

표준관입시험에 의한 우리나라 풍화잔류토의 강도정수 결정 Determination of Strength Parameters on Weathered Residual Soils based on SPT N Values

정충기¹⁾, Choong-Ki Chung,

¹⁾ 서울대학교 지구환경시스템공학부 부교수, Associate Professor, Dept. of Civil, Urban and Geosystem Eng., Seoul Nat'l University

1. 서론

암반이 풍화되면서 형성되는 풍화잔류토(또는 풍화잔적토, 풍화토)는 우리나라에서 가장 널리 분포하며, 건설현장에서 가장 빈번하게 접하는 대표적인 지반 재료이다. 따라서 대부분의 지반구조물의 설계 및 해석시 풍화잔류토의 공학적 특성, 특히 강도 특성은 매우 중요한 설계변수이다. 그러나 일반 퇴적토에 비하여 풍화잔류토의 강도가 상대적으로 크고 안정하다는 인식 때문에 이에 관한 체계적인 연구는 국내에서는 미흡한 실정이다. 또한 토사로서는 단단하면서도 취성적 특성을 갖기 때문에 전단 특성 판별을 위한 현장시험이 극히 제한되고 불교란 시험의 채취가 매우 어렵기 때문에 실내시험의 적용도 한계가 있을 수밖에 없다. 이러한 이유와 함께 시험의 편의성 및 경제성을 이유로 표준관입시험이 풍화잔류토의 강도정수를 결정하는 방법으로 많이 활용되고 있다.

표준관입시험 N값을 이용한 풍화잔류토의 강도정수 결정은 퇴적에 의하여 형성된 일반 사질토의 연구결과로 제시된 내부마찰각과 N값과의 상관관계를 토대로 이루어진다. 그러나 비록 채취된 시료의 입도분포로 사질토로 분류된다고 하더라도, 형성조건이 크게 다르고, 느슨한 토사 상태에서 암반에 가까운 상태까지 다양한 강도를 갖는 풍화잔류토를 단순히 사질토로 분류하여 내부마찰각으로 강도정수를 결정하는 것이 타당한가에 대해서는 충분한 검토가 필요할 것이다.

본 연구에서는 풍화잔류토에 대하여 특히 우리나라 풍화잔류토의 대부분을 차지하는 모암이 화강암 또는 편마암 계열의 풍화잔류토를 대상으로 하여 표준관입시험의 결과를 실내시험을 통하여 나타난 강도정수와 비교하여, 기존에 제시된 여러 상관관계의 타당성을 포함한 제반 사항에 대하여 고려하여 보고자 한다.

2. 풍화잔류토의 특성

풍화잔류토는 지질학적으로 암석이 풍화 작용을 받아 깨어지고 변질되어 생성된 토사를 뜻하는 풍화토 중에 암석이 원래의 위치에 그대로 잔류하고 있는 토사를 뜻한다. 풍화잔류토는 암석이 풍화됨에 따라 연암에 가까운 것에서부터 극단적으로 풍화되어 변질된 점성토까지 아주 넓은 범위의 형태를 가지고 있으며, 모암의 광물학적 특성과 풍화 환경 및 풍화 과정에 따라 그 특성이 결정된다.

우리나라 풍화잔류토는 화강암이나 편마암 또는 편암을 모암으로 하는 경우가 가장 많으며, 따라서 석영, 사장석 및 정장석과 흙운모의 1차 광물과 이 중에서 풍화에 따라 사장석과 흙운모가 소멸되면서 나타나는 2차 광물인 Illite, Vermiculite, Gibbsite, Kaolinite 등의 2차 광물로 구성된다. 풍화에 따라 토

립자가 형성되기 때문에 입자의 형상은 그림 1에 나타난 바와 같이 모나고 각진 형상이 많으며, 입자의 크기가 매우 다양하여, 대부분 사질토로 분류되지만 입도분포가 양호하며(Well-graded) 세립성분도 10% 이상 함유하는 경우도 있다.

풍화암과의 경계로 구분되는 풍화잔류토의 강도 측면에서의 상한은 국내의 경우 표준관입시험 N값을 기준으로 하여 50/10, 또는 50/15 (N값 50에 10 또는 15cm 관입)로서, 국내 풍화잔류토 지반의 N값의 범위는 대략 15/30~50/(10~15)이다.

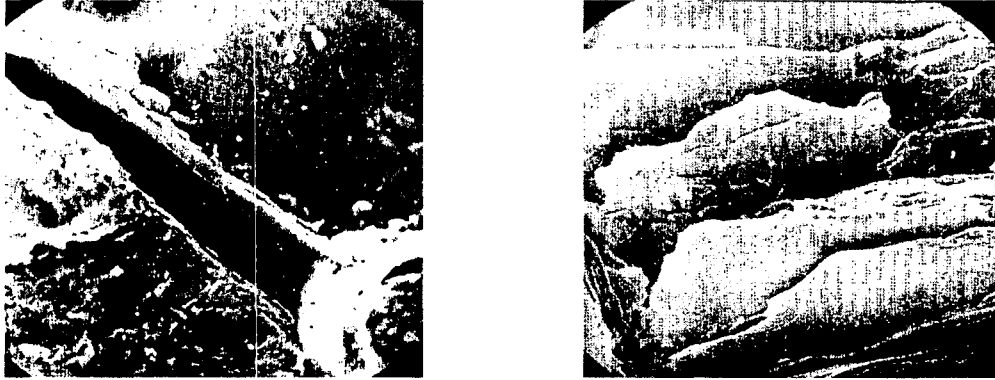


그림 1. 풍화토의 입자구조(SEM 사진)

3. 사질토의 N값과 강도정수의 상관관계

표준관입시험은 점성토에서 풍화암까지 매우 다양한 지반 조건에 적용할 수 있으며, 가장 간편하고 경제적인 실험 방법이기 때문에 이를 이용한 강도정수의 결정은 정확한 값을 제공하지 못한다 할지라도 지반 특성 판별에 매우 중요하다. 사질토의 경우 N값과 내부마찰각에 대한 상관관계를 이용하게 되며, 그 대표적인 연구결과는 다음과 같다.

① Peck의 제안과 Meyerhof의 제안

표 1. Peck-Meyerhof(1956)가 제안한 N값과 내부마찰각의 관계

N값	지반 상태	내부마찰각	
		Peck et al. ($\phi = 0.3N+27$)	Meyerhof*
0~4	very loose	<28.5	<30
4~10	loose	28.5~30	30~35
10~30	medium	30~36	35~40
30~50	dense	36~41	40~45
50<	very dense	41<	45<

* 입도분포가 균일한 경우(uniformly graded)에는 작은 값, 입도가 좋은 경우(well graded) 경우에는 큰 값을 택한다.

② Dunham(1954)의 제안

Dunham은 Terzaghi-Peck의 연구 결과를 정리하여, 다음의 근사식을 제시하였다.

표 2. Dunham(1954)이 제안한 내부마찰각 추정식

적용 기준	내부마찰각 추정식
입자가 등글고 입도분포가 균일한 모래	$\sqrt{12N} + 15$
입자가 등글고 입도분포가 좋거나 입자가 모나고 입도분포가 균일한 모래	$\sqrt{12N} + 20$
입자가 모나고 입도분포가 좋은 모래	$\sqrt{12N} + 25$

③ Ohsaki(1959)의 제안

Ohsaki는 동경지질도 작성시 일본 동경 모래층에 대한 자료로부터 다음의 식을 제안하였다.

$$\phi = \sqrt{20N} + 15 \quad (1)$$

이 상관관계 식은 채취된 시료를 실험실에서 현장 조건에 맞게 밀도와 함수비를 조절하여 실험을 한 후 얻어진 내부마찰각을 현장에서 측정한 N치와 비교하여 얻어진 것이다. 대부분 퇴적에 의하여 형성된 표준적인 모래 또는 특정지역의 사질토를 대상으로 연구한 결과이다. 현재 우리나라에서는 풍화잔류토가 입도분포상 사질토로 분류되기 때문에 위의 식 또는 표에서 제시한 상관관계에 따라 N값으로부터 산정되는 내부마찰각으로 풍화잔류토의 강도정수를 결정하고 있다.

4. 실내시험 방법과 N값의 보정

4.1 풍화잔류토의 실내시험 방법

풍화잔류토는 시료의 입도분포에 따르면 사질토로 분류되므로 배수강도를 기준으로 시험을 수행한다. 배수강도를 구하는 것이기 때문에 3 가지 구속압 상태에서 압밀후 배수 상태에서 전단하여 얻어진 결과로부터 Mohr-Coulomb의 파괴포락선을 구하여 내부마찰각을 결정한다. 시료의 포화여부는 현장 포화 상태에 따라 결정, 실시한다.

불교란시료를 얻지 못한 경우, 실험실에서 현장밀도를 재현하여 실시한다. 이때 현장밀도 시험을 실시한 경우 그 값으로 시료를 성형하고, 현장밀도가 확인되지 않은 경우에는 표준관입시험의 N값과 상대밀도와의 상관관계 (Peck과 Meyerhof(1956), Gibbs와 Holtz(1957), Biegansousky와 Marcuson(1977)이 제안한 제안식과 도표)를 이용하여 현장의 상대밀도를 추정하고, 실험실에서 상대밀도시험을 시행하여 현장의 밀도를 결정한 후 이에 따라 시료를 성형한다. 성형시 입자 파쇄가 일어나지 않도록 유의해야 한다.

풍화잔류토의 경우 설혹 풍화가 많이 진전되었다 하더라도 모암의 입자 결합상태가 일부 남아있으며, 특히 풍화정도가 낮은 경우 일반적인 성형방법으로는 얻기 어려운 높은 현장밀도를 갖는 경우도 있다.

4.2 N값의 보정

Schmertmann(1978) 및 많은 연구자들이 제시한 바와 같이, 현장시험에서 구한 N값은 해머 종류, 로드 길이, 샘플러의 종류, 공벽의 직경 및 상재압 등의 영향을 받게 되므로, 이러한 영향 요소들을 배제한 표준적 조건하의 값을 얻기 위하여 각각에 대한 보정이 필요하다. 특히 시험시 에너지 효율은 매우 중요하게 평가되고 있으며, 기존의 실험에 대한 에너지 효율이 대략 60%라는 결과를 토대로 이를 기준으로 N값을 보정하는 것이 일반적이다. 따라서 표준관입시험시 사용되는 해머의 종류, 해머의 Release Mechanism에 따라 다르게 나타나는 에너지 효율을 측정하고, 식 (2)를 이용하여 60%에너지 효율로 보정을 하게 된다.

$$N_{60} = N \times \frac{e_m}{60} \quad (2)$$

여기서 e_m 은 사용된 시험기에서 측정된 에너지 효율이다. 에너지 효율과 함께 중요하게 여겨지는 영향요소는 유효상재압의 영향이다. 실험심도가 깊어지면 유효상재압의 영향으로 N값이 크게 나타나므로 이를 보정하게 되는데, 일반적으로 100kPa의 유효상재압을 기준으로 아래 (식-3)과 같이 제시된 Liao와 Whitman(1986)의 보정식을 이용하는 방법을 많이 사용한다.

$$N' = N_{60} \times \sqrt{\frac{100}{\sigma'}} \quad (3)$$

여기서 σ' 은 유효상재압이다.

이외에도 표준관입시험 결과의 표준화를 위해서는 여러 가지 보정들이 필요하지만, 여기서는 가장 중요하다고 판단되는 에너지 효율과 유효상재압에 대하여 위에 제시된 방법으로 보정하였다. 에너지 효율의 보정을 위해서는 각각의 시험시 에너지 효율을 측정하지 못하였기 때문에, 기존 국내 연구자들의 관련 연구 내용을 참조하여 53%를 측정 에너지 효율로 활용하였다.

5. 표준관입시험의 N값과 실내강도시험에 따른 강도정수의 비교

5.1 풍화잔류토 내부마찰각의 범위

본 절에서는 풍화잔류토에서 나타날 수 있는 전반적인 내부마찰각 범위의 관점에서 N값에 의한 값과 실내시험의 결과를 비교, 분석하였다. 단 통상적으로 산정되는 내부마찰각을 기준으로 비교하기 위하여 N값의 보정은 시행하지 않았다.

국내 풍화잔류토의 N값의 범위(15/30 - 50/15)를 이용하여 앞에서 제안된 식 또는 관계로부터 내부마찰각의 범위를 산정하여 보면 그림 2와 같다. 여기서 N값이 50이상인 경우는 관입량 30cm로 등가적으로 외삽하여 환산하였으며, (즉 50/15는 N값을 100으로 하였다.) Meyerhof의 방법의 경우 제시된 각 N값 및 ϕ' 의 범위에 대한 평균값으로 회귀 분석하여 도시하였다. 풍화잔류토에서 N값에 의한 내부마찰각은 32° - 60° 범위의 값을 가지며, 방법에 따른 편차는 최대 10°이며, Peck방법이 가장 작게 그리고 Dunham의 방법이 평균적으로 가장 크게 ϕ' 을 평가한다.

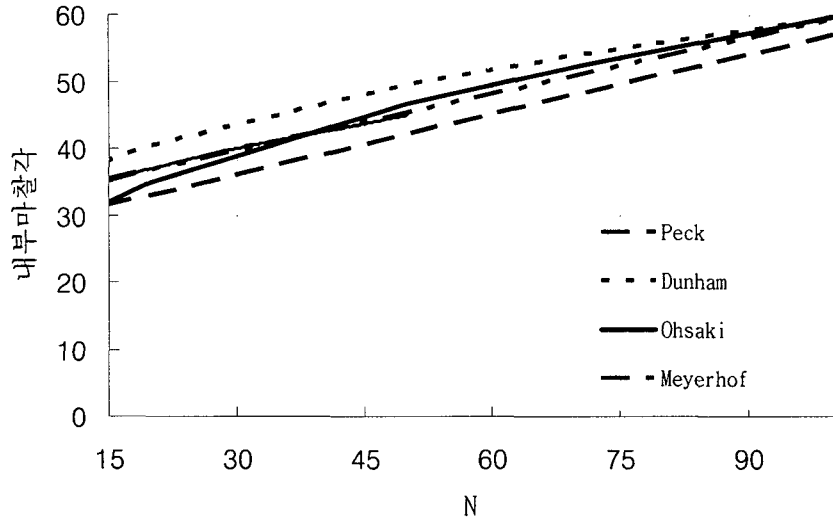


그림 2. N값을 이용한 각 산정방법들에 의한 풍화잔류토의 내부마찰각 범위

다음 표 3.은 직접 실험을 통하여 또는 다른 연구자들의 실험 결과를 문헌 조사를 통하여 얻은 우리나라 여러 지역의 풍화잔류토의 실내시험에 의한 내부마찰각(점착력은 0으로 가정) 값들이다. 모암은 주로 화강암이나, 일부 편마암인 경우도 있으며, 삼축시험과 직접전단시험을 통하여 내부마찰각을 결정하였다. 불교란 및 교란-성형 시료에 대한 결과를 같이 나타내었다. 절반이 넘는 시험결과가 N값에 대한 정보가 제공되지 않았지만, 표에 나타난 바와 같이 N값이 알려져 있는 시험들의 18 - 50/12의 범주에 대부분 속할 것으로 판단된다. 이 표에 제시된 풍화잔류토의 내부마찰각 값들과 그림 2의 결과로부터 다음과 같은 사항들을 추론할 수 있다.

- 1) 우리나라 풍화잔류토의 실내시험으로부터 얻어지는 내부마찰각의 범위는 대략 30° - 60°로서 앞서 N값을 통한 값들과 유사한 범위의 값이 나타남을 알 수 있다. 다만 50°를 크게 상회하는 값들은 설혹 불교란 시료의 경우에도 드물게 나타나고 있어서, 그림 2의 N값 50이상의 경우에 표준관입시험 N값과 상관관계를 단순 외삽하여 나타난 내부마찰각이 합리적인지는 의문시된다.
- 2) 불교란 시료의 내부마찰각이 교란-성형 시료의 값 보다 크게 나타난다. (최대11°) 이는 성형시 현장의 높은 밀도를 적절하게 재현하지 못하였거나, 풍화잔류토에 남아 있는 모암의 결합구조의 영향일 가능성이 크다.

5.2 실내시험과 N값을 이용한 강도정수의 비교

표준관입시험 N값을 이용하여 산정된 내부마찰각을 그 조건에 상응한 실내시험결과와 직접 비교하기 위하여 4개 현장에서 7 가지의 풍화잔류토 시료를 채취하였다. 현장 위치와 채취심도, 모암 그리고 N값은 표 4.에 제시된 바와 같다. 대전시 탄방동과 인천시 송도의 일부 시료는 황동관 타입법에 의하여 불교란 상태로 채취하였으며, 성형시료는 현장에서 측정된 현장밀도로 실험실에서 성형하여 시험을 수행하였다. 모암은 화강암으로 나타났고, N값은 18 - 50/12 범위를 가지며, 서울시 수송동 시료를 제외한 나머지 시료는 지하 수위 아래에 있는 포화상태에서 채취되었다.

표 3. 기존 실내시험에 의하여 결정된 내부마찰각의 범위

채취장소	시료 상태	모양	N값	시험방법	내부마찰각(°)
서울시 압구정동 ¹⁾	교란	화강암	18, 40	CID TXC*	33~34.8
서울시 수송동 ¹⁾	교란	화강암	29, 46	CID TXC*	41.9~52.8
전라북도 익산 ³⁾	교란 (불교란)	화강암	?	DS*	33~42 (39~53)
강원도 횡성 ³⁾	(불교란)	화강암	?	DS	(45.2~46)
불암, 김천, 안동, 포이동 ⁴⁾	교란	편마암	?	CK ₀ D TXC	32~51
경상북도 대구 팔공산 ²⁾	(불교란)	화강암	?	DS	(39~51)
전라남도 광주 ²⁾	(불교란)	화강암	?	DS	(34~63)
대전시 탄방동 ¹⁾	교란 (불교란)	화강암	50/16, 50/12	CK ₀ D TXC	37.2~38.3 (39~40.1)
				CID TXC	37.2~37.4 (36.9~40.2)
충남 서천 ¹⁾	교란	화강암	?	CK ₀ D TXC	35.6
				CID TXC	34.7
서울시 당산동 ¹⁾	교란 (불교란)	화강암	?	CID TXC	29.6 (38.9)
인천시 송도	(불교란)	화강암	50/15	CID TXC	(34)

*DS : 직접전단시험

CK₀D TXC : K₀압밀삼축압축시험

CID TXC : 등방압밀삼축압축시험

1) 권오순(1998), 2) 이민모, 이승철, 김용진(1996) 3) 이문수, 이광찬(1999), 4) 박병기 등(1997), 5) 이수곤(1993)

표 4. 시료 채취 현장 및 N값

현장 위치	모양	채취위치 (GL-M)	N값
서울시 압구정동	화강암	8.5	18
		12.5	40
서울시 수송동	화강암	5	29
		7	46
대전시 탄방동	화강암	7	50/16
		8	50/12
인천시 송도	화강암	43	50/15

등방압밀 배수삼축압축시험(CID TXC)을 통하여 결정된 각 시료의 강도정수는 표 5와 같다. 선형회귀분석 결과 대부분 약간의 점착력과 함께 32° - 40°의 마찰각을 가지며, 불교란시료의 경우 점착력이 없거나 또는 47kPa의 비교적 큰 값을 갖는 것으로 나타났다. 따라서 점착력이 무시할 정도라는 대부분의 실험결과를 토대로 그리고 표준관입시험 결과에 의한 강도정수와 효율적 비교를 위하여 점착력을 0으로 하여 재산정한 결과 내부마찰각이 약간 증가하여 33° - 40°의 값을 갖는 것으로 나타났다. 일반 사질토와 비교하여 풍화잔류토는 모양의 결합구조가 일부 남아 있기 때문에 불교란 시료의 경우 점착력

성분이 나타날 것으로 기대되지만, 실험결과에서 알 수 있듯이 이를 명확히 판별하기는 이 실험결과로는 불충분하며, 추가적인 심도있는 연구가 Mohr-Coulomb의 파괴 기준과 함께 검토될 필요가 있을 것으로 판단된다.

표 5. 실내시험에 의한 각 시료의 강도정수 (등방압밀 삼축압축시험 결과)

구분	선형회귀분석		평균 내부마찰각
	$\phi(^{\circ})$	c (kPa)	
서울시 압구정동	31.9	6.0	33.0
	34.2	12.1	34.8
서울시 수송동	37.1	12.0	39.1
	37.5	1.5	37.9
대전시 탄방동	36.5(36.9)*	5.8(0.0)*	37.2(36.9)*
	36.9(40.2)*	2.9(0.0)*	37.4(40.2)*
인천시 송도	(29.9)*	(46.6)*	(34)*

* 비교란 시료

각 현장 채취시료에 대한 N값과 이를 토대로 앞서 제시한 상관관계들을 이용하여 산정한 ϕ 를 실내시험에서 결정된 ϕ 와 함께 표 6.에 나타내었다. N값에 의한 ϕ 는 보정여부 모두에 대하여 제시하였다. 대부분의 경우 보정에 의한 N'은 보정 이전의 N보다 작으므로, 내부마찰각 역시 보정 이후에 작게 산정된다. 뒤에 자세히 설명하겠지만 표준관입시험에 의한 ϕ 는 실내시험의 ϕ 보다 대부분 크게 나타나므로, 보정 이후의 ϕ 이 실내시험의 값과 더 유사하다. 따라서 N값을 에너지 효율과 상재하중에 대하여 보정하여 ϕ 를 산정하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

표 6. 표준관입시험 결과에 의한 ϕ' 와 실내시험에 의한 ϕ 의 비교.

현장	모암	채취위치 (GL-M)	흙의 분류	N값		Peck		Meyerhof		Dunham		Ohsaki		실내시험에 의한 ϕ'
				N	N'	$\phi'(N)$	$\phi'(N')$	$\phi'(N)$	$\phi'(N')$	$\phi'(N)$	$\phi'(N')$	$\phi'(N)$	$\phi'(N')$	
서울시 압구정	화강암	8.5	SM	18	15	32.4	31.2	38	35	34.7	32.9	34	31.7	33.0
		12.5	SM	40	27	39	35.4	43	38	41.9	38.3	43.3	38.7	34.8
서울시 수송동	화강암	5	SW-SM	29	29	35.7	35.7	40	37	43.7	43	39.1	38.2	39.1
		7	SW-SM	46	41	40.8	35.1	45	43	48.5	47.2	45.3	43.6	37.9
대전시 탄방동	화강암	7	SM	50/16	75	55.1	49.5	45 이상	45 이상	53.5	50	58.3	53.7	37.2 (36.9)
		8	SM	50/12	93	64.5	54.9	45 이상	45 이상	58.7	53.4	65	58.1	37.4 (40.2)
인천시 송도	화강암	43	SW	50/15	80	57	51	45 이상	45 이상	59.6	56	59.7	55	(34)

그림 3에 보정된 값인 N'에 의한 각 상관관계들의 풍화잔류도 ϕ 값 범위와 함께, 각 시료의 N'에 대한 실내시험의 ϕ 값을 도시하였다. N'이 50이하인 경우 모든 방법들이 비교적 실내시험 결과와 비슷한

값을 제시하며, 가장 작게 ϕ 이 산정되는 Peck의 방법이 실내시험 결과와 가장 유사한 반면 Dunham의 방법이 가장 차이가 크게 나타났다. N' 이 50 보다 큰 경우 산정방법에 상관없이 N 값에 의한 ϕ 이 실내시험의 ϕ 에 비하여 매우 큰 것으로 나타났다. 이는 N' 값이 50 보다 큰 경우 N' 이 증가하더라도 실내시험 ϕ 값의 변화가 뚜렷하게 나타나지 않은 것이 주된 원인이다. 하지만 50 이상의 N 값을 갖는 풍화 잔류토가 과연 공통적으로 거의 일정한 강도정수를 갖는지는 시험의 수가 제한되기 때문에 단정지을 수는 없다. 그러나 앞서 풍화잔류토 ϕ 의 전체 범위에서 설명한 바와 같이, 즉 N 값이 50이상인 경우 N 값에 의한 ϕ 의 과대 평가 가능성과 결부하여 생각하여 보면, N' 이 50 이상인 경우 (실측 보정 N' 의 적용으로 상관관계에 의한 ϕ 값이 감소한다 하더라도) 기존의 상관관계를 이용하여 ϕ 을 산정하는 것은 부적절하고, 강도정수의 과대 평가로 인한 위험한 설계가 될 가능성이 있다.

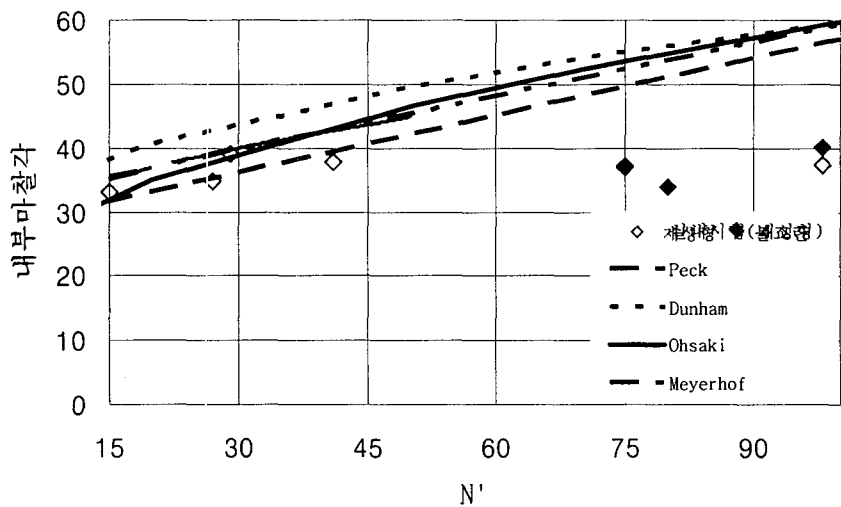


그림 3. N' 값에 의한 ϕ 와 실내시험의 ϕ '의 비교

6. 결론 및 요약

표준관입시험 N 값을 이용하여 강도정수를 결정하고자 사용되는 상관관계들이 우리나라 대표적 지반 구성 재료인 풍화잔류토에 적합한지를 검토하기 위하여 N 값에 의한 내부마찰각과 실내시험에 의한 내부마찰각을 비교, 검토하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) N 값이 50 이하인 경우 N 값에 의한 기존의 산정방법들의 ϕ 은 실내시험 결과와 유사하며, 특히 가장 작게 ϕ 이 산정되는 Peck의 방법이 가장 유사한 값을 산정하는 것으로 나타났다. 반면에 N 값이 50 이상인 경우 모든 제안 방법들이 ϕ 을 실내시험 결과 보다 매우 크게 산정하고 있으므로, 이 값들을 충분한 검토없이 지반구조물 설계에 활용할 경우 위험한 설계가 될 가능성이 있다.
- 2) 에너지 효율(53% 기준)과 유효상재압에 따라 N 값을 보정하여 ϕ 을 산정하는 것이 정확한 ϕ 결정을 위하여 필요할 것으로 판단된다.
- 3) 우리나라 풍화잔류토에 적합한, N 값에 의한 강도정수 산정방법을 정립 또는 선정하기 위해서는 합리적 방법을 토대로 수행한 실내시험의 결과와 신뢰성 있는 N 값에 대한 많은 자료의 축적과 이를 체계적으로 분석하는 연구가 앞으로 지속적으로 수행되어야 할 것으로 판단된다.
- 4) 모암의 결합구조가 일부 남아있는 현장 풍화잔류토의 정확한 강도 특성을 파악하기 위해서는 불교란 시료를 이용하여 체계적이고 정밀한 실험을 수행하고, 그 결과를 이용하여 전단 거동 특성을 파괴 기준에 대한 고찰과 함께 심도 있게 분석할 필요가 있다.

참고문헌

1. 권오순(1998), "풍화토의 전단강도-변형 특성에 관한 실험적 연구", 박사학위 논문, 서울대학교
2. 한국지반공학회(1997), 지반공학시리즈 1, "지반조사결과의 해석 및 이용", 제3장
3. 이갑열(1997), "현장시험을 통한 비배수전단강도의 산정", 석사 학위 논문, 서울대학교
4. 과학기술 편집부 역(1998) 지반조사법 제6편, 2장
5. 이인모, 이승철, 김용진(1996), "다짐풍화토의 거동특성 연구", 한국지반공학회 논문집 제12권 6호 pp 115-126
6. 이문수, 이광찬(1999), "화강풍화토의 전단정수 평가" 한국지반공학회 논문집 제15권 2호 pp 181-194
7. 박병기, 강병선, 외 3명(1997), "화강토의 전단강도 및 변형특성" 한국지반공학회 논문집 제13권 4호, pp 177-195
8. 이수곤(1993), " Geotechnical Characterization of Weathered Granites Soils in Lorea" 한국지반공학회 논문집 제9권 3호, pp 5-22
9. Bowles, J. E(1997), Foundation Analysis and Design, 5th ed., Mcgraw-Hill, New York
10. Meyerhof G. G.(1957), "Discussion on Sand Density by Spoon Penetration", 4th ICSMFE, vol. 3, p. 110
11. Schmertmann J. H. and Palacios A.(1979), "Energy Dynamic of SPT", J of Geotech. Eng. Div. ASCE 105, 909-926
12. Seed et al.(1985), "Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluation," JGED, ASCE, vol. 111, no. 12, Dec. pp. 1425-1445