

감정 분석을 위한 생체 신호 특징 추출*

최아영, 우운택
광주과학기술원 U-VR 연구실
{achoi, wwoo}@gist.ac.kr

Feature extraction for emotion analysis based on physiological signal

Ahyoung Choi and Woontack Woo
GIST U-VR Lab.

요약

인간과 컴퓨터의 상호작용에 대한 연구가 진행되면서 사용자의 직접적인 입력에 의한 컴퓨터 반응이 아닌, 감정 혹은 의도에 따른 컴퓨터 반응에 대한 기대가 커지고 있다. 본 논문에서는 사용자의 감정 상태를 인식하기 위해 한의학의 관점을 기반으로 소수의 센서를 이용해 감정을 분석하는 방법을 제안한다. 한의학적 관점에서의 감정분석은 하나의 센서로부터 다각적인 해석을 가능하게 하며, 음양오행설에 기반한 인체의 해석은 생리적 반응과 심리적 반응을 하나의 틀로 볼 수 있게 한다. 이를 위해 기쁨, 슬픔, 노여움 등의 감정이 발생할 때의 신체적 변화를 검출할 수 있는 손목시계형 생체 신호 계측 시스템을 구현하였다. 그리고 추출된 두가지 신호로부터 소수의 특징을 구하고 이를 이용한 감정분석을 시행하였다. 제안된 분석방법은 착용형 컴퓨팅 환경에서 사용자의 감정에 따른 서비스 개발에 응용될 수 있다.

Keyword : feature extraction, physiological signal, affective computing

1. 서론

인간과 컴퓨터의 상호 작용에 대한 연구가 진행되면서 사용자의 직접적인 입력에 의한 컴퓨터 반응이 아닌, 감정 혹은 의도에 따른 컴퓨터 반응에 대한 기대가 커지고 있다. 이를 위해 사용자의 환경맥락 정보에 대한 연구가 진행 중이며, 환경 맥락 정보 중 사용자의 감정 정보는 사용자와 컴퓨터 간의 자연스러운 상호작용을 제공하기 위한 판단의 기초가 된다. 예를 들어 사용자를 위한 서비스를 제공하는 경우 사용자의 감정에 따른 만족, 흥미 등의 정보에 기반하여 자연스러운 피드백을 받을 수 있다.

감정을 분석하기 위한 연구는 표현된 감정을 토대로 한 음성 인식, 얼굴 표정 인식 등에서 부터 시작되었다 [1]. 그러나 표현된 감정과 실제 감정사이의 불일치성, 사람에 따른 표현의 차이로 인한 판단의 불명확성 등으로 감정분석에의 한계가 지적되었다. 감정 분석에 사회적인 요소를 배

제하고, 자연스럽게 발생하는 감정을 파악하기 위해 생체 신호를 이용한 감정분석 연구가 진행되고 있다. IBM 의 Almande 연구센터에서는 사용자의 감정을 인식하는 마우스를 개발하였다 [2]. 그러나 감정인식율이 낮고 적합한 응용서비스가 없어 실제 시장에서 각광받지 못했다. MIT 의 Affective computing group 에서는 심전도, 피부전도도, 호흡, 체온 등의 신호를 통해 감정을 구분해 내는 방법에 대한 연구를 진행하였다 [3]. 그러나 일상생활에서 사용이 힘든 유선 센서를 사용하였고, 생리적 반응과 감정의 변화에 대한 생리학적인 근거를 제시하지 않았다.

본 논문에서는 기존의 서양의학 중심의 감정 분석을 한의학적인 관점에서 재해석하였고 이에 기반하여 맥파와 피부전도도를 측정할 수 있는 손목시계형 생체신호 계측 시스템을 구현하였다. 맥파와 피부전도도는 감정의 변화와 관련된 요소로 스트레스 분석, 거짓말 탐지에서 사용되며 한의학

* 본 연구는 선도기반기술개발사업과 삼성 종합기술원의 지원하에 수행되었음.

에서 병인진단에서 사용하는 기본 신호인 맥과 습윤을 분석할 수 있다. 그리고 한의학의 다각적인 분석법에 기반하여 특징 신호를 추출방법을 제안한다. 감정분석 시스템은 비선형 패턴 인식의 방법인 다중퍼셉트론을 이용하여 감정신호 구분의 결과를 보여준다.

제안된 분석 방법은 소수의 센서를 이용해 감정변화의 특징을 검출할 수 있으며, 착용이 용이한 손목시계형 센서를 통해 현실생활에 응용할 수 있다. 또한 한의학의 다각적인 신호 분석을 토대로 소수의 특징을 이용한 감정분석을 할 수 있다. 소수의 특징신호를 이용한 감정분석은 다수의 특징을 이용한 선행연구와 유사한 감정 인식률을 보였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2 장에서는 사용된 한의학적 해석법에 기반한 생체 신호의 특징을 제시하고 3 장에서는 감정을 분석하기 위한 손목시계형 계측 시스템을 구현한다. 4 장에서는 실험환경을 소개한 후 실험결과를 분석하고, 마지막으로 5 장에서는 결론을 맺는다.

2. 감정 분석을 위한 생체 신호 특징 추출

감정분석을 위한 단계는 크게 생체신호 계측과 신호처리, 특징 추출, 구분의 단계가 있다. 본 논문에서는 손목시계형 생체 신호 계측 장비를 이용해 감정에 따른 생체 신호를 추출한다. 생체 신호는 맥과 측정을 위한 센서와 피부전도도 측정을 위한 전극으로 구성이 된다.

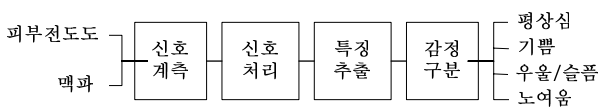


그림 1. 감정 분석의 단계

맥파와 심전도 등의 심장 관련 생체 신호는 일반적으로 교감, 부교감의 자율 신경계의 변화를 분석하는데 사용된다 [4]. 피부전도도도는 땀샘의 변화 지표에 따라 자율 신경계 반응을 측정하는데 사용된다. 상대적으로 측정이 간단하고 반복성이 크므로 자율 신경계를 측정하기 위한 간단하고도 유용한 방법이다 [5]. 본 논문에서는 맥파와 피부전도도를 아래와 같은 방법으로 해석하여 사용한다.

2.1. 맥파

한의학의 진단 방법중 하나인 맥진은 생명활동을 유지하는 인체의 기운성쇠를 알려주는 진단법이다. 심장 박동의 혈관벽에 미치는 빠르기, 세기 등의 특징을 이용하여 특정위치와 결부된 장부의 상태를 알아낸다 [6]. 이를 통해 맥파의 시간과 공간적 파라미터를 통해 외부로부터 가해지는 힘에 대한 응답과 삼차원 공간에서 압력과 체형의 주기적 변형관계로 해석이 가능하다 [7]. 맥파 분석은 다각적인 생체 활동을 하나의 신호를 통해 설명하므로 적은 수의 특징으로 신체의 복잡성을 설명할 수 있는 틀을 제공한다. 또한 장기 각 부분의 변화는 음양오행의 가설 아래 생리적 변동과 심리적 변동의 상호 연관성을 설명된다. 본 논문에서는 맥진이 감정의 변화와 갖는 연관성에 기반하여 손끝 혈관의 변동을 나타내는 지침 용적맥파의 각 파라미터를 제안한다.

각 감정요소는 육체의 각 기관과 상호 밀접한 연관관계를 가지고 있다고 할 수 있다. 기쁨의 감정은 혈액순환의 왕성할 때 작용하며 장기 중 심장과 밀접한 관련이 있다. 근심, 걱정의 감정은 폐와 연관되어 있으며 한숨, 건조등의 생리적 변동과 함께 수반된다. 우울한 감정은 인체내 습기가 많은 경우 발생하며 소화력 감퇴를 가져온다. 또한 분노, 노여움의 감정은 간을 관장하여 심장의 활동과 상반된 반응을 보이며 공포의 감정은 신장, 소극적인 기관 작용과 관련이 깊다. 이는 맥파에 다음과 같이 나타난다. 과도하게 노하면 맥이 급하게 되고 두려워하면 맥의 박동이 가라앉는다 [9][10]. 이를 통해 한의학에서의 생체 신호 분석 방법으로 감정 분석을 위한 특징을 찾을 수 있다. 맥파의 특징으로는 맥을 느끼는 부위의 얇고 깊음을 나타내는 부침(浮沈), 맥의 빠르기를 나타내는 지삭(遲數), 맥의 폭을 나타내는 대소(大小), 맥의 움직임과 관련 피가 진행되는 상태의 활색(滑穢), 심장 박동의 형태에 따른 허실(虛實) 등이 있다 [6][8]. 이는 음과 양, 허와 실의 판단 단계를 거쳐 종합적으로 분석된다. 맥파를 표현하기 위한 특징을 다음과 같이 정의한다.

① 맥파의 형태

맥파의 뜨고 가라 앉음은 맥파의 형태로 판별한다. 맥파의 형태는 크게 주기와 강도의 2 가지 요소로 정의할 수 있다. 맥파의 크기가 작고 빠르면 부맥으로 해석하며, 맥파의 강도가 크고 속도가 느리면 침맥에 해당된다. 빠르기와 강도를 표준화 하여 나누면 1 에 가까울 수록 부맥 혹은 침맥으로 해석이 가능하다.

② 빠르기

지속도는 맥파의 빠르기를 의미하며 맥파의 침두 간격의 크기 변화를 의미한다. 이는 맥박수의 변화량과 동일하게 해석된다.

$$R_i R_{i+1} = R_{i+1} - R_i \quad (1)$$

위 식에서 R_i 는 맥파에서 침두치가 발생한 상대적인 시간을 나타낸다.

③ 강도

대맥은 맥폭이 굵고 정상맥보다 크며 소맥은 실처럼 가늘고 보통 맥보다 작다. 맥파의 표준화 값의 크기를 이용하여 대소를 구분하였다. 용적 맥파의 경우 강도보다는 빠르기 및 세기의 요소를 많이 다루나 본 논문에서는 표준화를 통해 강도를 고려한다.

④ 맥파의 규칙도

맥파의 매끄러운 정도는 맥파 발생의 규칙적인 정도를 이용해 파악한다. 맥파 주기 변화율이 클 경우 맥파는 불규칙하게 형성되며 활맥이 발생한다. 반대로 맥파 주기변화가 작을 경우 맥파는 불규칙하게 형성되며 색맥이 발생한다.

$$I_i = \frac{1}{N-1} (R_i R_{i+1} - \overline{RR}) \quad (2)$$

위 식에서 \overline{RR} 은 1 분간 측정된 심박수의 맥파 침두치 간격의 평균값이다. N 은 1 분동안 추출된 맥파 침두치 수이다.

⑤ 복잡도

허실의 경우 심장의 상태에 대한 분석이 가능한 값으로 심박의 불규칙정도의 수를 심장의 건강상태에 대한 척도로 사용한다. 즉, 활색도의 샘플에 따른 변화가 역동적으로 발생 할수록 심장의 복잡성이 증가하고 허실도가 커진다고 할 수 있다.

2.2. 피부전도도

피부전도도는 피부에서 발생하는 크게 자극에 대한 반응과 전하량 분포의 차이에 따른 땀의 분포를 알 수 있다. 감정에 따른 신호 분석의 한의학적 관점에 기반한 해석을 위해 피부전도도로부터 피부표면의 조습(燥濕)의 특징을 추출한다.

① 조습도

조습도는 환경 및 센싱방법에 대한 영향을 최소화 하기 위해 표준화 한 크기로 계산한다.

$$h_i = \frac{1}{\delta} (g_i - \bar{g}) \quad (3)$$

위 식에서 i 번째 샘플링 된 데이터는 g_i , 1분간격으로 모아진 샘플링 신호의 평균은 \bar{g} , 표준편차는 δ 로 나타낸다.

② 변화율

변화율은 시간에 따른 조습의 변화 정도를 의미한다.

$$v_i = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} (h_{i+1} - h_i) \quad (4)$$

위 식에서 h_i 는 i 번째의 조습도이며, 총 샘플수는 N 으로 나타낸다.

3. 손목시계형 생체 신호 계측 시스템

생체 신호 추출을 위해 사용된 장비는 맥파 신호를 측정하기 위해 PPG (PhotoPlethysmoGraphy) 센서, 피부전도도를 측정하기 위해 2 개의 전극을 갖는 휴대형 생체 신호 계측 장비를 사용하였다.

시스템의 샘플링 레이트는 100 Hz 이며, 인터페이스 사양은 블루투스 v1.1, 19200bps 의 속도로 전송된다. comfile 사의 Acode-300 블루투스 통신 칩을 이용하여 무선의 RS232 통신을 지원한다. 전원은 휴대 간편한 3.7 V 의 리튬이온 전지를 사용하며 대략 10 시간정도 사용이 가능하다. 두께는 약 1cm, 반지름은 3cm 이다. 그림 2 는 손목시계형 생체 신호 계측 시스템의 앞면과 뒷면의 모습이다.

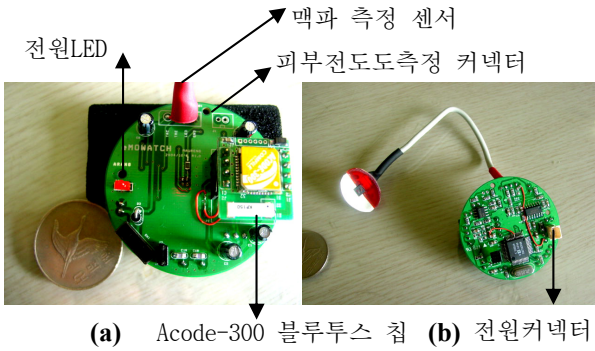


그림 2. 손목시계형 생체 신호 계측 시스템
(a) 앞 (b) 뒤

신호 처리는 맥파 신호의 경우 해밍 창함수를 이용하여 0.5~2 Hz 필터링 계수를 갖는 중간대역 통과 필터링을 하여 샘플 신호를 형성하고 형성된 신호는 일정기간동안 축적된 후 특징을 구하는데 활용되었다. 피부전도도 신호의 경우 측정 초기 값이 안정화 된 이후 값을 샘플로 추출하였으며 발생된 임펄스 노이즈 신호의 필터링을 하였다.

4. 실험 및 분석

4.1. 데이터 수집

신호는 한명의 사용자를 대상으로 1 일 3 회 수 일동안 획득하였다. 엄지의 끝부분에서 맥파를 측정하였고, 검지와 중지에서 피부전도도를 측정하였다. 추출된 신호의 특징은 사용자로부터 자연스럽게 불러 일으켜지는 감정을 시각적, 청각적인 자극을 기반으로 형성하였다. 긍정적인 자극은 사용자가 좋아하는 음악과 좋아하는 화면과 그림을 보여주고 좋아하는 활동을 할 수 있도록 하였다. 부정적인 자극은 소음에 가까운 음악들과 싫어하는 음악, 반복되는 음악을 들려 줌으로써 발생시켰다. 기본발생 감정 항목으로는 한의학의 7 정에 기반하여 평상심, 기쁨, 노여움, 슬픔, 우울, 생각, 놀람, 두려움으로 상정하였다. 그러나 감정 중 구분이 명확하지 않은 슬픔과 우울의 경우를 하나의 경우로 해석하였고, 감정 발생이 어려운 생각, 놀람과 두려움은 이번 실험에서 배제 하였다. 최종적으로 7가지 감정 중 평상심, 기쁨, 슬픔, 노여움을 기본으로 신호를 획득하였다.

실험은 손목시계형 생체 신호 장비로부터 감정에 따라 생체 신호를 5 분간 모으고 제안된 방법으로 특징을 구한 후, 다중퍼셉트론을 통해 감정을 구분하였다. 또 제안된 신호의 표준화 된 특징값, PCA (Principle Component Analysis) 로 특징의 차원을 줄인 후 같은 방법으로 감정을 구분해 보았다.

사용 특징의 개수를 줄이기 위해 추출한 신호 이외에 PCA (Principle Component Analysis) 를 이용한 차원 축소를 시행하였다. 감정에 따른 변화가 뚜렷한 부침도, 지삭도, 허실도, 조습도, 조습도 변화량을 사용하여 PCA 분석을 실시하였고, 각 특징값의 중요도는 공분산행렬의 고유값으로 결정되며 표 1 과 같다.

표 1. PCA 분석 계수

	F1	F2	F3	F4	F5
부침도	1.0000	0.7436	-0.202	0.0700	0.1037
지삭도	0.7436	1.0000	-0.4045	0.1775	0.3590
허실도	-0.2002	-0.4045	0.8655	0.0905	0.3590
습윤도	0.0700	0.1775	0.0905	0.7600	0.0709
습윤변화	0.1037	0.3590	0.3590	0.0709	0.8209
중요도	11.2070	16.5940	20.2590	22.0820	29.869

F1~F5 는 PCA 분석 결과 추출된 새 특징값을 말한다. 각 신호 패턴중 영향력이 큰 것으로 분석된 것은 습윤의 변화값이다. 하지만 특징값들의 중요도가 비슷하므로 특징 차원을 줄이는 것이 본 실험에서는 좋은 결과를 나타내지 않음을 예상할 수 있다. 감정인식을 위한 특징의 적합성 여부는 오차역전과 알고리즘을 이용한 다중 퍼셉트론 방법을 통해 확인하였다. 입력으로는 언급된 특징을 사용하였고 총 200 개의 실험셋으로 트레이닝을 시킨 후 40 개 실험셋으로 테스트를 실시 하였다. 현재 수집한 값에서 유의한 결과를 갖는 파라미터 조건은 입력 5 개 출력 2 개인 경우 10 개의 은닉층과 0.2 모멘텀, 0.3 학습율을 갖는 경우로 학습시 인식율은 47%이나 테스트시 인식율은 67.5%를 보인다. 표 2 와 같다.

표 2. 다중퍼셉트론 파라미터 설정

입/출력 노드수	은닉 층수	모멘텀/ 학습률	학습 에러율	테스트 에러율
5/2	8	0.2 / 0.3	52%	37.5%
		0.2 / 0.5	67%	42.5%
	10	0.2 / 0.3	53%	32.5%
		0.2 / 0.5	52%	37.5%
5/1	10	0.2 / 0.3	48%	32.5%
		0.2 / 0.5	46%	30%
	12	0.2 / 0.3	53.2%	43.5%
		0.2 / 0.5	55.11%	65%
	12	0.2 / 0.3	52%	32.5%

은닉층의 전달함수는 로지스틱스 함수를 사용하였으며, 출력층의 전달함수는 선형함수의 경우 보다 임계값 함수를 사용하는 경우가 더 좋은 결과를 나타냄을 확인할 수 있다. 입력이 5 개인 경우 은닉층 수는 10 개일 경우 에러율이 적었으며, 모멘텀과 학습율의 경우 일반적으로 0.2/ 0.3 인 경우가 적은 에러를 나타냄을 확인할 수 있었다. 위의 파라미터를 기반으로 하여 제안된 특징값에 대해 표 3의 결과를 얻었다.

표 3. 다양한 특징에 의한 실험결과

(a) 제안된 특징을 이용한 감정분석 결과 (b) 표준화된 특징이 이용한 감정분석 결과 (c) PCA 분석을 통한 특징을 이용한 감정분석 결과

입/출력 노드수	은닉 층수	모멘텀/ 학습률	학습 에러율	테스트 에러율
5/2	8	0.2 / 0.3	52 %	37.5 %
	10	0.2 / 0.3	53 %	32.5 %
	12	0.2 / 0.3	48 %	32.5 %

(a)

5/2	8	0.2 / 0.3	10 %	16.0 %
	10	0.2 / 0.3	13 %	16.0 %
	12	0.2 / 0.3	8 %	12.5 %

(b)

2/2	8	0.2 / 0.3	67 %	42.5 %
	10	0.2 / 0.3	72 %	46.5 %
	12	0.2 / 0.3	66 %	59.5 %

(c)

신경망을 이용한 감정 분석의 결과 각 신호간 구분이 뚜렷한 부침도, 지삭도, 허실도, 조습도, 조습도 변화량을 사용한 경우 62.5%의 인식률을 보였다. 서로 다른 범위의 특징을 정규 가우시안 분포로 변환을 시킨 특징을 이용해 구분한 결과는 84 %로 표준화 하지 않은 경우와 비교해 볼 때

성능의 향상을 확인할 수 있다. 이를 통해 각 신호가 갖는 평균값보다 신호분포도에 기반한 분산이 감정 분석에 의미를 가짐을 알 수 있다. 마지막 실험결과인 PCA 를 이용한 차원 감소는 실제 특징값을 사용하는 경우보다 결과가 좋지 않으며 이는 차원이 적은 특징값의 경우 분석에 부정적인 영향을 나타냄을 확인할 수 있다. 실험 결과 적은 수의 특징을 이용하여 87.5 %까지의 인식율을 보였으며, 이를 통해 제안된 특징추출 방법이 감정 분석을 위한 특징으로 유용하게 사용할 수 있음을 확인할 수 있다. 그림 4 와 그림 5 는 는 표준화를 한 경우와 하지 않은 경우 감정에 따른 특징들의 3 차원 그래프이다. 표준화를 한 경우와 하지 않은 경우를 비교해 볼 때 감정 구분의 가능성을 확인할 수 있다. 테스트 결과에서와 같이 표준화를 한 특징의 경우 감정구분의 성능이 향상되었다.

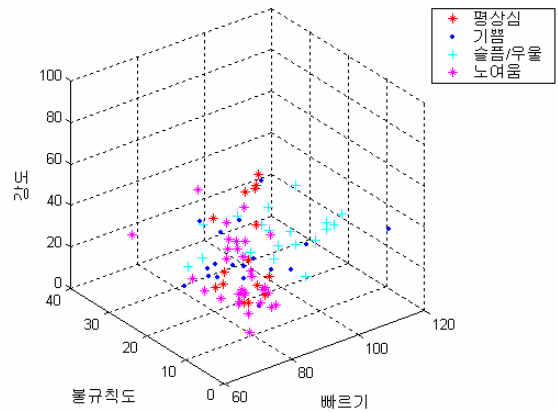


그림 3. 감정에 따른 맥파 특징의 감정분포

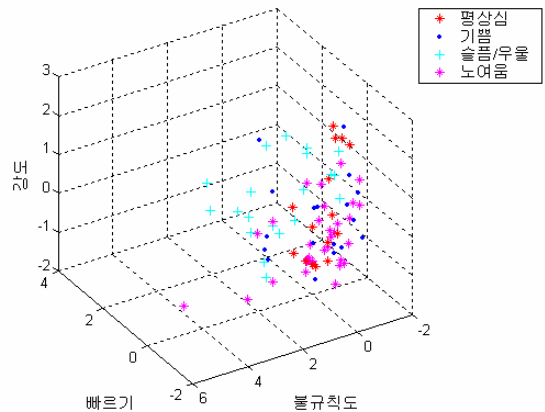


그림 4. 표준화 된 특징의 감정 분포

5. 결론 및 추후과제

본 논문에서는 손목시계형 생체신호 계측장비를 이용하여 사용자의 맥파와 피부전도도 값을 얻고 한의학의 이론에 기반하여 특징을 추출하였다. 제안된 방법으로 적은 센서 입력을 이용하여 최대 87.5 %의 인식률을 확인할 수 있다. 이는 생리적 변동과 심리적 변동사이의 연관성을 설명한 한의학적 해석의 틀이 감정 분석에 의미가 있음을 알 수 있다. 또한 기존의 감정분석을 한의학의 관점에서 재해석함으로써 소수의 특징을 이용한 감정 분석에서 선행연구에서와 비슷한 인식율을 얻을 수 있었다. 그리고 손목시계형 생체 신호 계측 장비를 이용한 신호 추출은 감정을 사용자의 환경맥락 정보로 활용하여 일상생활에서 사용자 중심의 서비스 제공을 할 수 있게 한다.

추후 과제로는 현재의 오프라인에서 추출한 결과를 기반으로 실시간 감정 분석, 이동형 환경을 고려한 감정 분석 등이 있다.

6. 참고문헌

- [1] TEFAS, A. et al. "Using support vector machines to enhance the performance of elastic graph matching for frontal face authentication," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol 23, pp. 735-746, 2001
- [2] ARK, W., DRYER, D. C., and LU, D. J.: "The emotion mouse," *8th Int. Conf. Human-computer Interaction*, pp. 818-823, 1999
- [3] Rosalind W. Picard et al, "Toward Machine Emotional Intelligence: Analysis of Affective Physiological State," *IEEE Trans on pattern analysis and machine intelligence*, vol23, no.10, 2001
- [4] G.G. Berntson, et al, "Heart rate variability: Origins, methods, and interpretive caveats," *Psychophysiol*, vol 34, pp. 623- 648, 1997.
- [5] B. Shahani, J. Halperin, P. Boulu, and J. Cohen, "Sympathetic skin response—a method of assessing unmyelinated axon dysfunction in peripheral neuropathies," *J Neurol Neurosurg Psychiatr*, vol. 47, pp. 536-542, 1984.
- [6] 이봉교, 박영배, 김태희, "한방진단학", 정보사,

1992

- [7] 박용배, "맥진기의 현황과 전망," 대한한의 진단학회지 1권 1호, 1997
- [8] 유태우, "음양맥진법과 보사," 음양맥진 출판사, 1944
- [9] 조현영, "통속한의학원론," 학원사, 1999
- [10] 주춘재, "황제내경, 소문편," 청홍, 2004