

창호시스템의 blast resistant design을 위한 성능해석 절차에 관한 고찰

A Review on the Process of Blast Effect Analysis for Designs of a Glazing System against Explosive Loadings

허영철†·정태영* 문석준*·오성근**

Young-Cheol Huh, Tae-Young Chung, Seok-Jun Moon and Sung-Keun Oh

1. 서 론

폭발물, 차량폭탄 등 테러에 의한 위험도가 높은 미국, 이스라엘에서는 오래 전부터 군 시설물은 물론 주요 관공서, 공공건물 등에 대하여 테러에 대비한 설계규정을 제정하고 건물의 설계에 반영해 오고 있다. 특히 9·11 테러 이후에는 미 국방부 소속의 모든 신축 건물에 관련 규정의 적용을 강화하고 있으며 기존 건물이나 임대 건물에도 최소한의 규정이 적용되고 있다. 이러한 건물의 설계에서는 방폭창호의 시공이 필수적인데 일반창호의 경우 폭발 등에 의한 외부 충격에 매우 취약하므로 폭발로 인한 유리파편의 비산으로 건물 내부의 인명에 심각한 상해를 입힐 수 있기 때문이다.

그 동안 폭발물테러에 의한 피해사태가 전무했던 국내의 경우 테러예방 설계에 대한 관심도 적었고 방폭창호 시스템의 국내 수요도 거의 없어서 제품개발의 필요성은 물론 관련 연구의 수행 실적도 미미한 편이었다. 국내에 주둔하고 있는 미군 기지에서 소량의 대체 수요가 있었으나 전량 수입에 의존하여 단순 시공만 해왔던 실정이다. 그러나 지난 4월 국토해양부에서 발표한 “건축물 테러예방 설계 가이드 라인”에 관한 지침에 따라 종합병원, 초고층 빌딩 등을 포함한 20,000m² 초과 건축물에 대해 폭발피해 최소화 설계, 피난 및 피해 대비 설비의 계획 등이 점진적으로 적용될 것으로 예상된다. 이보다 앞서 2015년까지 추진 예정인 총 사업비 11조 규모의 용산 미군기지 이전사업에서는 모든 건물에 대하여 미 국방부의 테러예방 설계규정이 적용될 것이며 이 중 방폭창호 시스템의 수요만 약 3,000억 규모로 추정된다.

이러한 배경 하에 (주)동양정공을 포함한 일부 국내 기

업에서는 방폭창호 시스템의 국내 개발을 서두르고 있으나 개발된 제품의 검증을 위한 국내 인프라 즉, 성능해석 및 시험과 관련한 기반이 취약해서 미국의 전문기관에 의존하고 있는 실정이다. 특히나 용산 미군기지 이전사업에서 한 국정부가 부담해야 할 사업비가 약 5조 규모라는 측면에서 관련 건자재의 국산화 개발이 시급하다고 볼 수 있다.

본 논문에서는 방폭창호 시스템의 설계에서부터 최종 인증을 획득하기까지 고려해야할 절차와 관련 적용규격에 대해 전반적인 사항을 기술한다. 아울러 성능인증 시험기관이 없는 국내 현실에 비추어 그 중요성이 크다고 판단되는 성능해석 절차 및 접근방법에 대해 미국 내 전문기관의 현황을 중심으로 기술한다. 아직은 기초 단계인 방폭관련 설계분야에 국내 연구원들의 관심을 확산하고 향후 방폭관련 시설물의 잠재적 수요에 대비한 기초 자료로 활용되기를 기대한다.

2. 본 론

2.1 건물의 테러대비 설계에 관한 미 국방부 규정 통합규정인 Unified Facilities Criteria(UFC)를 비롯하여 ASTM F 2248, ASTM E 1300 그리고 ASTM F 1642 등이 있으며 각 규정들은 상호 보완적이다.

UFC는 빌딩에 대한 대테러 예방 설계규정으로써 기본적으로 건물의 용도 별로 방어수준(level of protection)을 정하고 테러 위협물(폭발물, 화염무기, 화재, 생화학무기 등)의 중량, 건물로부터의 최소 폭발거리(Standoff distance) 등의 폭발하중 조건을 규정한다. 이러한 폭발하중 조건은 건물이 통제구역 내에 위치하는지 여부, 폭발물의 이동수단(사람, 차량, 배, 소포 등) 그리고 건물 주변으로의 접근가능 경로(주차장, 일반 통행로, 철길, 쓰레기통 등) 등에 따라 달라진다. 그 밖에 건물의 구조설계, 창호 및 배치설계 그리고 의장설계 등에 필요한 최소 요구조건들을 규정한다. 창호시스

† 정회원, 한국기계연구원 시스템엔지니어링연구본부
E-mail : ychuh@kimm.re.kr
Tel : (042) 868-7468, Fax : (042) 868-7418

* 정회원, 한국기계연구원 시스템엔지니어링연구본부

** 비회원, (주)동양정공

템에 대해서는 잠재적 손상정도를 기준으로 방어수준을 정하고 이를 달성하기 위한 최소한의 유리두께와 이를 지지하는 창틀구조의 강성확보를 위한 요구조건 등을 정의한다.

ASTM F 2248은 주어진 폭발조건 즉, 폭발물 중량과 폭발 거리에 대해 방폭유리(blast resistant glazing)의 설계에 활용 가능하도록 등가 설계하중(3-second duration equivalent design load)을 압력의 크기로 산출할 수 있는 도표를 제공한다. 다만, laminated glass의 경우에만 적용할 수 있다.

ASTM E 1300에서는 설계하중에 대해 유리의 파손확률이 8/1000 이하를 만족할 수 있는 저항력(load resistance)을 산출하기 위한 지침서다. 산출된 저항력과 설계하중의 크기 비교를 통해 선정된 유리의 종류 및 그 조합, 두께 등 설계적정성 여부를 평가할 수 있다.

ASTM F 1642은 설계하중에 대해 방폭창호 시험품의 위험등급(hazard rating)을 평가하기 위한 시험평가 지침서다. 폭발하중을 모사하는 시험방법에 따라 shock tube test와 TNT 폭약에 의한 open-air arena test로 구분한다. 시험품 1종에 대해 동일한 조건으로 3번의 시험을 수행한 후 유리의 파손 정도, 파편의 크기 및 비산거리 등을 조사하여 정해진 위험등급에 따라 시험결과를 평가한다.

2.2 방폭창호 시스템의 설계

방폭창호란 외부로부터의 강한 폭발압력에 견딜 수 있도록 잘 설계된 다중 복합층의 강화유리 조합, 창틀구조 및 잠금장치(hardware)로 구성되는데, 창틀구조는 유리 조합을 적절한 강성으로 지지하면서 순간적인 충격에너지를 효율적으로 흡수할 수 있도록 강철 또는 알루미늄으로 설계한다. 한편, 창틀구조를 건물에 고정시켜 주는 앵커시스템까지를 포함하여 방폭창호 시스템이라 칭한다.

유리의 조합, 두께의 결정은 기본적으로 UFC standard 10의 기준에 따라 최소한의 요구조건을 충족하는 설계가 가능하며, PVB film의 중간층 및 void space의 공기층 등을 포함한 기본 사양들은 어느 정도 알려져 있다. 창틀구조는 유리 조합의 네 변이 창틀구조의 내부로 삽입되는 깊이(bite), 실리콘을 이용한 bonding 등을 고려하여 적절한 강성을 갖도록 설계되는데 지침서에서 권장하는 강성의 수준은 통상 유리 조합의 2배 이상이다.

2.3 방폭창호 시스템의 성능해석

(1) Quasi-static analysis based on the rule

UFC 규정을 기준으로 폭발조건 즉, 폭발물의 중량 및 폭발거리가 정해지면 ASTM F 2248 지침에 따라 등가의 설계하중을 산출한다. 선정된 유리의 종류 및 그 조합, 두께 등을 활용하여 ASTM E 1300 지침에 따라 저항력(load resistance)을 산출한다. 산출된 저항력이 설계하중보다 크게 산출된 경우 적절히 설계된 것으로 판단한다.

(2) Dynamic analysis with numerical codes

유리 조합의 성능해석은 미 정부기관인 GSA에 배포권이 있는 WINGARD 프로그램이 주로 활용된다. 유리의 조합을 단자유도로 모델링하여 주어진 설계하중 즉, 최대압력(peak pressure)과 충격량(impulse)에 대해 시간적분법(explicit time integration)에 의한 해를 구한다. 이로부터 파편의 비산거리에 따른 위험등급을 평가하거나 압력-충격량 성능곡선을 평가하여 유리 조합의 설계 적정성 여부를 검토한다. 단순모델링에 의한 해석으로 적용이 쉽고 계산시간이 빠르다는 장점이 있으나, 유리 조합과 창틀구조의 연성문제를 해결하기 어려우므로 최종 단계에서는 상용 유한요소해석 프로그램인 LS-DYNA 등을 활용하여 시스템 전체의 유한요소모델을 기반으로 상세해석을 수행한다.

2.4 방폭창호 시스템의 성능시험

(1) Shock tube test

약 30m 길이의 원통형 관(tube)의 중간 부분에 수백 psi의 압력으로 공기를 압축시킨 후 순간적으로 방출시키면 이로부터 약 10 m 후방에 설치된 창호 시험품에 고압의 충격파가 전달된다.

(2) Open-air arena test

개방된 공간에 시험품이 시공된 밀폐형 간이 시설물(test frame)과 이로부터 일정거리 떨어진 위치에 TNT 등의 폭발물을 설치하고 폭발시험을 수행한다. 폭발물 중량과 폭발거리는 ASTM F 1642의 지침에 따라 site에서 시험이 가능한 수준 내에서 결정되며 scaled Z-value를 기준으로 설계하중 조건인 최대압력과 충격량을 만족할 수 있는 수준으로 결정된다.

3. 결 론

대테러 예방을 위한 방폭창호의 관련 규정, 설계, 성능해석 및 성능시험 절차에 대해 미국의 현황을 중심으로 간략히 살펴보았다. 미 국방부 소속의 모든 신축건물은 UFC 규정의 적용이 의무사항이며 더불어 방폭창호의 시공도 필수적이다. 국내 미군기지 이전사업의 참여를 위해서는 arena test에 의한 인증획득이 필수조건인데 이에 대비하기 위해서는 본 논문에서 기술한 바와 같이 관련 지침서 또는 상용코드를 활용한 성능해석 기법을 확립하는 것이 중요하다고 판단한다. 아울러 장기적인 관점에서 arena test를 위한 시설확보 방안도 검토할 필요가 있을 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 한국기계연구원의 주요사업 중 하나인 “Buy KIMM Technology” 사업의 일환으로 수행하였으며 관련 지원에 감사드립니다.