

시험체 형상비와 골재종류 및 배합특성에 따른 건조수축 특성평가

Drying Shrinkage Evaluation of Concretes with Various Volume-Surface Ratios, Aggregate Types and Concrete Pavement Mixes

양 성 철 Yang, Sung-Chul | 정희원 · 홍익대학교 건축공학부 교수 · 공학박사 (E-mail : scyang@hongik.ac.kr)

ABSTRACT

This study was performed to analyze test results on drying shrinkage for concrete specimens mixed with various constituents in concrete mixes. Test variables are coarse aggregate types(Limestone, Sandstone, Granite, Andesite, Gneiss), fine aggregate types(natural sand, crushed sand) and cement amounts(normal strength, high strength). Epoxy coating of(U&V-H(A,B)) was applied onto the specimen surface to simulate diverse volume surface ratios(22.2, 40, 85.7, 150, 200, 300) with different specimen sizes. The experiments had been executed during 1,014 days at a condition of 20°C and relative humidity of 60% in environmental chambers. Test results showed that shrinkage strain from the specimen equivalent to real pavement decreased to 39% compared to the standard specimen recommended by KS. Test results also showed that shrinkage strain of the specimen mixed with Limestone was 56~76% of that with Sandstone, thus Limestone mix seems to be suitable to the concrete pavement.

KEYWORDS

drying shrinkage, strain, volume-surface ratios, aggregate, coating

요지

본 연구에서는 다양한 포장용 콘크리트 배합의 건조수축 특성에 관한 실험결과를 분석하였다. 실험변수는 굵은골재의 종류(석회암, 사암, 화강암, 안산암, 편마암)와 잔골재의 종류(자연사, 부순모래) 및 콘크리트의 배합강도(보통강도, 고강도)를 달리하였다. 그리고 형상비가 22.2, 40, 85.7, 150, 200, 300을 갖도록 시편의 크기를 달리하였으며 코팅제(U&V-H(A,B))를 활용하였다. 다이얼게이지를 이용하여 항온(20°C) 항습(60%)에서 수행된 건조수축 실험은 길게는 1,014일 동안 측정하였다. KS에서 제시하는 표준시편에 비해 도로포장 모사용 슬래브 시편의 건조수축 변형률은 약 39% 감소되는 것으로 나타났다. 또한 동일한 형상비에 대해 굵은골재의 변화에 따른 건조수축 실험결과 석회암이 배합된 시편의 변형률이 사암대비 형상비별로 56~76% 범위에서 가장 낮게 측정되어 포장용 콘크리트로 사용되는데 유리할 것으로 판단된다.

핵심용어

건조수축, 변형률, 형상비, 골재, 코팅제

1. 서론

건조수축에 관한 정량화 연구는 미국의 ACI나 유럽의 CEB-FIP 등을 통해 지난 30여 년간 많은 연구가 수행되었다(ACI 209R-92, 1997; McDonald, 1993). 또한 국내에서도 과거 20여 년간 여러 연구자들에 의해 건조

수축 실험과 부등건조수축에 관한 연구를 수행해 왔다(김진근 등, 1988; 김진철, 2003; 박정우 등, 2009).

콘크리트 배합 구성요소가 건조수축에 미치는 영향에 대해서는 2000년에 조운호 등이 국내 대표적인 5종류 골재를 사용한 콘크리트 시편에 대해 콤퍼레이터 측정

방법을 사용하여 건조수축을 측정하였다(이동근, 2002; 조윤호 등, 2000). 양성철 등(2004)은 국내 콘크리트 포장의 굵은 골재 종류 및 형상비를 고려하는 실내실험을 수행하여 ACI 모델식과 CEB-FIP 모형에 대한 민감도 분석과 더불어 ACI 모델식 형태의 정량화식을 발표하였다(김연복 등, 2004; 김연복 등, 2006; 김연복 등, 2010; 양성철 등, 2004). 그리고 전범준 등은 저소음포장 공법의 일환으로 소입경 골재노출 배합의 건조수축과 일반 포장용 콘크리트의 건조수축을 비교하였다(전범준 등, 2009).

한편 최근에 국내 콘크리트 포장 재료 및 시공 등 품질에 관한 우려가 지속적으로 대두되고 있는 실정이다. 특히 지난 30여 년간 국내 고속도로 콘크리트 포장은 전체 포장의 거의 60%를 차지하고 있는 실정이었으나 최근 스펙링, 알칼리 골재 반응 등으로 조기 품질이 확보되지 못해 관리자들은 콘크리트포장의 시공 품질을 우려하고 있는 실정이다. 이러한 원인으로는 시공적인 측면과 재료적인 수급 문제 등이 있다. 특히 재료 수급 문제는 양질의 골재가 부족한 실정이다. 따라서 굵은골재로서 국내 도로포장에 주로 이용되는 화강암, 편마암, 안산암, 석회암, 사암을 안전하게 사용할 수 있는 지에 대한 연구가 필요한 시점이다. 잔골재로서 자연사에 해당되는 강사와 양질의 세척사, 개답사와 산사 이외에도

부순모래가 도로포장에 안전하게 사용될 수 있는 지에 대한 검토가 필요하다.

본 연구에서는 위에서 제기된 문제점을 감안하여 다양한 골재의 종류 및 시편의 형상비를 감안한 콘크리트 시편의 건조수축을 측정하였고 측정된 결과를 분석하여 기존에 주로 사용된 골재 이외에 새로운 골재가 포장용 콘크리트 배합에 사용될 수 있는지에 대한 가이드라인으로 제시하였다. 본 실험에서 사용된 변수로서 굵은골재는 화강암, 편마암, 안산암, 사암, 석회암이 잔골재로는 자연사와 부순모래가 사용되었고 일반배합과 고강도 배합의 시멘트량이 사용되었다.

2. 배합설계 및 시편 준비

2.1. 콘크리트 배합 설계

시멘트는 1종 보통 시멘트로 국내 S사에서 제공하는 비표면적 3,310cm²/g의 비중 3.15인 시멘트를 사용하였다. 잔골재는 표 1과 같은 비중과 흡수율의 특성을 갖는 다양한 종류의 자연사와 부순모래가 사용되었다. 자연사는 금강산 잔골재(잔골재1), 전북 남원의 강모래(잔골재2), 그리고 잔골재3이 사용되었다. 굵은골재로는 석회암, 사암, 화강암, 안산암, 편마암이 사용되었고 표 1에 비중과 흡수율을 표기하였다. 굵은골재는 대부분

표 1. 골재 특성 시험 결과

시험항목	규정치	잔골재				굵은골재				
		잔골재1	잔골재2	잔골재3	부순모래	석회암	사암	화강암	안산암	편마암
비중	2.5 이상	2.63	2.55	2.61	2.51	2.73	2.63	2.76	2.65	2.70
흡수율(%)	3.0 이하	1.52	1.98	1.02	0.91	0.46	0.91	0.77	-	0.46

표 2. 골재의 종류에 따른 콘크리트 배합설계

배합 기호	골재종류		공기량 (%)	물- 결합재비 (%)	잔골재율 (%)	단위질량(kg/m ³)					
	굵은 골재	잔골재				물	시멘트	잔골재	굵은골재	혼화 재료	
										AE표준 감수제(g)	고성능 감수제(g)
LS	석회암	잔골재1	5.0	45.7	43	144	315	822	1073	788	-
SN	사암	잔골재1	4.5	45.7	44	144	315	822	1057	788	-
GR	화강암	잔골재1	4.5	42.3	36	144	340	682	1192	510	-
GR-N	화강암	잔골재2	4.4	41.0	39	132	322	731	1162	805	-
GR-C	화강암	부순모래	4.6	41.0	41	135	329	760	1115	988	-
GR-H	화강암	잔골재2	3.5	36.0	38	135	375	694	1149	26	2063
AN	안산암	잔골재3	5.3	42.3	38	144	340	689	1147	0.2a	0.015 ^b
GN	편마암	잔골재3	5.3	42.3	38	144	340	689	1147	0.2a	0.015 ^b

a) AE 감수제(%), b) AE 원액제(%)

고속도로 건설공사에 사용되는 골재를 사용하였다. 잔골재와 굵은골재 모두 고속도로 전문시방서에서 요구되는 입도범위, 비중, 흡수율 등을 만족시켰다. 그리고 혼화제로서 AE 감수제 등이 사용되었다.

실험에 사용된 배합은 고강도 콘크리트 배합인 GR-H를 제외하고는 전문시방서 기준(슬럼프값 25mm 이하, 공기량 4~7%)를 만족시키는 범위 내에서 포장용 콘크리트 배합을 기준으로 하였으며 표 2와 같다. 표 2의 모든 배합의 굵은골재 최대치수는 32mm이며 일반 포장용 콘크리트의 시멘트량은 315~340kg/m³의 범위를 보이며 고강도 콘크리트의 경우 375kg/m³이 사용되었다.

2.2. 실험변수

표준공시체의 건조수축과 포장용 콘크리트 슬래브의 건조수축을 비교하기 위해, 시편의 형상비(Volume to Surface Ratio: V/S)를 달리하여 실험을 실시하였다. 포장용 콘크리트 슬래브의 형상비(V/S)를 모사하기 위해서 원하는 표면만으로 수분이 발산되도록 코팅제로 도포하여 다른 면에서의 수분발산을 방지하였다. 슬래브 판에서 수분방지 코팅의 실질적인 효과를 알아보기 위하여 작은 큐브에 에폭시로 도포면적을 달리하여 무게를 측정 비교하여 실험의 정확성을 알아보았다. 또한 기본적인 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험을 수행하였으며 시편의 준비 및 실험결과는 기존 자료에 수록되었다(김연복 등, 2004; 김연복 등, 2006; 김연복 등, 2010).

건조수축 실험변수는 먼저 굵은골재의 종류(석회암, 사암, 화강암, 안산암, 편마암)와 잔골재의 종류(자연사, 부순모래) 및 콘크리트의 배합강도(보통강도, 고강도)를 달리하였다. 그리고 형상비가 22.2, 40, 85.7, 150, 200, 300을 갖도록 시편의 크기를 달리하였으며 코팅제(U&V-H(A,B))를 활용하였다. 여기서 형상비(V/S)란 시편의 전체 체적 중에 건조수축이 발생하는 표면적

의 비를 의미한다. 현재 일반적으로 사용되는 콘크리트 포장슬래브의 형상비는 300mm가 된다.

2.3. 시편의 준비

본 실험에서는 KS기준에 따른 표준막대(V/S=22.2)는 물론 형상비(V/S)를 변화시켜 시편을 제작하였다. 다음 그림 1은 시편 형상비의 예를 보여준다. 형상비가 22.2mm인 공시체는 표준공시체(100×100×400)를 사용하되 코팅제를 전혀 도포하지 않은 경우이다. 형상비가 150mm와 300mm인 시편은 100×300×400의 동일한 시편을 사용하되, 형상비가 150mm인 시편은 100×400면 좌우면이 노출되어 있고 나머지 면은 코팅제를 3회 도포하였고 랩을 이용하여 3겹으로 막았다. 그리고 형상비가 300mm인 시편은 100×400면 1면만 노출시켰다. 이렇게 준비된 슬래브를 항온항습실에 보관하여 1/1000mm 정밀도까지 측정할 수 있는 다이얼 게이지를 이용하여 길이 변화를 측정하였다.

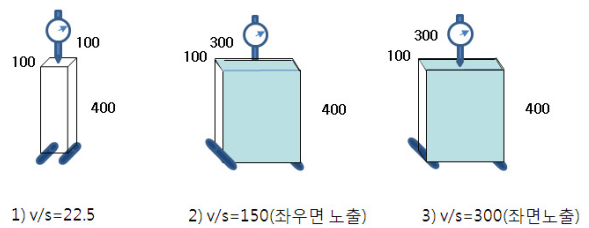


그림 1. 시편 형상비

표 3은 본 실험에서 준비한 건조수축 시편의 제원을 나타낸다. 각 시편별 형상비와 시편의 크기 및 개수를 표기하였다. V/S=22.2mm인 모든 배합별 시편에 대해서는 KS 표준시편인 100×100×400 공시체가 사용되었다. LS, SN, GR 배합에 대해서는 표준시편을 사용하여 V/S=40mm가 되도록 하였고, 100×300×400 공시체를 사용하여 V/S=80mm가 되도록 제작하였다.

표 3. 건조수축 시편의 제원

배합 기호	시편1			시편2			시편3			시편4		
	V/S	크기(cm)	개수	V/S	크기(cm)	개수	V/S	크기(cm)	개수	V/S	크기(cm)	개수
LS	22.2	10x10x40	1	40	10x10x40	1	85.7	10x30x40	1	200	10x40x60	1
SN	22.2	10x10x40	1	40	10x10x40	1	85.7	10x30x40	1	200	10x40x60	1
GR	22.2	10x10x40	1	40	10x10x40	1	85.7	10x30x40	1	300	25x30x40	1
GR-N	22.2	10x10x40	2	-	-	-	-	-	-	300	10x30x40	2
GR-C	22.2	10x10x40	2	-	-	-	-	-	-	300	10x30x40	2
GR-H	22.2	10x10x40	1	-	-	-	-	-	-	300	10x30x40	2
AN	22.2	10x10x40	2	-	-	-	150	10x30x40	1	300	10x30x40	2
GN	22.2	10x10x40	2	-	-	-	150	10x30x40	2	300	10x30x40	1

V/S=150mm인 AN, GN 시편에 대해서는 100×300×400 공시체가 사용되었다. 그리고 V/S=200mm인 LS, SN에 대해서는 100×400×600 공시체가 사용되었다. V/S=300mm인 GR 시편은 250×300×400 공시체가 사용되었고 나머지 배합에 대해서는 모두 100×300×400 공시체를 사용하여 형상비를 모사하였다. 각 변수별 시편의 개수는 표 3에서 표기한 바와 같이 1 또는 2개가 사용되었다. 또한 100×100×100mm의 작은 큐브를 제작한 후 수분 증발 면은 6, 4, 0면으로 하여, 수분 증발을 막기 위한 코팅제(U&V-H(A,B))의 실질적인 효과를 검증하고자 하였다.

그림 2는 항온실 내의 디지털 다이얼 게이지를 설치한 모습을 보여준다. 항온실의 온도는 20℃와 상대습도 60%를 목표로 항온, 항습의 시설을 사용하였다. 그림 3은 항온실 내의 재령별 온도 또는 습도 변화의 일부를 나타낸다. 온도는 목표치인 20℃를 거의 일정하게 유지하였으나 습도는 그림 3의 경우 일부 시간대에서 습도 조절이 원활치 않음을 보여주었다. 상대습도는 일부 100일 이전에 변동된 데이터를 제외하곤 대체적으로 50~70% 사이에서 변화가 있었음을 보여준다.



그림 2. 항온실 내의 다이얼게이지를 설치한 시편

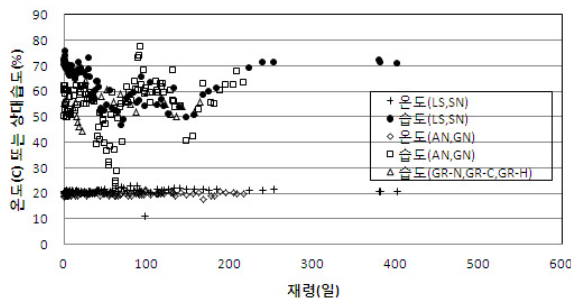


그림 3. 항온실의 온도 및 상대습도 변화

3. 실험 결과 및 분석

3.1. 기본물성 실험결과

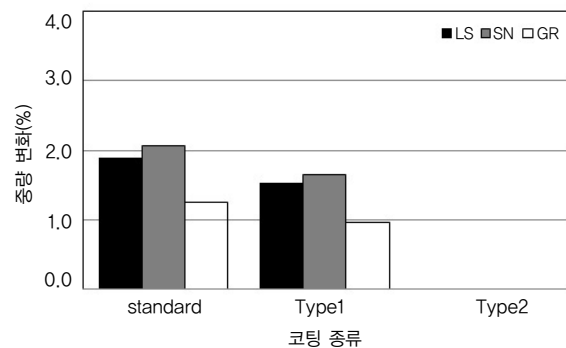
건조수축 시험에 사용된 모든 콘크리트 배합에 대한 재령 28일 압축강도 및 탄성계수 측정결과는 표 4와 같다. 모든 시편은 지름 150mm 원주형 공시체를 사용하였다. 압축강도는 AN 배합과 고강도 콘크리트 배합인 GR-H 배합을 제외하고는 약 34.5MPa의 분포를 보인다. 탄성계수도 AN 배합을 제외하고는 29.7GPa의 평균값을 보인다.

표 4. 배합별 기본물성 실험결과

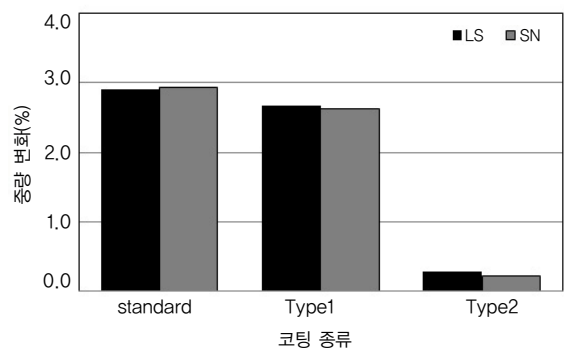
배합기호	압축강도(MPa)	탄성계수(GPa)
LS	33.0	31.4
SN	33.9	29.4
GR	34.3	27.5
GR-N	33.2	26.8
GR-C	36.6	32.3
GR-H	38.2	30.4
AN	42.1	23.3
GN	32.0	30.2

3.2. 수분방지 코팅제의 신뢰성 검증 결과

수분증발을 방지하기 위한 방편인 3종 코팅제와 랩으로 둘러싼 처리가 얼마만큼의 신뢰성을 기여할 수 있는



(a) 20일 경과



(b) 280일 경과

그림 4. 큐브 시편의 무게 측정결과

지를 알아보기 위해 LS, SN, GR 배합에 대해서 100×100×100mm의 작은 큐브 3개씩을 준비하였다. 3개의 큐브 중 하나는 코팅 처리를 전혀 하지 않은 것이고 (Standard), 다른 하나는 2면을 코팅 처리한 것이며 (Type 1), 마지막으로 하나는 6면 전체를 모두 코팅 처리한 것이다 (Type 2). 그리고 본 실험의 시편과 동일한 환경에서 보관하였다. 실험에 임할 때에 각 큐브의 무게를 측정하고, 20일이 지난 후에 다시 무게를 측정해 보았다. 그림 4(a)에서 보는 바와 같이 예상한 결과대로 전면만을 모두 코팅 처리한 Type 2의 경우 전혀 줄어들지 않았음을 알 수 있었다. 그리고 코팅 처리를 전혀 하지 않은 큐브의 측정 결과 평균 1.7% 정도의 무게 감소를 보였다. 약 280일 경과한 후의 큐브의 무게를 측정하고 결과 Standard는 평균 2.9%의 변화에 비해 Type 2는 약 0.2~0.3% 정도의 무게변화만을 보여 본 실험에서 채택한 수분방지 코팅 처리는 9개월까지는 수분증발이 억제되어 신뢰성이 있음을 알 수 있다.

3.3. 건조수축 실험 결과

본 논문에서는 정량화를 목표로 하기보다는 장기간에 측정된 건조수축변형률이 형상비나 골재에 따라 어떻게 변화하는지를 파악하는데 중점을 두었다.

3.3.1. 형상비별 건조수축 변화

1) 석회암(LS: Lime Stone)

석회암(LS)을 굵은골재로 사용한 콘크리트 시편에 대한 건조수축 변형률 결과는 다음 그림 5와 같다. 형상비가 22.2, 40, 85.7, 200인 시편 각 1개에 대한 결과이다. 그림 5에 표기된 심벌은 실험데이터를 나타내며 선으로 표기된 것은 ACI 모델식에 관한 것으로서 기존의 문헌에 수록되었다(김연복 등, 2004; 양성철 등, 2004).

371일 재령에 표준시편(V/S=22.2)의 결과(543 μ)와

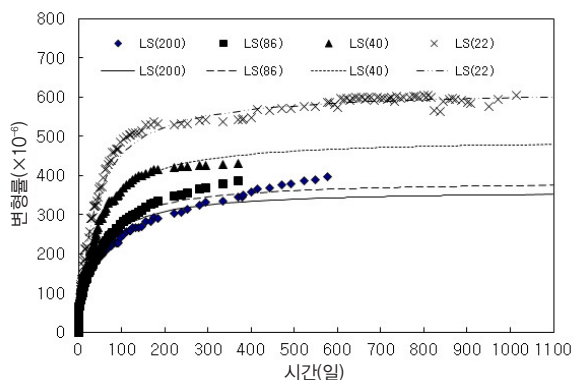


그림 5. 석회암(LS) 배합의 형상비별 건조수축 변형률 결과

비교하면 V/S=40인 경우 변형률 430 μ 로서 79%이며 V/S=85.7은 변형률 385 μ 로서 71%이고 V/S=200은 345 μ 로서 표준시편 대비 64%의 변형률이 작아지는 결과를 보여준다. 이러한 형상비에 따른 건조수축 경향은 기존의 연구자들의 논문에서도 확인이 되었다(양성철 등, 2004; Burnham et al, 2001).

2) 사암(SN: Sandstone)

사암(SN)을 굵은골재로 사용한 콘크리트 시편에 대한 건조수축 변형률 결과는 다음 그림 6과 같다. 석회암에 서와 같이 형상비가 22.2, 40, 85.7, 200인 시편 각 1개에 대한 결과이다.

V/S=22.2인 표준시편은 167일 이후에 변형률의 증가가 V/S=85.7과 200인 시편에 비해 둔화되는 모습을 보인다. 이는 그림 3의 습도의 변화를 살펴보면 126일~167일 사이에 상대습도가 오히려 목표치인 60%를 하향하는 50~60%를 보인 것에 비추어볼 때, 측정오차로 여겨진다. 아마도 다른 외부 요인에 의해 다이얼게이지가 약간 움직여진 것으로 이해된다. 그림 5에서도 그림 6만큼은 아니지만 비슷한 현상이 일어난다.

LS 시편과 마찬가지로 371일 재령에 표준시편 (V/S=22.2)의 결과(840 μ)와 비교하면 V/S=40인 경우 변형률 783 μ 로서 93%이며 V/S=85.7은 변형률 580 μ 로서 69%이고 V/S=200은 458 μ 로서 표준시편 대비 54%의 변형률의 결과를 보여준다.

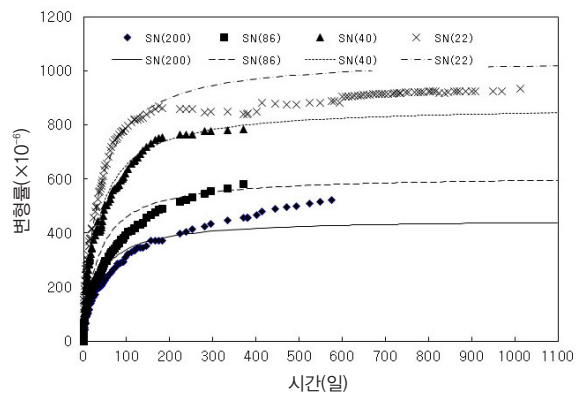


그림 6. 사암(SN) 배합의 형상비별 건조수축 변형률 결과

3) 화강암(GR: Granite)

화강암(GR)을 굵은골재로 사용한 콘크리트 시편에 대한 건조수축 변형률 결과는 다음 그림 7과 같다. 시험기간은 187일 재령까지 측정하고 V/S=22.2인 시편에 대해서만 625일까지 측정하였고 그 측정값은 720 μ 이었다.

GR 시편은 LS, SN 시편과 비교해보면 형상비에 따

른 결과의 대비가 뚜렷하지 못한 것으로 나타났다. 시편도 V/S=300을 제외하고는 LS나 SN 시편과 동일한 형상비의 시편을 통해 측정된 결과이다. GR 시편은 제작되는 과정에서 도포나 계측되는 항온실의 영향을 받은 것으로 추측된다.

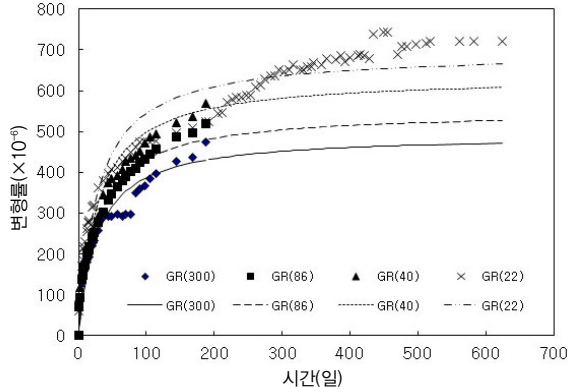


그림 7. 화강암(GR) 배합의 형상비별 건조수축 변형률 결과

4) 화강암(GR-N, GR-C, GR-H)

기본 화강암 배합(GR-N)에 비해 GR-C와 GR-H 시편의 건조수축 실험결과는 그림 8과 같다. 491일에서의 GR-N의 경우 표준시편(V/S=22.2)의 변형률(694 μ)에 비해 V/S=300인 경우 440 μ 로서 63%로 나타났다. GR-C 시편은 표준시편의 변형률(853 μ)에 비해 553 μ 로서 65%로 나타났다. GR-H 시편의 경우 표준시편의 변형률(678 μ)에 비해 V/S=300인 경우 554 μ 로서 82%로 나타났다. 고강도 콘크리트의 경우는 형상비에 따른 차이가 크게 나타나지 않았다.

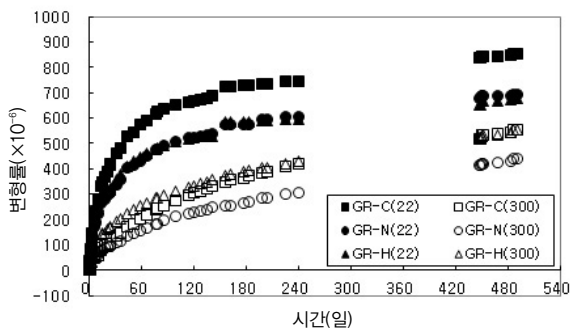


그림 8. 화강암(GR-N, GR-C, GR-H) 배합의 형상비별 건조수축 변형률 결과

5) 편마암(GN: Gneiss)

편마암(GN)을 굵은골재로 사용한 콘크리트 시편에 대한 건조수축 변형률 결과는 다음 그림 9와 같다. 형상비가 22.2, 150, 200인 경우 각각 2개, 1개, 2개의 평균값에 대한 결과이다.

에 대한 결과이다. 216일 재령에 표준시편(V/S=22.2)의 결과(816 μ)와 비교하면 V/S=150인 경우 변형률 510 μ 로서 62%이며 V/S=300은 변형률 344 μ 로서 표준시편 대비 42%의 변형률의 결과를 보여준다.

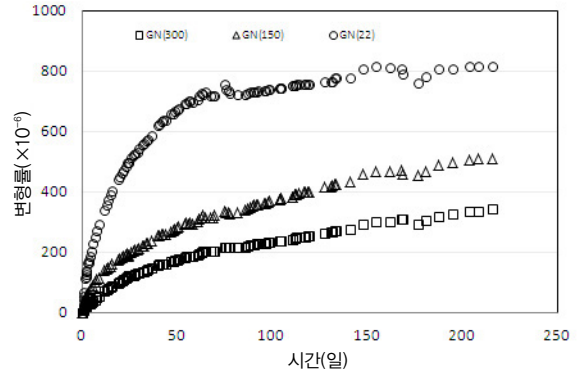


그림 9. 편마암(GN) 배합의 형상비별 건조수축 변형률 결과

6) 안산암(Andesite)

안산암(AN)을 굵은골재로 사용한 콘크리트 시편에 대한 건조수축 변형률 결과는 다음 그림 10과 같다. 형상비가 22.2, 150, 200인 경우 각각 2개, 2개, 1개의 평균값에 대한 결과이다. 216일 재령에서 표준시편(V/S=22.2)의 결과(778 μ)와 비교하면 V/S=150인 경우 변형률 532 μ 로서 68%이며 V/S=300은 변형률 452 μ 로서 표준시편 대비 58%의 변형률의 결과를 보여준다.

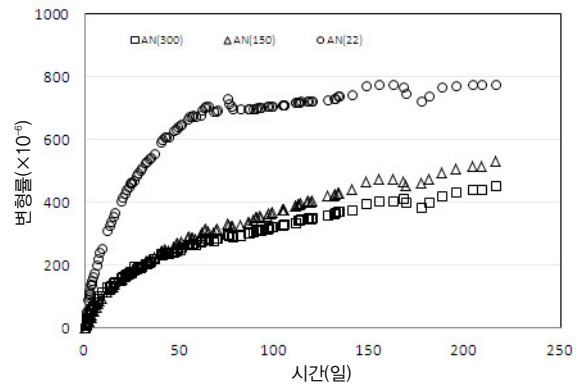


그림 10. 안산암(AN) 배합의 형상비별 건조수축 변형률 결과

표 5에는 표준시편과 V/S=200 또는 300인 경우의 건조수축 변형률의 결과를 재구성하였다. 각각의 데이터가 비교된 재령은 앞서 언급한 바와 같이 서로 다르지만 표 5의 변형률의 비로 보아 KS 표준시편을 사용한 건조수축 측정방법은 콘크리트 포장의 건조수축량을 과대평가하는 것으로 나타났다. 표 5의 결과에서 GR의 경우 계측상의 오차를 포함하고 있을 가능성을 앞서 언

급하였고 이를 제외한 나머지 7개 배합의 건조수축 변형률 비의 측정 결과 표준시편 대비 61% 수준(즉 39% 감소됨)으로 나타나 형상비에 따른 건조수축 변형률의 차이를 입증해 준다.

표 5. 배합별 표준시편 대비 건조수축 변형률 비

배합기호	건조수축 변형률(μ)		변형률 비(%)
	V/S=22.2 (1)	V/S=200 또는 300 (2)	
LS	543	345	64
SN	840	458	54
GR	525	473	91
GR-N	694	440	63
GR-C	853	553	65
GR-H	678	554	82
GN	816	344	42
AN	778	452	58

3.3.2. 굵은골재의 변화

1) V/S=22인 경우

그림 11에는 표준시편(V/S=22.2)인 경우 굵은골재별 건조수축 변형률 결과를 나타냈다. 그림 11에서는 GR(22ave)는 GR과 GR-N의 평균값을 적용하였다. SN 시편의 1,014일에서의 변형률이 887 μ 에 비해 LS의 변형률은 605 μ 로서 68% 수준으로 나타났다. 그림 11의 5가지 경우를 216일 재령에서 비교하면, SN의 값 858 μ 에 비해 GN은 816 μ , 95%, AN은 778 μ , 91% GR(22ave)는 587 μ , 68%, LS는 530 μ , 62%로 나타났다.

전체적으로 석회암(LS)의 건조수축이 제일 작게 측정되었다. 사암(SN)의 경우 표 4의 강도나 탄성계수가 다른 시편과 별 차이가 없고 표 1의 골재특성 평가 결과 비

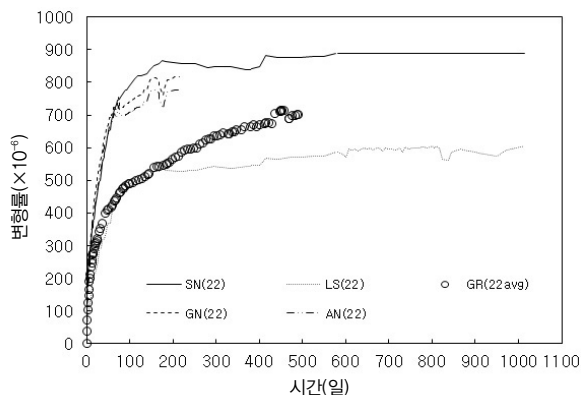


그림 11. 표준시편(V/S=22.2)인 경우 굵은골재별 건조수축 변형률 결과

중 2.63, 흡수율 0.91%로서 다른 배합에 비해 비중이 작고 흡수율이 커서 건조수축에 영향을 주는 것으로 파악된다. 조윤호 등(이동근, 2002; 조윤호 등, 2000)이 수행한 골재 배합별 콘크리트 시편의 건조수축 측정결과 사암을 사용한 시편의 건조수축이 제일 크게 측정되었고 나머지는 유사한 것으로 보고되었다(양성철 등, 2004).

2) V/S=40인 경우

그림 12에는 형상비 40인 경우 굵은골재별 건조수축 변형률 결과를 나타냈다. 187일에서의 변형률을 비교해 보면 SN의 값 753 μ 에 비해 GR은 570 μ 로서 76%, LS는 415 μ 로서 55% 수준을 나타내어 굵은골재별로 변형률의 차이가 매우 큼을 알 수 있다.

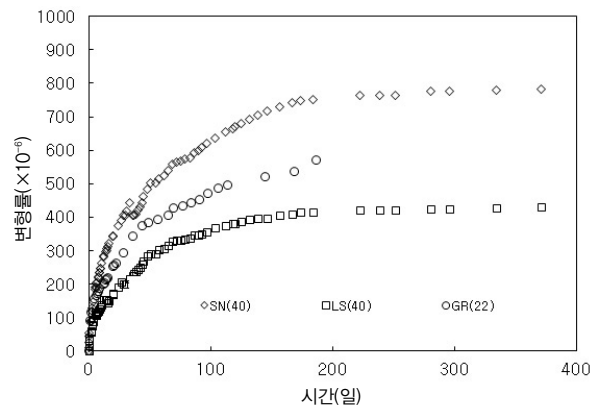


그림 12. V/S=40인 경우 굵은골재별 건조수축 변형률 결과

3) V/S=85.7인 경우

그림 13에는 V/S=85.7인 경우 굵은골재별 건조수축 변형률 결과를 나타냈다. 187일에서의 변형률을 비교해 보면 SN의 값 488 μ 에 비해 GR은 520 μ 로서 7% 증가되었으며, LS는 333 μ 로서 68% 수준을 나타내었다.

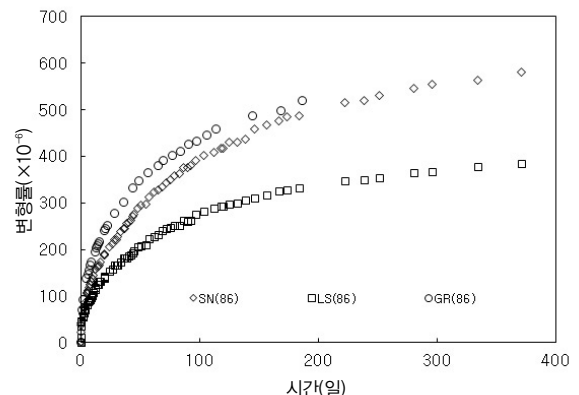


그림 13. V/S=85.7인 경우 굵은골재별 건조수축 변형률 결과

4) V/S=150인 경우

그림 14에는 V/S=150인 경우 굵은골재별 건조수축 변형률 결과를 나타냈다. GN과 AN의 값이 거의 동일한 것으로 나타났다.

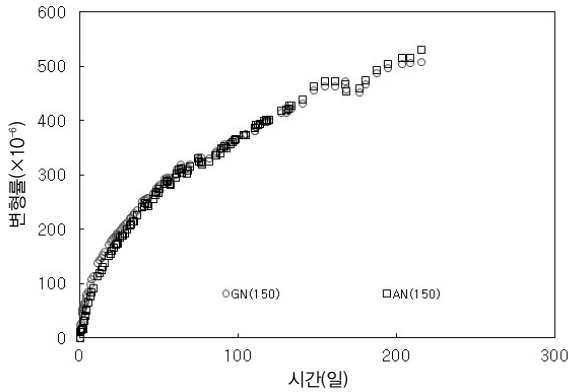


그림 14. V/S=150인 경우 굵은골재별 건조수축 변형률 결과

5) V/S=200~300인 경우

그림 15에는 V/S=200 또는 300인 경우 굵은골재별 건조수축 변형률 결과를 나타냈다. 동일한 조건에서 측정된 SN 시편의 576일 재령에서의 변형률이 520 μ 에 비해 LS의 변형률은 395 μ 로서 76% 수준으로 나타났다.

그림 15의 5종류의 골재를 사용한 콘크리트 배합조건을 169일 재령에서 비교하면, SN의 값 373 μ 에 비해 AN은 400 μ , 7% 상회, GN은 310 μ , 83% 수준, GR(300ave)은 348 μ , 93% 수준, LS는 283 μ , 76% 수준으로 평가되었다.

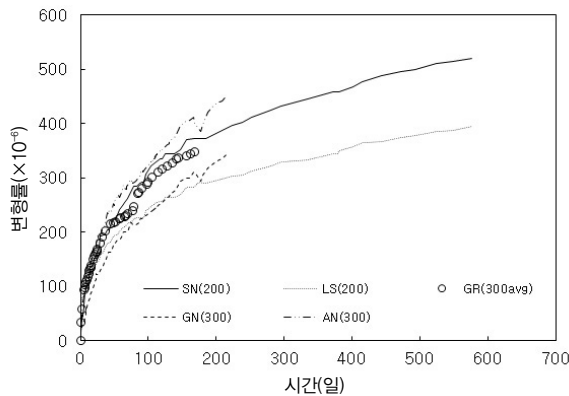


그림 15. V/S=200 또는 300인 경우 굵은골재별 건조수축 변형률 결과

V/S의 변화에 따라 굵은골재별로 건조수축 변형률을 비교 분석하였다. V/S가 22.2, 40, 85.7, 200인 경우는 V/S=85.7의 GR의 경우를 제외하고는 SN의 변형률이 매우 높게 그리고 LS의 변형률이 가장 낮은 수준으로 나

타났다. V/S=22.2, 150, 300인 경우에 AN과 GN, GR을 비교해보면 경향이 일정하지는 않은 것으로 나타났다.

표 6. 배합별 표준시편 대비 건조수축 변형률 비

V/S	건조수축 변형률(μ)					SN 또는 AN 대비 비율(%)				
	SN	LS	GR	GN	AN	SN	LS	GR	GN	AN
22.2	858	530	587 ^{a)}	816	778	100	62	68	95	91
40	753	415	570	-	-	100	55	76	-	-
85.7	488	333	520	-	-	100	68	107	-	-
150	-	-	-	509	531	-	-	-	96	100
200	520	395	-	-	-	100	76	-	-	-
300	-	-	348	310	400	-	-	87	78	100

a) GR(22ave)

3.3.3. 잔골재의 변화

그림 16은 굵은골재를 화강암(GR)을 사용하였고 잔골재로서 자연사와 부순모래를 사용한 경우에 대한 건조수축 측정 결과이다. 자연사를 사용한 배합은 GR과 GR-N의 평균값을 사용하였고 V/S=22.2인 경우 GR(22avg)와 V/S=300인 경우 GR(300avg)로 표기하였다. 따라서 GR(22avg)와 GR(300avg)는 각각 3개 시편의 평균치이다. 491일 재령에서 GR(22avg)는 702 μ 대비 GR-C(22)는 853 μ 이므로 22% 증가된 변형률의 차이를 보인다.

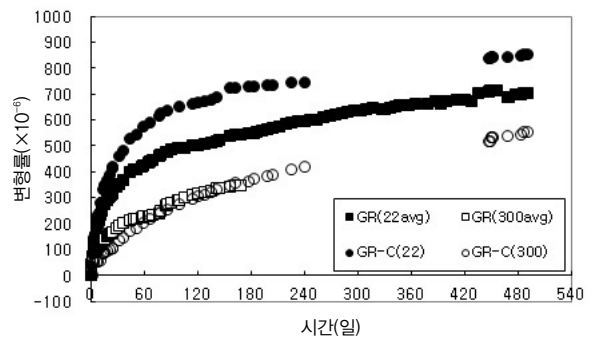


그림 16. 잔골재별 종류에 따른 건조수축 변형률 결과

3.3.4. 시멘트량의 변화

ACI 모델식에서는 시멘트량(c , kg/m^3)의 보정계수인 $\gamma_{ac}=0.75+0.00061c$ 을 사용한다. GR(22avg)는 배합표에 의해 평균 331 kg/m^3 의 시멘트가 사용되었고 GR-H는 375 kg/m^3 이 사용되어서 위의 보정계수에 의해 시멘트량(c)이 많은 GR-H의 경우가 2.8% 더 크게 예측이 된다. 실험에서는 그림 17에 의하면 491일 재령에서 GR(22avg)가 702 μ 에 비해 GR-H(22)는 678 μ 로서 3.5% 작게 측정되었다. 169일 재령에서는 GR(300avg)

의 348 μ 에 비해 GR-H(300)는 376 μ 로서 8% 크게 측정되었다. 그러나 전반적으로 그림 17의 경향은 시멘트량의 변화에 의한 건조수축의 차이는 골재의 영향이나 형상비의 영향에 비해 미미한 것으로 나타났다.

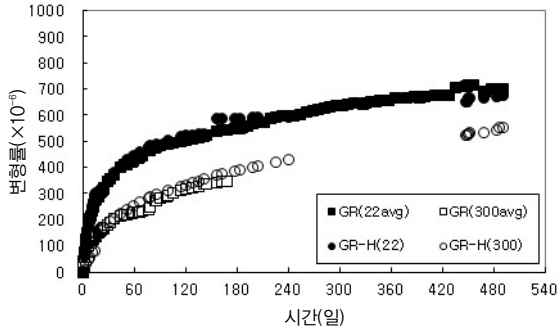


그림 17. 시멘트량에 따른 건조수축 변형률 결과

4. 결론

다양한 골재의 종류, 시멘트량 및 시편의 형상비를 감안한 콘크리트 시편의 건조수축변형률을 길게는 1,014일까지 측정하였고 그 결과는 다음과 같다. 일반적으로 시편의 개수는 3개 이상이 사용되지만 본 연구에서는 형상비의 특성 및 오차를 감안하여 변수당 최종 1~2개의 시편의 결과만 사용되었다. 또한 본 실험에서 채택한 비대칭의 노출면으로 인해 발생가능한 부등 건조수축의 영향은 고려되지 않았다.

1. 큐브 시편에 수분증발을 방지하기 위해 3회의 코팅제 처리 및 랩 처리 280일 경과 후에 시편의 무게를 측정된 결과 표준시편은 평균 2.9%의 무게변화에 비해 평균 0.25%에 그쳐 본 실험에서 모사한 형상비 실험이 타당함을 보여준다.
2. 표준시편(100×100×400, V/S=22.2) 대비 도로포장 모사용 슬래브 시편(V/S=300 또는 200)의 건조수축변형률은 약 39% 감소되는 것으로 나타났다. 따라서 포장용 콘크리트 슬래브의 건조수축을 측정하려면 표준시편을 사용하는 대신 코팅제를 사용하여 모사된 V/S=300의 시편 사용을 추천한다.
3. 동일한 형상비에 대해 굵은골재의 변화에 따른 건조수축 실험 결과 사암이 배합된 시편의 변형률이 다른 골재보다 현격하게 높게 측정되었다. 또한 석회암이 배합된 시편의 변형률이 사암대비 형상비별로 56~76% 범위에서 가장 낮게 측정되었다.
4. 본 실험조건에서는 단위 시멘트량(331kg/m³,

375kg/m³)의 차이는 골재 종류 등 다른 변수에 비해 영향이 작은 것을 확인하였다.

감사의 글

이 논문은 2009학년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

한국고속도로공사(2009), *고속도로 전문시방서*

김연복 등(2004), "한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선 방안 연구: 콘크리트 포장 설계법 개발," 1단계 3차년도 최종보고서, 건설교통부

김연복 등(2006), "한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선 방안 연구: 설계입력 변수 정량화," 2단계 2차년도 최종 보고서, 건설교통부

김연복 등(2010), "한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선 방안 연구: 설계입력 변수 정량화," 3단계 2차년도 최종 보고서, 국토해양부

김진근, 양은익, 권국현(1988), "콘크리트 건조수축에 관한 실험과 통계적 예측," *대한건축학회논문집*, 제4권 제3호, pp.131-139

김진철(2003), "콘크리트의 건조수축 메커니즘과 예측모델," *도로포장공학회지*, 제5권 제3호, pp.32-41

박정우, 정영도, 임진선, 정진훈, "콘크리트 슬래브 건조수축 응력 감소에 관한 초기 연구," *한국도로학회논문집*, 2009 11권 4호, pp.87-94

양성철, 권수안, 임유진(2010), "재령에 따른 포장용 콘크리트의 강도특성 예측식 개발," *한국방재학회논문집*, 제10권 제6호, pp.35-43

양성철, 안남식, 최동욱, 강승민(2004), "형상비 및 골재의 종류에 따른 콘크리트 시편의 건조수축특성 연구," *한국도로학회 논문집*, 제6권 제4호, pp. 109-121

이동근(2002), "골재종류에 따른 CRCP 콘크리트 포장의 건조수축 특성연구," 석사학위논문, 중앙대학교

전범준, 이승우, 채성욱, 배재민 (2009), "소입경 골재노출콘크리트포장의 환경하중 저항성에 대한 연구," *한국도로학회 논문집*, 11권 2호, pp.99-109

조윤호 등(2000), "콘크리트 포장의 잔존수명 추정을 위한 기초물성연구," *한국도로공사 연구보고서*, 한국도로공사

ACI 209R-92(1997), "*Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures*," pp.1-47

McDonald, D.(1993), "Development of a simplified Code Procedure for the Prediction of Shrinkage and Creep," *Creep and Shrinkage of Concrete, Proceedings of the Fifth International Symposium, Barcelona, Spain*, pp. 637-647

(접수일 : 2011. 12. 9 / 심사일 : 2011. 12. 26 / 심사완료일 : 2012. 1. 31)