

표적 출현확률에 따른 시각탐색 정보처리 특성

박 형 범 손 한 결 현 주 석[†]

중앙대학교 심리학과

일상생활에서의 시각탐색의 대상이 되는 표적 사물의 출현 가능성 즉 출현 확률은 매우 낮은 경우부터 높은 경우까지 다양하다. 그럼에도 불구하고, 실험실 상황의 시각 탐색 연구에서 표적의 출현 확률은 대개 50%의 확률로 고정되는 경우가 대부분이다. 본 연구에서는 서로 다른 표적 출현확률의 영향 하에 시각탐색 과정에서의 정보처리 특성을 조사하였다. 지각적으로 단순한 도형자극으로 구성된 시각탐색과제가 실시되었으며, 탐색 표적이 제시되는 빈도를 저빈도(20%)와 중립빈도(50%), 또는 고빈도(80%)로 달리함으로써 표적 출현확률이 탐색 정보처리 책략에 미치는 영향을 탐색 정확도, 신호탐지 측정치 그리고 반응시간 차원에서 조사하였다. 실험 결과, 표적이 드물게 출현할수록 실수율이 증가하고 헛경보율이 감소했으며 반대로 고빈도 표적탐색에서는 역전된 패턴이 관찰되었다. 신호탐지 분석 결과, 이러한 결과는 민감도가 아닌 탐색 반응기준의 이동에 의한 것으로 확인되었다. 또한 반응시간 차원에서, 표적 있음 시행에서의 적중 반응은 출현 확률과 관계없이 일정했던 반면 표적 없음 시행에 대한 정확한 기각 반응은 출현확률에 비례해 지연된 것이 관찰되었다. 이러한 결과는 표적이 빈번하게 출현할수록 표적 없음 상황에서 탐색을 종료하기 위한 탐색 역치 기준이 보수적이었음을 의미한다. 본 연구의 결과는 표적 출현확률 효과가 단순히 반응편향에 따른 속도-정확도 교환이 아닌 의사결정 기준의 변화에 기초한 상이한 탐색 정보처리 과정의 산물임을 시사한다.

주제어 : 시각탐색, 표적 출현확률, 민감도, 반응기준

[†] 교신저자: 현주석, 중앙대학교 사회과학대학 심리학과, 연구 분야: 심리학(인지심리, 실험 심리) / Tel: 02-820-5128, Fax: 02-816-5124, E-mail: jshyun@cau.ac.kr

시각 환경에서 탐색의 대상이 되는 표적의 위치나 출현 여부를 빠르고 정확하게 판단하는 것은 외부환경에 대한 적응적 행동에 매우 중요하다. 지난 수십 년간 시각탐색에 관한 방대한 연구들은 탐색 정보처리의 원리를 밝혀왔다(Wolfe, 1994; Treisman & Gelade, 1980; Bundesen, 1990). 대부분의 시각탐색 연구들에서는 실험적 처치 이외의 요인을 통제하기 위해 탐색 표적이 제시될 확률이 전체 시행에서 50%로 고정된다(Vergheze, 2001). 그러나 일상적 시각탐색에서 관찰자가 의도하는 탐색 대상은 절반의 확률로 출현하기 보다는 상황에 따라 다양하며, 경우에 따라서는 극히 드물거나 또는 빈번한 것이 사실이다.

비대칭적인 표적 출현 하에 이루어지는 시각탐색 특성을 조사하는 것은 시각 정보처리에 대한 탐구 이상의 현실적 함의를 지닌다. 가령 공항에서의 X-ray 보안 검색이나 임상적 진단의 경우 드물게 출현하는 표적에 대해 신속하면서도 정확한 판단이 요구되며 탐색 결과가 미치는 영향은 매우 중요하다. 이러한 중요성을 바탕으로 최근 일련의 연구들은 탐색 표적이 출현하는 확률에 따라 시각탐색 수행 양상이 상이한 현상 즉 표적 출현확률(target prevalence) 효과를 보고한 바 있다(Wolfe, Horowitz, & Kenner, 2005; Wolfe, Horowitz, Van Wert, Kenner, Place, & Kibbi, 2007; Wolfe & Van Wert, 2010; Gur, Rockette, Armfield, et al., 2003; Godwin, Menneer, Cave, & Donnelly, 2010; Godwin, Menneer, Cave, Thaibsyah, & Donnelly, 2014). 표적 출현확률을 구분한 범위와 정도는 상이하나 대부분의 연구들은 공통적인 결과를 보고하였다.

표적이 드물게 즉 50% 이하의 확률로 출현할 경우(이하 ‘저빈도’) 표적없음 반응이 빈번해짐에 따라 제시된 표적을 탐지하지 못하는 실수율(miss rate)이 증가하는 반면, 표적이 빈번하게 출현할 경우(이하 ‘고빈도’) 헛경보율(false alarm rate)이 증가한다. 또한 신호탐지 차원에서 이러한 탐색 수행 변화는 표적과 방해자극간 변별성을 반영하는 민감도(sensitivity)가 아닌 반응편향을 반영하는 반응기준(criterion)에 의한 것임이 확인된 바 있다(Wolfe et al., 2007; Wolfe & Van Wert, 2010; Godwin et al., 2010, 2014). 신호탐지 반응기준 이동(shift)에 따른 실수율과 헛경보율의 상호 교환에 근거할 때, 표적 출현확률 효과의 원인이 단순히 특정 반응(‘표적있음’ 또는 ‘표적없음’)으로의 편향에 의해 관찰자가 미성숙한 탐색(premature search)을 수행하였기 때문이라는 속도-정확도 교환의 가능성을 생각해볼 수 있다. 즉 이러한 ‘속

도-정확도 교환 가설은 표적 출현확률 효과에 대해 표적자극 제시 여부에 대한 충분한 평가가 이루어지지 않았음에도 불구하고 반응편향에 기반을 둔 관찰자의 지나치게 신속한 반응에 따라 드물게 출현하는 시행유형(저빈도에서의 표적출현 또는 고빈도에서의 표적부재)에서의 탐색 오류가 증가한다고 설명한다. 특히 Fleck 과 Mitroff(2007)는 저빈도 표적탐색에서 참가자들로 하여금 한 차례의 반응 이후 이를 교정할 수 있는 반응기회를 추가로 제공한 결과, 표적 출현확률 효과가 상쇄됨을 관찰하였으며 따라서 저빈도 표적에 대한 잦은 실수반응은 반응-실행 오류(response-execution error)에 기인한다고 주장하였다.

그러나 속도-정확도 교환 가설은 선행연구들에서 관찰된 고빈도 표적탐색의 반응시간 자료를 설명할 수 없다(Wolfe et al., 2007). 속도-정확도 교환 가설에 따르면 기본적으로 향후 시행에서의 표적 출현확률이 예견되는 저빈도 및 고빈도 표적탐색에서의 반응시간은 모두 중립빈도에 비해 신속해야 함에도 불구하고, 참가자들의 반응시간은 표적 출현확률이 증가함에 따라 지연되었다. 구체적으로, 저빈도 표적탐색 상황에서 빈번한 표적없음 반응에 소요되는 시간은 중립빈도(50%) 표적탐색에 비해 감소하였다. 그러나 고빈도 표적탐색 상황에서는 정반대의 경향이 관찰된다. 빈번하게 출현하는 표적에 대한 탐지 반응은 감소하지 않았으며, 오히려 표적없음 시행에서의 반응시간이 큰 폭으로 증가하였다.

표적 유무에 따라 서로 상이한 표적 출현확률 효과를 설명하기 위해 Wolfe와 Van Wert는 2-AFC(two-alternative forced choice) 모형에 근거하여 내적 결정기준(internal decision criterion)과 탐색종료 역치(quitting threshold)의 ‘두 가지 결정 가설’을 상정하였다(Wolfe & Van Wert, 2010). 내적 결정기준은 순차적 탐색 과정에서 현재 평가의 대상이 되는 항목의 표적여부 판단에 영향을 미치는 준거이다. 표적 출현확률에 따라 결정기준이 이동하므로 저빈도와 고빈도 표적탐색에서 불충분한 평가에 의해 각각 실수와 헛경보 반응이 발생할 가능성이 높아진다. 탐색종료 역치는 탐색 항목에 대한 순차적 평가 과정에서 더 이상 표적이 탐지되지 않을 경우 탐색을 종료하고 표적없음 반응을 도출하기 위해 충족되어야 하는 정보량을 의미한다. 따라서 고빈도 표적탐색에서 표적없음으로 탐색을 종료하기 위해서는 더 많은 항목을 더 오랫동안 평가하는 철저한 탐사(exhaustive search)가 수반되므로 반응시간이 지연된다고 주장하였다.

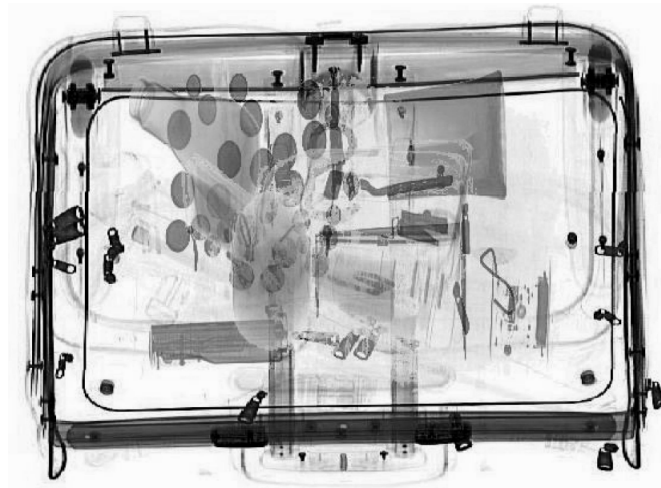


그림 1. 선행연구에서 사용된 탐색자극 예시(Wolfe et al., 2007; Experiment 1, target-absent trial)

한편 시각탐색 표적 출현확률 효과의 원인을 조사한 대부분의 선행연구들은 공항 보안검색과 최대한 유사하도록 X-ray 형태의 실제 사물로 구성된 탐색자극을 사용하였다(그림 1). 이와 같은 자극세트의 사용은 외적 타당성을 높이고 현실적 함의를 제시하는데 있어 분명한 도움을 줄 수 있으나, 자극 간 물리적 속성이나 의미적 범주에 따른 요인을 통제하기 어렵다. 그럼에도 불구하고 지각적으로 단순한 자극을 사용하여 표적 출현확률이 탐색 정보처리에 미치는 영향을 조사한 연구는 거의 드물었던 것이 사실이다(Rich, Kunar, Van Wert, Hidalgo-Sotelo, Horowitz, & Wolfe, 2008). 특히 X-ray 보안검색 과제에서는 개별 탐색항목의 지각적 세부특징 요인(e.g. 크기, 방위, 복잡성)이 통제되지 않았을 뿐만 아니라, 탐색 표적은 총이나 칼과 같은 위협적 사물로 지정되므로 표적 자극의 정서적 속성은 불가피한 선택적 주의를 유도하는 위협우세효과(threat-superiority effect)의 영향으로부터 자유롭다고 보기 어렵다(Fox, Griggs, & Mouchlianitis, 2007; Blanchette, 2006; Pourtois, Schwartz, Seghier, Lazeyras, & Vuilleumier, 2006). 따라서 실제 시각탐색 환경을 모사한 자극 구성을 통해 관찰된 표적 출현확률 효과가 근본적인 시각탐색 정보처리에 기인하는지, 혹은 지각적 복잡성에 따른 항목 식별(identification)의 실패 또는 반응편향으로

의 유인과 같은 영향에 의한 것인지를 구분하는데 제약이 있다. 본 연구에서는 지각적으로 단순한 자극을 사용하여 상이한 표적 출현확률아래 관찰자들의 탐색 수행을 조사하였다. 구체적으로 기존 시각탐색 정보처리를 밝히는 데 반복적으로 활용되어온 탐색과제 및 지각적으로 통제된 자극을 사용하여 측정된 탐색 정확도와 신호탐지 측정치, 그리고 반응시간 자료를 분석함으로써 선행연구들의 결과를 반복검증하고, 표적유무에 따라 상이한 표적 출현확률 효과를 초래한 원인을 정보처리 모형에 근거하여 추론하였다.

실 험

참가자

중앙대학교에 재학중인 19-28세의 피험자 24명(여성 10명)이 실험에 참여하였으며, 실험 참가에 대한 보상으로 소정의 사례비가 지급되었다. 모든 참가자는 참가 동의서에 동의 서명을 한 뒤 실험에 참여하였으며, 정상 시력 또는 정상 교정시력을 보유하고 있음을 보고하였다.

자극과 절차

그림 2A에 본 연구에서 사용된 시각탐색 자극구성을 도해하였다. 알파벳 ‘T’와 ‘L’ 형태의 도형이 각각 표적과 방해자극으로 사용되었다. 탐색 정확도의 천정효과를 방지하기 위해 방해자극(L)을 구성하는 두 선분이 맞닿는 지점에 대해 가로 선분의 왼쪽 모서리로부터 20%의 간격을 적용하였으며, 화면에 제시되는 개별 자극에 대해 네 가지 방위(0, 90, 180, 270도)의 회전율이 무선적으로 적용되었다. 시각자극은 참가자로부터 60cm 간격에 위치한 주사율 120Hz의 22인치 LCD 모니터에서 제시되었다. 실험 설계는 Matlab Psychophysics Toolbox를 통해 구현되었다(Brainard, 1997).

모든 시행은 화면 중앙에 500ms 동안 제시되는 응시점(시각 $0.35^\circ \times 0.35^\circ$)과 함께 시작되며, 응시점의 종료와 함께 탐색배열이 제시된다. 탐색배열에는 여섯 개의

탐색 항목(0.89° 길이의 두 선분 조합)이 화면 중앙으로부터 10.61° x 10.61°의 영역 내 무선적 위치에 중첩되지 않도록 제시되었다. 탐색배열은 최대 5초까지 화면에 제시된 이후 사라진다. 참가자들은 방해자극(L) 가운데 표적자극(T)이 제시되었는지 여부를 판단하여 키보드 상 'Z' 또는 '/' 버튼을 눌러 보고하도록 지시 받았다. 본 과제는 공간구조 탐색(spatial configuration search)으로, 표적과 방해자극 간 세부특징을 공유하므로 관찰자로 하여금 개별 항목에 대한 순차적 자기종료 탐색(serial self-terminating search)을 요구한다(Chun & Wolfe, 1996; Wolfe, 1998). 이와 같은 탐색 과제의 사용은 실제 탐색상황을 모사한 선행연구에서 이루어지지 않은 탐색자극의 지각적 속성을 통제하되 순차적 탐색을 유지하므로 표적 출현확률 효과가 과제 특성과 관계없이 보편적인 시각 탐색 정보처리를 반영하는지를 조사하기 위한 본 연구의 목적에 부합한다.

표적 출현확률은 저빈도(20%)와 중립빈도(50%) 그리고 고빈도(80%)로 나뉜다. 선행연구에 근거하여, 출현확률 간 이월효과(carryover effect)를 방지하기 위해 저빈도와 고빈도 그리고 중립빈도에 각각 8명의 참가자들이 할당되었다(Godwin et al., 2014). 본 실험 이전 참가자들은 실험자의 감독 하에 40개 내외의 연습시행을 수행하였으며, 연습시행에서의 표적 출현확률은 본 실험에서 해당 참가자가 할당된 것과 동일하였다. 실험은 총 400시행으로, 표적 출현확률(고빈도, 저빈도, 중립빈도)에 따라 '표적있음'과 '표적없음' 시행의 개수는 각각 320 대 80시행, 80 대 320시행, 그리고 각각 200시행씩으로 구성되었다. 표적 유무는 시행 간 무선회 되었으며 반응의 정확성과 속도가 동일하게 강조되었다.

결과분석

표적유무(표적있음, 표적없음)에 따른 탐색 정확성과 신호탐지 측정치, 그리고 평균 반응시간 자료에 대해 표적 출현확률(저빈도, 중립빈도, 고빈도) 간 상호 비교가 이루어졌다. 사후 다중비교에 따른 1종 오류의 가능성이 있는 경우 Bonferroni 교정을 통해 보수적인 유의확률 기준을 사용하였다. 신호탐지 분석에서 민감도 지표에는 $d'[z(\text{적중률}) - z(\text{헛경보율})]$ 이, 반응기준 지표에는 $d[-0.5 * z(\text{적중률}) + z(\text{헛경보율})]$ 가 사용되었다(Macmillan & Creelman, 2005).

일반적인 시각탐색에서 표적있음 반응은 표적없음 반응에 비해 약 0.5 비율로 신속한데, 이는 순차적 자기종료 탐색 상황에서 표적이 제시될 경우 해당 항목이 탐지되는 시점은 평균적으로 전체 항목개수의 절반에 해당하는 반면 표적이 제시되지 않을 경우 탐색종료는 대개 모든 항목에 대한 평가를 수반하기 때문이다 (Wolfe, 1994; Treisman, 1999; Woodman & Luck, 2003). 표적 출현확률 효과는 표적있음 및 없음 반응에 상이한 편향을 초래하므로 본 연구의 반응시간 분석에서는 표적 출현확률에 따른 표적유무 반응시간 양상에 초점을 맞추었다.

평균과 변량에 근거한 반응시간 분석은 실험적 처치 간 정보처리 속도에 대한 중요한 집중경향치로 다루어져 왔으나, 대개 인지적 과제에서 나타나는 반응시간 분포는 의사결정 과정의 잡음 및 주의통제의 일탈(lapse of attentional control) 등에 의한 지연반응으로 인해 정적 편포를 이룬다(Van Zandt, 2000; 박형범, 현주석, 2014). 또한 개별 참가자간 전반적인 반응 속도에는 개인차가 존재하며, 이는 상대적으로 적은 표본으로부터 얻어진 반응시간 자료에서 더욱 분명하다. 따라서 본 연구에서는 개별 참가자의 반응시간 자료에 대해 Vincentizing 절차를 통해 표준화하였다(Vincent, 1912). Vincentizing은 분위 평균(quantile averaging)으로, 개별 참가자의 전체 반응시간 자료를 오름차순 하여 최소값과 최대값을 0~100% 백분위로 하는 구간 내에서 변환한다. 평균과 변량에 근거한 z-점수 표준화와 달리 Vincentizing은 극단치의 영향으로부터 자유롭기 때문에 집단 반응시간을 통해 각 실험적 처치의 효과를 검증하기 위해 효과적으로 사용되어왔다(Vincent, 1912; Ratcliff, 1979; Andrews & Heathcote, 2001; Penner-Wilger, Leth-Steensen, & LeFevre, 2002).

결 과

탐색 오류율

먼저 표적 출현확률에 따른 참가자 집단의 전반적인 탐색 오류율은 저빈도와 중립빈도, 그리고 고빈도에서 각각 $7.07 \pm 2.20\%$, $6.91 \pm 3.60\%$, $3.44 \pm 2.57\%$ 로, 대부분의 시행에서 정확한 탐색이 이루어졌음을 의미한다. 전반적인 탐색 오류율

에서는 표적 출현확률의 주효과가 관찰되었으나, $F(2, 21) = 4.14, p < .05, \eta^2 = .28$, Bonferroni 교정에 따라 사후분석에서 개별 출현확률 간 오류율의 차이는 유의미성에 도달하지 못하였다, $t_s < 3.04, p_s > .057$.

본 연구에서는 표적 출현확률에 따라 빈번한 시행과 드물게 출현하는 시행 유형에서의 탐색 수행 비교에 목적을 두므로, 그림 2B에 표적 출현확률에 따른 참가자들의 표적유무 조건별 탐색 오류율을 도해하였다(헛경보율과 실수율은 각각 표적없음 조건과 표적있음 조건에서의 오류율을 의미한다). 개체 내 요인(표적유무; 표적없음, 표적있음)과 개체 간 요인(표적 출현확률; 저빈도, 중립빈도, 고빈도)에 근거한 이원변량분석(two-way ANOVA)를 실시한 결과, 표적유무의 주효과와 더불어, $F(1, 21) = 45.47, p < .001, \eta^2 = .68$, 표적유무와 표적 출현확률 간 유의미한 상호작용이 관찰되었다, $F(2, 21) = 42.96, p < .001, \eta^2 = .80$. 또한 표적 출현확률은 헛경보율과 실수율 모두에 영향을 주었다, $F_s > 11.71, p_s < .001, \eta^2_s > .54$. 이러한 결과는 표적 출현확률의 효과가 표적유무 시행의 탐색 정확도에서 상이하게 발생하였음을 의미한다. 헛경보율과 실수율 각각에 대해 표적 출현확률 간 수행차이를 비교하기 위해 차이검증을 실시한 결과, 헛경보율은 중립빈도 대비 고빈도에서 증가하였으며, $t(14) = -2.90, p < .01$, 실수율은 중립빈도 대비 저빈도에서 증가하였다, $t(14) = -5.21, p < .001$. Bonferroni 교정에 따라 중립빈도 대 저빈도 간 헛경보율 차이와 중립빈도 대 고빈도 간 실수율의 차이는 유의확률에 도달하지 못하였다, $t_s < 3.22, p_s > .249$.

신호탐지 측정치

신호탐지 반응기준과 민감도를 통해 탐색 오류 결과를 초래한 원인을 조사하였다(그림 2C). 표적 출현확률에 따라 반응기준에서 유의미한 효과가 관찰되었으며, $F(2, 21) = 79.18, p < .001, \eta^2 = .88$, 이는 표적확률이 증가할수록 참가자들이 ‘표적있음’ 반응에 대해 상대적으로 자유로운 기준(liberal criterion)을 적용하였음을 의미한다, $t_s > 6.02, p_s < .001$. 반면 민감도에서는 표적 출현확률의 효과가 관찰되지 않았다, $F(2, 21) = 2.01, p = .159, \eta^2 = .16$. 이러한 결과는 표적 출현확률 효과가 표적과 방해자극을 구분하는 민감도 특성이 아닌 반응기준 이동에 의한 것임

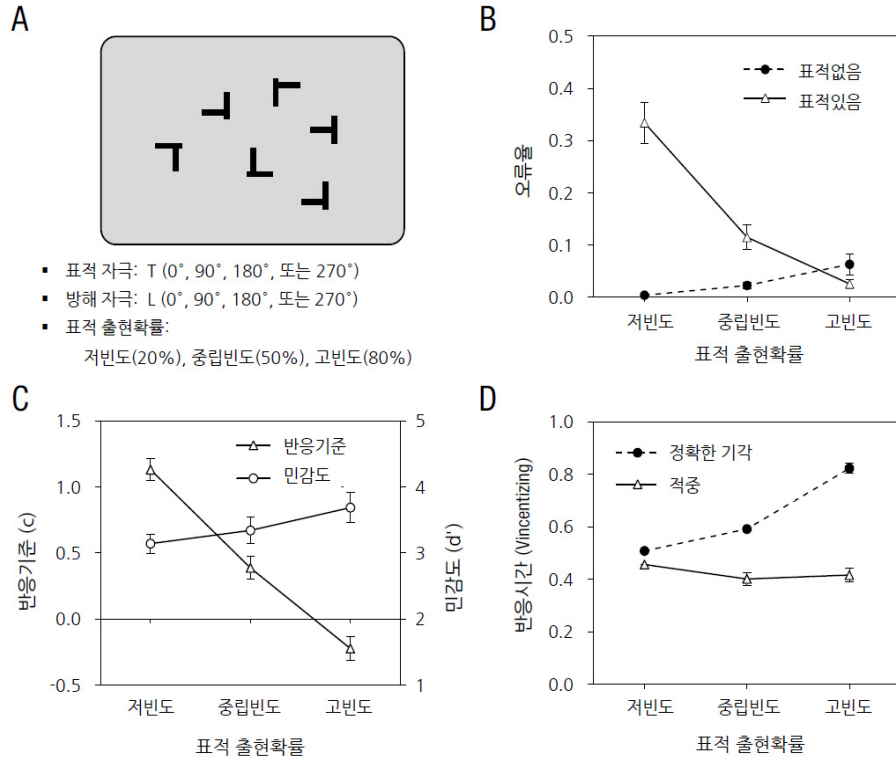


그림 2. 실험 자극 및 탐색수행 결과. (A) 탐색자극은 알파벳 T(표적자극)와 L(방해자극)으로 구성되며 개별 자극에 대해 각각 0, 90, 180, 또는 270°의 회전율이 무선적으로 적용되었다. 실험 참가자들은 세 집단으로 나뉘어 저빈도(20%), 중립빈도(50%), 또는 고빈도(80%) 표적 출현확률 조건에 할당되었다. 표적 출현확률에 따른 (B)오류율(표적없음 조건과 표적있음 조건에 따라 각각 헛경보율과 실수율), (C)신호탐지 반응기준 및 민감도, (D)정반응 반응시간 자료. 오차막대: 표준오차(SEM)

을 보고한 선행연구와 일치한다.

반응시간

표적 출현확률에 따른 적중(hit) 및 정확한 기각(correct rejection) 반응시간을 그림

2D에 도해하였다. 표적유무(적중, 정확한 기각)의 주효과가 관찰되었으며, $F(1, 21) = 134.81, p < .001, \eta^2 = .87$, 표적유무와 표적 출현확률 간 유의미한 상호작용이 관찰되었다, $F(2, 21) = 32.00, p < .001, \eta^2 = .75$. 이러한 상호작용은 표적 출현확률이 적중 반응시간에는 유의미한 수행 차이를 초래하지 못한 반면, $F(2, 21) = 2.09, p = .148, \eta^2 = .17$, 정확한 기각 반응시간에만 유의미한 영향을 미쳤음에 기인한다, $F(2, 21) = 122.56, p < .001, \eta^2 = .92$. 정확한 기각 반응시간은 표적 출현확률이 증가함에 따라(저빈도-중립빈도, 중립빈도-고빈도) 상대적으로 지연된 반면, $t_s > 4.03, p_s < .003$, 적중 반응시간에서는 모든 표적 출현확률 간에 유의미한 차이가 관찰되지 않았다, $t_s < 1.59, p_s > .197$.

불충분한 평가와 탐색오류

반응시간 자료에서 표적유무에 따라 상이하게 관찰된 표적 출현확률 효과는 개별 출현확률에서 정반응(정확한 기각 및 적중)을 도출하기 위해 소요되는 평가과정에서 표적유무 조건 간에 상이하였음을 의미한다. 따라서 탐색 항목에 대한 평가 및 행동반응에 소요된 시간과 탐색 정확성간의 관계성을 조사하기 위해 그림 3에 참

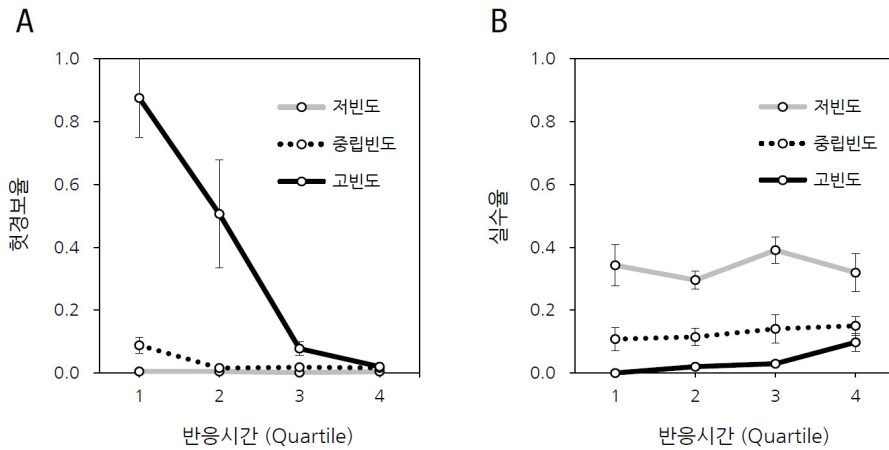


그림 3. 사분위(quartile; 0-25%, 25-50%, 50-75%, 75-100% 구간 평균) 반응시간에 따른 표적 출현확률 별 (A) 헛경보율과 (B)실수율

가자들의 사분위(quartile; 0-25%, 25-50%, 50-75%, 75-100% 구간 평균) 반응시간에 따른 헛경보율과 실수율을 도해하였다. 표적없음 시행에서의 헛경보율(그림 3A)에서는 반응시간 구간의 유의미한 주효과, $F(3, 63) = 19.07, p < .001, \eta^2 = .48$, 및 표적 출현확률과의 상호작용이 관찰되었다. $F(6, 63) = 15.30, p < .001, \eta^2 = .59$. 이는 고빈도 표적탐색에서 의사결정이 신속할수록 상대적으로 더 많은 오류가 발생하였음을 의미한다. 이와는 대조적으로, 표적있음 시행에서의 실수율(그림 3B)에서는 반응시간 구간(1, 2, 3, 4분위)에 따른 주효과가 관찰되지 않았으며, $F(3, 63) = 1.81, p = .155, \eta^2 = .08$, 반응시간 구간과 표적 출현확률 간의 상호작용 역시 관찰되지 않았다, $F(6, 63) = 1.12, p = .359, \eta^2 = .10$. 본 연구에서 관찰된 신호탐지 민감도(d')가 표적 출현확률과 관계없이 비교적 높게 유지되었던 점을 고려할 때(그림 2C; 평균 3.39, 저빈도에서 3.14, 중립빈도에서 3.34, 고빈도에서 3.69), 순차적 평가 과정에서 실제 화면상에 출현한 표적 자극이 선택될 경우, 표적 판단에 성공하여 적중반응에 소요되는 시간은 출현확률과 독립적이었음을 의미한다.

논 의

속도-정확도 교환 가설 vs. 두 가지 결정 가설

분석결과를 종합할 때 표적 출현확률 효과는 신호탐지 반응기준 및 정확한 기각 반응시간에서 관찰된 반면 민감도 및 적중 반응시간에는 영향을 미치지 않았다. 이는 표적 출현확률에 따른 탐색 수행변화를 보고한 선행연구들과 일치하는 결과로, X-ray 보안검색과 같이 실제 사물들로 구성된 탐색과제에서 상이한 표적 출현확률에 따른 탐색 전략이 지각적으로 매우 단순한 시각탐색 상황에서도 관찰자에게 동일하게 적용되었음을 의미한다(Wolfe et al., 2005, 2007; Wolfe & Van Wert, 2010; Gut et al., 2003; Godwin et al., 2010, 2014).

고빈도 표적탐색에서의 반응시간 결과는 속도-정확도 교환 가설과 두 가지 결정 가설의 평가에 가장 핵심적인 정보를 제공한다. 빈번한 표적있음 시행에서의 적중 반응시간은 상대적으로 감소하지 않은 반면, 상대적으로 드문 표적없음 시행에서

정확한 기각 반응에 소요되는 시간은 큰 폭으로 증가되었다(그림 2D). 또한 Fleck과 Mitroff(2007)가 지적한 것과 같이 낮은 표적출현 상황에서 관찰자의 부주의한 반응이 탐색 오류를 초래한 것이라면 민감도(d')의 저하가 관찰되어야 하나, 본 연구 결과에서 민감도의 유의미한 저하는 관찰되지 않았다. 따라서 표적 출현확률 효과가 단순 반응편향에 따른 운동 오류에 의한 것임을 주장한 속도-정확도 교환 가설은 이러한 결과를 설명하는 데 어려움이 있다.

다음으로, 두 가지 결정 가설의 이론적 가정을 통해 표적 출현확률 효과의 원인을 추론하기 위해서는 2-AFC 방식에 근거한 시각탐색 상황에서 관찰자의 정보처리 과정을 고려할 필요가 있다(Wolfe & Van Wert, 2010). 첫째로, 탐색배열이 제시되면 관찰자는 개별 항목에 대한 순차적 평가를 시작한다($S_1, S_2, \dots, S_N \dots S_{max}$). 이때 현재 평가의 대상이 되는 항목의 표적 가능성이 내적 결정기준을 달성할 경우 ‘표적있음’ 반응이 도출되며, 그렇지 않을 경우 다음 항목에 대한 평가가 시작된다. 표적 출현확률에 따라 표적에 대한 내적 결정기준이 이동하므로 불충분한 평가에도 불구하고 고빈도에서는 헛경보 반응이, 저빈도에서는 실수 반응이 발생할 가능성이 증가한다.

둘째로, 더 이상 표적이 발견되지 않을 경우 관찰자는 탐색을 종료하고 ‘표적없음’ 반응을 내려야 한다. 두 가지 결정 가설에서 표적없음 반응에 도달하기 위한 정보량 즉 탐색종료 역치는 저빈도에서 상대적으로 ‘낮으며’ 고빈도에서는 ‘높다’. 결과에서 정확한 기각 반응시간은 표적이 빈번하게 출현할수록 지연되었으므로, 고빈도 표적탐색에서 표적없음 반응을 위해 보수적인 기준이 수립되었음을 의미한다. Godwin 등(2014)은 안구운동(eye-movement) 측정을 통해 표적 출현확률이 높을 경우(75%) 표적없음 시행에서 총 응시시간(total gaze duration)이 증가함을 관찰하였으며, 이것이 개별항목에의 첫 번째 고정시간(single fixation duration)의 증가가 아닌 한 차례 검사했던 항목에 대한 재방문 비율(proportion revisited)의 증가에 의한 것임을 보고한 바 있다. 이는 두 가지 결정 가설의 탐색종료 역치에 부합하는 결과이다.

표적 출현확률에 따른 탐색종료 역치의 이동과 그에 따른 정확한 기각 반응시간 양상에 대한 이해를 돕기 위해 정보처리 확산모형(diffusion model)에 기초하여 이를 해석하였다(그림 4). 확산모형에서 의사결정과 이에 따른 행동반응의 발현은

정보처리 시작점으로부터 의사결정 경계까지의 지속적인 정보 축적(information accumulation)으로 설명된다(Ratcliff, 1978; Ratcliff & Rouder, 2000; Palmer, Huk, & Shadlen, 2005). 축적된 정보가 의사결정 경계에 도달하면 반응이 도출되며, 이 때 반응의 신속성은 표류율(drift rate; 그림 4A) 또는 의사결정 경계(decision boundary; 그림 4B) 두 가지 파라미터에 의해 영향을 받는다¹⁾. 표류율은 단위시간당 축적되는 정보량으로 신호 대 잡음 비율(signal-to-noise ratio)의 지표로 해석할 수 있으며, 의사결정 경계는 반응의 보수성(response conservativeness)을 의미한다. 표류율과 의사결정 경계는 개념상 각각 신호탐지 민감도와 반응기준에 일치하므로(Wagenmakers, Van Der Maas, & Grasman, 2007), 본 연구에서 관찰된 정확한 기각 반응시간 자료는 반응기준 이동에 따른 탐색종료 역치의 차이로 설명될 수 있다.

추후 연구에서는 확산모형 파라미터와 신호탐지 지표 간 개념적 연결성을 넘어 반응시간 분포에 대한 수리적 모형검증을 통해 확산 정보처리의 이론적 틀에서 표적 출현확률 효과에 대한 보다 정밀한 검증이 이루어질 필요가 있다. 특히 확산모형에서 동일한 평균 반응시간의 변화를 설명하는 표류율과 의사결정 경계 파라미터 값의 변화는 서로 다른 형태의 반응시간 분포를 초래한다. 구체적으로 표적 출현확률 증가에 따른 정확한 기각 반응시간의 지연이 표류율의 감소에 따른 것이라면(그림 4A), 반응시간에 영향을 미치는 평균 표류율의 변산 폭 증가에 의해 정확한 기각 반응시간의 분포는 저빈도에서 고빈도로 이동함에 따라 변산성 및 편포성의 증가를 동반할 것으로 예견된다(Schwarz, 2001; Ratcliff & Smith, 2004; Ratcliff, Schmiedek, & McKoon, 2008). 반면, 정확한 기각 반응시간의 지연이 의사결정 경계 이동 즉 보수적인 탐색종료 역치에 의한 것일 경우(그림 4B) 정보축적의 효율성은 동일하나 반응이 도출되기까지 요구되는 정보의 총량이 증가하므로 정확한 기각 반응시간 분포는 전반적인 지연(rightward shift)에 의해 가장 잘 설명될 것으로 예견된다(Ratcliff & Smith, 2004; Wagenmakers, Ratcliff, Gomez, & McKoon, 2008).

1) 확산모형에 근거한 각각의 가상적 반응시간 분포는 ex-Wald 함수를 통해 구현되었다(Schwarz, 2001). 표류율 가설(그림 4A)과 의사결정 경계 가설(그림 4B)에서 해당 파라미터는 중립빈도 반응시간 분포를 도출하는 값을 기준으로 저빈도와 고빈도 분포에 $\pm 20\%$ 값이 적용되었으며 각각의 경우 나머지 파라미터 값은 고정되었다.

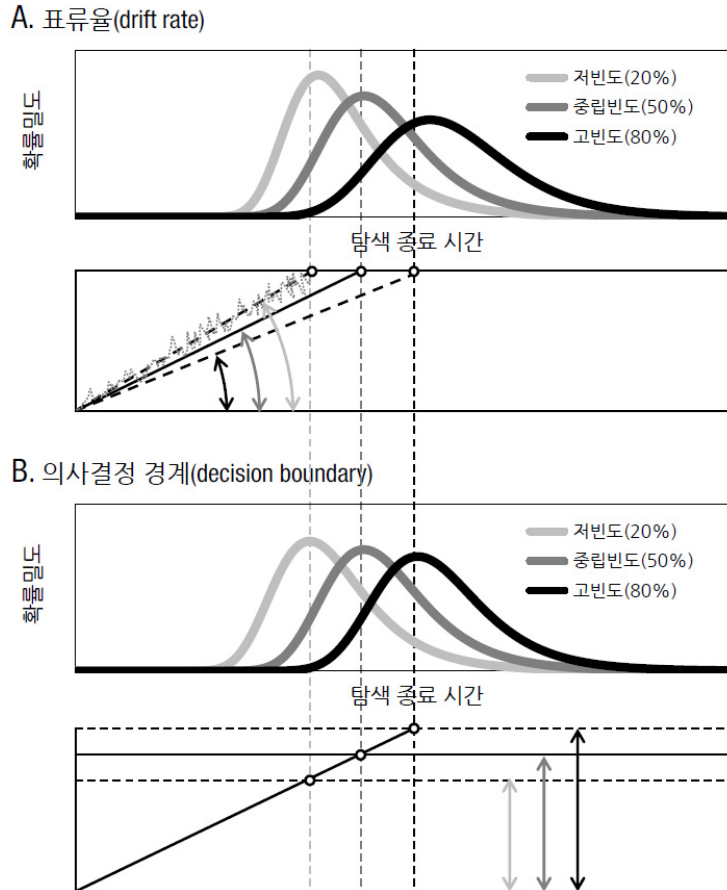


그림 4. 확산모형(diffusion model)에 기반한 표적 출현확률에 따른 정확한 기각 반응 시간의 해석 및 이를 위한 가상적 반응시간 분포. 확산모형은 정보처리 시작점으로부터 지속적인 정보 축적(information accumulation)이 이루어지며 의사결정 경계(decision boundary)에 도달할 경우 반응이 도출된다고 가정한다. 표적 출현확률 증가에 따른 정확한 기각 반응시간의 상대적인 지연은 (A) 표류율(drift rate; 단위시간당 축적되는 정보량으로 정보처리 효율성 지표)의 감소 또는 (B) 시작점으로부터 의사결정 경계(반응의 보수성) 간 거리의 증가에 의해 설명될 수 있다. 각 파라미터의 변화는 동일한 평균 반응시간의 증가를 초래하나 반응시간 분포 측면에서 상이한 형태를 초래한다. 표류율과 의사결정 경계는 각각 신호탐지 민감도 그리고 반응기준과 개념적으로 동일하므로, 본 연구에서 관찰된 '표적없음' 상황에서의 정확한 기각 반응시간 양상은 탐색종료 역치 이동에 의해 설명될 수 있다.

종합하여, 본 연구에서는 지각적으로 단순한 시각탐색 과제를 통해 비대칭적인 확률로 표적이 출현하는 일상적인 탐색상황에서의 관찰자의 정보처리를 추론하였다. 표적 출현확률에 따른 탐색수행의 변화는 선행연구들에서 수행된 X-ray 보안검사와 같이 탐색자극의 지각적 복잡성 및 난이도가 높은 경우 뿐 아니라, 단순한 도형자극을 사용하여 상대적으로 용이한 탐색상황에서도 동일하게 관찰되었다. 이러한 표적 출현확률 효과는 일상적 경험에서 흔하게 발생하는 것으로, 가령 ‘고빈도-표적없음’ 시행에서와 같이 찾고 있는 물건이 응답 있을 것으로 생각되던 장소에 없을 경우 우리는 ‘정말 없는지’를 확신하고 다른 곳을 찾아보기 이전에 상대적으로 오랫동안 그리고 반복적으로 찾아보곤 한다. 서론에서 언급한 바와 같이, 특히 저빈도 표적탐색 상황에서 증가하는 실수 오류는 더욱 중요한 함의를 지니는데, 임상적 진단이나 공항 보안검색, 안전진단과 같이 드물게 출현하는 표적에 대한 탐지오류는 사회적으로 심각한 결과를 초래할 가능성이 있다. 따라서 추후 연구에서는 비대칭적 표적 출현확률의 영향 아래 이루어지는 불완전한 의사결정을 효과적으로 보완할 수 있는 명시적(explicit-) 또는 암묵적 개입(implicit-intervention)에 대한 탐구가 이루어질 필요성이 있다.

참고문헌

- 박형범 & 현주석 (2014). ex-Gaussian 모델을 활용한 인지적 과제의 반응시간 분포 분석. *감성과학*, 17(2), 63-76.
- Andrews, S., & Heathcote, A. (2001). Distinguishing common and task-specific processes in word identification: A matter of some moment?. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 27(2), 514-544.
- Blanchette, I. (2006). Snakes, spiders, guns, and syringes: How specific are evolutionary constraints on the detection of threatening stimuli?. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59(8), 1484-1504.
- Brainard, D. H. (1997). The psychophysics toolbox. *Spatial Vision*, 10(4), 433-436.
- Bundesen, C. (1990). A theory of visual attention. *Psychological review*, 97(4), 523-547.

- Chun, M. M., & Wolfe, J. M. (1996). Just say no: How are visual searches terminated when there is no target present?. *Cognitive psychology*, 30(1), 39-78.
- Fleck, M. S., & Mitroff, S. R. (2007). Rare targets are rarely missed in correctable search. *Psychological Science*, 18(11), 943-947.
- Fox, E., Griggs, L., & Mouchlianitis, E. (2007). The detection of fear-relevant stimuli: Are guns noticed as quickly as snakes?. *Emotion*, 7(4), 691-696.
- Godwin, H. J., Menneer, T., Cave, K. R., & Donnelly, N. (2010). Dual-target search for high and low prevalence X-ray threat targets. *Visual Cognition*, 18(10), 1439-1463.
- Godwin, H. J., Menneer, T., Cave, K. R., Thaibsyah, M., & Donnelly, N. (2014). The effects of increasing target prevalence on information processing during visual search. *Psychonomic bulletin & review*, 22(2), 469-475.
- Gur, D., Rockette, H. E., Armfield, D. R., Blachar, A., Bogan, J. K., Brancatelli, G., et al. (2003). Prevalence Effect in a Laboratory Environment. *Radiology*, 228(1), 10-14.
- Macmillan, N. A., & Creelman, C. D. (2005). *Detection theory: A user's guide* (2nd ed.). Mahwah, NJ: Erlbaum
- Palmer, J., Huk, A. C., & Shadlen, M. N. (2005). The effect of stimulus strength on the speed and accuracy of a perceptual decision. *Journal of vision*, 5(5), 376-404.
- Penner-Wilger, M., Leth-Steensen, C., & LeFevre, J. A. (2002). Decomposing the problem-size effect: A comparison of response time distributions across cultures. *Memory & Cognition*, 30(7), 1160-1167.
- Pourtois, G., Schwartz, S., Seghier, M. L., Lazeyras, F., & Vuilleumier, P. (2006). Neural systems for orienting attention to the location of threat signals: an event-related fMRI study. *Neuroimage*, 31(2), 920-933.
- Ratcliff, R. (1978). A theory of memory retrieval. *Psychological review*, 85(2), 59-108.
- Ratcliff, R. (1979). Group reaction time distributions and an analysis of distribution statistics. *Psychological Bulletin*, 86(3), 446-461.
- Ratcliff, R., & Rouder, J. N. (2000). A diffusion model account of masking in two-choice letter identification. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*, 26(1), 127-140.

- Ratcliff, R., & Smith, P. L. (2004). A Comparison of Sequential Sampling Models for Two-Choice Reaction Time. *Psychological Review*, 111(2), 333-367.
- Ratcliff, R., Schmiedek, F., & McKoon, G. (2008). A diffusion model explanation of the worst performance rule for reaction time and IQ. *Intelligence*, 36(1), 10-17.
- Rich, A. N., Kunar, M. A., Van Wert, M. J., Hidalgo-Sotelo, B., Horowitz, T. S., & Wolfe, J. M. (2008). Why do we miss rare targets? Exploring the boundaries of the low prevalence effect. *Journal of Vision*, 8(15), 1-17.
- Schwarz, W. (2001). The ex-Wald distribution as a descriptive model of response times. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 33(4), 457-469.
- Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive psychology*, 12(1), 97-136.
- Treisman, A. (1999). Solutions to the binding problem: Progress through controversy and convergence. *Neuron*, 24(1), 105-125.
- Van Zandt, T. (2000). How to fit a response time distribution. *Psychonomic bulletin & review*, 7(3), 424-465.
- Vergheze, P. (2001). Visual search and attention: A signal detection theory approach. *Neuron*, 31(4), 523-535.
- Vincent, S. B. (1912). The function of the vibrissae in the behavior of the white rat. *Behavioral Monographs*, 1(5).
- Wagenmakers, E. J., Van Der Maas, H. L., & Grasman, R. P. (2007). An EZ-diffusion model for response time and accuracy. *Psychonomic bulletin & review*, 14(1), 3-22.
- Wagenmakers, E. J., Ratcliff, R., Gomez, P., & McKoon, G. (2008). A diffusion model account of criterion shifts in the lexical decision task. *Journal of Memory and Language*, 58(1), 140-159.
- Wolfe, J. M. (1994). Guided search 2.0 a revised model of visual search. *Psychonomic bulletin & review*, 1(2), 202-238.
- Wolfe, J. M. (1998). What can 1 million trials tell us about visual search?. *Psychological Science*, 9(1), 33-39.
- Wolfe, J. M., Horowitz, T. S., & Kenner, N. M. (2005). Cognitive psychology: rare items

often missed in visual searches. *Nature*, 435(7041), 439-440.

Wolfe, J. M., Horowitz, T. S., Van Wert, M. J., Kenner, N. M., Place, S. S., & Kibbi, N. (2007). Low target prevalence is a stubborn source of errors in visual search tasks. *Journal of Experimental Psychology: General*, 136(4), 623-638.

Wolfe, J. M., & Van Wert, M. J. (2010). Varying target prevalence reveals two dissociable decision criteria in visual search. *Current Biology*, 20(2), 121-124.

Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2003). Serial deployment of attention during visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29(1), 121-138.

1차원고접수 : 2015. 08. 12

1차심사완료 : 2015. 09. 15

2차원고접수 : 2015. 09. 21

최종게재승인 : 2015. 09. 22

(Abstract)

Characterizing Information Processing in Visual Search According to Probability of Target Prevalence

Hyung-Bum Park Han-Gyeol Son Joo-Seok Hyun

Department of Psychology, Chung-Ang University

In our daily life, the probability of target prevalence in visual search varies from very low to high. However, most laboratory studies of visual search used a fixed probability of target prevalence at 50%. The present study examined the properties of information processing during visual search where the probability of target prevalence was manipulated to vary from low (20%), medium (50%), to high (80%). The search items were made of simple shape stimuli, and search accuracy, signal detection measures, and reaction times (RTs) were analyzed for characterizing the effect of target prevalence on the information processing strategies for visual search. The analyses showed that the rates of misses increased whereas those of false alarms decreased in the search condition of low target prevalence, whereas the pattern was reversed in the high prevalence condition. Signal detection measures revealed that the target prevalence shifted response criterion (c) without affecting sensitivity (d'). In addition, RTs for correct rejection responses in the target-absent trials became delayed as the prevalence increased, whereas those for hits in the target-present trials were relatively constant regardless of the prevalence. The RT delay in the target-absent trials indicates that increased target prevalence made the 'quitting threshold' for search termination more conservative. These results support an account that the target prevalence effect in visual search arises from a shift of decision criteria and the subsequent changes in search information processing, while rejecting the account of a speed-accuracy tradeoff.

Key words : visual search, target prevalence, sensitivity, criterion