

## 제주도 해안에 분포하고 있는 바다모래의 특성 및 활용성 연구

남정만 · 박진영 · 홍종완

제주대학교 해양과학부 토목환경공학전공

### A study on the Characteristics and Application characteristics of Cheju Island's Beach Sands

Jung-Man Nam, Jin-Young Park and Jong-Wan Hong

Major of Civil and Environmental Engineering, School of Ocean Science, Cheju National University,  
Jeju Special Self-Governing Province 690-756, Korea

This investigation is sea-sand of Jeju island seashore enforce chemical analysis and basic a property of matter test(XRF, XRD) for used to building-aggregate to concrete a property of matter. I want to data which feature of sea-sand and apply construction-aggregate to each year survey particle size of sea-sand and salt-content to sand and washed sand of EEZ, using sea-sand concrete compressive strength of salt-content variation, shell-size and compressive strength of shell-size and variation after concrete.

I've surveyed physical-chemical characteristic of sea-sand and possibility about it can be construction aggregate. Through this experimental consideration, I've gotten these conclusions.

- (1) It can be divided to three kind of sands which were located in Jeju seashore. One is silicate sand including  $\text{FeO}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  another is carbonate sand including  $\text{CaO}$ , LOI and the other sand mixed with silicate and carbonate those are proofed as a chemical analysis. As a result of photographing XRD and SEM the most substance of silicate sand is Feldspar those particle is sharp, hole is small and carbonate sand is calcite and particle is round shaped, developed an opening.
- (2) Specific gravity of ocean sand follows in the picking area. It shows a difference, concrete fine aggregate's general specific gravity is inside standard(2.5~2.8) mostly, granularity size is minuteness but, Case of Sang-mo sand. It compares in the different area, The size of the particle appeared highly.
- (3) The result of compressive strength for use construction aggregate which made from sand, Sang-mo sand's compressive strength is higher than standard strength and I-ho sand's strength is similar to standard strength.  
And the sand of four area(Pyo-sun, Guem-newng, Hwa-soon, Sam-yang) is lower than standard strength. In this case it is good that use a mixture which consist of river sand and rubble.

- (4) A result of a strength test a size of shell in ocean's sand hasn't an effected on intensity.
- (5) Chlorination is included at sea-sand reinforcement as early stage strength, because of make cement hydration. It use much of chlorination, on the contrary that make deterioration strength.

**Key words** : XRF, XRD, construction aggregate, Feldspar, standard strength,

## 서 론

건설구조물의 대형화, 고층화와 더불어 정부의 주택건설사업의 지속적 추진 등은 골재의 수요 증가를 가져왔으며, 아무런 대책 없는 무분별한 소비로 이제는 하천골재를 구하기가 쉽지 않게 되었다. 이에 따라, 건설공사의 기본소재인 골재수급이 현안과제로 떠오르게 되었다. 최근에는 이러한 문제를 해결하기 위하여 석산을 개발하거나, 바다모래의 사용이 급증하고 있다. 특히, 바다모래는 80년대 중반부터 사용되는 걸로 조사되고 있으나, 이런 골재의 사용이 기본적인 적용상의 고려 없이 사용되고 있다는 점에서 문제가 발생되고 있으며, 바다모래의 이용기술과 이용 확대방안에 대한 연구 또한 매우 미미한 상태이다.

바다모래와 하천사의 가장 큰 차이점은 염분의 유무이다. 염분을 함유한 바다모래는 일반 하천사와는 다른 입도 및 입형을 가진 것으로 알려져 있다. 또한, 바다모래에는 필연적으로 조개껍질이 포함되어 있어, 조개껍질의 함유량과 크기분포에 따라 강도에 영향을 미친다고 한다. 이러한 특성은 콘크리트 성질 전반에 부정적인 영향을 미치게 되므로 콘크리트용 골재로서 바다모래를 사용하기 위해서는 바다모래가 콘크리트 구조물에 미칠 수 있는 문제점들에 대한 충분한 실험을 거친 후 사용하여야 할 것으로 판단된다.

본 연구는 사면이 바다로 둘러 쌓인 제주 해안의 바다모래의 공학적 특징과 바다모래를 콘크리트용 잔골재로 사용 가능여부를 확인하기

위하여 남, 북 각 지역 6개 지점에서 바다모래를 채취하여 그 품질을 시험하고, 바다모래에 함유되어 있는 염화물과 Shell 함유량에 의한 압축강도 시험을 통하여 하천사와 바다모래를 비교 검토함으로써, 제주도 바다모래가 콘크리트 잔골재로 이용가능한지를 알아보는데 있다.

## 실험내용

### 실험방법

제주도에 분포하고 있는 바다모래의 입경과 색이 각각 다르다. 바다모래의 생성과정과 환경적 요인에 따라 그 화학적, 물리적 특징이 다를 것으로 보이며 따라서 본 연구에서는 각 모래의 주요 성분을 알고자 XRF(X-ray Fluorescence Spectrometry)를 이용하여 화학분석을 실시하였다.

그리고 제주도에 분포하고 있는 바다모래가 건설골재로 사용가능하진 여부를 판단하기 위하여 제주도에 분포하고 있는 바다모래 중에서 모래의 특성을 고려하여 6개 지역에 채취했다. 그리고 6개 지역과 비교하기 위해 EEZ지역에 세척사를 사용하였다.

6개 지역 바다모래 및 EEZ지역이 바다모래의 비중 및 흡수량 시험은 KS F2504(잔골재의 비중 및 흡수량 시험방법), KS F2511(골재에 포함된 잔입자 시험방법), 입도시험은 KS F2502(골재 체가름 시험방법), 염분함유량 시험은 KS F2512(염화물 함유량 시험방법), 바다모래에 포함된 조개껍질은 5mm이하, 5~13

mm이하로 구분해서 체로 쳐서 Shell을 구분하였다. 그리고 염분량측정은 염분측정기를 사용하였다.

또한, 바다모래를 콘크리트용 잔골재로 사용할 경우, 조개껍질 및 염분을 함유하고 있기 때문에 콘크리트에 영향을 받게 되므로, 채취한 바다모래를 사용하여 콘크리트 배합설계를 하고 콘크리트의 공기량 및 슬럼프시험을 실시하였다. 배합 설계에 따라 소정의 재령까지 표준양생(수중, 공기)한 공기체에 대하여 압축시험을 하고 조개껍질크기를(5mm이하, 5~13mm)이하로 함유량을 각각 0%, 2.3%, 8%로 변화를 주고, 염분함유량을(0, 0.02, 0.06, 0.10, 채취 시 바다모래의 염분량%) 변화 시켜 콘크리트에 미치는 영향을 살펴보았다.

### 실험 결과

#### 제주도에 분포하고 있는 바다모래의 특성

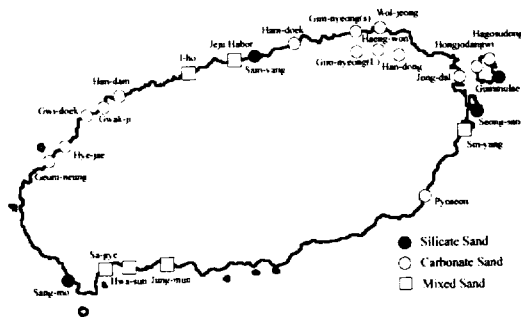


Fig. 1. Distribution of classified sand.

제주도에 분포하고 있는 바다모래의 입경과 색이 각각 다르다. 바다모래의 생성과정과 환경적 요인에 따라 그 화학적, 물리적 특징이 다를 것으로 보이며 따라서 본 연구에서는 각 모래의 주요 성분을 알고자 XRF(X-ray Fluorescence Spectrometry)를 이용하여 화학분석을 실시하였다.

XRF는 X-ray를 쬐서 전자를 여과 시키면서 빈자리가 생기고 이 빈자리를 다른 전자들이 채워지는데, 전자들의 에너지는 물질에 따라 다르며, 물질 내에서도 모든 전자의 에너지 Level이 다르다. 따라서 빈자리를 채워주는 전자에 의해 방출되는 빛(Fluorescence)이 다른 걸 이용하여 물질의 구성성분을 알 수 있게 하는 화학시험방법이다. XRF 분석 결과, 제주도 해안지역에 분포하고 있는 모래의 주요 구성성분은  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ , CaO와 시료를  $950^{\circ}C$ 의 온도로 태워 손실되는 휘발성 성분을 나타내는 LOI가 주를 이루고 있다. 특히 삼양, 상모지역의 모래들은 등  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ 의 함유량이 많은 모래인 경우 CaO와 LOI의 함유량이 낮고 반면 금능, 표선 등 CaO와 LOI의 함유량이 높은 모래인 경우 반대로  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ 의 함유량이 낮게 나타났으며, 화순, 이호 등의 모래는  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ 의 함유량과 CaO와 LOI의 함유량이 비슷하거나 CaO, LOI의 함유량이 약간 높게 나타났다. 이 결과를 통해  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ 의 함유량과 CaO와 LOI의 함유량을 Fig. 2와 같이 나타내었다.

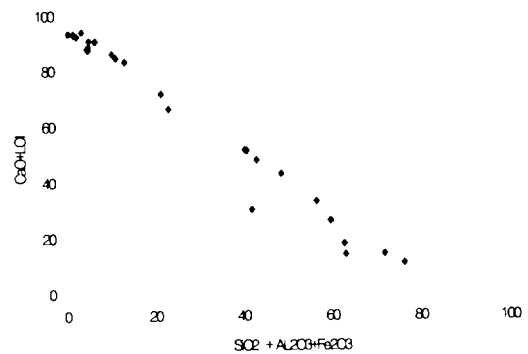


Fig. 2. Relation of  $(SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3)$  &  $(CaO+LOI)$  contents.

Fig. 2 결과,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ 의 함유량과 CaO와 LOI의 함유량에 따라 서로 상반관계(相反關係)를 나타내고 있다. 따라서 본 연구에서는

SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 함유량이 60 wt%이상이고 CaO와 LOI의 함유량이 20 wt%이하인 모래를 규산염 모래, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 함유량이 20 wt%이하이고 CaO와 LOI의 함유량이 80 wt%이상인 모래를 탄산염 모래, 그리고 이들 두 가지의 구성성분이 혼재하여 나타나는 모래를 혼재된 모래로 분류하였다. 그 결과 제주도 해안지역에 분포하고 있는 모래는 육성영역의 환경, 즉 주변지역의 암반층과 화산쇄설층이 강한 바람과 파도에 의해 풍화되어 형성된 규산염 모래와 해양영역이 우세한 모래인 경우 탄산염(CaCO<sub>3</sub>)이 주를 이루는 탄산염 모래, 그리고 이 두 가지의 특징이 혼재된 모래로 구분할 수 있었다.

### 규산염 모래(Silicate Sand)

#### 물리적 특성

규산염모래의 비중은 2.77~2.87로 일반적인 모래의 비중이 2.6~2.8보다 대체적으로 큰 값을 보이고 있다. 규산염 모래들의 색상을 육안으로 관찰한 결과 주로 현무암과 응회암과 비슷한 색상인 검정색이 주를 이루고 있으며, 간간히 조개껍질의 색상인 흰색도 관찰 할 수 있다.

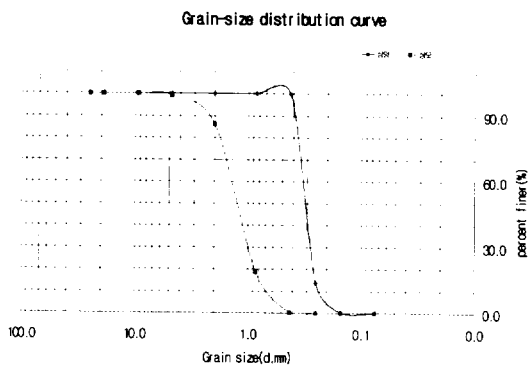


Fig. 3. Grain-size distribution curve of silicate sands.

#### 화학적 특성

제주도 해안지역에 분포하고 있는 모래 중 삼양, 상모, 우도의 검멜레, 성산 지역의 모래는 XRF 분석결과 SiO<sub>2</sub>는 36.82 wt%~49.48 wt%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 7.15 wt%~5.74 wt%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 10.76 wt%~18.87 wt%가 주를 이루고 있으며, 탄산염(CaCO<sub>3</sub>)의 함유량을 나타내는 CaO와 LOI인 경우는 10.47 wt%~17.51 wt%를 보여주고 있다. 이중 삼양과 상모지역에 분포하고 있는 모래 XRD(X-Ray Diffraction) 화학분석을 실시하였는데 XRD는 X-ray를 쬐서 그 물질의 원자들과 충돌로 인한 보강간섭을 측정함으로써 원자 간의 간격을 측정하여 결정성 물질을 알 수 있는 화학분석으로 그 결과 Fig. 4~5의 삼양과 상모의 주요광물은 Feldspar(장석, K, Na, Ca, Ba(Al, Si)<sub>4</sub>O<sub>8</sub>) Quartz(석영, SiO<sub>2</sub>)이 주성분을 이루고 있으며, Calcite가 미량 함유되어 있는 것으로 나타났다. 그리고 Fig. 6은 삼양, 상모지역 모래의 SEM촬영 사진이다. 사진결과 입자가 모지고 공극이 없는 것을 볼 수 있다.

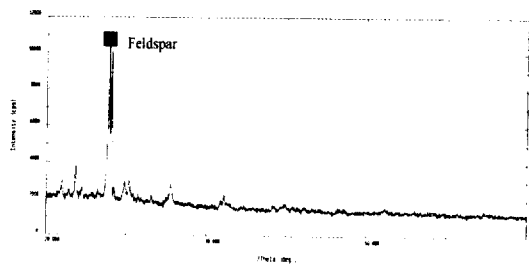


Fig. 4. XRD result of Sam-yang sand.

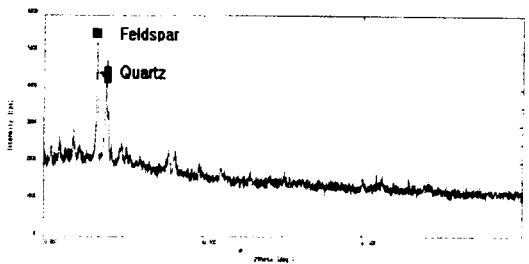


Fig. 5. XRD result of Sang-mo sand.

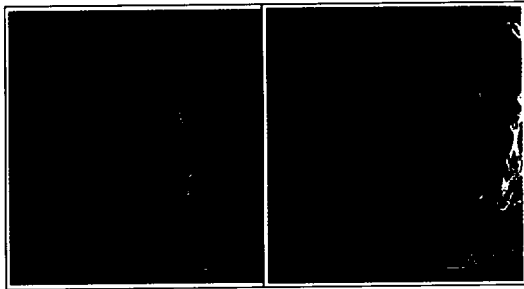


Fig. 6. SEM result of San-yang and Sang-mo sand.

제주도에 분포하고 있는 화산암의 XRF의 결과와 비슷한 경향을 보이고 있는 삼양, 상모, 검멜레, 성산지역의 모래가 형성된 지역을 보면 상모인 경우 송악산 응회환등 화산활동에 의해 형성된 지역의 주변 가까이에 분포하고 있으며, 특히 해안지역의 화산활동에 의해 분석구와 같이 생성된 현무암과 응회암등의 약한 화산암들이 강한바람이나 파도에 의해 풍화되어 연안에 퇴적 된 것으로 사료된다.

### 탄산염 모래(Carbonate sand)

#### 물리적 특성

탄산염( $\text{CaCO}_3$ ) 모래의 비중은 2.53~2.80이며, 금릉지역인 경우 조개껍질 같은 어패류가 다른 지역에 비해 큰 입경을 가지고 있었으며, 홍조

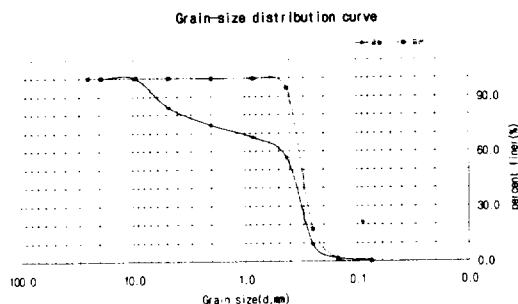


Fig. 7. Grain-size distribution curve of carbonate sands.

단괴인 경우 덩어리인 상태로 풍화가 덜 이루어진 것으로 사료된다. 탄산염 모래의 색상을 육안으로 관찰한 결과 주로 흰색 혹은 밝은 노란색을 띄고 있다.

#### 화학적 특성

탄산염모래들의XRF결과를 보면 82.7 wt%~93.7 wt%로 대부분을 차지하고 있으며, 규산염 모래들이 주를 이루는  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  은 0.4 wt%~13.1 wt%로 함유량이 적었으며, 이는 주변지역 화산암의 풍화로 인한 영향이 미비한 것으로 판단된다. 탄산염이 주를 이루는 모래 중 표선, 금릉, 광지의 XRD의 결과 주성분이 Calcite(방해석,  $\text{CaCO}_3$ ),소량으로 Analcime(방비석,  $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )과 Hematite(적철광,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )이 나타났다. Fig. 8~9는 제주도 해안지역에 분포하고 있는 탄산염 모래 중 금릉, 표선지역 모래에 대한 XRD의 결과이다. 그리고 Fig. 10은 금릉, 표선지역 모래의 SEM촬영 사진이다. 사진결과 입자가 둥글고 공극기 발달한 것을 볼 수 있다.

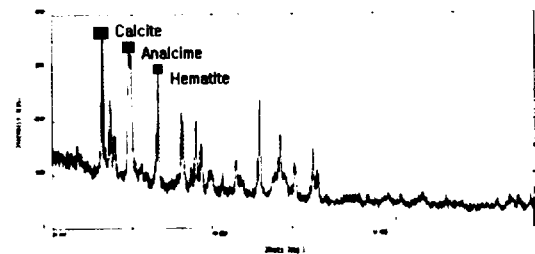


Fig. 8. XRD result of Geum-neung sand.

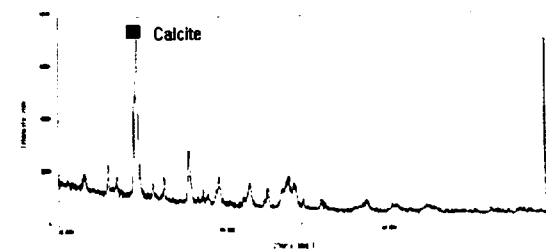


Fig. 9 XRD result of Pyoseon sand.

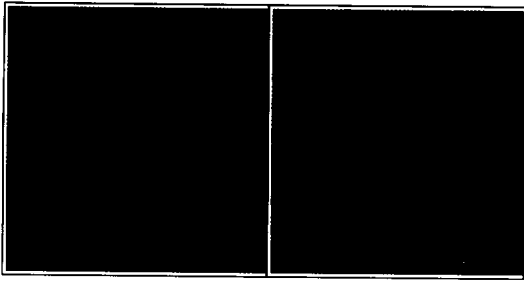


Fig. 10. SEM result of Geum-neung and Pyoseon sand.

**규산염과 탄산염이 혼재된 모래  
(Mixed sand)**

**물리적 특성**

풍화에 의해 형성된 모래와 탄산염( $\text{CaCO}_3$ ) 함유된 모래가 혼재된 모래의 비중은 2.7~2.84의 범위를 나타내며 Fig. 11의 입도분석을 보면 규산염 모래와, 탄산염 모래에 비해 모래의 입경이 비교적 균질한 것으로 나타났다.

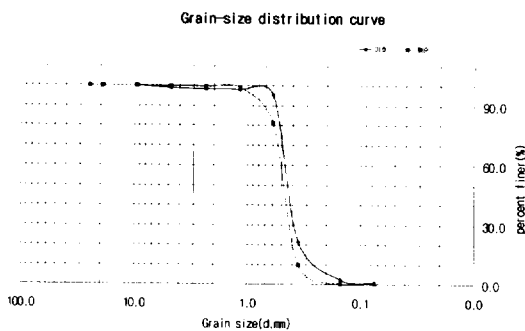


Fig. 11. Grain-size distribution curve of mixed sands.

**화학적 특성**

규산염과 탄산염이 혼재된 모래는 XRF분석 결과 풍화의 영향을 나타내는 비율은 21.22 wt%~56.22 wt%이고 이에 반면에 탄산염의 함유량은 30.00 wt%~71.23 wt%의 범위를 나타내고

있다. Fig. 12~13 제주도 해안지역에 분포하고 있는 탄산염모래 중 금능, 표선지역 모래에 대한 XRD의 결과이다. 화순모래인 경우 주성분은 Quartz(석영,  $\text{SiO}_2$ )이다. Feldspar(장석)가 상당량 함유되었으며 Calcite는 미량으로 나타났다. 이는 풍화된 모래에서 주성분을 이루는 Feldspar, Quartz와 탄산염모래의 주성분인 Calcite, Analcime(방비석), Hematite(적철광) 등이 동시에 나타나는 것을 알 수 있었다. 그리고 Fig. 14 금능, 표선지역 모래의 SEM촬영 결과 사진이다.

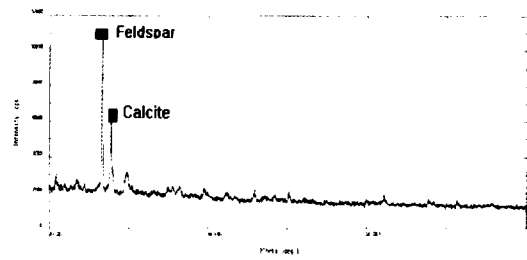


Fig. 12. XRD result of Hwa-sun sand.

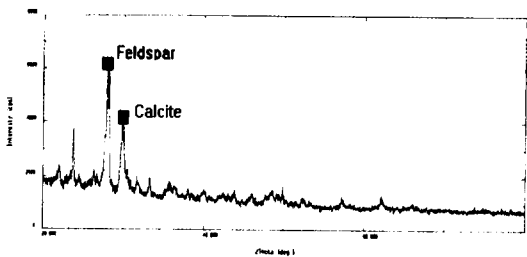


Fig. 13. XRD result of I-ho sand.

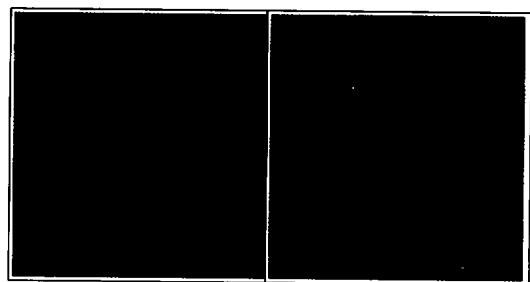


Fig. 14. SEM result of Hwa-sun and I-ho sand.

## 비교 분석

### 모래의 형성

본 연구에서 규산염 모래와 규산염과 탄산염이 혼재된 모래인 경우 분석구와 하천등 주변지역의 영향을 받은 것으로 사료된다. 탄산염 모래인 경우 조개껍질 등의 폐사의 형성이 유리한 지형에 분포된 것을 알 수 있다. 또한 북동부 일대(김녕~월정)의 내륙지방에 사구가 형성되었는데 이는 강한 바람에 의해 해안지역의 모래가 내륙 쪽으로 이동하여 형성된 것으로 이들 지역의 모래는 다른 탄산염 모래에 비해 비중이 낮고 모래의 입경이 작고 균질한 것을 알 수 있다. 그리고 Table 1은 모래의 형성을 나타낸 것이다.

Table 1. Formation characteristic of sands

Section	Location	Formation Characteristic
Silicate Sand	Sam-yang	River
	Sang-mo	Songak Mt. tuff ring
Carbonate Sand	Geum-neung	Formation due to wind
	Pyoseon	
Mixed Sand	Hwa-sun	Sanbang Mt., Yongmori scora cone
	I-ho	River

### 모래의 물리적 특징에 따른 분류

분류된 모래의 평균 비중을 보면 규산염 모래가 다른 모래에 비해 높은 경향을 보였다. 그리고 탄산염 모래인 경우는 2.71로 다른 분류된 모래에 비해 대체적으로 낮은 경향을 보였으나, 우도 지역의 모래인 경우 다른 탄산염 모래에 비해 2.53, 2.60으로 낮은 비중을 보였고, 북동부 일대의 모래들 또한 평균 2.69로 나타났으며, 그 외의 탄산염 모래인 경우 2.76으로 혼재된 모래와 비슷한 경향을 보이고 있다. 혼재된 모래인

경우 비중의 범위가 다른 모래에 비해 컸으며 특히 신양지역 모래인 경우 2.98로 다른 모래에 비해 큰 값을 보였으며, 상대적으로 중문·화순·사계지역의 모래는 2.70~2.72의 낮은 비중을 보였다. Table 2는 분류된 모래의 비중이며 다음과 같다.

Table 2. Specific gravity of classified sand

Section	Avg. Gs	Range of Gs	Note
Silicate Sand	2.85	2.78~2.87	Gs of general sands: 2.6~2.8
Carbonate Sand	2.71	2.53~2.80	Are of Udo: 2.53, 2.60
			Are of Northeast: Avg. 2.69
			others sand: Avg. 2.76
Mixed Sand	2.78	2.70~2.98	Sin-yang: 2.98

색상인 경우 규산염 모래는 대부분 제주도의 현무암과 비슷한 색상인 검정색이 주를 이루는 것을 알 수 있으며, 탄산염 모래인 경우 하얀색 또는 밝은 황색을 띄고 간간의 어패류에 의한 검정색이 발견 할 수 있었다. 혼재된 모래인 경우 어두운 황색 또는 어두운 노란색을 띄고 있으며 이는 암편에 의해 탄산염 모래에 비해 어두운 색상을 띄는 것으로 사료된다.

### 모래의 화학적 특성에 따른 분류

본 연구에서 XRF의 결과를 토대로 제주도 지층의 대표적인 구성성분인 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 함유량과 조개껍질과 패류의 주요 구성성분인 CaO, LOI의 함유량을 통해 규산염 모래와 탄산염 모래, 그리고 규산염과 탄산염이 혼재된 모래로 분류할 수 있었다. Table 3은 XRF와 XRD의 결과를 각 분류된 모래별로 나타낸 것이다.

Table 3. The Comparisons of XRF and XRD

Section	XRF		XRD
	SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO+LOI	
Silicate Sand	59.38~75.98	10.47~25.88	Feldspar, Quartz
Carbonate Sand	0.38~13.06	82.72~93.69	Calcite, Analcime, Hematite
Mixed Sand	21.22~56.22	30.00~71.23	Feldspar, Calcite, Analcime, Quartz, Hematite

규산염 모래인 경우 Feldspar(장석) 혹은 Quartz(석영)이 주성분을 이루고 있으며 Calcite(방해석)인 경우는 미량으로 함유된 것으로 나타났다. 반면 탄산염 모래인 경우 Calcite가 주성분을 이루고 있으며, 금릉지역인 경우 Calcite와 Analcime(방비석)이 거의 같은 양으로 존재하는 것으로 나타났으며 Hematite(적철광)는 소량의 함유를 나타내고 있다. 또한 규산염과 탄산염이 혼재된 모래인 경우 이들 Feldspar, Quartz, Calcite, Analcime, Hematite 이 동시에 나타나는 것으로 나타났으며 Quartz는 특히 화순, 상모지역 등 남서쪽 일대에 상당량이 함유된 것으로 나타났다. Hematite의 경우는 탄산염 모래(종달, 협재, 함덕, 표선, 김녕, 월정, 광지, 금릉)와 혼재된 모래(중문, 신양)에서 미량으로 함유되는 것으로 나타났다.

### 바다모래를 사용한 콘크리트의 물성

#### 물리적시험

EEZ지역의 세척사와 6개 지역의 Table 4는 바다모래의 물리적 시험 결과이다.

Table 4. The result physical properties of Jeju sea sand

구분	A-1	S-1	S-2	C-1	C-2	M-1	M-2
비중	2.59	2.87	2.78	2.77	2.70	2.83	2.70
통과율 (%)	No.4	100	100	99.3	84.0	100	99.8
	No.8	95.8	100	86.3	74.5	100	99.6
	No.16	82.1	100	18.7	67.8	99.9	99.1
	No.30	54.1	100	0.3	56.4	94.8	81.4
	No.50	15.3	13.7	0.0	9.3	17.5	9.9
	No.100	4.4	0.2	0.0	1.9	1.4	0.4
조립률	2.47	1.86	3.95	3.06	1.86	2.1	1.86
#200체 통과량 (%)	1.30	0.6	0.1	0.0	0.0	0.7	0.2
염분함유량 (%)	0.012	0.152	0.173	0.163	0.104	0.147	0.142
세척시 염분함유량 (%)	-	0.003	0.007	0.002	0.001	0.003	0.003

물리적 시험결과 측정된 비중 값은 콘크리트 표준시방서에서 잔골재에 대하여 권장한 비중의 범위인 2.50~2.80 내에 위치하고 있어 콘크리트용 잔골재로서 적절한 비중을 가진 것으로 보인다.

그리고 채취한 시료에 체분석 결과는 S-1, S-2, C-2, M-1, M-2 시료의 입자가 대부분 No.16~No.50체에 집중되어 단입자 및 세립의 경향을 나타내고 있다. 하지만 C-1(금능) 시료의 경우는 No.4~No.16체 편중하는 조립의 경향을 나타내었다. 조립률은 골재의 입도를 정량적으로 나타내는 기준으로 사용한다. KS품질기준에서 조립률의 범위는 2.3~3.1의 범위가 적절하다고 규정한다. 본 연구에 사용한 시료의 조립률은 대부분 1.8~2.1의 범위로 세립의 경향을 나타내고 S-2의 경우 조립률이 3.95서 콘크리트용 잔골재로서 부적절하며 C-1만이 규정하는 범위 안에 존재한다.



**압축강도시험**

**시험재료**

콘크리트 배합은 Table 5와 같으며, 콘크리트의 물성을 알아보기 위한 슬럼프시험은 KS F 2402(포틀랜드 시멘트 콘크리트의 슬럼프 시험방법), 공기량시험은 KS F 2421(굳지 않은 콘크리트의 압력법에 의한 공기함유량 시험방법), 압축강도시험은 KS F 2405(콘크리트의 압축강도시험방법)로 실시하였다.

**Table 5. Mixing design in concrete (21Mpa-25mm-8.5cm)**

G max (mm)	Slump (cm)	Air (%)	W/C	S/A	단위량(g/cm <sup>3</sup> )				
					C	W	S	G	AD
25	8.5	4.5±1.5	55.2	48	652	358	1692	1964	3.26

시멘트는 KS L5201에 적합한 D사의 보통 포틀랜드 시멘트를 가지고 시험하였다. 시멘트의 물성 결과는 Table 6와 같다.

**Table 6. The result physical and chemical properties of concrete**

시험 항목	결과	시험방법	
응결 시간	초결(min)	260	
	종결(h:min)	6:20	
압축 강도	3일	255	
	7일	318	
	28일	402	
분말도(cm <sup>2</sup> /g)	3,542	KS L 5201- ' 09	
안정도(%)	0.11		
강열감량(%)	1.8		
MgO(%)	2.4		
SO <sub>3</sub> (%)	2.4		
비중(g/cm <sup>3</sup> )	3.13		KS L 5110- ' 01

굵은 골재는 25mm이하의 쇄석을 사용하였다. 굵은 골재의 물성은 Table 7과 같다.

**Table 7. The result of physical properties aggregate**

항 목	KS 준거기준	시험 결과	시험방법		
입도	조립률(FM)	-	6.85	KS F 2502-'05	
입형	입형판정실적율(%)	55이상	58.1	KS F 2527-'02	
	단위질량(kg/ℓ)	-	1.551	KS F 2505-'02	
	실적율(%)	-	58.5		
물리적성질	밀도	절건밀도	2.50이상	2.65	KS F 2503-'02
		표건밀도	-	2.70	
		흡수율(%)	3.0이하	1.92	
		안정성(%)	12이하	3.83	KS F 2507-'02
	마모율(%)	40이하	18.0	KS F 2508-'02	
유해물질	0.08mm체통과량(%)	1.0이하	0.42	KS F 2511-'02	
	정도당어리함유량(%)	0.25이하	0.14	KS F 2512-'02	

**콘크리트 공시체의 제작 및 양생**

콘크리트 강도시험은 각각 재령 7일, 28일로 수중과 공기 양생하며 실험값은 각 타입마다 공시체 3개의 평균값으로 하였다. 강도시험용 공시체는 KS F2403(강도 시험용 공시체 제작방법)에 따라 Ø10-20 몰드를 사용하여 제작하였다.

다음의 Fig. 15~17은 공시체 제작에 따른 시험과정과 공시체 제작을 나타낸 사진이다. Fig. 15은 공시체 제작전 시멘트의 슬럼프 테스트과정을 나타낸 것이며, Fig. 16는 시멘트의 공기함유량을 테스트하는 것이다. 이런 과정을 거쳐 공시체를 제작하는데 공시체 제작은 Fig. 17과 같다.



Fig. 15. Slump test.



Fig. 16. Air content test.

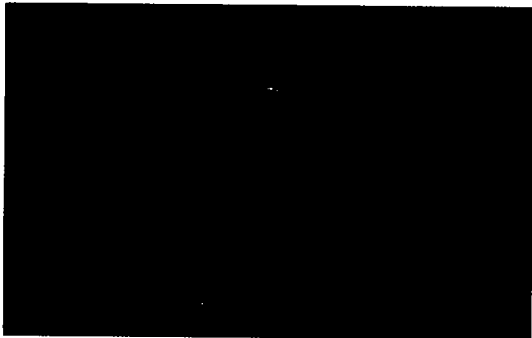
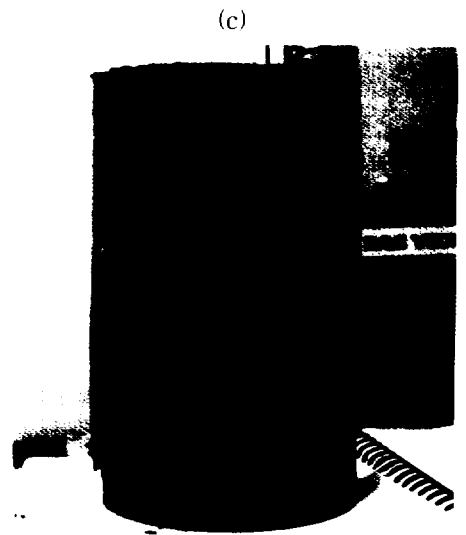
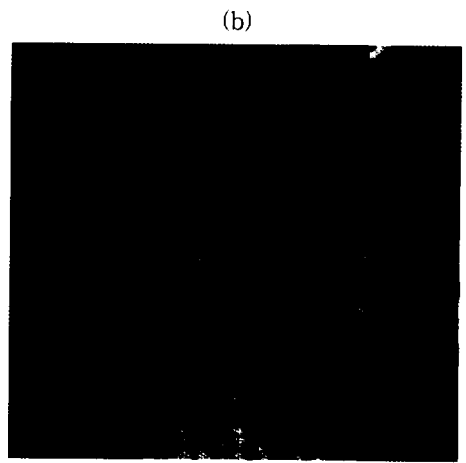
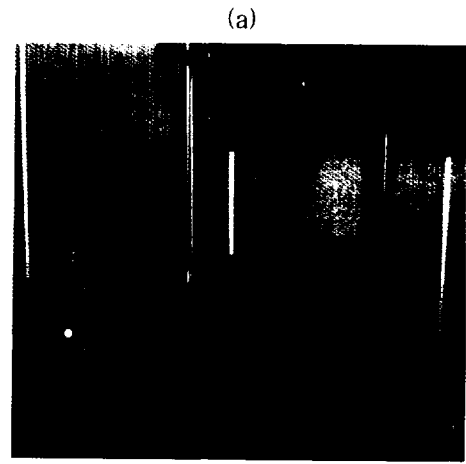


Fig. 17. Fabrication of specimen.

### 압축강도시험

압축강도시험은 만능재료시험기를 사용하여 실시하였으며 공시체는 약 500개정도 제작하였다. Fig. 18에 (a)는 압축강도시험기이며 (c)는 압축강도 파괴 후 공시체의 파괴단면을 나타낸 사진이다. (d)는 Shell을 포함하고 있는 공시체의 파괴단면이다.



(d)



Fig. 18. Compressive strength.

Fig. 19~20은 채취한 모래를 세척한 후 바다 모래를 사용한 콘크리트의 압축강도 시험결과이다. 공시체 제작시 압축강도를 210(kgf/cm<sup>2</sup>)로 제작하였으며, 수중과 공기 양생을 하였다. 28일 양생시 압축강도 결과 상모지역 모래는 279(kgf/cm<sup>2</sup>), 이호지역 모래는 215(kgf/cm<sup>2</sup>)로 EEZ지역 세척사와 유사하거나 높은 강도의 결과를 나타냈다. 나머지지역의 모래는 210(kgf/cm<sup>2</sup>)이하 강도가 나타났다.

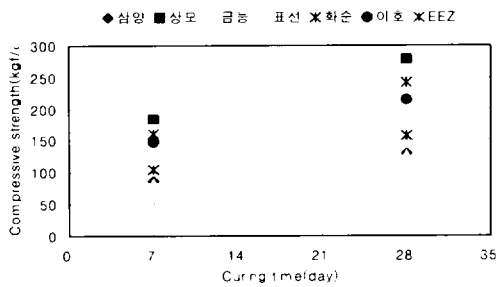


Fig. 19. Compressive strength(Water curing).

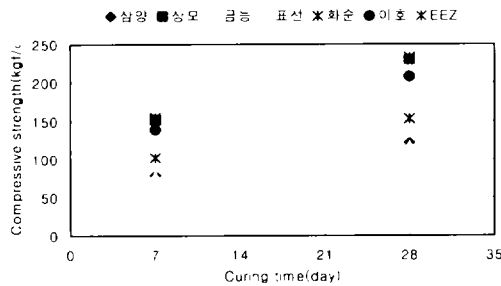


Fig. 20. Compressive strength(Air curing).

Fig. 21~26은 염분함유량을 0, 0.02, 0.06, 0.10, 채취 시 바다모래의 염분함유량 변화를 준 모래를 사용한 콘크리트의 압축강도 시험결과이다. 염분농도의 범위를 변화시켰을 때 일반적으로 염분을 포함하고 있는 염화물에 의한 응결축진작용으로 초기 재령인 7일에서 염분함유량의 농도에 비례하게, 염분량에 따라 대체적0.02%일 때 2~3% 압축강도가 증가하고 0.15%일 때는 압축강도가 15~17%가 증가한다.

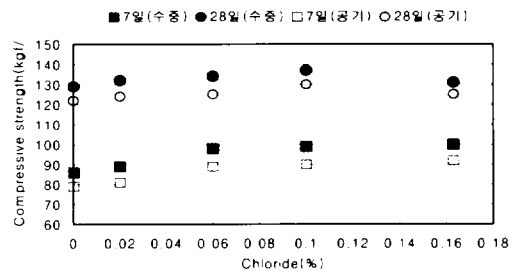


Fig. 21. Compressive strength by salinity quantity (Sam-yang).

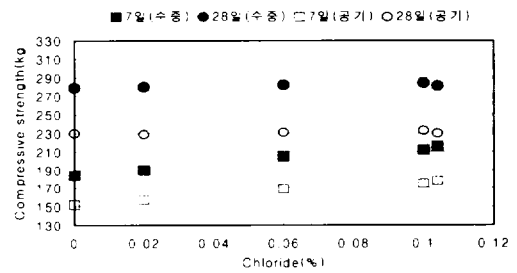


Fig. 22. Compressive strength by salinity quantity (Sang-mo).

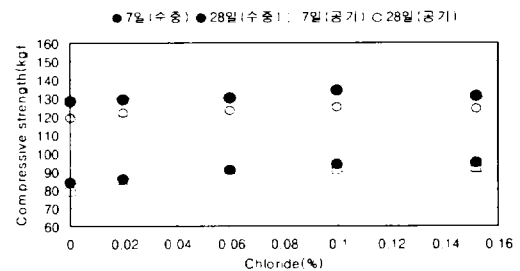


Fig. 23. Compressive strength by salinity quantity (Geum-neung).

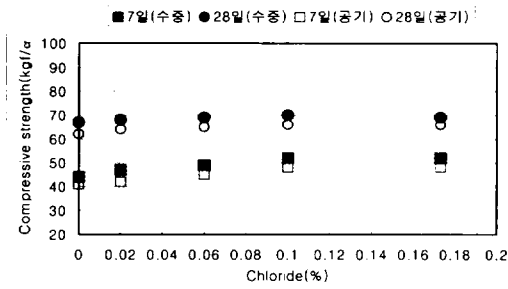


Fig. 24. Compressive strength by salinity quantity (Pyoseon).

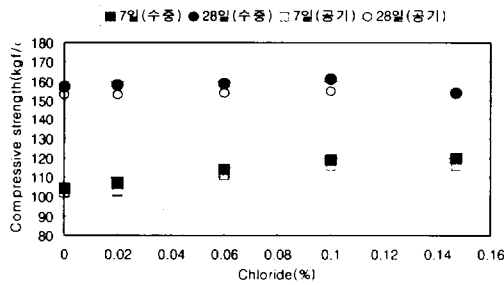


Fig. 25. Compressive strength by salinity quantity (I-ho).

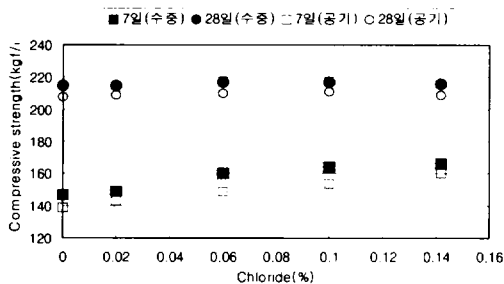


Fig. 26. Compressive strength by salinity quantity (Hwa-sun).

Fig. 27~28은 조개껍질의 콘크리트 강도에 미치는 영향을 알아보기 위해 조개껍질의 크기와 함유량에 따른 압축강도시험 결과이다. 압축강도시험 결과에서 조개껍질의 크기가 5mm이하에서 함유량이 8%에 이르기까지 강도에 거의 영향을 받지 않는 것을 볼 수 있다. 그리고 조개껍질의 크기가 5~13mm일 때도 5mm이하일 때와 비슷한 결과를 나타내었다.

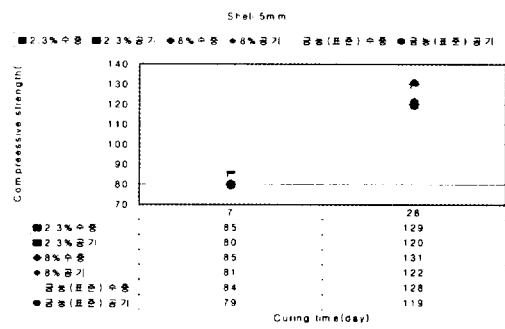


Fig. 27. Compressive strength by Shell(5mm) variation (Geum-neung).

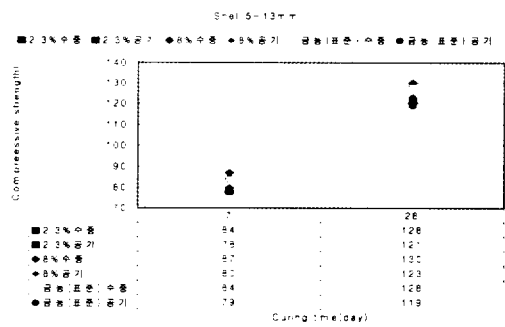


Fig. 28. Compressive strength by Shell(5~13mm) variation (Geum-neung).

## 결론

본 연구에서는 제주도 해안지역에 분포하고 있는 바다모래를 채취하여 XRF, XRD의 화학분석과 기본물성 시험을 실시하였다. 실험을 실시한 바다모래는 삼양, 상모, 금능, 표선, 화순, 이호 6개 지역의 바다모래를 채취하여 건설골재로 사용가능여부를 판단하기 위해 화학·물리적 시험을 실시하였으며, 골재로서 강도를 제시하기 위해 압축강도를 실시하였다.

1. 제주해안지역에 분포하고 있는 모래는 XRF 화학분석을 통해  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ 의 함유량이 많은 규산염모래와 CaO, LOI의 함유량이 많은 탄산염모래, 그리고 규산

염모래와 탄산염모래의 성분이 혼재된 모래로 나눌 수 있다. XRD, SEM촬영 결과 규산염모래는 장석(Feldspar)이 주성분이며 입자가 모지고 기공이 적으며, 탄산염모래는 방해석(Calcite)이 주성분이며 입자가 둥글고 기공이 발달하였다.

규산염과 탄산염이 혼재된 모래는 장석(Feldspar)과 방해석(Calcite)이 주성분이었으며, 입자가 모질며 기공이 관찰 되었다.

2. 바다모래의 비중은 채취지역에 따라 차이를 보였다. 콘크리트용 잔골재의 일반적인 비중은 규격(2.5~2.8)안에 있었으며, 대체로 입도 크기가 미세하나 상모모래의 경우는 다른 지역 모래에 비해 입자의 크기가 높게 나타났다. 상모모래는 풍화가 덜 작용된 것으로 판단된다.
3. 건설골재로 사용하기 위해 바다모래를 사용한 압축강도 시험결과 상모모래의 압축강도는 표준강도보다 높게 나타났고, 이호모래인 경우는 표준강도와 비슷한 강도를 나타냈다. 그리고 상모와 이호를 제외한 나머지 지역의 모래인 경우 표준강도보다 낮게 나타났다. 이 경우에는 하천사 및 쇄석과 혼합하여 사용하는 것을 추천한다.
4. 바다모래에 포함되어 있는 조개껍질은 압축강도 시험결과 Shell의 크기는 강도에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.
5. 바다모래에 포함된 염화물이 시멘트의 수화를 촉진시켜 조기강도를 높일 수 있지만 너무 많은 염화물을 사용하면 오히려 강도를 저하시킨다.

## 참고 문헌

- 건설교통부 2006·2007년도 골재수급계획
- 대한건축학회 1999, 해사를 사용한 콘크리트의 압축강도에 관한 실용성 방안, 논문집 제15권 제6호
- 박금성 1998, 해사가 콘크리트 내구성에 미치는 영향, pp25~30.
- 윤중수, 1985, 제주 연안의 해빈퇴적물에 관한 연구, 광산지질학회지 제18권제1호, pp.55~63.
- 쌍용양회공업주식회사 2005, 염화물이 콘크리트의 내구성에 미치는 영향, 시멘트·콘크리트 기술자료집
- 조성환 2006, 제주해안지역 모래의 특성에 대한 연구
- 지옥미, 우경식, 1995, 제주도 해빈퇴적물의 구성성분, 한국해양학회지 제30권 제5호, pp. 480~492.
- 한국건설기술연구원 1997, 바다모래사용지침
- 한국건설산업연구원 2003, 지역별 골재 소비 구조분석 및 수급안정 방안
- 한국건설산업연구원 2004, 바다모래의 단·장기 수급안정 방안
- 한국자원연구소, 2000, 모슬포·한림도폭 지질보고서, 제주도·한국자원연구소, pp.8~33.
- Bowles, J. E. (1977), "Foundation Analysis and Design", 2nd ed., McGraw-Hill, New York.
- Schmertmann, J. H. and Hartman, J. P. (1978), "Improved Strain Influence Factor Diagrams", Journal of the Geotechnical Engineering Division. American Society of Civil Engineers, Vol.104. No.8. pp.1131~1135.

