

감각정보의 차이가 운동에 미치는 영향에 대한 정량적 분석

*홍철운 · 심해영 · 박찬희 · **김남균

전북대학교 대학원 의용 생체공학과, *전북대학교 부설 복지 공학 연구소, **전북대학교 공과대학 생체공학과
(2001년 9월 14일 접수, 2002년 4월 23일 채택)

Quantitative Analysis for the Effect of Sensory Information on the Motor

*C.U. Hong, H.Y. Sim, C.H. Park, and **N.G. Kim

Dept. of Biomedical Engineering, Graduate School, Chonbuk National University,

*Institute for Welfare Engineering, Branch of Chonbuk National University

**Dept. of Bionics Engineering, Engineering College, Chonbuk National University

(Received September 14, 2002. Accepted April 23, 2002)

요약: 본 연구는 감각-운동 통합의 관점에서 다양한 시각 자극에 의하여 생체 내에 입력된 각기 다른 감각 정보가 운동 기능에 미치는 영향을 정량적으로 분석하기 위하여 수행되었다. 특히 보색 관계의 시각 자극이 이에 대한 운동의 반응시간에 어떠한 영향을 주는지에 관심을 두었다. 실험은 20세에서 25세 사이의 20대 성인 남녀 각각 10명을 대상으로 자체 제작한 방음 암실에서 수행하였다. 실험 장치는 디스플레이 패널, 시각 자극을 위한 고휘도 LED 그리고 자극에 대한 반응시간 검출을 위한 키보드 스위치로 구성하였다. 지금까지의 많은 연구들은 감각 정보의 차이가 인식에 미치는 영향에 대한 평가나 색채 자극에 의한 감각 수용기의 반응의 강도의 차이를 연구하는데 머무르고 있으며 색채 환경에서의 감각-운동 협응에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 실험에서는 다양한 시각 자극 환경에서 운동의 반응 시간을 측정함으로써 감각과 운동의 관계를 정량적으로 분석하였다. 그 결과 보색 관계의 시각 자극에 대한 반응시간이 동일한 색채 환경 하에서의 반응시간 보다 빠르고 동일 색채 자극 환경에서는 빛의 파장의 크기에 반비례하여 반응속도가 나타나는 결과를 얻었으며 통계적 분석($p < 0.05$)을 통해서 유의성도 검증되었다.

Abstract: The aim of this study was to analyze the effect of different sensory information on the motor function which is resulted from visual stimuli. Particularly, it was focused on the effect of complementary color stimuli on reaction time. Twenty volunteers(10 men & 10 women), between the age of 20 and 25 years participated in this experiment. Experiments were carried out in a light & sound-attenuated chamber, and the overall system consisted of a PC, interface card, LEDs, key board switch, and display panel. Although many measurements of sensory-motor integration has been studied, the quantitative analysis of sensory-motor integration has not been developed well. Quantitative analyses were performed to investigate the effect of the different sensory information on the arm motor system in the point of view sensory-motor integration.

The result showed that the reaction time for visual stimuli of complementary colors was faster than that under same color environments; and, in same color environments and the reaction speed was varied inversely with respect to the magnitude of the light wavelength.

Key words: Sensory-motor integration, Complementary colors, Soundproof dark room

서 론

공간 인식에 있어서 인간은 다양한 감각 정보를 필요로 한다. 인간이 처리하는 모든 감각 정보 중 시각 정보의 비율이 80-90 % 정도라는 사실로부터 시각은 공간을 인식하는데 있어서 중요한 감각이라는 것을 알 수 있다[1]. 안구에 입력된 시각 정보는 망막에 위치한 시세포와 신경조직에 의해 전기적인 신경 신호로 변환되어 정보처리 후 Visual Pathway를 통과해 Occipital Lobe로 전달된다[2]. 이 과정에서 시세포들의 고유한 역할에 의해 시각 정보가 선택적으로 받아들여지기도 하며 외

<속보논문>

본 연구는 뇌 과학 연구센터(BSRC)의 지원에 의하여 수행되었음.(과제번호: 98-J04-01-01-A-03)

통신저자: 김남균, (561-756) 전북 전주시 덕진구 덕진동 1가 664-14, 전북대학교 공과대학 생체공학과,

Tel. (063)270-2246, Fax. (063)270-2247

측출상체(LGN: Lateral Geniculate Nucleus), Occipital Lobe, Parietal Lobe에서 시각정보에 대한 해석과 인식, 그리고 그에 대한 반응의 방법이 결정되는 등의 고도한 시각정보처리가 행해진다.

생체 내에서 발현되는 운동의 의지는 시각, 청각 및 체성 감각 등의 감각계로부터의 외부 자극과 생체 자신의 내부 자극 및 기억 정보에 의한 자극이 다양하게 조합되어 일어나게 된다. 이러한 통합은 피질연합영역(cortex association area)에서 행해지고 있다고 알려져 있다[3]. 이곳에서 정리된 정보는 시각 및 체성감각 등의 정보와 함께 운동전영역 및 보충운동영역에 보내진다. 이 경우, 전달되는 정보는 원래의 감각정보가 아닌 운동제어에 있어서 의미 있는 고도로 가공, 처리된 정보가 보내지게 된다[4]. 즉 운동의 기획 및 프로그램은 연합영역, 운동전영역, 보충운동영역, 대뇌기저핵(basal ganglion)과 소뇌 외측부(lateral cerebellum)에서 행해지고, 운동의 구체적인 수행 및 제어는 운동영역(motor area), 소뇌중간부(mid cerebellum), 그리고 척수(spinal cord)에서 행해지는 것으로 알려져 있다[5].

인체 내에서 처리된 감각정보에 의해 운동의 제어가 이루어지는 예는 안구의 운동을 통해서도 살펴볼 수 있다. 시선을 이동할 때 망막의 상은 흔들림에도 불구하고 외계(外界)는 움직이는 것처럼 지각되지 않는데 이러한 현상을 시야의 항상성(visual stability)이라고 한다[6]. 이것은 생체 내에서 망막으로부터의 정보와 신체의 운동 및 자세 정보와의 비교 조합, 즉 지각운동 통합(perceptual motor integration)이 행해지고 있음을 의미한다[7]. 공간지각은 결국 지각 운동 통합의 결과에 의한 것임을 보여주고 있으며, 지각과 운동이 밀접하게 관여하고 있음을 나타내고 있다[8]. 즉 의도적으로 감각정보의 입력을 제한하거나 특정한 자극에 의한 감각정보가 입력된다면 이에 대한 운동의 반응 속도 및 정확도에 영향을 미칠 수 있다고 가정할 수 있다.

지금까지 시각자극이나 인식, 지각운동 통합에 관한 많은 연구들이 행해져 왔다. 이러한 연구들은 주로 saccadic eye movements가 일어나는 조건과 입력된 시각정보에 의하여 발생하는 표적위치 추적 에러를 중심으로 하는 시각기관의 성능 평가[9]나 위치, 배열 중심의 시각자극 패턴의 유사성보다는 비표적 요소의 수가 검색의 정확도에 더 큰 영향을 미치며[10], 색상과 대비에 의한 색자극의 효과가 S cone과 L+M cone, 그리고 V1영역과 운동영역인 MT+의 fMRI (functional magnetic resonance imaging)상에 어떠한 차이를 나타내는지[11], 또는 시각에 의한 인식의 정확도가 청각 자극에 의하여 향상된다는 연구[12]에 머무르고 있다. 색채자극에 대한 연구도 신경생리학의 견지에서 주로 이루어지고 있으며 색의 대비나 색채자극이 감각수용기인 M cone, L cone, S cone의 펄스 응답에 미치는 영향을 평가하는데 그치고 있다[13].

본 연구에서는 지각 운동 통합의 관점에서 다양한 색채를 이용한 시각자극환경에 의한 감각 정보의 차이가 운동에 미치는 영향을 분석하기 위하여 색채 자극장치 및 반응시간 검출

장치를 제작하였으며 보색환경과 동일색채 환경에서의 반응시간(Reaction Time, R.T)의 차이를 정량적으로 비교 분석하였다.

실험방법

본 연구는 외부환경의 영향을 최소화하기 위하여 자체 제작한 방음암실에서 실시하였다.(그림 1) 피험자는 20-25세 사이의 정상적인 시력을 소유한 20명의 남녀를 택하였다. 휘도 20-30 cd/m²인 red, blue, green, orange 색상의 고휘도 LED(소비전압 1.7-2.5 V)를 자극지표로 사용하였다.

각 LED들의 CIE(Commission International de L'eclairage) 색 좌표상의 값은 표 1과 같다. 임의의 광원이 가지는 스펙트럼은 무수히 많은 단색광의 합으로 볼 수 있는데 이러한 단색광의 상대적 세기의 가중치를 고려하면 특정광원의 색이 갖는 3극치 x' , y' , z' 를 얻을 수 있고 이로부터 아래의 식 (1)에 의하여 이것의 CIE 색 좌표(color coordinate) x , y , z 를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} x &= x' / (x' + y' + z') \\ y &= y' / (x' + y' + z') \\ z &= z' / (x' + y' + z') \\ z &= 1 - x - y \end{aligned} \quad (1)$$

$x=1/3$, $y=1/3$ 인 색 좌표상의 점을 E라 할 때 각 광원의 CIE 좌표상의 값과 표준광원 E점과의 연장선이 경계와 만나는 값으로 특정 광원의 주파장(wave length)을 알 수 있고 CIE 색도표의 경계에 근접한 정도로 색의 순도(purity)를 알 수 있다. 또한 E점을 중심으로 서로 대칭인 두 색은 서로 보색관계에 있게 된다[14]. 자극지표로 사용한 LED의 CIE 좌표 값과 면셀의 색상환 상에서 비교해 보면 Red LED와 Green LED, Blue LED와 Orange LED가 각각 보색 관계에 있음을

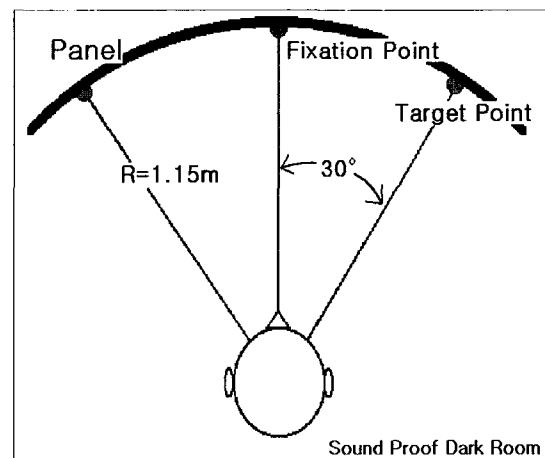


그림 1. 시스템 구성도
Fig. 1. Structure diagram of system

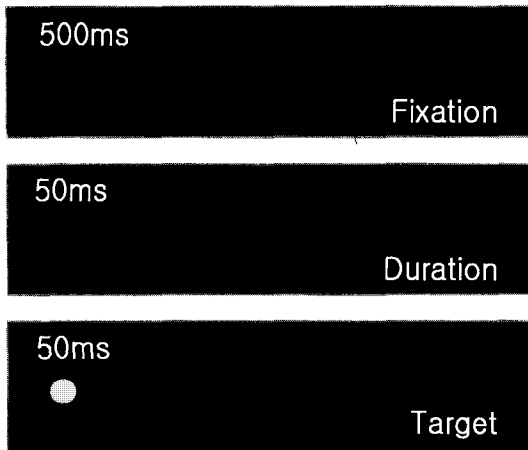


그림 2. 자극제시 패턴
Fig. 2. Pattern of stimuli

확인할 수 있다.

모든 자극지표는 반경 1.15 m의 집정 panel에 부착되며, 지면으로부터 1 m 높이에 정 중앙의 Fixation Point, 좌·우 각각 30° 위치의 Target Point에 부착하였다. 시각자극은 Lab VIEW 시스템에 의해 주어지게 되는데, 피험자는 특정 색상의 LED가 부착되어 있는 Fixation Point를 500 ms동안 주시한 다음 50 ms 후에 임의의 위치의 Target Point에서 50 ms동안 점등되는 특정 색상(Fixation Point와 보색, 혹은 같은 색)의 LED의 위치와 동일한 방향의 key board 스위치를 누르게 되며 다음 회의 Fixation Point를 주시하기까지 1500 ms의 휴지시간을 가지게 된다.(그림 2)

이때 자극제시 위치에 대한 피험자의 학습이나 점등된 LED의 위치와 반대 방향의 key board 스위치를 누르는 것과 같은 방해 요인을 제거하기 위하여 자극제시 위치를 random하게 하였고, 오동작으로 인해 반대 방향의 key board 스위치를 누른 경우에는 실험이 일시 중지되고 바른 방향의 key board 스위치가 다시 한 번 눌러져야만 실험이 다시 진행되도록 프로그램 하였다. 피험자의 머리의 움직임을 제한하고 눈높이를 자극 지표의 높이와 수평이 되도록 할 목적으로 chin rest를 제작하여 매 실험에 있어서 피험자에게 턱이 고정된 상태에서 실험에 임할 것을 요구하였다. 한 가지 조건에 대한 실험의 시행은 30회를 하였으며 자극은 오른쪽에서 15회, 왼쪽에서 15회가 제시되도록 하였다. 자극제시 시점부터 피험자가 keyboard switch를 누를 때까지의 시간을 반응시간으로 정의하였으며, 반응시간은 DAQ board를 통해 ms단위로 검출하여 텍스트 형태로 저장하였다.

보색관계에 있는 Red와 Green (LED의 밝기를 30 cd/m²로 고정), 그리고 Blue와 Orange (LED의 밝기를 20 cd/m²로 고정)에 대하여 다음의 4가지 조건으로 각각 실험을 실시하였다.

- Green Fixation-Green Target
- Green Fixation-Red Target

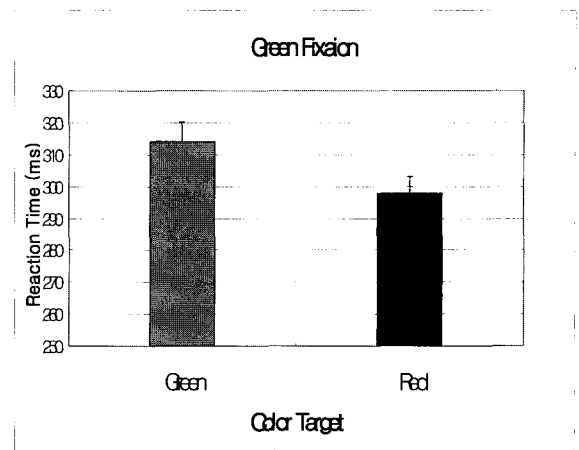


그림 3. Green fixation에서의 반응시간
Fig. 3. Reaction time on green fixation

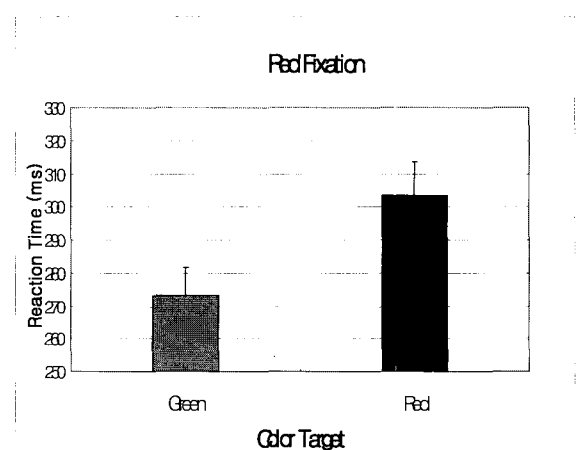


그림 4. Red fixation에서의 반응시간
Fig. 4. Reaction time on red fixation

- Red Fixation-Red Target
- Red Fixation-Green Target
- Blue Fixation-Blue Target
- Blue Fixation-Orange Target
- Orange Fixation-Orange Target
- Orange Fixation-Blue Target

그리고 Fixation Point와 Target Point의 색상이 같은 특정한 색채 환경에서의 시각자극에 대한 반응시간의 차이를 명확히 하기 위하여 (LED의 밝기를 25 cd/m²로 고정) 빛의 3원색인 Red, Green, Blue에 대한 반응시간을 다음의 3가지 조건으로 실험을 실시하였다.

- Blue Fixation-Blue Target
- Green Fixation-Green Target
- Red Fixation-Red Target

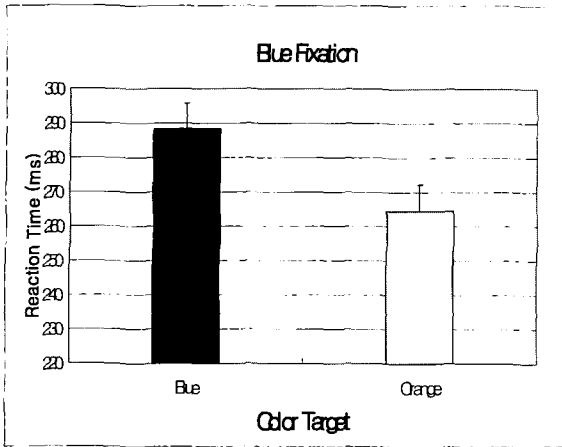


그림 5. Blue fixation에서의 반응시간
Fig. 5. Reaction time on blue fixation

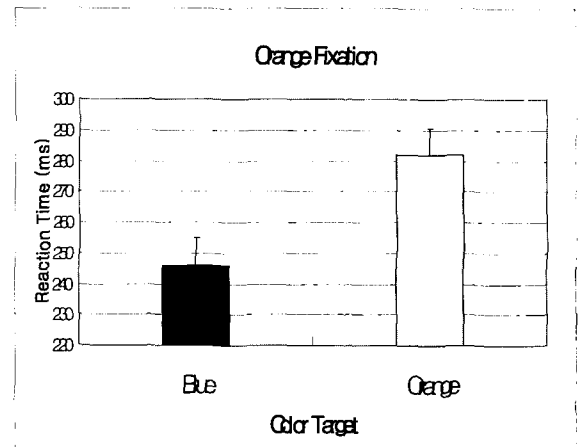


그림 6. Orange fixation에서의 반응시간
Fig. 6. Reaction time on orange fixation

결과에 대한 통계적인 유의성을 검증하기 위하여 엑셀과 SPSS 8.0을 이용하여 대응비교 t-test를 실시하여 색상간의 Pearson Correlation과 p-value를 구하였다[15,16].

결과 및 고찰

보색관계에 있는 Red와 Green(LED의 밝기를 30 cd/m²로 고정)에 대하여 실시한 4가지 조건의 실험 결과는 다음과 같다.

그림 3과 그림 4는 Green Fixation과 Red Fixation상태에서 Green Target과 Red Target에 대한 반응시간의 통계분석 결과를 평균, 표준편차의 그래프로 정리한 것이다. 보색의 자극에 대한 평균 반응시간이 동일 색채 자극에 대한 반응시간의 평균값보다 짧게 나타남을 알 수 있다. 개별 값이 평균으로부터 떨어진 정도를 나타내는 표준편차 또한 상대색상의 평균값을 넘지 않는 분산을 보이고 있다. 표 2와 표 3은 Green Fixation과 Red Fixation 상태에서 Green Target과 Red Target에 대한 반응시간의 통계처리결과를 Pearson correlation과 p-value로 나타낸 것이다. Pearson correlation이 각각 0.957과 0.885인 것은 보색환경에서의 반응시간이 동일 색채 환경에서의 반응시간 보다 짧게 나타나는 경향이 확실히 존재함을 잘 나타내는 수치이다. p-value가 0.023으로 나타났는데 이것은 Green Fixation에서 Green Target과 Red Target에 대한

반응 시간의 평균차이가 없다는 영가설(Null Hypothesis)이 기각되어질 수 있는 수치이며, 따라서 유의미한 평균의 차이가 있다는 결론을 내릴 수 있다[17]. p<0.05에서 유의성이 있다고 할 수 있는데 모든 경우에서 이 범위에 포함되는 결과를 나타 내었다.

Blue와 Orange(LED의 밝기를 20 cd/m²로 고정)에 대하여 실시한 4가지 조건의 실험 결과는 다음과 같다.

그림 5와 그림 6은 Blue Fixation과 Orange Fixation상태에서 Blue Target과 Orange Target에 대한 반응시간의 통계 분석 결과를 평균, 표준편차로 나타낸 것이다. 위의 경우와 같이 보색의 자극에 대한 반응시간이 동일 색채 자극에 대한 반응시간보다 짧게 나타남을 알 수 있다. 표 4와 표 5는 Blue Fixation과 Orange Fixation 상태에서 Blue Target과 Orange

표 1. 색의 CIE 좌표계

Table 1. CIE coordinate system of colors

	x-value	y-value	wave len.	purity
Red	0.624	0.307	632 nm	0.803
Green	0.278	0.682	546 nm	0.937
Blue	0.109	0.339	492 nm	0.763
Orange	0.578	0.397	593 nm	0.848

표 2. 대응비교의 상관관계 (녹색)

Table 2. Paired samples correlations (green fix.)

	Correlation	p-value
GREEN & RED	0.957	0.023

표 3. 대응비교의 상관관계 (적색)

Table 3. Paired samples correlations (red fix.)

	Correlation	p-value
GREEN & RED	0.885	0.036

표 4. 대응비교의 상관관계 (파란색)

Table 4. Paired samples correlations (blue fix.) samples correlations (red fix.)

	Correlation	p-value
BLUE & ORANGE	0.960	0.001

표 5. 대응비교의 상관관계 (노란색)

Table 5. Paired samples correlations(orange fix.)

	Correlation	p-value
BLUE & ORANGE	0.978	0.021

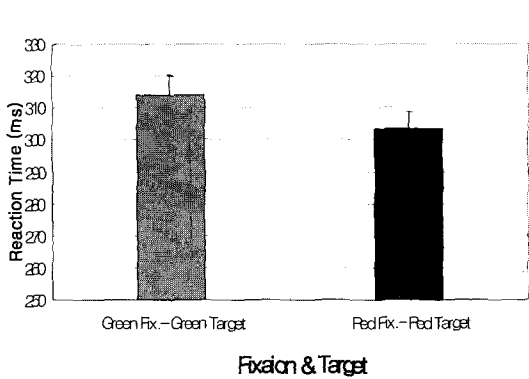


그림 7. Green, Red 색채환경에서의 반응시간
Fig. 7. Reaction time on green and red color environment

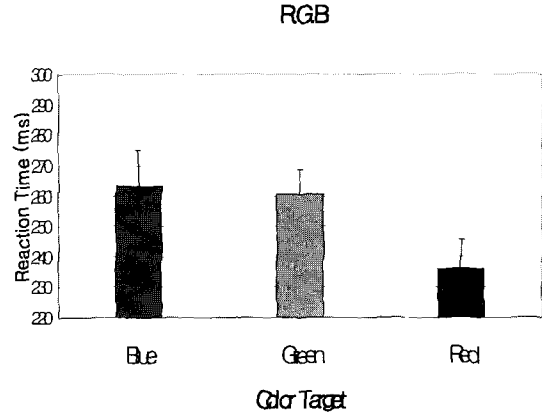


그림 9. Red, Blue, Green에서의 반응시간
Fig. 9. Reaction time on red, blue, green

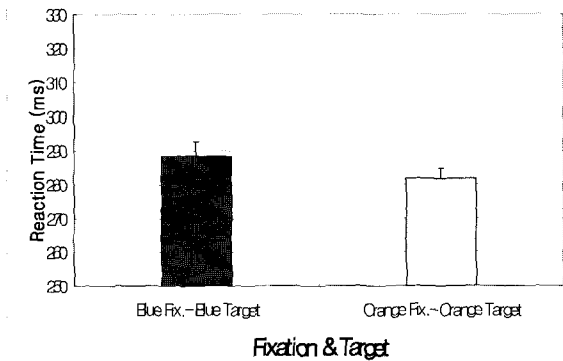


그림 8. Blue, Orange 색채환경에서의 반응시간
Fig. 8. Reaction time on blue and orange color environment

Target에 대한 반응시간의 통계처리결과를 Pearson Correlation과 p-value로 나타낸 것이다. Pearson correlation이 1에 가까운 높은 수치를 보였고, p-value 또한 $p < 0.05$ 의 범위에 포함되는 결과를 보였다. 그림 7과 그림 8은 Fixation Point와 Target Point의 색이 같은 조건의 특정색채 환경에서의 반응

시간을 그래프로 나타낸 것이다. 그림 7에서는 Red Fixation과 Red Target에서의 반응시간이 Green Fixation과 Green Target에서의 반응시간 보다 짧음을 확인할 수 있다. 마찬가지로 그림 8에서는 Blue Fixation과 Blue Target에서의 반응시간이 Orange Fixation과 Orange Target에서의 반응시간 보다 길게 나타남을 알 수 있다. 표 6과 표 7은 특정 색채 환경에서의 반응시간의 평균의 차이가 유의한 것인지를 검증하기 위해 실시한 통계처리의 결과를 나타낸 것이다. Green-Red와 Blue-Orange 모두에서 높은 수치의 Pearson Correlation값과 $p < 0.05$ 의 범위에 포함되는 p-value를 나타내었지만 Green-Red

의 경우가 더 높은 유의성을 가지고 있음을 알 수 있다.

그림 9는 Fixation Point와 Target Point의 색상이 같은 특정색채 환경에서의 시각자극에 대한 반응시간의 차이를 명확히 하기 위하여 (LED의 밝기를 25 cd/m^2 로 고정) 빛의 3원색인 Red, Green, Blue에 대한 반응시간을 다음의 3가지 조건으로 비교하여 나타낸 것이다.

반응시간의 대소 관계는 Red < Green < Blue 순으로 나타났으며 통계적인 유의성도 $p < 0.05$ 의 범위 안에 포함되는 결과를 나타내었다.

결과 분석을 통하여 Red-Green, Blue-Orange의 보색관계 자극환경에서의 반응시간이 Red-Red, Green-Green, Blue-Blue, Orange-Orange인 동일색채 자극환경에서의 반응시간보다 더욱 짧게 나타남을 정량적으로 확인할 수 있었다($p < 0.05$). 또한 동일색채 자극환경 중 Red-Red, Orange-Orange의 경우가 Green-Green, Blue-Blue보다 각각 14%와 3%정도 더 빠른 반응을 보였다. 빛의 3원색인 Red, Blue, Green의 동일색채 자극환경에서의 반응시간도 색상고유의 파장대의 크기 순서와 반비례하는 순서로 나타났다.

결론

본 연구에서는 감각 정보와 운동의 통합관계의 일단을 분명

표 6. 대응비교의 상관관계
Table 6. Paired samples correlations

	Correlation	p-value
GREEN & RED	0.943	0.014

표 7. 대응비교의 상관관계
Table 7. Paired samples correlations

	Correlation	p-value
BLUE & ORANGE	0.740	0.042

히 하기 위하여 특정한 시각자극(색채자극)에 대한 감각-운동 협응의 정도를 반응시간의 정량적인 분석을 실시하여 검증하였다.

이로써 색자극에 의해 유발되는 특정 시각자극에 의한 감각 정보의 차이가 그에 대한 반응으로 나타나는 운동의 속도에 영향을 미칠 수 있음을 확인할 수 있었다.

이 결과로 뇌(腦)의 색에 대한 감각정보의 처리과정은 동일한 색채에 대한 처리보다 보색 관계의 자극에 대해서 더욱 빠른 처리속도를 가진다고 추론할 수 있다. 이것은 환경의 변화에 신속히 대응하고 적응해야하는 필요성에 의해 생체내의 정보처리 체계가 새로운 자극을 우선적으로 처리하도록 프로그램 되어진 것이 아닌가 한다.

빛은 시각을 자극할 수 있는 전자기 복사에너지라고 정의할 수 있는데, 이중 가시광선의 에너지양은 약 2.8×10^{-19} - 5.0×10^{-19} J 정도이다. 즉 단파장의 경우가 더 높은 에너지를 가지게 되는 것이다. 빛의 3원색 Red, Blue, Green 환경에서의 시각자극에 대한 반응 시간은 이 에너지의 상대적인 크기에 반비례하는 관계를 가지고 있다. 이러한 결과는 시각자극에 대한 정보의 입력 또는 처리 과정에서 파장이 긴 빛에 의한 시각자극이 더 빠른 정보처리 속도를 가지거나 감각-운동의 협응 과정에서 더 빠른 협응 속도를 가진다고 가정할 수 있다.

이러한 추론을 뒷받침하기 위해서는 특정 색상의 빛이 가지는 고유한 진동수가 생체 내에서 어느 정도의 에너지 크기로 시각기관을 자극하는지, 그리고 감각-운동 협응의 정도를 수치적으로 표현할 수 있는 정량적인 실험과 오차의 원인으로 작용하는 피험자의 심리적인 요인들을 배제할 수 있는 감각-운동 협응에 대한 실험방법의 연구가 필요하다고 사료된다.

참 고 문 헌

1. B.E. Stein, P.J. Laurienti, T.R. Stanford and M.T. Wallace, "Neural mechanisms for integrating information from multiple sense", IEEE, Vol. 1, pp. 567-570, 2000
2. J.H. Martin, Neuroanatomy, Prentice-Hall International Inc., pp. 135-163, 1989
3. C. Tan "Activity of pre-motor area", Science(Japan), Vol.53, pp.248-250, 1983
4. Keir Pearson, "Motor Systems", Current Opinion in Neurobiology, Vol.10, pp.649-654, 2000
5. H. Ito, S. Ito "Motion control for an organism and robot", Conference of auto control, pp.9-21, 1999
6. Schmid R., Zambarbiri D. "Eye movement analysis in neurological diagnosis", Center of Bioengineering, Univ. of Pavia, Italy, 1979
7. N.G. Kim, Y.H. Ko, Y. IFUKUBE, "A Study on the Sensory Motor Coordination to Visual and Sound Stimulation", J. of KOSOBME, 1994
8. K. Tanaka "Neuro-mechanism of visual cognition", Neuroscience review Vol. 1, pp. 322-342, 1987
9. M.C. Morrone, J. Ross and D.C. Burr, "Apparent Position of Visual Targets during Real and Simulated Saccadic Eye Movements", The Journal of Neuroscience, 1997
10. John Duncan, Glyn W. Humphreys, "Visual Search and Stimulus Similarity", The American Psychological Association, 1989
11. Brian A. Wandell, Allen B. Poirson, William T. Newsome, Heidi A. Baseler, Geoffrey M. Boynton, Alex Huk, Sunil Gandhi, Lindsay T. Sharpe, "Color Signals in Human Motion-Selective Cortex", 1999
12. John J. McDonald, Wolfgang A Teder, Steven A. Hillyard, "Involuntary orienting to sound improves visual perception", Nature, Vol.407, 2000
13. R.F. Dougherty, W.A. Press and B.A. Wandell, "Perceived Speed of Colored Stimuli", 1999
14. 류제동, 현대광학, 교문사, pp.297-304, 1996
15. B.S. Kang, K.S. Kim, SPSSWIN Easy, KOREA Boobmoonsa, 1998
16. B.J. Park, Excel Statistics, Sigma Press, 1999
17. S.M. Wo, SPSS 8.0, Human&Welfare, 2000