

표면처리에 따른 접착막이 부착된 에로전 실드의 접착특성에 미치는 흡습의 영향

김윤해* · 문경만* · 윤성원** · 김태현** · 조영대** · 배창원***

*한국해양대학교 조선기자재공학부 교수, **한국해양대학교 대학원, ***한국해양수산연수원

Effect of Moisture Absorption Film on the Adhesion Property of Erosion Shield having Adhesive Film

Y. H. Kim* · K. M. Moon* · S. W. Yoon** · T. H. Kim** · Y. D. Jo** · C. W. Bae***

*Division of Marine Equipment Engineering, National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

**Graduate school of National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

***Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology, Busan 608-080, Korea

요 약 : 접착필름의 특성은 외부충격이나 수분과 같은 환경적 요소에 의해 감소한다. 이러한 이유로 본 논문은 호버크래프트의 블레이드와 에로전 실드 사이의 접착특성 감소에 대해 연구하였다. 본 연구는 다섯 가지의 표면처리를 적용해서 시편의 접착강도를 측정했고 그 중 가장 우수한 접착특성을 나타내는 표면처리에 대해 흡습의 효과를 알아보았다. 결과에서, 다른 화학적 표면처리보다 에칭과 같은 화학적 표면처리가 가장 우수한 접착특성을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 게다가, 10주 동안 함침 된 시편의 관찰을 통해서 우리는 흡습에 의해 접착 막 사이에서 발생한 크랙 때문에 대략 40%정도 접착특성이 감소했다는 것을 알 수 있었다.

핵심용어 : 접착필름, 접착특성, 침식보호, 흡습, 표면처리

ABSTRACT : The properties of adhesive film are degraded by environmental factors such as stone or moisture. From this reason, the degradation of adhesion properties between blades and erosion shield for hovercraft has been investigated. In this study, the adhesion strength of specimens that applied five kinds of surface treatment has measured, and it is inquired of that the effect of moisture absorption about the surface treatment which represented the most excellent adhesion properties in the previous results. At the results, we have confirmed that the mechanical surface treatment such as etching represents the most superior adhesion properties than other chemical surface treatments. Furthermore, it is found that the adhesion properties decreased about 40% because of produced crack inside of adhesive film by moisture absorption through observation of specimens that immersed for ten weeks.

KEY WORDS : adhesive film, adhesion property, erosion shield, moisture absorption, surface treatment

1. 서 론

회전익항공기, 호버크래프트 및 풍력 발전기 등의 회전익은 지속적인 운동을 하는 구조물로 침식 환경에 노출되어있다. 이러한 회전익의 침식은 공력 성능 및 구조적 강도에 손실을 발생 시킨다. 에로전 실드(Erosion shield)는 이러한 침식에 대한 보호 장치로 구상이 되어 현재 헬리콥터나 호버크래프트의 로터 블레이드 등에 부착되어 사용되고 있다.

이와 같은 접착방법은 재료특성이 서로 다른 비용접성 이종 재료의 동시 접착이 가능하고, 기계적 결합 및 용접에 비하여 많은 이점이 있다[1],[2]. 하지만 에로전 실드에 의한 접착은 이물질에 의한 침식과 수분의 흡수 등에 의해 성능이 저하되는 문제점도 가지고 있다.

블레이드와 에로전 실드의 접착에 있어서 접착되는 표면의 거칠기, 접착 면적, 접착제의 종류 등도 중요한 요소로 작용하지만, 접착체가 알루미늄인 경우에는 알루미늄의 표면에 산화

* yunheak@hhu.ac.kr 051)410-4355

** ysw8114@naver.com

표면처리에 따른 접착막이 부착된 에로전 실드의 접착특성에 미치는 흡습의 영향

피막의 형성이 빠르기 때문에 접착강도를 향상시키기 위하여 별도의 표면처리가 중요한 요소로 작용한다[3]. 그리고 육상에 서뿐만 아니라 해상에서도 활동하는 호버크래프트의 경우에는 에로전 실드의 접착력에 있어 수분의 흡수 또한 매우 중요한 요소이다.

한편, 유리섬유 또는 금속으로 된 블레이드는 수분이 직접 흡수되지 않는다. 그러나 고분자 수지가 기지재로 사용되는 경우에는 에로전 실드를 접착하기 위한 접착제(Adhesive)도 모두 고분자 재료이기 때문에 이들은 수분이 침투할 수 있다 [4].

복합재료의 강도저하에 미치는 수분의 영향에 관한 연구가 이미 되어있으며, 수분의 흡수에 의한 복합재료의 강도 저하 메커니즘도 규명되었다. 복합재료에서 흡수에 의한 강도저하는 3단계로 이루어지는데, 1단계로 고분자로의 확산에 의한 수분 침투로 강도의 저하가 발생한다. 2단계는 고분자 내로 침투한 수분이 유리섬유와 수지의 결합을 돕기 위한 표면처리제(surface treatment agent)와 고분자 수지 계면까지 침투하여 크랙을 발생 시킨다. 그리고 3단계에 이르러서는 표면처리제와 유리섬유 사이의 계면에 침투하여 크랙을 발생시키는 메커니즘을 가지고 있다[5],[6]. 이러한 점에 착안하여 에로전 실드의 접착력 또한 흡습에 의하여 강도 저하가 발생하는 것임을 예측할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 알루미늄 접착체의 표면에 다섯 가지의 표면처리를 하고, 표면 처리방법에 따른 접착강도를 측정하였다. 그 중 가장 우수한 접착 특성을 나타내는 표면처리에 대해 흡습으로 인한 접착력의 저하를 측정하였으며 앞선 복합재료에서의 흡습으로 인한 접착력의 저하 결과와 비교분석하였다.

2. 재료 및 실험방법

2.1 재료

본 연구에서 시험 재료는 STS304와 A6061을 접착체로 사용하였고 접착제는 구조접착제로 흔히 이용되고 있는 3M사의 Structural Adhesive Film을 사용하였다. 두 접착체의 기본 물성은 Table 1에 표시하였다. Table 2는 접착제(adhesive film)의 물성을 보여주고 있다.

Table 1 Properties of STS304 and A6061

Properties	A6061	STS304
Density (g/cm ³)	2.70	8.00
Ultimate tensile strength (MPa)	290	505
Yield strength (MPa)	255	215

Table 2 Properties of 3M scotch-weld adhesive

Properties	Scotch-weld (Epoxy)
Splitting resistance (kg/25 mm)	4.5
Viscosity (CPS)	150,000

2.2 시편의 준비와 실험방법

표면처리 방법에 따른 접착강도의 저하를 측정하기 위하여 ASTM D 1002 규격에 따라 단순 겹치기이음(single lap joint) 시편을 사용하였다. Fig. 1과 Fig. 2에 시편의 형상을 표시하고 있다.

표면처리 된 알루미늄과 스테인리스 판재를 길이 101.6mm, 폭 25.4mm, 두께 3mm의 치수로 레이저절단 하였다. 그 후에 접착할 면을 아세톤으로 세정하고 건조기에서 건조시켰다. 접착 길이는 ASTM D 1002에 명시된 다음의 식 (1)을 적용하기 위해 30.48mm로 하였다. 이때 균일한 접착층 두께를 형성하기 위하여 박막형태(Film type)의 접착제를 적용하였고 경화동안 접착제가 흘러나오는 현상을 막기 위하여 내열 테이프를 접착면의 틈새 주위에 감아 놓았다[7]. 접착제의 경화는 진공백 성형법으로 시편을 고정된 후에 오토클레이브(Autoclave)에서 성형 하였다. 성형 조건은 Table 3과 같다.

$$L = \sigma \frac{t}{\tau} \quad (1)$$

- L = Length of overlap, in.
- t = Thickness of metal, in.
- σ = Yield point of metal, psi
- τ = 150 percent of estimated average shear strength in adhesive bond, psi

Table 3 Cure condition of adhesive

Heat up rate	2°C/min
Target temperature	135°C
Soak time	90 min
Cool down rate	2°C/min
Pressure	0.27 MPa

제작된 시편을 80°C의 증류수에 10주 동안 침수하였다. 에로전 실드의 경우 복합재료 라미네이트(laminate)에 비하여 수분이 확산에 의하여 침투하는 고분자의 체적이 현저하게 적기 때문에 수분 흡수 시간이 짧을 것으로 예상하여 접착 시편을 수조에 침지하여 매일 표면의 수분을 완전히 제거한 후 시편

의 금속 부분의 무게를 측정하여 시편의 금속 부분의 무게를 제외한 수분 흡수율을 측정 하였다.

시편의 접착강도를 측정하기 위해서 인장시험을 실시하였다. 인장시험은 하중 1ton의 인장 시험기를 사용하였고 크로스헤드 이동속도는 1.27mm/min으로 일정하게 유지하였다. 그리고 접착강도 측정의 신뢰도를 높이기 위하여 각 7개의 접착시험편에 대하여 인장시험을 하였으며, 측정된 값의 최고치와 최저치를 제외한 접착강도의 평균을 취하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 접착강도에 미치는 표면처리의 영향

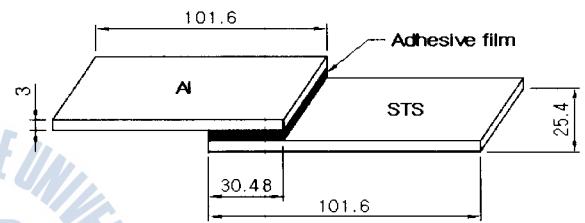
알루미늄의 표면처리는 친수성 물질을 이용하여 표면의 이물질 제거한 수세탈지(aqueous degrease), 탈지 후 디옥시다이즈(deoxidize)를 이용한 에칭(etching), 이 두 가지의 전처리를 거친 후 크롬산 아노다이징(chromic acid anodizing, CAA), 황산 아노다이징(sulfuric acid anodizing, SAA), 인산염 아노다이징(phosphoric acid anodizing, PAA)의 다섯 가지의 표면처리를 사용하였다.

한편 스테인리스강의 표면처리는 부동태 피막처리를 하였다. 부동태 피막처리는 유리 와 같은 치밀한 구성을 가지며 뛰어난 내식성을 가지고 있다.

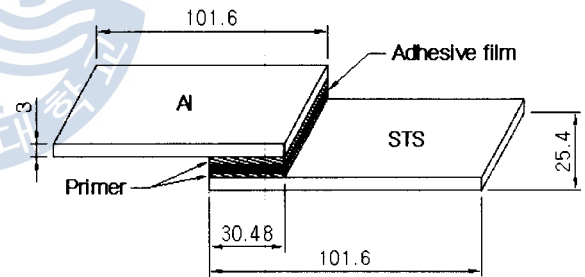
본 실험에서는 세 가지 접착 레이어를 적용하였다. Fig. 1의 첫 번째 레이어(a)는 표면 처리한 금속에 접착제만 적용하였다. 두 번째 레이어(b)는 표면 처리한 금속에 에폭시 프라이머를 도포한 이후에 접착하였다. 세 번째 레이어(c)는 표면 처리한 금속에 프라이머를 도포한 이후에 알루미늄과 스테인리스강 사이에 완충제를 적용하여 접착을 하였다. 프라이머는 고분자 재료인 접착제와 결합력을 향상시키기 위하여 적용하였다. 세 번째 레이어에서 완충제의 경우는 호버크래프트 블레이드에 적용하기 위한 레이어로 충격을 흡수할 수 있는 유연한 소재를 사용하였다. 접착제만 사용하여 접착을 할 경우엔 금속과 경질의 고분자 재료가 이종 간의 결합을 하면서 외부에서 충격이 가해졌을 경우 접착면에 크랙이 발생할 우려가 있으므로 Fig. 1 (c)와 같이 유연한 재료를 삽입함으로써 충격 흡수에 의해 크랙의 발생 및 전파를 최소화 할 수 있도록 하였다.

5종류의 표면처리와 세 가지의 레이어를 적용한 시편의 접착강도 측정 결과는 다음의 Fig. 3과 같다. Fig. 3의 (a)는 접착제만을 적용한 레이어의 접착 강도를 나타낸다. 이 경우에 대한 알루미늄 표면처리의 영향은 에칭 처리한 시편과 PAA 처리한 시편의 경우 접착 강도가 가장 우수한 것을 알 수 있다. 이는 산을 이용하여 표면을 거칠게 만들어 주었기 때문에 기계적 결합력을 극대화시키기 때문인 것으로 사료된다[8]. SAA 처리한 시편의 접착력이 낮게 나타나는 이유는 황산이온이 알루미늄 표면에 확산되어 접착력을 향상시키는데 이 때

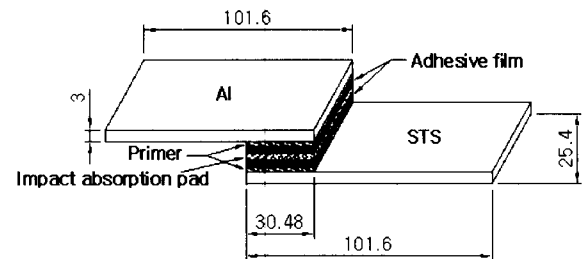
에칭으로 인하여 거칠어진 알루미늄의 표면이 황산이온의 확산을 불균일하게 만들어 접착면적 전반에 걸쳐 불균일한 접착력을 형성하기 때문인 것으로 사료된다[9]. (b)는 프라이머를 도포한 후에 접착제로 접착한 시편의 접착강도를 나타낸다. 이 경우에서도 (a)의 경우와 같이 에칭과 PAA 처리한 시편이 가장 우수한 접착강도를 나타내고 있다. SAA의 경우 프라이머를 도포한 경우 접착 강도의 향상을 보였다. 이는 황산 아노다이징된 표면의 불균일성을 프라이머 도포에 의해 조금이나마 균일하게 해주었기 때문인 것으로 사료된다. (c)는 완충제가 추가된 레이어에서의 접착강도를 나타내고 있다. 완충제를 적용한 경우 표면처리에 따른 접착강도가 현저하게 줄어들었음을 알 수 있었다. 이에 대한 원인은 완충제로 사용한 재료의 강도가 본래부터 낮기 때문인 것으로 사료된다.



(a) Adhesive only



(b) Adhesive with primer

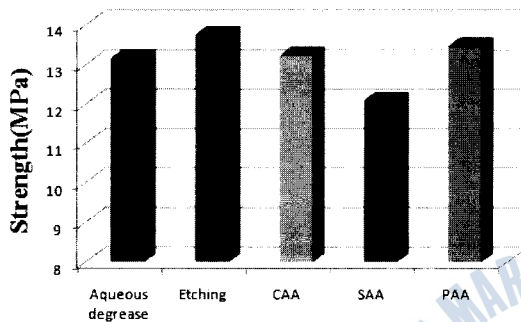


(c) Adhesive with primer and impact absorption pad

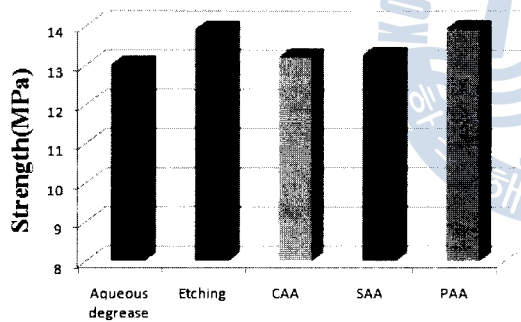
Fig. 1 Shape and dimensions of adhesively bonded single lap joint specimens



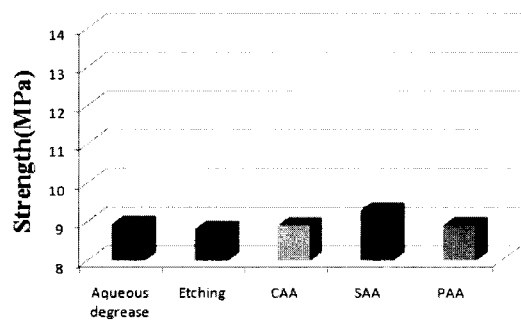
Fig. 2 Features of prepared specimens



(a) Adhesive only



(b) Adhesive with primer



(c) Adhesive with primer and impact absorption pad

Fig. 3 Adhesive strength test five kinds of surface treatments and three kinds of adhesive materials.

더욱이 완충제를 사용할 경우 전반적으로 50% 정도의 접착 강도의 저하가 발생하였다. 따라서 기계적 강도가 보다 우수한 고강도의 완충제를 적용하여 접착강도의 저하를 최소화해야 할 것으로 판단된다.

매우 가혹한 환경에서 운용되는 호버크래프트용 블레이드의 내구 수명을 향상하기 위하여 에로전 실드 접착용 표면처리 기법이 접착강도에 미치는 영향을 평가한 본 연구에 의하면, 에칭 처리가 가장 효율적인 표면처리 방법임을 알 수 있다. 그리고 높은 기계적 성질을 가지는 완충제의 개발이 필요한 것을 알 수 있다.

3.2 접착강도에 미치는 흡습의 영향

표면처리에 따라 측정된 접착강도 중에서 가장 우수한 강도 값을 나타내는 에칭처리에 대해서 흡습의 영향을 조사하였다. 수조 침지 경과에 따른 흡습율을 Fig. 4에 나타내었다. 본 실험에서는 흡습율이 50%까지 증가하는데, 라미네이트의 15%와 차이를 보이고 있다. 이는 복합재료 라미네이트에서는 수분이 침투하지 못하는 유리섬유가 60~70%를 차지하지만, 본 실험에서는 금속 부분은 제외하고 고분자 수지의 접착제가 흡습하므로 접착제만의 흡습 정도가 상대적으로 감소되기 때문이다. 그러나 본 실험에서는 수분이 침투하지 못하는 금속 접합체의 무게를 제외한 표면처리제와 접착제만의 영향이 크기 때문인 것으로 보여 진다.

접착강도에 미치는 흡습률의 영향을 Fig. 5에 나타내고 있다. 접착강도 또한 복합재료 라미네이트와 같이 흡습에 따라 강도 저하를 나타내고 있다[10]. 이는 수분이 고분자로 이루어진 접착제로 침투하여 강도를 저하시키고 접착제면의 분리를 발생시켰기 때문인 것으로 사료된다.

이상과 같은 본 연구를 통하여 에로전 실드의 접착에서 수분의 침투는 Fig. 6과 같은 메카니즘으로 복합재료 라미네이트의 경우와 동일한 것으로 사료된다.

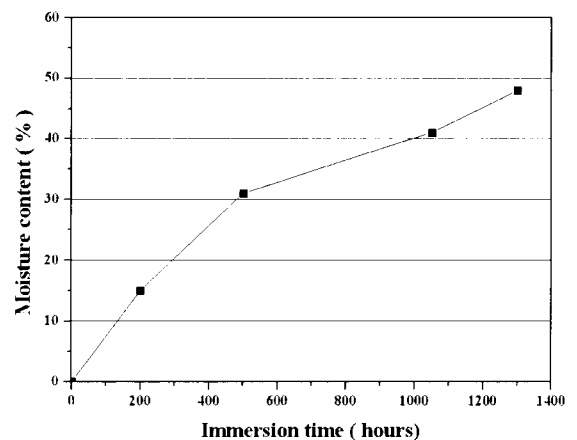


Fig. 4 Moisture absorption behaviors of the specimens

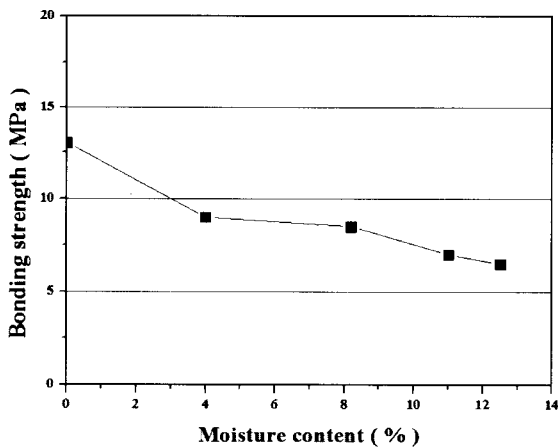


Fig. 5 Degradation of bonding strength by moisture contents

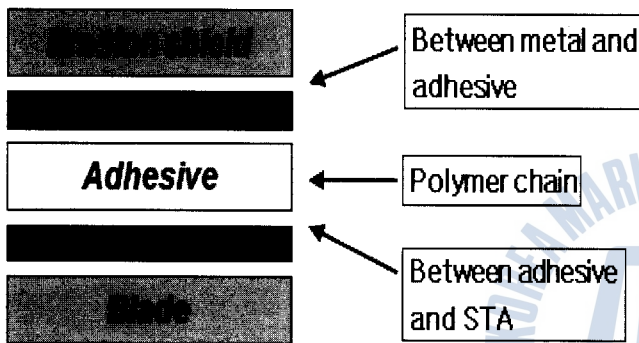


Fig. 6 Assumption of moisture absorption

4. 결 론

에로전 실드의 접착에 있어서 표면처리에 따른 접착강도의 특성과 흡습의 영향에 대한 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 완충제를 적용하지 않은 모든 시편에서 13MPa 내외의 접착 강도를 얻을 수 있었다.
- (2) 아노다이징 표면처리보다는 에칭과 같은 단순한 화학적 표면처리가 가장 좋은 접착특성을 나타냄을 알 수 있었다.
- (3) 완충제 적용의 경우에는 완충제의 기계적 강도가 접착제의 강도에 비해 낮기 때문에 접착강도 저하의 원인이 되었다.
- (4) 복합재료 라미네이트에서의 흡습과 에로전 실드 접착에서 흡습은 동일한 메커니즘이 적용되며, 흡습은 강도 저하의 원인이 되었다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

참 고 문 헌

- [1] Chung, N. Y. and Yi, J. H., 1999: Evaluation Method of Bonded Strength in Adhesively Bonded Structures of the Aluminum Alloys, Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol.8, No.1, pp.35-44
- [2] Munz, D. and Yang, Y. Y., 1992: Stress singularities at the interface in bonded dissimilar materials under mechanical and thermal loading, Transactions, Journal of Applied Mechanics, Vol.59, No.4, pp.857-861.
- [3] Lee, H. W., 1982: Electroplating pretreatment of Aluminium Alloy, Journal of The Korean Institute of Surface Engineering, Vol.15, No.1, pp.39-48
- [4] Kim, Y. H., Kim, K. J., Han, J. W., Jo, Y. D., Bae, S. Y. and Moon, K. M., 2008: A Study on Degradation and Recovery Mechanisms of Composites under the Moisture Environment, Journal of the Korean Society for Composite Materials, Vol.21, No.2, pp.8-14
- [5] Kim, K. J. and Kim, Y. H., 2007: A study on the Mechanism of Moisture Absorption with the Analysis of Physical & Mechanical Properties to the Fiber Reinforced Super-light Composite, A doctor is thesis for a degree of Korea Maritime University, pp.13-15, 17, 19
- [6] Kim, Y. H., Kim, K. J., Han, J. W., Jo, Y. D., Bae, S. Y., Moon, K. M. and Kim, D. H., 2008: Effect of Moisture Absorption on the Shear Strength of Fiber-reinforced Composites, Journal of the Korean Society for Composite Materials, Vol.21, No.2, pp.1-7
- [7] Kim, Y. H., Bae, S. Y., Jo, Y. D. and Moon, K. M., 2008, Structural Design and Analysis of Autonomous Underwater Vehicle by Fiber Reinforced Plastics, Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A, Vol.32, No.11, pp.937
- [8] Lee, C. J., Lee, S. K., Park, G. H. and Kim, B. M., 2008: The Evaluation of Surface and Adhesive Bonding Properties for Cold Rolled Steel Sheet for Automotive Treated by Ar/O₂ Atmospheric Pressure Plasma, Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A, Vol.32, No.4, pp.354-361
- [9] Chang, Y. H., Lee, C. W. and Hahm, Y. M. 1998: Preparation of Porous Alumina Membrane by Anodic Oxidation in Sulfuric Acid, Journal of the Korean Institute of Chemical Engineers, Vol.36, No.5, pp.653-660

표면처리에 따른 접착막이 부착된 에로전 실드의 접착특성에 미치는 흡습의 영향

- [10] Kim, H. J., Seo, D. W., Park, H. J., Jeon Y. B. and Lim, J. K., 2006: Effects of Water Absorption and Surface Treatment on Mechanical Properties of Sisal Textile Reinforced Composites, Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineer A, Vol.30, No.7, pp.779-786

원고접수일 : 2009년 12월 23일

원고채택일 : 2010년 02월 22일

