

## BCI 리듬게임을 위한 시청각 피드백 생성에 관한 연구

김철민\*, 강경현\*, 김은석\*\*  
디지털콘텐츠협동연구센터\*, 동신대학교 디지털콘텐츠학과\*\*  
{cmkim, vagabond, eskim}@dsu.ac.kr

### A Study on the Generation Method of Visual-Auditory Feedback for BCI Rhythm Game

Cheol-Min Kim\*, Gyeong-Heon Kang\*, Eun-Seok Kim\*\*  
Digital Contents Cooperative Research Center\*,  
Dept. of Digital Contents, Dongshin Univ.\*\*

#### 요 약

최근 BCI(Brain Computer Interface) 기술의 발전과 함께 보급형 BCI 장치를 활용한 게임 연구가 활발히 진행되고 있다. BCI 게임은 대부분 연구를 위한 실험적인 체험용 콘텐츠 형태로 개발되어 왔으며, 명령 패러다임에 있어서 BCI 게임 명령에 적합한 뇌파를 유도하는 방법에 대한 연구는 미흡하다. 본 연구에서는 음악의 리듬을 시청각적으로 표현하는 새로운 플레이 요소를 제공하는 BCI 리듬게임과 음악의 템포와 뇌파를 동기화 시켜 다양한 형태의 시청각 피드백을 생성하는 방법을 제안한다. 제안방법은 실험을 통해 게임조작에 필요로 하는 뇌파를 유도하여 게임점수를 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

#### ABSTRACT

In recent years, studies in BCI game with popular BCI devices are progressing actively by the development of BCI(Brain Computer Interface) techniques. Most of BCI games have developed as experimental contents for researching. On the game control paradigm, it is insufficient to conduct a study about induced methods of proper brainwave to control the BCI game. In this study, we suggest a rhythm game using BCI which has a new play element that visualizes the rhythm of music and represents the notes of music in sound and a generation method of visual-auditory feedback through the synchronization of the tempo of music with brainwave. Experimental Results make certain that our suggestion is possible for the improvement of game score through the induction of brainwave that is necessary to control the game.

**Keywords** : 뇌-컴퓨터 인터페이스(BCI), 리듬게임(Rhythm Game), 시청각 피드백  
(Visual-Auditory Feedback)

Received: Nov. 08, 2013 Accepted: Dec. 02, 2013  
Corresponding Author: Eun-Seok Kim(Dongshin University)  
E-mail: eskim@dsu.ac.kr

© The Korea Game Society. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ISSN: 1598-4540 / eISSN: 2287-8211

## 1. 서 론

BCI(Brain-Computer Interface)는 사람과 컴퓨터의 의사소통 수단으로 뇌의 활동을 직접적으로 반영하는 사용자 인터페이스(UI: User Interface)이다. BCI는 1973년 UCLA 연구팀의 Vidal[1]에 의해서 처음으로 개념이 언급되었으며, 초기에 몸이 불편한 환자를 위한 의사소통 혹은 보조기술로서 그 미래적 가능성에 초점을 맞추어져 연구가 진행되어 왔다. 최근 하드웨어 기술의 발달로 저렴하고 소형화된 뇌파 측정기들이 시장에 나오면서, 일반인을 대상으로 하는 엔터테인먼트 분야까지 연구개발 영역이 확장되고 있다[2,9].

게임 인터페이스로는 일반적으로 마우스, 키보드, 조이스틱 등이 사용되는데, BCI의 연구가 활발히 진행되면서 게임에서도 뇌파를 이용하기 위한 연구와 콘텐츠 개발이 다양하게 이루어지고 있다. 예를 들면, 사용자에게 측정된 뇌파로 계산된 집중도(attention)와 명상도(meditation)를 이용하여 사용자 감성 상태를 추출하고 이를 게임에 적용할 수 있다[3]. 이러한 게임들은 대부분 기존 입력 장치를 대체하기 위한 수단으로 BCI를 실험적으로 도입하거나 뇌파 정보를 부가적인 입력 데이터로 사용하는 수준에 머물러 있다.

또한 명령 패러다임 관점에서 일반적인 게임은 사용자의 의도에 따라 자유롭게 특정 명령을 입력하여 조작이 가능하지만, BCI 게임은 특정 명령에 해당되는 뇌파를 사용자의 의지대로 발생시키기 어렵기 때문에 게임 조작에 제약이 따른다. 따라서 게임 명령에 적합한 뇌파를 유도하는 방법이 필요하고, 게임 명령에 사용하는 뇌파와 동기화 되는 피드백이 필요하다.

본 논문에서는 BCI를 이용하여 연주하는 리듬게임을 제안한다. 이를 위해 연주방법을 청각적으로 인지시키고, 음악의 리듬을 시각적으로 표현하는 기법과 조작에 필요한 뇌파 리듬에 동기화 되는 다양한 시청각 피드백 생성 방법을 제시한다. 2장에서는 BCI 게임 동향과 리듬게임의 구성 및 조작

인터페이스에 대해 알아보고, 3장에서는 뇌를 자극하기 위한 게임 디자인과 뇌파를 이용한 리듬게임 연주 방법 및 시청각 피드백 생성 방법을 설명한다. 4장에서는 BCI 리듬게임에서 뇌파와 동기화되어 생성된 시청각 피드백에 대하여 사용자 실험을 통해 분석하고, 마지막 5장에서는 결론 및 향후 진행할 과제에 대하여 논한다.

## 2. 관련연구

### 2.1 BCI 게임

뇌파(腦波)는 신경계에서 뇌신경 사이에 신호가 전달될 때 생기는 전기의 흐름으로 심신의 상태에 따라 각각 다르게 나타나며 뇌의 활동 상황을 측정하는 가장 중요한 지표이다. 전극을 이용하여 측정하고 얻어지는 뇌 표면의 미세한 신호 궤적을 뇌전도(EEG: electroencephalogram)라고 부른다. BCI는 사람의 두뇌와 컴퓨터를 연결해 뇌파를 이용하여 컴퓨터를 제어하는 기술이다. BCI는 뇌의 활동을 분석하여 사람 또는 동물의 의도를 파악하고 이를 로봇이나 컴퓨터를 제어하는데 활용되고 있다[1].

최근 BCI 기술의 발전으로 BCI 기기들이 경량화 및 대중화됨에 따라 엔터테인먼트 목적으로 다양하게 응용되고 있다. 특히, 게임분야에서 BCI를 활용할 수 있는 플레이 요소와 콘텐츠 개발에 대한 연구가 증가하고 있다[3,10]. BCI 게임에 대한 연구는 'Pinball'과 같이 사용자에게 친숙한 게임을 중심으로 진행되었다. 대표적으로 Hjelm[4]의 연구에서는 사용자의 안정도(relaxation)를 이용한 'BrainBall' 게임을 개발하였다. 'BrainBall'은 [Fig. 1](a)와 같이 두 명의 게임 플레이어가 BCI를 착용하고, 사용자의 안정도에 따라 탁자에 놓인 공을 상대측에 위치한 원 안에 넣어 승패를 결정하는 게임으로서 BCI 게임에 대한 가능성을 보여주었다.

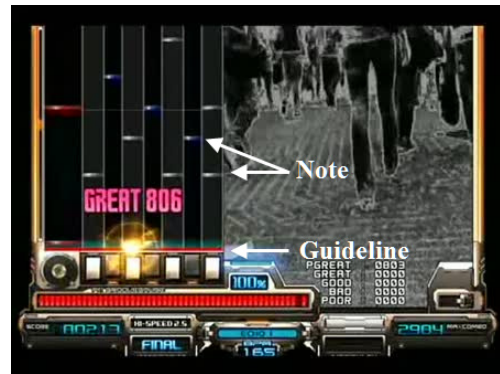
BCI 게임은 다양한 게임 장르 형태로 개발되고

있다[3]. 각 게임 장르별로 BCI를 활용한 연구를 살펴보면, 액션 게임 분야에서 Pineda[5]는 사용자의 좌뇌와 우뇌에서 발생하는 각각의 특정한 뇌파를 인식하여 캐릭터의 좌우 방향을 조절하는 법을 사용자가 배울 수 있다는 것을 검증하여 단순한 슈팅 게임에서부터 FPS 게임까지 적용하고자 하였다. 시뮬레이션 게임 분야에서는 Pengfei의 ‘Virtual 3D Vehicle Control Game[6]’ 연구에서 [Fig. 1](b)와 같이 사용자가 실제 운전할 때 나타나는 뇌파의 패턴을 사용하여 온라인 상태에서 3D 자동차를 운전할 수 있도록 하였다. 퍼즐 게임 장르에서는 [Fig. 1](c)와 같이 그림이나 도형을 보았을 때 발생하는 특정 뇌파를 활용한 게임들이 다양하게 개발되고 있으며[7], 그밖에 RPG 장르 중에서는 대중적으로 인기가 많은 ‘WoW(World of Warcraft)’에 애드온(Add-ons)<sup>1)</sup>을 사용하여 BCI를 접목시킨 ‘WoW’라는 게임을 선보였다[4]. [Fig. 1](d)는 ‘WoW’의 게임화면으로 왼쪽 부분에 표시된 사용자의 각성도에 따라 캐릭터의 외모나 전투력과 같은 상태를 변화시킴으로써 게임에 대한 흥미와 집중도를 높이고자 하였다.

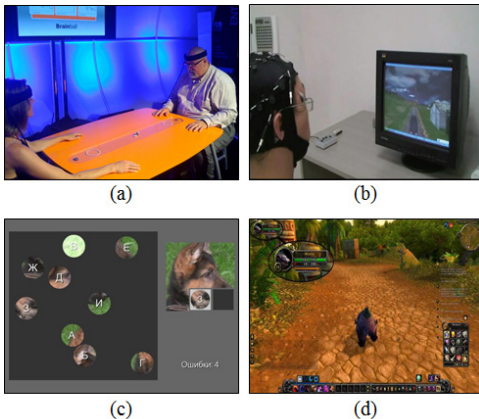
지금까지 살펴본 BCI 게임들은 대부분 연구들은 게임 플레이 요소와 연관성이 부족한 뇌파 데이터를 사용하는 실험적인 콘텐츠이며, 게임 제어에 적합한 뇌파를 유도하는 방법들에 대한 연구는 아직 미비한 상황이다.

## 2.2 리듬게임

리듬게임이란 음악에 맞춰서 손, 혹은 몸을 사용해 조작하는 게임을 총칭하는 말로 ‘음악 게임’ 혹은 ‘리듬 액션 게임’이라고도 하며 음악과 악보라고 할 수 있는 노트(note)로 구성된다. 노트는 음악의 박자에 따라 미리 정의된 연주 패턴으로서 사용자에게 타이밍에 맞춰 주어진 입력을 요구하는 수단으로 사용된다. 반복되는 노트의 패턴은 음악을 지각하는데 유용하고, 음악과 노트의 매칭이 정확할수록 사용자의 몰입도를 높일 수 있다[15]. [Fig. 2]는 리듬게임 장르의 모티브가 된 코나미社의 ‘Beatmania’ 게임 화면으로 대부분의 리듬 게임과 같이 화면 상단에서 가이드라인으로 이동하는 노트를 연주하고 게임 점수를 획득하는 방식을 사용한다.



[Fig. 2] Music Rhythm Game ‘Beatmania’(Konami)



[Fig. 1] Examples of BCI game

1990년대 말 아케이드 게임기로 시작된 리듬게임 인터페이스는 2000년대 초 가정용 게임기의 인기와 함께 악기형태의 소형화된 전용 컨트롤러가 대중화되었다. PC 보급률이 높아지고 유선 인터넷 시장이 확대되면서 게임시장의 트렌드는 온라인 게임으로 급격히 변화하였다. 이러한 추세에 키보드를 사용하는 PC용 온라인 리듬게임이 등장하게 되었고, 2000년대 후반 스마트폰이 등장하면서 화면터치, 드래그를 통한 다양한 연주방식의 리듬게임이

1) 특정 프로그램의 기능을 보강하거나 인터페이스를 향상시키기 위해 추가된 ‘Plug-in’ 또는 ‘Extension Pack’이라고 부르는 프로그램

출시되었다. 최근에는 Microsoft社의 동작인식 카메라인 ‘키넥트(Kinect)’를 사용하여 사용자의 동작을 인터페이스로 활용하는 동작인식 리듬게임이 출시되고 있다. [Fig. 3]에서는 리듬게임에서 사용된 다양한 사용자 인터페이스를 나타낸다.



[Fig. 3] Interfaces for Rhythm Game

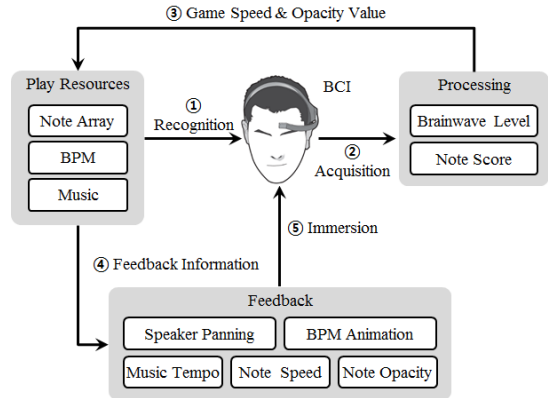
### 2.3 청각적 자극과 뇌의 반응

인간의 두뇌는 친숙한 그림이나 글자, 소리와 같은 자극을 제시하면 특정뇌파를 발생시키는데, 정보처리과정 중 자극에 대한 주의력, 기억력, 인지능력 등에 따라 뇌파의 자극 정도가 달라진다. 그중 음악적 자극은 그 훈련도에 따라 뇌파의 진폭과 발생 시점이 결정된다[12]. 또한, 소리는 불쾌함, 편안함 등을 제공하며 뇌를 자극한다. 생활소음과 명상음악을 청각적 자극으로 사용하여 뇌파변동을 해석한 연구에 의하면 뇌파변동리듬도가 낮을수록 각성감과 불쾌감은 증가하고, 높아지면 각성감은 감소하고 쾌감이 증가한다[13]. 특히 음악 감상은 뇌 속의 언어중추를 통해 뇌신경세포를 조밀하게 하여 많은 뇌력(brain power)을 이끌어 내도록 돕는다[14]. 이처럼 청각적 자극은 뇌의 기능과 긴밀한 관계가 있기 때문에 음악이 핵심요소인 리듬게임은 BCI를 활용한 응용 게임 콘텐츠로서 적합하다.

## 3. BCI 리듬게임

BCI 리듬게임은 음악의 선율에 따라 BMS<sup>2)</sup>에 정의된 노트를 뇌파를 이용하여 연주하고 점수를 획득하는 게임이다. 제안하는 BCI 리듬게임의 시스템 구성은 [Fig. 4]와 같이 크게 세 부분으로 나

뉘진다.



[Fig. 4] Configuration of ‘BCI Rhythm Game’

첫 번째, 플레이 리소스(Play Resources)는 사용자가 리듬게임을 연주하기 위해 인지하는 게임 정보로서 노트의 배열, 노트의 속도와 음악속도를 시각화하기 위한 BPM(Beats Per Minute)<sup>3)</sup> 정보, 그리고 게임 음악으로 구성된다. 두 번째, 처리단계에서는 집중도에 따라 판정 기준을 결정하기 위한 레벨을 정하는 과정(leveling)과 이를 기준으로 노트를 연주함으로써 점수를 획득하고 게임 속도를 결정한다. 세 번째, 결정된 게임속도와 명상도 레벨은 플레이 정보와 연동하여 시청각 피드백을 생성한다. 음악의 템포와 노트의 속도를 조절하고, 노트위치에 따라 스피커를 패닝한다. 또한 재정의된 BPM 정보를 애니메이션 하며 노트의 불투명도를 변경함으로써 사용자의 몰입감을 향상시킨다.

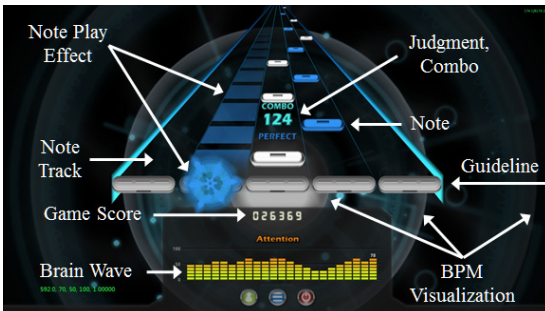
BCI 리듬 게임에서 뇌파를 획득하기 위한 BCI 장치로는 NeuroSky社의 Mindwave Mobile을 사용하였고, 0에서 100사이의 디지털 신호로 변환되는 집중도와 명상도를 인터랙션(interaction) 인터페이스로 활용한다.

2) Be-Music-Script, 리듬게임을 하기 위한 파일 확장자 중 하나로, 노트의 배열 및 사용할 음악 정보가 정의되어있다.

3) 1분 동안 연주되는 비트(beat) 수로 곡의 빠르기를 나타낸다. 템포와 비슷한 의미이지만 리듬 게임에서 ‘BPM’은 연주할 노트 배열의 발생시간을 정의하기 위한 요소로 사용된다.

### 3.1 게임 UI 디자인

노트는 음악에 동기화되어 표현되기 때문에 음악을 시각화하는 요소라 할 수 있다. 노트가 활용된 리듬게임에서 음악을 시각화 하는 방법은 음의 높이, 길이, 강도, 느낌에 따라 분류할 수 있다[16]. 음악시각화 구성요소는 노트를 표현하는 방법에 따라 정의되며 리듬게임의 디자인 및 플레이 요소를 결정한다. 본 연구에서는 BMS를 구성하는 노트의 배열과 BPM 정보를 음악시각화 구성요소로 사용한다. [Fig. 5]는 게임 화면 구성이며, Y와 Z축으로 생성된 5개의 트랙(track)에 노트의 배열을 표현하고, 화면중심에 BPM을 시각화하여 연주할 곡의 이해를 높일 수 있도록 게임화면을 디자인 하였다.



[Fig. 5] UI Design for 'BCI Rhythm Game'

#### 3.1.1 음악 시각화를 통한 노트의 인지

게임에서 익숙해지기 쉬운 조작법과 정확한 조작이 가능한 장치는 게임의 재미와 몰입을 더욱 증가시킨다[17]. 현재 상용화된 BCI는 키보드, 조이스틱 같은 입력장치처럼 사용자의 의지를 정확하게 측정하기 어렵다. 따라서 BCI를 게임에 활용하기 위해서는 사용자에게 플레이 요소에 적합한 조작방법을 제공해야 한다. 리듬게임에서 노트의 위치는 조작방법을 요구하기 위한 시각적 요소이다. 따라서 노트의 위치를 몰입할 수 있는 방법을 제공하면 조작방법을 쉽게 습득할 수 있다. 또한, BCI 게임의 조작 행위로 사용되는 사용자의 의지

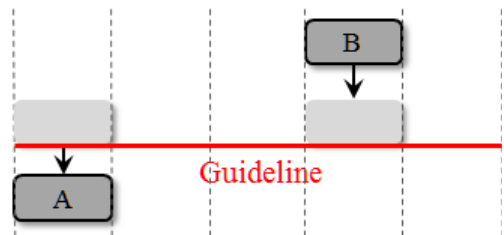
는 몰입도 수준에 의해 결정되며, 다양한 자극이 제공됨으로써 증가한다. 본 연구에서는 연주해야 할 노트의 위치에 따라 양쪽 귀에 들리는 음악의 강도를 조절하여 뇌를 자극하고 청각적으로 인지시키기 위한 방법을 사용하였다.

음악의 강도는 노트의 위치에 따라 [Table 1]과 같이 좌우 스피커를 패닝(panning)하는 비율로 조절되며 노트의 위치는 음악의 강도를 시각화하는 정보가 된다. 노트의 음악 시각화는 눈을 감은 상태에서도 노트의 위치를 인식할 수 있게 하고, 눈을 뜬 상태에서는 노트의 패턴을 바라보며 앞으로 연주될 음의 강도를 예측하게 하는 음악정보처리 과정을 통하여 뇌파발생을 유도한다. 음의 강도는 노트의 위치에 따라 1에서 5사이의 실수 값으로 계산되고 좌우 스피커로 분산되는 비율을 결정한다.

[Table 1] Speaker Panning Ratio by Note Position

Note Position	1	2	3	4	5
Intensity	1	2	3	4	5
Left Speaker	90%	70%	50%	30%	10%
Right Speaker	10%	30%	50%	70%	90%

[Fig. 6]과 같이 가이드라인을 통과한 마지막 노트 A와 앞으로 가이드라인에 처음으로 도착할 노트 B가 있을 때, A가 가이드라인에 도달했던 시간을  $t_A$ , B가 가이드라인에 도착할 시간을  $t_B$ , A의 음의 강도를  $I_A$ ([Table 2]에서는 1), B의 음의 강도를  $I_B$ ([Table 2]에서는 4)라고 하면 현재시간  $t$ 에 적용될 음의 강도  $I_t$ 는 다음 (eq. 1)과 같이 계산된다.



[Fig. 6] Time Measurement based on the Guideline

$$I_t = I_A + ((I_B - I_A) \times \frac{t - t_A}{t_B - t_A}) \quad (\text{eq. 1})$$

좌우 스피커로 분산되는 비율은 음의 강도에 따라 자연스러운 소리의 변화를 주기 위해 0.1초마다 계산하였다.

### 3.1.2 BPM 시각화

음악에 맞춰 리듬을 탄다는 말은 BPM에 따라 반복되는 비트(beat) 주기에 맞춰 신체 일부를 움직이는 것을 의미한다. BPM 시각화는 사용자에게 음악의 리듬을 시각적으로 표현하기 위한 효과이다. 들리는 음악의 홀수 비트에 맞춰 화면 중앙에서 퍼지는 원형 파동형태로 표현하였으며, [Fig. 5]와 같이 화면 밖으로 애니메이션 되며 소멸된다.

## 3.2 뇌파를 이용한 리듬게임 연주

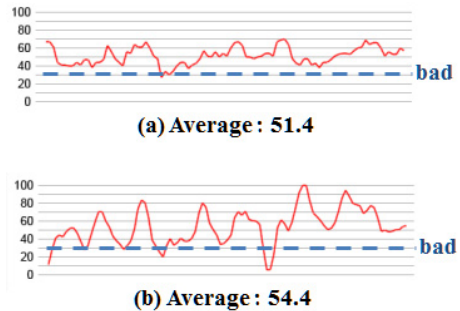
BCI 장치를 통해 획득된 집중도는 노트를 연주하고 점수를 획득하는 수단으로 사용한다. 노트의 연주는 노트가 가이드라인에 도달했을 때 [Table 2]와 같이 정의한 5단계의 집중도 레벨에 의해 이루어지며 판정, 색상, 점수, 게임속도를 결정한다. 판정과 색상은 [Fig. 5]와 같이 노트 연주 효과를 표현하고 사용자에게 연주된 결과를 시각적으로 표현하기 위해 사용된다. 점수는 게임의 숙련도를 측정하기 위한 최종 게임 점수에 누적되며, 게임속도는 집중도 리듬에 따라 증감하고 상호작용 하는 피드백 생성을 위해 사용된다.

[Table 2] Classification of Attention Levels

Lv	Attention	Judgment	Color	Score	Game Speed
1	0~14	miss	R	0	-0.010
2	15~29	bad	M	50	-0.005
3	30~54	good	Y	150	+0.001
4	55~74	nice	G	200	+0.003
5	75~100	perfect	B	300	+0.005

결과적으로 게임을 진행하는 동안의 평균 집중도 수치가 높을수록 최종 게임 점수도 높아지게 되지만, 단순히 집중도 수치를 반영할 경우 게임이 아닌 시뮬레이션이 되어버리는 문제가 발생한다.

[Fig. 7]은 뇌파 변동 리듬을 분석하기 위하여 2분간 취득한 집중도 그래프 표본이다. 여기서 (a)는 큰 편차 없이 일정한 리듬을 유지하였고, (b)는 80이상의 높은 집중도를 빈번하게 보이면서 최대 수치에 도달하기도 하였지만 큰 폭의 변동리듬을 보이며, (a)의 평균 집중도와 비슷한 결과를 나타내었다.



[Fig. 7] Attention Graphs with Similar Average

리듬게임은 정확한 타이밍에 맞춰 주어진 입력을 요구하기 때문에 집중력을 필요로 한다. 따라서 집중력 유지는 리듬게임의 숙련도를 반영하는 하나의 요소가 될 수 있으며, 일정한 집중도 리듬을 유지한 (a)는 (b)보다 높은 게임 점수를 획득할 수 있어야 한다.

이를 위해 평균 집중도 레벨의 변화량을 ‘리듬편차’라 정의하고, 노트를 연주할 때 집중도가 [Fig. 7]의 ‘bad’ 라인으로 내려가지 않았을 때의 연속을 ‘콤보(combo)’로 정의하여 활용하였다. 리듬편차와 콤보는 노트를 연주하고 추가로 받는 점수를 결정하며, 최종 게임 점수를 결정하는 중요한 변수가 되도록 하였다. 리듬편차는 현재까지 연주된 노트의 평균 집중도 레벨과 마지막에 연주한 노트의 레벨 차이를 0에서 1사이의 값으로 표현한다. 리듬편차에 대한 추가 점수 반영 비율은 선형이 아닌

2차적으로 반비례하도록 평균의 제곱과 레벨의 제곱의 차이를 사용하였고, 레벨 차이가 작아질수록 리듬편차는 1에 가까워지고 추가로 획득되는 점수도 증가한다. 콤보는 집중도 리듬이 유지된 노트 개수로 연주된 노트에 대한 판정으로 결정한다. 콤보는 good, nice, perfect 판정을 받으면 증가하고, miss와 bad 판정을 받으면 초기화 된다.

전체 노트 개수를  $N_{max}$ , 마지막에 연주한 노트의 위치를  $n$ , 획득한 기본 점수를  $S$ , 집중도 레벨을  $L$ , 콤보를  $C$  라고 하였을 때, 마지막에 연주한 노트 위치  $n$ 에 대해 결정된 리듬편차  $RD_n$ 과 추가로 받는 점수  $ExtraScore_n$ 는 다음 (eq. 2)와 (eq. 3)과 같이 계산된다.

$$RD_n = 1 - \frac{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n L_i \div n\right)^2 - (L_n)^2}}{5} \quad (\text{eq. 2})$$

$$ExtraScore_n = \left(RD_n + \frac{C}{N_{max}}\right) \times S_n \quad (\text{eq. 3})$$

[Table 3]은 [Fig. 7]의 데이터 표본을 이용하여 0.5초마다 1개씩 총 240개의 노트를 실제로 연주하였다고 가정하고 측정된 게임결과로, A와 B는 각 [Fig. 7]의 (a), (b)이고, Test1은 기본 점수만 적용하였을 때이며, Test2는 추가 점수를 적용하였을 때이다.

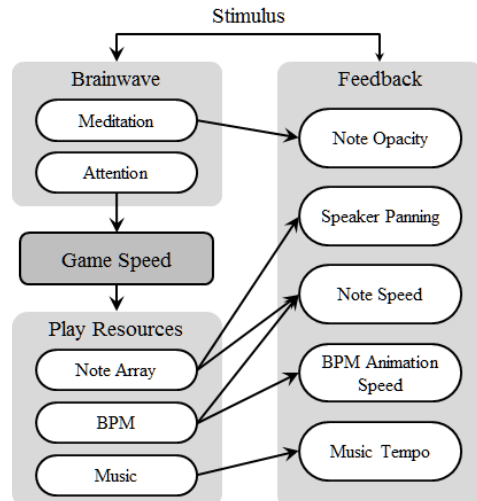
[Table 3] Results after applying an Additional Score

Result	A		B	
	Test1	Test2	Test1	Test2
Perfect	0	0	26	26
Nice	79	79	84	84
Good	158	158	109	109
Bad	3	3	16	16
Miss	0	0	5	5
Max Combo	-	163	-	93
Total Score	39650	63923	41750	57146
Avg. Attention	51.4	51.4	54.4	54.4

기본 점수만 적용하였을 때를 살펴보면, 평균 집중도가 조금 높은 B의 게임 점수가 2100점 높았지만, 리듬편차와 콤보를 사용하여 추가 점수가 적용된 결과에서는 A의 게임 점수가 6777점 높아지는 결과를 만들어 내었다. 본 논문에서 제안하는 BCI 리듬게임은 단순히 집중도에 따라 노트가 연주되는 시뮬레이션이 아니라 A와 같은 뇌파 발생을 유도하는 상호작용 피드백을 제공하여 게임의 숙련도가 정의될 수 있도록 설계하였다.

### 3.3 상호작용 피드백

BCI 리듬게임은 뇌파로 노트를 연주하기 때문에 연주 결과에 대한 보상과 뇌파 상태를 표현하는 피드백은 중요한 플레이 요소가 된다. [Fig. 8]은 뇌파와 상호작용 하는 피드백 생성 과정으로 명상도에 따라 노트의 불투명도에 변화를 주고, 노트를 연주한 결과에 따라 게임속도를 조절한다. 게임속도는 시청각 피드백을 생성하는 기준으로 플레이 리소스에 동기화된 피드백을 생성한다.



[Fig. 8] The Process of Visual-Auditory Feedback

### 3.3.1 게임 속도와 음악의 템포

게임속도는 [Table 2]에서 정의된 것과 같이 증감되어 동일한 크기로 음악의 템포를 조절하고, BPM을 재정의 한다. 너무 느리거나 빠른 템포는 리듬감을 상실할 수 있기 때문에 재정의 된 BPM은 80~250으로 제한하고, 이에 따라 다음 식과 같이 게임속도를 한정한다. (eq. 4), (eq. 5)에서 BPM은 재정의 되지 않은 초기 값을 의미한다.

$$GameSpeed_{min} = 80 \div BPM \quad (eq. 4)$$

$$GameSpeed_{max} = 250 \div BPM \quad (eq. 5)$$

게임속도는 음악의 템포에 그대로 반영되므로, 음악의 템포 변경에 따라 사용자가 느끼는 리듬은 미세한 변화에도 이질감을 느낄 수 있다. 따라서 자연스러운 리듬 변화를 주기위해 게임속도는 바로 적용하지 않고 0.1초마다 현재 게임속도와 비교하여 0.001씩 증감시켜 목표 게임 속도에 도달하도록 하였다. 변경된 음악 템포는 3.1.1절의 노트 시각화를 위한 스피커 패닝과 동기화 되고, 재정의 된 BPM은 3.1.2절의 BPM 시각화 발생빈도와 BPM 애니메이션 속도에 반영된다.

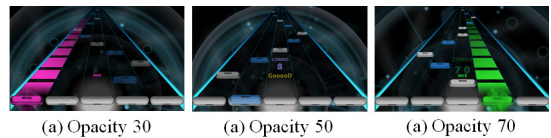
### 3.3.2 노트 애니메이션 속도 변경

노트가 움직이는 속도는 리듬게임에서 가장 많이 사용하는 요소이다. 일반적으로 게임 시작 전에 배속으로 지정하며 BPM에 따라 결정된다. 노트가 보여지는 시간은 120 BPM을 기준으로 4000ms로 설정하였고, 화면상단에서 나타나 가이드라인에 도달하는 시간  $TN$ 은 게임의 속도에 따라 다음 (eq. 6)과 같이 계산되어 애니메이션 된다. 시각적인 긴장감을 높이기 위해 노트의 빠르기는 2차적 (quadratic)으로 증가시켰다.

$$TN = \frac{(BPM \div 120) \times 4000}{GameSpeed^2} \quad (eq. 6)$$

### 3.3.3 명상도 반영 피드백

BCI 장치를 통해 획득된 명상도는 사용자의 심리적인 평안함을 수치로 나타낸다. 본 연구에서 명상도는 사용자의 심리상태를 노트의 불투명도로 표현하는 시각적 피드백으로 활용한다. 명상도 수치는 0에서 100사이의 값을 가지는 불투명도에 대칭되며, 급격한 변화로 튀는 현상을 방지하기 위하여 0.1초마다 현재 적용된 불투명도와 비교하여 2씩 증감시킨다. [Fig. 9]는 결정된 불투명도가 적용된 노트의 모양이다.



[Fig. 9] Examples Applying Transparency to Notes

## 3.4 게임 결과 정보

선택한 곡의 게임을 완료하면 결과를 DB에 저장하고 순위를 평가한다. [Fig. 10]은 게임 결과 화면으로 게임 진행 중 획득한 집중도, 명상도를 그래프로 표현하고 게임 결과 정보를 보여준다. 게임 결과 정보에는 연주된 노트의 판정과 최종 게임 점수, 집중도와 명상도 정보로 이루어져 있으며, 평균 집중도 레벨과 게임 점수를 반영한 결과를 6단계(S, A, B, C, D, F)로 평가한다. 또한, 평균 집중도, 평균 명상도, 최종 게임 점수는 게임을 수행했던 전체 DB와 선택한 곡으로 분류된 DB에서 순위를 산출하여 제공한다.



[Fig. 10] Screenshot of Game Results



#### 4. 실험 및 결과

본 연구에서는 제안한 BCI 리듬게임에서 뇌파와 동기화되어 생성된 시청각 피드백이 사용자 게임 숙련도에 어떠한 영향을 미치는지 확인하기 위한 실험을 실시하였다. 실험은 30대 직장인 6명을 대상으로 3주간에 걸쳐 총 20회 수행하였고 회당 두 가지 환경으로 게임 점수를 측정하였다. 본 실험에서는 사용자의 뇌파는 컨디션에 따라 큰 편차를 보일 수 있기 때문에 세 가지 실험환경에서의 게임 점수 차이를 확인하고자 하였다.

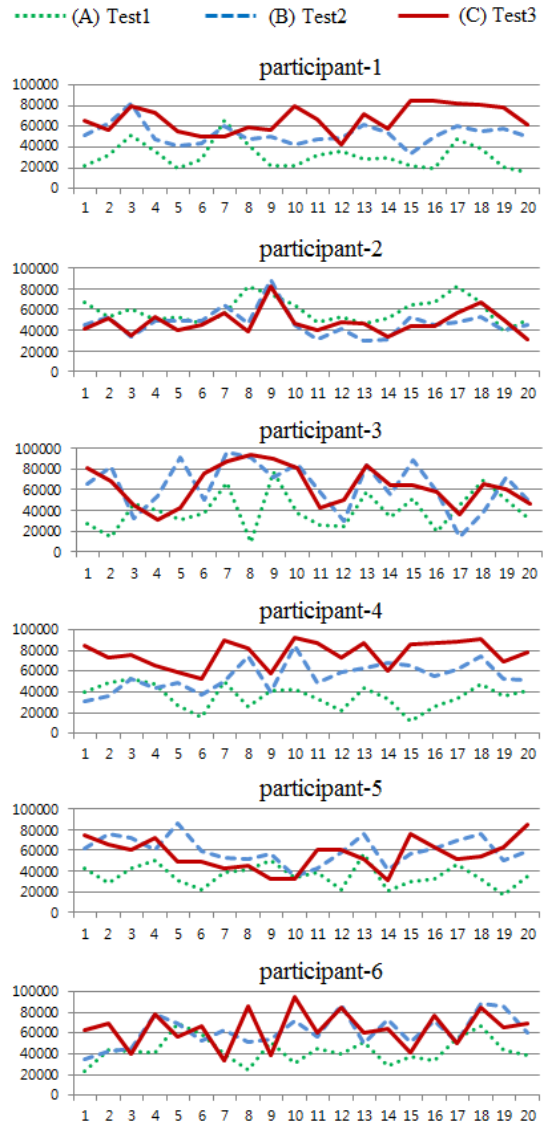
[Table 4] Play Resources and Feedbacks

Test Environment	Play Resource	Feedback
A	music	play
B	music, BMS	with matching
C	music, BMS	with matching, synchronize brain wave

첫 번째 실험환경(A)에서는 피드백을 제공하지 않고 음악만을 피실험자에게 제공한다. 두 번째 실험환경(B)에서는 음악에 따라 노트 패턴을 매칭시켜 제공하며, 세 번째 실험환경(C)에서는 노트의 불투명도, 스피커 패닝, 노트의 속도, BPM 애니메이션, 음악의 템포와 같은 모든 피드백을 제공하도록 하였다. 실험에 사용된 곡은 실험의 일관성을 위하여 한 곡을 선정하여 진행하였다. 일반인에게 친숙한 132 BPM 빠르기의 댄스가요를 지루하지 않도록 1분 52초로 편집하고, 총 216개로 구성된 노트 배열을 생성하여 플레이 리소스로 사용하였다. [Fig. 11]은 게임결과로 얻은 게임 점수를 그래프로 나타낸 결과이다.

실험결과 그래프를 살펴보면, 실험환경 (A)에서는 청각정보만 제공되면서 실험자 2를 제외한 모든 실험자의 게임점수가 실험환경 (B)와 (C)보다 낮은 게임점수를 보였다. 실험환경 (B)에서는 일반

적인 리듬게임과 같이 음악에 매칭되는 노트를 인지하여 게임을 진행하였기 때문에 청각 정보만 제공한 (A)보다 게임점수는 크게 향상되었다. 피드백을 제공한 실험환경 (C)에서는 (B)와 유사한 그래프 곡선을 나타내었지만, 그 차이는 모든 실험환경의 결과가 비슷한 실험자 2를 제외하고는 실험자들마다 상이한 결과를 보였다.



[Fig. 11] Experimental Result

피드백의 제공 유무에 따라 실험자들의 게임점수 상승률을 [Table 5]와 같이 실험환경에 따라 평균으로 분석해보면 전반적으로 게임점수는 향상되었음을 확인할 수 있다. 실험자 1과 4의 게임점수는 큰 폭으로 상승하였고, 실험자 3과 6은 소폭 상승하였으며, 실험자 5는 소폭 하락하였다.

[Table 5] The Average and Increase Rate of Game Scores

Participant	Test2 Score(Avg.)	Test3 Score(Avg.)	Increasing Rate(%)
1	52373	66731	31.7
2	46854	47385	3.7
3	62984	63162	12.7
4	54766	76932	47.2
5	59896	55749	-4.6
6	61970	64180	7.2

실험자에게 제공된 리듬게임 플레이 정보와 뇌파와 동기화 되어 발생하는 피드백이 뇌를 자극하는 정도의 기준은 다를 것이다. 또한 피드백에 따라 조작방법으로 사용하는 뇌파에 어떠한 영향을 끼치는지는 사용자의 몫이 된다. 이러한 점을 고려하였을 때, 모든 실험자의 게임점수가 일정하게 상승하지 않았다는 것은 실험자들이 서로 다른 숙련도를 나타내었다고 해석할 수 있다. 또한 실험이 진행되면서 실험자의 컨디션에 따라 그래프의 변화는 발생하지만, 두 실험 결과 사이의 편차가 일정하게 유지하는 것으로 볼 때 제안하는 피드백은 게임조작에 필요로 하는 뇌파를 유도했다고 판단할 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 음악의 변화와 연관성이 있는 뇌파를 이용하여 뇌파 리듬에 따라 노트를 연주할 수 있는 리듬게임을 개발하였다. 이를 위하여 음악의 리듬을 시각화 하는 방법과 시각적인 노트를

청각으로 표현할 수 있는 새로운 플레이 요소를 생성하여 BCI 리듬게임의 조작방법을 습득할 수 있도록 디자인 하였다. 또한 노트연주에 유효한 뇌파를 유도하기 위해 리듬게임의 플레이 리소스를 뇌파와 동기화하여 음악의 템포와 패닝, BPM 애니메이션, 노트의 속도와 불투명도를 피드백으로 제공하였고, 숙련도를 평가할 수 있는 방법을 제안하였다.

실험결과 제안하는 BCI 리듬게임은 단순히 뇌파에 따라 노트를 연주하는 시뮬레이션이 아니라 사용자의 피드백 습득능력에 따라 게임점수를 향상시킬 수 있음을 보여주고 있으며, 이러한 결과를 통해 뇌파를 리듬게임의 조작도구로 활용하는 것이 가능함을 확인하였다.

본 연구에서 제안한 BCI 리듬게임은 뇌파를 게임 인터페이스를 활용함에 있어서 시청각 피드백을 활용한 사례로 제시 될 것이다. 그리고 본 논문에서 제안한 뇌파와 시청각 요소를 동기화하고 다양한 피드백을 통해 사용자의 몰입도와 숙련도를 유도하는 방법은 뇌파를 활용한 리듬게임 장르에서 게임 명령으로 활용될 수 있을 것이라 기대된다. 향후 BCI 리듬게임에 시청각 이외의 감각 요소를 확장하여 게임에 대한 사용자의 흥미와 집중도를 높일 수 있는 연구를 진행할 예정이다.

## ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the Ministry of Science, ICT & Future Planning, Republic of Korea, under Grant no. A004700017, “Development of Serious Entertainment System for Realistic Experience”.

## REFERENCES

- [1] J.J. Vidal “Toward Direct Brain-Computer Communication”, *Annual Review of Biophysics and Bioengineering*, Vol. 2, pp. 157-180, 1973.
- [2] Q. Noirhomme, R.I. Kitney, and B. Macq, “Single-Trial EEG Source Reconstruction for Brain-Computer Interface”, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol. 55, No. 5, pp. 1592-1601, 2008.
- [3] D. Marshall, D.Coyle, S. Wilson, and M. Callaghan, “Games, Gameplay, and BCI: The State of the Art”, *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, Vol. 5, No. 2, pp. 82-99, 2013.
- [4] S.I. Hjelm, “The Making of Brainball”, *Interactions*, Vol. 10, No. 1, pp. 26-34, 2003.
- [5] J.A. Pineda, D.S. Silverman, A. Vankov, and J. Hestenes, “Learning to Control Brain Rhythms: Making a Brain-Computer Interface Possible”, *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, Vol. 11, No. 2, pp. 181-184, 2003.
- [6] W. Pengfei, “An Virtual Vehicle Control Game for Online Brain Computer Interface Feedback Training”, in *Proc. IEEE Int. Conf. Mechatron. Autom.*, pp. 1942-1944, 2010.
- [7] I. P. Ganin, S. L. Shishkin, and A. Y. Kaplan, “A P300 BCI with Stimuli Presented on Moving Objects”, in *Proc. 5th Int. Conf. Brain-Computer Interface*, pp. 308, 2011.
- [8] B.V.D. Laar, H. Gürkök, D.P.O. Bos, M. Poel, and A. Nijholt, “Experiencing BCI Control in a Popular Computer Game”, *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, Vol. 5, No. 2, pp. 176-184, 2013.
- [9] M.G. Ahn and S.C. Jun, “Brain-Computer Interface System: Principle and Technology Trends”, *Korea Information Science Society Review*, Vol. 29, No. 4, pp. 42-53, 2011
- [10] M.J. Ko, G.H. Oh, and K.W. Bae, “A Study on New Gameplay Experience Based on Brain-Computer Interface”, *Journal of Korea Game Society*, Vol. 9, No. 6, pp. 31-44, 2013.
- [12] J.Y. Lee, “The Process of Music Information in the Brainwave: P3 Event-Related Potential”, *Quarterly Publication of Romantic Music*, Vol. 14, No. 2, pp. 127-154, 2002.
- [13] B.C. Min, G.J. Jun, and H.W. Kim, “Rhythm Analysis of EEG Variation due to Stimulation of Meditation Music and Community Noise”, *2006 Fall Conference of Ergonomics Society of Korea*, pp. 281-284, 2006.
- [14] T.A. Tanaka, “I Will be Faster as the Rotation of the Head is Surprised by Auditory Stimulation”, *Kiko Shobo*. Tokyo, 2005.
- [15] S.I. Park and T.S. Kihl, “Rhythm Game Design for Effective Music Education”, *Journal of Korea Game Society*, Vol. 12, No. 1, pp. 33-42, 2012.
- [16] J.U. Lim, J.E. Kim, and G.H. Oh, “A Study on Music Visualization Method in Game with Musical Note”, *Journal of Korean Society for Computer Game*, Vol. 14, pp. 269-283, 2008.
- [17] S.D. Yang, “A Study on Player’s Immersion by Difference of Input Control Devices in Computer Games”, *Journal of Korea Game Society*, Vol. 10, No. 1, pp. 35-45, 2010.



김철민(Kim, Cheol Min)

2003년 2월 광주대학교 컴퓨터학과(공학사)  
2005년 2월 전남대학교 전산학과(이학석사)  
2007년 2월 전남대학교 전산학과(박사수료)  
2005년-2006년 호남대학교 인터넷소프트웨어학과 초빙  
교수  
2006년-현재 동신대학교 디지털콘텐츠협동연구센터  
전임연구원

관심분야 : 소프트웨어공학, 실감미디어, 가상현실

---



강경현(Kang, Gyeong Heon)

2006년 2월 동신대학교 멀티미디어콘텐츠학과(이학사)  
2008년 2월 동신대학교 디지털콘텐츠학과(이학석사)  
2008년-현재 동신대학교 디지털콘텐츠협동연구센터  
전임연구원

관심분야 : 융합콘텐츠, 실감미디어, 콘텐츠디자인

---



김은석(Kim, Eun Seok)

1995년 2월 전남대학교 전산학과(이학사)  
1997년 2월 전남대학교 전산통계학과(이학석사)  
2001년 2월 전남대학교 전산통계학과(이학박사)  
2002년-현재 동신대학교 디지털콘텐츠학과 부교수

관심분야 : 컴퓨터그래픽스, 실감미디어, 가상현실

---