

초경량골재를 이용한 콘크리트의 건조수축 및 흡수특성에 관한 고찰

이 중 열 ((주)정우소재 기술고문)

(번역자 註) 최근 고강도화 기술이 발전함에 따라, 각국에서는 지역마다 랜드마크로 불리는 건축물들이 자주 등장하는 것을 문헌을 통하여 자주 접한다. 또한 건축물의 거대화·고층화에 따라, 합리적인 설계를 가능하게 하는 콘크리트의 경량화가 새로운 과제로 주목을 받고 있다. 초경량 콘크리트 구조물을 실용화 할 수 있으면 상부구조의 경량화, 지진하중의 저감, 건설기계의 생력화, 기초 부담의 저감 및 기초의 경량화 등에 따라 건설콘스트·에너지 전체의 저감에도 큰 효과가 기대되기 때문이다. 국내에도 경량골재에 대한 제도가 간헐적으로 계속되어 오고 있다. 특징을 보면 산업부산물을 이용한 친환경소재, 에너지 절감, 흡수율 등을 대폭적으로 낮추었다고 소개되고 있는 반면, 비중을 초경량화한 경우는 거의 없다. 따라서, 본 검토는 절건비중이 1.0 미만인 초경량골재를 사용한 경우로, 비록 실험실적 결과이지만, 쉽게 접할 수 있는 제품이 아닌 것 같아 아소(麻生)공과대학 미즈다(水田)교수의 논문을 소개하는 것이고, 콘크리트테크노 2009년 1월에 게재된 문헌을 요약 발췌한 것임을 밝혀둔다.

1. 서 론

최근, 고강도화 기술의 발전에 따라, 설계기준 강도 60Mpa를 넘는 콘크리트들이 실용화가 진행되고 있어, 현재는 150Mpa급의 콘크리트를 이용한 초고층건축물의 시공이 가능하게 되었다. 한편, 건축물의 거대화·고층화에 따라, 합리적인 설계를 가능하게 하는 콘크리트의 경량화

가 새로운 과제로 주목을 받게 되었다. 초경량 콘크리트 구조물을 실용화 할 수 있으면 상부구조의 경량화, 지진하중의 저감, 건설기계의 생력화, 기초 부담의 저감 및 기초의 경량화 등에 따라 건설콘크리트·에너지 전체의 저감에도 큰 효과가 기대된다. 특히 앞으로는 콘크리트의 요구성능의 다양화나 설계·시공의 합리화에 따라 코스트 저감과 병행해서, 국내의 골재사정의 악화, 폐기

〈표-1〉 사용재료

종 류	기 호	물성/성분
시멘트	C	보통포틀랜드시멘트 : 비중 : 3.15, 비표면적 : 3410cm ² /g
실리카흙	SF	비중 : 2.35, 비표면적 : 14.1m ² /g
세골재	S	표건비중 : 2.54, 흡수율 : 2.3%
경량골재	SLS I	절건비중 : 0.72, 입경 : 0.3 ~ 1.2mm
	SLS II	절건비중 : 0.65, 입경 : 1.2 ~ 2.5mm
	SLS III	절건비중 : 0.61, 입경 : 2.5 ~ 5.0mm
	LS	절건비중 : 1.65
조골재	G	최대치수 : 20mm, 표건비중 : 2.60, 흡수율 : 1.47%
경량조골재	SLG	최대치수 : 15mm, 절건비중 : 0.9
	LG	최대치수 : 15mm, 절건비중 : 1.29
고성능 AE 감수제	SP	주성분 : 폴리카르본산계

물의 재자원화에 의한 환경부하의 저감, 省자원이거나 省에너지의 관점에서 보다 더 인공경량골재의 요청은 강하게 요구될 것이라고 기대된다. 이와 같은 상황에서 경량골재를 이용한 연구는 오래 전부터 상당수의 논문들이 보고되고 있고, 수많은 데이터가 축적되어 있지만, 최근에는 고강도화, 초경량화에 초점을 둔 연구도 많이 진행되고 있다. 타치바나(橘) 등은 종래의 인공경량골재에 비해 강도가 높고, 흡수율이 작은 고성능 경량골재를 이용하여, 압축강도 100Mpa 정도의 고강도 경량콘크리트를 제조할 수 있는 것을 확인하였고, 또한 塩田 등은 콘크리트의 경량화에 관해서, 절건비중 1.0 이하의 인공경량골재를 이용하여 후레쉬 및 경화콘크리트의 제반 특성에 대해서도 연구를 하였다. 그러나 절건비중 1.0 이하의 초경량골재를 대상으로 한 인공경량골재 콘크리트의 건조수축이나 흡수특성 등의 물리적 특성에 관한 기초 데이터는 매우 적으며, 현재까지도 충분한 검토가 되고 있지 않은 상황이다. 따라서, 본 보고서에서는 절건비중 1.0 이하의 인공경량골재를 이용하여 제작한 초경량골재콘크리트의 경화 후의 물리적 특성에 대해서 파악하는 것을 목적으로, 초경량골재의 성질이 콘크리

트의 건조수축 및 흡수특성에 미치는 영향에 대하여, 저자 등이 수행한 실험내용들을 소개하고자 한다.

2. 실험개요

가. 사용재료

실험에 사용한 사용재료의 특성들을 〈표-1〉에 나타내었다. 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트, 혼화제로는 실리카흙을 사용하였고, 화학혼화제로는 폴리카르본산계의 고성능 AE 감수제를 사용하였다. 세골재는 혈암을 원료로 한 절건비중 0.61~0.72의 입경이 다른 3종류의 초경량세골재를 사용했다. 또한 초경량세골재와의 비교를 위하여 보통세골재(안산암계 쇄사)와 절건비중 1.65의 경량세골재를 사용했다. 조골재에는 혈암을 미분쇄해서 발포제를 혼입한 후에 조립하여, 고온 소성한 절건비중 0.9의 초경량조골재를 사용했다. 또한 초경량조골재와의 비교를 위하여 보통조골재(안산암계 쇄석)와 절건비중 1.29의 경량조골재를 사용했고, 배합 혼련수로는 상수도 물을 사용했다.

〈표-2〉 콘크리트 배합

종 류	비중	W/(C+SF) (%)	단위재료량(kg/m ³)											
			W	C	SF	S	SLS I	SLS II	SLS III	LS	G	SLG	LG	SP
초경량 콘크리트 I	0.95	35	119	309	31	0	187.6	187.6	93.8	0	0	57	0	3.4
초경량 콘크리트 II	1.1	35	137	355	35	0	125.2	125.2	62.6	0	0	227	0	4.1
초경량 콘크리트 III	1.2	35	154	400	40	0	158.8	158.8	79.4	0	0	158	0	4.4
경량 콘크리트	1.6	35	154	400	40	0	0	0	0	371	0	0	569	4.4
보통 콘크리트	2.4	35	154	400	40	585	0	0	0	0	1,147	0	0	4.4

나. 콘크리트의 배합과 혼합방법

콘크리트 배합은 〈표-2〉에 나타내었다. 이 배합은 절건비중이 각각 0.95(초경량콘크리트 I: 이하 SLC I), 1.1(초경량콘크리트 II:이하 SLC II), 1.2(초경량콘크리트 III:이하 SLC III), 1.6(경량콘크리트:이하 LC로 칭함) 및 2.4(보통콘크리트:이하 PC로 칭함)가 되도록 단위수량, 단위 시멘트량, 물 결합재비 및 세골재율을 정한 것이다. 또한, SLC I의 단위 조골재량은, 워커빌리티 확보 범위 내에서 최밀충전성을 고려해서, 입경이 다른 SLS I, SLS II 및 SLS III의 3종류의 초경량세골재를 시험믹싱에 의해 배합을 결정하였다. 또한 골재의 함수상태는 표건상태로 사용했다. 콘크리트의 믹싱방법은, 용량 100ℓ의 1

축 강제식믹서를 사용했다. 세골재(경량세골재 포함) 및 조골재(경량조골재 포함)를 30초간 교반한 후 실리카흙을 투입 30초, 그 후에 시멘트를 투입하여 60초간 빈 혼합을 하였다. 다음에는 물을 투입해서 5분간 본 혼합을 하였다. 마지막으로 고성능 AE감수제를 첨가하여 2분간 혼합을 하였다. 제작한 콘크리트는 40×40×160 mm의 3연식 몰드에 타설했다. 그리고, 〈표-3〉에 재령 28일에서 사용콘크리트의 역학적 성질들을 나타내었다.

다. 시험방법

(1) 건조수축시험

건조수축은, 콤파레이타 측정법을 이용해서

〈표-3〉 콘크리트의 역학적 특성

종 류	비 중	압축강도(MPa)	영계수(GPa)	비강도(MPa)	최대압축 굴곡(μ)	인장강도(MPa)
SLC I	0.93	9.3	6.7	10.0	1,288	0.7
SLC II	1.08	17.9	11.1	16.6	1,997	0.8
SLC III	1.25	18.1	8.1	14.5	2,227	1.4
LC	1.56	40.4	13.7	26.0	2,985	2.2
PC	2.42	72.5	38.9	30.0	2,392	4.2

JIS A 1129에 따라서 실시하였다. 절건비중이 다른 5종류의 시험체는 40×40×160mm를 이용해서, 재령 90일까지 온도 20℃, 습도 60%의 항온항습실에서 측정을 하였다.

(2) 흡수시험

흡수시험은, 절건비중이 다른 5종류의 시험체는 40×40×160mm를 이용해서, 재령 28일까지 수온 20℃에서 수증양생 후, 전기 아크로(100℃)에 24시간동안 두어 절건상태로 한 시험체를 사용했다. 절건상태로 된 시료의 중량(절건중량)을 측정하고 나서, 그 후 1분간, 3분간, 5분간, 10분간, 15분간, 30분간, 60분간, 120분간, 180분간, 360분간, 720분간, 1,440분간 및 2,880분간, 수증에 침적하여 일정시간을 경과한 시험체를 수증으로부터 꺼내어, 건조한 천으로 시험체 표면의 수분을 제거한 후, 그 때 시료의 중량(표건중량)을 측정했다. 콘크리트의 흡수율은 식 (1)에 의해 계산했다.

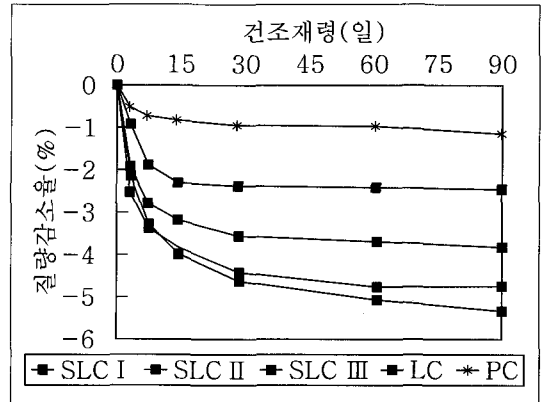
$$\text{흡수율}(\%) = \frac{\text{표건중량} - \text{절건중량}}{\text{절건중량}} \times 100$$

3. 실험결과와 고찰

가. 건조수축

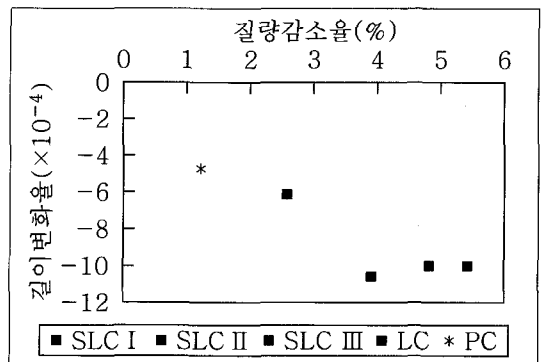
〈그림-1〉은 건조재령과 질량감소율과의 관계를 나타낸 것이고, 〈그림-2〉는 재령 90일에서 질량감소율과 길이변화율의 관계를 나타낸 것이다. 재령 경과에 따른 길이변화율과 질량감소율은 PC쪽이 SLC 및 LC에 비해 적었다. 그 이유로는, 일반적으로 콘크리트의 건조수축 과정은 콘크리트 표면으로부터 물의 증발과 내부로부터 표면으로 물의 확산이동을 수반해서 진행된다.

특히 내부확산의 어려움은 콘크리트의 세공구



〈그림-1〉 건조재령과 질량감소율의 관계

조에 크게 의존하는 것이 알려져 있다. 더욱이 PC쪽이 SLC 및 LC보다도 세공용적이 적기 때문에, 내부부터 건조표면 부근에서는, 콘크리트 중의 수분의 확산이동이 진행되기 어렵다는 것을 시사하고 있다. 한편, SLC I에 대해서는, SLC 및 LC 중에서 가장 길이변화율과 질량감소율이 적게 되었다. 그 이유로는 일반적으로 콘크리트의 건조수축은, 단위시멘트량이나 단위수량이 많을수록 세공재율이 적을수록 건조수축은 크다고 알려져 있지만, 본 실험의 범위 내에서는 SLC I에서 단위시멘트량 및 단위수량이 가장 적게 되었고, 세공재율이 가장 큰 것이 주된 요인으로 생각된다. 또한, SLC II, SLC III 및 LC의 길이변화율 및 질량감소율은, PC보다 매우 크게



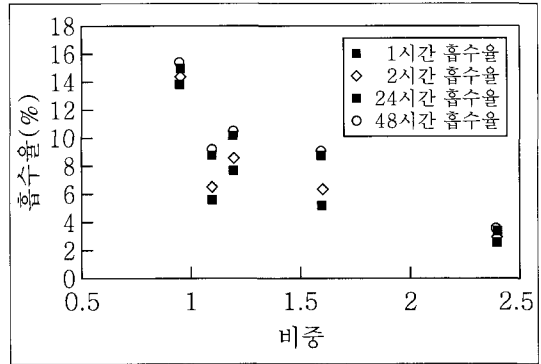
〈그림-2〉 질량감소율과 길이변화율과의 관계

되는 경향을 나타내었다. 그 이유로서는 在永 등은 시멘트페이스트의 영계수 보다도 큰 영계수를 갖고 있는 골재, 예를 들면 규사 등을 사용하면, 모르타르 영계수는 크게 되고, 반대로 작은 영계수를 갖는 골재, 예를 들면 탄칼 발포립이나 스티렌 발포립 등의 경량골재를 사용하면 모르타르의 영계수는 적게 되고 있다. 즉 경량모르타르의 영계수는 영계수가 작은 골재를 다량으로 혼합시킬수록 적게되어 변형하기 쉽다고 설명하고 있다. 따라서 초경량골재 및 경량골재의 영계수가 모재 모르타르의 영계수보다 작게 됨으로써, 골재의 수축저감 효과가 억제되어 길이변화율 및 질량감소율이 PC보다도 크게 된 것이라고 추정된다. 더욱이 SLC I 이 SLC 및 LC 중에서 길이변화율과 중량감소율이 가장 작았는데, 이것은 앞서 이야기한 수분의 확산이동의 영향을 받는다는 것으로 생각된다. 바꾸어 말하면, 절건 비중 0.95 정도의 SLC I 의 건조수축은, 경화과정의 초기 단계에서 수분의 확산이동 영향을 받아서 콘크리트중의 수분이 증발하고 있는 것이라고 생각되고, 단위시멘트량, 단위수량, 세골재율 및 영계수의 영향보다도 오히려 수분 확산이동의 영향 쪽이 훨씬 큰 것이라고 생각된다.

나. 흡수특성

〈그림-3〉에 비중과 흡수율의 관계를 나타내었다. 그림은, 절건비중별로 1시간 흡수, 2시간 흡수, 24시간흡수 및 48시간 흡수결과를 나타낸 것이다. 그림에서 보면 절건비중과 흡수율의 관계는 상관성이 높고, 절건비중이 작을수록, 흡수율은 크게 되는 경향을 나타낸다.

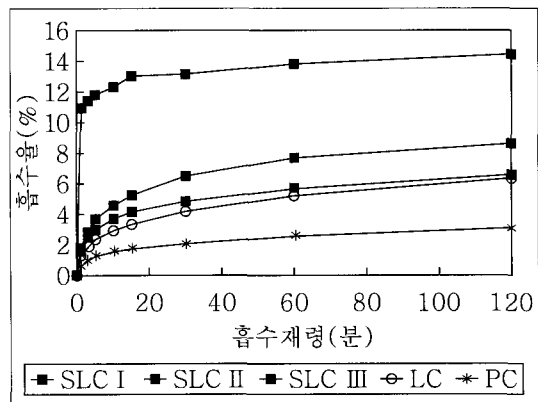
또한 1시간 흡수율에서 절건비중 0.95의 SLC I 과 절건비중 2.4의 PC를 비교한 경우, SLC I 이 13.8%에 대해서 PC가 2.45%로 그 차이는 매우 크게 되었고, 24시간 흡수 및 48시간 흡수에 대해서도 마찬가지로의 경향을 보이고 있



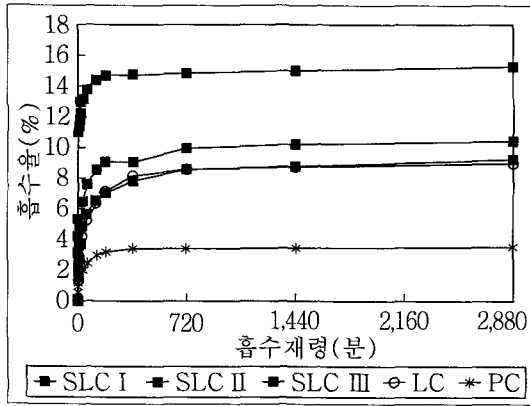
〈그림-3〉 비중과 흡수율과의 관계

다. 더욱이 SLC, LC 및 PC의 흡수율은 24시간 정도에서 거의 최종 흡수율에 도달했고, 그 이후는 장기적으로 안정한 경향이 확인되었다. 또한, 〈그림-4〉는 단기(흡수재령 120분)의 흡수재령과 흡수율과의 관계를 나타낸 것이고, 〈그림-5〉는 장기(흡수재령 2,880분)의 흡수재령과 흡수율의 관계를 나타낸 것이다.

여기서 SLC, LC 및 PC는 흡수초기의 단계에서 흡수속도가 빠르고, 흡수재령의 경과에 따라 흡수율은 크게 되는 경향을 나타내고, 특히 단기 재령의 SLC I 에 있어서는 현저하게 크게 되는 것이 확인되었다. 흡수재령 1분에서의 PC의 흡수율은 0.6%인데, 이것에 대해서 SLC I 은 흡수율이 11.0%로 PC와 비교해서 18.3배 정도 컸



〈그림-4〉 흡수재령과 흡수율의 관계(단기재령)



〈그림-5〉 흡수재량과 흡수율의 관계(장기재량)

다. 이것은 골재내부에 있는 공극의 크기가 명확하게 차이가 있다는 것을 시사하는 것이다.

4. 결 론

본 보고서에서는, 절건비중 1.0 이하인 초경량

골재콘크리트의 건조수축 및 흡수특성 대해서 설명하였다. 본 연구의 범위 내에서 실험결과를 요약하면 아래와 같다.

절건비중 0.95 정도의 초경량콘크리트의 건조수축 특성은, 초경량콘크리트 가운데서 가장 길이변화율과 질량감소율이 적게 되었다. 이것은 경화과정의 초기단계에서 수분의 확산이동의 영향을 받아 콘크리트 중의 수분이 증발하고 있는 것이라고 추정된다. 또한 절건비중 1.1 및 절건비중 1.2 정도의 초경량콘크리트는 길이변화율 및 질량감소율이 보통콘크리트보다 매우 크게 되는 경향을 보였다. 이것은 초경량골재의 영계수가 모재 모르타르의 영계수보다 작게 된 것이 원인이라고 생각된다. 또한, 절건비중 0.95 정도의 초경량콘크리트의 흡수율은 흡수재량 1분에서 가장 크게 되었고, 24시간에서 거의 최종흡수율에 도달하여, 그 이후는 장기적으로 안정되는 경향이였다. ▲

시사 용어 해설

▶ COMESA(Common Market for Eastern and Southern Africa)

동남아프리카 공동시장. 동남아프리카 지역의 안보와 평화를 실현하고 회원국 간 경제협력력을 강화하기 위해 1994년 설립됐다. 현재 회원국은 앙골라, 부룬디, 코모로, 지부티, 이집트, 이디오피아, 케냐, 말라위, 짐바브웨, 모리셔스, 모잠비크, 잠비아, 나미비아, 루안다, 우간다, 수단, 탄자니아, 스와질랜드, 콩고민주공화국, 마다가스카르, 에리트리아 등 총 21개국에 이르며, 남아프리카공화국이 옵서버 자격으로 참여하고 있다. 이 지역은 인구가 5억명에 달하면서 앞으로 성장 잠재력이 큰 것으로 평가받고 있다.