

일정수직강성시험을 통한 암반근입 현장타설말뚝의 주면마찰력특성분석 Shear Load characteristics of drilled shafts considering socket-roughness in Constant Normal Stiffness(CNS) Test

정상섭¹⁾, Sang-Seom Jeong 정우현²⁾, Woo-Hyun Jung 설훈일³⁾, Hoon-II Seol

¹⁾ 연세대학교 공과대학 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Yonsei Univ.

²⁾ 연세대학교 공과대학 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Yonsei Univ.

³⁾ 연세대학교 공과대학 토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Yonsei Univ.

SYNOPSIS : In this study, the shaft resistance of drilled shafts socketed into weathered-and soft-rocks was examined by the constant normal stiffness(CNS) test. Large scale model tests were performed for different unconfined compressive strength, socket roughness, initial normal stress, and normal stiffness for identifying shear load transfer characteristics. Through comparisons with previous studies, it is found that the results by the present approach is good agreement with the general trend observed by existing empirical and analytical results.

KeyWords : Rock-Socketed Drilled shafts, CNS Test, Constant Normal Stiffness, Roughness, Initial normal stress

1. 서 론

암반에 근입된 현장타설말뚝의 주면마찰력 산정시 사용되는 국내·외 각종 설계기준의 제안식들은 대부분 일축압축강도를 기준으로 하고 있다. 그러나 최근 연구자들(조천환, 2004; Seidel, 2001; Williams, 1980; Pells, 1980)에 의해 기존 설계기준 제안식들의 문제점들이 지적되고 있으며, 이에 대한 대책으로 제안된 사항들로는 암반근입 현장타설말뚝의 하중 재하시 암반근입부의 공벽거칠기로 인해 발생하는 팽창현상(dilation)이 현장타설말뚝의 지지력에 도움을 준다는 것이다. 이러한 근거로 본 연구에서는 말뚝-암반 경계면에서의 전단거동을 모사할 수 있는 일정수직강성조건의 시험을 통해서 암반근입 현장타설말뚝의 주면마찰력의 특성을 파악하고자 한다.

기존 연구에서 제안된 암반근입 현장타설말뚝의 주면마찰력에 영향을 주는 인자들은 공벽거칠기, 수직강성도, 초기수직응력, 시공방법등이 있다. 본 연구에서 이러한 영향인자들 중에서 초기수직응력, 수직강성도, 그리고 공벽거칠기를 시험인자로 선택하여 일정수직강성시험을 실시하였다. 초기수직응력은 0.35, 0.7, 1.05MPa으로 시험을 실시하였고, 수직강성도는 0.2, 0.5, 1.0 MPa/mm으로 시험을 수행하였으며, 마지막으로 공벽거칠기는 유효길이 50mm에 대한 유효높이 2, 4, 7mm로 시험을 실시하였다. 그리고 실제 암반근입 현장타설말뚝의 시공이 연암과 풍화암층에 안착되는 것을 근거로 하여, 일정수직강성조건 시험의 모의암석시료 강도를 국제암반공학회(ISRM)기준으로 연암과 풍화암으로 나누어서 시험을 실시하였다.

시험결과를 토대로 공벽거칠기를 고려한 암반근입 현장타설말뚝의 주면마찰력을 분석하고 최대주면마찰력(f_{max})을 국내·외 각종 설계기준의 제안식들과 비교·분석을 실시하였다.

2. 일정수직강성조건의 실내 시험

2.1 대형직접전단시험기의 제원

직접전단 시험은 대표적인 강도정수인 c, ϕ 를 구하는 시험으로 그 사용이 빈번한 시험이다. 기존의 직접전단시험기의 경우 주로 소형의 시료에 대한 전단강도정수를 산정하는 수준이고, 수직하중과 전단하중에 제한이 있었으며, 시험 수행과정에서 발생하는 전단변위에 따른 면적의 변화 영향을 고려할 수 없는 등의 실험적 제한사항이 있다. 그러나 암반 근입 현장타설 말뚝의 공벽 거칠기를 고려한 전단시험을 수행하기 위해서는 위에서 언급한 기존의 직접전단시험기의 한계를 극복하고 대형 시료에 대하여 일정수직강성조건의 직접전단 시험이 가능한 그림 1과 같은 대형직접전단시험기를 제작하였다(참고문헌 1 인용).

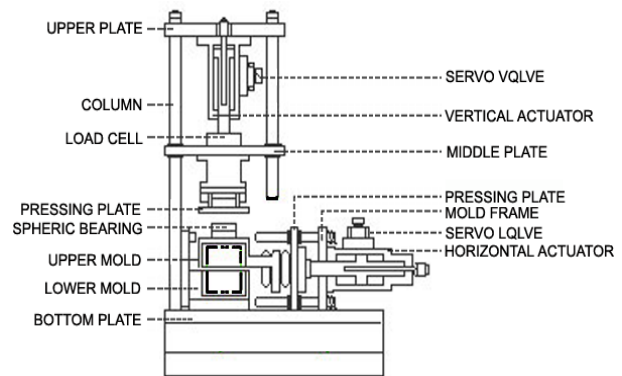
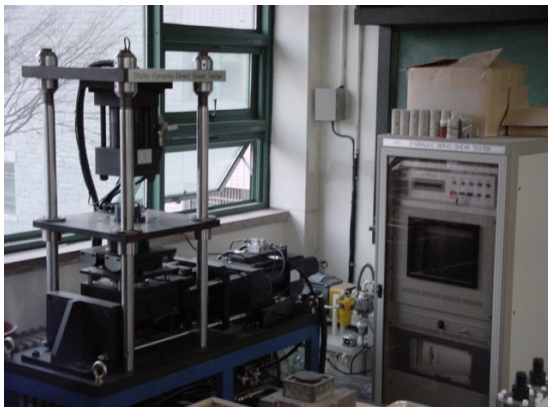


그림 1. CNS 정·동적 직접전단시험장비

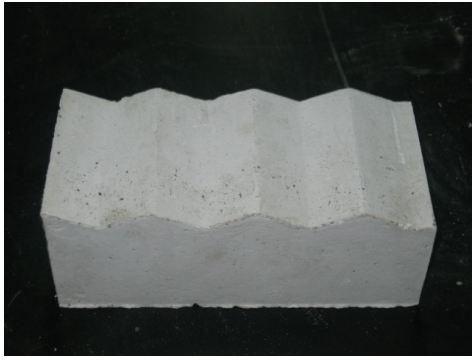
본 연구에 사용된 대형직접전단시험기의 특징은 압력을 발생시키는 유압펌프, 수직하중과 수평하중을 재하하는 Actuator, 발생된 하중들을 지지하는 하중 프레임, 시료에 발생하는 불필요한 마찰과 회전을 제거하기 위하여 특별히 제작된 전단상자, 시험기에 장착된 여러 계측장비로부터 입·출력 신호를 제어하는 컨트롤러와 여러 가지 경계조건을 제어할 수 있는 운용프로그램을 이용하여 본 시험기를 제어하고 데이터를 받아 저장하는 컴퓨터로 구성되어 있다. 본 시험기의 정확한 제원은 표 1과 같다.

표 1. 대형직접전단기 계측장비 현황

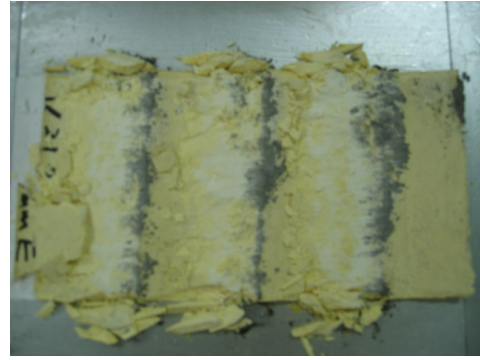
	용량	감도/분해능력	사용갯수	제조회사
하중계	±15ton	±0.1%	2	SENSOTEC, 미국
내장형 변위계	75mm	±0.1%	2	MTS, 미국
서보 밸브	9.5 ℓ/min	Hysteresis 3%이내	2	Moog, 미국
컨트롤러	-	-	1	STC-303(2축용)
A/D ,D/A 카드	512 word FIFO	16 bit	1	N.I., 미국

2.2 시편 및 CNS 시험개요

본 연구의 모의암석시편은 ISRM의 일축압축강도에 따른 암반분류 기준을 따라 풍화암과 연암의 강도를 가지는 공업용 석고로 제작되었고, 현장타설말뚝 시편은 모르타르를 이용하여 제작하였다. 그림 2는 제작된 모의암석시편과, CNS 시험 후에 파괴된 시편 모습을 나타내고 있다.



(a) 시험전의 시편



(b) 시험후의 시편

그림 2. 완성된 시험용 인공 거칠기 시료

본 시험에서 사용한 거칠기면 시료는 일정한 각을 가진 이등변 삼각형 형상으로 현장타설말뚝 공벽 거칠기를 형상화하였다. 이때 시험편의 제작에 사용된 몰드는 길이 175mm, 폭 100mm인 몰드를 사용하여 제작하였고 거칠기 판은 강판(plate)를 가공하여 사용하였다. 그리고 유효폭 50mm에 대한 유효높이 2mm, 4mm, 7mm의 3종류의 거칠기를 채택한 이유는 문헌조사를 통해서, 실제 암반근입부 공벽 거칠기를 측정하여 이를 디지털이저로 거칠기를 3차원형상화 시킨 후 통계분석을 실시하여 주변하중전이특성에 영향을 미치는 거칠기 높이의 범위를 추산하고 이 범위내의 거칠기 높이를 선택하였다. Mouchaorab & Benmokrane(1994)는 경사각 15 °~25 °까지는 경사각이 증가함에 따라 정점전단응력, 최대수직응력 및 최대수직변위는 증가한다고 밝힌 바 있기 때문이다.

시멘트 모르타르는 A사의 '고강도 그라우트 (GM)'를 사용하였으며, 고강도 그라우트 (GM)는 시멘트와 모래가 1 : 1.5로 섞여 완제품 형식으로 출고되므로 실험자에 의한 배합의 오차를 줄일 수 있다. 시멘트 모르타르의 물-시멘트비는 중량비 17 % (물:시멘트 = 17:100)로 하였고, 배합은 소형 교반기를 이용하여 200 rpm 상태로 10분 정도 교반하였다. 공업용 석고의 일축압축강도 시험을 통해서 석고의 탄성계수를 측정하였다. 탄성 계수는 시료 길이 전체의 축 방향 변형률에 대한 응력-변형률 곡선에서 일축압축 강도의 30 ~ 70% 구간에서 보이는 선형 기울기로 구한 값이다.

표 2. 공업용 석고의 일축압축강도와 탄성계수

공업용 석고	함수비(%)	양생일수(day)	일축압축강도(kg/cm ²)	E (kg/cm ²)
A(연암강도-MR150)	30%	3	152.43	0.115×10 ⁵
B(풍화암강도-M10)	40%	1	91.54	0.061×10 ⁵

암반근입 현장타설말뚝에서 공벽 거칠기에 대한 하중전이특성은 암반과 콘크리트 접촉면에서의 수직응력을 지배하는 CNS(constant normal stiffness) 경계조건과 접촉면의 거칠기면의 팽창특성에 크게 좌우된다. 콘크리트가 타설되고 경화된 후에 생성된 암반근입 현장타설말뚝의 이상적인 모델은 그림 3과 같다.

말뚝의 상부에 축하중이 재하되면, 초기에는 일체화된 암반과 콘크리트 강성체에 탄성변위가 발생하게 되고, 암반과 콘크리트의 접촉면에서의 상대적인 변위는 발생하지 않는다. 그리고 축하중이 한계에 다다르면 콘크리트는 암반에 대해 미끄러짐(sliding)이 발생하기 시작하며 소켓벽체의 거칠기로 인하여 암반과 콘크리트 접촉면에서는 팽창(dilation)이 발생하게 된다. 이 팽창은 주위 암반에 의해 저항되고 접촉면의 수직응력은 증가하게 된다. 소켓접촉부의 팽창은 무한 실린더형 공동확장이론(expansion of an infinite cylindrical cavity)을 이용하여 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

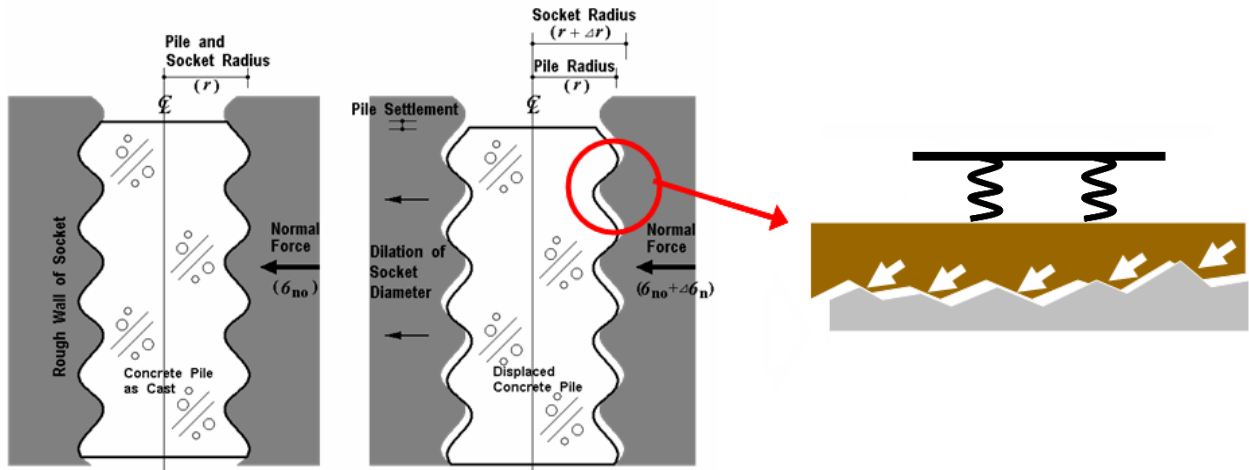


그림 3. Rock-Socket의 CNS 조건

$$\Delta \sigma_n = \frac{E_m}{(1 + \nu_m)} \frac{\Delta r}{r} \quad (1)$$

이 식을 일정수직강성도 $K(=\Delta r/\Delta \sigma_n)$ 로 정리하면 식 (2)와 같으며, 결국 K 는 암반탄성계수(E_m), 암반포아송비(ν_m), 소켓말뚝의 반지름(r)의 함수로 나타낼 수 있다.

$$K = \frac{E_m}{r(1 + \nu_m)} \quad (2)$$

위의 식 (2)에서와 같이 암반에 근접된 현장타설말뚝의 주변하중전이 거동특성의 해석에서는 일정수직강성도(constant normal stiffness)조건이 수반되며 직경에 따라 치수효과를 나타내고 암반의 탄성계수가 중요함을 알 수가 있다.

일정수직강성도조건의 실내시험은 다음과 같은 조건으로 수행하였다.

- ① 이등변 톱니 모양의 이상화된 거칠기 시료는 요소길이 50mm에 대해서 경사 높이를 2mm, 4mm, 7mm 의 총 3가지로 수행하였다.
- ② 초기 수직 하중은 0.35, 0.70, 1.05MPa 의 총 3가지로 수행하였다.
- ③ 수직강성도는 0.2, 0.5, 1.0 MPa/mm로 3가지 변화시켜 실험을 수행하였다.

2.3 시험결과 분석

일정수직강성도조건 실내시험을 통해서 산출되는 데이터 분석을 실시하였다. 시험의 변환인자인 수직강성도, 초기수직응력, 그리고 거칠기의 높이를 기준으로 분석한 결과, 첫 번째 정점 주변마찰력은 초기 수직응력과 높은 상관관계를 맺고 있으며, 두 번째 정점 주변마찰력은 수직강성도와 높은 상관관계를 맺고 있었다. 이어서 각 변환인자에 따른 영향정도를 기술하면 다음과 같다.

2.3.1 수직강성도의 영향

초기수직응력과 거칠기의 높이는 동일한 조건에서 수직강성도의 변화에 따른 일정수직강성조건의 시험 결과는 그림 4와 같다.

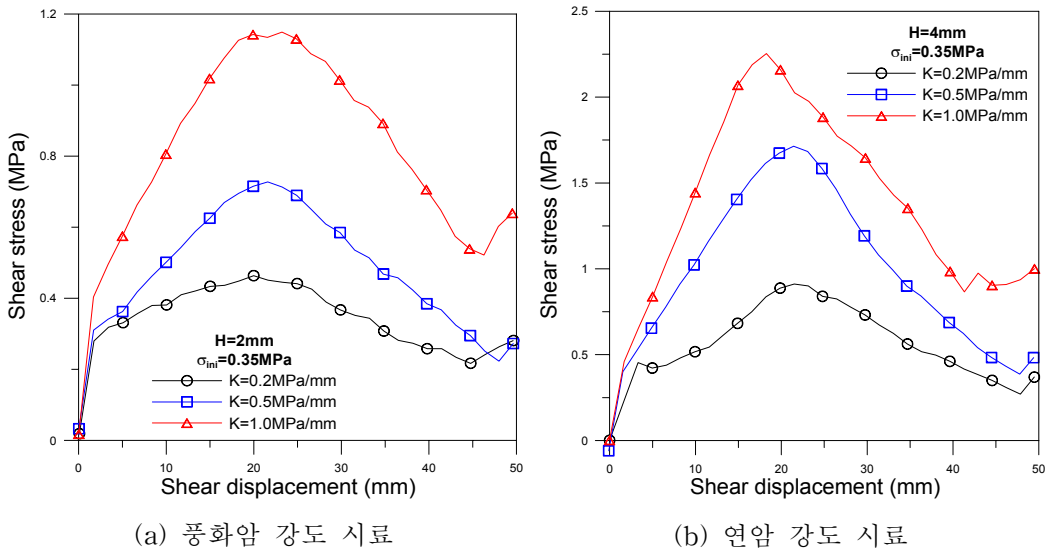


그림 4. 수직강성도 변화에 따른 전단변위-전단응력

본 실험결과, 수직강성도가 증가할수록, 확연한 차이를 보이면서 전단저항력 역시 증가하는 것을 알 수 있다. 전단변위 2mm 부근에서 1차 파괴로 인한 변곡점이 발생하고, 거칠기의 정점인 전단변위 25mm 부근에서 최대전단응력을 발생하고 전단응력이 소산되는 경향을 보이고 있다. 그리고 전단변위의 마지막 부분에서 전단응력이 다시 증가하는 현상을 볼 수 있는데, 이는 파괴 잔유물들의 응집으로 인해서 전단응력이 작용하는 것으로 판단되었다. 그리고 연암강도의 모의암체시료보다 풍화암강도의 모의암체시료에서 수직강성도의 변화에 더 민감한 반응을 보이고 있다.

2.3.2 초기수직응력의 영향

수직강성도와 거칠기 높이를 일정하게 하고 초기수직응력을 변화시킨 시험 결과를 그림 5에 나타내었다. 이를 살펴보면, 초기수직응력이 증가할수록, 전단저항력이 확연한 차이를 보이면서 증가하는 것을 알 수 있다. 연암의 경우에는 최대전단응력을 발현한 후에 전단응력이 소진되는 시점에서 다소 차이를 나타내고 있으나, 이는 최대전단응력을 발현한 후이므로 큰 차이로 판단되지 않는다. 그리고 풍화암시료의 경우는 초기수직응력의 차이에 따라 확연한 전단거동의 차이를 보이고 있으나, 연암시료는 1.05MPa의 경우를 제외한 0.35, 0.7MPa의 경우는 최대주면마찰력을 발현하는 전단변위에서부터는 그 거동이 비슷한 형태를 보이고 있다. 그러나 기존에 제안된 주면하중전이함수에서 주면 변위 5mm이후의 변위발생을 주면의 파괴로 보는 것을 고려할 때 초기수직응력의 변화에 따라 마찰력의 특성이 확연히 나타나고 있다.

2.3.3 거칠기 높이의 영향

초기수직응력과 수직강성도를 일정하게 하고, 거칠기의 높이를 변화시켜서 일정수직강성시험을 한 결과를 그림 6에 나타내었다. 그림 6을 살펴보면, 거칠기 높이가 증가할수록, 전단저항력 또한 확연한 차

이를 보이면서 증가하는 것을 알 수 있다. 그리고 거칠기의 높이가 증가할수록, 1차 최대전단응력이 발생하는 전단변위 2mm 부근에서 초기접선기울기가 증가하는 것을 알 수 있다. 그리고 거칠기 높이가 증가할수록 최대전단응력을 작은 전단변위에서 발생하는 것을 알 수 있었고, 최대전단응력 발현 후에 응력이 소진되는 기울기 역시 급한 것을 알 수 있다.

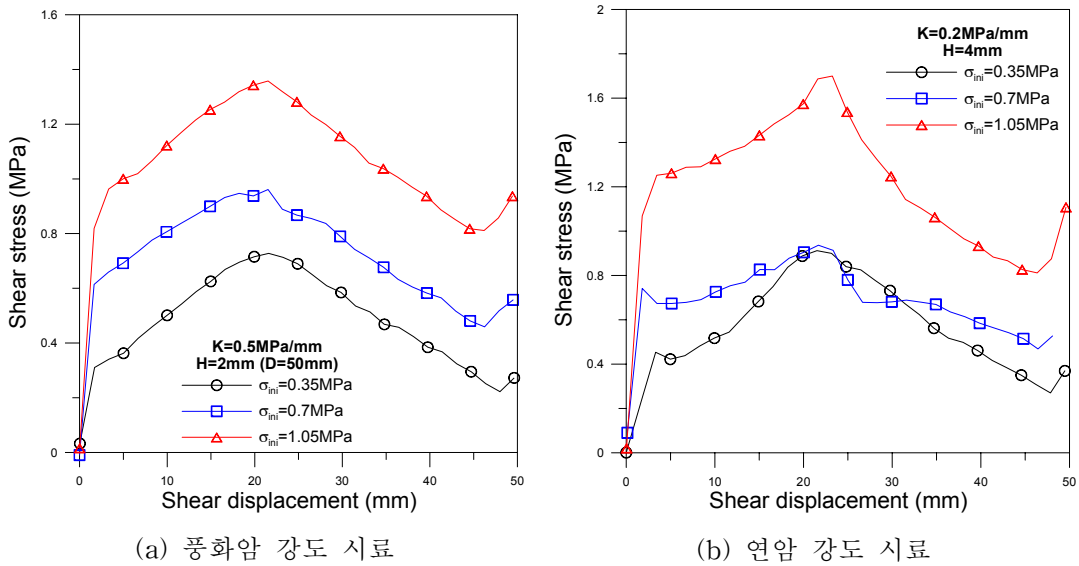


그림 5. 초기수직응력 변화에 따른 전단변위-전단응력

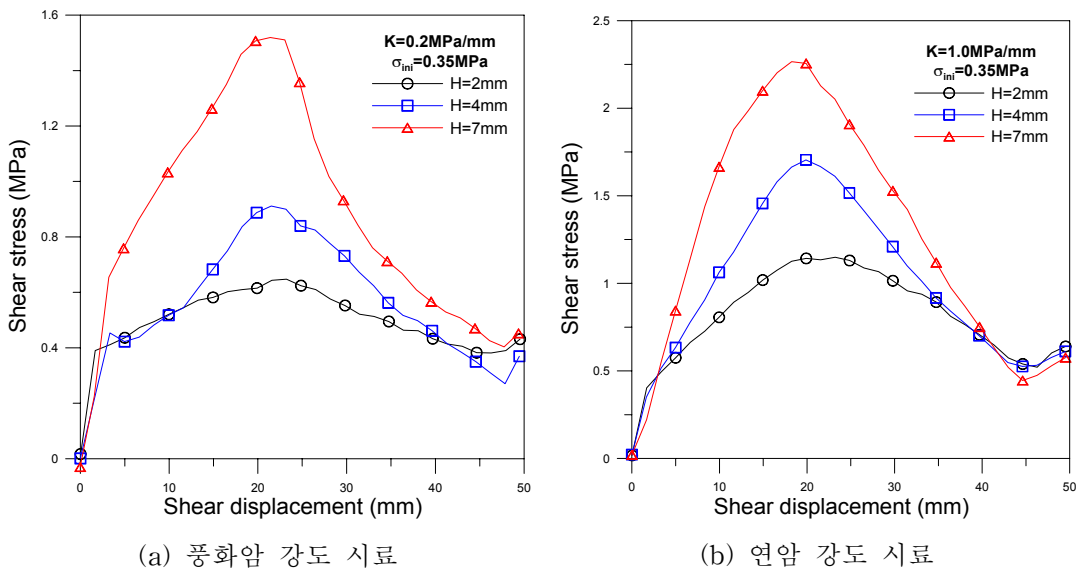


그림6. 거칠기 높이의 변화에 따른 전단변위-전단응력

풍화암 및 연암 강도를 가지는 모의암체시료의 시험결과를 살펴보면, 풍화암 강도를 가지는 모의암체 시료가 거칠기 높이의 변화에 더욱 민감한 반응을 보이고 있다. 그러나 이러한 결과는 실험상의 한계로 풍화암 거동특성에 가장 큰 영향을 주는 풍화의 정도를 충분히 반영하지 못한 것으로 나타났다.

3. 기존제안식과 최대주면마찰력의 비교 · 분석

본 절에서는 공벽거칠기를 고려한 암반근입 현장타설말뚝의 주면마찰력특성분석을 하기위하여 실시

한 일정수직강성조건의 시험결과와 기존 제안식에 의해서 산출된 최대주면마찰력을 비교·분석하여 본 연구의 필요성과 타당성을 분석하고자 하였다. 국내·외 각종 설계기준에서 채택하고 있는 제안식들 중에서 최대주면마찰력을 비교·분석하였다.

3.1 경험적인 주면마찰력 산정식

경험적 주면마찰력 산정식은 과거 학자들의 의해서 무수히 많은 현장시험결과를 바탕으로 제안된 식으로 그 형태는 아래와 같다.

$$\tau = \alpha q_u^\beta \quad (3)$$

여기서, τ 는 압반 근입부의 극한주면마찰력, q_u 는 압반과 콘크리트 중 약한 재료의 일축압축강도, α 와 β 는 각각 경험상수로 특히 α 는 주면마찰력계수(adhesion factor)이다. 위에서 언급한 경험적 주면마찰력 산정식으로 본 연구에서 수행한 암석대체시료의 강도를 적용하여 주면마찰력을 산정한 결과는 아래 표 3과 같다.

표 3. 경험적 주면마찰력 산정식의 결과치 (MPa)

Design Method	α	β	A(연암)	B(풍화암)
Horvath and Kenney(1979)	0.21	0.5	0.8116	0.6289
Carter and Kulhawy(1988)	0.20	0.5	0.7730	0.5989
Williams et al.(1980)	0.44	0.36	1.1646	0.9692
Rowe and Armitage(1984)	0.40	0.57	1.8681	1.3968
Rosenberg and Journeaux(1976)	0.34	0.51	1.3501	1.0409
Reynolds and Kaderabek(1980)	0.30	1.00	4.4814	2.691
Gupton and Logan(1980)	0.20	1.00	2.9876	1.794
Reese and O'Neill(1988)	0.15	1.00	2.2407	1.3455
Toh net al.(1989)	0.25	1.00	3.7345	2.2425

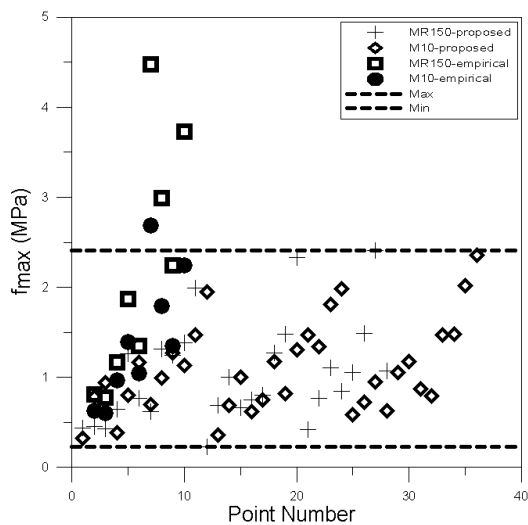


그림 7. 경험적 주면마찰력 산정식과 비교결과

위의 표 3과 같이 산정된 수치들과 본 연구의 시험을 통해서 획득된 데이터를 통해서 최대주면마찰력 (f_{max})을 그림 7과 같이 나타낼 수 있다. 위 그림 7을 살펴보면 경험적 주면마찰력 산정식에서 산출된 수치들 중에 단지 4개의 수치를 제외하고는 본 연구의 일정수직강성조건의 시험 데이터들과 비슷한 범위 내에서 만족하고 있는 것을 알 수 있다. 그리고 동일한 조건에서는 일정수직강성조건의 시험결과가 경험적 주면마찰력 산정식의 수치보다 다소 크게 나타나고 있다. 말뚝 직경등의 현장요소를 본 연구의 시험에서 반영하지 못했음에도 불구하고 본 연구의 최대주면마찰력이 크게 나타나는 것은 경험적 주면마찰력 산정식이 주면지지력을 충분히 나타내지 못하고 있다고 판단할 수 있는 이유이다.

3.2 Horvath and Kenny(1979)

Horvath and Kenny의 제안식은 경험적 주면마찰력 산정식과 달리 거칠기의 정도에 따라 산정식의 계수값을 달리 제안함으로써 거칠기에 대한 영향을 주면마찰력 산정식에 적용한 제안식으로 그 형태는 아래와 같다.

—매끈한 면

$$f_{max} = 0.65P_a [q_{ui}/P_a]^{0.5} \leq 0.65P_a [f'_c/P_a]^{0.5} \quad (4)$$

여기서, P_a 은 대기압(101KPa)이고, f'_c 은 현장타설말뚝의 28일 공칭강도이다. 그리고 q_{ui} 는 지층 i 에서의 암석의 일축압축강도를 의미한다. 그리고 식 4에 본 연구에서 수행한 시험조건을 대입하여 수치를 계산해보면, 아래 표 4와 같다. 단위는 MPa으로 통일하였다.

표 4. Horvath and Kenny의 제안식 산술결과 (매끈한 면)

모의암석시편	f_{max} (MPa)
연암 강도 시편	$0.7983 \leq 1.293$
풍화암 강도 시편	$0.61868 \leq 1.293$

—거친 면

$$f_{max} = \mu P_a [q_u/P_a]^{0.5} \quad (5)$$

여기서, μ 는 거칠기 영향 요인으로써, 평균적으로 1.42의 값을 가진다. 거친 면은 1.9이고 매끈한 면은 0.63의 값을 가진다. 이 식 또한 위에서와 마찬가지로 본 연구에서 수행한 시험조건을 대입하여 산술적으로 계산을 수행하면, 아래 표 5와 같은 결과를 얻을 수 있다. 그리고 이 식 역시 단위는 MPa으로 통일하였다.

표 5. Horvath and Kenny의 제안식 산술결과 (거친 면)

모의암석시편	f_{max} (MPa)		
	평균	거친 면	매끈한 면
연암 강도 시편	1.744	2.334	0.7738
풍화암 강도 시편	1.3516	1.8084	0.5996

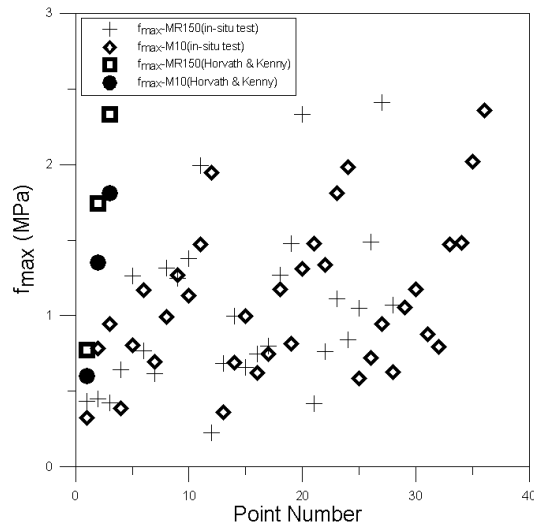


그림 8. Horvath & Kenny식과 비교 그래프

Horvath and Kenny의 제안식과 본 연구의 제안식을 비교하기 위하여 위의 표 4와 5의 산정결과를 그림 8에 나타내었으며, 이를 통해 본 연구에서 실시한 CNS Test에서 산정된 수치와 Horvath and Kenny의 제안식에서 산출된 수치가 비슷한 범위의 수치를 가지는 것을 알 수 있다. 대략 0.3~0.8MPa의 최대주면마찰응력을 가지는 매끈한 면의 그룹, 대략 1.0~1.5MPa의 최대주면마찰응력을 가지는 평균 그룹, 그리고 마지막으로 대략 1.7~2.3MPa의 최대주면마찰응력을 가지는 거친 면의 그룹으로 그 거동특성이 비슷한 형태를 보이고 있음을 알 수 있다.

4. 결론

암반근입 현장타설말뚝의 공벽거칠기를 고려한 일정수직강성(CNS)조건의 시험을 연암과 풍화암의 강도를 가지는 시편을 이용하여, 수직강성도, 초기수직응력, 그리고 공벽 거칠기를 변환인자로 하여 수행한 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 암반근입 현장타설말뚝의 주면하중전이특성에 초기수직응력, 수직강성도, 그리고 공벽의 거칠기가 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 초기수직응력이 증가할수록, 수직강성도가 증가할수록, 공벽 거칠기가 증가할수록, 전단저항력 또한 증가하는 것을 알 수 있었다.
- (2) 풍화암과 연암강도를 가지는 모의암체 시료의 일정수직강성조건 시험결과, 첫 번째 정점마찰력은 초기 수직응력, 재료자체의 강성인 탄성계수와 높은 상관관계를 보였고 두 번째 정점마찰력은 수직강성도와 높은 상관관계를 맺고 있었다.
- (3) 일정수직강성조건의 시험결과를 분석해본 결과, 풍화암 강도를 가진 모의암체시료는 수직강성도와 거칠기 높이의 변화에 따라 민감하게 반응하였다. 그리고 연암 강도를 가진 모의암체시료는 초기수직응력의 변화에 따라 민감한 반응을 보였다.
- (4) 공벽 거칠기에 대한 개념이 적용된 Horvath & Kenny의 제안식과 거칠기 요소가 배제된 경험적 주면마찰력 산정식을 통해서 산정된 최대주면마찰력을 본 연구의 시험결과와 비교해 본 결과, 경험적

주면마찰력 산정식은 본 연구의 시험결과보다 몇몇 경우에서 다소 낮은 최대주면마찰력을 나타내고 있었다. 그리고 Horvath & Kenny의 제안식은 본 연구의 시험결과와 비슷한 최대주면마찰력을 나타내고 있었다.

따라서 향후 본 연구를 통해서 공벽거칠기와 수직강성도, 그리고 초기수직응력에 영향을 받는 것을 알 수 있었다. 이러한 요인들을 주면마찰력 산정식에 적용한다면 보다 효율적인 주면마찰력을 산정할 수 있으리라 생각된다. 그리고 본 연구의 시험데이터를 토대로 공벽 거칠기, 초기수직응력, 수직강성도를 고려한 주면전이하중합수식을 개발하고 현장시험결과와 비교함으로써 암반근입 현장타설말뚝의 주면마찰력을 효과적으로 파악하고 최적설계가 가능할 수 있도록 하고자 한다.

참고문헌

1. 정상섭, “암반에 근입된 대심도/대구경 현장타설말뚝의 최적설계법 개발”, 연세대학교 건설공학연구소, 2005
2. 정우현, “암반근입 현장타설말뚝의 공벽거칠기를 고려한 주면하중전이특성연구”, 연세대학교 토목공학과 석사논문, 2005.
3. 조천환, 이명환, 조영훈, 유한규, 박언상, “암반에 근입된 현장타설말뚝의 설계 현황”, 암반에 근입된 현장타설말뚝의 설계 세미나 논문집 pp. 27~52, 한양대학교, 2002.
4. Standard Specifications for Highway Bridges American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO, 1996.
5. Bieniawski, Z. T, “The geomechanics classification in rock engineering applications”, Proceeding of 4th International Conference of Rock Mechanics Vol. 2, pp. 41~48, ISRM, Montreux, 1979.
6. Gu. X F., “Shear behaviour of sand stone-concrete joints and pile shafts in sand stone”, Ph. D. dissertation, Department of Civil Engineering Monash University, Melbourne, Australia., 2001.
7. Pells, P. J. N., Rowe, R. K., Turner, R. M., “An experimental investigation into side shears for socketed Piles in sandstone”, Proceeding of International Conference on Structural foundation on Rock Vol.1, pp. 291~302, Sydney Australian, 1980.
8. Seidel, J. P., “A new socket roughness factor for prediction of rock socket shaft resistance”, Canadian Geotechnical Journal, 2001.
9. Williams, A. F., “The side resistance of piles socketed into weak rock”, Ph. D. dissertation, Department of Civil Engineering Monash University, Melbourne, Australia, 1980.