

FRP 어선 보수에 적용되는 겔코트의 해수 침투 방지 효과

강대곤 · 박재학[†]

충북대학교 안전공학과

(2018. 8. 3. 접수 / 2018. 11. 1. 수정 / 2018. 12. 10. 채택)

The Prevention Effect of Seawater Penetration of Gel Coat Applied in Repair of FRP Fishing Vessel

Dae Kon Kang · Jai Hak Park[†]

Department of Safety Engineering, Chungbuk National University

(Received August 3, 2018 / Revised November 1, 2018 / Accepted December 10, 2018)

Abstract : Ships may collide with reefs or other objects during operation, when arriving or departing ports. The hull plate may be damaged due to the contact with other ships. The total number of domestic powered fishing vessels has decreased, but that of FRP fishing vessels has increased by 0.7% and the ratio of FRP fishing vessels to the total fishing vessels increased to 96%. Recently, fishing vessels has been used as fishing boats for income of non-fishermen as well as fishermen. Therefore, safety management for repair and maintenance is necessary. The penetration of moisture and moisture in the composite material such as FRP may deteriorate the mechanical properties and the salt (NaCl) component of the damaged portion may cause a relatively high deterioration in material strength. The gel coat painting is the final stage of repairs and maintenance of FRP fishing vessels. The thickness criteria in the domestic and foreign gel coat is 0.3~0.762 mm. The joint specimens, which was immersed in seawater for 120 days, were compared with those without seawater immersion. As a result, the tensile strength was 83 ~ 121.8% and the flexural strength was 83 ~ 113% compared with the specimens without seawater immersion. According to the previous study the tensile strength decreased by more than 29% and the flexural strength decreased by more than 50% when the composite material was immersed in seawater for 1,083 hours without coating. As a result, it was found that the gel coat with 0.5 mm thickness is very effective in preventing the strength decrease of the composite material.

Key Words : glass fiber reinforced plastics, FRP fishing vessels, strength decrease, gel coat thickness, sea water immersion

1. 서론

선박은 해상이동 구조물로서 아무리 주의를 하더라도 운항중 암초나 기타 물체와의 충돌이 있을 수 있으며, 또한 어항에서 입출항시 타선박과의 접촉에 의한 외판의 파손이 발생할 수 있다¹⁾.

국내 동력 어선은 2017년 기준 2010년 대비 11.8%가 감소하였고 재질별로는 강선은 20% 감소, 목선은 89.8%가 감소하였다. 하지만 FRP 어선은 0.7%가 증가하는 양상을 보였으며 전체 어선에서 차지하는 비율도 11.9%가 증가된 96%이다. 그 중 10톤 미만의 어선은 61,021척으로 FRP 재질 어선의 96.5%를 차지하고 있다²⁾.

일본의 경우 정부 정책의 영향을 받아 2014년 기준 1985년 대비 37.4%가 감소한 257,045척이며 5톤 미만

의 소형 어선이 전체의 90%를 차지하고 대부분 FRP로 외판이 이루어져 있다³⁾.

최근 어선들은 기존에 어업활동 뿐만 아니라 정부의 어가의 소득을 위한 낚시어선으로 이용되는 등 그 활용도가 높아지고 있어 보수에 대한 안전 관리가 필요하다.

복합재료에서 수분 및 습기의 침투는 기지의 분자배열 및 화학적 성질을 변화시켜 기계적 성질을 저하시킬 수 있으며⁴⁾ 해상 환경에 노출된 어선은 FRP 외판의 파손 부위의 소금(NaCl) 성분이 더 많은 물을 수용할 수 있어⁵⁾ 육상 환경보다 쉽게 수분의 침투에 의한 강도 저하가 일어날 수 있다.

연구 동향으로는 어선에서 사용되는 GFRP(Glass Fiber Reinforced Plastic)보다 주로 항공에서 사용되는 CFRP

[†] Corresponding Author : Jai Hak Park, Tel : +82-43-261-2460, E-mail : jhpark@chungbuk.ac.kr
Department of Safety Engineering, Chungbuk National University, 1 Chungdae-ro, Seowon-gu, Cheongju-si Chungju 28644, Korea

(Carbon Fiber Reinforced Plastic) 수분 흡수 강도에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

본 연구는 복합재료로 구성되어 있는 어선이 선체 보수 이후 마감재로 사용하는 겔코트 도료의 두께가 수분과 소금 성분의 침투를 방지하기에 효과적인지를 판단하여 선박 보수 작업에 대한 선박의 안전성을 높이고자 하였다. 이를 위해 국내/외 겔코트의 두께 기준 확인, 2.99톤급 어선 외판을 기준으로 맞댐이음, 중합이음, V 스카프 이음, X 스카프 이음의 4가지 종류의 수리를 가상한 시험편을 제작한 뒤 겔코트를 도포하여 해수에 4개월간 침지시켜 해수의 침투를 방지하는데 효과가 있는지 만능인장시험기를 사용하여 강도를 확인하였다. 이를 통해 국제해사기구에서 선박 운항에 있어 인간의 행동에 영향을 미치는 요소 중 선박 요소인 선박의 정비 상태, 취급 및 관리에 대한 예방대책⁶⁾에 도움을 줄 수 있다.

2. 국내/외 FRP 구조강도 및 겔코트 두께 기준

2.1 FRP 구조강도 기준값

국내/외 FRP 선박의 구조강도 기준은 Table 1과 같이 국내는 해양수산부 고시 강화플라스틱선의 구조기준, 어선구조기준, 한국선급의 FRP선 규칙이 있으며 국외는 ABS 및 Lloyd's 선급의 구조강도 기준이 대표적이다.

국내/외 기준을 비교 하였을 때 인장강도는 9.18~12.6 kg/mm², 굽힘강도는 15~17.5 kg/mm²로 국내/외 기준 값의 큰 차이는 없었다.

Table 1. Domestic/Foreign FRP structural strength value⁷⁻¹¹⁾

Related standards	Tensile strength	Flexural strength
Structural standard of fiber reinforced plastic ship	10 kg/mm ²	15 kg/mm ²
Structural standard of fishing vessel	10 kg/mm ²	15 kg/mm ²
KR, FRP ship rules	98 N/mm ²	150 N/mm ²
ABS, Rules for materials and welding	12.6 kg/mm ²	17.5 kg/mm ²
Lloyd's register	90 N/mm ²	160 N/mm ²

2.2 FRP 겔코팅 두께 기준 값

FRP 겔코팅 두께에 대한 국내 기준은 Table 2와 같이 겔코트용 수지액은 균일하게 바르거나 분무하여야 하며 그 두께는 0.3-0.5 mm를 기준으로 하고 있다.

국외는 겔코트는 표면처리를 하기위한 마지막 공정으로 그 두께는 0.45~0.762 mm를 기준으로 하고 있다.

Table 2. Domestic/Foreign gel coat thickness standard⁷⁻¹²⁾

Related standards	Gel coat thickness (mm)
Structural standard of fiber reinforced plastic ship	0.3-0.5
Structural standard of fishing vessel	0.3-0.5
KR, FRP ship rules	0.5
ABS, Rules for Materials and welding	0.635-0.762
Lloyd's register	0.45
U.S. Environmental protection agency	0.457

3. 시험편 제작 및 해수 침지

3.1 시험편 제작

본 연구에 사용된 FRP 시편의 매트는 KCC의 CSM-450, 로빙은 Owens Corning Korea의 WR-570 수지는 Sewon Chemical Co., Ltd의 R-115 그리고 겔코트는 인성산업(주)의 불포화 폴리에스테르 수지 겔코트 아트코트 AC 200색을 사용하였다.

적층순서는 실제 건조가 된 2.99톤의 소형 어선의 적층 [2 M(매트) + (M + R(로빙) + M) X 2] 순서와 동일하게 수적층 공법으로 평균 두께 6.6 mm를 가진 어선 외판을 제작하였다.

수적층 공법으로 인해 외판의 전체적인 두께가 고르지 못하나 최소 두께는 6.6 mm 이상으로 어선구조기준 제395조와 한국선급의 FRP선 규칙 307의 적층 두께 기준을 만족하였다.

매트와 로빙의 유리함유율에 대한 국내 기준값은 Table 3과 같이 매트 30% 로빙 50% 내외며 해당 재료의 유리 함유율은 매트 34.19% 로빙 52.9%였다.

Table 3. Mat & roving glass content^{7,9)}

Division	Glass content standard		Material glass content (%)
	Structural standard of fishing vessel (%)	Rules of FRP ships(KR) (%)	
Mat	30±3	30	34.19
Roving	50±3	50	52.9

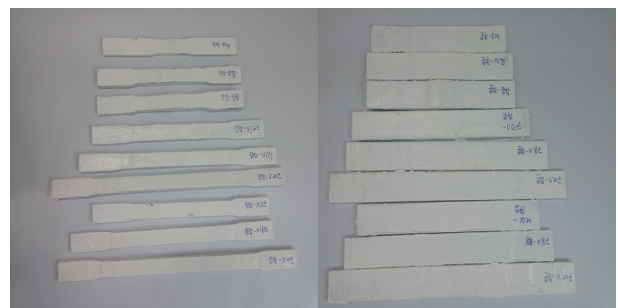


Fig. 1. Gel coated tensile & flexural specimen.

시험편에 적용한 수리 방법으로는 FRP 조선소에서 사용하고 있는 대표적인 접합 방법인 맞대임, 중합 이음, V 스카프 이음, X 스카프 이음을 사용하였다¹³⁾.

수리 방법을 적용한 시험편에 붓을 이용하여 겔코트를 도포하여 Fig. 1과 같은 시험편을 제작하였다.

3.1.1 V 스카프 이음 시험편 제작

V 스카프 이음은 스카프 비율을 1:12, 1:16, 1:20으로 구분하여 모재를 깎은 뒤 맞대었을 때 V 형태가 되도록 하여 Fig. 2와 같이 스카프 이음면 위쪽면으로 M(매트)+M+R(로빙)+M+M+R+M+M 적층 순서로 보강을 하였다.

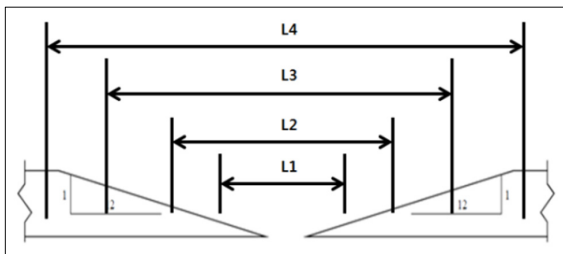


Fig. 2. Lamination method of V scarf joint specimen.

적층 재료별 길이는 Table 4와 같이 기존의 적층면을 최소 18 mm 이상 덮을 수 있도록 제작¹⁴⁾하여 적층을 한 뒤 그라인딩을 통해 마감면을 굴곡이 없도록 하였다.

Table 4. V scarf joint lamination length

Scarf Ratio	Symbol	Length(mm)	Material
1:12	L1	60	M
	L2	80~120	M+R+M
	L3	140~180	M+R+M
	L4	200	M
1:16	L1	60	M
	L2	85~130	M+R+M
	L3	160~220	M+R+M
	L4	250	M
1:20	L1	60	M
	L2	80~160	M+R+M
	L3	200~280	M+R+M
	L4	320	M

3.1.2 X 스카프 이음 시험편 제작

X 스카프 이음은 스카프 비율을 1:12, 1:16, 1:20으로 구분하여 모재를 깎은 뒤 맞대었을 때 X 형태가 되도록 하여 Fig. 3과 같이 스카프 이음면 윗면을 M+M+R+M 적층 순서로 보강을 하였고 아랫면도 동일한 방법과 적층 순서로 작업을 하였다.

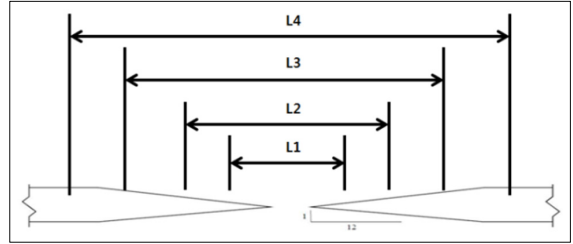


Fig. 3. Lamination method of X scarf joint specimen.

Table 5. X scarf joint lamination length

Scarf Ratio	Symbol	Length(mm)	Material
1:12	L1	80	Mat
	L2	120	Mat
	L3	160	Roving
	L4	200	Mat
1:16	L1	130	Mat
	L2	170	Mat
	L3	210	Roving
	L4	250	Mat
1:20	L1	200	Mat
	L2	240	Mat
	L3	280	Roving
	L4	320	Mat

적층 재료별 길이는 Table 5와 같이 기존의 적층면 스카프 길이로 인해 40 mm 이상 덮을 수 있도록 제작하여 적층을 한뒤 그라인딩을 통해 마감면을 굴곡이 없도록 하였다.

3.2 해수 침지

겔코팅 된 시험편을 접합 방법별 5개씩 전라남도 목포시 죽교동에서 채취한 바닷물을 담은 통에 Fig. 4와 같이 4개월 동안 햇빛이 들지 않는 곳에서 보관하였다.



Fig. 4. Sea water storage for coated test specimen.

ATAGO의 Master-s/milla로 바닷물의 염분 및 비중을 확인한 결과 염분 33%, 비중 1.023이었으며 4개월 경과 후 재측정 하였을 때에도 변화는 없었다.

3.3 겔코팅 두께

겔코팅 두께 측정은 Fig. 5와 같이 겔코트가 도료된 시험편과 도료되지 않은 시험편을 대상으로 Worltech의 ST-630 두께 측정기를 사용하여 측정한 결과 약 1 mm의 두께 차이를 보여 겔코트의 두께 0.5 mm를 확인하였고 추가로 인장 시험 진행시 FRP 시험편과 분리된 겔코트 파편을 대상으로 Mitutoyo의 버니어 캘리퍼스를 사용하여 두께를 측정한 결과 평균 0.5 mm이었다.



Fig. 5. Measuring the thickness of the gel coating specimen.

4. 구조강도 비교

4.1 인장시험 방법 및 결과

겔코트 도료 후 해수 침지를 실시 한 인장 시험편은 선박안전기술공단의 구조실험실에서 뉴원시스템의 R25243 인장 및 압축 시험기를 사용하여 강화플라스틱 선박의 구조기준 별표 3과 6의 시험 조건에 따라 Table 6과 같이 접합 방법별 각 5개씩 총 45개 시험편에 대하여 Fig. 6과 같이 인장 시험을 실시하였다⁸⁾.

인장 시험편은 겔코트 도료로 인한 지그면의 미끄러짐을 방지하기 위하여 시험편의 양쪽 끝단의 지그 접

Table 6. Number of tensile test specimen

* unit: number

Basic	Butt joint	Lap joint	V scarf joint			X scarf joint		
			1:12	1:16	1:20	1:12	1:16	1:20
5	5	5	5	5	5	5	5	5

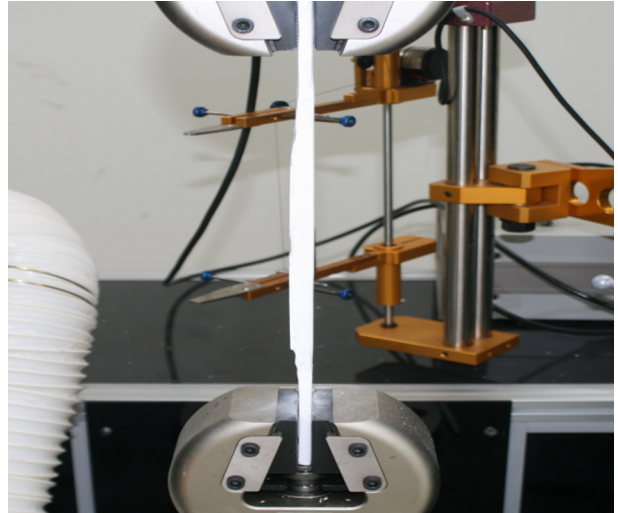


Fig. 6. Tensile test.

촉면은 그라인드를 이용하여 코팅면을 벗겨내었고 인장 속도는 분당 5 mm로 설정하였고 시험편 중앙 단면적이 결과값에 영향을 주므로 단면적에서 겔코팅 두께를 제외하였다.

수적층 방법의 특성으로 인해 25 mm의 시험편 넓이 구간의 두께가 일정하지 않아 최소 두께와 최대 두께의 평균값을 시험편의 두께로 하였다.

해수 침지 전과 침지 후의 인장강도 비교 결과 Table 7과 같은 실험 결과를 얻었으며 겔코트를 적용하지 않은 시험편 값과 비교하면 1:12 V 스카프 이음은 17.2%의 강도 저하를 나타내었고 1:16 V 스카프 이음의 경우는 21.8%의 강도 증가의 차이를 보였지만 다른 시험편은 비슷하거나 10% 내의 강도 차이를 보였다. 인장 시험 결과 파단면은 Fig. 7과 같이 스카프 이음면을 따라 확장되었고 매트와 로빙 층간에서 찢김으로 인해 파손되는 특징을 보였다.

CFRP 대상 수분 함량이 강도 평가와 관련된 연구 결과에 따르면 수분 함량이 1% 이하일 경우 인장강도에는 영향이 없으나 수분함량이 1% 이상이 되면 인장 강도는 약 20% 저하하는 특성¹⁵⁾, 시험편을 해수에 1,080

Table 7. Tensile strength test result value

* unit: MPa

Type	Basic	Butt joint	Lap joint	V scarf joint			X scarf joint		
				1:12	1:16	1:20	1:12	1:16	1:20
Non-gel coated	217.1	79.9	43	58.5	60.5	81.5	125.4	121.1	127.8
Gel coated	195.7	81.8	39.5	49	73.7	75.2	124.8	123.7	117.9
Comparison (%)	90.1	102.4	91.9	83.8	121.8	92.3	99.5	102.1	92.3

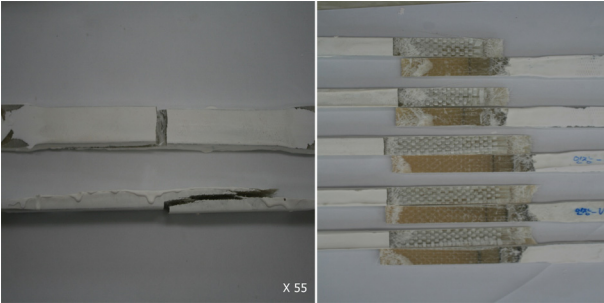


Fig. 7. Tensile test failure result.

시간 침지 시킨 후 인장 시험 값이 27% 이상 감소 한 결과¹⁶⁾와 수분 존재 하에서는 유리섬유 적층판인 경우가 탄소섬유 적층 판보다 수분의 영향을 더욱 크게 받는 특성¹⁷⁾을 종합적으로 고려하여 4개월간 해수에 침지 시킨 시험편의 대부분이 10% 내 또는 해수 침지를 하지 않은 시험편과 비슷한 강도를 보여 강도 저하를 야기하는 흡수율까지의 진행이 되었다고 보기에 어려웠다.

4.2 굽힘 시험 방법 및 결과

겔코트 도포 후 해수 침지를 실시 한 굽힘강도 시험편은 인장강도 시험과 동일한 장비를 사용하여 강화플라스틱 선박의 구조기준 별표 6에 따라 진행하였다.

굽힘강도식은 (1)과 같으며 P는 파단하중(Kg), ℓ 은 지지점 간의 거리(mm), b는 시험편의 너비(mm), t는 시험편의 두께(mm)로 계산이 가능하며 하중속도는 매분 시험편 두께의 2분의 1 mm를 표준으로 하였다⁷⁾.

접합방법별 시험편의 지지점 간의 거리, 시험편의 너비, 시험편의 두께는 Table 8과 같고 Fig. 8과 같이 3점 굽힘시험 방법을 적용하였으며 접합 시험편의 경우 하중을 전달하는 지그면과 접촉하는 시험편의 중심을 표준 두께로 측정하였다.

$$\frac{3P \cdot \ell}{2b \cdot t^2} \text{ (Kg/mm}^2\text{)} \quad (1)$$

Table 8. Number & Size of flexural test specimen

* unit: number

Type	Basic	Butt joint	Lap joint	V scarf joint			X scarf joint		
				1:12	1:16	1:20	1:12	1:16	1:20
No.	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Load speed (mm/min)	3	7	10	5	5	5	4	4	5
ℓ	96	220	250	170	150	163	140	140	150
b	50	50	50	50	50	50	50	50	50
t	6.6	14	20	10	10	10	8	8	10

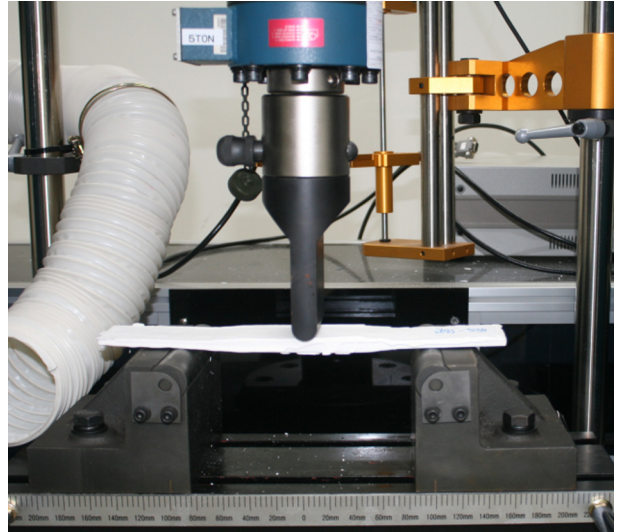


Fig. 8. Flexural test.

해수 침지 전과 침지 후의 굽힘강도 비교 결과 Table 9와 같이 겔코트를 적용하지 않은 시험편 값의 83~113%의 범위를 보였다.

굽힘시험 결과에 따른 파단면은 Fig. 9과 같이 시험편 하부에서 균열이 시작되어 스카프 이음면을 따라 균열이 확장되어 매트와 로빙의 접합부에서 균열의 확장이 진행되다가 최종적으로 매트층면에서 찢김으로 인해 파손되는 특징을 보였다.

굴곡강도가 인장강도에 비해 크게 나타나며⁴⁾ 1,080시간의 해수 침지를 시킨 CFRP 복합재료의 굽힘강도가 58.3% 감소하고¹⁶⁾ 200일간 침지 시킨 시험편의 굽

Table 9. Flexural strength test result value

* unit: MPa

Type	Basic	Butt joint	Lap joint	V scarf joint			X scarf joint		
				1:12	1:16	1:20	1:12	1:16	1:20
Non-gel coated	268.2	148	74	78.2	105.7	105.9	226.2	215.3	181.9
Gel coated	244.2	145.7	62.1	69.6	92.9	87.4	254.4	227.8	186.8
Comparison (%)	91	98	84	89	88	83	113	106	103

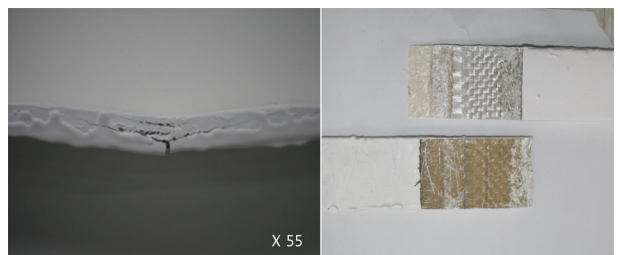


Fig. 9. Flexural test failure result.

힘강도가 53.4% 감소한 실험결과¹⁷⁾를 종합적으로 고려, 겔코트를 도료한 시험편의 수분 흡수가 강도 저하를 야기하는 흡수율까지의 진행이 되었다고 보기에는 어려웠다.

4.3 시험 방법에 대한 고찰

굽힘강도는 식(1)에서 본 바와 같이 두께에 따라 결과값이 크게 변할 수 있는 변수이다. 하지만 최근까지 FRP 레저 선박이나 어선 등의 선체에는 FRP 수직층 공법이 주로 행하여지고 있는¹⁸⁾ 국내 현실에서 시험편의 두께가 일정하지 아니한 시험편에 대한 표준 두께를 산정하는 국내 기준이 없어 굽힘강도와 같이 두께가 강도값 산정에 있어 중요한 변수로 작용하는 경우 그 값의 차이가 있을 수 있다. 인장강도 및 굽힘강도 결과 값은 선박 검사원 또는 선주가 선박의 안전성을 판단하는데 있어 기초자료로 사용하는 만큼 국내 FRP 건조 현장을 고려하여 수직층으로 인해 두께가 일정하지 않은 시험편의 두께 산정 방법에 대한 정의를 검토할 필요가 있다.

또한 동일한 어선 외판에서 시험편을 제작했음에도 일부 해수 침지를 하지 않은 시험편과 해수 침지를 한 시험편과의 강도 비율 편차가 큰 이유는 수직층 공법이 가장 큰 이유라 하겠으며 이는 동일한 재료를 사용하더라도 생산 공정에 따라서 방향성, 강도, 강성 등이 달라져 단일 물성을 갖기 힘들다는 복합재료의 특징으로 볼 수 있다¹⁹⁾. 이는 표준화된 작업 공법이 산업 현장의 품질을 높이는데 중요한 역할을 한다고 볼 수 있겠다.

5. 결론

본 연구에서는 FRP 어선의 외판 손상 이후 마무리 단계에서 사용하는 겔코트의 두께에 대해서 국내외 기준을 비교 하였고 실제 수리를 가당한 접합 방법별 시험편을 수직층하여 시험편을 제작, 겔코트를 도포 후 4개월간 해수침지를 하여 기존 시험편과 인장강도 및 굽힘강도를 비교하였다.

국내 기준이 국외 기준과 비교할때 0.15~0.33 mm 정도 얇은 기준을 적용하고 있지만 겔코트 자체는 강도 유지보다는 해수침투의 방지 목적으로 볼 때 그 두께는 적당하다고 사료된다.

겔코트의 두께를 0.5~0.6 mm로 도료 하였을 경우 해수 침지를 하지 않은 시험편과 비교하여 인장강도는 84~122%, 굽힘강도는 83~113% 강도값을 가졌다.

해수에 1,080시간 침지 시킨 복합재료의 기존 연구 결과 인장강도 값은 27% 이상 강도 저하, 굽힘강도 값은 58.3% 이상 강도가 저하 된 것을 볼 때 겔코트의 도료가 복합재료의 강도 저하를 방지하는 역할을 한다는 것을 확인하였다.

이에 따라 FRP 선박이 운항 중에 외판에 손상이 가해지고 수분이 침투되어 일정시간이 경과되면 강도가 크게 저하 되므로 선박 구조의 중요함에 따라 수리 시기를 판단 및 조정해야 하겠다.

추 후 겔코트 두께와 해수 침지 기간을 변수로 겔코트 두께에 따른 해수 침투율등을 지속적으로 개발한다면 FRP 외판 수리 업무에 도움을 줄 수 있고 이는 안전한 선박 운영과 해양사고 저감에 도움을 줄 수 있다고 판단된다.

References

- 1) S. B. Kim, "FRP Fishing Vessel Building Method and Repair", The Journal of Korean Fishing Vessel Society, Vol. 21, pp. 62-64, 1984.
- 2) Ministry of Oceans and Fisheries Statistics System (www.mof.go.kr)
- 3) C. Marti, M Vallerani and P. Ojamaa, "Research for PECH Committee-Fisheries in Japan", European Parliament, p. 37, 2017.
- 4) C. H. Koo, J. S. Lee and H. W. Kwak, "The Study of the Strength Decrease of Circular Cylindrical FRP Shell by Water Absorption", The Korean Society of Mechanical Engineers, Conference Proceedings, Vol.1(1), pp. 560-563, 1995.
- 5) Dipak Kumar Patel and Shubhonil Banerjee, "A Comparative Study of Effects on Characteristic Properties of FRP Composites when Exposed to Distilled Water, NaCl-Water Solution and Sea Water Separately", Department of Metallurgical and Materials Engineering National Institute of Technology, Rourkela, pp. 43-61, 2008.
- 6) H. K. Lee and S. R. Chang, "Cause Analysis and Prevention of Fishing Vessels Accidents", J. Korean Soc. Saf., Vol. 20, No. 1, p. 154, 2005.
- 7) Ministry of Oceans and Fisheries, "Structural Standard of Fishing Vessel", pp. 178-353, 2015.
- 8) Ministry of Oceans and Fisheries, "Structural Standard of Fiber Reinforced Plastic Ship", p. 3, Attached Table 3-5, 2016.

- 9) Korea Register, "Rules and Guidances for the Classification of FRP Ships", pp. 3-22, 2014.
- 10) American Bureau of Shipping, "Rules for Materials and Welding-Aluminum and Fiber Reinforced Plastics(FRP)", pp. 91-99, 2017.
- 11) Lloyd's Register, "Rules for the Manufacture, Testing and Certification of Materials", p. 428, 2016.
- 12) U.S. Environmental Protection Agency, "Control Techniques Guidelines for Fiberglass Boat Manufacturing Materials", p. 5, 2008.
- 13) K. W. Kim, D. K. Kang, M. K. Baek and J. H. Park, "A Study on the Strength Characteristics of the FRP Bonding Method", Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 21, Issue 6, pp. 778-782, 2016.
- 14) Korea Fishing Vessel Association, "A Study for the Development of Standard Fishing Vessel", Ministry of Oceans and Fisheries, p. 359, 1994.
- 15) C. H. Shen and G. Springer, "Effects of Moisture and Temperature on the Tensile Strength of Composite Materials", Department of Mechanical Engineering The University of Michigan, p. 6, 1976.
- 16) S. Y. Son, J. D. Kim and S. W. Koh, "Effect of Water Environment on the Mechanical Properties of Unidirectional CFRP", Journal of Advanced Research in Ocean Engineering, Vol. 11, Issue 4, pp. 27-28, 1997.
- 17) B. Lee, C. K. Moon and H. L. Choi, "Influence of Moisture Absorption on the Mechanical Properties in the Laminated Composites", Journal of Advanced Research in Ocean Engineering, Vol. 13, Issue 3, p. 93, 2000.
- 18) H. K. Choi, K. W. Nam and S. H. Ahn, "Strength Characteristics of FRP Composite Materials for Ship Structure", The Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol. 27, Issue 4, p. 45, 2013.
- 19) J. G. Park and I. C. Ahn, "Optimal Design of FRP Bridge Decks", J. Korean Soc. Saf., Vol. 23, No. 6, p. 108, 2008.