

# 표준관입시험의 해머에너지 수준

Hammer Energy Level of SPT in Korea

이 호 춘\*<sup>1</sup>

Lee, Ho-Choon

박 용 원\*<sup>2</sup>

Park, Yong-Won

---

---

## Abstract

In spite of many advantages such as the simplicity in test procedure, Standard Penetration Test(SPT) results contain some errors caused by the variability of test equipment, instruments and test procedures. Especially, it is inevitable that the measured SPT hammer energy is different from the theoretical value because of energy loss.

In this paper, the hammer energy level is measured during the performance of the field SPT in Korea by using a ultra-sonic system and PC program.

As the results of this study, the average hammer energy ratio of the R-P hammer and the Trip hammer is calculated at 64.2%, and at 75.0% respectively.

The average energy ratio of the SPT for the R-P hammer is calculated at 46% and at 54% for the Trip hammer, by applying the rod energy ratio 0.72.

## 요 지

표준관입시험은 시험절차의 간편성 등 많은 장점에도 불구하고 시험장비와 시험보조장치 및 시험관리 등에 따라 시험결과인 N치에는 여러가지 오차가 포함되는 시험으로 알려져 있다. 특히, 해머가 낙하할 때에 발생하는 에너지 손실 때문에 실제의 해머 타격에너지와 이론치는 크게 다르기 마련이다.

이 연구에서는 초음파 송수신장치와 PC를 이용하여 국내의 여러 현장에서 시행되고 있는 표준관입시험에서 해머타격에너지를 측정하여 이론치와 비교하였다.

연구결과 R-P해머와 자동해머의 해머에너지비는 이론치에 대하여 각각 64.2% 및 75.0%로 측정되었다. 측정결과에 동적효율 0.72를 적용하여 측정 N치를 보정할 수 있는 평균에너지비를 산출한 결과는 각각 46% 및 54%였다.

Keywords : N-value, Hammer Energy Ratio, Average Energy Ratio, R-P Hammer, Trip Hammer

---

\*<sup>1</sup> 정희원, 명지전문대학 토목과 교수

\*<sup>2</sup> 정희원, 명지대학교 공과대학 토목·환경공학과 교수

## 1. 서론

중량 64kg의 해머를 76cm 높이에서 자유낙하시켜 샘플러가 30cm 관입되는 동안에 해머가 타격된 회수를 측정하는 표준관입시험(standard penetration test, SPT)은 시험 결과인 N치를 측정하여 지반의 지지력 예측, 흙의 강도정수인 점착력 및 내부마찰각 등을 산정할 수 있으며, 시험방법이나 장비의 조작이 비교적 간편하고 원위치시험과 동시에 시료를 채취할 수 있는 등 장점이 많아 그 활용도가 다양하여 전세계적으로 널리 사용되고 있는 실정이다. 그러나 표준이란 용어가 뜻하는 의미와는 걸맞지 않게 시험장비 및 시험보조장치에 가지고 있는 구조적인 문제점과 시험관리의 차이에 따른 인위적인 문제점 등 때문에 시험에서 측정된 N치에는 많은 요인이 복합적으로 작용하여 적지 않은 오차를 포함하게 된다. Gibbs and Holtz(1957), Fletcher(1965), de Mello(1971), Sanglerat(1972), McLean et al.(1975), Schmertmann(1975), Skempton(1986), Bowles(1988), 宇都, 冬木(1983) 등이 표준관입시험의 문제점을 고찰하여 보고한 바와 같이 장비의 형태 및 규격, 시험자의 숙련도, 지반의 특성 등 때문에 해머의 낙하고 오차 및 마찰력에 의한 에너지 손실 등 많은 문제점이 시험결과에 포함되어 균일한 지반에 대하여 같은 조건으로 반복시험을 하는 경우에도 같은 결과를 기대하기 어려운 시험으로 알려져 있다. 측정된 N치를 그대로 기초의 설계에 적용하는 경우 부실기초 등 기초의 품질저하요인이 되거나 과도설계에 따른 자원의 낭비를 가져올 가능성이 크며, 설계자도 N치의 신뢰성 문제로 확신을 가지고 설계할 수 없는 등 문제점이 미치는 영향은 매우 크다. 시험장비 및 시험방법 등을 더 세부적으로 표준화 하고 시험관리를 면밀히 하여 어느정도 측정상의 오류나 오차를 감소시킬 수 있으나, 최대한 표준화될 경우에도 표준관입시험의 특성상 구조적인 오차를 완전히 제거하기는 어렵

기 때문에 에너지 수준 등의 일정한 기준에 따라 측정된 N치는 보정하여 사용해야 할 것이다.

1970년대 이후 이에 대한 연구가 활발하게 진행되어 Schmertmann(1975, 1978), Schmertmann and Palacios(1979), Kovacs and Salomone(1982), Seed et al.(1985), Riggs(1986), Skempton(1986), Clayton(1990), Robertson and Woeller(1991) 등이 미국 등지에서 시행하는 보편적인 표준관입시험에 대하여 로드셀 등을 이용하여 해머에너지 및 평균에너지비를 측정하여  $N_{60}$  등을 산출할 수 있는 보정기준을 정하고 있다.

국내의 경우 현장에서 사용하는 시험장비의 세부형태나 시험여건이 외국의 경우와는 다름에도 세부적인 표준화 및 에너지 수준에 대한 고유의 자료가 결정되지 않아 국제적으로 적용하고 있는 기준을 적용하거나 외국의 경우를 인용하여 N치를 보정하고 있는 실정이다. 시험보조장치중 삼각대의 경우 한국산업규격(KS F 2318)에 설치 및 사용에 대한 특별한 규정은 없으며, 비교적 합리적인 것으로 보이는 삼각대 대신에 관입장치와 동일축이 아닌 도르래봉을 사용하는 등 국내 현장의 특수성으로 에너지 수준은 외국의 경우와 다를 것으로 판단된다. 국내 표준관입시험의 해머에너지 수준은 이 외 3인(1992), 박 외 3인(1993), 박 외 2인(1994) 등이 비디오 분석장치 및 초음파 송수신장치 등을 이용하여 해머의 낙하에너지 수준을 측정 보고하였다.

이 연구에서는 해머의 타격에너지 수준이 시험결과에 가장 큰 영향을 미치는 지배적 요인으로 보아 시험장비 및 시험방법과 시험자의 주의정도, 시험자세 등이 전형적이고 보편적으로 판단되는 여러 현장의 시험에서 해머에너지를 측정하였으며, 현장의 여건이 반영된 N치의 보정기준을 결정할 수 있도록 측정결과를 고찰하여 대표값을 선정하였다. 국내 현장에서 사용되고 있는 도우넛해머 장비와 비교적 숙련된 현장기술자가 시행하는 표준관입시험에 대

하여 초음파 송수신장치와 PC 프로그램을 이용하여 해머의 낙하시간에 따른 낙하거리를 측정함으로써 해머가 자유낙하하여 모루를 타격하는 해머의 충격에너지를 측정하였다. 이 연구에서 측정된 해머에너지에 동적효율을 적용하면 표준관입시험의 평균에너지비를 산출할 수 있으므로 현장에서 측정된 N치를 보정할 수 있는 기준을 정할 수 있는 한편, N치의 측정오차를 유발하는 요인과 오차의 변화폭을 줄일 수 있는 시험장비 및 시험관리 등의 표준화 및 기초의 안정성과 경제성에 크게 기여할 것으로 본다.

## 2. 해머에너지 측정

### 2.1 측정방법

SPT 해머가 낙하하여 모루를 타격하는 순간의 에너지를 측정하기 위하여 정전기 변환 초음파 송수신기로 낙하하는 해머에 초음파를 그림 1에 나타낸 sonic-sensor로 발사한 후 되돌아 오는 반사파를 수신함으로써 해머가 낙하하는 순간의 시간과 거리를 측정하였다. 수신장치는 sonic-sensor와 A/D(analog/digital)

변환이 가능한 I/O 카드 및 DATAGRAB PC 프로그램을 장착한 개인용 컴퓨터를 이용하였다. 수신결과인 낙하거리를 해석하여 해머의 낙하고를 산출하였으며, 낙하시간과 거리로 해머가 낙하하는 순간의 낙하속도를 산출하였다. 해머가 모루를 타격하기 직전의 낙하속도로 부터 해머에너지를 산출하였다. 각 현장에서 사용한 표준관입시험장비의 주요제원과 측정장비의 구성은 표 1 및 그림 1과 같다.

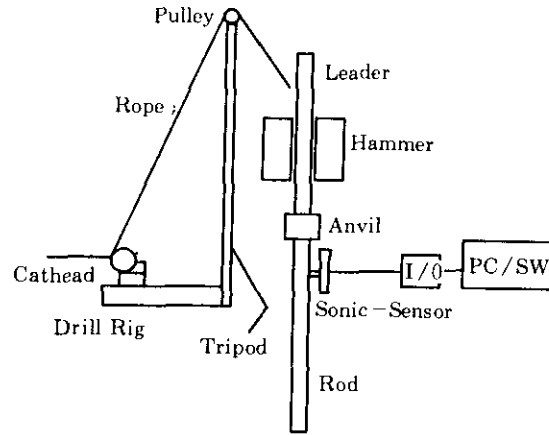


그림 1. 해머에너지 측정장비의 구성

표 1. 표준관입시험장비의 제원

측정지역	해머형태	해머무게 (kg)	해머길이 (cm)	로드직경 (cm)	자아틀 (cathead) 직경 (cm)	로프 감은수 (회)	로프직경 (cm)	로프상태
탄천지역	R-P*1	63.5	27	4.1	10.1	3	2	중고
안산	R-P	64	23	4.1	10.2	2	2	중고
서울 삼성	R-P	64	23	4.1	10.2	3	2	중고
평택	자동*2	64	23	4.1	10.2	2	2	중고
인천 신흥	R-P/자동	63.5	23	4.1	10.2	3	2	중고
의정부	R-P	63.5	24.5	4.1	10.5	2~3	2	중고
서울남가좌	R-P	63.5	23	4.1	10.5	2	2	중고

\*1 : Rope - Pulley형 해머, \*2 : Trip형 해머

### 2.2 측정결과

1993년 7월부터 1995년 11월까지의 기간에

성남~잠실간의 탄천 고수부지, 경기 안산시청 부근, 서울 삼성동, 경기 평택, 인천 신흥동, 의

정부 공설운동장, 서울 남가좌동 지역의 지반 조사 현장에서 시행한 표준관입시험에 대하여 해머의 낙하거리 및 타격순간의 낙하속도를 측정하였다. 또한 해머효율( $e_h$ )과 해머에너지비( $e_v$ )는 식(1) 및 식(2)와 같이 정의하고, 충격에너지는 낙하속도로부터 산출하였다. 표 2 및 그림 2, 그림 3, 그림 4, 그림 5는 측정 및 산출 결과를 나타낸 것이다.

$$e_h = \frac{E_v}{WH} = \frac{\text{현장에서 측정된 충격에너지}}{\text{해머무게} \times \text{측정한 낙하고}} \quad (1)$$

$$e_v = \frac{E_v}{E_0} = \frac{\text{현장에서 측정된 충격에너지}}{\text{규정낙하고 76cm에 의한 충격에너지}} \quad (2)$$

해머의 낙하시간에 따른 낙하위치 및 낙하속도 측정결과는 전형적인 결과를 보인 의정부 현장(R-P해머, 측정번호 E04)과 인천 신흥 현장(자동해머, 측정번호 SH08)의 각 1회에 대하여 그림 6, 그림 7, 그림 8, 그림 9에 나타냈다.

표 2. 해머에너지 측정 및 산정결과

해머형태	측정지역	측정회수 (회)	낙하고 평균 H(cm)	충격직전 속도평균 V(cm/sec)	해머효율 $e_h$ (%)	해머 에너지비 $e_v$ (%)
R-P해머	서울탄천	76	75.03	319.52	69.81	68.95
	경기 안산	90	69.52	311.63	72.48	65.63
	서울삼성 A	131	71.55	305.92	67.65	63.42
	서울삼성 B	102	71.66	306.44	67.67	63.40
	인천 신흥동	27	71.02	289.32	60.96	56.84
	경기 의정부	49	70.60	307.22	69.54	63.88
	서울 남가좌동	48	72.02	302.97	65.61	62.08
	전지역 평균(R-P)	(523회)	71.66	307.97	68.44	64.18
자동해머	경기 평택	55	72.55	330.64	77.06	73.58
	인천 신흥동	29	74.19	338.99	79.37	77.64
	전지역평균(자동)	(84회)	73.12	333.52	77.86	74.98

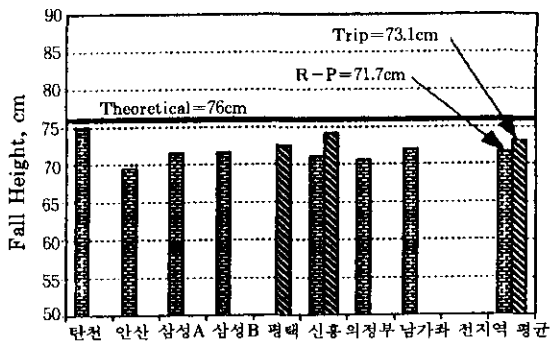


그림 2. 해머의 낙하고 측정결과

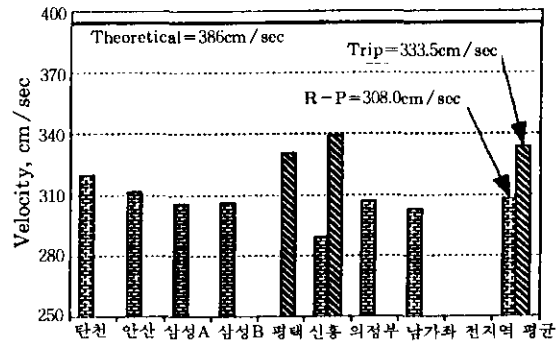


그림 3. 해머의 낙하속도 측정결과

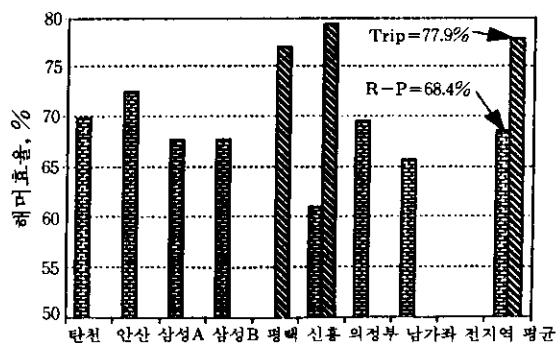


그림 4. 해머효율 산정결과

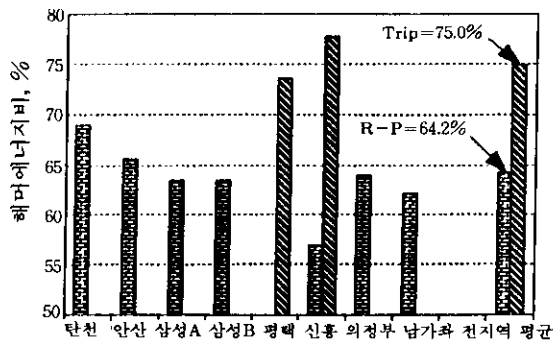
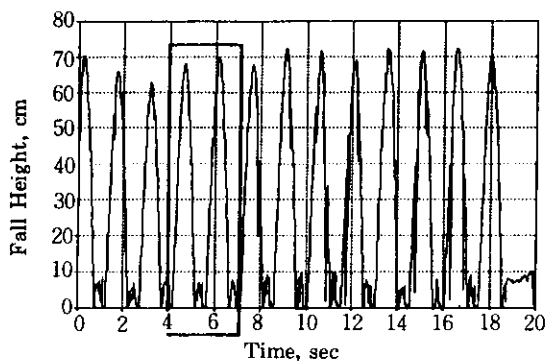
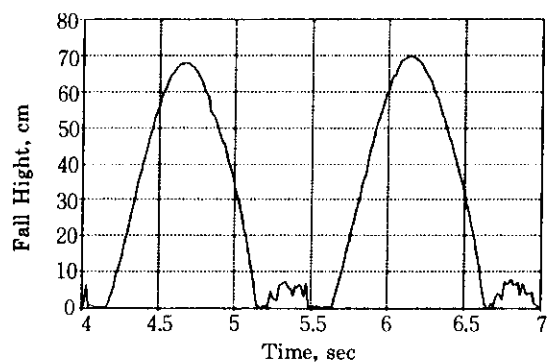


그림 5. 해머에너지비 산정결과

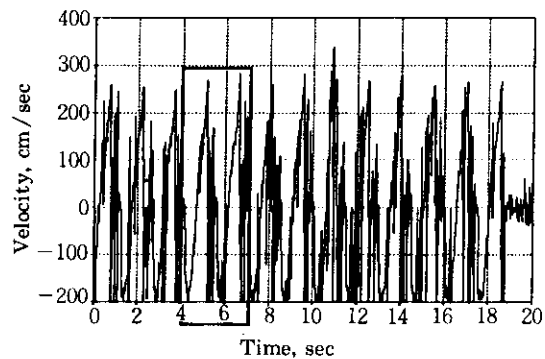


(a)

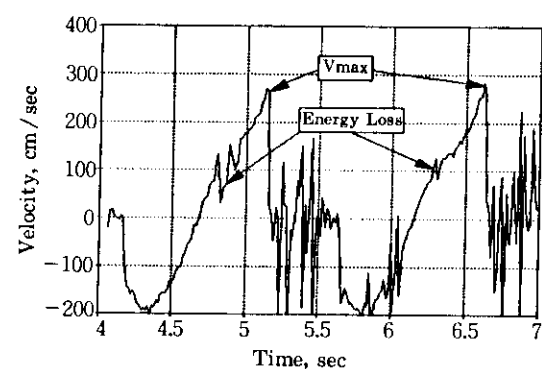


(b)

그림 6. R-P해머의 낙하고 측정결과(No. E04)

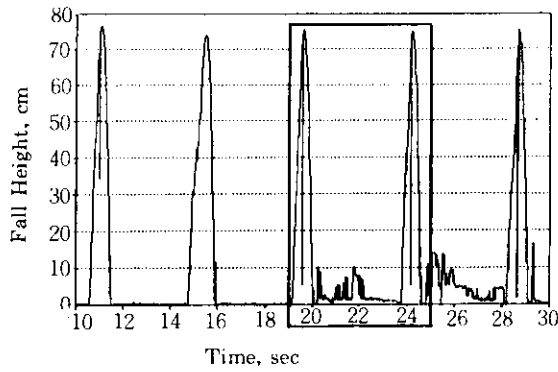


(a)

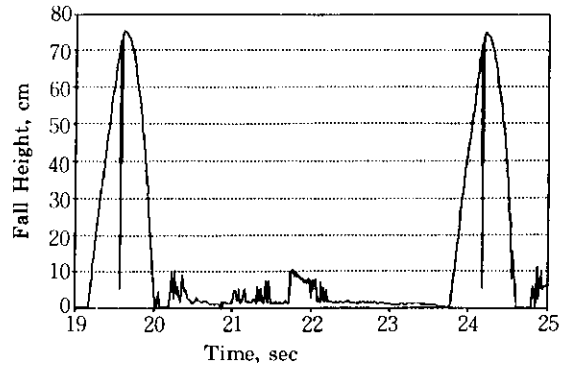


(b)

그림 7. R-P해머의 낙하속도 측정결과(No. E04)

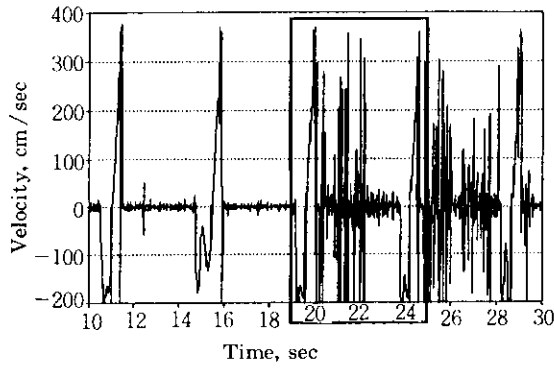


(a)

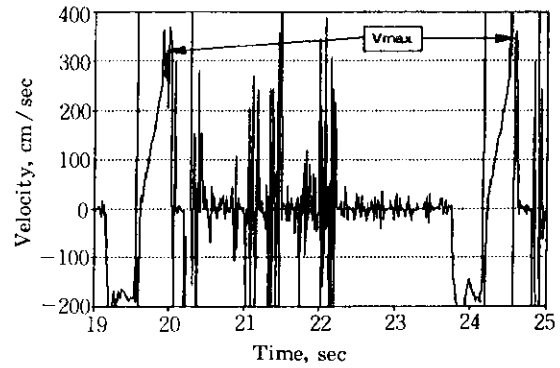


(b)

그림 8. 자동해머의 낙하고 측정결과(No. SH08)



(a)



(b)

그림 9. 자동해머의 낙하속도 측정결과(No. SH08)

### 3. 고찰

표 2 및 그림 2, 그림 3을 보면 박 등(1993, 1994)이 보고한 해머에너지 측정결과와 이 연구에서 측정된 결과를 종합 고찰하여 산출한 해머의 평균낙하고와 해머가 모루를 타격하는 순간의 평균낙하속도는 R-P해머를 사용한 시험의 경우 각각 71.7cm 및 308.0cm/sec로서 박 등(1993)이 측정 보고한 71.8cm 및 309.9cm/sec와 비슷한 수준을 나타냈다. 자동해머를 사용한 시험에서 측정된 평균낙하고와 평균

낙하속도는 각각 73.1cm 및 333.5cm/sec로서 측정회수에 차이는 있으나, R-P해머를 사용한 경우보다 크게 나타났다. 표 2 및 그림 4, 그림 5를 보면 각 지역별 측정결과를 평균한 값과 해머의 중량 64kg을 식(1)과 식(2)에 대입하여 구한 R-P해머의 해머효율( $e_h$ ) 및 해머에너지비( $e_e$ )는 각각 68.4%와 64.2%로서 박 등(1993)이 보고한 69.5%와 65.0%에 근접하여 이 연구에서 사용한 초유파 측정장비로 측정된 결과는 정밀도가 높은 것으로 판단되며, 국내 현장의 해머에너지 수준이 확인된 것으로

본다. 자동해머를 사용한 시험에 대하여 산출한 해머효율( $e_h$ ) 및 해머에너지비( $e_r$ )는 각각 77.9% 및 75.0%로서 R-P해머의 경우 측정회수에 따른 변화폭은 크지 않았기 때문에 이 측정값 역시 신뢰성이 크다고 본다.

해머에너지비( $e_r$ )는 해머의 낙하고 오차 및 낙하시의 마찰 등으로 인한 손실이 반영된 실제 타격에너지의 수준을 나타낸 값으로서, 동적효율( $\eta_d$ )을 적용하면 타격 후 손실된 에너지를 뺀 로드 에 전달되는 에너지를 구할 수 있다. 해머효율( $e_h$ )과 해머에너지비( $e_r$ )의 차이는 현장에서 측정한 해머의 평균낙하고와 규정낙하고인 76cm로 산출한 에너지에 대하여 측정된 낙하속도로 산출한 측정에너지의 비율이다. 해머효율을 입력해야 하는 WEAP 프로그램에 의한 관입에너지 해석의 경우 등에 이 연구에서 산출한 해머효율( $e_h$ )값을 사용할 수 있다. 그림 6과 그림 8을 비교하면 그림 8의 자동해머 경우가 낙하고는 더 일정하게 나타났으나, 측정간격이 큰 것은 시험 진행속도가 더 느림을 보여주고 있다. 그림 7을 보면 해머가 자유낙하하는 도중에 속도를 감소시켜 에너지가 손실되는 것으로 판단되는 현상이 나타나 있다. 그림 9의 자동해머 경우는 R-P해머의 경우에 비하여 낙하부분은 부드럽게 나타났다.

해머가 모루를 타격한 에너지가 로드 에 전달되는 동적효율을 이(1996)가 제시한 0.72를 해머에너지비에 적용하면 표 3에 나타낸 바와 같이 R-P해머의 경우 평균에너지비( $E_r$ )를 46.2%로 산출할 수 있으며, 자동해머의 경우는 54%로 산출할 수 있다.

표 3. 해머에너지 측정 및 평균에너지비 산정결과

측정방법	해머에너지비(%)		비고
	R-P	자동	
해머에너지	64.2	75.0	박등(1993, 1994), 이논문
동적효율	0.72		이(1996)
평균에너지비	46.2	54	이논문

표 3에 나타낸 값으로 표준에너지비( $E_{60} = 60\%$ )에 대한 비를 구하면  $N_{60}$ 값을 산출할 수 있으며, R-P해머의 경우

$$N_{60} = \frac{E_r}{E_{60}} N = \frac{E_r}{E_{60}} N = \frac{46.2}{60} N = 0.77N$$

에서 구할 수 있다.

자동해머는 사용하기가 번거롭고 시험 소요시간이 R-P해머 보다 길어 국내 현장에서 거의 활용되지 않고 있는 실정 때문에 현장 측정회수가 적었으나, 앞서서도 언급한 바와 같이 초음파 송수신장치로 측정된 결과의 신뢰성이 높은 것으로 판단되기 때문에 자동해머의 경우에도 표 3에 나타낸 해머에너지비를 적용할 수 있다고 보아

$$N_{60} = \frac{E_r}{E_{60}} N = \frac{E_r}{E_{60}} N = \frac{54}{60} N = 0.9N$$

에서  $N_{60}$ 값을 구할 수 있다.

표 3에 나타낸 결과를 국내 현장의 표준관입 시험에 대한 에너지 수준으로 결정하기 위해서는 해머가 모루를 타격한 에너지가 로드 에 전달되는 동적효율을 측정해야 하며, 로드 에 로 드셀 등을 장착한 계측장비로 에너지 수준을 직접 측정함으로써 확인 및 검증할 수 있을 것이다.

#### 4. 결론

해머가 낙하할 때에 발생하는 여러가지 요인에 의한 에너지 손실 때문에 실제의 해머타격 에너지가 이론치와 크게 다르게 마련이며, 이 에너지 수준이 실험결과인  $N$ 치에 직접적으로 영향을 미치게 된다. 해머타격에너지는 초음파 송수신장치와 PC를 이용하여 국내의 여러 현장에서 측정하였다. R-P해머 및 자동해머를 사용한 국내 현장의 표준관입시험에 대하여 해머 에너지를 측정된 결과로 부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) R-P해머의 평균낙하고는 규정치인 76cm 보다 4cm정도 작은 71.7cm였으며, 낙하

시간에 따라 측정된 낙하고로 산출한 낙하속도는 308cm/sec였으며, 자동해머의 경우는 각각 73.1cm 및 333.5cm/sec였다.

- (2) R-P해머에 대한 해머효율( $e_s$ ) 및 해머에너지비( $e_e$ )는 각각 68.4%와 64.2%로 측정되었으며, 자동해머에 대한 값은 각각 77.9% 및 75.0%로서 측정회수에 차이는 있으나 R-P해머를 사용한 경우보다 더 크게 나타났다.
- (3) 해머가 모루를 타격한 후에 샘플러에 도달되는 도중에 발생하는 에너지 손실을 고려한 동적효율( $\eta_d$ )을 이(1996)가 제시한 0.72를 적용하여 R-P해머 및 자동해머에 대하여 산출한 평균에너지비( $E_s$ )는 각각 46.2% 및 54%였다.
- (4) 위의 평균에너지비( $E_s$ )를 이용하여 현장 측정  $N$ 치를 국제표준치인  $N_{60}$ 으로 보정하기 위한 계수를 산출한 값은 R-P해머의 경우  $0.77(N_{60} = \frac{46.2}{60}N = 0.77N)$ 로, 자동해머의 경우는  $0.9(N_{60} = \frac{54}{60}N = 0.9N)$ 로 산출되었다.
- (5) 표준관입시험의 실용적인 표준화를 위해서는 현장에서 수행되는 SPT 장비와 시험습관에 대한 세밀한 측정 및 관찰을 장기간에 걸쳐 수행하는 연구가 필요하다.

### 참고 문헌

1. 박용원, 이호춘, 박종호, 김석훈(1993), "표준관입시험의 해머에너지 측정", 1993 학술발표회 개요집, 대한토목학회, 제(1)권, pp.573-576.
2. 박용원, 이호춘, 박종호(1994), "표준관입시험의 해머별 에너지 비교", 1994 학술발표회 논문집, 대한토목학회, 제(1)권, pp.821-824.
3. 이명환, 강원탁, 이원재, 김영진(1992), "실측에 의한 표준관입시험 함마의 낙하속도 분석", 지

- 반공학회지, 한국지반공학회, 제8권, 제1호, pp. 60-64.
4. 이호춘(1996), "국내 표준관입시험의 에너지 수준 측정 및 고찰", 박사학위논문, 명지대학교.
5. 한국산업규격 KS F 2318(1991), "스플릿 배럴 샘플러에 의한 현장 관입시험 및 시료 채취 방법".
6. 宇都一馬, 冬木 衛(1983), "標準貫入試験の問題点, 地質と調査, 1983年 第1號, pp.9-15.
7. Bowles, J.E.(1988), *Foundation analysis and design, 4th edition*, McGraw Hill Book Company, New York, pp.131-143.
8. Clayton, C.R.I.(1990), "SPT Energy Transmission : Theory, Measurement and Significance", *Ground Engineering*, pp 35-43.
9. Fletcher, G.F.A.(1965), "Standard Penetration Test : Its Uses and Abuses", *Journal of SMFED, ASCE*, Vol.91, No.SM4, pp.67-75.
10. Gibbs, H.J., and Holtz, W.G.(1957), "Research on Determining the Density of Sands by Spoon Penetration Testing", *Proc. of the 4th ICSMFE, London, UK*, Vol.1, pp.35-39.
11. Kovacs, W.D. and Salomone, L.A.(1982), "SPT Hammer Energy Measurement", *Journal of the GED, ASCE*, Vol.108, No.GT4, pp.599-620.
12. McLean, F.G., Franklin, A.G. and Dahlstrand, T.K.(1975), "Influence of Mechanical Variables on the SPT", *Proc. of the 7th Specialty Conf. on In Situ Measurement of Soil Properties, ASCE*, Vol.1, pp.287-318.
13. de Mello, V.F.(1971), "The Standard Penetration Test, A State-of-the-Art Report", *4th PanAm Conf. on SMFE, San Juan, Puerto Rico*, Vol.1, pp.1-86.
14. Riggs, C.O.(1986), "North American Standard Penetration Test Practice", *Proc. of the 14th Specialty Conf. on Use of In Situ Tests in GED, ASCE*, pp.949-967.
15. Robertson, P.K. and Woeller, D.J.(1991), "SPT Energy Measurements Using a PC Based System", *44th Canadian Geo. Conf.*, Vol.1, Paper No.8, pp.1-10.



16. Sanglerat, G.(1972), *The Penetrometer and Soil Exploration*, Elsevier Scientific Publishing Company, New York, 487pp.
17. Schmertmann, J.H.(1975), "Measurement of in Situ Shear Strength", *Proc. of the 7th Specialty Conf. on In Situ Measurement of Soil Properties*, ASCE, Vol.2, pp.57-138.
18. Schmertmann, J.H.(1978), "Use of the SPT to Measure Dynamic Soil Properties-Yes But.", ASTM, STP, NO.654, pp.341-355.
19. Schmertmann, J.H. and Palacios, A.(1979), "Energy Dynamics of SPT", *Journal of the GED, ASCE*, Vol.105, No.GT8, pp.909-926.
20. Seed, H.B., Tokimatsu, K., Hård, L.F. and Chung, R.M.(1985), "Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluations", *Journal of the the GED, ASCE*, Vol.111, No.GT12, pp.1425-1445.
21. Skempton, A.W.(1986), "SPT Procedures and the Effects in Sands Overburden Pressure, Relative Density, Particle Size, Ageing and Overconsolidation", *Geotechnique*, Vol.36, 3, pp.425-447.

(접수일자 1996. 6. 1)