

해석 모델 기반의 실내 충격소음 응답특성에 관한 연구

송기혁 · 정성학[†]

국방과학연구소

(2014. 7. 12. 접수 / 2014. 8. 29. 수정 / 2014. 9. 12. 채택)

A Study of Response Characteristics for the Interior Impulse Noise based on Interpreted Models

Kee-Hyeok Song · Sung-Hak Chung[†]

Agency for Defense Development

(Received July 12, 2014 / Revised August 29, 2014 / Accepted September 12, 2014)

Abstract : This study is compare to model-based analysis and experimental data of the response characteristic of interior impulse noise. Interior impulse noise and the pressure response characteristics of the building structure on its analysis are presented the impulse pressure acting on the rear wall 90 N-sec. The force acting on the wall CFD⁺⁺ which are compared measurement and simulation analysis. Results of simulation and measurement data were shown. In this study, a high dimension of the degree of virtual space in the numerical space of the lesser degree in order to calculate folding method was applied. The results of this study contribute safety evaluation and model development for the interior impulse noise that affects the basic data for the interior impulse noise model validate for the physical quantity prediction.

Key Words : interior spice, impulse noise, construction safety, CFD, safety evaluation

1. 서론

운용자의 안전을 위하여 체계 설계시에는 실제 상황과 같이 다양한 운용 조건을 고려하여 안전성 평가가 이루어져야 한다. 실내 충격소음 측정결과들을 기반으로 공간의 크기와 구조, 벽면의 재질, 출입문 및 창문의 크기와 위치, 방향각 및 고각의 영향성 등 각각의 변수 조합에 해당하는 시험을 모두 진행하기 위해서는 상당한 비용과 시간이 소요되며, 모든 운용조건을 재현할 수 없는 한계점이 있다¹⁻⁵⁾. 이에 해석 모델을 이용할 경우, 상기에서 언급한 어려움들을 해소할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 이러한 한계점과 장점을 상호절충하여 충격소음원의 특성을 반영(충격파 및 후폭풍 특성으로 인한 비선형성을 고려한 고차, 고해상도의 수치 해석기법) 하였다⁶⁻⁸⁾. 또한, 정확성이 높아지는 만큼 연산시간 및 비용 효과성을 고려하였으며, 실제 상황에 적용할 수 있는 유연한 사용성을 고려하였다⁹⁻¹⁵⁾. 본 연구가 음향학적인 관점에서 실외 공간

과 뚜렷하게 비교되는 실내 공간만의 특성은 음파의 발산현상(divergence)에서 확인할 수 있다¹⁶⁻¹⁹⁾. 실외 공간의 경우, 지면을 제외하고는 외부 경계가 없기 때문에 음원에서 발생한 음파가 자유 공간으로 빠져 나가게 된다. 그러나 실내 공간의 경우 다수의 벽면으로 인해 닫힌 공간이 만들어지기 때문에 음향 에너지가 외부로 빠져 나가지 못하고 공간 내부에 잔류하게 된다. 따라서 운용자는 경계면에서 반사되어 돌아오는 강한 충격파에 수차례 반복적으로 노출된다. 더불어, 노출 시간은 반사횟수 만큼 상대적으로 길어지게 된다¹⁶⁻¹⁸⁾. 따라서, 본 연구에서는 실내공간에서 충격소음에 대한 응답특성을 비교·분석하였다. 해석 모델 기반의 실내 충격소음의 응답특성 문헌고찰과 실험을 통하여 실내 공간에서 구조물의 응답특성을 분석하였다. 또한 연구 문헌 고찰을 토대로 구조물 안전성을 분석하였다. 본 연구에서는 측정방법 및 절차, 결과분석 과정을 토대로 구조물 안전성을 검토함으로써 충격소음에 대한 응답특성을 비교·분석하였다.

[†] Corresponding Author : SungHak Chung, Tel : +82-42-821-0562, E-mail : shc@add.re.kr
Agency for Defense Development, 35 YuSeongPostOffice, YuSeong, DeaJeon 350-305, Korea

2. 문헌연구

유도탄 실내 충격소음에 의한 후폭풍 발생과 충격소음 전파는 구조물에 여러 가지 영향을 미치게 된다. 간단하게는 유리창 파손을 한 예로 생각할 수 있지만 구조물의 크기 및 개폐 문의 위치에 따른 구조물 손실, 구조물에 재질에 따른 화재 문제 등 경우에 따라 안전한 실내 구조물 정의 및 평가를 위하여 고려해야 할 요소가 매우 많을 것으로 판단된다.

문헌조사에서도 유도탄 실내 충격소음에 일치하는 규정을 찾는 것은 어려우며, 도심 테러 발생에 따른 건물 안정성에 관련된 자료로는 DoD(Department of Defence)의 “The DoD unified facilities criteria, DoD minimum antiterrorism standards for buildings UFC 4-010-01, 31 JULY 2002”와 GSA(General Services Administration)의 “GSA PBS-P100, Facilities Standards for the Public Buildings Service, November 2000, Section 8.6.”를 예로 들 수 있다^{12-15,19)}.

Table 1은 실내 충격소음 및 압력이 건물 구조물과 운영자에게 미치는 영향을 정리한 것이다. 미광무국에서 정리한 이 자료는 소음 및 압력의 영향을 분석 정리하여 제공한 결과이다⁶⁻¹²⁾.

Table 2는 구조물 안전성을 5단계로 분류하고 이에 따른 구조물 구조손상, 유리창 및 문 그리고 상해정도를 분류한 예를 보여주고 있다¹⁷⁾.

또한, Table 3에서는 충격소음의 크기에 대한 구조물 손상 정도를 보여주고 있으며, 본 연구에서 실내 충격소음에 따라 그 강도가 0.1~0.7 psi 범위에 있기 때문에 그림에서 보여주는 것처럼 유리창 파손이나 취약한 건물에 손상을 줄 가능성이 있음을 알 수 있다²⁰⁻²²⁾. 그

Table 1. Definition of the construction damage as pressure levels

DB	Over-pressure(psi)	Structures and human response
180	3	Structures damage
170	0.95	Most or typical window glass breakage
150	0.095	Partial window glass breakage
140	0.030	Damage limit
130	9.5×10^{-3}	USBM allowable limit
120	3×10^{-3}	USBM safety guideline
110	9.5×10^{-4}	Pain limit (Start point of painful feeling)
100	3×10^{-4}	Discomfort limit (Loud dish and window)
80	3×10^{-5}	Typical steady status
60	3×10^{-6}	Conversational speech
20	3×10^{-8}	Quite audible
0	3×10^{-9}	Threshold of normal hearing

Table 2. Definition of the construction damage as protection level

Level of protection	Potential structural damage	Potential door and glazing hazards	Potential injury
Below AT standards	- Severely damaged-frame collapse/massive destruction. Little left standing.	- Doors and windows fail and result in lethal hazards	- Majority of personnel suffer fatalities.
Very Low	- Heavily damaged - onset of structural collapse. Major deformation of primary and secondary structural members, but progressive collapse is unlikely. Collapse of non-structural elements.	- Glazing will break and is likely to be propelled into the building, resulting in serious glazing fragment injuries, but fragments will be reduced. Doors may be propelled into rooms, presenting serious hazards.	- Majority of personnel suffer serious injuries. There are likely to be a limited number (10 percent to 25 percent) of fatalities
Low	- Damaged-unrepairable. Major deformation of non-structural elements and secondary structural members and minor deformation of primary structural members, but progressive collapse is unlikely.	- Glazing will break, but fall within 1 meter of the wall or otherwise not present a significant fragment hazard. Doors may fail, but they will rebound out of their frames, presenting minimal hazards.	- Majority of personnel suffer significant injuries. There may be a few (<10 percent) fatalities.
Medium	- Damage repair, and minimum deformations of non-structural elements and secondary structure members and no permanent deformation in primary structure members.	- Glazing will break, but will remain in the windows frame. Doors will stay in frames, but will not be reusable.	- Some minor injuries, but fatalities are unlikely.
High	- Superficially damaged. No permanent deformation of primary and secondary structural members or non-structural elements.	- Glazing will not break. Doors will be reusable.	- Only superficial injuries are likely.

러나 후폭풍의 직접적인 충돌에 의한 영향은 충격소음보다 큰 충격을 줄 것으로 판단된다. 위에서 언급한 구조물 안전성에 대한 사례들은 본 연구 사례와 직접적인 적용에 어려움이 있기 때문에 실내 충격소음 환경에 맞는 구조물의 형태, 재질 등에 대한 정의를 명확하게 한 후, 이에 대한 구조물 안전성에 대한 연구가 수행되어야 실용적인 구조물 안전성 평가가 이루어질 수 있을 것으로 판단된다^{8-13,15)}.

Table 3. Construction damage by the impulse noise pressure

Over-pressure(psi)	Construction and human damage
0.15 - 0.22	Typical window glass breakage
0.5 - 1.1	Minor damage to some buildings
1.1 - 1.8	Panels of sheet metal buckled
1.8 - 2.9	Failure of concrete block walls
Over 5.0	Collapse of wood framed buildings
4 - 7	Serious damage to steels framed buildings
6 - 9	Severe damage to reinforced concrete structures
10 - 12	Probable total destruction of most buildings

3. 구조물 안전성 분석

구조해석 관점에서 구조물 안전성 해석을 위해서는 실험결과 및 유동해석 해석결과를 적용하기 전 단계에서 복잡한 충격소음 형태를 단순화하여 사용하는 것이 가능하다. Fig. 3은 유동해석 결과의 충격소음을 단순한 함수형태로 정의하여 분석하였다. 구조물 해석을 위하여 복잡한 실제 충격소음을 적용하는 것보다 몇 개의 파라미터로 구성된 단순 함수형태의 충격소음을 사용하는 것은 여러 가지 장점을 갖고 있다. 따라서 본 연구에서는 간략화한 충격소음 모델을 수식 (1)과 같이 적용하였다²³⁻²⁶⁾.

$$p(t) = p_s \left[1 - \frac{t}{T_s} \right] e^{-bt/T_s} \quad (1)$$

Fig 2는 단순한 평판에 충격소음이 입사할 경우 평판에 대한 동적거동을 해석할 수 있는 단순 형태의 문제를 보여주고 있다. 이러한 방법은 유리창 등 충격소음에 취약한 구조물들에 대한 구조 안전성을 독립적으로 규정할 수 있는 방법이라고 볼 수 있다. 이때 평판 구조물의 지배방정식과 파형방정식을 동시에 풀어야 하는데, 이것은 수식(2), (3)으로 표현될 수 있다. 여기서 w 는 얇은 평판의 변위를 나타내며, m 은 단위 면적당 질량, 그리고 D 는 평판의 굽힘강성(flexural rigidity)을 나타낸다.

$$\nabla^4 w(r,t) + \frac{m}{D} \frac{\partial^2 w(r,t)}{\partial t^2} = \frac{p(r,t)}{D} \quad (2)$$

$$\nabla^2 p - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = 0 \quad (3)$$

재질 차이에 따른 충격소음에 대한 얇은 평판의 응답특성을 분석하는 것은 매우 중요하다. 이러한 구조

물 안전성 해석은 구조물 단위 부품들에 대한 안전성 평가를 위한 매우 유용한 접근 방법이며, 후폭풍 충돌에 의한 벽면에 적용하는 것도 가능 할 것으로 판단된다. 실내 충격소음의 응답특성을 평가하기 위해서 실내 시험장을 구축하였다. 크기는 25에서 50 m³의 3차원 공간에서 충격소음을 측정할 수 있도록 하였으며, 뒷벽을 앞뒤로 이동시키는 방법으로 체적크기를 조절할 수 있도록 설계하였다. 소음원으로부터 0.5 m 떨어진 곳에 마이크로폰을 위치시키고, 벽 재질은 콘크리트로 하였다. 발사창과 옆문, 카메라 촬영을 위하여 설치창을 제작하였으며, 모두 열린 상태로 실험할 수 있도록 하였다. 이와 같이 실내 시험장을 구축한 이유는 실내체적 및 내부재질에 대해서 데이터를 가능한 최대로 확보하기 위함이며, 체적변화와 벽 재질의 변화가 용이(콘크리트벽면, 목재(합판), 모래(모래사대))하도록 설계하였으며, 음압특성을 분석하기 위함이다. 실내에서 문을 개폐하는 시험조건에 따라 음압특성이 달라질 수 있어 시험장 후방부에 개폐가 가능한 콘크리트 도어를 제작 설치하였으며, 시험장 내부는 정면의 발사창, 고속카메라 관측용 투시창, 출입문(시험조건에 따라 개/폐)을 제외하고 전체 밀폐가 되어야 하므로 이를 위해 벽 이음새 위에 고무막으로 밀폐하였다. 다음의 Fig. 1은 평면의 구조도이며, 소음원과 음압센서의 위치를 도시하였다.

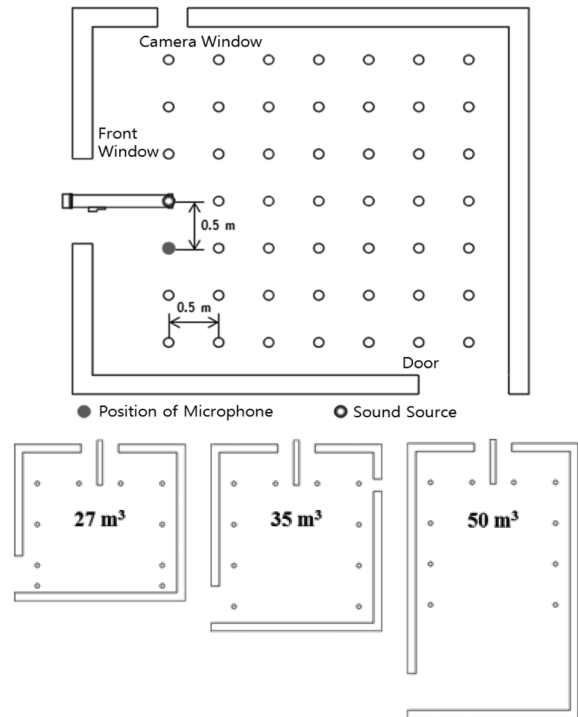


Fig. 1. Test site's top structure view.

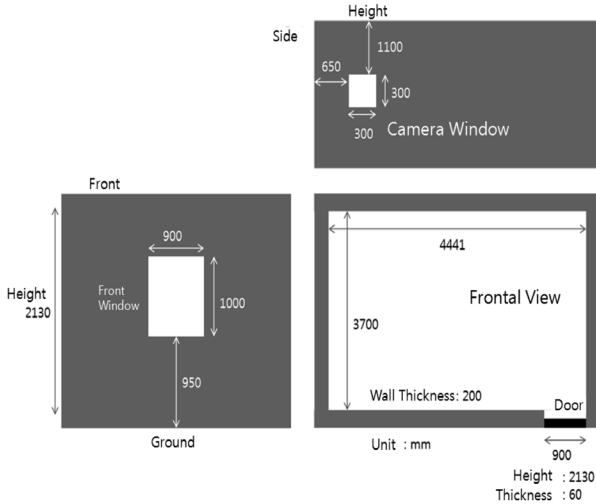


Fig. 2. Test site's frontal specification view.

다음의 Fig. 2는 평면도를 도시한 것으로 창과 문을 비롯하여 높이와 두께를 도식한 것이다.

음압의 크기와 시간을 고려한 물리량으로 음압의 효과는 음압이 최고압에서 대기압까지 감소할 때까지의 임펄스(Impulse)로 $\text{kgf} \cdot \text{ms}/\text{cm}^2$ 이다. 최고압 Δp 와 임펄스 I의 관계는 다음 수식 (4)로 정리할 수 있다.

$$I = \int_0^{\infty} \Delta P(t) dt \quad (4)$$

Kingery and Pannill은 폭압(최고압 ΔP (kgf/cm^2))을 스케일화된 거리(λ ($\text{m}/\text{kg}^{1/3}$))로 산출한 바 있으며, 흡킨슨 법칙을 응용하여 산출한 안전거리는 수식 (5)와 같다²⁷⁻³⁰.

$$R_L = \lambda \sqrt[3]{Q} \quad (5)$$

R_L : 안전거리(ft), λ : 스케일화된 거리 $ft/\sqrt[3]{Q}$, Q: 폭압 (lb)

임펄스와 안전거리의 관계식은 다음의 수식(6)과 같이 제안된 바 있다³¹⁻³².

$$R_L = \frac{0.39670 K Q^{1/3}}{\left[1 + \frac{1.0082 \times 10^7}{Q^2}\right]^{1/3}} \quad (6)$$

K: 구조물 안전계수, R_L : K값에 따른 거리(m), Q: 폭압 (kg)

다음의 Fig. 3은 벽면에 작용하는 힘을 해석하기 위한 소음 측정위치를 정의한 것이다.

Table 4. Construction safety by K-value

Construction for safety factor K	Contents
9.5	Most of the structures are completely destroyed
14	Bricks are damaged from 50 percent to 70 percent. Walls need to torn down for safety. It had potential risks on walls conditions
24	Not residential. Foundation of house structures destroyed partially or completely. Partial destructions of the outer wall surface on the one or both second sides. Under load walls taken for the big damaged one, it is necessary to change
70	To give a certain amount of damaged to the wall structure. Cracked wall and wood are twisted from a fixed part
140	Possible to repair the residential building, a few broken tiles on the ceiling or the windows are broken more than 10 percent

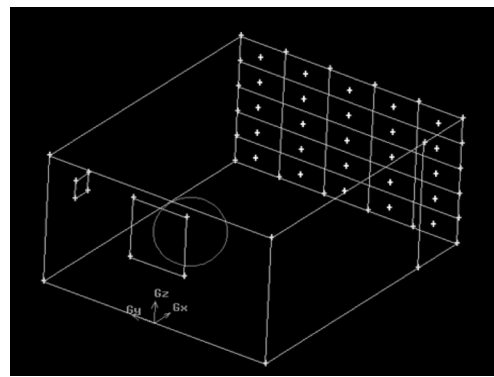


Fig. 3. Sensor position of the interpreting force acting on the wall surfaces.

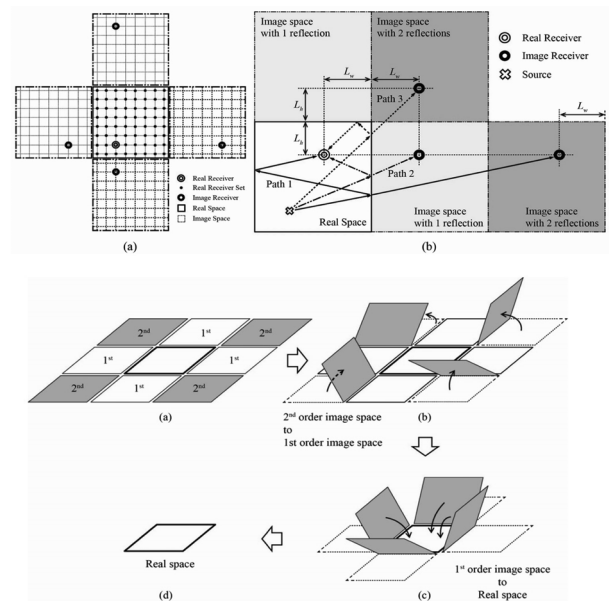


Fig. 4. Concept of the interpreted models utilized for response characteristics.

Fig. 4의 반사파와 직접파 중첩은 Kong et al.의 해석 모델을 반영하여 가상공간에 고차의 공간을 그보다 낮

Table 5. Construction safety by impulse noise pressures

Peak overpressure $\Delta p(\text{kgf/cm}^2)$	Contents
0.002	Twisted sense of large windows are cracked
0.003	Impulse noise for Jet crafts (150hne)
0.007	Twisted sense of small windows are cracked
0.01	Windows are cracked
0.02	Scattering debris and explosive products scattered by the explosive wave are threshold
0.03	Minor damage to homes
0.05	Falling sash, the crash is breaking down the load times
0.06	Roof damaged
0.08	There fractures of standing trees are damaged. Not residential for the living life, if you do not repair
0.1	Slate walls are destroyed. The roof float off the moving.
0.15	Roof Destroyed. Trees on standing are 30% fall down. Ear drum are ruptured.
0.2	Collapsed 90% of the standing trees, steel structures are bent
0.3	Oil tanks are ruptured. The pontoons are fall down. Wooden columns are fractured
0.5	Wagons and cars overturned by the freight. Houses are destroyed completely. Human's lung are damaged
0.7	Completely destruction brick walls
1.0	Oil tanks are crushed

은 차수의 공간으로 순서대로 접어가는 접음방식 (Folding Method)을 적용하였다⁶⁾. 해석 모델은 각각의 공간을 경계벽(면)에 대칭시켜 반사횟수를 해당 반사 횟수의 공간 차수로 정의하는 방법이다⁶⁻⁷⁾.

Table 5는 K값에 따른 최대 충격소음압과 임펄스의 상관관계를 표로 정리한 결과이다²⁰⁻²²⁾.

다음의 Fig. 5는 평판에 충격소음이 입사할 경우 평판에 대한 동적거동을 해석할 수 있는 모델이다. 이러한 방법은 유리창 등 충격소음에 취약한 구조물들에 대한 구조 안정성을 독립적으로 규정할 수 있는 방법 이라고 볼 수 있으며, 이때 평판 구조물의 지배방정식 과 파형방정식을 동시에 풀어야하는데 이는 수식(7), (8)로 표현될 수 있다. 여기서 w 는 얇은 평판의 변위를 나타내며, m 은 단위 면적당 질량 그리고 D 는 평판의 굽힘강성을 나타낸다.

$$\nabla^4 w(r,t) + \frac{m}{D} \frac{\partial^2 w(r,t)}{\partial t^2} = \frac{p(r,t)}{D} \quad (7)$$

$$\nabla^2 p - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = 0 \quad (8)$$

4. 구조물 안전성 분석결과

구조물 안전성 해석은 구조물 단위 부품들에 대한 안전성 평가를 위한 매우 유용한 접근 방법이며, 구조물

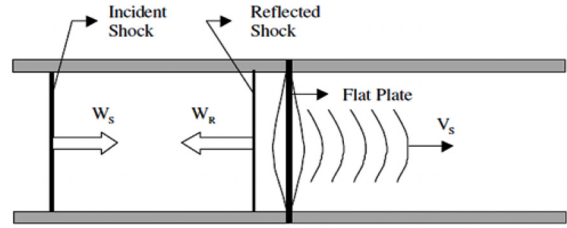


Fig. 5. Impulse noise for dynamic structural analysis model.

붕괴나 후폭풍 충돌에 의한 벽면에 작용하는 하중을 통하여 가능 할 것으로 판단된다^{5,8-13,26)}. Fig 6은 실내 충격소음 및 압력이 건물 구조물과 운영자에게 미치는 응답 특성을 분석한 결과이다. 실내 유동해석을 통해 뒷벽에 작용하는 유체 작용력을 도출한 결과는 후폭풍에 의한 최초 작용력이 가장 크게 나타났다. 또한, 작용시간은 0.0025 sec로 산출되었으며, 뒷벽에 작용하는 전체 임펄스는 $36,000 \text{ N} \times 0.0025 \text{ sec} = 90 \text{ N-sec}$ 로 나타났다.

본 연구에서는 후폭풍 유동의 벽면 충돌효과를 함께 고려하였다. Fig. 7은 거리에 따라 제트의 반경방향으로 제트 진행방향의 속도를 시간에 대하여 평균한 값

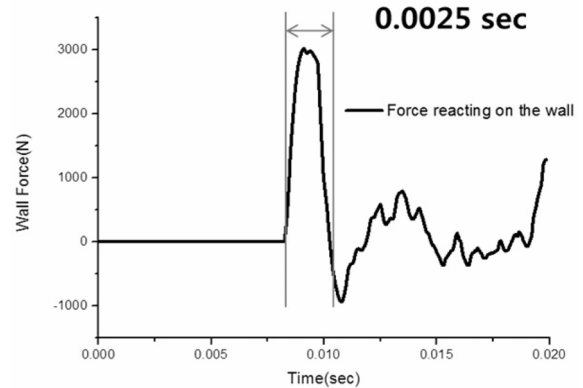


Fig. 6. Measurement data for the impulse noise of structure stability analysis.

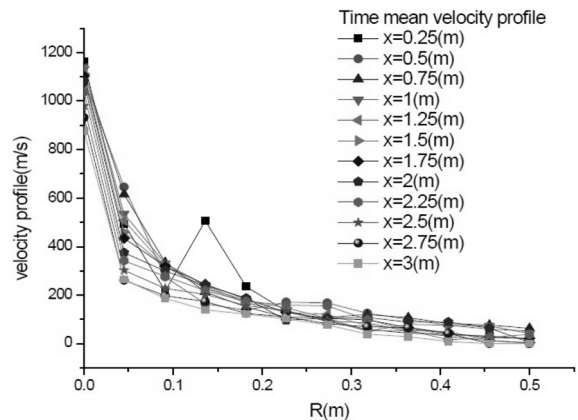


Fig. 7. Time mean velocity profiles from nozzle outlet to distances.

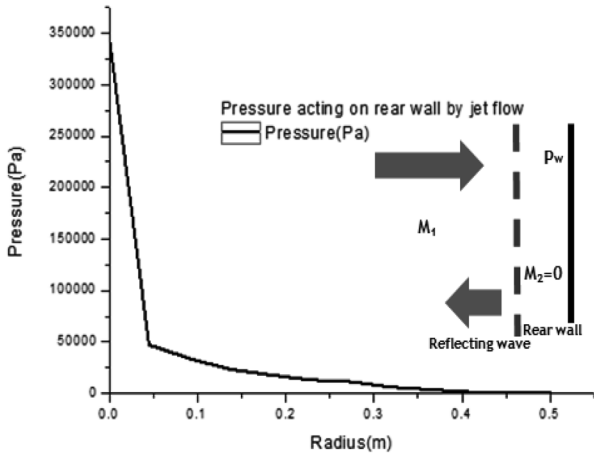


Fig. 8. Forces on the acting on the walls using the shock tube method.

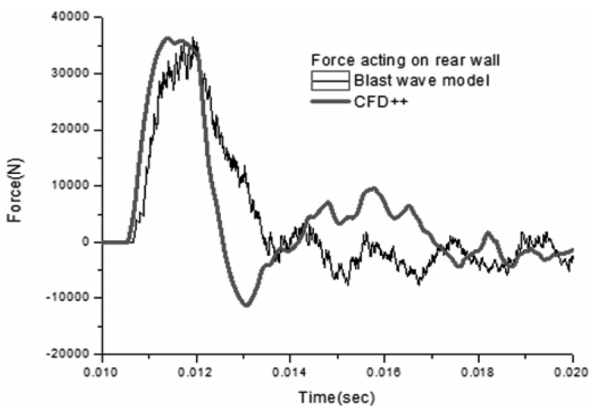


Fig. 9. CFD++ analysis and measurement data for the force acting on the wall surfaces.

이며, Fig. 8은 Fig. 7의 후폭풍 유동 속도분포 값을 이용하여 후폭풍 유동이 직접 뒷벽에 충돌하는 경우 발생하는 벽면 압력을 풍격파관 문제로 가정하여 분석한 결과이다. Fig. 8에서의 압력은 벽면에 부가되는 압력 이므로 이 값을 적분할 경우 6,300 N의 힘이 벽면에 작용한다. 따라서 Fig. 6에서의 CFD++ 분석결과 36,000 N에 비교하여 매우 작은 값을 알 수 있다. 이러한 원인은 후폭풍 유동을 형성하는 제트 단면적이 벽면 전체 면적과 비교하여 매우 작기 때문이며, 이를 통해 뒷벽에 작용하는 힘은 후폭풍 유동보다 충격파에 더 큰 영향을 받고 있음을 예상할 수 있다.

Fig. 9는 벽면에 작용하는 힘을 CFD++로 시뮬레이션한 결과(Fig. 6)와 충격파 압력에 의해 발생하는 후방 벽면에 발생하는 힘을 함께 도시한 결과이며, 두 결과가 잘 일치 함을 볼 수 있다^{6,33)}. 이를 통해 후폭풍 유동이 직접 벽면에 작용하는 힘과 충격파에 의한 힘의 크기 비교로부터 실내 구조물의 경우 충격파에 의한 영

향이 직접적인 유동 충돌보다 우세함을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 모델 해석 기반의 실내 충격소음의 응답특성 결과를 비교·분석하였다. 분석결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 실내 충격소음 및 압력이 건물 구조물에게 미치는 응답특성을 분석한 결과, 뒷벽에 작용하는 전체 임펄스는 90 (N-sec) 로 나타났다.

2) 벽면에 작용하는 힘을 CFD++로 시뮬레이션한 결과와 충격파 데이터를 비교하였다. 이를 통해 뒷벽에 작용하는 힘은 후폭풍 유동보다 충격파에 더 큰 영향을 받고 있음을 알 수 있었다.

3) 이러한 특성은 구조물 안전성 해석시 구조물 단위 부품들에 대한 안전성 평가를 위해 매우 유용한 접근 방법이며, 후폭풍이 뒷면 벽을 충돌할 때 벽면에 적용하는 임펄스 응답특성으로 판단된다.

본 연구를 통하여 국내에서 이루어지지 못하고 있던 실내 충격소음의 응답특성 연구를 수행하였으며, 실내 충격소음 시험장 구축하였다. 본 연구를 통하여 구축된 시험장은 해석 모델 기반의 실내 충격소음 응답 특성치를 토대로 구조물 안전성을 분석에 주요한 기초자료로 활용될 것으로 사료된다. 향후, 실내 충격소음 측정결과들과 시뮬레이션을 기반으로 다양한 공간의 크기와 구조, 벽면의 재질, 출입문 및 창문의 크기와 위치, 방향각 및 고각의 영향성 등을 분석할 예정이다.

References

- 1) TM 5-1300, "The Design of Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions", In Technical Manual Army TM 5-1300/Navy NAVFAC P-397/Air Force AFR 88-22, Department of the Army, Navy, and Air Force, Washington DC, 1990.
- 2) M. Y. H. Bangash and T. Bangash, "Explosion-Resistant Buildings-Design, Analysis and Case Studies", Springer, Berlin, 2006.
- 3) ANSI, "Safety Performance Specifications and Methods of Test for Safety Glazing Material Used in Buildings", American National Standards Institute, ANSI Z97.1-1975, New York, NY, 1975.
- 4) A. E. Hirsch, "Man's Response to Shock Motions", David Taylor Model Basin Report 1797, Washington, D.C. AD 4 36809, 1964.
- 5) G. R. Abrahamson and H. E. Lindberg, "Peak

- Load-Impulse Characterization of Critical Pulse Loads in Structural Dynamics*”, Nuclear Engineering and Design, No. 37, pp.35-46, 1979.
- 6) B. H. Kong, S. S. Jeong, E. K. Son, S. B. Lee, K. H. Song, “*Interior Analysis of Impulse Noise from Weapons in a Perspective on Damage Risk Using the Alternative Image Theory*”, 19th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, 10.2515/6, pp. 2013-2031, 2013.
 - 7) B. H. Kong, K. H. Lee, S. B. Lee, S. S. Jeong and K. H. Song, “*Interior Assessment of Damage Risk from Impulse Sound using Alternative Image Theory*”, AIAA Journal, Processing on AIAA, 2014.
 - 8) National Research Council, “*Protecting Buildings from Bomb Damage*”, National Academy Press, 1995.
 - 9) G. S. Mays and P. D. Smith, “*Blast Effects on Buildings: Design of Buildings to Optimize Resistance to Blast Loading. Thomas Telford Publications*”, Heron Quay, London E14 4JD, 1995.
 - 10) The Institute of Structural Engineers, “*The Structural Engineer’s Response to Explosive Damage*”, SETO, Ltd., 11 Upper Belgrave Street, London SW1X8BH, 1995.
 - 11) U.S. General Services Administration, “*GSA Security Reference Manual*”, Part 3 Blast Design and Assessment Guidelines, 2001.
 - 12) U.S. Department of Energy, “*A Manual for the Prediction of Blast and Fragment Loading on Structures*”, DOE/TIC 11268. Washington, DC, Headquarters, U.S. Department of Energy. 1992.
 - 13) U.S. Department of the Army, “*Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions, Army TM 5-1300, Navy NAVFAC P-397, AFR 88-2*”, Washington, DC, Departments of the Army, Navy, and Air Force, 1990.
 - 14) Air Force Engineering and Services Center, “*Protective Construction Design Manual, ESL-TR-87-57*”, Prepared for Engineering and Services Laboratory, Tyndall Air Force Base, FL. 1989.
 - 15) U.S. Department of the Army. Security Engineering, “*TM 5-853 and Air Force AFMAN 32-1071*”, Volumes 1, 2, 3, and 4. Washington, DC, Departments of the Army and Air Force. 1994.
 - 16) J. H. Patterson, “*Proposed New Procedure for Estimating Allowable Number of Rounds for Blast Overpressure Hazard Assessment*”, U.S. Army Aeromedical Research Laboratory (USAARL), Report No.98-03, 1997.
 - 17) Department of Defense, “*The DoD Unified Facilities Criteria, DoD Minimum Antiterrorism Standard For Buildings*”, UFC 4-010-01, 2002.
 - 18) W. J. Murphy and C. A. Kardous, “*A Case for using A-weighted Equivalent Energy as a Damage Risk Criterion*”, National Institute for Occupational Safety and Health, EPHB Report No.350-11a, 2012.
 - 19) General Services Administration, “*GSA PBS-P100, Facilities Standards for the Public Buildings Services*”, Section 8.6, 2000.
 - 20) S. D. Montgomery and D. Ward, “*Facility Damage and Personnel Injury from Explosive Blast*”, U. S. DoD, 1993.
 - 21) G. F. Kinney and K. J. Graham, “*Explosive Shocks in Air*”, Berlin and N.Y., Springer-verlag, pp.25-38, 1985.
 - 22) S. Glasston and P. J. Dolan, “*The Effects of Nuclear Weapons*”, U. S. DoD and DoE, pp.653, 1977.
 - 23) Department of Defense, “*DoD Ammunition and Explosives Safety Standards,*” DOD 6055.9-STD, 2002.
 - 24) J. Healey, “*Design of Steel Structures to Resist the Effects of HE Explosions*”, Picatinny Arsenal, pp.321-418, 1975.
 - 25) National Guard Bureau, “*Army National Guard Facilities Construction*”, Department of the Army and the Air Force, NGR 415-10, 2003.
 - 26) Naval Facilities Engineering Command, “*Blast Resistant Structures Design Manual Version 2.08*”, U. S. Navy Commander Naval Facilities Engineering Command, 1986.
 - 27) C. Kingery and B. Pannill, “*Peak over-pressure vs. scaled distance for TNT surface burst (Hemispherical Charges)*”, BRL Memorandum Report 1518, Ballistic Research Lab., Aberdeen, Md., 1964.
 - 28) US UFC 3-340-2, “*Structures to resist the Effects of Accidental Explosions*”, UFC 3-340-02, ARMY TM 5-1300, Navy NAVFAC P-397 and Air Force AFR 88-22, 2008.
 - 29) E. D. Esparza, W. E. Baker and G. A. Oldham, “*Blast Pressures Inside and Outside Suppressive Structures*”, Edgewood Arsenal Contractor Report EM-CR-76042, Report No. 8, Edgewood Arsenal, Aberdeen Proving Ground, MD, December 1975.
 - 30) Q. M. Li and H. Meng, “*Pulse Loading Shape Effects on Pressure-impulse Diagram of an Elastic-plastic, Single-degree-of-freedom Structural Model*”, International Journal of Mechanical Sciences, 44, pp.1985-1998, 2002.
 - 31) D. E. Jarrett, “*Derivation of the British Explosives Safety Distances*”, Annals of the New York Academy of Sciences, Vol.152, Issue1, pp.18 - 35, 1968.
 - 32) J. J. Healey, “*Design of Steel Structures to Resist the Effects of HE Explosions*”, Technical Report 4837, Picatinny Arsenal, Dover, NJ, 1975.
 - 33) Tecplot Inc., “*Tecplot CFD Analyzer User’s Manual Version 4.0*”, Tecplot Inc., Bellevue, Washington, 2004.