

학교시설 건설공사의 작업분류체계 구축 및 단위작업별 선후행 관계 분석

Development of Work Breakdown Structure and Analysis of Precedence Relations by Activity in School Facilities Construction Work

방종대¹ · 손정락²

Jong-Dae Bang¹ and Jeong-Rak Sohn²

(Received July 18, 2017 / Revised July 28, 2017 / Accepted July 29, 2017)

ABSTRACT

The work breakdown structure and the precedence relations by work activity are very important because they are the basic data for estimating the construction duration in the construction work. However, there is no standard to accurately estimate the construction duration since the size of the school facilities construction is smaller than the general construction work. Therefore, some schools are unable to open in March or September and the delay of the construction duration can cause damage to the students. To solve this problem, this study developed a work breakdown structure of school facilities construction work and analyzed the precedence relations by work activities.

The work breakdown structure of the school facilities construction is composed of three steps. The operations corresponding to level 1 and level 2 are as follows. (1) 2 preparatory work categories; preparation period and temporary construction. (2) 17 architectural work categories; temporary construction, foundation & pile work, reinforced concrete work, steel roof work, brick work, plaster work, tile work, stone work, waterproof construction, wood work, interior construction, floor work, metal work, roof work, windows construction, glazing work and paint construction. (3) 7 mechanic and fire work categories; outside trunk line work, plumbing work, air-conditioning equipment work, machine room work, city gas plumbing work, sanitation facilities and inspection & test working. (4) 4 civil work categories; wastewater work, drainage work, pavement work and other work. (5) 1 landscaping work categories; planting work.

The work breakdown structure was derived from interviews with experts based on the milestones and detailed statements of existing school facilities. The analysis of precedence relations by school facilities work activity utilized PDM(Precedence Diagramming Method) which does not need a dummy and the relations were applied using FS(Finish to Start), FF(Finish to Finish), SS(Start to Start), SF(Start to Finish). The analysis of this study shows that if one work activity is delayed, the entire construction duration may be delayed because the majority of the works are FS relations. Therefore, it is necessary to use the Lag at the appropriate time to estimate the standard construction duration of the school facility construction. Lag is a term used only in the PDM method and it is used to define the relationship between the predecessor and the successor in creating the network milestone. And it means the delay time applied to the two work activities.

The results of this study can reasonably estimate the standard construction duration of school facilities and it will contribute to the quality of the school facilities construction.

Key words : School Facilities(학교 시설), Work Breakdown Structure(작업분류체계), Precedence Relation(선후행 관계)

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

건설공사에서 작업분류체계와 단위작업별 선후행 관계는 공

사기간을 산정하는 기초가 되기 때문에 공사기간 산정과 관련하여 다양한 연구들이 진행되어 왔다. 하지만 현행 학교시설과 관련된 연구는 공사비를 예측하는 모델을 구축하거나(김진원 등, 2011), 교육시설의 건축공법에 관한 연구(박유영 등, 2009)

1) 토지주택연구원 선임연구위원(주저자: jdbang@lh.or.kr)

2) 토지주택연구원 연구위원(교신저자: jrsohn@lh.or.kr)

등 일부만 진행되었다. 권동찬과 이찬식(2004)은 실적자료를 통해 발주된 계약된 공기를 기준으로 실작업일 수를 산정할 수 있는 회귀식을 도출하였다. 이와 같이 학교시설의 합리적인 공사기간 산정과 관련된 연구는 미흡한 실정이라 할 수 있다.

학교시설은 보통 3월이나 9월경에 개교를 하기 때문에 신축 학교시설의 준공시점은 개교 1개월 정도 이전에 완료할 수 있도록 계획되고 있다. 하지만 우리나라는 계절적인 특성상 학교시설의 준공시점에 동절기나 우기철이 포함되어 공사 마감단계에 공사를 원활하게 수행하지 못하는 경우가 빈번하게 발생할 수 있다. 일부 학교에서는 개교이전에 준공을 하지 못해 학생 및 지역주민에게 피해를 주는 경우도 있는 것으로 나타났다(경남뉴스, 2017; 뉴시스 2016). 따라서 학교시설 건설공사는 프로젝트의 준공 및 개교 시점이 동일하거나 약간의 차이만 있어, 해당공사의 특수한 상황이나 지역적 특성을 충분히 고려하여 공사기간을 산정해야 한다.

현행 학교시설을 발주하는 지자체들의 공사기간 산정기준을 살펴보면, 사업의 규모에 따라 일괄적으로 공사기간을 산정하고 있는 실정이다. 하지만 학교시설의 개교시점을 고려한 적정 공사기간을 산정하기 위해서는 방중대 등(2014)이 실시한 연구처럼, 건설공사의 주공정선을 기준으로 실작업일수를 산정하고, 실작업기간에 발생하는 비작업일수 산정하여 합산하여 전체 공사기간을 산정할 필요가 있다. 이를 위해서는 학교시설 단위작업별 선후행 관계를 분석하여 정확한 실작업일수를 산정하는 절차가 선행되어야 한다.

이에 본 연구에서는 학교시설 건설공사의 합리적인 공기산정의 기준이 되는 작업분류체계를 구축하고, 단위작업별 선후행 관계를 분석함으로써 학교시설의 합리적인 공사기간을 산정할 수 있는 기초자료를 제공하는데 목적이 있다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 OO공사에서 학교용지 확보 등에 관한 특례법¹⁾에 의해 수도권에 공급하고 있는 학교시설을 대상으로 실시하였다. 공사의 범위는 건축공사, 토목공사, 조경공사, 기계공사, 기계소화공사를 포함하며, 전기 및 통신 공사는 제외시켰다. 본 연구의 세부 수행방법은 다음과 같다.

(1) 학교시설 건설공사를 발주하는 지자체를 대상으로 학교시

1) 이 법은 공립 초·중·고등학교용 학교용지의 조성, 개발, 공급과 관련 경비의 부담 등에 관한 특례를 규정함으로써 학교용지를 쉽게 확보하고, 학교용지를 확보할 수 없는 경우에는 가까운 곳에 있는 학교의 증축을 쉽게 할 수 있도록 1995년에 제정되었다.

설 건설공사의 특성 및 공사기간을 조사한다.

- (2) 학교시설의 작업분류체계를 구축하기 위한 이론적 고찰을 실시한다.
- (3) OO공사 및 수도권 교육청에서 발주한 학교시설의 공정표와 내역서를 수집·분석하여 기존 학교시설의 작업분류체계 및 주공정선을 파악한다.
- (4) 전문가 면담조사를 통해 학교시설의 표준화된 작업분류체계를 구축하고, PDM(Precedence Diagramming Method) 기법을 이용하여 단위작업별 선후행 관계를 분석한다.

2. 이론적 고찰

2.1 학교시설 건설공사의 특성

학교시설 건설공사의 특성을 파악하기 위해 OO 공사가 수도권에 발주하여 공급하고 있는 학교시설의 건설 특성 및 설계·공법 등과 관련된 특성을 살펴보았다.

학교시설의 일반적인 건설특성을 살펴보면, 보통 2~3개의 소규모 건설업체가 컨소시엄 형태로 공사에 참여하고 있으며, 마감재의 일부를 지급자재 형태로 공급하고 있어 지급자재의 발주가 지연되면 전체 공기에 상당한 영향을 미치는 것으로 조사되었다. 또한 컨소시엄 형태로 공사를 관리하고 있어, 건설업체간의 커뮤니케이션이 원활하지 않은 편이며, 전반적인 건설관리 능력이 높지 않은 것으로 조사되었다.

학교시설의 설계 및 공법과 관련한 특성을 살펴보면, 학교 건물은 라멘조로 구성되어 있고, 부속건물인 체육관은 철골조로 구성되어 있는 것으로 나타났다. 파일공사는 일반적으로 PHC 파일을 사용하여 선굴착 공법으로 시공하는 것으로 조사되었다. 골조공사는 유로폼과 재래식 합판거푸집을 사용하고, 건물 외부에 비계를 설치하여 작업을 진행하고 있으며, 건물의 측벽 및 전후벽면에는 콘크리트 돌출부위가 있어 일반 공동주택 벽체보다 공사의 난이도가 다소 높은 편으로 조사되었다. 양중장비는 수시로 이동이 가능한 하이드로 크레인을 사용하며, 인화물겸용 리프트는 사용하지 않는 것으로 나타났다.

마감공사에서 내부벽체는 시멘트 벽돌을 사용하며, 외부벽체는 치장벽돌과 알루미늄 시트를 사용하며, 외부 차도 및 보도는 아스콘포장, 인터록킹, 인조화강석 등으로 마감하는 것으로 나타났다. 전반적으로 학교시설의 건설공사는 공동주택 건설공사와 달리 소규모로 진행되고 있으며, 재래식 공법 위주로 공사가 진행되고 있는 것으로 나타났다.

Table 1. construction duration estimation standard of OO Office of Education

standard	I	II	III	IV
duration	300 day	330 day	360 day	430 day
site condition	housing development district	housing development district (reclaimed land)	housing development district (reclaimed land)	mountain regions
design condition	5 stories above ground	pile construction & 5 stories above ground	pile construction & lower ground level 1 & 5 stories above ground	pile construction & lower ground level 1 & 5 stories above ground

2.2 학교시설의 공사기간 현황

학교시설의 공사기간 현황을 파악하기 위해 OO 교육청에서 발주하는 학교시설의 공사기간을 조사한 결과, 학교시설의 공사기간은 현장의 여건이나 설계조건에 따라 Table 1과 같이 산정하고 있는 것으로 나타났다.

현장의 여건이나 설계조건에 세부내용을 살펴보면, 현장의 여건은 택지개발지구, 매립지의 택지개발지구, 산지 등으로 구분되어 있으며, 설계조건은 지상 5층 규모, 파일공사를 실시하는 지상 5층 규모, 파일공사를 실시하는 지하 1층 및 지상 5층 규모로 구분되어 있다. 학교시설의 공사기간은 상기 조건을 조합하여 총 4가지 유형으로 구분될 수 있으며, 전체 공사기간은 300일에서 430일까지 주어지는 것으로 나타났다. 단, 상기 조건은 설계·발주·계약 등이 최적의 조건에서 추진되는 경우를 전제로 하고 있다.

현행 학교시설 공사기간의 적정성을 파악하기 위해 OO공사, 경기도 교육청, 서울 교육청에서 발주한 학교시설을 준공한 경험이 있는 현장소장 11인을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 설문내용은 기존에 준공한 학교시설의 전체 공사기간, 부족한 공사기간, 적정 공사기간으로 구분하여 실시하였으며, 설문조사 결과는 Table 2와 같다.

Table 2. survey related to construction duration of school facilities

respondent	total duration (month)	scarce duration (month)	reasonable duration (month)
a	12	6	18
b	12	3	15
c	10	2	14
d	15	2	15
e	11.7	3	15
f	11.7	3	15
g	12	3	13
h	14	3	15
i	12	2	14
j	12	3	15
k	12	6	15

학교시설의 공사기간과 부족한 공사기간을 조사한 결과, 학교시설의 공사기간은 보통 10개월에서 15개월 정도로 산정되고 있으며, 공사기간은 발주기관이나 동절기 공사불능기간의 포함 유무에 따라 조금씩 다르게 산정되는 것으로 나타났다. 학교시설의 부족한 공사기간은 설문 응답자에 따라 2개월에서 6개월까지 다양하게 나타나고 있어, 개략적으로 약 3개월 정도의 공기가 부족한 것으로 판단된다.

학교시설의 적정 공사기간에 대한 응답에서는 대부분의 응답자들이 계획된 공사기간에 부족한 공사기간만큼 더한 기간이 적정하다고 응답하였다. 하지만 d의 경우에는 2개월의 공사기간이 부족하다고 응답하였음에도 불구하고 계획된 공사기간이 적정하다고 응답하였다. g와 h의 경우에는 계획된 공사기간 대비 3개월이 부족하다고 응답하였으나, 1개월의 공사기간만 추가하여도 전체 공사기간이 적정하다고 응답하였다.

이와 같은 현상은 학교시설 공사를 수행하는 건설사의 공사관리 능력이 부족한 부분도 있지만, 지역적 특성이나 동절기 및 우기와 같은 계절적 특성이 반영되지 않은 상태로 공정계획을 수립하기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 학교시설 건설공사의 적정 공기를 산정하기 위해서는 단위작업별 선후행 관계를 명확하게 정의할 필요가 있을 것으로 사료된다.

2.3 작업분류체계에 대한 이론적 고찰

작업분류체계는 프로젝트 팀이 목표를 달성하고, 필요한 인도물을 산출하기 위해 실행하는 작업을 인도물 중심의 계층 구조로 세분화 한 것이라 할 수 있다. 따라서 작업분류체계의 최상위 계층은 해당 프로젝트를 의미하며, 하위 계층으로 내려갈수록 단위작업의 범위는 상세하게 구분된다(손상혁 등, 2014). 또한 작업분류체계는 프로젝트의 일정이나 원가 등을 관리할 수 있는 중요한 도구로서 프로젝트에 필요한 모든 작업을 구체적으로 파악할 수 있도록 도와주는 역할을 할 수 있다.

건설공사와 같은 프로젝트의 공정관리에 있어서 가장 하위 계층에 속하는 단위작업의 범위가 커지면 이와 동일한 레벨의 단위작업과의 선후행 관계를 파악하는데 쉽지 않을 수 있다. 그리고 가장 하위 계층에 속하는 단위작업의 범위가 작을 경우에도 전체 프로젝트의 공정관리에 불필요한 액티비티가 증가하여 프로젝트 관리에 혼선이 발생할 수도 있다. 따라서 작업분류

체계의 가장 하위 계층에 대한 세분화 정도를 판단하는 것이 매우 중요하다고 볼 수 있다(Raz, T. and Gloverson, S., 1998). 이에 본 연구에서 구축하는 학교시설의 작업분류체계는 기존의 학교시설 공사에서 사용하고 있는 공정표 및 내역서 등에 명시된 공종 및 단위작업을 기초로 설정하고, 학교시설 건설공사의 경험이 풍부한 현장소장 및 관리책임자 등을 대상으로 면담조사를 통해 세부 단위작업별 선후행 관계를 규명하고자 한다.

3. 기존 학교시설의 작업분류체계 및 주공정선 분석

기존 학교시설의 작업분류체계와 주공정선을 파악하기 위해 OO공사에서 발주한 5개 현장 및 수도권 교육청서 발주한 3개의 현장을 대상으로 학교시설의 공정표와 내역서를 수집하여 현장별로 작업분류체계 및 주공정선을 분석하였다.

3.1 학교시설의 공정별 작업분류체계

학교시설 건설공사의 공정표와 내역서를 토대로 작업분류체계를 살펴본 결과, 대공정은 건축공사, 토목공사, 기계 및 소방공사, 조경공사로 분류되고 있으며, 중공정은 Table 3과 같이 분류되어 있으며, 각 현장별로 사용하는 용어 및 분류체계는 조금씩 다르게 구성되어 있는 것으로 조사되었다.

건축공사의 중공정 작업분류체계는 A부터 H까지 8개의 현장을 대상으로 분석하였다. 건축공사에서 공통적으로 수행하는 중공정의 작업은 총 15개로 구성되어 있으며, 13개의 작업은 현장별로 상이하게 나타났다. 하지만 건축공사의 주요 작업들은 현장별로 유사한 형태로 진행되고 있어 작업분류체계를 일부만 보완하면 될 것으로 판단된다.

토목공사는 작업분류체계를 파악하기 힘든 B와 G현장을 제외한 6개 현장을 대상으로 분석하였다. 토목공사에서 공통적으로 수행하는 중공정의 작업은 총 6개로 구성되어 있으며, 8개의 작업은 현장별로 상이하게 나타났다. 따라서 토목공사의 작업분류체계는 작업내용 및 범위에 따른 표준화 단계가 필요할 것으로 판단된다. 기계공사는 작업분류체계를 파악하기 힘든 B, C, G현장을 제외한 5개 현장을 대상으로 중공정 작업분류체계를 분석하였다.

기계공사에서 공통적으로 수행하는 중공정의 작업은 총 7개로 구성되어 있으며, 13개의 작업은 현장별로 상이하게 나타났다. 따라서 기계공사도 토목공사와 마찬가지로 작업분류체계를 표준화할 필요가 있을 것으로 판단된다. 조경공사는 작업분류체계를 파악하기 힘든 B, G, H현장을 제외한 5개 현장을 대상으로 중공정 작업분류체계를 분석하였다. 조경공사의 중공정은 5개의 현장 모두 4개의 작업으로 구성되어 있는 것으로 나타나, 작업분류체계를 일부만 보완하면 될 것으로 판단된다.

Table 3. investigation of school facilities work breakdown structure

section	work breakdown structure of middle stage	subject of investigation							
		A	B	C	D	E	F	G	H
architectural work									
common work (15EA)	temporary work, earth work, steel frame work, reinforced concrete work, brick work, plaster work, waterproof work, tile work, stone work, wood work, metal work, windows work, painting work, interior finishing work, roof and drainage work	15	14	15	15	14	14	14	8
non-common work (13EA)	common temporary work, rebar work of foundation, insulation work, block work, general work, paper work, other work, installation of a flagpole, facilities for speech, security office, entrance, aggregate cost, transporting cost	6	7	5	6	6	7	4	0
civil work									
common work (6EA)	earth work, retaining wall work, wastewater work, drainage work, pavement work, additional facility work	4	0	3	3	4	5	0	3
non-common work (8EA)	common temporary work, structural facility work, traffic safety facility, quality test, other work, transporting cost, main material, etc	2	0	3	5	5	4	0	0
mechanic and fire work									
common work (7EA)	water supply work, hot water supply work, wastewater plumbing work, duct work, gas work, sanitation facilities work, machinery room work, soundproof and anti-vibration work	6	0	0	6	6	6	0	6
non-common work (13EA)	fire work, installation of equipment, freeze protection system, geothermal system, food service facility, kindergarten, outside branch circuits and feeder, installation of flue, potting, automatic control, utility tunnel, special work, other work	6	0	0	9	7	4	0	3
landscaping work									
common work (3EA)	planting work, facilities work, pavement work	3	0	3	3	3	3	0	0
non-common work (3EA)	common temporary work, roof garden, plantation maintenance	1	0	1	1	1	1	0	0

앞에서 분석한 내용을 종합해 보면, 학교시설의 작업분류체계는 기존 학교시설에서 활용하고 있는 공종별 작업내용을 최대한 활용하되, 사용하는 언어의 표준화 및 유사한 단위작업의 명칭에 대한 통합이 필요할 것으로 판단된다.

3.2 기존 학교시설의 주공정선

학교시설 건설공사의 공정표와 내역서를 토대로 공사의 주공정선을 분석한 결과, 8개의 현장 중에서 A와 C현장은 주공정선의 파악이 곤란하였다. 따라서 6개 현장을 대상으로 공사의 주공정선을 파악하였으며, 각 현장별 주공정선은 Table 4와 같다. 각 현장별 학교시설의 주공정선을 분석한 결과, 골조공사를 제외한 다른 공종들의 주공정선은 각 현장별로 다르게 나타났다.

하지만 골조공사 이전 단계에는 보통 착공준비, 터파기, 파일 공사 등이 주공정선에 포함되는 것으로 나타났으며, 골조공사 이후 단계에는 미장공사, 타일공사, 도장공사 등 습식 마감 공정이 주공정선에 포함되는 것으로 나타났다. 따라서 학교시설의 공정계획은 6개 현장에서 공통적으로 포함되는 공종 위주로 작업분류체계를 구축할 필요가 있을 것으로 사료된다. 또한 학교시설의 주공정선에 포함되는 단위작업을 분류하여 각 단위작업별 선후행 관계를 명확히 규명해야 할 것으로 판단된다.

4. 작업분류체계 구축 및 단위작업별 선후행 관계 분석

학교시설의 작업분류체계를 구축하고, 단위작업별 선후행 관

Table 4. critical path of school facilities

B	D	E	F	G	H
work preparation	ready for construction	site survey & construction documents	site survey & construction documents	temporary fence & wash facility for the construction equipment	site survey & finishing stake
lean concrete & mat foundation	excavation	pile work	mat foundation & underground pit	temporary water & temporary electricity	pile work & excavation
B1 concrete	piling work	mat foundation & underground pit	1F concrete	piling work & excavation	1F concrete
1F concrete	mat foundation	1F concrete	2F concrete	lean concrete & mat foundation	2F concrete
2F concrete	1F concrete	2F concrete	3F concrete	pit & foundation & beam of the ground	3F concrete
3F concrete	1~2F concrete	3F concrete	4F concrete	1F concrete	4F concrete
4F concrete	3~4F concrete	4F concrete	5F concrete	2F concrete	5F concrete
5F concrete	5F concrete	5F concrete	rooftop & roof rails	3F concrete	rooftop concrete
wall tile	rooftop concrete	rooftop & roof rails	1F plaster work	4F concrete	3F painting
floor tile	ceiling frame	3F plaster work	2~3F plaster work	5F concrete	4F painting
ceiling work	interior finishing work	4F plaster work	urethane & epoxy (machine room)	rooftop & roof rails	5F painting
flooring work	painting	5F plaster work	1F painting	school gate & facilities for speech	rooftop painting
painting	completion cleaning	1~2F painting	2F painting	disassemble the external scaffold	ceiling & floor & wall
taking over	-	3~5F painting	3F painting	pipe installation (rain water & wastewater)	construction inspection & rearrangement work
-	-	spray painting of the staircase	4F painting	foundation of wall & sub-base	-
-	-	other work & finishing	5F painting	set a boundary stone	-
-	-	completion cleaning & inspection	spray painting of the staircase	interlocking block	-
-	-	-	other work & finishing	installation of fences	-
-	-	-	completion cleaning & inspection	completion cleaning & inspection	-

계를 규명하기 위해 2016년 8월에 10일 동안 전문가 인터뷰를 실시하였다. 인터뷰는 현장 경험이 풍부한 현장소장 4인과 OO공사의 공사감독 1인을 대상으로 실시하였으며, 면담조사를 통해 작업분류체계를 대공정(5개), 중공정(31개), 단위작업(119)개로 분류였고, 단위작업별 선후행 관계를 분석하였다.

4.1 학교시설의 작업분류체계 구축

학교시설 건설공사의 작업분류체계는 단위작업간의 선후행 관계를 파악하기 위해 우선적으로 실시해야 하는 작업으로써 작업분류체계는 대공정, 중공정, 단위작업으로 구분하였다. 대공정은 학교시설 건설공사의 공정표 및 내역서의 분류체계와 동일한 수준으로 설정하였다. 다만, 공통가설공사는 건설공사를 착수하는 기초가 되는 공사로서 모든 공사와 연관되어 진행되기 때문에 공통가설공사를 대공정에 포함시켰다. 따라서 본 연구에서 분류한 학교시설 작업분류체계는 Table 5, 6, 7, 8과 같으며, 대공정은 공통가설공사, 건축공사, 기계·소화공사, 토목공사, 조경공사로 구분할 수 있다.

공통가설공사의 중공정은 공사준비 및 공통가설로 분류하였다. 여기서, 공사준비는 학교시설의 내역서에 항목이 포함되어 있지 않으나, 현장의 일정관리에 반드시 필요하기 때문에 포함시켰다.

건축공사의 중공정은 가설공사, 기초 및 지정공사, 골조공사, 철골공사, 조적공사, 미장공사 등 17개 공정으로 분류하였다. 건축공사의 작업분류 기준은 내역서의 공중분류 체계를 유지하되, 공사기간 산정이나 일정계획 상 중요도가 다소 낮은 공중은 중공정 분류체계에서 제외하였다.

기계·소화공사의 중공정은 옥외간선, 배관공사, 공조설비공사, 기계실공사, 도시가스배관, 위생기구류, 점검 및 시운전 등 7개 공정으로 분류하였다. 기계·소화공사는 내역서의 공중분류 체계가 현장의 작업형태와 다른 부분이 많아 현장에서 진행되는 작업 중심으로 분류체계를 설정하였다.

토목공사의 중공정은 오배수공사, 배수공사, 포장공사, 기타공사 등 4개의 공정으로 분류하였다. 토목공사의 작업분류 기준은 내역서를 기초로 하되, 내역서의 공중 분류체계가 현장의 작업형태와 다른 부분이 많아 현장 작업 중심으로 분류체계를 설정하였다.

조경공사의 중공정은 식재공사 1개의 공정으로 분류하였다. 조경공사의 내역서에는 중공정이 여러 개 있지만, 현장작업을 고려했을 때 단위작업 수가 적어 하나의 중공정으로 분류체계를 설정하였다.

Table 5. work breakdown structure of the school facilities

level 1		level 2		level 3	
title	code	title	code	title	code
preparatory work	P	preparation period	PP	preparation period for construction work	PPP001
		temporary construction	TC	installation of temporary office and fence	PTC001
architectural work	A	temporary construction	TC	temporary water & temporary electricity	PTC002
				site survey & installation of finishing stake	ATC001
				disassemble the external scaffold	ATC005
		foundation & pile work	FP	completion cleaning & inspection	ATC006
				excavation & pile work	AFP001
		reinforced concrete work	RC	foundation work & B1 concrete work	AFP002
				1F reinforced concrete work	ARC001
				2F reinforced concrete work	ARC002
				3F reinforced concrete work	ARC003
				4F reinforced concrete work	ARC004
				5F reinforced concrete work	ARC005
				5F reinforced concrete curing	ARC006
		steel roof work	SR	rooftop & roof rails	ARC007
				manufacture of steel	ASR001
		brick work	BW	steel frame work	ASR002
1F internal brick work	ABW001				
2F internal brick work	ABW002				
		3F internal brick work	ABW003		

Table 6. work breakdown structure of the school facilities(continue)

level 1		level 2		level 3			
title	code	title	code	title	code		
architectural work	A	brick work	BW	4F internal brick work	ABW004		
				5F internal brick work	ABW005		
				1F external brick work	ABW006		
				2F external brick work	ABW007		
				3F external brick work	ABW008		
				4F external brick work	ABW009		
				5F external brick work	ABW010		
				plaster work	PW	1F wall plaster work	APW001
						2F wall plaster work	APW002
						3F wall plaster work	APW003
		4F wall plaster work	APW004				
		5F wall plaster work	APW005				
		1~3F slab plaster work	APW006				
		4~5F slab plaster work	APW007				
		staircase plaster work	APW008				
		rooftop plaster work	APW009				
		tile work	TW	1F tile work	ATW001		
				2F tile work	ATW002		
				3F tile work	ATW003		
				4F tile work	ATW004		
				5F tile work	ATW005		
				1F terrazzo work	ATW006		
				2F terrazzo work	ATW007		
				3F terrazzo work	ATW008		
				4F terrazzo work	ATW009		
				5F terrazzo work	ATW010		
		stone work	SW	floor stone work	ASW002		
		waterproof construction	WC	1F waterproof construction	AWC001		
				2F waterproof construction	AWC002		
				3F waterproof construction	AWC003		
				4F waterproof construction	AWC004		
				5F waterproof construction	AWC005		
				basement waterproof construction	AWC006		
				rooftop waterproof construction	AWC007		
		wood work	WW	1F wooden doorframe installation	AWW001		
				2F wooden doorframe installation	AWW002		
				3F wooden doorframe installation	AWW003		
				4F wooden doorframe installation	AWW004		
				5F wooden doorframe installation	AWW005		
				restroom partition installation	AWW006		
				auditorium flooring work	AWW007		
				auditorium stage installation	AWW008		
				auditorium wall carpenter work	AWW009		

Table 7. work breakdown structure of the school facilities(continue)

level 1		level 2		level 3			
title	code	title	code	title	code		
architectural work	A	interior construction	IC	1F interior finishing work	AIC001		
				2F interior finishing work	AIC002		
				3F interior finishing work	AIC003		
				4F interior finishing work	AIC004		
				5F interior finishing work	AIC005		
		floor work	FW	1F floor work	AFW001		
				2F floor work	AFW002		
				3F floor work	AFW003		
				4F floor work	AFW004		
				5F floor work	AFW005		
		metal work	MW	aluminum sheet wall construction	AMW002		
		roof work	RW	roof work	ARW001		
		windows construction	DW	1~2F windows work	ADW001		
				3~5F windows work	ADW002		
		glazing work	GW	first glazing work	AGW001		
				secondary glazing work	AGW002		
		paint construction	PC	1~3F painting work	APC001		
				4~5F painting work	APC002		
		mechanic and fire work	M	outside trunk line work	OT	outside trunk line work	MOT001
				plumbing work	PW	1F vertical plumbing work	MPW001
2F vertical plumbing work	MPW002						
3F vertical plumbing work	MPW003						
4F vertical plumbing work	MPW004						
5F vertical plumbing work	MPW005						
1F vertical pipe insulation work	MPW006						
2F vertical pipe insulation work	MPW007						
3F vertical pipe insulation work	MPW008						
4F vertical pipe insulation work	MPW009						
5F vertical pipe insulation work	MPW010						
1F horizontal plumbing work	MPW011						
2F horizontal plumbing work	MPW012						
3F horizontal plumbing work	MPW013						
4F horizontal plumbing work	MPW014						
5F horizontal plumbing work	MPW015						
air-conditioning equipment work	AC			1F air-conditioning equipment work	MAC001		
				2F air-conditioning equipment work	MAC002		
				3F air-conditioning equipment work	MAC003		
				4F air-conditioning equipment work	MAC004		
				5F air-conditioning equipment work	MAC005		
machine room work	MR			order of the equipment and material	MMR001		
				plumbing work	MMR002		
				equipment installation	MMR003		
city gas plumbing work	CG			city gas plumbing work	MCG001		

Table 8. work breakdown structure of the school facilities

level 1		level 2		level 3	
title	code	title	code	title	code
mechanic and fire work	M	sanitation facilities	SF	sanitation facilities installation	MSF001
		inspection & test working	IT	inspection & test working	MIT001
civil work	C	wastewater work	WW	wastewater pipe & manhole work	CWW001
		drainage work	DW	U type side ditch work	CDW001
				stone filled drain dummy ditch work	CDW002
		pavement work	PW	boundary stone work	CPW001
				sidework/roadway pavement work	CPW002
				put coarse sand on the playground	CPW003
other work	OW	wash facility for the construction equipment	COW001		
landscaping work	L	planting work	PW	large planting work	LPW001
				medium and small planting work	LPW002
				other planting work	LPW003
				landscape facilities installation	LPW004

4.2 학교시설의 단위작업별 선후행 관계 분석

건설공사에서 공정관리의 목적은 계획된 공기 내에 공사를 완료하는데 있으며, 공정표는 이를 실현시키기 위해 현장의 조직구성원들과 원활한 의사소통을 할 수 있도록 활용되는 도구라고 정의할 수 있다. 이러한 공정표는 일반적으로 해당 공사의 종류나 특성에 따라 Bar-Chart(Gantt Chart), LOB(Line of Balance), LSM(Liner Scheduling Method), PERT(Programme Evaluation & Review Technique), CPM(Critical Path Method) 기법 등을 활용하여 작성한다.

건설공사에서 가장 일반적으로 활용하고 있는 공정관리 기법은 PERT/CPM 방식이라 할 수 있다. 이 방식을 통해 공사기간을 산정하는 방법은 PERT 기법을 활용하고, 단위작업의 연관관계는 CPM 방식을 활용하기 때문에 이 두 가지 의미를 합쳐서 PERT/CPM 방식이라 부른다.

PERT/CPM 방식은 표현방법에 따라 ADM(Arrow Diagram Method)과 PDM(Precedence Diagramming Method)으로 구분할 수 있다. ADM에 의한 방식은 선후행 작업간의 연관관계를 FS(Finish to Start)로만 표현이 가능하며, 이러한 제약을 해결하기 위하여 Dummy Activity²⁾를 사용한다. PDM에 의한 방식은 ADM에 의한 방식과 달리 Dummy Activity는 필요 없으나, Lag³⁾를 활용하여 공정표를 작성한다. PDM에 의한 방식은 선후행 작업간의 연관관계를 FS(Finish to Start), FF(Finish to Finish), SS(Start to Start), SF(Start to Finish) 등 다양한 방법으로 표현할 수 있다.

단위작업별 연관관계의 정의를 살펴보면, FS는 PDM 공정표

- 2) Dummy Activity는 ADM 방식에 사용되는 용어로 네트워크 공정표를 작성함에 있어 전체 공사기간에는 영향을 주지 않고, 선행 작업과 후행 작업간의 관계만을 나타낸다.
- 3) Lag는 PDM 방식에 사용되는 용어로 네트워크 공정표를 작성함에 있어 선행 작업과 후행 작업간의 관계를 정의하는데 사용되며, 두 작업 간에 적용되는 지연되는 시간을 의미한다.

작성 시 가장 많이 사용되는 관계로서 선행 작업이 종료되어야 후행 작업을 시작할 수 있고, FF는 선행 작업이 종료된 이후에 후행작업을 종료할 수 있다. SS는 선행 작업이 시작되어야 후행 작업을 시작할 수 있으며, SF는 선행 작업이 시작되어야 후행 작업이 종료할 수 있다. 하지만 건설공사에서 SF는 거의 발생하지 않는 경향이 있다.

따라서 본 연구에서는 PERT/CPM 방식의 PDM 기법을 활용하여 학교시설의 단위작업별 선후행 관계를 분석하였다. 공통가설공사는 Table 9와 같이 3개의 선행 작업에 6개의 후행 작업이 있는 것으로 나타났고, 건축공사는 Table 10, 11, 12와 같이 78개의 선행 작업에 127개의 후행작업이 있는 것으로 나타났다. 기계·소화공사는 Table 13과 같이 27개의 선행 작업에 44개의 후행 작업이 있는 것으로 나타났고, 토목공사는 Table 14와 같이 7개의 선행 작업에 9개의 후행 작업이 있는 것으로 나타났다. 마지막으로 조경공사는 Table 15와 같이 4개의 선행 작업에 6개의 후행 작업이 있는 것으로 나타났다.

본 연구에서 나타난 단위작업의 선후행 관계를 살펴보면, FS 관계가 대부분을 차지하고 있어 어느 공종별 단위작업이 지연되는 경우가 발생한다면, 후행 단위작업의 지연이 불가피할 것으로 판단된다. 따라서 학교시설의 공정계획 수립 시 비작업일을 반영하여 적정한 Lag를 설정할 필요가 있을 것으로 판단된다.

Table 9. Precedence relations of preparatory work

level 2	predecessor	successor	relation
PP	PPP001	ATC001	FS
		PTC001	SS
		PTC002	SS
TC	PTC001	ATC001	FS
		COW001	SS
	PTC002	AFP002	FS

Table 10. Precedence relations of architectural work

level 2	predecessor	successor	relation
TC	ATC001	AFP001	FS
	ATC005	AMW002	FF
	ATC006	-	-
FP	AFP001	AFP002	FS
	AFP002	ARC001	FS
RC	ARC001	ARC002	FS
		ASR001	FS
	ARC002	ARC003	FS
		MMR001	FS
		AWC006	FS
	ARC003	ARC004	FS
		MPW001	FS
		ASR002	FS
	ARC004	ARC005	FS
	ARC005	ARC006	FS
		ARC007	FS
	ARC006	MPW015	FS
		MPW005	SS
	ARC007	ABW006	FS
SR	ASR001	ASR002	FS
	ASR002	ARW001	FS
BW	ABW001	ABW002	FS
		AWW001	SS
		AWC001	FS
	ABW002	ABW003	FS
		AWW002	SS
		ADW001	FS
		AWC002	FS
		MAC001	FS
		APW001	FS
	ABW003	ABW004	FS
		AWW003	SS
		AWC003	FS
		MAC002	FS
	ABW004	ABW005	FS

Table 11. Precedence relations of architectural work(continue)

level 2	predecessor	successor	relation
BW	ABW004	AWW004	SS
		AWC004	FS
		MAC004	FS
	ABW005	APW005	FS
		AWW005	SS
		AWC005	FS
		MAC005	FS
	ABW006	ABW007	FS
	ABW007	ABW008	FS
	ABW008	ABW009	FS
CDW001		FS	
ABW009	ABW010	FS	
ABW010	ATC005	FS	
PW	APW001	APW002	FS
		AIC001	FS
	APW002	APW003	FS
		AIC002	FS
	APW003	APW004	FS
		APW006	FS
		AIC003	FS
	APW004	APW005	FS
		APW008	FS
		AIC004	FS
	APW005	AIC005	FS
		APW007	FS
		APW009	FS
	APW006	APW007	FS
		ATW006	FS
		AGW001	FS
APW007	ATW009	FS	
	AIC005	FS	
APW008	APW009	FS	
APW009	APC001	FS	
	MCG001	FS	
TW	ATW001	ATW002	FS
	ATW002	ATW003	FS
	ATW003	ATW004	FS
	ATW004	ATW005	FS
	ATW005	AWW006	FS
	ATW006	ATW007	FS
		ASW002	SS
		AFW001	FS
	ATW007	ATW008	FS
		AFW002	FS
ATW008	ATW009	FS	
	AFW003	FS	
ATW009	ATW010	FS	

Table 12. Precedence relations of architectural work(continue)

level 2	predecessor	successor	relation
TW	ATW009	AFW004	FS
	ATW010	AFW005	FS
SW	ASW002	ATW008	FS
WC	AWC001	AWC002	FS
		ATW001	FS
	AWC002	AWC003	FS
		ATW002	FS
	AWC003	AWC004	FS
		ATW003	FS
	AWC004	AWC005	FS
		ATW004	FS
	AWC005	AWC007	FS
		ATW005	FS
AWC006	AWC001	FS	
	MMR002	FS	
AWC007	APC001	FS	
WW	AWW001	AWW002	FS
	AWW002	AWW003	FS
	AWW003	AWW004	FS
	AWW004	AWW005	FS
	AWW005	APW005	FS
	AWW006	MSF001	FS
	AWW007	AWW008	FS
	AWW008	AIC005	FS
	AWW009	AWW007	FS
IC	AIC001	AIC002	FS
	AIC002	AIC003	FS
	AIC003	AIC004	FS
	AIC004	AIC005	FS
	AIC005	ATW010	FS
FW	AFW001	AFW002	FS
	AFW002	AFW003	FS
	AFW003	AFW004	FS
	AFW004	AFW005	FS
	AFW005	APC002	FS
MW	AMW002	CWW001	SS
		CWW001	FF
RW	ARW001	AWW009	FS
DW	ADW001	ADW002	FS
		ABW006	FS
ADW002	ABW010	FS	
GW	AGW001	AGW002	FS
		AFW001	FS
AGW002	AFW004	FS	
PC	APC001	APC002	FS
	APC002	MSF001	FS

Table 13. Precedence relations of mechanic and fire work

level 2	predecessor	successor	relation	
PW	OT	MOT001	MCG001	FS
		MPW001	MPW002	FS
			MPW011	FS
	MPW002	MPW006	FS	
		MPW003	FS	
		MPW012	FS	
	MPW003	MPW007	FS	
		MPW004	FS	
		MPW013	FS	
	MPW004	MPW008	FS	
		MPW005	FS	
		MPW014	FS	
	MPW005	MPW009	FS	
		MPW015	FS	
		MPW010	FS	
MPW006	MPW007	FS		
	MPW008	FS		
	MPW009	FS		
MPW007	MPW010	FS		
	MPW015	FS		
	MPW012	FS		
MPW008	MPW012	FS		
	ABW001	FS		
	MPW013	FS		
MPW009	MPW013	FS		
	ABW002	FS		
	MPW014	FS		
MPW010	MPW014	FS		
	ABW003	FS		
	MPW015	FS		
MPW011	MPW015	FS		
	ABW004	FS		
	MPW014	FS		
MPW012	MPW014	FS		
	ABW004	FS		
	MPW015	FS		
MPW013	MPW015	FS		
	ABW005	FS		
	MPW014	FS		
AC	MAC001	MAC002	FS	
		AIC001	FS	
	MAC002	MAC003	FS	
		AIC002	FS	
	MAC003	MAC004	FS	
AIC003		FS		
MAC004	MAC005	FS		
	AIC004	FS		
MAC005	AIC005	FS		
MR	MMR001	MMR002	FS	
	MMR002	MMR003	FS	
	MMR003	MIT001	FS	
CG	MCG001	APC002	FS	
SF	MSF001	MIT001	FS	
IT	MIT001	ATC006	FS	

Table 14. Precedence relations of civil work

level 2	predecessor	successor	relation
WW	CWW001	CPW001	FS
DW	CDW001	CDW002	FS
		CPW001	FS
	CDW002	CPW003	FS
PW	CPW001	CPW002	FS
		LPW001	SS
	CPW002	ATC006	FS
	CPW003	LPW004	FS
OW	COW001	AFP001	FS

Table 15. Precedence relations of landscaping work

level 2	predecessor	successor	relation
PW	LPW001	LPW002	FS
		CPW002	FS
	LPW002	LPW003	FF
		LPW003	SS
	LPW003	ATC006	FS
	LPW004	ATC006	FS

5. 결론

본 연구는 학교시설의 표준공사기간을 산정하기 위해 학교시설 건설공사의 작업분류체계를 구축하고, 각 단위작업별 선후행 관계를 명확히 규명하는데 목적이 있다. 현행 학교시설의 공사기간은 지자체마다 산정기준이 명확하게 정의되어 있지 않으며, 공동주택 건설공사와 달리 학교시설의 공기산정 기준과 관련된 연구도 매우 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 학교시설 건설공사를 수행한 경험이 풍부한 현장소장 및 발주기관의 업무 담당자와의 면담조사를 실시하여 학교시설 건설공사의 작업분류체계를 구축하고, 각 단위작업간의 선후행 관계를 분석하였다.

기존 학교시설의 공사기간 현황을 파악하기 위해 실시한 설문조사 결과, 학교시설의 공사기간은 보통 10개월에서 15개월 정도로 발주기관 및 착공시기에 따라 차이가 있는 것으로 나타났고, 공사기간은 약 3개월 정도 부족하여 개교시점이 지연되거나 품질확보에 상당한 어려움이 있는 것으로 조사되었다. 또한 기

존 학교시설의 대공정 및 중공정의 분류체계는 현장별로 유사한 형태를 보이고 있으나, 단위작업별 분류체계는 상당한 차이가 있어 공정관리에 사용하는 언어 및 단위작업 명칭에 대한 표준화가 필요한 것으로 나타났다.

이에 본 연구에서는 전문가 면담조사를 통해 학교시설의 작업분류체계를 대공정(5개), 중공정(31개), 단위작업(119)개로 분류하고 각 단위작업에 대한 선후행 관계를 분석하였다. 본 연구에서 분석한 작업분류체계 및 단위작업별 선·후행 관계는 향후 학교시설의 표준 공사기간을 산정할 수 있는 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 향후 연구에서는 학교시설 건설공사의 주공정선을 기초로 실작업일수를 산정하고, 기온, 강우, 강설, 바람 등으로 인한 비작업일수를 추가로 반영한다면 적정 공사기간을 산정할 수 있을 것으로 사료된다.

다만, 본 연구에서 분석한 단위작업별 선후행 관계는 비작업기간을 고려하지 않았기 때문에 전체 공사기간에 동절기와 같은 공사불능기간이 포함되는 경우 추가적인 검증이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 LH의 연구비 지원으로 수행된 “학교시설의 표준공사기간 산정기준 연구” 과제의 성과를 기초로 작성하였다.

참고문헌

- 경남신문(2017), 「3월 개교 도내 10곳 중 2곳 ‘개교 후 완공’.
- 권동찬, 이찬식(2004), “실적자료에 의한 고등학교 시설 공기산정”, 「한국건설관리학회논문집」, 5(6): 138~145.
- 김진원, 이백래, 김주형, 김재준(2011), “회귀분석을 이용한 교육시설의 공간계획에 따른 공사비 예측 모델에 관한 연구”, 「대한건축학회논문집 계획계」, 27(10): 103~110.
- 뉴시스(2016), 「시흥 목감지구 학교 3곳 개교지연, ‘학생 통학불편’.
- 박유영, 조봉호, 김기현, 이춘경, 박태근(2009), “B시 적용 교육시설의 최적 건축공법 평가에 관한 연구”, 「한국건설관리학회논문집」, 10(3): 22~31.
- 방중대, 손정락, 송상훈, 김진원(2014), “공동주택 건설공사의 품질확보를 위한 표준공사기간 산정기준 연구”, 「토지주택연구원」.
- 손상혁, 곽한성, 이홍철, 이동은(2014), “건설 공정모형 기반 품질기록 추적관리 시스템”, 「대한건축학회논문집 구조계」, 30(11): 69~80.
- Raz, T. and Globerson, S.(1998), "Effective Sizing and Content Definition of Work Packages", Projec Management Journal, 29(4): 17~23.