

대경권 셰일 골재의 물성 평가 및 치환율 변화에 따른 콘크리트의 특성

이승한¹, 정용욱^{2*}, 여인동¹, 최종오¹, 배수호³
¹계명대학교 토목공학과, ²계명대학교 첨단건설재료실험센터, ³안동대학교 토목공학과

Physical Properties of Shale Aggregate and Characteristics of Concrete in Replacement Ratio in Daegu-Kyeongbuk Region

Seung-Han Lee¹, Yong-Wook Jung^{2*}, In-Dong Yeo¹, Jong-Oh Choi¹ and Su-Ho Bae³

¹Department of Civil Engineering, Keimyung University

²Advanced Construction Materials Testing Center, Keimyung University

³Department of Civil Engineering, Andong National University

요 약 건설공사 현장에서 발생하는 버럭 중 퇴적암은 대부분 야적, 매립 등으로 폐기하고 있어 공사비의 증대 및 시공 비효율화의 원인이 되고 있다. 이 중 일부 사암의 경우 선별하여 골재로 활용하기도 하지만, 셰일은 대부분 산업폐기물로 매립하고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 골재수급 안정화 및 콘크리트용 대체골재 자원 개발의 일환으로 대경권에 널리 분포하고 있는 셰일의 콘크리트용 골재 활용 가능성을 평가하였다. 실험에 사용된 셰일은 대구시 터파기 공사현장에서 반출되는 레드셰일과 블랙셰일을 선정하였으며, 콘크리트용 굵은 골재로 널리 사용되는 안산암과 변성퇴적암의 일종인 혼펠스와 비교함으로써 셰일의 콘크리트용 골재 활용성을 검토하였다. 골재의 물성평가는 KS F 2527 「콘크리트용 부순 골재」에서 규정한 시험방법에 준하여 실시하였으며, 셰일 골재의 치환율 변화에 따른 재령별 압축강도를 측정하였다. 실험결과, 절대건조밀도는 블랙셰일에서 2.59g/cm³, 레드셰일에서 2.62g/cm³으로 나타났으며, 흡수율은 블랙셰일에서 1.93%, 레드셰일에서 1.43%로 나타나 콘크리트용 굵은 골재 사용기준을 만족하는 것으로 나타났다. 셰일 골재의 치환율에 따른 재령 28일 압축강도는 블랙셰일을 100% 치환하여 제조한 콘크리트의 경우 30.8MPa, 레드셰일을 100% 치환한 경우 31.1MPa로 나타나 Plain 골재를 사용하여 제조한 콘크리트의 압축강도 37.5MPa과 비교하여 약 82%의 강도 수준을 나타내었다.

Abstract Sedimentary rocks dug up in construction fields are mostly stockpiled for landfill disposal, leading to an increase in construction costs and construction inefficiency. After screening, some of the sandstone can be used as aggregate; however, most of the shale ends up as industrial waste in practice. In this study, to stabilize the demand and develop resources for alternative aggregates of concrete, the potential use of shale, which is widely distributed in the Daegu-Kyeongbuk region, as a concrete aggregate was evaluated. Red and black shale exported from a Daegu excavation site was selected for use in the experiments and evaluated by comparing with hornfels, which is widely used as a coarse aggregate and is a type of andesite and metamorphosed sedimentary rock. The physical properties of the aggregate were evaluated in accordance with the test methods of KS F 2527 "crushed concrete aggregate," and the compressive strength against the shale aggregate replacement ratio was measured. The compressive strength of the concrete after 28 days was 30.8 MPa when the black shale replaced 100% of the aggregate in the concrete and 31.1 MPa when the red shale replaced 100% of the aggregate in the concrete. Compared with the compressive strength of 37.5 MPa for concrete prepared by using plain aggregate, using shale as a substitute for the aggregate produced an average compressive strength that was 82% of normal concrete.

Key Words : Daegu-Kyeongbuk region, Shale, Aggregate, Physical property, Compressive strength

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

*Corresponding Author : Yong-Wook Jung

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

접수일 12년 08월 22일

수정일 12년 09월 19일

개재확정일 12년 11월 08일

1. 서론

대경권 지역의 지질은 중생대 백악기의 퇴적암으로 대부분 셰일과 이암으로 구성되어 있다. 그러나 건설공사 현장에서 발생하는 버럭 중 퇴적암은 대부분 야적, 매립 등으로 폐기하고 있어 공사비의 증대 및 시공 비효율화의 원인이 되고 있다. 터파기 공사현장에서 발생하는 퇴적암 중 일부 사암의 경우 선별하여 골재로 활용하기도 하지만, 셰일은 대부분 산업폐기물로 매립하고 있는 실정이다. 이러한 퇴적암을 이용하여 건설용 골재로의 활용방안이 강구된다면 콘크리트용 대체골재 자원으로 사용될 수 있다[1].

퇴적암의 건설용 골재로의 활용에 관한 연구로는 이암계 퇴적암을 파쇄하여 보조기층 재료로 활용하기 위한 연구와 층리가 평행한 대구지역 셰일의 전단강도 특성에 관한 연구 등이 보고되고 있다[2~3]. 퇴적암은 자체적으로 낮은 기계적 강도와 팽창, 수축에 대한 내성이 작고 지표 환경에 노출되면 물리·화학적 풍화작용에 불안정한 상태로 존재하는 경우가 많아 쉽게 분쇄되는 단점을 갖는다. 특히 대구지역에 널리 분포되어 있는 셰일의 경우 전단강도가 약하고, 대기노출 또는 침수와 같은 환경변화에 다소 민감하게 반응하며 골재덩어리가 부서지는 슬레이킹(Slaking) 또는 부풀어 오르는 스웰링(Swelling) 특성을 나타낸다. 하지만, 셰일은 골재의 절대건조밀도 및 흡수율, 마모율 등 콘크리트용 부순 골재의 품질기준을 만족하며, 소요의 압축강도 발현이 가능하다는 보고도 있다[4].

본 연구에서는 대경권 골재수급 안정화 및 콘크리트용 대체골재 자원 개발의 일환으로 대경권에 널리 분포하고 있는 셰일의 콘크리트용 골재 활용 가능성을 평가하였다. 실험에 사용된 셰일은 대구시 터파기 공사현장에서 반출되는 레드셰일과 블랙셰일을 선정하였으며, 콘크리트용 굵은 골재로 널리 사용되는 안산암과 변성퇴적암의 일종인 혼펠스와 비교·검토하였다. 골재의 물성평가는 KS F 2527 「콘크리트용 부순 골재」에 준하여 실시하였으며, 셰일 골재의 치환율 변화에 따른 재령별 압축강도를 측정하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

실험에 사용한 시멘트는 S사의 분말도 3,426cm²/g의 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 물리·화학적 성질을 Table 1에 나타내었다.

[표 1] 시멘트의 물리·화학적 성질

[Table 1] Chemical composition and physical properties of cement

Fineness (cm ² /g)	Density (g/cm ³)	Ig.loss	Chemical composition (%)				
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
3,426	3.13	0.9	22.94	5.57	3.33	64.05	2.58

2.1.2 잔골재

잔골재는 밀도 2.61g/cm³, 조립률 2.67인 경북 왜관산 강모래를 사용하였으며, 잔골재의 물리적 특성은 Table 2와 같다.

[표 2] 잔골재의 물리적 성질

[Table 2] Physical properties of fine aggregate

Density (g/cm ³)	Absorption (%)	F. M.	Unit volume weight (kg/L)	Ratio of absolute volume(%)
2.61	1.80	2.67	1.63	62.5

2.1.3 굵은 골재

굵은 골재는 경북 경산시 소재 D산업에서 생산되는 안산암을 기본골재로 사용하였으며, 셰일은 대구시 인근 터파기 공사현장에서 반출되는 블랙셰일과 레드셰일을 선정하였다. 비교골재로는 경북 하양읍 소재 S사의 혼펠스를 대상으로 하였다. 물성평가와 콘크리트 제조를 위하여 사용한 굵은 골재는 체가름을 통해 표준 입도분포곡선 범위를 맞추어 사용하였다.

2.2 실험계획 및 방법

2.2.1 실험계획

셰일의 콘크리트용 골재 활용성 검토를 위해 실시한 물성평가는 KS F 2527 「콘크리트용 부순 골재」에 준하여 밀도 및 흡수율, 마모율, 입자 모양 판정 실적률을 측정하였으며, 골재의 형상계수 측정방법으로 골재의 입형 판정 실험을 실시하였다[5].

또한, 셰일 골재가 콘크리트에 미치는 영향을 검토하기 위하여 안산암을 100% 굵은 골재로 사용하여 제조한 Plain 100%와 혼펠스 100%, Plain에 대한 셰일 골재의 치환율을 0%, 25%, 50%, 100%로 변화시켜 콘크리트를 제조하였다. 콘크리트 제조를 위한 배합표는 Table 3과 같다.

2.2.2 실험방법

(1) 콘크리트 제조

콘크리트 배합은 60ℓ 강제식 믹서를 사용하였으며

[표 3] 배합설계

[Table 3] Mix design of concrete

f _{ck} (MPa)	G _{max} (mm)	Slump (mm)	Air (%)	W/B (%)	S/a (%)	Unit of weight(kg/40L)				
						Water	Binder	Sand	Coarse aggregate	Ad. (g)
24	20	150±25	4.5±1.5	54.7	46	7.88	14.4	31.52	37.1	43.2

혼합수와 시멘트를 먼저 투입하여 페이스트를 제조한 후 잔골재, 굵은 골재 순으로 투입하여 콘크리트를 제조하였다. 각 배치의 혼합수 투입에서부터 배출까지 소요된 시간은 총 4분으로 일정하게 유지하여 콘크리트를 제조하였다.

(2) 슬럼프 및 공기량

굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 측정은 KS F 2402 「콘크리트의 슬럼프 시험 방법」에 준하여 실험하였으며, 2회 측정 후 평균값을 슬럼프 값으로 하였다. 공기량은 KS F 2421 「압력법에 의한 굳지 않은 콘크리트의 공기량 시험방법」에 준하여 2회 실시한 후 그 평균값을 공기량 값으로 하였다.

(3) 압축강도

콘크리트 압축강도 측정은 KS F 2405 「콘크리트의 압축강도 시험」에 준하여 0.6±0.4MPa(=N/mm²)의 재하 속도로 측정하였으며, 압축강도의 계산은 식 (1)과 같이 시험기가 나타낸 최대하중을 공시체 단면적으로 나누어 MPa로 표시하였다.

$$f_{cu} = \frac{P}{A} (MPa) \tag{1}$$

여기서, f_{cu} : 콘크리트 압축강도(MPa)

3. 실험결과 및 고찰

3.1 세일 골재의 물성 평가

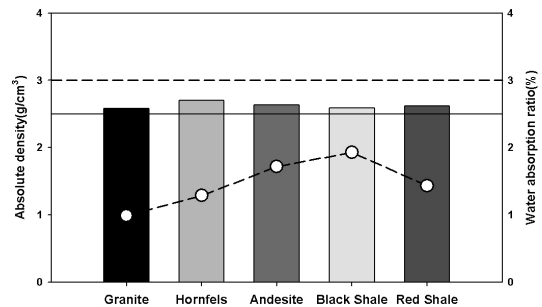
본 연구에서는 세일 골재의 콘크리트용 굵은 골재로의 활용성 검토를 위하여 골재의 기초물성을 평가하였다. 평가항목으로는 밀도 및 흡수율, 마모율, 입자 모양 판정 실험 및 골재의 입형 판정 실험을 실시하였다.

3.1.1 밀도 및 흡수율

골재의 종류에 따른 절대건조밀도 및 흡수율을 측정하여 Fig. 1에 나타내었다.

골재의 절대건조밀도는 혼펠스가 2.70g/cm³으로 가장 높게 나타났으며, 화강암 2.58g/cm³, 안산암 2.65g/cm³, 블랙세일 2.59g/cm³, 레드세일 2.62g/cm³으로 나타나 모든 골재에서 콘크리트용 굵은 골재의 밀도 사용기준인 2.50g/cm³이상을 만족하였다.

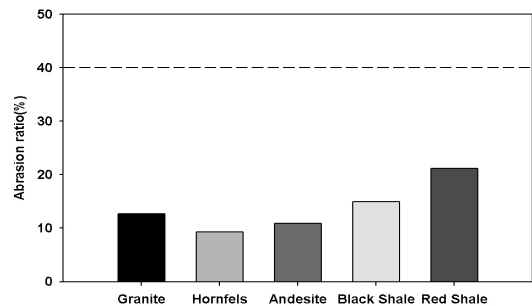
골재의 흡수율은 블랙세일이 1.93%로 가장 높게 나타났으며, 안산암 1.72%, 레드세일 1.43%, 혼펠스 1.29%, 화강암 0.99% 순으로 나타나 콘크리트용 굵은 골재의 사용기준인 흡수율 3.0% 이하를 모두 만족하는 것으로 나타났다.



[그림 1] 골재 종류에 따른 밀도 및 흡수율
[Fig. 1] Density and absorption ratio with aggregate types

3.1.2 마모율

마모율은 골재 모양의 강도 추정을 위하여 사용하는 시험 방법으로 골재의 종류에 따른 마모 특성을 Fig. 2에 나타내었다.



[그림 2] 골재 종류에 따른 마모율
[Fig. 2] Abrasion ratio with aggregate types

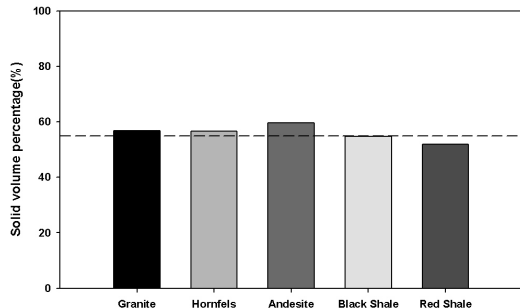
Fig. 2와 같이 골재 종류에 따른 마모율은 혼펠스에서 9.30%로 가장 낮게 나타났으며, 안산암 10.90%, 화강암 12.70%, 블랙셰일 14.91%, 레드셰일 21.18% 순으로 나타나 콘크리트용 굵은 골재 사용기준인 40% 이하를 만족하였다.

일반적으로 경상도 지역 퇴적암의 마모 특성에 대한 연구에서는 셰일의 평균 마모율이 43.2%로 높게 나타났으나[6], 김영수 등(2002.)의 연구에 따르면 대구·경북 지역 블랙셰일의 마모율은 15.9%, 레드셰일은 31.54%로 콘크리트용 굵은 골재 사용기준을 만족한다고 보고하였다.

본 연구에서는 셰일 골재의 마모율이 안산암 등 비교 골재에 비하여 높게 나타났으나 KS F 2527 「콘크리트용 부순 골재」에서 규정하고 있는 40% 이하를 만족하였다. 이것은 셰일의 물리·화학적 풍화작용 영향으로 볼 수 있으며 지표 환경에 노출되는 시간의 영향에 의한 것으로 볼 수 있다.

3.1.3 입자 모양 판정 실적률

콘크리트용 부순 골재는 얇은 석편, 가는 석편 등의 함유여부를 판정하기 위하여 입자 모양 판정 실적률 시험을 실시하고 있으며, KS F 2527 「콘크리트용 부순 골재」에서는 55% 이상으로 규정하고 있다. 본 연구에서는 골재 종류에 따른 입자 모양 판정 실적률 시험을 실시하였으며, 실험결과를 Fig. 3에 나타내었다.



[그림 3] 골재 종류에 따른 입자 모양 판정 실적률
[Fig. 3] Solid volume percentage for shape determination with aggregate types

[표 4] 골재의 형상계수 측정결과
[Table 4] Determination of grain shape in aggregate

Classification	Spherical rate	Slenderness rate	Cubical rate	Flattening rate	c/b	Aggregate shape
Granite	0.72	1.94	1.41	33.86	0.74	Spherical shape
Hornfels	0.69	2.17	1.52	37.36	0.76	Spherical shape
Andesite	0.77	1.75	1.29	27.87	0.72	Spherical shape
Black Shale	0.68	2.27	1.46	38.84	0.65	Disk shape
Red Shale	0.68	2.40	1.47	37.38	0.62	Disk shape

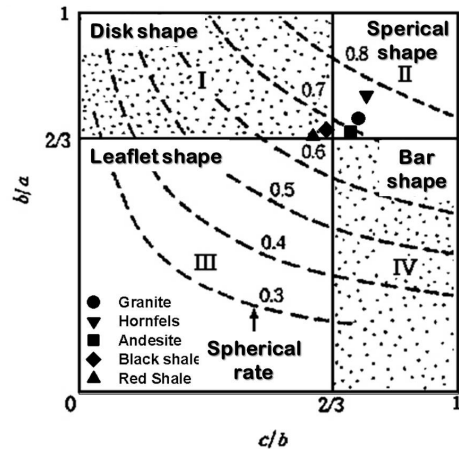
Fig. 3과 같이 입자 모양 판정 실적률은 안산암 59.63%, 화강암 56.78%, 혼펠스 56.58%로 콘크리트용 굵은 골재 사용기준을 만족하였으며, 블랙셰일의 경우 54.83%, 레드셰일의 경우 51.82%로 사용기준을 만족하지 않는 것으로 나타났다. 입자 모양 판정 실적률이 낮은 것은 골재가 모나고 편평한 입형을 가지는 것을 의미하므로 블랙셰일과 레드셰일을 콘크리트용 굵은 골재로 사용할 경우 입형 개선이 필요한 것으로 판단된다.

3.1.4 골재의 입형 판정

Table 4는 골재의 형상계수 측정을 바탕으로 하여 입형 판정 결과를 나타낸 것으로 구형률은 클수록 입형이 양호하며 세장률, 방형률, 편평률은 작을수록 입형이 양호하다고 볼 수 있다.

입형이 가장 양호한 골재는 안산암로 구형률은 0.77로 가장 높게 나타났으며, 세장률 1.75, 방형률 1.29, 편평률 27.87로 가장 낮게 나타났다. 반면, 블랙셰일과 레드셰일의 경우 구형률은 0.68로 가장 낮았으며, 세장률, 방형률, 편평률은 다소 높은 것으로 나타났다.

골재의 형상계수 측정결과를 바탕으로 한 구형률과 골재 입자와의 형상관계를 분석하여 Fig. 4에 도식화하였다.



[그림 4] 구형률과 골재 입자와의 형상관계
[Fig. 4] Relation of spherical rate and particle shape

Fig. 4와 같이 화강암, 혼펠스 및 안산암은 입형이 전체적으로 양호한 II 구역의 구상으로 나타났으며, 블랙세일과 레드세일은 I 구역의 원반상으로 분류되었다. 입형이 나쁜 골재는 콘크리트의 유동성을 나쁘게 하여 단위수량과 시멘트량을 증가시키고 충전성을 나쁘게 하여 경화콘크리트의 품질을 저하시킬 수 있으므로 세일을 콘크리트용 골재로 활용시 입형 개선이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

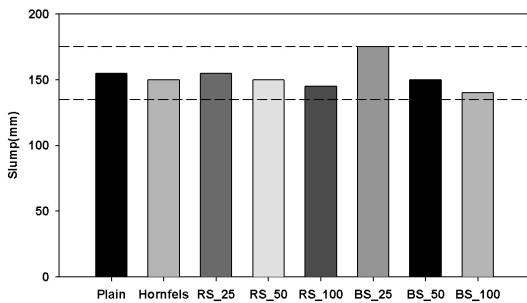
3.2 세일 골재를 치환하여 제조한 콘크리트 특성

세일 골재의 치환을 변화가 콘크리트에 미치는 영향을 검토하기 위하여 세일 골재의 치환율을 0%, 25%, 50%, 100%로 변화시켜 콘크리트를 제조하였으며, 슬럼프와 공기량 및 재령별 압축강도를 측정하였다.

3.2.1 굳지 않은 콘크리트 특성

(1) 슬럼프

굳지 않은 콘크리트의 슬럼프는 콘크리트의 워커빌리티(Workability)에 영향을 미치는 반죽질기 정도를 나타낸다. 골재의 종류 및 치환을 변화에 따른 슬럼프 특성을 Fig. 5에 나타내었다.

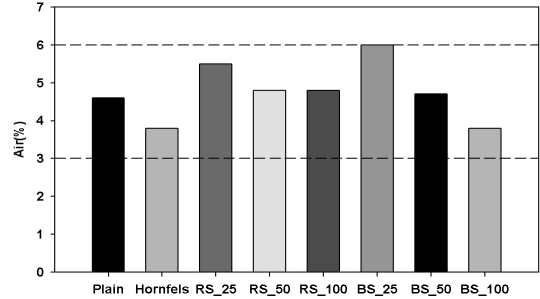


[그림 5] 골재의 종류 및 치환율에 따른 슬럼프
[Fig. 5] Slump with types and replacement ratio of aggregate

Fig. 5와 같이 골재의 종류 및 치환을 변화에 따른 슬럼프 값은 안산암을 100%로 사용하여 제조한 Plain에서 155mm로 나타났으며, Plain에 대한 레드세일 골재를 25% 치환율하여 제조한 RS_25에서 175mm로 가장 높았고, RS_100에서 140mm로 가장 낮게 나타났다. Plain에 대한 RS의 치환율을 2배씩 증가함에 따라 슬럼프 값은 5mm씩 감소하였으나 BS의 경우 슬럼프 값의 급격한 감소가 나타났다. 그러나 모든 시험체에서 콘크리트 기준 슬럼프 값인 150±25mm를 만족하였다.

(2) 공기량

공기량은 콘크리트의 워커빌리티, 강도, 내구성, 수밀성 및 단위용적질량 등에 영향을 미치므로 콘크리트의 배합설계 및 품질관리에 중요한 요인으로 작용한다. 골재의 종류 및 치환을 변화에 따른 공기량 특성을 Fig. 6에 나타내었다.

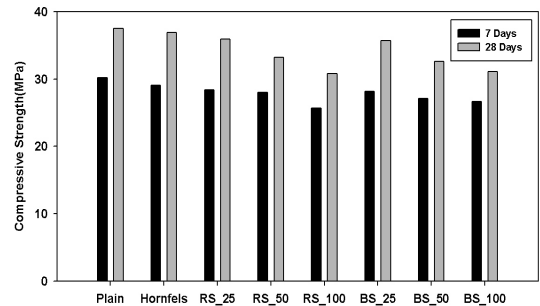


[그림 6] 골재의 종류 및 치환율에 따른 공기량
[Fig. 6] Air with types and replacement ratio of aggregate

공기량 특성을 살펴보면 레드세일을 25% 치환 사용하여 제조한 RS_25의 공기량은 5.5%로 나타났으며, RS_50과 RS_100의 경우 4.8%로 나타났다. 반면, 블랙세일을 치환하여 제조한 콘크리트의 공기량은 BS_25에서 6.0%, BS_50에서 4.7%, BS_100에서 3.8%로 나타났다. 세일 골재의 치환을 변화에 따른 공기량은 배합설계에서 제시한 목표공기량 4.5±1.5%를 만족하는 것으로 나타났다.

3.2.2 콘크리트의 압축강도 특성

압축강도는 콘크리트의 성능 및 품질을 대표하는 지표로 사용되지만 사용재료, 배합, 재령, 시공방법, 양생 등 여러 가지 요인들에 의해 영향을 받는다. 본 연구에서는 세일 골재의 종류 및 치환율의 변화만을 고려하여 압축강도를 평가하였다. 골재의 종류 및 치환을 변화에 따른 재령별 압축강도 특성을 Fig. 7에 나타내었다.



[그림 7] 골재의 종류 및 치환율에 따른 압축강도
[Fig. 7] Compressive strength with types and replacement ratio of aggregate

Fig. 7에서 재령별 압축강도를 살펴보면 Plain의 재령 7일 압축강도는 30.2MPa, 재령 28일 압축강도는 37.5MPa로 나타나 재령의 변화에 따른 압축강도는 약 24.2% 증가하는 것으로 나타났다. 재령이 7일에서 28일로 증가하였을 때 평균 압축강도의 증가율은 약 22.4%로 나타났다.

재령 28일 압축강도는 RS_25에서 35.9MPa, RS_50에서 33.2MPa, RS_100에서 30.8MPa로 나타나 레드세일의 치환율을 2배씩 증가시킬수록 압축강도는 약 2.6MPa씩 감소하였으며, 블랙세일의 경우 치환율을 2배씩 증가시마다 약 2.3MPa씩 압축강도가 감소하였다. 또한, BS_100의 재령 28일 압축강도는 30.8MPa, RS_100의 경우 31.1MPa로 나타나 Plain 골재를 사용하여 제조한 콘크리트의 압축강도 37.5MPa과 비교하여 약 82%의 강도 수준을 나타내었다.

4. 결론

본 연구는 대경권 세일 골재의 콘크리트용 골재 활용성 평가를 위해 골재의 물성을 평가하고, 세일 골재의 치환율 변화가 콘크리트의 특성에 미치는 영향을 검토한 것으로 연구의 결론은 다음과 같다.

1. 골재의 종류별 밀도 및 흡수율은 모든 골재에서 절대건조밀도는 2.50g/cm³이상, 흡수율은 3.0% 이하로 나타나 콘크리트용 굵은 골재 사용기준을 만족하였다.
2. 마모율은 레드세일에서 21.18%로 가장 높게 나타났으나 골재의 종류에 관계없이 콘크리트용 굵은 골재 사용기준인 40%이하를 만족하였다.
3. 입자 모양 판정 실적률 시험결과 안산암, 화강암 및 혼펠스는 콘크리트용 굵은 골재 사용기준 55% 이하를 만족하였으나, 블랙세일 54.83%, 레드세일 51.82%로 사용기준을 만족하지 않아 콘크리트용 골재로 활용시에는 입형 개선 등이 필요한 것으로 판단된다.
4. 골재의 입형은 화강암, Hornfles 및 안산암의 경우 입형이 양호한 구상으로 나타났으며, 블랙세일과 레드세일의 경우 원반상으로 분류되었다.
5. 세일 골재 치환율에 따른 균지 않은 콘크리트의 특성으로 슬럼프는 모든 시험체에서 콘크리트 기준 슬럼프 값인 150±25mm를 만족하였으며, 공기량은 배합설계에서 제시한 목표공기량 4.5±1.5%를 만족하는 것으로 나타났다.

6. 세일 골재의 치환율에 따른 재령 28일 압축강도는 블랙세일을 100% 치환하여 제조한 콘크리트의 경우 30.8MPa, 레드세일을 100% 치환한 경우 31.1MPa로 나타나 Plain 골재를 사용하여 제조한 콘크리트의 압축강도 37.5MPa과 비교하여 약 82%의 강도 수준을 나타내었다.

References

- [1] Korea Institute of Geology, Mining & Materials, Evaluation of Aggregate Resources at Kyungsang Provinces II, p.736, Ministry of Trade and Industry, 1995.
- [2] 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.
- [3] Young Huy Lee et al., "Shear Strength Characteristics of Rock Specimens by Triaxial Compression Tests" Journal of Korean Society of Civil Engineers, Vol. 1998 No. 2, pp. 131-134, 1998.
- [4] Kim Young Soo et al., "A Study on the Resistance of Freezing-Thawing for the Material of Concrete or Asphalt Using Smashed Rock" Journal of Korean Geo-environment Society, Vol 3 No. 2, pp. 35-47, 2002.
- [5] Yong-Wook Jung et al., "The Influence of Fineness Modulus of Fine Aggregate and Grain Shape of Coarse Aggregate on the Properties of High Flowing Concrete" Journal of Korea Concrete Institute, Vol. 17 No.5, pp. 785-792, 2005.
- [6] Tuk Ki Min et al., "Los Angeles Abrasion Test for Estimating Engineering Index on the Sedimentary Rocks of Kyeongsang Basin" Journal of Korean Geotechnical Society, Vol. 23 No. 11, pp. 15-26, 2007.
- [7] 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. 1999 No. 4, pp. 137-140, 1999.
- [8] Koh Kyung Taek et al., "Effect of the Grain Shape of Crushed Sand on Concrete Qualities", Journal of Korean Society of Civil Engineers, Vol. 24 No. 1A, pp. 229-236, 2006.
- [9] Park Cho-Bum et al., "Influence of Qualities of Crushed Sand on Properties of Concrete using Mixed Fine Aggregate" Journal of the Architectural Institute of Korea : Construction, Vol. 23 No. 8, pp. 115-122, 2007.

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

최 종 오(Jong-Oh Choi)

[정회원]



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

<관심분야>
콘크리트, 친환경 건설재료

정 용 욱(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, 친환경 건설재료

배 수 호(Su-Ho Bae)

[정회원]



- 1984년 2월 : 중앙대학교 토목공학과(공학사)
- 1986년 2월 : 중앙대학교 토목공학과(공학석사)
- 1987년 9월 ~ 1997년 2월 : 한국농어촌공사 농어촌연구원 책임연구원
- 1995년 8월 : 중앙대학교 토목공학과(공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 안동대학교 토목공학과 교수

<관심분야>
콘크리트 재료 개발 및 내구성

여 인 동(In-Dong Yeo)

[정회원]



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

<관심분야>
콘크리트, 친환경 건설재료