

유압식 착암기의 타격에너지 측정 시스템

Test System for Measuring the Impact Energy of a Hydraulic Breaker

박종원 · 김형의

J. W. Park and H. E. Kim

기호 설명

- A_t : 시험용 치즐의 스트레인 게이지 부착위치 단면적
- CF : 정적인 교정에서의 수정계수
- E_i : 시험용 치즐의 1회 타격시의 타격에너지
- E_t : 시험용 치즐 재료의 Young's 계수
- f_i : 타격주파수
- H : 스트레인게이지 부착부와 시험용 치즐 끝단 사이의 거리
- k : 게이지 인자 (사용중인 게이지는 모두 동일해야한다.)
- K_a : 증폭기의 증폭 인자 ($K_a = 1$, 증폭기를 사용하지 않을 경우)
- L_p : 피스톤의 길이
- ρ_t : 시험용 치즐 재료의 밀도
- P_{in} : 총 유압 공급 동력
- P_s : 유압 공급 압력
- P_r : 유압 귀환 압력
- Q_i : 착암기 공급유량
- T : 작동유 온도
- t : 시간
- t_i : 적분 시작 시간
- t_n : 적분 끝 시간
- Δt_i : 적분, $\Delta t_i = (t_{ni} - t_{li})$
- U : 브릿지 회로 출력 전압
- U_B : 브릿지 회로 공급 전압
- ϵ_i : 측정된 변형량
- ν : 작동유 동점성계수

1. 서 언

일반적으로 유압식 착암기는 빌딩, 포장도로, 채석장의 암반파쇄 등 파괴와 분해를 하는 건설현장에서 사용된다. 유압식 착암기는 실린더, 피스톤, 밸브, 백헤드(back head), 치즐(chisel), 파워 셀(power cell)로

구성되어 있고 브래킷(bracket)에 고정되어 있다. 유압식 착암기의 일반적인 구조를 Fig. 1에 나타내었다.

유압식 착암기는 굴삭기로부터 유압 동력을 공급받아 피스톤을 왕복시키고 치즐에 충격을 가해서 전달하는 운동에너지를 사용하여 목표를 타격한다. 따라서 유압식 착암기의 타격에너지 측정은 제조자와 고객에게 유압식 착암기의 능력을 증명하는 아주 중요한 시험이다. 그러나 타격에너지의 정확한 측정은 유압식 착암기가 매우 큰 운동에너지에 의해 작동되기 때문에 상당히 어려운 문제로 생각되어져 왔다.

본 해설에서는 유압식 착암기의 타격에너지를 측정하기 위한 시스템을 설계한 내용을 소개하였다. 대상 시스템은 착암기를 지지하기 위한 유압실린더, 충격을 흡수하기 위한 기초와 프레임, 압력과 유량 센서, 고속의 정밀한 실험 데이터 측정시스템 및 디젤 엔진으로 구동되는 유압동력원 등으로 구성되어져 있다. 그리고, 타격에너지의 측정 과정과 시험 결과의 고찰이 함께 논의 되었다.^{1,2,3)}

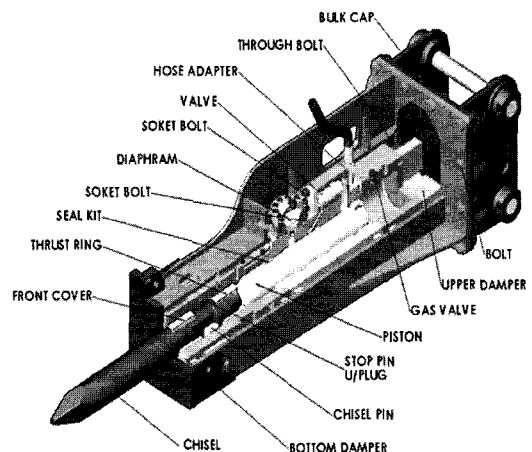


Fig. 1 General structure of a hydraulic breaker

2. 타격에너지 측정시스템의 개발

유압식 착암기의 타격에너지를 측정하기 위하여 Fig. 2와 같은 시험 시스템을 개발하였다. 개발된 시

시스템은 Fig. 2에서 볼 수 있듯이 4개의 유압실린더로 시험대상 유압식 착암기를 지지하고 있으며, 지지 실린더의 행정을 변화시켜 고정편의 부착위치를 조정함으로써 다양한 크기의 착암기에 대하여 시험을 수행할 수 있는 구조로 되어있다. 이러한 구조를 채택하게 된 이유는 현재 국내의 유압식 착암기 제조업체에서는 대부분 10종 이상의 착암기를 생산하고 있으므로 이러한 현황을 반영하여 국내 업체들에게 효율적인 시험 환경을 제공하기 위함이다. 또한, 개발된 시스템은 지지용 실린더 외에 상부에 경사타격을 위한 보조실린더를 부착하고 있는데 이 실린더를 조작하여 시험 수행시에 착암기의 타격 각도를 조정할 수 있다.

타격 베이스는 대형 착암기의 타격시에도 진동을 절연하고, 충격을 흡수할 수 있도록 모래, 잡석, 나무 및 폐타이어와 같은 재료들로 이루어져 있으며, 4 m 깊이의 기초공사에 160 ton의 콘크리트를 사용하여 주변 구조물들에 미치는 영향을 최소화할 수 있도록 구축되었다. 타격 베이스의 구조에 대한 개략도를 Fig. 3에 나타내었다.

유압식 착암기를 작동시키기 위한 유압동력은 최대유량 580 LPM, 최대공급압력 450 bar의 텐덤펌프에 의하여 공급되며, 착암기의 굴삭기 실 장착 현장 조건을 재현하기 위하여 텐덤펌프는 디젤엔진으로 구동되도록 구성하였다. 개발된 시스템에 장착된 텐덤펌프와 디젤엔진을 Fig. 4에 나타내었다.

착암기의 타격시에 발생하는 충격파를 정확하게 측정하기 위하여 125 kHz의 분리(cut off) 주파수와 4 MHz의 샘플링 주파수를 갖는 데이터 획득장치가 사용되었고, 이 장치는 실시간 운영체계에 의하여 작동되며 시험 데이터의 측정 및 연산을 자동화하기 위하여 개발된 제어용 소프트웨어에 의하여 구동된다.⁵⁾ 데이터 획득장치를 Fig. 5에 나타내었다.

시험장치와 착암기의 상태를 모니터링하고 타격에너지를 평가하기 위한 파라미터들을 측정하기 위하여 압력센서, 터빈형 유량계 그리고 온도센서가 사용되었다.

개발된 시스템에 구축된 유압회로의 개략도를 Fig. 6에 나타내었는데, 비례제어밸브로 착암기의 구동을 단속 조작할 수 있도록 구성되어 있다. 이는 수명시험시에 연속적인 타격 작동에 의하여 발생될 수 있는 과부하를 방지하고자 1분 타격 10초 정지의 사이클로 시험을 자동화시켜 수행하기 위함이다.

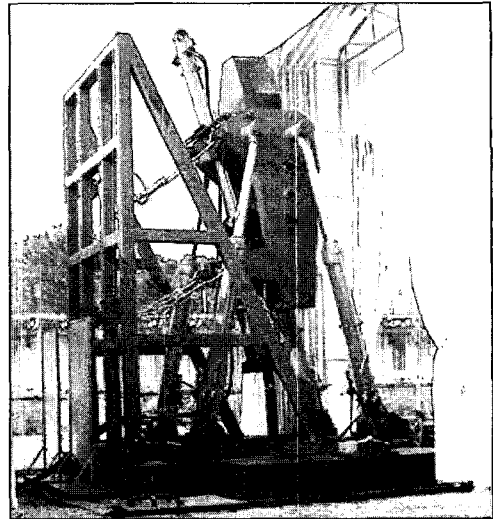


Fig. 2 Mechanism of test system

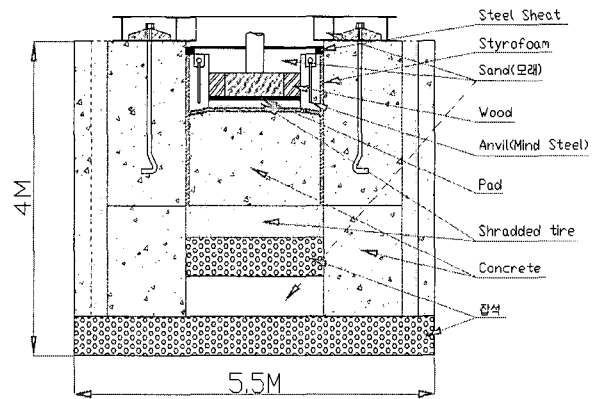


Fig. 3 Target base of test system

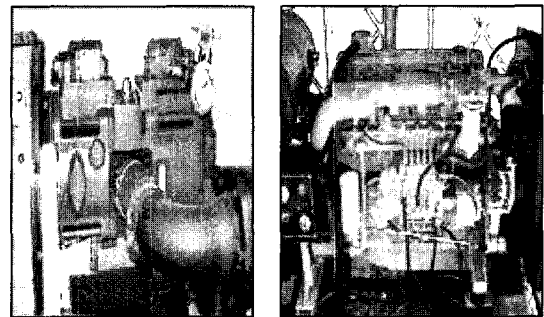


Fig. 4 Hydraulic power unit of test system

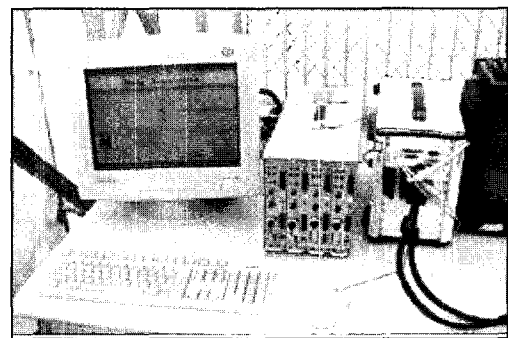


Fig. 5 Data acquisition equipment of test system

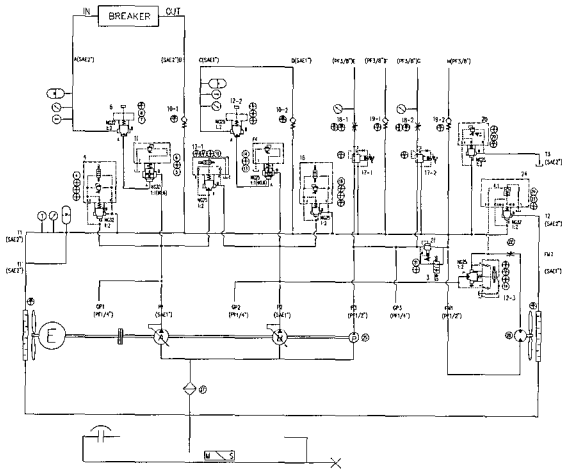


Fig. 6 Schematic diagram of test system

3. 타격에너지 평가

유압식 착암기의 타격에너지는 시험용 치즐에 부착된 스트레인 게이지의 변형량을 측정 후 정하중 시험에서의 보정 인자를 사용하여 평가할 수 있다.⁴⁾ Fig. 7에 스트레인 게이지가 부착된 시험용 치즐을 나타내었다.^{6,7)}

유압식 착암기의 타격에너지 평가는 다음과 같은 과정으로 진행되어야 한다.

시험용 유압식 착암기의 1회 타격에 의한 타격에너지는 스트레인 게이지로부터 측정된 변형량과 충격하중에 대한 탄성변형에너지 방법으로부터 유도된 식 (1)을 사용하여 산출될 수 있다.⁹⁾

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

여기서, $\epsilon_i = 4 U / (2.6 k U_B K_a)$

시험용 치즐에 영향을 주는 유압식 착암기의 정적 예하중 효과를 차단하고, 다음 타격의 펄스 또는 응력파의 반향으로부터 추적되는 응력을 방지하기 위



Fig. 7 Strain gauge attached chisel

하여 식 (1)에서의 적분구간 t_1 에서 t_n 은 각각의 타격시마다 측정되어 정의되어야만 한다.

25회의 타격에너지 측정값이 시험용 착암기의 사양과 함께 정상 상태 가동중에 기록되어야 한다.

전술한 25회의 타격에너지 측정값은 최소한 5개의 연속적인 타격회수의 세트로 분할될 수 있다. 각각의 측정된 타격에너지 값은 최종적으로 산출된 타격에너지 평균값의 $\pm 10\%$ 안에 있어야 한다. 최종적인 타격에너지는 식 (2)에 의해 산출 될 수 있다. 최종적으로 산출된 이 범위를 넘는 타격에너지 값은 무시되어야 하고 측정을 다시 해야만 한다. 유압식 착암기의 효율은 식 (3)에 의해 계산될 수 있다.

$$E = \frac{1}{25} \sum_{i=1}^{25} E_i \quad (2)$$

$$\eta_{tot} = \frac{E \cdot f}{(P_s - P_r) \cdot Q} \quad (3)$$

측정장치 및 설비의 교정을 위하여 측정장치의 출력전압으로부터 계산된 변형 ϵ_{meas} 과 시험용 치즐에 가해지고, 교정된 로드셀에 의하여 측정된 F_{cal} 을 비교해 보아야만 한다.

정하중 교정시험은 시험용 치즐을 유압식 프레스로 압축하고, 그 압축력을 로드셀로 측정함으로써 이루어질 수 있다.

교정 계수 CF 는 식 (4)에 의해 계산될 수 있다.

$$CF = \frac{F_{cal}}{\epsilon_{meas}} \quad (4)$$

4. 타격에너지 측정 시험 결과

타격에너지에 의한 변형의 충격파를 측정된 결과를 Fig. 8에 나타내었고, 타격 주파수의 측정결과를 Fig. 9에 나타내었다.

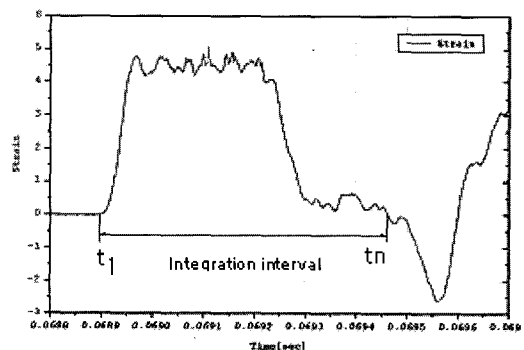


Fig. 8 Shock wave of impact energy strain

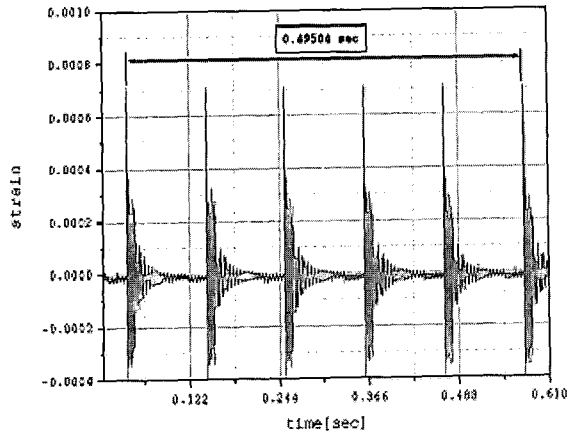


Fig. 9 Test result of blow frequency

Fig. 8에서 적분구간 t_1 에서 t_n 은 시험용 치즐에 영향을 주는 유압식 착암기의 정적 예하중 효과를 차단하고, 다음 타격의 펄스로부터 축적되는 응력을 방지하도록 정의되어야만 한다.

타격전에 시험용 치즐은 착암기 몸체의 주퇴로 인하여 무부하상태에 있게 된다. 적분 시작시간 t_1 은 측정된 충격과 곡선의 이러한 무부하상태 구간에서 정의되어야 하며, t_1 이 측정된 점을 적분의 기준선으로 잡아야한다. 적분 끝 시간인 t_n 은 각각의 펄스에 대하여 다음 펄스 또는 응력과의 반향으로부터 명확히 구분되어야만 하며, t_n 은 펄스의 곡선이 기준선과 비교하여 음이되는 지점에서 측정되어야 한다. 적분은 펄스의 곡선이 t_1 에서의 변형량과 동일한 수준에 이르면 정지하는데, 이때 적분구간 $t_n - t_1$ 은 $2H/c_t$, 여기서 $c_t = \sqrt{E_t/P_t}$ 보다는 적어야만 한다.

보통 치즐 끝단으로부터 스트레인 게이지의 부착 지점까지의 거리 H 는 $1.2L_p$ 정도이면 충분하다. 이 정도의 거리를 유지하지 않으면, 충격파는 반향과 결합되어 측정장치는 부정확한 값을 읽을 수 있으며, 타격에너지의 측정결과와는 신뢰할 수 없게 된다. 이러한 현상은 특히, 피스톤 단면적 A_p 가 시험용 치즐의 단면적 A_t 보다 클때 발생할 수 있다. 이 경우 시험용 치즐의 길이가 너무 짧은 것이므로, 거리 H 는 적어도 $2L_p$ 가 되어야 한다.⁴⁾

5. 시험 결과에 대한 총 불확도 산출

식 (1)에서 타격에너지 측정량의 불확도는 방정식 (5)에 의해 계산될 수 있고, 총 불확도는 $\pm 2\sigma$ 값에 대하여 정규분포에서 95.7%의 확률로 식 (6)에 의해 산출될 수 있다.

$$\Delta E = 2 \cdot |\Delta CF| + |-\Delta A_t| + \frac{1}{2} \cdot |-\Delta E_t| + \frac{1}{2} \cdot |-\Delta \rho_t| + |\Delta Integ| \quad (5)$$

$$U_{tot, \pm 2\sigma} = \pm \frac{2}{3} \cdot \sqrt{(\Delta E)^2 + (\Delta p_s)^2 + (\Delta p_a)^2 + (\Delta \varepsilon)^2} \quad (6)$$

식 (5)와 (6)에서 측정된 매개변수의 최대 허용 불확도는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta P_s &= \pm 1\%, \Delta P_a = \pm 2\%, \Delta \varepsilon = \pm 1\%, \Delta CF = \pm 1.5\% \\ \Delta A_t &= \pm 0.2\%, \Delta E_t = \pm 3\%, \Delta \rho_t = \pm 0.4\%, \Delta Integ = \pm 0.2\% \end{aligned}$$

측정된 매개 변수의 최대 허용 불확도를 식 (6)에 대입하면 $U_{tot, 2\sigma}$ 은 다음과 같이 산출될 수 있다.⁴⁾

$$U_{tot, \pm 2\sigma} = \pm 3.8\% \quad (7)$$

본 연구에서 타격에너지 측정결과에 대한 총 불확도는 3.74%로 산출되었다. 따라서 개발한 시스템은 식 (7)에서 허용한 불확도를 만족함을 확인할 수 있었다.

6. 결 언

본 해설에서는 유압식 착암기의 타격에너지를 측정하기 위한 시험 시스템을 설계한 내용을 소개하였다.

대상 시스템은 착암기를 지지하기 위한 유압실린더, 충격을 흡수하기 위한 기초와 프레임, 압력과 유량 센서, 고속의 정밀한 실험 데이터 측정시스템 및 디젤엔진으로 구동되는 유압동력원 등으로 구성되어 있다.

유압식 착암기의 타격에너지 측정 시험 과정은 미국의 CIMA(Construction Industry Manufacturers Association)에 의해 개발된 유압식 착암기의 타격에너지 등급 측정 지침에 따르고 있다.

이 시스템은 다양한 종류의 유압식 착암기에 대한 타격에너지를 평가하는데 사용되었고, AEM(The Association of Equipment Manufacturers, 구 CIMA)의 착암기 실험 사이트로의 인증을 추진하여 최종인 증단계에 있으며, 시험설비를 갖추지 못한 국내의 착암기 생산업체에게 북미지역 및 유럽지역 수출시 경쟁력을 확보할 수 있도록 지원 중에 있다.

참 고 문 헌

- 1) 이근호, 이용범, 이기용, "밀폐용기내 압력변화를

이용한 압력식 브레이커의 타격에너지 시험법개발”, 2002년 한국기계연구원 보고서, Vol. 32, pp. 45~53.

- 2) 최귀현, 송창섭, "유압 브레이커의 성능향상을 위한 연구", 한국정밀공학회지 98년도 추계 학술대회 논문집 pp. 1028~1031.
- 3) 성원준, 노태봉, 송창섭, "유압 브레이커의 리턴 라인의 압력 맥동 감소에 관한 연구", 2002년 한국정밀공학회지, Vol. 194.
- 4) CIMA (Construction Industry Manufacturers Association), "Measuring Guide for Tool Energy Rating for Hydraulic Breakers", Milwaukee, USA, 1996.
- 5) IEEE 1057, "Digitizing Waveform Recorders".
- 6) ASTM E251, "Test Method for Performance Characteristics of Metallic Bonded Resistance Strain-gages".
- 7) NAS 942, "Strain-gages Bonded Resistance".
- 8) John Watton, "Fluid Power Systems", Prentice Hill, 1989.
- 9) F. P. Beer and E. R. Johnston Jr, "Vector Mechanics for Engineers 2nd S.I." Metric Edition, McGraw-Hill, 1990.

[저자 소개]



박종원(책임저자)

E-mail : jwpark@kimm.re.kr

Tel : 042-868-7107

1971년 9월 30일생(양)

1996년 홍익대학교 기계공학과 학사 과정 졸업, 1998년 홍익대학교 석사 과정 졸업(유압제어 전공), 2003년 서울대학교 박사 과정 졸업(유압제어 전공), 1998~2003년 서울대학교 정밀기계설계공동연구소 연구원, 2003년~현재 한국기계연구원 기계시스템 신뢰성 연구센터 연구원, 일본유공압학회, 유공압시스템학회, 대한기계학회, 군사과학기술학회의 회원

[저자 소개]



김형의

E-mail : khe660@kimm.re.kr

Tel : 042-868-7160

1956년 2월 10일생(양)

1978년 아주대학교 기계공학과 학사 과정 졸업, 1980년 KAIST 석사 과정 졸업(유압제어 전공), 1982년 프랑스 ISMCM 석사 과정 졸업(automatism 전공), 1985년 프랑스 ISMCM 박사 과정 졸업(공압제어 전공), 1985년~현재 한국기계연구원 기계시스템 신뢰성 연구센터 책임연구원, 일본유공압학회, 유공압시스템학회, 대한기계학회, 군사과학기술학회, 한국신뢰성학회의 회원