

논문 2013-50-9-21

# 응답속도정합-유발전위의 진폭과 응답 속도를 이용한 사이먼효과 분석

( Analysis of the Simon effect using Amplitude of  
RTA-ERP and Response time )

김 혜 진\*, 유 선 국\*\*

( HyeJin Kim and SunKook Yoo<sup>©</sup> )

## 요 약

본 논문에서는 시각에 대해 반응하는 운동 행동의 효과를 분석하기 위해서 응답속도정합-유발전위(RTA-ERP: Response Time Aligned-Event Related Potential)를 모델링하고, RTA-ERP의 진폭과 응답 속도를 이용하여 사이먼 효과를 분석하였다. 건강한 성인 15명(남성 9명, 여성 6명, 평균 연령 31세)을 대상으로, 같은 숫자에 대한 다른 숫자를 찾아 반응하는 '양자극방안' 실험을 7분 동안 수행하였다. 실험결과 제안된 RTA-ERP는 기존의 ERP에 비해 뇌에서의 처리시간 차이에 따른 변이를 보상할 수 있었으며, 향상된 LRP(Lateralized Readiness Potential)와 Pe(Error Related Positivity)를 나타내었다. '일치', '불일치' 시험 패턴에 대하여 '일치'에 대한 RTA-ERP의 진폭과 응답속도는 각각 '불일치'보다 컸으며 진폭은 0.03  $\mu$ V 크고 반응속도는 43 ms 만큼 빨랐다. 응답속도에 따른 동기 시점을 보정하여 정합함에 따라, RTA-ERP의 진폭특성은 사이먼 효과의 특징인 ERP의 P300 진폭과 대응함을 확인하였다.

## Abstract

In this paper, the RTA-ERP(Response Time Aligned-Event Related Potential) was modelled to analyze the effect of motor activation pattern in response to visual sensory stimuli. Simon effect was analysed using the amplitude response of RTA-ERP and measured response time. The 'odd number' experiments, which identify an odd number mixed with same numbers, was performed with 15 healthy adult participants(9 males and 6 females, whose mean age of 31) for 7 minutes for each participant. Throughout experimentation, we observed that the proposed RTA-ERP can compensate the timing variation due to different neural processing procedures in the brain, and shows enhanced LRP(Lateralized Readiness Potential) and Pe(Error Related Positivity). Regarding to 'congruence' and 'incongruence' testing patterns, the amplitude of RTA-ERP and the response time for the 'congruence' are 0.03  $\mu$ V larger, and 43 ms faster than those for the 'incongruence', respectively. The amplitude characteristics of RTA-ERP, obtained by synchronizing the onset times with respect to response time, corresponds more likely to that of P300 in the ERP pattern (the characteristics of the Simon effect).

**Keywords :** Response Time Aligned Event Related Potential (RTA-ERP), Simon effect

\* 학생회원, 연세대학교 생체공학협동과정  
(Graduate School of Biomedical Engineering,  
Yonsei University, Seoul, Korea)

\*\* 정회원, 연세대학교 의과대학 의학공학교실  
(Department of Medical Engineering, Yonsei  
University, College of Medicine, Seoul, Korea)

© Corresponding Author(E-mail: sunkyoo@yuhs.ac)

※ 이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로  
한국연구재단(No.2010-0026833)의 지원을 받아  
수행된 연구결과입니다.

접수일자: 2013년6월28일, 수정완료일: 2013년8월27일

## I. 서 론

사이먼 효과란 반응해야 할 자극이 일어났을 때 같은 위치나 관계에 있는 자극에 대해 그렇지 않을 때보다 더 정확하고 빠르게 반응하는 것을 말한다<sup>[1]</sup>. 정보처리 이론에 따른 의사 결정은 자극확인, 반응선택, 반응수행 또는 운동 이 세 가지 과정을 거치게 된다.

표면적으로는 스트룹(stroop) 효과와 비슷하게 보이

지만, 스트룹 효과는 자극 확인 단계에 영향을 준다는 것이 일반적이지만 사이먼 효과는 반응을 선택하는 단계에 영향을 주며<sup>[2]</sup>. 주로 뇌파를 이용하여 분석하고 있다.

뇌파는 대뇌 피질의 신경세포 간의 전기적 활동의 결과를 나타내는 신호이다. 최근 뇌파를 통한 연구가 활발히 진행되고 있는데, 뇌파는 대뇌의 동적 활동을 반영하여 임상 및 뇌의 기능적인 해석에 이용되고 있기 때문이다. 하지만 뇌파만을 통해 알아낼 수 있는 정보는 극히 일부이기 때문에<sup>[3]</sup> 유발 전위(ERP: Event Related potential)를 많이 이용하고 있다. ERP는 특정한 사건과 관련된 일정 시간 동안의 뇌파를 자극 시점에 동기하여 평균하여 얻어진 파형을 의미한다<sup>[4]</sup>. ERP의 진폭은 50 $\mu$ V인 뇌파와 비교해볼 때 0.1-0.5 $\mu$ V에 불과하므로 자극에 유발된 ERP 신호의 S/N(Signal to Noise) 비를 향상하기 위하여 표집된 반응들을 평균화(averaging) 하여 처리한다. 평균화는 자극에 동기되어 지속적으로 발생하는 ERP의 크기를 향상시키고 잡음에 해당하는 사건과 관련이 없는 다른 부위의 뇌 활동 전위의 크기를 감소 또는 영점화 시켜 결국은 ERP만 남게 되어 분석을 용이하게 한다<sup>[5]</sup>.

이미 앞선 연구에서 자극에 따른 사이먼 효과의 결과를 도출하기 위해 ERP와 응답 속도를 사용하였다. ERP 구성 성분 중에서 이론적으로, 경험적으로, 임상적으로 광범위하게 연구들이 이루어지고 있는 P300을 이용하였다<sup>[6-8]</sup>. 자극과 반응의 위치가 상반될 때, P300의 진폭이 줄어들고 응답 속도가 느려지며, 자극과 반응의 위치가 서로 같을 때 진폭이 커지고 응답속도가 빨라진다는 것을 알 수 있었다<sup>[1]</sup>. 이렇듯 감각 자극이 뇌파에 영향을 미치는 ERP(입력 감각자극 신호에 동기되어 뇌에서 반응하여 얻어지는 ERP 신호)에 대해서는 정의가 잘 되어있지만, 자극에 대하여 뇌에서 판단하고, 결정하고, 그에 따라 운동이나 행동으로 나타나는 운동·행동에 관계되는 ERP(입력 자극신호에 대하여 뇌에서 작용하나 뇌에서의 처리 프로세서에 따라 다양한 처리시간과 패턴을 보이며 운동 및 행동으로 출력되는, 입력자극에 대하여 많은 변위를 보이는, 비 동기된 뇌유발 신호)의 연구는 제한적이다. 운동·행동에 관해서는 근전도나 응답 속도를 측정해서 간접적인 정보는 알 수 있지만, 이것과 관계되어 뇌 내부에서 일어나는 신경들 간의 처리 관계, 활동을 보여주는 뇌 내부의 프로세서를 해석하기는 어렵다.

뇌 내부의 프로세서를 이해하기 위해서는 뇌파 신호

의 해석은 필수적으로 요구된다. 그러나 뇌에서의 반응은 입력자극 종류에 따라 다양한 판단, 행동 처리 프로세서가 변화하므로, 입력신호에 동기하여 S/N 비를 개선하는 기존의 ERP 방법으로는 해석의 한계를 갖고 있다. 따라서 본 논문에서는 자극의 종류와 환경에 대해 다양한 시간적 변이 패턴을 보이는 뇌에서의 운동·행동에 관계되는 효과를 분석하기 위해서 평균화 과정의 동기 합성을 반응시간으로 보정하여 동기시키는 응답속도정합-유발전위(Response Time Aligned Event Related Potential, RTA-ERP)를 모델링하였다. ‘양자극 방안’ 실험을 통하여 RTA-ERP 처리 방법을 적용하여 뇌 내부의 운동 행동 패턴과 관련된 사이먼 효과를 분석해 보고자 한다.

## II. 본 론

### 1. 연구 방법

#### 가. 피험자

피험자는 심혈관계 및 신경계 질환이 없고 병력이 없는 건강한 성인을 대상으로 하였다<sup>[9]</sup>. 총 15명(남성 9명, 여성 6명)에 대해 진행하였다. 피험자의 평균연령은 31세이며, 연령의 범위는 21~41세이다. 모든 피험자는 실험하기 전 피험자 동의서를 작성하였다.

#### 나. 실험 설계

기존의 선행 연구를 기반으로 스위치를 눌렀을 때를 기반으로 하여 데이터를 수집하였으며 ‘양자극 방안’ 숫자 검사(odd number)를 통하여 실험하였다(즉, 같은 숫자들에 대하여 다른 숫자를 찾아 반응).

시각 자극으로 사용한 숫자는 1~3까지 무작위로 3개의 집합으로 구성되어있다. 표적은 3개의 숫자 중 다른 하나의 숫자이며 무작위(random)하게 제시되는 숫자에 따라 표적 숫자는 달라진다. 표적 자극인 다른 숫자가 제시될 때마다 가능한 한 빠르게 버튼을 누르게 하였다. 예를 들어, 113으로 결합한 숫자조합을 가진 자

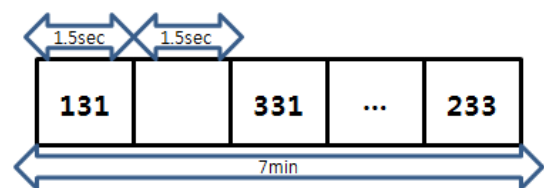


그림 1. 실험 설계  
Fig. 1. Experimental design.

극이 나오게 되면 피험자는 준비된 키보드에 3이라고 적힌 세 번째 키보드를 누른다. 그림 1과 같이 숫자 자극은 약 3초마다 나오며 자극 후 1.5초 뒤에는 이미지가 없는 빈 화면에 십자 모양의 자극을 주어 다음 시각 자극에 대비할 수 있도록 하였다. 144번의 숫자 자극을 주었고 스위치도 총 144번을 누르도록 실시하였으며 실험은 1회 약 7분 정도 소요된다.

다. 뇌파 측정

뇌파는 국제 전극 부착시스템인 10~20시스템을 준수하여 F3, F4, Cz, Pz에 전극을 부착해 4채널을 측정하였으며, 기준 전극과 접지 전극은 각각 콧볼과 목 뒤 중앙에 부착하였다. Biopac의 MP100과 EEG100C를 이용하여 뇌파 신호 계측, 증폭, 필터링을 수행하였다. 1000Hz로 샘플링하여 디지털화 하였고 분석은 움직임과 관련된 Cz를 사용하였다.

2. 분석 방법

가. 자극 패턴 종류

반응해야 할 자극이 일어났을 때 같은 위치나 관계에 있는 것을 ‘일치’ (congruence)하다고 정의하였다. 즉, 본 실험에서는 그림 2처럼 시각 자극인 숫자 위치가 키보드 버튼에서의 숫자가 일치하면 일치한다고 한다.

사진 자극에서의 숫자 위치가 키보드 버튼에서의 숫자가 일치하지 않을 때를 ‘불일치’(incongruence)라 하였다. 예를 들어, 221과 같은 숫자 조합이 있으면 눌러야 할 버튼은 첫 번째 버튼이지만 순간적으로 세 번째 버튼을 누르기 쉽다. 숫자에 조합이 화면에 나타나고 인지적인 처리 때문에 직관적으로 선택해야 하는 상황에서 일치하는 것보다 어려운 수행임을 알 수 있다<sup>[10]</sup>.

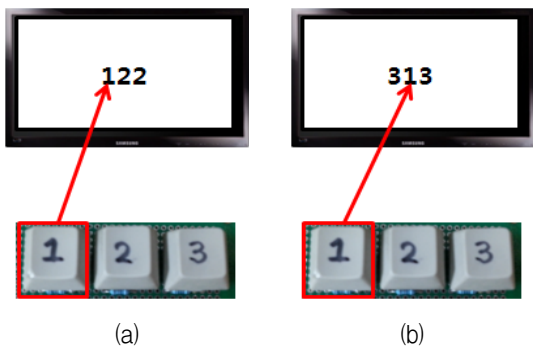


그림 2. (a) 일치 (b) 불일치  
Fig. 2. (a) Congruence (b) Incongruence.

나. 응답속도정합-유발전위 (RTA-ERP)

기존의 ERP 계산은 뇌파 데이터의 통계학적인 처리 방법에 기반을 둔다. 즉 ERP 모델은 감각 신경을 통하여 인지된 시점을 기준으로 반복적으로 측정된 N번의 자극신호에 동기하여 측정하여 평균 처리한다.  $x_i(t)$ 는  $i$  자극에 대하여 측정된 뇌파의 시계열 신호다.

$$x_i(t), i = 1, \dots, N \quad (1)$$

측정된 뇌파신호는 자극신호에 대해 비 동기된 특성을 보이는 자발뇌파신호 ( $n(t)$ )와 자극에 대한 뇌의 반응을 보이는 ERP 신호 ( $x_E(t)$ ) 로 구성된다.

$$x_i(t) = x_E(t) + n(t) \quad (2)$$

혼합된 뇌파신호로부터 자발뇌파신호를 없애고 유발 전위를 추정하기 위해서는 평균을 취하여 계산한다. 즉, 자극신호와 무관하게 뇌에서 생성되는 자발뇌파신호는 자극에 대해서는 백색잡음 특성을 보이게 되므로 zero-mean process로 표현하며,  $N$  이 충분히 크다면 평균한 자발뇌파신호는 0으로 수렴한다.

$$\hat{x}_i(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_E(t) + n(t) \approx \hat{x}_E(t) \quad (3)$$

사이먼 효과에 관한 판단과 운동 행동에 대한 뇌에서의 반응은 자극의 종류에 따른 판단의 복잡도와 운동의 형태에 따라 다양한 변화를 보이므로 추정된  $\hat{x}_E(t)$ 는 실제  $x_E(t)$ 와는 다르며 큰 분산을 보이는  $\hat{x}_E(t)$ 를 얻게 된다. ERP 형태가 분산에 비례하여 퍼지는 형태이며, 분산의 퍼짐 정도는 판단과 행동에 관계되며 이는 응답속도변위로 나타난다. RTA-ERP는 분산을 보정하기 위해서 응답시간 보정함수,  $\Phi$  이동연산자(translation operator)를 정의하여 측정된 ERP 신호를 응답시간에 이동, 정렬함으로써 변위를 줄이는 모델링을 제시하였다.

$$\hat{x}_a(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Phi_i\{y_i(t)\} \quad (4)$$

$$\Phi_i\{y_i(t)\} = x_i(t - \tau_i) \quad (5)$$

여기서  $\tau_i$ 는  $i$  자극 신호에 대하여 측정된 응답속도

이며,  $\hat{x}_a(t)$ 는 ERP에 대하여  $\tau_i$ 로 정합된 RTA-ERP이다.

### III. 결 과

#### 1. 표적에 대한 응답의 정확성

144개의 표적 자극에 대해 오차범위는 0~4개이며 정확도는 99.35%이다.

#### 2. 시각 자극에 관한 ERP

그림 3은 숫자 자극을 기준으로 하였을 때의 ERP 패턴을 보여주고 있다. 시각자극에 동기된 ERP 패턴이 뚜렷하며, 시각자극에 대한 특징인 P300의 파형이 잘 관찰되고 있다. P300은 300~600msec 사이에서 발생하는 매우 크고 뚜렷한 파형의 양 전위 성분을 말한다<sup>[11]</sup>. P300은 여러 연구를 통해 의사 결정, 자극의 관련성, 정보의 전달 등 여러 다양한 인지적 활동과 관련이 있다는 결과들이 보고되고 있다<sup>[12-15]</sup>. 이것은 시각적 자극에 동기되었기 때문에 실제로 움직임을 하려는 생리학적, 운동학적 결정과정에 대해 복잡하게 변화하는 다양한 패턴을 볼 수 없고 복잡한 패턴의 전 단계인 결정적인 감각 자극에 대한 처리 과정만 명확하게 보인다. 그러나 그림 3.에서는 입력자극에 동기된 ERP 패턴은 관측되나 그림 4.에서와 같이 운동 행동 반응에 대한 ERP 패턴은 관측되지 않는다(600~1500ms 사이의 평활화된 넓은 분산 형태를 보임).

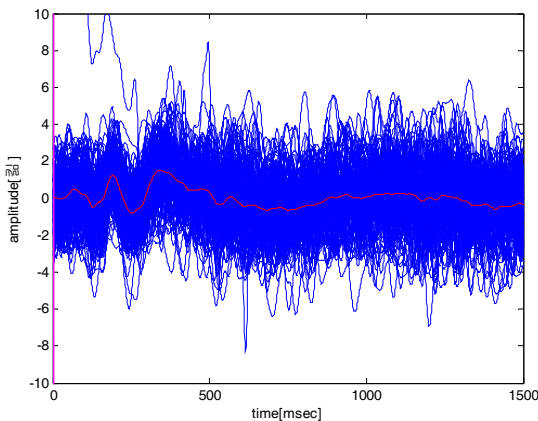


그림 3. 시각 자극 기준에서의 ERP 파형 (적색 수직선: 자극 시점)  
Fig. 3. ERP based on the visual stimuli. (red vertical line : stimulated start point)

#### 3. 운동 자극에 관한 RTA-ERP

응답 속도를 기준으로 하였을 때의 RTA-ERP 패턴을 나타내주었다. RTA-ERP의 그래프에서는 응답속도를 기준으로 보정하여 입력자극에 동기되어 나타나는 P300과 같은 특정한 패턴이 보이지 않지만, 응답 속도에 따라서 변화하는 움직임에 대한 특별한 패턴이 보인다(자극신호 보정 기준인 1000ms 주변으로 뚜렷한 패턴을 보임).

스위치를 누르기 전에 음의 피크인 편측성 준비 전위(LRP: Lateralized readiness potential)가 나타나는 것을 알 수 있다. LRP란, 자극 관련 뇌의 잠재력 또는 신체 특정 측면에 운동 활동의 준비를 반영하는 것으로 생각한다. 즉 사람이 팔, 다리 또는 발을 움직이려고 할 때 뇌에서 생기는 전기적인 활동이다. 피험자가 집중하고 있고 응답 속도가 빠를 때 진폭이 증가하게 된다. 또한, 어려운 수행을 하면 LRP의 진폭은 감소하게 된다.

스위치를 누른 후에 Pe(Error related positivity)가 발생하는 것을 확인하였다. 특히, 문제 인식 또는 오류를 감지하는 능력에 따라 Pe의 값은 달라진다<sup>[16]</sup>.

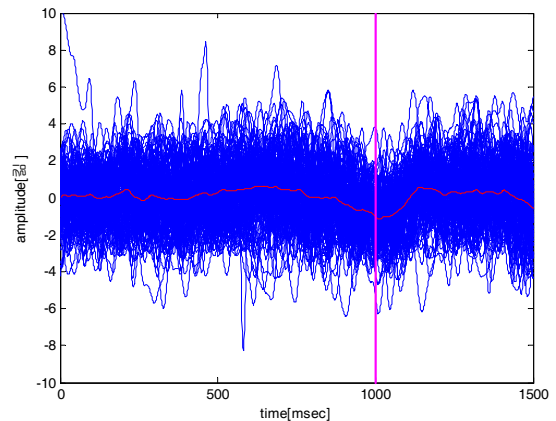


그림 4. 응답 속도로 보정하여 정렬한 RTA-ERP 파형 (적색 수직선: 보정된 응답 속도 정합 기준선)  
Fig. 4. RTA-ERP aligned with the response speed (red vertical line : adjusted the response speed).

#### 4. RTA-ERP진폭의 평균

15명의 피험자 각각의 RTA-ERP의 진폭 값을 평균하여 그래프로 표현해주었다. 그림 5의 가로축은 피험자를 나타내며 세로축은 RTA-ERP 진폭의 평균값이다.

일치일 때 평균값은 0.075 $\mu V$ 이며 불일치일 때는 0.045 $\mu V$ 로 일치일 때 진폭의 크기가 큰 것을 알 수 있었다.

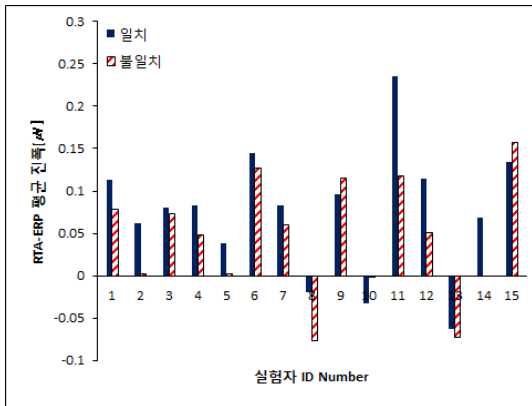


그림 5. 일치, 불일치의 RTA-ERP 진폭 평균  
Fig. 5. RTA-ERP average amplitude of congruence incongruence.

### 5. 응답 속도

144번의 자극 중 일치한 패턴 자극은 46번, 불일치는 98번 평균적으로 나오게 된다. 응답 속도는 일치할 때가 불일치일 때보다 반응시간이 약 43ms 짧은 것을 확인할 수 있다.

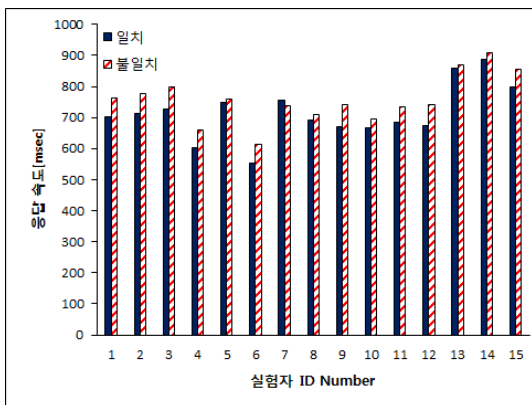


그림 6. 일치, 불일치의 응답 속도  
Fig. 6. Response speed of congruence, incongruence.

### 6. 일치, 불일치 일 때 ERP와 RTA-ERP

그림 7은 '일치'와 '불일치' 실험에 대하여 ERP와 RTA-ERP를 비교한 그림이다. 그림 7에서 (a)와 (b), (c)와 (d)를 비교해보면 시각 자극에 대한 LRP이 관측이 되지만 불명확하다. 반면, RTA-ERP상에서는 LRP 패턴이 명확하게 뚜렷해졌다. 뿐만 아니라 시각 자극에서는 관측되지 않았던 Pe패턴도 관측되었다.

RTA-ERP의 진폭은 '일치'일 때 크게 나타나는 데 이것은 일치의 경우 자극이 명확하고 비교적 쉬운 수행이기 때문에 판단에 대한 확신이 높다고 할 수 있다.

'불일치'일 때는 응답 속도가 지연되는데 다음과 같이 해석할 수 있다. '불일치'일 때 '일치'보다 인지해야 할 것이 많아 뇌에서 복잡한 처리를 하므로 응답 속도가 지연된다고 할 수 있다. 또한, 진폭과 응답 속도에 따른 통계적으로 유의미한 결과를 얻을 수 있었다.

## 7. 통계 분석

### 가. RTA-ERP 진폭의 차이

통계분석은 Paired T-test를 사용하였다. 귀무가설은 RTA-ERP에 대해 일치와 불일치일 때 진폭에 대한 차이가 없다는 것이다. 통계분석 결과 RTA-ERP에 대한 일치와 불일치의 진폭의 차이는  $-0.030\mu V$ 이며, 쌍을 이룬 두 집단의 t검정 결과 유의확률이 0.0108이므로 유의수준 0.05보다 작다.

따라서 귀무가설을 기각할 수 있으며 RTA-ERP에 대한 일치와 불일치 사이에는 통계학적으로 유의한 진폭의 변화가 있다고 말할 수 있다.

표 1. RTA-ERP에 대한 일치와 불일치의 진폭의 차이  
Table 1. Difference of amplitude of RTA-ERP between congruence and incongruence.

분석 변수 : 불일치 - 일치 (단위: $\mu V$ )				
피험자 수	평균	표준편차	통계량	유의확률
15	-0.030	0.0398	-2.94	0.0108

### 나. 응답 속도의 차이

일치일 때와 불일치의 응답 속도 차이는 42.9512ms이며, 쌍을 이룬 두 집단의 t 검정 결과 유의확률이 0.0001보다 작으므로 유의수준 0.05보다 작다. 따라서 귀무가설을 기각할 수 있으며 일치와 불일치 사이에는 통계학적으로 유의한 응답 속도의 변화가 있다고 말할 수 있다.

표 2. 일치, 불일치 때의 응답 속도 차이  
Table 2. Difference of response speed between congruence and incongruence.

분석 변수 : 불일치 - 일치 (단위 : ms)				
피험자 수	평균	표준편차	통계량	유의확률
15	42.9512	6.9810	6.15	<.0001



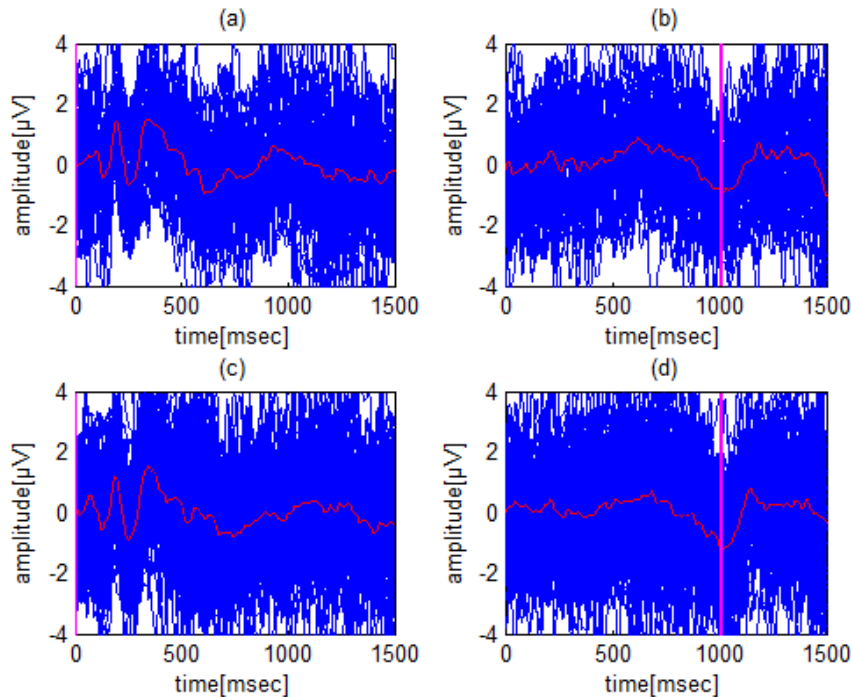


그림 7. (a) 일치일 때 시각 자극에 의한 ERP (b) 일치일 때 응답 속도에 의한 RTA-ERP (c) 불일치일 때 시각 자극에 의한 ERP (d) 불일치일 때 응답 속도에 의한 RTA-ERP

Fig. 7. (a) Congruence : ERP by the visual stimuli (b) Congruence : ERP by the response speed (c) Incongruence : ERP by the visual stimuli (d) Incongruence : ERP by the response speed

#### IV. 결 론

본 연구에서는 시각에 대해 반응하는 운동 행동의 효과를 분석하기 위해서 응답속도정합-유발 전위를 모델링하고, RTA-ERP의 진폭과 응답 속도를 이용하여 사이먼 효과를 분석하였다. 실험결과 제안된 RTA-ERP는 기존의 ERP에 비해 뇌에서의 처리시간 차이에 따른 변이를 보상할 수 있었으며, 향상된 LRP(Lateralized Readiness Potential)와 Pe(Error Related Positivity)를 나타내었다. ‘일치’, ‘불일치’ 시험 패턴에 대하여, ‘일치’에 대한 RTA-ERP의 진폭과 응답속도는 각각 ‘불일치’보다  $0.03 \mu\text{V}$  컸으며  $43 \text{ ms}$  빨랐다. 응답속도에 따른 동기시점을 보정하여 정합함에 따라, RTA-ERP의 진폭특성은 사이먼 효과의 특징인 ERP의 P300 진폭과 대응함을 확인 하였다. 앞으로는 RTA-ERP에 다양한 신호 해석 기법을 적용하여 시간에 대해 변화하는 ERP에 대한 좀 더 다양한 분석을 통하여 유용성을 분석하고자 한다.

#### REFERENCES

- [1] Simon, J. Richard, and Alan P. Rudell. "Auditory SR compatibility: the effect of an irrelevant cue on information processing." *Journal of Applied Psychology*. Vol. 51, no. 3, pp.300-304, 1967.
- [2] Yeung-Jun Sohn, "Verification of Simon effect and Muller-Lyer illusion by measuring quantitative behavior using Kinetic", Department of Psychology, Kyungpook National University Daegu, Korea, 2011.
- [3] Kab-Mun Cha and Hyun-Chool Shin, "Brain-Machine Interface Using P300 Brain Wave", *Journal of the IEEK*, Vol.5, no.3, pp. 18-23, 2010.
- [4] NamYoul Lim, "Effects of Intensity and Arousal of Emotional Facial Stimulus on Depressive Student's Negative Cognitive Bias : on ERP study", Department of Psychology Graduate School of Chonnam National University, Korea, 2008.
- [5] So-Hyun Cho, "A Review on the Theoretical Background and Its Application of Event-Related

- Brain Potentials”, *Korean Academy of Audiology*, Vol. 7, pp. 10-18, 2011.
- [6] Donchin, Emanuel, and Michael GH Coles. “Is the P300 component a manifestation of context updating?.” *Behavioral and brain sciences*, Vol. 11, no. 3, pp.357-374, 1988.
- [7] Donchin, E., Karis, D., Bashore, T., Coles, M., & Gratton, G, “gnitive psychophysiology and human information processing,” In M.G.H. Coles, E. Donchin, & S. Porges (Eds.), *Psychophysiology: Systems, Processes, and Applications*. New York: Guilford Press.
- [8] Polich, John, and Larry R. Squire. “P300 from amnesic patients with bilateral hippocampal lesions.” *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, Vol. 86, no. 6, pp. 408-417, 1993.
- [9] ChungKi Lee, “Quantitative Analysis of Affective States based on Psycho-physiological Research using Biosignal Processing Technique”, The graduate School, Yonsei University, Seoul, Korea. 2011.
- [10] ChungKi Lee, “A Development of Cognitive Assessment Tool based on Brain-Computer Interface for Accident Prevention”, *Journal of the Korea Safety Management and Science*, Vol.14, No.1, pp.1-6, 2012.
- [11] Pritchard and Walter. S, “Psychophysiology of P300”, *Psychological Bulletin*, Vol.90, no.3, pp. 504-560, 1981
- [12] Farwell, Lawrence Ashley, and Emanuel Donchin. “Talking off the top of your head: toward a mental prosthesis utilizing event-related brain potentials.” *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, Vol. 70, no.6, pp. 510-523, 1988.
- [13] Katayama, Jun'ichi, and John Polich. “P300, probability, and the three-tone paradigm.” *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology/Evoked Potentials Section*, Vol. 100, no. 6, pp. 555-562, 1996.
- [14] Picton and Terence W. “The P300 wave of the human event-related potential.” *Journal of clinical neurophysiology*, Vol. 9, no.4, pp.456-479, 1992.
- [15] Bennington, Jennifer Y, and John Polich. “Comparison of P300 from passive and active tasks for auditory and visual stimuli.” *International Journal of Psychophysiology*, Vol. 34, no. 2, pp. 171-177, 1999.
- [16] Nieuwenhuis, Sander, et al. “Error related brain potentials are differentially related to awareness

of response errors: Evidence from an antisaccade task.” *Psychophysiology*, Vol. 38, no. 5, pp.752-760, 2001.

저 자 소 개



김혜진(학생회원)  
2012년 건국대학교  
의용메카트로닉스 학사  
2012년~현재 연세대학교 대학원  
생체공학협동과정 석사과정

<주관심분야 : 생체신호처리, 패턴인식>



유선국(정회원)-교신저자  
1981년 연세대학교  
전자공학과 학사  
1985년 연세대학교  
전자공학과 석사  
1989년 연세대학교  
전자공학과 박사

1995년~현재 연세대학교 의과대학 의학공학교실  
교수

<주관심분야 : u-Health, 의료영상, 생체신호처리  
및 패턴인식, 감성공학>