

초대형 유압브레이커 개발

안규복*

¹충북대학교 기계공학부

Development of Extra-large Hydraulic Breaker

Kyubok Ahn¹*

¹School of Mechanical Engineering, Chungbuk National University

요약 100톤급 굴삭기에 장착할 수 있는 초대형 유압브레이커 개발을 수행하였다. 유압브레이커 설계에 앞서 타격에너지, 분당 타격수 등의 성능을 예측할 수 있는 유압브레이커 해석 방법에 대해 연구하였다. 해석 결과를 바탕으로 초대형 유압브레이커의 설계 및 제작이 이루어졌으며, 유압브레이커가 성공적으로 작동함을 확인하였다. 실제 유압브레이커 작동 시 타격에너지와 분당 타격수를 측정하여, 해석 결과와 비교하였다. 분당 타격수 해석 결과는 큰 오차 없이 실험 결과를 잘 예측하였지만, 타격에너지 해석 결과는 실제 실험 결과와 매우 큰 차이가 나타남을 확인하였다. 초대형 유압브레이커를 성공적으로 개발하였으며, 향후 마찰, 유압회로 등을 고려하여 타격에너지 해석 방법을 보완할 예정이다.

Abstract Development of a extra-large hydraulic breaker, which could be used for a 100 ton-class excavator were carried out Hot-firing tests were carried out. Before designing a hydraulic breaker, the analysis method to predict the performance such as impact energy and impact rate were studied. Based on the analysis result, the design and manufacture of a extra-large hydraulic breaker were performed, and the breaker were confirmed to operate successfully. The data of impact energy and impact rate were measured during the operation of the breaker, and were compared with the analysis result. The analysis result of impact rate anticipated well the test data, but that of impact energy showed a large difference with the test data. The extra-large hydraulic breaker were successfully developed and the analysis method of impact energy will be updated taking into account friction, hydraulic circuit, etc.

Key Words : Analysis Method, Impact Energy, Impact Rate, Hydraulic Breaker

1. 서론

유압브레이커는 암반, 시멘트 구조물, 도로포장 등을 파쇄하거나 해체할 때 사용되는 것으로, 원기둥 모양의 치를 한쪽 끝을 파쇄하고자 하는 물체에 대고 다른 한쪽 끝을 유압 피스톤으로 쳐서 그 충격력으로 물체를 파쇄시키는 기계장치이다[1-14]. 유압브레이커는 단독제품으로 생산되나, 실제 작업은 굴삭기의 끝단에 연결되어 굴삭기 작업자에 의해 이루어지게 된다.

이러한 브레이커는 크게 가스(gas)식과 유압

(hydraulic)식으로 구별된다. 일반적으로 가스식은 가격이 저렴하나 작업 안정성과 편리성이 부족한 단점이 있으며, 유압식은 가격이 비싸지만 작업 안정성과 편리성이 우월한 특징이 있다. 우리나라를 포함한 중국, 동남아시아, 중동 시장에서는 상대적으로 가격이 저렴한 가스식이 주로 사용되고 있으나, 미국과 유럽시장에서는 작업자의 피로도가 적은 유압식이 주로 사용되고 있다. 현재 세계시장에서는 유압식이 약 45% 정도의 점유율을 차지하고 있어 가스식에 비해 시장점유율이 다소 낮은 상황이다. 그러나 가스식이 주로 사용되고 있는 아시아

이 논문은 2014년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

*Corresponding Author : Kyubok Ahn(Chungbuk National Univ.)

Tel: +82-43-261-3596 email: kbahn@cbnu.ac.kr

Received February 2, 2015

Revised March 4, 2015

Accepted May 7, 2015

Published May 31, 2015

시장에서도 국민소득이 증가하고 생활수준이 향상됨에 따라 작업 안정성과 편리성이 우월한 유압식 브레이커로 수요가 점차 바뀌고 있는 실정이다[15,16].

중소형 유압브레이커 시장은 제조기술이 보편화되고 제조사가 과다하므로 경쟁이 심하며 부가가치가 낮다. 현재 기계기술의 발달로 인해 브레이커를 장착하는 굴삭기의 대형화가 빠르게 진행되고 있으며 이에 따라 Fig. 1과 같이 초대형 유압브레이커 시장이 새롭게 창출되고 있다. 초대형 유압브레이커 시장은 부가가치가 높으며 아직 성숙되지 않은 유망시장으로 세계적 선도회사인 핀란드의 Rammer사와도 경쟁해 볼 수 있는 분야이다.

본 연구의 목적은 자체중량 6.5톤급 전유압 방식 초대형 유압브레이커를 개발하는 것이었다. 이를 위해 먼저 전유압 방식 유압브레이커의 해석 방법에 대해 연구를 수행하였으며, 다음으로 해석 결과를 바탕으로 시제품을 설계, 제작하여 실제 타격에너지와 분당 타격수를 측정하였다.



COUNTRY	FINLAND	KOREA	GLOBAL	JAPAN	ITALY
TYPE	HYDRAULIC	GAS	HYDRAULIC	GAS	HYDRAULIC
BRAND	RAMMER	SOOSAN	ATLAS COPCO	FURUKAWA	INDECO
MODEL	7013	SQ180	HM10000	F100	HPI2000
WEIGHT(KG)	6000~7000	5850	10000	7500	7800

Fig. 1. Global makers of hydraulic breakers

2. 유압브레이커 해석

전유압 방식 유압브레이커 타격에너지와 분당 타격수의 해석 방법을 Fig. 2를 이용하여 아래에 설명하였다.

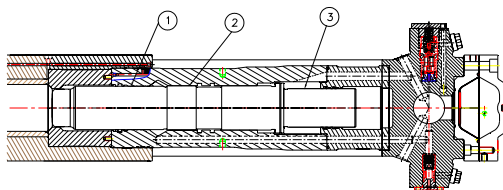


Fig. 2. Cross-sectional view of hydraulic breaker

2.1 약어

- a : 가속도, m/s^2
- A_{12} : ①, ② 부위 피스톤 면적 차, m^2
- A_{23} : ②, ③ 부위 피스톤 면적 차, m^2
- f : 주파수, Hz
- E : 타격에너지, J
- F_b : 피스톤을 상향으로 움직이는 힘, N
- F_f : 피스톤을 하향으로 움직이는 힘, N
- L : 피스톤 행정거리
- m_p : 피스톤 질량, kg
- P_1 : ① 위치 유압오일 압력, bar
- P_2 : ② 위치 유압오일 압력, bar
- P_3 : ③ 위치 유압오일 압력, bar
- P_{set} : 유압펌프 공급압력, bar
- \dot{V} : 유압펌프 공급유량, LPM
- t : 시간, sec

2.2 힘과 운동의 법칙

유압브레이커 내에서 발생하는 마찰 등의 손실을 무시할 경우 피스톤을 움직이는 힘과 운동의 법칙은 아래 수식들과 같이 설명될 수 있다.

$$F = m \times a = m_p \times a \tag{1}$$

$$F = \Delta P \times A \tag{2}$$

$$m_p \times a = \Delta P \times A \tag{3}$$

$$a = (\Delta P \times A) / m_p \tag{4}$$

$$v = a \times t \tag{5}$$

$$L = v \times t = \frac{a \times t^2}{2} \tag{6}$$

$$t = \sqrt{\frac{2L}{a}} \tag{7}$$

2.3 피스톤 왕복시간 계산

Eq. (7)에서 피스톤 왕복시간(t_{cycle})은 상향에 걸린 시간 t_b 과 하향에 걸린 시간 t_f 의 합으로 다음과 같이 표현된다.

$$t_{cycle} = t_b + t_f = \sqrt{\frac{2L}{a_b}} + \sqrt{\frac{2L}{a_f}} \tag{8}$$

$$a_b \approx (P_1 \times A_{12}) / m_p \quad (9)$$

$$a_f \approx (P_3 \times A_{23}) / m_p \quad (10)$$

또한 일반적으로 $P_1 \approx P_3 \approx P_{set}$ 이므로, Eq. (8)은 다음과 같이 정리된다.

$$t_{cycle} = t_b + t_f \quad (11)$$

$$= \sqrt{\frac{2Lm_p}{P_{set}}} \times \left(\sqrt{\frac{1}{A_{12}}} + \sqrt{\frac{1}{A_{23}}} \right)$$

피스톤의 타격수는 일반적으로 분당 타격수, RPM으로 표시되며, 오일 공급시간 등을 무시할 수 있다면 이론적인 분당 타격수 N 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$N = 60 \times f = \frac{1}{t_{cycle}} \quad (12)$$

$$= \sqrt{\frac{P_{set}}{2Lm_p}} / \left(\sqrt{\frac{1}{A_{12}}} + \sqrt{\frac{1}{A_{23}}} \right)$$

2.4 유압브레이커 내부 오일 공급시간 계산

Eq. (12)와 같이 이론적인 분당 타격수를 계산할 경우 실제에 비해 3~4배 타격수를 과도예측하게 되는 문제가 발생한다. 이는 굴삭기에 장착된 유압펌프가 유압브레이커에서 사용되는 유량을 매우 빠르게 공급하지 못하기 때문에 생기는 문제로, 이에 대한 시간을 Eq. (13)과 같이 고려해 주어야 한다.

$$t_{filling} = LA_{23} / \dot{V} \quad (13)$$

2.5 분당 타격수 계산

결국 유압브레이커의 이론적인 분당 타격수 N 은 Eq. (11)과 Eq. (13)을 이용하여 Eq. (14)와 같이 나타낼 수 있다.

$$N = 60 \times f = \frac{1}{t_{cycle} + t_{filling}} \quad (14)$$

2.6 타격에너지 계산

피스톤이 움직일 때 실린더와의 마찰 등으로 인한 에너지 손실, 피스톤과 치즐이 충돌할 때 반발에 의한 에너지 손실, 그리고 유압브레이커 내부에서의 버퍼링 등에

의한 공간 손실 등이 없다고 가정할 경우 타격에너지는 Eq. (15)와 같이 계산될 수 있다.

$$E = \frac{1}{2} m_p (a_f t_f)^2 \quad (15)$$

3. 유압브레이커 개발 및 시험 결과

3.1 유압브레이커 개발

앞 장에서 설명한 유압브레이커 해석 방법을 이용하여 해외 7톤급 유압브레이커의 일반적 작동 조건인 오일 압력 170 bar, 오일 공급유량 350 LPM 조건에서 해석적으로 타격에너지가 26,148 J, 분당 타격수가 148 RPM이 되도록 유압브레이커를 설계하였다. Fig. 3~5는 설계된 유압브레이커의 Pro-E 모델링 결과를 나타낸다.

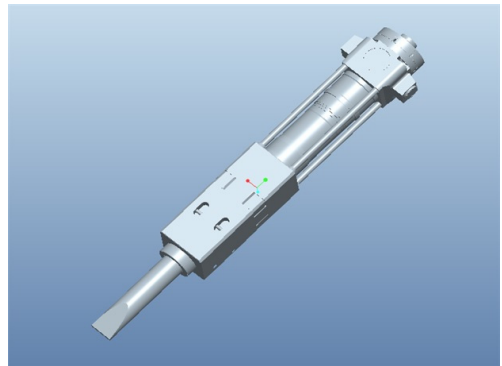


Fig. 3. Hammer assembly modeling

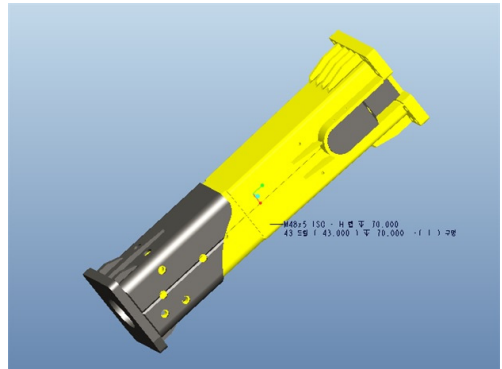


Fig. 4. Housing assembly modeling

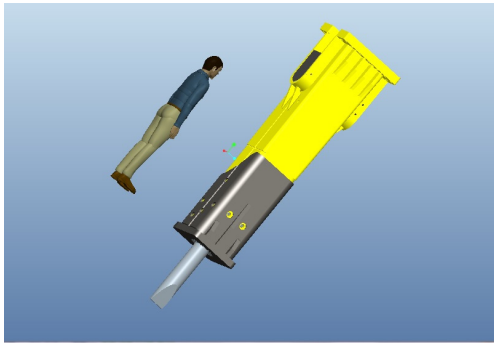


Fig. 5 Hydraulic breaker assembly modeling

Fig. 6은 실제 제작 후 굴삭기에 부착되어 현장에서 테스트가 수행되는 사진을 보여주고 있다. 설계 시 Pro-E를 활용하여 무게를 예측하였으며, 실제 시제품의 무게는 목표치와 동일한 6.5톤을 나타내었다.



Fig. 6. Picture of hydraulic breaker field test



Fig. 7. Test facility for hydraulic breaker in KIMM



Fig. 8. Picture of hydraulic breaker test in KIMM

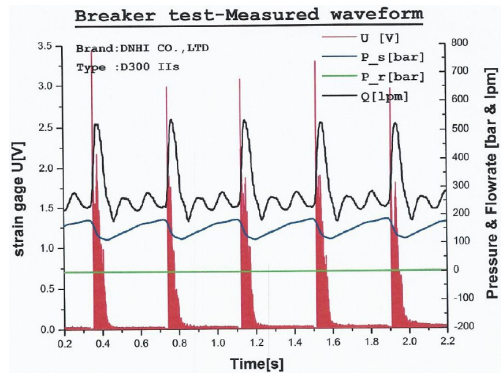


Fig. 9. Test data during 5 strokes

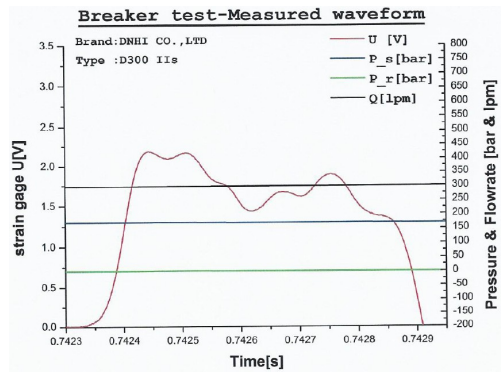


Fig. 10. Enlarged test data during impact instant

3.2 유압브레이커 시험

제작된 유압브레이커의 성능 평가를 위해 한국기계연구원 신뢰성평가센터에 의뢰하여 시험을 수행하였다. Fig. 7, 8은 한국기계연구원의 성능시험 장치와 성능시험을 위해 장착된 유압브레이커 해머 어셈블리(하우징 제외)의 사진을 보여주고 있다. 유량센서로는 터빈유량

계 RE3-300이 사용되며, 압력센서로는 Sensotec 500과 34.5가 사용된다.

시험 방법으로 먼저 타격에너지 시험은 25회의 단속적인 작동 사이클 시간 동안 측정된 데이터 중 각각의 펄스 구분이 명확하고, 다른 파형에 갑질을 받지 않은 파형을 선택하여, 장비의 초기하중을 제거한 하중값과 타격시작 시간에서 마감시간까지의 변형률을 구하였다. 타격에너지 산출은 25회 측정값의 산술평균을 적용하였다.

다음으로 타격주파수는 유압브레이커 피스톤과 툴의 단위 시간당 충돌횟수로 나타내며 원칙적으로 타격주파수는 타격에너지 시험에 사용한 것과 동일한 조건에서 측정되었다. 시험에서 타격주파수는 5회의 연속적인 작동 사이클 시간의 역수로 산출되었다.

시험 조건은 오일펌프 작동압력 170.11 bar, 출구압력 0.86 bar, 작동유량 348.75 LPM에서 수행되었다. 한국 기계연구원의 성능시험 측정 불확도는 3.45%이다. Fig. 9, 10은 유압브레이커 성능시험 시 테스트 데이터를 나타내며, 이러한 데이터를 이용하여 실제 타격에너지와 분당 타격수를 환산하여 계산한다.

측정된 타격에너지는 4,945 J이었으며, 분당 타격수는 155 RPM으로 계산되었다. 앞서서도 언급하였듯이 오일 압력 170 bar, 오일 공급유량 350 LPM 조건에서 타격에너지 및 분당 타격수의 해석값은 26,148 J, 148 RPM이었다. 해석값 기준으로 분당 타격수는 4.7%의 오차를 보였으며, 타격에너지는 81%의 오차를 나타내었다.

4. 결론

본 논문에서는 첫째로 자체중량 6.5톤급 전유압 방식 초대형 유압브레이커 개발을 위한 해석 방법을 연구하였으며, 둘째로 해석 결과를 바탕으로 실제 시제품을 설계, 제작하여 시제품 테스트를 성공적으로 수행하였다.

해석값 기준으로 시제품 테스트 시 측정된 분당 타격수는 4.7%의 오차를 보였으며, 타격에너지는 81%의 오차를 나타내었다. 따라서 본 논문에서 제안된 해석 방법은 분당 타격수 예측은 매우 정확하게 할 수 있지만, 타격에너지는 매우 큰 오차가 발생한다는 것을 확인할 수 있었다. 이는 피스톤이 움직일 때 실린더와의 마찰 등으로 인한 에너지 손실, 피스톤과 치즐이 충돌할 때 반발에 의한 에너지 손실, 그리고 유압브레이커 내부에서의 버

퍼링 등에 의한 공간 손실 등이 없다고 가정하여 타격에너지를 계산했기 때문이다.

보다 정확하게 타격에너지를 예측하기 위해서는 현재의 정역학적 해석 방법이 아닌, 피스톤의 위치, 유압회로 내 오일의 움직임, 마찰 등을 고려하는 동역학적 해석 방법[14]이 사용되어야 하며 이를 위한 추가적인 연구를 수행할 예정이다.

References

- [1] K. Choi, C. Song, "A Study on the Performance Improvement of a Hydraulic Breaker," Proceedings of the 1998 KSPE Fall Conference, pp. 1028-1031, 1998.
- [2] J. Lee, J. Ih, S. Park, T. Ha, J. Lim, "Vibro-acoustic Design and Development of a Low-noise Hydraulic Breaker," Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 11, No. 5, pp. 148-155, 2001.
- [3] W. Sung, T. Noh, C. Song, "A Study on the Reducing the Return Line Pressure Fluctuation of the Hydraulic Breaker System," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 20, No. 9, pp. 70-76, 2003.
- [4] S. H. Lee, C. S. Han, C. S. Song, "A Study on the Performance Improvement of a High Efficiency Hydraulic Breaker," Journal of the KSTLE, Vol. 19, No. 2, pp. 59-64, 2003.
- [5] J. Ih, J. Lee, "Development of a Low-noise Hydraulic Breaker," The 32nd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, August 25-28, 2003.
- [6] G. 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 of Precision Engineering, Vol. 21, No. 4, pp. 154-160, 2004.
- [7] J. W. Park, H. E. Kim, "Test System for Measuring the Impact Energy of a Hydraulic Breaker," Journal of the Korea Fluid Power Systems Society, Vo. 3, No. 1, pp. 27-31, 2006.
- [8] B. Kim, M. Kim, D. Byun, S. Lee, S. Lee, "A Study on the Structure Improvement of Bracket Housing for Structural Noise and Vibration Reduction in Hydraulic Breaker," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 23, No. 11, pp. 108-115, 2006.
- [9] J. W. Park, K. W. Lee, H. E. Kim, "A Study on the

- Analysis of Impact Strain for Hydraulic Breaker Chisel,*
Journal of the Korea Fluid Power Systems Society, Vol. 4, No. 4, pp. 21-27, 2007.
- [10] J. K. Hur, B. K. Lee, K. Kim, “*Design of Side Damper Structure for Shock Absorbing of Hydraulic Breaker,*” Proceedings of the 2008 KSPE Spring Conference, pp. 155-156, 2008.
- [11] S. Choi, H. W. Chang, “*Performance Improvement of an Integrated-type Fully-Hydraulic Breaker by Sensitivity Analysis,*” Journal of the Korea Fluid Power Systems Society, Vol. 6, No. 1, pp. 17-24, 2009.
- [12] C. Kim, I. Kim, “*Noise Reduction of a Hydraulic Breaker by Change of a Chisel,*” Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 20, No. 2, pp. 138-143, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5050/KSNVE.2010.20.2.138>
- [13] T. J. Ryoo, H. W. Chang, “*Performance Optimization of a Gas-Assisted Hydraulic Breaker with Dual Stroke,*” Journal of the Korea Fluid Power Systems Society, Vol. 7, No. 1, pp. 11-19, 2010.
- [14] D. Shin, K. Kwon, “*A Study on Performance Optimization of a Hydraulic Breaker,*” Transactions of the KSME A, Vol. 35, No. 6, pp. 677-682, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3795/ksme-a.2011.35.6.677>
- [15] D. Y. Shin, K. B. Kwon, K. W. Lee, H. S. Choi, “*Summary of Recent Developments of Hydraulic Breakers,*” Journal of the Korea Fluid Power Systems Society, Vol. 8, No. 2, pp. 49-53, 2011.
- [16] Y. K. Kang, “*Summary of Development of Atlas Copco Hydraulic Breaker,*” Journal of the Korea Fluid Power Systems Society, Vol. 8, No. 2, pp. 54-56, 2011.

안 규 복(Kyubok Ahn)

[정회원]



- 2001년 2월 : 서울대학교 항공우주 공학과 (공학석사)
- 2005년 8월 : 서울대학교 기계항공 공학부 (공학박사)
- 2005년 8월 ~ 2013년 8월 : 한국 항공우주연구원 선임연구원
- 2013년 9월 ~ 현재 : 충북대학교 기계공학부 교수

<관심분야>

연소, 추진, 유체