

유압 브레이커의 타격 에너지 측정을 위한 유압 변환장치 개발

이근호[#], 이용범^{*}, 정동수^{*}

Development of the Hydraulic Pressure Transducer System for Testing the Impact Energy of Hydraulic Breaker

Geunho Lee[#], YongBum Lee^{*} and DongSu Jeong^{*}

ABSTRACT

Hydraulic breaker of excavator has been used for the destruction and disassembling of buildings, crashing road pavement, breaking rocks at quarry and etc. The performance of breakers is evaluated their own destructive force and the number of impact by input hydraulic flow rate and pressure on the operating conditions. Because hydraulic breakers generate high impact energy, the accurate measurement of the impact force has been facing a technical challenge. In this study, the hydraulic pressure transducer system was developed based on the characteristics of pressure variation in closed vessel for testing the impact energy. The hydraulic pressure transducer system is consisted with a hydraulic cylinder, main base, pressure & temperature sensors, LVDT, data acquisition system and etc. The developed hydraulic pressure transducer system was applied to measure the impact energy for hydraulic breaker. The measured impact force was 438.8 kgf.m within the designed impact force bounds. The developed hydraulic pressure transducer system as a simple tester could be applied to measure the impact force and the number of impact.

Key Words : Hydraulic Breaker(유압 브레이커), Impact Energy(타격 에너지), Hydraulic Pressure Transducer System(유압 변환장치), Hydraulic Cylinder(유압 실린더)

1. 서론

브레이커(Breaker)는 건축물해체, 도로보수, 토목 공사 및 채석장 암반 파쇄 등의 전형적인 토목 및 건설현장에서 사용되는 부착작업기(Attachment)의 일종이다. 주로 중량물의 파쇄에 사용되는 유압 브레이커는 굴삭기(Excavator) 등의 건설 중장비에

장착하여 사용되며, 작업능률의 향상과 경제성 측면에서 활용성이 높아 그 사용 빈도가 지속적으로 증가 중인 기계 제품이다. 유압 브레이커는 Fig. 1 과 같이 실린더, 피스톤, 절환밸브, 백헤드(Backhead), 및 치즐(Chisel)로 구성되어 있으며, 브라켓(Bracket)으로 굴삭기에 고정되어 있다.¹

굴삭기 유압펌프에서 발생하는 유압동력이 유압 브레이커의 절환밸브의 작동에 따라 피스톤이

[†] 접수일: 2003년 10월 6일 게재승인일: 2004년 2월 20일
[#] 교신저자 : 한국기계연구원 첨단산업기술연구부
E-mail: Ghlee762@kimm.re.kr, Tel: (042)868-7161
^{*} 한국기계연구원 첨단산업기술연구부

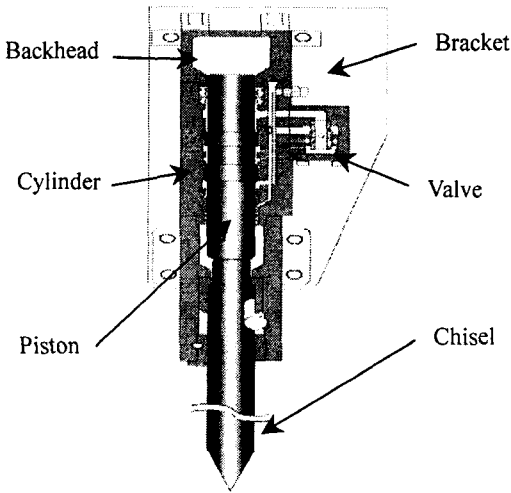


Fig. 1 Hydraulic breaker

상하 왕복 운동하게 되며 이때 피스톤의 램이 치줄을 가격하여 전달된 운동에너지로 대상물을 파쇄한다. 따라서 브레이커의 성능에서 타격력 (Impact Force)은 가장 중요한 요소이다.^{2,3}

그러나 유압 브레이커의 경우 대단히 큰 운동에너지에 의하여 작동하게 됨으로 타격력에 대한 정확한 측정이 매우 어려운 문제로 대두 되어왔다. 따라서 유압 브레이커의 타격력을 측정하기 위해서는 로드셀(Load cell)을 사용하거나, 큰 관성중량(Inertia mass)의 기초를 만든 후 치줄에 스트레인 게이지(Strain Gauge)를 부착하여 타격에너지를 측정한다.⁴ 타격력 측정을 위하여 로드셀을 사용하는 경우, 큰 충격력으로 시험시 로드셀이 파손되거나, 로드셀의 측정 한계 때문에 측정할 수 있는 타격력이 제한되어 중대형 유압 브레이커의 경우 로드셀로 측정할 수가 없다. 치줄에 스트레인 게이지를 부착하여 측정하는 방법은 큰 관성중량의 기초가 필요하므로 시설 비용이 과다하게 요구되며, 다양한 기종을 시험할 때마다 브레이커 기종에 맞는 스트레인 게이지를 치줄에 부착해야 하고, 매번 보정(Calibration)을 해야 하는 번거로운 문제가 있어 현실적으로 유압 브레이커의 개발 및 양산 적용에 많은 어려움이 있다.

따라서 본 연구에서는 실린더의 압력 및 체적변화로부터 타격력을 측정할 수 있는 유압 변환장치 (Hydraulic Pressure Transducer System)를 제안하였다.

실린더와 같은 밀폐 압력용기에 충격력이 가해지면 내부 압력 및 부피가 변화되므로, 유압 브레이커가 밀폐된 실린더를 타격할 시 실린더 내부의 압력 및 체적변화를 타격에너지로 변환할 수 있어 타격력을 측정할 수 있다. 유압 변환장치를 이용한 유압 브레이커의 타격에너지 측정은 유압 브레이커의 주요 성능인 타격력 및 타격수 측정 시험에 활용할 수 있으며, 유압 브레이커의 기종에 관계없이 간편한 시험이 가능하다. 따라서 유압 브레이커의 신규개발 및 양산단계의 성능 측정에 용이하게 적용할 수 있는 새로운 시험법이다. 본 연구에서는 25 ton 굴삭기에 장착되는 중형 유압 브레이커의 성능시험으로 개발된 유압 변환장치를 이용하여 타격력과 타격수를 측정하였다.

2. 타격 에너지 측정 이론

일정한 압력을 가지고 있는 실린더 등의 밀폐용기에 외부로부터 에너지가 공급되면, 실린더 내부의 압력은 상승하게 된다. 특히 밀폐되고 정지된 유체에 가해진 압력은 유체의 모든 부분에서 동일하다는 파스칼의 원리에 따라, 식(1)과 같이 실린더 내부의 유체에 외부 에너지가 가해지면 실린더의 내부 압력은 전달된 에너지에 비례하게 된다.

$$E_{ex} \propto \Delta P_{cyl} \quad (1)$$

여기서 E_{ex} : 외부 에너지

ΔP_{cyl} : 실린더 내부 압력차

그러므로 Fig. 2 와 같이 실린더에 전달되는 에너지가 유압 브레이커 타격이라면, 실린더 내부의 압력 변화는 타격 에너지에 비례하게 되므로 압력 변화로부터 타격에너지를 추정할 수 있다. 실린더의 초기 압력상태 P_1 에 타격 에너지가 가해지면,

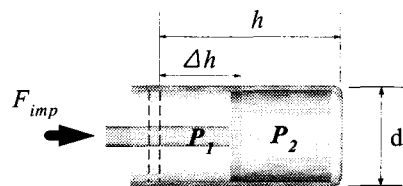


Fig. 2 Pressure variation by impact force in cylinder

실린더의 내부 압력은 증가하여 P_2 로 변화하게 된다. 따라서 식(2)와 같이 타격에너지 E_{im} 는 전달된 외부 타격력 F_{im} 과 압축된 실린더 높이 Δh 로 표현되며, 이는 타격력 F_{im} 로 인하여 압축된 실린더 내부 압력차 ΔP_{cyl} 와 실린더 체적 변화량 ΔV_{cyl} 로 나타낼 수 있다.⁵

$$\begin{aligned} E_{im} &= F_{im} \cdot \Delta h \\ &= \Delta P_{cyl} \cdot \Delta V_{cyl} \end{aligned} \quad (2)$$

따라서 타격력이 가해진 후 실린더의 내부의 유체의 압력변화와 체적변화를 알 수 있다면, 식(2)에 따라 그 실린더에 가해진 타격 에너지를 측정할 수 있다. 그러나 실린더 내부의 유체의 압력 및 체적변화는 유체의 특성에 따라 변화되며, 유체의 특성은 사용압력과 온도에 따라 변화된다. 그러므로 타격에너지는 식(3)과 같이 압력과 체적에 의한 함수로 표현되어진다.

$$f_{E_im}(P, T) = f_{P_cyl}(P, T) \cdot f_{V_cyl}(T) \quad (3)$$

여기서 $f_{E_im}(P, T)$: 타격 에너지 함수
 $f_{P_cyl}(P, T)$: 압력차 함수
 $f_{V_cyl}(T)$: 체적차 함수

실린더 내부의 유체로 기름을 사용하여 타격 에너지 측정하고자 할 때, 사용압력에 따른 체적의 변화는 미미하나, 온도에 따른 체적 변화량은 작지 않으므로 체적 변화를 측정하는 경우 온도에 따른 변화량을 보정하여야 한다.

3. 유압 변환기 측정 시스템

3.1 시험장치 메커니즘

유압 브레이커의 타격 에너지를 측정하기 위한 시험장치로 2.장의 실린더내의 압력변화와 타격 에너지와의 관계식을 이용하여 Fig. 3 과 같이 유압 변환장치 메커니즘(Mechanism)을 제안하였다.

유압 변환장치에서 유압 브레이커의 타격력은

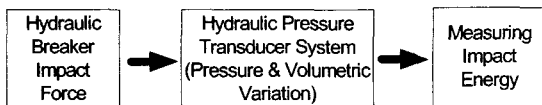


Fig. 3 Concept of test mechanism system

시험 지그(Test jig)를 통하여 유압 실린더에 전달되며, 이때 실린더 하단에 부착된 압력센서와 실린더 내부에 설치된 위치센서(LVDT)를 통하여 실린더 내부 작동유의 압축에 의한 피스톤 변이와 압력의 변화로부터 타격력 에너지를 측정할 수 있는 시험장치이다.⁶

Fig 4 와 같이 개발하고자 하는 유압 변환장치는 브레이커의 타격력을 충분히 견딜 수 있는 구조를 가져야 하며, 어느 장소에 위치하더라도 지면 반발력에 의한 타격 에너지 변화가 생기지 않도록 공기 방진구(Air mount isolator)를 채택하였다. 그리고 유압 실린더 내부로 작동유를 보충할 수 있는 유량 공급장치(Oil supply system), 센서로부터 측정된 데이터를 받아 실시간으로 모니터링하고, 데이터를 그래프로 저장 할 수 있는 데이터 획득시스템(Data acquisition system)으로 구성되었다. 브레이커의 타격수에 따라 타격에너지를 충분히 측정할 수 있도록 주파수를 최대 15 Hz 로 설계하였다. 또한 압력센서는 최대 700 bar 용을 채택하였으며, 씰(Seal) 구조는 브레이커의 타격시에 전달되는 하중으로 유압 실린더 피스톤이 이동하는 경우에 마찰을 최대한 줄일 수 있도록, 운동부에는 정유압 베어링(Hydrostatic bearing)을 채택하였다.

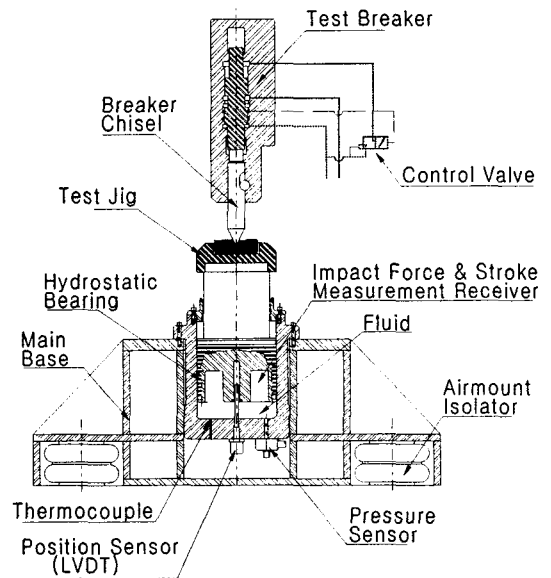


Fig. 4 Mechanism of hydraulic pressure transducer system

Table 1 Specifications of test system

Classifications	Specifications	Remark
Type	Hydraulic type	-
Impact force	700 kgf.m	at 500 bar
Frequency	15 Hz	± 60 mm
Actuator piston diameter	350 mm	962.11 cm ²
Actuator rod diameter	300 mm	706.85 cm ²
Actuator stroke	150.0 mm	-
Seal mechanism	Low friction Glyd ring type(700 bar)	Busak
LVDT	250 L	MTS
Pressure sensor	700 bar	NTS
Data acquisition system	4-channel	Parker electronics
Maximum Height	1080 mm	-
Base Dimension	655(H),1200(W),1200(L)	Welding
Tester Weight	4.5 ton	-

그리고 유압 실린더와 피스톤 정지부에는 그리드 링(Glyd ring)방식의 저마찰 씰(Seal)을 채택하였다. Table 1 은 개발된 시험장비의 상세 사양을 나타낸 것이다. 또한 Fig. 5 는 상기사양에 따라 유압 브레이커의 타격에너지 측정을 위하여 제작된 유압 변환장치의 모습이다.

3.2 타격 에너지 측정 알고리즘

유압 변환장치를 이용한 유압 브레이커의 타격 에너지 측정 시험시에 시험장치가 실시간으로 데이터를 취득하여, 모니터링 하거나 해석하기 위하여 측정 알고리즘의 개발이 필요하다. 측정 알고

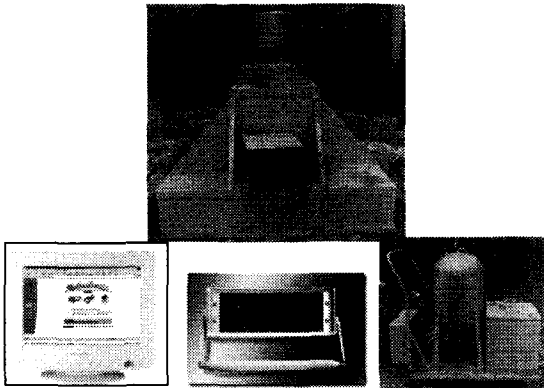


Fig. 5 Hydraulic pressure transducer system for impact force

리즘은 타격 에너지의 측정을 위한 유압 변환장치 특성에 따라 시험시간 및 주파수 그리고, 읽고자 하는 초기조건(압력, 온도 및 변위)에 따라 센서 (Sensor)의 채널을 설정할 수 있어야 한다.⁷ 초기위치, 압력 및 온도 설정은 시각화하여 편리하게 조절되며, 브레이커의 타격수에 따라 충분한 데이터를 얻기 위하여 샘플링 시간(Sampling time)은 10 KHz 이상으로 설정하였다. 초기 설정이 완료되면 시운전을 실시하여 피스톤 변위, 실린더 내부 압력 및 온도와 시간을 측정하고 측정된 데이터가 정상적일 경우 측정 데이터를 저장하며, 비정상적인 경우 오류에 대한 경고 표시를 통하여 시험자가 시험기의 오작동 및 측정오류를 점검하여 재시험을 수행하도록 한다. 정상적으로 수행된 시험결과는 타격수와 분당 타격수 그리고 타격 에너지를 표시할 수 있도록 하였다.

온도를 고려한 압력의 변화로부터 형성된 타격 에너지는 압력 변화가 시간당 갖는 변화를 계산하여 타격 에너지(kgf.m)로 나타내었다. 이때 얻어진 결과는 자동으로 저장되고 그래프와 데이터 시트(Data sheet)로 출력이 가능하여야 한다. Fig. 6 는 브레이커 타격에너지 측정용 유압 변환기의 측정 단계를 나타낸 순서도(Flow chart)이다.

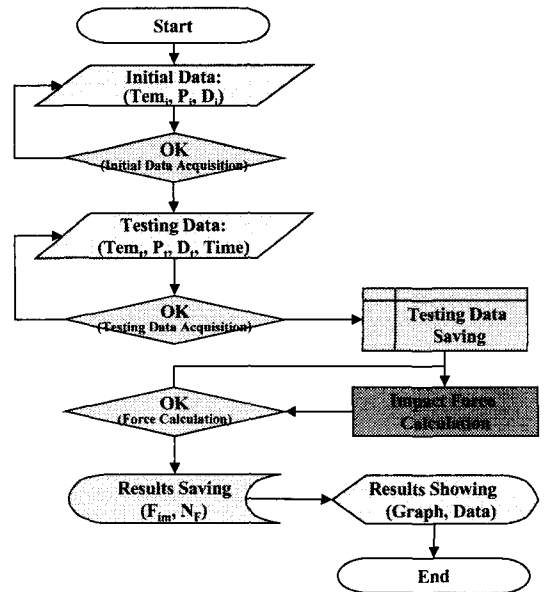


Fig. 6 Flow chart of test procedure

본 연구에서는 유압 변환기의 측정 알고리즘은 Microsoft 사의 Visual Basic 6.0 을 이용하여 프로그램하고, National Instruments 사의 PCI-6024E Data acquisition card 를 통하여 압력, 변위 및 온도에 대한 데이터 값을 받아 이를 나타내는 방식으로 구현하도록 하였다.

4. 타격 에너지 측정

타격 에너지의 측정을 위하여 굴삭기에 유압 브레이커를 장착하고 Fig. 5 와 같이 개발된 유압 변환장치로 타격 에너지 측정 시험을 실시하였다. 시험에 사용된 유압 브레이커는 Table 2 와 같은 사양을 갖도록 설계된 중형 유압 브레이커로서 국내·외에서 가장 대표적으로 사용되는 기종 중의 하나이다. 굴삭기에 장착된 유압 브레이커는 유압 변환장치의 실린더 상부에 위치한 시험 지그에 굴삭기의 자중으로 압축 상태가 되도록 붐 실린더를 조정하여 수직하게 위치시켰다. 이와 같이 시험 전의 초기 상태에서 실린더 내부 압력과 변위량 및 유온을 측정하였다. 유압 브레이커의 타격 에너지 측정 시험은 일정한 압력을 받고 있는 브레이커 초기 상태에서 굴삭기의 유량 펌프를 작동하게 되면 브레이커가 작동하며 타격을 시험 지그에 가하게 되는데, 이때 타격으로 전달된 에너지를 실린더 내부 압력의 변동 및 변위와 유온에 따라 측정하는 것이다.

Fig. 7 은 시험대상 유압 브레이커를 굴삭기에 장착하여 개발된 Fig. 5 의 시험장비에 브레이커를 작동하여 얻어진 결과에 대한 그래프이다. Fig. 7 에서는 타격이 가해지는 시간에 따라서 실린더 내부의 유체의 압력 변화를 표시하였다. 각 타격에 따라 최고 피크압력과 각 타격의 압력의

Table 2 Specifications of test breaker

Total weight(kg)	2,000
Flow rate (ℓ/min)	150 ~ 190
Number of impact (BPM)	370 ~ 500
Operating pressure (kg/cm ² , bar)	120 ~ 160
Impact force (kgf.m)	410 ~ 510
Applied excavator (ton)	22 ~ 26

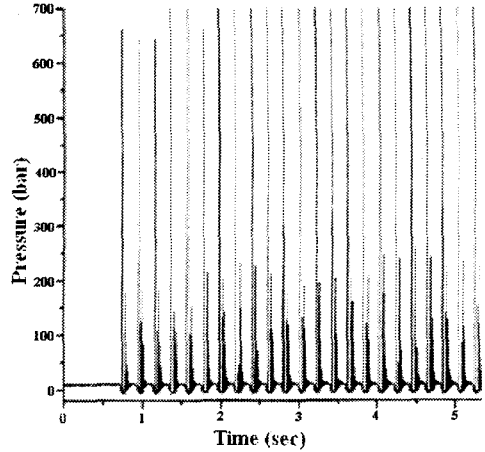


Fig. 7 Pressure pulse by impact force of breaker

변화는 타격수에 따라 주기를 갖으며 변화하는 것을 알 수 있으며, 최고 피크압의 초기 타격의 경우 일정하지 않으며 7 회 이상부터 일정해지는 것을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 유압 브레이커의 타격 에너지의 측정은 약 20 회에서 30 회를 타격하여 그 평균값을 사용하였다.

연속적인 타격에 의한 압력 변화의 주기안에서 브레이커가 1 번 타격 하였을 때, 타격 에너지가 미치는 압력 변화에 대한 범위는 작동시간에 타격수를 나누어 손쉽게 구할 수 있다. Fig. 8 은 유압 브레이커가 시험장치를 1 회 타격 후 다음 타격까지의 시간사이에 압력 변화를 나타낸 그래프이다.

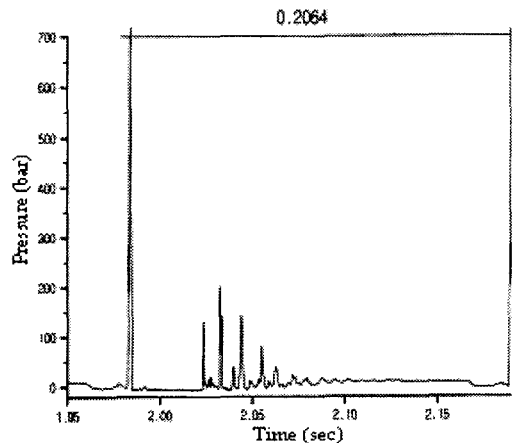


Fig. 8 Pressure variation of 1 impact pulse

이때 유압 브레이커에서 타격에 의하여 전달된 에너지에 의한 압력 변화는 초기 급격한 변화를 갖는 펄스(Pulse)로 나타나고, 일정 시간의 간격 후에 나타나는 나머지 부분의 압력 변화는 충격 에너지가 실린더 내부의 압력 변환에 따른 잔류 압력에 의한 것이다. 따라서 초기의 급격한 압력 변화에 의한 펄스만이 브레이커의 타격력 에너지에 따라 실린더 내부의 유체가 변동하며 발생하는 압력변동에 따른 것이다.

그러므로 외부 타격에 의하여 실린더 내부에 형성된 압력의 변화로부터 얻을 수 있는 타격 에너지는 초기에 급격하게 변하는 피크 펄스에 대한 압력변화의 영향을 2 절의 식 (2)와 (3)에 적용하여 얻을 수 있다. 이때 타격에너지가 전달된 압력 변화는 타격시간에 따른 압력분포이며 타격에너지는 압력분포에 대한 면적을 적분함으로써 얻을 수 있다. Fig. 9 은 유압브레이커의 1 회 타격에 의한 펄스에서 타격에너지가 전달되어 급격한 압력변화를 갖는 피크 펄스 부분만을 확대하여 시간에 따른 압력변화 그래프로 나타내어 압력이 분포된 면적에 대한 적분 개념을 도식화한 것이다. 따라서 1 회의 브레이커의 타격에 의한 총 압력 변화량은 식 (4)와 같이 1 회 타격 시간에 변화된 압력분포 면적의 합으로 나타낼 수 있다.

$$\Delta P_{im} = \int_0^{\Delta t} f_{E-im}(P) dt \quad (4)$$

여기서 ΔP_{im} : 압력 변화량(1 회 타격)
 Δt : 1 회 타격 시간

이때, 실린더 내부 체적의 총변화량을 ΔV_{im} 로 나타낸다면, 타격 에너지는 식(5)으로 나타낼 수 있다.

$$E_{im} = \Delta P_{im} \times \Delta V_{im} \quad (5)$$

실린더 내부 체적의 총변화량은 타격이 가해질 때 실린더의 위치센서(LVDT)에 의하여 직접 측정할 수 있다. 위치센서를 이용하여 브레이커의 타격시 실린더내부 체적의 변화를 측정하기 위하여는 타격이 극히 짧은 시간에 이루어지므로 센서의 샘플링시간이 10 KHz 이하의 센서가 필요하다. 위치센서를 이용한 직접측정으로 체적의 총변화량을 얻기 어려운 경우에는 식(6)과 같이 작동 유체

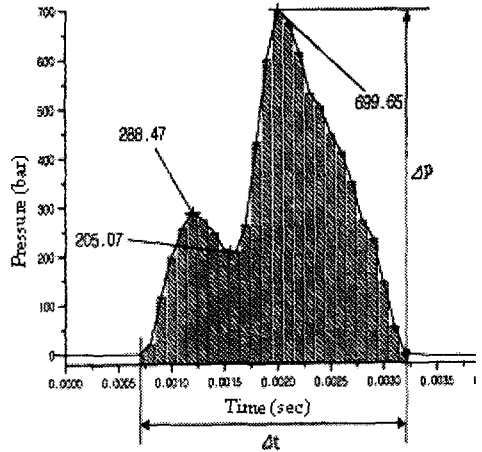


Fig. 9 Pressure variation in force effective time interval

에 대한 체적탄성계수(Bulk modulus)를 이용하여 체적의 변화량을 얻을 수 있다.

$$\beta = \frac{\Delta P_{im}}{\Delta V_{im} / V_{in}} \Rightarrow \Delta V_{im} = V_{in} \cdot \frac{\Delta P_{im}}{\beta} \quad (6)$$

여기서 β : 체적탄성계수
 V_{in} : 타격전 초기 실린더 체적

따라서 n 회를 연속 타격 하여 얻은 총 타격 에너지는 E_{im-to} 는 식(7)에 의하여 얻어 질 수 있다.

$$E_{im-to} = \sum_{i=1}^n (\Delta P_{im-i} \times \Delta V_{im-i}) \quad (7)$$

여기서 ΔP_{im-i} : i 번째 타격에서의 압력 변화량
 ΔV_{im-i} : i 번째 타격에서의 체적 변화량
 n : 1 회 시험시 총 타격회수

이때 평균 타격에너지 E_{im-av} 는 식(8)으로 얻을 수 있다.

$$E_{im-av} = \frac{1}{n} (E_{im-to}) \quad (8)$$

본 연구에서는 유압 브레이커가 유압 변환장비에 25 회 연속으로 타격할 때, 시험장비의 내부 실

린더의 압력 변화를 측정하여 그 변화량으로부터 438.8 kgf.m 의 타격력을 얻을 수 있었다. 또한 여러 차례의 시험을 통하여 시험대상 유압 브레이커의 타격 에너지 타격력의 설계사양 범위 안에서 약 ± 15 kgf.m 이내의 일정한 타격력 값을 얻을 수 있었다. 따라서 본 연구를 통하여 개발된 유압 변환장치를 통하여 유압 브레이커의 큰 타격 에너지를 간편하고 일관성 있게 측정할 수 있었다.

본 연구에서는 시험장비의 작동 유체로서 약 20 ~ 60 °C에서 비교적 일정한 체적 탄성계수 (1.62×10^9 N/m²)를 갖는 Mobil사 Super D/E 15W/40을 유압 작동유로 사용하였다. 그러나 실린더 내부의 작동유체에 대한 체적탄성계수를 이용하여 체적 변화량을 계산하는 경우에는 압력에 따른 실린더의 체적탄성변화율은 미미하나, 작동유의 경우 온도에 따라 체적탄성계수가 변화하므로 일관성 있는 시험결과를 얻기 위하여 시험장치내의 저온 및 고온시에 작동유체의 온도 변화에 따른 체적탄성계수 값을 조정하여 타격에너지를 얻어야 한다. 그러므로 타격 에너지가 설계 값의 범위 안에서 얻었다고 해서 정확한 측정을 했다고 단정할 수 없다.

그러나 본 연구에서 제안된 유압 변환장치는 유압 브레이커의 일관된 성능 측정이 가능하여 품질관리 및 개발제품의 상대비교를 위한 시험법으로 유용하게 활용할 수 있다. 따라서 본 연구의 결과로 얻은 타격 에너지 결과를 확증할 수 있는 비교 실험, 특히 특수하게 제작된 지반에 스트레인 게이지를 부착한 치즐을 가격하여 측정을 하는 미국 건설협회의 인증 권고용 측정 결과와 비교 확인이 기대된다.

5. 결론

본 연구에서는 실린더와 같은 밀폐된 압력용기의 유압 및 체적변화로부터 타격 에너지를 측정할 수 있는 유압 변환장치(Hydraulic Pressure Transducer System)를 제안하였다. 실린더 내부 유체의 압력 변동과 체적 변화와 외부 타격 에너지와의 관계에서 타격 에너지를 측정하기 위한 관계를 제시하였다. 제안된 관계식을 활용하여 실린더의 변동 압력, 변위 및 온도를 측정할 수 있는 유압 변환장치를 설계하고 제작하였다. 외부 타격에

의한 압력, 체적 및 온도 변화로부터 타격 에너지를 측정하는 알고리즘을 개발하여 유압 브레이커가 유압 변환장치의 타격 지그에 타격을 가할 때 얻어지는 압력, 실린더변위, 타격수 등 각종 변수 데이터의 취득과 측정 결과를 얻을 수 있도록 하였다. 개발된 유압 변환장치를 활용하여 유압식 브레이커 중 대표적인 25 ton 급 중형 유압 브레이커에 대해 설계 사양의 타격력과 비교하는 시험을 실시하여 타격력으로 438.8 \pm 15 kgf.m 의 일정한 타격력을 얻을 수 있었다. 본 연구의 유압 변환장치는 양산 유압 브레이커의 일관된 성능 측정이 가능하며 품질관리 및 개발제품의 상대비교를 위한 시험법으로 유용하게 적용할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Choi, K. H., Sung, W. J., Song, C. S., "A Study on the Performance Improvement of the Hydraulic Breaker," Trans. METRIC of Hanyang Univ., Vol. 5, No. 1, pp. 57-64, 1999.
2. Ko, S. H., Lim, J. H., "Modeling and Analysis of a Hydraulic Breaker Considering Elastic Impact between the Piston and Chisel," Trans. KSME, Vol. 19, No. 2, pp. 338-347, 1995.
3. Lee, Y. K., Sung, W. J., Song, C. S., "The Development of an Analysis Tool and the Performance Analysis of a Hydraulic Breaker System," J. of the KSPE, Vol. 17, No. 4, pp. 189-196, 2000.
4. Mounted Breaker Manufacturers Bureau, Measuring Guide for Tool Energy Rating for Hydraulic Breakers, CIMA, 1996.
5. Esposito, Anthony, "Fluid Power with Application," Prentice-Hall, Inc. 1994.
6. "Development of Hi-technology Breaker for Next Generation," MOST(Technical Report for National R&D Programs), 2000.
7. Hebert, E. Merritt, "Hydraulic Control System," John Willy & Sons, Inc. 1976.