

## 성긴 광흐름 속에서 접촉시간 지각\*

김 남 균†

계명대학교 심리학과

물체가 관찰자를 향하여 다가올 때, 그 물체가 이루는 각, 즉 물체각의 상대적 팽창률의 역수는 그 물체의 도착시간과 일치한다. 관찰자는  $\tau$ 라고 명명된 이 광학정보를 이용하여 움직이는 물체를 잡거나 다가오는 물체를 피하는 행동을 시간적으로 통제할 수 있다. 하지만 회전하며 날아오는 럭비공 같은 비대칭 비등방형 물체는 광흐름을 교란시키며, 그 결과  $\tau$ 의 추출을 어렵게 한다. Gray와 Regan(2000)은 이러한 가능성을 검증하였으며, 그 결과 인간시각체계가  $\tau$ 라는 단안정보에 입각하여 회전하며 접근하는 비원형 물체의 접촉 시간을 탐지할 능력이 결여되었다고 주장하였다. 그에 반해, 다양한 결무늬를 입힌 비원형 물체를 이용하여 접촉시간 지각능력을 검증한 김남균(2009)은 기존의 접촉시간 연구에서 보고한 결과들과 비슷하거나 더 우수한 결과를 발견하였다. 하지만 김남균의 연구는 물체 내부 결 조직이 묘사되었다는 점을 제외하고는 참가자들이 어떤 정보에 근거하여 접촉시간을 탐지할 수 있었는지를 규명하기가 어려운 문제점을 내재하고 있다. 이 연구에서는 이러한 문제점을 보완하여, 물체를 검은색의 무선점들로 묘사하였으며, 무선점들의 숫자도 조작하여,  $\tau$ 가 광흐름 속에서 명시되는 정도를 변화시켰다. 이런 물체들을 이용하여 접촉시간 탐지능력을 실험 1에서 검증한 결과, 접근시간 예측이 기존의 문헌에서 보고된 수행능력과 크게 차이가 나지 않는다는 사실을 발견하였다. 하지만 4점 결밀도에서의 수행능력은 다른 3개의 고밀도 조건에서의 수행능력과는 차이가 있었다. 낮은 수행능력이 지각능력을 반영하는지를 평가하기 위해서 실험 2를 실시하여, 실험 1의 결과가 정확한 광패턴, 즉 팽창여부의 탐지에 근거하였는지를 검증하였다. 그 결과 정확한 광패턴 지각능력이 발견되었다. 특히 4점 결밀도 조건에서도 80%이상의 정확도를 보였다. 하지만 럭비공 물체에서 광패턴을 추출하는 것이 다른 물체에 비해 더 어려웠다는 사실을 발견하였으며, 이런 결과는 동일한 물체를 사용한 Gray와 Regan의 연구가 연구에 사용한 물체의 특수성에 근거하여 발생했을 가능성을 제기한다.

주제어 : 접촉시간지각, local  $\tau$ , 비원형물체, 결밀도, 성긴 광흐름

\* 본 연구는 2009년도 계명대학교 비사연구기금으로 이루어졌음. 세 분 심사위원의 조언에 감사를 표한다.

† 교신저자 : 김남균, 계명대학교 심리학과, Tel: 053-580-5415, E-mail: nk70@kmu.ac.kr

인간이나 동물은 주변 환경과의 접촉 시 시각정보 중 접촉시간(time-to-contact 혹은 TTC) 정보를 이용하여 타이밍을 조절한다. 그러면 어떻게 접촉시간을 추출할 수 있을까? 그림 1에 보여주듯이, 물체가 관찰자를 향하여  $v$ 라는 속도로 다가가고 있다고 가정해보자. 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, 물체의 속도( $v$ ) 및 거리( $D$ )를 정확하게 탐지한 뒤, 그 두 가지 정보를 다시 나누는( $D/v$ ) 복잡한 계산과정을 거쳐야만 접촉시간을 추출할 수 있을 것이다.

이에 반하여, Lee(1976)는 보다 간단한 광학 정보(optical variable)를 이러한 목적에 활용할 수 있다고 제안하였다. 그림 1에서 묘사되었듯이, 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 역수(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 광학정보를  $\tau$ 라 명명하였다. 그 후 많은 연구에서 인간을 포함하여 다양한 동물들이 이 광학정보를 이용하여 주변 환경과의 상호작용에서 자신들의 행동을 통제한다는 사실을 밝혀냈다.<sup>1)</sup> 이러한 결과에 근거하여, 광학정보  $\tau$ 는

1) 지금까지 다양한 동물 및 곤충들이  $\tau$ 에 근거하여 행동을 통제하거나 확장하는 광패턴에 민감한 신경원(looming-selective neurons)을 소유하고

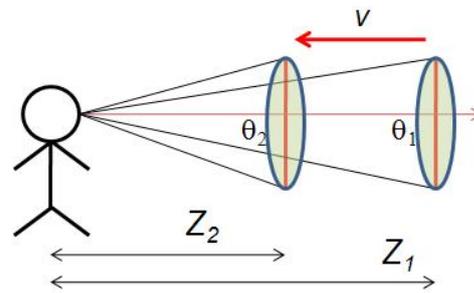


그림 1. 물체가  $v$ 의 속도로 관찰자를 향하여 다가올 때, 그 물체와의 접촉시간( $D/v$ )은 광학적으로 물체가 이루는 물체각의 상대적 팽창률의 역수, 즉  $\theta/(d\theta/dt)$ 에 의해서 명시된다. 이 시각정보를 Lee(1976)는  $\tau$ 라 명명하였다.

움직이는 물체를 잡거나 다가오는 물체를 피하는 행동을 시간적으로 통제하는 지각적 근거로 받아들여지고 있다(e.g., Bootsma & van Wieringen, 1990; Gray & Regan, 1998; Peper, Bootsma, Mestre, & Bakker, 1994; Savelsbergh, Whiting, & Bootsma, 1991; Warren, 2007).

하지만  $\tau$ 가 지각정보로 활용되기 위해서는 몇 가지 조건을 충족시켜야 한다. 그 중 가장 중요한 조건 두 가지는 다가오는 물체의 속도가 일정하게 유지되어야 한다는 점, 그리고 그 물체가 고정된 형태를 유지하거나, 회전할 경우, 대칭성(symmetry)을 유지해야 한다는 점이다(Hecht & Savelsbergh, 2004; Tresilian, 1991, 1995). 부연하면, 물체가 접근 도중 가속

있다는 연구결과가 보고되었다. 그 예들로 비둘기(Lee, Davies, Green, & van der Weel, 1993; Sun & Frost, 1998; Wang & Frost, 1992), 북양가마우지(Lee & Reddish, 1981), 벌새(Lee, Reddish, & Rand, 1991), 매(Davies & Green, 1990), 그리고 메뚜기(Rind & Simmons, 1992, Simmons & Rind, 1992), 파리(Wagner, 1982) 등이 있다.

혹은 감속을 할 경우 물체는  $\tau$  값이 예측하는 도착시간과는 달리 더 빨리(가속할 경우) 혹은 더 늦게(감속할 경우) 관찰자에 도착하게 된다. 동일한 맥락에서 접근도중 물체의 모양이 변화할 경우(그림 2), 물체각의 팽창 속도( $d\theta/dt$ )는 일정하게 변화하지 않으며, 그 결과 정확한  $\tau$  값이 산출되지 않는다. 후자의 예로 럭비공을 들 수 있다. 특히 럭비공이 날아오면서 회전할 경우, 공의 윤곽은 회전과 함께 변화하게 된다. 이와 함께 럭비공이 이루는 물체각 또한 일률적으로 팽창하지 않고 급격한 팽창과 수축을 반복하게 된다. 이때 팽창하는 망막상은 물체가 관찰자를 향하여 급속히 다가오고 있다는 사실을 명시하는 반면, 수축하는 망막상은 물체가 관찰자로부터 멀어져 가고 있다는 사실을 명시한다. 관찰자의 지각도 이러한 망막상의 변화와 동일하게 변화할까? 그러한 경우 회전하며 날아오는 럭비공 같은 비대칭(asymmetrical) 비등방성(non-isotropical) 물체를 직시하고 있는 관찰자의 지각 의식은 무한한 혼란을 겪을 것이다. 더

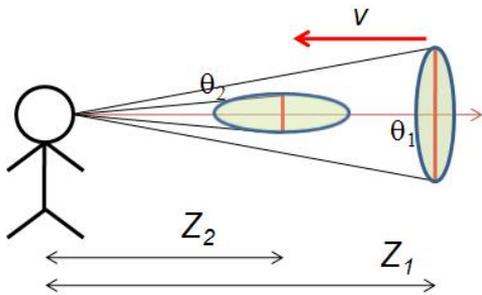


그림 2. 회전하며 날아오는 럭비공과 같이 관찰자를 향해 다가오는 동안 물체의 형태가 변화할 경우,  $\tau$  값을 결정하는 물체각과 각의 팽창 속도( $d\theta/dt$ )는 불규칙적으로 변화하며, 그 결과 정확한  $\tau$  값이 산출되지 않는다.

나아가 그러한 상태에서 럭비공을 받는다는 것은 불가능하다.

이러한 문제를 규명하기 위해서 Gray와 Regan(2000)은 그래픽 시뮬레이션을 이용하여 회전하는 비원형 물체의 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 위에서 타원(그림 3의 위쪽 패널)으로 혹은 타원에서 원(그림 2와 그림 3의 아래쪽 패널)으로 변화하였다. 이러한 조건을 이용한 실험에서 Gray와 Regan은 단안관찰조건 하에서는 접촉시간 탐지가 부정확하였으며, 양안 관찰조건 하에서 탐지능력이 향상된다는 결과를 발견하였다. 그러

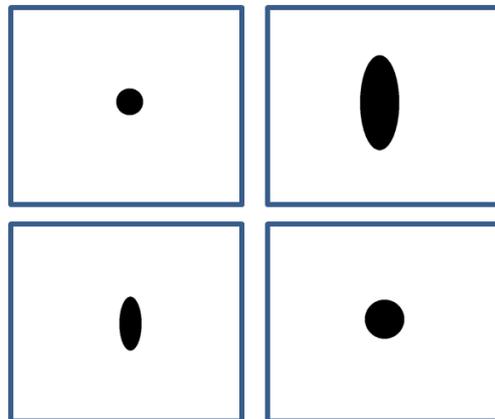


그림 3. Gray와 Regan(2000)에서 사용된 조건들. 타원체의 장축(위) 혹은 단축(아래)이 관찰점을 향한 상태에서 출발(왼쪽)하여 수평축으로 90도 회전(오른쪽)한 뒤 디스플레이 종결

한 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)고 결론 내렸다.

이러한 Gray와 Regan(2000)의 주장은 우리의 일상 경험과는 일치하지 않는다. 사실 우리는 럭비공과 같이 불규칙적으로 움직이면서 다가오는 물체들의 접촉시간을 단안만을 이용하여서도 충분히 탐지할 수 있을 뿐 아니라, 그 물체들과 다양한 상호작용도 할 수 있다(Regan, 1997). 여기서 주목해야 할 사실은 Gray와 Regan이 회전하는 비원형 물체가 야기시킬 수 있는 무한한 형태 중 단지 두 가지 유형만을 고려하였을 뿐 아니라, 두 명의 숙련된 참가자로부터 자료를 수집하였다는 점이다. 즉 Gray와 Regan의 연구 결과는 일반성이 극히 제한된 상황에 근거하여 도출되었다는 사실이다.

이러한 제한성을 고려할 때, Gray와 Regan(2000)의 주장을 좀 더 포괄적인 조건 하에서 재조명해 볼 필요가 있다. 특히 Gray와 Regan은 물체 내부의 결조적을 제거한 뒤, 윤곽만 제시하였다. 따라서 물체의 회전은 물체 전체의 윤곽을 변형시켰고, 그러한 변형으로 인한 광패턴의 교란(perturbation)은 정확한 tau 값의 산출을 어렵게 하였다.

여기서 주목해야 할 사실은 tau 값이 산출될 수 있는 방법이 하나로 제한되어 있지 않다는 점이다. Tresilian(1991)은 다가오는 물체로부터 산출되는 tau 값을 두 가지 유형으로 세분하였다. 그림 1에서 보여주듯이, 타원형 물체의 양 끝점으로 tau 값을 유도하였을 때, 그

러한 tau를 local tau1(1차원적 속성)이라 명명하였다, 그에 반해, 물체 전체의 윤곽에 근거한 입체각(solid angle), 즉 물체의 윤곽과 관찰점으로 형성되는 원뿔의 각에 근거하여 tau 값을 유도하였을 때, 그러한 tau를 local tau2(2차원적 속성)라 명명하였다.

따라서 Gray와 Regan(2000)이 채택한 조작은 local tau2의 효용성을 제거시켰다고 볼 수 있다. 그럼에도 불구하고 Gray와 Regan은 관찰자들이 local tau1을 활용하여 접촉시간을 지각할 수 있으리라 추측하였다. 그림 3에서도 묘사되었듯이, Gray와 Regan이 사용한 타원체는 수평축을 중심으로 90도 회전하였다. 따라서 타원체 상의 모든 점들이 회전으로 인하여 움직였지만 수평축의 두 양 끝점은 움직이지 않았다. 따라서 이 두 점을 근거로 local tau1의 추출이 원칙적으로 가능하다. 하지만 참가자들의 접촉시간 탐지능력은 심각하게 훼손되었으며, 그러한 결과에 근거하여 Gray와 Regan은 인간시각체계가 단안정보에 입각하여 회전하는 비원형 물체의 접촉시간 탐지능력이 원천적으로 결여되었다고 주장하였다.

김남균(2009)은 이런 Gray와 Regan(2000)의 주장을 받아들이기 전에 그들이 사용한 자극이 현실성이 결여되었다는 점에 주목하였다. 좀 더 현실적으로 묘사된 물체가 사용되었을 경우, local tau1의 추출이 가능해지지 않을까? 이런 추측에 근거하여 김남균(2009)은 컴퓨터 그래픽의 텍스처 매핑(texture-mapping) 기술을 이용하여 내부의 결을 포함한 보다 현실적으로 묘사된 물체를 이용하여 회전하는 비원형 물체의 접촉시간 탐지능력을 검증하였다. 상대판단과제(relative judgment task)와 절대판단과제

제(absolute judgment task)를 이용하여 진행된 연구에서, 김남균은 기존의 접촉시간 연구에서 보고한 결과들과 비슷하거나 아니면 심지어 더 우수한 결과를 발견하였다. 이러한 결과에 근거하여, 김남균은 비원형물체가 회전하면서 접근할지라도 인간시각체계는 그 물체의 내부 결 조직이 묘사되었을 경우 매우 정확하게 그 물체의 접촉시간을 지각할 수 있다고 결론 내렸다.

김남균(2009)의 연구에서 주목해야 할 점은 물체 내부 결 조직을 묘사하였다는 사실을 제외하고는 참가자들이 어떤 정보에 근거하여 접촉시간을 탐지할 수 있었는지에 대한 체계적인 조직이 결여되어 있다. 특히 물체의 결로 사용된 목화, 대리석, 및 나무 패턴은 분명하지 않는 결(김남균의 그림 2와 3 참조)로서 어떻게 local tau1이 그러한 패턴으로부터 추출되었는지에 대한 규명을 어렵게 하였다. 이러한 김남균 연구의 제한점을 보완하고자 이 연구가 시도되었다. 우선 김남균이 채택한 절대판단과제를 사용하여 회전하며 접근하는 비원형 물체의 접촉시간 탐지 능력을 검증하였다. 물체 표면의 결요소(texture elements)들은 검은색의 무선점들로 제작되었다. 아울러 무선점들의 숫자 또한 변화시켜 local tau1이 명시되는 정도도 조작하였다(그림 4). 검은색의 무선점으로 묘사된 물체와 흰색 배경으로 인하여 물체의 윤곽은 보이지 않았으며, 따라서 local tau2는 광학적으로 명시되지 않았다. Gray와 Regan(2000)이 물체의 회전 조건을 수평축과 90도로 제한시킨 반면, 본 연구에서는 물체의 회전축과 회전각도도 함께 변화시켜 local tau1의 시각정보를 더 교란(perturb)시켰다.

## 실험 1: 절대판단과제

이 실험에서는 local tau1에 대한 인간시각체계의 민감성을 검증하고자 하였다. 따라서 local tau1의 정보의 질을 최대한 저하시키도록 조작하였다. 이런 목적을 수행하기 위해서 김남균(2009)의 실험 2에서 사용한 절대판단과제를 채택하였다.<sup>2)</sup> 참가자들은 하나의 물체가 회전하면서 다가오는 것을 관찰하였다. 그 물체는 접근 중 특정 시점에서 사라졌으며, 그때 참가자들은 그 물체가 사라질 때의 속도로 계속 다가와 자신의 두 눈을 가로지르는 횡단면에 도착하였을 때 키보드의 키를 눌러서 물체의 도착시간을 직접 판단하였다.

아울러 김남균(2009)에서 도입된 지면결과 물체의 그림자는 제시되지 않았으며, 물체는 단지 무선점으로만 묘사되었다. 무선점의 밀도, 회전각도와 회전축도 함께 통제하여 local tau1에 내재된 정보의 질을 체계적으로 교란시켰다.

## 방 법

**참가자** 14명의 대학생과 대학원생(남자 5명과 여자 9명)들이 실험에 참가하였으며, 참가자들은 실험 참가 대가로 소정의 참가비를 받았다. 참가자들은 모두 정상시력(나안 또는 교

2) 두 개의 접근하는 물체 중 더 빨리 도착하는 물체를 선택하는, 즉 양자강제선택방식(two alternative forced choice paradigm)을 사용하는 상대판단과제보다 접촉시간을 직접 판단하는 절대판단과제의 수행이 더 어렵다(김남균, 2009; Bootsma & Craig, 2002; Kim & Grocki, 2006; Tresilian, 1995)

정)을 보유했다.

**실험도구 및 자극재료** 실험 자극은 PC workstation에 의해서 실시간으로 제시되었으며, 해상도와 주사율이 각각 1920 × 1080와 60Hz로 고정된 42인치 LCD 디스플레이로 제시되었다. 참가자는 모니터로부터 75cm 떨어진 곳에 고정된 이마-턱 받침대에 턱을 고정된 상태에서 자극을 보았다. 이 거리에서 디스플레이 영역은 63.7° × 38.9°의 시각도를 이루었다.

**설계** 물체유형, 결밀도, 접촉시간, 회전축, 회전각도의 다섯 개의 변인이 조작되었다. 김남균(2009)에서 사용된 두 개의 비원형 물체, 즉 럭비공과 디스크와 하나의 원형 물체가 사용되었다. 럭비공은 하나의 장축(1.1m)과 두 개의 단축(0.5와 0.4m)으로, 디스크는 두 개의 장축(1.2와 1.0m)과 하나의 단축(0.35 m)으로 제작되었다. 통제물로 사용된 원형 물체는 친숙도를 감소시키기 위해서 반지름이 0.72와 0.88m 범위 내에서 무작위로 변화(0.8m ± 10%)하였다.

물체는 7.5m/s±1.0m/s의 속도로 관찰자를 향하여 2.5초±0.25초 동안 접근하다 화면에서 사라졌다. 사라진 시점에서 관찰자와의 접촉시간은 1.8, 3.6, 5.4초로 변화했지만, 반응의 편향을 감소시키기 위해서 각 조건에서 ±0.2초 범위 내에서 변화하였다(김남균, 2009; Rushton & Wann, 1999). 즉 물체는 사라진 시점에서 그 때의 속도로 계속해서 관찰점을 향해 접근하여 조건에 따라 1.8±0.2초, 3.6±0.2초, 5.4±0.2초 후에 관찰점에 도착하였으며, 참가자의 과

제는 이 시간을 예측하는 것이었다.

물체는 접근동안 수직, 수평, 혹은 수직과 수평축을 동시에 회전하였으며, 180도(반회전) 아니면 360도(1회전) 회전하였다.

마지막으로 물체의 결밀도를 조절하기 위해서 각 물체의 표면을 64×64의 행렬로 설정한 뒤, 그 표면을 다시 4(2×2), 16(4×4), 64(8×8), 256(16×16) 영역으로 세분하였다. 각 영역의 한 픽셀(pixel)이 무작위로 선택되어 검은 색으로, 나머지 픽셀들은 흰색으로 그려졌다(그림 4). 예를 들어, 4점 결밀도 조건에서 64×64 행렬의 표면이 4 영역으로 세분되었다. 따라서 각각의 세분화된 영역은 32×32 행렬, 총 1024개의 셀(cell)로 이루어졌으며, 이 셀들 중 하나가 검은 색으로, 나머지 1023개의 셀들은 흰색으로 그려졌다. 따라서 4개의 검은 점으로 물체가 묘사되었다. 여기서 중요한 사실은 4개의 점 중 확률적으로 2개만이 관찰자를 향하는 면에

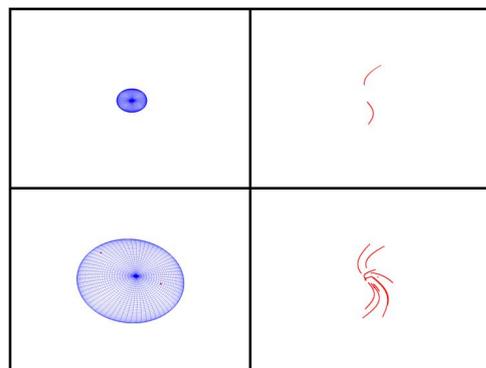


그림 4. 실험 1에서 사용된 점으로 묘사된 디스크형 물체. 왼쪽: 출발 당시(상)와 195도 회전 후(하), 디스크형 물체라는 점을 강조하기 위해서 물체 표면을 그물(mesh)로 묘사하였다; 오른쪽: 4점 결밀도(상)와 16점 결밀도(하) 조건하에서 정면을 보는 2점과 8점들의 진화과정.

위치하였으며, 나머지 2개는 물체의 뒷면에 위치하여 관찰자로부터 가려져 있었다는 점이다.

이러한 조작으로 실험은 4(결밀도) x 3(접촉 시간) x 3(물체유형) x 3(회전축) x 2(회전각도)의 설계로 제작되었으며, 총 216 회기로 구성되었다. 모든 변인은 참가자내 변인으로 조작되었다.

**절차** 실험 시행 전 6회기로 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 지면결은 모든 연습시행에서 제시되었다.

김남균(2009)에서와 같이 매 시행마다 피드백이 주어졌으며, 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

지금까지 접촉시간의 절대판단과제의 수행능력은 예측 접촉시간을 실제 접촉시간에 회귀하여 도출한 추세선(best fit line)을 사용하여 검증하였다(김남균, 2009; Cavallo & Laurent, 1988; McLeod & Ross, 1983; Schiff & Detwiler, 1979). 특히 기울기의 크기로 판단능력을 평가하였다. 따라서 실험 1에서 관찰된 수행능력의 평가하기 위해서 14명의 참가자들이 각 결밀도에서 예측한 접촉시간(14 x 54 = 1088 반

응)과 실제 접촉시간을 이용하여 회귀분석을 실시하였으며, 그 결과가 결밀도별로 그림 5에 제시되었다. 각 밀도에서의 회귀방정식은 256점 결밀도에서  $y = 0.72x + 0.71$ , 64점 결밀도에서  $y = 0.65x + 0.93$ , 16점 결밀도에서  $y = 0.58x + 1.38$ , 그리고 4점 결밀도에서  $y = 0.44x + 2.50$ 로 나타났다. 그림 5에서 보여 주듯이, 4점 결밀도에서의 수행능력이 급격히 저하된 것을 쉽게 발견할 수 있다. 특히 3개의 고밀도 조건에서 관찰된 접촉시간 탐지능력은 Cavallo와 Laurent의 운전 경험자를 이용한 연구에서 보고한 0.73의 기울기나 McLeod와 Ross가 보고한 0.58의 기울기, Schiff와 Detwiler가 보고한 0.61의 기울기와 비슷한 수준이다.

결밀도의 효과를 보다 체계적으로 검증하기 위해서 예측한 접촉시간과 실제 접촉시간 사이의 상관계수를 각 결밀도 조건에서 참가자별로 산출한 뒤, 그 결과를 반복측정 변량분석으로 분석하였다. 결밀도의 주효과가 유의하게 나타났다( $F(3,39)=24.44$ ,  $MSE=.20$ ,  $p<.0001$ ). 4점 결밀도의 평균 상관계수( $M=0.49$ )가

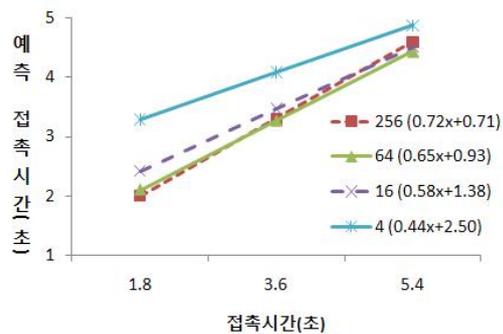


그림 5. 실험 1에서 각 결밀도 조건에서 예측된 접촉시간을 실제 접촉시간으로 회귀하여 도출된 회귀선

다른 세 조건에서의 평균 상관계수(256점 결밀도에서  $M=0.77$ ; 64점 결밀도에서  $M=0.71$ ; 16점 결밀도에서  $M=0.66$ )와 상이하게 나타났다.

실험에서 조작된 다른 변인들의 효과를 살펴보기 위해서, 참가자들의 반응을 항상 오차(constant error), 즉 실제 접촉시간과 판단한 시간과의 차이로 변환시킨 뒤, 변량분석을 실시하였다. 분석 결과 접촉시간( $F(2,26)=63.64$ ,  $MSE=528.29$ ,  $p<.0001$ , 결밀도( $F(3,39)=54.73$ ,  $MSE=107.02$ ,  $p<.0001$ , 물체유형( $F(2,26)=6.93$ ,  $MSE=7.92$ ,  $p<.01$ , 회전각도( $F(1,13)=43.90$ ,  $MSE=115.71$ ,  $p<.0001$ , 회전축( $F(2,26)=4.82$ ,  $MSE=10.17$ ,  $p<.05$ )의 주효과가 유의하게 나타났다. 아울러 접촉시간과 결밀도의 상호작용( $F(6,78)=14.29$ ,  $MSE=12.59$ ,  $p<.0001$ , 접촉시간과 회전각도의 상호작용( $F(2,26)=6.32$ ,  $MSE=9.31$ ,  $p<.01$ ), 접촉시간과 물체유형의 상호작용( $F(4,52)=2.94$ ,  $MSE=2.82$ ,  $p<.05$ ), 접촉시간과 회전축의 상호작용( $F(4,52)=4.69$ ,  $MSE=5.00$ ,  $p<.01$ , 결밀도와 회전축의 상호작용( $F(6,78)=3.13$ ,  $MSE=3.78$ ,  $p<.01$ , 회전각도와 회전축의 상호작용( $F(2,26)=4.53$ ,  $MSE=3.70$ ,  $p<.05$ )과, 결밀도, 물체유형, 회전축의 삼원상호작용( $F(12,156)=1.95$ ,  $MSE=1.71$ ,  $p<.05$ )도 유의하게 나타났다.

여러 상호작용의 원인을 단순주효과분석을 실시하여 살펴보았다. 먼저 접촉시간과 결밀도의 상호작용이 그림 6에 제시되었다. 그림 6에서 보여주듯이, 1.8초에서는 접촉시간을 실제보다 더 빨리 도착하는 것(underestimate)으로 판단하였지만, 5.4초에서는 더 늦게 도착하는 것(overesimate)으로 판단하는, 접촉시간 지각

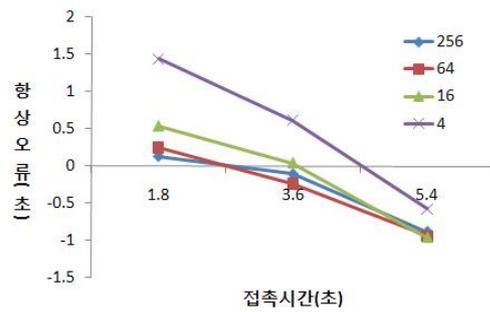


그림 6. 실험 1의 각 결밀도 조건에서 관찰된 접촉시간의 함수로 제시된 평균 항상 오차(초)

문헌에서 보고되는 전형적인 반응양상을 보여주었다. 하지만, 그러한 반응양상이 4점 결밀도에서 특히 완화되어 나타나는 것을 그림 6에서 발견할 수 있다. 특히 4점 결밀도와 나머지 결밀도에서의 반응양상의 차이가 1.8초( $F(3,11)=42.86$ ,  $p<.0001$ )와 3.6초( $F(3,11)=26.44$ ,  $p<.0001$ )에서 두드러지게 나타났다. 이러한 결과는 위에서 보고한 회귀분석과 상관분석 결과와 일치한다.

접촉시간과 회전축의 상호작용과 접촉시간과 물체유형의 상호작용이 각각 그림 7과 8에 제시되었다. 특히 수평축+수직축 회전 조건

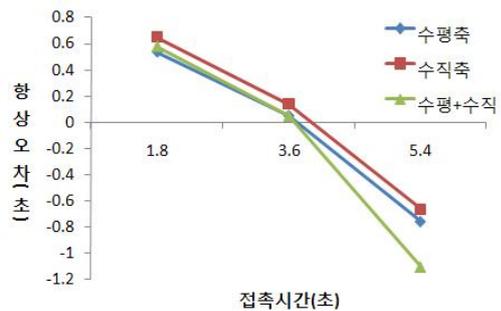


그림 7. 실험 1의 각 회전축 조건에서 관찰된 접촉시간의 함수로 제시된 평균 항상 오차(초)

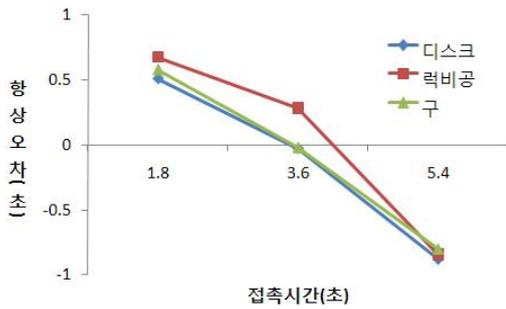


그림 8. 실험 1의 각 물체유형에서 관찰된 접촉시간의 함수로 제시된 평균 항상 오차(초)

과 단축(수평 혹은 수직) 회전 조건과의 차이가 5.4초 접촉시간 조건에서 두드러졌으며 ( $F(2,12)=11.68, p<.01$ ), 럭비공의 접촉시간 지각능력이 디스크나 구의 접촉시간 지각능력과 1.8초와 3.6초 조건에서 두드러지게 차이가 낮

다( $F(2,12)=4.1, p<.05; F(2,12)=9.36, p<.01$ ).

회전각도와 회전축의 상호작용에서는 각 주효과가 모든 수준에서 상이하게 나타났으며, 그 결과 상호작용에 대한 원인 추정을 어렵게 하였다. 마지막으로, 결밀도와 회전축의 상호작용은 결밀도, 물체유형, 회전축의 삼원상호작용 분석으로 대체하였다. 이 분석을 위해서, 물체유형과 회전축의 상호작용을 각 결밀도 별로 분리하여 분석을 시도하였으며, 그러한 분리가 그림 9에 제시되었다. 각 밀도 조건에서 물체유형의 차이를 분석해 본 결과, 럭비공과 구의 차이가 256점 결밀도 조건에서 유의하였으며, 디스크와 럭비공의 차이 또한 16점 결밀도 조건에서 유의하였다. 하지만 무엇보다 4점 결밀도 조건에서의 반응양상이 다른



그림 9. 실험 1의 각 회전축 조건에서 관찰된 물체유형의 함수로 제시된 평균 항상 오차(초)가 각 결밀도 별로 제시되었다.

세 조건에서의 반응양상과 크게 차이가 난다는 사실을 그림 6에서 쉽게 발견할 수 있다. 이러한 차이는 위에서 보고한 결과와 일치한다. 이러한 상이성으로 인하여 이 세 요인들의 삼원상호작용이 발생하였으리라 추측할 수 있겠다.

실험 1의 결과를 요약하면, 무선점으로 묘사된 물체가 회전하면서 관찰자를 향하여 접근하더라도 그 물체의 접근시간 예측이 기존의 문헌에서 보고된 수행능력과 크게 차이가 나지 않다는 사실을 발견하였다. 물체의 유형, 회전축, 회전각도 또한 접촉시간 지각에 어느 정도 영향을 미친다는 점도 이 실험 결과에서 발견되었다. 하지만, 무엇보다 중요한 사실은 물체가 4점으로 묘사되었을 경우, 접촉시간 지각능력이 급속도로 저하된다는 점이다. 하지만 3개의 고밀도 조건 하에서의 수행능력은 거의 차이를 보이지 않았다. 특히 16점 결밀도에서 나타난 수행능력은 회귀선의 기울기(0.58)로 비교할 때, Schiff와 Derwiler(1979)가 보고한 0.61의 기울기와 크게 차이가 나지 않았다는 사실이다. 여기서 중요한 사실은 16점으로 물체가 묘사되었지만, 관찰점에 투사되는 점은 확률적으로 그 반, 즉 8개에 그친다는 점이다(그림 4). 따라서 16점 결밀도 조건에서 참가자들은 움직이는 8개의 점만으로 도착시간을 예측했다. 더 나아가 이 8개의 점들은 시작에서 사라질 때까지 물체의 회전으로 인하여 항상 뒷면에 있는 점들과 교체되었다. 그럼에도 불구하고 접촉시간을 지각할 수 있었다는 사실은 놀라운 일이다.

## 실험 2: 팽창과 수축의 광패턴 탐지

실험 1에서 4점 결밀도에서의 수행능력이 다른 3개의 고밀도 조건에서의 수행능력에 비교할 때 극히 저조하였다는 사실이 흥미롭다. 이렇게 저조한 수행능력이 정확한 지각상태를 반영하는지 의문을 제기한다. 하지만 이렇게 정보가 손상된 상태에서의 수행능력을 평가하기가 어려운 점은 최저 수행능력에 대한 기준선이 설정되어 있지 않기 때문이다. 따라서 이 조건에서 발견된 수행능력이 접촉시간 지각능력을 반영하는지를 규명해 볼 필요성이 있다. 실험 2에서는 이러한 가능성을 검증해 보았다.

물체의 회전으로 인하여 투사된 점들이 계속 교체되었음에도 불구하고 접촉시간의 지각에 필수적인 정보는 광패턴, 특히 팽창여부의 탐지일 것이다(그림 1 참조). 이러한 가능성을 검증하기 위해서, 실험 2에서는 물체가 회전하면서 관찰자를 향하여 접근하거나 아니면 관찰자로부터 멀어졌다. 이 때 참가자로 하여금 물체의 움직임 방향을 보고하게 하여 광패턴, 특히 팽창(접근)과 수축(후퇴)의 식별 능력을 검증하게 하여, 실험 1의 결과, 특히 4점 결밀도에서의 수행능력이 정확한 광패턴의 지각에 근거하였는지를 확인하였다.

## 방 법

**참가자** 10명의 대학생과 대학원생(남자 5명과 여자 5명)들이 실험에 참가하였으며, 참가자들은 실험 참가 대가로 소정의 참가비를 받았다. 참가자들은 모두 정상시력(나안 또는 교

정)을 보유했다.

**실험도구 및 자극재료** 물체의 움직임 방향을 제외하고는 실험 1에서 사용된 동일한 도구와 물체가 실험 2에서 사용되었다.

**설계** 실험 1에서 사용된 물체유형, 결밀도, 회전축, 회전각도에 팽창유형의 변인이 첨가되었다. 물체는 관찰자를 향하여 접근하거나(팽창) 관찰자로부터 멀어져 갔다(수축).

물체와의 접촉시간은 1.8초로 고정되었으며, 접근속도와 지속시간은 실험 1과 동일하였다. 즉 물체는 7.5m/s ± 1.0m/s의 속도로 관찰자를 향하여 2.5초 ± 0.25초 동안 접근 혹은 후퇴하다 화면에서 사라졌다.

물체의 결밀도는 4, 16, 64, 256개로 변화하였으며, 물체는 움직이는 동안 수직, 수평, 혹은 수직과 수평축을 동시에 회전하였으며, 180도(반회전) 아니면 360도(1회전) 회전하였다. 따라서 실험은 4(결밀도) x 2(팽창유형) x 3(물체유형) x 3(회전축) x 2(회전각도)의 설계로 조작되었으며, 각 시행이 두 번 반복되어 총 288 회기로 구성되었다. 모든 변인은 참가자 내 변인으로 조작되었다.

**절차** 참가자가 스페이스바를 누름과 동시에 디스플레이가 시작되었다. 참가자들은 물체가 화면에서 사라졌을 때, 물체가 접근하였는지 아니면 멀어져 갔는지를 키보드의 키를 눌러서 반응할 것을 지시받았다.

실험 시행 전 8회기로 구성된 연습시행을 실시하였다. 연습시행은 0.6m 혹은 1.0m의 반지름으로 제작된 두 종류의 원형물체가 접근

혹은 후퇴하였으며, 이 시행들이 2번 반복되었다. 물체는 수직축으로 360도 회전하였으며, 256개의 결밀도로 제작되었다.

연습시행과 실험에서 피드백은 주어지지 않았다.

### 결과 및 논의

각 물체의 움직임 방향(혹은 광패턴)에서 관찰된 반응의 정확도가 물체유형의 함수로 그림 10에 제시되었다. 그림 10이 보여주듯이, 물체의 움직임 방향의 판단은 매우 정확하였다. 하지만, 럭비공이 퇴각할 경우, 정확도(M=91%)가 약간 저하하였다.

변량분석을 실시하여 변인들의 영향을 살펴 보았다. 분석결과 광패턴(F(1,9)=5.90, MSE=4000.00, p<.05), 결밀도(F(3,27)=13.72, MSE=8199.07, p<.0001), 물체유형(F(2,18)=5.19, MSE=812.50, p<.05)의 주효과가 유의하였다. 광패턴과 물체유형의 상호작용(F(2,18)=3.81, MSE=1270.83, p<.05), 결밀도와 회전각도의 상호작용(F(3,27)=16.60, MSE=1178.24, p<.0001), 광패턴과 회전축의 상호작용(F(2,18)=4.36, MSE=

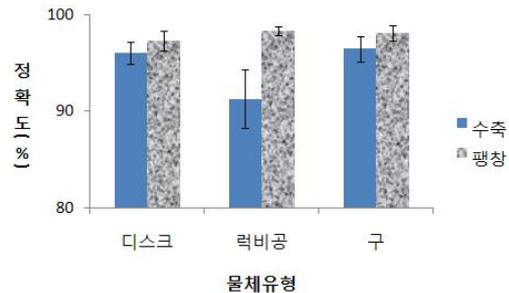


그림 10. 실험 2의 각 광패턴 하에서 물체유형의 함수로 제시된 반응의 정확도(%)

645.83,  $p < .05$ ) 또한 유의하였다.

광패턴과 물체유형의 상호작용은 그림 10에서 잘 나타나 있듯이, 수축하는 럭비공의 식별능력의 저하( $F(1,9)=5.83, p < .05$ )가 이 상호작용을 유발시켰으리라 쉽게 추정할 수 있다.

결밀도와 회전각도의 상호작용 분석에서, 결밀도의 주효과를 반회전 조건에서 발견하였으며( $F(3,7)=5.51, p < .05$ ), 회전각도의 주효과를 4점 결밀도 조건에서 발견하였다( $F(1,9)=77.79, p < .0001$ ). 그림 11에서 보여주듯이, 4점 결밀도에서의 낮은 수행능력, 특히 180도 회전각도에서의 수행능력이 이 상호작용을 유발시켰을 것으로 추측할 수 있다. 이런 결과는 실험 1의 결과와 일치한다.

광패턴과 회전축의 상호작용이 그림 12에 제시되었다. 광패턴의 주효과가 수평축( $F(1,9)=7.08, p < .05$ )과 수평과 수직축 동시( $F(1,9)=7.23, p < .05$ ) 조건에서 유의하였다.

실험 2에서 발견된 결과는 실험 1의 결과와 크게 다르지 않았다. 특히 4점 결밀도 조건에서 발견된 광패턴 판단능력은 다른 결밀도 조건에서의 수행능력에 비해 훨씬 저조하였다. 회전축 또한 수행능력에 영향을 미쳤지만, 보

다 흥미로운 사실은 수축하는 럭비공의 판단이 가장 어려웠다는 점이다(그림 10). 사실 럭비공의 접촉시간을 탐지하는 것이 다른 두 물체, 즉 디스크와 구에 비교하였을 때, 다르다는 사실을 암시하는 증거가 실험 1에서 벌써 발견되었다(그림 8과 9 참조). 여기서 주목하여야 할 사실은 Gray와 Regan(2000)의 연구에서 사용된 물체가 럭비공과 같은 물체였다는 점이다. 따라서 Gray와 Regan의 결론, 즉 단안 정보에 근거한 회전하는 비등방 물체의 접촉 시간 지각능력이 인간시각체계에서 결여되었다는 주장은 실험에서 사용된 물체의 특수성으로부터 기인하였을 가능성이 크다. 김남균(2009)이 이러한 가능성을 이미 제기하였다는 사실을 주목하여야 하겠다.

이 실험은 실험 1에서 발견된 수행능력, 특히 4점 결밀도 조건에서의 수행능력이 접촉시간 탐지능력을 반영하는지를 확인하기 위해서 실시되었다. 실험 1에서 사용된 물체들이 단순히 접근과 퇴각을 하였으며, 참가자들은 그 물체들의 움직임 방향을 판단하였다. 대부분의 조건에서 판단 결과는 극도로 정확하였다. 4점 결밀도 조건에서, 그리고 럭비공이 퇴각

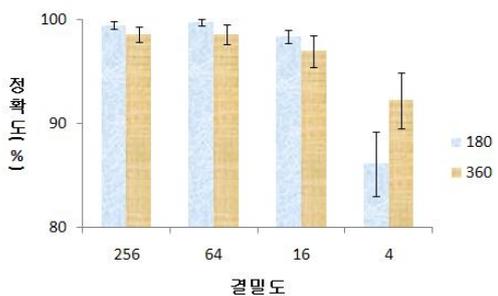


그림 11. 실험 2의 각 회전각도 하에서 결밀도의 함수로 제시된 반응의 정확도(%)

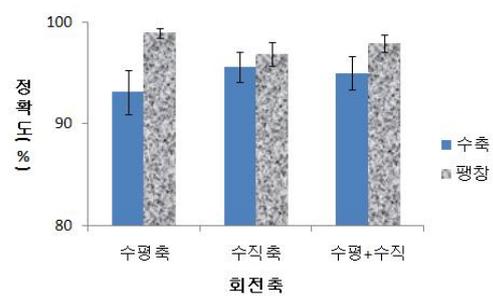


그림 12. 실험 2의 각 광패턴 하에서 회전축의 함수로 제시된 반응의 정확도(%)

을 할 때, 움직임 방향 판단 능력이 어느 정도 저하하였다. 하지만 그런 상황 하에서도 판단의 정확성은 80%이상으로 나타났다. 4개의 무선점으로 표면이 구성된 물체가 회전하면서 움직일 경우, 단지 2개의 점만이 관찰자에게 투사될 뿐 아니라, 그 점들마저 뒷면에 있는 점들로 대체되는 극도로 교란된 광흐름이 발생한다. 그럼에도 불구하고 인간시각체계가 그런 광흐름 속에서 발생하는 광패턴, 즉 그 점들이 팽창하는지(물체가 접근할 경우) 아니면 수축하는지(물체가 퇴각할 경우)를 지각할 수 있다는 사실이 놀랍다. 이런 결과는 실험 1의 4점 결말도 조건에서 발견된 수행능력이 고밀도 조건에 비교하였을 경우 많이 낮았지만, 그럼에도 불구하고 그 점들로부터 발생한 광패턴, 즉 팽창 양상을 지각한 뒤, 그러한 지각에 근거하여 local  $\tau_1$ 을 추출하여 접촉시간을 예측한 결과로 간주할 수 있겠다.

### 종합 논의

물체가 관찰자를 향하여 다가올 때, 그 물체가 이루는 각, 즉 물체각의 상대적 팽창률의 역수는 그 물체의 도착시간과 일치한다. 관찰자는  $\tau$ 라고 명명된 이 광학정보를 이용하여 움직이는 물체를 잡거나 다가오는 물체를 피하는 행동을 시간적으로 통제할 수 있다 (Bootsma & van Wieringen, 1990; Gray & Regan, 1998; Lee, 1976; Peper et al., 1994; Savelsbergh et al., 1991; Warren, 2007). 하지만  $\tau$ 가 지각정보로 활용되기 위해서는 몇 가지의 조건을 충족시켜야 하며, 그 중 하나가 물체가 다가오는 도중 고정된 형태를 유지해야 한다는 조건

이다(Hecht & Savelsbergh, 2004; Tresilian, 1991, 1995). 따라서 회전하며 날아오는 럭비공같은 비대칭 비등방형 물체는 광흐름을 교란시키며, 그 결과  $\tau$ 의 추출을 어렵게 할 것이다. Gray와 Regan(2000)은 이러한 가능성을 검증한 뒤, 인간시각체계가 단안정보에 근거하여 회전하며 접근하는 비원형 물체의 접촉시간을 탐지할 능력이 결여되었다고 결론지었다.

이러한 Gray와 Regan(2000)의 주장이 우리의 일상 경험과는 일치하지 않는다는 사실에 주목하여, 김남균(2009)은 다양한 결구니를 입힌 비원형 물체를 이용하여 접촉시간 지각능력을 검증하였다. 이 연구에서 김남균은 기존의 접촉시간 연구에서 보고한 결과들과 비슷하거나 아니면 심지어 더 우수한 결과를 발견하였다. 하지만 이 연구는 물체 내부 결 구조가 묘사되었다는 점을 제외하고는 참가자들이 어떤 정보에 근거하여 접촉시간을 탐지할 수 있었는지를 규명하기 어려운 문제점을 내재하고 있다. 이 연구는 이러한 문제점을 보완하고자 시도되었다.

김남균(2009)에서와 같이 회전하며 접근하는 비원형 물체의 접촉시간 탐지 능력을 절대판단과제를 사용하여 검증하였다. 하지만 물체를 검은색의 무선점들로 묘사하였으며, 무선점들의 숫자 또한 조작하였다. 이런 조작으로 local  $\tau_2$ 를 원천적으로 광흐름에서 배제하였으며, local  $\tau_1$  또한 광흐름 속에서 명시되는 정도를 변화시켰다. 아울러 물체의 회전각도와 회전축도 함께 조작하여 local  $\tau_1$ 의 정보의 질 또한 교란하였다.

이런 조작에 근거하여 진행된 실험 1에서 물체의 접근시간 예측이 기존의 문헌에서 보

고된 수행능력과 크게 차이 나지 않는다는 사실을 발견하였다. 물체유형, 회전축, 회전각도의 영향도 발견되었지만, 무엇보다 중요한 발견은 4점 결밀도 조건을 제외하고는 접촉시간 지각능력이 기존 문헌에서 보고하는 접촉시간 지각능력과 유사하다는 사실이었다.

그럼에도 불구하고 4점 결밀도에서의 수행능력은 다른 3개의 고밀도 조건에서의 수행능력과는 차이가 있었다. 낮은 수행능력이 지각능력을 반영하는지를 평가하기 위해서 실험 2가 실시되었다. 접촉시간의 지각, 특히 local tau1의 추출에 필수적인 정보는 광패턴, 즉 팽창여부의 탐지이다(그림 1 참조). 따라서 실험 2에서는 물체의 움직임 방향을 조작한 뒤, 그에 상응하는 광패턴을 지각할 수 있었는지를 검증하였다. 부연하면, 물체가 관찰자를 향하여 접근할 경우 광흐름은 팽창하며, 관찰자로부터 멀어져 갈 경우, 광흐름은 수축한다. 물체의 움직임 방향을 식별할 수 있다면, 그에 상응하는 광패턴을 정확하게 지각할 수 있다는 사실을 의미한다.

실험 2의 결과는 명백하였다. 대부분의 조건에서 광패턴(혹은 움직임 방향) 판단 결과는 극도로 정확하였다. 4점 결밀도 조건에서, 그리고 멀어져 가는 럭비공을 관찰할 때, 움직임 방향 판단 능력이 어느 정도 저하하였지만, 그런 상황 하에서도 80%이상의 정확도를 보였다. 이런 결과는 실험 1의 4점 결밀도 조건에서 수행능력이 다른 밀도 조건에 비교하였을 경우 낮게 나타났지만, 여전히 적절한 광패턴의 지각을 통한 local tau1에 근거하여 접촉시간을 지각한 결과로 간주할 수 있다고 결론을 내릴 수 있다.

또 하나 흥미로운 사실은 럭비공으로부터 광패턴을 추출하는 것이 다른 물체에 비해 더 어려웠다는 점이다. 이런 결과는 실험 1(그림 8과 9 참조)과 실험 2(그림 10) 모두에서 발견되었다. 이런 맥락에서 Gray와 Regan(2000)의 연구에서 사용된 물체가 럭비공과 같은 물체였다는 점을 상기할 필요가 있겠다. 김남균(2009)이 지적하였듯이, Gray와 Regan의 결론, 즉 인간시각체계가 단안정보에 근거한 회전하는 비등방 물체의 접촉시간 지각능력이 결여되었다는 주장이 실험에서 사용된 물체의 특수성에 근거하여 발생한 결과일 것이라는 가능성을 재삼 각인시켜준다.

본 연구의 제한성 또한 인식할 필요성이 있다. 위에서 언급하였듯이, 본 연구는 Gray와 Regan(2000)의 제한된 조건 하에서 추출한 연구 결과의 무리한 일반화를 보다 포괄적인 상황 하에서 새롭게 검증해 보고자 하는 의도에서 시도되었다. 사실 비대칭 비등방형 물체의 접근은 무한한 방식으로 묘사가 가능하다. 그럼에도 불구하고 Gray와 Regan은 그러한 상황 묘사를 두 가지 방식으로 국한시켰다. 본 연구에서는 그러한 제한성을 보완하기 위해서 먼저 물체의 다양성을 추구하였으며, 물체의 회전축과 회전각 또한 변화시켰다. 그러한 조건 위에 결밀도를 변화시켜 변화의 폭을 넓혔다. 이러한 시도에도 불구하고, 본 연구에서 묘사한 상황들은 극히 일부분에 지나지 않는다. 하지만 다양한 상호작용들이 발견되었으며, 이런 사실은 여러 조건들의 복합적인 영향을 반영한 결과로 간주할 수 있다. 부연하면, 이러한 조작의 결과는 광흐름의 교란을 야기시켰으며, 그러한 결과가 수행능력에 영

향을 미쳤을 것이다. 그럼에도 불구하고 무엇보다 중요한 사실은 전반적인 접촉시간 지각 능력이 등방형 물체의 접촉시간 지각능력과 많은 차이를 보이지 않았다는 점이다. 심지어 4점 결말도 조건에서도 그 사상(접근 혹은 퇴각)에 대한 개괄적인 인식이 가능하다는 사실이 놀랍다. 특히 이 조건에서는 물체가 4개의 무선점으로 구성되어졌지만, 관찰점에는 2개의 점만이 투사된다는 사실이다. 하지만, 그 두 점들마저도 회전으로 인하여 뒷면에 있는 점들로 교체되는 극도로 교란된 광흐름이 발생한다. 그런 광흐름 속에서도 인간시각체계는 그 속에 담긴 광패턴을 지각할 수 있는 능력을 보유하고 있다는 증거가 이 실험을 통해 밝혀졌다(cf. Rosenblum, 2010). 다시 한 번 인간의 지각능력에 대해 감탄하게 된다.

### 참고문헌

- 김남균 (2009). 회전하는 비원형물체의 접촉시간 지각. 한국심리학회: 인지 및 생물, 21, 73-90.
- 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.
- Davies, M. N. O., & Green, P. R. (1990). Flow-field variables trigger landing in hawk but not in pigeons. *Naturwissenschaften*, 77, 142-144.
- DeLucia, P. R. (1991). Pictorial and motion-based information for depth perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 17, 738-748.
- 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.
- 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.
- 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., Davies, M. N. O., Green, P. R., & van der Weel, F. R. (1993). Visual control of velocity of approach by pigeons when landing. *Journal of Experimental Biology*, 180, 85-104.
- Lee, D. N., & Reddish, P. E. (1981). Plummeting gannets: a paradigm of ecological optics. *Nature*, 293, 293 - 294.

- 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.
- Peper, C. E., Bootsma, R. J., Mestre, D. R., & Bakker, F. C. (1994). Catching balls: How to get the hand to the right place at the right time. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 591-612.
- Regan, D. (1997). Visual factors in catching and hitting. *Journal of Sports Sciences*, 15, 533-558.
- Rind, F. C. & Simmons, P. J. (1992). Orthopteran DCMD neuron: A reevaluation of responses to moving objects. I. Selective responses to approaching objects. *J. Neurophysiol.* **68**, 1654-1666.
- Rosenblum, L. D. (2010). *See what I am saying: The extraordinary powers of our five senses*. NY: W. W. Norton & Company.
- 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.
- Simmons, P. J. & Rind, F. C. (1992). Orthopteran DCMD neuron: A reevaluation of responses to moving objects. II. Critical cues for detecting approaching objects. *Journal of Neurophysiology*, 68, 1667-1682.
- 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.
- Wagner, H. (1982). Flow-field variables trigger landing in flies. *Nature*, 297, 147-148.
- Wang, Y. & Frost, B. J. (1992). Time to collision is signalled by neurons in the nucleus rotundus of pigeons. *Nature*, 356, 236-238.
- Warren, W. H. (2007). Action-scaled information for the visual control of locomotion. In G. Pepping & M. A. Grealy (Eds.), *Closing the gap: The scientific writings of David N. Lee* (pp. 243-258). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

1 차원고접수 : 2010. 4. 29  
수정원고접수 : 2010. 6. 8  
최종게재결정 : 2010. 6. 15

## Perceiving Time-to-Contact under Severely Perturbed and Sparse Flow Fields

Nam-Gyoon Kim

Department of Psychology, Keimyung University

The present study examined human observers' perceptual capacity to estimate time-to-contact (TTC) of an approaching object under severely perturbed or impoverished optic flow that compromised TTC information, in particular, local  $\tau_1$ . In Experiment 1, non-spherical objects approached the observation point while rotating either about one (horizontal or vertical) or two axes. The objects were depicted using random dots that varied in density (4, 16, 64, or 256 dots), half of which were projected to the observer. Under object rotation, the surface dots were displaced or even disappeared. These manipulations severely compromised the optical pattern specifying local  $\tau_1$ . In Experiment 1, performance degraded with decreasing dot density. Particularly, performance in the 4 dot density condition differed significantly from performance in the three higher density conditions. Experiment 2 examined whether these results accurately depicted the capacity of the human visual system. Objects either approached, or retreated from, the observation point; and participants were asked to judge the direction of the object's motion. With an overall accuracy of 89%, most objects' motion directions were identified reliably, even in the 4 dot density condition. Taken together, the present study demonstrated that the human visual system is capable of coping with adverse conditions by extracting requisite information, in particular, local  $\tau_1$ , that specifies the TTC of an approaching object, even from severely perturbed and impoverished optic flow. However, the present results also demonstrate that, under certain extreme conditions such as those engendered by rugby ball shaped object that rotated 90 deg over their approaches to the observation point, the visual system can fail, a finding consistent with that reported by Gray and Regan (2000).

*Key words* : time-to-contact, local  $\tau_1$ , non-spherical objects, texture density, optical perturbation