

혁신적이고 놀라운 전색재인

스마트스템®으로 성공적인 발파작업

스마트스템® 벤치발파

스마트스템® 터널발파



지능형신소재 스마트스템® 발파공법

□ 스마트스템® 개발동기

지금까지 발파산업계에서 집중했던 기술개발은 폭약과 뇌관(기폭장치)이었습니다.

폭약과 뇌관의 고도화는 우발적인 폭발사고에 대한 안전성과 사용자의 편의성을 크게 개선하였지만 공발 현상, 파쇄도 불량, 비산 발생 등 발파 직후에 2차적으로 발생하는 다양한 문제를 해결해 주지 못했습니다.

당사는 이러한 2차적 문제가 발파와 관련된 여러 영향인자 중 전색재(Stemming Materials)가 가장 주요한 인자라는 점에 주목하여 한국건설기술연구원과 공동으로 스마트스템 전색재를 개발 완료하였습니다.

전색재는 사용하는 사람에 따라 발파 결과에 차이가 크게 납니다.

그렇다는 것은 전색재를 잘못 사용하고 있을 확률이 높습니다. 전색재는 화약의 폭발에 강력하게 저항해야 폭발에너지 효율 및 공내 지속(유효) 시간이 증가합니다.

그러나 현장 발파작업자들에게는 올바른 전색재를 사용할 시간과 인내심이 없습니다.

저희 연구진은 이러한 상황에 적합하고 사용하기 쉬우며, 공내 폭발에너지의 손실을 완벽하게 차단할 수 있는 전색재를 개발하게 되었습니다. 21세기에 맞는 혁신적인 제품으로 스마트스템®(Smart Stem)이라고 부르기로 결정하였습니다.

스마트스템®은 단순한 전색재가 아닙니다.

일반적인 전색재로 발파에 실패하고 싶지 않은 현장, 발파비용과 2차 처리비용(소할, 크러싱)을 아끼고자하는 현장, 과장약발파를 억제하여 민원에서 자유롭고 싶은 현장을 위해서 개발되었습니다.



□ 일반전색



발파 공발(Blow-out) 발생

현재 발파전색재는 모래, 천공암분, 골재 등을 사용하여 다짐하게 되는데 공극이 많아 압축률이 크고 공벽과 마찰력이 적어 공발(흡출비산)이 발생합니다.



폭발 에너지가 빠르게 소실

폭발 에너지가 공구 방향으로 빠르게 소실되어 소음 증가, 비산 발생, 파쇄 및 굴진효율 저하됩니다.



공기, 공사금액 증가

대기가 다량 발생하여 소할, 운반 및 적재, 2차 크리싱 비용 등이 증가되어 경제성 확보에 어려움이 있습니다.



특허

제 10-2418199호

특허명칭

충격파 응답형 전단농화유체 전색재 및 이를 이용한 발파공법

특허등록일

2020년 06월 03일

기술개요

스마트스텝® 발파공법은 강한 충격파가 탄성파 형태로 전단농화유체에 전달되었을 때 순간적으로 강하게 고체화 (solidification) 되면서 발파공 내에서 폭발에너지를 오랜시간 지속시켜 (폭약의 화학적 반응 증가) 파쇄효율 및 굴진을 증대, 진동소음의 저감, 암석 비산의 감소등의 효과를 얻는 발파공법



□ 스마트스텝®



발파 공발(Blow-out) 방지 효과

스마트스텝®은 일반전색 전 단계에 삽입하고, 나머지 공간은 일반전색재로 채우는 혼합전색방식으로 작업하며, 공발현상을 방지하여 폭발에너지 효율성을 높여줍니다.



발파에너지 효율 극대화

스마트스텝®은 전단농화유체 혼합물 전색재로서 화약류 폭발 시 전색효과를 극대화시켜 공발 및 비산억제, 발파 파쇄도, 굴진율 등 발파효율이 증대합니다.



공기, 공사금액 감소 등 경제성 증가

스마트스텝®의 이상적인 전색효과는 완전파쇄를 유도하여 공기단축 및 경제성 확보에 매우 유리한 발파공법입니다.

지능형신소재 스마트스템® 발파공법

스마트스템®의 특징

기존 전색재료

- ① 기존 전색재 모두 공극이 많고, 공내 압축률이 높아 폭발가스의 발파 공내 압력 강하가 빠르게 발생됨.
- ② 모래, 천공암분은 공벽과의 마찰력이 작아 전색물이 공발되며, 특히 수공의 경우 액상화(Liquefaction) 현상으로 전색의 효과는 거의 없음.
- ③ 골재는 수공에서 안정성이 우수하고, 공벽과의 마찰력도 타 전색재료보다 우수하나 다짐밀도가 낮고, 공극의 크기가 가장 커 팽창가스의 유출이 큼.

일반 전색재



모래

천공암분

쇄석골재

일반 전색재 사용 시 발생하는 현상



액상화 현상



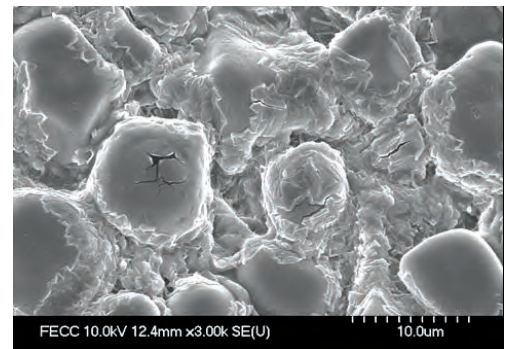
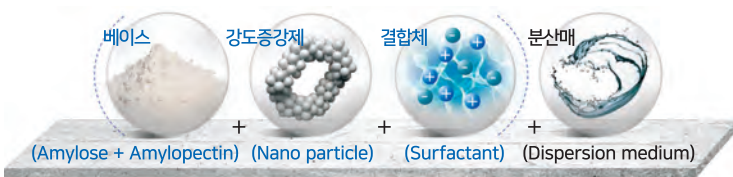
공발현상



대괴(Boulder) 발생

스마트스템®의 특징

충격파 응답형 전단농화유체 전색재 및 이를 이용한 발파공법(이하 스마트스템® 발파공법)은 지능형 신소재인 전단농화유체(Shear Thickening Fluid)가 폭발의 기폭(起爆)시 발생하는 강력한 충격파(Shock Wave)에 의해 내부입자들이 응집하여 하이드로클러스터(Hydrocluster)가 형성되면 충격파 저항성(Shockwave Resistance)과 점도(Viscosity)가 증가되는 친환경 소재로 인체에 무해하며 자연상태에서 수개월 이내에 생분해되는 친환경소재로 토양, 수질오염의 우려가 없음.



스마트스템® 분자구조 / PESEM

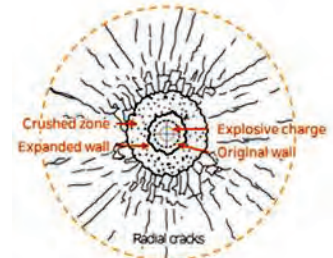
■ 임반파괴 과정

동적파괴(Dynamic Fracture)

- 폭발 에너지의 2~25%는 충격파 형태로 초기균열을 발생시킴.

정적파괴(Static Fracture)

- 40%의 에너지는 가스팽창 형태로 균열의 확대(Enlargement)와 전파(Propagation)를 가속화함.
- 나머지 에너지는 소음, 진동, 열 등 다른 에너지로 변환되어 소실됨.

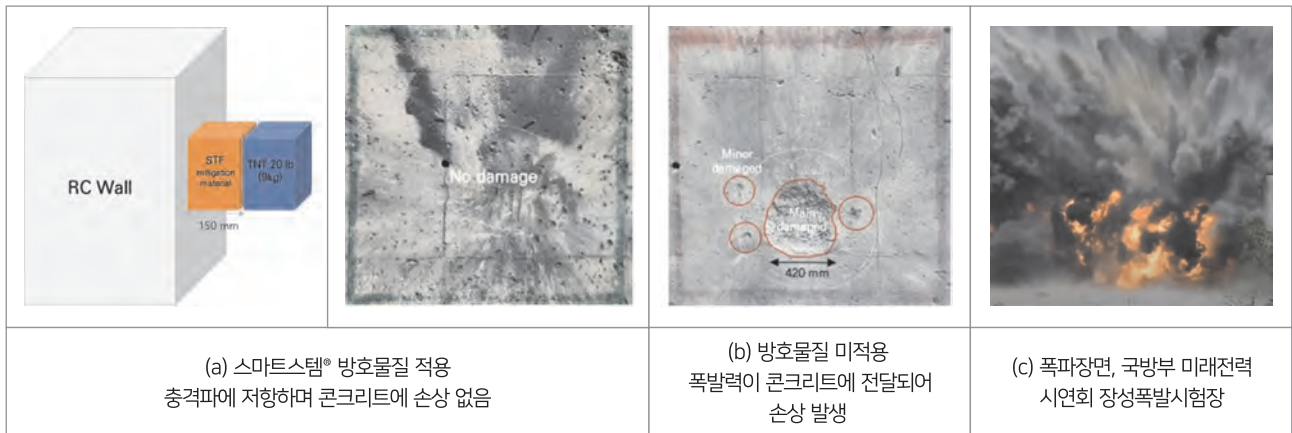


발파공 주변 방사균열 모식도

물질	밀도 (kg/m)	음파속도 (m/s)	음향 임피던스 (kg/(m ² s))
모래, 자갈	1,800	750	1.35×10 ⁶
점성유체(뉴턴유체)	1,260	1,908	2.50×10 ⁶
전단농화유체(비뉴턴유체)	1,600	2,050	3.28×10 ⁶

* 미국 재료 시험 협회 ASTM(American Society for Testing and Materials)

■ 스마트스템®의 높은 임피던스 값은 충격파 저항성(Shockwave resistance)을 증가시켜 폭발 충격파가 외부로 손실되는 것을 방지하여, 피폭체인 암반내부의 초기 균열발생량을 증가시킴.



(a) 스마트스템® 방호물질 적용 충격파에 저항하며 콘크리트에 손상 없음

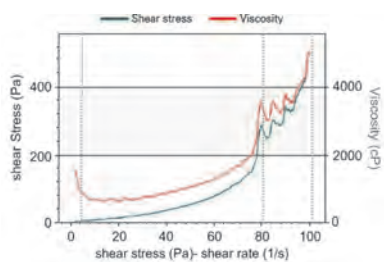
(b) 방호물질 미적용 폭발력이 콘크리트에 전달되어 손상 발생

(c) 폭발장면, 국방부 미래전력 시연회 장성폭발시험장

* 스마트스템® 방호물질 활용을 위한 평가시험 (출처 : 국방NEWS, 2023.06.13.)

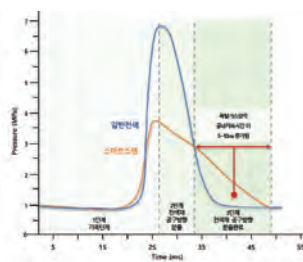
■ 유체 점도[공벽과 마찰저항] 증가로 폭발가스의 공내 지속(유효)시간 증가

[레오메타(Rheometer) 유변 물성시험]



<고속전단저항에 전단강도, 점도 변화>

[공내 가스압 지속(유효)시간 비교]



<가스압 지속시간 최대 10ms이상 증가>

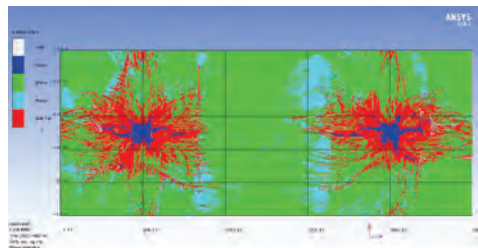
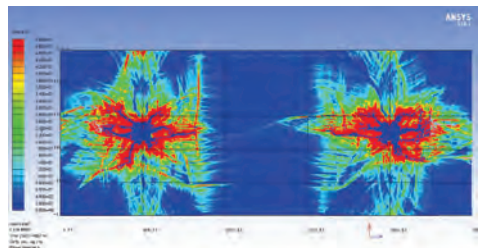
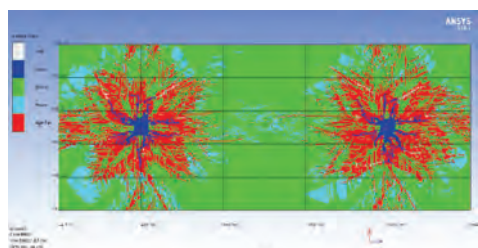
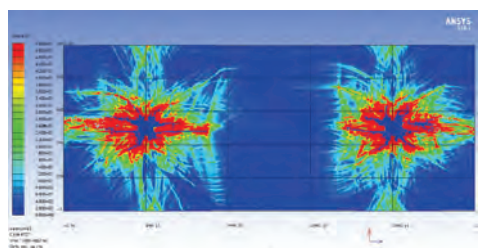
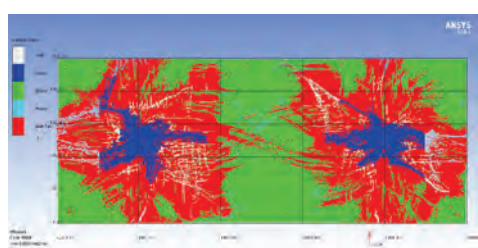
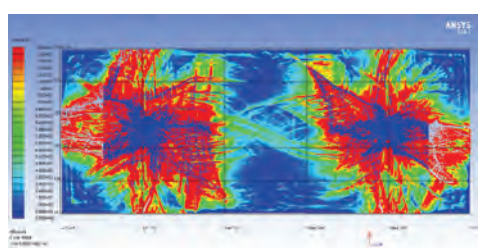


스마트스템
일반전석
깨기효과 증대 파쇄입도 양호
얇은 공밀현상 파쇄입도 불량

1) Jeong, Youngjun; Cho, Sangho; The Blast Hole Pressure Measurement and Full-scale Blasting Experiment using the Shock-reactive Stemming Materials, Applied sciences, 2022

지능형신소재 스마트스템® 발파공법

■ 수치해석(Numerical analysis) 결과 스마트스템®의 경우 초기 균열발생량과 암파쇄량이 최대 30% 이상 증가됨.

전색재 종류	균열(Crack) 발생량	파괴(Damage) 양상
모래, 천공암분		
13mm 쇠석골재		
스마트스템®		

■ 스마트스템® 제품규격



구분	천공경	전색제직경 (mm)	길이 (mm)	개당중량 (g)	박스당개수 (ea)	박스통중량 (kg)	비고
SP 400	45~55mm	40	300	400	40	16	소구경
SP 600	65~75mm	60	400	1300	12	15.6	대구경
SP 800	95~105mm	80	300	2000	8	16	광산용

스마트스템® 벤치발파 시공순서 (Smart-Stem Bench Blasting)



01 천공작업



02 검측작업



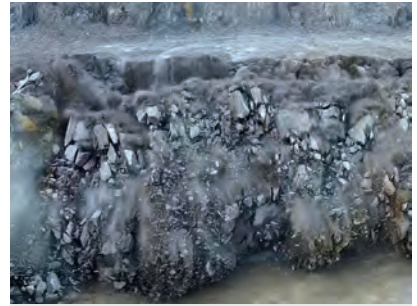
03 장약작업



04 스마트스템® 삽입



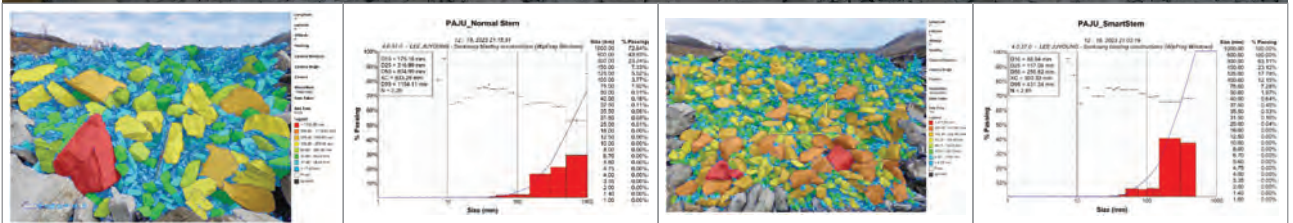
05 일반전색 삽입



06 발파

혼합전색(Hybrid Stemming)

실규모 벤치 발파 파쇄도 분석사례



일반전색 파쇄도 분석

스마트스템® 파쇄도 분석

구분	N(균등지수)	D10	D50	D80	DMAX	X30 통과율(%)
일반전색	2.25	175	605	1,042	1,160	23.24
스마트스템®	2.85	89	259	362	435	63.11

⇒ 스마트스템®은 일반전색대비 성토용 소할발생량이 52% 감소되었고, 최대크기도 63% 감소되어 양호한 파쇄가 된 것을 알 수 있음.

지능형신소재 스마트스템® 발파공법

스마트스템® 터널발파 시공순서 (Smart-Stem Tunnel Blasting)



01 천공작업



02 검측작업



03 장약작업



04 스마트스템® 삽입



05 일반전색 삽입

혼합전색(Hybrid Stemming)



06 발파

실규모 발파 경제성 분석사례

구분	스마트스템 발파	기존발파	비고
① 천공장	4.3m	4.2m	
② 굴진장	3.9m	3.3m	
③ 잔류공	0.4m	1.0m	
④ 굴진율((②÷①)%)	90.7%	78.6%	굴진율 12.1% 증가

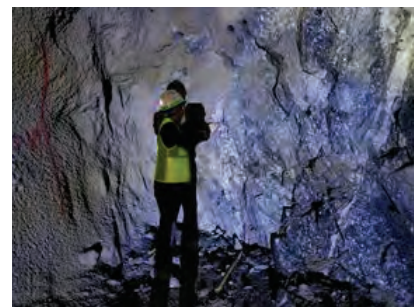
스마트스템® 발파



천공장 측정

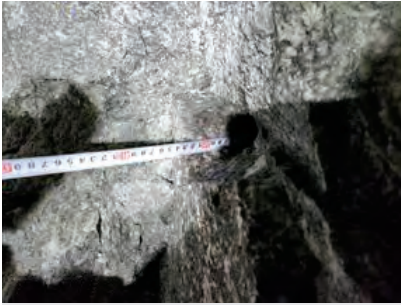


굴진장 측정



잔류공 측정

■ 기존발파



전공장측정



굴진장 측정



잔류공 측정

■ 경제성 분석

구분	스마트스템 발파	기존발파
단면적	89.554	89.554
굴진장	3.9	3.3
1회 발파물량	349.26	295.53
발파비용(전색 비용제외)	B	B
전색비용(스마트스템®)	80,000원	0
전체 발파비용	B+80,000원	B
발파단가 계산식	(B+80,000)/349.26	B/295.53
발파단가	17,238원/m ³	20,000원/m ³
스마트스템® 적용 시 비용절감율	-13.8%	



* 호주 ORANADRILL & BLAST사 한국 스마트스템® 적용현장 방문 및 기술도입 MOU체결

지능형신소재 스마트스템® 발파공법

스마트스템®의 공법적용

스마트스템® 벤치발파 표준패턴 SBB공법(Smart-Stem Bench Blasting)

구분	TYPE-1 미진동굴착공법		TYPE-2 정밀 진동제어발파		TYPE-3 소규모 진동제어발파	
	기존공법	스마트스템® 공법	기존공법	스마트스템® 공법	기존공법	스마트스템® 공법
패턴도						
천공장	1.5m	1.3m	2.0m	1.8m	2.7m	2.7m
최소저항선	0.7m	0.6m	0.7m	0.8m	1.0m	1.1m
천공간격	0.7m	0.7m	0.8m	1.0m	1.2m	1.3m
장약량	0.125kg	0.125kg	0.250kg	0.250kg	1.000kg	1.000kg
파쇄체적	0.637m³	0.462m³	1.01m³	1.28m³	2.88m³	3.432m³
전색장	-	0.25m	-	0.25m	-	0.5m

구분	TYPE-4 중규모 진동제어발파		TYPE-5 일반발파		TYPE-6 대발파	
	기존공법	스마트스템® 공법	기존공법	스마트스템® 공법	기존공법	스마트스템® 공법
패턴도						
천공장	3.4m	3.4m	5.7m	5.2m	8.7m	7.8m
최소저항선	1.6m	1.7m	2.0m	2.1m	2.8m	2.8m
천공간격	1.9m	2.0m	2.5m	2.5m	3.2m	3.4m
장약량	3.0kg	3.0kg	7.5kg	7.5kg	20.0kg	20.0kg
파쇄체적	9.12m³	9.86m³	24.0m³	24.15m³	65.40m³	66.64m³
전색장	-	0.4m	-	0.4m	-	0.4m

* 암반강도와 현장 여건에 따라 천공장, 저항선, 공간격은 가감하여 적용할 수 있음.

스마트스텝® 터널발파 표준패턴 STB공법(Smart-Stem Tunnel Blasting)

지보패턴	P-1	P-2	P-3
패턴도			
굴진장 (m)	3.500	2.500	2.000
장약량 (kg)	3.700	2.650	2.200
비장약량(kg/m ³)	1.01	1.05	1.10
천공수 (공)	111	116	121

지보패턴	P-4		P-5		P-6	
패턴도						
굴진장 (m)	1.500		1.200		1.000	
장약량 (kg)	1.650		1.250		1.050	
비장약량(kg/m ³)	상부	하부	상부	하부	상부	하부
	1.05	0.75	1.10	0.94	1.12	0.83
천공수 (공)	상부	하부	상부	하부	상부	하부
	89	29	98	42	107	42

지능형신소재 스마트스텝® 발파공법

□ 스마트스텝® 시험성적서

■ 법규 및 시방서 기준

항목

『화약류 발파의 기술상의 기준』

총포·도검·화약류등의 안전관리에 관한 법률 시행령 제18조 제12항

법규 및 고시 기준

천공된 구멍에는 모래·진흙 그 밖의 발화성 또는 인화성이 없는 메지를 사용해야함.



발화점 500°C 미만에서 발화되지 않음.



인화점 250°C 미만에서 인화되지 않음. (비 위험물)

■ 환경기준 : 토양오염 공정시험/ FIT시험연구원 시험자료

① 도로, 철도용지는 토양오염우려기준 3지역에 해당함.

② 스마트스텝은 토양, 수질오염 물질이 없음.

국립환경과학원 고시 제 2018-53호[2018.12.07.]

■ 국내외 논문 발표



MDPI (SCI급)



APPLIED SCIENCE-BASE (SCI급)



한국지반공학회 (KGS)



SCIENCE AND TECHNOLOGY OF ENERGETIC MATERIALS (JES/SCI급)



대한화학발파공학회(KSEE)



한국암반공학회(KSRM)



대한화학발파공학회(KSEE)

스마트스템® 에 대한 국내외 기술 평가

■ 해외 주요국으로부터의 신규성/독창성 인정 받음.



미국
EurekAlert!
미국과학진흥협회가 운영하는
과학 기술 뉴스 서비스



미국
Newswise
(미국의 과학기술
뉴스 포털)



일본
Japan Explosives Society
(JES/일본화약학회)



브라질
① Antena Poltica
② Brasil Empauta



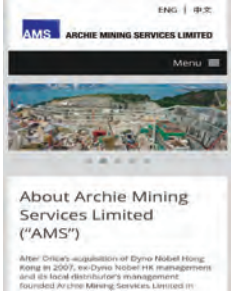

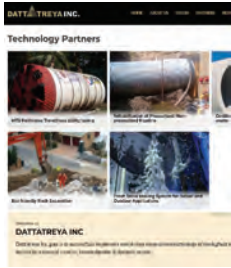
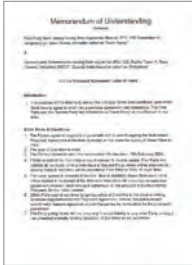

국내외 주요 납품 현황

- | | |
|---------------------------------|---|
| 1) (유)은광산업개발 / 고창석산 | 5) (주)인광기업 / 청주사업소 |
| 2) 창성개발(주) / 아산석산 | 6) 울산 다운2지구 B-2블럭공동주택 신축공사 / (주)대은종합발파 |
| 3) 용인반도체 클러스터조성공사 1공구/ (주)성보씨엔이 | 7) 유진기업(주) / 파주석산 |
| 4) 용인반도체 클러스터조성공사 2공구/광혁건설(주) | 8) 호주 / ORANADRILL&BLAST / 텡스텐, 철광석, 도심지 제어발파 현장 적용예정 |

①			⑤		
②			⑥		
③			⑦		시범적용 중
④			⑧		시범적용 준비중

지능형신소재 스마트스템® 발파공법

□ 해외 기술협력 및 수출 현황

회사명	홈페이지	기술협력 양해각서	비고
ORANADRILL & BLAST사 (호주 발파전문회사)	 <p>www.oranadrilling.com.au</p>		<ol style="list-style-type: none"> 1. 자사광산적용 2. BHP그룹 기술연구소와 협업 중
홍콩 AMS그룹 (홍콩 화약류 최대 공급처 / 발파 설계 전문회사)	 <p>www.archiems.com</p>		<ol style="list-style-type: none"> 1. 홍콩 광역쓰레기 매립장 증축 공사 : 1차 반영 (설계변경 진행 중/ 700백만m) 2. 홍콩 광역쓰레기 매립장 신축 공사 : 3. 2차 반영 예정 (3,000만m) <p>홍콩, 대만, 싱가포르등 아시아권 총괄 대리점 협의 중</p>
인도 DATTATREYA사 (토목관련 특수공정 설계 & 시공회사)	 <p>www.dattatreyainc.com</p>	 	<ol style="list-style-type: none"> 1. TATA Steel 2. Ultratech Cement 3. Birla Copper Mining 4. Karnataka Mining



스마트시스템® 인증현황



특허증



특허증



특허증



특허증



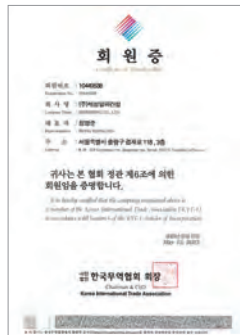
상표등록증



KICT 패밀리 기업 지정서



벤처기업확인서



한국무역협회 회원



KOITA 회원증



도공기술마켓 등록증



공장등록증



ISO인증서/9001
(품질경영)



ISO인증서/14001
(환경경영)



녹색기술 인증서



녹색기술제품 확인서



한국건설기술연구원(KICT)의 주요사업 "고속 충격파 반응형 전단농화 유체를 이용한 발파전색 기술개발"의 지원으로 개발되었습니다.

(주)석성발파건설

서울특별시 중랑구 겸재로 118, 3층
T. 02-522-5681 F. 02-522-5683
E-mail. jyj5681@naver.com
M. 010-6226-5681
URL www.seokseong.co.kr

(주)제가이앤씨

서울특별시 송파구 정의로7길 힐스테이트에코송파 715호
T. 02-2622-1364
E-mail. chyoun@zegaenc.com
M. 010-6433-5841
URL www.zegaenc.com