

열전 냉각장치의 비만치료 적용 방법론 고찰

고윤석* · 이우철** · 김인수***

A Consideration on the Application of Thermoelectric Cooler to Obesity Therapy

Yun-Seok Ko* · Woo-Cheol Lee** · In-Soo Kim***

요약

현대인들에게 있어 지방제거는 성인병 예방 및 미용 측면에서 큰 관심사항이지만, 지방흡입술 등 수술적 방법은 치료효과가 확실한 반면, 심각한 부작용을 초래할 수 있고, 회복기간이 길다는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 현대인들의 비만 제거에 도움이 될 수 있는 비수술적 치료법들을 비교, 분석하고 최근 각광받고 있는 열전냉각 기반 치료법을 고찰한다. 그리고 최종적으로 열전냉각 비만 치료를 위한 열전냉각 기본 제어 회로를 설계한 후, 가정된 히트로드에 대해 열전냉각 장치를 설계한다.

ABSTRACT

The contemporary peoples focus on treatment of obesity in order to prevent the adult disease and to manage the beauty. Although surgical treatment of obesity shows the reliable cure effect, it could cause side effects and has a disadvantage that postoperative recovery period is long. Accordingly, this paper compares and analyzes the non-operative treatments which can be of help to treat obesity. Also, it considers the obesity therapy based on the Peltier cooling system. And finally a basic control circuit based on Peltier module is designed for Peltier cooling-based obesity therapy system.

키워드

Obesity Elimination Therapy, Peltier Cooling System, Peltier Module, Thermoelectric Cooler PWM Temperature Control
지방치료술, 펠티에 냉각 시스템, 펠티에 모듈, 열전 냉각장치, PWM 온도제어

I. 서론

식생활의 서구화로 인해 비만인구 증가 비율이 가파르게 상승하고 있고[1-2], 비만이 성인병과 밀접한 관계가 있음이 밝혀짐으로서[3-4], 현대인들에게 있어 지방제거는 성인병 예방 및 미용 측면에서 큰 관심사항이 되고 있다. 지방흡입술 등 수술적 방법은 치료효과가 가장 확실한 치료법이나 마취 부작용이나 병원성 세균 감염, 수술 후 지방흡입의 불균형으로 인한

미용 상 심각한 부작용을 초래할 수 있으며, 회복기간이 길다는 단점이 있다.

이러한 문제를 해소하기 위해 중·저주파 치료법, 고주파 치료법, 레이저 치료법 등 비 수술적 치료법이 제시되어, 안전성, 짧은 회복기간 등의 장점으로 널리 이용되고 있다. 그러나 환자마다 체질, 치료부위 그리고 지방의 축적 정도가 달라 치료효과에 대한 상당한 편차를 보이고 있어, 치료효과에 대한 신뢰성이 저하되고 있다. 이러한 문제를 해소하기 위해 이들 치료법

* 교신저자 : 남서울대학교 전자공학과(ysko@nsu.ac.kr)

** 을지대학교(wclee@eulji.ac.kr)

*** 한국전기연구원(iskim@keri.re.kr)

접수일자 : 2012. 07. 23

심사(수정)일자 : 2012. 11. 23

게재확정일자 : 2012. 12. 10

들을 조합적으로 활용하거나 복합치료 기능을 가지는 의료기기를 이용하여 비만을 치료함으로써 그 치료 효과를 극대화하고 있다. 특히, 최근, 자연적 비만 제거 치료법으로 부작용을 최소화하고 비만치료의 지속성을 개선할 수 있는 치료법으로서 펠티에 냉각 기반의 비만 치료법이 제시되고 있다. 펠티에 냉각기술은 소음, 경량, 무진동, 이동성 그리고 정밀 온도제어가 가능하고 응답속도가 빠르다는 장점 때문에 뇌 저체온 치료[5], 비만제거[6] 등 다양한 의료분야에서 적용이 시도되고 있는데, 특히 냉각 지방세포 파괴 법[6]은 비만 치료분야에서 큰 반향을 일으키고 있다.

따라서 본 연구에서는 먼저 비만증가 추세와 비만과 성인병과의 관계를 살펴본 후, 비수술적 치료법들을 비교, 분석하고 최근 각광을 받고 있는 열전냉각의 비만 치료 적용에 대해서 고찰한다. 최종적으로 열전냉각의 비만치료 적용을 위한 기반기술을 확립하기 위해 냉각 제어회로와 열전냉각장치를 설계한다.

II. 비만 증가 추세

많은 선진 산업 국가들이 비슷한 증가추세를 보이고 있지만 그 중에서도 특히, 미국은 과체중 또는 비만인 인구가 전체인구의 74.6[%]를 차지하는 세계에서 가장 높은 비만비율을 보이는 국가 중의 하나이다.

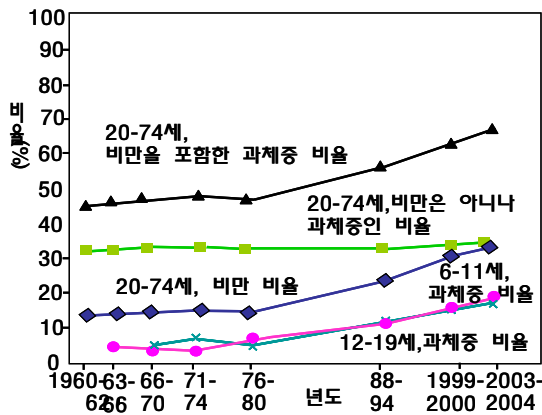


그림 1. 미국의 년도 별 비만 증가 추세
Fig. 1 Upward trend of annual obesity rate of America

미국의 비만 비율은 1997년에 19.4[%], 2004년에 24.5[%], 2007년에 26.6[%], 2008년에 성인 33.8[%], 어린이 17[%] 등 점진적 증가 추세를 보이고 있다. RTI international and CDC(Centers for Disease Control and Prevention) 연구원에 의하면, 비만의 직접 의료비용과 비만으로 인한 간접 경제손실은 1995년에 51.64조 달러, 99.2조 달러로 각각 추정되었으며, 2000년에는 61조 달러와 117조 달러로 각각 증가하였으며, 2003년에는 비만으로 인한 직접 의료비용 지출만으로 75조 달러가 지출된 것으로 추정하였다. 그림 1은 미국의 연도별 비만 증가 추세를 보인다[1].

그림 2는 OECD에 보고된 세계 주요국의 비만 비율을 보이는데, 앞에서 언급된 바와 같이 미국과 뉴질랜드가 가장 높은 비율임을 알 수 있다[2].

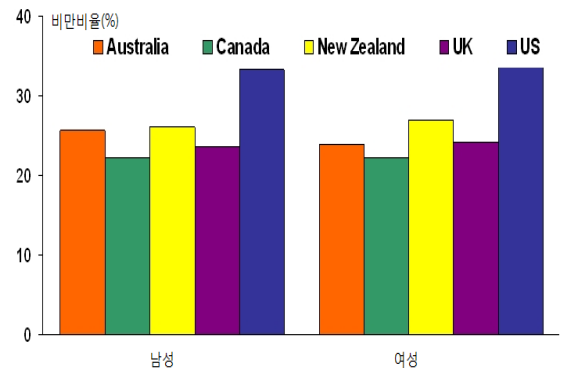


그림 2. 세계 주요국의 비만 비율(2010년 기준)
Fig. 2 The obesity rate for major countries of the world

III. 비만과 성인병과의 관계

비만과 질병과의 관계는 지금까지의 연구를 통해 매우 밀접한 관계가 있음이 이미 입증되고 있다. 일반적으로 비만과 질병과의 관계는 허리둘레와 체질량계수를 기준으로 구분할 수 있다. 그림 3은 허리둘레에 대한 심혈관질환 (CVD : Cardiovascular Disease), 심근경색(MI : Myocardial Infarction), 모든 질병 사망(ACD : All Cause Death) 등의 조정된 상대 위험도를 나타내는데, 허리둘레가 증가할수록 그 값이 증가함을 알 수 있다[3]. 여기서 상대 위험지수는 체질량 지수(BMI), 나이, 흡연, 성별, CVD 질병, DM

HDL-콜레스테롤 값 등을 고려하여 조정된 값이다. A는 허리둘레가 남성과 여성이 각각 95이하, 87이하인 경우, B는 각각 95-103, 87-98인 경우, 그리고 C는 각각 103, 98을 초과하는 경우이다.

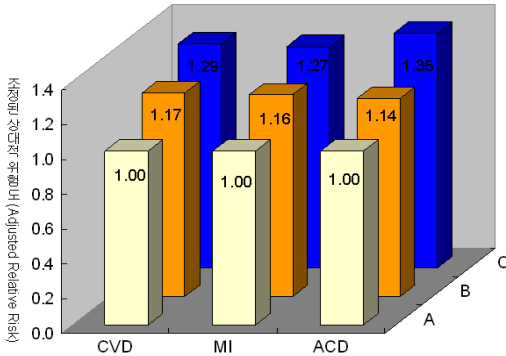


그림 3. 허리둘레와 실장혈관질환과의 관계
Fig. 3 Relationship between waist circumference and CVD(Cardiovascular Disease), MI, ACD

반면에, 그림 4[4]는 30-55세 여성에 대한 체질량 지수의 증가에 따른 2형 당뇨병(diabetes), 담석증(cholelithiasis), 관상동맥 질환 그리고 고혈압과의 관계를 보이는데, 체질량 지수의 증가에 따라 각 질병에 대한 상대 위험도가 증가함을 확인할 수 있다.

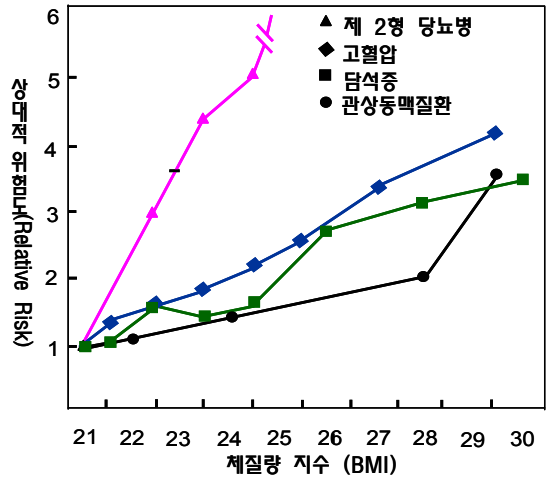


그림 4. BMI에 대한 상대 위험도 변화추세
Fig. 4 Upward trend of relative risk for BMI

IV. 비수술적 비만 치료법

비수술적 치료법들은 치료방법이 간단할 뿐만 아니라 부작용이 거의 없고 회복기간도 짧아 큰 관심을 받고 있다. 비수술적 치료법들로는 중주파, 고주파, 초음파 그리고 냉각 분해 치료법 등을 들 수 있다. 표 1은 비수술적 비만 치료법들을 보인다[7-10].

표 1. 비만 치료방법들의 비교
Table 1. Comparisons of non-operative obesity treatments

비교 항목	비수술적 지방제거 (지방분해) 방법				
	중주파	고주파(RF)	초음파	레이저	냉각지방분해
치료 원리	전기적 자극을 주어 근육의 수축 및 이완 운동을 유도하여 에너지를 소모, 지방을 연소시키거나 지방세포를 자극하여 분해시킴	고주파 전기 에너지를 가해 수축운동 없이, 세포와 이온의 마찰운동으로 심부열 (40-50℃)을 발생시켜 신진대사를 촉진하고 세포를 활성화하여 지방을 분해시킴	초음파로 피하 지방층의 지방세포를 진동시켜 (36-37℃ 지방을 분해시킴)	피부외부에서 고출력 레이저를 조사하여 지방세포를 간접적으로 파괴함	지방세포를 얼려 자가세포 사멸이라는 작용에 의해서 자연스럽게 없어지도록 하여 지방을 제거시킴
주파수 (파장)	20kHz이하 1kHz이하	0.3~1MHz 전파	1~3MHz 음파	1064nm, 1340nm, 1444nm, 673nm	-7[℃]

V. 펠티에 냉각 치료법

현재 대표적인 펠티에 냉각 적용 및 적용 시도의료분야 적용사례로는 뇌 저체온 치료 및 비만 치료 분야를 들 수 있다. 그 중 비만치료의 경우, 피부조직을 일정 시간동안 적절한 온도(-7℃)에 노출시킴으로써 피하지방층의 지방세포에 냉각 에너지를 전달하면 지방 세포가 스스로 사멸하는 원리를 이용하는데, 이때, 피하지방층에 전달된 냉각 에너지는 주변 조직에는 영향을 미치지 않고 지방 세포만을 괴사시킴으로써 부작용이 거의 없게 된다.

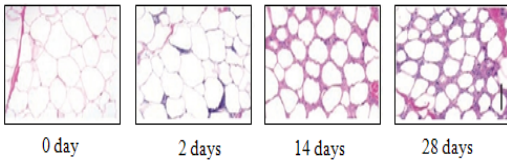


그림 5. 냉각효과에 의한 지방세포 사멸 사진
Fig. 5 Removal of fat cell based on cold effect

그림 5는 냉각에 의한 지방세포 사멸 과정을 보인다[6]. 그리고 이 연구결과를 바탕으로 개발된 방법이 펠티에 냉각 비만 치료법이다.

VI. 열전냉각 제어회로 설계

펠티에 효과(열전 효과)는 서로 다른 두 종류의 금속을 접합한 후 외부에서 전기를 흘려주면 접합부에서 발열이나 열의 흡수가 일어나는 현상을 말한다.

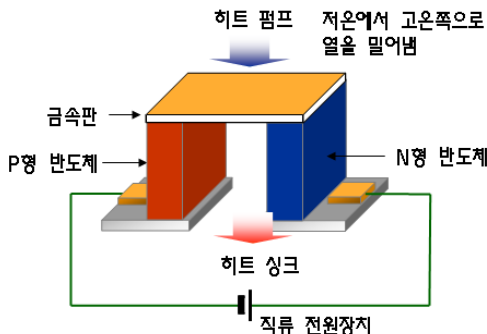


그림 6. 열전소자
Fig. 6 thermoelectric device

그림 6은 펠티에 효과에 근거한 열전소자를 보인다[11-13].

6.1 열전 냉각 제어회로 설계

본 연구에서는 PWM 기법을 기반으로 하는 열전 냉각 제어회로를 그림 7과 같이 설계한다[14].

기본 제어회로는 전원장치, PWM 변조 회로, H 브리지, 펠티에 모듈 그리고 온도센서 등으로 구성된다. 먼저, 온도센서는 대상체(복부 또는 허벅지)의 온도를 감지하여 그 측정된 온도를 출력한다.

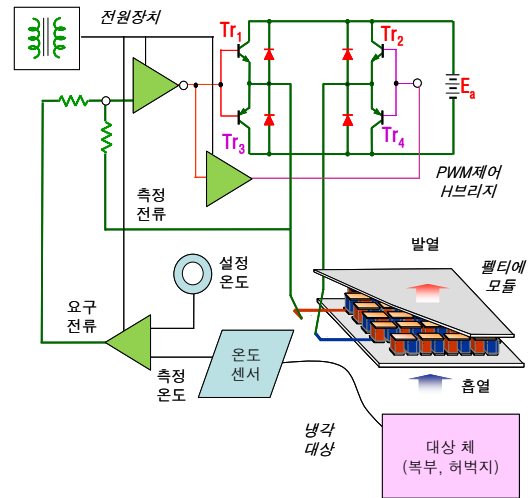


그림 7. 펠티에 냉각 제어회로 설계
Fig. 7 Design of Peltier cooling control circuit

이때 PWM 제어기는 인가된 전류를 기반으로 전류의 방향에 따라 그리고 크기에 비례하여 전력 H 브리지의 전력용 트랜지스터 조합 (Tr1, Tr4)과 (Tr3, Tr4)을 선택적으로 제어, On/Off 타임(듀티비)을 변환함으로써 펠티에에 공급되는 전류의 방향과 세기를 조절, 대상 체의 온도를 증감하여 설정온도로 유지하게 된다. 일반적으로, H브리지는 듀티비와 PWM 신호 극성의 반전을 통해서 전류의 세기와 방향을 제어할 수 있다.

6.2 열전 냉각장치 설계[15]

그림 8은 Mollar 설계법에 의해서 열전냉각 장치를 설계하는 방법을 보인다.

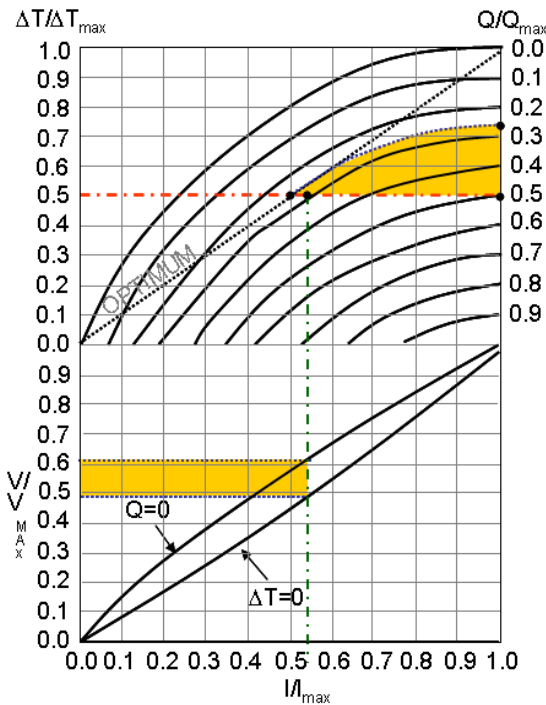


그림 8. Mollar 설계 법
Fig. 8 Mollar design method

본 연구에서는 냉각대상의 히트로드 Q를 15W로 가정한다. 그리고 열전냉각장치(TEC: Thermoelectric Cooler)의 고온 측(Hot side)의 온도 T_h 를 27℃, 저온 측(Cold side)의 온도 T_c 를 -5℃로 한다. 이때 온도차분(Temperature differential) ΔT 는 $T_h - T_c = 27 - (-5) = 32^\circ\text{C}$ 가 된다. 여기서 ΔT 를 만족하는 열전냉각 단의 수는 1단의 최대 온도차분 ΔT_{max} 가 64℃이므로 1단 열전냉각장치로 설계가 가능하다.

다음 $\Delta T/\Delta T_{max}$ 는 $32/62=0.5$ 이므로 그림 8에서 보인바와 같이 수평선(1점 쇄선)과의 교차점에 대응하는 Q/Q_{max} 의 최적값은 0.26, Q/Q_{max} 의 최대값은 0.5이다. 히트로드 Q가 15W이므로 최적 Q_{max} 는 $15/0.26=57.7$, 최대 Q_{max} 는 $15/0.5=30.0$ 으로 계산될 수 있다. 그러므로 설계 냉각용량은 최적 효율을 얻기 위해 최적 Q_{max} 에 가까운 값으로 결정하는데, 여기서는 상용화된 제품 중 $Q_{max}=52\text{W}$, $I_{max}=5.6\text{[A]}$, $V_{max}=14.4\text{[V]}$ 의 1단 열전 냉각장치로 결정할 수 있다.

이때, 선택된 Q/Q_{max} 의 비는 $15/52=0.288$ 이므로 열전냉각장치의 실제전류와 전압은 수직선(1점 쇄선)

과의 교차선 들로부터 다음과 같이 결정한다.

$$I = I/I_{max} \times I_{max} = 0.54 \times 5.6 = 3.02\text{[A]}$$

$$V/V_{max} \times V_{max} = 0.62 \times 14.4 = 8.92\text{[V]}$$

실제 소비전력 $Q_p = 3.02 \times 8.92 = 27\text{[W]}$ 가 된다.

이때, 제거되어야 할 열은 $Q_h = Q + Q_p$ 가 된다.

VII. 결론

본 연구에서는 현대인들의 비만 치료에 도움을 줄 수 있는 비수술적 치료방법들을 비교, 분석하였으며, 최근 각광 받고 있는 열전냉각 비만 치료방법에 대해서 고찰하였다. 또한, 열전냉각 비만 치료를 위한 냉각 기본 제어회로를 설계하였으며, 가정된 히트로드에 대해 Mollar 설계 법에 근거하여 열전냉각 장치를 설계하였다. 차후, 본 연구결과를 기반으로 인체에 대한 열적 특성을 검토, 대응하는 냉각 제어 장치 결정 및 제작 연구가 계속되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] http://en.wikipedia.org/wiki/Obesity_in_the_United_States
- [2] OECD Online database, viewed June 2010.
- [3] Nabil Sulaiman and Dhafir A. Mahmood, "Cardiometabolic Syndrome", presentation materials.
- [4] Umesh Kapil, "Obesity Trends in India and Consequences", presentation materials.
- [5] 문진희, 강우현, 민병구, "펠티에 소자 냉각 방식의 가벼운 뇌 저체온 유도 시스템 개발", 대한의용생체공학회 추계학술대회 논문, 2006.
- [6] Dieter Manstein and R. R. Rox Anderson, "Selective Cryolysis : a novel method of non-invasive fat removal", layers in surgery and medicine 40, pp. 595-604, 2008.
- [7] <http://blog.daum.net/beautyskincokr/7002422>
- [8] <http://blog.naver.com/cosmetic2006/59898300>
- [9] <http://blog.daum.net/nurisaem/2546>
- [10] <http://blog.naver.com/ella4u/60133219186>
- [11] http://ko.wikipedia.org/wiki/펠티에_효과
- [12] 오카노전선(주) 펠티에 모듈팀, 하이파워 대형

전자냉각소자 펄스에 모듈.

- [13] Tutorial 1757 : PWM Temperature Controller for Thermoelectric Modules Keeps Components within 0.1°C, <http://www.maximintegrated.com/app-notes/index.mvp/id/1757>.
- [14] 고윤석, 김인수, “펄스에 냉각 기반의 저온 냉각 비만 치료법에 대한 고찰”, 한국전자통신학회 추계학술논문집, 5권, 2호, pp. 441-444, 2011.
- [15] TEC selection procedure, <http://www.marlow.com/support/technical-support-guide/power-dissipated.htm>.

저자 소개



고윤석(Yun-Seok Ko)

1984년 2월 광운대 공대 전기공학과 졸업(공학사).

1986년 2월 광운대 대학원 전기공학과 졸업(석사).

1996년 2월 광운대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사)

1986년~1996년 한국전기연구소 선임연구원

1996년~1997년 포스코 경영연구소 연구위원

1997년~현재 남서울대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 전력시스템 제어, 배전자동화, 로봇제어



이우철(Woo-Cheol Lee)

1983년 건국대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1986년 건국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2005년 국민대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1993년~현재 을지대학교 의료공학과장 교수

2010년~현재 을지대학교 보건대학원 생체의료공학과 교수, 학과장

2000년~2004년 대한의용생체공학회 교육이사

2009년~현재 대한의용생체공학회 논문편집위원

※ 관심분야 : 생체계측, 전자의료기기시스템



김인수(Insoo S. Kim)

1984년 2월 동아대학교 공대 전자공학과 졸업(공학사)

1986년 2월 동아대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2007년~충북대학교 대학원 전자공학과 박사과정

1986년~현재 한국전기연구원 책임연구원

1997년~1998년 상하이 803연구소 파견과학자

1998년~2000년 중국과학원 SIOM연구소 파견연구원

2003년~2004년 러시아 SUT대학 방문연구원

2007년~2010년 한국해양정보통신학회 이사

2007년~현재 정보통신산업진흥원 기술동향 편집위원

※ 관심분야 : 유헬스케어시스템, 전자의료기기 및 광학의료기기 시스템