

Study on bubble detection sensor for safe sap and blood injection

Young Gi Yun*, Hoo Young Lee**, Koo Rack Park***

Abstract

The infusion of fluid and blood is necessary in the ward, operating room, recovery room, neonatal room, etc. for nutrition and blood supply to the patient, but air bubbles generated during infusion of fluid and blood circulate along the artery or vein. Serious illnesses occur and there is also a risk of death. In this paper, we propose a medical bubble detection system, a bubble detection system, a bubble detection alarm system, and a communication method in order to develop a safer fluid and blood injection system in the existing system, which is detected by a medical staff monitoring system or an ultrasonic bubble detection sensor. In this study, infrared rays are transmitted to a tube through a tube for injecting fluid or blood into a patient, infrared rays transmitted by an infrared ray emitting section are received, and the amount of light is measured in real time. Based on the data, we study how to detect and analyze the presence of bubbles in fluid and blood.

▶ Keyword: Allocation, Bubble detection, Sap Injection, Infrared ray

I. Introduction

환자가 입원하거나 응급실에 수송되면 Intravenous 주사(IV 주사), 즉 혈관에 놓는 주사를 이용하여 수액이나 혈액을 투여하여 환자에게 에너지를 공급하거나, 생명을 유지시키는 것이 일반적이다.[1] 현재는 병원에서 기포 유입을 의료진의 눈에 의한 모니터링 또는 초음파 기포 감지 센서를 통해 감지하고 있으나 의료진의 환자 모니터링은 한 명의 의료진이 여러명의 환자를 담당하는 병원 환경에서 모든 환자의 수액/혈액 주입을 실시간 모니터링 한다는 것은 거의 불가능하다.[2][13] 초음파 기포감지센서는 Cavitation으로 작은 기포가 발생, 원자간 결합 파괴(적혈구), 산화/환원 발생 등으로 안전성 확보가 어렵고, 수액라인과 컨택 조건에 따른 오차가 발생할 수 있으며, 저전력으로 개발이 어려워 병원에서 실제로 사용하기에는 어려움이 있다. 또한 기존 외산 제품인 경우 초음파 센서를 사용하기 때문에 초음파 센서가 기포를 센싱 할 경우 기포가 발생하는 경우가 있으며, 초음파 감지 센서가 자체 알람이 가능하지만 이를 통계적으로 관리하고 스마트폰과 연동된 알람 장치

가 없어 사용이 불편한 실정이다. 기포가 동맥이나 정맥을 따라 순환하다 혈관을 막는 공기 색전증 발생 원인은 수술실, 회복실 및 신생아실에서 수액, 마취액, 혈액을 강제 주입하는 과정 중 발생 하며, 뇌혈관, 폐혈관, 심장혈관 등을 막는 것에 따라 심각한 질환이 발생하고 성인은 8ml, 신생아는 1ml 이상 기포유입 시 사망위험이 따른다.[12] 따라서 일정량의 약물, 수액 등을 자동으로 환자에게 주입 하는 장치인 의약품 주입 펌프 (Infusion Pumps)에 대한 기술 개발이 필요하다.[14] 혈관 내 기포유입으로 인해 자칫 의료사고로 이어질 수 있는 현재 방식에서 적외선을 이용한 안전한 새로운 방식의 기포 감지방법의 개발이 필요하고,[11] 기포가 감지되면 자체 알람 및 스마트폰과 서버로 알람 정보를 전송하여 즉시 인지할 수 있는 IT 융합형 제품 연구를 하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장 서론, 2장 관련기술현황에서는 국내 관련 기술 현황과 국외시장규모를 살펴보고 3장은 본 연구에서 제안한 적외선을 이용한 방식의 기포감지 방법에 대한

• First Author: Young Gi Yun, Corresponding Author: Koo Rack Park

*Young Gi Yun (ggameun@nate.com) Dept of Computer Science & Engineering, Kongju national university

**Hoo Young Lee (hooyoung@nelsoncnc.com) Dept of Computer Science & Engineering, Kongju national university

***Koo Rack Park (ecgpark@kongju.ac.kr) Dept of Computer Science & Engineering, Kongju national university

• Received: 2017. 08. 22, Revised: 2017. 09. 08, Accepted: 2017. 09. 25.

연구와 개발방법에 대해 논의하고 4장은 연구개발내용과 활용방안에 대해 알아보고, 마지막으로 5장은 결론으로 구성하였다.

Table 1. Domestic things Internet medicines automatic injector manufacturing

division	primary classification	secondary classification	major companies and features
Things of the Internet Automatic medicine Injector	sensor	Assembly, production	A Medical, B Device, C Medical etc
	Etc	Bubble sensor, Door latch sensor, Pressure sensor, Flow sensor, etc.	
	Information processing chip	MCU, Memory	
	SW	Embedded SW	Income dependence
	Display	LCD, Touch module	
	Communication	WIFI, Zigbee LAN, USB, RS232	
	Platform		
	Network		Utilizing its own network
	Application Service	PC, Apps for smartphones	Small business outsourcing

2. Foreign related technologies

2011년 의약품주입펌프(Infusion Pumps) 시장규모는 약 20억달러였으며, 수술실, 병동, 응급실 등 의료영역에서 광범위하게 사용되는 제품으로 지속적인 수요증가가 예상되어, 2018년까지 시장규모는 약 26억달러에 이를 것으로 전망(연평균 4.1% 성장 추정)된다.[7] 시장분류별로는 Infusion Pump가 약 15억 달러로 전체 의약품주입펌프 시장의 약 73.6%를 차지하고 있고, Syringe Pump의 시장규모는 전체의 약 26.4%로 Infusion Pump에 비해 다소 사용범위(마취제투여 등 고정밀 약물주입)가 제한적인 특성 때문에 상대적으로 시장규모는 작게 나타나고 있다.

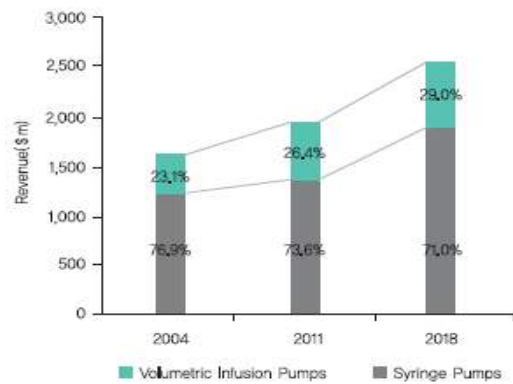


Fig. 1. Market size of pharmaceutical injection pump market

II. Related Technology

1. Domestic related technologies

먼저 정부산업동향은 다양한 생체정보를 신뢰성 있게 측정하기 위한 센서 개발이 활발히 진행되고 있으며, 질병을 손쉽게 진단할 수 있는 바이오센서와 일상생활을 모니터링하기 위한 무자각 무구속 센서에 대한 연구개발이 진행 중이며, U-Health 활성화로 생체정보 및 건강/질병정보 측정을 위한 센서 수요가 크게 확대될 것으로 전망된다. 경쟁력 있는 IT 기술을 접목하여 초소형 저전력 센서 등을 다양한 형태의 제품화 응용이 가능하도록 개발하고 시장요구 사항을 적극적으로 반영하여 시장에서 필요로 하는 형태로의 제품개발이 요구된다.[4]

다음은 국내 시장동향으로 국내의약품주입기는 센서를 개발·모듈화 하는 기업이 HW·기구를 설계하고, PCB 패키징 업체를 통해 조립·가공하는 구조이며, 2014년 A메디칼이 사물인터넷 관련 오토클램프를 개발해, 무선으로 약물 투여 상황을 모니터링 가능한 제품 출시하였으며, 병원용 의약품 주입기외에도 개인 질병관리를 위해 인슐린 등 약물 주입기 형태로 도출 시도 중에 있다.[5]

III. Preliminaries

1. Bubble detection technology using infrared

적외선 발광부에서 송신된 적외선 빔이 튜브를 투과하여 온 적외선 양을 반대편 적외선 수신부에서 감지하여 튜브 내의 기포를 감지하는 방식을 채용하여, 기존 초음파 센서에 비하여 투여되는 약물에 대하여 화학작용을 일으키지도 않으며, 혈액의 경우에도 적혈구를 파괴하는 작용이 일어나지 않아서 안전하게 튜브 내의 기포를 감지할 수 있다. 또한 기존 초음파 기포 센서의 경우에 튜브 장착시의 초음파 발신부나 수신부와 튜브가 밀착되지 않아 오동작하는 경우가 발생하는데 적외선 센서는 튜브와 발광부와 수광부 사이가 밀착되지 않아도 튜브 내의 기포를 감지할 수 있다.

특히 암환자용 수액세트 중에 일부의 경우는 튜브 표면에 약간의 거친면이 형성되어 있어 기존 초음파 기포센서의 경우에는 기포 감지가 불가능한데 이 경우에도 본 연구는 적외선 기포센서의 수액세트 튜브의 표면의 상태(거칠기)에 관계없이 적외선을 이용하는 방식이므로 튜브 내의 기포를 감지할 수가 있고, 혈액 관련 주입장치나 의료용 순환 보조 장치의 경우에는 초음파가 혈액의 적혈구를 파괴하는 작용을 하므로 초음파 기

포센서 자체를 사용하는데 무리가 있지만 적외선 기포 센서는 투여되거나 순환되는 혈액에 위험을 가하지 않기 때문에 혈액 속의 기포를 감지하는데 적절하게 사용될 수 있다.

본 연구는 적외선 수광부에서 측정되는 광량에 대한 측정데이터 그래프의 기울기 값을 기반으로 기포유무를 감지한다.

그리고, 기포의 감지뿐 아니라, 기포 유무에 대한 정보를 송출하는 알람수단을 포함하며, 통신수단에 의해 의료진, 보호자 등 설정된 사용자 단말기로 이러한 정보를 전송할 수 있어 수액 주입 상태와 정보를 실시간으로 모니터링할 수 있는 의료용 기포감지 알람시스템 및 기포감지 알람 방법을 연구한다.

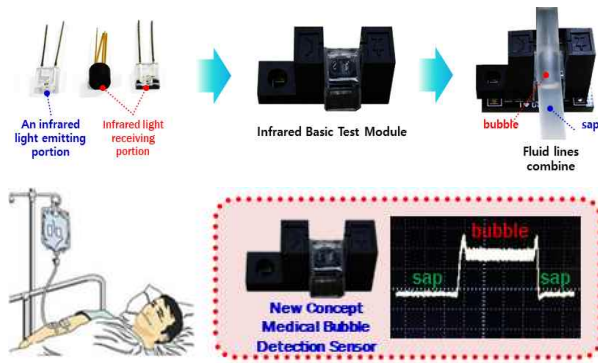


Fig. 2. New Concept Medical Bubble Detector

IV. The Proposed Scheme

1. Bubble detection method using IR receiver

환자에게 수액 또는 혈액을 주입하기 위한 수액, 혈액 튜브에 장착되어 주입되는 수액, 혈액 내의 기포를 감지하기 위한 의료용 기포감지장치에 있어서 송신 적외선을 수신 적외선에 전송하여 광량을 실시간으로 측정하는 방법은 IR 수신부 2개를 채용하여 굴절, 반사 효과를 효과적으로 분석하여 신뢰성 있게 기포의 유무를 감지할 수 있다.

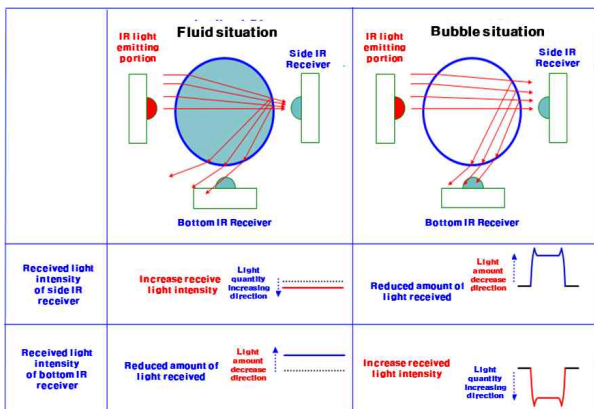


Fig. 3. Bubble condition measurement algorithm

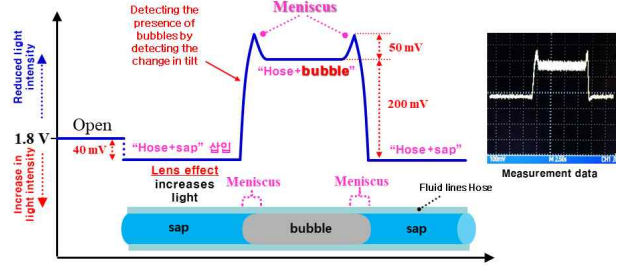


Fig. 4. Analysis of measurement data when bubbles are sensed

측정데이터를 기포와 수액으로 분석하는 방법은 그래프의 기울기가 기 설정된 기울기 변화를 감지하여 기포의 유무를 감지할 수 있게 된다.

2. Disturbance light removal method when measuring liquid line

기포 감지 시 튜브로 유입되는 외란광(형광등, 햇빛 등) 제거 방법에 대한 방법은 Fig. 5와 같다.

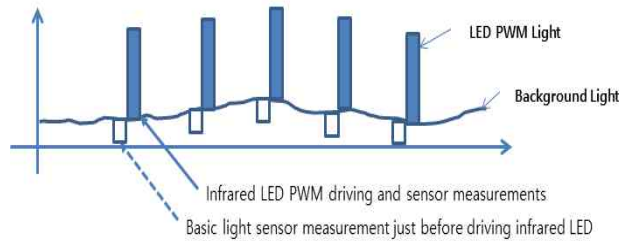


Fig. 5. Disturbance light removal method

튜브를 통해 유입된 외란광을 제거하는 방법은 적외선 LED 구동 직전에 기본 광량을 측정하고 그 이후에 LED PWM Light를 구동 후 측정하여 적외선 센서로 유입되는 전체 LED PWM Light와 Background Light에서 기본 광량인 Background Light를 제거한다.

$$\text{infrared Sensor Input} = \text{LED PWM Light} + \text{Background Light}$$

$$\text{LED PWM Light} = \text{infrared Sensor Input} - \text{Background Light}$$

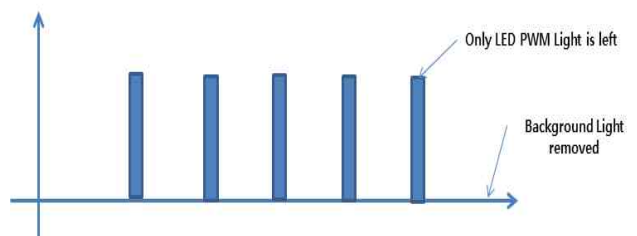


Fig. 6. LED PWM after disturbance light is removed

만약 튜브에서 적외선 측정 중 외란광 및 적외선 리모콘 신호가 유입된다면 간섭이 발생할 수 있다.

그러면, median filter등을 이용하여 제거하도록 한다.

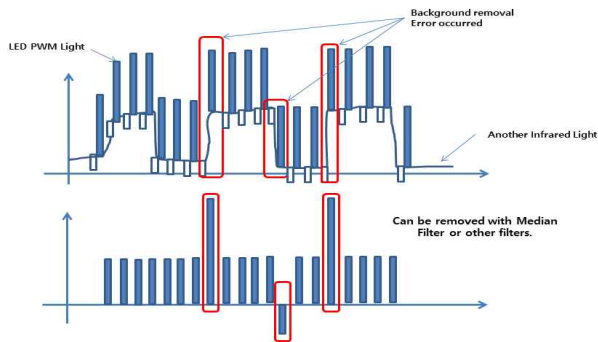


Fig. 7. How to remove if the interference of the infrared measurement

3. Method of detecting air bubbles according to light quantity

정확한 기포 센싱을 위해서는 수액의 평균이동속도를 고려하여 적외선 발광부의 Pulse Frequency · Duty · Intensity 등을 결정해야 한다. 각 환경변수들은 센서의 정확도에 영향을 미치며 의미는 아래와 같다.

Frequency: IR 센서의 센싱 주기를 설정한다.

Duty-Rate: 한 주기 안에서 센서가 발광할 기간을 설정한다.

Intensity: 전류의 세기를 나타내며 센서 발광 강도를 설정한다.

위 환경변수들은 전류 소모량과 비례관계를 가지므로 센싱 정확도를 높이기 위해 임의로 높은 수치를 설정할 경우 전력 공급원에 따라서 빠른 방전등의 문제가 발생할 수도 있다. 또한 실험에 사용한 적외선 송신 센서는 High Power Infrared Emitter 종류인 OSRAM의 SFH4240을 사용하였고, 수신단에 OSRAM의 Daylight Blocking필터를 포함한 BP 104 FAS를 사용하여 저전력 환경에서 LED데이터를 수신하였다.

광량에 따른 기포 감지 방법은 실험을 위해 실내(300lux)와 실외환경(맑은날 10,000lux이상)에서 적외선 발광부의 Frequency, Duty Rate, Intensity, 센서전압, 센서전류, Led Power 소모량을 측정하였다.

Table 2. Indoor measurement - fluid

Frequency	Duty-Rate	Intensity	Sensor voltage	Sensor current	Power Con
8Hz	1%	0.1mA	1.61~1.62V	0.032mA	0.51~0.52mW
8Hz	1%	0.2mA	1.70~1.71V	0.034mA	0.49~0.55mW
8Hz	1%	0.3mA	1.80~1.81V	0.036mA	0.51~0.53mW
8Hz	1%	0.4mA	1.90~1.91V	0.038mA	0.51~0.53mW
8Hz	1%	0.5mA	1.99~2.01V	0.04mA	0.52~0.53mW
8Hz	1%	0.6mA	2.11~2.12V	0.042mA	0.52~0.54mW
8Hz	1%	0.7mA	2.16~2.17V	0.043mA	0.53~0.55mW
8Hz	1%	0.8mA	2.26~2.27V	0.045mA	0.53~0.54mW
8Hz	1%	0.9mA	2.38~2.39V	0.047mA	0.53~0.55mW
8Hz	1%	1.0mA	2.46~2.47V	0.049mA	0.53~0.56mW
8Hz	1%	1.1mA	2.50~2.52V	0.05mA	0.54~0.55mW
8Hz	1%	1.2mA	2.74~2.75V	0.055mA	0.54~0.56mW
8Hz	1%	1.3mA	2.89~2.90V	0.058mA	0.55~0.57mW

Table 3. Indoor measurement - bubble

Frequency	Duty-Rate	Intensity	Sensor voltage	Sensor current	Power Con
8Hz	1%	0.1mA	1.61~1.62V	0.032mA	0.51~0.52mW
8Hz	1%	0.2mA	1.70~1.71V	0.034mA	0.49~0.55mW
8Hz	1%	0.3mA	1.80~1.81V	0.036mA	0.51~0.53mW
8Hz	1%	0.4mA	1.90~1.91V	0.038mA	0.51~0.53mW
8Hz	1%	0.5mA	1.99~2.01V	0.04mA	0.52~0.53mW
8Hz	1%	0.6mA	2.11~2.12V	0.042mA	0.52~0.54mW
8Hz	1%	0.7mA	2.16~2.17V	0.043mA	0.53~0.55mW
8Hz	1%	0.8mA	2.26~2.27V	0.045mA	0.53~0.54mW
8Hz	1%	0.9mA	2.38~2.39V	0.047mA	0.53~0.55mW
8Hz	1%	1.0mA	2.46~2.47V	0.049mA	0.53~0.56mW
8Hz	1%	1.1mA	2.50~2.52V	0.05mA	0.54~0.55mW
8Hz	1%	1.2mA	2.74~2.75V	0.055mA	0.54~0.56mW
8Hz	1%	1.3mA	2.89~2.90V	0.058mA	0.55~0.57mW

Table 4. Outdoor measurement - fluid

Frequency	Duty-Rate	Intensity	Sensor voltage	Sensor current	Power Con
8Hz	1%	0.1mA	1.61~1.62V	0.032mA	0.51~0.52mW
8Hz	1%	0.2mA	1.70~1.71V	0.034mA	0.49~0.55mW
8Hz	1%	0.3mA	1.80~1.81V	0.036mA	0.51~0.53mW
8Hz	1%	0.4mA	1.90~1.91V	0.038mA	0.51~0.53mW
8Hz	1%	0.5mA	1.99~2.01V	0.04mA	0.52~0.53mW
8Hz	1%	0.6mA	2.11~2.12V	0.042mA	0.52~0.54mW
8Hz	1%	0.7mA	2.16~2.17V	0.043mA	0.53~0.55mW
8Hz	1%	0.8mA	2.26~2.27V	0.045mA	0.53~0.54mW
8Hz	1%	0.9mA	2.38~2.39V	0.047mA	0.53~0.55mW
8Hz	1%	1.0mA	2.46~2.47V	0.049mA	0.53~0.56mW
8Hz	1%	1.1mA	2.50~2.52V	0.05mA	0.54~0.55mW
8Hz	1%	1.2mA	2.74~2.75V	0.055mA	0.54~0.56mW
8Hz	1%	1.3mA	2.89~2.90V	0.058mA	0.55~0.57mW

Table 5. Outdoor measurement - bubble

Frequency	Duty-Rate	Intensity	Sensor voltage	Sensor current	Power Con
8Hz	1%	0.1mA	1.062V	0.021mA	0.51~0.52mW
8Hz	1%	0.2mA	1.10V	0.022mA	0.52~0.54mW
8Hz	1%	0.3mA	1.15~1.16V	0.023mA	0.52~0.55mW
8Hz	1%	0.4mA	1.21~1.22V	0.024mA	0.52~0.55mW
8Hz	1%	0.5mA	1.27~1.28V	0.026mA	0.53~0.55mW
8Hz	1%	0.6mA	1.34V	0.027mA	0.53~0.55mW
8Hz	1%	0.7mA	1.40V	0.028mA	0.53~0.56mW
8Hz	1%	0.8mA	1.46V	0.029mA	0.54~0.56mW
8Hz	1%	0.9mA	1.52~1.52V	0.030mA	0.54~0.57mW
8Hz	1%	1.0mA	1.58~1.59V	0.032mA	0.53~0.55mW
8Hz	1%	1.1mA	1.65V	0.033mA	0.54~0.55mW
8Hz	1%	1.2mA	1.71V	0.034mA	0.54~0.55mW
8Hz	1%	1.3mA	1.77~1.78V	0.035mA	0.55~0.58mW

위 실험 결과에 따라 8Hz, 1% duty rate 이상일 경우 센싱

이 감지 되었으며, 8Hz, 1%, 0.1mA일 경우 최적의 전력 소모량으로 센싱됨이 측정 되었다.

4. Alarm method after bubble detection

기포감지 후 스마트폰 또는 서버로 전송하여 Fig. 8와 같이 알람 시스템을 구성할 수 있다.

전송 방법은 아래와 같다.

기포 감지

블루투스, WIFI를 이용 게이트웨이 또는 CDMA를 통해 서버로 전송

전송된 데이터는 저장하고, 이를 즉각 담당자에게 전송 후 알람 발생

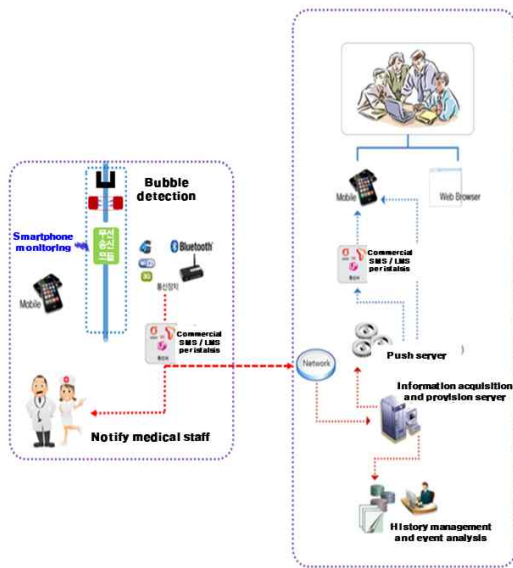


Fig. 8. How to send an alarm to medical staff after bubble detection

V. Conclusions

본 연구는 기포의 감지를 통해 의료 사고의 가능성을 감소시켜, 수술, 진료의 효율성을 높이고, 의료사고를 초기에 방지할 수 있도록 해주어 병원에서 광범위하게 사용 할 수 있도록 하였다. 정확한 기포 감지를 위해서 적절한 흡수 Spectrum을 갖는 IR센서를 선정하고, 적외선의 굴절,반사,산란 특성 변화를 복합적으로 측정하여, 기포와 수액을 신뢰성있게 구분할 수 있는 최적의 배치 디자인 개발과 One Touch로 수액 라인과 체결될 수 있는 Clamping 구조로 수액 라인에 맞는 Clamping 방법 및 최적의 광 구조를 설계하였다. 또한 다양한 종류의 액체(수액·마취액·혈액 등)에서 다양한 사이즈의 기포를 감지할 수 있는 측정 알고리즘을 개발하였고, 수액의 평균 이동속도를 고려하여 적외선 발광부의 Pulse Frequency, Duty, Duration 결정 및 저전력회로 등 최적의 측정 알고리즘 개발을 통해 최적

의 기포 감지를 할 수 있도록 하였다. 또한 기포 유무를 감지하여 이에 대한 정보를 송출하는 알림수단을 포함하며, 통신수단에 의해 의료진, 보호자 등 설정된 사용자 단말기로 이러한 정보를 전송할 수 있어 수액 주입 상태와 정보를 실시간으로 모니터링 할 수 있는 장점이 있다. 특히 이 기포 감지 방법은 병원뿐만 아니라 액체가 흐르는 튜브나 관속의 기포를 감지할 필요가 있는 다양한 산업 분야에서 활용할 수 있다. 자동차나 기타 장비등 연료 속에 기포가 들어갈 경우에 효율이 떨어지거나 엔진이 손상될 수 있으나 본 감지 방법을 통해 이를 개선할 수 있을 것이다. 향후 기포 발생 상황을 사용자가 확인할 수 있는 앱 개발과, 감지된 기포를 제거하는 기포 제거에 대한 연구가 필요하다.

REFERENCES

- [1] Jin Nam Kim, Won Tae Kwon, Kanghee Lee “Automatic Flow Control and Network Monitoring of IV Injection” The Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers Vol. 21 No.1 pp.161~166, 2012.
- [2] Uslusoy E, Mete S. Predisposing factors to phlebitis in patients with peripheral intravenous catheters: a descriptive study. Journal of American Academy of Nurse Practitioners. pp172-180. 2008.
- [3] Wei Q. Lee J. H., Seong K. W. Kim M. N. Cho J. H. “The design of a wireless flexible capacitive sensor detection system to detect liquid level in plastic bag intravenous drip sets,” Biomedical Engineering Letters, 2011.
- [4] Korea Industry and Technology Vision 2020 = The next big thing! : General remarks vol.1 2011.
- [5] A Study on the Strengthening of Manufacturing Competitiveness Using Internet of Things, Ministry of Trade, Industry and Energy, 2014.
- [6] Studies on Effective Fluid Monitoring Terminal design with the Use of location-based service, Journal of the KIECS. pp. 421-426, 2016.
- [7] Global Data, Infusion Systems-Global Pipeline Analysis, Competitive Landscape and Market Forecasts to 2017.
- [8] Research to develop the guidelines for the evaluation & approval of medical devices: 8 items such as intravascular administration set, surgical drape, etc. National Institute of Food and Drug Safety Evaluation, 2011.
- [11] Jung Hoon Ro; Gyo-won Shin; Sang Guen Lee; Beong-Ik Hur. “Development of fluid infusion pump tester using drip sensor” Journal of Pusan national university hospital 33 pp399-416 2013.
- [12] Je-Ho Song, In-Sang Lee, You-Yub Lee. “Ringer's

solution detector and transceiver design for efficient manage of patient”, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society Vol. 17, No. 9 pp45-50, 2016

- [13] Jin Nam Kim, Won Tae Kwon, Kanghee Lee. “Automatic Flow Control and Network Monitoring of IV Injection”. Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers Vol.21 No.1 pp161~166, 2012.
- [14] H. S. Park, J. H. Kim, WEICHIN, J. H. Lee, K. Y. Seong, J. H. Jo. “Optical Sensor for Intravenous Solution Exhaustion Detecting”. The Journal of the Rehabilitation Engineering And Assistive Technology Society of Korea, pp322-325. 2014.

Authors



Young Gi Yun received the B.S. degree in Electrical engineering from Gwang-Ju University, Korea in 1992. The M. S. degree in Computer science & Engineering from Kongju National University, in 2015 He is currently teaching at the University and the head of the company. He is interested in Information Management and Cloud computing and Internet of Thinks.



Hoo Young Lee received the B.S. degree in Computer Science from WooSong University, Korea in 2002. The M. S. degree in Computer science & Engineering from Kongju National University, in 2017 He is currently preparing his Ph.D. in Big Data, IoT, and Artificial Intelligence at Kongju National University.



Koo Rack Park received the B.S. degree in Electrical engineering from chung-ang university, Korea in 1986. the M. S. degree in Computer science from soongsill university, in 1988. and Ph. D degree in Science Compute from kyonggi University in 2000. Dr. Park joined the faculty of the Department of Computer Science & Engineering at Kongju National university, Kongju, Korea, in 1991. he is currently a Professor in the Department of Computer Science & Engineering, Kongju National University. He is interested in Information and Communication and Management information and e-commerce