유비쿼터스 투약 감시를 위한 스마트 투약 팩

A Smart Drug/Medicine Pack for u-Medication Monitoring

박 장 환, 이 태 수, 김 영 철*
(Jang Hwan Park, Tae Soo Lee, and Young Chol Kim)

Abstract : As a pervasive healthcare application to help medication of elderly patients, the smart compliance monitors have been recently proposed. In this paper, we present a new smart drug/medicine pack (SDP) for ubiquitous medication monitoring, for which the packaging is either paper packet or blister pack. This ubiquitous compliance monitor is composed of several SDPs and a Bluetooth equipped PDA phone. The SDP is a wireless module that monitors the medication consumption unobtrusively by transmitting the sensed data of "drug removal" events to the medical center and by reminding patients when they take a dose on their mobile phone. The communication between SDP modules and PDA is realized via Bluetooth. The PDA is basically embedded to indicate the medication record and to alert every prescribed medication time during treatment. Experimental results show that the proposed system works exactly when the SDPs are far within about 2 [m] from PDA.

Keywords : smart drug/medicine pack, ubiquitous computing system, bluetooth, PDA

I. 서론

생활환경의 개선과 의약기술의 발전에 힘입어 대부분의 선진국은 노인 인구의 비중이 점점 높아지고 있으며 우리나라도 노령화 사회에 접어들었다. 가족이 돌보아 주기 어려운 여건에서 노인의 건강관리와 질병 치료는 이제 국가적인 주요 복지문제가 되고 있다. 특히, 치료에 직결되는 요소 중 하나인 처방에 따른 적정한 투약은 거의 개인의 의지에 좌우되기 때문에 기억력이 현저히 떨어진 노인의 투약관리는 매우 우려할 만한 문제이다. 다음은 2003년 미국 통계청(U.S. statistics)의 처방에 대한 적정 투약실태 조사보고인데 놀랍게도 50%를 넘지 못하고 있다[1].

1) 조제된 처방약의 50%를 부적절하게 복용한다.

2) 노년층의 55%는 투약계획의 따르지 못하며, 이들 과실 중에서 26%는 잠재적으로 심각하다.

3) 요양소 환자의 23%가 적절한 투약을 따르지 않는다.

4) 병원 환자의 10% 정도가 적절한 투약을 따르지 않는다.

5) 투약 과실은 대상자의 대략 0.9%를 죽음에 이르게 한다.

장기 복용인 경우에는 이 값보다 적은 것으로 알려져 있다. 일례로 CPC 보고서 [4]에 의하면 장기 복용인 경우에 약의 종류에 따라 다소 차이는 있지만 그림 1과 같이 대부분 50% 이하인 것으로 보고되고 있다. 그리고 의사가 처방해준 약을 환자가 적정 시간에 복용하지 않아서 나타나는 상태를 보고 진단 오류를 범할 수 있다는 것도 간과해서는 안 되는 문제이다. 또한, 투약 오류는 건강뿐만 아니라 경제적 손실도 적지 않다. CPC 보고서[5]에 의하면, 1개당 0.5달러씩 하는 처방약을 10만 명의 환자가 하루에 하나씩 복용한다고 할 때, 적정 복용율이 65%인 경우와 40%일 때의 1년간 경제적 손실은 약 450만 달러에 이른다고 하였다.

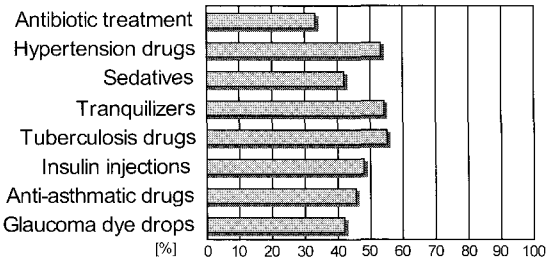


그림 1. 장기투약자의 적정 복용율.
Fig. 1. Compliance with long-term medication.

이러한 투약문제를 개선하기 위한 노력은 오래 전부터 있었으며 여러 가지 프로그램이나 보조기구 등이 개발되고 있다.

소리나 빛을 이용한 경보(alarm)기능을 첨가한 전자장치가 추가된 투약 팩이 개발되었으며, 최근에는 RFID 기술을 이용하여 투약 시간과 몸의 상태를 투약 팩에 저장한 후, 병원을 방문할 때 결과를 의사가 리더기에 의해 읽어 들이고, 환자의 투약상황을 분석할 수 있는 패키지 기술이 개발되었다[2]. 그러나 이 방법은 환자의 약물치료에 대한 분석은 할 수 있지만, 투약 증진을 위해 크게 개선되는 점이 없다. Fishkin[1]은 전자저울을 이용한 가정용 모니터링 패드와 RFID를 이용한 투약관리시스템을 제시하였으며, Floerkemeier 등[3]은 최초로 근거리통신망과 휴대전화를 이용한 투약 팩의 가능성을 제시하였다.

본 논문에서는 환자가 의지적으로 입력하지 않더라도 언제 어느 곳에 있던 실시간으로 투약 상황을 감시하고 투약시간 전에 미리 알림을 줄 수 있는 유비쿼터스 투약감시시스템을 제안하고자 한다. 이 시스템은 크게 여러 개의 스마트 투약 팩(Smart Drug/medicine Pack: SDP)과 휴대형 PDA, 병원의 투약관리서버로 구성된다. 하나의 SDP는 한가지 약을 담게 되며 한 환자가 여러 가지 약을 복용하는 경우에는 여러 개의 SDP를 사용하게 된다. SDP와 PDA간 무선통신은 blutooth 방식을 이용하여 이루어지며, PDA와 병원의 투약관리서버간 연결은 기존 통신망을 이용하는 구조이다. 무선통신은 blutooth

* 책임저자(Corresponding Author)
논문접수 : 2005. 9. 15., 채택확정 : 2005. 10. 25.
박장환 : 충주대학교 정보제어공학과(parkjh@chungju.ac.kr)
이태수 : 충북대학교 의과대학 의공학교실(tslee@chungbuk.ac.kr)
김영철 : 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부(yckim@cbu.ac.kr)
※ 본 연구는 보건복지부 의료기기기술 개발사업비(과제번호: 0405-ER01-0304-0001)에 의하여 연구되었음.

가 내장된 PDA를 사용함으로써 본 논문의 연구범위는 주로 SDP개발에 있다. 약 포장 형식은 우리나라에서 가장 많이 사용하고 있는 2~3일용 체인형 봉지 팩(chain type plastic pack)과 기포형 팩(blister pack)을 대상으로 하였다. SDP는 투약 팩으로부터 약이 탈취되는 것을 감지하는 센서와 근거리 무선통신을 위한 블루투스(bluetooth) 칩, 이들을 구동하기 위한 마이크로제어기(Microcontroller Unit: MCU)로 구성되어 있다. PDA는 투약모듈로부터 수신한 투약신호를 처리하며 투약모듈과 서버 사이에서 모두 양방향 통신이 가능한 매개체이고, 처방기록과 투약기록을 저장하고 표시해주도록 프로그램된다. 본문의 내용은 2절에서 제안한 스마트 투약 시스템을 기술하고, 3장은 제안된 시스템의 핵심 부분인 투약 팩과 PDA 프로그램의 시제품을 보여주며, 4장은 결론 및 향후 과제를 정리하였다.

II. 스마트 투약 팩

1. 기본구성

투약을 조력하고 감시하기 위한 시스템 개발에는 많은 고려 요소들이 있다. 첫 번째, 기능성에 관점에서 보면, 투약을 감지하는 기술을 다양한 종류의 약물에 적용할 수 있는가에 대한 문제이다. 여기서 제안하는 감지 기술은 기존에 사용하고 있는 조제용 약봉지와 기포형 팩에 대하여 개발하며, 더 나아가서 개폐용 스위치를 갖는 약통에 적용이 가능하다.

두 번째, 활용 영역의 유연성에 관하여 보면, 궁극적으로 모든 장소에서 시스템의 사용이 가능하도록 개발해야 한다. 제안한 시스템은 실외에서 휴대용 PDA(또는 휴대전화)와 무선 인터넷을 이용하여 임의의 장소에서 사용이 가능하도록 개발한다. 또한 실내에서는 가정용 PC와 근거리 무선통신의 송수신기 모듈의 활용이 가능할 것이다.

세 번째, 통합의 유연성의 관점에서 보면, 시스템은 각각의 구성요소들이 개별적으로 구분되어야 하며, 다른 의료용 유비쿼터스 컴퓨팅 시스템과 함께 구성요소의 통합 및 변경이 가능해야 할 것이다.

마지막으로, 시스템이 활용에 적합한가에 대한 평가이다. 실제적으로 투약 팩이 투약을 증진시키며, 용이한 사용구조, 많은 수요와 적정가격을 갖는가에 대한 요구사항 등을 고려해야 하며, 이를 근거로 시스템을 지속적으로 개선하고, 임상실험과 같은 향후 과제를 수행해야 할 것이다.

상기한 대부분의 사항을 숙고하여 우리가 구성한 시스템은 그림 2 와 같이 투약센서 및 구동장치, 근거리 무선통신 모듈, PDA 단말기와 데이터베이스 및 관리서버의 요소를 갖는다.

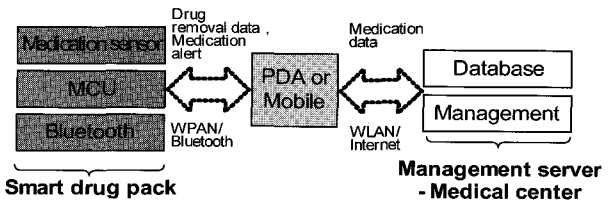


그림 2. 스마트 투약 시스템의 구성도.
Fig. 2. Configuration of smart medication system.

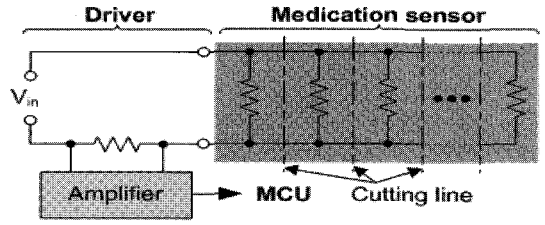
2. 투약센서 및 구동모듈

투약센서는 약물의 복용을 인식하기 위한 장치로써, 약물 복용 자체를 감지하는 것이 궁극적인 목표이지만, 여기서는, 단지 투약 팩으로부터 약을 탈취하는 것을 감지하도록 설계한다. 투약센서는 봉지형 팩과 기포형 팩 두 가지를 고려한다.

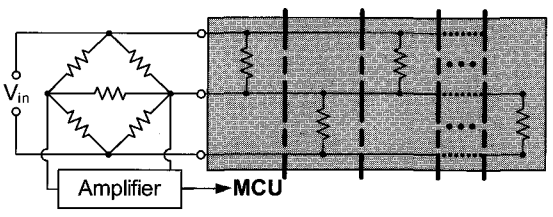
먼저, 조제용 봉지 팩은 현재 약국에서 상용되는 것을 말하며, 개수와 무관하게 사용될 수 있는 구조로 설계한다. 센서의 구조는 약봉지 표면에 그림 3(a) 병렬 저항형, (b) 브리지 기반 저항 형으로 전도성 물질을 투약 팩 표면에 프린트하여 형성한다. 아주 얇게 도포되기 때문에 생산과정이 간단하고 무게나 휴대에 아무런 지장을 주지 않는 장점이 있다. 센서의 기본 개념은 투약을 위해 한 봉지를 탈취하면 그림 3(a)의 대응하는 저항회로가 절단됨으로써 저항변화가 생기고 이것을 감지하도록 회로를 설계하였다.

기포형 팩은 봉지형 팩의 경우와 동일한 원리를 사용하지만, 단지 회로의 구성이 다르다. 일례로 2열 10행의 기포형 알약 팩에 대한 브리지 기반 저항 센서의 구성은 그림 3(c)의 회로를 사용하며 단자만 달리한다. 이 때 저항의 위치가 알약의 위치와 일치하도록 제작하게 된다.

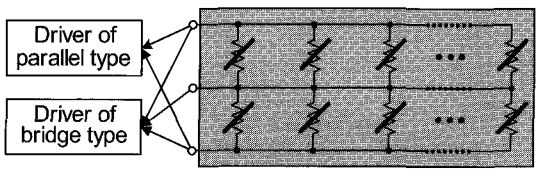
투약신호 전송을 위한 구동모듈은 그림 3과 같이 저항들의 절취에 따른 차분전압을 이끌어내기 위한 회로와, 간단한 MCU를 사용하여 절취시간 저장 및 투약전송 시나리오를 수행하며, 절전모드 회로를 가지고 있다. 그림 4는 SDP에서 적용한 데이터 전송 및 절전을 위한 블록선도를 보여준다.



(a) A parallel type circuit for plastic pack



(b) A bridge type circuit for plastic / blister packs



(c) A bridge type circuit for blister packs

그림 3. 투약센서의 감지 회로.
Fig. 3. Circuits of medication sensors.

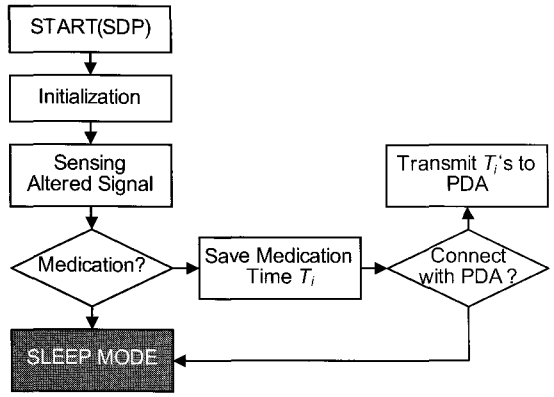


그림 4. 투약신호 전송을 위한 블록선도.
Fig. 4. Block diagram for transmitting medication signals.

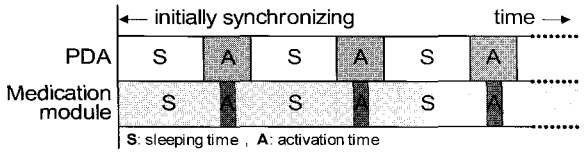


그림 5. 스마트 투약 팩과 PDA의 동기화.
Fig. 5. Synchronization of SDP module and PDA.

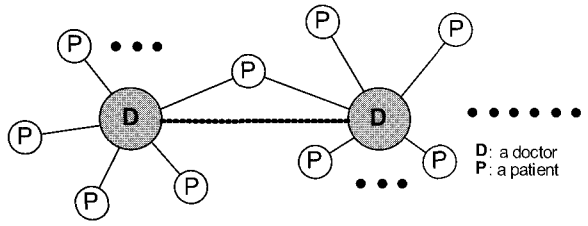


그림 6. 투약 조력을 위한 네트워크.
Fig. 6. Network for smart compliance monitors.

투약전송 시나리오는 그림 5과 같이 초기화 과정에서 SDP와 PDA간에 시간을 동기화시켜 특정시간(일례로 20분; 투약시간은 정확성은 필요하지 않기 때문에)에만 시스템이 활성화되는 것과 PDA가 무선접속 영역을 벗어나 있을 경우 임시로 정보를 저장하는 것 등을 말한다. 절전모드는 시스템이 특정 시간에만 구동할 필요가 있으므로, 배터리의 사용시간을 늘이기 위해 설정시간 이외의 시간대에서는 MCU에 카운터 등의 일부 기능을 제외하고 나머지 시스템의 전원을 차단시키는 역할을 한다.

3. 근거리 무선통신-블루투스

블루투스는 1994년 PC 통신 전문업체인 Erricson사에서 정보 단말기와 주변기기와의 복잡한 통신 선을 없애자는 목적으로 연구가 시작되었으며, 작고, 저렴한 가격, 저전력 소모로 근거리 송·수신기로 휴대전화에 직접 집약시키거나 카드 형태의 어댑터를 통해 PC 등에 탑재되어 무선 환경을 제공해 주는 하나의 기술적인 규격 사양이다. 또한, 블루투스는 Intel, IBM, Nokia, Toshiba 등이 중심이 된 SIG(Special Interest Group)와 1800개의 블루투스 SIG에서 별도의 라이센스 없이 사용 할 수 있는 ISM(Industry Science Medical)주파수 대역을 79채널로 이용한 공개 사양이다[6,7].

블루투스의 무선환경은 세계적으로 이용 가능한 전역 주파수 대역인 2.45GHz band를 이용하고 721kbps 데이터 전송속도를 갖는다. 블루투스의 전력 소모량는 30μA 인 '대기모드'에서부터 3~30mA 범위를 가지며, 도달 거리는 ~30m로 실내에서와 사용자의 주변 근접 공간 내에서 무선통신을 지원하도록 개발 되었다. 또한, 블루투스 장치는 사용요구에 따라 다양한 거리를 지원하는 장치들과 10미터 반경 내에서 정보 교환 능력을 갖는다. 그밖에 블루투스는 하나의 피코넷 내에 최소 2개 최대 8개까지의 장비들을 하나의 네트워크로 묶을 수 있으며, 음성전송 및 인터넷 등의 동기/비동기 어플리케이션들을 모두 지원하고 양방향 통신을 한다.

최근, 블루투스는 휴대전화 등에서 많은 수요가 이루어지고 있으며, 특히, 건강관리 시스템 분야에서 신체의 건강과 관련한 데이터들을 전송하기 위해 PDA 간에 무선 PAN을 구현한 많은 적용 일례를 보여주고 있다[8,9]. 본 논문에서도 근거리 무선통신망 방식으로 현재 가장 보편화된 블루투스를 이용하였다. 그러나 기본적으로 ZigBee방식[10]을 사용하여도 별다른 문제가 있는 것은 아니다.

4. PDA 콘텐츠 및 서버

스마트 투약 시스템에서 PDA(또는 모바일) 은 먼저 투약 팩에서 무선통신으로 받은 정보를 취합하고 분석하여 적절한 화면표시와 대응작용을 하며, CDMA네트웍 또는 인터넷을 이용하여 필요한 정보를 서버와 송 · 수신하는 역할을 한다. 여기서는 다음의 사항들을 고려하여 콘텐트를 형성하였다.

1) 약의 정보 및 복용 시기: 처방을 내린 병원과 약국의 정보 저장, 약의 용도 및 복용 시점 저장 및 디스플레이.

2) 투약 상황: 현재까지의 투약 이력과 앞으로 투약 정보를 요약하여 디스플레이.

3) 알람: 약의 복용 시기의 지연 및 오류에 따른 경고 메시지

4) 환자의 상태 질의: 투약에 따른 현재 환자의 상태를 선택(일례로 '나쁨', '보통', '좋음')할 수 있는 대화상자 프로그래밍.

5) 인식 코드 부여 및 해독: 사용자 구분과 투약 팩의 다중사용 문제 고려.

6) 스마트 투약 팩 시스템과 동기화: PDA와 스마트 투약 팩의 배터리 효율을 위하여 동작시간을 그림 5와 같이 설계하였으며, 초기에 두 기기들의 동기화가 필요.

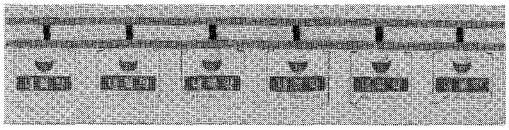
서버는 각각의 환자들로부터 전송된 투약 정보를 저장하는 데이터베이스와 환자의 투약 상황을 관리하기 위한 관리 프로그램으로 구성한다. 관리자 또는 의사는 수시로 환자들의 투약 상태를 감시하며, 차후 이러한 정보들을 근거로 적절한 조치를 취하도록 한다.

이상으로 제안한 스마트 투약 시스템의 구성요소들을 종합하여 그림 6과 같이 실제 환자들과 의사간에 네트워크의 구성이 가능할 것이다. 이러한 네트워크는 진료 및 치료에 많은 도움을 주고, 환자에게는 투약의 조력과 더불어 편의성 및 유연성을 가져다 줄 수 있을 것이다.

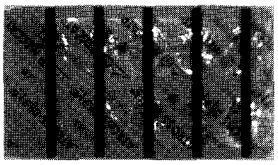
구현을 위해 시제품은 스마트 투약 시스템의 가장 기본적인 구성요소인 투약센서와 PDA 콘텐츠에 대하여 주로 다루었으며, 3장에서 결과들을 보여준다.

III. SDP 제작 및 실험 결과

봉지팩용 약과 기포형 팩의 탈취를 감지하기 위한 시제품은 그림 7에서 보여준다. 그림 7(a)는 봉지형 팩에 병렬저항 회로를 장착한 시제품이고, (b)는 기포형 팩에 브리지형 회로를 장착한 결과이다. 인쇄는 도전체는 각각 저항 값이 $0.4\Omega/cm^2 \pm 10\%$인 실버 페스트(silver paste)와 저항 값이 $4k\Omega/cm^2 \pm 10\%$을 갖도록 전도성 고분자(PEDOT)을 가지고 얇은 필름 위에 그로비아 롤코트(gravure roll-cote) 인쇄방식으로 제작하였다. 여기서 전도성 고분자의 저항 값은 전류의 흐름과 증폭기의 성능 및 노이즈 문제를 고려하여 결정하였다.

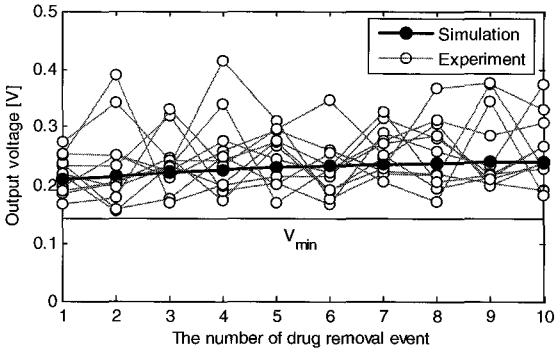


(a) A plastic pack with sensor

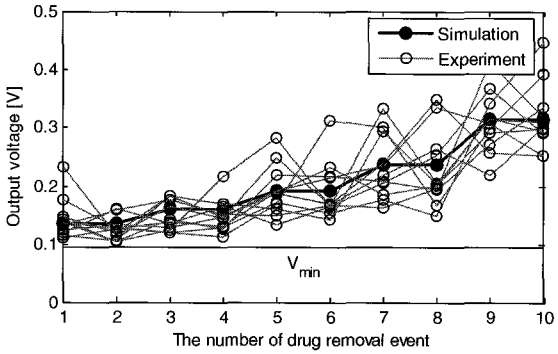


(b) A blister pack with sensor

그림 7. 약 탈취 감지용 센서가 부착된 봉지팩.
Fig. 7. A paper pack attached the sensor strip for "drug removal".



(a) A parallel type sensor for plastic packs



(b) A bridge type sensor for blister packs

그림 8. 약 탈취에 따른 센서출력의 모의실험 및 실험결과.
Fig. 8. Experimental and simulation results for output voltage of sensors to each drug removal.

그림 8(a)는 10개의 조제용 약봉지를 한 단위씩 절취하였을 때에 증폭 단에 걸리는 전압의 차분 값을 MATLAB에 의해 시뮬레이션 결과와 그림 7에서 보여준 시제품의 실험결과를 비교한 것을 보여준다. 여기서, 조제용 약봉지에 부착한 투약센서는 약봉지 한 개당 저항이 대략 $2k\Omega \pm 10\%$ 의 값을 가지며, V_{min}값을 A/D컨버터의 양자화 스케일보다 매우 크게 설계하여, 구동 부에서는 절취에 따른 전압 변동을 오차 없이 인식하였다. 그림 8(b)는 브리지 형태의 투약 센서를 사용하는 경우, 시뮬레이션과 시제품의 결과를 보여준다. 그림에서 시뮬레이션과 실험 결과들은 V_{min} 값보다 큰 값을 가지며, 여기서 각각의 V_{min}은 양자화의 단위전압보다 매우 크다.

센서 구동 및 전송 데이터 추출을 위해서 사용한 MCU는 Atmel 사의 ATmega16을 사용하였고, 블루투스 모듈는 Comfile 사의 ACODE-300를 사용하였다. 구동모듈의 역할은 투약 센서에서 받은 신호는 MCU와 블루투스 모듈을 이용하여 PDA에 데이터를 전송한다. 즉, MCU의 UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter)를 사용하여 투약정보를 블루투스 장치로 넘겨주고, 블루투스는 데이터를 PDA로 무선 전송한다. 그림 9는 3V 배터리를 장착한 실험에 사용한 SDP를 보여준다.

PDA는 HP 사의 블루투스 내장형이고 OS는 Win CE를 사용한 iPRQ pocket PC H5430 제품을 사용하였으며, PDA와의 전송거리가 2m 이내에서는 100% 투약상황을 인식함을 검증하였다. 그림 10은 프로그램을 실행하였을 때 디스플레이 화면이며, (a)는 약을 처방하였을 때 입력되는 약 이름, 처방일, 약국 및 약사명, 용량, 복용시간과 용법에 관련한 대화상자이

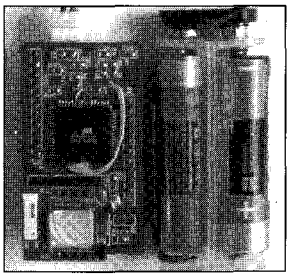
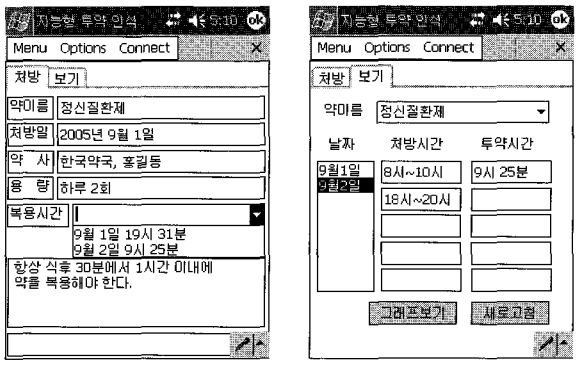


그림 9. SDP 시제품.
Fig. 9. A test prototype of SDP.



(a) Dialog box for prescription (b) Dialog box for compliance

그림 10. PDA 디스플레이.
Fig. 10. Display on PDA.

다. (b)는 투약 정보 및 상황에 관련하여 요일 별로 투약 결과를 보기 위한 화면을 보여주며, 상세하게, 환자는 그림에서와 같이 처방 일(9월 2일)에 따른 2회의 처방시간(8시~10시, 18시~20시)에 약을 복용하여야 하며, 이를 지키지 않으면, 즉, 현재시간(오후 5시 10분)이 오후 8시가 넘어가게 되면 PDA에서 경보 음을 울리며 투약을 종용시킨다.

IV. 결론

본 논문은 환자의 투약 상황을 조력 및 감시 할 수 있는 스마트 투약 시스템을 제안하였다. 조제약 봉지 형 팩과 기포형 알약 팩을 위한 투약센서를 개발하였고, 센서 구동과 더불어 투약 데이터 전송방식을 고려한 근거리 무선통신(블루투스)을 이용한 투약 모듈을 개발하였다. 또한 투약정보처리를 위한 중간매개로서 또 SDP와 서버간 매개체로서 PDA를 이용하였고, 적절한 콘텐츠를 위한 프로그래밍을 개발하였다. 제작된 시제품은 양호한 성능을 보여주었고, 약봉지를 편리하게 집약 보관할 수 있는 casing을 보완하면 상품화 수준의 개발로 이어질 수 있다고 기대한다. 이 결과는 향후 노령화 사회에 매우 유용한 투약관리기술로 응용될 것이라 예상한다.

참고문헌

[1] K. Fishkin, M. Wang, "A flexible low-overhead ubiquitous system for medication monitoring," *Intel Research*, IRS-TR-03-011, October, 2003.

[2] www.cypak.com, Intelligent Pharmaceutical Packaging.

[3] C. Floerkemeier, F. Siegemund, "Improving the effectiveness of medical treatment with pervasive computing technologies," *Workshop on Ubiquitous Computing for pervasive Healthcare Applications at Ubicomp 2003*, Seattle, October, 2003.

[4] www.cpchealthcare.com, "Why introduce a patient compliance program?," *CPC Healthcare Communication Whitepaper Series*, August, 2002.

[5] www.cpchealthcare.com, "Factors affecting patient compliance," *CPC Healthcare Communication Whitepaper Series*, August, 2002.

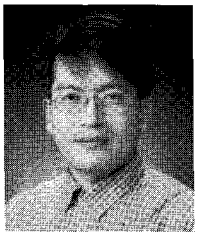
[6] J. Bray, C. F. Sturman, *Bluetooth connect without cables*, Prentice-Hall, 2001.

[7] 박선호, 근거리 디지털 정보통신 규격 해설과 Bluetooth 시스템 설계기술, 국제테크노정보연구소.

[8] S. Nelwan, S. Meij, K. Fuchs, T. van Dam, "Ubiquitous access to real-time patient monitoring data, *Computer in Cardiology*, vol. 24, pp. 271-274, 1997.

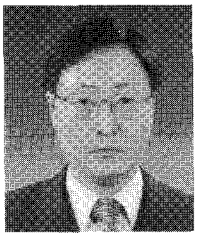
[9] S. Nelwan, T. van Dam, P. Klootwijk, S. Meij, "Ubiquitous mobile access to real-time patient monitoring data", *Computer in Cardiology*, vol. 29, pp. 557-560, 2002.

[10] www.zigbee.org, Introduction of zigbee



박 장 환

1991년 충북대학교 전기공학과(공학사). 1993년 충북대학교 전기공학과(공학석사). 1999년 충북대학교 전기공학과(공학박사). 2000년~현재 충주대학교 정보제어공학과 BK21 계약교수. 관심분야는 패턴인식, 고장진단.



이 태 수

1981년 서울대학교 전자공학과(공학사). 1983년 서울대학교 전자공학과(공학석사). 1990년 서울대학교 제어계측공학과(공학박사). 1991년~현재 충북대학교 의학과 교수. 유비쿼터스 헬스케어 시스템, 컴퓨터 의학응용.

김 영 철

제어 · 자동화 · 시스템공학 논문지 제 10 권 제 3 호 참조.