

## Water absorption characteristics of artificial lightweight aggregates prepared by pre-wetting

Yootaek Kim<sup>†</sup>, Changsub Jang and Yugwang Ryu

*Department of Materials Engineering, Kyonggi University, Suwon 443-760, Korea*

(Received January 25, 2011)

(Revised February 8, 2011)

(Accepted March 11, 2011)

**Abstract** Lightweight aggregate which is composed of sintered polycrystalline materials usually has a certain portion of pores inside of it. Because of such a structural characteristics, it tends to that movement of water in aggregate shows an abnormal behavior against the change of outside environment. In general, water movement behavior is controlled by porosity, distribution of pore size; however, dense surface layer will also affect water movement behavior in case of artificially sintered aggregates. Factors affecting water movement behavior in the aggregate are pore distribution, pore shape, pre-wetting method, etc. In this study, absorption characteristics of aggregate under the pressure and absorption rate according to water dipping time are analyzed for the basis of pressure pumping of lightweight concrete. Two kinds of aggregates were used for the test: one is made by 'L' company in Germany and the other is of our own made at the pilot plant in Kyonggi University. Absorption rate of aggregate is measured according to water dipping time, vacuum pressure, and quenching condition. Absorption rate of aggregate with 300°C quenching is higher than that of aggregate with 24 hr water dipping. Generally the more vacuum the higher water absorption rate. Water absorption rate of 'L' aggregate under -300 mmHg is 54 % higher than that of aggregate with 24 hr water dipping; however, only 2 % increase in water absorption was measured for the K622 and K73 which were of our own.

**Key words** Artificial lightweight aggregates, Pre-wetting, Pore size, Absorption, Vacuum, Pumping

## 프리웨팅된 인공경량골재의 흡수 특성

김유택<sup>†</sup>, 장창섭, 류유광

경기대학교 공과대학 신소재공학과, 수원, 443-760

(2011년 1월 25일 접수)

(2011년 2월 8일 심사완료)

(2011년 3월 11일 게재확정)

**요 약** 인공경량 골재는 다결정질 소성체를 주 구성으로 하므로 골재 내부에 다량의 공극이 일정비율로 형성되는 것이 특징이다. 이러한 인공경량 골재는 조직 구조의 특성상 외부환경의 변화에 의해 수분이 비정상적인 이동을 보이는 경향이 있다. 다공질 재료의 수분 방출 특성은 일반적으로 기공률 및 기공크기 분포에 크게 좌우되지만, 인공적으로 소결 제조된 경우에는 표면에 생성된 치밀한 구조의 표피층에도 많은 영향을 받을 것으로 생각된다. 인공경량 골재 내부의 수분 이동에 미치는 요인은 골재내의 세공 및 공극의 분포와 형상, 크기, 그리고 프리웨팅 방법 등이 있으며 각 조건에 따라 상당한 차이를 보인다. 본 연구에서는 인공경량 골재를 제조하여 골재의 가압시 흡수 특성이나 침수시간에 대한 흡수율의 거동에 대한 명확한 규명을 함으로써 경량골재 펌프압송을 위한 기초적 자료를 제공하고자 하였다. 본 실험에 사용된 인공경량골재는 독일 'L'사의 상업용 인공경량골재와 본 연구팀이 제조한 2가지 조성의 인공경량골재를 사용하였으며, 골재 수분함침시간, 진공압력, 급냉조건을 변화시켜 골재의 흡수율을 측정하였다. 인공경량골재를 300°C에서 급냉 하였을 경우 24시간 침수보다 높은 흡수율을 보였고, 진공압력에 따라 흡수율이 증가하는 경향이 있으며, -300 mmHg의 진공 압력시 24시간 침수보다 "L"사 골재는 54 %의 높은 증가를 보였으나 K622와 K73 골재는 비교적 적은 2 % 내외의 흡수율 증가양상을 보였다.

<sup>†</sup>Corresponding author

Tel: +82-31-249-9765

Fax: +82-31-244-6300

E-mail: ytkim@kgu.ac.kr

## 1. 서 론

단위용적당 질량을 감소시킨 경량콘크리트의 개발과 실용에 대한 필요성이 크게 대두되고 있는 추세에 따라 경량골재의 사용은 점차 증대하고 있다. 그러나 인공경량골재는 원료와 소성조건에 따라 성질이 다르며, 특히 24시간 흡수량이 초기 대비 3배 이상의 함수 상태에 달하는 골재도 있고, 같은 흡수율의 골재로도 흡수속도 차이가 있어 콘크리트의 강도뿐만 아니라 펌프압송에도 영향을 미치게 된다[1, 2]. 경량골재에 대해서는 현재 24시간 흡수량의 함수상태로 사용하는 것이 콘크리트 배합시 용이한 것으로 보고되고 있지만, 경량콘크리트를 생성하고 있는 현장에서도 사용 골재에 따라 프리웨팅(pre-wetting)의 정도에 큰 차이가 있게 된다. 인공경량골재는 소결시 미연탄소 및 Ferrous Materials에 의한 발포로 다공질이 형성된 내부와 내부보다 빨리 고온에 도달하는 표면에 액상이 먼저 생성되어 이 액상이 표면의 미세기공을 채워서 내부보다 더 치밀한 구조의 외부 표피층을 갖는 구조이다[3, 4]. 따라서 인공경량 골재는 다결정질 소성체를 주 구성으로 하므로 골재 내부에 다량의 공극이 일정비율로 형성되는 것이 특징이며, 조직 구조의 특성상 외부환경의 변화에 의해 수분이 비정상적인 이동을 보이는 경향이 있다. 다공질 재료의 수분 방출 특성은 일반적으로 기공률 및 기공크기 분포에 크게 좌우되지만, 인공적으로 소결 제조된 경우에는 표면에 생성된 치밀한 구조의 표피층에도 많은 영향을 받을 것으로 생각된다. 따라서 인공경량 골재 내부의 수분 이동에 미치는 요인은 골재내의 미세기공 및 공극의 분포와 형상, 크기, 그리고 프리웨팅 방법 등이 있으며 각 조건에 따라 상당한 차이를 보인다[5, 6]. 본 연구에서는 인공경량 골재를 제조하여 골재의 가압시 흡수 특성이나 침수시간에 대한 흡수율을 분석하여 경량골재 펌프 압송을 위한 기초적 자료를 제공하고자 한다.

## 2. 실험방법

본 실험에 사용된 인공경량골재는 독일 'L'사의 상업용 인공경량골재와 본 연구팀이 제조한 K73조성(coal

bottom ash 70 wt% : dredged soil 30 wt%)과 K622조성(coal bottom ash 60 wt% : dredged soil 20 wt% : clay 20 wt%)의 에코경량골재가 사용되었다. 각 원료의 화학 성분은 Table 1에 나타냈으며, XRF(ZSR-100e, Rigaku, Japan)를 이용하여 분석하였다. 인공경량골재는 각 원료를 핀밀(pin mill)하여 100  $\mu\text{m}$  이하로 분쇄 후 사용하였으며, 건식 혼합한 후 조립기(pelletizer)를 이용하여 지름 3~8 mm 크기의 구형 골재를 성형하였다. 성형된 골재를 110°C/48 hr 조건으로 건조하여, 로타리 킬른(Rotary kiln)에서 1125°C의 온도로 15분간 소성하였다. 준비된 3종류의 골재를 물에 함침시킨 후 시간별로 흡수율을 측정하였다. 또한 Vacuum saturation의 효과를 관찰하기 위해 골재를 서로 다른 진공 압력(-100, -300, -660 mmHg)에서 유지시킨 후 함침시켜 흡수율을 측정하였다. 마지막으로 골재를 300°C에서 5분간 가열한 후 25°C 물에 급냉시켜 흡수율의 변화를 비교 분석 하였다. 프리웨팅법에 따른 골재의 흡수율 변화를 측정하기 위해 KS F 2503 (굵은 골재의 비중 및 흡수율 시험 방법)에 따라 부피비중 및 흡수율을 측정하였다. 또한 광학현미경을 이용하여 골재의 표면 및 형태를 관찰하였고, 미세구조를 관찰하기 위해 주사전자현미경(JSM-6500F, JEOL)을 이용하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 인공경량골재의 물성

K73 에코골재의 주원료인 석탄바닥재(coal bottom ash)의 경우  $\text{SiO}_2$ 와  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 가 각각 52.9 wt%와 17.34 wt% 존재하며, 주요 발포 성분인 미연탄소가 12.6 %,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 가 6.8 % 이상 존재하여 소성시 골재를 경량화 시킬 것으로 판단되었다. 준설토(dredged soil)는 점토에 비해 알칼리 산화물( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ )과 알칼리토류 산화물( $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ) 성분이 약 1.5배 많이 존재하여 소성 시 용제역할을 함으로서, 점토를 사용한 K622 골재보다 낮은 온도에서 소결이 가능할 것으로 예상되었다. 소성된 인공경량골재 및 비교 대상인 수입 'L'골재의 사진을 Fig. 1에 나타내었고, Table 2에는 각 골재의 물리적 특성을 나타내었다. 상용화제품인 비구조용 이차제품에 많이 사용되는

Table 1  
Chemical compositions of raw materials (wt%)

	Ig loss	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	CaO	MgO	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{TiO}_2$	$\text{ZrO}_2$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	MnO	C
CBA	4.07	45.58	18.60	8.08	2.17	0.78	0.18	0.51	1.33	0.33	0.24	0.01	0.05	18.06
Clay	11.03	57.86	19.08	7.07	0.20	1.04	0.09	2.54	0.92	-	0.17	-	0.22	-
DS	4.08	70.07	14.38	3.82	0.79	0.18	2.51	2.70	0.80	-	0.03	-	-	-

CBA: Coal Bottom Ash, DS: Dredged Soil

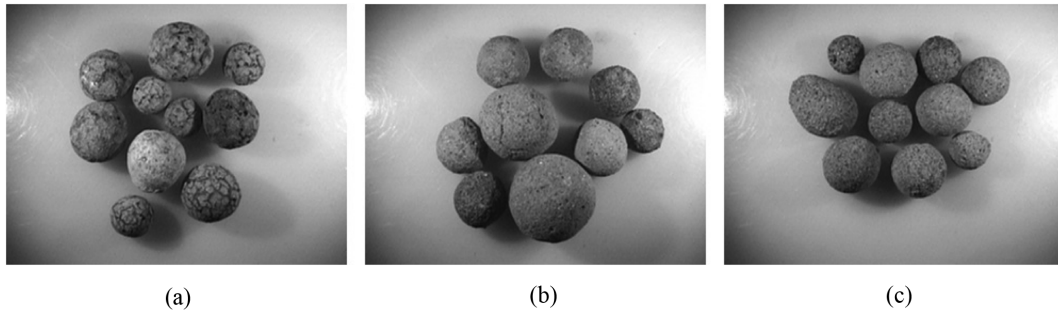


Fig. 1. Optical images of artificial lightweight aggregate. (a) L, (b) K622, (c) K73.

Table 2  
Physical properties of artificial lightweight aggregates

Specimen I.D.	Specific gravity	Water absorption (%)	Unit weight of aggregates (ton/m <sup>3</sup> )
L (Germany)	1.02	22.5	0.5
K73	1.51	17.1	0.98
K622	1.45	12.3	0.9

독일 ‘L’사의 골재는 표준 밀도와 흡수율이 각각 1.02 g/cm<sup>3</sup>와 22.5 %를 나타내었으며 단위용적질량이 0.5 ton/m<sup>3</sup>인 반면, 본 연구팀에서 제조한 에코골재 K73과 K622 골재의 표준 밀도는 각각 1.51 g/cm<sup>3</sup>과 1.45 g/cm<sup>3</sup>로 서로 비슷하지만, 흡수율은 각각 17.1 %와 12.3 %로 약 5 %의 차이를 보였다. 이는 골재 내부의 기공분포에서 K73골재가 상대적으로 높은 개기공을 형성하고 있어 비슷한 표준 비중에서도 높은 흡수율을 나타내고 있는 것으로 판단된다. 에코인공경량골재의 단위용적중량은 각각 0.98 ton/m<sup>3</sup>, 0.9 ton/m<sup>3</sup>으로 ‘L’사보다는 높았지만, 기존의 쇄석골재에 비해 1/2 수준 이하의 값을 나타내었다.

3.2. 골재의 흡수율 시험

본 실험에서 사용한 인공경량골재의 함침시간과 진공

압력에 따른 인공경량 골재의 흡수율 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 시간대별 흡수율을 측정할 결과 Fig. 2(a)에 보는 바와 같이 초기부터 약 24시간 동안의 급격한 흡수를 마친 인공경량골재는 함침 7일까지도 흡수율은 계속해서 완만하게 증가하는 현상을 보였다. 또한 함침 24시간 후 측정된 흡수율은 “L”사 제품이 가장 높고 K73 골재, K622골재 순으로 낮게 나타났다. 이는 경량 콘크리트에 적용시 프리웨팅을 24시간 시행하여 흡수율의 변화가 적을 때 사용하는 것이 콘크리트 배합시 용이한 것으로 보고되는 것과 일치하고 있다[6]. 진공 압력에 따른 인공경량골재의 흡수율을 나타낸 Fig. 2(b)를 보면 K73골재와 K622골재는 진공도에 크게 변화하지 않지만, 이와는 달리 ‘L’골재는 -300 mmHg 이상에서 높은 흡수율을 나타낸다. 이는 ‘L’골재의 미세공극의 영향으로 많은 수분이 골재 내부로 침투하는 것으로 판단된다. 이와 같이 경량골재가 진공압력이 증가함에 따라 흡수율이 증가하는 것으로 보아 굳지 않은 콘크리트의 펌프 압송 중 ‘L’골재가 K골재보다 콘크리트 내부의 수분 이동이 높을 것으로 사료되어 콘크리트 압송시 유동성 문제를 야기시킬 것으로 판단된다. 각 프리웨팅 방법에 따른 인공경량골재의 흡수율을 Fig. 3에 나타내었다. 일반적으로 비중과 흡수율은 상반되게 나타나고 있으며, Fig. 3(b)를

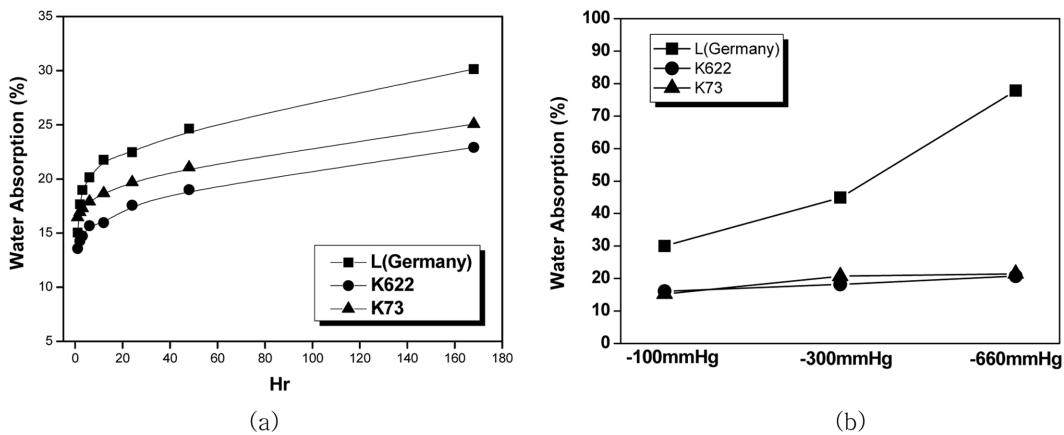


Fig. 2. Water absorption of artificial lightweight aggregates as a function of time and vacuum pressure. (a) time and (b) vacuum pressure.

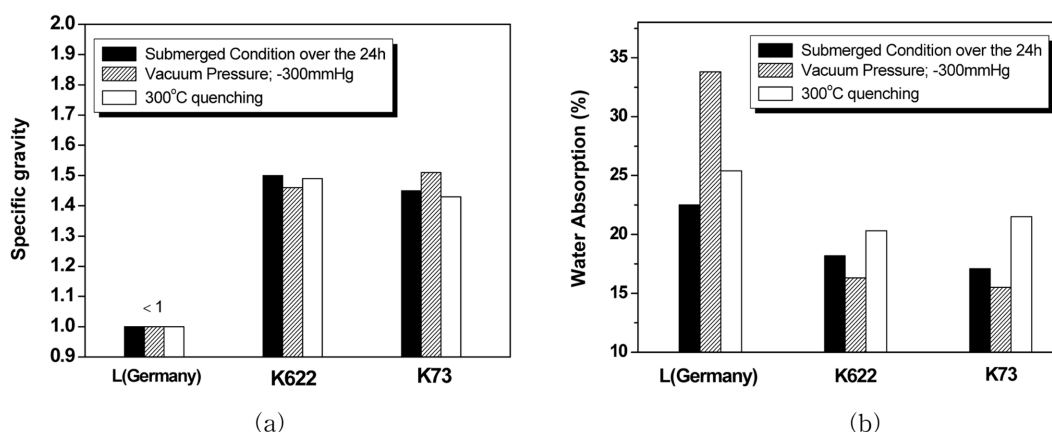


Fig. 3. Comparison of specific gravity and water absorption under various prewetting conditions. (a) specific gravity and (b) water absorption.

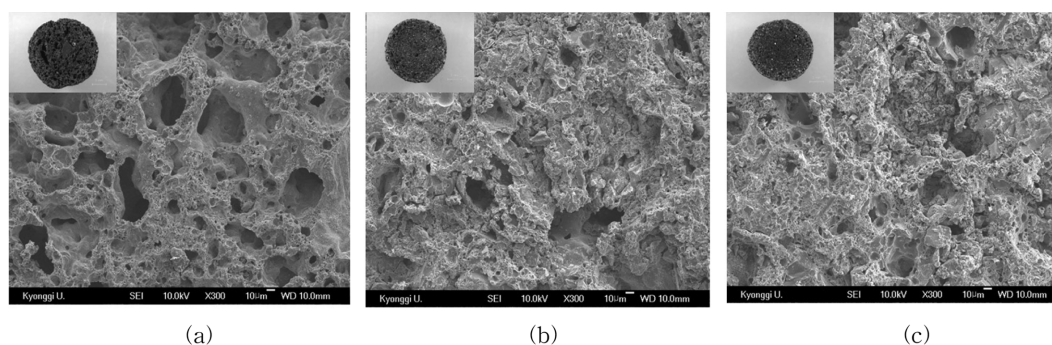


Fig. 4. Cross sectional microstructure of artificial lightweight aggregates. (a) L, (b) K622, (c) K73.

보면 300°C에서 급냉 하였을 경우가 24시간 함침한 골재의 흡수율 보다 약간 높게 나타났다. 이는 골재가 급냉 되면서 골재 표면의 일부 폐기공이 열충격에 의해 개기공이 되어 수분을 흡수하는 것으로 사료된다. 골재 K622와 K73의 경우 -300 mmHg의 진공 압력시의 흡수율은 상온에서 24시간 함침한 골재보다 흡수율이 적게 나타나지만, “L”사 골재이 경우 -300 mmHg의 진공 압력시의 흡수율은 상온에서 24시간 함침한 경우보다 훨씬 큰 약 54%의 흡수율 증가를 보여주고 있다. 이는 Fig. 4에서 나타낸 미세구조에서도 알 수 있듯이 골재 K622나 K73과 비교하여 볼 때 골재 내부에 수많은 기공들이 잔존하여 수분이 기공을 채우는 것으로 생각된다. 따라서 경량골재를 콘크리트에 배합하여 사용 시 사전에 경량골재의 밀도와 흡수율 그리고 프리웨팅에 의한 흡수율 변화를 도출하여 적용하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

#### 4. 결 론

본 연구는 인공경량골재의 프리웨팅 법에 따른 흡수율

의 변화를 알아보기 위해 골재 수분 함침시간, 진공압력, 급냉 조건을 변화시켜 골재의 흡수율을 측정하고 비교 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

인공경량골재를 300°C에서 급냉 하였을 경우 24시간 함침한 골재의 흡수율보다 높은 흡수율을 보였는데 이는 골재가 급냉 되면서 골재 표면에 있는 일부 폐기공이 열충격에 의해 개기공으로 전환되어 골재가 상온으로 되는 과정에서 열충격에 의한 미세 균열 발생으로 폐기공이 개기공화되는 현상이 발생하여 급냉하지 않은 골재보다 더 많은 수분을 흡수하는 것으로 사료된다.

Vacuum saturation에 의해 pre-wetting 한 경우, 인공 경량골재는 진공도가 좋아질수록 흡수율이 증가하는 경향이 있으며 -300 mmHg의 진공 압력 시 24시간 함침한 흡수율 보다 “L”사 골재는 54%의 흡수율 증가를 보인 반면, K622와 K73 골재는 비교적 적은 2% 내외의 흡수율 증가양상을 보였다. 이는 골재가 가지고 있는 밀도와 흡수율 그리고 미세 구조와 밀접한 관련이 있으며, 이 미세 기공에 의해 골재의 밀도가 낮고 흡수율이 높을 수록 진공에 의한 흡수율 변화는 커지는 것으로 판단되었다. 따라서 콘크리트 배합 설계시에 본 연구에서 규명한 프리웨팅 조건에 따라 용적당 중량이 0.5 ton/m<sup>3</sup> 이하

의 기공이 많은 초경량골재의 경우에는 vacuum saturation에 의한 pre-wetting을, 용적당 중량이  $1.0 \text{ ton/m}^3$  수준의 경량골재의 경우에는 급냉법에 의한 pre-wetting을 하는 것이 가장 적합한 것으로 사료되며, 장치와 설비가 없는 상황에서는 용적당 중량이  $1.0 \text{ ton/m}^3$  수준의 경량골재의 경우에는 24시간 물에 함침 시키는 것으로도 pumping 시 문제를 현저히 감소시킬 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 일반연구자 지원사업의 연구비(grant number 2010-0021630) 지원으로 수행되었기에 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- [ 1 ] T.Y. Lo, H.Z. Cui and Z.G. Li, "Influence of aggregate per-wetting and fly ash on mechanical properties of lightweight concrete", J. Waste Management 24[4] (2004) 333.
- [ 2 ] Y.J. Kwon, K.G. Lee, Y.T. Kim, Y.J. Kim, S.G. Kang, J.H. Kim and M.S. Park, "Effect of additives and sintering method on the properties of light aggregate prepared from EAF dust/clay", J. Kor. Ceram. Soc. 40 (2003) 309.
- [ 3 ] J. Park, Y.T. Kim, K.G. Lee, S.G. Kang and J.H. Kim, "The mechanism of black core formation", J. Kor. Cryst. Growth and Cryst. Tech. 15[5] (2005) 208.
- [ 4 ] S.G. Kang, "Effect of shell structure of artificial lightweight aggregates on the emission RAte of absorbed water", J. Kor. Ceram. Soc. 45[11] (2008) 750.
- [ 5 ] K.H. Yang, J.S. Lee and H.S. Chung, "The influence of moisture state of aggregates on the properties of recycled aggregate concretes", J. Kor. Archi. Inst. (Stru. & Const.) 21[10] (2005) 103.
- [ 6 ] D.O. Park, S.H. Kim and C.H. Seo, "A study on the properties of lightweight aggregate concrete according to the pore structure and water absorption characteristics of lightweight aggregate", J. Kor. Archi. Inst. (Stru. & Const.) 25[3] (2006) 85.
- [ 1 ] T.Y. Lo, H.Z. Cui and Z.G. Li, "Influence of aggregate