

압력에 따른 맥파의 푸리에 분석

윤영준 · 이명화 · 신학수 · 정현민 · 조정현 · 소광섭

서울대학교 사범대학 물리교육과 151-742

Analysis of Fourier Amplitude of Pulse Wave with Varying Contact Pressure

Young-Jun Yoon, Myeong-Hwa Lee, Hak-Soo Shin, Hyun-Min Johng,
Johng-Hyun Cho, Kwang-Sup Soh

Dept. of Physics Education, Seoul National University

ABSTRACT

We investigate how the frequency and the Fourier amplitude of the pulse wave behave as the contact pressure of the sensor on the skin increases. The results are that the fundamental frequency of the pulse wave hardly changes and the Fourier amplitude has several different patterns depending on the personal constitution, and its patterns are classified. We also show that the classified patterns can be related to the different pulse types by the magnitude of the pressure required to reach the maximum Fourier amplitude and the range of the pressure at which the maximum Fourier amplitude is maintained.

압력을 증가시켜가며 맥파를 측정하여 맥파의 진동수와 푸리에 진폭이 가해진 압력에 따라 어떠한 양상을 보이는지 조사하였다. 맥파의 기본 진동수는 압력에 따른 변화를 거의 보이지 않았으며, 푸리에 진폭은 개인의 체질에 따라 몇 가지 유형으로 분류될 수 있음을 보였다. 이 유형들을 다시 푸리에 진폭이 최고점에 이를 때의 압력의 크기와 최고점에서의 상태를 유지할 수 있는 압력의 범위에 따라 맥상의 여러 형태와 연관지을 수 있음을 보였다.

I. 서 론

맥은 한의학에서 진단의 매우 기초적인 자료로서 활용되고 있으며, 맥상의 모양에 따라 나타나는 부·침, 허·실, 대·소 등의 유형은 개인의 체질이나 건강 상태를 반영한다. 이러한 의미에서 맥상의 여러 유형에 대한 정량적인 분석은 객관적이고 체계적인 진단의 자료로서 쓰

여질 수 있다¹⁾. 맥파에 대한 과학적인 분석 방법의 하나로서의 푸리에 분석은 이미 Wang²⁾ 등에 의해 시도되어져왔는데, 침과 같은 자극 전후에 맥파의 푸리에 성분들의 변화가 인체의 각 장부와 연관되어졌다.

본 연구에서는 개인의 각각 다른 체질을 반영하는 부·침, 허·실 등 맥상의 여러 유형이 압력에 따른 반응으로써 구분될 수 있다는³⁾ 사실을 바탕으로 압력을 증가시켰을 때 나타나는 푸리에 성분들의 유형을 조사하였고 이를 맥상의 여러 유형과 연관시키고자 하였다. 또한 압력에 따른 맥박의 빠르기와 각 푸리에 성분들의 비를 분석하였다.

시간에 대해 연속적으로 얻어진 맥파는 최고점과 그 다음 최고점까지로 이루어진 동일해 보이는 각각의 파형들로 다시 나누어질 수 있는데 이러한 파형들은 분석 결과 진동수나 푸리에 성분들에 있어 거의 변화가 없이 일정한 경향을 보이는 것으로 나타났으므로 본 연구에서는 맥파를 시간에 대해 안정적인 신호로 간주하고 시간에 대해 연속적으로 얻어진 맥파를 각각의 파형들로 나누지 않고 전체를 푸리에 분석하였다.

II. 실험 데이터의 획득

맥파를 검출하기 위해 사용된 맥진 검출 장치는 압전식 변형 센서, 압력 조절부, 신호 증폭기, 필터, AD 변환기 등으로 구성되었으며, 변형 센서는 혈관 내 혈압을 측정토록 고안된 압전식 센서인 MPX-2300DT1의 외형을 변형시킨 것이다. 압력 조절부는 변형 센서에 수직으로 일정한 무게의 추를 차례로 올려가며 압력을 조절할 수 있도록 설계되었다⁴⁾.

피실험자들은 특별한 질병이 없는 22~38세의 남녀 각각 10명으로 구성되었고, 피실험자가 실험 전 10여분간 누워서 휴식을 취한 후 몸과 동일한 높이에서 좌측 관맥의 맥파를 검출하였다. 각 피실험자에게 압력 조절부에 20g의 추를 15~21개 정도까지 차례대로 올려가며 각각 약 11.7초간 맥파를 검출하였고, 표본 추출 비율은 700Hz였다. 20g 추 1개가 작용하는 압력은 약 58mmHg였다.

III. 푸리에 분석

시간의 함수로서 주어지는 신호는 종종 진동수 영역에서 보아졌을 때 많은 유용한 정보를 나타낸다. 즉, 각 진동수의 성분들과 진동수의 함수로서 얻어지는 푸리에 진폭과 위상을 조사함으로써 시간 영역에서 볼 수 없었던 새로운 정보를 얻게 되는 것이다. 일정한 시간 간격으로 불연속적으로 얻어지는 실험적 데이터의 경우 불연속 푸리에 변환은 다음과 같이 주어진다.

$$X_n = \sum_{k=0}^{N-1} x_k e^{2\pi i k n / N}, \quad f_n = \frac{n}{N \Delta t}$$

여기서 Δt 는 신호를 검출하는 시간 간격, 즉 표본 추출 시간을 나타내고 N 은 총 데이터 개수, x_k 는 시간 $k \Delta t$ 에서의 신호이며, X_n 은 푸리에 변환의 결과 주어지는 진동수 f_n 에서의 푸리에 진폭을 나타낸다.

본 연구에서는 700Hz의 표본 추출 비율로 얻어진 맥파 신호를 저주파 통과 필터 (Butterworth filter)를 거쳐 처음 1000개의 데이터(약 1.4초의 시간에 해당)를 버린 후 10초 동안 얻어진 7000개의 데이터를 사용하여 불연속 푸리에 변환을 하였다. 불연속 푸리에 변환을 통하여 진동수와 푸리에 진폭을 얻은 후 압력의 변화에 따른 진동수 f_n , 푸리에 진폭 X_n , 기본 진동수 f_1 에서의 푸리에 진폭 X_1 에 대한 각각의 진동수에서의 푸리에 진폭 X_n 의 비 $\frac{X_n}{X_1}$ 가 그 값이 비교적 지배적으로 큰 처음부터 다섯번째까지의 성분들($n = 1 \sim 5$)에 대해 분석하였다.

IV. 결 과

1. 압력의 변화에 따른 진동수의 변화

일정한 압력에 대해 거의 모든 경우에 있어서 맥파의 진동수(f_n)는 기본 진동수(f_1)의 정수 배에서 나타났으며[표 1], 이는 맥파가 거의 주기적인 신호임을 말해준다. 그림 1 (a)는 한 남성 피실험자의 압력에 따른 진동수를 나타낸 것으로서 압력 1은 맥파를 측정할 때 20g의 추를 한 개 올려 놓았을 때 작용하는 압력으로서 약 58mmHg에 해당한다. 그림에서 알 수 있듯이 압력을 증가시켰을 때 맥파의 진동수는 거의 변화를 보이지 않았으며 이는 맥동의 진폭이 압력에 크게 영향을 받는 것과 대조적이다. 그림 1 (b)는 각 개인이 갖는 압력에 따른 맥파의 평균 기본 진동수와 표준 편차를 나타낸 것으로서 처음 10개는 여성 피실험자, 나중 10개는 남성 피실험자의 평균 기본 진동수로서 각 개인마다의 맥박의 빠르기를 알려준다. 대부분(16명)의 피실험자의 경우 압력에 따른 맥파의 기본 진동수의 평균은 약 0.8~1.3Hz 정도에 분포하였고 기본 진동수가 1.0Hz미만의 값을 갖는 맥파는 맥박이 매분 60회 미만에 해당하는 지맥, 1.4Hz이상의 값을 갖는 맥파는 맥박이 매분 90회이상에 해당하는 삭맥에 가까운 맥임을 나타낸다. 그림에서는 여자의 경우가 개인에 따른 기본 진동수의 편차가 좀 더 큰 것으로 나타났지만 표본의 개수가 남녀 각각 10개였음을 고려할 때 이로부터 기본 진동수에 대한 남녀의 차를 논하기는 힘들 것으로 생각된다. 이러한 경향이 일반적인지에 대한 연구는 대규모 표본의 조사후에 가능하며 본 연구의 범위 밖의 일이다.

진 동 수	f1	f2	f3	f4	f5
평 균	0.995	1.985	2.970	3.950	4.955
표준 편차	0.022	0.048	0.078	0.107	0.124

[표 1] 한 남성 피실험자 맥파의 압력에 대한 진동수의 평균과 표준 편차

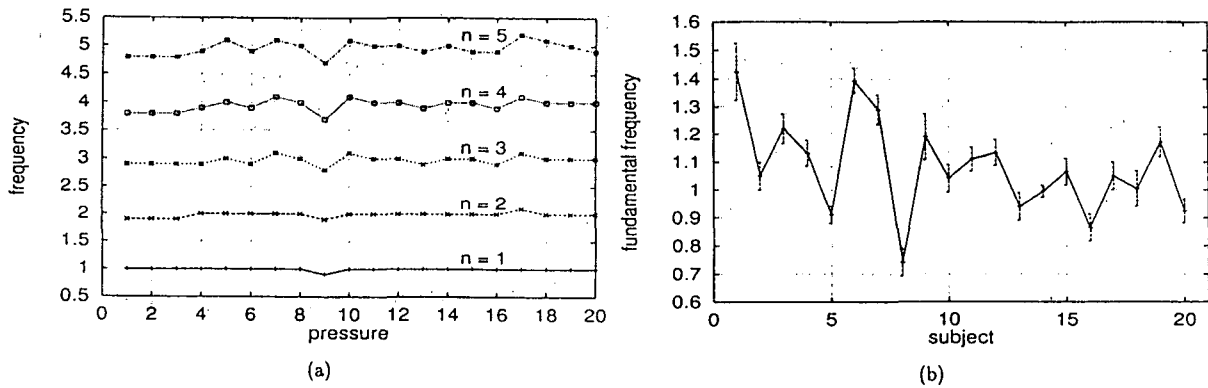


Figure 1 : (a) frequency vs pressure (b) fundamental frequency for each subject

2. 압력의 변화에 따른 푸리에 진폭의 변화

그림 2는 압력에 따른 푸리에 진폭의 몇몇 대표적 유형을 보여주는데 공통적으로 맥상의 변화에 가장 큰 영향을 끼치는 푸리에 성분은 처음 세 성분 X_1, X_2, X_3 임을 알 수 있다. 압력에 따른 푸리에 진폭의 유형은 (a)압력을 증가시켰을 때 푸리에 진폭이 증가하여 최고점을 이룬 후 압력을 계속 증가시키면 감소하는 경우, (b)최고점을 이룬 후 압력에 대해 좀 더 안정적으로 일정한 값을 유지하다 감소하는 경우, (c)최고점에 다다른 후 거의 일정한 상태를 유지하는 경우, (d) 압력이 증가함에 따라 계속 푸리에 진폭도 증가하는 경우로 크게 분류되었다. 맥파의 각 푸리에 성분은 인체의 각 장부에 대응된다는 Wang[2]의 견해에 따르면 진단시 맥의 특성을 가장 잘 파악할 수 있는 경우는 각각의 푸리에 성분들이 뚜렷한 차이를 보일 때로 생각되는데 이는 일반적으로 그림에서 보여지듯이 푸리에 진폭이 최대값을 가질 때로 여겨진다. 이러한 관점에서 압력에 따른 푸리에 진폭의 유형을 살펴 보면 유형 (a)는 푸리에 진폭이 좁은 압력의 범위에서만 큰 값을 가지므로 이러한 유형의 맥파를 갖는 사람의 경우 정확한 진단이 이루어지기 위해서는 각 개인에 해당하는 적절한 압력의 범위를 찾는 것이 중요하리라 생각되며, (b)의 경우는 푸리에 진폭이 최대를 나타내는 압력의 범위가 더 넓으므로 (a)유형에 비해 압력 조절의 범위가 좀 더 넓어질 수 있음을 시사한다. 유형 (c)는 어떤 압력 이상에서는 푸리에 진폭이 거의 안정적으로 큰 값을 가지므로 맥파의 측정시 조절해 주는 압력의 범위가 어떤 임계값 이상이면 압력에 무관하게 맥의 특성을 잡아낼 수 있으리라 생각되고, (d)의 경우는 압력에 따라 푸리에 진폭이 계속 증가하므로 압력을 크게 주었을 때 맥의 특성이 가장 잘 파악될 수 있으리라 여겨진다. 표 2는 각각의 (a), (b), (c), (d) 유형들이 남녀 각각의 경우 어느 정도의 빈도수로 나타나는지를 나타낸 것인데 전반적으로 남자의 경우는 (d)유형이, 여자의 경우는 (a)유형이 가장 많은 분포를 보였다.

유형	(a)	(b)	(c)	(d)	계
남	2	2	2	4	10
여	4	3	3	0	10

[표 2] 남녀별 압력에 따른 푸리에 진폭의 네 가지 유형에 대한 빈도수

각각의 유형은 압력에 따른 푸리에 진폭이 최고점에 이르게 되는 압력의 크기와 최고점에

도달한 후 그 상태가 지속되는 압력의 범위에 따라 좀 더 세분화될 수 있다. 표 3은 맥파의 푸리에 진폭이 최고점에 이를 때의 압력의 크기를 보여 준다.

추의 개수	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	계속 증가	계
남	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	4	10
여	0	0	2	2	2	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	10

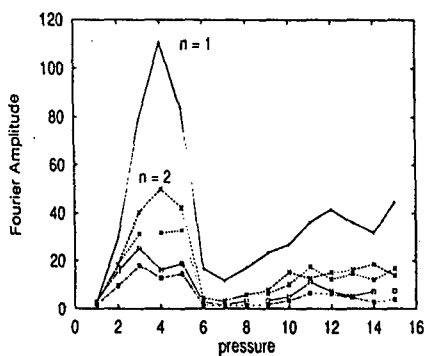
[표 3] 남녀별 푸리에 진폭이 최고점에 도달할 때의 압력의 크기. 추 1개가 작용하는 압력은 약 58mmHg에 해당한다.

이러한 푸리에 진폭이 최고점에 도달할 때의 압력의 크기는 맥상의 여러 형태 중에서 부·중·침과 연관지어질 수 있는데, 추의 개수가 6개 이하일 때 푸리에 진폭이 최고점에 다다른 맥파는 대체적으로 가볍게 짚으면 손가락에 박동이 느껴지고 세게 짚으면 감이 약하게 되는 부맥, 추의 개수가 7개에서 12개일 때 푸리에 진폭이 최고점에 이르는 맥파는 중맥, 추의 개수가 13개 이상에서 최고점을 나타내는 맥파는 가볍게 짚으면 느껴지지 않고 세게 짚으면 느껴지는 침맥을 암시하는 것으로 생각된다. 전반적으로 여자의 경우에는 가해진 압력의 크기가 비교적 작을 때 최대 푸리에 진폭에 도달하는 부맥이, 남자의 경우에는 압력이 증가함에 따라 푸리에 진폭도 계속 증가하는 침맥이 상대적으로 많이 나타남을 알 수 있었고 이는 임상적 결과와도 일치한다.

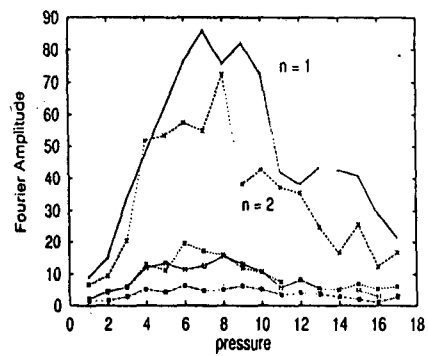
표 4는 압력에 따른 푸리에 진폭이 최고점에 이른 후 다시 감소하는 맥파(유형 (a), 유형 (b)) 중에서 최고점에 도달한 후 그 상태가 지속되는 압력의 범위를 표로 나타낸 것인데 이 값이 크고 작음에 따라 박동이 크고 힘이 있는 실맥과 박동이 가늘고 연약하며 힘이 없는 허맥이 분류될 수 있다. 표 4에서는 추의 개수가 1~2개인 경우는 허맥, 5이상인 경우는 실맥으로 보여진다.

추의 개수	1	2	3	4	5	6	7	계
남	1	2	0	0	0	1	0	4
여	3	1	0	0	1	1	1	7

[표 4] 그림 2에서 (a)와 (b) 유형에 해당하는 맥파 중에서 남녀별 푸리에 진폭이 최고점에 도달한 후 그 상태가 지속되는 압력의 범위. 추 1개가 작용하는 압력은 약 58mmHg에 해당한다.



(a)



(b)

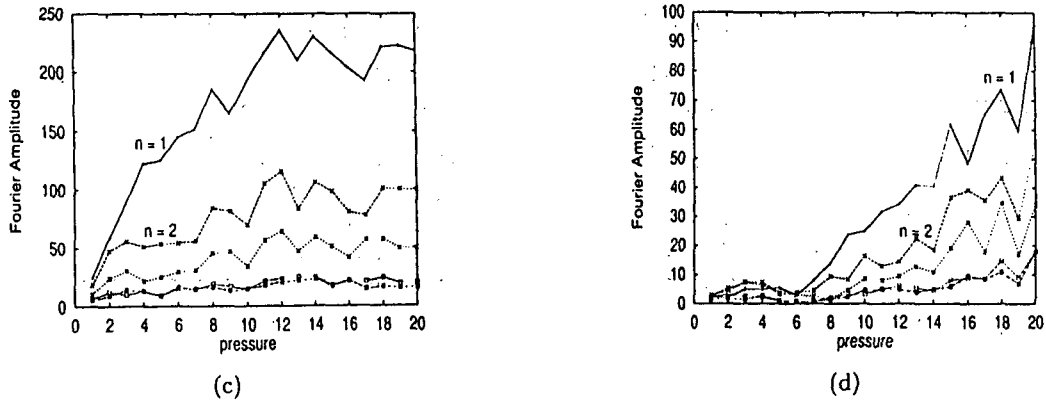


Figure 2 : Fourier Amplitude vs pressure

3. 압력의 변화에 따른 푸리에 진폭의 비의 변화

그림 3은 기본 진동수에서의 푸리에 진폭에 대한 각 성분 푸리에 진폭의 비($\frac{X_n}{X_1}$)가 압력을 증가시킬 때 어떻게 변하는가를 보여주는 하나의 예이다. 대부분의 경우에서 압력이 작을 때는 개인에 따라 다른 유형을 보였지만 압력이 어느 정도 증가하면(추 2개 : 116mmHg ~ 추 5개 : 240mmHg) 푸리에 진폭의 비는 거의 일정한 경향을 보였다. 이는 압력에 따라 푸리에 진폭의 각각의 성분의 크기는 변하지만 기본 진동수에서의 푸리에 진폭에 대한 비는 거의 변하지 않고 일정하게 나타남을 말해준다. 이는 맥상의 부·중·침의 판단이나 허·실의 판단에서 기본 진동수 푸리에 진폭으로 판단할 수 있음을 보여준다.

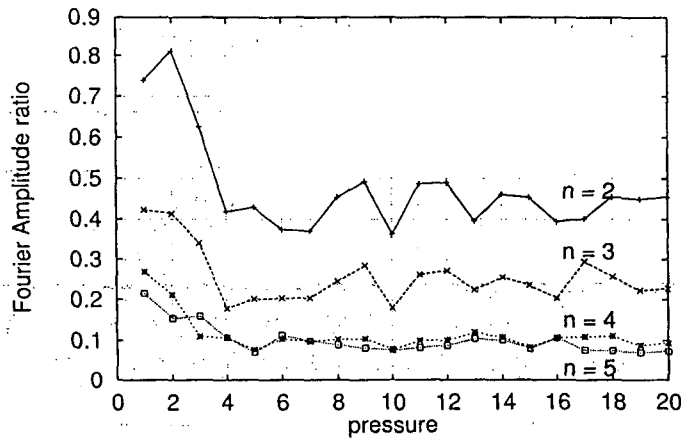


Figure 3 : $\frac{X_n}{X_1}$ pressure vs

V. 토 의

맥상에 대한 과학적이고 체계적인 접근을 위하여 압력을 증가시켜가며 맥파를 측정하였을 때 그 푸리에 성분들이 압력에 따라 어떠한 경향을 보이는지를 조사하였다. 그 결과 압력이

증가해도 맥파의 진동수는 거의 변하지 않고 일정하게 유지되는 생리적 현상임을 보였으며, 반면 각 성분의 푸리에 진폭은 큰 변화를 보였다. 푸리에 진폭의 변화는 크게 네 가지 유형을 나타내었고 이 유형들은 맥파를 효과적으로 측정하기 위해 가해주어야 할 압력의 크기에 대한 정보를 준다. 이러한 유형들은 다시 푸리에 진폭이 최고점에 이르게 하는 압력의 크기와 최고점에 머무르는 압력의 범위에 따라 다시 세분화될 수 있었는데, 최고점에 이르게 되는 압력의 크기는 그 값이 작은가 중간인가 혹은 큰가에 따라 개인의 체질을 부·중·침으로 구분할 수 있도록 해주며 최고점에 머무는 압력의 범위는 그것이 얼마나 작고 큰가에 따라 허맥과 실맥을 구분할 수 있게 한다. 압력에 따라 푸리에 진폭은 이와 같이 개인의 체질에 따라 다른 양상을 띠었으나 기본 진동수에서의 푸리에 진폭에 대한 각 성분 푸리에 진폭의 비는 압력이 어느 정도 증가하면(116mmHg~240mmHg) 거의 일정하게 유지되었고 이는 가해주는 압력을 변화시킬 때 각 푸리에 성분들은 일정한 비로 크기가 변함을 말해준다.

이러한 압력에 따른 맥파의 특성은 각 개인의 맥박의 빠르기와 각 개인의 체질에 따른 맥상의 특징을 잘 반영하며 이는 진단의 기초 자료로서 활용되어질 수 있다. 이 후 다양한 체질을 갖는 좀 더 많은 사람들에게 대한 푸리에 분석과 이에 대한 분류가 필요하며 이는 좀 더 정량적이고 과학적으로 맥상을 분류하는데 있어 도움을 줄 수 있을 것이고 맥에 의한 진단의 자료로서 쓰여질 수 있을 것이다.

VI. 참고 문헌

1. 이봉교, 김태희, 박영배, 한방진단학 (1992), 박영배, "맥진기의 현황과 전망", 대한한의진단학회지, 86 (1991)
2. Wei Kung Wang, Tse Lin Hsu, Hsi Chan Chang, and Yuh Yin Lin Wang, American Journal of Chinese Medicine 24, No. 3-4, 77 (1993)
3. 윤영준, 정현민, 신학수, 조정현, 소광섭, 정찬길, 소경순, "압력에 따른 맥파의 진폭 특성", preprint (1999)
4. 윤영준, 정현민, 신학수, 조정현, 소광섭, "압력 조절식 맥진센서의 개발", 대한의용생체공학회지(출판예정) (1999)

감사의 글

이 연구는 1998년 한국 학술진흥재단의 학술 연구비 지원(1998-015-D00054)과 서울대학교 이론물리센터(KOSEF, CTP)의 지원을 받았음.