같이 유연하고 효율적인 작업흐름이 가능하게 된다.

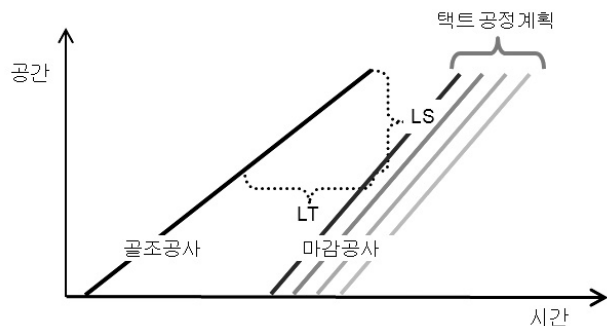


그림 4. 택트 공정계획의 이상적 경계조건

그러나 택트와 택트시간을 결정하고 택트의 옵션을 선정하고 지속적으로 필요한 자원을 할당하는 것은 상당한 시간과 노력이 필요하며 협력업체들 간의 협조가 필수적이다. 따라서 실제 현장에서 적용하는 데는 많은 어려움이 내재하므로 작업간의 수령과 발산의 관계를 적절히 모듈화하여 관리하는 것이 중요하다. 액티비티 관계의 모듈화는 프로젝트를 작업분류체계와 공간분류체계로 세분화하여 가능하다. 공간분류체계는 프로젝트의 특성을 고려하여 공구, 건물, 층 등 정확한 작업 공간을 분류하고 작업분류체계의 사이클 타임을 분석하여야 한다.

3.2.2 발산관계성의 특징

발산 관계성의 작업들은 수령 관계성의 작업들보다 수행하기가 용이하다. 그러나 공사 관리자들은 공사의 효율성을 높이기 위하여 낮은 생산성 또는 간헐적인 작업을 수행하기 보다는 높은 생산성과 지속적인 작업을 수행하기 위하여 노력한다. 협력업체들은 지속적인 인원을 투입하여 휴무일 없이 자신들의 작업들을 진행하여 간접비의 절감과 작업자들의 학습효과로 인한 생산성 향상을 추구하고자 한다.

이에 원도급사의 공사관리자들은 수령관계에 있는 작업들보다는 발산관계에 있는 작업들을 관리하는 데 더 많은 노력과 시간을 투입하고 협력업체들의 작업들을 조기 착수할 수 있도록 독려한다. 원도급사는 골조공사가 완료되면 이를 실측한 후 각 마감작업의 시공도를 작성하고 마감 작업의 특징을 고려하여 장기 리드타임이 소요되는 자재와 작업에 대한 관리를 철저히 한다. 특히, 일부 건설 회사들은 이와 같은 리드타임을 줄이기 위하여 마감공사의 수행을 위한 골조공사의 실측이 필요 없도록 골조공사의 정도시공을 도모한다. 또한 표준 마감 시공도를 개발하는 등 주요 자재 및 시공 협력업체들과 전략적 제휴를 맺어 이에 소요되는 리드타임을 최소화 하고 있다.

3.2.3 수령관계성의 특징

수령관계의 작업을 수행하는 협력업체들은 선행 작업의 완료 시점에서 리드스페이스와 리드타임을 만족시키는 한도 내에서 작업을 최대한 늦게 착수하고자 한다. 이는 협력업체들이 선행 작업의 영향을 받지 않고 후속 작업의 착수시점을 늦추지 않으면서 해당 협력업체의 최적 작업조들을 구성하여 작업의 연속성을 독립적으로 유지하기를 원하기 때문이다.

원도급사가 프로젝트를 촉진하기 원하면, 수령 관계의 작업들은 간헐적인 작업이 되기 쉽다. 그러나 협력업체는 최적의 작업조로 작업의 속도를 유지하면서 연속적으로 작업을 수행하고자 한다. 즉, 협력업체들은 공사 초기부터 자신들의 최적의 작업조들이 지속적으로 작업할 수 있는 환경을 요구한다.

결과적으로 원도급사는 협력업체가 가능한 빨리 작업을 착수

하고 작업을 종료하도록 독려하지만 협력업체는 작업 착수시점부터 종료시점까지 일정한 작업인원으로 작업을 수행하고자 한다. 따라서 공정계획가는 앞서 살펴본 작업들의 경계조건과 요구조건들을 합리적으로 조정하여 참여 협력업체가 적극적으로 공정계획에 따라 작업을 수행할 수 있도록 관리하여야 한다.

3.2.4 분리관계성과 평행관계성의 특징

작업분류체계의 작업들이 관계성이 없거나 중복기간이 없으면 분리관계성으로 정의한다. 관계성이 있으면 작업분류체계의 사이클 타임은 다음 식에 따라 산정된다.

$$CT_i = \frac{FT_i - ST_i - N \cdot D_{\cdot i} + 1}{FS_i - SS_i + 1}$$

CT_i : WBS(i)의 사이클 타임

FT_i : WBS(i)의 종료 시점

ST_i : WBS(i)의 시작 시점

FS_i : WBS(i)의 종료 공간

SS_i : WBS(i)의 시작 공간

N, D, i : WBS(i)의 시작과 종료 시점 사이에 발생한 비작업 기간

사이클 타임1을 선행 작업의 작업분류체계 사이클 타임, 사이클 타임2는 후행작업의 작업분류체계 사이클 타임으로 규정하여 사이클 타임의 비교에 따른 작업분류체계의 관계성 결과는 세 가지로 정의할 수 있다. 사이클 타임1이 사이클 타임2보다 크면 수렴관계성, 사이클 타임1과 사이클 타임2가 동일하면 평행관계성, 사이클 타임1이 사이클 타임2보다 작으면 발산관계성으로 정의된다.

4. 택트 공정계획에 적용한 경계조건

4.1 택트 공정계획의 작성

택트 공정계획 수립을 위해 네트워크 공정표를 선형 공정표로 변환하여야 한다. 우선 작업분류체계상의 선·후행 작업의 관계성을 고려하여 단위 작업 공간 내에 작업분류체계가 진행될 수 있도록 조정한다. 각 택트를 구성하는 액티비티들을 조합하여 각 택트 타임을 동일하게 한다. 즉 단위 공간 내에 소요되는 작업 기간을 동일하게 하고 이 동일성을 유지하기 위하여 자원(협력업체 작업조, 장비, 자재 등)을 할당할 수 있도록 사전에 원도 급사와 협력업체간의 협력과 조정이 필요하다. 물론, 공정관리 이외의 품질관리, 안전관리, 가설관리, 자재관리 등 공사단계에서 공사 관리 업무를 수행할 수 있도록 계획한다.

택트 공정계획의 수행을 위하여 특히 각 택트의 작업 지연이

없도록 작업을 진행해야 하여야 한다. 세부적으로는 협력업체의 장기적으로 투입되는 작업자의 연속성을 확보할 수 있으며 대기 시간을 최소화하고 작업간의 간섭이 최소화되며 반복 작업으로 인한 생산성 향상, 학습효과 기대, 협력업체의 주인의식 고취 등을 기대할 수 있다.

표 1은 D건설사가 협력업체와의 협의를 통해 도출한 택트 단위 로직과 작업 소요일을 정리한 것이다. 표 1에서 보는 바와 같이, 아파트 공사의 택트 공정 계획 사례로 조직 공정택트(T-02) 수행을 위한 공중단위 작업과 작업 소요일을 바차트 형태로 표현할 수 있다.

표 1. 조직 공정 택트(T-02)의 공중 단위 작업 및 작업 소요일

작업분류체계	작업	바차트					
		1일	2일	3일	4일	5일	6일
건축	시공도 및 레벨 검측	■					
건축	층별 자재 운반	■					
건축	조직 세대내 소운반*	■	■				
설비	급수 급탕 및 난방 분배기 설치	■	■				
건축	조직 철물 설치	■	■				
건축	조직 하단 쌓기*	■	■	■	■		
설비	난방 메인 배관		■	■			
건축	조직 상단 쌓기*				■	■	■
설비	싱크 바닥 배관 및 수전구 고정				■	■	
설비	분배기 조인 및 배관사출					■	■
건축	조직면 정리 및 청소*						■
설비	1차 수압 테스트						■
건축	검측						■

범례 * : 주공정선 상의 주요 작업

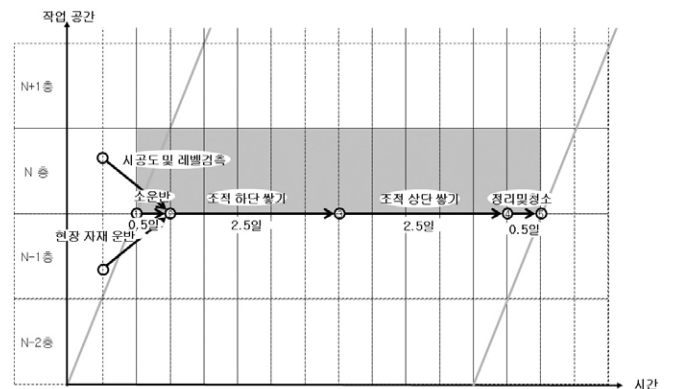


그림 5. N층에 대한 택트 공정표의 작업 네트워크

작업들 간의 수평 관계성은 후속 작업의 택트 타임과 선행 작업의 택트 타임이 동일한 것을 의미한다. 따라서 리드스페이스와

리드타임은 모든 작업 공간과 작업 시간에서 발생하므로 엄격한 작업관리가 필요하다. 이는 택트 스케줄링의 택트 타임을 동일하게 유지하는 것과 동일한 개념으로 판단할 수 있다. 표 1은 택트 액티비티들을 바차트로 나타낸 것으로 택트 공정표의 택트 액티비티들을 N층에 대한 선형 공정표상에 조적 공정택트(T-02) 액티비티의 상세 네트워크를 그림 5와 같이 표현할 수 있다.

N층에 대한 조적(T-02) 택트 공정표의 네트워크를 전체 선형 공정표로 확장하여 표현하면 그림 6과 같으며 다른 공종의 택트 네트워크 공정표도 동일한 방식으로 나타낼 수 있다.

수평 관계성은 리드스페이스와 리드타임이 동일하기 때문에 모든 작업 시간이 동일하다. 수평 관계성을 유지하기 위하여 작업조를 관리하는 협력업체와의 유기적인 협의와 업무 협조가 되어야만 가능하다. 수평 관계성인 작업분류체계간의 액티비티의 이동은 층수의 증가 또는 삭제에 따른 액티비티의 생성 또는 삭제시에 수평 관계성을 유지하고 층당 택트 타임에 따라 작업이 오른쪽 또는 왼쪽으로 이동하게 된다.

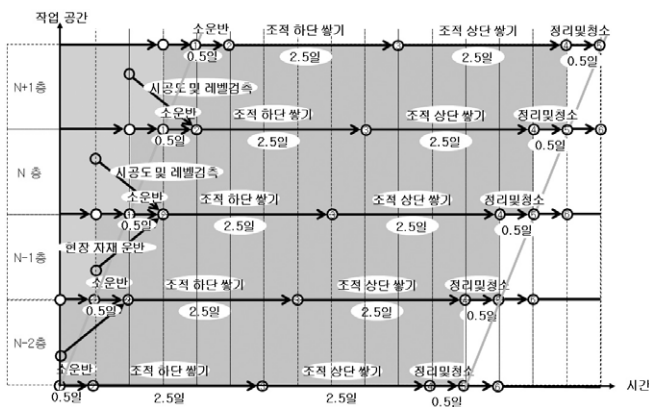


그림 6. 조적(T-02) 택트의 네트워크를 고려한 택트 선형 공정표

4.2 택트 공정계획의 경제조건 분석

작업 관계성의 종류는 수렴 관계성, 발산 관계성, 평행 관계성, 분리 관계성으로 구분할 수 있으며 그림 7은 이와 같은 관계성을 택트 공정계획에 적용한 것이다.

그림 7에서 살펴본 D사의 택트 공정별 작업기간과 택트 타임을 정리하면 표 2와 같다. 골조 공정 택트, 마감 준비 공정 택트, 조적 공정 택트, 창호 및 유리 공정 택트, 단열 및 칸막이 공정 택트, 방수 공정 택트, 미장 공정 택트, 벽타일 및 석공정 택트, 천정 및 수장 공정 택트, 바닥타일 및 석공정 택트, 주방 및 가구 공정1 택트, 도장 및 초배 공정 택트, 목창호, 아트월 공정 택트, 창호 문짝 공정 택트, 주방 및 가구 공정2 택트, 바닥재 공정 택트, 기타 공정 택트는 작업기간과 택트 타임이 동일하게 6일/층이다.

반면에 기포 공정 택트와 바닥 미장 공정 택트는 작업기간이 6일/층이나 작업의 택트 타임은 5.2일/층이다. 동일한 기간에 2~3개 층을 동시에 작업을 하고 비작업일이 있는 분리된 관계성이기 때문에 층당 택트 타임이 층당 작업기간 보다 적게 소요될 것이다. 마찬가지로 도배 공정 택트는 작업기간이 6일/층이나 작업분류체계상의 택트 타임은 3.2일/층이다. 이는 동일한 기간에 2개 층을 동시에 작업하기 때문에 층당 택트 타임이 층당 작업기간 보다 적게 소요될 것이다.

표 3은 사례 택트 공정의 작업간의 작업 관계성을 정의한 것이다. 표 3에서 대부분의 택트 선형 공정계획은 평행관계성을 유지하고 있다. 따라서 택트 선형공정표를 계획하고 실행하기 위하여 평행관계성이 유지되어야 한다. 이는 택트 공종간의 경제조건, 즉, 리드스페이스와 리드타임을 전 작업 공간에서 준수되어야 가능하다. 예를 들어, 골조 공정(T-0)과 마감 준비 공정(T-1)은 평행 관계성으로 골조공사 택트가 3개층의 작업공간(리드스페이스)을 확보해주어야 마감 준비 공정 택트를 착수할 수 있게 된다. 골조공사 택트가 3개 층 작업을 완료하는 데 18일(리드타임)이 소요되므로 이기간 동안에 마감 준비 공정은 필요한 시공도와 자원을 확보하고 협력업체와의 협의를 통하여 작업을 수행하여야 한다. 단열 및 칸막이 공정(T-4)과 기포 공정(T-5)는 수렴 관계성으로 리드스페이스는 0층이고 리드타임은 0일이다. 이는 단열 및 칸막이 공정이 3개층 작업이 완료된 후 기포 공정을 착수하며 동시에 3개층을 작업하게 되나 15층 종료 시점에서는 단열 및 칸막이 공정이 완료됨과 동시에 기포 공정을 착수하여 완료되기 때문이다. 따라서 수렴관계성은 작업의 종료 공간(15층)에서 자원을 충분히 확보하고 실행해야 한다.

예를 들어, 그림 8과 같이 수렴 관계의 후속 작업은 반복적으로 작업-유휴-작업-유휴-작업의 순으로 간헐적인 인력자원을 할당함으로써 계획보다 조기에 작업을 완료할 수 있다. 또한 발산 관계의 인력 자원 평준화를 유지하면서 전체 건설공사의 기간은 단축될 것이다. 그러나 수렴 관계의 간헐적인 노무인력의 할당은 작업조의 지속성에 문제를 발생시킨다.

바닥 미장 공정(T-6)과 방수 공정(T-7)은 발산 관계성으로 리드스페이스는 1.15층이며 리드타임은 6일이다. 바닥 미장 공정을 착수하여 한 개층을 완료함과 동시에 방수 공정을 동일한 택트 타임(6일/층)으로 수행하여 리드스페이스와 리드타임이 작업 착수시점에서 발생한다. 이는 바닥 미장 공정의 선형 공정인 기포 공정을 2개층 또는 3개층 단위로 작업을 수행함에 따라 바닥 미장 공정을 수행하므로 착수 시점의 리드타임을 확보하기 위한 발산관계가 성립된다.

그림 9는 발산 관계와 수렴 관계의 작업 시간 변화에 따른 영

표 2. D사의 택트 공정별 작업기간과 택트 타임 정의

택트 번호	택트 공정	작업 기간	택트 타임
T-0	골조 공정	6일/층 X 층수	6일/층
T-1	마감 준비 공정	6일/층 X 층수	6일/층
T-2	조적 공정	6일/층 X 층수	6일/층
T-3	창호 및 유리 공정	6일/층 X 층수	6일/층
T-4	단열 및 칸막이 공정	6일/층 X 층수	6일/층
T-5	기포 공정	6일/층 X 층수	5.2일/층
T-6	바닥 미장 공정	6일/층 X 층수	5.2일/층
T-7	방수 공정	6일/층 X 층수	6일/층
T-8	미장 공정	6일/층 X 층수	6일/층
T-9	벽타일, 석공정	6일/층 X 층수	6일/층
T-10	천정, 수장 공정	6일/층 X 층수	6일/층
T-11	바닥타일 및 석공정	6일/층 X 층수	6일/층
T-12	주방 및 가구 공정1	6일/층 X 층수	6일/층
T-13	도장 및 초배 공정	6일/층 X 층수	6일/층
T-14	목창호, 아트월 공정	6일/층 X 층수	6일/층
T-15	청호 문짝 공정	6일/층 X 층수	6일/층
T-16	도배 공정	6일/층 X 층수	3.2일/층
T-17	주방 및 가구 공정2	3일/층 X 층수	3일/층
T-18	바닥재 공정	3일/층 X 층수	3일/층

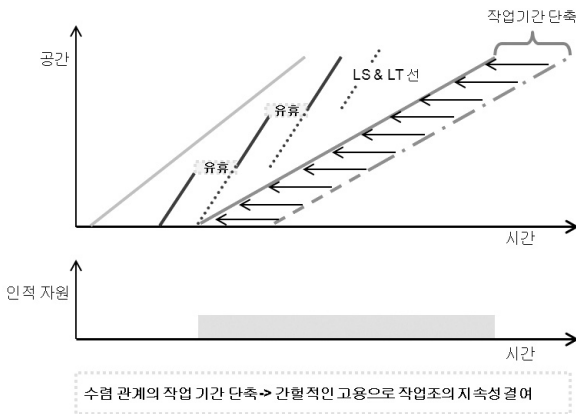


그림 8. 수렴 관계의 작업 기간 단축

향을 나타낸 것이다. 발산 관계의 후속 작업에 대한 인력 자원 할당을 단기간에 투입함에 따라 추가 비용이 발생할 것이다. 인력 자원 할당이 작업이 중복되는 기간에 인력이 추가로 할당되어야 하므로 이에 대한 체계적인 관리가 필요하다. 작업자의 증가가 짧은 기간에 집중되므로 이에 대하여 협력업체와의 협의가 고려되어야 한다. 예컨대, 추가인력 투입에 대한 비용과 작업조 운영 등을 고려하여야 할 것이다.

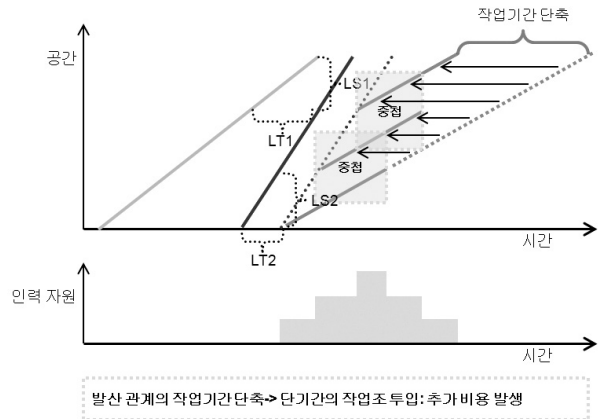


그림 9. 발산 관계의 작업 기간 단축

따라서 선형 공정계획 모델에 있어, 불연속작업에 대한 보상 문제와 간헐적 작업으로 인한 작업 연속성 문제를 고려하여 발산 관계와 수렴 관계의 선형 공정 계획시 시간에 따른 자원 평준화를 고려하여야 할 것이다.

선형 공정표의 평행 관계성은 단위 공간의 작업분류체계의 작업 택트 타임을 동일하게 유지하는 것이고 택트 스케줄링은 공간 분류체계의 공간에 조합한 택트 타임을 동일하게 유지하는 것이

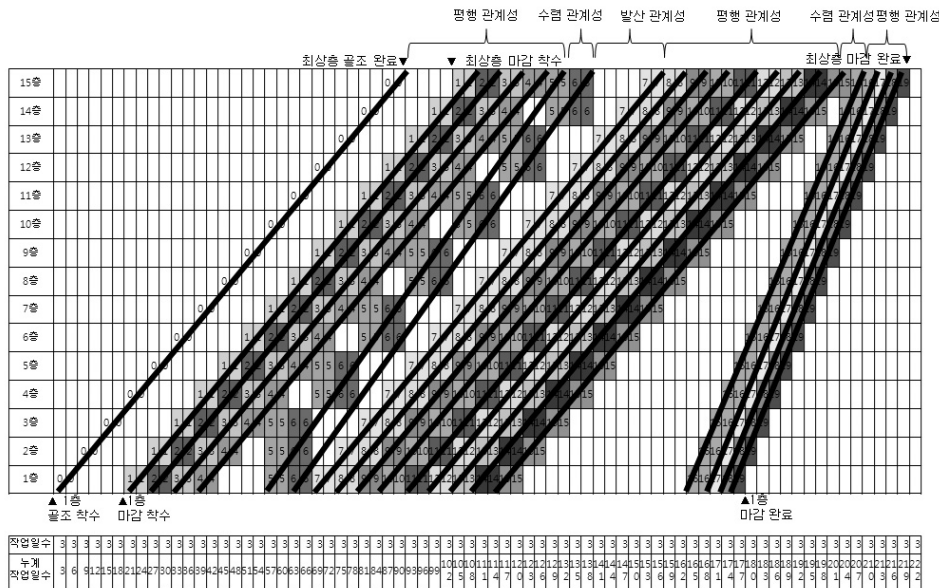


그림 7. 택트 공정계획 사례의 관계성

다. 따라서 선형 공정표에서 택트 기간을 동일하게 유지하게 하는 것이 중요하므로 공정계획시 실제 작업을 수행하는 협력업체의 자발적인 참여와 역량이 중요하다.

5. 결론

일부 건설 회사를 중심으로 택트 공정계획 등 선형 공정계획을 수립하여 적용하려는 노력이 증가하고 있다. 그러나 기존의 선형 공정계획에서 고려되어야 하는 선형관계성에 대한 이론적 고찰이 부족하고 이를 적용함에 있어 작업 공종의 특징과 공사 관리적 측면에서 발생하는 경계조건의 고려가 미흡하다.

본 연구는 선형공정계획에서 고려해야 하는 경계조건인 리드스페이스와 리드타임의 특징을 살펴보고 D건설사에서 수행하고 있는 택트 공정계획에서 내포된 경계조건을 조사·분석하여 경계조건 반영시 고려해야 할 사항을 선형 공정계획에 적용하여 고찰하였다. 택트 공정계획에 선형 공정계획 모델의 경계 조건인 발산 관계성과 수렴관계성을 효과적으로 고려하는 것이 중요하다. 예를 들어, 습식 마감공사를 건식화하여 동일한 규모의 작업 공간에서 작업을 수행하도록 하거나 기타 마감공사의 작업공간을 2개층 또는 3개층으로 통일하여 유후 작업공간이 발생하지 않도록 하여 작업의 연속성 확보가 가능하도록 하는 것이 필요할 것이다.

본 연구는 향후 고층 건축물의 증가 추세에 맞춰 표준 선형 공정계획과 유연한 공정통제를 적합하게 적용하기 위한 기초 연구로서의 가치가 있다고 하겠다. 또한 제시한 택트 선형공정계획은 단일 건물에 적용한 것을 분석한 것이므로 향후 연구로 다수의 건물에 적용할 경우와 경계조건의 실증적·통계적 검증을 통하여 개선된 택트 공정계획을 수립할 수 있는 연구가 진행되어야 한다.

감사의 글

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2009-0072277).

참고문헌

김선국 외 5인(2003), “작업일보 정보를 이용한 택트공정관리방안 연구”, 한국건설관리학회 논문집, 4(4), pp.80-87.
 김영재 외 5인(2003), “건축공사 마감공기 단축을 위한 택트공정관리 프로세스 모델”, 대한건축학회 논문집(구조계), 19(1), pp.161-168.

김지현 외 3인(2007), “작업흐름 기반의 택트공정관리 프로세스”, 대한건축학회 논문집(구조계), 23(6), pp.153-162.
 박민선 외 3인(2006), “계약이론을 이용한 택트공정관리 개선에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집(구조계), 22(6), pp.139-146.
 서상욱 외 4인(2003), “TACT 공정관리 시스템 개발 및 적용 사례”, 한국건설관리학회 논문집, 4(4), pp.145-154.
 신범열(2008), “[공사기록] 초고층 오피스 빌딩의 첨단 시공/엔지니어링 기술 적용 사례”, 한국건축시공학회, pp.6-16.
 신동호 외 3인(2010), “공동주택 마감공사의 TACT 프로세스 적용방안”, 대한건축학회 논문집(구조계), 26(01), pp.129-136.
 윤유상과 서상욱(2003), “공동주택 마감공사에서의 택트공정관리 적용에 관한 연구”, 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집(제4회), pp.422-445.
 윤유상과 서상욱(2005), “건축마감공사에서의 택트타임 설정을 통한 작업 조정 프로세스 개발”, 한국건설관리학회 논문집, 6(6), pp.90-97.
 윤유상 외 5인(2003), “작업구역의 합리적 분할에 의한 건축 마감공사의 공정운영 개선”, 한국건설관리학회 논문집, 4(2), pp.59-65.
 이재섭(2008), “학습효과와 선형계획법을 이용한 건설공사 공기 지연 분석방법”, 대한건축학회 논문집(구조계), 24(5), pp.185-192.
 El-Rayes, K. (2001), “Object-oriented model for repetitive construction scheduling”, J.Constr. Engrg. and Mgmt., ASCE, 127(3), pp.199-205.
 Liu, S. S. (1999), “Resource-constrained scheduling of linear projects: A heuristic approach using Tabu search heuristics.” Phd thesis, Purdue University, West Lafayette, Ind.
 Mattila, K. G. (1997), “Resource leveling of linear schedules: A mathematical approach using integer linear programming.” Phd thesis, Purdue University, West Lafayette, Ind.
 Mulholland, B. and Christian, J. (1999), “Risk assessment in construction schedules”, J.Constr.Engrg. and Mgmt., ASCE, 125(1), pp.8-15.
 Reda, R. M. (1990), “RPM : Repetitive project modeling”, J. Constr. Engrg. and Mgmt., ASCE, 116(2), pp.316-330.
 Suhail, S. A., and Neale, R. H. (1994), “CPM/LOB. New methodology to integrate CPM and line of balance”, J. Constr. Engrg. and Mgmt., ASCE, 120(3), pp.667-684.

Thabet, W. Y. and Beliveau, Y. J.(1994a), "HVLS: Horizontal and Vertical Logic Scheduling for multistory projects" J.Constr.Engrg. and Mgmt.,ASCE, 1994a, 120(4), pp.875-892.

Thabet, W.Y., Beliveau, Y.J.(1994b), "Modeling work space to schedule repetitive floors in multistory buildings", J. Constr. Engrg. and Mgmt., ASCE, 120(1), pp.96-116.

Wikipedia(2006)

논문제출일: 2010.04.26

논문심사일: 2010.04.30

심사완료일: 2010.08.26

Abstract

Domestic leading construction companies has been establishing and performing TACT scheduling method, similar to linear scheduling model such as line of balance and repetitive schedule, and etc. in which repetitive construction works are involved like high-rise building.

Linear scheduling model has been researched as a visual scheduling method presenting the work space and time information. Likewise scheduling constraints of CPM network such as finish-to-finish, start-to-start, finish-to-start, start-to-start, linear scheduling model also has the relationships constraints, namely boundary conditions, between activities. It is especially necessary to define the boundary conditions of the activities' relationships in order to apply the linear scheduling model to be compatible with the network schedule.

Therefore, this research considers the boundary conditions between activities for establishing the linear scheduling model. This paper also applies the proposed boundary conditions to TACT schedule and then deduces the main considerations in order to establish and perform TACT schedule.

Keywords : *Linear Scheduling Model, Boundary Condition, Lead Space, Lead Time, TACT Schedule*
