

일차운동과 이차운동 처리에 관여하는 두 탐지기제의 속성*

남 종 호[†]

가톨릭대학교 심리학과

결의 밝기로 정의된 일차운동과 결의 대비로 정의된 이차운동이 동일한 탐지기제에 의해서 처리되는지를 알아보고자 하였다. MacLeod와 He (1993)의 발견은 압축적 비선형 변형처리의 속성을 지닌 단일 기제가 일차운동과 이차운동을 동시에 처리할 가능성을 제안하였다. 본 연구에서는 가설적인 일차운동 탐지기제 또는 이차운동 탐지기제가 서로 배타적으로 활성화될 것으로 가정되는 자극패턴을 구성하였다. 그리고 만일 상이한 운동자극 패턴에 대하여 측정된 민감도가 동일하다면 두 가설적인 기제는 동일한 것이라는 가정을 세웠다. 결의 밝기와 대비 정도를 독립적으로 조작할 수 있는 결 공간에서 두 가설적인 탐지기제의 밝기와 대비에 대한 상대적인 민감도를 측정하였다. 상대적인 민감도가 서로 상이한 두 탐지 기제를 파악할 수 있는 결과를 얻었다. 본 연구에서는 인간 시각체계에는 일차운동 탐지기제와 이차운동 탐지기제가 별개로 존재한다는 것을 분명히 하였다.

주제어 일차운동, 이차운동, 비선형처리

* 본 연구는 2003년도 가톨릭대학교 교비연구비의 지원으로 수행되었다.

초고논문의 전개와 표현에 세심한 지적을 해주신 심사위원님들께 감사 드립니다.

† 교신저자 : 남 종 호, (420-743) 경기도 부천시 원미구 역곡2동 산 43-1 가톨릭대학교 심리학과

E-mail : texton@caholic.ac.kr

인간 시각은 다양한 자극 속성으로 이루어진 현상에 민감하다. 이러한 운동의 예로는 밝기 차이가 존재하는 경계가 흘러가는 것(ex. 이동하는 정현파, 무선점 운동영상 또는 다층 운동상(plaids))을 들 수 있는데, 이러한 밝기 경계가 포함된 운동 현상은 입력자극에 대한 시공간상의 푸리에 분석 절차가 적용됨으로써 탐지될 수 있다(Watson, Ahumada, & Farrell, 1986). 이와 구별되는 다른 종류의 운동은 밝기 차이 자체로는 정의될 수 없는 이차적 속성을 지닌 것이다. 예를 들면, 시공간상 대비정도가 변동하는 측면에서 정의된 운동자극이나, 또는 밝기가 동일한 영역의 깜빡이는 속도가 다름으로써 영역 경계가 정의된 운동자극을 사용하는 것이다. 이러한 운동 자극의 경우는 입력자극에 대한 시공간상의 푸리에 분석으로 나타나는 평균 밝기 차이가 존재하지 않기 때문에 직접적인 탐지가 불가능하다(Chubb & Sperling, 1988). 그러나 이런 유의 운동 자극을 적절한 비선형 변형과정을 거치고, 이 출력을 푸리에 에너지 분석과정에 적용시킨다면 운동탐지가 가능하다.

입력자극에 대한 시공간상의 푸리에 분석으로 탐지되는 시각 운동을 일차 운동(Cavanagh & Mather, 1989)이라 부르고, 비선형 전처리 변형과정을 필요로 하는 시각 운동을 이차 운동이라 부른다.

운동지각에 대한 명확하게 풀리지 않은 핵심적인 문제 중의 하나가 밝기로 정의된 운동(일차 운동)과 결 대비로 정의된 운동(이차 운동)을 처리하는 별개의 처리기제가 존재하는가의 여부이다(Chubb & Sperling, 1989; Kim & Wilson, 1993; Taub, Victor, & Conte, 1997; Johnston & Clifford, 1997). 이러한 문제에 관해서 합의된 결론을 얻기란 대단히 어려운 일인데, 대부분의 경우 초기 시각처리과정에서 존재할 수도 있는 비선형성의

영향에 대한 것이다. 초기 수준에서 시각장면상의 각 위치를 점유하는 지점의 입력강도를 변형 후 출력에서도 동일한 지점으로 대응시키는, 점 대응(pointwise) 방식의 변형과정에 비선형성이 존재한다고 하면, 결 대비로 경계를 이루고 있는 이차 운동자극이 밝기강도 차이로 경계를 이루는 일반적인 운동자극으로 쉽게 바뀌질 수 있기 때문이다. 일차운동 자극의 밝기 차이 정보를 유지하면서, 동시에 이차운동 자극의 대비 차이 정도를 일반적인 밝기 차이로 변환시켜 일차운동 자극으로 바꾸어주는 초기 수준의 비선형성의 존재를 가정하기란 그리 어렵지 않은 일이다.

그림 1에 이런 상황을 설명해 놓았다. 중앙에 있는 그래프는 압축적 비선형성을 묘사한 것이다. MacLeod와 He (1993)는 빛의 간섭현상을 이용하여 시각초기 수준에 이런 종류의 비선형성이 존재함을 밝혔다.

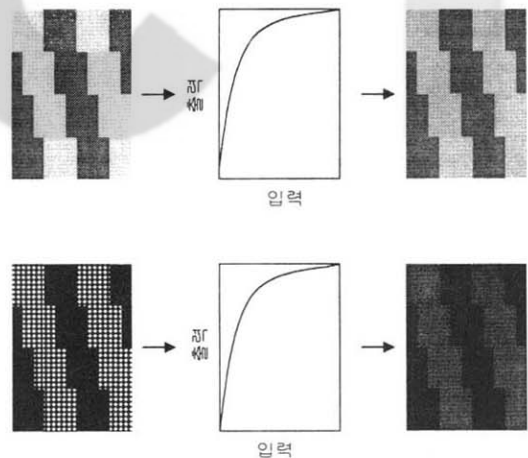


그림 1. 일차운동과 이차운동에 작용하는 압축적 비선형성의 가능한 역할. 상단은 네 프레임으로 구성된 일차운동에 비선형 처리가 적용된 경우의 예이며, 푸리에 분석 결과 오른쪽 방향의 운동이 지각된다. 하단은 이차운동의 예이며, 오른쪽 방향의 운동이 지각된다.

그림 1의 자극은 4개의 프레임으로 구성된 운동자극이다. 그리고 각 프레임은 결로 경계가 구성된 사각파형 격자로 2 주기(cycle)를 가지고 있다. 좌상단의 자극은 표준 일차 운동 디스플레이이다. 각 프레임에서 인접한 결 조각들은 평균 밝기 차이를 보이고 있으며, 다음 프레임에서 결 조각들은 이전 프레임에 비해 조각 폭의 절반만큼 오른쪽으로 이동하고 있으며, 관찰자는 오른쪽 운동을 경험하게 된다. 이러한 평균 밝기 차이 정보는 중앙 상자에 제시된 비선형 강도변형 처리를 거친 후에도 유지된다. 이는 우상단에 제시한 출력자극에서 분명하게 볼 수 있다. 결 조각을 대응되는 단일 밝기 조각으로 대치한 도식화된 자극에서 운동방향은 명확히 드러나고 있다.

그림 1의 하단에 제시된 자극은 평균밝기는 같지만 대비정도의 차이를 보이는 결 조각으로 이루어진 표준 이차운동 디스플레이이다. 그림 1에 가정한 압축적 비선형 변형과정을 거치게 되면, 높은 강도의 밝기 결 요소는 그 보다 낮은 밝기 값을 가지게 된다. 따라서 입력 시에 유지된 같은 밝기 강도는 더 이상 유지되지 못하고, 일반적인 일차운동 자극으로 바뀌게 된다. 우하단에 제시된 출력 자극에서 이를 명확하게 보이고 있으며, 이를 일차운동 자극을 탐지하는 푸리에 에너지 분석처리를 하면 오른쪽 방향의 운동이 탐지된다. 그러므로 비선형 전처리 변형과정이 시각분석에 포함되면, 일차운동 자극과 이차운동 자극이 단일 처리기제에 의해 탐지된다는 가정을 할 수 있다.

이와는 대조적으로 일차운동 자극과 이차운동 자극이 별개의 처리기제에 의해서 탐지된다는 연구들이 있다(Chubb & Sperling, 1989; Kim & Wilson, 1993). 별개의 처리기제를 가정하는 경우, 그림 1에 제시한 자극에 대한 처리과정은 그림

2에 제시되어 있다. 그림 2에는 일차운동 자극을 주로 탐지하는 기제는 선형처리를 사용하고 있으며, 이차운동 자극을 주로 처리하는 기제는 전정류 변형처리(full-wave rectifying transformation)를 채택하고 있다. 일차운동 자극의 경우 선형 처리되었을 경우 강한 오른쪽 방향의 운동신호가 발생하는데 반해, 전정류 처리를 거칠 경우 아무런

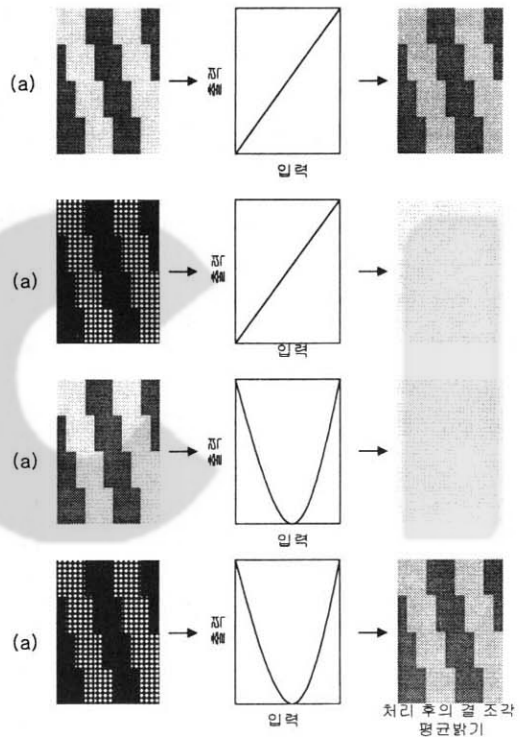


그림 2. 일차운동과 이차운동 처리에서 선형 처리와 정류 (rectifying) 처리의 효과. (a) 일차운동자극에 적용된 선형처리의 결과 오른쪽 방향의 움직임을 탐지할 수 있는 출력을 내보낸다. (b) 이차운동 자극에 적용된 선형처리의 결과 운동방향을 알 수 없는 출력이 생성되었다. (c) 일차운동자극에 적용된 정류 처리의 결과 운동방향을 알 수 없는 출력이 생성되었다. (d) 이차운동자극에 적용된 정류 처리의 결과 오른쪽 방향의 움직임을 탐지할 수 있는 출력을 내보낸다.

신호도 발생하고 있지 않다. 다른 한편으로 평균 밝기는 같지만 대비성의 차이를 보이는 이차운동 자극의 경우, 선형 처리 후에는 아무런 운동 신호를 보이지 않지만, 전정류 처리 후에는 강한 오른쪽 운동 신호를 보인다.

이 같은 가상의 예에서 살펴보았듯이 각 운동 시스템은 한 유형의 운동자극의 탐지에 특화되어 있으며, 다른 유형의 운동자극에는 맹점을 가지고 있다. 가설적인 유형 1 처리기제는 밝기차이로 정의된 자극에 예민하고, 결 대비만으로 구성된 자극에는 맹점을 보이며, 이와 반대로 유형 2 처리기제는 결 대비만으로 정의된 자극에 예민하고, 밝기차이로 구성된 자극에는 맹점을 보인다. 그러나 두 유형의 처리기제가 있다고 하더라도 운동자극의 상이한 속성에 차별적으로 반응할 수도 있으며, 대체적으로 자극의 밝기와 대비에 주로 반응한다고 하는 편이 옳을 것이다. 두 개의 기제를 상정하는 경우, 두 기제는 입력 자극에 대한 분석을 계속 하게 되고, 출력은 운동탐지를 위해 분석된다.

본 연구는 일차운동 자극과 이차운동 자극이 단일 시스템에 의해 처리되는지, 또는 별도의 운동 처리 시스템이 존재하는지에 관한 논의를 밝히고자 하였다. 이를 위해서 본 연구에서 사용된 자극의 일반적인 구성에 대한 논의를 먼저 하겠다. 그리고 단일 시스템이 두 종류의 운동 자극을 처리한다는 가정을 실험을 통하여 검증하고자 한다.

일반 방법

자극의 구성. 결에 대한 수리적 접근법을 이용하는 연구자들은 인간의 시각체계가 결자극의 수리적 속성을 추출한다고 가정한다. 이러한 맥

락에서 결 자극은 통계적인 모수(parameter)로 정의되고 기술된다(Chubb, Econopouly, & Landy, 1994; Julesz, 1975). 이러한 연구들 중 Chubb et al(1994)은 IID (Independently, Identically Distributed : 독립적이며 동일하게 분포된) 결 자극을 사용하여 초기시각 처리과정의 특성을 밝히고자 하였다. Nam & Chubb(2000), 그리고 Chubb & Nam(2000)은 IID 결 자극을 연구에 사용하는 특징과 장점에 관해서 기술한 바 있다. IID 결 자극은 자극을 생성하는데 기본이 되는 원래 확률분포의 평균이 결의 밝기와 선형적 대응관계가 있으며, 확률분포의 분산(variance)이 결의 대비와 선형적 대응관계를 가지고 있다는 특징이 있다. 또한 이를 상호 독립적으로 조작함으로써 정신물리학 측정에 필요한 측정값을 각 모수에 대하여 얻어낼 수 있다는 것이다(남종호, 1999; 2000).

본 연구에서 사용되는 결 자극의 수리적 특성을 기술하면 다음과 같다. V 를 검은색(0.62 cd/m^2)에서 백색(55 cd/m^2)으로, 밝기 강도가 직선적으로 증가하는 9개의 회색 밝기 강도의 집합이라고 정의하자. 그리고 Q 를 V 에 대한 모든 확률분포 p 의 집합으로 정의하고 다음과 같은 관계식을 가지도록 한다: 실수 a, β 에 대하여($a, \beta \in \mathbb{R}^1$)

$$p(v) = \frac{1}{9} + av + \beta v^2, \quad v = 0, 1, \dots, 8. \text{ 이러한}$$

확률분포 p 를 이용한 결 조각(Patch) P_p 를 각 정사각형의 강도가 확률분포 p 인 독립적이고, 동일하게 분포된(IID: independently, identically distributed) 변인인 시각 모자이크(결)라고 정의한다.

본 연구에서는 임의로 선택한 두 개의 확률분포 p 가 지닌 평균의 차이와 분산의 차이가 상호 독립적으로 조작될 수 있도록 수식 세 가지를 도입한다. 그 하나는 확률분포의 기본이 되는 균

1) 실수(real number)를 표시하는 수학 기호

등분포(Uniform distribution)에 관한 수식이며, 이 분포의 평균과 분산을 조작하는데 이용되는 두 개의 조절자(modulator)에 관한 수식이다.

먼저 V 에 대한 균등분포(Uniform distribution)를 U 라고 정의하면, V 에 속하는 모든 v 에 대하여 다음과 같은 식을 제시할 수 있다: 즉 $U(v) = \frac{1}{9}$, $\forall v \in V$. 이 분포의 변형과정에 사용되는 조절자(modulator)는 각각 $\lambda_1(v) = \frac{1}{36}(v-4.0)$ 이며,

$\lambda_2(v) = \frac{1}{9 \times 9.34}(v^2 - 8v + 9.34)$ 를 사용한다. 이 세 함수 (U, λ_1, λ_2)는 다음과 같은 특징을 갖는다(부록 참조).

(i) 세 함수는 상호 직교적인(orthogonal) 관계를 갖는다. 즉 세 함수가 서로 독립적임을 의미하는데, 수학적으로 표현하면, 두 함수가 $v=0, 1, \dots, 8$ 에 대해 가지는 값을 벡터로 표시했을 때, 이 벡터 값의 곱의 합 또는 닷 프로덕트(dot product)가 영이 됨을 의미한다. 즉

$$\lambda_1 \cdot \lambda_2 = \sum_{v \in V} \lambda_1(v)\lambda_2(v) = 0,$$

또한 $U \cdot \lambda_1 = U \cdot \lambda_2 = 0$.

(ii) U 에 대한 조절자 λ_1 와 λ_2 는 가역적(reversible)이다. 확률분포 U 는 λ_1 과 λ_2 에 의해서 변형될 수 있는데, 더하거나 빼더라도 확률분포가 충족해야할 조건을 위반하지 않는다. 환언하면 U 가 확률분포이면, λ_1 과 λ_2 을 더한 $U+\lambda_1$ 과 $U+\lambda_2$ 이 확률분포이고, 역의 연산인 빼기를 한 $U-\lambda_1$ 과 $U-\lambda_2$ 도 모두 확률분포이다.

(iii) 마지막으로 조절자 λ_1 와 λ_2 는 최대형(maximal)이라고 하는데, λ_1 와 λ_2 는 계수로 1을 가지고 있다고 가정된다. 만일 계수 A 를 첨가하

여 만든 조절자 $A\lambda_1$ 과 $A\lambda_2$ 의 경우, $A > 1$ 라면, $U \pm A\lambda_1$ 과 $U \pm A\lambda_2$ 에는 음의 확률을 갖게 되는 어떤 v 가 있게 된다. 따라서 λ_1 와 λ_2 는 U 에게 확률분포로서의 조건을 만족시키면서 U 를 변형시킬 수 있는 계수의 최대값 1을 스스로 가지고 있으므로 최대형이라고 한다.

균등확률분포 U 는 조절자 λ_1 와 λ_2 에 의해 변형되면서 분포의 평균과 분산이 변하게 된다. 이 분포를 근거로 생성되는 결 자극 ($U+x\lambda_2+y\lambda_1$)과 결 자극 ($U-x\lambda_2-y\lambda_1$)의 경우, 조절자 λ_1 의 계수 x 는 평균값의 차이를 관장하며, 조절자 λ_2 의 계수 y 는 분산의 차이를 관장한다(부록 참조).

본 연구에서 사용된 유형의 운동자극에 대한 도식이 그림 3에 제시되었다. 이 실험자극은 여덟 프레임으로 이루어져 있으며, 이는 그림에서 여덟 개의 행으로 표시되어 있다. 첫 번째 프레임은 U 조절자 ϕ 를 사용하여 $U+A\phi$ 과 $U-A\phi$ 의 확률분포를 가진 결 조각을 번 갈아서 구성

$A\phi$	$-A\phi$	$A\phi$	$-A\phi$
$-B\theta$	$B\theta$	$-B\theta$	$B\theta$
$-A\phi$	$A\phi$	$-A\phi$	$A\phi$
$B\theta$	$-B\theta$	$B\theta$	$-B\theta$
$A\phi$	$-A\phi$	$A\phi$	$-A\phi$
$-B\theta$	$B\theta$	$-B\theta$	$B\theta$
$-A\phi$	$A\phi$	$-A\phi$	$A\phi$
$B\theta$	$-B\theta$	$B\theta$	$-B\theta$

그림 3. 본 연구에서 사용된 도식화된 자극. 이 자극은 여덟 프레임으로 이루어져 있으며, 이는 여덟 행과 대응된다. 자세한 설명은 본문을 참조하십시오.

하였다. 두 번째 프레임은 첫 번째 프레임에 비해 오른쪽 방향으로 결 조각 쪽의 절반을 이동시키면서 U 조절자 θ 를 사용하여 $U+B\theta$ 과 $U-B\theta$ 의 확률분포를 가진 결 조각을 사용하여 구성하였다. 세 번째 프레임은 첫 번째 프레임과 동일하지만 $U+A\phi$ 과 $U-A\phi$ 의 결 조각을 상호 교환하였다. 네 번째 프레임은 두 번째 프레임과 동일하지만 $U+B\theta$ 과 $U-B\theta$ 의 결 조각을 서로 바꾸었다. 다섯 번째 프레임부터 여덟 번째 프레임까지는 첫 번째 프레임부터 네 번째 프레임을 반복해서 구성하였다. 그러나 매번 각 프레임을 구성하는 결 자극은 이전 프레임과는 독립적으로 새로 구성하였다. 이런 자극에 대하여 $[A\phi, B\theta]$ 라고 표현하겠다.

만일 $\phi = \theta = \lambda_1$ 이고, $A = B$ 라면, 그림 4와 같은 자극을 얻게 되는데, 이 자극 $[A\lambda_1, A\lambda_1]$

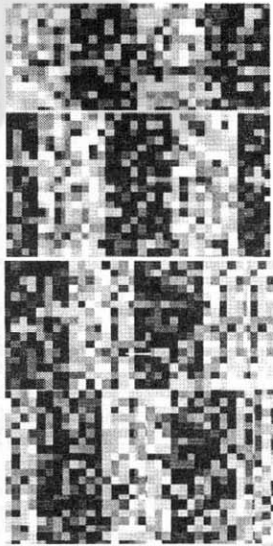


그림 4. 순수한 결 밝기로 정의된 운동자극의 예. 프레임 위에서 아래 방향으로 순차적으로 제시하면 오른쪽 방향의 운동을 보게된다.

은 A 가 충분히 크다면 인접한 결 조각에서 생성된 밝기 차이에 의해서 오른쪽 방향의 명확한 운동을 보여주게 된다.

$\phi = \theta = \lambda_2$ 이고 $A = B$ 인 경우에는 결 대비 차이에 의해서 생성된 운동을 보여주는 자극 $[B\lambda_2, B\lambda_2]$ 이 된다. 이 경우에는 약간 느린 프레임 속도와 충분히 큰 B 를 이용하면 운동자극을 관찰할 수 있다.

그림 5는 자극 $[\hat{B}\lambda_2, x\lambda_2 + y\lambda_1]$ 을 도식화하고 있는데, 여기서 \hat{B} 은 $[B\lambda_2, B\lambda_2]$ 의 운동 방향을 탐지하는데 요구되는 λ_2 의 역치를 말한다. 즉 B 가 0일 경우 아무런 운동방향을 정할 수 없지만, 점차 B 가 증가함에 따라 분명한 운동방향이 관찰된다. 운동방향을 탐지하는 어느 정도로 B 가 커야하는지를 정신물리학 실험을 통해서 정할 수 있다. 환언하면, \hat{B} 는 $[B\lambda_2, B\lambda_2]$ 의 운동방향을 관찰자가 확률 .75의 정확성을 가지고 판단하게 만드는 조절자(modulator) λ_2 의 히스

$\hat{B}\lambda_2$	$-\hat{B}\lambda_2$	$\hat{B}\lambda_2$	$-\hat{B}\lambda_2$
	$(x\lambda_2 + y\lambda_1)$	$-(x\lambda_2 + y\lambda_1)$	$(x\lambda_2 + y\lambda_1)$
$-\hat{B}\lambda_2$	$\hat{B}\lambda_2$	$-\hat{B}\lambda_2$	$\hat{B}\lambda_2$
	$-(x\lambda_2 + y\lambda_1)$	$(x\lambda_2 + y\lambda_1)$	$-(x\lambda_2 + y\lambda_1)$
$\hat{B}\lambda_2$	$-\hat{B}\lambda_2$	$\hat{B}\lambda_2$	$-\hat{B}\lambda_2$
	$(x\lambda_2 + y\lambda_1)$	$-(x\lambda_2 + y\lambda_1)$	$(x\lambda_2 + y\lambda_1)$
$-\hat{B}\lambda_2$	$\hat{B}\lambda_2$	$-\hat{B}\lambda_2$	$\hat{B}\lambda_2$
	$-(x\lambda_2 + y\lambda_1)$	$(x\lambda_2 + y\lambda_1)$	$-(x\lambda_2 + y\lambda_1)$

그림 5. 본 연구에서 사용된 도식화된 자극. 이 자극은 여덟 프레임으로 이루어져 있으며, 이는 여덟 행과 대응된다. 좌우 끝의 빈 공간은 인접한 결 자극과 교대로 나타나는 결로 채워진다. 자세한 설명은 본문을 참조하십시오.

토그램 강도를 의미한다.

홀수 프레임은 $U + \hat{B}\lambda_2$ 과 $U - \hat{B}\lambda_2$ 을 교대로 사용해서 구성하였으며, 짝수 프레임은 $U + (x\lambda_2 + y\lambda_1)$ 과 $U - (x\lambda_2 + y\lambda_1)$ 의 결 조각을 사용해서 구성한다. 여기서 실험 관찰 자료는 x 와 y 를 다양하게 변동시켜 얻게 된다. 여기서 주목할 것은 $x\lambda_2 + y\lambda_1$ 은 $|x| + |y| \leq 1$ 을 만족시키는 경우 새로운 U 조절자의 속성을 획득한다는 것이다. 그림 6은 $xy > 0$ 인 경우, 자극 $[\hat{B}\lambda_2, x\lambda_2 + y\lambda_1]$ 을 보여주고 있다. 이러한 자극은 일차적으로 결 대비 차이로 정의된 운동에 예민하다고 가정한 유형 2 운동 탐지 기제를 활성화시킬 것으로 볼 수 있는데, 왜냐하면 체계적인 밝기차이는 짝수 프레임에서만 존재한다. 따라서 이 자극은 밝기 차이로 정의된 운동의 측면에서 정보를 가지고 있지 않다.

자극을 $[A\lambda_1, B\lambda_2]$ 로 만든 예가 그림 7에

있다. 만일 유형 1 기제가 순수하게 결 밝기 차이에만 예민하고, 유형 2 기제는 순수하게 결 분산(variance)에만 예민하다면, 이런 시각 기제를 가진 관찰자는 $[A\lambda_1, B\lambda_2]$ 에 대하여 아무런 운동을 지각하지 못할 것이다. 홀수 프레임은 결 분산의 차이가 없이 결 평균 밝기 차이만을 가진 결 조각으로 구성되어있는 반면, 짝수 프레임은 결 평균 밝기 차이 없이 결 분산의 차이만으로 구성되어있기 때문이다.

운동의 방향 자극 $[\hat{B}\lambda_2, x\lambda_2 + y\lambda_1]$ 의 운동은 다음과 같은 두 방향으로 이루어질 수 있다.

- (1) $(U + \hat{B}\lambda_2)$ -결이 $(U + (x\lambda_2 + y\lambda_1))$ -결과 짝지어지며, $(U - \hat{B}\lambda_2)$ -결이 $(U - (x\lambda_2 + y\lambda_1))$ -결과 짝지어지는 방향;
- (2) 앞의 경우와는 정반대 방향, $(U + \hat{B}\lambda_2)$ -결이 $(U - (x\lambda_2 + y\lambda_1))$ -결과 짝지어지고, $(U + (x\lambda_2 + y\lambda_1))$ -결이 $(U - \hat{B}\lambda_2)$ -결과 짝지어진 방향이다. 피험자에게는 유사한

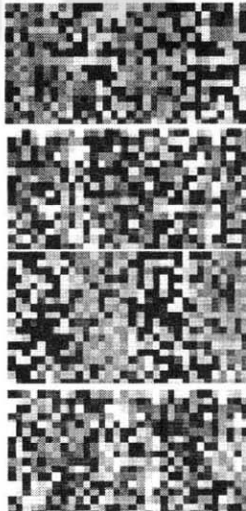


그림 6. 결 대비에 의해 정의된 운동자극의 예. 홀수 프레임은 결 대비 정도에서만 다르다.

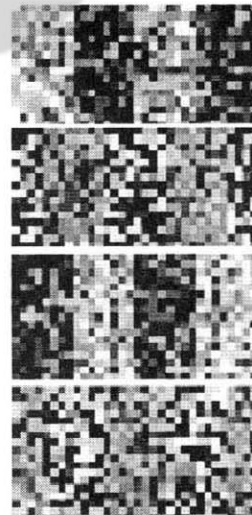


그림 7. 일차운동 자극과 이차운동 자극을 교대로 제시하도록 만든 자극 예

결 분산을 가진 결 조각과 짝지어지는 운동방향을 판단하기를 요청한다.

도구. 실험은 TrueVision AT-Vista 그래픽 카드를 장착한 IBM PC 호환 컴퓨터를 사용하였다. 자극제시와 반응 수집은 TrueVision AT-Vista 그래픽 카드를 통제하도록 특별히 설계된 소프트웨어 패키지를 사용하였다. 모노크롬 모니터(IKEGAMI DM516H)를 자극제시용으로 사용하였다.

실험 1과 2는 결로 정의된 운동 자극에 대한 다음과 같은 관찰에 근거를 두고 있다. 만일 λ_1 로 정의된 운동을 탐지하는 운동 시스템(유형 1 운동 탐지기체)이 존재한다고 하자. 이 기체는 결 자극의 밝기 차이에만 주로 민감하며, 결 대비(분산) 차이에는 거의 민감하지 않다. 같은 논리로 λ_2 로 정의된 운동을 탐지하는 운동 시스템(유형 2 운동 탐지기체)이 존재한다고 하면, 이 기체는 결 자극의 결 대비(분산) 차이에만 주로 민감하며, 밝기 차이에는 거의 민감하지 않다. 다른 한편으로 만일 일차운동과 이차운동을 둘 다 탐지하는 단일 기체가 존재한다면, 즉 기체 1과 기체 2가 동일하다면, 이 기체는 결의 평균 밝기와 결의 대비(분산)에 동시에 예민하다고 할 수 있을 것이다.

본 연구에서 검증하고자 하는 모델은 시각 입력흐름에 계속적으로 적용되는 단일 변형처리 T 가 존재한다고 한다. 여기서 고려되는 운동자극의 각 결 조각은 T 의 순수 활성화를 불러일으킨다. 한 프레임에서 교대로 구성된 결 조각으로 발생된 T 의 순수 활성화의 변동성이 높을수록 운동지각 정도가 증대되는 것으로 가정된다.

실험 1에서는 λ_2 로 정의된 운동 자극 $[B\lambda_2, x\lambda_2 + y\lambda_1]$ 을 탐지하는데, λ_1 에 대한 상대적 민감도를 측정함으로써 유형 1 기체와 유형 2

기체가 동일하다는 영가설을 검증할 것이다. 그리고 실험 2에서는 λ_1 로 정의된 운동 자극 $[\bar{A}\lambda_1, x\lambda_2 + y\lambda_1]$ 을 탐지하는데, λ_2 에 대한 상대적 민감도를 측정할 것이다.

만일 일차운동과 이차운동이 동일한 기체에 의해 처리된다면, 두 종류의 운동을 탐지하는데 λ_2 에 대한 상대적 민감도는 동일해야만 한다. 왜냐하면, 일차운동과 이차운동 각각에 대한 역 \bar{A} , \bar{B} 은 이 단일기체가 결 분리 탐지 결정을 해내는데 필요한 일차운동과 이차운동의 강도이다. 즉 단일기체는 $[\bar{A}\lambda_1, \bar{A}\lambda_1]$ 자극과 $[\bar{B}\lambda_2, \bar{B}\lambda_2]$ 자극에 대해 동일하게 반응한다. 그러므로 이 단일기체는 $[\bar{B}\lambda_2, x\lambda_2 + y\lambda_1]$ 자극과 $[\bar{A}\lambda_1, x\lambda_2 + y\lambda_1]$ 자극에 동일하게 반응하게 되므로 λ_2 에 대한 상대적 민감도(또는 λ_1 에 대한 상대적 민감도)는 동일해야만 한다. 이와는 반대의 경우로 만일 유형 1 탐지기체와 유형 2 탐지기체가 따로 존재하고, 밝기로 정의된 운동자극과 대비로 정의된 운동자극에 각각 민감하다면, λ_2 에 대한 상대적 민감도는 실험 2에서보다 실험 1에서 유의미하게 클 것이다.

실험 1

실험 1에서는 λ_1 이 결정하는 결의 평균 밝기에 대한 유형 2 탐지기체의 상대적 민감도를 측정하였다. 정의에 따르면, 유형 2 탐지기체는 λ_2 에 주로 민감하다. 그러므로 유형 2 탐지기체는 λ_2 에 대한 민감도가 상당히 클 것으로 기대할 수 있다.

자극 $[B\lambda_2, B\lambda_2]$ 는 B 의 크기가 증가함에 따라 결 대비에 의해 주도되는 운동을 생성한다.

만일 $B=0$ 이라면 모든 결 자극은 U 결 자극이 될 것이며, 이 경우에는 아무런 체계적인 운동을 발생시키지 못한다. 만일 $B=1$ 이라면 이 자극은 고 대비와 저 대비가 교대로 나타나는 자극으로 구성되며, 체계적인 운동을 보이게 된다. 그러므로 먼저 관찰자가 $[B\lambda_2, B\lambda_1]$ 의 운동 방향을 역 수준에서 정확하게 보고하는 B 를 측정한다. 두 피험자 모두 $B=.488$ 을 얻었다.

λ_1 에 대한 유형 2 탐지기제의 민감도를 측정하기 위하여, 우리는 다양한 자극 $[B\lambda_2, x\lambda_2+y\lambda_1]$ 을 사용하였다. 만일 어떤 기제가 순수하게 λ_1 에만 민감하다면, 즉 λ_2 에 대한 상대적인 민감도가 0 이라면, 이것은 $[B\lambda_2, x\lambda_2+y\lambda_1]$ 에 대하여 아무런 운동도 탐지하지 못할 것이다. 적어도 λ_2 에 부분적이거나 민감한 기제만이 $[B\lambda_2, x\lambda_2+y\lambda_1]$ 에서 운동을 탐지할 수 있다. 만일 운동 방향을 보고하는 확률이 λ_2 의 계수인 x 에만 의존하고, λ_1 의 계수인 y 에는 전혀 관계하지 않는다면, 유형 2 탐지기제는 λ_1 에 대하여 완전히 둔감한 속성을 가지고 있음을 드러내게 된다. 다른 한편으로 만일 운동탐지 확률이 x 에 의하여 달라진다면, 이는 유형 2 탐지기제가 λ_1 에 어느 정도 민감하다는 것을 의미한다. 이는 유형 2 탐지기제가 λ_1 와 λ_2 가 발생시킨 운동을 처리할 수 있음을 뜻한다. 환언하면, 그러한 결과는 일차운동과 이차운동을 단일 운동 처리 기제가 처리할 수 있다는 것을 의미한다.

방법

피험자. 두 명의 피험자가 실험에 참가하였다. 두 피험자 모두 정상 교정시력을 소유하고

있었으며, 정신물리학 실험에 익숙한 사람이었다.

절차. 먼저 관찰자가 $[B\lambda_2, B\lambda_1]$ 과 $[A\lambda_1, A\lambda_2]$ 운동자극의 방향을 탐지확률 .75로 정확하게 판단할 수 있는 A 와 B 의 정도를 측정하였다. 측정된 값을 이용하여 $[B\lambda_2, x\lambda_2+y\lambda_1]$ 을 구성하고 이를 실험에 사용하였다.

결 자극은 8 프레임으로 구성되었고 각 프레임은 4개의 인접한 결로 이루어졌다. 각 자극은 32행과 8열로 이루어졌다. 각 결 요소(texture element)는 1m 거리에서 6.68"이었으며 각 프레임은 3.56° 였다. 본 연구에서는 (0,0)에서 (0,2B)의 범위까지 λ_2 축을 따라서 9개의 관찰지점을 정하였다. 또한 두 개의 추가 선상에서 18개의 관찰 지점을 택하였다. 첫 9개 관찰 지점은 (2A, 0)에서 (0, 2B)까지 변하는 선상에서 선별을 하였고, 다른 9개의 관찰지점은 (0, 2B)에서 (-2A, 0)의 선상에서 선택하였다. 한 관찰 지점에서 최소한 30회 이상의 관찰이 이루어졌다.

피험자는 각 시행에서 중앙에 제시된 초점을 응시하도록 지시를 받았다. 초점이 제시된 후 피험자는 키를 눌러 시행을 시작하였고, 자극제시와 키 입력간의 시간차이는 없었다. 8 프레임의 자극이 제시되고, 오른쪽 또는 왼쪽 방향의 움직임이 보여주었다. 각 프레임은 1/12 초 동안 제시되었으므로 전체 자극은 모두 667ms 동안 제시되었다. 자극이 제시된 후 피험자는 결 분산에 의해 생성된 운동방향을 판단하였고, 이 반응에 대한 피드백이 소리신호로 주어졌다. 다음 시행이 준비되면 또 다른 소리신호로 알려주었다.

모형분석. 본 연구에서 조작된 변인은 짝수 프레임에 생성하는데 사용된 λ_2 의 계수인 x 와

λ_1 의 계수인 y 의 크기였다. ($U+(x\lambda_2+y\lambda_1)$) 결과 ($U-(x\lambda_2+y\lambda_1)$) 결이 만들어낸 T 활성화의 차이 $D_T(x,y)$ 가 클수록 운동을 탐지하기 쉽다고 가정한다. 따라서 운동 강도 $M(x,y)$ 는 $D_T(x,y)$ 의 단조증가(monotonic) 함수이며, [$\hat{B}\lambda_2, x\lambda_2+y\lambda_1$] 자극의 경우 ($U+\hat{B}\lambda_2$)결에서 ($U+(x\lambda_2+y\lambda_1)$)결로의 운동방향을 판단하는 확률 $P(x,y)$ 는 $M(x,y)$ 의 정신물리학 함수로 가정한다. 즉,

$$P(x,y) = \Psi_o(M(x,y))$$

인데, 여기서 Ψ_o 는 분산이 σ 이고, 평균이 0인 누적 가우스 정신물리학 함수(cumulative gaussian psychophysical function)이다. 평균이 0인 경우 $M(x,y) = D_T(x,y) = 0$ 이며, 피험자는 애매한 방향의 운동을 본다고 가정한다.

마지막으로 운동 강도 $M(x,y)$ 는 x 와 y 의 선형함수로 추정될 수 있다고 가정된다.

$$M(x,y) \approx Cx + Dy.$$

이는 다음 함수로 이어진다.

$$P(x,y) \approx \Psi_o(Cx + Dy)$$

이는 다시 다음과 같은 형태로 바뀔 수 있다.

$$P(x,y) \approx \Psi_o(\gamma x + y)$$

위의 함수에서 γ 는 본 연구에서 중요한 모수(parameter)인데, 이 계수는 λ_2 와 비교해서 λ_1 에 대한 상대적 운동탐지 민감도를 나타내준다. $\frac{1}{\gamma}$ 는 한 단위의 λ_1 를 보충하기 위해서 어느 정도의 λ_2 이 필요한지를 나타내준다. 예를 들면 $\gamma=0.5$ 는 한 단위의 λ_1 를 보충하기 위해서 두

단위의 λ_2 이 필요로 함을 의미한다. 만일 $\gamma=0$ 이라면 λ_1 의 손실을 보충할 방법이 없음을 의미한다. 즉 운동 강도가 λ_2 의 영향을 전혀 받지 않음을 뜻한다.

결 과

그림 8에 피험자 JN와 피험자 CC에 대한 자료를 제시했다. 표면 지도(surface map)를 사용하여 정신물리학 함수와 관찰 자료를 동시에 보여 주고 있다. 각 정신물리학 표면 함수는 관찰 지점에서 적어도 30회 이상의 관찰을 통해 얻어진 자료를 바탕으로 계산된 것이다. 여기서 그림 8에 대한 자세한 설명을 하겠는데, 이는 다른 그림에서도 마찬가지로 적용될 것이다.

그래프의 한 지점 (x,y) 는 운동 자극 [$\hat{B}\lambda_2, x\lambda_2+y\lambda_1$]에 대응된다. 여기서 x 는 λ_2 축을 따라 변하고, y 는 λ_1 축을 따라 변한다. 그러므로 $(.1, .8)$ 은 자극 [$\hat{B}\lambda_2, .1\lambda_2 + .8\lambda_1$]을 의미한다. 그리고 $(0,0)$ 인 경우는 자극 [$\hat{B}\lambda_2, 0\lambda_2 + 0\lambda_1$]임을 의미하는데, 이때는 짝수 프레임이 U 결로만 이루어져있기 때문에 운동방향이 없다. 따라서 운동 방향은 우연 수준인 0.5 일 것으로 추정할 수 있다.

그림 8은 정신물리학 표면 함수에 얻어진 관찰 자료가 잘 부응함을 나타낸다. 그리고 정신물리학 표면 함수는 λ_2 축 또는 λ_1 축 어느 쪽도 방향을 같이 하고 있지 않다. λ_2 에 대한 상대적 민감도인 γ 는 -1.2046 이다. 상대적 민감도가 음수라는 것은 낮은 밝기 강도의 결 조각이 높은 대비의 결 조각과 짝짓는 경향이 있음을 의미한다.

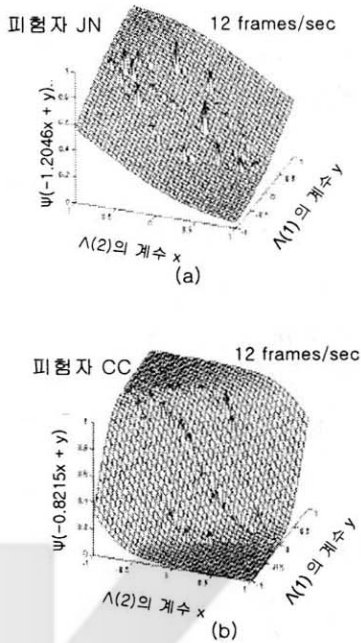


그림 8. 피험자가 $(U + \beta\lambda_2)$ -결에서 $(U + x\lambda_2 + y\lambda_1)$ -결 방향으로 운동을 보인 확률과 정신물리학 표면 함수. 정신물리학 표면 함수는 λ_1 축이나 λ_2 축 어느 방향으로도 편향되지 않아 두 축 모두의 영향을 비슷하게 받는 것으로 보인다.

피험자 CC의 자료는 피험자 JN의 자료와 유사한 패턴을 보이고 있다. 정신물리학 표면 함수 또한 λ_2 축 또는 λ_1 축 어느 쪽도 방향을 같이 하고 있지 않다. 상대적 민감도 γ 는 $-.8215$ 이다.

논 의

유형 2 탐지기제의 λ_1 에 대한 상대적 민감도를 측정한 결과, 두 피험자가 1에 가까운 (JN은 -1.2 , CC는 -0.8) 수치를 보이고 있다. 피험자 JN과 CC가 λ_2 가 생성하는 운동을 탐지하려고할

때, 유형 2 탐지기제는 λ_2 와 $-\lambda_1$ 모두에 비슷하게 민감함을 의미하는 것이다. 이 결과는 일차운동과 이차운동이 단일 기제에 의해 처리됨을 시사하는 것이다. 환언하면, 유형 2 탐지기제가 단독으로 λ_2 로 정의된 운동과 λ_1 로 정의된 운동 모두를 감지한다는 것이다.

일차운동 시스템과 이차운동 시스템이 별개로 존재하는지에 대하여 일차운동과 이차운동 자극을 프레임 사이에 번갈아 제시하는 방법이 도입한 연구가 있다(Mather & West, 1993; Ledgeway & Smith, 1994). 이들의 결과는 다중 기제를 지지한 것이었으며, 더욱이 Ledgeway & Smith(1994)는 “각 기제는 다른유의 운동에 민감하지 않음”을 보고하였다.

이에 반해 본 연구는 자극 $[\lambda_2, \lambda_1]$ 이 분명한 운동을 보임을 관찰하였고, 실험 1에서 자극 $[\beta\lambda_2, x\lambda_2 + y\lambda_1]$ 는 일관된 운동 방향을 생성하였다. 이에 대하여 Ledgeway & Smith(1994)는 2.8 min^2 로 이루어진 자극을 사용하여, 본 연구와의 차이를 보인 것일 가능성도 있다. 압축적 비선형 변형 처리과정이 일차운동과 이차운동을 둘 다 처리하는 유일한 변형 처리과정이라고 추정할 수 있다(MacLeod & He, 1993).

실 험 2

여기서는 유형 1 탐지기제의 λ_2 에 대한 상대적 민감도를 측정한다. 만일 일차운동과 이차운동을 둘 다 처리하는 단일 탐지기제가 있다면, 이 기제의 λ_2 에 대한 상대적 민감도는 실험 1에서 얻어진 것과 동일할 것이다. 그러나 유형 1 탐지기제가 유형 2 탐지기제와는 구별된다면, 이 기제의 λ_2 에 대한 상대적 민감도는 실험 1에서

언어진 것과 다를 것이다.

실험 2에서는 실험 1에서 사용된 자극에서 λ_2 와 λ_1 의 역할을 바꾸어 운동자극을 구성하였다. 상세하게 설명하면, λ_2 에 대한 유형 1 탐지기제의 민감도를 측정하기 위하여 다양한 $[A\lambda_1, x\lambda_2 + y\lambda_1]$ 자극을 사용하였다. 여기서 A 는 $[A\lambda_1, A\lambda_1]$ 자극의 운동방향을 역 수준인 .75 정도의 정확성을 가지고 판단할 수 있는 히스토그램 강도를 의미한다. 실험을 통하여 얻어진 값 .157을 \hat{A} 로 사용하였다. 만일 운동방향을 보고하는 정확확률이 오로지 y 에만 의존하고, x 에는 독립적이라면, 이 기제의 λ_2 에 대한 상대적 민감도는 0에 가까울 것이다. 그렇지 않다면, 유형 1 탐지기제 또한 λ_2 에 어느 정도 민감하다고 결론 지을 수 있을 것이다.

실험 2에서 유형 1 탐지기제가 λ_2 에 민감하면, 실험 1에서 관찰된 유형 2 탐지기제와 동일할 가능성이 있다. 이 경우 유형 1 탐지기제의 λ_2 에 대한 상대적 민감도는 실험 1에서 얻은 유형 2 탐지기제의 상대적 민감도와 비교해야 할 필요가 있다. 그러므로 유형 1 탐지기제의 민감도가 -1.0에 가까운 값을 가지게 된다면 단일 기제라는 결론을 내릴 수 있게 되며, 그렇지 않은 경우, 둘 이상의 기제가 존재한다는 결론을 내릴 것이다.

방법

피험자. 실험 1에 참가한 동일한 피험자가 실험 2에도 참가하였다.

결과

피험자 JN과 피험자 CC의 자료가 그림 9에

제시되었다. 실험 1의 결과제시 방식과 동일하게 표면 함수로써 실제 자료와 함께 정신물리학 함수를 표현하였다. 이 그림에서 정신물리학 표면 함수의 주축은 λ_1 축과 매우 유사함을 알 수 있다. λ_2 에 대한 상대적 민감도는 -.1071이었다. 이것이 의미하는 바는 λ_1 의 계수인 y 가 미미하게 감소한다면, $-\lambda_2$ 는 거의 10배에 가깝게 보충을 해 주어야만 y 가 감소하기 전과 동일한 수준의 운동지각을 할 수 있다는 것이다. 피험자 CC의 경우 λ_2 에 대한 상대적 민감도는 -.31

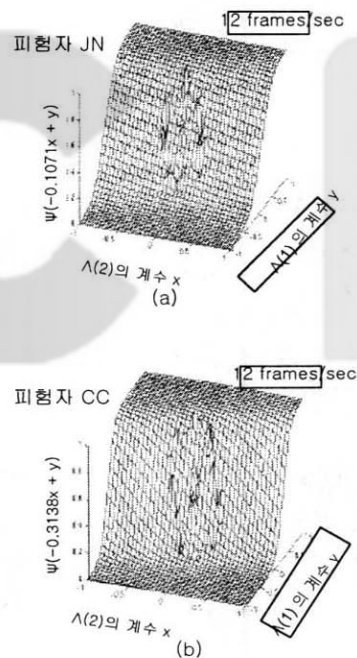


그림 9. 피험자가 $(U + A\lambda_1)$ -결에서 $(U + x\lambda_2 + y\lambda_1)$ -결 방향으로 운동을 보고한 확률과 정신물리학 표면 함수. 정신물리학 표면 함수는 축으로 편향되어 있으며, 이는 주로 λ_1 축의 영향을 받는 것으로 보인다.

이었다. CC의 경우 JN의 경우보다 유형 1 탐지기제가 λ_2 에 더 많은 영향을 받는다는 것을 의미한다.

논 의

유형 1 탐지기제의 λ_2 에 대한 민감도를 측정하였다. 두 피험자 모두 실험 1에서 얻어진 민감도와 비교해서 상당히 낮은 수치를 보이고 있다. JN의 경우 실험 1의 결과는 -1.2인데 반해서 실험 2에서는 -.1을 보이고 있다. CC의 경우 실험 1의 결과는 -.82인데 반해서 실험 2에서는 -.31을 보이고 있다. 이는 결 운동자극의 운동방향 탐지에 복수 기제가 관여하고 있음을 시사한다.

단일기제라는 가설에 대하여 실험 1과 2의 자료를 근거로 최대우도 검증(maximal likelihood test)을 실시하였다. 이 검증을 위하여 제한모형(constrained model)과 무제한모형(unconstrained model)의 두 가지 모형을 제시하였다. 무제한모형은

$$P \begin{matrix} \blacksquare \\ \blacksquare \\ \blacksquare \\ \blacksquare \end{matrix} \begin{matrix} \text{자극} [\hat{B}\lambda_2, x\lambda_2 + y\lambda_1] \\ \text{의 방향을 정확히 보고} \end{matrix} \begin{matrix} \blacksquare \\ \blacksquare \\ \blacksquare \\ \blacksquare \end{matrix} = \Psi_{\sigma_1}(\gamma_1 x + y)$$

와

$$P \begin{matrix} \blacksquare \\ \blacksquare \\ \blacksquare \\ \blacksquare \end{matrix} \begin{matrix} \text{자극} [\hat{A}\lambda_1, x\lambda_2 + y\lambda_1] \\ \text{의 방향을 정확히 보고} \end{matrix} \begin{matrix} \blacksquare \\ \blacksquare \\ \blacksquare \\ \blacksquare \end{matrix} = \Psi_{\sigma_2}(\gamma_2 x + y)$$

이다.

제한모형은 제한모형과 동일하나 $\gamma_1 = \gamma_2$ 을 가정한다.

무제한모형과 제한모형의 최대우도를 각각 Λ_U 와 Λ_C 라고 하자. 그러면 제한모형에 의해

서 자료가 설명될 수 있다고 가정한다면, 통계치 $-2 \ln \left[\frac{\Lambda_C}{\Lambda_U} \right]$ 는 무제한모형과 제한모형의 자유도의 차이인 1의 자유도를 가지는 $\chi^2_{(1)}$ 분포를 따른다(Hoel, Port, & Stone, 1971). 최대우도 검증에 따라 상대적 민감도 γ_1 과 γ_2 가 동일하다는 영가설은 기각되었다. 피험자 CC의 경우 $\chi^2_{(1)} = 29.25$, $p < .005$; 피험자 JN의 경우 $\chi^2_{(1)} = 39.46$, $p < .005$.

실험 1과 2를 통하여 λ_2 로 정의된 운동자극과 λ_1 로 정의된 운동자극은 별개의 기제에 의해서 처리된다는 결론을 내릴 수 있다.

종합논의

본 연구에서 결 운동자극을 다양한 결 밝기와 결 대비를 사용하여 일차운동과 이차운동탐지 각각에 대하여 별개의 운동탐지 기제가 존재함을 밝혔다. 압축적 변형과정이 결로 정의된 운동자극을 처리하는데 관여하고, 또 이러한 시스템이 일차운동과 이차운동 모두를 탐지할 가능성이 있음을 제안하기는 했으나, 연구 결과 별개의 구분되는 기제가 존재한다는 결론을 내릴 수 있었다.

주요 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 결로 정의한 운동탐지에는 적어도 두 개의 기제가 관여하고 있다. 둘째, 유형 1 탐지기제는 결 밝기에 주로 민감하다. 이에 비해서 유형 2 탐지기제는 결 밝기와 결 대비 모두에 유사한 정도로 예민하다. 따라서 유형 2 탐지기제는 일차운동과 이차운동 모두에 민감한 것으로 해석된다. 그러나 오직 이차운동 자극에만 민감한 운동 탐지기제는 존재하지 않는 것으로 보인다.

본 연구는 운동자극을 구성함에 있어서 자극

의 공간빈도(spatial frequency)와 시간빈도(temporal frequency)를 하나씩 사용함으로써, 밝혀진 기제들이 두 차원 상의 변화에 어떤 반응을 보이는지에 대해서는 밝혀 내지를 못했다. 그러므로 두 가지 기제가 특정의 공간빈도나 시간빈도에서 단일기제로서의 특성을 보일 가능성도 배제하지는 못한다.

후속연구에서는 본 연구결과를 바탕으로 유형 1 탐지기제와 유형 2 탐지기제가 자극의 제시 속도, 즉 운동속도에 어떤 반응 변화를 보이는지, 결 요소의 크기(size of texture element)나 장면의 빈도(cycle per display)를 변화하였을 경우, 상대적으로 더 민감하게 영향을 받는 기제는 어떤 것인지에 대한 문제 등 탐지기제의 속성에 대한 연구가 뒤따라야할 필요성이 있다.

참고문헌

- 남종호 (1999). 평균밝기와 대비성의 차원으로 구성된 결 공간에서 결 분리에 작용하는 두 가지 기제. *인지과학*, 10, v3, 39-49.
- 남종호 (2000). 부적 반정류 과정에 의한 결 경계 탐지. *한국심리학회지: 실험 및 인지*, 12, 153-165.
- Cavanagh, P. & Mather, G. (1989). Motion: the long and short of it. *Spatial Vision*, 4, 103-129.
- Chubb, C. F. & Sperling, G. (1988). Drift-balanced random stimuli: A general basis for studying non-Fourier motion perception. *Journal of Optical Society of America A*, 5(11), 1986-2007.
- Chubb, C. F. & Sperling, G. (1989). Two motion perception mechanisms revealed through distance-driven reversal of apparent motion. *Proceedings of the National Academy of Science U.S.A.*, 86, 2985-2989.
- Chubb, C. F., Econopouly, J., & Landy, M. (1994). Histogram contrast analysis and the visual segregation of IID textures. *Journal of Optical Society of America A*, 11, 2350-2374.
- Chubb, C. F., & Nam J-H. (2000). Variance of high contrast textures is sensed using negative half-wave rectification. *Vision Research*, 40, 1677-1694.
- Johnston, A. & Clifford, C. W. G. (1997). Perceived motion of contrast-modulated gratings. *Vision Research*, 35, 1771-1783.
- Kim, J. & Wilson, H. R. (1993). Dependence of plaid motion coherence on component grating directions. *Vision Research*, 33, 2479-2489.
- Julesz, B. (1975). Experiments in the visual perception of texture. *Scientific American*, 232, 34-43.
- Ledgeway, T. & Smith, A. (1994). Evidence for Separate Motion-detecting Mechanisms for First- and Second-order Motion in Human Vision. *Vision Research*, 34, 2727-2740.
- MacLeod, D. I. & He, S. (1993). Visible flicker from invisible patterns. *Nature*, 361, 256-258.
- Mather, G. & West, S. (1993). Evidence for Second-Order Motion Detectors. *Vision Research*, 33, 1109-1112.
- Nam, J-H. & Chubb, C. F. (2000). Texture luminance judgments are approximately veridical. *Vision Research*, 40, 1695-1709.
- Taub, E., Victor, J. D., & Conte, M. M. (1997). Nonlinear preprocessing in short-range motion. *Vision Research*, 37, 1459-1477.
- Watson, A. B., Ahumada, A. J. & Farrell, J. E. (1986). Window of visibility: a psychophysical

theory of fidelity in time-sampled visual motion
displays. Journal of Optical Society of America
A, 3(3), 300-307.

1 차 원고 접수 : 2003. 11. 6

2 차 원고 접수 : 2003. 12. 17

최종 게재 결정 : 2003. 12. 19

K C I

Investigating properties of two mechanisms for 1st- and 2nd-order motion stimuli

Jong-Ho Nam

Department of Psychology, Catholic University of Korea

It was determined whether motion defined by texture luminance (1st-order) and motion defined by texture contrast (2nd-order) are processed by the same mechanism. Findings of MacLeod & He (1993) raised the possibility that a single mechanism with a compressive nonlinear transformation may process 1st-order and 2nd-order motion simultaneously. A stimulus pattern was designed such that the (hypothetical) 1st-order or the (hypothetical) 2nd-order mechanism is supposed to be active exclusively. It is hypothesized that if the measured sensitivities are identical on different motion stimulus pattern, the two (hypothetical) mechanisms are identical; i.e., a single mechanism processes 1st- and 2nd-order motion simultaneously. Results obtained here make it clear that distinct 1st- and 2nd-order mechanisms exist in human vision.

Keywords 1st-order motion, 2nd-order motion, nonlinear transformation