

논문 2009-46SC-6-7

도난방지 시스템의 전자기장이 인공심장 박동기 등의 오동작에 미치는 영향

(Effects of EAS Systems on Pacemakers and ICDs Malfunction)

심영우*, 김종정**, 양동인***, 이문형****, 김덕원*****

(Young Woo Shim, Jong Jeong Kim, Dong In Yang, Moon Hyung Lee, and Deok Won Kim)

요약

EAS (electronic article surveillance) 시스템은 상품의 도난 방지를 위한 것으로 상품 판매 자동화 증가로 인해 사용이 급속히 늘어나고 있다. 이에 본 연구에서는 EAS 시스템의 전자기장 세기를 측정하였고, EAS 시스템이 pacemaker와 ICD에 미치는 영향에 대해 알아보았다. 일반 성인 심장 높이인 130cm에서 6.3 kHz와 14.25 kHz EAS 시스템의 게이트 안쪽의 왼쪽, 바깥쪽의 오른쪽과 가운데 위치에서 전자기장의 세기를 측정하였고, pacemaker와 ICD의 동작 여부를 관찰하였다. 측정 결과 전자기장의 세기는 EAS 시스템에 따라 큰 차이가 났는데 14.25 kHz를 사용하는 EAS 시스템이 가장 강했다. Pacemaker는 고정 시 세 위치 모두에서 파형 변화가 관찰되었고, ICD는 이동 시와 고정 시 한 위치에서만 noise reversion, 심실세동이 관찰되었으며, 모두 전자기장 세기가 가장 센 14.25 kHz의 EAS 시스템의 전자기장에 의해 발생하였다. 이에 현재 국내에서는 시행되고 있지 않은 전자기장 방출에 대한 안내문 부착과 이식형 의료기기 기술을 받은 환자의 접근에 대한 위험성 경고문 등의 조치가 필요하다.

Abstract

EAS (electronic article surveillance) systems have increased rapidly for article surveillance. In this paper, the strength of the EMF (electromagnetic fields) of EAS systems were measured. Pacemaker and ICD were investigated for inappropriate response resulting from EM (electromagnetic) EAS systems. The strength of EMF and the response of pacemaker and ICD were measured in the inner left side, outer right sides and the center of gates of the 6.3 kHz and 14.25 kHz EAS systems at a height of 130cm. As the result, EMF of the EAS system using 14.25 kHz was stronger than that of 6.3 kHz. All interferences were observed only for 14.25 kHz, and the noisy ECG was found in three static positions on the pacemaker. The ICD resulted in noise reversion and VF (ventricular fibrillation) both static and moving positions by the EMF of 14.25 kHz EAS system. Therefore, it is necessary to post a message warning radiation of EMF from every EAS systems and possible risk of pacemakers and ICDs.

Keywords: EAS 시스템, pacemaker, ICD, 오동작

* 정희원, 연세대학교 의과대학 의과학과

(Brain Korea 21 Project for Medical Science, Yonsei University)

** 정희원, 주식회사 이디

(ED Corporation)

*** 평생회원, 연세대학교 생체공학협동과정

(Graduate Program in Biomedical Engineering, Yonsei University)

**** 정희원, 연세대학교 의과대학 심혈관 연구소 심장내과

(Dept. of Cardiology Division, College of Medicine, Yonsei University)

***** 평생회원, 연세대학교 의과대학 의공학학교실

(Dept. of Medical Engineering, College of Medicine, Yonsei University)

※ 본 연구는 2008년도 연세대학교 의과대학 교수연구비로 이루어졌음

접수일자: 2009년7월15일, 수정완료일: 2009년10월26일

I. 서 론

EAS (electronic article surveillance) 시스템은 1970년대 상용화된 이후 세계 각국의 주요 상품 도난방지 시스템으로 자리 잡고 있다. 상품의 종류와 수량이 점점 증가함에 따라 그 필요성과 수요는 증가하고 있는 추세이다. 대부분의 공공 도서관이나 대형 할인점 등은 EAS 시스템을 사용하고 있으며, 최근에는 제조업체의 보안 유지를 위해 초소형 부품에까지 EAS 시스템을 적용하고 있다. EAS 시스템은 출입구나 계산대 출구에 설치된 감지 시스템과 도난 방지를 위해 상품에 부착된 전자 태그나 라벨, 그리고 계산대에 설치되어 재사용이 가능한 태그를 분리 또는 라벨을 비활성화 시켜 그 기능을 없애는 부분으로 이루어져 있다. 상품이 활성화된 라벨 혹은 태그가 부착되어 있는 상태에서 감시 영역을 통과할 경우, 경보음이 발생한다. 이때의 감시 영역은 약 2-3 m 정도로서, 감시를 위해 전자기장을 방사하게 된다.

이러한 EAS 시스템은 신체에 이식된 pacemaker, ICD (implantable cardioverter defibrillator) 등 이식형 의료 기기에 대한 오작동을 일으킬 가능성이 있다. Pacemaker는 주로 서맥 일 때 인공 심장 박동기가 펄스 에너지를 심장에 보내 심장을 수축시킴으로써 적절한 심장 박동수를 유지시키는 역할을 한다. ICD는 심실 빈맥과 심실세동 등의 빠른 심장박동을 감지하여 전기적 자극을 주어 정상적인 리듬으로 회복할 수 있도록 치료하는 이식형 제세동기로서, 이들 두 시스템은 EAS 시스템에 의해 영향을 받을 수 있다고 보고되고 있다. 실제로 외국에서는 슈퍼마켓의 EAS 시스템에 의한 ICD의 오동작으로 인하여 환자가 전기 충격을 받고 쓰러진 사례도 보고되었다^[1]. 하지만 아직까지 EAS 시스템의 전자파 환경과 이식형 의료기기의 관계에 대한 연구가 세계적으로 많지 않고, 특히 국내에서는 전무한 상태이다. 또한, 외국의 경우 EAS 시스템에 경고문을 부착하여 이식형 의료기기에 대한 위험성을 알리고 있는데 반해 국내에서는 경고문 조차 없어 그 위험성이 전혀 인식되지 않고 있다.

이에 본 연구는 국내 EAS 시스템의 전자기장 환경에 대해 조사하고, 실험을 통하여 EAS 시스템이 pacemaker와 ICD 같은 이식형 의료기기 오동작에 미치는 영향에 대해 알아보려고 하였다.

II. 본 론

1. 실험 방법

전자기장 측정 위치는 그림 1과 같이 사람들이 EAS 시스템 통과 시 지나는 위치와 심장 높이 130cm를 가정하였다^[2~3]. ICNIRP (International commission on non-ionizing radiation protection, 국제비전리방사보호위원회)는 1998년 각각의 주파수 영역별 전자파 노출한계를 규정 하였으며, 전자기장 측정치를 이러한 ICNIRP 기준치와 비교하였다^[4]. Pacemaker와 ICD 또한 전자기장 측정 때와 마찬가지로 같은 위치에서 정지 시와 이동 시를 가정한 1회 실험을 통하여 이들 장치의 오동작에 대한 실험을 하였다^[5]. ECG 시뮬레이터는 그림 2와 같이 pacemaker 또는 ICD와 연결시켰고, pacemaker는 여러 모드가 내장되어 있어 사용빈도가 높은 AAI (atrial pacing, atrial sensing, inhibited by atrial event), VVI (ventricular pacing, ventricular sensing, inhibited by ventricular event), DDDR (dual chamber pacing, dual chamber sensing, dual function, rate adaptive) 모드로 진행하였다. Pacemaker와 ICD의 모드 변경은 programmer를 사용하였고, 그림 1의 1, 2, 3 각각의 위치에서 5분 동안 정지했을 때와 도보로 왕복 3회 이동 시를 가정하여 실험하였다. 정지 시 5분은 EAS 시스템 근처의 계산대에서 계산하는 시간을 가정

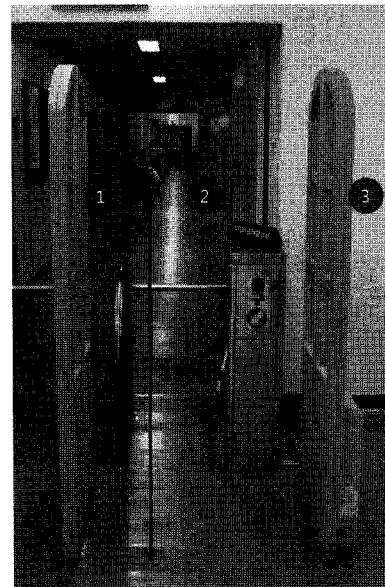


그림 1. 본 연구에서 이용한 도서관에 설치된 EAS 시스템

Fig. 1. The EAS system which is installed in the library using at the investigation.

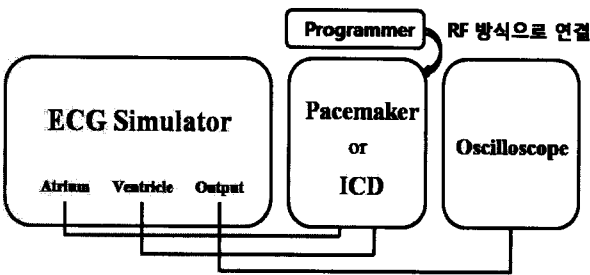


그림 2. 각 장치의 연결을 나타낸 block diagram
Fig. 2. Block diagram of connection with each instrument.

한 것으로 이때 pacemaker와 ICD는 높이 130cm의 카트에 의해 정지 및 이동 되었다.

2. 실험 장비

가. EAS 시스템

실험에 사용된 EAS 시스템은 EM (electromagnetic) 방식으로 6.3 kHz의 주파수 대역을 사용하는 제품과 14.25 kHz를 사용하는 제품 두 가지로서 대학 도서관에서 사용 중인 제품이다. EM 방식은 교류 자장 내에 연자성 재료 (금속) 가 놓일 때, 감시지역 내의 교류 자장이 변화되어 발생하는 고조파를 감지하여 검출하는 원리이다^[3].

나. 전자기장 측정 장비

전자기장 측정 장비로는 그림 3의 전자기장 측정기인 EHP50C (Narda, Germany)를 사용하였다. EHP50C는 5 Hz-100 kHz 주파수 대역의 전자기장을 측정하는 장비로서 등방성 3축 측정이 가능하다.

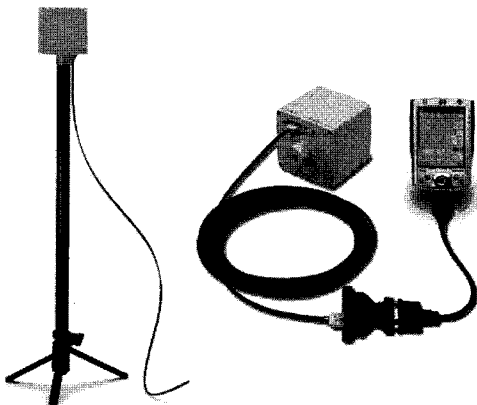


그림 3. EHP50C 전자기장 측정 장비
Fig. 3. The instrument of measuring EMF, EHP50C.

다. 이식형 심장 의료기기

실험에 사용한 pacemaker는 여러 모드가 내장되어 있어 환자의 질환에 따라 선택이 가능하다. 심실과 심방에는 sensing과 pacing 역할을 하는 리드선이 연결되어 적절한 전기 자극을 전달한다. ICD 또한 심실과 심방에 리드선이 연결되어 강한 전기 자극을 통해 심장마비를 치료한다. ECG simulator는 pacemaker, ICD와 연결되어 심장 역할을 하는데, 실험에서는 심박수만 변화시켜서 pacemaker와 ICD가 동작할 수 있도록 해주었다. 여기에 oscilloscope를 연결하여 pacemaker의 출력 파형을 관찰하였다. Programmer는 pacemaker 또는 ICD를 제어해주는 기계로서, probe를 이들이 이식된 피부 위에 올려놓으면 모든 정보 교환이 가능해지고 환자에 따라 알맞은 설정이 가능하다.

III. 결 과

ICNIRP의 일반인의 전자기장 순간 최대 노출 기준에 따르면 3-150 kHz 대역의 전자기장에 대해서는 87 V/m 와 6.25 uT를 넘어서는 안된다. 그러나 EAS 시스템의 전자기장 1회 측정치는 표 1과 같이 ICNIRP 기준치를 훨씬 상회하였고, 14.25 kHz를 사용하는 EAS 시스템이 6.3 kHz를 사용하는 EAS 시스템보다 상당히 높게 측정되었다. 14.25 kHz EAS 시스템의 경우 세 곳의 자기장이 모두 기준치인 6.25 uT의 15-100배에 달했다. Pacemaker는 AAI, VVI, DDDR의 세가지 모드에서 1회씩 측정한 결과, 표 2와 같이 14.25 kHz EAS 시스템의 고정 시에만 약간의 잡음과 ECG 파형 변화가 발생하였고, 이동 시에는 어떠한 변화도 관찰되지 않았다. ICD는 표 3에서와 같이 14.25 kHz EAS 시스템의 3번 위치에서만 잡음의 인식을 의미하는 noise reversion과 심실세

표 1. 6.3 kHz와 14.25 kHz EAS 시스템의 전자기장 측정값

Table 1. Measurement data of EMF of 6.3 kHz and 14.25 kHz EAS systems.

EAS 시스템 위치	6.3 kHz		14.25 kHz	
	Electric field (V/m)	Magnetic field (uT)	Electric field (V/m)	Magnetic field (uT)
1	48	46	453	633
2	34	20	80	93
3	35	43	202	410

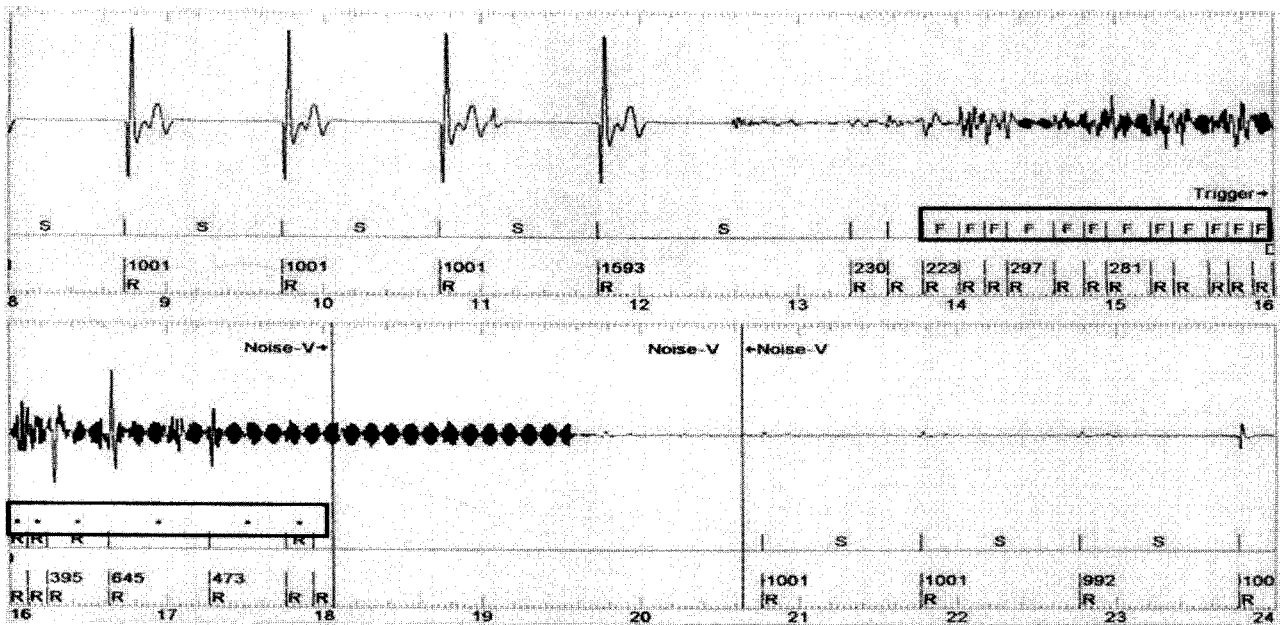


그림 4. ICD에 기록된 심실세동
Fig. 4. Recorded ventricular fibrillation in the ICD.

표 2. 14.25 kHz EAS 시스템의 pacemaker에 대한 영향
Table 2. Effects of 14.25 kHz EAS system on the pacemaker.

위치	모드	AAI	VVI	DDDR
1	이동 시	이상 없음	이상 없음	이상 없음
	고정 시	잡음	잡음	잡음
2	이동 시	이상 없음	이상 없음	이상 없음
	고정 시	파형변화	잡음	파형변화
3	이동 시	이상 없음	이상 없음	이상 없음
	고정 시	파형변화	파형변화	잡음

표 3. 14.25 kHz EAS 시스템의 ICD에 대한 영향
Table 3. Effects of 14.25 kHz EAS system on the ICD.

위치	모드	2 zones mode
1	이동 시	이상 없음
	고정 시	이상 없음
2	이동 시	이상 없음
	고정 시	이상 없음
3	이동 시	Noise reversion, 심실세동 (no shock)
	고정 시	Noise reversion exit

동이 발생하였다. 여기서 발생한 심실세동은 심장마비를 일으킨 상태를 표시하는 것으로 매우 심각한 상태의 오 동작이다. 그림 4는 ICD에 기록된 ECG 파형을

programmer를 이용하여 프린트한 것으로 위 블록의 F는 심실세동을 나타내고, 아래 블록의 *은 쇼크 전 단계인 ICD의 charge를 나타낸다.

IV. 결 론

본 연구는 두 종류의 EAS 시스템의 전자기장에 의해 pacemaker와 ICD가 어떠한 영향을 받는가에 대해 조사하였다. EAS 시스템의 background 자기장 세기는 약 0.5 uT로서 무시할 정도로 작아 실험 결과에 영향을 미치지 않았다. 실험 결과 pacemaker와 ICD 모두 6.3 kHz EAS 시스템에서는 아무런 영향이 없었다. 그러나 14.25 kHz EAS 시스템에서는 순간 최대 노출 기준치를 초과한 전자기장으로 인하여 ICD에서 잡음혼입과 ECG 파형변화, noise reversion, 심실세동 등이 발생하였다. 또한 두 EAS 시스템 모두 ICNIRP의 인체보호 기준치를 훨씬 초과하였으며, 특히 14.25 kHz EAS 시스템의 자기장 세기가 기준치를 크게 초과하였다. Pacemaker에서는 잡음과 ECG 파형 변화가 관찰되었는데 이는 ICD 보다 전자기장 영향을 더 받는 것으로 판단된다. 왜냐하면 ICD는 심실빈맥, 심실세동 등이 발생할 때만 쇼크를 주지만 pacemaker는 항상 pacing을 하기 때문이다. 또한 pacemaker는 EAS 시스템 외에 휴대전화와 금속 탐지기 등에도 영향을 받을 수 있는데, 이러한 영향은 대부분 잡음으로 자체 인식 된다. 그러

나 ICD는 오작동 할 경우 큰 에너지를 정상적인 심장에 직접 가하기 때문에 더욱 치명적인 결과를 낳을 수 있다. 그림 4에서 ICD가 EAS 시스템에 의해 심실세동을 발생시켰으나, 결과적으로 쇼크는 전달되지 않았지만 쇼크 전달 전 단계인 charge까지 실행했기 때문에 위험한 결과를 초래할 수도 있다고 사료된다. 1998년에 발표된 Mcivor의 연구에서는 25개의 ICD와 50개의 pacemaker에 대해 6 종류의 EAS 시스템을 실험한 결과 ICD는 어떠한 영향도 받지 않았지만, pacemaker는 EAS 시스템의 종류에 따라 다양한 변화가 관찰되었다. 특히 acousto-magnetic 시스템에서는 50개중 48개, audio frequency 시스템에서는 2개의 pacemaker가 영향을 받았다고 하였다^[5].

본 연구에서 사용한 pacemaker와 ICD는 각각 1개의 제품으로 그 수가 제한적이다. 이는 ECG simulator와 programmer의 가격이 고가이고, pacemaker 및 ICD의 샘플 제공을 꺼리는 업체가 대부분이기 때문이다. 그러므로 앞으로 진행될 연구에서는 다양한 제품을 대상으로 팬텀을 이용한 인체와 비슷한 환경 하에서 전자기장에 의한 영향과 노출 한계치에 대해 연구할 필요성이 있다. 또한 EAS 시스템의 전자기장 세기가 ICNIRP의 최대 노출 전기장 및 자기장 기준치를 많이 초과한 것으로 측정되었다. 그러므로 EAS 시스템의 전자기장 세기는 ICNIRP 기준에 적합하게 출하되어야 하며, 모든 EAS 시스템의 설치 안내 및 이식형 심장 의료기기에 대한 오동작 가능성을 고지하도록 하여야 한다. 본 연구결과는 현재 국내에는 마련되어 있지 않은 EAS 시스템의 전자기장에 대한 이식형 심장기기의 오동작 예방을 위한 안전기준 마련에 도움이 될 것이라 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] J. R. Gimbel, and J. W. Cox, Jr, "Electronic Article Surveillance Systems and Interactions With Implantable Cardiac Devices: Risk of Adverse Interactions in Public and Commercial Spaces", *Mayo Clin Proc*, Vol. 82, no. 3, pp. 318-322, March 2007.
- [2] E. H. Lucas, D. Johnson, and B. P. Mcelroy, "The Effects of Electronic Article Surveillance Systems on Permanent Cardiac Pacemakers: An In Vitro Study", *PACE*, Vol. 17, pp. 2021-2026, November 1994.
- [3] 김종정, "전자 상품 감지 시스템의 전자파 환경",

연세대학교 석사학위논문, 2008

- [4] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, "Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (Up to 300 GHz)", *Health Physics*, Vol. 74, no. 4, pp. 494-522, April 1998.
- [5] M. E. Mcivor, J. Reddinger, E. Floden, R. C. Sheppard, with the technical assistance of D. Johnson, G. I. Becker, and M. Mayotte, "Study of Pacemaker and Implantable Cardioverter Defibrillator Triggering by Electronic Article Surveillance Devices", *PACE*, Vol. 21, no. 10, pp. 1847-1861, October 1998.

— 저 자 소 개 —



심 영 우(정회원)
2008년 연세대학교
의용전자공학과 학사졸업.
2008년~현재 연세대학교
의과대학 의과학과
<주관심분야: 생체신호 계측 및
분석, 의료기기 등>



김 종 정(정회원)
1999년 연세대학교 전자공학/
재활학 학사졸업.
2008년 연세대학교 대학원
생체공학협동과정
석사졸업.
<주관심분야: 의용전자공학 및
생체공학>



양 동 인(정회원)
2008년 연세대학교
의용전자공학과 학사졸업.
2008년~현재 연세대학교 대학원
생체공학협동과정
<주관심분야: 생체신호 계측 및
분석, 의료기기 등>



이 문 형(정회원)
1986년 연세대학교
의학과 학사졸업.
1998년 연세대학교 대학원
의학과 석사졸업.
2003년 인하대학교 대학원
의학과 박사졸업.
1997년~현재 연세의대 내과학교실 심장내과
조교수, 부교수, 교수
<주관심분야: 부정맥, 인공심장박동기, 심폐소
생>

김 덕 원(평생회원)-교신저자
대한전자공학회 논문지
제45권 SC편 제 3호 참조