



우리 주변 환경의 시각적 특이점을 찾아내는 능력은 일상생활에서 유용하고 중요하다. 예를 들어 어느 공장에서 납품받은 조립 제품에 대한 검수가 진행된다고 가정하자. 불량이 잦은 몇 가지 불량 부위를 신속, 정확하게 검수하는 육안검사(visual inspection)를 수행하는 검수자는 대개 정상 제품의 양호한 조립 상태에 대한 정형화된 모양새를 토대로 몇 가지 특정 부품의 모양새나 배치 상태에 문제가 없는지를 탐색한다. 이 과정은 불량 부위를 표적으로 정의하고 이를 탐색하는 시각탐색(visual search) 과제로 정의되기 쉽지만 좀 더 정확하게는 기억된 정상 제품의 조립 상태와 눈앞의 신규 생산 제품 사이의 차이점을 탐지하는 변화탐지(change detection) 과제에 더 가깝다(Rensink, 2000, 2002; Vogel, Woodman, & Luck, 2001). 즉 정상 제품의 부품 배치 및 조립 상태에 대한 기억 정보를 토대로 검수 대상 제품과 비교해 차이점 즉 특정 부위의 이상이 발견되면 불량으로, 그렇지 않으면 정상으로 검수를 마치게 된다. 이 과정에서 검수자의 검수 정확도에 반영되는 오류(error) 판정은 두 가지 즉 정상 제품이 불량 판정을 받는 오경보(false-change)와 불량 제품이 정상 판정을 받는 실수(miss)로 구분된다(Wolfe, Horowitz, & Kenner, 2005).

이러한 일상의 변화탐지 과제에서 한 가지 주목할 것은 탐지의 대상인 변화의 발생 가능성이 매일 일정하지 않을 수 있다는 점이다. 예를 들어 어떤 날은 전날과 비교해 납품받은 제품들의 불량률이 현저하게 많을 수 있고 다른 날은 오히려 그 반대일 수 있다. 이처럼 불량 가능성이 수시로 변화하면 검수를 진행하는 작업자의 판단 기준 또한 그에 따라 변화하므로, 결국에는 작업자의 판정 오류의 양상에 영향을 미친다. 즉 불량 제품이 눈에 띄게 늘어난 날에 검수자는 불량을 판정하는 것에 좀 더 관대할 수 있는데 그로 인해 정상 제품에 대한 오경보가 증가함과 동시에 불량 제품에 대한 실수가 감소한다. 반대로 불량률이 눈에 띄게 줄어든 날에 검수자는 불량 판정을 기피하는 보수적 판단의 가능성이 증가하므로 오히려 오경보는 감소하고 실수가 증가한다.

개인의 변화 발생 가능성에 대한 주관적 평가 결과에 따라 변화탐지 오류의 양상이 변화할 수 있다는 직관적 예측을 구체적으로 검증한 실험 연구는 현재까지 분명하게 발견되지 않는다. 즉 시각단기기억(visual short-term memory, 이하 VSTM)의 특성을 조사하는 많은 실험 연구들에서 사용된 변화탐지 과제 대부분은 전체 시행 중 변화있음 시행과 변화없음 시행의 개수를 동일하게 구성해 변화출현확률을 중립적인 50%로 고정시켰다. 이러한 중립적 변화출현확률 처치 아래에서는, 증감하는 변화출현확률에 대한 개인의 주관적 평가가 해당 개인의 탐지 오류에 초래하는 영향을 조사할 수 없다. 이 같은 확일적 처치에는 특별한 이유가 있다기보다는 해당 연구들이 변화탐지 오류 반응을 산출하는 반응의사결정(response-decision making) 과정에 대한 조사가 아닌 단기기억 수행의 정확성 평가에 중점을 두었기 때문인 것으로 짐작된다(박형범, 손한결, 현주석, 2015).

### 시각탐색에서의 표적출현확률과 반응 의사결정

본 연구에서 주목하는 변화출현확률에 따른 개인의 탐지반응 의사결정 특성을 이해하기 위해서는 변화탐지 연구가 아닌 시각탐색 과제의 응용 과정에서 발견된 시사점을 살펴볼 필요가 있다. 예를 들어 공항검색대에서 위험 물질이나 기구를 발견하기 위한 보안 검색 과정이나 x-ray 사진에서 조직 병변을 발견하기 위한 의학적 관독 과정은 불특정 다수 자극들 중에서 그다지 빈번하게 출현하지 않는 특이한 표적(target)을 발견해 내는 비교적 쉽지 않은 시각탐색 과제에 해당된다(Beanland, Le, & Byrne, 2016; Godwin, Menneer, Cave, Thaibsyah, & Donnelly, 2010; Gur et al., 2003; Rich et al., 2008; Wolfe et al., 2005). 이와 달리 실험실 상황의 통제된 자극을 사용한 탐색 과제에서는 대개 표적의 출현 빈도를 전체 시행의 50%로 고정시키고 표적이 아닌 방해자극(distractor)의 개수 증감에 따라 탐색 수행의 변화를 관찰한 경우가 대부분이었다. 따라서 이러한 실험실 연구의 결과를 토대로 탐색 표적의 출현 빈도가 일정치 않은 일상생활의 탐색 수행을 설명하려는 시도에는 일부 무리가 있었던 것이 사실이다(Wolfe et al., 2005; Wolfe et al., 2007; Wolfe & Van Wert, 2010).

이러한 문제점을 해결하기 위한 시각탐색 연구들은, 탐색 과제에서 표적의 출현 가능성을 단계적으로 변화시켜 가며 그에 따른 탐색 수행의 변화를 조사했다(Godwin et al., 2010; Godwin, Menneer, Cave, Thaibsyah, & Donnelly, 2014; Wolfe et al., 2005; Wolfe et al., 2007; Wolfe & Van Wert, 2010; 박형범 등, 2015). 그 결과 표적출현확률(target prevalence)이 증가하면 표적을 탐지해 내는 감각 민감도(sensitivity)에는 큰 변화가 없지만, '표적있음'을 보고하기 위한 반응의사결정 기준(criterion for target-presence report)이 완화되는 것을 관찰했다(Wolfe & Van Wert, 2010). 즉 표적출현확률이 증가하면 탐색 배열에 표적이 없지만 표적이 있다고 보고하는 오경보(false alarm) 반응 또한 증가하며, 표적이 있지만 없다고 보고하는 실수(miss) 반응은 감소한다. 반대로 표적출현확률이 감소하면 표적있음에 대한 반응의사결정 기준이 강화되는데 이로 인해 오경보 반응은 줄어들고 실수 반응은 증가한다. 표적 출현 가능성이 극단적으로 낮은 보안 검색과 x-ray 관독 과정에서 사람들이 자주 실패하는 이유는, 탐색민감도 자체의 저하가 아닌 실수의 현저한 증가와 관련이 있는 것으로 짐작된다(Godwin et al., 2010, 2014; Gur et al., 2003; Wolfe et al., 2005; Wolfe et al., 2007; Wolfe & Van Wert, 2010).

이러한 표적출현확률 효과(target-prevalence effect)를 설명하기 위한 이론적 모형은 앞서 요약과는 달리 그 내용이 단순치 않다(Chun & Wolfe, 1996). 먼저 표적출현확률 효과에 대한 과거 연구들은 표적의 출현확률이 50% 미만 혹은 초과하는 경우, '표적있음'을 보고하기 위한 의사결정 기준의 강화 혹은 완화로 인해 오경보 및 실수와 같은 탐색오류 반응들이 서로 상보적(complementary)으로 변화하는 것을 관찰했다(Wolfe et al., 2007; Wolfe & Van Wert, 2010). 이와 동시에 탐색 반응시간(response time, 이하 RT) 역시 표적출현확률의 영향을 받는데 구체적으로, “표

적있음” 정확 반응에 해당하는 적중(hit) RT는 표적출현확률의 증감에 관계없이 일정하지만 “표적없음” 정확 반응에 해당되는 정거각(correct rejection) RT는 표적출현확률이 50% 보다 낮아질수록 점점 단축되고 반대로 50%보다 높아지면 오히려 점차 지연된다(Fleck & Mitroff, 2007; Rich et al., 2008).

표적출현확률에 따른 이와 같은 탐색 오류의 양상 및 RT 변화를 설명하기 위한 과거 연구들은 다중의사결정 모형(multiple decision model)을 제안했다(Chun & Wolfe, 1996; Wolfe & Van Wert, 2010). 이 모형은 표적유무에 대한 반응 의사결정 과정은 순차적 자기종결(serial self-terminating) 처리 과정이며, 탐색 종료는 탐색 수행자의 내적 의사결정준거(internal decision criterion)에 따른 ‘표적있음’ 의사결정 및 중단역치(quitting threshold)에 기초한 ‘표적없음’ 의사결정에 의해 좌우된다고 주장한다.

내적 의사결정준거에 의한 표적있음 반응 산출은 탐색 수행자가 탐색 배열 내에서 선택한 특정 자극에 대한 감각적 표상과 단기기억 내의 표적 표상과의 일치 여부를 평가한 결과에 좌우되는, 개별 탐색 자극에 대한 일회성 양자택일(two-alternative forced choice) 의사결정에 해당한다(Eckstein, Thomas, Palmer, & Shimozaki, 2000; Palmer, Verghese, & Pavel, 2000). 이 과정에서 표적이 있다고 결정하면 표적있음 반응이 산출되고 탐색이 즉시 종료되지만 반대로, 표적이 없다고 결정하면 뒤이어 표적없음 반응을 좌우하는 중단역치 의사결정이 개시된다. 중단역치 의사결정은 앞서 내적 의사결정과는 달리 탐색 배열 내 여러 항목에 대한 순차적 탐색 과정에서 누적되는(accumulated) 방해자극 증거(evidence for distractors)의 총량에 의해 좌우된다(Godwin et al., 2014; Godwin, Walenchok, Houpt, & Hout, 2015). 즉 여러 항목에 걸쳐 누적된 표적없음 증거량이 역치를 넘어서면 “표적없음” 반응이 산출되고 탐색이 즉시 종료되지만 반대로 역치를 넘어서지 못하면 탐색 배열 내의 다른 항목에 대한 내적 의사결정과 중단역치 의사결정이 반복된다.

다중의사결정 모형은 표적출현확률 증감에 따른 몇 가지 중요한 탐색 수행 양상을 예측한다(Godwin et al., 2014; Wolfe, 2010). 먼저 내적 의사결정은 표적에 대한 탐색 수행자의 감각 민감도에 절대적으로 좌우되므로 적어도 표적이 존재할 때 이를 올바르게 보고한 적중 RT는 표적출현확률에 관계없이 비교적 일정하다(박형범 등, 2015; Wolfe et al, 2005). 그러나 이러한 적중 RT와는 별개로 표적있음에 대한 최종 반응 보고는 개인이 설정한 표적있음에 대한 주관적이고 내적인 의사결정 준거에 의해 그 빈도가 변화할 수 있으며(Wolfe et al, 2005), 이 준거가 표적출현확률의 영향을 받게 된다. 구체적으로 표적출현확률이 증가하면 내적 의사결정 준거가 낮아져 탐색 배열 내에 표적이 있을 때 있다고 보고하는 적중 반응의 빈도가 늘어난다. 반대로 표적출현확률이 감소하면 준거가 상승해 표적이 있어도 없다고 보고하는 실수 반응이 반대로 증가한다.

내적 의사결정 과정이 표적있음 반응으로 이어지지 않을 경우 개인은 그 반대 경우인 표적없음 반응을 즉시 산출하지 않고 뒤이어 중단역치의 의사결정 과정을 진행하며, 이때 개인이 설정

하게 되는 중단역치가 역시 표적출현확률의 영향을 받는다(Godwin et al., 2014; Godwin et al., 2015). 구체적으로, 표적없음 반응은 중단 역치의 달성 여부에 의해 산출되며 이 여부는 탐색 배열 내 단일 항목이 아닌 여러 항목으로부터 합산된 방해자극 증거의 총량에 의해 결정된다. 여기서 표적출현확률의 증가는 중단역치의 상승을 초래하며 따라서 단위 시간 내에 누적된 방해자극 증거의 총량이 역치를 넘어서지 못할 가능성 또한 높아진다. 결국 표적출현확률의 증가는 표적없음 시행에서 원칙적으로 산출될 수 없는, 존재하지 않는 표적이 실제로 존재한다고 보고하는 오경보 반응을 증가시킨다. 반대로 표적출현확률이 감소하면 중단 역치가 하락하는데 결국 상대적으로 소량의 누적 증거만으로도 표적없음 반응 산출을 위한 중단 역치가 쉽게 달성되므로 오경보는 감소한다.

여기서 표적있음 반응을 위한 내적의사결정 과정과 표적없음 반응을 위한 중단역치 의사결정 과정 사이에 처리 시간 측면에서 분명한 차이점이 있음에 주목할 필요가 있다. 중단역치 의사결정의 역치는 앞서 언급된 바와 같이 표적출현확률의 증가에 따라 상승하며 탐색 배열 내의 다수 항목에 걸쳐 누적된 방해자극 증거의 총량에 의해 충족 여부가 결정된다. 따라서 표적출현확률 증가는 중단 역치 충족을 위한 증거 수집 시간의 추가를 요구한다. 이는 표적출현확률 증감이 표적있음 시행의 실수 및 표적없음 시행의 오경보와 같은 오류 반응에 초래하는 영향뿐만 아니라, 표적없음 시행에서 표적출현확률에 비례해 지연되는 정기각 반응시간에 대한 근거를 제공한다(박형범 등, 2015).

#### 변화탐지 과제의 변화출현확률

실험실 상황에서 지금까지 널리 사용되어 온 단기 기억 기반 변화탐지 과제는 앞서 표적출현확률 효과의 대상이 된 실험실 상황의 탐색과제와 동일한 문제점을 가진다. 먼저 실험실의 변화탐지 과제에서는 몇 가지 단순한 도형들로 구성된 기억 배열을 1초 정도 기억하고 뒤이어 제시되는 검사배열과 비교해 차이가 있는 항목이 있는지를 판단하게 된다(현주석, 2017). 기억배열을 정확히 기억하고 있으면 차이 항목의 유무를 정확하게 보고할 수 있지만, 그렇지 않다면 정확도가 저하되므로 이 정확도의 증감을 기억 수행의 지표로 측정하게 된다(Luck & Hollingworth, 2008). 변화탐지 과제의 기억부담(memory load) 수준은 대개 기억배열 내 항목의 개수나 기억항목의 시각적 복잡성 등을 증감시켜 처리하며(Alvarez & Cavanagh, 2004), 이와 같은 통제된 변화탐지 과제에서 참가자가 기억배열 내에서 정확히 기억 가능한 항목의 개수는 3~4개 수준에 머문다(Vogel et al., 2001).

실험실 상황의 통제된 탐색 과제와 유사하게, 변화탐지과제에서 전체 시행 중 기억배열과 검사배열 사이에 차이 항목 즉 변화하는 항목이 발생할 확률은 50%로 고정된 경우가 대부분이었다. 혹은 해당 변화 출현의 확률이 불가피하게 50%를 하회하거나 초과하는 경우가 있었으나 이

러한 과거 연구들은 변화출현확률(change prevalence)에 따른 변화탐지 수행의 변화를 직접 조사한 경우라고 보기는 어려웠다.

탐색과제에서 표적이 탐지되는 원리와 비교해, 변화탐지 과제에서의 변화에 대한 탐지는 기억 항목과 검사항목 사이의 비교를 통해 '변화'라는 일종의 표적에 해당하는 감각적 경험이 탐색의 대상이 된다는 점에서 유사하다(Rensink, 2000, 2002). 다만 해당 변화탐지 과제의 '변화'에 대한 탐지는 탐색 배열 내에서 초점주의의 순차적 집중에 의해 선택되는 특정 탐색 항목과 단기기억에 저장된 표적의 내적 표상이 비교되는 탐색과제와는 적어도 과제의 외형적인 면에서 분명한 차이가 있다. 즉 변화탐지 과제에서 변화 발생의 유무 판단은, 단일 탐색 자극과 표적 표상 간 일회성 비교의 순차적 반복보다는 단기기억에 파지된(short-term retained) 다수의 기억항목과 그에 뒤이어 출현하는 검사항목의 감각적 표상 사이의 일괄적 비교 처리를 요구한다는 점이다(Hyun, Woodman, Vogel, Hollingworth, & Luck, 2009). 물론 이러한 일괄적 비교 처리가 시각탐색처럼 변화탐지 대상인 개별 기억 및 검사항목에 대한 순차적 처리에 의존할지 아니면 병렬적 처리에 의존할지는 분명치 않지만, 적어도 기억 정보의 특성에 따른 선택적 정보처리의 개입이 가능하다는 것에는 의견 차이가 크지 않다(Hollingworth, 2003; Rensink, O'Regan, Clark, 1997; Schankin, Bergmann, Schubert, & Hagemann, 2017).

이와 같은 외형적 차이를 감안하더라도 탐색과제와 변화탐지 과제는 적어도 두 표상 사이의 동일 혹은 차이 여부를 판단하기 위한 양자택일에 의해 최종 반응이 산출된다는 점에서 반응 산출을 위한 의사 결정 과정이 서로 닮아있다. 이러한 의사결정 과정에는 필히 전체 시행 대비 표적 또는 변화의 출현 가능성에 대한 평가를 통해 과제 수행자가 임의 설정한 의사결정 준거나 역치가 수반될 수 있다(van Lamsweerde & Beck, 2011). 시각탐색의 경우 앞서 소개된 표적출현 확률 효과에 대한 의사결정 모형을 통해 이러한 준거나 역치 설정이 탐색 반응 및 RT에 초래하는 영향력이 비교적 상세하게 설명된 바 있지만 변화탐지 과제의 경우 이와 같은 구체적이고 적절한 설명이 발견되지 않는다.

본 연구는 이러한 문제점에 기초해, 변화출현확률의 증감이 변화탐지 수행에 초래하는 영향을 신호탐지 지표 및 반응시간에 대한 분석을 통해 조사했다. 특히 시각탐색의 표적출현확률 효과를 설명하는 다중의사결정 모형이 변화탐지에서 예상되는 변화출현확률 효과를 역시 설명할 수 있는지를 조사하는 것에 초점을 맞추었다. 이를 위해 변화탐지 과정을 기억 표상을 토대로 검사 항목과의 차이(difference)를 탐색하는 과정으로 정의했다. 이 차이 유무를 판단하는 첫 과정을 변화있음(change presence) 여부를 판단하는 내적 의사결정 과정으로 가정했으며 이 결정은 참가자의 변화탐지 민감도에 의존할 것을 예상했다. 변화있음 반응이 산출되지 않을 경우 뒤이어 변화없음 여부를 판단하기 위한 중단역치 의사결정 과정이 개시되는 것으로 가정했으며 이 중단역치의 수준은 변화출현확률에 비례할 것을 예상했다.

## 실 험

변화탐지 과제를 사용한 본 실험에서는 시각탐색의 표적출현확률 효과와 동일한 양상의 변화출현확률 효과의 관찰을 시도했다. 이를 위해 네 개의 단순 색상 사각형으로 구성된 VSTM 기반 변화탐지 과제를 구성했다. 참가자는 해당 사각형들의 색상을 기억하고 뒤이어 해당 사각형들의 위치에 출현하는 또 다른 사각형들의 색상과 비교해 색상의 차이 여부를 보고했다. 해당 변화탐지 과제는 VSTM의 저장 용량 측정을 위한 대표적 기억 과제에 해당되며 일반적으로 80%를 대략 상회하는 정확도를 산출하는 것으로 알려져 있다(Cowan, 2001; Luck, 2008; Luck & Vogel, 1997; Vogel et al., 2001).

변화출현확률 효과를 관찰하기 위해 전체 시행 대비 변화 항목의 출현 가능성은 과거 변화출현확률 효과를 관찰한 시각탐색 연구들을 토대로 20, 50 및 80%로 처치했으며 변화탐지 수행 반응 결과에 대한 신호탐지 분석(signal detection analysis) 논리에 기초해 정확 반응에 해당하는 적중과 정기각 반응 그리고 오류 반응에 해당하는 실수와 오경보 시행을 구분했다. 이렇게 구분된 시행들을 토대로 변화탐지 민감도( $d'$ ) 및 의사결정 준거값( $c$ )을 계산했으며<sup>1)</sup> 마지막으로 각 시행 유형 조건 별 RT를 취합했다<sup>2)</sup>.

이러한 측정치들에 대해 표적출현확률에 대한 다중 의사결정 모형을 토대로 다음과 같은 결과를 예측했다. 첫째 변화출현확률이 50%보다 낮을 경우 내적 의사결정준거의 강화로 인해 오경보 반응이 상대적으로 감소하고 실수 반응은 증가할 것을 예상했다. 반대로 50%보다 높을 경우 해당 준거의 완화로 인해 오경보 반응의 상대적 증가와 함께 실수 반응의 감소를 예상했다. 둘째, 신호탐지 지표인 탐지 민감도  $d'$ 의 경우 시각탐색의 경우와 동일하게 변화출현확률에 관계없이 일정할 것을 예상했다. 반면 변화출현확률이 20, 50 및 80%로 점차 증가할 수록 내적 의사결정 준거가 완화될 것이 예상되므로 반응의사결정 준거인  $c$  값 또한 점차 낮아질 것을 예상했다. 마지막으로 개별 항목에 대한 일회성 의사결정에 의존하는 변화있음 시행의 정반응 즉 적중 RT의 경우 시각탐색의 경우와 같이 변화출현확률에 관계없이 일정할 것을 예상했다. 반면 변화없음 시행의 정확 반응인 정기각 RT의 경우, 다수 변화탐지 항목들에 대한 '변화없음' 증거 누적에 기초한 중단역치 의사결정 과정에 의존하므로 역시 시각탐색에서처럼 변화탐지확률이 증가할수록 지연될 것을 예상했다.

1) 신호탐지 이론에 대한 전반적인 이해는 Wickens (2002)의 소개 내용을,  $d'$  산출을 위한 구체적 공식은 Macmillan과 Creelman (2004) 및 Harvey Jr. (2003) 그리고 Stanislaw와 Todorov (1999)의 내용을, 마지막으로 반응 의사결정 준거  $c$ 의 산출 공식은 Macmillan (1993)이 소개한 환산 공식을 참고하기 바란다.

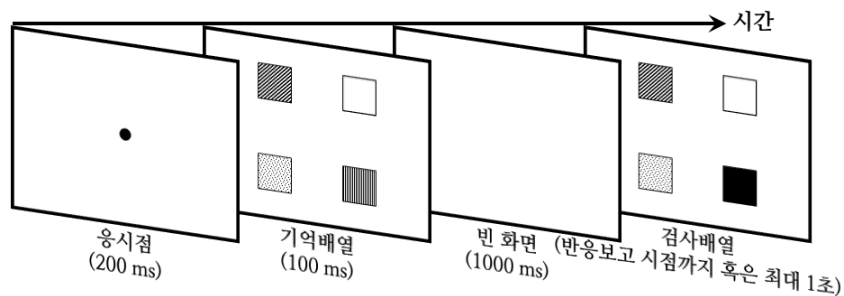
2) 변화탐지 과제에서는 기억 정확성의 측정이 주목적인 관계로 일반적으로 반응의 신속성이 강조되지 않는다. 다만 본 실험에서는 탐색 RT와의 비교를 위해 변화탐지 과제 수행을 위한 과제 수행 지시에 있어서 반응의 정확성과 신속성 양자가 참가자에게 모두 강조되었다.

### 참가자

중앙대학교에 재학 중인 17명의 20~27세 대학생들이 실험에 참여했으며, 그 중 4명이 남학생이었다. 참가자들은 모두 정상 색상 지각과 정상 시력 및 정상 교정시력을 보고했으며, 실험 참가 이전에 모두 참가동의서에 서명했다. 1명 참가자의 경우 변화출현확률 고빈도 조건의 22% 시행(55시행)에서 100ms 보다 빠른 RT를 산출해 최종 결과 자료 분석에서 제외되었다. 모든 참가자들은 실험 종료 후 소정의 사례비를 지급 받았다.

### 자극과 절차

그림 1에 실험에서 사용된 자극과 절차를 도해하였다. 개별 시행은 화면 정중앙에 응시점(0.30° x 0.30°)의 출현으로 개시되었으며 해당 응시점은 회색 배경 화면상에 200ms 동안 머물렀다가 사라졌다. 응시점이 사라진 후 100ms 동안 기억배열이 제시되었다가 사라졌으며 뒤이어 1초의 기억지연시간(memory delay) 동안 빈 화면(blank display)이 제시되었다. 기억지연시간 경과 후 검사배열이 출현했으며, 검사배열은 참가자의 변화탐지 반응보고와 동시에 사라지거나 혹은 검사배열 출현 후 1초 경과 시점까지 반응이 없을 경우 화면에서 사라지고 반응 시점까지 빈화면이 제시되었다. 참가자의 반응 이후 해당 반응의 정확 혹은 오류 여부에 따라 저음 혹은 고음의 피드백 소리가 200ms 동안 출력되었으며 뒤이어 100~500ms(평균 300ms)의 변화 시행간간격(variable inter-trial interval)이 주어진 후 다음 시행을 위한 응시점이 다시 출현했다.



(그림 1) 실험의 자극과 절차. 개별 시행은 회색 배경 화면 정중앙의 응시점의 출현을 통해 개시되었으며, 응시점의 소멸 직후 기억배열(100 ms)이 출현했다. 기억배열이 사라지면 기억지연시간(1초) 동안 빈화면이 제시되었으며 기억지연시간이 종료된 시점에 검사배열(최대 1초)이 출현했다. 참가자는 기억배열과 검사배열 간 상응하는 위치의 사각형들의 색상을 비교해 서로 색상이 다른 항목이 있으면 “변화있음”, 없으면 “변화없음”을 보고했다. 사각형 내부의 서로 다른 문양은 서로 다른 색상을 의미하며 위 그림에 예시된 시행은 “변화있음” 시행에 해당한다. 구획 변인인 변화출현확률은 20, 50, 80%의 세 수준으로 구분되었으며 결과적으로 변화출현확률 저, 중립, 고빈도 구획 조건 내에서 변화있음과 없음 시행의 비율은 각각 20 vs. 80%, 50 vs. 50%, 80 vs. 20%였다.



기억 및 검사배열은 네 개의 색상 사각형( $0.89^\circ \times 0.89^\circ$ )이 사용되었으며, 해당 자극들은 직경  $11.82^\circ$ 를 가진 가상의 원 테두리 상에서 서로  $9.26^\circ$ 의 동일한 간격을 가진 네 위치에 무작위 배치되었다. 기억배열 내의 네 사각형의 색상으로는 CIE 1976 L\*a\*b\* 색좌표 기준, 검정색(0, 0, 0), 흰색(100, 0, 0), 빨강색(54.29, 80.81, 69.89), 녹색(87.82, -79.29, 80.99), 파랑색(29.57, 68.30, -112.03), 노랑색(84.27, 9.22, 84.47), 분홍색(62.67, 79.26, -38.18) 그리고 청록색(90.67, -50.67, -14.96)의 여덟 가지 색상들 중 무작위 선택된 서로 다른 네 가지의 색상이 사용되었다.

검사배열 내의 네 사각형의 색상은 변화없음 시행의 경우 기억배열 내의 사각형들의 색상과 동일했으며, 변화있음 시행의 경우 기억배열과 동일했던 검사배열 내의 한 항목을 무작위 선택해 해당 항목의 색상을 기억 및 검사배열에 사용되지 않은 다른 색상으로 교체했다. 참가자는 기억배열 내의 사각형들의 색상과 그에 대응하는 검사배열 내의 사각형들의 색상을 서로 비교해 색상의 차이 즉 변화 여부를 키보드상의 'z' 혹은 '/' 반응 단추를 눌러 보고하도록 지시받았다. 반응 보고를 위한 두 반응 단추는 시행 구획 간에 걸쳐 서로 역균형화 되었다. 참가자에게는 반응의 정확성과 신속성 양자가 모두 강조되었다.

변화출현확률은 변화출현 저빈도(low), 중립(neutral) 및 고빈도(high)의 세 가지 시행 구획 내의 총 시행 횟수 대비 변화있음 시행의 비율을 각각 20%, 50% 및 80%로 증감시켜 처치되었다. 각 시행 구획에는 총 250 시행이 있었으므로 각각의 저빈도, 중립 및 고빈도 변화출현확률 시행 구획 내에는 50, 125 및 200회의 변화있음 시행이 있었다. 각 구획 사이의 표적출현확률에 대한 학습이 초래할 수 있는 전이 효과(carry-over effect)를 상쇄시키기 위해 절반의 참가자들(8명)에게는 표적출현확률 고, 중립 및 저빈도 구획 순서로, 나머지 절반의 참가자들은 그 반대의 순서로 수행 구획의 순서를 할당했다. 참가자에게는 자료 기록이 진행된 본 실험 개시 이전에 변화탐지 과제에 익숙해질 때까지 중립 변화출현확률 시행으로 구성된 약 30회 정도의 연습 시행을 수행할 기회가 제공되었다.

## 결 과

결과 분석은 시각탐색 과제에서 다중 의사결정 모형을 토대로 표적출현확률의 효과를 조사한 과거 연구들의 분석 방식 및 대상 측정치들에 기초해(Godwin et al., 2010, 2014; Wolfe et al., 2005; Wolfe et al., 2007; Wolfe & Van Wert, 2010; 박형범 등, 2015), 1) 반응 오류 차원의 분석과, 2) 신호탐지 지표( $d'$ ,  $c$ )분석 그리고 3) RT 분석 세 가지 차원으로 구분되었다.

첫째, 반응 오류율과 신호탐지 분석에 앞서 모든 참가자의 반응 보고 자료 중 RT 차원에서 100ms 보다 빠른 47시행(0.39%)과 1.5초를 초과한 108 시행들(0.90%)은 변화탐지 허용 구간을 앞서거나 혹은 초과하는 시점에 반응보고가 이루어진 극단치(outlier) 시행으로 구분되어 오류율 분

석에서 제거되었다<sup>3)</sup>. 분산분석(ANOVA) 과정에서 시행 제거에 따른 공선성 위배(violation of sphericity)가 탐지될 경우, epsilon ( $\epsilon$ ) 최대치가 .75를 초과하면 Huyhn-Feldt (HF) 방식을, 그렇지 않을 경우 Greenhouse-Geisser (GG) 방식에 따른 유의도 값( $p$ -value) 교정이 시도되었다(Girden, 1992). 먼저 반응 오류를 분석은 시행 내 변화항목의 유무에 대한 총 오류 반응의 비율 환산치와 더 나아가 이를 구성하는 표적없음 시행의 오경보 및 표적있음 시행의 실수 반응 각각의 비율 환산치를 대상으로 변화출현확률 수준에 따른 해당 환산치의 증감 양상을 조사하고 차이를 검증하는 방식으로 진행되었다.

둘째, 신호탐지 분석은 오류 분석에 사용된 동일 자료 시행들을 대상으로 개별 변화탐지 시행 내에서 기억항목과 색상이 다른 검사항목이 있을 경우 이를 신호(signal) 시행으로 정의해, 해당 신호에 대한 참가자의 보고를 기초로 적중과 오경보 및 실수와 정기각 비율을 환산하고 그로부터 탐지민감도인  $d'$  값과 내적 의사결정 준거치인  $c$  값을 계산했다. 계산된 민감도와 준거치 값에 대해 역시 변화출현확률 수준에 따른 증감 양상을 조사하고 처치 수준 조건 간 차이를 검증했다.

마지막으로 RT 분석은 정확 반응에 해당하는 즉 적중과 정기각 시행들의 RT만을 대상으로 수행되었으며, 반응 오류 분석에서와 동일하게 RT가 100ms보다 빨랐던 27시행(0.23%) 그리고 1.5초를 초과했던 66시행(0.55%)은 극단치로 간주되어 RT 자료 분석에 앞서 제거되었다.

#### 반응오류율 분석

변화여부에 대한 정확한 보고에 실패한 오류 시행의 비율은 저빈도, 중립, 고빈도 출현확률 조건 별로 각각  $11.84 \pm 1.81\%$ ,  $19.99 \pm 2.78\%$  및  $18.04 \pm 2.11\%$  였다. 구체적으로 그림 2에 제시된 바와 같이, 변화항목이 없었음에도 있다고 보고한 오경보 반응 비율은 저, 중립, 고빈도 출현확률 조건 순서로  $6.34 \pm 1.21\%$ ,  $18.45 \pm 3.53\%$ ,  $33.85 \pm 4.13\%$  였으며 변화항목이 있었음에도 없었다고 보고한 실수 반응 비율은 동일한 조건 순서로  $34.09 \pm 5.26\%$ ,  $21.54 \pm 3.24\%$ ,  $14.11 \pm 2.09\%$  였다.

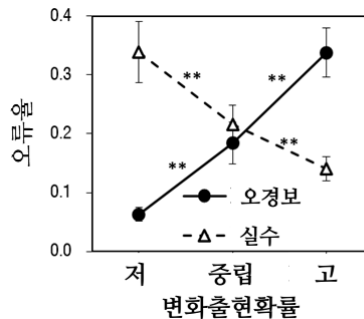
오류 시행 비율 자료에 대한 전반적인 검증을 위해 먼저 시행 내 변화유무(유/무) 및 변화출현확률(저/중립/고빈도) 두 변인을 대상으로 반복측정에 기초한 이원 분산분석(two-way ANOVA)을 실시했다. 그 결과, 두 변인 간 상호작용이 유의했으나,  $F(2, 30) = 35.60, p < .01, \eta_p^2 = .70$ , 변

3) 현실적으로 불가능한 100ms 이내의 RT 이외에, RT가 1초를 초과한 변화탐지 반응은 검사항목이 화면상에서 사라진 이후 변화탐지를 위한 의사결정 처리를 포함할 수 있어 이 처리 과정에 기억항목뿐만 아니라 검사항목에 대한 기억부담이 더해질 수 있다. 반응의 정확성뿐만 아니라 신속성이 강조된 본 실험에서는 이러한 가능성을 고려해 기억항목이 화면상에 머물 수 있는 최대 시간인 1초와 모든 시행의 평균 RT(약 550ms)를 감안해, RT가 100ms 미만이거나 1.5초를 초과한 경우 극단치 시행으로 정의했다.

화유무 변인의 주효과와,  $F(2, 30) = 3.17, p = .06, \eta_p^2 = .19$ , 변화출현확률 변인의 주효과는 모두 유의하지 않았다,  $F(1, 15) = 2.10, p = .17, \eta_p^2 = .12$ . 두 변인 간 유의한 상호작용은 변화출현확률 저, 중립, 고빈도 조건의 오류율 증감의 양상이 시행 내 변화항목이 있을 때와 없을 때 서로 상이했음을 의미한다.

다음으로 오경보와 실수 시행 각각을 대상으로 변화출현확률 효과의 발현 여부를 구체적으로 조사하였다. 이를 위해 변화없음 시행의 오류 반응에 해당하는 오경보의 비율과 변화있음 시행의 오류 반응에 해당하는 실수의 비율 환산치 각각에 대해, 표적출현확률 변인(저/중립/고빈도)을 대상으로 반복측정에 근거한 일원분산분석(one-way ANOVA)이 실시되었다. 그 결과 오경보율,  $F(2, 30) = 34.53, p < .01, \eta_p^2 = .70$ , 그리고 실수율,  $F(1.23, 18.45) = 18.28, p < .01, \eta_p^2 = .55$ , 양 환산치 모두에서 변화출현확률에 따른 유의한 차이가 발견되었다.

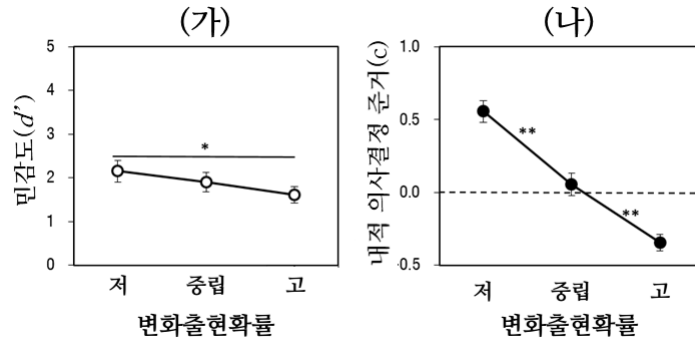
변화출현확률에 따른 오경보율과 실수율의 증감 양상에 대한 정확한 이해를 위해 오경보율을 대상으로 처치 수준 간 쌍별 비교에 기초한 평균 차이 검증을 실시한 결과 모든 쌍별 비교에서 유의한 차이가 발견되었으며,  $ps < .01$ , 실수율 역시 모든 쌍별 비교에서 유의한 차이가 발견되었다,  $ps < .01$ . 그림 2의 오류율 결과에서 드러난 바와 같이 변화출현확률에 따른 오경보율과 실수율 평균의 교차된 증감 양상은 시각탐색 과제의 탐색 오경보율과 실수율에서 관찰되는 표적출현확률 효과의 상호작용(Wolfe et al., 2005; 박형범 등, 2015)과 견줄만한 것으로 판단된다.



(그림 2) 변화출현확률에 따른 오경보율과 실수율 (\*\*  $p < .01$ ). 위 그림과 이후 모든 그림에 사용된 오차막대는 평균의 표준오차(standard error of the mean)에 해당한다.

### 신호탐지 분석

그림 3에 신호탐지 분석 과정에 기초해 산출된 탐지 민감도( $d'$ )와 내적 의사결정 준거값( $c$ )을 제시했다. 두 측정치가 변화출현확률 증감에 따라 변화했는지를 조사하기 위해 민감도와 준거값 각각에 대해 변화출현확률(저/중립/고빈도) 변인을 토대로 반복측정에 기초한 일원분산분석을 실시했다.



(그림 3) (가) 변화출현확률에 따른 변화탐지 민감도( $d'$ )와 (나) 내적 의사결정준거( $c$ ) (\*  $p < .05$ ; \*\*  $p < .01$ ).

먼저 민감도의 경우 변화출현확률 처치 수준 간 유의한 차이가 발견되었는데,  $F(2, 30) = 7.09, p < .01, \eta_p^2 = .32$ , 처치 수준 간 쌍별 비교 결과 저빈도와 고빈도 조건 사이에서만 유의한 차이가 관찰되었다,  $MD = .54, p < .05$ . 이러한 차이는 변화출현확률이 80%인 경우에 비해 20%로 현격한 변화가 있을 경우 변화탐지가 상대적으로 수월했음을 의미하며, 시각탐색에서 표적탐지확률이 탐색 민감도에 영향을 주지 못한 과거 연구들(박형범 등., 2015)에 비추어 다소 차이가 있는 결과에 해당된다.<sup>4)</sup>

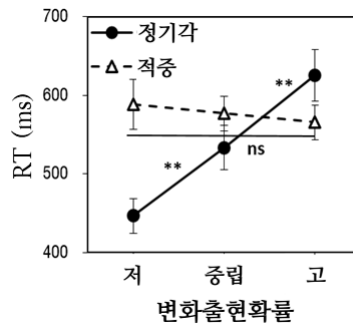
한편 내적 의사결정 준거인  $c$  값의 경우 변화출현확률 처치 수준에 따른 유의한 차이가 발견되었는데,  $F(2, 30) = 51.98, p < .01, \eta_p^2 = .78$ , 처치 수준 간 쌍별 비교 결과 모든 처치 수준 간에 차이가 관찰되었다,  $ps < .01$ . 그림 3에서 드러난 바와 같이 변화출현확률 저빈도에서 중립 그리고 중립에서 고빈도로 증가함에 따라 내적 의사결정 준거가 점차 낮아졌다는 점은 시각탐색에서 다중 의사결정 모형이 주장한 표적출현확률의 증가에 따른 내적 의사결정 준거의 완화양상(Wolfe & Van Wert, 2010)과 일치한다.

#### 반응시간 분석

그림 4에 적중과 정기각 시행의 반응시간 결과를 제시했다. 변화출현확률 저, 중립 및 고빈도 시행 별 평균 RT는 각각  $473.24 \pm 185.81ms$ ,  $558.90 \pm 193.28ms$  및  $576.57 \pm 200.50ms$ 로 변화출현확률이 증가할수록 지연되었다. 아울러 정확 반응에 해당하는 정기각 RT는 역시  $447.04 \pm 88.38ms$ ,  $533.74 \pm 111.82ms$  및  $625.40 \pm 130.46ms$ 로 역시 변화출현확률이 증가할수록 분명히 지

4) 일반적으로 시각탐색에서 표적출현확률에 따른 표적탐지 민감도에는 큰 변화가 없는 것으로 이해되고 있지만, 해당 분야 대표 연구는 그럼에도 불구하고 표적확률증가에 따른 탐지민감도의 근소한 저하를 보고한 바 있다(Wolfe & Van Wert, 2010).

연되었다. 한편 적중 RT는  $588.80 \pm 129.43\text{ms}$ ,  $577.32 \pm 114.20\text{ms}$  및  $566.05 \pm 117.02\text{ms}$ 로 변화출현확률 증감에 상대적으로 크게 좌우되지 않았던 것으로 나타났다.



(그림 4) 변화출현확률에 따른 정기각과 적중 시행의 평균 반응시간(\*\*  $p < .01$ ; ns: not significant)

정기각과 적중 RT에 대한 구체적인 해석을 위해 변화유무(적중/정기각) 및 변화출현확률(저/중립/고빈도) 두 변인을 대상으로 반복측정에 근거한 이원분산분석을 실시했다. 그 결과, 두 변인 간의 상호작용이 유의했으며,  $F(1.55, 23.24) = 54.28, p_{HF} < .01, \eta_p^2 = .78$ , 변화유무,  $F(1, 15) = 15.73, p < .01, \eta_p^2 = .51$ , 및 변화출현확률의 주효과,  $F(1.37, 20.49) = 10.07, p_{GG} < .01, \eta_p^2 = .40$ , 모두 유의했다. 이는 변화출현확률에 따른 반응시간의 증감 양상이 변화있음 및 없음 시행에 걸쳐 서로 상이했음을 의미한다.

두 변인 사이의 상호작용에 대한 구체적인 이해를 위해 변화없음 시행의 정확 반응에 해당되는 정기각 RT와 변화있음 시행의 정확 반응에 해당되는 적중 RT 각각에 대해 변화출현확률 변인을 대상으로 반복측정에 근거한 일원분산분석을 실시했다. 그 결과, 정기각 RT의 경우 변화출현확률 처치 수준 간 유의한 차이가 관찰되었으며,  $F(2, 30) = 46.52, p < .01, \eta_p^2 = .76$ , 처치 수준 간 쌍별 비교 결과 모든 처치 수준 간에 유의한 차이가 발견되었다,  $p_s < .01$ . 이러한 결과는 변화출현확률이 증가함에 따라 변화없음 시행에서 실제로 변화없음을 정확하게 보고하기 위한 의사결정이 점점 지연되었음을 시사한다.

반면 적중 RT의 경우 변화출현확률에 따른 유의한 차이가 발견되지 않았다,  $F(1.29, 19.30) = .58, p_{GG} = .50$ . 이러한 결과는 변화출현확률의 증가에도 불구하고 변화있음 시행에서 변화있음을 정확히 보고하기 위해 평균적으로 일정한 시간을 소모했음을 의미하며, 시각탐색에서 표적출현확률과 관계없이 일정했던 적중 RT와 일관된 결과에 해당된다(Wolfe & Van Wert, 2010; 박형범 등, 2015).

## 논 의

본 연구는 VSTM 기반 변화탐지 과제에서 변화의 출현확률을 저, 중립, 고빈도로 증감시켜 가며 그에 따른 변화탐지 수행의 변화를 조사했다. 오류율, 신호탐지 지표 및 RT 측정치에 대한 분석 결과 시각탐색에서 관찰되는 표적출현확률 효과와 견줄 만한 변화출현확률 효과가 관찰되었다.

구체적으로 변화출현확률이 50%보다 낮았던 저빈도 조건에서는 변화있음 시행의 오류에 해당하는 실수 반응은 증가했으나 변화없음 시행의 오류에 해당하는 오경보 반응은 감소했다. 반대로 변화출현 확률이 50% 보다 높았던 고빈도 조건에서는 실수 반응은 감소했으나 오경보 반응은 증가했다. 변화탐지 민감도 지표의 경우 시각탐색과는 달리 변화출현확률이 증가함에 따라 민감도가 다소 감소한 것이 관찰되었으나, 내적 의사결정 준거치는 시각탐색에서처럼 변화출현확률의 증가에 따라 점차 완화된 것이 관찰되었다. 정확 반응인 적중 및 정기각 시행의 자료가 분석 대상이 된 RT 측정치의 경우, 적중 시행의 RT는 변화출현확률에 의해 영향을 받지 않았으나 정기각 RT의 경우 변화출현확률이 증가함에 따라 점차 지연된 것이 관찰되었다. 이러한 결과는 변화출현확률의 증감이 변화탐지 수행에 초래하는 영향력이 시각탐색의 표적출현확률 효과가 탐색 수행에 초래하는 영향과 매우 유사할 가능성을 시사한다.

본 연구는 마치 탐색과제에서 표적의 유무를 탐지하는 것처럼 VSTM 기반 변화탐지 과제를 여러 기억항목과 검사항목들과의 순차적 비교를 통해 서로 대응되는 특정 기억항목과 검사항목 사이에 색상 차이의 유무 즉 변화를 탐색하는 과정으로 가정했다. 이러한 가정은 적어도 시각탐색을 참가자가 단기 기억 내의 표적 표상과 순차적 초점주의 집중의 대상이 된 특정 탐색 항목의 감각적 표상을 비교해 표적 유무 여부에 대한 반응의사결정을 반복적으로 시도한다고 가정하는 시각탐색의 의사결정 모형(Wolfe, 1994; Wolfe, 1998)과 외형적으로 유사하다.

이러한 외형적 유사성에 근거해 시각탐색에서 표적출현확률 효과를 설명하기 위해 사용된 다중 의사결정 모형을 적용할 경우, 본 연구에서 참가자가 시도한 변화탐지 과정은 변화탐지 자극 배열 내 특정 항목에 대해 변화있음 여부에 대한 양자택일을 우선 강제하는 내적 의사결정 과정과, 이 과정에서 변화없음을 결정했을 경우 뒤이어 배열 내 여러 항목들에 대한 변화없음 증거를 점차 누적해 최종적으로 변화없음 결정을 내리게 되는 중단역치 의사결정 과정에 따른 순차적 자기종결 처리 과정으로 간주할 수 있다.

우선적으로 처리되는 내적 의사결정 과정은 검사배열 출현 시 배열 내 변화의 발생 여부를 결정짓기 위해 시도되는 개별 검사항목 당 일회성 의사결정에 해당된다. 따라서 변화탐지 과정에서 내적 의사결정 반응은 특정 기억항목에 대한 기억 표상과 그에 대응하는 특정 검사항목의 감각표상 간 신호탐지 처리에 의해 변화있음 시행의 정반응인 적중 반응의 즉각적 산출에 관여하며 개별 참가자가 보유한 감각적 민감도에 의해 크게 좌우된다. 이 과정에서의 오류는 변화있

음 시행임에도 불구하고 변화가 없다고 주관적으로 판정하게 되는 실수 반응인데, 이는 변화탐지 민감도에 따른 적중 반응의 산출을 촉진 혹은 억제하게 되는 관찰자의 내적 의사결정 기준(c)에 의해 그 발생 여부가 좌우된다.

다중 의사결정 모형에 따르면 변화출현확률은 민감도에는 영향이 없지만 관찰자가 주관적으로 설정한 내적 의사결정 기준에 영향을 준다. 즉 여러 시행에 걸쳐 변화가 빈번하게 경험되는 변화탐지 과제를 수행할 경우(80%) 참가자는 이 내적 의사결정 기준을 완화해 변화있음 시행에서 변화를 정확하게 탐지하는 경향을 보이지만 변화가 드물게 경험될 경우(20%) 그와는 반대로 기준을 강화해 변화있음 시행의 실수 반응인 변화없음 반응을 빈번하게 산출한다. 본 연구의 변화탐지 오류를 분석 결과 변화출현확률 50% 조건에 비해 80% 조건에서 실수 반응이 감소하고 20% 조건에서는 반대로 실수 반응이 증가한 것은 이와 같은 다중 의사결정 모형의 예측과 정확히 일치한다.

내적 의사결정 과정이 감각 민감도와 내적 의사결정 기준을 토대로 변화있음 시행에서의 정확 및 오류 반응에 관여한다면, 변화없음 시행의 정확 및 오류 반응에는 그 배경 원리가 매우 다른 중단역치 의사결정 과정이 관여한다. 변화없음 시행에서는 변화가 실제 존재하지 않으므로 변화있음 시행과는 달리, 변화탐지에 따른 즉각적 자기종료(self-termination)가 아닌 변화의 부재로 인한 여러 자극 항목에 대한 평가 반복이 예상된다. 이러한 반복은 기억에 저장된 다수 기억항목과 그에 대응하는 검사항목 사이의 순차적 평가를 통해 변화없음에 대한 증거를 누적하는데 이 과정에서 누적된 증거 총량이 참가자가 주관적으로 설정한 중단역치를 초과하면 반복을 중단하고 변화없음 반응을 즉각 산출한다. 반대로 이 과정에서 증거 총량이 역치에 초과하지 못하면 변화있음 시행일 가능성을 시사하므로 다시 내적 의사결정 과정이 개시되고 그 결과에 따라 중단역치 의사결정의 또 다른 반복 여부가 결정된다.

다중 의사결정 모형에 따르면 변화출현 확률은 표적없음 증거의 총량을 평가하는 중단역치 수준을 변화시키는데 구체적으로, 변화출현확률이 증가하면 중단역치는 그에 따라 상향되고 감소하면 역시 그에 따라 하향된다. 예를 들어 여러 시행에 걸쳐 변화가 빈번하게 경험되는 변화탐지 과제를 수행할 경우, 참가자는 중단역치의 상향 설정으로 인해 변화없음 시행에서 변화있음을 보고하는 오류 즉 오경보를 빈번하게 산출하지만 반대로 변화가 드물게 경험되면 역치를 하향 설정해 변화없음 반응이 촉진되어 이러한 오경보를 피하게 된다. 본 연구의 변화탐지 오류 분석에서 변화출현확률 50% 조건에 비해 80% 조건에서 오경보 반응이 현격히 증가하고 20% 조건에서는 그 반대로 오경보 반응이 대폭 감소한 것은 역시 다중 의사결정 모형에서 주장하는 중단역치 의사결정 과정에 기초한 이론적 예측과 정확히 일치한다.

더 나아가 다중 의사결정 모형은 본 연구의 변화탐지 과제에서의 정확 반응 즉 적중 및 정기간 RT를 설명하는데 적절한 배경을 제공한다. 다중 의사결정 모형에 따르면 먼저 변화있음 시행에서 변화가 없다고 보고하는 오류 즉 실수 반응은 낮은 표적출현 확률로 인한 내적 의사결

정 준거의 지나친 하향에 의해 발생한다. 반면 동일한 변화있음 시행의 정확 반응 즉 적중 반응은 이러한 실수를 범하지 않았을 때 참가자가 보유한 변화탐지 민감도에 의해 산출된 정확한 의사결정에 해당한다. 이 경우 참가자의 감각 민감도는 변화출현확률에 관계없이 일정하므로 적중 반응 산출에 소요되는 시간 또한 변화출현확률의 증감에 관계없이 일정할 것을 예상한다.

본 연구의 변화탐지 민감도 분석 결과, 시각탐색의 다중 의사결정 모형에 근거한 예측과 달리 변화발생확률 20% 조건에 비해 80% 조건에서 변화탐지 민감도가 다소 하락한 것이 관찰되었으나 적어도 이를 토대로 수행된 정확한 내적 의사결정에 소요된 시간 즉 적중 RT는 변화출현확률의 증감에 관계없이 일정했다. 이는 변화있음 시행의 변화유무 여부에 대한 내적 의사결정 과정에서의 변화있음 정확 반응이 산출된 경우 해당 반응은 참가자의 주관적 준거치가 아닌 변화탐지 민감도에 근거해 산출되었음을 시사한다. 이 경우 변화있음 시행의 적중 반응보고 시점은 변화탐지 항목에 대한 참가자의 민감한 탐지에 근거한 양자택일 내적 의사결정이 즉각 중단된 시점에 해당되므로 항목 개수가 네 개로 고정된 본 연구의 변화있음 시행에서는 평균적으로 일정한 RT를 산출할 수밖에 없다.

반면 중단역치 의사결정에 의해 좌우된 변화없음 시행의 정확 반응 즉 정기간 RT는 변화출현확률에 의해 분명히 영향을 받은 것으로 나타났다. 변화출현확률에 따라 상, 하향하는 참가자의 주관적 역치 설정에 의해 정확 및 오류 반응 양자가 결정되는 중단역치 의사결정 과정의 특성상 정기간 RT에 대한 변화출현확률의 영향은 당연할 수밖에 없는데 중요한 것은, 변화출현확률 증가에 따라 정기간 RT가 지연되었다는 점이다. 이는 시각탐색의 표적없음 시행에서처럼 변화탐지 과제에서도 복수의 변화탐지 항목에 대한 변화없음의 증거가 누적되고 그 총량이 평가되었음을 시사한다. 바꿔 말하면, 본 연구에서 변화출현확률 증가는 참가자의 중단역치를 상승시켰으며 이를 충족시키기 위한 변화없음의 누적 증거 확보에 소요된 시간 즉 정기간 RT가 그만큼 지연된 것으로 판단된다.

그럼에도 불구하고 본 연구는 시각탐색에서의 표적출현확률 효과에 대한 다중 의사결정 모형을 변화탐지 과제에 적용하는 과정에서 한 가지 분명하게 설명하기 어려운 결과를 발견하였다. 구체적으로 본 연구에서는 변화출현확률이 20%에서 80%로 크게 차이가 날 경우 20%인 경우에 비해 80%일 때 변화탐지 민감도가 다소 저하된 것이 관찰되었다. 일반적으로 시각탐색의 표적탐지 민감도 차원에서 표적출현확률 효과는 관찰되지 않는 것으로 이해되며(Godwin et al., 2010, 2014; Wolfe et al., 2007; Wolfe & Van Wert, 2010) 더 나아가 본 연구의 적중 RT가 변화출현확률의 증감에 영향을 받지 않았던 점을 고려할 때 이러한 변화탐지 민감도의 저하에 대한 정확한 해석이 쉽지 않다.

해당 민감도 저하에 대한 한 가지 추측 가능한 원인은 무엇보다도 시각탐색과 변화탐지 과제 사이의 근본적 차이이다. 구체적으로 일반적인 시각탐색 과제는 표적에 대한 단일한 내적 표상과 다수의 탐색 항목 사이의 순차적 대조에 의해 수행되는 반면(Peterson, Kramer, Wang, Irwin, &



McCarley, 2001; Vickery, King, & Jiang, 2005) 본 연구에서 사용된 변화탐지 과제는 탐색 표적에 해당하는 변화항목의 유무를 판단하기 위해 각각의 기억항목 및 그에 대응되는 검사항목 사이에 독립적인 쌍별 비교를 요구한다는 점이다(Hyun et al., 2009; Vogel et al., 2001).

이는 단일 항목이 아닌 복수의 항목에 대한 기억 표상을 형성하고 이를 검사항목과 일대일 대조한다는 점에서 탐색과제에 비해 기억부담 및 정보처리 부담 면에서 분명한 차이를 초래할 수밖에 없다. 특히 대부분의 표적출현확률 효과를 관찰하기 위한 탐색과제가 초점주의 과제임에도 불구하고 천정(ceiling) 수준의 정확도를 산출하는 반면(Duncan, 1985; Duncan & Humphreys, 1989), 본 연구에서 변화탐지 오류율은 평균적으로 변화출현확률 저빈도, 중립 및 고빈도 조건에서 약 12%, 20% 그리고 18% 였다. 80%를 약간 상회하는 이와 같은 과제 정확도는 천정 수준과는 거리가 있으며 비교적 쉽지 않은 과제에 해당된다(Luck & Hollingworth, 2008; Rouder, Morey, Morey, & Cowan, 2011; Vogel et al., 2001).

그럼에도 불구하고 전반적인 과제 난이도의 차이만으로 본 연구에서 관찰된 변화탐지 민감도에 대한 변화출현확률 효과를 설명하기에는 무리가 있다. 그보다는 시각탐색 과제에서 표적탐지와 변화탐지 과제에서 변화탐지 사이에 예상되는 분명한 현상적(phenomenological) 차이에 집중할 필요가 있다. 시각탐색에서 표적의 탐지는 표적과 동일한 탐색 항목의 발견인 반면, 변화탐지 과제에서 경험되는 ‘변화’는 기억항목과 다른 검사항목의 출현으로 인한 일종의 일시적 감각 불일치(sensory transience) 경험이다(O'Regan, Rensink, & Clark, 1999; Rensink, 2002; Simons & Rensink, 2005). 즉 탐색과제에서 표적의 발견은 참가자가 내적으로 형성한 기억 표상과 방해자극 사이의 감각적 불일치가 경험되는 과정에서 표적 출현에 의해 감각적 일치가 경험되는 과정인 반면(Vickery et al., 2005; Wolfe, 1994), 변화탐지 과제에서 변화의 탐지는 기억 표상과 동일한 검사항목 사이에 감각적 일치가 경험되는 과정에서 기억항목과는 다른 새로운 검사항목의 출현이 초래하는 감각적 불일치의 경험이다.

특히 변화탐지과제에서 감각적 불일치로 인한 변화의 탐지는 해당 감각 경험의 시행 간 반복이 초래하는 감각적 순응(sensory adaptation)에 취약할 가능성이 있는데(Jiang, Zhou, & He, 2007; Webster, 2012), 변화출현확률이 증가할 경우 단위 시간 동안 경험되는 감각적 불일치의 경험 빈도가 상대적으로 증가하므로 순응의 발생 가능성 또한 증가할 수밖에 없다. 감각적 순응은 참가자가 의도적으로 통제하기 어려우며 감각적 탐지 민감도에도 직접적인 영향을 준다(Gepshtein, Lesmes, & Albright, 2013; von Grunau, Faubert, Iordanova, & Rajska, 1999; Webster, 2015). 본 연구에서 관찰된 변화출현확률의 현격한 증가(20% vs. 80%)에 따른 민감도의 저하는 아마도 가외변인에 해당하는 이러한 감각적 순응이 원인일 가능성이 있다.

다른 한 가지 가능성은 변화탐지 과제가 가지는 기억 중심적(memory-intensive) 특성이다. 본 연구에서 사용된 변화탐지 과제는 정확하고 신속한 반응 보고를 위해 과제 그 자체로 3~4개 항목 정도로 한정된 VSTM의 저장 용량을 최대한 활용하는 과제에 해당한다. 특히 동일한 표적이 다

수 시행에서 반복 사용되는 일반적인 시각탐색 과제와는 달리 본 연구의 변화탐지 과제에서는 매 시행마다 기억항목의 색상들이 무작위 선택된다는 점에서 중요한 차이가 있다.

매 시행에서 한정된 기억항목들이 무작위 선택되어 반복 출현하는 단기기억 과제는 시행들에 걸쳐 암묵적으로 형성되는 장기기억 정보에 의해 선행 시행의 정보가 후행 시행의 수행을 간섭하는 순행 간섭(proactive interference)을 야기하는 것으로 알려져 있다(Bunting, 2006; Hartshorne, 2008; Kane & Engle, 2000). 변화출현 확률의 증가는 결국 기억항목과 차이가 있는 검사항목의 출현 빈도가 증가함을 의미하는데 결과적으로 이러한 출현 빈도가 순행 간섭의 강도와 상호작용해 후행 시행의 수행에 영향을 초래할 경우, 마치 변화탐지 민감도가 변화된 것으로 오인될 수 있다. 즉 변화출현확률의 증가로 인해 차이가 있는 검사항목이 빈번히 출현하는 변화있음 시행이 다수가 될 경우, 선행 시행에서 변화의 경험을 촉발시킨 검사항목 등이 단기 및 장기기억에 머물러 후행 시행에서의 기억 수행을 간섭하는 경우이다.

이러한 순행 간섭이 후행 시행의 변화탐지 처리 과정에서 기억항목에 대한 공고화, 유지 및 검사항목과의 비교 과정(Hyun et al., 2009; Vogel, McCollough, & Machizawa, 2005; Vogel, Woodman, & Luck, 2006; 강해인, 현주석, 2011)과 같은 대표적 처리 과정 중 어디에 영향을 초래할 수 있는지 그리고 그 간섭이 표적출현확률과 어떻게 상호작용할 수 있는지를 본 연구의 제한된 관찰 결과를 토대로 정확히 짐작하기는 어렵다. 그러나 적어도 표적출현확률 효과가 전체 탐색 시행에 걸친 단기와 장기기억 정보 사이의 상호작용에 의해 발현될 가능성이 큰 만큼(Chun & Jiang, 1998; Ishibashi, Kita, & Wolfe, 2011; Lau & Haung, 2010; Schwark, Sandray, & Dolgov, 2013; Woodman & Chun, 2006), 탐색 과제에 비해 단기기억 부담이 예상되는 본 연구의 변화탐지 민감도 차원에서 뜻밖의 변화출현확률의 영향력이 관찰된 것은 예상 밖의 결과가 아닐 수 있다. 다만 후속 연구는 분명한 해석이 어려운 이러한 문제점들에 대한 구체적인 보완을 시도하는 방향으로 진행되는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

종합해볼 때 본 연구는 시각탐색의 표적출현확률 효과에 대한 다중 의사결정 모형을 토대로 단기기억 기반 변화탐지 과제에서 변화출현확률 효과를 확인하고 그 배경 원리가 시각탐색 과제의 그것과 매우 유사할 가능성을 발견했다. 또한 변화의 출현 가능성이 매우 낮을 때 빈번하게 발생할 것이 예상되는 변화탐지 실패가 탐색과제에서 표적의 출현 가능성의 매우 낮을 때 예상되는 표적탐지 실패의 배경 원리와 유사할 가능성을 발견했다. 이는 표적 혹은 변화출현확률이 일상 생활 현장에서 다수의 비표적 대상들 중 표적과 동일한 항목의 유무 여부를 결정할 때뿐만 아니라 제품의 검수나 x-ray 판독처럼 정상과 이상을 구분하기 위해 검사 대상의 정상 형태와는 상이한 일부 부위의 이상 여부를 발견하는 과정에도 역시 고려될 필요가 있음을 시사한다.

## 참고문헌

- 강해인, 현주석 (2011). 시각작업기억 처리 단계에 따른 주의 자원 활용 특성. **한국심리학회지: 인지 및 생물**, 23(4), 487-504.
- 박형범, 손한결, 현주석 (2015). 표적 출현확률에 따른 시각탐색 정보처리 특성. **인지과학**, 26(3), 357-375.
- 현주석 (2017). 시각작업기억 연구를 위한 변화탐지 과제의 방법론적 제약 및 이론적 시사점에 대한 고찰. **한국심리학회지: 인지 및 생물**, 29(3), 287-373.
- Alvarez, G. A., & Cavanagh, P. (2004). The capacity of visual short-term memory is set both by information load and by number of objects. *Psychological Science*, 15(2), 106-111.
- Beanland, V., Le, R. K., & Byrne, J. E. M. (2016). Object-scene relationships vary the magnitude of target prevalence effects in visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 42(6), 766-775.
- Bunting, M. (2006). Proactive interference and item similarity in working memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 32(2), 183-196.
- Chun, M. M., & Jiang, Y. (1998). Contextual cueing: Implicit learning and memory of visual context guides spatial attention. *Cognitive Psychology*, 36(1), 28-71.
- 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.
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(1), 87-185.
- Duncan, J. (1985). Visual search and selective attention. In M. I. P. a. O. S. M. Marin (Ed.), *Attention and Performance* (Vol. XI, pp. 85-106). Hillsdale: Erlbaum.
- Duncan, J., & Humphreys, G. (1989). Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review*, 96, 433-458.
- Eckstein, M. P., Thomas, J. P., Palmer, J., & Shimozaki, S. S. (2000). A signal detection model predicts the effects of set size on visual search accuracy for feature, conjunction, triple conjunction, and disjunction displays. *Perception and Psychophysics*, 62, 425-451.
- Fleck, M. S., & Mitroff, S. R. (2007). Rare targets are rarely missed in a correctable search. *Psychological Science*, 18(11), 943-947.
- Gepshtein, S., Lesmes, L. A., & Albright, T. D. (2013). Sensory adaptation as optimal resource allocation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(11), 4368-4373.
- Girden, E. (1992). *ANOVA: Repeated measures*. Newbury Park: CA: Sage.

- Godwin, H. J., Menneer, T., Cave, K. R., Thaibsyah, M., & 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.
- Godwin, H. J., Walenchok, S. C., Houpt, J. W., & Hout, M. C. (2015). Faster than the speed of rejection: Object identification processes during visual search for multiple targets. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 41*(4), 1007-1020.
- Gur, D., Rockette, H. E., Armfield, D. R., Blachar, A., Bogan, J. K., Brancetelli, G., . . . Warfel, T. E. (2003). The prevalence effect in a laboratory environment. *Radiology, 228*, 10-14.
- Hartshorne, J. K. (2008). Visual working memory capacity and proactive interference. *PLoS One, 3*(7): e2716. Retrieved from <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0002716>
- Harvey Jr., L. O. (2003). *Detection sensitivity and response bias*. Department of Psychology, University of Colorado. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195092509.001.0001>
- Hollingworth, A. (2003). Failures of retrieval and comparison constrain change detection in natural scenes. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 29*(2), 388-403.
- Hyun, J.-S., Woodman, G. F., Vogel, E. K., Hollingworth, A., & Luck, S. J. (2009). The comparison of visual working memory representations with perceptual inputs. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 35*(4), 1140-1160.
- Ishibashi, K., Kita, S., & Wolfe, J. M. (2011). The effects of local prevalence and explicit expectations on search termination times. *Attention, Perception & Psychophysics, 74*, 115-123.
- Jiang, Y., Zhou, K., & He, S. (2007). Human visual cortex responds to invisible chromatic flicker. *Nature Neuroscience, 10*, 657-662.
- Kane, M. J., & Engle, R. W. (2000). Working-memory capacity, proactive interference and divided attention: Limits on long-term memory retrieval. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition, 26*(2), 336-358.
- Lau, J. S. H., & Haug, L. (2010). The prevalence effect is determined by past experience, not future prospects. *Vision Research, 50*(15), 1469-1474.
- Luck, S. J. (2008). *Visual short-term memory*. In S. J. Luck & A. Hollingworth (Eds.), *Visual Memory*: Oxford University Press.
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature, 390*, 279-281.
- Macmillan, N. A. (1993). *Singal detection theory as data analysis method and psychological decision model*.

- Macmillan, N. A., & Creelman, C. D. (2004). *Detection theory: A user's guide*. Psychology Press.
- O'Regan, J. K., Rensink, R. A., & Clark, J. J. (1999). Change-blindness as a result of "mudsplashes". *Nature*, 398(6722), 34.
- Palmer, J., Verghese, P., & Pavel, M. (2000). The psychophysics of visual search. *Vision Research*, 40, 1227-1268.
- Peterson, M. S., Kramer, A. F., Wang, R. F., Irwin, D. E., & McCarley, J. S. (2001). Visual search has memory. *Psychological Science*, 12, 287-292.
- Rensink, R. A. (2000). Visual search for change: A probe into the nature of attentional processing. *Visual Cognition*, 7, 345-376.
- Rensink, R. A. (2002). Change detection. *Annual Review of Psychology*, 53, 245-277.
- Rensink, R. A., O'Regan, J. K., & Clark, J. J. (1997). To see or not to see: The need for attention to perceive changes in scenes. *Psychological Science*, 8(5), 368-373.
- 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.
- Rouder, J. N., Morey, R. D., Morey, C. C., & Cowan, N. (2011). How to measure working memory capacity in the change detection paradigm. *Psychonomic Bulletin & Review*, 18(2), 324-330.
- Shankin, A., Bergmann, K., Schubert, A.-L., & Hagemann, D. (2017). The allocation of attention in change detection and change blindness. *Journal of Psychophysiology*, 31(3), 94-106.
- Schwark, J., Sandray, J., & Dolgov, I. (2013). Evidence for a Positive Relationship between Working-Memory Capacity and Detection of Low-Prevalence Targets in Visual Search. *Perception*, 42(1), 112-114.
- Simons, D. J., & Rensink, R. A. (2005). Change blindness: Past, present, and future. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(1), 16-20.
- Stanislaw, H., & Todorov, N. (1999). Calculation of signal detection theory measures. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 31(1), 137-149.
- van Lamsweerde, A. E., & Beck, M. R. (2011). The change probability effect: Incidental learning, adaptability, and shared visual working memory resources. *Consciousness & Cognition*, 20(4), 1676-1689.
- Vickery, T. J., King, L.-W., & Jiang, Y. (2005). Setting up the target template in visual search. *Journal of Vision*, 5, 81-92.
- Vogel, E. K., McCollough, A. W., & Machizawa, M. G. (2005). Neural measures reveal individual differences in controlling access to working memory. *Nature*, 438, 500-503.
- Vogel, E. K., Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2001). Storage of features, conjunctions and objects in

- visual working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 27(1), 92-114.
- Vogel, E. K., Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2006). The time course of consolidation in visual working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32(6), 1436-1451.
- von Grunau, M. W., Faubert, J., Iordanova, M., & Rajska, D. (1999). Flicker and the efficiency of cues for capturing attention. *Vision Research*, 39(19), 3241-3252.
- Webster, M. A. (2012). Evolving concepts of sensory adaptation. *F1000 Biology Reports*, 4, 21. Retrieved from <https://doi.org/10.3410/B4-21>
- Webster, M. A. (2015). Visual adaptation. *Annual Review of Vision Science*, 1, 547-567.
- Wickens, T. D. (2002). *Elementary signal detection theory*. U.S.A.: Oxford University Press.
- Wolfe, J. M. (1994). Guided search 2.0: A revised model of visual search. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1, 202-238.
- Wolfe, J. M. (1998). Visual search. In H. Pashler (Ed.), *Attention* (pp. 13-73). Hove, England UK: Psychology Press/Erlbaum (Uk) Taylor & Francis.
- Wolfe, J. M., Horowitz, T. S., & Kenner, N. M. (2005). Rare items often missed in visual searches. *Nature*, 435, 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, 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., & Chun, M. M. (2006). The role of working memory long-term memory in visual search. *Visual Cognition*, 14(4-8), 808-830.

1차 원고 접수: 2020. 10. 06

1차 심사 완료: 2021. 05. 10

2차 원고 접수: 2021. 07. 29

2차 심사 완료: 2021. 08. 24

3차 원고 접수: 2021. 08. 26

3차 심사 완료: 2021. 09. 06

4차 원고 접수: 2021. 09. 10

최종 게재확정: 2021. 09. 10

(Abstract)

## The Influence of Change Prevalence on Visual Short-Term Memory-Based Change Detection Performance

Han-Gyeol Son

Joo-Seok Hyun

Department of Psychology, Chung-Ang University

The way of change detection in which presence of a different item is determined between memory and test arrays with a brief in-between time interval resembles how visual search is done considering that the different item is searched upon the onset of a test array being compared against the items in memory. According to the resemblance, the present study examined whether varying the probability of change occurrence in a visual short-term memory-based change detection task can influence the aspect of response-decision making (i.e., change prevalence effect). The simple-feature change detection task in the study consisted of a set of four colored boxes followed by another set of four colored boxes between which the participants determined presence or absence of a color change from one box to the other. The change prevalence was varied to 20, 50, or 80% in terms of change occurrences in total trials, and their change detection errors, detection sensitivity, and their subsequent RTs were analyzed. The analyses revealed that as the change prevalence increased, false alarms became more frequent while misses became less frequent, along with delayed correct-rejection responses. The observed change prevalence effect looks very similar to the target prevalence effect varying according to probability of target occurrence in visual search tasks, indicating that the background principles deriving these two effects may resemble each other.

*Keywords* : change detection, visual search, target prevalence, visual short-term memory, change prevalence