

# 감성 완구 제작을 위한 아동들의 감성 분석 시스템 개발에 관한 연구

\*정기삼, \*이병채, \*\*하은호 \*\*\*김동윤, \*\*\*김동선  
\*용인송담대학 의료정보시스템과,  
\*\*연세대학교 통계학과,  
\*\*\*연세대학교 의공학과

## A Study for the Development of Affective Analysis System for the Manufacture of Affective Toy

\*K. S. Jung, \*B. C. Lee, \*\*E. H. Ha, \*\*\*D. Y. Kim, \*\*\*D. S. Kim  
\*Dept. of Medical Information System, Yong-In Songdam College  
\*\*Dept. of Statistics, Yonsei University  
\*\*\*Dept. of Biomedical Engineering, Yonsei University

### 요 약

5~7세 어린이 12명을 대상으로 생체 신호를 수집하여 기존의 생체 신호 처리 방법으로 감성을 추출하고 그 결과의 문제점을 보인다. 문제점들을 해결하기 위하여 Mental Stress를 측정하는 RRV, RPIAD 알고리즘을 적용하고 감성 완구에 적용 가능성 및 방법을 보인다. 이를 상품화할 수 있는 Affective Wearable 하드웨어를 설계하며 제안된 알고리즘과 하드웨어를 시험하고 검증하기 위한 Test Bed를 구성한다.

**Keyword:** 감성, 완구, HRV, RRV, RPIAD

### 1. 서론

감성이 인체의 생리적인 상태에 영향을 미친다는 사실이 알려진 이후, 사람의 감성 상태를 생리 신호로부터 추출하려는 많은 시도가 있어 왔다. 그들은 연구를 위하여 뇌전도(electroencephalogram; EEG), 심전도(electrocardiogram; ECG), 근전도(electromyogram; EMG), 피부전기반응(Galvanic skin response; GSR) 맥파(photoplethymography; PPG), 피부온도(Skin Temperature) 등 인체로부터 추출할 수 있는 모든 수단을 동원하여 감성 변화에 따른 생체의 변화를 관찰하려고 시도하였다. 그러나 이러한 시도에는 몇 가지 문제가 있다.

첫째는 인간의 감성이 매우 다양하고, 사람마다 개인적인 편차가 크다는 사실이다. Wilhelm Wundt는 인간의 감성을 쾌/불쾌(Pleasantness/Unpleasantness), 긴장/이완(Tension/Release), 흥분/안정(Excitement/Relaxation)과 같이 3가지 상반된 영역으로 분류하였다.[1] Robert Plutchik은 그림 2와

같이 분노(Anger)-공포(Fear), 기쁨(Joy)-슬픔(Sadness), 수용(Acceptance)-혐오(Disgust), 놀람(Surprise)-예상(Expectation)의 8가지의 큰 틀을 가지고 세분화된 인간의 감성을 표현하고자 하였다[2]

Wundt와 Plutchik의 감성 분류의 예에서도 알 수 있듯이 큰 차이는 아니지만 아직도 인간의 감성 분류에는 서로 이견이 존재한다. 따라서 생체 신호를 가지고 인간의 감성을 분류하려는 시도는 ‘어떻게’라는 방법론적인 문제 이전에 ‘무엇을’이라는 근원적 문제에 봉착하게 되는 것이다. 즉, 어떤 감성을 어느 정도까지 세분화하여 추출하는가 하는 문제가 우선 선결되어야 한다.

두 번째 문제점은 사람마다 경험과 지식이 다양할 뿐만 아니라, 개인적인 감성의 종류와 그 반응 또한 매우 다양하여 일반화가 불가능하다는 것이다. 즉, 특정한 상황에서 어떤 사람은 매우 큰 반응을 보이지만 그러한 상황을 반복적으로 경험한 사람이거나 상황에 관심이 없는 사람은 별다른 반응을 보이지 않는다. 따라

서 생체 신호의 반응도 특별한 변화가 없을 수 있다. 대부분의 연구가 실험실 상황에서 특정 감성을 유발하는 자극을 주고 안정 또는 상반된 감성 유발 상태와 비교하여 분석하여 왔다.

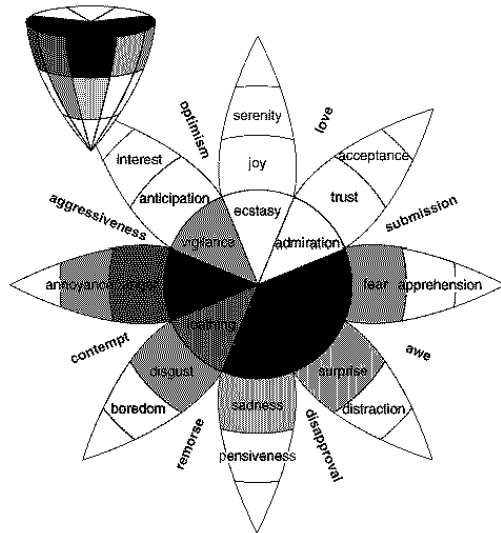


그림 1. R. Plutchik의 감성 분류

Levenson 등은 감성 상태에 따른 자율신경 반응을 관찰한 결과 긍정적인 감성(행복감)에서의 심박수나 피부저항이 부정적 감성(분노/공포)에서 보다 낮게 나타났다는 보고를 하였다.[3] 그러나 이러한 연구 결과들은 특정 상태에서의 생리적 신호 중에서 일부 특성이 비교 상태와 통계적으로 유의할 만한 차이를 나타낸다는 사실만을 보고할 뿐, 슬픔과 같은 감성 상태를 판별할 수 있는 생체 신호의 절대적인 특성 또는 기준은 제시하지 못하고 있다.

세 번째 문제점은 생체 신호는 신호의 종류 및 장비에 따라 실제 생활 환경에서 측정이 매우 어렵다는 사실이다. 실험실 환경에서 감성의 유발은 그 자체가 피검자에게 매우 부자연스러운 스트레스가 될 수 있고 특히 어린이의 경우에는 전극 부착 조작 하나의 공포/불안을 유발하는 자극이 될 수 있다는 사실이다. 또한 EEG, ECG 등과 같이 많은 전극의 부착을 요구하는 실험의 경우 실험 시간과 공간의 제약을 많이 받을 수 있다.

본 연구는 어린이의 감성 상태에 따라 적절히 반응하는 완구 개발이 최종 목표이다. 이러한 목표를 달성하기 위해서는 위에서 기술한 문제 이외에도 몇 가지 현실적인 제한이 존재한다. 첫째는, 완구의 경우 어린이를 대상으로 하고 사용 기간이 매우 짧기 때문에 제품의 가격이 성공의 큰 요인이 된다. 따라서 감성 추출을 위한 장치는 저가형으로 설계되어야 한다.

둘째는, 저가형 장치에서도 실시간으로 신호 처리가 되어야 한다는 점이다. 따라서 알고리즘은 가장 간단하면서도 신뢰성 있는 정보를 추출하여야 한다.

셋째는, 어린이가 감성 완구 제품의 사용을 시작할 시점에서의 감성 상태를 알 수 없다는 사실이다. 즉, 기준점이 없는 상태에서 감성의 변화 상태를 추정하여 반응하여야 한다.

이러한 다양한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 실험을 통하여 어린이들로부터 생체 신호를 수집하여 기존의 방법을 이용한 분석을 실시하였다. 분석된 결과의 장단점을 분석하고 감성 완구에 적용 가능성 및 방법을 연구하였다.

## 2. 실험

실험은 예비 실험과 본 실험으로 나누어 실시하였다. 예비 실험은 동화의 선정, 실험 시간 설정, 진행 방법 등을 확정하기 위하여 5~7세 유아 6명을 대상으로 실시하였다.

실험 안내를 위하여 10분간 설명을 한 후, 10분간 전극 부착 및 실험 준비를 하였다. 데이터는 안정 상태에서 5분, 구연 동화를 청취한 상태에서 5분간 수집하였다. 예비 실험 결과, 어린이들의 경우, 주의력과 집중력이 약하여 아무 것도 하지 않는 안정 상태에서의 5분간을 견디기가 매우 어려웠다. 따라서 안정 상태의 정상적인 데이터 수집이 불가능하다고 판단되어 데이터 수집 시간을 심박변화율(heart rate variability; HRV) 신호의 주파수 분석을 위한 최소 시간인 3분으로 축소하였다. 실험 프로토콜은 그림 2와 같다.

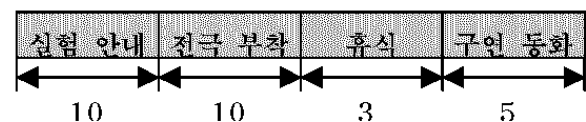


그림 2. 실험 프로토콜

구연 동화의 경우, 기쁨과 슬픔을 유발 시킬 수 있는 동화를 선정하고자 하였다. 동화의 선정 기준은 다음과 같다. 첫째는 동화의 길이가 데이터 수집 시간인 5분 정도인 동화를 선정하였다. 내용은 어린이들에게 너무 알려져 있는 동화를 선정 할 경우, 내용을 미리 예상하기 때문에 원하는 감성의 변화를 유발할 수 없다고 판단되어 제외하였다. 그리고 처음 듣는 동화의 경우, 어린이들이 이해력이 부족하기 때문에 내용의 흐름에 따른 감성 변화를 유도할 수 없을 것으로 판단하여 제외하였다. 이야기의 선정은 이러한 판단 기준에 의하여 유아

교육의 전공한 교사들과의 협의에 의하여 ‘시골 쥐와 도시 쥐’, ‘성냥팔이 소녀’를 각각 기쁨과 슬픔을 유발 하는 동화로 선정하였다.

본 실험은 원주대학교 유아 교육과 병설 유치원에 재학중인 5~7세 남자 어린이 6명과 여자 어린이 6명을 대상으로 실시 하였다. 생리 신호는 ECG, GSR, PPG를 측정하였으며 측정 장치로는 MP100 System (Biopac사, 미국)을 사용하였다. 남/여아 각각 3명에 대하여 기쁨/슬픔 유발 동화를 제시하였고 순서는 무작위로 실시하였다. 그림 3은 실험을 진행하고 있는 모습이다.



그림 3. 실험 진행 모습

### 3. 1차 분석 결과

ECG로부터 HRV를 구하여 가용한 모든 파라미터들을 추출하였다. 또한 GSR은 평균값을 파라미터로 사용하였다. 표 1은 추출된 HRV 파라미터들이다.

표1. 추출된 HRV 파라미터

파라미터	기쁨			슬픔		
	남	여	평균	남	여	평균
RR mean	681.2	609.1	645.1	625.3	674.1	649.7
RR STD	56.9	49.9	53.4	47.4	52.9	50.1
HR mean	93.5	99.9	96.7	97.2	90.1	93.6
HR STD	7.90	7.89	7.89	7.17	6.88	7.02
VLF Power	403173.9	391994.1	397584.0	317920.7	246237.8	282079.2
LF Power	605956.6	304840.8	455398.7	392837.0	401779.4	397308.2
HF Power	474325.3	344798.6	409561.9	182604.7	466140.6	324372.7
TF Power	1483455.8	1041633.5	1262544.7	893362.4	1114157.7	1003760.1
LF/HF Ratio	1.10	0.70	0.90	2.30	0.85	1.58
LF norm	50.1	39.2	44.7	69.1	45.8	57.4
HF norm	49.9	60.8	55.3	30.9	54.2	42.6

추출된 파라미터값들은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 못하였으며 감성을 구분할 수 있을 정도의 정보를 갖지 못하였다.

### 4. 2차 분석 결과

1차 분석은 분석 기법이 일반적으로 공인된 방법이지는 않지만 몇 가지 문제점이 존재한다.

첫째는 분석을 위한 데이터 처리 구간(시간)의 문제이다. 일반적으로 HRV 신호를 주파수 대역으로 분석하기 위해서는 최소 3분에서 5분간의 데이터가 요구된다. 그러나 어린이의 감성은 수시로 변화하며, 감성 완구는 그 변화에 수시로 대응하여야 한다. 따라서 실시간으로 감성 변화에 대응할 수 있는 알고리즘이 요구되며 그 분석 구간 역시 LF(low frequency)성분의 최대 주기인 20초를 넘지 않아야 한다.

둘째 문제점은 완구의 특성상 저가형 처리 장치를 사용하여야 하므로 복잡한 기존의 알고리즘을 적용할 수 없다. 즉, 입력 신호를 최대한 단순화시켜야 하고 신호처리 역시 Target 제품에서 동작할 수 있는 간단하면서도 신뢰성 있는 알고리즘이 요구된다.

세 번째 문제점은 어린이의 개인적인 편차를 보정할 수 있어야 한다는 것이다. 어린이의 경우, 인지 능력이 완전히 형성되어 있지 않고 발달 과정 중에 있기 때문에 개인적인 편차가 매우 크다. 또한 어린이가 감성 완구 제품의 사용을 시작할 시점에서의 감성 상태를 알 수 없기 때문에 초기치 설정이 불가능하다는 것이다. 이러한 사실은 초기치 설정이 잘못될 경우 오차의 누적을 유발시키고, 이것은 결과의 신뢰성에 매우 큰 영향을 미치게 된다.

따라서 본 연구에서는 앞서 기술한 여러 문제점을 해결하기 위하여 다음과 같은 가정을 바탕으로 어린이의 감성을 실시간으로 판별할 수 있는 알고리즘을 제안 하였다.

전문가나 피검자의 주관 평가 없이 순수하게 생체 신호만으로 모든 감성을 판별한다는 것은 거의 불가능하다는 것이다. 따라서 이러한 시도는 과감하게 포기하고 다른 정보를 가지고 피검자의 감성을 유추하여야 한다. 본 Target 제품은 구연 동화를 기반으로 하는 동작 인형 형태이므로 동화의 진행(시나리오)에 따른 어린이의 감성 상태를 유추할 수 있다. 따라서 이러한 정보를 최대한 활용하면 어린이가 본 제품을 사용할 당시의 감성 변화와 시나리오상의 변화를 비교 분석함으로써 지루함이나 집중도, 감성의 변화를 유추할 수 있다.

이러한 기능의 구현을 위하여 1차 분석 결과를 바탕으로 제품의 사양 및 2차 분석 전략을 다음과 같이 수립하였다.

첫째, 1차 분석 결과 감성의 변화를 가장 잘 반영하고 있는 HRV 신호를 측정이 간편한

PPG로부터 추출하고자 하였다. ECG신호는 어린이의 움직임에 의한 잡음(motion artifact)에 비교적 강하지만 완구의 사용을 위하여 전극을 붙인다는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서 PPG를 추출하고 움직임에 의한 잡음 역시 어린이의 활동 정보로 이용하였다.

둘째, 실험 초기에 사용한 정보 중에서 GSR과 Skin Temperature는 실험실 상황에서는 감성의 변화를 잘 반영할 수 있지만 실제 완구 사용 환경에서는 움직임에 의한 잡음으로부터 기인하는 오차가 감성 변화를 판별할 수 있는 범위를 훨씬 초과하기 때문에 오히려 신호 처리 과정에 오류 요인으로 작용한다. 따라서 본 제품의 개발에서는 제외하였다.

셋째, 저가형 MCU(micro-controller unit)에서도 HRV 신호의 처리 가능한 알고리즘인 RPIAD(root of product of interval and the absolute value of difference) 알고리즘을 적용하였다.[4] RPIAD 알고리즘은 계산량이 매우 작을 뿐만 아니라 최소의 지연 시간을 가지고 실시간으로 감성의 변화를 추출할 수 있다.

그림 4는 본 연구를 위하여 개발된 신호 처리 과정을 나타낸다.

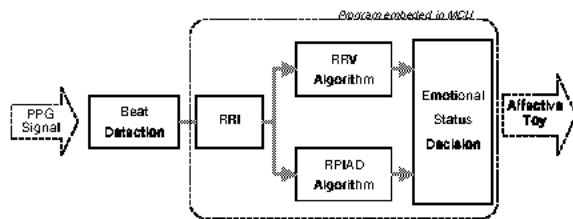


그림 4. 신호 처리 과정

적외선 센서를 통하여 측정된 PPG신호는 Beat Detection 알고리즘을 통하여 일련의 RR 간격(RR interval; RRI)으로 변환된다. 변환된 RR 간격은 HR(heart rate)의 변화를 추적하는 RRV(RR variability) 알고리즘과 Mental Stress를 측정하는 RPIAD알고리즘으로 분리하여 신호 처리를 수행하게 된다. HR은 순간 변화하기 때문에 일정 구간의 평균 HR을 구하여야 한다. RRV 알고리즘은 Moving Average를 이용한 저역 통과 필터링(low pass filtering)을 수행한다. 윈도우 구간은 10 Point를 사용하였다.

$$RRV(i) = \frac{1}{k} \sum_{n=1}^k RRI(i-n+1)$$

where  $k=10$

RPIAD 알고리즘은 원래 Mental Stress를 측정하기 위하여 Wang등에 의해 개발되었다. 본 알고리즘의 특징은 계산량이 작으면서도 실시간으로 HRV 주파수 분석 효과를 얻을 수 있다. RPIAD는 “an index as square root of product of RRI and the absolute value of successive RRI difference”를 의미하는 것으로 계산 식은 아래와 같다.

$$RPIAD(n) = \sqrt{RRI(n) \times |RRI(n) - RRI(n-1)|}$$

여기서 계산된 RPIAD 값은 어린이의 평균 박동 주기인 0.6~0.8초마다 변화하게 된다. 이러한 변화에 대한 파형은 잡음과 비슷한 형태를 가지고 있다. 감성의 변화가 신체의 조절 기능에 미치는 영향은 수초에서 수분이 소요되므로 순간적인 변화보다는 일정 구간의 평균이 더 유용한 정보를 제공한다. 따라서 다음 식과 같이 RPIAD 신호를 평활화(smoothing) 하여 SPIAD (smoothed RPIAD) 신호를 얻는다. 여기서 p 값(평활화 구간)은 10으로 정하였다.

$$SRPIAD(n) = \sum_{k=1}^p a(k) \times RPIAD(n-k)$$

where,  $a(k) = 1/p$

SPIAD는 순간 순간 변화하는 mental stress를 반영하는 지표가 된다. 그러나 피검자마다 신체적인 조건과 생리적인 조절 메커니즘이 틀리므로 이것을 보정하여야 한다. 즉, 어린이들의 경우 분당 평균 심박수가 70~120회 편차가 매우 크고 변동율(variability) 역시 상이하므로 이를 보정해 주어야 한다. 원칙적으로 안정 상태의 평균 SRPIAD 값으로 정규화(normalizing) 하여야 하지만 실제 완구 사용 상황을 고려하여 초기 20 point의 데이터를 이용하였다.

다음 식은 정규화된 SRPIAD (NSRPIAD: Normalized SRPIAD) 값을 계산하는 식이다.

$$NSRPIAD(n) = SRPIAD(n) / \overline{SRPIAD(rest0)}$$

그림 5는 2차 분석의 결과를 나타낸 것이다.

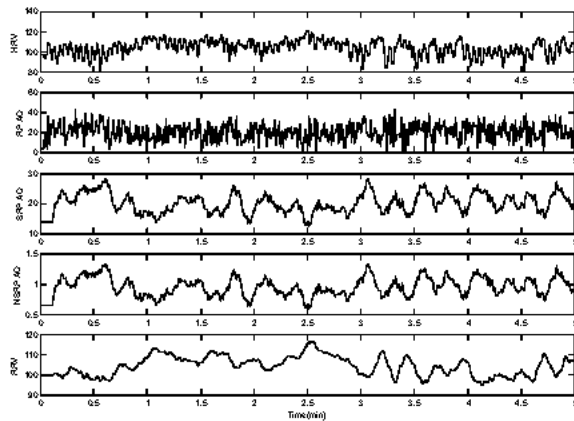


그림 5. 2차 분석 결과  
(위로부터 HRV, RPIAD, SRPIAD, NSRPIAD, RRV 신호)

그림 6는 6세 여아를 대상으로 ‘시골 쥐와 도시 쥐’를 들려주면서 측정한 실험 결과이다. 동화는 해설자의 나레이션과 두 주인공(시골 쥐 / 도시 쥐)의 대화로 이루어져 있다. 피검자는 나레이션 상태에서 보다 두 주인공의 대화에 관심을 보였으며 전반적인 집중 상태는 양호하였다. 삼각형(▼)으로 표시된 부분은 상황의 변화나 동화 구연중에 공포감을 유발할 수 있는 소리(예 : 고양이 소리 등)의 발생 등을 표시한 것이다. 본 알고리즘을 적용한 결과, 피검자의 데이터로부터 추출한 RRV와 NSRPIAD는 상황 변화를 잘 반영하고 있음을 알 수 있다.

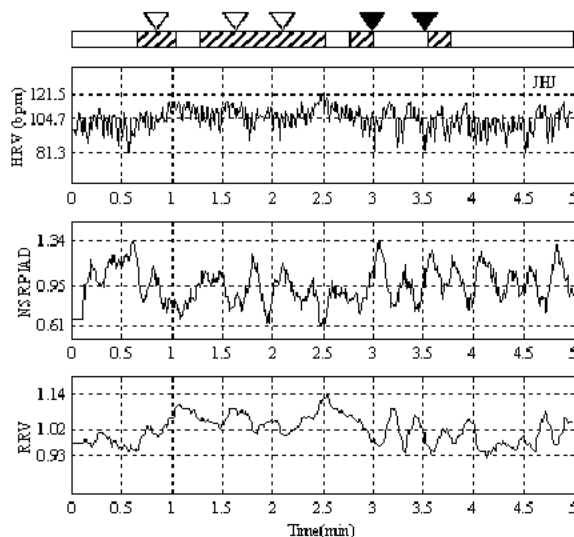


그림 6. RRV와 NSRPIAD의 상황 변화  
(□:나레이션, ▨:대화, ▼:상황발생)

## 5. Affective Wearable 하드웨어의 설계

상기한 알고리즘을 제품화하기 위하여 Affective Wearable 하드웨어를 설계하였으며 그 특징은 다음과 같다.

- 초저전력, 단일전원설계(battery operation)
- 신호 입력의 최소화
- 효율적인 전력 사용을 위해 active sensing 방식 배제(passive sensing 방식 사용)
- 주변회로의 단순화(one-chip 설계)

상품화를 고려하여 저가형 마이크로컨트롤러를 채용하였으며 센서 역시 적외선 다이오드와 포토 트랜지스터를 이용하여 제작하였다. 배터리 전원을 고려하여 단일전원 구동회로로 설계하였으며 부품의 선정에서부터 회로에 이르기까지 전류의 소모를 최소화 하였다.

그림 7은 본 연구에서 설계된 Affective Wearable 하드웨어의 회로도 이다. 센서에서 감지된 신호는 증폭단을 거쳐 마이크로 컨트롤러의 아날로그 입력단으로 전달된다. 마이크로 컨트롤러의 입력단에서는 A/D변환을 거쳐 주 처리부로 직렬 전송한다. 전송된 신호는 앞서 ‘2차 분석’에서 기술한 RPIAD 및 RRV 알고리즘을 이용하여 분석을 행하게 된다. 다음 그림은 마이크로컨트롤러의 내부 제어 흐름도를 나타낸 것이다.

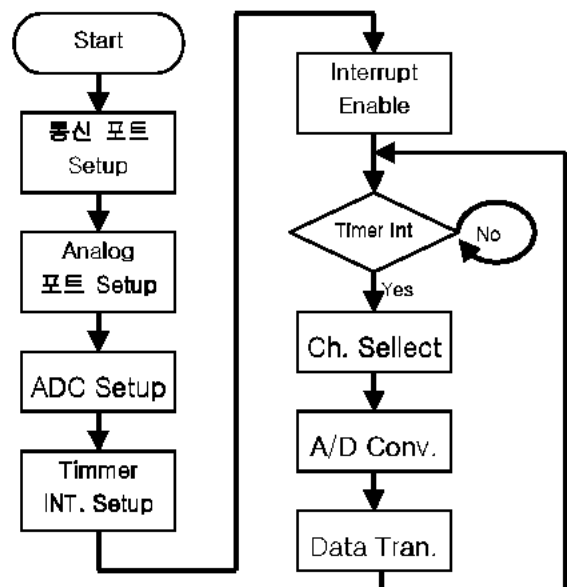


그림 7. 마이크로컨트롤러 내부 제어 흐름도

그림 8은 Affective Wearable 하드웨어의 구성도를 나타낸 것이다.

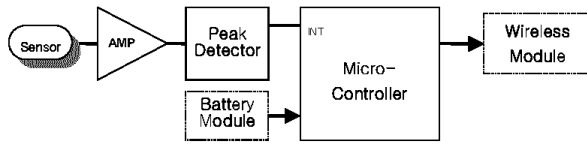


그림 8. Affective Wearable 하드웨어 구성도

## 6. Test Bed 구성

본 연구에서는 개발된 알고리즘과 하드웨어를 시험하고 검증하기 위하여 그림 9와 같이 Test Bed를 구성하였다.

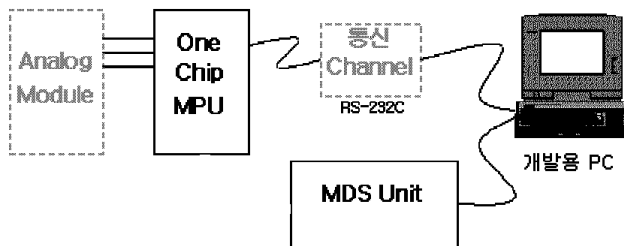


그림 9. Test Bed 구성

그리고, 그림 10과 같이 입력 신호 및 처리 과정을 모니터할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 모니터링 프로그램의 화면은 아래와 같이 크게 5가지로 분류할 수 있다.

- PPG 신호 표시 창 - 좌상
- PPG 신호로부터 추출한 HRV 신호 표시 창 - 좌하
- 심박수(HR) 표시 창 - 우상
- RRV 및 RPIAD 표시 창 - 우중
- 감성상태 표시 창 - 우하

각각의 창들을 통하여 입력신호로부터 출력 결과 전반을 모니터링하게 되며 그 결과는 시제품의 개선 및 수정에 이용할 수 있도록 설계하였다.

## 7. 결론

어린이의 감성 상태에 따라 적절히 반응하는 완구 개발을 위해서는 감성 추출 장치가 저가형으로 설계되어야 하며 알고리즘은 가장 간단하면서도 신뢰성 있는 정보를 추출할 수 있어

야 하고 기준점이 없는 상태에서 감성의 변화 상태를 추정하여 반응할 수 있어야 한다. 이러한 조건을 만족시키기 위하여 5~7세 어린이 12명을 대상 생체 신호를 수집하여 다양한 방법으로 감성을 추출하고 결과의 장단점을 분석하여 감성 완구에 적용 가능성 및 방법을 보였다. 또한 Mental Stress를 측정하는 RRV, RPIAD 알고리즘을 적용하여 상기한 조건을 만족함을 보였으며 이를 상품화할 수 있는 Affective Wearable 하드웨어를 설계하고 알고리즘과 하드웨어를 시험하고 검증하기 위한 Test Bed를 구성하였다.

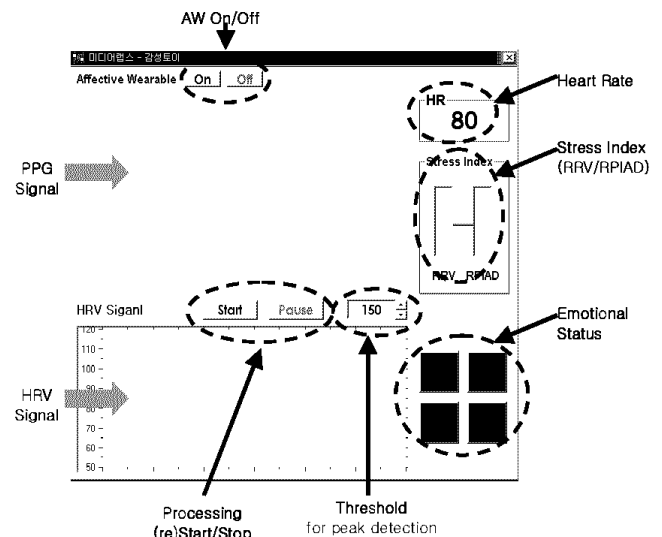


그림 10. 모니터링 프로그램

## 8. 참고문헌

- [1] Robert H. Wozniak, Wilhelm Wundt, "Classics in Psychology", Thoemmes Pr, 1855-1914
- [2] Robert Plutchik, "Emotions in the Practice of Psychopathology: Clinical Implications of Affect Theories", American Psychological Association, 2000
- [3] Levenson, R. W., Ekman, P., Heider, K., & Friesen, W. V., "Emotion and autonomic nervous system activity in the Minangkabau of West Sumatra", Journal of Personality and Social Psychology, 62, 972-988, 1992
- [4] F. Wang, K. Sagawa, H. Inooka, "Time Domain HRV index for Assessment of Dynamic Stress", Computers in Cardiology, 1998