

풍화 암반의 공학적 특성 및 변형거동에 관한 연구

강추원, 박현식¹⁾, 김수로²⁾

A Study of Engineering Properties and Deformation Behavior of Weathered Rock Mass

Chow-Won Kang, Hyun-Sik Park and Soo-Lo Kim

ABSTRACT. The six grades weathering system is normally used in weathered rock classification. In this study, fresh and weathered rock block of grade I to V were sampled in Jang-soo area but samples of the grade VI was omitted from this study. The variation quantities of chemical weathering indices with weathering degree are smaller than those of physical and mechanical properties. Increase of Weathering degree is well indicated by physical and mechanical properties such as strength, hardness, ultrasonic velocity and slake durability result. Especially, absorption and porosity ratio is a good indicator. As weathering proceeds, a number of the cracks affect the rock deformation. Therefore, stress-strain curves of weathered rocks in unconfined state are quite different from ones of fresh rocks.

Key words : weathering grade, weathering index, weathering degree

초 록. 풍화암은 일반적으로 6단계로 분류된다. 본 연구에서는 풍화도에 따라 등급 I에서 등급 V의 암석 블록을 장수지역에서 채취하였다. 등급 VI는 본 연구대상에서 제외되었다. 풍화도의 증가에 따른 화학적 풍화지수의 변화량은 물리적, 역학적 물성변화에 비하여 매우 미소한 변화를 보였으며, 풍화도의 증가는 강도, 경도, 탄성파속도, 내구성과 같은 물리적 역학적 물성에 의하여 잘 지시되었다. 특히 흡수율과 공극률은 매우 좋은 지수이다. 풍화의 진행에 따라, 암석에 포함되어 있는 크랙의 양은 암석의 변형에 영향을 끼친다. 그러므로 풍화암의 용력변형을 곡선은 신선한 암과 상당한 차이를 보였다.

핵심어 : 풍화등급, 풍화지수, 풍화도

1. 서 론

암반 구조물을 안전하고 경제적으로 설계·시공하기 위해서는 대상암반의 공학적 특성을 정확히 판단하여야 한다. 풍화영역의 특징은 수평 방향이나 연직 방향으로 암질의 극단적인 변화를 보인다. 암석재료를 완벽하게 분류하려고 한다면, 풍화상태, 내구성, 균열정도를 종합적으로 기술할 필요가 있다(Goodman, 1976).

그러므로 본 연구에서는 암석의 화학적·기계적·물리적 풍화와의 관계 및 변화양상을 여러 가지 현장 및 실내 실험을 통해 확인해 봄으로서, 암

석의 주요 성분의 변화, 각종 화학적 풍화지수 및 변형특성에 관하여 종합적으로 고찰해 보았다. 표본조사 및 현장조사 위치는 전북 장수군 장수읍 대성리와 용계리 사이에 위치해 있다.

본 역에 분포하고 있는 암석은 염리상화강섬록암으로서 북동부 대성리를 중심으로 넓게 분포된다. 암석은 중립질 내지 조립질이며, 괴상암체로 암상은 대체로 균질하나, 곳에 따라 다소간의 변화가 있다(김규봉 외, 1984).

2. 대상암반의 구조지질학적 특성

본 연구지역의 지질 및 풍화특성을 확인하기 위하여 연구조사지역에 대하여 조사 축선을 설정한

1) 조선대학교 자원공학과

2) 한국시설안전기술공단

접수일 : 2004년 5월 2일

후 Scanline survey method를 이용하여 절리 특성을 조사하였다. Fig. 1과 같이 절리들의 방향은 N 65°W, N 15°E 방향이 가장 일반적인 주방향으로 분석되었다. 또한 이들은 대부분 60°~80°의 고각도를 이루고 있는 점이 특징이며, 이러한 고각도 절리의 발달은 지하수의 수직적인 이동에 유효했을 것으로 사료된다.

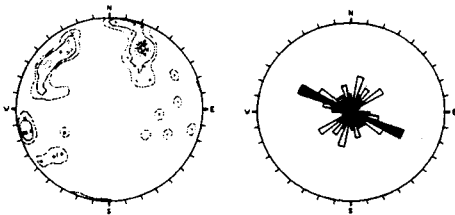


Fig. 1. Diagrams of joint survey results

3. 풍화암의 분류기준

신선한 암석에 대한 물성의 분산과 화학적 조성 변화의 평가 및 묘사에 바탕을 둔 정량적인 분류

법은 풍화정도를 평가하기 위해 자주 사용되어 왔다.

ISRM(Anon, 1981)에 의해 권장된 풍화된 암반의 분류법은 Table 1과 같다.

4. 풍화암에 대한 실험 및 분석

4.1 비중, 흡수율, 공극률 시험

실험절차는 국제암반역학회 표준시험규정 (Suggested Methods of ISRM, 1978)에 준하였다. 시험결과 Table 2에 정리하였으며, 풍화가 진행됨에 따라 각각의 측정치에 따라 현저한 감소 및 증가를 확인하였다. 특히 흡수율 및 공극율은 신선한 암석에 비하여 10배 이상의 변화량을 보임으로서 풍화도 확인에 좋은 지표가 될 수 있을 것으로 사료된다.

Table 1. Suggested method of ISRM

Symbol	Degree of weathering (%)	Term	Description
W0	0	Fresh	No visible sign of material weathering
W1	Less than 25	Slightly	Discoloration indicates weathering of rock on major discontinuity
W2	25-50	Moderately	Less than half of rock material is decomposed and/or disintegrated to a soil. Fresh or discolored rock is present either as a discontinuous frame work or as core stones
W3	50-75	Highly	More than half the rock is decomposed and/or disintegrated to a soil. Fresh or discolored rock is present either as a discontinuous framework or as core stones
W4	Over 75	Completely	Majority of rock material is decomposed and/or disintegrated to soil. The original structure of the rock mass is still intact
W5	100	Residual Soil	All material decomposed. No trace of rock structure preserved

Table 2. Summary of rock property results in the study area

Weathering Grade	Specific gravity	Absorption (%)	Porosity (%)	Strength (kgf/cm ²)	Slake durability Retain after 4cycle(%)	Point load test (kgf/cm ²)	Brazilian test (kgf/cm ²)	Ultrasonic velocity (m/s)	Shore hardness	Cohesion (kgf/cm ²)	Internal fr. angle (°)
F	2.712	0.312	0.845	1,081	98.40	140.2	120.9	3,805	76.5	223.5	45.6
SW	2.704	0.476	0.128	845	95.39	120.8	99.2	3,450	67.8	179.7	44.83
MW	2.653	1.773	4.577	621	88.45	86.4	84.78	3,002	38.8	154.3	36.93
HW	2.586	4.513	10.839	356	60.60	21.3	38.6	1,562	18.1	83.2	33.12

4.2 탄성과 속도 시험

암석내의 탄성파(P-wave)속도는 암석의 내부 조직과 역학적 결합 등에 민감하게 반응한다. 암석의 구성광물과 입자의 크기, 절리의 방향등에 따라 영향을 받는 P파 속도는 견고하고 치밀한 암석에서, 조립질 암석보다는 세립질 암석에서, 비중이 높을 수록 빠른 것으로 알려져 있다(신희순 등, 1986).

풍화도에 따른 탄성파속도(P파)는 Fig. 2와 같이 약 3,800m/sec ~ 1,560m/sec까지 변화하였으며, M.W. 이후 급격한 감소를 보였다.

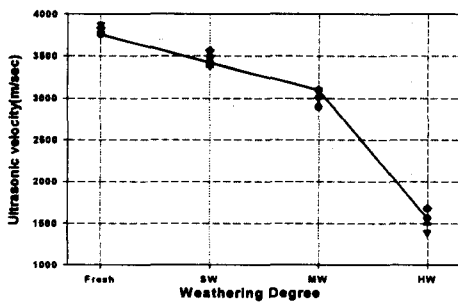


Fig. 2. P-wave velocity

4.3 Slake durability test

풍화에 대한 내구성의 변화를 관찰하기 위하여 측정하였으며, 시험절차는 ISRM기준(Suggested Methods of ISRM, 1978)에 준하였다. Fig. 3은 풍화도 및 횡수에 따른 변화를 나타내었으며, 신선한 암석의 경우 4회 이후에도 값의 변화가 적었으며,

H.W.의 경우 각 회마다 현저한 값의 변화가 관찰되었다.

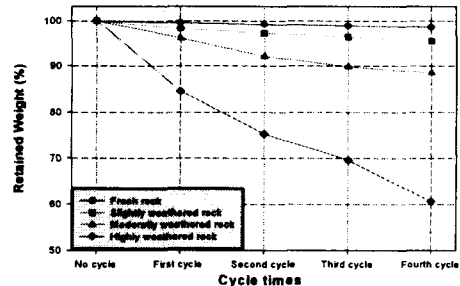


Fig. 3. Retained Weight(%) of the rock lumps with weathering grades

4.4 Schmidt hammer test

암반의 노두에 대한 풍화 특성의 수직적 분포를 확인하기 위하여 현장 시험을 실시하였다. 가로방향으로 5회 타격하고, 수직방향으로 37단(5.6m)의 타격을 실시하였으며, 각 높이별 리바운드율을 측정하고, 강도로 환산하였다. 수준별 리바운드율은 산술평균 처리하였으며, Fig. 4와 같이 높이별 리바운드율 및 환산강도를 도시하였으며, 본 연구지역은 높이에 따라 리바운드율 및 강도의 변화가 매우 크게 나타났다.

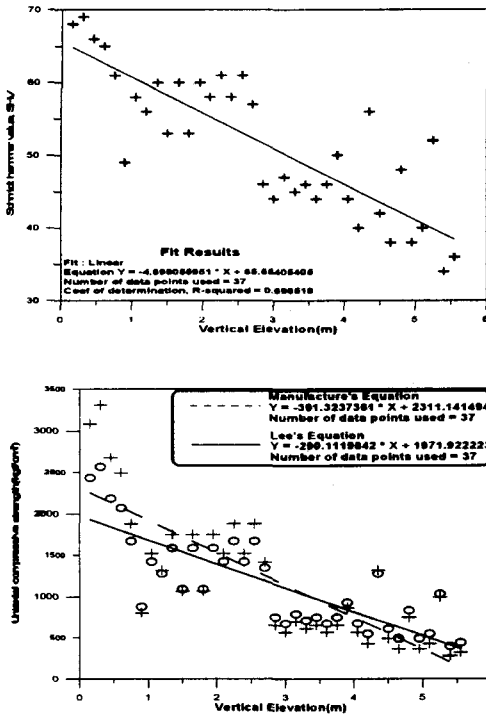


Fig. 4. Relationship between vertical elevation vs Schmidt hammer value & strength

4.5 Point Load Test

점하중시험을 위하여 SLOPE INDICATOR사의 Point Load Tester를 사용하였으며, Fig. 5와 같이 Point Load Strength index(Is50)는 140.2 ~ 21.3kgf/cm2의 변화를 보였다.

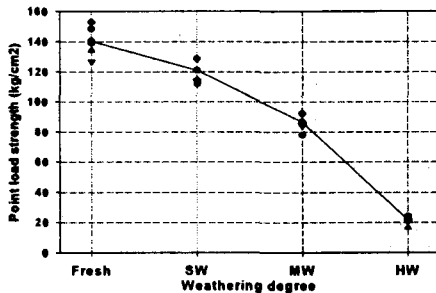


Fig. 5. Point load test results of the rock sample for various weathering grades

4.6 인장강도 시험

Gupta 등(2000)의 연구에서 풍화의 증가와 함께 인장강도에 현격한 변화를 보였으며, 인장강도 측정시 압축강도에 영향을 주는 입자의 강도나 미세 균열(Microfracture) 및 입자의 크기나 조직의 영향도 큼을 보였다. Fig. 6과 같이 각 풍화도 별 압력 인장 시험결과는 120.9 ~ 38.6kgf/cm2 으로서, 풍화도가 증가되면서 인장강도 값은 현저한 감소를 보이며, 분산이 매우 적음을 확인하였다.

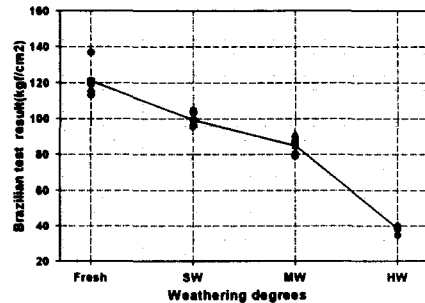


Fig. 6. Brazilian test results of the rock sample for various weathering grades

4.7 쇼어경도 시험

풍화도별로 5개의 시료와 시료 당 20점을 측정하였으며, 평균값을 취합하였다. 결과 값을 분석한 결과 Fig. 7과 같이 풍화도의 증가에 따라 분산이 커지고, 침도가 감소됨을 확인하였다. 이는 풍화가 진행되면서 각 광물의 풍화정도 및 풍화속도 차이에 의한 것으로 사료되며, HW 풍화도 수준으로 갈수록 풍화에 의한 주요 광물들의 경도 분산이 점점 심해짐을 확인하였다.

4.8 일축압축강도시험

풍화도별 블록에 대하여 코어링한 원주형 시료(NX, 54mm)를 대상으로 직경에 약 2.0의 비로 성형하였으며, 가압면의 편평도 및 직각도, 측면 직선형 등은 ISRM(1978) 기준을 준수하였다.

기기는 SHIMADUZU 사의 UTM(Universal Testing Machine, Max Load = 100tf)을 사용하였

으며, 제어 및 측정을 위하여 SHIMADUZU 사의 UTM controle unit 및 Dataletty 402를 사용하였다. 수직하중의 정확한 분석을 위하여 Columbus Ohio사의 Load Cell을 사용하였다. 일축압축강도 결과는 Fig. 8과 같으며, 일축압축강도 평균값은 풍화 정도에 따라 1,081~356kgf/cm²까지 매우 선형적인 감소를 보였으며, 각 풍화도별 값의 분산이 풍화가 진행됨에 따라 감소됨을 확인하였다.

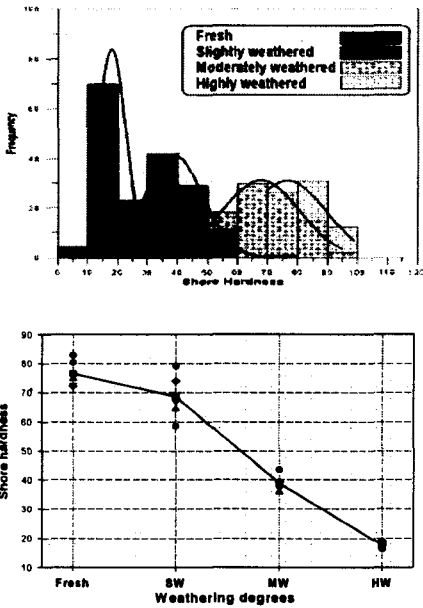


Fig. 7. Hardness results for various weathering grades

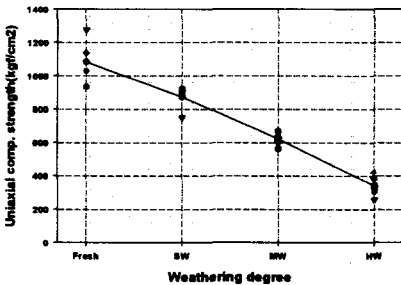


Fig. 8. Uni. comp. strength results of the rock sample for various weathering grades

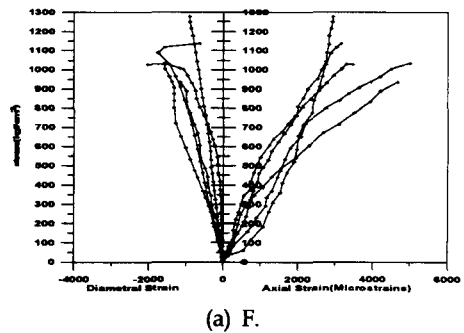
4.9 변형거동

미세균열의 발달은 풍화에 의하여 정의되고 있으며, 취성의 광물들은 연질 점토로 변화되어지는데 이들은 상당한 탄성적 특성의 손실이라 할 수 있다. 일축압축강도 값의 변화와 유사하게 영률 (Young's Modulus, E₅₀)은 풍화와 함께 감소되어진다. 이러한 영률(E₅₀)의 변화는 잔존하는 결합력, 2차적인 결합력 및 점토의 함량에 대한 변형, 그리고 전단특성과도 관련되어 있다(Gupta, 2000).

풍화 단계별 암석시료를 이용한 단축압축시험시 응력변형을 곡선, 탄성계수, 포아송비 변화를 파악하여 초기 변형특성을 고찰하였다.

수직변위 측정을 보조하기 위해 TOKYO SOKKI 사의 Displacement Transducer 2개를 사용하였다. Strain 및 Transducer의 data를 취득하기 위하여 TOKYO SOKKI 사의 COMPUTING DATA LOGGER(TDS-601)를 이용하여 Strain, Displacement Transducer를 병합하여 자동으로 취득하였다. Strain은 CAS 사의 AE-11-S50N-120-EL(C)를 사용하였다.

Fig. 9는 일축압축강도 시험과 병행하여 수행한 각 풍화도별 응력-변형률곡선이다. 신선한 암석은 저 응력상태일 때의 접선 영률이 크며, 후기로 갈수록 접선 영률이 다소 작아지는 경향을 보이며, 풍화가 진행될수록 초기 접선 영률이 작은 상태에서 서 증가 하는 경향을 확인할 수 있었다.



(a) F.

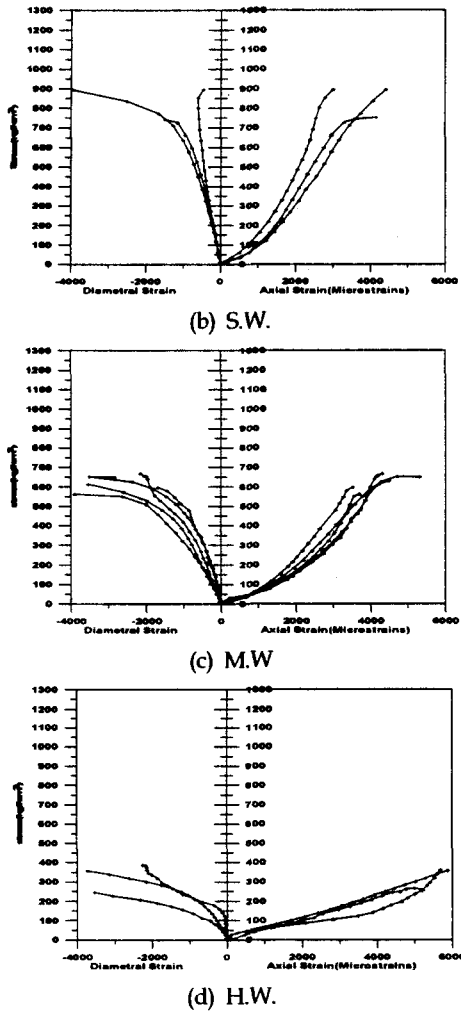


Fig. 9. Stress-strain curves for weathered rocks

4.10 삼축압축시험

풍화에 따른 점착력과 내부마찰각의 변화를 확인하기 위하여 일축압축강도시험, 인장강도시험, 봉압하에서의 삼축압축강도시험을 이용하였다.

직경에 대한 높이의 비가 대략 2.0인 NX 코어를 사용하였으며, ROCK SCIENCE사의 ROCK DATA 를 이용하여 Mohr-Coulomb 파괴조건을 적용·정리하였다. 삼축챔버 내의 봉압력은 각각 100, 200, 300 kgf/cm²를 사용하였으며, 기타조건은 ISRM(1978) 기준에 준하였다. 실험결과는 Fig. 10

에 제시하였다. 점착력은 풍화에 따라 21.91 ~ 8.16MPa로 감소됨을 확인할 수 있으며, 내부마찰각은 45.60°에서 33.12°로 변화되었다. Hoek-Brown 상수 m과 s의 변화를 살펴보면, m 값은 11.128~1.949, s 값은 1~0.089의 변화를 보였다.

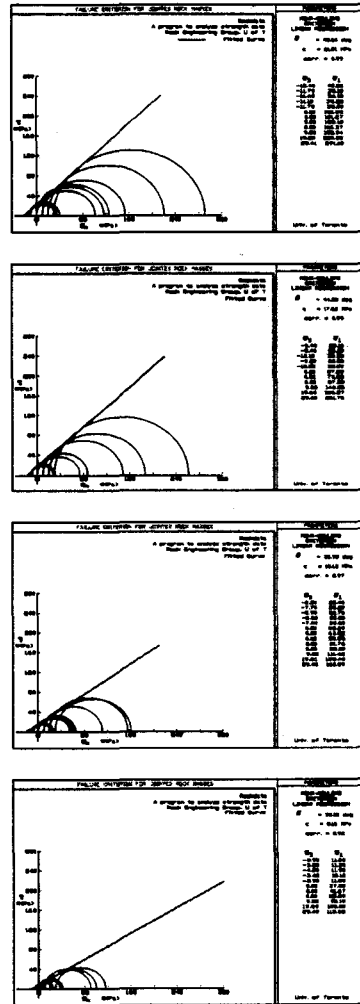


Fig. 10. Tri-axial test results

4.11 Loss On Ignition

연소로법은 110°C로 건조된 시료 무게와 유기물 및 화합수, 결정수의 수분량 등을 700~800°C의 고

온으로 태워 없앤 후의 무게 차이로 유기함량을 추정하는 방법이다.

JIS R 5202 와 Kim(2002)등의 연구, 또한 고온에서 Fe, Mn, Al 등의 특성을 고려하여 1,000℃에서 3시간을 적용하였다.

본 연구지역의 암석에 대하여 측정된 풍화도별 강열감량 결과 변화는 Fig. 11과 같다. 풍화도별 강열감량 결과를 보면, F에서 CW까지 풍화도의 변화에 대하여 규칙적인 증가를 나타내지 않았으며, 0.717%~1.861% 범위로서 변화량이 1% 내외로 수치적 변화가 미소하였다.

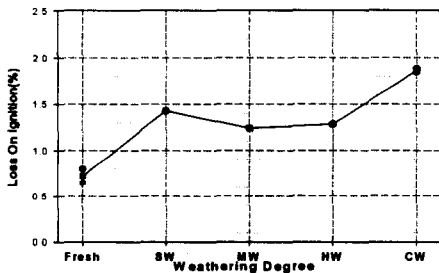


Fig. 11. L.O.I. results for various weathering grades

4.12 화학분석

본 연구지역에서 채취한 풍화도별 블록에 대하여 XRD, XRF 기기분석을 실시하였다. XRD, XRF를 이용하여 주요광물 및 주성분원소 10종을 분석하였다.

XRF 분석에 의한 주성분의 함량은 다음 Table 3과 같으며, Fig. 12에 주성분의 양적인 변화를 도식하였다. 각 주성분의 함량은 불규칙한 변화 양상을 보이고 있다. XRF 분석 및 강열감량 등을 참고하여 화학적 풍화지수(molar basis)를 계산하여 Table 4에 나타내었다.

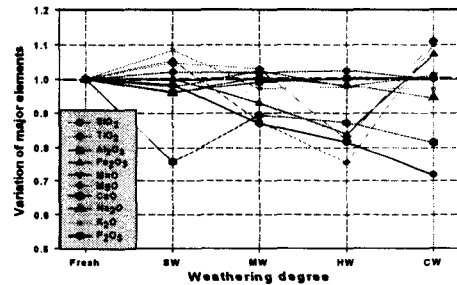


Fig. 12. Variation of major elements with weathering grad

Table 3. Chemical composition data for major elements in weathered rock samples(wt %)

Weathering Grade	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Total
F	65.081	16.218	4.20	0.662	0.088	2.166	4.203	3.275	3.441	0.113	99.447
SW	66.392	15.588	4.206	0.693	0.086	2.284	3.176	3.137	3.731	0.111	99.404
MW	66.142	16.054	3.898	0.681	0.090	1.893	3.753	3.292	3.340	0.098	99.241
HW	66.612	16.258	3.517	0.542	0.086	1.631	3.658	3.214	3.356	0.092	98.966
CW	65.016	16.279	4.50	0.734	0.089	2.384	3.419	3.090	3.332	0.081	98.924

Table 4. Chemical weathering index for various weathering grades(molar basis)

Weathering Grade	Paker index	C.I.A.	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	S.T.I.	W.P.I.	C.I.W.	A.K.N.
F	51.00	49.18	6.81	85.88	14.60	55.44	1.779
SW	50.23	51.00	7.23	86.39	13.57	58.76	1.694
MW	49.31	50.30	6.99	86.11	13.54	56.73	1.777
HW	48.36	51.07	6.95	86.34	12.93	57.65	1.822
CW	48.68	52.19	6.78	85.69	13.79	59.02	1.873

5. 실험결과와 상호관계에 관한 고찰

5.1 화학적 풍화지수 고찰

풍화 시료를 샘플링하여 XRD, XRF 분석을 실시한 결과, CaO와 P2O5가 신선한 암석에 대하여 성분이 감소됨이 뚜렷하게 관찰되며, Fe2O3 및 MgO 성분은 풍화에 따라 감소되나 C.W.상태에서는 다시 증가되어지는 경향을 보였다.

XRD 분석결과, 본 암석은 Quartz, Albite, Andesine, Microcline, Magnesioriebeckite라는 광물이 분석되었으며, 새로운 광물의 생성(스멕타이트, 할로이사이트 등)은 극소량이거나 분석되지 않았다. 그러므로 본 연구지역에서 채취된 풍화도별 시료는 변질광물의 생성에 의한 영향이 미소함을 알 수 있다. XRF 분석을 통한 주성분원소의 화학적 풍화지수 시험결과를 도출한 결과, Paker index는 풍화의 진행에 따라 초기에서 중기까지 감소되는 것으로 분석되었다. 이는 기존의 연구결과(임길재, 2000)와 유사하였다(Fig. 13).

CIA(Chemical Index of Alteration), CIW(Chemical Index of Weathering)는 그 변화폭은 다르나 유사한 변화 경향을 가지는 것으로 보이며, 풍화도의 증가에 따라 불규칙하지만 증가되는 경향을 보였다(Fig. 14, 18). SiO2/Al2O3 비, STI(Silica-Titania Index), WPI(Weathering Potential Index)는 매우 불규칙하게 변화하는 양상을 보였다(Fig. 15, 16, 17). AKN(Alumina to potassium-sodium oxide ratios)은 본 연구에서 풍화 초기에 변동이 심하였으나, 중기 이후에는 단조 증가하는 경향을 보였다(Fig. 19).

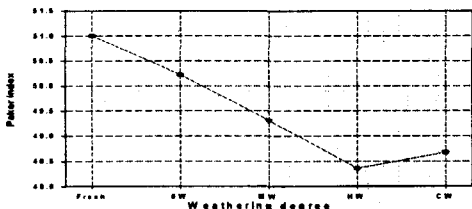


Fig. 13. Variation of Paker Indices for various weathering grades

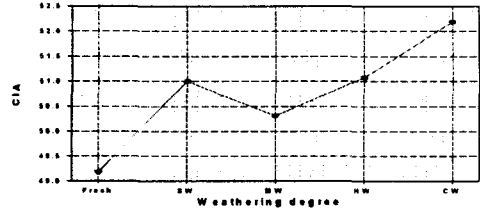


Fig. 14. Variation of Chemical Indices of Alteration for various weathering

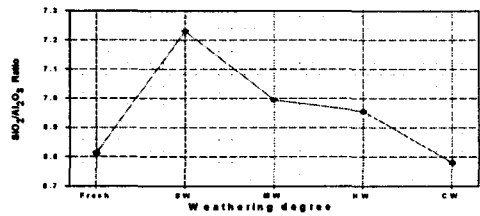


Fig. 15. Variation of Silica-Alumina ratios for various weathering grades

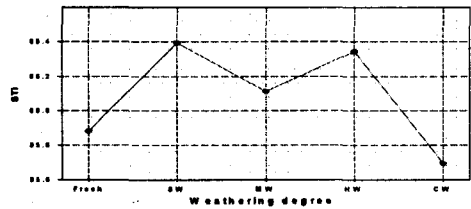


Fig. 16. Variation of Silica-Titania Indices for various weathering grades

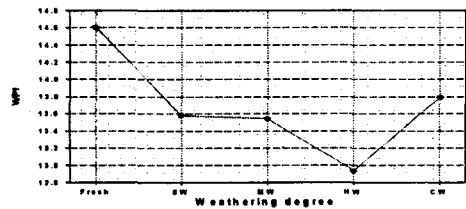


Fig. 17. Variation of Weathering Potential Indices for various weathering grades

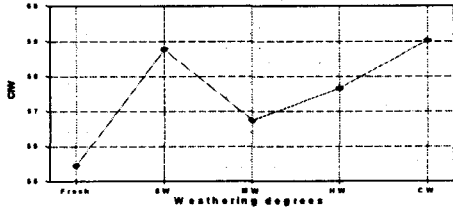


Fig. 18. Variation of Chemical Indices of Weathering for various weathering grades

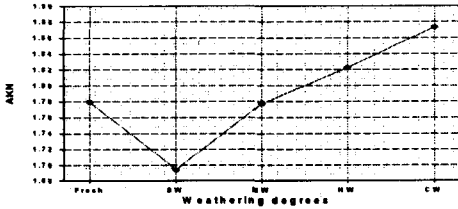


Fig. 19. Variation of Alumina to potassium-sodium oxide ratios for various weathering grades

5.2 물리적, 역학적 지수 고찰

본 연구에서 측정된 물성을 Fig. 20에 나타내었다. 흡수율, 공극율은 풍화암의 물성중 가장 큰 변화를 나타내며 증가한다. 역학적 물성치는 풍화의 진행에 따라 양호한 관계를 가지고 감소되었다. 그러나 풍화도가 증가하면서 각 물성치의 변화특성이 각기 다르며, 풍화도에 따라 분산이 증가 또는 감소되는 특성을 보였다. 이러한 물성치는 기존의 연구결과들에서 높은 상관관계를 보임이 보고되어 있는 인자들이지만 풍화에 따른 물성치의 변화양상은 풍화도에 따라 상이함을 알 수 있다.

5.3 풍화암 변형특성 고찰

풍화에 따른 풍화암의 변형특성을 확인하기 위하여 일축압축강도 시험시 응력수준에 따른 접선영률을 측정하였다. 풍화도에 따른 응력수준 별 접선영률 변화를 도시화하면 Fig. 21과 같다. 풍화정도에 따른 영률의 분포가 매우 뚜렷한 영역을 나타내고 있다. 신선암에 비하여 S.W.~H.W.로 갈수록 그 변화 양상이 매우 단조로워지며, 특히 S.W.,

M.W.시료는 응력수준에 따라 증가되는 양상을 보였다.

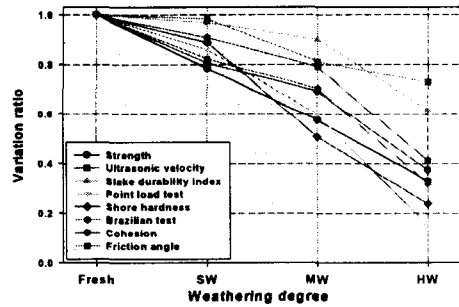
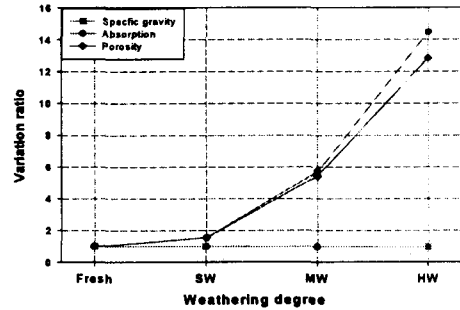


Fig. 20. Variation ratio of properties for various weathering grades

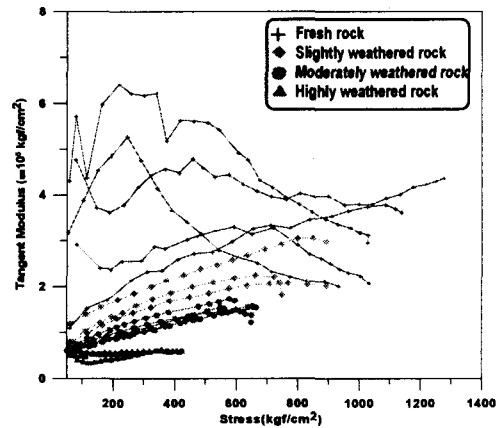


Fig. 21. Tangent Young's modulus curves for fresh and weathered rocks

본 지역의 암석에 대한 풍화단계별 흡수율 및 공극율 측정을 통하여 잠재적인 균열 및 공극 발생량의 변화가 신선한 시료에 비하여 최대 12~14 배 가량 증가된 점, 또한 화학분석결과치의 변화가 미소한 점을 볼 때 변형특성에서 잠재적인 균열 및 공극량의 변화가 강도 및 영률에 가장 큰 요인으로 작용한 것으로 보인다.

Fig. 22는 본 연구에서 0~400kgf/cm²까지의 저응력수준 상태에서 측정된 시료의 변형 데이터를 취합한 후 신선한 시료의 변형량 만큼을 수치적으로 제거한 그림으로서, 풍화도에 따라 각기 다른 변형률 수준에서 수렴하고 있으며, 풍화의 정도가 S.W.에서 H.W.로 증가함에 따라 더 큰 값으로 증가 수렴되고 있다. 이는 풍화도의 증가와 함께 균열 및 공극량의 변화에 따른 변형량의 변화로 사료된다.

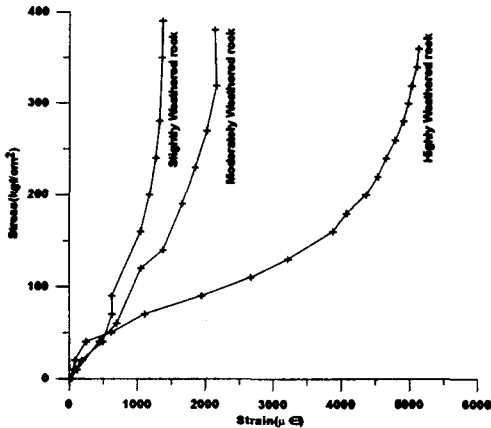


Fig. 22. Variations of deformations with weathering grades

6. 결론

풍화에 의한 암석의 물성변화 및 변형특성을 연구하기 위해 장수지역의 암석에 대하여 화학적, 물리적, 역학적 시험을 통해 얻은 결과는 다음과 같다.

- (1) 본 지역의 풍화도별 시료에 대한 물리적·역학적 시험을 실시한 결과 암반의 풍화의 진행에 따라 흡수율 및 공극율은 강도등의 역학적 값에 비하여 현저한 변화를 보였다. 역학적 물성치들은 풍화의 진행에 따라 감소되었지만, 풍화의 진행에 따른 각 물성값의 변화량은 서로 상이한 변화를 보였다. 그러므로 암석의 풍화도 평가시 반드시 2~3종의 물성치들을 함께 고려하여야 한다.
- (2) 풍화도에 따라 CaO 및 P2O5는 신선한 암석에 비하여 뚜렷한 성분의 변화가 관찰되며, 특히 P2O5는 풍화진행에 따라 그 감소가 매우 일관적으로 감소됨을 확인할 수 있었다. 본 연구지역에서 Paker index는 풍화의 진행에 따라 초기에서 중기까지 감소하였으며, C.I.A., C.I.W.는 풍화도의 증가에 따라 불규칙 증가경향을 보였으며, SiO₂/Al₂O₃ ratio, S.T.I., W.P.I.는 불규칙한 변화 양상을 보였다. A.K.N.은 본 연구에서 풍화 초기에 변동이 심하였으나 이후 단조 증가하는 경향을 보였다. 그러나 풍화가 심하게 진행되어도 주성분 함량 변화가 매우 미소함으로 인하여, 화학적 풍화지수의 변화도 미소하였다.
- (3) 풍화에 따른 일축압축강도 시험시 응력 수준에 따른 영률의 변화를 관찰한 결과 신선한 시료는 불규칙하기는 하나 초기에 영률이 크며, 이후 영률이 감소되는 경향을 보였다. S.W., M.W., H.W.시료는 응력수준에 따라 영률이 일정하게 증가 또는 유지되는 경향을 보였으며, 풍화정도가 심해짐에 따라 응력 수준별 영률증가는 점차 둔화되었다. 이러한 변형 특성들은 풍화도의 증가로 함축되어진 암석 내부의 잠재적인 균열 및 공극량의 증가에 기인된 것으로 판단되며, 그 영향은 0~350kgf/cm² 수준의 응력변화에 따라 대략적으로 S.W.는 1,373μe, M.W.는 2,140μe, H.W.는 5,135μe 증가 정도로 수렴되는 변형 특성이 관찰되었다.

(4) 본 연구에서 응력 수준에 따른 영률 변화를 도 시해 본 결과 풍화정도에 따라 각각 상이한 영 역에 도시되어지는 특성을 관찰하였다. 이는 암 석에 대한 풍화 진행정도를 판단해야 할 경우 강도 및 응력수준별 변형을 동시에 고려한 판 정이 가능할 것으로 사료된다.

8. ISRM, 1978, International Society for Rock Mechanics Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests, Int. J. Rock Mech. & Min. Sci. And Geomecha. Abstr, vol.15~16, pp.47~51, 99~103, 135~156.

감사의 글

본 연구는 2002년도 조선대학교 학술연구비의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 김규봉 외 3, 1984, 오수도폭 지질보고서 한국동 력자원연구소.
2. 신회순 외 1, 1986, 함수 및 온도에 따른 암석의 탄성과 전단속도와 동탄성계수의 변화에 관하 여, 대한광상학회지, 제 23권, pp282~391.
3. 임길재, 2000, 화강암류의 풍화특성에 관한 연 구, 학위논문(박사), 강원대학교 대학원, 103~113.
4. 이수곤 외 1, 1995, 슈미트해머 수치를 이용한 한국 화강암의 일축압축강도 추정방법, 대한토 목학회논문집, 제 15권, pp199~210.
5. Anon, 1981, "Basic geotechnical description for rock masses, International Society for Rock Mechanics, Commision on the Rock classification of Rocks and Rock masses." Int. J. Rock Mech. Min. & Sci. Abstr., vol 18, pp.85~110.
6. Goodman, R.E., 1976, Methods of Geological Engineering in Discontinuous Rocks. pp.27~53.
7. Gupta, A.S, K. Seshagiri Rao, 2000, Weathering effects on the strength and deformational behaviour of crystalline rocks under uniaxial compression state. Engineering Geology, 56, pp.257~274.