

1 기술경쟁력 강화를 위한 신기술 개발

글 최재호 \ 토목기술팀 과장 \ 토질 및 기초기술사 \ 전화 02-3433-7756 \ E-mail soilplug@ssyenc.com

1. 머리말

최근 건설경기는 급변하는 국내외 정세 변화와 맞물려 하루가 다르게 변화하고 있으며 경쟁구도는 더욱 치열해지고 있다. 공공물량 감소, 민간건설 침체, 경쟁구도 심화 등으로 인하여 점점 침체되고 있는 건설시장에 대응하기 위해서는 시공성 개선, 공사비 절감, 품질향상 등을 위한 신기술 개발이 무엇보다 중요한 요소이며, 기술혁신을 통하여 건설시장에서의 기술적 우위 및 국가경쟁력을 강화하여야 할 것이다.

당사는 다양한 분야의 신기술을 개발 중에 있으며, 본고에서는 기술사업화의 일환으로 진행 중인 자립식 흠막이공법과 M-CAM공법(터널공법)에 대하여 소개하고자 한다.

2. 기술사업화 개요

기술혁신은 경쟁력 우위라는 측면에서 매우 중요한 요소이며, 건설공사의 수주 및 공사비 절감과 매우 밀접한 관계가 있다. 일례로 싱가포르 마리나 해안 고속도로 482공구 건설공사는 당사의 우수한 기술력을 바탕으로 국내 공사단가의 10배에 해당하는 공사비로 수주한 공사로써 최근 건설공사에서 기술의 중요성이 크게 대두되고 있음을 반증하고 있는 사례이다.

기술사업화는 기술적 경쟁력 확보는 물론 기술로 수입을 통한 적지 않은 수익성 창출을 도모할 수 있다. 국내의 경우 국토해양부 훈령 제747호에 의거 기술사용료는 신기술 공사비의 3.5~8.5% 정도로 규정되어 있는 만큼 경쟁력 있는 기술 개발은 그 자체로서

충분한 수익성을 창출할 수 있다. 또한, 우수 기술의 개발, 보급을 통하여 국가경쟁력을 제고할 수 있을 것이다. 당사에서는 이러한 견지에서 자립식 흠막이공법 및 M-CAM공법(터널공법)의 기술사업화를 추진 중에 있다.

표 1 당사 기술사업화 추진 현황

구분	역지말뚝을 이용한 자립식 흠막이공법	M-CAM공법(터널공법)
기존 기술	레이커공법	개착공법 NATM(터널공법)
신기술 개선사항	<ul style="list-style-type: none"> • 시공성 우수 • 구조물 방수처리 및 품질관리 우수 • 공사비 절감 • 공사기간 단축 	<ul style="list-style-type: none"> • 교통처리문제 해소 • 환경, 민원 해소 • 지장물 문제 해소 • 공사비 절감 • 공사기간 단축
개발 현황	<ul style="list-style-type: none"> • 특허등록 1건(2009) • 특허출원 2건(2012) 	<ul style="list-style-type: none"> • 특허출원 1건(2010) • 부산지하철 현장 적용 중

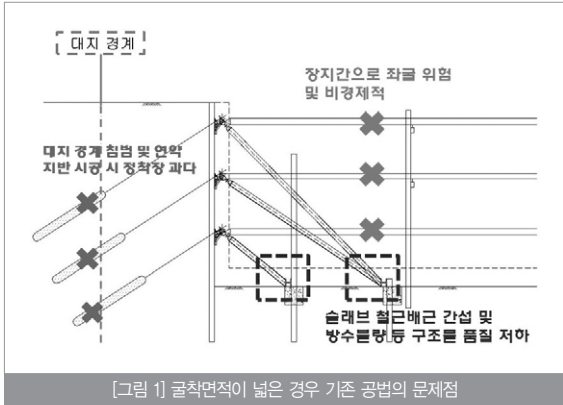
3. 역지말뚝을 이용한 자립식 흠막이공법

3-1. 공법 개요

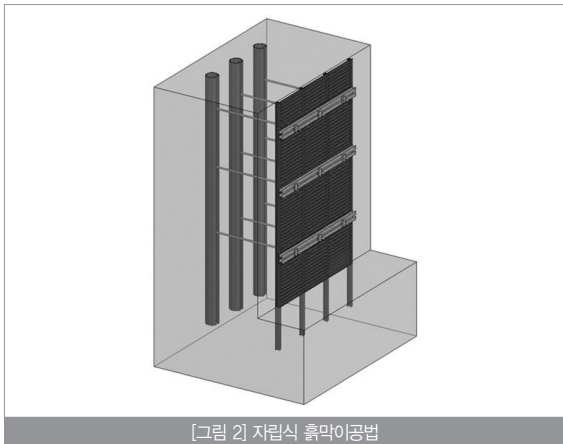
흠막이 가시설의 지보공법은 버팀보공법, 앵커공법, 레이커공법 등이 보편적으로 사용되고 있다. 일반적으로 굴착면적이 넓은 경우 버팀보공법은 부재길이의 장대화에 의한 좌굴문제 및 공사비 과다로 인하여 적용이 불가하며, 앵커공법은 인근에 구조물이 있거나 대지경계에 여유가 없을 경우에는 적용이 불가하다.

따라서 건축현장과 같이 굴착면적이 넓고 대지경계에 여유가 없

는 경우에는 레이커공법이 주로 적용되고 있으나, 레이커공법은 굴착 중 소단 지지시 안정성이 취약하며, 중간말뚝 및 다수의 레이커 시공과 작업 공간 축소로 인하여 시공성이 불량하다. 특히, 구조물 바닥 슬래브에 Open Hole이 과다 발생하여 방수처리에 불리하며 품질관리가 어렵다. 당사는 이러한 레이커공법의 문제를 해소하기 위하여 억지말뚝을 이용한 자립식 흠막이공법을 개발하여 기술사업화를 추진 중에 있다.

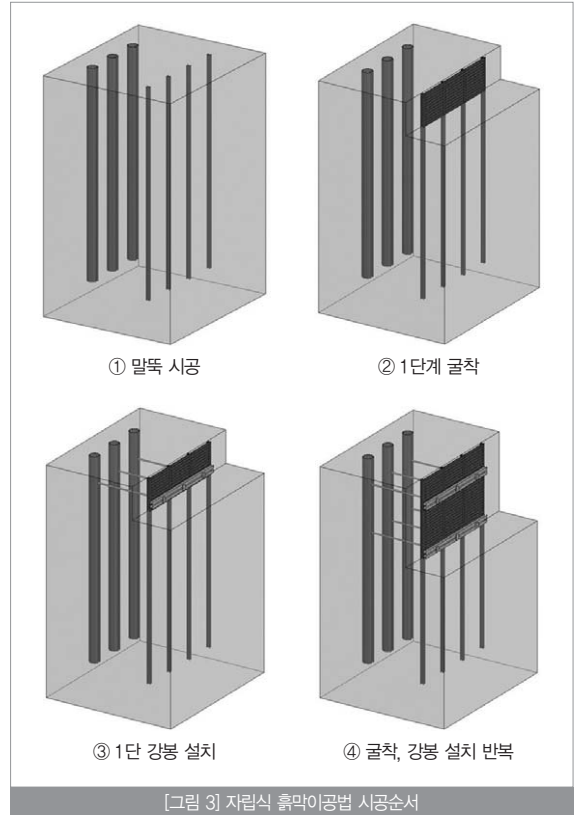


억지말뚝을 이용한 자립식 흠막이공법은 굴착벽체 배면에 억지말뚝을 설치하고 벽체와 억지말뚝을 강봉으로 연결함으로써 벽체배면에 작용하는 토압을 수동말뚝으로 거동하는 억지말뚝을 통하여 지지하는 공법이다. 본 공법은 굴착면적이 넓고 대지경계에 여유가 없는 경우 통상적으로 적용되고 있는 레이커공법의 단점을 해소할 수 있는 공법으로, 굴착고 10m 이상의 심도까지 충분한 안정성을 확보하면서 굴착할 수 있다. 또한, 구조물 방수처리 및 품질관리가 우수하고 넓은 작업 공간 확보에 의하여 시공성이 개선되며 공사비 및 공사기간을 줄일 수 있는 공법이다.



3-2. 자립식 흠막이공법 시공순서

본 공법의 흠막이 벽체는 기존 공법과 동일하게 적용하며 레이커, 앵커 등의 지보공법 대신 억지말뚝과 강봉을 이용하여 안정성을 확보한다. 하중 지지를 위한 억지말뚝은 강관말뚝 또는 H-말뚝을 사용할 수 있다. 시공순서는 ① 흠막이벽체 억지말뚝 및 억지말뚝 시공 ② 1단계 굴착 및 토류판 설치 ③ 수평천공 및 강봉 설치 ④ 다음 단계 굴착 및 강봉 설치 반복의 순서로 이루어진다.



흙막이 벽체와 억지말뚝을 강봉으로 연결하기 위해서는 강봉이 억지말뚝에 원활히 삽입된 후 고정되어야 하며, 이를 위하여 억지말뚝의 강봉 삽입구와 고정구를 갖는 강봉을 고안하였다. 억지말뚝은 강봉의 원활한 삽입을 위하여 넓은 홈을 갖는 전면부와 강봉과의 체결을 위한 좁은 홈을 갖는 후면부로 구성된다.

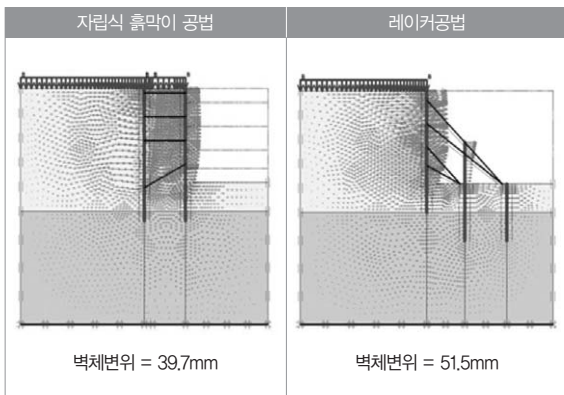
또한, 강봉은 억지말뚝 끝단에서 견고하게 체결될 수 있도록 사각형 모양의 고정구를 갖도록 제작하였으며, 자재 제작사진은 [그림 4]와 같다.

3-3. 안정성 비교 검토

본 공법의 안정성 검토는 유한요소해석프로그램(Plaxis 2D)을 이용하여 검토하였으며, 동일 조건에서 레이커공법과 비교, 분석하였다. 안정성 검토는 국내 지반의 일반적인 조건인 전단토, 풍화토 및 풍화암으로 구성된 지층을 기준으로 굴착고 10m에 대하여 검토하였다. 수치해석 결과 자립식 흙막이 공법의 벽체 변위는 레이커공법의 약 77% 수준으로 안정성 측면에서 유리한 것으로 분석되었다.

표 2 안정성 검토 결과

구분	벽체 변위 (mm)	벽체		억지말뚝		강봉	Raker
		휨 (MPa)	전단 (MPa)	휨 (MPa)	전단 (MPa)	축인장 (MPa)	
자립식 흙막이	39.7 < 50.0	95 < 184	68 < 120	81 < 210	50 < 120	179 < 460	-
레이커	51.5 > 50.0	83 < 190	38 < 120	-	-	-	0.34 < 1.0



3-4. 공사비 비교 검토

억지말뚝을 이용한 자립식 흙막이공법은 레이커공법에 비하여 지보재 및 중간말뚝이 불필요하며 바닥 슬래브 하부에 사장되는 중

간말뚝이 불필요하므로 강재물량이 감소한다. 공사비 검토 결과 본 공법의 단위 공사비는 레이커공법의 약 90% 수준으로 공사비 절감이 예상된다.

표 3 공사비 비교 결과

(단위 : 원/m)

구분	자립식 흙막이공법	레이커공법	
작업비	가시설공	937,380	900,748
	부대공	2,744,680	2,749,090
	자재비	754,840	1,273,669
	소계	4,436,900	4,923,507
간접비(작업비의 15%)		665,535	738,526
단위 공사비	5,102,435 (90.1%)	5,662,033	

3-5. 공사기간 비교 검토

자립식 흙막이공법은 레이커공법에 비하여 레이커 및 중간말뚝 시공이 불필요하여 굴착 및 지보공 설치 속도가 빠르며, 구조물 바닥 슬래브 타설 후 레이커 및 중간말뚝 절단이 불필요하여 공사기간 단축이 가능하다. 동일 공사규모(굴착면적 10,000㎡, 굴착고 10m)를 기준으로 공사기간을 비교한 결과 본 공법은 레이커공법 공사기간의 72.5% 수준으로 공기 단축이 우수한 것으로 분석되었다.

표 4 공사기간 비교 결과

(단위 : 일)

구분	자립식 흙막이공법	레이커공법
작업준비	1.0	1.0
억지말뚝 시공	7.4	7.4
억지말뚝 시공	7.4	-
레이커, 지지말뚝 시공	-	3.7
굴착, 강봉 시공	51.7	76.0
레이커 절단, 구조물방수	-	5.0
총 공기	67.5 (72.5%)	93.1

3-6. 자립식흙막이공법 특징 요약

억지말뚝을 이용한 자립식 흙막이공법은 굴착면적이 넓고 대지경계에 여유가 없는 경우 충분한 안정성을 확보하며 공사비 및 공사기간을 감소할 수 있는 공법이다. 본 공법은 굴착고 10m 이상의 깊은 심도 굴착공사 시 자립도가 양호하며 시공성이 우수하여 항

후 활용도가 클 것으로 판단된다. 본 공법은 현재 시험시공 준비 중에 있으며, 본 공법의 안정성, 시공성, 경제성 등에 대한 특징 요약을 <표 5>에 나타내었다.

표 5 자립식 흙막이공법 및 레이커공법 비교

구분	자립식 흙막이공법	레이커공법
개요도		
안정성	<ul style="list-style-type: none"> • 흙막이벽체 변형 감소 (레이커공법 대비 77%) • 굴착고 10m 이상 자립 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 흙막이벽체 변형 과다 • 굴착심도가 깊은 경우 레이커 길이 장대화에 따른 좌굴문제 우려
시공성	<ul style="list-style-type: none"> • 공사기간 단축 (레이커공법 대비 72.5%) • 방수처리 및 구조물 품질관리 우수 • 내부 작업공간 충분하여 장비 작업성 우수 	<ul style="list-style-type: none"> • 공사기간 증가 • 바닥 슬래브 과다 • Open hole 발생에 의한 구조물 방수문제 및 품질 저하 • 내부 작업공간 협소하여 장비 작업성 불량
경제성	<ul style="list-style-type: none"> • 공사비 감소 (레이커공법 대비 90%) • 사용 강재량 감소 • 강재 사정물량 없음 	<ul style="list-style-type: none"> • 공사비 고가 • 사용 강재량 과다 • 일부 강재 사장 불가피

4. M-CAM 공법

4-1. M-CAM 공법 개요

도심지를 통과하는 지하철공사 시 본선구간은 얇은 토피고에 의한 안정성 문제로 인하여 개착공법이 주로 적용되고 있다. 그러나 개착공법은 지장물 처리문제, 극심한 교통체증, 인접구조물 안정성, 환경 및 민원문제가 필수적으로 발생하며, 이로 인한 공기 지연이 종종 발생한다.

이러한 개착공법의 문제점을 해결하기 위한 방안으로 NATM(New Australian Tunneling Method) 터널공법을 적용하고 있으나, 일반적으로 저토피 토사구간에서의 NATM 공법은 안정성 확보가 어려우며 다양한 보강 공중 및 보강량의 증대로 인하여 공사기간이 장기간 소요된다. 당사는 저토피 토사구간에서 터널공법 적용시 충분한 안정성을 확보하며 공사기간을 최소화할 수 있는 M-CAM 공법(Modified Cellular Arch Method)을 고안

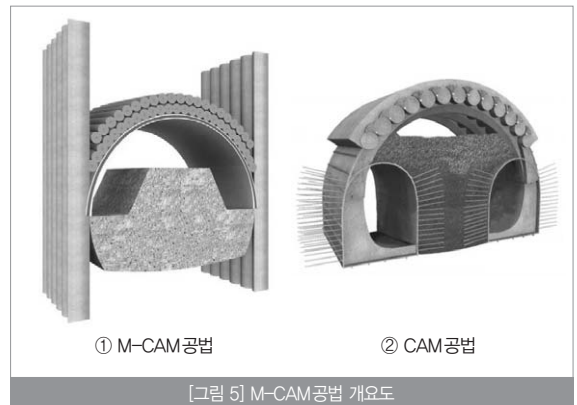
하였으며, 현재 부산도시철도 1호선 연장 5구구에서 공사 중에 있다.

4-2. M-CAM 공법 메커니즘

M-CAM 공법은 터널 천단부가 풍화토층 정도의 지반에서 충분한 안정성을 확보하며 공사기간을 단축할 수 있는 신개념 터널공법이다.

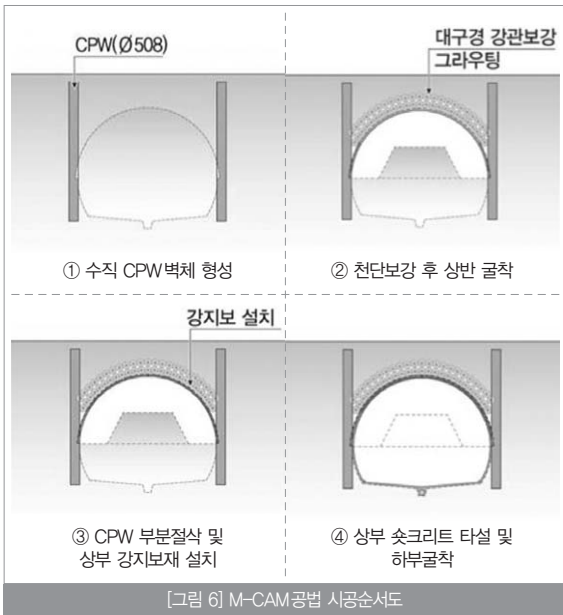
M-CAM 공법은 CAM 공법(Cellular Arch Method)의 하중전달 메커니즘을 응용하여 고안한 공법이다. CAM 공법은 당사가 서울 지하철 923 정거장(고속터미널역) 건설 시 기존구조물 하부 15cm를 통과하여 완벽하게 시공한 공법으로 지중에 대구경 강관을 Arch 형태로 삽입하고 횡방향 거더를 설치하여 Roof를 형성하며 Pilot 터널의 측벽콘크리트와 Roof를 일체화함으로써 상부하중을 지지하는 공법이다.

M-CAM 공법은 터널 천단에 대구경 강관단단그라우팅과 강지보재를 설치하여 Roof를 형성하고 터널 측벽부에 선시공된 CPW(Continuous Pile Wall)와 일체화함으로써 상부하중을 CPW에 전달하여 안정성을 확보하는 공법이다. M-CAM 공법의 천단부 대구경강관단단그라우팅과 강지보재는 Roof 형성을 통하여 CAM 공법의 강관과 거더 역할을 하며, 측벽에 선시공된 CPW는 CAM 공법의 측벽콘크리트 역할을 하게 된다.



4-3. M-CAM 공법 시공순서

M-CAM 공법 시공순서는 ① 지상으로부터 CPW 선시공 ② 터널 내 강관단단그라우팅 시공 후 상반굴착 ③ CPW 부분절삭 및 강지보재 설치 ④ 상부 슛크리트 타설 및 하반굴착 순으로 진행된다. 이와 같은 시공순서를 통하여 복잡한 터널 내 보강공중을 단순화하며, 범위억제 효과가 뛰어나 인접 구조물 및 기존도로에 미치는 영향을 최소화할 수 있다.



4-4. M-CAM공법과 개착공법 비교

도심지 지하철공사를 위하여 개착공법을 적용할 경우 기존 도로 하부에 위치하는 가스관, 상하수관, 통신관 등의 지장물 처리에 많은 문제가 발생한다. 또한, 개착공법은 공사 중 이설도로 계획이 필수적이며, 현장 여건상 별도의 이설도로가 확보되지 못할 경우에 극심한 교통체증과 환경 및 민원 문제가 발생한다.

M-CAM공법은 공사 중 터널 지상구간 굴착이 불필요하여 지장물 처리문제가 사전에 방지되며, 지상에서 CPW를 시공할 때 차로 점유 기간이 매우 짧아 지상교통에 전혀 지장을 주지 않고 공사를 할 수 있다. 또한, 본 공법은 비산, 먼지, 소음, 진동을 최소화할 수 있어 환경 및 민원문제를 원천 방지할 수 있는 장점이 있다.



4-5. M-CAM공법과 기존 갱내보강공법 비교

(1) 안정성 검토

동일한 지반조건에 대하여 M-CAM공법과 기존의 토사터널 보강

공법인 Elephant Foot, Leg Pile, 축벽파일 등에 의한 갱내보강 공법의 터널보강효과를 응력-침투류 연계해석(Coupled Analysis)을 수행하여 비교, 분석하였다.

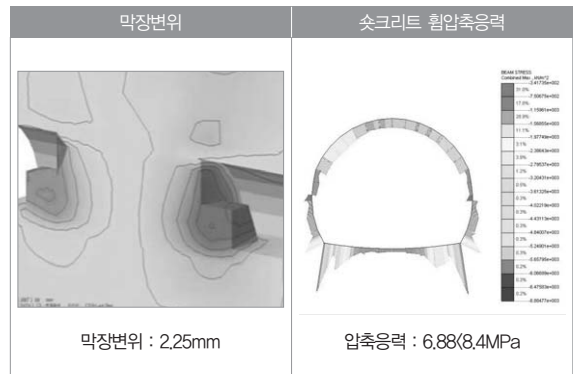
수치해석 결과 M-CAM공법이 갱내보강공법에 비하여 지표침하 및 천단 침하량은 50%정도, 내공변위 및 막장면 변위는 30% 정도, 슛크리트 응력은 70% 정도를 나타내어 변위 및 응력에 대하여 보강효과가 매우 우수한 것으로 분석되었다.

표 6 M-CAM공법 및 갱내보강공법 제원

구분	M-CAM공법	갱내보강공법
개념도		
굴진장	0.5m	0.5m
스�크리트 두께	(상반)250mm, (하반)100mm	(상반)250mm, (하반)250mm
가인버트	-	100mm
강지보	H-150 × 150 × 7 × 10(상반)	H-150 × 150 × 7 × 10(상하반)
천단보강	대구경 강관보강 그라우팅 (120°, Ø 114mm, L=12m)	대구경강관보강 그라우팅 (180°, Ø 114mm, L=12m)
각부보강	-	강관보강 레그파일 Ø60.5mm, CTC 1.0m(중)
축벽보강	CPW Ø508mm, CTC 500	강관보강 축벽파일 Ø60.5mm, CTC 1.0m

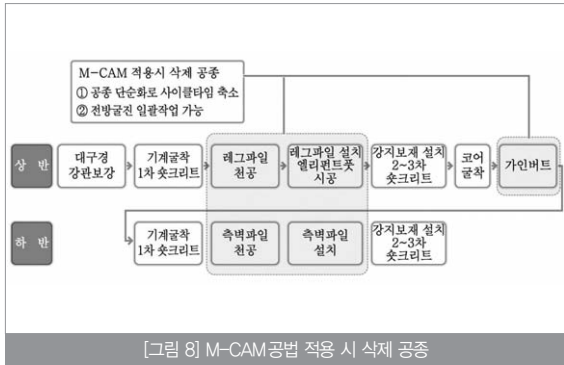
표 7 수치해석 결과

구분	M-CAM	갱내보강
지표침하(mm)	-12.40	-21.4
천단침하(mm)	-13.97	-24.16
내공변위(mm)	-2.06	6.66
막장면변위(mm)	2.25	11.06
스�크리트응력(MPa)	5.92	7.67



(2) 공사기간 비교

M-CAM공법은 기존 갱내보강공법에 비해 Leg Pile, Elephant Foot, 가인버트, 축벽파일 시공이 불필요하다. 따라서 터널 보강공 종 단순화에 의한 사이클 타임 축소 및 CPW 보강과 갱내보강 공 종이 병행 시공 가능함에 따라 공사기간이 단축된다.



4-6. M-CAM공법 공사비 비교

M-CAM공법은 도심지 저토피 풍화토 구간에서 개착공사 시 수반되는 복잡한 문제를 해결할 뿐만 아니라 종래의 NATM공법 적용시의 안정성 및 공사기간 문제를 해소할 수 있는 터널공법이다. 본 공법은 개착공법에 비하여 흙막이 가시설공 및 도로 이설이 불필요하여 공사비가 절감된다. 또한, 기존 갱내보강에 의한 NATM 터널공법에 비하여 보강 물량이 현저히 감소하며, 공종이 단순화되어 Cycle Time이 단축됨에 따라 공사비 절감 효과가 있다. 각 공법별 공사비 검토결과 M-CAM공법은 개착공법의 72%, 갱내보강에 의한 NATM터널공법의 54% 수준으로 공사비 절감효과가 우수하다.

표 8 공법별 공사비 비교

구분	공사비 영향 요인	공사비
M-CAM	<ul style="list-style-type: none"> 보강물량 감소에 의한 공사비 절감 공종 단순화에 의한 Cycle Time 단축효과로 공사비 절감 	0.72 (0.54)
개착공법	<ul style="list-style-type: none"> 가시설 공사비 과다 도로 및 지장물 이설에 따른 공사비 증가 	1.00 (0.75)
NATM터널 (갱내보강)	<ul style="list-style-type: none"> 레그파일, 축벽파일 등 다양한 보강공법에 의한 공사비 증가 복잡한 공종에 의한 Cycle Time 지연에 따른 공사비 증가 	1.33 (1.00)

5. 맺음말

최근 국내외 건설시장이 위축됨에 따라 품질 향상 및 공사비 절감을 위한 기술혁신의 중요성이 크게 대두되고 있다. 당사는 기술경쟁력 강화와 수익성 창출을 위하여 신기술 개발 및 기술사업화를 추진 중에 있으며, 본고에서는 자립식 흙막이공법과 M-CAM공법을 소개하였다.

(1) 억지말뚝을 이용한 자립식 흙막이공법

억지말뚝을 이용한 자립식 흙막이공법은 굴착벽체 배면에 억지말뚝을 설치하고 벽체와 억지말뚝을 강봉으로 연결함으로써 벽체배면에 작용하는 토압을 수동말뚝으로 거동하는 억지말뚝을 통하여 지지하는 공법이다. 본 공법은 굴착면적이 넓고 대지경계에 여유가 없는 경우 확실한 안정성을 확보하며 시공성 향상 및 공사비 절감을 도모할 수 있는 공법이다.

(2) M-CAM공법(Modified Cellular Arch Method)

M-CAM공법은 강관단단그라우팅과 강지보재를 설치하여 Roof를 형성하고 선시공된 수직연속벽체와 일체화함으로써 상부하중을 수직연속벽체에 전달하여 터널안정성을 확보하는 공법이다. 본 공법은 저토피 풍화토구간에서 충분한 안정성을 확보하며 공사기간 및 공사비를 최소화할 수 있는 신개념 터널공법이다. S