

비중의 변화와 발수제 첨가가 경량기포콘크리트의 물성에 미치는 영향

Effect of the Variation of Specific Gravity and the Addition of Water Repellent Agent on the Physical Properties of Autoclaved Lightweight Concrete



노재성*

Rho, Jae Seong



황의환**

Hwang, Eui Hwan



홍성수***

Hong, Seong Su



이범재****

Lee, Beom Jae

ABSTRACT

The effect of specific gravity controlled in the range from 0.4 to 0.7 by particle size and added amount of Al powder in the presence or absence of water repellent agent on the physical properties of ALC was examined to evaluate frost resistance and durability.

The compressive strength and the tensile strength are increased and independency with water repellent agent when the specific gravity is increased in the range from 0.4 to 0.7. According as the added amount of water repellent agent was increased, frost resistance was improved and absorption ratio was decreased. ALC produced from fine Al powder has a low volume reduction by scaling and a sound appearance after freezing/thawing test and top surface freezing test.

Keywords : ALC, freezing/thaw test, top surface freezing test, frost resistance, water repellent agent, specific gravity

* 정회원 충남대학교 공과대학 정밀공업화학과, 교수

** 국립전업공업전문대학 공업화학과, 부교수

*** 호서대학교 공과대학 재료화학공학과, 전임강사

**** 충남대학교 대학원 공업화학과 박사과정수료

• 본 논문에 대한 토의를 1997년 10월 31일까지 학회로 보내주시면 1997년 12월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

경량기포콘크리트(Autoclaved Lightweight Concrete: ALC, 이하 ALC라 칭함)의 내구성을 개선하기 위하여 마감재에 따른 투습 및 투수, 편면 동결융해 특성과 탄산화 특성에 관해서는 전보¹⁾에서 보고한 바 있으며 발수제 첨가 유무, AI 분말의 입경 그리고 비중과 내동해성과의 관계에 대하여 보고하고자 한다.

전보에서 논한 바와 같이 ALC의 기공은 그 수가 매우 많고 인접한 기공과의 거리가 짧기 때문에 기공의 독립성이 낮으며 일반콘크리트 기공에 비하여 기공에 물이 들어가기 쉽다. 이러한 기공과 물과의 관계로 일어날 수 있는 대표적 동해열화는 크게 두가지로 나누어 설명할 수 있다.

첫째로 박리(scaling)이다. ALC 표면에서는 기공이 비교적 개방되어 있기 때문에 물에 접촉하고 있는 시험체 표면 부근의 기공이 포수상태로 되기 쉽다. 내부의 모세관 기공이 포수상태에 있으면 내부의 기공은 좀처럼 포수되지 않아 모세관수의 동결시 압력은 기공의 압력완화 효과에 의해 내부의 열화는 발생하지 않는다. 열화는 기공이 포수되어 있는 표면부분만으로 한정되어 열화의 형태는 박리로 된다. 두 번째로 일면동결상태에서의 균열이다. 균열이 발생하는 위치에 있어서 수분의 집중은 기포에 있는 얼음의 성장에 의한 것으로 균열이 발생하는 원인은 모세관 흡수에 의하여 빨아올려진 물이 동결선 부근의 기공속에서 빙정화(氷晶化)하여 주위의 모세관은 비동결상태로 빙정에 수분을 제공하기 때문이다. 모세관수의 동결은 세공의 구조에 의존하여 세공이 작으면 수분의 동결점은 저하하는 것으로 알려지고 있다. 온도차가 있는 경우 고온측으로부터 수분이 공급되는 조건하에서는 동결면의 물을 끌어당기는 힘에 의해 동결면(0℃ 위치)의 기공이 다른 부분과는 독립된 포수상태가 된다. 이 포수상태 부분은 빙정을 형성하는 부분이 되고 이때 발생하는 압력에 의하여 ALC 내부에 균열이 발생하게 된다.²⁾

ALC 산업의 성장을 가로막는 이러한 내동해성을 개선하기 위하여 본 연구에서는 기포제로 사용되는 알루미늄 분말의 입경과 양을 조절하여 비중을 0.4에서 0.7로 변화시킨 공시체를 제조하여 비중, 발수제

의 첨가량 및 알루미늄 분말의 분말도가 ALC의 기초 성상에 미치는 영향과 내동해성과의 관계를 조사하였다.

2. 실험 계획

비중을 변화시킨 ALC를 사용하여 비중과 기초 성상과의 관계, 비중과 내동해성과의 관계를 비교, 검토하고자 하였다. 기초 성상으로는 절건비중시험, 압축강도시험, 흡수시험, 인장강도시험, 세공구조의 측정, 기포의 평균직경 등의 측정을 행했다. 내동해성 시험으로서는 일면동결지속시험, 기중동결수중용해 시험을 행하였다.

2.1 공시체

공시체는 Table 1. 2에 나타낸 것과 같은 시작품 15종류를 사용하였고 발수제는 지방산염계 발수제를 사용하였다.

3. 실험 방법

3.1 공시체의 함수 조정 및 절건비중

강도시험, 흡수시험, 일면동결지속시험, 기중동결수중용해시험에 대해서 함수를 조정을 행했다. 이들 공시체의 함수율은 모두 10%로 했으며 함수율을 조정된 공시체는 7일 이상 밀봉하여 보관한 후 시험을 행하였고, 절건비중은 공시체를 105±5℃로 설정한 열풍순환식 건조기에서 7일 이상 건조시켜 항량으로 된 것을 절건상태로 하여 질량을 소숫점 첫째 자리까지 측정했다.

3.2 강도시험

공시체의 발포 방향에 대한 직각 방향에서 하중을 가하여 압축강도는 KS F 2701, 인장강도는 KS F 2423에 의거하여 측정하였다.

3.3 흡수시험

공시체를 물에 완전히 침지시켜 흡수시험을 행하였고 비중을 변화시킨 ALC의 흡수 특성을 일련의 동결 시험과 비교하여 검토하였다. 공시체를 100×100×100mm 형상으로 하고, 함수율을 10%로 조

Table 1. Specimen size and appearance for experiment of physical properties.

Items	Number of Specimen	Size(mm)	Appearance
Specific Gravity	15	100 × 100 × 100	Hexahedron
Compressive Strength	15	100 × 100 × 100	"
Tensile Strength	15	100 × 100 × 100	"
Absorption Test	15	100 × 100 × 100	"
Micropore Structure	15	0.5~5.0	Random
Pore Ratio	15	100 × 100 × 100	Hexahedron
Top Surface Freezing Test	15	∅ 100 × 100	Cylinder
Freezing & Thawing	15	100 × 100 × 200	Hexahedron

Table 2. Specimen index with specific gravity and amount of water repellent agent.

Specific Gravity	Addition of Water Repellent Agent		
	A	B	C
0.40	—	○(4B)	○(4C)
0.50	○(5A)	○(5B)	○(5C)
0.50	○(5AL)	○(5BL)	○(5CL)
0.55	—	○(55B)	○(55C)
0.60	—	○(6B)	○(6C)
0.65	—	○(65B)	—
0.70	—	○(7B)	○(7C)

- L : Particle size of Al powder is larger than others
- A : not added water repellent agent
- B : added 0.15% of water repellent agent
- C : added 0.25% of water repellent agent
- () : Specimen Index

정한 것을 사용했다.

각종 공시체를 실온 20℃, 습도 60%로 설정된 항온항습실에서 수온 20±2℃, 수두 5cm를 목표로 한 수중에 정치시켜 측정시간은 시험개시 전, 침수 후 30 분, 1, 2, 4, 6, 12 시간, 1, 2, 4, 5, 7, 9, 11, 14 일 후의 각 시간에서 행하였다. 실험은 수중의 공시체를 발포방향에 대하여 평행으로 정치시켰으며 수면의 높이는 공시체의 상면으로부터 5±1cm 이내로 유지시켰다.

흡수시험 종료 후 공시체를 105±5℃로 설정한 열풍순환식 건조기에서 7일 이상 항량으로 될 때까지 건조시켜 흡수율, 흡수량, 질건비중을 구하였다.

3.4 기포율의 측정

공시체 표면적(70×70mm)에 존재하는 기포를 대상으로 화면처리장치(피아스사제, LA-525)를 이용하여 기포율과 기포의 평균 직경을 구하였다.

$$\text{평균기포면적(mm}^2\text{)} = \frac{\text{총기포 면적}}{\text{총기포 개수}}$$

$$\text{기포율(\%)} = \frac{\text{총기포 면적}}{\text{측정 면적}} \times 100$$

$$\text{평균기포직경} = 2 \sqrt{\text{평균기포면적}/3.14}$$

3.5 일면동결지속시험

공시체의 외기 측을 -20℃로 유지하고 내측은 +20℃의 물이 항상 흡수될 수 있도록 설계된 시험조 내에서 공시체의 함수율과 균열 생성에 대하여 5일간 격으로 60일간 측정하였다.

3.6 기중동결수중용해시험

ASTM C 666B법(기중동결 -20±2℃에서 7시간, 수중용해 10±2℃에서 5시간)에 따라 공시체의 중량감소율과 체적감소율을 120 싸이클까지 측정하였다.

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

V_0 : 시험 개시 전의 공시체의 체적

V_n : n 싸이클 후의 공시체의 체적

4. 결과 및 고찰

4.1 압축 및 인장강도

Fig. 1은 비중 0.5에서 알루미늄 분말의 분말도에 따른 압축 및 인장강도의 변화를 나타낸 것이다. 발수제의 첨가는 ALCI의 압축강도에는 영향을 미치지 않았다. 알루미늄 분말의 분말도가 높은 것을 기포제로 사용한 공시체의 압축강도는 57.3~57.5kg/cm²였으나, 분말도가 낮은 알루미늄 분말을 기포제로 사용한 공시체의 압축강도는 54.8~55.9kg/cm²로서

압축강도값은 약 2.5kg/cm^2 정도 떨어졌다. 인장강도에 있어서는 알루미늄 분말의 분말도가 높은 5A, 5B, 5C가 각각 6.91 kg/cm^2 , 6.40 kg/cm^2 , 6.25 kg/cm^2 였으며 이는 분말도가 낮은 5AL, 5BL, 5CL이 각각 4.73 kg/cm^2 , 4.90 kg/cm^2 , 5.30 kg/cm^2 인 것에 비하여 높은 인장강도의 값을 보였으며, 발수제의 첨가량이 증가함에 따라 분말도가 높은 쪽은 인장강도가 떨어지고, 분말도가 낮은 쪽은 인장강도가 높아지는 경향을 보였다. 비중에 따른 압축 및 인장강도의 변화는 Fig. 2와 같다. 비중을 0.4에서 0.7로 증가시켰을 때 압축강도는 33.1kg/cm^2 에서 108.6 kg/cm^2 로 크게 증가하였으며 인장강도는 0.4의 공시체가 4.86kg/cm^2 , 0.7의 공시체가 14.38kg/cm^2 였으며 그 외의 것은 $6.24\sim 8.14\text{kg/cm}^2$ 였다.

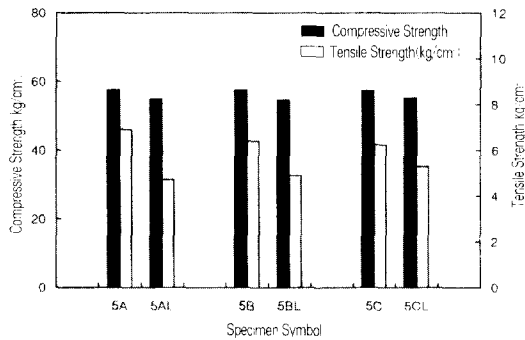


Fig. 1 Compressive and tensile strength with aluminium particle size and added amount of water repellent agent.

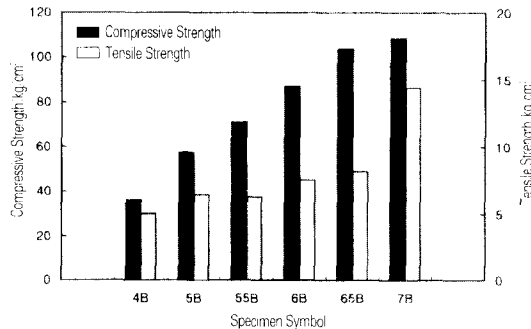


Fig. 2 Compressive and tensile strength with the variation of specific gravity.

4.2 흡수율 변화

비중 0.5에서의 흡수율의 변화는 Fig. 3과 같다. Fig. 3에서와 같이 발수제의 첨가량이 증가함에 따라 2일과 14일 동안의 흡수율은 모두 감소하였으며, 알루미늄 분말의 분말도에 따른 흡수율은 분말도가 낮은 공시체의 흡수율이 분말도가 높은 공시체에 비하여 낮은 값을 보이고 있다. 비중이 높아짐에 따라 흡수율은 낮아지고, 발수제의 첨가량이 많아지면 흡수율은 낮아짐을 Fig. 4에 보였다. 이러한 경향은 비중이 증가하면 단위 체적당 존재하는 기공의 양이 적어지게 되어 흡수율이 낮아지는 것으로 사료되며 비중과 기공과의 관계는 다음의 기포율의 변화에서 논하기로 한다.

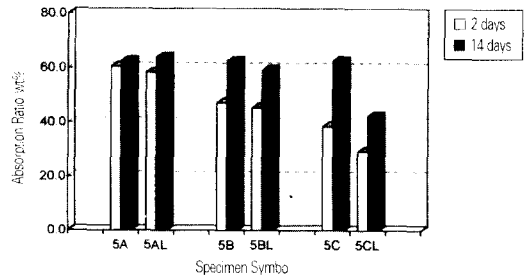


Fig. 3 Absorption ratio with aluminium particle size and added amount of water repellent agent.

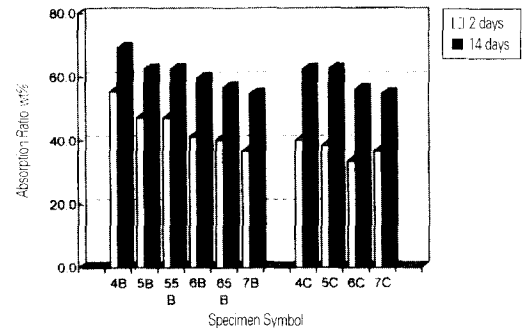


Fig. 4 Absorption ratio with the variation of specific gravity.

4.3 기포율 변화

공시체의 비중이 증가함에 따른 기공 평균 직경의 변화를 Fig. 5에, 비중 0.5에서의 기포율 변화를

Fig. 6에 보였다. 여기에서 볼 수 있듯이 4B의 평균 직경은 $813.3\mu\text{m}$, 7B의 평균 직경은 $706.8\mu\text{m}$ 로 비중이 증가함에 따라 기공의 평균 직경은 작아졌으며 이러한 현상은 비중이 높아짐에 따라 기공이 받는 압력이 증가하게 되어 평균 직경이 작아지는 것으로 사료된다. 그리고 기포율과 기공의 평균 직경과는 관계가 없는 것으로 보여지며 알루미늄 분말의 분말도에 따른 기포율은 분말도가 높은 알루미늄 분말을 사용하였을 때 낮아졌다. 일반적으로 내동해성은 기공의 크기에 큰 영향을 받아 반경 200Å이상의 모세관이 열화에 관계하는 것으로 알려져 있다.²¹⁾

Fig. 7은 각 공시체의 비중에 따른 세공량 측정 결과이다. 비중 0.4인 공시체의 세공량은 0.826 cc/g 였으며 비중이 0.7로 증가하면서 세공의 양은 완만한 감소를 보여 0.692 cc/g 로 측정되었다. 동해에 의한 열화는 세공의 양에 큰 영향을 받아 세공량에 따라 흡수된 물의 이동에 차이가 있어 이에 따른 박리에

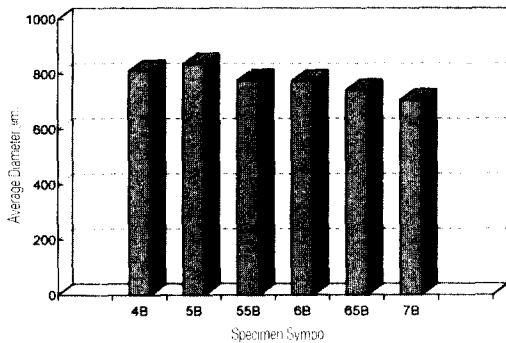


Fig. 5 Average diameter of pore with the variation of specific gravity

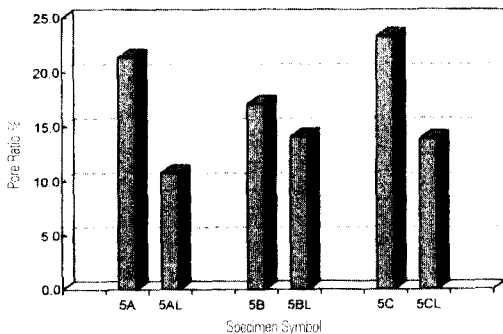


Fig. 6 Pore ratio with aluminium particle size and added amount of water repellent agent.

의한 체적 감소율에 영향을 미칠 것으로 사료된다. 그리고 발수제 첨가량을 변화시켜도 세공량에는 큰 영향을 미치지 못하였으며 알루미늄 분말의 분말도가 높으면 세공량은 감소하였다.(Fig. 8)

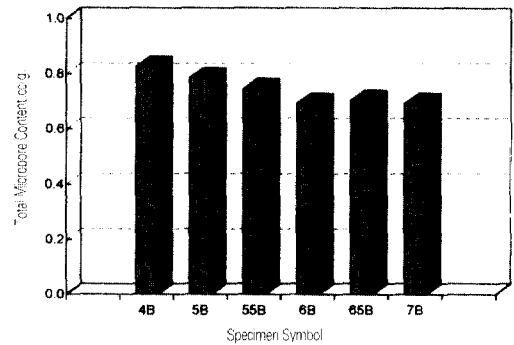


Fig. 7 Total micropore content with the variation of specific gravity.

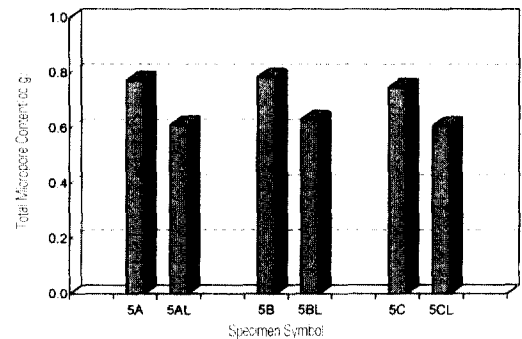


Fig. 8 Total micropore content with aluminium particle size and added amount of water repellent agent.

4.4 내동해성

공시체의 외기측을 -20°C 로 유지하고 내측은 $+20^{\circ}\text{C}$ 의 물이 항상 흡수될 수 있도록 하여 60일 동안 측정한 일면동결지속시험의 결과를 Fig. 9, 10에 보였다. 비중이 0.5이하의 시험체에서는 발수제의 첨가 없이 5A(20~35일) - 4B(40~60일) - 5B(55~60일)의 순으로 균열이 발생하였으나 비중 0.5이상에서는 균열이 발생하지 않았다. 즉 비중이 증가되면 내동해성이 향상되는 결과를 나타내므로 한냉지에서 ALC'를 외벽에 사용하기 위해서는 ALC'의 고비중화를 검토할 필요가 있을 것으로 사료된다. 그리고 비중 0.5의 결과에서 볼 수 있듯이 발수제가 첨가되지

않은 공시체에서는 모두 균열이 발생하였으며, 발수제 첨가량 1.5%에서는 알루미늄 분말의 분말도가 동해열화에 영향을 미친 것으로 사료되며 발수제를 2.5% 첨가한 5C와 5CL에서는 균열이 발생하지 않았다. 이는 발수제의 첨가가 물과 ALC 사이의 접촉각을 증가시켜 내부에 물이 들어가도 세공부분에는 물이 들어가기 어렵기 때문에 균열에 의한 열화가 나타나지 않은 것으로 사료된다. 그리고 Fig. 9, 10에서 볼 수 있듯이 공시체의 균열은 50% 이상의 함수율에서 비중이 작고, 발수제를 첨가하지 않으면 발생하였다.

기중동결 $-20 \pm 2^\circ\text{C}$ 에서 7시간, 수중융해 $10 \pm 2^\circ\text{C}$ 에서 5시간을 1 cycle로 하여 공시체의 체적 감소율을 120 사이클까지 측정된 결과가 Photo. 1, Fig. 11, 12이다. 동해에 의한 열화는 서론에서 언급한 바와 같이 두 가지 형태로 나타나며 하나는 앞서의 균열에 의한 열화이며 다른 하나는 박리에 의한 열화로

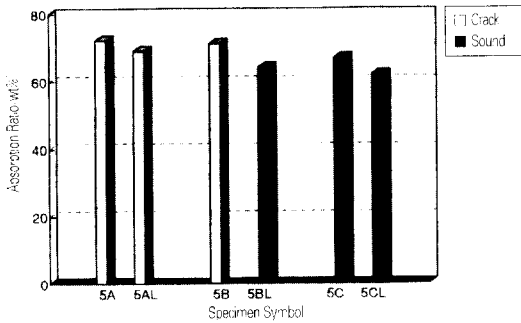


Fig. 9 Results of onside freezing test with aluminium particle size and added amount of water repellent agent.

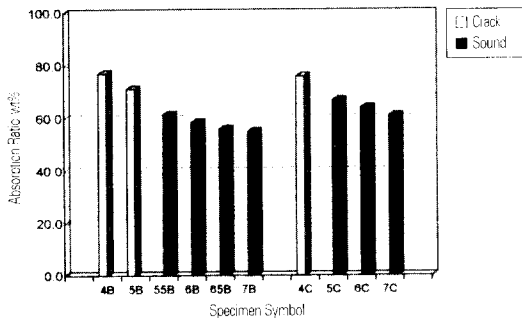
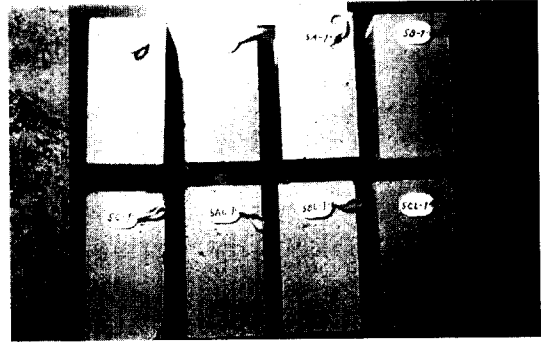
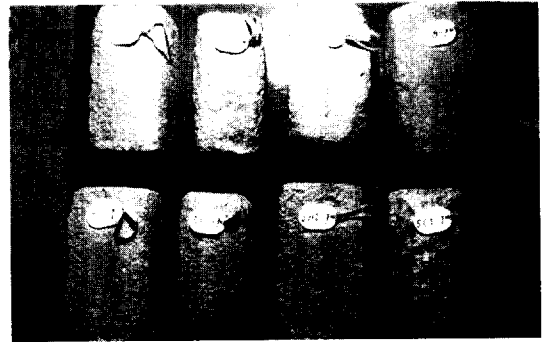


Fig. 10 Results of onside freezing test with the variation of specific gravity and added amount of water repellent agent.

서 이 박리에 의한 체적의 감소는 Photo. 1에서와 같이 표면에서의 박리에 의해 120 사이클에서는 크게 감소되었음을 볼 수 있다. 또한 그 감소율은 비중 0.5에서는 발수제의 첨가량에 관계없이 알루미늄 분말의 분말도가 낮은 것을 사용한 공시체가 높아 일면 동결지속시험에서의 균열에 의한 열화에는 내구성이



(a)



(b)

Fig. 11 Photographs of volume decrease by freezing and thawing test. (a) 0 cycle, (b) 120 cycle

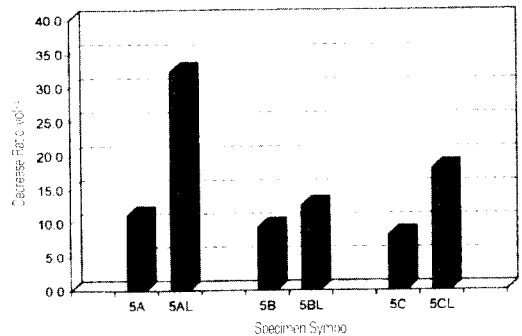


Fig. 12 Decrease ratio of volume by freezing and thawing test with aluminium particle size and added amount of water repellent agent.

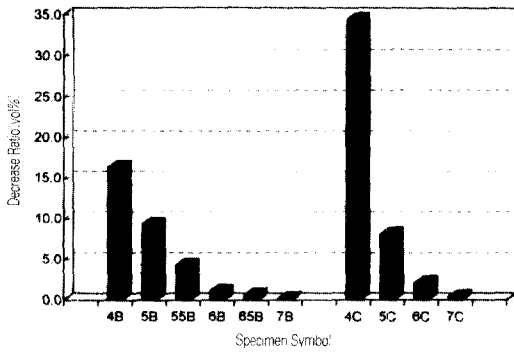


Fig. 13 Decrease ratio of volume by freezing and thawing test with the variation of specific gravity and added amount of water repellent agent.

큰 반면 박리에 의한 열화에는 그 저항성이 떨어졌다. 비중에 따른 체적 감소율의 변화에서는 발수제의 첨가량 0.15%와 0.25%에서 각각 16.3%와 34.4%로 매우 높았으나 비중이 증가하면서 급격히 낮아져 비중 7B, C에서는 체적 감소율이 0.2%와 0.4%로 박리에 의한 열화는 극히 미미한 것을 알 수 있었다. 이러한 박리에 의한 열화는 적합한 마감재를 사용하면 크게 개선할 수 있을 것으로 사료된다.

5. 결 론

1. 기포제로 사용한 알루미늄 분말의 분말도가 높은 것이 공시체의 압축 및 인장강도가 높았으며, 공시체의 비중이 클수록 기포의 평균 직경은 작았으나 기포율은 대체적으로 높았다.
2. 분말도가 높은 알루미늄 분말을 사용한 공시체에서 총세공량 및 함수율이 높았으며, 발수제의 첨가에 의하여 함수율은 감소하였다.
3. 일면동결지속시험에서 비중이 작고 발수제를 첨가하지 않은 공시체는 균열이 발생하였으나 발수제를 첨가하고 비중을 높인 공시체는 시험종료시까지 균열이 발생하지 않았다.
4. 기중동결수증 시험에서 체적 감소율은 분말도가 낮은 알루미늄 분말을 사용한 공시체에서 높았으며, 공시체의 비중이 클수록 체적 감소율은 현저히 낮아졌다.

따라서 ALC의 내동해성을 개선하기 위해서는 기중동결시험의 외적 요건등을 종합 검토하여 사용되는 알루미늄 분말의 분말도를 변화시키거나, ALC의 장점이 손상되지 않는 범위내에서 비중을 높이는 방안을 적극 검토할 필요가 있을 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. 노재성, 황의환, 홍성수, 이범재, "경량기포콘크리트의 권면동결응해 및 탄산화에 관한 연구", 한국콘크리트학회 논문집, 7권 4호, 1995, pp. 149-156
2. 千步修, 鎌田英治, 田火田雅幸, "ALC의 동해 메카니즘에 관한 연구", 日本建築學會材料施工委員會 콘크리트構造物の凍害とその対策シンポジウム, 1991
3. 田火田雅幸, "凍害防止対策新技術의 現狀, その 1 耐凍害性 ALC의 開發", ALC의 동해와 그 대책, 日本建築學會北海道支部 材料施工專門委員會, 1992
4. 長谷川壽夫, 坂東玲一, "寒冷地におけるALC外壁構法에 관한 연구(その 1. 實驗概要と 外壁構成によ수水分蓄積量)", 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1990, pp. 53-64
5. 長谷川壽夫, 加瀬久子, 及川石, 關根幸夫, 坂東玲一, "寒冷地におけるALC外壁構法에 관한 연구(その 3. 斷熱材와防濕シート有無による影響)", 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1991, pp. 425-426
6. 千步修, 鎌田英治, 田火田雅幸, "ALC의 동해劣화 메카니즘과耐凍害性評價法에 관한 연구", 第44回セメント技術大會講演集, 1990, pp. 478-483
7. 千步修, 鎌田英治, 大塚隆男, 三森敏司, "ALC의 外壁仕上げ의 동해劣化의 評價法에 관한 實驗研究", 日本建築學會構造系論文報告集, No. 396, 1989
8. 鎌田英治, "ALC 패널의 동해와 그 대책", 建築の技術施工, No. 4, 1988, pp. 43-49
9. 鎌田英治, 田畑雅行, 千步修, 伊藤利博, "ALC의 동해機構와評價のための試驗法", 세멘트 콘크리트, No. 432, 1983
10. O. SENBU, E. KAMADA, "Mechanism of frost deterioration of AAC", Proceedings of the 3rd RILEM INTERNATIONAL SYMPOSIUM on Autoclaved Aerated Concrete, 1978

요 약

발수제의 유무와 알루미늄분말의 분말도 및 첨가량을 조절하여 비중을 0.4에서 0.7로 변화시켜 비중과 ALC의 기초물성, 내동해성 및 내구성과의 관계를 조사하였다.

압축 및 인장강도는 비중이 0.4에서 0.7로 증가함에 따라 발수제의 첨가량에 관계없이 증가하였고, 발수제의 첨가량이 증가하면 내동해성은 개선되었으며 흡수율은 감소하였다. 입경이 작은 AI 분말을 이용하여 제조한 ALC의 박리에 의한 체적감소율은 낮게 나타났으며 일면동결지속시험 및 기중동결수중용해시험에서도 내동해성이 우수한 것으로 나타났다.

(접수일자 : 1997. 3. 20)