

괴상석탄재와 폐주물사를 혼입한 경량모르터의 특성에 관한 기초적 연구

A Fundamental Study on the Properties of Lightweight Mortar Mixed with Bottom ash and Waste Foundry Sand

이 승 한* 한 형 섭** 정 용 옥**
Lee, Seung-Han Han, Hyung-Sub Jung, Yong-Wook

ABSTRACT

In this study, bottom ash, lightweight aggregate, and Expanded Polystyrene was used to lighten the mortar. In order to compensate the reduction of strength caused by lightening, the waste foundry sand produced as solid waste was substituted for fine aggregate. As the device of reducing the ratio of absorption, the procedure of mixture was altered to check the effectiveness of surface coating of porous lightweight aggregate.

It was observed over 170kg/cm^2 compressive strength at gravity about 1.3, and over 380kg/cm^2 at gravity about 1.7.

The maximum strength was occurred when 30% of fine aggregate was replaced with waste foundry sand, and the ratio of absorption was decreased over 10% by changing the procedure of mixture.

1. 서론

최근 폐기물의 처리문제에 대한 관심도가 점점 높아지고 있어, 각종 폐기물이 재이용을 포함한 처리 방법의 검토가 활발히 이루어지고 있다. 열병합 발전소의 괴상석탄재(Bottom ash)와 주물공정의 부산물인 폐주물사¹⁾는 연간 발생물량이 막대하여 환경문제와 폐기물의 자원화 관점에서 유효한 재료로 들 수 있다. 이중 괴상석탄재는 시멘트 고화시 다공성으로 인한 강도저감과 흡수율 증가현상을 나타내고, 폐주물사는 비중 증가현상을 나타내어 콘크리트 2차제품에의 적용에 어려움이 뒤따르고 있다.

이에 본 연구에서는 다공성으로 경량인 괴상석탄재와 초경량성인 Expanded Polystyrene(이하 EPS로 약칭)을 사용하여 콘크리트의 경량화를 기하였으며, 경량화에 따른 강도저감 현상을 보상하기 위하여 폐기물인 폐주물사를 치환 사용하였고, 흡수율 저감방안의 하나로 배합순서를 변화시켜 다공질 골재의 표면코팅효과를 검토하였다.

1) * 정희원, 계명대학교 토목공학과 교수

2) ** 계명대학교 토목공학과 석사과정

2. 실험개요

2.1 사용재료

시멘트는 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였고, 잔골재는 비중 2.54, 조립율 2.60인 낙동강산 천연사를 사용하였다. 그리고 산업폐기물로 화력발전소의 석탄 부산물인 Bottom ash와 주물공정의 부산물인 폐주물사를 잔골재에 대체하여 사용하였으며 이들의 물리적 성질은 표1과 같다.

표1. 세골재의 물리적 성질

| 종 류 | 비 중 | 흡 수 율 | 조 립 율 |
|------------------------|------|-------|-------|
| Sand | 2.54 | 2.40 | 2.60 |
| Bottom ash(BA) | 1.88 | 4.84 | 3.60 |
| Waste Foundry Sand(WS) | 2.50 | 3.67 | 1.92 |

2.2 배합 및 실험항목

본 실험에서는 경량콘크리트의 제조를 위해 Bottom ash와 EPS를 골재로 사용하였다. 실험계획은 표2와 같이 EPS 0% 시리즈와 50% 시리즈로 구분되며 세골재의 최대입경을 5mm이하로 하고 Bottom ash 및 폐주물사를 모래와 0/3, 1/3, 2/3, 3/3의 비율로 치환 하였다. 또한 각각의 치환율에서 Bottom ash와 폐주물사의 비율을 아래의 표2와 같이 5종류로 변화시켰다.

표2. 실험계획표

| EPS | Series | Parameter(BA:WS) | | | | |
|-----|--------|------------------|-------|-------|-------|-------|
| 0% | S100 | 0:0 | | | | |
| | S67 | 0:100 | 30:70 | 50:50 | 70:30 | 100:0 |
| | S33 | 0:100 | 30:70 | 50:50 | 70:30 | 100:0 |
| | S0 | 0:100 | 30:70 | 50:50 | 70:30 | 100:0 |
| 50% | S100 | 0:0 | | | | |
| | S67 | 0:100 | 30:70 | 50:50 | 70:30 | 100:0 |
| | S33 | 0:100 | 30:70 | 50:50 | 70:30 | 100:0 |
| | S0 | 0:100 | 30:70 | 50:50 | 70:30 | 100:0 |

본 실험에서 모르터 배합은 KS L 5105에 따라 실시하였으며 물시멘트비를 50%로 고정하고 EPS 0% 시리즈는 고성능 감수제를 사용하여 흐름값 100±10%가 되도록 하였다.

공시체의 비비기에 앞서 Bottom ash가 다공성이어서 흡수율이 크므로 배합시 Workability가 급격히 감소하는 현상^{2), 3)}을 개선하기 위해 배합수의 일부로 프리웨팅(Pre-wetting)을 실시하였다. 비비기는 시멘트와 잔골재를 손비빔을 한 후 물과 고성능감수제를 첨가하여 모르터용 믹서로 혼합하여 흐름값을 측정하였다. 또한 Bottom ash만을 세골재로 사용한 100:0에서는 시멘트풀과 Bottom ash의 배합순서를 변경시켜 흡수율 저감에 대하여 검토하였다.

제작은 각 배합별로 4×4×16mm 크기의 모르터 공시체 9개를 제작하여 1일후 탈형하고, 20±1°C의 양생조에서 수중양생을 실시하였다. 이들 공시체에 대한 압축강도시험은 KS F 2413, 휨인장 강도는 KS F 2407⁴⁾에 준하여 실시하였으며 동시에 흡수율과 비중을 측정하였다.

3. 결과분석

3.1 감 도

표3에 각 배합별 강도, 비중 및 흡수율 측정결과를 나타내었다.

표3. 실험결과 일람표

| EPS | Serie | 공 시 체 명 | 압 축 강 도(kg/cm ²) | | | 휨 강 도(kg/cm ²) | | | 비 중 | 흡수율 (%) |
|-----|-------------------|-------------------|------------------------------|-----|-----|----------------------------|-----|------|------|---------|
| | | | 7일 | 14일 | 28일 | 7일 | 14일 | 28일 | | |
| 0% | S100 | S100-BA0-WS0 | 210 | - | 360 | - | - | 48 | 1.94 | 11.8 |
| | S67 | S67-BA0-WS33 | 233 | - | 361 | - | - | 46 | 1.99 | 12.4 |
| | | S67-BA10-WS23 | 222 | - | 375 | - | - | 50 | 1.92 | 12.9 |
| | | S67-BA17.5-WS17.5 | 241 | - | 389 | - | - | 50 | 1.91 | 13.0 |
| | | S67-BA23-WS10 | 221 | - | 382 | - | - | 50 | 1.86 | 13.3 |
| | | S67-BA33-WS0 | 243 | - | 359 | - | - | 43 | 1.80 | 14.4 |
| | | S67-BA33-WS0(선혼합) | - | - | - | - | - | - | 1.84 | 12.9 |
| | S33 | S33-BA0-WS67 | 181 | 303 | 313 | 34 | 35 | 38 | 1.91 | 13.2 |
| | | S33-BA20-WS47 | 211 | 306 | 324 | 40 | 42 | 45 | 1.85 | 13.5 |
| | | S33-BA33.5-WS33.5 | 205 | 337 | 355 | 37 | 44 | 45 | 1.82 | 14.0 |
| | | S33-BA47-WS20 | 203 | 347 | 393 | 37 | 47 | 48 | 1.79 | 14.7 |
| | | S33-BA67-WS0 | 238 | 337 | 380 | 35 | 42 | 45 | 1.75 | 15.8 |
| | | S33-BA67-WS0(선혼합) | - | - | - | - | - | - | 1.73 | 14.5 |
| | S0 | S0-BA0-WS100 | 186 | 232 | 266 | 36 | 37 | 40 | 1.85 | 13.8 |
| | | S0-BA30-WS70 | 237 | 257 | 316 | 41 | 43 | 43 | 1.79 | 14.5 |
| | | S0-BA50-WS50 | 254 | 331 | 339 | 41 | 43 | 44 | 1.75 | 15.3 |
| | | S0-BA70-WS30 | 263 | 362 | 370 | 42 | 44 | 46 | 1.70 | 16.4 |
| | | S0-BA100-WS0 | 266 | 275 | 320 | 38 | 40 | 41 | 1.61 | 18.1 |
| | | S0-BA100-WS0(선혼합) | - | - | - | - | - | - | 1.63 | 15.9 |
| | 50% | S100 | S100-BA0-WS0 | 122 | - | 150 | 28 | - | 38 | 1.33 |
| S67 | | S67-BA0-WS33 | 139 | - | 161 | 33 | - | 40 | 1.44 | - |
| | | S67-BA10-WS23 | 124 | - | 157 | 29 | - | 35 | 1.37 | - |
| | | S67-BA17.5-WS17.5 | 141 | - | 171 | 27 | - | 33 | 1.36 | - |
| | | S67-BA23-WS10 | 151 | - | 177 | 27 | - | 35 | 1.36 | - |
| | | S67-BA33-WS0 | 144 | - | 160 | 26 | - | 34 | 1.32 | - |
| | | S67-BA33-WS0(선혼합) | 115 | - | 148 | 25 | - | 35 | 1.38 | - |
| S33 | | S33-BA0-WS67 | 112 | - | 171 | 26 | - | 34 | 1.33 | - |
| | | S33-BA20-WS47 | 112 | - | 171 | 26 | - | 34 | 1.33 | - |
| | | S33-BA33.5-WS33.5 | 126 | - | 178 | 25 | - | 31 | 1.30 | - |
| | | S33-BA47-WS20 | 137 | - | 180 | 25 | - | 34 | 1.30 | - |
| | | S33-BA67-WS0 | 143 | - | 170 | 27 | - | 33 | 1.29 | - |
| | | S33-BA67-WS0(선혼합) | 114 | - | 135 | 24 | - | 33 | 1.35 | - |
| S0 | | S0-BA0-WS100 | 114 | - | 135 | 24 | - | 33 | 1.35 | - |
| | | S0-BA30-WS70 | 136 | - | 175 | 24 | - | 33 | 1.31 | - |
| | | S0-BA50-WS50 | 156 | - | 181 | 28 | - | 31 | 1.29 | - |
| | S0-BA70-WS30 | 161 | - | 185 | 28 | - | 33 | 1.28 | - | |
| | S0-BA100-WS0 | 155 | - | 160 | 26 | - | 32 | 1.27 | - | |
| | S0-BA100-WS0(선혼합) | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

3.1.1 Bottom ash 치환량에 따른 강도변화

Bottom ash의 모래에 대한 치환량에 따른 압축강도 변화를 그림1에 나타내었다. 또한 이 그림은 Bottom ash의 치환량이 증가할수록 동일 Flow값을 확보하기 위하여 고성능 감수제의 사용량이 증가 되고 있음을 나타내고 있다.

그림1에서는 Bottom ash의 모래에 대한 치환율 70%까지는 압축강도가 증가하고 있음을 나타내고 있는데, EPS 0% 시리즈에서 일반 모래만을 사용한 경우에는 $360\text{kg}/\text{cm}^2$ 인 것이 Bottom ash를 70% 치환하였을 때는 $380\text{kg}/\text{cm}^2$ 으로 $20\text{kg}/\text{cm}^2$ 증가하고 있으나, 100% 치환한 경우에는 $320\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 감소하고 있다.

또한 EPS 50% 시리즈에서도 EPS 0% 시리즈와 비슷한 경향을 나타내고 있는데, 일반 모르타에서 $150\text{kg}/\text{cm}^2$ 인 것이 30% 치환에서 $160\text{kg}/\text{cm}^2$, 70% 치환에서 $170\text{kg}/\text{cm}^2$ 까지 증가하였으나, 100% 치환에서 $160\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 감소하였다. 따라서, Bottom ash의 경우 잔골재에 대해 70% 치환이 강도면에서 가장 효율적임을 알 수 있다.

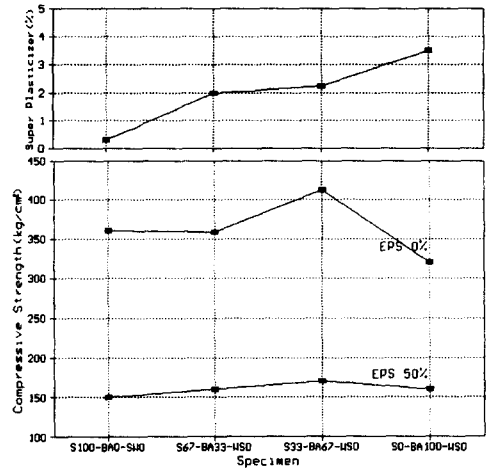


그림1. Bottom ash 치환량 증가에 따른 압축강도

3.1.2 폐주물사의 치환량에 따른 강도변화

EPS 0%와 50% 치환 시리즈의 폐주물사 치환량에 따른 압축강도 변화를 그림2에 나타내었다.

EPS 0% 시리즈에서 압축강도는 폐주물사 30%치환 공시체에서 가장 큰 압축강도인 $366\text{kg}/\text{cm}^2$ 를 나타내고, 이후 주물사의 치환량이 증가함에 따라 서서히 강도가 감소되어 폐주물사 100%치환시 $100\text{kg}/\text{cm}^2$ 감소된 $266\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 압축강도가 감소하고 있음을 나타내고 있다. 또한 EPS 50% 시리즈는 0% 시리즈에 비해 EPS 치환으로 폐주물사나 Bottom ash의 영향이 적어 압축강도 변화폭이 다소 적으나, 일반 모르타 28일강도 $147\text{kg}/\text{cm}^2$ 가 폐주물사를 30%치환한 모르타에서는 $161\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 증가된 후 치환량 증가와 함께 강도가 감소하여 EPS 0% 시리즈와 유사한 경향을 보이고 있다. 따라서, 폐주물사의 경우 잔골재에 대해 30%로 치환하는 것이 강도에 양호한 영향을 미치는 것으로 사료된다.

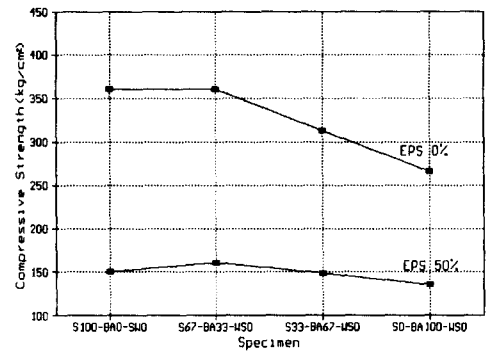


그림2. 폐주물사의 치환량에 따른 압축강도 변화

3.1.3 혼합치환시 강도 변화

다음의 그림3에서 모래에 대한 Bottom ash와 폐주물사의 치환율에 따른 압축강도와 휨인장강도의 변화를 그래프로 나타내었다.

치환율에 따른 재령 28일 압축강도의 변화는 Bottom ash량이 증가할수록 압축강도가 증가되어 Bottom ash와 폐주물사의 치환율이 70:30일 때 가장 큰 강도를 나타냈다. 또한 압축강도 증진에는 폐주물사보다는 Bottom ash의 비율을 높이는 것이 압축강도 증진에 효과적임을 알 수 있다.

또한 휨강도의 경우에서도 EPS 0% 시리즈에서는 Bottom ash와 폐주물사의 치환율이 70:30일 때 대체적으로 양호한 강도를 보이고 있다. S0의 경우 Bottom ash와 폐주물사를 70:30으로 치환한

S0-BA70-WS30은 압축강도 370kg/cm^2 , 휨인장강도 45kg/cm^2 를 나타내고 있어 모래를 사용하지 않고 Bottom ash와 폐주물사만으로도 우수한 경량콘크리트의 개발이 가능하다고 사료된다.

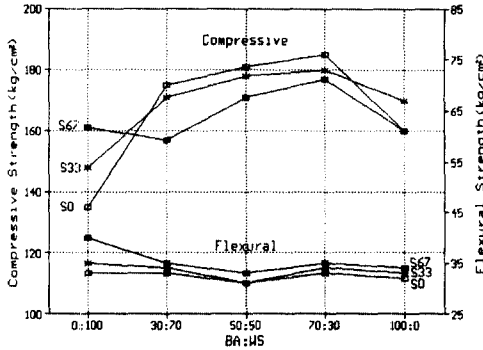


그림3. EPS 0% 시리즈의 강도 변화

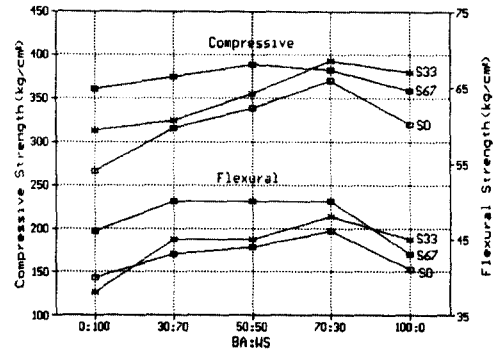


그림4. EPS50% 시리즈의 강도 변화

한편 EPS 50% 시리즈에서도 그림4에 나타난 바와 같이 일반 모르터보다 Bottom ash와 폐주물사를 치환사용한 경우에 EPS 0% 시리즈와 같이 전체적으로 높은 압축강도를 보이고 있다. 휨강도의 경우 모래만을 사용하였을 때 더 큰 강도를 보이고 있으며 Bottom ash와 폐주물사를 치환한 경우에는 다른 시리즈와 마찬가지로 70:30으로 치환한 경우 가장 양호한 강도발현을 보였다.

이렇게 두 시리즈 모두 Bottom ash와 폐주물사의 비율이 70:30일 때 가장 높은 압축강도를 보이고 있는 것은 조립율이 큰 Bottom ash와 조립율이 작은 폐주물사의 혼합시 연속입도분포⁵⁾가 형성되어 모르터가 치밀하게 되어진 것으로 사료된다.

3.2 비중

그림5는 각 시리즈의 치환율에 따른 비중 변화를 나타낸 것이다.

일반 모르터의 비중이 EPS 0%에서 1.94로 나타났으나, 그림5에서 나타난 것과 같이 전량 Bottom ash로 치환한 모르터의 경우 1.61로 나타났다. 또한 EPS 50%에서는 전량 Bottom ash로 치환한 모르터의 경우 1.29로 EPS와 Bottom ash의 치환으로 인한 비중감소가 현저히 나타났다.

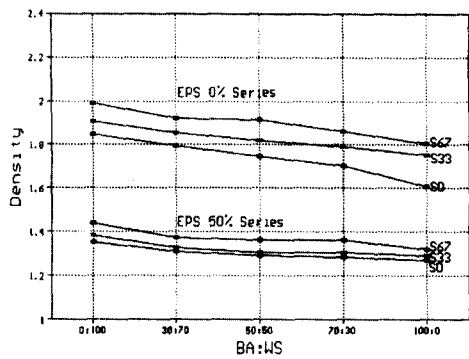


그림5. 치환율에 따른 비중의 변화

3.3 흡수율

치환율에 따라 각 공시체의 흡수율의 변화를 나타낸 것이 다음 그림6이다. 여기서 Bottom ash의 혼입율이 증가할수록 흡수율이 급격히 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 Bottom ash가 다공성이므로 천연사나 폐주물사에 비해 흡수율이 큰 것에 기인하는 것이다.

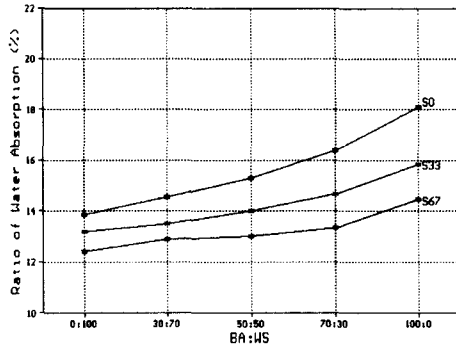


그림6. 치환율에 따른 흡수율 변화

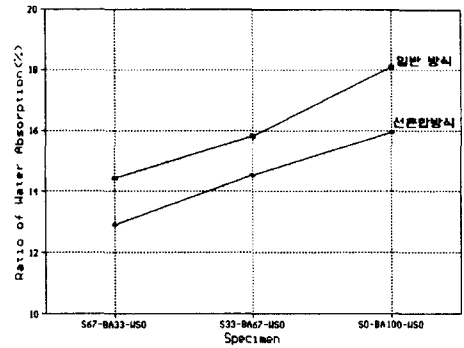


그림7. 배합순서에 따른 흡수율의 변화

또한 공시체의 배합순서에 따른 흡수율은 그림7에서 나타난 바와 같이 선혼합방식이 일반 혼합방식에 비해 10%정도 감소된 흡수율을 나타내고 있어 배합순서를 변화시킴으로써 골재표면의 코팅효과에 의해 흡수율 저감에 유익하다고 볼 수 있다.

4. 결론

열병합 발전소의 피상석탄재(Bottom ash)와 주물공정의 부산물인 폐주물사를 잔골재에 대해 혼입율을 변화시켜 시험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 피상석탄재와 EPS를 사용하여 비중 1.3, 압축강도 170kg/cm^2 이상인 초경량모르타와 비중 1.7, 압축강도 380kg/cm^2 이상의 고강도 경량모르타의 제조가 가능하다.
- (2) 폐주물사와 피상석탄재를 단독치환시 각각 30%와 70%에서 최대 강도발현을 나타내고 있다.
- (3) 조립율 3.6인 Bottom ash와 1.9인 폐주물사는 치환비율이 70:30일 때 가장 높은 강도를 나타내며 강도 증진 현상은 최적 조립율을 형성하는데 기인한 것으로 사료된다.
- (4) Bottom ash와 시멘트 페이스트를 먼저 배합한 선혼합방식은 일반혼합방식에 비해 10%정도의 흡수율 저감효과를 얻을 수 있다.

<참고문헌>

1. 백민경 외 4인, "폐주물사를 혼입한 콘크리트의 최적 배합설계를 위한 기초적 연구", 콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, 제8권 2호, 1996. 11. pp.58~63.
2. 오병환, 엄주용, 백신원, "고강도 경량콘크리트의 제조 및 역학적 특성", 레미콘, 통권 제26호, 1990.2.
3. 김화중, "人工輕量骨材 콘크리트의 配合과 強度性狀에 관한 實驗的 研究", 레미콘, 통권 제28호, 1991.6.
4. KS총람, KS F 2413 휘 강도 시험한 공시체로 콘크리트의 압축강도를 시험하는 방법, 사단법인 한국공업표준협회
5. 文翰英, "建設材料學", 東明社, 1984. pp.83~86.