



Electromagnetic Bio-cell Solenoid System with Cellular Proliferation

Yoon-Cheol Hwang*

Department of Talmage Liberal Arts College, Hannam University

ABSTRACT

Currently, IT technology is used to convert magnetic energy into electric energy or Researches using magnetic energy such as storing the magnetic energy by flowing a current to a superconducting magnet having an electric resistance of 0 are being actively carried out. Particularly in the medical field, magnetic energy is used to cultivate cells in a biocell for the purpose of cancer treatment. However, it takes a lot of time and cost to cultivate cells in a bio cell. In this paper, we propose a self - biosensor solenoid system that can save time and cost by optimizing the effect of magnetic energy on the biocell and After designing the magnetic field administration environment, the performance is analyzed using FEMM. HER cells for cervical cancer, AGS for stomach cancer, and HEK293 cells for protein overexpression were used for the experiments, and the results of the cell growth rates of the magnetic energy for each bio cell were shown.As a result, Hera cells and HEK293 cells showed the highest growth rates at 40G. Through this analysis, the proposed self-biocell solenoid system can monitor the growth process of the biocell And the time required for culturing is shortened. The proposed magnetic biosensor solenoid system can be used to estimate the amount of magnetic energy to be applied to various biocells. In addition, it is possible to apply it to experiments in the field of magnetic therapy.

© 2019 KKITS All rights reserved

KEYWORDS: Electromagnetic Energy, cultivate cell, Bio-cell, Solenoid System, FEMM

ARTICLE INFO: Received 25 November 2018, Revised 20 December 2019, Accepted 8 February 2019.

*Corresponding author is with the Department of Talmage Liberal Arts College, Hannam University, 70, Hannam-ro,

Daedeok-gu, Daejeon-city, 34430, KOREA.
E-mail address: dolpin98@naver.com

1. 서론

현재 IT 기술과 접목하여 자기에너지를 전기에너지로 변환하거나, 전기저항이 0인 초전도 마그네틱에 전류를 흘려 자기에너지를 저장하는 것과 같은 자기에너지를 활용한 연구가 활발히 진행되고 있다[1-4].

바이오 및 생체실험을 통하여 모발을 이식하거나 자기장을 이용하여 탈모를 치료하고, 자기 테라피를 활용하여 손상된 피부를 치유하는 프로그램 등에 대한 연구들이 다양한 미디어를 통해 제시되고 있다[5][6].

또한, 의학계에서는 각종 암에 대한 연구가 치유를 목적으로 이루어지고 있는데, 이 분야에서는 암세포에 대한 실험용 셀에 대한 획득과 배양 및 관리가 시간과 비용면에서 많이 소요되고 있다. 그러므로, 실험목적으로 사용되는 암이 투여된 바이오셀을 빠른 시간 내에 배양 가능한 시스템이 절실히 요구되고 있다.

따라서, 본 논문에서는 자기장을 통한 바이오 분야 연구를 기반으로 실험을 통해 배양시간을 단축하기 위한 자기 바이오 셀 솔레노이드 시스템을 제안한다. 제안된 자기 바이오 셀 솔레노이드 시스템을 통해 암세포를 솔레노이드 내 디쉬에 올려놓고 자기장의 세기를 조절하여 가장 적절한 자기장의 세기를 찾아내고, 암이 장착된 바이오 셀의 실험을 위해 배양 시스템에 적합한 전류, 가우스, 주파수 등의 특성적 환경을 구축한 후 찾아낸 자기장의 세기가 적절한지 FEMM을 이용해 실험적 특성을 분석한다. 이 분석한 결과를 통하여 제안된 시스템이 바이오 셀의 성장을 모니터링 할 수 있으며 배양 시간이 감소되고, 자기 테라피로의 확장이 가능함을 보여준다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 제2장에서는 관련 연구로 자기에너지, 솔레노이드,

FEMM과 실험에 사용되는 바이오 셀에 대해 살펴보고, 3장에서는 자기에너지를 도출하기 위한 자기 바이오 셀 솔레노이드 시스템을 설계하고 구현한다. 4장에서는 바이오 셀(HERA, AGS, HEK293)을 실험에 활용하여, 자기에너지가 미치는 특성적 영향을 분석하여 제안한 자기 바이오 셀 솔레노이드 시스템의 성능을 보여준다. 그리고, 5장에서 향후 연구과제와 활용방향에 대해 기술하며 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

자기에너지는 자기장 공간 또는 자기 회로에 저장되는 에너지로써, 자기장(Magnetic Field)은 자기력이 작용하는 공간을 가진다. 자기력(Magnetic Force)은 자석끼리 밀어내거나 잡아당기는 힘, 자성재료를 잡아당기는 자석의 힘, 움직이는 전하에 가하는 힘을 일컫는다.

솔레노이드는 전기에너지를 자기에너지로 변환하는 에너지 변환 장치로써 도선을 원통형으로 말아서 만든다. 솔레노이드 장치에 전기를 흘려서 자기장을 만들 수 있다. 내부자기장의 크기는 전류의 크기에 비례하고 단위 길이 당 감은 수에 비례하며, 도선들에 의해 유도된 자기장 벡터들의 벡터합이다[7].

FEMM(Finite Element Method Magnetics)은 2차원 자기장 유한요소해석을 위한 오픈 소스 유형의 소프트웨어이다. 자기저항, 시간-고조파 자기, 열흐름, 준 전정기성에 대한 2차원 평면과 축대칭 유한 요소 해석이 가능하다[8][9].

실험에 사용된 바이오 셀을 살펴보면 다음과 같다. Hera셀은 자궁경부암의 일종으로 헨리 에타의 자궁경부암 세포를 존스홉킨스 병원 연구진에 의해 시험관에서 배양되면서 알려지기 시작했다. Hera 셀을 이용해 암 발생과정과 새로운 치료 물

지에 대한 시험을 하고 있으며, 노화방지에 대한 연구도 활발히 하고 있다. 위암은 가장 흔한 암으로 전체 암 발생자 중 남자의 경우 약 24%(1위), 여자의 경우 약 15.3%(2위)를 차지하고 있다. AGS 위암세포는 한국 세포주 은행으로부터 분양받아 배양하여 사용하는데, 10 units/ml의 penicillin-streptomycin과 10%의 FBS가 함유된 RPMI 1640 배지를 사용하여 37° C, 5% CO2 인큐베이터 조건하에 배양한다. HEK293 세포는 DNA 트랜스펙션이 잘되는 세포로서 단백질과 발현 목적으로 사용되며, 유산된 태아의 신장으로부터 적출한 세포에 Ad5 DNA fragment를 트랜스펙션 하여 형질 전환 시킨 세포 주로서 신호전달연구 및 세포 생물학적 연구에는 적합하지 않으며 과발현 유도를 위해 사용된다[10].

3. 바이오 셀 솔레노이드 시스템

3.1 시스템 설계

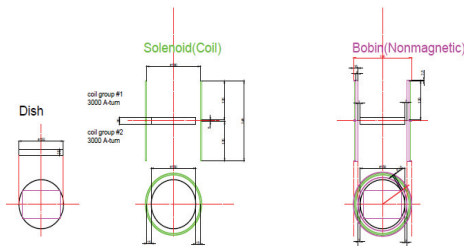


그림 1. 자기 바이오 셀 솔레노이드 모델링
Figure 1. Magnetic Bio-cell Solenoid Modeling

AutoCAD를 활용하여 설계한 자기 바이오 셀 솔레노이드 시스템을 모델링 한 것은 <그림 1>과 같다. 실험에 사용 될 자기 바이오 셀 솔레노이드 시스템의 주요 구성 요소는 솔레노이드 디쉬, 솔레노이드 코일 부분과 비자기장 부분이다. 코일 그룹은 #1, #2로 전기에너지 투여하기 위한 홀을 중심

으로 분류하여 코일을 감아주어 자기장의 발생을 유도하였다.

3.2 시스템 구현

자기장 에너지를 실험하기 위해 솔레노이드 내부의 접시 부분에 바이오 셀을 올려 놓고 <그림 2>의 실험 시스템을 구축한다[11][12]. 제시된 실험 시스템은 시뮬레이션 컨트롤 컴퓨터, SMPS, 드라이버, 가우스 미터, 워터 이젝트드 인큐베이터, 솔레노이드로 구성한다. 구동 시나리오는 다음과 같다.

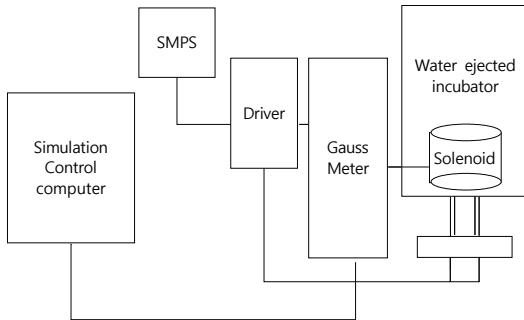


그림 2. 자기 바이오 셀 솔레노이드 시스템
Figure 1. Magnetic Bio-cell Solenoid System

시뮬레이션 컨트롤 컴퓨터를 통해 가우스 미터로 사각형의 주파수 파형을 투과하고 SMPS의 전력을 설치된 드라이버를 통해 인큐베이터내의 솔레노이드 내부로 전기에너지를 흘려 보낸다.

주파수는 이벤트가 주기적으로 재발생하는 빈도를 나타내고, 회전, 진동, 파장의 주기성을 관찰 할 수 있으며, 각 주파수(ω), 초당 라디안으로 나타내거나, f-헤르츠(Hz)로 나타낸다. 각 주파수 ω (rad/sec) 및 f(Hz)의 관계는 $\omega=2\pi f$ 의 공식을 갖는다. 함수발생기(Function generator)를 통해 전자 신호인 파형을 발생시키는데, 파형의 유형은 사인파(sine), 방형파(square), 삼각파(triangular), 톱니파(sawtooth) 등이 있다.

표 1. 실험적 주파수, 전류, 가우스 데이터
Table 1. Experiment frequency-electric current-gauss data

frequency	wave type	electric current	gauss	bio-cell
75Hz	Square	0A	0G	Hera
		0.42A	20G	AGS
		1.1A	40G	MCFG
		2.3A	60G	HEK293

실험을 위한 주파수, 전류, 가우스의 데이터에 대한 정보는 <표 1>의 데이터를 사용하였으며, Hera셀에 대해 75Hz 주파수를 방형파(Square) 유형으로 발생시켜, 0A 전류에 0G 가우스, 0.42A 전류에 20G 가우스, 1.1A 전류에 40G 가우스, 2.3A 전류에 60G를 투과한다. AGS, HEK 293 바이오 셀에 대해서도 Hera 셀과 같은 데이터를 적용하여 실험한다. 실험에 대한 결과를 확인하기 위해 Hera 셀은 30분후, AGS와 HEK293은 한 시간 후 결과를 확인한다. 실험에 대한 셀 성장 결과에 대한 실험 결과 값은 <표 2>에서 보이고 있다. <표 2>의 데이터와 그래프를 살펴보면, AGS 셀은 20G에서 셀 성장을 막대그래프가 높고, Hera셀과 HEK293 셀에서는 40G에서 셀 성장을 막대그래프가 높음을 알 수 있다.

4. 시스템 성능평가

설계한 솔레노이드 모델의 자속밀도를 구하기 위한 이론적 근거는 <식 1>과 같으며, 공극투자율, 단위턴수, 전류는 B에 비례하고 대칭 한다.

$$B_x = \frac{\mu_0 n I}{2} R^2 \int_{x_1}^{x_2} \frac{dx'}{[(x-x')^2 + R^2]^{3/2}} \quad (1)$$

매트랩[13]을 사용하여 아래의 알고리즘을 적용한다. 자기계의 영역은 솔레노이드 설계 범위에 해당하는 -120~120으로 적용한다.

표 2. 바이오 셀의 셀 성장 효과
Table 2. Bio-cell effecting on cell growth

	0G	20G	40G	60G
MTS30 Minute AGS	0.6358	0.7477	0.6542	1.6536
	0.518	0.641	0.6808	0.6348
	0.5583	1.5619	0.6725	1.3371
	0.6147	1.8574	0.6807	0.679
	0.5602	0.8953	0.8934	0.8071
	0.5719	1.8071	0.8224	0.6886
	0.6286	0.8784	0.8029	0.8167
	0.8259	0.6674	2.2764	1.8362
	average	1	1.843164	1.523039
MTS 1Hour HeLa	0.8644	0.9135	0.9779	0.9125
	0.7625	0.8572	1.0818	0.8919
	0.659	0.8673	0.9311	0.9066
	0.6903	0.7141	0.9549	0.8314
	0.762	0.7031	0.9148	0.9389
	0.7612	0.8187	0.9346	0.8616
	0.7842	0.8394	1.0042	0.8751
	0.7313	0.76	0.9675	0.9619
	average	1	1.076211	1.29126
MTS 1Hour Hek293	0.5955	0.4862	0.6213	0.556
	0.5276	0.4191	0.4826	0.49
	0.5197	0.4251	0.5706	0.5145
	0.4978	0.4273	0.5405	0.5126
	0.5075	0.3891	0.5505	0.498
	0.5012	0.4016	0.5324	0.4901
	0.4841	0.3859	0.5578	0.5246
	0.4805	0.4191	0.5472	0.5079
	average	1	0.815139	1.07025

```

mu0 = 4*pi*10^-7;
n = 6000 / 240;
l = 2.5;
i = 1;
B= [0];
Fd = [0];
for i = 1:5
B1 =mu0*n*i/2;
%print(B1);
end
    
```

```

mu0 = 4*pi*10^-7;
n = 6000 / 240;
l = 2.5;
i = 1;
B= [0];
Fd = [0];
for i = 1:5
B1 =mu0*n*i/2;
    
```

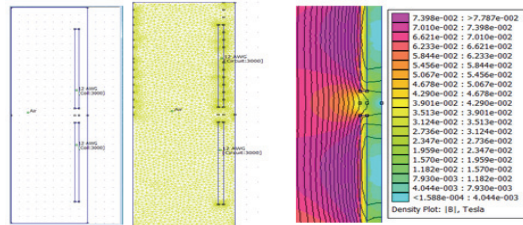
```

%print(B1);
end
x = [0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100,110, 110, 120, 120,
100, 90, 80,70, 60, 50, 40, 30, 20, 10, 0]

xa =120
xb = -120
Xad = x-xa
Xbd = x-xb
R = 75

for i = 1:26
Xad = x(i)-xa
Xbd = x(i)-xb
Bn(i) = B1*((xa/sqrt(Xad^2 + R^2)) - (xb/sqrt(Xbd^2 +
R^2)))
end
    
```

FEMM[14][15]을 통하여 실제 구축된 자기 바이오 셀 솔레노이드 시스템의 성능을 해석한다. <그림 3>에서는 솔레노이드의 자속밀도의 (c)해석화면을 확인하기 위해 (a)설계화면과 (b)메쉬화면을 모델링 한다. 해석화면은 중심 부분의 홀을 대칭으로 자속밀도에 대한 색상별 가시화된 화면을 보여준다. 중심홀의 자속밀도는 3.902e-002:4.290e-002임을 확인 할 수 있다. 구축된 자기 바이오 셀 솔레노이드 시스템의 자속밀도 세기를 검증할 수 있다.



(a) 설계화면 (b) 메쉬화면 (c) 해석화면

그림 3. 솔레노이드 설계 및 해석
Figure 3. Solenoid Design and Analysis

<그림 4>에서는 바이오 셀 솔레노이드 시스템의 해석된 자속밀도 |B|와 <그림 5>에서는 자속밀도 |H|, <그림 6>에서는 Block interval 수행 결과값을 보여준다.

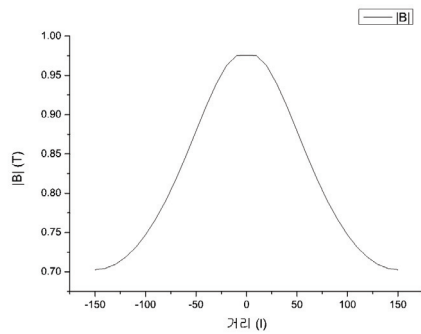


그림 4. 자속 밀도 |B|
Figure 4. Flux density |B|

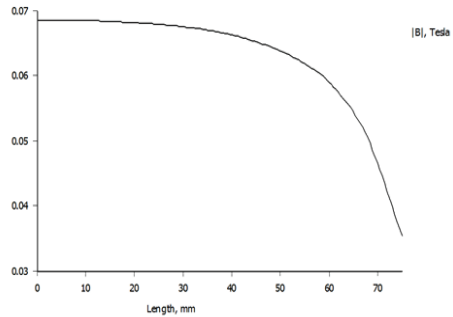


그림 5. 자속 밀도 |H|
Figure 5. Flux density |H|

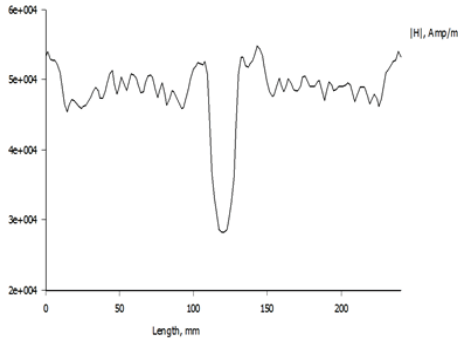


그림 6. 블록 간격 값
Figure 6. Block Interval Value

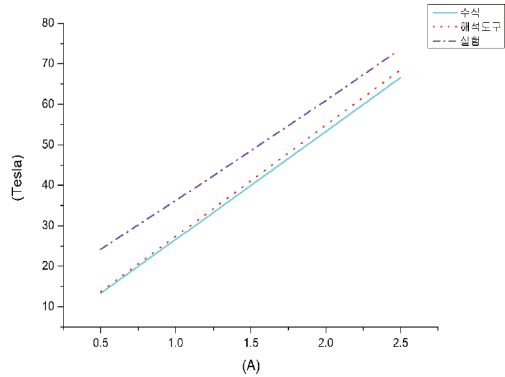


그림 7. FEMM의 해석과 실험적 결과
Figure 7. FEMM resolve & Experiments resolve

〈표 4〉와 〈표 5〉에서는 FEMM의 구축된 바이오 셀 솔레노이드 시스템의 해석 데이터와 실험적 해석 데이터를 보여준다.

표 4. FEMM의 해석적 자속 밀도
Table 4. FEMM resolve magnetic flux density

(a)magnetic flux density B				
0.5A	1A	1.5A	2A	2.5A
13.71	27.42	41.13	54.85	68.56
(b)magnetic flux density H				
0.5A	1A	1.5A	2A	2.5A
10.88	21.76	32.65	43.53	54.41

표 5. 실험적 자속 밀도
Table 5. Experiments magnetic flux density

(a)magnetic flux density B				
0.5A	1A	1.5A	2A	2.5A
24.2	36.2	48.6	60.9	73.7
(b)magnetic flux density H				
0.5A	1A	1.5A	2A	2.5A
19.21	28.73	38.57	48.33	58.49

실험된 해석적 차이는 〈그림 7〉에서와 같으며, 수식, 해석도구, 실험의 자속밀도를 비교하였으며 해석도구 설계와 실험적 비교값이 근사한 것을 알 수 있다.

실험에 사용된 대표적 바이오 셀은 자궁경부암 인 Hera셀, 위암인 AGS, 단백질 과발현을 위한 HEK293을 사용하였다. 〈그림 8〉에서는 각 바이오 셀에 대해 자기장 에너지가 미치는 세포 성장률에 대한 결과값 보여준다. Hera셀과 HEK293셀은 40G에서 가장 높은 성장률을 보여준다.

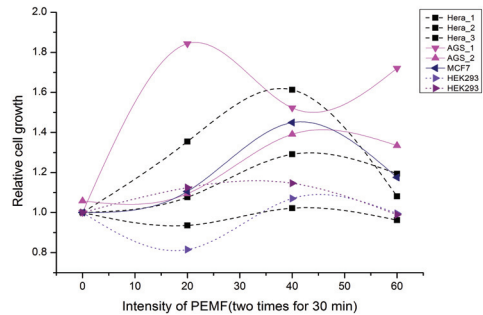


그림 8. 바이오 셀 성장 그래프
Figure 8 Bio-cell growth graph

5. 결론

현대 의학 분야에서는 자기에너지를 이용하여 치료에 적합한 세포를 배양하는 연구가 활발히 진

행되고 있다. 대부분의 연구들이 치료에 적합한 세포를 배양하는데 중점을 두고 진행하고 있다. 그러나 세포 배양 위한 적합한 시스템 환경의 부재로 시행착오가 발생하고, 이로 인해 불필요한 비용과 시간이 소비된다. 본 논문에서는 치료에 적합한 세포를 배양하는데 필요한 시간을 단축할 수 있는 자기 바이오 셀 솔레노이드 시스템을 제안하고 구현하여 세포를 배양하는데 필요한 자기 에너지 양을 추정할 수 있게 하였다. 자궁경부암인 Hera셀, 위암인 AGS, 단백질 과발현을 위한 HEK293 셀을 실험에 사용하여 각 바이오셀에 대해 자기장 에너지가 미치는 세포 성장률에 대한 결과값 보여주었다. 그 결과 Hera셀과 HEK293셀이 40G에서 가장 높은 성장률을 보여주었다. 본 논문에서 제안된 자기 바이오 셀 솔레노이드 시스템을 통한 실험은 셀 배양을 위한 기초 연구로 활용될 수 있으며, 자기 테라피를 위한 연구로의 확장도 가능하다. 따라서 이 시스템을 기반으로 좀 더 다양한 치료 목적의 셀을 배양하는 연구가 지속적으로 진행되어야 한다.

References

- [1] E. M. Taylor, K. L. Hardy, A. Alonso, A. Pilla, and C. H. Rohde, *Pulsed electromagnetic fields dosing impacts postoperative pain in breast reduction patients*, journal of surgical research, Vol. 193, No. 1, pp. 504-510, 2015.
- [2] M. S. Markov, *Expanding use of pulsed electromagnetic field therapies*. Electromagnetic biology and medicine, Vol. 26, No. 3, pp. 257-274, 2007.
- [3] D. E. Bordelon, R. C. Goldstein, V. S. Nemkov, A. Kumar, J. K. Jackowski, T. L. DeWee, and R. Ivkov, *Modified solenoid coil that efficiently produces high amplitude AC magnetic fields with enhanced uniformity for biomedical applications*, IEEE transactions on magnetics, Vol. 48, No. 1, pp. 47-52, 2012.
- [4] Y. Cheng, G. Wang, M. Ghovanloo, *Modeling, and optimization of mm-sized solenoid coils for biomedical implants*, In Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS), pp. 324-327, 2016.
- [5] Bertazzoni, *Study of the Time-Of-Flight detector for nuclear fragmentation experiment FOOT in particle therapy*, 2017.
- [6] M. N. Sadiku, *Elements of electromagnetics*, Oxford university press, 2014.
- [7] I. Singh, and R. Mishra, *Analysis of magnetic field of air cored solenoid using Femm*, MIT International Journal of Electrical and Instrumentation Engineering, Vol. 2, No. 1, pp. 37-40. 2012.
- [8] K. B. Baltzis, *On the usage and potential applications of The finite element method magnetics (femm) Package in the teaching of electromagnetics In higher education*. Physics, Chemistry and Biology education. 2007.
- [9] G. Lemarquand, V. Lemarquand, S. Babic, and C. Akyel, *Magnetic field created by thin wall solenoids and axially magnetized cylindrical permanent magnets*, In Progress In Electromagnetics Research Symposium 2009 Moscow, p. 614, 2009
- [10] H. Mahawar, V. Sarin, and W. Shi, *A solenoidal basis method for efficient inductance extraction*, In Proceedings of the 39th annual Design Automation Conference. ACM, pp. 751-756, 2008.
- [11] C. Yang, T. L. Ren, L. T. Liu, Y. Yuan, Z. Z. Wu, L. Gu, and X. Wang,

Ferrite-integrated on-chip RF solenoid inductor, In *Sensors*, 2008 IEEE pp. 1040-1043, 2008.

- [12] A. Cordes, S. A. Santos, and S. Leonhardt, *Development of a device for measuring the sensitivity area of coil arrays for magnetic induction measurements*, In *Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC, 2011 Annual International Conference of the IEEE* pp. 4959-4962, 2011.
- [13] MatLab: <http://mathwork.com>, Nov. 2018.
- [14] FEMM: <http://www.femm.info>, Nov. 2018.
- [15] Finite Element Method Magnetics: <http://www.femm.info/wiki/magneticstutorial>, Nov. 2018.

배양 속도를 향상시킨 바이오 셀 솔레노이드 시스템

황윤철

한남대학교 탈메이지 교양교육대학 강의전담교수

요 약

현재 IT 기술과 접목하여 자기에너지를 전기에너지로 변환하거나, 전기저항이 0인 초전도 마그네틱에 전류를 흘려 자기에너지를 저장하는 것과 같은 자기에너지를 활용한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 의학계에서는 암 치료 목적으로 바이오 셀에 세포를 배양할 때 자기에너지를 활용하고 있다. 그런데 현재 바이오 셀에 세포를 배양하는 데에는 많은 시간과 비용이 소모되고 있는 실정이다. 그래서 본 논문에서는 자기에너지가 바이오 셀에 미치는 영향을 최적화하여 세포를 배양하는 시간을 단축시켜 비용과 시간을 절감할 수 있는 자기 바이오 셀 솔레노이드 시스템을 제시하고 자기장 투여 환경을 설계한 후 FEMM을 이용하여 그 성능을 분석했다. 자궁경부암인 Hera셀, 위암인 AGS, 단백질 과발현을 위한 HEK293 셀을 실험에 사용하여 각 바이오셀에 대해 자기장 에너지가 미치는 세포 성장률에 대한 결과값 보여주었다. 그 결과 Hera셀과 HEK293셀이 40G에서 가장 높은 성장률을

보여주었다. 이 분석을 통해 제안된 자기 바이오 셀 솔레노이드 시스템이 바이오 셀의 성장 과정을 모니터링 할 수 있고 배양하는 시간이 단축된 최적의 시스템을 보여준다. 그리고 제시된 자기 바이오 셀 솔레노이드 시스템은 각종 바이오 셀에 적합한 배양 자기에너지 양을 추정하는데 사용할 수 있고 또한, 자기 테라피 분야의 실험을 위한 응용도 가능하다.



Yoon Cheol Hwang

received the M.S. degree in the department of computer engineering, Hannam university in 1996. He received the Ph.D. degree in the department of electrical and electronics engineering, Chungbuk national university in February 2008. He is currently working a visiting professor in the department of Talmage Liberal Arts College, Hannam university. His current research interests include security, IDS, IPS, fusion IT technology. He is a life member of the KKITS.

E-mail address: dolpin98@naver.com