

방청도료 · 에폭시 수지 접합부의 전단 접착강도에 미치는 공정 변수의 영향

소용신*, 한명섭, 김대영
 현대중공업 기술개발본부 산업기술연구소
 (hint@hhi.co.kr*)

**Effect of Process Parameters on the Shear Adhesive Strength in the Joint
 between Protective Coating and Epoxy Resin**

Y. S. So*, M. S. Han and D. Y. Kim
 Industrial Research Institute, R&D Division of HHI
 (hint@hhi.co.kr*)

서론

일부 대용량 저온 액체 저장용 화물창은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 방청 도료가 도포된 강재 내벽에 에폭시 수지를 시공하여 합판과 단열재로 구성된 단열판을 접착시킨다. 수지는 단열판을 평평하도록 leveling하는 또 다른 기능을 갖는다. 강재 내벽에 도포된 방청 도료는 강재 내벽의 부식 방지, 에폭시 수지와 접착성을 증대시켜 주는 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 이와 같은 단열구조에 있어 단열층과 강재 간의 접착강도는 사용시 화물창의 안전성 확보상 중요한 인자가 된다. 일반적으로, 단열층과 강재 간의 접착 강도는 방청도료와 에폭시 수지의 강도 특성에 지배를 받게 되는데, 시공 조건에 따라 접합부 물성과 접착 강도 등의 기계적 특성이 변화한다.

본 연구에서는 저온 단열 용기의 내면에 주로 적용되는 방청 도료와 에폭시 수지 접합부의 접착 강도에 미치는 시공 공정 변수 즉, 방청 도료의 두께 및 건조 시간 등의 영향을 평가하고자 하였다. 또한, 방청도료와 에폭시 수지 접합부의 파괴 거동을 규명함으로써 접합 강도를 향상시키는 방법을 도출하고자 하였다. 접합부의 강도 평가는 lap 접합부를 이용한 전단 접착강도로 평가하였다.

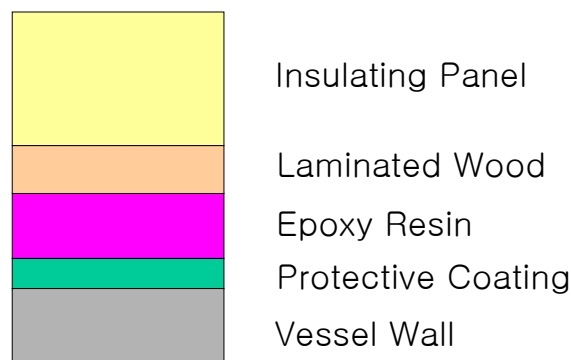


Fig. 1 Typical layered structure of thermal insulation for cargo containment

실험재료 및 방법

본 연구에서 방청 도료와 에폭시 수지의 전단 접착 강도를 평가하기 위해 사용된 시편은 Fig. 2와 같이 선급용 Grade A 강재를 50mm W×120mm L×10mm t 크기로 절단하여 grit blasting 처리를 실시하였다. 이후 절삭 가공 공정 중에 유입되었을 것으로 예상되는 절삭유 등을 제거하기 위해 시편을 시너(thinner)에 하루 동안 침지시킨 후 건조하여 방청 도료를 도포하였다. 시편의 방청 도료로는 wash primer를 사용하였는데, 이는 PVB(poly vinyl butyral) 수지와 부동태 상태로 안정 산화피막을 얻기 위한 인산(phosphoric acid) 그리고 안료로 zinc chromate가 함유되어 있다. Poly(vinyl butyral)은 투명성이 좋고, 기계적 성질이 온도에 영향을 받지 않으며 특히 내한성이 뛰어나 -50℃에서도 유연성을 잃지 않는 재료로 알려져 있다. Zinc chromate는 부식 방지용 안료로 공기 중에 습도가 낮으면 도막 내에 존재하다가 비가 오는 경우와 같이 대기 중에 습도가 높으면 수분이 primer 층을 침투하여 zinc chromate를 용해시킨다. 이때 용해된 zinc chromate 용액은 금속 표면과 반응하여 부동태 층(passive layer)을 형성하여 방식 기능을 하는 등 wash primer는 이중 방식 개념으로 설계되어 있다. 이와 같은 일련의 작업으로 얻어진 절단 시편을 4장 포개어 에폭시 수지로 접착 시공하였다. 여기에 사용된 에폭시 수지는 DGEBA(diglycidyl ether of bisphenol A)형과 DGEBF(diglycidyl ether of bisphenol F) 형으로 구성된 저온용 제품이다. 경화제는 polyamide 계열이며 촉진제로 3급 amine과 점도 조정제, 접착 개질제, filler로 CaCO₃가 첨가된 제품이다.

Wash primer의 도막 두께에 따른 전단 접착강도의 영향을 관찰하기 위해 도막 두께를 30, 75, 100 μ m로 변화시켰으며, 일정한 경화 시간을 확보하기 위해 전단시험용 시편을 상온(ambient)에서 1주일간 방치시켰다. 또한, 충분한 상온 경화를 실시하기 위하여 8주간 방치한 후 접착 강도의 변화도 평가하였다. 전단 접착강도 시험은 만능시험장비(UTM)를 이용하여 실시하였으며, 인장 하중을 시편에 전달할 수 있도록 지그류를 제작하여 사용하였다.

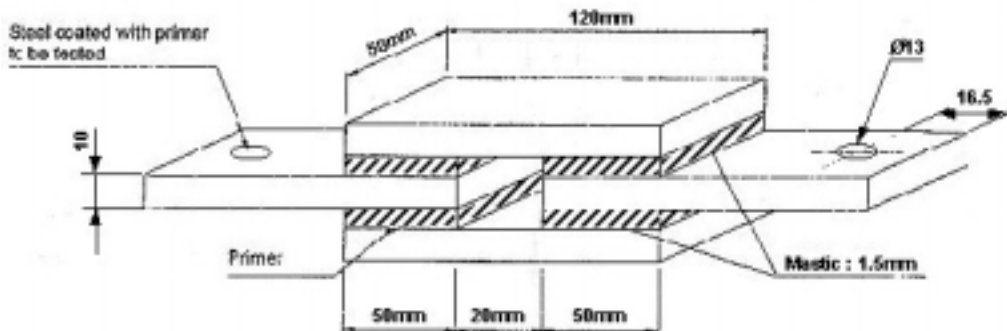


Fig. 2 Configuration of the wash primer/epoxy resin double lap joint for evaluation of shear adhesive strength

결과 및 고찰

1. 도막 두께의 영향과 시효 처리에 따른 경년 변화

Fig. 3에서 보는 바와 같이 상온에서 경화한 시편의 경우에 wash primer 두께가 증가함에 따라 wash primer와 에폭시 수지 접합부의 전단 접착강도는 전반적으로 감소하였

다. 이는 wash primer의 건조 과정이 용매의 완전 방출 여부와 관련이 있는 것으로 wash primer가 충분히 건조되어야 적정 전단 접착강도를 확보할 수 있음을 알 수 있다. 또한, 도막 두께가 두꺼워 질수록 전단 응력에 더 노출될 수 있음을 알 수 있었다.

상온에서 1주 상온 경화시킨 시편과 8주 경화시킨 시편의 경년 변화를 조사한 결과, 경과 시간에 따라 30, 75, 100 μm 의 도막 두께에 대하여 각각 45.0%, 86.9%, 121.7%의 전단 접착강도 증가가 관찰되었다. 이는 전술한 바와 같이, 1주 경화로 wash primer 층의 완전 경화가 일어나지 않았음을 의미하며, wash primer의 강도가 전단 접착강도를 지배함을 간접적으로 설명해주고 있다. .

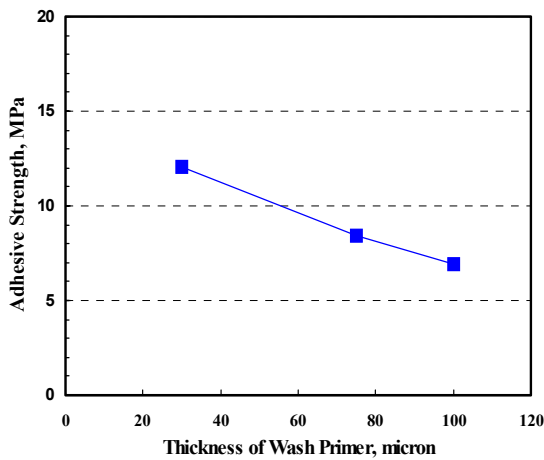


Fig. 3 Variation of shear adhesive strength on the dry film thickness

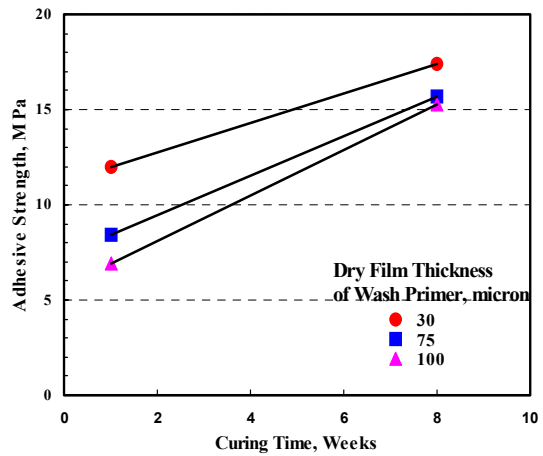


Fig. 4 Variation of shear adhesive strength with the aging time of the lap joint

2. 파괴 경로

시편의 파단면을 조사한 결과, Fig. 5와 Fig. 6에서 보는 바와 같이 접합부의 파괴 경로가 wash primer 층 내부이었으며, 30 μm , 75 μm , 100 μm 도막 두께 모두에서 동일한 현상이 확인되었다. 이는 wash primer 자체의 재료 물성과 관련이 있는데, wash primer의 주 성분인 poly(vinyl butyral)은 Table 1에 나타낸 바와 같이 에폭시 수지의 인장강도에 비하여 낮기 때문이다. 이상의 결과로부터 전단 접착강도에 영향을 주는 지배적인 인자는 wash primer임을 알 수 있었고, 전단 접착강도를 개선하기 위해서는 Fig. 4에서 보여 주는 바와 같이 에폭시 수지 시공 전, 후에 wash primer를 충분히 경화시켜야 한다.

Table 1 Characteristics of epoxy resin and PVB resin

Material	Tensile Strength(MPa)	Elongation(%)
Epoxy Resin@23 $^{\circ}\text{C}$	25.8	2.05
PVB* Resin	>19	>250

* Butacite, Dupont(film)

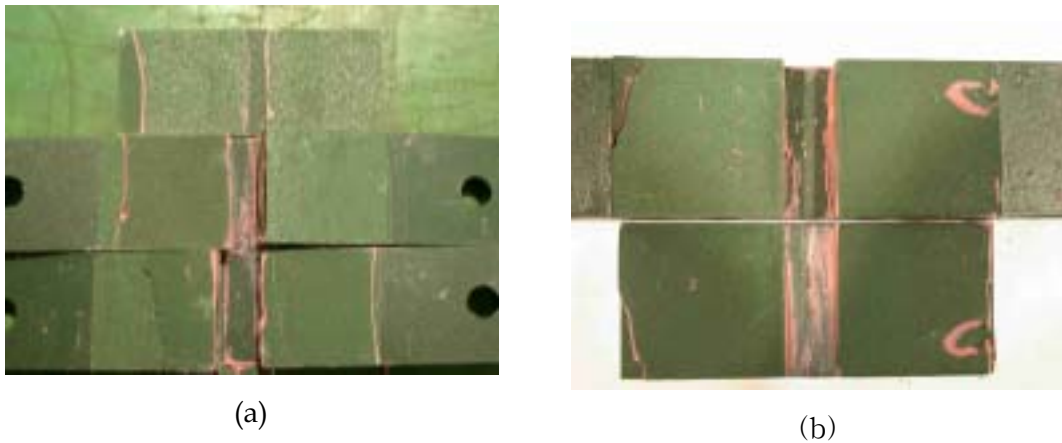


Fig. 5 Photograph of fracture location, (a) 30 μm of dry film thickness, (b) 100 μm of dry film thickness

결론

저온 단열용기의 내면에 주로 적용되는 wash primer와 에폭시 수지 접합부의 전단 접착 강도에 미치는 방청 도료의 두께와 경화 조건의 영향을 평가하였다.

1. 접합부의 전단 접착강도는 건조 도막두께와 시효처리에 따른 경년 변화에 크게 의존한다.
2. 상온 1주간 경화의 경우에는 wash primer의 두께가 두꺼울수록 전단 접착강도는 감소하였다.
3. 경화 시간이 증가됨에 따라 전단 접착강도는 증가하였다.
4. 접합부의 파괴는 wash primer 층에서 발생하였다.

참고문헌

1. 川井千秋, 神元陽三, “極低溫用接着劑の施工上の問題點”, 日本鋼管技報, No. 69, p.57-65 (1976)
2. Cowling M. J., et al, "Adhesive bonding for marine structural applications", Polymers in a Marine Environment, pp. 59-67 (1991)
3. ISO 4587:1995(E), "Adhesives-Determination of tensile lap-shear strength of rigid-to-rigid bonded assemblies"
4. 김재원, “사출금형 설계자를 위한 플라스틱 재료”, 구민사 (2001)