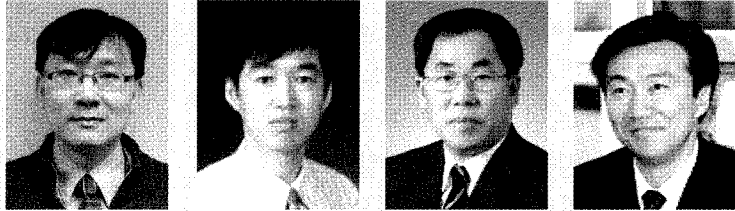


## 세계 최초 드롭형 거푸집 공법 개발을 통한 시공생산성 향상 및 환경친화적 공사수행 사례

김태호 대림산업(주) 기술연구소 선임연구원  
 김옥중 대림산업(주) 기술연구소 책임연구원  
 이도범 대림산업(주) 기술연구소 팀장  
 김한기 대림산업(주) 기술연구소 담당임원



### 1. 추진 배경

최근 국내 공동주택 거푸집 시장은 기존 유로폼에서 알루미늄 시스템 거푸집으로 빠르게 대체되고 있다. 알루미늄 거푸집은 임대비용은 다소 비싸지만 맞춤형 모듈폼으로서 시공오차가 적고 골조의 처짐 및 배부름 현상이 없어 품질이 우수하고 높은 전용횡수 및 낮은 골조하자율 등으로 비용절감이 가능할 뿐만 아니라 넓은 동바리 간격으로 작업공간이 우수하여 작업환경이 개선되는 등의 많은 장점을 가지기 때문이다.

현재 널리 사용되는 알루미늄 폼 슬래브 거푸집은 탈형과정에서 거푸집간 연결핀을 제거 후 작업자들이 슬래브 폼을 자유낙하시키는 작업형태를 가지고 있다. 이러한 작업방식은 과거 유로폼의 경우 슬래브 폼의 면이 목재로 소음이 크게 발생되지 않았으나 최근 널리 사용되는 알루미늄 폼의 경우 바닥면이 알루미늄으로 탈형작업시 패널 상호간의 충돌로 큰 소음이 발생되고 있다. 이는 특히 도심의 재개발, 재건축 공사시 크고 지속적인 소음원으로 주요민원 발생 사례가 되고 있다. 이 밖에 슬래브 폼을 자유낙하시키는 탈형방식에 의하여 작업자들이 안전사고에 노출되는 위험 뿐만 아니라 작업장의 정리정돈에도 인력과 시간이 추가로 소요되는 문제가 지속되고 있다. 계단 거푸집의 경우에도 품질측면에서 콘크리트 타설시 처짐 및 뒤틀림 문제가 발생하고 계단부 지지 동바리가 경사로 불안정하게 배치됨으로서 서포트 이탈에 의한 거푸집 붕괴 등의 안전사고 문제도 우려되고 있다.

이에 당사에서는 기존 거푸집의 문제점을 보완하고 인건비 상승으로 인한 노무인력 절감의 필요성, 건설공사 작업기피

현상에 따른 숙련공 부족 및 이에 따른 골조공기 단축의 어려움을 극복하기 위하여 세계 최초로 2단계 낙하가 가능한 드롭형 빔을 적용한 시스템 거푸집 공법을 개발하였으며 2009년 8월 국토해양부로부터 건설신기술 제583호(이하, AFB 시스템)로 지정받았다. 본고에서는 신기술로 지정된 Drop형 Beam을 활용한 공동주택 슬래브 및 계단 Aluminum Panel Form 공법의 주요 내용을 기술하고 기존 기술대비 시공생산성 향상요소를 분석한 후 공법적용에 따른 환경친화적 공사수행요소 및 현장 적용실적을 소개하고자 한다.

### 2. 신기술 내용

#### 1) 신기술의 개요 및 구성요소

본 신기술은 Aluminum Panel Form이 2단계에 걸쳐 낙하할 수 있도록 턴바 브라켓과 슬라이드 레일로 구성된 Drop형 Beam을 사용하고, Drop형 Beam의 효율적인 낙하가 가능하도록 나사형식의 높낮이 조절기구로 구성된 동바리를 활용하여 Aluminum Panel Form의 설치를 단순화시키고, 작업자의 손높이까지 2단계로 낙하시켜 작업대 없이 현장작업자가 손쉽게 해체가 가능하도록 한 공동주택 슬래브 및 계단 Aluminum Panel Form 시공법이다.

AFB 시스템은 크게 데크 패널(Deck Panel)과 시스템 서포트(System Support) 및 드롭형 빔(Dropping Beam)으로 구성되어 있다. 이 시스템은 기존 벽식 공동주택 뿐만 아니라 보-기둥구조 및 무량판 구조에도 적용이 가능한 장점이 있다. 이 시스템의 주요 개요는 2회에 걸쳐 슬래브 거푸집을 하강시켜 작업자가 작업대 없이 직접 손으로 거푸집을 탈형

시킬 수 있도록 해주는 것으로 주요 구성요소를 살펴보면 그림 1과 같다.

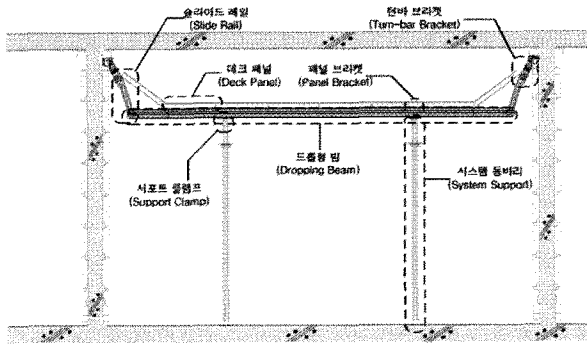


그림 1. AFB 시스템 구성요소

2) 신기술의 적용과정

본 공법은 기능공들이 비교적 쉽게 조립 및 해체할 수 있는 장점을 가지고 있다. 특히 대부분의 공정에 대하여 1인 시공이 가능하여 1인당 설치 및 해체에 따른 작업생산성이 약 55~60m<sup>2</sup>/인/일로서 공사원가의 절감에도 도움이 된다. 이 시스템의 설치과정은 그림 2에 나타낸 바와 같다. AFB 시스템의 설치하는 서포트 빔 위에 데크 패널을 올려놓는 방식으로 1인 시공이 가능하고 비교적 단순한 작업으로 숙련된 작업자가 아니더라도 좋은 품질을 유지할 수 있다.

단순한 설치방법과 마찬가지로 해체시에도 그림 3에서 보는 바와 같이 턴바 브라켓을 이용한 1차 하강(150mm)과 슬라이드 레일을 이용한 2차 하강(550mm)을 통하여 작업자가 손쉽게 데크 패널을 제거할 수 있어 안전성 확보 및 공기

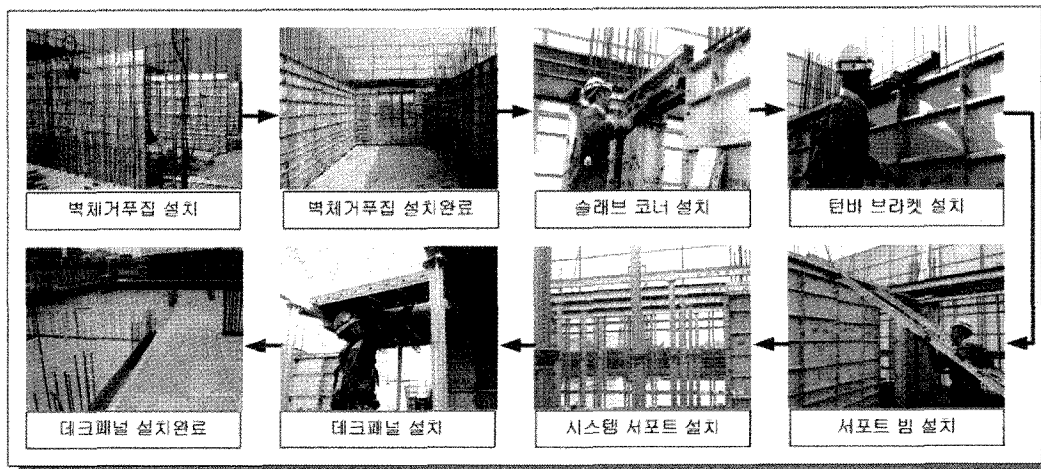


그림 2. AFB 시스템 설치과정

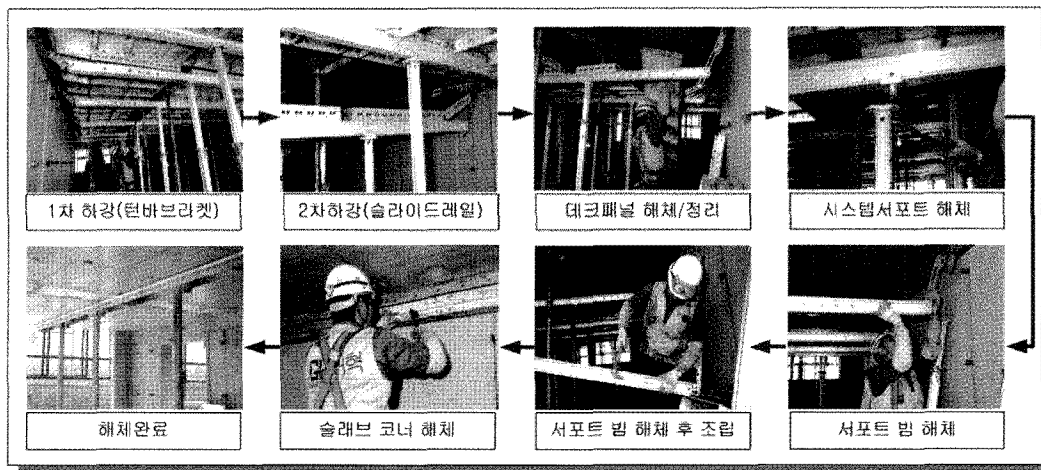


그림 3. AFB 시스템 해체과정

단축을 실현할 수 있게 되었다. 슬라이드 레일의 길이만큼 하강시킬 수 있어 3m정도의 층고까지 적용이 가능한 범용성도 갖추고 있다. 데크패널을 작업자가 작업대 없이 손높이에서 직접 해체하므로 패널의 손상이 적어 높은 전용성을 유지할 수 있는 장점 뿐만 아니라 도심지 공사에 큰 민원사항으로 대두되는 알루미늄 폼 탈형시 자유낙하에 의한 소음을 상당부분 제거하였다.

### 3. 신기술 적용효과

#### 1) 골조공사 공기단축

기존 알루미늄 폼 공법 대비 AFB 시스템의 공기단축 효과를 파악하기 위하여 당사에서 신기술을 적용한 인천 신현 현장, 반포 재건축 현장 등을 대상으로 분석하였다. 설치과정에서 AFB 시스템은 데크패널을 드롭형 빔 위에 얹어 시공하는 방식으로 작업방식도 쉽고 상대적으로 핀체결수도 적은 반면 기존 알루미늄 폼의 경우에는 데크빔과 Prop, Head 등 모든 부재를 핀으로 연결하여 시공하는 방식으로 1인시공이 불가능하며 조립 및 체결이 복잡한 측면이 있다. 해체작업의 경우는 기존 AI Form의 경우는 명에보의 개별 해체에 시간이 소요되고 이후 데크 패널을 바닥에 낙하시키는 작업이 진행되어 공정상 빠르게 느껴지는 측면이 있으나 실제로 바닥에 떨어진 데크 패널을 정리하는데 많은 시간이 소요되는 문제가 있다. 신기술의 경우에는 드롭형 빔의 2차 하강 후 데크 패널을 순서대로 해체가 가능하여 패널 정리 시간이 필요없고 해체 후 바로 인양 작업을 이어서 진행할 수 있는 장점이 있다.

거푸집 공사에 관련된 작업의 공기만 살펴볼 경우 기존 AI Form에 비하여 조립공정시 0.5일, 해체공정에서 0.5일 등 공사 사이클당 1일 정도의 공기단축이 가능한 것으로 파악되었다. 당사의 경우 공동주택 현장에 대하여 TACT 공법을 적용하여 6일의 골조공정으로 공사를 진행하고 있으며 골조 공기 단축의 핵심기술로서 AFB 시스템을 적용하고 있다.

#### 2) 원가절감

신기술의 설계비에 대하여 원가계산 공인기관인 한국경제조사연구원에서 제공한 자료를 근거로 하여 유료폼과 신청 기술인 AFB 시스템에 대한 일위대가를 벽체와 슬래브로 구분하여 표 1에 비교하였다. 일위대가의 비교결과 AFB 시스

템은 재래식 유료폼 공법에 비하여 벽체의 경우 70%, 바닥의 경우 52% 수준으로 경제성이 탁월한 것으로 나타났다.

표 1. 일위대가 비교

구분	재료비	노무비	합계	
AFB 시스템	벽체	59,983원	97,010원	156,993원
	바닥	67,610원	77,608원	145,218원
	계단부	59,413원	77,608원	137,021원
유료폼	벽체	94,356원	134,914원	229,270원
	바닥	106,062원	176,334원	282,396원

실제 공사에 투입된 비용을 분석하기 위하여 공사 완료된 당사 인천 신현 현장 3개 동을 대상으로 AFB 시스템을 적용한 경우와 기존의 AI Form과 비교하여 현장 적용 성과를 이용하여 비교분석하여 표 2에 나타내었다. 비용검토시점은 2007년 12월을 기준으로 하였다. 분석결과를 살펴보면 직접시공비 비율은 기존 알루미늄 폼 대비 87% 수준으로 파악되었으며 투입인원은 88%, 1인 시공물량은 113%정도로 우수한 것으로 나타났다. 1인 생산성의 측면에서는 106%정도로 양호한 것으로 파악되었다. 당사의 경우 현재 AFB시스템 적용에 따라 기존공법 대비 5%의 원가절감효과를 거두고 있다.

표 2. 시공비 비교

	AFB 시스템	AI Form	
시 공	14.5개층 물량(M2)	75,351	75,351
	1인 시공물량(M2)	50	44
	투입인원(명)	1,516	1,713
	1인 생산성(원)	149,161	140,800
	시공단가(원/M2): 설계비 기준	7,700	8,800

#### 3) 시공성

신기술과 경쟁기술로서 기존 국내 AI Form 시스템과 전세계적으로 광범위하게 사용되는 Sky Deck Form을 대상으로 시공성을 비교한 결과 표 3과 같은 장점을 가진 것으로 파악되었다.

#### 4) 소음저감

거푸집 탈형소음은 공사장 소음원 중 가장 큰 비중을 차지하고 있다. AFB 시스템의 경우는 작업자들이 탈형 시스템을 이용하여 하강 후 직접 데크패널을 내리는 과정으로 작업이 수행되었으며 핀 제거를 위하여 망치 등으로 타격할 때에 가장 큰 소음이 발생하는 것으로 나타났다. 기존 AI Form 시스템의 경우는 AFB 시스템의 작업과정에 나타난 소음원

표 3. 공법별 시공성 비교

구분	AFB 시스템	AI Form	Sky Deck Form
슬래브	<ul style="list-style-type: none"> <li>- AFB 시스템을 이용시 기존 유로폼 등 타 데크패널 적용이 용이</li> <li>- 일체화된 드롭형 빔의 사용으로 슬래브 거푸집 설치시간 단축</li> <li>- 슬래브 거푸집 해체에 드롭형 빔의 2차 하강 시스템을 이용하여 시공성을 높임</li> <li>- 해체시 작업대 사용이 불필요함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 전용 데크패널을 사용하여야 함</li> <li>- 슬래브 거푸집 설치과정이 복잡하여 시공성이 떨어짐</li> <li>- 슬래브 거푸집 해체시 데크패널 정리과정 필요</li> <li>- 해체시 작업대 필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 전용 데크패널을 사용하여야 함</li> <li>- 모서리 부분에 전용 데크패널을 사용하지 못하여 이형 패널을 사용하여야 함</li> <li>- 알루미늄 데크패널에 비하여 무거워 작업자들의 작업성이 떨어짐</li> <li>- 슬래브 거푸집 설치 및 해체과정이 복잡하여 시공성이 떨어짐</li> <li>- 해체시 작업대 필요</li> </ul>
계단	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 설치/해체 작업에 AFB 시스템 적용</li> <li>- 계단 시스템에도 드롭형 빔과 시스템 서포트 도입으로 편리한 설치 및 해체작업 가능</li> <li>- 동바리의 배치가 수직화되어 구조적 안전성 확보</li> <li>- 동바리 수가 6개로 등선훈보 용이</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 동바리의 배치가 경사져 구조적으로 불안</li> <li>- 동바리의 수가 많아 동선훈보에 불리</li> <li>- 패널간 핀접합하는 계단 지지부 구성 방식으로 작업성이 떨어짐</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 해당없음</li> </ul>

뿐만 아니라 데크 패널을 바닥에 자유 낙하시키는 형태로 이미 바닥에 떨어진 데크패널과 충돌하여 발생하는 소음이 가장 크게 발생하였다.

AFB 시스템과 기존 알루미늄 폼에서 발생하는 탈형소음을 실내에서 측정한 결과를 그림 4에 나타내었다. AFB 시스템은 등가 소음도( $L_{eq}$ ) 평균이 86.4dB로 나타났으며 최대 소음도( $L_{max}$ ) 평균은 106.3dB로 측정되었다. 기존 알루미늄 폼 시스템 탈형시 발생한 전체소음도는 등가소음도( $L_{eq}$ ) 평균이 106.6dB로 나타났으며 최대소음도( $L_{max}$ ) 평균은 121.7dB로 나타났다. 측정결과를 바탕으로 볼 때 기존 알루미늄 폼 거푸집 시스템에 비하여 등가소음도 기준으로 20dB정도 낮은 것으로 나타나 탁월한 소음저감효과를 가지는 것을 알 수 있다.

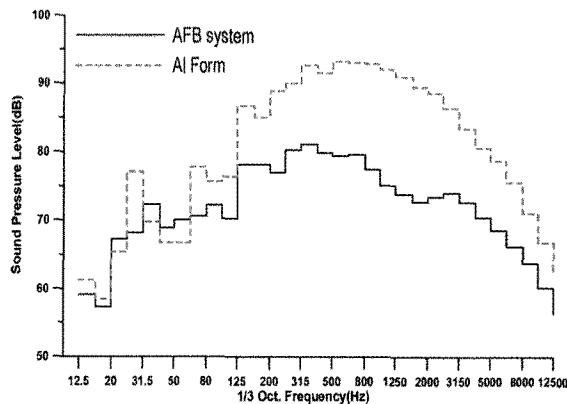


그림 4. 탈형소음 비교

5) 안전환경

신기술 AFB 시스템과 기존 기술인 알루미늄 폼에 대한 안전환경 부분에 대하여 표 4에 비교하여 나타내었다. 비교 결과 슬래브 폼을 바닥에 떨어뜨리는 과정을 제거하고 손

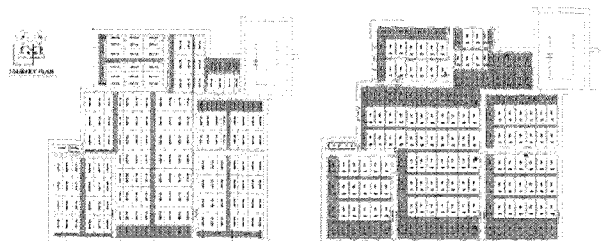
높이에서 데크패널을 내릴 수 있도록 하여 작업자들의 안전을 확보하였으며 계단 거푸집 시스템의 경우에도 AFB 시스템 적용을 통하여 안전하고 쾌적한 시공이 가능하도록 개선하였다.

표 4. 안전환경 측면의 비교

구분	안전환경 비교내용
AFB 시스템	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 드롭형 빔의 하강을 통하여 데크패널을 바닥에 자유낙하시키지 않아 작업자가 데크패널과 충돌 위험성을 제거</li> <li>- 탈형 작업시 데크패널이 작업자의 손높이까지 하강가능: 작업대가 불필요하여 전도 위험성 제거</li> <li>- 데크패널간 핀체결 및 하부 드롭형 빔의 지지로 안전성 확보</li> <li>- 계단 거푸집 지지 동바리의 수직 배치로 안전성 확보</li> </ul>
AI Form	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 데크패널을 바닥에 자유낙하시킴으로서 작업자의 충돌우려</li> <li>- 탈형과정에서 작업대 사용으로 작업자의 전도 우려</li> <li>- 데크패널이 핀으로만 연결되어 불안전함</li> <li>- 계단거푸집 지지 동바리의 경사 배치로 동바리 이탈 위험성 존재</li> </ul>

6) 자재전용률 개선

신기술 AFB 시스템의 경우 기존 알루미늄 폼 공법에 비하여 표준자재의 사용비율을 높여 해당현장 이외에서도 계속 사용할 수 있게 하였으며 탈형과정의 개선에 의하여 탈형시 파손율도 줄여 경제성을 높이고 이산화탄소 발생을 억제하였다.



(a) AFB 시스템

(b) 기존 알루미늄 폼

그림 5 단위세대 이형패널 적용분포

단위세대의 데크패널 배치평면을 그림 5에 나타내었으며 음영부분이 이형패널 사용부분으로 AFB 시스템의 전용패널 비율은 87%이고 기존 알루미늄폼의 경우는 70%로 조사되어 AFB 시스템의 자재 전용율이 훨씬 높음을 알 수 있다. 파손율의 경우에도 통상적으로 알루미늄 폼의 경우에는 3% 정도를 감안하여 임대료를 책정하고 있으나 AFB 시스템의 경우에는 1%미만의 파손율을 나타내는 것으로 파악되었다.

#### 4. AFB 시스템 적용실적

AFB 시스템은 2006년 9월 시험시공 실시 후 인천 신현동 현장에 처음 적용된 이후로 당사 6개 현장, 타사 10개 현장에 적용중이거나 적용되었다. 당초 신기술 적용범위인 벽식 공동주택 슬래브 뿐만 아니라 주상복합, 지하주차장, 기동식 아파트 등에 적용하여 폭넓은 활용성을 가지고 있음을 증명하였다. 이 밖에도 한국수자원공사와 신기술 사용협약을 체결하였으며 당사에서는 AFB 시스템 자재를 연간계약하여 현장에 공급하고 있는 중이다.

표 5. 적용현장 실적

시공사	공사 명(특징)	시공규모
대림 산업	- 잠실 2단지 아파트 재건축 공사(시험시공)	13세대
	- 인천신현주공아파트 재건축정비사업(최초 실적용)	7개동
	- 경신중방 e-편한세상신축공사	3개동
	- 삼호가든1,2차재건축 아파트 신축공사	3개동
	- 광주 신현 2차 e-편한세상신축공사	4개동
	- 신계구역 주택재개발 정비사업 신축공사	4개동
	- 신당 e-편한세상 신축공사	9개동
삼성 물산	- 길음 8구역 주택재개발 신축공사	12개동
	- 삼호가든1,2차재건축 아파트 신축공사	4개동
GS 건설	- 일산 석사지구 2블록 지어 신축공사	2개동
롯데 건설	- 부산거제동롯데캐슬 피렌체 신축공사	3개동
한라 건설	- 청라 한라비발디 신축공사(지하주차장 적용)	6개동
	- 영종하늘도시 A44블록 한라비발디 신축공사(기동식구조)	6개동
벽산 건설	- 동명 벽산블루밍 신축공사	2개동
	- 고척 벽산블루밍 신축공사(유로폼 패널 적용)	1개동
	- 장전 벽산블루밍 신축공사	9개동
금호 건설	- 금호 리첸시아 중동 신축공사(주상복합)	2개동

#### 5. 맺음말

도심지 공사의 빈번한 발생 및 주변 거주자들의 환경에 대한 관심 등으로 AFB 시스템이 많은 건설사에 적용되어 그 성능을 인정받았으며 현재는 기존 알루미늄 거푸집에 비하여 높은 경제성과 시공성을 갖추어 당사를 중심으로 기존 알

루미늄 거푸집을 대체하고 있으며 이러한 성과를 인정받아 건설신기술로 인증받았다. 최근 AFB 시스템의 성공적인 적용에 의하여 몇몇 거푸집 제조업체에서 모방한 제품을 생산하여 현장에 적용하는 등의 문제도 발생하고 있어 기술보호를 위한 많은 노력을 기울이고 있는 실정이다. AFB 시스템의 실용화 후 활발한 적용을 통하여 당사 기준으로 거푸집 공사비 5%정도의 원가절감효과를 거두었으며 소음저감, 안전, 작업환경 개선 등 친환경 거푸집 기술의 개발 분위기도 조성시켰다.

현재 AFB 시스템은 다수의 공동주택 현장에 적용되어 시공성과 경제성을 입증하였으며 신기술의 활용성을 높이기 위한 기술개발을 진행중이다. 또한 AFB 시스템의 2단 탈형 시스템을 전반적으로 개선하는 중에 있으며 이를 통하여 안전성 및 시공성이 보다 향상될 것으로 예상되고 기동식 아파트와 무량판 형식의 주상복합 구조물에도 적용하여 향후 콘크리트 건축물에 경쟁력 있는 슬래브 거푸집 공법으로 발전시키고자 한다.

- 김태호 e-mail : tahz91@daelim.co.kr
- 김옥중 e-mail : kimoj@daelim.co.kr
- 이도범 e-mail : dblee@daelim.co.kr
- 김한기 e-mail : khk@daelim.co.kr