



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

제주도 해안에 분포하고 있는  
바다모래의 특성 및 활용성 연구



濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

土木工學 專攻

朴 眞 永

2 0 0 7

碩士學位論文

제주도 해안에 분포하고 있는  
바다모래의 특성 및 활용성 연구

指導教授 南正萬



濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

朴眞永

2007

# 제주도 해안에 분포하고 있는 바다모래의 특성 및 활용성 연구

指導教授 南正萬

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2007年 8月

濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科 土木工學 專攻

朴眞永의 工學 碩士學位 論文을 認准함

2007年 8月

委員長 印

委 長 印

委 長 印

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

JIN-YOUNG PARK

(Supervised by Professor Jung-Man Nam)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements  
for the degree of Master of Engineering

2007. 8.

This thesis has been examined and approved.

Department of Construction and Environmental Engineering  
GRADUATE SCHOOL OF INDUSTRY  
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

# 목 차

<b>I. 서 론</b> .....	1
1. 연구 배경 및 목적 .....	1
2. 연구방법 .....	2
<b>II. 바다모래의 기초자료 조사</b> .....	3
1. 국내의 바다모래사용 실태 및 지역적 특성 .....	3
2. 바다모래가 철근부식에 미치는 영향 .....	5
2.1 강재의 부식 .....	5
3. 바다모래가 콘크리트에 미치는 영향 .....	9
3.1 조개껍질 .....	9
3.2 염분함유량 .....	9
<b>III. 제주도 바다모래의 물리적 • 화학적 특성</b> .....	12
1. 제주도 바다모래의 현황 .....	12
2. 제주도에 분포하고 있는 바다모래의 특성 .....	12
3. 규산염 모래(Silicate sand) .....	16
3.1 물리적 특성 .....	16
3.2 화학적 특성 .....	17
4. 탄산염 모래(Carbonate sand) .....	19
4.1 물리적 특성 .....	19
4.2 화학적 특성 .....	20
5. 규산염과 탄산염이 혼재된 모래(Mixed sand) .....	22
5.1 물리적 특성 .....	22
5.2 화학적 특성 .....	23
6. 비교분석 .....	24
6.1 모래의 형성 .....	24

6.2 모래의 물리적 특징에 따른 분류 .....	25
6.3 모래의 화학적 특징에 따른 분류 .....	26
<b>IV. 바다모래를 사용한 콘크리트의 물성 .....</b>	<b>27</b>
1. 제주도 지역의 바다모래 .....	27
1.1 채취 지점 .....	27
2. 시험 방법 .....	27
3. 시험 결과 .....	28
3.1 바다모래의 염분 함유량 .....	29
4. 콘크리트 배합 .....	30
4.1 시멘트 .....	30
4.2 골재 .....	31
4.3 Shell 효과 .....	31
4.4 염분함유량 .....	31
4.5 콘크리트 공시체의 제작 및 양생 .....	32
5. 압축강도시험 .....	37
<b>V. 결론 .....</b>	<b>44</b>
<b>VI. 참고문헌 .....</b>	<b>47</b>

## List of Figures

Fig. 2.1 Consumption rate on kind of aggregate .....	4
Fig. 2.2 Relation with PH and corroded steel .....	5
Fig. 2.3 Reaction of corroded steel .....	7
Fig. 2.4 Relation with corroded and NaCl concentration .....	8
Fig. 3.1 Distribution of classified sand .....	13
Fig. 3.2 Relation of (SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) & (CaO+LOI) contents .....	15
Fig. 3.3 Name of volcanic rock(Cox et al. 1979) .....	17
Fig. 3.4 Grain-size distribution curve of silicate sands .....	17
Fig. 3.5 XRD result of Sam-yang sand .....	18
Fig. 3.6 XRD result of Sang-mo sand .....	18
Fig. 3.7 SEM result of San-yang and Sang-mo sand .....	18
Fig. 3.8 Grain-size distribution curve of carbonate sands .....	20
Fig. 3.9 XRD result of Geum-neung sand. ....	21
Fig. 3.10 XRD result of Pyoseon sand .....	21
Fig. 3.11 SEM result of Geum-neung and Pyoseon sand .....	21
Fig. 3.12 Grain-size distribution curve of mixed sands .....	22
Fig. 3.13 XRD result of Hwa-sun sand. ....	23
Fig. 3.14 XRD result of I-ho sand .....	23
Fig. 3.15 SEM result of Hwa-sun and I-ho sand .....	23
Fig. 4.1 Slump test .....	33
Fig. 4.2 Air content test .....	34
Fig. 4.3 Fabrication of specimen .....	35
Fig. 4.4 Compressive strength .....	37
Fig. 4.5 Compressive strength(Water curing) .....	38
Fig. 4.6 Compressive strength(Air curing) .....	38
Fig. 4.7 Compressive strength by salinity quantity(Sam-yang) .....	39
Fig. 4.8 Compressive strength by salinity quantity(Sang-mo) .....	39
Fig. 4.9 Compressive strength by salinity quantity(Geum-neung) .....	40



Fig. 4.10 Compressive strength by salinity quantity(Pyoseon) ..... 40  
Fig. 4.11 Compressive strength by salinity quantity(I-ho) ..... 41  
Fig. 4.12 Compressive strength by salinity quantity(Hwa-sun) ..... 41  
Fig. 4.13 Compressive strength by Shell(5mm) variation(Geum-neung) ..... 42  
Fig. 4.14 Compressive strength by Shell(5~13mm) variation(Geum-neung) ..... 42



## List of Tables

Table 2.1 Consumption rate on kind of aggregate .....	4
Table 2.2 The regulations of chloride contents in domestic .....	10
Table 2.3 The regulations of chloride contents in foreign .....	10
Table 3.1 XRF results of beach sands in Jeju island .....	14
Table 3.2 XRF results of Jeju volcanic rocks .....	16
Table 3.3 Formation characteristic of sands .....	24
Table 3.4 Specific gravity of classified sand .....	25
Table 3.5 The Comparisons of XRF and XRD .....	26
Table 4.1 Picking place of sea sand .....	27
Table 4.2 The result physical properties of Jeju sea sand .....	28
Table 4.3 Chemical composition of seawater .....	29
Table 4.4 Mixing design in concrete .....	30
Table 4.5 The result physical and chemical properties of concrete .....	30
Table 4.6 The result of physical properties aggregate .....	31

## Summary

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.



# I 서 론

## 1. 연구 배경 및 목적

지구상에서 살아가고 있는 대부분의 사람들은 아침에 일어나서 잠자리에 들기까지, 거의 모든 일들이 콘크리트 구조물 안에서 일어나고 있다고 해도 과언은 아니다. 그만큼 우리 주위를 둘러보면 딱딱한 콘크리트 구조물 안에서 사람들은 개인의 발전과 가정의 행복을 지키기 위해 많은 노력을 한다. 이러한 딱딱한 콘크리트 구조물이 우리들에게는 외부로부터 보호 받을 수 있는 소중한 보금자리이며, 삶의 터전인 것이다. 이렇게 중요한 콘크리트의 구조물의 품질은 골재의 품질에 따라 직접적인 영향을 받는다.

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 바

다모래를 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.

## 2. 연구방법

본 연구에서는 주변지역의 생성과정과 환경 등에 의해 모래의 화학적 특성이 다를 것으로 사료되어 제주도에 분포하고 있는, 바다모래 6개 지역에 모래들을 채취하여 모래의 화학적 특징을 규명하기 위해 XRF(X-ray Fluorescence Spectrometry)와 XRD(X-Ray Diffraction)을 실시하였으며, 또한 모래의 물리적 특성을 파악하기 위해 비중과 입도분석을 실시하였다. 그리고 제주지역 바다모래의 특성과 바다모래를 사용한 콘크리트의 품질관리 및 내구성 향상 기술 개발을 위하여 기준으로 제한하고 있는 허용범위 내에서 염분 함유량 및 Shell의 콘크리트에 미치는 영향으로 바다모래를 건설골재로 사용할 수 있는가에 대한 향후 연구에 기초적 자료로 활용하려고 한다.

## II 바다모래의 기초자료 조사

### 1. 국내의 바다모래사용 실태 및 지역적 특성

바다골재란 해저나 해변에 퇴적되어 있는 바다모래, 바다자갈, 하구(河口)에 퇴적되어 있는 하구모래, 사구(砂丘)에 퇴적되어 있는 사구모래를 말한다. 바다모래 및 하구모래는 파도, 바람, 조석 등의 작용을 심하게 받아 형상이 하상(河床)골재보다 둥글며, 입도(粒度)가 편중되어 있는 경우가 많다.

바다골재는 하상골재와 비교해 볼 때 입도가 지나치게 고르고, 철근콘크리트 구조물에 유해한 염분을 함유하고 있다. 국내에서 사용되는 바다모래는 해안사와 해저사로 분류되지만 공급되고 있는 바다모래의 대부분은 채취선을 이용하여 해저에 있는 것을 채취한 것이다. 동해안의 바다모래는 이물질이 적고 서해안 및 남해안의 바다모래보다 조개껍질 함유량이 훨씬 적은 것으로 알려져 있다. 하지만 동해안의 미세한 모래는 콘크리트용 잔골재로서는 적합하지 못하다.

한편, 한국건설산업연구원에서 조사한 국내의 지역별 골재의 소비실태의 분석결과 의하면 굵은 골재의 경우는 쇄석, 잔골재의 경우는 육상골재 및 세척골재의 사용비율이 높은 것으로 나타났다. 쇄석, 육사 및 세척한 바다모래의 사용비율이 높아진 것은 골재수요의 폭주와 골재자원이 부족으로 인한 증상을 나타내며, 하천골재의 공급량은 더욱 감소될 것으로 보이며, 바다모래의 이용량은 더욱 늘어 날 것으로 판단된다.

2002년을 기준으로 잔골재는 1992년 조사 자료와 비교할 때 강모래는 38.5% 감소한 반면, 바다모래는 12.6% 상승했다.

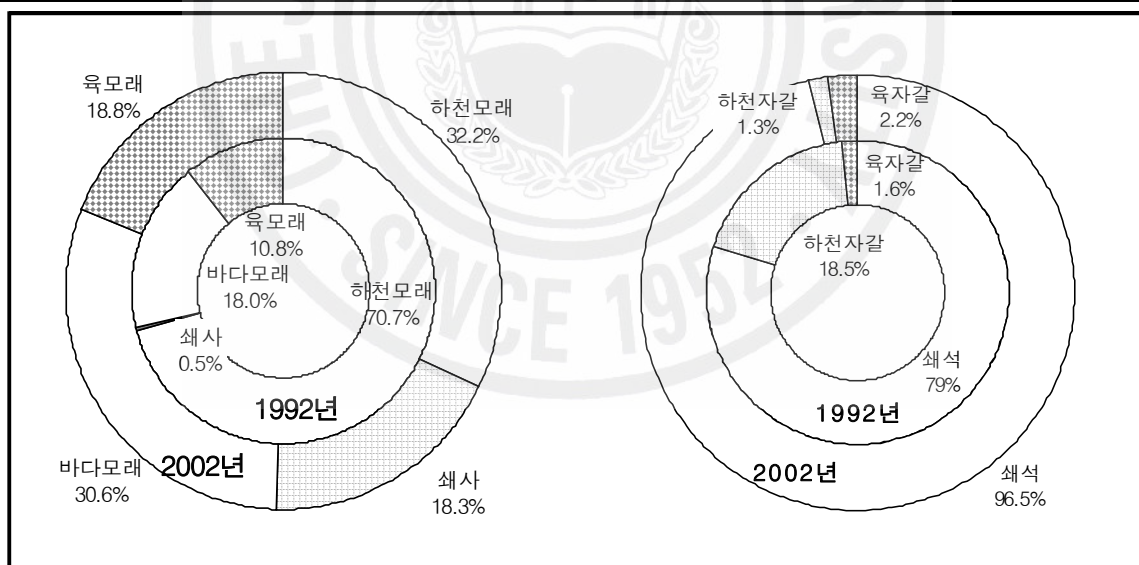
지역별 골재의 품종별 소비 비율을 Table.2.1에 나타냈으며, Fig.2.1은 골재의 품종별 소비 비율을 그림으로 나타낸 것이다.

잔골재의 소비 구조를 지역별로 보면, 바다모래는 대부분의 지역에서 사용하고 있는 것으로 나타났으며, 특히 서울·경기 지역과 대전·충남, 광주·전남 지역은 바다모래의 사용 비중이 50% 내외로 나타나고 있다. 그리고 강원, 대전·충남, 대구·경북, 부산·경남 지역은 아직까지 강모래의 비중이 높게 나타나고 있으며, 제주도의 경우

는 콘크리트용 잔골재로 100% 바다모래를 사용하고 있는 것으로 나타났다.

Table. 2.1 Consumption rate on kind of aggregate

권역별	잔골재				굵은골재		
	2002년				2002년		
	강모래(%)	쇄사(%)	바다모래(%)	육모래(%)	강자갈(%)	쇄석(%)	육자갈(%)
전국	32.2	18.3	30.6	18.8	1.3	97.0	1.6
서울·경기	10.2	24.7	62.2	2.9	-	99.3	0.7
강원	51.7	17.1	1.3	29.8	4.6	91.2	4.3
충북	17.7	11.5	11.9	59.0	1.1	98.5	0.4
대전·충남	45.4	3.8	47.8	3.0	6.9	93.1	-
전북	6.1	8.5	12.6	72.8	-	100.0	-
광주·전남	-	7.5	48.3	44.2	1.5	98.5	-
대구·경북	67.0	12.4	6.8	13.9	2.4	92.2	5.4
부산·경남	52.8	30.7	11.1	5.5	-	100.0	-
제주	-	-	100.0	-	-	100.0	-



(2003. 한국건설산업연구원)  
Fig. 2.1 Consumption rate on kind of aggregate

이렇게 하천골재 자원의 고갈과 집중개발 등에 의해 골재수급이 불안정해지고 있다. 제주도는 다른 지역과는 다르게 잔골재를 100% 바다모래를 이용하고 있으며, 이에 본 연구에서는 불안정한 골재의 수급 문제를 해결하기 위하여 제주지역 바다모래를 건설용 잔골재로서 활용할 수 있는지를 알아보는데 있다.



## 2. 바다모래가 철근부식에 미치는 영향

콘크리트는 강알칼리성으로 강재표면에 부동태막이 형성되어 부식이 잘 안되나 염소이온이 함유되면 이 강재표면의 부동태막이 국부적으로 파괴되고 국부전지가 생겨 부식현상이 일어나며 강재의 부식으로 생긴 녹(수산화 제2철  $Fe(OH)_3$  등)의 체적은 원래의 강재 체적보다 크기 때문에 그 팽창압에 의해 강재에 따라 균열이 발생한다. 균열이 발생하면 산소와 물의 공급이 용이하게 되어 부식은 가속되어 피복 콘크리트의 박리와 탈락, 강재 단면적의 감소에 의해 부재내력의 저하에 이르는 경우가 있다.

### 2.1 강재의 부식

#### 가) PH변화 (중성화)

경화된 콘크리트는 Calcium Silicate의 수화에서 생긴  $Ca(OH)_2$ 에 따라 고알칼리성(PH가 12이상)으로 콘크리트 속의 강은 쉽게 녹슬지 않는다. 즉, 고알칼리성의 환경에서는 강의 표면에 부동태막(두께  $20 \sim 60 \times 10^{-10}m$ )이 생겨 부식반응을 억제한다. Fig 2.2는 강의부식과 PH의 관계를 보인 것이다. PH가 10이상에서는 부식이 적어지며 12 ~ 13에서는 아주 적어지고 있다.

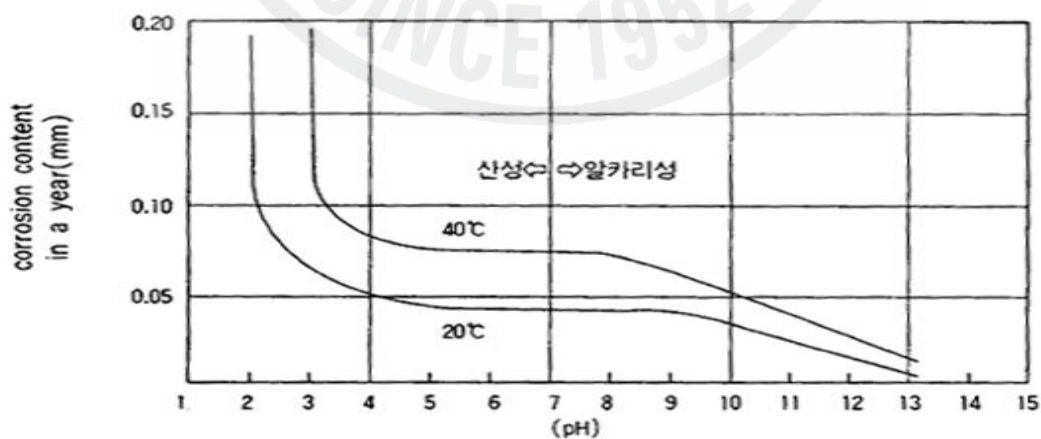
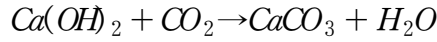


Fig. 2.2 Relation with PH and corroded steel

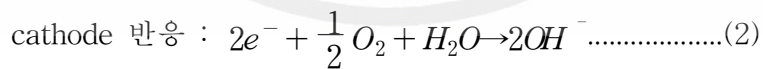
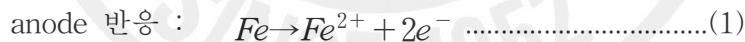
그러나 콘크리트 중의 강재도 콘크리트가 중성화하거나  $Cl^-$  이온의 존재 하에서는 부식 가능한 상태로 된다.  $Ca(OH)_2$ 는 장기간 동안에 공기 중의  $CO_2$ 를 흡수하여  $CaCO_3$ 가 되어 알칼리성을 잃어 버려 중성화(PH변화)가 진행된다.



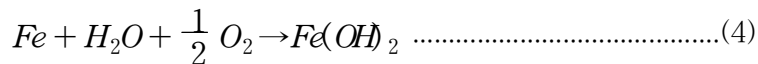
시멘트에 중성화가 진행되어 철근의 표면까지 이르면 물과  $CO_2$  Gas가 공존하여 산화피막이 파괴되어 철근에 부식이 생긴다. 알칼리성 환경에 있는 강재표면은 base한 상태(anode)가 되어 그 결과 anode에서 철분이 용출하여  $OH^-$  이온과 결합하여  $Fe(OH)_2$ 를 생성하고  $Fe_2O_3 \cdot H_2O$ 로 되어 녹이 슬게 된다.

부동태막은  $Cl^-$  이온에 약하다. 콘크리트 중에  $Cl^-$  이온 농도가 크면 부동태막은 파괴된다.  $Ca(OH)_2$  포화용액 중의 철근의 자연전극전위를 측정한 결과에 의하여 NaCl을 함유한 경우 base한 상태로 되었다.

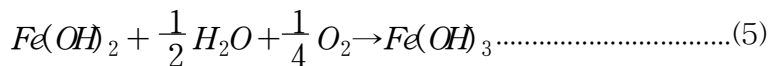
콘크리트 중에 침투한  $Cl^-$  이온(확산계수는  $3 \sim 4 \times 10^{-8} cm^2/s$  정도)의 일부는 시멘트광물에 의하여 고정되기도 한다. 특히 칼슘알루미늄에이트에 의하여 Friedel으로 고정되는 황산염이 존재할 경우 반드시 고정화되지는 않는다.  $Cl^-$  이온이 상당량 존재할 경우 강표면의 부동태는 국부적으로 파괴되어 부동태 부분과 파괴된 부분 사이에 cathode와 anode를 형성하여 부식현상이 일어난다.



(1)과(2) 식을 조합하면,



이것은 다시



이를 그림으로 나타낸 것이 Fig. 2.3이다.

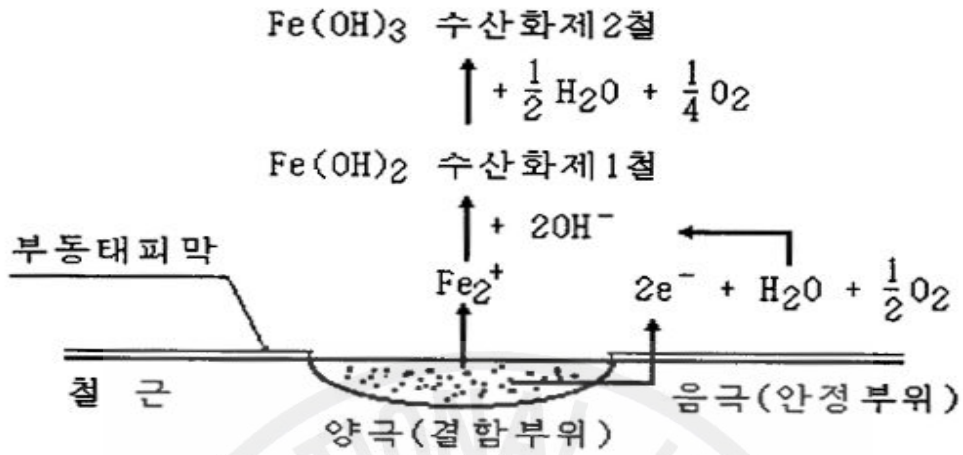


Fig. 2.3 Reaction of corroded steel

철근이 부식하면 이에 따르는 영향에 의하여 콘크리트에 균열이 생기며 결과적으로 철근부식은 더욱 확대되고 콘크리트는 열화한다. 따라서 여러 나라에서 잔골재에 대하여 허용 염분량을 규정하고 있다.

나) 용존 산소

산소의 존재는 철근 부식에 필수조건이다. 산소가 없으면 부식은 무의미하다.

다) 수분

수분의 존재는 필수조건이다. 만일 수분이 없으면 부식에 영향을 미치는 인자는 의미가 없다. 외부에 있는 물은 산소, 탄산 Gas 및 염소이온 등을 보급하는 역할을 하며 부식에 직접 영향을 준다.

라) 염소이온

다량의 염소이온이 콘크리트 중에 존재하거나 침입하거나 하면 강알칼리성에 의해 부동태화하고 있는 철근의 부동태화를 방해하거나 파괴한다. 산화피막을 콜로이드 상태로 분산시켜, 투과성을 좋게 한다고 말한다. 흡착설에 의하면 염소이온은 용존 산소 및 수산화 이온과 경쟁적으로 금속표면에 흡착하며, 일단 표면에 접촉하면

금속이온의 수화를 도와 이것이 용액 중에 분출하는 것을 용이하게 하는 것이다.

같은 염소이온에도 그것이 알칼리 금속염(NaCl, KCl, LiCl)과 알칼리 토금속성 ( $CaCl_2$ ,  $SrCl_2$ )을 비교하면 알칼리 금속염 쪽이 부식성이 조금 크다. Fig. 2.4는 NaCl농도와 철의 부식관계를 나타낸 것이다.

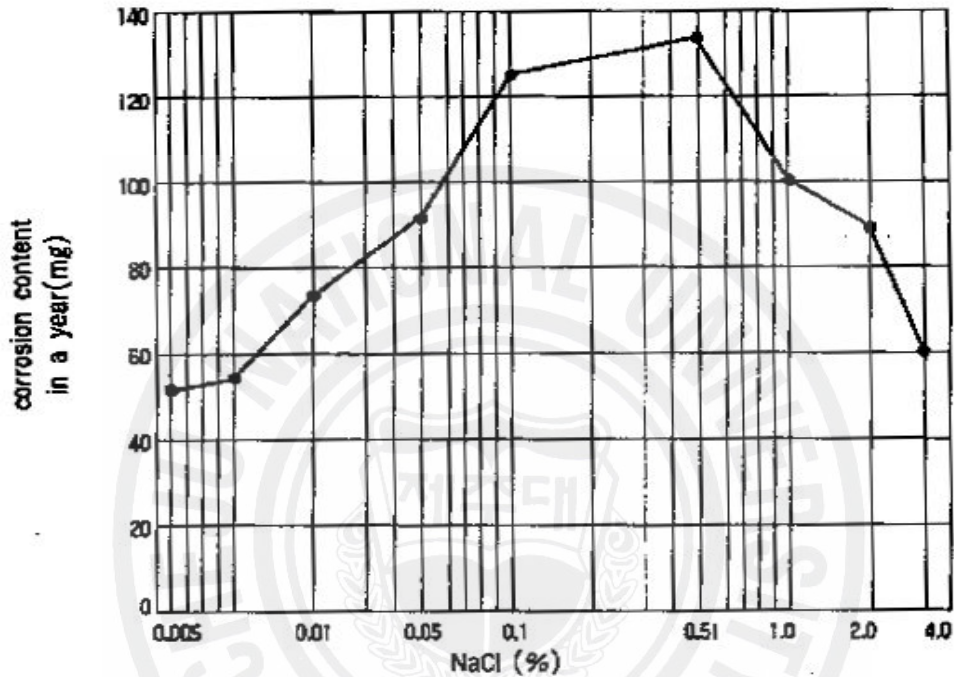


Fig. 2.4 Relation with corroded and NaCl concentration

### 3. 바다모래가 콘크리트에 미치는 영향

#### 3.1 조개껍질

조개껍질은 탄산칼슘을 주성분으로 하고 있고 약간의 인산석회와 탄산마그네슘을 포함한다. 일반적으로 조개껍질이 골재에 혼입되면 골재의 질을 저하시키는 것으로 알려져 있으나 조개껍질의 크기, 풍화도 및 모양에 따라서 콘크리트에 미치는 영향은 크게 달라서 경우에 따라서는 무해하다는 사실이 여러 시험결과에서 확인된 바 있으며, 이런 배경에서 영국처럼 바다모래를 다량 사용하고 있는 나라의 규격에는 상당량의 혼입을 허용하고 있다. 영국의 대런던 위원회 시방서에 의하면 「가운데가 비어 있는 조개껍질(나사조개 등의 껍질) 또는 부적당한 형상의 조개껍질이 콘크리트의 성질에 유해한 영향을 끼치거나 투수성의 증가를 초래할 만큼 다량 함유되어서는 안 된다.」라고, 하고 이 유해량을 골재의 최대 치수별로 구분하여 40m/m의 경우 2%이하, 20m/m의 경우 5%이하, 10m/m의 경우 15%이하 및 골재의 경우 30%이하로 정하고 있다.

#### 3.2 염분함유량

바다모래 중의 염분이 포틀랜드 시멘트의 수화작용을 촉진시켜 응결 및 경화를 빠르게 하지만, 바다모래를 사용한 콘크리트의 여러 가지 물성에 있어서는 강모래를 사용한 것과 큰 차이가 없다. 따라서 바다모래 활용상 가장 큰 문제점은 철근을 부식시키는 염분 함유량이다.

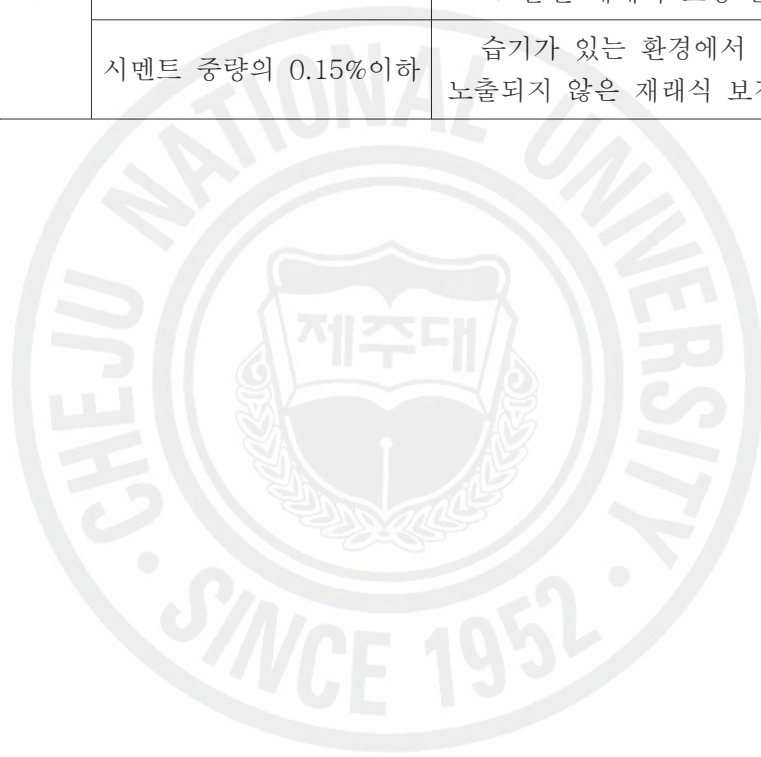
Table 2.2 The regulations of chloride contents in domestic

국명	근거	염분함유량	방청대책
한국	콘크리트 표준시방서	0.1% 이하(바다모래)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•세척하여 함유량 낮출 것.</li> <li>•감독관 지시에 따라 조치</li> </ul>
		0.01% 이하(경량골재)	
	건축공사 표준시방서	0.02% 이하(1급 골재)	•감독관 지시에 따라 조치
		0.1% 이하(2,3급 골재)	-

Table 2.3 The regulations of chloride contents in foreign

국명	근거	염분함유량	방청대책
일본	콘크리트 표준시방서	0.10이하	-
	건축기준법	0.04% 이하	-
		0.04~0.1% 이하	<ul style="list-style-type: none"> <li>•W/C 55%이하, slump 18cm이하 또는 W/C 50%이하, slump 21cm이하</li> <li>•적절한 방청제사용 또는 상판하단의 덮개 3cm이상 AE감수제사용</li> </ul>
		0.1~0.2%	<ul style="list-style-type: none"> <li>•W/C 55%이하, slump 18cm이하</li> <li>•적절한 방청제사용, 철근덮개 43cm 이상, 상판하단에서 3cm이상 AE감수제사용</li> </ul>
	철근콘크리트 표준시방서	0.02%이하(1급 골재)	-
		0.02~0.1%(2,3급 골재)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•W/C작게 하고 수밀콘크리트 타설</li> <li>•콘크리트 피복을 크게 하고 소정의 시공상 확보</li> <li>•우수한 방청재 사용</li> <li>•아연도 철근 사용</li> <li>•수밀성이 높아지도록 끝손질 할 것</li> </ul>
영국	BS-CP110	시멘트 중량의 1.0%이하( $CaCl_2$ 로 환산, NaCl로 환산 0.52%)	일반 콘크리트

		시멘트 중량의 0.1% 이하	프리스트레스 콘크리트
	G.L.C규정	해사중량의 0.1%이하	
서독	DIN-1164	시멘트 중량의 0.1% 이하(NaCl 0.16%이하)	일반콘크리트
	DIN-4226	골재중량의 0.02%이하(NaCl로서)	PS콘크리트
미국	콘크리트협회	시멘트 중량의 0.06%이하	PS콘크리트
		시멘트 중량의 0.1%이하	습기가 있는 환경에서 염화물에 노출된 재래식 보강 콘크리트
		시멘트 중량의 0.15%이하	습기가 있는 환경에서 염화물에 노출되지 않은 재래식 보강 콘크리트



### Ⅲ 제주도 바다모래의 물리적 · 화학적 특성

#### 1. 제주도 바다모래의 현황

제주지역의 해변 발달된 지역엔 암석의 돌출, 해안절벽, 암초 등이 많아 해변간의 연결성을 절단시키고 있으며 해변발달은 빈약하다. 지역마다 다양한 해변을 나타내고 있으며, 길이는 평균 812m, 폭은 90m이고, 해변의 경사는 약 7°로 좀 급한 편이다(윤중수, 1985). 또한 해변형성에 가장 중요한 요인은 암석돌출부에서 만입부로 향하는 연안류이며, 조류, 해파, 바람 등의 영향도 많이 받는 것으로 사료된다(고기원, 1988).

#### 2. 제주도에 분포하고 있는 바다모래의 특성

제주도에 분포하고 있는 바다모래의 입경과 색이 각각 다르다. 바다모래의 생성 과정과 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. Fig. 3.1은 제주지역에 분포하고 있는 모래를 나타낸 것이며 Table 3.1은 제주지역에 분포하고 있는 모래에 대한 XRF의 결과를 나타낸 것이다.



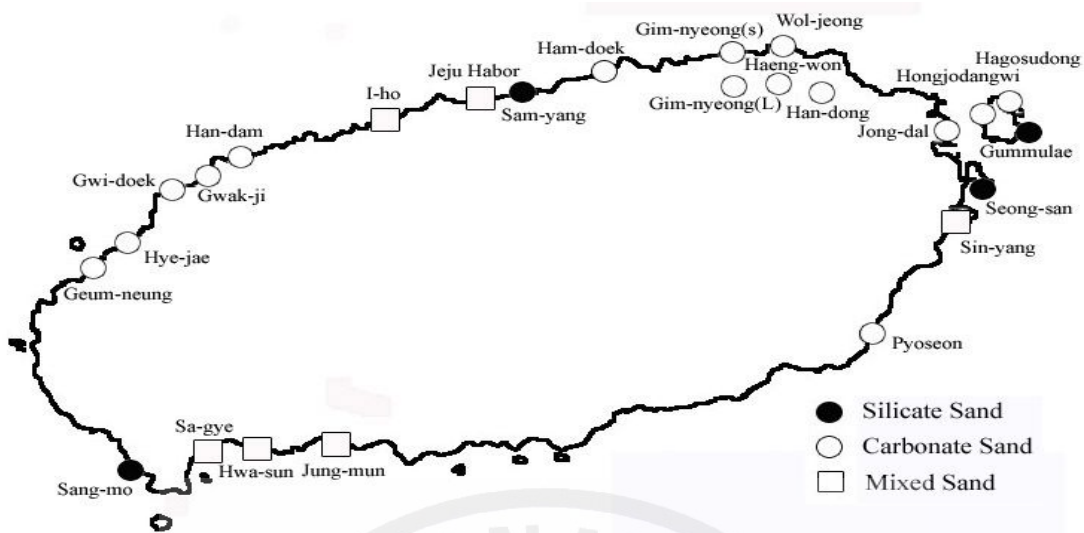


Fig. 3.1 Distribution of classified sand

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  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ 와 시료를  $950^\circ\text{C}$ 의 온도로 태워 손실되는 휘발성 성분을 나타내는 LOI가 주를 이루고 있다. 특히 삼양, 상모지역의 모래들은 등  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 의 함유량이 많은 모래인 경우  $\text{CaO}$ 와 LOI의 함유량이 낮고 반면 금능, 표선 등  $\text{CaO}$ 와 LOI의 함유량이 높은 모래인 경우 반대로  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 의 함유량이 낮게 나타났으며, 화순, 이호 등의 모래는  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 의 함유량과  $\text{CaO}$ 와 LOI의 함유량이 비슷하거나  $\text{CaO}$ , LOI의 함유량이 약간 높게 나타났다. 이 결과를 통해  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 의 함유량과  $\text{CaO}$ 와 LOI의 함유량을 Fig. 3.2와 같이 나타내었다.

Table 3.1 XRF results of beach sands in Jeju island

Location	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	total
<b>Sam-yang</b>	<b>49.48</b>	<b>15.74</b>	<b>2.06</b>	<b>10.76</b>	<b>5.65</b>	<b>8.16</b>	<b>3.20</b>	<b>1.50</b>	<b>0.11</b>	<b>0.46</b>	<b>2.32</b>	<b>99.43</b>
Ham-doek	3.18	0.68	0.13	0.68	3.42	45.39	0.39	0.18	0.02	0.20	41.93	96.74
Gim-nyeong(s)	1.41	-	0.04	0.19	3.44	48.08	0.87	0.06	0.01	0.15	44.39	98.64
Gim-nyeong(1)	6.74	2.35	0.29	1.96	2.56	49.72	0.64	0.20	0.02	0.54	34.26	99.28
Wol-jeong	1.78	-	0.05	0.46	2.94	48.18	0.80	0.07	0.01	0.16	43.84	98.29
Haeng-won	4.52	0.63	0.10	1.27	2.90	54.10	0.53	0.06	0.01	0.17	36.11	100.40
Han-dong	1.86	0.62	0.08	0.85	2.37	56.42	0.50	0.04	0.01	0.19	37.27	100.21
Jong-dal	14.51	2.42	0.37	5.98	10.71	35.55	0.74	0.12	0.05	0.19	30.29	100.93
Hongjodangwi	0.28	0.02	-	0.08	5.93	53.13	0.85	0.01	-	0.09	39.85	100.25
Hagosudong	8.13	1.05	0.10	1.03	2.15	51.26	0.99	0.23	0.01	0.15	34.37	99.47
Seong-San	36.82	7.15	1.62	18.87	18.81	8.49	1.96	0.49	0.16	0.23	5.33	99.92
Gummulae	37.77	8.14	1.79	16.59	15.05	11.23	2.23	0.67	0.14	0.30	6.28	100.19
Sin-yang	26.00	2.12	0.49	13.48	23.73	16.98	0.33	0.10	0.08	0.14	13.01	96.46
<b>Pyoseon</b>	<b>3.38</b>	<b>0.45</b>	<b>0.16</b>	<b>0.91</b>	<b>3.20</b>	<b>44.93</b>	<b>0.99</b>	<b>0.13</b>	<b>0.02</b>	<b>0.14</b>	<b>42.00</b>	<b>96.30</b>
Jung-mun	13.67	4.51	0.62	3.04	3.02	37.40	1.36	0.38	0.04	0.30	33.83	98.17
<b>Hwa-sun</b>	<b>38.17</b>	<b>9.26</b>	<b>1.14</b>	<b>8.78</b>	<b>8.05</b>	<b>15.52</b>	<b>1.37</b>	<b>0.52</b>	<b>0.07</b>	<b>0.27</b>	<b>17.22</b>	<b>100.37</b>
Sa-gye	31.58	5.94	0.66	5.26	6.23	24.97	1.22	0.64	0.05	0.27	22.60	99.42
<b>Sang-mo</b>	<b>49.32</b>	<b>11.02</b>	<b>1.64</b>	<b>11.22</b>	<b>9.13</b>	<b>9.06</b>	<b>2.37</b>	<b>1.21</b>	<b>0.15</b>	<b>0.44</b>	<b>4.82</b>	<b>100.36</b>
<b>Geum-neung</b>	<b>3.92</b>	<b>0.26</b>	<b>0.18</b>	<b>0.83</b>	<b>1.70</b>	<b>48.35</b>	<b>0.67</b>	<b>0.11</b>	<b>0.01</b>	<b>0.11</b>	<b>42.04</b>	<b>98.18</b>
Hyeppjae	1.46	-	0.03	-	3.24	47.97	1.12	0.07	-	0.16	49.96	99.02
Gwidoek	9.41	1.86	0.25	1.79	2.07	49.52	1.57	0.17	0.02	0.16	33.20	100.02
Gwakgi	3.42	0.59	0.18	0.88	1.82	47.33	1.04	0.17	0.01	0.14	40.68	96.27
Handam	4.37	0.91	0.11	0.98	1.91	54.38	1.41	0.07	0.01	0.12	35.66	99.95
Jeju habor	26.16	9.37	0.94	5.01	3.00	27.28	2.46	1.02	0.06	0.32	23.63	99.27
<b>I-ho</b>	<b>30.55</b>	<b>12.58</b>	<b>0.93</b>	<b>5.15</b>	<b>2.68</b>	<b>23.36</b>	<b>2.86</b>	<b>1.15</b>	<b>0.06</b>	<b>0.34</b>	<b>19.36</b>	<b>99.04.</b>

\* LOI: Loss of Ignition, Unit: wt%

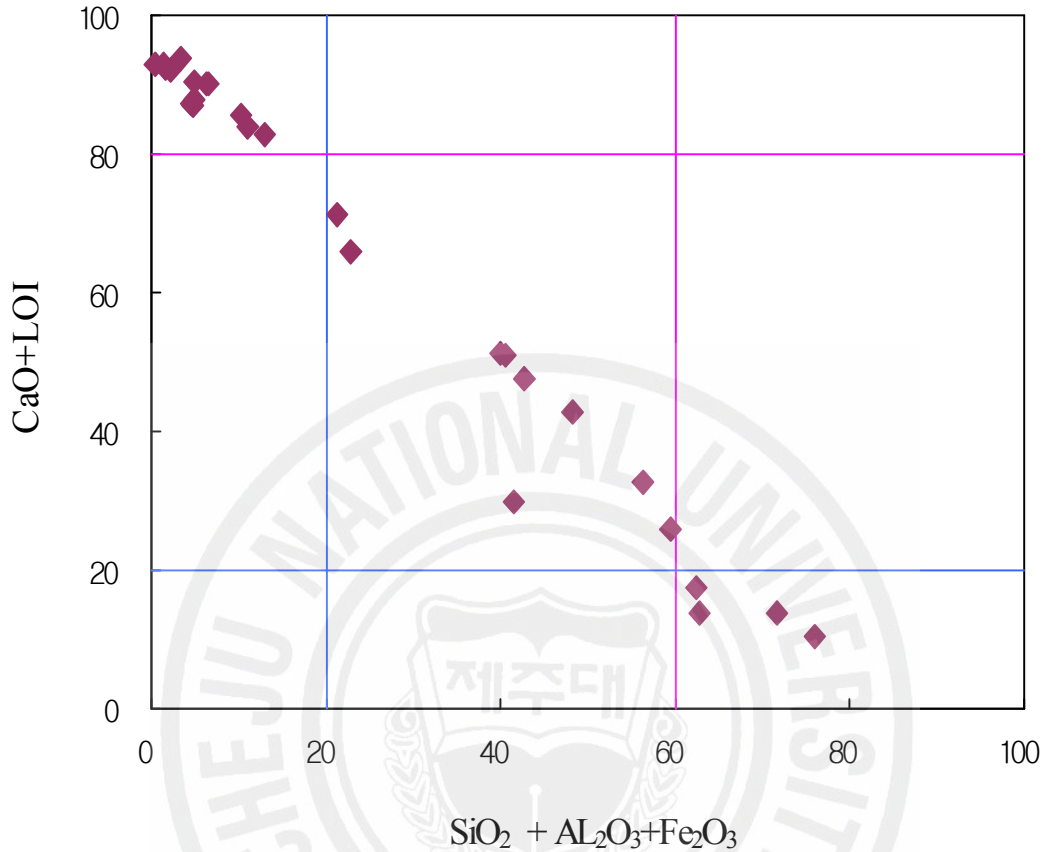


Fig. 3.2 Relation of (SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) & (CaO+LOI) contents

Fig. 3.2 결과, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>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 60wt%이상이고 CaO와 LOI의 함유량이 20wt%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 20wt%이하이고 CaO와 LOI의 함유량이 80wt%이상인 모래를 탄산염 모래, 그리고 이들 두 가지의 구성성분이 혼재하여 나타나는 모래를 혼재된 모래로 분류하였다. 그 결과 제주도 해안지역에 분포하고 있는 모래는 육성 영역의 환경, 즉 주변지역의 암반층과 화산쇄설층이 강한 바람과 파도에 의해 풍화 되어 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.

### 3. 규산염 모래(Silicate sand)

제주도 지질에 관한 조사는 Nakanmura(1925)에 의해 처음으로 이루어졌으나 Haraguchi(1931)에 의해서 최초로 제주도 화산층서가 확립되었다. 제주도는 주로 제3말기 플라이오세의 서귀포층, 제4기 플라이스토세에의 성산층, 화순층 및 신양리층의 퇴적층과 현무암, 조면암질안산암 및 조면암 등의 화산암류 그리고 기생화산에서 분출된 화산성 쇄설암(volcaniclastic rock)등으로 분포되어 있다(윤선 외 2인, 1955). 제주도에 분포되어 있는 화산암류는 알칼리 현무암, 하와이아이트, 뮤저라이트, 안산암, 벤토라이트, 조면암 및 소량의 소레아니트(Lee, 1989; 박준범, 권성택, 1991)등이다.

이들 제주도 지질의 XRF의 결과 주성분을 이루는  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 는 Table 3.2와 같은 분포를 보이고 있다.(한국자원연구소, 2000)

Table 3.2 XRF results of Jeju volcanic rocks

$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
44.92 ~ 62.13wt%	13.41 ~ 18.46wt%	6.87 ~ 14.72wt%

위 결과를 토대로 모래의 XRF 분석결과 Table 3.2와 같이  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 의 함유량이 전체의 60wt%이상인 모래는 삼양, 상모, 우도의 검멜레, 성산지역의 모래로 제주도의 지질의영향이 큰 것으로 사료된다.

#### 3.1 물리적 특성

규산염모래의 비중은 2.77 ~ 2.87 로 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 조개 껍질의 색상인 흰색도 관찰 할 수 있다. 규산염 모래 중 삼양과 상모지역에 대하여 Fig. 3.3과 같이  $\text{SiO}_2$ 와  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 의 비를 이용한 화산암류 명명도에 도시한 결과, 삼양과 삼모지역의 모래는 알칼리현무암에 해당되는 것을 알 수 있었다.

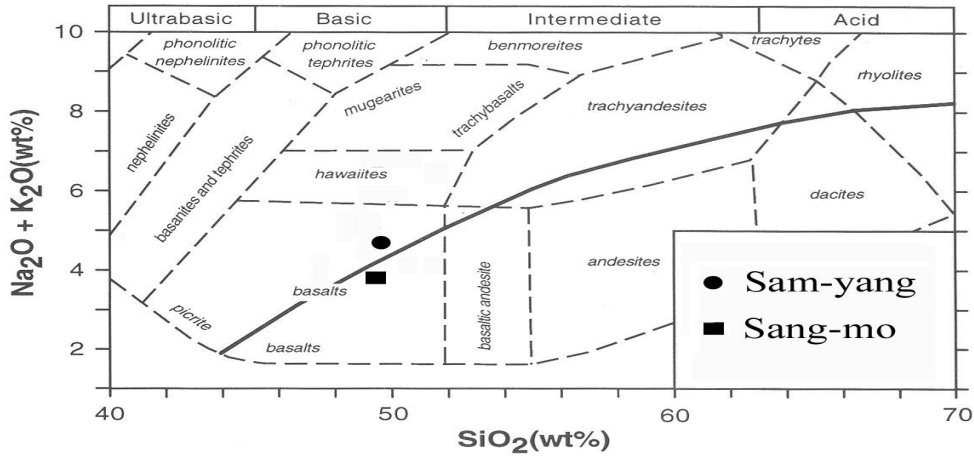


Fig. 3.3 Name of volcanic rock(Cox et al., 1979)

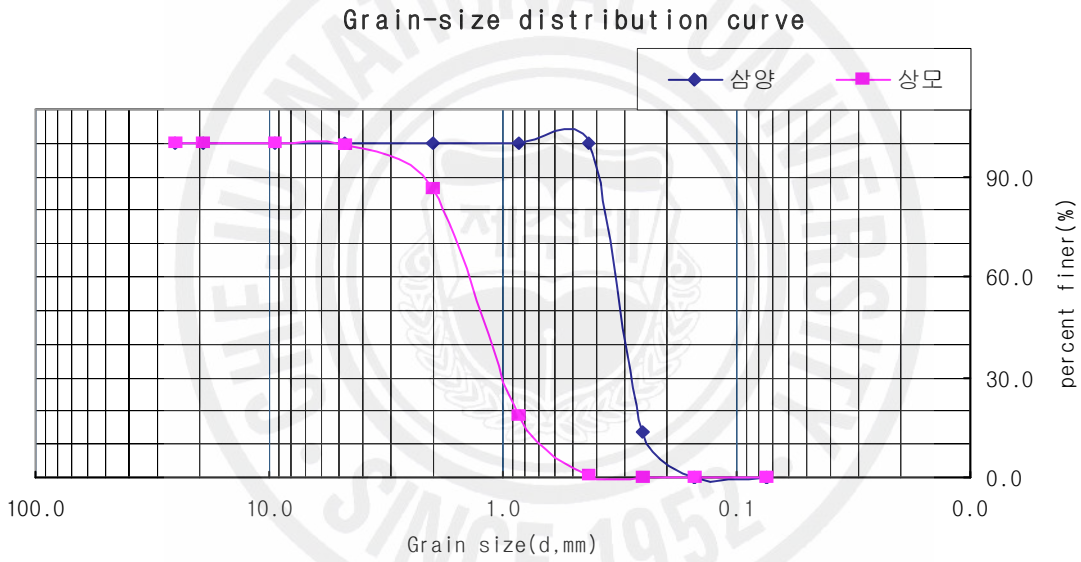


Fig. 3.4 Grain-size distribution curve of silicate sands

### 3.2 화학적 특성

제주도 해안지역에 분포하고 있는 모래 중 삼양, 상모, 우도의 검멜레, 성산 지역의 모래는 Table 3.1의 XRF 분석결과  $\text{SiO}_2$ 는 36.82wt% ~ 49.48wt%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 는 7.15wt% ~ 5.74wt%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 는 10.76wt% ~ 18.87wt%가 주를 이루고 있으며, 탄산염 ( $\text{CaCO}_3$ )의 함유량을 나타내는 CaO와 LOI인 경우는 10.47wt% ~ 17.51wt%를 보여주고 있다. 이중 삼양과 상모지역에 분포하고 있는 모래를 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. 3.5 ~ 3.6에서 삼양과 상모의 주요광물은 Feldspar(장석, K, Na, Ca, Ba(Al, Si)<sub>4</sub>O<sub>8</sub>)와 Quartz(석영, SiO<sub>2</sub>)이 주성분을 이루고 있으며, Calcite가 미량 함유되어 있는 것으로 나타났다. 그리고 Fig. 3.7은 삼양, 상모지역 모래의 SEM촬영 사진이다. 사진결과 입자가 모지고 공극이 없는 것을 볼 수 있다.

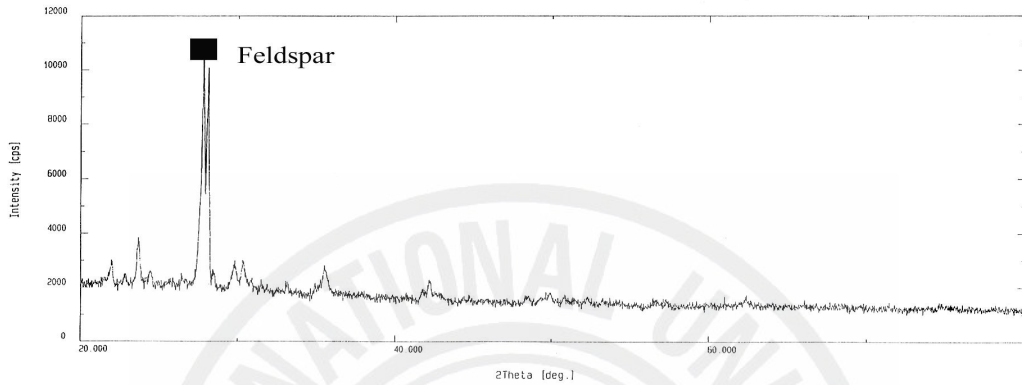


Fig. 3.5 XRD result of Sam-yang sand

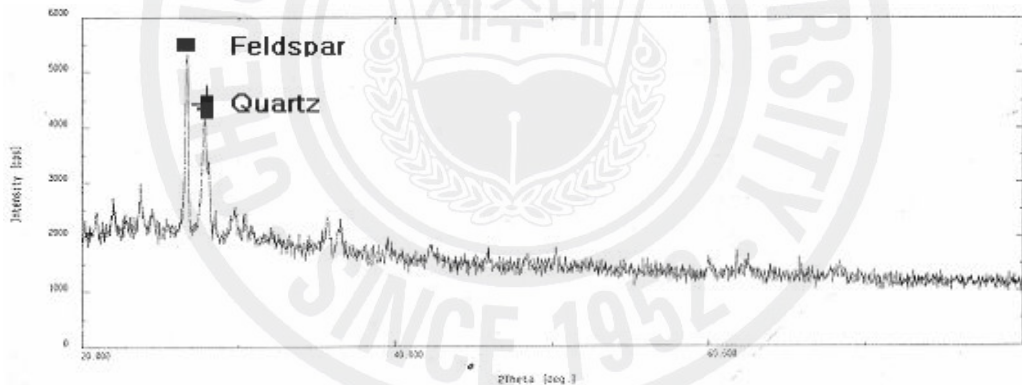


Fig. 3.6 XRD result of Sang-mo sand

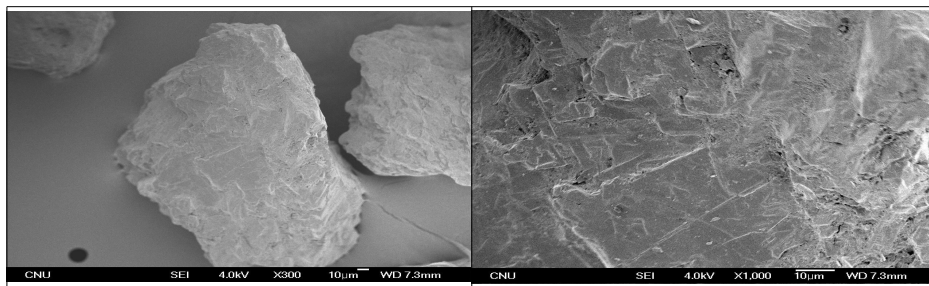


Fig.3.7 SEM result of San-yang and Sang-mo sand

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.

그러나 삼양지역인 경우 상모지역의 모래와는 달리 직접적인 풍화로 인해 모래가 형성되기 보다는 삼양지역은 하천으로부터 암편의 공급과 폭풍 등이 강한 바람에 의해 어느 정도 공급되어 진 것으로 연구되고 있다.(지옥미, 1995)

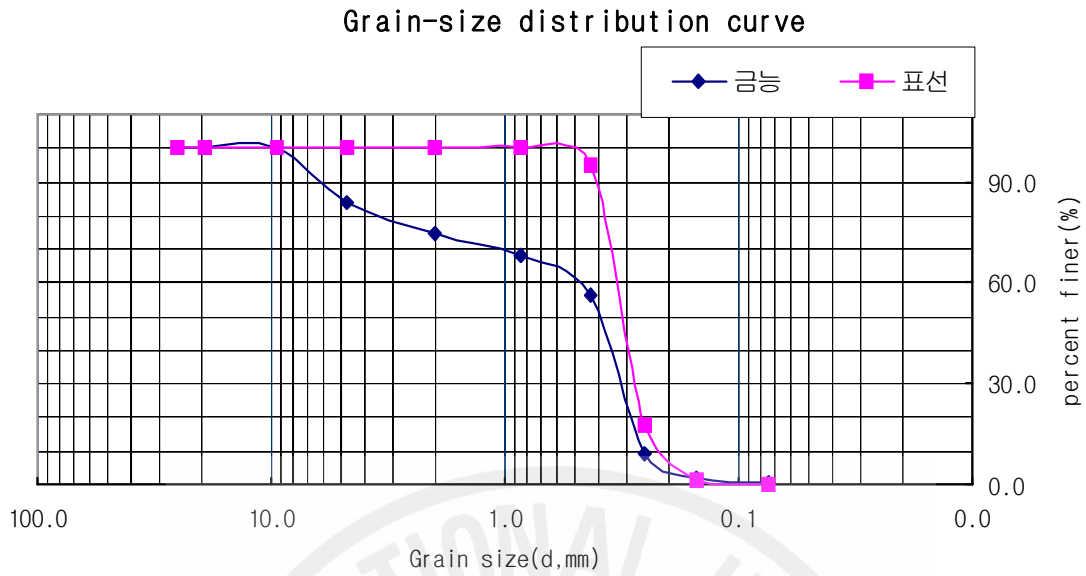
#### 4. 탄산염 모래(Carbonate sand)

탄산염 모래들은 지형이 패류의 침식과 이동에 좋은 연안에 퇴적되어 있으며 대표적으로 금능, 표선 등이 있다. 또한 북동지역(김녕, 행원, 한동) 일대에는 해안 지역 외에도 내륙지방에 모래가 사구를 형성하며 분포하고 있는데 이는 바람에 의하여 형성된 것으로 해안지역의 모래가 북서계절풍의 방향과 나란하여 탁월풍에 의하여 내륙 쪽으로 이동형성된 것으로 추정되고 있으며 이들 모래의 분포는 내륙 5km까지 이루고 있다. 특히 탄산염 모래들은 각질을 이루는 연체동물(mollusk)과 홍조류(red algae)의 각질과편들이 대부분인 것으로 알려져 있다(지옥미, 1995).

XRF시험에서 LOI(Loss of Ignition)은 전체성분 중에서 휘발성 성분의 함유량을 나타내는 것으로, 예를 들면  $H_2O$ ,  $CO_2$ , S 등이 있다. 탄산염을 XRF시험을 위해 시료를 950도의 온도로 태우게 되면  $CaCO_3$ 성분이  $CaO$ 와  $CO_2$ 성분으로 분해되는데,  $CaO$ 와 LOI의 함유량이 80wt%이상인 경우를 탄산염이 주를 이루는 모래로 분류하였다.

##### 4.1 물리적 특성

탄산염( $CaCO_3$ ) 모래의 비중은 2.53 ~ 2.80이며, 금릉지역인 경우 조개껍질 같은 어패류가 다른 지역에 비해 큰 입경을 가지고 있었으며, 홍조단괴인 경우 덩어리인 상태로 풍화가 덜 이루어진 것으로 사료된다. 탄산염 모래의 색상을 육안으로 관찰한 결과 주로 흰색 혹은 밝은 노란색을 띄고 있다.



**Fig. 3.8 Grain-size distribution curve of carbonate sands**

#### 4.2 화학적 특성

탄산염 모래들의 XRF결과를 보면 82.7wt% ~ 93.7wt%로 대부분을 차지하고 있으며, 규산염 모래들이 주를 이루는 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 은 0.4wt% ~ 13.1wt%로 함유량이 적었으며, 이는 주변지역 화산암의 풍화로 인한 영향이 미비한 것으로 판단된다. 탄산염이 주를 이루는 모래 중 표선, 금능, 광지의 XRD의 결과 주성분이 Calcite(방해석, CaCO<sub>3</sub>), 소량으로 Analcime(방비석, NaAlSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub> · H<sub>2</sub>)과 Hematite(적철광, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)이 나타났다. Fig. 3.9 ~ 3.10은 제주도 해안지역에 분포하고 있는 탄산염 모래 중 금능, 표선지역 모래에 대한 XRD의 결과이다. 그리고 Fig 3.11은 금능, 표선지역 모래의 SEM촬영 사진이다. 사진결과 입자가 둥글고 공극기 발달한 것을 볼 수 있다.



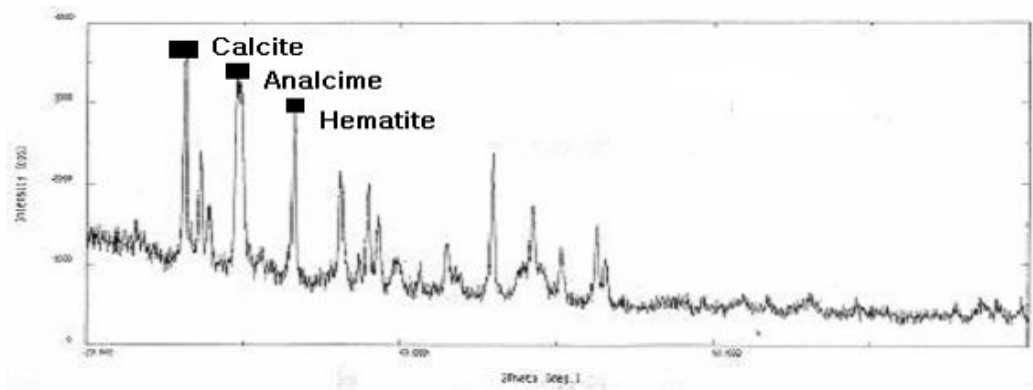


Fig. 3.9 XRD result of Geum-neung sand

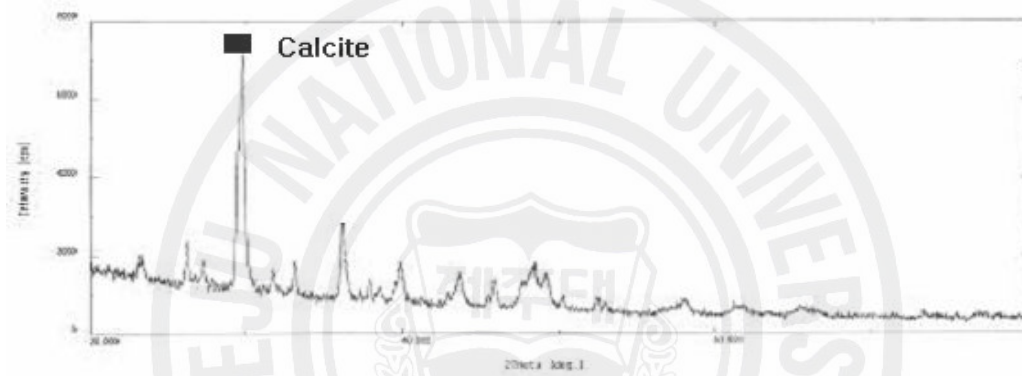


Fig. 3.10 XRD result of Pyoseon sand

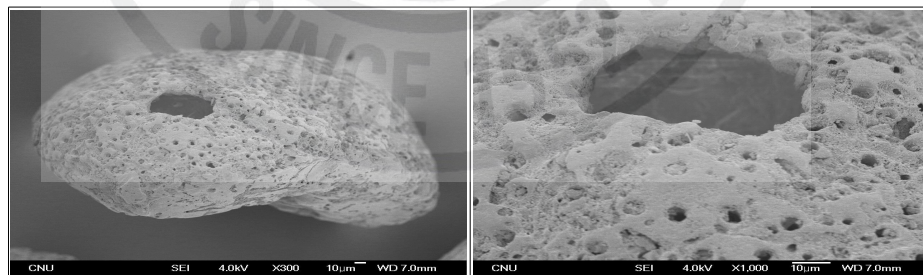


Fig.3.11 SEM result of Geum-neung and Pyoseon sand

## 5. 규산염과 탄산염이 혼재된 모래(Mixed sand)

주변지역의 분석구 암석이 풍화나 하천으로부터 유입된 규산염 모래와 조개껍질과 홍조류 등의 탄산염 모래가 혼재된 경우로 화순, 이호, 중문지역 등이 있다. 화순인 경우 송악산응회환부터 화순지역의 용머리응회환에 분포하고 있는 송악산응회암, 용머리응회암, 화산쇄설암등이 풍화되어 탄산염 모래와 혼재된 것으로 사료된다. 그 외에 중달·신양·중문·이호지역인 경우 하천으로부터 풍화된 모래가 유입된 것으로 사료된다.

### 5.1 물리적 특성

풍화에 의해 형성된 모래와 탄산염( $\text{CaCO}_3$ ) 함유된 모래가 혼재된 모래의 비중은 2.7 ~ 2.84의 범위를 나타내며 Fig.3.12의 입도분석을 보면 규산염 모래와, 탄산염 모래에 비해 모래의 입경이 비교적 균질한 것으로 나타났다.

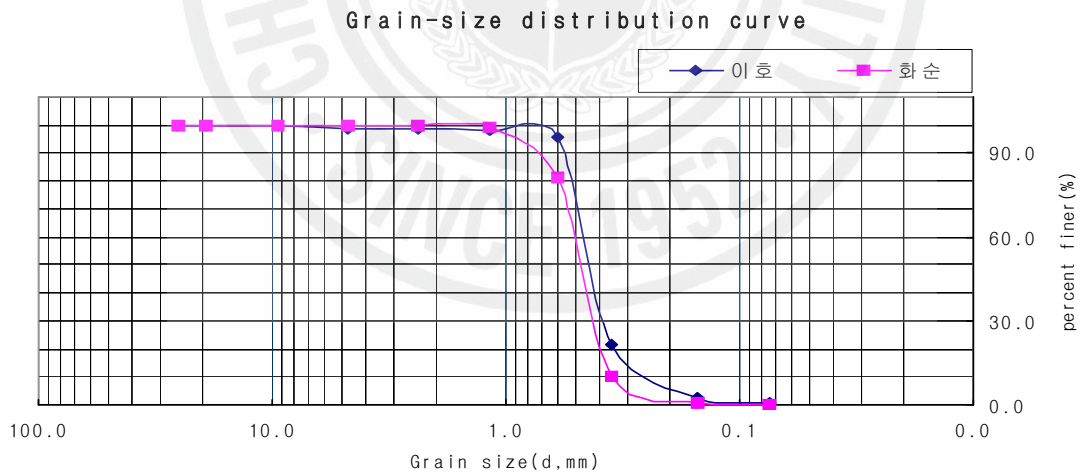


Fig. 3.12 Grain-size distribution curve of mixed sands

### 5.2 화학적 특성

규산염과 탄산염이 혼재된 모래는 XRF 분석결과 풍화의 영향을 나타내는 비율은 21.22wt% ~ 56.22wt%이고 이에 반면에 탄산염의 함유량은 30.00wt% ~ 71.23wt%의 범위를 나타내고 있다.

Fig. 3.13 ~ 14 제주도 해안지역에 분포하고 있는 탄산염 모래 중 금능, 표선지역 모래에 대한 XRD의 결과이다. 화순모래인 경우 주성분은 Quartz(석영, SiO<sub>2</sub>)이다. Feldspar(장석)가 상당량 함유되었으며 Calcite는 미량으로 나타났다. 이는 풍화된 모래에서 주성분을 이루는 Feldspar, Quartz와 탄산염 모래의 주성분인 Calcite, Analcime(방비석), Hematite(적철광)등이 동시에 나타나는 것을 알 수 있었다. 그리고 Fig. 3.15 금능, 표선지역 모래의 SEM촬영 결과 사진이다.

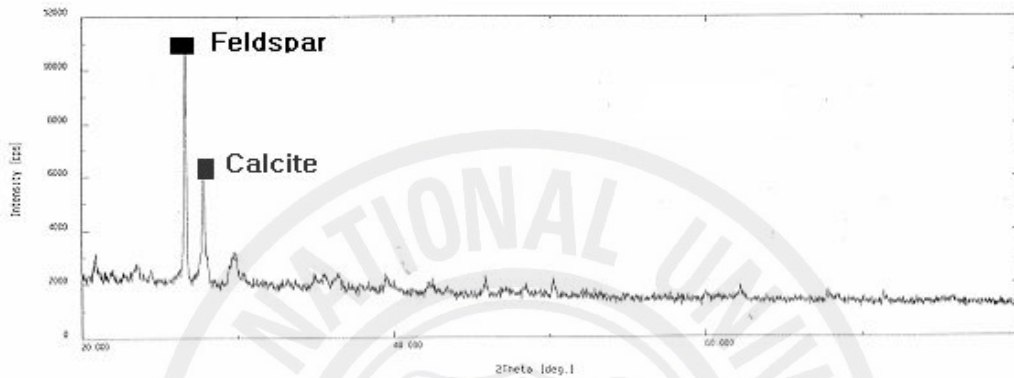


Fig. 3.13 XRD result of Hwa-sun sand

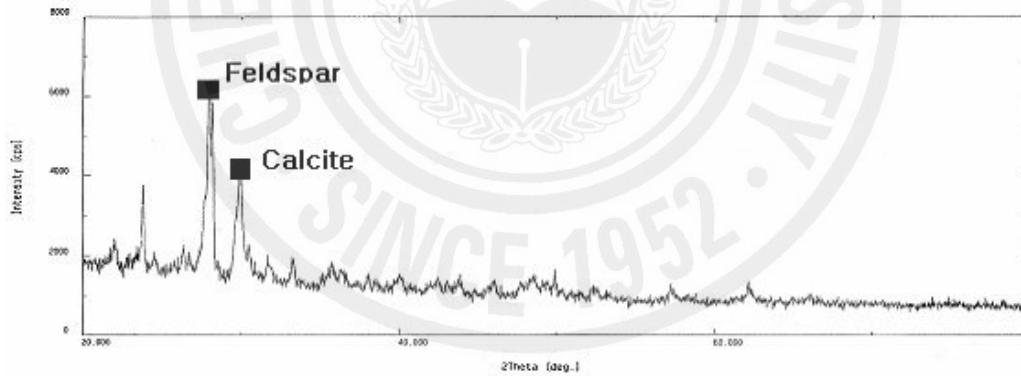


Fig. 3.14 XRD result of I-ho sand

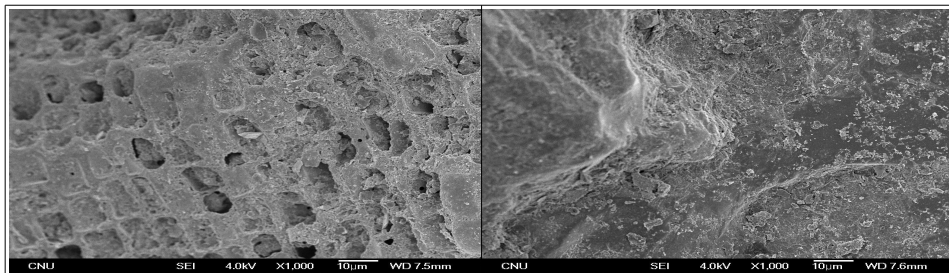


Fig.3.15 SEM result of Hwa-sun and I-ho sand

## 6. 비교분석

### 6.1 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 3.3은 모래의 형성을 나타낸 것이다.

**Table 3.3 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

## 6.2 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 3.4는 분류된 모래의 비중이며 다음과 같다.

**Table 3.4 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 하얀 색 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.

### 6.3 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 3.5는 XRF와 XRD의 결과를 각 분류된 모래별로 나타낸 것이다.

**Table 3.5 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)가 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, Hematite이 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.

## IV 바다모래를 사용한 콘크리트의 물성

### 1. 제주도 지역의 바다모래

#### 1.1 채취 지점

본 연구에 사용한 실험용 바다모래는 제주도에 분포하고 있는 바다모래 중에서 모래의 특성을 고려하여 6개 지역에 채취했다. 그리고 6개 지역과 비교하기 위해 EEZ지역에 세척사를 사용하였다. Table 4.1은 채취한 모래를 분류한 것이다..

Table 4.1 Picking place of sea sand

장소	특성	구분
EEZ	세척사	A-1
삼양	규산염모래	S-1
상모		S-2
금능	탄산염모래	C-1
표선		C-2
이호	혼합된모래	M-1
화순		M-2

### 2. 시험 방법

6개 지역 바다모래 및 EEZ지역이 바다모래의 비중 및 흡수량 시험은 KS F2504(잔골재의 비중 및 흡수량 시험방법), KS F2511(골재에 포함된 잔입자 시험방

법), 입도시험은 KS F2502(골재 체가름 시험방법), 염분함유량 시험은 KS F2512(염화물 함유량 시험방법), 바다모래에 포함된 조개껍질은 5mm이하, 5 ~13mm이하로 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 공시체에 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.

### 3. 시험 결과

EEZ지역의 세척사와 6개 지역의 Table4.2는 바다모래의 물리적 시험을 실시한 결과이다.

**Table 4.2 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	98.8
	No.8	95.8	100	86.3	74.5	100	99.6	98.4
	No.16	82.1	100	18.7	67.8	99.9	99.1	98.0
	No.30	54.1	100	0.3	56.4	94.8	81.4	95.4
	No.50	15.3	13.7	0.0	9.3	17.5	9.9	21.6
	No.100	4.4	0.2	0.0	1.9	1.4	0.4	2.3
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(%)	-	0.0038	0.0071	0.0027	0.0019	0.0034	0.0030	



물리적 시험결과 측정된 비중 값은 콘크리트 표준시방서에서 잔골재에 대하여 권장 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 3.95로 콘크리트용 잔골재로서 부적절하며 C-1만이 규정하는 범위 안에 존재한다.

Table 4.2에서 염분함유량은 채취시 각 모래의 염분함유량이다.

### 3.1 바다모래의 염분 함유량

일반적으로 바다모래에 포함된 염분함유량은 채취 지역과 장소, 시기, 방법, 시험방법 등에 따라 다르다. 다음은 염분에 대한 화학조성이며 Table 4.3과 같다.

**Table 4.3 Chemical composition of seawater**

화합성분	NaCl	MgCl <sub>2</sub>	MgSO <sub>4</sub>	CaSO <sub>4</sub>	HCL	기타	합계
(%)	2.72 (73.38)	0.30 (8.64)	0.21 (6.06)	0.14 (4.03)	0.08 (2.31)	0.02 (0.58)	3.47 (100)

#### 4. 콘크리트 배합

콘크리트 배합은 Table 4.4와 같으며, 콘크리트의 물성을 알아보기 위한 슬럼프 시험은 KS F 2402(포틀랜드 시멘트 콘크리트의 슬럼프 시험방법), 공기량시험은 KS F 2421(굳지 않은 콘크리트의 압력법에 의한 공기함유량 시험방법), 압축강도시험은 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험방법)로 실시하였다.

**Table 4.4 Mixing design in concrete (21Mpa-25mm-8.5cm)**

G max(mm)	Slump(cm)	Air(%)	W/C	S/A	단위량( $g/cm^3$ )				
					C	W	S	G	AD
25	8.5	4.5±1.5	55.2	48	652	358	1692	1954	3.26

##### 4.1 시멘트

KS L5201에 적합한 D사의 보통 포틀랜드 시멘트를 가지고 시험하였다. 시멘트의 물성 결과는 Table 4.5와 같다.

**Table 4.5 The result physical and chemical properties of concrete**

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

#### 4.2 골재

굵은 골재는 25mm이하의 쇄석을 사용하였다. 굵은 골재의 물성은 Table 4.6과 같다

**Table 4.6 The result of physical properties aggregate**

항목		KS품질기준	시험결과	시험방법	
입도	조립률(FM)	-	6.85	KS F 2502-'05	
입형	입형판정실적율(%)	55이상	58.1	KS F 2527-'02	
물 리 적 성 질	단위질량(kg/ℓ)	-	1.551	KS F 2505-'02	
	실적율(%)	-	58.5		
	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	
	정토덩어리함유량(%)	0.25이하	0.14	KS F 2512-'02	

#### 4.3 Shell 효과

바다모래에 포함된 Shell 함유량이 콘크리트 강도에 미치는 영향을 보기 위해 콘크리트 배합 시 Shell 크기를 5mm이하, 5 ~ 13mm이하로 정하고 Shell 함유량은 0%, 2.3%, 8% 변화시켜 강도를 측정하였다.

#### 4.4 염분함유량

바다모래에 포함되어 있는 염분이 콘크리트 강도에 미치는 영향을 보기 위해 콘크리트 배합 시 염분함유량을 0%, 0.02%, 0.06%, 0.10% 그리고 채취 시 바다모래의 염분량으로 변화를 시켜 강도를 측정하였다.

#### 4.5 콘크리트 공시체의 제작 및 양생

콘크리트 강도시험은 각각 채령 7일, 28일로 수중과 공기 양생하며 실험값은 각 타입마다 공시체 3개의 평균값으로 하였다. 강도시험용 공시체는 KS F2403 (강도 시험용 공시체 제작방법)에 따라  $\varnothing 10-20$  몰드를 사용하여 제작하였다.

다음의 Fig 4.1~4.3은 공시체 제작에 따른 시험과정과 공시체 제작을 나타낸 사진이다. Fig 4.1은 공시체 제작전 시멘트의 슬럼프 테스트과정을 나타낸 것이며, Fig 4.2는 시멘트의 공기함유량을 테스트하는 것이다. 이런 과정을 거쳐 공시체를 제작하는데 공시체 제작은 Fig 4.3과 같다.



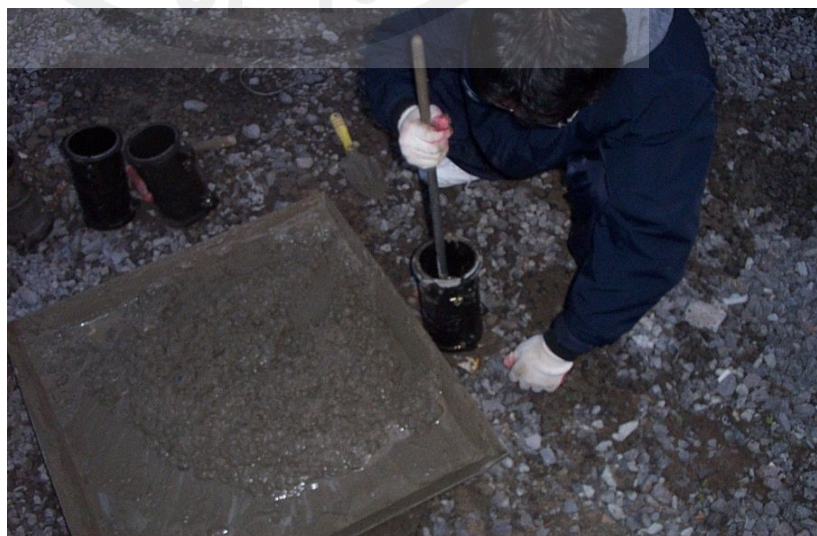
Fig 4.1 Slump test



Fig 4.2 Air content test



Fig 4.3 Fabrication of specimen



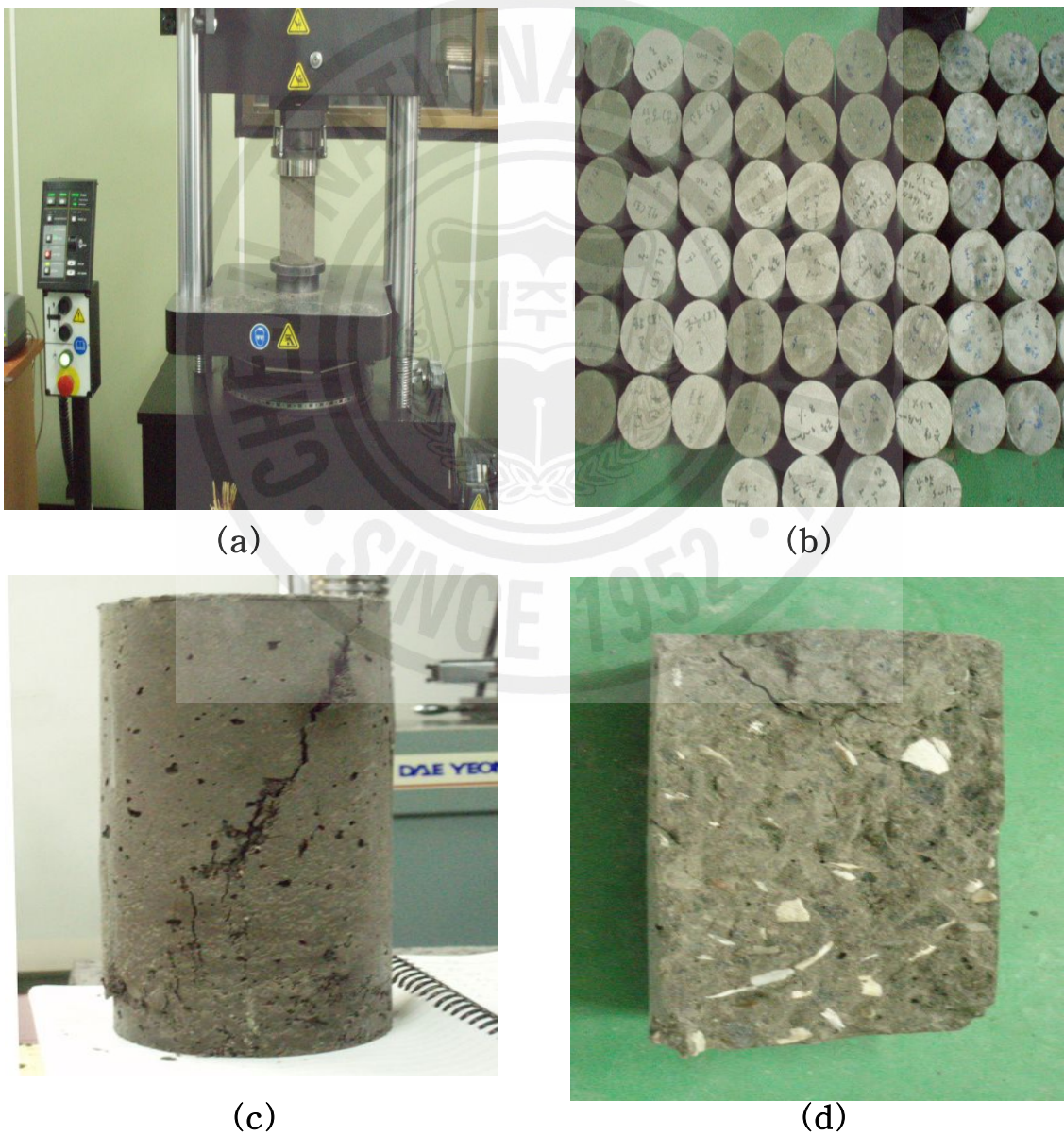




## 5. 압축강도시험

압축강도시험은 만능재료시험기를 사용하여 실시하였으며 공시체는 약 500개정도 제작하였다. Fig 4.4에 (a)는 압축강도시험기이며 (c)는 압축강도 파괴 후 공시체의 파괴단면을 나타낸 사진이다. (d)는 Shell을 포함하고 있는 공시체의 파괴단면이다.

Fig 4.4 Compressive strength



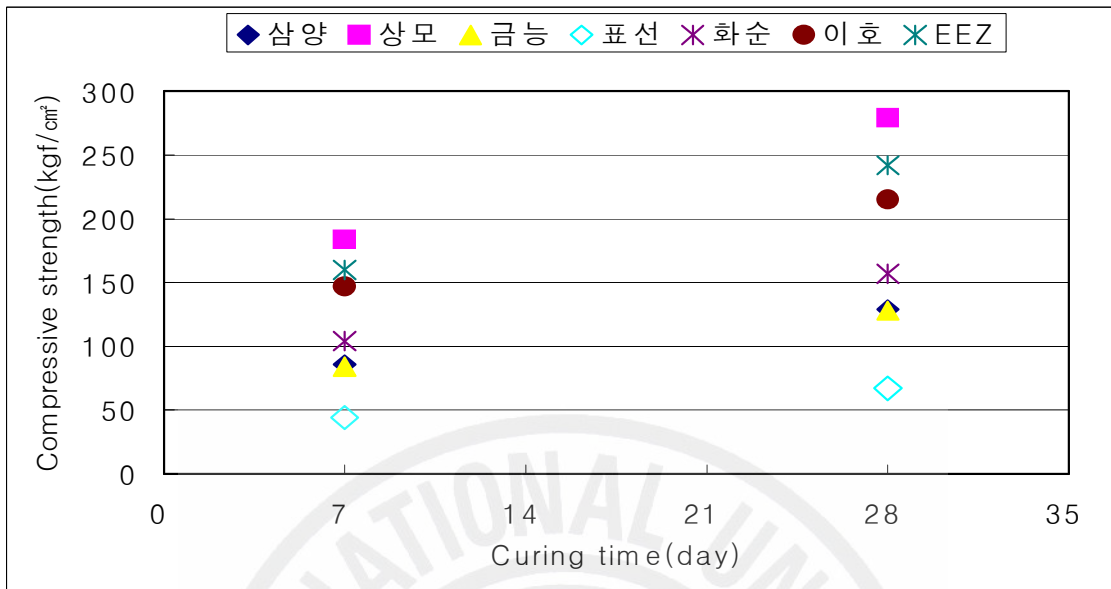


Fig 4.5 Compressive strength(Water curing)

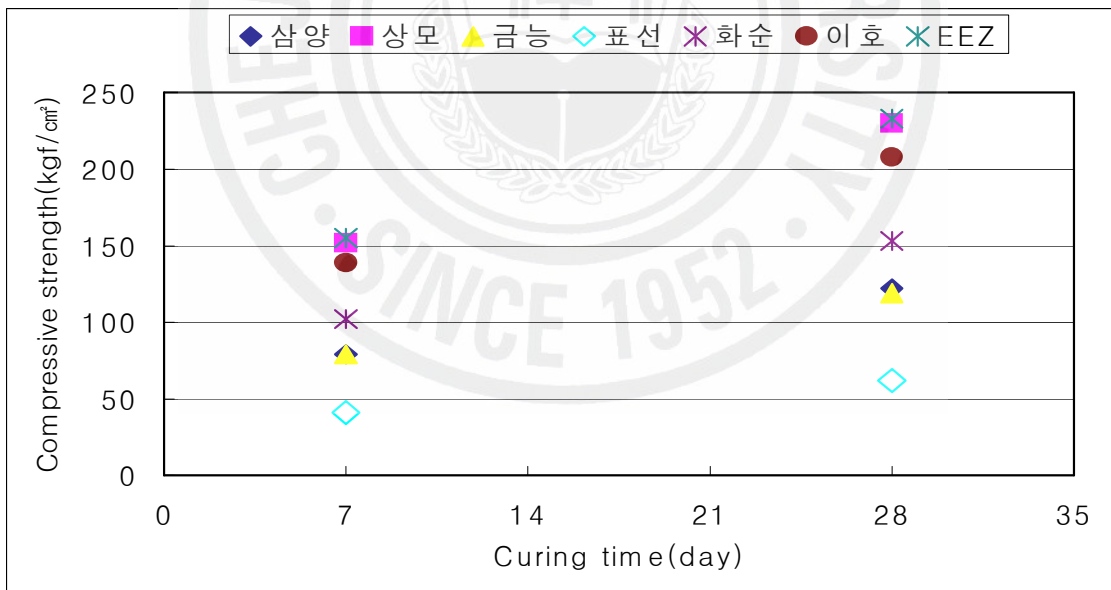


Fig 4.6 Compressive strength(Air curing)

Fig4.5~4.6는 채취한 모래를 세척한 후 바다모래를 사용한 콘크리트의 압축강도 시험결과이다. 공시체 제작시 압축강도를 210( $kgf/cm^2$ )로 제작하였으며, 수중과 공기 양생을 하였다. 28일 양생시 압축강도 결과 상모지역 모래는 279

( $kgf/cm^2$ ), 이호지역 모래는 215( $kgf/cm^2$ )로 EEZ지역 세척사와 유사하거나 높은 강도의 결과를 나타냈다. 나머지 지역의 모래는 210( $kgf/cm^2$ )이하 강도가 나타났다.

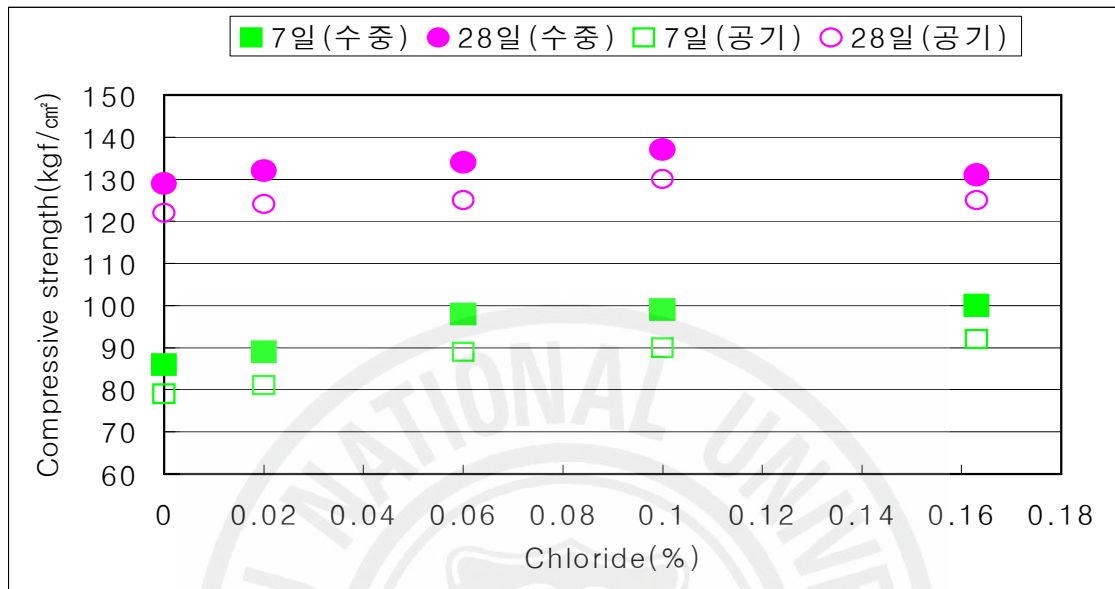


Fig 4.7 Compressive strength by salinity quantity(Sam-yang)

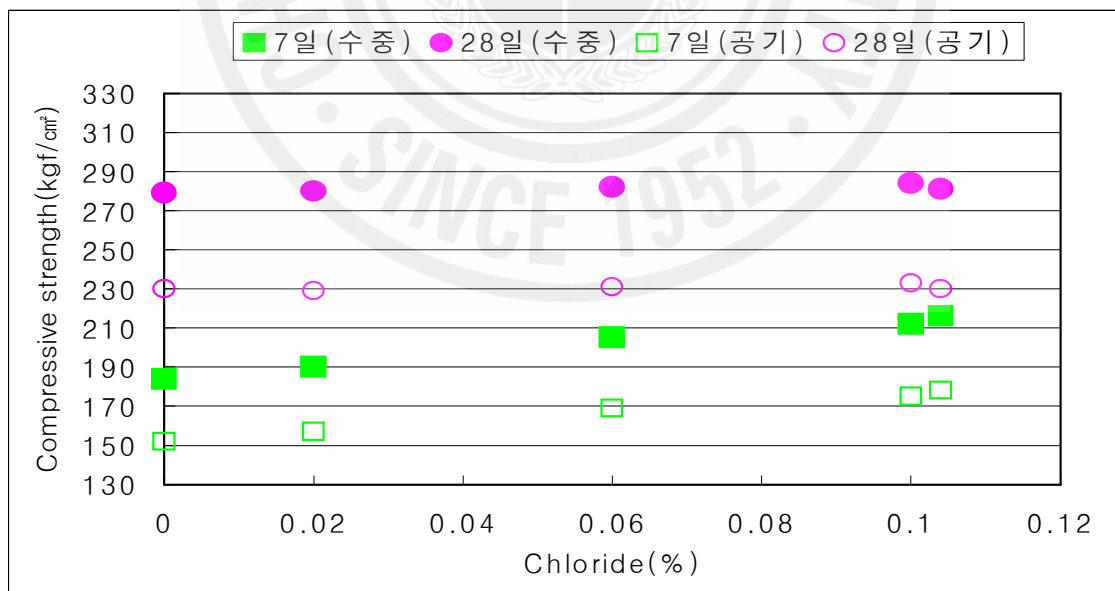


Fig 4.8 Compressive strength by salinity quantity(Sang-mo)

Fig4.7 ~ 12는 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 증가 한다

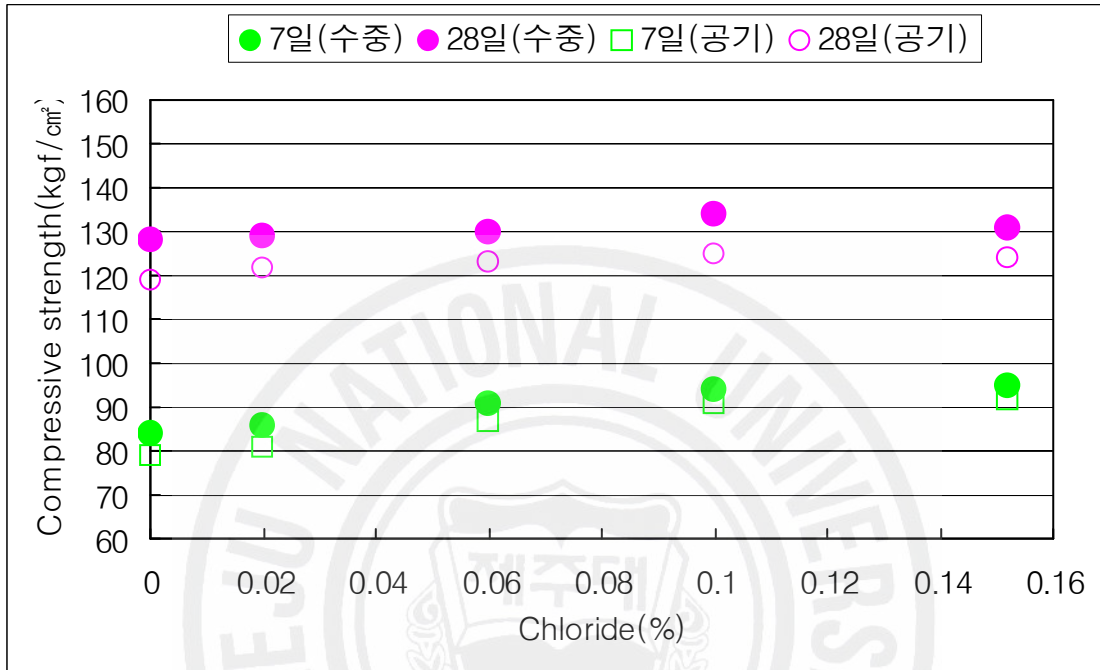


Fig 4.9 Compressive strength by salinity quantity(Geum-neung)

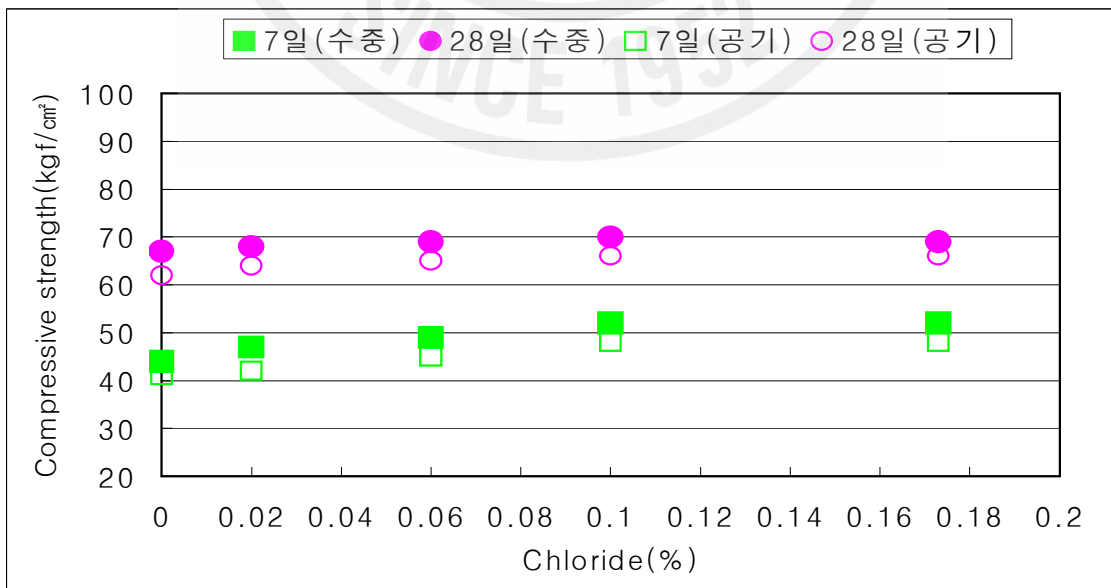


Fig 4.10 Compressive strength by salinity quantity(Pyoseon)

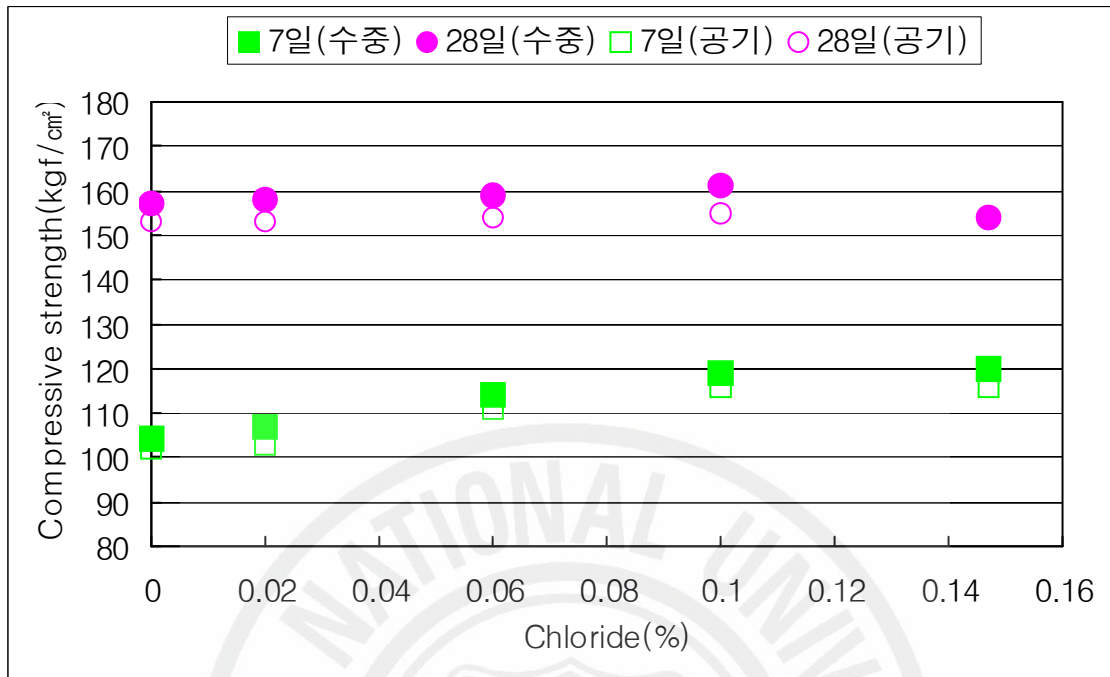


Fig 4.11 Compressive strength by salinity quantity(I-ho)

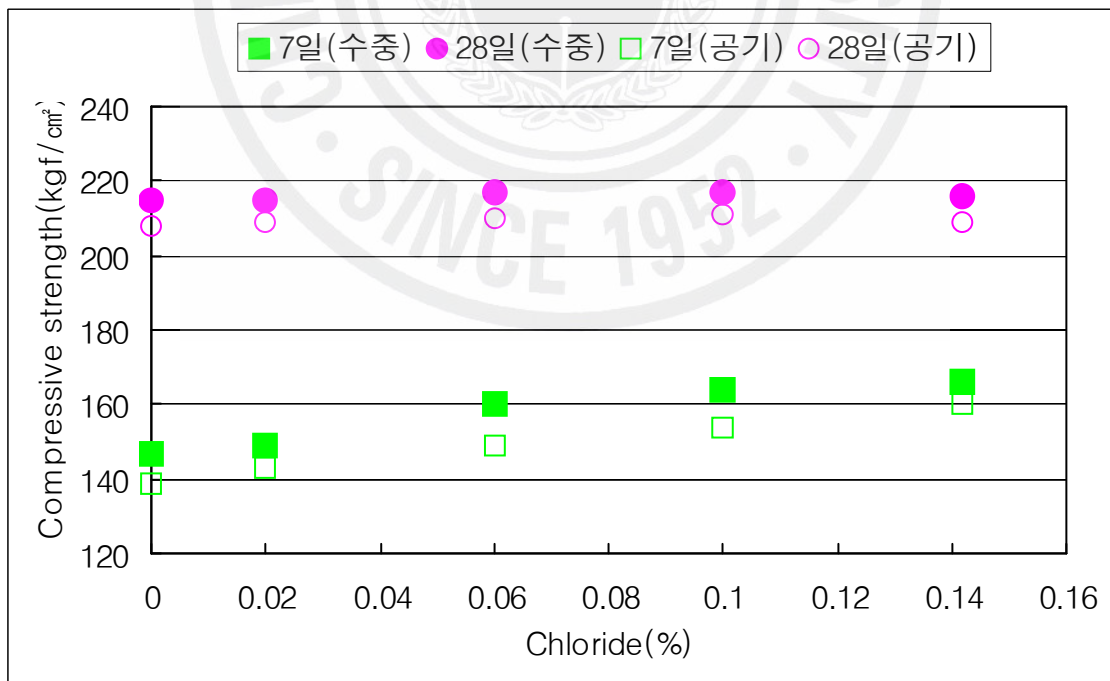


Fig 4.12 Compressive strength by salinity quantity(Hwa-sun)

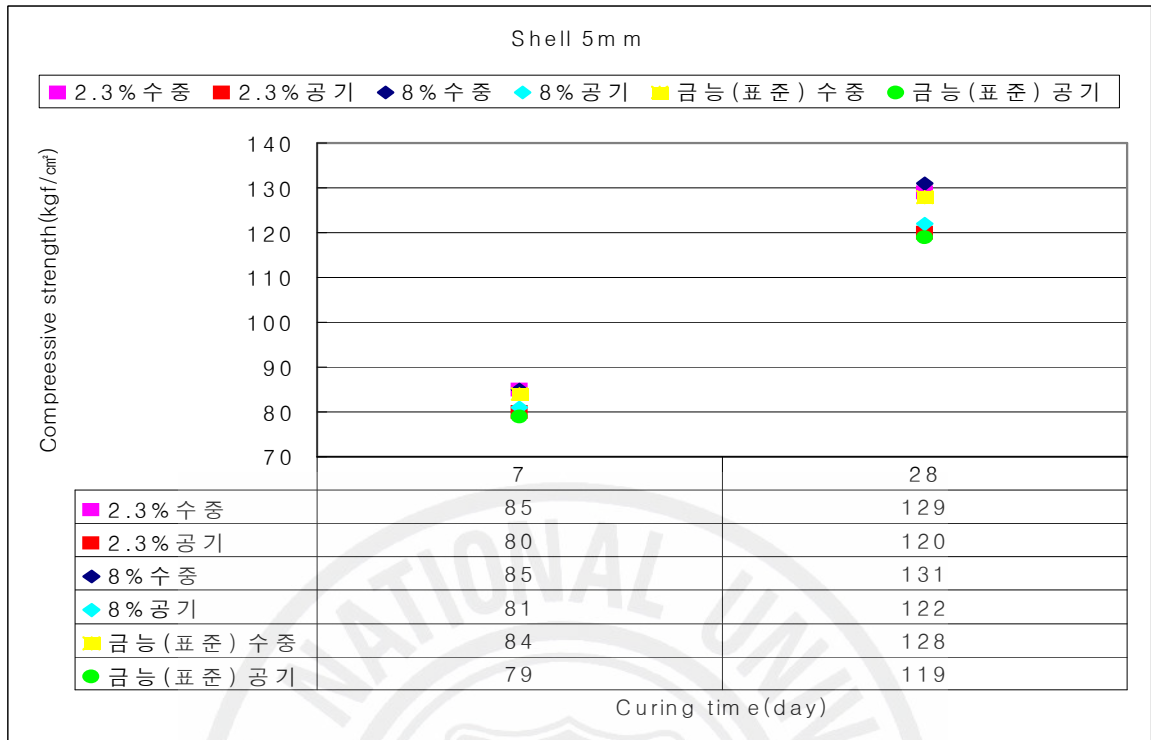


Fig 4.13 Compressive strength by Shell(5mm) variation(Geum-neung)

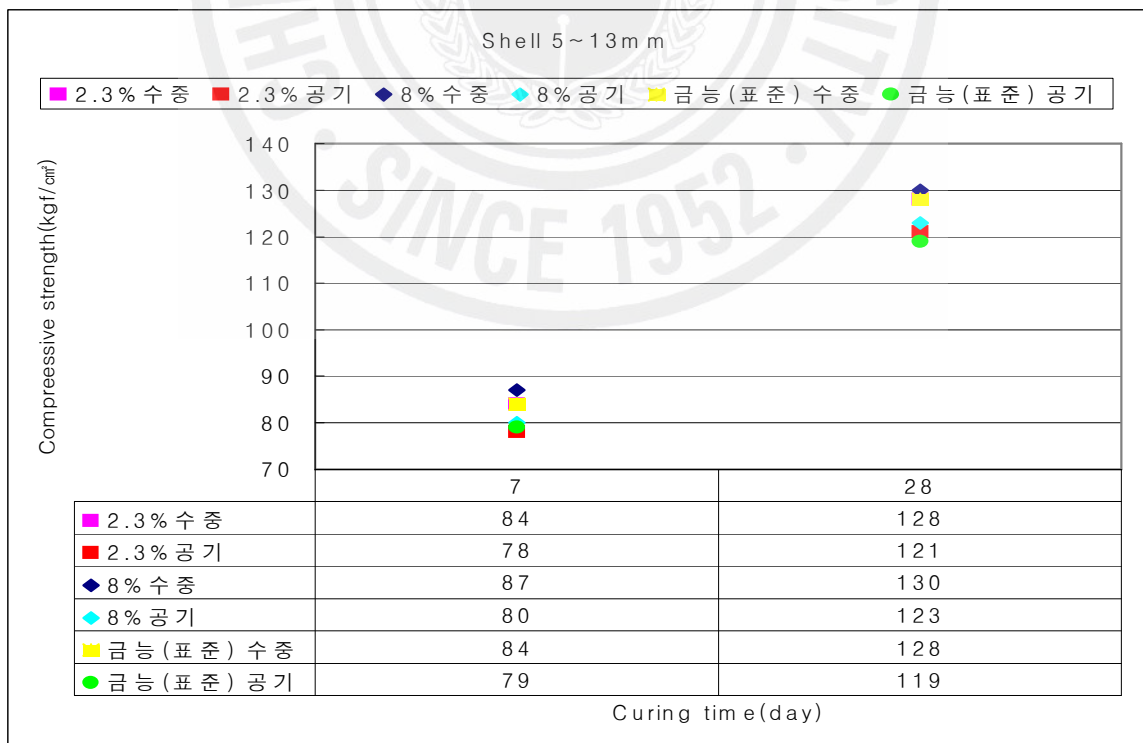


Fig 4.14 Compressive strength by Shell(5~13mm) variation(Geum-neung)

Fig4.13 ~ 14는 조개껍질의 콘크리트 강도에 미치는 영향을 알아보기 위해 조개껍질의 크기와 함유량에 따른 압축강도시험 결과이다.

압축강도시험 결과에서 조개껍질의 크기가 5mm이하에서 함유량이 8%에 이르기 까지 강도에 거의 영향을 받지 않는 것을 볼 수 있다. 그리고 조개껍질의 크기가 5 ~ 13mm일 때도 5mm이하 일 때와 비슷한 결과를 나타내었다.



## V 결 론

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 사용가능 여부를 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 규산염모래와 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 공극이 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.

사람들에게 자기가 살고 있는 집 또는 건물이 세척한 바다모래를 사용하여 건설되었다라고 한다면, 대부분의 사람들은 아무런 이유 없이 불안해 할 것이다. 그것은 굳이 설명하지 않아도, 바닷물 즉, 바다의 염분이 건축물에 좋지 않다는 것을 알고 있다 하겠다. 물론 실험결과에서 알 수 있듯이 세척한 모래는 콘크리트 강도에 영향을 주지 않는 것을 확인할 수 있었지만, 이번 실험 전까지 그런 얘기들은 모두 확인되지 않은 추측에 의한 말이며, 근거없는 얘기들인 것이다.

앞에서 볼 수 있듯이 하천모래와 강모래는 점점 고갈 되어 가고 있으며, 전국적으로 바다모래를 잔골재로 소비하는 비율은 증가하고 있고, 제주에서는 100% 바다모래를 사용하고 있다는 것을 알 수 있었다.

따라서 이번 실험을 통해 바다모래가 콘크리트 강도에 미치는 영향에 대하여 알아보는 좋은 계기가 되었을 뿐만 아니라, 잔골재로서 하천모래와 강모래를 대체해야 할 자원으로, 바다모래의 활용 가능성, 그리고 제주해안의 바다모래가 잔골재로서 활용 가능 여부를 판단하는데 좋은 계기가 되었다.

결과적으로 제주 해안지역의 바다모래가 건설골재로서 활용가능 여부는 확인할 수 있었지만, 현실적으로 제주 해안지역의 바다모래가 많은 건설현장의 수급 가능여부, 그리고 제주관광의 입장에서 제주해안의 모래가 잔골재로 사용한다는 것은 지금으로선 어려울 것으로 판단된다. 하지만 제주 해안의 바다모래가 건설골재로서 활용 가능하다는 것을 확인 할 수 있어서 뜻 깊은 시간 이었다.

끝으로 이번 실험을 마치면서 아쉬운 점이 있다면, Shell의 크기와 함유량에 대한 실험이 많이 부족하지 않았나 하는 아쉬움이 남는다. 바다모래를 사용하게 되면 반드시 Shell이 포함되게 되는데, 콘크리트 강도에 영향을 주는 Shell의 크기와 함유량에 대한 연구가 더 필요할 것으로 판단된다.



## VI 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.
- 윤종수, 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, pp8~33.
- 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.

## 감사의 글

산업대학원, 석사학위 과정을 밟는다는 부푼 꿈을 안고 시작한지 어느새 3년, 짧으면 짧고, 길다면 긴 3년이란 시간동안 마음을 졸이며 졸업 할 수 있을까하는 걱정을 안고 살아온 힘든 시간들이었습니다. 가끔씩 힘들고, 신경 못쓰고 포기하고 싶을 때마다 저를 끝까지 믿고, 포기하지 않으시면서, 이 논문이 완성할 수 있게 많은 가르침을 주신 남정만 지도교수님께 이 글을 빌어 진심으로 깊은 감사를 드립니다.

그리고 논문심사과정에서 세심한 배려와 조언을 아끼시지 않으셨던 양성기 교수님, 박상렬 교수님, 김남형 교수님, 이병걸 교수님, 이동욱 교수님, 김상진 교수님께도 감사를 드립니다.

또한 본 논문이 완성되기까지 논문작업으로 바쁜 저를 대신하여 도와준 지반공학 연구실 홍종완 학생께 깊은 감사를 드리고, 김승현, 김도형, 조성환학생을 포함한 토목공학과 학생들에게도 감사를 드립니다.

그리고, 이 실험을 할 수 있게 실험 장소와 골재를 아낌없이 지원하여 주신 신홍레미콘회사의 김창희 이사님을 비롯한 직원 여러분들께도 깊은 감사를 드립니다.

또한 학업에 전념할 수 있도록 항상 이해와 격려로 해주신 제주대학교 학생군사교육단의 김성훈 단장님, 박병건님, 이원희님, 김석환님, 박광열님, 고남혁님, 강준영님, 김한균님과 학군사관후보생 정형일 후보생을 포함한 후보생 총원에게도 감사를 드립니다.

대학원생활 동안 많은 힘이 되어준 산업대학원 팔구회임원 양재수님, 김홍준님, 고대호님, 육경수님, 강지성님, 김남식님, 오영진님, 차성님, 홍동철님, 김형철님, 홍정호님에게도 감사를 표하며, 건승하기를 기원합니다.

이제는 다들 각자의 길을 가다보니 자주 만날 수는 없지만, 제 가슴속에 남아있는 친구들과 학군단 동기들, 선 · 후배님들께도 깊은 감사를 드립니다.

또한 오늘 이 자리에 있기까지 저를 키워주신 아버님과 어머니, 형님, 형수님, 매형, 누님께도 진심으로 머리 숙여 깊은 감사를 드리며, 이 기쁨을 평소 저를 아끼고, 사랑해주신 모든 분들에게 이 작은 결실을 바칩니다. 감사합니다.

2006. 6

박진영