

석회암 폐석 굵은골재를 사용한 고강도 콘크리트의 시공특성

Construction Performance of High Strength Concrete Utilizing Wasted Limestone Coarse Aggregates

한 천 구

김 기 훈*

Han, Cheon-Goo

Kim, Ki-Hoon*

Department of Architectural Engineering, Cheong ju University, 298, Daeseong-ro, Cheongju-City, 28503, Korea

Abstract

The aim of this research is suggesting application method of the wasted rock obtained from the limestone quarry of raw material for cement as a coarse aggregate for high strength concrete after crushing and sieving processes. The wasted rock has been normally wasted because of its low quality as a material for cement production. In this research, the concrete using this wasted limestone coarse aggregate was evaluated the constructability based on the performances of workability, air content, and compressive strength. From the experiment, a favorable performance was achieved with a limestone coarse aggregate for high strength concrete comparing to the high strength concrete using granite coarse aggregate.

Keywords : waste limestone coarse aggregate, high-strength concrete, construction performance

1. 서 론

최근 도심지의 건축물은 인구밀도 증가에 따른 토지의 효율적 활용을 위하여 건축물이 대형화 및 초고층화되는 추세이다[1]. 그러나 초고층 건축물을 건설하기 위해서는 큰 유동성과 더불어 높은 압축강도의 갖는 고강도 콘크리트가 필수적이고, 현재의 일반적인 재료 및 공법보다 효율적인 것을 찾아내는 것이 필요한 실정이다. 이러한 필요성에 부응하기 위해 국외에서는 경제적이고, 고품질인 원재료를 사용하여, 콘크리트를 고유동화 및 고강도화하여 실용화를 완성한 예가 있다. 즉, 아랍에미리트(UAE)의 두바이에 건설된 160의 부르즈 할리파는 설계기준강도 80MPa의 고유동 콘크리트로 건축물을 효과적으로 완공할 수 있었는데, 이는 그 지역

에서 산출되는 경질의 석회암골재를 활용함으로써 콘크리트의 품질을 향상시켰기 때문에 가능하였다고 하는 내용이 보고되고 있다[2].

그러므로 본 연구에서는 국내의 석회암 광산에서 시멘트 제조를 위해 채굴되는 석회암 중에서 시멘트 제조용으로 사용되지 못하는 저품위 석회암 폐석을 대상으로 분쇄 및 체가름 등의 골재 생산설비를 통하여 제조된 석회암 굵은 골재를 고강도 콘크리트용 골재로 활용하기 위한 것이다. 즉, 석회암 굵은 골재를 사용한 고강도 콘크리트의 유동성, 공기량 및 압축강도 등의 시공특성을 화강암 굵은 골재에 대한 치환율로 변화시켜 그 성능을 검토하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 1과 같고, 콘크리트의 배합 사항은 Table 2와 같다. 먼저, 실험요인으로 W/B는 고강도 영역인 15, 25, 35%의 3수준으로 하였다. 이때 결합재는 보통포틀랜드 시멘트(이하 OPC)에 대한 질량비로 플라이애

Received : March 13, 2015

Revision received : April 27, 2015

Accepted : November 10, 2015

* Corresponding author : Kim, Ki-Hoon

[Tel: 82-31-329-1937, E-mail: kimkh011@asiacement.co.kr]

©2015 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

시(이하 FA) 및 실리카폼(이하 SF)을 각각 20%, 10%씩 복합치환 하였다. 골재는 화강암 굵은골재를 100% 사용한 것을 Plain 배합으로 하고, 석회암 굵은골재의 치환율을 0, 50, 100%의 3수준으로 하여 총 9배치를 실험계획 하였다. 이때 Plain의 목표 슬럼프 플로는 600±100mm, 목표 공기량은 3.0±1.5%를 만족하도록 배합설계 한 다음, 여타의 배합에도 동일하게 적용하는 것으로 하였다.

실험사항으로 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프 플로, 500mm 도달시간, V-lot 유하시간, 공기량 및 단위용적질량을 측정하는 것으로 하였고, 경화 콘크리트에서는 7일과 28일의 압축강도를 측정하는 것으로 실험계획 하였다.

Table 1. Experimental plan

Items		Variables	
W/B(%)	3	15, 25, 35	
Target flow(mm)		600±100	
Target air content(%)	1	3.0±1.5	
Mixture Admixtures (%)		FA 20 + SF 10	
Replacement ratio of limestone aggregates (%) ¹⁾	3	0, 50, 100	
Fiber replacement ratio(%)	1	0.05	
Item of Test	Fresh concrete	5	<ul style="list-style-type: none"> Slump flow 500mm reaching time V-lot time flow Air content Unit volume weight
		Hardened concrete	1

1) Replacement ratio of limestone to granite aggregates

Table 2. Mixture proportions

W/B (%)	S/a (%)	SP/B (%)	AE/B (%)	Quality(kg/m ³)																
				W	OPC	FA	SF	S	GG ¹⁾	LG ²⁾	PP ³⁾	NY ⁴⁾								
15	38	1.84	0.035	160	746	213	106	421	381	404										
									0	801										
									995	0										
25	42	1.60	0.080	160	448	128	64	630	497	483	0.455	0.575								
									0	1 014										
									1 087	0										
35	43	1.64	0.062	160	320	91	45	717	527	560										
									0	1 109										

1) GG : Granite gravel 2) LG : Limestone gravel
 3) PP : Polyethylene fiber 4) NY : Nylon fiber

2.2 사용재료

본 연구에 사용된 재료로서, OPC는 KS L 5201에 의하여 생산된 국내 A사의 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였는데, 그 물리적 특성은 Table 3과 같다. 혼화제로써 플라이애시는 국내 보령 화력산을 사용하였고, 실리카폼은 노르웨이산을 사용하였는데, 그 물리화학적 성질은 Table 4 및 5와같다. 본 실험에 사용한 골재로써 잔골재는 충북 옥산산 천연 잔골재와 충북 진천에서 생산된 부순 잔골재를 질량비 6 : 4의 비율로 혼합하여 사용하였고, 굵은골재는 화강암의 경우 경기 화성에서 생산되는 19mm 부순 굵은골재를, 석회암은 충북 제천에서 생산되는 19mm 부순 굵은골재를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 Table 6과 같다. 본 실험에 사용한 혼화제로써 고성능 감수제는 국내산 D사의 폴리칼본산계를 사용하였고, AE제는 D사의 레진계 AE제를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 Table 7과 같다. 섬유는 국내산 S사의 폴리프로필렌(PP)섬유와 나일론(NY)섬유를 1:1로 혼합하여 사용하였는데, 각 섬유의 모습은 Figure 1과 같고, 섬유의 물리적 특성은 Table 8과 같다.

Table 3. Physical properties of cement

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	Soundness (%)	Setting time(min)		Compressive strength (MPa)		
			Initial	Final	3days	7days	28days
3.15	3 324	0.09	180	255	32.6	42.1	55.4

Table 4. Physical and chemical properties of fly ash

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	L.O.I (%)	Chemical composition (%)				
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
2.25	3 520	4.75	67.5	16.73	5.37	3.61	1.08

Table 5. Physical and chemical properties of silica fume

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	L.O.I (%)	Chemical composition (%)				
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
2.20	200 000	1.25	96.0	0.25	0.12	0.38	0.10

Table 6. Physical properties of aggregates

Types	Density (g/cm ³)	Water absorption ratio (%)	Passing 0.08mm sieve (%)	F.M	Distribution of grain shape(%)	
					Natural sand	Crushed sand
Fine aggregates	Natural sand	2.56	1.02	0.30	2.85	-
	Crushed sand	2.70	1.05	0.32	2.95	-
Coarse aggregates	Granities	2.58	0.50	0.30	6.91	56.1
	Limestone	2.66	0.60	0.15	7.15	58.3

Table 7. Physical properties of chemical admixtures

Types	Main component	State	Color	Density(g/cm ³)
High range Water reducer	Polycarboxylate type	Liquid	dark brown	1.14
Air entrainer	Organic type	Liquid	ecru	1.04

Table 8. Physical properties of fibers

Types	aspect ratio	Length (mm)	Diameter (mm)	Density (g/cm ³)	Tensile strength (MPa)	Melting point (°C)
PP fiber	300	12	0.04	0.91	560	160
NY fiber	750	9	0.012	1.15	918	220

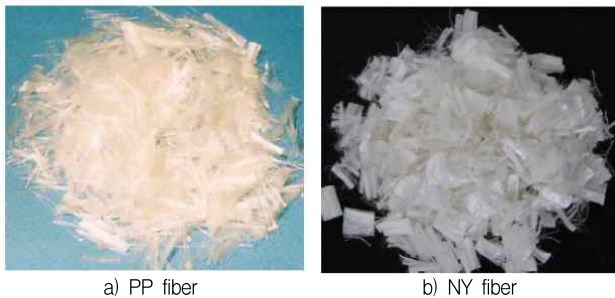


Figure 1. Appearances of fibers

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 먼저 콘크리트의 혼합은 Figure 2의 순서 및 방법에 따라 실시하였다. 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 플로 및 500mm 도달시간은 KS F 2594에 의거 실시하였고, V-lot 유하시간시험은 콘크리트의 유동성과 간극 통과성 등을 평가하기 위한 시험으로 일본 건축학회에서 제안하는 시험기를 이용하여 측정하였다. 공기량 시험은 KS F 2421 규정에 의거 공기실 압력법에 의한 공기 함유량 시험방법으로 측정하였으며, 단위용적질량 시험은 KS F 2409 규정에 의거 질량방법으로 측정하였다. 압축강도는 KS F 2403에 의거하여 $\varnothing 100 \times 200$ mm의 원주형 공시체를 제작한 후, 익일 공시체를 탈형하여 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 수중에서 소요 재령까지 양생시킨 후 3 GN UTM을 이용하여 KS F 2405에 의거하여 강도를 측정 하였다.

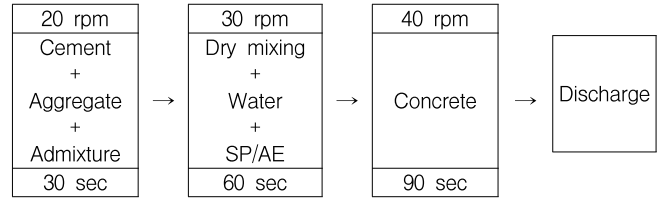


Figure 2. Mixing of concrete

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

3.1.1 슬럼프 플로

Figure 3은 경과시간 및 W/B 별 석회암 굽은골재 치환율 변화에 따른 슬럼프 플로 및 그 변화율을 나타낸 그래프이다. 먼저 모든 실험결과치는 목표 슬럼프 플로 범위를 만족하는 것으로 나타났는데, 석회암 굽은골재의 치환율이 증가할수록 슬럼프 플로는 증가하는 경향으로 나타났다. 즉, 석회암 굽은골재 0%치환시보다 50~100%를 치환한 경우 유동성이 약 7% 이내에서 증가하는 것을 알 수 있었는데, 경시 30분 이후에도 반입시와 유사하게 증가하는 경향을 나타내었지만 전반적으로 슬럼프 로스에 기인하여 반입시보다는 약간 저하하였다. 이와 같은 석회암 굽은골재의 유동성증가는 골재의 매끄러운 표면 조직 및 양호한 입자특성과 높은 입형판정실적률[3,4,5,6,7,8,9]이 콘크리트의 유동성을 증진시켜 나타난 것으로 분석된다.

3.1.2 500mm 도달시간

Figure 4는 슬럼프 플로와 동일요령으로 석회암 굽은골재 치환율 변화에 따른 500mm 도달시간 및 그 변화율을 나타낸 것이다. 전반적으로, 석회암 굽은골재 치환율이 증가함에 따라 유동성이 증가하므로써 500mm도달시간은 20% 이내의 범위에서 빨라지는 결과로 나타났다.

즉, W/B 15%의 500mm 도달시간은 석회암 굽은골재 0%배합의 경우 약 30초를 나타낸 반면에 석회암 굽은골재 치환율 50%배합에서는 26초, 치환율 100%배합에서는 24초로 감소하였고, W/B 25% 및 35%에서도 W/B 15%와 유사한 경향을 나타내어 약 3초~6초의 범위로 단축되는 경향이였다. 경시 30 분의 경우는 슬럼프 로스현상으로 유동성이 감소하기 때문에 500mm 도달시간도 더 늦게 나타났다.

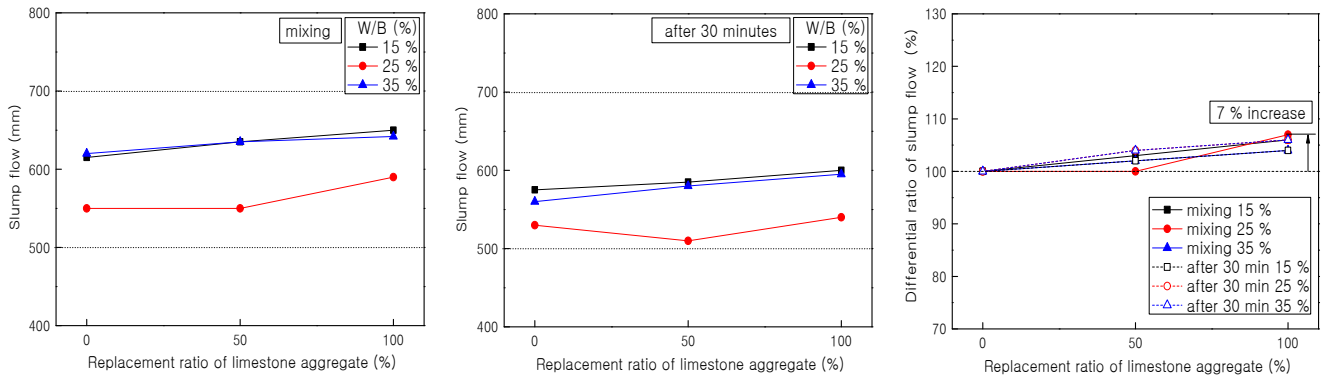


Figure 3. Slump flow and differences with the replacement ratio of limestone coarse aggregates

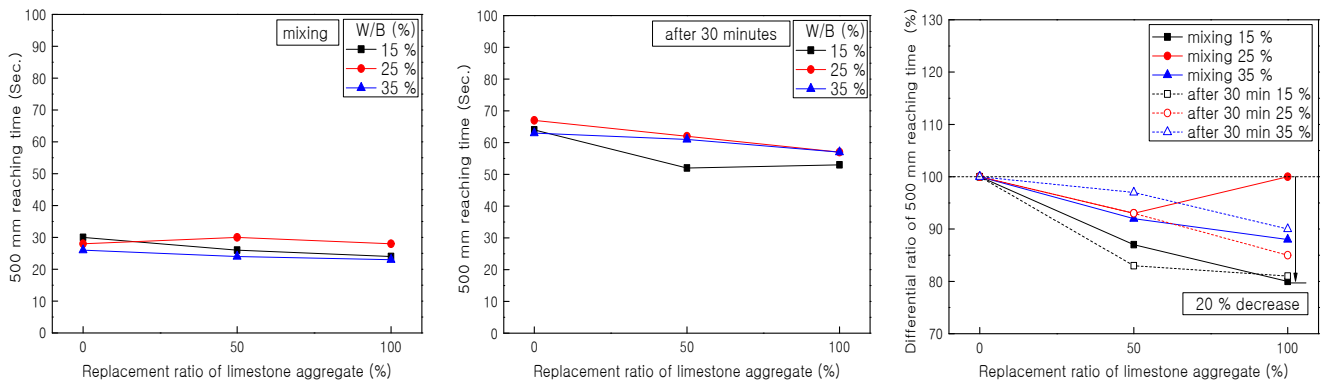


Figure 4. 500mm reaching time and differences with the replacement ratio of limestone coarse aggregates

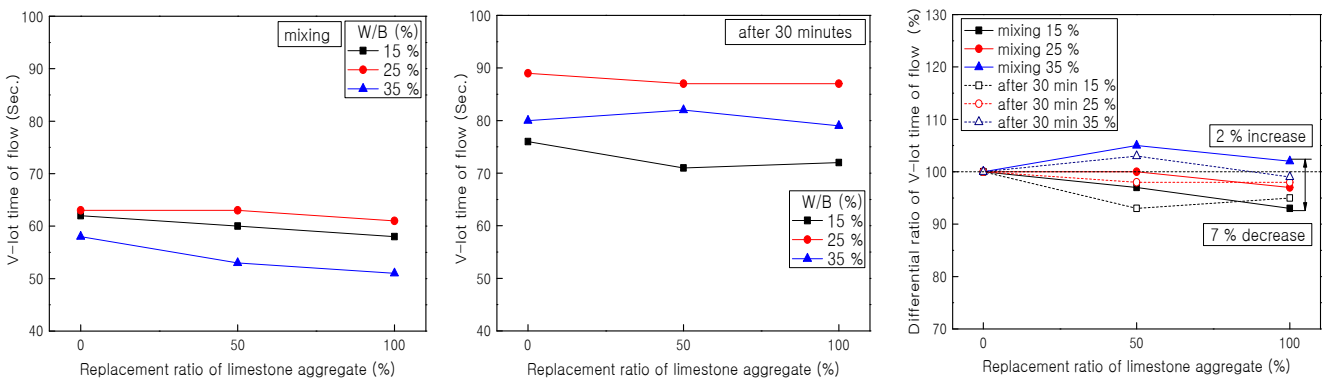


Figure 5. V-lot time and differences with the replacement ratio of limestone coarse aggregates

3.1.3 V-lot 유하시간

Figure 5는 석회암 굵은골재 치환율 변화에 따른 V-lot 유하시간 및 그 변화율을 나타낸 것이다. 석회암 굵은골재 치환율이 증가할수록 V-lot 유하시간은 단축되는 경향을 나타내었다. 즉, 반입시 W/B 15% 및 W/B 25%의 경우 석회암 굵은골재 치환율 0% 배합에서는 62~58초의 범위를 나타낸 반면, 석회암 굵은골재 치환율 100%배합에서는 51~

58초의 범위로 약 2%이내의 증가 혹은 7%이내의 저하를 나타내었다. 한편, 경시 30분 이후의 유하시간은 유사하게 증가된 상태에서 석회암 치환율 증가에 따라서는 저하하는 결과를 나타내었다.

3.1.4 공기량

Figure 6은 경과시간 및 W/B 별 석회암 굵은골재 치환율

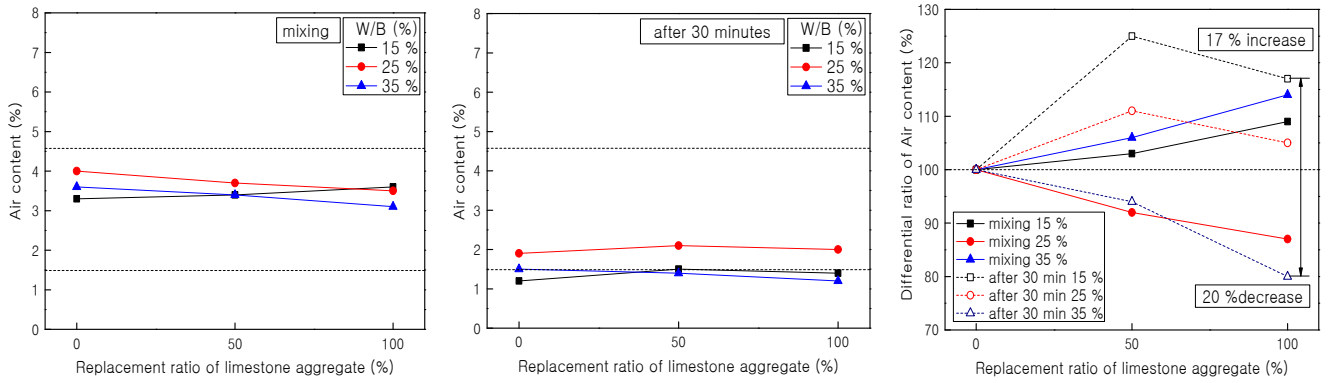


Figure 6. Air content and differences with the replacement ratio of limestone coarse aggregates

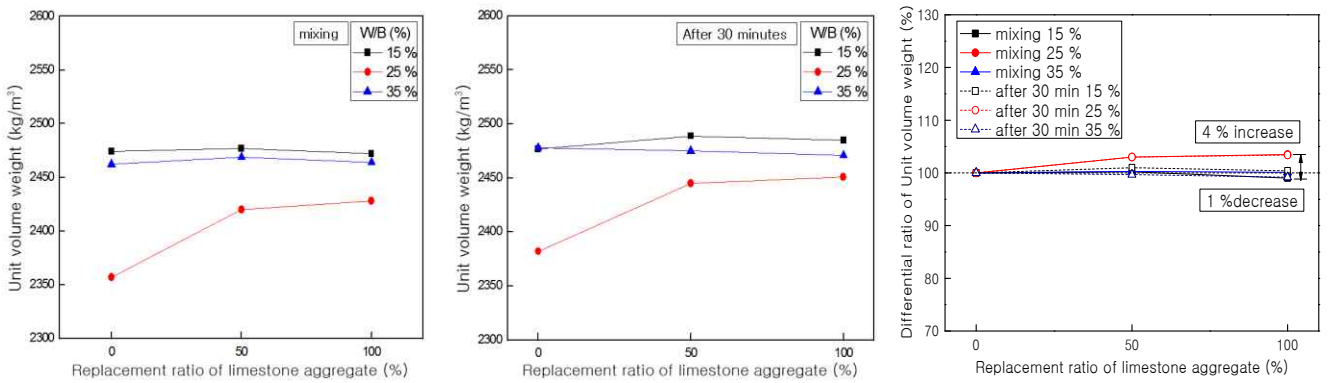


Figure 7. Unit volume weight and differences with the replacement ratio of limestone coarse aggregates

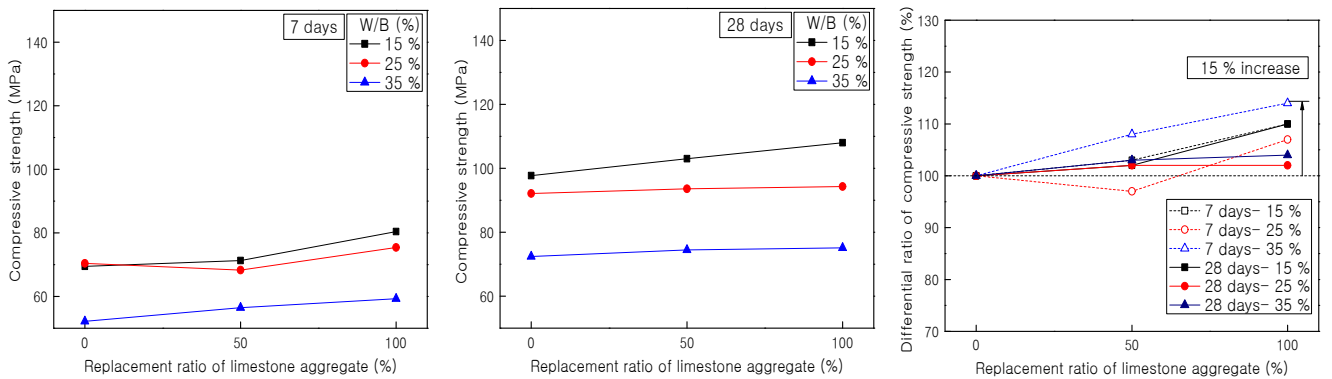


Figure 8. Compressive strength and differences with the replacement ratio of limestone coarse aggregates

변화에 따른 공기량 및 그 변화율을 나타낸 것이다.

전반적으로 석회암 굵은골재 치환율이 증가할수록 공기량이 증가 또는 감소하는 경향을 나타내었다. 특히, W/B 15% 및 W/B 35%의 경우는 석회암 굵은골재 치환율이 증가할수록 공기량이 다소 증가하는 경향을 나타낸 반면에, W/B 25%의 경우는 약간 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 석회암 굵은골재 사용에 따른 오차에 기인한 것으로 특별한 영향

은 없는 것으로 사료된다, W/B 별 모든 배합에서 초기값은 목표 공기량 범위 $3.0 \pm 1.5\%$ 을 만족하였지만 경시 30분에서는 1.5%이하로 하한값 보다도 약간 저하하는 경우도 존재하였다.

3.1.5 단위용적질량

Figure 7은 경과시간 및 W/B 별 석회암 굵은골재 치환

을 변화에 따른 단위용적질량 및 그 변화율을 나타낸 것이다. 전반적으로, 석회암 굵은골재 치환율 증가에 따른 단위용적질량은 1%미만에서 약간 감소하는 경향도 있지만 대체적으로는 4%이하의 범위에서 증가하였다. 이는 석회암골재의 밀도가 큰 점과 아울러 공기량과 반대 경향을 나타내는 단위용적질량의 실험특성의 복합에 의한 결과로 사료된다.

3.2 경화 콘크리트 특성

Figure 8은 7, 28일의 재령구분 및 W/B별 석회암 굵은골재 치환율에 따른 압축강도 및 그 변화율을 나타낸 것이다. 전반적으로는 당연한 결과이겠지만 재령이 경과하고, W/B가 작아질수록 압축강도는 증가하였고 또한, 석회암 굵은골재 치환율이 증가 할수록 압축강도는 15%이내의 범위에서 증가하는 경향을 나타내었다. 특히, W/B 15%의 초고강도 영역에서는 W/B 25% 및 W/B 35%에 비해 재령별 석회암 굵은 골재 치환율 증가에 따른 강도차이가 다소 커지는 경향으로 나타나 고강도 콘크리트 영역에서 석회암 부순 굵은골재의 사용에 의해 압축강도의 증진효과가 있는 것으로 나타났다. 이러한 강도 특성은 석회암 굵은 골재의 밀도가 높고 흡수율이 작은 물리적 성질이 치밀한 조직형성에 기여한 것으로 분석되고, 아울러 입자 특성으로 석회암 부순 굵은골재의 높은 입형판정질적률과 골재의 연속입도 분포에 따른 최밀 충전 등도 강도향상에 기인한 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 시멘트 제조과정 중에 발생하는 저품위 석회암 폐석을 분쇄 및 체가름 등의 가공을 통해 얻어진 석회암 굵은골재를 고강도 콘크리트에 적용하고자 시공특성을 검토 하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 굳지 않은 콘크리트의 유동 특성으로, 석회암 굵은골재의 치환율이 증가할수록 슬럼프 플로는 화강암 굵은골재를 사용한 Plain배합에 비해 약 7%이하의 범위에서 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 500mm 도달시간, V-lot 유하시간은 슬럼프 플로 증진의 영향으로 석회암 굵은골재를 사용할수록 단축되었다.
- 2) 공기량은 석회암 굵은골재를 사용함에 따라 다소 증가 혹은 감소하는 것으로 나타났으나, 그 차이는 미미하여 영향이 없는 것으로 나타났고, 단위용적질량은 석

회암 골재의 밀도가 높은점 등에 기인하여 4%이내에서 증가하는 경향을 나타내었다.

- 3) 경화 콘크리트의 특성으로 압축강도는 석회암 굵은골재의 치환율이 증가함에 따라 15%이내의 범위에서 증진되는 것으로 나타났는데, W/B가 작을수록 크게 증가하여 유리해지는 경향이였다.

이상과 같이 석회암 굵은골재를 사용하는 고강도 콘크리트의 시공특성을 분석한 결과, 굳지 않은 콘크리트 및 경화 콘크리트에서 화강암 골재를 사용한 경우보다 동등 이상의 양호한 시공품질이 확보됨을 확인 할 수 있었는데, 기타 탄성계수 등 역학적성질 및 동결융해 저항성 등 내구성을 폭넓게 검토한 후 모든 우수성이 검증될 수만 있다면 초고강도 골재로서 적극적인 활용이 요구되었다.

요 약

본 연구에서는 국내의 석회암 광산에서 시멘트 제조를 위해 채굴되는 석회석을 시멘트 제조용으로 사용하지 못하는 저품위 석회암 폐석을 분쇄 및 체가름 등의 골재 생산설비를 통하여 제조한 석회암 굵은 골재를 고강도 콘크리트용 골재로의 활용성을 검토한 것이다. 즉, 석회암 굵은 골재를 사용한 고강도 콘크리트의 유동성, 공기량, 압축강도 등의 시공특성을 화강암 굵은 골재에 대한 치환율로 변화시켜 그 성능을 검토하였다. 실험결과 굳지 않은 콘크리트 및 경화 콘크리트에서의 시공특성은 화강암 골재를 사용한 고강도 콘크리트와 동등 이상의 양호한 시공품질이 확보되는 것을 확인할 수 있었다.

키워드 : 석회암 폐석 굵은골재, 고강도 콘크리트, 시공특성

References

1. Han CG, Kim HW. Engineering Properties of High Strength Concrete Using Lime Stone Recycling Fine Aggregate. Journal of the Korean Recycled Construction, 2007 Mar;3(1):72-9.
2. Kim GD, Lee SH, Kim JH, Kim KJ. Mix Design of High Strength Concrete for the High-Rise Building-The Tallest Building in the World, Burj Dubai Tower. Proceedings of the Korea Concrete Institute; 2006 Nov 19-20 ; Seoul, Korea, Seoul (Korea): Korea Concrete Institute; 2006. p. 445-8
3. Han CG, Han MC, Kim HW, Baek DH. Influence of Limestone

-
- Coarse Aggregate on Properties of the Concrete, Architectural Institute of Korea, 2008 Nov;24(11):85-92
4. Han CG, Han MC, Kim HW, Heo YS, Engineering Properties of Concrete Incorporating Limestone Crushed Fine Aggregate, Architectural Institute of Korea, 2007 Aug;23(8):91-98
 5. Cho BS, An Experimental Study on the Effect of Aggregate Shape Influencing to the Concrete Properties [master's thesis], [Cheongju (Korea)]:Cheongju university; 1998, 103 p.
 6. Song YC ; An Experimental Study on the Effect of Aggregate Shape Influencing to the High Strength Concrete Engineering Properties [master's thesis], [Cheongju (Korea)]:Cheongju university; 1992, 65 p.
 7. Daimyo Tatsuo, Nakamura Shuzo, Limestone Coarse Aggregates and Concrete, Cement & Concrete, 2005 Nov;(1):705-11
 8. Minagawa Toshio, Prospects and problems surrounding the aggregate, Japan: Monthly raw concrete; 1992, Nov;11(11), 88 p.
 9. The National stone, Sand & gravel association, Land Use Permitting Guides for the Aggregate Industry, Egvpt: Review; 2000, 23 p.