

나노기술을 응용한 세라믹 단열제의 선박적용에 관한 연구

권 기 생/한국해양수산연수원 교수
박 한 선/선박검사기술협회 검사제도부

I. 서 론

최근의 에너지 수요는 급격하게 늘어나고 있다. 이는 지구 온난화와 관련하여 여름철의 온도가 상승하고 개인의 소득이 증가함에 따라 가정은 물론이고 산업현장에도 에어컨을 설치하여 냉방으로 인한 전력수요가 늘어난 것도 큰 원인을 제공하고 있다. 아울러 겨울철의 난방비도 증가 추세에 있다. 특정한 분야에서 에너지 절약을 하는 것도 중요하지만, 가정·산업현장·농업·수산업 등 여러 분야에서 손쉽게 고루 쓰일 수 있으며, 단열성을 배가시키는 제품의 적용은 우리나라 에너지 절약 사업에 상당히 긍정적 요인으로 작용할 것이다.

선박의 경우 선체의 재질이 강재로서 태양열에 의한 영향을 많이 받고 있다. 이로 인해 외기와 직접적인 접촉이 되는 선교 및 거주구역에서의 쾌적성 확보가 요구되며, 화물구역에서의 화물가스 방출에 의한 화물손실 및 대기오염 방지가 요구되고 있는 실정이다. 또한 기관구역에서는 연료유의 가열과 냉각수의 보온 및 보냉 등에 많은 열에너지가 소모되고 있다.

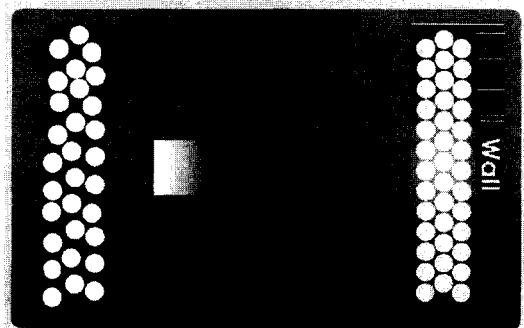
본 연구에서는 이미 개발되어 우주왕복선에서 보온, 보냉 및 단열재로서 적용되고 있으며

열 에너지 사용분야에 널리 적용될 수 있는 친환경적이고 사용하기가 용이한 알루미늄 실리케이트를 주성분으로 하는 단열용 첨가제인 세라믹 파우더를 선박 및 해양시설에 적용하여 열에너지 절약과 화물 손실 및 대기오염 방지에 기여할 수 있는 방안을 모색하고자 한다.

II. 본 론

1. 단열 및 보온의 원리

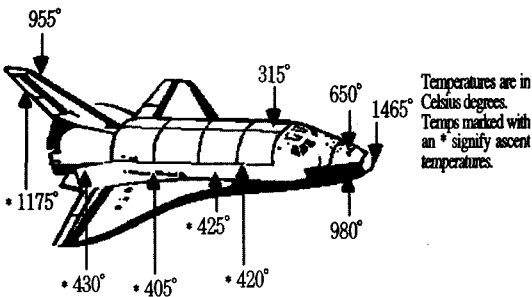
미세공극의 원형 진공세라믹 파우더가 수성



(그림 1) 세라믹 볼의 단열원리

또는 유성 페인트에 혼합된 상태에서 도색 (Coating)을 하면 원형의 미세공극진공파우더는 무게(비중0.7)가 가벼워 페인트 도장외부로부터 일정한 층(Layer)을 형성한다. 세라믹진공층은 태양광선의 복사열을 90%를 차단하고 전도열을 85% 차단한다.

우주왕복선이 지구 대기권에 진입 시 비행선의 표면 온도는 왕복선 선수 부분이 14560℃까지 상승하고 선미부분이 1175℃까지 상승하며 대기권 진입 후에는 온도가 급강하하여 -30℃이하로 급강하하여 비행선의 동체가 열팽창과 수축에 의해 견딜 수 없다. 이러한 극한 상태의 온도에 견딜 수 있는 방법은 세라믹 진공봉을 응용하여 대기권 진입시 고열에 견딜 수 있고 고공의 극한온도에서 견딜 수 있다.



(그림 2) 우주왕복선이 대기권 진입시의 각부온도

2. 주성분과 유해성

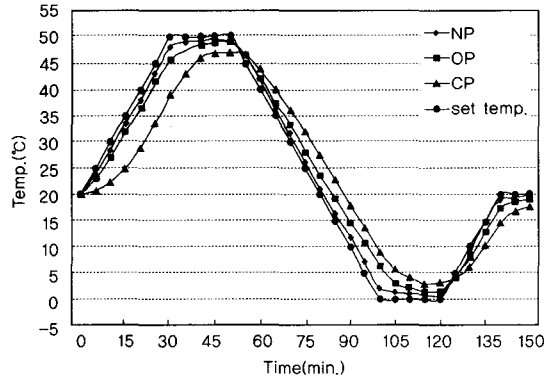
알루미늄 실리케이트(SiO_2 및 Al_2O_3)가 대부분이고 시험결과 납, 비소 등의 8대 중금속은 전혀 검출되지 않았다.

3. 첨가제의 성능시험¹⁾

1) 열 차폐성능

무도장(NP), 일반페인트 도장(OP) 및 세라

믹페인트도장(CP)에 대한 열 차폐시험성능 결과는 다음과 같다.



(그림 3) 세라믹 혼합 페인트의 열차폐 성능 시험결과

그림 3에서 알 수 있듯이 온도 0~50℃의 폭으로 설정된 온도 변화에 대한 3종의 시료 내부 온도 변화는 도장의 종류별로 각각 큰 차이를 나타내는 것으로 확인되었다.

무도장의 경우 설정온도와 유사하게 온도가 상승되었고, 이는 철판의 전도율(40kcal/mh℃)이 매우 높기 때문에 외기의 변화에 의한 내부 온도 변화 차이가 거의 없는 것으로 판단된다. 또한 일반 페인트의 경우는 약 2~3℃ 정도의 차이를 두고 지속적으로 온도 폭을 유지하고 있는데 반하여 세라믹 혼합페인트는 설정온도변화 25~40℃사이에서 내부온도변화의 차이가 10℃ 이상까지 열 차폐효과가 나타나고, 특히 외부 온도가 상승하는 구간에서 우수한 단열 효과가 나타났다.

세라믹혼합페인트의 경우 내부 온도변화는 주변 온도변화에 대하여 민감하게 변화되지 않았으며(Time lag 현상), 이로서 중공형의 세라믹분말 혼합에 따른 페인트의 획기적인 열 차단 성능 향상을 확인할 수 있었다.

이상의 실험 결과 일반 선박의 철판을 통한

1) 한국전자재시험연구원 및 SI 교역 용역자료

열 전달효과는 대단히 크기 때문에 열대지방 또는 여름철에 내부 에어컨에 의한 냉방은 한계가 있으며, 선박의 경우 선교에 설치된 항해장비 및 무선설비에 직접적인 영향을 미치고 있으므로 열 차단방법으로 세라믹혼합페인트를 적용시 그 온도차단 효과는 매우 큰 것을 확인할 수 있다.

2) 온도변화 저항성

2가지 페인트를 시공 후 장기적 온도변화에 대한 내구성을 검토하기 위하여 페인트의 물성 변화시험 결과는 다음 표와 같다.

이상의 시험결과 열적 성능개선과 동시에 태양열에 의한 직접적인 구조물 온도변화의 영향 등을 감소시킴으로서 선박 선체 또는 격벽으로부터 외피를 통한 침기의 영향 등을 감소시킴으로서 선박의 외관 또는 기기 보호 향상과 내구

성 증가에 대한 효과는 매우 우수한 것으로 판단된다.

3) 열 반사

열 반사 시험은 300×300×50mm의 크기로 제작한 시멘트 판 윗면과 측면에 무도장, 일반 페인트도장 및 첨가페인트 등의 3종 시료를 제작하여 일광에 1시간 동안 노출시킨 후 종류별 최고 표면온도를 측정하여 각각의 열 반사 성능을 비교 시험하였다.

4) 결론

결로 방지시험을 수행한 결과 시간대별 결로 수량을 분석한 경량은 다음 그림 4와 같다. 그림 4에서 알 수 있듯이 무도장, 일반페인트의 결로는 시간에 따른 발생량의 증가가 유사하게

〈표 1〉 온도변화 저항 성능 시험결과

	주 림	갈라짐	부풀음	박 리	색 상 변 화	광택 변 화	유해한 변 화
OP (일반페인트)	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음
CP (세라믹혼합페인트)	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음

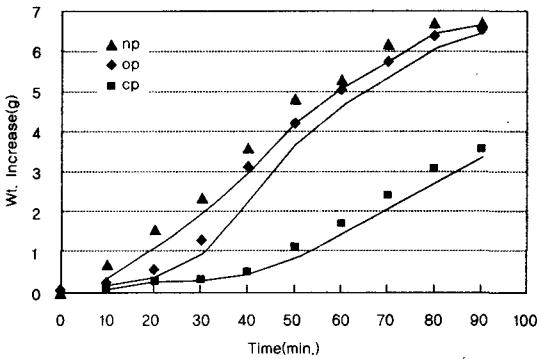
비고 : -5 ~ 80℃ for 190 min/150 cycle. Humidity 85 ± 5%

〈표 2〉 페인트 종류별 열 반사 성능 시험결과

종 류	제 조 방 법	시 험 결 과(℃)	시 험 조 건
NP	시멘트 판	57.5	○ 측정 시 최고온도: 32.6℃ ○ 시험일시 : 2001. 6. 7. 13~14시
OP	시멘트 판 + 일반페인트	44.3	
CP	시멘트 판 + 세라믹 혼합 페인트	33.7	

각 종류별 흡수되는 열량은 시멘트 판>시멘트 판 + 일반페인트>시멘트 판 + 세라믹 혼합 페인트 순이었으며 이를 열 반사 순으로 정리하면 시멘트 판 + 세라믹 혼합 페인트>시멘트 판 + 일반페인트>시멘트 판 순이 된다. 이는 혼합페인트의 열반사가 매우 우수한 것으로 판단되었다.

직선으로 증가하는 추세이고, 세라믹혼합페인트는 초기 지연효과는 물론이고 전반적인 시험기간 동안 우수한 결로 방지효과를 나타내고 있었다.



(그림 4) 결로 시험 결과

이상의 결과로부터 나타난 결로 효과는 일반적으로 기존 스티로폼, 단열몰탈 시공 및 굴곡부위 등의 단열공사에 어려움이 따르는 공정을 개선하는데 큰 파급효과를 발휘할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 적용 및 효과

1) 선박분야

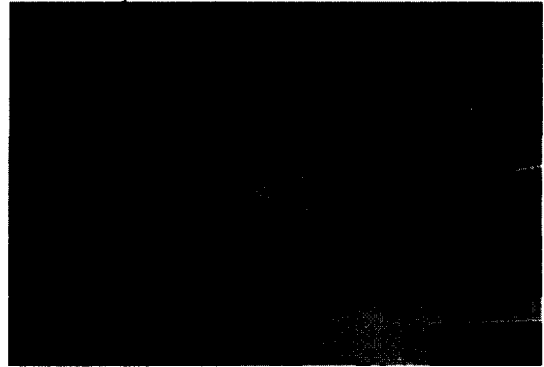
(1) 선교 및 거주구역 : 선교의 Top bridge에 적용할 경우 여름철 또는 중동 등의 열대지방을 항해할 경우 일반페인트를 도색 할 때 표면온도가 70~80℃까지 상승하나 첨가제를 적용한 도색의 경우 대기온도 보다 ±2~3℃까지 상승한다.

선교 내부의 온도는 항상 대기온도 이하로 유지할 수 있으며, 에어컨을 가동할 경우 열 에너지의 절약은 30% 이상 절약할 수 있다.

또한 직접 태양의 직사광선의 영향을 받는 거주구역에 도색할 경우는 선교와 같은 효과가 있으며, 전체적인 에어컨의 효율이 증가된다.

(Air condition duct를 도색하면 효과가 증가됨)

겨울철의 경우 Heater의 사용시 내부 온도가 외부로 전도됨과 외부의 찬 공기가 내부로 전도됨을 상당량 차단하여 실내 온도를 높게 유지하는 효과가 있다.



(그림 5) 선박 거주구역의 열 차단 시험

(2) 원유운반선, 제품유 운반선 및 LNG 선박 등

여름철 또는 열대지방을 항해시 태양의 복사열과 대기의 온도상승으로 인한 탱크내부의 온도상승으로 탱크내의 화물은 기화되어 대기로 방출한다. 탱크의 상부에 있는 갑판에 적용할 경우 온도를 대기온도까지 떨어뜨려 기화되는 화물을 최소화 할 수 있다. (여름철의 경우 On deck 표면온도 : 60~70℃를 최고 33℃까지 저하됨)

케미칼 선박의 경우 화물의 온도를 낮추기 위하여 수 분사하는 방법을 사용하고 있으나 큰 효과를 얻지 못하고 있는 형편이다.

또한 중동 지방 또는 여름철에는 주간과 야간의 온도차에 의한 탱크내부 압력변화로 인한 탱크 변형 또는 파손을 방지하기 위한 방법으로 가장 적합한 방법이다.

비고 : 2003년 6월 15일 현재 300,000DWT 급 선박에 시험 중



(그림 6) LNG 선박의 열 차단시험(예정)

(3) 기관실 연료유(Heavy fuel tank)탱크 또는 팽창탱크(Expansion tank) 등 연료유 탱크나 팽창탱크는 24시간 365일 계속 가열하여야 하며 겨울을 포함한 1년 동안 계속 열 에너지가 외부로 전도되어 많은 열 손실을 초래한다. 열 차단 페인트 적용시 열 에너지를 20~30% 절감할 수 있다.

(4) 보일러 또는 소각기

가) 에너지 보존의 측면 : 보일러 연소실에서 연료가 연소시 발생하는 복사열과 대류열은 진공세라믹 분말가루의 표면에서 반사되어 축열을 줄여줌으로 연소가스의 온도는 상승되어 보일러 튜브를 통과하여 열 효율을 증가시킨다.

나) 보수유지적 측면 : 연소가스 중의 복사열은 진공 세라믹의 표면에서 반사되어 내화벽들의 온도를 저감시켜 연소실 내부 벽면을 보호하여 사용 시간을 연장한다.

(5) 갑판(On deck) 또는 기관실의 미끄럼방지(Non slip) 효과

주 갑판 또는 기관구역은 매우 미끄러워 안전사고 위험이 많아 통로에는 돌가루(금강사)를 뿌려 미끄럽지 않도록 한다. 그러나 첨가제를 첨가한 페인트는 미끄럽지 않아서 추가의 조치가 필요없다.

(6) 페인트 또는 약품창고

휘발성이 물질을 저장하는 페인트 저장 창고

또는 화학약품을 저장하는 창고에서 온도가 상승하여 자연발화로 인한 화재 또는 폭발의 발생을 예방해 준다.

2) 선박외 분야

(1) 공장지붕

대부분의 공장 지붕은 주름진 철판으로 청색 또는 그린 색으로 된 도장을 하여 여름철 표면 온도는 60~70℃ 이상을 유지하여 공장 내부는 열 작업을 하는 경우는 40~45℃를 상회하고 일반 공장도 40℃정도를 유지한다 (실제 온도 측정 결과)

첨가제를 적용한 경우 여름철 최고 온도가 대기온도 ±2℃ 정도를 유지하여 공장의 시원하고 쾌적한 환경을 만들 수 있다.

(2) 각종 열교환기

정류공장 또는 각종 공장에서 운전하고 있는 대부분의 열 교환기 등은 보온 또는 보냉이 필요한 장치에 첨가제 적용시 에너지의 20~30%를 절감할 수 있다. 또한 일반가정의 욕조에 있는 물탱크에 사용할 경우 여름철에는 너무 덥고 겨울철에는 동파의 우려를 예방하여 보냉·보온의 효과를 볼 수 있다.

(3) 건축물

아파트 또는 단독주택의 경우 겨울철에는 외풍이 심해 실내에는 결루현상이 발생하여 하자의 원인이 되고 있으며, 또한 외기의 실내 침입으로 실내 온도가 저하되어 에너지 사용량이 급격히 증가된다.

여름철에는 태양의 복사열이 건물 벽이나 옥상의 바닥에 전달되어 찌는 듯한 더위를 느끼게 된다. 이러한 때에 복사열의 90%를 차단함으로써 온도는 이하의 온도를 계속적으로 유지할 수 있다.

(4) 컨테이너 하우스

열 전도율이 40KCal/mh℃인 컨테이너의 주름진 표면에서 복사열을 받을시 표면의 온도는 여름의 경우 70~80℃로 상승함으로서 내부 온도는 40℃를 상회한다. 첨가제를 적용시 상온

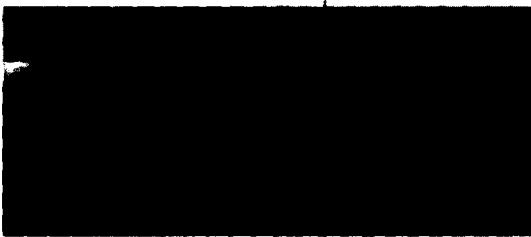
±2℃이하를 유지하여 항상 시원함을 유지할 수 있고, 반대로 겨울철에는 보온의 효과가 탁월하여 따뜻한 실내환경을 유지할 수 있다.(현재의 온도보다 평균 4~5℃ 정도 높게 유지됨)



(그림 7) 컨테이너 하우스

(5) 정류공장의 저유탱크

저유탱크는 화물에 따라 달라지나 가열하여야 하는 탱크는 보온재로서의 역할을 하고, 휘발성이 강한 화물은 여름철에 기화를 방지하기 위하여 태양열을 차단하여야 한다. 이러한 두 가지의 조건을 만족하는 방법으로 진공 세라믹볼의 열 차단 시스템을 적용한 결과 보온·보냉을 할 수 있음이 확인되었다.



(그림 8) 육상 유류 저장탱크

3) 우주항공분야

미국 나사에서 우주왕복선이 대기권에 진입시 우주선의 전반부가 1460℃를 유지하고 뒷 날개 부위가 1100℃를 유지하며 동체가 평균 300~400℃를 유지하고 대기권 진입 이후에는 -40~50℃를 유지하고 있어 진공세라믹볼을 적용하며 온도전달을 차단하고 보온을 유지하고 있다.



(그림 9) 우주 왕복선의 적용(Tech traders 제공)

III. 결 론

1. 나노기술로 제조된 미세 세라믹진공볼을 수성 및 유성 페인트에 혼합하여 적용한 결과 열 차단, 보온 및 보냉 효과가 뛰어나, 이 분야에 적용시 에너지의 20~30%를 절감할 수 있다.
2. 선박 적용 분야는 탱커의 화물증기발생 억제, 기관실의 주기관 및 보일러 등의 보조기기의 단열 및 보온, 선교 및 거주구역의 겨울철 보온 및 여름철 보냉 효과의 증가로 쾌적한 환경을 유지한다.
육상 적용 분야로는 석유화학단지의 원유 및 각종 기름의 저장탱크, 열 교환기, 공장의 지붕 및 벽면의 단열과 보냉 효과의 증가로 냉·온방 비용의 절감으로 인한 대량의 에너지 절약(20~30%)을 절감할 수 있다. 또한 일반 건물의 지붕이나 외벽 등의 적용에도 적합하다.
3. 기관실, 화물창고, 아파트 등에 적용시 결루 현상을 현격히 줄일 수 있으며, 드레인의 감소로 기관실의 빌지 발생량 감소와 화물창고의 땀의 감소로 화물을 보호할 수 있음과 동시에 침실 또는 기관구역의 얼룩무늬를 예방할 수 있다.
4. 부가적 특성으로 미끄럼을 방지하여 안전사고를 미연에 방지하고, 페인트의 수명 연장(1.5~2배)으로 경제적인 이익을 창출하며, 방음 등의 효과로 쾌적한 환경을 유지할 수 있다.