

## 2년 근 인삼재배 시 파인버블(Fine bubble)처리가 생육에 미치는 영향

안철현\*

국립한국농수산대학 교양공동학과

### Effect of Fine Bubble Treatment on the Growth of Two-year-old Ginseng

Chul-Hyun Ahn\*

Department of General Education, Korea National College of Agriculture and Fisheries, Jeonju 54874, Korea

**Abstract** - The production of ginseng cultivation is decreasing due to shortage of cultivated land and climate change, so additional methods are needed. Therefore, the physiological and morphological characteristics of finebubble were analyzed by applying them to ginseng cultivation which is the representative crop of Korea. The application of fine bubble water to 2 year old ginseng showed that stem length and leaf were increased, and weight increased as main root increased in root. In particular, it is shown that the weight of roots increases with the increase of leaf size. This is because the total chlorophyll content is high and it is judged to be related to the increase of photosynthesis efficiency. When the results of this study were confirmed, it was confirmed that ginseng cultivation using fine bubbles showed no inhibition of growth of ginseng. According to the results of physiological characteristics and subdividing results, It was confirmed that the growth of about 10% to 15% of the growth was increased and that the growth of ginseng was increased by applying the fine bubble when growing ginseng.

**Key words** - Chlorophyll, Environment, Fine bubble, Growth response, *Panax ginseng*

### 서 언

오래전부터 재배되어진 인삼(*Panax ginseng* C. A. Meyer)은 다년생 반음지성 식물로서 비교적 생육기간이 시간이 소요되는 작물이고(Ryu and Kwon, 2008) 해가림이 필요한 특수성이 존재하여(Kim *et al.*, 1964; Kim *et al.*, 2013) 타 작물에 비하여 유지 및 관리가 어려워 토지 생산성이 매우 낮은 작물이다(Lee *et al.*, 2004). 또한 인삼은 차양 막을 설치하여 4-6년간 재배가 이루어져 강우량, 온도, 광량, 산도(pH), 토양의 비옥도 및 수분 함유량 등 재배 환경적인 영향을 많이 받아 성장할 때 형태적, 생리적 특성(Kang *et al.*, 2007; Jung *et al.*, 2015)이 생기기 때문에 적합한 재배지 선정이 중요한 요인이 된다(Lee *et al.*, 1985; Lee *et al.*, 1989; Lee *et al.*, 1995). 여러 요인 중 최근 우리나라 기후는 온난화를 비롯해 심한 가뭄이 경험하면

서 인삼재배에 수분의 중요성이 대두되고 있다. 하지만 차양막을 설치하여 재배하는 특이적 환경이 자연적 빛물 유입을 제한하기 때문에 성장에 필요한 수분이 적은 실정이다. 따라서 몇 년 전부터 현장에서는 부족한 수분공급을 위해 관정을 파고 점적관수관을 설치하고 있어 인삼 재배환경에 수분의 역할을 그 중요성이 매우 높다 할 수 있다. 정상적인 수분공급이 이루어지면 토양 미생물의 활성으로 인해 비옥도가 높아지고 뿌리 성장으로 인해 다시 수분 흡수율이 높아져 광합성 효율이 증가되는 선순환이 일어난다. 따라서 식물성장에서 수분의 역할이 매우 중요하다고 할 수 있다(Choi *et al.*, 2011). 하지만 최근 기후상태에 따라 발생하는 물 부족현상과 더불어 발생하는 환경문제가 대두되면서 파인버블(Fine bubble)에 많은 관심을 받고 있다. 특히 급격히 오염되는 수질 정화 및 담수화 된 양식장에서 정화시스템에 적용을 위한 연구가 이루어지고 있다. 최근 들어서는 파인버블이 가지는 특이한 물리적 특성을 이용하여 다양한 분야에 적용함으로써 응용 분야를 넓히기 위한 연구가 추가적으

\*교신저자: ach0405@gmail.com

Tel. +82-63-238-9303

© 본 학회지의 저작권은 (사)한국자원식물학회지에 있으며, 이의 무단전재나 복제를 금합니다.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

로 진행되고 있다(Chen *et al.*, 2009; Park and Kurata, 2009; Ebina *et al.*, 2013). 농업에서는 상추의 수경 재배 중 미세기포를 주입한 실험(Park and Kurata, 2009)을 진행하여 식물의 성장속도를 증가시킬 수 있지만 용존 산소량과 연관성은 없다는 결과가 보고되었고, 동물에서는 쥐를 이용하여 파인버블을 처리함으로써 동물 성장에 효과(Fukumoto *et al.*, 2000; Ebina *et al.*, 2013)가 연구하여 빠른 성장 일어나는 것을 확인하였다. 또 다른 연구동향으로는 마이크로버블(microbubble)이 처리된 오존수를 이용한 채소류를 세척함으로써 보이는 잔류물 제거 효과(Ikeura *et al.*, 2011; Ikeura *et al.*, 2013)를 확인하였고, 국내에서는 마이크로버블을 상추에 처리하여 제품을 포장 및 저장하면서 일어나는 품질변화(Lee *et al.*, 2009)에 대해 보고하였다. 파인버블은 대부분 마이크로버블로 알려져 있고 이를 기반으로 실험하여 적용된 식물 및 동물은 생리적 변화에 긍정적인 영향을 있다는 연구결과가 발표되었지만 아직까지 버블(bubble)에 대한 명확한 정의나 메커니즘 대해서 밝혀지지 않고 있다.

버블을 확인해보면 전 세계 기준이 ISO/TC281 규격에 따라 마이크로미터 단위의 작은 기포로 0.01 μm - 1000 μm 이하를 버블이라 하고, 0.01 μm - 100 μm 기포(Fig. 1)를 파인버블이라고 한다. 마이크로 버블의 연구결과가 있지만 아직까지 정확한 크기를 측정하는 방법이 알려져 있지 않다. 버블보다 크기가 작은 파인버블은 부력이 적어서 수면 위로 천천히 상승하면서 파열

이 일어난다. 크기가 작은 파인버블의 발생 원리는 마이너스 이온을 함유한 물에 0.1 mm의 거품을 다량 넣고 강한 압력을 가하여 나팔모양의 구멍을 통과시키는 것이다. 파인버블은 기포 표면에서의 (-) 이온농축으로 인한 부착능력이 증가하며 기포 소멸시 자기가압(압축, 파괴 연쇄반응)에 의해 순간 초음파 및 초고온(약 5,500°C=이론적 계산수치)의 국소온도가 발생하는 특징을 갖고 있다(Lee, 2009).

파인버블에 의한 살균 및 세정의 방법을 확인해보면 관련 물질을 부유시킨 후 음전하를 띤 미세버블의 정전기력으로 양전하를 띤 박테리아가 이끌려서 물리적 충격이나 자체 파괴에 의해 하이드록실 라디칼이 순간적으로 발생할 때 생성되는 에너

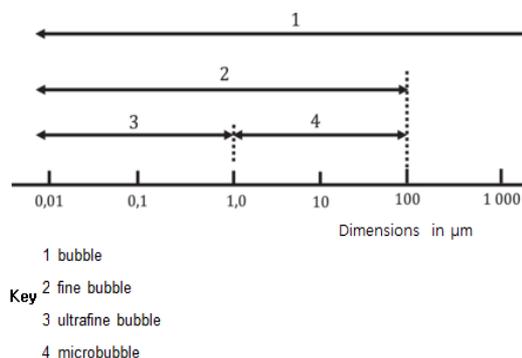


Fig. 1. Scale diagram showing bubble diameters in ISO/TC281 (Fine Bubble Technology).

Table 1. Types and characteristics of microbubble generator

Operation type	Characteristics of the process
Dissolved-Air-Flotation, DAF	<ul style="list-style-type: none"> <li>The circulating water is supersaturated to high pressure. Bubbles are generated by dropping to atmospheric pressure in the reaction tank.</li> </ul>
Induced-Air-Flotation, IAF	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bubble generated by injecting air through a passage or a porous body of the rotating impeller</li> </ul>
Dissolved-Gas-Flotation, DSF	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bubble generated by the pressure drop of a saturated supersaturated with a specific gas than the air</li> </ul>
Vacuum-Flotation, VF	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bubble generated by Reduced solubility in pressurized enclosures</li> </ul>
Electro-Flotation, EF	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hydrogen or oxygen bubble generation generated in the electrolysis of water</li> </ul>
Microbiological-Auto-Flotation, MAF	<ul style="list-style-type: none"> <li>Biological nitric acid -</li> <li>Bubble caused by elution of supersaturated oxygen by N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> or excessive algal propagation in denitrification process</li> </ul>
Suspended-Air-Flotation, SAF	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bubble generation by chemical action on the small pressure difference by adding a surface active agent</li> </ul>
Splitter-type Flotation	<ul style="list-style-type: none"> <li>Water and air are introduced into the pump and split by the impeller. Bubble generated by the pressure and pressure drop in the mixing chamber</li> </ul>

지를 이용하여 살균 세정효과를 발생시킨다(Cha, 2009). 파인 버블은 큰 기포보다 상대적으로 수면으로의 상승속도 매우 느리며, 수중에서 축소하고 소멸하여 완전 용해되기도 한다. 파인 버블은 세정에 관한 산화의 가능성 증가하고 소멸될 때는 초고압, 초고온을 형성하며 에너지 발산하게 된다. 표면 대전(帶電)에 의한 정전반발력이나 계면활성제에 의해 장시간 안정화 기능이 나타나며, 특히 대전(帶電)효과에 의해 안정화 된 파인버블은 기포특성이 장시간 유지되어 생명공학 분야 및 의학적인 응용 가능한 것으로 알려져 있다(Lee, 2009). 파인버블을 생산하는 원리(Table 1)는 아래와 같은 방식이 존재하며, 버블 생산 방식과는 상관없이 버블의 물리적 특징은 동일하게 작용하고 있다. 본 연구는 미세버블의 특징에 주목하여 오랜 시간 동안 제한된 환경에서 진행되는 인삼재배에 파인버블을 적용함으로써 변화되는 인삼의 생리학적 및 형태적 특징을 분석하여 파인버블이 생육에 미치는 영향 조사하기 위해 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 실험재료

경기도 안성 고려인삼유기농협동조합에서 재래종 묘삼 1 kg 을 제공받아 이루어졌다. 인삼시료는 토양의 산도와 비옥도에 영향을 받지 않기 위해 인삼배재용 상토를 사용하고 일정크기의 플라스틱 포트에 채워 실험군과 대조군으로 나누어 재배하면서 실험군은 파인버블수를 처리하고, 대조군에는 일반수를 처리하였다. 월말을 채취시기 정하고 실험군과 대조군 평균적인 개체 20 분을 샘플링 하였다.

### 파인버블생성 조건 및 성장분석

재래종 2년 근 인삼을 동일한 조건으로 두 그룹으로 나누어 플라스틱 포트에 심어서 재배하였다. 한 그룹은 파인버블수(500 ml)를 처리하고, 다른 그룹은 일반수(500 ml)를 3주 간격으로 처리하였다. 파인버블은 일반수와 공기를 혼합하는 스플리터식 기포발생장치(Splitter-type Flotation)를 이용하여 파인버블수로 생산하였다. 일반수보다 파인버블수가 용존산소량이 증가되는 조건을 설정하였는데 기포발생장치를 이용하여 10분씩 가동 후 5분 대기하는 방법으로 4회 반복하여 총 1시간 동안 버블링 시간으로 설정하였다. 생성된 파인버블수는 물의 온도가 13°C에서 용존산소량이 11.29 ppm으로 일반수의 10.537 ppm 보다 약 7% 정도 용존산소가 증가되었다.

인삼샘플은 파인버블수와 일반수를 처리한 후 충분히 적용

될 수 있게 4주 간격으로 샘플을 채취 하였다. 생장이 많이 일어나는 7월, 8월은 2주 간격으로 샘플을 채취하였다. 샘플분석은 지상부 중 잎은 5 개의 잎 중에 가운데 잎 세로, 가로를 측정하였고, 잎 폭은 잎 5 개가 펼쳐진 전체 길이를 측정하였다. 줄기는 줄기 길이와 줄기 직경을 측정하였으며, 지하부는 뿌리를 기준으로 전체 세근 수, 주근의 길이와 직경 및 생근 무게를 측정하였다.

### 엽록소 측정

파인버블수와 일반수를 처리한 잎을 10 mg씩 채취하고 2 ml eppendorf 튜브에 식물조직(tissue) 10 mg (0.01 g)을 담고, 예열된 DMSO를 700  $\mu$ l 넣어준 뒤 tube를 65°C에서 30분 동안 incubating하여 엽록소를 추출한 뒤 DMSO로 autozero 보정한 후 470 nm, 645 nm 및 663 nm에서 추출한 엽록소의 O.D 값을 측정하였다(Hiscox and Israelstam, 1979; Richardson *et al.*, 2002).

엽록소는 Arnon's 방정식(Arnon, 1949)의 계산식을 기준으로 측정하였다.

$$\begin{aligned} \text{Chlorophyll A (mg/g fresh weight)} &= \\ &[(12.7 * A_{663}) - (2.69 * A_{645})] * (V/1000 * W) \\ \text{Chlorophyll B (mg/g fresh weight)} &= \\ &[(22.9 * A_{645}) - (4.68 * A_{663})] * (V/1000 * W) \\ \text{Total Chlorophylls} &= \\ &(20.08 * A_{645} + 8.02 * A_{663}) * (V/1000 * W) \end{aligned}$$

## 결과 및 고찰

### 부위별 변화 특성

2년 근 인삼에 파인버블수를 지속적으로 처리하여 변화되는 부위별 특성을 살펴보았다. 지상부에서 줄기(Fig. 2A) 부분이 가장 먼저 차이점을 보이고 있다. 파인버블수를 처리한 2년 근 인삼이 일반수를 처리한 2년 근 인삼보다 줄기 길이가 먼저 길어지는 것으로 나타났다.

이후 길이가 성장하다가 일정 기간이 되면 더 이상 성장하지 않는 모습을 보이고 있으며, 일반수를 처리한 인삼이 한 달 뒤에 부터 점차적으로 줄기의 길이가 증가됨을 확인 할 수 있다. 8월에는 파인버블수와 일반수를 처리한 인삼이 큰 차이가 없는 것으로 나타나 파인버블수가 초기 줄기 성장에 영향을 준다고 판단되어 진다. 줄기 직경(Fig. 2B)을 보면 성장초기에 파인버블

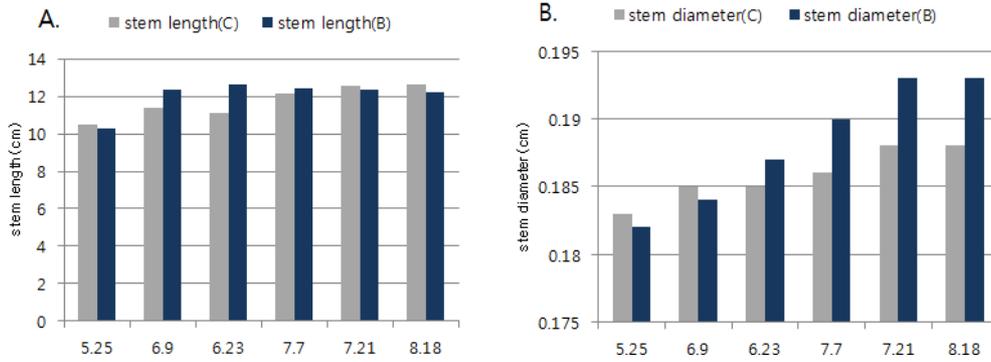


Fig. 2. Growth characteristics of 2 year old ginseng stem (B : Fine bubble water treatment during growth, C : General water treatment during growth).

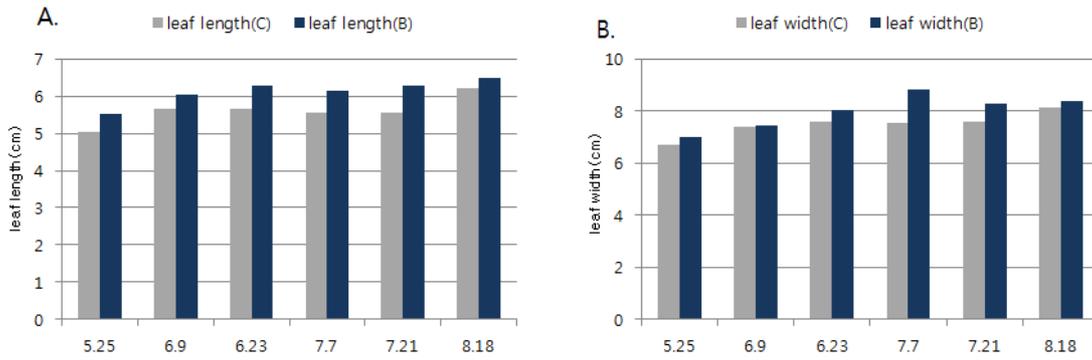


Fig. 3. Growth characteristics of 2 year old ginseng leaves (B : Fine bubble water treatment during growth, C : General water treatment during growth).

수를 처리한 인삼이 줄기직경이 작지만 길이 생장이 일어난 후 부터 직경이 증가되는 것으로 나타나고 최종적으로는 줄기 폭이 증가되었다. 이는 초기 줄기성장이 길이만 길어지는 옷자람 현상이 생기는 것이 아니라 줄기성장 이후 전체적인 성장을 나타내는 것으로 볼 수 있다.

앞에서의 차이를 보면 잎의 길이(Fig. 3A)는 파인버블수를 처리한 2년 근 인삼의 잎이 전체적으로 일반수를 처리한 인삼보다 크기를 나타내고 있다. 하지만 시기별로 크게 증가되는 것으로 나타나고 있지는 않는데 이것은 재배 포트별 인삼샘플간의 편차로 볼 수 있다. 잎 폭은 각각의 잎을 측정된 결과(data not show), 시기별, 샘플간의 유의관계나 나타나지 않고 단지 파인버블수를 처리한 인삼이 일반수를 처리한 잎보다 잎 폭의 크게 나타났다. 잎의 전체 폭(Fig. 3B)은 6월 이후 파인버블수를 처리한 인삼의 잎 폭이 넓은 것으로 나타났지만 점차적으로 증가하지 않는 것은 잎들 각각의 차이가 넓다고 판단되어 진다. 전체적인 잎 폭은 6월과 7월 사이에 파인버블수를 처리한 인삼이 전체적인 잎 폭이 넓은 것으로 나타났다. 잎의 폭이 증가하는 것이

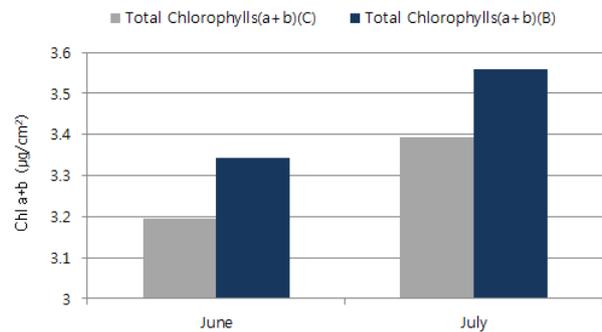


Fig. 4. Investigation of chlorophyll concentration in 2 year old ginseng leaves (B : Fine bubble water treatment during growth, C : General water treatment during growth).

인삼생장에 영향을 있는지 살펴보기 2년 근 인삼 잎을 채취하여 엽록소 함량을 확인하였다. Fig. 4를 보면 파인버블수를 처리한 인삼에서 엽록소 함량이 약 10% 높게 나왔다. 이것은 파인버블수를 처리한 후 줄기와 잎 성장으로 엽록소 함량이 증가되었고, 엽록소 함량 증가로 인해 제한적으로 빛이 제공되는 상황에서

도 광합성 효율의 증가가 일어나면서 추가적으로 뿌리 발달에 영향을 줄 것으로 판단된다.

뿌리에서는 흥미로운 결과가 나타나는데 파인버블수를 처리한 인삼이 Fig. 4C 에서 확인된 것처럼 세근 수가 5월에는 많은 수를 나타내다가 6월에 큰 폭으로 감소하는 현상이 일어났다. 이는 일반수를 처리한 인삼보다 세근의 수는 감소하지만 오히려 주근이(Fig. 5A) 6월 이후인 7월부터 큰 폭으로 성장하는 현상이 나타나고 있다. 또한 인삼의 직경(Fig. 5B)을 보면 단순히 주근의 길이만 성장하는 것이 아니라 7월 이후 주근의 직경이 증가되면서 뿌리가 전체적으로 많은 성장이 일어나고 있다. 이러한 뿌리의 성장은 무게(Fig. 4D)와 연관되어져 6월까지의 큰 차이가 없다가 7월부터 파인버블수가 처리된 2년 근 인삼의 무게가 증가하는 것을 확인 할 수가 있다. 이것은 뿌리의 성장에 변화 나타나는 것으로 생각할 수가 있는데 성장 초기에는 세근의 성장이 주로 이루어지고 7월 이후에는 주근의 성장이 이루어지는 형태로 전환된다고 볼 수 있다. 이러한 결과는 파인버블수를 처리한 2년 근 인삼의 무게가 점차적으로 증가하여 약 10% 이상을 무게 차이가 나는 것이 결과를 뒷받침하고 있다. 따라서 인삼 재배 시 파인버블수를 적용함으로써 인삼의 생육의 증가가 있다는 것을 의미할 수 있다.

### 전체 생육특성

파인버블수와 일반수를 각각 처리한 2년 근 인삼의 생육특성은 Fig. 6과 같이 보이고 있다. 지상부 생장은 줄기의 길이가 길어지지만 일정 기간까지만 길어지고 이후 오히려 생장하는 것을



Fig. 6. Differences in Growth of 2 year old ginseng (B : Fine bubble water treatment during growth, C : General water treatment during growth).

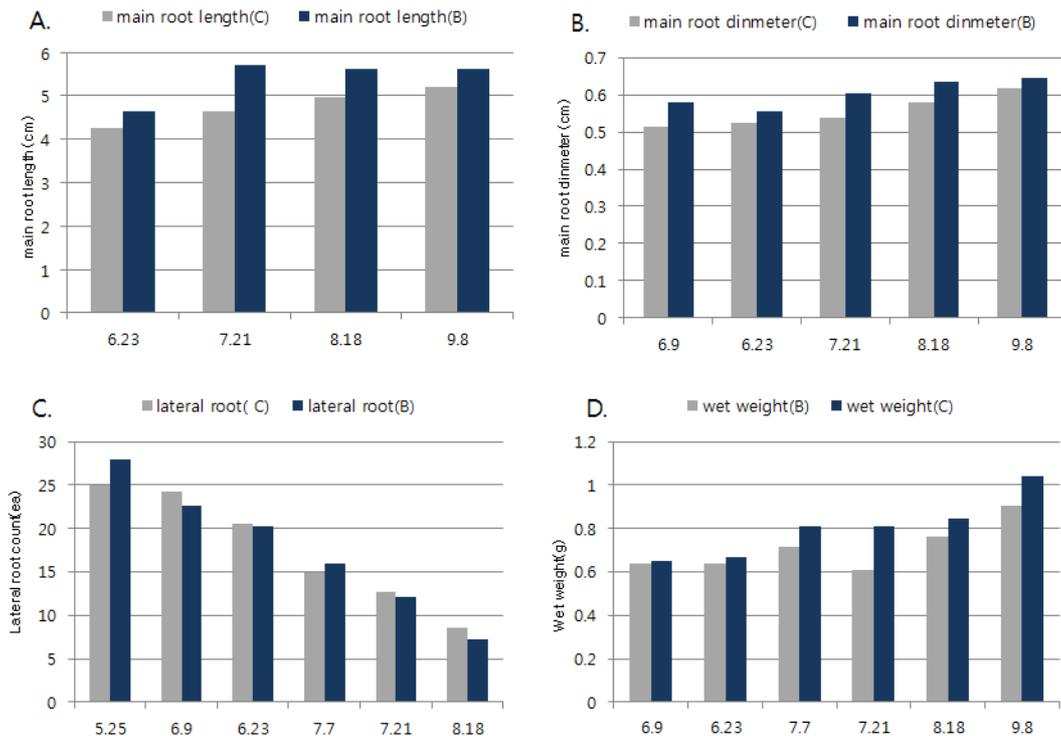


Fig. 5. Investigation of root growth characteristics of 2 year old ginseng (B : Fine bubble water treatment during growth, C : General water treatment during growth).

Table 2. Major physiological property

Age	Water	Leaf		Stem		Root		fresh (g)
		length (cm)	width (cm)	length (cm)	diameter (cm)	length (cm)	diameter (cm)	
2	General	6.223	8.12	12.215	0.188	6.223	0.616	0.903
	Fine bubble	6.475	8.398	12.659	0.193	6.475	0.645	1.039

볼 수 있고 지하부에서는 세근수와 주근 크기의 차이를 보이면서 생육의 차이가 뚜렷하였다.

파인버블수와 일반수에 대한 생육 차이를 보이는데 Fig. 5A 처럼 생육초기에서부터 세근이 더 많이 존재하고 이후 세근이 떨어지면서 생장기가 되면 파인버블수를 적용한 2년 근 인삼이 일반수를 처리한 인삼보다 더 굵어지면서 주근을 생성하고 커진 것을 확인할 수 있고(Fig. 5B) 무게를 측정한 결과 지하부 생체중은 일반수에 비해 10% 정도의 높은 값을 보였다.

### 적 요

재배지 부족과 기후변화로 인하여 인삼재배의 생산량이 적어지고 있어 추가적인 방법이 필요하다. 따라서 기존에는 환경 산업 및 식품포장, 가공에 활용되고 있는 파인버블을 우리나라 대표 작물인 인삼재배에 적용하여 변화되는 생리적, 형태적 특성을 분석하였다. 2년 근 인삼에 파인버블수를 적용한 결과 Table 2에서 보듯이 줄기 길이와 잎이 증가되었고 뿌리에서는 주근이 커지면서 무게가 증가되었다.

특히 잎이 커지면서 뿌리의 무게가 증가됨을 보이고 있는데 이는 총 엽록소 함량을 확인한 결과 높게 나와 광합성 효율 증대와 연계되었다고 판단된다. 본 연구결과에서는 파인버블수를 사용한 인삼 재배시 인삼의 성장 저해가 나타나지 않았음을 확인하였으며, 생리적 특성 및 세분화된 결과를 통해 인삼의 전체적인 생육이 약 10%에서 15% 생장이 증가되는 것을 확인할 수 있다. 따라서 인삼 재배시 파인버블수를 적용함으로써 인삼이 생육 증대가 이루어지고 있다는 것을 의미할 수 있다. 추후 파인버블수를 적용된 3-5년 근의 고년 근 인삼에서도 특징을 유지하는지 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다.

### References

Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenoxidase in beta vulgaris. *Plant Physiol.* 24:1-15.

Cha, H.S. 2009. Present state and future prospect for microbubble technology. *Bulletin of Food Technol* 22:544-552.

Chen, H., H. Mao, L. Wu, J. Zhang, Y. Dong, Y. Wu and J. Hu. 2009. Defouling and cleaning using nano bubbles on stainless steel. *Biofouling* 25(4):353-357.

Choi, J.E., N.R. Lee, J.S. Han, J.S. Kim, S.R. Jo, C.Y. Shim and J.M. Choi. 2011. Influence of various substrates on the growth and yield of organically grown ginseng seedlings in the shaded plastic house. *Korean Journal of Medicinal Crop Sci.* 19:441-445.

Ebina, K., K. Shi, H. Hirao, J. Hashimoto, Y. Kawato, S. Kaneshiro and H. Yoshikawa. 2013. Oxygen and air nanobubble water solution promote the growth of plants, fishes, and mice. *PLoS One* 8(6):e65339.

Fukumoto, Y., K. Hashizume and Y. Nishimura. 2000. Development of supply system of microbubble ozonated water in agriculture. *Hort. Environ. Biotechnol.* 51(1):21-27.

Hiscox, J.D. and G.F. Israelstam. 1979. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Canadian Journal of Botany* 57(12):1332-1334.

Ikeura, H., F. Kobayashi and M. Tamaki. 2011. Removal of residual pesticide, fenitrothion, in vegetables by using ozone microbubbles generated by different methods. *J Food Eng.* 103:345-349.

\_\_\_\_\_. 2013. Ozone microbubble treatment at various water temperatures for the removal of residual pesticides with negligible effects on the physical properties of lettuce and cherry tomatoes. *J. Food Sci.* 78: 350-355.

Jung, Y.J., I.S. Nou and K.K. Kang. 2015. Effects of green manure crops on tomato growth and soil improvement for reduction of continuous cropping injury through crop rotation in greenhouse. *Korean J. Plant Res.* 28(2):263-270.

Kang, S.W., B.Y. Yeon, G.S. Hyun, Y.S. Bae, S.W. Lee and N.S. Seung. 2007. Changes of soil chemical properties and root injury ratio by progress years of post-harvest in continuous cropping soils of ginseng. *Korean J Medicinal Crop Sci.* 15:157-161.

- Kim, J.H. 1964. Factors affecting the received light intensity of ginseng plants (*Panax ginseng*). J. Natl Acad Sci. 5:1-17.
- Kim, Y.C., H.W. Park, O.K. Kim, K.H. Bang, J.U. Kim, D.Y. Hyun, D.H. Kim, S.W. Cha and J.E. Choi. 2013. Soil acclimatization of regenerated plants by gibberellic acid treatments of *panax ginseng* C. A. Meyer. Korean J. Plant Res. 26(1):084-089.
- Lee, I.H., C.S. Park, H.S. Park and C.S. Yoon. 1985. Studies on the soil management in ginseng preplanting soil (II) relationship between the soil characteristic of 2-year-old ginseng field soil and the ratio on missing plant. J Ginseng Res. 9:36-41.
- Lee, I.H., C.S. Park and K.J. Song. 1989. Growth of panax ginseng affected by the annual change in physicochemical properties of ginseng cultivated soil. J Ginseng Res. 13:84-91.
- Lee, J.C., J.S. Byen, D.J. Ahn and J.S. Ho. 1995. Effect of physical properties of soil on ginseng seedling growth in nursery bed. J Ginseng Res. 19:287-290.
- Lee, K.H. 2009. A study on the textile wastewater treatment using micro-nano bubbles ozonation system – Focused on biological pretreatment and final effluent reuse, Department of Environmental Engineering, Ph.D. Thesis, Dong-A Univ., Korea. pp. 4-8 (in Korean).
- Lee, S.A., A.R. Youn, K.H. Kwon and B.S. Kim. 2009. Washing effect of micro-bubbles and changes in quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) during storage. Korean J. Food Preserv. 16:321-326.
- Lee, S.W., S.W. Kang, D.Y. Kim, N.S. Seong and H.W. Park. 2004. Comparison of growth characteristics and compounds of ginseng cultivated by paddy and upland cultivation. Medicinal Crop Sci. 12:10-16.
- Park, J.S. and K. Kurata. 2009. Application of micro-bubbles to hydroponics solution promotes lettuce growth. Horttechnology 19(1):212-215.
- Richardson, A.D., S.P. Duigan and G.P. Berlyn. 2002. An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content. New Phytologist 153:185-194.
- Ryu, T.S. and S.T. Kwon. 2008. Cell viability and antioxidant enzyme activity in the cell of ginseng (*Panax ginseng* C.A. Meyer) treated with soil extracts. Korean J. Plant Res. 21(4):324-328.

(Received 1 June 2017 ; Revised 17 October 2017 ; Accepted 23 October 2017)