

# 성인이 다른 굵은 골재를 혼합사용한 콘크리트의 기초적 특성 분석

## Analysis of Fundamental Properties of Concrete Using Mix of Coarse Aggregate With Formation Causes

노상균<sup>1</sup> · 김영희<sup>2</sup> · 김정빈<sup>3</sup> · 한천구<sup>4\*</sup>

Sang-Kyun Noh<sup>1</sup> · Young-Hee Kim<sup>2</sup> · Jeong-Bin Kim<sup>3</sup> · Cheon-Goo Han<sup>4\*</sup>

(Received February 24, 2015 / Revised March 25, 2015 / Accepted March 27, 2015)

Recently, attempts of replacing some of natural aggregate with mix of low quality aggregate are carried out for stable supply of aggregate. However, low quality aggregate such as recycled aggregate produced during the disposal process of construction wastes and by-product aggregate produced by industrial activities has problem of failing to comply to KS Standards. Therefore, we have compared fundamental properties of concrete by using granite crushed aggregate, recycled aggregate, blast furnace and electric arc furnace slag aggregate for effective utilization of lacking aggregate resources. As the result, slump in case of mixed use of aggregate was increased 0~10% compared to single use. Therefore, it is judged to be economically advantageous as it can expect effects in unit quantity or reduction of SP agent. Compressive strength in case of mixed use of aggregate was increased 0~10% compared to single use as it filled internal crevice of concrete with continuous particle size distribution. Accordingly, if we utilize by satisfying standard particle scope through mix of aggregate with different cause of formation in proper ratio, it was possible to confirm utility of mixed aggregate with demonstration of effects of increases of fluidity and compressive strength of concrete.

**키워드** : 화강암 부순골재, 순환골재, 고로슬래그 골재, 전기로 산화슬래그 골재, 혼합골재

**Keywords** : Granite crushed aggregate, Recycled aggregate, Blast-furnace slag aggregate, Electric Arc furnace oxidizing slag aggregates, Mixed aggregate

## 1. 서론

레미콘 산업에서 골재의 수급문제를 안정적으로 해결하는 것은 품질관리 차원에서도 매우 중요한 사안이다. 최근 이러한 골재의 안정적인 수급대책으로 각광받는 것은 과거에는 거의 사용하지 않았던 저품질의 골재를 혼합사용하여 천연골재의 일부로 대체하고자 하는 시도이다.

그러나 저품질의 골재는 건설폐기물 처리과정에서 생산되는 순환골재, 산업활동에 의해 생산되는 부산물 골재 등으로 그 품질은 KS 기준에 적합하지 않을 수 있는 문제점이 있다. 또한, 혼합골재에 대하여는 KS 규격이 제대로 정립되어 있지 않기 때문에 혼합골

재 제조 및 활용에도 많은 어려움이 발생하고 있는 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 부족한 골재자원의 유효한 활용을 위해 화강암 부순골재를 기본으로 하여 순환골재, 고로 및 전기로 슬래그 골재를 단독 및 혼합사용하여 콘크리트의 기초적 특성을 비교·분석함으로써 혼합골재의 활용 가능성을 검토하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획 및 콘크리트 배합은 Table 1 및 2와 같다.

\* Corresponding author E-mail: cghan@cju.ac.kr

<sup>1</sup>한국건설생활환경시험연구원·건축환경재료센터 (Building Environment Materials Center, KCL, Chungbuk, 363-883, Korea)

<sup>2</sup>케이엠비(주)·기술연구센터 (Technical Research Center, KMB, Kyonggi-do, 456-843, Korea)

<sup>3</sup>(주)삼표산업·연구개발센터 (Research & Development Center, Sampyo Industry, Kyonggi-do, 464-080, Korea)

<sup>4</sup>청주대학교·건축공학과 (Department of Architectural Engineering, Cheongju University, Chungbuk, 360-170, Korea)

먼저, 배합으로 화강암 부순골재를 사용한 콘크리트를 기본배합으로 선정하였다. W/B는 50%에 고로슬래그 미분말(이하 BS) 15% 및 플라이애시(이하 FA) 15%를 복합치환고, 목표 슬럼프 150±25mm, 목표 공기량 4.5±1.5%를 만족하도록 배합설계한 후 여타의 조합변수에도 동일하게 적용하였다. 굵은 골재의 종류로 화강암 부순골재(이하 G), 순환골재(이하 R), 고로슬래그 골재(이하 B) 및 전기로 산화슬래그 골재(이하 E)를 단독사용한 경우와 2종의 골재를 용적비로 각각 1 : 1의 비율로 혼합사용한 경우로 총 10수준을 선정하였다.

실험으로 굳지 않은 콘크리트에서는 슬럼프 및 공기량을 측정하였으며, 경화 콘크리트에서는 압축강도를 측정하였다.

Table 1. Experimental plan

Experimental factors		Experimental levels
Mixture	W/B (%)	50
	Target slump (mm)	150 ± 25
	Target air content (%)	4.5 ± 1.5
	Aggregate type	<ul style="list-style-type: none"> <li>Granite crushed aggregate</li> <li>Recycled aggregate</li> <li>Blast-furnace slag aggregate</li> <li>Electric Arc furnace oxidizing slag aggregates</li> </ul>
	Use method	<ul style="list-style-type: none"> <li>Single use</li> <li>Mixed use</li> </ul>
Experiment	Fresh concrete	<ul style="list-style-type: none"> <li>Slump</li> <li>Air content</li> </ul>
	Hardened concrete	<ul style="list-style-type: none"> <li>Compressive strength (3, 7, 28 day)</li> </ul>

Table 2. Mix proportion of concrete

Type		W/B (%)	Unit water content (kg/m <sup>3</sup> )	S/a (%)	AE	SP	Unit mass (kg/m <sup>3</sup> )					
							W	C	BS	FA	S	G
Single use	G	50	170	46.5	0.016	0.23	170	238	51	51	812	923
	R				0.016	0.23	170	238	51	51	812	830
	B				0.016	0.23	170	238	51	51	812	1 037
	E				0.016	0.23	170	238	51	51	812	1 109
Mixed use	G+R	50	170	46.5	0.016	0.23	170	238	51	51	812	877
	G+B				0.016	0.23	170	238	51	51	812	980
	G+E				0.016	0.23	170	238	51	51	812	1 016
	R+B				0.016	0.23	170	238	51	51	812	934
	R+E				0.016	0.23	170	238	51	51	812	970
	B+E				0.016	0.23	170	238	51	51	812	1 073

## 2.2 사용재료

### 1) 물리 및 화학적 성질

본 연구에 사용된 재료의 물리·화학적 성질은 Tables 3~9와 같다. 즉, 시멘트는 국내 A사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 혼화제로 고로슬래그 미분말은 국내 B사의 3종, 플라이애시는 국내 C사의 2종을 사용하였다. 또한, 혼화제로 SP제는 국내 D사의 폴리칼본산계, AE제는 국내 E사의 음이온계를 사용하였다.

특히, 굵은 골재로 화강암 부순골재 및 순환골재는 경기도 화성

Table 3. Physical properties of cement

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Stability (%)	Setting time (Minute)		Compressive strength (MPa)		
			Initial time	Final time	3 days	7 days	28 days
3.15	3 390	0.05	230	345	24.8	39.3	56.9

Table 4. Chemical properties of cement

Chemical components (%)									LSF	SM	IM
LOI	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O			
0.35	21.88	4.02	3.66	64.18	2.01	1.83	0.07	0.92	90.44	2.52	1.37

LOI: Loss on ignition, LSF: Lime saturation factor, SM: Silica modulus, IM: Iron modulus

Table 5. Physical and chemical properties of BS

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Unit water content ratio (%)	Chemical components (%)					
			L.O.I	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Cl
2.90	4 254	0.23	1.91	42.5	5.26	34.2	1.95	0.002

Table 6. Physical and chemical properties of FA

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Unit water content ratio (%)	Chemical components (%)					
			L.O.I	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO
2.20	4 155	0.99	2.60	51.89	29.49	6.92	4.91	0.98

Table 7. Physical properties of aggregates

Type	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Absorption rate (%)	Unit volume weight (kg/m <sup>3</sup> )	Fineness modulus (FM)	Passing ratio of 0.08 mm sieve (%)
G	2.58	0.5	1 499	6.92	0.1
R	2.31	3.3	1 371	7.82	4.1
B	2.90	1.9	1 674	6.69	5.8
E	3.12	0.6	1 835	6.11	6.0

Table 8. Physical properties of mixing aggregates

Type	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Absorption rate (%)	Unit mass (kg/m <sup>3</sup> )	Fineness modulus (FM)	Passing ratio of 0.08 mm sieve (%)
G+R	2.45	1.9	1 435	7.37	2.10
G+B	2.74	1.2	1 587	6.81	2.95
G+E	2.85	0.6	1 667	6.52	3.05
R+B	2.61	2.6	1 522	7.26	4.95
R+E	2.72	1.9	1 603	6.97	5.05
B+E	3.01	1.3	1 754	6.4	5.90

Table 9. Physical properties of chemical admixture

Type	Basis	Shape	Color	Density (g/cm <sup>3</sup> )
SP	Poly carboxylic acid	Liquid	Bitumen	1.05
AE	Anionic	Liquid	Milky white	1.04

의 F사에서 생산된 것으로 화강암 및 폐콘크리트를 건식방법으로 분쇄하여 생산한 것을 사용하였다. 고로슬래그 골재는 충남 당진의 G 제철소의 용광로 제선과정에서 부산물로 발생한 용융슬래그를 냉각시켜 발생한 덩어리를 분쇄하여 사용하였다. 전기로 산화슬래그 골재는 경북 포항의 H 제철소의 철강공정에서 부산물로 발생한 전기로 산화슬래그를 분쇄하여 사용하였다.

2) 골재의 입도곡선

본 연구에 사용한 골재의 단독사용 및 혼합사용에 따른 입도곡선은 Figs. 1~2와 같다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 2축 믹서를

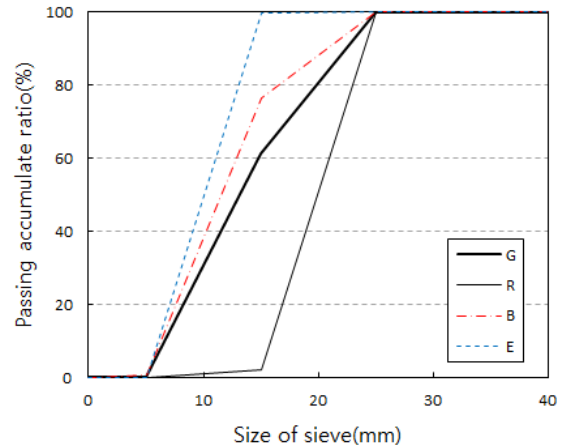


Fig. 1. Grading of single use

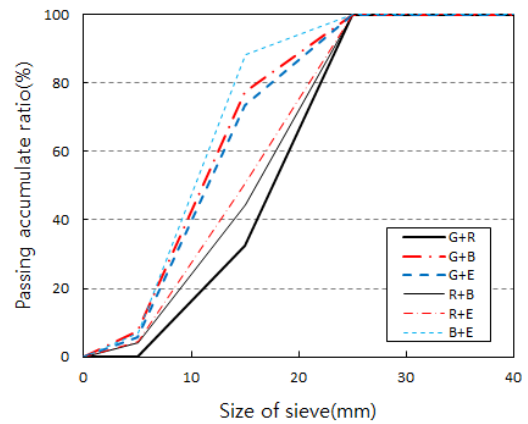


Fig. 2. Grading of mixed use

사용하여 혼합하였다. 굳지 않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402, 공기량은 KS F 2421의 규정에 따라 측정하였다.

경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는 Ø100×200mm 크기의 공시체를 제작하여 KS F 2405의 규정에 따라 표준온도 조건에서 계획된 재령까지 양생한 후 UTM을 사용하여 최대하중을 측정한다. 다음 단면적으로 나누어 구하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

1) 슬럼프

Fig. 3은 골재의 단독사용 및 혼합사용에 따른 슬럼프를 나타낸 것이고, Fig. 4는 단독사용의 산술평균값에 대한 혼합사용의 슬럼프비를 나타낸 것이다.

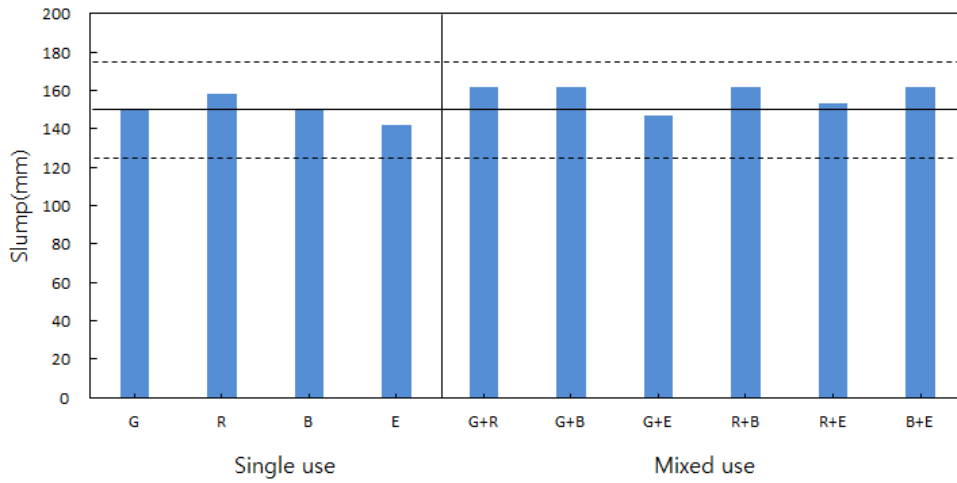


Fig. 3. Slump according to aggregate type

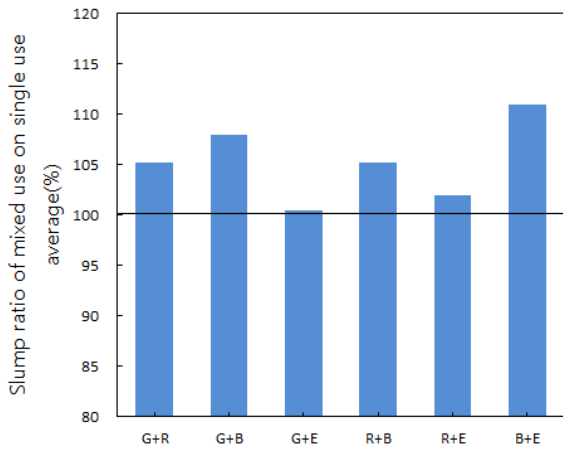


Fig. 4. Slump ratio of mixed use on single use average

먼저, 골재를 단독사용한 경우 모두 목표범위인  $150 \pm 25$ mm 범위를 만족하였다. 단, R을 단독으로 사용한 경우가 160mm로 여타의 배합에 비하여 다소 높은 유동성을 나타냈으며, E를 사용한 경우가 140mm로 가장 낮은 값을 나타냈다.

한편, 성인이 다른 골재를 혼합사용한 경우는 단독사용한 경우에 비하여 전반적으로 유동성이 증가하는 것으로 나타나 동일 슬럼프 조건일 경우 단위수량의 저감이나 혼화제 사용량 저감 등의 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

골재의 단독사용 산술평균값에 대한 혼합사용의 실제 측정된 슬럼프비는 약 100~110% 가량을 나타냈는데, 이는 입도가 서로 다른 두 종류의 골재가 혼합됨에 따라 입도 개선 효과로 인해 유동성이 증가한 것으로 판단된다. 따라서 굵은 입자 분포가 많은 골재

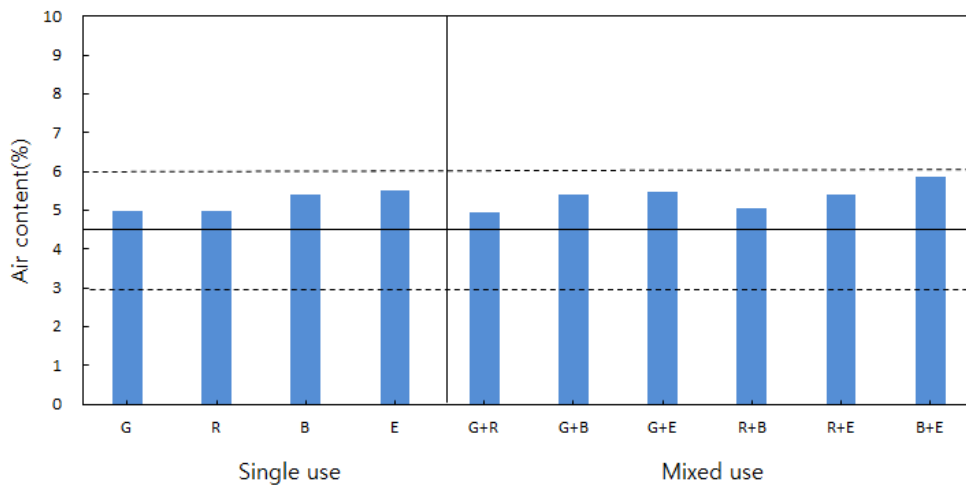


Fig. 5. Air content according to aggregate type

와 작은 입자 분포가 많은 골재를 적절한 비율로 혼합하여 사용하면 표준입도범위를 만족할 뿐 아니라 콘크리트의 유동성 향상에도 기여함으로써 유용성을 확인할 수 있었다.

2) 공기량

Fig. 5는 골재의 단독사용 및 혼합사용에 따른 공기량을 나타낸 것이고, Fig. 6은 단독사용의 산술평균값에 대한 혼합사용의 공기량비를 나타낸 것이다.

먼저, 골재를 단독으로 사용한 경우는 모두 목표범위인  $4.5 \pm 1.5\%$  범위를 만족하였다. 단, B 및 E를 사용한 경우 다소 높은 공기량을 나타냈는데, 이는 B 및 E의 형상이 다공질로서

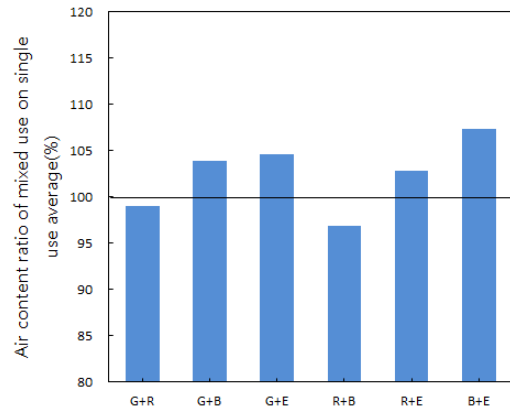


Fig. 6. Air content ratio of mixed use on single use average

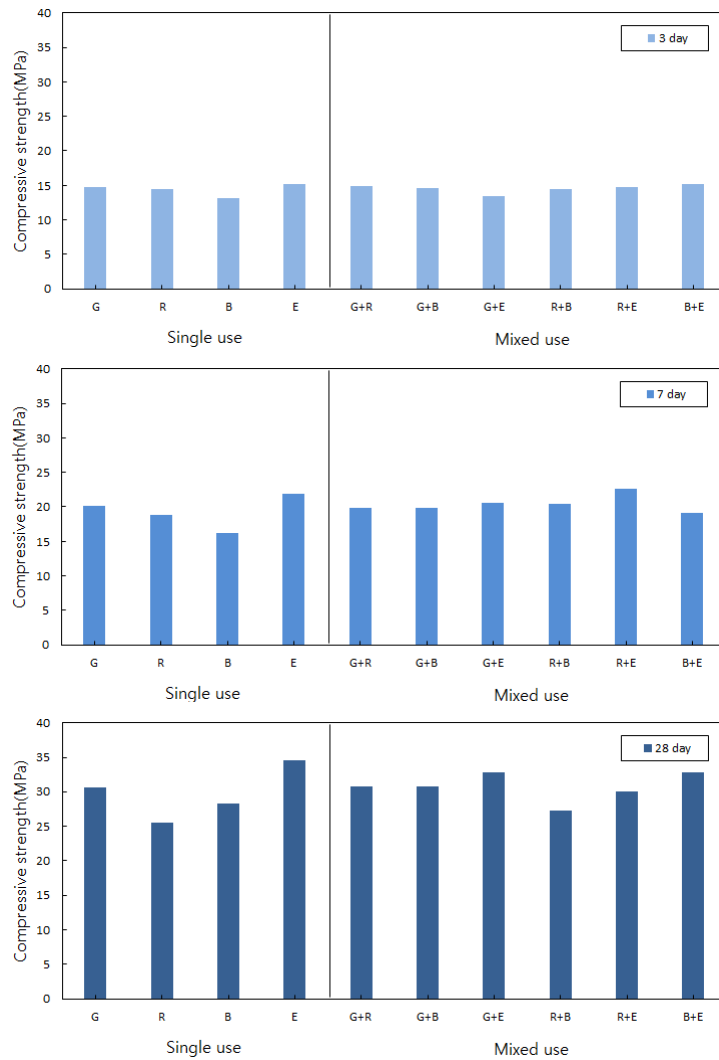


Fig. 7. Compressive strength according to aggregate type

골재 자체에 포함되어 있는 공극량 증가에 기인한 것으로 판단된다.

한편, 골재를 혼합사용한 경우는 골재를 단독사용한 경우에 비하여 감소하는 경향과 증가하는 경향이 상존하였다. 골재 성인 변화에 따라서는 단독사용과 마찬가지로 B와 E를 혼합하여 사용하였을 때 공기량이 제일 크게 증가하였다.

### 3.2 경화 콘크리트의 특성

Fig. 7은 재령 3, 7, 28일에 있어 골재의 단독사용 및 혼합사용에 따른 압축강도를 나타낸 것이고, Fig. 8은 28일에 대하여 단독사용의 산술평균값에 대한 혼합사용의 압축강도비를 나타낸 것이다.

먼저, 재령 3, 7, 28일의 경우 유사한 경향인데, 특히 G를 단독으로 사용한 경우 28일 압축강도는 30.7MPa로 나타났고, R을 사용한 경우는 25.5MPa로 가장 낮은 것으로 나타났다. 이는 R 자체의 품질이 다른 골재에 비해 저조하여 골재와 시멘트 페이스트 간의

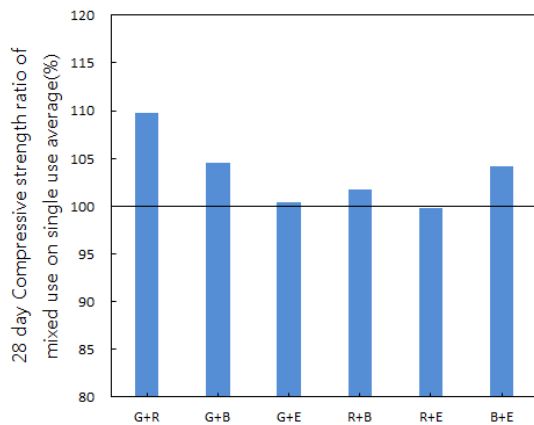


Fig. 8. Compressive strength ratio of mixed use on single use average

Table 10. Comprehensive comparison

Division		E	B	R
G	S	◎	●	●
	A	◎	◎	○
	C	◎	◎	●
R	S	◎	●	
	A	◎	○	
	C	○	◎	
B	S	●		
	A	●		
	C	◎		

S: Slump, A: Air content, C: Compressive strength  
○: Below 100%, ◎: 100~105%, ●: Above 105%

부착력이 감소됨에 기인한 결과로 판단된다. E를 사용한 경우는 34.6MPa로 G에 비하여 압축강도가 증가하였는데, 이는 E의 경우 다공질 표면과 큰 밀도로서 시멘트 페이스트와의 부착력 증가에 기인한 것으로 사료된다.

한편, 재령 3, 7, 28일 공히 성인이 다른 골재를 혼합사용한 경우의 압축강도는 전체적으로 골재를 단독사용한 경우와 비교하여 약간 높은 압축강도를 나타냈다. 특히, E와 혼합사용한 경우 상대적으로 양호한 압축강도를 나타냈다.

골재의 단독사용의 산술평균값에 대한 혼합사용의 실제 측정된 압축강도비는 약 100~110% 가량을 나타냈는데, 이는 입도가 서로 다른 두 종류의 골재가 혼합됨에 따라 연속입도 분포를 나타내고 콘크리트 내부의 공극을 채워 밀실해진 결과로 압축강도가 증가한 것으로 판단된다.

따라서 굵은 입자 분포가 많은 골재와 적은 입자 분포가 많은 골재를 반반 혹은 적절한 비율로 혼합하여 사용하게 되면 압축강도 증진의 효과가 있는 것을 알 수 있었다.

### 3.3 종합분석

Table 10은 성인이 다른 굵은 골재를 혼합사용한 경우 콘크리트의 품질에 미치는 영향을 비교·분석하고자 단독사용의 산술평균값에 대한 혼합사용의 실제 측정값에 대한 비를 나타낸 표이다.

실험결과의 종합비교에 의하면 공기량에서는 특별한 경향을 논할 수 없어 제외하면 슬럼프 및 압축강도에서는 약 100~110% 정도의 결과를 나타냈다. 이 중 G+E, G+B, G+R, R+B 및 B+E의 조합에서는 양호한 결과를 나타냈으나, R+E는 좋지 않은 결과를 나타냈다.

## 4. 결론

본 연구에서는 혼합골재의 유용성 및 활용성 검토를 위하여 성인이 다른 굵은 골재를 단독사용한 경우와 혼합사용한 경우 콘크리트의 기초적 특성에 미치는 영향을 분석하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 슬럼프는 골재를 혼합사용한 경우 입도개선의 효과를 발휘하여 단독사용한 경우에 비하여 전반적으로 유동성이 증가하였으며, 단독사용 산술평균값과 비교하여 약 100~110%로 향상된 경향을 나타냈다. 따라서 단위수량이나 SP제 사용량 저감 등의 효과를 기대할 수 있어 경제적으로 유리할 수 있는 것으로

판단된다.

2. 공기량은 골재를 혼합사용한 경우 단독사용한 경우에 비하여 감소하는 경향과 증가하는 경향이 상존하여 특별한 경향을 나타내지는 않았다. 다만, B와 E를 사용한 경우는 골재의 다공성에 기인하여 공기량이 증가하는 경향을 나타냈다.
3. 압축강도는 골재를 혼합사용한 경우 연속입도 분포를 나타내어 콘크리트 내부의 공극을 채워 밀실해진 결과로 단독사용한 경우에 비하여 압축강도가 증가하였으며, 단독사용의 산술평균값과 비교하여 약 100~110% 가량 향상된 결과를 나타냈다. 다만 R을 사용한 경우의 품질은 다른 골재에 비해 저조하여 골재와 시멘트 페이스트 간의 부착력이 감소됨에 따라 상대적으로 낮은 압축강도를 나타냈으며, E를 사용한 경우 다공질 표면의 큰 밀도로 시멘트 페이스트와의 부착력 증가에 기인하여 높은 압축강도를 나타냈다. 따라서 2성분계 조합은 R+E의 조합을 제외한 모든 2성분 혼합의 경우 슬럼프 및 압축강도 평균보다 양호하게 증가된 결과를 나타냈다.

이상을 종합하면 성인이 다른 골재 중 입도가 작은 골재와 큰 골재를 적절한 비율로 혼합사용할 경우 표준입도범위를 만족하게

되어 콘크리트의 유동성 향상에 기여할 뿐만 아니라 콘크리트 내부 공극을 밀실하게 채워 압축강도 증진의 효과를 나타내는 결과를 얻으므로 혼합골재의 유용성을 확인할 수 있었다.

## References

KICM, (2005). Development of Technology to Improve the Quality of Concrete Using Substitute Aggregates, Korea.

Kim, K.H., (2005). Quality Improvement of Crushed Sands Concrete Considering Blending Method of Aggregate, M.D Thesis, Cheongju University, Korea.

Ryu, D.H., Kim, K.H., Park, C.K., Son Y.S. (2009). The Study of Concrete Basic Properties Using Oxidized Electric-furnace-slag Aggregate, Journal of Architectural Institute of Korea, **25(8)**, 143-150.

Yang, K.H., Kim, Y.S. (2005). An Evaluation of Slump Loss for Elapsed Time and Mechanical Behavior of the Recycled Aggregate Concrete Mixed with Blast-Furnace Slag, Journal of Architectural Institute of Korea, **21(40)**, 117-124.

### 성인이 다른 굵은 골재를 혼합사용한 콘크리트의 기초적 특성 분석

최근 레미콘 산업에서 골재의 안정적인 수급을 위해 과거에는 거의 사용하지 않았던 저품질의 골재를 혼합사용하여 천연골재의 일부로 대체하고자 시도하고 있다. 그러나 저품질의 골재는 건설폐기물 처리과정에서 생산되는 순환골재, 산업활동에 의해 생산되는 부산물 골재 등으로 KS 기준에 적합하지 않을 수 있는 문제점이 있다. 그러므로 본 연구에서는 부족한 골재자원의 유효한 활용을 위해 화강암 부산물골재를 기본으로 순환골재, 고로 및 전기로 슬래그 골재를 단독 및 혼합사용하여 콘크리트의 기초적 특성을 비교하였다. 그 결과 슬럼프는 골재를 혼합사용한 경우 단독사용한 경우에 비하여 전반적으로 유동성이 0~10% 증가하여 단위수량이나 SP제 사용량 저감 등의 효과를 기대할 수 있어 경제적으로 유리할 것으로 판단된다. 압축강도는 골재를 혼합사용한 경우 연속입도 분포를 나타내어 콘크리트 내부의 공극을 채워 단독사용한 경우에 비하여 압축강도가 0~10% 증가하였다. 따라서 성인이 다른 골재를 적절한 비율로 혼합하여 표준입도범위를 만족하게 하여 활용하면 콘크리트의 유동성 및 압축강도의 증진 효과를 나타내어 혼합골재의 유용성을 확인할 수 있었다.