

유압 브레이커의 해석용 TOOL 개발 및 성능 분석

이영규*, 성원준**, 송창섭***

The Development of an Analysis Tool and the Performance Analysis of a Hydraulic Breaker System

Youngkyu Lee*, Wonjoon Sung** and Changseop Song***

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(유압 브레이커 시스템), Analysis tool(해석용 툴), Accumulator(축압기), Parametric analysis(인자분석), Blow energy(타격에너지), Blows per minute(분당타격수)

기호설명

A = Opening area
 C_d = Discharge coefficient
P = Pressure of each control volume
V = Volume of each control volume
 β = Fluid bulk modulus
 ρ = Fluid mass density
 μ = Fluid absolute viscosity
 κ = Specific heat ratio

1. 서론

유압 브레이커는 유압을 동력원으로 하여 작동되는 건설기계의 일종으로 일반적으로 굴삭기에 장착되어 건축물의 해체작업이나 포장도로의 보수작업, 암반의 파쇄작업 등에 사용되고 있다. 이형수^[1]는 유압식 브레이커의 설계 변수에 관한 연구를 하였으며, 고승환, 임중혁^[2]은 유압 브레이커의 모델링 및 피스톤과 치즐 간의 탄성 충돌을 고려하여 해석을 하였다. 최귀현^[3]은 유압 브레이커의 성능 향상을 위한 연구를 행하였다. 본 연구에서는 유압 에너지의 저장과 부족 유량의 보충을 위

* 한양대학교 대학원 정밀기계공학과
** 한양대학교 대학원 정밀기계공학과
*** 한양대학교 기계공학부

한 축압기를 장착한 브레이커의 성능에 대한 분석을 행하였다. 일반적으로 브레이커의 성능은 타격 에너지(Blow energy/stroke)와 1분 동안의 타격수(Blows/min)로 평가되는데, 이에 영향을 미치는 인자로서 공급유량, 램 피스톤부의 면적, 가스실 초기 충전압, 축압기 관련 인자 등을 선정하여, 이 인자들이 브레이커의 성능에 미치는 영향을 분석하였다. 또 Windows 기반의 GUI를 이용하여 프로그램밍에 관한 전문적인 지식이 없는 사람도 손쉽게 유압 브레이커 시스템의 해석 및 설계를 할 수 있는 해석용 Tool을 개발하였다.

2. 유압 브레이커의 구조 및 작동원리

2.1 유압 브레이커의 구성 요소 및 구조

본 연구에서 고려하는 유압 브레이커는, 유압과 질소 가스의 에너지를 램 피스톤의 운동 에너지로 변환하고, 변환된 운동에너지는 치즐을 통하여 타격물에 전달되어 타격물을 파쇄하는 원리로 된 기계 장치이다. 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 방향 전환 밸브 등으로 구성되며, 이에 축압기가 추가되기도 한다.

2.2 유압 브레이커의 작동 원리

Fig.1에서와 같은 유압 브레이커 시스템은 밸브 전환실 안에 있는 방향제어 밸브가 램 피스톤과 실린더에 연결된 유로를 전환시켜 램 피스톤의 운동 방향을 바꾸어 주고, 상하 운동하는 램 피스톤 위치에 따라서 밸브 전환실의 압력이 반전되고 방향제어 밸브의 운동방향 및 위치가 바뀌게 된다. 램 피스톤과 방향제어 밸브는 상호 종속적이고, 순차적인 운동을 하게 된다. 구성 요소별로 순차적인 운동을 분석하여 보면, 유압 펌프로부터 송출되는 고압의 유체가 유량 Q_{Pump} 로 브레이커의 호스에 유입되면 상승된 압력은 검사체적 Main_In을 통하여 램 피스톤의 하실(Lower chamber)에 작용되어 램 피스톤을 밀어 올리게 되고, 검사체적 Main_In의 압력의 영향을 받고 있는 방향전환 밸브 측의 고압실(High pressure chamber)에서는 수압 면적의 차이로 아래방향으로 일정한 힘이 가해지게 된다.

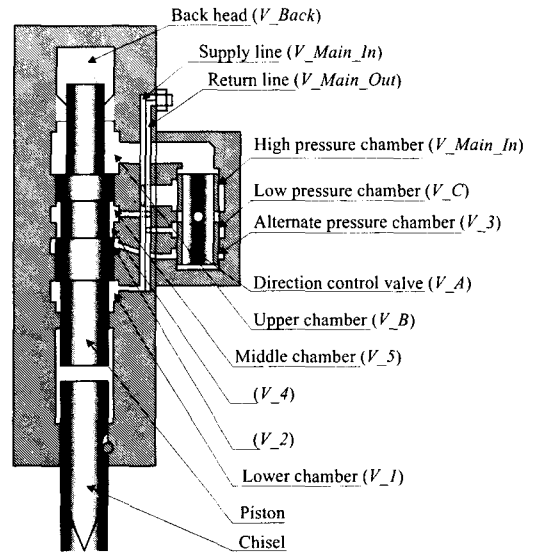


Fig. 1 Schematic diagram of hydraulic breaker system

램 피스톤이 상승함에 따라 백 헤드 가스실의 질소 가스는 에너지를 축적하게 되고, 램 피스톤이 상사점에 도달하게 되면 방향제어 밸브에 연결된 유로를 통하여 변환 압력실(Alternative pressure chamber)의 압력이 상승하여, 방향전환 밸브에 작용하는 아래방향의 힘을 이겨내며 밸브가 상승하여, 램 피스톤 상실(Upper chamber)로 통하는 유로를 개방시켜, 저압의 상태로 있던 램 피스톤 상실을 고압으로 바꾸어 준다. 상실과 하실의 면적차에 의한 힘과 백 헤드 가스실의 압축된 질소가스에 의한 압축력에 의해 램 피스톤은 하강운동을 하며, 치즐을 타격하게 된다. 상승됐던 방향전환 밸브는 다시 하강하여 램 피스톤 상실을 배출라인으로 연결하여 다시 저압 상태로 만들어 주며, 타격 후 램 피스톤은 다시 상승하며 반복적인 왕복운동을 하게 되는 것이다.

3. 유압 브레이커의 해석

유압식 브레이커에 대한 수학적 해석은 우선 램 피스톤과 실린더가 이루는 유실들과 방향전환 밸브 스펴과 슬리브가 이루는 유실들과 각 유실을 이어주는 유로들을 각각의 검사역으로 정의하고, 램 피스톤과 방향제어 밸브 스펴에 가해지는 압력과 마찰력, 중력 등을 고려한 운동 방정식을 구하고, 위에서 정의한 각각의 검사역으로 유입, 유출

되는 유량관계를 나타내는 유량 방정식, 이들 유량들을 가지고, 각 검사역에 압축성을 고려한 연속 방정식을 적용함으로써 각각의 검사역의 압력을 구할 수 있다. 또한 충동에 의해 생기는 운동은 스프링-댐퍼의 1차 시스템^[4]으로 가정하여 고려하였다. 이상과 같이 지배 방정식로부터 유압 브레이커에 대한 수학적 해석 모델을 얻을 수 있다.

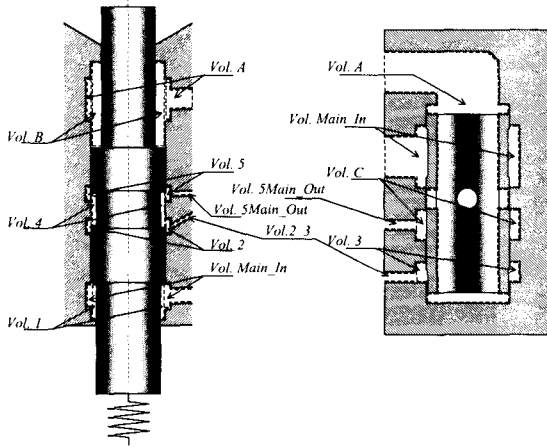


Fig. 2 Definition of control volumes

Fig.2는 각각의 검사역의 구분과 표기법을 나타낸 것이다.

$$M\ddot{x} = \sum F \quad (3.1)$$

식 (3.1)에 의해 각 부분에 대한 운동 방정식을 구한다.

각각의 검사체적의 압력을 구하기 위하여 체적의 변화와 입출력유량을 고려한 연속방정식^[7]을 사용하였다.

$$\frac{dP_i}{dt} = \frac{\beta}{V_i} \left(\sum Q_{In} - \sum Q_{Out} - \frac{dV_i}{dt} \right) \quad (3.2)$$

검사체적 i 와 j 사이의 유량은 식(3.3)에서와 같은 유량방정식으로 모델링을 하였다.^[7]

$$Q_{ij} = C_d \cdot A_{ij} \sqrt{\frac{2(P_i - P_j)}{\rho}} \quad (3.3)$$

가스실의 압력을 구하여 위해서 체적의 변화를 단열적으로 가정^[6]하여 식(3.4)을 사용하였다.

$$P_{new} \cdot V_{new}^k = P_{old} \cdot V_{old}^k \quad (3.4)$$

누설 유량은 가공공차의 틈 사이로 작동유가 흐르는 것을 말한다. 누설 유량은 식(3.5)와 같이 층류유동^[7]으로 고려하였다.

$$Q_{l-ij} = \frac{\pi c^3}{6\mu L} \left[1 + \frac{3}{2} \left(\frac{e}{c} \right)^2 \right] (P_i - P_j) \quad (3.5)$$

축압기는, 축압기 내의 기체를 이상기체로 가정하고, 기체의 압축.팽창 과정이 단열 과정이라고 가정하면, 기체의 압축.팽창 과정을 이상기체의 폴리트로픽 과정으로 모델링할 수 있다. 축압기는 브레이커의 공급 라인에 연결되어 있으므로 유량을 고려한 축압기에서의 유량 방정식, 연속 방정식은 다음 식 (3.6)에 의해

$$Q_{acc} = C_d A_{acc} \sqrt{\frac{2(P_{acc} - P_{HOSE})}{\rho}}$$

$$V_{gc} = V_{gi} - \int Q_{acc} dt \quad (3.6)$$

다음 식 (3.7)과 같다.

$$\frac{dP_{gc}}{dt} = -n \left(\frac{P_{gc}}{V_{gc}} \right) \frac{dV_{gc}}{dt} = n \left(\frac{P_{gc}}{V_{gc}} \right) Q_{acc} \quad (3.7)$$

릴리프 밸브는 압력과 유량간의 특성을 나타내는 특성 곡선을 이용하여 선형적으로 모델링하였다.

4 해석용 TOOL

Fig.3에 본 연구에서 개발한 해석용 Tool의 구조를 간략히 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 사용자가 시스템 파라미터를 입력하게 되면, 프로그램은 입력 받은 데이터를 가지고 각각의 검사역의 체적 및 개로 면적, 면적 구배 등의 값들의 초기치를 계산하고, 이를 바탕으로 유량 방정식, 압력 방정식, 운동 방정식들로 구성된 루프를 돌며 해석을 수행한다. 사용자가 원하는 시간까지

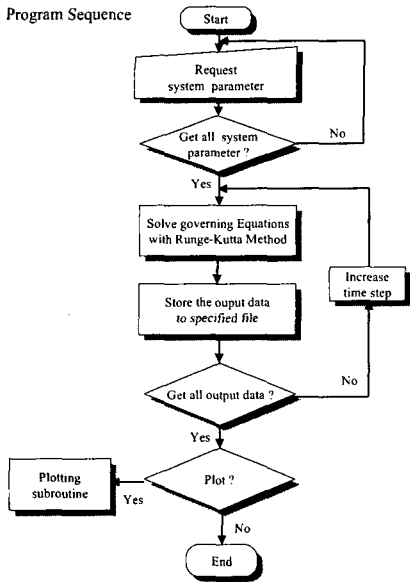


Fig. 3 Sequence of the analysis program

루프를 돌며 해석을 수행하다가 해석이 끝나면 이전에 계산된 데이터들을 처리한다. 해석 데이터를 파일로 출력하게 되며, 그래픽 모듈을 이용하여 그래프 형태로 나타낼 수 있다.

아래 Fig.4 에 램 피스톤의 각 치수를 입력하는 창을 나타내었다.

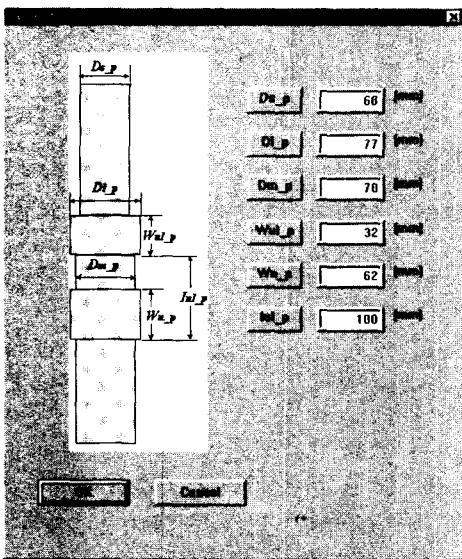


Fig. 4 Input of Ram Piston Spec.

5. 주요인자 영향 분석

본 연구에서는 브레이크의 성능에 영향을 미칠 인자들을 변화시켜 가며 시뮬레이션을 수행하여, 그 성능의 변화를 예측하여 보았다. 인자로서는 축압기 용량, 축압기 초기 질소 가스 충전압, 공급 유량, 램 피스톤 상실과 하실의 수압 면적, 가스실 초기 충전압, 체적 강성 계수, 가공 공차를 선정하였고, 각각의 인자에 대해 램 피스톤의 행정 길이가 짧을 때와 길 때를 선정하였다.

본 연구에서 사용된 S500 은 공급 유량 30~55(l/min), 릴리프 밸브 설정 압력 180(Bar), 백 헤드 초기 질소 가스 충전압 16(Bar) 등의 조건에서 작동되는 모델이다.

5.1 축압기 용량 및 초기 질소 가스 충전압에 따른 영향 분석

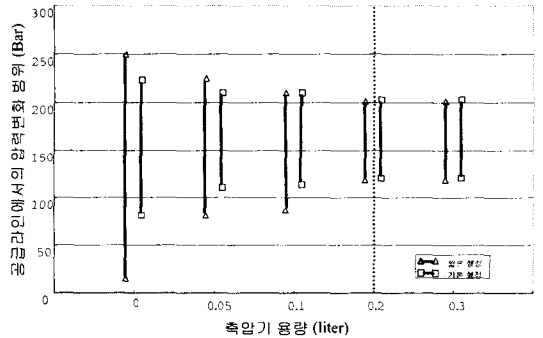


Fig. 5 Effects of accumulator initial gas pressure on P-Hose fluctuation

Fig.5 에서는 축압기의 초기 질소 가스 충전압을 40Bar 로 설정한 후, 축압기 용량만을 변화시켰을 때 램 피스톤의 두 행정길이에 대해 공급 라인에서의 압력변화를 나타내었다. 용량이 0(l)라는 것은 축압기를 장착하지 않은 경우를 말한다.

축압기의 용량이 커질수록 공급라인의 압력변화가 급격하게 줄어들지만 축압기의 용량이 0.2(l)이상의 경우는 거의 변화를 나타내지 않고 있다. 그리고 행정이 긴 경우보다 짧을 경우에서 공급라인의 압력변화가 더 크게 나타났다. 이로부터 램 피스톤의 행정 길이가 짧을 경우에 축압기의 장착이 더 효과적이라고 하겠다.

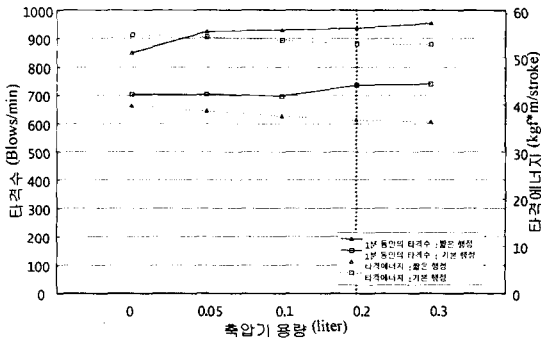


Fig. 6 Effects of accumulator size on Bpm & blow energy of a stroke

Fig.6 에서 타격에너지는 두 가지 행정에 대해 모두 축압기의 용량이 커질수록 약간 작아지는 경향을 보이고, 타격수는 축압기의 용량이 커질수록 증가하는 경향을 보이고 있다. 하지만 공급라인에서의 압력변화가 줄어들는 것에 비해 타격에너지와 타격수는 축압기의 용량변화에 큰 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있다.

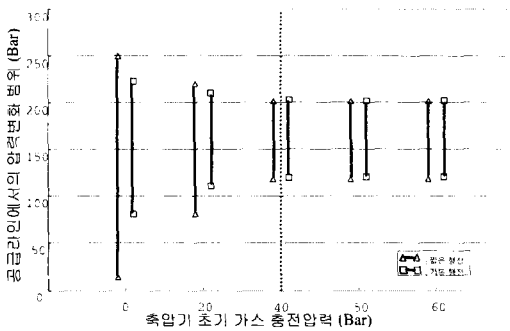


Fig. 7 Effects of accumulator initial gas pressure on P-Hose fluctuation

Fig.7 에서는 램 피스톤의 두 행정에 대해, 축압기의 초기 질소 가스 충전압의 변화에 따른 공급라인의 압력변화를 나타내었다.

축압기의 용량은 0.2(l)이고, 축압기의 초기 질소 가스 충전압을 증가시키면, 공급라인에서의 압력변화는 축압기의 초기 질소 가스 충전압이 40Bar 일때까지 급격히 줄어들고 있는 것을 나타내고 있다. 램피스톤의 행정길이가 짧을 경우 축압기를 장착하면 더 나은 효과를 얻을 수 있다.

Fig.8 에서는 긴 행정, 짧은 행정 두가지 경우

모두 축압기 초기 가스 충전압력이 증가할수록 타격수는 약간 증가하고 타격에너지는 약간 감소하는 경향을 보이고 있다.

축압기의 초기 질소 가스 충전압의 변화에 따른 타격수 및 타격에너지 변화는 공급라인에서의 압력변화에 비해 큰 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있다.

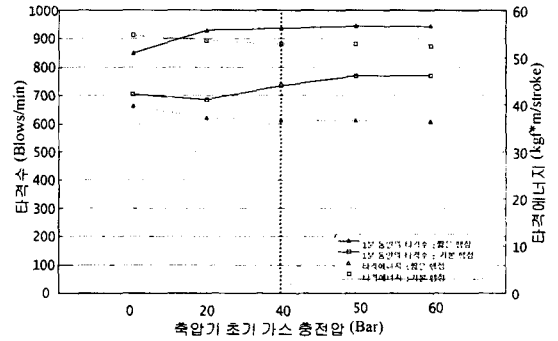


Fig. 8 Effects of accumulator initial gas pressure on Bpm & blow energy of a stroke

5.2 공급 유량에 따른 영향 분석

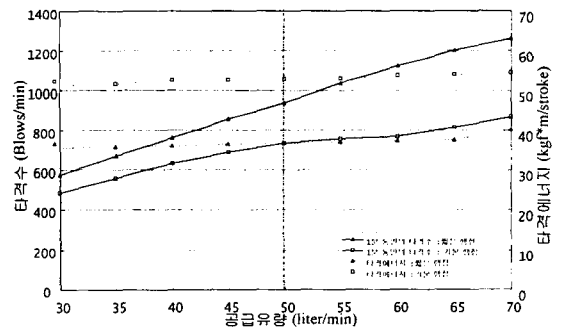


Fig. 9 Effects of supply flow rate on Bpm & blow energy of a stroke

Fig.9 에서 보는 것과 같이 공급유량이 많아짐에 따라서 램피스톤의 행정길이가 짧을 경우와 길 경우 타격수와 타격에너지가 함께 증가하는 것을 볼 수 있다. 하지만 타격에너지의 증가보다 타격수의 증가가 더욱 크게 나타났다. 이는 공급유량이 많을수록 각 검사역에서의 압력이 빨리 형성되어 피스톤의 상하운동이 보다 빠르게 진행되기 때문이다. 타격에너지는 공급유량이 증가할수록 각 검사역에서의 압력이 점점 높아지지는 않으므로 타격에너지가 그만큼 커지지는 않는다.

타격수를 증가 시키기 위해서는 행정길이가 짧을 경우와 긴 경우 모두 공급유량을 많게 하는 것이 브레이크의 성능 향상에 좋은 효과가 있다.

5.3 램 피스톤부 하실과 상실의 수압 면적의 변화에 따른 영향 분석

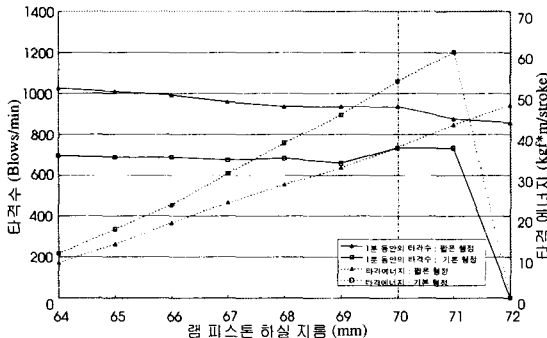


Fig. 10 Effects of the ratio of lower chamber diameter of ram piston on Bpm & blow energy of a stroke

Fig.10에서 나타난 것처럼 램 피스톤 상실의 램의 지름(68mm)을 고정시키고, 램 피스톤 하실의 램의 지름을 증가시키면, 즉 수압면적을 감소시키면 타격수는 브레이크가 작동하는 영역에서는 최소치가 존재한다. 이는 하실에서의 압력이 일정한 상태에서 하실의 지름이 작아질수록 타격 시 하실에 작용하는 힘이 점점 커져 치를 타격하기도 전에 상승행정이 시작되는 현상이 발생하기 때문이다.

타격에너지는 램 피스톤 하실의 지름을 크게 할수록 즉, 수압 면적을 작게 할수록 증가한다. 이는 램 피스톤 하실의 지름을 증가시키면 타격행정 시 램 피스톤에 상향방향으로 작용하는 힘도 커지므로 램 피스톤이 받는 힘이 작아져 하강속도가 감소되기 때문이다. 타격에너지는 램 피스톤의 운동에너지와 같으므로 감소하게 된다.

행정길이가 길 경우 램 피스톤 하실에서의 램의 지름이 어느 이상이 되면 램 피스톤 하실에서 램 피스톤에 작용하는 힘이 램 피스톤을 밀어올리는 최소의 힘보다 작게 되어 타격행정을 수행하지 못하게 된다. 이를 극복하기 위해서는 릴리프 설정압력을 높여주어 램 피스톤 하실에서 발생하는 압력을 높여주어야 한다. 행정길이가 짧을 경우, 행정 길이가 길 경우의 타격행정을 수행하지 못하

는 램 피스톤 하실 지름 구간에서도(71mm 이상의 구간) 브레이크가 작동하게 된다. 이는 램 피스톤이 올라갈 수 있는 전환점까지의 길이가 작아졌기 때문에 수압 면적이 작게 되더라도 램 피스톤이 전환점까지 상승하여 방향 제어 밸브로 통하는 유로가 열려 타격행정이 수행되어 진다.

램 피스톤 하실의 수압면적은 행정길이가 짧을 경우와 길 경우 모두 타격수에 비해 타격에너지와 릴리프 밸브 설정압력이 상관되어 큰 영향을 준다.

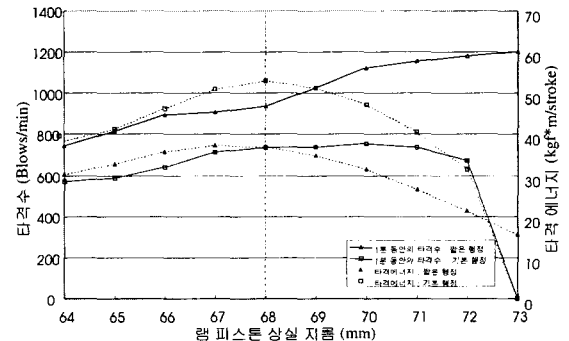


Fig. 11 Effects of the ratio of upper chamber diameter of ram piston on Bpm & blow energy of a stroke

Fig.11에서 나타난 것처럼 램 피스톤 하실의 램의 지름(70mm)을 고정시키고, 램 피스톤 상실의 램의 지름을 증가 시키면 행정길이가 짧을 경우와 길 경우 모두 타격수가 가장 큰 값이 존재한다.

램 피스톤 상실에서의 수압 면적을 작게 하면 램 피스톤에서 하향 방향으로 작용 하는 힘을 작게 하여 타격에너지와 타격수가 감소한다. 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.

램 피스톤의 상실의 수압면적은 램 피스톤의 행정이 길 경우와 짧을 경우 타격에너지와 타격수 모두와 상관이 있음을 보여주고 있다.

5.4 가스실 초기 충전압의 변화에 따른 영향 분석

Fig.12 에서는 Backhead 의 초기 질소 가스 충전 압력이 클수록 두 행정길이에 대해 타격에너지는 증가하지만 타격수는 감소함을 보여주고 있다.

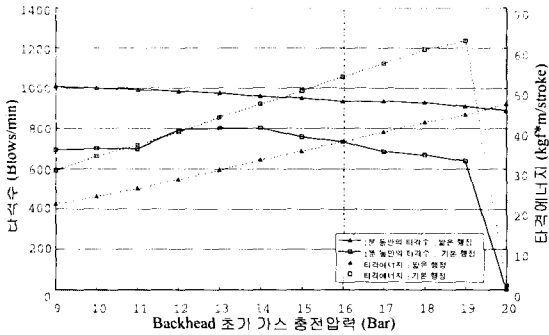


Fig. 12 Effects of C.V.Backhead initial pressure on Bpm & blow energy of a stroke

이는 Backhead 에서 램 피스톤에 작용하는 힘의 크기가 초기 질소 가스 충전 압력이 커질수록 램 피스톤에 작용하는 하향 방향의 힘이 커지므로 타격에너지는 증가한다. 하지만, 초기 질소 가스 충전압력이 커질수록 램 피스톤 하실에서 압력 형성 시간이 그만큼 증가해야 되므로 타격수는 감소한다. 따라서 Backhead 의 초기 질소 개스 충전압은 행정길이가 짧은 경우와 길 경우 모두 타격에너지와 릴리프 설정압력이 상관되어 많은 영향을 준다.

5.5 체적 강성 계수의 변화에 따른 영향 분석

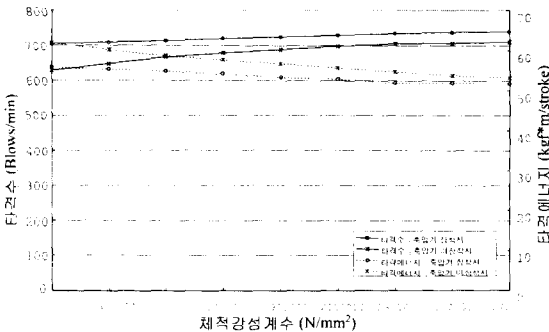


Fig. 13 Effects of bulk modulus on Bpm & blow energy of a stroke

Fig.13 에서와 같이 축압기를 장착했을 때, 장착하지 않았을 때 모두 체적강성계수가 증가함에 따라 타격수는 증가하며, 타격에너지는 감소한다.

이는 체적강성계수가 증가 하면 각 검사역에서의 압력의 형성 속도가 빨라지므로 타격수가 증가한다. 그러나 압력의 빠른 형성으로 인하여 타격 행정시 램 피스톤 하실의 압력이 빠르게 형성되어 타격에너지는 감소한다.

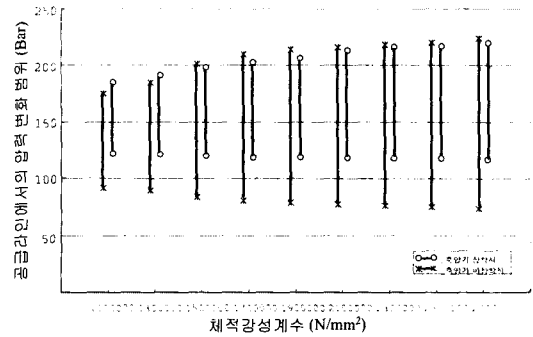


Fig. 14 Effects of bulk modulus on P_Hose fluctuation

Fig.14 에서는 체적강성계수가 증가함에 따라 공급라인에서의 압력변화를 보여주고 있다. 축압기를 장착했을 경우와 장착하지 않았을 경우 모두 체적강성계수가 증가 하면 공급라인에서의 압력변화가 증가하는데 이는 빠른 속도로 상하왕복 운동을 함에 있어, 유량에 의한 압력의 형성이 체적강성계수가 증가함에 따라 빠른 응답을 보이므로 공급라인에서의 압력변동이 커지게 되는 것이다.

체적강성계수는 작동유의 기본 성질이고, 종류에 따라서 달라지며, 또한 판로와의 유효강성계수 (Effective bulk modulus)를 계산하여 사용한다.

5.6 가공 공차의 변화에 따른 영향 분석

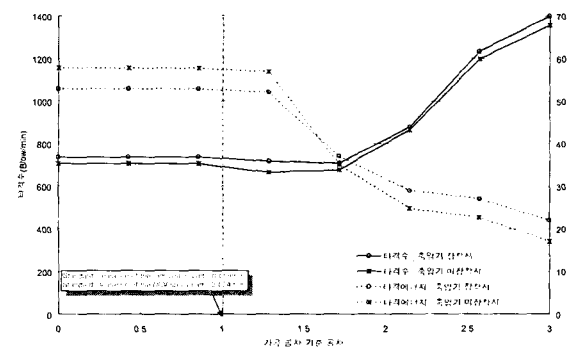


Fig. 15 Effects of the ratio of the clearance variation to the standard clearance on Bpm & blow energy

Fig.15 에서와 같이 피스톤과 밸브의 가공 공차가 커짐에 따라서 축압기를 장착했을 때, 장착하지 않았을 때 모두 누설 유량의 증가로 타격에너지가 줄어 들고, 타격수는 증가하는 것을 알 수 있다. 타격수가 증가 하는 이유는 누설유량의 증가로 피스톤 상승시, 피스톤이 전환점 까지 도달하지 않았는데 방향제어 밸브 전환실에서 유량이 유입되어 압력이 형성되어 타격행정을 시작하기 때문이다. 이로 인해 행정이 짧아지는 효과가 발생되어 타격수가 증가하게 된다.

타격에너지는 가공공차의 비가 증가함에 따라 점차로 감소하다가 급격한 감소 추세를 보였다. 이로부터 본 모델에서는 브레이커의 가공 시 설계 공차보다 150%이상으로 가공을 하면 비정상적인 행정으로 브레이커의 성능이 크게 저하되는 것을 알 수 있었다.

6. 결 론

1. 축압기 용량은 행정길이가 짧을 경우와 길 경우 모두 타격에너지, 타격수에 비하여 공급라인에서의 압력변동을 줄여주는데 큰 영향을 준다. 특히 축압기는 행정길이가 짧을 경우 압력변동을 줄여주는데 더욱 큰 성능을 보여주고 있다. S500⁽⁹⁾ 모델의 경우 0.2liter 에서 최적의 성능을 보였다. 축압기의 초기 질소 가스 충전압력은 행정길이가 짧을 경우와 길 경우 모두 타격에너지, 타격수에 비하여 공급라인에서의 압력변동을 줄여주는데 큰 영향을 준다. S500 모델의 경우 50Bar 에서 최적의 성능을 보였다.

2. 공급유량은 행정길이가 짧을 경우와 길 경우 모두 타격에너지에 비하여 타격수 증가에 많은 영향을 준다.

3. 램 피스톤 하실에서의 수압면적은 행정길이가 짧을 경우와 길 경우 모두 타격수에 비하여, 릴리프 밸브 설정압력과 상관되어 타격에너지에 많은 영향을 준다. 램 피스톤 상실의 수압면적은 타격에너지와 타격수 모두에게 영향을 주는데, 행정길이가 길 경우 램 피스톤 상실지름이 68(mm)에서, 짧을 경우 67(mm)에서 타격수가 가장 크게 된다.

4. Backhead 초기 가스 충전압력은 릴리프 설정 압력과 상관되어 행정길이가 짧을 경우와 길 경우 타격에너지에 많은 영향을 준다. 행정길이가 짧을

경우에서는 가스실의 초기 가스 충전압력을 높여 주는 것이 성능을 향상시킬 수 있다.

5. 체적탄성계수가 증가할수록 타격에너지는 감소하나, 타격수는 증가하고, 공급라인에서의 압력변화 범위는 커진다.

6. 가공 공차가 증가하면 누설 유량은 가공 공차의 증가분의 제공에 비례하게 증가하나, 가공 공차의 크기가 어느 한도 이상이 되면 브레이커의 성능이 크게 저하된다.

참고문헌

1. 이 형수, "유압식 브레이커의 설계변수에 관한 연구," 한양대학교 석사학위논문, 1989.
2. 고 승환, 임 종혁, "유압 브레이커의 모델링 및 피스톤과 치즐간의 탄성충돌을 고려한 해석," 대한기계학회 논문집, 제 19 권, 제 2 호, pp. 338~347, 1995.
3. 최귀현, 성원준, 송창섭, "유압 브레이커의 성능 향상을 위한 연구," 한양대학교 기계기술연구 논문집, 제 5 권, 제 1 호, pp. 57~64, 1999
4. 임 종혁, "유압 Breaker 의 동특성 해석," 대구 기보, 제 38 호, pp. 5~16, 1995.
5. Ferdinand P.Beer, E.Russell Johnston Jr, "Vector Mechanics for Engineers 2nd S.I. Metric Edition," McGraw-Hill Book Company, 1990.
6. 최 귀현, "유압 브레이커의 성능 향상을 위한 연구," 한양대학교 석사학위논문, 1998.
7. Herbert E. Merritt., "Hydraulic Control Systems," John Wiley & Sons, 1967.
8. 이 용주, "유압 시스템용 모듈화 해석 Tool 의 개발에 관한 연구," 한양대학교 박사학위논문, 1997.
9. (주) 대모 엔지니어링 브레이커 Catalog.