

콘크리트용 골재활용을 위한 셰일 골재의 성능개선에 관한 연구

이승한¹, 정용욱^{2*}, 장석수², 여인동¹, 최종오¹
¹계명대학교 토목공학과, ²계명대학교 첨단건설재료실험센터

A Study on Improving the Performance of Shale for Application of Aggregate for Concrete

Seung-Han Lee¹, Yong-Wook Jung^{2*}, Seok-Soo Jang², In-Dong Yeo¹
and Jong-Oh Choi¹

¹Department of Civil Engineering, Keimyung University

²Advanced Construction Materials Testing Center, Keimyung University

요약 본 연구에서는 셰일 골재의 콘크리트용 굵은골재로의 활용을 위한 성능개선 방안으로 발수제와 폴리머를 사용하여 셰일 골재를 코팅하였으며, 코팅방법에 따른 밀도, 흡수율, 마모율, 안정성 등 물리적 특성을 평가하였다. 또한, 성능개선 효과를 검토하기 위하여 셰일 골재의 치환율을 변화시켜 제조한 콘크리트의 굳지 않은 콘크리트의 특성과 재령별 압축강도, 휨강도 및 동결융해 저항성을 평가하였다. 실험결과, 골재의 절대건조밀도는 모든 골재에서 콘크리트용 굵은 골재의 밀도 사용기준인 2.50g/cm^3 이상을 만족하는 것으로 나타났으며, 발수제 코팅에 의한 셰일 골재는 성능개선 전 셰일 골재와 비교하여 약 50%의 흡수율을 감소시키는 것으로 나타났다. 마모율은 폴리머 코팅에 의한 경우 성능개선 전과 비교하여 최대 13.0%의 마모율 감소를 나타내었으며, 안정성은 모든 골재에서 콘크리트용 굵은 골재 사용기준인 12% 이하를 만족하였다. 발수제에 의한 성능개선 셰일 골재의 슬럼프는 성능개선 전의 셰일 골재보다 약 20~30mm 높게 나타났으며, 공기량은 발수제를 코팅한 셰일 골재의 경우 코팅하지 않은 셰일 골재보다 약 1.0%의 공기량 증가를 나타내었다. 폴리머 코팅 셰일 골재의 재령 28일 압축강도는 Plain 골재를 사용하여 제조한 콘크리트와 비교하여 압축강도는 RS(F) 95.7%, BS(F) 90.0%로 나타났으며, 휨강도는 RS(F) 98.0%, BS(F) 92.0%의 수준으로 나타났다. 또한, 폴리머로 코팅된 셰일 골재를 사용한 콘크리트의 300 cycle 동결융해 후 상대동탄성계수는 RS(F)와 BS(F)에서 91%와 88%로 나타나 코팅에 의한 셰일골재의 성능개선은 동결융해 반복에 따른 내구성능 증진에도 효과가 있는 것으로 나타났다.

Abstract In this study, with the aim of improving the performance of shale to allow for its use as coarse aggregate for concrete, we coated shale aggregates with water repellents and polymers and evaluated their physical properties such as density, water absorption rate, wear rate, and stability depending on the coating method. In addition, the effects of the performance improvement were evaluated by assessing the properties of fresh concrete produced by varying the shale substitution ratio, as well as the compressive strength, flexural strength, and freeze-thaw resistance according to curing ages. The test results revealed that the absolute dry densities of all coated aggregates satisfied the standard density for coarse aggregates for concrete ($\geq 2.50\text{g/cm}^3$), and the absorption rate of the shale aggregate coated with water repellent decreased by about 50% compared with that of uncoated shale. The wear rate of the polymer-coated shale decreased by up to 13.0% compared with that of uncoated shale. All coated aggregates satisfied the stability standard for coarse aggregates for concrete (≤ 12). The water repellent-induced performance improvement decreased the shale aggregates' slump by about 20~30mm compared with that of the uncoated shale aggregates, and the air content of the repellent-coated shale aggregate increased by up to 0.9% compared with that of the uncoated shale aggregate. The compressive strength of the polymer-coated shale aggregates at a curing age of 28 days was RS(F) 95.7% and BS(F) 90.0%, and the flexural strength was RS(F) 98.0% and BS(F) 92.0% of the corresponding values of concretes produced using plain aggregates. Furthermore, the concrete using polymer-coated shale aggregates showed a dynamic modulus of elasticity of RS(F) 91% and BS(F) 88% after 300 freeze-thaw cycles, thus demonstrating improved freeze-thaw durability.

Key Words : Aggregate utilization, Coating, Coarse aggregate, Improving the Performance, Shale Aggregate

본 논문은 국토해양부 지역기술혁신사업의 연구비지원(과제번호 : 11CRTI-C059640-01)에 의해 수행되었음.

*Corresponding Author : Yong-Wook Jung(Keimyung Univ.)

Tel: +82-53-580-6708 email: jyw@kmu.ac.kr

Received October 17, 2013

Revised November 6, 2013

Accepted November 7, 2013

1. 서론

콘크리트 구성 재료 중 골재는 콘크리트 체적의 70% 이상을 차지하고 있기 때문에 그 종류와 품질은 콘크리트의 성질에 커다란 영향을 미친다. 그래서 양질의 골재를 선택하는 것은 좋은 콘크리트를 만드는 기본이 된다.

최근 골재 부존자원의 점진적인 고갈과 더불어 환경규제가 강화됨에 따라 골재의 안정적 공급이 원활하게 이루어지지 않고 있는 실정이다. 특히, 대구·경북(이하 대경권이라 칭함.) 지역의 지질은 주로 중생대 백악기의 퇴적암으로 대부분 세일과 이암으로 구성되어 있어 골재의 부족 현상이 대두되고 있다.

반면, 대경권 지역에 널리 분포하고 있는 세일은 신선한 상태에서 단단한 암반으로 보이는 경우가 많아 공학적으로 안정된 재료로 취급되는 경향이 있다[1]. 그러나 세일은 자체적으로 낮은 기계적 강도와 팽창, 수축에 대한 내성이 작고 지표 환경에 노출되면 물리·화학적 풍화작용에 매우 불안정한 특성을 나타내므로 대부분 산업폐기물로 매립하고 있는 실정이다[2]. 이러한 세일의 성능개선을 통하여 건설용 골재로의 활용방안이 강구된다면 콘크리트용 대체골재 자원으로 사용할 수 있다[3].

세일의 건설용 골재로의 활용에 관한 연구로는 이암계 퇴적암을 파쇄하여 보조기층 재료로 활용하기 위한 연구와 층리가 평행한 대경권 세일의 전단강도 특성에 관한 연구 등이 보고되었다. 그러나 세일의 물성이나 역학적 특성 등과 같은 기초연구로 제한되었으며, 전단강도가 약하고, 대기노출 또는 침수와 같은 환경변화에 민감하게 반응하며 골재 덩어리가 부서지는 슬레이킹(Slaking)현상이나 골재가 부풀어 오르는 스웰링(Swelling) 등의 문제점이 나타났다[4,5].

세일골재의 성능개선에 관한 연구로는 고분자 파라핀을 이용하여 경량골재 내부에 불투수층을 형성시키는 연구와 세일 골재를 콘크리트용 골재로 사용 시 콘크리트의 특성과 내구성능에 대한 문제점 제시 등에 대한 연구는 있었으나, 세일골재를 콘크리트용 골재로 사용하기 위한 성능개선 방안에 관한 연구는 이루어지지 않았다[6,7].

이에 본 연구에서는 대경권 골재수급 안정화 및 콘크리트용 대체골재 자원 개발의 일환으로 대경권에 널리 분포하고 있는 세일의 콘크리트용 골재 활용을 위하여 세일골재의 성능개선을 검토하였다. 선행연구결과를 바탕으로 세일 골재의 성능개선은 건습반복이 세일 골재 내구성 저하의 주요 영향인자로 판단하였으며, 성능개선을 위하여 표면코팅을 검토하였다[8,9]. 세일 골재의 코팅은 발수제와 폴리머를 사용하였으며, 코팅방법에 따른 밀도, 흡수율, 마모율, 안정성 등 물리적 특성을 평가하였

다. 또한, 성능개선 효과를 검토하기 위하여 세일 골재의 치환율을 0%, 100%로 변화시켜 제조한 콘크리트의 굳지 않은 콘크리트 특성과 재령별 압축강도, 휨강도 및 동결융해 저항성을 평가하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트 및 잔골재

실험에 사용한 시멘트는 S사의 분말도 3,426cm²/g의 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 잔골재는 밀도 2.61g/cm³, 조립률 2.67인 경북 왜관산 강모래를 사용하였다.

2.1.2 굵은 골재

굵은 골재는 경북 경산시 소재 D산업에서 생산되는 안산암(이하 Plain이라 칭함.)을 기본골재로 사용하였으며, 세일은 대구시 인근 터파기 공사현장에서 반출되는 흑색 세일(이하 BS라 칭함.)과 적색 세일(이하 RS라 칭함.)을 선정하였다. 콘크리트 제조를 위하여 사용한 굵은 골재는 체가름을 통해 표준 입도분포곡선 범위를 맞추어 사용하였다.

2.1.3 발수제 및 폴리머

본 연구에 사용된 표면코팅제 중 발수제는 국내에서 시판되는 N사의 발수제를 사용하였으며, 폴리머는 아크릴계 폴리머와 아미드(Amide) 경화제를 7:1의 비율로 혼합하여 사용하였다. 실험에 사용된 발수제와 폴리머의 물리적 성질을 Table 1에 나타내었다.

[Table 1] Physical properties of water repellent and polymer

Classification	Component	Density (g/m ³)	Color	Type
Water repellent	Silane	0.96	Ivory white	Liquid
Polymer	Acrylic	0.98	Transparence	Liquid

2.2 실험계획 및 방법

2.2.1 실험계획

세일 골재의 성능개선은 골재의 열화에 가장 큰 영향인자인 수분공급의 차단을 고려하였다. 발수제와 폴리머를 이용한 세일 골재의 표면 코팅을 통하여 수분 접촉을 방지하고자 하였으며, 코팅방법에 따른 세일 골재의 밀도, 흡수율, 안정성 등을 평가하였다.

성능개선 효과를 검토하기 위하여 세일 골재의 치환율을 0%, 100%로 변화시켜 콘크리트를 제조하였으며, 치환율 변화에 따른 굳지 않은 콘크리트의 특성과 재령별 압축강도, 휨강도 및 동결융해 저항성을 평가하였다.

세일 골재의 성능개선 실험계획을 Table 2에 나타내었다.

[Table 2] Test plan

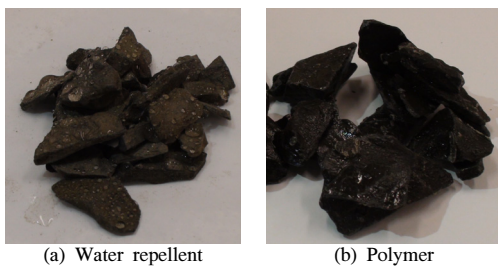
Series	Aggregate	Coating Method	List of measurement
Plain	Andesite	-	<ul style="list-style-type: none"> Physical Properties - Density
RS(WR) ^{주1)}	Red Shale	Water repellent	<ul style="list-style-type: none"> - Water absorption - Abrasion ratio - Soundness
RS(F)		Polymer	<ul style="list-style-type: none"> Fresh Concrete - Air - Slump
BS(WR)	Black Shale	Water repellent	<ul style="list-style-type: none"> Hardness Concrete - Compressive and Flexual Strength - Freezing and Thawing
BS(F)		Polymer	

주1)RS (WR) Water Repellent Coating, polymer Coating
Red Shale, Black Shale

2.2.2 실험방법

(1) 세일 골재의 코팅

실험에 사용한 코팅 골재는 적색 세일과 흑색 세일을 대상으로 골재의 성능개선을 위하여 발수제에 24시간 침지 후, 24시간 동안 기건상태에서 건조시켜 코팅하였다. 또한, 아크릴계 폴리머의 코팅은 주재와 경화제를 7:1의 비율로 혼합한 후 세일 골재를 폴리머에 5분간 함침시킨 후 기건 상태에서 24시간 동안 건조하여 제조하였다. 코팅된 세일 골재 전경을 Fig. 1에 나타내었다.



[Fig. 1] Shale aggregate with coating method

[Table 3] Mix design of concrete

f_{ck} (MPa)	G_{max} (mm)	Slump (mm)	Air (%)	W/B (%)	S/a (%)	Unit of weight(kg/m ³)				
						Water	Binder	Sand	Coarse aggregate	Ad. (g)
30	20	150±25	4.5±1.5	51.7	46	186	360	788	927.5	1,080

(2) 콘크리트 제조

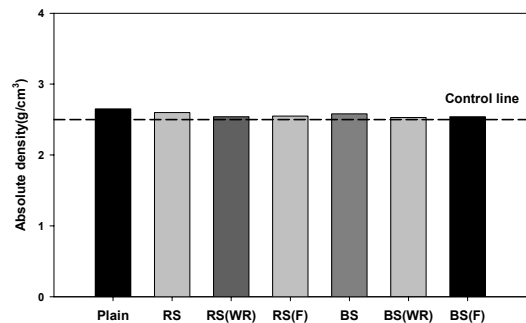
콘크리트 배합은 60l 강제식 믹서를 사용하였으며 혼합수와 시멘트를 먼저 투입하여 페이스트를 제조한 후 굵은 골재, 잔골재 순으로 투입하여 콘크리트를 제조하였다. 각 배치의 혼합수 투입에서부터 배출까지 소요된 시간은 총 4분으로 일정하게 유지하여 콘크리트를 제조하였으며, 배합표를 Table 3에 나타내었다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 성능개선 세일 골재의 물리적 특성

3.1.1 밀도 및 흡수율

표면 코팅에 의해 성능개선 된 세일 골재의 물리적 특성을 검토하기 위하여 발수제 및 폴리머 코팅에 따른 세일 골재의 밀도 및 흡수율 변화를 측정하였다. 세일 골재의 코팅방법에 따른 절대건조밀도를 측정하여 Fig. 2에 나타내었다.

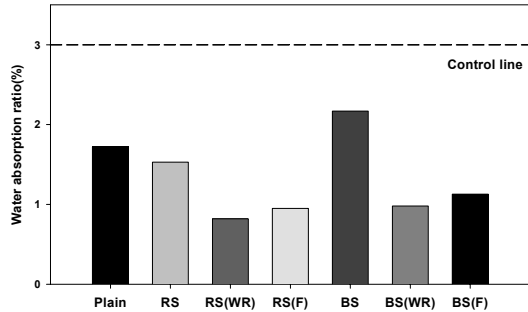


[Fig. 2] Density with performance improvement of shale aggregate

Fig. 2에서 골재의 절대건조밀도는 모든 골재에서 콘크리트용 굵은 골재의 밀도 사용기준인 2.50g/cm³이상을 만족하는 것으로 나타났으며, 성능개선 전 세일 골재인 RS와 BS의 2.60g/cm³과 2.58g/cm³과 비교하여 폴리머 코팅인 RS(F)의 경우 2.55g/cm³ 발수제 코팅인 RS(WR)는 2.54g/cm³로 나타났으며, BS(F) 2.54g/cm³, BS(WR) 2.53g/cm³로 나타나 발수제 및 폴리머 코팅 시 약

0.01g/cm³의 밀도감소가 있었으나 모두 밀도기준을 만족하였다.

발수제 및 폴리머 코팅에 따른 흡수율을 Fig. 3에 나타내었다.

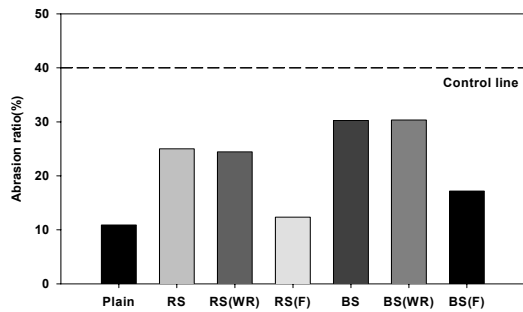


[Fig. 3] Water absorption ratio with performance improvement of shale aggregate

발수제 및 폴리머 코팅에 따른 흡수율은 성능개선 전 세일 골재의 RS와 BS의 흡수율 1.53%와 2.17% 보다 낮은 RS(F) 0.95%, RS(WR) 0.82%, BS(F) 1.13%, BS(WR) 0.98%로 나타났다. 코팅에 의한 세일 골재의 성능개선은 흡수율 저감에 효과적인 것으로 나타났으며, 특히 발수제는 성능개선 전 세일 골재와 비교하여 흡수율을 약 50% 감소시키는 것으로 나타났다.

3.1.2 마모율

세일 골재의 표면코팅에 따른 골재 마모율 시험결과를 Fig. 4에 나타내었다.



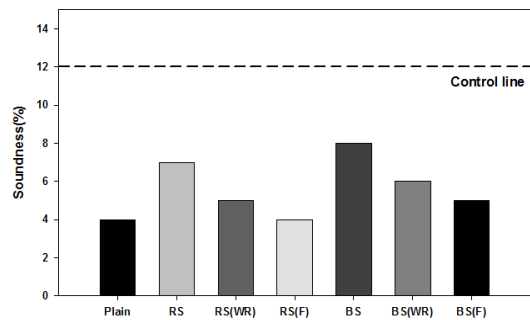
[Fig. 4] Abrasion ratio with performance improvement of shale aggregate

발수제 및 폴리머의 표면코팅에 의한 마모율은 폴리머 코팅인 RS(F)의 경우 12.3%, BS(F) 17.2%의 마모율을 나타내어 성능개선 전 RS 25.0%, BS 30.23%와 비교하여

12.7%와 13.0%의 마모율 감소를 나타내었다. 이는 우수한 강성과 부착력을 갖는 폴리머의 골재코팅에 따른 골재의 마모저항성의 증대효과로 판단된다. 반면 발수제에 의한 성능개선 골재의 경우 성능개선 전 골재와 비슷한 마모율을 나타내어 마모율 저감효과는 거의 없는 것으로 나타났다.

3.1.3 안정성

발수제 및 폴리머 표면코팅에 따른 세일 골재의 안정성 시험결과를 Fig. 5에 나타내었다.



[Fig. 5] Soundness with performance improvement of shale aggregate

발수제 및 폴리머 표면코팅에 따른 안정성은 모든 골재에서 콘크리트용 굵은 골재 사용기준인 12% 이하를 만족하였으며, 성능개선 전 세일 골재의 RS와 BS의 7%와 8% 비교하여 적색세일인 경우 RS(F)는 4%, RS(WR)는 5%로 나타났으며, 흑색세일인 BS(F)는 5%, BS(WR)는 6%의 안정성을 나타내었다.

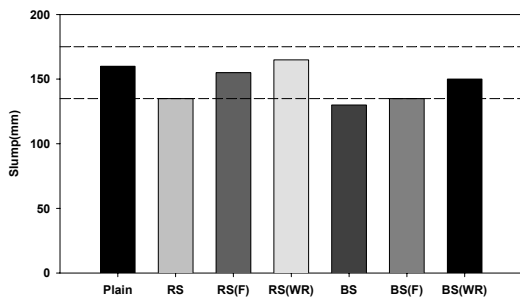
3.2 성능개선 세일 골재를 사용한 콘크리트의 특성

3.2.1 굳지 않은 콘크리트 특성

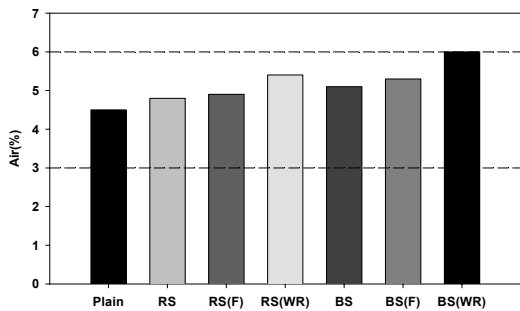
발수제 및 폴리머 코팅 세일 골재 사용에 따른 슬럼프 및 공기량 특성을 Fig. 6과 Fig. 7에 각각 나타내었다.

세일 골재의 성능개선 방법에 따른 슬럼프 특성은 BS에서 130mm로 가장 낮게 나타났으며, RS(WR)에서 175mm로 가장 높게 나타났다. 발수제에 의한 성능개선 세일 골재의 슬럼프는 성능개선 전의 세일 골재보다 약 20~30mm 높게 나타났다. 이것은 발수제 및 폴리머의 골재 표면 코팅으로 골재와 시멘트 페이스트 경계면의 분리와 마찰력 감소에 의한 것으로 판단된다.

세일 골재의 발수제 및 폴리머 코팅에 따른 공기량 측정결과를 Fig. 7에 나타내었다.



[Fig. 6] Slump of concrete using performance improvement aggregate



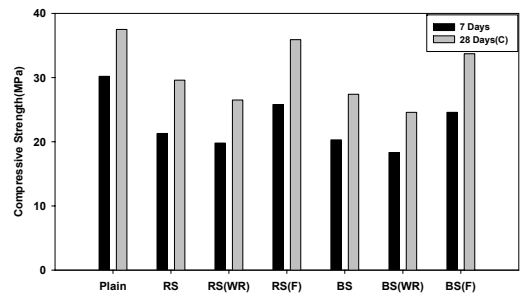
[Fig. 7] Air of concrete using performance improvement aggregate

세일 골재의 발수제 및 폴리머 코팅에 따른 공기량은 발수제를 코팅한 BS(WR)와 RS(WR)의 경우 6.0%와 5.4%으로 가장 높은 공기량을 나타내어 발수제를 코팅하지 않은 세일 골재(RS, BS)보다 각각 0.6%와 0.9%의 공기량 증가를 나타내었다.

3.2.2 경화 콘크리트 특성

(1) 압축강도 및 휨강도

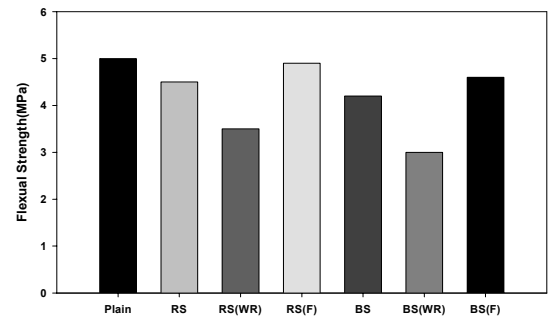
성능개선 골재를 사용하여 제조한 콘크리트의 재령별 압축강도 특성을 Fig. 8에 나타내었다.



[Fig. 8] Compressive strength of concrete using performance improvement aggregate

성능개선 전 골재의 재령 28일 압축강도는 RS 29.6MPa, BS 27.4MPa를 나타내었으며, 폴리머로 코팅된 세일 골재를 사용한 콘크리트는 RS(F) 35.9MPa, BS(F) 33.7MPa를 나타내어 성능개선 전 골재를 사용한 콘크리트 보다 약 22%의 강도 증진 효과를 나타내었다. 반면 발수제를 코팅한 세일 골재를 사용한 콘크리트는 RS(WR) 26.5MPa, BS(WR) 24.6MPa를 나타내어 성능개선 전 골재를 사용한 콘크리트 보다 약 10%의 강도감소를 나타내었다. 폴리머로 성능개선 시킨 골재의 사용에 따른 압축강도 증가는 강성이 우수한 폴리머 코팅에 의한 골재 강도의 증가 요인으로 판단되며, 발수제에 의한 성능개선 골재의 사용에 따른 압축강도 감소는 발수제가 수분과의 반발작용에 의한 골재와 모르타르면의 부착력 감소에 의한 원인으로 판단된다.

성능개선 골재를 사용하여 제조한 콘크리트의 재령별 휨강도 특성을 Fig. 9에 나타내었다.



[Fig. 9] Flexural strength of concrete using performance improvement aggregate

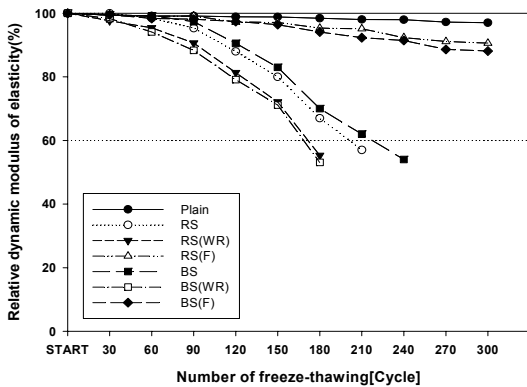
재령 28일 휨강도 특성은 Plain에서 5.0MPa로 가장 높게 나타났으며, 흑색세일을 발수제로 코팅하여 제조한 BS(WR)에서 3.0MPa로 가장 낮게 나타났다. 세일 골재의 성능개선에 따른 휨 강도 특성을 살펴보면 폴리머로 성능 개선된 골재를 사용한 콘크리트의 경우 RS(F)에서 4.9MPa, BS(F)에서 4.6MPa로 나타나 성능개선 전 골재를 사용한 콘크리트의 RS 4.5MPa, BS 4.2MPa보다 각각 0.4MPa의 휨강도 증가를 나타내었다.

(2) 동결융해 저항성

세일골재를 사용한 콘크리트의 동결융해 저항성은 선행 연구결과에서 세일 골재 치환율이 증가할수록 상대동탄성계수가 급격히 감소하는 것으로 나타났[8]. 따라서 성능개선 된 세일 골재를 사용한 콘크리트가 동결융해 저항성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 성능개선 세일

골재를 100% 사용하여 제조한 콘크리트를 대상으로 상대동탄성계수를 측정하여 Fig. 10에 나타내었다.

성능개선 전 세일 골재로 제조한 콘크리트의 동결융해 반복에 따른 상대동탄성계수는 RS와 BS의 경우 반복횟수 120 Cycle부터 상대동탄성계수가 급격히 저하되는 경향을 나타내다가 반복횟수 210 Cycle과 240 Cycle에서 55%와 53%로 나타나 시험을 종료하였다. 반면 폴리머 코팅된 세일 골재를 사용한 콘크리트의 300 cycle 상대동탄성계수는 RS(F)와 BS(F)에서 91%와 88%로 나타나 동결융해 반복에 따른 내구성의 저하에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 반면 발수제에 의한 세일 골재의 코팅은 RS(WR)와 BS(WR)는 180 Cycle에서 55%와 53%의 상대동탄성계수를 나타내어 성능개선 전 세일 골재를 사용한 콘크리트보다 동결융해 저항성이 낮은 것으로 나타났다.



[Fig. 10] Relative dynamic modulus of elasticity with number of freeze-thawing

성능개선 세일 골재의 동결융해 저항성 평가결과 폴리머 코팅한 골재의 경우 동결융해 반복에 따른 세일 골재 층리의 박리성에 저항하는 폴리머의 보강효과로 판단되며, 발수제로 코팅한 골재는 골재 자체의 흡수율 감소에는 효과가 우수하였으나 콘크리트 제조 시 수분과의 반발작용에 의한 골재와 모르타르와의 부착력 감소에 기인하여 동결융해 저항성 또한 감소하는 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 세일골재의 콘크리트용 굵은골재로의 활용을 위하여 발수제 및 폴리머를 이용하여 표면코팅에 의한 세일골재의 성능개선을 검토하였다. 또한 세일골재

의 성능개선 효과를 검토하기 위하여 표면코팅에 따른 밀도, 흡수율, 마모율, 안정성 등 물리적 특성을 평가하였으며, 세일 골재의 치환율을 0%, 100%로 변화시켜 제조한 콘크리트의 균지 않은 콘크리트 특성과 재령별 압축강도, 휨강도 및 동결융해 저항성 등을 평가한 것으로 연구의 결론은 다음과 같다.

1. 골재의 절대건조밀도는 모든 골재에서 콘크리트용 굵은 골재의 밀도 사용기준인 2.50g/cm³ 이상을 만족하는 것으로 나타났다. 또한 코팅에 의한 세일골재의 성능개선은 흡수율 저감에 효과적인 것으로 나타났으며, 발수제 코팅에 의한 세일 골재는 성능개선 전 세일 골재와 비교하여 약 50%의 흡수율을 감소시키는 것으로 나타났다.
2. 마모율은 폴리머 코팅에 의한 경우 RS(F) 12.3%, BS(F) 17.2%의 마모율을 나타내어 성능개선 전 RS 25.0%, BS 30.23%와 비교하여 12.7%와 13.0%의 마모율 감소를 나타내었다. 반면 발수제 코팅의 경우 성능개선 전 골재와 비슷한 마모율을 나타내어 마모율 저감 효과는 거의 없는 것으로 나타났다. 또한 안정성은 모든 골재에서 콘크리트용 굵은 골재 사용기준인 12% 이하를 만족하였다.
3. 발수제 및 폴리머 표면코팅에 의한 세일골재의 성능개선은 골재와 시멘트 페이스트 경계면의 분리와 마찰력을 감소시켜, 균지 않은 콘크리트의 슬럼프와 공기량을 각각 20~30mm, 0.6%~0.9% 정도 증가시키는 것으로 나타났다.
4. 폴리머 코팅 세일 골재를 사용한 콘크리트의 압축강도는 폴리머 강성에 의한 세일 골재의 강도 증진의 영향으로 성능개선 전 세일 골재를 사용하여 제조한 콘크리트와 비교하여 약 22%의 강도증진 효과를 나타내었으며, 발수제 코팅 세일 골재를 사용한 콘크리트는 발수제의 수분과 반발작용에 의한 골재와 모르타르면의 부착력 감소의 원인으로 성능개선 전 골재를 사용한 콘크리트 보다 약 10%의 강도감소를 나타내었다.
5. 발수제 및 폴리머 표면코팅에 의한 세일골재의 성능개선 후 동결융해 저항성은 발수제의 경우 RS(WR)와 BS(WR)는 180 Cycle에서 55%와 53%의 상대동탄성계수를 나타내어 성능개선 전 세일 골재를 사용한 콘크리트보다 동결융해 저항성이 낮은 것으로 나타났다. 반면, 폴리머 코팅 세일 골재를 사용한 콘크리트의 300 cycle 상대동탄성계수는 RS(F)와 BS(F)에서 91%와 88%로 나타나 동결융해 반복에 따른 내구성 증진에도 효과가 있는 것으로 나타났다.

References

- [1] Park Jung hun. "Study on the Physical and Mechanical characteristics of Weathered Schale Soils" Master's Thesis, Chonnam National University, 2004.
- [2] Kim Young Soo et al., "A Study on the Mechanical Characteristics of Aging Effect in the Sedimentary Rock's Aggregates" Journal of Korean Society of Civil Engineers, Vol. No. 4, pp. 137-140, 1999.
- [3] Korea Institute of Geology, Mining & Materials, Evaluation of Aggregate Resources at Kyungang Provinces II, p.736, Ministry of Trade and Industry, 1995.
- [4] Kim Jin Cheol, "Evaluation of Usability for Sub - base of Muddy Stone produced on Site" Journal of Korean Society of Road Engineers, Vol. 7 No. 3, pp. 93-100, 2005.
- [5] Young Huy Lee et al., "Shear Strength Characteristics of Rock Specimens by Triaxial Compression Tests" Journal of Korean Society of Civil Engineers, Vol. No. 2, pp. 131-134, 1998.
- [6] Seo Chang hyung, "A Study on Physical Properties of Lightweight Aggergate Concrete with Surface Coating Agents" Graduate School of Konkuk Unversity, pp. 4-6. 2012.
- [7] S. H. Lee, Y. W. Jung, I. D. Yeo, J. O. Choi, "Physical Properties of Shale Aggregate and Characteristics of Concrete in Replacement Ratio in Daegu-Kyeongbuk Region" Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 13, No. 11, pp.5551-5557, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.11.5551>
- [8] S. H. Lee, Y. W. Jung, I. D. Yeo, J. O. Choi, "Weathering Properties of Shale Aggregate in Daegu-Kyeongbuk region and Freezing-Thawing Characteristics of Concrete in response to Usage of Shale Aggregate" Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 14, No. 8, pp.4033-4038, 2013.
- [9] Lee Gil Ho, "Engineering Characteristics of Cretaceous Shale in Korea" Graduate School of Ulsan University, 2010.
- [10] Seong Min Kwang, "Engineering properties of red shlae and black shale in Daegu area, Korea" Graduate Shool, Kyungpook National University, 2012.

이 승 한(Seung-Han Lee)

[정회원]



- 1985년 2월 : 日本 Tokyo工業大學 토목공학과 (공학석사)
- 1988년 2월 : 日本 Tokyo工業大學 토목공학과 (공학박사)
- 2004년 12월 ~ 2012년 2월 : 계명대학교 첨단건설재료실험센터 센터장
- 1988년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

콘크리트, 친환경 건설재료

정 용 옥(Yong-Wook Jung)

[정회원]



- 1999년 2월 : 계명대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2004년 8월 : 계명대학교 토목공학과 (공학박사)
- 2004년 12월 ~ 2011년 8월 : 계명대학교 첨단건설재료실험센터 책임연구원
- 2011년 9월 ~ 현재 : 계명대학교 첨단건설재료실험센터 조교수

<관심분야>

콘크리트 구조, 건설재료

장 석 수(Seok-Soo Jang)

[정회원]



- 2005년 2월 : 계명대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2012년 6월 : 계명대학교 토목공학과 (공학박사)
- 2011년 10월 ~ 현재 : 계명대학교 첨단건설재료실험센터 책임연구원

<관심분야>

콘크리트, 친환경 건설재료

여 인 동(In-Dong Yeo)

[정회원]



- 2009년 2월 : 계명대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 토목공학과 박사과정

<관심분야>

콘크리트, 친환경 건설재료

최 종 오(Jong-Oh Choi)

[정회원]



- 2011년 8월 : 계명대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2011년 9월 ~ 현재 : 계명대학교 토목공학과 박사과정 재학
- 2011년 9월 ~ 현재 : 계명대학교 첨단건설재료실험센터 연구원

<관심분야>

콘크리트, 친환경 건설재료