

論文

내부 기공이 극저온에서 접착강도에 미치는 영향에 대한 실험적 고찰

손민영^{*,+}, 김종호^{*}, 김종학^{*}

Experimental examination for effect of voids on bonding performance in cryogenic temperature condition

Min-Young Shon^{*,+}, Jong-Ho Kim^{*}, Jong-Hak Kim^{*}

ABSTRACT

Adhesive joints are widely used for structural joining applications in various fields and environmental conditions. Polyurethane adhesive is using for LNG carrier with cryogenic temperature condition. In industrial application of polyurethane adhesive, void of adhesive layer is often discussed regarding its effects on bonding properties. In present study, artificial void were prepared on Polyurethane adhesive layer with various size and location. The single lap shear test was carried out by using prepared specimens under -170°C . As a result, it was confirm that the void of adhesive layer didn't affect the adhesion properties independent of their size and location.

초 록

접착제에 의한 접합기술은 다양한 목적과 환경에서 널리 사용되는 방법이다. 그 중 우레탄 접착제는 액화천연가스 운반선과 같이 극저온에서 사용되는 환경에서의 접착에 사용되고 있다. 현장 적용에 있어, 본 접착제를 사용시 경화된 접착제 층의 기공들이 발생하게 된다. 본 연구에서는 우레탄 접착제와 Triplex 복합재료 접착에 있어 인공적으로 기공을 제작 삽입 후 전단응력(Single Lap Shear) 시험을 실시하여 그 영향을 검토하였다. 실험 결과 접착력은 본 시험에서 적용한 기공의 크기 및 위치에 영향을 받지 않는다는 것을 확인하였다.

Key Words : 기공(Bubble), 전단응력(Single Lap Shear), 유리섬유 강화플라스틱(GFRP), 폴리우레탄(Polyurethane)

1. 서 론

일반적으로 복합재료의 체결 방법에 있어 접착제에 의한 접합이 널리 사용되고 있다. 에폭시 접착제는 우수한 기계적, 화학적 성질 및 경제성으로 그 사용 영역이 넓으며, 우레탄 접착제의 경우 우수한 유연성, 저온 안정성 및 내후성 등의 이유로 역시 산업적으로 널리 사용되고 있다.[1, 2]

최근 조선 산업에서는 기존의 용접에 의한 접합뿐만 아니라 접착제에 의한 접합이 증가하는 추세이다. 일반적인 실험실 조건 또는 항공산업에서의 접착에 있어서는 접착제의 두께 조절, 압력

조절, 온도 조절이 매우 용이한 반면 넓은 영역의 접착 작업이 이루어지는 산업 현장 특히 조선과 같은 거대한 구조물에서의 접착은 이러한 접착조건을 모두 충족시킨다는 것이 매우 어려운 상황이다.

Fig. 1과 같은 LNG 선의 화물창(Cargo Containment Tank) 이 차방벽의 마감을 위해 접착 공정이 이루어 지고 있다. 전체 접착 길이가 1척당 약 4 km에 이르는 대공사로 -163°C 의 액화천연가스의 기밀성을 유지하는 기능을 하고 있어 접착제는 극저온에서 접착특성을 유지하여야 한다.

* 삼성중공업 산업기술연구소 도장방식연구파트, 교신저자(E-mail:minyoung.shon@samsung.com)

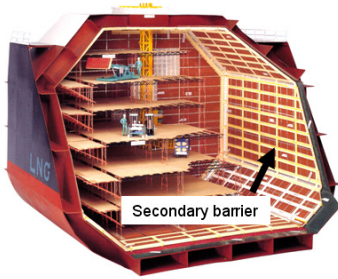


Fig. 1 The secondary barrier of LNG carrier.

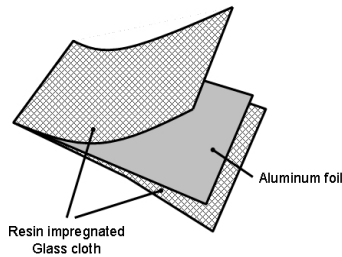


Fig. 2 Schematic diagram of triplex composite sheet.

또한, 유리섬유 강화플라스틱(GFRP) 파이프가 해수창고(water Ballast Tank)와 같은 부식 환경에서 적용되고 있으며 파이프와 플랜지 역시 접착제에 의한 접합을 적용하고 있다.

접착제의 극저온에 대한 연구는 주로 우주 발사체와 같이 극저온 추진체에 의한 접착부의 연구분야에서 진행되어 왔으며 김상국 외 연구자들에 의해 탄소섬유/에폭시/알루미늄에 대한 극저온 양면 겹치기 조인트에 대한 온도에 따른 물성 평가가 수행되었다.[3]

일반적으로 화학적, 기계적 성질이 우수한 에폭시 접착제와 저온에서의 기계적 물성이 우수한 폴리우레탄 접착제 등이 사용되고 있다.

이와 같이 거대한 영역을 접착에 의해 적용하고 있는 만큼 현장에서의 품질 기준에 관한 상이한 의견이 빈번하고 또 그에 대해 실험적 결과를 통해 문제를 해결하고 있다. 그러한 문제중의 하나가 경화된 접착제 층의 내부에 존재하는 기공이다.

A. J. Kinloch 외 연구자[4]는 그의 저서 Adhesion and Adhesives 에서 기공(Void)와 접착특성간의 관계에 대해 연구하였으며 T. Wang 외 연구자[5]들에 의해서도 기공과 접착특성의 관계에 대해 실험적인 연구가 진행되었다. 본 연구에서는 폴리우레탄 접착제가 도포되어 경화된 접착제 층에 존재하는 기공과 접착제의 접착특성의 관계를 실험적으로 규명하여 현장에서 쉽게 발생할 수 있는 이러한 문제에 대해 대처하고자 하였다.

기존 접합 조인트에 대한 연구가 단일 겹치기 조인트(single Lap Joint) 및 이중 겹치기 조인트(double lap joint) 등에 대하여 진행되었다.[6] 본 연구에서는 일종에 Thick adherend 단일 겹치기 전단응력 시험으로 시편을 제작 평가하였다.

2. 실험

2.1 재료 및 시편 제작

본 실험에서는 Bostik(사)에서 제작된 우레탄 접착제 XPU18411A3A/B를 사용하였고 피착제로 한국가본(사)에서 제작된 Fig. 2와 같은 GFRP/Aluminum foil/GFRP 3층으로 이루어진 Triplex 복합재료 Sheet를 사용하였다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 각 Triplex 복합재료 Sheet 사이에 우레탄 접착제를 도포하고 60℃ 3시간 경화 후 상온에서 7일 후경화한 시편을 사용하였다.

접착두께는 약 1mm로 조절하였으며 제작된 시편은 50mm x 50mm로 절단한 후 Fig. 4와 같이 알루미늄 블록에 다시 우레탄 접착제로 접착 고정하여 Lap shear 시편을 제작하였다.

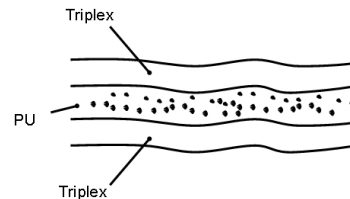


Fig. 3 Schematic diagram of bonded specimen.

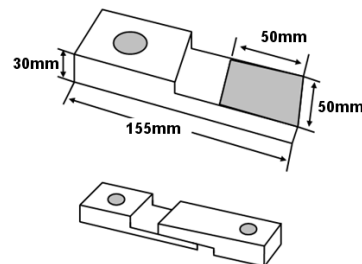


Fig. 4 The configuration of single Lap shear specimen.

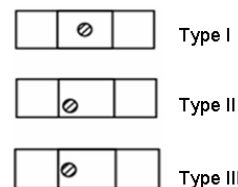
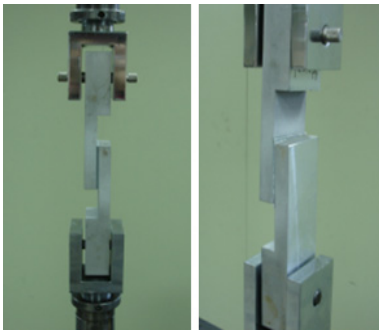


Fig. 5 The location of Teflon insert in Lap shear specimen.

Table 1 The void size and contents for each types in accordance to the location of Teflon insert

	Total bonding Area (mm ²)	Void diameter (mm)	Void contents (%)
Reference	2500	0	0
Type I	2500	5	0.8
	2500	10	3.1
	2500	15	7.1
Type II	2500	5	0.8
	2500	10	3.1
	2500	15	7.1
Type III	2500	5	0.8
	2500	10	3.1
	2500	15	7.1

**Fig 6** Photograph of single lap shear test.

우레탄 접착제와 Triplex 복합재료 Sheet와의 접착 전 인공적인 기공을 만들어 주기 위하여 접착제와의 접착력을 거의 무시할 수 있는 테프론을 삽입하였다. Fig. 5와 같이 원형의 형태로 서로 다른 3가지 위치, Table 1과 같이 서로 다른 3가지 크기로 조합하여 총 9가지의 경우에 대한 시편을 제작하였다.

2.2 시험방법

서로 다른 인공 기공 크기 및 위치를 갖는 각각의 시편에 대하여 전단응력 시험을 실시하였다. 총 9가지 조건에 대해 각각 5개의 시편을 제작하였으며 시험 온도는 본 접착제가 LNG 선에 적용되는 것을 감안하여 액체 질소를 사용하여 -170℃의 극저온에서 수행하였다.

Instron(사)의 8802 만능인장피로시험기를 사용하였으며 Cross head speed는 1.3 mm/min로 Fig. 6과 같이 시험하였다.

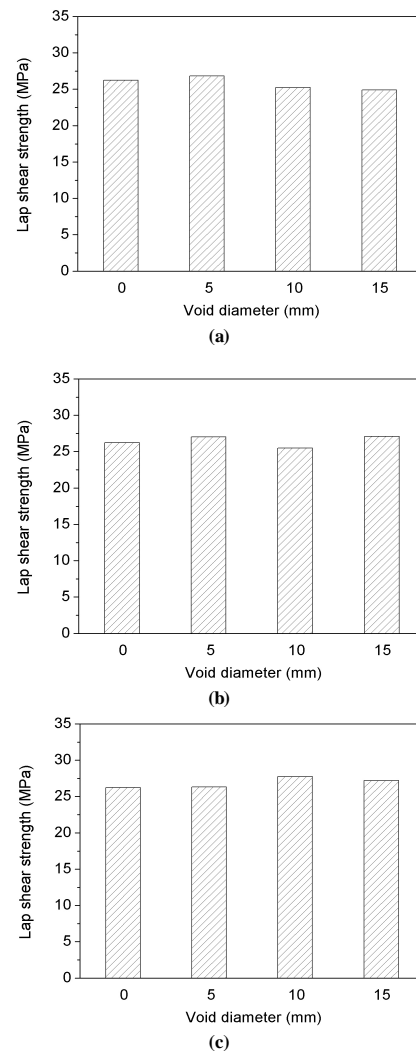
3. 결 과

9 가지의 서로 다른 인공 기공 조건에 대한 전단응력 시험

을 한 결과 Fig 7 과 같은 결과를 얻을 수 있었다. Fig 7 (a)는 인공 기공이 중심에 위치한 경우로 기공이 없는 표준 시편과 비교하였을 때 기공의 크기와 상관 없이 일정한 전단응력을 갖는 것을 알 수 있었다.

Fig 7 (b)와 (c) 에서도 마찬가지로 시편의 상단 중앙 그리고 시편의 상단 측면에 서로 다른 크기의 기공이 존재하더라도 중심에 기공이 있을 때와 마찬가지로의 결과를 얻을 수 있었다.

본 실험의 결과로 미루어 최대 전체 면적의 약 7%의 기공이 존재하더라도 또한 그 위치에 관계없이 접착제의 접착력(전단응력)에 영향을 주지 않음을 확인 할 수 있었다.

**Fig 7** The results of single lap shear test according to the different size and location of void (a) Type I, (b) Type II and (c) Type III.

4. 결 론

우레탄 접착제와 Triplex 복합재료 접착에 있어 인공적으로 기공을 제작하여 삽입 후 전단응력 (Single Lap Shear) 시험을 실시 후 그 영향을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 접착력은 본 시험에서 적용한 기공의 크기에 영향을 받지 않는다.
- 2) 접착력은 본 시험에서 적용한 기공의 위치에 영향을 받지 않는다
- 3) 따라서 접착제 층 내부에 존재하는 기공들은 접착제의 접착력에 심각한 영향을 주지 않는다는 것을 확인하였다.

참고문헌

- 1) FrischK, Reegen SL. Advances in polyurethane science and technology, Vol. 1-9. Westport: Technomic; 1984.
- 2) Wirpsza Z. Polyurethanes-chemistry, technology and applications. London: PTR Prentice Hall; 1993.
- 3) 김상국, 김명곤, 김천곤, 공철원, “복합재-알루미늄 양면 접지기 조인트를 이용한 접착제의 극저온 물성 평가,” 한국 복합재료학회지, 제19권, 제 4호, 2006, pp. 23-31.
- 4) Adhesion and Adhesives, A. J. Kinloch, Department of Mechanical Engineering, Imperial College of Science and Technology, University of London
- 5) Tsuey T. Wang, F. W. Ryan, H. Schonhorn, Effect of bonding defects on shear strength in tension of lap joints having brittle adhesives, Journal of Applied Polymer, 2003, Vol. 16, pp. 1901-1909.
- 6) 김광수, 유재석, 안재모, 장영순, “일방향 복합재료 Single Lap 접합 조인트의 파손 모드 및 파손 강도 I. 실험,” 한국 복합재료학회지, 제17권, 제 6호, 2004, pp. 14-21.