https://doi.org/10.7735/ksmte.2021.30.1.46

J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng.
ISSN 2508-5107(Online)

유한요소해석을 이용한 충격하중을 받는 구조물의 충격계수 산출 방법 연구

고만수[a], 권순기[b*]

Finite Element Analysis Method for Calculating the Impact Factor of Structures Under Impact Load

Man Soo Go[a], Soon Ki Kwon[b*]

[a] The Research Institute of Industrial Engineering & Technology, Hoseo University
[b] Department of Mechanical Engineering, Hoseo University

ARTICLE INFO

Article history:
Received 28 October 2020
Revised 12 January 2021
Accepted 2 February 2021

Keywords:
Finite element analysis
Rated load
Transient response
Impact load
Impact factor
Dynamic load

ABSTRACT

Finite element analysis (FEA) has been used for product optimization involving stability assessment of structures in the design phase before prototype production and deduction of lightening measures to reduce production costs. However, conducting FEA in advance is insufficient to thoroughly examine general structures under various loads. Particularly, construction devices related to human safety undergo a variety of impact loads, which must be considered in the design phase. In most developed countries, impact factors appropriate for different types of structures are derived through long-term experiments, whereas impact factors in Korea are adopted based on results derived in other countries to reduce time and cost. Herein, a method is proposed to calculate the impact factor using an FEA model that has been verified using a simple test. The calculated impact factor can be applied as the static load rather than as a transient response, thus enabling impact stress to be calculated quickly.

1. 서 론

시제품 생산 전 설계 단계에서 구조물의 안전성을 평가하고, 원가 절감을 위한 경량화 방안 도출 등 제품의 최적화를 위해 유한요소해석을 이용한 연구가 다양한 분야에서 활발히 진행되고 있다[1,2]. 작업 중 발생하는 동적 하중에 대한 과도응답을 고려한 유한요소해석 연구는 일부 토목, 건설 분야에서 제한적으로 활용되고 있는 상황이다[3]. 복합체에 대한 유한요소해석이 가능할 만큼 수치해석 프로그램이 발전하였지만 과도응답 분석과 같이 전문지식을 요구하는 경우 설계자가 직접 사용자가 다루기 힘들기 때문이다[4]. 일반적으로 여러 동적거동에 노출되는 구조물을 설계 할 때는 이에 대한 응력 증가를 예측하기 위해서 충격계수를 정하중에 곱하여 마치 이 크기의 충격하중이 적용되고 있다고 간주하여 설계에 적용한다[5]. 일본, 유럽 등 선진국에서는 오랜 기간 시험을 통하여 여러 구조물에 적합한 동적 거동을 분석하여 충격계수를 확보해 놓았으나 우리나라에서는 시간, 경제적인 이유로 선진국에서 규정해 놓은 충격계수를 그대로 사용하고 있는 실정이다. 이는 설계 시 과설계(over design)을 야기하여 비효율적인 무게 증가, 생산 단가 증가 등의 문제가 발생할 수 있다. 충격계수는 식 (1)과 같이 정하중상태의 변위($u^S_{\max}$) 또는 응력($\sigma^S_{\max}$)과 충격하중 상태의 변위($u^I_{\max}$) 또는 응력($\sigma^I_{\max}$) 비율로 표현 할 수 있다.

* Corresponding author. Tel.: +82-41-540-9574
E-mail address: skkwon@hoseo.ac.kr (Soon Ki Kwon).

$$Impact\ Factor = \frac{u^{I}_{\max}(\sigma^{I}_{\max})}{u^{S}_{\max}(\sigma^{S}_{\max})} \quad (1)$$

우리나라에서도 일부 토목, 건설 분야에서는 철도와 교량 등의 피로파손의 원인이 될 수 있는 충격하중의 영향을 확인하고 충격계수를 계산하기 위한 연구를 꾸준히 진행하고 있다. 차량과 지하철 이동으로 인한 교량과 지하철 궤도에 발생하는 여러 가지 진동에 의한 충격의 영향을 실제 시험을 통해 확인해보고 충격계수를 계산하는 연구가 진행되고 있으며,[6,7] 실제 시험으로만 계산이 가능했던 충격계수 도출을 위해 충격하중을 유발하는 매개변수를 이용하여 피로에 영향을 줄 수 있는 충격계수를 제안하고 이를 실측 충격계수와 비교하는 연구도 진행 하였다[8]. 하지만 구조물이 작업 중 발생하는 동하중은 매우 다양하며, 특히 짧은 시간에 작용하는 충격하중의 경우 작업 상태, 작업 자세, 크기 등에 따라 다양하게 발생하기 때문에 이를 예측하기란 매우 어려워 여러 분야에서 활용이 힘든 상황이다. 만약 동적 외력을 받는 구조물을 동적인 충격계수를 고려하지 않고 안전계수만 고려하여 설계한다면, 구조물의에 대한 안전을 보장할 수 없으며 피로수명에도 영향을 미치기 때문에 충격계수는 동적인 외력을 받는 구조물 설계에 있어서 매우 중요한 지표이다.

본 연구에서는 충격계수를 유한요소 해석을 이용하여 구하는 방법을 제시하고자 한다. 선진국에서 규정하고 있는 충격계수는 오랜 기간 시험과 경험을 통해 나온 값으로 내가 개발하는 구조물에 맞는 충격계수를 빠른 시간에 구하는 방법은 불가능하다. 하지만 간단한 시험을 통한 Correlation 된 유한요소 모델을 사용한다면 설계하고자 하는 구조물에 알맞은 충격계수를 시제품 제작 전에 유한요소해석으로 빠른 시간 내에 구할 수 있다. 또한, 초기 충격하중에 대한 동적응답해석으로 계산된 충격계수는 설계 변경 또는 구조 개선 시, 시간이 오래 걸리는 충격하중에 대한 해석(동적응답해석)을 정하중 해석으로 대신 할 수 있는 장점이 있다.

유한요소해석을 이용하여 충격계수를 산출하는 방법을 간단한 Simple Beam에 적용해보고 이를 실제 구조물인 크레인 Boom에 적용해 보았다. 크레인은 실제 작업 중 여러 동적인 외력에 노출되어 사고의 위험이 크기 때문에 설계 시 이에 대한 영향을 고려하는 것이 매우 중요하다. 크레인에 작용하는 여러 가지 외력 중 인양물을 권상 및 권하 중 급정지 시 짧은 시간에 발생하는 충격하중을 고려하였다. 유한요소해석을 이용한 정하중 상태의 해석과 충격하중을 고려한 동적응답해석을 통해 크레인의 안전성을 판단하고 응력 결과의 차이를 이용하여 해석 대상물인 크레인에 대한 충격계수를 제시하고자 한다.

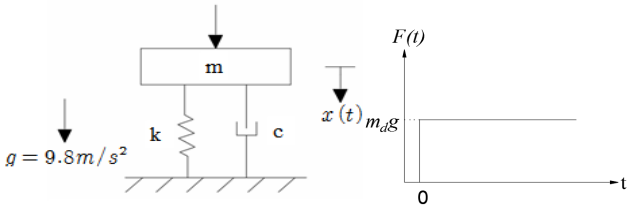


Fig. 1 Spring-mass-damper system for impact load

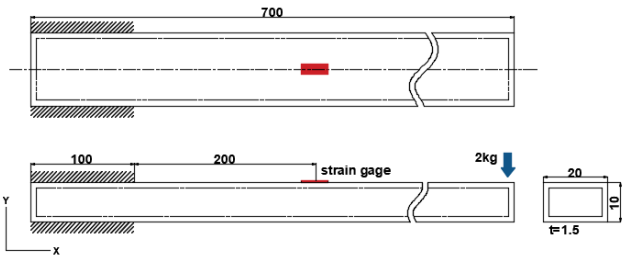


Fig. 2 Schematic diagram of simple beam

2. 동적 외력을 받는 구조물의 동적거동 이론 및 시험

동적거동에 대한 과도 응답을 검토하기 위해 Fig. 1과 같이 간단한 스프링(k)-질량(m)-감쇠기(c) 시스템에 m_d라는 물체를 갑자기 떨어뜨린다고 가정하면 운동방정식은 식 (2)와 같다.

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = \begin{cases} m_d g & t > 0 \\ 0 & t \le 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$x(t) = \frac{m_d g}{k}[1 - \frac{1}{\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta\omega_n t}\cos(\omega_d t - \theta)] \quad (3)$$

이 시스템의 응답 $x(t)$는 식 (2)와 같이 표현할 수 있으며, 이 응답의 비감쇠 값(c=0)을 고려하면 최대 진폭은 정적 변위($x(t) = m_d g/k$)의 2배의 변위가 발생할 수 있음을 알 수 있다. 만약 이 구조물을 정하중만 고려하여 설계 하였다면 m_d라는 중량의 물체를 갑자기 떨어뜨렸을 때 스프링은 파손되거나 영구 변형 될 것이다[9].

위에서 언급한 동적거동을 확인하고 충격계수 산출에 유한요소해석을 이용하기 위한 방법으로 간단한 모델에 적용해 보았다. Fig. 2와 같은 형상과 경계조건을 갖는 Simple Beam에 정하중과 동하중을 적용하여 유한요소해석 결과로 얻은 충격계수 결과와 동일한 상태의 Strain Gage 시험 결과를 통해 얻은 충격계수를 서로 비교해 보려고 한다.

Fig. 3은 Fig. 2와 동일하게 구성된 Strain gage 시험을 위한 환경이다. 2 kg의 무게 추를 이용하여 Beam 끝단에 하중을 적용하였으며, 일정 높이에서 무게 추를 낙하시키는 방법을 적용하여 Fig. 1과 같은 계단함수 형태로 발생하도록 하였다.

Strain gage 시험은 시험 시 발생할 수 있는 오차를 줄이기 위해

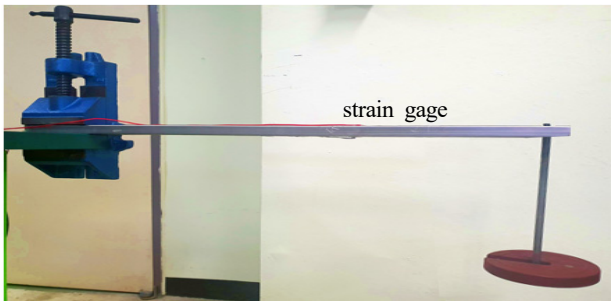


Fig. 3 Strain gage test with simple beam

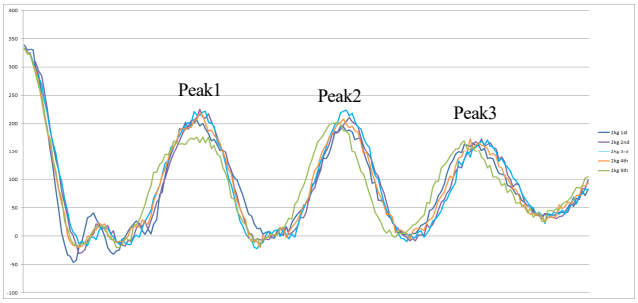


Fig. 4 Results of strain-gage test at impact load

Table 1 Results of strain-gage test

	Result of strain-gage Test $[\mu m/m]$		
Static Load	86.1		
Impact Load	Peak 1	Peak 2	Peak 3
	214.98	209.24	169.04
Impact Factor	2.50		

Fig. 4와 같이 동일한 시험을 5번 진행하였으며, 각 Peak의 평균치를 이용하였다. Strain gage 시험 상세 결과는 Table 1과 같다. Peak1 에서 정하중일 때 변형량은 86.1 $\mu m/m$이며, 충격하중을 받을 때 변형량은 최대 214.98 $\mu m/m$이다. Strain gage 시험에서 산출된 충격계수는 2.50이다.

유한요소해석에 사용한 Simple Beam은 정사면체 요소(840개)를 적용하였다. 2 kg의 정하중에 대한 유한요소해석결과는 Fig. 5와 같다. Strain gage 위치에서 86.69 $\mu m/m$로 확인되었다. 과도 응답 분석에 모드합성법을 적용하기 위한 고유진동수 및 모드형상 결과는 Fig. 6과 같다. 2 kg의 충격하중 적용 시 동적응답 결과는 Fig. 7과 같다. Peak 1에서 214.98 $\mu m/m$이 계산되었다. Simple beam의 유한요소해석 모델은 강성(k)값과 감쇠비(c)값이 시험결과와 Correlation을 진행하여 해석 결과의 신뢰성을 확보하였다. 2 kg의 하중이 정하중으로 적용된 해석결과와 갑자기 떨어뜨렸을 때의 발생하는 동하중에 의한 최대 Peak 결과에 대하여 충격계수를 계산하면 Table 2와 같이 2.47로 계산된다.

간단한 Sample model에 대한 유한요소해석으로 구한 충격계수

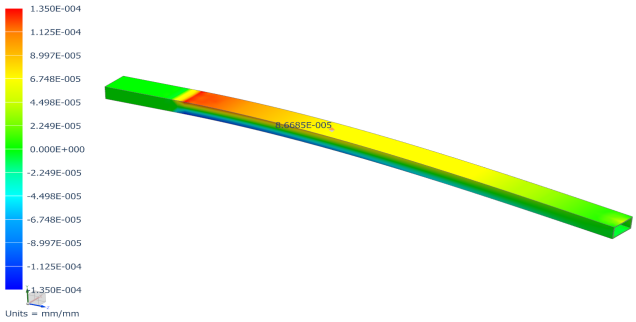


Fig. 5 Results of simple beam's FEA at static load

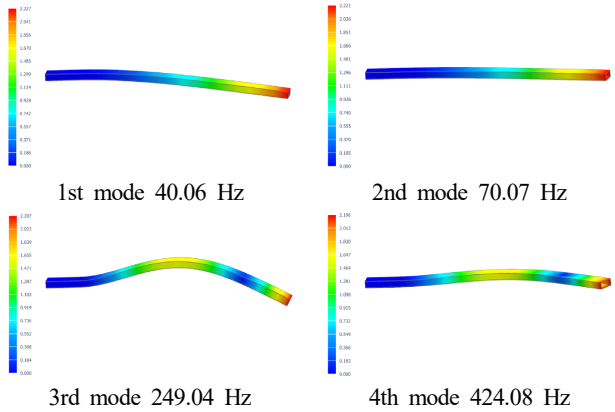


Fig. 6 Results of simple beam's natural frequencies and mode shapes

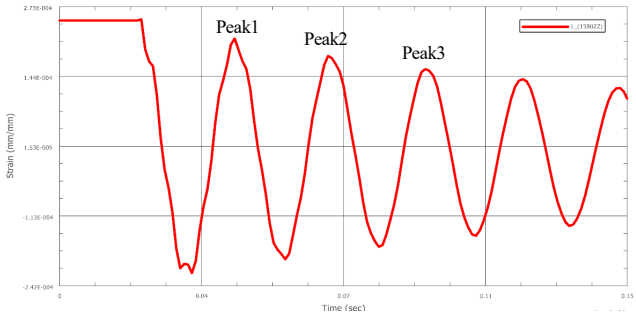
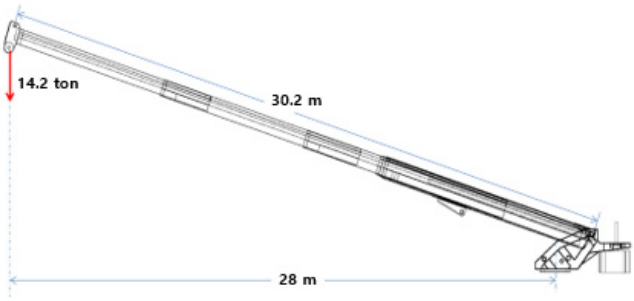


Fig. 7 Results of simple beam's FEA at impact load

Table 2 Results of simple beam's FEA

	Result of FEA $[\mu m/m]$		
Static Load	86.69		
Impact Load	Peak 1	Peak 2	Peak 3
	214.0	181.8	157.5
Impact Factor	2.47		

는 실제 시험을 통해 구한 값과 비교했을 때 약 1.2%의 오차를 갖는 것을 확인하였다. 이와 같이 실제 구조물의 오랜 시간을 요구하는 충격계수에 대한 시험이 없이도 유한요소해석을 이용한다면



- Rotation angle : 0°
- Telescoping condition : 0/0/46/92/92%

Fig. 8 Operating conditions of the crane

동적인 외력을 받는 구조물에 대하여 빠른 시간에 충격계수를 예측할 수 있다. 단, 유한요소해석모델은 Strain Gage 등의 간단한 시험을 이용하여 시험 결과와 Correlation된 신뢰성 있는 유한요소해석 모델을 사용하여야 한다.

3. 유한요소해석을 이용한 Boom의 충격계수 산출

3.1 크레인의 작업조건

앞서 Simple Beam을 이용한 충격계수 산출 방법을 산업 현장에서 사용할 수 있도록 실제 구조물인 크레인에 적용해 보았다.

해석에 사용한 크레인의 작업 상태는 Fig. 8과 같다. 총 6개의 Boom으로 이루어졌으며, 1단, 2단, 3단 Boom은 모두 인입된 상태이고, 4단, 5단, 6단이 각각 46%, 92%, 92% 인출되어 있는 상태이다. Boom의 총 길이는 30.2 m이며 작업 반경은 28 m, 인양하중은 14.2 ton이다[10]. 크레인의 상부는 회전하지 않은 상태이다. 실제 작업 조건과 가장 유사한 환경을 해석에 적용하기 위해 주요 단품인 아웃트리거, 상, 하부 Frame, Boom을 모두 모델링하여 적용하였다.

크레인과 같은 대형 구조물은 Tetrahedral (4면체) 요소를 사용하여 유한요소모델을 작성한다면 자유도가 매우 높아진다. 특히 과도 응답 해석에서는 자유도가 크면 해석 시간이 오래 걸리며, 다량의 PC 메모리를 필요로 하는 문제가 발생한다. 또한 크레인은 Boom과 같이 얇고 두께가 일정한 부분이 구조의 대부분을 차지하기 때문에 전체적으로 2D Mesh인 Shell 요소를 사용(Boom, Frame의 메인 Frame)하여 해석 모델을 완성하였으며, 일부 Shell 요소가 용이하지 않은 형상이 복잡한 부분에 Tetrahedral 요소를 사용하였다.

3.2 경계조건 및 하중조건

Fig. 9와 같이 크레인은 Boom, 상/하부 Frame, 아웃트리거의

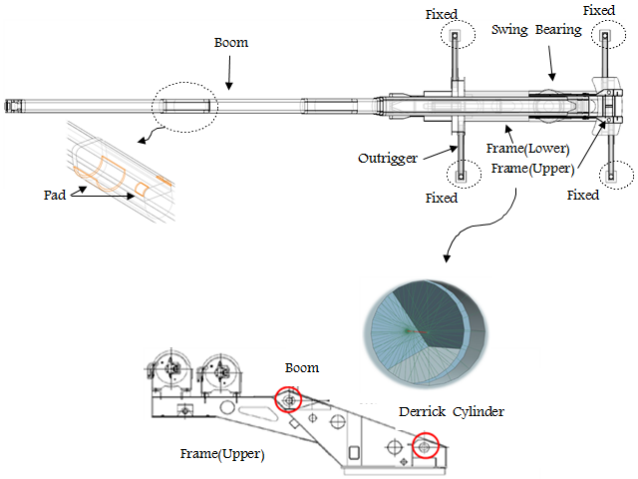


Fig. 9 Constraint condition and pin simulation

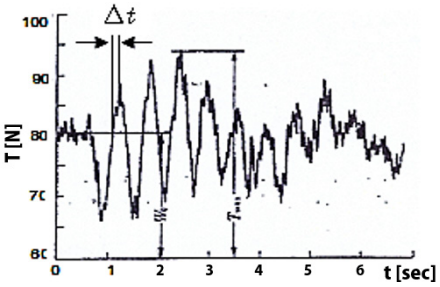


Fig. 10 Test results of the similar equipment when sudden stop during lifting up[11]

주요 구조물로 구성되어있다. Boom과 Boom 사이에 위치하는 Pad는 Boom과 접촉되는 접촉면을 고정시켜 해석하였으며, 상부 프레임과 Boom의 연결부, 데릭실린더와 상부프레임의 연결부는 Pin 조건을 적용하였다. 아웃트리거가 지면과 닿는 부분은 X, Y, Z축 자유도를 모두 구속시켜 경계조건을 적용하였으며, 하중은 Boom 끝단 수직으로 작용한다. 유한요소해석에는 상용 소프트웨어 NX/NASTRAN v9.0을 사용하였다.

크레인은 윈치의 회전을 이용하여 인양물이 권상 또는 권하 하도록 한다. 해석에 사용한 작업 조건에 따른 크레인의 정격 인양하중은 14.2 ton이다. 윈치의 최대속도(v_{max})는 130 m/min 윈치가 권상, 권하 중 급정지 시 속도(v_0)는 0이다. 식 (4)의 충격량과 운동량의 관계를 이용하여 장력 T를 도출하였으며, $\triangle t$는 장력이 최대속도에서 정지 할 때 까지 걸리는 시간으로 Fig. 10의 유사장비의 시험 값에 의해 0.18 sec이다. 산출된 권상, 권하 중 급정지 시 발생하는 충격하중을 Boom 끝단에 수직으로 적용하였다.

$$I = T\triangle t = m\triangle v \tag{4}$$

Table 3 Material properties

	WELDOX 960E (Boom, Frame)	MC 901 (Pad)
Modulus of Elasticity [GPa]	210	200
Yield Strength [MPa]	960	750
Poisson's Ratio	0.3	0.4

Table 4 Natural frequency to 10th modes

Mode	1st	2nd	3rd	4th	5th
Frequency [Hz]	0.40	0.79	1.88	3.23	3.28
Mode	6th	7th	8th	9th	10th
Frequency [Hz]	3.71	3.83	5.28	5.50	5.61

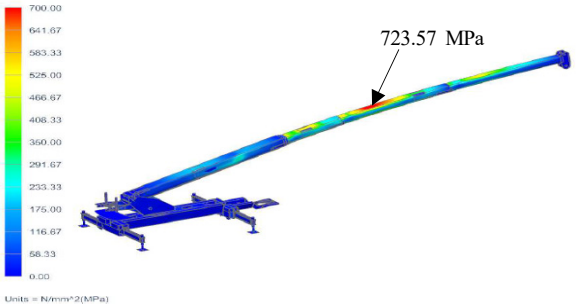


Fig. 11 Maximum stress by the static load

3.3 해석에 사용한 재질의 물성치

Boom, 아웃트리거의 경우 SSAB (스웨덴)사의 WELDOX960을 사용하였으며, Boom과 Boom 사이의 패드는 MC901의 나일론 재질을 사용하였다. 해석에 사용한 각 재질의 강성과 감쇠비 값은 Boom의 단품 시험을 통해 Correlation 된 값을 사용하였으며, 물리적 특성은 Table 3와 같다[12-13].

3.4 정하중 해석 결과

인양하중 14.2 ton을 인양할 때의 정하중 유한요소 해석의 Von-Mises 응력 결과는 Fig. 11과 같다. 5단 Boom에서 723.47 MPa의 최대 응력이 발생한다. 일반적으로 Boom과 유사한 외팔보의 경우 구속된 지점(경계조건)에서 응력이 가장 크게 발생하며, 힘을 가한 끝단으로 갈수록 응력이 작아진다. 정하중 해석 결과 5단 Boom에서 가장 큰 응력이 발생한 이유는 1,2,3단 Boom은 인출되지 않고 상부 프레임에 고정되어 있으며, 4단 Boom은 46%가 인출되고 5단 Boom이 92%로 길게 인출되면서 고정점과는 가깝고 상대적으로 강성이 작기 때문이다.

3.5 고유진동해석 결과

과도 응답 해석을 위하여 모드합성법을 사용하였다. 모드합성법은 식 (5)와 같이 고유진동수와 모드형상을 이용하여 과도 응답 해석의 변위 결과를 얻는 방법이다[14]. 고유진동해석 결과 10번째 모드까지의 고유진동수는 Table 4와 같으며 초기 3번째 모드까지의 모드형상은 Fig. 12와 같다. 첫 번째 모드에서 0.4 Hz의 고유진동수가 발생하나 모드 형상을 살펴보면 이는 y축을 기준으로

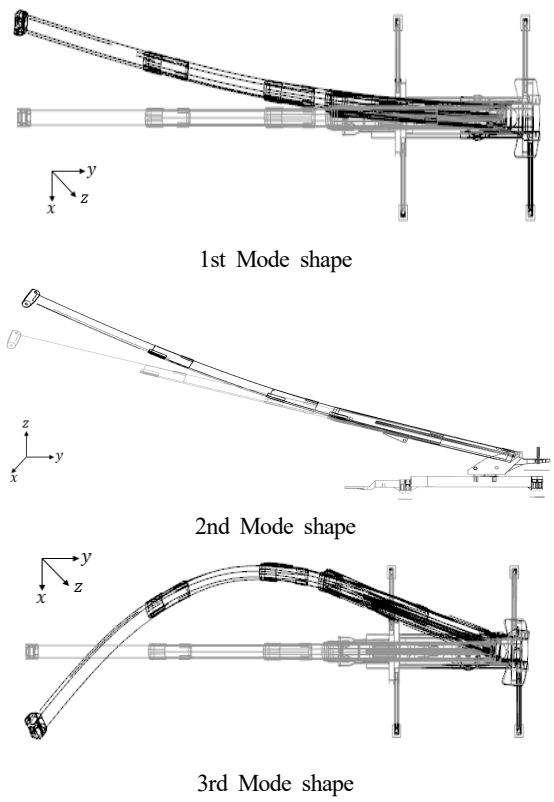


Fig. 12 Mode shape to 3rd mode

Sway되는 형상으로 Rigid Mode가 아니다. 2번째 모드에서는 x방향을 기준으로 Boom이 Rolling되는 현상이 발생하며 3번째 모드에서는 y축 방향을 기준으로 pitching 되어 굽힘 진동모드가 발생한다. 크레인의 고유진동수 해석 결과 다른 단품에 비해 Boom이 진동 Mode에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

$$\overrightarrow{x(t)} = \sum_{i=1}^{n} d_i e^{-\zeta_i w_i t} \sin(w_{di} t + \phi_i) \overrightarrow{u_i} \tag{5}$$

3.6 충격하중에 의한 과도 응답해석 결과

권상, 권하 중 급정지 시 발생하는 충격하중에 의한 과도 응답해석 결과는 Fig. 13과 같다. 시간에 따른 응력 흐름을 보여주고 있으며, 0.34 sec에 5단 Boom에서 900.73 MPa의 최대 응력이 발생하였다. Fig. 14는 최대 응력이 발생한 0.34 sec의 상세응력 결과

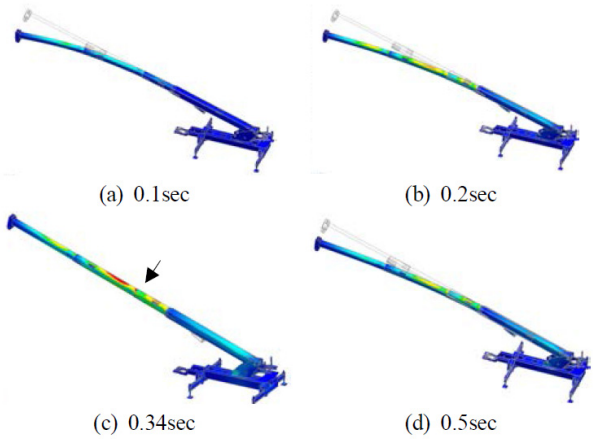


Fig. 13 Stress results over time

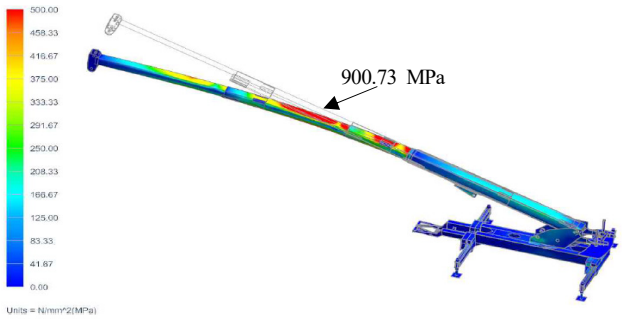


Fig. 14 Maximum stress by the impact Force

이다. 해석결과는 Boom 끝단에서 선접촉으로 인해 발생하는 응력을 제외하고 관심 영역인 모재에서 발생하는 Von-mises 최대 응력을 기준으로 하였다. Von-mises 응력은 각 지점에서의 응력 성분들에 의한 비틀림 에너지의 크기를 나타내는 값으로써, 복잡한 하중 하에서 재료의 항복을 예측하는데 주로 사용된다[15]. 인양물이 권상, 권하 중 급정지 시 발생하는 충격하중 발생 시 구조물의 Stress 결과가 항복응력 이내인지 확인함과 동시에 향후 내구 수명 예측 등에도 활용이 가능하다.

4. 충격계수 산출

충격하중을 이용한 과도 응답 해석의 Von-Mises 응력 결과와 정하중 해석에서의 Von-Mises 응력 결과를 앞서 설명한 식 (4)에 적용하여 충격하중에 대한 충격계수를 산출하였다. 각 Boom에서 발생하는 충격계수의 상세 결과는 Table 5와 같다. 2단 Boom은 응력이 다른 Boom에 비해 상대적으로 매우 작기 때문에 이를 제외하면 최대응력이 발생한 5단 Boom에서 충격계수는 1.24로 계산되었다. 이와 같은 방법으로 Boom 뿐만 아니라 아웃트리거, 상, 하부 Frame 등도 충격계수를 계산 할 수 있다.

Table 5 Results of impact factor

	Maximum stress of static load [MPa]	Maximum stress of impact load [MPa]	Impact factor
1st boom	202.45	245.12	1.21
2nd boom	81.37	110.2	1.35
3rd boom	258.05	314.29	1.21
4th boom	579.19	663.25	1.14
5th boom	723.47	900.73	1.24
6th boom	482.01	508.33	1.05

5. 결 론

본 연구는 유한요소해석을 이용하여 충격하중을 받는 구조물의 과도 응답에 대한 응력을 확인해 보았으며, 정하중 작업 상태에 대한 응력 결과와 작업 중 발생하는 충격하중에 대한 응력 결과를 이용하여 구조물의 충격계수를 계산하는 방법을 제시하였다. 본 연구에서는 응력이 가장 크게 발생한 Boom에 대해서 각 단별로 충격계수를 계산하였으나 Boom 뿐만 아니라 다른 단품에도 동일하게 적용이 가능하다.

이와 같이 완성된 구조물 전체에 대하여 장기간을 요구하고 복잡한 충격계수 시험 대신, 완성차 제작 전 단품을 활용한 간단한 시험으로 검증된 유한요소 모델을 유한요소해석에 적용한다면 단기간에 특정 구조물의 충격계수 확보가 가능하다. 또한, 확보된 충격계수는 개발 장비의 설계 변경 또는 구조 개선 시 비교적 복잡한 과도 응답 해석을 하지 않고도 정하중 해석으로 충격하중을 받는 구조물의 최대응력을 빠르게 계산할 수 있기 때문에 장비 설계, 개발 단계에서 유용하게 사용할 수 있다.

후 기

이 연구는 기계산업핵심기술개발사업의 지원을 받아 수행되었습니다(과제번호: 20000226).

References

[1] Kwon, S. K., 2012, Weight Reduction for Compressor Brackets, J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng., 21:1 65-69, https://doi.org/10.7735/ksmte.2012.21.1.065.

[2] Kwon, S. K., 2009, Dynamic Model Development and Simulation of Crawler Type Excavator, J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng., 18:6 642-651.

[3] Choi, J. Y., Park, Y. G., Lee, S. M., 2011, The Evaluation of

Track Impact Factor on the Various Track Type in Urban Transit, J. Korean Soc. Railw., 14:3 248-255, https://doi.org/10.7782/JKSR.2011.14.3.248.

[4] Lee, T. H., Maeng, H. Y., 2019, Static and Dynamic Accuracy Analysis of FIB-SEM Multifunctional Machine Structure, J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng., 28:1 17-22, http://doi.org/10.7735.ksmte.2019.28.1.17.

[5] Yochi, I., 1994, Knowledge of Mobile Cranes, Kajima Institute Publishing Co., Ltd., Tokyo, 102.

[6] Lee, W. T., Park, Y. S., Chung, T. J., 2000, A Study on the Impact Factors of Highway Bridges, J. Korean Soc. Civ. Eng. A, 20:3A 395-406.

[7] Park, H. W., Ko, Y. K., Hwang, J. W., Kang, J. K., 2016, Experimental Study for Evaluating Impact Factors of Crane Runway Girders, Korean Society of Civil Engineers Fall Conference, 61-62.

[8] Lee, H. H., Jeon, J. C., Kyung, K. S., 2007, Suggestion of Impact Factor for Fatigue Design of Steel Girder Bridge, J. Korean Soc. Civ. Eng. A, 27:6A 777-788.

[9] Lee, C. G., Lee, W. T., Lee, I. G., Park, Y. S., Cheong, T. J., Shin, D. G., 1997, A Study on Impact Factor of Bridge (Ⅲ), Technical Reports of Korea Expressway Corporation Research Institute.

[10] Inman, D. J., 2007, Engineering Vibration (3rd edition), Prentice Hall, Upper Saddle River, 214-215.

[11] Yochi, I., 1994, Knowledge of Mobile Cranes, Kajima Institute Publishing Co., Ltd., Tokyo, 101.

[12] Clarin, M., 2004, High Strength Steel: Local Buckling and Residual Stresses, Licentiate Thesis, Lulea University of Technology, Sweden.

[13] MatWeb, n.d., viewed 20 August 2019, Mitsubichi Chemical advanced materials Monocast MC 904P Nylon for pile driver pads (ASTM Product data sheet), <http://www.matweb.com/search/datasheettext.aspx?matguid=7b2a17c08d1441be90b0d3964b8e46a0 >.

[14] Inman, D. J., 2007, Engineering Vibration (3rd edition), Prentice Hall, Upper Saddle River, 315-316.

[15] Beer, F. P., Johnston, Dewolf, J. T., Mazurek, D. F., 2015, Mechanics of Materials, sixth edition (Global Edition), McGrowHill Education, Printed in Korea, 491-492.

Man Soo Go

Research Professor in the Research Institute for Engineering & Technology, Hoseo University. Her research interest is Optimization Design and Structure and Vibration Analysis.

E-mail: msgo116@hoseo.edu

Soon Ki Kwon

Professor in the Department of Mechanical Engineering, Hoseo University. His research interest is Optimization Design, Structure and Vibration Analysis and Multi-Body Dynamics.

E-mail: skkwon@hoseo.edu