

수중함 복합소재 겔코트 박리현상 개선에 관한 연구

최우석*, **, 이영석*, 윤지수*

*국방기술품질원

**부경대학교

ropy1212@dtaq.re.kr

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

Woo-Suk Choi^{*,**}, Young-Suk Lee^{*}, Ji-Soo Yun^{*}

^{*}Defense Agency for Technology and Quality

^{**}Pukyong National University

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 일원분산 분석을 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.

1. 서론

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

압력선체는 Figure 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 Figure 3에 나타나 있듯이 압력선체 외부를 둘러싸는 일종의 케이싱으로 각각의 구조를 형성하여 압력선체 외부에 설치된 장비를 보호한다.

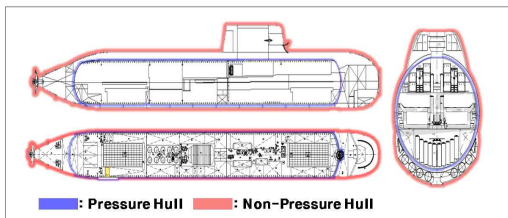


Fig. 1. Hull Structure of Submarine

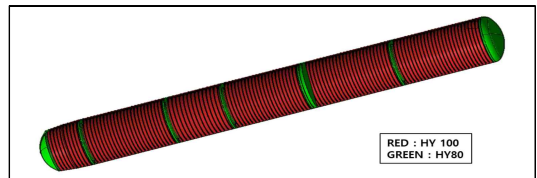


Fig. 2. Pressure Hull Structure and Material of Submarine

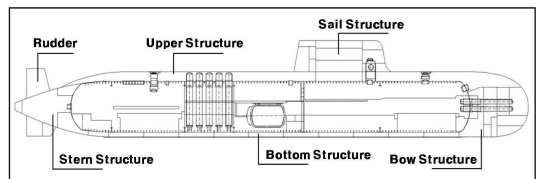


Fig. 3. Non-Pressure Hull Structure of Submarine

현재 국내연구개발로 건조중인 수중함의 경우 건조 및 시험평가 단계에서 겔코트가 복합소재로부터 박리되는 현상이 빈번히 발생되고 있다. 복합소재의 표면을 보호하고 있는 겔코트가 박리되어 해수에 장시간 노출될 경우, 복합소재의 기계적 손상(Mechanical Damage), 유체침투(Absorption of Moisture) 및 섬유손상 및 열화(Physical Damage and Irreversible Chemical Degradation, Matrix to

Swell and Break) 등의 품질문제로 심화될 수 있다[3].

이와 관련하여 복합소재 및 겔코트와 관련된 연구가 많이 수행되어지고 있으나, 겔코트와 복합소재 상호간의 접착력과 관련된 연구나 기술요구조건은 전무한 실정이다[4-6]. 본 연구에서는 두 소재간의 접착력을 측정 및 평가할 수 있는 시험방법을 개발하여 정량적 품질평가 방안을 제안하고자 한다. 또한, 개발된 품질평가 방법을 기반으로 겔코트 및 복합소재 간 접착력이 최대가 되는 최적공정을 도출하여, 국내연구개발로 건조중인 수중함의 품질향상에 기여하고자 한다.

2. 연구배경

2.1 품질문제

국내최초 연구개발로 건조중인 수중함의 건조 및 시험평가 시, Figure 4 및 Figure 5에 나타난 바와 같이 GRP 복합소재로부터 겔코트가 박리되는 현상이 빈번히 발생하였다.

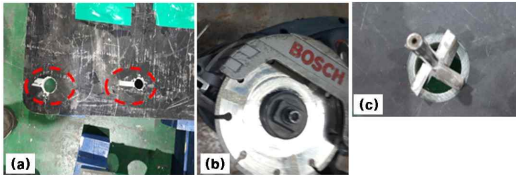


Fig. 4. Delamination of the gel coat by tools: (a) Delamination of gel coat, (b) Straight cutting tools, (c) Hole cutting tools.



Fig. 5. 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[3].

2.2 복합소재 및 겔코트 연구현황

비압력선체용 GRP 복합소재는 장보고-I/II급 기술생산협력 제작에서 부터 현재 장보고-III급 핵심도급연구개발 단계에 이르기까지 제작기술의 국산화 및 지속적인 성능개선을 통해 품질신뢰성이 향상되어 왔다. 이를 바탕으로 복

합소재의 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

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 Figure 6에 나타나 있는바와 같다.

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

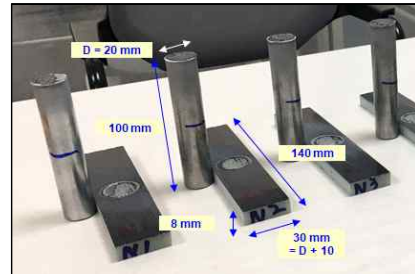


Fig. 6. Shape and dimensions of specimen and round bar

3.2 시편 제작 및 설치

환봉과 시편의 접착력을 향상시키기 위하여 환봉 접착면을 #100 사포 처리하였다. 또한 환봉과 시편의 접착을 위하여 에폭시 접착제를 사용하였으며, Figure 7에 나타나 있듯이, 상온에서 12시간 및 오븐(80℃)에서 4시간 경화하였다.

Figure 8은 만능인장시험기에 시편을 설치한 것을 나타낸 것으로 접착이 완료된 환봉 및 시편을 클램프 및 시편 고정용 강재를 사용하여 만능인장시험기에 고정하였다.

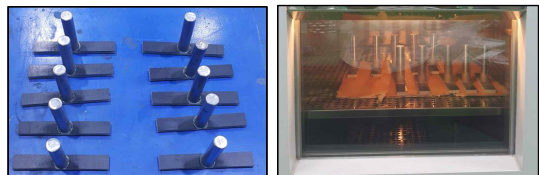


Fig. 7. Room-temp. hardening and high-temp. hardening after bonding

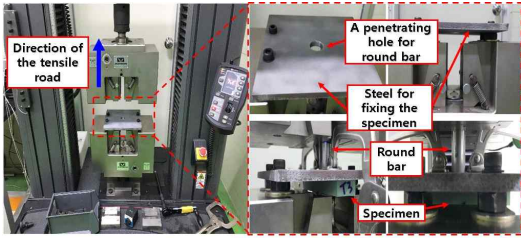


Fig. 8. Installation of the specimens.

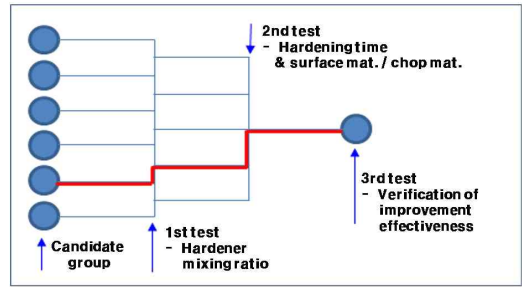


Fig. 10. An overview of the study

3.3 시험 결과

만능인장시험기를 사용한 복합소재-겔코트 박리시험 결과는 Figure 9와 같다.

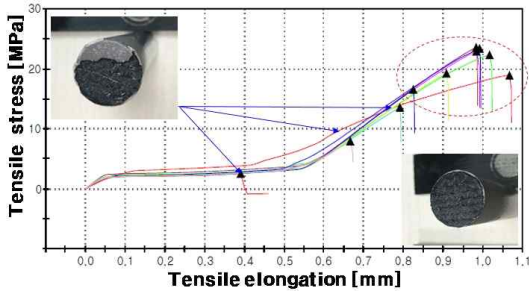


Fig. 9. Result of the delamination test.

Figure 9에 나타나 있듯이 총 10개의 시편으로 테스트한 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. Figure 10은 본 연구의 흐름을 나타낸 개요도이다.

4.1 경화제 배합비에 따른 접착력 평가

겔코트 접착력 최적화 공정 프로세스 도출을 위한 1차 시험으로 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 Figure 11에 나타나 있듯이 경화제 배합비가 증가함에 따라 접착력도 증가하는 경향을 보였으며, 배합비 1.5%에서 최대를 나타내고 배합비 2.0%에서는 소폭 감소하였다.

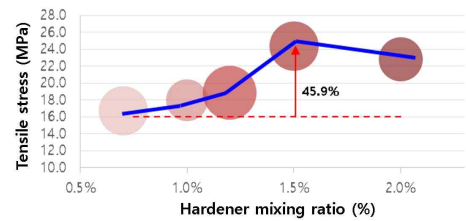


Fig. 11. Tensile stress according to hardener mixing ratio

4.2 경화시간 및 마감섬유에 따른 접착제 평가

겔코트 접착력 최적화 공정 프로세스 도출을 위한 2차 시험으로 경화시간 및 마감섬유에 따른 영향성 평가를 실시하였다. 먼저 Surface Mat. 적용 및 경화시간에 따른 접착력을 평가하였다. Figure 12에 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.

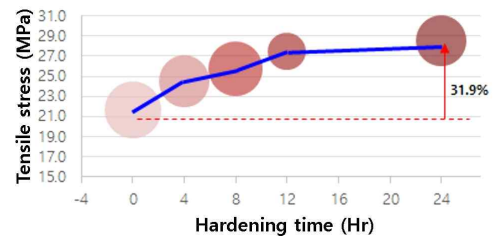










Fig. 12. Tensile stress according to surface mat. & hardening time

4.3 접착력 개선효과 검증

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

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

Table. 1. 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		

개선된 겔코트의 접착력 개선효과를 검증하기 위하여 실 공정에서 사용중인 마블커파기, 홀쏘, 리머 및 직소등을 이용하여 직선가공 및 곡선가공을 실시하였다. 가공에 따른 겔코트 박리현상을 확인한 결과 Table 1에 나타나 있듯이 박리현상이 발생하지 않음을 확인할 수 있었다.

5. 결론

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

겔코트 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 접착방안을 적용하여 겔코트 최적화 공정 프로세스 도출을 위한 기반을 마련하였다.

겔코트 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 접착

력에 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 사용하여 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 겔코트 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 겔코트 품질향상이 기대되며 군 운용성 및 정비성 개선에 크게 도움이 될 것으로 판단된다.

참고문헌

- [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: <http://10.3744/SNAK.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://10.7837/kosomes.2019.25.7.936>
- [3] 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>
- [4] 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/jkgs.2018.17.4.169>
- [5] 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>
- [6] 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>