

마이크로버블 기술의 현황과 전망

차 환 수

유통연구단

Present State and Future Prospect for Microbubble Technology

Hwan-Soo Cha

Food Marketing Research Group

마이크로버블이란?

마이크로버블(극소기포)이란 일반 버블(기포)보다 아주 작은 기포를 뜻하며, 물과 기체가 함께 존재할 때 생성된다. 마이크로버블은 통상의 기포에 없는 성질을 지니고 있는데, 통상적인 크기의 거품은 재빨리 떠올라 수면에 이르면 부서져 버린다. 이에 비하여 마이크로버블은 부력이 작아서 천천히 물속을 떠도는 것처럼 떠오른다. 이것은 거품이 작으면 작을수록 부력에 대한 저항 효과가 커지기 때문에 일어나는 현상으로서 거품이 천천히 떠오른다는 것은 그 만큼 오래 물속에 머물러 있다는 뜻이다. 물속에 머물러 있는 동안 마이크로버블 속의 기체는 주위의 물에 점점

녹아 들어가게 되는데 기포가 작을수록 기포 속 공기의 부피에 대한 표면적의 비율이 커진다. 이와 같이 같은 양의 기체를 물에 녹이려면 기포 하나하나의 부피가 작고 표면적의 합계가 큰 마이크로버블의 효율이 좋은 셈이다. 이와 같이 마이크로버블은 직경이 50 μm 이하의 매우 미세한 기포로서, 수중에서 부유하는 과정에서 나노 사이즈까지 자연적으로 수축해 최종적으로는 내부의 기체를 완전 용해시켜 소멸하는 특징을 가지고 있다. 이처럼 마이크로버블에는 대전 작용이나 자기 가압 효과 등의 특성이 있어 모든 산업 분야에 걸쳐 응용의 가능성이 매우 크다고 볼 수 있다.

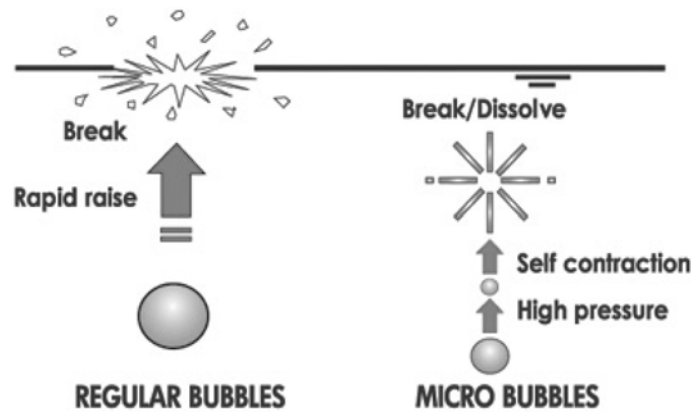


그림 1. 일반버블과 마이크로버블의 차이점

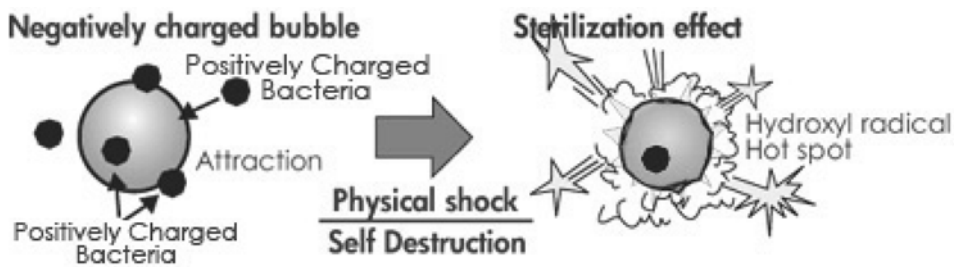


그림 2. 마이크로버블의 살균 메카니즘

일본에서 규정하고 있는 마이크로버블의 정의

- o 마이크로버블: 기포의 직경이 10~200 μm 로서, 특히 50 μm 이하의 미세한 기포를 말한다.
- o 마이크로나노버블: 기포의 직경이 0.5~10 μm 의 미세한 기포를 말한다.
- o 나노버블: 0.5 μm 이하의 미세한 기포를 말한다.

마이크로버블의 살균 메카니즘

음전하를 띤 마이크로버블의 정전기력으로 양전하를 띤 박테리아가 이끌려서 물리적 충격이나 자체 파괴에 의해 하이드록실 라디칼이 순간적으로 발생하여 생성되는 에너지가 세균이나 바이러스 등의 미생물을 파괴하므로써 살균 효과를 가져오게 된다.

마이크로버블의 특성 및 효과

표 1. 마이크로버블의 특성 및 효과

특성	효과	응용분야
1. 크기가 작다	• 기체용해 속도가 빠르다	• 오존수 제조 또는 오존/산소/질소 등의 가스용해에 주로 사용된다
2. 단위면적당 표면적이 크다	• 기체용해 효율이 높다	
3. 부력이 작아 장시간 액체 속에 머물 수 있다	• 완전히 용해된다	
4. 대전(帶電) 효과가 있다	• 정전기적으로 물체를 끌어 당긴다	• 가압부상분리(加壓浮上分離) 작용 • 흡착작용
5. 자기가압(自己加壓) 효과가 있다	• 기포의 내부압력에 의해 에너지를 발생한다 • 프리-라디칼이 생성된다	• 살균 세정효과 • 산화작용

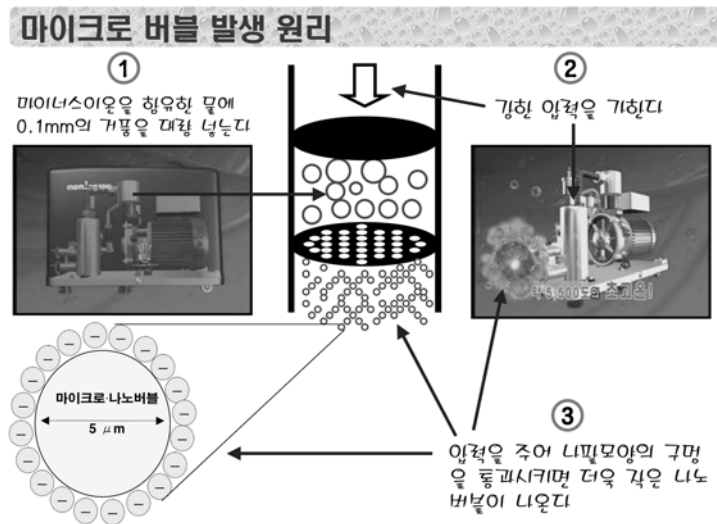


그림 3. 마이크로버블의 발생원리

마이크로버블 발생 원리

미세한 구멍이 다수 열려 있는 원주상 노즐이 회전하는 임펠러에 가스를 불어 넣고 강한 압력을 가하여 회전하는 임펠러가 만드

는 부압과 임펠러에 의한 전단력에 의해서, 버블이 미세화되어 마이크로버블이 된다. 가스의 공급량과 임펠러의 속도를 제어하면, 거의 균일한 크기의 마이크로버블을 만들어 낼 수 있다.

마이크로버블 활용 분야

- 의료분야 : 의료 정밀진단 및 초음파 혼합사용 암 치료 등
- 수산분야 : 각종 수족관 및 양식장의 용존산소 개선, 활어운반
- 환경분야 : 수질정화, 하수처리, 토양정화
- 산업분야 : 폐수처리, 세정, 유해물질 흡착, 반도체 세정
- 농업분야 : 축성 식물재배, 수경재배, 농업용수 정화
- 식품분야 : 식품세정 및 살균
- 전자분야 : 반도체 세정 등 미세먼지 제거

- 생활분야 : 과일채소 세정, 피부미용 스킨용, 애완동물 목욕용

일본의 마이크로버블 기술 현황

1995년 일본의 토쿠야마 고등전문학교의 다이세이 히로후미 교수에 의해 마이크로버블 기술을 개발한 후 1998년 히로시마만의 굴 양식에 마이크로버블기술을 적용하여 적조방지와 굴 성장에 효과를 가져왔다. 이후 2000년에 일본 NHK 7시 뉴스 방송매체를 통해 마이크로버블의 놀라운 신개념의 에너지원으로서 3회에 걸

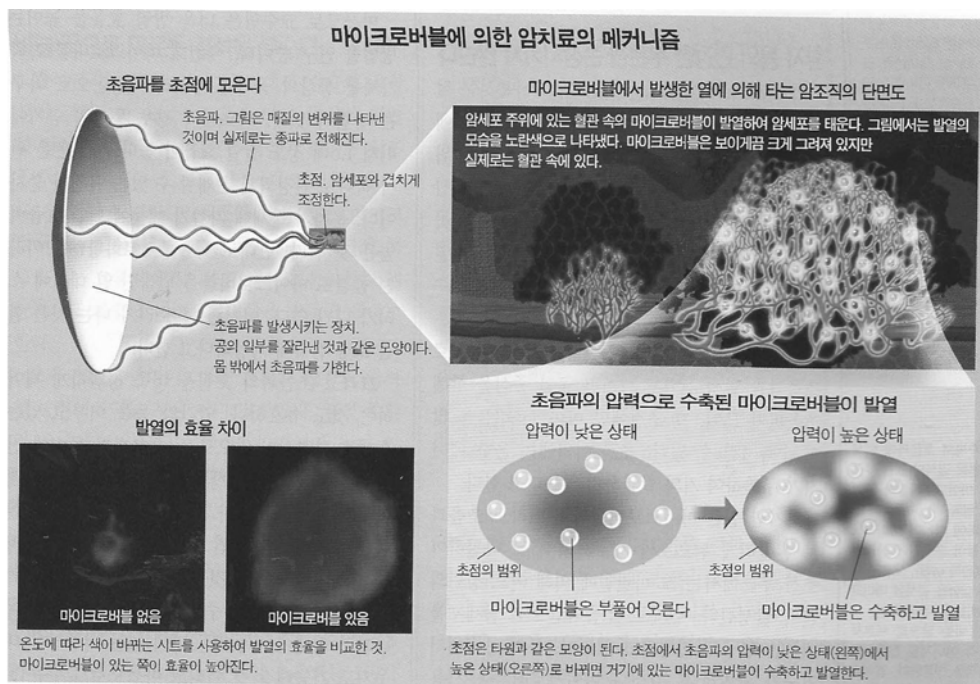


그림 4. 마이크로버블과 초음파를 사용한 암치료 메커니즘

쳐 보도되면서 일본 대중에게 급격히 알려지게 되었으며, 2001년에는 삼중진주 양식에 적용하여 진주업자의 매출을 10배 증가시킴과 동시에 마이크로나노버블의 인체적용 효과 검증으로 가정용 목욕용 및 애견용 마이크로버블기가 개발되어 2006년에는 연 300%의 고속 매출 신장을 기록하고 있다.

마이크로버블은 기체용해효과, 자기가압효과, 대전효과 등의 물리화학적 특성이 있으며, 마이크로버블의 산화 환원작용과 버블이 소멸할 때 발생하는 다량의 에너지를 이용하여 살균, 세정기능에 응용할 수 있으며, 다양한 분야에 이용되고 있다. 즉, 현재 일본에서 마이크로버블의 적용분야는 환경분야, 고도정수처리시설, 토양정화, 어업, 농업분야, 건강분야(입욕관련시설, 욕조, 인공탄산천, 정수), 의료, 세탁기 등의 가전분야, 반도체 세정 등에 사용되고 있으며, 46개의 대학 및 연구기관 중에서 신선농산물의 세정 및 살균용 마이크로버블 제조 및 적용에 관한 연구는 福岡縣에 위치한 有名工業專門大學校 物質工學科 永室昭三 교수진과 일부 기업 연구소에 의해 수행하고 있을 뿐 대부분의 연구가 환경, 의료, 수산분야에 집중되고 있어 일본에서도 농식품용 마이크로버블의 기술적용이 시작단계에 있다. 그밖에 일본 치바공업대학 공학부 생명환경과학과의 오가미 카오루 교수의 연구 그룹은, 직경이 50 μm 이하의 마이크로버블의 발생 장치 프로토타입을 개발해, 마이크로버블 활성화 기술과 마이크로버블의 하이브리드화에 의해서 물 처리나 살균 등을 가능하

게 하는 환경처리기술의 개발에 전망을 보이고 있다. 즉, 유전체 바리어 방전법에 따라 마이크로버블을 구성하는 가스를 활성화시키는 하이브리드형 처리 기술이 난분해성 물질을 포함한 물을 분해 처리할 수 있는 환경처리 기술이 실현되고 있다. 또한 미세한 구멍이 다수 열려 있는 원주상 노즐이 회전하는 임펠러에 가스를 불고, 회전하는 임펠러가 만드는 부압과 임펠러에 의한 전단력에 의해서, 버블은 미세화되어 마이크로버블이 생성되는데, 마이크로버블의 발생원리에 따라 다양하게 제조되고 있으며, 마이크로버블을 구성하는 기체에 대해서, 방전이나 초음파, 자외선, 마이크로파(전자파)등을 더하고, 가스 자신을 활성화시키고 반응성을 높이는 하이브리드형 처리 기술의 개발을 진행하고 있다. 그밖에 유전체 barrier 방전법에 따라 산소를 포함한 기체로부터 오존을 포함한 기체를 만들어, 이 기체를 마이크로버블로 만드는 기술도 있으며, 오존의 용해도나 흡착도가 증가해 미사용 오존이 줄어드는 효과가 있다. 종래의 오존을 이용하는 물처리법에서는, 미사용 오존의 대책이 필요하였으나 마이크로버블 기술에서 오존의 용해도가 높아 오존과 함께 사용하는 병용기술이 발전되고 있다.

일본에서는 마이크로나노버블을 이용하여 실용화한 경우는 10~200 μm 의 미세기포를 발생시킨 장치가 상품화되고 있으며, 2007년 현재 10 μm 이하의 나노버블 기포를 안정화시켜 발생시키는 장치가 상품화되어 있지 않고 있고, 이들 나노버블의 측정기술도 확립되어 있지 않

표 2. 일본의 마이크로버블 연도별 시장규모 추이

구분	연도	용도										합계	신장율 %
		환경 분야	신장율 %	산업 분야	신장율 %	수산/농업 분야	신장율 %	건강 분야	신장율 %	기타	신장율 %		
마이크로버블 발생장치	2004	97	100	313	100	45	100	207	100	47	100	709	100
			13.7		44.1		6.3		29.2		6.6		100
	2005	137	141	400	128	90	200	274	132	46	98	947	134
			14.5		42.2		9.5		28.9		4.9		100
	2006	188	194	600	192	113	320	338	163	72	153	1,311	185
			14.3		45.8		8.7		25.8		5.5		100
마이크로버블 응용장치	2004	167	100	615	100	81	100	2042	100	-	-	2,905	100
			5.7		21.2		2.8		70.3		-		100
	2005	260	156	629	102	86	105	2339	115	-	-	3,314	114
			7.8		19.0		2.6		70.6		-		100
	2006	609	365	2132	347	81	99	3848	188	-	-	6,670	230
			9.1		32.0		1.2		57.7		-		100

** 신장율은 2004년도를 100으로 하여 연도별 신장율 증감을 나타내었으며, %는 횡축을 100%로 하였을 때 구성비를 표시한 것임.

고 있지만, 향후 이에 대한 기술발전이 이루어 질 것으로 내다보고 있다. 또한 일본에서는 마이크로버블의 효과에 적합한 용도에 특화시킨 응용장치업체가 증가하고 있으며, 2006년에 마이크로버블 발생장치의 시장규모는 약 90억 엔으로 2004년에 비해 약 105%가 증가되었으며, 특히 환경수질정화분야 및 산업분야의 응용장치 시장의 신장율이 200%를 상회하고 있다. 향후 일본에서 마이크로버블 장치의 응용분야로는 부품세정장치나 고산소수 제조장치와 같은 새로운 시장이 형성될 것으로 내다보며, 가스용해분야의 수요가 확대될 것으로 전망하고 있다.

국내 마이크로버블 기술 현황

국내 마이크로버블 관련 기술은 초기단계로서 (주)모밍에서 “모밍스파”라는 브랜드로 2005년도에 국산화에 성공하여 2006년도에 스포츠서울이 주관하는 친환경기술혁신 대상을 받았으며, 마이크로버블 발생장치의 현재 주요 용도로는 가정용 목욕기로 피부미용 관련 제품에 주력하고 있다. 그밖에 국내 마이크로버블 장치를 제조 판매하고 있는 업체로는 주노비에스와 (주)드림일렉트론 회사가 있으며, 주노비에스는 저진동, 저소음, 저절전 및 고효율의 에너지를

표 3. 일본 마이크로버블 발생 방식별 실용화 용도

발생방식		환경		산업			농수산업			건강		버블크기		
		수질 정화	하수 처리	오존 산화 살균 처리	浮上 油分 분리	부품 세정	가스 용해	생물 처리	양식 관련 폭기	양식 관련 살균	수경 재배		기포 육조	산소 음료 수
공기 선단 형	회전 노즐 방식	수중펌프 병용형	◎		○				◎	◎	○	○		10~200 μm
		기체액체 혼합펌프 병용			◎	◎		◎					○	10~30 μm
		에어레타		○	◎			◎						20~1,000 μm
		회전교반형	○		◎				○	○		○		50~100 μm
		기체액체 혼합펌프				○						◎		10~500 μm
가압용해방식			○		◎		○		◎			◎		10~300 μm
에어레이션방식									◎		◎			10~500 μm

(출처: 일본 마이크로나노버블 조사총람, 일본 (주)토탈비전연구소, 2006)

표 4. 일본의 마이크로버블 연구현황 및 전망

용도		향후 일본의 마이크로버블 연구분야		실용화 장치의 버블크기
환경 분야	수질정화	○ DO値의 개선을 목적으로 있지만 미생물의 活性化 용도로 사용 가능 ○ 고산소마이크로버블보다 DO値 개선으로 실용화 개선		20 μm
산업 분야	폐수 처리	부유물분리	○ 기포밀도가 높은 발생장치에 적합하게 부유물분리의 용도를 표준화 기술로 선화	10~50 μm
		생물처리	○ 미생물의 활성화에 관련된 실용화 조건은 미미하지만, 회전교반형 장치로 미생물을 활성화하는 생물처리 방식이 주목될 것임	50 μm
		산화분해	○ 마이크로버블 자체의 산화분해하는 실용화는 실적은 없고, 오존을 사용하여 산화분해하는 방향으로 기술이 나아갈 것임	10~30 μm
	세정	○ 마이크로버블 자체로는 한계가 있어 오존 및 초음파 등을 겸용할 것으로 내다봄		100 μm
	기체 액체 혼합			10~30 μm
식품 분야	식품세정	○ 오존을 이용하여 식품세정이 주류가 될 것이며, 10~50 μm의 기포 밀도가 높은 발생장치가 많이 사용될 것임.		10~30 μm
수산 분야	양식/육상양식	○ 양식장의 살균분야는 오존마이크로버블이 많이 사용될 것으로 내다봄		20 μm
	활어운반	○ 마이크로버블(air 폭기조)에 의해 산소농도 및 질소농도가 높을 뿐만 아니라 고산소마이크로에 의한 선도보존의 연구가 진행될 것으로 전망됨		10~30 μm
건강 분야	미세기포육조	○ 업무용/가정용육조에서 수요는 높아지고, 간이발생장치가 주류를 이룰 것으로 내다봄.		20 μm

표 5. 마이크로·나노버블 관련 일본 특허출원 건수

출원자	마이크로버블 발생장치 관련			마이크로버블 발생 응용장치 관련											합계	
	발생 장치	노즐 펌프	발생 관련 제품/방법	계	환경	농업/축산	식품/바이오	의료	건강 증진	가전	선박	산업	수산/양식	기타		계
기업	184	21	40	245	389	8	20	44	60	26	17	281	22	11	878	1,123
공공 연구 기관	4	0	1	5	3	8	2	0	0	0	8	3	2	1	19	24
합계	188	21	41	250	392	16	22	44	60	26	25	284	24	12	897	1,147

특징으로 하는 마이크로버블 목욕기를 한 단계 업그레이드시킨 BLDC 모터를 장착하여 작년 하반기 마이크로버블 제품을 출시하여 영업확대를 진행하고 있으며, 아직 초창기로 성과를 가시화하기에는 이른 상태이다.

(주)드림일렉트론은 마이크로버블 장치를 개발하여 목욕기용으로 국내 시장에 진출하였으나 디자인이 콤팩트하여 초창기에는 좋은 호응을 얻었으나 소음, 기계상 작동의 하자부분이 해결이 되지 않아 영업상 어려움이 있다. 국내에서는 현재까지 일본처럼 마이크로버블 장치 및 적용기술이 개념정립단계에 있으며, 주로 일본 제품을 수입하여 피부미용을 위한 목욕기용으로 사용되고 있다. 또한 마이크로버블과 오존을 이용한 수질정화방법에 관한 특허와 세탁수에 마이크로버블을 공급하는 세탁기에 대한 특허와 오존발생장치와 수중펌프방식의 마이크로버블 발생장치를 조합함으로써 수중에 용해효율이 높은 미세 기포인 마이크로버블 오존을

공급하는 특허 등이 일부 있을 뿐이다.

향후 전망

마이크로버블에 대한 연구는 미국 등 선진국에서는 의료용으로 주로 연구하고 있으며, 일본에서는 의료뿐만 아니라 환경수질정화, 굴 등 수산양식, 산업용, 가전, 목욕기 등 건강관련 등의 연구가 진행중이며, 마이크로버블 관련 발생장치의 시장규모는 일본에서 2006년 약 90억 엔의 시장을 예측하였고, 환경분야(수질정화)/산업분야의 응용장치시장이 확대하고 있다. 또한 일본에서 식품분야에는 일부 대학과 민간기업에서 연구초기 단계에 있으며, 국내 마이크로버블 산업은 반도체 세정, 수산물 양식 및 피부미용 욕조기에 국한되어 있으므로, 향후 친환경 세척방식인 마이크로버블이 유기농 농산물의 세정 등에 점차 활용이 늘어날 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 김은덕, Microbubble을 이용한 오존의 고효율 용해화에 관한 연구, 석사학위, 영남대학교, 석사, 대구, 한국, 2007
2. 마이크로나노버블 조사총람, (주)토탈비전연구소, 나고야, 일본, 2006
3. 오재진, 마이크로버블 오존에 의한 슬러지 감량화의 최적조건에 관한 연구, 석사학위, 영남대학교, 대구, 한국, 2007
4. 조명화, 초미세 기포를 이용한 피부 세정 특성 평가, 석사학위, 건국대학교, 서울, 한국, 2008
5. 조통래, 하시즈메, 가즈토, 마이크로버블 오존을 이용한 수질정화방법, 10-2002-0077132, 2002. 12. 06
6. 최경호, 극소기포의 생성과 응용, CS프론티어, 춘천, 한국, 7-178, 2006
7. 최종필, 박대섭, 반준호, 두 개의 챔버를 갖는 마이크로 버블펌프의 개발, 한국정밀공학회, 춘계학술대회 논문집, 1186-1190, 2003
8. Feshitan, J.A. Chen, C.C. Kwan, J.J., Microbubble size isolation by differential centrifugation, Journal of colloid and interface science, **329**(2), 316-324, 2009
9. Joo Young Park, Yong Ju Cho, Seheum Moon, Do Yun Shin and Kyoungphile Nam, Microbubble suspension as a carrier of oxygen and acclimated bacteria for phenanthrene biodegradation, Journal of Hazardous Materials, **163**(2), 761-767, 2009
10. Newton Graphic Science, 아주 작은 거품으로 암을 이긴다, (주)뉴턴코리아, 82-87, 2005

차환수 이학박사

- 소속 한국식품연구원 유통연구단
- 전문분야 식품저장 유통기술, 수확 후 관리기술, 식품가공기술
- E-mail hscha@kfri.re.kr
- TEL 031-780-9243