

건조된 재료를 혼합 포장한 콘크리트의 특성에 관한 기초적 연구

-흡수율이 높은 골재 사용 중심으로-

A Fundamental Study on Properties of Method of Packaged Dry Combined Materials for Concrete -based on using high absorption aggregate-

한 다 희*
Han, Da-Hee

김 광 기*
Kim, Kwang-Ki

정 상 진**
Jung, Sang-Jin

Abstract

Ordinary concrete uses aggregate sufficiently soaked with water, and is weighed, mixed with other materials and placed in accord with performances required in the construction field. Recently special concrete with high fluidity and durability is required but it is difficult to use top-quality concrete due to lack of high-quality aggregate, delayed transportation because of traffic jam, etc. In addition, sometimes the use of a remicon is inevitable just for small-sized concrete constructions or it is difficult for a remicon to reach remote construction places such as mountainous areas. To solve these problems, this study attempted to pack concrete materials. In other words, it is to instantize concrete.

This study dried aggregate, a material of concrete, and compared the change of absorption phase of the aggregate in water and in paste in order to examine the effect of the dryness of aggregate on its absorption rate and, based on the absorption rate, decided water addition ratio necessary for the reduction of unit quantity caused by the use of dry aggregate in designing concrete mixture, and analyzed the properties of unhardened concrete according to water addition ratio in manufacturing concrete using aggregate in the state of absolute dryness and in the state of surface dryness.

키워드 : 인공경량 골재, 건조 잔골재, 수중 및 페이스트 중의 흡수율, 가수율

Keywords : Lightweight Aggregate, Dried Fine Aggregate, Rate of Absorption under Water and Cement Paste, Rate of Adding Water

1. 서 론

일반적인 콘크리트는 충분히 물을 흡수시킨 골재를 사용하고 현장에서 요구하는 성능에 적합하도록 재료를 계량·혼합하여 공사 현장에서 타설하고 있다. 근래에 들어 유동성과 내구성이 높은 특수 콘크리트 같은 새로운 성능을 요구하기에 이르렀으나 양질의 골재 부족과 교통체증으로 인한 운반시간의 장기화 등으로 인하여 최고품질의 콘크리트의 사용이 어려운 실정이다. 또한 소량의 콘크리트 공사 시 불필요하게 소정의 레미콘 차량을 이용해야만 하는 상황이 발생하기도 하고, 산악 지역 같은 난 지역의 공사 시 레미콘 차량의 진입이 어려워 계획 시공이 곤란한 문제가 발생하기도 한다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점들을 보완·해결하기 위하여 콘크리트 재료의 포장(包裝)화를 적용하고자 한다. 즉, 콘크리트의 인스턴트화라 할 수 있다.

그러나 재료의 건조에 따른 많은 에너지를 필요로 하고, 일반적으로 사용하는 골재의 경우 밀도가 크에 따라 중량이 커, 수중에 따른 비용도 많이 소요될 것으로 예상된다.

따라서, 이를 고려하여 인공경량 골재를 사용, 완전 건조시

켜 페이스트 중과 수중(水中)에서, 골재의 흡수특성 변화를 비교하여 골재의 건조가 흡수율에 미치는 영향을 확인하고, 절건 상태(이하 D상태)와 표면건조내부포수상태(이하 SSD상태)의 골재를 이용한 콘크리트 제조 시 가수율에 따른 굳지 않은 콘크리트 및 경화된 콘크리트의 특성을 시간경과에 따라 비교·분석함으로써 건조 골재를 이용한 콘크리트에 대한 기초적 자료를 제시하고자 하는데 본 연구의 목적이 있다.

2. 실험재료 및 계획

2.1 실험계획

흡수율이 높은 인공경량골재의 경우 SSD상태의 것 보다 건조한 것을 사용함에 있어 콘크리트 혼합시 골재의 수분 흡수로 인하여 현저한 단위수량의 감소 현상이 예상되어 콘크리트 배합 설계시 잉여분의 수량, 즉 혼합수의 보정에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다. 따라서 콘크리트 배합설계에 앞서, 골재의 흡수량 및 그 영향을 살펴보기 위해, 골재의 흡수율을 수중에서와 물시멘트비 50%의 시멘트 페이스트 중에서 각각 1시간 동안 측정하여 골재의 흡수율에 따른 필요 보정수량을 가수율로 도출하였다. 이러한 가수율을 바탕으로 표 4에 나타낸 35,

* 정희원, 단국대 대학원 박사과정

** 정희원, 단국대 건축대학 건축공학과 교수

40, 45%의 물시멘트비별 배합에서 굳지 않은 콘크리트의 실험 및 경화된 콘크리트 실험을 실시하였으며, 실험계획 사항은 표 1과 같다.

표 1. 실험계획

구 분		항 목	
건조골재의 함수율		수중, 페이스트 중(W/C 50%)	
배합 사항	배 합	W/C(%)	35, 40, 45
		단위수량 (kg/m ³)	170
		가수율*(%)	0, 1.8, 2.3, 2.6
		혼화제	분말혼화제
및 실험 사항	실험 항목	굳지 않은 콘크리트 실험	· 슬럼프플로우 경시변화 · 공기량 경시변화
		경화된 콘크리트 실험	· 압축강도 · 콘크리트 길이변화 · 축진 중성화 · 동결융해

2.2 사용재료

사용재료는 시멘트, 혼화제로 표 2에 나타난 관련규정에 적합한 재료를 사용하였고, 잔골재와 굵은 골재는 표 3에 나타난 물리적 성질의 것을 사용하였다. 아울러, 굵은 골재 최대치수 선정은 상품의 포장화를 고려, 포장의 체적 절감을 위하여 15mm로 설정하였다. 절건상태의 재료는 105±5℃에서 24시간 이상 향량이 될 때까지 건조된 상태를 말하며 골재의 보관은 실리카겔을 사용하여 보습을 실시하여 보관하였다.

표 2. 사용재료

	관련규정	내용
시멘트	KS L 5201	1종 보통포틀랜드 시멘트
혼화제	KS F 2560	폴리나프탈렌설포네이트계 고성능AE감수제 분말형

표 3. 잔골재와 굵은 골재의 물리적 성질

	생산지	골재 상태	최대 치수 (mm)	비중	함수율 (%)	단위용 적중량 (kg/m ³)	실적율 (%)	조립율 (%)
잔골재	인천산 세척사	표건	5.0	2.60	1.3	1,623	53.9	3.05
		절건		2.56				
경량 골재	스페인산	표건	15	0.61	8.63	598	-	5.5
		절건		0.52				

2.3 실험방법

2.3.1 절건상태 골재의 흡수특성 시험

D상태 골재의 흡수특성은 물을 부었을 때 순식간에 발생하는 것이 아니고 혼합 중이나 타설 전, 압송 중의 시간경과에 따라 나타나는 것으로 예상된다. 따라서 본 실험에서는 D상태 골재를 수중과 페이스트(W/C 50%) 중에서 시간경과에 따른 골재의 함수율 시험(KS F 2503)을 실시하였다. 페이스트중의 함수율은 (1)식과 같이 나타낼 수 있으며, W3에서 미세분말을 완전히 제거하기 위한 방법으로 흡착력이 강한 미세부직포를

사용하였다.

$$\text{페이스트중함수율}(\%) = \frac{(W_1 - W_2)}{W_3} \times 100 \quad (1)$$

- W1 : 페이스트 속에서 일정시간 담가 놓은 후 질량
- W2 : 105±5℃에서 24시간 건조 후의 질량
- W3 : W2에서 미세분말을 완전히 제거한 질량

2.3.2 시간 경과에 따른 슬럼프 플로우 시험²⁾

슬럼프플로우 시험은 SSD상태 골재를 사용한 콘크리트 및 D상태 골재를 사용한 콘크리트 배합에 함수율에 따라 도출된 가수율의 물을 혼합하고, 혼합직후와 혼합 후 10분, 30분 후의 슬럼프플로우로 시험을 하였다. 슬럼프플로우 시험은 KSF 2402 에 의거하여 실시하였다.

2.3.3 시간 경과에 따른 공기량 시험

공기량 시험은 혼합직후와 혼합 후 10, 30분 후에 측정하였으며 KSF 2421(굳지 않은 콘크리트의 압력법에 의한 공기함유량 시험 방법)에 따라 실시하였다

2.3.4 압축강도 시험

압축강도 시험은 KSF 2405에 따라 시험을 실시하였으며, 원주형 공시체를 재령 1, 7, 28일 각각 3개씩 제작하여 각각의 공시체의 압축강도를 측정하고 그 평균값을 나타내었다.

2.3.5 중성화 축진 시험

중성화 축진 시험용 공시체로는 80×80×300mm 크기의 공시체를 배합별로 각각 2개씩 사용하여 수중양생 28일 후 타설면, 양단면 및 밑면을 에폭시수지 등으로 핀홀(Pin Hole)이 없도록 씰링(Sealing)을 하였다. 또한 중성화 축진 측정기를 이용하여 온도 20±5℃, 습도55%, CO₂농도 5%로 설정하였으며 축진재령 1주부터 8주까지 1주씩 측정하였다.

2.3.6 건조수축 길이변화 시험

본 실험에서 건조수축에 의한 길이변화를 측정하기 위하여 ASTM C 531에 의거하여 종방향이 개방된 100×100×400mm의 몰드를 사용하여 콘크리트를 타설하는 동안 매립형 변형 게이지를 삽입하여 타설 후 재령 91일까지의 길이변화를 측정하였으며, 측정대기 조건은 온도 20±5℃, 습도55%의 항온항습조에서 실시하였다.

2.3.7 동결융해 저항성 시험

콘크리트의 동결융해 시험은 KSF 2456(급속 동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법) 및 ASTM C 666에 의거하여 실시하였다.

2.4 배합

본 실험의 배합은 단위수량 170kg/m³, 콘크리트의 점성에 결정적인 요소인 물시멘트비 35, 40, 45%, 잔골재율 49%를 기준

* 가수율 : D상태 골재를 이용한 콘크리트에 첨가되는 보정수로, 전체골재(잔골재+굵은골재)중량에 대한 비율

표 4. 배 합

시험체명	W/C (%)	단위수량 (kg/m³)	S/a (%)	절대용적 배합 (ℓ/m³)			단위중량 배합(kg/m³)					
				시멘트	잔골재	굵은 골재	시멘트	잔골재	굵은 골재	SP		
WC35-S0(S1)	35	170	49	154	312	324	486	811	198	0.75 (%)		
WC35-D0(D1)								799	168			
WC35-D1.8(D2)											835	204
WC35-D2.3(D3)												
WC35-D2.6(D4)	40	170	49	135	321	334	425	822	174			
WC40-S0(S2)								853	208			
WC40-D0(D5)											840	177
WC40-D1.8(D6)												
WC40-D2.3(D7)	45	170	49	120	328	341	378	840	177			
WC40-D2.6(D8)								853	208			
WC45-S0(S3)											840	177
WC45-D0(D9)												
WC45-D1.8(D10)	853	208										
WC45-D2.3(D11)			840	177								
WC45-D2.6(D12)												

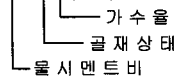
S:표건상태 골재, D:절건상태 골재, SP:고성능 AE 감수제

으로 골재상태에 따라 배합 하였으며, D상태 골재의 경우 (2), (3), (4)식에 의해 가수율 0, 1.8, 2.3, 2.6%로 구분하였다. 이에 따른 배합은 표 4와 같다. 아울러, 표 5에 각 가수율에 따른 가수량을 나타내었다.

표 5. 배합별 가수율에 따른 가수량

W/C (%)	골재중량 (kg)	가수량(kg)		
		1.8%	2.3%	2.6%
35	967	17.4	22.2	25.1
40	996	17.9	22.9	25.9
45	1017	18.3	23.4	26.4

WC00-00(00) — 시험체명



· 페이스트중 함수율에 의한 가수율: $\frac{(A \times S) + (B \times G)}{E} \times 100 = 1.8\%$
 (2) · 수중 1시간 함수율에 의한 가수율: $\frac{(A \times S) + (C \times G)}{E} \times 100 = 2.3\%$ (3)
 · 수중 24시간 함수율에 의한 가수율: $\frac{(A \times S) + (D \times G)}{E} \times 100 = 2.6\%$ (4)

- A: 잔골재 함수율(1.3%)
- B: 시멘트 페이스트 중에서 굵은골재의 1시간 함수율(4.3%)
- C: 수중에서 굵은 골재의 1시간 함수율(6.9%)
- D: 수중에서 굵은 골재의 24시간 함수율(8.63%)
- E: 잔골재와 굵은골재의 중량

2.5 콘크리트 혼합

콘크리트 혼합은 잔골재, 시멘트, 경량골재를 혼합하여 30초간 건비빔한 후 혼합수를 넣고 1분 30초간 혼합하였으며, 가수율에 따른 보정수를 다시 첨가하여 1분간 혼합한다. 따라서 혼합 직후(0분)의 콘크리트는 혼합수를 넣고 2분 30초 후로 정한다.

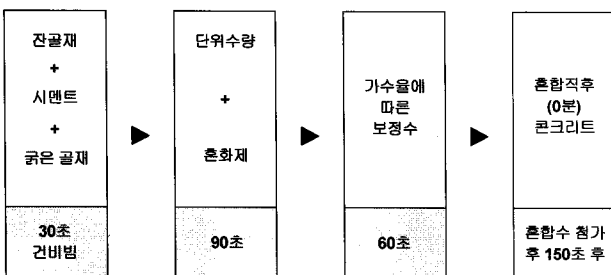


그림 1. 콘크리트 혼합 과정

3. 실험결과 및 고찰

3.1 건조 골재의 흡수특성

3.1.1 수중과 페이스트 중에서의 흡수특성

D상태의 굵은 골재에 대한 수중과 페이스트 중에서의 시간 경과에 따른 흡수특성은 그림 2와 같다. 그림에 따르면 수중과 페이스트 중에서 모두 초기에 급격하게 함수율이 증가하였으며, 이후에는 다소 완만한 경사로 증가하는 경향이 나타났다. 경과시간 60분에서의 결과를 보면 수중에서는 최대 6.9%, 페이스트 중에서는 최대 4.1%로 수중에서의 함수율 보다 페이스트 중에서의 함수율이 약 40% 낮은 결과를 나타내었는데, 이는 페이스트 중에서 골재의 흡수에 따라 페이스트가 골재 표면의 공극을 막아 드라이아웃(Dry-Out)된 페이스트의 치밀한 층이 형성되어 수분의 이동을 제한하기 때문에 나타난 현상으로 생각된다.

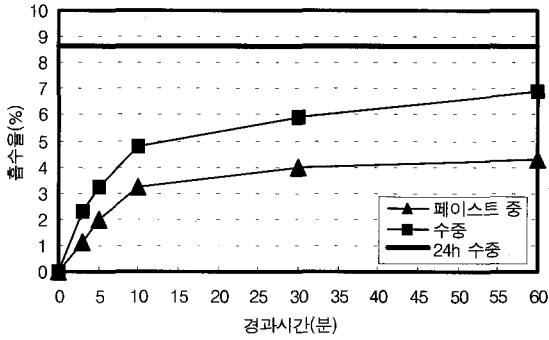
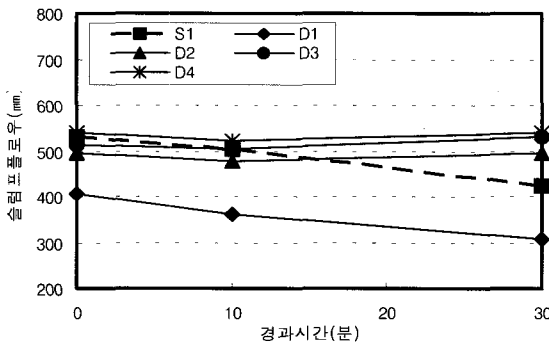


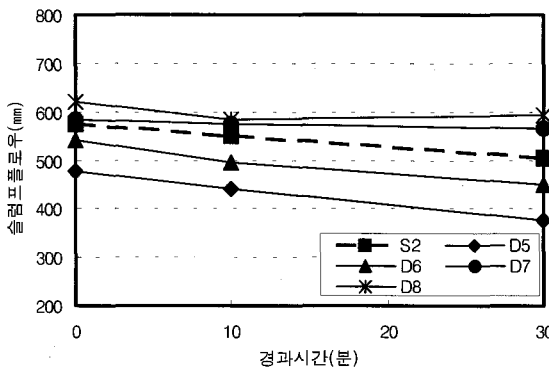
그림 2. 수중과 페이스트 중의 흡수율

3.2 시간경과에 따른 슬럼프플로우 변화

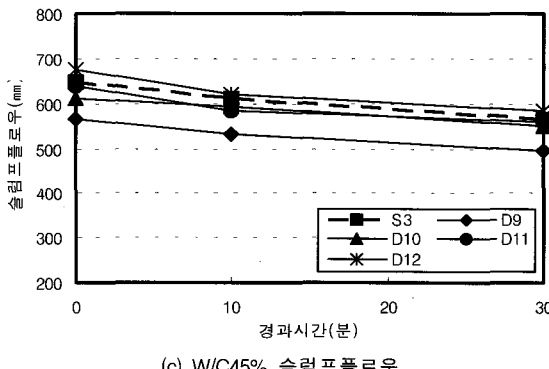
물시멘트비별 골재상태에 따른 슬럼프플로우 경시변화 결과는 그림 3과 같다.



(a) W/C35% 슬럼프플로우

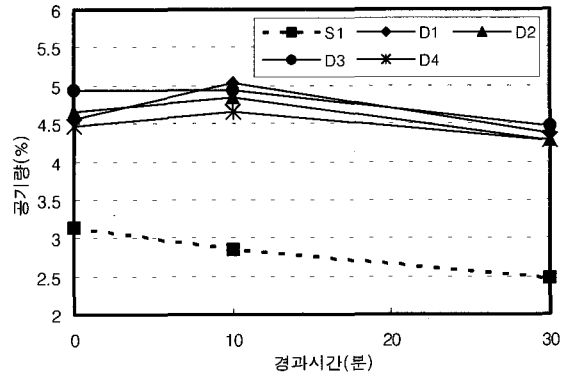


(b) W/C40% 슬럼프플로우

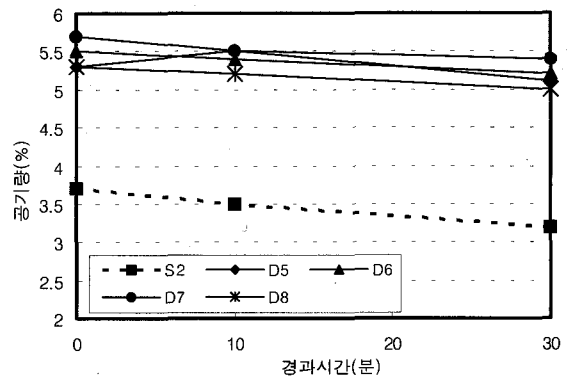


(c) W/C45% 슬럼프플로우

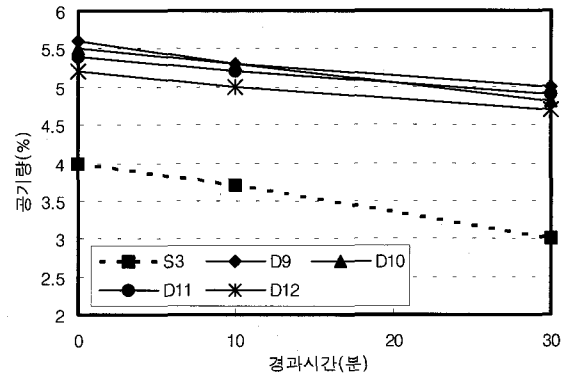
그림 3. 경시변화에 따른 슬럼프플로우



(a) W/C35% 공기량



(b) W/C40% 공기량



(c) W/C45% 공기량

그림 4. 경시변화에 따른 공기량

그림에 따르면, 모든 배합에서 SSD상태 골재를 사용한 콘크리트의 경우 시간이 경과함에 따라 슬럼프플로우 값이 감소하는 것으로 나타났다. W/C45%에서 D상태 골재를 사용한 콘크리트의 경우 SSD상태 골재를 사용한 콘크리트와 유사하게 시간이 경과함에 따라 슬럼프플로우 값이 감소하는 결과를 나타낸 반면, W/C가 비교적 낮은 35, 40%의 경우 가수율 0%를 제외한 다른 시험체에서는 시간이 경과함에 따라 슬럼프플로우 값이 일정 또는 다소 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 골재의 흡수에 의해 극히 조기에 골재 주위의 페이스트 수분이 상실됨과 동시에, 골재에 부착·고정하여 계속되는 흡수와 골재로부터의 공기배출을 방해하고 있어, 그 결과 골재의 입형이 좋아져 나타난 것으로 사료된다. 또한 시멘트 페이스트 중에서의 골재의 흡수에 의한 골재밀도의 상승에서 생기는 자중의 증

가도 경과시간에 따른 슬럼프플로우 값도 커지는 원인과 연관이 있다고 생각된다. 아울러, SSD상태 골재를 사용한 콘크리트와 가장 유사한 결과를 나타낸 가수율은 모든 배합에서 2.3%로 나타내었다.

내었다. 이는 건조골재를 사용함 따라 혼합 시 골재의 흡수에 의해 골재 내의 공기가 배출되어 나타나는 것으로 사료된다.

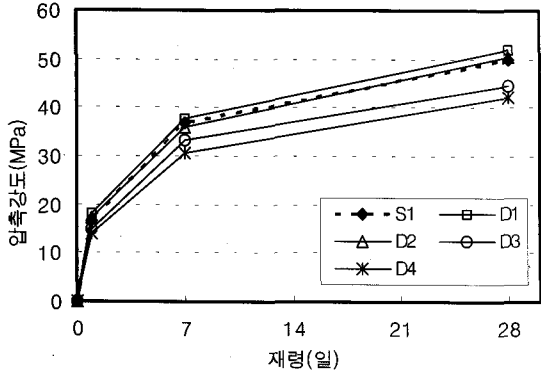
3.4 압축강도

압축강도 시험결과는 그림 5와 같다. 그림에 따르면 D상태 골재를 사용한 콘크리트는 각 배합에서 가수율 0%에서 가장 높은 압축강도가 나타났으며, 가수율 0%를 기준으로 가수율 1.8, 2.3, 2.6%에서 시멘트비별 35, 40, 45%의 압축강도가 각각 2.9, 14, 18.6%, 7.7, 17.4, 21.2%, 7.7, 18.3, 22.7%의 감소율을 나타내어 높은 물시멘트비로 갈수록 가수율 증가에 따른 압축강도 감소율이 다소 높은 것으로 나타났다. 또한 모든 배합에서 SSD상태 골재를 사용한 콘크리트와 가수율 1.8%의 압축강도가 가장 유사한 강도발현 경향을 나타내어 D상태 골재를 사용한 콘크리트의 압축강도를 고려할 때에는 가수율 1.8%를 기준으로 이 보다 낮게 설정해야 할 것으로 판단된다.

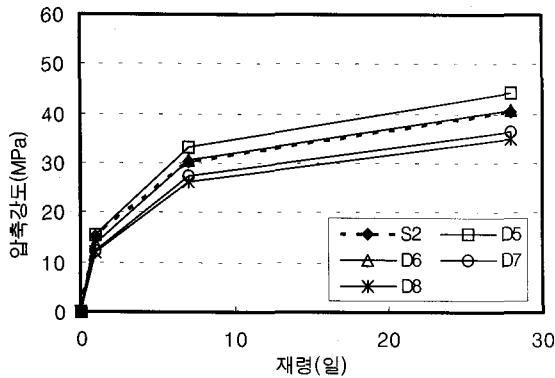
아울러, 압축강도 파괴 후 단면을 살펴보면 SSD상태 골재를 사용한 콘크리트의 경우 대부분의 파괴가 골재 자체에서 이루어진 반면, D상태 골재를 사용한 콘크리트에서는 골재 자체는 파괴 되지 않고 대부분 골재 주위의 시멘트 페이스트에서 슬라이딩 파괴, 즉 활강파괴가 나타났다. 이는 혼합시 골재가 페이스트 주위의 수분을 흡수하여 나타낸 결과로 생각된다.

3.5 축진 증성화

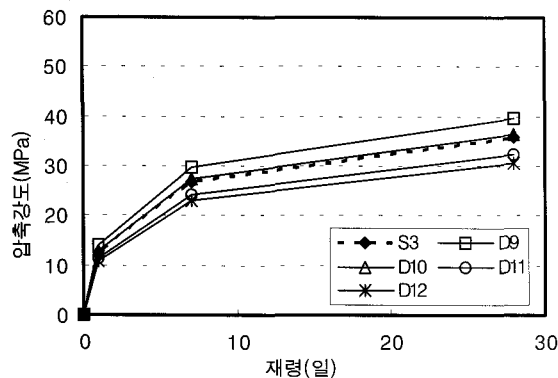
각 배합별 증성화 저항성을 실험한 결과는 그림 6과 같다. 먼저 W/C 변화에 따른 증성화 저항성의 경우 W/C 낮을수록 크게 나왔으며 가수율에 따른 증성화 저항성은 다소간의 차이는 보이지만 건조골재를 사용함에 있어 증성화에 대한 내구성의 고려는 크게 중요하지 않을 것으로 사료된다.



(a) W/C35% 압축강도



(b) W/C40% 압축강도

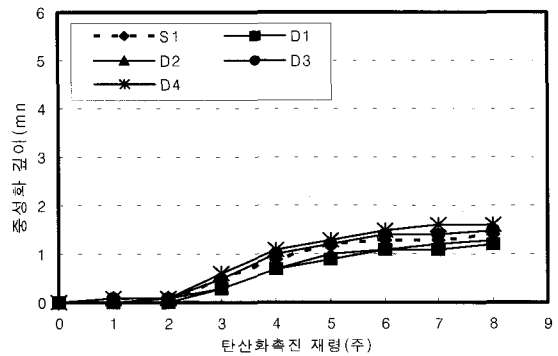


(c) W/C45% 압축강도

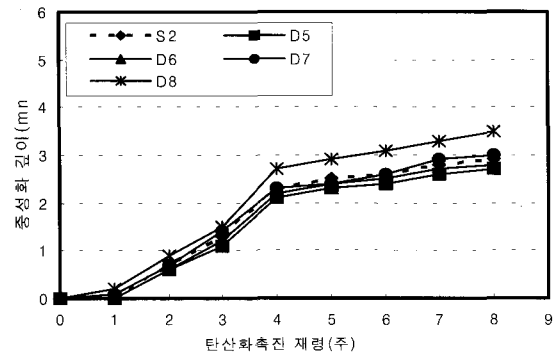
그림 5. 압축강도 시험 결과

3.3 시간경과에 따른 공기량 변화

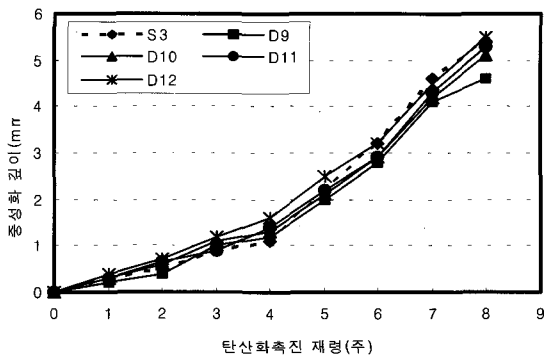
시간경과에 따른 물시멘트비별 공기량 결과는 그림 4와 같다. 그림에 따르면 W/C35%의 경우 D상태 골재를 사용한 시험체의 공기량은 경과시간 10분에서 초기 공기량 보다 일정 또는 다소 높게 나타났으며, 경과시간 10분 이후로는 낮은 W/C의 시험체와 같이 시간이 경과함에 따라 공기량이 감소하는 경향을 나타내었다. 골재 상태에 따른 공기량 변화는 모든 배합에서 SSD상태 골재를 사용한 콘크리트 보다 D상태 골재를 사용한 콘크리트에서 약 2% 이상 공기량이 상회하는 결과를 나타



(a) W/C35% 증성화 깊이

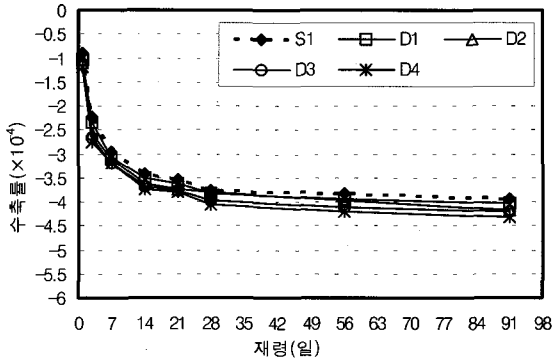


(b) W/C40% 증성화 깊이

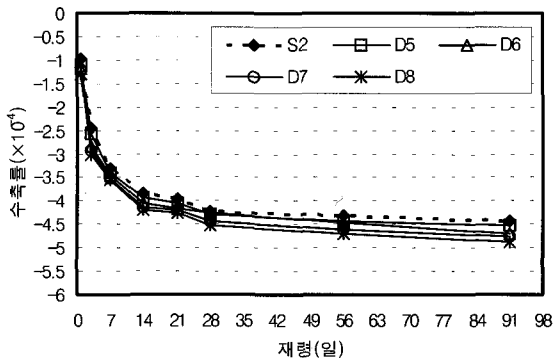


(c) W/C45% 중성화 깊이
그림 6. 축진 중성화 시험 결과

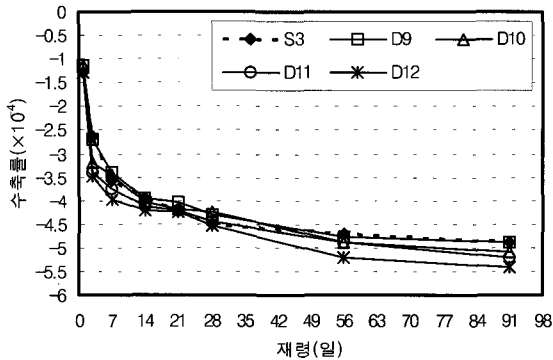
3.6 건조수축 길이변화



(a) W/C35% 건조수축 길이변화



(b) W/C40% 건조수축 길이변화



(c) W/C45% 건조수축 길이변화
그림 7. 건조수축 길이변화 시험 결과

콘크리트 건조수축 길이변화의 따른 수축률은 그림 7과 같다.

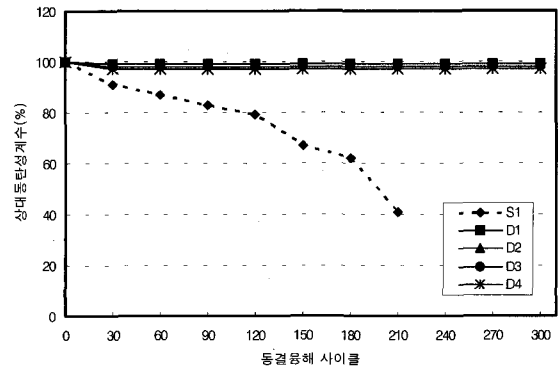
그림에 따르면 재령 91일까지 각각의 W/C별 배합에서 가수율에 따른 큰 수축 변화는 나타나지 않아, 건조골재를 사용함에 있어 건조수축에 대한 영향은 작을 것으로 사료된다.

3.7 동결융해 저항성

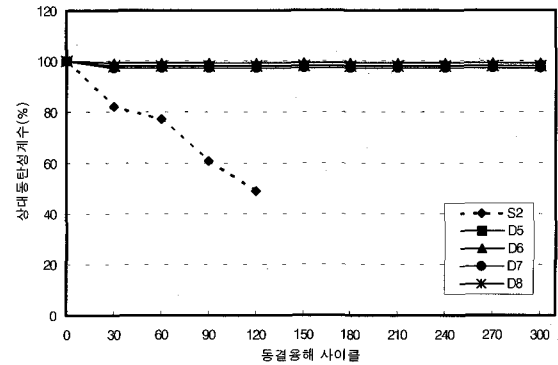
건조골재를 사용한 콘크리트의 동결융해 저항성 요인인 급속 동결융해에 따른 상대동탄성 계수는 그림 8과 같다.

그림에 따르면, W/C 35%의 경우 D상태 골재를 사용한 콘크리트는 전체 사이클 동안 상대동탄성계수를 90% 이상 확보한데 반해 SSD상태 골재를 사용한 콘크리트의 경우 콘크리트 내 구성에 영향을 미치는 정도인 상대동탄성계수 60%를 약 180사이클에서 나타났으며, 이후 210사이클에서 붕괴현상이 나타났다. W/C 40%의 경우도, D상태 골재를 사용한 콘크리트는 전체 사이클 동안 상대동탄성계수를 95%이상 확보한데 반해 SSD상태 골재를 사용한 콘크리트의 경우 90사이클에서 한계선을 하향하였으며, 약 120사이클에서 붕괴현상이 나타났다.

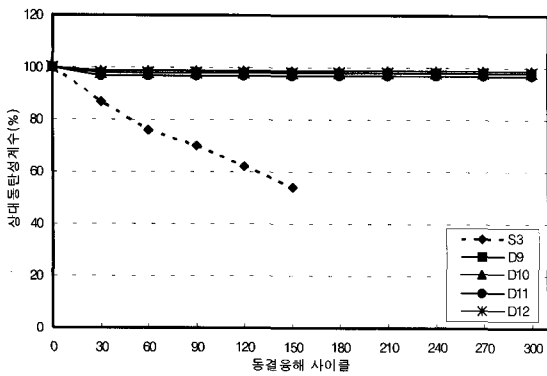
W/C 45%의 경우는 D상태 골재를 사용한 콘크리트 모두에서 상대동탄성계수 95%를 상회하였고, SSD상태 골재를 사용한 콘크리트의 경우 약 120사이클에서 한계선에 다달았으며, 이후 약 150사이클에서 붕괴현상이 나타났다. 이상의 결과로, SSD상태 골재를 사용한 콘크리트의 경우 공기량의 저하로 인하여 콘크리트 내 이동수분의 제한으로 동해에 의한 팽창압이 커져 나타난 것으로 사료된다.



(a) W/C35% 상대동탄성계수



(a) W/C40% 상대동탄성계수



(a) W/C45% 상대동탄성계수
그림 8. 동결융해 저항성 시험 결과

이에 반해 건조골재를 사용한 콘크리트의 경우 동결융해에 대한 저항성 개선의 효과가 나타났으며, 이는 건조골재를 사용함에 있어 동해에 따른 압력이 골재내부의 공극으로 완화되어 동결융해의 저항성이 향상된 것으로 사료된다.

4. 결 론

혼합 포장된 콘크리트 재료의 특성에 관한 실험적인 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) D상태 골재를 사용한 콘크리트의 유동성과 압축강도를 SSD상태 골재를 사용한 콘크리트의 것과 비교하여, 적정 가수율이 각 항목에서 상이한 결과를 나타내어 D상태 골재를 사용한 콘크리트의 유동성과 압축강도의 관계를 고려하여 적정가수율은 1.8-2.3%의 범위 내로 설정해야 가장 적절할 것으로 사료된다.
- 2) SSD상태 골재를 사용한 콘크리트 보다 D상태 골재를 사용한 콘크리트에서 약 2% 이상 공기량이 상회하는 결과를 나타내어, 공기연행 매커니즘의 차이를 확인 할 수 있었다.
- 3) 건조수축에 의한 길이변화는 골재 상태에 따른 콘크리트 모두에서 유사한 결과를 나타내어 건조수축에 의한 측면에서는 고려하지 않아도 될 것으로 판단된다.
- 4) 중성화촉진 시험 결과, 가수율에 따른 중성화 깊이는 다소간의 차이를 나타내었지만, 가수율 증가에 따라 콘크리트 내부의 거친 조직 형성에 따른 영향은 조사되지 않았다.
- 5) D상태 골재를 사용한 콘크리트의 경우 SSD상태 골재를 사용한 콘크리트 보다 동결융해에 대한 저항성 개선의 효과를 나타내어, 동결융해에 대한 내구성을 확인 할 수 있었다.

이상의 결과로, D상태 골재를 사용한 콘크리트의 경우 건조

골재의 흡수특성을 고려하여 굳지 않은 상태의 콘크리트 내부와 가장 유사한 조건에서 혼합수량이 결정된다면 그 사용 가능성은 높을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 重倉 初光 外 2人, 드라이콘크리트の研究, その 1, 日本建築學會(九州), 1998, 9 pp .1175-1181
2. 山本 住城 外 3人, 드라이콘크리트に関する研究, 日本建築學會年次論文集, Vol. 23. N0.2 2001. pp.1165-1170
3. 정상진외, "건축재료학", 보성각, 1999
4. 한천구외, "건축재료실험", 기문당, 2003
5. ASTM C 94, Standard Specification for Ready-Mixed Concrete 1998 Vol. 04.02
6. ASTM C 387, Packaged, Dry, Combined Materials for Mortar. 1989 Vol. 04.02