

선형 공정계획 모델의 작업 관계성 적용 방법

A Method of Applying Work Relationships for a Linear Scheduling Model

류 한 국*

Ryu, Han-Guk*

Department of Architectural Engineering, Changwon National University, Changwon, GyeongNam-Do, 641-773, Korea*

Abstract

As the linear scheduling method has been used since the Empire State Building linear schedule in 1929, it is being applied in various fields, such as construction and manufacturing. When addressing concurrent critical paths occurring in a linear construction schedule, empirical researches have stressed resource management, which should be applied for optimizing workflow, ensuring flexible work productivity and continuous resource allocation.

However, work relationships have been usually overlooked in making the linear schedule from an existing network schedule. Therefore, this research analyzes the previous researches related to the linear scheduling model, and then proposes a method that can be applied for adopting the relationships of a network schedule to the linear schedule. To this end, this research considers the work relationships occurring in changing a network schedule into a linear schedule and then confirms the activities movement phenomenon of linear schedule due to workspace change, such as physical floors change. As a result, this research can be used as a basic research in order to develop a system generating a linear schedule from a network schedule.

Keywords : Linear Scheduling Model, LOB(Line of Balance), Network Schedule, Lead Time, Lead Space, Work Relationships

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

CPM과 PERT 공정표의 초기 개념은 군사적·상업적으로 특수한 목적으로 사용되어 비용과 효율적 자원 활용에 주안점을 두지 않았다. 그러나 일반적인 건축공사에 있어서는 공사비와 협력업체의 효율적 자원 활용이 매우 중요하다. 따라서 현재 건설공사에서 사용하는 CPM과 PERT의 목적과 실제 사용된 기원과 태생 차이는 다르다고 할 수 있으나, 이러한 문제점을 묵시하고 사용하고 있는 것이 현실이다.

반면에, 선형 공정계획 방법은 1929년 엠파이어 스테이

트 빌딩에서 그래픽한 용도로 사용되면서 현재는 다양한 작업 공간, 현장 작업과 조립 작업에 적용되고 있다. 선형 공정계획 상에 동시적인 크리티컬 패스가 발생하면 자원 관리는 작업 흐름의 최적화 문제로 연결되어 유연한 작업 생산성과 지속적인 자원의 할당을 하기 위해 적용되고 있다.

네트워크 공정표는 해야 할 작업 유닛에 초점을 두고 시간에 기반한 릴레이션을 갖춘 작업들로 구성된다. 네트워크 공정표의 작업은 분절된 것으로 간주하고 공간과 작업의 공간간의 연계성의 고려가 미흡하다.

따라서 연구 및 실무적 차원에서 간과하고 있는 선형 공정계획 모델의 작업 관계성을 고려하는 것이 필요하다. 이에 본 연구는 선형 공정계획 모델에 관한 기존 연구를 분석하여 네트워크 공정표의 관계성을 선형 공정표에 적용할 수 있는 방법을 제시한다. 네트워크 공정표를 선형 공정표로 변환 시에 발생하는 작업의 관계성을 고찰하고 건축물의 물리적 층수 변화와 같이 작업공간의 변화에 따라 선형 공정표에 반영되어야 할 선형 공정표상의 액티비티의 이동

Received : April 26, 2010

Revision received : May 26, 2010

Accepted : June 2, 2010

* Corresponding author:

[Tel: 82-55-213-3804, E-mail: hgryu@changwon.ac.kr]

©2010 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

문제를 고찰하여 네트워크 공정표를 선형 공정표로 호환할 수 있는 시스템 개발을 위한 기초연구를 제공하는 것이 본 연구의 목적이다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 절차와 방법은 Figure 1과 같다.

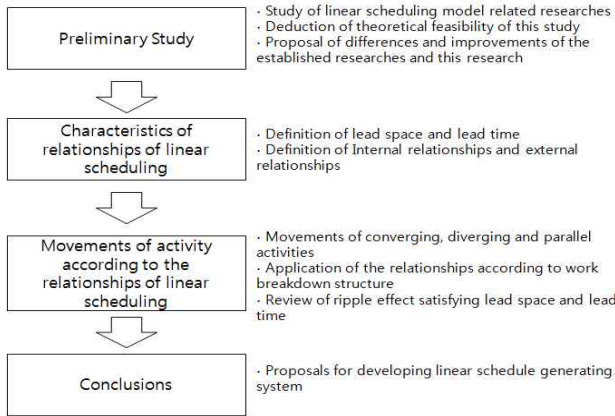


Figure 1. Research process and method

선형 공정계획 모델 관련 연구를 고찰하여 본 연구의 이론적 배경을 검토하고 필요성을 파악하여 기존 연구와 본 연구와의 차이점과 개선점을 제시한다. 선형 공정계획 모델의 작업 관계성의 특징을 파악하여 선형 공정계획 모델의 작업 관계성 설정을 위한 리드스페이스와 리드타임을 정의하고 작업분류체계의 내부 관계성과 외부 관계성을 정의하여 리드스페이스와 리드타임을 고려한다.

또한 선형 공정계획 모델의 작업 간 수렴, 발산, 평행관계성과 분리된 작업의 관계성에 따라 액티비티가 이동하는 현상을 파악하고 작업분류체계의 교환에 따른 작업 관계성을 고려한다. 또한 선형 공정표상에서 작업분류체계간의 리드스페이스와 리드타임을 충족하는 리플이펙트(ripple effect)를 검토하며 선형 공정표 생성 시스템 개발을 위한 기초 연구가 되도록 한다.

2. 예비적 고찰

2.1 선형 공정계획 모델의 기존 연구

1929년 엠피아이 스테이트 빌딩에 일종의 LOB(Line of Balance) 공정표가 사용된 이후 Carr and Meyer[1], Halpin and Woodhead[2], Harris and Evans[3]는 LOB 공정표에 대한 초기 연구를 수행하였다. Johnston[4]과 Chrzanowski

and Johnston[5]을 비롯하여 다수의 연구자들은 선형 공정계획이 반복작업이 많은 수평 또는 수직의 선형의 성격이 있는 건설 공사에 적용하는 데 상당한 이점이 있다고 하였다.

이와 같은 이점을 인식하고 선형 공정계획의 작성과 수행 방법, 자원 활용을 통한 반복 작업의 스케줄링 방법 등에 대하여 기존의 선형 공정계획 모델의 연구들이 진행되어 왔다. 주요 연구들을 정리하면 다음과 같다.

Thabet and Beliveau[6]은 다층 건물은 한 층에서 다음 층으로의 똑같은 작업이 연속적으로 반복되는 많은 반복적 유닛 또는 기준층(typical floors)으로 특징지을 수 있으며 이러한 작업의 스케줄링은 작업들 간에 같은 층에서 행해지는 수평 로직과 작업들 간에 다른 층간에 행해지는 수직 로직의 절차로 통제된다고 하였다. 기존 기법들은 스케줄링 접근방법에 있어 수평적, 수직적 구속조건을 고려하지만 스케줄을 생성하는 구속조건을 통합하는 형식화된 방법론을 제공하지는 못하고 있음을 지적하고 반복 작업을 스케줄하기 위해 수평적 수직적 구속조건을 통합하는 구조화된 절차를 서술하였다. 절차는 다른 모든 층이 만족스러움을 보증하기 위해 검토되어야 하는 구속조건을 고려해야 하는 “critical floors”를 정의하고 일련의 스케줄링 사례에서 그룹화하여 정의된 스케줄링 사례 그룹으로부터 적용 가능한 사례를 도출하였다. 구속조건을 명확히 하기 위하여 절차는 선택된 스케줄링 사례에서 정의된 기준층을 검토하고 작업을 절차화하였다.

Harmelink and Rowings[7]는 네트워크 공정표의 주공정선에 해당하는 선형 공정표 상의 CAP(Controlling Activity Path) 개발 방법을 제안하였다. CAP는 계획 공정기간을 충족시키기 위하여 작업의 순서를 결정하는 것이다. 선형 공정표 상에서 액티비티의 순서 리스트를 결정하고 제안한 상향법과 하향법을 수행하여 CAP를 찾는 방법을 제시하였다. Harris and Ioannou[8]는 고층건물, 주택단지의 주택, 배관설치, 고속도로의 정거장 등은 동일하거나, 유사한 유닛들을 반복해서 포함하는 프로젝트에 사용함을 인지하고 반복 공정계획 방법(RSM: Repetitive Scheduling Method)을 제안하였다. RSM은 자원의 연속적인 사용을 가능하게 해주는 방법으로 이제까지 제안된 많은 방법들을 간략화하고 일반화하는 방법이다. 생산 라인을 적절히 배치하기 위해 수렴과 발산에 따른 통제점(Control Point)과 프로젝트 기간을 결정하기 위한 통제 작업 순서(Controlling Sequence of Activities)라는 개념을 제안하였다. 통제 작업 순서는 최소 공기를 찾아가는 과정으로 기술적인 선행 조건, 자원 가용성, 자원 연속성, 통제점을 관리하는 기반이 된다. 그러나 Mattila and Park[9]는 LSM과 RSM을 비교하여 CAP와 주공정선은 동일하며 CAP를 파악하는 것이

유용하다고 하였다. 그러나 실용화를 위해서는 LSM과 RSM의 기법을 적용한 프로그램의 개발이 되어야 함을 지적하였다.

이와 같이 선형 공정계획 모델이 건설 산업에 도입된 지 오래되었으나 일종의 택트 공정계획을 제외하면 국내 연구는 매우 저조한 실정이며 국외 연구 또한 네트워크 공정표의 관계성을 적용하여 선형 공정표를 생성하는 연구는 다소 부족한 것으로 판단된다.

2.2 작업분류체계의 작업 관계성을 고려한 리드스페이스와 리드타임 정의

선형 공정표에서 하나의 라인은 동일한 작업들로 구성되며 이는 같은 작업분류체계를 갖는다. 네트워크 공정표를 선형 공정표로 변환하기 위해서는 네트워크 공정표의 동일한 작업분류체계를 갖는 작업들을 라인들로 표현해야 하며 이는 선형 공정표에서 작업분류체계의 라인으로 나타난다. 따라서 네트워크 공정표에서 작업들을 선형 공정표에 표현하기 위해서는 네트워크 공정표상의 작업들간의 관계가 선형 공정표상에 적용되어야 한다.

선형 공정계획 모델의 작업 관계성의 종류는 수렴 관계성, 발산 관계성, 평행 관계성, 분리 관계성으로 구분할 수 있다. 작업분류체계상의 작업간의 경계조건은 리드스페이스와 리드타임으로 정의할 수 있다.

리드스페이스와 리드타임을 정의하기 위하여 사이클 타임을 계산하고 경계 조건인 작업분류체계간의 리드스페이스와 리드타임을 충족하는 사이클 타임을 결정하여야 한다.

예를 들어, Figure 2는 작업분류체계의 사이클 타임을 예시한 것으로 작업분류체계 1, 2, 3, 4, 5, 6의 사이클 타임이 1, 1/2, 1/3, 1/5, 1, 1/4이다. 동일 작업분류체계는 작업분류체계의 특성에 맞는 공간분류체계에 따라 다수의 작업들로 구성이 된다. 작업분류체계 3은 작업분류체계 5와 6과 관계가 있으며, 작업분류체계 3과 5는 수렴 관계성의 성격을 갖고 작업분류체계 3과 6은 분리된 관계성의 성격을 갖는다.

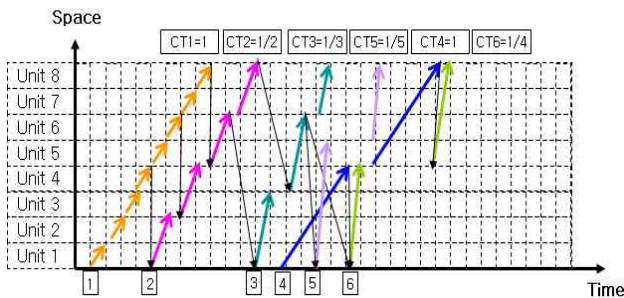


Figure 2. Cycle time of each work breakdown structure

그러나 작업분류체계의 작업들은 비작업일을 포함하고 있으므로 작업분류체계상의 작업들의 관계성은 비작업일을 고려하여 Figure 3과 같이 관계성을 정의하여야 한다.

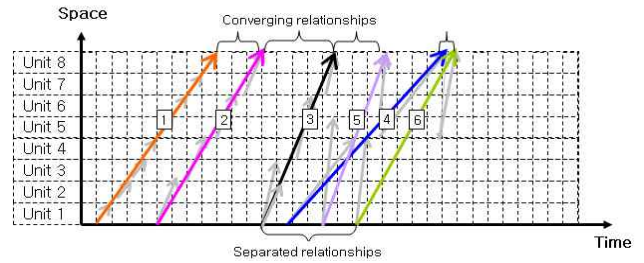


Figure 3. Relationships of work breakdown structure considering non-work duration

작업분류체계의 관계성은 비작업일을 고려하여 정의되므로 그에 따라 개별 작업분류체계의 리드스페이스와 리드타임을 결정하여야 한다. Figure 4는 비작업일을 고려한 작업분류체계간의 리드스페이스와 리드타임을 설정한 것을 나타낸다.

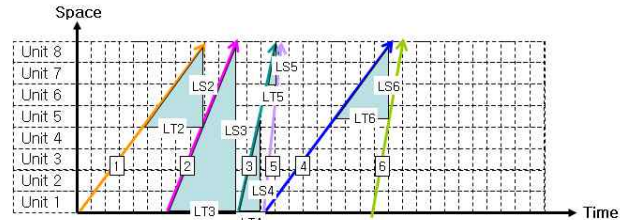


Figure 4. Lead space and lead time of work breakdown structure considering non-work duration

기존 프로젝트는 네트워크 공정표로 작성되었고 이를 선형 공정표로 변환할 때, 물리적 공간상의 변화가 있을 수 있다. 즉, 네트워크 공정표에서 반복 공간과 새로운 선형 공정표에서는 반복 공간의 증감이 있으면 이를 선형 공정표에 반영해야 한다. 예를 들어, 기존 네트워크 공정표상의 공간은 유닛 8이었으나 새로운 선형 공정표상의 공간 유닛은 13으로 확장될 수 있다.

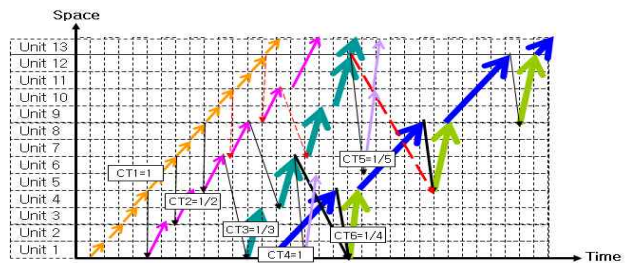


Figure 5. Generation of linear schedule applying lead space and lead time

따라서 Figure 5는 유닛 8에서 유닛 13으로 확장하였을 경우를 예시한 것으로 비작업일을 고려한 작업분류체계의 관계성과 리드스페이스와 리드타임을 적용하여 네트워크 공정표로부터 추출한 정보를 바탕으로 선형 공정표로 생성해야 한다. 이와 같이 공간의 물리적 변화에 따라 선형 공정표에 반영하기 위해서는 선형 공정계획 모델상의 기존 작업 관계를 파악하여 이를 적용하여야 한다.

3. 선형 공정계획 모델의 작업 관계 설정

3.1 작업분류체계의 내부 관계성과 외부 관계성

선형 공정계획 모델의 작업관계성은 작업의 프로세스와 통제 가능한 작업들의 공간 프로세스에 기반을 둔다. 공간의 물리적 변화로 액티비티가 생성되거나 삭제 되면, 액티비티 관계성은 기존 네트워크 공정표상에 있는 작업의 작업분류체계의 관계성을 파악하여 선형 공정표상에 반영되어야 한다. 기존 네트워크 공정표상의 관계성을 재활용하여 개별 액티비티의 선행작업, 후행작업, 관계 타입 등에 따라 작업 공간의 방향성을 예측할 수 있다.

우선 작업 관계성을 정의하기 위하여 공간분류체계의 공간의 반복성 유무를 파악하여야 한다. 반복적인 공간분류체계의 작업은 지하층, 지상층, 절 등과 같은 각 공간분류체계의 종류 크기에 따라 반복적으로 공간에 배치된다고 할 수 있다. 반면에, 비반복적인 공간분류체계의 작업은 외부 관계성에 따라 계획될 수 있다. 비반복적인 작업분류체계의 작업은 하나 이상의 작업공간에 배치되거나 작업공간과는 무관하게 수행된다. 선형 공정표의 작업은 동일한 작업분류체계상의 작업들이지 상이한 작업분류체계의 작업들이지에 따라 Table 1과 같이 내부 관계성과 외부관계성으로 구분할 수 있다.

Table 1. Internal and External Relationships of WBS

Relationships	Combination of WBS	WBS of Activity	Work space	Constraints to harmonize
Internal relationships	R.W.+R.W.	Same	Different	Same crew
External relationships	R.W.+R.W.	Different	Same or different	Lead space and lead time
	N.W.+R.W. or N.W.+N.W.	Different	Same or different	N/A

Legend: R.W.=Repetitive WBS, N.W.=Non-repetitive WBS

내부 관계성은 동일한 작업분류체계와 다른 작업공간에서 발생하는 경우이며, 시스템 상에서는 층 또는 절의 변화에 따라 자동적으로 생성된다. 동일한 작업분류체계의 추가 생성된 액티비티의 관계성은 비교적 시행하기가 용이하다. 왜냐하면 고층 건축물의 공사에 있어 작업들의 공간 진행 방향이 수직적으로 반복적인 작업 공간이 발생하기 때문이다. 예를 들어, 지상 20층에서 25층까지 물리적으로 5개 층이 증가하는 건축물을 탑다운 공법으로 골조공사를 시공할 경우, 선형 공정표에서 지상 골조 공사의 작업은 20층 이상의 해당 층인 21층, 22층, 23층, 24층, 25층의 골조 공사 작업이 상부방향으로 자동적으로 생성된다. 반면에 지하 4층에서 지하 7층으로 지하층이 3개 층이 증가하는 건축물을 탑다운 공법으로 골조공사를 시공할 경우, 선형 공정표에서 지하 4층 이하의 해당 층인 지하 5층, 지하 6층, 지하 7층의 골조공사 작업이 하부방향으로 자동적으로 생성된다. 내부 관계성의 작업분류체계의 작업들을 조화롭게 하거나 워크플로의 변이를 최소화하기 위해서는 선행 작업들의 자원 특히 작업조가 후속 작업들에 지속적으로 유지되도록 해야 한다. 동일한 작업조가 작업 착수 시점부터 종료시점까지 지속적으로 유지되도록 해야 한다.

상이한 작업분류체계의 외부 관계성은 경제조건인 리드스페이스와 리드타임을 충족시켜야 한다. 리드스페이스는 선행하는 작업분류체계의 작업공간의 비퍼로 정의할 수 있으며, 리드타임을 리드스페이스를 확보함과 동시에 후행하는 작업분류체계의 작업을 착수하기 위해 노무, 자재, 장비, 도면 등의 필요한 자원을 확보하기 위하여 최대한 확보되어야 하는 시간이다.

따라서 작업분류체계의 작업 프로세스가 네트워크 공정표상의 작업 프로세스와 동일하다고 하더라도 네트워크 공정표상의 공간분류체계의 프로세스를 참고하여 작업의 공간분류체계를 연계시켜야 한다.

3.2 리드스페이스와 리드타임을 충족하기 위한 관계성 정의

Figure 6은 상이한 작업분류체계들에 있어 후속 작업의 구속조건을 충족시키고 선·후행 작업들의 사이클 타임 등을 비교하여 관계성을 정의하는 방법을 설명한다.

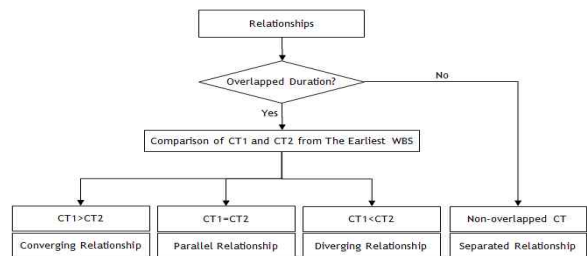


Figure 6. Activity movement algorithm for satisfying LS and LT

작업분류체계의 작업들이 관계성이 없거나 중복기간이 없으면 분리관계성으로 적용되며, 관계성이 있으면 작업분류체계의 사이클 타임을 산정해야 한다. Figure 6에서 사이클 타임1은 선행 작업의 작업분류체계 사이클 타임이며 사이클 타임2는 후행작업의 작업분류체계 사이클 타임을 의미한다. 사이클 타임의 비교에 따른 작업분류체계의 관계성 결과는 세 가지로 정의된다. 사이클 타임1이 사이클 타임2보다 크면 수렴관계성, 사이클 타임1과 사이클 타임2가 동일하면 평행 관계성, 사이클 타임1이 사이클 타임2보다 작으면 발산관계성으로 정의된다.

4. 선형 공정계획 모델의 관계성에 따른 액티비티의 이동

4.1 작업간의 수렴 관계성과 액티비티 이동

작업분류체계의 작업간의 수렴 관계성은 선행 작업분류체계의 사이클 타임이 후속 작업분류체계의 사이클 타임보다 큰 경우로 Figure 7과 같이 작업 종료공간에서 발생한다. 따라서 리드스페이스와 리드타임은 작업이 종료하는 공간과 시점에 발생한다.

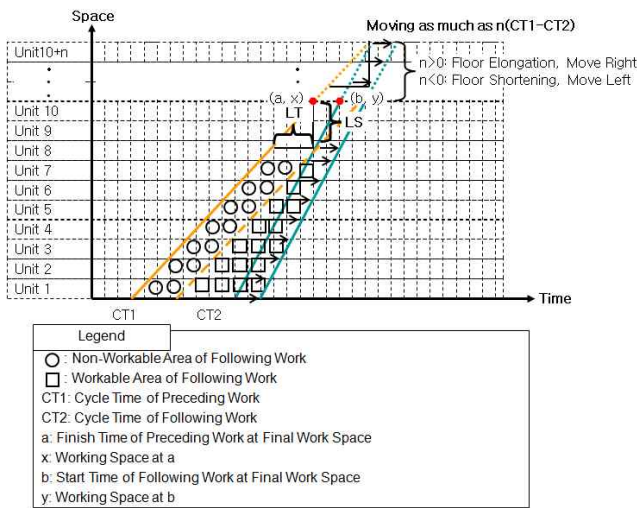


Figure 7. LS and LT of converging relationships

Figure 7에서 원으로 표시된 부분은 후속작업을 수행할 수 없는 작업공간이며 사각형으로 표시된 부분은 후속작업을 수행할 수 있는 작업공간을 나타낸다. 따라서 작업들은 사이클 타임1과 사이클 타임2와의 차이에 증가 또는 삭제된 층수만큼을 곱한 값 만큼 액티비티는 이동되어야 하며 동시에 리드스페이스와 리드타임을 만족시켜야 한다.

수렴 관계성의 리드스페이스(식 1)와 리드타임(식 2)은 다음과 같이 산정된다.

$$LS = \frac{(b-a) \times \text{Suc_SBS_SIZE}}{CT2} \quad \text{----(식 1)}$$

$$LT = \frac{CT1 \times (b-a)}{CT2} \quad \text{----(식 2)}$$

여기서, Suc_SBS_Size는 수렴 관계성인 후속 작업의 공간분류체계상의 층 개수를 의미하며 후속 작업의 작업완료 층수에서 후속 작업의 작업시작 층수를 뺀 값에 1개 층을 더한 값이다.

4.2 작업간의 발산 관계성과 액티비티 이동

작업분류체계의 작업간의 발산 관계성은 선행 작업분류체계의 사이클 타임이 후속 작업분류체계의 사이클 타임보다 작은 경우로 Figure 8과 같이 작업 착수공간에서 발생한다. 따라서 리드스페이스와 리드타임은 작업이 시작하는 공간과 시점에 발생한다.

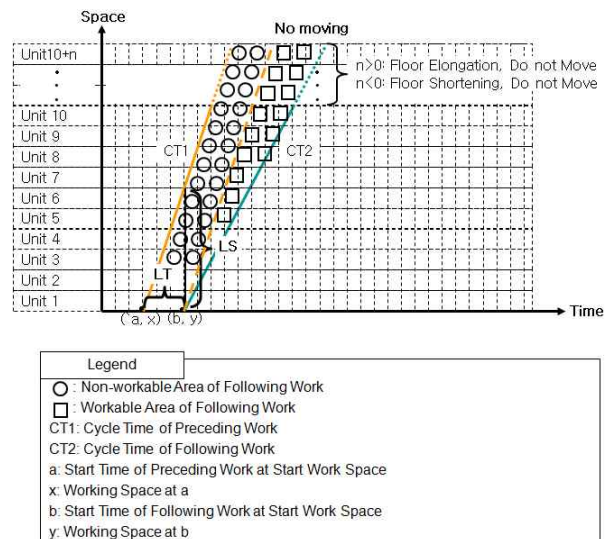


Figure 8. LS and LT of diverging relationships

Figure 8에서 원으로 표시된 부분은 후속작업을 수행할 수 없는 작업공간이며 사각형으로 표시된 부분은 후속작업을 수행할 수 있는 작업공간을 나타낸다. 따라서 작업들은 층수의 증가 또는 삭제에 상관없이 작업착수 시점의 리드스페이스와 리드타임을 만족시켜야 하고 한다.

층수가 증가하고 공사 관리상의 공기단축이 필요할 경우에는 후속작업의 공간분류체계를 고려하여 동일시간에 작업이 중복되도록 하여 공사기간을 단축시킬 수 있다. 다만, 이 경우에는 자원 할당에 대한 고려를 하여 자원의 피크가 발생하지 않도록 자원배분을 하는 것이 중요하다.

발산 관계성의 리드스페이스(식 3)와 리드타임(식 4)은 다음과 같이 산정된다.

$$LS = \frac{(b-a) \times Pre_SBS_SIZE}{CT1} \quad \text{----(식 3)}$$

$$LT = b - a \quad \text{----(식 4)}$$

여기서, Pre_SBS_Size는 발산 관계성인 선행 작업의 공간분류체계상의 층 개수를 의미하며 선행 작업의 작업완료 층수에서 선행 작업의 작업시작 층수를 뺀 값에 1개 층을 더한 값이다.

4.3 작업간의 평행 관계성과 액티비티 이동

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 사이클 타임에 따라 작업이 오른쪽 또는 왼쪽으로 이동하게 된다. 선형 공정표의 평행 관계성은 단위 공간의 작업분류체계의 작업 사이클 타임을 동일하게 유지하는 것이고 택트 스케줄링은 공간분류체계의 공간에 조합한 택트의 사이클 타임을 동일하게 유지하는 것으로 거의 유사하다.

공정계획시 실제 작업을 수행하는 협력업체의 자발적인 참여와 역량이 중요하다. 특히 택트 공정계획에서는 각 택트의 작업 지연이 없도록 작업을 진행해야 하여야 한다. 세부적으로는 협력업체의 장기적으로 투입이 되는 작업자의 연속성을 확보할 수 있으며 대기시간을 최소화하고 작업간의 간섭이 최소화 되며 반복 작업으로 인한 생산성 향상, 학습효과 기대, 협력업체의 주인의식 고취 등을 기대할 수 있다. 따라서 택트 공정계획에서 택트 타임을 동일하게 유지하도록 택트의 액티비티들을 구성하는 것이 중요하다.

4.4 분리된 작업의 관계성과 액티비티 이동

분리된 작업의 관계성은 선행 작업과 후행 작업이 동일한 시간대에 작업이 진행되지는 않지만 작업간의 관계는 설정되어 있는 관계이다.

작업분류체계의 분리된 작업의 관계성 또는 비중첩 관계성은 층수의 증가 또는 삭제에 의한 생성 또는 삭제 작업은 Figure 9에서 보는 바와 같이 선행 작업의 완료시점과 후행 작업의 착수시점의 차이(α)만큼 우 또는 좌로 이동한다.

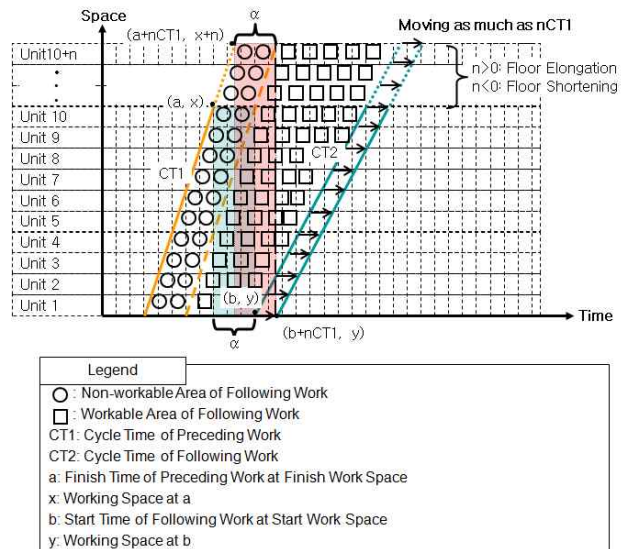


Figure 9. Non-overlapped relationships

그러나 주어진 시간 내에 공사를 완료하기 위하여 작업 공간을 엄격하게 활용하기 때문에 현실적으로는 분리된 작업의 관계성이 적용되는 경우는 많지 않다. 따라서 공정계획가는 후행 작업의 리드스페이스와 리드타임을 유지하는 한도 내에서 후행 작업의 착수 시점을 조정할 수 있다.

5. 관계성을 고려한 작업분류체계의 교환

네트워크 공정표로부터 선형 공정표로 변환하면서 새로운 작업분류체계의 추가 또는 기존 작업분류체계를 삭제하여 기존의 작업분류체계상의 변화가 발생할 수 있다. 이로 인하여 공간의 변화에 따른 물리적 작업 공간이 고려되어야 한다. 따라서 기존의 공간분류체계를 준수함과 동시에 새로운 선형 공정표로 호환하기위한 공간분류체계를 적용하고 생성된 선형 공정표에서 기존의 네트워크 공정표상의 작업 정보를 가감할 수 있어야 한다.

이러한 작업분류체계의 변화를 작업 교환 후의 수렴 관계성과 발산 관계성을 적용하고 리드스페이스와 리드타임의 경계 조건을 충족시켜야 한다.

5.1 작업 교환 후의 수렴 관계성 적용

수렴 관계성은 후행 작업의 작업분류체계의 사이클 타임이 선행 작업의 작업분류체계의 사이클 타임보다 큰 경우로 Figure 10과 같이 작업의 공간분류체계상의 최말단부위에 발생하는 콘트롤 포인트의 경계조건인 리드스페이스와 리드타임을 충족시켜야 한다.

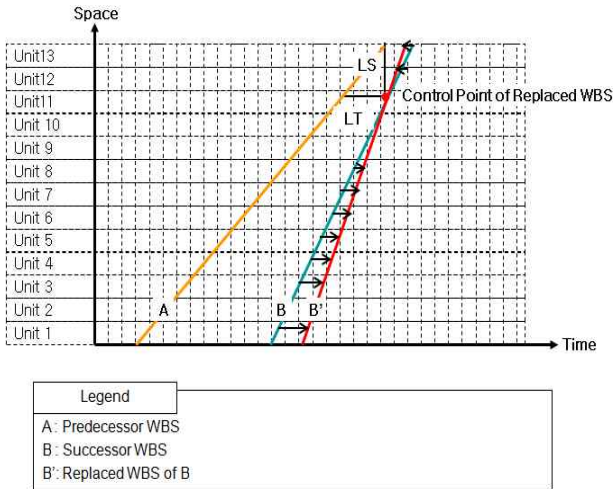


Figure 10. Converging relationships after replacing

콘트롤 포인트는 선·후행 작업분류체계의 관계를 고려하여 경계조건을 최소한은 충족시켜주어야 하는 지점으로 선행 작업의 공간분류체계의 말단부에 발생한다. 따라서 네트워크 공정표의 후행 작업의 작업분류체계 B를 B'으로 변경하는 경우, 선형공정표상의 작업분류체계 A와 B'의 관계성을 파악한 후 선행 작업의 작업분류체계 A의 콘트롤 포인트에서 경계조건인 리드스페이스와 리드타임을 충족시켜야 한다. 예를 들어, Figure 10은 선형공정표상의 작업분류체계 A와 B'의 관계성이 여전히 수렴관계성이므로 작업분류체계 A의 공간분류체계의 최말단부에서 콘트롤 포인트가 발생한다. 따라서 후행 작업의 작업분류체계 B'은 콘트롤 포인트의 하단부에서는 기존 작업분류체계 B보다 늦게 작업을 착수할 수 있으나 콘트롤 포인트 상단부에서는 기존 작업분류체계 B보다 일찍 작업을 완료하게 된다.

즉, 선형 공정표상의 후행 작업의 작업분류체계는 선행 작업의 작업분류체계상의 콘트롤 포인트에서 발생하는 리드스페이스와 리드타임을 유지하기 위하여 후행 작업은 콘트롤 포인트를 기점으로 시간상 앞으로 또는 뒤로 이동하여야 한다.

5.2 작업 교환 후의 발산 관계성 적용

발산 관계성은 후행 작업의 작업분류체계의 싸이클 타임이 선행 작업의 작업분류체계의 싸이클 타임보다 작은 경우로 Figure 11과 같이 작업의 공간분류체계상의 착수부위에 발생하는 콘트롤 포인트의 경계조건인 리드스페이스와 리드타임을 충족시켜야 한다.

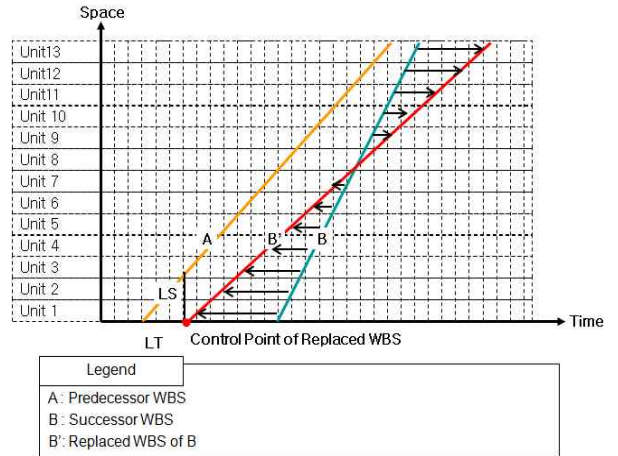


Figure 11. Diverging relationships after replacing

네트워크 공정표의 후행 작업의 작업분류체계 B를 B'으로 변경 시에 발산 관계성은 수렴 관계성과 마찬가지로 선형 공정표상의 작업분류체계 A와 B'의 관계성을 파악한 후 선행 작업의 작업분류체계 A의 콘트롤 포인트에서 경계조건인 리드스페이스와 리드타임을 충족시켜야 한다. 예를 들어, Figure 11은 선형공정표상의 작업분류체계 A와 B'의 관계성이 수렴관계성에서 발산관계성으로 변경되었으므로 작업분류체계 A의 공간분류체계의 최상단부에서 콘트롤 포인트가 발생한다. 따라서 후행 작업의 작업분류체계 B'은 콘트롤 포인트의 하단부에서는 기존 작업분류체계 B보다 조기에 작업을 착수할 수 있다.

즉, 선형 공정표상의 선행 작업과 후행 작업의 작업분류체계의 관계성이 발산관계성으로 변경됨으로써 선행 작업의 작업분류체계상의 콘트롤 포인트에서 발생하는 리드스페이스와 리드타임을 유지하기 위하여 선형 공정표상의 작업분류체계 B와 B'이 교차하는 지점을 기준으로 후행 작업은 시간상 앞으로 또는 뒤로 이동하게 된다.

5.3 리드스페이스와 리드타임을 충족하는 리플이펙트

선형 공정표상의 선행 작업과 후행 작업의 작업분류체계의 관계성은 층수의 증가 또는 감소, 작업분류체계의 추가 또는 삭제에 따라 후행 작업들의 작업분류체계에도 영향을 미치게 되는 데 이를 작업분류체계들의 경계조건인 리플 이펙트(riffle effect)라고 정의한다. Figure 12는 이와 같이 선행 작업의 작업분류체계의 리드스페이스를 충족시키면서 후행 작업의 작업분류체계의 작업들이 이동하는 리플 이펙트 현상을 도식화한 것이다.

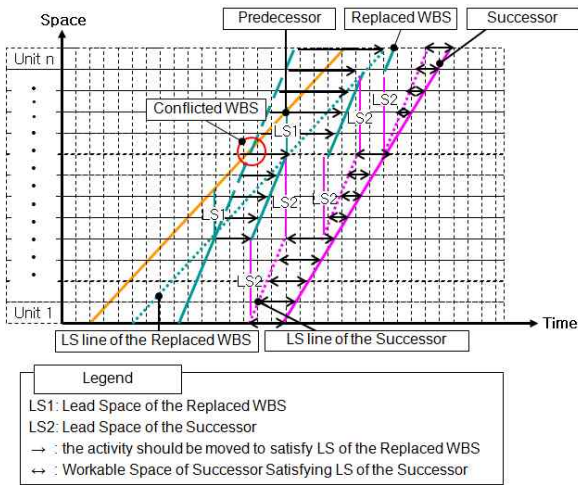


Figure 12. Replaced WBS satisfying LS

선형 공정표에서 작업의 추가 또는 삭제시에 근본적으로 선행 작업과 후행 작업의 작업분류체계의 관계성을 유지하면서 작업의 변화에 따라 작업들은 해당 작업분류체계의 컨트롤 포인트에서 경계조건인 리드스페이스와 리드타임을 충족시키기 위하여 작업들이 이동되어야 한다.

예를 들어, Figure 12에서 변경된 작업의 작업분류체계의 리드스페이스(LS1)가 Figure 12와 같다면, 이를 충족시키기 위하여 변경된 작업의 작업분류체계의 작업들은 오른쪽으로 이동하여야 하며 후행 작업의 작업분류체계 또한 후행 작업의 작업분류체계의 리드스페이스(LS2)를 충족시키기 위하여 이동하여야 한다. Figure 12에서는 리드스페이스(LS2)를 충족시키므로 이동하지 않을 수 있다. 오히려 리드스페이스를 확보하고도 여유 작업공간이 있으므로 작업을 왼쪽으로 이동할 수 있게 된다.

5. 결론 및 향후 연구방향

기존의 선형 공정표는 반복적인 작업을 공간에 따라 x, y 축 평면에 배치하여 그래픽적으로 표현하여 건설에 문외한인 초보자들이 쉽게 인식하도록 하기 위하여 사용되고 있다. 그러나 기존의 선형 공정계획 모델의 연구는 네트워크 공정표의 릴레이션에 대한 고려가 부족하다. 따라서 본 연구는 네트워크 공정표를 선형 공정표로 변환할 때 네트워크 공정표상의 액티비티간의 관계성을 고려하여 적용할 수 있는 방법을 제시하였다. 본 연구의 성과를 요약하면 다음과 같다.

- 작업분류체계의 작업 관계성을 고려하기 위한 리드스

페이스와 리드타임을 정의하여 수렴 관계성, 발산 관계성, 분리 관계성에 따른 특징을 고찰

- 기존 네트워크 공정표상의 관계성을 재활용하는 방법을 제시하여 개별 액티비티의 선행작업, 후행작업, 관계 타입 등에 따라 작업 공간의 방향성 고려
- 작업분류체계의 내부 관계성과 외부 관계성을 정의하고 작업 관계성에 따라 물리적인 변화를 적용할 수 있는 액티비티의 이동 방법 제시
- 새로운 작업분류체계를 가감할 때 발생할 수 있는 관계성을 적용하여 리드스페이스와 리드타임을 경계조건을 충족시킬 수 있는 방법 제시

이와 같이 본 연구는 네트워크 공정표를 선형 공정표로 변환하는 데 발생하는 액티비티의 관계성을 고려하였다. 본 연구는 선형 공정표 생성을 위한 시스템 개발을 위한 기초 연구로서 액티비티의 생성을 위한 연구와 함께 향후에는 구체적인 사례적용을 수행하여 본 연구의 타당성을 검증해야 할 것이다.

감사의 글

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

요 약

선형 공정계획 방법은 1929년 엠파이어 스테이트 빌딩에서 그래픽한 용도로 사용되면서 현재는 다양한 작업 공간, 현장 작업과 조립 작업에 적용되고 있다. 선형 공정계획 상에 동시적인 크리티컬 패스가 발생하면 자원 관리는 작업 흐름의 최적화 문제로 연결되어 유연한 작업생산성과 지속적인 자원의 할당을 하기 위해 적용되고 있다.

그러나 선형 공정계획 모델 연구에서 간과하고 있는 선형 공정계획 모델의 작업 관계성을 고려하는 것이 필요하다. 이에 본 연구는 선형 공정계획 모델에 관한 기존 연구를 분석하여 네트워크 공정표의 관계성을 선형 공정표에 적용할 수 있는 방법을 제시한다. 네트워크 공정표를 선형 공정표로 변환 시에 발생하는 작업의 관계성을 고찰하고 건축물의 물리적 층수 변화와 같이 작업공간의 변화에 따라 선형 공정표에 반영되어야 할 선형 공정표상의 액티비티의 이동 문제를 고찰하여 네트워크 공정표를 선형 공정표로 호환할 수 있는 시스템 개발을 위한 기초연구를 제공하는 것이 본 연구의 목적이다.

키워드 : 선형 공정계획 모델, LOB(Line of Balance), 네트워크 공정계획, 리드타임, 리드스페이스, 작업 관계성

References

1. Carr RI, Meyer WL. Planning construction of repetitive building units. *Journal of Construction Division* 1974;100(3):403-412.
2. Halpin DW, Woodhead RW. Design of construction process operations. John Wiley & Sons, Inc., New York, N.Y.: 1976. p.30-36.
3. Harris FC, Evans JB. Road construction-simulation game for site managers. *Journal of Construction Division* 1977;103(3):405-414.
4. Johnston DW. Linear scheduling method for highway construction. *Journal of Construction Division* 1981;107(2):241-261.
5. Charzanowski EN, Johnston, DW. Application of linear scheduling. *Journal of Construction Engineering and Management* 1986;112(4):476-491.
6. Thabet WY, Beliveau YJ. HVLS: Horizontal and vertical logic scheduling for multistory projects. *Journal of Construction Engineering and Management* 1994;120(4):875-892.
7. Harmelink DJ, Rowings JE. Linear scheduling model : development of controlling activity path, *Journal of Construction Engineering and Management* 1998;124(4):263-268.
8. Harris RB, Ioannou PG. Scheduling projects with repeating activities, *Journal of Construction Engineering and Management* 1998;124(4):269-475.
9. Mattila KG, Park A. Comparison of linear scheduling model and repetitive scheduling method. *Journal of Construction Engineering and Management* 2003;129(1):56-64.