

---

# Swan-Ganz Catheter를 이용한 심폐기능 이상자의 지속적 심박출량 측정 모듈 개발에 관한 연구

한승환\* · 김영길\*\*

\*아주대학교

The Study of continuous cardiac output measurement module development of  
the cardiopulmonary function patient of using the Swan-Ganz Catheter

Seung-hwan Han\* · Young-kil Kim\*\*

\*Ajou University

E-mail : flytospace@ajou.ac.kr

## 요 약

본 논문에서는 심폐기능에 이상이 있는 중환자의 상태를 감시 및 진단하기 위한 방법으로 Swan-Ganz Catheter를 체내에 삽입하여, 지속적인 심박출량 데이터를 기존 장비들 보다 정밀하게 측정할 수 있는 모듈을 개발하고자 한다. 이전에 차가운 수액을 심장 내에 주입하여 심박출량을 측정하는 방법은 지속적인 환자의 감시 및 진단이 힘들다는 점을 보완하여 지속적인 심박출량 측정을 통해 심폐기능 문제를 가진 중환자를 보다 효과적이고 정확한 진단과 치료를 가능하게 한다.

## ABSTRACT

The purpose of the thesis is to develop a module which can measure precise Continuous Cardiac Output(CCO) better than existing equipments for the critical cardiopulmonary patient diagnosis purpose. This module enables more precise and effective diagnosis and treatment for the patient by compensating old method which injected cold liquid to inside of heart to measure the CCO.

## 키워드

Continuous Cardiac Output, Swan-Ganz Catheter, Thermodilution, Patient

## 1. 서 론

심박출량(Cardiac Output)은 심장 박동을 통해 전신으로 나가는 분당 혈액의 양으로써, 심장 기능뿐만 아니라 전체 순환계의 상태를 반영하는 지표이며, 전신 조직의 자율적인 조절을 통해 통제된다. 따라서 심박출량(Cardiac Output)을 측정하는 것은 중환자 진료에서 매우 중요한 항목이다. 정상인의 경우 분당 5-6 L의 심박출량을 갖

고, 예비 용량은 매우 커서 경우에 따라 분당 25-30 L까지도 증가할 수 있다. 환자의 상태가 중증이 될수록 심박출량 측정의 빈도가 잦아진다. 심폐기능에 이상이 있는 중환자를 진단 및 감시하기 위한 방법으로 Swan-Ganz CCO Catheter(Edward LifeScience社)가 유용하게 사용되고 있다. Swan-Ganz CCO Catheter를 이용하면 중심정맥압, 우심방압, 우심실압, 폐동맥압을 지속적으로 측정하는 것 외에도 심박출량과 혼

합정맥혈산소포화도를 측정할 수 있으며 이를 이용하여 일회심박출량, 전신 및 폐혈관저항, 산소소모량 및 공급량과 산소이용률, 폐내 셉트 등을 계산할 수 있다. 이를 통해 조직의 관류 상태나 산소화 정도에 대한 자료를 알 수 있으며 열역학적 변화를 감지함으로써 치료 방향의 설정 및 치료 효과에 대한 관정을 가능하게 한다.

현재 많은 병원들이 고가의 외산 장비를 사용하고 있다. 하지만 본 연구를 통해 지속적인 심박출량(Continuous Cardiac Output) 플랫폼을 개발함으로써, 국내 의료기기의 기술적 발전과 경제적 비용의 절감을 동반한 국산화에 크게 기여할 수 있다. 본 연구의 제품 국산화를 통해 향후 유사 과제에 적용함으로써 점차 많은 장비로의 국산화를 진행함에 수월함을 가질 수 있다.

## II. 측정방법

### 2.1 Swan-Ganz Catheter

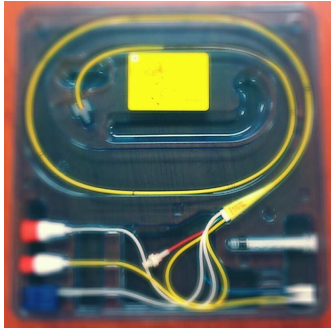


그림 1. Swan-Ganz Catheter

Swan-Ganz Catheter는 1970년 Swan과 Ganz 등에 의해 소개된 이후 심폐기능에 이상이 있는 중환자를 감시하는 장치로써 유용하게 사용되고 있다. Catheter는 110cm의 길이가 PA Catheter의 표준이다. Catheter의 끝이 경정맥, 쇄골하정맥으로부터 45-55cm, 대퇴정맥으로부터 70-80cm 까지 진행시키면 우심방(RA)에 도달할 수 있다. Catheter에는 10cm마다 표시가 되어 있어서 그 위치를 나타낸다. Catheter의 구조는 그림 1과 같다.

### 2.2 지속적 심박출량 측정방법

Swan-Ganz Catheter를 삽입하면 그림 2와 같이 Catheter에 달린 풍선이 경정맥, 상대정맥, 우심실, 우심방, 폐동맥까지 가면서 압력그래프를 보여준다.

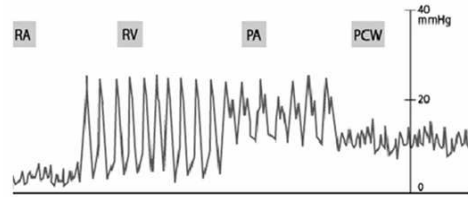


그림 2. Catheter 위치에 따른 압력변화

Catheter가 적절한 위치에 삽입되고 나면 풍선에서 15cm 정도 떨어진, 우심방 위치에서 Catheter에 위치한 filament에서 열을 가해준다. 그러면 풍선에서 대략 5cm 정도 떨어진 곳에서 온도를 재고 있다가 그 변화를 감지하게 된다. 사람의 중심체온은 대략 37도 정도이므로, 체온계가 37도로 측정되고 있다가 filament가 heating되면서 혈액의 온도가 올라갔다 다시 정상 혈액 온도로 돌아오게 된다.

이때, 만약 주변에 혈액의 혈류량이 정상이라면 혈액의 온도가 빠르게 정상범위로 돌아오게 되고, 주변의 혈류량이 적다면(심장의 혈액순환이 부족하다면) 정상 온도로 회복이 더디게 된다. 즉, 혈액이 충분하게 흐르면 체온이 빠르게 회복되고, 혈액이 부족하면 천천히 회복된다. 이러한 물리학적 특성을 이용하여 흐르는 혈류의 양을 측정하는 것을 열희석법(thermodilution technique)이라고 한다.

위와 같은 과정을 지속적으로 반복하고, 우심실에서 폐동맥으로 박출된 혈액의 양을 측정하게 되는데, 이것을 지속적 심박출량(Continuous Cardiac Output, CCO)이라고 한다.

## III. 시스템 설계

### 3.1 하드웨어 설계

본 연구의 플랫폼은 크게 두 가지 부분으로 나뉜다. 첫 번째는 Digital Board부분이다. 메인 프로세서는 초절전 프로세서로 의료기기에 주로 사용되는 MSP430을 사용하고 Catheter tip부분에 위치하는 thermistor로부터 온도 값을 전달 받기 위한 Signal Amplitude부분, 전달 받은 Analog 신호를 Digital신호로 변환해주는 ADC부분, Host와 통신을 위한 UART부분으로 구성된다. CCO 플랫폼의 두 번째 부분은 Analog Board부분으로 Filament에 열을 가해주는 Heater부분이다. 이 부분에서 의사난수이진법(Pseudo Random Binary Sequence)에 의해 10~15W의 신호를 Filament로 전달해 준다.

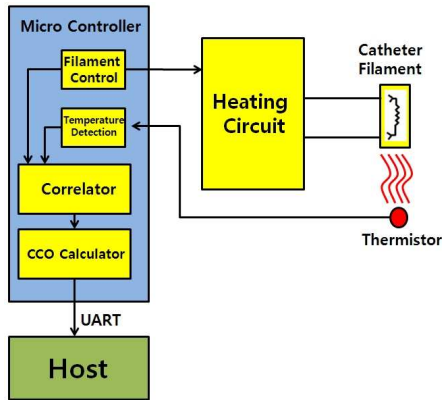


그림3. CCO Hardware Block Diagram

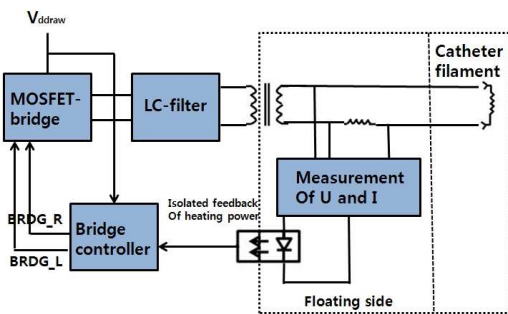


그림4. Filament Heating Circuit Block Diagram

3.2 알고리즘

CCO 플랫폼의 Heater부분에서 의사난수이진법에 의해 Filament로 열을 전달해준다.(그림5)

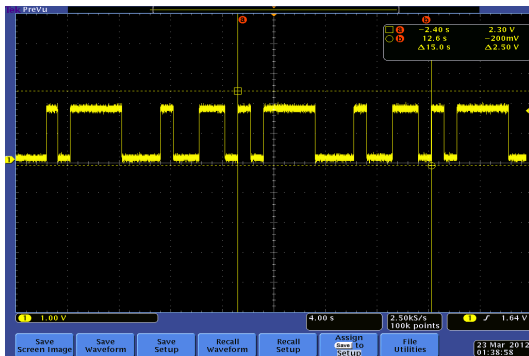


그림 5. Pseudo Random Binary Sequence

혈액은 밀도 1.05g/ml, 비열 0.87cal/g·°C이다. 따라서 혈액 1ml를 1°C 올리는데 필요한 열량은 3.818joule/ml·°C이다. 이에 따라 혈액 1ml에 1joule의 Energy를 가하면 혈액의 온도는 0.26 2°C가 상승한다. Filament에서 열을 가해주면 이러한 원리로 혈액의 온도가 상승하게 되고 Heater Off상태에서는 혈액의 온도가 내려오게 된다. 본 연구에서는 6가지 Case를 선정하여(표

1) Simulation Data를 산출하였다. 이를 바탕으로 1초당 8회 Sampling하여 120개의 Sample Data를 도출하였다.(그림 6)

도출된 값을 통해 Input Signal과 Output Signal을 Cross correlation을 거쳐 Washout Curve를 만들어내었고 결과적으로 Cardiac Output을 확인할 수 있었다.

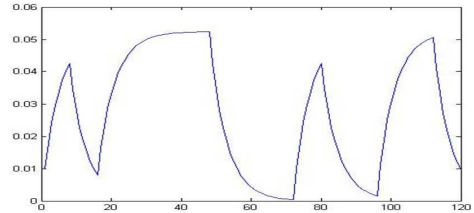


그림 6. 혈액의 온도 변화 Simulation Data

	Flow (Expectation)	Cardiac Volume (Expectation)
Case 1	3L/min	30mL
Case 2	3L/min	100mL
Case 3	6L/min	30mL
Case 4	6L/min	100mL
Case 5	12L/min	30mL
Case 6	12L/min	100mL

표 1. Simulation을 위한 6가지 Case

IV. 실험 결과

6가지 Case에서 Simulation을 통해 얻은 혈액의 온도 변화 Data값과 Input signal값을 서로 Cross correlation을 통해 Washout curve를 도출해낼 수 있었고 아래 면적이 Cardiac Output을 나타낸다.(그림 7)

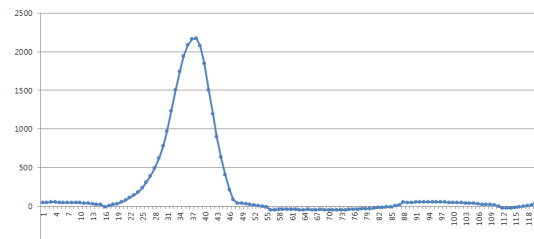


그림 7. Washout Curve (CASE1)

6가지 Case 각각의 결과 값을 표2에 나타내었다.

CASE	1	2	3	4	5	6
Area	26672	26624	13280	13298	6600	6624
Flow(L/min)	3.01	3.02	6.05	6.05	12.1	12.1
Error(%)	0.3	0.6	0.8	0.8	0.8	0.8

표 2. Simulation을 통한 Cardiac Output 결과 값

### V. 결론

본 논문에서는 지속적 심박출량(Continuous Cardiac Output)에 대한 소개와 이해를 바탕으로 Hardware 플랫폼을 이용한 Simulation을 통해 Cardiac Output값을 얻어내었다. 표2의 결과 값에서 볼 수 있듯이 1%내의 오차를 확인 할 수 있다.

인간의 신체에서 가장 중요한 심장을 대상으로 하는 플랫폼이기 때문에 오차를 줄여 더욱 정확한 값을 얻어내고, 추후 임상실험을 위해서는 플랫폼을 안정화 하는 추가적인 연구가 필요하다.

※ 본 연구는 “차세대 복합 생체 감시 시스템 개발”과제로부터 이루어짐.

### 참고문헌

[1] 이상민, 「심박출량 측정법」, 대한마취과학회지, 2004; 46; 1~9

[2] 이지연 외 4명, 「심장 수술 중 폐동맥 카테터를 이용한 지속적 심박출량 감시의 정확성」, 대한마취과학회지, 2008; 54; 603~8

[3] Mark Yelderma, MD , CONTINUOUS MEASUREMENT OF CARDIAC OUTPUT WITH THE USE OF STOCHASTIC SYSTEM IDENTIFICATION TECHNIQUES

[4] Ramakrishna Mukkamala. Continuous Cardiac Output Monitoring by Peripheral Blood Pressure Waveform Analysis

[5] S. Lorsomradee, Continuous cardiac output measurement: arterial pressure analysis versus thermodilution technique during cardiac surgery with cardiopulmonary bypass, Anaesthesia, 2007, 62, pages 979-983

[6] Ramakrishna Mukkamala, Continuous Cardiac

Output Monitoring by Peripheral Blood Pressure Waveform Analysis, IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING, VOL. 53, NO. 3, MARCH 2006

[7] C. -F. Wippermann, Continuous measurement of cardiac output by the Fick principle in infants and children: comparison with the thermodilution method, Intensive Care Med (1996) 22:467-471

[8] David Thrush, Continuous Thermodilution Cardiac Output: Agreement With Fick and Bolus Thermodilution Methods

[9] Sarena Teng, Continuous arterial pressure waveform monitoring in pediatric cardiac transplant, cardiomyopathy and pulmonary hypertension patients, Intensive Care Med DOI 10.1007/s00134-011-2252-y

[10] Lawrence C. Siegel, Delayed Time Response of the Continuous Cardiac Output Pulmonary Artery Catheter

[11] JEROME SEGAL,, Instantaneous and Continuous Cardiac Output Obtained With a Doppler Pulmonary Artery Catheter, JACC Vol. 13, No. 6, May 1989: 382-92