



## 콘크리트용 기포제 종류 및 농도에 따른 기포의 특성

김진만<sup>1)</sup> · 곽은구<sup>1)</sup> · 오광진<sup>2)</sup> · 강 철<sup>2)\*</sup>

<sup>1)</sup>공주대학교 건축학부 <sup>2)</sup>한국시설안전공단 시설안전연구소

## Properties of Bubble According to Types and Concentrations of Concrete Foaming Agent

Jin-Man Kim,<sup>1)</sup> Eun-Gu Kwak,<sup>1)</sup> Kwang-Chin Oh,<sup>2)</sup> and Cheol Kang<sup>2)\*</sup>

<sup>1)</sup>Dept. of Architecture, Kongju National University, Cheonan 330-717, Korea

<sup>2)</sup>Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation, Goyang 411-758, Korea

**ABSTRACT** Bubbles within the foamed concrete manufactured by pre-foaming method is the main factor which affects the physical properties of foamed concrete such as density, strength, and porosity. Although many researches on foamed concrete have been continuously carried out, insufficient number of researches on the properties related to bubbles in the foamed concrete has been performed except for chemical application related researches. In order to make an optimal foamed concrete, study on the bubble properties must be pursued. In order to effectively implement bubbles in the manufacturing of foamed concrete, the bubble properties must be estimated. In this study, in order to determine the bubble properties, examination of the bubble properties according to types and foaming agent concentration was performed. An foaming agent used for this test were anionic surfactant, rosin, and protein system with the foaming agent concentration range of 0.05~13%. Test parameters considered in the study were foaming rate, foam volume, drainage solution volume, and bubble size. The study results showed that, regardless of foaming agent type, higher concentration of foaming agent showed an increase in the foaming rate. Also, the results showed that concentration of foaming agent affected bubble size, drainage solution volume change, and bubble distributions. With respect to the stability of the bubble, protein foaming agent was better than anion surfactant or rosin foaming agent. With respect to the bubble shape, anion surfactant and rosin formed bubbles had polygon shape where as protein formed bubbles had spherical shape.

**Keywords :** foaming agent, bubble, foaming rate, drainage solution, shape of bubble

### 1. 서 론

콘크리트에 사용되는 기포제는 일부를 제외하고 대부분 계면 활성 작용에 의해 물리적으로 기포를 형성하는 것으로 공기량은 최대 85%까지 이를 수 있다.<sup>1)</sup> 경량 콘크리트의 일종인 기포 콘크리트는 내부와 외부에 무수히 많은 공극을 형성시켜 단위 용적 중량을 낮춘 것이다.

공극 형성을 위한 기포제 또는 발포제는 모르타르 및 콘크리트에 경량성, 단열성을 부여하기 위하여 사용하는 것으로 기포 콘크리트를 제조하는데 있어서는 필수적인 혼화재료이다. 기포를 얻는 방법으로는 시멘트의 수화 반응에 의한 것과 계면 활성 작용 및 교반에 의해 물리적으로 발생시키는 방법이 있다. 이것을 혼화제로 분류하면 전자는 발포제, 후자는 기포제로 분류된다. 발포제를 이용하는 대표적인 기포 콘크리트 제품에는 오토클레이브

양생에 의해 공장 생산되는 ALC가 있고, 기포제를 이용하는 것으로는 아파트 등의 온돌층에 사용하는 현장 타설 기포 콘크리트가 있다. 이 중 현장 타설 기포 콘크리트 제조에서 발포기를 이용하여 제조한 기포를 슬러리와 혼합하여 사용하는 선발포 방식은 계면 활성 성분을 가지고 있는 기포제 또는 단백질상으로 구성된 기포제를 사용하여 기포를 제조한다.

기포제는 일반적으로 기포 주제, 기포 안정제, 경화 조절제 등의 여러 가지 계면 활성제를 혼합하여 제조하게 되는데, 기포제는 물리적 공기 유입에 의해 계면 활성 작용을 하고 분자 하나하나가 친유기와 친수기의 원자단을 갖게 되어 기포를 형성하게 된다.

기포 콘크리트에서 기포의 역할은 성형 초기에는 체적 안정성에 영향을 끼치며, 경화 후에는 경량성, 단열성, 압축강도 등에 영향을 끼치게 된다. 기포의 특성은 기포제를 구성하는 재료 및 성분 따라 큰 차이를 보이게 된다. 그러므로 사용 목적에 적합한 기포를 선택하기 위해서는 사용 전 미리 기포의 특성을 알아보는 것이 중요하다. 기포 콘크리트에 관한 연구가 꾸준히 진행됐

\*Corresponding author E-mail: cupiboy@hanmail.net

Received August 17, 2010, Revised December 29, 2010,

Accepted January 14, 2011

©2011 by Korea Concrete Institute

음에도 불구하고 국내에서는 아직까지도 기포 콘크리트의 특성과 밀접한 관련이 있는 기포의 특성에 관한 연구는 미약한 실정이다.

따라서 이 연구에서는 기포 콘크리트의 성상에 많은 영향을 끼치는 기포의 특성을 알아보고자 현재 선발포 방식을 통해 기포 콘크리트의 제조에 사용되는 기포제 종류를 선정하여 그에 따른 기포의 특성을 알아봄으로서 사용 목적 및 요구 성능에 부합할 수 있는 기포 콘크리트의 제조를 위한 기초적 자료로 제공하고자 한다.

## 2. 실험 계획 및 방법

### 2.1 실험 계획

Table 1은 이 연구의 실험 계획을 나타낸 것으로 선발포 방식을 사용하여 제조되는 기포의 특성을 검토하기 위한 것이다. 실험 인자는 크게 기포제 종류와 기포제 농도이다. 사용한 기포제는 크게 3종류로 음이온계 계면활성제, 수지 비누계, 단백질계 기포제이다. 음이온계 계면활성제는 A사의 AES와 AOS를 사용하였고, 수지비누계와 단백질계로는 H사의 RM과 FP를 사용하였다.

기포제 농도는 기포의 안정성, 발포율과 같이 기포의 성상에 많은 영향을 끼치며, 기포제 종류에 따라 많은 차이를 나타낸다. 기포제 농도의 선정은 선행 연구<sup>2)</sup>를 참고로 하여 0.05~13%로 설정하였다. 측정 항목으로는 기포 발생기를 통해 제조되는 기포의 발포율, 시간 경과에 따른 기포의 용적 변화, 그리고 발포한 기포가 소멸하여 수용액으로 변하는 과정에서 생성되는 수용액의 용적 변화를 측정하였다. 또한 기포제 및 농도별 기포의 형상 및 크기를 광학현미경 분석을 통해 상변화 특성을 알아보았다.

### 2.2 사용 재료

이 실험에 사용한 기포제의 종류별 물리·화학적 특성은 Table 2와 같다. 기포제는 일반적으로 기포 콘크리트 제조에 사용되는 것을 사전 조사하여 4종을 선정하였다. 일반적으로 국내에서는 공동주택의 단열층 및 터널 등의 공동부 뒷채움용으로 기포 콘크리트가 사용되는데, 이때 사용되는 기포 콘크리트에서 기포 발생을 위해 사

Table 2 Properties of foam agent

Types	Active matter (%)	Free oil (%)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Klett color* (5% AM)	pH
AES	27.17	0.3	4	0.15	7.53
AOS	35.25	1.1	0.24	25	12.9
RM	25.7	-	-	-	7.47
FP	35.8	-	-	-	7.44

\*Klett color : color scale for measuring detergent or surfactant

용되는 기포제는 계면활성제계와 단백질계 기포제가 많이 사용되고 있다. 기포제 종류에 따른 기포의 특성에서 계면활성제계와 수지비누계는 열린 공극을, 단백질계는 닫힌 공극을 형성하는 것으로 알려져 있다.

### 2.3 실험 및 측정 방법

기포 콘크리트는 시멘트계 재료가 주성분을 이루고 있어 수화 작용에 의해 생성되는 수산화칼슘에 의해 높은 알칼리도를 유지하게 된다. 따라서 이러한 환경 조건에서 기포의 특성을 검토하는 것이 타당한 것으로 판단되어 기포제를 포함한 수용액을 일반적인 콘크리트의 환경과 유사하도록 pH12로 설정한 뒤 알칼리도를 유지할 수 있도록 Ca(OH)<sub>2</sub> 시약을 사용하여 알칼리 환경을 조성하였다. 실험 순서는 pH를 맞춘 Ca(OH)<sub>2</sub> 포화용액에 기포제를 희석 농도로 투입한 후 발포기를 사용하여 기포를 제조하였다.

기포 발생을 위해 사용한 발포기는 Fig. 1의 발포기를 이용하였으며 Fig. 2의 모식도와 같은 장비 및 공정을 통해 기포를 제조하였다. 제조된 기포는 시간 변화에 따라 기포가 소멸하여 수용액 상태로 변할 때의 기포/수용액의 용적 변화를 측정하였다. 발포율(foaming rate) 계산은 최종적으로 발포한 기포의 용적률에 대해 초기에 기포제와 물을 혼합한 기포액의 용적에 대한 비율로 하였으며 다음 식을 이용하여 계산하였다.

기포 발생을 위해 사용한 발포기는 선행 연구<sup>3)</sup>를 참조하여 길이/직경비가 2.0을 가지는 원통형의 아크릴 케이스를 제작해 사용하였으며, 내부의 충전물은 직경 6 mm

Table 1 Experimental factors and levels

Factor	Level	Test item
Kind of foam agent	AES, AOS RM, FP	·Foaming rate
		·Foam volume
Concentration of foaming agent	0.05~13%	·Volume change of drainage solution
		·Bubble shape and size

AES : alcohol ethoxy sulfate

AOS : a-olefin sulfonate

RM : rosin malate

FP : Fe-protein



Fig. 1 Foam generator

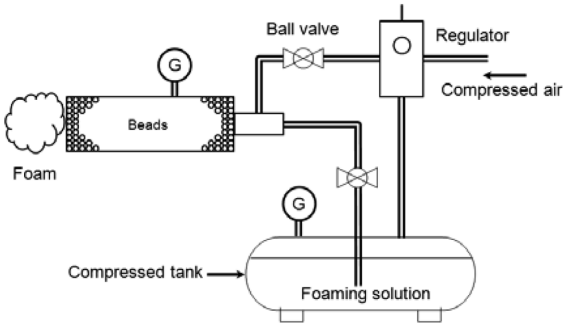


Fig. 2 Manufacturing process of bubble



Fig. 3 Manufacturing scene of bubble

의 플라스틱 비드를 사용하였다.

$$\text{발포율(foaming rate)} = \frac{V_f}{V_s} \times 100(\%)$$

여기서  $V_s$ : 초기 기포액 용적

$V_f$ : 발포한 기포의 용적

발포된 기포의 용적 측정 후 시간 경과에 따른 기포의 상 변화를 알아보기 위해 기포의 발포 이후 60분 동안 기포가 소포되어 수용액으로 변화할 때의 수용액 용적을 10분 간격으로 측정하여 상대적인 기포 감소율과 수용액 증가율을 구하고 이를 기포 안정성 평가를 위한 지표로 활용하였다. 또한, 발포된 기포의 일부를 채취하여 시간 변화에 따라 광학현미경으로 관찰하고 화상 분석(image analysis)하여 기포제별, 기포 농도별 기포의 형상, 크기, 분포를 알아보았다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 기포제 농도별 발포율

계면활성제 용액이 잘 발포하기 위해서는 수용액이 임계미셀 농도 이상을 유지하여야 한다. 계면활성제 분자들이 단분자 용액 상태를 이루다가, 어느 농도 이상에 도달하면 더 이상 표면에 존재할 수 없는 상태에서 용액 내의 응집체를 형성하게 되는 이 회합체를 미셀이라고 하며, 이

때의 농도를 임계미셀농도(critical micelle concentration, CMC)라 한다.<sup>4)</sup> 임계미셀농도의 측정을 통해 발포력이 최대점에 도달하는 농도를 산정할 수 있다. 그러나 이 연구에서는 임계미셀농도를 측정하지 않고 기존 연구<sup>5)</sup>에서 제안한 발포력이 일정한 수치를 보이는 임계치를 최대 발포점으로 판단하는 방법을 채택하였다.

Figs. 4~7은 기포제 종류 및 농도 변화에 따른 발포율 변화를 나타낸 것이다. 기포제 농도의 증가에 따라 발포율이 증가하지만, 발포 용적은 종류별로 다르게 나타났

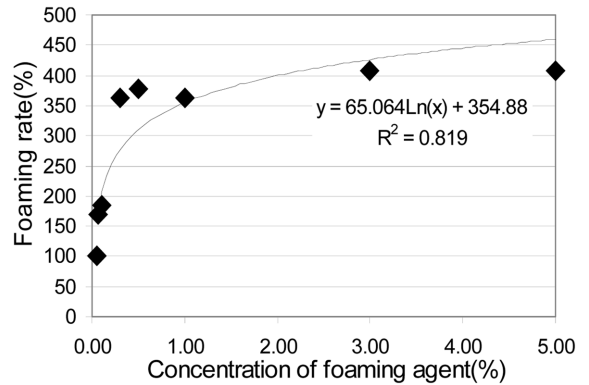


Fig. 4 Foaming rate according to concentration of foaming agent (AES)

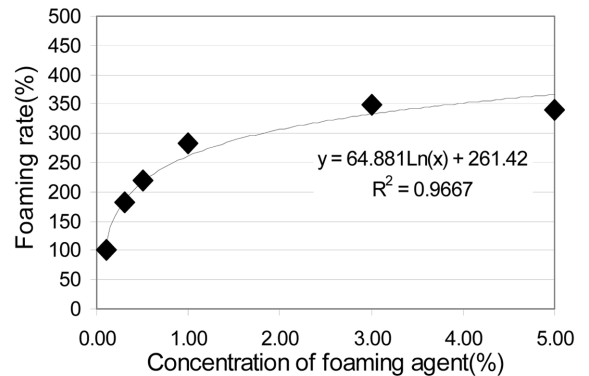


Fig. 5 Foaming rate according to concentration of foaming agent (AOS)

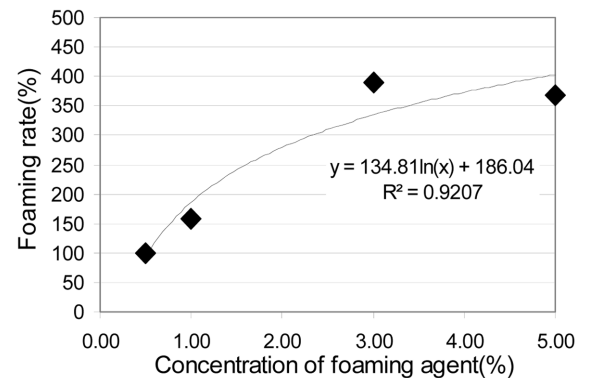


Fig. 6 Foaming rate according to concentration of foaming agent (RM)

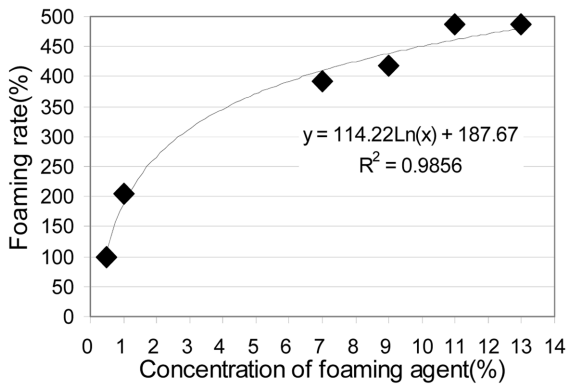


Fig. 7 Foaming rate according to concentration of foaming agent (FP)

다. AES와 AOS는 농도를 증가시킬수록 발포율이 증가하는 것으로 나타났다. AES의 경우, 초기에서 농도 3.0%까지는 발포율이 점진적으로 증가하다가 3%를 넘어 5%에서는 발포율 변화가 3%와 큰 차이를 나타내지 않았다. AOS의 경우에도 초기부터 3%까지는 지속적인 발포율의 증가를 나타냈지만 그 이후부터는 약간 낮은 발포율을 나타내 AES와 유사한 경향을 나타냈다. 발포율 차이는 AES가 AOS 보다 다소 발포율이 높은 것으로 나타났다. RM도 초기부터 농도 3%까지는 발포율이 증가하다가 3%를 정점으로 발포율이 감소하는 경향을 나타냈다. 이러한 경향은 앞서 실험한 계면활성제와 유사하였다. FP는 AES, AOS, RM과는 달리 낮은 농도에서는 발포율이 현저히 떨어지는 경향을 보여 다른 기포제와 비교해 유사한 발포율에 도달하기 위해서는 상대적으로 높은 기포제 농도(7%)가 필요한 것으로 나타났다.

### 3.2 기포 경시 변화

기포가 생성되고 소포되는 과정에서 기포의 안정성은 기포를 생성하는 용액의 표면 점도, 표면 강성 등과 관련이 있으며 기포의 안정성에 영향을 주는 인자는 기포막의 배액 속도, 표면 점도, marangoni 효과(기체나 액체의 계면에서 온도나 농도의 기울기가 생길 때 표면장력이 불균일하게 되는 현상), 액의 유하, 기포의 합일 현상 등이 있다.<sup>6,7)</sup> 계면활성제를 성분으로 하는 기포제는 액체와 표면에 흡착하며 단분자막을 만듦으로써 표면장력을 감소시킨다.<sup>8)</sup> 표면장력은 계면활성제의 농도가 감소할수록 증가하게 되며 이러한 표면장력은 액의 배액 속도와도 상관성이 있으며 표면장력이 적을수록 배액 속도는 적다. 표면 점도는 기포의 안정성에 영향을 미치며 표면 점도의 결정은 표면에 흡착한 계면활성제 또는 고분자 물질의 구조에 따라 변한다. 표면 점도가 기포의 안정성에 기여를 하는 것을 정량적으로 설명하는 것은 불가능하지만, 대개 표면 점도가 높은 용액은 안정성이 높은 기포를 생성한다고 알려져 있다. 표면 점도가 높을수록 기포의 안정성이 크게 된다는 것은 A. G. Brown 등의 연구<sup>9)</sup>에서 알 수 있다.

Figs. 8~11은 기포제의 종류 및 농도에 따른 기포의 경시 변화를 나타낸 것이다. 기포제 종류와 상관없이 기포제 농도가 높을수록 기포에서 수용액으로 변하는 상변화

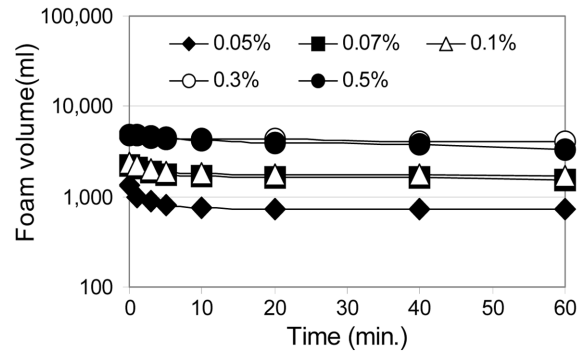


Fig. 8 Volume change of foam (AES)

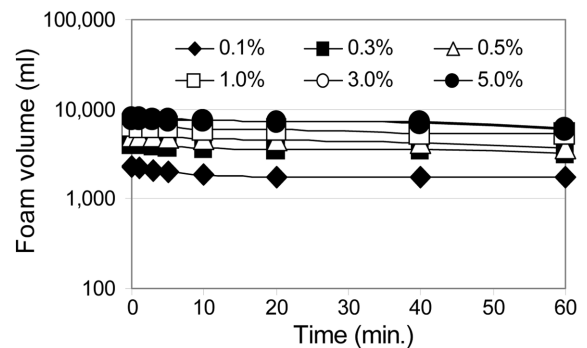


Fig. 9 Volume change of foam (AOS)

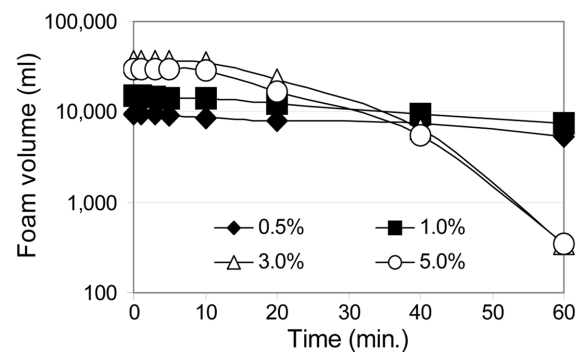


Fig. 10 Volume change of foam (RM)

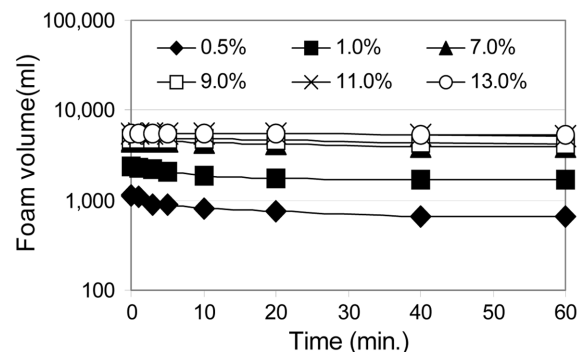


Fig. 11 Volume change of foam (FP)

가 작은 것으로 나타났다. AES의 경우를 살펴보면, 기포제 농도에 따라 기포의 용적 변화의 차이가 있지만 경시 변화에 따른 용적 변화는 기포제 농도와는 상관없이 일정하게 감소하는 것으로 나타났다. 경시 변화에 따른 감소율은 최대 47%, 최소 23% 범위인 것으로 나타났다. AOS의 경우를 살펴보면, AES와 같이 기포제 농도에 따라 기포의 용적 변화의 차이가 있지만 경시 변화에 따른 용적 변화는 AES와 유사한 경향을 보였다.

RM의 경우를 살펴보면, 낮은 농도에서의 기포의 경시 변화는 작은 반면에 높은 농도인 3%와 5%에서 10분경과 후부터 기포가 급격히 소멸하여 큰 용적 변화를 보였다. 이러한 결과는 일반적으로 알려진 바와 같이 농도가 높을수록 기포의 안정성이 유지되는 경향과는 달리 다른 경향을 보여 이에 대한 세부적인 검토가 필요할 것으로 판단된다. FP의 경우를 살펴보면, AES, AOS와 같이 경시 변화에 따른 상변화가 작게 발생하며 사용된 기포제 중 가장 적은 상변화를 나타냈다. 이러한 이유로는 단백질 분해물과 2가철염의 결합으로 인해 안정한 기포를 형성하기 때문인 것으로 사료된다.<sup>10)</sup>

### 3.3 수용액 용적 변화

기포가 소멸하여 상변화를 통해 생성되는 수용액은 앞에서 기술한 기포의 안정성과 밀접한 관련이 있다. 다양한 경로를 거쳐 형성된 모든 종류의 기포는 근본적으로 또는 궁극적으로 안정하지 못하다.<sup>11)</sup> 열역학적으로 안정하지 못한 원인은 기포의 경시 변화에서 밝힌 요인과 거의 동일하다고 할 수 있다. 그러므로 이러한 요인들은 기포가 소멸하여 수용액으로 변하는 과정에서 상변화에 중요하게 작용한다. Figs. 12~15는 기포제 종류별 시간변화에 따라 발포된 기포가 소포되어 상변화가 진행될 때의 수용액 용적 변화를 나타낸 것이다.

AES의 경우를 살펴보면, 기포제 농도가 낮을수록 초기 10분 이내에 기포가 급격히 소멸되어 수용액으로 변하는 것을 알 수 있다. 하지만 상대적으로 기포제 농도가 높은 3~5%의 경우에는 낮은 농도에 비해 10분 이내에서는 기포가 상대적으로 덜 소포되어 수용액으로 상이 변화되는 것이 더딘 것으로 나타났고 20분 후에는 다

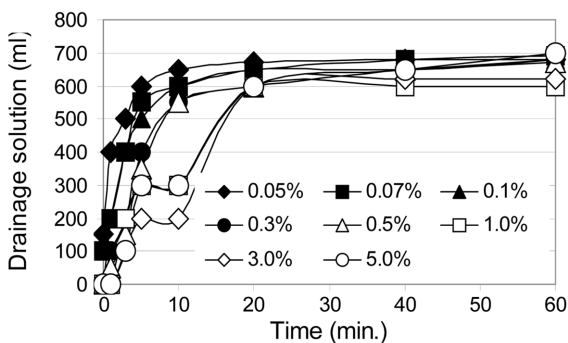


Fig. 12 Volume change of drainage solution (AES)

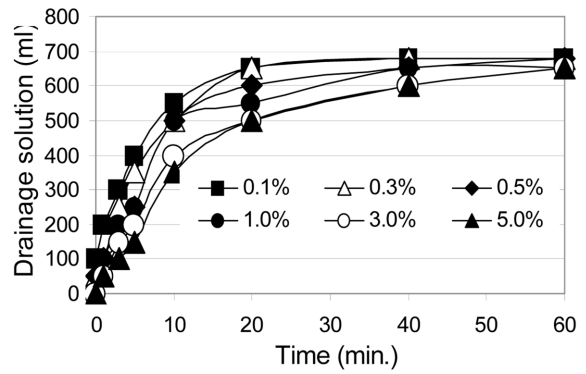


Fig. 13 Volume change of drainage solution (AOS)

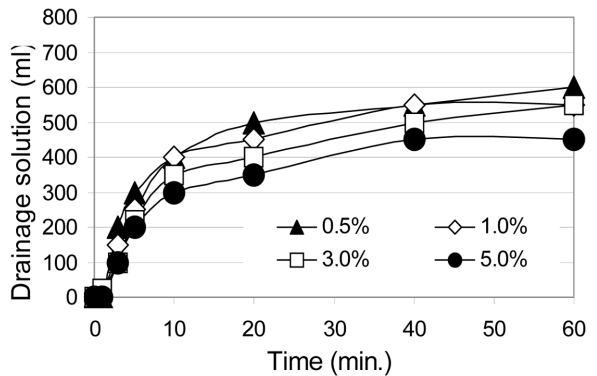


Fig. 14 Volume change of drainage solution (RM)

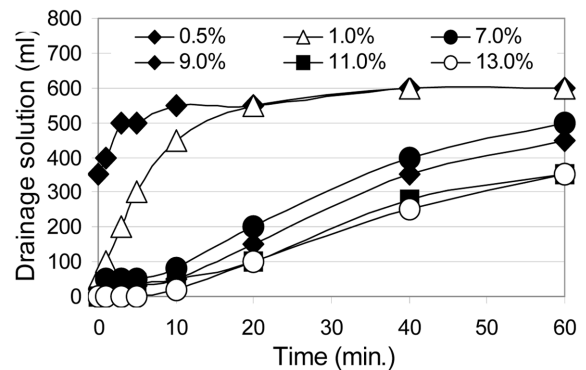


Fig. 15 Volume change of drainage solution (FP)

른 농도와 유사한 경향을 보였고 수용액 용적 변화는 거의 없는 것으로 나타났다.

AOS의 경우를 살펴보면, 낮은 기포제 농도에서 초기에 AES와 같은 급격한 상변화를 보이지는 않았지만 AES와 같이 시간이 경과할수록 기포가 소멸되면서 수용액의 용적량이 증가하는 것을 알 수 있었다. 기포제 농도에 따른 수용액 용적 변화를 살펴보면 기포제 농도가 낮을수록 수용액 용적 변화는 크게 나타난 반면에 기포제 농도가 높을수록 기포에서 수용액으로의 용적 변화는 작게 나타났다. 경시 40분 이후에는 수용액 용적 변화가 40분 이전과 비교하여 용적 변화의 큰 차이를 보이지 않고 일정하게 유지되는 것으로 나타났다.

RM의 경우를 살펴보면, 계면활성제계인 AES, AOS와

같이 시간 변화에 따라 기포가 소포되어 수용액으로 변하는 양상이 거의 유사한 것으로 나타났지만 수용액의 용적 변화는 계면활성제계에 비해 작은 것으로 나타났으며, 10분 경과 후에는 수용액 용적 변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 수용액 용적 변화는 RM의 경우가 계면활성제계 보다는 작고 FP보다는 큰 것으로 나타났다.

FP의 경우를 살펴보면, 상대적으로 기포제 농도가 낮은 0.5%, 1%에서 초기 10분 이내에 기포가 소포되어 수용액으로 변화가 급격하게 발생하는 것으로 나타났다. 반면에 상대적으로 높은 농도에서는 기포의 소멸 현상으로 발생하는 수용액의 변화곡선 기울기가 완만하게 나타나 높은 기포제 농도에서는 기포의 안정성이 오래 지속되는 것으로 나타났다.

### 3.4 기포 형상 및 크기 분포

Figs. 16~19는 기포제 종류별 기포의 광학현미경 사진이다. 기포가 빛에 산란되어 촬영한 2차원 화상으로 기포의 형상을 정의하는 것은 무리가 있지만 대체적으로 계면활성제계인 AES, AOS와 수지비누계인 RM은 균일한 평면막 경계를 갖는 다면체 구조의 형상을 단백질계인 FP는 계면활성제와 수지비누계에 비해 구형에 가까운 기포 형상을 보였으며, 미세한 기포가 계면활성제계와 수지비누계에 비해 상대적으로 많이 분포하고 있는 것으로 나타났다. 계면활성제계와 수지비누계가 다면체 구조를 나타낸 것은 기포제 농도가 낮아 일정한 막을 유지하는 시간과 구형의 기포를 형성하는 시간이 짧고,

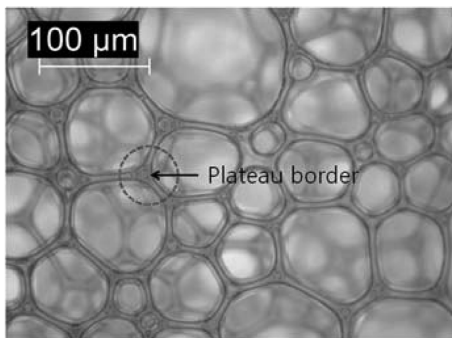


Fig. 16 Microscope image of bubble (AES)

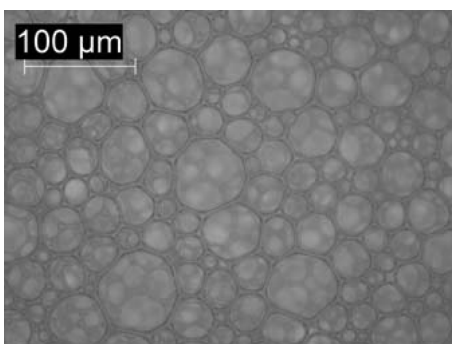


Fig. 17 Microscope image of bubble (AOS)

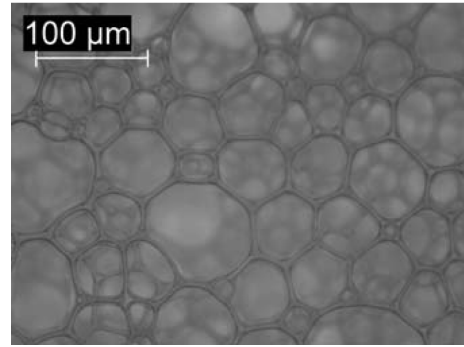


Fig. 18 Microscope image of bubble (RM)

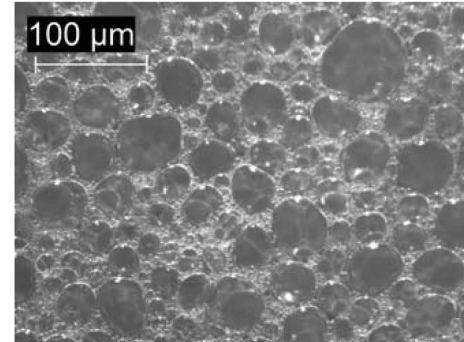


Fig. 19 Microscope image of bubble (FP)

액의 유하 후 액막이 파괴하여 기포가 다면체 구조로 변하기 때문이며<sup>12)</sup> 이러한 현상은 기포제 농도와도 밀접한 관련성이 있는 것으로 사료된다.

계면활성제와 수지비누계 액막에서 다면체 구조의 경계에 나타난 Plateau border는 액의 유하 현상에 의해 나타나는 것으로 얇은 막의 기포와 기포가 서로 만나는 3각 지대의 경계 부분을 칭하는 것으로 기포의 소멸과 상관성이 있다. Plateau border의 반경에 기인한 내부의 압력은 서로 접한 기포 박막의 압력보다 더 낮아지고 이것은 포말의 기포 사이에 있는 Plateau border의 흡입 효과를 일으키게 된다.<sup>13)</sup>

Plateau border는 기포 내부에 지속적인 네트워크를 생성하고 Plateau border와 박막 사이의 다른 압력이 오랫동안 지속되는 한 Plateau border 속으로 막액을 운반한다. 결과적으로 기포막 속의 막액은 Plateau border로 향하여 흘러 막벽은 얇아지게 된다. 그러므로 얇아진 막의 두께가 50~100Å에 달하면 막은 파괴되기 쉽고<sup>14)</sup> 중력에 의한 기포의 배수 과정이 진행되고 결국에 기포는 소멸한다. 반면에 FP의 경우 구형의 기포를 유지하는 것은 AES, AOS 및 RM과 비교하여 높은 기포제 농도로 액막 속의 액체 점도가 커서 기포의 안정성이 계면활성제 기포제에 비해 높아 기포의 초기 형상인 구형 구조를 형성하기 때문인 것으로 판단된다.

Figs. 20~23은 기포제 종류에 따른 기포의 크기 분포를 나타낸 것으로 기포제 종류에는 상관없이 최대 크기는 0.3 mm 이하이며, 최소 크기는 0.01 mm의 범위였다.

AES의 경우에서 가장 많은 기포 분포를 가진 범위는

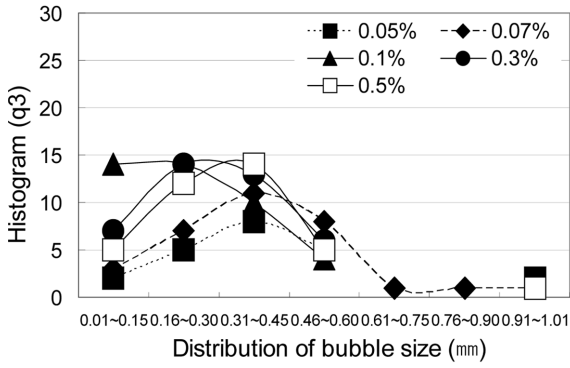


Fig. 20 Distribution of bubble (AES)

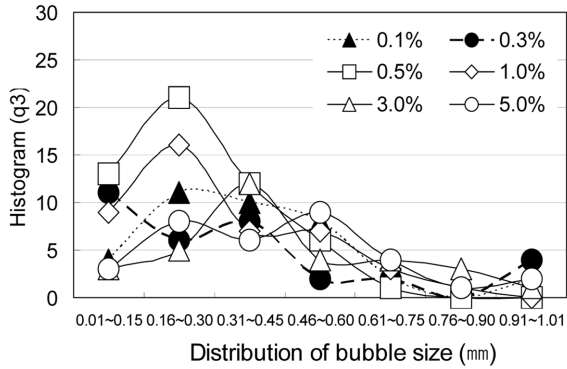


Fig. 21 Distribution of bubble (AOS)

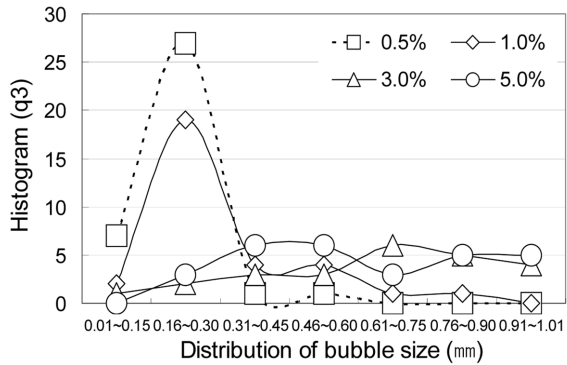


Fig. 22 Distribution of bubble (RM)

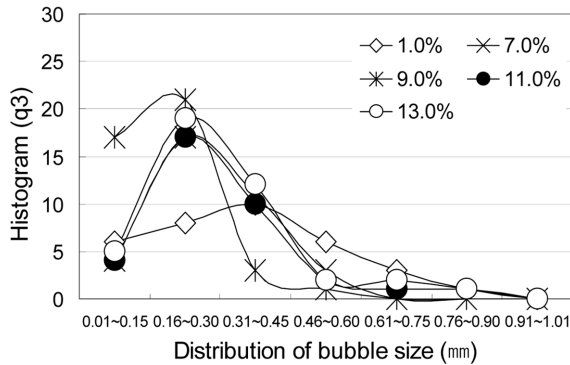


Fig. 23 Distribution of bubble (FP)

0.31~0.45 mm이고 0.16~0.30 mm가 뒤를 이에 많은 기포 분포를 나타내었다. AOS, RM, FP의 경우에는 0.16~

0.30 mm에서 가장 많은 기포 분포를 가지는 것으로 나타났다. 기포제 농도 변화에 따른 기포 크기의 분포 변화를 살펴보면 일부를 제외하고는 농도가 낮을수록 대체적으로 기포의 분포도가 낮은 반면에, 기포제 농도가 높을수록 분포도는 높게 나타났다. 이러한 결과는 기포제 농도가 낮을수록 생성된 기포의 수가 적은 것을 의미하고, 기포제 농도가 높으면 생성된 기포의 수가 많아 측정 분석에서 분포 차이가 있는 것을 의미하므로 기포 분포는 발포율과 같이 기포제 농도와도 밀접한 상관이 있는 것으로 판단된다.

기포 크기는 기포의 안정성 및 형상과 연관이 있다. 기포 내에서 작용하는 압력과 외부에서 작용하는 압력 차이는 기포 반경에 반비례하고 표면장력에 비례하므로, 작은 기포는 큰 기포에 비해 곡률 반경이 작아 보다 높은 증기압을 갖게 되어 닫힌 기포를 유지될 수 있으며, 큰 기포는 반대로 열린 공극을 형성할 수 있다.<sup>15)</sup> 그러므로 작은 기포는 차음성이 요구되는 기포 콘크리트에서 닫힌 공극을 생성하여 음의 차단 효과를, 열린 기포는 흡음성이 요구되는 기포 콘크리트에서 열린 공극을 생성하여 흡음 효과에 의한 음에너지를 열에너지로의 변환을 통해 흡음의 효과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

이 연구에서는 기포제 종류 및 농도 변화에 따른 기포의 특성을 검토하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 기포제 종류 및 농도 변화에 따른 기포의 발포율에서는 기포제 농도가 증가할수록 모든 기포제에서 발포율이 증가하는 것으로 나타났으며 계면활성제계와 수지비누계의 발포율은 유사한 경향을 나타냈다. 단백질계의 발포율은 다른 기포제와 비교하여 낮은 농도에서는 발포율이 낮아 높은 발포율을 유지하기 위해서는 상대적으로 높은 농도를 필요로 하는 것으로 나타났다.
- 2) 기포 경시 변화는 기포제 종류 및 농도와는 상관없이 기포제 농도가 높을수록 기포가 소포하여 수용액으로 변하는 상변화가 작은 것으로 나타났다. 계면활성제계와 단백질계는 경시 변화에 따라 기포가 소포되어 수용액으로 변하는 상변화 경향이 유사한 반면에 수지비누계의 경우에는 급격한 상변화가 발생하였다.
- 3) 기포제 종류에 따른 기포 형상 및 크기 분포에서 계면활성제, 수지비누계는 다각형의 기포 형상을 나타냈고, 단백질계는 구형의 기포 형상을 나타냈다. 면활성제계와 수지비누계는 열린 공극을 나타내 흡음형 기포 콘크리트에 사용하는 것이 적합할 것으로 판단되며 단백질계는 닫힌 공극을 형성하므로 차음형 기포 콘크리트에 사용하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 연구는 한국산업기술진흥원의 지역혁신 인력양성사업과 2010년 충남환경기술개발센터 연구사업비의 지원에 의해 수행된 연구로 관계기관에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 笠井芳夫, 小林正凡, (改訂版)セメント・コンクリート用混和材料, 技術書院, 1993, 446 pp.
2. 곽은구, 강기웅, 강철, 권기주, 김진만, “기포 콘크리트용 기포의 특성에 관한 기초 연구,” 한국콘크리트학회 봄 학술대회 논문집, 16권, 1호, 2004, pp. 681~683.
3. 산업자원부, 비정제석탄회를 이용한 소음저감재 개발, 2005, pp. 215~220.
4. 남기대, 계면활성제(I)-기계적 특성, 수서원, 1991, 220 pp.
5. 박재구, 임정렬, “계면활성제 수용액의 기포력 및 포말 안정도에 관한 실험적 연구,” 한국자원공학회지, 32권, 1995, pp. 230~236.
6. Rosen, M. J., *Surfactants and Interfacial Phenomena*, John Wiley & Son, 1978, 206 pp.
7. 남기대, 계면활성제(I)-기계적 특성, 수서원, 1991, pp. 214~222.
8. 범우기술지, 계면활성제의 기포성과 포 안정성, 43호, 1993, pp. 1~9.
9. Brown, A. G., Thuman, William, C., and McBain, J. W., “The Surface Viscosity of Detergent Solutions as a Factor in Foam Stability,” *Journal of Colloid Science*, Vol. 8, I. 5, 1953, pp. 491~507.
10. 笠井芳夫, 小林正凡, (改訂版)セメント・コンクリート用混和材料, 技術書院, 1993, 447 pp.
11. 이근형, “계면활성제의 기초 작용(III), 기포의 발생과 소포에 관하여,” 정밀화학심포지엄, 한국공업화학회, 1992, pp. 87~103.
12. 국윤환, 콜로이드와 계면활성제, 대광서림, 1997, 118 pp.
13. Farm, Richard J., *Chemistry and Technology of Surfactants*, Blackwell Publishing, 2006, pp. 77~78.
14. 범우기술지, 계면활성제의 기포성, 43호, 1992, pp. 1~6.
15. 조현영, 김진만, 권기주, 오창섭, “다공성 규산칼슘 경화체 제조기술과 응용,” 콘크리트학회지, 17권, 2호, 2005, pp. 48~55.

**요약** 선발포 방식을 통해 제조되는 기포 콘크리트에서 기포는 밀도, 강도, 공극 등의 물리적 특성에 영향을 끼치는 주요인이다. 기포 콘크리트에 대한 연구가 꾸준히 진행되었지만, 기포 자체의 특성에 관한 연구는 화학적인 분야를 제외하고는 거의 없는 실정이다. 그러므로 용도에 적합한 기포 콘크리트를 제조하기 위해서는 기포의 성상에 대한 연구가 필수적으로 선행되어야 한다. 기포 콘크리트의 제조에서 기포를 유효하게 이용하기 위해서는 기포의 특성을 평가해야만 한다. 이 연구에서는 기포의 특성을 알아보기 위해 기포제 종류 및 농도 변화에 따른 기포의 특성에 관한 검토를 수행하였다. 기포의 특성을 알아보기 위해 사용한 기포제는 계면활성제계, 수지비누계, 단백질계 기포제를 사용하였고 기포제의 농도는 기포제 종류에 따라 0.05~13% 범위로 설정하였다. 측정 항목은 발포율, 기포 용적, 수용액 용적, 기포 크기 및 분포를 측정하였다. 분석 결과, 기포제 종류와는 상관없이 기포제 농도가 높을수록 발포율은 증가하는 것으로 나타났고, 기포제 농도는 기포, 수용액 용적 변화, 기포 크기 분포에도 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 기포의 안정성 측면에서 단백질계가 계면활성제, 수지비누계 보다 높은 안정성을 나타냈다. 기포의 형상에서는 계면활성제계, 수지비누계는 다각형의 기포를, 단백질계는 구형의 기포를 형성하였다.

**핵심용어** : 기포제, 기포, 발포율, 수용액, 기포 영상