

경기지역 화강 풍화암반의 지지력 및 침하특성에 관한 연구

Bearing Capacity and Settlement Characteristics of Weathered Granite Masses in Gyeonggi Area

김 동 은* / 허 경 한**

Kim, Dong Eun / Huh, Kyung Han

Abstract

The purpose of this study is to estimate the bearing capacity and settlement characteristics of the weathered granite masses, and on the process to achieve the purpose, in the first place, the weathered degree according to the absorption index was examined and reviewed, then plate bearings test in in-situ depth were tested, and finally the result was compared and examined with the result of the existing, estimate method and pressuremeter test. In order to achieve the purpose of this study, a typical area distributed with weathered granite masses, gyeonggi area, was chosen as a sample site for testing, and in the result, it appeared and found out that the more the weathered degree increases when the plate bearing test are tested, the more the bearing capacity decreases a numerical indexes and the more greatly the width of the decrease of bearing capacity increases around the boundary of specific, weathered degrees. Also, in the result from estimating the bearing capacity of weathered granite masses by the existing, suggested formula, it appeared that there is a tendency that the more the weathered degree increases, the more similar the bearing capacity becomes with the result of plate bearing tests.

key words : weathered granite masses, bearing capacity, absorption index, plate bearing test pressuremeter test, weathered degree

요 지

본 연구는 화강 풍화암반의 지지력 및 침하특성을 평가할 목적으로 수행된 것으로 흡수율에 따라 풍화도를 고찰하고 원위치 심도에서 평판재하시험을 수행하여 이를 기존의 예측방법 및 공내재하시험 결과와 비교, 검토하였다. 이를 위하여 국내의 대표적인 화강 풍화암 분포 지역인 경기 ○○지역을 시험 부지로 선정하였으며 그 시험 결과에 의하면 평판재하시험시 풍화도가 증가할수록 지지력은 지수적으로 감소하고 특정 풍화도를 경계로 지지력 감소폭이 크게 증가하는 것으로 확인되었다. 또한, 기 제안된 지지력 공식을 이용하여 화강 풍화암반의 지지력을 추정한 결과 풍화도가 증가할수록 평판재하시험 결과와 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다. 한편, 평판재하시험이 수행된 동일 위치에서 실시된 공내재하시험 결과 지지력은 비교적 평판재하시험과 유사한 경향을 보이고 있는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 화강풍화암반, 지지력, 흡수율, 평판재하시험, 공내재하시험, 풍화도

1. 서 론

얕은기초는 상부구조로부터 하중을 직접 지반에 전

달시키는 기초의 형식으로 최근 국내 산업의 급속한 발전과 더불어 구조물의 중량이 증가함에 따라 그 중요성이 점차 강조되고 있다. 일반적으로 얕은기초 설

* (주)한맥기술 지반공학부 사원 · 공학석사 (e-mail : 94winters@hanmail.net)

** 정회원 · 초당대학교 건설정보공학과 겸임교수 · 공학박사

계단계에서는 지지력 공식을 적용하여 상부하중에 대한 기초지반의 지지여부를 판단하여 설계하며, 시공단계에서는 평판재하시험 등의 원위치 시험을 실시하여 지지력을 직접 확인한 후 기초를 시공하게 된다. 특히, 암반기초의 경우 연약한 암반이나 풍화가 진행된 암반에 기초가 놓이게 되면 지지력 및 침하량 추정이 필수적으로 요구되고 있는 실정이다.

일반적으로 암반상에서 기초의 지지력 및 침하특성을 추정하기 위해 사용되는 시험은 평판재하시험과 공내재하시험 등의 원위치 시험이 있다. 이중 평판재하시험은 원위치 시험의 가장 오래된 방법에 속하며, 지지력과 침하량을 비교적 정확히 예측할 필요가 있을 때 사용한다.

한편, 얇은기초 설계시 자주 접하게 되는 화강 풍화암반의 경우 지하수에 접하거나 대기에 노출되면 급격히 풍화가 진행되어 지지력이 크게 감소하는 경향이 있으므로 이에 관한 검토가 필수불가결한 실정에 있다. 따라서, 풍화정도가 큰 화강 풍화암반에 얇은기초를 설치하는 경우에는 암반의 지지력 이론 또는 흙에 관한 지지력 이론 어느것으로도 실제 기초의 지지력을 결정하기에는 한계가 있으므로 평판재하시험등의 원위치 시험을 수행하여 지지력 이론과 비교, 검토한 후 추정하여야 한다.

기존 연구 결과에 의하면 안(2001)등은 유문-응회암반에 설치된 교량기초의 지지력을 이론식 및 경험적인 방법으로 비교, 분석하여 합리적인 허용지지력 선택에 관한 연구를 수행하였으며, Serrano와 Olalla (1994)는 Hoek & Brown의 강도 기준에 의해 정의되는 암반의 강도를 이용하여 파쇄된 암반의 극한지지력에 관한 연구를 수행하였다. 최근 연구 결과에서 이종규 등(2002)등은 화강 풍화암 지반에 원위치 삼축압축시험과 공내재하시험을 실시하여 풍화도에 따른 강도 변형특성 및 지반정수를 평가하였다.

위에서 언급된 관련 연구 동향을 분석한 결과에 따르면 기존 대다수의 연구 결과가 암석 및 암반을 대상으로 이에 대한 강도 및 변형특성을 평가하기 위해 수행된 것으로 나타났다. 즉, 근래에 얇은기초 설계시 많이 접하게 되는 화강 풍화암반에 대하여는 풍화도를 고려하여 그에 따른 지지력 및 침하량을 추정하여야 함에도 불구하고 평판재하시험 등 원위치 시험의 어려움으로 인해 이에 대한 연구는 미진한 실정에 있다. 본 연구는 화강 풍화암반의 지지력 및 침하특성을 평가할 목적으로 수행된 것으로 흡수율에 따라 풍화도를 고찰하고 원위치 심도에서 평판재하시험을 수행하여,

이를 기존의 예측방법 및 공내재하시험 결과와 비교, 검토하기 위하여 수행되었다. 이를 위하여 국내의 대표적인 화강 풍화암 분포 지역인 경기○○지역을 시험부지로 선택하여 풍화정도를 고찰하고 10개소에 평판재하시험을 실시하여 이를 지지력 이론과 비교, 검토하였다. 한편, 평판재하시험은 설계단계에서 소정의 심도에 대하여 수행하기는 매우 어려운 형편이다. 따라서, 비교적 원위치 시험이 용이한 공내재하시험 결과를 이용하여 이로부터 지지력 및 침하량을 추정하고 이 결과를 소정의 심도에서 수행한 평판재하시험 결과와 비교, 검토하여 그 상관성을 평가하고자 하였다. 이를 위하여 6개소에서 수행된 평판재하시험을 해석에 사용하였으며, 평판재하시험과 유사한 풍화도를 지닌 4개소에 대하여 수행된 공내재하시험 결과를 이용하여 그 상관성을 비교, 검토하였다.

2. 문헌고찰

2.1 화강 풍화암의 공학적 특성

화강암은 풍화에 가장 강한 암석 중의 하나이지만 화강암반은 보통 상당한 심도까지 풍화가 진행되어 있는 것으로 조사되고 있으며, 화강암의 풍화가 진행되면 다른 암석과 마찬가지로 암석내 간극이 증가함에 따라 균열이 발달하게 된다고 보고되고 있다(이, 2002). 한편, 이(1993)등이 풍화등급에 따른 화강암의 공학적 특성변화를 연구한 결과 일축압축강도, 강도정수 및 변형계수는 풍화가 진행됨에 따라 감소하고 투수성은 증가하는 경향을 나타낸다고 보고하였다.

2.2 풍화지수

암석의 풍화정도를 정량적으로 표현하기 위하여 본 연구에서는 비교적 시험이 용이하고 풍화도를 광범위하게 나타낼 수 있는 흡수율을 풍화도를 평가하기 위한 풍화지수로 선정하였다. 한편, Hamrol(1961)은 암석은 풍화가 진행될수록 간극률이 증가하고 그에 따라 포화 함수량의 증가와 건조밀도가 감소하는 특성을 이용하여 흡수율을 암석의 풍화지수로 식(1)과 같이 정의하였다.

$$A.I = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100(\%) \quad (1)$$

여기서, W_1 : 건조상태의 공기중 중량 W_2 : 습윤상태의 공기중 중량

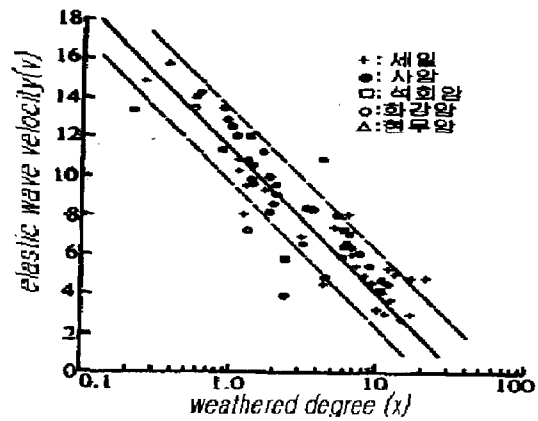
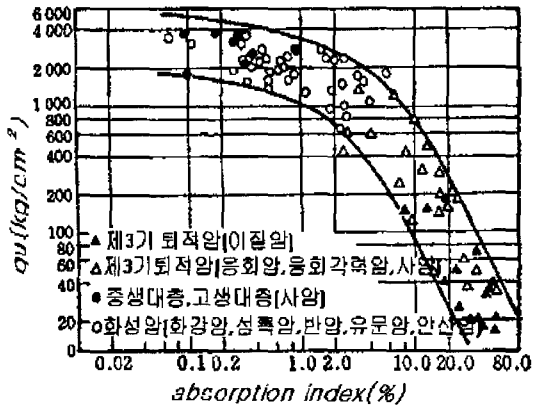


그림 1. 흡수율과 역학적 계수간의 상관관계(이, 1998)

2.3 원위치 시험에 의한 지지력 및 침하량 산정 방법

지지력 개념 설계는 극한지지력의 확인에 의하는 것이 가장 바람직하며 극한지지력은 지반이 전단파괴가 일어날 때까지 지탱할 수 있는 최대 하중 지지능력을 말한다. 하중(P)-침하(S)곡선이 그림 2(a)와 같을 때에는 극한하중을 구하는 것이 매우 간단하지만, 그림 2(b)와 같은 경우에는 극한하중 및 항복하중을 구하는 것이 쉽지 않으며 또한, 대개의 평판재하시험에서는 반력하중으로 인한 재하하중의 부족으로 극한지지력을 찾기가 쉽지 않아 다음의 몇가지 방법을 적용하여 구하고 있다.

최대 곡률법(P-S법): 그림 3(a)과 같이 초기 직선부분과 후기 직선부분의 접선의 교차점으로 이 곡선의 최대 만곡점(최대곡률점)을 찾아 이 점을 항복점으로 간주하는 방법인데 양끝부분에서 직선부분이 잘 형성되지 않을때는 사용하기 어려운 방법이다. S-logt 법: 그림 3(b)와 같이 종축은 침하량 S, 횡축에 시간 t의 대수눈금으로 하고 각 하중단계의 침하-시간 관계를 그리면 항복하중 근처의 하중단계 이후에서는 직선이 안되고 절선이 된다. 이렇게 하여 항복하중을 찾아낼 수 있으나 재하가 단계적으로 이루어 졌기 때문에 이

때의 항복하중도 근사치 일 수밖에 없다. P-ds/logt 법: 그림 3(c)와 같이 종축에 ds/logt를 횡축에 하중 P를 그리면 항복점서 절점이 생긴다. 이 때 시간간격을 취하는 범위에 따라 지반의 초기 침하와 압밀 침하비에 따라 절선의 모양이 결정된다. logP-logS 법: 그림 3(d)과 같이 하중과 침하 관계를 대수눈금에 그리면 절점이 발생 하는데 이점을 항복점으로 간주하는 방법으로 상기한 4가지중 가장 신뢰도가 높은 방법으로 알려져 있다.

침하량 산정방법시 침하량은 재하폭이 클수록 증가하게 된다. 무한깊이의 탄성물체 위에 있는 기초의 즉시침하량을 산정하는 식으로 침하량은 기초의 폭에 비례하고 기초에 작용하는 응력에 비례하는 형태이며 (Harr, 1966) 식(2)와 같다.

$$S_i = q B \left(\frac{1-\nu^2}{E} \right) I \quad (2)$$

여기서, q : 기초에 작용하는 응력의 증가(t/m^2) E : 기초지반의 탄성계수(t/m^2) ν : 지반의 포아송비 (Poisson's ratio) B, I : 기초폭 (m) 및 영향계수

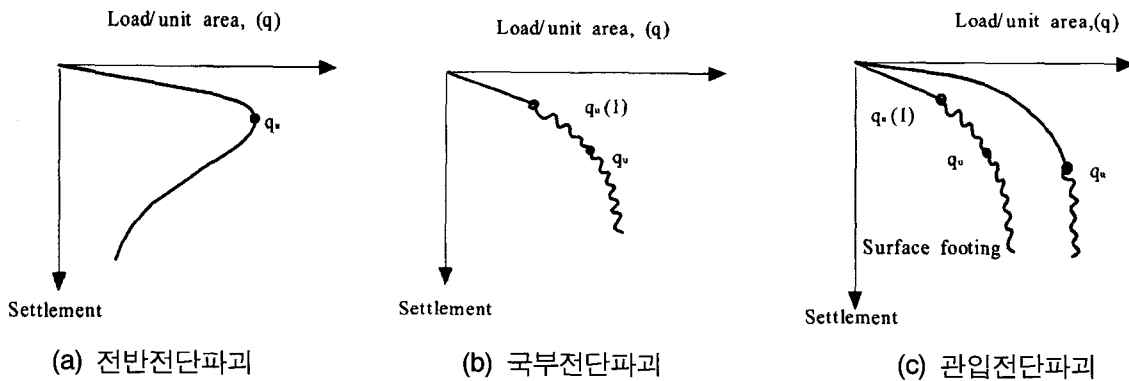
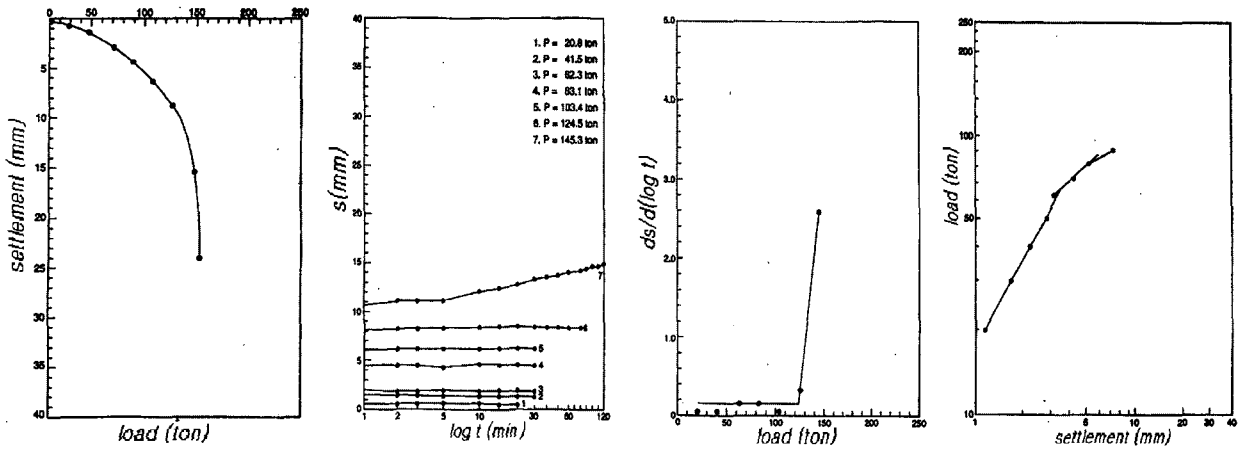


그림 2. 하중-침하 곡선의 형태



(a) P-S곡선 (b) S-logt 곡선 (c) P-ds/d(log t) 곡선 (d) logP-logS 곡선
그림 3. 하중(P)-침하(S)곡선

2.4 공내재하시험에 의한 지지력 및 침하량

Menard(1963a and 1963b)에 의하면 지지력은 식(3)과 같이 한계압력(limit pressure) P_L 과 비례한다.

$$q_u = k_g(P_L - P_0) + \sigma_0 \quad (3)$$

여기서, q_u : 지지력(안전율 3이상을 적용하여 q_a 을 구함) k_g : 지지력계수(기초형상과 토질종류의 함수) P_L : Pressuremeter 한계압력(후딩폭의 1.5배 범위에서) P_0 : 전체수평압력(기초위치에서 측정함) σ_0 : 기초 위치의 전체상재하중

침하량 산정방법시 Menard and Rousseau(1962)는 공내재하시험 결과를 이용하여 식(4)와 같이 침하량 산정식을 제안하였으며, 첫 번째 항은 전단응력에 의한 침하량이며, 두 번째 항은 구속응력 증가에 의한 침하량을 나타낸다.

$$S = \frac{2}{9E_M} q_a B_0 \left[\lambda_2 \frac{B}{B_0} \right]^\alpha + \frac{\alpha}{9E_M} q_a \lambda_2 B \quad (4)$$

여기서, E_M : 메나드 프레스미터 탄성계수(pressuremeter modulus), B, B_0 : 기초폭, 기초폭의 기준값으로 0.6m, λ_2, λ_3 : 형상계수(shape factors), α : 흙의 종류별 구조계수(structure factors)

2.5 Bell의 지지력 이론

약한 암반에 대한 허용지지력은 Bell(1999)의 해에 형상계수를 곱하여 나타낼 수 있으며, 이 지지력의 해석은 기초가 관입되어 놓인 주위 암반에 의한 구속력뿐

만 아니라 활동중인 썩기의 무게를 고려한다. 따라서, 암반의 극한 지지력에 대한 해는 Bell(1999)의 지지력 이론을 수정하여 나타낼 수 있으며, 식(5)와 같다. 또한, 지지력계수 N_c, N_r, N_q 는 식(6)과 같이 정의된다.

$$q_u = c_f N_c + c_f \frac{1}{2} \gamma_r B N_r + \gamma D_f N_q \quad (5)$$

$$N_c = 2N_{(\phi+1)}^{1/2} \quad N_r = 0.5N_{(\phi-1)}^{1/2} \quad N_q = N_\phi^2 \quad (6)$$

여기서, γ_r : 암반의 단위중량(t/m^3), c : 암반의 점착력(t/m^2), c_{f1}, c_{f2} : 기초의 형상계수, N_c, N_r, N_q : 지지력계수(ϕ 의 함수)

지지력 계수의 값은 실내시험을 통하여 일반적으로 부분적인 전단면의 거칠기와 마찰각 때문에 실험값이 이론값보다 크다.

3. 시험 조건 및 방법

3.1 지반조사 및 실험

본 연구 수행을 위하여 선정된 연구 대상부지는 경기도 ○○지역에 위치한 곳으로 대상 지역의 암반 조건이 연구 목적에 적합한지 확인하기 위하여 시험시추를 수행하였으며, 채취된 불교란 시료를 대상으로 암중 및 풍화도를 확인하였다. 본 연구 목적을 위하여 수행된 지반조사는 크게 시추조사, 원위치 시험 및 실내시험으로 구분된다. 시추조사는 연구대상 부지의 지층 분포 확인, 불교란 시료 채취 및 평판재하시험 수행을 목적으로 수행되었다. 평판재하시험은 공내재하시험이 실시된 동일 심도까지 지반을 굴착 후 실시되었다. 실

내시험은 기본 물성시험, 흡수율 시험으로 구분할 수 있으며 불교란시료를 대상으로 흡수율 및 건조밀도 시험을 수행하였다. 또한, 화강암 분포지역을 확인하기 위하여 본 연구와 동일한 지역에 서 수행된 XRF 시험 자료를 분석하였다(장,2003).

3.2 실험방법

3.2.1 시추 및 시료채취

시추조사는 총 15개소에 대하여 실시하였는데, 시추 조사에 사용된 장비는 유압식 SS-500형을 이용하였다. 시추방식은 회전 수세식 방식을 적용하여, 시추시 공벽 교란을 최소화하기 위하여 30rpm의 저속 시추방식을 적용하였다. 한편, 화강 풍화암 전 지층에 대하여 심도별로 풍화도를 평가하고, 실내역학 시험을 수행할 목적으로 가압적 시추 전 심도에 대하여 교란 및 불교란 시료를 채취하였다. 교란시료는 시추 조사시 동시에 수행한 표준관입시험시 스플릿 배럴 샘플러(split barrel sampler)로 채취된 시료를 사용하였으며, 불교란 시료의 경우 잔류토 및 비교적 풍화도가 높은 풍화암층에 대하여는 삼중관 방식 채취기(triple core barrel)을 사용하고, 풍화도가 낮은 경우 이중관 방식 채취기(double core barrel)를 사용하였다.

3.2.2 기본 물성 시험

토질물성 시험결과를 참조하면 연구 대상 지역 풍화 잔류토는 통일분류법상 입도분포가 양호한 사질토(SW)에 해당되며 비중(G_s)의 경우 2.58~2.69로 나타났으며, 자연함수비의 경우 7.58~12.08%로 나타났다. 또한, 풍화암의 경우 자연함수비가 3.39~4.19%로 나타났으며 건조밀도의 경우 2.3~2.46t/m³로 나타났다.

3.2.3 암석학적 특성 시험

연구 대상 지역에 분포하는 화강암의 조암광물의 종류, 함량 및 화학성분의 정량적인 분석을 위한 XRF(X-Ray Fluorescence)시험 자료를 참조하면 표 1과 같다.

3.2.4 평판재하시험

연구 대상 지역의 화강 풍화암반의 지지력 및 침하 특성을 구명할 목적으로 평판재하시험을 공내재하시험이 수행된 동일지반조건에 대하여 총10회의 시험을 수행하였다. 시험 주요 장치는 재하용 피스톤식 실린더, 반력장치, 재하대, 가압판 및 변형측정장비로 구성되는데 가압판은 특히 재하판 크기가 큰 경우에도 등변위를 유발시킬 수 있도록 충분한 강성을 갖게 유의하였다. 평판재하시험시 반력장치 및 재하대는 어스앵커를 이용한 방식을 적용하였다. 한편, 하중재하는 동시차재하방식으로 단계별 하중은 1.0kg/cm² 및 2.0kg/cm²으로 증분시켜 총 15단계로 구분하여 수행되었다. 또한, 시험위치 선정시 재하판 주변으로 재하판 직경의 3배이상의 공간을 확보하였으며 재하판과 암반을 밀착시키기 위하여 몰타르 및 표준사를 이용하여 시험 암반면을 표면 처리하였다.

4. 시험 결과 및 분석

본 연구는 화강 풍화암반의 지지력 및 침하특성을 평가할 목적으로 수행된 것으로 흡수율에 따라 풍화도를 고찰하고 원위치 심도에서 평판재하시험을 수행하여, 이를 기존의 예측방법 및 공내재하시험 결과와 비교, 검토하였다. 그 결과로부터 풍화도에 따른 화강 풍화암의 지지력, 변형계수 및 침하량을 분석한 결과는 다음과 같다.

표 1. 풍화도에 따른 화강 풍화암의 XRF 분석 결과(장, 2003)

풍화분류	DEPTH (m)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	K ₂ O (%)	MgO (%)	MnO (%)	Na ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	SiO ₂ (%)	TiO ₂ (%)	LI (%)
RS	0.5	16.13	0.705	0.007	6.381	4.358	1.203	0.041	1.328	0.211	64.74	0.746	4.151
RS	1.0	17.34	1.742	0.021	4.857	4.046	1.084	0.041	2.031	0.333	64.22	0.774	3.504
RS	2.0	16.26	1.055	0.010	7.689	4.585	1.751	0.062	2.422	0.322	61.61	1.082	3.152
HW	4.0	16.88	1.774	0.010	6.189	4.535	1.284	0.061	2.146	0.326	62.79	0.856	3.142
HW	6.0	17.51	2.261	0.009	5.424	3.670	1.187	0.061	2.701	0.373	63.11	0.851	2.844
HW	8.0	16.18	0.796	0.007	4.135	5.189	0.922	0.049	1.900	0.263	67.45	0.592	2.522
MW	10.0	14.72	1.727	0.007	4.947	3.204	1.092	0.048	2.669	0.284	68.62	0.785	1.895
MW	12.0	15.09	2.403	0.008	5.199	3.953	1.193	0.061	2.811	0.331	67.29	0.757	0.905

여기서, RS(Residual soil), HW(Highly Weathered), MW(Moderately Weathered)

4.1 평판재하시험 결과에 의한 지지력 및 침하 특성 평가

평판재하시험은 연구 대상 지역의 화강 풍화암의 풍화도에 따른 지지력 및 침하특성을 평가할 목적으로 풍화도가 각기 다른 6개소에 대하여 수행하였으며 풍화도에 따라 수행된 대표적인 평판재하시험 곡선은 그림 4 및 그림 5와 같다.

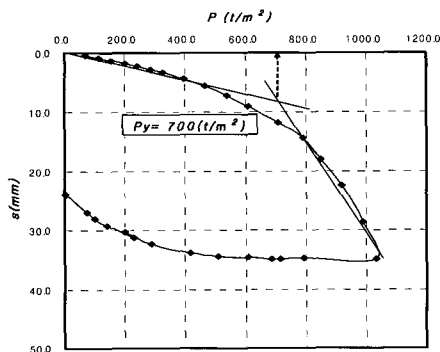
시험 결과 얻어진 하중과 침하의 관계를 이용하여 P-s 분석, logP -log s 분석, logP-s 분석 및 P-ds/log(dt) 분석을 수행하여 항복응력을 결정하였다. 시험 결과에 따르면 풍화도가 증가할수록 항복에 도달되는 응력 및 변형계수는 감소하는 것으로 나타났으며, 풍화도에 따른 항복응력은 30.3~118.0kg/cm² 범위로 나타나 풍화도에 따른 지지력의 변화가 큰 것으로 판단되며, 이에 대한 분석결과는 아래에 자세히 언급하였다.

연구대상 지역 평판재하시험 결과로부터 풍화도에 따른 화강 풍화암반의 지지력 및 침하특성을 분석한 결과는 표 2 및 그림 6과 같다.

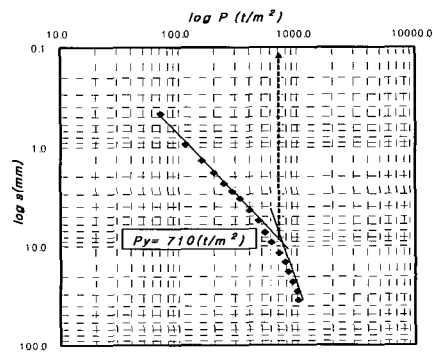
표 2를 참조하면 평판재하시험의 항복응력을 기준으로 평가된 변형계수 E₅₀은 613.5~2272.2kg/cm²의 범위로 분포되는 것으로 나타났는데, 풍화도에 따라 최대 약 3.7배 가까운 변화를 보여 풍화도에 따라 암반 변형특성의 차이가 변화하는 것을 볼 수 있다. 이와 같은 결과는 풍화 진행에 따른 암반 내부의 간극이 증가하기 때문이라 판단된다. 한편, 허용지지력을 기준으로 하중-침하곡선에서 추정된 침하량의 경우 0.51~0.75cm로 풍화도의 따라 침하량은 증가하나 그 차이는 크지 않은 것으로 확인되었다.

또한, 흡수율 6.5% 지점에서 지지력 및 변형계수의 분포형태가 급격히 감소되는 것이 확인되었다.

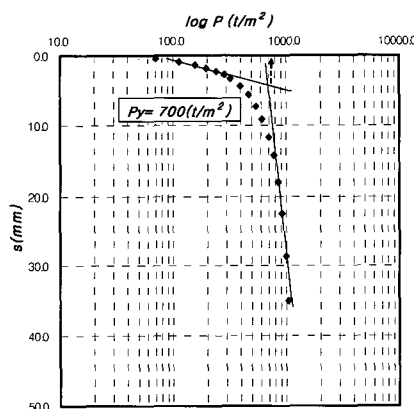
한편, 시험 수량은 다소 적지만 풍화도가 증가할수록 허용지지력 및 변형계수 모두 지수적으로 감소하는 것으로 나타났다. 풍화도에 따른 지지력 및 변형계수를 나타내는 그림 6을 분석하여 이에 따른 상관식을 제시하면 식(7) 및 식(8)과 같다. 분석 결과를 참조하면 풍화도가 증가할수록 허용지지력 및 변형계수의 분포는 지수적으로 감소하는 것으로 나타났다. 이때, 풍



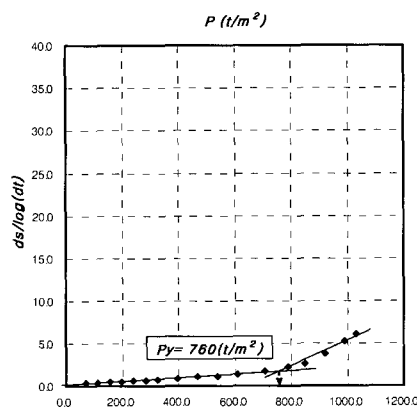
(a) P-s curve



(b) log P-log s

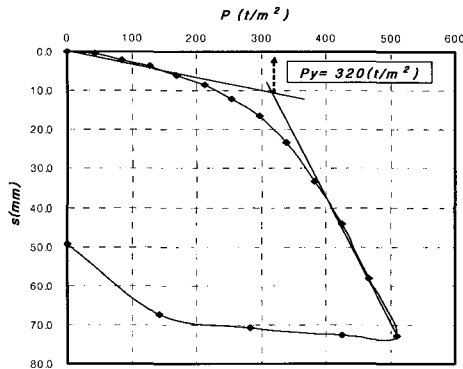


(c) log P - s

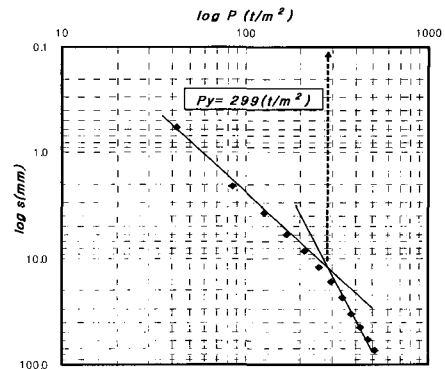


(d) P- ds/log(dt)

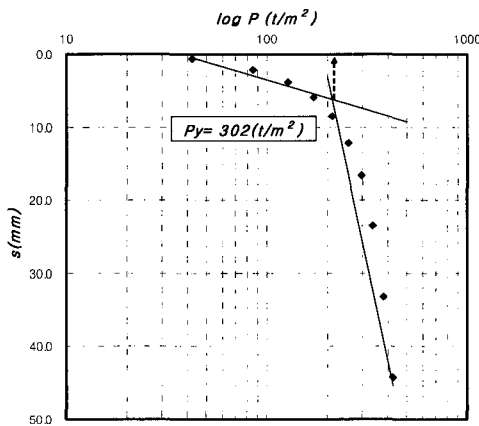
그림 4. 평판재하시험 결과(PBT-4, A.I=4.6%)



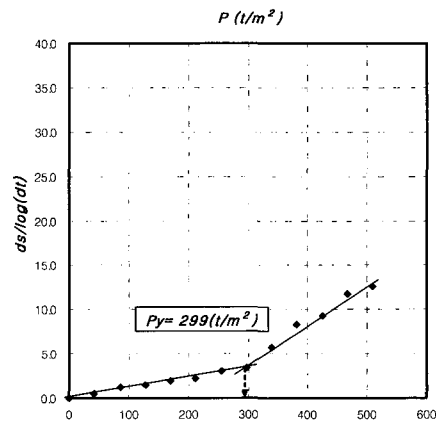
(a) P-s curve



(b) log P-log s



(c) log P - s



(d) P- ds/log(dt)

그림 5. 평판재하시험 결과(PBT-6, A.I=10.0%)

표 2. 평판재하시험 결과

PLATE SIZE	No.	q_y (kg/cm ²)	q_a (kg/cm ²)	E_{50} (kg/cm ²)	δ (cm)	A.I.(%)
PBT 30	PBT-1	118.0	59.0	2272.2	0.56	4.2
	PBT-2	53.3	26.6	786.6	0.73	6.5
	PBT-3	111.0	55.5	1962.2	0.61	5.2
	PBT-4	74.6	37.3	2062.7	0.39	4.6
	PBT-5	42.7	21.3	613.5	0.75	10.8
	PBT-6	30.3	15.1	636.7	0.51	10.0

주) * 항복응력의 50%에 해당되는 응력-침하관계에서 산정된 변형계수임.

** 침하량은 허용지지력을 기준으로 하중-침하곡선에서 산정한 값임.

화도에 따른 허용지지력 및 변형계수의 관계를 지수함수로 표현한 결과 결정계수는 0.81~0.89로 나타나 비교적 높은 상관도를 보이는 것으로 나타났다.

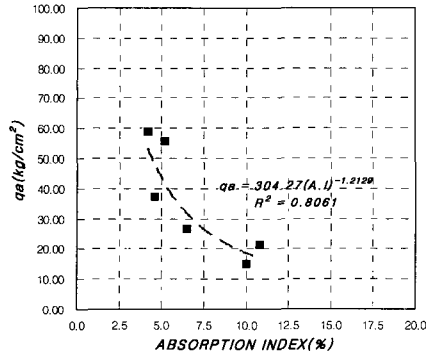
$$q_a = 304.27 \cdot (A.I)^{-1.2129} \quad (7)$$

$$E_{50} = 18762 \cdot (A.I)^{-1.4827} \quad (8)$$

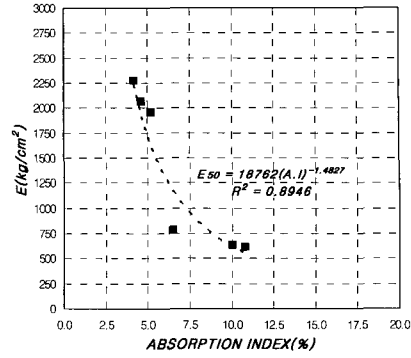
여기서, q_a : 허용지지력(kg/cm²)

E_{50} : 항복응력 50%에 해당되는 변형계수

A.I : 흡수율(%)



(a) 흡수율과 허용지지력



(b) 흡수율과 변형계수

그림 6. 풍화도에 따른 평판재하시험 분석 결과

4.2 공내재하시험에 결과에 의한 지지력 및 침하특성 평가

연구대상 지역과 동일한 조건에서 수행된 공내재하시험 결과의 일부인 한계응력 및 변형계수(이, 2002)를 이용하여 풍화도에 따른 하강 풍화압반의 지지력 및 침하특성을 분석한 결과는 그림 7과 같다.

그림 7을 참조하면 지지력은 14.25~39.45kg/cm²의 범위로 분포되는 것으로 나타났으며 흡수율 6.5%를 경계로 하여 지지력이 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 침하량은 풍화도가 증가할수록 선형적으로 증가하는 것으로 나타났으며 그 범위는 0.40~0.60cm 정도로 나타났다. 그러나 흡수율이 6.5%지점을 경계로 침하량 역시 급격하게 증가하고 있는 것으로 확인되었다. 이와 같은 결과는 풍화도에 따라 급격히 지지력이 약해져 나타난 결과라 판단된다. 이(2002) 등이 본 연구와 동일한 조건에 대하여 수행한 시험결과의 일부인 변형계수는 553.0~2055.9kg/cm²로 나타났는데, 풍화도에 따라 최대 약 3.7배에 가까운 변화를 보여 풍화도에 따라 압반 변형 특성의 차이가 변화하는 것을 확인할

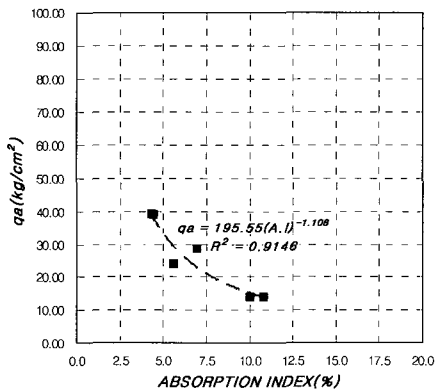
수 있었다. 이와 같은 결과는 평판재하시험결과와 마찬가지로 압반 내부의 간극이 증가하기 때문에 나타난 결과라 판단된다.

그림 7에 나타난 풍화도에 따른 공내재하시험 분석 결과 공내재하시험 결과로부터 추정된 허용지지력은 지수 함수적으로 감소하고 침하량은 선형적으로 증가되는 것이 확인되었으며, 그림 7을 분석하여 이에 따른 상관식을 제시하면 식(9) 및 식(10)과 같다. 이때, 흡수율과 허용지지력 및 침하량 관계를 지수함수 및 선형적으로 표현한 결과 결정계수는 0.8~0.9로 높은 상관도를 보이는 것으로 나타났다.

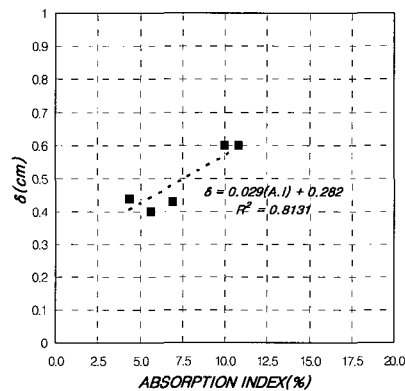
$$q_a = 195.55 \cdot (A.I.)^{-1.108} \quad (9)$$

$$\delta = 0.029 \cdot (A.I.) + 0.282 \quad (10)$$

여기서, q_a : 허용지지력(kg/cm²) δ : 침하량(cm)
 $A.I$: 흡수율(%)



(a) 흡수율과 허용지지력



(b) 흡수율과 침하량

그림 7. 풍화도에 따른 공내재하시험 분석 결과

4.3. 평판재하시험 결과와 이론식의 비교, 검토

연구 대상지역 평판재하시험 결과와 이론식의 관계를 분석하여, 화강 풍화암 지반에 얕은기초 설계시 기초 설계자료로 활용될 수 있도록 이를 비교, 검토하였으며 분석결과는 그림 8과 같다.

그림 8을 참조하면 Terzaghi(1943)가 제안한 방법으로 추정된 허용지지력의 경우 평판재하시험으로 추정된 허용지지력과 경향은 비슷하나 지지력이 약 2.3~7 배 정도 과다하게 산출되는 것으로 나타났으며, 흡수율 10%지점을 경계로 하여 평판재하시험과의 지지력의 차는 줄어들고 있는 것으로 나타났다. 이는 풍화도가 증가할수록 간극이 증가하여 풍화도층으로 변화해가기 때문이라 판단된다.

한편, 암반 이론식의 경우 비교적 그 값이 평판재하시험 결과와 일치하는 것으로 나타났다. 특히, Bell(1999)의 지지력 이론식은 풍화도에 따른 허용지지력이 36.4~97.0kg/cm²로 평판재하시험의 허용지지력과 비교할 때 추정치가 가장 근접하게 나타났다. Bell(1999)의 관계식은 식(11)과 같으며 상관도는 0.9로 비교적 높게 나타났다.

$$q_a = 478.83 \cdot (A.I)^{-1.1201} \quad (11)$$

여기서, q_a : 허용지지력(kg/cm²), $A.I$: 흡수율(%)

또한, 평판재하시험의 허용지지력으로부터 풍화도에 따른 안전율을 추정하기 위하여 기존 이론식에서 추정된 허용지지력을 평판재하시험 해석 결과로 나누어 정규화한 후 비교, 검토한 결과는 그림 8(b)와 같다.

분석 결과를 참조하면 Bell(1999)의 지지력 이론의

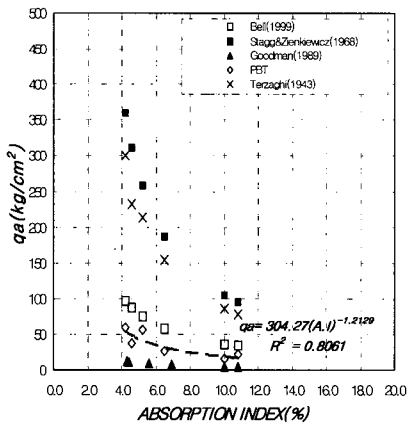
경우 지지력비는 약 1.8정도로 거의 일정한 값으로 나타나고 있어 적용된 안전율(F.S 2.0~3.0)은 비교적 타당하다고 판단되며 평판재하시험에 의한 지지력 해석 결과와 비교할 때 신뢰도가 가장 우수한 것으로 확인되었다.

한편, Terzaghi(1943)의 지지력 이론으로 추정된 화강 풍화암반의 지지력 추정 결과를 살펴보면, 초기에는 지지력이 과다하게 추정되어 약 6.2~7.1의 비교적 높은 지지력비를 보이고 있으나 풍화도가 증가할수록 지지력비의 범위는 약 4.2~4.1로 감소하여 일반적으로 적용하는 안전율에 근접하고 있는 것으로 나타났다. 이는 시험결과가 적어 다소 미흡한 결과이지만 흡수율이 10%이상을 넘어가면 일반적인 안전율을 적용하여 Terzaghi(1943)의 이론으로 지지력을 산정하여도 타당한 결과를 가져다 줄 것이라 판단된다. 또한, 향후 연구가 지속된다면 각 이론식별로 풍화도에 따른 안전율의 범위를 추정하여 신뢰성 있는 지지력을 추정할 수 있을 것이라 판단된다.

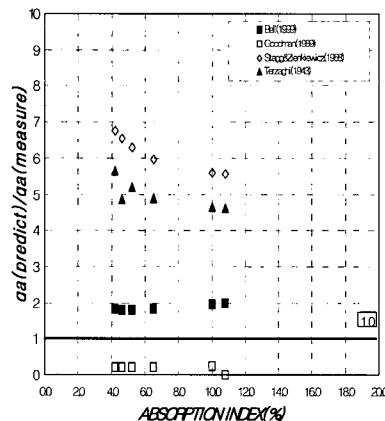
4.4. 평판재하시험 결과와 공내재하시험 결과의 비교, 검토

일반적으로 평판재하시험은 설계초기에 소정의 심도에서 실시하기 어려우므로 공내재하시험을 이용하여 신뢰성 있는 지지력 및 기초설계 자료를 추정하고자 이(2002)등의 시험결과의 일부를 적용하여 그 결과를 비교, 검토하였다(그림 9).

분석 결과를 참조하면 풍화도가 증가할수록 허용지지력은 감소하고 있는 것으로 나타났다. 또한, 흡수율 4% 지점에서 허용지지력은 약 19.6kg/cm²의 차이를 보이고 있는 것으로 확인되었으며, 흡수율 6% 지점을 경계로 그 차이가 줄어들고 있는 것으로 나타났다.

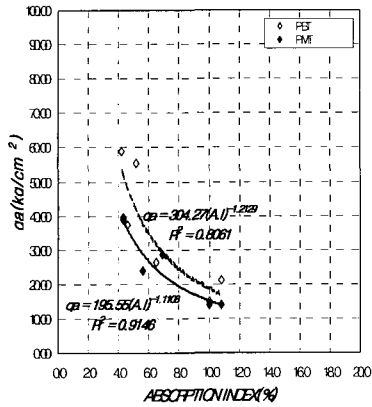


(a) 흡수율에 따른 지지력

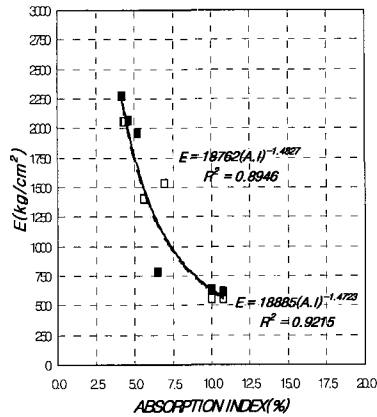


(b) 흡수율에 따른 지지력비

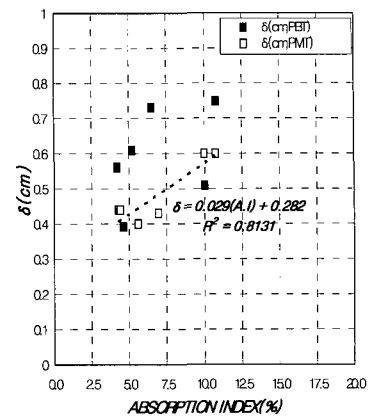
그림 8. 평판재하시험과 이론식의 비교, 검토



(a) 흡수율에 따른 지지력



(b) 흡수율에 따른 변형계수



(c) 흡수율에 따른 침하량

그림 9. 평판재하시험과 공내재하시험의 비교, 검토

또한, 평판재하시험 및 공내재하시험 결과로부터 평가된 변형계수간의 비교, 검토결과 풍화도에 따라 변형계수가 차이가 최소 약 0.8배정도 차이를 보이는 것으로 나타났다(그림 9b). 한편, 시험 수량이 적은 관계로 풍화도에 따른 변형계수의 변화를 정량적으로 평가하기에는 다소 미흡하지만 본 시험조건인 풍화도 범위 내에서 변형계수비는 약 0.9정도로 이는 평판재하시험 해석 결과를 정규화 하여 나타낸 변형계수비 1.0에 비교적 근접한 것으로 나타나 공내재하시험으로 구한 변형계수의 신뢰도가 우수한 것으로 확인되었다.

평판재하시험 및 공내재하시험 모두 흡수율이 증가할수록 침하량이 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 평판재하시험에서 침하량의 양상이 불확실하여 침하비의 분산정도는 5~30% 정도로 나타나 향후 화강 풍화암반의 침하량 평가에는 보다 많은 검토가 필요할 것으로 판단된다. 그러나, 평판재하시험과 공내재하시험의 침하량의 차이가 0.11~0.15cm의 차이를 보이는 것으로 나타나 공내재하시험으로 본 연구대상 지역의 침하량을 추정하여도 무리가 없을 것이라 판단된다.

5. 결론

경기○○지역 화강 풍화암반을 대상으로 수행된 평판재하시험 결과로부터 풍화도에 따른 지지력 및 침하 특성을 구명하고, 이를 기존 이론식 및 동일지반에서 수행된 공내재하시험 결과와 비교, 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 풍화도에 따른 화강 풍화암반의 지지력 특성을 분석한 결과 흡수율이 증가할수록 지지력은 지속적으로 감소하는 경향을 확인할 수 있었으며, 특

정 풍화도를 경계로 지지력 감소폭이 크게 증가하는 것으로 확인되었다.

2. 기제안된 지지력 공식을 이용하여 화강 풍화암반의 지지력을 추정된 결과 풍화도가 증가할수록 평판재하시험 결과와 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 풍화도가 증가할수록 암반 불연속면 강도특성이 지지력에 미치는 영향이 감소되기 때문으로 판단된다.
3. 평판재하시험이 수행된 동일 위치에서 실시한 공내재하시험으로부터 지지력 및 침하특성을 추정된 결과 지지력 추정은 비교적 평판재하시험 결과와 유사한 경향으로 나타났으나 추정된 침하량의 경우 큰 편차를 보이는 것으로 나타나 실무 적용시 화강 풍화암반의 침하량 평가에는 보다 많은 검토가 필요한 것으로 판단된다.
4. 흡수율을 기준으로 한 풍화도를 적용한 결과 풍화도가 증가할수록 지지력이 감소하여 흡수율이 풍화도를 나타내는 지표가 됨을 확인할 수 있었다.
5. 기존의 지지력 이론에 근거하여 화강 풍화암반의 지지력을 추정된 결과 Bell(1999)의 이론식이 화강 풍화암반의 지지력을 평가하는데 비교적 적합한 것으로 확인되었다. 향후 좁은 공간에서의 되메움 지반에도 적용하면 좋을 것으로 판단됩니다.

참고 문헌

- 이종규, 박찬호, 이유영, 전성곤 (2002) “풍화도에 따른 화강 풍화암의 지반정수 평가법 개발”, 2001년도 산학연 공동연구개발사업 보고서, 건설교통부
- 장서만 (2003) “화강 풍화암의 풍화도 및 지반정수 평

- 가”, 박사학위 논문, 단국대학교
- Bell, F.G. (1999) “Engineering in Rock Masses”, Butterworth - Heinemann Ltd, Oxford, pp. 236~240
- Bowles, J. E. (1997) “Found Analysis and Design 5th ed., McGeaw-Hill, New York”, pp. 277~280
- Harr, M. E. (1966) “Fundamentals of Theoretical Soil Mechanics”, McGraw-Hill, New York.
- Hamrol, A. (1961) “A Quantitative Classification of Weathering and Weatherabil Its of Rock”, Proc 5th Int Conf on Soil Mechanics Foundation Engineering, Publ7, No. 3, pp. 771~774
- Hoek, E. and Brown, E.T (1997) “Practical Estimates of Mass Strength”, Int. J. Mech. Min. Sci. Vol. 34, No. 8, pp. 1165~1186
- Lee, S.G. (1993) “Weathering of Granite”, Jour. Geol. Soc. Korea, Vol. 29, No.4, pp. 396~413
- Menard, L. and Rousseau, J. (1962) “L’evaluation des Tassements-Tendances Nouvelles”, Sols-Soils, Vol.1, No.1, pp. 13~29
- Menard, L. (1963a) “Calcul de la Force Portante des Fondations sur la Base des Resultats des Essais Pressiometriques”, Sols-Soils, Vol.2, Nos. 5 and 6
- Menard, L. (1963b) “Calcul de la Force Portante des Fondations sur la Base des Resultats des Essais Pressiometriques, Seconde Partie : Resultats Experimentaux et Conclusions”, Sols-Soils, Vol. 2, No. 6
- Pasamehmetoglu, A.G and Karpuz, C and Irfan, T.Y. (1981) “The Weathering Classification of Ankara Andesites from Rock Mechanics Point of View”, Proc. Int. Symp. Weak Rock, Tokyo, Publ 1. pp. 185~190
- Serrano, A.and Olalla, C. (1994) “Ultimate bearing capacity of rock masses”, Int. J. Mech. Min. Sci. Abst.,31(2), pp. 93~106

© 논문접수일 : 2005년 11월 21일

© 심사의뢰일 : 2005년 11월 22일

© 심사완료일 : 2005년 12월 31일