



동다짐공법 원리와 설계적용에 대하여 알고 싶습니다.



최인걸 / (주)유신코퍼레이션 지반공학부 상무, 토질및기초기술사

### 1. 개요

동다짐공법은 유압다짐공법과 같이 사질토의 액상화 방지를 위하여 저면적이 2 ~ 4m<sup>2</sup>인 강재 또는 콘크리트제품의 중량(10 ~ 40t)을 크레인 등으로 10 ~ 25m 높이로 올려 높은 곳에서 지표면에 반복적으로 자유낙하시켜 그때 생기는 충격력과 진동에 의하여 지반을 깊은 곳까지 개량하는 공법이다. 개량심도는 10 정도이나 타격에너지를 증가시키면 40m 정도까지 가능하다(동다짐 시공 장비조합 = 크레인 + 다짐용중추 + 불도우저). 유

압다짐공법은 진동판을 이용하여 비교적 낮은 높이 약 1 ~ 4.0m에서 중량추(약 7 ~ 10t)를 낙하시켜 지면에 밀착된 foot를 타격하여 그 충격력으로 지반을 개량하는 공법이며 유압해머다짐의 타격에너지는 일반적으로 램머의 중량(W)은 10t, 낙하고는 최대 1.2m이나 적정에너지 전달 높이를 1.0로 하며 동다짐 및 유압다짐공시 충격에너지에 의한 탄성과 전달모식도는 <그림 1>과 같다.

### 2. 동다짐 개량원리

사질토는 충격에 의해 P파가 발생하여 간극수압이 증가되어 입자가 이완되고, 또한 S, R파는 호트리진 입자를 조밀한 상태로 재배열하며 이를 동다짐이라 한다. 점성토는 해머로 충격을 주면 점성토가 과잉간극수압이 발생하여 지반이 연약화되나 간극수압의 소산으로 인하여 유효응력이 증가하여 전단강도, 탄성계수가 증가하게 되는데 이를 동압밀이라 한다. 동다짐은 주로 실트, 사질토에 적용하므로 실무에서는 주로 동다짐공법으로 부른다.

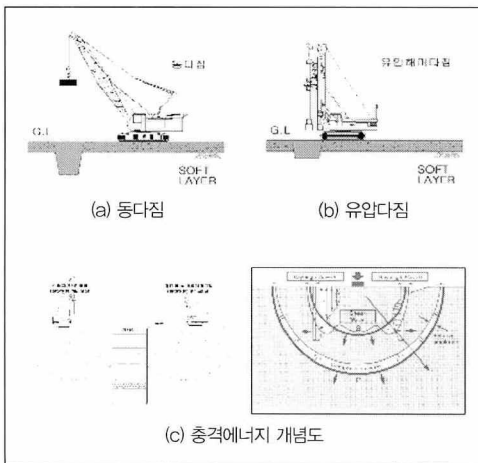


그림 1. 동다짐, 유압다짐 및 충격에너지 개념도



표 1. 표면파, 체적파 내용

단계	파의 종류	설 명
1. 표면파(surface Wave) : 표면으로 전파	1) Rayleigh wave (R 파)	1) 세번째로 도달하는 파이며 에너지가 67%이므로 수진구조물에 미치는 진동영향이 제일 큼
	2) Love Wave (L 파)	2) P 파와 S 파의 복합형태로 변형 특수한 조건에서만 발생됨 변형형태는 횡방향
2. 체적파(Body wave) : 지반내부로 전파	1) Primary wave(R 파)	1) 첫번째로 도달되는 파로서 에너지는 7%임 2) 파의 진행 방향에 따라 압축과 인장변형 유발 (압축파, 종파)
	2) Secondary wave(S파)	1) 두번째로 도달되는 파로서 에너지는 26%임 2) 파의 진행방향에 직교하는 연직, 수평방향 2축으로 전단변형을 유발하며 수평성분이 우수함(전단파, 횡파)

### 3. 지반내에 전달되는 파의 종류

동하중이 지반에 작용하면 일부는 소모되고 나머지는 파동에너지 형태로 전파되며 전파되는 파의 종류는 표1과 같다.

### 4. 동다짐에 의한 지반거동 변화

동다짐에 따른 에너지가 가해질 때마다 시간에 따른 다짐에너지, 체적변화, 간극수압소산비율, 지지력의 변화는 <그림 2>와 같다.

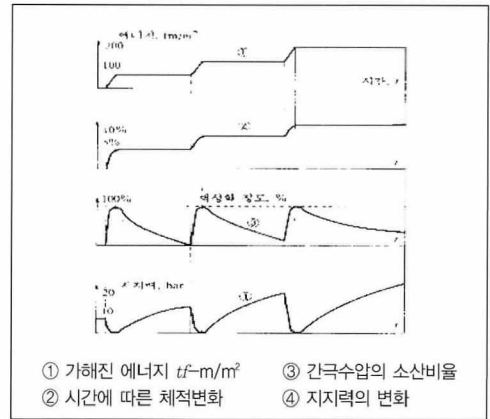


그림 2. 동다짐시 시간에 따른 지반거동

설계 시에는 지반개량 대상깊이를 결정한 후 토질 조건에 적절한 중추의 무게와 낙하고를 결정하여 타격점간 간격과 타격횟수를 정하며, 본 공사 전에 시험시공을 실시하고 결과를 분석하여 본 공사에 적용한다. <그림 3>에는 동다짐공법 설계흐름도를 나타낸다.

### 5. 설계흐름



그림 3. 설계흐름도

## 6. 설계순서

### 1) 중추의 중량(W)과 낙하고(H) 결정

지반개량 깊이와 타격당 에너지로 표현할 수 있는 중추의 중량(W)과 낙하고(H)의 관계는 다음과 같은 경험식으로 표현할 수 있다.

$$D = C \times \alpha \times \sqrt{W \times H} \quad (1)$$

여기서, D : 개량깊이(m)

W : 추의 중량(tf)

H : 낙하높이(m)

$\alpha$  : 토질 영향계수 (폐기물 0.3~0.5,

사질토 0.4~0.6, 쇠석 0.5~0.7)

H : 낙하방법에 따른 계수(0.9)

만일 동다짐 대상 토질이 실트질 모래(평균  $\alpha$ 값 0.5)이고 심도가 10.0m인 경우  $\sqrt{WH}$ 는 <그림 4>로부터 20, 식 (1)으로부터 22.2을 구할 수 있으며 이 값은 그림과 식이 거의 같음을 알 수 있다.

### 2) 타격지점의 간격(L)

타격간격은 중추의 무게와 크기, 토질상태, 낙

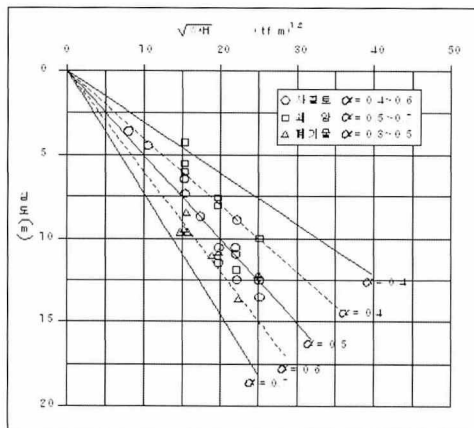


그림 4. 심도(D)~ $\sqrt{W \cdot H}$  관계에 따른  $\alpha$ 값의 변화

하높이 등을 고려하여  $L = 0.5 \sim 1.0D$ 를 사용하며, 사질토 혹은 쓰레기매립지에서는 4.0 ~ 8.0m, 실트질 흙인 경우에는 세립질 포함정도에 따라 5.0 ~ 15.0m까지 정할 수 있다. 토질을 고려하여 위의 타격간격 산정식을 평균값으로 수정하면 식 (2)와 같이 된다.

$$L = 0.5 \sim 1.0 D \Leftrightarrow L = 0.7 \times D \quad (2)$$

위식을 고려하여 지반개량대상 깊이가 10m이면 동다짐 타격간격(L)은 7.0m가 된다.

### 3) 타격에너지(E) 산정

단위면적당의 타격에너지( $E_A$ )는 식 (3)으로 산정한다.

$$E_A = E_A \times D \quad (3)$$

여기서,  $E_A$  : 타격에너지( $tf \cdot m/m^2$ )

$E_v$  : 개량대상토 1m<sup>3</sup>당의 타격에너지  
량( $tf \cdot m/m^2$ )

D : 개량깊이(m)

단위면적당의 타격에너지( $E_A$ )는 과거의 경험식에서 유도된 <그림 5>에서 산정할 수 있다. 현재의

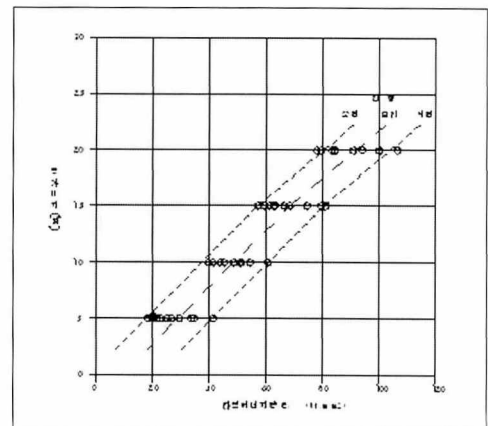


그림 5. 증가 N값( $\Delta N$ )와 타격에너지량( $E_A$ )



지반개량대상심도의 표준관입시험값(N)이 5이고 동다짐 후의 목표 개량값이 10인 경우에 목표 증가 값( $\Delta N$ )은 5이다. 지반의 5에 대응하는 단위 체적당 타격에너지( $E_v$ )는 모래와 세립의 중간이므로 <그림 5>에서 34임을 알 수 있고 개량깊이는 10m이므로 단위면적당 소요 타격에너지량( $E_A$ )는 340이다.

#### 4) 타격횟수(N) 산정

상기 내용으로부터 중추중량(W) 20tf, 낙하고(H) 20m, 타격에너지(E) 340이 결정되었으므로 각 타격점의 타격횟수( $N_b$ )를 식 (4.73)에서 구하면 11을 얻을 수 있다.

$$N_b = \frac{E \times L^2}{W \times H \times n} \quad (4)$$

여기서,  $N_b$  = 1타격점당 타격횟수(회)

$E$  = 타격에너지( $tf \cdot m/m^2$ )

$L$  = 제 1시리즈의 타격점간격(m)

$W$  = 중추의 중량( $tf$ )

$H$  = 낙하높이(m)

$n$  = 시공의 단계수

5) 시리즈 수(n), 정치기간 및 마무리 탬핑 시리즈수(n)는 타격수를 나타내는 것으로 보통 제 1, 2, 3시리즈(또는 다짐)라고 부른다. 개량대상층의 구성이 세립이 추가 되는 토질이면, 타격간격이 넓어지면서 시리즈수는 많아진다. 탬핑의 목적은 느슨해진 주변지반을 다지는 것이고, 타격배치는 중추 저면적(예, 2.2 × 2.2m)의 크기에서 전면적으로 실시한다. 탬핑은 1,2,3 단계의 에너지보다 적게 실시하고 타격에너지에는 포함하지 않는다. 개량하고자 하는 사질토위에서 타격을 하면 상부층이 교란되므로 시험시공을 통하여 여성토(보통 1.0m)를 정해야 하며 타격에너지 340 $tf/m^2$ 을 분배한 1, 2, 3시리즈의 타격단계별 개념도 및 다짐내용을 정리하면 <표 2>와 같다.

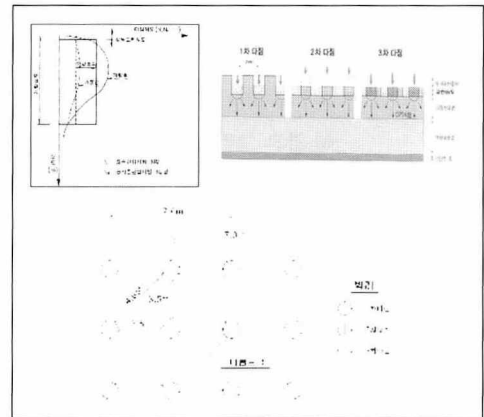


그림 6. 다짐개량효과 및 타격단계별 개념도

표 2. 개량심도 10.0m인 경우 타격 단계별 에너지

타격단계수	타격간격 (m×m)	중추계 (#)	낙하고(m)	타격회수(회)	타격에너지량( $tf/m^2$ )
1(사각형)	7.0 × 7.0	25	20	11	$112.2 = \left( \frac{340tf/m^2}{7m \times 7m} \right)$
2(사각형)	7.0 × 7.0	25	20	11	112.2
3(마름모꼴)	4.95 × 4.95 (3.5 × 1.414 = 4.95)	15	20	9	$110.2 \left( \frac{340tf/m^2}{4.95m \times 4.95m} \right)$
마무리 탬핑	2,222	15	10	2	-
계					$\approx 340tf/m^2$

## 7. 시험시공결과 평가

- 1) 상기에서 언급한 (1)~(5)내용은 설계과정에서 타격에너지를 정하는 과정이며 설계에서 정한 내용이 적절한지 여부는 본 공사전 설계내용으로 시험시공(pilot test)을 실시하고 그 결과에 따라 공사 착공전 설계내용을 조정(추무게, 낙하고, 타격회수 등)하여 본공사에 적용하여야 한다.
- 2) 필요한 심도까지 개량이 되었는지 여부는 표

준관입시험, 동적콘관입시험 등으로 확인한다.

- 3) 연직배수재 시공 또는 다짐시공 시 구조물의 진동, 소음의 허용기준치를 정한후 측정대상 위치에 진동, 소음 측정기를 설치하면 구조물의 진동, 소음영향 범위를 알 수 있다. 만일 진동, 소음영향 범위가 아래와 같이 측정되었고 구조물의 진동 허용기준이 0.2cm/sec이면 진동 영향범위는 50m, 소음의 허용기준이 70dB이면 소음 영향범위는 170m로 판단 할 수 있다.

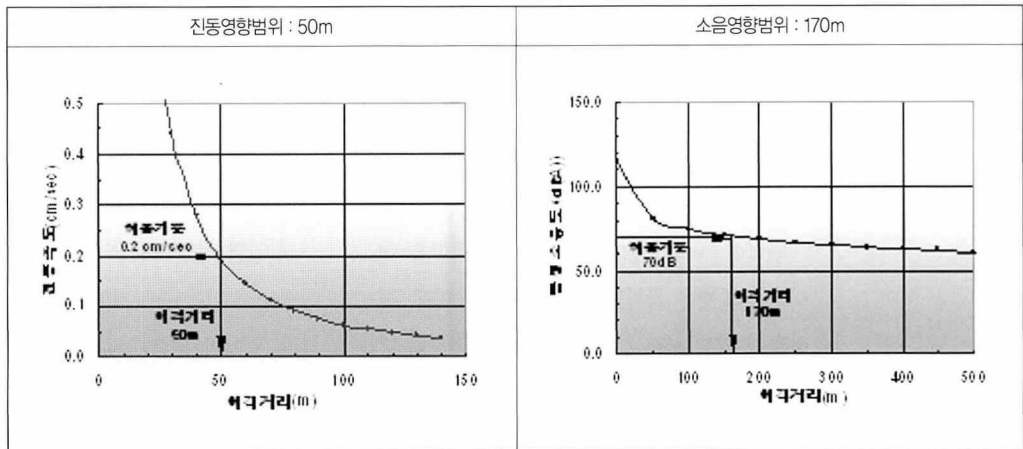


그림 7. 이격거리별 영향범위 설정 (예)

<http://www.teso.co.kr>

Life is too short  
to run through....



## (주) 太朝 엔지니어링

Total Engineering Services by Operation-network

서울시 송파구 방이동 51-1 유정빌딩 4·5층 TEL: 2140-9200(9210)