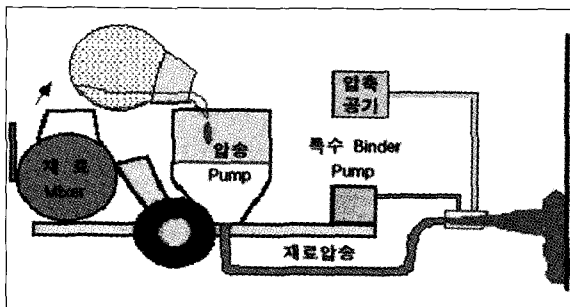


“SHOTCAST” 신 시공기술의 적용

강해성* · 정준철 · 윤은석
 <조선내화>

1. Introduction

- “SHOTCAST”란 “shot(발사)”과 “cast”(주조)란 의미의 단어가 합성되어 만들어진 고유 brand이며, 습식 혼련된 저수분 치밀질 캐스타블을 고압의 압송 pump를 이용하여 노즐로 이동시키고 노즐 끝부분에서 습식재료를 순간적으로 경화시킬 수 있는 특수 응집제를 첨가함으로써 형틀이 없이도 내화물을 라이닝(lining) 하는 신시공 기술이다. 고압의 air를 이용하여 시공면에 부착시키는 system이므로 일반 치밀질 castable의 vibrating 시공법과 동등한 품질이 확보되는 장점이 있다.
- SHOTCAST 공법의 시공장치는 재료혼련용 Mixer, 재료압송용 고압 대형 pump, 응집제 압송용 고압 소형 pump, 고압 hose, spray nozzle 장치 등으로 구성되어 있다. 약 5~7%의 저수분으로 mixing한 재료를 고압의 pump로 시공 장소까지 고압 hose를 통하여 압송시키고 스프레이 노즐 끝부분에서 압축공기와 함께 응집제를 습식재료에 골고루 분산시켜 시공한다.
- 신시공 공법의 적용 효과로는 시공 작업면에서

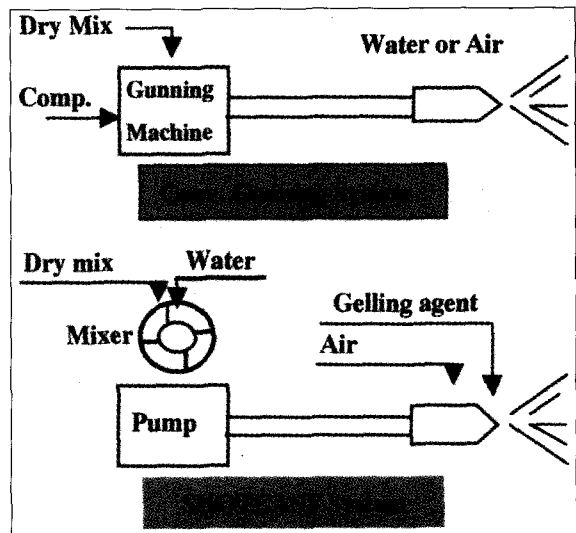


<Fig. 1> SHOTCAST 시공 개략도

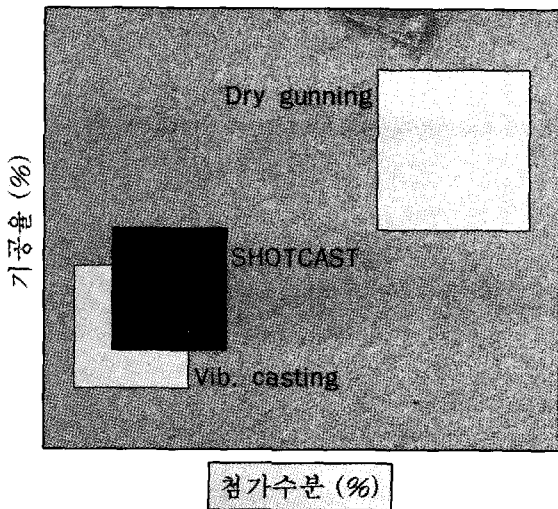
무형틀 시공이 가능하기 때문에 시공시간과 인력이 절감되며, 천정 등 내화재료의 시공이 어려운 곳에서도 시공이 간편한 특성으로 효과적인 내화물의 보수가 가능해져 내화재료의 경제적인 잇점 뿐만 아니라, 치밀한 시공효과로 노의 수명을 대폭 연장할 수 있는 효과를 기대할 수 있다.

2. Installation System

- SHOTCAST는 기존의 건닝 시스템과 비교할 때 상당히 복잡하게 구성되어 있다고 말할 수 있지만, 캐스팅 방법과 비교하면 형틀이 필요 없고, 양생시간이 매우 짧기 때문에 그에 따른 메리트가 많을 것으로 예상된다.



<Fig. 2> 기존의 gunning과 SHOTCAST system의 비교



〈Fig. 3〉 시공재질에 따른 물리적 특성 비교

- 시공방법 면에서 구분한다면 SHOTCAST는 진보된 GUNNING 시스템이라고 할 수 있지만 시공체의 물리적 특성을 고려하면 캐스팅 재질에 근접한 특성을 나타낸다.
- 〈Fig. 3〉의 도표에서 보면 SHOTCAST는 시공체의 치밀도를 나타내는 기공율이 기존의 건식 gunning재에 비하여 현저히 낮으며 vibration castable과 유사한 값을 나타낸다.

3. Technical Development

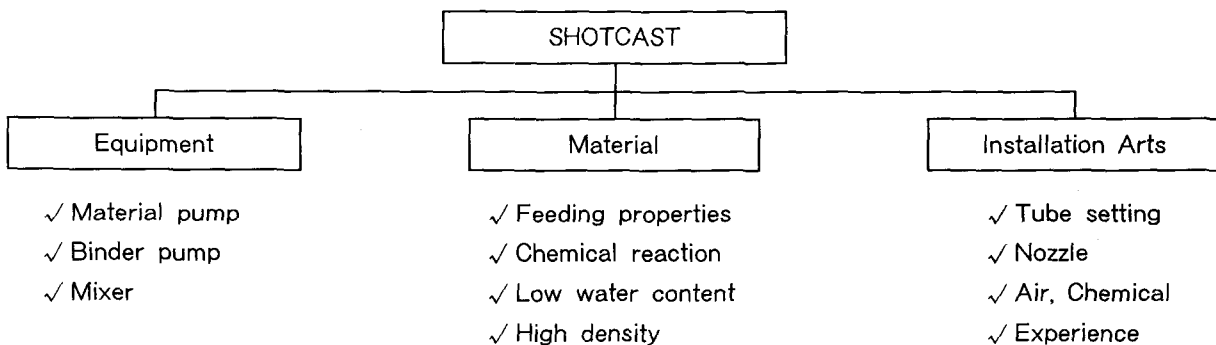
- SHOTCAST 기술은 설비(장비)기술, 재료기술, 시공기술의 3가지 면이 종합적으로 집합되어진 기술로 요약할 수 있다. 예를 들어서 설비나 재료기술이 아무리 좋아도 시공 기술면이

떨어지면 일반적인 건식 스프레이 재질과 동일한 특성을 나타낼 수도 있기 때문에 이러한 3가지 면이 조화되어야만 양호한 특성을 기대할 수 있다.

- 각 부문별로 중요한 point는 〈Fig. 4〉에 도시하였다. 장비면에서 적정한 재료압송 펌프, 액체 급결제를 공급하는 바인더 펌프, 캐스타블을 혼련하는 mixer가 중요한 point가 되겠고 내화재료 면에서는 압송시 재료의 마찰력을 감소하여 압송능력이 좋아야 하며, 노즐 선단부에서 급결제와 혼합하여 경화하도록 적정한 화학적 반응 시스템을 가지고 있어야 되며 저수분, 고밀도 특성이 필요하다. 그리고 시공 기술적인 면에서는 배관방법, 노즐에서의 공기와 화학결합제의 혼합 control, 그리고 시공현장에서 발생되어지는 갖가지 trouble에 대한 해결 경험 등이 중요하다

4. Special Quality

- 당사의 신개발 SHOTCAST는 주재료로 압송 특성이 양호한 Low-cement계 base이기 때문에 저기공 및 고온에서 열간강도가 높고 내마모 특성이 우수한 성질을 나타내며, 또한 자체 개발한 고유의 급결시스템을 갖고 있는 것이 특징이다.
 - Low-cement material
 - Pumpable Workability(low viscosity)
 - High strength
 - Abrasion resistance
 - > Low porosity



〈Fig. 4〉 SHOTCAST를 구성하는 중요인자

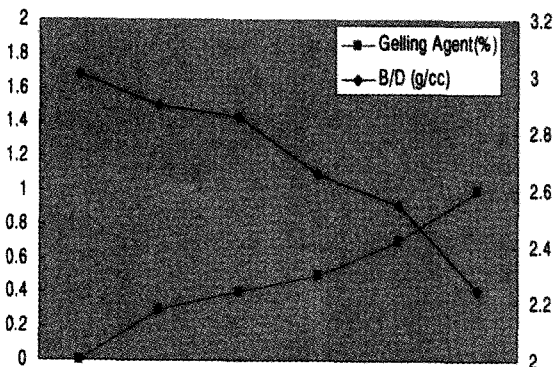
〈Table 1〉 급결제 첨가량에 따른 부피비중 변화

Gelling Agent (%)	B/D (g/cc)	INDEX
0	3.01	100
0.3	2.9	96
0.4	2.86	95
0.5	2.66	88
0.7	2.55	85
1	2.25	75

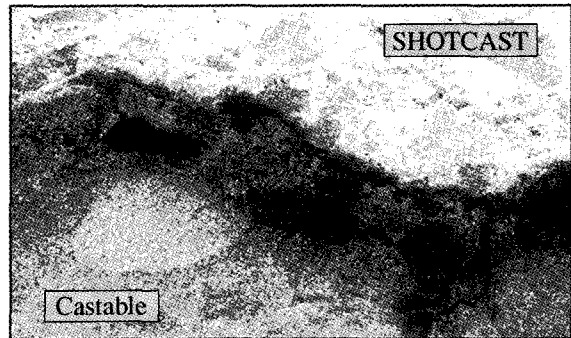
- Rapid Setting system
- Special polymer
- Control the liquid phase (SiO₂-less)

5. Gelling agent & Physical properties

- 내식성이 우수한 재료라 할지라도 급결 시스템에 문제가 있으면 제특성이 발현되지 않습니다. 또한 급결제는 많이 첨가된다거나 화학적으로 내식성이 결여되는 성분과 연관되면 바람직하지 않다. 〈Fig. 5〉에서 보시는 바와 같이 급결제 첨가량에 증가함에 따라 시공체의 치밀도를 나타내는 bulk density는 감소하는 경향을 보입니다. 따라서 최적 시공조건이 되는 급결제의 첨가량 조정은 매우 중요한 factor이며 첨가된 급결제가 화학적 반응에 의한 내식성이 저하되지 않는 재료를 선택하는 것이 중요하다.



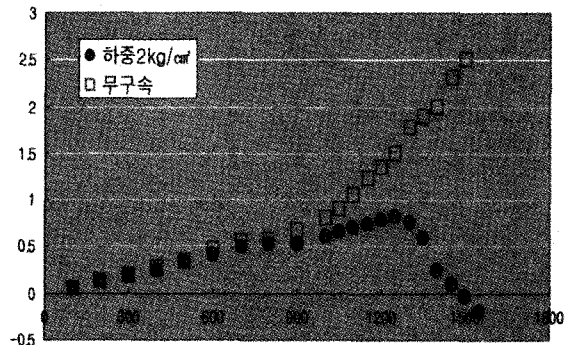
〈Fig. 5〉 급결제 첨가량에 따른 부피비중 변화



〈Fig. 6〉 Castable과 SHOTCAST의 경계면

6. Adhesion properties

- 본 내용은 기존에 시공된 내화물의 표면에 SHOTCAST 재료를 육성 보수했을 경우 보수하고자 하는 모재와의 열간 접착 특성을 시험한 결과이다. 제철소의 래들의 경우 metal line부는 Al₂O₃-MgO질 캐스타블을 사용하고 있고 이 부위에 SHOTCAST 재질을 보수하면 부착 경계면에서 견고한 Bonding이 형성되어 우수한 보수 효과를 나타낸다. 이는 〈Fig. 7〉에서와 같이 열팽창 특성이 구속되지 않는 조건에서는 온도 증가에 따른 지속적인 팽창성이 발현되나 적절한 양의 하중을 받는 조건에서는 약 1,000℃ 이후부터는 팽창 특성이 감소하고 이후 소결 수축이 발생된다. 즉 재료의 팽창 특성은 모재와 더욱 밀착시키는 역할을 하며 밀착된 계면에서 소결이 진행되어 견고한 세라믹 본드가 형성된다.



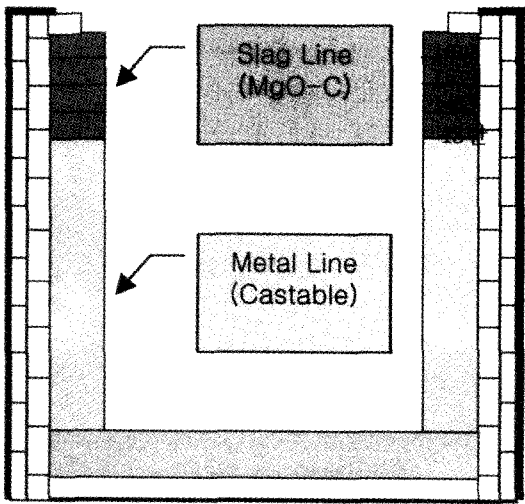
〈Fig. 7〉 Castable의 열팽창 특성

7. Field Application 1 Steel Making Plants (Ladle)

- 제철소의 제강 래들에 SHOTCAST 적용 결과이다. 제강 래들의 내화물은 슬라그 라인부에는 MgO-C질 벽돌을, 하부 메탈라인부에는 Al₂O₃-MgO질 캐스타블이 사용되어지고 있다. 이러한 내장 내화물의 수명을 향상하고 경제적인 보수를 목적으로 슬라그 라인부에는 MgO 20%급, 메탈라인부에는 MgO 10%급 Al₂O₃-MgO질 SHOTCAST 보수재를 적용하였다.

- 적용장소 : 100T, 330T Teeming Ladle
- 재질 : SC-AM20, SC-AM10
- Al₂O₃ 80~90%, MgO 10~20%
- Cement-less Al₂O₃-MgO base

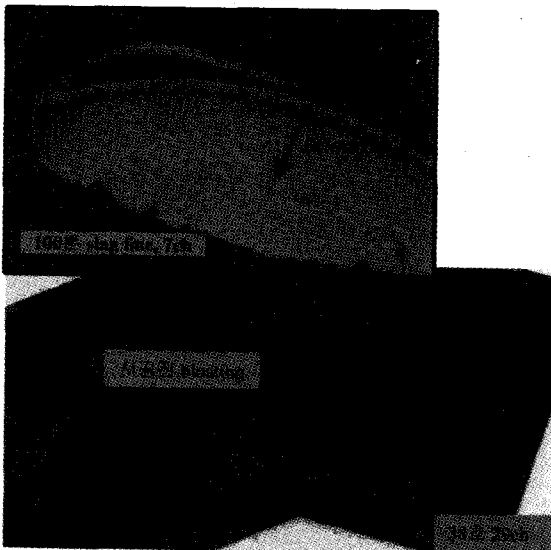
- <Fig. 9>의 윗부분 사진은 100톤 티밍래들 슬라그 라인부 MgO-C 벽돌 포면에 SHOT 재질을 50~80mm 두께로 시공하여 7ch 열간사용 상태이며, 아래쪽 사진은 330톤 티밍래들 메탈라인부에 SHOT 재질을 60~80mm 두께로 시공하여 29ch 열간사용 상태이다. 시공전에 발생되었던 Bloating 부위를 제외하곤 거의 침식이 되지 않은 양호한 상태이다.



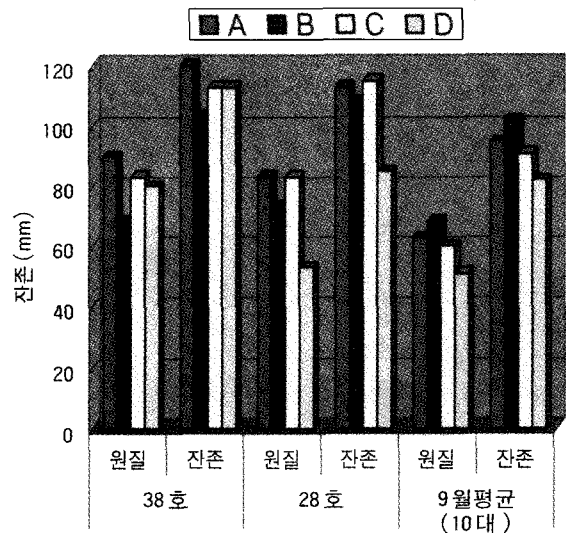
<Fig. 8> 제강공장의 티밍래들 모식도

8. Test Result 1 (S/L & M/L)

- 330톤 티밍래들 메탈 라인부에 SHOT 재질을 1회 4톤의 물량을 보수했을 경우, 래들 수명 연장효과는 약 20ch 늘어나고 래들당 약 6,600톤의 쇳물 생산량이 늘어나는 효과를 얻었다. <Fig. 10>의 그래프는 래들을 완전히 사용하고 난후 잔존을 비교한 결과로 20ch 사용수명이 증가함에도 불구하고 해체 잔존은 10~20mm 많음을 나타낸다. 더불어 안전도 측면에서도 효과가 있음이 입증되었다.
- 슬라그 라인부의 MgO-C 벽돌에는 유입재와는 달리, 재질 특성상 경계면에서 직접적인 세



<Fig. 9> 티밍래들 SHOTCAST 보수후 열간상태



<Fig. 10> 티밍래들 SHOTCAST 보수후 잔존비교

라믹 bonding이 형성되지 않는다. 그러나 SHOTCAST 재질 자체의 내용성인 10~15ch와 경계면에서 탄소의 산화, spalling 방지효과가 더불어 발생하기 때문에 실제 20ch 이상의 수명 향상효과를 얻을 수 있었다.

- Metal Line
 - 래들수명 : 260 → 280ch (+ 20ch, + 6600 st-ton/Ladle)
 - Durability : 65~70% (at, 70ch used)
- Slag Line
 - 내용성 : 10~15ch
 - MgO-C brick의 산화, spalling 억제 효과

〈Table 2〉 소각로 적용한 SHOTCAST 품질표

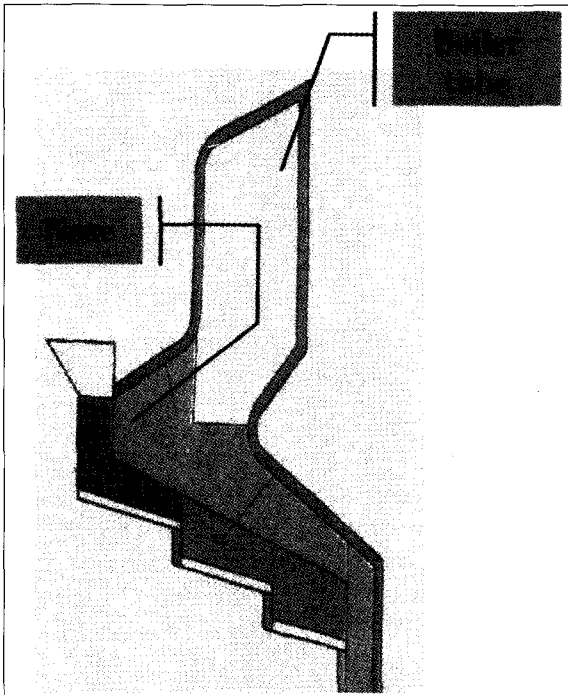
	SC-AS85 Boiler tube	SC-A70 Nose part
Chemical Comp. (%) Al ₂ O ₃ SiC	7 85	72 -
Bulk Density (g/cm ³) 110°C 1,500°C	2.45 2.40	2.65 2.50
C. C. R (kg/cm ²) 110°C 1,500°C	350 1,300	380 1,000
Remarks	high thermal conductivity	high strength

9. Field Application 2 Incinerator

- 도시 쓰레기 소각로에 적용한 결과이다. 일반적으로 상부의 보일러 수관 보호재질은 고열전도성의 SiC질 patching재 또는 self-flowing 재질이, 하부의 소각실내의 재질은 내열, 내 spalling성 재질이 사용되고 있다. 소각로의 내화물은 열회수능을 높이기 위해서 정확한 시

공두께의 시공 및 피열 표면적의 증대가 필수적이다. 최근의 self-flowing castable도 시공능력은 우수하지만 비표면적이 낮기 때문에 폐열회수 능력면에서는 바람직하지 않습니다. 이러한 소각로용의 내화물로서의 최적 시공방법으로 SHOTCAST 공법이 가장 효과적으로 판단된다. 일정한 속도로 분무된 재료는 재료가 갖추어야 할 물리적 특성을 만족시킬 뿐 아니라 수관의 배열형태와 유사하게 시공이 이루어져 최대의 피열 표적적을 확보할 수 있기 때문이다.

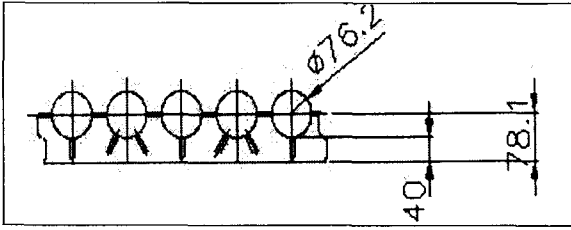
- 상부 보일러 수관부에는 SiC 85% 재질을, 하부 소각실 천정의 Nose부에는 Al₂O₃ 70%질 고강도 SHOTCAST 재질을 적용하였다.



〈Fig. 11〉 소각로 모식도

10. Installation

- 〈Fig. 13〉의 사진은 평촌 소각로 하부 소각실 천정의 Nose부이고 우측 사진은 천안 도시쓰레기 소각로의 상부 보일러 수관보호용 SiC 85% SHOTCAST 재질을 시공하는 장면이다. Rebound loss가 거의 없으며 최대의 폐열회수 능력을 가져 최적의 재료로 평가받고 있다.
- 〈Fig. 12〉에서와 같이 내화물 시공두께는 40~78mm의 매우 얇게 설계되어 있어 기존의 시공형태는 수작업에 의한 patching 시공이 주류를 이루었고 최근들어 고성능 self-flowing castable이 개발되어 시공되기도 하였다. 그러나 SHOTCAST 신시공을 적용함으로써 기존의



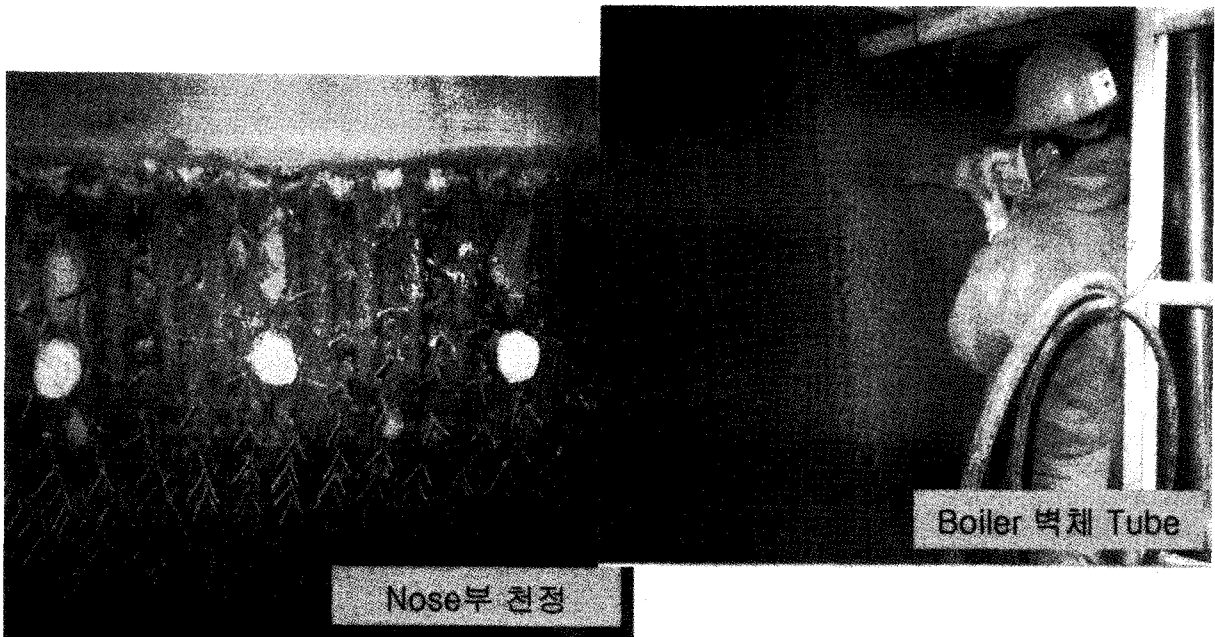
<Fig. 12> 수관보호용 SiC질 SHOTCAST 시공단면

시공방법의 단점인 혼련된 재료를 높이 30~40m의 비좁은 시공장소로 이송해야 하는 시공

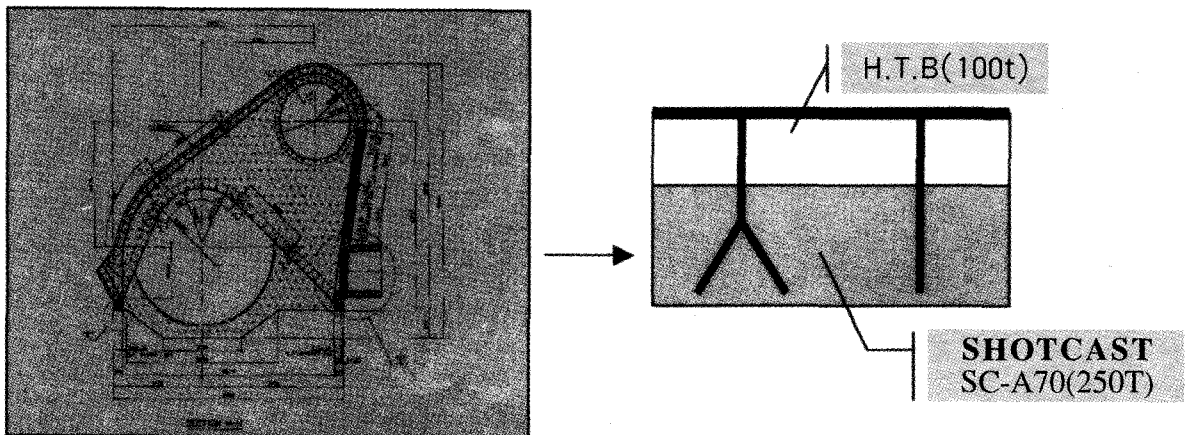
의 비효율성면이 해결되었고 또한 균질한 시공 품질의 확보가 가능하였다.

11. Field Application 3 Cement Rotary Kiln

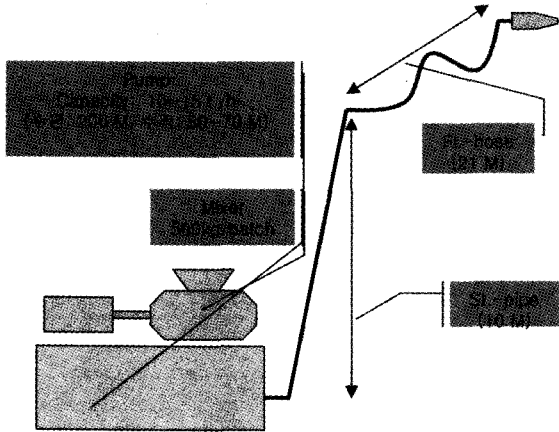
- 시멘트 로타리 키른의 Cooler 천정부 적용사례이다. 아직까지 국내의 적용실적은 많지 않으나 미국이나 일본의 적용발표 사례로 볼 때 외국에서는 상당히 활발하게 적용되고 있는 것



<Fig. 13> 소각로 SHOTCAST 시공 부위



<Fig. 14> SHOTCAST 시공 Cooler 천정부 단면



〈Fig. 15〉 Cooler 천정부 SHOTCAST 시공 lay-out

로 시공하였다.

- 〈Fig. 15〉의 시공 lay-out를 간단히 살펴보면 시공기 위에 1회에 500~1,000kg을 한번에 혼련할 수 있는 Mixer를 장치하고 연결 배관으로 수직 10m까지는 압력 손실을 막기 위해 steel 배관과 이후 약 21m는 flexible 배관을 사용한다. 총길이를 환산하면 시공기에서 노즐까지의 거리는 약 40m로 측정된다. 시공기의 최대 시공 능력은 수평 200m, 수직 50~70m 거리까지 시공이 가능하며 최대 시간당 10~15ton까지 시공이 가능하다.

으로 판단된다. 시멘트 공장은 기타 요로와는 달리 시공두께가 200mm 이상의 두꺼운 시공체가 요구되는 곳이 많을 뿐 아니라 작업 공간면에서 어려운 점도 많아 해결해야 난관도 많을 것으로 생각되지만 SHOTCAST 적용에 따른 장점이 많은 곳이 시멘트 로타리 키른이라고 할 수 있다.

- 〈Fig. 14〉는 A사 cooler tertiary 부위와 hood 부위를 SHOTCAST 적용부위이다. H TB 100mm로 단열처리 후 Al₂O₃ 70%급 고강도 내마모성 SHOTCAST 재질을 두께 250mm

12. Properties of SHOTCAST

	SC-A70	SC-A90	SC-70S	SC-30KL
Chemical Comp. (%)				
Al ₂ O ₃	72	90	67	37
SiC	-	-	14	30
Bulk Density(g/cm ³)				
110°C	2.65	3.05	2.72	2.45
1,500°C	2.50	2.88	2.70	2.47
C. C. R. (kg/cm ²)				
110°C	385	400	340	280
1,500°C	980	1400	930	760
Remarks	Al ₂ O ₃ -SiO ₂ , Al ₂ O ₃		Al ₂ O ₃ -SiC	



〈Fig. 16〉 Cooler tertiary 부위(좌)와 천정부 SHOTCAST 시공(우)

- 시멘트 공장에 적용 가능한 대표적인 품질 (例) 이다.
- A-70, A-90은 알루미늄계 재질이며 70S 및 30KL은 알루미늄-SiC계 재질이다.

13. Conclusions

- 금번 개발한 SHOTCAST 재질은 Low-cement계로써 저기공 치밀특성으로 내마모성이 우수하며, 고분자 폴리머를 이용한 최적 급결 시스템을 갖추고 있다.
- 현재 제철소에서는 내화물 수명향상 및 내화물 cost 절감 효과로 공정 사용중에 있고 시멘트 공장 및 소각로 등 일반 요로에서는 아직 초기 적용단계에 있지만 향후 전망은 매우 밝은 편

이라 생각된다.

- Low-Cement계 SHOTCAST
 - 저기공 치밀질, 내마모 특성 우수
 - 고분자 polymer 이용한 rapid setting system
- SHOTCAST 신시공 기술 적용 결과,
 - 제철소 Ladle M/L부 : 70ch 사용후 65~70% 잔재
 - » S/L부 MgO-C brick 보수, 수명 연장 효과
 - 시공시간 단축 및 안정적인 조업 운용
- 시멘트 Rotary Kiln, Incinerator 등 적용 범위 확대
- COST 절감, 경제적인 내화물 사용관리 가능