

## 해수에 의한 암반 풍화의 공학적 특성 연구 최강일<sup>1)</sup>, 강추원<sup>1)</sup>, 고진석<sup>1)</sup>

### A Study of Engineering Properties of Rock Mass Weathered by Sea Water

Kang-II Choi, Choo-Won Kang and Chin-Surk Go

**Abstract :** This study is to clarify the comparative relationship and mechanical anisotropy of granite distributed in the Nam-weon on the subject of weathered rock mass sea water surroundings.

Artificial weathering test is defined as a test, which controls the weathering rate and agents by controlling the weathering rate and agents by artificial environmental of salt water.

Increased weathering degree is large indicated by weathering salt water, such as apparent specific gravity, absorption, porosity, uniaxial compression strength, P-wave velocity, slake durability, shore hardness, indirect tensile strength(brazilian test) and cohesion were measured.

As the Weathering salt water proceeds, cracks develop increasingly. A number the cracks affect the rock deformation. Therefore, stress-strain curve of weathered salt water rock in one confined state are quite differ from weathered fresh water rock those. A reason of their deformation type is the formation of micro-cracks and potential porosity caused by artificial weathering test

**Key words :** weathering grade, artificial weathering, weathering degree

초록 : 이 연구는 남원에서 채취한 화강암의 해수에 의한 풍화환경에서 기계적 풍화를 비교하여 관계를 명확하게 하는 것이다. 석재 사원과 건설현장에서의 풍화암에 대한 지질학적 연구는 암반의 화학적, 물리적 특성의 변화에 따라 다양하게 포괄적으로 연구되고 있다. 인공풍화 실험은 해수에 의한 풍화의 환경과 정도를 제어하기 위해 풍화의 정도와 풍화 환경을 제어한다. 해수에 의한 풍화가 진행될수록 풍화도가 증가하는데, 이는 비중, 흡수율, 공극율, 단축압축 강도, P파 속도, 내구성, 간접인장 강도, 마찰각 등의 변화에 의해 알 수 있다. 해수에 의한 응력 변형률 곡선의 변화는 담수에 의한 응력 변형률 곡선과 많은 차이를 보인다. 그러한 이유는 인공풍화 실험에 의한 미세한 균열의 차이와 잠재적인 공극의 발달의 정도의 차이에 의한 것이다.

핵심어 : 풍화등급, 인공풍화, 풍화도

## 1. 서 론

암석의 독특한 성질 중의 하나가 풍화이다. 대부분의 암석은 원래 구조적인 결함을 갖고 있고 이런 부분을 중심으로 풍화가 가속화된다. 풍화영역의 현저한 특징은 수평방향으로나 연직방향으로도 암질의 극단적인 변화가 있다는 점이며, 풍화에 따라 나타나는 여러 가지 변화는 느낄 수 없을 정도로 서서히 암석내에서 변화되어 간다(Goodman, 1976).

해수와 담수에 의한 암반풍화현상에서 공학적

물성변화의 차이점에 관한 연구는 차후에 해안개발에서 효율적인 암반정 및 지반 조사에 필요한 기초 자료구축에 도움이 될 것으로 사료된다.

## 2. 암석의 풍화작용

풍화등급별로 채취한 시료들에 대한 시험 결과 풍화 등급이 높을수록 SiO<sub>2</sub> 함량은 점차 감소하는 경향을 보이며, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, MgO, MnO, CaO 및 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 함량 또한 점차 감소하는 것으로 나타났다(백환조 외, 2000). 그리고, 암석은 열전도도가 낮기 때문에 암석 표면에서의 수축과 팽창이 반복되면 응력이 발생되고 결국은 암석 표면에서부터 파괴가 일어난다(신희순 외, 2000). 이러한 결과들은

1) 조선대학교 사원공학과  
접수일 : 2005년 3월 14일

암석의 물리·화학적 풍화에 의한 물성변화를 보여준다.

### 3. 인공풍화실험

#### 3.1 개요

인공풍화실험은 극단적인 환경을 인공적으로 조성하여 풍화현상을 발생시킴으로써 풍화를 가속화시키거나 풍화에 의한 석재의 성질 변화를 정량적으로 확인해 나가는 작업이 포함된다.

본 연구에서는 해수에 의한 암석의 풍화에 따른 공학적 특성의 변화를 보기 위한 연구이므로 암석 시료가 완전히 건조와 침수가 반복될 수 있는 주기로 구성하였다.

#### 3.2 시료의 지질학적 특성

시료 채취 지역은 전라북도 남원시 주생면 일대로 지질은 쥐라기 남원 화강암 중 흑운모 화강암과 반상화강암이 전반적으로 분포되어 있으며, 제 4기 충적층도 일부 구간에 분포하고 있다. 화강암은 각섬석을 전혀 함유하지 않은 흑운모 화강암으로 대부분 1-5mm의 입도를 이루고 중립질이 우세하며 부분적인 반정질을 이룬다. 반정의 크기는 1-3cm 정도이고, 국부적으로 유색 광물부가 피상을 이루며 엽리구조는 거의 발달 되지 않는다(김동학 외, 1984).

#### 3.3 시료의 준비

회수된 시험편으로부터 다각적인 실험을 위해 각각 ISRM 규정이나 ASTM 규정에 맞도록 절단 및 연마하여 인공풍화실험을 실시하였다(Fig. 1). 본 연구의 인공풍화실험은 24시간 과정을 1주기로 하며, 침수 12시간, 오븐건조 3시간, 대기건조 2시

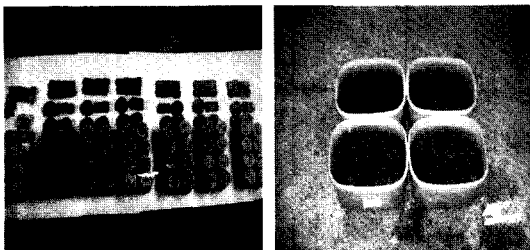


Fig. 1. Photograph of specimens.

간, 침수 3시간, 오븐건조 3시간, 대기건조 1시간으로 구성하였다.

해수와 담수를 사용하여 각각 12일 동안 6회(0일, 4일, 6일, 8일, 10일, 12일)에 걸쳐 각종 실내 물성시험을 실시하였다.

### 4. 인공풍화실험에 의한 실험 및 분석

#### 4.1 비중, 흡수율, 공극률 실험

실험절차는 국제암반역학회 표준실험 규정(suggested methods of ISRM, 1978)에 준하여 실시하였다.

해수와 담수에 의한 인공풍화 경과일수에 따라 비중, 흡수율, 공극률 실험 결과 흡수율이 상대적으로 뚜렷한 차이를 보이고 있다(Fig. 2, 3, 4).

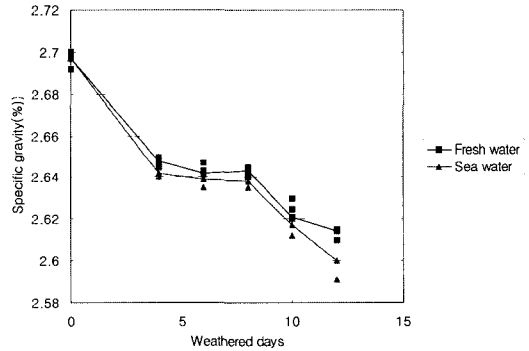


Fig. 2. Graph of specific gravity results.

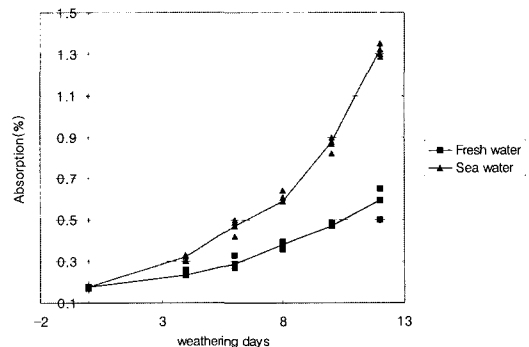


Fig. 3. Graph of absorption results.

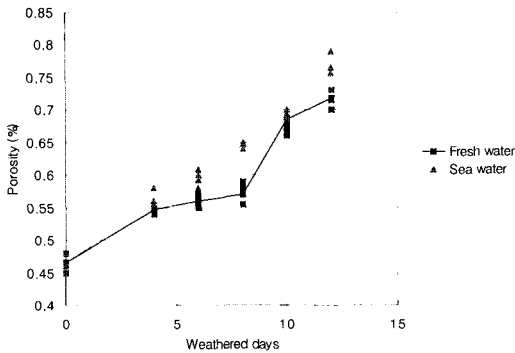


Fig. 4. Graph of porosity results.

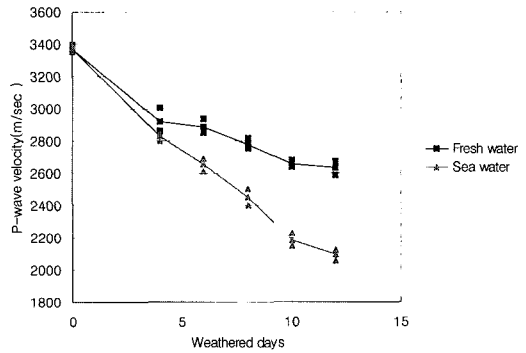


Fig. 5. Graph of p-wave velocity results.

**4.2 탄성과 속도 실험**

암석내의 탄성파(P-wave)속도는 암석의 내부 조직과 역학적 결함 등에 민감하게 반응한다. 암석의 구성광물과 입자의 크기, 질리의 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. 5와 같이 약 3,370m/sec~2,099m/sec까지 변화하였으며, 해수에 의한 실험 결과가 담수에 의한 실험 결과보다 더 많은 변화량을 보였다.

**4.3 Slake durability test**

Slake durability 실험은 풍화에 대한 내구성의 변화를 관찰하기 위하여 실시하였으며, 실험절차

는 ISRM기준에 준하여 실시하였다. 그 결과를 Table 1, 2에 나타내었다.

Fig. 6은 인공풍화도 진행에 따른 변화를 나타내었으며, 담수에 의한 내구도의 경우 4회 이후에도 값의 변화가 적었으며, 인공풍화가 진행될수록 그 변화량은 해수와 많은 차이를 보였다.

**4.4 Schmidt hammer test**

본 실험은 시료를 건조기(105℃)에서 24시간 이상 건조시킨 후 실험을 실시하였으며, V-block을 이용하여 시료를 고정시킨 이후, 일본 SANYO사의 N-type 자동 기록식 슈미트 해머 시험기를 사용하여 측정하였으며, 그 결과 반발치가 52~36.8까지 변화되었고, 해수에 의한 변화량이 담수에 의한 것보다 크게 나타났다(Fig. 7).

Table 1. Retained weight(%) of the rock lumps after slake durability with weathered date(fresh water)

weathered date (days)	sample weight (g)	retained after 1cycle (10minutes) dry wt.(%)	retained after 2cycle (10minutes) dry wt.(%)	retained after 3cycle (10minutes) dry wt.(%)	retained after 4cycle (10minutes) dry wt.(%)
0	460.2	99.81	99.5	98.98	98.72
4	492.3	99.80	99.47	98.72	98.08
6	410.5	99.75	99.44	98.65	97.83
8	466.0	99.7	99.06	98.22	97.95
10	451.8	99.51	98.78	97.92	96.83
12	436.9	99.40	98.02	97.15	95.84

Table 2. Retained weight(%) of the rock lumps after slake durability with weathered date(sea water)

weathering grades (days)	sample weight (g)	retained after 1cycle (10minutes) dry wt.(%)	retained after 2cycle (10minutes) dry wt.(%)	retained after 3cycle (10minutes) dry wt.(%)	retained after 4cycle (10minutes) dry wt.(%)
0	460.2	99.81	99.5	98.98	98.72
4	468.2	99.80	99.34	98.02	97.51
6	442.8	99.74	99.02	96.98	95.82
8	485.3	99.55	98.81	95.45	93.04
10	440.5	99.31	98.24	94.45	90.82
12	421.9	98.95	97.31	91.82	87.51

4.5 일축압축강도실험

인공풍화 경과일수별 일축압축강도의 결과는  $1628\text{kgf/cm}^2 \sim 1228\text{kgf/cm}^2$ 까지 변화를 보였으며, Fig. 8과 같이 해수에 의한 변화량이 담수에 의한 변화량보다 더 크게 나타났다.

암석의 풍화가 진행될수록 암석은 더 비탄성적인 거동으로 진행된다. 풍화가 진행되면 암석은 young's modulus 이 감소하는 경향을 보이며 응력이 증가함에 따라 변화율은 감소하는 경향을 보인다. young's modulus 비교하기 위해 일축압축 시험편에 국내 CAS사의 스트레인 게이지 (Model No : AE-11-TS50N -120-EC, 저항  $120\Omega$ , 길이 5mm)를 부착하여 각각 5회씩 실시하였으며, 미국 VISHAY사의 Model No : P-3500 변형률 지지자로 측정하였으며, 그 결과를 기록하여 Fig 9, 10, 11, 12, 13로 나타내었다.

인공풍화 일수가 증가할수록 영률은 점점 작아졌으며, 해수에 의해 풍화된 암석의 변형률이 담수에 의해 풍화된 암석의 변형률보다 더 크게 나타났다.

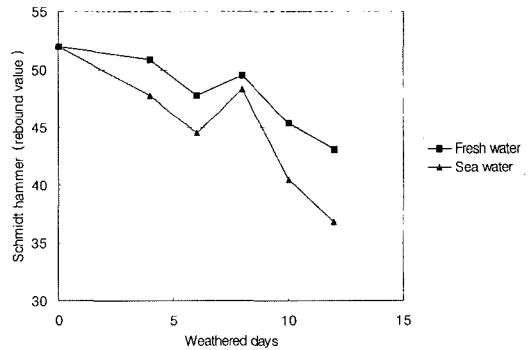


Fig. 7. Graph of avg. schmidt hammer rebound value.

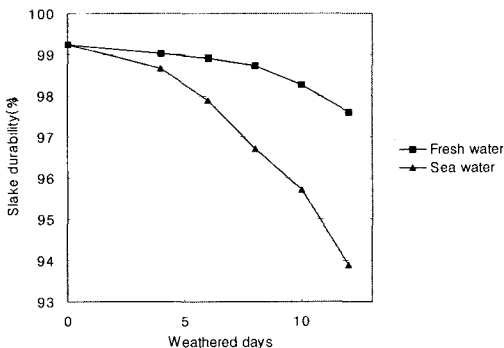


Fig. 6. Graph of avg. slake durability with weathered days.

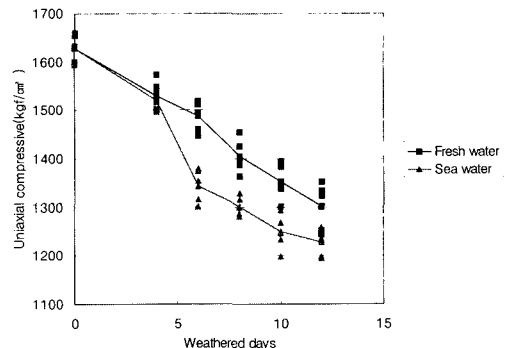


Fig. 8. Graph of uniaxial compressive test result.

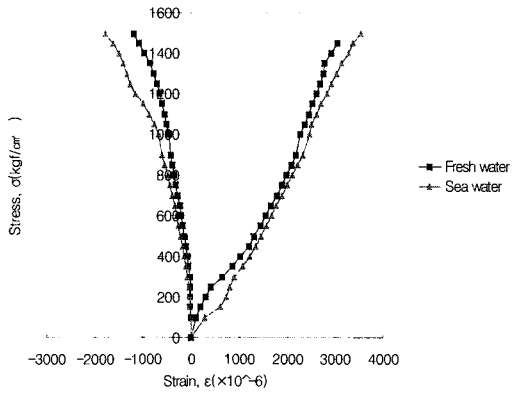


Fig. 9. Stress-strain curves for 4 days weathered.

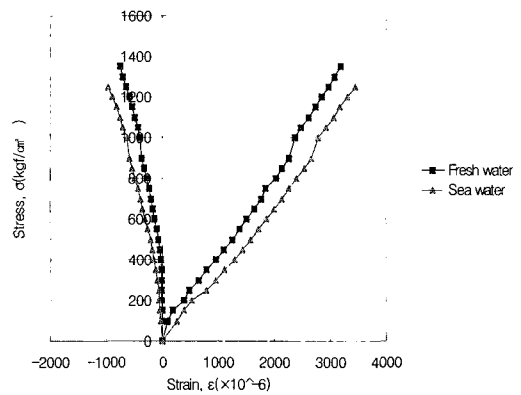


Fig. 12. Stress-strain curves for 10 days weathered.

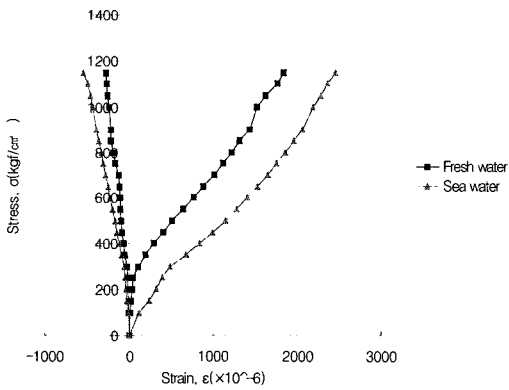


Fig. 10. Stress-strain curves for 6 days weathered.

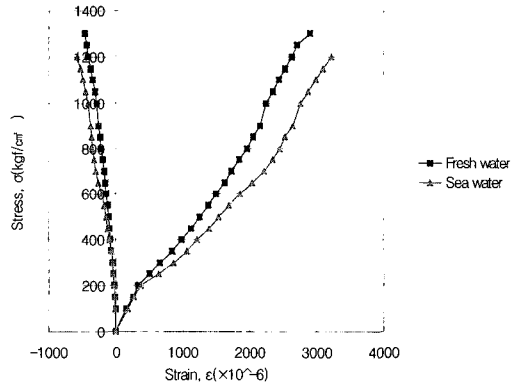


Fig. 13. Stress-strain curves for 12 days weathered.

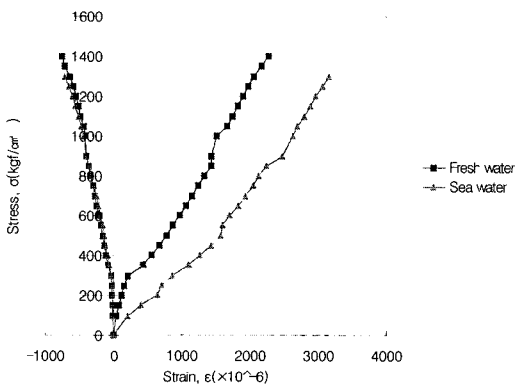


Fig. 11. Stress-strain curves for 8 days weathered.

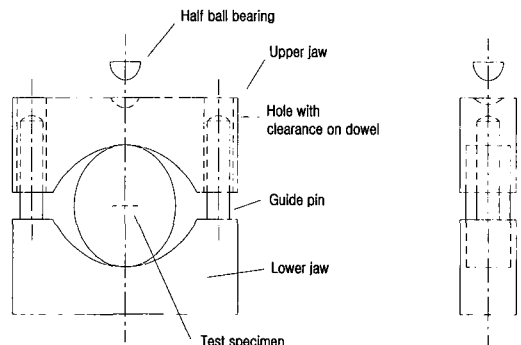


Fig. 14. Apparatus for brazilian test.

4.6 압열인장실험

압열인장실험의 하중을 재하 할 때 시편의 접촉 점이 평탄해지는 것을 방지하기 위해 Fig. 14와 같이 인장시험 전용 재하 장치를 사용하였다. 압열인장시험 결과를 Fig. 15에 나타냈으며, 130~96kgf/cm<sup>2</sup>의 변화량을 나타냈고, 해수에 의한 변화량이 담수에 의한 변화량보다 더 크게 나타났다.

4.7 삼축 압축 실험

암석의 강도정수를 결정하기 위해서는 목적에 맞는 응력 범위 내에서 충분한 종류의 구속압 하에서 실험을 실시할 필요가 있는데, 본 연구에서는 일축압축강도와 동일한 원주형 시험편을 삼축압축 챔버(tri-axial chamber)내에 놓고 고유압으로 주위에 일정한 하중 즉, 축압(confining pressure)을 가

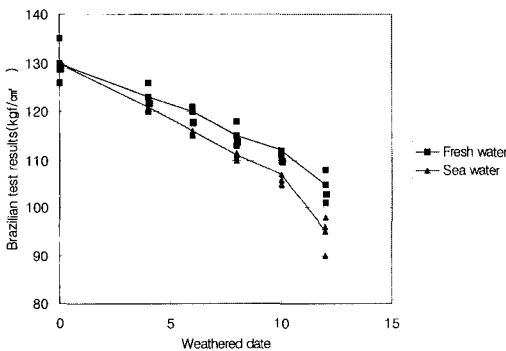


Fig. 15. Graph of brazilian teat results.

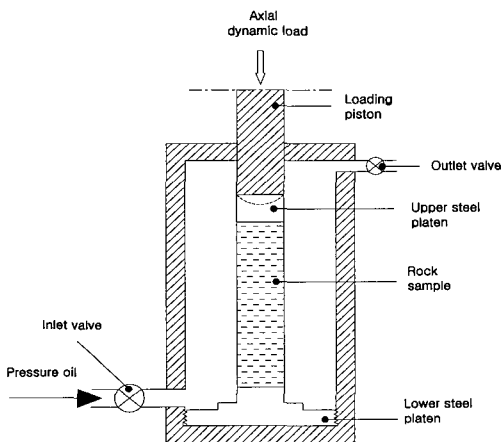


Fig. 16. Triaxial confining pressure cell.

한 후 일축압축에서와 같이 수직으로 하중을 가하여 파괴강도를 측정하였다(Fig. 16).

구속압은 유압 pump를 사용하여 재하하였으며, 각각의 시료에 대하여 구속압이 50, 100, 150kgf/cm<sup>2</sup>일 때의 삼축압축강도를 측정하였으며, 그 결과는 Table 3과 같다.

Table 3. Triaxial compressive strength

weathered days	con. pres. (kgf/cm <sup>2</sup> )	triaxial compressive test	
		fresh water	sea water
		max. Stress (kgf/cm <sup>2</sup> )	max. Stress (kgf/cm <sup>2</sup> )
fresh rock	50	2564	
	100	2782	
	150	3140	
4	50	2266	2364
	100	2721	2679
	150	3299	3025
6	50	2216	2359
	100	2683	2586
	150	3022	2912
8	50	2454	2523
	100	2873	2814
	150	3279	3290
10	50	2268	2082
	100	2603	2453
	150	2851	2722
12	50	2237	2008
	100	2448	2448
	150	2600	2690

암석의 파괴포락선으로부터 강도 정수인 내부마찰각( $\phi$ )과 점착력(c)을 결정하는 방법에는 직선과 포물선의 방법이 있는데, 직선을 사용하는 Mohr-Coulomb 조건의 경우 실제적인 면에서 다루기가 쉽고 적용성이 높아서 많이 이용된다(양형식, 2002).

점착력(c) 내부마찰각( $\phi$ )은 일축압축강도실험과 인장 실험값을 함께 이용하여 구하였으며, 실험 결과는 ROCSCIENCE 사의 ROCDATA프로그램을 이용하여 Mohr-Coulomb 조건으로 점착력과 내부마찰각을 도출하여 Table 4에 나타내었다.

Table 4. Results of cohesion & Internal friction angle

weathered date (days)	fresh water		sea water	
	cohesion (kgf/cm <sup>2</sup> )	internal friction angle(°)	cohesion (kgf/cm <sup>2</sup> )	internal friction angle(°)
0	274.95	55.20	274.95	55.20
4	256.29	55.44	254.95	55.18
6	248.46	55.22	241.71	55.09
8	239.38	56.40	228.19	54.98
10	235.88	55.11	221.40	54.59
12	227.99	54.12	208.59	52.94

5. 풍화에 따른 상관관계 비교

인공풍화실험의 시간이 지날수록 풍화도는 점점 증가하는 것을 알 수 있었고, 해수와 담수의 차이는 풍화도가 진행되면서 점차 그 차이가 벌어지는 것을 볼 수 있다.

Fig. 17~24에서와 같이 각각의 물성실험 값은 인공풍화가 진행됨에 따라 높은 상관관계를 보이고 있으며, 그 차이 또한 점차 커짐을 알 수 있다. 그러나 상대적으로 비중과 공극율은 그 변화량이 작았다.

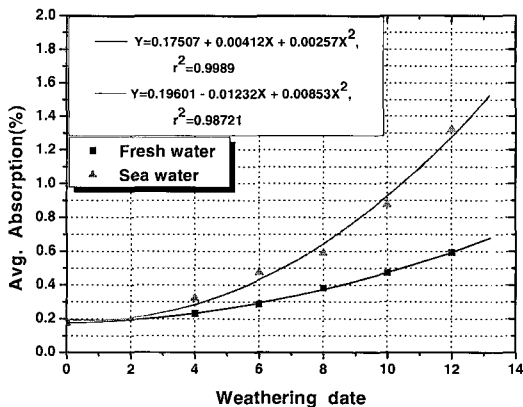


Fig. 17. Graph of relationship between absorption and weathered.

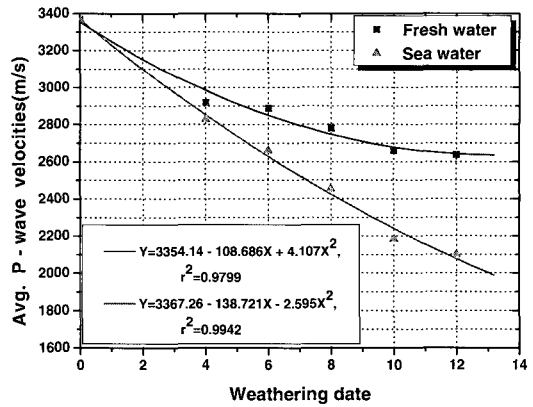


Fig. 18. Graph of relationship between p-wave velocity and weathered.

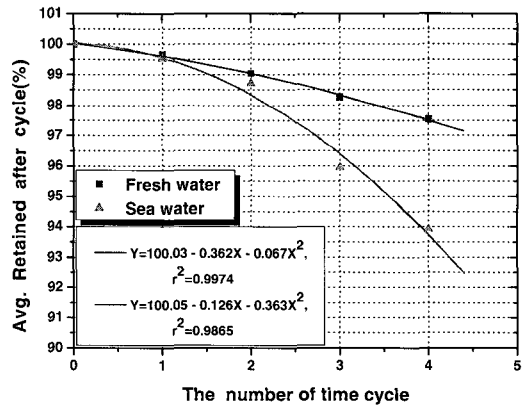


Fig. 19. Graph of relationship between slike durability retain after cycle results.

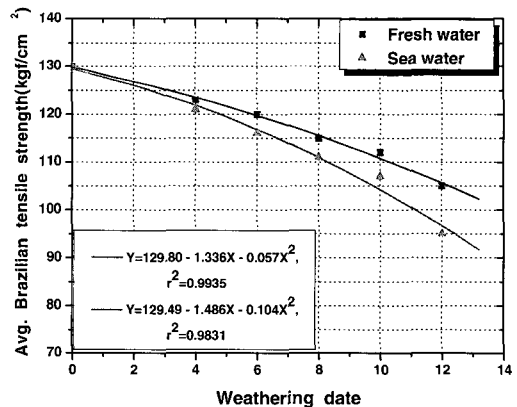


Fig. 20. Graph of relationship between brazilian test and weathered.

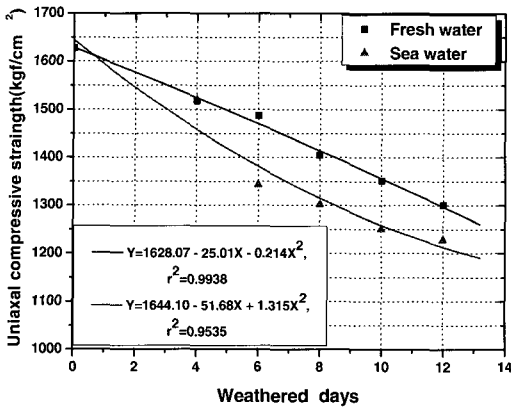


Fig. 21. Graph of relationship between uniaxial compressive strength and weathered.

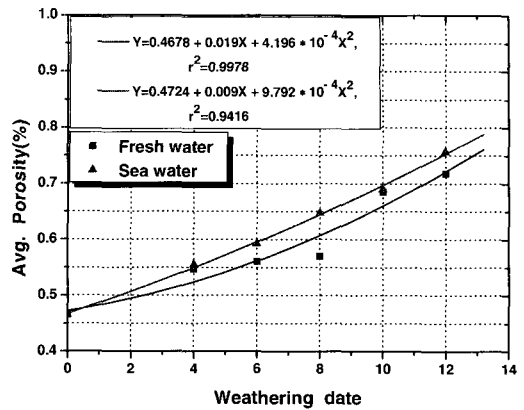


Fig. 24. Graph of relationship between porosity and weathered.

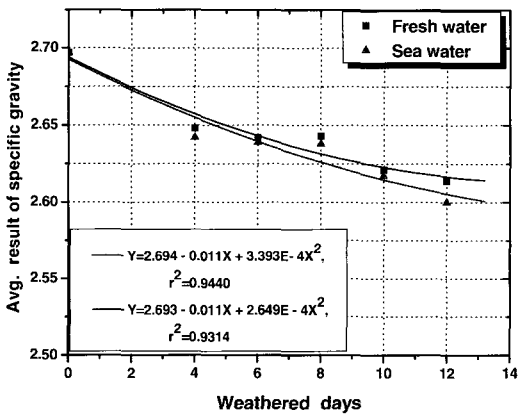


Fig. 22. Graph of relationship between specific gravity and weathered.

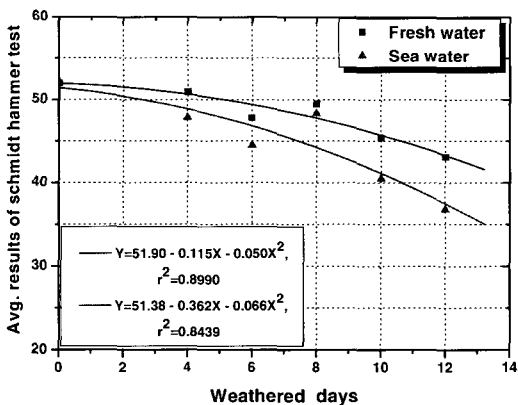


Fig. 23. Graph of relationship between schmidt hammer test and weathered.

## 6. 결론

암석의 해수와 담수에 의한 풍화환경에서 물성 변화 및 특성, 차이점을 연구하기 위해 인공풍화 실험을 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 인공풍화 경과 일수별 각종 물성실험을 실시한 결과 흡수율, p-wave, 내구도, 인장강도, 슈미트해머 반발치 등의 측정 결과가 경과일수가 지날수록 그 변화치를 뚜렷이 보여 풍화가 일어났다는 것을 알 수 있었다.

2) 해수와 담수의 인공풍화 경과 일수의 증가에 따른 물성 변화폭이 매우 큰 흡수율과 내구도는 암석을 석재로 사용할 때 해안에서는 해수에 의한 풍화작용을 고려해야 하고 지속적인 관리가 필요함을 보여주고 있다.

3) 일축압축실험에 따른 변형거동을 고찰한 결과 풍화가 진행될수록 영률은 감소했으며, 해수에 의한 풍화가 담수에 의한 풍화보다 그 변화량은 더 컸다. 이것은 해수에 의한 풍화가 담수에 의한 풍화보다 비탄성적인 거동으로 전이됨을 나타내고 있다. 또한 흡수율과 공극율의 변화도 해수에 의한 풍화가 담수에 의한 풍화보다 더 변화량이 크게 나타나 암석의 균열이나 공극에 영향을 주고 있음을 보여주고 있다.



4) 해수와 담수에서의 풍화에 의한 암석의 변형 특성을 고찰한 결과 시간이 지남에 따라 그 영향은 담수에 비해 해수에 의한 풍화가 증가함으로써 상당한 차이를 보이고 있다. 뿐만 아니라 그 결과들은 서로간의 높은 상관관계를 보여줌으로써 좀더 오랜 시간의 연구로 해수에 의한 풍화도를 추정할 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구의 결과 현재 내륙지역에서 사용되어지는 기초 지반에 대한 평가 및 관리, 공사의 규정을 해안지역에서 똑같이 사용되기는 힘들 것으로 보여지며, 해안지역의 암반에 대한 평가는 내륙 지방 암질의 평가와 같이 일부 지역에서의 실험 결과에 의해 판단하는 것은 많은 오류를 내포할 수 있다는 것을 보여주며, 해안가 주변 환경에 따른 다양한 지역에서의 실험 및 평가가 필요하고 관리 또한 지속적으로 이루어져야 함을 보여준다.

#### 참고문헌

1. 김동학, 이병주, 1984, 1/50,000 "남원지질도폭 설명서", 한국동력자원연구소.
2. 김용필, 정경환, 송용선, 1997, 지반공학 시험법 및 응용, 세진사.
3. 신희순, 선우춘, 이두화, 2000, 토목기술자를 위한 지질조사 및 암반분류, 구미서관, 서울.
4. 이부경, 1998, 암석역학의 원리, 대윤, 서울.
5. 이수근, 1993, 화강암의 풍화, 지질학회지, Vol. 29, No. 4.
7. 양형식, 이희근, 2002, 암석역학, 서울대학교 출판부, 서울.
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.
9. ISRM, 1981, Basic geotechnical description of rock masses, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. and Geomecha. Abstr., Vol. 18, No. 1, pp. 87-110.
10. ISRM, 1981, Rock characterization testing and monitoring : ISRM Suggested Method, Pergamon Press.