

## 과밀 효과와 양안 경합의 이심률별 상관관계\*

김 상 래<sup>1</sup>

정 상 철<sup>1,2†</sup>

<sup>1</sup>연세대학교 인지과학협동과정

<sup>2</sup>연세대학교 심리학과

과밀 효과란, 목표 자극의 주위에 다른 방해 자극들을 제시함으로써 목표 자극의 지각 경험을 방해하는 것이다. 양안 경합은 양 눈에 다른 형태의 자극을 제시했을 때, 겹쳐져서 보이거나 하지 않고, 의식 내에서 교대로 보이게 되는 현상이다. 이 두 현상의 상관관계를 측정하기 위해 실험을 수행하였다. 이심률을 독립변수로 하여 이심률마다 여덟 개의 위치에서 두 가지의 효과를 측정하였고, 이심률 2°에서 정적 상관관계가 있다는 것을 관찰하였다. 본 연구는 그간 소홀히 하였던 과밀 효과와 양안 경합의 관계에 대해 체계적으로 본격적으로 분석한 연구이며, 의식의 측정치로서의 과밀 효과와 양안 경합에 대해 규명할 수 있는 발판을 제공하였다.

주제어 : 과밀 효과, 양안 경합, 상관관계

---

\* 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.20090058713).

†교신저자: 정상철, 연세대학교 인지과학 협동과정, 심리학과, 연구세부분야: 인지심리

E-mail: scchong@yonsei.ac.kr

인간의 시각은 중심부와 주변부의 정밀도에 있어서 큰 차이를 보인다. 시각장  $0\sim 2^\circ$  사이의 매우 작은 영역은 해부학적으로 망막의 중심부를 차지하는 중심와가 위치하고 있으며, 대부분 추상체로만 이루어져 있어 정밀한 시각을 이용한 관측을 가능하게 한다. 이에 반해  $2^\circ$  바깥의 넓은 주변 영역은 중심와보다 상당히 떨어지는 정밀도를 가지고 있다. 낮은 정밀도를 가진 주변부로는 정밀한 탐색이 어렵기 때문에, 인간의 시각 체계는 이 영역 안에 어떤 자극이 제시되면 시선을 곧바로 이동해 목표 자극의 상을 중심와 영역으로 옮긴다.

주변부 시각의 특징을 관측하고 싶다면 이 안구운동을 억제하고 주변부에 제시되는 자극을 관찰하도록 지시하면 된다. 실제로 이렇게 해서 여러 실험이 시행되었고, 주변부 시각의 특징을 효과적으로 밝혀내었다[1-4]. 이 가운데 많이 알려진 것이 과밀 효과에 관한 실험인데[5-8], 목표 자극의 주위에 다른 방해 자극들을 제시함으로써 지각을 방해하는 효과를 말한다. 과밀 효과는 주변부에서 크게 발생하며, 중심부에서는 거의 발생하지 않거나[9], 매우 정밀한 측정을 통해서만 작게 발견할 수 있을 뿐이다[10,11].

Hess와 그 동료들[5]은 중심부와 주변부의 과밀 효과 차이는 생리학적인 이유가 아니라, 자극의 물리적 성질, 특히 결정적인 영향을 주는 공간주파수의 분포에 따라 결정되는 것이라고 하였다. 이 연구는 많은 반박을 받았는데, 특히 Levi와 그 동료들은 동일한 공간주파수 분포를 가지는, 중심부에 제시된 자극이 조건에 따라서도 다른 과밀 효과를 보일 수 있음을 밝혀내어 Hess의 결론을 반박하였다. 특히 이들은 중심와의 과밀 효과 역치 증가량이 차폐 효과의 그것과 비슷한 양상을 보인다는 것을 발견하고, 주변부의 과밀 효과와는 다르게 중심부의 과밀 효과는 주변 자극에 의한 차폐 효과라고 주장하였다[6,7].

이렇게 중심부와 주변부의 질적 차이가 과밀 효과의 차이를 발생시킨다는 관점이 있는 반면, 과밀 효과의 차이는 순전히 양적 차이, 특히 이심률과 결정적 간격(critical spacing)이라는 두 가지의 변수에 의해 결정된다는 것을 주장한 연구도 있다[8]. 결정적 간격이란, 과밀 효과가 관측되기 위해 필요한 목표 자극과 방해 자극 사이의 최대 간격이며, 그것보다도 더 크면 과밀 효과가 발생하지 않는다. Bouma의 연구[2,12]에 의하면, 결정적 간격은 이심률에 비례한다. 이심률이 0이거나 매우 작은 중심부에서는 결정적 간격 자체도 0에 수렴하기 때문에, 목표 자극과 방해

자극을 매우 가까이 붙여 놓아야 겨우 과밀 효과가 관측될 수 있을 뿐이며, 이심률이 큰 주변부에서는 이심률에 비례하여 결정적 간격도 커지기 때문에 과밀 효과가 쉽게 발생한다는 것이다.

양안 경합은 양 눈에 다른 형태의 자극을 제시했을 때, 겹쳐져서 보이거나 하지 않고, 의식 내에서 교대로 보이게 되는 현상이다. 변화하는 의식의 상태는 간단하게 실험참가자의 행동 반응만으로도 측정할 수 있다[13,14]. 그 방법은, 변화하는 양안 경합의 지각을 관찰자로 하여금 키보드 반응으로 추적하도록 하는 것이다. 또한, EEG[15], MEG[16], fMRI[17,18]와 같은 뇌 영상 측정 도구를 이용하여 뇌의 상태를 나타내는 수치로 측정할 수도 있다.

중심부와 주변부의 차이는 양안 경합에서도 관측할 수 있다. Blake와 그 동료들 [1]은 이심률에 따른 독점적 지각 비율(total exclusive visibility)을 구하였다. 독점적 지각 비율이란, 양안 경합 시에 두 자극이 섞여 보이지 않고, 어느 한 쪽으로만 완전히 보이는 기간의 비율을 말한다. 동일한 크기 자극의 경우, 독점적 지각 비율은 이심률이 커짐에 따라 증가하였다. 즉, 중심부와 주변부에 동일한 크기의 양안 경합 자극을 제시하면 주변부에서 더 빈번하게 섞이지 않은 완전한 상을 쉽게 관측할 수 있다. 다르게 말하면, 주변부에 제시되는 자극을 적당히 크게 한다면 중심부와 동일한 수준으로 독점적 지각 비율을 맞춰줄 수 있을 것이다.

과밀 효과와 양안 경합, 이 두 가지 중 어느 하나의 방법만을 사용하는 실험이 시각장에 대한 각각의 의미 있는 사실들을 말해줄 수 있음은 틀림이 없다. 하지만, 그것들의 관계에 대해서는 말해주는 바가 없다. 지금까지의 많은 연구들이 이러한 관점에 대해 소홀히 했으며, 본 연구는 이를 본격적으로 조사하는 연구였다. 서로 다른 두 가지의 행동측정치가 어떤 관계를 갖지 않는다고 밝혀지면, 단일한 메커니즘으로서의 시각 능력에 대해 논의를 하기 어려운 상황에 처한다. 물론 관계가 없다고 해서 그것이 서로 다른 기제를 가지고 있다고 말하기는 어렵다. 단일한 기제의 두 현상도 얼마든지 관계가 없는 결과로 나올 수 있기 때문이다. 하지만, 상호간의 유의미한 관계가 발견된다면 우리는 단일한 시각 기체에 대한 증거를 얻게 되고, 시각의 기체는 단일적이지 않다는 주장에 대한 반론을 제시할 수 있다. 이 때문에 방법들 간의 관계를 보는 연구는 매우 중요하다.

단일한 메커니즘으로서의 과밀 효과와 양안 경합을 말하기 위한 근거는 수용장

(receptive field) 연구를 통해 찾을 수 있다. 과밀 효과는 통합장(integration field)라고 불리는, 초기 단계의 세부특징을 결합하는 2차 수용장으로 설명할 수 있다[19]. 1차 수용장에서 만들어진 세부특징들이 통합장을 통해 강제로 결합되어 물체 시각에 실패하는 과정이 바로 과밀 현상이라는 것이다. 양안 경합 또한 수용장 사이에 흥분성 영향력이 작용하여 독점적 시각을 만든다는 이론으로 설명할 수 있다 [1,20]. 수용장을 기반으로 하는 신경 기체의 설명은 단일한 메커니즘으로서의 시각 능력에 대한 두 가지의 서로 다른 현상인 과밀 효과와 양안 경합이 서로 간에 특별한 관계를 가질 수 있다는 가설의 이론적 배경이 된다.

통계적인 기법으로 처리할 수 있는 관계들이 여러 가지가 있을 수 있지만, 우선 주목할 만한 것으로 상관관계를 들 수 있다. 만약 수치상으로 상관관계가 발견된다면, 인간의 시각은 행동실험 패러다임의 종류에 무관한 통일적인 기체라는 것, 그리고 방법들은 내재한 기체로서의 시각의 능력을 측정하는 상이한 도구에 불과하다는 것을 말해 준다. 본 연구는 두 가지 방법이 시각장에서 어떻게 상관을 갖는지를 연구한 것이며, 중심와에서의 주변부까지의 이심률을 독립변수로 하는 상관관계의 변화를 관찰하였다. 이심률의 수준은 2°, 5°, 10° 세 가지였는데, 2°는 중심와와 부중심와(parafovea) 사이의 구간이며, 중심와의 특성을 가지고 있으면서도 과밀 효과를 관찰할 수 있는 구간이라 선택하였다. 중심와를 직접 선택하지 않은 이유는, 그곳에서의 과밀 효과는 미약하여 관찰하기 어렵기 때문이다.

과밀 효과를 측정하는 방법은 다음을 이용하였다. 우선, 과밀 자극이 없는 조건(비과밀 조건)과 과밀 자극이 존재하는 조건(과밀 조건)에서 자극 크기의 역치를 모두 구한 후, 비과밀 조건의 역치에서 과밀 조건의 역치를 나누어 주었다. 비과밀 조건의 역치를 고려한 이유는 이심률마다 다른 해상력을 보정해 주기 위해서였다. 이 값을 통해 우리는 해상력의 요인이 제거된 순수한 과밀 효과를 관찰할 수 있었다.

양안 경합의 효과를 측정하는 방법은 다음과 같다. 독점적 시각 비율에 따라 크기가 적절히 조절된 양안 경합 자극 중 어느 한 쪽의 자극에 주의를 집중하게 한 후에, 그 자극이 보일 때마다 키보드를 통해 추적하게 하였다. 그 후 전체 실험 기간에 목표 자극을 지각한 기간의 비율을 척도로 정하였다. 과밀 효과의 척도와 양안 경합의 척도는 이심률 별로 구분되었고, 후에 통계적 처리를 통해 상관관계가 있는지를 조사하였다.

## 실험방법

### 관찰자

첫 저자가 포함된 네 명의 관찰자가 실험에 참여하였다. 모두 정상 시력 또는 교정된 정상 시력을 가졌다. 첫 저자를 제외한 모든 관찰자가 실험의 목적을 모른 채 실험을 수행하였다. 모든 실험은 연세대학교 학과 연구심의위원회의 규정을 준수하였다.

### 장비와 실험자극

32bit 색품질과 85Hz의 화면 재생 빈도를 가진 21인치 1600×1200 해상도의 삼성

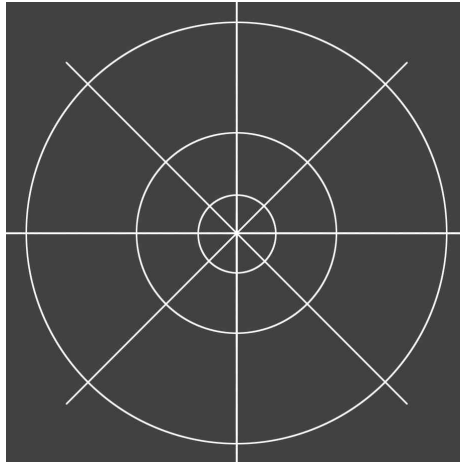


그림 1. 시각장에서 자극이 제시된 위치.

그림의 가운데 점은 십자 응시점이 제시되는 중심좌이고, 관찰자에게 응시점을 바라보며 망막의 주변부에 제시되는 자극을 보도록 하였다. 원은 중심좌로부터 각각 2°, 5°, 10° 떨어진 위치를 나타내며, 여덟 개의 선은 여덟 가지의 방위를 나타낸다. 시각장 안의 총 24개의 위치(원과 선이 교차하는 지점)에서 자극이 제시되었다. 실제 실험에서는 원과 선분이 제시되지 않았다.

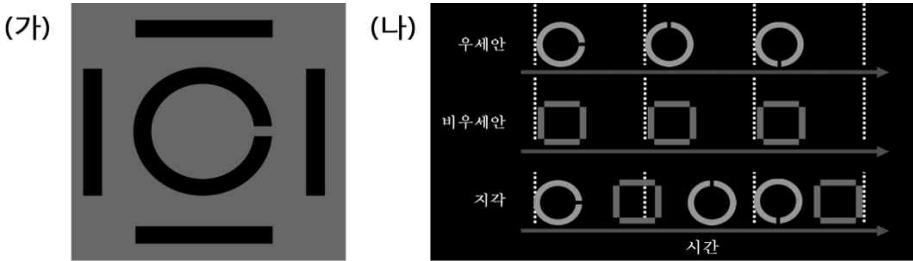


그림 2. (가) 과밀 자극으로 둘러싸인 Landolt C. 관찰자의 과제는 짧은 시간 동안 제시되는 Landolt C의 방위를 맞추는 것이었다. 이때 과밀 자극은 과밀 효과를 일으켜 Landolt C의 방위를 맞추는 데 방해 요인으로 작용하게 된다. (나) 우세안(위 그림)에 Landolt C가 제시되고, 비우세안(중간 그림)에는 방해 자극이 동시에 제시된 양안 경합 실험. 우세안에 제시되는 Landolt C의 방위는 1초(점선부터 다음 점선까지)에 한 번씩 70% 확률로 무선적으로 바뀌게 된다. 적록 안경을 착용한 실험참가자는 양 눈에 다른 색으로 제시된 자극을 번갈아 가면서 보기 때문에, 맨 아래 그림과 같은 형태로 자극을 지각하게 되며, 그림처럼 방해 자극이 지각되는 구간에서는 Landolt C의 방위를 판별할 수 없게 된다.

Syncmaster CN21MS 모니터에 자극이 제시되었다. 관찰자로부터 모니터까지의 거리는 50cm이었으며, 따라서 픽셀 하나당 시각은  $0.031^\circ$ 가 되었다. 자극은 MATLAB과 Psychophysics Toolbox[21,22]로 제작되었다. 시각장 내의 24개의 위치(3 단계의 이심률  $\times$  8 가지의 방위, 그림 1)에서 과밀 효과와 양안 경합의 효과를 측정 한 후 이 심률 별로 상관관계를 구하였다. 과밀 효과 실험과 양안 경합 실험 모두 Landolt C를 자극으로 사용하였다(그림 2). 이 자극은 반지 모양의 얇은 동심원에 네 방향 중 어느 한 쪽(위, 아래, 왼쪽, 오른쪽)으로 구멍이 뚫린 형태였다. Landolt C의 반지름은 실험 과정에 따라 달라질 수 있었지만, Landolt C의 반지름에 대한 두께의 비율(반지름의 25%)과 구멍 크기의 비율(반지름의 15%)은 항상 일정하였다.

#### 실험 설계: 과밀 효과

관찰자의 과제는 모니터 중앙에 제시되는 십자 응시점을 바라본 상태에서, 짧게 제시되는 Landolt C의 방위를 키보드로 보고하는 것이었다. 자극은 어두운 회색 바

탕( $29 \text{ cd/m}^2$ )에 검은색( $0.5 \text{ cd/m}^2$ )으로 제시되었다(그림 2-가). Landolt C의 방위는 언제나 무선적으로 제시되었다. 실험의 주된 목적은 관찰자가 일정한 정도로 방위를 보고할 수 있는 자극의 크기(역치)를 측정하는 것으로, 그 방법은 수행의 정도에 따라 자극의 크기가 달라지는 계단법(staircase procedure)을 사용하였다. 50% 적중률의 역치를 측정하기 위해 1-up 1-down 방법을 사용하였다[23]. 관찰자가 Landolt C 자극의 방위를 맞추면 자극의 지름이 10% 감소하였고, 틀리면 10% 증가하여서, 관찰자는 맞추면 점점 더 작아지는 자극 크기 때문에 방위를 맞추기가 점점 어려워지며, 틀리면 자극이 커져 방위 맞추기가 수월해진다. 이렇게 자극의 크기가 오르내려서 17번의 반전점(reversal point)이 생기면 하나의 역치를 얻기 위한 회기가 완료되었다. 역치의 정의는 마지막 네 번의 반전점에서 자극 크기의 평균으로 하였다. 이 역치가 의미하는 바는, 만약 이 크기로 자극을 제시했을 때 관찰자가 50% 확률로 Landolt C의 방위를 맞출 수 있다는 것이다. 관찰자가 다음 시행의 크기에 대한 예측을 방지하기 위해, 모든 계단법은 역치를 얻기 위한 시행 두 개를 묶어 교대로 제시하여서 한 회기당 두 개의 역치를 얻도록 설계하였다.

피험자 내 변인으로 과밀 조건과 비과밀 조건이 있었다. 비과밀 조건은 Landolt C만을 단독으로 제시한 것이고, 과밀 조건은 Landolt C의 사방에 과밀 막대(crowding bar)를 제시하여 과밀 효과가 발생하도록 한 것이다(그림 2-가). 과밀 막대의 두께는 Landolt C 지름의 25%였고 길이는 Landolt C 지름과 같았다. Landolt C와 과밀 막대는 Landolt C의 두께의 두 배 거리만큼 떨어져 있었다.

자극의 역치는 시각장 내의 3개의 이심률(중심와로부터  $2^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $10^\circ$  떨어진 거리), 8개의 방위( $45^\circ$  간격), 총 24개의 위치에서 각각 측정되었다(그림 1). 한 위치당 각 조건(비과밀 조건과 과밀 조건) 별로 6개의 역치를 얻기 위해 3번의 회기를 시행하여서, 한 관찰자당 총 144번의 회기를 시행하였다.

#### 실험 절차: 과밀 효과

실험을 시작하기 전에 관찰자는 암실에서 5분 동안 암순응을 하였다. 한 회기 시작 직전에 흰 십자 응시점이 모니터 중앙에 나타나면서 실험의 시작을 알리며, 이번 회기에서 자극이 제시될 위치에 빨간 십자가가 잠시 나타나 관찰자가 자극

제시 위치를 알고 실험의 시작을 대비할 수 있게 하였다. 관찰자는 흰 십자 응시점을 바라본 상태에서 빨간 십자가가 나타났던 위치에 주의를 집중해 Landolt C의 방위를 맞추라는 지시를 받았다. Landolt C 자극은 50ms 동안 짧게 제시되었고, 관찰자가 키보드로 반응을 입력하고 1~2초 동안의 무선적인 공백 후에 다시 자극이 제시되었다.

#### 실험 설계: 양안 경합

양안 경합 실험은 각 눈에 다른 자극을 보여주기 위하여 적록안경을 이용하였다. 모니터에 다른 색의 자극을 동일한 위치에 제시하고 관찰자가 적록안경을 통해 보면 양 눈에 각각 다른 색으로 제시된 자극이 교대로 보이게 되며, 양안 경합의 상황이 만들어지게 된다. 실험 전에 각 관찰자에게 Porta 검사(엄지손가락으로 멀리 떨어진 어떤 물체를 겹치게 한 후 눈을 번갈아 감아서 겹쳐져 보이는 쪽이 어느 쪽인지 측정하는 방법)[24,25]나 Miles 검사(엄지손가락 대신 손가락으로 고리를 만들어 측정하는 방법)[26]를 이용해 우세안을 결정하도록 하였다. 우세안에는 Landolt C가 제시되고 비우세안에는 Landolt C의 방위를 잘 가릴 수 있도록 설계된 방해자극이 제시되었으며, 방해자극은 양안 경합 시에 Landolt C의 방위를 잘 지각하지 못하게 만드는 역할을 하였다(그림 2-나). Landolt C의 크기는 Blake와 그의 동료들[1]이 측정 한 50%의 독점적 지각 비율(total exclusive visibility)에 따라 정했으며, Landolt C의 지름 크기는 이심률 2°에서 1.9°, 이심률 5°에서 4.1°, 이심률 10°에서 7.8°이었다.

#### 실험 절차: 양안 경합

각 시행 전에 과밀 효과의 실험과 동일하게, 흰색 십자 응시점이 눈을 고정하게 할 위치에 제시되었다. 양 눈의 이미지가 잘 융합되게 하기 위하여 십자가가 응시점의 위와 아래에 십자 응시점과 동일한 길이의 세로 보조선을 제시하였다. 이 보조선은 적록안경을 통해 보면 각각 한쪽 눈에만 지각되어서 관찰자가 직접 정렬상태를 확인하여 양 눈의 융합을 도와주는 자극이었다. 실험 시작 전 회색 십자가가 자극이 제시될 위치에 나타났다가 사라지면서 시각장에서 자극이 앞으로 나오게



될 위치를 지시하였다. 과밀 효과 실험과 마찬가지로 총 24개 위치의 시각장에서 자극을 제시했으므로, 24번의 회기가 필요하였다. 한 회기당 95초가 걸렸으며, Landolt C의 방위는 70%의 확률로(즉, 65번) 1초에 한 번씩 바뀌었다. 급격한 변화가 양안 경합 양상에 영향을 끼치는 것을 방지하기 위해 자극의 변화가 서서히 일어나도록(250ms 동안 먼저 제시된 Landolt C는 서서히 사라지고, 곧 제시될 Landolt C는 서서히 나타나도록, 그리고 이 두 과정이 겹쳐져서 동시에 일어나도록) 하였다. 이에 비해 반대쪽 눈에 제시되는 방해 자극은 변화없이 동일한 모양으로 계속해서 모니터에 제시되었다. 관찰자의 과제는 지각되는 Landolt C 방위의 변화를 계속 추적하여 각 방위에 맞는 키보드를 계속 누르고 있는 것이었다. Landolt C의 방위가 보이지 않았을 때에는 손가락을 키보드에서 떼도록 지시받았다. 관찰자는 양눈의 자극을 번갈아가며 보게 되며, 만약 방해 자극을 보는 구간이라면 Landolt C의 방위를 판별할 수 없게 되기 때문에 키보드에서 손을 떼어야 했다. 목표가 되는 Landolt C 자극은 항상 우세안에 제시되었다.

## 결 과

과밀 효과가 실제로 발생했는지를 검증하기 위해 2(과밀 자극 대 비과밀 자극) × 3(이심률: 2°, 5°, 10°) × 8(방위)의 삼원 분산분석을 수행하였다. 과밀 자극 대 비과밀 자극에서의 주효과( $F(1,6)=511.351, p<0.01$ ), 이심률에서의 주효과( $F(2,9)=141.657, p<0.01$ ), 방위에서의 주효과( $F(7,24)=14.816, p<0.01$ )가 모두 발견되었다. 과밀 자극 대 비과밀 자극의 주효과, 다시 말해서 과밀 자극의 역치(1.22°)가 비과밀 자극의 역치(0.92°)보다 유의미하게 높았다는 사실은 본 실험의 과밀 효과 조작이 성공했음을 의미한다. 이심률의 주효과는 이심률이 증가할수록 역치가 높아졌다는 것을 말한다(이심률 2°에서 0.66°, 이심률 5°에서 0.99°, 이심률 10°에서 1.55°). 이는 주변부로 갈수록 해상도가 낮아져서, 점점 더 큰 자극을 제시해야만 피험자들이 동일한 정도의 수행을 할 수 있었음을 시사한다. 또한, 과밀 자극 대 비과밀 자극과 이심률에서의 상호작용 효과가 발견되었으며( $F(2,18)=20.058, p<0.01$ ), 이는 이심률이 증가할수록 과밀 자극과 비과밀 자극의 역치 차이가 점점 증가하였다는 것을

뜻한다(그림 3). 주변부로 갈수록 과밀 효과가 커지는 경향성은 사전 연구 결과와도 일치한다[6-8,11].

과밀 자극이 들어 있지 않은 비과밀 자극의 역치를 자극 제시 위치별로 그림 4에 제시하였는데, 이것은 시각 해상도(visual resolution)를 나타내는 중요한 척도가 된다. 단순한 Landolt C 자극의 방위를 판별하는 데에 있어서, 정확도 50%로 일관되게 맞추는 Landolt C의 크기를 나타내는 것이기 때문에, 이 값이 작으면 작을수록 그 위치에서의 해상도가 높다는 의미가 된다. 결과적으로, 중심외에 가까이 다가갈수록 해상도가 높고(혹은 역치가 낮고), 주변부로 갈수록 해상도가 낮다(혹은 역치가 높다)는 것을 알 수 있다.

과밀 효과 실험의 목적은 과밀 자극의 역치를 바탕으로 하는 시각 능력의 계측인데, 측정된 과밀 자극을 이용한 역치만을 이용하는 것으로는 이 계측을 제대로 할 수 없다. 왜냐하면, 이심률 차이로 인한 시각 해상도의 차이가 존재하기 때문이다. 그것을 보정해 주려 하는 방법이 바로 비과밀 자극의 역치를 과밀 자극의 역치로 나누어 주는 방법이다. 이 값을 ‘과밀 효과의 시각 척도’라고 정의하였다. 과

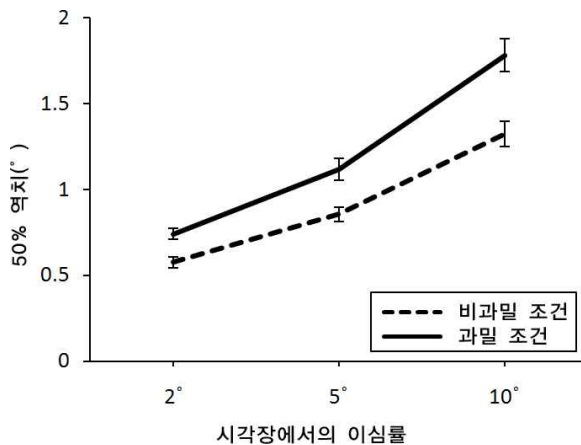


그림 3. 과밀 효과와 이심률의 상호작용.

가로축은 이심률이고 세로축은 측정된 Landolt C의 50% 역치 크기를 나타낸 것이다. 이심률 2°에서 과밀 자극과 비과밀 자극 간의 역치 크기 차이보다 이심률 10°에서 역치 크기 차이가 더 크다. 오류 막대는 표준 오차를 나타낸다.

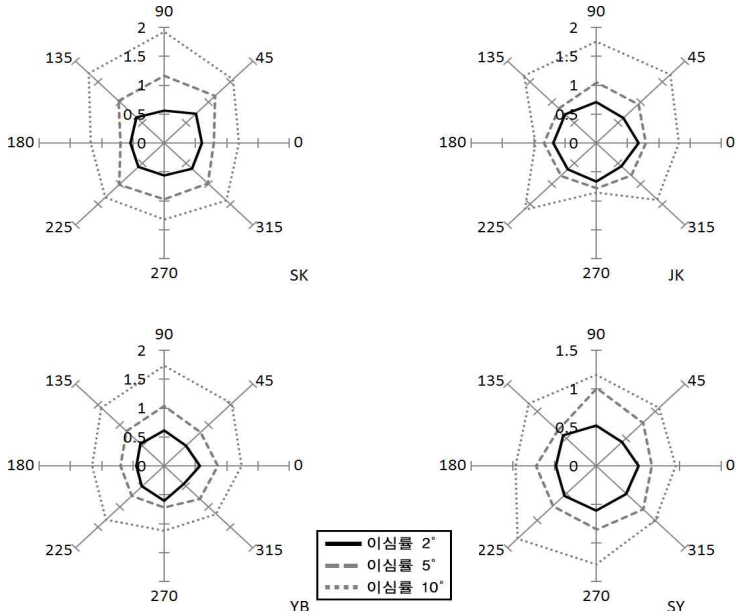
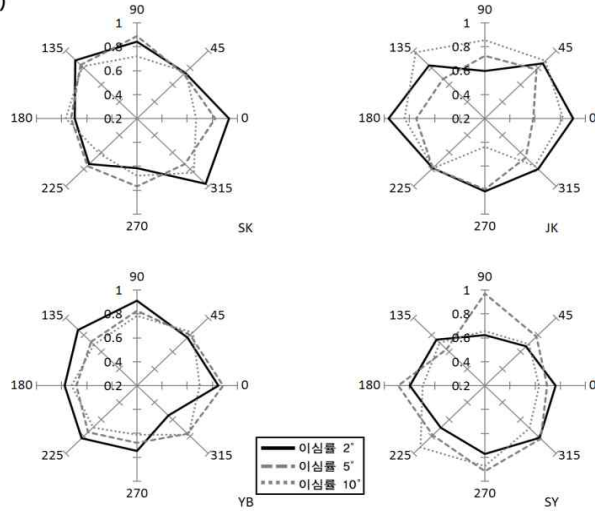


그림 4. 비과밀 조건에서의 측정된 Landolt C의 50% 역치로, 시각장에서 해상도를 나타내 주는 지표가 된다. 중심에서 바깥쪽으로 갈수록 더 큰 역치를 나타낸다. 이심률 2°에서의 역치가 이심률 10°에서의 역치보다 작으므로, 2°에서의 해상도가 10°보다 더 높다는 것을 알 수 있다.

밀 효과의 시각 척도는 과밀 자극의 역치가 비과밀 자극의 역치에 비해 어느 정도로 증가했는지를 나타내 주는 척도로, 과밀 효과가 전혀 없을 때는 1이 된다. 우리가 이 값을 사용하는 것은, Landolt C의 방위를 의식하는 데에 과밀 자극이 방해가 되며, 이것이 비과밀 조건에서의 역치보다 더 감소한 시각 능력의 양을 수치로 나타내기 때문이다. 이 ‘과밀 효과의 시각 척도’는 그림 5-가에 나타나 있다.

양안 경합 실험에서, 관찰자들은 목표 자극(Landolt C)과 방해 자극을 번갈아 가며 지각하게 된다. 목표 자극을 보는 중에는 쉽게 방위를 맞출 수 있지만, 방해 자극을 지각하는 기간에는 방위를 맞출 수 없다. 그 때문에 방위를 옳게 보고한 기간을 바로 목표 자극을 지각한 기간으로 볼 수 있다[27]. 그래서 양안 경합의 시각 척도는 목표 자극인 Landolt C의 방위를 맞췄던 총 기간에서 총 자극 제시 시간(95초)을 나누어준 값으로 정의하였다. 과밀 자극의 척도와 같이, 양안 경합의 시각

(가)



(나)

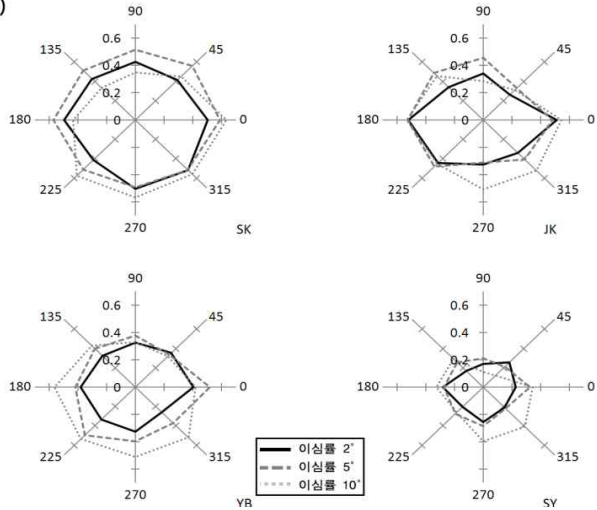


그림 5. (가) 과밀 효과의 시각 척도를 나타낸 그래프. 비과밀 자극의 역치를 과밀 자극의 역치로 나눈 값이다. 1에 가까울수록 과밀 자극의 역치가 비과밀 자극의 역치와 차이가 나지 않는 것을 뜻한다. 즉, 과밀 자극의 방해 효과에도 불구하고 자극을 잘 지각할 수 있음을 뜻한다. (나) 양안 경합의 시각 척도를 나타낸 그래프. 총 기간에서 우세안 기간이 차지하는 비율이며, 반대쪽 눈의 방해 자극에도 불구하고 우세안을 통해 목표 자극을 잘 지각할 수 있었던 기간을 뜻한다.

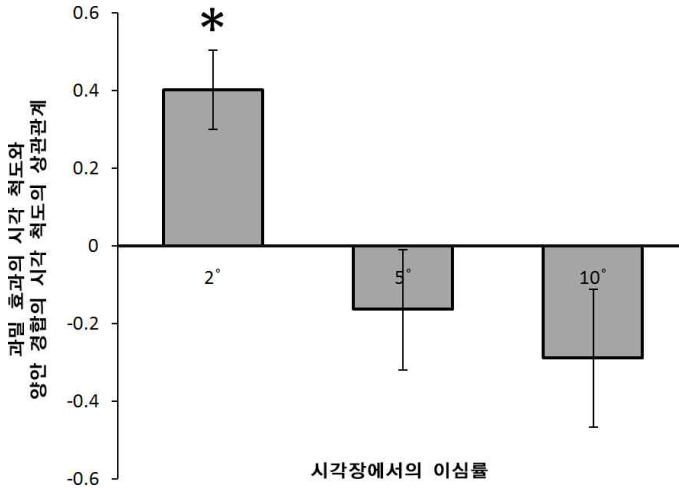


그림 6. 두 가지의 다른 척도(과밀 효과, 양안 경합)가 보이는 상관관계.

이심률 2°에서 유의미한 정적 상관관계가 관찰되었으며, 이심률 5°와 10°의 위치에서는 유의미한 상관관계가 발견되지 않았다.

척도로 시각장에서의 분포 그래프를 그릴 수 있다(그림 5-나).

두 가지의 서로 다른 패러다임으로 측정된 의식의 척도가 어떤 연관을 가졌는지를 알아보기 위해 각각의 관찰자별로 이심률 2°, 5°, 10°에서의 두 척도(과밀 효과의 시각 척도와 양안 경합의 시각 척도)의 상관계수를 구하였다. 이 값들은 평균하여 단일 표본  $t$ -검정을 통해 분석하였다. 그 결과 중심좌에서 2° 떨어진 곳의 상관계수가 평균 0.40으로 통계적으로 유의미하였다( $t(3)=3.952, p<0.05$ ). 5°의  $-0.16(t(3)=-1.054, p=0.369)$ 나 10°의  $-0.29(t(3)=-1.632, p=0.201)$ 는 상관계수가 통계적으로 유의미하지 않았다(그림 6).

### 종합논의

중심좌와 부중심좌 사이인 이심률 2°에서 과밀 효과와 양안 경합이 정적 상관관계를 보인다는 본 연구 결과는 과밀 효과와 양안 경합의 관계를 밝히는 최초의 연

구이다. 지금까지의 시각 방해 효과에 관한 연구들은 효과들 간의 관계에 대해 특별히 관심을 두지 않았다. 하지만 Vickery와 그 동료들이 최근 연구에서 과밀 효과와 차폐의 상호작용을 연구한 이후에[28], 앞으로 계속해서 시각 경험의 방해 효과 간의 관계에 대한 연구가 시도될 것으로 보인다. 인간 시각 체계가 가진 복잡한 구조와 그 안에 내재하고 있는 상호작용을 고려한다면, 효과 간의 관계에 관한 연구는 중요하다.

두 가지의 방법을 이용하여 정의한 시각 척도는 1에 가까워질수록 과밀 효과나 양안 경합의 방해 효과에도 불구하고 목표 자극을 잘 지각할 수 있었다는 것을 의미하는 값이었다. 시각 척도를 거꾸로 정의할 수도 있는데, 가령 과밀 효과의 실험에서는 과밀 역치를 비과밀 역치로 나누어 준 값으로 정의하거나, 과밀 역치에서 비과밀 역치를 빼는 값으로(혹은 그 값에 log를 취한 값으로) 정의할 수 있으며, 양안 경합의 실험에서는 총 기간에서 비우세안 기간이 차지하는 비율로도 정할 수 있다. 그렇게 되면 애초에 정의했던 '목표 자극을 잘 지각하는 능력'으로서의 시각 척도와는 반대가 된다. 즉, 값이 커질수록 시각 능력이 떨어진다는 뜻이다. 이러한 정의를 통해 상관관계를 알아본 결과, 애초에 정의했던 시각 척도를 이용한 결과와 큰 차이를 보이지 않았다. 그러므로 유의미한 상관관계를 얻을 수 있었던 것은 시각 척도를 어떻게 정의하는지와는 관련이 없다는 것을 시사한다.

양안 경합의 시각 척도를 다른 방식으로 정의할 수도 있을 것이다. 예를 들면, 목표 자극이나 방해 자극의 평균 우세 기간(mean dominance duration), 즉 양안 경합 중에 자극이 지각된 시간의 평균 길이를 시각 척도로 정의할 수 있다. 하지만 이런 경우는 과밀 효과의 시각 척도와 상관관계를 보이지 않았다.

이심률 2°에서는 과밀 효과와 양안 경합 간의 상관관계를 발견할 수 있었지만, 이심률 5°와 10°에서는 상관관계를 발견하지 못했다. 이것은 적어도 통계적 유의성을 보인 이심률 2°에서 양안 경합과 과밀 효과가 동일한 시각 경험을 측정하는 상이한 방법이라는 것을 시사한다. 이심률 5°와 10°에서 상관관계를 발견하지 못한 것은, 실제로 주변부에서 과밀 효과와 양안 경합 간의 상호작용이 존재하지 않는다는 증거는 아니다.

독립변수로 설정된 이심률은 중심부와 부중심부의 사이, 부중심부와 주변부의 사이, 그리고 주변부의 한가운데로 정하였다. 중심부는 추상체가 집중적으로 모여

있는 망막의 중심부로, 일반적으로 인간의 시각은 높은 분해능을 가진 추상체를 활용하기 위해 대부분 중심와에 상을 맺음으로써 이루어진다. 중심와는 망막을 통틀어 매우 좁은 영역(이심률  $0\sim 2^\circ$ )을 차지하고 있으며, 그래서 망막의 주변부에 상이 맺힌 상태에서 그 상에 주의를 기울일 때는 중심와에 상을 맺히게 하기 위해 무의식적으로 눈동자를 돌린다. 부중심와는 중심와를 둘러싼 이심률  $2\sim 5^\circ$ 의 영역이며, 중심와에 비해 적은 추상체를 가지고 있어서 썩 좋은 해상력을 가지진 않는다. 이심률  $5^\circ$ 를 넘어가는 망막의 주변부는 추상체를 거의 가지지 않고, 단지 낮은 분해능을 가진 간상체만으로 사물을 판별한다.

Pelli와 Tillman[8]은 두 가지의 서로 다른 시각 체계를 말하였다. 시각 이분법이라고 하는 이 구분법은 중심와의 시각 체계와 주변부의 시각 체계의 확연히 구분되는 성질을 말하며, ‘무엇/어디, 지각/운동, 선명함/흐릿함, 배측 경로/복측 경로’와 같이, 지금까지 연구된 많은 특징을 선명히 둘로 나눈다. 이 이분법에 따라 주의와 의식도 마찬가지로 나뉘는데, 말하자면 중심와의 시각은 매우 의식적이고 주의를 효과적으로 기울일 수 있는데 반해, 주변부의 시각은 물체를 잘 인지하거나 의식하지 못하며, 주의의 해상력도 낮다. 과밀 효과는 이 서로 다른 시각 체계의 특징을 반영한다. 사실 과밀 효과는 주변부 시각 체계의 큰 특징으로 알려져 있으며, 중심와에서의 과밀 효과는 발견되지 않거나[9], 매우 정밀한 측정을 통해서만 작게 발견할 수 있을 뿐이다[10,11].

양안 경합은 이와는 반대로, 주변부 시각의 큰 특징인 흐릿함으로 인해 관찰자들이 양안 경합의 지각 경험 보고에 어려움이 있었다. 중심와에서는 양안 경합의 지각을 잘 보고할 수 있었던 것으로 보아, 이것 또한 중심와와 주변부의 해상력 차이에 따른 것으로 보인다. 이렇듯 과밀 효과는 주변부로 갈수록 큰 효과를 보이고, 양안 경합은 중심부로 갈수록 정밀하게 측정할 수 있었으며, 이 반비례 관계는 서로의 상관관계 측정을 어렵게 만들었다. 하지만, 실험 1의 이심률  $2^\circ$  조건에서는 중심와와 가깝지만 유의미한 과밀 효과가 관찰되었고 양안 경합 시 지각 경험보고도 가능하였기 때문에 유의미한 정적 상관관계를 발견할 수 있었다.

이렇게 보자면, 주변부에서 유의미한 결과가 산출되지 않았던 것은 어쩌면 양안 경합의 부정확한 지각 경험 보고 때문이었을 지도 모른다. 주변부의 해상력을 고려하여 자극의 크기를 조절하였지만(실험 설계: 양안 경합의 실험 참조), 여전히

역동적인 양안 경합 지각의 정밀한 보고에는 문제가 있었을 수 있다. 조금 더 정밀하고 믿을 수 있는 측정 방법을 이용하면, 통계적으로 유의미한 상관관계를 측정해 내거나, 혹은 상관관계가 없다고 확신할 수 있을 것이다.

과밀 효과와 양안 경합의 상관관계가 발견됨에 따라 거대한 복잡계로서의 시각 시스템과 특히 의식의 측정치로서의 두 현상의 관계에 대해 규명할 수 있는 발판을 제공하였다. 두 현상은 의식의 측면일 뿐이고, 현상의 척도를 측정하는 일은 의식을 수치화해서 계측하는 것이기 때문에, 두 현상의 상관관계와 상호작용이 존재하는 것은 결국 단일한 메커니즘으로서의 의식을 가정하였을 때 당연한 일일 것이다. 상관관계는 두 측정치는 결국 단일한 의식의 상이한 두 측면을 측정하고 있었다는 결론을 내리게 해 준다. 상호작용은 두 현상이 서로 독립적으로 발현되는 기제가 아닌, 복합적으로 얽혀 있는 단일한 의식의 내부 기제에 따르는 현상이라는 설명을 가능하게 한다.

## 참고문헌

- R. Blake, R. P. O'Shea, and T. J. Mueller, "Spatial zones of binocular rivalry in central and peripheral vision," *Vis. Neurosci.*, vol. 8, no. 5, pp.469-478, 1992.
- H. Bouma, "Interaction effects in parafoveal letter recognition," *Nature*, vol. 226, no. 5241, pp.177-178, 1970.
- H. Bouma, "Visual interference in the parafoveal recognition of initial and final letters of words," *Vision Res.*, vol. 13, no. 4, pp.767-782, 1973.
- M. C. Flom, G. G. Heath, and E. Takahashi, "Contour Interaction and Visual Resolution: Contralateral Effects," *Science*, vol. 142, no. 3594, pp.979-980, 1963.
- R. F. Hess, S. C. Dakin, and N. Kapoor, "The foveal 'crowding' effect: Physics or physiology?," *Vision Res.*, vol. 40, no. 4, pp.365-370, 2000.
- D. M. Levi, S. Hariharan, and S. A. Klein, "Suppressive and facilitatory spatial interactions in peripheral vision: peripheral crowding is neither size invariant nor simple contrast masking," *J. Vis.*, vol. 2, no. 2, pp.167-177, 2002.



- D. M. Levi, S. A. Klein, and S. Hariharan, "Suppressive and facilitatory spatial interactions in foveal vision: Foveal crowding is simple contrast masking," *J. Vis.*, vol. 2, no. 2, pp.140-166, 2002.
- D. G. Pelli and K. A. Tillman, "The uncrowded window of object recognition," *Nat. Neurosci.*, vol. 11, no. 10, pp.1129-1135, 2008.
- H. Strasburger, L. O. Harvey, Jr., and I. Rentschler, "Contrast thresholds for identification of numeric characters in direct and eccentric view," *Percept Psychophys.*, vol. 49, no. 6, pp.495-508, 1991.
- L. Liu and A. Arditi, "Apparent string shortening concomitant with letter crowding," *Vision Res.*, vol. 40, no. 9, pp.1059-1067, 2000.
- A. Toet and D. M. Levi, "The two-dimensional shape of spatial interaction zones in the parafovea," *Vision Res.*, vol. 32, no. 7, pp. 1349-1357, 1992.
- D. G. Pelli, K. A. Tillman, J. Freeman, M. Su, T. D. Berger, and N. J. Majaj, "Crowding and eccentricity determine reading rate," *J. Vis.*, vol. 7, no. 2, pp.1-36, 2007.
- R. Blake and J. Camisa, "On the inhibitory nature of binocular rivalry suppression," *J. Exp Psychol. Hum. Percept. Perform.*, vol. 5, no. 2, pp.315-323, 1979.
- V. A. Nguyen, A. W. Freeman, and D. Alais, "increasing depth of binocular rivalry suppression along two visual pathways," *Vision Res.*, vol. 43, no. 19, pp.2003-2008, 2003.
- R. J. Brown and A. M. Norcia, "A method for investigating binocular rivalry in real-time with the steady-state VEP," *Vision Res.*, vol. 37, no. 17, pp.2401-2408, 1997.
- G. Tononi, R. Srinivasan, D. P. Russell, and G. M. Edelman, "Investigating neural correlates of conscious perception by frequency-tagged neuromagnetic responses," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, vol. 95, no. 6, pp.3198-3203, 1998.
- J. D. Haynes and G. Rees, "Predicting the stream of consciousness from activity in human visual cortex," *Curr. Biol.*, vol. 15, no. 14, pp.1301-1307, 2005.
- F. Tong, K. Nakayama, J. T. Vaughan, and N. Kanwisher, "Binocular rivalry and visual awareness in human extrastriate cortex," *Neuron*, vol. 21, no. 4, pp.753-759, 1998.

- D. M. Levi, "Crowding—an essential bottleneck for object recognition: a mini-review," *Vision Res.*, vol. 48, no. 5, pp.635-654, 2008.
- D. Alais and R. Blake, "Grouping visual features during binocular rivalry," *Vision Res.*, vol. 39, no. 26, pp.4341-4353, 1999.
- D. H. Brainard, "The Psychophysics Toolbox," *Spat. Vis.*, vol. 10, no. 4, pp.433-436, 1997.
- D. G. Pelli, "The VideoToolbox software for visual psychophysics: transforming numbers into movies," *Spat. Vis.*, vol. 10, no. 4, pp.437-442, 1997.
- H. Levitt, "Transformed up-down methods in psychoacoustics," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 49, no. 2, pp. 467-477, 1971.
- G. Porta, "De refractione. Optices parte: libri novem. Napoli: Exofficina horatii salviani, apud Jo. Jacobum Carlinum, and Anotium Pacem," 1593.
- H. F. Crovitz and K. Zener, "A group-test for assessing hand- and eye-dominance," *Am J Psychol.* vol. 75 no. 2, pp. 271-276, 1962.
- W. R. Miles, "Ocular dominance in human adults," *J. Gen. Psychol.* vol. 3, pp.412-420, 1930.
- S. C. Chong, D. Tadin, and R. Blake, "Endogenous attention prolongs dominance durations in binocular rivalry," *J. Vis.*, vol. 5, no. 11, pp.1004-1012, 2005.
- T. J. Vickery, W. M. Shim, R. Chakravarthi, Y. V. Jiang, and R. Luedeman, "Supercrowding: weakly masking a target expands the range of crowding," *J. Vis.*, vol. 9, no. 2, pp.1-15, 2009.

1차원고접수 : 2009. 8. 19

2차원고접수 : 2010. 3. 23

최종게재승인 : 2010. 6. 9

(*Abstract*)

## Correlation between Crowding and Binocular Rivalry depending on eccentricity

Sangrae Kim<sup>1</sup>

Sang Chul Chong<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Graduate Program in Cognitive Science, Yonsei University

<sup>2</sup>Department of Psychology, Yonsei University

Crowding effect is the impairment of peripheral object identification due to nearby objects. Binocular rivalry is a phenomenon in which perception alternates between two different objects presented separately to each eye. The purpose of this study was to investigate the correlation between these two phenomena. We measured the magnitudes of visibility index of these two effects at 8 different locations of 3 different eccentricities (2, 5, and 10°). Significant positive correlation between the two measurements was found only near the fovea (2°). Our study is the demonstration to show relationship between crowding and binocular rivalry.

*Keywords* : crowding, binocular rivalry, interaction