

## 혼합골재에 리젝트애시를 프리믹스하여 활용하는 시멘트 모르타르의 공학적 특성 분석

# Analyzing the Engineering Properties of Cement Mortar Using Mixed Aggregate with Reject Ash

한천구<sup>1</sup> · 박병문<sup>2\*</sup>

Cheon-Goo Han<sup>1</sup> · Byung-Moon Park<sup>2\*</sup>

(Received July 18, 2017 / Revised August 16, 2017 / Accepted August 18, 2017)

The aim of this research is the feasibility analysis of the reject ash premixed cement mortar with combined aggregate. Namely, for the combined aggregate with two different qualities of aggregates, a fundamental properties of cement mortar was evaluated depending on various replacing ratios of reject ash(Ri). According to the experimental results, the combined aggregate consisted with low-quality aggregate and sea sand did not change the flow value depending on the reject ash while the combined aggregates consisted with low quality aggregate and sea sand; and consisted exploded debris sand and sea sand the increasing reject ash increased the air content with increased replacing ratio of reject ash. In the case of compressive strength, as the replacing ratio of reject ash was increased, the compressive strength was increased. It is considered that when 5% of reject ash replacing ratio made similar quality of cement mortar with favorable quality aggregate, hence, it can be suggested that 5% replacement of reject ash for desirable fluidity and compressive strength of concrete.

**키워드** : 리젝트애시, 프리믹스 골재, 혼합골재, 시멘트 모르타르, 공학적 특성

**Keywords** : Reject ash, Premixed aggregate, Mixed aggregate, Cement mortar, Engineering properties

## 1. 서론

최근 국내의 건설산업에서는 천연골재 고갈로 인한 골재 수급 문제가 시급히 해결할 과제로 대두됨에 따라 실무에서는 발파석 및 EEZ해사 등 저품질 골재가 다량 사용되어지고 있다. 그런데, 이러한 저품질 골재는 품질이 열악함에 따라 실무에서는 반대적 입도의 골재를 각각 별도로 계량하여 믹서 내에서 혼합하는 혼합 골재로 활용하고 있는 실정이다. 하지만 이러한 혼합골재는 골재 호퍼 및 2개 이상의 저장빈을 이용해야 하는 등 번잡성 문제가 있고, 또한 이렇게 혼합된 골재라도 품질에는 여전히 문제점이 존재함에 따라 적절한 대응책 마련이 필요한 상황이다.

한편, 국내에는 많은 전력 공급 요구에 따라 화력발전소를 증설하고 있는데, 화력발전 부산물 또한 증가하고 있는 실정이다. 이때

화력발전 부산물은 정제과정을 거쳐 플라이애시로 제조되어 콘크리트에 활용하고 있으나, 정제과정 중 발생하는 폐기물인 리젝트 애시(이하 Ri)의 양 또한 증가하고 있다. 그러나 이제까지 이러한 Ri는 거의 활용되지 못하고 매립처분 되고 있는 실정으로 대책마련이 시급한 상황이다(Kim et al. 2012).

그러므로 본 연구는 부족한 골재 자원대책 및 저품질 골재의 품질향상대책으로, 동종 혹은 이종의 두가지 이상의 서로 다른 입도 및 품질의 골재와 Ri와 같은 기능성 재료를 골재생산공장에서 사전혼합하여 고품질골재로 재탄생시키고자 하는 것을 목적으로 한다. 즉, 저품질 부순골재 혹은 발파석과 EEZ해사와 같은 저품질의 서로 다른 입도의 골재를 골재제조공장에서 혼합생산 하더라도 0.15mm 이하의 미립자가 부족하게 되면 점성부족 및 강도 저하 등의 문제점이 발생하게 되는데, 화력발전소 부산물 중 폐기처리

\* Corresponding author E-mail: [pbm2001@hanmail.net](mailto:pbm2001@hanmail.net)

<sup>1</sup>청주대학교 건축공학과, 교수 (Department of Architectural Engineering, Cheong-ju University, Professor, Cheongju, 28503, Korea)

<sup>2</sup>청주대학교 건축공학과, 박사과정 (Department of Architectural Engineering, Cheong-ju University, Doctor's Course, Cheongju, 28503, Korea)

되는 Rj를 골재제조공장에서 프리믹스한 3종 혼합골재를 단일골재와 같이 제조하여 납품하는 방식으로 재활용 할 수 있는지에 대하여 시멘트 모르타르 상태에서의 가능성을 검토하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 1과 같으며, 실험요인으로 모르타르 배합비는 1:3, 물시멘트비는 50%에 대하여 플레인의 목표 플로를 180±15mm, 목표 공기량을 4.5±1.5%로 배합설계하여 모든 실험변수에 동일하게 적용하였다. 이때 결합재는 OPC만을 사용하는 것으로 계획하였다. 골재의 변수로는 단일골재로 양호한 품질의 석산 A(CSa), 불량 입도의 석산 B(CSb), 발파석(BS), 해사(SS)의 4수준, 혼합골재로 CSb+SS, BS+SS의 2수준으로 하였다. 혼합골재에 대한 Rj의 치환율은 0, 2.5, 5, 7.5, 10%의 5수준으로 계획하였다. 배합표는 Table 2와 같다.

실험사항으로는 굳지않은 모르타르에서는 플로, 공기량, 경화 모르타르에서는 압축강도를 측정하는 것으로 하였다.

### 2.2 사용재료

본 실험에 사용한 재료로서, 먼저 OPC는 국내산 1종 보통 포틀

Table 1. Experimental plan

Factors		Levels		
Mixture	C:S(W/C)	1	1:3(50%)	
	Flow(mm)		180±15	
	Air content(%)		4.5±1.5	
	Binder		OPC 100%	
	FA type		Reject ash(Rj)	
	Aggregate type	Single	4	Crushed sand A(CSa) <sup>1)</sup>
				Crushed sand B(CSb)
				Blast sand(BS)
				Sea sand(SS)
	Aggregate type	Mixed	2	CSb + SS(6:4)
BS + SS(6:4)				
Rj replacement rate of mixed aggregate(%)		5	0, 2.5, 5, 7.5, 10	
Experiment	Fresh mortar	2	Flow	
			Air content	
	Hardened mortar	1	Compressive strength (3, 7, 28 days)	

1) Plain

랜드 시멘트를 사용하였고, Rj는 국내 A 화력발전소의 것을 B 기업에서 정제처리 후 버려지는 것을 사용하였는데 각 재료의 물리적

Table 2. Mixture proportions of mortar

Series	Aggregate	Rj (%)	W/C (%)	W (kg/m <sup>3</sup> )	C (kg/m <sup>3</sup> )	Mass for unit volume of fine aggregate(kg/m <sup>3</sup> )				AE (C/%)
						CS	BS	SS	Rj	
Single	CSa	0	50	254	509	1527	0	0	0	0.02
	CSb			255	510	1530	0	0	0	
	BS			250	500	0	1500	0	0	
	SS			251	502	0	0	1506	0	
Mixed	CSb + SS	0	254	507	913	0	608	0		
		2.5	253	506	891	0	594	32		
		5	252	505	870	0	580	64		
		7.5	252	503	848	0	565	95		
		10	251	502	827	0	551	128		
	BS + SS	0	251	501	0	902	601	0		
		2.5	250	500	0	880	587	32		
		5	249	499	0	859	573	64		
		7.5	249	498	0	838	559	96		
		10	248	497	0	817	545	129		

Table 3. Physical properties of cement

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

1) Loss on ignition

Table 5. Physical properties of crushed fine aggregate

Type	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Water absorption ratio(%)	Passing ratio of 0.08mm sieve(%)	Fineness modulus
CSa	2.66	1.92	4.98	2.96
CSb	2.67	1.52	3.82	3.27
BS	2.58	2.63	7.06	3.18
SS	2.60	1.13	2.89	2.06
CSb+SS(6:4)	2.64	1.90	3.44	2.71
BS+SS(6:4)	2.61	2.15	5.44	2.73

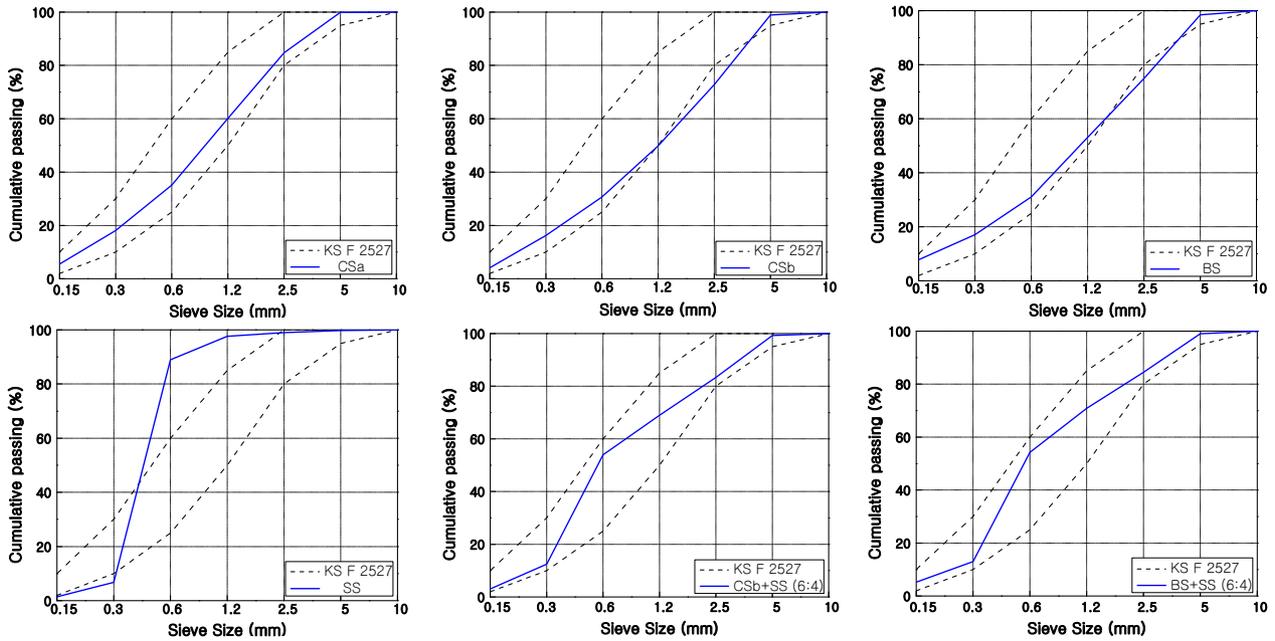


Fig. 1. Grading curve depending on different types of aggregate

성질은 Tables 3 및 4와 같다.

본 실험에 사용한 잔골재 중 단일사용과 혼합사용 시 골재의 물리적 성질은 Table 5와 같고 입도곡선은 Fig. 1과 같다. 혼화제로 AE제는 국내산 C사의 제품을 사용하였으며, 물은 상수도를 사용하였다.

### 2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 먼저 모르타르의 혼합은 KS L 5109에 의거하여 진행하였다. 굳지 않은 모르타르의 특성 실험으로 플로는 KS L 5111, 공기량은 KS F 2421에 의거하였고, 경화 모르타르의 실험으로 각 재령별 압축강도는 KS F 2326에 의거하여 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 굳지 않은 모르타르의 특성

굳지 않은 모르타르의 특성으로 Fig. 2은 골재의 종류 및 Rj의 치환율 변화에 따른 플로를 나타낸 것이다. 먼저 단일골재 배합에서 Plain인 CSa의 경우는 목표 범위를 만족하였고, CSb는 제일 큰 값이었으며, BS, SS의 순으로 플로가 감소하였다. 혼합골재 배합에서는 CSb+SS와 BS+SS의 경우 단일골재의 평균치보다는 유동성이 큰 경향을 나타내었는데, Rj 치환율이 증가함에 따라 CSb+SS의 플로는 거의 변화가 없었으나, BS+SS의 경우에는 Rj

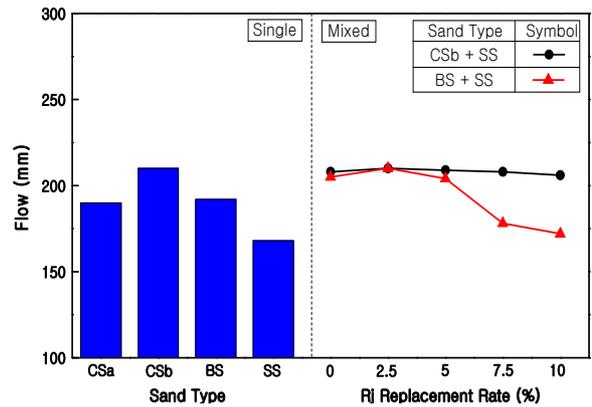


Fig. 2. Flow with fine aggregate type and Rj replacement

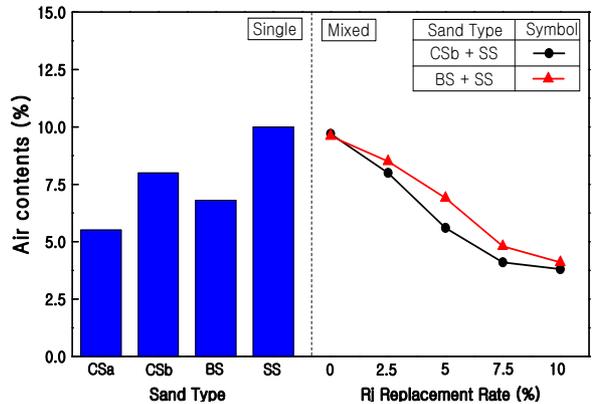


Fig. 3. Air contents with fine aggregate type and Rj replacement

치환율이 증가함에 따라 혼입율 5% 이후부터 플로가 약간 저하하는 경향으로 나타났다. 이는 BS+SS의 경우 CSb+SS에 비해 많은 미립분을 함유하고 있으며, Rj를 치환함에 따라 추가적으로 미립분이 증가하게 되어 점성이 지나침에 기인하여 플로가 저하된 것으로 판단된다.

Fig. 3는 골재의 종류 및 Rj의 치환율 변화에 따른 공기량을 나타낸 그래프이다. 단일골재 배합에서 CSa와 BS는 목표 범위를 만족하였으나, CSb와 SS의 경우에는 목표 범위를 만족하지 못하였다. 혼합골재 배합에서는 CSb+SS와 BS+SS의 경우 모두 개별골재의 평균치보다 큰 값을 나타내었는데, Rj 치환율이 증가할수록 공기량이 감소하는 경향을 보였다. 이는 Rj 치환율이 증가함에 따라 골재의 입도가 개선되고 공극충전효과에 기인한 것 및 Rj에 포함되어 있는 미연소탄분에 의한 AE제 흡착작용에 기인하여 공기량이 감소한 것으로 분석된다. 단, 실무의 경우에는 Rj를 치환하므로써 정상적인 공기량보다 감소할 수도 있는데, 이와 같은 경우는 AE제량을 증가시키므로써 해결될 수 있을 것이다. 또한 BS+SS가 CSb+SS에 비해 높은 공기량을 나타내고 있는데, 이는 BS에 포함되어 있는 미립분과 미립분 형태의 Rj를 치환함으로써 점성이 증가하여 갇힌 공기를 증가시킴에 기인하여 더 많은 공기량을 나타내는 것으로 분석된다.

### 3.2 경화 모르타르의 특성

Figs. 4~6은 골재의 종류 및 Rj의 치환율 변화에 따른 재령별 압축강도를 나타낸 그래프이다. 먼저 재령 3일 압축강도에서의 단일골재 배합에서는 Plain인 CSa가 가장 높게 나타났으며, 입도가 불량한 CSb와 BS, SS는 전반적으로 CSa보다 34~53% 낮은 압축강도를 나타내었다. 혼합골재 배합에서는 입도가 불량한 골재를 단일로 사용한 경우의 평균값에 비해 더 높은 압축강도를 보이고 있다. 이는 입도가 불량한 골재를 일정 비율로 혼합함으로써 입도가 개선되어 압축강도가 증가한 것으로 분석된다. 여기에 Rj 치환율이 증가함에 따라서는 비례적으로 압축강도가 증가하였는데, CSb+SS가 BS+SS에 비해 높은 압축강도를 보였다. 이는 Rj 치환율이 증가함에 따라 공극충전효과와 공기량 감소에 기인한 것으로 판단되며, BS+SS가 CSb+SS에 비해 공기량을 많이 포함하고 있어서 압축강도가 낮게 나타난 것으로 분석된다.

재령 7일 압축강도에서는 재령 3일과 비슷한 경향을 보이고 있으며, 단일골재 배합에서 여전히 CSa가 가장 높은 압축강도를 나타내었다. 혼합골재 배합의 경우에도 입도가 불량한 골재를 사용한 배합의 경우에 비해 높은 압축강도를 나타내었으며, CSb+SS가

BS+SS에 비해 높은 압축강도를 보였고 Rj의 치환율이 증가할수록 CSb+SS에서 큰 압축강도 증가율을 보였다.

재령 28일의 단일골재 배합에서는 재령 3, 7일과 비슷한 경향을 보이고 있고, 혼합골재 배합에서도 입도가 불량한 골재를 사용한 배합의 경우의 평균값에 비해 높은 압축강도를 나타내고 있다. 혼합골재의 경우는 CSb+SS가 BS+SS에 비해 높은 압축강도를 보였다. 또한 Rj 치환율이 5% 이상에서는 양호한 골재를 사용한 경우에

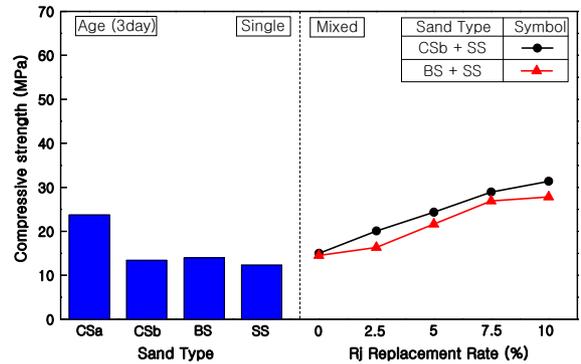


Fig. 4. Compressive strength with fine aggregate type and Rj replacement(3 days)

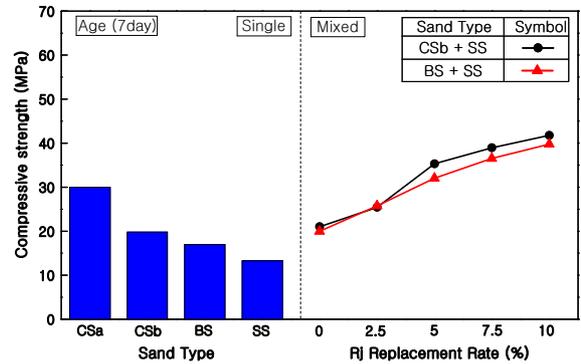


Fig. 5. Compressive strength with fine aggregate type and Rj replacement(7 days)

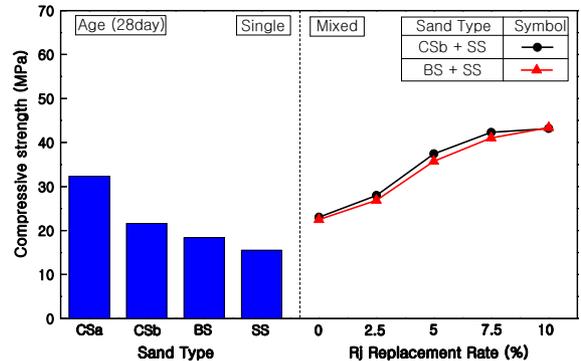


Fig. 6. Compressive strength with fine aggregate type and Rj replacement(28 days)

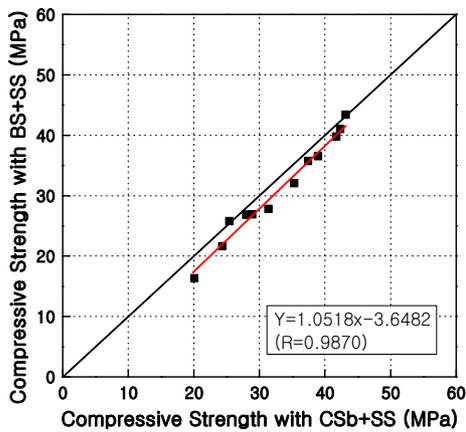


Fig. 7. Correlation between compressive strength CSb+SS and compressive strength with BS+SS

비해 높은 압축강도를 보였다. 이는 Rj가 플라이애시와 비슷한 성분으로 되어 있어 포졸란 반응에 기인하여 압축강도가 증가한 것 (Oh and Seo 1997) 및 0.15mm 이하의 미립자에 의한 공극충전효과의 복합적인 작용에 기인한 것으로 판단된다.

Fig. 7은 CSb+SS의 압축강도와 BS+SS의 압축강도를 상관관계로 나타낸 그래프이다. CSb+SS가 BS+SS보다 3~19% 높은 압축강도 값을 나타냄을 알 수 있다.

### 3.3 종합분석

Table 6는 혼합골재의 종류별 Rj의 치환율에 따른 품질 변화율을 종합적으로 분석한 표이다. 먼저 CSb+SS의 경우에는 양호한 골재인 CSa의 품질에 대비하여 변화율을 분석한 결과 전반적으로

Table 6. Analysis of quality change rate

Series		CSa <sup>1)</sup> (%)	Rj replacement(%)					
			0	2.5	5	7.5	10	
CSb+SS	Flow	100	109	110	110	109	108	
	Air contents	100	176	145	102	75	69	
	Compressive strength	3day	100	63	85	103	122	132
		7day	100	70	85	118	130	139
		28day	100	71	87	116	131	127
BS+SS	Flow	100	108	110	107	94	91	
	Air contents	100	175	155	125	87	75	
	Compressive strength	3day	100	61	69	91	113	117
		7day	100	67	86	107	122	133
		28day	100	70	86	111	127	134

1) Compressive strength with CSa

\* □ less than 100 ■ 100 ~ 130 ▨ 130 ~ 160 ▩ higher than 160

Rj 치환율이 증가함에 따라서는 유동성은 큰 변화가 없었으며, 공기량은 69%까지 감소하였다. 압축강도의 경우에는 Rj의치환율에 따라 비례적으로 증가하였는데, 최대 변화율은 139%까지 증가하였다. BS+SS의 경우에도 CSb+SS의 경우와 비슷한 경향을 보였고, 약간은 품질이 저하하였지만 특별한 문제점은 없는 것으로 판단된다.

종합적으로 CSb+SS, BS+SS의 혼합골재에 Rj를 5%이상 치환해 주면 양호한 골재를 사용한 경우보다 시멘트 모르타르의 품질에 전혀 문제가 없는 양호한 혼합골재가 됨을 확인할 수 있었다.

## 4. 결론

본 연구는 서로 다른 입도의 단일골재 및 서로 다른 입도를 혼합한 혼합골재에 Rj의 치환율 변화에 따른 시멘트 모르타르의 기초적 특성을 분석함으로써 공장에서 프리믹스하여 1개의 제품으로 납품하는 혼합골재의 가능성을 분석하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 플로는 입도가 불량한 CSb와 BS, SS를 단일골재로 사용하였을 경우에 비해 혼합하여 사용하였을 경우에 증가하는 것으로 나타났다. 혼합골재에 Rj를 치환한 경우의 플로로서 CSb+SS에서는 변화가 없었으나, BS+SS에서는 다소 감소하는 경향을 보였다.
2. 공기량은 입도가 불량한 CSb와 BS, SS를 단일골재로 사용하였을 경우에 비해 혼합하여 사용하였을 경우에 증가하였으나, 혼합골재에 Rj를 치환한 경우는 치환율이 증가함에 따라 공기량이 감소하였다.
3. 압축강도의 경우는 입도가 불량한 CSb와 BS, SS를 단일골재로 사용하였을 경우에 비해 혼합하여 사용하였을 경우에 증가하였으나, 혼합골재에 Rj의 치환율이 증가함에 따라서는 CSb+SS와 BS+SS의 경우 모두 비례적으로 증가하였다.

이상을 종합하면 입도가 불량한 서로 다른 골재를 혼합하여 사용하였을 경우 유동성 확보 및 강도증진에 긍정적이며, 추가적으로 Rj를 잔골재로서 5%이상 혼합골재에 치환하게 되면 모르타르의 유동성 확보 및 강도증진에도 긍정적으로 기여하게 됨을 확인할 수 있었다.

## References

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].
- Moon, B.Y., Lee, J.H., Kim, M.S., Song, H.H., Han, M.C., Han, C.G. (2016). “Effect of a change in the quality of fly ash on the engineering characteristics of mortar,” Proceedings of Architectural Institute of Korea, Architectural Institute of Korea, Seoul, Korea **36(1)**, 359–360 [in Korean].
- Oh, S.H., Seo, C.H. (1997). “An experimental study on the properties of concrete with replacement of fine aggregate by reject-ash,” Proceedings of Architectural Institute of Korea, Architectural Institute of Korea, Korea **17(2)**, 1311–1315 [in Korean].
- Yu, M.Y., Lee, J.Y., Chung, C.W. (2009). The property estimation of fine aggregate blended with natural, crushed, and recycled fine aggregate, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, **25(11)**, 113–120 [in Korean].

#### 혼합골재에 리젝트애시를 프리믹스하여 활용하는 시멘트 모르타르의 공학적 특성 분석

본 연구는 Reject Ash(Rj)를 혼합골재에 프리믹스하여 활용함에 따르는 가능성을 분석한 것이다. 즉, 서로 다른 입자특성의 저품질 잔골재인 석산 B+해사(CSb+SS), 발파석+해사(BS+SS)의 혼합골재에 대한 Rj의 치환율 변화에 따른 시멘트 모르타르의 기초적 특성을 파악하고자 하였다. 실험결과, 먼저 플로는 CSb+SS의 경우 Rj의 치환율이 증가함에 따라 거의 변화가 없었으며, 공기량은 CSb+SS와 BS+SS의 경우 모두 Rj의 치환율이 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타났다. 압축강도는 CSb+SS와 BS+SS의 경우 모두 Rj의 치환율이 증가함에 따라 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 혼합골재에 Rj를 5% 정도 치환할 경우에 품질이 양호한 골재를 사용한 경우와 유사한 것으로 판단되며, 5% 이상 치환할 경우에도 콘크리트의 유동성 확보 및 강도증진에 긍정적으로 기여하게 됨을 확인할 수 있었다.