

창호시스템의 방폭 설계를 위한 간이 성능해석 프로그램 개발

Development of Simplified Programs for Blast Resistant Designs of a Window Glazing System against Explosive Loadings

허영철†·정태영*·오성근**

Young-Cheol Huh, Tae-Young Chung and Sung-Keun Oh

1. 서 론

방폭창호 시스템이란 건물 외부로부터의 강한 폭발 압력에 견딜 수 있도록 잘 설계된 유리창과 이를 지지하는 금속재질의 창틀로 결합된 제품을 칭한다. 폭발물, 차량폭탄 등 테러에 의한 위협도가 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 이러한 건물의 설계에서는 방폭창호의 시공이 필수적이다. 방폭설계가 고려되지 않은 일반창호의 경우 폭발 등에 의한 외부 충격에 매우 취약하므로 테러 등에 의한 외부 폭발이 발생할 경우 유리파편의 비산으로 인해 건물 내부의 인명이 심각한 상해를 입을 수 있다.

건물의 테러대비 설계에 관한 미 국방부의 규정은 통합 규정인 Unified Facilities Criteria(UFC)를 비롯하여 폭발 조건에 대응하는 설계하중의 산출을 위한 ASTM F 2248, 창유리의 하중 저항력 산출을 위한 ASTM E 1300 그리고 창호 시험품의 방폭성능 평가를 위한 ASTM F 1642 등이 있다. 언급된 각 규정들은 상호 보완적이다. 창호 시험품의 방폭성능을 평가하기 위한 시험은 폭발하중을 모사하는 방법에 따라 shock tube test와 실제 TNT 폭약을 터뜨리는 open-air arena test로 구분할 수 있는데 시험 후 유리의 파손 정도, 파편의 크기 및 비산 거리 등에 따라 위험도 등급을 결정한다.

한편, 창호시스템의 방폭성능 인증획득을 위해 소요되는 시간과 비용은 매우 큰 편인데 국내에는 미 국방부가 인증하는 시험시설이 구축되지 않아서 대부분 미국에 소재한 시험기관을 활용해야 하기 때문이다. 따라서 이러한 시험비용의 지출을 최소화하기 위해서는 성능해석을 통한 설계검

증이 필수적이며 각 설계단계 별로 다양한 해석 방법이 존재한다. 주요 치수 등의 기본 사양이 결정되는 기본설계 단계에서는 빠른 의사결정을 위해 단순한 이론과 설계 규정에 근거한 정적 해석이 효율적이지만 보수적인 결과를 주고 각 구성 요소의 연성효과를 고려할 수 없다는 단점이 있다. 상세설계 단계에서는 대상 시스템의 성능을 최종 확인할 수 있도록 실제 폭발 조건을 고려한 시간영역에서의 동응답 해석이 필요하며, 이를 위해 유한요소기법을 기반으로 한 상용 프로그램이 활용되기도 한다.

본 논문에서는 방폭창호 시스템의 기본설계 단계에서 활용이 가능한 간이 성능해석 프로그램의 개발에 관해 소개한다. 창유리의 설계검증을 위해 ASTM E 1300 지침서의 절차에 따라 하중 저항력을 산정할 수 있는 간이해석 프로그램을 개발하였다. 또한 단순보 이론을 기반으로 주어진 설계하중에 대해 창틀의 강도(strength)해석을 수행할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 각각의 프로그램 검증을 위해 미국의 설계엔지니어링 컨설팅회사의 용역보고서를 참고하였고 예제 계산을 통해 개발 프로그램의 정확도를 검증하였다.

2. 본 론

2.1 건물의 테러대비 설계에 관한 통합 규정

통합규정인 Unified Facilities Criteria(UFC)는 미 국방부 소속의 건물에 대한 테러대비 설계규정으로써 기본적으로 건물의 용도 별 방어수준(level of protection)과 방어수준 별 폭발조건을 규정한다. 폭발조건은 통제구역의 존재 여부, 폭발물의 이동수단(사람, 차량, 배, 소포 등) 그리고 건물 주변으로의 접근가능 경로(주차장, 일반 통행로, 철길, 쓰레기통 등) 등을 고려하여 결정된다. 창호시스템에 대해서는 잠재적 손상정도를 기준으로 방어수준을 정의하고 이를 달성하기 위한 최소 유리두께와 창틀구조의 강성확보를 위한 요구조건 등의 설계지침을 규정한다.

2.2 창유리의 하중 저항력 산정 프로그램 개발

창유리에 대한 기본설계가 완료되면 외형 치수와 함께 유리의 종류, 단면 프로파일 및 두께 등이 결정된다. 일반적으

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

* 정회원, 한국기계연구원 시스템엔지니어링연구본부

** 비회원, (주)동양정공

로 창유리의 프로파일은 전면유리+ 공기층+ 후면유리로 구성되는데 후면유리는 중간에 PVB 필름이 삽입되어 유리의 면외 하중을 창틀구조로 전달하는 역할을 한다. 유리는 열처리 공정에 따라 크게 일반 유리, 반강화 유리 그리고 강화유리로 분류된다.

ASTM E 1300 지침서에 근거하여 주어진 설계하중에 대한 창유리의 설계 적정성을 검토한다. 유리 종류, 공칭 두께 그리고 외형 치수의 설계 변수만으로 ASTM E 1300에서 제공하는 자료로부터 하중 저항력을 추정한다. 본 논문에서는 ASTM E 1300의 절차에 따라 창유리의 하중 저항력을 산정할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 개발에 사용된 도구는 MatLab이며 자료 입·출력의 편의성을 위해 GUI 기능을 활용하였다. 소스 코드로 구성된 M-file은 컴파일러를 이용하여 실행파일로 변환하였다.

프로그램의 입력자료는 설계 하중, 창유리의 외형 치수 그리고 단면두께로 구성되며 입력이 완료되면 하중 저항력을 자동 계산한 후 주어진 설계 하중과 비교하여 설계 적정성을 검토한다. 산출된 하중 저항력이 설계하중보다 크면 적합(accept)으로 작으면 부적합(failure)으로 판정한다. 개발한 프로그램의 실행 예를 Fig. 1에 보였다.

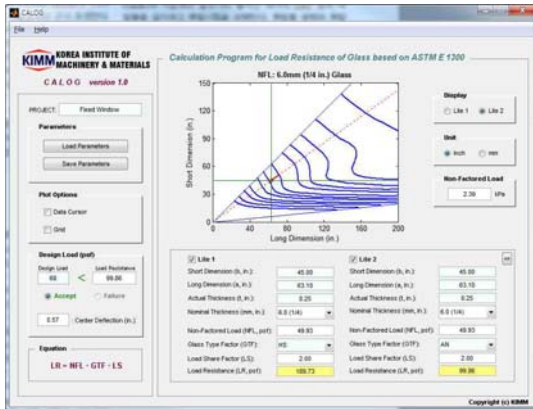


Fig. 1 CALOG 프로그램의 실행 예

2.3 창틀의 강도해석 프로그램 개발

폭발로 인해 창유리에 가해진 면외 하중이 손실없이 창틀 구조로 100% 전달된다고 가정한다. 창틀의 가장 긴 변을 택하여 전달된 하중을 사다리꼴 하중으로 분포시킨 후 단순보 이론을 적용하여 강도해석을 수행한다. 이 때, 보의 양 끝단은 단순지지 조건으로 가정한다. 강도해석의 결과로써 최대 변위와 최대 굽힘모멘트가 산출되며 각각에 대한 길이 방향의 분포도 함께 출력된다. 최대 허용치짐은 UFC 규정을 적용하였고 재질의 항복응력을 허용응력으로 설정하였다.

계산에 필요한 입력자료로써 설계 하중, 창틀의 길이 그리고 단면특성치가 요구되고 모든 계산은 Microsoft Excel을 활용하였다. 개발한 프로그램은 4개의 sheet로 구성되는

데 각각 Cover sheet, Input sheet, Frame_Strength sheet 그리고 Figure sheet로 분류된다. Input sheet는 단면특성치를 포함한 주요 설계 변수를 입력하는 페이지이고 Frame_Strength sheet는 계산결과의 최대 값을 보여주고 Figure sheet는 모든 결과의 길이방향 분포를 도표로 제공한다. 개발한 프로그램의 실행 예를 Fig. 2에 보였다.

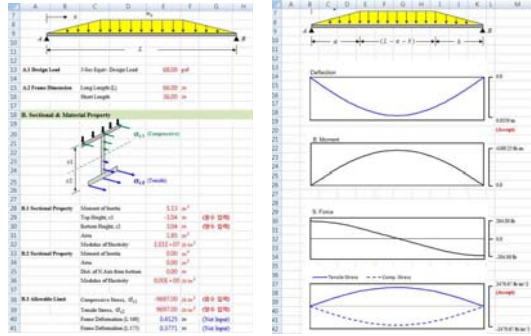


Fig. 2 CALFrast 프로그램의 실행 예

2.4 개발 프로그램의 검증을 위한 예제 계산

대표적인 고정식 창호시스템 시험품에 대해 예제 계산을 수행하였다. 개발 프로그램의 정확도 검증을 위해 미국의 설계엔지니어링 컨설팅회사의 용역보고서를 참고하였는데 비교 결과 매우 잘 일치함을 확인할 수 있었다.

3. 결 론

창호시스템의 방폭성능 인증을 획득하기 위해 소요되는 시험비용은 매우 크고 이러한 비용의 지출을 최소화하기 위해서는 설계단계에서의 성능해석을 통한 설계 검증이 필수적이다. 기본설계 단계에서 창호시스템의 신속한 설계검토를 위해 필요한 성능해석 프로그램을 개발하고 대표적인 시험품을 대상으로 예제 계산을 수행한 후 계산결과의 정확도를 검증하였다. 그 결과 미국의 전문 컨설팅회사의 용역결과와 잘 일치함을 확인할 수 있었으며 개발된 프로그램은 향후 국내에서 개발하는 방폭창호 시스템의 설계검증에 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

후 기

본 연구는 산업기술연구회의 지원으로 수행된 한국기계연구원의 주요사업인 “함정 통합 생존성 설계해석 기술개발”의 결과이며 관련 지원에 감사드립니다.