

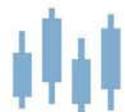


WP 20-15

# 나라별 건설 생산성 분석 및 기술개발방향

## 층당 · 연면적당 공사기간 및 지하층 공사를 중심으로

이치주 국토연구원 부연구위원 (cjlee3749@krihs.re.kr)



※ 이 Working Paper의 내용은 국토연구원의 공식 견해가 아니며, 연구자 개인의 의견입니다. 연구내용에 대하여 궁금한 점은 연구자의 이메일로 문의하여 주시고, 인용 시에는 연구자 및 출처를 반드시 밝혀주시기 바랍니다.

## 차례

01 서론	5
02 건설 생산성 분석지표	9
03 한국, 미국, 영국의 총당·연면적당 공사기간 분석	11
04 건설 생산성의 변화원인 분석	17
05 지하층 공사의 특징과 기술개발방향	25
06 결론	31



# 01 서론

## 연구배경

- 건설산업의 경쟁력을 향상시키기 위해, 정부에서는 생산성 향상을 위한 기술혁신을 목표로 스마트 건설기술의 활성화, 고부가가치 건설시장의 확대, 해외 건설시장 진출의 지원을 추진 중 (관계부처 합동 2018)
  - 미국, 영국, 일본, 싱가포르와 같은 선진국에서도 건설산업의 생산성 향상을 위해 투자를 확대하고 있음
- 생산성을 향상하기 위해서는 우리나라의 현재 생산성 수준뿐만 아니라 과거의 생산성 수준, 그리고 다른 나라와의 차이를 파악하는 것이 필요
  - 우리나라의 건설 생산성 변화와 다른 나라의 변화를 비교하여 특이점을 도출할 수 있다면, 생산성 향상방안의 도출에 기여할 수 있을 것으로 기대
- 대부분의 선행연구에서 생산성 분석지표로 노동생산성을 사용하였지만(Freeman 2008; Hanna et al. 2008; Nasir et al. 2014), 노동생산성은 개별 건설현장 및 프로젝트의 특징, 그리고 건설기술·관리능력을 반영하기 어려움
  - 노동생산성은 종사자 수와 총 근로시간, 임금, 그리고 매출액을 기준으로 분석하기 때문
- 건설기술·관리능력을 반영한 생산성을 분석하기 위하여 몇 선행연구에서 총당·연면적당 공사 기간을 사용하였지만(이치주 외 2019; 원종성, 이강 2008; Barak and Sacks 2005), 생산성 향상 방안 혹은 기술개발방향을 제안하지는 않음
- 총당·연면적당 공사기간의 특징에 따라서 생산성 분석 결과가 다를 경우, 생산성 향상을 위한 적용 방안도 다를 수 있음

- 층당 공사기간은 건축물 층수의 변화에 따른 생산성을 분석하기 위한 기준이므로, 수직공사를 위한 생산성 분석에 적합
- 층수가 증가함에 따라 연면적도 증가할 수 있지만, 층수가 작아도 수평으로 건축물이 커진다면 연면적이 증가할 수 있음
- 즉, 층당·연면적당 공사기간의 특징에 따라서 생산성 분석결과와 향상방안이 다를 수 있음

## 연구목적

- 본 연구는 층당·연면적당 공사기간의 관점에서, 우리나라 건설 생산성 변화를 분석하여 다른 나라의 생산성 변화와 비교하는 것을 목표로 함
- 이를 통해, 우리나라의 건설 생산성을 향상시키기 위해 집중해야 할 부분을 도출하고자 함
  - 현재 보다 자세한 생산성 분석을 수행할 수 있는 자료수집 방안도 제시

## 연구범위

- 6
- 건설 생산성 분석기간을 약 20년(1996~2015년)으로 설정
  - 분석된 우리나라의 생산성을 비교할 나라를 선정하기 위해, 먼저 건설투자가 가장 많이 발생하는 아시아-태평양 지역, 서유럽, 그리고 북아메리카 지역을 선정
    - 그 후, 그 지역에서 가장 건설투자가 많은 나라와 건설투자 리스크가 가장 낮은 나라를 하나씩 선정
  - 우리나라와 미국, 영국이 건설 생산성 분석대상으로 선정(〈표 1〉 참조)
    - 일본이 아시아-태평양 지역에서 가장 건설투자를 많이 하고 건설투자 리스크가 가장 낮았지만, 다른 나라와 동일한 기간의 자료를 수집하지 못해서 본 연구에서는 제외

**표 1** 건설투자 및 투자 리스크 점수의 순위

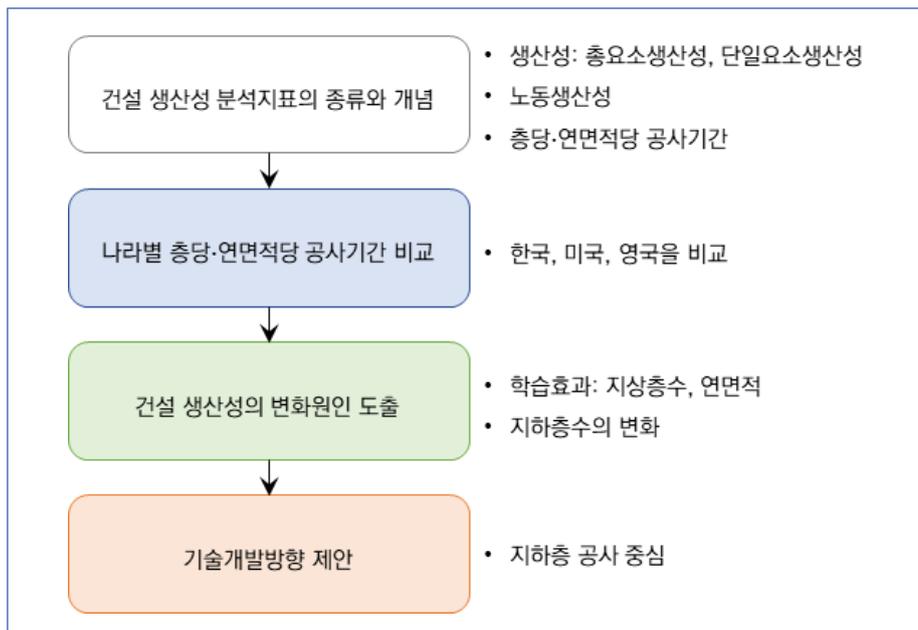
순위	나라	지역	리스크 점수	건설투자(billion USD)
1	미국	북아메리카	6.54	888.8
2	캐나다	북아메리카	8.86	207.3
3	영국	서유럽	11.02	301.1
4	한국	아시아-태평양	11.22	153.8
5	일본	아시아-태평양	11.47	741.9

자료: IHS Markit(2013) 자료를 기반으로, 저자 작성.

## 연구방법

- 본 연구에서는 건설 생산성 분석지표의 종류와 개념을 설명한 후, 나라별 총당·연면적당 공사 기간을 분석(그림 1) 참조)
- 건설 생산성의 변화원인을 도출하여 생산성 향상을 위한 기술개발방향을 제안

**그림 1** 연구흐름



자료: 저자 작성.



## 02 건설 생산성 분석지표

### 생산성

- 생산성은 생산요소의 투입물과 산출물의 관계를 나타내는 것으로, 총 요소 생산성(total factor productivity)과 단일요소 생산성(partial factor productivity)으로 분류(박광서 2012)
  - 총 요소 생산성은 여러 생산요소를 포함하는 총 투입요소 단위당 산출물이며, 여기에는 기술진보와 같은 비기술적 요인도 포함
  - 단일요소 생산성은 노동 혹은 자본과 같은 하나의 생산요소만을 투입하여 산출물을 얻을 때의 생산성을 의미
  - 여러 생산요소를 모두 측정하기 어려움이 있어, 건설산업에서는 총 요소 생산성보다 단일 요소 생산성인 노동생산성을 생산성 분석지표로 많이 사용

### 노동 생산성

- 건설노동 생산성은 일반적으로 투입 요소인 노동력과 산출 요소인 건설물의 물리적 구성요소와의 관계를 분석하여, 건설산업의 효율성을 측정하기 위해 사용(Vereen et al. 2016)
  - 선행연구에서는 각 나라 건설산업의 총 근로자 수와 업무 시간, 임금, 그리고 총생산액인 매출액을 투입요소와 산출요소로 적용(Goodrum et al. 2009; Aramvareekul and Rojas 2003)
  - 건설노동 생산성을 나라별로 비교할 때에 동일한 화폐단위로 비교하기 위해 구매력평가 지수(purchasing power parity: PPP)를 사용하며, 일반적으로 환율을 많이 사용(원종성, 이강 2008)
- 노동 생산성은 각 나라별 노동비용의 영향을 많이 받으며, 건설기술 및 관리능력을 반영하기 어려움

## 층당 및 연면적당 공사기간

- 층당·연면적당 공사기간은 노동 생산성에 비해 건설기술·관리능력을 반영할 수 있는 장점이 있음
  - 생산성 향상을 위해 집중 노력해야 하는 부분을 층당 공사기간과 연면적당 공사기간의 관점으로 분류하면, 노동 생산성을 보다 자세하게 도출할 수 있음
- 본 연구에서는 층당·연면적당 공사기간을 기준으로 나라별 건설 생산성을 분석하여, 우리나라 건설 생산성을 향상시키기 위해 집중하여야 할 부분을 도출하고자 함
- 층당·연면적당 공사기간을 분석하기 위해 본 연구에서 수집한 국내·외 건축물의 기준은 아래와 같음
  - 약 20년(1996~2015) 동안 완공된 건축물을 대상으로 자료를 수집
  - 토공사와 기초공사, 그리고 파일공사가 필요한 지하층은 일반적으로 지상층보다 공사기간이 많이 소요되므로, 지하층수가 1층 이상인 건축물을 대상으로 함
  - 비정형 건축물<sup>1)</sup>은 시공과정에서 고려해야 할 요소가 정형 건축물에 비해 많으며, 비정형 건축물의 사례도 분석을 하기에 부족. 본 연구에서는 정형 건축물만을 대상으로 자료를 수집
  - 모듈러 건축물은 대량 생산이 가능하고 모듈의 유사성으로 학습효과(learning effect)<sup>2)</sup>가 일반건축물에 비해 크므로, 공정한 분석을 위해 제외

1) 비정형 건축물은 건축물의 전체 혹은 일부가 기존의 사각형 형태가 아니라, 건축물의 형태가 기울거나, 좁아지거나, 뒤틀리거나, 자유로운 곡선인 경우를 의미(김선우 2008)

2) 고층건물과 고속도로, 그리고 터널과 같이 유사한 작업들이 반복되는 공사에서는 공사기간과 소요되는 자원이 감소될 수 있으며, 이를 학습효과라고 함(Zhang, L., Zou X., and Kan, Z 2014)

## 03 한국, 미국, 영국의 총당·연면적당 공사기간 분석

- 총당·연면적당 공사기간을 분석하기 위해 수집한 자료의 수는 한국 272개, 미국 194개, 영국 186개이며, 본 연구에서는 완공연도를 기준으로 분석
  - 건축물은 대부분 1년 이상의 공사기간을 가지므로, 연도별로 건축물의 공사기간을 분석하기 어려움
  - 본 연구에서는 분석기간인 20년(1996~2015년)을 5년 단위로 분류하여 분석
    - 연면적은 1천㎡당 공사기간으로 분류하여 분석
    - 자료는 분석대상 나라에서 건축물 정보를 제공하는 웹사이트를 통해서 수집

### 총당 공사기간

- 총당 공사기간 관점에서 미국과 영국의 건설 생산성이 우리나라보다 높은 것으로 분석 ( $p < 0.01$ , <표 2> 참조)
  - 시기별로 분석하면, 첫 번째 구간(1996~2000)에서는 각 나라의 차이가 통계적으로 유의한 수준까지 크지는 못했지만( $p = 0.63$ ), 다른 구간(2001-2015)에서는 모두 통계적으로 유의한 차이를 가지는 것으로 분석( $p < 0.01$ )
  - 1996~2000년은 우리나라와 영국의 생산성 차이가 크지 않으며, 미국과도 공사기간 증가흐름이 유사하여 통계적으로 유의미한 차이가 존재하지 않는 것으로 분석
- 우리나라와 미국은 시간이 흐름에 따라 건설 생산성이 오히려 하락하였고, 영국은 큰 변화가 없는 것으로 분석(<그림 2> 참조)
  - 한국의 평균 총당 공사기간(59일)은 미국(37.2일)보다 길지만, 공사기간의 증가율(12.5%)은 미국(21.1%) 보다 낮아서 그 차이는 점차 감소하는 것으로 분석
  - 미국의 총당 공사기간은 가장 짧았지만, 공사기간의 증가율은 가장 높아서 영국(2.1%)과의 차이도 감소하는 것으로 나타남

- 우리나라(9일)와 미국(7.8일)의 표준편차가 영국 (4.8일)보다 커서 건설 생산성의 안정성 관점에서는 영국이 우수한 것으로 볼 수 있음

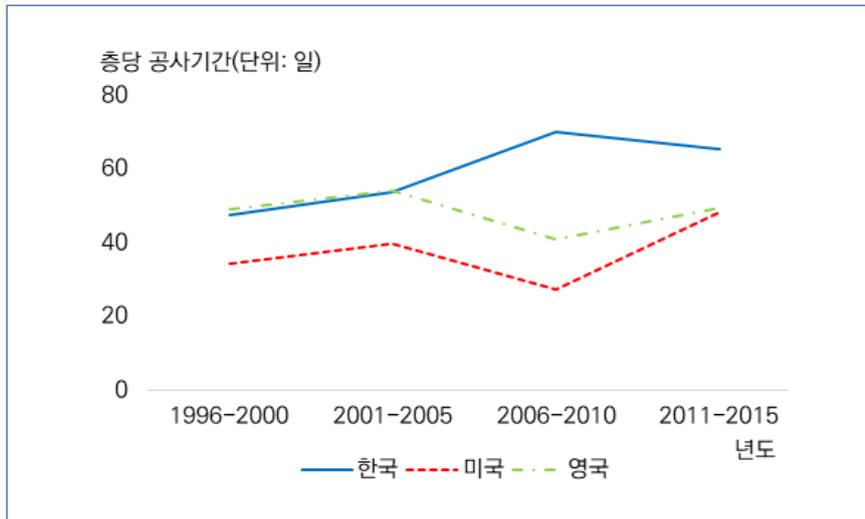
**표 2** 총당 공사기간(1996~2015)

(단위: 일)

연도	한국	미국	영국
1996~2000	47.2	34.0	49.1
2001~2005	53.6	39.5	53.9
2006~2010	69.8	27.0	40.7
2011~2015	65.3	48.2	49.2
평균 공사기간	59.0	37.2	48.2
표준편차	9.0	7.8	4.8
평균 공사기간 증가율(%)	12.5	21.1	2.1
총 공사기간 증가율(%)	38.4	41.8	0.2

자료: 저자 작성.

**그림 2** 총당 공사기간(1996~2015)



자료: 저자 작성.

### 연면적 1,000㎡당 공사기간

- 우리나라의 연면적당 공사기간은 시간이 흐름에 따라 감소하였으므로(-19.3%), 건설 생산성은 증가한 것으로 분석(p<0.0005, <표 3> 참조)

- 이는 총당 공사기간이 증가(38.4%)하여 생산성이 하락한 앞선 분석결과와 다름

- 시기별로 분석하면, 네 번째 구간(2011~2015)을 제외하고는 모두 각 나라의 차이가 모두 통계적으로 유의한 것으로 분석(p<0.01)
- 2011~2015년에는 통계적으로 유의한 차이가 없었지만, 나라별 생산성의 차이는 그래프에서 존재하는 것을 알 수 있음(<그림 3> 참조)

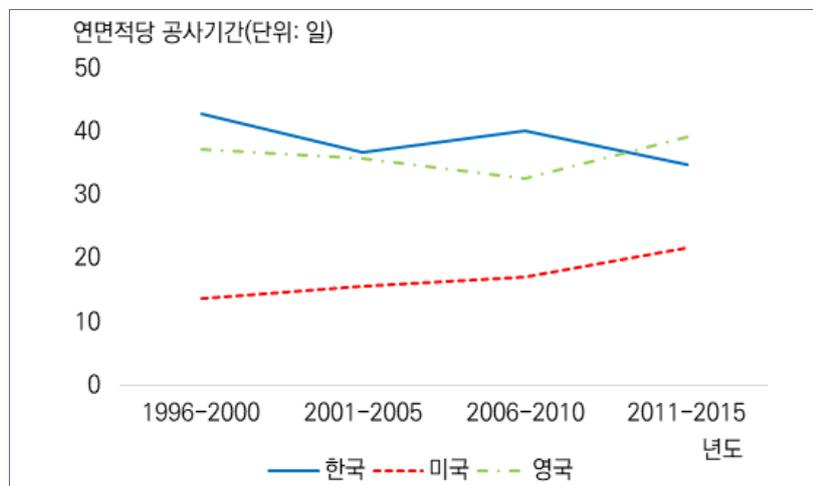
**표 3 연면적당 공사기간(1996~2015)**

(단위: 일)

연도	한국	미국	영국
1996~2000	42.8	13.5	37.2
2001~2005	36.7	15.5	35.7
2006~2010	40.0	16.9	32.5
2011~2015	34.6	21.5	39.1
평균 공사기간	38.5	16.8	36.1
표준편차	3.6	3.4	2.8
평균 공사기간 증가율	-6.3%	17.0%	2.5%
총 공사기간 증가율	-19.3%	59.0%	5.3%

자료: 저자 작성.

**그림 3 연면적당 공사기간(1996~2015)**



자료: 저자 작성.

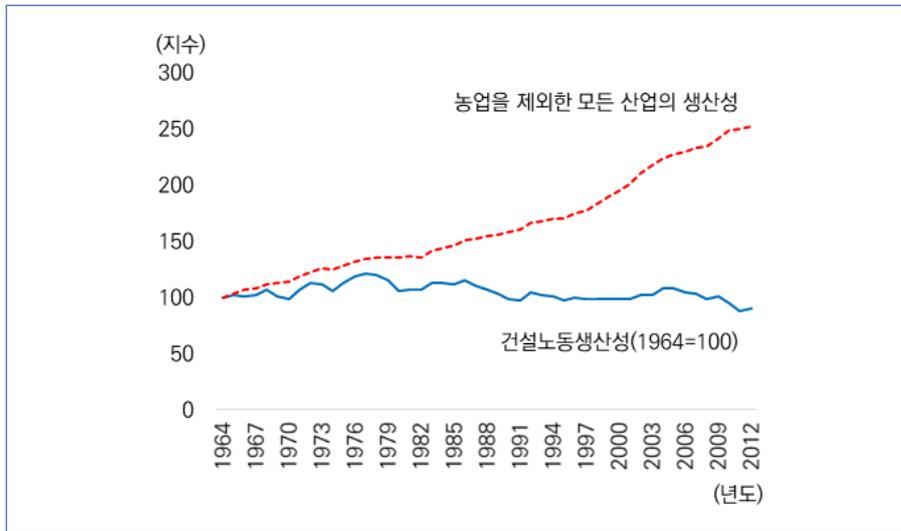
- 미국의 건설 생산성은 연면적당 공사기간의 관점에서도 가장 높았지만, 시간이 흐를수록 생산성은 오히려 하락하였으며, 그 하락폭이 다른 나라보다 큰 것으로 분석
  - 미국의 연면적당 공사기간이 가장 짧고(16.8일), 한국이 가장 긴(38.5일) 것은 층당 공사기간의 결과와 유사함
  - 미국의 연면적당 공사기간은 층당 공사기간의 경우처럼 다른 나라에 비해서 상대적으로 증가 폭이 큰 것으로 분석(59.0%)

- 영국의 연면적당 공사기간은 약간 증가하였으며(5.3%), 총당 공사기간에서도 증가 크기가 작았던 것(0.2%)과 비슷한 결과
  - 영국(2.8일)은 표준편차가 낮아서 미국(3.4일)과 한국(3.6일)에 비하여 건설 생산성의 안정성이 높은 것으로 분석
  - 영국은 총당·연면적당 공사기간 모두에서 안정적인 생산성을 가지는 것으로 분석

## 시사점

- 1996년부터 약 20년의 시간이 흘러 많은 시공 및 스마트건설기술이 개발되었지만, 총당 공사기간의 관점에서는 생산성이 오히려 하락하는 것으로 분석
  - 미국의 경우도 우리나라와 비슷하며, 영국은 큰 차이는 없지만 생산성이 약간 하락하는 것으로 분석됨
- 연면적당 공사기간의 경우, 우리나라는 시간이 흐름에 따라 공사기간이 감소하여 생산성이 향상하는 것으로 분석
  - 미국과 영국은 총당 공사기간의 경우와 유사하게 생산성이 오히려 하락하는 것으로 나타남
- 본 장의 분석결과를 기반으로, 우리나라는 연면적당 공사수행능력보다 총당 공사수행능력에서 생산성 향상이 필요하다는 것을 도출할 수 있음
- 미국의 건설노동생산성을 1964부터 2012년까지 분석한 연구에서도 생산성은 오히려 하락하는 것으로 분석(〈그림 4〉 참조, Teicholz 2013)
  - 많은 시공기술과 스마트건설기술이 개발되었지만, 건설 생산성이 하락한 이유를 아래와 같이 분류할 수 있음
    - 건설현장마다의 다양한 특징과 날씨, 그리고 적용되는 규제
    - 많은 작업팀에 의해서 수행되는 건설공사의 특징
    - 설계와 시공이 분리되어 있어, 협업의 부족과 함께 설계도서의 문제점 확인도 늦음
    - 생산성 향상을 위해서 투자를 할 수 없는 작은 규모의 회사가 많음
    - 건설산업은 경기의 호황과 불황의 차이가 큰 특징이 있음
    - 리모델링 공사는 반복작업이 적으므로, 일반적으로 생산성이 낮음

**그림 4** 미국의 건설노동생산성(1964~2012)



자료: Teicholz, P. 2013.

- 다음 장에서는 총당 공사기간을 보다 자세히 분석하여, 우리나라 건설 생산성을 향상시키기 위해 집중하여야 하는 부분을 도출하고자 함
  - 연면적당 공사기간의 분석결과와도 비교하여, 그 차이점을 설명

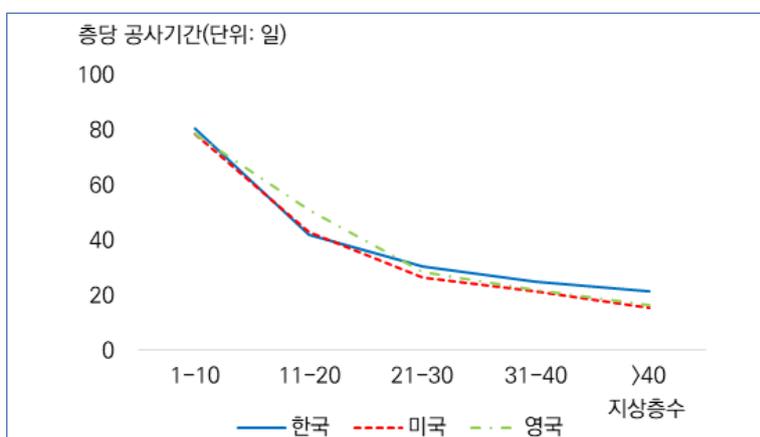


## 04 건설 생산성의 변화원인 분석

### 층당 공사기간

- 건설 생산성의 변화 원인을 분석하기 위해, 지상 및 지하층수의 변화에 따른 층당 공사기간의 변화를 분석
- 먼저, 건축물의 층수가 증가함에 따른 학습효과를 분석하기 위해서 지상층수에 따른 층당 공사기간의 변화를 분석(〈그림 5〉 참조)
  - 분석을 위해서 수집된 자료를 다섯 개 구간(1~10층, 11~20층, 21~30층, 31~40층, 40층 이상)으로 분류
  - 한국과 미국, 영국 모두 층수가 증가함에 따라서 공사기간이 감소하는 학습효과가 존재하는 것으로 분석되었으며( $p < 0.01$ ), 그 감소폭은 지상 층수가 증가할수록 점차 작아짐
- 즉, 학습효과 크기는 층수가 증가할수록 점차 감소하였으며, 1~10층에서 그 효과가 가장 큰 것으로 분석

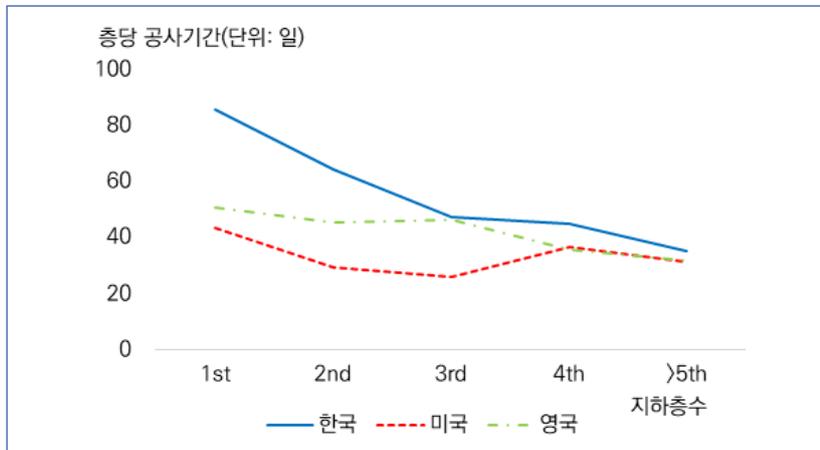
**그림 5** 지상층수별 층당 공사기간(1996~2015)



자료: 저자 작성.

- 다음으로, 지하층수에 따른 층당 공사기간의 변화를 지하1층, 2층, 3층, 4층, 그리고 5층 이하로 분류하여 분석(〈그림 6〉 참조)
  - 우리나라는 지하층수에 따른 층당 공사기간이 다르게 분석되었지만( $p < 0.01$ ), 미국과 영국은 그 차이가 통계적으로 유의한 수준까지 크지는 않았음( $p > 0.01$ )
- 네 나라 모두 지하1층에서 공사기간이 가장 길었으며, 지하층수가 증가할수록 공사기간이 점차 감소하는 추세를 가지는 것으로 분석
  - 하지만 미국의 지하 4층, 영국의 지하 3층, 그리고 한국의 지하 4층에서는 공사기간이 일시적으로 증가하는 특이점이 존재. 미국은 특히 지하 4층과 5층에서 공사기간이 지하 2층과 3층보다 더 긴 것으로 분석
- 지상층수의 경우와 달리, 지하층수가 증가함에 따른 학습효과의 존재는 아래와 같은 이유로 일반화하기에 어려움
  - 지하층 공사는 깊이가 깊을수록 암반과 같은 통제할 수 없는 요인에 의해 영향을 크게 받음
  - 지하층수가 증가하면 수집한 과거 사례 수가 줄어들어서, 몇 사례에 영향을 크게 받는 특징이 있음
  - 지하층수가 증가한다는 것은 건축물 전체 층수가 증가하는 것과 관련될 수 있으므로, 학습효과가 큰 지상층수의 증가에 따라 지하층의 공사기간이 단축되는 것으로 나타날 수도 있음

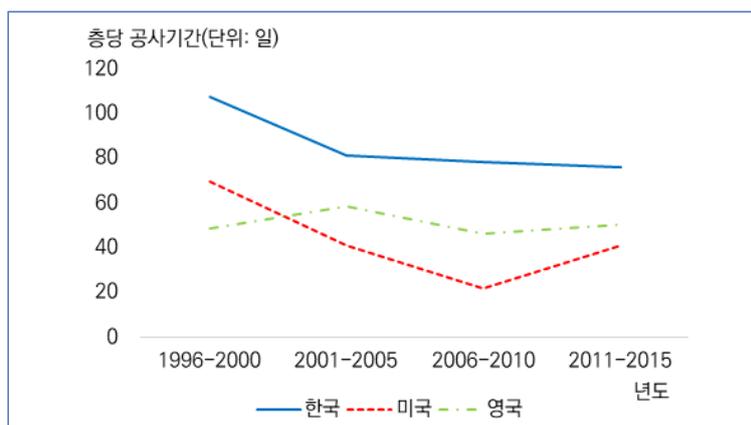
**그림 6** 지하층수별 층당 공사기간(1996~2015)



자료: 저자 작성.

- 지하층수가 증가함에 따라 발생할 수 있는 특이사항을 제거하기 위해, 지하1층만 보유한 건축물을 대상으로 층당 공사기간을 다시 연도별로 분석(〈그림 7〉 참조)
- 〈그림 2〉의 모든 지하층수를 포함한 분석결과와 다르게, 우리나라 건설 생산성은 통계적으로 유의하게 향상하는 것으로 나타남( $p < 0.01$ )
  - 미국과 영국의 건설 생산성은 통계적으로 유의한 수준까지 생산성이 변하지는 않았지만( $p > 0.01$ ), 미국의 생산성은 향상되었으며, 영국의 생산성은 약간 하락하는 것으로 분석됨(약 2일)
- 즉, 층당 공사기간의 관점에서 우리나라의 건설 생산성을 향상시키기 위해서는 지하층이 깊은 건축물의 지하층 공사기간을 단축하는 방안이 필요한 것으로 분석

**그림 7** 지하1층 건축물의 층당 공사기간(1996~2015)



자료: 저자 작성.

- 마지막으로, 지하1층 공사가 층당 공사기간에 미치는 영향을 분석하여 지하1층 공사기간의 단축 필요성 여부를 도출하고자 함
- 지하1층 공사의 영향을 분석하기 위해 총 지하층수 대비 지하1층의 비율을 분석(〈표 4〉 참조)
  - 지하1층 비율의 분석 결과, 영국(44.8%)이 가장 높았으며, 다음으로 미국(30.9%)과 한국(20.0%)의 순서로 분석
- 지하1층의 비율과 평균 층당 공사기간(〈표 2〉)을 비교하면, 한국(59.0일), 영국(48.2일), 미국(37.2일)으로, 지하1층 비율의 순위와 다르게 분석
  - 한국의 지하1층의 비율이 낮지만, 평균 층당공사기간은 가장 긴 것으로 나타남
  - 즉, 지하1층의 비율과 평균 공사기간과의 관련성은 낮은 것으로 분석

**표 4** 지하1층 비율(1996~2015)

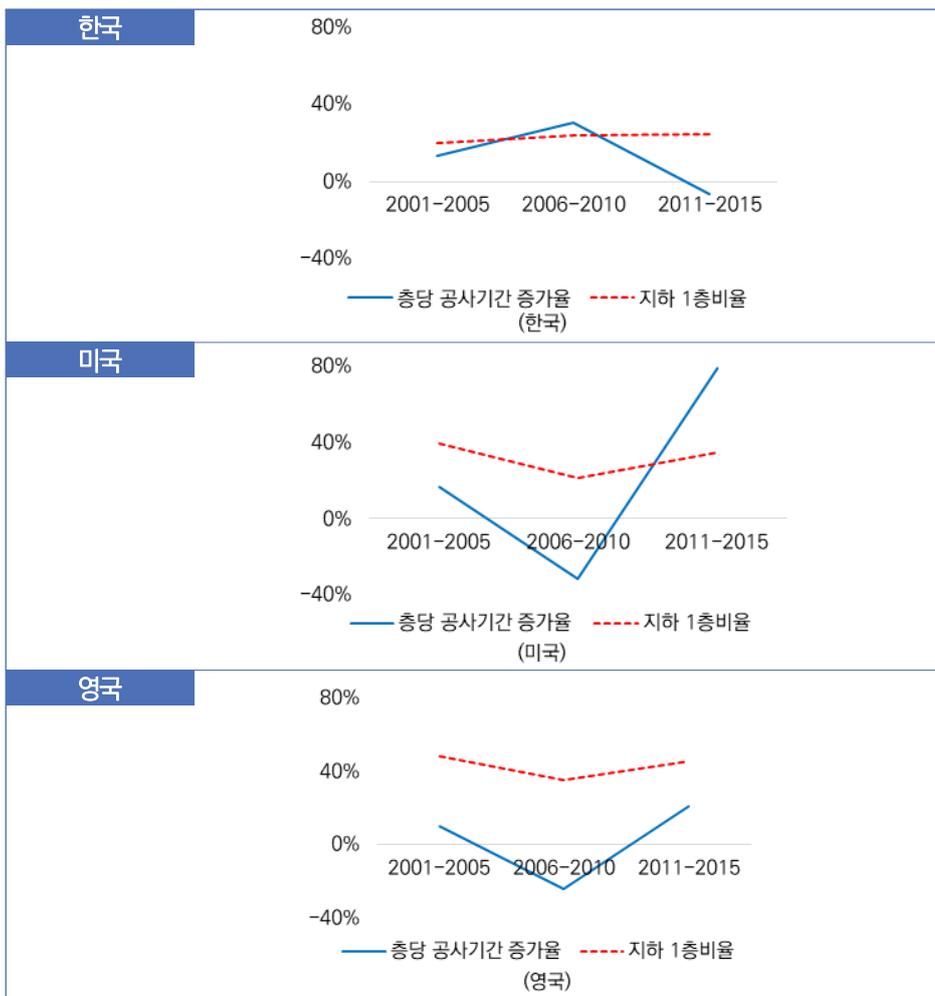
연도	한국	미국	영국
1996-2000	11.3%	28.6%	50.0%
2001-2005	20.0%	39.5%	48.4%
2006-2010	24.0%	20.9%	35.1%
2011-2015	24.6%	34.5%	45.7%
평균 지하1층 비율	20.0%	30.9%	44.8%

자료: 저자 작성.

■ 지하1층의 비율이 공사기간의 증가율(표 1)에 영향을 미치는지 비교하였으며, 지하1층의 비율과 총당 공사기간의 증가율이 유사한 추세로 변화하는 것으로 분석(그림 8) 참조

- 증가율은 각 나라별 상황의 차이에 의한 영향을 적게 받기 때문에, 국가 경쟁력을 평가할 때 적용 가능(Harrison 2007)

**그림 8** 지하1층 비율과 총당 공사기간의 증가율



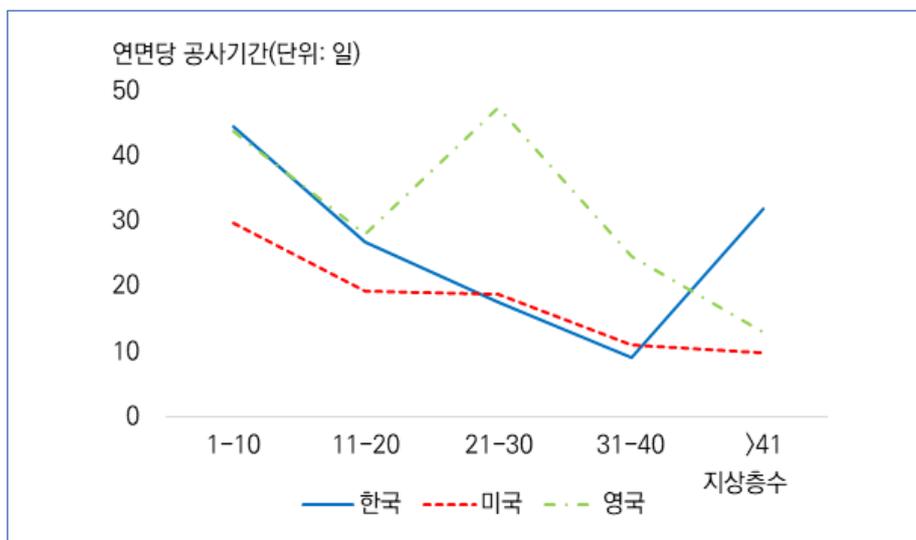
자료: 저자 작성.

- 한국은 2011~2015년을 제외하고는 지하1층 비율과 층당 공사기간의 변화 추세는 유사
- 미국과 영국의 지하1층 비율은 층당 공사기간과 동일하게 점차 증가하다가 2006~2010년에 감소한 후, 다시 증가

### 연면적 1,000㎡당 공사기간

- 층당 공사기간의 분석결과에서 생산성에 영향을 미치는 것으로 분석된 지하1층의 비율이 연면적당 공사기간에는 어떠한 영향을 주는지 분석
- 먼저, 지상층수의 증가가 연면적당 공사기간의 변화에 미치는 영향을 분석한 결과, 연도별 차이는 통계적으로 유의한 것으로 나타남( $p < 0.01$ )(<그림 9> 참조)
  - 학습효과로 인하여 층수 증가에 따른 전체적인 공사기간은 감소하는 추세이지만, 연관성은 층당 공사기간보다 낮은 것으로 나타남
  - 미국과 영국은 21~30층에서 연면적당 공사기간이 오히려 증가하였으며, 한국은 41층 이상에서 연면적당 공사기간이 증가
- 지상층수와 연면적당 공사기간의 관계는 층당 공사기간보다 상대적으로 적다고 볼 수 있음

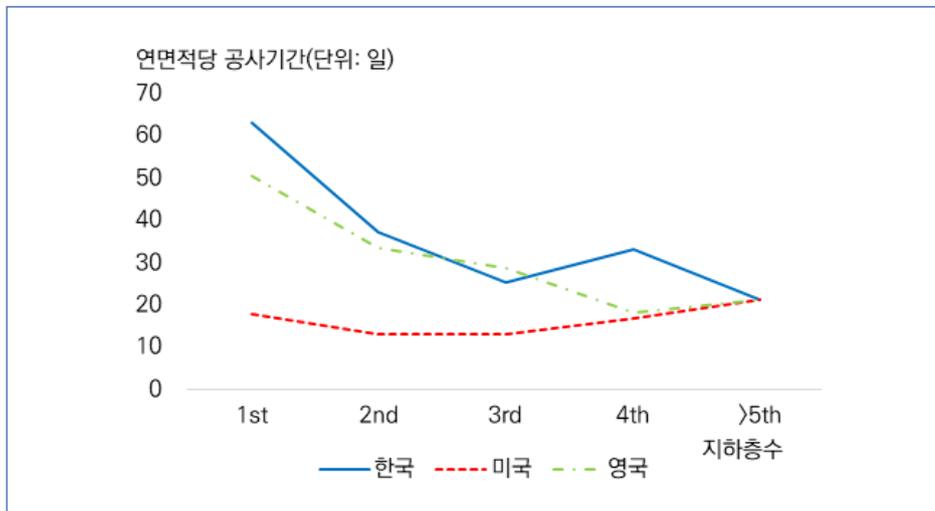
**그림 9** 지상층수별 연면적당 공사기간(1996~2015)



자료: 저자 작성.

- 다음으로, 지하층수의 변화에 따른 연면적당 공사기간의 변화를 분석(그림 10) 참조)
  - 한국과 미국에서는 지하층수의 변화에 따른 연면적당 공사기간이 통계적으로 유의한 수준까지 차이가 존재하지는 않는 것으로 분석( $p > 0.01$ )
- 미국을 제외하고는 지하층수가 증가할수록 공사기간도 감소하는 추세였으며, 이는 층당 공사기간의 분석 결과와 유사
  - 미국은 지하 3층부터 지하층수가 증가함에도 오히려 공사기간이 증가하는 추세를 보이는 것이 주요 특이점
- 영국과 한국은 지하 층수가 증가함에 따른 연면적당 공사기간과 층당 공사기간의 변화 추세가 유사
  - 영국은 지하 3층에서, 한국은 지하 4층에서 공사기간이 오히려 더 증가
  - 지하 층수가 증가하면 해당하는 사례 건축물의 수가 감소하므로, 몇 사례의 공사기간 변화에 영향을 크게 받는 특징이 있음

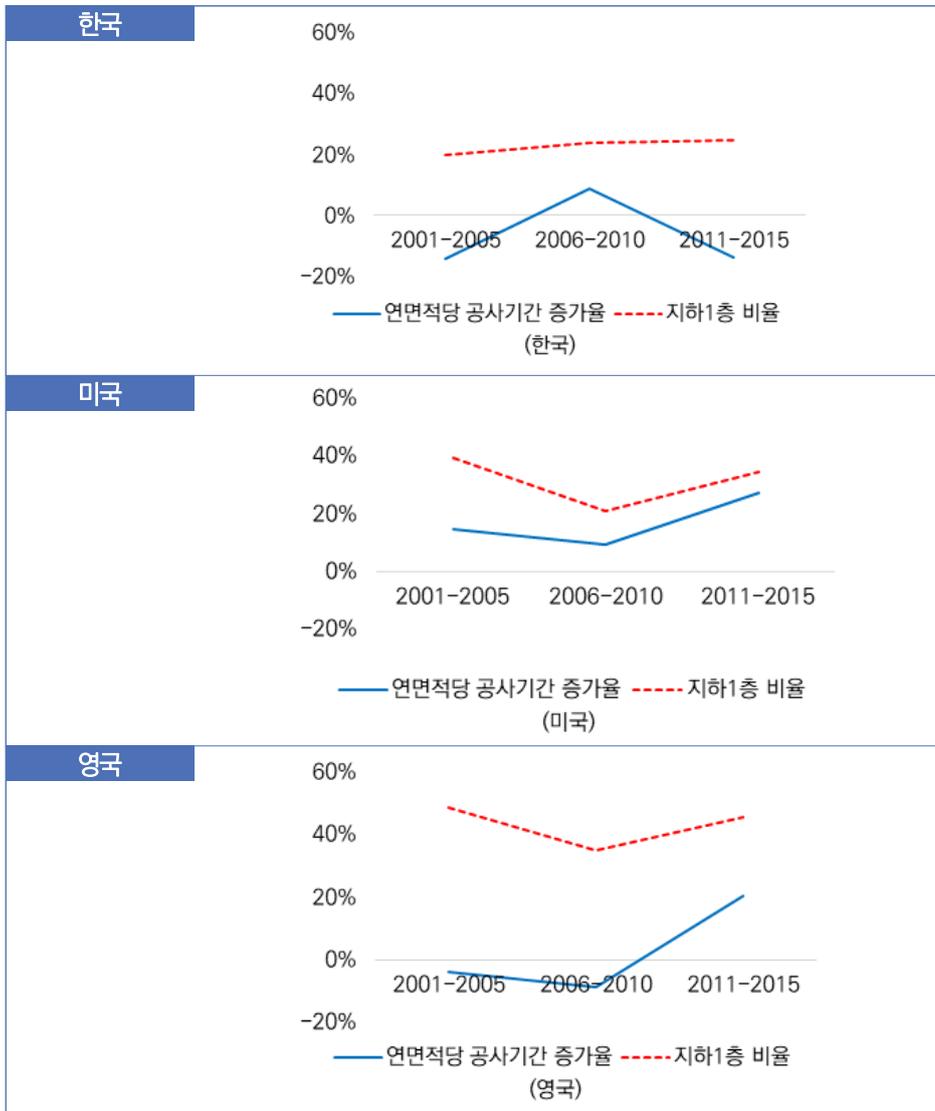
**그림 10** 지하층수별 연면적당 공사기간(1996~2015)



자료: 저자 작성.

- 마지막으로, 지하1층의 비율이 연면적당 공사기간의 증가율에 미치는 영향도 분석(그림 11) 참조)
  - 층당 공사기간의 분석결과와 유사하게, 지하1층의 비율과 연면적당 공사기간의 증가율이 유사한 추세로 변하는 것으로 나타남

**그림 11** 지하1층 비율과 연면적당 공사기간의 증가율



자료: 저자 작성.

### 시사점

- 층당 공사기간의 관점에서 건설 생산성에 영향을 미치는 요인으로 깊은 지하층 공사가 도출
- 깊은 지하층 공사보다는 생산성에 미치는 영향이 작지만, 지하1층 공사는 층당 및 연면적당 공사기간 모두에 영향을 미치는 것으로 분석
- 본 연구에서는 건설 생산성 향상을 위한 기술개발방향을 지하1층 공사와 깊은 지하층 공사로 분류하여 제안하고자 함



# 05 지하층 공사의 특징과 기술개발방향

## 지하층 공사의 특징

■ 지하공사는 굴착공사와 터널공사로 크게 분류할 수 있으며, 굴착 공사는 터파기 공사와 흙막이 공사로 분류 가능(서종원, 김정환 2009) (<그림 12> 참조)

- 터파기 공사는 지하 구조물을 축조하기 위해 지반을 굴착하는 것
- 흙막이 공사는 굴착된 지반의 붕괴를 방지하기 위하여 굴착면에 흙막이 벽체와 지보공을 설치하고, 차수 및 보강공법을 수행하는 것<sup>3)</sup>

그림 12 굴착기<sup>주)</sup>를 사용한 터파기공사



주: 굴착기는 토사와 암석을 굴착하는 데 사용되는 건설기계를 총칭하며, 굴착 대상 토사와 암석의 상태, 굴착방법 및 이동성과 같은 기준에 따라 분류됨(건축·토목공학안전위원회 2018).  
 자료: KT estate 제공.

그림 13 흙막이 공사<sup>주)</sup> (좌: H-pile·토류판 공법, 우: 지하연속벽 공법)



주: H-pile 및 토류판 공법은 H 모양의 말뚝을 1-2m 간격으로 지중에 설치하고, 말뚝 사이에 흙막이용 두꺼운 판자(토류판)를 설치하여 토사의 붕괴 및 토압을 지탱하는 것으로, 흙막이 공사에서 가장 많이 사용되고 있는 공법임. 지하연속벽 공법은 수직으로 땅을 판 후, 흙이 무너지지 않는 데 도움을 주는 안정액과 콘크리트를 혼합하여 연속적으로 철근콘크리트 벽체를 시공하는 것(이종호 2009)  
 자료: 이종호 2009.

3) 흙막이벽체는 굴착공사에서 지반의 붕괴를 방지하기 위해 굴착면에 설치되는 벽체이며, 지보공은 흙막이 벽체에 가해지는 토압을 지지하는 구조물, 차수·보강공법은 흙막이 벽체 배면의 지반강도를 증가시키고 지하수의 침입을 방지하는 방법(최명석 2009).

■ 건축물 지하층 공사는 층당·연면적당 공사기간 단축의 관점뿐만 아니라, 공사비와 안전관리의 관점에서도 중요

- 건축공사에서 지하공사의 공사비는 일반적으로 전체공사의 약 20~40%에 해당(Barrie 2000)
- 도심지 건축공사의 지하층 공사 사고에 따른 건설공사보험의 손해보상금액은 전체 공사비의 약 3%로 조사(고광노 외 2008)

그림 14 흠막이 가시설 붕괴사고



자료: 이영생 2018.

■ 일부 선행연구에서도 중요도가 높은 지하층 공사의 리스크를 관리하기 위해 영향요인을 건축물과 대지, 그리고 인접건축물·대지로 분류하여 도출(〈표 5〉 참조)

- 건축물 요인에서 지상층수는 하중과 연관되며, 굴착심도와 굴착면적은 터파기 공사와 흠막이 공사, 그리고 차수 및 지반보강 공법의 결정에 영향을 줄 수 있음
- 대지 요인은 지하층 공사에 직접 영향을 주는 요인으로 구성되어 있으며, 건설부지의 높고 낮음, 굴착저면의 안정성, 전석층·사질토의 포함 여부, 지지암층의 시작 깊이, 지하수위·지하수 오염대책, 차수·지반보강 필요성, 토질종류·강성이 포함
- 인접대지 요인은 도심지 지하층 공사에서 고려해야할 요인이 포함되며, 굴착공사에 의해 발생하는 소음·진동과 인접건물과의 거리, 인접건물의 층수, 그리고 인접건물의 침하 위험성으로 구성

표 5 지하층 공사의 영향요인

건축물 요인	대지 요인	인접건축물 및 대지 요인
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 건축물 지상층수</li> <li>• 굴착심도</li> <li>• 굴착면적</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 건설부지의 고·저차</li> <li>• 굴착저면 안정성</li> <li>• 전석층·사질토<sup>주)</sup> 포함 여부</li> <li>• 지지암층 시작 깊이</li> <li>• 지하수위 및 지하수 오염대책</li> <li>• 차수·지반보강 필요성</li> <li>• 토질종류·강성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 소음 및 진동</li> <li>• 인접건물과 거리</li> <li>• 인접건물의 층수</li> <li>• 인접건물의 침하 위험성</li> </ul>

주: 전석층은 암반에서 떨어져 나온 돌무더기가 모여 있는 층이며, 사질토는 모래성분이 많은 흙. 이들에 따라 적용할 수 있는 흠막이 벽체가 다르기 때문에 영향요인으로 선정(최명석 2009)

자료: 김혜원 외(2008); 서종원·김정환(2009); 최명석(2009) 연구를 기반으로 저자 정리.

■ 도심지 지하공사는 기존 구조물에 인접하여 공사를 하는 경우가 많아서, 과거보다 난이도 상승

## 기술개발방향

- 지하층 공사의 공사기간을 단축하기 위해서 본 연구에서는 층당·연면적당 공사기간 모두에 영향을 미치는 지하1층 공사와 층당 공사기간에 영향을 크게 미치는 깊은 지하층 공사로 분류하여 기술개발방향을 제안

**그림 15** 지하층 공사의 기술개발방향



자료: 저자 작성.

- 지하1층 공사: 건설정보모델링(Building Information Modeling: BIM) 적용 확대
  - 지하층 공사는 터파기 및 흙막이 공사를 수행하므로, 지하1층의 공사기간도 지상층 공사보다 김
  - 특히 지하1층은 지상층의 기계·전기·배관(Mechanical Electrical Plumbing: MEP)이 모이는 곳이므로, 지하1층 공사의 복잡도가 다른 지하층보다 상대적으로 크다고 볼 수 있음(〈그림 16〉 a, b 참조)
  - 기계·전기·배관을 설치하기 위한 공간이 필요하므로, 지하1층의 높이가 다른 층보다 높아야 함. 따라서 터파기 공사와 흙막이 공사도 더 많아짐
  - 일반적으로 건축물의 설비시스템을 통제하기 위한 기계실을 마지막 지하층에 설치하므로, 지하1층만 있는 건축물에서는 기계실을 지하1층에 배치(〈그림 16〉 c 참조). 이와 같은 경우에는 지하1층의 시공복잡도가 더욱 증가하게 됨
  - 스마트건설기술 중의 BIM은 설계도면의 시각화, 설계의도의 쉬운 검토, 설계 및 시공오류 감소와 같은 특징이 있으므로(Eastman et al. 2009), 지하1층 공사의 시공복잡도를 줄여줄 수 있을 것으로 기대

**그림 16** 지하1층과 2층, 기계실의 BIM모델 비교



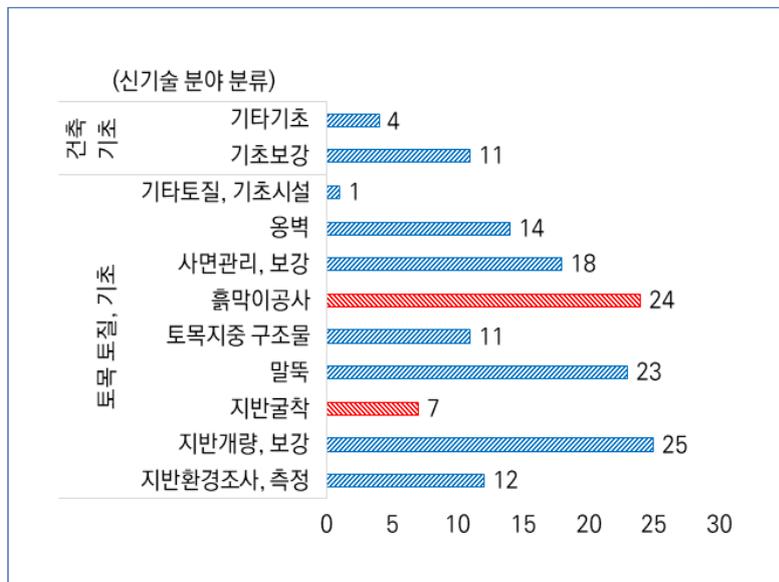
자료: 저자 작성.

■ 깊은 지하층 공사: 시공 신기술 및 굴착 건설기계 개발 촉진

- 지하층이 깊어지면 지지암층이 시작되므로, 암반파괴에 소요되는 시간이 증가
- 지하층이 깊어질수록 토압이 증가하므로, 보다 견고한 흙막이 공법을 적용해야 함. 이로 인해 공사기간이 증가하게 됨
- 지하층 공사를 위해 지정된 건설신기술은 토목공사의 지반환경조사·측정, 지반개량·보강, 지반굴착, 말뚝<sup>4)</sup>, 토목지중 구조물<sup>5)</sup>, 흙막이공법, 사면관리·보강, 옹벽<sup>6)</sup>, 그리고 건축공사의 기초보강으로 구분(한국건설교통기술협회 2020)
- 지하층이 깊어짐에 따라 영향을 크게 미칠 것으로 예상되는 지반굴착과 흙막이공법에 대한 기술개발이 필요하지만, 지반굴착에 대한 신기술이 상대적으로 부족한 상황(〈그림 17〉 참조)

그림 17 지하층 공사에 관련된 건설신기술 지정 현황

(단위: 건)



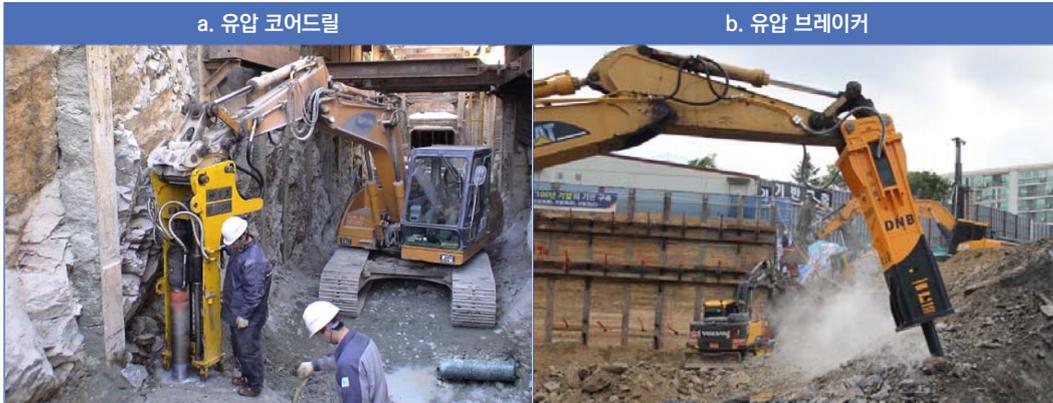
자료: 한국건설교통기술협회(<http://www.kcna.or.kr/>, 2020년 6월 29일 검색) 자료를 기반으로, 저자 작성.

4) 지반환경조사는 토질의 성질·지층의 분포·지하수위를 조사하는 것이며, 지반개량·보강은 약액주입·다짐과 같은 방법으로 연약 지반을 개량하는 것. 말뚝은 상부하중을 견디기 어렵거나 침하 우려가 있는 연약지반의 지지력을 증가시키기 위한 방법(김우식 2014).

5) 지중구조물은 지표면 아래에 구축되는 구조물을 의미하며, 지하배수로·파이프라인·지중탱크 등이 포함(네이버 지식백과. <https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=1015931&cid=50320&categoryId=50320> (2020년 7월 1일 검색))

6) 옹벽은 땅깁기·흙쌓기를 한 비탈면이 흙의 압력으로 붕괴하는 것을 방지할 목적으로 설치한 벽체구조물(건축·토목용어편찬위원회 2018).

**그림 18** 깊은 지하층 공사: 굴착기, 유압브레이커



주: 코어드릴은 드릴 날이 회전하면서 암을 분쇄하거나 도려파서 구멍을 뚫는 방식을 총칭하며(건축·토목용어편찬위원회 2018), 그 구멍에 그 구멍에 암반을 파쇄하는 장비 혹은 공법을 적용(네이버 지식백과. <https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=2412722&cid=51399&categoryId=51399>, 2020년 7월 3일 검색).

자료: 수호산업개발. <http://www.rock-splitter.com/> (2020년 7월 3일 검색).

주: 브레이커는 압력을 가한 기름에 의해 기계식 왕복 해머가 타격을 연속적으로 가해 암석·콘크리트를 파쇄하도록 만든 공구를 총칭(네이버 지식백과. <https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=613744&cid=42322&categoryId=42322>, 2020년 7월 1일 검색; 토목관련용어편찬위원회 1997, 재인용).

자료: DNHI. Operating gallery. [http://www.dnhi.kr/board/view/Operating\\_Gallery/20](http://www.dnhi.kr/board/view/Operating_Gallery/20) (2020년 6월 30일 검색).

- 지반굴착을 위해서 발파 혹은 건설기계를 사용하여 암반을 파쇄하는 방법을 적용하고 있지만, 소음 및 진동의 영향을 인접건물에 주고 있음(<그림 18> 참조)
- 인접건물 및 사람에게 주는 피해를 감소시키면서 굴착작업의 속도를 향상시킬 수 있는 공법 혹은 건설장비의 개발이 필요



## 06 결론

### 연구요약

- 본 연구에서는 건설기술 및 관리능력을 반영할 수 있는 층당·연면적당 공사기간을 생산성 분석 기준으로 선정하여, 우리나라와 미국, 영국의 생산성을 분석·비교
- 층당 공사기간의 분석결과, 지난 20여 년 동안 많은 시공기술과 스마트건설기술이 개발되었지만, 우리나라의 건설 생산성은 시간이 흐름에 따라 오히려 하락하는 것으로 분석
  - 미국의 생산성이 우리나라보다 높지만, 층당 공사기간 증가율이 우리나라보다 커서 그 차이는 점차 감소하는 것으로 분석
- 연면적당 공사기간의 분석결과에서는 우리나라의 건설 생산성이 시간의 흐름에 따라 향상하는 것으로 분석
  - 미국과 영국의 생산성이 우리나라 보다 높지만, 그 차이는 점차 감소
- 생산성 분석결과, 우리나라의 건설산업은 연면적당 공사수행능력보다 층당 공사수행능력에서 생산성 향상이 필요하다는 것을 도출
- 층당 공사기간에서 건설 생산성 하락의 주요 원인은 지하 2층 이상의 깊은 지하층 공사로 분석
  - 지하층수가 증가함에 따라 건설현장의 암반과 지질환경의 불확성이 증가하기 때문
- 지하 1층 공사도 공사의 복잡도로 인해 건설생산성에 영향을 미치는 것으로 분석
  - 일반적으로 기계·전기·배관이 지하 1층에 모여서 외부로 연결되므로, 공사 복잡도가 상대적으로 큼

## 건설생산성 향상방안

- 건설 생산성을 향상시키기 위해서는 지상층보다 지하층 공사기간을 단축하는 것이 더욱 효과적으로 분석
- 지하 2층 이상의 깊은 지하층 공사를 위해서는 지반굴착과 흙막이공법에 관련한 건설 신기술과 기계장비의 개발이 필요
  - 신기술 및 건설기계장비의 개발에 시간이 필요하므로, 깊은 지하층 공사기간의 단축을 위해서는 장기개발계획 및 지원방안이 필요
- 지하1층 공사를 위해서는 기계·전기·배관의 복잡도를 감소시킬 수 있는 건설정보모델링 (Building Information Modeling: BIM)의 적용 확대 필요
  - BIM 적용확대를 통한 지하1층 공사기간의 단축은 상대적으로 단기계획 및 지원방안으로 분류 가능
- 건설생산성 향상방안을 보다 정밀하게 분석하기 위해서는 공종별 공사기간 자료가 필요
  - 공종별로 공사기간이 분류되어 있다면, 우리나라의 취약 공종을 도출 가능
  - 이를 통해, 보다 구체적인 생산성 향상방안의 도출 가능
- 공공공사에서부터 공종별 공사자료를 구축할 수 있는 프레임워크를 만드는 것이 필요
  - 우리나라 건설산업의 경쟁력 강화를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료

## 참고문헌

- 관계부처 합동. 2018. 건설산업 혁신방안: 건설기술·생산구조·시장질서·일자리 혁신. 제9차 경제관계장관회의 보고안건.
- 건축·토목용어편찬위원회. 2018. 건축·토목용어사전. 서울: 건설연구사
- 고광노, 이강, 최명석. 2008. 터파기 공사 사고의 경제적 영향 사례분석. 한국건축시공학회 학술·기술논문발표회 논문집 제8권, 제1호: 7-10.
- 김선우. 2009. 패널 제작방법에 따른 비정형 건축물 패널의 분류와 최적화 방법: 동대문 디자인 플라자 및 파크 사재를 중심으로. 석사학위논문. 연세대학교.
- 김우식. 2014. 길잡이 건축시공기술사 용어설명. 서울: 예문사.
- 김혜원, 최명석, 이강. 2008. 적정 흙막이 공법 선정을 위한 웹 기반 의사결정 지원 시스템. 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집: 695-698.
- 네이버 지식백과. <https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=1015931&cid=50320&categoryId=50320> (2020년 7월 1일 검색).
- 네이버 지식백과. <https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=613744&cid=42322&categoryId=42322> (2020년 7월 1일 검색).
- 박광서. 2012. 중요소생산성의 측정과 결정요인 분석: 공간계량경제모형의 응용. 박사학위논문, 서울대학교.
- 서종원, 김정환. 2009. 대규모 지하공사의 비용 및 일정 리스크 관리. 한국건설관리학회지 10권, 4호: 43-48.
- 수호산업개발. <http://www.rock-splitter.com/> (2020년 7월 3일 검색).
- 이영생. 2018. 흙막이 사고사례 분석을 통한 붕괴원인 및 예방에 대한 연구. 석사학위논문, 경기대학교.
- 이종호. 2009. 지하 터파기 공사로 인한 주변지반 거동. 석사학위논문. 서울시립대학교.
- 이치주, 이강, 원종성. 2019. 측정지표에 따른 건설 생산성 비교: 한국, 미국, 영국, 일본(1995-2015). 대한건축학회 논문집 35권, 4호: 175-184.
- 원종성, 이강. 2008. 한국 건설산업 생산성의 국제경쟁력 분석. 한국건설관리학회논문집 9권, 4호: 75-83.
- 최명석. 2009. 로지스틱 회귀분석을 이용한 적정 지하 터파기 공법선정을 위한 의사결정 지원시스템. 석사학위논문, 연세대학교.
- 한국건설교통기술협회. <http://www.kcna.or.kr/> (2020년 6월 29일 검색).
- Barrie, D. 2000. 건설관리의 개념과 실제. 한국건설관리학회 역. 서울: 한국건설관리학회.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks R. and Liston, K.. 2009. *BIM handbook*. 이강, 문현준, 권순욱, 이재민, 이진국, 김준하 역. 서울: 시공문화사.
- Freeman, R. 2008. *Labour productivity Indicators—comparison of two OECD databases productivity differentials & the Balassa-Samuelson effect*. Division of Structural Economic Statistics, OECD.
- Goodrum, P. M., Zhai, D. and Yasin, M. F., 2009. Relationship between changes in material technology and construction productivity. *Construction Management and Economics* 135, no.4: 278-287.

Hanna, A., Chang, C., Sullivan, K., and Lackney, J., 2008. Impact of shift work on labor productivity for labor intensive contractor. *Journal of Construction Engineering and Management* 134: 197–204.

Harrison, P. 2007. *Can Measurement Error Explain the Weakness of Productivity Growth in the Canadian Construction Industry?* Centre for the Study of Living Standards (CSLS), Ottawa, Canada.

IHS Markit. 2013. *Global Construction Outlook*. IHS Economics. USA.

Nasir, H., Ahmed, H., Hass, C. and Goodrum, P. M. 2014. An analysis of construction productivity differences between Canada and the United States. *Construction Management and Economics* 32, no.6: 595–607.

Rojas, E. M. and Aramvareekul, P. 2003. Is construction labor productivity really declining? *Journal of Construction Engineering and Management* 129, no.1: 41–46.

Sacks, R. and Barak, R. 2005. A methodology for assessment fo the impact of 3D modeling of buildings on structural engineering productivity. *International conference on computing in civil engineering*, July 12–15. Cancun, Mexico.

Teicholz, P. 2013. Labor-Productivity Declines in the Construction Industry: Causes and Remedies. [http://www.aecbytes.com/viewpoint/2013/issue\\_67.html](http://www.aecbytes.com/viewpoint/2013/issue_67.html).

Vereen, S. C., Rasdorf, W. and Hummer, J. E. 2016. Development and Comparative Analysis of Construction Industry Labor Productivity Metrics. *Journal of Construction Engineering and Management* 142, no.7: 04016020.

Zhang, L., Zou X. and Kan, Z. 2014. Improved Strategy for Resource Allocation in Repetitive Projects Considering the Learning Effect. *Journal of Construction Engineering and Management* 140, no.11: 04014053.

국토연구원 Working Paper는 다양한 국토 현안에 대하여 시의성 있고 활용도 높은 대안을 제시할 목적으로 실험정신을 가지고 작성한 짧은 연구물입니다. 투고된 원고는 정해진 절차를 거쳐 발간되며, 외부 연구자의 투고도 가능합니다. 공유하고 싶은 새로운 이론이나 연구방법론, 국토 현안이나 정책에 대한 찬반 논의, 국내외 사례 연구나 비교연구, 창의적 제안 등 국토분야 이론과 정책에 도움이 될 어떠한 연구도 환영합니다.

투고를 원하시는 분은 국토연구원 연구기획·평가팀(044-960-0582, jhkim@krihs.re.kr)으로 연락주십시오. 채택된 원고에 대해서는 소정의 원고료를 드립니다.

## WP 20-15

### 나라별 건설 생산성 분석 및 기술개발방향

**연구진** 이치주  
**발행일** 2020년 12월 24일  
**발행인** 강현수  
**발행처** 국토연구원  
**홈페이지** <http://www.krihs.re.kr>

---

© 2020, 국토연구원

---

이 연구보고서의 내용은 국토연구원의 자체 연구물로서 정부의 정책이나 견해와는 상관없습니다.

---

이 연구보고서는 한국출판인협회에서 제공한 KoPub 서체와 대한인쇄문화협회가 제공한 바른바탕체가 적용되어 있습니다.

