

# 도가니 爐(Crucible Furnace) : Emisshield 코팅으로 효율향상

연료비의 지속적인 증가는 인건비를 포함한 도가니 로 운전비용의 증가로 바뀌고 있다. 높은 연료비에 추가되는 도가니 정비와 보수비용의 지출은 수익성을 감소시킨다. 도가니의 정비와 보수비용과 마찬가지로 연료비도 감소시키는 고방사성 코팅의 Emisshield 제품군은 도가니로 운영자들에게는 이상적인 해결책이 된다.



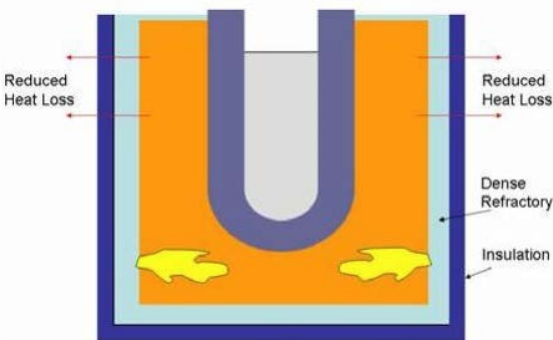
[그림 1:X-33 궤도선회 우주선]

## Emisshield

Emisshield 고방사성 코팅제들은 Emisshield Inc.가 제조하며 Emisshield 기술은 우주왕복선(X-33)의 용도로 NASA 에서 특허, 개발되었다. 그 기술자체가 특허 등록된 바인더 시스템들이 조합된 이 기술은 산업용 고방사성 코팅제들을 Emisshield 社가 제조하고 있다. Emisshield 코팅제들은 고밀도 내화물, 내화 세라믹화이버, 단열벽돌과 기타 금속들에 양호하게 잘 접착됩니다. 도가니 로에 적용된 Emisshield 코팅은 균일한 가열, 길어진 수명, 연료절감과 생산성 향상의 결과를 나타냅니다.

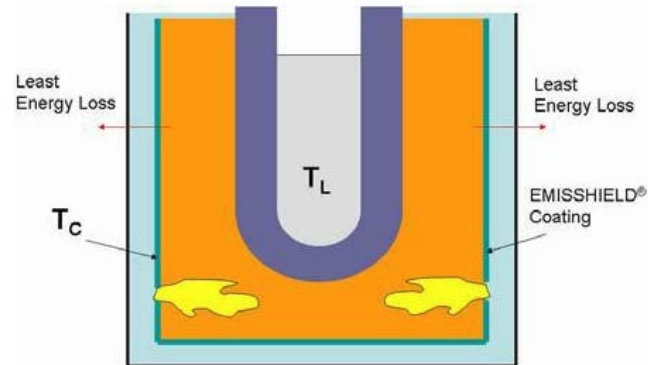
## 도가니 로의 내화물에 대한 코팅

일반적으로, 도가니 로에 사용되는 고밀도 내화물들은 열손실을 감소시킬 뿐 아니라 Heat Sink 로써도 작용하며 도가니 로의 운전중에 귀중한 에너지 손실을 유도하기도 합니다.



[ 그림 2: 도가니 로 ]

그림 3 에서와 같이 고방사 Emisshield 코팅이 적용된 경우, 뜨거운 로의 가스와 버너에서 복사된 열에너지는 그 코팅제가 흡수하고 냉각기로서 도가니 뒤로 재복사 된다. 도가니는 이 재복사된 열을 흡수하고 도가니 안쪽에 위치한 부하에 재복사 시킨다. 따라서, 내화물 라이닝은 냉각기가 되어 열에너지를 적게 보유하게 된다.



[그림 3: 내화물의 뜨거운 쪽에 Emisshield 코팅이 도포된 도가니로]

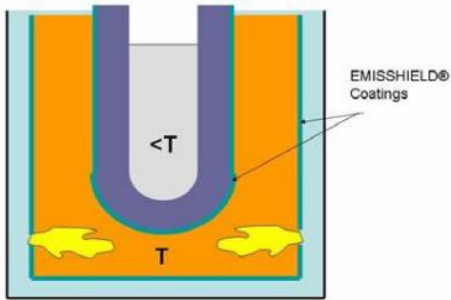
Emisshield 코팅면의 온도 T<sub>C</sub>, 도가니로 표면과 내용물의 온도가 T<sub>L</sub> 이라면, 코팅면에서 재복사에 의해 일어나는 열전달량은 다음의 식으로 표현된다.

$$Q = E_w \dot{O} (T_C^4 - T_L^4)$$

- Q : 노의 피가열물에 흡수된 재복사열
- E<sub>w</sub>: 코팅면의 방사율
- Ó : 스테판-볼쯔만 상수

온도가 제 4의 힘까지 상승할 때, 코팅면과 피가열물과의 온도차이가 최대가 되면 코팅면이 열을 흡수하여 최대 열에너지를 재복사하는 현상이 뚜렷해 진다. 코팅면의 온도가 노의 피가열물 온도보다 높을 때만, Emisshield 가 효과적으로 작용할 수 있다는 것을 주지해야 한다.

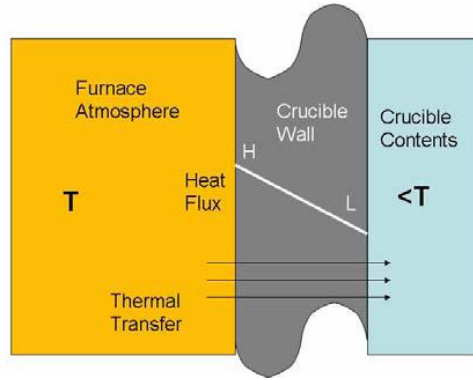
Emisshield 로 도가니 외부를 코팅하므로써 도가니가 보다 많은 복사에너지를 흡수하는 것이 가능해 졌다(그림 4). 코팅면은 대부분의 열에너지를 흡수하고 코팅된 연와에서 재복사 하지만, 코팅된 도가니로부터 전달될 수 있는 이 에너지에는 차거운 물체가 없다. 이런 결과로, 코팅된 도가니에 흡수된 부가적인 열에너지는 도가니와 코팅면에서 도가니 내부에 있는 피가열물에 전달될 것이다.



[ 그림 4 : 도가니 외부에 Emisshield 를 코팅한 경우. ]

### 코팅된 금속 도가니

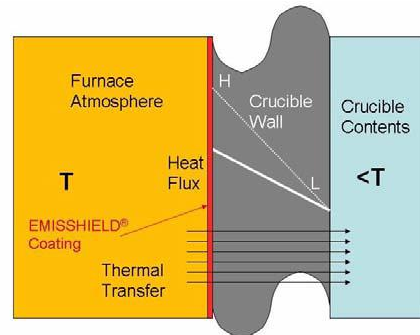
어떠한 코팅도 하지 않은 경우, 도가니 벽으로 전달되는 열에너지의 량은 도가니 합금(그림 5) 재료의 열전도성에 따라 결정될 것이다. 전달되는 열유동량의 크기는 도가니의 뜨거운 면의 온도와 차거운 면과 피가열물의 온도 차이에 따라 결정된다.



[ 그림 5: 비코팅 도가니에서의 열유동과 열전달 ]

도가니 로의 경우, 산화는 도가니의 뜨거운 면 위에 단열성 피막들을 때때로 형성시키기도 한다. 이 피막의 제거작업은 로의 효율적 운전을 위해선 필수적으로 이뤄져야 한다. 이들 피막들은 도가니의 열에너지 흡수능력과 피가열물에 전달하는 능력을 감소 시키기도 하지만, 이 피막들의 반복되는 제거작업은 심각한 관리유지비 증가와 생산성 하락으로 귀착된다. 게다가 이것들은 또한 도가니의 진행성 마모를 야기하고 도가니의 내구수명을 단축 시키기도 한다.

Emisshield M-Series 코팅이 815°C이상의 온도에서 굽혀질 때, 코팅표면은 미세구멍들이 없어지고 세라믹 광택이 형성되어 산화의 부정적인 영향으로부터 도가니를 보호한다. 이 코팅들은 뜨거운 면에서의 열에너지 흡수량을 증가시키고 도가니 내용물에 전달되는 열에너지의 량과 같이 열유동도 증가 시킨다(그림 6). Emisshield ST-Series 코팅들이 세라믹 연와 도가니들에 적용될 때에도 유사한 장점들이 성취될 수 있다.



[ 그림 6: Emisshield 가 코팅된 도가니에서의 열유동과 열전달 ]

### 도가니 로에서의 Emisshield 용도

Emisshield의 적용으로 얻게되는 장점들은 도가니로의 설계와 운전 매개변수들에 크게 좌우된다. 코팅되지 않은 연와의 방사율( $E_w$ )은 0.3 ~ 0.5 사이에 있게 된다. 연와에 Emisshield를 적용함으로써 연와의 방사율은 거의 0.9 수준으로 증가하게 된다. 열에너지의 거의 90%를 흡수하고 재복사하는 코팅 때문에 도가니에서 흡수되고 피가열물에 전달되는 복사열의 양은 주로 도가니의 방사율에 의해 결정됩니다.

복사 열전달 공식으로 부터 연와의 방사율( $E_w$ ) 증가에 따라 로 내부의 피가열물에 흡수되는 열( $Q$ )는 현저하게 증가될 수 있다는 것을 쉽게 확인할 수 있다. 이것은 연와에 Emisshield를 적용한 후, 동일량의 연료사용으로 더 높은 온도에 도달하게 되고 이로 인해 생산성이 향상된다는 것을 의미한다. 더 높은 도가니 온도가 요구되지 않는다면, 그 온도는 코팅하지 않았을 때의 필요 열에너지를 얻었을 때보다 빠른 시기에 버너를 잠금으로써 하락시킬 수 있다. 이것은 낮은 연료소모율로 매우 높은 생산성을 이룰 수 있게 합니다.

설명한 바와 같이, 로의 효율은 금속용으로 설계된 Emisshield 코팅들을 도가니에 직접 적용하여 크게 향상시킬 수 있다. 도가니에 Emisshield 코팅의 적용으로 연료절감 효과뿐 아니라 사이클 타임도 짧아 진다.

### 도가니 로에 Emisshield 적용으로 기대되는 효과들

도가니 로의 연와에 적용된 Emisshield 코팅은 비코팅 연와에 비해 뜨거운 로가스(furnace gas)와 버너 화염으로부터 더 많은 열을 흡수한다. 코팅에서 흡수된 열은 도가니에 재복사를 하고 도가니에 보다 많은 열에너지가 유용할 수 있도록 한다. 배기가스 온도가 빨리 상승하고 두드러진 에너지 절감의 결과를 나타낸다.

도가니 로가 벳치형태로 운전될 때, 연와의 흡수 열에너지 감소는 냉각만큼 빠른 가열속도를 빠르게 한다. 연속적으로 운전될 때, 도가니의 내용물은 앞선 Emisshield 적용의 결과와 같이 운전온도까지 빠르게 도달한다. 로의 가열온도 도달시간은 보다 짧게 되는 것을 기대할 수 있다. 로의 정지시간과 사이클 타임 또한 꽤 감소될 것으로 기대할 수 있다.

연와재에 흡수되고 저장되는 열이 작을 때, 연와재는 비교적 낮은 온도에 있게 된다. 따라서, 연와재는 보다 낮은 열응력과 열충격을 받게 되므로 보다 길어진 내구수명을 기대할 수 있다.

연화재에 추가로 도가니에도 Emisshield를 적용했을 때, 보다 높은 생산성과 연료절감을 기대할 수 있으며, 도가니의 구매와 관리유지와 관련된 비운전성 비용의 절감효과도 얻을 수 있다.