

# 데이터 시각화에서의 편향: 막대그래프의 within-the-bar bias 를 중심으로

## Bias in Data Visualization: within-the-bar bias in Bar Graphs

지재영

Jaeyeong Ji

연세대학교 심리학과  
Yonsei University  
Department of Psychology  
jjy0401@gmail.com

강현민

Hyunmin Kang

연세대학교 심리학과  
Yonsei University  
Department of Psychology  
neets11@naver.com

홍운선

Yunsun Hong

연세대학교 심리학과  
Yonsei University  
Department of Psychology  
ramuneiro@yonsei.ac.kr

### 요약문

데이터 시각화(visualization)는 많은 데이터를 손쉽게 이해하기 위해 그래프, 도식과 같은 형태로 제공하는 기법이다. 하지만 때로는 시각화로 인해 사람들에게 데이터에 대한 오해를 일으키는 경우도 존재하며 대표적으로 막대 그래프를 볼 때 발생하는 within-the-bar bias 가 있다. 본 연구에서는 within-the-bar bias 에 대한 선행연구 검증 및 영향을 미치는 요인에 대해 살펴보고자 하였으며 특히 막대의 높이, 테두리 간격과 같은 요인을 사용하여 그래프를 변화하였을 때 편향의 정도가 달라지는 지 알아보하고자 하였다.

### 주제어

데이터 시각화, within-the-bar bias, 막대 그래프, 상향처리

### 1. 서론

데이터 시각화의 목적 중 하나는 양적인 아날로그 자료를 쉽게 이해할 수 있도록 디지털 형태로 표시하는 것이다. 그 중에서도 그래프는 주로 막대, 선 그래프, 파이 차트를 통해 데이터를 한눈에 이해하도록 사용되고 있으며 최근에는 3D 형태와 tree map 과 같은 새로운 형태의 그래프도 등장하고 있다. 하지만 시각적으로 화려한 시각화 방편이 항상 옳은 것만은 아니다. 본 연구에서는 데이터 시각화, 그 중에서도 막대 그래프와 관련된 특징을 살펴본 후 시각화로 인해 발생할 수 있는 편향에 대해 알아보하고자 한다.

#### 1.1 데이터 시각화와 의사결정

데이터 시각화가 한 눈에 많은 정보를 이해할 수 있도록 도와주지만 모든 과제에서 언제나 옳은 것은 아니다. 선행연구에 따르면 일반적으로 데이터를 통해 공간적 판단이나 데이터 간의 통합적 판단을 요구하는 경우에 그래프가 표보다 더 수행이 좋은 것으로 알려져 있고(Kirschenbaum & Arruda, 1994; Speier, 2006)

이와 대조적으로 정확한 값을 읽는 것은 숫자로 된 표가 더 좋은 것으로 알려져 있다(Meyer, Shinar, Leiser, 1997). 수행해야 되는 과제에 따라서는 여러 시각화 방식 중 더 도움이 되는 형태가 또한 존재하는데, Peeble(2009)에 따르면 통계결과 중 상호작용에 대한 이해를 위해서는 막대 그래프보다 선 그래프가 더 바람직한 것으로 보인다. 따라서 최적의 시각화를 제공하기 위해서는 사람들이 시각화 자료를 어떤 방식으로 지각하는지, 시각화의 부정적 효과는 존재하는지에 대한 분명한 이해가 필요하다.

Pinker(1990)는 사람들이 그래프를 지각할 때 상향처리와 하향처리의 연합을 통해 이루어진다고 주장하였다. 또한 Raschke and Steinbart(2008)는 그래프를 이해하는 것이 먼저 자동적이고 무의식적인 그래프 자체의 시각적 특색이 인코딩된 후 그래프 디자인이나 수행하고자 하는 과제에 대한 기존 지식을 통한 의식적 처리를 포함한다고 말한다. 최근, Padilla et al.(2018)은 그래프 지각에서의 정보처리과정에 대한 상향처리와 하향처리가 연합된 모델을 제안했으며 이 모델에 따르면 빠르고 자동적인 의사결정 상황에서는 주로 상향처리를 통한 의사결정이 이루어지고 이와 반대로, 심사숙고하는 의사결정 상황에서는 상향처리와 더불어 하향처리가 연합하여 더 정확한 의사결정으로 이어진다고 제시하였다. 따라서 빠르게 시각화 자료를 지각하는 상황에서는 상향처리에 의한 편향이 발생할 수 있으며 이는 시각화 자료가 가지는 '보이는 특성', 예를 들면 선, 면, 색, 크기 등에 의해 영향을 받을 수 있음을 알 수 있다.

#### 1.2 Within-the-bar bias

실제로 많은 선행연구는 그래프를 지각하는데 있어 다양한 형태의 편향이 존재한다는 사실을 밝혀왔다(Gillan et al, 1998; Raschke & Steinbart, 2008; Newman & Scholl, 2012). 이러한 편향은 주로

실제 데이터의 값보다 과대 혹은 과소판단하는 결과가 발생하게 된다. 본 연구에서 중점적으로 살펴보고자 하는 것은 Newman and Scholl(2012)의 연구에서 밝힌 within-the-bar bias 이다. 이 편향은 평균값을 제시한 하나의 수직 그래프를 지각할 때 발생하는 편향으로써 참가자들은 막대 위와 아래(막대 안과 밖)에 특정한 값이 존재할 가능성이 동일함에도 불구하고 막대안에 특정 값이 존재할 가능성이 크다고 판단하게 된다. 이는 여러 그래프를 제시하여 평균을 추정하게 하는 상황에서도 유사하게 나타나는데, Godau(2016)는 여러 막대그래프를 제시한 후 빨간 선을 막대그래프를 가로질러 제시한 후 참가자로 하여금 해당선이 그래프들의 평균보다 높은지 낮은지 판단하도록 했다. 그 결과 사람들은 막대그래프의 평균에 대해 실제 평균보다 낮게 추정하는 것을 알 수 있었다. 심지어 평균값을 정확하게 빨간선으로 제시하는 경우에도 참가자들은 선을 축 방향으로 더 이동시켜야 한다고 보고하였다. 이 편향은 실제로 막대가 의미하는 값이 막대의 모서리 즉, 끝 지점임에도 불구하고(다시 말해, 막대 내에는 데이터에 대한 어떠한 정보가 없음에도 불구하고) 막대라는 선과 면으로 이루어진 지각적 요소로 인해 막대 내에 의사결정을 도울 수 있는 요소가 있는 것처럼 판단하도록 하여 발생하는 것으로 보인다. 본 연구에서는 Newman and Scholl(2012)의 단일 막대그래프가 아닌 Godau(2016)의 여러 막대그래프에서 일어나는 within-the-bar bias 에 집중하여 살펴보고자 하였다.

Pentoney and Berger(2016)는 막대의 선과 음영이 Within-the-bar bias 에 영향을 주는지 살펴보았다. 이들은 95% 신뢰구간을 제시한 후 선과 음영 조건을 달리하여 편향의 정도를 살펴보았으며 그 결과, 음영이 없는 조건이 더 편향이 적다는 것을 발견하였다. 이는 단일 막대그래프를 사용하였으며 그래프의 구성요소를 변화하는 것이 편향에 직접적으로 영향을 줄 수 있음을 알려주는 연구다. 현재까지 여러 막대그래프에서 발생하는 within-the-bar bias 를 그래프 구성요소와 관련하여 살펴본 연구는 찾아보기 힘든 실정이며, Godau(2016)의 막대 간 간격이 존재하는 자극과 달리, Xiong et al.(2019)의 연구에서는 오히려 간격이 없는 막대 그래프를 사용했을 때 평균을 실제보다 높게 추정한다는 반대의 결과를 보이기도 했다. 하지만 이들의 연구에서 사용한 자극은 축으로부터 멀리 떨어지지 않은 낮은 형태의 막대그래프를 사용하였고 이에 따라 전경과 배경, 도형의 넓이 같은 요인이 추가적으로 영향을 미쳤을 것으로 판단된다. 이에 따라 본 연구에서는 여러 막대그래프의 평균을 추정하는

과제에서 막대가 가진 구성요소의 변화가 편향의 정도에 차이를 주는지 살펴보고자 하였다.

### 1.3 본 연구의 목적

본 연구에서는 막대그래프의 구성요소가 평균추정 편향에 미치는 영향을 살펴보고자 한다. 먼저 다중 그래프에서 평균 추정 과제를 실시하면 추정 평균을 축 방향으로(막대가 존재하는 방향으로) 실제 평균보다 더 낮게 추정한다는 Godau(2016)의 결과와 달리 Xiong et al.(2019)의 연구에서는 낮고 간격이 없는 막대그래프의 경우 실제평균보다 더 높게 지각한다는 결과를 보였다. 이런 상이한 결과가 막대의 간격이나 높이 때문인지 살펴보기 위해 막대 구성 요소를 높이(저, 중, 고)와 간격(유, 무)조건으로 달리하여 평균지각 과제를 실시하고자 하였다. 이와 더불어 막대 그래프의 축을 네 방향 모두 연결하여 전체 그래프가 테두리 안에 존재하는 조건(테두리 유,무)과의 차이도 살펴보고자 하였다. 이는 Xiong et al.(2019)의 간격없는 그래프 자극이 막대 그 자체보다 전경과 배경이라는 출현 속성이 평균 지각에 영향을 주었는지 살펴보고자 하는 것이다. 만약 전경과 배경이 평균 지각에 영향을 주었다면 막대라는 자극 자체가 가진 현저성이 주는 영향보다 전경과 배경 중 더 넓은 면적을 차지하는 부분이 평균지각에 영향을 주었을 가능성이 있다. 따라서 높이가 낮은 자극에서는 배경이 더 넓은 면적을 차지하기 때문에 평균을 높이 지각했을 것이다. 그래프에 테두리를 제시하면 전경과 배경이 가지는 면적이 정확히 구분가능하고, 만약 그래프의 높이에 따라 편향이 역전되는 결과가 나온다면 간격이 없는 다중 막대는 전경 배경 구분과 면적이 평균 추정에 영향을 미쳤다는 것을 확인할 수 있을 것으로 보인다. 반대로 간격이 있는 Godau(2016)의 실험과 같은 자극을 사용할 때에는 테두리나 그래프의 높이에 따라 역전되는 현상이 나타나지 않고 강력한 within-the-bar bias 가 나타날 것으로 예상된다.

## 2. 방법

### 2.1 참가자 및 연구설계

수도권 소재 대학의 77 명의 학부 학생이 실험에 참가하였다. 참가자는 모두 실험에 참가한 대가로 크레딧을 제공 받았다. 설계는 간격(유, 무) x 테두리(유, 무) x 그래프높이(저, 중, 고)이며 간격과 테두리는 피험자 간 설계, 그래프 높이는 피험자 내 설계로 이루어져 있다. 분석의 경우 본 연구의 관심이 간격과 높이, 테두리와 높이에서 발생하는 차이에 있기

때문에 간격과 테두리에 대해 각각 높이와의 상호작용을 분석하였다.

## 2.2 도구

그래프 자극은 그림 1 과 같다. 각각의 조건에 따라 그래프 간의 간격, 테두리 유무가 조작되었다. 그래프 방향은 총 두가지로 위로 뻗은 그래프와 아래로 뻗은 그래프가 있으며 Newman and Scholl(2012)의 단일 그래프 실험에서 방향에 따른 차이가 나타나지 않았으므로 본 연구에서도 방향에 따른 차이는 없을 것으로 기대된다. 그래프 제작에는 d3javascript library 를 사용하였으며 실험 제작은 SR Research 의 E-prime 3 가 사용되었다. 모니터는 1920 x 1080 의 해상도를 가진 17 인치 모니터가 사용되었다.

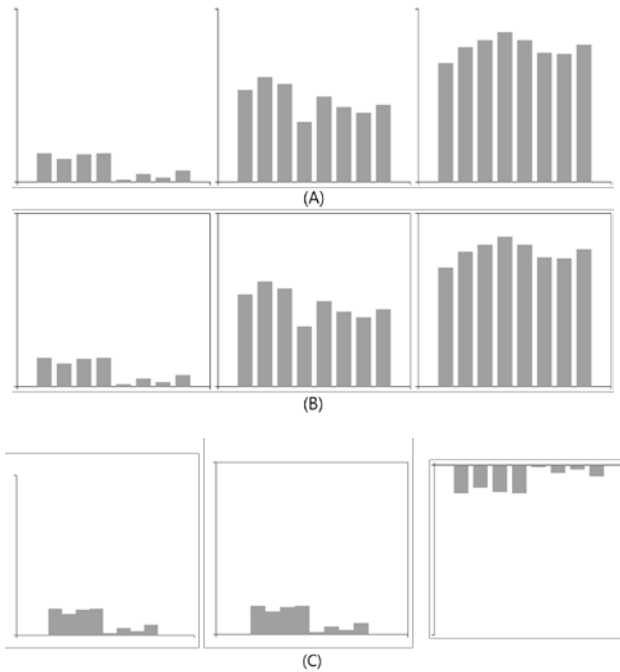


그림 1. 그래프 자극. (A)는 간격 유, 테두리 무 (B)는 간격 유, 테두리 유, (C) 왼쪽은 간격 무, 테두리 무 (C)오른쪽 중간은 간격 무, 테두리 유 (C)왼쪽은 아래 그래프

## 2.3 절차

실험 참가자는 먼저 실험에 동의한 후 컴퓨터 좌석에 앉아 자리를 조정한다. 진행자의 실험에 대한 설명을 들은 후, 연습시행을 통해 평균 판단 과제의 방법을 익힌다. 과제의 진행은 다음과 같다. 화면에 십자 모양의 응시점이 500ms 제시된 후 그래프가 등장한다. 참가자는 2 초 이내에 직관적으로 해당 그래프의 평균지점이 어디인지 판단하여 마우스로 클릭한다. 클릭한 지점에는 빨간색 선이 등장하여 자신의 판단에 대해 피드백 받을 수 있으며 2 초 이내에 드래그나 새로운 지점을 클릭하여 수정이 가능하다. 최종적으로

평균지점을 판단한 후에는 화면에 있는 [다음] 버튼을 눌러 다음 시행으로 넘어간다. 그래프 방향에 따라 총 두 블록으로 구성되어 있으며 한 블록당 28 시행으로 이루어져 있고 총 56 시행을 실시하게 된다. 실험이 끝나면 사후설명을 듣게 되며 실험에 소요된 시간은 약 15 분 정도 소요되었다.

## 3. 결과

편향에 대한 측정치는 실제평균값에서 참가자가 응답한 추정평균값을 뺀 픽셀값을 사용하였다. 해당 값이 양수가 나오면 해당 픽셀만큼 축 방향(막대 내부 방향)으로 편향을 일으킨 것이고 음수가 나오면 축의 반대 방향(막대 외부 방향)으로 편향을 일으킨 것으로 해석된다. 현재, 테두리 유무에 따른 간격이 있는 그래프의 데이터를 분석하였으며 아래에 그 결과를 제시하였다.

먼저, 간격과 그래프 높이에 대한 분석을 실시하기 위해 2(간격: 유 vs 무) x 3(높이: 저 vs. 중 vs. 고)에 대한 2x3 mixed ANOVA 분석을 실시하였다. 그 결과, 간격의 주효과 [ $F(1, 75) = 9.00, p = .004$ ], 높이의 주효과 [ $F(2, 150) = 98.22, p = .000$ ], 상호작용 [ $F(2, 150) = 55.24, p = .000$ ] 모두 유의한 것으로 나타났다. [표 1]에서 제시한 기술통계치를 살펴보면 간격이 있고 높이가 낮을 때만 양수의 값이 나타나고 나머지는 음수의 값이 나타났다. 어느 정도 편향값이 나타나야 with-the-bar bias 가 발생했다고 판단하는 기준은 없으나, 전반적으로 높이가 증가하면 평균에 대한 판단이 막대 내로 이동하는 것을 확인할 수 있다(음수 방향으로 커지는 것은 within-the-bar bias 가 발생함을 의미한다). 또한 간격이 있는 그래프에서 막대 내 방향으로의 편향이 큰 것을 알 수 있다. 마지막으로 상호작용이 유의한 이유는 간격이 있는 그래프에서 높이가 높아질수록 더 큰 폭으로 within-the-bar bias 가 발생하기 때문으로 해석할 수 있다.

표 1. 간격과 높이에 따른 기술통계치

간격	높이		
	저	중	고
유	4.92	-11.76	-40.58
	(7.04)	(15.11)	(29.11)
무	-2.56	-8.34	-9.60
	(6.20)	(6.89)	(7.07)

종합하면, 간격이 없는 막대 그래프에서 평균 지각을 실시하면 실제 평균보다 높게 판단한다는 Xiong et al.(2019)의 연구와 다르게 본 연구에서는 높이에 상관없이 간격이 없는 그래프도 막대 내 방향으로 편향이 발생함을 알 수 있었다.

두번째로, 테두리와 그래프 높이에 대한 분석을 실시하기 위해 2(테두리: 유 vs. 무) x 3(높이: 저 vs. 중 vs. 고)에 대한 2x3 mixed ANOVA 분석을 실시하였다. 그 결과, 테두리의 주효과[ $F(1, 75) = 28.72, p = .000$ ], 높이의 주효과[ $F(2, 150) = 122.21, p = .000$ ], 상호작용[ $F(2, 150) = 21.68, p = .000$ ] 모두 유의한 것으로 나타났다. 테두리가 있는 없는 경우보다 있는 경우에 막대 안쪽으로 편향이 더 발생하는 것을 알 수 있으며 높이의 경우는 이전 분석과 마찬가지로 증가할수록 막대 안쪽에서의 편향이 커지는 것을 알 수 있다. 상호작용의 경우는 테두리가 없는 경우보다 테두리가 있을 때 더 큰폭으로 막대 안쪽으로 편향이 증가함으로 인해 나타난 것을 확인할 수 있었다.

표 2. 테두리와 높이에 따른 기술통계치

테두리	높이		
	저	중	고
무	3.30	-6.15	-16.42
	(7.57)	(7.16)	(12.71)
유	.56	-17.08	-46.48
	(7.52)	(16.33)	(33.40)

#### 4. 결론

본 연구에서는 그래프의 간격 유무와 테두리 유무, 높이에 따라 그래프 평균지각에서 발생하는 편향이 영향을 받는지 살펴보고자 하였다. 특히 Godau(2016)의 연구와 Xiong et al.(2019)의 연구에서 나타난 편향의 상이한 현상의 원인에 대해 알아보하고자 하였다. 연구 결과, Xiong et al.(2019)의 결과와 달리 간격이 없는 그래프에서도 평균 추정시에 막대 안쪽으로 편향이 발생하는 것을 알 수 있었다. 이에 따라 전경과 배경에 대한 본 연구의 가설은 성립되지 않는 것으로 나타났다. 선행연구와 다르게 간격이 없는 그래프에서 상이한 결과가 나온 원인으로는 그래프의 길이를 생각해 볼 수 있다. Xiong et al.(2019)의 그래프는 좌,우로 굉장히 넓게 퍼져 있는 형태였고, 본 연구에서 사용한 그래프는 선행연구에서 사용한

그래프보다 좌, 우 길이가 짧았다. 본 연구에서도 미약하게나마 이에 대한 근거를 찾아볼 수 있는데, 실험에서 사용한 간격이 있는 그래프의 경우 간격이 없는 그래프보다 좌, 우 폭이 조금씩 넓었다. 높이가 낮은 경우를 살펴보면 간격이 있을 때 막대 바깥쪽으로 약간의 편향이 발생한 것을 확인할 수 있는데, 만약 좌,우 그래프 폭이 평균 지각에 영향을 미친다면 이 결과에 대한 해석이 가능할 것으로 보인다. 테두리에 따른 차이도 존재하는 것으로 나타났는데, 예상한 바와 달리 높이가 낮고 테두리가 없을 때 막대 바깥으로 편향이 발생하는 것을 알 수 있었다. 따라서 막대 그래프의 평균 지각을 할 때 막대와 그 배경영역에 대한 비교가 참조점이 되는 것이 아니라 단지 테두리의 존재 자체가 막대 안쪽으로 편향을 일으키게 한다는 요인임을 알 수 있다.

본 연구에서 살펴본 바와 같이 막대 그래프와 같은 시각화 도구를 통해 데이터를 제시할 때, 작은 요인 하나가 사람들의 평균 추정에 영향을 준다는 사실을 알 수 있다. 따라서 데이터를 제시하는 사람도, 데이터를 보는 사람도 이러한 편향의 존재를 인식하고 더 정확하게 데이터를 인식할 수 있는 방식을 고안해야 할 것이다.

#### 참고 문헌

1. Gillan, D. J., & Cooke, N. J. (1998, October). *Making usability data more usable. In Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 42, No. 3, pp. 300-304). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications.
2. Godau, C., Vogelgesang, T., & Gaschler, R. (2016). Perception of bar graphs – A biased impression?. *Computers in Human Behavior*, 59, 67-73.
3. Kirschenbaum, S. S., & Arruda, J. E. (1994). Effects of graphic and verbal probability information on command decision making. *Human Factors*, 36(3), 406-418.
4. Meyer, J., Shinar, D., & Leiser, D. (1997). Multiple factors that determine performance with tables and graphs. *Human factors*, 39(2), 268-286.

5. Newman, G. E., & Scholl, B. J. (2012). Bar graphs depicting averages are perceptually misinterpreted: The within-the-bar bias. *Psychonomic bulletin & review*, 19(4), 601–607.
6. Padilla, L. M., Creem-Regehr, S. H., Hegarty, M., & Stefanucci, J. K. (2018). Decision making with visualizations: a cognitive framework across disciplines. *Cognitive research: principles and implications*, 3(1), 29.
7. Peebles, D., & Ali, N. (2009). *Differences in comprehensibility between three-variable bar and line graphs*. In *Proceedings of the thirty-first annual conference of the cognitive science society* (pp. 2938–2943). Lawrence Erlbaum Mahwah, NJ.
8. Pentoney, C. S., & Berger, D. E. (2016). Confidence Intervals and the Within-the-Bar Bias. *The American Statistician*, 70(2), 215–220.
9. Pinker, S. (1990). A theory of graph comprehension. *Artificial intelligence and the future of testing*, 73–126.
10. Raschke, R. L., & Steinbart, P. J. (2008). Mitigating the effects of misleading graphs on decisions by educating users about the principles of graph design. *Journal of Information Systems*, 22(2), 23–52.
11. Speier, C. (2006). The influence of information presentation formats on complex task decision-making performance. *International Journal of Human-Computer Studies*, 64(11), 1115–1131.
12. Xiong, C., Ceja, C. R., Ludwig, C. J., & Franconeri, S. (2019). Biased Average Position Estimates in Line and Bar Graphs: Underestimation, Overestimation, and Perceptual Pull. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*.