

유압 브레이커의 충격량 예측을 위한 모델링과 해석

김성현, 정재호, 백동천, 박종원*
한국기계연구원 신뢰성 평가 연구실

Modeling and Simulation for Predicting the Impact of Hydraulic Breaker

Sung-Hyun Kim, Jaeho Chung, Dong-Cheon Baek, Jong-Won Park*

Department of Reliability Assessment, Korea Institute of Machinery & Materials

요약 굴삭기에 부착되는 유압 브레이커는 건물의 파괴 및 분해, 도로 포장재의 파손, 채석장에서의 암석 파단 등에 사용되고 있는 부착작업기의 일종의 건설 장비이다. 따라서 유압브레이커의 성능은 주로 충격량 및 충격 효율에 의해 평가되며, 이는 제조사 및 사용자 모두에게 중요한 요소이다. 본 논문에서는 건설 현장에서 주로 사용되는 20톤급 유압브레이커를 대상으로 상용 프로그램인 SimulationX를 사용하여 유압밸브 및 피스톤의 수압 면적 또는 작동 조건에 따라 유압 브레이커의 충격량 예측을 위한 모델링 및 해석을 진행하였다. 또한, 모델링 및 해석의 신뢰성을 확인하기 위하여 기존 실험 연구의 결과를 통하여 비교 및 검증하였다. 본 연구 결과는 제작 이전의 설계 단계에서 유압 브레이커의 충격량을 예측하고 충격량 향상을 위한 파라미터 연구에 도움이 될 것으로 본다. 또한 제조사 측에서는 본 논문의 결과를 통하여 유압 브레이커의 충격량을 미리 예측함으로써, 시행 착오 방식을 통하여 개발 시간 및 비용을 절감할 수 있을 것으로 예측한다.

Abstract A hydraulic breaker attached to an excavator is a kind of construction equipment which is used for the disassembling of buildings, crashing road pavement, breaking rocks at quarry and etc. Therefore, the performance of the hydraulic breaker is mainly evaluated by the impact quantity and impact efficiency, which is an important factor for both the manufacturer and the user. In this paper, modeling and simulation for the prediction of the impact of the hydraulic breaker was conducted according to hydraulic pressure area and operating conditions of the hydraulic valve and piston using the commercial tools SimulationX for the 20ton hydraulic breaker which is mainly used in construction site. In order to verify the reliability of modeling and simulation, the results of previous experimental studies were compared and verified. The results of this study are expected to be useful for predicting the impact of the hydraulic breaker at the design stage before manufacturing and for studying parameters for improving the impact quantity. In addition, the manufacturer predicts that the development time and cost will be reduced through trial and error prevention by predicting the impact of the hydraulic breaker through the results of this paper.

Keywords : Hydraulic breaker, Impact, Efficiency, Modeling, Simulation, SimulationX

1. 서론

유압 브레이커(hydraulic breaker)는 토목 및 건설 현장에서 주로 사용되는 부착작업기(attachment)의 일종이

다. 유압 브레이커는 굴삭기로부터 유압 동력을 공급받아 피스톤을 왕복시키고 치즐(Chisel)에 충격을 가해 전달되는 운동에너지를 사용하여 암반 및 도로, 건축물 등을 파쇄하는 목적으로 사용된다. 따라서 유압 브레이커

본 논문은 산업통상자원부 연구과제(N0002588, N0002601)로 수행되었음.

*Corresponding Author : Jong-Won Park(Korea Institute of Machinery & Materials)

Tel: +82-42-868-7107 email: jwpark@kimm.re.kr

Received December 13, 2018

Revised (1st January 11, 2019, 2nd January 31, 2019)

Accepted February 1, 2019

Published February 28, 2019

의 충격량은 제조자 및 사용자 모두에게 유압 브레이커의 성능을 평가하는 중요한 요소로 평가된다 [1]. 유압 브레이커는 Fig. 1과 같이 실린더, 피스톤, 전환밸브, 백헤드(backhead), 및 치즐로 구성되어 있으며, 브라켓(Bracket)으로 굴삭기에 고정되어 있다 [2]. 유압펌프에서 발생하는 유압동력이 전환밸브의 작동에 따라 피스톤이 상하 왕복 운동하게 되며, 이 때 피스톤에서 치즐로 전달되는 운동에너지로 대상물을 파쇄한다 [3, 4]. 따라서 유압 브레이커의 충격량은 유압 브레이커의 성능을 평가하는 중요한 요소이다. 하지만, 유압 브레이커의 충격량은 큰 운동에너지에 의해 발생하게 됨으로 정확한 측정이 어려우며, 기존의 방법으로는 로드셀(Load cell), 스트레인 게이지(Strain gauge) 등을 사용하여 실험을 통하여 측정하거나 [5, 6], 실린더의 압력 및 체적 변화로부터 충격량을 환산하는 방법 [2]을 사용하였다. 이러한 기존의 방법들은 모두 실험을 통하여 측정을 해야 하는 이유로 상당한 시간과 비용이 필요했으며, 충격량의 정확도 역시 실험의 케이스에 따라 다르게 나타나는 특성을 보였다. 또한 실험이 아닌 예측 방법을 통해 충격량을 예측하는 기존 방법으로는 전달 경로 분석 (Transfer path analysis)을 이용하는 방법 [7], 운동 방정식을 이용하는 방법 [8] 등이 있었으나, 많은 가정이 들어가며 복잡한 수식으로 인해 산업계에서 사용하기 힘든 단점이 있다. 그리고 프로그램을 이용한 기존 연구로는 상용 프로그램이 아닌 자체 개발 프로그램을 사용한 연구 [9]가 있었으나 정확도 및 사용자의 접근성면에서 상용 프로그램보다 떨어지는 단점이 있었다.

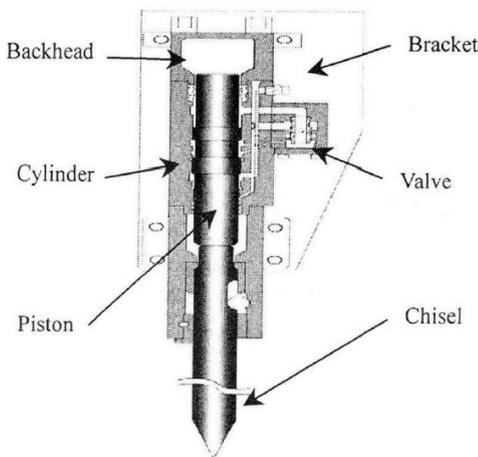


Fig. 1. Hydraulic breaker [2]

그러한 이유로 본 연구에서는 실험에 비해 시간과 비용이 적게 소모되며 간단한 방법으로 유압 브레이커의 충격량을 예측하는 방법으로 상용 프로그램인 SimulationX를 사용하여 설계 단계에서 유압 브레이커의 충격량, 피스톤의 속도, 피스톤의 변위 및 작동 주파수 등을 파악할 수 있는 방법을 제안하였다. 연구 결과는 기존의 실험을 통해 측정된 결과와의 비교를 통해 검증하였다.

2. 모델링 & 시뮬레이션

2.1 유압 브레이커 모델링

유압 브레이커는 유압시스템의 일종으로 에너지원인 유압 펌프, 제어밸브, 액추에이터로 구성되어 있다. 본 연구에서는 Fig. 2와 같이, 유압브레이커의 유압의 제어를 위한 밸브 부분과 충격부분인 피스톤 부분으로 나누어 모델링을 진행하였다. 밸브와 피스톤 부분은 다음 장부터 소개되어 있으며, 서플라이(supply) 부분의 초기 조건은 290L/min에 210bar로 진행하였다.

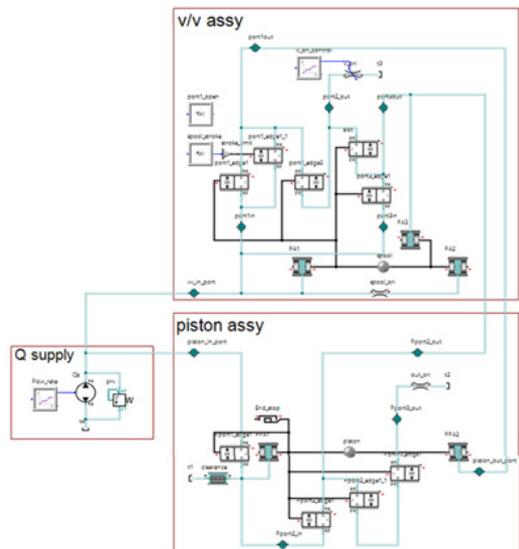


Fig. 2. Complete model of the hydraulic breaker

2.2 밸브 모델링

본 연구의 유압브레이커 밸브 모델링 (Fig. 3)에서는 밸브의 제어를 위해 3개의 수압면적을 정의하는 부분을 각각 Fig. 4와 같이 두었으며, 각각의 지름은 0.084m,

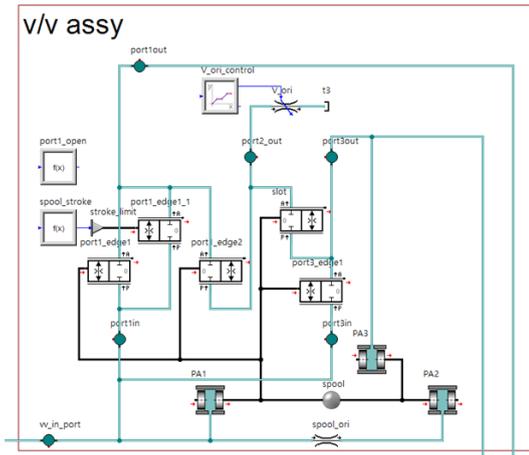


Fig. 3. Model of the valve

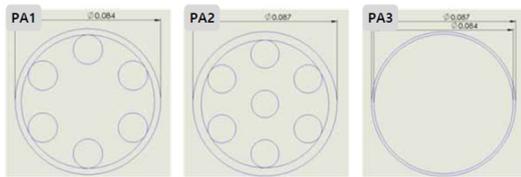


Fig. 4. Valve modeling: Hydraulic area

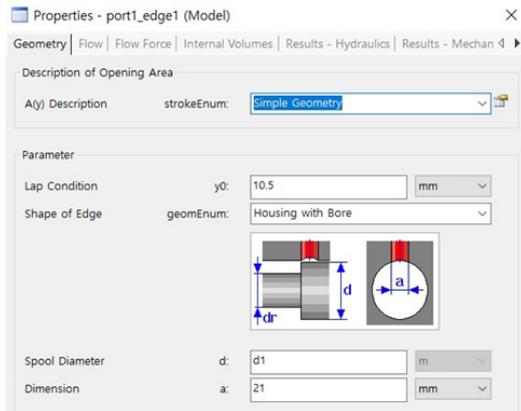


Fig. 5. Opening condition of Port1_in

0.087m 및 0.087m로 정의하였다. 또한 밸브의 개도 조건을 정의하기 위해 Port1_in, Port1_out, Port2_out, Port3_in 및 Port3_out의 포트를 모델링하였다. 각각의 포트의 개도 조건은 다음과 같다. Port1_in의 경우, 초기에 닫혀 있으며 스푼(spool)이 이동하면서 Port1_out으로 열리며 (opening in positive direction), Port1_out의 경우, 초기에 Port2_out과 연결되어 있으며, 스푼이 이동하면 닫힌다 (opening in negative direction). Port2_out

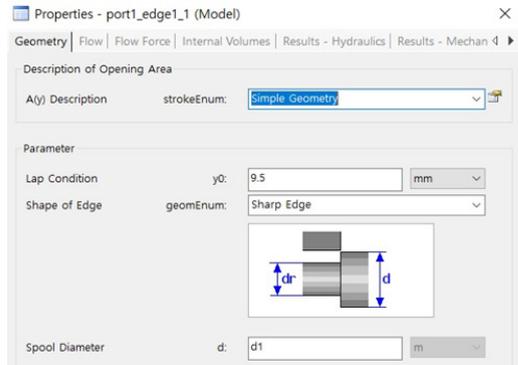


Fig. 6. Opening condition of Port1_out

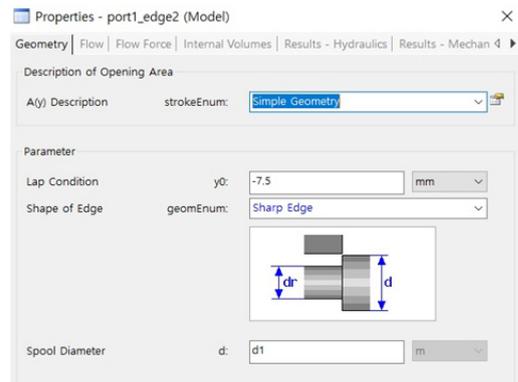


Fig. 7. Opening condition of Port2_out

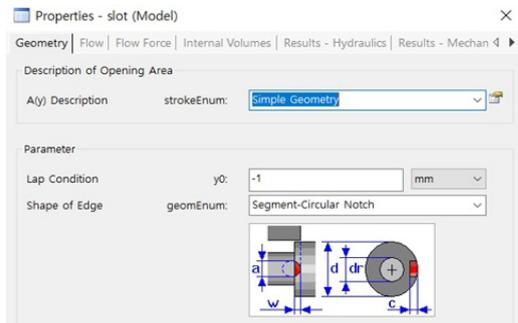


Fig. 8. Opening condition of Port3_in

의 경우는, 초기에 슬롯(slot)으로 Port3_out과 연결되어 있으며 스푼이 이동하면 닫힌다 (opening in negative direction). 마지막으로 Port3_in의 경우, 초기에 닫혀 있으며 스푼이 이동하면 Port3_out으로 열리게 (opening in positive direction) 모델링하였으며, 각각의 Port의 개도조건은 Fig5-9와 같이 설정하였다. Fig. 10은 각각의 개도조건을 그래프로 나타낸 것이다.

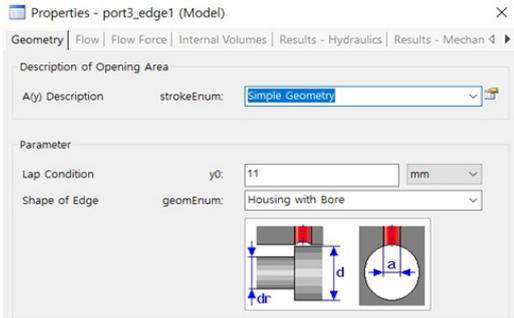


Fig. 9. Opening condition of Port3_out

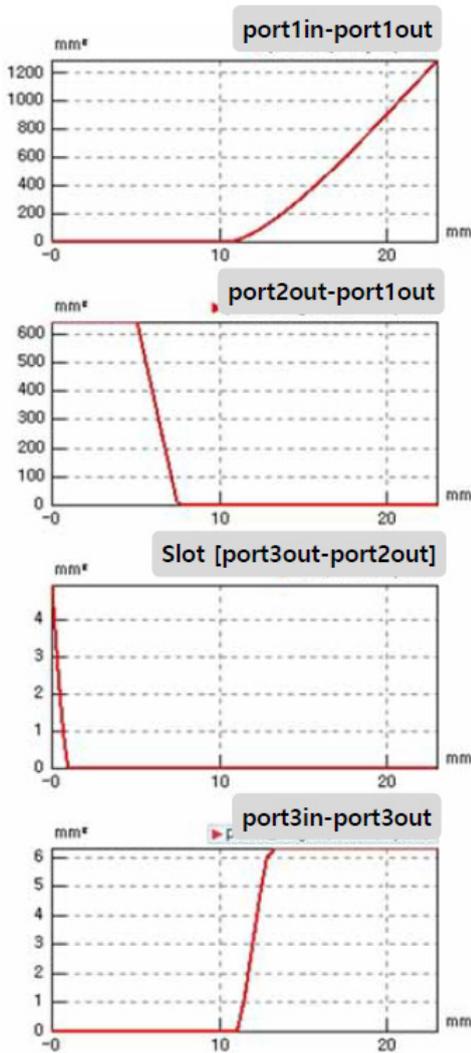


Fig. 10. Opening condition of the valve

2.3 피스톤 모델링

유압브레이커의 피스톤 모델링은 Fig. 11과 같이 정의하였으며, 크게 수압 면적을 정의하는 부분인 PPA부분, 피스톤(piston) 부분, 충격량을 측정하는 치출 부분(End_stop)과 피스톤의 개도 조건을 정의하는 부분(Pport)로 나누어 모델링을 진행하였다. 수압 면적을 정의하는 PPA부분은 밸브 모델에서의 PA3과 같은 링 타입을 사용하였다. 그리고 피스톤의 개도 조건은 Port1은 초기에 열려 있으며 초기 위치로부터 타격방향으로 이동하면서 닫히게 정의(opening in positive direction)하였으며, Port2_in의 경우는 초기에 닫힌 상태에서 피스톤이 이동하면 Port1쪽으로 열리게 정의(opening in positive direction)하였다. 또한 Port2_out의 경우는 초기에 Port3_out과 연결되어 있으며 피스톤이 이동하면 닫히는 방향으로 정의(opening in negative direction)하였으며, Port3_out의 경우에는 초기에 탱크(tank)와 Port2_out을 연결하고 있으며 피스톤이 이동을 하게 되면 탱크쪽으로 닫히게끔 정의(opening in negative direction)하였다. 피스톤의 개도조건은 Fig. 12-15와 같이 정의하였으며, Fig. 16은 피스톤의 개도 조건을 그래프화 한 것이다.

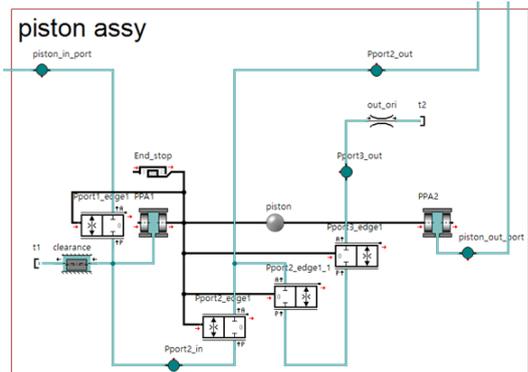


Fig. 11. Model of the piston

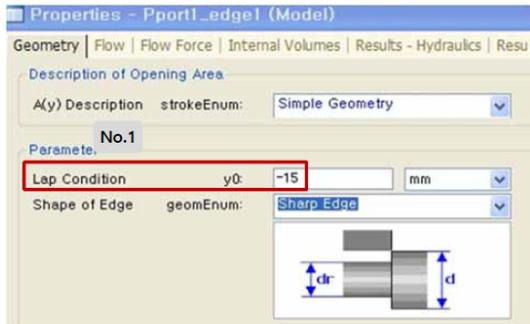


Fig. 12. Opening condition of Pport1

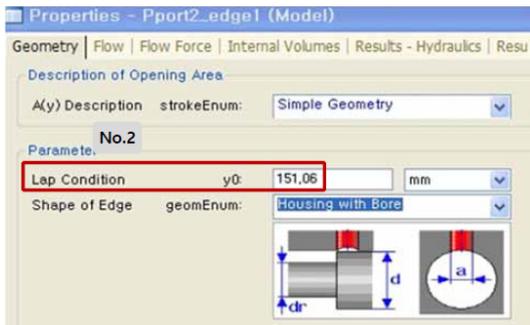


Fig. 13. Opening condition of Pport2_in

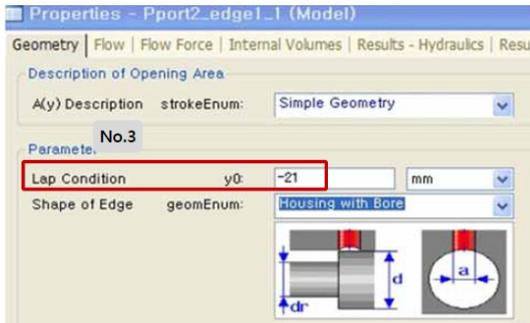


Fig. 14. Opening condition of Pport2_out

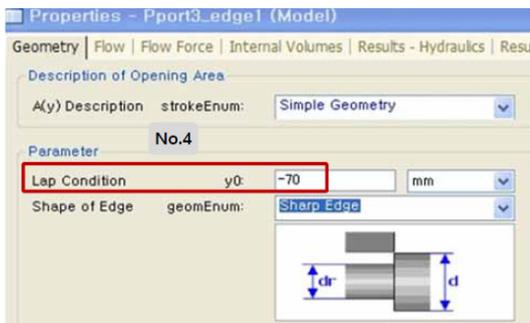


Fig. 15. Opening condition of Pport3_out

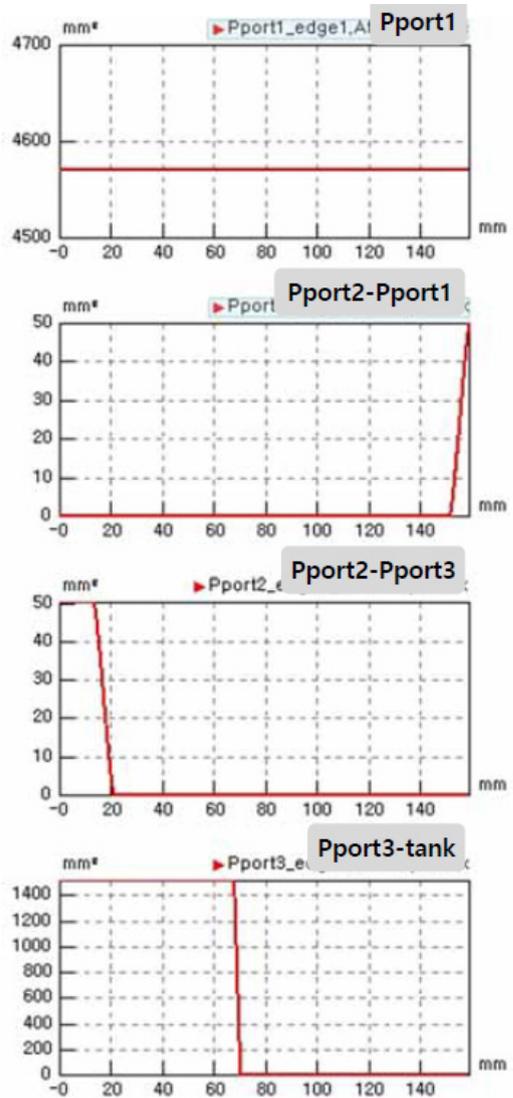


Fig. 16. Opening condition of the piston

3. 시뮬레이션 결과

유압 브레이커의 충격력은 Piston부분의 'End_stop'에서의 변위와 충격력을 구할 수 있으며, 각각의 단위는 mm와 kN으로 정의하였다. 또한 부가적으로 유압 브레이커에서 충격이 가해질 때마다의 손실 에너지[J]와 피스톤의 속도[m/s]를 구하였다. Fig. 17은 유압 브레이커의 손실에너지를 나타내며, Fig. 18은 피스톤의 속도, Fig. 19는 피스톤의 변위를 나타낸다. 마지막으로 Fig. 20은 유압 브레이커의 충격력[kN]을 보여준다.

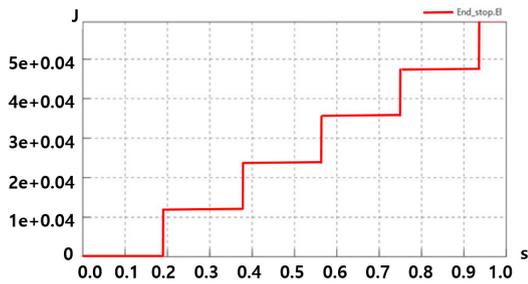


Fig. 17. Loss energy of the hydraulic breaker versus time

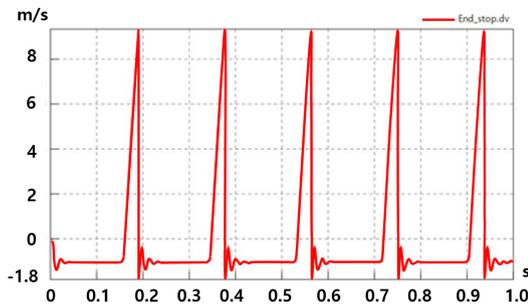


Fig. 18. Velocity of the piston versus time

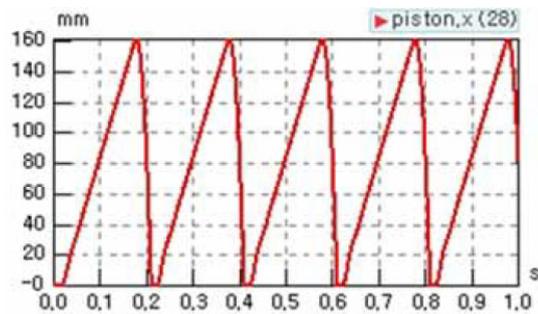


Fig. 19. Displacement of the piston versus time

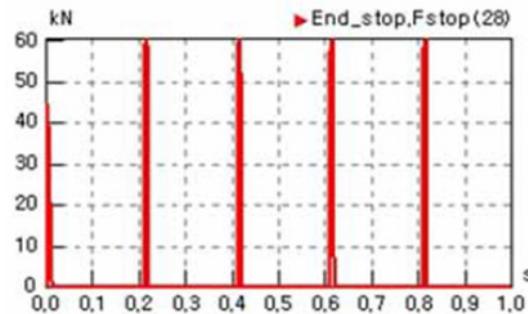


Fig. 20. Impact force of the hydraulic breaker versus time

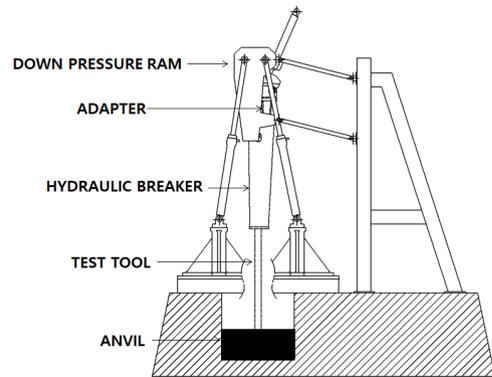


Fig. 21. Schematics of the experimental set-up



Fig. 22. Photo of the experimental set-up

4. 실험

실험 장비는 한국기계연구원(KIMM) 신뢰성평가연구실 유압브레이커 실험동에서 진행되었다. Fig. 21은 실험 장비의 개략도를 보여주고 있으며, Fig. 22는 실험 장비를 보여주고 있다. 유압브레이커의 충격력을 측정하는

실험을 진행하였으며, 상세한 실험 절차 및 실험 결과는 Park&Kim [10]에 소개가 되어 있다.

본 연구에 사용된 유압브레이커 실험 장비는 엔진출력 240 HP, 최고압력 350 bar, 최고유량 540 Lpm이며, 타격 베이스의 경우 2.5 m × 2.5m 이다.

5. 결론

모델링 및 해석 결과의 충격량 검증을 위해 실험 데이터와의 비교를 진행하였다. 실험 장비는 한국기계연구원 신뢰성평가연구실 유압브레이커 실험동에서의 실험 결과 [10]와 비교를 진행하였다. 실험에서의 충격량은 아래의 Eq. 1을 사용하였으며 실험 방법은 RS B 0022 [11]에 따른 방법을 사용하였다.

$$E_i = \frac{CF^2}{A_t \cdot \sqrt{E_t \cdot \rho_t}} \cdot \int_{t_1}^{t_n} \varepsilon_1^2 \cdot dt \quad (\text{Eq. 1})$$

여기에서 각각은 다음과 같다 [11].

$$\varepsilon_i = \frac{4 \cdot U}{2.6 \cdot k \cdot U_B \cdot K_a}$$

E_i : 타격에너지 (J)

CF : 교정계수 ($CF = \frac{F_{cal}}{\epsilon_{meas}}$)

F_{cal} : 교정작업 시 인가한 힘 (kN)

ϵ_{meas} : 교정작업 시 측정된 변형률

A_t : 시험용 치즐의 단면적 (m²)

E_t : 시험용 치즐 재료의 종탄성계수 (GPa)

ρ_t : 시험용 치즐 재료의 밀도 (kg/m³)

ϵ_i : 측정에 의해 구한 변형률

t_1 : 적분시작 시간 (s)

t_n : 적분마감 시간 (s)

k : 스트레인 게이지 계수

U : 휘스톤 브리지 출력전압 (V)

U_B : 휘스톤 브리지 입력전압 (V)

K_a : 증폭기의 증폭계수 (U/U_B)

위 식을 통해 계산된 실험 데이터의 충격량 [단위: J]을 피스톤의 이동 변위 [단위: m]로 나누어 뉴턴 단위 [단위: N]로 환산하였으며, 비교값은 Table 1에 표시하였다. Table 1의 오차 값은 실험값을 기준으로 백분율 오차로 계산하였다. 하지만 속도, 변위 및 손실 에너지의 경우에는 측정 센서 장비의 미비로 인해 실험 데이터를 얻지 못하였다. 추후 관련 연구에서는 이에 대해 진행을 할 예정이다.

Table. 1 Comparison of simulation results with experimental results

Hit No.	Simulation Results [kN]	Experimental Results [kN]	Error (%)
1st	45.6	49.84	8.51
2nd	59.5	62.18	4.31
3rd	59.5	61.96	3.97
4th	59.5	61.54	3.31
5th	59.5	61.22	2.81

위 Table 1에서는 5번째의 타격까지를 비교하였다. 첫 번째 타격의 경우에는 유압브레이커의 가속도가 없이 시작을 하는 단계이므로 2번째 이후의 타격에 비해 그 충격량이 다소 작은 것을 확인 할 수 있으며, 이로 인해 모델링 및 해석 결과와 실험 결과와의 오차가 상대적으로 크게 나오는 것으로 생각된다.

국내외 최초로 SimulaitonX 프로그램을 사용하여 유압 브레이커의 충격량을 예측하고 실험 데이터와의 비교를 통해 검증하였다. 모델링의 간소화를 위해 유압 브레이커의 충격량 예측을 위한 최소 요소로 모델링을 진행하였으며, 다음의 현상들을 모델링 및 해석을 통해 확인하였다. 유압 브레이커의 Spec. based 모델링을 통해 구현한 시뮬레이션의 결과로 충격량은 실험을 통해 얻은 결과와 거의 일치함을 확인하였으며, 2번째 타격 이후부터의 최고값은 해석과 실험에서의 값이 약 5% 이내의 오차를 가지고 있음을 확인하였다. 충격량의 비교를 통해, 속도, 변위 및 손실 에너지의 경우에도 큰 오차가 없을 것으로 판단되나, 이에 대해서는 추가적인 연구가 필요하다.

본 연구 결과는 제작 이전의 설계 단계에서 유압 브레이커의 충격량을 예측하고 충격량 향상을 위한 파라미터 연구에 도움이 될 것으로 본다. 또한 제조사 측에서는 본

논문의 결과를 통하여 유압 브레이커의 충격량을 미리 예측함으로써, 시행 착오 방식을 통하여 개발 시간 및 비용을 절감할 수 있을 것으로 예측한다.

References

- [1] S. H. Kim, M. S. Chang, J. W. Park, B. O. Choi, "A study on the degradation characteristic of a hydraulic breaker by the accelerated lift testing of vertical impact operation", *Proc. of KSME Conference*, pp. 174-175, 2013.
- [2] G. H. Lee, Y. B. Lee, D. S. Jeong, "Development of the hydraulic pressure transducer system for testing the impact energy of hydraulic breaker", *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, vol.21, no.4, pp. 154-160, April, 2004.
- [3] S. H. Ko, J. H. Lim, "Modeling and analysis of a hydraulic breaker considering elastic impact between the piston and chisel", *Tran KSME*, vol.19, no.2, pp. 338-347, 1995.
- [4] Y. K. Lee, W. J. Sung, and C. S. Song, "The development of an analysis tool and the performance analysis of a hydraulic breaker system", *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, vol.17, no.4, pp. 189-196, 2000.
- [5] Mounted breaker manufacturers bureau, *Measuring Guide for Tool Energy Rating for Hydraulic Breakers*, CIMA, 1996.
- [6] G. Yang and Y. Chen, "The research of new type hydraulic breaker with strike energy and frequency of adjusted", *Mechanical Engineering Research*, vol.2, no.2, pp. 45-51, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5539/mer.v2n2p45>
- [7] C. Song, D. J. Kim., J. Chung, K. W. Lee, S. S. Kweon and Y. K. Kang, "Estimation of impact loads in a hydraulic breaker by transfer path analysis", *Shock and Vibration*, pp. 1-15, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1155/2017/8564381>
- [8] A. Rey and Y. Cut'ko, "Anvilles hydraulic hammer with double-sided drive and increased lower ram mass", *TEKA. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*, vol.13, no.3, pp. 193-196, 2013.
- [9] Y. Lee, W. Sung and C. Song, "The development of an analysis tool and the performance analysis of a hydraulic breaker system", *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, vol.17, no.4, pp. 189-196, 2000.
- [10] J. W. Park and H. E. Kim, "Impact energy measurement of a hydraulic breaker", *Key Engineering Materials*, vol.326, pp1669-1672, 2006.
DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.326-328.1669>
- [11] KATS, 2009, *Hydraulic Breaker for Construction Machinery - RS B 0022*, Korean Agency for Technology and Standards.

김 성 현(Sung-Hyun Kim)

[정회원]



- 2015년 2월 : 충남대학교 기계설계 메카트로닉스공학과 (공학석사)
- 2017년 2월 ~ 현재 : 충남대학교 기계공학과 (박사 재학)
- 2004년 3월 ~ 현재 : 한국기계연구원(KIMM) 선임연구원

<관심분야>

건설 기계용 어태치먼트 신뢰성기술, 무인항공기 신뢰성기술, 피로수명예측 및 고장분석

정 재 호(Jaeho Chung)

[정회원]



- 2011년 8월 : KAIST 해양시스템 공학과 (공학석사)
- 2018년 2월 : KAIST 기계공학과 (공학박사)
- 2011년 6월 ~ 2012년 11월 : STX 조선해양 해양기분연구팀
- 2018년 4월 ~ 현재 : 한국기계연구원(KIMM) 신뢰성평가연구실 Post-Doc연구원

<관심분야>

유체역학, 초공동, CFD, FSI, Shock M&S

백 동 천(Dong-Cheon Baek)

[정회원]



- 2009년 2월 : KAIST 기계공학과 (학사, 공학석사, 공학박사)
- 2009년 3월 ~ 2013년 3월 : 삼성 전자 반도체사업부 책임연구원
- 2013년 4월 ~ 현재 : 한국기계연구원 선임연구원

<관심분야>

PHM, 피로파괴, AI

박 종 원(Jong-Won Park)

[정회원]



- 1998년 2월 : 홍익대학교 대학원 기계공학과 (기계공학석사)
- 2003년 2월 : 서울대학교 대학원 기계항공공학부 (기계공학박사)
- 2004년 8월 ~ 2017년 5월 : 한국기계연구원 책임연구원
- 2017년 6월 ~ 현재 : 한국기계연구원 신뢰성평가연구실장

<관심분야>

기계시스템 신뢰성분석 및 예측, 유공압/메카트로닉스 시스템 해석 및 제어, 가속수명시험 기법, 상태모니터링 및 고장예지