

고장력 강재의 폭파변형시험 소개

Introduction of Explosion Bulge Test of High Strength Steel

박태원, 김홍규, 백두현, 홍성석, 송영범, 김진영, 심인옥, 김영우
국방과학연구소 기술연구본부 5부 3팀

ABSTRACT

Explosion Bulge Test has been carried out in order to evaluate base metal and weldment of high strength steels which used for submarine and aircraft carrier. High strength steels such as DS80/100/130 and PFS80/100 were developed by ADD and POSCO. In future, these materials will be used for the construction of larger submarine and aircraft carrier, and EBT is necessary to certificate hull materials for these. EBT methode in air and underwater was developed by ADD, and this report described the test procedure of EBT and the results of EBT for high strength steels.

1. 서 론

1998년 국내에서 처음으로 1200톤급 잠수함이 건조된 이래 11척의 잠수함이 건조되어 운용되고 있으며, 2003년도에는 4500톤급의 구축함이 진수되어 2004년에 실전 배치되었다. 첨단 무기를 장착한 이러한 잠수함 및 구축함은 한국 해군의 전투력 증강에 이바지하고 있다. 그러나 이들은 우리나라 주변국인 러시아, 중국, 일본 등이 보유한 잠수함 및 구축함보다는 규모가 너무 작아 작전상 문제점이 많은 것으로 지적되고 있다. 그리하여 해군은 1800톤급의 잠수함을 건조중이고 2010년대에는 3,000-4,000톤급의 중잠수함을 건조할 계획을 가지고 있으며, 현재 7,000톤급의 이지스함을 건조하고 있다. 이러한 잠수함 및 구축함의 건조시 초기에는 외국의 설계와 기술이 도입되었지만 현재는 국내업체의 독자 설계 및 기술로 건조되고 있다.

잠수함 및 구축함 등은 구조적으로 압력을 받는 용접구조물의 안정성 확보가 중요한 문제이기 때문에 독일 및 미국에서는 용접부에 대해 부풀음 시험(Bulge Test)을 하도록 규격으로 정하고 있으며, 미국에서는 T0974-BD-GIB-010/300에 의해 폭파변형시험을 실시하며 공기중에서 시험 온도에 따른 초기 균열발생 및 균열전파에 의한

저항성을 평가하는 방법으로써 균열생성시험(CST : Crack Start Test) 및 폭파변형시험(EBT : Explosion Bulge Test)을 규정하고 있다. 독일에서는 Nato Stang 4137에 의해 수중에서 폭파변형 시험을 실시하도록 규정하고 있다.

국내에서는 고장력 선각재인 DS80/100/130 및 이들 강재보다 용접성이 현저히 개선된 PFS 80/100강을 개발하여 규격화(KDS 9515-3001연) 되었으며, 1200톤급 및 1800톤급의 잠수함에 각각 DS/80강 및 DS/100강 그리고 구축함에는 PFS/100강이 적용되었다. 개발 강재의 적용시 폭파변형 시험 수행은 필수적이며 국내에서 공기중 및 수중 폭파시험방법을 개발하였다. 본 고에서는 공기중 및 수중 폭파변형 시험 방법과 실험 결과에 대해 간략히 소개하고자 한다.

2. 폭파변형시험

2.1 공기중 폭파변형시험

모재 및 용접부에 대한 변형시험으로 균열생성 시험(CST, Crack Start Test)과 폭파변형시험(EBT, Explosion Bulge Test)이 있다. 균열생성 시험은 용접부를 갖는 모재를 평가하기 위해 용접비드를 용접선과 평행하게 생성시키는 방법과 용접재료 및 용접시공 방법을 평가하기 위해 용접 중심선과 수직하게 용접비드를 생성시키는 방법

이고, 폭파변형시험은 용접부 및 모재의 동적 하중 하에서의 균열생성 및 전과특성을 측정하는 시험이다. 폭파시험시 Bulge를 위해 폭약을 사용하며 적절한 양의 폭약과 폭팔시 균일한 가압을 위하여 폭약을 시편과 일정한 거리를 유지할 필요가 있다. 적절한 폭약을 선정하기 위해 Pentolite, Comp. B 및 Comp. C4 를 사용하였으며, 폭약과 시편과의 이격거리(Stand-off 거리)를 변화시키면서 시험하였다. 폭파변형시험시 폭약이 설치되어 있는 반대 방향으로 시편에 Bulge가 생성되므로 일정 높이를 유지하게 되면 화약과 시편간의 거리가 증가하므로 동일한 중량의 폭약을 사용하더라도 일정한 두께 변형을 얻기 어렵다. 그러므로 일정한 Stand-off 거리를 유지하기 위해서는 폭파 전 거리측정을 통하여 시편과 폭약과의 거리 조절이 필요하다.

그림 1은 규격에 명시되어 있는 폭파변형시험의 모식도이다. 하부에 치구가 있고 치구 위에는 시편이 놓이고 시편과 폭약간의 거리를 조정하도록 설계되어 있다. 이 그림을 토대로 국내에서 폭파 변형시험을 수행 가능하도록 개발하였으며 그림 2에는 시편의 형상을 나타내었다. (a)는 판재의 압연 방향과 평행하게 용접 비드가 생성된 EBT 시험편의 형상이고 (b)는 생성된 용접비드위에 경도가 높은 비드를 새로이 생성시킨 CST 시험편의 형상을 보여준다. 고경도의 비드는 시험목적에 따라 원래의 용접비드와 수직으로 생성시키기도 하며 (b)는 평행하게 생성시킨 경우를 보여준다.

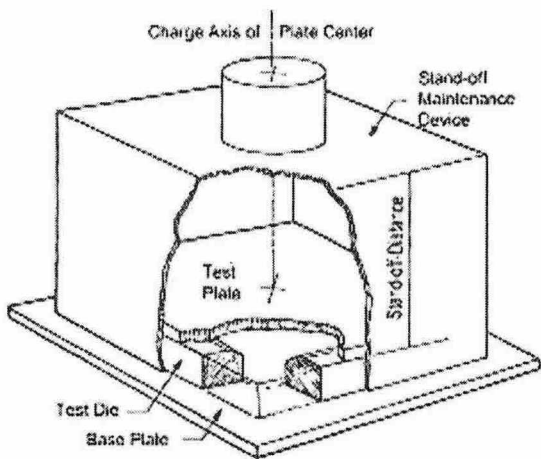
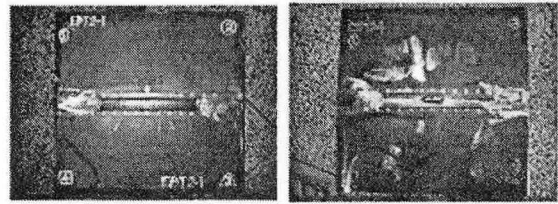


그림 1 시험 모식도



(a) EBT 시험편 (b) CST 시험편
그림 2 본 시험에 사용되는 시험편 형상

그림 3은 폭파변형시험의 전체적인 절차를 보여준다. (a)는 본 시험시 개발된 치구의 형태로서 Bulge 면적이 diehole(φ300mm) 및 외부 round corner(R=500mm) 을 포함하여 시편 접촉부의 총 원주 직경은 φ380mm가 되도록 510×510×75mm 판재 두장에 원형 구멍을 만들어 1000×1000×50t(mm) 크기 밀판 위에 올린다. (b)는 시험편을 보여주며 두께측정을 위하여 시험편에 표식을 하고 (a)의 치구 위에 올린다.

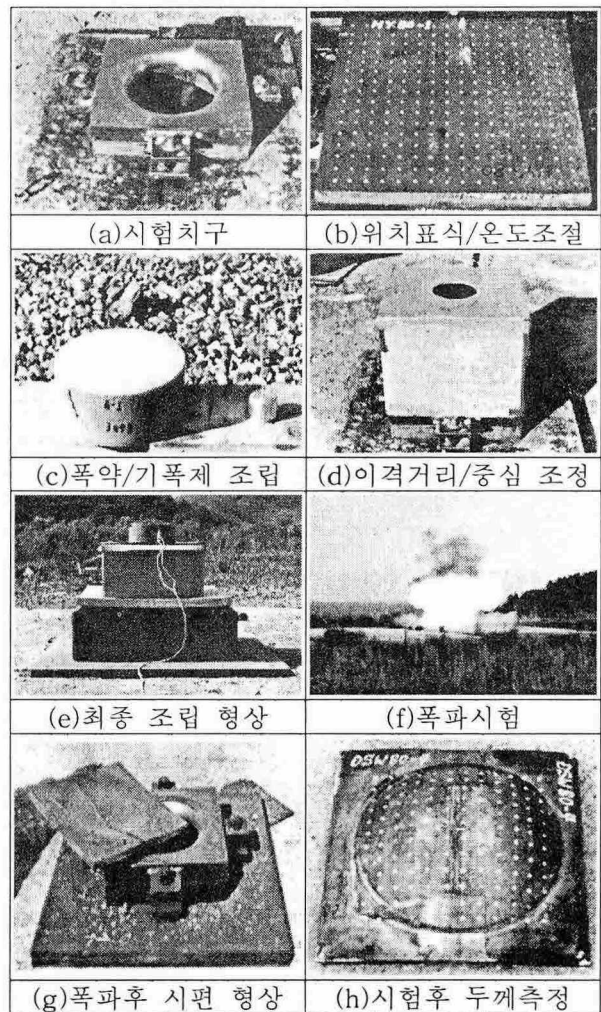


그림 3 폭파변형 시험절차

(c)는 폭약 및 기폭제의 형상을 보여주며 기폭제를 폭약 상부에 놓는다. (d)는 종이 상자도 시편과 폭약간의 거리를 조정하며 중심을 맞춰 시편의 중앙에 폭약이 가하여 지도록 한다. (e)는 최종 조립 형상을 보여주며 (f)와 같이 폭팔에 의해 재료에 Bulge 를 생성시킨다. (g) 및 (h)는 각각 폭파 후의 시험편 형상과 두께 측정을 위한 시험편 준비 상황을 보여준다. 1폭 당 약 3-4% 정도의 두께 변형을 생성시키며 1폭 후 시험편 형상을 조사하고 시험 조건에 따라 다시 환경차에 투입하여 온도를 조정한 후 2폭, 3폭 시험을 수행한다. 항복강도 550MPa급은 16%, 690MPa급은 14%, 895MPa급은 7.5%의 두께 변형율까지 두께를 관통하는 균열이 없고 hole down area 까지 균열 발생이 없어야 한다.

2.2 수중 폭파변형시험

수중폭파변형 시험은 수중에서 수행됨으로써 물이라는 매질에 의해 충격파가 전달되어 재료의 변형영역 내에 균일한 변형이 발생한다.

그림 4는 수중폭파시험에 대한 전체적인 시험 과정을 보여준다. (a)는 두께 25mm, 지름 800mm의 시험편이다. (b)는 치구 및 시험편 조립 상태를 보여주며, (c)는 폭약과 기폭제를 조립하는 과정이다. 폭약은 Comp. B와 C-4를 방수미닐 및 테이프를 사용하여 방수하였다. 공기중 폭파시험과 마찬가지로 폭약을 시편의 중앙에 위치함으로써 중앙에서 균일한 변형을 유도하였다. 그리고 이격거리를 조정하여 적정 변형율을 나타내는 이격거리 및 폭약량을 조정 및 선정하였다. (d)는 시험편을 Wire에 매어 수조에 입수 및 폭파 후에도 시험편과 치구를 회수 가능하도록 하였다. (e)와 (f)는 시험편과 치구를 이동하여 수조에 입수시키는 과정이며 (g)는 폭파전 시험편과 치구를 수중에 부유 상태로 유지하는 과정이다. 폭파 시험 후 시험편과 치구를 회수하는 과정을 (h)에 나타내었다. 수중폭파시험시에는 공기중과는 달리 시험편의 온도 조정이 불가능하며, 수온하에서 시험이 실시된다. 1폭 시험시 두께 변형율이 약 3-4% 정도가 되게 하며 2폭, 3폭 시에는 폭약량과 이격거리를 조정하여 폭파를 실시한다.

3.1 실험결과

그림 4는 공기중 및 수중 폭파변형시험 후 중심부로부터 hole down area 까지 일정한 거리로 두께 측정된 결과를 보여준다.



그림 4 수중 폭파시험 절차

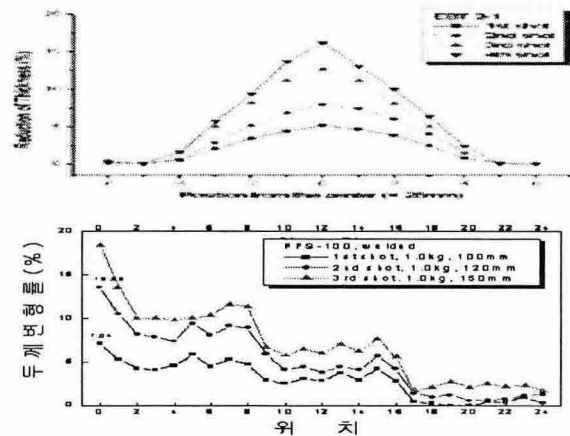


그림 5 공기중 및 수중 폭파시험결과

4. 결 론

미국 및 독일 등에서 수행하고 있는 공기중 폭파변형시험 및 수중 폭파변형시험을 국내에서 수행 가능하도록 치구설계 및 제작, 폭약종류, 폭약량, 이격거리 등의 방법을 설정하였다.