

동일배합 조건에서 저품질 골재가 콘크리트의 공학적 특성에 미치는 영향

Influence of Low-Quality Aggregate on Engineering Properties of Concrete

민경철¹ · 한천구^{2*}Kyeong-Chul Min¹ · Cheon-Goo Han^{2*}

(Received June 7, 2016 / Revised June 16, 2016 / Accepted June 16, 2016)

In this research, the influence of low-quality aggregate on engineering properties of concrete was experimentally evaluated. From a series of experiment, the results can be summarized as follow: first, the low-quality aggregate in concrete mixture caused up to 83% of decreased slump. For air content, low-quality aggregate increased air content of concrete mixture. Especially, when sea sand was used, because of the narrow gradation with small size, the air content was significantly increased. The compressive strength of concrete mixtures with low-quality aggregates were decreased up to 29% while some cases showed slightly increased compressive strength at early age. Additionally, the concrete mixture mixed with the exploded debris as a coarse aggregate showed approximately 5 to 20% of decreased compressive strength comparing with high-quality of manufacturing rock. In summary, because of the decreased workability of concrete mixture mixed with low-quality aggregates such as exploded debris, clay, and sea sand, it is concerned that worse quality of the ready mixed concrete, produced with the extra water to compensate the decreased workability.

키워드 : 동일배합조건, 저품질 골재, 콘크리트의 공학적 특성

Keywords : The same mixing conditions, Low-quality aggregates, Engineering properties of concrete

1. 서론

최근 언론에서는 레디믹스트 콘크리트(이하, 레미콘)의 품질 불만에 대한 내용이 자주 보도 되고 있다. 이와 같은 품질 문제는 레미콘 배합에 관한 원인도 일부 포함되어 있지만, 중요하게는 저품질 골재와 연관한 내용들이 주를 이루고 있다(TV chosun news 2014; MBC news 2014).

그러나 그동안 우리나라 레미콘용 골재의 공급 상황은 급속한 산업발전으로 인하여 양질의 강골재가 대량 소비되어 점차 고갈되어 짐에 따라 석산의 부순골재가 주로 이용되어 졌다(Koh 2006). 그런데, 이 또한 산림 파괴방지와 같은 환경 문제로 채석허가가 점차 감소됨에 따라 부족한 골재량의 많은 부분을 건설공사현장의 터파기 과정에서 발생하는 점토 등 미립분이 다량 혼합된 발파석, 화강암 풍화과정에서 발생하는 마사토 및 배타적 경제수역(EEZ)의 초미립분 해사 등 저품질 골재 까지도 무분별하게 활용하고 있

는 실정이다(Korea Institute of Construction Industry 2003; The Ministry of Construction and Transportation 2005; Ministry of Transportation 2014; Song 2013).

그러므로 본 연구에서는 우리나라 경기·수도권 지역 레미콘에서 실제적으로 유통되어 지고 있는 KS F 2526 및 2527에 불합격하는 저품질 골재를 표준에 만족하는 양호한 골재와 동일한 배합 조건에서 유동성, 공기량 및 압축강도 등을 비교함으로써 저품질 골재가 콘크리트의 공학적 특성에 어느정도 영향을 미치는지에 대하여 분석하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 1과 같고, 배합사항은 Table 2와

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

¹청주대학교 건축공학과, 박사과정 (Department of Architectural Engineering, Cheongju University, Doctor's course, Cheongju, 28503, Korea)

²청주대학교 건축공학과, 교수 (Department of Architectural Engineering, Cheongju University, Professor, Cheongju, 28503, Korea)

같다. 즉, 실험계획된 각 골재를 사용한 콘크리트의 W/B는 60%, 목표 슬럼프 및 공기량은 강모래와 석산 굵은 골재를 사용하는 경우에 각각 180±25mm, 4.5±1.5%로 배합 설계 한 다음 모든 실험 변수에 동일하게 적용 하였다.

골재는 경기·수도권에서 실제 유통되는 골재를 사용하였는데, 굵은 골재는 양호한 품질의 석산 및 저품질의 발파석 2수준과 잔골재로는 양호한 품질의 강모래, 석산 및 저품질의 발파석, 마사, 해사의 5수준으로 실험계획 하였다. 결합재 조성비는 일반적인 레미콘 공장에서 활용하는 보통 포틀랜드 시멘트(이하, OPC) 65%, 플라이 애시(이하, FA) 15%, 고로슬래그 미분말(이하, BS) 20%를 치환하는 3성분계로 하였다.

실험 사항으로 굳지 않은 콘크리트에서는 슬럼프 및 공기량, 경화 콘크리트에서는 압축강도를 측정하는 것으로 하였다.

Table 1. Experimental plan of concrete

Factors		Levels	
Mixture	W/B(%)	1	60
	Binder		OPC : FA : BS = 65 : 15 : 20
	Slump(mm)		180±25
	Air content(%)		4.5±1.5
	Coarse aggregate		2
Fine aggregate	5	·River sand(RS) ·Manufactured sand(MS) ·Exploded sand(ES) ·Clay sand(CS) ·Sea sand(SS)	
Experiment	Fresh concrete	2	·Slump ·Air content
	Hardened concrete	1	·Compressive strength (3, 7, 28days)

Table 2. Mix proportion

Division		W/B(%)	S/a(%)	Weight mix(kg/m ³)								
Coarse aggregate	Fine aggregate			W	C	BS	FA	S	G	SP	AE	
MG	RS	60	53	190	206	63	48	905	821	0.63	0.08	
	MS			190	206	63	48	912	821	0.63	0.08	
	ES			190	206	63	48	894	821	0.63	0.08	
	CS			190	206	63	48	905	821	0.63	0.08	
	SS			190	206	63	48	908	821	0.63	0.08	
EG	RS	60	53	190	206	63	48	905	805	0.63	0.08	
	MS			190	206	63	48	912	805	0.63	0.08	
	ES			190	206	63	48	894	805	0.63	0.08	
	CS			190	206	63	48	905	805	0.63	0.08	
	SS			190	206	63	48	908	805	0.63	0.08	

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 재료로서 시멘트는 국내산 H사의 1종 포틀랜드 시멘트, FA 및 BS는 국내산 S사의 제품을 사용하였는데, 그 물리·화학적 특성은 Table 3~5와 같다.

또한, 화학 혼화제는 모두 국내산 S사의 제품으로 SP제는 나프탈렌계의 일반 감수제를 사용하였으며, AE제는 음이온계를 사용하였는데, 그 물리·화학적 특성은 Table 6과 같다. 골재는 경기·수도권에서 실제 유통되는 것들을 사용하였는데, 그 물리적 특성은 Table 7과 같고, 골재들의 체가름곡선은 Fig. 1~7과 같다. 단, 굵은 골재의 최대치수는 25mm의 것을 사용하였다.

Table 3. Physical properties of OPC

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	Soundness (%)	Setting time (min.)		Compressive strength (MPa)		
			Initial	Final	3days	7days	28days
3.15	3,384	0.06	210	290	25.9	36.2	55.5

Table 4. Chemical and physical properties of BS

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	Chemical composition(%)						
		Cl	SO ₃	MgO	SiO	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
2.84	4,330	0.002	1.95	5.26	34.20	42.50	0.55	15.79

Table 5. Chemical and physical properties of FA

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	L.O.I	Moisture content (%)	SiO ₂ (%)
2.25	3,810	3.0	0.1	53.8

Table 6. Chemical and physical properties of admixtures

Chemical admixture	Type	Phase	Color	Density (g/cm ³)
Water-reducing agent	Naphthalene	Liquid phase	Dark brown	1.05
Air-entraining agent	Anion		White	1.04

Table 7. Physical properties of aggregate

Division		Fineness modulus	Particle size distribution	Density (g/cm ³)	Water absorption (%)	Percentage for grain shape	0.08mm sieve passing amount (%)	Soundness
Coarse aggregate	MG	6.89	Good	2.66	0.5	56.9	0.3	3.2
	EG	6.80	Good	2.61	1.5	59.5	1.3	9.1
Fine aggregate	RS	2.75	Good	2.60	1.5	-	2.1	5.1
	MS	2.92	Good	2.62	1.1	55	3.8	0.8
	ES	3.49	No good	2.57	3.1	53.8	6.9	3.5
	CS	3.21	No good	2.60	1.8	55	3.1	1.4
	SS	1.83	No good	2.61	0.9	-	0.7	1.8

* Failed the standard of KS

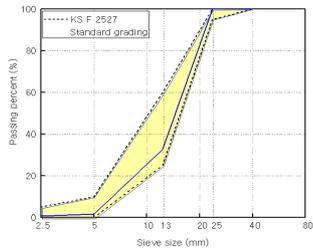


Fig. 1. Grading curve of the MG

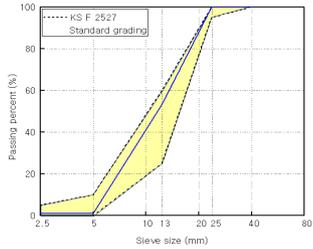


Fig. 2. Grading curve of the EG

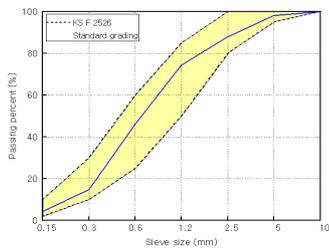


Fig. 3. Grading curve of the RS

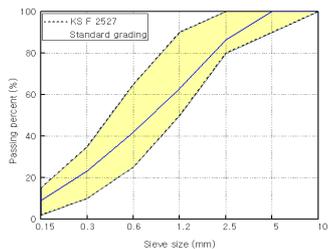


Fig. 4. Grading curve of the MS

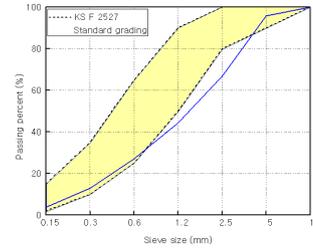


Fig. 5. Grading curve of the ES

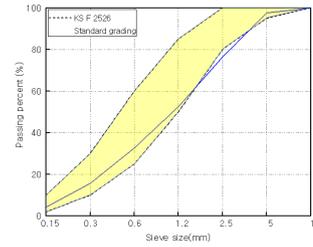


Fig. 6. Grading curve of the CS

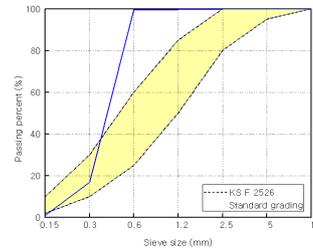


Fig. 7. Grading curve of the SS

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 트윈샤프트 믹서를 사용하여 Fig. 8의 순서에 따라 실시하였다.

굳지 않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402, 공기량은 KS F 2421에 의거하여 실시하였고, 경화 모르타르 실험으로 먼저, 압축강도 시험용 공시체 제작은 $\phi 100 \times 200 \text{mm}$ 원주형으로 골재

10수준에 3개의 재령별로 3개씩 제작하여 총 90개 KS F 2403 규정에 의거하여 제작한 후, KS F 2405에 따라 3MN UTM을 이용하여 압축강도 시험을 실시하였다.

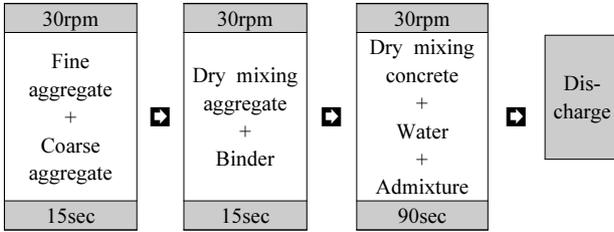


Fig. 8. Mixing of concrete

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

본 연구에서 굳지 않은 콘크리트의 특성으로 각 골재 실험변수별 슬럼프 및 공기량의 실측치와 이를 석산의 부순 굵은골재와 강모래를 사용하는 콘크리트에 대한 백분율로 분석하면 Table 8과 같다.

Table 8. Experiment result of fresh concrete

Division		Slump (mm)		Air contents (%)	
Coarse aggregate	Fine aggregate	Test results	Percentage (%)	Test results	Percentage (%)
MG	RS	200	±0	6.0	±0
	MS	200	0	5.5	-8
	ES	65	-68	3.1	-48
	CS	50	-75	4.4	-27
	SS	70	-65	9.9	+65
EG	RS	180	-10	5.2	-13
	MS	195	-3	6.0	0
	ES	70	-65	3.4	-43
	CS	35	-83	4.1	-32
	SS	40	-80	10	+67

3.1.1 슬럼프

Fig. 9는 굵은 골재 종류별 잔골재 종류 변화에 따른 슬럼프치를 나타낸 그래프이다. 전반적으로 양호 품질의 골재에 비해 저품질 골재에서 슬럼프치가 감소하는 경향을 나타내었다. 세부적으로, 양호한 석산 굵은 골재와 양호 품질의 강모래 사용시 슬럼프치는 200mm를 나타내었고, 부순 잔골재 또한 200mm로 동일한데 비

해, 저품질 잔골재인 발파석의 경우 약 68%, 마사토의 경우 75%, 해사의 경우 65% 감소하는 것으로 나타났으며, 저품질 발파석 굵은 골재의 경우는 양호 품질의 강모래 사용시 약 10%, 부순 잔골재의 경우 3% 저하하였고, 저품질 잔골재인 발파석의 경우 약 65%, 마사토의 경우 80%, 해사의 경우 83% 감소하는 것으로 나타났다. 특히, 마사의 경우 여타 배합에 비해 가장 낮은 슬럼프치를 나타내었는데, 이는 마사토의 경우 풍화과정인 콘크리트 혼합 과정에서 파쇄되어 발생하는 미립자량 증가에 따른 점성 증가 및 거친 입형에 의한 유동성 저하로 사료된다.

Fig. 11은 굵은 골재 품질의 영향으로 석산 굵은 골재와 발파석 굵은 골재간의 슬럼프치를 상관관계로 나타낸 그래프이다. 앞서 언급한 바와 같이 양호 품질의 굵은 골재를 사용한 배합에 비해 저품질 굵은 골재의 경우 약 5~20% 낮은 슬럼프치를 나타내어, 잔골재보다는 슬럼프치에 영향이 작음을 알 수 있었다.

3.1.2 공기량

Fig. 10은 굵은 골재 종류별 잔골재 종류 변화에 따른 공기량을 나타낸 그래프이다. 먼저, 양호 품질의 골재의 경우는 목표 공기량인 4.5±1.5%에 만족하는 것으로 나타났으나, 일부 저품질 잔골재인 발파석 및 해사의 경우는 목표 공기량을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 세부적으로, 양호한 석산 굵은 골재와 양호 품질의 강모래에 비해 부순 잔골재는 약 8%, 저품질 잔골재인 발파석의 경우 약 48%, 마사토의 경우 27% 감소하는 것으로 나타났으며, 해사의 경우는 65% 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 저품질의 발파석 굵은 골재의 경우는 양호 품질인 강모래 사용시 약 13%, 부순 잔골재 0%, 저품질 잔골재인 발파석의 경우 43%, 마사토의 경우 32% 감소하는 것으로 나타났으나, 해사의 경우는 약 67% 증가하는 것으로 나타났다. 이중, 발파석의 경우는 골재에 포함된 미립자량, 마사의 경우는 풍화 중이므로 콘크리트 혼합 과정에서 파쇄되어 발생하는 미립자량에 의한 공극 충전 효과로 공기량이 감소한 것으로 분석된다. 단, 해사의 경우는 골재의 입자가 미립자이지만 균일입자 분포로 이루어져 있어 갇힌 공기의 증가로 공기량이 오히려 증가된 것으로 판단된다.

Fig. 12는 굵은 골재간의 공기량에 미치는 영향으로 석산 굵은 골재와 발파석 굵은골재간의 공기량을 비교하고, 상관관계로 나타낸 그래프이다. 굵은 골재 종류간에는 공기량의 차이가 거의 나타나지 않아, 저품질 굵은 골재라도 콘크리트의 공기량에는 거의 영향이 없음을 알 수 있었다.

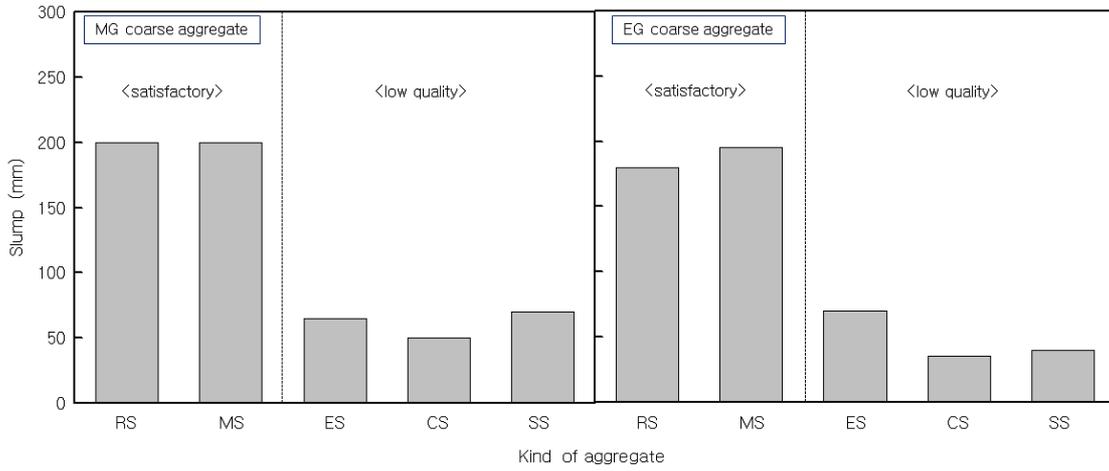


Fig. 9. Slump corresponding to the kind of aggregate

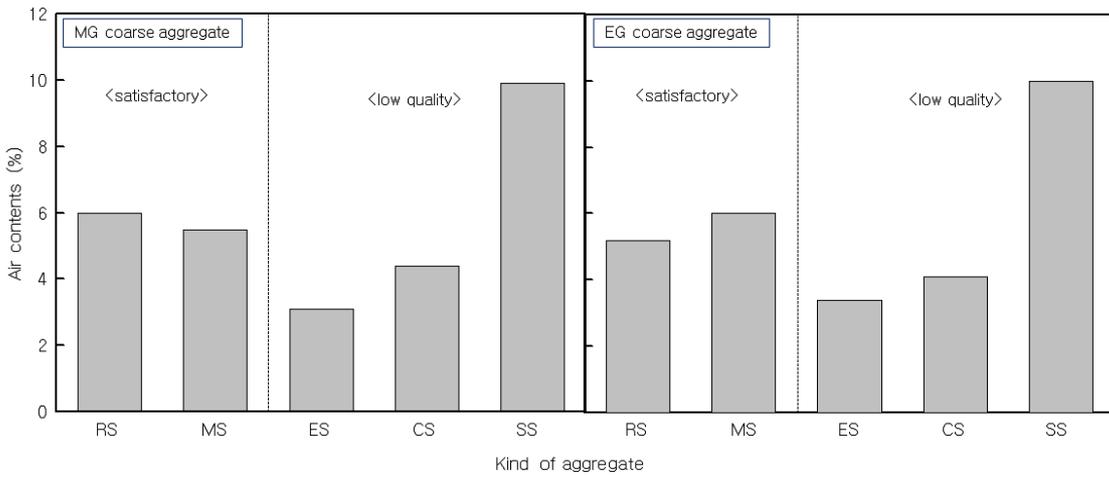


Fig. 10. Air content corresponding to the kind of aggregate

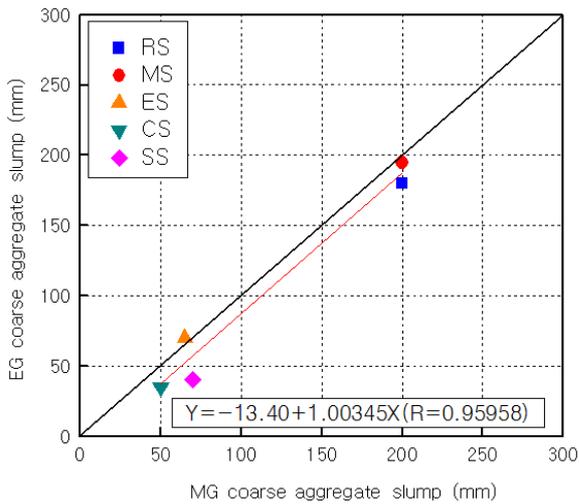


Fig. 11. Slump correlation analysis of MG and EG

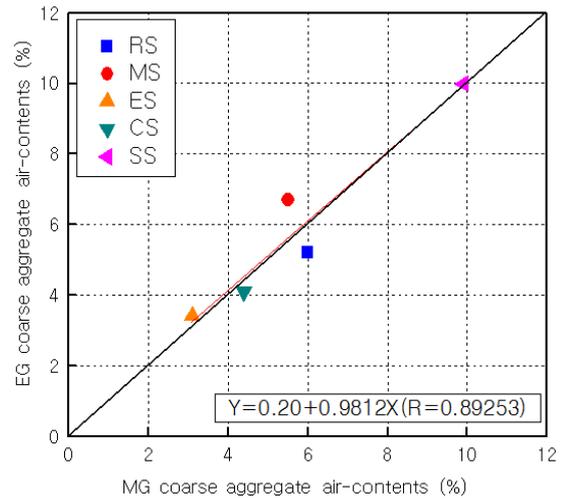


Fig. 12. Air-contents correlation analysis of MG and EG

3.2 경화 콘크리트의 특성

경화 콘크리트의 특성으로 각 골재 실험 변수별 3, 7, 28일 압축 강도 실측치와 이를 석산의 부순 굵은 골재와 강모래를 사용하는 콘크리트에 대한 강도 백분율로 분석하면 Table 9와 같다.

Table 9. Experiment result of hardened concrete

Division		Compressive strength(MPa)					
		3days		7days		28days	
		Test results	Percentage (%)	Test results	Percentage (%)	Test results	Percentage (%)
MG	RS	6.3	±0	13.4	±0	25.2	±0
	MS	6.5	+3	14.0	+4	26.5	+5
	ES	5.8	-8	13.4	0	23.6	-6
	AS	6.1	-3	12.7	-5	24.9	-1
	SS	6.4	+2	12.6	-6	21.2	-16
BS	RS	5.9	-6	12.1	-10	21.7	-14
	MS	6.6	+5	13.8	+3	23.5	-7
	ES	6.4	+2	11.1	-17	20.6	-18
	AS	6.2	-2	12.6	-6	19.5	-23
	SS	6.4	+2	12.5	-7	18.0	-29

3.2.1 압축강도

Fig. 13은 굵은 골재 종류 및 재령별 잔골재 종류 변화에 따른 3, 7, 28일의 압축강도를 나타낸 그래프이다. 전반적으로 양호한 품질의 골재에 비해 저품질 골재에서 압축강도가 다소 감소하는 것으로 나타났다. 세부적으로, 재령 3일의 양호한 석산 굵은 골재와 강모래 사용시 6.3MPa에 비해 부순 잔골재의 경우 3%, 저품질 잔골재인 해사의 경우 2% 증가하는 것으로 나타난 반면, 발파석의

경우 8%, 마사의 경우 3% 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 저품질 발파석 굵은 골재의 경우는 양호한 품질의 강모래 사용시 약 6% 감소, 부순 잔골재는 5%, 저품질 잔골재인 발파석의 경우 2%, 해사의 경우 2% 증가하는 경향을 나타내었으며, 마사토의 경우 2% 감소하는 것으로 나타났다. 특히, 저품질 발파석 굵은 골재에 저품질 잔골재를 사용한 배합의 압축강도가 양호 품질의 잔골재를 사용한 배합보다 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 초기강도의 경우 미립자의 높은 점성, 거친 입형의 입자간 결합력 및 해사의 경우는 염분에 의한 시멘트 수화반응 촉진에 기인하여 초기강도가 증가한 것으로 판단된다.

재령 7일의 경우는 양호한 품질의 부순 굵은 골재와 강모래 사용시 13.4MPa에 비해 부순 잔골재의 경우 약 4% 증가, 저품질 잔골재인 발파석의 경우는 동일한 압축강도를 나타내었고, 마사토의 경우 약 5%, 해사의 경우 6% 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 저품질인 발파석 굵은 골재의 경우는 양호 품질의 강모래 사용시 약 10% 감소, 부순 잔골재는 3% 증가하는 경향을 나타내었으며, 저품질 잔골재인 발파석의 경우 약 17%, 마사토의 경우 6%, 해사의 경우 7% 저하하는 경향을 나타내었다.

재령 28일의 경우는 양호한 품질의 부순 굵은 골재와 강모래 사용시 25.2MPa에 비해 부순 잔골재의 경우 약 5% 증가에 비해 저품질 잔골재인 발파석의 경우 약 6%, 마사의 경우 1%, 해사의 경우 16% 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 저품질 발파석 굵은 골재의 경우는 양호한 품질의 강모래 사용시 약 14%, 부순 잔골재의 경우 7% 감소하는 경향을 나타내었으며, 저품질 잔골재인 발파석의 경우 약 18%, 마사토의 경우 23%, 해사의 경우 29% 감소하는 것으로 나타났다. 특히, 해사의 경우 초기강도와는 다르게 후기강도에서 현저히 감소하였는데, 이는 앞서 언급한 바와 같이 초기에는

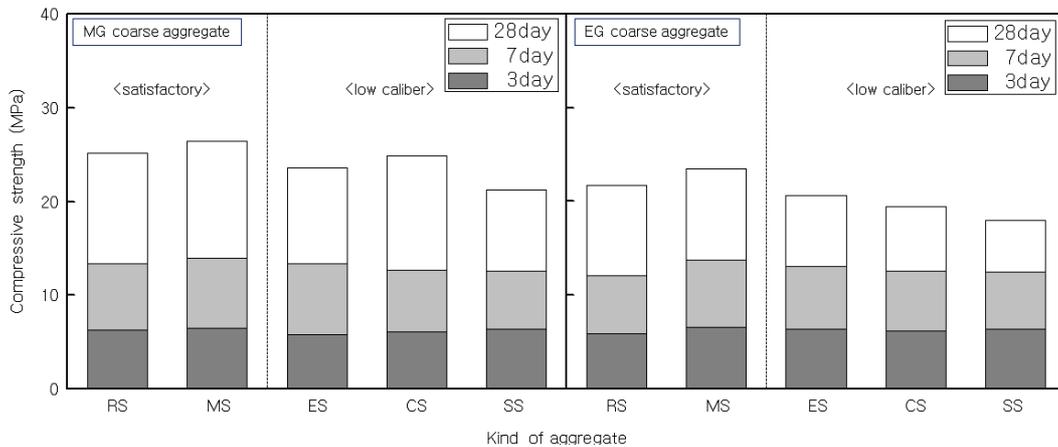


Fig. 13. Compressive strength corresponding to the kind of aggregate

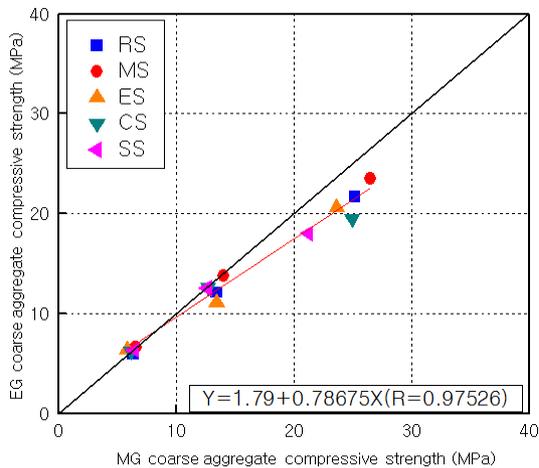


Fig. 14. Compressive strength correlation analysis of MG and EG

염분 함유량의 영향이 컸지만, 후기에는 미세립 균일 입자에 의한 공극 증가로 콘크리트의 강도가 크게 감소한 것으로 판단된다.

Fig. 14는 석산 굵은골재와 발파석 굵은골재간의 압축강도를 비교하고, 상관관계로 나타낸 그래프이다. 앞서 언급한 바와 같이 양호 품질의 석산 굵은 골재를 사용한 배합에 비해 저품질 골재인 발파석 굵은 골재를 사용한 배합에서 약 5~20% 낮은 압축강도를 나타내었다.

4. 결론

본 연구에서는 동일배합 조건에서 저품질 골재가 양호한 골재보다 콘크리트의 공학적 특성에 미치는 영향을 실험적으로 분석하고자 하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 굳지 않은 콘크리트의 기초적 특성으로 먼저, 슬럼프의 경우 양호한 품질의 골재를 사용한 배합에 비해 저품질 골재를 사용하였을 때에는 최대 83%까지 저하하는 경향을 나타내었다.
2. 공기량은 양호 품질의 골재를 사용한 경우 보다 저품질 골재인 발파석 및 마사의 경우 저하하는 경향을, 해사의 경우는 골재의 입자가 미립자이지만 균일입자 분포로 이루어져 갇힌 공기가 증가하여 여타배합에 비해 현저히 많은 공기량을 나타내었다.
3. 경화 콘크리트의 특성으로 압축강도는 전반적으로 양호한 품질의 골재에 비해 저품질 골재 사용시 일부는 크게 나타난 경우도 있지만, 최대 29%까지 저하하는 경향을 나타내었다. 또한,

양호한 품질의 석산 굵은 골재를 사용한 배합에 비해 저품질 발파석 굵은 골재를 사용한 배합에서는 약 5~20% 낮은 압축강도를 나타내었다.

이상을 종합하면 양호한 골재에 비해 저품질 골재는 특히, 잔골재인 발파석, 마사토 및 해사의 경우 압축강도는 크게 저하하지 않았을지라도 슬럼프치의 저하가 크게 나타났다. 그러나, 실무 레미콘의 경우 분체량을 고정하고, 표면수 보정으로, 별도로 물을 사용하여 슬럼프치를 맞추어 제품을 출하하는 실정임에 이는 단위수량 증가는 물론이고, 물결합재비가 커져 압축강도가 큰 폭으로 저하 될 것이 우려되고 있다. 따라서, 금 후의 연구에서는 실무조건을 고려한 유동성 고정 조건에서 저품질 골재가 콘크리트의 강도 및 내구성 등 품질에 어느정도 영향을 미치는지에 대하여도 검토할 필요가 제기된다.

References

TV chosun news, (2014). New town unauthorized security threats to aggregate [in Korean].

MBC news, (2014). Sea sand distribution [in Korean].

Koh, K.T., Ryu, G.S., Yoon, G.W., Han, C.G., Lee, J.H. (2006). Influence of the type of fine aggregate on concrete properties, Journal of the Korea Concrete Institute, **18(4)**, 459-467 [in Korean].

Korea Institute of Construction Industry. (2003). Policy Measures to Stabilize Aggregate Demand and Supply Resources, Base Debate [in Korean].

The Ministry of Construction and Transportation. (2005). High Quality Technical Development of Alternative Aggregate Concrete Using, 2003 Construction Technology Development Project, 03 Technology-based A03-02 [in Korean].

Ministry of Transportation. (2014). 2015 Aggregate Demand and Supply Planning, Aggregate Supply and Demand Committee [in Korean].

Song, J.W., Choi, J.J. (2013). The influence of fine particles under 0.08mm contained in aggregate on the characteristics of concrete, Journal of the Korea Concrete Institute, **25(3)**, 347-354 [in Korean].

동일배합 조건에서 저품질 골재가 콘크리트의 공학적 특성에 미치는 영향

본 연구에서는 동일배합 조건에서 저품질 골재가 양호한 골재 보다 콘크리트의 공학적 특성에 미치는 영향을 실험적으로 분석하고자 하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다. 먼저, 슬럼프의 경우는 양호한 품질의 골재에 비해 저품질 골재를 사용시 슬럼프치가 최대 83%까지 크게 저하하는 경향을 나타내었다. 공기량은 양호 품질 골재의 경우 보다 저품질 골재인 발파석 및 마사토는 저하, 해사의 경우는 크게 증가하는 경향을 나타내었다. 특히, 해사의 경우는 골재의 입자가 미립자이지만 균일입자 분포로 이루어져 있어 간헐 공기가 증가하여 현저히 많은 공기량을 나타내었다. 압축강도의 경우는 양호한 품질의 골재에 비해 저품질 골재 사용시 초기에 일부는 증가 하는 경향도 있지만 최대 29%까지 저하하는 경향을 나타내었다. 또한, 양호 품질의 석산 굵은 골재를 사용한 배합에 비해 저품질 발파석 굵은 골재를 사용한 배합에서 약 5~20%의 낮은 압축강도를 나타내었다. 이상을 종합하면 저품질인 발파석, 마사 및 해사의 경우 강도는 크게 저하하지 않을 지라도 유동성이 크게 저하 함에 따라 동일 슬럼프가 되게하여 레미콘을 출하하는 실무에서는 콘크리트 압축강도에 더 크게 악영향을 미칠 것으로 사료된다.