

ALC의 내구성 및 물성개선에 관한 연구

A Study on the Improvement of Physical Properties and Durability of ALC

이 범재 홍 성수 황 의환* 조 현영 노 재성
B.J. Lee S.S. Hong E.H. Hwang H.Y. Cho J.S. Rho

ABSTRACT

The effect of particle size of Al powder, water repellent agent and finishing agent on frost resistance, absorption ratio and structure of micropore was examined to improve the physical properties and durability of ALC. According as the amount added of water repellent agent was increased, frost resistance was improved and absorption ratio was decreased. From one side freezing/thaw test, finishing agent which has a low vapor permeation located the crack at close indoor point of ALC specimen.

ALC produced from fine Al powder has a low volume reduction by scalling and a sound appearance after freezing/thawing test and top surface freezing test. The crystal of tobermorite in ALC matrix was converted to calcium carbonate by carbonation which was accelerated with the decreasing of water content. Since the micropore of ALC was filled up by calcium carbonate, void ratio was reduced and crack was detected after complete carbonation.

1. 서 론

ALC (Autoclaved Lightweight Concrete; 경량기포콘크리트)는 고온 고압으로 증기 양생된 경량기포 콘크리트로서, 경량성 (비중 0.5 ~ 0.8), 단열성 (열전도율 0.08 ~ 0.12 kcal/mh°C), 차음성, 시공

의 용이성등 건축재료로서의 뛰어난 특성을 지니고 있다. ALC는 일반콘크리트와는 달리 고온고압으로 양생되어 화학적으로 안정하지만 내부에 많은 기공을 함유하고 있기 때문에 흡수성이 비교적 높은 단점을 가져 방수처리가 필수적이다. 또한 CO₂의 농도가 높으면서 습윤상태에 있으면 탄산화 과정을

충남대학교 공과대학 정밀공업화학과

* 국립천안공업전문대학 공업화학과

거쳐 현저한 물성의 저하를 나타낼 수 있으며, 건축재료로서 만족하게 사용하기 위해서는 동결융해저항성의 개선이 필수적이라 하겠다. 따라서 본 연구에서는 내구성의 개선을 위하여 시판되고 있는 마감재에 따른 동결융해저항성과 기포제로 사용되는 알루미늄 분말의 첨가량과 분말도 및 발수제의 첨가량을 변화시켜 만든 시험체의 내동해성, 강도, 흡수율, 기공 및 세공의 조직등에 대하여 연구 검토하고, 탄산화 촉진시험을 통하여 탄산화에 따른 ALC의 내구성에 관하여 검토해 보고자 한다.

2. 실험 재료 및 방법

2.1 실험재료

마감재는 국내의 B사와 D사에서 제조된 ALC 전용 마감재와 일본에서 제조된 마감재(C)를 사용하였으며, ALC는 S사에서 제조된 비중 0.55의 ALC를 사용하였다. 각 시험에 사용한 시험체의 형상은 다음과 같다.

Table 1. Specimen Size and Water Content for One Side Freezing/Thaw Test and Carbonation.

	Size (mm)	Water Content (wt %)
Normal Water Permeation	150×150×50	40 ± 2
Pressurized Water Permeation	150×150×50	40 ± 2
Vapor Permeation	150×150×50	40 ± 2
One Side Freezing/Thaw	100×100×200	20 ± 2
Carbonation	80×80×80	15, 30, 45, 60

2.2 실험방법

2.2.1 투습시험

ALC를 150 × 150 × 50mm의 크기로 절단하여 105℃로 완전건조시킨 후 물에 담가 4주간 완전히 흡수시킨 다음 40℃로 건조시켜 흡수율을 40 ± 2%로 조정된 후 랩으로 밀봉하여 2주간 보관하여 수분의 균등한 구배를 이루게 하였다. 마감재를 처리하지 않은 ALC(A)와 한면에 마감재 B, D 및

Table 2. Specific Gravity and Added Amount of Water Repellent Agent of Specimen for Top Surface Freezing Test and Freezing/Thawing Test.

Specific Gravity	Added Amount of Water Repellent Agent		
	A	B	C
0.400	-	◇	◇
0.500	◇	◇	◇
0.50L	◇	◇	◇
0.550	-	◇	-
0.575	-	◇	-
0.600	-	◇	◇
0.625	-	◇	-
0.650	-	◇	-
0.700	-	◇	-

L : particle size of Al powder is larger than others

A : not added water repellent agent

B : added a little amount of water repellent agent

C : added more Al powder than B

Table 3. Specimen Size and Appearance for Top Surface Freezing Test and Freezing/Thawing Test.

Items	Size (mm)	Appearance
Specific Gravity	100×100×100	Hexahedron
Compressive Strength	100×100×100	"
Tensile Strength	100×100×100	"
Absorption Test	100×100×100	"
Micropore Structure	2.5~5.0	Random
Pore Ratio	100×100×100	Hexahedron
Top Surface Freezing	∅100×100	Cylinder
Freezing & Thawing	100×100×200	Hexahedron

마감재 C를 처리하여 2주 동안 안정화 시킨 후 증류수를 넣은 아크릴수지 용기에 마감면을 위로 배치하여 시험체의 끝부분을 실리콘으로 완전 밀봉하여 증량의 감소를 측정했다.

용기중의 증류수가 증발해, 증량의 감소를 나타

내지만 처음에는 ALC 내부의 함수율 분포가 일정하지 않기 때문에 단위시간당 증량의 변화가 일정하게 되는 시점을 시험의 개시시점으로 했다.

2.2.2 표준투수 및 가압투수

시험체의 준비는 투습 시험에서와 하였으며, 표준투수 및 가압투수장치에 넣어 수두의 높이의 감소를 읽어 표준투수 및 가압투수량으로 했다. 이때 가압투수의 수두 높이는 표준투수의 3배로 했다.

2.2.3 편면동결융해 시험

ALC를 100 × 100 × 200mm의 크기로 절단(발포방향에 대하여 수평으로 상부, 중부, 하부 및 발포방향에 대하여 수직으로 상부, 하부)하여 투습 시험에서와 동일하게 준비하여 한냉지에서 외벽재료의 사용을 모델화한 편면동결융해시험장치에 넣어 균열의 발생을 관찰하였다.

이때 육내로 상정한 축의 온도는 + 25℃에서 24시간 지속되며, 습도는 육내측 실험장치내에 수조를 두고 수조의 온도를 35℃로 유지시켜 25℃에서 포화상대습도상태를 유지시켰다. 그리고 육외로 상정한 축의 온도는 - 18℃에서 18시간, + 5℃에서 6시간 유지시켰다. 이것을 1 cycle로 하여 50 cycle 반복하였다.

2.2.4 알루미늄분말의 입도, 비중 및 발수제의 첨가량에 따른 내동해성 시험

흡수시험, 강도시험, 동결융해시험체의 함수율은 10%로 조정하여 일주일 이상 밀봉상태로 보관한 후 시험하였으며, 절건비중은 시험체를 105℃에서 일주일이상 건조한 후 측정하였다. 압축 및 인장강도는 KS F 2405, KS F 2423에 의하여 측정하였다. 흡수시험은 수온 20±2℃, 수심(시험체표면으로부터) 5±1cm가 되도록 수중에 정착하고 시험개시 30분, 1, 2, 4, 6, 12시간, 1, 2, 4, 5, 7, 9, 11, 14일에 각각 함수율을 측정하였다.

세공구조의 측정은 직경 2.5~5mm의 시료를 채취하여 45℃에서 건조한 후 세공범위 32A-10,000 Å에 대하여 수은압입법으로 측정했다.

$$\text{세공세율(\%)} = \{ (32 \sim 100 \text{ Å의 세공량}) + (32 \sim 1000 \text{ Å의 세공량}) + (32 \sim 10,000 \text{ Å의 세공량}) \} / 32 \sim 10,000 \text{ Å의 세공량}$$

기공율의 측정은 시험체의 표면적(70×70mm)에 존재하는 기공율 대상으로 화면처리장치(피아스사 제, LA-525)를 이용하여 기공율과 기공의 평균직경을 구하였다.

$$\text{평균기공면적} = \text{총기공면적} / \text{총기공개수}$$

$$\text{기공율(\%)} = \frac{\text{총기공면적}(\mu\text{m}^2)}{\text{측정면적}(\mu\text{m}^2)} \times 100$$

$$\text{평균기공직경}(\mu\text{m}) = 2\sqrt{\text{평균기공면적}(\mu\text{m}^2) / 3.14}$$

일면동결지속시험은 시험체의 외기축을 -20±2℃로 유지하고 내측은 +20℃의 물이 항상 흡수될 수 있도록 설계된 시험조내에서 시험체의 함수율과 균열생성에 대하여 5일마다 60일간 측정하였다.

기중동결수증용해시험은 ASTM C 666B법에 따라 시험체의 중량감소율과 체적감소율을 120cycle까지 측정하였다.

$$\text{체적감소율(\%)} = \frac{V_0 - V_n}{V_0} \times 100$$

V_0 : 시험개시전의 시험체의 체적
 V_n : n cycle 후의 시험체의 체적

2.2.5 탄산화

시험체는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 80×80×80 mm의 크기로 절단하여 물에 4주간 침지시켜 흡수시킨 후, 40℃로 건조시켜 함수율을 15, 30, 45, 60%로 조정한 후 랩으로 밀봉하여 2주간 보관한다. 이 시험체를 축진조건 CO₂ 농도 100%, 대기압하에서 노출시켜 그 기간을 0.25, 0.5, 1, 3, 7, 14, 28일로 하였다.

소정의 폭로기간을 마치면 시험체를 2등분하여 그 절단면에 농도 1% 페놀프탈레인 용액을 분무하여 표면으로부터 발색부분까지의 거리를 서로 다른 8 위치에서 측정하여 평균치를 탄산화 깊이로 하였다. 축진 시험을 마친 시험체를 표면으로부터 내부로 4mm 간격으로 절단하여 1-5번은 X-선 회절분석에, 1' -5' 은 수은압입법에 의한 기공율 측정에 사용하였다. SEM 분석을 통하여 내부조직을 관찰하였다.

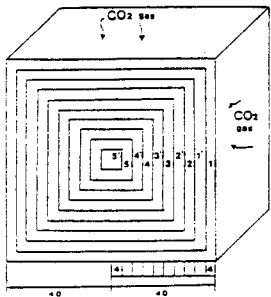


Fig. 1. ALC specimen used for carbonation

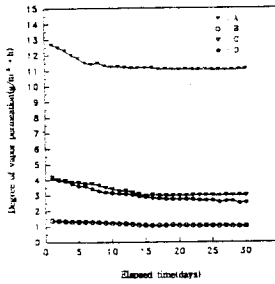


Fig. 2. Degree of vapor permeation as a function of elapsed time

3. 결과 및 고찰

3.1 마감재사용에 따른 내동해성

3.1.1 투습성시험

경과일수에 따른 투습시험결과를 Fig. 2에 나타냈다. 이때 투습도는 측정된 투습량을 아래의 식에 따라 계산하여 구하였다.

$$\text{투습도}(\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}) = \frac{\text{투습량}(\text{g})}{\text{시험면의 면적}(\text{m}^2) \times \text{방치시간}(\text{h})}$$

마감재를 처리하지 않은 ALC(A)의 투습도가 B, C, D의 약 3-9배 정도 컸으며 국내시판 마감재 D와 일본 마감재 C는 비슷한 양상을 나타내고 있다.

3.1.2 표준투수 및 가압투수시험

마감재를 처리하지 않은 ALC만의 표준 및 가압투수시험 결과를 표준투수시에 7일 누적 투수량은 350.9 ml, 7일 누적 가압투수량은 436 ml 를 나타냈다. Fig. 3, 4에 B, C, D 마감재를 처리한 ALC의 표준 및 가압투수 결과를 나타냈다. 가압투수시 누적투수량은 표준투수의 약 2-3배 정도를 나타내고 있다.

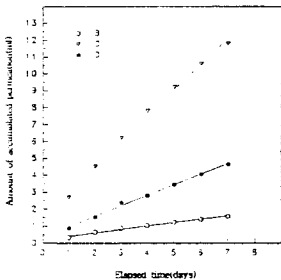


Fig. 3. Accumulated amount of water as a function of elapsed time by normal water permeation test

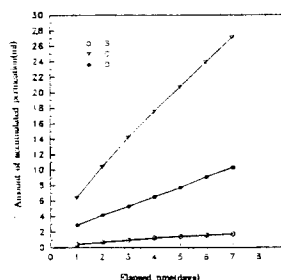


Fig. 4. Accumulated amount of water as a function of elapsed time by pressurized water permeation test

3.1.3 편면동결융해시험

50 cycle 경과 후의 결과를 Photo. 1에 나타냈다. 마감재를 무처리한 시험체(A)는 발포방향에 대하여 수직으로 절단한 경우 상부와 하부 모두 열화에 의한 균열이 관찰되고 있으며, 국내 B, D사의 마감재를 처리한 ALC와 일본에서 제조된 마감재 C를 처리한 시험체에 있어서도 같은 결과를 나타내고 있다. 균열이 발생한 위치는 마감재를 처리한 시험체에서는 마감재를 처리하지 않은 시험체 A에 비하여 상대적으로 옥내측으로 치우쳐 있다. 이러한 현상은 실내측에서 공급되는 수분에 의하여 옥외측에 결로역(結露域)이 형성되어 수분의 축적이 일어난다. 이렇게 축적된 수분은 모관현상에 의해 역방향으로 이동하게 된다. 즉 투습도가 크면 결로역이 작아 열화에 의한 균열은 옥외측에 위치하고, 투습도가 작으면 결로역이 커져 옥내측으로 근접하게 된다. 따라서 본 시험에서 관찰된 열화에 의한 균열도 같은 이유로 설명될 수 있으며 앞의 투습시험결과와 관련지어도 같은 원인으로 설명할 수 있다.

ALC 동해열화의 다른 한 형태인 함수율이 높은 표면부에서의 동결융해에 의한 열화는 본 시험을 통해서 는 발생하지 않았다. 이것은 마감재의 방수성능으로 인한 투수량의 감소로 마감재와의 접촉부분에 있는 기포가 포수되지 않아 동결에 의한 압력을 완화하고 있기 때문인 것으로 사료된다.

3.2 알루미늄 분말의 입도, 비중 및 발수제의 첨가량에 따른 내동해성

발수제의 첨가량과 분말도가 다른 알루미늄 분말을 사용하여 비중 0.5의 ALC를 제조하였을 때의 압축강도를 Fig. 5에 나타냈다. 발수제의 첨가량에 따른 변화는 나타나지 않았으나, 알루미늄분말의

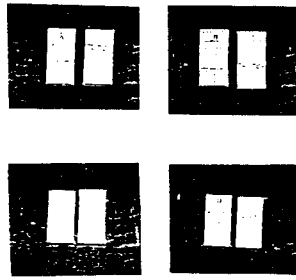


Photo. 1. Deterioration of ALC by one side freezing/thawing test

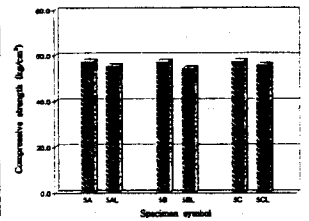


Fig. 5. Results of compressive strength test with the variation of aluminum powder particle size

다. 흡수율은 발수제의 첨가량이 증가할수록 당연히 감소하였으며, 알루미늄 분말의 입도에 따른 흡수율은 발수제를 첨가하지 않았을 때는 입도에 따른 영향은 없었으나 발수제 첨가량이 증가할수록 입도에 따른 흡수율의 차이가 큰 것으로 나타났다. ALC 비중의 증가에 따른 흡수율의 변화를 Fig. 6에 나타냈다. 비중이 증가하면 ALC 내부의 기공이 상대적으로 감소하기 때문에 그 흡수율도 감소하였으며, 고비중 ALC의 기포직경이 더 작게 나타났다. 알루미늄 분말의 입도가 크면 세공의 양이 크게 감소함을 Fig. 7에 나타냈다. Fig. 8은 비중의 증가에 따른 세공량의 변화를 나타낸 것으로, 비중이 증가함에 따라 세공량은 감소하는 경향을 보이고 있다.

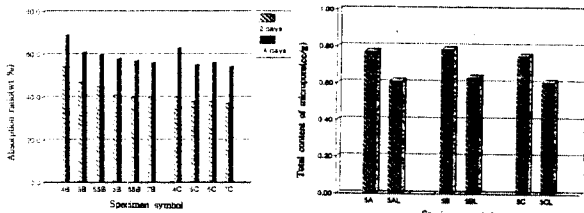


Fig. 6. The variation of absorption rate with the specific gravity of specimens

Fig. 7. Total content of microspores with the variation of aluminum powder particle size

알루미늄 분말의 입도에 따른 일면동결지속시험에서의 흡수량을 Fig. 9에 나타냈다. 발수제 첨가량의 증가는 물의 흡수를 감소시켜 동해에 의한 균열의 발생을 방지하는 효과를 발생시킨 것으로 판단되며

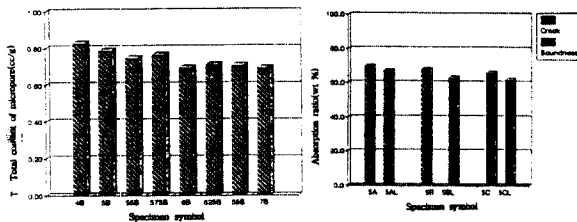


Fig. 8. Total content of microspores with the variation of specific gravity of specimens

Fig. 9. Results of top surface freezing test with the variation of aluminum powder particle size

5B와5BL의 경우 5BL에서는 균열이 발생하지 않았다. 이는 알루미늄 분말의 입도가 크면 세공의 양이 감소하고 따라서 동해 열화의 주된 요인인 흡수율이 작아지게 되어 균열을 방지하는 것으로 판단되며 Fig. 10에 비중이 증가하면 흡수율이 감소하여 동해열화에 의한 균열이 발생하지 않음을 보였다. 기중동결수증용해에 의한 내동해성 시험 결과 알루미늄분말의 입도가 작으면서 발수제의 첨가량이 증가하면 표면의 박리에 의한 부피감소율이 약간 감소하는 경향을 나타내고 있으나, 입도가 크면 발수제 첨가량에 따라 큰 차이를 보이고 있음을

Fig. 11에 나타냈다. 이러한 현상은 알루미늄 분말

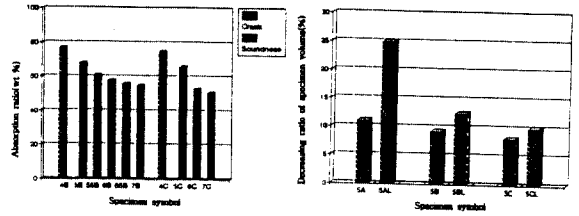


Fig. 10. Results of top surface freezing test with the variation of specific gravity of specimens

Fig. 11. The decreasing ratio of specimen volume by freezing/thawing test

의 입도가 크면 세공량이 감소하여 표면으로 부터 흡수된 물의 침투량이 작아져 시험체 표면부위가 포수상태로 있게 된다. 따라서 동결로 인한 부피팽창시 기공이 완충역할을 하지 못하여 박리가 발생, 부피가 감소하는 것으로 판단할 수 있다. 발수제를 사용하면 표면부위에서의 흡수도 발수제에 의하여 방해받기 때문에 그 흡수량이 작고 포수되는 부위도 마찬가지로 작게 된다. 따라서 박리에 의한 체적의 감소율은 작아지게 된다. 그리고 비중의 증가에 따른 체적의 감소율을 Fig. 12에 나타냈다. 비중이 증가함에 따라 열화에 의한 체적의 감소율은 현저히 저하하는 것으로 나타났다.

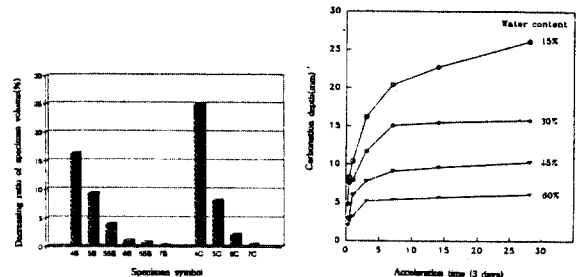


Fig. 12. The decreasing ratio of specimen volume by freezing/thawing test

Fig. 13. Progress of carbonation in ALC by different water content

4. 탄산화

Fig. 13에 함수율에 따른 탄산화 깊이의 경시변화를 나타냈다. 여기에 나타난 바와 같이 함수율이 작은 것이 탄산화의 진행속도가 빠르게 나타났는데 이것은 고함수율의 ALC는 저함수율에 비하여 그 기공내에 상대적으로 수증기가 많아 탄산가스와 ALC와의 접촉을 방해하기 때문으로 사료된다. 그러나 완전건조된 ALC의 경우는 수분의 관여가 없기 때문에 탄산화가 발생하지 않음을 유추할 수 있다. ALC 내부의 화학성분의 변화를 알아보기 위한 X-선 회절분석의 결과를 Fig. 14에 나타냈다. 깊이

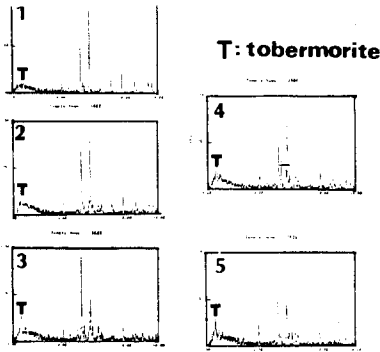


Fig. 14. X-ray diffraction patterns with depth of partially carbonation ALC

가 표면(1)으로 갈수록 줄어들고 있음을 알 수 있다. 즉 탄산화가 표면부위부터 진행되어 tobermorite 결정이 파괴되면서 CaCO_3 를 생성시키는 것으로 판단할 수 있다. 60% 함수율을 지닌 시험체를 3일 동안 탄산화 시킨 후 그 깊이에 따른 기공량의 변화를 Fig. 15에 나타냈다. 탄산화가 이

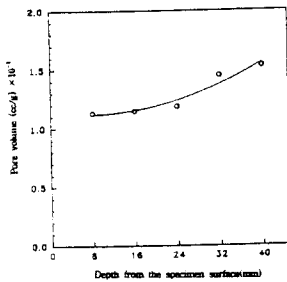


Fig. 15. The change of pore volume in ALC by carbonation (acceleration time : 3 days)

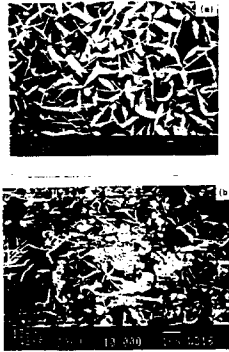


Photo. 2. SEM photographs of non-carbonated ALC(a) and calcium carbonate produced in carbonated ALC(b)

는 정도 진행된 표면부의 기공량이 중심부에 비하여 적은 것을 확인할 수 있다. 이것은 탄산가스가 tobermorite 중의 CaO 가 반응하여 CaCO_3 을 생성시키면서 ALC 내부의 기공 일부를 채우기 때문인 것으로 고려할 수 있으며, 이것은 Photo. 2의 SEM 사진을 통하여 확인할 수 있다. 미탄산화된 ALC의 SEM 사진과 비교하여 볼때 탄산화가 진행된 시험체에서는 tobermorite 결정사이에 CaCO_3 가 생성되어 있음이 확인되고 있다.

4. 결론

1. 편면동결융해시험에서 마감재의 투습도에 따른 얼화의 발생위치는 투습도가 클수록 외측에 위치하고 있으며, 이는 내부에 축적되는 수분의 양이 마감재의 투습도에 따라 달라지게 되어, 투습도가 낮으면 축적량이 많아 결로역(結露域)이 내측에 위치하게 되어 동결선에서의 수분의 축적으로 인한 균열도 내측에 위치하게 된다.

2. 알루미늄 분말의 입도와 비중, 발수제의 첨가량과 각 물성 및 동해열화와의 관계를 검토한 결론은 다음과 같다.

가) 발포제로 사용한 알루미늄 분말의 입경이 작은 것이 큰 것에 비하여 시험체의 압축 및 인장강도가 크게 나타났으며 총세공량은 입도가 작은 알루미늄 분말을 사용한 시험체가 크게 나타났다.

나) 시험체의 비중이 클수록 기공의 평균직경은 작게 나타났으나 기공율은 대체적으로 크게 나타났다.

다) 함수율은 미세한 알루미늄 분말을 사용한 시험체가 높게 나타났고, 발수제의 첨가에 의하여 함수율은 감소하였다.

라) 일면동결지속시험에서 비중이 작고 발수제를 첨가하지 않은 시험체는 균열이 발생하였으나 발수제를 첨가하고 비중을 높인 시험체는 시험 종료시까지 균열이 발생하지 않았다.

마) 기중동결수증용해 싸이클 시험에서 체적감소율은 입경이 큰 알루미늄 분말을 사용한 시험체가 크게 나타났으며 시험체의 비중이 클수록 체적감소율은 현저히 감소하였다.

3. 탄산화 속도는 수분의 함량에 영향을 받아 수분의 함량이 작을수록 속도는 빠르게 나타났으며 탄산화가 진행됨에 따라 기공량은 감소하였다. 탄산화가 완전히 진행된다면 부피의 팽창으로 균열이 발생하였다.

참 고 문 헌

1. 御代健次郎, 長山毅一, “輕量氣泡コン크리트”, セラミクス 13, No. 2, 1978, pp. 96-102
2. 仕入豊和, “ALCパネルの製造法と諸性質, 콘크리트工学, Vol.18, No. 12, 1980, pp. 1-10
3. 長谷川壽夫, 坂東玲一, “寒冷地におけるALC外壁構法に関する研究(その1. 實驗概要と外壁構成による水分蓄積量)”, 日本建築學會講演梗概集, 1990, pp. 53-54
4. 千歩修, 鎌田英治, 田畑雅幸, “ALCの凍害劣化メカニズムと耐凍害性評價法に関する研究”, 第44回セメント技術講演集, 1990, pp. 478-483
5. 田畑雅幸, 浜幸雄, 瀧口尙志, 千歩修, “比重お高めたALCの耐凍害性”, 日本建築學會講演梗概集, 1989, pp. 845-846
6. 谷川伸, 入田一, 鎌田英治, 吉野利幸, 十河哲也, “外装仕上塗材によるALCの凍害防止に関する研究(その3. 暴露試験に供した塗材の透濕性, 透水性について)”, 日本建築學會講演梗概集, 1991, pp. 347-348
7. 楊靜, 大岸佐吉, 小野博宣, “ALCの炭酸化促進による物性變化に関する研究”, 第46回セメント技術講演集, 1992, pp. 614-619