

## 회전하는 비원형물체의 접촉시간 지각\*

김 남 균†

계명대학교 심리학과

본 연구는 인간시각체계가 회전하면서 다가오는 비원형물체의 접촉시간을 탐지할 수 있는지를 규명하고자 시도되었다. Gray와 Regan(2000)은 인간시각체계가 단안정보에 입각하여 회전하며 접근하는 비원형물체의 접촉시간을 탐지할 능력이 결여되었다고 주장하였다. 하지만 그들의 연구에 사용된 물체는 타원체였으며, 그 물체는 각 시행에서 90도만을 회전하였다. 따라서 물체는 조건에 따라 원형에서 타원형으로 혹은 타원형에서 원형으로 형태가 변화하였다. 즉 Gray와 Regan은 회전하는 비원형물체가 야기할 수 있는 무한한 형태 중에서 단지 두 가지 유형에 근거하여 결론을 도출하였다. 아울러 Gray와 Regan은 내부의 결 조직이 제거된 물체들을 자극으로 사용하였으며, 그 물체들은 윤곽만 묘사되었다. 그에 반해 본 연구에서는 보다 일반적인 상황을 묘사하고자 하였다. 따라서 다양한 결 무늬를 입힌 물체들을 사용하였다. 또한 두 종류의 비원형물체가 사용되었으며, 통제물체로 원형물체가 사용되었다. 물체의 접근속도, 접촉시간, 회전방향도 함께 통제하였다. 그리고 정보가 저하된 상황 하에 다른 정보를 보완할 가능성도 함께 검증하기 위해서 지면의 결과 물체의 그림자도 함께 조작하였다. 이러한 변인들을 상대판단과제(실험 1)와 절대판단과제(실험 2)를 이용하여 검증하였다. 참가자들의 접촉시간 지각능력이 기존의 접촉시간 연구에서 보고한 결과들과 비교하였을 때 비슷하거나 더 우수하였다. 또한 접근속도와 물체의 크기에도 영향을 받음으로써 본 연구에서 관찰된 능력이 접촉시간 지각과정에서 발견된 일반적인 반응양상과 거의 다르지 않다는 사실 또한 발견되었다. 요약하면, 본 연구에서 Gray와 Regan이 내린 결론과는 상반되는 결과, 즉 인간시각체계가 회전하는 비원형물체의 접촉시간을 정확하게 지각할 수 있다는 사실을 발견하였다.

주제어 : 접촉시간지각, local tau, 비원형물체, 결 조직

---

\* 이 논문에서 보고하는 연구는 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행되었다(KRF-2006-331-H00003).

† 교신저자 : 김남균, 계명대학교 심리학과, (704-701) 대구광역시 달서구 달구벌대로 2800  
Tel: 053-580-5415, E-mail: nk70@kmu.ac.kr

야구선수들이 상대방이 던진 공을 받기 위해서는 정확한 타이밍(적절한 시기 택하기)이 필요하다. 글러브를 너무 빨리 혹은 너무 늦게 움켜질 경우, 공은 글러브 밖으로 떨어지고 만다. 그러나 우리가 일상생활에서 공받기 놀이를 할 때, 공을 놓치는 경우는 거의 드물다. 우리는 물체와 접촉할 때 어떻게 정확하게 타이밍을 조절할 수 있을까?

지난 30년간 지각심리학자들은 인간이나 동물이 시각정보 중 접촉시간(time-to-contact 혹은 TTC) 정보를 이용하여 주변 환경과의 접촉 시 타이밍을 조절한다는 연구 결과를 보여주었다. 구체적으로 설명하면, 정지하고 있는 관찰자를 향하여 물체가  $v$ 라는 속도로 다가오고 있다고 가정해보자(그림 1). 물체가 관찰자로부터  $D$ 의 거리에 도달하였을 때, 물체는 정확히  $D/v$  시간 후에 관찰자에게 도달한다. 따라서 관찰자는 이 물체와의 적절한 접촉, 즉 물체를 잡거나 피하고자 할 때, 그 물체와의 접촉 시간에 근거하여 행동을 해야 한다. 그렇게 행동을 하기 위해서는, 다가오는 물체의 속도( $v$ ) 및 거리( $D$ )를 정확하게 탐지한 뒤, 그 두 가지 정보를 다시 나누는( $D/v$ ) 복잡한 계산과

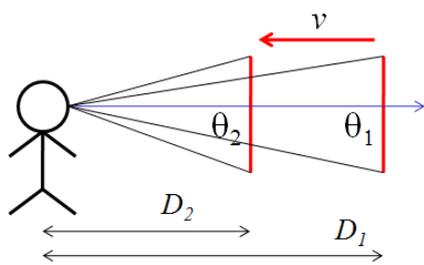


그림 1. 물체가  $v$ 의 속도로 관찰자를 향하여 다가올 때, 그 물체와의 접촉시간( $D/v$ )은 광학적으로 물체가 이루는 물체각의 상대적 팽창률의 역치, 즉  $\theta/(d\theta/dt)$ 에 의해서 명시된다. 이 시각정보를 Lee(1976)는 tau라 명명하였다.

정을 거쳐야할 것이다. 하지만 보다 간단한 정보가 광학적으로 활용가능하다는 사실을 Lee(1976)가 제안하였다. 그림 1에서 보여주듯이, 하나의 물체가 관찰자를 향하여 다가올 때, 그 물체가 이루는 각(optical angle)을  $\theta$ 로 가정하면, 물체가 다가올수록 물체각은  $d\theta/dt$ 의 속도로 팽창하게 된다. 더 나아가 Lee는 물체각의 상대적 팽창률의 역치(the inverse of the relative rate of optical expansion), 즉  $\theta/(d\theta/dt)$ 는 그 물체의 도착시간, 즉  $D/v$ 와 일치한다는 사실을 수학적으로 증명하였다. Lee는 이 광학정보(optical variable)를 tau라 명명하였다.<sup>1)</sup> 그 이후 많은 연구에서 인간을 포함한 다양한 동물들이 이 광학정보를 이용하여 주변 환경과의 상호작용에서 자신들의 행동을 통제한다는 사실을 밝혀내었다(e.g., Bootsma & van Wieringen, 1990; Gray & Regan, 1998; Lee, Reddish, & Rand, 1991; Savelsbergh, Whiting, & Bootsma, 1991). 이러한 결과에 근거하여, 광학정보 tau는 움직이는 물체를 잡거나 다가오는 물체를 피하는 행동을 시간적으로 통제하는 지각적 근거로 받아들여지고 있다.

하지만 tau가 지각정보로 활용되기 위해서는 몇 가지의 조건을 충족시켜야 한다. 그 중 가장 중요한 조건 2 가지는 다가오는 물체의 속도가 일정하게 유지되어야 한다는 점, 그리고 그 물체가 고정된 형태를 유지하거나, 회

1) 다가오는 물체로부터 산출되는 tau 값은 두 가지 유형으로 나뉜다. 그림 1에서 보듯이, 물체 내부의 두 점의 대각으로 tau 값이 추출되었을 때, 그러한 tau를 Tresilian(1991)은 local tau1(1차원적 속성)이라 명명하였다, 그와 반하여 물체 전체의 윤곽에 근거한 입체각(solid angle)으로 tau 값이 추출되었을 때, 그러한 tau를 local tau2(2차원적 속성)라 명명하였다.

전할 경우, 대칭성(symmetry)을 유지해야 한다는 점이다(Hecht & Savelsbergh, 2004; Tresilian, 1991, 1995).

그러나 우리 주변 환경을 구성하고 있는 물체 중 관찰자가 움직이거나 물체가 이동하는 동안 고정된 형태를 유지하는 물체는 드물다(Grey & Regan, 2004). 그 한 예로 럭비공을 들 수 있다. 럭비공이 회전하면서 날아올 때 럭비공은 받는 사람을 향해 다가오고 있지만, 럭비공의 윤곽은 회전과 함께 변화하게 된다. 이와 함께 럭비공이 이루는 물체각은 일률적으로 확대되지 않고 급격한 확대(expansion)와 축소(contraction)를 반복하게 된다. 그렇다면 이러한 물체각의 변화패턴을 tau이론에 입각하여 고려해보자. 확대하는 망막상은 물체가 관찰자를 향하여 급속히 다가오고 있다는 사실을 의미한다. 그에 반해, 축소하는 망막상은 물체가 관찰자로부터 멀어져 가고 있다는 사실을 의미한다. 관찰자의 지각도 이러한 망막상의 변화와 동일하게 변화할까? 그러한 경우 회전하며 날아오는 럭비공 같은 비대칭(asymmetrical) 비등방성(non-isotropic) 물체를 직시하고 있는 관찰자의 지각의식은 무한한 혼란을 겪을 것이다. 더 나아가 그러한 상태에서 럭비공을 받는다는 것은 불가능하다. 그러나 우리의 일상적인 경험에서 볼 때 날아오는 럭비공을 받는 일은 가능하다. 우리는 물체의 상태, 즉 그 럭비공이 다가오고 있다는 사실을 명확히 의식할 뿐 아니라, 럭비공을 잡기 위해 적절하게 손과 팔을 움직인다. 어떻게 우리는 럭비공을 받는 타이밍을 적절하게 조절할 수 있을까?

이러한 문제를 체계적으로 다룬 연구로는 Gray와 Regan(2000)의 연구와 Scott, Li 및 Davids(1996)의 연구가 있다. 이 중 Scott 등은

참가자들을 바닥에 반듯이 눕힌 후, 5.1m의 높이에서 럭비공을 떨어뜨렸다. 참가자들은 떨어지는 공이 자신의 몸에 도착하기 전에 쳐내는 과제를 수행하였다. 회전하면서 낙하하는 럭비공, 회전하지 않고 낙하하는 럭비공, 그리고 낙하하는 둥근 공을 치는 행동의 양상을 비교하였을 때, 회전하면서 낙하하는 럭비공을 치기 위해서 움직임을 시작하는 시간이 비회전 럭비공 혹은 둥근 공에 비해 더 늦었으며, 그러한 차이가 유의미하다는 사실을 밝혀냈다.

하지만 여기서 간과할 수 없는 사실은 행동을 다소 늦게 시작하였을지라도 모든 참가자들은 회전하면서 낙하하는 럭비공을 성공적으로 쳐냈다는 사실이다. 이러한 결과에서 주의하여야 할 점은 광학정보인 tau는 단안정보라는 사실이다. 그와 반하여 Scott 등(1996)의 연구에서 모든 참여자는 두 눈을 뜬 상태에서 실험에 참여하였다는 사실이다. 따라서 그들의 수행능력이 어느 정도 tau의 영향 하에 있었는지를 단정 짓기가 어렵다.

이러한 문제점을 좀 더 구체적으로 규명하고자 Gray와 Regan(2000)은 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 회전하는 비원형물체의 접촉시간 탐지능력을 검사하였다. 이 연구에 사용된 물체는 두 개의 동일한 단축(minor axis)과 하나의 장축(major axis)으로 구성된 타원체(spheroid)로서 내부의 결 없이 윤곽만 묘사되었다. 물체는 조건에 따라 장축이 관찰점을 향하거나 단축이 관찰점을 향하도록 조절되었으며, 매 시행마다 1.25초 동안 90도의 회전을 하였다. 따라서 물체는 조건에 따라 그 형태가 원에서 타원으로 혹은 타원에서 원으로 변화하였다. 이러한 조건을 이용한 실험에서 Gray와 Regan은 단안관찰조건 하에서는 접촉시간탐지가 부

정확하였으며, 양안관찰조건 하에서 탐지능력이 향상된다는 결과를 보고하였다. 그러한 결과에 근거하여, Gray와 Regan은 “관찰자들이 그 과제를 전혀 수행하지 못하거나, 수행하더라도 큰 오류를 보였다(observers are either unable to perform the task at all, or make large errors)”(p. 60)라고 결론 내렸다.

하지만 이러한 Gray와 Regan(2000)의 주장은 우리의 일상 경험과는 일치하지 않는다. 우리는 외눈의 비행사 혹은 운동선수들의 사례(Regan, 1997)를 예로 들지 않더라도, 일상 경험을 통하여 충분히 럭비공과 같이 불규칙적으로 움직이면서 다가오는 물체들의 접촉시간을 단안만을 이용하여서도 충분히 탐지할 수 있을 뿐 아니라, 그 물체들과 다양한 상호작용을 할 수 있다. 사실 상기한 바대로 Gray와 Regan은 회전하는 비원형물체가 야기할 수 있는 무한한 형태 중에서 단지 두 가지 유형(즉 원에서 타원 혹은 타원에서 원)만을 고려하였을 뿐 아니라, 두 명의 숙련된 참가자로부터 습득한 자료에 근거하여, 연구의 일반성이 취약하다는 제약성을 지니고 있다.

이러한 맥락에서 본 연구는 회전하는 비등방형 물체의 접촉시간 지각능력이 인간시각체계에서 결여되었다는 Gray와 Regan(2000)의 주장을 좀 더 포괄적인 조건 하에서 재조명해보고자 시도되었다. Gray와 Regan의 연구에서 주목할 점은 상기한 바대로 물체 내부의 결 조직이 묘사되지 않고 단지 윤곽만 제시되었다는 점이다. 따라서 물체의 회전은 물체 전체의 윤곽을 변화시켰고, 그러한 변화로 인하여 정확한  $\tau$  값, 특히 local  $\tau_2$ 의 산출 조건을 어렵게 하였다. 하지만 물체는 수평축으로만 회전하였으며, 그 결과 물체의 수직축 길이는 변화하였지만 수평축의 길이는 변화하지

않았다. 이러한 사실은 전체 윤곽의 변형에도 불구하고 시각체계는 수평축의 양끝점으로 형성된 대각을 사용하여 local  $\tau_1$ 을 추출할 수 있었다는 사실이다. 하지만 Gray와 Regan의 참가자들이 보여준 결과로 유추해 볼 때, 인간 시각체계는 수평축의 끝점을 이용한 local  $\tau_1$ 의 추출에 실패하였다고 간주할 수 있겠다. 따라서 이러한 결과가 보다 전반적인 local  $\tau_1$ 의 추출 능력의 결함을 반영하는지, 아니면 단순히 윤곽에 대한 민감도의 저하로 인한 물체의 윤곽의 양끝점을 이용한 local  $\tau_1$ 의 추출능력의 하락에 국한된 것인지를 규명해보아야 할 것이다.

사실 기존의 접촉시간탐지 연구에서는 컴퓨터 그래픽의 기술적인 취약성으로 인하여 대부분의 물체들은 내부의 결 조직이 결여된 상태에서 전체 표면이 동일한 색채로 그려졌으며, 따라서 물체는 윤곽만으로 묘사되었다(e.g., Bootsma & Craig, 2002; DeLucia & Warren, 1994; Gray & Regan, 1998; Heuer, 1993; Kim & Grocki, 2006; Schiff & Detwiler, 1979; Todd, 1981). 하지만 최근에 개발된 texture-mapping 기술은 내부 결을 포함하여 보다 현실적으로 물체를 묘사할 수 있게 한다. 이러한 기술을 이용하여 본 연구에서는 다양한 결 무늬가 입혀진 물체들을 사용하였다.

본 연구의 주 목적은 인간시각체계가 회전하면서 다가오는 비원형물체의 접촉시간을 탐지할 수 있는지를 규명하는 것이다. 이 목적을 위해서 두 종류의 비원형물체가 사용되었으며, 통제물체로 원형물체가 사용되었다. 원형물체는 등방형물체로서 회전 중에도 윤곽의 상은 획일적으로 팽창하며, 따라서 local  $\tau_2$  산출에 전혀 영향을 미치지 않는다. 이 물체들은 상기한 대로 내부 결 조직도 함께 묘사

되었다. 따라서 물체의 회전에 의하여 내부 결 조직도 따라 회전을 하였으며, 그 결과 결의 위치가 관찰점으로부터 고정된 위치에 지속적으로 유지되지 않았다. 심지어 어느 순간 관찰점으로 투사된 결 요소(texture element)가 다음 순간 물체의 뒤로 사라져 더 이상 관찰점에 투사되지도 않았다. 이러한 상황은 동일한 결 요소들에 근거하여 특징 지워지는 local tau1의 산출 조건을 충족시키지 못하게 된다. 따라서 이런 상황에서도 시각체계가 local tau1을 산출할 수 있는지는 분명하지 않다. 본 연구의 결과는 이러한 상황에 대한 이해의 증진에 공헌하리라 기대한다.

더욱이 인간시각체계가 local tau1의 추출능력이 결여되었거나 아니면 local tau2 추출능력에 비교하여 저조할 경우, 여러 정보를 통합하여 그러한 감소된 능력을 보완할 가능성이 있다. 지금까지 알려진 연구결과에 따르면 접촉시간 탐지에 영향을 미치는 정보로 지면의 결 조직과 그림자가 있다. 특히 관찰자들은 물체가 결 조직이 성긴 지면 위를 지날 때 보다 결 조직이 치밀한 지면 위를 지날 때 접촉시간이 더 빠른 것으로 판단한다는 결과가 여러 연구에서 보고되었다(Andersen, Cisneros, Atchley, & Saidpour, 1999; Flach, Warren, Garness, Kelly, & Stanard, 1997). 아울러 다가오는 물체의 그림자가 접촉시간 탐지에 영향을 미친다는 사실 또한 보고되었다(Kim & Grocki, 2006). 이러한 부가적인 정보들은 특히 접촉시간지각에 직접적으로 영향을 미치는 정보, 즉 local tau2가 손상되었을 때, 정보통합(information integration)을 통하여 손상된 주 정보를 보완할 개연성이 높을 수 있다. 따라서 지면의 결과 그림자의 유무를 함께 조작하여 이러한 부가적인 정보가 특히 local tau2가 손

상된 상황에서 접촉시간지각에 어떻게 영향을 미치는지를 알아보고자 하였다.

이러한 목적을 달성하기 위해서 두 개의 실험을 실시하였다. 실험 1에서는 상대판단과제(relative judgment task)를 실험 2에서는 절대판단과제(absolute judgment task)를 채택하여 진행하였다(판단과제가 접촉시간 탐지에 미치는 영향에 대하여 Tresilian, 1995, 참조). 상대판단과제 하에서는 두 개의 물체가 관찰자를 향하

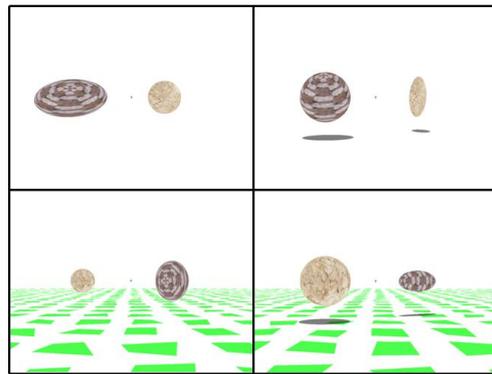


그림 2. 상대판단과제(실험 1)에서 사용된 자극. 그림자: 무(좌), 유(우); (상) 지면 결: 무(상), 유(하). 물체는 각 시행에서 수평축(상) 혹은 수직축(하)으로 회전하였다.

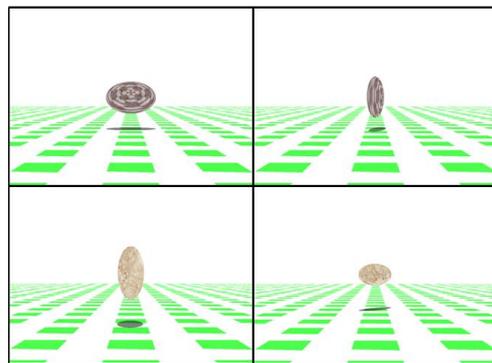


그림 3. 절대판단과제(실험 2)에서 사용된 자극. 회전축: 수평축(좌); 수직축(우)

여 다가 왔으며, 참가자는 그 중 어느 물체가 먼저 관찰자에게 도달할 지를 결정하였다(그림 2). 두 물체의 상대적 도착시간을 변화시켜, 판단의 난이도를 조작하였다. 즉 두 물체의 도착시간의 차이가 짧을수록 판단은 어려웠고, 길수록 쉬웠다. 그에 반해 절대판단과제 하에서는 참가자는 다가오는 물체의 접촉시간을 직접 판단하였다. 하나의 물체가 관찰자에게 접근하는 도중 화면에서 사라졌으며, 이 때 참가자는 그 물체가 자신에게 도착할 시간을 추정하여 keyboard를 이용하여 반응하였다(그림 3). 물체의 실제 도착시간, 즉 그 물체가 사라지지 않고 계속해서 다가와 관찰자에 도착하는 시간과 참가자가 예측한 시간과의 차이, 즉 접촉시간 예측오류가 탐지능력을 평가하는 척도로 사용되었다.

### 실험 1. 상대판단과제

본 연구는 Gray와 Regan(2000)의 주장대로 인간시각체계가 단안정보에 입각하여 회전하며 접근하는 비원형물체의 접촉시간을 탐지할 능력이 결여되었는지를 보다 포괄적인 맥락에서 검증하고자 시도되었다. 따라서 그러한 능력의 검증을 보다 용이하게 진행하기 위해서 실험 1에서는 상대판단과제를 사용하였다. 이 과제는 둘 중 하나를 선택하는 양자강제선택 방식(alternative forced choice paradigm)을 응용한 실험절차로서 그 단순성으로 인하여 많은 접촉시간탐지 연구에서 사용되었다(Bootsma & Craig, 2002; Kaiser & Mowafy, 1993; Kerzel et al., 1999; Kim & Grocki, 2006). 즉 두 개의 물체가 관찰자를 향하여 다가 왔으며(그림 2), 참가자는 그 중 어느 물체가 먼저 관찰자에게 도달할 지를 결정하였다. 두 물체는 항상 하

나의 원형물체와 하나의 비원형물체로 구성되었다. 비원형물체는 세 반축(semi axis)의 크기가 모두 다른 두 개의 타원체(ellipsoid)가 사용되었다. 그 중 하나는 럭비공과 같은 물체였으며, 다른 하나는 디스크 같은 물체였다. 아울러 물체에는 텍스처 이미지(texture image)를 입혀 결 무늬 효과를 내었다.<sup>2)</sup>

### 방 법

**참가자** 영국 Leicester시에 소재하는 University of Leicester, School of Psychology에 재학 중인 22명의 대학생(남자 7명과 여자 15명)이 실험에 참여하였다. 참가자들은 실험에 참여한 대가로 소정의 학점을 받았다. 참가자들은 모두 정상시력(나안 또는 교정)을 보유하고 있다.

**실험도구 및 자극재료** 실험 자극은 Wildcat4 7110 비디오 카드가 장착된 PC workstation에 의해서 실시간으로 제작되었으며, 해상도와 주사율이 각각 1280 × 1024와 60Hz로 고정된 22인치 모니터(Mitsubishi Diamond Pro 2070<sup>SB</sup>)로 제시되었다. 참가자는 모니터로부터 60cm 떨어진 곳에 고정된 이마-턱 받침대에 턱을 고

2) 본 연구에서 물체에 결 무늬 효과를 내기 위해 대리석, 목화 및 나무 결과 같이 가급적 형태가 분명하지 않는 결로 구성된 3 종류의 텍스처 이미지를 사용하였다(그림 2와 3 참조). 이러한 이미지들은 컴퓨터 그래픽스의 상용화로 인하여 널리 사용되고 있지만 하나의 단점은 이미지에 포함된 결, 즉 밀도, 형태 등에 대한 정량적인 분석이 어렵다는 사실이다. 따라서 각 이미지가 시각과정에 미치는 영향은 경험적으로 판단할 수밖에 없다. 본 연구에 사용된 이미지들이 시각에 미치는 영향에 대해서 Kim(2008)을 참조하기를 권한다.

정한 상태에서 자극을 보았다. 이 거리에서 디스플레이 영역은  $40.6^\circ \times 30.5^\circ$ 의 시각도를 이루었다.

자극은 관찰자의 정중 시상면(sagittal plane)을 따라 지면과 평행으로 다가 왔다. 두 물체는 시상면을 중심으로 좌우로 2m 떨어져 배치되었으며, 또한 관찰자의 눈높이에 고정되어 지면 위에 부양된 상태에서 관찰자를 향해 다가왔다.

비원형물체로 사용된 럭비공은 하나의 장축(1.1m)과 두개의 단축(0.5와 0.4m)으로, 디스크는 두 개의 장축(1.2와 1.0m)과 하나의 단축(0.35m)으로 제작되었다. 아울러 반지름 0.5m과 1.0m의 두 원구가 통체물체로 사용되었다.

가상 지면은 가로 60m, 깊이 80m로 설정하였으며, 지면의 각 축은 30등분으로 세분하였다. 따라서 지면은  $30 \times 30$ , 즉 900개의 셀(cell)로 분할되었으며, 각 셀에는 불규칙적인 형태의 다각형이 그려졌다(그림 2).

그림자 조건에서는 그림자가 각 시행 초기마다 다른 위치에 그려지기 위해서 가상적 광원의 위치를 변화시켰다. 가상적 광원의 원천은 고도(높이) 200m에 고정시킨 후, 원점에서 좌우 -20 - 20m, 깊이 -30 - 30m의 범위 안에서 무작위로 설정되었다. 하지만 그림자는 시행 내내 디스플레이 영역 밖으로 벗어나지 않았다. 그림자의 형태는 타원형이었지만, 접근 동안 물체의 회전과 접근으로 인하여 그 형태는 지속적으로 변화하였다.

**설계** 여섯 개의 변인이 조작되었다. 물체의 접근속도로 (6.2, 9.2m/sec)와 (12.1, 9.1m/sec)의 두 개의 쌍이 사용되었다. 이 때 왼쪽 값은 왼쪽 물체, 오른쪽 값은 오른쪽 물체의 속도 로 사용되었다. 먼저 도착하는 물체의 접촉시

간은 항상 4초로 고정되었으며, 뒤따르는 물체의 접촉시간은 4.25, 4.5, 4.75, 및 5.0초 변화하였다. 각 물체의 접근속도와 접촉시간에 근거하여 그 물체의 출발위치를 결정하였다. 두 물체는 2초 동안 접근하다가 화면에서 사라졌다. 지면의 결의 유무와 그림자의 유무도 조작되었다.

두 개의 원형물체와 두 개의 비원형물체는 네 쌍의 조합-작은 구와 럭비공, 작은 구와 디스크, 큰 구와 럭비공, 큰 구와 디스크-을 형성하였다. 두 물체 중 하나가 무작위로 먼저 도달하는 물체(짧은 접촉시간)로 선정되었다. 두 물체는 같은 방향으로 회전하였으며, 회전은 수직축 혹은 수평축 방향이었다. 물체는 초당 0.75회전을 하여, 2초의 접근시간 동안 총 1.33회전(480도)을 하였다.<sup>3)</sup>

따라서 실험은 2(속도) x 4(접촉시간차이: 0.25, 0.5, 0.75, 1.0초) x 2(그림자: 유무) x 2(지면 결: 유무) x 4(물체쌍) x 2(회전축: 수평 vs 수직)의 설계로 조작되었으며, 총 256 회기로 구성되었다. 모든 변인은 참가자내 변인으로 조작되었다.

**절차** 참가자가 스페이스바를 누름과 동시에 디스플레이가 시작되었다. 참가자는 시행 내

3) 상기한 대로 Gray와 Regan(2000)은 물체가 접근하는 동안 90도 즉 1/4회전하게 하였다. 그 결과 관찰자에 투사된 타원체의 형태가 조건에 따라 구에서 타원, 아니면 타원에서 구로 변화하였다. 본 연구에서는 상황을 보다 더 현실적으로 묘사, 즉 비원형물체의 모든 투사된 형태를 보여주기 위해서 물체가 접근 동안 480도 회전을 하게 하였다. 하지만 회전 정도가 비원형물체의 접촉시간에 미치는 영향에 대한 보다 체계적인 검증이 요구되며 그러한 점은 Kim(2009)을 참조하기 바란다.

내 화면 중앙에 나타나는 응시점을 응시하도록 지시받았다. 디스플레이가 끝났을 때, 키보드 좌우에 위치한 두 개의 키를 사용하여 먼저 도착할 물체에 상응하는 키를 누르도록 지시 받았다. 물체와의 접촉시간은 물체가 화면에서 사라진 후 사라질 때의 속도로 계속해서 다가왔을 때 참가자 자신의 두 눈을 가로지르는 횡단면(frontal plane)에 도착하는 시간으로 주지시켰다.

실험 시행 전에 연습시행이 주어졌다. 연습시행은 네 물체쌍과 두 회전축을 조작하여 총 8회기로 구성되었다. 그림자와 지면 결은 모든 연습시행에서 제시되었으며, 0.75초의 접촉시간 차이와 (12.1, 9.1m/s) 속도 쌍이 사용되었다.

### 결과 및 논의

접촉시간 탐지능력을 정확도(% correct)로 변환하여 접촉시간차이의 함수로 그림 4에 제시하였다. 각 접촉시간차이에서의 수행능력은 0.25초에서 60%, 0.5초에서 69%, 0.75초에서 76%, 1초에서 85%로 나타났으며, 이러한 결과

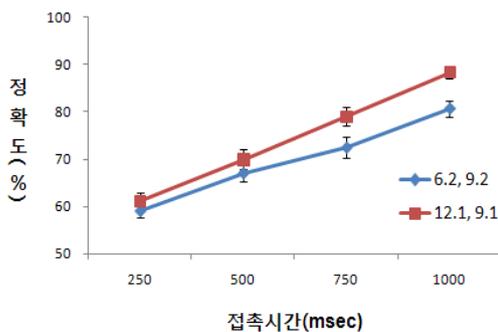


그림 4. 실험 1에서 관찰된 두 속도 조건에서의 반응(정확도)이 접촉시간차이의 함수로 제시되었다. 오차막대는 ±1 표준오차.

는 기존의 접촉시간 연구에서 보고된 결과들과 비교하였을 때, 크게 차이가 나지 않았다(Bootsma & Craig, 2002; Kim & Grocki, 2006; Kaiser & Mowafy, 1993).

지면 결의 효과는 나타나지 않았다( $t(21) < 1$ ). 따라서 통계의 검증력을 높이기 위해서 지면 결에 대한 반응을 결합한 뒤, 정확도로 변형시켰다. 그 결과를 반복측정 변량분석으로 분석하였다. 접촉시간차이의 주효과가 유의미하게 나타났다( $F(3,63) = 76.70, p < .0001$ ). 상기한 대로 수행능력은 접촉시간의 차이가 커질수록 정확도도 증가했다. 하지만 0.25초에서의 수행능력도 단순한 무작위 반응(50%)보다 높았으며, 그 차이는 유의하였다( $t(21) = 7.74, p < .0001$ ).

변량분석은 속도의 주효과도 밝혀냈다( $F(1,21) = 9.45, p < .01$ ). 이러한 결과는 접근속도가 접촉시간 지각에 영향을 미친다는 기존의 연구결과와 일치했다(Bennett, van der Kamp, Savelsbergh, & Davids, 1999; Kerzel, Hecht, & Kim, 1999; McLeod & Ross, 1983; Smith, Flach, Dittman, & Stanard, 2001).

하지만 그림자와 지면 결의 영향은 미미하였으며, 이러한 결과는 Kim과 Grocki(2006)의 결과와 일치하였다. 아울러 물체유형과 회전축의 주효과도 유의미하지 않았다. 하지만 속도, 그림자, 회전축( $F(1,21) = 5.39, p < .05$ )과 물체쌍, 그림자, 회전축( $F(3,63) = 3.37, p < .05$ )의 유의미한 삼원상호작용이 발견되었다.

그림 5에 속도, 그림자, 회전축의 상호작용이 각 속도별로 제시되었다. 특히 그림자가 제시되었을 때, 두 회전축의 영향이 두 속도에서 반대 방향으로 나타났다. 하지만 그 원인은 분명하지 않다. 물체쌍, 그림자, 회전축의 삼원상호작용 역시 일관된 반응양상을 보여주지 않았다. 그럼에도 불구하고, 이러한 유

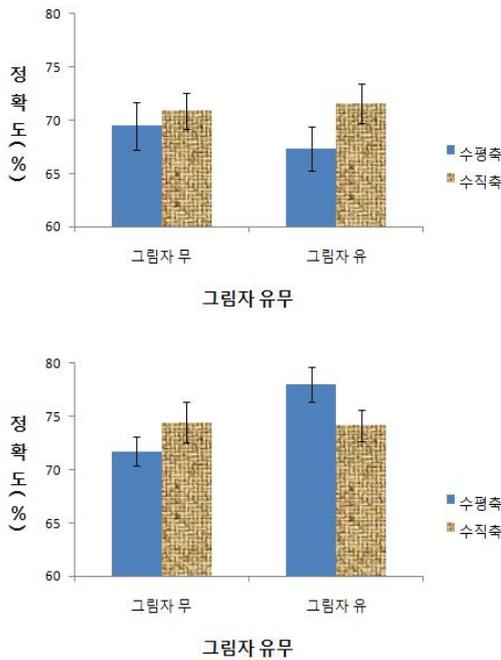


그림 5. 실험 1에서 두 회전축 하에서 관찰된 반응의 정확도가 각 접근속도별로(상: 6m/s.; 하: 9m/s) 그림자 유무의 함수로 제시되었다.

의미한 삼원상호작용은 그림자, 물체, 및 회전축이 회전하며 접근하는 비원형물체의 접촉시간지각에 전혀 영향을 미치지 않았다고 단언을 짓기 어렵게 한다. 사실 물체쌍이 접촉시간지각에 상호작용으로라도 연계되었다는 사실은 본 연구의 목적을 고려할 때 주의를 요하게 한다. 즉 이러한 결과가 등방 원형물체와 비등방 비원형물체의 접촉시간 지각과정의 상이성을 반영하는지를 규명해 볼 필요가 있다.

하지만 이러한 결과가 단순히 크기 효과(size effect)를 반영할 가능성 또한 배제할 수 없다. 기존의 연구에 따르면 관찰자들은 일반적으로 큰 물체가 작은 물체보다 더 빨리 도착한다고 판단하는 경향이 높다고 보고하고 있다

(DeLucia, 1991, 2005; van der Kamp, Savelsbergh, & Smeets, 1997; Smith et al., 2001). 상기한 대로 본 연구에서는 크고 작은 2개의 원형물체 중 하나가 하나의 비원형물체와 짝을 이루어 관찰자를 향하여 접근하였다. 이 네 물체의 크기(부피)를 비교해보면, 큰 구가 4.18m<sup>3</sup>, Disk가 1.76m<sup>3</sup>, 럭비공이 0.92m<sup>3</sup>, 그리고 작은 구가 0.52m<sup>3</sup>의 순으로 분류된다. 따라서 큰 구의 짝과 작은 구의 짝이 구의 크기에 의해서 결정될 경우, 이러한 결과는 크기 효과를 반영한다고 간주될 수 있다.

이러한 가능성을 검증하기 위해서 접촉시간, 속도, 지면 결의 반응을 결합한 뒤, 그 결과를 선행물체로 재분류하였다. 선행물체에는 원형물체가 먼저 도착할 경우와 비원형물체가 먼저 도착할 두 유형으로 분류된다. 참고로 접촉시간 연구에서는 고려할 수 있는 변인들이 너무나 많은 관계로 모두다 통계를 한다는 것은 현실적으로 불가능하다. 이러한 제약으로 인하여 본 연구에서는 선행물체가 직접적으로 통제되지 않았다. 따라서 선행물체의 두 조건에 해당되는 경우의 수를 늘리기 위해서 접촉시간, 속도 및 지면 결에서의 반응을 결합하였다. 이렇게 반응을 재분류한 뒤, 그 결과를 이용하여 2(회전축) x 2(그림자) x 4(물체쌍) x 2(선행물체) 설계의 변량분석을 실시하였다. 그 결과 회전축과 선행물체의 상호작용( $F(1,21) = 24.63, p < .0001$ ), 물체쌍과 선행물체의 상호작용( $F(3,63) = 65.88, p < .0001$ ), 회전축, 물체쌍, 및 선행물체의 삼원상호작용( $F(3,63) = 14.72, p < .0001$ ), 그림자, 물체쌍, 및 선행물체의 삼원상호작용( $F(3,63) = 12.89, p < .0001$ ), 그리고 물체쌍, 그림자, 및 선행물체의 삼원상호작용( $F(3,63) = 3.47, p < .05$ )이 유의미하였다.

특히 여기서 주목해야할 결과는 물체쌍과

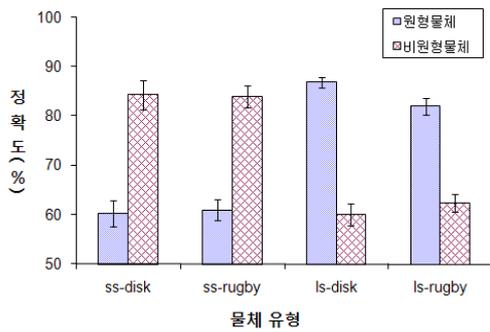


그림 6. 실험 1에서의 반응의 정확도가 각 물체쌍에서 선행하는 물체의 함수로 제시되었다. 즉 첫째 ss-disk 쌍에서의 두 막대그래프는 ss(작은 공)가 선행했을 때와 disk가 선행했을 때의 수행능력을 각각 나타낸다. ls는 큰 공을 지칭한다.

선행물체의 상호작용이라 하겠다. 그 상호작용이 그림 6에 제시되었다. 그림 6에서 보여 주듯이, 작은 공이 선행했을 때, 수행능력이 감소하였지만, 비원형물체가 선행했을 때 수행능력이 증가하였다. 반면에 큰 공이 선행했을 경우, 반응양상은 그 반대로 나타났다. 큰 물체를 선호하는 경향이 이 반응양상에서 잘 나타나 있다. 따라서 첫째 변량분석에서 나타난 물체쌍이 관여된 삼원상호작용은 원형물체와 비원형물체의 접촉시간 탐지능력의 상이성을 반영하는 것이 아니라, 접촉시간 지각연구에서 일반적으로 보고된 크기 효과를 반영하는 결과로 보는 것이 보다 타당할 것 같다.

실험 1의 결과를 요약하면, 이 실험에서 관찰된 수행능력은 등방물체 접근시간 지각연구 (Bootsma & Craig, 2002; Kim & Grocki, 2006; Kaiser & Mowafy, 1993)에서 보고된 결과들과 비교할 때, 크게 차이가 나지 않았다. 이러한 결과는 관찰자들이 원형물체 못지않게 회전하는 비원형물체의 접촉시간을 탐지할 수 있다는 사실을 의미한다. 아울러 비원형물체 접촉

시간 탐지가 접근속도와 물체크기에 의해서 영향을 받았다는 사실 또한 그러한 사실을 보다 확고히 하는 증거로 간주될 수 있다.

이러한 결과는 인간시각체계는 단안정보에 근거한 회전하는 비등방물체의 접촉시간 지각 능력이 결여되었다는 Gray와 Regan(2000)의 결론과는 일치하지 않는다. 이 두 연구의 근본적인 차이점은 Gray와 Regan의 실험에서는 제거된 물체의 내부 결 조직이 이 실험에서는 포함되었다는 사실이다. 하지만 물체의 연속적인 회전으로 인하여 결 조직들은 끊임없이 움직였을 뿐 아니라, 그 결 조직들은 어느 순간 물체 뒤로 돌아가 관찰점으로부터 사라지기도 하였다. 따라서 특정한 결 조직들이 접근 동안 지속적으로 물체의 표면에서 고정된 위치를 유지해야 하는 엄격한 의미에서의 local tau1을 특정 짓는 상황에도 부합되지 않았다. 그럼에도 불구하고 관찰자들은 정확하게 접촉 시간을 탐지하였다. 이러한 사실은 인간시각 체계가 미세한 광패턴의 변화에 아주 민감하다는 사실을 암시한다. 이러한 사실을 차치하더라도, 이 실험의 결과는 Gray와 Regan의 결과와는 모순되며, 따라서 Gray와 Regan의 결론에 의문을 제기하게 한다.

## 실험 2. 절대판단과제

실험 1은 Gray와 Regan(2000)의 결과를 보다 용이하게 검증하기위해서 상대판단과제를 사용하여 진행하였다. 하지만 그러한 절차로 인하여, 시간탐지능력을 직접적으로 측정하지 못하는 제약성도 함께 내재하고 있다(Tresilian, 1995, 참조). 따라서 회전하는 물체의 접촉시간 탐지능력을 직접적으로 측정해보기 위해서 실험 2에서는 절대판단과제를 사용하였다.

실험 2에서 참가자들은 하나의 물체가 회전 하면서 다가오는 것을 보았다. 물체는 관찰자에게 도달하기 전 특정 시점에서 사라졌다. 참가자들은 그 물체가 사라질 때의 속도로 계속다가와 자신의 두 눈을 가로지르는 횡단면에 도착하였을 때 키보드의 키를 눌러서 반응 하라고 지시받았다.

실험 2에서는 실험 1에서 사용된 변인들이 대부분 사용되었다. 럭비공, 디스크, 구의 세 물체, 두 속도 값, 그림자의 유무, 지면 결의 유무, 그리고 두 회전축 방향이 실험에 사용되었다. 실험 1에서는 불규칙적인 다면체가 지면 결을 형성하였다. 하지만 지면 결이 미치는 영향은 미미하였다. 결 조직의 불규칙성이 지면 결의 효과를 감소시켰을 가능성을 고려하여, 실험 2에서는 규칙적인 형태의 결 조직, 즉 직사각형으로 지면 결을 묘사하였다(그림 3).

### 방 법

**참가자** 영국 Leicester시에 소재하는 University of Leicester, School of Psychology에 재학 중인 17명의 대학생(남자 7명과 여자 10명)이 실험에 참여하였다. 참가자들은 실험에 참여한 대가로 소정의 학점을 받았다. 참가자들은 모두 정상시력(나안 또는 교정)을 보유하고 있었다.

**실험도구 및 자극재료** 실험 1에서 사용된 동일한 도구가 실험 2에서도 사용되었다. 디스플레이는 실험 1과 달리 하나의 물체가 관찰자를 향하여 접근하는 상황이 묘사되었다(그림 3). 비원형물체의 크기는 실험 1과 동일하였다. 원형물체는 동일한 물체에 대한 친숙도를 감소시키기 위해서 반지름이 0.72와 0.88m

범위 내에서 무작위로 변화하였다(0.8m ± 10%).

**설계** 실험 1과 같이 여섯 개의 변인이 조작되었다. 접촉시간은 1.8, 3.0, 4.2, 5.4초로 변화하였지만, 반응의 편향화를 감소시키기 위해서 각 조건에서 ±0.2초 범위 내에서 변화하였다(Rushton & Wann, 1999). 접근속도로는 6.0과 9.0m/s가 사용되었으며, 접촉시간과 접근속도에 근거하여 물체의 출발위치를 결정하였다. 물체는 2.5초 ± 0.25초 동안 접근하다 화면에서 사라졌다. 물체의 그림자, 지면 결, 회전축도 실험 1과 같이 조작되었다.

실험은 2(속도) x 4(접촉시간) x 2(그림자) x 2(지면 결) x 3(물체) x 2(회전축)의 설계로 조작되었으며, 총 192 회기로 구성되었다. 모든 변인은 참가자내 변인으로 조작되었다.

**절차** 참가자가 스페이스바를 누름과 동시에 디스플레이가 시작되었다. 참가자들은 물체가 화면에서 사라졌을 때, 사라질 때의 속도로 계속해서 다가와 참가자 자신의 두 눈을 가로지르는 횡단면에 도착할 시점을 예측하도록 지시받았다. 그리고 자신이 예측한 시간에 키보드의 키를 누르도록 지시받았다.

실험 시행 전 16회기로 구성된 연습시행을 실시하였다. 연습시행은 두 접촉시간(2.5초와 4.0초), 두 접근속도(6m/s와 9m/s), 두 물체(공과 럭비공)와 두 회전축(수직과 수평축)을 조합하여 제작되었다. 그림자와 지면 결은 모든 연습시행에서 제시되었다.

파일럿 연구에서 피드백 없이 반응을 하였을 때, 실험 초기에는 접촉시간을 실제보다 더 빨리 도착하는 것(underestimate)으로 판단하였지만, 실험이 끝나갈 무렵 점차 더 늦게 도

착하는 쪽(overestimate)으로 표류하는 경향을 보였다. 이러한 경향을 통제하기 위해서 피드백이 주어졌다.<sup>4)</sup> 피드백은 “Too quick(혹은 slow)”라는 문구와 0.1초를 단위로 한 오류의 정도가 함께 주어졌다. 즉 “Too quick - 1.2 s” 혹은 “Too slow - 1.2 s”와 같은 문구가 화면에 제시되었다.

### 결과 및 논의

수행능력을 검증하기 위해서 17명의 참가자들이 각 물체유형에서 예측한 접촉시간(17 x 64 = 1088 반응)과 실제 접촉시간을 이용하여 회기분석을 실시하였다. 분석결과  $y = 0.85x + 0.23$ ,  $y = 0.88x + 0.24$ , 그리고  $y = 0.89x + 0.26$ 이 디스크, 럭비공, 그리고 구에서 각각 도출되었다. 두 타원형 물체의 기울기가 구의 기울기와 큰 차이가 없었다. 사실 두 비원형 물체에서 관찰된 결과는 Cavallo와 Laurent(1988)의 운전 경험자를 이용한 연구에서 보고한 0.73의 기울기나 Schiff와 Derwiler(1979)가 보고한 0.61의 기울기보다 훨씬 우수하였다.

좀 더 자세한 분석을 위해서, 결과를 4개의 접촉시간으로 분류하여 절대오류(absolute error)로 변환시켰다. 실험 1과 같이 지면 결의 효과는 발견되지 않았다( $t(16) < 1$ , ns). 따라서 지면 결의 반응을 결합한 뒤, 접촉시간, 접근속도, 물체유형, 그림자, 회전축을 독립변인으로 변량분석을 실시하였다. 분석결과 접촉시간 ( $F(3,48)=80.69$ ,  $p < .0001$ ), 접근속도( $F(1,16)=6.63$ ,

$p < .05$ ), 그림자( $F(1,16)=5.56$ ,  $p < .05$ )의 주효과가 유의미하게 나타났다. 또한 접촉시간과 접근속도의 상호작용( $F(3,48)=3.16$ ,  $p < .05$ ), 접근속도와 물체유형의 상호작용( $F(2,32)=4.54$ ,  $p < .05$ ), 그림자와 회전축의 상호작용( $F(1,16)=12.20$ ,  $p < .01$ )과 접근속도, 물체유형, 그림자의 삼원상호작용( $F(2,32)=10.68$ ,  $p < .0001$ )도 유의미하였다.

접근속도에서의 절대오류의 평균치가 접촉시간의 함수로 그림 7에 제시되었다. 그림 7에서 보여주듯이, 낮은 접근속도(6m/s)에서의 접촉시간 추정이 5.4초에서 두드러지게 저하되었다( $F(1,16)=8.67$ ,  $p < .05$ ). 여기서 주목할 점은 정확도가 접촉시간이 증가함에 따라 감소하였다는 사실이다. 이러한 반응양상은 다른 접촉시간 연구에서 보고된 결과와 일치한다 (Schiff & Derwiler, 1979). 두 속도 조건에서의 반응 또한 기존의 연구와 유사한 양상으로 나타났다(Bennett et al., 1999; McLeod & Ross, 1983; Smith et al., 2001). 즉 느리게 다가오는 물체는 접촉시간이 적게 예측된( $M = -615$  ms) 반면, 빨리 다가오는 물체는 실제 보다 늦게 도착하는 것으로 예측되었다( $M = 184$  ms).

본 연구에서 중요한 사항은 무엇보다 물체

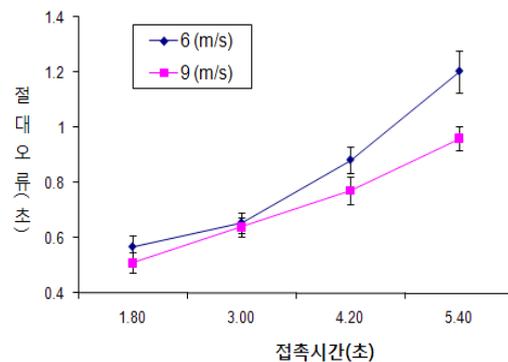


그림 7. 실험 2의 두 속도 조건 하에서 관찰된 접촉시간의 함수로 제시된 평균 절대오류(초).

4) 사실 피드백 효과에 대한 일치된 의견은 없다. 예를 들면 Tresilian (1995)은 피드백이 사용을 지지하지만, DeLucia와 Novak(1997)은 그에 반대한다. 그에 반하여 Kaiser와 Mowafy(1993)는 피드백이 주는 차이가 없다는 결과를 보고하였다.

유형의 주효과가 나타나지 않았다는 사실이다. 이러한 결과는 관찰자들이 비원형물체의 접촉 시간을 원형물체만큼 정확하게 예측했다는 사실을 시사한다. 하지만 물체유형은 속도와 상호작용을 하였으며, 그러한 반응양상이 그림 8에 제시되었다. 특히 접근속도의 효과가 원형물체보다 비원형물체, 즉 디스크( $F(1,16)=10.26, p<.01$ )와 럭비공( $F(1,16)=6.34, p<.05$ )에서 보다 더 두드러지게 나타났다. 하지만 이 상호작용의 원인이 분명하지 않으며, 그 원인 규명을 위해서는 보다 더 많은 자료가 필요한 것 같다. 현재 논의에서 중요한 사항은 비원형물체의 접촉시간 탐지능력이 원형물체에 비교해볼 때 상대적으로 저하되지 않았다는 사실이다.

접촉시간 판단오류가 그림자가 없을 때 ( $M=800ms$ )보다 있을 때( $M=750ms$ )가 더 낮았다는 사실 또한 주의를 끈다. 참고로 실험 1에서는 그림자의 주효과가 나타나지 않았다. 이러한 그림자의 상반되는 결과는 Kim과 Grocki(2006)의 연구에서도 보고되었다. 그림자가 물체에 수반하여 제시되더라도 그 효과는 미미하였다. 하지만 그림자가 거짓으로 그려졌을 때, 즉 그림자의 정보가 실제 물체의 정보와 상충되었을 때, 가짜 그림자는 접촉시간

탐지능력을 저하시켰다. 즉 정보통합이 정보의 합산이 아니라 정보의 감산으로 나타난다는 사실을 보여주었다. 이 실험에서 보여주는 그림자 정보의 촉진적인 역할이 상대판단과제 아래에서는 나타나지 않았지만, 절대판단과제 아래에서는 나타났다는 사실이 흥미롭다. 판단과제에 따른 그림자의 상반된 결과에 대해서는 보다 더 많은 연구가 필요한 것 같다.

하지만 그림자는 더 나아가 그림 9에서 보여주듯이, 회전축과 상호작용도 하였다. 수평축으로 회전할 때는 그림자가 접촉시간 추정을 저하시킨 반면, 수직축에서는 오히려 촉진을 하였다. 이러한 사실에 대한 이해 또한 보다 더 많은 자료 하에서 가능할 것 같다.

실험 2의 결과를 요약하면, 절대판단과제 하에서의 접촉시간 지각능력은 유사한 접촉시간 지각 연구에서 보고된 결과보다 더 우수하였다. 그러한 결과가 물체유형과 관계없이 나타났다는 사실이 본 연구의 목적을 고려할 때 무엇보다 중요하다. 즉 비원형물체의 접촉시간 탐지능력이 원형물체의 접촉시간을 탐지능력 못지않게 우수하다는 사실을 의미하며, 실험 1의 결과를 더욱더 확고히 한다.

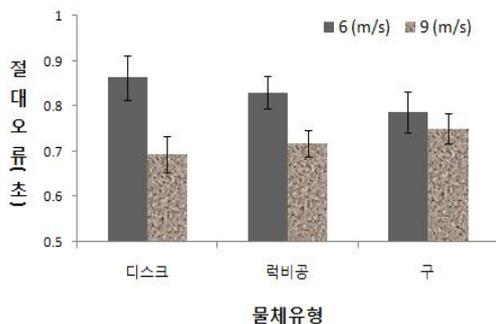


그림 8. 실험 2의 두 속도 조건 하에서 관찰된 물체유형의 함수로 제시된 평균 절대오류(초).

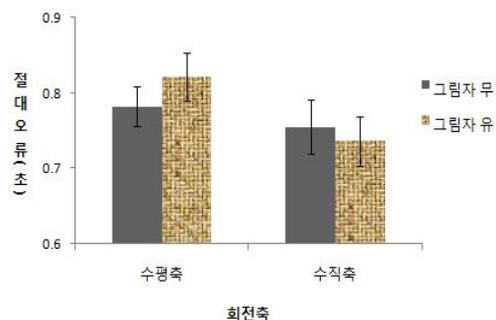


그림 9. 그림자의 유무의 차이로 발생한 절대오류(초)가 회전축의 함수로 제시되었다.

## 종합 논의

본 연구는 인간시각체계가 회전하면서 다가오는 비원형물체의 접촉시간을 탐지할 수 있는지를 규명하고자 하는 취지에서 시도되었다. 럭비공과 같은 비원형물체가 회전을 하면서 날아갈 경우, 받는 이의 눈에 투사된 공의 윤곽은 연속적으로 변하게 된다. 그 결과 물체와의 접촉시간을 명시하는 광학정보인  $\tau$  값도 불규칙적으로 변하게 되며, 따라서 그 효용성도 저하된다. 그럼에도 불구하고 우리는 날아오는 럭비공을 받을 수 있을 뿐 아니라, 일상생활에서 다양한 유형의 비등방물체들과 특히 동적인 상황, 즉 물체를 잡거나 피하거나 하는 행동들을 성공적으로 수행하고 있다.

이러한 상황을 실험실에서 재연한 Gray와 Regan(2000)은 자신들의 결과에 근거하여 인간시각체계가 단안정보에 입각하여 회전하며 접근하는 비원형물체의 접촉시간을 탐지할 능력이 결여되었다고 결론지었다. 하지만 이러한 Gray와 Regan의 주장은 회전하는 비원형물체가 야기할 수 있는 무한한 형태 중 단지 두 가지 유형만을 고려하였을 뿐 아니라, 두 명의 숙련된 참가자로부터 습득한 자료에 근거하여 일반성이 취약하다는 제한점을 지니고 있다. 그들의 주장을 검증하기 위한 보다 포괄적인 연구가 요구된다.

본 연구는 이러한 맥락에서 시도되었다. Gray와 Regan(2000)의 연구에서 눈여겨볼 사항 중에 하나는 조작된 물체들이 내부의 결 조직이 제거된 상태에서 단지 윤곽만 묘사되었다는 사실이다. 따라서 삭제된 결 조직이 낮은 수행능력을 유발시켰는지 한 번 의문을 제기해 볼 수 있다. 사실 비원형물체는 회전할 경우, 물체 전체의 윤곽이 변화하게 되고 그러

한 변화로 인하여 정확한  $\tau$  값, 특히 local  $\tau_2$ 의 산출을 어렵게 만든다. 하지만 내부 결 조직이 묘사되었다 하더라도 결 조직들은 물체의 회전과 함께 회전할 뿐 아니라, 어느 순간 물체 뒤로 사라져 버린다. 따라서 결 조직에 근거한 local  $\tau_1$ 의 산출 역시 어려워진다. 부연하면, 결 조직의 존재 여부와 관계없이 물체의 회전은 접촉시간을 명시하는 광학정보인  $\tau$ 의 산출을 어렵게 한다. 하지만 보다 일반적인 상황을 묘사하고자 본 연구에서는 다양한 결무늬를 입힌 물체를 사용하였다. 동일한 취지에서 두 종류의 비원형물체를 사용하였으며, 원형물체 또한 통제조건으로 포함시켰다. 또한 Gray와 Regan 연구의 취약성을 보완하고자, 물체의 접근속도, 접촉시간, 회전방향도 함께 통제하였다. 그리고 정보가 저하된 상황 하에 다른 정보를 보완할 가능성도 함께 검증하기 위해서 지면 결과 물체의 그림자도 함께 조작하였다.

본 연구는 상대판단과제와 절대판단과제를 이용하여 진행되었다. 상대판단과제(실험 1)는 반응의 용이성으로 인하여 접촉시간 탐지에 많이 활용되는 절차이다(Bootsma & Craig, 2002; Kaiser & Mowafy, 1993; Kerzel et al., 1999; Kim & Grocki, 2006). 하지만 직접적으로 시간탐지 능력을 측정하지 못하는 취약성으로 인하여 절대판단과제(실험 2)를 함께 실시하여 이러한 제한점을 보완하였다.

두 실험의 결과는 명백하였다. 본 연구에서 관찰된 접촉시간 지각능력은 기존의 접촉시간 연구에서 보고한 결과들과 비슷하거나 아니면 심지어 더 우수한 결과를 보여주었다. 아울러 접근속도와 물체의 크기에도 영향을 받음으로써 본 연구에서 관찰된 능력이 접촉시간 지각 과정에서 발견된 일반적인 반응양상과 거의

다르지 않다는 사실 또한 발견되었다. 이러한 결과는 관찰자들이 회전하는 비원형물체의 접촉시간을 원형물체만큼 정확하게 탐지할 수 있다는 사실을 의미한다. 이와 더불어 절대판단과제 하에서 관찰된 그림자와 같은 보조 정보의 활용은 이러한 결론을 더 확고히 한다.

이러한 결과는 Gray와 Regan(2000)이 내린 결론과는 모순된다. 상기한 대로, Gray와 Regan의 결과는 극히 제한된 상황으로부터 도출된 결과이다. 하지만 보다 중요한 점은 연구에 사용된 자극들이 물체 내부의 결 조직이 제거된 상태에서 윤곽만으로 묘사되었다는 사실이다. 하지만 물체 내부의 결 조직이 묘사되었다 하더라도 그러한 상황이 상기한 대로 접촉시간을 명시하는 광학정보인  $\tau$ 를 제공하는 것은 아니다. 즉 물체가 회전함으로 인하여 결 조직들 또한 끊임없이 움직였을 뿐 아니라 심지어는 관찰점으로부터 사라지기까지 하였다. 따라서 물체의 윤곽으로 명시되는 local  $\tau_2$  뿐 아니라, 결 격자를 통해서 명시되는 local  $\tau_1$  모두 엄격한 의미에서 관찰자에게 제공되지 않았다. 그럼에도 불구하고 관찰자들이 정확하게 접촉시간을 탐지할 수 있었다는 사실은 인간시각체계가 미세한 광패턴의 변화에 아주 민감하게 반응한다는 사실을 시사한다. 따라서 인간시각체계가 이런 상황에서 어떻게 접촉시간 지각을 수행하는지를 규명하기 위한 보다 많은 연구가 요구된다. 즉 회전하는 비원형물체의 접촉시간 지각과제 수행에 local  $\tau$ 가 아닌 다른 정보를 사용하였는지, 아니면 local  $\tau$ 를 이용하였는지, 그럴 경우 어떻게 연속적으로 변화하는 상황 속에서도 적절한 정보를 추출할 수 있었는지, 이러한 문제들을 해결하기 위한 보다 체계적인 연구의 필요성이 제기된다.

종합하면, 본 연구에서 인간시각체계가 단안정보에 입각하여 회전하며 접근하는 비원형물체의 접촉시간을 탐지할 능력이 결여되었다고 주장한 Gray와 Regan(2000)이 내린 결론과는 모순되는 증거를 발견하였다. 특히 인간시각체계가 비원형물체가 회전하면서 접근할지라도 그 물체의 내부 결 조직이 묘사되었을 경우 매우 정확하게 그 물체의 접촉시간을 지각할 수 있다는 사실을 확인하였다.

## 참고문헌

- Andersen, G. J., Cisneros, J., Atchley, P., & Saidpour, A. (1999). Speed, size, and edge-rate information for the detection of collision events. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25, 256-269.
- Bennett, S., van der Kamp, J., Savelsbergh, G. J. P., & Davids, K. (1999). Timing a one-handed catch 1. Effects of telestereoscopic viewing. *Experimental Brain Research*, 129, 362-368.
- Bootsma, R. J., & Craig, C. M. (2002). Global and local contributions to the optical specification of time to contact: Observer sensitivity to composite  $\tau$ . *Perception*, 31, 901-924.
- Bootsma, R. J., & van Wieringen, P. C. W. (1990). Timing an attacking forehand drive in table tennis. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16, 21-29.
- Cavallo, V., & Laurent, M. (1988). Visual information and skill level in time-to-collision estimation. *Perception*, 17, 623-632.

- DeLucia, P. R. (1991). Pictorial and motion-based information for depth perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 17, 738-748.
- DeLucia, P. R. (2005). Does binocular disparity or familiar size information override effects of relative size on judgements of time to contact. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 58A, 865-886.
- DeLucia, P. R., & Novak, J. B. (1997). Judgments of relative time-to-contact of more than two approaching objects: Toward a method. *Perception & Psychophysics*, 59, 913-928.
- DeLucia, P. R. & Warren, R. (1994). Pictorial and motion-based depth information during active control of self-motion: Size-arrival effects on collision avoidance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 783-798.
- Flach, J. M., Warren, R., Garness, S. A., Kelly, L., & Stanard, T. (1997). Perception and control of altitude: Splay and depression angles. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23, 1764-1782.
- Gray, R., & Regan, D. (1998). Accuracy of estimating time to collision using binocular and monocular information. *Vision Research*, 38, 499-512.
- Gray, R., & Regan, D. (2000). Estimating time to collision with a rotating nonspherical object. *Vision Research*, 40, 49-63.
- Gray, R., & Regan, D. (2004). The use of binocular time-to-contact information. In H. Hecht & G. J. P. Savelsburgh (Eds.), *Time-to-contact* (pp. 303-325). Amsterdam: Elsevier.
- Hecht, H., & Savelsbergh, G. J. P. (2004). Theories of time-to-contact judgment. In H. Hecht & G. J. P. Savelsburgh (Eds.), *Time-to-contact* (pp. 1-11). Amsterdam: Elsevier.
- Heuer, H. (1993). Estimates of time to contact based on changing size and changing target vergence. *Perception*, 22, 549-553.
- Kaiser, M. K., & Mowafy, L. (1993). Optical specification of time-to-passage: Observer's sensitivity to global tau. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 19, 1028-1040.
- Kerzel, D., Hecht, H., & Kim, N.-G. (1999). Global expansion, not global tau explains depth from global optic flow. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25, 1540-1555.
- Kim, N.-G. (2008). Dynamic occlusion and optical flow from corrugated surfaces. *Ecological Psychology*, 20, 209-239.
- Kim, N.-G. (2009). Sensitivity to local tau's. *manuscript submitted for publication*.
- Kim, N.-G., & Grocki, M. J. (2006). Multiple sources of information and time-to-contact judgments. *Vision Research*, 46, 1946-1958.
- Lee, D. N. (1976). A theory of visual control of braking based on information about time-to-collision. *Perception*, 5, 437-459.
- Lee, D. N., Reddish, P. E., & Rand, D. T. (1991). Aerial docking by hummingbirds. *Naturwissenschaften*, 78, 526-527.
- McLeod, R. W., & Ross, H. E. (1983). Optic-flow and cognitive factors in time-to-collision estimates. *Perception*, 12, 417-423.

- Regan, D. (1997). Visual factors in catching and hitting. *Journal of Sports Sciences*, 15, 533-558.
- Rushton, S. K., & Wann, J. P. (1999). Weighted combination of size and disparity: a computational model for timing a ball catch. *Nature Neuroscience*, 2, 186-190.
- Savelsbergh, G. J. P., Whiting, H. T. A., & Bootsma, R. J. (1991). "Grasping" tau! *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 17, 315-33.
- Schiff, W., & Detwiler, M. L. (1979). Information used in judging impending collision. *Perception*, 8, 647-58.
- Scott, M. A., Li, F.-X., & Davids, K. (1996). The shape of things to come: Effects of object shape and rotation on the pick-up of local tau. *Ecological Psychology*, 8, 343-352.
- Smith, M. R. H., Flach, J. M., Dittman, S. M., & Stanard, T. (2001). Monocular optical constraints on collision control. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 395-410.
- Todd, J. T. (1981). Visual information about moving objects. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 7, 795-810.
- Tresilian, J. R. (1991). Empirical and theoretical issues in the perception of time to contact. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 17, 865-876.
- Tresilian, J. R. (1995). Perceptual and cognitive processes in time-to-contact estimation: Analysis of prediction-motion and relative judgment task. *Perception & Psychophysics*, 57, 231-245.
- van der Kamp, J., Savelsbergh, G., & Smeets, J. (1997). Multiple information sources in interceptive timing. *Human Movement Science*, 16, 780-821.
- 1 차원고집수 : 2009. 3. 2  
 최종계재결정 : 2009. 5. 21

## Perceiving the Time to Contact of Rotating Non-Spherical Objects

Nam-Gyoon Kim

Department of Psychology, Keimyung University

Are human observers incapable of estimating the time-to-contact (TTC) of a tumbling rugby ball while watching it with a single eye, as Gray and Regan (2000) contend? Everyday experiences suggest otherwise. In Gray and Regan's study, the oval object rotated only 90 deg so that, for a given trial, its projected shape changed either from circle to ellipse or from ellipse to circle depending on the initial orientation of the object. Thus, despite the fact that an infinite variety of optical patterns can be engendered by rotating non-spherical objects, only two types of deformation were depicted in Gray and Regan's study. For that reason, additional studies are clearly warranted. The present study was conducted directed at perceptual capacity for estimating the TTC of rotating non-spherical objects. Two different response measures, a relative (Experiment 1) and an absolute (Experiment 2) judgment task, in conjunction with three types of objects, a sphere, a rugby ball shaped object, and a disk shaped object, were employed for this purpose. The objects were depicted as texture-mapped images. Even with the surface texture of the objects, the texture elements projected to the observation point were displaced or even disappeared and were replaced by the texture elements hidden behind due to rotation. Nevertheless, performance was accurate across all conditions of object type. That is to say, participants were as accurate in judging TTC of the two non-spherical objects as they were with the spherical object. Moreover, the effects of velocity and size were also observed, consistent with similar effects reported in other TTC studies. Taken together, the results contradicted Gray and Regan's contention and demonstrated that the human visual system is capable of perceiving TTC of rotating non-spherical objects using information extracted from the surface texture of the objects.

*Key words* : time-to-contact, local tau, non-spherical objects, surface texture