

RFID와 USN을 이용한 혈액 온도관리시스템의 설계

김수정* · 유선국**† · 박정진*** · 서국진* · 김현옥**** · 배하석***** · 장병철*****

Design of blood temperature management system using RFID and ubiquitous sensor network

Soo-Jung Kim*, Sun K. Yoo**†, Jung-Jin Park***, Kuk-Jin Seo*, Hyun-Ok Kim****,
Ha-Suk Bae*****, and Byung-Chul Chang*****

Abstract

We focus on the solutions to prevent fatal risk to patient's life caused by transfusing blood which is wrong type or has exceeded norm temperature. Also, this study gives priority to the verification of medical safety of using blood, of which management is applied advanced sensor tag technology adopted RFID(Radio Frequency Identification) temperature sensor and USN(Ubiquitous Sensor Network) for temperature management of blood. Therefore, this study can contribute to protect of health of patients who take blood transfusion through construction of basis of new process of blood management.

Key Words : sensor network, RFID, temperature management

1. 서 론

유비쿼터스 헬스케어의 발전으로 병원 내에서 RFID (Radio Frequency Identification), USN(Ubiquitous Sensor Network)의 활용도가 높아지고 점점 더 많은 분야에 그 응용이 시도되고 있으나 현재 RFID와 센서 네트워크를 동시에 적용하여 진행한 연구가 미흡하다. 병원에서는 혈액의 유동성이 많고 또 그 이동 흐름을 아주 정확히 명시하고 기록하며 폐기하는 것조차도 규정에 따라야 한다^[1,2]. 이러한 혈액은 보관 당시 일정한 온도로 항상 유지가 되어야 하고 보관 과정 혹은 운반

과정 중 변질된 혈액은 절대 환자에게 공급되어서는 안 된다. 영국의 National Blood Service가 2000년 발표한 결과에 따르면 병원의 혈액보관실(혈액은행)에 입고된 혈액 중 4.59%의 혈액이 유실된다고 보고하고 있으며, 이를 근거로 미루어 볼 때 우리나라에서는 더 많은 혈액이 환자에게 정상적으로 공급되지 못할 것으로 추측된다^[3]. 따라서 환자에게 양질의 혈액을 공급하고, 체계적으로 온도관리를 하여 환자에게 정확한 수혈을 하기 위하여 혈액의 보관에 있어서는 센서 네트워크를, 운반 과정에 있어서는 RFID를 동시에 활용하는 온도센서 네트워크를 병원에 구축할 필요성이 높다고 할 수 있다.

혈액은행에서는 혈액을 냉장고에 보관하다가 수혈이 필요한 곳으로 인력이 직접 입수하여 전달해주는 시스템으로 운영되고 있다. 혈액 중 적혈구는 통상적으로 4°C로 유지되고 있는 냉장고에서 출고하여 상온에서 30분 이상이 경과하여 온도가 높아지거나 너무 낮은 온도에서 보관되면 적혈구가 파괴되어 용혈 되며, 응집, 과도한 대사로 인한 세포의 노화가 진행되어 평균수명이 감소된다^[4]. 이와 같이 혈액에 있어서 보관온도는 혈액의 품질 및 안정성에 필수적인 요소로서 출고되었을 당시의 온도, 즉 혈액이 폐기 되지 않는 적정 온도

*연세대학교 생체공학협동과정 신호처리연구센터 (Graduate School of Biomedical Engineering, Yonsei Univ., Center for Signal Processing Research)

**연세대학교 의과대학 의학공학교실 (Dept. of Medical Engineering, Yonsei Univ., College of Medicine)

**이동형 응급의료정보시스템개발센터 (Center for Emergency Medical Informatics, Human Identification Research Institute)

***연세대학교 정보대학원 개인식별연구소 (Graduate School of Information, Yonsei Univ., Human Identification Research Center)

****연세대학교 의과대학 진단검사의학교실 (Dept. of Laboratory Medicine, Yonsei Univ., College of Medicine)

*****이화여자대학교 의과대학 재활의학교실 (Dept. of Rehabilitation Medicine, Ewha Womans Univ., College of Medicine)

*****연세대학교 의과대학 흉부외과학교실 (Dept. of Thoracic & Cardiovascular Surgery, Yonsei Univ., College of Medicine)

†Corresponding author: sunkyoo@yumc.yonsei.ac.kr
(Received : May 30, 2006, Accepted : June 28, 2006)

인 2~6 °C로 유지가 되는지 여부가 중요하다. 게다가 일정한 온도로 유지된 혈액은 정확하게 환자에게 공급되어야 하는데 여러 가지 작업을 동시에 수행해야 하는 인력에 의해 부정확한 이름표 부착, 혈액 샘플의 혼재, 혈액의 부정확한 적합성시험 등 부적합한 환자에게 혈액이 제공되는 의료사고가 발생할 가능성이 있다[7].

위와 같은 혈액주머니 온도 및 환자신원확인 오류 발생을 막기 위하여, 혈액 보관실의 센서 네트워크와 혈액주머니에 부착한 RFID 온도센서 태그를 이용하여 환자의 데이터와 함께 혈액액의 이동과 시간변화에 따른 온도를 기록하여 인력의 사용 및 데이터 공유에 있어 보다 효율적이고 정확한 혈액의 공급을 목적으로 하는 시스템을 개발하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 하드웨어

2.1.1. 센서와 RFID 태그 및 판독기/기록기

혈액주머니를 보관하는 냉장저장소와 혈액은행 내부에 설치하여 온도를 측정하는 센서는 Crossbow Technology의 MTS420CA를 사용하였다. MTS420CA는 온, 습도 및 조도, 가속도 등을 측정하는 센서로, 미국 캘리포니아 대학교 버클리 캠퍼스가 개발한 MICAz 플랫폼의 통신용 모듈과 함께 사용한다. 이는 IEEE 802.15.4 표준에 기반하여 생성한 온도 정보를 싱크 노드에 전송한다. 여기서 싱크 노드는 마찬가지로 MICAz 플랫폼의 통신 모듈을 부착한 MIB510CA를 사용하였다. 각각의 센서 노드는 AA 배터리 두 개로 전원을 공급받고 실내에서 20~30m 정도의 통신거리를 보이지만 수면구간이 전혀 없는 고전력 소비 방식에서 수명이 10~15시간밖에 되지 않는 단점이 있다[4].

혈액 주머니에 직접적으로 부착하여 사용하는 RFID 온도 태그와 태그 판독기는 KSW사의 TempSens를 사용하였다. 이는 ISM 13.56 MHz 대역을 사용하는 능동 태그로써 ISO 15693-3 표준으로 데이터를 전송하고 판독기는 USB 인터페이스를 쓴다. 종이형 배터리가 내장되어 16개월 이상의 수명을 유지할 수 있고 시간별 온도를 최대 64회까지 저장할 수 있는 SRAM 메모리를 갖고 있다[5].

2.1.2. 기타 자원

혈액보관실에서 센서 네트워크의 싱크 노드와 RFID 판독기가 부착된 랩탑 컴퓨터는 IBM Thinkpad R40을, 원격지의 태블릿 컴퓨터와 PDA는 각각 HP TC1100, HP iPAQ RW6100을 사용하였다. 데이터베이스 서버로 사용한 개인용 컴퓨터는 Pentium 4로 CPU 2.8 GHz,

HDD 200 GB, RAM 1 GB의 사양을 가지고 있고 MSSQL Server2000을 사용하여서 구현하였다.

2.2. 시스템 구조 및 데이터 수집 다이어그램

혈액은행에서 만들어진 혈액주머니가 최종 수혈자에게 전해지기까지의 전체적인 시스템 구성도와 데이터 수집과정은 다음과 같다. Fig. 1에서, 혈액보관실에 위치한 냉장고 내부의 센서는 냉장고 외부에 있는 싱크 노드와 Zigbee RF 통신을 이용한 센서 네트워크를 구성하고, RFID 판독기와 동시에 같은 랩탑 컴퓨터로 데이터를 수집한다. 혈액보관실에서 수집된 온도 정보와 혈액주머니 정보는 외부에 구축된 데이터베이스 서버로 병원 내 무선랜을 통하여 저장되고 이는 병원정보 시스템(HIS: Hospital Information System)과 연계되어 무선랜으로 연결 가능한 어느 지역에서든지 웹으로 혈액의 온도 변화 및 해당 환자 정보를 확인 할 수 있다.

위와 같은 시스템 구조에서 보다 구체적인 데이터 수집 과정을 살펴보면 Fig. 2와 같다. 혈액보관실 클러스

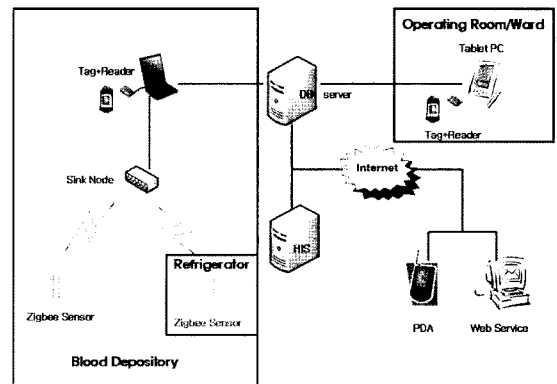


그림 1. 전체 시스템 구성도
Fig. 1. Configuration of combined temperature monitoring and management system.

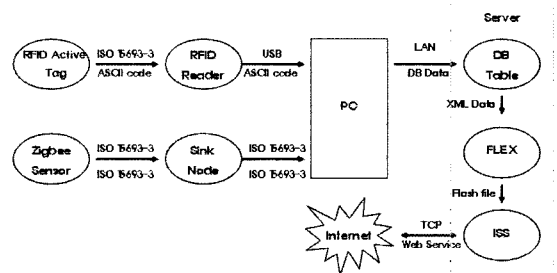


그림 2. 데이터 흐름도
Fig. 2. Flow chart of data gathering.

터는 랩탑 컴퓨터를 중심으로 두 종류의 연결, RFID 온도 측정 센서와 Zigbee를 이용한 센서 네트워크로 나뉜다. 혈액 주머니 출고 시 RFID 판독기는 태그의 정보를 ASCII 코드로, 지속적인 온도를 측정하는 센서 네트워크는 hex 코드 형태로 데이터가 수집되고 이를 랩탑 컴퓨터에서 서버 컴퓨터로 전송하여 데이터베이스 테이블을 구성한다. 데이터베이스 서버에서는 데이터베이스 테이블에 계속적으로 기록되는 온도 정보들을 XML 형태로 전환하고 XML을 Flash로 변환하는 FLEX 프로그램을 통해 수혈실 또는 외부의 사용자가 인터넷 익스플로러로 웹 서비스를 제공받을 수 있게 하였다. 이때 센서 네트워크와 RFID 판독에 사용되는 프로그램은 Microsoft Visual C++ 6.0과 Microsoft Visual C#.NET을 이용하여 구현하였고, PDA용 응용 프로그램은.NET Compact Framework를 기반으로 하였다.

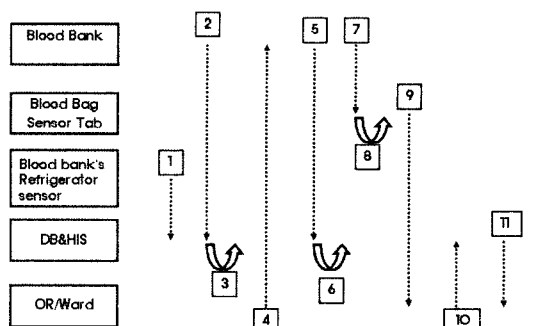
3. 결과 및 고찰

3.1. 혈액 수혈 과정

일정한 온도 범위 내에서 혈액의 간접적인 변질을 막기 위해서 혈액보관실의 혈액보관장치인 냉장고에는 앞서 말한 센서 노드와 RF통신을 위한 Zigbee 모듈을 설치하였다. 이 센서는 냉장고 내부의 온도정보를 측정하여 싱크 노드로 전송하고 싱크 노드와 연결된 혈액보관실의 랩탑 컴퓨터는 병원 내부망을 이용하여 데이터베이스에 온도정보를 기록한다. 혈액은행에 헌혈 받은 혈액이 도착하는 이벤트가 발생했을 시 즉각 고유의 ID가 부여된 온도 태그를 혈액 주머니에 부착하고 냉장 입고 설정을 한다. 그 후 혈액이 필요한 수술실 혹은 병실 등의 치료실에서 혈액보관실 측에 수혈자에게 적합한 혈액을 요구하면 보관실은 해당 혈액을 지정하여 수혈자와 일치된 혈액주머니의 정보를 저장 시킴과 동시에 혈액주머니의 온도 태그가 온도를 측정하여 자체 저장할 수 있게 설정하고 혈액 주머니를 출고시킨다. 수혈자가 있는 치료실에서는, 혈액의 보관에 있어 가장 중요한 온도 정보가 지속적으로 기록되어 수혈되기 전 관리를 원활히 하기 위해 냉장고에서 혈액 주머니가 출고될 때까지의 냉장 온도정보와 태그정보를 함께 읽어 들인다. 그럼으로써 혈액이 제조되었을 당시부터 수혈되기 직전까지의 온도 정보를 모두 취득하여 혈액의 변질 여부를 파악할 수 있게 된다(Fig. 3).

3.2. 시스템 구현

온도 데이터는 환경에 따라 변하기는 하지만 수초



1. Temperature in the refrigerator 2. Refrigerator storage setting of blood bag sensor tag(UIDVAL) 3.TB_TEMPSENSE 4. Blood request of recipient(PIDVAL) 5. Matching between blood and recipient, designate the corresponding blood 6. TB_BLOODPACK 7. Blood bag delivery, Tag setting 8. Measure and record the tag temperature 9. Tag read 10. Record the tag temperature 11. Information of blood bag and temperature

그림 3. 혈액 수혈 과정

Fig. 3. Sequence diagram from blood donation to transfusion.

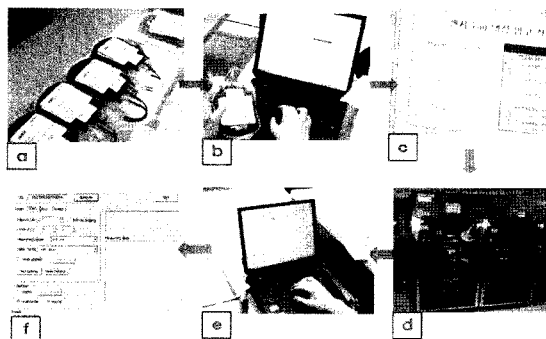


그림 4. 혈액주머니 입, 출고 과정: (a) 혈액주머니에 RFID 태그 부착, (b) 입고 설정, (c) 입고 설정 소프트웨어, (d) 입고, (e) 출고 후 태그 설정, (f) 출고 후 태그 설정 소프트웨어

Fig. 4. Store/Delivery process of blood bag: (a) attach the RFID tag on blood bag, (b) storing setup, (c) storing setup s/w interface, (d) store, (e) tag setting after take out, (f) tag setting s/w interface of delivery.

내에 갑자기 변하는 값이 아니므로 냉장고 내의 센서는 5분당 한 개의 메시지를 보내는 주기로 온도를 측정하였다. 혈액보관 냉장고 내부 온도 측정이 지속적으로 이루어지고 있는 가운데 가장 먼저 헌혈자에게서 제공받은 혈액의 주머니를 냉장고에 입고시키기 위해 Fig. 4와 같이 온도센서를 포함한 RFID 태그를 혈액주머니의 겉면에 부착하고 입고시간을 확인하여 태그의 고유 ID를 설정한다. 냉장고에 입고 후 보관하다가 수혈 환자에 대한 정보와 함께 혈액 공급 요구를 받게 되

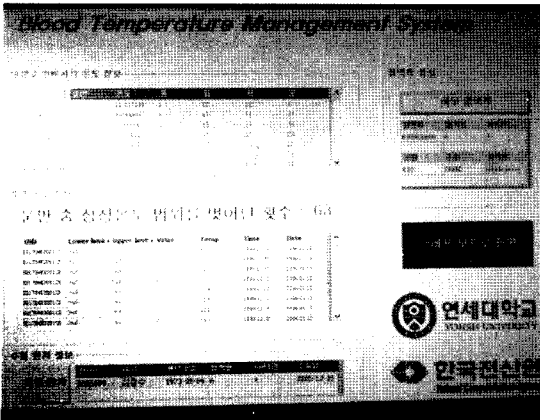


그림 5. 수혈 전 혈액주머니 온도 변화 관리 시스템
Fig. 5. Blood bag temperature management system.

면 혈액 보관실에서는 해당 환자에게 맞는 혈액을 냉장고에서 출고한다. 출고 직전까지의 이 혈액 주머니의 온도는 혈액 보관 냉장고의 센서가 측정 한 온도로 유지되었음을 알 수 있고, 수혈자에게 도착하기 전까지 상온에서 이동하므로 RFID 태그에 온도를 기록하기 시작한다. 이때 RFID 태그는 혈액 주머니의 이동시간을 최대 1시간으로 가정하고 64개의 온도 데이터를 기록할 수 있음을 감안해 1분에 한번씩 온도를 측정하기로 설정하였다.

출고된 혈액이 수술실, 혹은 병실 등의 수혈 장소에서 의료진에 의해 혈액의 온도 및 환자 신원과의 적합성 여부를 다시 확인하게 된다(Fig. 5). RFID 기록기가 연결된 태블릿 컴퓨터로 RFID 태그를 읽으면 출고된 혈액이 수송되는 동안 능동 RFID 태그에 기록된 온도 정보가 가장 먼저 보여지고 운반 도중 혈액이 변질되지 않는 정상 온도 범위를 벗어난 경우가 있었는지를 나타내어 혈액을 수혈할 수 있는지 판단하게 했다. 또한 해당 혈액이 혈액보관실의 냉장고 안에 있던 기간 동안의 온도 정보 및 수혈환자의 정보, 수송되어 온 혈액 주머니의 정보를 한꺼번에 표시하여 수혈하기 전 마지막 점검을 돕는다.

또한 원격지에 있는 혈액 온도 관리 담당자가 실시간으로 혈액의 온도 변화 추이를 추적하거나 이전에 수혈이 이루어진 경우의 정보를 재확인 하는 절차를 수행하기 위해 온도 정보 및 환자 정보가 저장된 데이터베이스로부터 Fig. 6과 같이 데이터를 불러 올 수 있다. 혈액 주머니의 해당 환자에 대한 간단한 정보와 주기적으로 데이터베이스 테이블에 기록되는 냉장고 내부 센서의 온도 변화부터 냉장고에서 출고되었을 때부

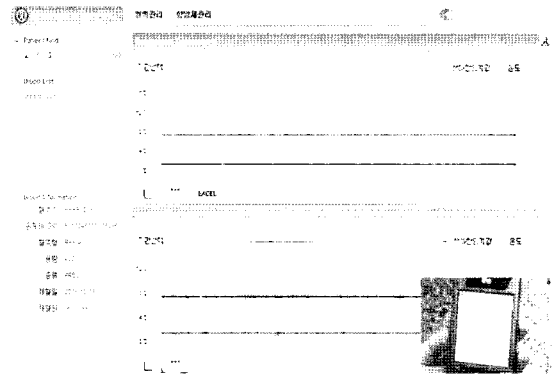


그림 6. 인터넷 익스플로러로 보여지는 혈액주머니 온도 변화 추이 및 환자 정보
Fig. 6. Blood bag temperature variation and patient information on internet explorer.

터 시작되는 수송중의 온도변화를 그래프로 확인할 수 있고, PDA로는 RFID 태그에 대한 시간 및 온도 정보 등을 조회할 수 있다.

4. 결론 및 토의

병원 내 혈액보관실에서는 혈액원을 통해 들어온 혈액들이 수혈자에게 가기 전까지의 전체적인 보관 및 관리를 담당한다. 혈액은 온도에 민감한 제제로 일정한 온도의 보관장비 안에서 보관되어야 하고 이동 시에도 그 온도의 변화가 수혈 가능한 정도로 유지되어 혈액의 변질을 방지해야 한다. 또한 혈액이 수혈되기 전 반드시 수혈자와 혈액의 적합성 여부를 판독해야 하고 정확한 환자에게 수혈되어야 한다. 하지만 현재 혈액 보관장비 및 시설(혈액냉장고, 혈액냉동고, 혈소판교반기, 혈액냉장실, 혈액냉동실)의 내부온도는 최소 4시간마다 기록하여 관리하고 있으나 보관장비 및 시설의 불안정한 전력공급이나 담당자의 과실로 인한 수혈 오류에 대하여는 보장을 못하고 있는 실정이다⁶⁾. 따라서 본 논문에서는 보다 효율적인 의료 인력의 사용과 데이터 공유, 정확한 혈액의 정확한 수혈자 공급을 목적으로, 혈액보관실에 센서 네트워크를 설치하여 혈액 보관 중에 지속적으로 온도관리를 하고 혈액 주머니 이동시 RFID 온도 센서 태그를 이용하여 이동 시 온도 측정을 가능하게 하는 시스템을 설계하였다.

3,4장의 시스템을 구현하여 실험한 결과 실제 혈액 주머니에 부착한 능동 RFID 태그는 판독기와의 거리가 최대 3 cm 정도일 때 인식가능하고, 태그를 혈액주머니의 어느 위치에 부착하는지는 관계없지만 인식거

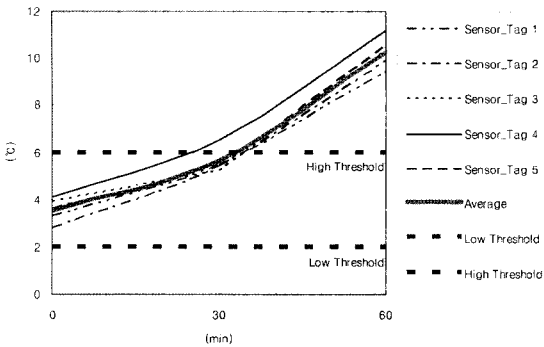


그림 7. 출고 후 혈액주머니 태그의 온도 변화
Fig. 7. Temperature variation of blood bag after delivery.

리 내에 2개 이상의 태그가 존재하지 않아야 인식 할 수 있다는 것이 나타났다. 또한 Fig. 7과 같이 5개의 샘플 혈액을 출고 후 시간에 따른 온도 변화를 측정하였을 때 주문 받은 혈액이 상온에서 이동하는 동안 온도가 상승하여 출고 후 최대 30분 이내에는 혈액이 수혈되어야 함을 알 수 있었다.

본 논문에서 개발한 시스템의 가동 가능성을 위한 테스트 후 기존의 단편적인 온도관리 시스템에 비해 보다 정확하고 분석적인 데이터의 히스토리를 검색할 수 있었고 또 실시간으로 온도변화를 확인 할 수 있었다. 이를 통해 기록적이고 체계적인 혈액의 온도관리 및 정확한 수혈이 이루어져 환자 적합성 여부 판독에 대한 인위적 오차를 줄일 수 있고 양질의 혈액을 수혈하는데 있어 더 신뢰성 있는 과정을 거치게 되었다고 할 수 있다. 그러나, 아직 온도센서와 배터리가 내장된 RFID 태그는 가격이 너무 높아 전반적인 도입이 어려

우며 데이터를 저장할 수 있는 메모리의 용량 및 내장 온도 센서의 신뢰도 등을 높일 필요가 있을 것으로 보인다. 또한 혈액의 보관 과정의 온도를 측정하는 센서 노드가 배터리 지속시간에 있어 취약함을 보였기에 센서와 RFID 등 기반기술의 발전이 더 이루어져야 함을 알 수 있었다.

Acknowledgement

본 연구는 2006년도 보건복지부지정 특정센터연구지원 연구개발 사업(과제번호: 02-PJ3-PG6-EV08-0001) 및 한국 전산원 현장시험 연구지원에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

- [1] 대한적십자사 혈액관리본부. <http://www.bloodinfo.net/>
- [2] 보건복지부 혈액장기팀. <http://www.mohw.go.kr/index.jsp>
- [3] The National Blood Service, 2000. http://www.blood.co.uk/pages/f25_pr.htm
- [4] Crossbow Technology, Inc. <http://www.xbow.com/Products/productsdetails.aspx?sid=105>
- [5] KSW Microtec. http://www.ksw-microtec.de/www/startseite_de.php
- [6] 세브란스병원 진단검사의학과 혈액원. http://www.severance.or.kr/medical_guide/dept/lab/blood_center/
- [7] Joseph Dalton, PhD, "Using RFID technologies to reduce blood transfusion error", *White Paper by Intel Corporation, Cisco Systems, San Raffaele Hospital*, pp. 2-6, 2005.



김수정 (Soo Jung Kim)

- 2004년 이화여자대학교 정보통신학과 학사
- 2006년 연세대학교 생체공학협동과정 석사



유선국 (Sun Kook Yoo)

- 1981년 연세대학교 전기공학과 학사
- 1985년 연세대학교 전기공학과 석사
- 1989년 연세대학교 전기공학과 박사
- 2002년 2월~현재 연세대학교 의학교실 부교수
- 2002년 12월~현재 이동형 응급의료 정보 시스템 개발 센터(보건복지부 지정) 소장
- 2003년 1월~현재 대한 PACS학회 편집이사
- International Journal of Biomedical Imaging, Associate Editor

박정진 (Jung Jin Park)

- 2005년 연세대학교 의공학부 학사
- 2006년 연세대학교 정보대학원 석사 재학

서국진 (Kuk Jin Seo)

- 2005년 연세대학교 의공학부 학사
- 2006년 연세대학교 생체공학협동과정 석사 재학

김현옥 (Hyun Ok Kim)

- 1982년 연세대학교 의학과 학사
- 1985년 연세대학교 의학과 석사
- 1990년 연세대학교 의학과 박사
- 2004년~현재 연세대학교 의과대학 진단검사의학교실 교수

배하석 (Ha Suk Bae)

- 1992년 연세대학교 의과대학 학사
- 2002년 연세대학교 의과대학 석사
- 2005년 고려대학교 의과대학 박사
- 이화여자대학교 의과대학 재활의학교실 조교수

장병철 (Byung Chul Chang)

- 1977년 연세대학교 의과대학 학사
- 1981년 연세대학교 의과대학 석사
- 1991년 연세대학교 의과대학 박사
- 1999년~현재 연세대학교 의과대학 흉부외과학교실 교수