

# 패분을 혼입한 콘크리트의 물리·역학적 특성

## Physical and Mechanical Properties of Concrete with Oyster Shell

성 찬 용\* · 서 대 석\*\*  
Sung, Chan Yong · Seo, Dae Seuk

### Abstract

This study is performed to evaluate the physical and mechanical properties of oyster shell concrete.

The result shows that the unit weights of concrete with oyster shell are less by 1%~2% than that of the normal cement concrete. The highest strengths are achieved by 2.5% oyster shell concrete, with increased compressive strength by 4%, tensile strength by 6% and bending strength by 7% than that of the normal cement concrete, respectively. The static modulus of elasticity is in the range of  $290 \times 10^3 \sim 314 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$  for 2.5~7.0% oyster shell concrete, which has showed about the same compared to that of the normal cement concrete. The Poisson's number of oyster shell concrete is less than that of the normal cement concrete.

Accordingly, oyster shell concrete will improve the properties of concrete.

### I. 서 론

국내 산업의 지속적인 발달과 함께 그 부산물은 많은 종류와 양적인 증가를 보이고 있으며, 많은 양의 부산물이 매립되고 있지만 매립할 수 있는 곳은 한정되어 있는 실정이고 그 매립비용 또한 적지 않다.

이러한 부산물 중 콘크리트의 특성을 개선시키는 효과를 지닌 fly ash와 고로 slag 등이 콘크리트용 재료로 사용되어 왔고, 농업의 부산물로 왕겨재와 벼짚재 등을 혼화재료로 사용하여 콘크리트의 성질을 개선시키기 위한 연구가 진행되고 있다.<sup>1-3)</sup>

한편, 우리 나라에서는 수산물중 주로 갈, 피조

개, 바지락 등이 양식되며, 1996년의 수산연감에 따르면 패류의 생산량 중 굴은 전세계 생산량의 15.5%로써 약 21만 톤 가량으로 그 중 약 90%에 달하는 굴껍질은 바다나 해안에 폐기되고 있으며 패류의 생산량도 매년 증가추세에 있다.

따라서, 본 연구는 수산업의 부산물로 생산되는 패류의 껍질을 혼입한 콘크리트의 단위중량, 압축강도, 인장강도, 휨강도, 정탄성계수, 푸아송수, 응력-변형률 등의 물리·역학적 특성을 실험적으로 구명하여 성능이 보통 시멘트 콘크리트 보다 우수한 콘크리트를 활용하기 위한 기초 자료를 얻는데 그 목적이 있다

\* 충남대학교 농과대학

\*\* 충남대학교 대학원

키워드 : 패분 콘크리트, 단위중량, 강도, 정탄성계수, 푸아송수, 응력-변형률

## II. 재료 및 방법

### 1. 사용재료

#### 가. 시멘트

본 실험에 사용된 시멘트는 KS F 5201에 규정된 국내 S사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트이며, 물리적 성질 및 화학 성분은 Table 1 및 2와 같다.

Table 1. Physical properties of normal Portland cement

| Specific gravity | Setting time (h-min) |       | Compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> ) |       |        |
|------------------|----------------------|-------|---|-------|--------|
|                  | Initial              | Final | 3days                                       | 7days | 28days |
| 3.15             | 3-7                  | 7-20  | 194   | 216   | 323    |

Table 2. Chemical compositions of normal Portland cement

(Unit : %)

| SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO  | SO <sub>3</sub> | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
|------------------|--------------------------------|-------|------|-----------------|------------------|-------------------|--------------------------------|
| 21.09            | 4.84                           | 63.85 | 3.32 | 3.09            | 1.13             | 0.29              | 2.39                           |

#### 나. 골재

본 실험에 사용된 잔골재 및 굵은 골재는 금강구역에서 채취한 천연골재이며, 물리적 성질은 Table 3과 같다.

Table 3. Physical properties of aggregate

| Classification   |                      | Size (mm)    | Specific gravity (20°C) | Absorption ratio (%) | F.M  | Unit weight (kgf/m <sup>3</sup> ) |
|------------------|----------------------|--------------|-------------------------|----------------------|------|-----------------------------------|
| Coarse aggregate | Rounded river gravel | 4.76~10      | 2.66                    | 2.59                 | 7.26 | 1,452                             |
|                  | Fine aggregate       | Natural sand | 0.595~4.75              | 2.61                 | 2.32 | 1,476                             |

#### 다. 패분

본 실험에 사용된 패분은 충청남도 서해안에서

채취한 굴껍질로 표면의 해초등 유기물은 철솔로 제거한 뒤 직경이 2~4cm되게 부수어 수조에 이틀간 넣어 염분을 제거한 후 110±5°C의 건조기에서 24시간 동안 건조시켜 0.15mm 이하가 되게 분쇄한 것을 사용하였으며, 패분의 물리적 성질 및 화학 성분은 Table 4 및 5와 같다.

Table 4. Physical properties of oyster shell

| Unit weight (kgf/m <sup>3</sup> ) | Size (mm) | Colour | Specific gravity (20°C) | Specific surface area (cm <sup>2</sup> /g) |
|-----------------------------------|-----------|--------|-------------------------|--|
| 997                               | < 0.15    | White  | 2.31                    | 4,889                                      |

Table 5. Chemical composition of oyster shell

(Unit : %)

| SiO <sub>2</sub> | CaO   | MgO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Ig. loss |
|------------------|-------|------|-------------------|------------------|--------------------------------|----------|
| 60.47            | 39.05 | 0.39 | 0.02              | 0.02             | 0.01                           | 0.04     |

### 2. 공시체 제작

#### 가. 콘크리트 배합

패분 콘크리트의 배합은 강도를 고려하고 패분의 혼입량을 변수로 하여 시멘트, 패분, 잔골재 및 굵은골재 등의 배합비를 결정하였던 바, 패분을 결합재(시멘트+패분)중량의 0%, 2.5%, 5%, 7.5%.

Table 6. Mix design of oyster shell concrete

(Unit : kgf/m<sup>3</sup>)

| Type | Cement | Sand | Gravel | Oyster shell | Water | S/a (%) | Slump (cm) |
|------|--------|------|--------|--------------|-------|---------|------------|
| S1   | 372    | 754  | 1,131  | 0            | 192   | 40      | 8±1        |
| S2   | 361    | 747  | 1,121  | 9            | 192   |         |            |
| S3   | 352    | 743  | 1,115  | 18           | 192   |         |            |
| S4   | 343    | 742  | 1,113  | 27           | 193   |         |            |
| S5   | 334    | 740  | 1,110  | 37           | 193   |         |            |
| S6   | 325    | 738  | 1,107  | 46           | 193   |         |            |
| S7   | 316    | 736  | 1,104  | 55           | 193   |         |            |

10%, 12.5%, 15%를 혼입한 S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7등 7종류의 배합비로 하였으며, 이의 배합 설계 결과는 Table 6과 같다

나. 공시체 제작 및 양생

패분 콘크리트의 제작은 KS F 2405 (콘크리트의 압축강도 시험방법)에 준하여 잔골재와 굵은골재를 잘 혼합한 다음 시멘트와 패분을 투입하는 순서로 하였으며, 몰드에 타설된 콘크리트는 양생상자(20±1℃, 습도 96±2%)에서 24시간 정치 후 탈형하여 소정의 재령까지 수증양생(20±1℃) 하였다.

3. 시험방법

시험은 다음과 같이 KS에 규정된 방법에 준하여 재령 28일에 측정하였으며, 3회 반복 시험한 것의 평균값을 실험 결과치로 하였다.

가. 단위중량시험은 경량성을 파악하기 위하여 실시하였으며, 각 배합비별로  $\phi 150 \times 300\text{mm}$ 인 공시체의 표면건조포화상태의 중량과 체적을 측정하여 산출하였다.

나. 압축 및 인장강도시험은  $\phi 75 \times 150\text{mm}$ , 휨강도시험은  $60 \times 60 \times 240\text{mm}$ 의 시험체를 제작하여 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험방법)와 KS F 2423(콘크리트의 인장강도 시험방법) 및 KS F 2408(콘크리트의 휨강도 시험방법)에 준하여 각 강도를 측정하였다.

다. 정탄성계수 및 푸아송비는 KS F 2438(콘크리트 원주공시체의 정탄성계수 및 푸아송비 측정방법)에 규정된 방법에 따라  $\phi 150 \times 300\text{mm}$ 의 공시체에 극한 하중의 40%를 가해 얻은 응력과 종·횡변형률 및 종변형률이 0.00005일 때의 응력과 횡변형률을 측정하여 정탄성계수와 푸아송비를 구하였다.

라. 콘크리트의 응력-변형률 특성을 측정하기 위해서  $\phi 150 \times 300\text{mm}$ 의 공시체를 만능시험장치를 사용하여 종·횡변형률을 측정하고 응력의 변화에 따른 변형률의 변화 상태를 컴퓨터 시스템을 이용하여 측정하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 단위중량

콘크리트의 단위중량은 사용골재의 종류와 배합 조건에 따라 큰 차이가 있으며, 패분을 혼입한 콘크리트의 단위중량 시험결과를 나타내면 Table 7과 같다.

Table 7에서 보는 바와 같이 단위중량 시험결과는 S1을 기준으로 S2~S7의 단위중량은 98%~99%로 1%~2%정도 감소되었는데, 이와 같은 단위중량 감소의 주요 원인은 시멘트의 일부 대용으로 단위중량이 월등히 가벼운 패분을 사용하였기 때문이며, 패분의 혼입량이 증가할수록 단위중량은 감소하는 경향을 보였다.

Table 7. Test results of oyster shell concrete

| Type | Unit weight (kgf/m <sup>3</sup> ) | Strength (kgf/cm <sup>2</sup> ) |         |         |
|------|-----------------------------------|---------------------------------|---------|---------|
|      |                                   | Compressive                     | Tensile | Bending |
| S1   | 2,258                             | 320                             | 30      | 70      |
| S2   | 2,240                             | 333                             | 32      | 75      |
| S3   | 2,230                             | 327                             | 31      | 71      |
| S4   | 2,227                             | 302                             | 30      | 68      |
| S5   | 2,223                             | 291                             | 29      | 67      |
| S6   | 2,218                             | 281                             | 28      | 65      |
| S7   | 2,213                             | 259                             | 25      | 59      |

2. 강 도

가. 압축강도

압축강도는 골재의 종류 배합조건에 따라 다르며, 콘크리트의 역학적 성질을 나타내는 요소 중의 하나이다. 패분을 혼입한 콘크리트의 각 배합비에 따른 압축강도 시험결과를 나타내면 Table 7과 같다.

Table 7에서 보는 바와 같이 패분을 혼입한 콘크리트의 압축강도는 259~333kgf/cm<sup>2</sup>으로 패분의 혼입량에 따라 차이가 크게 나타났다.

한편, 패분을 혼입한 콘크리트는 보통 시멘트 콘크리트의 압축강도에 비해 S2와 S3에서는 2%~4% 정도가 증가되었는데, 이는 패분의 분말도가 보통 시멘트의 분말도보다 크기 때문에 콘크리트 속의 공극을 미세한 입자가 채워 강도를 증진시켰기 때문이라 생각된다. 또한, S4~S7에서는 6%~20% 정도 감소되었는데 이는 결합력이 작은 패분이 적정량 이상으로 혼입되었기 때문이라 생각된다.

나. 인장강도

Table 7에서 보는 바와 같이 패분을 혼입한 콘크리트의 인장강도는 보통 시멘트 콘크리트의 인장강도에 비해 S2와 S3에서는 크게 나타났고, S4~S7에서는 작게 나타났으며, 압축강도의 성질과 유사한 결과를 보였다.

또한, 압축강도와 마찬가지로 S2에서 인장강도가 가장 크게 나타났으며, 보통 시멘트 콘크리트에 비해 6% 정도 크게 나타났다. 그러나 패분의 혼입량이 7.5% 이상 혼입되는 S4~S7에서는 인장강도가 감소하였는데, 이는 패분의 혼입량이 7.5% 이상 혼입되면 결합력이 작은 패분의 양이 과다 혼입되어 강도를 감소 시키는 것으로 생각된다.

다. 휨강도

패분을 혼입한 콘크리트의 휨강도는 Table 7에서 보는 바와 같이 보통 시멘트 콘크리트의 휨강도에 비해 S2와 S3에서는 1%~7% 크게 나타났고, S4~S7에서는 3%~15% 작게 나타났으며, 패분의 혼입량이 7.5% 이상으로 증가할수록 휨강도는 감소하는 경향을 나타내었는데 이는 결합력이 작은 패분이 적정량 이상으로 혼입 되었기 때문이라고 생각된다.

라. 강도비

패분을 혼입한 콘크리트의 강도비를 나타내면 Table 8과 같다. 강도비는 역학적 성질을 구명하는데 필요한 요소중의 하나이며, 패분 콘크리트의 각 강도비  $\sigma_t/\sigma_c$ 는 0.094~0.099의 범위이고,  $\sigma_b/$

$\sigma_c$ 는 0.217~0.231 범위이며,  $\sigma_t/\sigma_b$ 는 0.346~0.432의 범위로, 보통 시멘트 콘크리트의 강도비 ( $\sigma_t/\sigma_c=0.093$ ,  $\sigma_b/\sigma_c=0.218$ ,  $\sigma_t/\sigma_b=0.428$ )보다 대체적으로 크게 나타났는데, 이러한 결과는 패분을 혼입한 콘크리트가 압축강도의 크기에 비하여 휨강도와 인장강도가 보통 시멘트 콘크리트의 강도보다 상대적으로 크기 때문이다.

Table 8. Strength ratio of oyster shell concrete

| Type | $\sigma_t/\sigma_c$ | $\sigma_b/\sigma_c$ | $\sigma_t/\sigma_b$ |
|------|---------------------|---------------------|---------------------|
| S1   | 0.093               | 0.218               | 0.428               |
| S2   | 0.096               | 0.225               | 0.426               |
| S3   | 0.094               | 0.217               | 0.346               |
| S4   | 0.099               | 0.225               | 0.441               |
| S5   | 0.099               | 0.230               | 0.432               |
| S6   | 0.099               | 0.231               | 0.430               |
| S7   | 0.096               | 0.227               | 0.423               |

마. 정탄성계수

일반적으로 콘크리트의 탄성계수는 그 값이 작으면 재료의 변형률이 크고, 탄성계수가 크면 대체적으로 강도가 크게 나타난다는 것을 의미한다.<sup>5)</sup> 패분을 혼입한 콘크리트의 정탄성계수는 S2~S4의 경우  $290 \times 10^3 \sim 314 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$  정도로 보통 시멘트 콘크리트의 정탄성계수에 비해 0.6%~9% 정도 큰 값을 보였으며, S5~S7의 정탄성계수는  $259 \times 10^3 \sim 277 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$  정도의 범위로 보통 시멘트 콘크리트에 비해 4%~10% 작은 값을 나타내었다. 또한 강도가 가장 크게 나타난 S2의 경우가 탄성계수도 가장 크게 나타났으며, 패분의 혼입량이 증가할수록 탄성계수는 감소하는 경향을 보였다.

바. 푸아송비

일반적으로 구성요소에 하중을 가하는 경우 하중의 방향으로 수축성을 나타내는 종변형과 그방향에 수직인 방향으로 팽변형이 생기는데, 탄성한도 이내에서의 종변형률에 대한 횡변형률의 비율

푸아송비(Poisson's ratio)라고 하며,  $\nu$  또는  $1/m$ 로 표시하고,  $m$ 은 푸아송수이고, 보통 금속재료 및 시멘트 콘크리트의  $m$ 은 3~4와 6~12 정도이다.

한편, Table 9에서 보는 바와 같이 패분을 혼입한 콘크리트의 푸아송수는 3.38~5.18 정도로 보통 시멘트 콘크리트의 푸아송수 3.95보다 S4, S5, S6, S7에서는 큰 값을 보였고, S2와 S3에서는 작은 값을 나타내었는데 이러한 결과는 강도가 크게 나타날수록 횡변형률이 종변형률 보다 크기 때문이라 하겠다.

Table 9. Static modulus of elasticity and Poisson's ratio of oyster shell concrete

| Mix Type | Static modulus of elasticity ( $\times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ ) | Poisson's  |           |
|----------|--|------------|-----------|
|          |  | Ratio(1/m) | Number(m) |
| S1       | 288  | 0.253      | 3.95      |
| S2       | 314  | 0.295      | 3.38      |
| S3       | 312  | 0.267      | 3.74      |
| S4       | 290  | 0.237      | 4.22      |
| S5       | 277  | 0.214      | 4.67      |
| S6       | 262  | 0.196      | 5.10      |
| S7       | 259  | 0.193      | 5.18      |

사. 응력-변형률 특성

패분을 혼입한 콘크리트의 종변형률과 횡변형률의 시험결과를 나타내면 Table 10과 같고, 응력과 변형률과의 관계를 도시하면 Fig. 1과 같다.

Table 10과 Fig.1에서 보는 바와 같이 종·횡변형률은 보통 시멘트 콘크리트에 비하여 S2와 S3에서 종변형률은 3%~10% 정도, 횡변형률은 8%~29% 정도 크게 나타났으며, 패분의 혼입량이 적정량 이상인 S4~S7의 배합에서는 각각의 변형률이 감소하는 경향을 나타내었는데, 이는 패분이 적정량 혼입되는 경우에는 포출란 반응을 일으키는 효과를 하여 응력에 대한 변형률이 크게 나타난 것으로 생각된다.

Table 10. Strain of oyster shell concrete

| Mix Type | Strain ( $\times 10^{-4}$ ) |            |
|----------|-----------------------------|------------|
|          | Longitudinal                | Horizontal |
| S1       | 0.425                       | 0.107      |
| S2       | 0.468                       | 0.138      |
| S3       | 0.438                       | 0.116      |
| S4       | 0.421                       | 0.099      |
| S5       | 0.413                       | 0.088      |
| S6       | 0.375                       | 0.073      |
| S7       | 0.302                       | 0.058      |

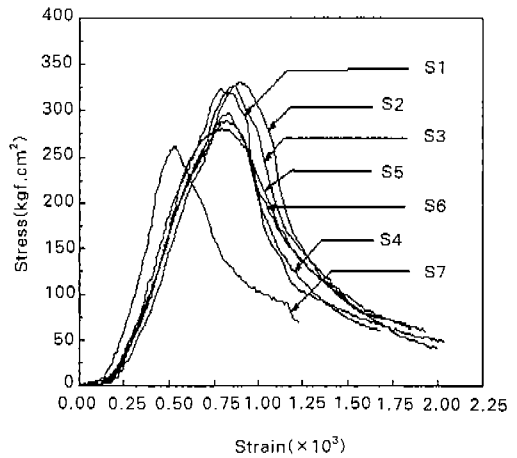


Fig. 1. Stress-strain curves of oyster shell concrete

IV. 결 론

이 연구는 보통 포틀랜드 시멘트와 천연골재 및 패분을 혼입한 콘크리트의 물리·역학적특성을 구명한 것으로, 이 연구를 통해 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 단위중량은 2,213~2,240kgf/m<sup>3</sup>의 범위로 보통 시멘트 콘크리트에 비해 1%~2% 정도 감소되었으며, 패분의 혼입량이 증가할수록 감소되었다.
2. 각 강도는 패분을 2.5% 혼입한 콘크리트에서 가장 크게 나타났으며, 보통 시멘트 콘크리트에

비해 압축강도는 4%, 인장강도는 6%, 휨강도는 7% 정도 증가되었다.

3. 정탄성계수는  $259 \sim 314 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ 의 범위로 패분을 2.5% 혼입한 콘크리트에서 가장 크게 나타났으며, 패분의 혼입량이 증가할수록 감소하는 경향을 보였다.

4. 푸아송비는 0.193~0.295의 범위로 패분을 2.5% 혼입한 콘크리트에서 가장 크게 나타났으며, 패분의 혼입량이 증가할수록 감소하는 경향을 보였다.

5. 패분을 혼입한 콘크리트의 응력-변형률특성은 패분을 2.5% 혼입한 S2의 변형률이 가장 크게 나타났으며, 패분의 혼입량이 증가할수록 감소하였다.

6. 시멘트량의 일부로 적정량의 패분을 혼입하여 콘크리트 재료로 사용할 경우, 물리·역학적 성질이 보통 시멘트 콘크리트보다 우수할 뿐만 아니라, 수산부산물의 활용 측면에서도 많은 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

### 참 고 문 헌

1. 성찬용, 1997, 왕겨재 콘크리트의 개발 및 그 공학적 성능에 관한 실험적 연구, 한국농공학회지, 39(5), pp. 55-63.
2. 성찬용 외 1인, 1998, 벚짚재 콘크리트의 물리·역학적 특성, 한국농공학회지, 40(4), pp. 103-108.
3. Brandt, A. M., 1995, Cement-based composites : Materials, mechanical properties and performance, E & FN Spon, pp. 66.
4. Erik, J. Sellevold., 1987, The function of condensed silica fume in high strength concrete, Proceedings of Symposium on Utilization of High Strength Concrete, Stavanger Norway, pp. 39-50.
5. Malhotra, V. and Carino, N. J., 1991, Handbook on nondestructive testing of concrete. CRC Press, pp. 50-83.
6. Moayad, N. Al-Khalaf, and Yousif, Hana A., 1984, Use of rice husk ash in concrete, The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, 6(4), pp. 263-275.
7. Saad M., Abo-EI-Enein S. A., Hanna G. B., and Kotkata M. F., 1996, Effect of silica fume on the phase composition and micro structure of the thermally treated concrete, An International Journal of Cement and Concrete Research, 26(10), pp. 1,479-1,484.
8. Swamy, R. N., 1986, Cement replacement materials (concrete technology and design), Surrey University Press, 3, pp. 171-196.