

# 의료용 냉온 수치료 장치에 관한 연구

양승열\*, 함광근°, 김창근\*

## A Study on Medical Device for Cold and Hot Hydrotheraphy

Seung-Yhul Yang\*, Kwang-Keun Ham°, Chang-Keun Kim\*

### 요약

통합 냉온 수치료 장치는 펠티어 소자를 이용하여 냉온수의 온도를 제어하여 흐르게 함으로써 냉온찜질이 가능하며, 에어펌프로써 사지를 공기압박 할 수 있는 기능을 겸비한 장치이다. 이 수치료 장치의 입출력에 대한 제어 상태를 표시하기 위하여, 7" 터치형 TFT LCD를 도입하여 GUI를 설계에 반영하였다. 이 통합 냉온 수치료장치는 온도조절 범위가 5~50℃로서 P.R.I.C.E.(Protection, Rest, Ice, Compression, Elevation) 요법이 한 번에 적용될 수 있는 복합성 온열 통합치료기로서 각종 스포츠 활동, 레저 활동 등에서 발생하는 다양한 근육 활동에 대한 신속한 처치대응이 가능하다. 냉온 수치료기는 5℃ ~ 47℃에서 동작하도록 설정되며 5℃이하 및 고온범위 47℃이상에서 동작하지 않도록 제한함으로써 신체의 조직 손상을 막는 알고리즘과, 커프에 가해지는 압력은 5~180mmHg, 가압시간 1분 30초 이내, 감압 시간 10초 이내, 온도 순환주기 3 Cycle/min, 그리고 수조의 열 손실 및 보존시간을 5℃/min에 충족하도록 설계하였다. 냉각효과를 주기 위한 신체(팔, 다리)에 대한 커프를 설계 및 구현하였고, 신체를 감싼 커프를 통한 환자의 체온을 설정된 범위 내에서 냉각 및 가열이 이루어지도록 물이 채워진 커프 내를 냉수 및 온수가 흐르도록 하여 환자의 체온을 정밀하게 제어할 수 있게 하는 장치를 구현하였다.

**Key Words** : Cold & Hot, Peltier, Air Pressure, Cuff, Massage

### ABSTRACT

In this paper, we have implemented a device for treating pain, infection, swelling, and fracture of the affected part of acute chronic muscle disorder by supplying cold water and hot water to a dedicated cuff wrapping the body part at a uniform pressure. This device supplies cold water and hot water through the cuff, air and water pump for circulation of air and hot and cold water applied to the affected part, Peltier element and heat exchanger, cold water tank for circulation, hot water tank and control and a touch TFT LCD control unit for monitoring, and is constructed as a heat insulating structure for preventing heat loss and condensation. The optimal performance conditions for the maximum and minimum temperatures per unit time were tested by finding optimal pressure conditions for the human body cuff and by monitoring the skin temperature to precisely measure the temperature during cooling and warming.

◆ First Author : TongWon College, syyang@tw.ac.kr, 종신회원

° Corresponding Author : Doctor Supply Co. Ltd., signal386@doctorsupply.co.kr, 정회원

\* Korea National Sport University

논문번호 : KICS2017-01-011, Received January 10, 2017; Revised April 27, 2017; Accepted April 27, 2017

## I. 서 론

질환의 치료를 위해 현재 가장 기본적으로 얼음, 찜질팩, 습포제 등을 사용하는 냉·온 찜질 치료법의 효과는 오랫동안 인정되어 왔으나 병원용으로 시스템화된 전문 의료기기 형태의 제품이 없는 실정이다.

수입제품의 경우는 얼음을 이용한 방식의 냉찜질 전용 제품으로서 항상 얼음이 준비되어 있어야 사용이 가능하므로 환자관리와 사용에 있어 불편하며, 이는 곧 일손이 부족하고 바쁜 병원에서는 얼음을 얼리고, 담고, 다시 얼음을 반복적으로 갈아주어야 하는 반복된 작업으로 인해, 실질적으로 병원에서의 사용이 매우 불편한 현실이다.

수술 후 환부의 보호를 위해 병원에서 사용되는 기본 처치법(Sprint, Brace 등)에 방해가 되지 않도록 자동화 된 장치로서, P.R.I.C.E(Protection, Rest, Ice, Compression, Elevation) 요법이 한 번에 적용될 수 있는 펠티어 및 열교환 기술을 적용한 의료용 저온 및 온열 통합 치료기 제품 및 커프를 개발하였다.

### 1.1 근육 질환

인체 관절에서의 골절과 인대나 근육의 손상은 그 발생이 급성상황(부상 후 1~2일)과 만성 상황(부상 후 3일 이후)로 나누어 볼 수 있다.

이러한 급성상황과 만성상황에 대하여 오랜 기간 동안 수 치료를 사용해 왔으며, 대표적인 치료방법으로는 팩(Pack)등을 통한 얼음찜질(cold pack)과 온열찜질(hot pack) 방법이 이용되었다.

하지만 사용시간의 한계 및 사용 시 불편함으로 인하여 미국 일본 유럽 등을 필두로 Sleeve에 호스로 연결되어 있는 펌프로 냉수 및 온수를 주입하고 환부주위를 순환시키는 구조로 변경되고 있는 추세이며, 또



그림 1. 의료용 통합 수치료 장치의 개발도  
Fig. 1. Overview of integrated medical hydrotherapy

한 하나의 장비로 인체의 여러 부위인 팔꿈치, 손목, 발목, 허리, 어깨, 허벅지 등에 사용이 가능하도록 제작되고 있다.

### 1.2 근육 질환의 적용분야

저온 및 온열 치료용 통합 치료기 개발에 있어 근육치료의 적용분야는 정형외과 영역에서의 뻘, 염좌, 타박상, 부러진 곳의 급, 만성 근육의 치료가 필요한 영역과 각종 수술 후 발생하는 부종과 통증 예방과 치료를 위한 영역 그리고 물리치료실, 스포츠 재활치료 등 지속적인 급, 만성 근육 질환 환자를 위한 후 치료 과정에서 필수적인 의료기기로서 적용이 가능하다.

### 1.3 근육치료의 효과

온열치료나 저온치료는 관절의 동통과 강직을 줄일 수 있고 부종을 감소시키는 작용을 한다. 하지만 이런 치료는 일시적인 것이 특징이고 정규화 된 치료법이 없는 것이 단점이다. 그리고 온열치료와 저온치료에 대해서는 사람마다 그 반응이 다르다고 보고되고 있으며, 그럼에도 불구하고 온열치료는 통증을 줄이고 근육의 긴장을 푸는데 효과적이다. 히팅 패드나 핫 팩을 강직된 관절에 놓고 사용하며, 온도는 환자가 편안한 정도를 유지 하는 것이 좋다. 다른 방법으로는 따뜻한 수건을 사용하거나 따뜻한 물에 샤워하는 것도 유용하다. 저온치료는 국소적인 조직을 마비시켜 아픈 관절의 통증감지를 줄이는 효과가 있다. 재활용아이스팩이나 직접 아이스를 사용하고, 피부의 손상을 예방하기 위해 아이스나 아이스팩을 타올로 싸서 피부와 직접접촉을 피해야 한다. 과도한 저온치료는 관절이나 근육의 마비를 초래할 수 있다.

### 1.4 냉·온 치료의 온도 분류

효과적인 저온 및 온열치료를 위하여 <표 1>에서와 같이 다양한 수치료를 위한 추천온도가 제시되고 있다.

표 1. 수치료의 섭씨온도 분류[°C]  
Table 1. Celsius temperature classification of hydrotherapy

mode	Shriber	Zirslis	Priessnitz	effect
very cold	0~12	1~12	-	anesthesia
cold	12~18	12~18	18 ↓	stimulus
cool	18~26	18~26	18~23	
tepid	26~33	26~33	26~33	Calm
neutral	26~33	33~35	33~36	
warm	33~37	35~37	-	
hot	37~40	37~40	37~40	stimulus
very hot	40 ↑	40~46	40 ↑	

1.5 냉·온 치료 온도의 제한 범위

- 1) 온열치료 안전 온도 : 43~46℃
- 2) 저온치료 안전 온도 : 5~12℃  
 ※ 38 ~ 39℃ : 진정 치료 시 가장 안정된 온도
- 3) 저온범위 (Hypothermal) : 5℃ ↓ - 조직 손상
- 4) 고온범위 (Hyperthermal) : 47℃ ↑ - 조직 손상

1.6 처치 기간

근육통은 운동 중 근육이 강하게 수축할 때, 미세한 근섬유의 파열이나 경련에 의해서 유발된다. 24시간에서 48시간 후에 가장 심하며, 그 후에 점차적으로 감소하여 대부분 3~4일 후에는 증상이 완화된다.

근육통증은 초기 48시간에서 72시간 내에 얼음찜질을 하면 통증은 감소 좋아진다. 온찜질은 손상을 입은 후 24~48시간 정도 경과되어가 지난 후 부종, 출혈이 회복되고 난 다음이나, 손상이 어느 정도 회복되고 근육 기능을 회복시키기 위한 단계에서 실시하는 것이 좋다. 온찜질의 효과는 40~45℃에서 약 20~30분 지속 될 때 가장 효과적이며 30분 이상 온찜질을 받으면 화상을 입기 쉽다.

1.7 필요성 및 시스템 구현

표 2. 기존제품들의 단점 및 문제점  
 Table 2. Disadvantages and problems of existing products

Disadvantages	problem
Cold	It can not effectively cope with various musculoskeletal diseases by using heat pads.
Ice preparation	Due to the structure in which ice should be put in a separate water tank, it is inconvenient to always prepare ice,
Temperature control	Because of the lack of water temperature control function, the user does not feel comfortable in the cold because the user feels pain in the muscle
Thermal preservation	Decreased therapeutic effect due to external loss of set temperature up to skin contact
Temperature change	Sudden temperature change causes system failure
Check the water level	There is no separate level sensor, so you have to open the system and check it yourself

표 3. 주요 제조사의 성능현황  
 Table 3. Performance status of major manufacturers

Manufacturer	Temperature control	Air cuff	carry	Water level check	Temperature check
Game Ready	×	○	○	×	×
Air Cast	×	×	○	×	×
Peltier-type chiller	○	×	×	×	×
Thermotek	○	○	×	○	○
UTI Jello	×	×	×	○	○
CSZ Kool-kit	○	×	×	○	○
Integrated water treatment machine	○	○	×	○	○

1.8 개선된 통합 수치치료기

기존의 온열치료는 열을 사용하여 각종 근육질환을 치료한다는 점에서 <표 2>에서보는 바와 같이, 수치료, 전기, 적외선, 열선 등 다양한 방법이 적용된 제품이 개발되었으나 수치료 방식이 임상적으로 탁월하다는 것이 여러 본문을 통해 입증되었으며, 그 중에서도 연속 순환식 냉·온 압박 치료시스템은 가장 효과적이고 과학적인 치료효과를 보장할 것으로 판단된다.

통합 수치치료기는 질환의 종류에 따라서 냉·온찜질의 선택이 자유롭고, 환자의 상태에 따른 최적의 공압이 마사지가 되는 동시에, 다양한 근육질환과 수술 후 발생하는 각종 부종에 대해 효과적으로 치료가 가능 하다.

현재 해외에서 판매되고 있는 경쟁사의 제품들은 <표 3>와 같으며, 국내에서 시판되고 있는 제품들은 오직 냉찜질 또는 온찜질을 위한 Pack형태의 제품과 단순한 전자 온찜질, 그리고 별도로 일정한 공기의 압력을 이용하는 치료기기 만이 시장에 나와 있는 상황 이고 냉·온 찜질이 동시에 가능하며, 다양한 근육 질환과 수술 후 발생하는 각종 부종에 대해 효과적으로 치료하는 “의료용 저온 및 온열 통합 치료기”는 아직 까지 개발되지 않고 있는 실정이다.

본 논문에서 제시하는 냉온 수치료 장치는 펠티어의 히팅부와 냉각부의 열교환기로 유체가 순환 됨으로서 냉수 및 온수가 만들어 지며, 손쉬운 터치 조작 만으로 펌드의 냉온수 순환이 되어 냉온 찜질이 가능하도록 구현되었다.

냉온치료 및 공기압박이 가능한 통합 수치료기구를 구현하기 위해서 사용자 인터페이스를 위한 터치용

TFT 디스플레이, 시스템 전체를 제어하기 위한 제어 본체, 패드에 공기를 붙여 넣어 압박을 가능하도록 하는 에어펌프를 장착하고, 냉온수를 흐르게 하기위한 워터펌프, 냉온수를 담기 위한 냉온수조, 냉온수를 생성하기 위한 펠티어 열교환기 등을 구현하고 신체를 냉각하기 위한 냉·온순환용 커프를 구현하였다.

## II. 시스템 구성

통합 수치료 장치는 터치용 TFT 디스플레이, 제어 본체, 그리고 공기압박 및 냉온수 순환시스템으로서 에어펌프, 워터펌프, 냉온수조, 펠티어, 열 교환기 등이 있으며 시스템 구성도는 <그림 2>와 같다.

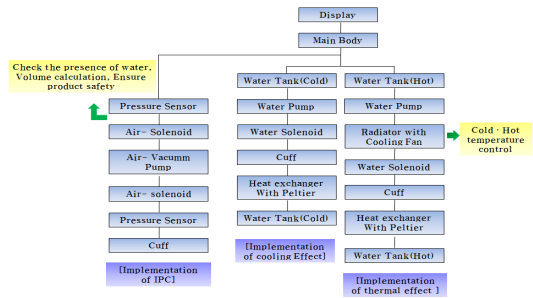


그림 2. 시스템 구성도  
Fig. 2. System configuration diagram

### 2.1 공기압박 및 냉온수 순환 시스템

냉온 수치료 장치는 얼음이 필요 없으며, 냉찜질 시 사용자의 살이 시릴 정도의 통증을 느끼는 시스템이 아닌 Mild하게 냉찜질이 유지되는 시스템으로 균일한 사지압박과 저온 및 온열 찜질이 하나의 시스템 내에서 구현된다. 이 냉온수 순환계통도는 <그림 3>과 같

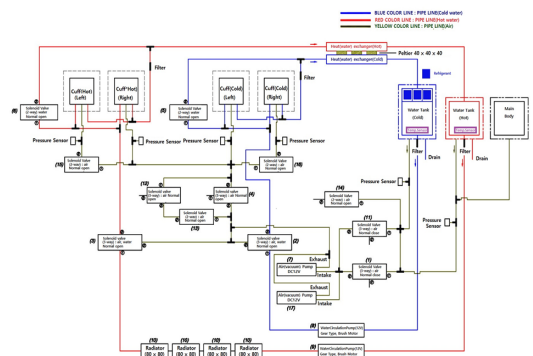


그림 3. 공기압박 및 냉·온수 순환계통도  
Fig. 3. Air compression and hot / cold circulation system

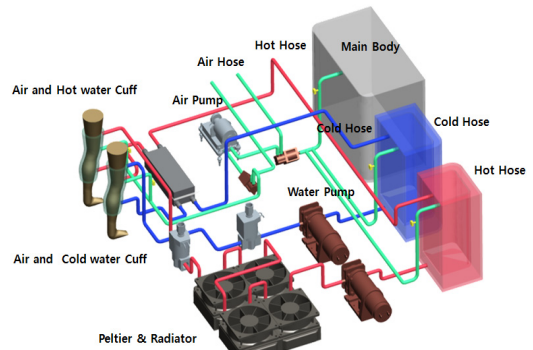


그림 4. 공기압박 및 냉온수 흐름도  
Fig. 4. Air pressure and cold / hot water flow chart

이 구성되며, 필요한 기능은 다음과 같다.

<그림 4>는 공기압박 및 냉온수 흐름도이고, 냉온수 치료 장치는 공압 및 냉·온수 순환을 위해 신체의 일부인 팔, 다리와 같은 사지에 감기는 공기마사지용 에어커프가 있으며, 커프에 공기를 주입하는 에어 펌프와, 커프의 공기 주입 및 배출을 조절하는 에어 밸브가 있다. 또한 별도의 냉, 온수용 커프는 워터펌프 및 워터밸브와 서로 연결되어 있다.

커프 내부로는 워터펌프를 통하여 냉수 및 온수가 흐르는 층으로서 감기는 부위를 마사지(냉·온 찜질)하기 위한 이격된 층으로 구성된 패드로서의 기능을 한다.

각 챔버에는 공기의 주입을 위한 커프 및 커프 외부로 냉·온수가 유입 가능한 순환용 커프가 알채형으로 각각 연결된다.

펠티어(Peltier) 소자의 특성을 이용하여 냉·온수 온도를 제어하며, 냉·온과 관련한 별도의 알루미늄 열교환기 및 별도의 커넥터를 두어 냉과 온수를 별도의 커프에 서로 다른 온도를 적용하여 동시에 냉찜질과 온찜질이 가능하게 제작되었다.

### 2.2 냉온 공급을 위한 펠티어 시스템

냉각 및 가열장치인 펠티어(Peltier)는 50W 6개를 사용하여 300W를 구현하며, TEC1-12706T125 그 사양과 특성은 <표 4>와 같다. 펠티어 구동을 위한 블록

표 4. TEC1-12706T125의 사양(Xinyu Kaimeng, in Cchina)  
Table 4. Specifications of TEC1-12706T125 (Xinyu Kai Meng, in China)

Mode Number	Couples	Vmax (V)	Imax (A)	ΔTmax (°C)	Qmax (W)	L×W×H	R(Ω)
TEC1-12706T125	127	15.2	6	67	61	40×40×3.9	2.04

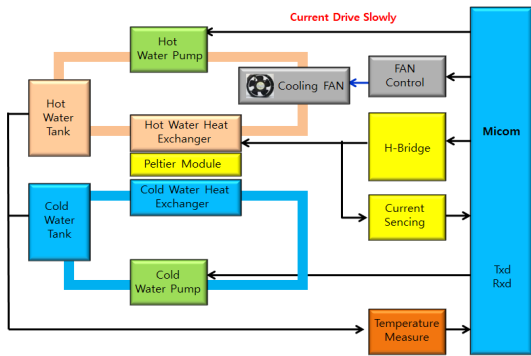


그림 5. 펠티어 블록 다이어그램  
Fig. 5. Peltier block diagram

다이어그램은 <그림 5>와 같다.

펠티어 구동은 H-bridge 회로를 구성하여 마이컴의 PWM (Pulse Width Modulation)신호로서 발열 및 냉각의 강도를 가감한다. 펠티어에 인가되는 전압은 DC 12V로서 구동하고 약 50 Watt의 전력이 소모되며, 6 개의 펠티어 소자를 PWM 신호로서 제어한다.

Cooling FAN은 라디에이터를 냉각하기위한 팬이며, 메인 보드의 제어 명령에 따라 ON, OFF가 진행된다. 본 논문에서 펠티어는 60 Watt로 전력구동 하였으므로 실제로 시스템에서 360 Watt의 전력이 소비되었다. 이 장치에서는 이 쿨링팬의 성능에 따라 냉각 및 가열의 효율이 높아진다.

2.3 냉온 수조

<그림 6>과 같이 냉·온 수조를 별도로 분리하여 사용하도록 설계하고 단열처리하여 열 손실을 감소시켰다.

사용된 수조의 용량(Water Tank Volume)은

- 1) 냉수조: 1.2L
- 2) 온수조: 1.2L로 구성된다.

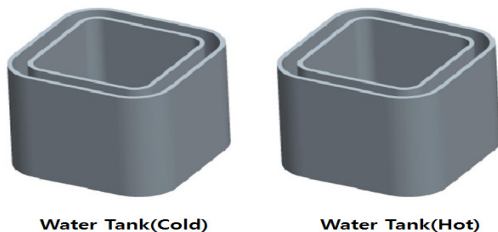


그림 6. 분리된 냉온 수조  
Fig. 6. Separate cold water tank

2.4 신체 밀착형 커프의 설계 :

<그림 9>. <그림 10>는 통합 수치로 장치와 연결된

순환 패드형 커프(Thigh, Wrist)의 구조를 나타낸다.

커프는 신체 밀착형 형태의 기능성 설계로 공기층과 물 순환층의 이중구조이다. 공기층은 압박 기능으로서 사지 압박 효과를 적용하며, 물 순환층은 냉·온수를 순환함으로 찜질의 효과를 적용하므로 환자의 치료 효과를 증대시킨다.

커프의 제작은 설계 후 다이컷팅(DieCutting) 절형 및 고주파절형을 선행 제작하였고, 최적화 된 설계에 준하여 공기층 및 물 순환층의 외관을 정해진 틀(다이컷팅 절형)에 맞춰 일정하게 컷팅한 후 봉합을 위해 고주파 용착을 하였다.

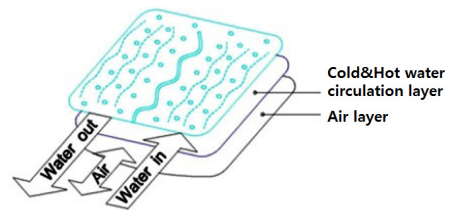
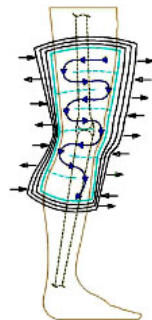


그림 7. 신체밀착형 커프(Cuff)의 단면구조  
Fig. 7. Cross-sectional structure of body-contact type cuff



통합시스템으로 냉 치료, 온열 치료, 그리고 사지압박기능을 동시에 구현한 것으로, <그림 7>와 같이 커프의 공기층과 물 순환층의 구조를 리격층을 두어 일체화하였다. 커프는 고주파 용착으로 상, 하면을 접착하였으며, 일회성의 커프 및 장기 사용자용으로 설계하였다.

그림 8. 커프의 착용도  
Fig. 8. Cuff wear

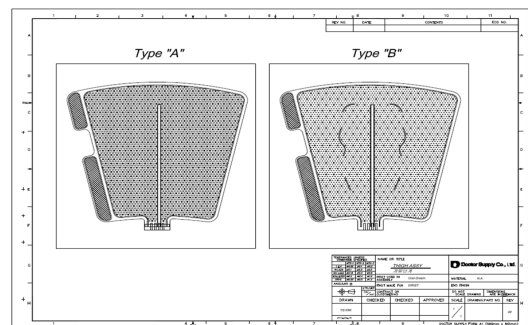


그림 9. 순환 패드 도면 Thigh  
Fig. 9. Circulation Pad Drawing Thigh

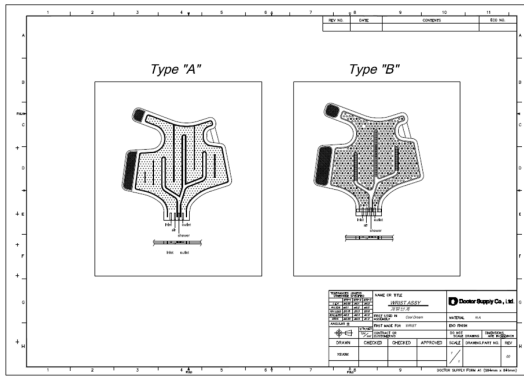


그림 10. 순환 패드 도면 Wrist  
Fig. 10. Circulation Pad Drawing Wrist

공기층과 물 순환층의 구조를 형성하기 위해서는 세 겹의 원단을 사용하며, 외관의 원단은 열손실을 최소화하기 위하여 벨크로 우레탄 원단을 적용하며, 중간층과 내측의 원단은 융착 효과 및 열 전달을 최대화하기 위하여 폴리우레탄 100% 원단을 적용하였다.

2.5 소프트웨어 알고리즘 :

장치의 모드별 기능은 <표 5>과 같이 Air Shower, Air Pressure, Air Turbo기능으로 구성되며 모드는 각 기능을 상호 조합 설정하여 사용한다.

Air Shower는 냉, 온수를 순환시키는 기능이며, Air Pressure 모드는 공압 사지압박 순환기능, Air Turbo는 에어백을 이용한 Air Pressure 보다 빠르게 순간 공기압을 인가할 수 있는 기능이다.

표 5. 모드별 기능  
Table 5. Function by mode

Mode	Function				Remarks
	poultice (Temperature)-basic	Air Shower -Select	Air Pressure -Select	Air Turbo -Select	
1	O	-	O	-	Default Mode (13℃)
2	O	O	-	-	
3	O	-	-	O	
4	O	O	O	-	
5	O	O	-	O	

<표 6>은 용도별 제어기준으로 본 세부 작동순서를 나타낸다. 주제어 요소는 다음과 같다.

- 1) 온도 설정 범위: 5~50도
- 2) 온도 설정 방법: 터치방식 LCD에서 선택 설정
- 3) 기능 설정 방법: 키패드를 눌러 선택 설정 (단, 위의 5가지 기능만 작동 제어 가능)
- 4) 찜질 기준 및 의미
  - (1) 설정온도: 5~25도 → 냉찜질(기준: 냉수조의 물 순환 사용)
  - (2) 설정온도: 26~50도 → 온찜질(기준: 온수조의 물순환 사용)
- 5) 권장 설정 온도
  - (1) 냉찜질: 12~20℃
  - (2) 온찜질: 36~44℃
- 6) 최초 제품 기본 모드(Default):  
찜질 + Air Pressure , 설정온도 13도

표 6. 용도별제어 작동방법  
Table 6. How control works by application

Mode	Main function	No	work
Start On	Air Pressure	1	Left cuff (pressure sensor 4 recognition) - 12 seconds pressure
		2	Left cuff - hold (hold function when pressure reaches the reference pressure of 12 seconds)
		3	Left cuff -48 s Vacuum pressure
		4	Right cuff (pressure sensor 5 recognition) -12 seconds pressure
		5	U-cuff-maintenance (maintenance function is performed when the pressure reaches the reference pressure of 12 seconds)
		6	Left cuff -48 s Vacuum pressure
		*	When using left + right cuff: 1-2-3-4-5-6-1-2-3-4-5-6- ...Repetitive operation
		*	When using left cuff only: 1-2-3-1-2-3- ...Repetitive operation
		*	When using only the cuff: 4-5-6-4-5-6- ...Repetitive operation
		Air Shower	1
Air Turbo	1	Airbag pressurization (pressure sensor 6 recognition)	
	2	Left cuff (pressure sensor 4 recognition) -12 seconds pressure	
	3	Left cuff - hold (hold function when pressure reaches the reference pressure of 12 seconds)	
	4	Left cuff -48 sec Decompression and airbag pressurization (Pressure sensor 6 recognition)	
	5	Airbag - Maintenance (maintenance function when the pressure reaches the reference pressure of 48 seconds)	

Mode	Main function	No	work
		6	Right cuff (pressure sensor 5 recognition) -12 seconds pressure
		7	U-cuff-maintenance (maintenance function is performed when the pressure reaches the reference pressure of 12 seconds)
		8	U-cuff -48 seconds pressure reduction and airbag pressurization (pressure sensor 6 recognition)
		9	Airbag - Maintenance (maintenance function when the pressure reaches the reference pressure of 48 seconds)
		*	When using left + right cuff at the same time :1-2-3-4-5-6-7-8-9-2-3-4-5-6-7-8-9-2-3- ...Repetitive operation
		*	When using left cuff only: 1-2-3-4-5-2-3-4-5-2-3- ...Repetitive operation
		*	When using only a cuff: 1-6-7-8-9-6-7-8-9-6-7- ...Repetitive operation
		1	Left cuff (pressure sensor 4 recognition) -12 seconds pressure
		2	Left cuff - hold (hold function when pressure reaches the reference pressure of 12 seconds)
		3	Left cuff -48 s Vacuum pressure
Air Shower + Air Pressure		4	Right cuff (pressure sensor 5 recognition) -12 seconds pressure
		5	U-cuff-maintenance (maintenance function is performed when the pressure reaches the reference pressure of 12 seconds)
		6	Left cuff -48 s Vacuum pressure
		*	When using left + right cuff: 1-2-3-4-5-6-1-2-3-4-5-6- ...Repetitive operation
		*	When using left cuff only: 1-2-3-1-2-3- ...Repetitive operation
		*	When using only the cuff: 4-5-6-4-5-6- ...Repetitive operation
		1	Airbag pressurization (pressure sensor 6 recognition)
		2	Left cuff (pressure sensor 4 recognition) -12 seconds pressure
		3	Left cuff - hold (hold function when pressure reaches the reference pressure of 12 seconds)
		4	Left cuff -48 sec Decompression and airbag pressurization (Pressure sensor 6 recognition)
Air Shower + Air Turbo		5	Airbag - Maintenance (maintenance function when the pressure reaches the reference pressure of 48 seconds)
		6	Right cuff (pressure sensor 5 recognition) -12 seconds pressure
		7	U-cuff-maintenance (maintenance function is performed when the pressure reaches the reference pressure of 12 seconds)
		8	U-cuff -48 seconds pressure reduction and airbag pressurization (pressure sensor 6 recognition)
		9	Airbag - Maintenance (maintenance function when the pressure reaches the reference pressure of 48 seconds)

Mode	Main function	No	work
		*	Left + right cuff simultaneous use: 1-2-3-4-5-6-7-8-9-2-3-4-5-6-7-8-9-2-3- ... repeated operation
		*	When using left cuff only: 1-2-3-4-5-2-3-4-5-2-3- ...Repetitive operation
		*	When using only the cuff: 1-6-7-8-9-6-7-8-9-6-7- ...Repetitive operation
Stop	Pause	1	Pause drive
Start	Restart operation	2	Returning to operating state (restart)
Vacuum release	Electric off	3	Electric off (switch-1, 2 off)
WaterD rainage	Water recovery	1	Cuff + radiator recovery
		2	Cuff + radiator recovery
		3	Cuff + peltier count
		4	Cuff + peltier count
		5	Repetitive operation: 1-2-3-4-1-2-3-4-1-2-3-4

### III. 실험 및 고찰

#### 3.1 성능 시험

구현한 통합 수치료의 성능을 평가하기 위해서 <그림 11>와 같은 성능 시험용 장비와 커프를 준비하고 수조에 각각 물을 채운 후 디버거에서 솔레노이드, 펌터어, 에어펌프, 워터펌프 등을 사용하도록 설정하여 온도범위, 설정 압력, 열 순환 주기, 가압/감압, 수조 열 손실 및 보존 시간을 측정하였다.

실험 결과는 <표 7> 평가기준을 토대로 KTR(한국 화학융합시험연구원)에 시험 의뢰하여 결과를 도출하였다.

표 7. 평가규격  
Table 7. Evaluation standard

Key performance indicators	unit	Goal of evaluation
Temperature range	℃	Min 5 Max 50
Set pressure	mmHg	Min 5 Max 180
Thermal cycle	Cycle/mm	Min 3
Pressurization / Decompression	sec	Within 1 "30" of pressure Decompression within 10 '
Tank heat loss and storage time	℃/min	5



3.1.1 온도 범위

이 실험에서는 앞에서 설명한 온열치료의 안전온도인 43~46℃와 저온치료 안전온도인 5~12℃에 마진을 두고 5~50℃에 도달할 수 있는가의 여부를 측정하였다.

(1) 자체평가

실험 전에 냉수조통에 400cc의 물을 채운다. 그리고 나서 온수조통에 800cc의 물을 채운다. 손목커피프 1개를 연결한 후, <그림 11>의 시뮬레이터를 작동시켜 펠티어, 워터펌프, 기타 액츄에이터에 전원을 공급한다.

실험실의 온도는 27.5℃이며, 동작을 위한 시작온도는 27.5℃~29.2℃를 유지하였다. 냉각실험 시 펠티어의 작동전력은 200와트이었으며, 온열발생 실험 시에도 200와트를 인가하였다.

<그림 12>는 실험 시 시뮬레이터를 구동하는 화면으로서 펠티어 및 솔레노이드 밸브를 수동으로 설정하고 장비를 작동시키는 디버거이다. 신체온도, 피부온도, 유속, 커피프압력, 수위를 표시한다. SEND 명령으로 장비를 구동, CLEAR로서 정지시킨다.

<그림 13>, <그림 14>에서 보는바와 같이 자체평가 시 200와트의 펠티어를 통해 냉각과 가열을 행하였을 때, 냉각의 경우는 약 40분 경 목표치에 도달하였으나, 가열의 경우는 43℃ 부분에서 더 이상의 가열이 불가하였다.

외부의뢰시험에서는 펠티어 전력을 모두 360와트로 상승시키고 실험을 하였고 목표치에 도달하는데 성공하였다.

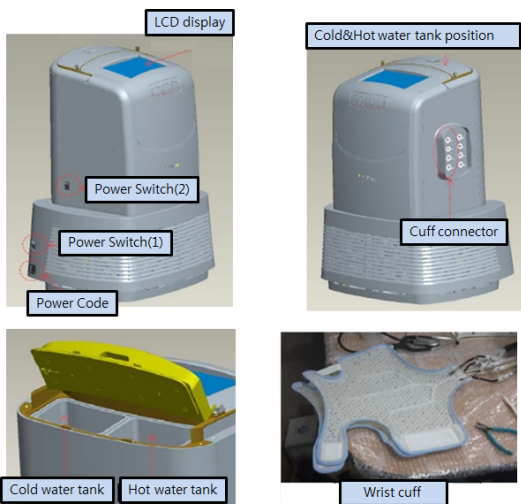


그림 11. 성능시험용 장비 및 커피프  
Fig. 11. Performance test equipment and cuff

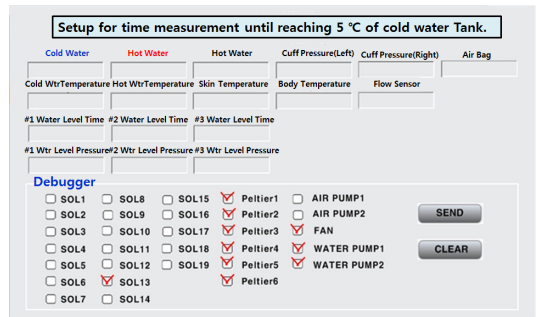


그림 12. 시뮬레이터의 액츄에이터 설정  
Fig. 12. Actuator settings in the simulator

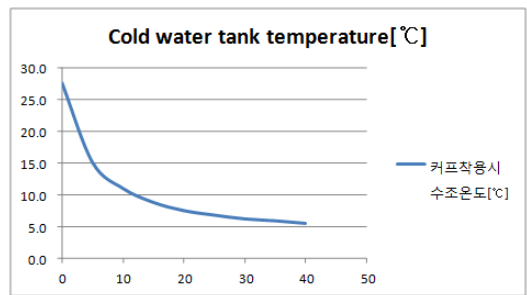


그림 13. 냉수조의 온도추이  
Fig. 13. Temperature trend of cold water tank

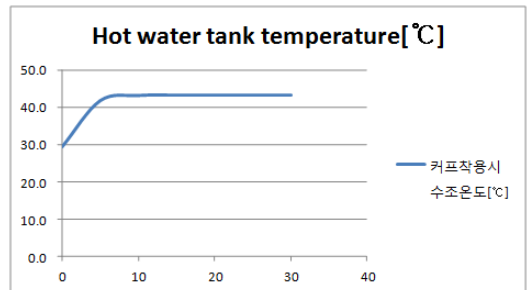


그림 14. 온수조의 온도추이  
Fig. 14. Temperature trend of hot water tank

(2) 외뢰평가

실험에 앞서 냉수조통에 200cc의 물을 채운다. 그리고 나서 온수조통에 1100cc의 물을 채운다. 손목커피프 1개를 연결한 후, <사진 1>의 시뮬레이터를 작동시켜 펠티어, 워터펌프에 전원을 공급한다. 실험실의 온도는 23~24℃이며, 동작을 위한 시작온도는 22~24℃를 유지한다. 펠티어의 작동전력은 360와트이다.

3.1.2 설정 압력

해외 및 국내 식약처 허가기준에 따르면 사지압박



순환장치(Sequential Compression Device 또는 IPC)는 200~300cc 커프에 최대 180mmHg의 압력을 적용하며 업체에 따라 300mmHg까지 공기압력이 공급 가능하도록 설계하는 것이 보통이다.

표 8. 온도범위 측정  
Table 8. Temperature range measurement

Test Items	Test criterion: Suitable when reaching the following temperature within 1 hour Measurement (a): $(5 \pm 2) ^\circ C$ Measurement (b): $(50 \pm 2) ^\circ C$ Test method: Measure the temperature in the tank using digital thermometer Measurement (a): Time measurement (5 minutes interval) until reaching the cold water bath $(5 \pm 2) ^\circ C$ Measurement (b): Time measurement until reaching the hot water tank $(50 \pm 2) ^\circ C$ (every 5 minutes) = Up to 1 hour
result	Measurement (a): After 20 minutes, it reaches $5.6 ^\circ C$ . Measurement (b): After 12 minutes, it reaches $50.5 ^\circ C$ .

표 9. 설정압력 측정  
Table 9. Set pressure measurement

Test Items	Test criterion: Compliance is met when the pressure below is reached, and whether it is within 1 minute and 30 seconds of measurement (b). Measurement (a): $(180 \pm 20) \text{ mmHg}$ Measurement (b): $(300 \pm 20) \text{ mmHg}$ Test method: Measure pressure in cuff using digital manometer Measurement (a): Pressure is applied to the cuff to check whether it reaches 180 mmHg. Measurement (b): Confirm that the cuff is pressurized to reach 300mmHg, approve it within 1 minute and 30 seconds.
result	Measurement (a): reached 180 mmHg. Measurement (b): reached 300 mmHg. Measured value 11 seconds

3.1.3 열 순환 주기

냉수조 200cc 및 온수조 1.1L의 물을 분당 455cc(1L = 1000cc)순환시키면 약 1분에 냉수조는 약 2회, 온수조는 약 1/3회가 패드를 통해 냉온수가 순환 될 수 있다.

커프용량이 140cc이므로 실제로 450cc 유속으로 냉온수가 패드를 통해 흘러도 실험을 통한 충분한 열 감을 확보하였기 때문에 이를 반영하기로 하였다.

3.1.4 가압/감압

커프에 가압 및 감압하는 시간은 신체 부위에 따라 다르지만, 일반적으로 최저 1초에서 최대 60초 구간에서 공기의 가압과 감압을 실시하도록 구성된다. 경우에 따라서는 가압 및 감압시간이 초과하는 경우도 있다.

표 10. 열순환주기 측정  
Table 10. Thermal cycle measurement

Test Items	Test criterion: Suitable for the following flow rate (amount of water) flowing in 1 minute, 450cc or more Test method: Measure the amount of circulation of water in the cuff using the flow rate (amount) Measure the number of circulation of water (Note: cuff capacity = 150cc)
result	Reference value: 450cc or more Measured value: 520cc or more

표 11. 가압/감압 측정  
Table 11. Pressure / Decompression Measurement

Test Items	Test criterion: Measurement (a): Fit when reaching $(180 \pm 20) \text{ mmHg}$ within 1 minute 30 seconds (pressurization) Measurement (b): suitable when reaching $(5 \pm 5) \text{ mmHg}$ within 10 seconds (decompression) Test method: Measuring pressurization and decompression time using stopwatch Measurement (a): Pressure is applied to the cuff $(180 \pm 20)$ to measure the time to reach mmHg. Measurement (b): Measures the time until the operation stops (after depressurization) $(5 \pm 5) \text{ mmHg}$ .
result	Measured value: Measured (a): 8 seconds Measurement (b): 5 seconds

3.1.5 수조 열 손실 및 보존 시간

장치를 끈 상태에서 냉온 수조의 온도가 분당 유지되는 정도를 측정하였으며, 관련기준은 없으며 단위시간당 열손실을 측정하였다.

표 12. 수조 열손실 및 보존시간  
Table 12. Tank heat loss and retention time

Test Items	<p>Test standard: It is suitable if the storage temperature change of water in the water tank satisfies the following values, and it is suitable to show the change within 5 °C / min after stopping the temperature range test. However, if it exceeds the allowable temperature range, it is not suitable.</p> <p>Test method: Measure the temperature in the tank using digital thermometer</p> <p>After reaching the cold water tank (5 ± 2) °C, stop the operation and measure the temperature change of the cold water tank (change measurement up to 5 minutes at intervals of 1 minute)</p> <p>Measurement of the temperature change of the hot water tank by stopping the operation after reaching the water tank (50 ± 2) °C (measurement of change up to 5 minutes in 1 minute interval)</p>
result	<p>Reference value: within 5 °C / min</p> <p>Measured value: Change in cold water tank: 0.8 °C / min</p> <p>Hot water tank: shows a change of 0.1 °C / min</p>

3.1.6 온도 피드백

이 장치에서는 <그림 15>와 같이 TFT LCD상에서 냉온동작 온도설정, 냉온수조온도, 수조온도, 피부온도, 인체온도가 표시되며 시간경과에 따른 인체온도와 피부온도의 변화추이를 저장 가능하며 모니터가 가능한 것이 특징이다.



그림 15. 온도피드백  
Fig. 15. Temperature feedback

3.2 시스템 구현

3.2.1 7" TFT LCD 디버거

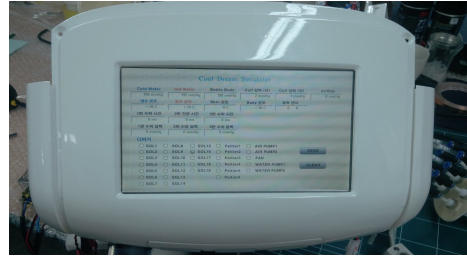


그림 16. 통합 수치료기 시뮬레이터 장착화면  
Fig. 16. Screen with integrated water treatment simulator

3.2.2 시스템 GUI



그림 17. 통합 수치료기 GUI 화면  
Fig. 17. Integrated hydrotherapy GUI screen

3.2.3 구현 된 통합 수치료 장치

<그림 16>은 성능평가용 터치 TFT LCD 시뮬레이터로서 각각의 액추에이터를 개별적으로 제어할 수 있도록 한 것이고, <그림 17>은 셋업 및 자동구동이 가능한 통합 수치료기의 GUI 화면이며, <그림 18>는 구현된 장치와 커프를 나타낸다.



그림 18. 냉온 통합 수치료 장치 및 커프  
Fig. 18. Cold and integrated water treatment devices and cuffs

#### IV. 결 론

펠티어 소자 및 열 교환기를 적용하여 물의 온도를 제어함으로써 근육 질환의 종류에 따라 최적의 치료 상태를 보장하는 저온 및 온열 통합 수치료 장치”를 개발하였다.

연속 순환식 시스템으로서 일정하고 균일한 냉온의 흐름과 온도, 공압이 보장되며, 수조 내 열손실 및 결로현상 방지를 실현하였다.

냉온 수치료기는 5℃ ~ 50℃로 구동 가능하며 컵에 가해지는 압력은 5 ~ 300mmHg, 가압시간 1분 30초 이내 (180±20)mmHg에서 가압 시간 8초, 감압시간 10초 이내에 (5±5)mmHg까지의 도달시간은 5초, 1분 동안에 열 순환 주기는 500cc, 그리고 수조의 열손실 및 보존 시간을 5℃/min를 충족시켰다.

연구자들의 개발기기는 얼음 등 부속 유체가 필요 없는 사지 압박 순환장치 기능과 접목으로 근육의 각종 “울혈성 질환”에 대한 근본적인 대처가 가능하며, DVT(심부정맥혈전증) 예방과 수술 후 발생하는 각종 부종 치료도 가능한 All in One Type의 복합형 다기능 기기로서 처치비용의 절감이 기대된다.

#### References

- [1] J. Dahl, et al., “Intermittent pneumatic compression enhances neurovascular ingrowth and tissue proliferation during connective tissue healing: A study in the rat,” *J. Orthop. Res.*, vol. 25, no. 9, pp. 1185-1192, Sept. 2007.
- [2] F. A. Barber, “A comparison of crushed ice and continuous flow cold therapy,” *Am. J. Knee Surg.*, vol. 13, no. 2, pp. 97-101, Apr. 2000.
- [3] A. S. Levy and E. Marmor, “The role of cold compression in the postoperative treatment of total knee arthroplasty,” *Marmor E. Clin. Orthop. Relat. Res.*, vol. 1, no. 297, pp. 174-178, Dec. 1993.
- [4] D. Schroder and H. H. Passler, “Combination of cold and compression after knee surgery. A prospective randomized study,” *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, vol. 2, no. 3, pp. 158-165, Sept. 1994.
- [5] Game Ready, *Clinical studies on cold and*

*compression therapy*, Aug. 2013, from <http://www.gameready.com/wp-content/uploads/2013/GR-CS-Rev0813.pdf>

#### 양 승 열 (Seung-yhul Yang)



1990년: 명지대학교 학사  
 1994년: 명지대학교 석사  
 2002년: 명지대학교 박사  
 2015년: 한국체육대학교 박사수료  
 1998년~현재: 동원대학교 교수  
 관심분야: BcN시스템 개발, 의  
 료기기개발, 운동생리학, 안티에이징 등

#### 함 광 근 (Kwang-keun Ham)



1990년: 명지대학교 학사  
 1992년: 명지대학교 석사  
 1998년: 명지대학교 박사  
 2005년~2011년: (주)메디레즈  
 대표이사  
 2012년~현재: (주)닥터서플라이  
 연구소장

관심분야: LED 조명시스템, 자동제어, 의료기기등.

#### 김 창 근 (Chang-keun Kim)



1977년: 영남대학교 학사  
 1982년: 서울대학교 석사  
 1993년: University of Copenhagen  
 박사  
 1984년~현재: 한국체육대학교  
 교수  
 관심분야: 신체활동과 골격근

대사, 환경생리학(저온 및 고지, 미세중력), 대사  
 성후군 등의 연구