

## 뉴로-퍼지를 이용한 만성적인 스트레스 평가

신재우<sup>1</sup> · 설아람<sup>1</sup> · 성홍모<sup>1</sup> · 김원식<sup>2</sup> · 차동익<sup>1</sup> · 이철규<sup>3</sup> · 윤영로<sup>1</sup> · Hiroko Takeuchi<sup>4</sup> · Haruyuki Minamitani<sup>4</sup>

연세대학교 의공학과<sup>1</sup>, 한국표준과학연구원<sup>2</sup>, 연세대학교 첨단의료기기 기술혁신센터<sup>3</sup>, 일본 게이오대학 이공학과<sup>4</sup>  
(2002년 6월 26일 접수, 2003년 10월 25일 채택)

## Chronic Stress Evaluation using Neuro-Fuzzy

Jaewoo Shin<sup>1</sup>, Ahram Sul<sup>1</sup>, Hongmo Seong<sup>1</sup>, Wonsik Kim<sup>2</sup>, Dongik Cha<sup>1</sup>, Cheolgyu Lee<sup>3</sup>,  
Youngro Yoon<sup>1</sup>, Hiroko Takeuchi<sup>4</sup>, Haruyuki Minamitani<sup>4</sup>

Department of Biomedical Engineering, Yonsei University<sup>1</sup>, Korea Research Institute of Standard and Science<sup>2</sup>,  
Technology Innovation Center for Medical Instruments, Yonsei University<sup>3</sup>,  
Department of Applied Physics and Physico-Informatics, Keio University<sup>4</sup>

(Received June 26, 2002. Accepted October 25, 2003)

**요약**: 본 논문에서는 생체신호 파라미터들을 이용해서 만성적인 스트레스를 평가하는 방법을 개발하고자 하였다. Wistar 쥐에게 14일간의 소음 스트레스를 부과하고, 매 시간마다 생체신호를 획득하였다. 생체신호로부터 추출한 파라미터들을 통합하기 위한 퍼지추론시스템을 구축하기 위하여, 적응형 뉴로-퍼지 추론시스템으로 퍼지추론시스템의 파라미터들을 구하였다. 훈련 데이터 집합 중 입력 데이터 집합은 생체신호로부터 추출한 파라미터들을, 출력 데이터 집합은 코티솔 호르몬의 생성량으로부터 추정된 목표값을 사용하였다. 퍼지추론시스템으로 생체신호 파라미터들을 통합하고, 그 결과를 24시간마다 구분하여 Cosinor 분석법을 적용하여 생체리듬의 변화를 관찰하였다. 생체리듬이 깨어진 정도에 의해서 만성적인 스트레스를 평가하였다. 생체신호 파라미터들을 퍼지추론으로 통합하고, 그 결과에서 생체리듬을 분석하여 스트레스 정도를 계산했다. 휴식기의 스트레스 정도를 1이라고 가정하면, 소음 스트레스를 받은지 14일째 되는 날에는 1.37, 7일간의 회복 후에는 1.47의 스트레스 정도가 나왔다. 즉, 쥐는 14일간의 소음으로 휴식 때보다 37% 증가된 스트레스를 받았고, 7일의 회복기를 통해 스트레스로부터 회복되지 않았다.

**주요기술용어**: 스트레스, 생체신호, 뉴로-퍼지

**Abstract**: The purpose of this research was to evaluate chronic stress using physiological parameters. Wistar rats were exposed to the sound stress for 14 days. Biosignals were acquired hourly. To develop a fuzzy inference system which can integrate physiological parameters, the parameters of the system were adjusted by the adaptive neuro-fuzzy inference system. Of the training dataset, input dataset was the physiological parameters from the biosignals and output dataset was the target values from the cortisol production. Physiological parameters were integrated using the fuzzy inference system, then 24-hour results were analyzed by the Cosinor method. Chronic stress was evaluated from the degree of circadian rhythm disturbance. Suppose that the degree of stress for initial rest period is 1. Then, the degree of stress after 14-day sound stress increased to 1.37, and increased to 1.47 after the 7-day recovery period. That is, the rat was exposed to 37%-increased amount of stress by the 14-day sound and did not recover after the 7-day recovery period.

**Key words**: Stress, Biosignal, Neuro-fuzzy

## 서 론

전체 질병의 60~90%가 스트레스와 관련되고, 성인병의

70%가 스트레스로 인한 것이라고 보고되었다[1]. 스트레스는 건강에 부정적인 영향을 끼치므로, 스트레스가 적게 유발되는 환경을 조성해야 한다. 이를 위해서는 우선적으로 스트레스를 정량적으로 평가할 수 있어야 한다.

인체에는 스트레스에 대한 방어기전이 있다. 스트레스를 받으면 신진대사의 속도가 증가하고, 심박동이 빨라지고, 호흡률이 증가하며, 근육이 수축하고, 소화계가 닫히기 시작하고, 혈액의 응고속도가 빨라진다. 위험요소가 사라지면, 그러한 반응

본 연구는 보건복지부 보건의료기술진흥사업(과제고유번호: 02-PJ3-PG6-EV01-001) 지원에 의하여 이루어진 것임.

통신저자: 윤영로, (220-842) 강원도 원주시 흥업면 매지리 1272 첨단 의료기기테크노타워 216호

Tel. 033760-2440, Fax. 033763-4050

E-mail. yoon@dragon.yonsei.ac.kr

들은 정상적으로 되돌아간다. 스트레스에 만성적으로 노출되는 경우에는 인체가 정상상태로 되돌아갈 수 있는 시간이 없기 때문에, 인체의 방어진전에 문제가 생기게 된다. 따라서, 급성 스트레스보다 만성적인 스트레스가 인간의 건강에 더욱 해로운 영향을 끼친다[1].

동물을 실험대상으로 하여 스트레스에 반복적으로 노출시키는 실험은 인간의 시상하부, 뇌하수체, 부신피질 시스템에 이상이 있는 경우와 가장 유사한 모델이다. 만성적인 스트레스가 뇌의 생체리듬 활동에 영향을 끼치게 되면 생리적, 내분비적, 행동학적으로 생체리듬에 이상이 생긴다. 만성적인 스트레스와 생체리듬의 교란은 밀접하게 관련되어 있고, 기존의 여러 연구에서 만성적인 스트레스에 노출되는 동안, 혹은 노출된 직후에 생체리듬에 이상이 발생하는 결과가 나왔다[1-3].

Takeuchi 등의 연구에서는 만성적인 소음 스트레스 동안에 심박변이도에 나타난 생체리듬의 변화를 관찰하였다. 그 연구에서는 Wistar 쥐를 14일 동안 초음파 스트레스에 노출시키고, 매 시간마다 심전도와 체온의 생체신호를 획득하였다. 그 신호들로부터 심박률, 심박변이도 지수, 체온의 파라미터들을 계산하고, 각각의 파라미터들을 sine 곡선에 회귀시켰다. 회귀된 sine 곡선과 원래의 파라미터들간의 상관계수를 통하여 생체리듬의 변화를 관찰하였다. 심박변이도 지수의 경우에는 스트레스기에 얻어진 상관계수가 휴식기에 얻어진 상관계수보다 감소하였으므로, 스트레스를 받는 동안에 생체리듬이 깨졌음이 나타났다. 이러한 현상은 다른 두 가지 파라미터들에서는 나타나지 않았으므로, 심박변이도 지수를 통해 만성적인 스트레스를 평가할 수 있음을 보여주었다[4].

현재 여러 가지 생체신호들을 동시에 획득할 수 있는 장비들이 많이 나와 있어서, 다수 개의 신호들을 획득하는 것은 용이하다. 하지만, 획득한 신호들을 포괄적이고 종합적으로 분석하는 방법에는 널리 사용된 것이 없다. 스트레스 반응은 생체의 통합적인 작용에 의해 일어나는 복잡한 기전이기 때문에, 다양한 생체신호 파라미터들을 종합적으로 분석하여 스트레스를 정량화 하는 것이 정확하고 신뢰성 있을 것이다.

스트레스를 나타내는 가장 신뢰할만한 신호는 호르몬의 변화이므로, 호르몬을 스트레스에 대한 객관적인 지표로 이용한 연구사례가 있다[5]. 스트레스 연구에 호르몬 분석방법을 활용하기 위해서는 관혈적으로 혈액을 채취해야 한다는 문제점이 있다. 본 연구에서는 생체신호로부터 추출한 파라미터들과 코티솔 호르몬의 양을 통해 추정된 목표 값을 뉴로-퍼지 방법으로 분석하여, 생체신호 파라미터들을 종합적으로 분석하여 만성적인 스트레스를 평가하는 기법을 제안하고자 한다.

## 시간생물학적 분석

생체리듬은 유기체의 생리학적 과정이나 행동학적 기능에서 나타나는 주기적인 변화이다. 사람을 포함한 대부분의 동물에서 대표적으로 나타나는 생체리듬은 24시간을 주기로 계획되는 일주기 리듬(circadian rhythm)이다. 생체리듬을 생성하고

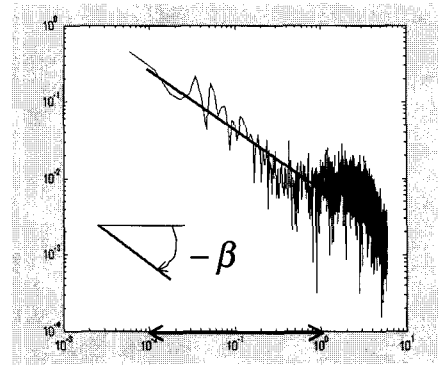


그림 1. 심박변이도의 log-log 스펙트럼(β: 심박변이지수)

Fig. 1. Log-log Spectrum of Heart Rate Variability

조정하는 유기체 내의 메커니즘을 생체시계라고 하는데, 포유류와 같은 고등동물의 경우에는 중추가 되는 생체시계가 뇌의 시상하부에 위치한 교차상핵에 있다[1,6,7].

## 1/f 변동

대부분의 생체신호에서 스펙트럼의 power는 1/f<sup>β</sup> 법칙에 따라 주파수(f)에 역비례한다. 생체신호의 스펙트럼을 log-log 눈금으로 그리면, 1/f 변동이 기울기가 -β인 직선의 형태로 나타난다. 혈압과 심박수의 log-log 스펙트럼은 0.02Hz 이하의 주파수에서 그러한 선형적 경향을 보인다. 생물학적 시스템에서 발견된 1/f 변동은 생물체의 생명을 유지하는 데에 결정적인 역할을 하는 것으로 보인다. 그림 1은 log-log 눈금으로 나타낸 심박변이도의 스펙트럼이고, 저주파 대역을 선형회귀해서 구한 기울기가 심박변이 지수(β)이다. 주파수 범위는 호흡 성분이 심박변이 지수의 계산에 방해가 되지 않도록 하기 위해 0.01~1Hz로 설정하였다[4,8,9].

## Cosinor 분석

Cosinor 분석은 주기를 알고 있는 시계열의 데이터들 cosine 함수에 회귀하는 통계적 방법이다. 이 방법은 생체리듬이 존재함을 객관적으로 입증할 때에 사용된다. Cosinor 분석은 식 (1)의 방정식을 Root Mean Square Error(RMSE)가 최소가 되도록 실험으로 얻은 데이터에 근사한다[6,10].

$$C(t) \approx \text{Mesor} + A * \cos\left(\frac{2\pi(t - \text{Acrophase})}{P}\right) \quad (1)$$

여기서 Mesor는 진동의 평균값이고, A는 진폭이다. P는 주기인데, 일주기 리듬을 분석하는 경우에는 24시간이다. Acrophase는 cosine 함수가 최대가 되는 시각인데, 조명상태의 변화와 동시성을 가진다[4]. 즉, 주행성인 경우에는 밤을 때에 cosine 함수가 큰 값을 나타내고, 야행성인 경우에는 어두울 때에 cosine 함수가 큰 값을 나타낸다[1]. 그림 2에 Cosinor 분석으로부터 도출되는 파라미터들을 나타내었다.

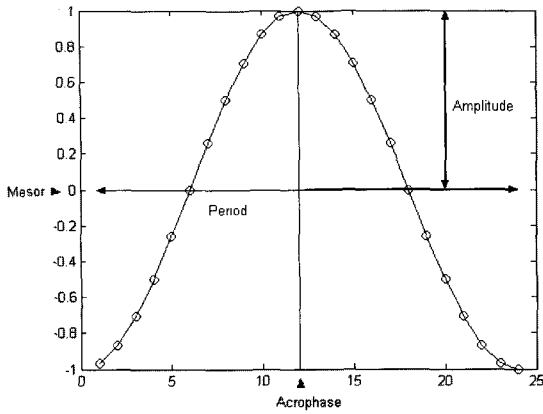


그림 2. Cosinor 분석의 파라미터들(mesor: 평균진동, amplitude: 진폭, acrophase: cosine 값이 최대가 되는 시각, period: 주기)  
Fig. 2. Parameters of Cosinor Analysis

**적응형 뉴로-퍼지 추론시스템**

대부분의 동적인 시스템은 비선형적이고 시변형이기 때문에, 시스템에 대한 정확한 수학적 모델을 얻는 것은 매우 어렵다. 이렇게 불확실하며 애매한 조건하에서 제어되는 시스템에 효과적인 것이 퍼지-뉴로 시스템이다. 퍼지시스템은 변수들 사이의 정량적인 상관관계가 명확하게 규명되지 않는지만 경험적으로나 정성적으로 그 상관관계가 밝혀져 있는 시스템에 효과적이다. 뉴로시스템은 실험이나 경험에 의한 데이터를 학습하여 데이터들의 사과과계를 처리하거나 한 때에 효과적이다 최근에는 퍼지시스템과 뉴로시스템을 결합하여 활용하는 연구가 활발

히 진행되고 있다. 뉴로시스템의 신경망 훈련 기법이 퍼지시스템에 실험적이거나 경험적인 정보를 삽입할 수 있도록 하여, 퍼지시스템의 유용성을 강화시킨다.

퍼지추론시스템의 기본구조는 입력특성을 입력소속함수로 나타내고, 입력소속함수를 규칙으로 나타내고, 규칙들을 출력특성의 집합으로 나타내고, 출력특성을 출력소속함수로 나타내고, 출력소속함수를 단일한 값의 출력으로 내는 모델이다. 퍼지추론시스템에서 소속함수들은 고정되어 있거나 임의로 선택된다. 또, 퍼지추론은 사용자가 모델을 구성하는 변수들의 특성을 해석하여 규칙구조가 이미 결정되어 있는 시스템들에만 적용한다. 반면, 적응형 뉴로-퍼지 추론시스템(Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System)은 퍼지추론 기법을 데이터 모델링에 적용하여, 주어진 입/출력 데이터에 맞도록 퍼지추론시스템의 소속함수 파라미터를 자동적으로 결정하게 해준다.

적응형 뉴로-퍼지 추론시스템은 출력소속함수가 상수 형태나 선형적인 형태로 제한된 Sugeno 형태의 퍼지추론시스템에만 적용할 수 있다. Sugeno 모델에서의 규칙은 식 (2)의 형태를 가진다[11].

If  $x_1$  is  $A_{1j}$  and ... and  $x_r$  is  $A_{rj}$ ,  
 then  $y = f_j(x_1, x_2, \dots, x_r) = b_{j0} + b_{j1}x_1 + \dots + b_{jr}x_r$  (2)

- $f_j$  : 선형 모델
- $b_{ij}$  ( $j = 0, 1, \dots, r$ ) : 실수값의 파라미터들

입력이 4개이고 각 입력변수에 대한 소속함수가 3개인 경우의 적응형 뉴로-퍼지 추론시스템 모델은 그림 3과 같은 구조를 갖는다.

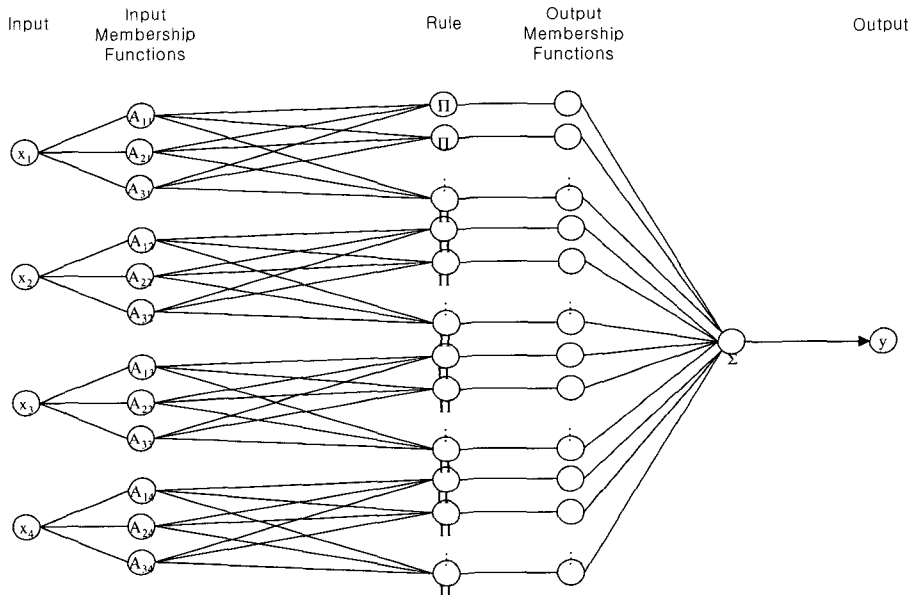


그림 3. 적응형 뉴로-퍼지 추론시스템 모델  
Fig. 3. Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System Model

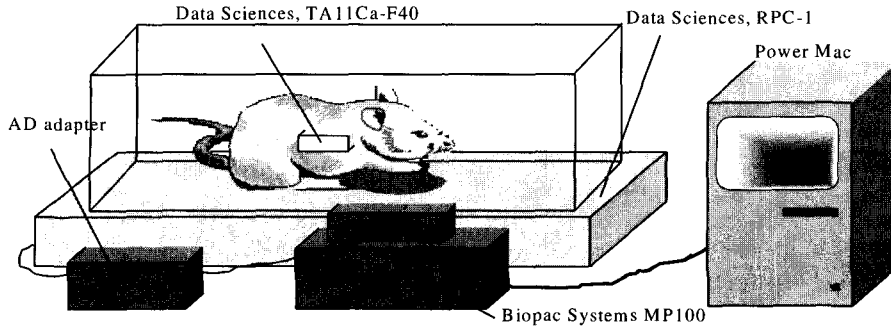


Fig. 5.2 Illustration of the experiment

그림 4. 생체리듬의 변화를 관찰하기 위한 실험장치 및 데이터 수집 시스템  
 Fig. 4. Experiment and data acquisition system for the variability of circadian rhythm

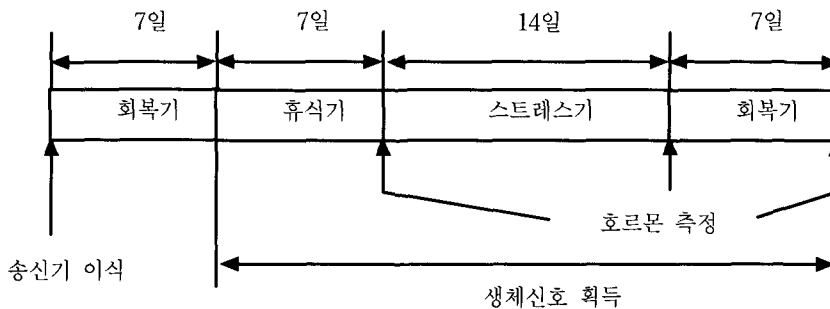


그림 5. 소음 스트레스 부과 및 회복 실험 프로토콜  
 Fig. 5. Experimental Protocol for sound stress and recovery

**방 법**

**실험 방법**

실험은 일본 Keio 대학 Applied Physics and Physico-Informatics 학과의 Minamitani 연구실에서 수행하였다. 실험 동물로는 총 4마리의 Wistar 쥐 수컷을 사용하였다. 쥐는 9주령 이었고, 무게는 280-300g이었다. 쥐들은 투명한 유리(31×29×14cm)에서 개별적으로 사육되었고, 사료와 물은 자유롭게 먹을 수 있도록 하였다. 조명은 LD 12:12 방법으로, 오전 9시부터 밤9시까지 밝게 하고 밤 9시부터 오전 9시까지는 어둡게 하였다. 쥐는 전형적인 야행성 동물로서, 어두울 때에 주로 활동하는 습성이 있다. 온도는 20~25°C로, 습도는 45~60%로 관리하였다.

쥐의 몸 속에 무선 송신기(Data Sciences, TA11CA-F40)를 이식하여, 심박률과 체온을 감시하였다. 송신기를 이식하기 위한 수술은 쥐를 펜토바르비탈(Nembutal 50mg/ml-1)로 마취한 상태에서 수행하였다. 복막을 4cm 전개하고, 송신기를 복강에 이식하고, 복근에 봉합하였다. 송신기에 부착된 심전도 전극들은 오른쪽 흉곽과 하부의 왼쪽 흉곽으로 연장되었고, 근육 조직에 봉합되었다. 송신기로부터 나오는 신호는 쥐의 우리 밑에 위치한 수신기(Data Sciences, RPC-1)로 받아들였고, Biopac

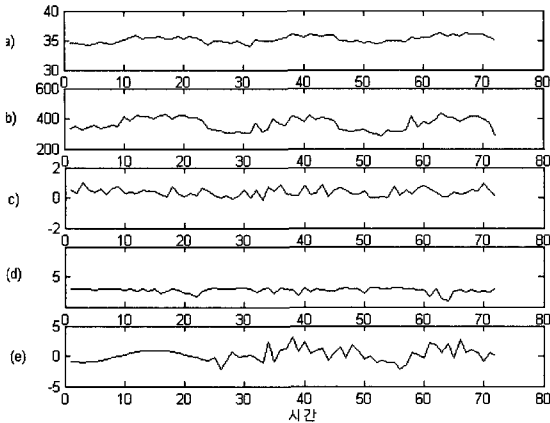
MP100 시스템으로 데이터를 획득하고 처리하였다(그림 4).

(Type I) 방법을 이용한 실험에서는 300Hz의 샘플링율로 매 시간마다 15분씩 체온, 심전도, 행동량 신호를 획득하였다. (Type II) 방법을 이용한 실험에서는 500Hz의 샘플링율로 매 시간마다 10분씩 혈압, 심전도, 체온 신호를 획득하였다. 쥐 1은 (Type I)의 방법으로, 쥐2~쥐4는 (Type II)의 방법으로 실험을 하였다.

만성적인 스트레스로 인한 생체리듬의 변화를 관찰하기 위하여, Wistar 쥐에게 14일 동안 소음 스트레스를 가하고 매 시간마다 생체신호를 획득하였다[4]. 실험프로토콜은 그림 5와 같다. 쥐에게 송신기를 이식하는 수술을 하고 7일간의 회복기를 두었고, 각 파라미터의 기준선을 선정하기 위해 7일간의 휴식기를 두었다. 그 이후에는 14일 동안 강도가 약 45dB인 초음파 스트레스를 부과하였다. 초음파의 주파수는 쥐가 특정 주파수에 길들여지는 것을 방지하기 위하여 30~50Hz의 범위에서 변화시켰다. 각 스트레스 기간이 끝날 때마다, 쥐의 혈액 샘플을 채취하여 코티솔 호르몬의 농도를 측정하였다.

**적응형 뉴로-피지 추론시스템**

생체신호들로부터 다음의 파라미터들을 추출하였다. (Type I)의 방법으로 실험을 한 경우에는, 체온 데이터로부터 평균



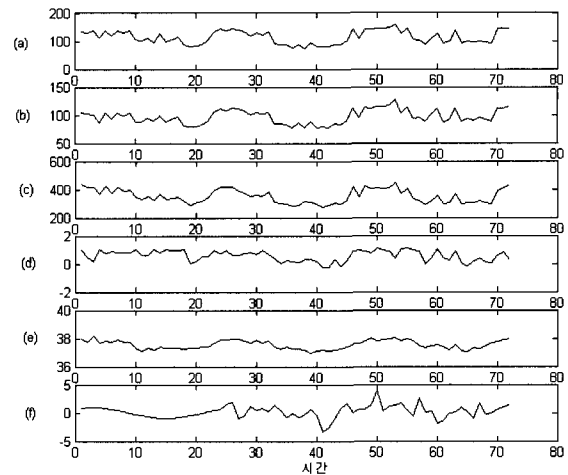
**그림 6.** Type I 실험에 의해 얻어진 훈련데이터 신호  
 (a) 평균 체온 (b) 평균 심박률 (c) 심박변이 지수  
 (d) 평균 행동량 (e) 출력 데이터 집합  
**Fig. 6.** Training Dataset by Type I experiment  
 (a) Mean Temperature (b) Mean Heart Rate (c) Exponent of Heart Rate Variability (d) Mean Activity (e) Output Dataset

체온을, 심전도 데이터로부터 평균 심박률과 심박변이 지수를, 행동량 데이터로부터 평균 행동량을 추출하였다. (Type II)의 방법으로 실험을 한 경우에는, 혈압으로부터 평균 수축기혈압과 평균 확장기혈압을, 심전도 데이터로부터 평균 심박률과 심박변이 지수를, 체온 데이터로부터 평균 체온을 추출하였다.

스트레스를 나타내는 가장 신뢰할만한 신호는 호르몬의 변화라고 알려져 있고, 생리학자들에게 있어서 스트레스는 코티솔 호르몬의 분비량을 증가시키는 것을 의미한다[5]. 본 연구에서는 각 스트레스 기간이 끝날 때마다 측정된 코티솔의 양을 스트레스 기간 마지막 날에 대한 스트레스 정도를 나타내는 객관적인 지표로 가정하여 적응형 뉴로-퍼지 추론시스템의 목표값을 설정하였다.

휴식기 직후에 측정된 코티솔의 양을 1로 하여 각 기간의 직후에 얻어진 코티솔의 양을 환산하였고, 환산된 코티솔의 양을 스트레스 정도로 가정하였다. 휴식기에는 생체리듬이 뚜렷하게 나타나지만, 스트레스를 받으면 생체리듬이 깨진다. 그러므로, 24시간을 기준으로 하여 구분한 생체신호 파라미터들과 그 파라미터들을 Cosinor 방법으로 분석하여 얻은 cosine 함수간에 상관계수가 크면, 생체리듬이 뚜렷하게 나타나는 휴식기이다. 역으로, 생체신호 파라미터들과 회귀된 cosine 함수간의 상관계수가 작으면, 생체리듬이 깨진 스트레스기를 나타낸다. 스트레스 정도와 앞에 설명된 상관계수와는 서로 반비례하므로, 계산된 스트레스 정도에 역수를 취하여 기대되는 상관계수와 적응형 뉴로-퍼지 추론시스템의 목표 값을 구하였다.

적응형 뉴로-퍼지 추론시스템을 이용하여 입력으로 생체신호 파라미터들을 넣었을 때 출력으로 생체신호 파라미터들의 통합 값을 얻을 수 있는 퍼지추론시스템을 구축하였다. 훈련 데이터 집합은 각 기간의 마지막 날에 대해 구해진 생체신호 파라미터들로부터 얻은 입력 데이터 집합과 코티솔의 양으로부터



**그림 7.** Type II 실험에 의해 얻어진 훈련데이터 신호  
 (a) 평균 수축기혈압 (b) 평균 확장기혈압 (c) 평균 심박률  
 (d) 심박변이 지수 (e) 평균 체온 (f) 출력 데이터 집합  
**Fig. 7.** Training Dataset by Type II experiment  
 (a) Mean Systolic Blood Pressure (b) Mean Diastolic Blood Pressure (c) Mean Heart Rate (d) Exponent of Heart Rate Variability (e) Mean Temperature (f) Output Dataset

터 도출한 출력 데이터 집합으로 구성되었다. 적응형 뉴로-퍼지 추론시스템으로 분석하여, 훈련 데이터 집합에 맞도록 파라미터가 조정된 퍼지추론시스템을 얻었다.

퍼지추론시스템은 각 입력변수가 3개의 소속함수를 갖도록 설정하였고, 입력변수의 소속함수로는 미분이 가능한 Gaussian 분포 형태로 선택하였다. 출력소속함수는 선형적인 형태로 선택하였다. 퍼지추론시스템의 파라미터를 최적화하기 위한 학습방법으로는 역전파 방법과 최소자승법을 조합한 hybrid 방법을 선택하였다[12]. 학습회수를 늘릴수록 훈련 데이터에 대한 오차는 줄어들지만 시스템의 안정성이 떨어지므로, 데이터의 피적 함이 일어나지 않는 한도 내에서 학습회수를 설정하였다.

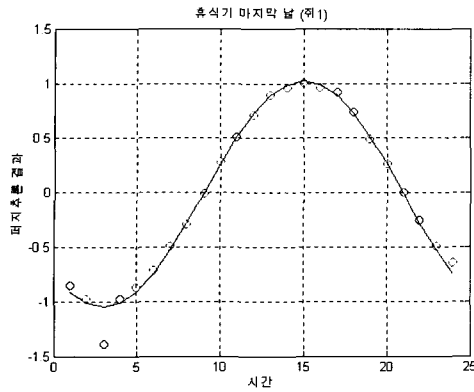
**결 과**

**훈련 데이터 집합**

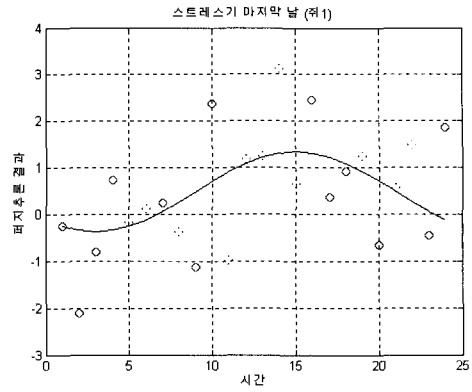
N개의 생체신호 파라미터들을 입력 데이터로 이용할 경우 훈련 데이터 집합은 72개의 행과 (N+1)개의 열로 구성된 행렬이었다. N개의 열은 모든 입력 데이터들이 벡터 형태로 나열된 것이고, 마지막 열은 출력 데이터이다.

그림 6은 (Type I) 실험을 수행한 경우의 훈련 데이터 집합이다. 입력 데이터 집합은 스트레스 부과 직전, 스트레스 부과 14일째, 회복 7일 후에 매 시간마다 획득한 생체신호로부터 추출한 평균 체온, 평균 심박률, 심박변이 지수, 평균 행동량 파라미터이다. 출력 데이터 집합은 휴식기, 스트레스기, 회복기 직후에 측정된 코티솔의 양으로부터 계산한 목표 값이다.

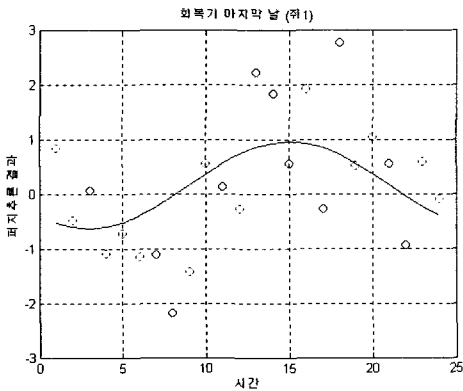
그림 7은 (Type II) 실험을 수행한 경우의 훈련 데이터 집



(a)



(b)



(c)

그림 8. 생체리듬의 변화에 대한 cosinor 분석 및 퍼지추론 결과  
 (a) 스트레스 부과 직전 (b) 스트레스 부과 14일째 (c) 회복 7일 후  
 Fig. 8. Cosinor analysis fuzzy Inference result about change of circadian rhythm

(a) Rest Period (b) Stress Period (14th-day) (c) Recovery Period (7th-day)

합이다. 입력 데이터 집합은 스트레스 부과 직전, 스트레스 부과 14일째, 회복 7일 후에 매 시간마다 획득한 생체신호로부터 추출한 평균 수축기혈압, 평균 확장기혈압, 평균 심박률, 심박변이 지수, 평균 체온 파라미터이다. 출력 데이터 집합은 휴식기, 스트레스기, 회복기 직후에 측정된 코티솔의 양으로부터 계산한 목표 값이다.

적응형 뉴로-퍼지 추론시스템으로 훈련 데이터에 맞게 파라미터가 조정된 퍼지추론시스템을 구하였다.

### 만성적인 스트레스 평가

그림 8은 쥐1의 스트레스 부과 직전, 스트레스 부과 14일째, 회복 7일 후에 대한 생체신호 파라미터들을 퍼지추론시스템의 입력으로 넣어서 얻은 결과와 그 결과를 24시간을 기준으로 구분하여 Cosinor 분석을 적용해서 구한 cosine 함수이다. 동그라미 모양으로 표시된 점들이 퍼지통합으로 얻은 결과이고, 실선이 Cosinor 분석을 통해 얻은 cosine 함수이다.

휴식기 마지막 날의 결과가 정확한 Cosine 형태로 나오도록 훈련했으므로, 퍼지추론 결과와 그 결과를 Cosinor 분석으로 회귀시킨 결과간의 상관계수는 1이 나왔다. 스트레스에 노출된 지 14일 후에는 생체리듬에 교란이 일어나므로, 상관계수가 0.78(±0.19)로 감소하였다. 스트레스 요인이 사라지고 나서 7일

간의 회복 후에는 상관계수가 0.69(±0.09)로 계산되었다. 퍼지추론 결과와 그 결과를 Cosinor 분석으로 회귀한 cosine 함수간에 구해진 상관계수의 역수를 취하여, 스트레스 정도를 평가하였다. 휴식기 마지막 날의 스트레스 정도를 1로 가정하여 값들을 환산하면, 14일간의 소음 스트레스를 받은 경우에는 스트레스 정도가 1.37(±0.43)이었다. 즉, 14일간의 소음 스트레스로 인하여 스트레스 정도가 37% 증가되었다. 7일간의 회복기 후에는 스트레스 정도가 1.47(±0.20)로 계산되었고, 스트레스로부터 회복되지 않았음이 나타났다.

### 결론

현재까지 스트레스를 나타내는 가장 신뢰성 있는 지표로 알려진 것은 호르몬이다. 호르몬 분석을 위해서는 혈액을 채취해야 하므로, 피험자들에게 통증과 감염의 위험이 있어서 분석에 어려움이 있다. 따라서, 본 연구에서는 생체신호를 분석하여 만성적인 스트레스를 평가하는 방법을 개발하고자 하였다.

쥐에게 14일 동안 소음 스트레스를 부과하고, 매 시간마다 생체신호를 획득하였다. 생체신호로부터 도출한 파라미터들을 통합하기 위한 퍼지추론시스템을 구축하기 위해서, 적응형 뉴로-퍼지 추론시스템을 이용하여 주어진 입/출력 데이터 집합에 맞게 퍼지추론시스템의 파라미터들을 결정하였다. 입력 데이터 집합은 생체신호 파라미터들을, 출력 데이터 집합은 호르몬 생성량으로부터 추정된 목표 값으로 설정하였다. 퍼지추론시스템으로 생체신호 파라미터들을 통합하고, 그 결과를 24시간마다 Cosinor 분석을 하여 일주기 리듬의 변화를 관찰하였다. 생체리듬이 깨어진 정도에 의해서 만성적인 스트레스를 평가하였다.

휴식기의 스트레스 정도를 1이라고 가정하면, 소음 스트레스를 받은 14일째에는 1.37(±0.43), 스트레스로부터 7일간 회복한

후에는 1.47(±0.20)의 스트레스 정도가 나왔다. 즉, 쥐는 14일 간의 소음으로 휴식 때보다 37% 증가된 스트레스를 받았고, 스트레스 요인이 사라지고 나서 7일 후에도 그러한 스트레스로부터 회복하지 못하였다.

본 연구에서는 실험대상으로 야행성 동물인 쥐를 사용하였기 때문에, 주행성 동물인 인간에 대해서도 유사한 결과가 나오는지 검증하는 것이 필요하다. 실험대상이 수컷으로 제한되어 있었기 때문에, 암컷에 대해서도 실험을 수행하여 수컷에 대한 결과와 비교해 보는 것도 의미가 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

1. Y. Endo and K. Shiraki, "Behavior and Body Temperature in Rats following Chronic Foot Shock or Psychological Stress Exposure", *Physiology & Behavior*, Vol. 71, pp. 263-268, 2000
2. D. G. Harper, W. Tornatzky and K. A. Miczek, "Stress Induced Disorganization of Circadian and Ultradian Rhythms: Comparisons of Effects of Surgery and Social Stress", *Physiology & Behavior*, Vol. 59, No. 3, pp. 409-419, 1996
3. P. Meerlo, S.F. de Boer, J.M Koolhaas, S. Daan, and R.H van den Hoofdakker, "Changes in Daily Rhythms of Body Temperature and Activity after a Single Social Defeat in Rats", *Physiology & Behavior*, Vol. 59, No. 4/5, pp. 735-739, 1996
4. H. Takeuchi, A. Enzo, A. and H. Minamitani, "Circadian Rhythm Changes in Heart Rate Variability during Chronic Sound Stress", *Medical & Biological Engineering & Computing*, Vol. 39, pp. 113-117, 2001
5. Y. Fukuoka and A. Ishida, "Chronic Stress Evaluation using Neural Networks", *IEEE Engineering in Medicine and Biology*, pp. 34-38, 2000
6. P. Cugini, "Chronobiology: Principles and Methods", *Annali Instituto Superiore Sanita*, Vol. 29, pp. 483-500, 1993
7. Z. Gorka, E. Moryl and M. Papp, "Effect of Chronic Mild Stress on Circadian Rhythms in the Locomotor Activity in Rats", *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, Vol. 54, No. 1, pp. 229-234, 1996
8. T. Musha and M. Yamamoto, "1/f Fluctuations in Biological Systems", *Proceedings - 19th International Conference - IEEE/EMBS*, pp. 2692-2697, Chicago, IL, 1997
9. B. Pilgram and D. T. Kaplan, "Nonstationarity and 1/f Noise Characteristics in Heart Rate", *American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comperative Physiology*, Vol. 276, No. 1, pp. R1-R9, 1999
10. M. M. Massin, et al., "Circadian Rhythm of Heart Rate and Heart Rate Variability", *Archives of Disease in Childhood*, Vol. 83, pp. 179-182, 2000
11. J. Yen and R. Langari, *Fuzzy Logic*, Prentice Hall, 1999
12. X. Zhang and R. J. Roy, "Derived Fuzzy Knowledge Model for Estimating the Depth of Anesthesia", *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol. 48, No. 3, pp. 312-323, 2001