

실적자료에 의한 고등학교 시설 공기산정

The Estimation of Construction Duration for High School Buildings Based on the Actual Data

권 동 찬* · 이 찬 식**

Kwon, Dong-Chan · Lee, Chan-Sik

요 약

공사에 소요되는 기간은 시설물의 품질과 비용에 직접적인 영향을 미치지만, 고등학교 시설공사의 경우 경험과 직관에 의거하여 공기를 산정하고 있어 공사 수행과정에서 계약당사자 간에 분쟁이 많이 발생하고 있다. 본 논문은 고등학교 시설공사에 소요되는 기간의 산정에 영향을 미치는 다양한 요인을 분석하여 공기 산정기준을 제안하는 것으로, 인천지역에서 최근에 개교한 고등학교의 실적자료를 수집하여 다중선형회귀분석하였다.

회귀분석 결과로 얻은 순 공사기간에 인천지역의 기후특성을 고려하여 산정한 작업불가능기간을 더하여 총 공사기간을 산출하였다. 본 논문에서 제안한 공기 산정식은 공사발주 및 계약 시 계약공기를 정확하게 산정하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

키워드 : 공사기간, 인천지역 고등학교, 다중선형회귀분석

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

건설사업의 적정 공사기간(이하 '공기'라고 함)산정은 해당 사업의 성공적인 수행을 위해 매우 중요한 요소임에도 불구하고 담당자의 경험과 직관에 의하여 관행적으로 이루어지고 있으며 건물의 평면 계획 및 형태, 공사 물량의 다소, 품질 수준 등에 관계없이 지정(예상) 공기가 과소 혹은 과다 책정 부여되는 사례가 많다. 신설 고등학교 건설사업도 예외가 아니어서 산정된 예상 공기가 과소 책정된 경우에는 개교 시점에 맞추어 무리하게 사업을 추진함으로써 부실공사를 초래할 우려가 있으며, 과다하게 책정된 경우에는 개교에 차질을 빚고 각종 공사관련 민원이 발생할 소지가 있다.

이 연구는 고등학교시설 공기를 과소 또는 과다 책정함에 따른 문제점을 최소화하고 건설사업을 효율적으로 추진하는데 도

움을 주기 위하여, 공기에 영향을 미치는 다양한 요인을 분석하여 적정공기 산정기준을 제시하는데 목적이 있다.

1.2 연구 방법 및 범위

본 논문은 다양한 공기영향 요인들에 대한 분석과 실적 공기를 바탕으로 신설고등학교 건설을 위한 적정공기 산정기준을 개발하기 위한 것으로 다음과 같은 절차와 방법으로 연구를 수행하였다.

- 1) 공기와 관련된 국내·외 문헌을 조사·분석하여 공사기간에 영향을 미치는 요인을 파악하였다.
 - 2) 최근 인천지역에서 신축된 중·고등학교 건설공사의 실적 자료를 입수·분석하였다.
 - 3) 고등학교 시설공사 수행경험을 가진 현장소장 등 전문가를 상대로 면담조사를 실시하여 적정공기 산정기준을 개발하기 위한 기술적·관리적 요인들에 대한 의견을 수렴하였다.
 - 4) 입수한 고등학교 공사 실적자료에 대하여 기술적인 통계분석을 실시하고 분산분석·상관분석·회귀분석 등을 시행하여 적정공기 산정기준을 개발하였다.
 - 5) 학교시설 공사는 개교일자를 지켜야 하는 특수한 여건을 가지고 있으므로, 개발한 산정식을 효율적으로 적용할 수 있는 방안을 제시하여 완공일을 준수할 수 있도록 하였다.
- 이 연구는 순 공사기간에 초점을 맞춰 수행하였고 작업불가능

* 학생회원, 인천대 건축공학과 석사과정

** 종신회원, 인천대 건축공학과 교수, 공학박사

이 연구는 인천광역시교육청의 연구비 지원에 의한 연구의 일부임

1) '적정 공기'라 함은 공사비 또는 사업비를 최소로 하는 공사기간을 보통 의미한다. 이 연구에서는 공사비나 공법에 따른 공기 변화는 제외하였기 때문에 5.3절 공사기간 산정 예에서 제시하는 것과 유사한 고등학교 시설물을 시공능력공시액 200~300위 업체가 시공할 경우의 표준적 공기를 일컫는다.

기준 설정에 관한 구체적인 내용은 제외하였다. 공기는 공사비, 공법 등과 밀접하게 관련되지만 분석을 단순화하기 위하여 제외하고, 지반여건·파일유무·연면적·층수 등의 요인만 고려하였다. 또한 이 연구는 인천지역의 고등학교시설 공사로 그 범위를 제한하였다.

2. 기존연구 고찰

공기산정에 관한 기존의 연구는 건설공사의 순 공사기간을 산정하는 회귀모델을 제시하거나, 공사기간에 영향을 주는 요인 중 불가항력적인 요인을 정량적으로 산출하는 연구위주로 이루어졌다.

Chan과 Kumaraswamy(1998)는 공동주택의 공사를 공사준비, 파일공사, 상부구조공사, 전기·설비공사, 마감공사, 외장공사로 나누어 실적자료를 수집한 후, 건축면적, 연면적, 층수 등의 정량적 요인과 각 공정 사이의 지연시간을 변수로 회귀분석을 실시하여 총 공사기간을 산정하는 회귀모델을 제안하였다.

Proverbs(1999) 등은 프랑스, 독일, 영국에서 채용하고 있는 양중계획, 비계공법, 구조공법 등에 따른 공사기간의 실적자료를 분석하여 공법 조합별로 각 국의 최대·최소 공기를 산정, 제시하였다.

대한주택공사(1998)에서는 실적자료를 수집하고 자료의 대표값으로 중위수를 선택하여 표준공기를 산출하고 현장여건별 공기의 증감을 고려한 순 공사기간을 기초로 공종별, 지역별 기온, 강우, 공휴일 등의 통제 불가요소인과 골조공사 사이클을 고려하여 우리나라 지역별 총 공사기간을 산정하는 모델을 제안하였다.

황중현(1999)은 군 시설공사의 실적자료를 수집하고 지하층수, 기초형식, 건물층수, 건축면적과 구조형식 등을 변수로 회귀분석을 실시하여 공종별 순 공사기간과 총 순 공사기간을 산정하는 회귀모델을 제안하였다.

최인환(1998)은 청주지역의 30년간 기온자료, 상대습도에 따른 작업생산성, 일출·일몰시간에 따른 일일 작업시간과 연속작업일수에 따른 효율성을 분석하여 표준공정을 제안하였다.

3. 공사기간에 영향을 미치는 요인

3.1 순 공사기간²⁾

1) 기초공사

기초공사에 직·간접적으로 영향을 미치는 요인은 기초공법, 건축면적, 파일 깊이 등과 토질(보통 토사, 풍화암, 연암, 경암 등)과 지형조건 등이 있다.

2) 골조공사

골조공사에 영향을 미치는 요인으로는 건물의 층수, 건축면적, 가설재료 및 작업소 이동주기, 작업분할, 작업조 및 장비의 생산성, 공구분할, 거푸집공법, 양생기간, 휴일 및 기상 여건에 따른 작업불가능일 등이 있다.

3) 마감공사

마감공사의 공기에 영향을 미치는 요소로는 연면적, 작업물량, 작업인원, 작업부위별 생산성, 작업조 편성, 작업방식 등이 있다.

3.2 작업불가능기간³⁾

작업불가능기간에 영향을 미치는 요인은 통제가 불가능한 요인과 가능한 요인 및 불가항력적인 요인 등으로 나눌 수 있다.

통제 가능요인은 보통 계약조건에 명확하게 규정되며 이해 당사자가 용이하게 공기 변경에 합의할 수 있는 특수한 상황으로 공기 산정기준대상에서 제외하고, 측정이 가능하여 정량화할 수 있는 통제 불가능한 사항만을 고려하여 작업불가능일을 산정하였다.

4. 기존 공사기간 산정 방법의 문제점 및 대안 검토

인천광역시 교육청을 비롯한 대부분의 광역시·도 교육청은 고등학교시설 공사를 추진하기 위해 필요한 적정공기에 대한 특별한 기준을 가지고 있지 않다. 서울특별시 교육청은 초, 중, 고등학교 공사에 필요한 표준적 네트워크 공정표를 작성, 제시하고 있어서 대략적인 공기를 추정하고 있다.

학교공사의 공기는 발주시점과 관계없이 개교일(3월 2일) 완공을 목표로 공기가 산정되고 있어 건물의 품질 저하나 사업비 낭비 등의 문제가 발생되고 있다.

4.1 순 공사기간 산정

건설공사의 순 공사기간 산정에 영향을 미치는 요인은 매우 다양하고, 순 공사기간을 산정하는 방법은 그 내용과 형식 측면에서 여러 가지 대안을 고려할 수 있다. 산정식의 유도방법, 산정식의 형태, 공기영향요인의 고려 방식 등을 감안하여 순 공사기간 산정방식의 대안을 살펴보면 다음과 같다.

2) 대한 주택공사, 건설공사의 적정 표준공사기간 산정방법에 관한 연구, 1998.2

3) 진영섭 외, 아파트 공사기간 산정에 영향을 주는 작업 불가능기준에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표 대회 논문집, 제 18권 1호, 1998. 4.

1) 공기 산정식 유도 방법 대안

- ① 과거의 실적 데이터를 바탕으로 회귀분석을 시행하여 공기 산정식을 유도하는 방안
- ② 타기관의 산정식과 비교하고 설문조사나 면담조사 등을 통해 수집된 의견을 반영하여 현행 방식을 개선하는 방안
- ③ 표준공정표를 토대로 작성하는 방안

인천지역 고등학교 건설사업은 공기 산정식이나 표준적 공정표가 없어서 본 논문에서는 과거 실적자료를 바탕으로 회귀분석을 사용하여 공기 산정식을 유도 하는 방안을 채택하였다.

2) 공기 산정식의 형태별 대안

- ① 기초, 골조, 마감공사 부문을 통합한 단일 형태의 산정식 도출
- ② 기초, 골조, 마감별로 구분한 별개의 산정식 도출

일반적으로 널리 쓰이는 산정식은 단일형태의 산정식이지만 공기 산정의 정확성을 높이기 위하여 본 논문에서는 부문별로 크게 구분하여 산정식을 도출하는 방안을 적용하였다.

3) 학교시설의 규모(크기), 면적, 지역여건, 주변영향 등 공사가 진행되는 동안 지속적으로 영향을 주는 요인에 대한 대안

- ① 일정 일수를 더해주는 방안
- ② factor를 곱해주는 방안

영향을 미치는 기간은 지속적이므로 일정한 일수를 더해주는 것보다는 각 요인별로 일정 factor를 곱하는 방안을 채택하였다.

4.2 작업불가능기간 산정

대한주택공사의 경우 현행 동절기 물공사 중단기간을 6개 급지로 구분하여 작업불가능일을 적용하고 있으나, 지역구분이 명확하지 않고 동일 급지에서도 작업불가능기간의 차이가 많은 것으로 알려져 있다.

따라서 본 연구에서는 인천지역 작업불가능일에 대한 기준을 설정하기 위하여 30년간(1974년~2003년)의 기상자료를 바탕으로 저온, 고온, 강우 등 기후 요소별 작업불가능기준을 설정하고 30년간의 평균 작업불가능일수를 산정, 대입하였다.

표 1은 작업불가능기준과 적용대상 공사, 인천지역의 작업불가능일수를 정리한 것이다.

표 1. 작업불가능기준 및 적용 대상작업

| 구 분 | 기준 | 적용 대상작업 | 일수 (일) |
|--------------|-------------------------------|--|--------|
| 동절기 골조 공사 중단 | 한중 콘크리트 비적용 일 평균기온 4°C이하 | 기초공사, 콘크리트공사, 설비·전기 배관공사 ⁴⁾ | 97 |
| | 한중 콘크리트 적용 일 최저기온 영하3°C 미만 | | 58 |

4) 설비·전기 배관공사는 골조공사에 따라 진행되므로 골조공사인 콘크리트 공사의 기준을 따름

| 구 분 | 기준 | 적용 대상작업 | 일수 (일) |
|-------------|--------------------|---|--------|
| 동절기 마감 공사중단 | 일 평균기온 0°C이하 | 조적공사, 미장공사, 도장공사(PIT층) | 52 |
| 혹서기 중단 | 일 최고기온 32°C이상의 50% | 모든 작업에 적용 | 3 |
| 강우 중단 | 일 강우량 10mm이상 | 기초공사, 거푸집공사, 콘크리트공사, 철근배근, 설비·전기 배관공사, 외부조적공사, 미장공사, 토목공사 | 29 |
| 공휴일 | 일요일, 국경일, 추석, 설날 등 | 모든 작업에 적용 | 66 |

5. 순 공사기간 산정식 개발

5.1 자료 수집 분석

신설 고등학교 공기 산정기준을 개발하기 위하여 2001년부터 2004년까지 인천지역에서 개교한 학교의 실적자료를 수집하였다.

최근 3년간(2001년~2004년) 인천지역에서 개교한 고등학교가 14개였으며, 3개 학교의 실적자료는 수집이 불가능하여 11개 학교의 자료를 수집·분석하였다.

실적자료 부족으로 인한 연구결과의 신뢰도 저하를 줄이기 위하여 ‘고등학교이하각급학교설립운영규정시행규칙’을 토대로 시설규모와 학급수가 유사하고 최근 3년간 완공된 중학교 실적 4개를 추가하였다.

수집한 자료의 수는 총 15개이며, 표 2와 3은 학교공사 실적자료의 면적과 학급수, 층수와 학교별 동절기 공사중단기간과 착공준비, 토공사, 기초공사, 골조공사, 마감공사 등의 실제 소요 공기를 나타낸 것이다.

표 2. 학교별 면적, 학급수, 층수

| 학교명 | 대지면적(m ²) | 건축면적(m ²) | 연면적(m ²) | 학급수 | 층수 |
|-----|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----|----|
| A고 | 12208 | 2363.86 | 9930.59 | 36 | 5 |
| B고 | 14293 | 2842 | 10716 | 36 | 5 |
| C고 | 13463 | 2635.08 | 11027.91 | 41 | 5 |
| D고 | 23501.7 | 4300.6 | 15445.9 | 36 | 5 |
| E고 | 14696 | 2859.99 | 10206.03 | 36 | 5 |
| F고 | 13561 | 2755 | 10945 | 36 | 5 |
| G고 | 14613 | 2849 | 10205 | 41 | 5 |
| H고 | - | - | - | 36 | 4 |
| I고 | 12061 | 2121.94 | 10098.74 | 41 | 5 |
| J고 | 11666 | 1890.45 | 8634.15 | 36 | 4 |
| K고 | - | 2900 | 11913 | 36 | 4 |
| L중 | 11000 | 2000 | 9970 | 42 | 5 |
| M중 | 12600 | 1758.95 | 8557.63 | 36 | 5 |
| N중 | 12335 | 1708 | 9236.9 | 36 | 5 |
| O중 | 14084 | 2319.19 | 11012.85 | 24 | 4 |

표 3. 각 학교 부문별 공기

| 학교명 | 부문별 공기(일) | | | | | | | 비고 |
|-----|-----------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------------|
| | 공사 중단 | 착공 준비 | 토 공사 | 기초 공사 | 골조 공사 | 마감 공사 | 설비 공사 | |
| A고 | 50 | 30 | 30 | 30 | 85 | 120 | 150 | * |
| B고 | 50 | 35 | 30 | 42 | 136 | 120 | 150 | * |
| C고 | 0 | 20 | 60 | 16 | 97 | 120 | 180 | *, **, *** |
| D고 | 56 | 10 | 30 | 29 | 90 | 175 | 275 | * |
| E고 | 0 | 15 | 60 | 30 | 82 | 120 | 100 | *, ** |
| F고 | 0 | 7 | 40 | 30 | 75 | 120 | 210 | ** |
| G고 | 40 | 14 | 60 | 40 | 96 | 180 | 180 | *, ** |
| H고 | 75 | 35 | 60 | 60 | 95 | 195 | 180 | *, ** |
| I고 | 50 | 50 | 30 | 13 | 93 | 150 | 200 | *, *** |
| J고 | 60 | 7 | 55 | 20 | 72 | 150 | 150 | *, ** |
| K고 | 0 | 15 | 15 | 20 | 93 | 280 | 250 | |
| L중 | 0 | 40 | 30 | 30 | 86 | 120 | 150 | * |
| M중 | 70 | 16 | 30 | 19 | 103 | 180 | 180 | *, *** |
| N중 | 30 | 30 | 30 | 55 | 109 | 70 | 150 | * |
| O중 | 60 | 15 | 15 | 20 | 72 | 120 | 180 | |

* : 파일공사 있음, ** : 지반 불량 *** : 지하층 없음

표 3에서 부문별 공기를 보면 유사한 규모라고 하더라도 공사 중단기간이나 토공사기간의 차이가 큰 사례가 있다. 그 이유는 민원으로 장기간 공사가 중단되었거나, 예상하지 못한 불량 지반이 출현하여 공기가 지연된 때문으로 파악되었다. 그 차이가 매우 큰 일부 자료는 분석에서 제외하였다.

옥탑층은 기준층과 달리 공사량도 적고 일반적으로 마감공사가 진행되는 동안 적은 인원을 동원하여 공사를 진행하기 때문에 골조공사기간에 포함하였다.

5.2 공사기간 산정기준 개발

1) 분석방법

다중선형회귀분석(multiple linear regression analysis) 및 분산분석(ANOVA)과 같은 통계적 방법을 이용하여 토·기초공사, 골조공사 등 부문별로 순 공사기간을 산정할 수 있는 회귀식을 구하였다.

수집된 15개 학교의 실적자료를 대상으로 SPSS와 MS Excel을 이용하여 기술통계분석(descriptive statistical analysis)하였다. 실적자료의 신뢰도를 제고하기 위하여, 특이자료(outlier)를 제외한 자료를 대상으로 분석하였다.

2) 분석절차

설명변수들 간의 상관관계가 높으면 회귀식이 유의하다하여도 각 설명변수와 종속변수의 유의성을 정확하게 확인할 수 없다. 따라서 상관관계가 높은 설명변수는 변수에서 제외하였다.

설명변수가 이산형자료(discrete data)일 경우에는 더미변수(dummy variable)를 도입하였다.

회귀분석 결과가 통계적으로 유의한지 확인하기 위하여 F-통계량을 이용하였다. F-통계량은 총 제곱합(Total Sum of Square, TSS)⁵⁾을 회귀선에 의하여 설명되지 않는 변동인 잔차 제곱합(Residual Sum of Square, SSR)⁶⁾과 회귀선에 의하여 설명되는 변동인 회귀제곱합(Regression Sum of Square, SSRG)⁷⁾으로 분할하여 모델의 적합성을 검증하는 방법으로 (식. 1)과 같이 유도 한다.

$$F = \frac{SSRG/k}{SSR/n-k-1} = \frac{MSRG}{MRS} \rightarrow F\text{-분포 } (df=k, n-k-1)$$

(식.1)

MSRG, MRS : 평균제곱
k : 설명변수의 개수
n : 자료의 개수

(식. 1)에서 F는 자유도가 (k, n-k-1)인 F-분포를 따르게 된다. 자유도 k, n-k-1인 F 값을 F-분포표에서 찾아 유의확률(Significance)이 0.05 이하로 나타나면 모델이 적합한 것으로 판단하였다.

3) 공기 산정기준 개발

(1) 부문별 순 공사기간 산정 모델

부문별 공사기간을 대상으로 실시한 다중회귀분석과 분산분석에서는 학교 건물의 구조형식이 동일하고, 건축면적의 차이가 적어서 건물의 층수와 연면적 및 지반조건이나 지하층의 유무 등과 같은 현장여건을 변수로 이용하여 공기를 산정할 수 있는 기준을 개발하였다. 면담조사 과정에서 학교 시설공사의 경험이 많은 현장소장들은 층수와 연면적 두 가지 요인만을 제시하여도 부문별로 대략적인 공기를 산출할 수 있었지만, 토·기초공사기간의 경우 현장여건이 공사기간에 더 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다.

전체 순 공사기간은 착공 준비기간, 토·기초공사기간, 골조공사기간, 마감공사기간을 합한 기간으로 산정하였다.

실적자료에서 착공준비기간은 준비서류의 미비, 현장여건의 불충분 등의 통계가능요인으로 인하여 현장별로 7~50일의 많은 차이를 보이지만, 면담조사결과 실제 착공준비에 소요되는 기간은 가설공사를 포함하여 계약에서부터 착공계를 제출할 때까지의 14일이 소요되는 것으로 나타났으며, 이 기간을 착공준비기간으로 보는 것이 타당하다.

5) 총제곱합은 회귀제곱합과 잔차제곱합을 더하여 구한 값이다.
6) 잔차제곱합은 모든 자료에서 실제 순 공사기간과 회귀선이 예측한 추정값 간의 편차를 제곱하여 더한 값이다.
7) 회귀제곱합은 모든 자료에서 회귀선이 예측한 추정값과 전체 평균 순 공사기간 간의 편차를 제곱하여 더한 값이다.

① 토·기초공기

토·기초공사는 착공 전에 예측했던 지층이 실제와 다르거나 뜻밖의 지중 장애물의 출현 등으로 공기가 지연될 수 있다.

토공사의 경우 인천지역의 고등학교공사들은 유사한 규모로 지어지기 때문에 건축면적의 차이는 근소하여 변수에서 제외하고 지반조건과 파일공사의 유무만을 고려하였다.

기초공사 역시 건축면적의 차이가 근소하여 지하층의 유무만을 고려하여 회귀분석을 실시하였다.

$$\text{토공사기간} = 15 + 16.25 \times \text{파일공사} + 27.5 \times \text{지반조건} \dots \dots \dots (\text{식. 2})$$

(식. 2)는 회귀분석을 통해 개발한 토공사기간 산정식으로 각 변수의 계수값은 표 4와 같다.

표 4. 기초형식 및 지반조건에 따른 계수

| | | |
|----------------|----|----|
| 파일공사 유무에 따른 계수 | 무 | 유 |
| | 0 | 1 |
| 지반조건에 따른 계수 | 양호 | 불량 |
| | 0 | 1 |

(식. 2)의 설명계수(R²)는 0.953으로 실적자료의 95.3%를 설명하고 있다. 위 식의 적합성을 검토하기 위하여 실시한 분산분석 결과는 표 5와 같다.

표 5. 토공사기간 산정식 분산분석 결과

| 모형 | 제곱합 | 자유도 | 평균제곱 | F | 유의확률 |
|--------|----------|-----|---------|---------|-------|
| 선형회귀분석 | 2612.981 | 2 | 1306490 | 122.964 | 0.000 |
| 잔차 | 106.250 | 10 | 10.625 | | |
| 합계 | 2719.231 | 12 | | | |

분산분석 결과 F값 122.964에 해당하는 유의확률(significance level)은 0.000으로써 모델이 매우 적합함을 알 수 있다.

$$\text{기초공사기간} = 16 + 11 \times \text{지하층의 유무} \dots \dots \dots (\text{식. 3})$$

(식. 3)은 회귀분석을 통해 개발한 기초공사기간 산정식이며 지하층의 유무에 따른 계수는 표 6에 제시하였다.

표 6. 지하층 유무에 따른 계수

| | | |
|----------------|--------|---|
| 지하층의 유무에 따른 계수 | 지하층 있음 | 1 |
| | 지하층 없음 | 0 |

② 골조공기

골조공기는 다른 부분에 비해 정량화가 용이하고 영향요인도 단순한 편으로 실제 실적자료에서도 현장별 차이가 가장 근소하게 나타났다.

연면적이나 건축면적을 변수로 고려하기에는 실적자료의 편차가 커서 건물의 층수만을 골조공기의 변수로 고려하였다.

$$\text{골조공사기간} = 4.571 + 16.857 \times \text{건물층수} \dots \dots \dots (\text{식. 4})$$

(식. 4)의 설명계수(R²)는 0.557로 실적자료의 55.7%를 설명하고 있다. 위 식의 분산분석 결과는 표 7과 같다.

표 7. 토공사기간 산정식 분산분석 결과

| 모형 | 제곱합 | 자유도 | 평균제곱 | F | 유의확률 |
|--------|----------|-----|---------|-------|-------|
| 선형회귀분석 | 442.0321 | 1 | 442.032 | 8.819 | 0.021 |
| 잔차 | 350.857 | 7 | 50.122 | | |
| 합계 | 792.889 | 8 | | | |

분산분석 결과 F값 8.819에 해당하는 유의확률은 0.021로써 모델이 적합함을 알 수 있다.

③ 마감공기

마감공사는 조적, 방수, 타일, 미장, 설비, 기계, 전기 등 공종이 다양하고 일부는 골조공사와 병행하여 시공된다. 여기서 마감공사기간은 골조공사가 완료된 시점에서 준공시점까지의 기간으로 하였다.

면담조사결과 마감공사는 골조공사와 달리 모든 층에서 여러 공종이 병행하여 이루어지므로 층수보다 연면적의 영향을 더 많이 받는 것으로 나타나 연면적을 변수로 하여 회귀분석을 실시하였다.

$$\text{마감공사기간} = -82.515 + 2.022 \times \sqrt{\text{연면적}} \dots \dots \dots (\text{식. 5})$$

(식. 5)의 설명변수(R²)는 0.609로 실적자료의 60.9%를 설명하고 있다. 위 식의 분산분석 결과는 표 8과 같다.

표 8. 토공사기간 산정식 분산분석 결과

| 모형 | 제곱합 | 자유도 | 평균제곱 | F | 유의확률 |
|--------|----------|-----|----------|--------|-------|
| 선형회귀분석 | 1901.644 | 1 | 1901.644 | 10.906 | 0.013 |
| 잔차 | 1220.578 | 7 | 174.368 | | |
| 합계 | 3122.222 | 8 | | | |

분산분석 결과 F값 10.906에 해당하는 유의확률은 0.013으로써 모델이 적합함을 알 수 있다.

④ 총 순 공사기간

총 순 공사기간은 토·기초공사기간, 골조공사기간, 마감공사기간을 합하여 산정하므로 (식. 2)~(식. 5)의 부문별 공기의 합에 공사 준비기간(14일)을 더하여 산정한다.

(2) 기초, 골조, 마감공사의 순 공사기간을 산정하기 위한 개산식

사업초기에 발주처나 수급업체에서 토·기초공사, 골조공사, 마감공사의 순 공사기간을 개략적으로 용이하게 추정할 수 있도록 개선모델을 개발하였다. 이 모델은 기초, 골조, 마감공사의 순 공사기간을 구분하여 산정한 방식에 비해 정확성은 다소 떨어지지만 계산과정이 비교적 단순하여 신속한 의사결정에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

착공 준비기간, 토공사기간은 현장여건에 따라 편차가 커서 개선모델에 포함할 경우 신뢰성을 저하시키게 되므로 착공 준비기간은 면담조사를 통해 얻은 14일을, 토공사기간은 부문별 순 공사기간 산정식(식. 2)을 통해 얻은 31일을 대입하였다.

이 모델 개발에는 면담조사결과 전체 순 공사기간에 영향을 미치는 것으로 나타난 연면적, 건물의 층수, 학급수만을 변수로 사용하였다.

분석의 첫 단계로 (식. 6)과 같은 초기모델을 설정하였다.

연면적, 학급수, 층수의 요인을 이용하여 1차 다중회귀분석을

$$D = \beta_0 + \beta_1(\text{연면적}) + \beta_2(\text{학급수}) + \beta_3(\text{층수}) + \zeta \dots (\text{식. 6})$$

D : 순공사기간
 $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$: 회귀계수
 ζ : 오차항

실시하였으나 학급수와 층수의 유의확률은 0.922, 0.172로 나타나 유의확률(significance) 0.05는 물론 0.1에서도 의미가 없다. 유의확률이 가장 높은 학급수 항목을 제외하고 2차 회귀분석을 실시하였으며, 그 결과는 표 9와 같다.

표 9. 개선식을 위한 다중회귀분석(2차)

| 모형 | 비표준화 계수 | | 표준화 계수 | | t | 유의확률 |
|------|---------|----------|--------|-------|--------|-------|
| | | B | 표준오차 | 베타 | | |
| (상수) | | -156.716 | 70.042 | | -2.237 | 0.067 |
| 연면적 | | 2.124 | 0.401 | 0.817 | 5.298 | 0.002 |
| 층수 | | 36.460 | 10.811 | 0.520 | 3.372 | 0.015 |

표 9의 결과를 살펴보면 모든 변수들이 유의확률 0.05에서 의미가 있음을 알 수 있다.

위의 회귀분석에 따른 기초, 골조, 마감공사기간의 개선식은

$$\text{기초, 골조, 마감공사기간} = -156.716 + 2.124 \sqrt{\text{연면적}} \times x + 36.460 \times \text{층수} \dots (\text{식. 7})$$

(식. 7)과 같다.

모델의 적합성을 확인하기 위해 실시한 분산분석 결과는 표 10과 같다.

표 10. 개선식의 분산분석

| 모형 | 제공합 | 자유도 | 평균제곱 | F | 유의확률 |
|--------|----------|-----|----------|--------|-------|
| 선형회귀분석 | 3752.016 | 2 | 1876.008 | 18.214 | 0.003 |
| 잔차 | 617.984 | 6 | 102.997 | | |
| 합계 | 4370.000 | 8 | | | |

표 10에서 알 수 있는 바와 같이 모델의 F값과 유의확률은 각각 18.214와 0.003으로 나타나 이 모델이 매우 적합함을 알 수 있다. 이 모델의 설명계수(R²)는 0.859로 실적자료의 85.9%를 설명하고 있다.

분석의 신뢰도에 나쁜 영향을 미치는 자료는 분석 과정에서 제외하였으며, 표 5, 7, 8, 11에서 분산분석의 자유도가 다르게 나타난 이유이다.

5.3 적정 공사기간 산정 예

1) 순 공사기간 산정 예

(1) 표준적 시설물 및 부문별 순 공사기간

5.2에서 개발한 공기 산정식을 이용하여 학교시설에 대한 순 공사기간을 산출하기 위하여 학교시설물에 대한 표준을 설정하였다. 학교 시설물들의 실적자료는 그 규모나 기초형식, 구조형식이 유사하여 자료들의 평균값을 대표적인 학교시설물로 정하였다.

표 11와 12은 대표적 시설의 연면적, 층수, 기초형식, 구조형식, 지반조건, 지하층 유무와 산정식에 의하여 계산한 부문별 공사기간을 나타낸 것이다.

표 11. 표준적 학교 시설의 조건

| 구분 | 내용 | 비고 |
|-----------|-------------------------|----|
| 연면적 | 10,188.75m ² | |
| 층수 | 5층 | |
| 구조형식 | RC 라멘조 | |
| 지반조건 | 양호 | |
| 파일공사 유, 무 | 있음 | |
| 지하층의 유, 무 | 있음 | |

표 12. 표준적 시설에 대한 부문별 공사기간 산정결과

| 공종 | 계산과정 | 공사기간(일) |
|--------|---------------------------|---------|
| 준비기간 | - | 14 |
| 토·기초공사 | 15+16.25×1+27.5×0+16+11×1 | 59 |
| 골조공사 | 4.571+16.857×5 | 89 |
| 마감공사 | 2.022×√10,188.75-82.515 | 122 |

(2) 부문별 순 공사기간의 합계에 의한 총 순 공사기간
 전체 공기는 위에서 산출된 각 부문별 공기의 합으로 구한다.

$$\begin{aligned} \text{총 순 공사기간} &= \text{준비기간} + \text{토} \cdot \text{기초공사기간} + \text{골조공사기간} \\ &+ \text{마감공사기간} \\ 14\text{일} + 59\text{일} + 89\text{일} + 122\text{일} &= 284\text{일} \end{aligned}$$

(3) 개산식에 의한 총 순 공사기간

전술한 바와 같이 기초공사, 골조공사, 마감공사의 순 공사기간을 (식. 7)을 이용하여 개산하였다.

$$\begin{aligned} \text{총 순 공사기간(개산식)} &= \text{준비기간} + \text{토공사기간} + \text{기초, 골조,} \\ &\text{마감공사기간} = -156.716 + 2.114 \times 36.460 \times 5 \approx 238 \\ 14\text{일} + 31\text{일} + 238\text{일} &= 283\text{일} \end{aligned}$$

위의 개산식에 의한 총 순 공사기간은 부문별 공기의 합산을 통한 총 순 공사기간과 비교하여 1일 차이로 비교적 정확하게 총 순 공사기간을 산출할 수 있었다.

(4) 공사 여건에 따른 공사기간의 조정

실적자료를 조사·분석하여 제시한 공기 산정기준에서는 원본 자료의 불충분으로 인해 파일의 규모 및 종류에 따른 추가 소요 일수, 다양한 지반조건에 대한 구체적인 내용 등을 제시하지는 않았다. 이러한 여러 가지 요인들을 최대한 고려하여 전체공기를 산정한다면 공기 산정기준의 신뢰도는 한층 향상될 것이다.

6 공사기간 산정기준의 적용

학교시설물공사는 학교 개교시점(3월 2일)에 맞춰 공사를 완료해야하기 때문에 개교시점에 공사를 완료할 수 있는 착공 시점의 선정이 매우 중요하다.

표 13는 5장에서 얻어진 표준 공기와 4장의 작업불가능기간을 적용하여 공정관리 프로그램인 Nex-PERT Pro를 이용하여 착수시점에 따른 작업불가능기간과 계약공기를 산정한 결과이다.

표 13에서 알 수 있듯이 10월경에 착공을 하는 경우에는 개교 시점에 비해 완공시점이 2개월 이상 빨라지게 되어 완공 후 개

표 13. 착수시점에 따른 계약공기(단위 : 일)

| 가상 착수일자 | 순 공사기간 | 작업 불가능일 | 예상 완공일자 | 계약공기 |
|--------------|--------|---------|--------------|------|
| 2004년 1월 1일 | 284 | 93 | 2005년 1월 10일 | 377 |
| 2004년 2월 1일 | 284 | 94 | 2005년 2월 10일 | 378 |
| 2004년 3월 1일 | 284 | 151 | 2005년 5월 7일 | 435 |
| 2004년 4월 1일 | 284 | 144 | 2005년 6월 1일 | 428 |
| 2004년 5월 1일 | 284 | 159 | 2005년 7월 16일 | 443 |
| 2004년 6월 1일 | 284 | 164 | 2005년 8월 21일 | 448 |
| 2004년 7월 1일 | 284 | 127 | 2005년 8월 14일 | 411 |
| 2004년 8월 1일 | 284 | 121 | 2005년 9월 8일 | 405 |
| 2004년 9월 1일 | 284 | 121 | 2005년 10월 9일 | 405 |
| 2004년 10월 1일 | 284 | 152 | 2005년 12월 9일 | 436 |
| 2004년 11월 1일 | 284 | 145 | 2006년 1월 2일 | 429 |
| 2004년 12월 1일 | 284 | 123 | 2006년 1월 9일 | 406 |

교시점까지 시설물을 관리해야하는 문제가 발생하게 된다. 반면에, 3월경에 착공을 하는 경우에는 마감공사 중 동절기 공사중 단기간을 거치게 되므로 11월 내지 2월에 착공하는 것에 비하여 3개월 정도 완공 시점이 늦어지게 된다.

12월과 1월에 착공하는 경우 동절기공사 중단기간을 피해 공사를 효율적으로 진행할 수는 있으나 공사 초기에 민원이 많이 발생하는 학교공사의 특성상 예기치 못한 공기 지연이 발생할 경우에 대응하기 어려운 측면이 있다.

11월이나 12월에 착공하는 경우 민원 발생의 소지가 가장 많은 토공사기간이 동절기 공사중단기간에 포함되므로 동절기 공사중단기간이 끝난 후 기초공사가 시작되기 전까지 민원에 대처할 여유가 있어 사업수행에 가장 유리하다고 볼 수 있다.

7. 결론

고등학교 신축공사는 정확한 공기산정 기준이 없어 교육청 시설담당관의 경험이나 직관에 의거하여 공기를 결정하기 때문에, 공사수행과정에서 수급자와 갈등 등 분쟁이 발생하고 있다.

이 연구에서는 신설 고등학교의 공기 산정기준을 개발하기 위하여 2001년부터 2004년까지 인천지역에서 개교한 15개 학교의 실적자료를 수집하여 상관분석, 회귀분석, 분산분석 등을 시행하여 공기 산정식을 도출하였고, 그 결과를 F-통계량 등으로 검증하였다.

작업불가능기간은 기상청으로부터 과거 30년 동안의 인천지역 기상자료를 입수하여 기술통계 분석한 자료를 이용하였다.

이 연구에서 개발한 공기산정식을 적용한다면 인천지역의 고등학교 건설사업 발주 또는 계약 시, 연면적·층수 등의 기초적인 자료만 갖고도 전체 공기를 비교적 정확하게 산정하여 제시할 수 있으므로 판단되며, 다른 지역에서도 해당지역의 작업불가능기간을 반영하면 본 연구에서 제시한 산정식을 활용할 수 있을 것이다.

최근 이슈가 되고 있는 주 5일 근무제 시행에 따라 전체 공기가 늘어날 가능성이 높다. 건설현장에서도 조만간 주 5일제가 본격 시행될 것에 대비하여 그 영향정도를 정확하게 파악해서 대비해야 하고, 다양한 공기단축 방법을 연구할 필요가 있다.

이 연구는 최근 3년간 인천지역에서 신설된 중·고등학교의 실적자료를 수집·분석하여 자료의 수가 다소 부족한 한계가 있다. 추후 실적자료를 보강한다면 이 연구에서 제시한 공기산정식의 신뢰도는 향상될 것으로 기대된다. 또한 이 연구에서 제시한 공기산정기준의 활용을 증대시키기 위해서는 공기에 영향을 미치는 다양한 변수(요인)를 추가하여 분석할 필요가 있다.

참고 문헌

1. 김우철 외, 현대통계학, 영지문화사, 2002. 8
2. 대한주택공사, 건설공사의 적정 표준공사기간 산정방법에 관한 연구, 1998.2
3. 배장호, 건축공사의 적정공기 산정방안에 관한 연구(아파트공사를 중심으로), 서울대학교, 1995. 8
4. 양극영, 한국의 각 지역별 건축 작업일수 산정에 관한 연구 / 건축기상요소를 중심으로, 대한건축학회 논문집, 1987. 8
5. 인천광역시교육청, 신설고등학교 공사기간산정, 2004.
6. 장명훈 외, 아파트 공기 산정에 영향을 주는 기후요소에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 1999. 10
7. 정석남, 기후요소를 고려한 최적 착공시기 결정방법 연구, 대한건축학회 논문집, 2003. 5
8. 조영준, 건설사업의 공기 산정기준에 관한 연구, 한국건설기술연구원, 1992. 12
9. 진영섭 외, 아파트 공사기간 산정에 영향을 주는 작업 불가능기준에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표 대회 논문집, 제 18권 1호, 1998. 4
10. 최봉철, 건축공사의 기후요소에 대한 공기 산정 방안 연구, 대한건축학회 논문집, 1999. 11
11. 최인환, 정성적 요소를 고려한 공사기간 산정, 충북대학교 건설기술연구소논문집 1999. 12
12. 황중현 외, 軍建設 工事의 純工事其間 豫測模型에 관한 研究, 대한건축학회 논문집(구조계), 2000. 9
13. Daniel W.M. Chan, Mohan M. Kumaraswamy, Modelling and predicting construction durations in Hong Kong public housing, Construction, Management and Economics, 1999.
14. D. G. Proverbs, G. D. Holt, P. O. Olomolaiye, Factor impacting construction project duration: a comparison between France, Germany and the U.K. Management and Economics, 1999.

Abstract

The construction duration for any building or facilities such as high school building influence the quality of the building as well as the total cost for them. Since there are no guidelines to estimate construction duration correctly, an employer(or owner) estimate it by their own experience or intuition. Therefore some conflicts related to construction duration happen between contract parties during construction.

The purpose of this study is to suggest a predictive model which helps decision makers calculate exact net working days for high school building construction at the early stage of the construction project. To measure net working days for high school construction, 15 data were collected from actual spot in Incheon region. Multiple linear regression analysis was conducted to obtain the model which calculate construction duration for the substructure, the superstructure and the finishing works.

Total construction duration could be obtained by adding net working days to non working days which would be based on the meteorological statistics for Incheon region since 1974 to 2003.

Keywords : construction duration, High school building, multiple linear regression analysis