

## 공기단축 복합건설기술 개발 연구단 연구개발



이철호 서울대학교 건축학과 교수

### 1. 서론

최근 건설시장에서는 중·저층/저밀도 건축물보다는 초고층/고밀도 건축물이나 장스팬 대형구조물에 대한 수요가 크게 증가하고 있다. 이러한 고층화 및 대형화는 공사기간의 장기화와 금융비용의 증가를 야기하여 건설업 전반의 경쟁력이 약화되는 주요 원인이 되고 있다. 또한 공사기간의 장기화는 현장주변의 교통 및 통행의 불편, 소음·분진 등 환경문제도 야기하여 건설공사와 관련된 민원이 증가하는 원인이 되고 있다. 특히 최근 정부에서 추진하고 있는 주거용 건축물의 선시공/후분양 제도는 건설사의 자금 부담을 가중시키고 있어, 건설시장에서의 공기단축기술에 대한 시장수요가 그 어느 때보다 증대되고 있다. 즉 현장인력과 현장작업을 최소화하면서 공사품질을 보장할 수 있는 혁신적 공기

단축기술의 개발이 절실히 요구되고 있는 상황이다.

이러한 국내 건설기술 시장수요에 부응하여, 건설공기에 영향을 미치는 제반요소를 복합적이고 창의적으로 고려하여 공기단축에 혁신적으로 기여할 수 있는 실용집중 대단위/장기 연구개발과제를 국토해양부의 지원 및 많은 민간기업의 참여하에 서울대학교 건축학과가 주관하여 수행하였다. 연구기간은 2005년 6월 ~ 2010년 8월까지로서 주요 연구개발 분야는, (1) 공기단축 PC 및 철골복합화 건축구조시스템 개발 [연구책임자: 서울대학교 이철호], (2) 지하층/지상층 공기단축 시공기술 개발 [연구책임자: 연세대학교 임홍철], (3) 급속조립 교량구조시스템 개발 [연구책임자: 아주대학교 한만엽] 등으로 구성되어 있다(그림 1참조). 본 연구단은 실용화 및 사업화 실적이 풍부하고 역량이 있는 대학 연구진 20여 명과 대립건설 등 30여 개에 이르는 국내 유수의 시공

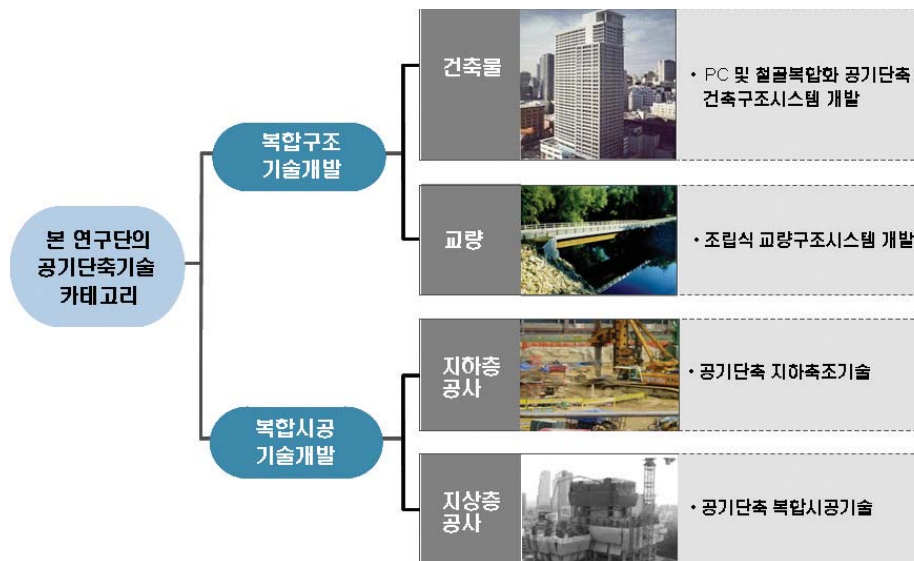


그림 1. 공기단축 복합건설기술 개발의 분류

사, 엔지니어링사, 설계사무소 및 PC제작사 등이 적극 참여하여 공동으로 진행하였다. 이하에서는 본 연구개발과제의 핵심내용을 간략히 소개하고, 아울러 본 연구단의 TASK 포스트(호서대 홍건호;팀장, 경남대 정종현, 연세대 이강)이 연구한 공기단축기술 현장적용의 제도적/관행적 애로사항 및 개선방안도 소개하고자 한다.

## 2. 공기단축연구단 개발기술 개요

### 2.1 PC 및 철골복합화 공기단축 구조시스템 개발

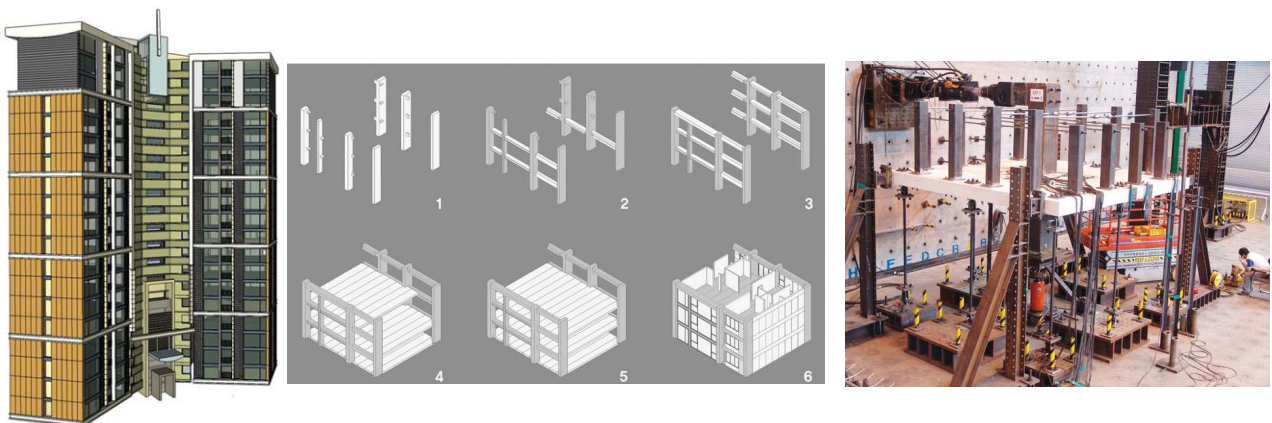
현재 국내에서는 80년대의 실패경험, 경제성, 품질관리 기술의 미흡, 접합부 성능검증 부족 등에 따른 부정적 인식과 현장에서의 거부감으로 인해 PC(Precast Concrete) 구조시스템의 활용은 주로 지하층 주차장이나 일부 특수한 경우로 국한되고 있는 실정이다. 본 연구단에서는 많은 장점을 지닌 PC시스템의 활성화를 위해 공기단축효과, 구조성능, 시공성 및 사용성이 향상된 고성능 PC구조시스템과 시공방법을 개발하여 20~30층 내외의 중·고층 주거 및 대형 업무용건물에도 PC를 적용할 수 있는 연구를 수행하였다. 핵심요소기술로는 횡력에 대한 저항성능이 뛰어난 PC 보-기둥 접합부, 구조기능과 차음성이 뛰어난 중공(Hollow Core) 슬래브, 연성능력이 뛰어난 조립식 PC벽체 개발, 췌기의 원리를 이용하여 현장용접을 생략할 수 있는 자동체결방식 강재보-PC기둥/강재보-CFT기둥 고연성 접합부(일종의 plug and play joint)의 개발 등이 포함된다. PC구조를 적용한 아파트의 경우 현행 벽식아파트가 갖지 못한 뛰어난 의장성,

가변성을 확보할 수 있으므로 이를 극대화하기 위한 시스템 개발의 연구도 포함하고 있다(그림 2.(a) 참조).

또한, 철골복합화 구조시스템으로 CFT(Concrete Filled Tube)기둥과 무량관구조의 복합화를 통한 공기단축/층고절감/비용절감의 극대화 방안(그림 2(b) 참고), 냉간성형강을 이용한 슬림플로어 보, 급속조립 복강판 합성전단벽 등 구조성능을 높이는 동시에 공기와 비용절감이 가능한 구조시스템과 공법도 연구 개발하였다. CFT기둥-RC무량관 시스템은 공기 및 층고절감 이외에도 60~70 이상의 초고층 주상복합 저층부의 기둥 사이즈 절감에 가장 현실적인 대안으로 볼 수 있다.

### 2.2 지하 및 지상 공기단축 시공기술 개발

본 연구단에서 수행한 지하구조 공기단축 시공기술의 핵심은 본 구조물의 바닥, 기둥 및 벽 구조체를 선시공하여 가설재의 기능도 겸하게 하는 역타(Top-Down) 공사시에 활용할 수 있는 기술을 개발하는 것이다. 선기둥 및 지하 흠막이벽 시공 중에 생길 수 있는 수직 및 수평 시공오차를 쉽게 흡수할 수 있는 부재 및 접합부, 무지주 슬래브 거푸집, 테두리보를 포함한 개방형 슬래브 등을 개발하였다. 또한 흠막이 스트럿 간격을 확장하여 지하공사의 시공성을 높이고, 가설공사 이후에는 이를 영구구조물로 활용하는 double beam strut 공법의 개발도 포함되어 있다(그림 3(c)). 지하구조의 경우, 흠막이 설계, 시공, 관리상의 문제점 또는 가설시설물 주변의 지반조건 변화 등으로 인하여 붕괴사고가 발생할 경우, 공기지연은 물론 상당한 경제적, 인적 손실이 발생할 수



(a) PC구조를 적용한 아파트의 입면 및 축조요소

(b) CFT기둥-RC무량관 시스템의 내진성능검증을 위한 실험대실험 전경

그림 2. PC 및 철골복합화 공기단축 구조시스템 요소기술

있다. 경제적이고 신뢰도 높은 지하공사의 안전관리를 위한 무선계측 안전관리시스템과 실무자들이 공사초기단계에서 활용할 수 있는 최적 지하터파기공법 선정 소프트웨어도 연구개발하였다.

지상구조 공기단축 기술은 철근콘크리트 골조공사의 공기 단축을 위한 요소기술 및 복합시공기술을 개발하는 것이다. 관련 요소기술로는 대형 시스템거푸집 및 이의 자주식 상승 장치와 설치구조개발, 개선형 지주시스템, 철근 선조립 공법, 공기단축형 판상형 아파트 평면개발, BIM기반 4차원 공정시뮬레이터 개발 등이 포함된다(그림 4). 이런 요소기술을 복합화하여 현재 8일 이상이 소요되는 벽식아파트 층당공기를 가장 이상적인 조건에서 최대 3일까지로 단축시키는 것을 목표로 연구를 진행하였다.

### 2.3 조립식 교량시스템 개발

인건비 상승 및 시공 중의 교통통제를 최소화해야 하는 요구 때문에 미국 등의 선진국을 중심으로 프리캐스트 부재를 활용한 조립식 교량기술이 개발되어 일반화되어 가고 있다. 외국의 경우도 현재까지의 조립식 교량은 교량 전체에 대한 것 보다는 상부구조에 한정되어 있는 실정이다. 이에 따라 본 연구단에서는 전체 교량건설 수요의 90%를 차지하고 있는 소형교량에 대하여 공장생산에 의한 조립식 PC교량을 개발하고자 하였다. 이 목표의 달성을 위한 핵심기술에는 (1) 조립식 내부구속 중공 CFT 교각 개발, (2) 중공형 다단계 긴장 프리캐스트 분절거더 개발 등이 포함된다(그림 7 및 그림 8). 특히 본 연구에 활용된 중공형의 심미적인 구조와 프

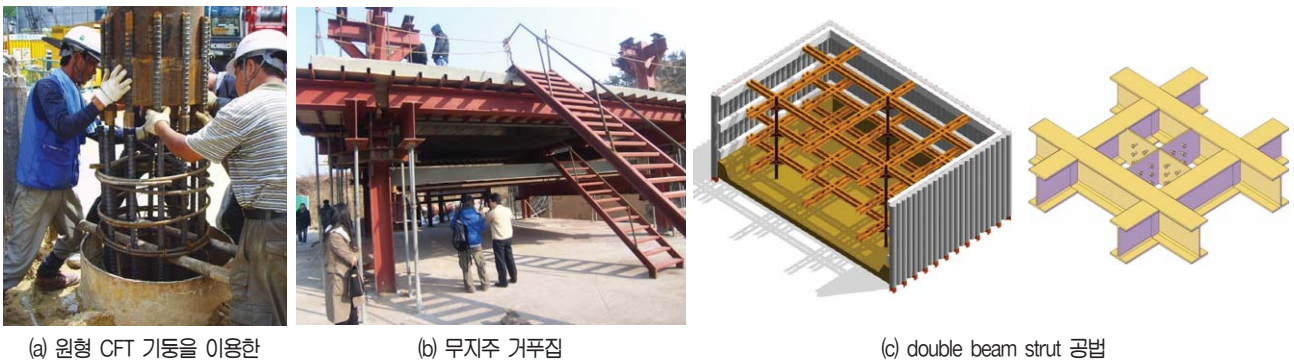


그림 3. 지하 구조물 공기단축 요소기술



그림 4. 지상 구조물 공기단축 요소기술

리캐스트 분절형 부재는 품질향상 및 공기단축이 가능하고, 다단계긴장법 및 강선정착법 등의 여러 새로운 요소기술은 국제적으로도 매우 혁신적인 것으로서 뛰어난 공기단축성을 지닌 경량 장경간 거더 개발에 있어 선도적 역할을 할 것으로 기대된다.

### 3. 공기단축기술 현장적용의 제도적/관행적 애로사항

공기단축은 건설 생산성 향상을 위한 중요한 요소로서 인건비, 재료비, 금융비 등의 절감 뿐 아니라 시설물을 보다 빨리 사용할 수 있게 하는 효과도 있다. 이에 따라 공기단축을 위한 많은 연구가 국내·외에서 수행되고 있다. 하지만 이러한 연구를 통하여 공기단축공법이나 공기단축기술이 지속적으로 개발되고 있음에도 불구하고 건설현장에서는 실질적인 공기단축이 이루어지지 못하는 경우가 빈번하다. 그 원인을 분석하여 보면 크게 기술적인 요인과 기술 외적인 요인으로 구분할 수 있는데, 먼저 기술적인 요인은 기술 자체의 한계라고 볼 수 있으며, 이는 개발된 공기단축기술을 현장에 적용했음에도 불구하고 공기단축 효과가 미미한 경우로서, 기술 자체의 질과 수준을 높임으로써 극복이 가능할 것이다.

기술 외적인 요인은 법이나 관행 등에 의한 것으로 다양한 형태로 빈번하게 나타나기 때문에 공기단축기술이 현장적용으로 이어지지 못하는 중요한 장애요인이 되고 있다. 그리고 이러한 문제는 단순히 기술 자체의 질과 수준을 높여서 해결할 수 있는 성격이 아니기 때문에 공기단축기술을 개발하는

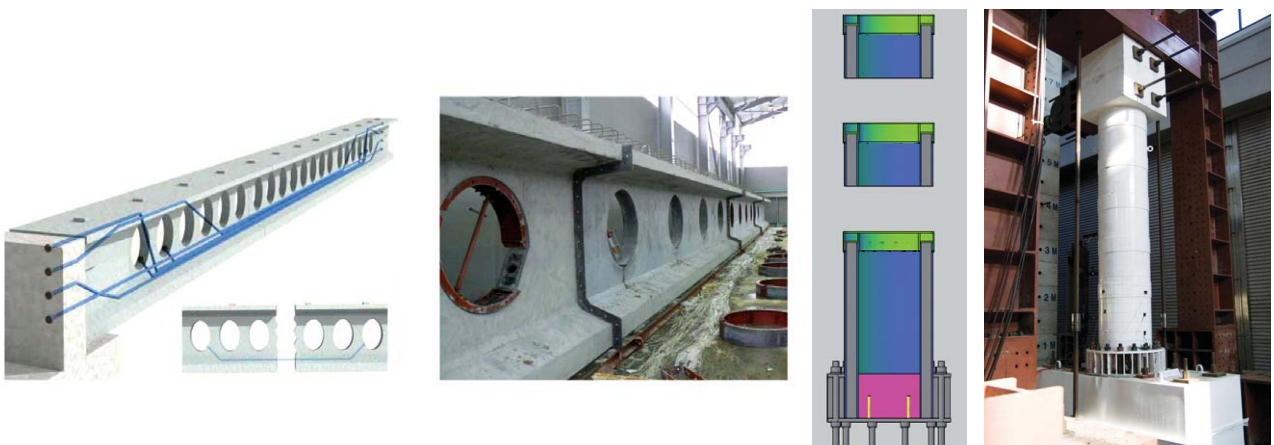
연구자들이 적절하게 대응하기 어려운 것이 사실이다.

이에 따라 본 연구단에서는 개발된 공기단축기술의 적용을 저해하는 실질적인 애로사항을 법적, 관행적, 기술적 측면에서 파악하여 그 요인을 분석하고 개발한 기술을 현장에 적용하여 실질적으로 공기를 단축할 수 있는 방법을 도출하고자 하였다. 또한 공기단축을 저해하거나 공기단축기술의 적용을 어렵게 하는 제도 등의 개선을 위한 방안도 제시코자 하였다.

#### 3.1 애로사항 분석

본 연구단에서는 공기단축기술의 현장적용 애로사항을 분석하기 위하여 총 4 단계에 걸친 연구를 수행하였다. 1단계에서는 기존의 문헌 자료를 조사하였으며, 2단계에서는 현장경험이 풍부한 소장급 이상의 건설기술자를 대상으로 개인 인터뷰 형식의 설문조사를 실시하고, 이를 바탕으로 3단계에서는 공기단축기술 적용의 애로사항의 원인 및 대책을 구체적이고 정량적으로 분석할 수 있는 설문문항을 추출하여 다수의 건설기술자를 대상으로 설문조사를 실시하였다. 마지막으로 4단계에서는 설문조사의 결과를 분석하고, 관련 전문가들의 자문을 통한 활성화 방안을 제안하도록 하였다.

2008년 10월부터 2009년 1월까지 건설사, CM사 등에 근무하는 특급건설기술자 122명을 대상으로 실시한 설문의 내용 중 현장에서 실질적인 공기단축을 이루기 위하여 해결해야 할 요소를 15개 문항에 대하여 조사한 결과는 그림 6.에 나타나듯이 민원발생에 대한 우려, 최저가 낙찰제도, 설계단



(a) 중공형 프리캐스트 분절거더

(b) 조립식 내부구속 중공 CFT 교각

그림 5. 조립식 교량 구조시스템 요소기술

계시 공사기간에 대한 고려 미흡, 연차별 예산관리방식, 하도급업체의 기술부족 순으로 중요도가 부여되는 것으로 나타났다. 이러한 조사결과를 분석할 때, 건설현장에서 체감하는 공기단축을 위해서는 요소기술의 개발도 중요하나 기술 외적인 요인으로 민원 등에 대응하는 법적 제도의 정비 등이 시급하며, 공기단축을 보상할 수 있는 제도의 마련이 시급하다는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 개발된 신기술을 현장에 적용하기 위하여 중요한 우선순위에 대한 설문조사의 결과에서는 총 14개 설문문항에 대한 답변결과 경제성의 성취가 가장 중요한 요소인 것으로 나타났으며, 그 뒤를 이어 효용성, 위험도 등인 것으로 조사되었다. 공기단축의 대비되는 개념으로서 공기가 지연되는 주요 원인에 대한 조사결과에서는 총 70개 문항에 대한 설문결과 공기가 지연되는 주 원인으로서 공법보다는 발주자, 관청 등과의 관계가 주류를 이루는 것으로 나타났다.

이상의 결과를 종합할 때, 공기단축 기술이 현장에서 직접 활용되지 못하는 주요한 원인은 기술적인 요인보다는 기술 외적인 요인이 더 크게 작용되는 것으로 나타났으며, 이를 해결하기 위해서는 설계단계로부터 공기단축기술이 적용될 수 있는 제도적 뒷받침이 적극적으로 검토될 필요가 있는 것으로 분석된다.

### 3.2 공기단축기술 활성화 방안

본 연구단의 태스크포스팀에서 조사한 결과를 종합하여

분석할 때, 공기단축기술의 활성화를 위한 방안으로 실무 전문가들이 요구하는 사항을 항목별로 정리하면 다음과 같다:

- 1) 공기단축을 위하여 필요한 기술
  - 자재 및 설계의 표준화시스템 도입
  - 재료의 건식화
  - 재료의 성능개선
  - 조기 탈형을 위한 각종 보양공법 개발
  - 공기단축기술이 원가상승으로 이어지는 문제 해결
- 2) 공기단축을 위하여 필요한 제도적 요건
  - 최저가입찰을 방지하고 Best Value 방식에서의 입찰 및 계약제도 변경
  - 신기술/신공법에 대한 정부차원의 지원 및 홍보
  - 공기단축공법이나 기술의 지정, 관공사 우선적용
  - 적정공기 대비 공기단축에 따른 원가 초과투입분에 대한 보상제도 정립
  - 공기단축에 대한 인센티브 등 보상기준 정립
  - 책임감리제 시행
- 3) 공기단축을 위하여 필요한 환경 조성
  - 설계단계 기술도입
  - 신기술에 대한 숙련공 양성
  - 숙련공 관리 체계화 및 자격제도 실시
  - 노사분규를 극복할 수 있는 인력수급체계 정비

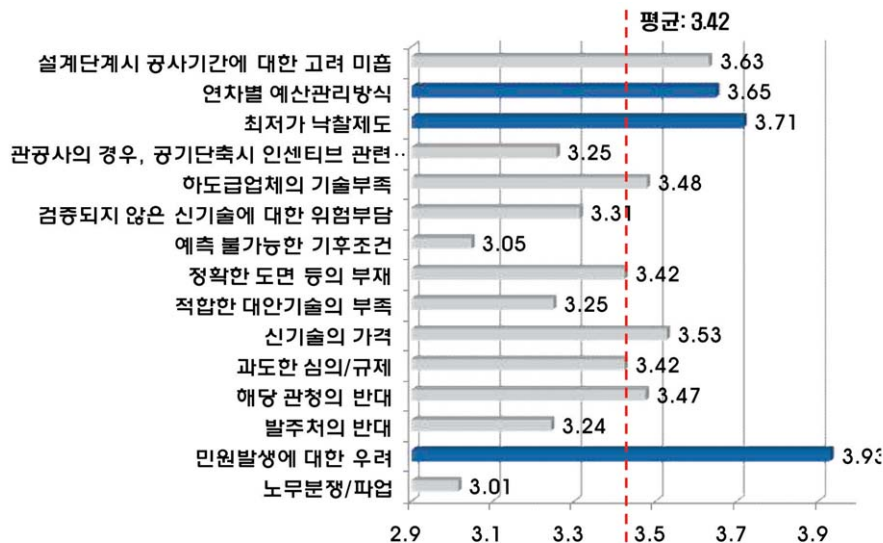


그림 6. 공기단축기술 적용시 장애요인 분석

- 감리 의식변화 (투입 개월수에 따른 감리 계약제도 정비)
- 공기단축기술의 신뢰성 있는 효과분석방법 개발
- 사회적 기회비용의 산정 평가시스템 구축

4) 공기단축기술 진흥을 위한 방안 제안

- 입찰제도의 전환 : Bridging(기술제안입찰)방식의 적극적 도입 (건기법시행령)
- 공기단축에 따른 PQ 가점제도 도입
- 국가 R&D 정책의 전환 : 미국의 경우 개발기술의 진흥을 정부가 담당
- 개발기술의 정부발주공사 우선 적용 혹은 Risk 분담을 위한 제도 정비

3. 결론

이상으로 현재 서울대학교에서 주관이 되어 진행 중인 공기단축 복합건설기술의 개발연구의 개요를 간략히 소개하였다. 본 연구는 현장적용을 위한 실용연구로서 연구개발 분야의 도출에서부터 적용에 이르기까지 현장과 밀접하게 연계되어 진행되었다. 그러나 신기술의 적용에 보수적인 건설업의 속성상 테스트 베드의 확보에 많은 어려움이 있다. 이를 극복하기 위해 외부전문기관에 의한 개발기술의 타당성/경제성 검증, 많은 실물대 실험 및 목업제작을 통한 현장적용성과 성능검증, 피드백 작업, 그리고 실용화를 위한 설계/시공 기술지침서의 개발 등에 많은 노력을 기울였다.

본 연구과제에서 수행한 다양한 공기단축 복합건설기술은 기존의 공법에 비해 공기와 공사비용을 획기적으로 줄이는 것은 물론 친환경성 등 많은 부대효과를 얻을 수 있으며 국내 건설사의 경쟁력 제고에 크게 기여할 것으로 기대된다. 그러나 본 원고에서 간략히 논의한 바와 같이 건설분야 개발기술의 현장적용에는 비기술적/제도적/관행적 장애요인이 상당히 존재한다. 이런 장애요인이 존재하는 한 개발기술이 아무리 우수해도 사장될 가능성이 농후하다. 기술적/경제적 측면에서 우수성이 입증된 공기단축 건설기술의 현장적용 및 실용화를 촉진하기 위한 제도 및 관행의 개선이 절실한 시점이다.

· 이철호 e-mail : ceholee@snu.ac.kr