

ORIGINAL ARTICLE

## 죽여 추출물로 합성한 금 나노 입자의 특성과 항산화 활성

박진오<sup>1)</sup> · 박근태<sup>1,2)\*</sup>

<sup>1)</sup>부산대학교 대학원 나노융합기술학과, <sup>2)</sup>부산대학교 BIT 융합기술 연구소

### Characterization and Antioxidant Activity of Gold Nanoparticles Synthesized using *Bambusae Caulis in Taeniam* extract

Jin Oh Park<sup>1)</sup>, Geuntae Park<sup>1,2)\*</sup>

<sup>1)</sup>Department of Nano Fusion Technology, Graduate School, Pusan National University, Busan 46241, Korea

<sup>2)</sup>Bio-IT Fusion Technology Research Institute, Pusan National University, Busan 46241, Korea

#### Abstract

Green synthesis of gold nanoparticles(GNPs) considered more ecofriendly and cost effective than other chemical methods use of dangerous reagents and solvents, improved material and energy efficiency and enhanced design of non-toxic products. In this study, we developed a green synthesis method for using *Caulis in Taeniam* (BCT). BCT were characterized by UV-vis, Zetasizer, TEM, XRD, and FTIR. The antioxidant activity of BCT was determined by DPPH and ABTS radical-scavenging assays, and heme oxygenase-1 induction in RAW 264.7 macrophages. The resulting BCT appeared spherical with an average diameter of 67.171.39 nm The antioxidant activity was increased in a dependent manner. To conclude, the green synthesis of BCT-GNPs was successful, and it appears to be useful in the for future applications.

**Key words** : *Bambusae Caulis in Taeniam*, Gold nanoparticles, Green synthesis, Antioxidant activity

#### 1. 서론

21세기로 접어들면서 급속도로 발전하고 있는 첨단 기술 중의 하나가 10억분의 1 m 단위의 미세구조를 다루는 나노기술이다. 이러한 나노기술은 전자, 재료, 의료, 생명공학, 환경, 에너지 등 최근의 거의 모든 첨단 분야 산업에 적용되어 인류의 미래 산업 발전을 주도하고 있다. 특히 융합경제 시대로 접어들고 있는 현

시점에서 나노기술과 접목된 바이오 분야에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 통상적으로 나노물질은 100 nm 이하의 크기를 말하며 생체 내 주요 구성성분인 단백질과 비슷한 크기이며 일반적으로 자연계에 존재하는 물질과는 현저히 다른 특성을 나타낸다. 이러한 특성들을 활용하여 첨단의 소재가 필요한 의약품 및 의료기기의 개발이 보다 원활하여 졌으며 질병을 진단하고 치료하는 범위가 급속도로 확대되고 있다

Received 9 December, 2016; Revised 25 January, 2017;

Accepted 6 February, 2017

\*Corresponding author: Geuntae Park, Department of Nano Fusion Technology, Graduate school, Pusan National University, Busan 46241, Korea

Phone : +82-51-510-3631

E-mail: gtpark@pusan.ac.kr

본 논문은 2016년도 부산대학교의 석사 학위논문의 축약본입니다.

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.  
© 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.

(Nune et al., 2009; Aueviriyavit et al., 2014; Ahmed et al., 2016).

이러한 바이오 분야와 나노기술의 융합과 응용은 첨단 과학기술의 발전에 새로운 전기를 마련하고 있으며, 이를 나노바이오 기술로 지칭하여 하나의 커다란 범주로서 연구범위를 확보하고 많은 연구들이 진행되고 있다. 나노바이오 분야에서 사용되는 소재 중 많은 연구 개발이 진행 중인 대표적인 것 중의 하나가 금 나노 입자이다. 원래 금은 이전부터 인류 문명의 발전과 더불어 귀중한 물품의 재료로서 사용되었을 뿐만 아니라 치료용의 약물로도 사용 되어 왔다. 실제 벌크 상태의 금 입자와 달리 금 나노 입자는 광학적 특성을 포함한 여러 가지의 독특한 성질로 생체 진단이나 치료 목적의 소재로서 유용하게 사용될 수 있다 (Sathishkumar et al., 2016).

질병진단과 치료에 금 나노 입자가 활용될 수 있는 가장 큰 이유는 금 나노 입자의 생체적합성을 들 수 있다. 보통 금속성분의 경우 일부 금속원자가 산화되고 생체 내 세포막이 손상 되어 체내에 독성을 야기 시키나 금은 환원전위가 높아 다른 금속에 비하여 이온형태로 존재할 가능성이 낮아 체내에서 안전한 상태를 가질 수 있다. 또한 금 나노 입자는 다른 나노 입자에 비해 표면을 쉽게 개질(reforming)하는 것이 가능하다. 이러한 특성으로 금 나노 입자 표면에 단백질, 펩티드, 또는 DNA와 같은 질병인식이 가능한 생체소재를 부착시킬 수도 있고, 인체에 무해하고 회복 성분을 가진 식물 유래 화학물질이나 천연물을 부착시켜 직접 질병 치료에도 활용할 수 있다(Guo et al., 2016).

대부분의 금 나노 입자는 일반적으로 화학 물질을 환원제로 사용하는 화학적 방법에 의해 합성된다. 화학적 합성에 의해 만들어진 금 나노 입자는 제조 공정 상에서 화학 물질에 의한 독성을 피할 수 없기 때문에 인체에 무해한 무독성의 환원제를 사용한 친환경적인 방법에 대한 필요성이 제기되었다(Khan et al., 2016). 친환경적인 방법은 미생물을 이용하거나, 식물 유래 화학물질 또는 천연물질 추출물 등을 이용하여 금 나노 입자를 합성하는 연구들이 보고되고 있다 (Anuradha et al., 2015; Ahmad et al., 2016). 특히 천연물질 기원의 추출물을 이용해 친환경적인 방법으로 합성된 금 나노 입자는 독성이 없고 합성 과정이 간단

하며, 단시간 내에 제조가 가능할 뿐만 아니라 합성된 금 나노 입자가 천연물 성분으로 둘러싸여 있어 천연물 자체의 특성을 지니고 비교적 오랜 기간 안정한 콜로이드 상태를 유지 할 수 있다. 이러한 독특한 특성들로 인하여 최근 많은 연구들이 천연물질 추출물을 이용한 합성 방법에 관심을 쏟고 있다(Manivasagan et al., 2016).

따라서 본 연구에서는 다양한 천연물 중 대나무 속 껍질로서 해열 작용, 항염증 작용, 항암 작용, 진해 작용 등의 효능을 가진 것으로 알려진 죽여(*Bambusae Caulis in Taeniam*)를 사용하여 금 나노 입자를 합성하는 방법을 제시하였다. 게다가 죽여 추출물로 합성된 금 나노 입자가 가지는 물리화학적 특성과 금 나노 입자의 항산화능을 조사하여 생체 사용에 적합한 기능성 소재로서의 사용 가능성을 검토하였다 (Muthukumar et al., 2016).

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 실험 재료 및 시약

본 실험에서 천연물 소재로 사용된 죽여(*Bambusae Caulis in Taeniam*, BCT)는 (주)광명생약에서 구입하여 사용하였다. 죽여를 이용하여 합성한 금 나노입자 (Gold Nanoparticles using *Bambusae Caulis in Taeniam*, BCT-GNPs)에 사용한 염화금(HAuCl<sub>4</sub>)과 항산화능의 측정 및 세포독성의 측정을 위하여 DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl), ABTS(2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonicacid)) 및 MTT(3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide)는 Sigma사에서 구입하여 사용하였다.

세포배양을 위하여 사용한 배지 DMEM (Dulbecco's Modified Eagle's Medium)과 FBS (Fetal Bovine Serum)는 WELGENE사를 사용하였다. Western Blot에 사용된 항체 Heme oxygenase 1과 anti-rabbit IgG는 Snata Cruz Biotechnology에서 구입하여 사용하였다(Nakkala et al., 2015).

### 2.2. 죽여 추출물 제조

건조한 죽여 300 g을 증류수 2 ℓ에 넣고 3시간 동안 가열하여 500 ml의 추출물을 얻었다. 추출액은

동결 건조한 뒤  $-75^{\circ}\text{C}$ 에 보관하였고 매 실험마다 최종 농도를  $2\text{ mg/ml}$ 가 되도록 재 용해시킨 후  $0.22\ \mu\text{m}$ 의 filter로 여과 멸균하여 사용하였다(Oh et al., 2016).

### 2.3. 금 나노 입자의 합성

실험에 사용한 금 나노 입자의 제조를 위하여 죽여 추출물  $10\ \text{ml}$ 를 상온에서  $500\ \text{rpm}$ 으로 교반하면서 염화금( $\text{HAuCl}_4$ ,  $1.0\ \text{M}$ ) 용액  $10\ \mu\text{L}$ 를 첨가하여 10분간 반응 시켰다. 용액의 색상이 담청색에서 진홍색으로 변화되는 것을 확인 후 5분 동안 안정화 시켰다(Palotta et al., 2016).

### 2.4. 금 나노 입자의 특성 분석

죽여를 이용한 금 나노 입자의 합성 여부와 생성된 금나노 입자의 흡수 파장대는 UV-visible spectrophotometer(Ultrospec 6300 pro, Amersham Biosciences)를 사용하였고, 금나노 입자의 크기와 입자 안정성의 지표인 제타포텐셜(Zeta potential)을 측정하기 위하여, Zetasizer(Nano-ZS90, Malvern)을 사용하였다.

보다 상세한 금 나노 입자의 크기와 형태는 HR-TEM(TALOS F200X, FEI)을 이용하여 관찰하였다. 또한 금나노 입자의 구조 분석과 결정구조는 X-ray Diffraction(Empyrean series2, Panalytical)과 FT-IR spectroscopy(Spectrum GX, Perkin Elmer)를 사용하였다(Razzaq et al., 2016).

### 2.5. 항산화능 측정

죽여 추출물로 합성한 금나노 입자(BCT-GNPs)의 항산화능은 DPPH 라디칼 소거능과 ABTS 라디칼 소거능으로 측정하였다. 먼저 DPPH 라디칼 소거능 측정을 위하여 메탄올과 증류수를 1:1로 혼합된 용액에 DPPH를 녹여서 최종 농도  $0.1\ \text{mmol/L}$ 의 DPPH 용액을 준비하였다. 24 well plate에 제조된 DPPH 용액  $500\ \mu\text{L}$ 와 금나노 입자의 농도를  $0.1, 0.2, 0.4\ \text{mg/ml}$ 로 조정된 시료  $100\ \mu\text{L}$ 를 반응시킨 후, Multilabel Counter(VICTOR 3, Perkin Elmer)를 이용하여  $545\ \text{nm}$ 에서 흡광도를 측정하였다. 시료를 첨가하지 않은 음성 대조군과 비교하여 소거 정도를 백분율로 나타내었고, kojic acid를 양성 대조군으로 하여 비교 분석하였다(Saquib et al., 2013). 또한 화학적 합성법으로

합성된 금나노 입자와 비교하기 위하여 citrate로 합성된 금나노 입자(Cit-GNPs)를 각기 같은 농도로 비교 분석하였다.

ABTS 라디칼 소거능의 측정은 ABTS  $7.4\ \text{mM}$ 과 potassium persulphate  $2.6\ \text{mM}$ 을 하루 동안 암실에 방치하여  $\text{ABTS}^{\cdot+}$ 을 형성시켰다.  $\text{ABTS}^{\cdot+}$ 용액은  $734\ \text{nm}$ 에서의 흡광도 값이  $1.4 \times 10^5$ 가 되도록 증류수로 희석하였다. 희석한 용액  $1\ \text{ml}$ 에 죽여 금나노 입자(BCT-GNPs)의 농도를  $0.1, 0.2, 0.4\ \text{mg/ml}$ 로 조정된  $50\ \mu\text{L}$ 의 시료를 넣고 30분 동안 반응을 시킨 후  $734\ \text{nm}$ 에서 흡광도를 측정하였다. Cit-GNPs 역시 같은 농도와 조건으로 흡광도를 측정하였다. 시료를 첨가하지 않은 음성 대조군과 비교하여 소거 정도를 백분율로 나타내었고, kojic acid를 양성 대조군으로 비교 분석하였다(Shaheen et al., 2016).

### 2.6. 세포 배양

실험에 사용한 RAW264.7 대식세포는 ATCC에서 분양을 받아 사용하였다. 세포배양을 위하여 10% FBS가 첨가된 DMEM에 penicillin( $100\ \text{U/ml}$ )와 streptomycin( $100\ \mu\text{g/ml}$ )를 첨가하여 사용하였다. 그리고 배양조건은  $37^{\circ}\text{C}$ 에서 5%의  $\text{CO}_2$ 가 공급되는 배양기에서 배양하였다(Shi et al., 2015).

### 2.7. 세포 독성 측정

죽여로 합성한 금 나노 입자의 세포독성을 검토하기 위하여 MTT assay를 실시하였다. RAW 264.7 대식세포를  $1 \times 10^4\ \text{cells/well}$ 의 농도로 24 well plate에 분주하여 24시간동안  $37^{\circ}\text{C}$ 에서 배양한 후 합성된 금나노 입자가 용해된 용액을 금 나노 입자 농도별( $0.1, 0.2, 0.4\ \text{mg/ml}$ )로 처리하고 24시간 동안 배양하였다. 배양 후  $5\ \text{mmg/ml}$ 의 MTT 시약을 첨가하고 4시간 동안  $37^{\circ}\text{C}$ 로 배양기에서 반응시켰다. 4시간 후에 상층액을 제거하고 각 well에  $200\ \mu\text{L}$ 의 DMSO를 첨가한 뒤 Multilabel Counter를 이용하여  $540\ \text{nm}$ 에서 흡광도를 측정하였다(Tułodziecka et al., 2016).

### 2.8. Western blot

RAW 264.7 대식세포를  $1 \times 10^4\ \text{cells/well}$ 의 농도로 24 well plate에 분주하여 24시간 동안 배양한 후 죽여(BCT)와 죽여를 이용한 금나노 입자

(BCT-GNPs), 그리고 화학적 합성 금나노 입자 (Cit-GNPs) 시료를 농도별(0.1, 0.2, 0.4 mg/ml)로 처리하여 배양하였다. 배양 후 PBS로 2회 세척하고 lysis buffer를 첨가하여 4°C에서 lysis 시킨 뒤 13,000 rpm으로 10분간 원심분리 하여 상층액을 수거하였다. 수거된 상층액의 단백질 농도는 Bradford reagent로 정량하여 사용하였다. 단백질 40  $\mu$ l에 5배 농도의 LSB 10  $\mu$ l를 넣고 100°C에서 10분간 불활성화 후 7.5% SDS polyacrylamide gel에 전기영동을 실시하였다. 분리된 단백질은 nitrocellulose membrane으로 전사시켰다. Heme Oxygenase 1 (HO-1)은 1:1000의 비율로 1시간 부착시킨 후 PBST buffer로 10분간 3회 세척하였고 2차 항체로 anti-rabbit IgG를 1:2000의 비율로 30분간 부착시켰다. PBST buffer로 10분간 3회 세척하고 ECL(WesternBright™, advansta)을 처리하여 Image Quant를 이용해 가시화하였다(Wongkrongsak et al., 2016).

## 2.9. 통계분석

모든 실험은 평균(mean) $\pm$ 표준편차(Standard Deviation, SD)로 나타내었고, 실험 결과들은 t-test법에 따라  $p < 0.05$  수준에서 유의성을 검정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 금 나노 입자의 합성과 특성 확인

죽여를 사용하여 금 나노 입자가 생성되었는지를 확인하기 위하여 흡광도를 측정된 결과는 Fig. 1의 A, B와 같았다. 일반적으로 금 나노 입자는 530~540 nm 파장에서 최대 흡광도를 나타내는 것으로 알려져 있으며, 본 연구에서 합성된 죽여 금 나노 입자 (BCT-GNPs)는 540 nm에서 최대 흡광도를 나타내었다. 금은 100 nm 이하의 입자 크기에서부터 일반적인 황금색이 아닌 보라색으로 나타나며, 크기가 더 줄어들게 되면 보라색에서 점차적으로 적색으로 색상이 변화된다. 본 연구에서도 반응 용액의 색상 변화가

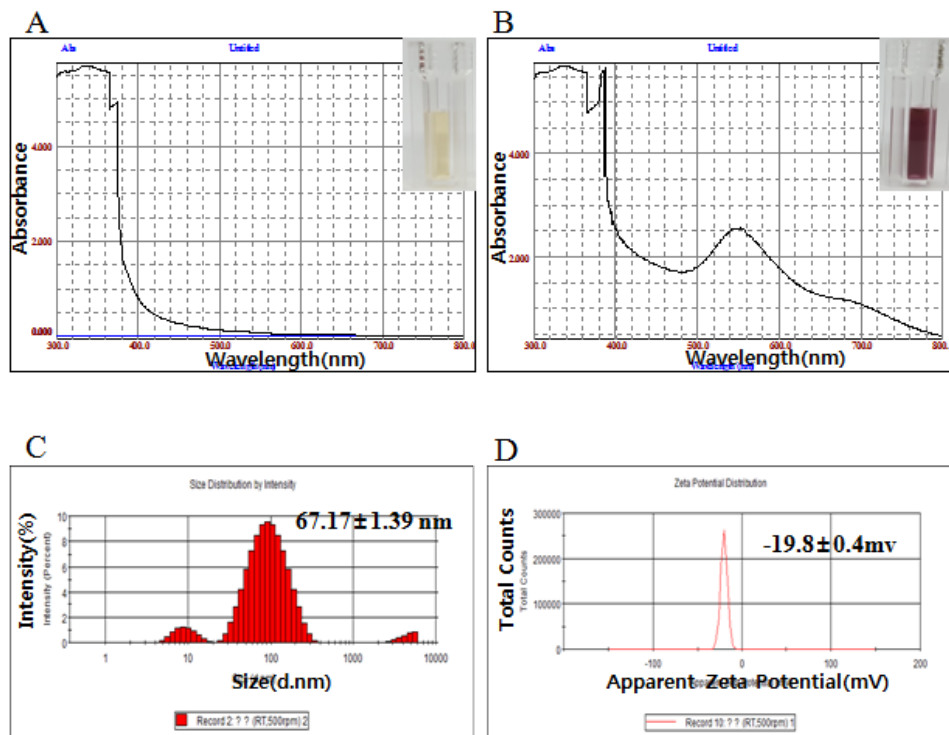


Fig. 1. UV-visible spectra of the BCT (A) and BCT-GNPs (B). The distribution of particles' size (C) and zeta potential (D).

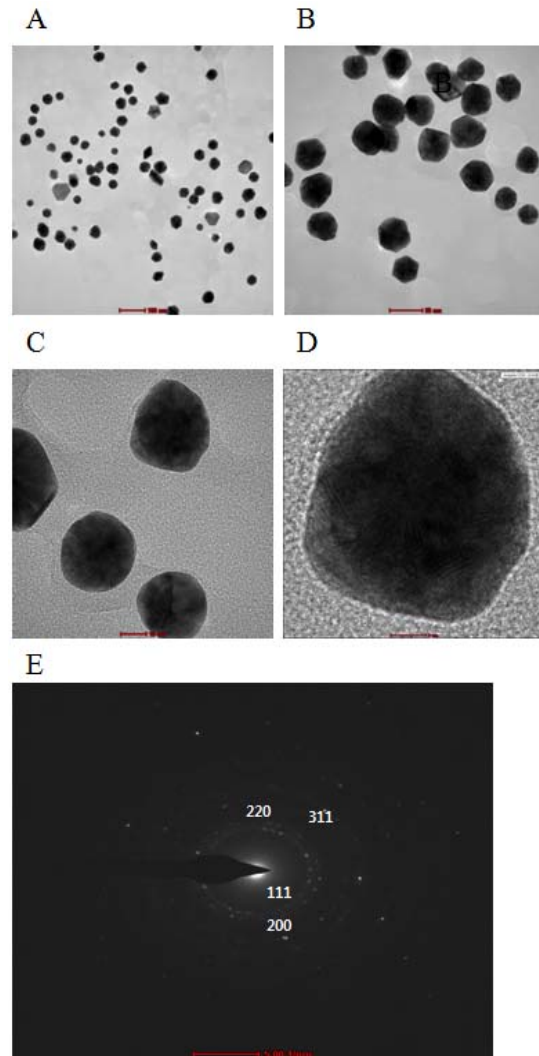
일어나는 것으로 금 나노 입자가 합성되었음을 확인하였다.

죽여로 합성된 금 나노 입자(BCT-GNPs)의 용액 상태에서 가지는 입자 크기는 전체 평균이  $67.17 \pm 1.39$  nm로 측정되었으나 100 nm 정도의 크기를 가지는 입자도 다수 존재하였다(Fig. 1C). 금 나노 입자의 응집 정도와 입자의 용액 상태 하에서 안정성을 확인하기 위해 zeta potential을 측정한 결과는 Fig. 1의 D와 같이  $-19.8 \pm 0.4$  mV의 값을 나타내어 비교적 안정한 것으로 판단되었다(Lee et al., 2003).

죽여 합성 금 나노 입자(BCT-GNPs)의 보다 자세한 크기와 형태는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 HR-TEM을 이용하여 관찰하였다(Fig. 2). 대부분의 입자들은 전체적으로 모서리는 둥근면을 가진 부정형의 형태를 보였고 입자들은 개개로 잘 분산되어 있었다. (Fig. 2 A-D). 또한 SAED pattern을 통하여 죽여로 합성된 금 나노 입자는 면심입방격자형의 결정 구조로 확인되었다(Fig. 2 E).

XRD를 이용해서 죽여(BCT)와 죽여를 이용하여 합성된 금 나노 입자(BCT-GNPs)의 결정 구조를 분석한 결과는 Fig. 3과 같았다. 죽여(BCT)와 비교하여 죽여를 이용하여 합성한 금 나노 입자(BCT-GNPs)의 XRD pattern은 총 4개의 peak가 형성되었는데,  $2\theta = 38.2, 44.4, 64.6, 77.5$ 일 때 각각 (111), (200), (220), (311) 면을 가져 금이 가지는 면심입방격자 구조임을 확인하였다. Peak 중에서는 (111) 면이 가장 높게 나타나는 것을 알 수 있었고 이를 통해 (111)이 주 방향임을 확인하였다(Yakub and Kanase, 2016).

금 이온의 환원과 금 나노 입자의 합성에서 안정화에 관여하는 생체 분자의 작용기 식별은 FTIR spectroscopy를 이용하여 Fig. 4와 같은 결과를 보였다. 죽여 단일물질에서는 3,411, 1,619, 1,118에서 흡수 밴드가 나타났으며, 3,411 밴드는 O-H 결합을 나타내고, 1,619와 1,118은 1차 아미드와 아미드 결합에서 카르보닐기의 신축 진동을 나타낸다. 금나노 입자 합성 후에는, O-H 결합 peak가 3,409로 이동하였고 1차 아미드와 카르보닐기의 신축 진동을 나타내던 peak는 각각 1,642와 1,076으로 이동하였다. 1,512와 1,331에서 나타나는 약한 peak는 각각 메틸렌기의 가위질 진동과 3차 아미드를 나타내는 것으로 보여진다.



**Fig. 2.** HR-TEM images of the BCT-GNPs. The scale bar represents (A) 100 nm, (B) 50 nm, (C) 20 nm, (D) 5 nm, and (E) SAED pattern.

### 3.2. 항산화능 분석

죽여로 합성된 금나노 입자(BCT-GNPs)의 항산화능 측정을 위한 DPPH 라디칼과 ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거능 분석 결과는 Fig. 5와 같았다. 금나노 입자의 DPPH 라디칼 소거활성은 금 나노 입자의 농도가 0.1, 0.2, 0.4 mg/ml로 증가함에 따라 라디칼 소거 활성 역시 각각 42.3, 52.3, 68.8%를 나타내어 금나노 입자에 농도의존적으로 소거활성이 증가하였다. 화학적 합성 금나노 입자(Cit-GNPs)는 소거 활성능이 상대적으로

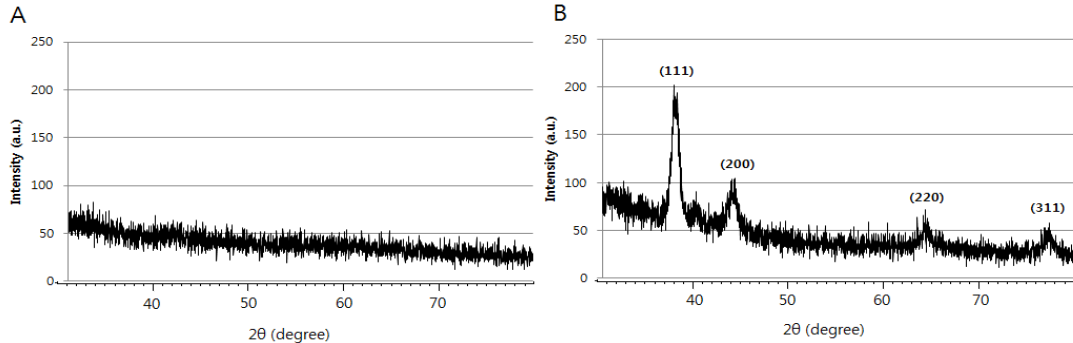


Fig. 3. XRD pattern of (A) BCT and (B) BCT-GNPs.

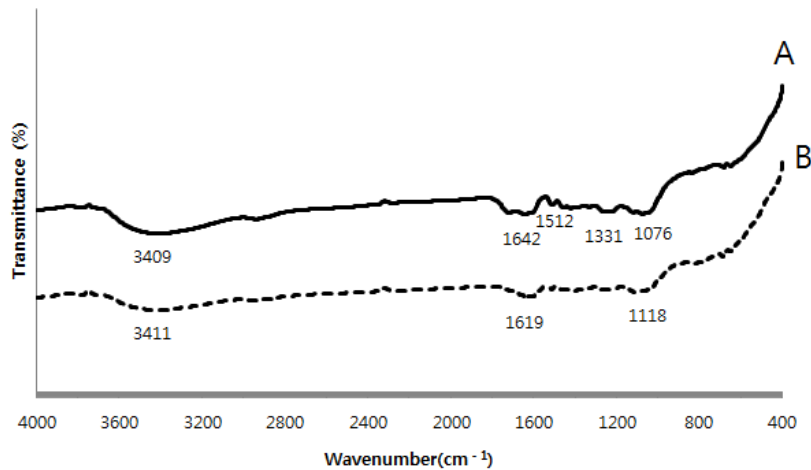


Fig. 4. FTIR spectra of the BCT(A) and BCT(B).

매우 적었으며 농도별로도 차이를 보이지 않았다.

ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성에서도 금나노 입자의 농도를 각기 0.1, 0.2, 0.4 mg/ml로 달리한 결과 각각 48.6, 67.9, 82.7%의 라디칼 소거 활성을 나타내어 죽여 금나노 입자(BCT-GNPs)의 농도 증가에 비례하여 항산화능 또한 증가하였다. 화학적 합성 금나노 입자(Cit-GNPs)는 DPPH의 결과와 유사하게 낮은 항산화능과 농도에 따른 차이를 보이지 않았다. 따라서 죽여를 이용하여 합성한 금나노 입자는 항산화능을 가지며 농도 의존적으로 항산화능이 증가하였다.

### 3.3. 세포 독성 측정

금나노 입자의 세포 독성 시험을 위하여 RAW 264.7 대식세포를 이용하여 MTT assay를 수행한 결

과는 Fig. 6과 같았다. 합성된 금나노 입자를 0.1, 0.2, 0.4 mg/ml의 농도로 달리하여 세포 독성을 측정된 결과, 세포의 생존율이 전 농도에서 대조군과 비교하여 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 설정한 농도 내에서는 금나노 입자가 세포 생존에 큰 영향을 주지 않는 것으로 보아 세포 독성이 미미함을 확인하였다.

### 3.4. Heme oxygenase-1(HO-1)의 발현 효과

Heme oxygenase-1 (HO-1)은 heme의 분해 대사과정에 관여하여 biliverdin, free iron, 일산화탄소 등으로 분해시키는 속도 조절효소로서 항산화 작용뿐만 아니라 세포 내 지질 및 단백질을 보호하고 다양한 스트레스 자극으로부터 생체를 방어하는 기능도

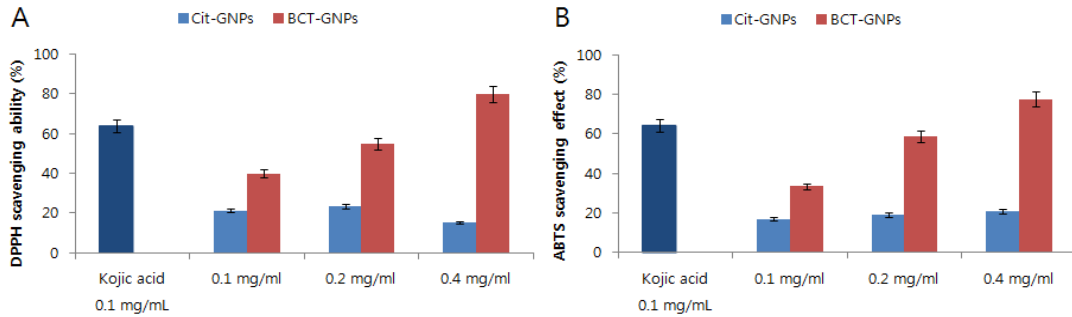


Fig. 5. DPPH radical scavenging activities (A) and ABTS<sup>+</sup> radical scavenging activities (B) of Citrate-GNPs and BCT-GNPs.

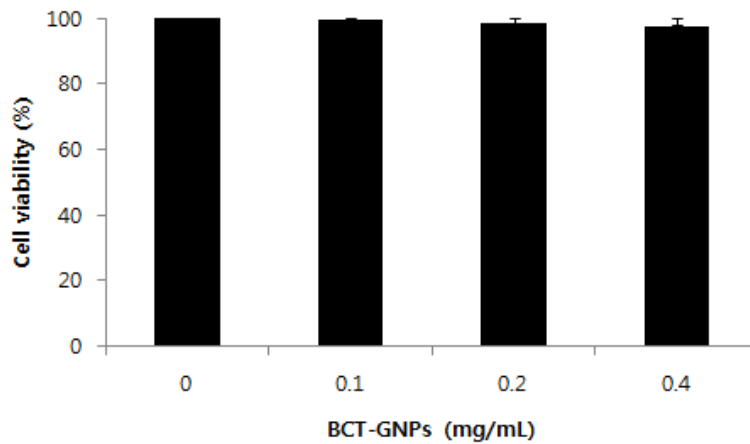


Fig. 6. Effect of GNPs on cell viability at the various concentrations.

가지고 있다. 죽여를 이용하여 합성한 금나노 입자 (BCT-GNPs)는 RAW 264.7 대식세포에서 농도 의존적으로 HO-1의 발현을 유도하였다. 항산화능을 보유하고 있는 죽여(BCT)에서도 동일한 농도에서 유사한 HO-1의 발현을 보였다. 그러나 화학적으로 합성된 금나노 입자(Cit-GNPs)는 HO-1의 발현이 유도되지 않아 이전의 항산화능 분석과 동일한 결과를 나타내었다(Fig. 7).

추후 죽여(BCT)와 죽여를 이용하여 합성한 금나노 입자(BCT-GNPs)에 대한 HO-1에 관련된 신호전달 체계에 대한 폭 넓은 연구가 진행되어야 죽여로 합성된 금나노 입자의 특이성과 유용성을 상세히 밝힐 수 있을 것으로 보인다. 실제로 세포내에서 천연물에서

는 나타나지 않는 현상이 그 천연물을 이용한 금나노 입자에서는 특이적인 유용 현상이 발생하는 것이 확인되었다(Chae et al., 2016).

따라서 일정 수준에서 독성을 나타내지 않는 수준에서의 천연물 이용 금나노 입자는 생체진화적인 소재로서 활용의 범위가 넓을 것으로 기대된다. 본 연구에서의 죽여를 이용한 금나노 입자(BCT-GNPs)도 항산화능을 보유하고 있고 세포독성이 없어 인체에 적절하게 사용할 수 있는 유용 생리활성 소재 후보로서 활용이 가능할 것으로 보인다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 여러 종류의 천연물 중 약리활성이

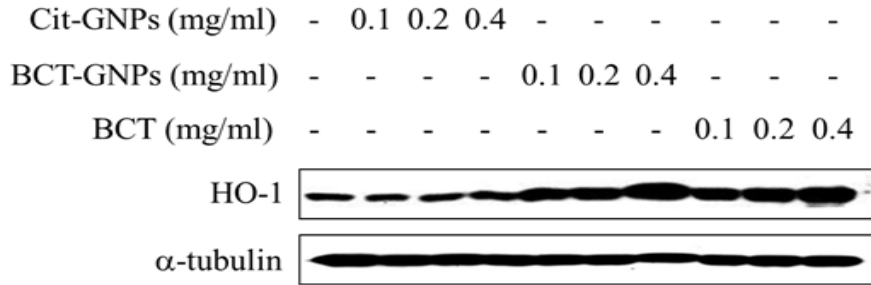


Fig. 7. Effects of Citrate-GNPs, BCT-GNPs and BCT on the production of heme oxygenase-1.

우수한 죽여를 사용하여 기존의 물리, 화학적인 방법을 대체하는 친환경적인 방법으로 금 나노 입자를 합성 하여 그 특성들을 검토하였다. 일반적으로 나노기술에서의 나노물질은 100 nm 미만의 크기를 범주로 하게 되는데, 본 연구에서 죽여로 합성한 금 나노 입자는 일반적인 크기 범주에 속하는 것으로 확인되었으며 금이 가지는 기본적인 물리, 화학적인 특성을 보유하고 있는 것을 관찰하였다.

나노 입자는 그들이 가지는 광학적, 기계적, 화학적인 특성들이 벌크 입자와는 전혀 다른 독특한 성질을 보유하며, 본 연구에서는 그러한 특성들을 활용하기 위하여 금 나노입자의 인체 적용과 생리활성을 바탕으로 한 유용성을 목적으로 하였다. 이러한 의도로 본 연구에서는 죽여로 합성한 금 나노 입자의 세포독성과 유용성을 검토하기 위하여 MTT assay와 DPPH 라디칼 소거능, ABTS 소거능과 같은 항산화능 분석과 더불어 RAW 264.7 대식세포에서 항산화에 관여하는 주요 단백질인 HO-1의 금 나노 입자의 농도 증가에 따른 발현 변화가 비례적으로 증가함을 확인하였다.

그러나 화학적 합성법에 의하여 합성된 Cit-GNPs의 경우에는 DPPH 라디칼 소거능과 ABTS 소거능에서 매우 낮은 항산화능과 농도별 차이가 없었으며, RAW 264.7 대식세포에서 항산화에 관여하는 주요 단백질인 HO-1도 발현되지 않았다.

따라서 죽여 추출물을 사용하여 친환경적인 방법으로 합성된 금 나노 입자는 본 연구결과에 보는 바와 같이 인체적용에 적합한 기능성을 가진 유용물질 소재로서 활용이 가능할 것으로 보인다. 또한 환경 친화

적인 방법으로 합성이 되기에 기존의 물리화학적 방법에 의해 합성되는 금 나노 입자들에 비하여 합성 공정의 측면에서 안정성과 생체 친화적 측면에서 다양한 응용분야에 적용이 가능할 것으로 보인다.

#### 감사의 글

이 논문은 부산대학교 기본연구지원사업(2년)에 의하여 연구되었음.

#### REFERENCES

- Ahmed, A., Senapati, S., Khan, M. I., Kumar, R., Srinivas, V., Sastry, M., 2003, Intracellular synthesis of gold nanoparticles by a novel alkalotolerant actinomycete, *Rhodococcus* species, *Nanotechnology*, 14, 824-828.
- Ahmed, S., Annu, I. S., Yudha, S. S., 2016, Biosynthesis of gold nanoparticles : A Green approach, *J. of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 161, 141-153.
- Anuradha, J., Abbasi, T., Abbasi, S. A., 2015, An Eco-friendly method of synthesizing gold nanoparticles using an otherwise worthless weed pistia (*Pistia stratiotes* L.), *J. of Advanced Research*, 6(5), 711-720.
- Aueviriyavit, S., Phummiratch, D., Maniratanachote, R., 2014, Mechanistic study on the biological effects of silver and gold nanoparticles in caco-2 cells - Induction of the Nrf2/HO-1 pathway by high concentrations of silver nanoparticles, *Toxicol. Lett.*,



- 224(1), 73-83.
- Chae, S. Y., Park, S. Y., Park, J. O., Lee, K. J., Park, G., 2016, *Gardenia jasminoides* extract-capped gold nanoparticles reverse hydrogen peroxide-induced premature senescence, *J. of Photochemistry & Photobiology, B: Biology*, 164, 204-211.
- Guo, J., O'Driscoll, C. M., Holmes, J. D., Rahme, K., 2016, Bioconjugated gold nanoparticles enhance cellular uptake : A Proof of concept study for siRNA delivery in prostate cancer cells, *Int. J. Pharm.*, 509(1-2), 16-27.
- Khan, A. U., Yuan, Q., Wei, Y., Khan, G. M., 2016, Photocatalytic and antibacterial response of biosynthesized gold nanoparticles, *J. of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 162, 273-277.
- Lee, J. K., Kim, S. C., Kim, H. J., Lee, C. G., Ju, C. H., Lee, L. C., 2003, A Study on the zeta potential measurement and the stability analysis of nano fluids using a particle image processing system, *J. of ILASS-Korea*, 8(1), 16-22.
- Manivasagan, P., Bharathiraja, S., Bui, N. Q., Jang, B., Oh, Y., Lim, I. G., Oh, J., 2016, Doxorubicin-loaded fucoidan capped gold nanoparticles for drug delivery and photoacoustic imaging, *Int. J. Biol. Macromol.*, 91, 578-588.
- Muthukumar, T., Sudhakumari, S. B., Aravinthan, A., Sastry, T. P., Kim, J. H., 2016, Green synthesis of gold nanoparticles and their enhanced synergistic antitumor activity using HepG2 and MCF7 cells and its antibacterial effects, *Process Biochemistry*, 51(3), 384-391.
- Nakkala, J. R., Bhagat, E., Suchiang, K., Sadras, S. R., 2015, Comparative study of antioxidant and catalytic activity of silver and gold nanoparticles synthesized from costus pictus leaf extract, *J. of Materials Science & Technology*, 31(10), 986-994.
- Nune, S. K., Chanda, N., Shukla, R., Katti, K., Kulkarni, R. R., Thilakavathi, M. S., Kannan, R., Katti, K. V., 2009, Green nanotechnology from tea : Phytochemicals in tea as building blocks for production of biocompatible gold nanoparticles, *J. Mater. Chem.*, 19(19), 2912-2920.
- Oh, J. H., Son, M. Y., Choi, M. S., Kim, S., Choi, A. Y., Lee, H. A., Kim, K. S., Kim, J., Song, C. W., 2016, Integrative analysis of genes and miRNA alterations in human embryonic stem cells-derived neural cells after exposure to silver nanoparticles, *Toxicology and Applied Pharmacology*, 299, 8-23.
- Pallotta, A., Boudier, A., Leroy, P., Clarot, I., 2016, Characterization and stability of gold nanoparticles depending on their surface chemistry : Contribution of capillary zone electrophoresis to a quality control, *J. of Chromatography A*, 1461, 179-184.
- Razzaq, H., Saira, F., Yaqub, A., Qureshi, R., Mumtaz, M., Saleemi, S., 2016, Interaction of gold nanoparticles with free radicals and their role in enhancing the scavenging activity of ascorbic acid, *J. of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 161, 266-272.
- Saqib, Q., Al-Khedhairi, A. A., Ahmad, J., Siddiqui, M. A., Dwivedi, S., Khan, S. T., 2013, Zinc ferrite nanoparticles activate IL-1b, NFKB1, CCL21 and NOS2 signaling to induce mitochondrial dependent intrinsic apoptotic pathway in WISH cells, *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 273(2), 289-297.
- Sathiskumar, G., Pradeep, K., Jha, V. V., Rajkuberan, C., Jeyaraj, M., Selvakumar, M., Rakhi, J., Sivaramakrishnan, S., 2016, Cannonball fruit (*Couroupita guianensis*, Aubl.) extract mediated synthesis of gold nanoparticles and evaluation of its antioxidant activity, *J. of Molecular Liquids*, 215, 229-236.
- Shaheen, T. I., El-Naggar, M. E., Hussein, J. S., El-Bana, M., Emara, E., El-Khayat, Z., Fouda, M. M. G., Ebaid, H., Hebeish, A., 2016, Antidiabetic assessment : In vivo study of gold and core-shell silver-gold nanoparticles on streptozotocin-induced diabetic rats, *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 83, 865-875.
- Shi, Z., Niu, Y., Wang, Q., Shi, L., Huicai, G., Liu, Y., Zhu, Y., Liu, S., Liu, C., Chen, X., Zhang, R., 2015, Reduction of DNA damage induced by titanium dioxide nanoparticles through Nrf2 in vitro and in vivo, *J. Hazard Mater.*, 298, 310-319.
- Tułodziecka, A., Szydłowska-Czerniak, A., 2016, Development of a novel gold nanoparticle-based method to determine antioxidant capacity of brassica oilseeds, white flakes and meal, *Food Chem.*, 208, 142-149.

Yakub, N., Kanase, S. S., 2016, Biosynthesis of gold nanoparticles by *Bacillus marisflavi* and its potential in catalytic dye degradation, Arabian J. of Chemistry, in Press, Available online.

Wongkongsak, S., Tangthong, T., Pasanphan, W., 2016,

Electron beam induced water-soluble silk fibroin nanoparticles as a natural antioxidant and reducing agent for a green synthesis of gold nanocolloid, Radiation Physics and Chemistry, 118, 27-34.