



표준관입시험 N값을 이용한 액상화 평가방법에 대해 설명하여 주십시오.



우송대학교 철도건설환경공학과 안태봉 교수

표준관입시험을 이용한 액상화 평가방법

1. CSR 과 CRR

현장지반의 액상화 저항을 평가하기 위해서는 지진을 일으키는데 필요한 반복응력비(cyclic stress ratio (CSR)), 와 액상화에 저항하는 반복 저항비(cyclic resistance ratio (CRR))의 향으로 표시된다. Seed and Idriss(1971)는 CSR을 다음의 공식으로 계산했다.

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} = 0.65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right) \gamma_d \quad (1)$$

여기서 a_{max} 은 지표면에서의 지진에 의한 최대 수평 방향 가속도이고, g 는 중력 가속도, σ_{vo} 와 σ'_{vo} 는 전체 연직 상재 응력과 유효 응력이다. γ_d 는 응력 저감 계수인데, 이 값으로 흙의 연성에 대한 보정을 한다. 깊이에 따른 γ_d 값은 다음의 공식을

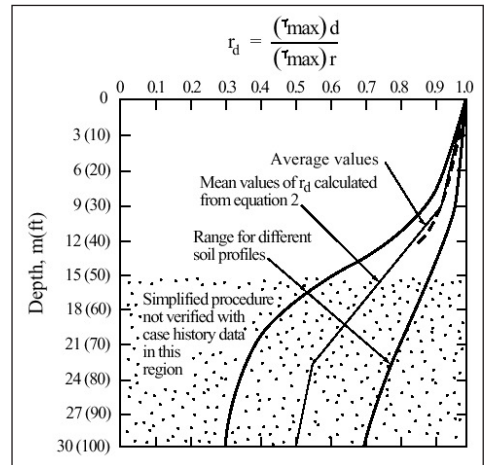


그림 1. 깊이에 따른 γ_d

따른다.

2. SPT를 이용한 액상화 저항의 예측

SPT를 이용한 액상화 저항의 예측은 가장 널리 이용되어지는 방법이다. 액상화저항을 증가시키는 경향을 가진 요소, 즉 밀도, 지진동 이전의 변

표 1. 깊이에 따른 γ_d (Modified after Youd and Idriss, 1996)

$\gamma_d = 1.0 - 0.00765 z$	$z \leq 9.15 \text{ m}$	Liao and Whitman (1986)
$\gamma_d = 1.174 - 0.0267 z$	$9.15 (z \leq 23 \text{ m})$	
$\gamma_d = 0.744 - 0.008 z$	$23 (z \leq 30 \text{ m})$	Robertson and Wride
$\gamma_d = 0.50$	$z > 30 \text{ m}$	William F. Marcuson
$\gamma_d = 1 - 0.0012 z$	$z < 10 \text{ m}$	Kayen et al. (1992)

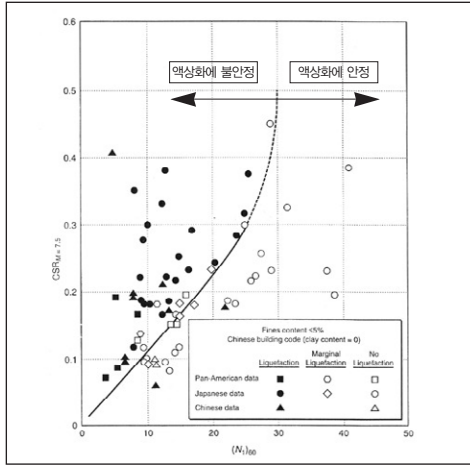


그림 2. 규모 7.5지진에서 순수 모래에 액상화를 일으키는 반복응력비와 $(N_1)_{60}$ 과의 관계(Seed 등, 1985)

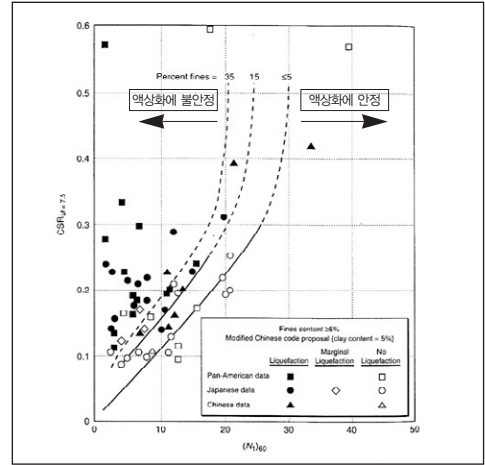


그림 3. 규모 7.5지진에서 실트질 모래에 액상화를 일으키는 반복응력비와 $(N_1)_{60}$ 과의 관계(Seed 등, 1985)

형률, 과압밀비, 횡도압 및 하중지속기간 등이 모두 SPT저항을 동시에 증가시키는 경향이 있으므로 액상화저항을 예측하는데 가장 많이 이용되고 있다. SPT 자료를 액상화저항의 평가에 적용시키기 위해 많은 N 값에 영향을 미치는 많은 요소들에 대한 연구가 이루어졌고, 특히 세립분의 함유량에 대한 보정이 반드시 필요함을 알게 되었다. 타격 에너지 60%에 보정으로 구해진 $(N_1)_{60}$ 값의 CRR은 세립분의 함유량이 증가함에 따라 같이 증가함을 알게 되었다. 그러나 현재까지 CRR값이 커지는 이유가 아주 큰 액상화 저항 때문인지 아니면 세립분의 함유량에 따른 압축성의 증가와 투수성의 감소에 따른 결과인지 그 이유를 정확히 규명하지는 못하고 있다. Seed et al.(1985)은 규모 7.5인 지반에서 관찰되었던 액상화 발생여부자료를 이용하여 액상화발생과 관련해서 SPT N 값과 반복응력비(CSR)와의 관계를 순수모래와 실트질 모래에 대해 각각 그림 2와 3에 나타냈다.

또한 많은 연구에 의해 세립분의 함유량 외에

흙의 소성 역시 흙의 액상화 저항에 영향을 미칠 것을 알아냈다. 따라서 SPT를 이용한 액상화 저항의 평가가 관입저항이나 세립분 함유량만으로 구해진 것에 대해서는 반드시 공학적인 충분한 판단이 뒤따라야 한다고 제한한다.

$$(CSR_{field})_{\alpha, \sigma} = (CSR_{field})_{\alpha = 0, \sigma \Delta t / t^2} \cdot K_{\alpha} \cdot K_{\sigma} \quad (2)$$

여기서 $\alpha = \frac{\tau_{h, st}}{\sigma_{vo}}$

K_{α} 는 초기전단응력을 고려한 보정계수

K_{σ} 는 상재유효응력을 고려한 보정계수

SPT의 현장 실측 자료를 바탕으로 많은 사람들에 의해 그 상관관계가 도표로 그려졌고 National Center for Earthquake Engineering Research (NCEER)에서는 SPT를 이용한 액상화 평가를 할 때에 그림 2와 3의 도표를 이용할 것을 추천하였다. 그림 2와 3은 지면이 수평이고 액상화가 가능

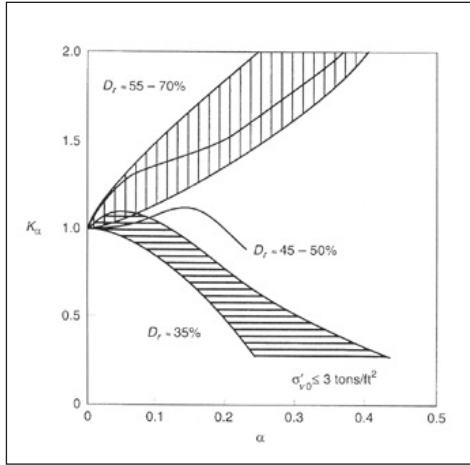


그림 4. 초기전단응력과 수직응력과의 비에 따른 보정계수 K_α 의 변화(Seed와 Harder, 1990)

한 흙이 비교적 얇게 퇴적되어 있을 경우이다. 따라서 경사지면이나 큰 중량구조물을 지지하고 있는 기초지반의 경우에는 초기정적전단응력이 액상화저항에 영향을 끼치게 된다. 즉 초기정적전단응력이 정상상태강도보다 크게 되면 액상화 저항은 감소된다. 따라서 Seed(1983)는 초기정적전단응력과 높은 구속유효응력에 대한 영향을 고려하여 아래 식과 같이 수정할 것을 제안하였다.

SPT N값에 영향을 주는 요소

위에서 설명한 세립분 함유량 이외에도 SPT시험에서 얻은 타격횟수를 액상화 평가에 사용하기 위해서는 아래와 같은 요소들을 고려하여야 한다.

$$(N_1)_{60} = N_m C_N \frac{1}{0.6} \frac{E_m}{E_f} \quad (3)$$

여기서,

N_m 는 측정된 관입저항치

C_N 는 상재하중 보정계수(그림 6이용)

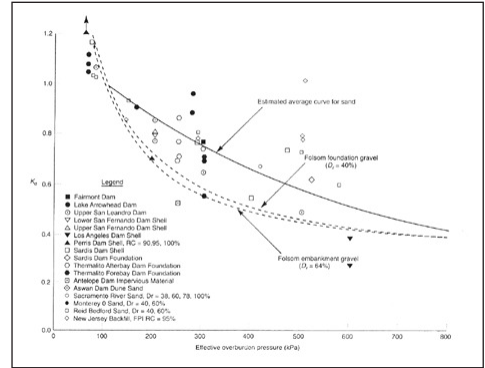


그림 5. 상재유효응력에 따른 보정계수 K_α 의 변화 (Marcuson 등, 1990)

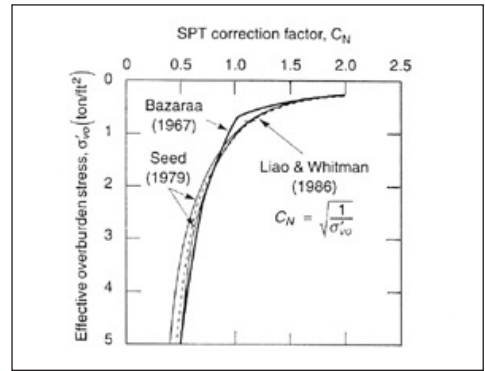


그림 6. 상재유효응력에 따른 SPT보정계수

E_m 은 실제상의 해머에너지

E_f 는 이론적인 자유낙하 해머에너지