

수중함 복합소재 겔코트 박리현상 개선에 관한 연구

최우석^{1,2*}, 이영석¹, 윤지수¹, 구자길³, 조근호⁴
¹국방기술품질원, ²부경대학교, ³대우조선해양, ⁴코오롱테크컴퍼지트

A Study on the Improvement of Gel Coat Delamination in the Composite Structure of Submarine

Woo-Suk Choi^{1,2*}, Young-Suk Lee¹, Ji-Soo Yun¹, Ja-Gil Koo³, Geun-Ho Jo⁴

¹Defense Agency for Technology and Quality, ²Pukyong National University,

³Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering, ⁴Kolon DACC Composite

요약 본 연구는 수중함 복합소재의 겔코트 박리현상 개선을 위한 최적공정 도출에 관한 연구이다. 이와 관련하여 복합소재 및 겔코트와 관련된 많은 연구가 수행되었으나, 겔코트와 복합소재 상호간의 접착력과 관련된 연구 및 기술요구조건은 전무한 실정이다. 이에 본 연구에서는 만능인장시험기를 이용하여 두 소재간의 접착력을 평가할 수 있는 시험평가 방법을 개발하여 정량적인 품질평가 방안을 제안하였다. 또한 개발된 시험평가 방법을 적용하여 경화제 배합비, 경화시간 및 마감섬유 소재가 미치는 영향을 평가하였다. 각각의 요인과 접착력간의 통계적 유의성을 검증하기 위하여 일원분산분석을 실시하였다. 또한 사후분석을 위하여 Tucky방법을 적용하였다. 이에 따른 평가결과 경화제 배합비 1.5%, Surface Mat. 마감소재 및 지축 후 24시간이 최적의 공정 프로세스임을 확인하였다. 또한 상기의 최적공정에 대한 접착력 개선효과를 검증하기 위하여 실 공정에서 사용하는 공구를 사용한 직선가공 및 곡선가공을 실시하였다. 검증결과 실 공정에서 4.4%의 불량률이 발생하는 것에 대비하여 최적공정에서는 0%의 불량률이 발생하였다. 본 연구를 통하여 복합소재의 겔코트 품질향상이 기대되며 군 운용성 및 정비성 개선에 크게 도움이 될 것으로 판단된다.

Abstract This study examined the optimal process derivation for improving the delamination of a composite structure of a submarine. Although many studies related to the composite structure and gel coats have been conducted, there has been no research on the technical requirements related to the adhesion between the gel coats and composite structure. Therefore, this study developed an evaluation method to assess the adhesion between two materials using a tensile tester and proposed a quantitative quality evaluation method. In addition, the effects of the hardener mixing ratio, hardening time, and surface mat./chop mat. were assessed by applying the developed test evaluation method. ANOVA was conducted to verify the statistical significance between each factor and adhesion. The Tucky method was also applied for the posteriori tests. The optimal process involved a 1.5% mixing ratio of hardener, Surface Mat. and 24 hours after set for touch drying. Overall, the quality of the gel coats of the composite structures can be enhanced, which will help improve military operability and maintenance.

Keywords : Submarine, Gel Coat, Delamination, Composite Structure, ANOVA

*Corresponding Author : Woo-Suk Choi(Defense Agency for Technology and Quality / Pukyong National University)
email: ropy1212@dtaq.re.kr

Received April 28, 2021

Accepted August 5, 2021

Revised May 31, 2021

Published August 31, 2021

1. 서론

수중함의 선체구조는 Fig. 1에 나타나 있듯이 크게 압력선체와 비압력선체로 구분할 수 있다[1].

압력선체는 Fig. 2에 나타나 있듯이 심해의 높은 압력을 견딜 수 있도록 HY80 및 HY100과 같은 고장력강을 사용하여 만든 원통형 구조물이다. 압력선체 내부에는 함의 작전성과 관련된 주요 장비 및 승조원의 거주설비가 설치된다[2].

비압력선체는 Fig. 3에 나타나 있듯이 압력선체 외부를 둘러싸는 일종의 케이싱으로 각각의 구조를 형성하여 압력선체 외부에 설치된 장비를 보호한다. 또한, 갑판 역할 및 함의 외부 형상을 구성하여 유체소음 및 저항성과 같은 유체역학적 성능을 최적화하는 역할을 한다[3,4]. 이러한 수중함의 비압력선체는 GRP(Glass Fiber Reinforced Plastic, 유리섬유강화플라스틱) 및 CRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic, 탄소섬유강화플라스틱)와 같은 복합소재로 제작이 된다. 복합소재는 섬유를 수지와 적층한 뒤 경화시켜 만든 비금속 재료로 우수한 비강도, 성형 용이성 및 내화학성 등의 특징이 있다. 특히, 수중함용 복합소재는 내수성을 위하여 젤코트라는 불포화에스테르 수지를 표면에 도포하는데, 이러한 젤코트는 해수, 오염 등과 같은 외부 환경적 요인으로부터 복합소재를 보호하여 소재의 내구성을 향상시키는 역할을 한다.

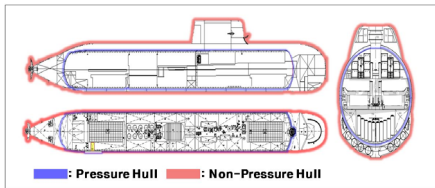


Fig. 1. Hull Structure of Submarine

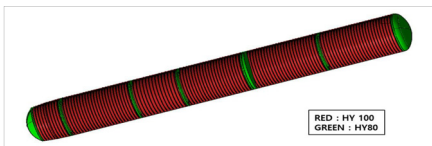


Fig. 2. Pressure Hull Structure and Material of Submarine

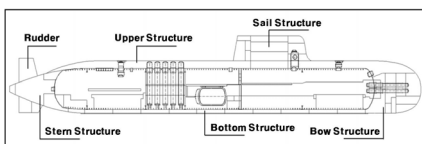


Fig. 3. Non-Pressure Hull Structure of Submarine

현재 국내연구개발로 건조중인 수중함의 경우 건조 및 시험평가 단계에서 젤코트가 복합소재로부터 박리되는 현상이 빈번히 발생되고 있다. 복합소재의 표면을 보호하고 있는 젤코트가 박리되어 해수에 장시간 노출될 경우, 복합소재의 기계적 손상(Mechanical Damage), 유체침투(Absorption of Moisture) 및 섬유의 손상 및 열화(Physical Damage and Irreversible Chemical Degradation, Matrix to Swell and Break) 등의 품질 문제로 심화될 수 있다[5]. 특히, 수중함은 다양한 심도에서 작전을 수행하는 임무 특성상 선체 구조에 가해지는 압력변화가 빈번하게 발생한다. 이러한 지속적이고 주기적인 압력변화는 미소한 기계적 결함도 치명적 결함으로 발전할 수 있기 때문에 복합소재를 보호하는 젤코트의 접착력이 중요하다고 할 수 있다.

수중함 복합소재와 관련하여 장보고-II급 함교탑의 GRP 고정용 볼트가 풀림/손상 현상이 발생하여 수평지대를 설치하여 개선한 사례가 있다. 이와 같이 복합소재 및 젤코트와 관련된 연구가 많이 수행되어지고 있으나, 젤코트와 복합소재 상호간의 접착력과 관련된 연구나 기술요구조건은 전무한 실정이다[6-8]. 본 연구에서는 두 소재간의 접착력을 측정 및 평가할 수 있는 시험방법을 개발하여 정량적 품질평가 방안을 제안하고자 한다. 또한, 개발된 품질평가 방법을 기반으로 젤코트 및 복합소재 간 접착력이 최대가 되는 최적공정을 도출하여, 국내연구개발로 건조중인 수중함의 품질향상에 기여하고자 한다.

2. 연구 배경

2.1 수중함 복합소재

FRP(Fiber Reinforced Plastic) 복합소재는 두 종류 이상의 섬유를 혼합해서 만든 재료로서, 섬유소재의 종류에 따라 GRP와 CRP 등으로 구분할 수 있다. 복합소재는 비강도가 높고, 내부식성 및 내화학성이 우수하며, 틀(Mold)을 이용한 제작방식으로 곡면 형상 구조물 제작시 유리한 장점이 있으나, 금속재료 대비 비싼 가격 및 복합소재 간 이음이 어렵다는 단점이 있다.

이러한 복합소재는 Fig. 4에 나타나 있듯이 수중함에 서 비압력선체 케이싱 재료로 사용된다. 특히 음향투과 성능이 우수한 CRP는 SONAR(Sound Navigation and Ranging, 수중음파탐지기)의 전면에 설치하여 음향창으로 사용되며, 그 외의 부위에는 GRP가 적용된다[9,10].

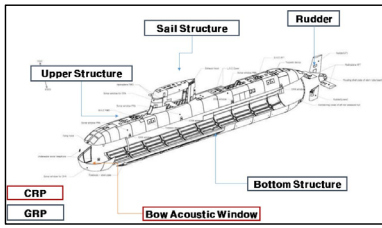


Fig. 4. Composite Structure of Submarine

GRP 복합소재는 Fig. 5에 나타나 있듯이 합성수지류와 강화섬유, 심재로 구성되며 각 구성품은 적층구조로 이루어져 있다. 합성수지류에는 복합소재의 주 구성 재료인 수지와 해수유입 및 손상방지를 위한 겔코트(Gel Coat), 탑코트(Top Coat)가 있으며, 적층과정 중 수지 경화를 위한 경화제, 촉진제가 있다. 강화섬유는 복합소재의 강도를 향상시키며 형태를 유지시키는 역할을 하며, 이러한 강화섬유에는 유리섬유매트와 다축섬유가 있다. 심재는 복합소재의 중앙에 형상유지용 보강재로 사용되며, 발포심재나 폴리에스터 부직포가 사용된다.

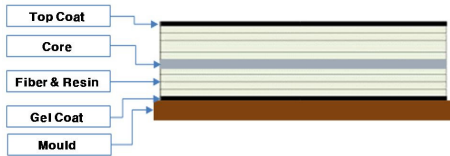


Fig. 5. Cross Section of composite Structure.

2.2 GRP 복합소재 제작과정

Fig. 6은 GRP 복합소재 제작과정을 나타낸 것이다. GRP는 원하는 형상에 따라 몰드를 제작하여 몰드 위로 강화섬유와 수지를 차례로 적층과 경화과정을 반복하며 제작된다. 수지와 강화섬유로 제작된 구조물을 라미네이트(Laminate)라고 하며, 완성된 라미네이트의 상/하/좌/우면에 해수유입과 손상방지를 위한 겔코트와 탑코트를 도포한다.

GRP 제작(적층)공정은 크게 핸드레이업(Hand Lay-Up), 진공성형법(VARTM, Vacuum Assisted Resin Transfer Molding) 및 가압성형법(Pressing Technique) 등이 있다. 이 중 진공성형법은 수지가 강화섬유 사이에 함침이 잘되기 때문에 적층면이 균일하며 구조물 중간에 기포가 거의 발생되지 않아 품질이 우수하다는 장점이 있으나 구조물의 곡면이 큰 경우에는 진공성형법을 적용하기 힘들며 스프레이나 롤러를 이용하여 수지를 수작업으로 적층하는 핸드레이업 공법을 주로 이용하게 된다.

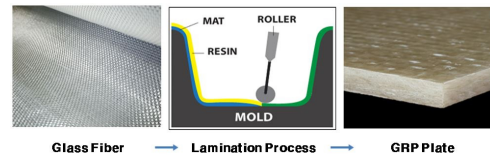


Fig. 6. Production process of composite structure.

겔코트는 불포화 폴리에스테르 수지에 안료 및 각종 첨가제를 넣어 붓도장 또는 스프레이 작업이 용이하도록 만든 제품으로 자외선, 수분 또는 오염으로부터 GRP의 표면을 보호하고 내구성을 향상시키는 코팅용 수지이다. 복합소재는 해수에 의한 부식의 염려는 없으나, 섬유층 내 수분 침투 시 구조강도가 저하된다. 따라서 해수침투를 방지하기 위하여 GRP의 표면에 겔코트를 시공한다.

2.3 품질문제

국내최초 연구개발로 건조중인 수중함의 건조 및 시험평가 시, Fig. 7 및 Fig. 8에 나타난 바와 같이 GRP 복합소재로부터 겔코트가 박리되는 현상이 빈번히 발생하였다. GRP는 함 건조단계에서 치수 정밀 가공을 위해 트림가공 즉, 직선 절삭가공 공정을 거치거나 또는 압력선체에 설치하기 위한 볼트 체결용 홀가공 공정을 거치게 된다. 이 때, 절삭치공구는 회전운동을 하는데, 절삭치공구 팁의 고속/반복 절삭으로 인해 겔코트가 GRP로부터 박리되는 현상이 발생하였다. 또한 시험평가 중 겔코트 자체 접착력 저하 및 외부 충격 등으로 인하여 겔코트 박리 현상이 발생되었다.

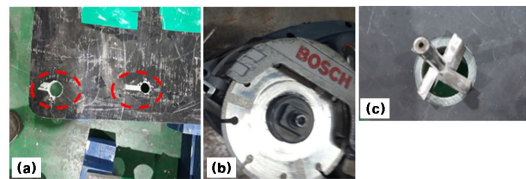


Fig. 7. Delamination of the gel coat by tools: (a) Delamination of gel coat, (b) Straight cutting tools, (c) Hole cutting tools.



Fig. 8. Delamination of the gel coat during the test.

겔코트가 박리된 복합소재는 다양한 외부환경에 직접 노출되는데, 그 중 해수의 영향이 가장 크다. 관련 연구에 따르면, 온도 30℃, 염분 34~35%의 해수에 침지된 GRP 소재는 해수 침지시간에 따라 인장강도와 굽힘강도가 저하되었다. 침지 10일 경과 시, 인장강도와 굽힘강도가 각각 약 10%, 9% 저하되었으며, 침지 120일 경과시 각각 약 27%, 18% 감소되었다[5].

또한 복합소재 최초 제작 시에는 몰드에 도포된 겔코트 위로 유리섬유가 적층되며, 진공성형 또는 가압성형법을 통해 겔코트와 복합소재간에는 강력한 물리-화학적 결합이 체결된다. 하지만 겔코트가 GRP로부터 박리되면, 일반적으로 박리구역에 한해 붓도장(TOUCH-UP)법으로 보수작업을 실시하는데, 기경화된 복합소재 표면과 겔코트 사이에는 물리적결합이 이루어져 결합력이 최초 제작 시에 비하여 비교적 낮다. 또한 GRP로부터 박리되지 않은 주변의 겔코트와 불연속면을 형성하기 때문에 표면 접착력이 더욱 저하되는 문제점이 있다.

2.4 복합소재 및 겔코트 연구현황

비압력선제용 GRP 복합소재는 장보고-I/II급 기술생산협력 제작에서부터 현재 장보고-III급 핵심도급연구개발 단계에 이르기까지 제작기술의 국산화 및 지속적인 성능개선을 통해 품질신뢰성이 향상되어 왔다. 이를 바탕으로 복합소재의 강도, 경도, 섬유체적률 등 다양한 기계적 특성에 대해 기술요구 조건이 수립되었다. 하지만 겔코트는 국제표준, 제작사규격, 구매요구사항서 등 관련문건에 성능요구조건이 없으며 겔코트와 복합소재간의 접착력과 관련해서도 요구조건이 없다. 따라서, 접착성능과 관련한 정량적 품질기준을 수립하고 이를 통한 표준화된 접착품질을 확보할 수 있는 방안이 필요한 실정이다.

3. 겔코트-복합소재 접착력 평가방안

선박용 일반 도료는 신제품 개발 혹은 신규 프로젝트 도료 선정 시, 돌리테스트를 실시하여 도료의 접착성능을 평가한다. 돌리테스트란 도료의 접착성능을 평가하는 국제표준시험으로 ISO 4624, ASTM D4541 등의 표준을 따른다. 평가방법은 강재에 평가하고자하는 도료를 시공한 뒤, 돌리라는 금속 지그를 본딩한다. 본드의 경화가 완료되면 돌리에 수직방향의 인장력을 가하여 강재로부터 도료가 뜯기도록 하며, 그 때의 인장력을 도료의 접착력으로 평가하게 된다.

돌리테스트와 관련한 국제표준시험인 ISO 4624와 ASTM D4541 간 가장 큰 차이점은 돌리 접착부 둘레를 따라 도료를 강재로부터 제거하는지 여부에 있다. 본 연구에서는 일반 도료 대비 상대적으로 탄성이 높은 겔코트의 특성상 돌리 접착 주변부 겔코트의 영향이 클 것으로 판단되어 돌리 접착부 둘레를 따라 도료를 강재로부터 제거하는 ISO 4624 표준 시험법을 준용하였다.

3.1 복합소재 시편형상 결정

돌리테스트 평가를 위하여 만능인장시험기를 사용하여 인장력을 가하는 박리시험을 고안하였다. 즉 복합소재 시편에 수직방향으로 환봉을 부착하고, 그 환봉을 만능인장시험기 지그에 고정하여 인장력을 전달하는 방식이다. 본 방식을 적용하기 위하여 복합소재 시편의 치수를 아래와 같이 결정하였으며, 형상은 Fig. 9에 나타나 있는바와 같다.

- 환봉 직경(D) 및 길이 : 20mm, 100mm
- 시편 치수(LxBxH): 140mm x 30 x 8 (여기서 B=D+10)

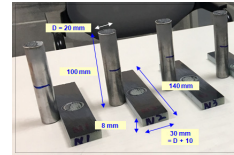


Fig. 9. Shape and dimensions of specimen and round bar

3.2 시편 제작 및 설치

환봉과 시편의 접착력을 향상시키기 위하여 환봉 접착면을 #100 사포 처리하였다. 또한 환봉과 시편의 접착을 위하여 에폭시 접착제를 사용하였으며, Fig. 10에 나타나 있듯이, 상온에서 12시간 및 오븐(80℃)에서 4시간 경화하였다.

Fig. 11은 만능인장시험기에 시편을 설치한 것을 나타낸 것으로 접착이 완료된 환봉 및 시편을 클램프 및 시편 고정용 강재를 사용하여 만능인장시험기에 고정하였다.

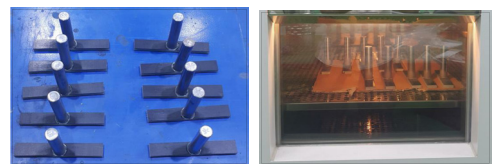


Fig. 10. Room-temp. hardening and high-temp. hardening after bonding

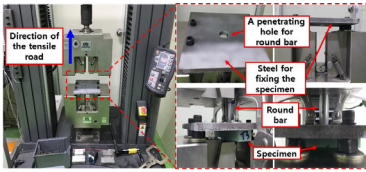


Fig. 11. Installation of the specimens.

3.3 시험 결과

만능인장시험기를 사용한 복합소재-겔코트 박리시험 결과는 Fig. 12와 같다.

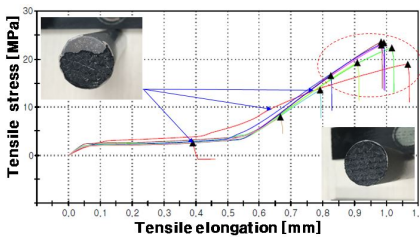


Fig. 12. Result of the delamination test.

Fig. 12에 나타나 있듯이 총 10개의 시편으로 테스트 한 결과 3개의 시편에서 부분박리 등의 에러가 발생하였다. 에러가 발생한 3개의 시편은 복합소재 및 겔코트의 접착력 평가로 부적절하므로 정상박리된 7개의 결과값으로 평가하였다. 이때 인장강도의 평균은 20.09 MPa 이고, 표준편차는 3.21로 안정된 값을 나타내었다. 이에 시편에러가 발생하지 않는다면 유효한 평가방법으로 판단된다. 겔코트 접착력 최적화 공정 프로세스 평가시에는 에러시편을 제외하고 정상시편이 10개가 나오도록 테스트를 실시하였다.

4. 겔코트 접착력 최적화 공정프로세스

겔코트 접착력에 영향을 미치는 요인으로는 경화제 배합비와 경화시간 그리고 마감섬유 소재 종류가 있으며 이에 상기요인을 겔코트 접착력 최적화 연구의 조작변인으로 선정하였다. 조작변인의 통제범위는 겔코트 제조사 및 복합소재 제작사의 기술 권고 및 승인된 작업절차를 준수하였다. 이에 따라 공정 후보군을 생성하고, 토너먼트 방식의 시험을 2차에 걸쳐 평가하여 접착력이 최대가 되는 공정 프로세스를 도출하였다. 최종 선정된 공정에 대해서는 박리현상 감소 효과를 평가하기 위한 3차 시험을 실시하였다. Fig. 13은 본 연구의 흐름을 나타낸 개요

도이다.

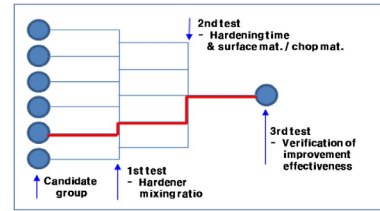


Fig. 13. An overview of the study

4.1 경화제 배합비에 따른 접착력 평가

겔코트 접착력 최적화 공정 프로세스 도출을 위한 1차 실험으로 경화제 배합비에 따른 영향성 평가를 실시하였다. 경화제 배합비는 제조사 권고에 따라 0.7%에서 2.0%까지 5개로(0.7%, 1.0%, 1.2%, 1.5%, 2.0%) 나누어 평가하였으며, 각 배합비마다 10개의 정상시편이 나오도록 평가하였다.

1차 시험 평가 결과 경화제 배합비에 따른 접착력은 Fig. 14에 나타나 있듯이 경화제 배합비가 증가함에 따라 접착력도 증가하는 경향을 보였으며, 배합비 1.5%에서 최대를 나타내고 배합비 2.0%에서는 소폭 감소하였다. 또한 경화제 배합비와 접착력간의 통계적 유의성을 검증하기 위하여 일원분산분석(One-way Analysis of Variance, ANOVA)을 활용하였다. 일원분산분석의 신뢰수준은 95%으로 분석하였으며, 사후분석으로는 Tucky방법을 적용하였다[11]. 상기의 통계적 분석은 MINITAB 20버전을 활용하여 수행하였다.

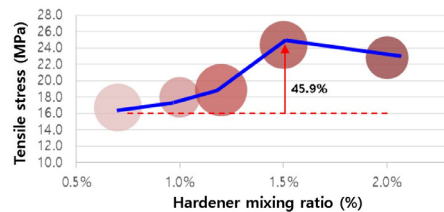
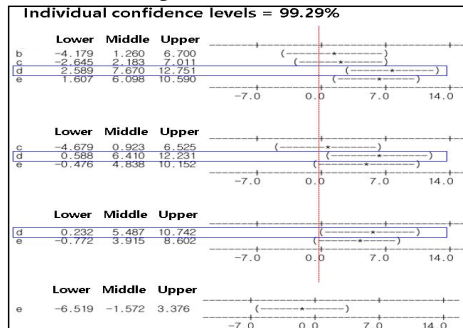


Fig. 14. Tensile stress according to hardener mixing ratio

Table 1. ANOVA according to hardener mixing ratio

-		Tensile stress				
		n	average	standard deviation	F	p
Hardener mixing ratio(%)	0.7	10	16.71	3.09	7.35	0.000
	1.0	10	17.97	2.19		
	1.2	10	18.90	3.64		
	1.5	10	24.38	3.12		
	2.0	10	22.81	2.46		
						follow up test
						Tucky

Table 2. Follow-up test according to hardener mixing ratio



일원분산분석에서 유의수준 P가 0.05 미만일 경우, 각 집단중 적어도 하나는 유의한 차이가 있는 것으로 해석한다. Table 1은 1차 실험의 일원분산분석 결과를 나타낸 것으로, 분석 결과 유의수준은 0이었으므로 경화제 배합비에 따른 젤코트 접착강도가 유의한 차이가 있는 집단이 있다는 것을 알 수 있다. 이에 Table 2와 같이 사후분석을 실시한 결과 배합비 1.5%가 타 배합비와 유의한 차이를 나타냄을 확인하였다.

이에 따라, 1차실험은 가장 높은 접착력을 보인 배합비 1.5%를 최적 공정으로 선정하였다.

4.2 경화시간 및 마감섬유에 따른 접착력 평가

4.2.1 표면마감재 Surface Mat. 적용 시험

젤코트 접착력 최적화 공정 프로세스 도출을 위한 2차 실험으로 경화시간 및 마감섬유에 따른 영향성 평가를 실시하였다. 먼저 Surface Mat. 적용 및 경화시간에 따른 접착력을 평가하였다. Fig. 15에 나타나 있듯이 경화시간이 증가함에 따라 접착력이 증가하는 경향을 보였으며 지축상태 후 12시간 경과까지 가파른 증가세를 나타내었다. 12시간 이후에도 꾸준한 증가세를 보였으나, 시간당 증가폭은 그 이전에 비해 줄어들었다.

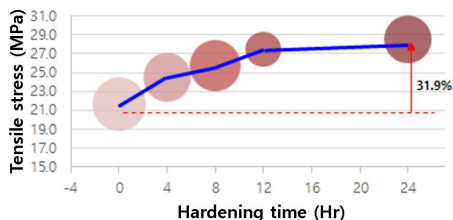


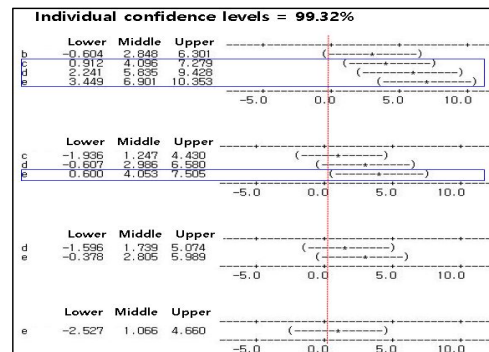
Fig. 15. Tensile stress according to surface mat. & hardening time

Table 3. ANOVA according to surface mat. & hardening time

-		Tensile stress					
		n	average	standard deviation	F	P	follow up test
Hardening time (h)	0	10	21.66	2.68	10.03	0.000	Tucky
	+4	10	24.51	2.20			
	+8	10	25.76	2.44			
	+12	10	27.50	1.19			
	+24	10	28.56	2.12			

Table 3는 2차 실험결과를 나타낸 것으로 일원분산 분석 결과 유의수준은 0이었음을 알 수 있다. 즉 표면마감재 Surface Mat.를 적용한 시편에서의경화시간은 젤코트의 접착력에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 또한 Table 4와 같이 사후 분석결과 지축상태 대비 8시간, 12시간, 24시간 경과 후가 타 시험들과 유의한 차이를 나타냄을 확인하였다. 또한 8시간 경과 후의 시험결과가 24시간 후의 시험결과와 유의한 차이가 있음을 확인하였다. 실 공정에서 작업 시 젤코트에 경화제를 배합한 후 일정 시간을 대기해야하는 상황과 주간/야간 작업자 근무시간대를 고려했을 때, 지축 후 24시간 경과를 최적 공정으로 판단하였다.

Table 4. Follow-up test according to hardening time & surface mat.



4.2.2 표면마감재 Chop Mat. 적용 시험

Surface Mat.에 이은 두 번째 평가로 Chop Mat. 적용 및 경화시간에 따른 접착력을 평가하였다.

Fig. 16에 나타나 있듯이 접착력은 경화시간과 어떠한 경향성을 갖지 않았으며, Table 5에 나타나 있듯이 일원분산분석에서도 각 변수간 유의한 차이를 확인할 수 없었다.

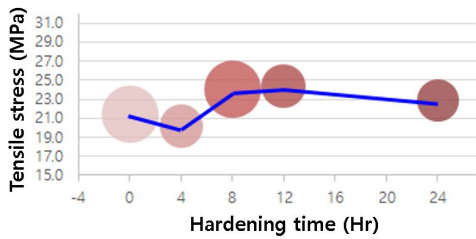


Fig. 16. Tensile stress according to chop mat. & hardening time

Table 5. ANOVA according to chop mat. & hardening time

-		Tensile stress					
		n	average	standard deviation	F	P	follow up test
Hardening time (h)	0	10	21.46	3.80	2.14	0.099	Tucky
	+4	10	20.19	2.23			
	+8	10	24.03	3.71			
	+12	10	24.39	2.27			
	+24	10	22.85	2.02			

동일한 경화시간에 대해 표면마감재에 의한 접착력 영향을 비교하기 위하여 T2-S시험과 T2-C시험의 결과를 직접 비교해보았다. Fig. 17에 따르면 모든 경화시간에서 Surface Mat.가 Chop Mat.보다 접착력면에서 뛰어난 성능을 보였다. 따라서, 표면마감재 Chop Mat.은 최적 공정 선정에 제외하였다.

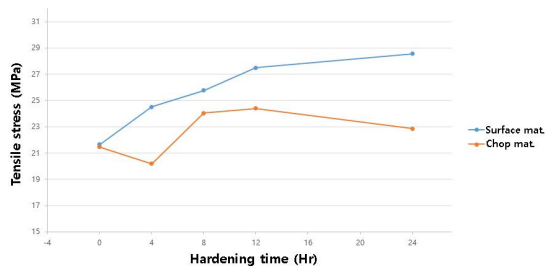


Fig. 17. Tensile stress according to surface mat./chop mat. & hardening time

4.3 접착력 개선효과 검증

앞선 시험 결과를 바탕으로 젤코트 접착력 최적 공정을 아래와 같이 선정하였다.

- 경화제 배합비 1.5%
- 표면마감재 Surface Mat. 적용
- 경화시간 지축상태 후 24시간 경과

개선된 젤코트의 접착력 개선효과를 검증하기 위하여

실공정에서 사용중인 마블커터기, 홀소, 리머 및 직소등을 이용하여 직선가공 및 곡선가공을 실시하였다. 가공에 따른 젤코트 박리현상을 확인한 결과 Table 6에 나타나 있듯이 박리현상이 발생하지 않음을 확인할 수 있었다.

Table 6. Validation of tensile stress improvement

-	cutting size	process time	delamination	tool	result
marble cutter	300	20	0		
holesaw	R40	4	0		
reaming	R20	9	0		
jigsaw	R50	1	0		
	R100	1	0		
	R150	1	0		

5. 결론

본 연구는 수중합 복합소재 젤코트 박리현상 개선을 위하여 젤코트 및 복합소재의 접착력 평가방안을 개발하였으며, 개발된 평가방안을 바탕으로 최적의 공정 프로세스를 도출하였다.

젤코트 및 복합소재의 정량적 접착력 평가를 위하여 만능인장시험기를 사용한 돌리테스트 평가방안을 도입하였다. 에러발생을 최소화하고 접착력의 객관적인 평가를 위하여 시편고정용 강재의 도입, 시편의 형상 및 환봉의 치수를 결정하였다. 또한 최적화된 시편 및 환봉의 접착 방안을 적용하여 젤코트 최적화 공정 프로세스 도출을 위한 기반을 마련하였다.

젤코트 접착력 최적화 공정프로세스 도출을 위하여 경화제 배합비와 경화시간 그리고 마감섬유 소재가 미치는 영향을 살펴보았다.

경화제 배합비에 따른 접착력 평가 및 통계적 분석을 실시한 결과 경화제 배합비 1.5%에서 접착력이 가장 높은 것을 확인할 수 있었다. 마감소재 및 경화시간에 따른 영향성을 확인한 결과 Chop mat. 및 경화시간에 따른 변화는 접착력에 통계적 차이를 나타내지 못하였다. Surface Mat. 및 경화시간에 따른 영향성을 살펴본 결과 지축 후 24시간 경과를 최적의 공정으로 판단되었다.

상기의 최적공정에 대한 접착력 개선효과에 대한 검증을 위하여 실 공정에서 사용하는 여러 가지 공구를 사용

하여 직선가공 및 곡선가공을 실시하였다. 실 공정에서 4.4%의 불량률이 발생하는 것에 대비하여 최적공정에서는 0%의 불량률을 나타내었으며 이에 최적공정에 대한 검증을 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 수중함 건조 및 운영중에 빈번히 발생하는 젤코트 박리현상에 대한 개선을 위하여 접착력 평가방안 개발하고 이를 바탕으로 최적공정 도출하였다. 또한 실 공구를 통한 검증을 통하여 개선에 대한 효과성도 검증하였다. 이 연구를 통하여 복합소재의 젤코트 품질향상이 기대되며 군 운용성 및 정비성 개선에 크게 도움이 될 것으로 판단된다.

References

- [1] Y. S. Cho and J. K. Paik, "Optimal Design of Submarine Pressure Hull Structure Using Genetic Algorithm", *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, Vol.54, No.5, pp.378-386, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.3744/STAK.2017.54.5.378>
- [2] D. H. Oh and N. H. An, "Review of the Structure Shape for Aft Transition Ring of Submarine", *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol.25, No.7, pp.936-944, 2019.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7837/kosomes.2019.25.7.936>
- [3] S. J. Yeo, S. Y. Hong, J. H. Song, H. W. Kwon and H. S. Seol, "Flow-Induced Noise Prediction for Submarines", *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol.24, No.7, pp.930-938, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.7837/kosomes.2018.24.7.930>
- [4] J. H. Choi, H. S. Seol, I. R. Park and S. G. Lee, "Study on noise prediction of non-cavitating underwater propeller with hull-appendages effect", *The Journal of the Acoustical Society of Korea*, Vol.38, No.3, pp.247-255, 2019.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7776/ASK.2019.38.3.247>
- [5] H. Gu, "Behaviours of Glass Fibre/Unsaturated Polyester Composites under Seawater Environment", *Materials & Design*, Vol.30, No.4, pp.1337-1340, 2009.
DOI: <http://doi.org/10.1016/j.matdes.2008.06.020>
- [6] D. H. Kim, J. W. Eom, Y. J. Ko and K. I. Lee, "Study on the Crack and Thermal Degradation of GFRP for UPE Gelcoat Coated Underground Pipes Under the High Temperature Water-Immersion Environment", *Journal of the Korean Geosynthetics Society*, Vol.17, No.4, pp.169-177, 2018.
DOI: <http://doi.org/10.12814/jkgss.2018.17.4.169>
- [7] D. H. Kang and J. H. Park, "The Prevention Effect of Seawater Penetration of Gel Coat Applied in Repair of FRP Fishing Vessel", *Journal of the Korean Society of Safety*, Vol.33, No.6, pp.15-21, 2018.
DOI: <http://doi.org/10.14346/JKOSOS.2018.33.6.15>
- [8] P. T. Nhut and Y. J. Yum, "Evaluation of Composite Mold for Small Composite Propeller", *Journal of the Korean Society of Safety*, Vol.37, No.2, pp.279-285, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-A.2013.37.2.279>
- [9] W. J. Jung, S. J. Han, W. H. Kim, K. K. Shin and J. J. Jeon, "A Study on the Measurement and Analysis Method for the Acoustic Transmission Loss of the Material for the Acoustic Window of Sonar Dome", *The Journal of the Acoustical Society of Korea*, Vol.16, No.7, pp.729-738, 2006.
UCI: <http://G704-000104.2006.16.7.005>
- [10] H. S. Han, K. H. Lee, S. H. Park and Y. S. Lim, "Variation of the Structural Stability for the Sonar Dome Window in a Naval Vessel according to the state of the Drain Valve", *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, Vol.38, No.7, pp.844-853, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5916/jkosme.2014.38.7.844>
- [11] M. M. Jung and H. J. Eom, "Understanding and Interpretation of Interaction Effects in Multi-factor ANOVA Designs", *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, Vol.13, No.2, pp.1-15, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21797/ksme.2011.13.2.001>

최 우 석(Woo-Suk Choi)

[정회원]



- 2007년 2월 : 부산대학교 재료공학 (공학사)
- 2009년 2월 : 부산대학교 재료공학 (공학석사)
- 2009년 3월 ~ 2013년 2월 : 현대제철 연구원

- 2013년 3월 ~ 현재 : 국방기술품질원(DTaQ) 선임연구원
- 2020년 9월 ~ 현재 : 부경대학교 조선해양시스템공학과 박사과정

<관심분야>

기계/재료, 국방/과학

이 영 석(Young-Suk Lee)

[정회원]



- 20014년 2월 : 부산대학교 조선해양공학과 (공학사)
- 2014년 3월 ~ 2019년 7월 : 삼성중공업 재직
- 2019년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원(DTaQ) 연구원

〈관심분야〉

기계/재료, 국방/과학

조 근 호(Geun-Ho Jo)

[정회원]



- 2006년 2월 : 전남대학교 자동차공학과 (공학사)
- 2012년 11월 ~ 2013년 10월 : 엑트엔지니어링 재직
- 2013년 11월 ~ 현재 : 코오롱테크 컴퍼지트 과장

〈관심분야〉

복합소재, 함정/항공

윤 지 수(Ji-Soo Yun)

[정회원]



- 1993년 2월 : 국립경상대학교 물리학과 (이학사)
- 2015년 2월 : 창원대학교 재료공학과 (공학석사)
- 1996년 5월 ~ 2017년 8월 : 해군잠수함 품질관리
- 2017년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원(DTaQ) 선임연구원

〈관심분야〉

선박/재료, 국방/과학

구 자 길(Ja-Gil Koo)

[정회원]



- 2016년 2월 : 대우조선해양 공과대학 조선해양공학과 (전문학사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 대우조선해양 특수선품품질경영부 근무

〈관심분야〉

기계/조선, 국방/과학