

## 해남 공룡화석지 퇴적암의 물리적 성질: 처트 함량과의 관계

### Physical Properties of Sedimentary Rocks containing Dinosaur Trace Fossils in the Haenam: A Relationship with Chert Content

조현구 (Hyen Goo Cho)\* · 김수진 (Soo Jin Kim)\*\* · 장세정 (Sae Jung Chang)\*\*

\* 경상대학교 지구환경과학과  
(Department of Earth and Environmental Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea,  
E-mail: hgcho@gsnu.ac.kr)

\*\* 서울대학교 지구환경과학부  
(School of Earth and Environmental Sciences, Seoul national University, Seoul 151-742, Korea)

요약 : 해남 공룡축훈화석을 포함하고 있는 퇴적암의 보존 방안을 연구하기 위하여 물리적 성질을 조사하였다. 9개의 시료를 선택하여 실내 실험을 통하여 공극률, 공극비, 건조 밀도, 함수비 및 포화도를 계산하였다. 3점꺾임강도는 만능재료시험기를 이용하여 측정하였고, 열팽창률은 팽창계를 사용하여 측정하였다. 우항리 퇴적암은 매우 낮은 공극률, 공극비 및 함수비를 가진다. 셰일의 3점꺾임강도는 24.16~42.84, 사암은 16.34~43.52 N/mm<sup>2</sup>로써 일반적인 퇴적암에 비하여 매우 낮다. 우항리 암석의 공극률이 작음에도 불구하고 강도가 낮은 이유는 미세한 열극이 암석 시료 내 여러 곳에 산재하여 있기 때문으로 생각된다. 열팽창률은 14.7~21.3×10<sup>-6</sup> 범위인데, 이 값은 알루미나에 비하여 2~2.5배, 활석에 비하여 약 10배 정도 큰 값이다. 사암의 경우 처트의 양이 많을수록 공극률, 공극비와 함수비는 증가하며, 건조 밀도와 포화도는 작아진다. 처트를 함유한 사암은 포함하지 않은 사암에 비하여 공극률과 열팽창률이 월등하게 높아서 강도가 낮다.

주요어 : 공룡화석, 처트, 공극률, 함수비, 3점꺾임강도, 열팽창률

**ABSTRACT** : The physical properties of Uhangri sedimentary rocks were investigated to provide the conservation strategy of Dinosaur trace fossil in the Haenam. The porosity, void ratio, dry density, water content, and degree of saturation were calculated according to the proper laboratory experiments for 9 sedimentary specimens. The flexural strength (or modulus of rupture) and thermal expansion coefficient were measured using the universal testing machine and dilatometer, respectively. The Uhangri sedimentary rocks have very low porosity, void ratio, and water content. The flexural strength of shales are 24.16~42.84, and those of sandstones are 16.34~43.52 N/mm<sup>2</sup>, which are much weaker than common sedimentary rocks. The very low flexural strength of sedimentary rocks despite very low porosity, is ascribed to fine fissures in the rocks. The thermal expansion coefficient of rocks were 14.7~21.3×10<sup>-6</sup>, which are 2~2.5 times as high as alumina and about 10 times as high as talc. As the content of chert in the sandstone increases, the porosity, void ratio, and water content increase, while the dry density and degree of saturation decrease. The chert-bearing sandstone have higher porosity and thermal expansion coefficient, and lower flexural strength compared to those free of chert.

**Key words** : Dinosaur trace fossil, chert, porosity, water content, flexural strength, thermal expansion coefficient.

서 언

전라남도 해남군 황산면 우항리 공룡화석지는 1992년 손진담 등(1992)에 의하여 처음 발견된 이후 허민 등(1997)에 의하여 자세한 고생물학적-층서적 연구가 수행되었다. 이러한 연구 결과 이 지역에는 매우 많은 공룡발자국화석, 익룡발자국화석, 새발자국 화석 등이 발견, 발굴되어 그 학술적 가치가 국내외적으로 인정받게 되었다. 우항리 공룡화석지는 이와 같은 학술적 중요성 때문에 1999년 천연기념물 제394호로 지정되었다.

공룡발자국화석을 포함하고 있는 우항리층은 우항리 지역에서는 금호호 남쪽 호안을 따라 약 6.5 km에 걸쳐 단속적으로 노출되어 있다. 이 중에서 공룡발자국화석이 발견되어 발굴된 지역은 약 450 m이다. 발굴된 공룡, 익룡, 새발자국 화석지는 제1지구, 제2지구 및 제3지구로 구분되는데, 각 지구의 연장은 각각 100 m, 110 m 및 99 m 이다(허민과 전승수, 1999). 제2지구는 익룡-새발자국지역과 공룡발자국 지역으로 구분되며, 제3지구는 I지역과 II지역으로 세분된다.

그러나 공룡화석지는 발굴 이후 지하에 있던 부분이 대기에 노출되면서 비바람 등에 의하여 그 표면이 조금씩 훼손되어가고 있다. 이번 연

구는 공룡화석지를 영구히 보존하는 방안을 마련하기 위한 기초 연구의 일환으로 공룡화석을 포함하는 퇴적암들의 물리적 성질 즉, 공극률, 밀도, 강도, 열팽창률, 수분함량 및 포화도 등을 조사하는 것이 목적이다. 특히 암석 내에 포함된 처트 함량과 퇴적암의 물리적 성질 사이에 어떤 관계가 있는가를 밝히는 것이 가장 큰 목적이다.

연구 재료 및 방법

우항리 지역 퇴적암의 물리적 성질 측정에 사용된 시료는 전부 9개로써, 공룡 또는 새발자국을 포함하는 화석층의 상부와 하부 지층에서 채취하였다. 공극률 및 밀도 측정에는 8개의 시료를, 3점 꺾임 강도와 열팽창률 측정에는 9개 시료를 사용하였다. 물리적 성질 측정에 사용된 시료의 특징은 표 1과 같다.

암석 전체 부피에 대한 공극의 부피 비율을 공극률이라고 하는데, 공극률 측정은 다음과 같은 절차에 따라 측정하였다(Brown, 1981).

- ① 시료를 가로, 세로, 높이 30×30×30 mm의 정육면체로 만들었다. 실험의 정확도를 기하기 위하여 각 시료 당 3개의 시편을 제작하였다.
- ② 시편의 가로, 세로, 높이를 버니어 캘리

Table 1. Sample description

Sample Name	District/Zone	Stratigraphic level	Rock type
A	District 3/ Dinosaur track II	the right upside rock containing trace fossils	light gray sandstone
B	District 3/ Dinosaur track II	the underneath rock containing trace fossils	light gray sandstone with mudstone
C	District 3/ Dinosaur track I	the right upside rock containing trace fossils	brownish gray sandstone with shale
D	District 3/ Dinosaur track I	the underneath rock containing trace fossils	dark gray shale
E	District 2/ Pterosaur-Bird track I	the right upside rock containing trace fossils	light gray sandstone with chert
F	District 2/ Pterosaur-Bird track I	the underneath rock containing trace fossils	dark gray shale
G	District 1/ Dinosaur track	the underneath rock containing trace fossils	dark gray shale
H	District 1/ Dinosaur track	the upside rock containing trace fossils	white sandstone and chert
I	District 2/ Dinosaur track	the upside rock containing trace fossils	dark gray sandstone

퍼스로 정확하게 측정하여 부피를 계산(V) 하였다. 가로, 세로, 높이의 측정은 정육면체 6개의 면을 대상으로, 양 쪽 끝 부분과 중간 부분을 각 3회씩 측정한 평균값을 부피 계산에 이용하였다. ③ 시편을 물이 들어있는 용기 안에 넣은 후, 암석 내의 공극에 물을 주입하기 위하여 800 파스칼(6 토르) 이하의 진공도를 가진 진공 펌프를 이용하여 1시간 이상 포화시켰다. 이 때 기포를 제거하기 위하여 주기적으로 저어주었다. ④ 시편을 꺼낸 후 축축한 천을 이용하여 표면을 건조시켰다. 표면에 부착된 물만 제거할 수 있도록 주의하였으며, 어떤 조각도 분실되지 않게 주의하여 물로 포화된 시편의 무게(saturated-surface-dry mass, Msat)를 측정하였다. ③과 ④ 과정은 3회 반복하여 실험의 정확도를 기하였다. ⑤ 건조기에서 105℃로 24시간 동안 건조한 후, 데시케이터에서 30분 동안 냉각시킨 후 무게를 측정하였다. 이것은 입자의 무게(grain mass, Ms)인데, 이 과정 역시 3회 반복하여 실시하였다.

공극률과 공극비는 다음과 같은 식에 의하여 계산하였다.

$$\text{공극의 부피(pore volume), } V_v = [M_{sat} - M_s] / \rho_w$$

$$\text{공극률, } n = (V_v / V) \times 100(\%)$$

$$\text{공극비(void ratio), } e = V_v / V_s = V_v / (V - V_v) = n / (1 - n)$$

( $\rho_w$ , 물의 밀도;  $V_s$ , 암석 구성 입자의 부피) 함수비(water content)는 암석을 구성하는 고체 입자만의 무게에 대한 수분의 무게비를 의미하며, 백분율로 표시한다. 함수비(w)는 다음과 같이 정의된다.

$$w = M_w / M_s \times 100(\%)$$

( $M_w$ , 공극수의 무게,  $M_s$ ; 암석 입자의 무게)

포화도(degree of saturation)는 공극의 전체 부피에 대한 함유된 수분의 부피 비로 정의되며, 백분율로 표시한다. 포화도(s)는 다음과 같은 식으로 정의된다.

$$s = V_w / V_v \times 100(\%)$$

( $V_w$ ; 공극수의 부피,  $V_v$ ; 공극의 부피)

포화도가 100이면 공극은 물로 완전히 채워져 있고 그 속에 공기가 없는 상태를 나타낸다. 암석 내 함수비는 다음과 같은 방법에 의하여 측정하였다(Brown, 1981). ① 뚜껑이 달린 용기를 깨끗하게 세척하여 건조시킨 후 무게를 측정하였다(무게 A). ② 시료를 30×30×30 mm의 정육면체 형태로 만들었다. 각 시료 당 3개

의 시편을 제작하였으며, 공극률 측정에 사용된 시편을 그대로 사용하였다. ③ 시편을 용기에 넣은 후 무게를 측정하였다(무게 B). ④ 용기 뚜껑을 열고 105℃에서 건조시킨 후 ⑤ 시편을 30분 동안 데시케이터에서 냉각시킨 후 무게를 측정하였다(무게 C).

퇴적암의 함수비와 포화도는 다음과 같은 식에 의하여 계산하였다.

$$\text{함수비, } w = (B - C) / (C - A) \times 100(\%)$$

$$\text{포화도, } s = V_w / V_v \times 100 = 100 \times (w \times d) / (n \times \rho_w)(\%)$$

(d, 건조 밀도; n, 공극률;  $\rho_w$ , 물의 밀도)

암석의 강도는 인장 강도, 압축 강도 등 여러 가지 방법으로 측정이 가능하지만, 이번 연구에서는 암석의 3점 꺾임 강도(flexural strength 또는 modulus of rupture)를 측정하였다. 3점 꺾임 강도는 시편을 일정 거리로 배치한 두 지점 위에 놓고, 지점 사이의 중앙의 한 점에 하중을 가하여 꺾어질 때의 최대 굽힘 응력을 의미한다.

3점 꺾임 강도는 한국산업규격 고기능 요업 제품의 꺾임강도 시험 방법(KSL 1591, 산업자원부, 1984)에 따라 다음과 같이 실시하였다.

① 시료를 암석절단기를 이용하여 단면이 직사각형인 기둥 모양의 시편을 제작한 후 각 면이 평탄하게 되도록 연마하였다. 시편은 두께, 너비, 높이가 3, 4, 40 mm 정도 되게 만들었다. 이 때 높이는 최소 너비의 5배 이상이 되도록 하였다. 가공된 시편은 버니어 캘리퍼스를 이용하여 두께, 너비, 높이를 정밀하게 측정하였다. 시료 당 시편은 2~5개를 제작하였다. ② 지점 사이의 거리는 버니어 캘리퍼스를 이용하여 25.0 mm가 되도록 조절하였다. ③ 시편의 하중점에 크로스헤드 속도 0.5 mm/min의 하중을 가하여, 시편이 파괴될 때까지의 최대 하중을 측정한다. 3점 꺾임 강도는 경상대학교 공과대학에 있는 만능재료시험기를 사용하여 측정하였다.

암석의 열팽창률은 시료를 지름 약 5 mm, 길이 약 20 mm의 원기둥 모양으로 가공하여 팽창계(dilatometer)에서 상온에서부터 1,000~1,150℃까지 가열하면서 시료 길이의 변화를 표준물질과 비교하면서 측정하였다. 경상대학교 무기재료공학과에 있는 팽창계를 이용하였으며, 표준물질로 알루미나(alumina)를 사용하였다. 알루미나는 온도에 따라  $8.1 \times 10^{-6}$ 씩 일정하게 길이가 팽창되므로 표준물질로 이용된다.

결 과

밀 도

공극률

암석 내에 있는 공극은 강도(strength)를 저하시키고, 변형도(deformability)를 증가시킨다. 즉, 암석 내에 포함되어 있는 적은 양의 공극이라도 암석에 대하여 상당한 기계적 약화 효과를 유발시키므로, 암석 물질의 공극 특성에 관한 정보는 암석의 기계적 특성이 필요한 분야에서는 중요한 인자로 작용하게 된다.

우항리 지역 퇴적암의 공극률과 공극비를 구한 결과는 표 2과 같다. 8개 시료의 공극률은 1.46~9.45%, 공극비는 0.01~0.07로써, 매우 낮은 공극률과 공극비를 나타낸다. 셰일은 입자 크기가 작고 치밀하기 때문에 사암에 비하여 훨씬 작은 값을 가진다. 사암은 셰일보다 큰 공극률을 가진다. 특히 처트를 함유하는 암석(시료 E와 H)이 처트를 포함하지 않은 암석보다 훨씬 큰데, 처트를 가장 많이 포함한 시료 H의 공극률이 가장 크다. 일반적으로 셰일은 공극률이 1~10%, 사암은 25~50% 정도(한정상, 1997)인데 비하여 우항리 지역 암석들의 공극률은 매우 낮음을 알 수 있다.

암석의 단위 부피당 무게를 밀도라고 하며, 일반적으로 건조시켰을 때의 밀도를 건조 밀도(dry density) 또는 단순히 밀도라 표시한다. 우항리 지역 퇴적암의 밀도 측정은 공극률 실험을 통하여 구하였으며, 건조 밀도  $d = Ms/V$ 의 식으로부터 구하였다. 우항리 지역 퇴적암의 경우, 셰일의 밀도는 2.45~2.54 g/cm<sup>3</sup>의 범위에 해당하며, 이 값은 일반적인 셰일과 비슷하다(한정상, 1997). 우항리 지역 사암의 평균 밀도는 2.29~2.52 g/cm<sup>3</sup>로써 일반적인 사암보다는 비교적 큰데, 그 이유는 공극률이 매우 낮은데 기인한 것으로 여겨진다. 우항리 지역 사암의 경우 처트를 포함하는 것은 공극률이 다소 크기 때문에 그렇지 않은 사암에 비하여 밀도가 다소 낮게 측정되었다.

일반적으로 사암의 공극률이 셰일보다 크며, 건조밀도가 클수록 공극률은 감소한다. 사암의 경우 건조밀도와 공극률 사이의 역비례관계가 매우 뚜렷하게 나타나지만, 셰일은 오히려 건조 밀도와 공극률이 정비례관계를 보여주는데, 시료의 수가 3개 밖에 안되므로 정확한 판단은 내리기가 힘들다(그림 1A).

**Table 2.** Average porosity, void ratio, dry density, water content, and degree of saturation of Uhangri sedimentary rocks

Sample Name	Rock type	Number of sample	Porosity (%)	Void ratio	Dry density (g/cm <sup>3</sup> )	Water content (%)	Degree of saturation (%)
A	sandstone	3	3.66	0.04	2.41	0.57	37.58
B	sandstone (mudstone)	2	3.10	0.03	2.52	0.38	30.92
C	sandstone (shale)	3	4.18	0.04	2.48	1.02	62.16
D	shale	3	2.67	0.03	2.54	0.65	66.73
E	sandstone (chert)	3	6.68	0.07	2.36	1.00	35.88
F	shale	3	1.92	0.02	2.53	0.60	79.76
G	shale	2	1.46	0.01	2.45	0.50	83.86
H	sandstone, chert	3	9.45	0.10	2.29	0.69	16.63
Average			4.14	0.04	2.45	0.67	51.69

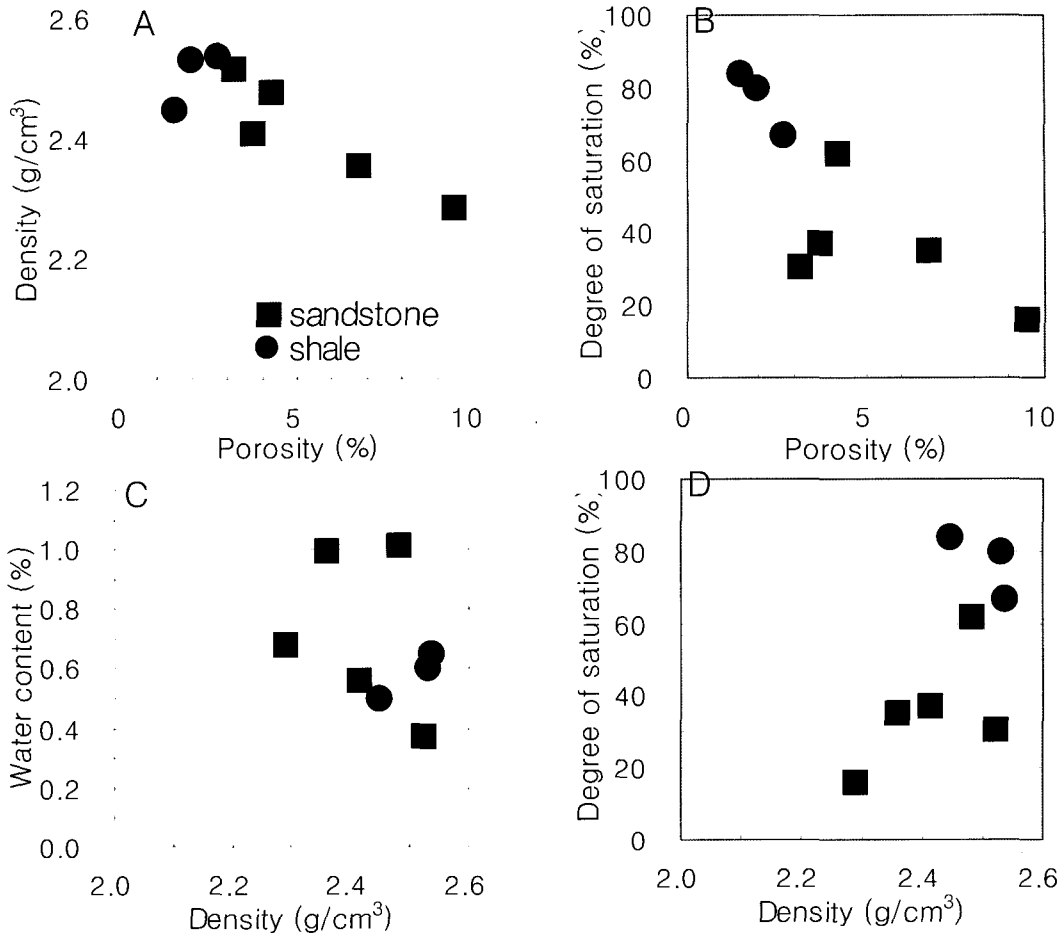


Fig. 1. Diagrams showing the relationship between (A) porosity vs. dry density, (B) porosity vs. degree of saturation, (C) dry density vs. water content, and (D) dry density vs. degree of saturation.

함수비

함수비와 포화도를 계산한 결과는 표 2에 제시되어 있다.

우항리 퇴적암의 함수비는 0.38~1.02%이며, 포화도는 16.63~83.86%이다. 사암의 경우 찰트를 포함하는 사암의 함수비는 0.69~1.00%로서 찰트를 포함하지 않은 사암의 수분 함량 0.38~1.02%에 비하여 높은 함수비를 가지며, 셰일은 2가지 사암의 중간 함수비를 가진다. 우항리 퇴적암의 함수비가 이렇게 낮은 이유는 공극률이 매우 낮는데 기인한 것으로 생각된다.

찰트를 포함하는 사암의 포화도는 16.63~35.88%로서 찰트를 포함하지 않은 사암의 포화도 30.92~62.16%에 비하여 낮은 포화도를 가

진다. 특히 찰트를 포함하지 않고 셰일을 포함하는 사암은 다른 사암에 비하여 매우 높은 포화도를 가진다. 셰일의 포화도는 66.73~83.86%로서 사암에 비하여 월등히 높은 포화도를 가지고 있다. 즉 우항리 퇴적암의 포화도는 찰트의 양에는 반비례하고 점토의 양에는 비례하는 관계를 가진다는 사실을 알 수 있다.

사암의 경우 함수비가 높을수록 포화도 역시 증가하지만, 셰일의 경우 함수비가 높을수록 포화도는 감소하는 경향을 가진다. 셰일의 경우 공극률과 함수비는 정비례 관계를 보여주지만, 사암의 경우에는 뚜렷한 양상을 알아보기가 힘들다. 그러나 공극률이 증가할수록 포화도는 암석의 종류에 상관없이 감소하는 것을 알 수 있다(그림 1B). 즉 공극률이 큰 암석일수록 함수

비는 많지만, 공극을 채우는 비율은 작다.

사암의 경우 건조 밀도와 함수비 사이의 역비례관계는 뚜렷하게 나타나지만, 세일의 경우 정비례관계를 보여준다(그림 1C). 사암의 경우 건조 밀도가 증가하면 포화도는 같이 증가하지만, 세일의 경우에는 건조 밀도가 증가하면 포화도는 감소하는 경향을 나타낸다(그림 1D).

### 3점 꺾임 강도

3점 꺾임 강도( $\sigma$ )는 다음과 같은 식에 의하여 산출하였다.

$\sigma = (3PL)/(2\omega t^2)$  ( $\sigma$ , 3점 꺾임 강도(Mpa)(N/mm<sup>2</sup>); P, 시편이 파괴되었을 때의 최대 하중(N); L, 지점간의 거리(mm);  $\omega$ , 시편의 너비(mm); t, 시편의 두께(mm))

세일의 꺾임강도는 24.16~42.84 N/mm<sup>2</sup>범위이고, 사암은 16.34~43.52 N/mm<sup>2</sup>로 나타난다(표 3). 사암의 경우 하나의 시료만 제외하고 세일에 비하여 매우 약한 강도값을 가짐을 알 수 있으며, 특히 처트를 포함하는 사암은 훨씬 더 작은 강도를 보여준다. 측정된 시료의 암석 강도는 알루미늄의 강도에 비하여 1/200~1/300 정도로 매우 낮다. 우항리 암석의 공극률은 일반적인 퇴적암보다 작음에도 불구하고 암석 강도가 이렇게 낮게 나타나는 이유는 강도 측정 시 하중을 가한 지점을 따라 깨어지는 것이 아니라 다른 방향을 따라 깨어지기 때문이다. 즉 미세한 열극이 암석 시료 내 여러 곳에 산재하여 있기 때문에 이 열극을 따라 깨어져 매우 낮은 암석 강도를 가진다. 결론적으로 우항리 암석의 강도는 보통의 고체 물질에 비하여 매우 낮고, 그 이유는 암석에 발달한 크고 작은 열극 때문이다.

공극률이 클수록 암석의 꺾임강도는 작아지며, 암석의 종류에 관계없이 이런 관계가 성립된다(그림 2A). 건조밀도가 클수록 꺾임강도는 대체로 증가하지만, 세일의 경우 반대되는 현상을 관찰할 수 있다. 일반적으로 3점 꺾임 강도가 클수록 함수비는 감소하고 포화도는 증가하는 경향을 보여준다(그림 2B). 사암의 경우 3점 꺾임 강도와 함수비는 반비례관계가 명확하게 나타나지만, 3점 꺾임 강도와 포화도 관계는 불명확하다. 이에 반하여 세일은 3점 꺾임 강도와 함수비 사이의 반비례관계 및 3점 꺾임 강도와

**Table 3.** Average flexural strength of Uhangri sedimentary rocks

Sample name	Rock type	Number of sample	Flexural strength (N/mm <sup>2</sup> )
A	sandstone	2	36.65
B	sandstone (mudstone)	2	43.52
C	sandstone (shale)	2	23.59
D	shale	2	24.16
E	sandstone (chert)	2	22.65
F	shale	2	42.84
G	shale	2	40.42
H	sandstone, chert	2	17.32
I	sandstone	5	16.34

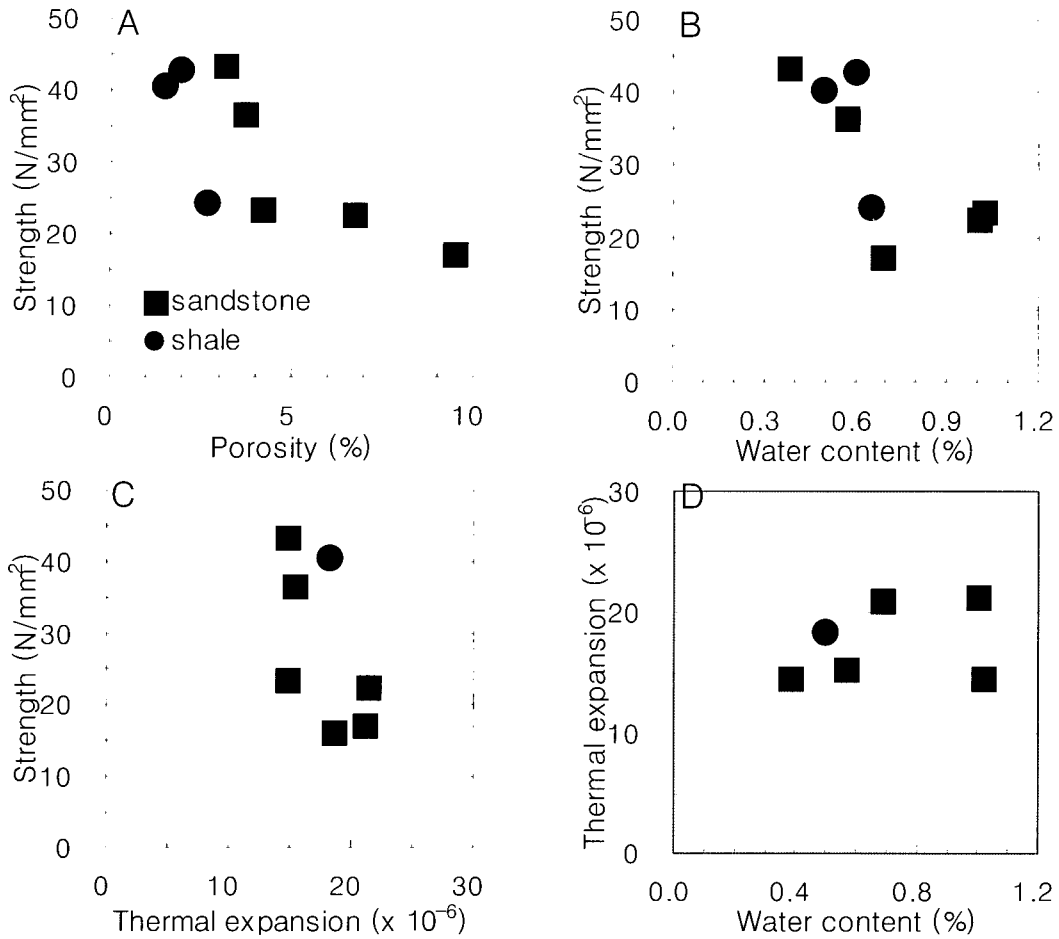
포화도 사이의 정비례 관계가 아주 잘 보여진다.

### 열팽창률

시료 I의 열팽창률 측정 결과(그림 3)를 보면 610°C까지는 가열함에 따라 시료의 늘어난 길이는 표준물질인 알루미늄에 비하여 더 큼을 알 수 있으며, 최대 팽창 온도인 610°C에서 길이가 알루미늄보다 0.22 mm 더 늘어났음을 알 수 있다. 그러나 610°C 이상의 온도로 가열하면 알루미늄보다 팽창한 길이가 줄어들음을 알 수 있다. 최대로 늘어난 온도인 610°C까지의 열팽창률을 계산하면  $18.9 \times 10^{-6}$ 으로서(표 4) 알루미늄에 비하여 열팽창률이 2배 이상 크다.

시료 A는 630°C까지 알루미늄보다 더 많이 팽창하지만, 그 이상의 온도로 가열하게 되면 오히려 부피가 줄어든다. 시료 B도 A와 같은 양상으로 변화하며, 최대팽창온도는 613°C이다. 시료 C는 682°C까지 알루미늄보다 많이 팽창하다가 그 이상의 온도에서는 약간 수축한 후 다시 팽창하였다. 시료 D와 F는 알루미늄보다 많이 팽창하지만 고온으로 가열할 경우 균열을 따라 깨어지므로 정확한 열팽창률 변화를 측정할 수 없었다. 시료 E는 690°C까지 계속 팽창하다가 약간의 수축을 보인 후 다시 팽창하였다. 시료 G와 H는 각각 667°C, 636°C까지 계속 팽창하다가 그 이상의 온도에서는 수축하였다.

우항리 시료의 최대팽창온도와 그 온도까지의 열팽창률을 계산한 결과는 표 4에 나타나 있



**Fig. 2.** Diagrams showing the relationship between (A) porosity vs. flexural strength, (B) water content vs. flexural strength, (C) thermal expansion coefficient vs. flexural strength, and (D) water content vs. thermal expansion coefficient.

다. 열팽창률은  $14.7 \sim 21.3 \times 10^{-6}$  범위를 가지는데, 쳐트를 함유한 시료인 E와 H가 특히 열팽창률이 크다. 표준물질인 알루미늄의 열팽창률이  $8.1 \times 10^{-6}$  인 점을 생각하면, 우항리 시료는 알루미늄에 비하여 가열할 경우 팽창하는 정도가 2~2.5배 크다. 천연광물인 활석에 비하여 약 10배 정도 큰 열팽창률을 가진다.

여러 암석들의 대표적인 열팽창률(Clark, 1966)을 보면 화성암이 가장 낮고, 퇴적암과 변성암이 다소 높은 값을 가진다. 사암의 일반적인 열팽창률은  $10 \times 10^{-6}$ 인데 비하여 우항리 지역 사암은  $14.7 \sim 21.3 \times 10^{-6}$ 으로서, 우항리 지역 사암의 열팽창률이 월등히 높음을 알 수 있다.

사암의 경우 공극률이 클수록 열팽창률이 크

며, 특히 쳐트를 함유한 사암은 포함하지 않은 사암에 비하여 공극률과 열팽창률이 월등하게 높았다. 건조밀도가 클수록 열팽창률은 감소하는 관계를 보여주며, 3점취임강도가 클수록 열팽창률은 감소하는 관계를 가지고 있다(그림 2C). 함수비가 증가하면 열팽창률은 대체로 증가하는 경향을 보이며, 포화도가 증가할수록 열팽창률도 증가하는 경향을 가진다(그림 2D).

### 결론

이번 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 우항리 퇴적암은 매우 낮은 공극률과 공극비를 나타낸다. 사암의 평균 밀도는 2.29~2.52 g/

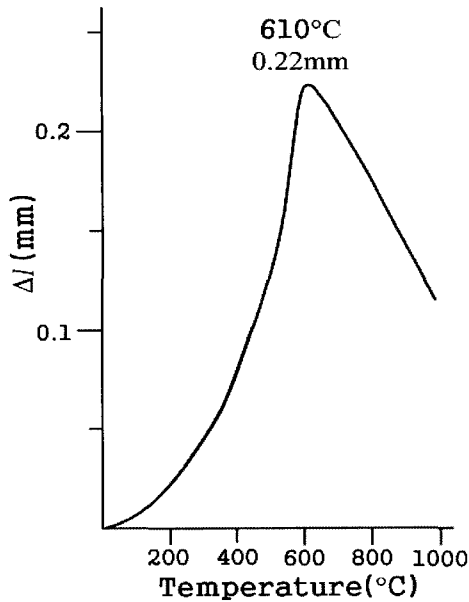


Fig. 3. Thermal expansion curve of sample I.  
\* Δl = length of sample-length of standard alumina

Table 4. Thermal expansion coefficients of Uhangri sedimentary rocks

Sample name	Rock type	Max. expansion temp.(°C)	Thermal expansion coefficient( $\times 10^{-6}$ )
A	sandstone	630	15.3
B	sandstone (mudstone)	613	14.7
C	sandstone (shale)	680	14.7
E	sandstone (chert)	690	21.3
G	shale	667	18.3
H	sandstone, chert	636	21.0
I	sandstone	610	18.9
Talc			2.28
Standard (alumina)			8.1

cm<sup>3</sup>로써 일반적인 사암보다는 훨씬 큰데, 그 이유는 공극률이 매우 낮는데 기인한 것으로 여겨진다.

2. 함수비는 0.38~1.02%이며, 포화도는 16.63~83.86%이다. 우항리 퇴적암의 함수비가 이렇게 낮은 이유는 공극률이 매우 낮는데 기인한 것으로 생각된다.

3. 공극률이 높을수록 함수비는 증가하고, 포화도는 감소한다. 즉 공극률이 큰 암석일수록

함수비는 많지만, 공극을 채우는 비율은 작다.

4. 셰일의 쥐임강도는 24.16~42.84 N/mm<sup>3</sup> 범위이고, 사암은 16.34~43.52 N/mm<sup>3</sup>로 나타난다. 우항리 암석의 공극률이 작은데에도 불구하고 강도가 낮은 이유는 미세한 열극이 암석 시료 내 여러 곳에 산재하여 있기 때문으로 생각된다.

5. 우항리 퇴적암의 열팽창률은 14.7~21.3  $\times 10^{-6}$  범위인데, 이 값은 알루미나에 비하여 2~2.5배, 활석에 비하여 약 10배 정도 큰 값이다.

6. 처트의 양이 많을수록 공극률, 공극비와 함수비는 증가하며, 건조밀도와 포화도는 작아진다. 처트의 양과 강도는 반비례 관계를 나타내며, 처트의 양과 열팽창률은 정비례 관계를 가진다.

사 사

이 연구는 전라남도 해남군의 '해남 공룡화석지 보존방안 학술연구' 용역에 의하여 지원되었다. 이 연구를 수행하는 동안 실내 실험과 야외 조사를 도와준 경상대학교 지구환경과학과 여러 학생들에게 감사의 뜻을 전한다.

참 고 문 헌

산업자원부 (1984) 한국산업규격 KSL 1591: 고기능 오염제품의 쥐임강도 시험 방법.  
손진담, 박영훈, 오재호, 정태진, 허대기, 유명재, 손병국, 권석기, 김학주, 이영주 (1992) 서해안 백악기 퇴적분지의 석유잠재 평가 기초연구. 과기처 기본과제 연구보고서. KR-91B-11, 85p.  
한정상 (1997) 지하수환경과 오염. 박영사, 1071p.  
허민, 임성규, 전승수, 천득염 (1997) 해남 우항리 공룡발자국 화석 학술연구 보고서. 전남대학교 기초과학연구소, 전라남도 해남군, 117p.  
허민, 전승수 (1999) 해남 우항리층의 공룡화석과 퇴적상. 대한지질학회 '99 춘계답사 안내서, 대한지질학회, 135p.  
Brown, E.T. (ed.) (1981) Rock Characterization, Testing and Monitoring. ISRM Suggested Methods. International Society for Rock Mechanics, Pergamon Press.  
Clark, S.P. Jr. (ed.) (1966) Handbook of Physical Constant. The Geological Society of America, INC. Memoir 97, 687p.

2002년 5월 22일 원고접수, 2002년 6월 3일 게재승인.