

## 혈류지수를 이용한 비침습적 대뇌혈류증가 장치의 구현

권성태<sup>1</sup> · 이진<sup>2\*</sup> · 김영길<sup>3</sup>

### Implementation of Non-Invasive Cerebral blood Increasing Platform using PI

Seong-tae Kwon<sup>1</sup> · Jean Lee<sup>2\*</sup> · Young-kil Kim<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Electronic Engineering, Ajou University, Suwon 16499, Korea

<sup>2\*</sup>Department of Electronic Engineering, Ajou University, Suwon 16499, Korea

<sup>3</sup>Department of Electronic Engineering, Ajou University, Suwon 16499, Korea

#### 요 약

대뇌혈류증가 치료는 뇌경색에 가장 중요한 치료방법중 하나이다. 기존의 대뇌혈류증가 치료가 침습적으로 행해 저음에 따라 다수의 합병증을 유발할 수 있다는 문제점이 제기되고 있다. 따라서 이러한 문제점을 보완하기 위해 최근에는 비침습적 대뇌혈류증가 장치가 등장하였다. 하지만 현재 구현된 비침습적 대뇌혈류증가 장치는 속도와 정확성이 떨어지는 문제점이 제기되고 있다. 본 논문에서는 기존의 구현된 비침습적 대뇌혈류증가 장치의 단점을 보완하고자 다른 방식으로 시스템을 구현하여 대뇌 부위로 가는 혈류량을 우회적으로 증가시켜 최종대뇌 손상부위를 최소화 하는 것으로 목표로 한다. 본 논문에서 구현한 시스템은 사지압박을 진행함과 동시에 사지의 혈류지수를 측정하여 혈류지수가 일정 수치 이하로 떨어지는 압력을 찾아 사지압박을 통해 대뇌부위로 가는 혈류량을 우회적으로 증가시켜 혈류증강 치료를 실시한다. 이는 기존의 침습적 대뇌혈류증가 치료와 비교하여 합병증의 우려가 없고, 최종실험 결과 혈류량을 20% 이상 증가시키기에 환자에게 선택적으로 사용될 수 있다.

#### ABSTRACT

Treatment for cerebral blood flows is one of the most important treatments for cerebral infarction. There is a concern that the increasing number of cerebral blood flow treatments can cause multiple complications as it is invasive. To compensate for these problems, recently non-invasive cerebral blood flow increases have emerged. However, the current implementation of the non-invasive cerebral blood flow sensor raises the question of speed and accuracy. In this theses, the system aims to minimize the final cortical damage to the cerebrum by implementing a system in a completely different manner to complement the disadvantages of the existing non-invasive cerebral blood flow device. The system measure the PI of the limbs while simultaneously pressing limbs. Blood flow rate is carried out indirectly by increasing blood flow to peer pressure through the limbs in which the PI eips below a certain level. This can be used selectively in patients to increase blood flow.

**키워드** : 혈류지수, 대뇌혈류, 뇌경색, 비침습적

**Key word** : PI, Blood flow rate, Cerebral infarction, Non-invasive

Received 30 May 2017, Revised 12 June 2017, Accepted 18 July 2017

\* Corresponding Author Jean Lee(E-mail:leejean2012@ajou.ac.kr, Tel:82-31-219-2378)

Department of Electronic Engineering, Ajou University, Suwon 16499, Korea

Open Access <https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.9.1761>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서론

인구의 노령화와 더불어 그 중요성이 커지는 질환 중 하나인 뇌졸중(Stroke)의 원인은 80% 정도가 대뇌혈류, 즉 뇌로 흐르는 혈류량 즉 대뇌혈류량(Cerebral Blood Flow)이 줄어드는 것이 원인으로 거론되고 있다. 이러한 뇌졸중의 가장 대표적인 예방법과 치료법중 하나가 대뇌혈류를 증가시키는 것이다. 특히 허혈성 뇌출혈(Ischemic Stroke) 같은 증상에서는 손상된 대뇌 부위(Stroke size)가 시간이 지날수록 확대되기 때문에 빠른 시간 안에 대뇌로 가는 혈류를 증가시켜 주어야 한다[1].

현재 이러한 혈류 증가 방법으로 사용되는 것에는 약물에 의한 방법과 수술적인 방법[2] 그리고 NeuroFlo[3]와 같은 방법 등이 있다. 하지만 기존의 대뇌 혈류 증강 방식은 약물에 의한 치료방법과 수술적인 치료 또는 침습적인(Invasive) 방법으로 행해져 왔기 때문에 다수의 합병증을 유발한다는 문제점이 지적되었다[4]. 또한 이러한 방법들은 환자에게 큰 부담이 될 수 있다. 이와 관련하여 현재 아주대학교 병원의 홍지만 박사에 의해 출원된 특허가 등록 되어 있다. 다음은 특허의 요약이다.

출원번호 : 10-2013-0046870

등록번호: 1014569380000

발명자 : 홍지만

요약 : 본 발명은 환자의 각 사지 혈압을 정확하게 측정하여 측정된 혈압을 기준으로 사용자가 원하는 설정으로 사지압박을 실시, 사지로 가는 혈류를 막아 우회적으로 대뇌 관류를 증가시키는 것을 특징으로 하는, 비침습적 대뇌 관류 증강 장치를 제공한다[5].

그림1은 대뇌혈류증가 장치를 도식화한 그림이다. 등록된 특허의 요구조건으로는 정확한 혈압측정, 측정시간의 단축 그리고 압력제어로 인한 대뇌 혈류량의 증가이다.

기존에 구현된 비침습적 대뇌 혈류 증가장치는 환자의 사지 평균동맥압을 측정하여 평균동맥압 만큼의 사지압박을 통해 대뇌 혈류를 우회증가 시키는 방법으로 구현되었다. 하지만 기존에 구현된 장치의 혈압 측정속도는 특허에서 요구하는 짧은 혈압측정시간을 충족하기에 어려움이 있었다.

따라서 본 논문에서는 기존의 혈압측정을 이용한 방법이 아닌 혈류지수를 이용한 비침습적 대뇌 혈류 증가장치를 구현함으로써 기존의 측정시간의 문제점을 보완하여 사지압박을 실시하는 system을 구현하였다.

구현한 system은 사지의 커프를 착용하고 압력을 서서히 가함과 동시에 양팔에 혈류지수를 측정한다. 커프 내부의 압력이 증가함에 따라 압박에 의해 양 팔의 혈류지수는 점점 감소하게 된다. 이 때 혈류지수가 5% 이하로 감소하게 될 때 가압을 중지하고 해당압력으로 사지압박을 실시하여 대뇌혈류량을 우회적으로 증가시킨다. 이와 같이 대뇌혈류증가 치료를 할 경우 기존의 구현되었던 대뇌혈류증가 장치의 측정 속도와 비교하여 약 4배 빠르게 측정이 가능하며 정확도면에서도 매우 유리하다. 정확도가 높아진 만큼 최종목표인 대뇌혈류의 증가량도 기존의 system과 비교하여 더 높아지게 된다.

## II. 관련 연구

### 2.1. 뇌경색의 예후 및 치료

뇌경색은 혈전이나 색전등으로 뇌혈관이 막혀 혈액의 공급이 부족한 부분이 뇌 기능을 상실하는 것이다. 전체적으로 발생 환자의 18%가 수일 이내에 사망하게 되고, 9%는 후유증 없이 완전 회복이 이루어지지만, 나머지 73%의 환자들은 불완전한 회복이 이루어져 여러 가지 장애를 남기기 때문에 이들 대부분이 장기적인 전문적인 특수 관리가 필요하다[6]. 뇌경색의 일반적인 치료방법은 뇌손상의 진행을 늦추고 혈류량을 증가시키기 위한 대뇌혈류량을 증가시키기 위해 약물치료를 하거나 막힌 혈관을 중재시술로 열어주는 방법 등이 있다.

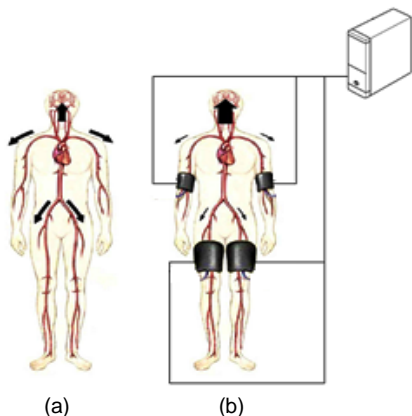


Fig. 1 Principle of cerebral perfusion

## 2.2. 대뇌혈류증가 치료

뇌경색의 원인 중 가장 많은 부분은 뇌혈류 량의 감소이다. 따라서 감소된 혈류량을 보상하기 위해서는 대뇌혈류증가 치료를 진행하여 감소된 혈류량을 보상하고 손상부위를 최소화해야 한다. 이러한 대뇌혈류증가 치료는 환자의 임상적 증상 상태와 병의 진행 정도에 따라서 치료방법을 결정하게 되는데 치료방법으로는 약물치료, 수술적 치료, NeuroFlo 와 같은 방법 등이 있다. 약물치료는 증상이 유발된 직후에 우선적으로 시행하여 증상을 완화시키고 뇌 보호를 우선적으로 하여 실시하지만 장기적으로 복용하여 효과를 기대할 수 있는 약물 치료는 아직까지는 없다. 수술적인 치료방법중 대표적인 수술은 직접혈관문합술(EIAB)와 간접혈관문합술(EDAS)가 있다.

직접혈관문합술과 간접혈관문합술은 모두 수술을 통해 혈류량을 증가시켜 뇌손상을 치료, 예방하는 치료법이다. 직접혈관문합술은 측두동맥과 중대뇌동맥을 이어주어 새로운 혈관을 우회 연결함으로써 혈류량을 증가시켜 뇌손상을 치료, 예방하는 치료법이다[7]. 간접혈관문합술은 두 개 밖의 혈관을 뇌 표면에 얹어 신생혈관이 뇌 안으로 자라게 하여 허혈이 생긴 부위에 혈류를 공급하는 수술이다[8]. 두 치료법 모두 혈류증가량이 높은 장점이 있지만 합병증의 우려가 있고 환자에게 부담을 주는 단점이 있다.

## 2.3. 기존의 구현된 대뇌혈류증가장치

기존의 구현되었던 대뇌혈류증가장치[9]는 등록된 특허에 기반을 두어 사지압박을 통한 대뇌혈류 증가치료를 실시하여 과거의 대뇌혈류증가 치료와는 달리 비침습적으로 대뇌혈류증가치료를 가능케 하였다. 구현된 장치는 혈압측정을 통해 환자의 각 사지의 평균동맥압을 정확히 측정하여 측정된 평균동맥압의 해당하는 압력으로 사지압박을 실시하는 방식으로 구현되어 있다. 기존의 구현된 system의 평균 혈류증가량은 약 20%로 의미 있게 혈류량을 증가시키지만 침습적인 대뇌혈류증가치료와 비교하여 다소 부족한 증가량이다. 하지만 비침습적으로 치료를 실시할 수 있기에 환자에게 선택적으로 사용될 수 있는 매우 큰 장점을 지니고 있다. 다음 그림 2는 기존의 구현되었던 대뇌혈류증가장치이다.

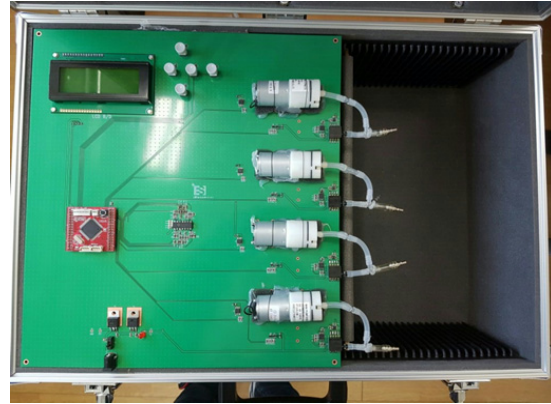


Fig. 2 System scenario

기존 대뇌혈류장치의 문제점으로 지적되었던 부분은 혈압 측정시간이다. 사지압박을 실시하기 전에 혈압을 측정하는데 소요되는 측정시간은 평균 44.2초로 특허에서 요구하는 짧은 측정시간을 충족하기에는 다소 부족한 결과를 보였다. 이는 해당연구에 개선되어야할 사항으로 언급되었다.

## 2.4. TM4C129x

TM4C129x는 Texas Instruments에서 개발한 ARM Cortex-M4 기반의 개발 Board이다. EPI, LCD, Systick Timer module 등을 포함하고 있다. 아래 그림3은 TM4C129x의 주요 스펙이다[10].

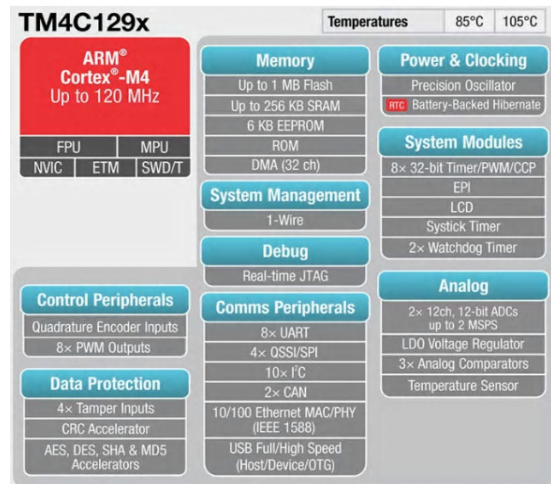


Fig. 3 Spec of MCU

### III. 제안하는 System

#### 3.1. System의 개요

제안하는 system은 사지압박을 통하여 대뇌혈류를 우회적으로 증가시키는 system이다. 환자는 사지에 커프를 착용하고 서서히 압박을 실시한다. 압박과 동시에 혈류의 흐름을 나타내는 혈류지수를 손가락부위에서 측정하게 되는데, 사지압박이 진행 될수록 혈액은 압박에 의해 사지 쪽으로 흐르지 못하게 되므로 손가락에서 측정하고 있는 혈류지수는 점점 감소하게 된다. 혈류지수가 5% 미만이 되는 순간 커프에 가압을 중지하고 해당압력으로 사지압박을 실시하여 대뇌혈류량을 증가시킨다.

기존의 구현되었던 대뇌혈류증가 장치의 경우에는 사지압박을 환자의 평균동맥압을 측정하여 측정된 평균동맥압에 해당하는 압력으로 사지압박을 진행하였다. 하지만 평균동맥압을 측정하여 사지압박을 진행하는 기존의 system의 경우 측정시간을 단축시키게 되면 정확도가 떨어지게 때문에 측정시간을 단축시키기가 어려워 특허의 요구조건인 측정 속도의 단축을 충족시키기가 힘들었다. 하지만 제안하는 system은 평균동맥압을 측정하지 않고 사지를 서서히 압박하면서 혈류지수를 측정하여 혈류지수가 5% 미만으로 감소하는 압력으로 사지압박을 진행하기 때문에 측정 속도가 기존 system과 비교하였을 때 약 4배 단축할 수 있었다. 또한 사지의 혈류지수가 감소했다는 것은 사지로 가야할 혈액이 대뇌로 흐른다는 것을 간접적으로 추론할 수 있기 때문에 대뇌혈류량이 증가하는 적절한 압력을 찾는 정확성 또한 높아졌다.

본 system은 수술적인 치료와 같은 침습적 대뇌혈류증가 치료와 비교하여 혈류 증가량이 상대적으로 부족할 수 있지만, 수술에 의한 합병증이나 약물에 의한 부작용 유발 가능성이 전혀 없다. 또한 환자에게 부담을 덜어줄 수 있으며, 휴대가 가능할 만큼 장치의 크기가 크지 않기 때문에 공간의 제약 없이 원하는 곳에서 치료가 가능한 장점이 있다.

#### 3.2. System의 동작원리

아래 그림 4는 system 동작 시나리오이다. 시스템이 동작하면서의 커프의 내부압력과 혈류지수를 그래프이다. 커프를 착용 후 사지를 서서히 압박해가면서 혈류

지수가 5% 미만이 되는 순간 pump의 가압을 중지한다. 해당 압력을 3분 동안 유지하면서 대뇌혈류증가 치료를 실시한다. 가압기 3분을 마치게 되면 커프의 내부공기를 모두 배출하고 사지압박을 중단하고 2분의 휴지기를 갖게 된다. 2분의 휴지기가 종료되면 다시 가압기 3분을 진행하면서 가압기와 휴지기를 반복적으로 실행하여 대뇌혈류증가 치료를 실시한다.

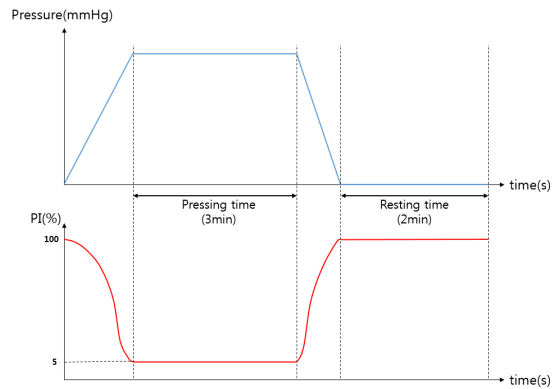


Fig. 4 System scenario

가압기의 시간설정은 임상시험 결과를 토대로 설정하였다. 임상시험 결과 사지압박을 진행 중 3분이 넘어갈 경우 대뇌혈류 증가량이 조금씩 감소됨을 확인하였다. 이는 압박이 오랫동안 지속될 경우 혈관의 직경이 증가함에 따라 사지로 흐르는 혈액량이 증가하면서 대뇌혈류 증가량이 감소한 것으로 보인다. 휴지기 없이 대뇌혈류증가 치료를 실시할 시 환자에게 고통을 수반할 수 있기 때문에 휴지기는 필수적이며 휴지기 시간을 2분으로 설정한 이유는 임상시험 결과 약 2분가량정도 휴지기를 진행할 시 혈관이 정상상태로 돌아오면서 효과적인 치료를 진행할 수 있기 때문이다.

#### 3.3. System의 구성

System은 혈류지수를 측정하기 위한 ppg sensor, 커프의 내부압력을 측정하기 위한 pressure sensor와 sensor에서 측정된 신호를 처리하기 위한 analog filter, 커프의 공기를 주입하고 배출하기 위한 pump, solenoid valve 그리고 이들을 제어하는 MCU로 구성되어 있다. 아래 그림 5는 system의 구성도이다.

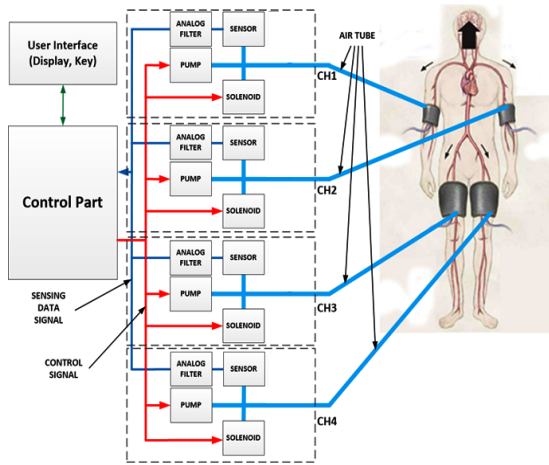


Fig. 5 System Block Diagram

본 연구를 위한 system 제작 시 analog-digital 변환 (ADC)와 디지털 필터 및 핵심 알고리즘의 프로세싱을 위해 사용된 MCU는 ARM Cortex-M4 이다. MCU 선정기준은 CPU speed 120MHz 이상, memory 256KB SRAM, 12-bit ADC를 기준으로 선정하였다. 그 외에 추가적인 기능으로 LCD module, Systick Timer를 포함한 TI 사의 tm4c129x 로 선정하였다.

커프를 가압하여 사지압박을 진행하기 위해 사용된 pump(KPM27D)는 정격전압 6V, 필요전류 220mA로 가압속도가 분당 1500cc 이며 최대압력은 90KPa로 혈압을 측정하고 사지압박을 하기 위해 충분한 스펙이다[11].

커프 내부의 공기를 배출하기 위해 사용된 solenoid valve(KSV05B)는 정격전압 6V, 필요전류 60mA로 최대 배기 속도는 50cc 탱크 기준 300mmHg에서 14mmHg까지 배기되는 수준으로 사지압박 이후에 급속배기가 가능하다[12]. 그림6은 사용된 pump와 solenoid valve의 사진이다.

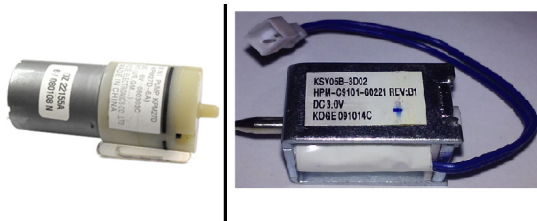


Fig. 6 Pump and Solenoid valve

커프 내부의 압력을 측정하기 위해 사용된 pressure sensor (mpxv5050gp) 는 측정 압력 범위가 최대 375mmHg로 본 system에 사용하기 적합하다[13]. 그림 7은 사용되는 pressure sensor이다.

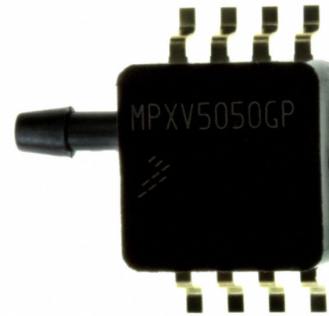


Fig. 7 Pressure sensor

커프의 내부압력을 측정하기 위해서는 맥동에 의해 발생하는 잡음을 제거해야한다. 본 system에서 잡음 제거를 위해 Low Pass Filter를 적용하여 잡음을 제거하였다. LPF는 잡음으로 작용하는 맥파 신호를 줄이되 선형 감압되는 신호에는 영향이 없게 하기 위하여 차단주파수를 1.2Hz로 1차로 설정하였다. 차단하고자 하는 대역의 주파수 성분 값을 빠르게 차단할 필요는 없기에 1차로 설계하였다[14]. 아래 그림8는 LPF의 회로이다.

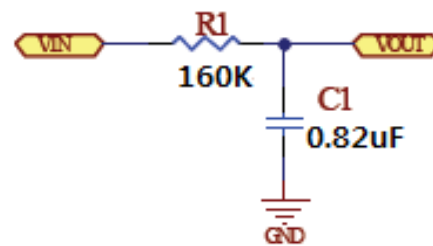


Fig. 8 Low Pass filter

환자의 혈류지수를 측정하기 위해 사용된 PPG센서는 LAXTHA사의 ubpulse320을 사용하였다. 아래 그림 9는 PPG센서 ubpulse320이다. 해당 모듈은 PPG과형, 분당 심박수, 심박시 간격, 혈류지수 측정이 가능하며 UART통신이 가능하기에 혈류지수를 측정하고 UART 통신을 통해 data를 MCU로 전송하여 본 연구의 system을 구현하기 위해 적합하다[15].



Fig. 9 PPG sensor

아래 그림 10은 system 구성도에 따라 실제 구현한 system이다. 그림에 A part 에는 pump, B part는 solenoid valve, C part는 압력센서와 analog filter를 포함한다. 제작된 Hardware에 TM4c129x를 연결하여 사용하게 된다.

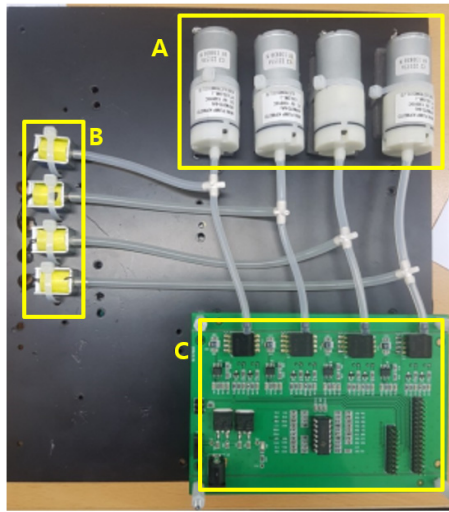


Fig. 10 Realized system

### 3.4. Pump 가압 알고리즘

커프를 pump를 이용하여 가압 시 가압속도가 너무 빠를 경우 혈류지수가 5% 미만인 되는 압력을 정확히 측정하기가 힘들다. 따라서 본 system은 정확히 혈류지수가 5% 미만인 되는 압력을 측정하기 위하여 pump의 출력을 50%로 낮추어 조금 천천히 가압하면서 측정하게 된다. 하지만 pump의 출력을 50%로 줄이게 되면

가압하는 시간이 길어지기 때문에 커프의 내부압력이 80mmHg 미만일 경우 pump를 100% 출력하여 커프를 빠르게 가압하고 80mmHg 이후부터 50% 출력하여 정확히 혈류지수가 5%가 되는 압력을 측정한다. 사람들마다 차이가 있지만 보통 사람들이 혈류지수가 5% 미만이 되는 압력은 대략 100mmHg 이기 때문에 초반에 가압하는 시점의 혈류지수 측정은 무의미하여 80mmHg 전까지는 pump를 최대 출력한 후 커프 내부의 압력 80mmHg 이후부터 pump를 50% 출력하여 혈류지수를 측정하게 된다. 다음 그림 11은 시간의 따른 커프의 내부압력의 변화를 그래프로 나타내었다.

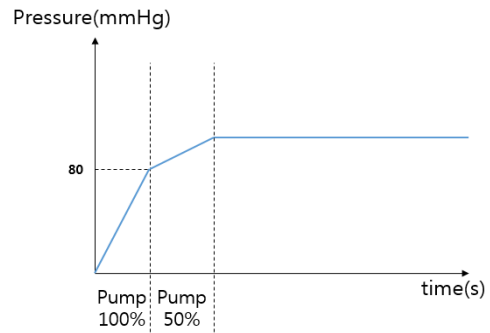


Fig. 11 Graph of pressure according to time

이와 같이 사지압박을 진행할 경우 사지압박을 하기 위한 적절한 압력을 찾는 데까지의 시간은 평균 10초 정도 소요된다. 이는 특허의 요구조건인 측정시간의 단축을 충족시키는 시간이다. 기존의 구현되었던 대뇌혈류증가 장치의 측정시간 평균 25초와 비교하여 대폭 감소한 것을 확인할 수 있다[16].

## IV. 실험결과 및 분석

### 4.1. 측정시간 실험결과 및 분석

기존의 구현되었던 대뇌혈류증가장치의 문제점은 등록된 특허에서 요구한 짧은 20초 이내의 측정시간의 조건을 충족하지 못하고 다소 긴 측정시간이 소요되었다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 새로운 방법을 제안하여 기존에 구현되었던 혈류 증가 장치의 측정시간을 대폭 단축시키는 혈류 증가 장치를 구현하였다.

본 실험에서는 구현한 혈류 증가 장치의 사지 압박을 하기 전까지의 측정시간을 측정하는 실험을 통하여 기존의 구현되었던 혈류 증가 장치와 비교하여 어느 정도의 시간이 단축되었는지 확인하기 위해 실시하였다. 실험은 정상지원자 5명을 대상으로 장치를 작동하고 측정이 완료되어 사지압박을 시작하기 전까지 시간을 측정하는 방식으로 실험을 진행하였다. 아래 표1은 측정시간 실험 결과이다.

**Table. 1** Measuring time experiment result

Measuring time (s)		
No	Existing implementation System	System
1	41	15
2	48	9
3	42	12
4	51	11
5	40	12
Average	44.2	11.8

실험 측정결과 피험자에 따라 조금씩 차이가 있지만 대체로 편차가 적은 실험 결과를 확인할 수 있었다. 근육량이 많은 남성의 경우 측정시간이 조금 더 오래 걸리는 것으로 확인 되었으며 이는 근육량이 많아 커프가 사지를 압박하는 데 시간이 조금 더 걸리는 것으로 판단된다. 5명의 평균 측정시간은 11.8초로 기존의 구현된 대뇌혈류증가 장치의 평균 측정시간인 44.2초보다 약 4배의 측정시간을 단축함을 확인하였다. 기존 대뇌혈류증가 장치의 문제점인 긴 측정시간을 대폭 단축시켜 특허의 요구조건인 빠른 측정 속도를 충족함을 확인 하였다.

**4.2. 대뇌혈류 증가 실험결과 및 분석**

구현한 system의 목표는 등록된 특허를 기반으로 하여 비침습적으로 대뇌혈류증가 시키는 것이다. 구현한 system을 이용해 사지압박 치료를 진행할 때 실제 뇌의 혈류가 증가하는지를 검증하기 위해 아주대병원 신경외과의 도움을 받아 10명의 피험자를 대상으로 대뇌혈류증가 실험을 실시하였다.

실험진행은 TCD (Transcranial doppler) 검사 장비를 이용하여 피험자 양쪽의 중대뇌동맥의 혈류 속도를 측정하였다. 혈관 직경이 일정한 경우 대뇌로 가는 혈류

의 혈류속도가 증가하면 혈류량이 증가했음을 간접적으로 추론할 수 있다. TCD검사는 측두골에 초음파를 통과시켜 두 개 내 혈류 속도와 혈류역학을 실시간으로 알아 볼 수 있는 검사이다. 측정에 사용한 장비는 PIONEER 사의 TC8080이라는 장비를 이용하였다. 그림12는 TC8080 장비이다.



**Fig. 12** TC 8080

실험 진행은 피험자의 양쪽 중대뇌동맥에 PROBE를 착용하고 정상 상태(base line)에 피험자의 혈류속도를 측정한다. 그림 13은 피험자가 TCD장비의 PROBE를 착용한 모습이다.



**Fig. 13** TCD PROBE

피험자의 정상상태의 혈류속도가 안정화 되어 baseline 측정이 완료되면 system을 동작시켜 사지압박 치료를 진행한다. 사지압박 진행중 피험자의 혈류속도를 측정하여 baseline 과 비교하여 혈류증가가 얼마나 이루어지는지 확인하였다. 그림 14는 TCD장비의 display 화면이다. 두 번째 초록색 그래프는 대뇌혈류속도를 나타낸다. 그래프에서 확인할 수 있듯이 사지압박을 시작한 시점부터 혈류속도가 증가하여 baseline 대비 대뇌혈류량이 증가한 것을 확인할 수 있다.

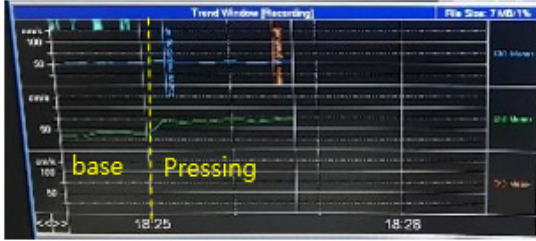


Fig. 14 TCD display result

정확한 혈류증가량을 확인하기 위해 피험자 10명의 정상상태(baseline)의 평균혈류속도와 사지압박중의 평균혈류속도를 표로 정리하였다. 다음 표 2는 10명의 피험자의 대뇌혈류증가 실험결과이다. 실험은 피험자의 좌뇌 혈류속도와 우뇌 혈류속도를 각각 측정하였기 때문에 표 1의 결과에서 left, right는 각각 좌뇌 혈류속도와 우뇌 혈류속도를 뜻한다.

Table. 2 Increasing amount of cerebral blood flow

		blood flow rate (Cm/s)		
No		base	pressed	rate of increase
1	left	57	71	125%
	right	53	64	121%
2	left	38	53	139%
	right	41	55	134%
3	left	57	69	121%
	right	43	54	126%
4	left	49	57	116%
	right	61	40	114%
5	left	53	64	121%
	right	56	73	130%
6	left	38	46	121%
	right	39	67	172%
7	left	37	46	124%
	right	54	67	124%
8	left	40	46	115%
	right	42	52	124%
9	left	39	45	115%
	right	46	57	124%
10	left	29	36	124%
	right	33	40	121%
Average		45.25	56.6	125%

실험 결과 피험자에 따라 결과의 차이가 있지만 10명의 피험자 평균 정상상태와 비교하여 대뇌혈류량이

25% 증가한 것을 확인할 수 있다. 가장 적게 혈류증가가 된 피험자는 실험결과는 14% 증가로 가장 많이 혈류증가가 이루어진 피험자 72%와 비교하여 비교적 많은 차이를 보인다. 이는 환자의 근육 량, 혈압, 혈관확장정도 등의 영향을 받아 이와 같은 큰 편차를 보이는 것으로 판단된다. 10명의 피험자 평균 혈류증가량은 기존의 구현되었던 대뇌혈류증가 장치의 혈류증가량인 20%보다 약 5%의 증가한 결과를 보였다. 피험자의 몸 상태에 따라 혈류증가량의 어느 정도의 차이는 있지만 피험자의 혈류증가실험을 통해 10명의 피험자의 혈류증가량을 평균 내어 구현한 대뇌혈류증가장치를 통해 환자들 대상으로 대뇌혈류증가량을 평균 25%의 효과를 기대할 수 있을 것으로 확인된다. 해당 실험 결과는 소폭이지만 혈류증가량이 기존의 system보다 개선됨을 확인할 수 있다.

이는 수술적인 치료의 혈류증가량과 비교하여 상대적으로 부족한 증가수치이지만 환자의 대뇌혈류량을 비침습적으로 의미 있게 증가시키는 것을 확인할 수 있다. 해당 실험결과는 처음 기대했던 대뇌혈류증가량인 30%에는 약간 부족한 실험 결과를 보였는데 이는 실험도중 환자의 사지를 압박하는 커프가 확실하게 사지를 압박하지 못한 것으로 판단된다. 커프를 좀 더 개량하여 다시 실험할 경우 기대했던 대뇌혈류증가량인 30% 이상의 효과의 결과를 낼 것으로 보인다.

## V. 결 론

본 논문은 기존의 출원된 특허를 기반을 두어 system을 제안하고 구현하였다. 기존의 구현되었던 대뇌혈류증가 장치는 특허의 요구조건인 빠른 측정시간을 충족하지 못하였다. 이에 본 논문에서는 기존의 대뇌혈류증가 장치의 단점을 보완하고 특허의 요구조건을 충족하는 대뇌혈류증가 장치를 새로운 방법으로 재구성하여 구현하였다. 제안하는 비침습적 대뇌혈류증가 장치를 이용하여 혈류증가량 실험결과 대뇌혈류량이 25% 상승함을 확인하였다. 기존의 침습적인 대뇌혈류증가 치료의 혈류증가량이 60%와 비교하여 대뇌혈류증가량이 다소 부족할 수 있지만 합병증, 약물 부작용의 우려가 전혀 없고 환자의 부담을 주지 않으며 대뇌혈류량이 의미 있게 증가함을 확인하였다. 또한 구현된 system이



휴대가 가능할 정도의 크기이므로 휴대가 가능하여 공간의 제약 없이 치료를 실시할 수 있다. 기존에 구현되었던 대뇌혈류증가 장치와 비교하여 측정시간이 약 2배 이상 단축되었으며 대뇌혈류증가량도 상승하였다.

현재 구현된 system은 기대했던 혈류증가량 30% 보다는 약간 부족한 25% 정도의 대뇌혈류가 증가됨을 확인하였다. 이는 사지압박을 위해 사용되는 커프를 기존의 혈압측정용 커프를 개조하여 사용함으로 인해 체형에 따라 혈류 증가량이 떨어지는 현상이 발생된 것으로 판단된다. 커프를 개량할 경우 기대했던 30% 이상의 대뇌혈류증가가 이루어질 것을 예상한다.

### ACKNOWLEDGMENTS

This study is as study made by the support of Ajou University research Year 2017, thanks to the university headquarters.

### REFERENCES

- [ 1 ] J. W. Kim, "The Effects of Acupuncture at the Wijung (BL40) and Chok-Samni(ST36) on the Cerebral Blood Flow and Blood Pressure," M.S. thesis, Donsin University, Junlanam-do, 2014.
- [ 2 ] J. D. Yu, S. I. Lee, S. J. Oh and K. Y. Sim, "Histologic Study on Sleeve Microvascular Anastomosis," *The Korean Society of Plastic and Reconstructive Surgeons*, vol. 10, no.2, pp.141-150, Apr. 1983.
- [ 3 ] NeuroFlo. [internet]. Available: <http://www.medscape.com/viewarticle/776830>.
- [ 4 ] D. S. Kim, D. S. Yoo and P. W Huh, "The recent trend of the surgical treatment for pediatric as well as adult onset moyamoya disease," *Journal of Korean Neurosurgical Society*, vol.30, no.11, pp. 800-804, Sep. 2001.
- [ 5 ] J. M. Hong et al, Noninvasive cerebral perfusion enhancing device, KR patent 10-1456938, Ajou University, Suwon, 2013.
- [ 6 ] M. S. Park, "Presence of asymptomatic lacune predicts neurologic deterioration after acute cerebral infarction," M.S. thesis, Jungang University, Seoul, 2016.
- [ 7 ] J. H. Ahn, "Quantitative Analysis of Gasal Moyamoya Vessels after Bypass Surgery in Adult Moyamoya Diseases," M.S. thesis, Seoul university, Seoul, 2014.
- [ 8 ] Y. S. Song, "Assessment of the Hemodynamic changes after encephaloduroarteriosynangiosis combined wieth bifrontal encephalogaleosynangiosis in Padiatric Patients with Moyamoya Disease," Seoul, M.S. thesis, Seoul university, Seoul, 2010.
- [ 9 ] S. T. Kwon, "Implementation of Non-Invasive Cerebral Perfusion Platform," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol.21, no.5, pp. 1016-1026, May 2017.
- [10] ARM cortex-M4. [internet]. Available: <http://kr.mouser.com/new/Texas-Instruments/ti-tm4c129x-mcu/>.
- [11] KPM27D. [Internet]. Available: [http://www.yujinelectric.com/img/pdf/KPM27D\(U\).pdf](http://www.yujinelectric.com/img/pdf/KPM27D(U).pdf).
- [12] KSV05B. [internet]. Avasilable: <http://www.yujinelectric.com/img/pdf/KSV05B.pdf>.
- [13] MPXV5050gp. [Internet]. Available: <http://farnell.com/datasheets/673750.pdf>.
- [14] B. L. Lee, "Design of Motion artifacts Filter of PPG Signal based on Kalm an filter and Adaptive filter," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 18, no. 04, pp. 986-991, April 2014.
- [15] Ubpulse 320. [Internet]. Available: <http://www.laxtha.com/ProductView.asp?Model=ubpulse%20H3>.
- [16] J. K. Seo, "Study on Implementation of Cerebral Blood Flow Increasing System," Ph. D. dissertation, Ajou University, Suwon, 2017.



권성태(Seong-tae Kwon)

2012년 아주대학교 산업대학원 정보전자 석사  
 2015년 아주대학교 의용공학과 박사과정 수료  
 1900년~ 삼성전자 VD(사) 개발팀 재직  
 ※관심분야 : 임베디드 시스템, 의료용 Display



**이진(Jean Lee)**

2016년 아주대학교 전자공학과 학사  
2016~ 현재 아주대학교 전자공학과 석사과정  
※관심분야 : 임베디드 시스템, Mobile 의료정보 시스템



**김영길(Young-kil Kim)**

1978년 고려대학교 전자공학과 학사  
1980년 한국과학기술원 석사  
1984년 ENST(프랑스)박사  
1984~ 현재 아주대학교 전자공학과 교수  
※관심분야 : 임베디드 시스템, 초음파 의료기기, Mobile 의료정보 시스템, RFID Platform