

석회암 순환잔골재를 사용한 고강도 콘크리트의 공학적 특성

Engineering Properties of High Strength Concrete Using Lime Stone Recycling Fine Aggregate

(2007년 3월 13일 원고접수, 2007년 5월1일 심사완료 / Received March 13, 2007, Accepted May 1, 2005)

한천구* 김현우¹⁾

¹⁾청주대학교, 건축공학과

Cheon-Goo Han¹⁾, Hyun-Woo Kim¹⁾

¹⁾Division of Architectural Engineering Cheongju Univeristy, Cheongju, 360-764, Korea

Abstract

This study investigates the engineering properties of concrete incorporating lime stone crushed fine aggregate(Ls), which has been abandoned about 20% of total production due to the low purity. Test results showed that increase of Ls had favorable fluidity and slightly decreased air content. Bleeding capacity of all specimens was not appeared as those were high strength mixture proportion, but the specimens using more Ls accelerated initial and final setting. For the mechanical properties, specimens incorporating higher ratio of Ls, overall, resulted in increase of compressive strength, and exhibited very small inclined tendency in a dynamic elasticity modulus test In addition, for the durability properties, specimens incorporating higher Ls dramatically decreased a drying shrinkage and showed similar tendency in a frost & thaw test, as well as showing no more change in an accelerated neutralization test from the beginning. In conclusion, as it was confirmed in the experimental test, the high strength concrete applying Ls did not showed any problems in the aspects of engineering properties and mostly exhibited even more excellent quality than the specimens using natural fine aggregate.

키워드 : 석회암 부순잔골재, 고강도 콘크리트, 내구성

Keywords : Limestone Crushed Fine Aggregate, High Strength Concrete, Durability

1. 서론

최근 국내의 통계 자료에 따르면 시멘트 생산을 위한 총 채석 석회암 중 약 20%는 목표순도에 미달되어 인근 공지에 버려지는 것으로 보고되고 있다.

한편, 콘크리트 산업은 건설공사의 물량 증가로 인해 천연잔골재자원의 다량소비로 고갈이라는 심각한 문제에 직면해 있다¹⁾. 이에 따라 국가적인 차원에서도 골재 고갈문제에 대한 대책을 모색하고 있는데, 대표적으로 천연 산인 저 품질 강모래, 육지모래, 산모래 및 바다모래를 체가름이나 세척·혼합하는 등 가공으로 양호한 품질이 확보될 수 있도록 조제하여 활용하는 방안과 암석을 분쇄하여 부순잔골재로 사용하거나 건설폐기물 또는 산업 부

산물을 적절히 가공하여 부순 잔골재로 재활용하는 방안 에 대한 검토가 이루어지고 있다^{2)~5)}.

이러한 방안 중 앞서 언급한 산업 부산물로서 버려지는 석회암의 경우는 시멘트의 원석이기 때문에 분쇄, 체가름 등 적당히 가공만 하면 품질 면에서도 콘크리트용 골재로 전혀 손색없이 이용할 수 있다.¹³⁾

그러므로 본 연구에서는 이러한 낮은 순도의 석회암 폐석을 고갈 골재자원으로 활용하는 방안을 검토하기 위하여 석회암 순환잔골재(이하 석회암 잔골재라 칭함)를 사용한 고강도 콘크리트의 기초적 품질평가 및 내구 특성을 분석함으로써, 향후 ‘친환경자원재활용재료’ 로써 콘크리트의 고품질화에 기여하고자 한다.

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

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 1과 같다. 즉, 물결합재비 (이하 W/B) 25%에 플라이애시 20%와 실리카폼 10% 치환 및 W/B 35%에 플라이애시만을 10% 치환한 고강도 배합 2수준에 대하여 석회암 부순잔골재의 치환율을 각각 0, 25, 50, 75, 100%로 변화시켜 총 10배치를 실험계획 하였다. 이때, 석회암 잔골재를 100% 사용한 시험체를 플레인 배합으로 정하고, 목표 슬럼프플로우 600 ± 100 mm, 목표 공기량 3.0 ± 1.0 %를 만족하도록 배합설계 하였다.

실험사항으로 굳지않은 콘크리트의 경우는 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량, 단위용적질량, 블리딩량 및 응결시간을 측정하는 것으로 계획하였고, 경화 콘크리트의 역학적 특성실험에서는 압축강도 및 동탄성계수를 측정하는 것으로 계획하였다. 내구성능 평가 실험에서는 건조수축 길이 변화율, 동결융해, 알칼리 골재반응 및 촉진 중성화 시험을 실시하는 것으로 하여 전반적인 석회암 사용 고강도 콘크리트의 공학적 특성을 분석하는 것으로 실험계획 하였다. 이때 콘크리트의 배합사항은 Table 2와 같다.

Table 1. Experimental details

배합 사항		실험 요인	실험 수준
		W/B (%)	25, 35
		목표 슬럼프플로우 (mm)	600 ± 100
		목표 공기량 (%)	3.0 ± 1.0
		석회암 잔골재 치환율 (%)	0, 25, 50, 75, 100
실험 사항	굳지않은 콘크리트		·슬럼프 ·슬럼프플로우 ·공기량 ·단위용적질량 ·블리딩 ·응결시간
	경화 콘크리트	역학적 특성	·압축강도(1, 3, 7, 28, 91일) ·동탄성계수(1, 3, 7, 28일)
		내구 특성	·건조수축 길이변화율 ·동결융해 ·알칼리 골재반응 ·촉진중성화(1, 4, 8, 13, 26주)

2.2 사용재료

본 연구의 사용재료로서 먼저, 시멘트는 국내산 A사의 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였다. 골재는 잔골재의 경우

석회암 부순잔골재와 천연 잔골재를 사용하였는데, 각각 중복 체진산 및 충남 조지원산을 사용하였으며, 굵은 골재의 경우는 중복 청원산 25mm 화강암 부순 골재를 사용하였다. 또한, 혼화제로써 고성능 감수제는 국내산 D사의 폴리칼본산계, AE제는 국내산 D사의 표준형을 사용하였고, 혼화제의 경우 플라이애시는 국내산 S사, 실리카폼은 체코산 제품을 사용하였는데, 각 재료의 물리적 성질은 Table 3~6과 같고, 잔골재 및 굵은골재의 입도분포는 Fig. 1과 같다.

Table 2. Mixture proportion of concrete

W/B (%)	Ls 치환율 (%)	단위 수량 (kg/m ³)	단위질량 (kg/m ³)					
			C	FA	SF	S		G
						LS ¹⁾	NS ²⁾	
25	0	170	476	136	68	0	621	770
	25	170	476	136	68	155	466	770
	50	170	476	136	68	310	311	770
	75	170	476	136	68	466	155	770
	100	170	476	136	68	621	0	770
35	0	170	437	49	-	0	770	994
	25	170	437	49	-	192	577	994
	50	170	437	49	-	385	385	994
	75	170	437	49	-	577	192	994
	100	170	437	49	-	770	0	994

- 1) 석회석 부순잔골재
2) 천연 잔골재

Table 3. Physical properties of the cement

밀도 (g/cm ³)	분말도 (cm ² /g)	안정도 (%)	응결시간 (분)		압축강도(MPa)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,324	0.09	180	225	23	30	39

Table 4. Physical properties of the aggregate

구분	밀도 (g/cm ³)	조립률 (F.M)	흡수율 (%)	0.08mm체 통과량 (%)	입형관정 실적률 (%)
석회암 잔골재	2.68	3.03	0.7	4.7	59.6
천연 잔골재	2.68	2.60	0.6	3.9	56.0
화강암 굵은골재	2.95	7.40	0.7	0.2	54.0

Table 5. Physical properties of the chemical admixtures

구분	주성분	형태	색상	밀도 (g/cm ³)
고성능감수제	폴리칼본산계	액상	연황색	1.14
AE제	고급 알칼계	액상	미황색	1.04

Table 6. Physical properties of the mineral admixtures

구분	밀도 (g/cm ³)	분말도 (cm ² /g)	화학성능 (%)		
			ig-loss	습분	SiO ₂
플라이애시	2.25	4,478	4.75	0.1	67.5
			ig-loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃
실리카폼	2.2	200,000	4.75	96.00	0.25

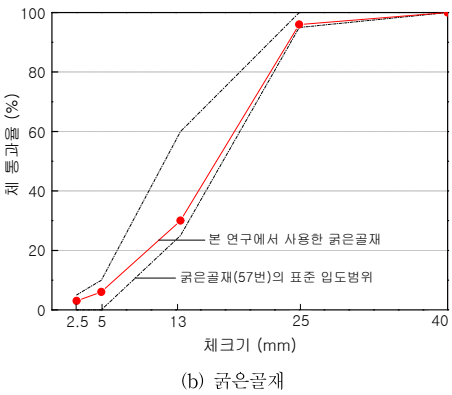
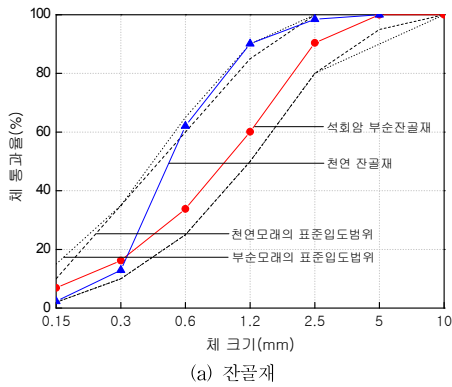


Fig. 1. Grading curve of the aggregate

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬 타입 믹서를 이용하여 혼합하였다. 굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402, 슬럼프플로우는 KS F 2594, 공기량은 KS F 2421, 단위용적질량은 KS F 2409에 의거 실시하였고, 응결시간은 KS F 2436의 프록터 관입 저항 시험방법에 의해 측정하였으며, 블리딩 시험은 KS F 2414 규정에 따라 블리딩수를 측정한 후 블리딩량으로 평가하였다.

경화 콘크리트의 실험으로 먼저, 역학적 특성을 검토하기 위해 압축강도 실험은 KS F 2403의 규정에 따라 공시체 Ø100×200mm 사이즈를 제작하여 계획된 소정의 재령에서 KS F 2405에 의거하여 측정하였고, 동탄성 계

수 시험은 KS F 2437 규정에 준하여 재령 28일까지 측정하였다. 또한, 내구 특성을 검토하기 위한 실험으로는 건조수축 길이변화 시험의 경우 KS F 2424의 다이얼 게이지법으로 측정하였고, 동결융해 시험은 KS F 2456 중 B법인 기중동결, 수중융해의 방법으로 측정하였으며, 알칼리 골재반응 시험은 KS F 2545의 화학법에 준하여 실시하였고, 촉진중성화 실험은 일본 건축학회 규정에 의거하여 온도 20±2°C, 상대습도 60±5% 및 탄산가스 농도 5±0.2% 조건에서 재령 26주까지 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

Fig. 2는 W/B별 석회암 잔골재의 치환율 변화에 따른 굳지않은 콘크리트의 슬럼프 및 슬럼프플로우를 나타낸 것이다.

석회암 잔골재를 100% 치환한 플레인 콘크리트의 경우는 모두 목표 슬럼프플로우인 600±100mm를 만족하는 것으로 나타났고, 슬럼프는 W/B 변화에 관계없이 약 250mm 전후를 나타내었다. 그러나 석회암 잔골재의 치환율이 감소할수록 유동성은 현저하게 저하되는 것을 확인할 수 있었는데, 석회암 잔골재의 치환율이 0%의 경우 굳지않은 콘크리트의 슬럼프플로우는 W/B 25%의 경우 350mm, 35%는 505mm를 각각 기록하였고, 슬럼프는 모두 200mm로 나타났다. 이러한 석회암 잔골재 사용에 따른 콘크리트의 특성은 석회암 골재가 갖는 물리적 성질로써 높은 입형판정실적을 및 조립율에 기인한 것으로 사료되며, Fig. 1에서와 같이 천연골재와 비교하여 우수한 연속입도분포에 의한 골재 상호간의 유기적 레올로지 향상의 영향으로 분석된다.

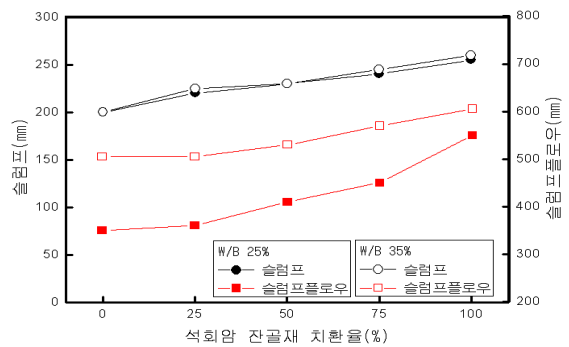


Fig. 2. Fluidity of fresh concrete

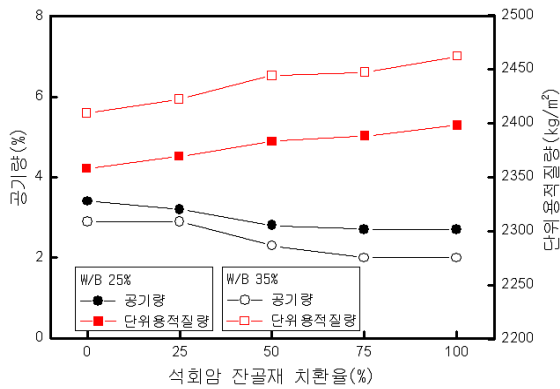


Fig. 3. Air content and unit weight of fresh concrete

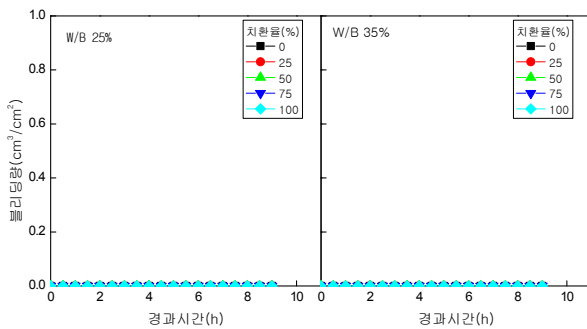


Fig. 4. Bleeding capacity of concrete

Fig. 3은 석회암 잔골재의 치환율 변화에 따른 공기량 및 단위용적질량을 나타낸 것이다.

먼저, 석회암 부순 잔골재를 100% 치환한 플레인 콘크리트의 경우 공기량은 모두 목표한 $3.0 \pm 1.0\%$ 를 만족하는 것으로 나타났다. 석회암 잔골재의 치환율 변화에 따른 영향으로는 치환율이 감소할수록 공기량이 증가하였는데, 이러한 경향은 모든 W/B에서 동일하게 나타났다. 석회암 골재 사용에 따른 공기량 감소는 석회암 잔골재의 연속입도 분포에 의한 공극충전 효과와 높은 입형판정실적률 등에 기인한 것으로 분석되며, 석회암 잔골재의 높은 유동특성 과도 관련이 있을 것으로 사료된다.

한편, 단위용적질량은 석회암 잔골재의 치환율이 감소함에 따라 공기량 특성과는 반대의 경향으로 모든 W/B에서 감소하는 것으로 나타났다.

Fig. 4는 W/B 25, 35%에 대하여 석회암 잔골재의 치환율별 경과시간에 따른 블리딩량을 나타낸 것이다.

석회암 잔골재의 치환율 및 W/B 변화와 관계없이 모든 경우에서 블리딩이 거의 관찰되지 않았는데, 이는 콘크리트의 낮은 W/B에 따른 점성 증대 및 내부 잉여수 저감에 기인한 것으로 판단된다.

Fig. 5는 석회암 잔골재의 치환율별 경과시간에 따른

굳지않은 콘크리트의 관입저항치를 나타낸 것이고, Fig. 6은 이를 좀 더 명확히 구분하기 위해 석회암 잔골재 치환율 변화에 따른 시험체의 초결 및 종결 시간을 정리하여 나타낸 것이다.

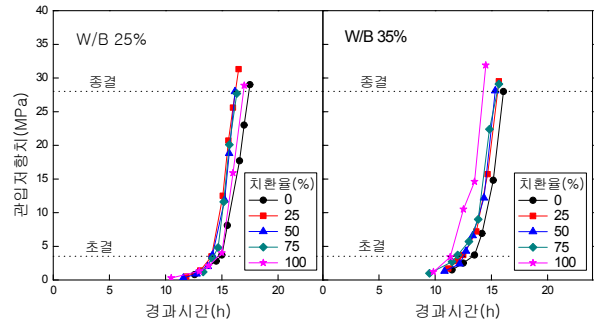


Fig. 5. Penetrated resistance of concrete

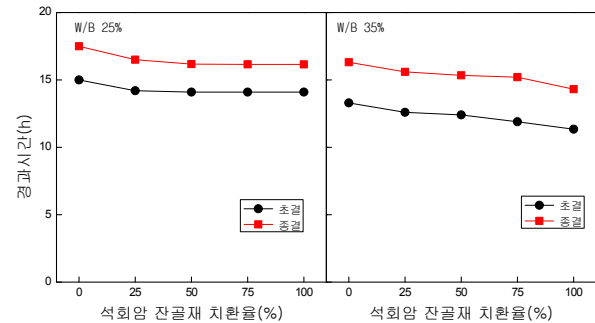


Fig. 6. Initial and final setting time of concrete

전체적으로 석회암 잔골재의 치환율이 증가할수록 초결 및 종결 시간이 다소 빠르게 진행되는 것을 확인할 수 있었는데, 이는 석회암 잔골재의 $C_3A \cdot CaCO_3$ 와 물(H_2O)의 반응으로 생성된 모노칼보알루미네이트($C_3A \cdot CaCO_3 \cdot 11H_2O$) 및 C_3AH_6 의 생성에 기인한 것으로 분석된다⁶⁾. 이때, 플레인 배합의 경우 석회암 골재를 0% 치환한 콘크리트와 비교하여 W/B 25%에서는 약 30분, W/B 35%에서는 약 1시간 정도 촉진되는 것을 확인할 수 있었다.

3.2 경화 콘크리트의 특성

3.2.1 역학적 특성

Fig. 7은 석회암 잔골재 치환율별 재령경과에 따른 압축강도를 로그 스케일로 나타낸 것이고, Fig.8은 이러한 석회암 골재의 치환율 변화에 따른 강도 변화를 보다 쉽게 이해하기 위해 재령별로 정리하여 나타낸 그래프이다.

먼저, Fig. 7은 재령경과에 따른 특성으로 당연한 결과이지만 재령이 경과할수록 콘크리트의 강도는 증가하는

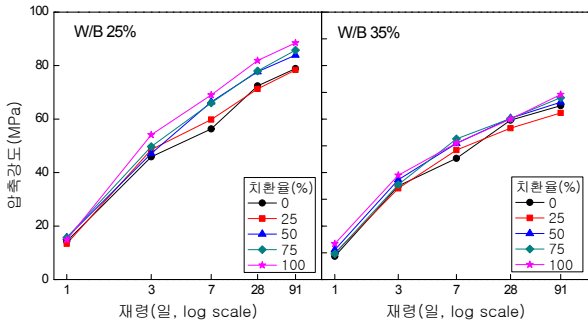


Fig. 7. Compressive strength of concrete with time elapse

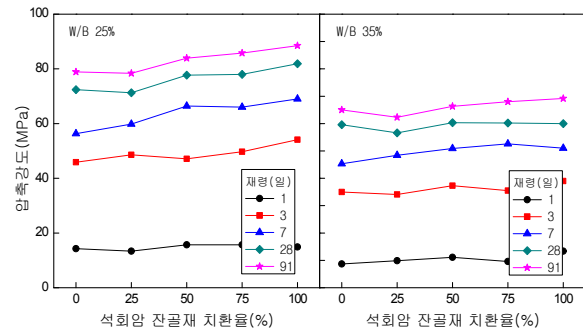


Fig. 8. Compressive strength of concrete with incorporating ratio of Ls

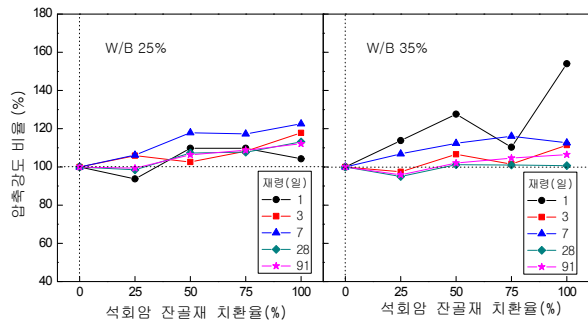


Fig. 9. Comparison strength rate of each specimen incorporating Ls

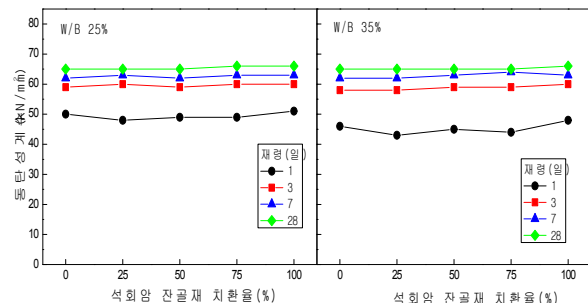


Fig. 10. Dynamic elastic modulus of concrete with incorporating ratio of Ls

것으로 나타났고, W/B가 작을수록 역시 강도가 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

또한, Fig. 8의 석회암 잔골재의 치환율 변화에 따라서는 석회암 잔골재의 치환율이 증가할수록 높은 강도 특성을 확인할 수 있는데, 석회암 잔골재를 100% 치환한 플레인 콘크리트의 경우는 석회암 잔골재를 0% 치환한 시험체와 비교하여 W/B에 따라 약간 향상되는 것을 확인할 수 있었다.

한편, Fig. 9 역시 석회암 골재를 사용한 콘크리트의 치환율 증가에 따른 압축강도 변화를 나타낸 것인데, 석회암 잔골재 0% 치환한 시험체의 강도를 100으로 가정하고 이에 대한 치환율 변화에 따른 상대적인 강도 값을 비율로써 나타낸 것이다.

특히, W/B 25%의 경우는 석회암 잔골재의 치환율 증가에 따라 각 재령에서 압축강도의 증가 경향이 뚜렷하게 커지는 것을 확인할 수 있었는데, 재령 7일에서 플레인 배합의 경우 약 20%의 강도 증진효과를 나타냈고, 기타 재령에서도 약 10%의 우수한 강도 증진을 나타냈다. 또한, W/B 35%의 경우도 일부 재령을 제외하고 석회암 골재의 치환율이 증가할수록 우수한 강도 증진 효과를 나타내었다.

이러한 강도 특성은 석회암 부순 잔골재가 가지고 있는 고유한 물리적 성질의 영향으로 골재의 밀도가 높은 치밀질 조직과 높은 탄성계수¹³⁾에 기인한 것으로 분석되며, 또한 석회암 잔골재의 높은 입형관정질적율과 골재의 연속입도 분포에 따른 최밀 충전 및 내부공극의 감소로 콘크리트의 공기량이 작아짐에 따라 나타난 결과로 사료된다.

Fig. 10은 석회암 잔골재를 사용한 고강도 콘크리트의 재령별 석회암 골재 치환율 변화에 따른 동탄성 계수 변화를 나타낸 것이다.

석회암 골재의 치환율이 증가할수록 증감의 차이는 있으나 약간씩 증가하는 경향을 나타냈다. 특히, 재령 28일에서 플레인 배합의 동탄성계수는 약 66 kN/mm²로 석회암 잔골재를 치환하지 않은 시험체보다 약 1~1.5kN/mm²의 미소한 증가를 나타내었다.

3.2.2 내구 특성

Fig. 11은 재령경과에 따른 시험체의 건조수축 길이변화율을 나타낸 것이다.

모든 시험체는 W/B에 관계없이 공시체 탈형 후 수중양생 7일 기간 동안 에트린가이트 생성 등에 기인하여 팽창하는 것으로 나타났고, 기중양생기간 동안에는 초기에 급

격한 건조수축이 발생하였으나, 재령이 경과함에 따라 완만한 수축 경향을 나타내었다. 재령 250일 W/B 변화에 따른 시험체의 길이변화율은 먼저 25%의 경우 석회암 골재의 치환율 변화에 따라 $615\sim 803 \times 10^{-6}$ 을 나타냈고, 35%에서는 $715\sim 830 \times 10^{-6}$ 범위를 기록하였다. 이러한 W/B 변화에 따른 건조수축 변형량의 차이는 콘크리트의 모세관 공극 등 내부 미세조직 내에 존재하는 많은 양의 잉여수가 건조되면서 나타나는 것으로, W/B가 클수록 잉여수량이 많아지면서 더 큰 건조수축율을 보였다.

한편, 석회암 잔골재의 치환율 변화에 따른 건조수축율은 석회암 잔골재의 치환율이 증가할수록 모든 W/B에서 건조수축율이 다소 작게 나타났는데, 석회암 잔골재를 100% 치환한 플레인 콘크리트는 0% 치환한 시험체와 비교하여 약 17~24% 수축률이 작은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 석회암 골재 자체의 탄성계수가 다소 높고, 건조수축량이 천연 골재보다 작기 때문에 시멘트 페이스트의 수축을 구속한데 기인한 것으로 분석되며, 또한 연속 입도와 높은 입형관정실적을 등에 의한 석회암 잔골재의 최밀 충전효과가 콘크리트의 공기량을 감소시키고, 압축강도를 증가시켜 나타난 결과로 분석된다.

Fig. 12 및 13은 석회암 잔골재 치환율별 동결융해 사이클 증가에 따른 상대동탄성계수와 질량변화율을 나타낸 것이다.

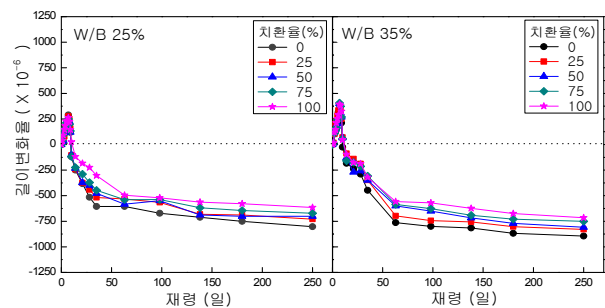


Fig. 11. Length change ratio of concrete

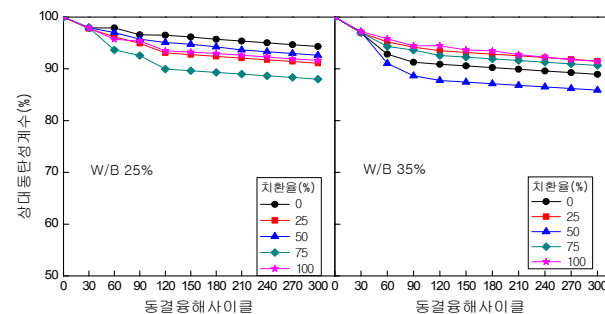


Fig. 12. Relative dynamic elastic modulus of concrete during freezing and thawing test

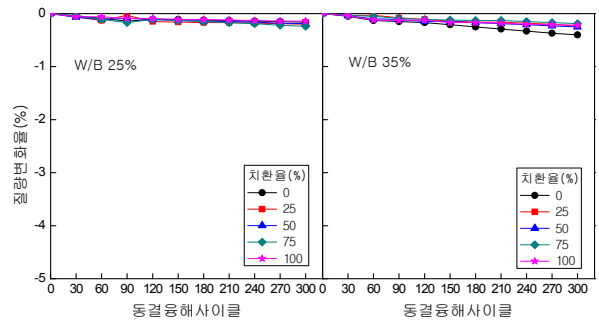


Fig. 13. Weight loss ratio of concrete during freezing and thawing test

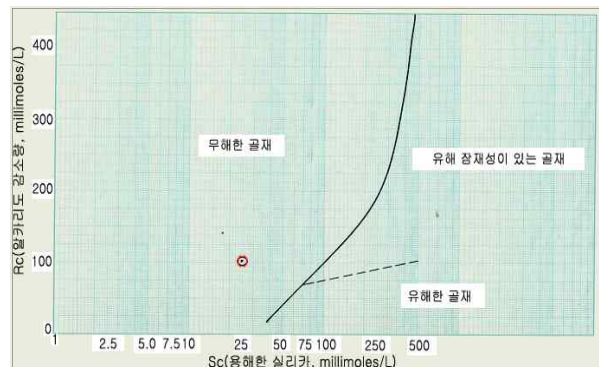


Fig 14. Test result of alkali aggregate reaction on Ls (by a chemical method)

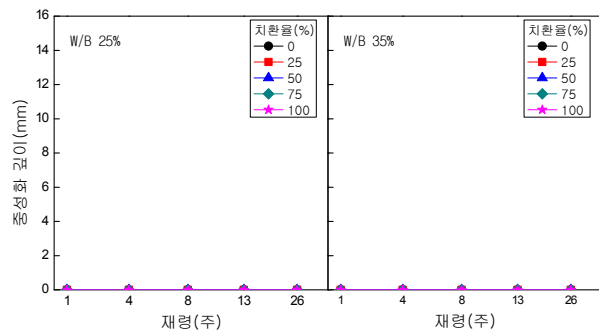


Fig. 15. Neutralization depth of concrete

석회암 잔골재의 치환율 변화에 따라 상대동탄성계수 및 질량변화율은 각각 작은 범위에서 증감의 차이를 나타냈다. 먼저, Fig. 12에서 동결융해 300 사이클 시험 종료 후 상대 동탄성계수는 W/B 25%의 경우 골재 치환율 0%와 50% 시험체가 다소 우수하게 나타났고, W/C 35%에서는 치환율 100% 시험체가 가장 높은 값을 나타냈으며, 다음으로 25%, 75% 및 50% 시험체 순으로 다소 불규칙하게 나타났다. 이러한 실험결과는 단순히 골재 자체의 순수한 물성의 영향보다는 시험체가 함유하고 있는 공기량,

함수상태 및 재료의 열응력 편차에 의한 영향이 더욱 크게 작용한 것으로 분석된다. 단, W/B 25% 시험체의 경우는 콘크리트 내부 모세관 공극속의 잉여수 존재량이 W/B 35%보다 작음으로써 반복적인 동결융해 작용에 의한 팽창압이 작게 작용하여 다소 양호한 성능을 발휘하였으나 큰 차이는 아닌 것으로 나타났다.

한편, Fig. 13의 질량변화율은 총 300사이클의 동결융해 시험 기간 동안 모든 W/B 및 석회암 잔골재 사용 콘크리트 부재에서 약 0.3 ~ 0.9%의 작은 감소율을 나타냈는데, 이러한 감소율 역시 실험변수간의 특이사항은 없는 것으로 분석된다.

Fig. 14는 석회암 잔골재의 화학법에 의한 알칼리 골재 반응 시험결과를 나타낸 것이다.

석회암 잔골재는 화학법 시험결과 용해 실리카량(Sc)은 24.42mmol/l, 알칼리농도의 감소량(Rc)은 100.5mmol/l 로써 무해한 골재로 판명되었다. 이는 다른 암석의 경우 주요 화학조성이 SiO₂로 구성되어 알칼리 골재반응 발생 위험률이 다소 높을 수 있으나, 석회암 골재는 CaCO₃를 주성분으로 하고 있기 때문에 이러한 알칼리 골재반응성에서는 안정된 결과를 나타낸 것으로 분석된다.

Fig. 15는 26주 동안 재령 경과에 따른 축진 중성화 실험결과를 나타낸 것이다.

W/B 및 석회암 골재의 치환율 변화에 관계없이 고강도 배합에 따른 밀실한 내부조직에 기인하여 탄산가스의 침투가 전혀 발생하지 않은 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구는 석회암 성분의 순환잔골재를 사용한 고강도 콘크리트의 공학적 특성을 검토하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 굳지않은 콘크리트의 유동성은 석회암 잔골재의 재료적 특성에 기인하여 치환율이 증가할수록 향상되는 것으로 나타났고, 공기량은 감소하는 경향을 보였다. 또한, 블리딩은 고강도 배합이므로 모든 배합에서 거의 발생하지 않았고, 콘크리트의 응결시간은 석회암 잔골재의 치환율이 증가할수록 빠른 초결과 종결을 기록했다.

2) 역학적 특성으로 압축강도는 석회암 잔골재의 치환율이 증가할수록 향상되는 것으로 나타났는데, 이는 골재가 갖는 고유한 재료적 특성과 플레인 배합의 낮은 공기량에 의해 최밀 충전된 콘크리트 내부공극의 밀실성에 기인한 것으로 분석된다. 또한, 석회암 성분의 부순잔골재 사용 콘크리트의 동탄성 계수는 천연잔골재를 사용한 경

우보다 1~1.5kN/mm²의 작은 범위에서 약간씩 증가하는 것으로 나타났다.

3) 내구 특성으로 먼저 건조수축 길이변화율은 플레인 배합의 경우 석회암 잔골재를 치환하지 않은 시험체와 비교하여 약 17~24%의 작은 수축량을 나타냈고, 동결융해 시험에 의한 상대동탄성계수 및 질량변화율 시험 결과에서는 일정한 범위에서 모든 부재의 열화 정도가 유사하게 나타났다. 또한, 축진중성화 실험결과에서도 석회암 골재 치환율 변화에 관계없이 모든 시험체에서 거의 중성화가 발생되지 않았다.

이상과 같이 석회암 폐석을 순환잔골재로 사용한 고강도 콘크리트를 대상으로 기초적 품질특성과 내구특성을 분석한 결과, 굳지않은 콘크리트 및 경화 콘크리트 모두에서 양호한 품질 성능을 발휘하는 것으로 나타났고, 내구성 평가 실험에서도 일부 평가항목에서 미세한 차이를 제외하고는 오히려 천연모래를 100% 사용한 시험체보다 더 우수한 것으로 나타나 향후 천연골재의 고갈에 따른 대체 골재로의 활용 및 산업 폐기물의 재활용 측면에서 ‘친환경 자원재활용재료’ 로써 콘크리트의 고품질화에 크게 기여할 수 있을 것으로 분석된다.

참고문헌

- 1) 한국건설산업연구원; “골재 자원의 수급 안정을 위한 정책 방안”, 토론회 자료, 2003.4.
- 2) 한국골재협회; “골재 산업의 중장기 육성 방안 연구”, 한국건설산업연구원, 2001.12
- 3) 최민수, 강운산; “골재 채취 제도의 개선 방안 연구”, 한국건설산업연구원, 2001.8
- 4) 건설교통부; “대체골재를 사용한 콘크리트의 고품질화 기술개발”, 2003 건설기술기반구축사업, 03기반기술 A03-02, 2005.8
- 5) 김문환, 신현식, 김무한; “건축재료학”, 문운당, 1994
- 6) 한천구; “석회석 미분말을 사용한 콘크리트의 특성, 레미콘 아스콘 골재”, 2006.10
- 7) 조준현; “최신 건축재료학”, 기문당, 1990
- 8) 윤기원; “부순모래 콘크리트의 특성에 미치는 영향요인 및 활용에 관한 연구”, 청주대 대학원 박사학위논문, 1996.12
- 9) 김기훈; “골재혼합방법에 의한 부순모래 콘크리트의 고품질화”, 청주대 대학원 석사학위논문, 2005.12

- 10) 대한건축학회; “철근콘크리트 구조물의 내구성 향상에 관한 심포지엄 논문집”, 1995
- 11) 윤재환, 정재동, 이영수; “쇄석골재의 알칼리-실리카 반응에 관한 실험적 연구”, 한국콘크리트학회논문집, 제6권 1호, 1994
- 12) Saïd Laldji and Arezki Tagnit-Hamou; “Properties of ternary and quaternary concrete incorporating new alternative cementitious material”, ACI Material Journal, Vol. 103, No. 2, 2006.3-4
- 13) National stone; Land use permitting guides for the aggregate industry“, Sand & gravel association, 2000.1
- 14) 大内 辰夫, 中村 秀三, “石灰石骨材とコンクリート“, Cement&Concrete, No. 705, 2005. 11
- 15) 岸谷孝一; “鐵筋コンクリートの耐久性“, 鹿島建設技術研究所 出版部, 1963
- 16) 岸谷孝一外; “耐久性シリーズ“, 中性化, 技報堂, 1986
- 17) 浜田稔; “コンクリートの中性化と鐵筋の腐蝕“, セメント・コンクリート, No.272, 1969
- 18) 岸谷孝一; “鐵筋コンクリートの耐久性向上に関する考察“, 日本建築學會論文報告集, 第65號, 1960
- 19) 鄭載東, 平井和喜; “モルタルの中性化に及ぼす骨材品質の影響“, 日本建築學會東北支部研究報告集, 第47號, 1986
- 20) 和泉, 嵩, 押田, 西原; “コンクリートの中性化に及ぼすセメントの種類及び養生條件の影響について“, 第7回コンクリート工學年次講演論文集, 1985
- 21) 地濃茂雄, 任入豊和; “コンクリート表層部その養生條件細孔構造“, セメント・コンクリート, No. 468, 1986
- 22) 鄭載東外; “モルタルの中性化速度に及ぼす溫度・濕度の影響に関する實驗的研究“, 콘크리트工學論文集, 第1卷 1號, 1990.1
- 23) 小林一輔, 丸章夫, 立松英信; “アルカリ骨材反應の診斷“, 森北出版株式會社, 1991
- 24) 小野統一, 川村滿紀, 田村博, 中野錦; “アルカリ骨材反應(コンクリート構造物の耐久性シリーズ)“, 技報出版社, 1986.4
- 25) 皆川利雄; “骨材をめぐる問題點と展望“, 月刊生コンクリート, Vol.11, No.11, 1992.11
- 26) 清水 智; “我が國における採石の現状と展望“, 月刊生コンクリート, Vol.11, No.10, 1992.10