

Nano 버블수를 이용한 시멘트 모르타르 압축강도 증진에 관한 실험적 연구



정 동 호
중앙대학교 일반대학원
토목공학과 박사과정



이 승 현
천안시청
도시재생과 주무관



김 영 호
중앙대학교 일반대학원
토목공학과 석사과정



한 중 군
중앙대학교
사회기반시스템공학부
교수

1. 서론

일반적으로 주위에서 쉽게 볼 수 있는 기포를 Macro 버블이라고 하며, 버블은 크기에 따라 Macro, Micro, Nano 등 크게 3가지로 분류된다. $50\mu\text{m}$ 이상의 크기를 Macro 버블, $10\sim 50\mu\text{m}$ 크기를 Micro 버블, 그리고 $0.2\mu\text{m}$ ($=200\text{nm}$)이하의 크기는 일반적으로 Nano 버블이라 칭한다. 각각 버블들은 다소 상이한 특징들을 가지고 있다. Macro 버블의 경우 부력에 의한 빠른 상승속도로 인하여 물의 표면에서 터져 소멸한다. 하지만 Micro 버블은 작은 부피를 갖고 있어 상대적으로 Macro 버블에 비해 적은 부력을 받음으로써 장기간 물속에서 존재하게 된다. 이러한 Micro 버블은 1995년경부터 전세계적으로 활발히 연구되고 있다.

특히 일본에서는 Micro 버블의 사용을 다양한 분야로

적용시키고 있다. 먼저 의료용으로 Micro 버블수를 사용하고 있다. Micro 버블이 압과 같은 이상세포가 있는 곳에 머물게 되는데 이때, 인체 내 Micro 버블의 위치를 파악하여 압과 같은 이상부위를 찾는 데 사용된다. 그 외에도 정화 및 세척용으로 굴과 같은 해산물을 수확한 후 Micro 버블이 발생하는 수조 속에 넣을 경우 해산물에 붙어있던, 식용으로 먹기 힘든 불순물들을 버블이 흡착하여 수면위로 올라오게 되어 해산물의 불순물 제거에 도움이 된다.

Micro 버블을 지속적으로 연구 및 관찰하던 과정에서 Micro 사이즈보다 작은 Nano 사이즈의 버블이 발생하는 것을 확인하였다. Nano 버블의 경우 이론적으로 존재할 것으로 예상하였지만, 현미경과 같은 장비의 기술부족으로 확인하기 어려웠다. 하지만 과학기술의 발전과 지속적인 버블의 연구를 통해 Micro 버블의 연구와 함께 Nano 버블의 존재를 확인 가능하였다.

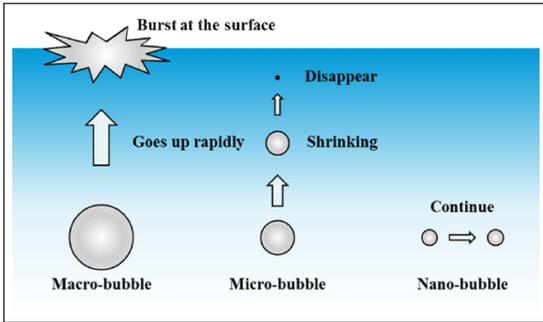


그림 1. 버블 종류에 따른 수명 특성(Takahashi, 2007)

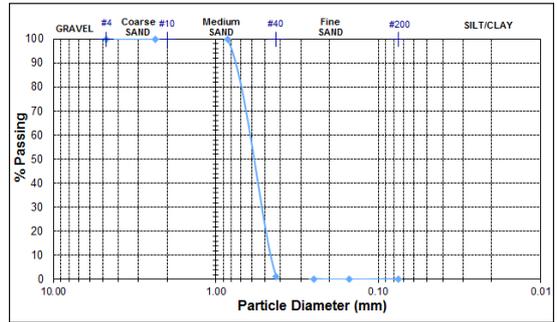


그림 2. 주문진표준사의 입도분포곡선

Micro 버블은 크기를 유지하다가 Henry's law에 의하여 내부 기체가 물 내부에 확산되어 소멸하게 된다. 하지만 버블 중 일부는 버블 내부 기체의 자기가압 현상으로 점차 수축하게 되어 최종적으로 Nano 사이즈의 버블 상태로 변하게 되며, 이때 버블은 강한 수소결합으로 인하여 내부 기체 확산이 되지 않고, 높은 내부 기체 압을 견딜 수 있는 힘의 평형상태가 되어 기존 버블에 비해 장기간 존재 할 수 있게 된다.

근래에는 기술의 발전으로 인하여 Nano 버블을 인위적으로 생성 할 수 있게 되었으며, Nano 버블의 사이즈와 개체수(농도)까지도 확인이 가능하여 버블의 수명과 농도에 따른 기능적 특징에 관해 활발히 연구되고 있다(송호진, 2014).

본 연구에서는 이렇게 생성된 Nano 버블을 이용하여 시멘트 수화반응에 도움을 줄 수 있는 수소 Nano 버블수를 만들었으며, 이를 배합수로 이용함으로써 친환경적으로 시멘트 강도증진에 도움을 줄 수 있는 것을 확인해보고자 하였다. 이를 위해 수소 Nano 버블 기능수를 배합수로 사용하여 만들어진 모르타르와 일반 수돗물을 배합수로 사용하여 만들어진 모르타르의 강도를 비교한 실험을 소개하고자 한다.

2. 실험재료 및 장비

2.1 실험재료

실험에 사용된 시멘트는 가장 일반적으로 상용되며 KS

L 5201(2006) 기준에 부합하는 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 선택하였다. 잔골재는 KS L 5100(2006)에 해당하는 주문진 표준사를 사용하였으며, 체가름시험을 통하여 분석한 결과 Cu : 1.42, Cg : 1.03으로 0.43~0.85mm의 일정한 입도를 갖는 빈입도의 흙임을 확인하였다.

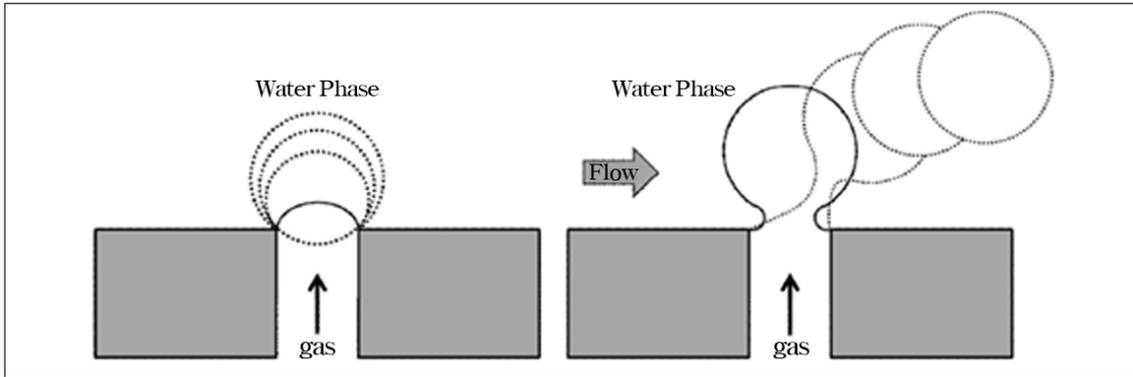
2.2 나노버블 생성장비 및 방법

수소 가스를 3차 증류수에 압력을 가하여 앙리의 법칙(Henry's law)에 의하여 상온, 상압에서 보다 기체를 물에 용해시키고 과포화 상태에 이르게 되면, 버블이 장기적인 수명을 가질 수 있다. 이렇게 과포화 상태에서 지속적인 가스를 주입하였을 때, 용해가 더 이상 되지 못하는 기체들은 버블로 존재하기 쉬운 조건이 된다.

가스가 다공성 멤브레인에서 주입이 됨에 따라 액체와 기체의 경계면이 형성되고, 이 경계면에서는 표면장력으로 인한 버블의 성장이 이루어진다. 버블에 작용하는 물의 항력이 필터의 작은 구멍 근처에서의 기체와 액체 사이의 표면장력보다 크게 될 때 버블의 분리가 이루어진다. 그림 3은 Nano 버블 생성 원리를, 그림 4는 Nano 버블의 생성 장비와 모식도를 나타낸 것이다.

대조군과 실험군 설정을 위하여 일반적으로 사용되는 대조군으로서 서울 수돗물인 아리수를 배합수로 사용하였고, 실험군에는 나노버블생명에서 제조한 수소 나노버블수를 기능수로 선택하였으며, 개봉 후 7일과 24일 경과한 수소나노버블수를 사용하였다.

그림 5와 그림 6은 LM10(Nanosight)장치를 통해 측정 한 나노버블의 분석 결과이다.



(a) 버블의 성장

(b) 버블의 분리

그림 3. 미세 버블 생성 원리(송호진, 2014)

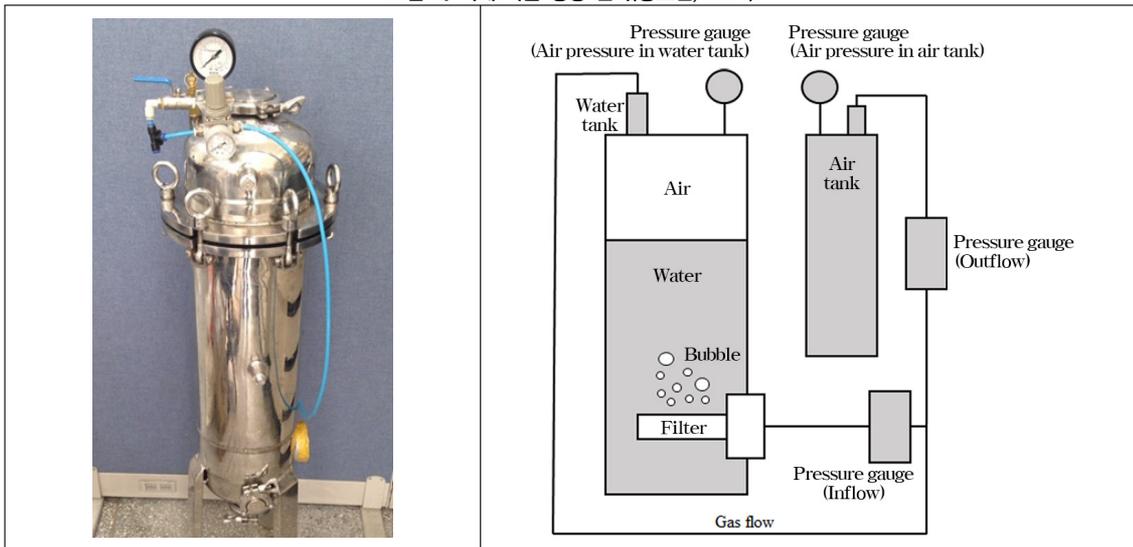


그림 4. 나노버블 생성 장치

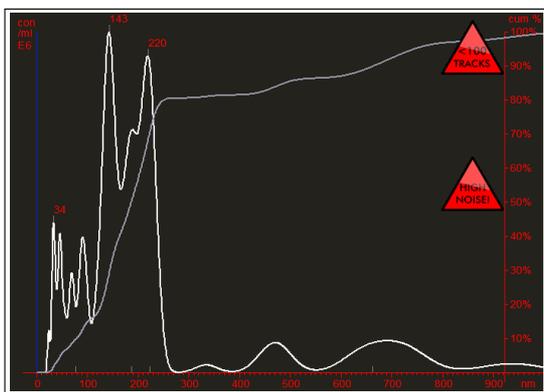


그림 5. 나노버블의 파티클 크기/농도

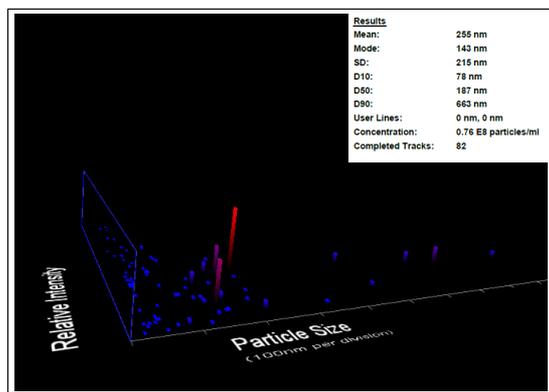


그림 6. 나노버블의 상대적 크기 도표

이 장비를 통해 Nano 버블의 상태를 지속적으로 확인해 본 결과, 평균 직경은 생성직후 9일까지 증가 이후, 감소하는 모습을 보이고 있다. 이와 동시에 개체의 농도 또한 15 일차까지 감소하였다가 일정한 개체농도를 보인다.

시체는 수조외부에서 24시간 동안 표면을 건조시켰다. 이와 같이 형성된 공시체에 대하여 UTM 시험기를 이용하여 배합수 및 양생기간에 따른 강도를 측정하였으며, 그 결과는 4장에서와 같다.

3. 실험방법 및 내용

모르타르 배합비는 KS L 5105(2007)를 참고하여 산정하였으며, 아래 표 2와 같이 조건을 설정하였다.

시험 과정은 모래를 배합비에 맞게 혼합 용기에서 건비빔 후, 배합수를 용기에 넣고 배합하였다. 그 후, 시험공시체 성형을 하는데 Cubic 몰드의 두께를 3등분하여 한 층마다 다짐봉을 이용하여 32회 다짐을 실시하였다. 이와 같은 방식으로 각 층을 다짐 후 몰드 표면의 평탄화를 수행하였으며, 습도를 유지하였다.

양생수조에 온도 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 를 유지시키며 요구되는 양생 기간까지 수중양생을 실시하였으며, 양생 기간에 이른 공

4. 실험결과 및 고찰

4.1 강도 측정 결과

모르타르 압축강도 시험은 일반 배합수(아리수)와 개봉 후 각각 7일과 24일이 경과한 수소 나노버블수를 이용하였으며 그 결과는 아래 표 3에 나타났다. 개봉 후 7일이 경과한 수소 나노버블수의 압축강도는 일반 배합수보다 약 25.6% 향상되었으며, 24일이 경과한 수소나노버블수는 7.6% 증대되었다. 이는 7일 경과된 수소 나노버블의 개체 농도가 24일보다 약 3배 정도 높은 것으로 보아 개체농도가 모르타르 압축강도에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

표 1. 나노버블 측정결과(한중근 등, 2012)

| 개봉시간 (제조후 10일 경과 제품) | 최빈값 (nm) | 평균직경 (nm) | 표준편차 (nm) | 개체 농도 ($\times 10^8$ particles/ml) |
|-------------------------|-------------|--------------|--------------|--|
| 5일 경과 | 245 | 88~91 | 262 | 1.03~1.28 |
| 7일 경과 | 352 | 35~199 | 200 | 0.32~0.51 |
| 9일 경과 | 348 | 36~199 | 153 | 0.15~0.24 |
| 15일 경과 | 156 | 18~101 | 71 | 0.13~0.20 |
| 24일 경과 | 218 | 37~79 | 35 | 0.11~0.23 |

표 2. 나노버블수 모르타르 압축강도 실험조건(한중근 등, 2012)

| 구분 | W/C (%) | 단위중량(kg/m ³) | | | |
|--------|------------|--------------------------|-----|-----|------|
| | | 나노버블수 | 수도수 | 시멘트 | 모래 |
| 일반 배합수 | 48.5 | - | 330 | 680 | 1666 |
| 나노버블수 | 48.5 | 330 | - | 680 | 1666 |

표 3. 일반 배합수 및 나노버블수 모르타르 압축강도(MPa) 비교

| 구분 | Case No. | | | | | | 평균 | 일반 배합수 대비 강도증진 | |
|-----------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | |
| 일반 배합수 | 23.23 | 21.53 | 22.94 | 21.26 | 21.70 | 21.19 | 21.18 | - | |
| 나노 버블수 | 7일 경과 | 26.13 | 25.43 | 28.44 | 25.04 | 28.03 | - | 26.61 | 25.6% |
| | 24일 경과 | 22.94 | 21.99 | 23.45 | 21.83 | 23.79 | - | 22.80 | 7.6% |

5. 결론 및 제언

본 연구에서는 수소 Nano 버블수를 배합수로 적용하였을 경우에 일반 수돗물을 배합수로 적용하여 만든 모르타르보다 압축강도가 증가되는 것을 확인하였다. 또한 이는 Nano 사이즈의 버블의 개체 농도에 의해 압축강도에 영향을 미치는 것으로 판단되었다.

현재 지구온난화와 같은 환경문제를 해결하기 위하여 시멘트를 대체하기 위한 시멘트 대체 콘크리트에 대한 연구자들의 관심이 많아지고 있다. 이를 해결하기 위해서는 앞으로 새로운 재료들에 대한 실험을 통하여 여러 방면의 환경 친화적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 중견연구자지원사업 지원을 받아 수행된 연구입니다. (NRF-2015R1A2A2A01008372).

참고문헌

1. 한중근, 이승현, 나종주, 홍기권, 이장환, 김종민 (2012), "말뚝 기초에 사용되는 시멘트 모르타르의 압축강도에 대한 나노버블 수의 효과에 관한 기초연구", 대한토목학회 정기학술대회, Vol. 2012, NO. 10, pp. 1090-1093.
2. KS L 5105 (2007), "수경성 시멘트 모르타르의 압축강도 시험 방법", 산업자원부 기술표준원.
3. KS L 5201 (2006), "포틀랜드 시멘트", 한국표준협회.
4. KS L 5100 (2006), "시멘트 강도용 표준사", 한국표준협회.
5. M. Takahashi, K. Chiba and P. Li, (2007), "Free-radical generation from collapsing microbubbles in the absence of a dynamic stimulus", The Journal of Physical Chemistry B, Vol. 111, 1343-1347.
6. 송호진 (2014), "미세 버블의 안정성 및 물리적 특성에 관한 연구", 중앙대학교, 석사 학위 논문.