



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

MEMBRANE MARK III TYPE LNG선
SECONDARY BARRIER 설치용
PRESSING BOARD의 최적설계 및 비교연구

Comparative Research and Optimized Design of
Pressing board for Installation of Secondary Barrier of
Membrane MARK III type LNG carrier



지도교수 조 효 제

2009년 8월

한국해양대학교 대학원

해양시스템공학과

송 정 섭

本 論 文 을 宋 正 燮 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함

심 사 위 원 장 박 주 용 (인)

심 사 위 원  손 경 호 (인)

심 사 위 원 조 효 제 (인)

2009년 8월

한국해양대학교 대학원

Comparative Research and Optimized Design of Pressing
board for Installation of
Secondary Barrier of MARK III type LNG carrier

Song Jung-Sub

*Department of Naval Architecture and Ocean Systems Engineering
Graduate School of
Korea Maritime University*

Abstract

In this study, an optimized pressing device for secondary barrier installation regarding membrane MARK III type cargo containment system is studied experimentally. The secondary barrier is built up by bonding with epoxy glue between Rigid Secondary Barrier and Flexible Secondary Barrier and the new pressing device improves bonding condition such as decrease of air bubbles in the bonded area, increase of adhesion strength. To qualify this new pressing board, a few test were carried out to compare with the original pressing board. Advantages and disadvantages of the developed pressing board were found out to decide its effectiveness.

목 차

Abstract	I
List of Figures	IV
List of Tables	VI
1. 서론	1
1.1 연구의 필요성	1
1.1.1 MARK III type LNG선 Cargo Containment System	1
1.1.2 Secondary barrier의 중요성	3
1.1.3 Pressing board가 Secondary barrier bonding에 미치는 영향	3
1.2 기존의 연구	4
1.3 연구의 구성 및 목적	4
2. Stage별 장비 및 도구	5
2.1 Mixing stage	5
2.1.1 Epoxy glue dispenser 구조	6
2.1.2 Epoxy glue dispenser test	7
2.2 Depositing stage	8
2.3 Pressing stage	8
2.3.1 Secondary barrier pressing device	9
2.3.2 Pressing board 구조비교	10
2.4 Testing stage	14
2.4.1 Pressure sensing mat	14
2.4.2 Cryogenic chamber for single shearing test	15
2.4.3 Measuring tools and method	17
3. New pressing board 검증 및 비교분석	20
3.1 New pressing board 테스트 조건	20
3.2 Pressure sensing mat를 통한 압력분포비교	22

3.3 Air bubble 함유량 비교	25
3.4 Epoxy glue thickness 적정성 확인	28
3.5 Single shearing test	30
3.5.1 Single shearing test 결과	30
3.5.1.1 Cohesivity rate에 따른 최소 인장하중 값 합부판정 규정	30
3.5.1.2 Flat area & Flat area	31
3.5.1.3 Flat area & Corner area	32
3.5.1.4 Corner 90° area	33
3.5.1.5 Corner 135° area	34
3.5.2 Cohesivity value VS Shearing strength	35
3.5.2.1 Flat area & Flat area	35
3.5.2.2 Flat area & Corner area	36
3.5.2.3 Corner 90° area	37
3.5.2.4 Corner 135° area	38
4. 결론	39
5. 참고 문헌	40



List of Figures

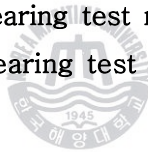
Fig. 1 NO96 type Cargo Containment System	2
Fig. 2 MARKIII type Cargo Containment System	2
Fig. 3 Temperature & Relative humidity recorder)	5
Fig. 4 Epoxy glue dispenser	6
Fig. 5 Pumping station	6
Fig. 6 Lever system	7
Fig. 7 Static mixer	7
Fig. 8 Mixing ratio test	8
Fig. 9 Visual check	8
Fig. 10 Hardness test	8
Fig. 11 Epoxy glue depositing	8
Fig. 12 Epoxy glue spreading	8
Fig. 13 Vinyl covering	9
Fig. 14 Pressing device installation	9
Fig. 15 Original pressing board for flat area	11
Fig. 16 New pressing board for flat area	11
Fig. 17 Original pressing board for 90° corner area	12
Fig. 18 New pressing board for 90° corner area	12
Fig. 19 Original pressing board for 135° corner area	13
Fig. 20 New pressing board for 135° corner area	13
Fig. 21 Pressure calibration tool	14
Fig. 22 Pressure sensing mat	14
Fig. 23 Single shearing test support	15
Fig. 24 Assembly drawing for single shearing test specimen	16
Fig. 25 Cooling chamber	16
Fig. 26 Cryogenic chamber	16
Fig. 27 Sequence for single shearing test	17
Fig. 28 Cohesivity rate & Adhesivity rate	18
Fig. 29 Ultimate shear strength in accordance with cohesivity rate	18
Fig. 30 Cohesivity rate measuring tool	19

Fig. 31 Secondary barrier installation principle.....	20
Fig. 32 Step between panels.....	21
Fig. 33 Air regulation system.....	22
Fig. 34 Peel-off test for normal area.....	25
Fig. 35 Peel-off test for special area.....	25



List of Tables

Table 1 Characteristics of epoxy glue	5
Table 2 Regulation for storage and use of epoxy glue	5
Table 3 Regulation for open time and curing time	9
Table 4 Comparative study of pressure distribution	23
Table 5 Comparative study of air bubbles content.....	26
Table 6 Comparative study of epoxy glue thickness	28
Table 7 Bare RSB & FSB thickness	29
Table 8 Single shearing test result for Flat area & Flat area.....	31
Table 9 Single shearing test result for Flat area & Corner area	32
Table 10 Single shearing test result for Corner 90° area	33
Table 11 Single shearing test result for Corner 135° area	34
Table 12 Judgement of single shearing test result for Flat & Flat area.....	35
Table 13 Judgement of single shearing test result for Flat & Corner area.....	36
Table 14 Judgement of single shearing test result for Corner 90° area	37
Table 15 Judgement of single shearing test result for Corner 135° area	38



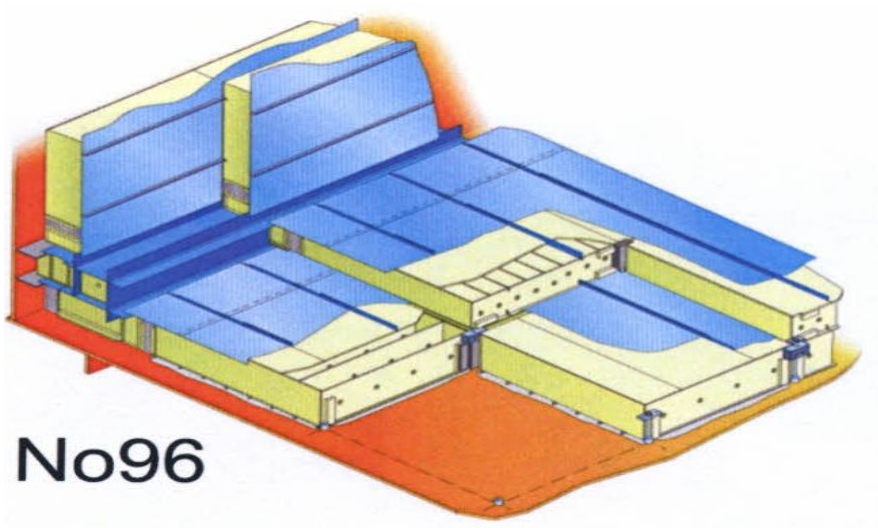
제 1 장 서론

1.1 연구의 필요성

인류의 에너지 수요과다에 따른 원유가치의 상승이 LNG에 대한 관심을 고조시키며, LNG의 개발 사업과 더불어 LNG운반선의 건조 또한 활기가 넘치고 있다. 육상에서 파이프라인으로 가스를 공급하는 PNG 개발 사업 또한 한창이지만 공급할 수 있는 구역이 한정되어 있으며, 수요와 공급이 맞지 않을 경우, 투자비를 회수하는데 어려움이 있기 때문에, 어디든 가격이 높은 곳으로 공급할 수 있는 LNG가 더욱 각광받고 있다. LNG는 영하 163도에서 액화되기 때문에, LNG선은 극저온을 유지하며 화물을 운반할 수 있는 Cargo Containment System(CCS)의 설계가 핵심기술이다. CCS의 설계방식에 따라 Moss type과 Membrane type으로 구분되며, 이 연구에서는 Membrane MARK III type의 CCS 대하여 다루고자 한다. Membrane MARK III type의 CCS는 건조가 용이하여 이미 많은 조선소에서 이 방식을 채택하여 건조를 진행하고 있지만, Secondary barrier를 형성하고 있는 Rigid Secondary Barrier(RSB)와 Flexible Secondary Barrier(FSB)가 접착방식으로 기밀을 유지하도록 설계되었기 때문에, 선박운항 중 Primary barrier에서 누기가 발생할 경우, Secondary barrier의 기밀유지에 대한 신뢰도가 타 방식에 비하여 떨어지며, 이미 여러 선박에서 발생한 잦은 사고로 인하여 건조품질향상에 대한 과제가 여전히 남아 있다.

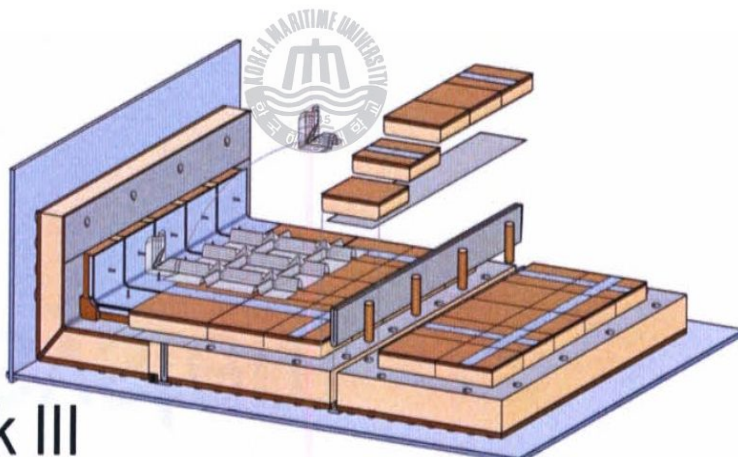
1.1.1 MARK III type LNG선 Cargo Containment System

MARK III type LNG선 Cargo Containment System은 NO96방식과는 달리 Secondary barrier가 용접이 아닌 접착방식으로 형성된다는 것이 가장 큰 차이라고 볼 수 있다. 물론 Primary barrier의 사용소재 또한 Invar 대신에 Stainless steel 304L을 사용한다는 점이 상이하며, MARK III type은 Secondary insulation이 Inner hull에 고정되는 반면에, NO96 방식은 Inner hull에서 Sliding되는 방식이라는 점도 큰 차이점으로 볼 수 있다. 하지만, LNG운반선의 목적을 고려할 경우, 기밀유지는 어느 다른 운반선과 동일하게 매우 주요한 사항임에도 불구하고, 접착방식으로 설계되었다는 점과 기밀유지에 대한 신뢰도가 떨어짐에도 불구하고, CCS 공사 시수를 절감할 수 있는 이점 때문에 여러 조선소가 이 방식을 채택하고 있다는 점이 주목할 만하다.



No96

Fig.1 NO96 type Cargo Containment System



Mark III

Fig.2 MARK III type Cargo Containment System

Fig.2의 MARK III type CCS는 NO96 type CCS에 비하여, 선체의 모션을 보정하도록 설계된 Membrane sheet의 Corrugation 때문에, 용접이 다소 난이하다는 것도 특징이라고 할 수 있다.

1.1.2 Secondary barrier의 중요성

LNG 운반선의 Secondary barrier는 Primary barrier에 누기가 없는 경우, 선박의 운항 중 특별한 기능은 없다고 볼 수 있다. 하지만 선박의 Motion에 따른 화물창 내부의 Sloshing 혹은 외부충격에 의하여 Primary barrier에 누기가 발생하였을 경우, 영하 163도의 LNG가 선체에 닿게 된다면, 선체는 극저온의 영향에 의하여 취성이 발생하게 되고, 선박은 위험에 처하게 되므로 Secondary barrier의 기밀유지는 매우 중요하다. MARK III type의 Secondary barrier는 Primary barrier에서 누기가 발생한 경우, LNG를 가장 가까운 인수기지로 이동하여 하역할 수 있도록 기밀을 유지할 수 있어야 하며, 인수기지에서 하역이 위험한 경우, Boil Off Gas(BOG)로 누기가 발생한 화물창의 LNG를 소모할 수 있도록 약 15일간의 기밀유지를 위하여 설계되었다. 그럼에도 불구하고, 접착방식으로 시공되는 MARK III type의 Secondary barrier는, 용접에 비하여 신뢰도가 떨어지므로 시공 후, Inner hull과 Secondary barrier 사이에 진공을 형성하여 누기소리로 누기구역을 확인하는 Sound test와 진공압력의 변화를 확인하여 누기유무를 추정하는 Secondary barrier tightness test를 수행한다. 또한, Primary barrier인 Membrane sheet가 Secondary barrier의 상부에 설치된 이후에는 수정작업이 어려우며, Secondary barrier가 접착방식으로 시공되므로 온도, 습도 및 오염에 대하여 시공기간동안 각별한 주의가 필요하다.

1.1.3 Pressing board가 Secondary barrier bonding에 미치는 영향

Secondary barrier는 이미 Insulation panel에 접착되어 있는 RSB의 상부에 Epoxy glue를 도포한 후, FSB를 덮고 Pressing board를 설치하여 Epoxy glue maker의 권고사항에 따라서 경화온도에 따른 최소경화시간동안 압력을 유지하는 것으로 형성된다. Epoxy glue 도포 후, Pressing을 하는 이유는 Secondary barrier를 설치하기 전, 이미 Inner hull에 설치하는 Insulation Panel의 설치공차에 의하여, Secondary barrier 시공 시 접착구역에 단차가 발생하므로 Pressing을 하지 않는 경우, RSB와 FSB의 접착구역에 Air bubble이 형성되며, Air bubble은 이 후 선체에 모션에 의하여 접착구역에 인장력이 발생할 경우, 접착구역에 파단을 일으키는 발원점이 된다. 따라서 Air bubble을 최대한 제거해 주는 것이 주요목적이며 압력의 정도조절을 통하여 최대 접착력을 얻기 위한 Epoxy glue의 규정두께를 제공하는데 결정적인 역할을 한다.

1.2 기존의 연구

LNG선 건조의 호황으로 인하여 여러 조선소에서는 품질향상뿐만 아니라, 생산성향상을 위한 꾸준한 연구가 진행되어 왔다. 그 중, Secondary barrier 시공 시 Pressing 시간을 줄이기 위하여, 접착부의 온도를 높여서 경화를 가속시키는 Hot curing pad의 개발은 생산성을 향상시키는데 큰 성과를 거두었다. 또한 상층에서 하층으로 진행되는 화물창 공사방식의 특성상 상층에서 발생하는 먼지 및 이물질이 하층에 쌓여서 오염을 유발시키며, Duct를 통하여 화물창 내부 전체의 온도를 조절함에도 불구하고 대류현상에 의하여 상층보다 하층이 온도가 낮다. 뿐만 아니라, 화물창 보온작업 대부분의 공정이 안벽에서 이루어지며, 선체의 바닥면이 수중에 있다는 점을 감안할 경우, 바닥면의 접착조건은 매우 열악하다. 따라서 접착력이 높은 Polyurethane glue를 Automatic depositing machine을 사용하여 바닥면을 시공하는 방식도 개발되었다.

1.3 연구의 구성 및 목적

본 연구에서 소개되는 New pressing board는 생산성향상 보다는 품질향상을 위해 개선되었으며, 접착구역 내에 존재하는 Air bubble의 함유량을 감소시키는 것이 주요 목적이다. 개선된 Pressing board는 Insulation panel의 설치공차에 의해 발생된 단차를 보정해주기 위해 설치되어 있는, 두께 3mm의 Epsilon sheet가 5mm의 EVA sponge로 변경되어 Pressing 능력이 향상되었으며, 그에 따른 접착구역의 Air bubble 함유량의 감소는 접착부에 도포된 Epoxy glue의 완전경화 후, 접착된 FSB를 Peel-off하여 Air bubble이 접착구역 내에 얼마나 존재하는지 Visual check로 확인되었다. 또한 접착구역에 형성되는 Epoxy glue의 두께는 접착구역의 일부를 발취하여 세 포인트를 무작위로 선정한 후, 평균값을 산출하여 평균값이 규정된 두께범위를 만족하는지를 확인하였으며, Air bag을 통하여 형성되는 Pressing board의 압력은, 압력이 가해지는 구역에 Pressure sensing mat를 사용하여, 전달압력이 규정된 압력범위를 만족하는지 확인을 통하여 검증되었다. 뿐만 아니라, 영하 170도에서 접착구역이 규정된 Shearing strength를 만족하는지 확인하기 위하여, 접착구역에서 시편을 발취하여 Shearing support에 접착한 후, Cryogenic shearing test를 실시하였다. 상기 실험에 대한 결과에 근거하여 본 연구에서 소개되는 New pressing board의 효과를 검증하고 기존에 사용되고 있는 Original pressing board에 비하여 개선된 부분을 나타내었다.

제 2 장 Stage별 장비 및 도구

2.1 Mixing stage

Secondary barrier(FSB + RSB)의 접착에 사용되는 Epoxy glue는 2액형 접착제로서 Resin과 Hardener로 구성되며, 각각 별도의 용기에 담겨져 납품된다. 혼합이 되기 전까지는 별도로 경화는 진행되지 않으며, 화학제품의 특성상 보관 및 사용에 대한 규정을 지키는 것이 접착품질을 위하여 가장 중요하다. 본 실험에 사용된 Epoxy glue는 영국 Huntsman社에서 생산되는 제품이며, Table 1은 Maker에서 제공한 제품의 주요 특성이며, Table 2는 보관 및 사용에 대한 규정이다.

구 분	Resin (XB 5032 A)	Hardener (XB 5032 B)	Epoxy glue	Remark
색 상	황색	청색	녹색	Huntsman, England
비 중	1.35 ~ 1.45	1.05 ~ 1.15	1.05 ~ 1.15	
점 도(at 25°C)	40 ~ 60	25 ~ 50	140 ~ 200	

Table 1 Characteristics of epoxy glue

구 분	Resin(XB 5032 A)	Hardener(XB 5032 B)	Remark
보관온도	5°C ~ 35°C	5°C ~ 35°C	Huntsman, England
보관위치	24시간 온도, 습도 관리가 가능한 실내창고		
유효기간	1년 6개월		
혼합비(PBW)	100	55 ±10%	

Table 2 Regulation for storage and use of epoxy glue

Fig. 3은 보관창고의 24시간 온·습도 관리를 위한 온·습도 기록계의 형상이다.



Fig. 3 Temperature & Relative humidity recorder

2.1.1 Epoxy glue dispenser 구조

Table 2에 규정된 혼합비는 Epoxy glue의 경화에 절대적 영향을 미치는 요소이므로 Fig. 4의 Epoxy glue dispenser를 통하여 Resin 및 Hardener는 혼합 및 도포된다.



Fig. 4 Epoxy glue dispenser

Epoxy glue dispenser는 크게 세 가지 주요설비로 구성되며, Fig. 5의 Pumping station은 흡입용 Follow-on-plate가 설치되어 있는 두 개의 Feeding pump를 통하여 Epoxy resin 및 Hardener를 Metering unit에 공급하게 된다.



Fig. 5 Pumping station

Metering unit에 속하는 Fig. 6의 Lever system은 Pumping station으로부터 공급된 Resin 및 Hardener를 규정된 혼합비로 조정하여 Static mixer로 공급하는 역할을 한다. 끝으로 Fig. 7의 Static mixer는 적절한 혼합비로 공급된 Resin 및 Hardener를 완벽하게 혼합하는 역할을 할 뿐만 아니라 끝단에 설치된 Tip을 통하여 Epoxy glue가 도포될 때, Epoxy bead의 적절한 형상을 제공한다.

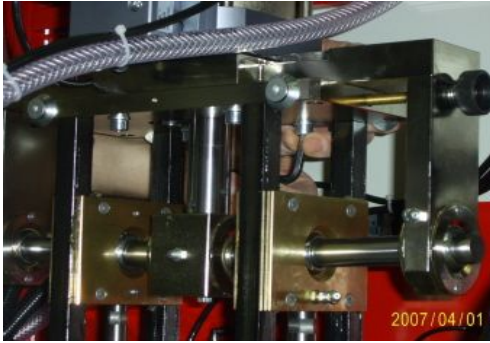


Fig. 6 Lever system



Fig. 7 Static mixer

2.1.2 Epoxy glue dispenser test

Epoxy glue의 접착을 통하여 형성되는 Secondary barrier는, RSB에 Epoxy glue를 도포한 후 FSB로 덮고 Pressing하여 경화시키므로, 경화의 진행과정을 확인하기 어렵고 Epoxy glue의 품질에 하자가 있는 경우, 자재의 손실뿐만 아니라 기존의 작업보다 몇 배의 재작업 시수가 소요되므로 항상 주의해야 한다. 그러한 측면에서 장비는 기계적 특성상, 주변 환경에 의하여 경미한 오차가 발생하기 쉬우며, 일정한 주기로 장비가 테스트되지 않는다면, 진행된 작업의 접착품질을 보장할 수 없다. 따라서 Epoxy glue dispenser의 Daily check는 매일 아침 작업착수 전, 작업 중 1시간 마다, Resin 및 Hardener drum이 교체될 때 마다 실시하는 것을 원칙으로 하고 있다. Daily check item은 Fig. 8과 같이 Resin과 Hardener의 혼합비를 확인하는 Mixing ratio test가 있으며, Fig. 9와 같이 Dispenser의 Heating system에 문제가 있는 경우, 온도에 따른 Resin 및 Hardener의 점성이 불량하여 완벽하게 혼합이 되지 않을 경우, 청색 줄무늬가 Epoxy glue에 나타나므로 Visual check를 수행해야 하며, 화물창 내부의 주변 온도에서 Epoxy glue가 자연 경화될 경우, 대략 12시간이 소요되기 때문에 결과 확인 후, 본선 작업을 투입하는 것은 현실상 맞지 않다. 따라서 혼합된 Epoxy glue를 오븐

에 넣어 경화를 촉진하여 경도를 미리 확인하는 Hardness test가 있다.



Fig. 8 Mixing ratio test



Fig. 9 Visual check



Fig. 10 Hardness test

2.2 Depositing stage

Epoxy glue dispenser의 Daily check 완료 후, Fig. 11과 같이 Epoxy glue가 도포되는 RSB의 면적을 기준으로 Flat area는 단위면적당 560g을 장비로부터 토출하여 RSB에 도포하고, Corner area는 단위면적당 600g을 토출하여 도포한다. 이 때 Epoxy glue가 RSB 상부에 국부적으로 뭉치지 않고 균일하게 퍼져 도포되도록 하기 위하여 Fig. 12와 같이 Notch가 있는 주걱을 사용한다.



Fig. 11 Epoxy glue depositing

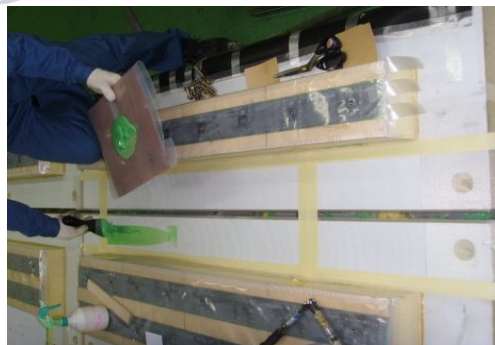


Fig. 12 Epoxy glue spreading

2.3 Pressing stage

Epoxy glue는 Resin과 Hardener가 혼합 되는 순간부터 경화가 시작되므로 Maker에서 제공한 Open time 규정을 반드시 준수해야 한다. Open time은 Resin과 Hardener

가 혼합되는 순간부터 Pressing device가 설치 완료 될 때까지의 시간이며, Open time을 준수하지 않을 경우, 경화가 규정이상으로 진행된 Epoxy glue는 Spreading이 어려우며, 이 후, FSB Covering 후, Pressing device를 설치하여 접착을 완료하여도 접착품질이 보장될 수 없으므로 Table 3의 Open time 및 Curing time 규정을 반드시 준수해야 한다.

Temp.(°C)	Open time	Curing time	Remark
10	2 ~ 3days	2 ~ 3days	
23	4 hr	10 hr	
30	3 hr	4 hr	

Table 3 Regulation for open time & curing time

Curing time은 Pressing device 설치 후, 경화가 진행되어 Epoxy glue가 적정경도에 도달 할 때까지 Pressing device가 유지되어야 하는 시간이며 Fig. 13과 같이 FSB covering 후, Pressing device에 Squeeze-out된 Epoxy glue가 묻는 것을 방지하기 위하여 Vinyl covering을 하고, Fig. 14와 같이 Setting bar와 Air bag을 통하여 Pressing이 가능하다. 이 때 Flat area는 Air bag에 250mbar를 공급하고 Corner area인 경우 300mbar를 공급한다. 이 압력은 FSB를 covering할 때 유입되는 공기에 의하여 접착구역에 Air bubble이 형성되는 것을 방지하기 위해서 필요한 압력이다.



Fig 13. Vinyl covering



Fig. 14 Pressing device installation

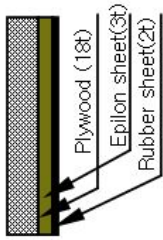
2.3.1 Secondary barrier pressing device

Pressing device는 Pressing board와 Air bag 및 Setting bar로 구성된다. Pressing board는 상판과 하판이 한 세트로 작업이 이루어지며 상판은 Bending을 방지하기 위

하여 길이방향으로 보강이 되었으며, 하판은 FSB와 직접적으로 접촉하며 Pressing되기 때문에 Epsilon 및 Rubber pad를 통하여 Insulation panel간의 설치 단차를 보정해 줄 수 있도록 설계되었다. 나란히 설치된 Panel의 높낮이가 일치하지 않더라도 그 차이가 규정된 범위 내라면, Pressing board의 하판은 양 쪽 Panel의 RSB에 도포된 Epoxy glue와 FSB를 규정압력으로 Pressing을 하여, 도포된 Epoxy glue내에 Air bubble 함유량에 대한 규정을 만족할 수 있도록 최대한 제거할 수 있어야 한다. 먼저 Pressing board와 Air bag을 조립한 후, Pressing 되어야 하는 구역에 설치하고 Insulation panel의 Top pad에 Setting bar를 설치한 후, Air bag에 규정된 압력을 공급하면 상판을 통하여 Setting bar에 작용하는 압력과 동일한 압력이 작용 반작용의 원리로 하판에 전달되어 접착구역을 Pressing하게 된다. Air bubble은 이러한 압력에 의하여 Epoxy glue의 Squeeze-out시 제거된다. 또한 Epoxy glue는 유리와 같이 경도는 높으나 취성이 강하여 두꺼우면 잘 부서지는 경향이 있으므로, 정해진 두께 규정치를 만족해야 하므로 Pressing이 불가피하다.

2.3.2 Pressing board 구조비교

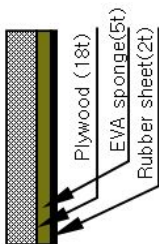
Original pressing board는 현재 조선소에서 MARK III type Cargo Containment System 공사를 위하여 사용되고 있는 Pressing device로서, Insulation panel간의 규정된 허용단차를 보정할 수 있도록 설계되었으며, 실험을 통하여 본선 화물창 공사의 주변조건과 동일한 조건에서 Pressing을 하였을 때, Epoxy glue의 규정된 두께인 0.2mm ~ 0.8mm를 만족하고, Air bubble 함유량에 대한 규정도 만족하였다. 이 모든 규정을 만족하는데 가장 큰 역할을 하는 것은 Pressing board에 설치된 Epsilon sheet 으로서 Panel간의 단차 및 균일하지 못한 국부적인 면의 상이한 단차를 흡수하여 모든 구역이 균일한 압력으로 가압되도록 하는 것이 주요역할이다. 반면에 Epsilon sheet의 하부에 설치되는 Rubber pad는 비교적 경도가 높은 편이며, Air bag에서 전달되는 압력을 접착구역에 전달하여, 접착구역 내에 존재하는 Air bubble을 접착구역의 가장자리로 밀어내어 Squeeze-out을 하는 역할을 한다. 개선된 New pressing board는 Original pressing board에서 Epsilon sheet의 재질 및 두께가 변경되었으며, 변경된 New pressing board는 다음과 같다.



Pressing board(내판)

Epsilon sheet(R.1503)	Rubber sheet
1. 재질 EVA 수지, Poly(ethylene vinyl acetate) 2. Vinyl acetate 함량 14 ~ 18% 3. Shore "A" 경도 14 ~ 15	1. 재질 SBR 2. 인장강도 170 ~ 250kg/cm ² 3. 신율 300 ~ 700 4. Shore "A" 경도 67 ~ 68 5. 사용범위 -40°C ~ 100°C

Fig. 15 Original pressing board for flat area



Pressing board(내판)

EVA sponge	Rubber sheet
1. 재질 EVA 수지 2. 인장강도 23kg/cm ² 3. Shore "C" 경도 55±1(KS M 6518) 4. 비중 0.26g/cc(KS M 6519) 5. 열수축율 1.3%(70°C±1°C X 40분)	1. 재질 SBR 2. 인장강도 170 ~ 250kg/cm ² 3. 신율 300 ~ 700 4. Shore "A" 경도 67 ~ 68 5. 사용범위 -40°C ~ 100°C

Fig. 16 New pressing board for flat area

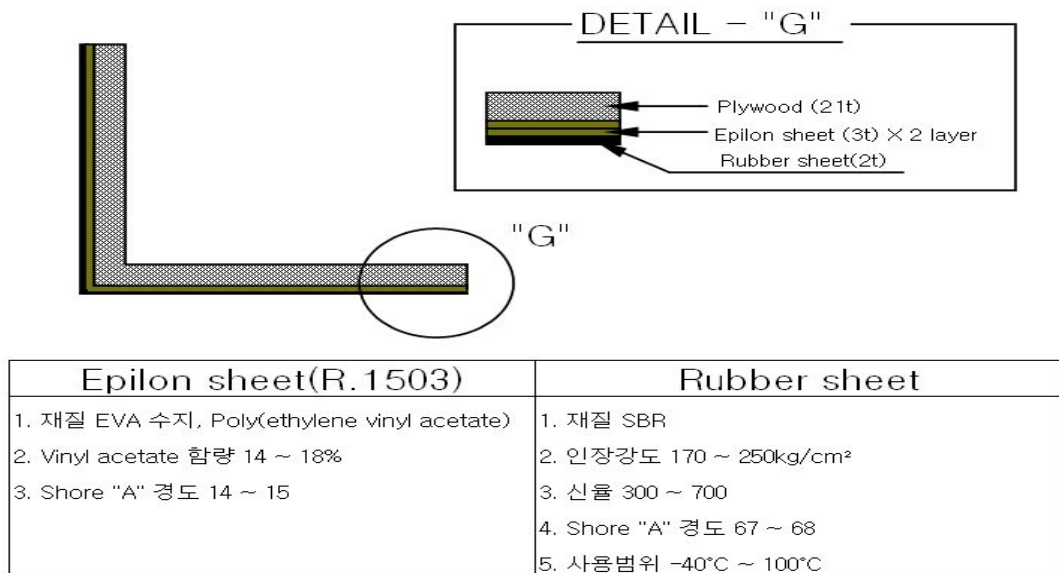


Fig. 17 Original pressing board for 90° corner area

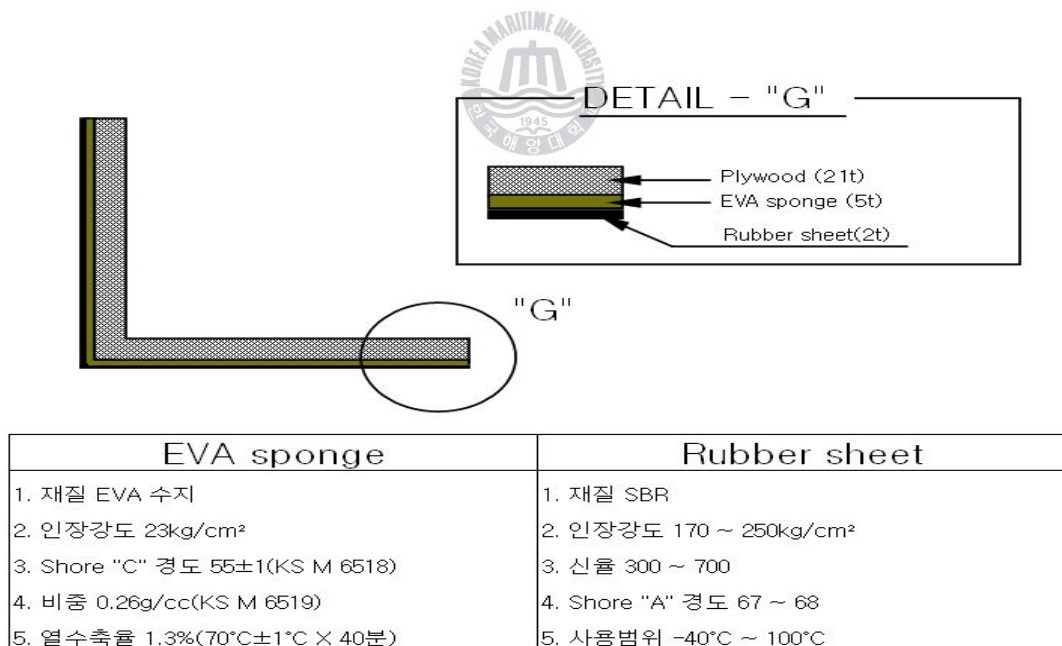
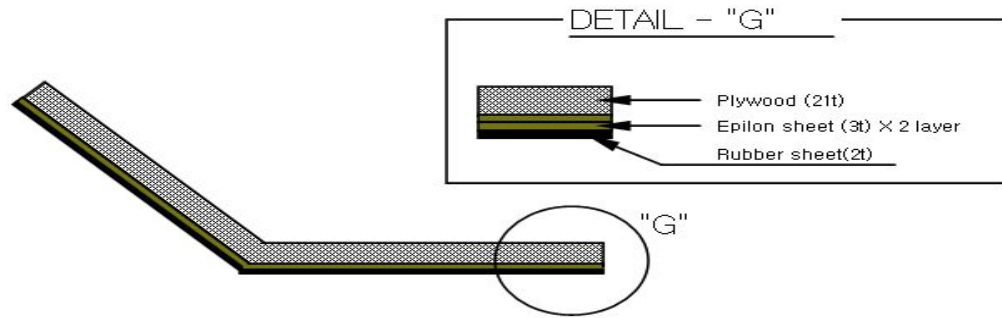
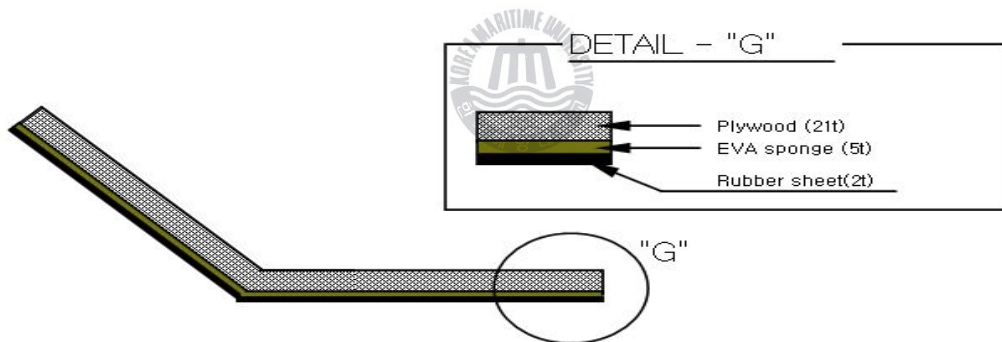


Fig. 18 New pressing board for 90° corner area



Epsilon sheet(R.1503)	Rubber sheet
1. 재질 EVA 수지, Poly(ethylene vinyl acetate)	1. 재질 SBR
2. Vinyl acetate 함량 14 ~ 18%	2. 인장강도 170 ~ 250kg/cm ²
3. Shore "A" 경도 14 ~ 15	3. 신율 300 ~ 700
	4. Shore "A" 경도 67 ~ 68
	5. 사용범위 -40°C ~ 100°C

Fig. 19 Original pressing board for 135° corner area



EVA sponge	Rubber sheet
1. 재질 EVA 수지	1. 재질 SBR
2. 인장강도 23kg/cm ²	2. 인장강도 170 ~ 250kg/cm ²
3. Shore "C" 경도 55±1(KS M 6518)	3. 신율 300 ~ 700
4. 비중 0.26g/cc(KS M 6519)	4. Shore "A" 경도 67 ~ 68
5. 열수축율 1.3%(70°C±1°C × 40분)	5. 사용범위 -40°C ~ 100°C

Fig. 20 New pressing board for 135° corner area

2.4 Testing stage

Pressing board의 Epsilon sheet의 재질 및 두께변경의 목적은 Insulation panel간의 단차를 보다 잘 흡수하여 접착부에 균일한 압력공급을 향상시킴과 동시에 Air bubble을 최대한 제거하여 선박의 모션에 의하여 Epoxy glue가 부서져 Leak가 발생할 가능성을 줄이는 것이며, 규정된 Epoxy glue의 두께를 만족하여 접착부의 내구성을 향상시키는 것이다.

2.4.1 Pressure sensing mat

Pressure sensing mat는 New pressing board를 접착부에 설치하여 Air bag에 규정된 압력을 공급하였을 때 실제로 접착부에 전달되는 압력을 조사하여 규정된 100mbar를 만족하는지 검증하는 장비이다.

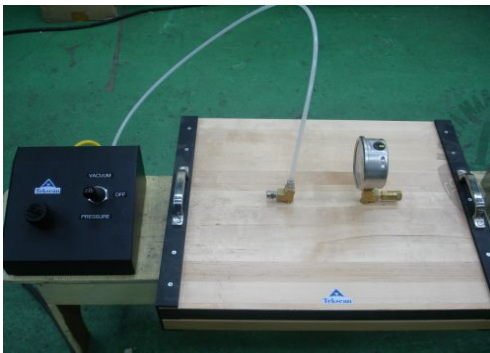


Fig. 21 Pressure calibration tool

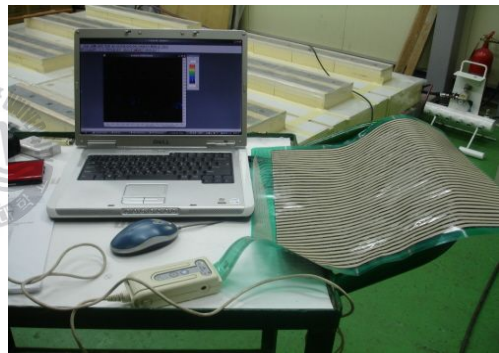


Fig. 22 Pressure sensing mat

Fig. 21의 Pressure calibration tool은 Pressure sensing을 하기 전, Pressure sensing mat에 위치하고 있는 압력센서의 개별오차를 영점조정하기 위하여 사용된다. Fig. 22의 Pressure sensing mat는 가로 48개, 세로 42개의 압력센서가 약 10mm간격으로 촘촘히 위치하여, 약 2,016개의 센서가 전달되는 압력을 연결된 화면으로 출력함으로써 실제로 접착부에 전달되는 압력이 얼마인지를 확인할 수 있도록 해준다. 또한 위치별 압력분포를 색으로 출력하거나, 3차원 분포곡선으로 출력하기 때문에 Insulation panel간의 단차 및 국부적인 변형 또는 접착부에 위치하고 있는 눈에 보이지 않는 이물질까지도 그 위치를 쉽게 확인할 수 있다.

2.4.2 Cryogenic chamber for single shearing test

Inner hull 내부에 Epoxy mastic을 통하여 설치되는 Insulation panel은, 선체의 모션을 대비하여 30mm 간격을 유지하며 설치되도록 설계되었으며, 나란히 설치된 두 개의 Insulation panel에 이미 접착되어 있는 RSB 상부에 Epoxy glue를 도포하고, FSB를 접착하여 Covering하는 것으로 Secondary barrier가 형성된다. 따라서 Secondary barrier 또한 선체의 모션으로 인하여 압축 및 인장이 형성하며, 최악의 경우, Primary barrier인 Membrane sheet에 Leak가 발생했을 때, Secondary barrier는 -170°C 의 환경에서 압축과 인장을 견뎌야 한다. 따라서 New pressing board로 Secondary barrier를 형성하는 RSB와 FSB를 접착하였을 때, 선체모션에 따른 인장하중을 견디는 지에 대한 검증이 필요하며, Cargo Containment System을 설계한 GTT社에서 규정한 파단양상에 따른 인장하중 값을 만족하는지 확인하는 Single shearing test를 수행하여야 한다. Single shearing test는 RSB와 FSB를 접착한 시편을 50mm X 50mm로 절단하여 Fig. 23과 같이 두 개의 동일한 형상을 가진 AL support에 Fig. 24와 같이 Polyurethane glue로 접착한 후, Fig. 25의 Cooling chamber에서 시편을 두 시간 가량 미리 -190°C 의 조건에서 냉각시킨 후, Fig. 26의 Cryogenic chamber 내에서 -170°C , 1.3mm/min의 조건으로 인장시험을 실시하여 파단시의 인장하중이 파단양상에 따른 인장하중 값을 만족하는지를 놓고 합부관정을 하게 된다.

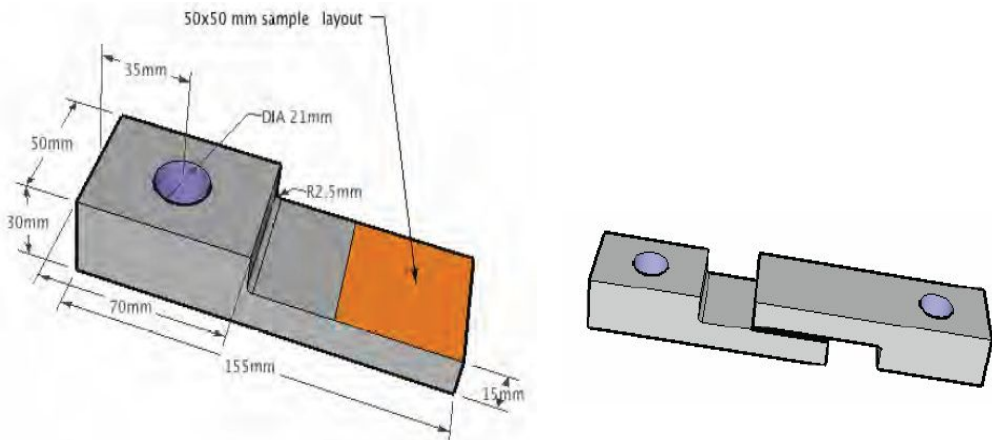


Fig. 23 Single shearing test support

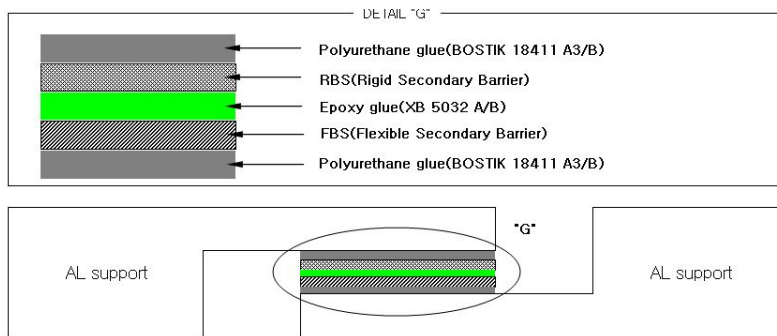


Fig. 24 Assembly drawing for single shearing test specimen



Fig. 25 Cooling chamber



Fig. 26 Cryogenic chamber

2.4.3 Measuring tools and method

Single shearing test의 절차는 Fig. 27와 같이 각각의 접착구역마다 다섯 개의 시편을 제작하는 것이 원칙이며, 불합격 판정이 나올 경우, 불합격 시편 하나당 두 개의 시편을 재제작하여 테스트가 수행된다. 또한 5개의 시편 중 3개 이상이 불합격일 경우, Spare 시편을 이용하여 5개의 시편을 재제작하고, 재제작한 시편 중 하나 이상이 불합격일 경우, RSB와 FSB를 다시 접착하여 5개의 시편을 50mm X 50mm의 크기로 발취하여 시편을 재준비한다.

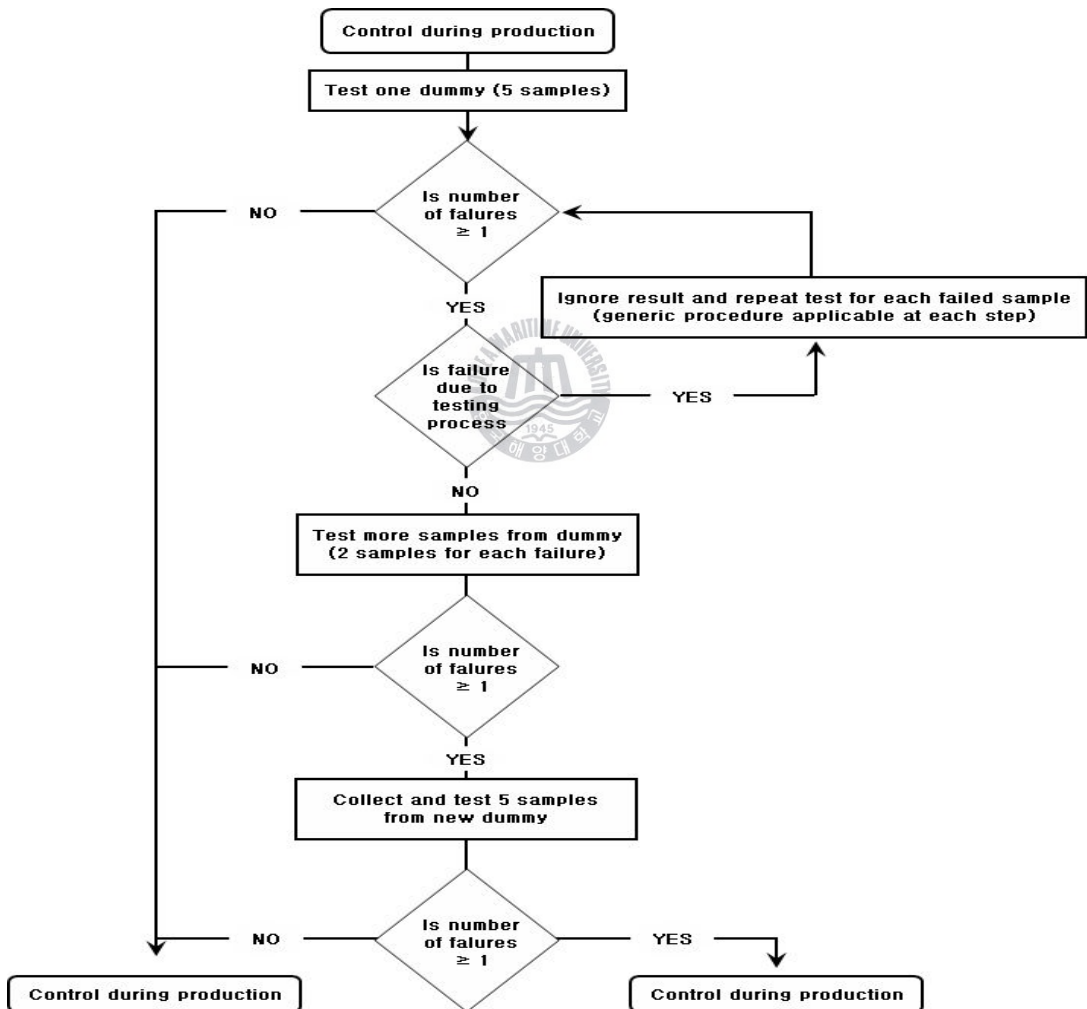


Fig. 27 Sequence for single shearing test

합부판정에 있어서, Single shearing test시 파단양상에 따른 인장하중 값에 대한 합부판정이 상이하므로 파단양상을 구분할 필요가 있다. 파단양상의 종류는 네 가지이며 합부판정용 시편으로 수용할 수 있는 파단양상은 Cohesive rupture이다.

1. Cohesive rupture: Epoxy glue 내에서 파단발생, 수용가능
2. Adhesive rupture: RSB or FSB와 Epoxy glue의 경계면에서 파단발생, 수용불가
3. Support rupture: Polyurethane glue 내에서 파단발생, 수용불가
4. Substrate rupture: 파단이 RSB or FSB 자체에서 발생, 수용불가

파단이 Cohesive rupture인 경우 Fig. 28의 계산식을 통하여 Cohesivity rate를 측정하여 Fig. 29의 표를 통하여 합부판정이 가능하다.

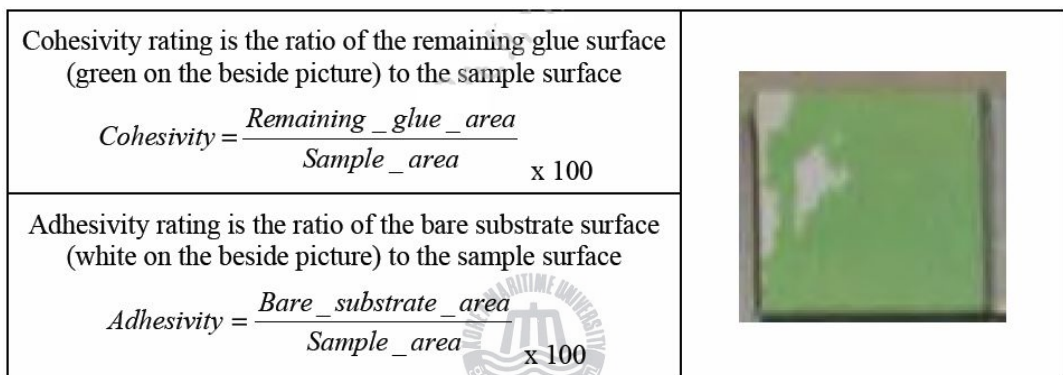


Fig. 28 Cohesivity rate & Adhesivity rate

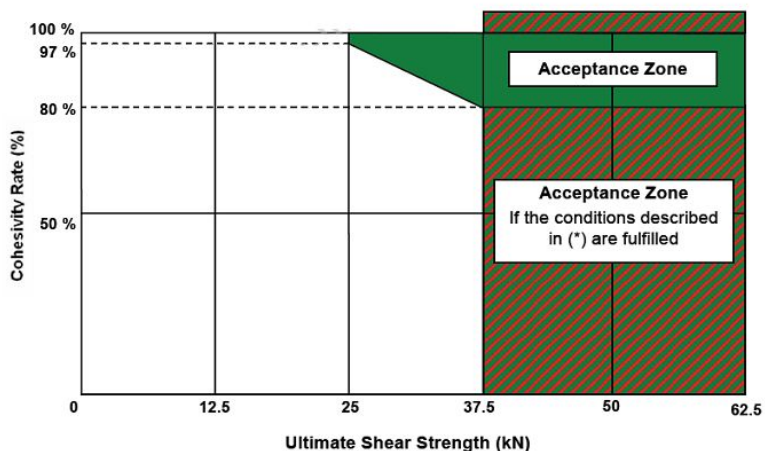


Fig. 29 Ultimate shear strength in accordance with cohesivity rate

Single shearing test에서 대부분의 파단은 Cohesive rupture가 아닌 Superficial cohesive rupture의 양상으로 발생되며, Superficial cohesive rupture는 Epoxy glue 내에서 파단이 일어나지만 가장자리와 매우 근접한 위치에서 발생하는 파단양상이다. 따라서 Superficial cohesive rupture가 FSB에 가깝게 발생할 경우, FSB는 표면에 코팅이 되어 있지 않아서 Epoxy glue를 흡수한 흔적이 남아 있으므로 Superficial cohesive rupture에 대한 확신을 할 수 있으며, Fig. 29의 Cohesivity rate에 따른 인장하중 값을 비교하여 합부판정을 할 수 있다. 하지만, *파단이 RSB에 가깝게 발생할 경우, 표면의 코팅으로 인하여 Epoxy glue가 흡수 되지 않으므로 눈으로 식별하기가 어렵다. 그런 경우 적외선 분광법(Fourier transform infrared spectroscopy)을 통하여 RSB면 상부에 Epoxy glue층이 형성되어 있는 것이 확인 된다면 Superficial cohesive rupture라고 간주하고 인장하중 값이 37.5kN 이상을 만족한다면 합격*으로 인정할 수 있다. 합부판정의 기준이 되는 Cohesivity rate는 RSB의 표면에 남아 있는 Epoxy glue의 분포도로서 Fig. 30과 같이 2.5mm X 2.5mm의 정사각형이 20행 20열로 인쇄된 투명한 OHP film을 사용하여 실제 시편에 놓고 RSB에 Epoxy glue가 남아 있는지 없는 정도를 산출하여 분포도를 측정할 수 있다.

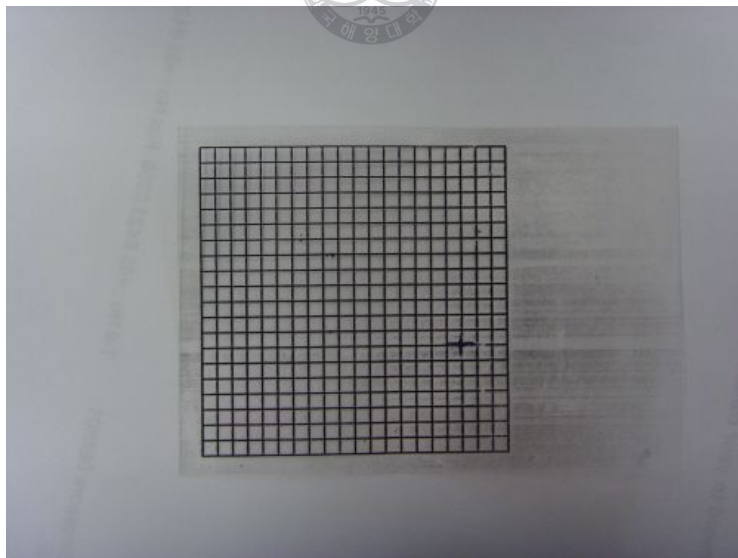


Fig. 30 Cohesivity rate measuring tool

제 3장 New pressing board 검증 및 비교분석

3.1 New pressing board 테스트 조건

Pressing board는 앞서 언급된 바와 같이 MARK III type LNG선의 Secondary barrier를 형성하는 RSB와 FSB의 접착을 위하여 설계되었으며, 그 역할은 두 가지 다른 Type의 Triplex를 Epoxy glue를 통하여 접착할 때 유입되는 Air bubble을 최대한 제거하기 위해 접착구역에 압력을 가하는 것이다. 이미 Polyurethane glue를 통하여 Insulation panel의 Polyurethane foam에 접착되어진 RSB는 Insulation panel이 화물창 내부에 Epoxy mastic을 통하여 30mm의 일정한 간격으로 Inner hull에 설치된 후, Fig. 31과 같이 FSB와 접착된다.

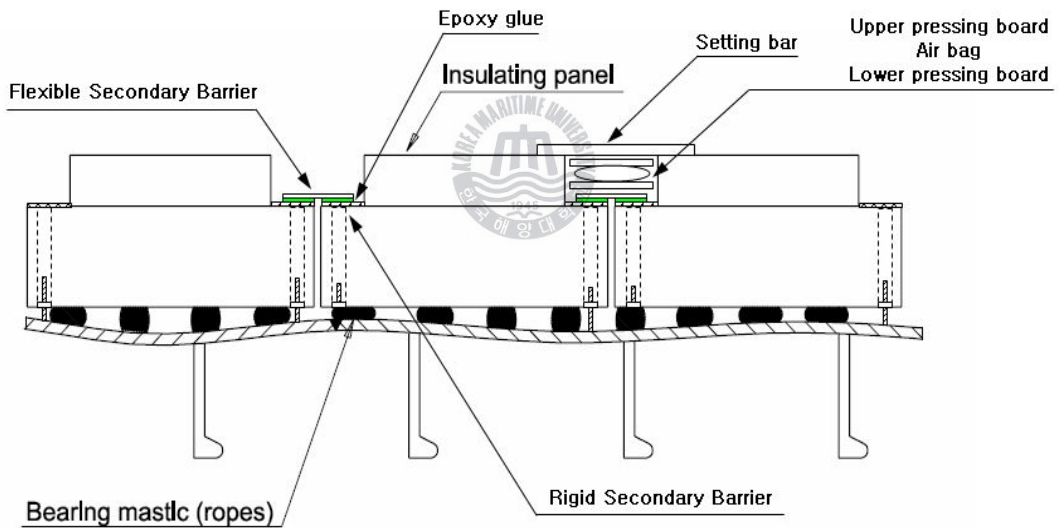


Fig. 31 Secondary barrier installation principle

이 때 일정한 간격으로 나란히 설치되는 Panel들은 Epoxy mastic을 통하여 Inner hull에 이미 도포된 Wash primer와 접착을 통하여 설치되며, 경화가 완료되기 전 까지 온도에 따른 일정 시간이 소요된다. Epoxy mastic이 완전히 경화될 때까지의 일정 시간 동안 Panel이 고정될 수 있도록 작업자들은 Panel을 Bolting하게 되므로 나란히

설치된 Panel과 Panel은 설치단차가 발생한다. 이러한 Panel간의 단차는 RSB와 FSB를 접착할 때 더 많은 양의 Air bubble을 형성시키므로, Air bubble을 최대한 제거하기 위해서는 Pressing이 불가피하며, 그 역할을 하는 Pressing board는 그러한 단차 또한 보정할 수 있도록 설계되었다. 따라서 본 논문에서 소개되는 New Pressing board 또한 그러한 단차를 보정해 줄 수 있는지 검증하기 위하여, Fig. 32와 같이 Panel간의 단차를 설정하여 실험하였다.

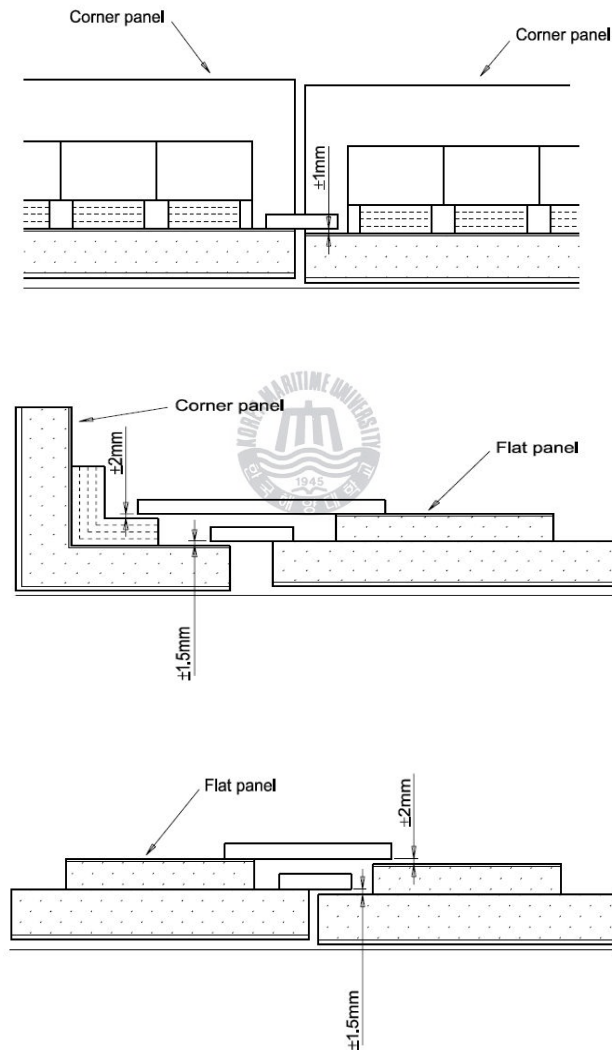


Fig. 32 Step between panels

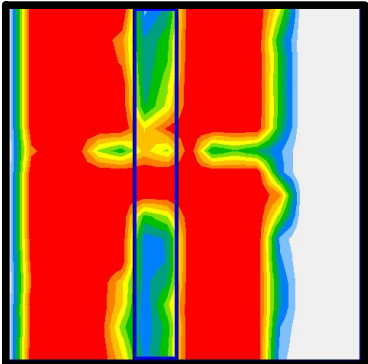
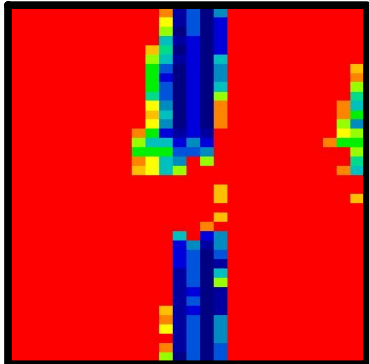
3.2 Pressure sensing mat를 통한 압력분포비교

RSB와 FSB를 접착하기 위해 사용되는 Epoxy glue(XB 5032 A/B, HUNTSMAN)는 경화 후, 경도는 높지만 충격에 약하며 잘 부러지는 경향이 있다. Epoxy glue를 주걱으로 RSB에 도포한 후, FSB를 Epoxy glue가 도포된 구역에 Covering할 때 유입되는 Air bubble은 충격과 같이 접착구역에 수직방향으로 작용하는 힘에 대한 내구력을 저하시킬 뿐만 아니라, 접착구역을 붕괴하는 발원점이 될 수 있으므로, 접착할 때 Pressing board를 통하여, 접착구역의 Air bubble 함유량에 대한 규정을 만족시킬 수 있도록 최대한 제거되어야만 한다. 이 때, 일차적으로 Pressing board에 전해지는 압력은 Air bag을 통하여 공급되는 압력으로서, 접착구역이 Flat area인 경우는 250mbar이며 Corner area인 경우는 300mbar이다. 접착구역에 따른 적정압력은 Fig. 33의 Air regulation system을 통하여 Air reserve tank에 저장되어 있는 7bar의 압력이 250mbar 또는 300mbar의 압력으로 감압되어 공급될 수 있다. 또한 Air regulation system은 Epoxy glue maker에서 제공한 주변온도에 따른 Epoxy glue의 최소경화시간동안 적정압력을 지속적으로 유지시키는 역할을 한다.



Fig. 33 Air regulation system

Air regulation system을 통하여 접착구역에 균일한 압력이 전달되지만, 30mm의 Gap을 두고 나란히 설치되는 Insulation panel들의 설치단차를 보정해주는 Pressing board의 Epsilon 및 Rubber pad는 공급압력을 흡수하므로 압력의 손실이 발생한다. 따라서 실제 Flexible Secondary Barrier에 적용되는 최소 압력은 100mbar 이상으로 규정되고 있으며 Flexible Secondary Barrier가 교차하여 중첩되는 구간은 50mbar 이상으로 규정되어 있다. 접착구역에 가해지는 실제압력의 정도는 접착구역의 Air bubble 함유량과 직접적인 연관이 있기 때문에, 현재 조선소에서 사용되고 있는 Original pressing board와 본 논문을 통하여 소개되는 New pressing board를 사용하였을 때, 접착구역에 적용되는 압력의 정도를 실제조건과 최대한 동일하게 설정 및 비교하기 위하여 다음과 같이 실험을 수행하였다. 먼저 RSB의 상부에 Epoxy glue를 도포하고 FSB를 Covering한 후, Squeeze-out된 Epoxy glue가 Pressure sensing mat에 달라붙어 경화되는 것을 막기 위하여 Polyethylene vinyl film으로 Covering하였다. 이 후, Pressure sensing mat 및 Pressing device를 설치하고 접착위치에 따라 규정된 압력을 Air regulation system을 통하여 공급하였다. Pressure sensing mat에 가해지는 압력의 비교방식은, 압력이 가해지는 구역을 2차원으로 나타내고 색상으로 적용압력의 분포도가 표현되도록 설정하였다. 압력이 적용면적에 전반적으로 균일하게 공급되도록 안정되는 시간을 고려하여 압력이 가해진 순간부터 30분 후, 압력의 분포를 촬영하여 Table 4와 같이 Original pressing board와 New pressing board를 사용하였을 때 각각 적용되는 압력이 한 눈에 비교될 수 있도록 나타내었다.

구 분	Original pressing board	New pressing board
Corner 90° Step 1.0mm		

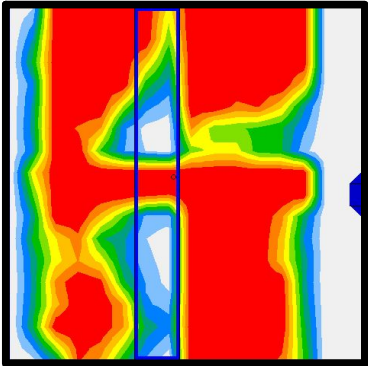
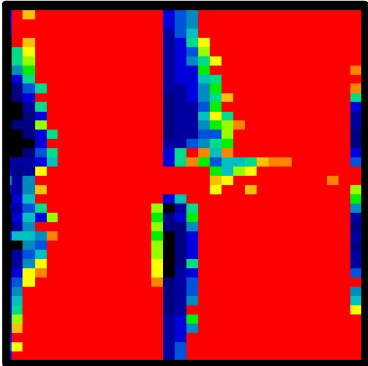
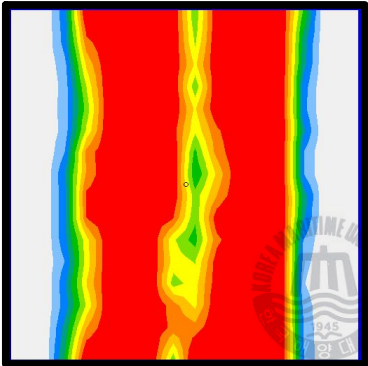
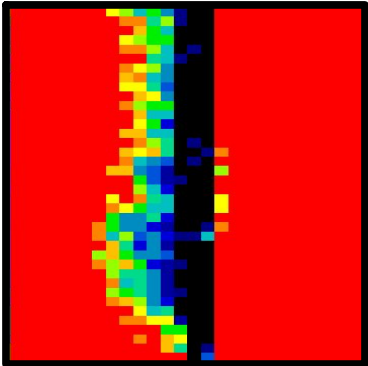
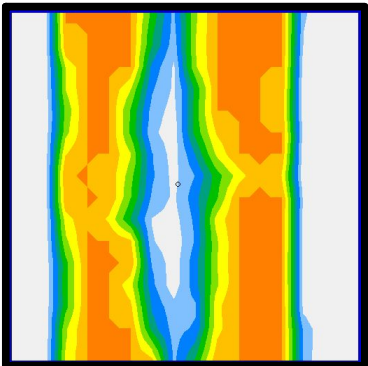
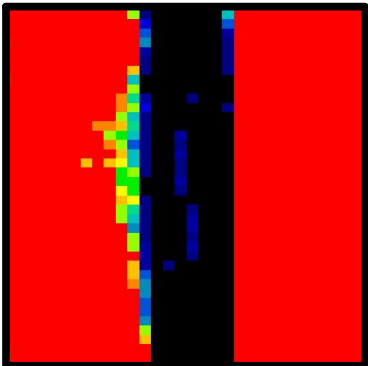
구 분	Original pressing board	New pressing board
Corner 135° Step 1.0mm		
Flat and Flat Step 1.5mm		
Flat and Corner Step 1.5mm		

Table 4 Comparative study of pressure distribution

Table 4는 New pressing board의 Panel간의 단차 보정기능이 향상되었다는 점을 보여주고 있으며, 더불어 Air bubble의 제거 또한 보다 용이할 것이라고 유추된다.

3.3 Air bubble 함유량 비교

Table 4의 Pressure sensing mat의 결과에서 추정되듯이 New pressing board가 Air bubble의 제거하는데 더 용이한지 Peel-off test를 통하여 확인해 보았다. Peel-off test는 이미 RSB에 Epoxy glue를 통하여 접착된 FSB를 Fig.34와 35와 같이 제거하여 Epoxy glue의 접착상태를 확인하기 위한 검증방법이며, 접착구역에 따른 Peel-off 방법 또한 상이하다.

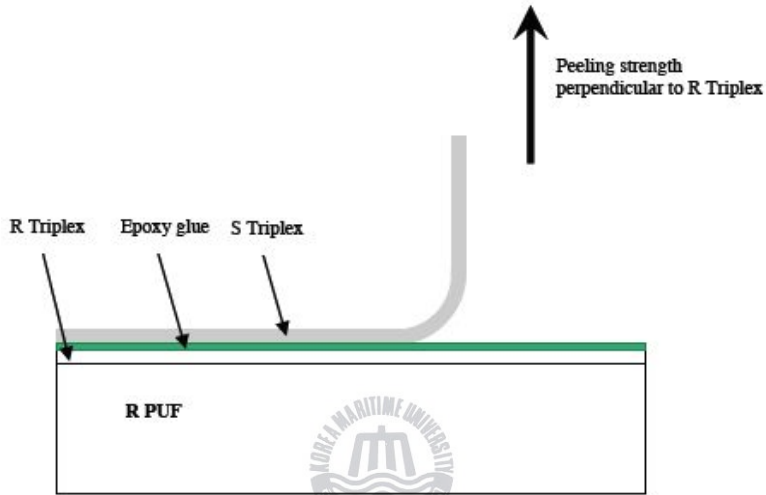


Fig.34 Peel -off test for normal area

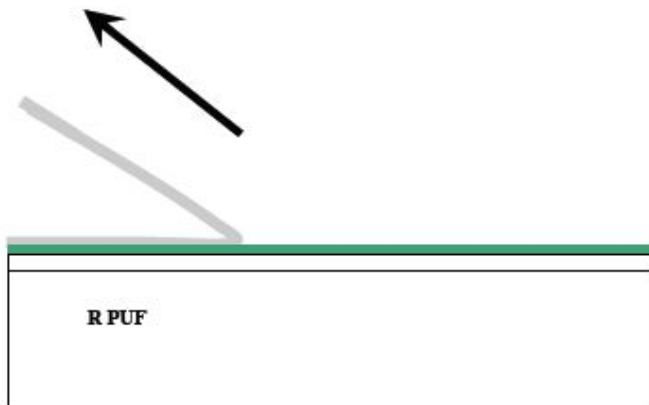


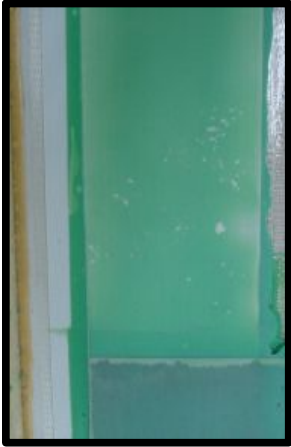
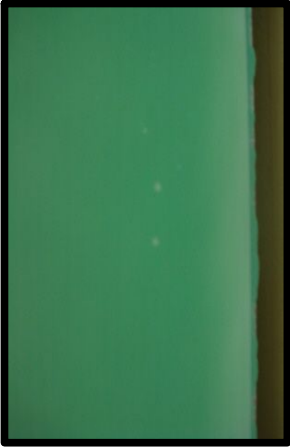


Fig.35 Peel -off test for special area

Fig.34는 특정구역이 없는 Flat area에 접착된 FSB를 Peel-off를 할 때 적용되는 방법이며, Fig.35는 EPS plug가 위치한 구역과 같이 Epoxy glue가 뭉쳐 있거나, Squeeze-out으로 인하여 Epoxy glue의 두께가 얇은 구역에 적용하는 방법으로서 Peel-off 각도는 크게, 속도는 느리게 조절하여 FSB를 Peel-off 한다. Air bubble의 발생은 Pressing board에 의해서만 영향을 받는 것이 아니며 접착이 되는 구역의 단차 및 작업자의 작업능력 또는 공급압력에 따라서 물론 영향을 받지만, 그러한 문제를 최대한 보정해주는 것이 Pressing board 설계의 전제이므로 근본적인 문제의 해결은 Pressing board를 개선하는 것이다. 따라서 Position별로 두 종류의 Pressing board를 사용하여 Air bubble이 발생된 양상과 정도를 Table 5와 같이 비교하였다.

구 분	Original pressing board	New pressing board
Corner 90° Step 1.0mm		
Corner 135° Step 1.0mm		

<p>Flat and Flat Step 1.5mm</p>		
<p>Flat and Corner Step 1.5mm</p>		

Table 5 Comparative study of air bubbles content

Table 5는 동일한 작업자가 Original pressing board와 New pressing board를 사용하여 각각 5회에 걸쳐 Bonding과 Peel-off를 수행하였으며, 그 결과 접착구역의 단차에 의하여 발생하는 Air bubble의 함유량이 New pressing board를 사용한 경우, 다소 줄어들었음을 알 수 있다. Table 5.의 Original pressing board를 사용한 경우 Position별로 표현된 Air bubble 함유량은 규정치를 벗어난 경우를 촬영하여 표현한 것이며, New pressing board를 사용한 경우, 규정치를 벗어난 경우는 없었다. 따라서 Air bubble의 발생은 여러 이유에서 기인되지만, 본 실험을 통하여 New pressing board를 사용할 경우 개선된 결과를 얻을 수 있다고 확신하였다.

3.4 Epoxy glue thickness 적정성 확인

Table 5의 비교를 통하여 New pressing board가 접착구역내의 Air bubble의 함유량을 감소시키는 부분이 개선되었음을 확인하였다. 하지만, Air bubble 함유량을 감소와 더불어 지나치게 Pressing이 잘 되더라도 Epoxy glue의 두께가 얇아져 규정치를 만족하지 못할 수 있으므로 규정된 Epoxy glue의 두께 0.2mm ~ 0.8mm를 만족하는지 Table 6과 같이 비교 및 확인하였다.


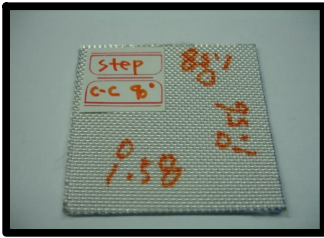
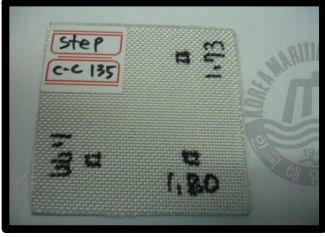
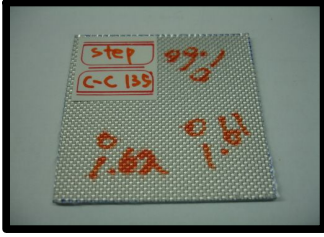
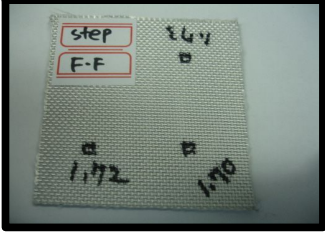
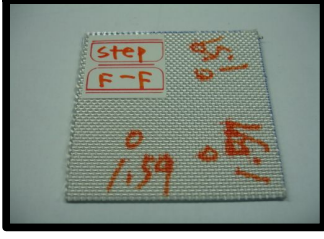
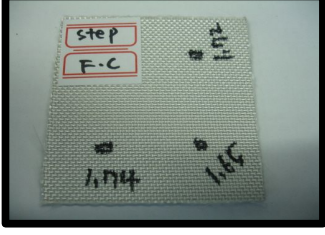
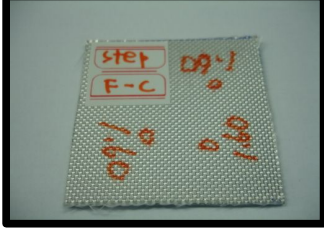
구 분	Original pressing board	두께 (mm)	New pressing board	두께 (mm)
Corner 90° Step 1.0mm		0.44		0.25
Corner 135° Step 1.0mm		0.45		0.29
Flat and Flat Step 1.5mm		0.40		0.26
Flat and Corner Step 1.5mm		0.38		0.28

Table 6 Comparative study of epoxy glue thickness

FSB는 Epoxy glue가 스며들기 때문에 Peel-off를 통하여 접착구역의 Epoxy glue의 두께를 확인하기는 힘들기 때문에 접착된 상태에서 무작위로 세 포인트를 선정하여 두께를 측정 한 후 평균값을 구하고, Table 7의 Bare RSB와 Bare FSB의 두께를 평균값에서 차감하는 방식으로 각각의 접착구역에 대한 Epoxy glue의 두께를 확인하였으며, New pressing board를 사용한 경우 Original pressing board를 사용한 경우보다 Epoxy glue의 두께는 얇아졌으나, 규정치를 만족함을 알 수 있다.


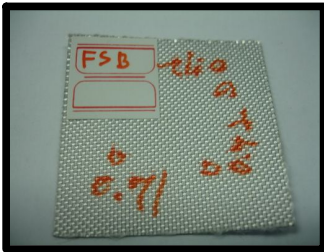
구 분	Bare RSB	두께 (mm)	Bare FSB	두께 (mm)
접착 전, RSB & FSB		0.6		0.72

Table 7 Bare RSB, & FSB thickness



3.5 Single shearing test

3.5.1 Shearing strength 결과

설정된 Insulation panel의 단차보정을 좀 더 용이하게 하기 위하여, Original pressing board의 3mm Epsilon 대신 5mm EVA sponge를 사용한 New pressing board는 Air bubble 제거를 위해 압력전달이 용이하도록 설계되었으므로, Epoxy glue의 두께를 감소시킨다. 얇아진 Epoxy glue의 두께는 전단시험 결과에 큰 영향을 미칠 것으로 판단했으나, 두께가 규정치 이내라면, 인장하중 값에는 큰 영향이 미치지 않는다는 것을 확인할 수 있었다. 5mm EVA sponge는 탄성에 대한 물성 값을 4회 변경하여 수행한 예비실험을 통하여 단차보정에 가장 용이한 재질로 선택되었으며, 3mm부터 6mm까지 1mm단위로 두께를 달리하여, Pressing board에 각각 적용한 결과, 5mm EVA sponge를 적용한 New pressing board가 Epoxy glue의 두께 및 접착부의 Air bubble 함유량에 대한 규정을 만족하는데 가장 적합함을 알 수 있었다. 예비실험을 통하여 제작된 New pressing board는 단차보정 정도를 확인하기 위하여 Insulation panel에 임의로 설정한 네 구역의 접착테스트에 사용되었다. 각 구역마다 5개의 전단 시험 샘플을 발체하였으며, Cohesivity rate에 따른 최소 인장하중 값에 대한 합부판정은 Fig. 29에 의하여 규정된 3.5.1.1에 의하여 수행 되었다.

3.5.1.1 Cohesivity rate에 따른 최소 인장하중 값 합부판정 규정

※ Superficial cohesive rupture인 경우

- ▶ 파단이 Epoxy glue내에서 발생하며, FSB와 가까운 경계면에서 발생
파단이 Epoxy glue내에서 발생하며, Epoxy glue가 FSB에는 흡수된 흔적으로 나타나며, 대부분의 Epoxy glue가 RSB에 남아있는 경우

- 적용 Acceptance zone: Fig. 29의 

- ▶ 파단이 Epoxy glue내에서 발생하며, RSB와 가까운 경계면에서 발생
파단이 Epoxy glue내에서 발생하며, Epoxy glue가 RSB에는 얇게 잔존하여 육안으로 구분할 수 없으므로 적외선 분광법(FTIR)으로 확인가능하며, 대부분의 Epoxy glue는 FSB에 남아있는 경우

- 적용 Acceptance zone: Fig. 29의 

3.5.1.3 Flat area & Corner area

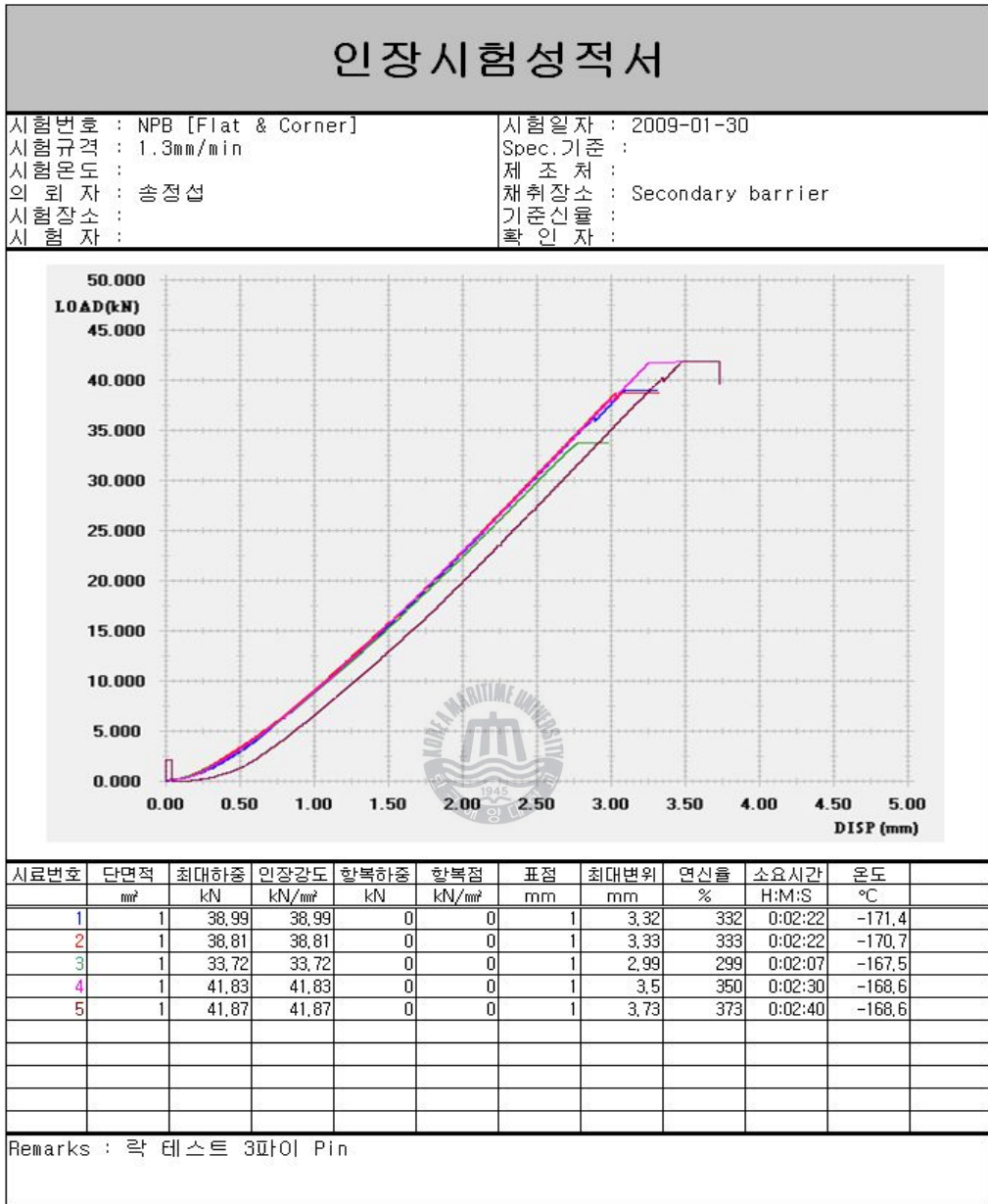


Table 9 Single shearing test result for Flat area & Corner area

Fig. 29에 따라서 시료번호 1, 2, 4, 5번은 Cohesivity rate에 따른 최소 인장하중 값인 37.5kN보다 높으므로 수용가능하며, 시료번호 3의 경우 Fig. 30의 도구를 사용하여 Cohesivity rate를 확인하고 Fig.29의 표에 대조한 결과 인장하중 값이 규정치를 만족하였다.

3.5.1.4 Corner 90° area

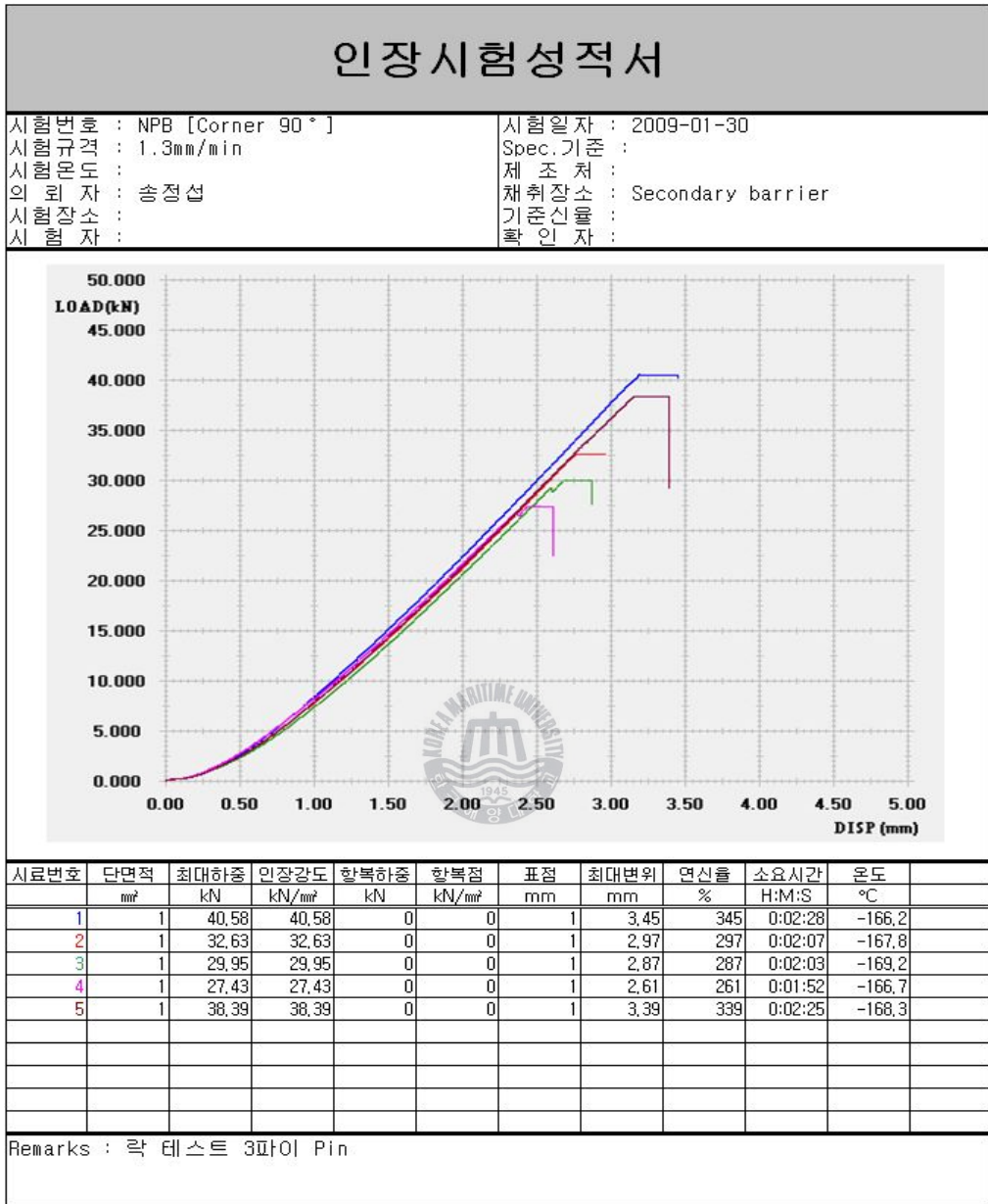


Table 10 Single shearing test result for Corner 90° area

Fig. 29에 따라서 시료번호 1, 5번은 Cohesivity rate에 따른 최소 인장하중 값인 37.5kN보다 높으므로 수용가능하며, 시료번호 2, 3, 4의 경우 Fig. 30의 도구를 사용하여 Cohesivity rate를 확인하고 Fig.29의 표에 대조한 결과 인장하중 값이 규정치를 만족하였다.

3.5.1.5 Corner 135° area

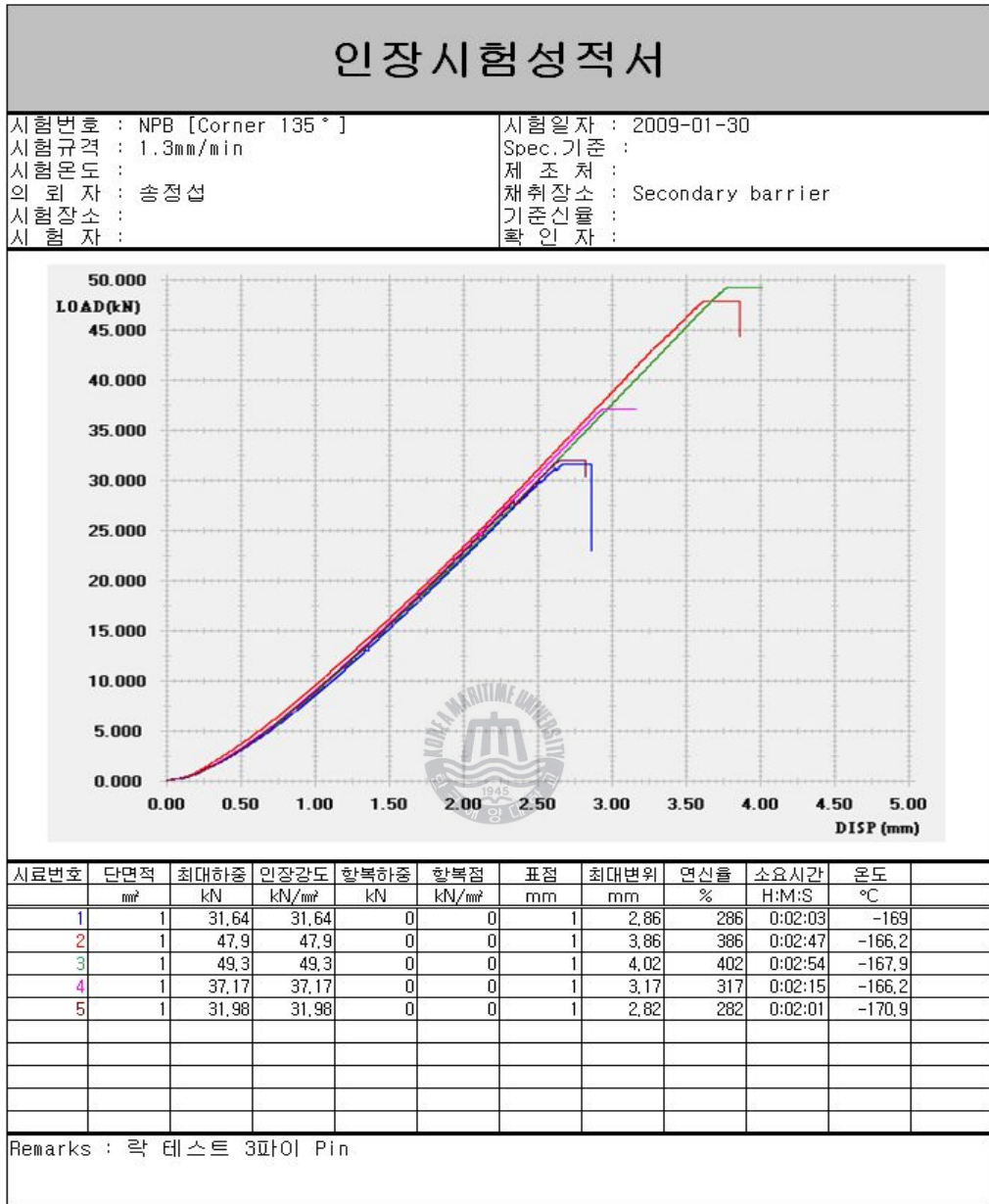


Table 11 Single shearing test result for Corner 135° area

Fig. 29에 따라서 시료번호 2, 3번은 Cohesivity rate에 따른 최소 인장하중 값인 37.5kN보다 높으므로 수용가능하며, 시료번호 1, 4, 5의 경우 Fig. 30의 도구를 사용하여 Cohesivity rate를 확인하고 Fig.29의 표에 대조한 결과 인장하중 값이 규정치를 만족하였다.

3.5.2 Cohesivity value VS Shearing strength

3.5.2.1 Flat area & Flat area

구 분	Rupture Mode	Cohesivity Value	최소 인장하중	Shearing Test 결과	합부 판정
1		100%	25kN	35kN	합격
2		100%	25kN	46.61kN	합격
3		100%	25kN	36.74kN	합격
4		97.75%	25kN	43.15kN	합격
5		100%	25kN	34.45kN	합격

Table 12 Judgement of single shearing test result for Flat & Flat area

3.5.2.2 Flat area & Corner area

구 분	Rupture Mode	Cohesivity Value	최소 인장하중	Shearing Test 결과	합부 판정
1		99.25%	25kN	38.99kN	합격
2		99.5%	25kN	38.81kN	합격
3		100%	25kN	33.72kN	합격
4		97.5%	25kN	41.83kN	합격
5		96.75%	25.34kN	41.87kN	합격

Table 13 Judgement of single shearing test result for Flat & Corner area

3.5.2.3 Corner 90° area

구 분	Rupture Mode	Cohesivity Value	최소 인장하중	Shearing Test 결과	합부 판정
1		99.5%	25kN	40.58kN	합격
2		99.25%	25kN	32.63kN	합격
3		99.5%	25kN	29.95kN	합격
4		99.75%	25kN	27.43kN	합격
5		99.25%	25kN	38.39kN	합격

Table 14 Judgement of single shearing test result for Corner 90° area

3.5.2.4 Corner 135° area

구 분	Rupture Mode	Cohesivity Value	최소 인장하중	Shearing Test 결과	합부 판정
1		99.75%	25kN	31.64kN	합격
2		99.5%	25kN	47.9kN	합격
3		99.5%	25kN	49.3kN	합격
4		99.25%	25kN	37.17kN	합격
5		97.25%	25kN	31.98kN	합격

Table 15 Judgement of single shearing test result for Corner 135° area

4. 결 론

Membrane MARK III type LNG선 Cargo Containment System의 secondary barrier 설치용 New pressing board의 기능향상에 대한 검증 및 Original pressing board와의 비교실험 결과는 다음과 같다.

1. Pressing board의 3mm Epsilon sheet를 5mm EVA sponge로 변경한 후, Insulation panel간의 단차를 보정하는 기능이 향상되었다.
2. 개선된 New pressing board는 Secondary barrier의 접착구역의 Air bubble 함유량을 감소시키는 기능이 향상되어 내구성이 증가하였다.
3. Original pressing board를 사용하는 경우보다 접착부의 Epoxy glue 두께는 얇아졌지만 규정치를 만족하므로 현업에 적용가능하다.
4. Cryogenic single shearing test를 통하여, 과단양상에 따른 인장하중 값을 만족하므로 현업에 적용가능하다.

New pressing board는 Insulation panel간의 단차를 최적으로 보정하여, 접착구역의 Air bubble 함유량을 최소화시키므로, 선박운항 중 선체의 Motion에 대한 Secondary barrier의 내구성 향상에 탁월한 기능을 보여주었으므로, MARK III type LNG선 CCS 공사의 품질개선 및 잠재적인 사고발생에 대하여 수리비용 절감효과가 기대됩니다.

5. 참고 문헌

- [1] Sebastien FATET. "Erection Handbook External document n° 1425".
GAZTRANSPORT & TECHNIGAZ. 2007
- [3] Mathieu CAVAGNAC. "Bonding Handbook External document n° 2691".
GAZTRANSPORT & TECHNIGAZ. 2007

