

평형감 평가를 위한 퍼지 판독 시스템에 관한 연구

임형순*, 임정훈**, 이창구**

*전북대학교 전자공학과, **전북대학교 제어계측공학과

A study on the Fuzzy Identification System for the Analysis of Equilibrium Sense

Hyung-Soon Lim*, Jeong-Heum Im**, Chang-Goo Lee**

*Dept. of Electronic Eng. Chon-Buk Nat. Univ. **Dept. of Control & Instrumentation Eng. Chon-Buk Nat. Univ.

Abstract - In this paper, we developed a fuzzy identification system to evaluate sensation of equilibrium objectively and quantitatively. By using calorific test, we estimated ECG(electro-cardiogram) and EOG(electro-oculogram), which were biomedical signals related to sensation of equilibrium, and used them as inputs of fuzzy identification system input. Fuzzy identification system analyzed the relationality between biomedical signals and sensation of equilibrium automatically, and evaluated it taking the co-relation between these signals into consideration.

2. 신호 처리 시스템

2.1 실험 장치 구성

평형감각을 정량적으로 분석하기 위하여 생체신호측정 시스템을 구성하여 온도자극에 대한 피험자의 평형상태 정도를 측정하였다. 생체 신호는 외부 환경에 의한 영향을 최소로 줄이기 위하여 방음암실 내부에서 측정하였으며, 방음암실 내부에는 데이터 전송 시스템, 생체신호 증폭기를 설치하고, 방음암실 외부에는 Pentium-PC를 기반으로 하는 생체신호 데이터 획득 시스템을 두어 전체 시스템을 구성하였다. 또한 안구의 움직임에 의한 영향을 배제하기 위하여 정면의 한 점만을 피험자에게 실험동안 주시하도록 하였다. 생체신호 데이터 획득 시스템은 Biopac사의 MP100WS와 AcqknowledgeIII를 이용하였다.

1. 서 론

최근의 과학기술은 산업전반에 걸친 상품개발에 있어서 인간을 주체로 한 인간에게 편리한 기술 개발에 대한 요구가 증대되고 있어 인간의 감각, 감성의 영역에 관한 평가수법의 연구가 중요시되고 있다. 특히, 현대 사회가 산업화·정보화·고속화되고 생활이 복잡해짐에 따라 스트레스와 각종 사고로 인한 현기증 및 평형장해를 호소하는 환자가 급증하는 추세이다. 1992년 The Times지는 미국의 전체 인구 중 20% 이상이 현기증 때문에 일상 생활에 어려움을 겪고 있다는 통계보고를 내 놓았는데, 이는 많은 사람들이 현기증에 고통받고 있음을 단적으로 표현하는 것이라 하겠다[1]. 이러한 평형감각의 상실은 구토, 현기증, 자세부조화 등을 동반한 전정증상을 초래하여 심한 불편감을 동반한다. 이러한 전정기능의 상실은 점차 증가추세에 있으며, 현기증이 가장 많은 원인으로 알려져 있다. 현기증은 회전감, 부동감 및 압축감 등이 동반되는 평형장애로 어지러움을 나타내는 주관적인 증상이며, 주변 공간에 대한 감각장애를 말한다. 심한 현기증 발작시 환자는 자신 또는 주위 환경이 회전하는 것을 느끼며 몸을 가누지 못하게 되고 심한 오심과 구역을 동반할 수 있다. 따라서 현기증의 원인을 규명하기 위해서는 전정기능의 평가가 필수적으로 수반되어야 하기 때문에 최근 전정기능의 검사방법이 점차 중요시되고 있다. 현재 우리 나라에서 현기증을 진단하기 위한 전정기능의 검사방법으로 외에도 온도자극을 가하여 안구운동을 육안으로 관찰하는 방법이 널리 이용되고 있으나 현기증의 존재 유무밖에는 알 수 없다는 단점이 있다[2].

본 논문에서는 생체신호로부터 평형감의 정도를 추론하는 퍼지 판독 시스템을 개발하였다. 생체신호의 정량화를 통하여 생체신호-심전도, 안전도-와 현기증과의 상관관계를 제시하였고, 측정된 생체신호의 유기적인 관계를 분석하기 위해서 퍼지이론을 도입하여 두 가지 신호를 퍼지 입력으로 하고 평형감 정도를 출력으로 하는 퍼지 시스템을 구성하여 평형감을 평가하였다.

2.2 실험방법

본 실험은 20대의 건강한 남자 20명을 대상으로 하여 실시하였다. 실험은 동일 피험자의 피로 정도에 따른 오차를 줄이기 위하여 온도자극 실험을 다른 날 같은 시간에 행하였다. 실험은 정상상태와 현기증 인가상태로 나누어 실시하였다. 현기증 인가방법은 Barany에 의해 발표된 온도자극방법을 사용하였다[3]. 온도자극법은 체온보다 낮은 냉수를 외이도에 주입하여 출현되는 안전을 관찰하는 법으로 냉수를 주입하는 측과 반대방향으로 안진(nystagmus)이 출현하게 된다. 각 실험은 180초씩 총 2회의 실험을 실시하였다. 본 실험에서는 생리식염수를 이용하여 피험자의 안전을 고려하였다. 주수량은 20ml, 주수시간은 20초, 식염수 온도는 4℃로 실험하였다. 온도자극 전과 후에 피험자의 심전도와 안전도를 200Hz의 샘플링 주파수로 변환하여 PC에 저장하였고, 실험 후 설문 조사를 통하여 피험자의 주관적인 느낌을 조사하였다. 이러한 과정을 거친 후 피험자의 정량화된 생체신호 데이터와 설문 데이터를 분석하여 평형감각을 정량적으로 분석하였다.

2.3 생체신호의 선형적 분석 방법에 의한 정량화

2.3.1 심전도(ECG) 신호

심전도상의 R-peak간 시간 간격의 연속적 변이 추세 즉, HRV(heart rate variability)를 시계열 데이터로 재정리한 후 전력 스펙트럼(power spectrum)을 통하여 심전도 분석을 위한 변수 추출이 가능하다. 그림 1과 2에 심전도의 R-peak 검출로부터 HRV 스펙트럼 변수 추출까지의 데이터 처리와 분석에 관한 전반적인 과정을 나타내었다. HF/LF를 심전도 분석의 변수로 하였다.



(a) 심전도 신호

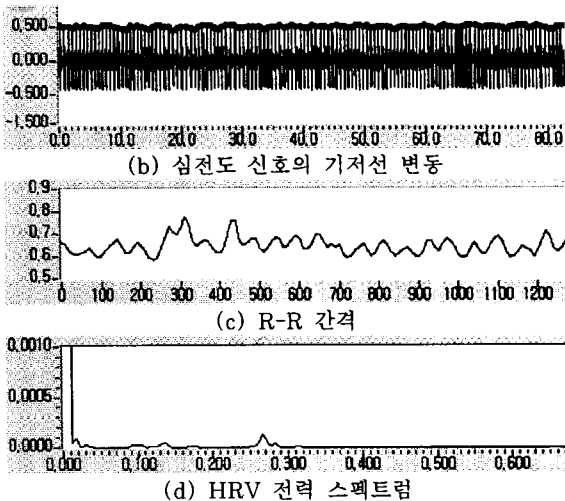


그림 1. 심전도 신호의 HRV 전력 스펙트럼 변환 과정

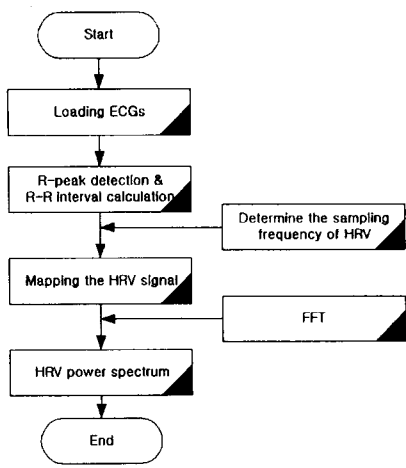


그림 2. HRV 스펙트럼 계산 과정

2.3.2 안전도(EOG) 신호

온도자극을 가하면 자극부위의 반대방향으로 안전이 발생한다. 그림 3에 온도자극의 유무에 따른 안전도 신호를 나타내었다. 정상상태의 경우 안전도 신호로부터 일정한 패턴을 나타내지 않지만 온도자극을 가했을 경우 툭니파 모양의 패턴이 지속적으로 나타남을 볼 수 있다. 따라서 안전도 신호에서 발생하는 패턴의 peak 수를 검출하여 EOG 신호의 변화정도를 나타내는 변수로 설정 가능하다.

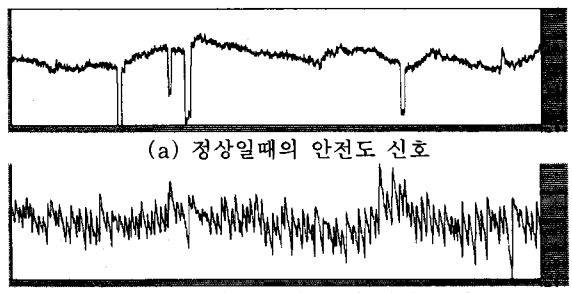


그림 3. 온도자극의 유무에 따른 안전도 신호

3. 퍼지시스템 구성

퍼지이론은 인간의 판단이나 감성과 같이 애매성을 포함한 판단 알고리즘을 IF-THEN 형식으로 표현하고 퍼지 추론을 이용하여 정량화 시키는 방법으로 추출된 파라미터의 특성이 복잡하여 기존의 정량적인 방법으로 해석할 수 없거나 얻어지는 정보가 부정확·불확실한 경우에 기존의 판단 알고리즘보다 우수한 평가 결과를 나타낸다. 본 논문에서는 평형감 정도를 나타내는 생체신호를 측정하여 생리학적 지식을 기반으로 하는 IF-THEN 규칙으로 퍼지 시스템을 구성하고 평형감 정도를 추론하도록 그림 4와 같이 퍼지시스템을 구성하였다. 저장된 데이터의 분석에는 Matlab Fuzzy Toolbox를 이용하였다.

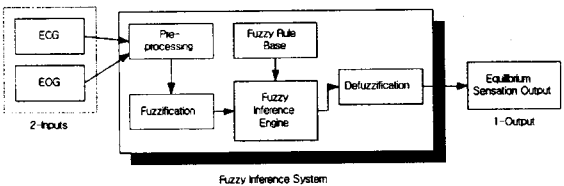


그림 4. 평형감 평가를 위한 퍼지시스템의 구조

퍼지시스템의 입력으로는 심전도와 안전도 신호를 정량화하여 퍼지시스템 입력으로 사용하였다. 그림 5와 6은 평형감 정도를 추론하기 위한 각각의 멤버십 함수이다.

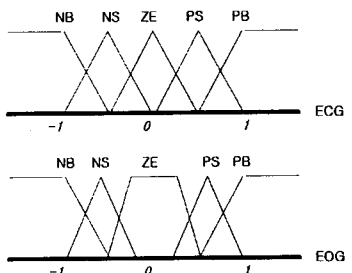


그림 5. 입력 멤버십 함수

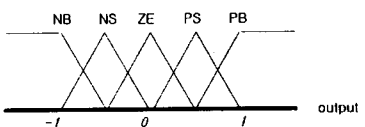


그림 6. 출력 멤버십 함수

본 논문에서는 퍼지시스템의 설계 과정 중 가장 중요한 부분인 제어규칙을 작성하기 위하여 많은 실험과 피험자의 설문조사 데이터등을 고려하여 표1과 같은 제어규칙을 작성하였다.

표 1. 평형감 정도를 추론하기 위한 퍼지규칙

eog \ ecg	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	ZE	ZE	PS	PS	PB
NS	NS	ZE	PS	PS	PB
ZE	NS	NS	ZE	PS	PS
PS	NB	NS	NS	ZE	PS
PB	NB	NS	NS	ZE	ZE

개개의 퍼지규칙 R_i 에 의한 근사추론결과 B'_i 을 무게중심법(COG방법)으로 비퍼지화한 후,

$$u_i^* = COG(B'_i), \quad i=1,2,\dots,N,$$

전체규칙에 의한 비퍼지화된 추론결과 u^* 를 아래의 식으로 비퍼지화하여 퍼지시스템의 출력으로 하였다.

$$u^* = \frac{\sum u_i^* w_i}{\sum w_i}$$

4. 실험 결과 및 고찰

기존의 현기증 진단방법인 온도자극법은 현기증의 존재 유무밖에 진단할 수 없다는 단점이 있었으나, 본 연구에서는 퍼지 논리를 이용하여 현기증의 존재성 여부뿐만 아니라 각 개인에 따른 평형감 정도를 판독할 수 있도록 정량적인 분석을 시도하였다.

그림 7.은 심전도 신호의 HRV 파워 스펙트럼을 분석한 결과를 나타내었다. 온도자극에 의하여 현기증이 유발되면 자극 전에 비하여 자극 후의 정량화 결과치가 낮아짐을 볼 수 있다.

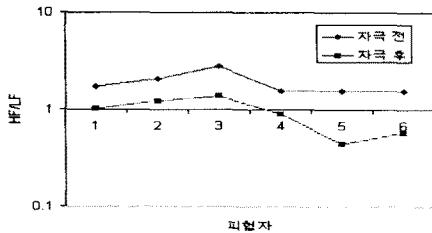


그림 7. HRV 파워 스펙트럼 분석 결과

안전도 신호의 특성 변화는 그림 3.에서 보인바와 같이 정상상태에서는 안전 발생이 거의 없는 것을 볼 수 있으나, 온도자극을 가하면 톱니 모양의 신호 패턴이 계속 반복되어 안전 발생을 곧바로 알 수 있었다. 그림 8.은 안전도 신호에서의 10초당 안전 발생 횟수를 검출한 결과치를 나타낸 것이다. 피험자가 현기증을 느끼는 정도가 크면 클수록 안전 발생 횟수가 증가한 것을 볼 수 있다.

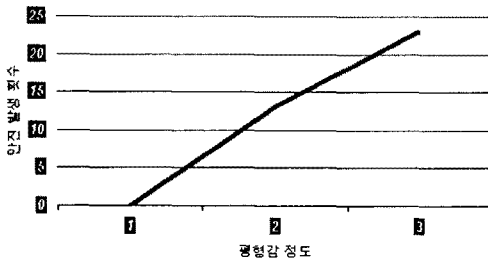


그림 8. 10초당 안전 발생 횟수

표 2. 10초당 안전 발생 횟수

피험자 자극	a	b	c	d	e	f
자극 전	0	0	0	0	0	0
자극 후	15	13	16	17	23	18

여기에서 소개된 피험자의 데이터들은 퍼지 규칙 설계에 포함되지 않은, 온도자극 후 측정된 신호들이다. 그림 9는 이 신호들을 설계된 퍼지시스템의 입력으로 하였을 때의 결과를 나타낸 것이다. 실험 결과 b 피험자의 경우 현기증을 느끼거나 크게 불편한 느낌을 호소하지 않았고, 나머지 피험자의 경우에는 작게는 어지럼증에서 심하게는 구토증상을 호소하기도 하였다.

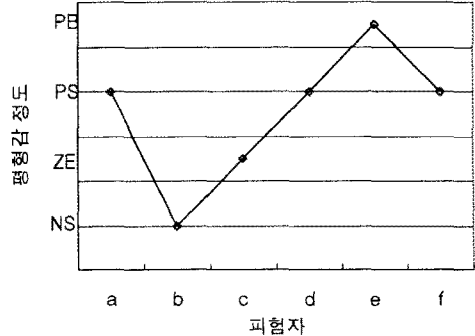


그림 9. 퍼지시스템의 판독 결과

5. 결 론

본 논문에서는 평형감 평가를 위한 퍼지 판독 시스템을 개발하였다. 온도자극법을 실시하여 평형감과 상관관계가 있는 심전도와 안전도를 측정후 정량화를 통하여 평형감과의 관계성을 제시하였고, 이들 정량적 데이터를 이용하여 퍼지 규칙을 설계한 후 퍼지시스템의 입력으로 하여 평형감 정도를 평가하도록 하였다.

객관적이고 정량적인 평형감 평가가 이루어지기 위해서는 시각자극, 후각자극 등 다양한 환경에서 발생 가능한 경우의 현기증 유발 실험을 실시하여 얻어진 다양한 데이터에 의한 퍼지 규칙 설계가 이루어져야 할 것이다.

본 연구는 한국과학재단의 연구비 지원에 의해 수행된 연구결과임.

(참 고 문 헌)

- [1] Prech W, Shimazu H, Markham CH, "A mechanism of central compensation of vestibular function following hemilabyrinthectomy". J Neuro Physical, pp.996-1010, 1996
- [2] H.O. Barber and C.W. Sto, "Preparations for testing. In: Manual of electronystagmography", St Louise, The CV Mosby Co, pp.159-187, 1980
- [3] 이달호, "현기증(평형신경학)", 여문각, pp.57-62, 1986
- [4] 김규경, "전정기능 평가를 위한 안구운동 분석프로그램의 구현", 원광대학교, 석사, 1998
- [5] 박상수, "시각의 유도운동을 이용한 현기증 진단 시스템에 대한 연구", 전북대학교, 석사, 1999
- [6] 여형석, "Sympathectomy 및 Vagotomy에 따른 自律神經係變化의 觀察을 위한 HRV스펙트럼 分析", 인제대학교
- [7] T.Takagi, M.+Sugeno, "Fuzzy Identification of System and Its Application to Modeling and Control", IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, vol.NO-1, 1989