

〈연구보고〉

밀도와 크기 변산이 개수 추정에 미치는 영향*

김 혜 진

정 상 철†

연세대학교 인지과학 협동과정, 심리학과

일상생활 속에서 다양한 밀도와 크기를 가진 사물들의 개수를 추정하는 것은 인간이 가진 중요한 능력이다. 그러나 기존의 개수 추정 연구들 대부분은 자극의 크기 변산을 주요 변인으로 고려하지 않아 다양한 환경 속에서 개수를 추정할 수 있는 인간의 능력을 한정적으로밖에 보여주지 못했다(Burr & Ross, 2008a; Durgin, 1995). 본 논문에서는 개수 추정에 중요한 두 변인인 밀도와 크기 변산이 개수 추정에 미치는 영향을 연구하였다. 연구 결과, 밀도와 크기 변산은 상호 작용 없이 개수 추정에 독립적인 영향을 미쳤다. 구체적으로, 밀도와 크기의 다양성이 커질수록 개수는 과소 추정되었다. 또한 개수 추정이 밀도를 통해 간접적으로 추정된다는 기존 연구 결과와는 달리, 본 연구에서 개수는 밀도에 상관없이 직접적으로 추정되는 것으로 나타났다. 밀도를 통하지 않고 직접적인 개수 추정이 가능했던 것은 자극의 크기가 다양하여 자극들이 개별적으로 잘 구분되었기 때문인 것으로 보인다.

주제어 : 개수추정, 크기 변산, 밀도

〈Brief report〉

The Effect of Density and Size Variance on Numerosity Estimation

Hyejin Kim

Sang Chul Chong

Graduate Program in Cognitive Science & Department of Psychology, Yonsei University

In our daily life, it is important to estimate the approximate number of objects containing various sizes and appearing in different densities. However, previous studies mostly used dot stimuli with uniform sizes (Burr & Ross, 2008a; Durgin, 1995). In this study, we investigated how density and size variance influenced numerosity estimation. We found that numerosity was underestimated when density and size variance increased. There was no significant interaction between the density and the size variance. Also, we observed that numerosity was directly estimated by the number mechanism itself across all the range of density, different from the results of previous research. We suggest that this different result is due to various sizes used in this study, which helps the visual system to individuate each object to count.

Key words : Numerosity estimation, Size variance, Density

* 이 논문은 2016년도 연세대학교 미래선도연구사업 지원에 의하여 작성된 것임(2016-22-0038).

† 교신저자 : 정상철, 연세대학교 심리학과 및 인지과학협동과정, (03722) 서울특별시 서대문구 연세로 50

E-mail: schong@yonsei.ac.kr

인간은 어렸을 때부터 대략적으로 개수를 추정할 수 있는 능력을 가지고 있다(Starkey & Cooper, 1980). 그만큼 인간에게 있어 사물을 일일이 세지 않고 직관적이고 빠르게 개수를 추정하는 것은 기본이며, 생존을 위한 채집 및 수렵과 같은 가장 기본적인 활동에서부터 복잡한 수학 능력(Halberda, Mazzocco, & Feigenson, 2008)에 이르기까지 생활 전반에 중요하게 사용되는 능력이다.

일상생활 속의 사물들은 대부분 균일하기 보다는 다양한 밀도로 존재한다. 이에 자극들의 밀도가 개수 추정에 미치는 영향은 꾸준히 연구되어 왔으나, 그 결과가 일관적이지는 않다. 먼저, Durgin(1995, 2008)은 사람들이 밀도가 높은 자극에 순응되면 그 영역에 제시된 점들의 수를 순응되지 않은 영역에 제시된 점들보다 적게 추정한다는 것을 보여주었다. 이를 바탕으로 그는 밀도가 개수 추정에 매우 중요할 뿐만 아니라, 개수가 밀도에 의해 간접적으로 추정됨을 주장하였다. 밀도에 의한 개수의 간접적 추정은 후속 연구에 의해서도 지지되었다(Allik & Tuulmets, 1991; Dakin et al., 2011; Durgin, 1995, 2008; Morgan et al., 2014). 이와 반대로, Burr과 Ross(2008a, 2008b)는 개수 추정이 밀도에 영향을 받지 않는다고 보고하였다. 개수는 동일하지만 밀도가 상이한 자극에 순응하였을 때, 개수 추정의 정확성은 변화하지 않았다.

개수 추정에 대한 밀도 효과의 상반된 결과를 설명하기 위해, Anobile, Cicchini와 Burr(2014)는 시각 체계가 개수 추정 시에 개수 기전과 밀도 기전을 모두 사용한다고 주장하였다. 밀도가 낮을 때에는 개수를 개수만으로 직접 추정하지만(개수 기전), 밀도가 높을 때에는 개수를 밀도를 통해 간접적으로 추정한다

는 것이다(밀도 기전). 낮은 밀도 범위에서 개수 추정의 역치는 개수가 증가함에 따라 증가하였다. 그러나 높은 밀도 범위에서는 개수 추정의 역치는 개수의 제곱근에 비례하여 감소하였다. 낮은 밀도 범위에서와 달리 높은 밀도 범위에서는 개수가 증가할수록 오히려 개수 추정의 역치가 감소하였으므로, 개수 정보가 아닌 다른 정보를 사용하여 개수를 추정한다고 간주할 수 있다(밀도 기전). 통상적으로는 추정해야 되는 정보의 양(자극의 개수)이 많아질수록 추정은 어려워지게 되고 그에 비례하여 추정 오차는 더 커져야 한다(Dehaene, 2003). 그러나 밀도가 높은 경우 반대의 현상이 발생하였으므로, 참가자는 개수를 추정할 때 개수 기전을 사용하지 않았을 가능성이 높다.

밀도가 낮은 경우에는 제시되는 자극들이 개별적으로 지각될 가능성이 밀도가 높은 경우보다 높다. 자극들이 개별적으로 지각되면 개수 추정이 자극들의 밀도에 의존하기보다는 개수 기전에 의존할 가능성이 높다. 실제로 밀도와 개수가 독립적임을 보인 연구들은 크기가 큰 자극을 사용하여 자극들을 변별하기가 용이하였다. Burr와 Ross(2008a)는 0.3° , Ross와 Burr(2010)는 0.24° , Lee, Baek과 Chong(2016)은 0.67° 에서 1.68° 의 지름을 가진 원 자극을 사용한 반면, 개수가 밀도에 의해 간접적으로 추정된다는 연구에서의 자극 크기는 0.04° 로 상당히 작았다(Durgin, 1995). 자극 크기가 작으면 여러 자극이 개별 자극으로 지각되기 보다는 패턴으로 묶여 질감(texture)처럼 지각될 가능성이 높다. 이와 반대로 자극 크기가 더 크면 자극이 개별적으로 지각되기 때문에 전체적인 밀도 정보 추출이 좀 더 어려워지고, 밀도로부터 보다 독립적으로 개수를 추정하게

된다. 밀도가 개수 추정에 상반된 영향을 미치는 원인 중 하나가 자극의 크기 차이 때문일 가능성이 있다. 나아가, 자극의 크기가 균일할 때보다 다양할 때 여러 자극이 질감처럼 지각되기보다 개별적으로 지각될 가능성이 높아진다. 따라서 본 연구에서는 자극의 크기를 다양하게 제시하여 크기 변산을 조작하였다.

본 연구의 목적은 제시되는 자극 크기의 변산이 클수록, 시각체계는 개수 추정을 밀도가 아니라 개수를 기반으로 처리한다는 가설을 검증하는 것이다. 이를 위해, 밀도와 크기 변산을 참가자 내 변인으로 조작하고, 참가자로 하여금 제시된 자극들이 대략 몇 개인지를 추정하도록 하였다.

방 법

참가자 33명의 참가자(남자 13명, 22세-35세, 평균 25.7세)가 실험에 참가하였다. 참가자들은 모두 나안 혹은 교정시력이 정상이었다. 모든 참가자들은 실험의 가설에 대해 알지 못하였다. 본 실험은 연세대학교 IRB의 승인 하에 이루어졌고, 참가자들은 모두 실험 참가 동의서를 작성한 후 실험에 참여하였다.

기구 자극은 21인치 HP P1230 CRT 모니터에

제시되었다. 해상도는 1600 × 1200픽셀, 주사율은 85Hz였다. 참가자는 이마-턱 받침대에 머리를 고정한 채 실험에 참가하였다.

자극 참가자와 모니터 사이의 거리는 60cm 이었다. 따라서 한 픽셀은 약 0.024° 이었다. 밝기 정보가 개수 추정에 영향을 미칠 가능성을 방지하기 위해, 개별 자극은 속이 채워지지 않은 테두리만 있는 원을 사용하였다. 원들의 평균 크기는 매 시행마다 0.3°부터 1° 사이의 범위 내에서 무선적으로 선택되었다. 개별 원의 크기는 이 평균 크기와 실험 조건에 따른 변산을 모수로 가진 정규분포에서 추출되었고, 크기 범위는 0.15°에서 1.15° 사이로 제한되었다. 테두리는 검은색으로 제시되었고 밝기는 0.05cd/m² 이었고, 두께는 0.072° 이었다. 전체 실험의 배경은 균일하게 회색으로 제시되었고, 밝기는 10.4cd/m² 이었다. 일정한 밀도로 자극을 제시하기 위하여 Figure 1의 자극 화면과 같이 원이 제시되는 영역 주변에 검은 사각형 테두리를 제시하였다. 이 연구에서의 밀도는 개별 원들의 넓이의 합(Figure 1, 자극 화면에 제시된 모든 원의 넓이의 합)을 원이 제시될 영역의 넓이(Figure 1, 자극 화면에 제시된 사각형의 넓이)로 나눈 값으로 정의되었다. 즉, 매 시행마다 조건에 따른 밀도

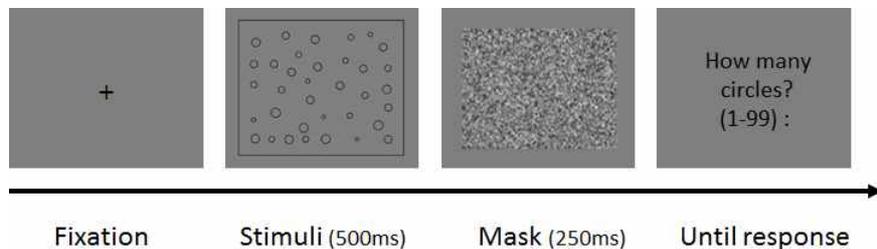


Figure 1. The procedure of Experiment. Circles with different sizes were presented and participants were asked to estimate the number of circles after a mask.

값이 정해지면, 매 시행마다 달라지는 원 넓이의 합에 맞추어 사각형의 넓이가 조정되었다. 매 시행의 개별 원 넓이는 미리 정해진 크기 변산과 최소/최대 원 크기를 만족하는 범위 내에서 무선적으로 추출되었다. 자극의 위치 또한 무선적으로 결정되었으므로, 자극들이 특정한 형태를 이루거나 그 형태의 크기 차이로 발생하는 효과는 상쇄되기를 기대하였다. 차폐 자극은 검은 테두리로 표시되었던 원 제시 영역과 같은 크기로, 250ms 동안 제시되었다(Figure 1). 차폐 자극은 흰색과 검정색의 화소들이 1:1 비율로 구성되었으며, 흰색과 검정색의 위치는 무선적으로 결정되었다. 모든 실험 자극은 MATLAB과 Psychophysics toolbox 3을 통해 제작하였다(Brainard, 1997; Pelli, 1997).

절차 전체적인 실험 절차는 Figure 1과 같았다. 매 시행, 참가자가 직접 스페이스 바를 누르면 화면 가운데에 십자 모양의 응시점이 제시되었다. 그 후, 500ms와 1000ms 사이에서 무선적으로 선택된 시간이 지나면 자극 화면이 나타났으며, 자극 화면은 500ms 동안 지속되었다. 이어서 차폐 화면이 250ms 동안 제시되었다.

과제는 제시된 원의 개수를 추정하는 것이었다. 입력할 수 있는 숫자는 1부터 99까지였으며, 키보드를 통하여 숫자를 입력하도록 하였다. 참가자들은 개수를 하나씩 세지 않고 전체적인 개수를 추정하여 보고하도록 지시받았다. 참가자들은 본 시행에 앞서 연습 시행 15번을 수행하였다. 연습 시행에서는 참가자 응답 후 실제 개수가 화면에 제시되는 피드백이 주어졌다. 본 시행 동안에는 피드백에 의한 반응 편향을 막기 위해 정답이 제시되지

않았으며(Bauer, 2009), 매 50시행마다 30초의 쉬는 시간이 주어졌다.

설계 참가자 내 변인으로는 개수(6수준), 밀도(5수준) 및 크기의 변산(5수준) 조건이 있었다. 먼저 개수 조건은 12개, 15개, 20개, 25개, 33개, 42개였다. 개수 조건들 간의 지각적 차이가 일정하게 유지하기 위해, 로그 함수 상에서 등간격이 되도록 각 개수가 설정되었다. 개수 조건은 개수를 다양하게 제시하기 위한 조건이었고, 연구에서 관심있는 독립변인은 아니었다. 밀도 조건은 0.0107, 0.012, 0.017, 0.0238, 0.0266이었다. 0.0107, 0.012 조건은 Anobile 등(2014)에 따르면 개수 추정의 기전이 작동하는 낮은 밀도 값이었고, 0.017은 개수 추정 기전이 밀도 기전으로 변화하는 지점의 밀도 값, 0.0238과 0.0266은 밀도 기전이 작동하는 밀도 값이었다. 이를 통해 Anobile과 동료들의 연구에서 제시된 두 가지 기전이 작동하는 모든 밀도 범위를 포함하였다. 마지막으로, 크기 변산 조건은 평균 크기의 10%, 20%, 30%, 40%, 50%였다. 크기 변산이란 한 화면 안에 제시되는 여러 개의 원 크기가 얼마나 다양하게 제시되는지를 조정하는 값이었다. 예를 들어, 특정 시행에서 제시된 원들의 평균 크기가 30픽셀이고 크기 변산 수준이 20%라면, 30픽셀 × 20%, 즉 6픽셀이 해당 시행의 크기 변산이 된다. 따라서 해당 시행의 개별 자극의 크기는 평균 30픽셀과 변산 6픽셀을 만족하는 범위 내에서 무선적으로 추출되었다. 전체 시행 횟수는 300번(개수 6 × 밀도 5 × 크기 변산 5 × 반복 2)이었다.

분석 방법 회귀 분석을 사용하여 독립 변인 세 가지(자극 개수, 밀도 변산, 크기 변산)와

이들의 상호작용으로 참가자가 추정한 개수를 잘 설명할 수 있는 회귀 함수($y = ax_1 + bx_2 + cx_3 + dx_1x_2 + ex_2x_3 + fx_1x_3 + g$)를 각 참가자별로 구하였다. 이 계수들은 각 변인들이 참가자의 개수 추정에 얼마나 영향을 미쳤는지를 나타내는 값이었다. 구체적으로, 화면에 제시된 개수(x_1), 밀도(x_2), 크기 변산(x_3)의 계수가 각각 a, b, c 이었고, 화면에 제시된 개수와 밀도, 크기 변산 간의 상호작용을 나타내는 계수가 각각 d, e, f 이었으며, g 는 상수였다. 화면에 제시된 숫자는 로그를 취한 값을 분석에 사용하였다. 또한, 각 참가자들이 보고한 값은 개인차가 컸으므로 z 점수로 표준화 후 분석에 사용되었다.

결 과

참가자 33명의 전체 응답 중 2 표준편차 밖의 응답은 응답 실수로 간주하여 제거하였다. 제거된 시행은 총 47시행으로 참가자 1인당 1.42시행, 전체 시행의 0.4% 이었다.

각 변인의 영향력 확인: 회귀분석. 화면에 제시된 자극의 개수, 밀도, 크기의 변산, 그리고 이 세 가지 변인 간의 상호작용을 바탕으로, 참가자들의 응답을 예측하는 함수를 각 참가자별로 도출하였다. 회귀 함수 도출이 잘 되었는지를 확인하기 위해 각 참가자별로 구해진 회귀 함수의 R 제곱값($M = 0.74, SD = 0.08$)을 단일 표본 t 검정으로 분석한 결과, 0과 통계적으로 유의미한 차이를 보였다($t(32) = 55.98, p < .01$). 이는 도출한 함수가 참가자들의 응답을 잘 예측했음을 의미한다. 도출된 계수들이 통계적으로 유의미하게 개수 추정에 기여하는지를 보기 위해 계수와 0이 유

의미하게 다른지를 분석하였다. 그 결과, 모든 계수(화면에 제시된 개수, 밀도, 크기 변산, 상수)가 통계적으로 0과 유의미한 차이를 보였다($p < .05$). 구체적으로, 참가자들은 자극 개수가 많아질수록 개수를 더 많게 추정하였다(제시된 자극 개수의 계수: $M = 1.97, SD = 0.11$). 실제 추정된 개수의 평균과 표준오차는 개수의 오름차순으로 $12.16 \pm 0.19, 14.90 \pm 0.27, 18.84 \pm 0.37, 21.82 \pm 0.51, 25.58 \pm 0.64, 29.34 \pm 0.76$ 이었다. 이 결과는 참가자들이 지시받은 데로 개수 추정 과제를 성실히 수행했음을 의미한다. 또한, 참가자들은 밀도가 더 커질수록 개수를 더 적게 추정하였다(밀도의 계수: $M = -2.41, SD = 6.56$). 실제 추정된 개수의 평균과 표준오차는 밀도의 오름차순으로 $20.56 \pm 0.45, 20.47 \pm 0.43, 20.60 \pm 0.44, 20.31 \pm 0.42, 20.25 \pm 0.41$ 이었다. 크기 변산의 경우, 변산이 더 커질수록 개수를 더 적게 추정하였다(크기 변산의 계수: $M = -0.15, SD = 0.39$). 실제 추정된 개수의 평균과 표준오차는 크기 변산의 오름차순으로 $20.36 \pm 0.42, 20.79 \pm 0.46, 20.67 \pm 0.43, 20.25 \pm 0.42, 20.13 \pm 0.43$ 이었다. 전반적으로는 개수를 과소 추정하는 경향성이 나타났다(상수: $M = -6.04, SD = 0.35$). 이는 밀도와 크기 변산이 개수 추정 예측에 유의미하게 기여하고 있음을 나타낸다. 그러나 상호작용과 관련된 변인들은 모두 0과 통계적으로 유의미한 차이를 보이지 않았다($p > .38$). 독립변인 세 가지 모두 독립적으로 개수 추정에 기여함을 시사한다.

Anobile 등(2014)의 연구에서 제안했던 대로 밀도가 낮을 때와 높을 때 다른 기전에 의해 개수가 계산되는지 확인하기 위해, 낮은 밀도(밀도 값 0.0107, 0.012)와 높은 밀도(0.0238, 0.0266)일 때의 회귀 함수를 각각 따로 도출하

여 계수를 비교하였다. 밀도가 낮을 때와 높을 때의 계수는 모든 변인(제시된 개수, 밀도, 크기 변산, 상수)에서 유의미한 차이를 보이지 않았다($p_s > .05$). 이는 기존 연구 결과와 달리 밀도에 따라 개수 추정 기전이 변화하지 않음을 의미한다.

개수 기전의 작동: 베버 상수 분석. 개수에 따른 베버 상수(Figure 2)를 구하여 분석하였다. 베버 상수는 각 개수별로 참가자 추정치의 표준편차를 평균으로 나눈 값을 사용하였다(Ross & Burr, 2010). 그 결과, 개수에 따른 유의미한 차이는 관찰되지 않았다($F(5, 160) = 1.99, p = .11$, Greenhouse-Geisser 수정값). 본 연구에서 관찰된 베버 상수의 범위는 Anobile 등(2014)에서 개수 기전이 작동하는 범위의 베버 상수와 유사하였다(0.15 ~ 0.19). 이는 Anobile 등(2014)과 달리, 본 연구에서는 제시된 밀도와 상관없이 개수에 대한 추정이 모두 개수 자체에 의해 이루어졌음을 의미한다. Anobile 등(2014)의 연구와 본 연구의 큰 차이점은 본 연구에서는 자극의 크기가 다양하게 조작되었다는 것이다.

크기 다양성이 존재하여 자극의 개별화가 용이하였고, 이 때문에 개수 기전만이 작동한 것으로 추측된다.

논 의

본 연구는 개수 추정에 있어 중요한 두 가지 변인인 밀도와 개별 자극의 크기 변산이 개수 추정에 미치는 영향에 대해 살펴보았다. 이를 위해, 밀도와 크기 변산을 참가자 내 변인으로 조작하여 생성된 다수의 원 자극을 제시한 뒤, 참가자로 하여금 주어진 자극의 개수를 추정하도록 하였다. 각 참가자별로 회귀 분석을 한 결과, 밀도와 크기 변산 모두 참가자의 개수 추정 예측에 기여하였다. 구체적으로, 밀도가 낮을수록 그리고 크기 변산이 클수록 개수를 과소 추정하였다. 변인들 간의 상호작용은 반응 예측에 기여하지 못했다. 따라서 각 변인들은 상호작용 없이 독립적으로 개수 추정에 영향을 미친다고 볼 수 있다. 밀도에 따라 개수와 밀도 기전이 공존한다는 기존 연구(Anobile et al., 2014)와 달리, 제시된 개

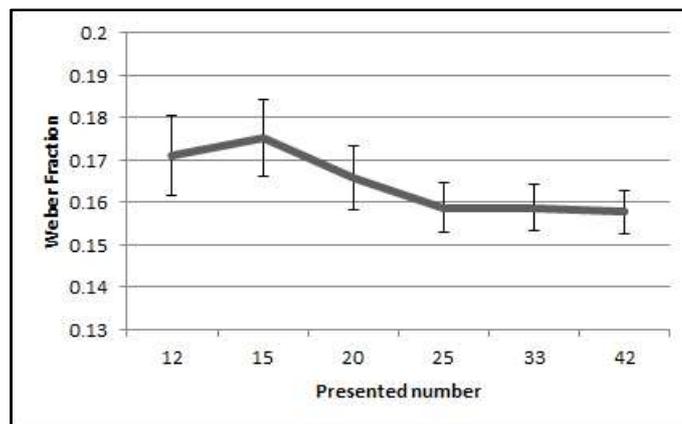


Figure 2. Weber fraction depending on the presented number. Error bars indicates the standard error of mean.

수와 상관없이 일정한 베버 상수가 관찰된 결과는 본 연구에서는 개수 기전만이 작동하였음을 시사한다.

본 연구에서는 참가자가 개수를 추정할 때 밀도에 상관없이 항상 개수 기전이 작동했으며, 이는 자극들의 크기가 다양하여 여러 개의 자극이 개별적으로 인식되기 때문인 것으로 보인다. Anobile 등(2014)에서 낮은 밀도와 높은 밀도 간에 개수 추정의 베버 상수 변화 양상이 상이했던 것과는 달리, 본 연구에서는 밀도와 상관없이 베버 상수가 일정하게 유지되었다. Anobile 등(2014)의 연구에서는 0.3° 이하의 균일한 크기의 점 자극을 사용하였으나, 본 연구에서는 0.15° 에서 1.15° 사이의 다양한 크기를 사용하였다. 본 연구의 크기 범위를 고려한다면, 크기 변산이 작은 경우에는 Anobile 등(2014)의 연구와 유사한 크기 자극도 본 연구에서 사용되었다. 그러므로 자극 크기의 차이만으로는 기존 연구와의 차이를 설명하기 어렵고, 동일 시행 내에서 다양한 크기를 지닌 원들이 제시되어 자극들이 서로 개별적으로 지각되었다는 것이 다른 결과를 이끌어낸 원인으로 보인다.

실제로 본 연구에서는 기존 연구에서 개수 기전이 작동하는 것과 유사한 범위의 베버 상수가 관찰되었다(약 0.16에서 0.18). Anobile 등(2014)의 연구에서는, 밀도가 낮은 범위(개수 기전이 사용되는 범위)에서 약 0.15에서 0.2 사이의 베버 상수가 관찰되었다. 그러나 밀도가 높은 범위(밀도 기전 범위)에서는 개수의 제공근에 따라 베버 상수가 작아져서 약 0.05까지 작아지기도 하였다. 본 연구에서는 Anobile 등(2014)의 연구에서 밀도 기전이 작동한 범위의 밀도 값도 포함하였으나 베버 상수는 모두 개수 기전이 작동할 때의 베버 상수

와 유사하였다. 즉, Anobile 등(2014)의 연구에서 사용한 밀도와 개수의 범위가 본 연구에 모두 포함되었음에도 불구하고 본 연구에서는 베버 상수가 개수 및 밀도에 따라 유의미한 차이를 보이지 않았다.

종합하면, 개수 추정에 있어 밀도와 개별 자극의 크기를 동시에 고려하는 것이 필수적이다. 제시된 자극들의 크기가 균일하지 않고 변산이 존재할 경우, 개별 자극들이 하나의 질감 자극으로 통합되어 지각되지 않고 각각의 개별 자극으로 지각되어 개수 기전이 작동할 가능성이 높다. 개별 자극들의 크기가 다양한 상황은 우리가 일상생활에서 접하는 시각 환경과도 유사하다. 그러나 크기 변산은 이와 같은 중요성에 비해 기존 개수 추정 연구에서 많이 다루어지지 않았다. 본 연구의 결과를 고려할 때, 크기가 작고 균일한 점 자극을 바탕으로 주로 이루어졌던 기존 개수 추정 연구들은 사실 개별 크기의 다양성이라는 중요한 변인이 고려되지 않은 상태에서 얻어진 결과라고 볼 수 있다. 추후 진행될 개수 추정 연구에서는, 보다 정확한 결과를 위해 개별 자극들 간의 크기 다양성이 중요한 변인으로 포함되어야 할 것이다.

References

- Allik, J., & Tuulmets, T. (1991). Occupancy model of perceived numerosity. *Perception & Psychophysics*, *49*, 303-314.
- Anobile, G., Cicchini, G. M., & Burr, D. C. (2014). Separate mechanisms for perception of numerosity and density. *Psychological Science*, *25*, 265-270.
- Bauer, B. (2009). The danger of trial-by-trial

- knowledge of results in perceptual averaging studies. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 71, 655-665.
- Brainard, D. H. (1997). The Psychophysics Toolbox. *Spatial Vision*, 10, 433-436.
- Burr, D., & Ross, J. (2008a). A visual sense of number. *Current Biology*, 18, 425-428.
- Burr, D., & Ross, J. (2008b). Response: visual number. *Current Biology*, 18, 857-858.
- Dakin, S. C., Tibber, M. S., Greenwood, J. A., & Morgan, M. J. (2011). A common visual metric for approximate number and density. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108, 19552-19557.
- Dehaene, S. (2003). The neural basis of the Weber - Fechner law: a logarithmic mental number line. *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 145-147.
- Durgin, F. H. (1995). Texture density adaptation and the perceived numerosity and distribution of texture. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21, 149-169.
- Durgin, F. H. (2008). Texture density adaptation and visual number revisited. *Current Biology*, 18, 855-856.
- Halberda, J., Mazocco, M. M., & Feigenson, L. (2008). Individual differences in non-verbal number acuity correlate with maths achievement. *Nature*, 455, 665-668.
- Lee, H., Baek, J., & Chong, S. C. (2016). Perceived magnitude of visual displays: Area, numerosity, and mean size. *Journal of Vision*, 16(3), 1-11.
- Morgan, M. J., Raphael, S., Tibber, M. S., & Dakin, S. C. (2014). A texture-processing model of the 'visual sense of number'. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281(1790), 1-9.
- Pelli, D. G. (1997). The VideoToolbox software for visual psychophysics: Transforming numbers into movies. *Spatial Vision*, 10, 437-442.
- Ross, J., & Burr, D. C. (2010). Vision senses number directly. *Journal of Vision*, 10(2), 1-8.
- Starkey, P., & Cooper, R. G. (1980). Perception of numbers by human infants. *Science*, 210, 1033-1035.
- 1 차원고접수 : 2017. 01. 06
수정원고접수 : 2017. 04. 04
최종게재결정 : 2017. 04. 04