장기 투약대상자의 약물순응도를 높이기 위한 스마트 약상자의 구현

김범준*

Developing a Smart Pillbox to Improve the Medication Adherence of the Patients Requiring a Long-term administration

Beom-Joon Kim*

요 약

결핵은 꾸준한 복약만 이루어진다면 완치될 수 있는 병임에도 불구하고 우리나라의 결핵 환자 발생률과 사망률은 매우 높은 수준이다. 이러한 상황을 극복하기 위하여 본 논문에서는 결핵과 같은 장기 투약대상자들이 정기적이고 꾸준하게 약을 복용할 수 있도록 하기 위한 스마트 약상자를 개발한다. 개발된 스마트 약상자에는 무게 측정을 통하여 약의 배출 여부를 판단할 수 있도록 0.1g 단위의 정밀한 무게 측정이 가능한 로드셀이 장착되었다. 그리고 무게 측정 결과 근거로 환자가 약을 복용했는지를 판단하기 위한 다양한 시나리오별 알고리듬을 개발하여 소프트웨어로 구현하였다.

ABSTRACT

Although tuberculosis can be recovered if patients take medicine consistently, Korea shows significantly high rate in terms of incident rate and death rate of the tuberculosis patients. Considering such a situation, this paper has developed a smart pillbox that facilitates for patients requiring a long-term administration to take medicine in a regular and consistent manner. The developed smart pillbox is equipped with a load cell that can measure the weight in unit of 0.1g so that it can determine whether or not the medicine is dispensed out of itself. In addition, a software has been developed to determine the status of patient's taking medicine based on the measurement result.

키워드

Directly Observed Treatment (DOT), Smart Pillbox, Load Cell
직접복약관리, 스마트 약상자, 로드셀

Ⅰ. 서 론

현재 우리나라는 OECD 국가 중 결핵 환자 발생률과 사망률에서 1위이며 2004년도 이후부터 계속적인 증가 추세를 보이고 있다[1]. 매년 결핵 치료로 투입되는 국가 예산 8,200억 원에 이르고 있고 결핵 환자의 45%가 20-40대로 후진국형 결핵 추이와는 다르고 손실되는 사회적 비용 또한 매우 높다[2]. 이와 같은

* 계명대학교전자공학과(bkim@kmu.ac.kr)
접수일자 : 2013. 01. 21 수정(심사)일자 : 2013. 03. 25 게재확정일자 : 2013. 04. 25

결핵 환자의 증가세는 치료를 위해 여러 가지 약을 6개월 이상 장기 복용해야 하는 번거로움에 있고 특히 젊은 20-30대 층에서 치료를 중단하는 사례가 많은 것으로 조사되고 있다[2].

결핵은 다제내성, 슈퍼결핵 등의 경우를 제외하고는 최소 6개월 이상 꾸준한 복약 처방 준수를 마치면 완치되는 질환이다[3]. 즉 결핵의 치료는 치료 방법이나 약이 없어 어려운 것이 아니라 꾸준한 환자 관리가 이뤄지지 않는 것 가장 중요한 문제이며 결핵 치료에 실패할 경우 주변 사람에게 결핵균을 전파해 새로운 감염자를 만드는 등 악순환이 반복될 수 있기 때문에 더욱 중요하다. 치료 중단에 따른 결핵 약제에 대한 내성은 결핵 치료의 어려움을 가중시키고 있고 결핵이 난치성 질병으로 심각한 사회 문제로 작용할 가능성이 있다.

현재는 초기 치료 성공률 약 50% 수준으로 치료 실패 및 약제내성결핵이 증가하고 있는 추세이다. 이는 민간의료기관 추구관리 기능이 미약하여 치료지속 및 순응도와 치료성공률 저조하고 민간의 경우 대개 3차 의료 기관에 환자가 집중되어 있기 때문으로 분석된다. 이러한 문제해결을 위해서는 민간과 공공 협력 형태의 결핵 환자의 체계적인 관리를 위한 시스템 구축이 시급하다. 그런데 의료 인력을 통한 관리 체계의 구축은 효과에 비해 비용이 매우 높다는 문제점이 있다. 따라서 우리나라의 높은 IT 기술 수준을 활용하여 환자의 복약 관리 모니터링 체계를 구축하는 디지털 DOT (Digital Directly Observed Therapy) 시스템 개발이 요구되고 있다[3].

이러한 요구 사항을 고려하여 본 논문에서는 디지털 DOT 시스템을 구현하기 위한 중요한 핵심 도구로서 역할을 수행할 수 있는 스마트 약상자를 개발하였다. 개발된 스마트 약상자는 정밀한 무게 측정을 통하여 약의 배출 여부를 판단할 수 있다는 특징이 있으며 이를 근거로 환자의 복용 여부를 판단하여 다양한 경로를 통하여 환자에게 알릴 수 있도록 구현되었다.

II. 디지털 DOT 시스템

2.1 디지털 DOT 시스템의 필요성

현대 사회가 고령화 사회로의 급속한 전환에 따라 만성질환자, 복합질환자의 증가로 인해 장기투약대상자가 점차 증가하고 있다. 이는 질병 치료에 따른 사회적 비용의 증가와, 건강복지 증진에 걸림돌이 되고 있다. 이러한 만성질환자, 결핵 등 사회적 질환의 질병치료의 효율성 증대를 위해 WHO(세계보건기구)에서는 DOTS (Direct Observed Treatment Short-course)를 통한 관리 체계를 적극 권장하고 있으며[4] 우리나라 보건복지부에서도 2011년 결핵관리 사업 지침을 통해 직접복약관리 체계의 도입을 진행하고 있다. 특히 이러한 직접 복약 관리 정책은 2020년까지 범국가 관리 사업 계획이 수립되어 있는 상황이다[2].

하지만 투약 보조 인력을 통한 관리 체계의 경우 환자 1인 당 동일 수의 관리인이 투입되어야 하는 한계로 인해 확대 보급이 어려운 문제가 있다. 따라서 IT기술을 통한 적극적인 보조시스템의 필요성이 급증하고 있으나 아직 세계적으로 필요 수준에 맞는 재품 개발이 미비한 상황이다.

2.2 디지털 DOT 시스템

DOT 시스템은 전담간호사 등의 관리요원이 전화나 방문을 통해서 직접 복약을 독려하고 관리하는 시스템이다. DOT 시스템에 의한 결핵약 복용은 편리하고 안전한 장소에서 하되 환자와 관리요원이 동의하면 아무데서나 가능하다. 만약 환자가 진료실로 오기 어려우면 관리요원이 환자가 있는 곳으로 가서 DOT를 시행할 수 있다. 환자의 근무시간이 문제될 경우 저녁 등 퇴근시간 이후 복용 가능하고 경우에 따라 DOT 관리요원으로 의사, 간호사 이외에 다른 사람을 선택할 수 있으나 환자의 가족이 DOT를 시행하는 관리요원이 될 수는 없다. DOT 관리요원은 환자가 복약 거부를 위해 약을 숨기거나 버리는 행위와 같은 수단을 쓰는지에 대한 관찰 및 상담을 실시하여야 한다.

WHO가 채택하고 권장하는 DOTS 프로그램[4]은 잘 훈련된 결핵관리요원(의료진이 아니라도 상관없음)이 환자의 결핵약 복용에 대한 소극적인 관찰이나 사후 평가를 넘어서 환자가 약을 먹지 않았을 때 적극적인 조치를 취하는 개입까지 포함하고 있다. 그러나 미국의 경우 예산의 한계로 모든 초기 치료 폐결핵 환자에 대해 DOT를 시행하지 않고 치료 실패의 위험성이 큰 환자군(high risk for nonadherence)에 대하여 우선적으로 시행하고 있으며 점차 대상 환자를

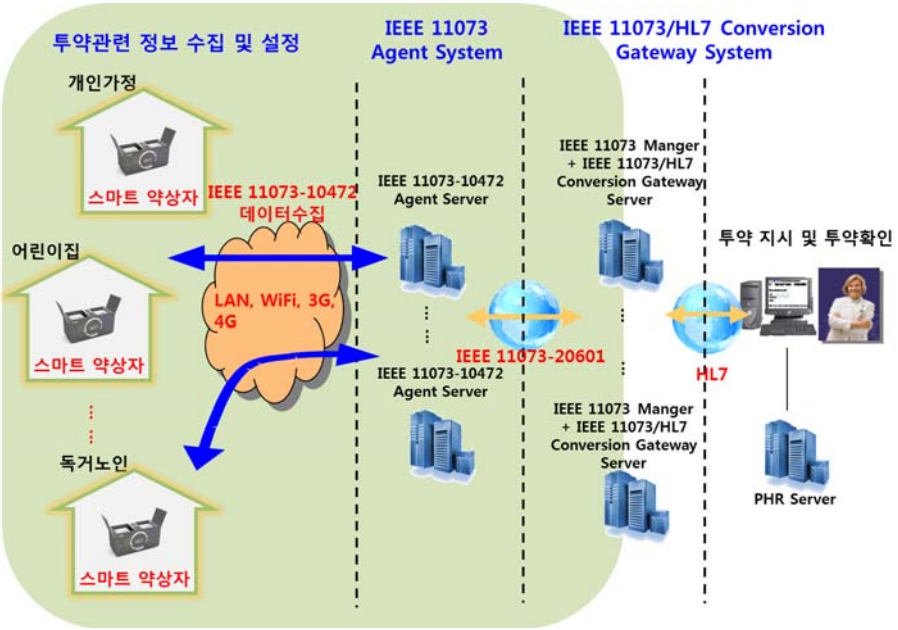

그림 1. 스마트 약상자를 이용한 제안하는 디지털 복약 관리 시스템의 개요
Fig. 1 An overview of the proposed digital DOT system using the smart pillbox

늘리고 있는 추세이다. 이 때 DOT가 최상의 치료방법이라 여겨지는 대상 환자군의 선정 기준은 다음과 같다.

- 약제내성 결핵균에 감염된 환자
- 처방약을 복용하지 않을 위험성이 큰 환자 : 행려 또는 주거부정자, 알코올 또는 마약중독자, 정신적 또는 정서, 육체 장애자로 스스로 약을 먹을 수 없는 환자, 소아 또는 청소년, 과거 약을 잘 복용하지 않은 환자

앞에서 설명한 DOT 시스템은 관리요원이 반드시 필요하고 직접적인 방문이나 전화를 통해서만 복용 모니터링이 가능하다는 한계점이 있다. 이와 같은 한계점을 극복하기 위해서 등장한 것이 디지털 DOT (DDOT) 시스템이다. DDOT 시스템은 IT 기술과 융합된 디지털 복약기를 통해 환자의 투약순응도를 높이고 복용 현황에 대한 체계적인 관리 모니터링 시스템을 구축하는 것이다. 이를 위해서는 환자의 댁내에 디지털 복약기를 구축하여 복용시간에 따른 정확한 복용 안내를 통해 환자의 복약을 유도하고 복용 상황을 확인하여 환자 관리 전산시스템을 통해 환자의 실적 관리 및 평가를 자동화하는 것이 요구된다.

III. 스마트 약상자를 이용한 디지털 DOT 시스템

3.1 개요

그림 1은 스마트 약상자를 이용한 복약관리시스템의 개요를 보여준다[6]. 본 논문에서 개발하고자 하는 스마트 약상자(smart pillbox)란 단순히 약을 보관하는 원래의 기능을 넘어서 약 복용이 정량으로 정시에 이루어질 수 있도록 도와주는 한편 병원, 약국, 보호자, 그 외의 의료기관 등에 환자의 복약 상태를 보고하는 등의 기능을 수행할 수 있는 지능화된 디지털 복약 기기로 정의할 수 있다[6].

헬스케어 센터는 사용자와 병원, 약국을 통신 네트워크를 이용하여 연결하고 각종 데이터베이스와 서버를 운영하여 사용자의 복약 상태를 모니터링하게 된다. 이 과정에서 사용자는 휴대전화 SMS 그리고 약상자의 LCD, LED, 음성 등을 통해 약복용 알림 서비

표 1. 제안하는 디지털 복약 관리 시스템을 위한 스마트 약상자의 요구사항
Table 1. Requirements for the smart pillbox used in the proposed digital directly treatment system(DOT)

요구 기능	요구 기능에 따른 세부 요구사항
약의 보관 및 배출	• 장기 복용 환자 지원을 위하여 50개 이상의 약포지 보관이 가능해야 한다. • 자동 포장된 연결형 약포지를 지원할 수 있어야 한다. • 과 복용 방지를 위하여 센서를 이용한 1회 단위의 약포지 인식 및 배출이 가능해야 한다.
복약 알림 및 지도	• 멀티미디어 (음성, 소리, LED 조명 등) 형태로 약 복용을 알릴 수 있어야 한다. • 외출 또는 미복용 시 문자 메시지 및 스마트 폰을 통하여 약 복용을 알릴 수 있어야 한다.
유무선 통신 네트워크를 통한 다양한 기능	• 병원, 약국, 환자 사이의 원격 처방전 관리가 가능해야 한다. • 의사 및 보호자가 환자의 약복용 상태를 원격에서 모니터링 할 수 있어야 한다. • 관련 국제 표준인 IEEE 11073 및 HL7과의 호환성을 제공할 수 있어야 한다.

스를 받는다. 스마트 약상자는 약복용 서버와의 통신을 통해 사용자의 약복용 상황을 전달받고 이에 해당하는 서비스를 제공하는데 주요 서비스로 LCD, LED, 스피커를 통한 약복용 알림, 약 배출, 주의사항 등의 약 복용 안내를 수행한다. 또한 버튼 이벤트를 통해 서버에 사용자의 요구사항을 전달할 수 있다[5][7][8].

약복용서버는 사용자의 처방전을 기반으로 약복용 스케줄을 관리하고 해당 스케줄에 따라 사용자의 약복용 상황을 인식하여 스마트 약상자에 전달하고 DUR (Drug Utilization Review) 시스템은 환자 개인별 처방 조제 지원 안내 시스템을 통해 중복 처방, 약제 부작용, 정확한 복약 지도를 지원한다.

마지막으로 약국은 병원에서 제출된 진료 기록 및 복약 처방전을 웹을 통해서 검색하고 약상자에 약을

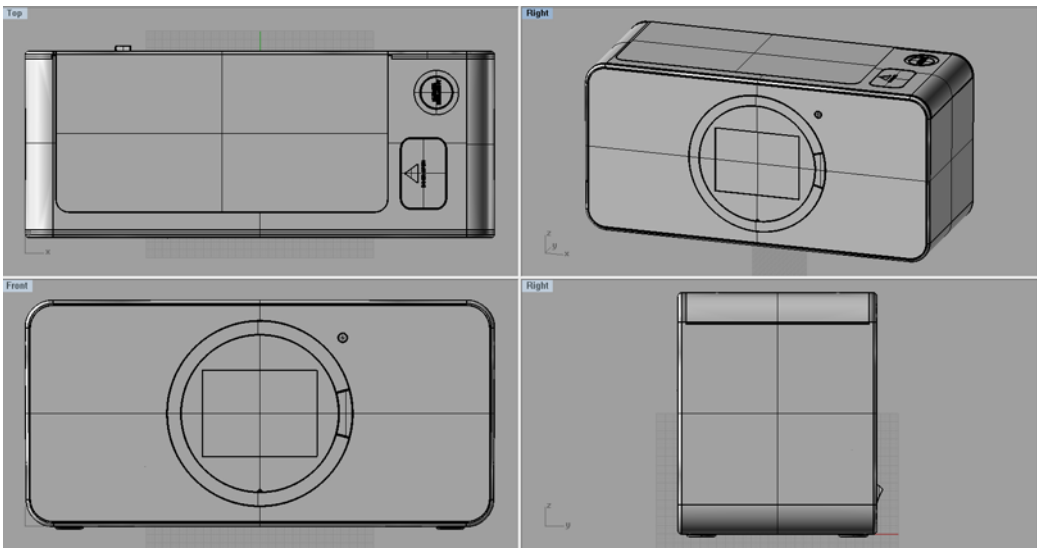

그림 2. 설계된 스마트 약상자의 외형 이미지
Fig. 2 The illustration of the designed smart pillbox

적재하며 병원은 환자의 약복용 순응률을 모니터링하여 해당 순응률에 따라 처방을 환자에게 적합하도록 수정할 수 있다[5][7][8].

3.2 스마트 약상자의 개발 요구사항

지금까지 출시된 복약 보조 기기의 사례를 수집하여 분석한 결과 국내보다는 미국을 중심으로 하는 국외에서 출시된 제품의 기능이나 성능이 상당히 우월함을 확인할 수 있었다[6].

그러나 국외의 제품은 병약 처방만을 지원하기 때문에 국내에서 그대로 사용되기에는 불가능하다. 반면 국내에 출시된 제품은 단순히 약 보관을 하다가 정해진 시간에 배출하는 정도의 낮은 수준의 기능을 제공하고 있어 디지털 DOT 시스템에 적용하기에는 무리가 있다. 특히 디지털 DOT 시스템의 구축을 위해서는 병원, 약국 등 외부 기관과의 실시간 정보 교환이 필요하다는 점을 고려하면 기기의 유무선 네트워크 인터페이스를 통한 정보의 송수신이 필수적이다. 이와 같은 점들을 고려하여 본 연구에서 개발하고자 하는 스마트 약상자의 본격적인 개발에 앞서 요구 사항을 표 1에 도출하여 정리하였다.

Ⅳ. 스마트 약상자 개발

4.1 사양정의 및 설계

실제 스마트 약상자의 개발에 앞서서 관련 특허 분석, 사례 조사, 전문가 자문 등을 기반으로 개발하고자 하는 스마트 약상자의 사양 및 핵심 디바이스의 상세 사양을 표 2와 같이 결정하였다.

표 2. 스마트 약상자 개발 사항
Table 2. Development specification for a smart pillbox

Class	Description
개발환경	Eclipse Indigo, CDT 6.0, AVR Studio 4
Toolchain	ARM 4.2.2 GCC Toolchain
OS	Linux(kernel 2.6.3.5)
MCU	Samsung S3C2440 400MHz (ARM9 Core), ATmega32
Memory	Samsung K4S561632N-LC75 64MB(DRAM) Samsung K9F1GO8U 128MB(FLASH)
Load Cell	BCL-1L
LCD	3.5″ TFT LCD (Resolution 320 * 240)
LAN Interface	SMSC LAN9220 (10/100M)
Wireless Interface	IPTIME N100UM (USB Type)

4.2 외형 설계

이미 도출된 요구 사항 및 사양을 고려하여 스마트 약상자의 외형을 설계하였다. 그림 2에 나타난 바와 같이 설계된 스마트 약상자는 가로로 긴 직사각형의 형태(289mm*120mm*143mm)로서 중앙에 약을 수납하기 위한 공간(206mm*77mm*75mm)을 배치하고 그 아래에 잔여 약의 무게를 측정하기 위한 로드셀이 장착된다. 전면부의 LCD 디스플레이 상에는 복약 상태 및 각종 알람 등이 표시된다. 그리고 우측에 약포지를 배출하기 위한 배출구가 위치한다.

4.3 로드셀을 이용한 무게 측정

본 연구에서 개발하고자 하는 스마트 약상자는 환자의 복약 여부를 로드셀에 의한 잔여 약의 무게 측정을 통해서 판단한다. 따라서 로드셀의 정밀한 무게 측정 가능 여부가 관건이 된다. 일반적으로 로드셀은 외력에 의해 비례적으로 변하는 탄성체와 이를 전기적인 신호로 바꾸어주는 스트레인 게이지를 이용한 하중감지센서를 의미한다.

스트레인 게이지식 로드셀의 기술은 핵심소자인 스트레인 게이지의 기술혁신과 함께 발전했다. 로드셀은 스트레인 게이지를 부착한 탄성 소재로 구성되어 있다. 질량이 가해지면 소재는 탄성 거동을 하고 스트레인 게이지는 가해진 질량에 직접적으로 상응하는 저항 변화를 일으킨다. 결국 로드셀은 하중 변화를 저항의 변화로 변화 시켜주는 전기적인 장치라 할 수 있다.

다양한 조사와 실험을 통해서 잔여 약의 무게 측정을 통해서 복약 여부를 판단하기 위해서는 적어도 0.2g 단위의 정밀도가 요구되었다. 이를 위해서 그림 2에 나타난 바와 같이 0.1g단위의 측정이 가능한 로드셀을 선정하였고 과연 약포지에 포장된 약을 측정

했을 때 충분히 정밀한 측정이 이루어지는 지를 그림 3에서와 같이 시험을 통하여 검증하였다.

그림 3. 포장 약을 이용한 무게 측정 시험
Fig. 3 The weight measurement test by a load cell

그런데 로드셀의 센서가 온도 등의 외부 환경 변수에 민감하게 반응함으로 인한 문제점이 발견되었다. 특히 동일한 약을 여러 번 측정하는 과정에서 일정한 값이 지속적으로 나오는 것이 아니라 가끔씩 상당히 큰 값이 측정되는 문제점이 있었다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서는 출력 값의 샘플링을 통하여 신뢰도를 높이는 방법이 일반적이지만 이럴 경우에는 많은 수의 데이터를 샘플링하기 위한 시간이 소요되어 처리 속도가 떨어지는 단점이 있다. 따라서 이 문제는 크리스탈 오실레이터의 사양을 높이는 하드웨어적인 방법으로 해결하였다.

또 다른 문제점은 기구적으로 로드셀의 기울기에 따라서 측정된 무게 값이 달라질 수 있다는 점이었다. 이를 해결하기 위해서 내부 수납공간을 정사각형으로 설계하여 제작하였고 마찰 면에 대한 저항의 최소화를 위한 내장재 분리 방식을 도입하였다. 이 후 여러 번의 반복 실험을 하였고 그 결과 약 수납공간을 중앙에 위치시킬 수 있었다.

4.4 무게 측정을 통한 상황 판단 알고리즘 개발

무게 측정이 정상적으로 이루어진다는 가정 하에 추가적으로 필요한 것은 측정된 무게 데이터를 기초로 환자가 약을 꺼냈을 때 약을 정확하게 가져갔는지, 몇 개의 약을 가져갔는지 혹은 몇 개의 약을 넣었는지 등을 판단하는 것이다. 복약 여부 등을 판단할 수 있는 근거는 수납공간에 있는 약의 무게만이 유일하기 때문에 환자의 행동에 따른 상황을 판단할 수 있는 알고리즘을 다음과 같이 설계하였다. 기본 동작은 다음의 세 가지 절차로 요약된다.

표 3. 시나리오 별 상황 판단 알고리듬의 동작
Table 3. Three scenarios of the operation of the algorithm to judge the situation

시나리오	동작 절차
시나리오 1 : 약을 꺼내거나 약을 넣는 상황	가장 단순한 상황으로 수납공간의 커버를 열었을 때와 닫았을 때의 무게를 비교하여 하나의 약포지의 무게와 꺼내거나 넣은 약의 개수를 계산한다.
시나리오 2 : 약을 꺼내면서 동시에 새로운 약을 넣는 상황	① 실시간으로 저장된 데이터에서 열었을 때의 무게를 가져온다. ② 열었을 때의 무게보다 작은 무게 데이터가 있으면 그 중 최근 데이터를 가져온다. ③ 두 개의 무게를 비교하여 약 복용 여부와 꺼낸 약의 개수를 알아낸다. ④ 그 뒤 약의 무게가 처음 열었을 때보다 큰 데이터가 있으면 약을 추가로 넣은 것으로 판단한다. ⑤ 가장 마지막 무게 데이터를 현재 무게로 판단하고 저장한다.
시나리오 3 : 새로운 약을 넣으면서 동시에 꺼내는 상황	① 실시간으로 저장된 데이터에서 열었을 때의 무게를 가져온다. ② 저장된 데이터에서 가장 큰 무게 데이터를 가져온다. 이는 가장 큰 무게일 때 약을 넣었을 때라고 판단하기 때문이다. ③ 가장 마지막 데이터가 가장 큰 무게보다 작다면 두 개의 무게 값을 비교한다. 단, 비교한 값이 약 한 포지 무게보다 작은 경우 무시한다. ④ 비교한 데이터로 약 복용 여부와 꺼낸 약의 개수를 알아낸다. ⑤ 가장 마지막 무게 데이터를 현재 무게로 판단하고 저장한다.

1. 커버가 열리면 실시간으로 무게 데이터를 저장한다.

2. 커버가 닫히면 실시간으로 저장된 무게 데이터에서 패턴을 분석한다.

3. 분석된 패턴을 통해 복약 여부 및 여러 가지 복약 상황을 판단하여 내부 데이터베이스(파일)로 저장한다.

이 과정에서 약을 복용하거나 다시 채우기 위해서 약을 꺼내거나 넣는 과정에서 발생할 수 있는 시나리오별 동작을 표 3에 정리하였다.

Ⅴ. 결 론

본 논문에서는 디지털 DOT 시스템 구현을 위한 스마트 약상자를 개발하였다. 개발된 약상자는 0.1g 단위의 정밀한 무게 측정이 가능한 로드셀을 이용함으로써 포지 포장된 약의 복용 여부를 정확하게 판단할 수 있다는 장점이 있다. 스마트 약상자의 효용성을 알아보기 위하여 현재 결핵 환자들을 대상으로 하는 약물 순응률 측정을 위한 실험이 진행되고 있다.

참고 문헌

[1] 통계청, 2010년 사망원인통계연보(전국편), 2011.
[2] 보건복지부 질병관리본부, 결핵관리지침, 2011.
[3] 한국형 DOT 시범사업 계획, 질병관리본부, 결핵 조기 퇴치를 위한 워크숍, 2012.
[4] WHO, Pursue high-quality DOTS expansion and enhancement, http://www.who.int/tb/dots/en/
[5] IEEE 11073 Standard Committee, Engineering in Medicine and Biology Society, IEEE Std 11073-10472 - Device specialization - Medication monitor, March 2010.
[6] 김범준, “스마트 약상자를 이용한 디지털 직접 복약관리 시스템의 구축,” 한국전자통신학회논문지, 7권, 5호, pp. 1213-1219, 2012.
[7] 김정래, 이우철, 고윤석, “홈 네트워크 방식의 헬스 케어 시스템 구현,” 한국전자통신학회논문지, 6권, 6호, pp. 987-991, 2011.
[8] 한영오, “비데용 유비쿼터스 헬스케어 모듈 개발,” 한국전자통신학회논문지, 7권, 4호, pp. 931-936, 2012..
[9] 예성빈, 양수영, 정희택, “컴포넌트 기반 환경정보모니터링시스템 개발,” 한국전자통신학회논문지, 7권, 1호, pp. 195-202, 2012.
[10] 김송민, “시각 장애인을 위한 사무 자동화 보조장치 개발,” 한국전자통신학회논문지, 7권, 1호, pp. 141-148, 2012.
[11] 오연재, 김응곤, “모바일 환경 유아교육용 3D 어류백과 시스템의 구현 및 흥미도 분석,” 한국전자통신학회논문지, 8권, 2호, pp. 355-362, 2013.

감사의 글

본 연구는 2012년도 산학협동재단 지원으로 수행되었음

저자 소개

김범준(Beom-Joon Kim)

1996년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1998년 8월 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
2003년 8월 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
계명대학교 전자공학과 교수
※ 관심분야 : 디지털복약관리, TCP, 모바일VoIP