

# 광용적맥파의 정량적 맥파형 분류에 관한 연구

장대근<sup>1</sup>, 우말 파르크<sup>2</sup>, 박승훈<sup>2</sup>, 한민수<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국과학기술원 전기및전자공학과

<sup>2</sup>경희대학교 동서의료공학과

## A Study on the Quantitative Pulse Type Classification of the Photoplethysmography

Dae-Geun Jang<sup>1</sup>, Umar Farooq<sup>2</sup>, Seung-Hun Park<sup>2</sup>, Minsoo Hahn<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Electrical Engineering, KAIST

<sup>2</sup>Department of Biomedical Engineering, Kyung Hee University

(Received June 21, 2010. Accepted August 4, 2010)

### Abstract

Over the past few years, a considerable number of methods have been proposed and applied for the classification of photoplethysmography (PPG). Most of the previous studies, however, focused on the qualitative description of the pulse type according to specific disease and thus provided ambiguous criteria to interpreters. In order to screen out this problem, we present a quantitative method for the pulse type classification including the second derivative of photoplethysmography (SDPTG). In the PPG signal, we have classified the signal as 4 types using the position and the presence of the diastolic wave. In addition, we have categorized the SDPTG signal as 7 types using the position and the presence of "c" and "d" wave and the sign of "c" wave. In order to check the efficacy of the proposed pulse type classification rule, we collected pulse signals from 155 subjects with different ages and sex. From the correlation analysis, Class 1( $p < 0.01$ ) and Class 2( $p < 0.01$ ) in the PPG signal are significantly correlated with ages. In a similar manner Class A( $p < 0.01$ ), Class C( $p < 0.05$ ), Class D( $p < 0.01$ ), and Class F( $p < 0.01$ ) in the SDPTG signal are considerably correlated with the ages. From these observations, and some earlier ones [4], [5], we can conclude that since the newly proposed method has objectivity and clarity in pulse type classification, this method can be used as an alternative of previous classification rules including similar age-related characteristics.

**Key words :** Photoplethysmography, PPG, Pulse type, Quantitative classification, SDPTG

### 1. 서론

**광**용적맥파(PPG; photoplethysmography)는 비침습적으로 심혈관질환 (CVD; cardiovascular disease)을 예측할 수 있는 수단으로 오랜 기간 동안 연구되어 왔다. 최근에는 광용적맥파의 측정이 용이하고 측정에 소요되는 비용이 상대적으로 적다는 장점 때문에 e-헬스케어 분야와 재택건강관리 환경에서 널리 응용되고 있다. 광용적맥파를 이용하여 심혈관질환을 예측하기 위해서는 정확한 특징점 검출이 선행되어야 하며, 이를 위한 다양한 신호처리 알고리즘들이 제안되었다 [1~4]. 맥파형은 성별, 연령별, 심장 질환 여부 등에 따라 형태가 다양하므로 [4] 맥파형에 따라서도 다른 신호처리 방법을 적용하여야 한다. 따라서 맥파 신호의 특징

점 검출 알고리즘의 성능을 높이기 위해서는 정확한 맥파형 분류가 선행되어야 하며, 이를 위한 객관적이고 정량적인 맥파형 분류 기준이 필요하다.

현재까지 제안된 대부분의 맥파형 분류 기준은 특정 질환을 기반으로 한 임상병리학적 접근이 많았으며, 질환의 유·무나 진행 수준에 따른 맥파형의 변화 경향을 소개하는 데 치중하고 있다 [4], [5]. 이러한 기존 연구들은 맥파의 형태학적 변화 상태를 정성적으로 표현할 뿐 각 맥파형을 구분하기 위한 정량적 기준을 제공하지 않고 있으며, 이는 해석자에 따라 모호한 결과를 제시하도록 하는 문제점이 있다. 대표적인 예로 Dawber가 제안한 맥파형 분류 기준을 제시할 수 있다 [4]. Dawber가 제안한 맥파형 분류 기준은 그림 3과 같으며, 현재까지 제안된 많은 특징점 검출 알고리즘들이 이 기준을 이용하고 있다. 그림 3에서 Class 2와 Class 3, Class 3과 Class 4의 구분이 명확하지 않다는 것을 확인할 수 있다. 즉, 절흔 (incisura)의 평탄화 정도를 어느 정도까지 제한하느냐에 따라

Corresponding Author : 장대근  
한국과학기술원 전기및전자공학과, 대전시 유성구 구성동 373-1  
Tel : +82-42-350-5474 / Fax : +82-42-350-7619  
E-mail : jangdg85@kaist.ac.kr  
본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NPA-2010-(C1090-1021-0003))

Class 2와 Class 3의 분류 기준이 변화될 수 있고, 절흔의 소실을 어느 정도까지 인정하느냐에 따라 Class 3과 Class 4의 구분이 달라질 수 있다. 이처럼 기준에 제안된 방법들은 모호한 분류 기준에 의해 해석자에 따라 맥파형 분류 결과가 달라진다는 문제점이 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 객관적으로 맥파형을 분류할 수 있는 새로운 기준을 제안하였다. 또한 맥파형에 따른 혈관의 유순도 변화를 함께 살펴봄으로써, 본 논문에서 제안한 새로운 맥파형 분류 기준이 혈관경화도 평가 및 혈관 나이 추정 에 있어 유의한 상관관계를 나타냄을 통계학적으로 증명하였다.

## II. 선행 연구

### A. 광용적맥파의 특징점 및 임상적 의의

임상적으로 흔히 사용하는 광용적맥파의 종류는 크게 2가지이다. 광용적센서를 이용하여 측정된 광용적맥파(PPG)와 그것의 2차 미분된 신호(SDPTG)이다. 먼저 PPG 신호의 특징점을 살펴보면 그림 1과 같다.

좌심실이 수축하면서 좌심실내압이 상승하고 대동맥관이 개방된다. 대동맥관이 개방되면서 좌심실의 혈액이 대동맥궁(aortic arch)으로 방출(ejection)되며 이 시기가 그림 1의 기저점(그림 1-a)이 된다. 그 후 좌심실로부터 대동맥궁으로 혈액이 빠른 속도로 유입되며, 이 때 혈관 내 압력과 혈관용적이 최대에 이른다(그림 1-b). 그 후 혈액의 방출량은 감소함으로써 압력과 용적 역시 감소하는데, 어느 시점에 이르르면 잠시 감소의 속도가 늦춰지게 된다. 이는 이전에 생성되었던 맥파 성분이 말초 분지에서 다시 반사되어 되돌아옴으로써 압력과 용적에 영향을 미치기 때문이다. 그 후 대동맥판막이 폐쇄되면서 우심방이 수축하고 좌심실은 이완된다. 대동맥판막이 폐쇄되는 지점이 그림 1의 c)이며 절흔이라 한다. 대동맥판막이 폐쇄된 이후 동맥 내 압력 및 용적이 근소하게 상승하는데 이것이 중복파(dicotic wave, 그림 1-d)이다. 중복파 이후 다음 주기의 기저점(그림 1-a')까지 좌심실은 이완하며 좌심방으로부터 혈액을 공급받는다.

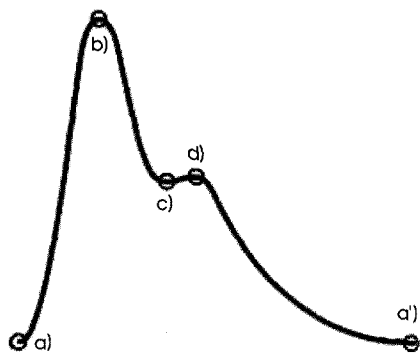


그림 1. PPG 신호의 특징점: a), a') 기저점; b) 최정점; c) 절흔; d) 중복파  
 Fig. 1. Characteristic points of PPG: a), a') pulse onset; b) pulse peak; c) incisura; d) dicotic wave

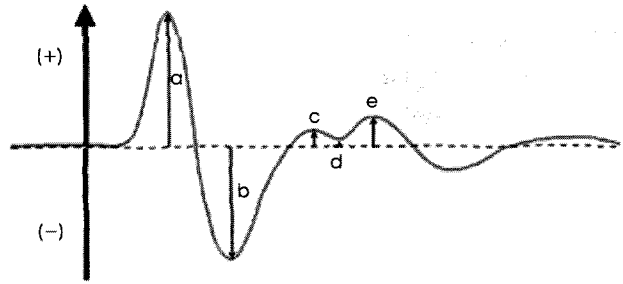


그림 2. SDPTG 신호의 특징점: a) initial positive wave; b) early negative wave; c) late upsloping wave; d) late downsloping wave; e) diastolic positive wave

Fig. 2. Characteristic points of the SDPTG: a) initial positive wave; b) early negative wave; c) late upsloping wave; d) late downsloping wave; e) diastolic positive wave

그림 2는 이차미분파(SDPTG)의 특징점을 나타낸다. SDPTG 신호의 경우 5개의 특징점이 존재하며, 통상 a, c, e wave는 양의 방향으로 볼록하고 b, e wave는 음의 방향으로 볼록한 굴곡을 형성한다. a wave와 b wave는 혈액이 좌심실로부터 밀려나와 혈관에 처음 반응하는 성분이고, 따라서 b/a 비는 혈관의 팽창성을 나타낸다. 이 외에 d/a 비는 말초로부터 반사된 파형의 강도로서 d/a 비의 감소는 반사파의 증가를 나타낸다. 일반적으로 혈관 탄력도 및 경화 정도를 평가하기 위하여 (b-c-d-e)/a 지수를 많이 사용한다 [6].

### B. Dawber의 맥파형 분류 기준 - 원 맥파 신호(PPG)

Dawber 등은 1,778명을 대상으로 광용적맥파의 파형을 분석하여 총 4단계의 맥파형으로 분류하였다(그림 3).

그림 3을 살펴보면 Class 1에서는 절흔이 명확하며, 절흔 후 상승과 하강곡선-중복파(dicotic wave)-역시 명확하다. Class 2에서는 절흔의 발달이 미약하며 절흔 후 편평한 성분이 나타난다. Class 3에서는 절흔이 거의 소실되지만 절흔 후 변곡점이 잔존한다. Class 4에서는 절흔 및 절흔 후 곡선 변화가 사라지고 일직선의

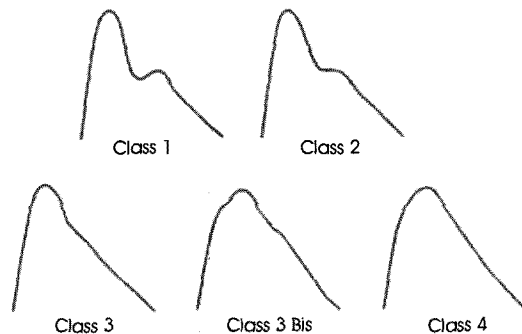


그림 3. Dawber 등이 제안한 PPG 맥파형 분류 기준 [4]  
 Fig. 3. PPG pulse type classification rule proposed by Dawber et al. [4]

하강직선으로 나타난다. 이 연구에서는 연령의 증가 및 관상동맥 질환 시 Class 4의 발현빈도가 높았으며, 65~74세 남성 심근경색 환자 중 Class 4의 맥파를 나타낸 환자는 Class 1의 맥파를 나타낸 환자에 비해 4배 많았다고 보고하였다 [4,6]. 또한 Class 1에서 Class 4로 이행될수록 절흔의 크기가 감소되며, 혈관유순도가 저하된다고 보고하였다 [3,4].

이러한 맥파형 분류 기준의 문제점은 Class 2와 Class 3, Class 3과 Class 4의 파형을 구분하는 데 있다. Class 2와 Class 3은 절흔의 발달 정도를 두고 구분되며, Class 3과 Class 4는 절흔 후 변곡점의 존재 여부에 따라 구분된다. 이때 절흔의 발달 정도나 절흔 후 변곡점의 존재 여부를 객관적으로 평가할 수 있는 기준이 존재하지 않으며, 따라서 해석자에 따라 주관적인 분류가 이루어지게 된다. 이는 맥파형 분류 결과의 객관성과 명료성을 떨어뜨리게 되어 분류 결과의 신뢰성을 떨어뜨리는 결과를 초래한다. 따라서 Dawber가 제안한 맥파형 분류 기준에서 Class 2와 Class 3, Class 3과 Class 4를 객관적으로 구분할 수 있는 정량적인 맥파형 분류 기준이 요구된다.

**C. Sano의 맥파형 분류 기준 - 이차미분파(SDPTG)**

Sano 등은 SDPTG의 파형을 그림 4와 같이 구분하였으며, 연령 증가에 따른 파형의 변화는 표 1과 같다고 보고하였다 [5,6].

그림 4에서 정상인의 SDPTG 맥파형은 A, B, C 정도로 생각할 수 있으며, 연령 증가에 따라 개인차가 커진다. 실제로 초고령자와 고령자 인구는 여성이 압도적으로 많으며 평균생존연령도 여성이 높다는 것은 주지하는 사실인데[6], SDPTG의 파형과 파고비 b/a 비율을 살펴보면, 성인기에서는 여성 쪽이 비교적 고령인 경향이 있다. 그러나 고령화가 진행될수록 성별 차는 70대에서 역전되어 남성이 보다 고령화 경향을 나타내는 것으로 알려져 있다 [6].

이러한 맥파형 분류 기준의 문제점은 B형, C형, D형을 구분하는 것과 F형과 G형을 구분하는 것이 모호하다는 데 있다. 즉, B형, C형, D형의 경우 특징점 c와 d의 위치에 의해 맥파형이 구분되는데, 이를 객관적으로 구분하기 위한 명세가 존재하지 않는다. F형과 G형의 경우에도 특징점 b와 c 사이의 편평도를 이용하여 맥파

**표 1.** 연령에 따른 이차미분파(SDPTG)의 지표 특성 [5,6]  
**Table 1.** Characteristics of SDPTG indices according to the age

연령대	이차미분파(SDPTG) 지표 특성
신생아	(after one's birth) F-E-D-C-B
영유아	(no information)
초등~중학생	A > B >> C > D
고등학생	A: male < female, B: male > female
대학생, 청년층	A: male > female, B: male < female
중년층	A < B < C
장년층	B < C < D < E
노년층	C < D < E < F < G

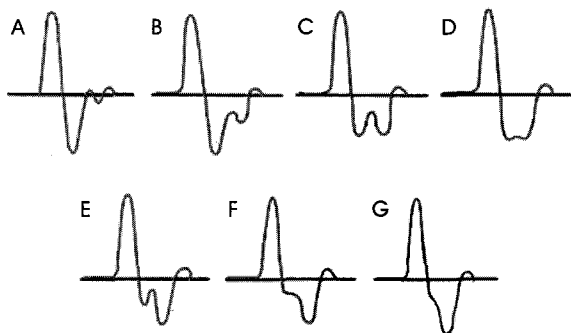
형을 구분하는 데 이 또한 객관적으로 구분할 수 있는 명세가 존재하지 않는다. 이 외에도 Sano의 맥파형 분류 기준에는 나타나 있지 않지만 특정 연령 및 성별에서 나타나는 새로운 맥파형(그림 7의 Class C)이 있으며, 이 또한 새로운 분류 기준에 적용하여야 한다는 문제점이 있다. 따라서 객관적인 맥파형 분류를 위하여 B형, C형, D형과 F형, G형을 정량적으로 구분할 수 있는 기준과 새로운 맥파형을 포함하는 분류 기준이 함께 요구된다.

**III. 제안한 맥파형 분류 기준**

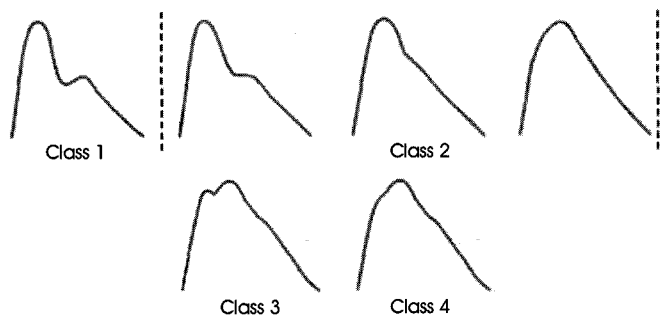
**A. 원 맥파 신호(PPG)의 분류**

그림 5는 본 논문에서 제안한 PPG 신호의 맥파형 분류 기준을 나타낸다. 절흔의 유·무 및 소실 정도를 이용하여 맥파형을 분류한 Dawber와 달리 본 논문에서 제안한 맥파형 분류 기준은 절흔의 유·무와 중복파의 유·무, 중복파의 위치를 이용하여 크게 4가지의 맥파형으로 구분하였다.

그림 5를 살펴보면 그림 3의 맥파형 분류 기준과 차이가 있는 것을 확인할 수 있다. 그림 3의 Class 2와 Class 3, Class 4를 그림 5의 Class 2로 분류하고, 그림 3에서 나타나지 않은 Class 4 파형을 그림 5에서는 분류하였다. 그림 3의 Class 2와 Class 3, Class 4를



**그림 4.** Sano 등이 제안한 SDPTG 맥파형 분류 기준 [5]  
**Fig. 4.** SDPTG pulse type classification rule proposed by Sano et al. [5]



**그림 5.** 제안한 PPG 맥파형 분류 기준  
**Fig. 5.** Proposed PPG pulse type classification rule

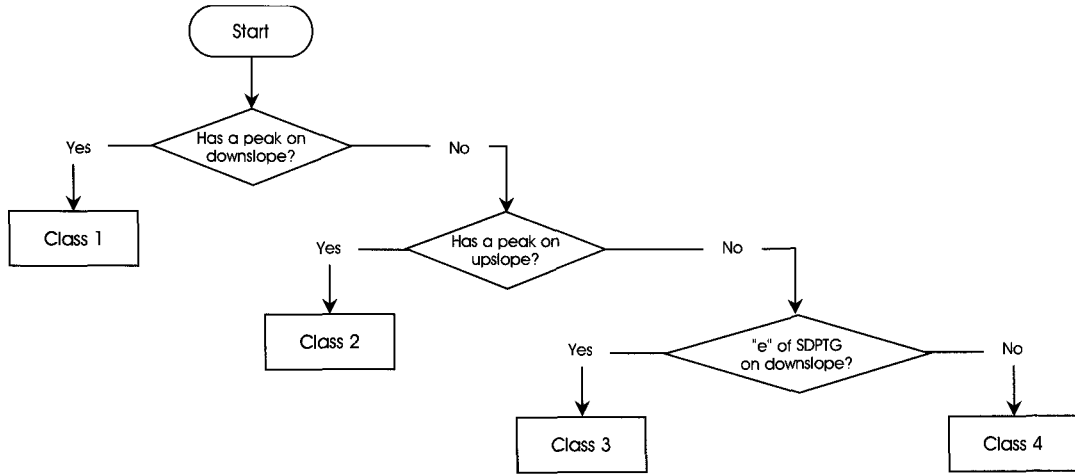


그림 6. PPG 신호의 맥파형 분류를 위한 순서도  
 Fig. 6. A sequence diagram for the classification of PPG pulse type

하나의 맥파형으로 분류한 이유는 기존에 제안된 분류 기준으로 절흔과 중복파의 소실 정도를 정량적으로 표현할 수 없기 때문이다. 즉, 그림 3의 Class 2와 Class 3, Class 4의 맥파형은 양자화(quantization) 스텝 크기나 해석자의 경험적 지식 등에 의해 서로 다른 맥파형 분류 결과를 나타낼 수 있다. 따라서 그림 3의 Class 2와 Class 3, Class 4를 정량적으로 분류하기 위하여 그림 5의 Class 2와 같이 동일한 맥파형으로 분류하였다.

Dawber 등이 제안한 맥파형 분류 기준과 달리 본 논문에서는 그림 5의 Class 4를 새로운 맥파형으로 구분하였다. 그림 5의 Class 4는 절흔과 중복파가 뚜렷하게 나타나지만 그 위치가 Class 1과 반대인 것을 나타낸다. 즉, 절흔과 중복파가 맥파의 최정점(그림 1의 b)보다 앞서 나타나며, 두 특징점의 구분이 명확한 맥파형을 나타낸다. 이러한 맥파형은 상대적으로 느린 속도로 최정점에 도달하며, 따라서 이전에 생성된 맥파성분이 빨리 반사되어 되돌아오므로써 최정점 전에 중복파와 절흔이 나타나게 된다 [6].

본 논문에서 제안한 맥파형 분류 기준을 이용하여 정량적으로 PPG 신호를 분류하는 순서는 그림 6과 같다. 먼저 맥파 신호의 상승 부분과 하강 부분에 나타나는 피크(peak)를 이용하여 Class 1과 Class 3을 구분한다. 피크가 나타나지 않는 신호들에 한하여 SDPTG의 diastolic positive wave(그림 2의 "e")가 맥파 신호의 최정점보다 앞에 나타나는지 혹은 뒤에 나타나는지를 이용하여 Class 2와 Class 4를 구분한다.

**B. 이차미분파(SDPTG)의 분류**

그림 7은 본 논문에서 제안한 SDPTG의 맥파형 분류 기준을 나타낸다. Sano 등이 제안한 맥파형 분류 기준과 유사하게 본 논문에서 제안한 맥파형 분류 기준 또한 7개의 맥파형으로 구분되어 있다. Sano 등이 제안한 맥파형 분류 기준과의 차이는 그림 4와 그림 7을 비교함으로써 이해할 수 있다. 그림 7에는 c 와 d wave가 소실

되어 있는 맥파형이 추가되었으며, 이를 Class C로 구분하였다. 또한 그림 4의 Class F와 Class G는 b wave 전에 c 와 d wave가 소실된 채 나타나는 신호로서 c 와 d wave가 이루는 파형의 평탄화 정도를 이용하여 구분한다. 이 경우 파형의 평탄화 정도를 어느 정도까지 인정하느냐에 따라 Class F와 Class G의 구분이 달라지게 되며, 이는 맥파형 분류 결과의 객관성을 떨어뜨리는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위하여 본 논문에서 제안한 새로운 맥파형 분류 기준은 그림 4의 Class F와 Class G를 그림 7의 Class G로 분류하였다.

본 논문에서 제안한 맥파형 분류 기준을 이용하여 정량적으로 SDPTG 신호를 분류하는 순서는 그림 8과 같다. 먼저 late upsloping wave(그림 2의 "c")가 양수인지 음수인지를 확인한 후 양수인 경우 Class A로 분류하고, 1차 미분 결과를 이용하여 c wave와 d wave가 존재하는지 확인한다. c 와 d wave가 존재하면 b wave와 d wave의 차이를 계산하여 Class D와 Class E를 Class B와 Class F로 부터 구분한다. Class D와 Class E는 b wave와 c wave 또는 c wave와 d wave의 차이 중 큰 값을 이용하여 임계값

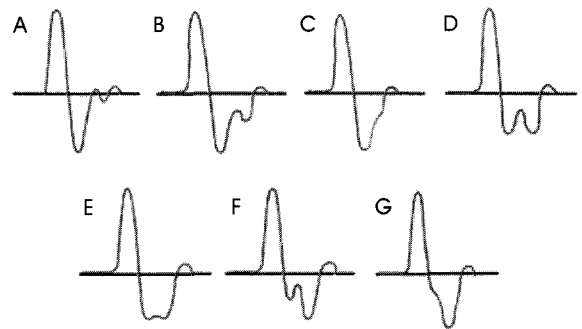


그림 7. 제안한 SDPTG 맥파형 분류 기준  
 Fig. 7. Proposed SDPTG pulse type classification rule

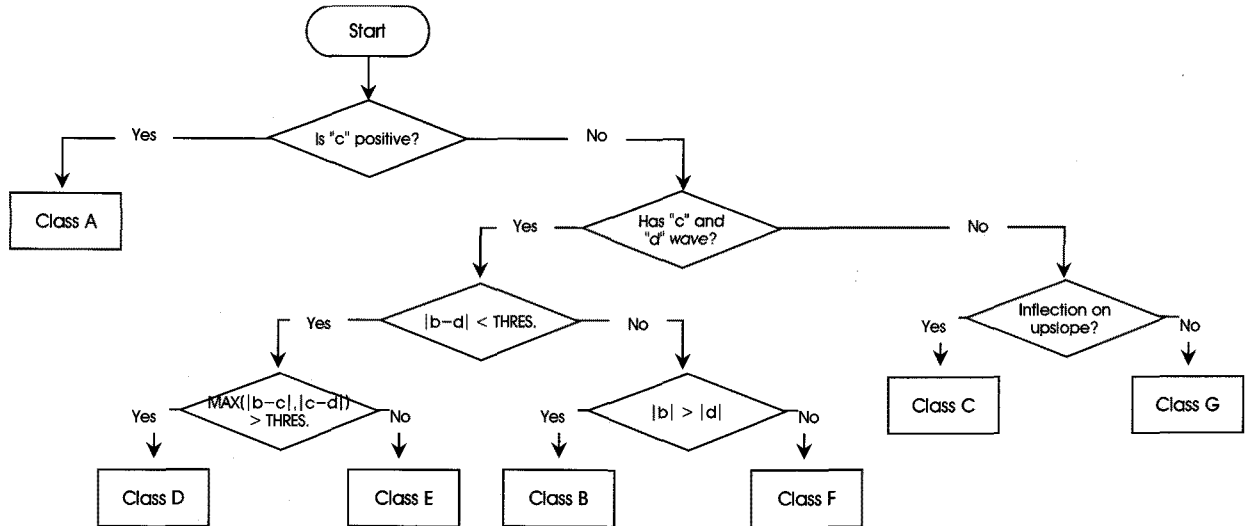


그림 8. SDPTG 신호의 맥파형 분류를 위한 순서도  
 Fig. 8. A sequence diagram for the classification of SDPTG pulse type

파 비교한 후 구분한다. Class B와 Class F는 b wave의 크기가 d wave의 크기 보다 클 경우 Class B로 구분하고 작을 경우 Class F로 구분한다. 만약 c wave와 d wave가 존재하지 않는 경우 변곡점이 나타나는 위치에 따라 Class C와 Class G를 구분한다. 본 논문에서는 Class D와 E를 구분하기 위한 임계값으로 b wave 크기의 1/10의 값을 사용하였고, 따라서 임계값이 맥파 신호에 종속적인 특성을 갖도록 구현하였다.

#### IV. 실험 및 결과

##### A. 실험 방법

본 논문에서 제안한 맥파형 분류 기준을 검증하기 위하여 155명의 남녀 피검자들로부터 광용적맥파를 수집하였다. 먼저, 광용적맥파를 수집하기 위하여 반사형 타입의 광용적맥파 측정기(주더 힘스社 HUBI Brain)를 이용하였다. 광용적맥파의 경우 피검자의 심박수 및 체온에 따라 맥파형이 변화될 수 있으므로 측정 전 5분

이상의 휴식을 취하게 한 후 심박수와 체온을 확인하였다. 심박수와 체온이 정상범위(60-120bpm, 36~37.5℃)에 속하는 피검자들을 대상으로 왼쪽 검지손가락에서 광용적맥파를 측정하였다. 또한 측정 부위의 압력에 따라 광용적맥파의 파형이 달라질 수 있으므로 동일한 측정 위치와 압력에서 신호를 수집할 수 있도록 피검자들을 안내하였다. 통계적 유의성을 보장받기 위하여 G\*Power Ver. 3.0.10 툴을 이용하여 통계적 검증력 분석(statistical power analysis)을 실시하였다. 그 결과 138개 이상의 표본수가 수집되어야 통계적으로 유의하다는 결과를 얻을 수 있었고, 본 논문에서는 155명의 피검자를 대상으로 실험을 실시하였다. 모집된 피검자들의 연령은 20~79세 사이로 성별·연령별 표본수가 일정하도록 맥파 신호를 수집하였다.

본 논문에서 제안한 맥파형 분류 기준을 수집한 맥파 신호에 적용하기 위하여 기저점,최정점, 중복파 등 주요 특징점을 검출하였다. 실험 결과의 객관성을 위하여 특징점이 잘못 검출된 맥파 신호의 경우 실험 데이터베이스에서 제거하였다. 맥파형 분류 프로그

표 2. 제안한 PPG 맥파형 분류 기준을 이용한 PPG 맥파의 분류 결과

Table 2. A result of PPG type classification using the proposed PPG pulse type classification rule

연령	맥파형	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4
20대		68.23%	26.46%	0.18%	5.13%
30대		37.86%	59.88%	0.48%	1.78%
40대		18.05%	79.56%	0.77%	1.62%
50대		22.64%	73.25%	1.97%	2.14%
60대		5.53%	92.84%	0.90%	0.73%
70대		2.46%	94.36%	2.46%	0.71%

표 3. 제안한 SDPTG 맥파형 분류 기준을 이용한 SDPTG 맥파의 분류 결과

Table 3. A result of SDPTG type classification using the proposed SDPTG pulse type classification rule.

연령	맥파형	Class A	Class B	Class C	Class D	Class E	Class F	Class G
20대		68.72%	17.97%	8.37%	3.00%	0.26%	0.00%	1.67%
30대		57.45%	35.48%	5.35%	1.44%	0.00%	0.07%	0.21%
40대		35.96%	47.88%	0.08%	12.65%	0.20%	3.17%	0.04%
50대		37.77%	36.36%	0.11%	16.61%	1.01%	8.14%	0.00%
60대		16.32%	40.31%	0.66%	27.54%	0.25%	14.51%	0.41%
70대		30.74%	17.69%	1.36%	34.91%	1.12%	13.85%	0.32%

램은 그림 6과 그림 8의 순서도를 이용하여 MFC 기반의 윈도우 프로그램으로 작성하였다. 또한 연령 증가에 따른 맥파형의 변화 상태를 통계적으로 분석하기 위하여 SPSS Ver. 15.0을 이용하였다. 이를 통하여 연령별 맥파형의 변화 추이를 살펴보고, 기존의 선행연구 결과들과 비교함으로써 제안한 맥파형 분류 기준이 유의함을 증명하고자 하였다.

**B. 실험 결과**

표 2와 표 3은 155명의 피검자들로부터 수집한 맥파 신호를 이용하여 맥파형을 분류한 결과이다. PPG 신호의 경우 연령이 증가할수록 Class 1의 비중이 감소하고 Class 2의 비중이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이를 그래프로 나타내면 그림 9와 같으며, 연령 증가에 따라 Class 1, Class 2, Class 3 순으로 PPG 파형의 비중이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과가 나타나는 이유는 연령이 증가하면서 혈관의 유순도가 감소하고 그 결과 반사파 도달 시간(reflected wave arrival time)이 줄어들기 때문이다. 이는 Dawber 등의 실험결과와 유사한 것으로 본 논문에서 제안한 정량적 PPG 맥파형 분류 방법이 기존의 방법들과 유사한 특성을 보이는 것을 나타낸다. 또한 본 논문에서 새로이 추가한 맥파형 Class 4는 연령이 증가할수록 그 비중이 감소하는 것으로 나타났다.

SDPTG 신호에 대하여 맥파형 분류 기준을 적용한 결과는 표 3

과 그림 10과 같다. 연령이 증가할수록 Class A의 비중이 감소하고 Class D와 Class F의 비중이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 Sano 등의 실험결과와 유사한 것으로 본 논문에서 제안한 SDPTG 맥파형 분류 기준이 기존의 연구결과와 유사한 특징을 나타냄을 의미한다. 또한 본 논문에서 새로이 추가한 맥파형 Class C는 20대와 30대의 경우 연령이 증가할수록 비중이 감소하지만 40대 이후에서는 비중이 증가하는 것으로 나타났다.

표 4는 연령과 PPG 맥파형, 연령과 SDPTG 맥파형의 상관관계를 분석한 결과이다. 연령의 경우 정규분포를 나타내므로 Pearson's 상관계수를 사용하였고, 맥파형의 경우 정규분포를 나타내지 않기 때문에 Spearman's 상관계수를 사용하였다. 먼저 연령과 PPG 맥파형 간의 상관관계를 분석해 보면, Class 1( $p < 0.01$ )과 Class 2( $p < 0.01$ )의 경우 0.01 레벨에서 유의한 관계를 가지는 것을 확인할 수 있다. 즉, Class 1은 연령이 증가함에 따라 비중이 감소하는 경향을 가지고 Class 2는 연령이 증가함에 따라 비중이 증가하는 경향을 가진다. 하지만 Class 3과 Class 4의 경우 연령과 맥파형 간의 상관관계가 유의하지 않다는 것을 확인할 수 있다. SDPTG 맥파형의 경우 Class A( $p < 0.01$ )와 Class D( $p < 0.01$ ), Class F( $p < 0.01$ )의 경우 0.01 레벨에서 연령과 유의한 상관관계를 가지고 Class C( $p < 0.05$ )의 경우 0.05 레벨에서 유의한 상관관계를 가지는 것을 확인할 수 있다. 반대로 Class B와 Class E,

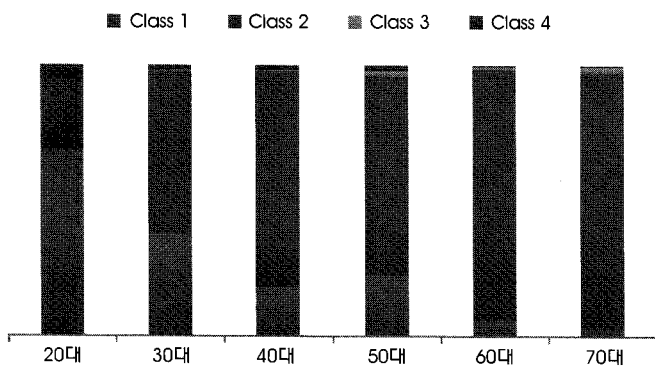


그림 9. 연령 증가에 따른 PPG 맥파형의 변화  
Fig. 9. Variations of PPG pulse type according to aging

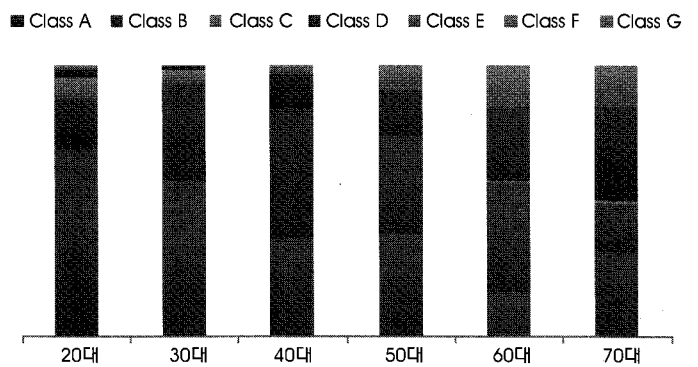


그림 10. 연령 증가에 따른 SDPTG 맥파형의 변화  
Fig. 10. Variations of SDPTG pulse type according to aging

표 4. 연령과 맥파형 간의 상관관계(correlation) 분석 (N=155)

Table 4. A correlation analysis between age and pulse type

		Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	
PPG	Pearson Corr.	-.484(.000)**	.399(.000)**	.133(.098)	-.152(.058)	
	Spearman's rho	-.532(.000)**	.371(.000)**	.155(.054)	-.116(.151)	
		Class A	Class B	Class C	Class D	
SDPTG	Pearson Corr.	-.404(.000)**	-.031(.706)	-.183(.022)*	.453(.000)**	
	Spearman's rho	-.394(.000)**	-.026(.749)	-.169(.036)*	.577(.000)**	
			Class E	Class F	Class G	
	Pearson Corr.	.113(.163)	.330(.000)**	-.100(.214)		
	Spearman's rho	.120(.137)	.470(.000)**	.015(.850)		

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

\* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Class G의 경우 연령과 맥파형 간의 상관관계가 유의하지 않은 것으로 나타났다.

### V. 결론

본 논문에서는 광용적맥파를 정량적으로 분류하기 위한 새로운 기준을 제시하였다. 먼저 광용적맥파를 PPG 신호와 SDPTG 신호로 구분하여 각 신호 별 특징점을 정의하였고 해당 특징점의 발생 유·무와 위치를 이용하여 맥파형을 구분하였다. 연령과 PPG 맥파형, 연령과 SDPTG 맥파형의 상관관계를 분석한 결과에서도 기존의 연구결과와 유사한 결과를 보임으로써 본 논문에서 제안한 새로운 맥파형 분류 기준이 기존의 그것과 통계학적으로 유의함을 증명하였다. 이를 통하여 본 논문에서 제안한 새로운 맥파형 분류 기준이 기존의 그것보다 객관적이고 정량적이며, 연령별 특성을 잘 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 이를 바탕으로 맥파 신호를 이용한 혈관경화도 평가 및 혈관 나이 추정 알고리즘의 보조적 평가 지표로서 사용이 가능할 것으로 보인다.

### 참고문헌

[1] P.Y. Zhong and H.Y. Wang, "A Framework for Automatic Time-Domain Characteristic Parameters Extraction of Human Pulse Signals," *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, vol. 2008, no. 55, pp. 1-9, 2008.

[2] P.H. Tsui et al., "Arterial pulse waveform analysis by the probability distribution of amplitude," *Physiol. Meas.*, vol. 28, no. 8, pp. 803-812, 2007.

[3] S.C. Millasseau, J.M. Ritter, K. Takazawa, and P.J. Chowienczyk, "Contour analysis of the photoplethysmographic pulse measured at the finger," *Journal of Hypertension*, vol. 24, no. 8, pp. 1449-1456, 2006.

[4] T.R. Dawber, H.E. Jr. Thomas, and P.M. McNamara, "Characteristics of the dicrotic notch of the arterial pulse wave in coronary heart disease," *Angiology*, vol. 24, no. 4, pp. 244-255, 1973.

[5] Y. Sano et al., "Evaluation of peripheral circulation with accelerated plethysmography and its practical application-Quantification of inflection points of a waveform," *Bull. Phys. Fitness Res. Inst.*, vol. 68, pp. 17-25, 1988.

[6] T.H. Kim et al., *Biofunctional Medicine*, Seoul, Korea: Koonja Press., 2008, pp. 49-80.

[7] Sean Walsh and Emma King, *Pulse Diagnosis - A Clinical Guide*, PA, USA: Elsevier, 2008, pp. 5-21.

[8] John Allen, "Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement," *Physiol. Meas.*, vol. 28, pp. R1-R39, 2007.

[9] K.I. Song and J.S. Choi, *Clinical Data Analysis by SPSS 15 - A practical Guide for Clinicians*, Seoul, Korea:Hannarae Publishing Co., 2009, pp. 71-77.

[10] B. Jano and C. Raikumar, "Ageing and vascular ageing," *Postgrad Med J*, vol. 82, pp. 357-362, 2006.

[11] R. Gonzalez et al., "A Computer Based Photoplethysmographic Vascular Analyzer through Derivatives," *Computers in Cardiology*, vol. 35, pp. 177-180, 2008.

[12] H. Wang and P. Zhang, "A Quantitative Method for Pulse Strength Classification Based on Decision Tree," *Journal of Software*, vol. 4, no. 4, pp. 323-330, 2009.

[13] S.H. Park and H.S. Hong, "A Study on the Auto-diagnosis Plethysmograph by Novel Algorithm for Radial Pulse Detection," *J. of KOSOMBE*, vol. 17, no. 2, pp. 241-245, 1996.

[14] C.M. McEniery et al., "Normal Vascular Aging: Differential Effects on Wave Reflection and Aortic Pulse Wave Velocity," *Journal of the American College of Cardiology*, vol. 46, no. 9, pp. 1753-1760, 2005.