

FRP 이음방식에 따른 구조강도 특성에 관한 연구

김경우*† · 강대곤** · 백명기** · 박재학***

*, ** 선박안전기술공단, *** 충북대학교

A Study on the Strength Characteristics of the FRP Bonding Method

Kung-Woo Kim*† · Dae-Kon Kang** · Myoung-Kee Baek** · Jai-Hak Park***

*, ** Korea Ship Safety Technology Authority, Sejong-si, 30-100, Korea

*** Professor, Chungbuk National University, 1, Chungdae-ro, Seowon-gu, Cheongju, Chungbuk 28644, Korea.

요 약 : 본 연구는 해상에서의 안전사고의 경감과 국민의 생명을 보호하기 위한 목적으로 자체 연구를 수행하여 FRP의 수리공법인 Butt Joint, Lap Joint, V-Scarf Joint(12t, 16t, 20t), X-Scarf Joint(12t, 16t, 20t)의 인장강도와 굽힘강도를 통해 이음방식에 따른 구조강도 특성을 실험하였다. 이음 방법에 따른 인장강도와 굽힘강도의 시험편을 종합 분석한 결과, 인장강도의 강도와 굽힘강도의 그래프 패턴은 비슷한 양상으로 증가와 감소를 하였으며, 인장강도와 굽힘강도 모두 X-Scarf-Butt Joint-V-Scarf-Lap Joint 순으로 강도가 우수하였다. 인장강도는 강도특성이 가장 우수한 X-Scarf라 하더라도 Basic Material의 57% 수준의 강도를 나타내었고 굽힘강도는 X-Scarf가 Basic Material의 77% 수준의 강도를 나타내었다. 종합적으로 Over-Lay 구분을 포함하여 X-Scarf 12t 이음이 인장강도, 굽힘강도 특성이 우수하였으며 Lap Joint가 가장 좋지 않았다. Scarf 이음시 Taper 길이에 따른 강도의 차이는 V-Scarf 이음은 Taper의 길이가 가장 큰 20t가 인장강도, 굽힘강도 특성이 우수한 반면 X-Scarf 이음은 Taper의 길이가 가장 짧은 12t가 인장강도, 굽힘강도 특성이 우수하여 상반되는 결과를 나타내었다. 선박에는 많은 Stress가 작용하여 시험편만을 가지고 실험한 본 연구와 직접적인 비교는 힘들지만, 재료의 가장 기본 특성을 인장강도와 굽힘강도 시험을 통해 확인할 수 있다. FRP 국부적인 수리 방법인 Butt Joint, Lap Joint, V-Scarf, X-Scarf 4가지의 이음방법에 따른 시험값과 모재 대비 감소되는 비율을 제시하였고 추가적으로 V-Scarf와 X-Scarf의 Taper 길이별 특성을 12t, 16t, 20t로 구분한 결과값을 제시함으로써 수리 현장에서의 위치별 특성에 맞는 수리 방법의 응용이 가능하도록 하였다.

핵심용어 : FRP 수리, FRP 이음방식, 맞댐이음, 중합이음, V형 스카프이음, X형 스카프이음

Abstract : We studied about the strength characteristics of the FRP bonding method due to reduce accident on the oceans and protect life for my people. We test tension and bending strength of butt joint, lap joint, V-scarf joint, X-scarf joint. The result of test, it's pattern is similar both tension and bending strength. Tension strength and bending strength was excellent in order to X-scarf-butt joint-V-scarf-lap joint. The tension strength is the best properties X-scarf showed a 57% strength rate of the basic material, and bending strength showed a 77% strength rate of the basic material. Overall, the X-scarf 12t joint has most excellent properties of tension and bending strength. The lap joint has worst properties of tension and bending strength. We have to test having different over-lay of V-scarf and X-scarf joint each 12t, 16t, 20t. V-scarf of 20t over-lay has excellent character of tension and bending strength. But X-scarf of 12t over-lay has excellent character of tension and bending strength. The results are shown to the contrary. The ship is received a lot of stress. it's hard to compare a direction both actual and test. But we can acknowledge material basic characteristic of strength through tension and bending test. We give the four repair method; butt joint, lap joint, V-scarf joint, X-scarf joint and the reduced ratio in comparison with basic material; In addition give the separated data for V-scarf and X-scarf characteristic of 12t, 16t, 20t overlay length. For our study repair man can select good repair method in his work station.

Key Words : Repair of FRP, Type of the FRP bonding, Butt joint, Lap Joint, V-Scarf joint, X-Scarf joint

† Corresponding Author : benj7901@kst.or.kr, 032-260-2251

1. 서론

선박안전기술공단의 통계에 따르면 2013년도 FRP어선은 전체 어선 65,652척 중 약 93%(61,307) 이상을 차지하고 있어 어선 중 FRP 재질의 선박이 차지하는 비율이 높음을 알 수 있다(KST, 2013). 어족자원의 고갈과 어선 운항비용(연료비, 선원비)의 증가로 어획강도를 증가시켜 더 많은 이익을 창출하기 위해 어획물을 많이 적재하거나 여객을 많이 승선시킬 수 있고(낚시어선 해당) 경제적인 FRP선박을 선호하여 이를 이용하고 있다. 유리강화섬유(FRP 또는 GRP, Glass-Fibre Reinforcement Plastic)가 아닌 강으로 된 어선의 경우, 관련 개조부의 용접 이음을 육안 및 비파괴검사[UT(초음파) 또는 RT(X-ray)]를 통해 확인할 수 있는 것에 반해, FRP 이음부의 경우, 해당 이음이 어떠한 형태 및 방식으로 이루어졌는지에 대한 적절한 검사 방법이 부재하여 선체 중앙부 연장이 선체 강도 등의 선박 안전에 어떤 영향을 끼치는지에 대해 판단하기에 어려움이 있다.

또한, ‘강화플라스틱(FRP)선박의 구조에 관한 기준, 제20조 제4항’에는 외판에 대한 맞댐 이음을 금지하고 있으나 관련 기준의 근거가 되는 기술 자료가 부재한 상황이다.

따라서, FRP선박 외판 등 수리에 따른 이음방식의 변화가 선체강도에 미치는 영향에 대한 연구 내용을 소개하고자 한다.

2. 국내외 연구 · 기술 동향 조사

국내의 ‘강화플라스틱(FRP)선박의 구조에 관한 기준, 제20조’에서는 외판의 전면적인 이음을 원칙적으로 금지하고 있고, 다만 국부적인 부분에 한해서만 맞댐 이음이 아닌 스킵 이음으로 한정하고 있다(MOF, 2013). Choi(2009)는 강화섬유의 종류, 적층방식, 수지의 차이를 두어 구조강도를 평가하였으며, Choi and Kwon(2010) 등은 적층 방법(수적층과 진공적층), 강화섬유의 종류, 적층매수의 차이에 따른 구조강도를 평가하는 연구를 하였으며 단순 이음방법에 따른 구조강도 평가에 대한 연구는 없다.

일본의 CAJS(1999)은 적층후 경화 시간의 차이의 구분을 하여 모재와 신규 적층판의 시험편, V-Scarf Joint로 Taper의 길이는 시험편 두께의 16배, 뒤까지 적층을 한 시험편으로 구분하여 인장강도와 굽힘시험(표굽힘, 뒷면굽힘)시험을 한 결과 인장강도는 원재료 대비 77~94%로 나타났고, 굽힘강도는 90~120%의 결과값이 나왔다(CAJS, 1999).

본 연구에서 응용한 스킵 이음의 Taper 길이는 일본과 미국의 Repair Manual 중 스킵 이음 시 사용되어 지는 표준 Taper 비(1/12, 1/16, 1/20)를 선택(CAJS, 1999; Greene, 2013)하

여 모재대비 스킵 이음의 구조강도 측정시 실험 데이터로 삼기 위해 제작하였다.

3. FRP선박 이음방식의 종류

3.1 맞댐 이음(Butt Joint)

Butt Joint 방식은 경화된 FRP 모재를 별도의 가공 없이 FRP판의 표면 또는 양면에 모재 외 동등 구성의 겹침(Overlay up)을 하는 방식이다. ‘표준어선형 연구개발(I)’에 따르면 맞댐의 이음면적은 판 두께의 16배 이상(최소 50 mm 이상)이 되도록 권고하고 있다(FA, 1995)(Fig. 1).

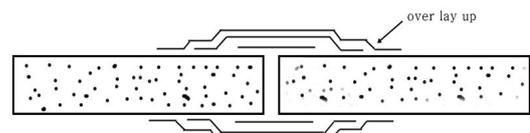


Fig. 1. Butt Joint.

3.2 중합 이음(Lap Joint)

Lap Joint 방식은 FRP판과 판 사이에 Wet Mat를 넣어 압축하여 그 위에 Overlay하거나, 이음부 틈새 및 구석에 Putty를 주입하여 경사지게 한 후 겹침(Overlay)을 하는 방식으로 이음 방법에 따라 Single lap, Double lap joint, Tapering lap joint, Scarf Joint로 나뉜다(Fig. 2). 접촉면적은 맞댐 이음과 동일하게 판 두께의 16배 이상(최소 50 mm 이상)을 권고하고 있다(FA, 1995).

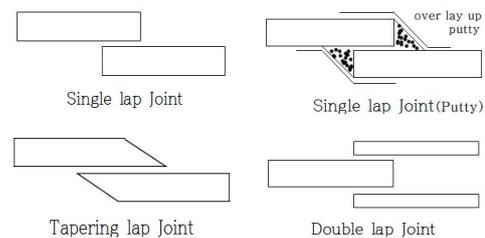


Fig. 2. Lap Joint.

3.3 스킵 이음(Scarf Joint)

Scarf Joint 방식은 응력 집중이 적고 접착력이 가장 우수하며, FRP이음에 대해 가장 이론적인 방식이나, 대형구조물의 경우 정도를 얻기가 어렵고 이음하기 어려운 결점이 있어 부분적인 보수의 방법으로 많이 활용되고 있다. 이음면은 Taper 가공한 후 그 위에 겹침하는 식으로 이루어지며 Taper는 1/16 이상(일본, 미국의 경우 1/12)으로 하고 반드시 Backing Plate로 겹침하도록 권고하고 있다(FA, 1995; CAJS, 1999; Greene, 2013). 이음형태에 따라 V-Scarf 및 X-Scarf로 나뉜다(Fig. 3).

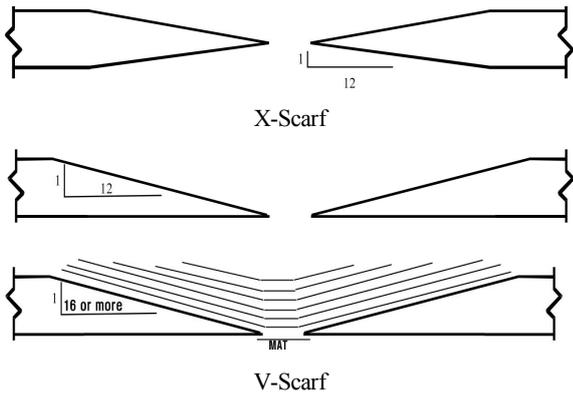


Fig. 3. Scarf Joint.

4. FRP 이음방식에 따른 재료시험

본 연구에서는 FRP이음방식에 따라 아래의 초프트스트렌드 매트(Chopped strand mat)와 로빙클라우드(Roving cloth)으로 적층하여 제작된다.

적층방법으로는 수적층법(Hand lay-up)과 진공적층법(Vacuum infusion)이 있으며, 수적층법이 현장에서 가장 많이 사용된다. 따라서, 수리시 이음방식에 따른 구조강도를 확인하기 위해 유리섬유 Mat 450 g/m², Roving 570 g/m², 수지는 R-115를 사용하였다. 3톤급 FRP선박의 적층스케줄을 참고하여 수적층적법[2M+(M+R+M)×2]으로 인장강도 및 굽힘강도시험용 원판을 만들었다. 두께는 약 6.6 mm 정도로 나타났다.

각 이음방식에 따라 가공하였다. Taper의 길이는 해외 문헌을 참고하여, 두께(t: 6.6mm)의 12배, 16배, 20배로 Table 1, 2와 같이 가공하였다(CAJS, 1999; Greene, 2013).

강화플라스틱(FRP)선박의 구조기준을 준용하여 인장시험편을 Fig. 4와 같이, 굽힘시험편을 Fig. 5와 같이 제작하였다(MOF, 2013). V-Scarf 및 X-Scarf의 Taper 길이에 따라 시험편의 길이가 달라져 가공되어진 부위가 시험편의 가운데로 올 수 있도록 하여 가공하여 원판과 이음방식에 따른 인장강도를 비교할 수 있도록 제작하였다.

Table 1. Type of Taper

| Item | Taper | | |
|---------------------|--------|--------|--------|
| | 12 × t | 16 × t | 20 × t |
| V-scarf, X-scarf | 79 | 105 | 132 |

Table 2. Type of Joint

| No | Item | Type |
|----|----------------|-----------------|
| ① | Basic material | |
| ② | Butt Joint | |
| ③ | Lap Joint | |
| ④ | | 12 × t (12t) |
| ⑤ | V-Scarf Joint | 16 × t (16t) |
| ⑥ | | 20 × t (20t) |
| ⑦ | | 12 × t (12t) |
| ⑧ | X-Scarf Joint | 16 × t (16t) |
| ⑨ | | 20 × t (20t) |

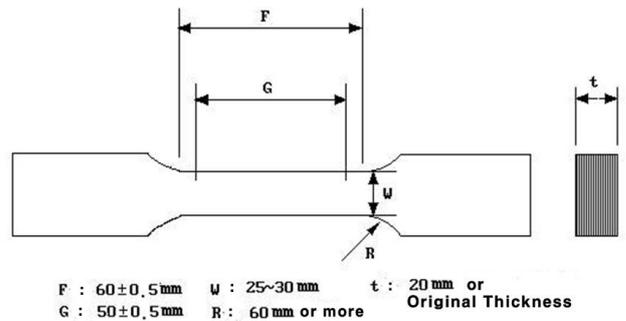


Fig. 4. FRP ships Tensile specimen.

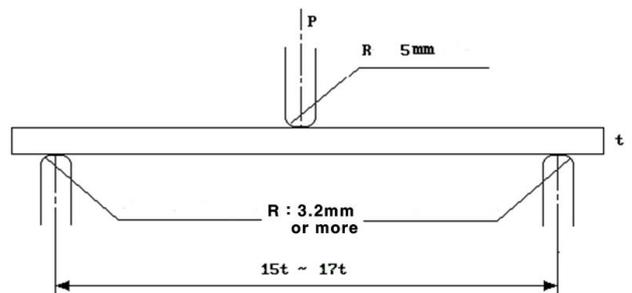


Fig. 5. FRP ships Bending specimen.

4.1 인장시험

시험편은 FITI시험연구원에 시험을 의뢰하였다. Table 2와 같이 제작되어진 시험편을 Fig. 6과 같이 장착하여 인장속도는 5mm/min로 설정, 시험하였다(MOF, 2013). ①~⑨까지의 시험편을 각각 5개씩 사용하여 총 45개의 시험편에 대해 인장시험을 실시하였다. 인장시험 전 후는 Fig. 7과 같이 나타났다.



Fig. 6. Tension test.

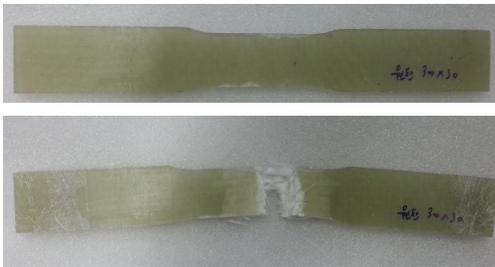


Fig. 7. Before & After shape of the tension test.

4.2 굽힘시험

Table 2와 같이 제작되어진 시험편을 Fig. 8과 같이 장착하여 굽힘속도는 시험편 두께의 절반이므로 3.0~5.0 mm/min 설정, 시험하였다(MOF, 2013). ①~⑨까지의 시험편을 각각 5개씩 사용하여 총 45개의 시험편에 대해 굽힘시험을 실시하였다. 굽힘시험 전 후 형상은 Fig. 9와 같이 나타났다.



Fig. 8. Bending test.



Fig. 9. Before & After shape of the bending test.

5. FRP 이음 방식에 따른 구조강도 특성

5.1 이음방식에 따른 결과

FITI 시험 연구원에 의뢰한 결과, 각 이음방식에 따라 Table 3과 같은 결과값을 얻었다. 원판의 결과값을 100%로 가정할 때, 각 이음방식에 따라 인장강도와 굽힘강도를 비교하였다.

Table 3. Tension & Bending Test Results

| No. | Item | Tension test (kg/mm ²) | Remark | Bending Test (kg/mm ²) | Remark |
|-----|----------------|------------------------------------|--------|------------------------------------|--------|
| 1 | Basic material | 22.14 | 100 % | 27.35 | 100 % |
| 2 | Butt Joint | 8.15 | 37 % | 15.09 | 55 % |
| 3 | Lap Joint | 4.38 | 20 % | 7.55 | 28 % |
| 4 | V-scarf-12t | 5.97 | 27 % | 7.97 | 29 % |
| 5 | V-scarf-16t | 6.17 | 28 % | 10.78 | 39 % |
| 6 | V-scarf-20t | 8.31 | 38 % | 10.80 | 39 % |
| 7 | X-scarf-12t | 12.79 | 58 % | 23.07 | 84 % |
| 8 | X-scarf-16t | 12.35 | 56 % | 21.95 | 80 % |
| 9 | X-scarf-20t | 13.03 | 59 % | 18.55 | 68 % |

5.2 인장강도 분석

이음 방법에 따른 인장강도의 시험편을 분석한 결과, Fig. 10과 같이 모재를 기준으로 하여 X-scarf 20t 이음 방법에서 인장강도가 최대로 나타났으며 중합 이음에서 최소로 나타났다. V-scarf에서는 겹침 길이 20t에서 약 10%의 강도가 상승하는 반면 X-scarf에서는 겹침의 길이가 인장강도의 큰 영향을 주지는 않았다.

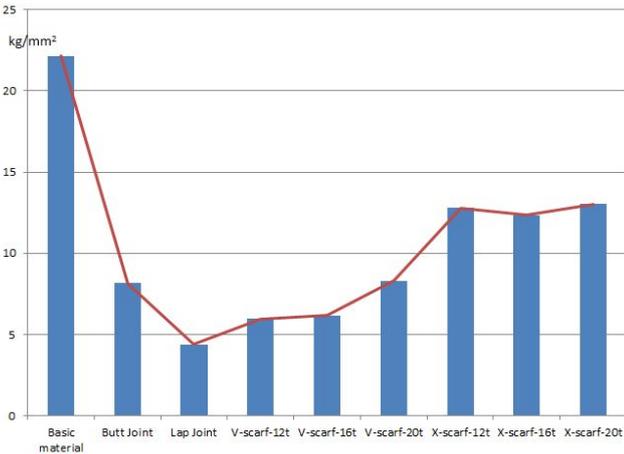


Fig. 10. Tensile strength test.

5.3 굽힘강도 분석

이음 방법에 따른 굽힘강도의 시험편을 분석한 결과, Fig 11과 같이 모재를 기준으로 하여 X-scarf 12t 이음 방법에서 굽힘강도가 최대로 나타났으며 중합 이음에서 최소로 나타났다. V-scarf 에서는 겹침 길이가 증가함에 따라 16t에서 약 10%의 강도가 상승하는 반면 X-scarf에서는 겹침의 길이가 증가 할수록 굽힘강도가 감소하였다.

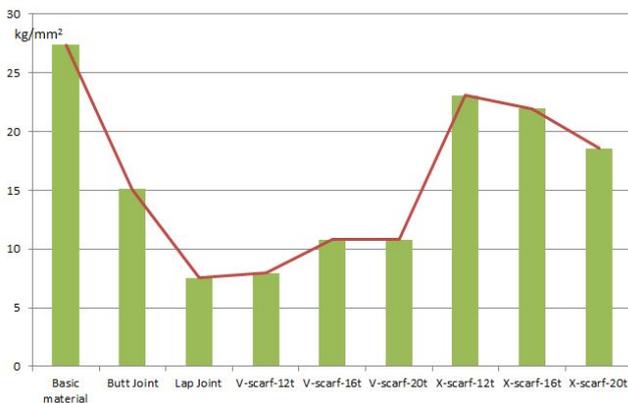


Fig. 11. Bending strength test.

5.4 인장강도, 굽힘강도 종합 분석

이음 방법에 따른 인장강도와 굽힘강도의 시험편을 종합 분석한 결과, Fig. 12.에서 인장강도의 강도 그래프와 굽힘강도의 강도 그래프의 패턴이 비슷한 양상으로 증가와 감소를 하는 것을 알 수 있다. X-scarf 이음이 가장 강도가 높게 나타났고 맞댐이음, V-scarf 이음, 중합 이음의 순으로 되었다. 인장강도의 경우에는 강도가 가장 높은 X-scarf 이음이라 해도 모재 대비 약 57%의 수준을 유지하여 4가지 이음 방법 모두

인장강도는 감소하였으나, 굽힘강도의 경우에는 맞댐, 중합, V-scarf 가 모재 대비 40% 이하로 인장강도와 비슷한 수치를 보인 반면 X-scarf 이음 12t, 16t는 상대적으로 높은 약 82%의 강도를 보여 타 이음 방법에 비해 굽힘강도가 높게 나타났다.

종합적으로 봤을때 X-scarf Joint 12t가 인장강도, 굽힘강도 값을 보았을때 가장 강한 것으로 나타났고, 중합이음은 가장 약한 것으로 나타났다.

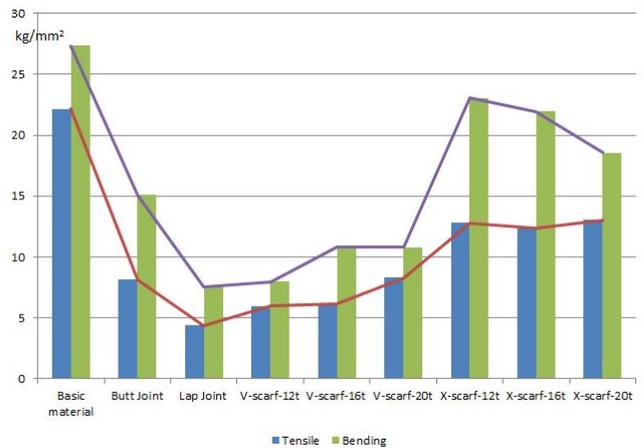


Fig. 12. Tensile & Bending strength test.

Scarf 이음 시 Taper 길이에 따른 강도의 차이는 V-scarf 이음의 경우에는 Taper의 길이가 가장 큰 20t가 인장강도, 굽힘강도 모두 우수하였으나, X-scarf 이음에서는 오히려 Taper 길이가 가장 짧은 12t가 인장강도, 굽힘강도 면에서 종합적으로 우수하여 상반되는 결과를 나타내었다.

6. 결론

선박에는 많은 Stress가 작용하여 시험편만을 가지고 실험한 본 연구와 직접적인 비교가 힘들겠지만, 재료의 가장 기본 특성을 확인할 수 있는 인장강도와 굽힘강도를 통해 FRP 선박을 수리할 때 적용할 수 있는 시험값을 제시하여 현장에서 다양하게 응용될 수 있도록 하였다.

1. 강화플라스틱(FRP)선박의 구조에 관한 기준에서 요구하고 있는 인장강도, 굽힘강도 시험에 대하여 실험을 실시하였고, 결과의 신뢰성을 위해 FITI 시험 연구원을 통해 결과 값을 제시하였다.
2. FRP 국부적인 수리 방법인 맞댐, 중합, V-scarf, X-scarf 4가지의 이음방법의 인장강도와 굽힘강도 특성 값을 제시하였다.

3. 4가지 이음방법의 인장강도와 굽힘강도가 모재 대비 감소되는 비율을 제시함으로 수리시 위치별 특성에 맞는 수리 방법의 응용이 가능하도록 하였다.

4. V-scarf와 X-scarf의 Taper 길이별 인장강도와 굽힘강도의 특성을 12t, 16t, 20t 세 가지로 구분하여 제시하였다.

5. 향후 FRP의 피로시험, 좌굴, 충격에 대한 시험등을 통한 종합적인 안전도 평가 시험이 필요하고, 인장강도가 모재 대비 60% 미만의 이음기술에 대해 강도를 증가 할 수 있는 적층방법, Over-Lay등 기술적인 연구가 필요함. 또한 모재의 두께가 6.6cm가 기준이 되었기에 FRP 선박의 톤급별 대표되는 두께별 추가적인 연구가 선행 되어야 하겠다.

본 연구에서 FRP선박의 수리현장에서 사용되는 이음방식에 대한 시험평가 연구이다. 해외문헌에는 FRP선박수리에 관한 절차가 있으나 국내에는 절차가 없으며 FRP수리조선소에서 사용되고 있는 방식을 조사하여 연구를 수행하였다.

후 기

본 연구는 선박안전기술공단 자체연구 “FRP선박 접합이음방식에 대한 시험평가 연구” 연구과제의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] CAJS(1999), The Cooperative Association of Japan Shipbuilders, FRP boat repair standard working method, 3.2 Repair of surface flaw, <https://nippon.zaidan.info/seikabutsu/1999/00129/mokuji.htm>.
- [2] Choi, H. K.(2009), A Study on the Characteristics of FRP Composites and Structural Adhesives, Journal of the Korea Ship Safety Technology Authority, No. 26, pp. 4-23.
- [3] Choi, H. K. and S. Y. Kwon(2010), A Study on the Structural Strength Assessment of FRP Composites Boat, Journal of the Korea Ship Safety Technology Authority, No. 28, pp. 46-63.
- [4] FA(1995), Fisheries Agency, A study for the development of standard fishing vessel, pp. 358-359.
- [5] Greene, E.(2013), Marine Composites Repair Procedures, p. 10, http://www.ericgreeneassociates.com/images/Repair_Procedures.pdf.
- [6] KST(2013), Statistics of Korea Ship Safety Technology Authority, <http://www.kst.or.kr>.
- [7] MOF(2013), Ministry of Oceans and Fisheries, Standard for Structure of FRP ship, p. 12, pp. 60-62.

Received : 2015. 11. 13.

Revised : 2015. 12. 21.

Accepted : 2015. 12. 28.