

생체 적합성이 확보를 위한 오존화 올리브오일 제조 장치 구현

김덕술

동명대학교 공과대학 전자및의용공학부

Implementing of Ozonated Olive Oil Manufacturing Device to Ensure Biocompatibility

Duck-Sool Kim

School of Electronic and Biomedical Engineering, Tongmyong University

요약 오존화 올리브 오일은 피부 질환에 우수한 치료 효과가 있어, 오존을 활용한 화장품 제조 기술의 개발이 시도되고 있다. 오존은 인체에 유해한 요소가 있어 오존화 올리브 오일을 화장품 원료용으로 제조하기 위해서는 별도의 시설이 준비되어야 한다. 본 연구에서 개발된 제조 장치는 생산에 투입된 작업자의 안전이 확보된 상태에서 화장품 제조에 최적화된 공정으로 설계되었다. 구현된 장치로부터 제조된 오존화 올리브유의 검증을 위해 동물실험을 대상으로 한 독성시험을 진행하였고 Rabbit에 대한 오존화 오일(고농도)을 Rabbit의 등 부위에 24시간 동안 도포한 후 사망률, 일반증상 및 피부 자극평가를 수행하였다. 실험 결과 일정 시간 후 시험 물질 처치부위를 평가한 결과, 모든 동물에서 피부자극이 관찰되지 않음이 확인되어 오존화 오일의 생산공정의 안전성과 생성물의 안전성을 확인 할 수 있었다.

• 주제어 : 오존화 올리브오일, 오존 발생 장치, 무성방전관, 독성실험, 피부자극

Abstract As research results showed that ozonated olive oil has excellent therapeutic effects on skin diseases, attempts were made to develop cosmetics manufacturing technology using ozone. Ozone is harmful to the human body, so a separate facility must be prepared to manufacture ozonated olive oil as a cosmetic raw material. The manufacturing device developed in this study was designed as an optimized process for manufacturing cosmetics while ensuring the safety of workers involved in production. To verify the ozonated olive oil produced from the implemented device, a toxicity test was conducted on animals. After applying ozonated oil (high concentration) to the rabbit's back for 24 hours, mortality, general symptoms and symptoms were measured. A skin irritation evaluation was performed. As a result of the experiment, as a result of evaluating the test substance treatment area after a certain period of time, it was confirmed that no skin irritation was observed in all animals, confirming the safety of the ozonated oil production process and the safety of the product.

• Key Words : Ozonated olive oil, Ozone generator, Silent discharge tube, Toxicity test, Skin irritation

Received 04 September 2023 Revised 19 September 2023, Accepted 25 September 2023

* Corresponding Author Duck-Sool Kim, Dept. of Biomedical Engineering, Tongmyong University, 428, sinsun-ro, Nam-gu, Busan, Korea. E-mail: dskim@tu.ac.kr

I. 서론

오존은 주로 살균을 목적으로 과산화수소나 자외선과 함께 사용하여 축진 산화처리, 생물처리에 사용되며, 반응속도의 향상, 비 처리물질의 확대를 겨냥한 새로운 반응기술 개발과 대용량·고농도 Ozonizer 개발 등 최근의 기술 진보가 급속히 이루어져 있다. 오존은 공기의 소독, 수영장 소독, 양식장의 소독뿐만 아니라 왁스나 셀룰로스 섬유의 표백, 탈취, 미생물 및 중금속의 제거, 의약품 제조, 폐수 처리 등에 사용되며, 강력한 산화 작용으로 미생물, 진균 및 바이러스에 대한 살균 효과도 가지고 있어 다방면으로 유용하게 활용되고 있다[1-4]. O₃(오존)는 불안정한 기체로, O₂와 O로 환원(해리 작용)하려는 경향을 가지며, 매우 높은 유동성을 갖고 있다[6-7].

오존(O₃)의 환원 과정에서, O₃ 분자는 바이러스나 세균 내의 DNA/RNA와 결합하여 전자를 빼앗아 사멸시키면서도 내성균이나 변이 원성균에 대해서 내성을 유발하지 않는 특징이 있다[8-9].

분리된 O₂와 O는 대사 활동을 촉진하여 피부 내 성장 인자 증식에 영향을 미칩니다. 또한 면역 세포 증식과 동시에 유독성 및 유해 물질을 분해한다[10-11]. 다핵형 백혈구와 유사한 작용을 하는 오존화 오일은 19세기부터 피부 깊숙한 곳에서 발생하는 각종 감염증과 궤양, 농양, 누공과 같은 질환의 치료에 활용되어 왔다[11-12]. 특히 오존화 올리브오일은 낮은 독성을 가지면서도 다양한 종류의 미생물을 치사시킬 수 있는 것으로 알려져 있으며 경우에 따라 피부나 복강에 투여해도 인체에 해가 없다고 알려져 있다[13-14].

최근에는 다양한 제품의 제조 프로세스에서 환경 부하가 적고 생산성이 향상되는 프로세스가 요구되고 있어, 산화제의 하나인 오존이 제조 프로세스에 적용된 후 분해되어 무해한 산소로 되돌아가는 특성 때문에 많은 활용이 기대되고 있다[15-17]. 그동안 국내에서는 오존화 오일에 대한 생체적합성 평가가 많이 연구되지 않았다. 이에 본 연구에서는 1ppm의 피부자극시험을 통해 생체적합성 평가하고 적절한 생체적합성을 확보한 상태에서 최적의 오존화오일(고농도) 생성 장치를 구현하고자 한다.

II. 연구 방법

생체 적합성이 확보된 오존화 올리브 오일 제조 장치는 공기 중의 산소 분자를 전기 방전을 통해 오존 분자로 변환하는 오존 생성기를 기본 장치로 하고 있다. 오존은 그 자체가 일정 수준의 인체 유해성을 가지고 있으므로 생성된 오존을 올리브 오일에 접촉시키는 과정에서 안전한 장치와 시스템을 적용하여 기기 외부 누출 및 생산 공정에 참여하는 인력의 오존 노출 위험을 최소화하는 설계가 진행되어야 한다.

또한 생체적합성을 높이기 위해서는 생성된 오존을 올리브 오일과 혼합시키는 시스템을 설계할 때 올리브 오일의 양과 오존 농도를 용이하게 조절할 수 있어야 하므로 오존화 올리브 오일 제조 과정을 효과적으로 제어하고 모니터링 할 수 있도록 구현하여 최적의 생체적합성을 확보할 수 있도록 한다.

2.1 오존수 생성 장치의 설계

장치 중의 오존의 발생은 무성 방전관(CZ-OG, Chamjoen Co.)을 적용했으며, 본체 내부는 배수구와 연결된 폐수 탱크, 세척수를 저장하는 급수 탱크, 세척수를 가열하는 히터, 세척수의 온도를 감지하는 온도 센서, 온도 센서의 감지에 따라 히터를 제어하는 컨트롤러, 그리고 급수 탱크의 세척수를 특정 방향으로 유입하거나 배출하는 순환 모터로 구성하였다.

오존수의 온도를 유지하기 위해, 300W 히터(정격 전압 220V 60Hz, 정격 소비전력 300W, 인증번호 HU07339-7005)를 사용하여 온수 유지 장치를 만들고 온도 센서와 수위 조절 센서를 장착한 후, 온수 유지 장치의 작동 실험을 진행하였다.

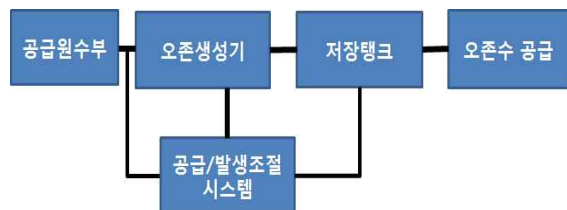


Fig. 1. Ozonization oil conversion device configuration diagram

Fig. 1 구성도에서는 저장 탱크의 오존 농도를 측정하여 설정 범위 안에서 공급과 발생 조절 시퀀스를 통해 수원 공급을 유지하고 오존 생산기의 작동을 제어하는 오존수 변환 시스템으로 일정한 오존 농도를 유지하는 것이 핵심 기술임을 볼 수 있다. 본 연구에서는 오존 변환 제어를 위해 효과적으로 수정 가능한 별도로 제작된 전용 PCB회로를 설계, 적용하였다. DC 100V 입력 전압을 공급하고 변압기를 사용하여 DC 16,000V를 생성하여 오존 발생장치를 구동하였다.

2.2 생체적합성 평가를 위한 시료

생체적합성 평가를 위해 사용된 시료의 물질명은 오존화 오일 (고농도 1ppm)이며, 코드명은 KTR (한국화학융합시험연구원) 코드 TS-00156입니다. 이 시료는 냉장 2-8℃에서 보관되며, 공급원은 (주)참좋은우리입니다. 실험에는 78.760g, 77.503g, 78.691g, 79.377g, 79.168g, 78.672g, 78.917g, 79.177g을 각각 사용하였다. 시험 기간 중에도 보관 조건은 냉장 2-8℃로 유지되며, 시료의 외관 및 성상은 반투명 크림 형태를 가지고 있다.

2.3 생체적합성 평가 방법

생체 적합성 평가는 동물실험을 통해 진행하였고 대상 체는 NZW Rabbit 수컷 7 마리를 대상으로 하였다.

피부 자극 시험에는 일반적으로 많이 사용되는 동물 실험을 진행하였고 실험 전 실험동물의 건강 상태를 외관 검사로 1차 확인하였다. 이후 검역과 순화 과정 8일이 지난 후 체중 변화 및 건강 상태를 다시 확인한 후 건강한 개체를 선별하여 실험에 사용하였습니다.

순화 기간 동안, 동물 식별 번호는 왼쪽 귓바퀴 내부에 유성 펜을 사용하여 표시하였으며, 실험군을 나눈 후에는 오른쪽 귓바퀴 내부에 표시하였습니다. 실험동물은 식별을 위해 케이지에 식별 카드를 부착하였고 순화 기간 동안 체중 증가를 확인하기 위해 수시로 체중을 측정하였습니다. 최종 실험에는 피부나 전반적인 건강 상태에 이상이 없는 건강한 동물 7마리를 실험에 사용하였습니다. 동물 실험 과정은 동물보호법 및 실험동물에 관한 법률에 근거하여, 한국화학융합시험연구원 헬스케어연구소의 동물윤리위원회 승인하에 진행되었습니다.

III. 실험 결과

3.1 오존화 올리브오일 생성 장치

본 실험에서는 올리브오일-오존의 접촉혼합은 기존의 가압용해 방식이 아닌 자체 개발한 인젝터 방식을 사용하여 오존 가스 흡입, 혼합, 용해 과정을 진행하였고 그 과정에서 오존이 올리브 오일에 혼합되도록 하였다.

오존 발생은 무성 방전관(CZ-OG, Chamjoen Co.)을 적용하였으며, 직류 인버터를 적용하는 방식으로 가동되도록 하였다. 발생된 오존 농도는 발생 오존과 배 오존에 대해 가스 검지관(Gastec 18M)을 사용하여 측정하였으며, 수중 용해 오존은 오존 분석기(Kerom O3-2Z)를 활용하여 측정하였다.

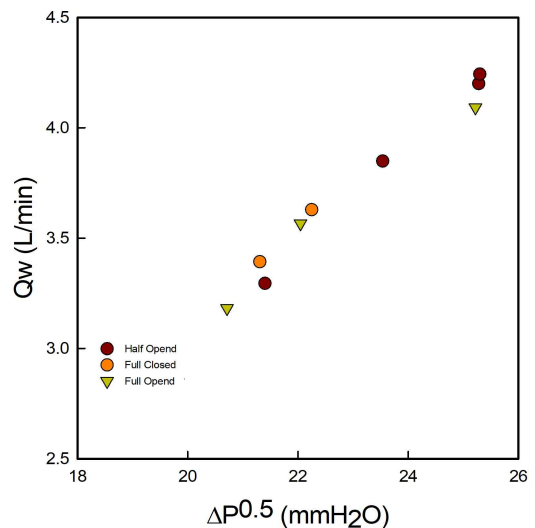


Fig. 2. Flow rate according to the pressure loss of the injector

Fig. 2에서 인젝터를 이용해 유량이 변화함에 따라 압력이 연동하여 조절되는 것을 확인 할 수 있었으며 압력이 증가함에 따라 유속이 증가하는데 이것은 유속을 조정하는 것으로 오존 발생 농도가 조절됨을 확인 할 수 있었다.

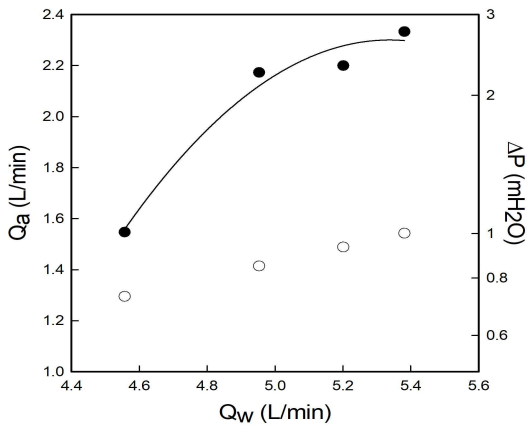


Fig. 3. Performance curve of the injector (● Air flow rate, ○ Pressure drop)

Fig. 3 인젝터 성능 실험에서 공기 유속이 변화하면 압력도 동일한 경향으로 변화하는 것을 보여준다. 이러한 변화가 오존농도를 조절하는 변수가 되므로 인젝터의 역할이 중요함을 확인하였다.

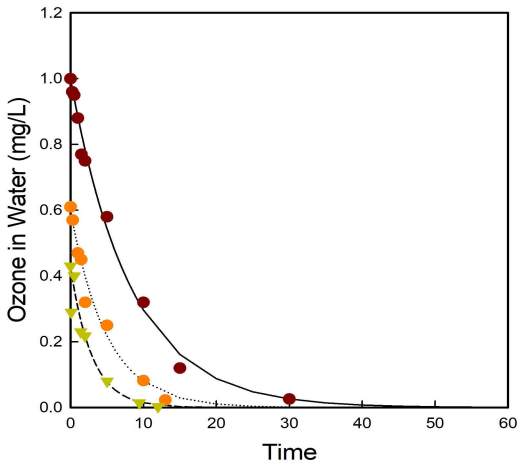


Fig. 4. Residual concentration of ozone water (● Pressure dissolution, ▼ Injector dissolution)

Fig. 4에서는 인젝터를 거친 뒤 용존 오존의 잔류특성을 나타낸 것으로 다. 오존의 초기 분해 속도는 매우 빠르며, 일반 가압 방식(●)의 경우 반감기가 약 6분으로 측정되었다. 본 연구에서 사용된 인젝터 방식(▼)에서는 이보다 상당히 짧게 측정되었으며, 인젝터 방식이 올리브오일-오존 간 접촉효율은 높았으나 가압 조건이 생성되지 않으면 오존 용해율이 낮고 잔존시간이 짧게 나타나는 것으로 추정할 수 있었다.

3.2. 생체 적합성 실험

연구 과정에서 생성된 오존화오일(고농도)의 피부 자극을 평가하기 위하여 시험 물질을 R모든 동물에 대하여 1일 1회씩, 3일 동안 관찰하였다.

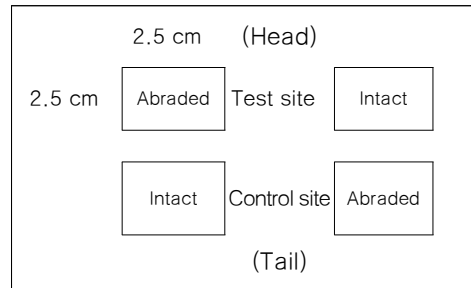


Fig. 5. Skin treatment area

Fig. 5와 같이 처치 24시간 전에 등 부위를 제모한 후, 처치 직전에 2.5×2.5cm² 크기의 처치 영역 2곳과 비교 영역 2곳을 각각 표시하였다.

각 실험동물당 처치 영역과 비교 영역을 찰과 부위와 비찰과 부위로 나누어, 찰과 부위에서는 표피만 손상되고 진피는 손상되지 않고 피가 나지 않는 정도의 찰과상을 일으켰다.

0.5 mL의 시험 물질을 거즈(2.5×2.5cm² 크기)에 처리한 후, 거즈를 찰과부위 1곳과 비찰과부위 1곳에 부착하였습니다.

하부의 대조 구획에는 0.5mL의 대조물질을 거즈에 적용한 후 시험 부위와 동일하게 부착하였습니다. 처치 부위는 비자극성 테이프(Tegaderm, 3M)와 탄력 붕대(Coban, 3M)를 사용하여 제대로 고정하였습니다. 처치 부착물은 24시간 후에 제거하고, 피부에 남아있는 시험 물질은 세정제를 사용하여 세정해 주었다.

오존화 오일(고농도)에 대한 토끼의 피부 자극을 평가하기 위해 시험 물질을 24시간 동안 등 부위에 도포한 후 24시간 및 72시간 동안 홍반, 가피 및 부종 형성 정도를 Table 1에 따라 관찰하였다. 또한 72시간 동안의 사망률, 일반 증상, 체중 변화 및 피부 자극을 평가하였다.

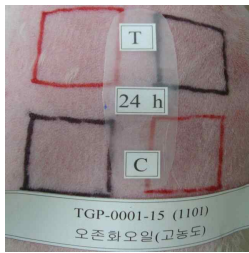


Fig. 6. Skin photograph at 24 hours after application of test substance



Fig. 7. Skin photograph at 72 hours after application of test substance

피부 반응의 평가는 Table 1에 따라 실시하였으며, 1차 피부자극 지수(P.I.I.)를 산출하였다. 피부 자극성은 Table 2에 따라 판정하였다.

P.I.I. (Primary irritation index) =

$$\frac{\text{Sum of 24 and 72 h readings}}{(\text{No. of test sites} = 12) \times (\text{scoring intervals} = 2)} \quad (1)$$

Table 1. Evaluation of skin irritation

(1) Erythema/Eschar Formation	
No erythema at all	0
Very mild erythema (discernible with the naked eye)	1
Obvious erythema	2
Slightly severe erythema	3
Severe erythema (blush-colored redness) and mild crust	4
Peak	4
(2) Edema Formation	
No edema at all	0
Very mild swelling (not visible to the naked eye)	1
Mild swelling (if it is clearly swollen and the margins are clearly distinct)	2
Moderate edema (about 1 mm swelling)	3
Severe edema (swelling more than 1 mm and extending to the outside of the exposed area)	4
Peak	4

Table 2. Skin irritation score table

Primary skin irritation Indices (P. I. I.)	division
0.0 - 0.5	None irritant
0.6 - 2.0	Mild irritant
2.1 - 5.0	Moderate irritant
5.1 - 8.0	Severe irritant

실험기간 동안 시험 물질 적용과 관련된 사망 또는 이상증상의 동물은 Table 3.에 나타내는 것과 같이 관찰되지 않았다.

Table 3. Mortality and clinical signs

Animal number	Days after application				Mortality
	0	1	2	3	
1101	N	N	N	N	
1102	N	N	N	N	
1103	N	N	N	N	
1104	N	N	N	N	0/6a
1105	N	N	N	N	
1106	N	N	N	N	

N : Normal

a : Number of dead animals/Number of total animals

시험물질 처치 부위를 관찰한 결과, Table 4.에 나타내는 것과 같이 모든 동물에서 피부 자극이 관찰되지 않았다.

Table 4. Evaluation of skin irritation

Site	Skin Reaction	Observation Time	Individual Scores - Animal Number						Total
			1101	1102	1103	1104	1105	1106	
			Erythema/Eschar Formation	Intact	24h	0	0	0	
72h	0	0			0	0	0	0	0
Abraded	24h	0		0	0	0	0	0	0
	72h	0		0	0	0	0	0	0
Control site	Intact	24h	0	0	0	0	0	0	0
		72h	0	0	0	0	0	0	0
	Edema Formation	24h	0	0	0	0	0	0	0
		72h	0	0	0	0	0	0	0
Sum1 (S)			0						
P.I.I. (S/24*)			0.0						

IV. 결론

일반적으로 오존은 오존 발생기 중심의 제품이 많이 사용되며, 오존 수기는 주로 펌프를 사용하여 오존을 강제로 흡입시키는 일반 압력 방식을 사용합니다. 이러한 방식은 오존 가스 누출의 위험을 내포하고 있습니다. 그러나 본 과제에서는 인젝터를 사용하여 물의 유입 여부에 따라 오존 발생과 흡입을 제한하고 있기 때문에 기존 제품의 오존 누출로 인한 위험을 최소화할 수 있었다.

연구를 통해 인젝터 방식은 올리브오일-오존 간 접촉효율은 높았으나 가압조건이 생성되지 않으면 오존 용해율이 낮아 잔존시간이 짧게 나타나는 단점이 확인 되었음에도 미생물 살균 능력은 유지하는 것을 확인 할 수 있었다, Rabbit에 대한 오존화오일(고농도)의 피부 자극 평가에서 실험에 사용된 동물들에게서 이상 증상이 관찰되지 않았으며 모든 동물에서 피부자극이 관찰되지 않았음이 확인되어 생체 적합성이 높은 것을 확인 할 수 있었다,

ACKNOWLEDGMENTS

이 과제는 동명대학교 2021년도 교내학술연구비로 진행되었습니다.

REFERENCES

[1] Hewes, C. G. and Davison, R. P. "Kinetics of Ozone Decomposition and Reaction with Organics in Water", *AIChE Journal*, Vol.17, NO.141, 1971

[2] Staehelin, J. and Hoigné "Decomposition of Ozone in Water: Rate of Initiation by Hydroxide Ions and Hydrogen Peroxide", *Environmental Science & Technology*, Vol.16, NO.676, 1982

[3] Staehelin, J. and Hoigné "Decomposition of Ozone in Water in the Presence of Organic Solutes Acting as Promoters and Inhibitors of Radical Reactions", *Environmental Science & Technology*, Vol.19, NO.1206, 1985

[4] Bruce T. Stanley, "Electrolytic Ozone Generation and Its Application In Pure Water Systems", 12th Ozone

World Congress, San Francisco 1993

[5] Hubele, C. and H. Sontheimer, "Adsorption and biodegradation in activated carbon filters treating preozonated humic acid", *Proc. of the 1984 Speciality Conf. in Environ. Eng., New York, ASCE* 1984

[6] Kuhn, W., H. Sontheimer, L. Steiglitz, D. Maier, and R. Kurz, "Use of ozone and chlorine in water utilities in the Federal Republic of Germany", *J. AWWA*, Vol.70, NO.6, pp.326, 1978

[7] H. S. Park, H. J. Oh, W. J. Kim, J. W. Kang, "Characterization of Raw Water for the Ozone Application by Measuring Ozone Consumption Rate", *IOA, 14th Ozone World Congress* 1999

[8] H. J. Oh, W. J. Kim, C. S. Gee, S. H. Kim, "Optimization of Ozone Dosage in Preozonation Process", *12th IWA - ASPAC Conference* 2000

[9] APHA, AWWA and WEF, "Standard Methods for the examination of water & wastewater", *M.A.N. Franson(ed.)*, Port City Press, Baltimore (MA) 2005

[10] Chow, C.W.K., Fitzgerald, F., Sutherland - Stacey, L., Dexter, R., Fabris, R. and Drikas, M., "Applications of UV/Vis spectrometry in Drinking Water Quality Management", In proceedings 'Australian Water Association '2nd Annual Water Industry Engineers and Operators (SA) Conference', Adelaide, Apr. Vol.4, 2006

[11] Gy, P.M., "Sampling for analytical purposes", *Wiley VCH Verlag GmbH, Weinheim, Germany* 1998

[12] Hammes, F. etc., "Mechanistic and kinetic evaluation of organic disinfection by-product and assimilable organic carbon (AOC) formation during ozonation of drinking water", *Water Research*, Vol.40, NO.12, pp. 2275, 2006

[13] Hoigné, J. and Bader, H., "Characterisation of water quality criteria for ozonation processes. Part 2: Lifetime of added ozone", *Ozone: Science & Engineering*, Vol.16, NO.121, 1994

[14] Huber, E. and Frost, M., "Light scattering by small particles", *Journal of Water Supply: Research and Technology- Aqua*, Vol.47, NO.87, 1998

[15] Korshin, G.V., Li, C.-W. and Benjamin, M.M., "The decrease of UV-absorbance as an indicator of TOX formation", *Water Research*, Vol.31, NO.4, pp.946, 1997

- [16] Langergraber, G., Fleischmann, N. and Hofstaedter, F.,
“A multivariate calibration procedure for UV/Vis
spectrometric quantification of organic matter and
nitrate in wastewater“, Water Science and Technology,
Vol.47, NO.2, pp.63, 2003
- [17] Li, C.W., Korshin, G.V. and Benjamin, M.M.,
“Monitoring DBP formation with differential UV
spectroscopy“, Journal AWWA, Vol.90, NO.8, pp.88,
1998

저자소개

김 덕 술 (Duck-Sool Kim)



2002년 3월~현재 : 동명대학교
전자및의용공학부 교수
관심분야 : 의료 재료,
의공관련 물질 분석