

고효율 유압 브레이커의 성능 향상을 위한 연구

이승현[†] · 한창수* · 송창섭*

한양대학교 정밀기계공학과 대학원
*한양대학교 기계공학부

A Study on the Performance Improvement of a High Efficiency Hydraulic Breaker

Seung Hyun Lee[†], Chang Su Han* and Chang Seop Song*

Department of the Precision Mechanical Engineering, Hanyang University

*School of the Mechanical Engineering, Hanyang University

Abstract – In this study, the hydraulic breaker system was analyzed and the analysis tool using GUI was developed. The analysis on the system with the accumulator was included. From the parametric analysis, the effects of each factor were revealed. Through the simulation with varying parameters, the method to improve the performance of the hydraulic breaker system was presented. The analysis tool will help a man without special knowledge about programming analyze the hydraulic breaker system. The result of this study will help improve the hydraulic breaker system in sight of Blow energy and Blows per minute.

Key words – hydraulic breaker system, high efficiency, accumulator, parametric analysis, blow energy, blows per minute.

1. 서 론

유압 브레이커는 유압을 동력원으로 하여 작동되는 건설기계의 일종으로 일반적으로 굴삭기에 장착되어 건축물의 해체작업이나 포장도로의 보수작업, 암반의 파쇄작업등에 사용되고 있다. 고승환, 임종혁[1]은 유압 브레이커의 모델링 및 피스톤과 치즐간의 탄성 충돌을 고려하여 해석을 하였고, 최귀현[2]은 유압 브레이커의 성능 향상을 위한 연구를 하였으며, 성원준, 이영규[2]는 유압 브레이커 Tool 개발 및 성능 분석을 하였다. 본 연구에서는 유압 브레이커가 장착되는 굴삭기 유압 시스템과 연계하여 유압 에너지 손실을 고려하여 성능을 분석하였고, 적은 유량과 낮은 압력으로도 고타격수, 고타격력을 얻을 수 있는 고효율 유압 브레이커를 구현하기 위해 각 설계 변수들의 범위를 어떻게 설정해야 하는지를 고찰하였다. 또한 Amesim 3.5를 활용하여

유압 브레이커 구조 및 회로를 GUI 기법으로 모델링 및 시뮬레이션을 수행하므로써, 모델링의 편리성 및 성능해석 시간의 단축을 꾀하였다. 일반적으로 브레이커의 성능은 타격 에너지(Blow energy/stroke)와 1분 동안의 타격수(Blows/min)로 평가되는데, 유압에너지 효율을 고려하여 이에 영향을 미치는 인자로서 공급유량, 램 피스톤부의 면적, 가스실 초기 충전압, 가스실 초기 볼륨(volume), 제어 밸브 절환 면적비등의 인자를 선정하여, 이 인자들이 브레이커의 성능에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 유압 브레이커의 구조 및 작동원리

2-1. 유압 브레이커의 구성 요소 및 구조

본 연구에서 고려하는 Fig. 1의 유압 브레이커는, 유압과 질소 가스의 에너지를 램 피스톤의 운동 에너지로 변환하고, 변환된 운동에너지는 치즐을 통하여 타격물에 전달되어 타격물을 파쇄하는 원리로 된 기계장치

[†]주저자 · 책임저자 : shleehyd@hanyang.ac.kr

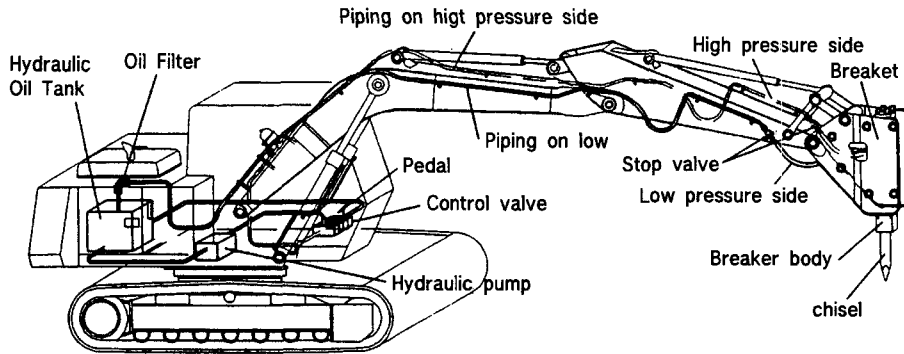
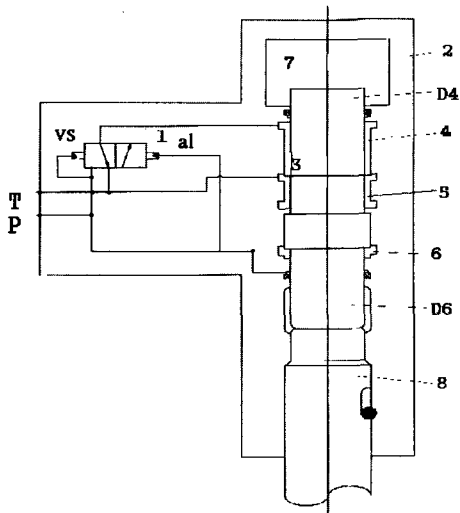


Fig. 1. Schematic diagram of hydraulic breaker system.



- 1 : Control valve
- 2 : Housing
- 3 : Ram piston
- 4 : Upper chamber
- 5 : Middle chamber
- 6 : Lower chamber
- 7 : Gas chamber of back head
- 8 : Chisel
- D4 : Ram piston diameter of upper chamber
- D6 : Ram piston diameter of lower chamber
- al : Alternative port
- vs : valve port
- P : Pump port
- T : Tank port

Fig. 2. Schematic structure of hydraulic breaker.

이다 치즐(Chisel)과 그 치즐에 힘을 가하여 주는 램 피스톤, 램 피스톤에 압력을 공급하는 가스실(Backhead gas chamber), 유로의 방향을 전환함으로써 램 피스톤의 운동방향을 전환시켜주는 제어 밸브등으로 구성되며, 대용량 유압 브레이커에는 축압기가 추가되기도 한다.

2-2. 유압 브레이커의 작동 원리

Fig. 2에서와 같이 유압 브레이커 시스템은 밸브 전환실 안에 있는 제어 밸브1이 램 피스톤3과 실린더2에 연결된 유로를 전환시켜 램 피스톤의 운동 방향을 바꾸어 주고, 상하 운동하는 램 피스톤 위치에 따라서 밸브 전환실 al의 압력이 반전되고, 제어 밸브의 운동 방향 및 위치가 바뀌게 된다. 램 피스톤과 제어 밸브는 상호 종속적이고, 순차적인 운동을 하게 된다. 구성 요소별로 순차적인운동을 분석하여 보면, 유압 펌프로 부터 송출 되는 고압의 유체가 브레이커의 P 포트에 유입되면 상승된 압력은 램 피스톤의 하실(Lower chamber) 6에 작용되어 램 피스톤을 밀어 올리게 되고, 하실 6의 압력의 영향을 받고 있는 방향전환 밸브 좌측의 vs 포트에서 우측방향으로 일정한 힘이 가해지게 된다.

램 피스톤 3이 상승함에 따라 가스실 7의 질소 가스는 에너지를 축적하게 되고, 램 피스톤이 상사점에 도달하게 되면 제어 밸브에 연결된 유로를 통하여 변환 포트 al(Alternative port)의 압력이 상승하여, 제어 밸브에 작용하는 우측방향의 힘을 이겨내며 밸브가 좌측으로 전환되어, 램 피스톤 상실(Upper chamber) 4로 통하는 유로를 개방시켜, 저압의 상태로 있던 램 피스톤 상실을 고압으로 바꾸어 준다. 상실과 하실의 면적차에 의한 힘과 가스실 7의 압축된 질소가스에 의한 압축력에 의해 램 피스톤은 하강운동을 하며, 치즐 8을 타격하게 된다. 상승됐던 제어 밸브는 다시 우측으로 전환되어 램 피스톤 상실을 배출라인 T port로 연결하여 다시 저압 상태로 만들어 주며, 타격 후 램 피스톤은 다시 상승하며 반복적인 왕복운동을 하게 되는 것이다.

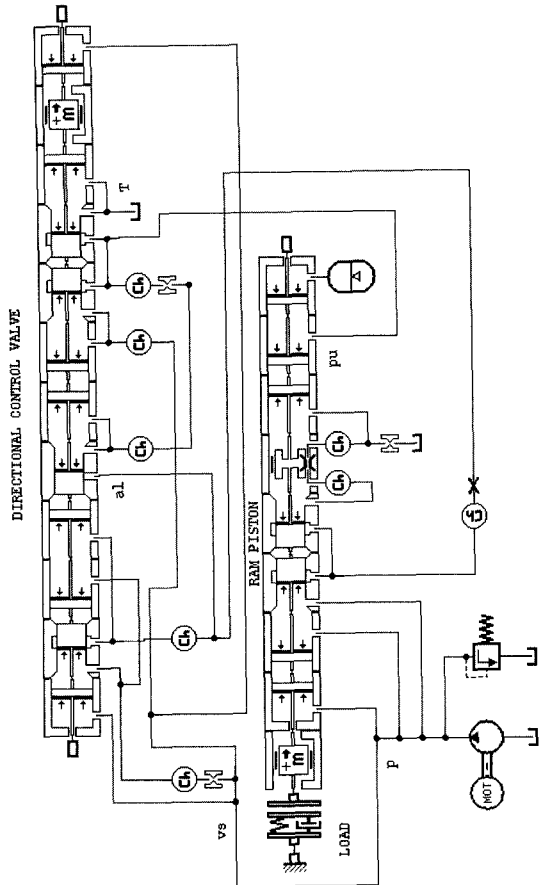


Fig. 3. Modeled diagram of the hydraulic breaker.

3. 유압 브레이커의 해석

본 연구에서는 유압식 브레이커 성능 해석의 Tool로서 Amesim3.5를 이용하여 Fig. 3과 같이 유압 브레이커의 구조 및 유압 시스템을 모델링 하였다.

충돌에 의해 파쇄되는 타격물은 작업 성격에 따라 타격물을 선정할 수 있도록 스프링-댐퍼의 2차 시스템으로 가정하여 고려하였다. 유압 브레이커의 성능에 영향을 미칠 수 있는 인자를 변화시켜가며 시뮬레이션을 수행하여 각 인자들에 대한 최적값의 범위 및 민감도 등을 고찰하였다. 인자로는 공급유량 및 램 피스톤 상실과 하실의 지름, 가스실 초기 충전압력, 가스실 용량, 밸브 절환 수압 면적비등을 선정하였고, 이들에 대한 유압브레이커의 타격수와 타격력, 릴리프 유량, 유압 에너지 효율등의 값들에 대해 분석하였다.

본 연구에서 사용된 브레이커 모델 HTB055은 공급

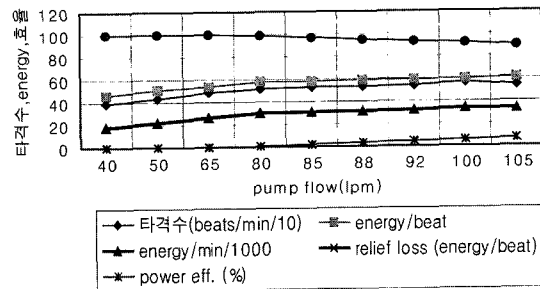


Fig. 4. Effects of supply flow rate.

유량 35~50(l/min), 릴리프 밸브 설정 압력 150(Bar), 가스실 초기 충전압 12(Bar) 등의 조건에서 작동되는 모델이다. 각 인자들에 대한 상세값들은 H사의 입장을 고려하여 제시하지 않았다.

4. 주요인자 영향 분석

4.1. 공급 유량에 따른 영향 분석

Fig. 4에서 보는 것과 같이 공급유량이 많아짐에 따라서 타격수와 타격에너지가 함께 증가하는 것을 볼 수 있다. 하지만 공급 유량 65(l/min) 이상에서부터 릴리프 유량이 증가되고 타격 에너지의 증가율이 감소하면서 파워 효율이 떨어지는 경향을 보이고 있다. 이는 공급유량이 많을수록 각 실(chamber)에서의 압력이 빨리 형성되어 피스톤의 상하 운동이 보다 빠르게 진행되어 타격에너지가 증가되지만, 릴리프 유량이 많아짐에 따라 유압에너지 손실이 증가되어 효율 저하 및 유압 시스템의 과열로 인한 장비의 내구성 저하등을 야기할 수 있다.

타격력과 타격수를 증가시키기 위해서는 공급유량을 많게 하는 것이 브레이커의 성능 향상에 좋은 효과가 있지만 과도한 공급유량 증가는 유압 에너지 효율 저하 및 유압 시스템 과열을 야기할수 있으므로 공급유량 상한치를 제한해야 한다.

4.2. 램 피스톤부 하실과 상실의 수압 면적의 변화에 따른 영향 분석

Fig. 5에서 나타난 것처럼 램 피스톤 상실의 램의 지름(68 mm)을 고정시키고, 램 피스톤 하실의 램의 지름을 증가시키면, 즉 수압면적을 감소시키면 타격수는 하실 지름이 69~71 mm 사이에서 최대값을 보인다. 이는 램 피스톤 하실의 지름이 작을수록 램 피스톤의 상승시 하실의 압력 형성 속도가 늦어져 램 피스톤 상승

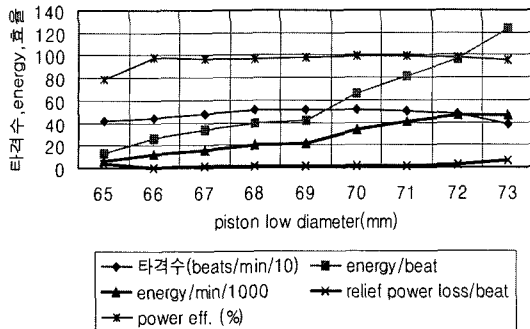


Fig. 5. Effects of the lower diameter of ram piston.

속도를 저하시키고, 램 피스톤 하강시 하실의 수압면적 증가로 인한 램 반발력이 커져 램 피스톤 하강속도를 저하시키기 때문이다. 반면 램 피스톤 하실의 지름이 클수록 램 피스톤 상승시 하실의 수압면적 저하로 인한 램 피스톤 상승력이 떨어져 램 피스톤 상승 속도를 저하시키고, 하실의 과도한 압력 생성으로 인한 릴리프 유량 증가로 유압 에너지 효율이 떨어지게 된다.

타격에너지(energy/beat)는 램 피스톤 하실의 지름을 크게 할수록 즉, 수압 면적을 작게 할수록 증가한다. 이는 램 피스톤 하실의 지름을 증가시키면 타격 행정시 램 피스톤에 상향 방향으로 작용하는 힘이 작아지므로 램 피스톤이 하강속도가 증가되기 때문이다. 타격에너지는 램 피스톤의 운동에너지와 같으므로 증가하게 된다. 반면 타격수를 고려한 타격에너지(energy/min)는 유압 효율 저하로 인해 증가율이 저하된다.

램 피스톤 하실의 수압면적은 타격수와 타격에너지에 큰 영향을 준다.

Fig. 6에서 나타난 것처럼 램 피스톤 하실의 램의 지름을 70 mm로 고정시키고, 램 피스톤 상실 램의 지름을 증가시키면 타격수는 상실의 램 지름 67~69 mm 사이에서 최대치를 나타내고 상실 램의 지름을 67 mm 보다 작게 하면 타격수는 감소한다. 이는 67 mm보다 작은 경우 즉 램 피스톤 상실에서의 수압 면적을 크게 하면 램 피스톤 상실의 체적 변화가 커지게 된다. 이는 공급되는 유량보다 체적 변화가 커져서 램 피스톤 상실에서 램 피스톤에 작용하는 힘이 감소하게 되어 램 피스톤의 하강 속도를 감소시켜서 타격에너지와 타격수를 감소시키게 된다. 상실의 램 지름을 69 mm 보다 증가시키면 즉 수압 면적을 너무 작게 하면 램 피스톤에서 하향 방향으로 작용하는 힘을 작게 하여 타격에너지와 타격수가 감소한다. 또한 피스톤 하강시 릴리프 유량이 상승하여 유압 효율저하 및 유압 시스템

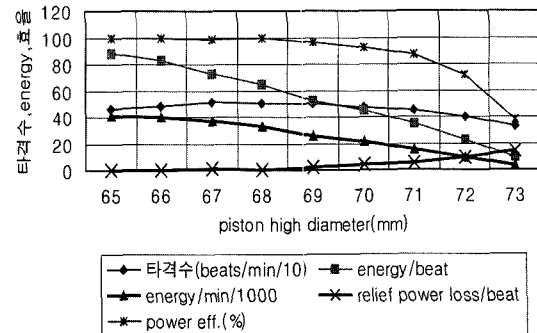


Fig. 6. Effects of the upper diameter of ram piston.

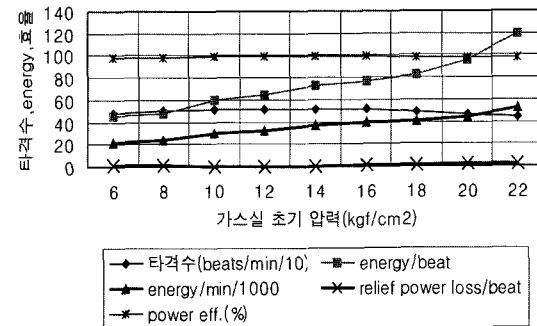


Fig. 7. Effects of the initial pressure of gas chamber.

과열 현상을 가속시킨다.

램 피스톤의 상실의 수압면적은 램 피스톤의 타격수 및 타격에너지, 유압 에너지 효율에 중요한 설계 인자이며 적정 범위로 설계하여야 한다.

4.3. 가스실 초기 충전압의 변화에 따른 영향 분석

Fig. 7에서 가스실의 초기 충전 압력이 클수록 타격 에너지는 증가하지만 12~16 kgf/cm² 사이에서 타격수는 최대값을 갖는다.

이는 가스실에서 램 피스톤에 작용하는 힘의 크기가 가스 초기 충전 압력이 과도하게 크면 램 피스톤에 작용하는 하향 방향의 힘이 커지므로 타격에너지는 증가하지만, 가스 초기 충전압력이 커질수록 램 피스톤 상승운동을 저하시키는 힘이 커져 타격수는 감소한다. 가스 초기 충전 압력이 너무 작으면 램 피스톤에 작용하는 하향 방향의 힘이 작아지므로 타격에너지는 감소한다.

Fig. 8에서 가스실 초기 충전압력을 증가함에 따라 압력진동 폭이 작아짐을 알 수 있다. 이는 압력이 증가하면 가스실의 체적강성계수가 증가하므로 압력의 형성속도가 빨라지기 때문이다. 따라서 급격한 압력 변동

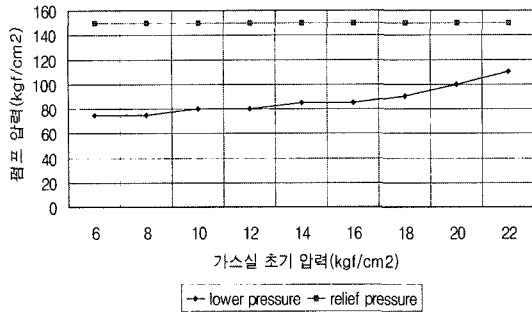


Fig. 8. Effects of the initial pressure of gas chamber.

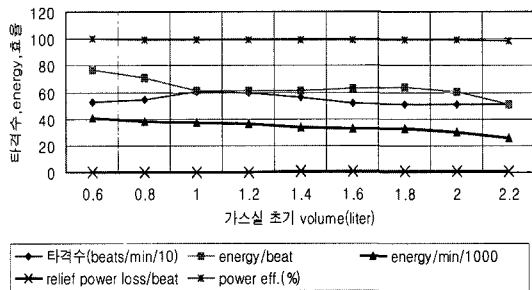


Fig. 9. Effects of the initial volume of gas chamber.

을 막아 유압 시스템의 안정성 향상을 도모할 수 있다.

Fig. 9에서 가스실 초기 부피가 증가함에 따라 타격수는 1~1.2 liter에서 최대를 나타내고 타격에너지는 감소하는 경향을 나타낸다. 가스실 초기 부피가 1liter 이하에서는 램 피스톤 상향 운동에 따라 가스실 압력 상승률이 급격히 높아져 램 피스톤 상승운동을 저하시키기 때문이다. 가스실 초기 부피가 1.2 liter에서는 램 피스톤의 상사점에서 하강 운동시 가스실 압력 팽창률이 작아 램 피스톤을 밀어 주는 힘이 부족하기 때문이다. 즉 피스톤 상승 운동시 가스실 압력 상승률이 과도하게 높지 않도록 해야하고 반대로 램 피스톤 하강 운동시 압력 팽창률이 확보될 수 있는 범위로 가스실 초기 부피를 결정해야 한다.

4-4. 제어 밸브 절환 면적비의 변화에 따른 영향 분석

Fig. 10은 제어 밸브의 절환 면적비에 따른 타격수를 나타낸다. 밸브 절환 면적비가 1.09 이하에서는 절환 면적비가 증가함에 따라 타격수가 민감하게 증가하는데 이는 제어 밸브의 방향 절환 타이밍을 빠르게 할수록 램 피스톤 절환 속도를 빠르게 하기 때문이다. 방향제어 밸브의 절환 면적비는 Fig. 10에서 알 수 있듯이 일정한 값 이상으로 가져갈 필요는 없다.

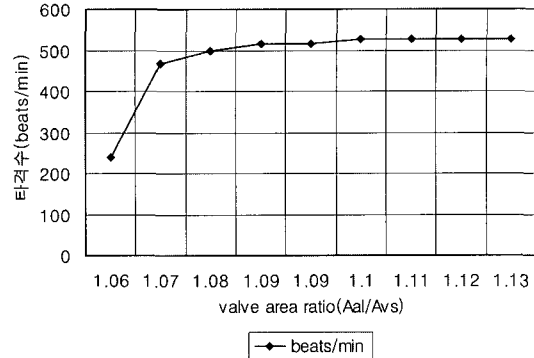


Fig. 10. Effects of the ratio of valve area(Aa/Avs).

6. 결 론

- 공급유량의 증가는 타격수와 타격에너지를 증가시키고, 일정한 값 이상에서는 유압에너지 효율을 저하시켜 상한치를 제한해야 한다.
- 공급유량은 타격에너지에 비하여 타격수 증가에 많은 영향을 준다.
- 램 피스톤 하실의 지름은 1회당 타격에너지는 증가시키지만, 타격수는 일정 범위에서 최대값을 갖고 유압에너지 효율을 저하시므로 일정 범위내에서 최적치를 설계해야한다.
- 램 피스톤 상실의 지름의 증가는 타격수 및 타격에너지, 유압 에너지 효율 저하를 가져온다. 이는 가스실 압력의 영향 및 기계적 강도를 고려하여 최소화시키는 것이 유리하다.
- 가스 초기 충전압력의 증가는 타격에너지 증가를 가져오고, 타격수는 일정범위 내에서 최대치를 갖는다.
- 가스 초기 부피의 증가는 타격에너지 감소를 가져오고 타격수는 일정 범위에서 최대치를 가지며, 펌프 압력 맥동 성능을 향상시킨다.
- 제어 밸브 절환 면적비는 일정한 값 이하에서 타격수에 민감한 영향을 미친다.

후 기

본 논문은 안산시 중소기업기술개발지원사업으로 지원되어 수행하였습니다. 이에 관계자분들께 감사드립니다.

참고문헌

1. 고승환, 임종혁, “유압 브레이커의 모델링 및 피스

- 톤과 치즐간의 탄성 충돌을 고려한 해석,” 대한기계학회, 제19권, 제2호, pp.338~347, 1995.
2. 최귀현, “유압 브레이커의 성능 향상을 위한 연구,” 한양대학교 석사학위논문, 1998.
 3. 이영규, 성원준, 송창섭, “유압 브레이커의 해석용 TOOL 개발 및 성능 분석,” 한국정밀공학회, 제17권, 제4호, Vol7. No.4. 2000.
 4. H. E. Merritt., “Hydraulic Control Systems,” John Wiley & Sons, 1967.
 5. J. Watton, “Fluid Power System,” Prentice Hall, 1989.
 6. Amesim3.5, “Hydraulic Component Design Library” User Manual.