

## 폭발강화격벽 설계 및 검증기술 개발

한순흥, 나양섭, 최걸기 (한국과학기술원)

### 1. 서론

함정은 운용 중에 많은 위협에 노출되어 있다. 위협무기의 발전에 따른 다양한 형태의 위협이 발생하고 이로부터 함정의 생존성이 위협받고 있는 실정이다. 이에 함정의 설계 시 함정의 임무를 완수하고 승조원의 생존을 확보하려는 노력이 가속화 되고 있다. (Shin,Kwon,Jung, 2012)

함정의 생존성(Survivability) 평가는 함정의 능동적 방어능력의 척도로서 각종 탐지센서와 위협무기 또는 이들의 효과에 노출되어 피격될 확률로서 정의되는 피격성(Susceptibility), 위협무기의 피격에 따른 함정의 손상으로부터 신속하게 회복하고 임무를 계속하여 수행할 수 있는 손상 대처확률로 정의되는 회복성(Recoverability), 그리고 이런 손상을 조건부 확률로 정의하고 함정의 수동적 방어능력을 나타내는 척도인 취약성(Vulnerability)의 크게 3가지 형태의 분야로 평가하고 그 기술을 개발하고 있다.

우리나라는 90년대부터 함정 설계 기술 발달에 따라 함정 생존성 향상을 위하여 다양한 형태의 기술이 적용되고 이에 대한 검증이 이뤄지고 있으며, 폭발강화격벽과 같이 실제 함정의 설계에 적용되고 건조되고 있는 실정이다.

대함 미사일 중에는 지연신관을 가지고 함정 내부로 침투하여 폭발하는 SAP (Semi-Armor Piercing)이 있다. 함정의 내부의 폭발의 경우에는 직접 타격을 받은 함정의 격실뿐만 아니라 수밀격벽의 손상과 함께 주변 격실까지 그 피해를 확산시켜 최종적으로 침수에 의한 함정전체의 손실을 가져온다. (Shin,Chung,Kwon,Park, 2012)

이에 대비한 수동적 설계기술이 폭발강화격벽이다. 내부폭발에 저항할 수 있는 폭발강화격벽을 설치함으로써 함정의 손상부위를 한 격실로 한정하여 함정의 기능을 유지하고 생존성을 증대시킨다. 현재 국내함정의 폭발강화격벽의 설계기술은 국외 전문 기관의 기술을 활용하여 이뤄지고 있는 실정이다.

본 연구에서 국외 기관에 의하여 수행되어오는 폭발강화격벽의 설계기술을 국산화하여, 국내 함정 설계기술을 보호하고 국내 함정설계 기술발전을 가져오하고자 한다. 폭발강화격벽의 설계기술의 개발을 위해서는 설계를 위한 해석기술의 개발과 설계 및 검증기술이 필요하다. 폭발강화격벽 설계 및 검증기술 개발을 위해 국내에서 각 분야의 최고 연구진이 참여하여 이를 위한 노력을 하고 있다.

함정은 운용 중에 많은 위협에 노출되어 있으며, 위협무기의 발전에 따라 함정의 생존성도 크게 위협 할 수도 있다. 본 연구에서 다루고 있는 폭발강화격벽은 대함미사일 중 지연신관을 가지고 함정 내부로 침투하여 폭발하는 SAP (Semi-Armor Piercing)의 위협에 대항하여 함정의 생존성을 향상시키는 설계 기술이다.

일반 수밀격벽이 적용된 함정은 그림 1에서 보듯이 내부 폭발 시 물리적 손상과 기능적 손상의 범위가 주변의 격실까지 미치는 것을 알 수 있다. 그러나 폭발강화격벽(BHB : Blast Hardened Bulkhead)을 설치한 함정의 경우에는 폭발저항을 한 섹션으로 한정함으로써 손상의 전파를 막는다. 폭발저항을 구획화 함으로서 전투 시 함정의 생존성을 높이고 소중한 승조원의 생명을 확보 할 수 있다.

국외에서는 폭발강화격벽 설계기술과 관련하여 다양한 연구가 진행되고 있으며, 국내에서도 국외기술을 받아들여 함정 건조에 적용을 하고 있다.

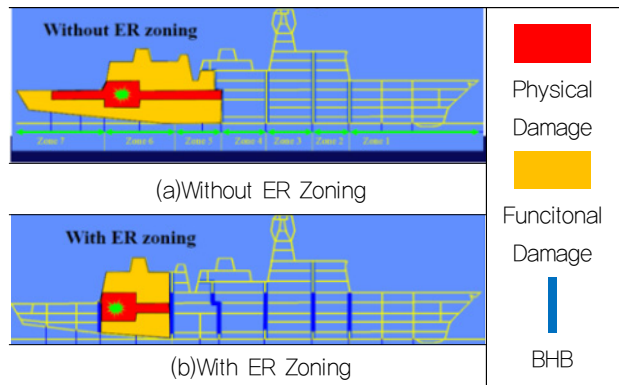


Fig. 1 Explosion Resistant(ER) Zoning

### 2. 연구추진 배경 및 필요성

#### 2.1 폭발강화격벽 개요

폭발강화격벽의 주요한 기능으로는 내부폭발에도 수밀성을 유지하고 그 변형을 최소화하여 인접 주요장비의 손상을 입히지 않는 것이다. 외부 폭발과 다르게 내부폭발의 경우에는 크

게 두 가지 하중에 의한 손상이 발생한다. 1차적으로 충격파에 의한 손상과 연속적으로 발생하는 고온 고압의 가스 팽창에 따른 격벽의 손상이 있다. Fig. 2는 내부 폭발 시 발생하는 압력을 단순화한 그림이다. 초기의 순간적인 충격파(Shock pressure)가 발생한 이후에 고온고압의 가스가 팽창하며 지속적인 압력(Gas pressure)을 발생시킨다.

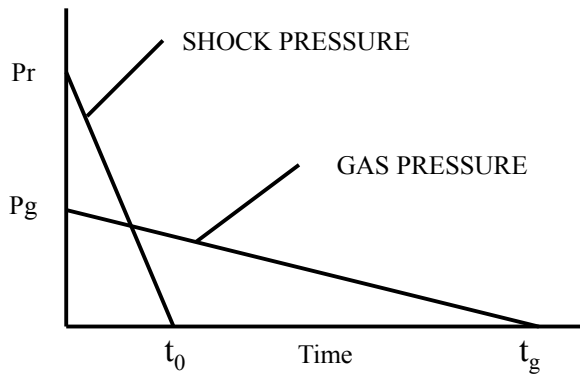


Fig. 2 이상화된 내부폭발 압력

내부폭발에 의한 수밀격벽의 손상은 순간적인 폭발에 의한 충격파와 그 이후에 이어지는 높은 가스압력의 지속에 의한 연결부의 파단이 주를 이룬다. Fig. 3과 가스압력이 지속됨에 따라서 격벽은 변형을 하게 되고, 과도한 변형이 발생했을 때는 격벽의 연결부에서 파단이 발생한다.

따라서 내부 폭발에 견디기 위해서는 연결부 설계를 강화하고 격벽의 변형을 Membrane 형태로 유도하여 많은 폭발에너지를 흡수 할 수 있도록 해야 한다. 강화된 연결부 설계는 결과적으로 격벽의 소성변형을 할 수 있도록 하며, 폭발강화격벽의 주요기능인 수밀성을 유지할 수 있게 한다.

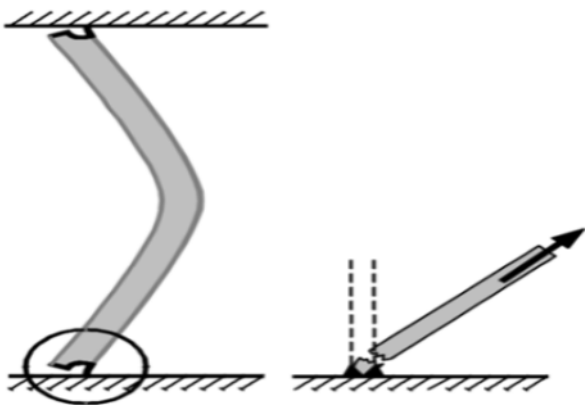


Fig. 3 과도한 변형에 의한 연결부 파단형태

## 2.2 국외 폭발강화격벽 기술개발 현황

폭발강화격벽은 이미 선진국에서 충분한 검토와 적용이 이뤄졌다. 국외뿐만 아니라 국내에서 건조된 함정도 국외 전문기관의 도움으로 폭발강화격벽이 적용 되었으며, 현재 운용 중에 있다.

미국, 영국, 네덜란드 등의 선진국들은 폭발강화격벽 설계 기술을 보유하고 있으며, 설계한 폭발강화격벽의 성능을 해석적인 방법과 실험적인 방법으로 검증하였다. 미국 Alion S&T는 실제 함정의 한 섹션을 실선과 같은 크기와 구조로 건조하여, 실제와 같은 위협 아래에서 그 성능검증을 위한 실험을 수행한 경우가 있었으며, 네덜란드의 TNO 또한 Fig. 4와 같이 실선 실험과 모델실험을 통한 폭발강화격벽의 설계 검증을 하였다 (Galle & Erkel, 2002). 이 밖에도 호주의 DSTO도 독자적인 방법으로 실험을 통한 설계기술 검증을 하였다.



(a) Blast test in a retired ship (b) Validation Test on BHB

Fig. 4 함정 내부폭발 실험, TNO (Galle & Erkel, 2002)

이처럼 선진국의 경우 폭발강화격벽의 설계와 설계를 위한 해석기술의 보유분만 아니라 설계기술의 검증을 위한 실험도 병행하고 있다. 본 연구에서는 설계기술의 개발과 해석 기술 개발 그리고 개발기술의 검증을 위한 실험을 통한 선진국 수준의 기술을 보유하고자 한다.

## 3. 연구 목표 및 내용

### 3.1 연구 목표

본 연구는 함정생존성해석을 통하여 결정된 폭발강화격벽의 설계기술과 검증기술을 개발하는 것을 목표로 한다. 함정 설계 초기단계에서 사용 할 수 있는 설계 시스템과 해석시스템 개발과 내부폭발실험을 통하여 폭발현상검증과 폭발에 따른 재료구동에 대한연구, 실험을 통한 전산해석기술의 고도화이다.

Fig. 5는 함정설계단계를 도식화 한 그림으로서 결과물은 함정설계 단계 중 개념설계와 기본설계 중에서도 초기설계 단계에서 사용될 예정이다.



Fig. 5 합설 설계 단계 BHB설계 적용단계

### 3.2 연구추진체계

Fig. 6 와 같이 4개 대학과 3개 회사가 참여하여 연구를 수행중에 있다. 현재 국내 함정 생존성 관련 연구를 공동 수행하고 있는 Alion S&T의 참여로 개발기술의 선진화를 이루고자 한다. 폭약과 발파 전문기관인 (주)한화와 고압체임버 설계 및 제작업체인 (주)우석엔지니어링이 참여하여 안전한 폭발시험이 수행할 수 있게 하였다. 뿐만 아니라 조선소와 국가연구

소 해군의 전문가의 연구지문을 통하여 실질적인 연구가 될 수 있도록 추진하였다.

### 3.3 연구내용

#### 3.3.1 폭발강화격벽 설계 기술개발

함정 설계 시 설계자가 폭발강화격벽의 개념설계 단계에서부터 초기설계 단계까지 적용 가능한 설계 시스템의 개발을 하고자 한다. 개념설계 단계에서 적용 가능한 간이 설계식을 개발하고, 개발되는 효과도 공식으로 평가를 한다. 간이 설계가 끝난 후 초기설계 단계에서는 해석을 통한 설계 변경을 통하여 최종적인 폭발강화격벽 설계안이 나올 수 있도록 한다. 충남대학교 연구팀에서 간이하중식과 간이설계식을 만들어 초기 단계에서 적용 가능한 설계식을 만들고, KAIST 효과도 공식 개발팀의 효과도 평가에 의하여 격벽의 향상된 성능을 평가 할 수 있도록 한다. 이를 바탕으로 KAIST 기본설계 지침 개발 연구팀에서 설계시스템과 유형별 폭발강화격벽 설계지침서를 만든다. 전체적인 설계시스템의 개발을 위한 연구팀간의 흐름도는 Fig. 7과 같다.

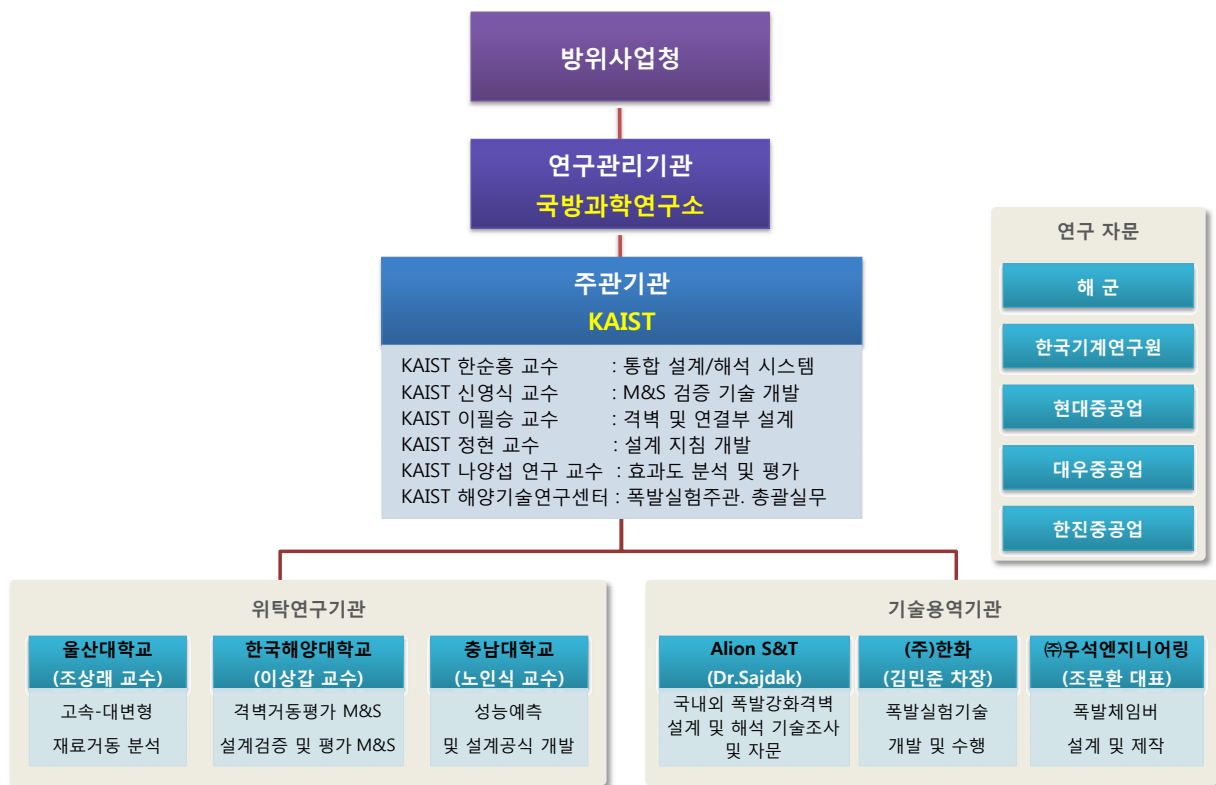


Fig. 6 연구 추진 체계

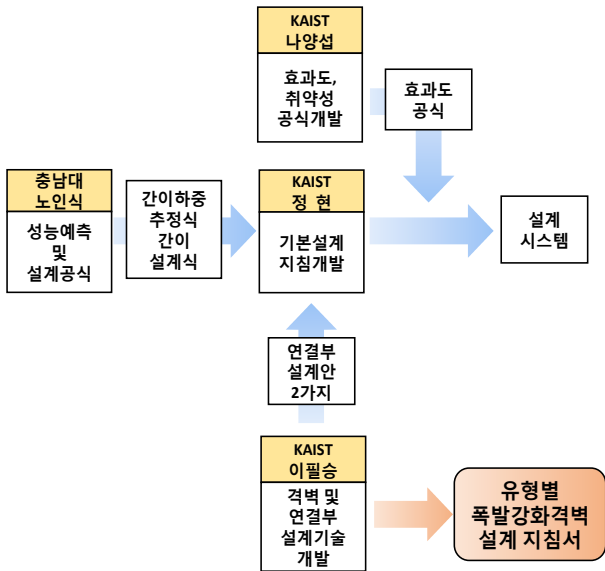


Fig. 7 설계시스템 개발 흐름도

### 3.3.2 폭발강화격벽 해석 기술개발

해석기술은 설계된 폭발강화격벽의 전산해석을 통하여 성능을 검증하고 예측하고자 하는 기술을 말한다. LS-Dyna를 이용한 내부폭발에 의한 폭발강화격벽의 거동을 수치적인 방법을 예측하고, 예측된 결과로부터 설계된 폭발강화격벽의 설계를 검토하고 적용 여부를 판단한다.

해석기술 개발을 위하여 세 가지 분야에 대한 연구를 진행한다. 울산대학교 연구팀의 시편실험을 통하여 폭발강화격벽 재질에 따른 파단기준 소성경화 방정식을 만들고, 해양대학교 연구팀에서 LS-Dyna를 이용한 거동평가 기술 개발팀에서는 재료의 파단기준을 이용하여 해석기술을 개발한다.

KAIST M&S 기술개발팀에서는 개발된 해석기술을 이용하여 설계시스템과 연동 가능한 해석시스템을 개발하고, 실험과 해석기술에 의한 결과를 개발된 M&S 기술을 통하여 검증 개발 한다. 해석시스템의 개발을 위한 연구팀간의 흐름도는 Fig. 8과 같다.

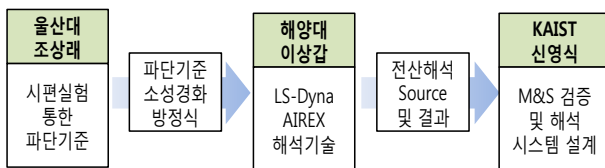


Fig. 8 해석시스템 개발 흐름도

### 3.3.3 폭발강화격벽 검증을 위한 실험기술 개발

폭발강화격벽의 성능을 확인하고, 해석시스템을 개발하기 위하여 필수적으로 거쳐야 할 단계는 실험을 통한 시스템의 검증이다. 그러나 아쉽게도 국내에는 아직 내부폭발실험에 대한 데이터가 없고, 폭발관련 실험의 경우 군사기밀과 자국기술표호라는 이유로 그 데이터를 확보하는데 어려움이 많다.

따라서 본 연구에서는 자체 폭발강화격벽 폭발실험을 수행하고, 이로부터 해석기술과 개발되는 폭발강화격벽의 성능을 검증한다. 폭발실험용 체임버를 제작하고, 폭발실험경험이 많은 한화의 도움으로 폭발실험을 수행한다. 계측된 실험데이터는 KAIST M&S 기술개발팀에서 분석하고, 해석시스템의 검증에 사용한다. 실험개발을 위한 연구팀간의 흐름도는 Fig. 9과 같다.

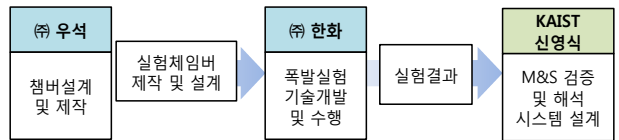


Fig. 9 실험기술 개발 흐름도

앞서 언급한 바와 같이 선진국에서는 이미 실선에 대한 폭발강화격벽 실험을 수행한 바 있다. 그러나 본 연구에서는 공간의 제약과 예산의 제한으로 인하여 실선실험을 수행하기에는 한계가 있다. 이에 비용을 절감을 위하여, 부분모형실험이라는 개념을 도입하였다. 선박의 전체를 모사하기에는 많은 비용이 소모되기 때문에 폭발강화격벽의 일부분을 제작하여 실험을 수행한다.

선정된 위협과 같은 압력을 낼 수 있도록 폭발물의 크기를 UFC-3-340-02 매뉴얼을 참고하여 선정하고, 실험을 수행한다. 실제 폭발강화격벽과 동일한 높이의 폭발강화격벽에 대한 실험을 수행하므로, 본 연구에서는 부분모형실험이라고 지칭하고 이를 수행 하였다. 폭발실험기술개발팀은 부분모형실험을 수행하기 전에 부분모형의 1/4축소모형을 만들고 이에 대한 실험을 수행하여 실험방법에 대한 검증을 수행하였다.

## 4. 결론

본 연구에서는 함정의 생존성 향상을 위한 설계기술의 하 나인 폭발강화격벽의 설계 및 성능검증 관련 원천기술을 확보한다. 다양한 전문 연구진들이 참여하여 폭발현상과 폭발충격에 의한 재료거동에 대한 기초연구, 폭발압력 및 폭발강화격벽 간 설계식 개발, 설계초기 단계에 사용이 가능한 설계

시스템, 격벽의 폭발에 대한 성능검증을 위한 해석시스템개발, 공기 중 폭발실험 수행을 통한 전산해석 결과 검증 및 해석기술 고도화 연구를 진행 중이다.

결과적으로 본 연구를 통하여 개발된 독자적인 폭발강화격벽 설계 및 검증기술을 이용하면, 폭발강화격벽 적용 및 검토를 함정설계 절차 중 개념설계와 초기설계 단계에서 활용이 가능할 것으로 판단된다. 함정 건조 초기 단계에서 폭발강화격벽의 적용이 적극적으로 검토됨에 따라 우리나라 환경에 맞는 함정 생존성의 향상 설계를 통해 함정의 전투력 향상에 큰 역할을 할 것이다.

또한, 내부폭발실험을 직접 수행하고 관련 데이터를 확보함에 따라서 실험기술의 향상뿐만 아니라 국내 공기 중 내부 폭발전산해석 관련 해석기술의 정확도 향상에도 크게 기여할 것으로 사료된다.



Fig. 10 최종 산출물 설계단계 적용

## 후 기

본 논문은 국방과학연구소 산학연 주관 응용연구의 일환으로 수행 중인 "폭발강화격벽 설계 및 검증기술 연구" 과제 연구 결과의 일부입니다. 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 연구비 지원으로 수행되었습니다. 감사의 말씀을 드립니다.

## 참 고 문 헌

Galle, L.F. & Erkel, van A. G., 2002. TNO-PML Developments of Blast Resistant Doors and Walls, *The 1st European Survivability Workshop*, Cologne, Germany

Shin, Yun-ho, Chung, Jung-hoon, Kwon, Jeong-il, Park, Jae-hong., 2012. A Review on Structural Integrity Analysis Methods of Water Tight Bulkhead by Internal Blast, *Proceeding of the Society of Naval Architects of Korea*, Daegu, Republic of Korea,

Shin, Yun-ho, Kwon, Jeong-il, Chung, Jung-hoon, . 2012. Development of Vulnerability Analysis Program for Naval Vessel, *Proceeding of the Society of Naval Architects of Korea*, Daegu, Republic of Korea,

UFC-3-340-02, Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions, 5 December 2008.



한 순 흥

- 1954년생
- 1990년 미시간대학교 선박해양공학과 박사졸업
- 현 재 : 카이스트 해양시스템공학과 교수
- 관심분야 : 해양시스템설계
- 연 락 처 : 042-350-3040
- E - mail : shhan@kaist.ac.kr



나 양 섭

- 1958년생
- 1989년 미시간대학 석사, 2006년 충남대 박사
- 2012-2013 해군 함정 기술 처장
- 현 재 : 카이스트 해양시스템공학과 연구교수
- 관심분야 : 함정 설계
- 연 락 처 : 042-350-1538
- E - mail : yangsubna@kaist.ac.kr



최 걸 기

- 1983년생
- 2009년 충북대학교 구조시스템공학과 석사
- 현 재 : 한국과학기술원 선임연구원
- 관심분야 : 폭발에 의한 구조물 손상
- 연 락 처 : 042-350-1528
- E - mail : gulgi@kaist.ac.kr