

리젝트애시를 잔골재로 프리믹스하여 활용하는 콘크리트의 공학적 특성

Engineering Properties of the Concrete Using Reject Ash as Pre-mixed Fine Aggregate

한민철¹ · 현승용^{2*}Min-Cheol Han¹ · Seung-Yong Hyun^{2*}

(Received January 15, 2019 / Revised February 15, 2019 / Accepted February 21, 2019)

The purpose of this study is to analyze the fundamental characteristics of concrete with the change of reject ash(Reject ash=Rj) in the mixed aggregate where single grain aggregate of different grain size and aggregate of opposite grain size are mixed together, to analyze the possibility of a mixed aggregate system that premixes at an aggregate manufacturing plant and delivers it as one aggregate. As a result of the experimental study, it was found that the grain size regulation is satisfied if the mixed aggregate(CSb+SS) is substituted for about 5% of Rj. In the case of the fluidity slump, slump flow and air volume, it was found that they decrease as the substitution ratio of Rj increases, while the compressive strength increases as the substitution ratio of Rj increases. Therefore, it is analyzed that it would contribute greatly to an improvement of quality such as improvement of compressive strength if adequate fluidity and air quantity are secured by the water reducing agent and AE agent while premixing the Rj, which is disposed of by landfill, with about 5% of the mixed aggregate.

키워드 : 리젝트애시, 프리믹스골재, 혼합골재, 공학적 특성

Keywords : Reject ash, Pre-mixed aggregate, Mixed aggregate, Engineering properties

1. 서론

최근 국내의 경우 천연골재 고갈, 산림골재 채취허가 규제 및 일부 바닷모래 채취 중단 등으로 인한 골재부족현상은 시급히 해결할 과제로 대두되고 있다(Min 2017). 이 중 골재 문제는 특히 잔골재에서 더욱 크게 문제가 되고 있는데, 실무에서는 발파석, 마사토, 해사 등 입자가 굵어서 문제가거나 입자가 가늘어서 문제가 되는 서로 반대적 입도(이하 반대적 입도라 칭함)의 저품질인 골재를 각각 별도로 계량하여 믹서 내에서 혼합하는 혼합골재로 활용하고 있는 실정이다(Lee 2018). 그러나 잔골재인 경우 서로 반대적인 입도를 갖는 골재들을 혼합하는 혼합잔골재일지라도 미립자 혼입률 등 부분적인 입도분포에는 여전히 문제점이 존재하고 있어 적절한 대응책 마련이 필요한 상황이다.

한편, 국내에서는 계속되는 전력 수요에 따라 많은 양의 전력이

공급되고 있는데, 이 중 2017년 에너지연보의 데이터에 의거하면 국내의 전기생산 방식 중 약 48% 정도를 화력발전으로 의존하고 있다. 그런데 화력발전의 경우는 저렴한 발전단가로 발전효율에는 이점이 있지만, 석탄회라고 하는 부산물이 다량으로 발생되고 있다(Kim et al. 2012). 이때 화력발전 부산물인 석탄회는 정제과정을 거쳐 플라이애시(Fly ash)로 제조되어 콘크리트용 혼화재로 활용되고 있으나, 비교적 굵은 입자 형태의 폐기물인 리젝트애시(Reject ash, 이하 Rj)가 발생하게 된다. 이때 Rj의 양은 전력생산량과 비례하여 증가하고 있지만, 그동안 거의 활용되지 못하고 폐기물로서 매립처분하고 있는 실정이다.

그러므로 본 연구는 부족한 골재 자원대책 및 저품질 골재의 품질향상대책으로, 두 가지 이상의 서로 다른 입도의 골재를 적정 비율로 혼합하는 혼합골재에 Rj를 미립분 보충 재료로 추가 혼합하고자 하며, 특히 골재생산공장에서 사전혼합하여 고품질 잔골재

* Corresponding author E-mail: yc0933@naver.com

¹청주대학교 건축공학과 교수 (Department of Architectural Engineering, Cheongju University, Professor, Cheongju, 28503, Korea)

²청주대학교 건축공학과 석사과정 (Department of Architectural Engineering, Cheongju University, Master's course, Cheongju, 28503, Korea)

로 재탄생시키고자 하는 것이다. 즉, 저품질인 부순잔골재와 해사를 골재제조공장에서 프리믹스하여 생산할 때 0.15mm 이하의 미립자가 부족하게 되면 점성부족 및 강도 저하 등의 문제점이 발생하기 된다. 따라서 Rj를 골재제조공장에서 프리믹스한 3종 혼합골재를 단일골재와 같이 제조하여 납품하는 방식으로 재활용할 수 있는지를 콘크리트 상태에서 검토하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 1과 같고, 배합사항은 Table 2와 같다. 즉, 실험요인으로 물시멘트비는 50%에 대하여 석산A를 사용한 경우를 Plain으로 하여 목표 슬럼프를 180 ± 15mm, 목표 공기량을 4.5 ± 1.5%로 배합설계한 다음 기타 모든 실험변수에 동일

Table 1. Experimental plan

Factors		Levels		
Mixture	W/C(%)	1	50	
	Target slump(mm)		180 ± 15	
	Target air content(%)		4.5 ± 1.5	
	Binder		3	OPC
	Aggregate type	Single		Crushed sand A(CSa) ¹⁾
		Mixed		Crushed sand B(CSb)
Rj ²⁾ replacement rate of mixed aggregate(%)		1	Sea sand(SS)	
Experiment	Fresh concrete	3	CSb+SS(6:4)	
			5	0, 2.5, 5, 7.5, 10
				Hardened concrete
	Slump flow			
Air content				
Compressive strength (3, 7, 28 days)				

1) Plain

2) Rj=Reject ash

Table 2. Mixture proportions of concretes

Series	Aggregate	Rj (%)	W/C (%)	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	Weight for unit volume of aggregate(kg/m ³)			AE (C%)	
						Coarse aggregate	Fine aggregate			
						CS	SS	Rj		
Single	CSa	0	50	183	366	862	856	0	0	0.02
	CSb					876	0	0		
	SS					859	0	0		
Mixed	CSb	0	183	366	862	521	348	0	0.02	
	+	2.5				508	339	22		
		5				496	330	43		
	SS	7.5				482	322	65		
		10				469	313	87		

하게 적용하였다. 이때 결합재는 보통포틀랜드시멘트(Ordinary Portland Cement, 이하 OPC)만을 사용하는 것으로 계획하였다. 골재의 변수로 단일골재는 양호한 품질의 석산 A(Crushed sand A, 이하 CSa), 불량 입도의 석산 B(Crushed sand B, 이하 CSb), 해사(Sea Sand, 이하 SS)의 3수준에, 혼합골재는 CSb+SS로 하였다. 혼합골재에 대한

Rj의 치환율은 0, 2.5, 5, 7.5, 10%의 5수준으로 계획하였다.

실험사항으로는 굳지 않은 콘크리트에서는 슬럼프, 슬럼프 플로, 공기량, 굳은 콘크리트에서는 압축강도를 측정하는 것으로 계획하였다.

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 재료로서, 먼저 OPC는 국내산 1종 보통 포틀랜드 시멘트를, Rj는 국내 A 화력발전소의 것을 B 기업에서 정제처리 후 버려지는 것을 사용하였는데, 각 재료의 물리적 성질은 제조업체 성적서에 의하면 Table 3 및 4와 같고, Rj의 SEM사진은 Photo 1과 같다.

골재의 경우로 굵은골재와 잔골재 중 단일사용 골재와 혼합사용 골재의 물리적 성질은 Table 5와 같고, 입도곡선은 Fig. 1과 같다. 혼화제로 AE제는 국내산 C사의 음이온계를 사용하였고, 물은 상수도를 사용하였다.

Table 3. Physical properties of cement

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	Soundness (%)	Setting time (min.)		Compressive strength(MPa)		
			Initial	Final	3 days	7 days	28 days
3.15	3,390	0.05	230	345	24.8	39.3	56.9

Table 4. Physical properties of Rj

Blaine(cm ² /g)	Density(g/cm ³)	L.O.I ¹⁾ (%)
2 990	2.20	6.3

1) Loss on ignition

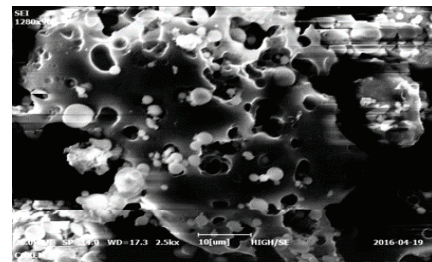


Photo 1. SEM of Rj

Table 5. Physical properties of aggregate

Type	Density (g/cm ³)	Water absorption ratio(%)	Passing ratio of 0.08mm sieve(%)	Fineness modulus
Fine aggregate	CSa	2.66	1.92	4.98
	CSb	2.67	1.52	3.82
	SS	2.60	1.13	2.89
	CSb+SS (6:4)	2.64	1.30	3.44
Course aggregate	2.63	0.36	0.51	6.71

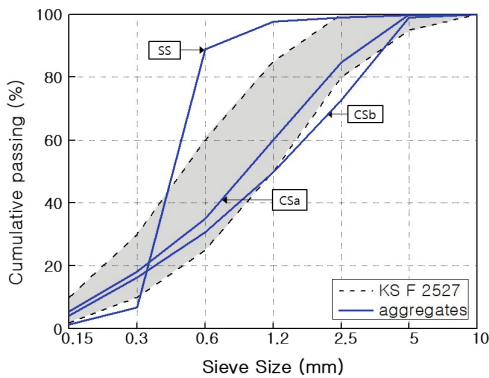


Fig. 1. Grading curve of aggregates

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로, 먼저 골재의 혼합에 대한 검토는 개별 골재입도를 입도곡선 그래프로 작도하여 검토하였다. 실험에 사용하는 잔골재의 사전혼합골재는 먼저 혼합할 골재를 각각 계량하여 모르타르용 믹서에 넣고 모르타르 제조 혼합방법과 동일한 rpm과 시간으로 제조하였다. 제조가 완료된 골재는 밀폐용기에 담아 보관하였다가 실험 시 개봉하여 사용하였다.

콘크리트의 실험으로 먼저, 콘크리트의 혼합은 트윈샤프트 믹서를 사용하여 KS F 2425에 의거하여 Fig. 2와 같이 진행하였다. 굳지 않은 콘크리트의 특성 실험으로 슬럼프는 KS F 2402, 슬럼프

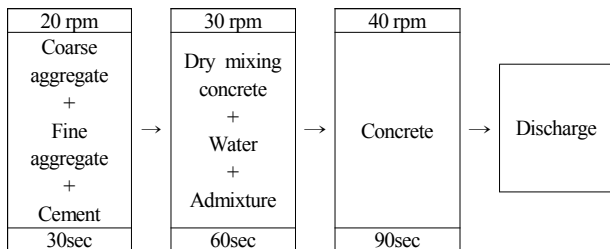


Fig. 2. Mixing sequence of concrete

플로는 KS F 2594, 공기량은 KS F 2409에 의거 측정하였고, 굳은 콘크리트의 실험으로 각 재령별 압축강도는 KS F 2405에 의거하여 시험체 3개 측정하여 평균값으로 하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 골재의 혼합

골재혼합으로 CSb와 SS의 혼합은 혼합하고자 하는 2개의 입도에서 혼합비율에 따라 계산하여 표시하는 방법으로 작도하였는데, 그 입도곡선은 Fig. 3과 같다. CSb와 SS의 혼합비율이 6:4일 때 KS F 2527 규격에 가장 안정적인 것으로 나타났다.

따라서 본 논문에서 CSb:SS의 혼합비율을 6:4로 하였고, 여기에 Rj의 혼합비율에 따른 입도곡선은 Fig. 4와 같다. 전반적으로 Rj의 치환율이 증가함에 따라 입도곡선이 위쪽으로 이동하는 것으로 나타났는데, Rj치환율 7.5% 이상에서는 표준입도범위를 벗어났다.

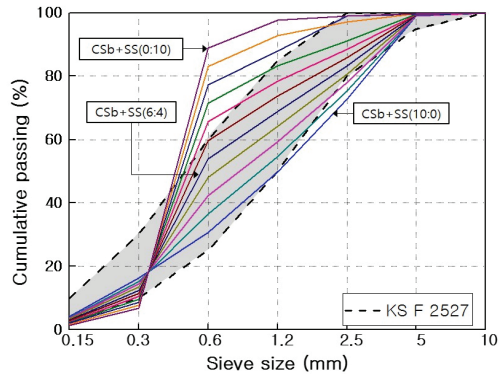


Fig. 3. Grading curve depending on different types of mixed aggregate(CSb+SS)

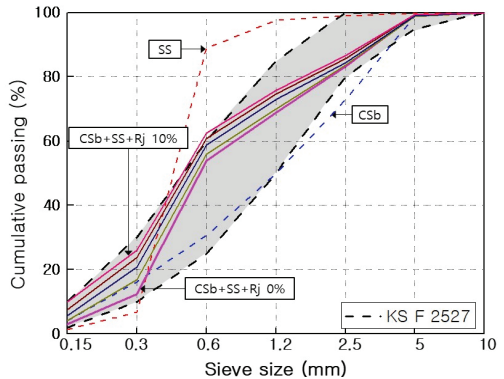


Fig. 4. Grading curve depending on different types of mixed aggregate(CSb+SS+Rj)

3.2 굳지 않은 콘크리트의 특성

굳지 않은 콘크리트의 특성으로 Fig. 5는 골재의 종류 및 CSb:SS=6:4인 혼합골재에 Rj의 치환율 변화에 따른 슬럼프를 나타낸 것이다. 먼저 단일골재 배합에서 Plain인 CSa의 경우는 목표 슬럼프 범위를 만족하였으나, 여타의 경우는 CSb, SS의 순으로 슬럼프가 감소하여 목표치를 만족하지 못하였다. 혼합골재 배합인 CSb+SS의 경우는 단일골재의 평균치보다는 유동성이 큰 경향을 나타내었지만 CSa보다는 크게 저하하고, Rj치환율이 증가함에 따라 슬럼프치는 약간 더 저하하는 경향으로 나타났다. 이는 Photo 1과 같이 부정형인 입형의 영향 및 Rj를 치환함에 따라 미립분이

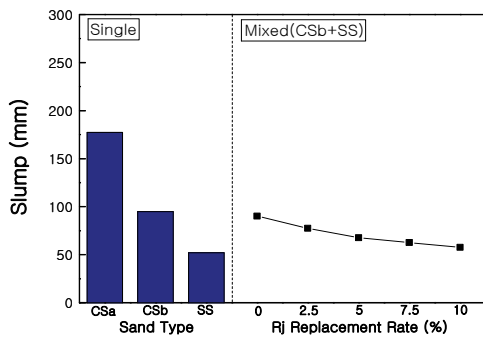


Fig. 5. Slump with fine aggregate type and Rj replacement

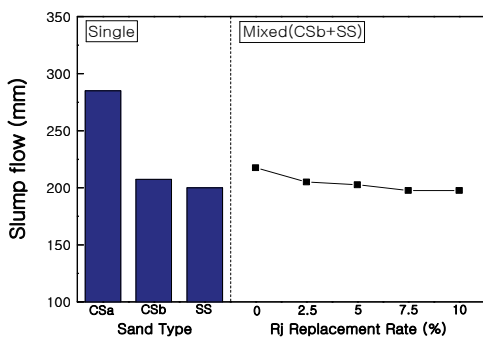


Fig. 6. Slump flow with fine aggregate type and Rj replacement

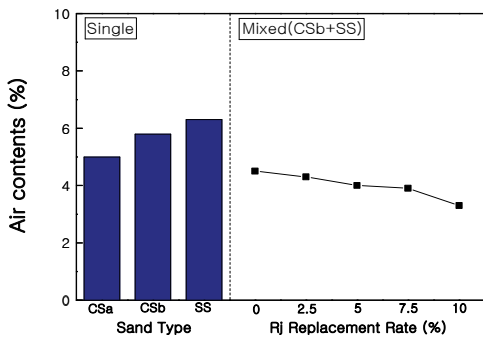


Fig. 7. Air contents with fine aggregate type and Rj replacement

증가하게 되어 점성증가 및 Rj입자에 흡수가 일어남에 기인하여 슬럼프가 저하된 것으로 판단된다.

Fig. 6은 골재의 종류 및 CSb:SS=6:4인 혼합골재에 Rj의 치환율 변화에 따른 슬럼프 플로를 나타낸 그래프이다. 전반적으로 슬럼프와 유사한 경향으로 나타났는데, 단일골재 배합에서는 CSa의 경우가 가장 큰 값을 나타내었고, CSb, SS의 순으로 감소하였다. 혼합골재 배합인 CSb+SS의 경우는 개별골재의 평균치보다 큰 값을 나타내었고, Rj치환율이 증가할수록 다소 감소하는 경향을 보였다. 이는 슬럼프에서 분석한 것과 동일한 원인에 기인한 것으로 판단된다.

Fig. 7은 골재의 종류 및 혼합골재에 Rj의 치환율 변화에 따른 공기량을 나타낸 것이다. 단일골재 배합에서 CSa와 CSb는 목표 범위를 만족하였으나, SS의 경우에는 만족하지 못하였다. 혼합골재 배합인 CSb+SS의 경우는 개별골재의 평균치보다 작은 값을 나타내며, 목표 범위에 만족하였다. 혼합골재에 Rj를 치환한 경우는 치환율이 증가할수록 공기량이 감소하는 경향을 보였다. 이는 Rj치환율이 증가함에 따라 골재의 입도가 개선된 공극충전효과 및 Rj에 포함되어 있는 미연소탄분에 의한 AE제 흡착작용(Song 2018)에 기인하여 공기량이 감소한 것으로 분석된다. 단, 실무에 활용할 경우에는 Rj치환에 의해 정상적인 공기량보다 감소할 수 있음에, 이와 같은 경우에는 일반적인 경우에 비해 AE제량을 증가시켜 배합설계해 주어야만 할 것으로 사료된다.

3.3 굳은 콘크리트의 특성

굳은 콘크리트의 특성으로 Fig. 8~10은 3, 7, 28일 재령에서 골재의 종류 및 혼합골재에 Rj의 치환율 변화에 따른 압축강도를 나타낸 그래프이다. 먼저 재령 3일 압축강도에서의 단일골재 배합에서는 Plain인 CSa가 가장 높게 나타났으며, 입도가 불량한 CSb와 SS는 전반적으로 CSa보다 10~20% 낮은 압축강도를 나타내었다. 혼합골재 배합에서는 입도가 불량한 두 골재를 단일로 사용한 경우의 평균값에 비해 높은 압축강도 및 플레인인 CSa와 동일한 강도를 보이고 있다. 이는 입도가 불량한 골재를 일정 비율로 혼합함으로써 입도가 개선되어 압축강도가 증가된 것으로 분석된다. 여기에 Rj 치환율이 증가함에 따라서는 비례적으로 압축강도가 증가하였는데, 이는 Rj 치환율이 증가함에 따른 공극충전효과와 공기량 감소 및 Rj의 흡수영향에 따른 물시멘트비 감소에 기인한 것으로 판단된다.

재령 7일 압축강도에서는 재령 3일에서와 비슷한 경향을 보이고 있으며, 배합별 차이가 확연히 나타났다. 먼저 단일골재 배합에서는 여전히 CSa가 가장 높은 압축강도를 나타내었고 CSb의 경우

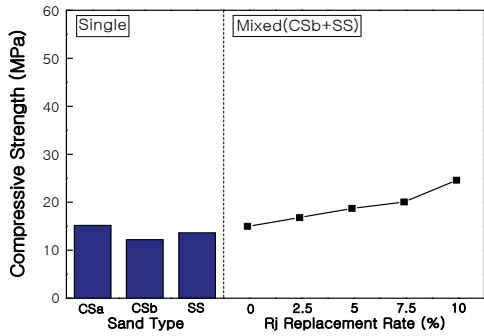


Fig. 8. Compressive strength with fine aggregate type and Rj replacement(3 days)

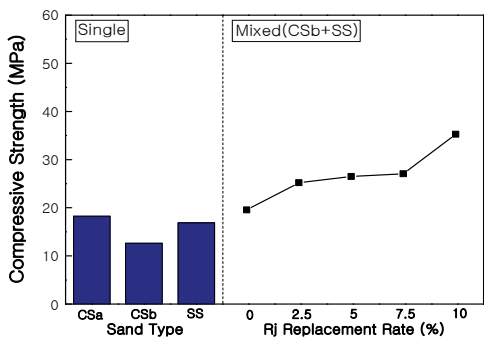


Fig. 9. Compressive strength with fine aggregate type and Rj replacement(7 days)

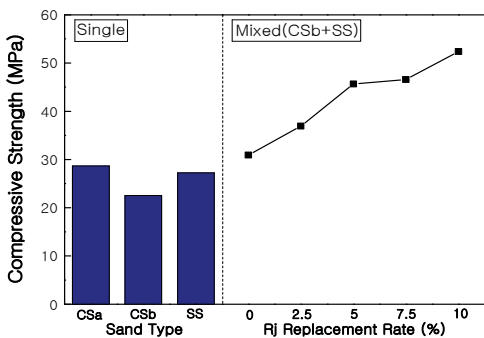


Fig. 10. Compressive strength with fine aggregate type and Rj replacement(28 days)

는 가장 낮은 압축강도를 나타내었다. 혼합골재 배합의 경우에는 입도가 불량한 각각의 골재를 사용한 배합의 평균 및 플레인인 CSa보다도 높은 압축강도를 나타내었으며, Rj의 치환율이 증가할 수록 압축강도도 증가하여 10%에서 가장 큰 증가율을 보였다.

재령 28일의 경우 단일골재 배합에서는 전반적으로 재령 3, 7일 과 비슷한 경향을 보이고 있다. 혼합골재 배합에서는 입도가 불량한 두 골재를 사용한 배합의 평균값에 비해 더 높은 압축강도를 나타내었고, 양호한 골재인 CSa보다도 높은 압축강도를 나타내었

다. 혼합골재에 Rj 치환율이 증가함에 따른 압축강도는 크게 증가 하는 것으로 나타났는데, 이는 Rj가 플라이애시와 비슷한 성분으로 포졸란 반응에 기인한 것, 공기량 감소, 0.15mm 이하의 미립자에 의한 공극충전효과 및 Rj의 흡수율 증가에 따른 물시멘트비 감소에 기인하여 압축강도가 크게 증진된 것으로 판단된다.

3.4 종합분석

Table 6은 Rj의 치환율 변화에 따른 품질을 본 연구의 Plain인 CSa 배합과 상호 비교하여 변화율로 분석한 것이다. 먼저 혼합골재인 CSb+SS(Rj 치환율 0%)의 경우에는 양호한 골재인 CSa의 품질보다 유동성, 공기량은 다소 감소, 압축강도는 다소 증가한 것으로 나타났다. Rj 치환율 2.5, 5, 7.5, 10%에서 Rj의 치환율이 증가함에 따라서는 유동성은 32%까지, 공기량은 66%까지 감소한 반면 압축강도의 경우에는 Rj의 치환율 증가에 따라 비례적으로 증가하였는데, 최대 195%까지 증가하였다.

종합적으로 혼합골재인 CSb+SS에 Rj를 치환할 경우 압축강도 측면에서 증진효과가 있는 것으로 나타났으나, 유동성 및 공기량은 저하함에 감수제 및 AE제 사용량을 증가시켜주어 양호한 품질이 확보되도록 해야 함을 알 수 있었다. 단, 현행 잔골재의 표준입도곡선 범위까지도 고려하면 5% 정도의 범위가 최적인 것으로 사료된다.

Table 6. Comparison of performance of concrete depending on Rj contents

Series	CSa ¹⁾ (%)	Rj replacement of pre-mixed fine aggregate(%)					
		0	2.5	5	7.5	10	
Slump	100	51 △	44 △	38 △	35 △	32 △	
Slump flow	100	76 △	72 △	71 △	69 △	69 △	
Air contents	100	90 △	86 △	80 △	78 △	66 △	
Compressive strength	7day	100	100 ○	113 ○	125 ○	134 ●	164 ●
	28day	100	109 ○	139 ●	147 ●	150 ●	195 ●
	91day	100	108 ○	129 ○	159 ●	163 ●	183 ●

1) Comparison with CSa

* △: less than 100, ○: 100~130, ●: 130~160, ●: higher than 160

4. 결론

본 연구는 서로 다른 입도의 단일골재 및 반대 입도의 골재를 혼합한 혼합골재에 Rj의 치환율 변화에 따른 콘크리트의 기초적 특성을 분석함으로써 골재제조공장에서 프리믹스하여 1개의 골재로 납품하는 혼합골재 제조 시스템의 가능성을 분석하고자 하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 입도가 불량한 CSb와 SS를 6:4의 비율로 혼합할 경우에는 KS의 표준입도규정에 만족하였다. 이러한 혼합골재에 Rj를 치환할 경우에는 5%까지는 표준입도규정을 만족하였으나, 7.5%부터는 범위를 벗어나는 것으로 나타났다.
- 2) 슬럼프 및 슬럼프 플로는 입도가 양호한 CSa에 비해 입도가 불량한 CSb와 SS에서는 저하하였는데, 단 CSb+SS인 혼합 골재의 경우는 각각의 평균치보다 증가하는 것으로 나타났다. 혼합골재에 Rj를 치환한 경우에는 치환율이 증가함에 따라 Rj 미립자의 점성증가에 기인하여 유동성이 감소하는 것으로 나타났다.
- 3) 공기량의 경우 입도가 불량한 CSb와 SS를 단일골재로 사용 하였을 경우에는 CSa보다 증가하였지만, 이를 혼합하여 사용하였을 경우에는 감소하여 적정 공기량을 확보하였다. 혼합골재에 Rj를 치환한 경우는 치환율이 증가함에 따라 공극 충전효과 및 Rj 중 미연소탄분의 AE제 흡착작용에 기인하여 공기량이 다소 감소하였다.
- 4) 압축강도의 경우는 입도가 불량한 CSb와 SS를 단일골재로 사용하였을 경우에 비해 혼합하여 사용하였을 경우에 증가 하였으며, 혼합골재에 Rj를 치환할 경우 그 치환율이 증가함에 따라 공극충전, 공기량 감소 및 Rj의 포졸란 반응에 기인 하여 최대 195%까지 증가하였다.

이상을 종합하면 입도가 서로 반대적인 CSb+SS 골재에 Rj를 잔골재로 5% 정도 치환하여 Pre-mix된 혼합골재로 사용할 경우에는 유동성 및 공기량은 다소 감소하는 경향이지만 압축강도는 크게 증가하는 경향을 나타내었다. 따라서 감수제 및 AE제 등으로 적정 유동성 및 공기량 확보하여 준다면 매립처분되는 폐기물의 재활용 및 압축강도 증진에 효과적일 것으로 분석되었다.

Conflict of interest

None.

감사의 글

이 논문은 2017~2018년도 청주대학교 연구 장학 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Min, G.C. (2017). Effects of Low-Quality Aggregate on the Properties of Concrete used in Capital Region, Ph.D Thesis, Cheongju University, Korea [in Korean].
- Lee, J.S. (2018). Qualification of Aggregates from Different Region in Korea and Evaluation on Concrete Properties Using the Aggregates, Ph.D Thesis, Cheongju University, Korea [in Korean].
- Kim, S.W., Jang, Y.J., Park, Y.H., Park, C.W. (2012). Strength development of fiber reinforced lean concrete using fly ash and reject ash under different compaction methods including small scale roller vibrator, Journal of the Korea Concrete Institute, **24(5)**, 543-551 [in Korean].
- Song, H.H. (2018). Rapid Evaluation Method of Fineness of Fly Ash by Hydrometer and Properties of Mortar Depending on Its Quality Variation, Ph.D Thesis, Cheongju University, Korea [in Korean].

리젝트애시를 잔골재로 프리믹스하여 활용하는 콘크리트의 공학적 특성

본 연구는 서로 다른 입도의 단일골재 및 반대 입도의 골재를 혼합한 혼합골재에 리젝트애시(Reject ash=Rj)의 치환율 변화에 따른 콘크리트의 기초적 특성을 분석함으로써 골재 제조공장에서 프리믹스하여 1개의 골재로 납품하는 혼합골재 시스템의 가능성을 분석하였다. 실험연구결과 입도규정의 경우는 혼합골재(CSb+SS)에 Rj를 5% 정도 치환할 경우 입도규정을 만족하는 것으로 나타났다. 유동성인 슬럼프 및 슬럼프 플로와 공기량의 경우에는 Rj의 치환율 증가에 따라 감소하는 것으로 나타났으나, 압축강도의 경우에는 Rj의 치환율이 증가함에 따라 증가하는 것이 확인되었다. 따라서 매립 처분되는 Rj를 5% 정도 혼합골재에 프리믹스하여 활용하면서 감수제 및 AE제 등으로 적정 유동성 및 공기량은 확보하여 준다면 압축강도 증진 등 품질향상에 크게 기여할 것으로 분석되었다.