한국심리학회지 : 일반
*Korean Journal of Psychology: General*
2013, Vol. 32, No. 2, 325-349

# 어린이들의 충돌탐지능력 검증*

이 채 영　　임 용 현　　김 남 균†

계명대학교 심리학과

광흐름 속에 담긴 광학정보인 tau-dot은 -0.5라는 수치를 경계로 다가오는 물체와 '충돌(collision)'과 '멈춤(no collision)'의 두 범주로 분리되어, 물체와 관찰자 간의 충돌 여부를 명시한다. 본 연구는 tau-dot에 대한 민감성을 5～13세 아동들을 대상으로 검증해 보고자 시도되었다. 실험 1은 움직이는 차량이 정지한 관찰자를 향해 접근하는 상황을, 실험 2는 움직이는 관찰자가 정지된 물체를 향해 접근하는 상황을 묘사하였다. 양자선택과제로 실험은 진행되었으며, 참가자들은 다가오는 접근이 안전한 '멈춤'이 될 것인지, 아니면 위험한 '충돌'이 될 것인지 판단하였다. 실험 결과 학령 전(5～7세) 아동들의 민감성이 취학(8～13세) 아동들에 비해 낮았으며, 5세 아동들의 민감성은 가장 낮게 나타났다. 기존 교통안전교육은 도로 횡단에 필요한 기술로써 접촉시간 지각에 초점을 맞추어 왔다. 충돌여부의 민감성을 확인한 본 연구 결과에 근거했을 때, 충돌여부의 지각에 대한 교육을 병행한다면 어린이들의 교통안전을 더 향상시킬 수 있는 기반을 제공할 수 있을 것으로 기대한다.

주요어 : 어린이 보행자 교통사고, 도로횡단, tau-dot, 충돌탐지, 접촉시간, 교통안전교육

---

* 본 논문에서 보고하는 실험1은 제1저자의 석사학위 논문을 일부 수정하여 작성되었다.
이 논문은 2011년 정부(교육과학기술부)재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 연구되었다(NRF-2011-327-B00956).

† 교신저자: 김남균, 계명대학교 심리학과, (704-701) 대구광역시 달서구 달구벌대로 1095
Tel: 053-580-5415, E-mail: nk70@kmu.ac.kr



www.kci.go.kr

## 어린이 교통사고와 교통안전교육

도로교통공단(2010)이 보고한 어린이 교통사고 통계 자료가 표 1에 제시되었다. 표에 제시된 것처럼, 교통사고에 의한 어린이 사망률은 매년 감소하고 있다. 그럼에도 최근 10년간 어린이 사망원인의 1위가 교통사고로 나타난다. 아울러 2008년 경찰청 통계자료에 따르면 OECD 30개 회원국 중 28개국의 14세 이하 어린이 인구 10만 명당 교통사고 사망자 수를 비교하였을 때, 한국이 3.1명으로 가장 높은 것으로 나타났다. 특히 이 수치는 스웨덴(1명)과 일본(0.9명)의 어린이 사망자 수보다 3배 이상 높다. 그리고 교통사고로 부상당한 어린이 중 10%가 평생을 지체 또는 후유 장애인으로 남게 된다는 사실 또한 간과할 수 없다.

하지만, 더 중요한 사실은 어린이 교통사고 사망자 중 62%(2009년 기준)가 보행 중에 발생하였다는 점이다. 이 수치는 자동차 승차 중 발생한 어린이 사망률 25%와 비교된다. 아울러 보행 중 교통사고에 의한 부상자 수 또한 8,616명(39%)으로 대한민국 어린이들이 직면하고 있는 보행환경의 위험성을 잘 보여주고 있다.

사실 보행 중 교통사고에 의한 아동들의 부상 및 사망은 한국에 국한된 현상은 아니다. 세계보건기구(World Health Organization, WHO)의 통계자료에 의하면, 5세에서 9세 아동들의 사망원인 중 교통사고가 세 번째 주요인으로 밝혀졌다(Toroyan & Peden, 2007). 미국 또한 4,092건의 보행자 사망(2009년 기준) 중 14세 이하 아동이 6%(244명)를 차지하였으며, 14세 이하 교통사고 사망자의 19%가 보행자인 것으로 나타났다(National Highway Traffic Safety Administration[NHTSA], 2010). 영국 또한 2008년 6,642명이 보행 중 사망 혹은 중상을 당했으며, 그 중 15세 이하의 어린이들이 27%를 차지하였다(Department of Transport, 2010).

표 1. 어린이(14세 이하) 교통사고 발생 현황

(단위: 명)

| 구분 | 발생건수 | 사망자수 | 부상자수 |
|---|---|---|---|
| 2005 | 20,495 | 284 | 25,314 |
| 2006 | 19,223 | 276 | 23,880 |
| 2007 | 18,416 | 202 | 22,806 |
| 2008 | 17,874 | 161 | 22,364 |
| 2009 | 18,092 | 154 | 22,257 |

따라서 대부분의 나라가 어린이들의 보행 중 교통사고를 방지하기 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 이런 노력에 가장 일반적으로 활용되는 예방방법이 교통안전교육이며(Malek, Guyer & Lescohier, 1990), 보행기술 교육의 가치와 필요성은 여러 연구에서 검증되고 있다(Demetre, Lee, Pitcairn, Grieve, Thomson & Ampofo-Boateng, 1992; Malek et al., 1990). 하지만, 교통안전교육은 그 효율성이 극히 제한적이다. 특히 언어 반응 혹은 행동의 관찰로 측정하였을 때 교통안전교육이 지식을 향상시키는 것처럼 보이지만, 그렇게 습득된 지식이 지속적으로 유지된다는 증거는 미약하며, 나아가 사망률 감소로 연결되지 않는다는 사실이다.

어린이에게 안전하게 도로를 건너도록 교육하는 것이 안전예방의 차원에서 가장 적절한 방법으로 쉽게 간주할 수도 있다. 하지만, 위에서 언급하였듯이 그 효율성은 미약하며, 그 결과 어린이와 부모 모두에게 어린이 보행자의 능력과 안전에 대한 그릇된 인식을 초래할 수 있다(WHO, 2006). 교통학습 효과의 비효율



www.kci.go.kr

성에 대한 전통적인 설명은 아동의 제한된 인지능력에서 그 원인을 찾았다. 즉 특정 발달단계에 속한 어린이는 그 단계 특유의 인지능력으로 한정되고, 그런 한계성은 어린이가 특정 교통 환경에서 발생하는 상황을 학습하기 어렵게 할 뿐 아니라 적절한 행동 수행에 제약을 가한다는 것이다(Michon, 1981; Vinjé, 1981).

이런 주장은 Piaget(1969)의 인지발달이론에 그 근간을 두고 있다. 하지만, 최근 많은 연구에서 Piaget이론과 모순되는 결과들이 발견되고 있다(Gelman & Baillargeon, 1983; Kuhn, 1988). 특히 교통안전교육 맥락에서 Zeedyk, Wallace, Carcary, Jones와 Larter(2001)는 4~5세 아동들에게 교통 지식을 전수하여 지식 향상을 유도하였지만, 그렇게 증가한 지식이 실제 행동으로 전이되지는 않는다는 사실을 발견하였다. 일반적으로 남자 아이들이 여자 아이들보다 교통지식이나 공간적 능력이 훨씬 풍부한데도, 남자아이들이 여자아이들보다 더 위험하게 행동할 뿐 아니라 사망률 또한 훨씬 높다는 사실만 고려하더라도 이론 위주 교육의 한계성을 쉽게 확인시켜준다. 이런 결과들은 도로안전교육의 효율성을 재평가하는 계기가 되었으며, 더욱 현실적인 대안 추구의 필요성을 인식시켰다(Duperrex, Bunn & Roberts, 2002; Schieber & Vegega, 2002).

이런 인식 때문에 최근 연구는 보행자의 능력 검증에 서술적 지식(descriptive knowledge)이 아닌 기술(skill)을 강조하는 방향으로 초점이 전환되고 있다. 즉 교통사고는 특정 상황에 처했을 때의 결정적 경험, 그리고 그런 상황에서 낮은 대처능력 때문에 발생한다는 인식이 확산되고 있다(Connelly, Conaglen, Parsonson, & Isler, 1998; Thomson, Tolmie, Foot, Whelan, Sarvary & Morrison, 2005; Whitebread & Neilson, 2000). 아울러 이런 연구결과에 근거하여 교통안전교육 또한 이론 중심의 교육에서 실제 도로 현장이나 가상현실, 웹 등을 이용하여 실시하는 실습 중심으로 그 방향이 전환되고 있다.

## 도로횡단에 필요한 접촉시간 및 충돌 탐지 능력

보행기술에 무엇보다 중요한 역할을 하는 것은 다가오는 물체와의 접촉시간(time-to-contact 혹은 time-to-arrival), 즉 그 물체가 언제 나에게 도달하는지를 탐지할 수 있어야 한다. 일반적으로 모든 차량이 다 지나간 뒤 도로를 횡단하라고 지시하지만, 차량 통행이 빈번할 경우 이런 충고는 무의미하다. 따라서 도로를 건너기 위해서 보행자는 다가오는 차량들의 시간적 간격을 탐지할 수 있어야 하며, 그 간격을 (도로의 폭, 보행자의 보행속도, 보행자가 들고 있는 짐 등을 고려하여) 횡단에 필요한 시간으로 변환시켜야 한다. 돌발적인 상황이나 예측 오류를 배제할 수 없겠지만, 원칙적으로 차량 도착시간이 횡단시간보다 길 때 횡단이 가능해진다. 따라서 차량 통행이 빈번한 도로 횡단은 접촉시간을 명시하는 광변인(optical variable)에 대한 민감성, 즉 빛에 담긴 정보를 탐지하여, 그 정보에 근거하여 자신의 행동을 조절하는 능력이 안전 도로횡단의 핵심을 구성한다고 고려할 수 있다.

현재 어떻게 이런 능력이 발달하고 그 발달과정을 중재, 즉 교육을 통해 촉진시킬 수 있는가는 논쟁의 대상이 되고 있다. 전통적인 접근법은 아동들이 9~10세에 도달하기 전까지는 시공간 판단 능력이 결여되었다고 설명



www.kci.go.kr

하고 있다(Hoffman, Payne, & Prescott, 1980). 이 주장은 전조작기와 구체적 조작기 전반부에 해당하는 아동들이 변인들 사이의 상호관계를 개념화할 수 있는 능력이 부족하다고 보는 Piaget(1969)의 인지발달이론에 그 근거를 두고 있다. 한 예로, 어린이들에게 두 기차 중 어느 기차가 목적지에 먼저 도착하는지 물었을 때 단지 하나의 변인(일반적으로 속도보다 거리에 집중)에만 집중하여 판단하는 경향을 보이며, 그 결과 오류를 범한다고 Piaget는 주장한다. 어린이들의 보행 사고 또한 어린이들의 이런 특성에서 기인한다고 주장한다(Cross & Mehegan, 1988; Sandels, 1975).

그에 반해 접촉시간 판단능력은 Piaget(1969)가 주장하는 고차원적인 지식이 아니라, 지각 정보에 근거한 운동통제(visual control of movement)라는 맥락에서 고려되어야 하는 지각-운동 기술(perceptual-motor skill)의 한 유형이라고 생태심리학(ecological psychology)에서는 주장한다. 더 나아가 생태심리학자들은 접촉시간은 광흐름(optic flow) 속에 직접 명시(specified)되어 있으며 거리와 속도를 통해 계산(거리/속도)하여 추출하는 정보가 아니라 관찰자가 직접 탐지할 수 있는 정보라고 주장한다. 구체적으로, 정지하고 있는 관찰자를 향하여 물체가 속도 $v$(예: 2m/s)로 다가온다고 가정하자(그림 1). 물체가 관찰자로부터 D(10m)의 거리에 도달하였을 때, 물체는 정확히 D/$v$(5초 후) 시간 후에 관찰자에게 도달한다. 따라서 관찰자는 이 물체와의 적절한 접촉, 즉 물체를 잡거나 피하고자 할 때, 그 물체와의 접촉시간에 근거하여 행동해야 한다. 이 정보를 추출하기 위해서 관찰자는 다가오는 물체의 속도($v$) 및 거리(D)를 정확하게 탐지한 뒤, 그 두 가지 정보를 다시 나누는(D/$v$) 복잡한 계산

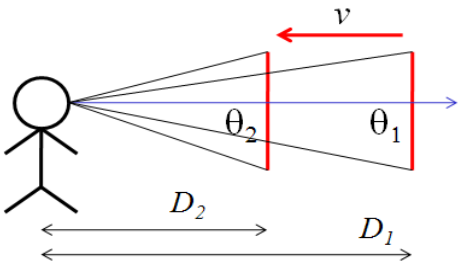


그림 1. 물체가 v의 속도로 관찰자를 향하여 다가올 때, 그 물체와의 접촉시간(D/v)은 광학적으로 물체가 이루는 물체각의 상대적 팽창률의 역수, 즉 Θ/(dΘ/dt)에 의해서 명시된다. 이 시각정보를 Lee(1976)는 τ라 명명하였다.

과정을 거쳐야 할 것이다.

하지만, 더 간단한 해결책이 있다. 물체가 관찰자를 향해 다가올 때 그 물체가 이루는 각(optical angle)을 Θ로 가정하면, 물체가 다가올수록 물체각은 dΘ/dt의 속도로 팽창하게 된다(그림 1 참조). 나아가 Lee(1976)는 물체각의 상대적 팽창률의 역수(the inverse of the relative rate of optical expansion), 즉 Θ/(dΘ/dt)는 그 물체가 관찰자에 도착하는 시간을 의미하며, 그것은 D/$v$와 일치한다는 사실을 수학적으로 증명하였다. 더불어 Lee는 관찰자들이 이 광학정보에 민감할 뿐 아니라, 이 광학정보에 근거하여 자신의 움직임을 통제한다는 사실 또한 경험적으로 확인하였다. Lee는 이 광학정보(optical variable)를 τ(혹은 tau)라 명명하였다.

정리하면 물체와 관찰자 간의 접촉시간을 명시하는 정보가 독특한 광학 형태(optical pattern), 특히 물체각의 상대적 팽창률의 역수로 빛 속에 명시되어 있다는 사실을 Lee(1976)는 수리적으로 증명해 보였으며, 더 나아가 인간 관찰자가 이 광학 패턴을 탐지하여 자신의 움직임을 통제하는 데 활용한다는 사실 또한 규명해 보였다. 그 후 많은 연구에서 인간



www.kci.go.kr

을 포함한 다양한 동물들이 이 광학정보를 이용하여 주변 환경과의 상호작용에서 자신들의 행동을 통제한다는 사실이 보고되었다(김남균, 2010; Bootsma & van Wieringen, 1990; Gray & Regan, 1998; Kim & Grocki, 2006; Savelsbergh, Whiting, & Bootsma, 1991). 이러한 결과에 근거하여, 광학정보 tau는 움직이는 물체를 잡거나 다가오는 물체를 피하는 행동을 시간적으로 통제하는 지각적 근거로 받아들여지고 있다.

이런 생태심리학적인 분석은 교통안전훈련에 최적의 방안을 제시한다. 즉 인지발달이론에서 주장하는 시각적 타이밍이 구체적 조작기가 도달하였을 때 성취되는 능력이 아니라는 것이다. 단지 아동들은 적절한 광변인에 대한 민감성이 결여되었으며, 그 결과 그런 변인을 이용한 운동통제 경험이 상대적으로 부족하여, 교통사고 상황에 직면했을 때 적절한 대응을 못하게 되며, 따라서 도로 횡단 시 사고로 희생될 개연성이 높아지는 것으로 간주된다(Thomson et al., 2005). 이런 맥락에서 어린이들에게도 훈련을 통해 tau와 같은 시각정보에 대한 민감성을 증가시키고, 다양한 교통상황에 노출시켜 탐지된 정보에 근거하여 적절한 대처행동을 수행할 수 있도록 경험시킴으로써 사고를 예방할 수 있다고 보는 것이 생태심리학적 접근이다.

이런 주장을 검증하고자 많은 연구가 시도되었다. 대표적인 연구로 Lee, Young과 McLaughlin(1984)의 연구를 들 수 있다. 이 연구자들은 실제 도로 옆에 가짜 도로를 제작한 뒤, 어린이들에게 실제 도로를 지나가는 차량의 상황을 바탕으로 가짜 횡단보도를 건너라고 지시하였다. 이런 상황에서 어린이들이 시도한 횡단은 거의 정확하였으며, 9%만이 '위험한 횡단(tight fit 혹은 short gap acceptance)'으로 분류되었다. 성인들 시도 중 7%가 위험한 횡단인 점을 고려할 때, 그 차이는 크지 않았다(Demetre et al., 1992, 또한 비슷한 결과 보고). 사실 어린이들은 위험한 판단을 내리기보다는 그 반대 경향, 즉 어른보다 더 조심성 있게 판단한다는 사실을 발견하였다. 예를 들면, 5세 어린이들은 안전하게 횡단할 수 있는 상황임에도 반 이상이 횡단을 거부하였다.

이런 연구와 더불어, 실제 교통상황이나 가상현실 기술을 활용한 교통시연 상황을 이용하여 어린이들에게 보행 기술을 훈련시킨 연구들도 다수 시행되었으며, 그 결과 어린이들이 주차된 차량과 교차로에서의 횡단(Rothengatter, 1984; Thomson & Whelan, 1997), 도로 주변 위험물 탐지(Ampofo-Boateng, Thomson, Grieve, Pitcairn, Lee, & Demetre., 1991), 횡단보도 사용(Tolmie et al., 2003) 등에서 기술력이 현저히 향상되는 것으로 나타났다. 더구나 이런 기술력의 향상은 5세 아동들에게서도 관찰되었다.

## 충돌여부 탐지능력 검증

접근하는 물체의 팽창양상 탐지능력 못지않게 보행자 교통사고 예방에 중요한 역할을 하는 지각능력은 물체와의 충돌여부 탐지능력일 것이다. 예컨대 차량이 통행하는 상황에서 불가피하게 횡단을 시도해야 한다면, 이때 보행자는 다가오는 차량이 감속하여 보행자 앞에 멈출 것인지 아니면 보행자를 무시하고 질주할 것인지 판단하는 능력이 필요하다.

이런 정보를 제공하는 광변인을 Lee(1976)가 제안하였다. 이 광변인을 이해하기 위해서 충돌이 발생하는 상황을 고려해 보자. 예컨대,



www.kci.go.kr

관찰자가 정지해 있는 물체를 향해 다가가고 있으며, 관찰자의 체중을 m, 접근속도를 $v$(t)로 가정하자. 그렇다면, 관찰자는 1/2m$v(t)^2$의 운동에너지(kinetic energy)로 물체를 향해 움직이게 된다. 이 상황에서 관찰자가 물체와 충돌을 피하려고 물체 앞에서 멈추고자 할 경우, 관찰자는 자신의 현재 운동에너지를 물체에 접근하기 이전에 모두 상쇄시켜야 한다. 즉, 남아있는 거리 $D(t)$동안 일(work, 즉 감속)을 수행하여, 물체의 표면에 접촉하는 순간 모든 운동에너지를 소멸시켜야 한다. 이상의 관계들을 운동역학관계로 정리하면, 일(work) = 힘(Force) × 거리(Distance)로 표현되며, 힘 = 질량(Mass) × 가속도(Acceleration)로 표현된다. 따라서 물체 앞에서 멈추고자 할 경우, 관찰자는 아래의 관계에 따라 제동(braking)을 하여야 한다.

$$\frac{1}{2}m \times v(t)^2 \leq m \times A(t) \times D(t) \quad \cdots\cdots(1)$$

반대로 물체와 충돌할 경우, 그 관계는 아래와 같이 역전될 것이다.

$$\frac{1}{2}m \times v(t)^2 > m \times A(t) \times D(t) \quad \cdots\cdots(2)$$

위의 부등관계를 해결하기 위해서, 관찰자는 물체와의 거리 $D(t)$, 현재 속도 $v(t)$ 및 현재 가속도(혹은 감속도) $A(t)$에 대한 정보를 필요로 한다. 하지만, 보다 간단한 해결책이 tau로부터 추출된다고 Lee(1976)는 주장하였다.

Lee(1976)의 주장을 보다 구체적으로 기술하면, 우선 그림 1에서 묘사한 상황으로부터 tau를 다음과 같이 기술할 수 있다.

$$\tau(t) = \frac{D(t)}{v(t)} = \frac{\theta(t)}{\theta(t)/dt} \quad \cdots\cdots(3)$$

여기서 (3)을 미분하면 (4)가 유도된다.

$$\tau'(t) = -1 + D(t) \times \frac{A(t)}{v(t)^2} \quad \cdots\cdots(4)$$

여기서 중요한 사실은 (4)로부터 (1)와 (2)를 풀 수 있는 단서를 발견할 수 있다는 점이다. 즉 물체 앞에 멈추기 위해 필요한 역학관계인 (1)을 (5)로 재정리한 뒤,

$$D(t) \times \frac{A(t)}{v(t)^2} \geq 0.5 \quad \cdots\cdots(5)$$

(4)를 (5)에 대입하여 정리하면,

$$\tau'(t) \geq -0.5 \quad \cdots\cdots(6)$$

이 추출된다. 즉 $\dot{\tau}$ 혹은 tau-dot[1]이라는 광학정보의 값을 -0.5보다 크게 할 경우, 우리는 다가오는 물체 앞에 충돌을 하지 않고 멈추어 설 수 있다. 그와 반대로 (2)가 묘사하는 물체와의 충돌관계를 해결하기 위해서, (2)를 정리하여 (7)을 유도한 뒤,

$$D(t) \times \frac{A(t)}{v(t)^2} < 0.5 \quad \cdots\cdots(7)$$

1) tau-dot은 tau, 즉 물체각의 상대적 팽창률의 역수를 시간에 대해서 미분한 도함수(time derivative)로서 tau의 변화율이다. 비록 tau보다 더 복합적이지만, tau-dot에 대한 지각능력은 tau에 대한 민감성과 깊이 관련되었을 것으로 쉽게 추측할 수 있다.



www.kci.go.kr

(4)를 (7)에 대입하면

$$\tau'(t) < -0.5 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (8)$$

이 추출된다. 즉 tau-dot의 값을 -0.5보다 작게 할 경우, 우리는 다가오는 물체와 충돌하게 된다(자세한 정보를 원할 경우 Kim과 Turvey, 1998, 참조). 요약하면, 관찰자는 다가오는 물체가 자신과 충돌할지 아니면 멈추어 서는지를 물체의 거리, 접근 속도 및 감속도를 이용하여 (1) 혹은 (2)와 같이 복잡한 공식을 풀지 않고도 간단하게 tau-dot이라는 광학정보의 값을 탐지함으로써 지각할 수 있다는 사실이다.

이처럼 tau-dot 값이 -0.5라는 수치에서 '충돌(collision)'과 '멈춤(no collision)'의 두 범주로 분리된다는 가설을 Lee(1976)가 처음 제안한 이후 많은 연구에서 인간을 포함한 많은 동물이 이 광학정보에 민감할 뿐 아니라, 물체에 접근하는 동안 tau-dot 값에 근거하여 제동(braking) 행동을 조절한다는 사실을 보여주었다(Kim, Turvey, & Carello, 1993; Kim & Turvey, 1998; Lee, Young, & Rewt, 1992; Rock & Harris, 2006; Treffner, Barrett, & Petersen, 2002; Yilmaz & Warren, 1995).

본 연구는 이 광학정보에 대한 민감성을 아동들을 대상으로 검증해 보고자 시도되었다. 이 목적을 위해 3차원 가상공간에서, 승용차 혹은 트럭이 공장과 창고건물들이 들어선 4차선 도로에서 관찰자를 향해 다가오는 상황(실험 1)과 관찰자가 정지 신호판을 향해 접근하는 상황(실험 2)을 묘사하는 자극이 사용되었다. 이때 움직이는 물체(실험 1: 차량; 실험 2: 관찰자)는 일정한 tau-dot 값을 유지하면서 정지된 대상(실험 1: 관찰자; 실험 2: 정지 신호판)을 향해 접근하였다. 관찰자로 하여금 충돌상황(tau-dot≥-0.5에서 관찰자 앞에서 멈춤; tau-dot<-0.5에서 관찰자와 충돌)을 보고하게 하여 tau-dot 값에 대한 민감성을 검증해보고자 시도하였다. 실험은 5세에서 13세까지 아동들을 대상으로 시행되었다.

## 실험 1

### 참가자

대구, 울산, 경주, 창원지역의 어린이집, 유치원, 청소년 문화의 집, 학교 및 학원에 재학하거나 수강 중인 5세에서 13세 사이의 어린이 100명이 실험에 참여하였다. 참가자들의 인구통계학적 특징이 표 2에 제시되었다. 대부분 어린이집과 유치원에 재학 중인 어린이들의 친구 관계 형성, 수업 진행 등이 한국 나이에 의거하여 이루어지는 점을 고려하여 어린이들의 나이 분류는 한국 나이에 의거하

표 2. 실험 1에 참가한 참가자들의 인구통계학적 특성

| | 연령 집단(세) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 합계 |
| 인 원(명) | 11 | 11 | 11 | 10 | 11 | 12 | 10 | 12 | 11 | 99 |
| 성 별(남/여) | 4/7 | 6/5 | 6/5 | 5/5 | 3/8 | 5/7 | 3/7 | 6/6 | 4/7 | 42/57 |



www.kci.go.kr

였다. 특히 5~7세 아동들은 학령 전 미취학 아동들이며, 8세에서 13세까지의 아동들은 초등학교 재학인 아동들이다.

참가자들은 본인과 부모 또는 후견인의 허락을 받은 뒤 실험에 참가하였으며, 실험에 참가한 대가로 보상품(캔디와 같은 과자류)을 제공받았다. 참가자들은 모두 정상시력(나안 또는 교정)을 보유하였으며, 모두 언어-운동장애나 신경계통 질환 증상이 없는 정상아동들이었다. 극단적으로 편향된 반응을 보인 1명의 자료는 분석에서 제외했다.

## 실험도구 및 자극재료

실험 자극은 3차원 가상현실 제작도구인 Vizard (WorldViz, Santa Barbara, CA, USA)로 제작되었으며, 주파수 60Hz, 해상도 1920 × 1080로 설정된 32인치 LED 모니터(LG 32LD350)로 제시되었다. 참가자들의 두부는 고정되지 않았지만, 모니터와의 거리를 60cm로 유지하도록 하였다. 이 거리에서 디스플레이 영역은 60.5° × 36.4°의 시각도를 이루었다.

그림 2. 실험 1에서 사용된 자극. 승용차와 작은 건물 배경(상); 트럭과 큰 건물 배경(하)

실험 자극으로 공장과 창고건물들이 들어선 4차선 도로에서 승용차 또는 트럭이 관찰자를 향하여 다가오는 상황을 시연한 장면이 사용되었다(그림 2). 승용차는 2.09m(폭) × 1.50m(높이) × 4.11m(길이)의 크기로, 트럭은 2.59m(폭) × 4.28m(높이) × 15.82m(길이)의 크기로 제작되었다. 두 차량의 정면 면적을 비교할 때 트럭(11.08$m^2$)이 승용차(3.14$m^2$)에 비해 3.5배 정도 크게 묘사되었다. 도로 배경의 건물들 또한 조건에 따라 2.67배 이상 확대되어, 물체 크기와 배경 크기의 효과도 함께 규명하였다.

배경(공장, 창고건물 및 4차선 도로)은 항상 화면에 제시되어 있었으며, 실험자가 스페이스 바를 누르면 차량이 화면에 나타나는 것과 동시에 관찰자를 향해 접근해 오기 시작했다. 차량은 관찰자로부터 31.25m와 41.67m에서 각각 45km/h(12.5m/s)와 60km/h(16.67m/s)의 속도로 관찰자를 향해 다가오기 시작했다. 출발 후 차량은 -0.1, -0.26, -0.42, -0.58, -0.74 및 -0.90의 tau-dot 값으로 감속하면서 관찰자를 향해 접근해 왔다. 이 6개의 tau-dot값 중 -0.1, -0.26, -0.48값은 접근 도중 충분히 감속하여 충돌없이 관찰자 앞에서 멈추는 상황을, -0.58, -0.74, -0.9값은 불충분한 감속 때문에 관찰자와 충돌하는 상황을 나타낸다.

## 실험설계

4개의 변인, 즉 출발속도(혹은 출발거리), 차량의 유형, 배경의 크기 및 tau-dot이 실험에서 조작되었다. 수집한 자료는 5세에서 13세 사이의 각 나이별로 분석하였다. 따라서 실험은



www.kci.go.kr

9(나이: 5～13세) × 2(출발속도: 45km/h vs 60km/h) × 2(차량의 유형: 승용차 vs 트럭) × 2(배경의 크기: 3.14m2, 11.08m2) × 6(tau-dot; -0.1, -0.26, -0.42, -0.58, -0.74, -0.9)의 혼합요인으로 설계되었다. 출발속도, 차량의 유형, 배경의 크기 및 tau-dot은 피험자내 변인, 나이는 피험자간 변인으로 조작되었다.

### 실험절차

실험은 어린이집, 유치원, 청소년 문화의집, 학교, 학원 등에서 진행되었다. 유아 및 아동 참가자들은 한 명씩 독립된 공간에서 다른 사람들의 방해를 받지 않고 소음을 통제한 환경에서 시행되었다. 실험을 진행하기 전 보조실험자가 아이들을 한 명씩 실험실에 데리고 오면, 실험자는 모니터 정면에서 60cm 정도 떨어진 좌석에 앉도록 지시하였다. 그 후 실험자는 참가자들에게 위험한 충돌상황과 충돌하지 않고 안전하게 관찰자 앞에 멈추는 상황을 예시를 들어 자세히 설명하였다. 충돌상황을 잘 이해하지 못하는 유아들에게는 실제 자동차 미니어처 등을 이용하여 설명하였다. 참가자들에게 두 충돌여부에 대해서 설명해 준 뒤, 충돌여부가 확연히 차이나는 연습시행(멈춤: tau-dot=-0.02과 -0.06; 충돌: tau-dot=-0.94와 -0.98)을 2번 반복해서 8번 실시하여 본 연구 과제에 대해서 충분히 이해시켰다. 연습시행을 시도한 뒤에도 실험을 제대로 이해하지 못한 참가자들에게는 실험 전반을 재설명한 뒤, 다시 연습시행을 진행하였다. 2번의 반복 시도에도 실험 과제를 이해하지 못하는 어린이들은 실험에서 제외하였다.

실험은 출발속도별로 나누어 2구획으로 진행되었으며, 각 구획은 24시행으로 구성되었다. 속도의 순서는 참가자별로 무선화 되었다. 한 구획이 끝난 뒤, 짧은 휴식을 취하게 하였으며, 휴식 후 2번째 구획을 진행하였다.

본 실험의 각 시행에서는 관찰자를 향해 차량이 감속하며 다가오는 장면이 제시되었다. 감속의 정도는 출발 속도와 tau-dot에 의해서 결정되었다. 차량은 tau-dot 값에 따라 관찰자를 향해 접근하였으며, 관찰자 앞 1.6m에서 사라졌다. 이때 참가자들은 차량이 사라진 이후에도 다가오던 양상으로 계속해서 접근할 경우, 차량과 자신이 충돌할 것인지 아니면 자신 앞에 안전하게 멈출 것인지를 '충돌'과 '멈춤'의 두 반응으로 구두 보고 하게 하였다.

실험은 참가자 좌측에 위치한 실험자가 자극의 시작, 반응의 기록을 포함한 전 과정을 진행하였다.

### 자료분석

본 연구는 양자강제선택(two-alternative forced choice, 2AFC) 과제를 사용하여 진행되었다. 이 절차는 판단이 쉽고, 단순하다는 장점이 있다. 하지만, 두 개의 선택 중 하나만 선택하여 일관적으로 반응하더라도 50%의 정확도에 도달할 수 있다는 문제점도 내재하고 있다. 하나의 반응만 한결같이 선택한 8세 아동 1명의 자료는 분석에서 제외했다.

우선 참가자들의 반응의 정확성을 tau-dot 가설에 의거하여 평가하기 위해서 tau-dot값이 -0.5이상 일 때 '멈춤'(혹은 안전한 접근)으로, tau-dot값이 -0.5미만 일 때 '충돌'(혹은 위험한 접근)로 반응한 경우를 정확 반응, 그렇지 않을 경우 오 반응으로 처리하여 분류한 뒤, 그 결과를 우연의 반응 수준인 50%와 단일표본 t 검증을 실시하여 비교하였다.



www.kci.go.kr

실험에서 조작한 변인들의 효과들을 보다 자세히 분석하기 위해서 '멈춤' 반응은 '0'으로, '충돌'반응은 '1'로 코딩한 뒤, 그 자료를 9(나이) × 2(출발속도) × 2(차량크기) × 2(건물크기) × 6(tau-dot) 혼합설계변량분석(Mixed-Design Analysis of Variance)을 시행하였다.

## 결과 및 논의

각 연령층의 반응을 tau-dot 가설에 의거하여 정확도 반응(tau-dot이 -0.5 미만일 때는 충돌이 정확 반응이고, -0.5 이상이면 멈춤이 정확 반응)으로 변환시킨 뒤, 그 결과를 우연 수준인 50%와 단일표본 t 검증을 실시하여 비교한 결과가 표 3에 제시되었다. 표 3에서 볼 수 있듯이, 모든 연령집단의 반응이 우연 수준과 유의하게 차이 났다. 즉 어린이들의 반응이 무작위로 이루어지지 않았다는 사실을 확인할 수 있었다. 심지어 5세 아동들도 반응의 정확성이 69%로 가장 낮았지만, 이런 반응 수준 또한 우연 수준보다 높았다. 5세 어린이들도 tau-dot을 명시하는 광패턴을 어느 정도 식별할 수 있으며, 따라서 다가오는 물체가 자신과 충돌하여 자신에게 손상을 입힐 것인지, 아니면 자신 앞에 안전하게 멈추어 설 것인지를 어느 정도 판별할 수 있다는 것을 시사한다.

표 3. 실험 1의 충돌탐지 정확반응을 우연 수준과 단일표본 t 검증으로 비교한 결과

| 연령 | 평균 | *df* | *t* |
|---|---|---|---|
| 5 | 0.69(0.11) | 10 | 5.54*** |
| 6 | 0.77(0.10) | 10 | 8.87*** |
| 7 | 0.77(0.12) | 10 | 7.56*** |
| 8 | 0.83(0.08) | 9 | 12.54*** |
| 9 | 0.81(0.08) | 10 | 12.38*** |
| 10 | 0.83(0.03) | 11 | 36.15*** |
| 11 | 0.87(0.07) | 9 | 17.82*** |
| 12 | 0.85(0.10) | 11 | 11.98*** |
| 13 | 0.88(0.04) | 10 | 28.28*** |

***$p$ < .001 ( )는 표준편차

이와 더불어 표 3은 연령의 증가와 함께 반응의 정확성 또한 상승한다는 사실도 함께 보여준다. 이런 상승효과는 11세에서 정점에 도달하여 더 이상 증가하지 않는 것 같다. 이런 정확도의 변화 양상을 검증하기 위해서 5세에서 13세까지의 정확도 반응을 일원변량분석으로 비교 분석하였다.

분석결과, 연령간의 차이가 나타났다, $F(8,90) = 5.33$, $p < .001$. Tukey HSD 사후 검증 결과 5, 6, 7세가 한 집단으로, 6~12세가 또 다른 집단으로, 그리고 마지막으로 7~13세가 또 하나의 집단으로 분류되었다. 6세와 7세 집단이 이중으로 분류되어 연령의 분류가 명확하지 않지만, 개괄적으로 볼 때 연령 간 차이가 5세에서 6세로의 전환시기와 7세에서 8세로의 전환시기에서 충돌탐지능력 즉 tau-dot에 대한 민감도에서 변화가 나타난다고 잠정적으로 유추해 볼 수 있다. 크게 보아, tau-dot에 대한 민감성이 미취학 아동들과 초등학교 재학 중인 아동들 사이에서 이분되는 것으로 나타난다.

이런 충돌탐지에 대한 연령 간의 차이를 보여주기 위해서 그 반응 양상을 5~7세 연령층과 8~13세 연령층으로 분리하여 그림 3 위 측과 아래 측 패널에 각각 제시하였다. 그림 3 위 측 패널에서 보여주듯이, 낮은 연령의 어린이들은 tau-dot의 변화를 '충돌'과 '멈춤'이



www.kci.go.kr

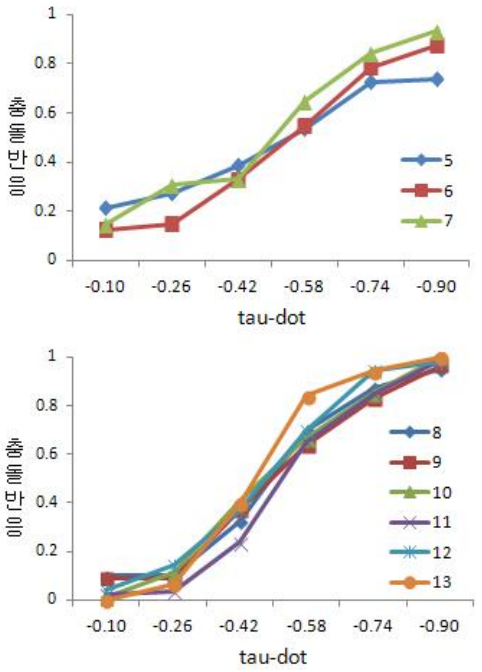


그림 3. 5~7세 연령층(상)과 8-13세 연령층(하)의 충돌판단 반응

라는 2개의 범주로 분리하는 정도가 취약한 반면, 8세 이상의 아동들은 범주 지각(categorical perception)에서 나타나는 일반적인 반응 유형에 더 밀접하게 근접하는 양상을 보인다. 여기서 5세 아동들의 낮은 기울기가 특히 눈에 띈다.

변인들의 효과를 더 자세히 검증하기 위해서 참가자의 충돌판단을 0과 1로 코딩한 뒤, 그 결과를 9(연령) × 2(출발속도) × 2(차량유형) × 2(배경크기) × 6(tau-dot)의 혼합설계변량분석으로 분석하였다. 분석결과, 출발속도[$F(1,90) = 7.16$, $p < .05$]와 차량유형[$F(1,90) = 36.97$, $p < .001$], tau-dot[$F(5,450) = 512.33$, $p < .001$]의 주효과가 통계적으로 유의하게 나타났지만, 연령의 주효과[$F(8,90) < 1$, ns]는 나타나지 않았다. 하지만, 연령은 배경크기[$F(8,90) = 2.16$, $p < .05$]와 tau-dot[$F(40,450) = 2.75$, $p < .001$]과 상호작용하였으며, 출발속도, tau-dot[$F(40,450) = 7.16$, $p < .05$]과 차량유형, tau-dot[$F(40,450) = 1.53$, $p < .05$]과 3원상호작용하였다. 마지막으로, 차량유형과 tau-dot의 상호작용[$F(5,450) = 4.13$, $p < .001$] 또한 유의하였다.

두 2원상호작용에 대한 원인을 알아보기 위해서 단순주효과분석을 실시하였다. 우선 연령과 배경크기의 상호작용에 대한 단순주효과 분석결과, 배경크기의 주효과[$F(8,90) < 1$, *ns*]는 유의하지 않았지만 연령의 주효과는 8세[$F(1,90) = 3.37$, $p = .06$]와 9세[$F(1,90) = 3.95$, $p = .05$]에서 유의한 경향을 보였다. 연령과 tau-dot의 상호작용에 대한 단순주효과 분석결과, 연령의 효과가 모든 연령에서 유의하게 나타났으며($p < .001$), tau-dot의 효과는 tau-dot=-0.1[$F(8,90) = 2.40$, $p < .05$], tau-dot=-0.26[$F(8,90) = 2.50$, $p < .05$], tau-dot=-0.9[$F(8,90) = 6.18$, $p < .001$]에서 나타났다. 그림 3에서 보여주듯이, 5~7세 아동들은 tau-dot=-0.1과 -0.26인 조건(안전한 멈춤 조건)에서 각각 17%와 24%로 충돌로 오판했던 반면, 8~13세 아동들은 오판의 정도가 5%와 9%로 감소하였다. 아울러 tau-dot=-0.9(위험한 충돌 조건)에서 5~7세 아동들은 판단의 15%가 안전한 멈춤으로 오인했지만, 8~13세 아동들의 오판율은 2%로 감소하였다. 이런 결과는 학령 전(5~7세) 아동들의 낮은 tau-dot 지각능력을 반영하는 것으로 볼 수 있다.

연령, 출발속도, tau-dot의 3원상호작용에 대한 원인 규명을 위해서 반응 결과를 출발속도로 분리하여 각 출발속도에서 연령과 tau-dot의 상호작용에 대한 검증을 실시하였다. 우선, 출발속도가 45km/h인 경우 tau-dot=-0.9에서 5



www.kci.go.kr

세와 7~13세에서 차이[$F(8,90) = 6.29$, $p < .001$]가 발견되었다. 확실히 충돌하는 상황(tau_dot=-0.9)에서 5세 아동들은 29%가 안전하게 멈추는 것으로 판단한 반면, 7~13세 아동들은 2%만 오판단을 내렸다. 출발속도가 60km/h인 경우, tau_dot=-0.1은 5세와 10~13세에서 차이[$F(8,90) = 3.55$, $p < .001$]가, tau_dot=-0.9는 5세와 9~13세에서 차이[$F(8,90) = 3.81$, $p < .001$]가 발견되었다. 안전하게 자신의 앞에서 정지하는 상황(tau_dot=-0.1)임에도 불구하고 5세 아동들은 30%가 충돌하는 것으로 인식한 반면, 10~13세 아동들은 그 상황을 100% 정확하게 인식하였다. 반면 충돌하는 상황(tau_dot=-0.9)에서 5세 아동들은 전과 같이 23%가 안전하게 멈추는 것으로 오판하였지만 9~13세 아동들은 1%만 오류를 범하였다. 무엇보다 이 3원상호작용은 5세 어린이들이 tau_dot 외에 출발속도에도 영향을 받아 발생한 것으로 간주할 수 있다. 특히 tau_dot=-0.1 조건에서 출발속도가 45km/h일 때 충돌 오인율이 14%인 반면, 60km/h에서는 30%로 증가한 결과가 이 3원상호작용의 직접적인 원인으로 간주된다.

마지막으로 차량유형과 tau_dot의 2원상호작용과 연령, 차량유형, tau_dot의 3원상호작용을 살펴보면, 우선 차량유형과 tau_dot의 2원상호작용이 그림 4에 제시되었다. 단순주효과 분석결과 tau_dot의 주효과가 승용차와 트럭 두 조건 모두에서 유의하게 나타났지만($p < .001$), 차량유형의 주효과는 tau_dot=-0.1[$F(1,90) = 4.48$, $p < .05$] tau_dot=-0.26[$F(1,90) = 10.05$, $p < .01$], tau_dot=-0.42[$F(1,90) = 20.81$, $p < .001$], tau_dot=-0.58[$F(1,90) = 18.14$, $p < .001$], tau_dot=-0.74[$F(1,90) = 14.19$, $p < .001$]에서 나타났다. 그림 4에서 보여주듯이, 이 상호작

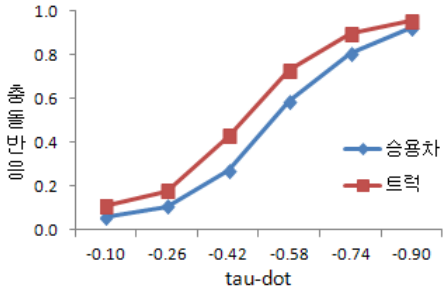


그림 4. 차량유형에 따른 충돌탐지 반응 차이

용은 전반적으로 승용차(46% 충돌로 지각)에 비해 트럭이 접근(55% 충돌로 지각)할 때 충돌로 지각하는 경향이 높아지는 결과를 반영하는 것으로 볼 수 있다. 이런 결과는 큰 물체가 작은 물체보다 더 빨리 도착하는 것으로 지각한다는 연구결과와 일치한다(Caird & Hancock, 1994; van der Kamp, Savelsbergh, & Smeets, 1997; Smith, Flach, Dittman, & Stanard, 2001). 물체가 빨리 접근한다고 느낄수록 그 물체와 충돌할 것으로 지각할 가능성이 높다.

동일한 맥락에서 연령, 차량유형, tau_dot의 3원상호작용도 이해가 가능하다. 우선 위에서 논의한 첫 번째 3원상호작용과 같이 이 3원상호작용 또한 결과를 차량유형으로 분리하여 각 차량유형에서 연령과 tau_dot의 상호작용을 살펴보았다. 승용차인 경우 tau_dot=-0.26[$F(8,90) = 2.76$, $p < .05$]일 때, 7세(30% 충돌로 오판)와 10세(2% 충돌로 오판), 7세와 13세(2% 충돌로 오판)에서 차이가 유의하였으며, tau_dot=-0.9[$F(8,90) = 3.86$, $p < .001$]일 때, 5세(21% 멈춤으로 판단)와 9~13세(1% 멈춤으로 오판)에서 유의한 차이가 나타났다. 트럭인 경우, tau_dot=-0.1[$F(8,90) = 2.22$, $p < .05$]일 때 5세(32% 충돌로 오판)와 10~13세(3% 충돌로 오판)에서, tau_dot=-0.58[$F(8,90) = 2.59$, $p < .05$]일 때 5세와 13세, 6세와 13세에서, tau_



www.kci.go.kr

dot=-0.9[$F(8,90) = 4.28$, $p < .001$]일 때 5세(23% 멈춤으로 오판)와 7~13세(2% 멈춤으로 오판)에서 유의한 차이가 나타났다. 요약하면, 차량유형과 tau-dot의 상호작용에서 발견하였듯이 차량유형의 효과가 5~7세 어린이들에게서 tau-dot조건에 따라 다르게 나타난 결과가 이 3원상호작용을 유발시킨 원인으로 간주된다.

종합하면 실험 1에서는 tau-dot이라는 복합적인 광패턴과 그 광패턴이 의미하는 충돌여부에 대한 민감성을 5세에서 13세까지 아동들을 대상으로 검증하였다. 검증 결과 5세 아동들을 포함하여 모든 연령층의 아동들이 이 광패턴을 식별할 수 있다는 사실을 발견했다. 하지만, 5세에서 7세 아동들의 식별력은 8세에서 13세까지의 아동들에 비해 확연히 낮았다. 특히 5세 아동들의 식별력이 가장 낮은 것으로 나타났다. 이 광패턴에 대한 지각능력을 특정 연령을 기준으로 분명히 분리시키는 것은 현재 결과만으로는 어렵지만, 그럼에도 5~7세의 학령 전 아동들의 지각능력이 8세 이상의 초등학교 재학 중인 아동들과 차이가 나며, 다시 학령 전 아동 중 5세 아동들이 6~7세 아동들에 비해 상대적으로 민감성이 떨어진다고 실험 1 결과에 근거하여 잠정적으로 결론을 내릴 수 있을 것 같다.

실험 1에서는 차량이 정지한 관찰자를 향해 접근하는 상황이 묘사되었다. 충돌은 그 반대 상황, 즉 관찰자가 정지된 물체를 향해 접근할 때도 발생한다. 그렇다고 하여(접근하는 물체가 관찰점에 형성하는 물체각의 팽창 정도로 형성되는) tau-dot의 형태 자체가 달라지는 것은 아니다. 하지만, 이 두 상황은 광학적으로 완전히 다른 양상을 발생시킨다. 관찰자 주변에는(움직이거나 정지하고 있는) 많은 사물들이 있다. 따라서 정지한 관찰자를 향해 차량이 접근하거나 주변에 다가오는 차량 외에 움직이는 물체가 없을 경우 물체의 정면이 관찰점과 이루는 물체각만 변화(팽창)하고(그림 1 참조) 나머지 주변 물체들이 형성하는 물체각들은 변화하지 않는다. 그에 반해 관찰자가 특정 목표를 향해 접근할 경우 주변에 움직이는 물체가 없다하더라도 관찰자의 접근으로 인하여 주변에 소재하는 모든 물체들이 관찰점과 이루는 물체각이 변화하게 된다. 전자를 광흐름(optic flow)의 국소 변형(local transformation), 후자를 전역 변형(global transformation)이라 지칭한다(Gibson, 1979).[2)]

실험 1에서는 광흐름의 국소 변형으로 구현된 tau-dot에 대한 민감성을 검증해 보았다. 실험 2에서는 광흐름의 전역 변형으로 구현된 tau-dot에 대한 민감성을 검증해 보고자 한다.

## 실험 2

실험 2에서는 관찰자가 정지된 물체를 향해 접근할 때 발생하는 광흐름의 전역 변형 속에서 구현되는 tau-dot에 대해서 어린이들이 얼마나 민감한지 검증해보고자 시도되었다.

2) 이런 광흐름 속에 담겨있는 변화(optical perturbation)를 정보로 활용할 수 있다. 즉 광흐름 속에서 국소 변형을 탐지할 경우 관찰자는 주변에 움직이는 물체가 있다는 사실을, 전역 변형을 탐지할 경우 자신이 움직인다는 사실을 인식할 수 있다. 특히 후자의 이런 정보적인 면을 강조하여 자기 움직임 지각(self-motion perception)이라고 지칭한다.



www.kci.go.kr

표 4. 실험 2에 참가한 참가자들의 인구통계학적 특성

| | 연령 집단(세) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 11 | 12 | 13 | 합계 |
| 인원(명) | 14 | 12 | 14 | 16 | 12 | 13 | 17 | 17 | 115 |
| 성별(남/여) | 8/6 | 9/3 | 5/9 | 4/12 | 4/8 | 3/10 | 11/6 | 10/7 | 54/61 |

### 참가자

울산, 경주지역의 유치원 및 학원, 창원지역의 청소년문화의집에 재원 중인 5세에서 13세 사이의 어린이 115명이 실험에 참여하였다. 그러나 10세 어린이들이 모집되지 않아 10세 어린이들은 참가시키지 못하였다. 참가자들의 인구통계학적 특징을 표 4에 제시하였다. 참가자들은 본인과 부모 또는 후견인의 허락을 받은 뒤 실험에 참가하였으며, 실험에 참가한 대가로 보상품(캔디와 같은 과자류)을 제공받았다. 참가자들은 모두 정상시력(나안 또는 교정)을 보유하였으며, 모두 언어-운동장애나 신경계통 질환 증상이 없는 정상아동들이었다.

### 실험도구 및 자극재료

실험 2에서 검증하고자 하는 상황은 광흐름의 전역 변형이다. 즉 관찰자의 이동으로 인하여 주변의 정지된 모든 사물들의 표면이 관찰점과 형성하는 물체각 모두가 변화(팽창, 수축, 뒤틀림 등)한다. 실험 1에서 사용한 자극에 전역 변형을 시도하였을 때, 컴퓨터 그래픽 카드에 많은 부하가 걸려 주파수가 일정하게 유지되지 않았다. 따라서 이미지를 단순화시켜 그래픽 부하를 줄이기 위해서 격자를 그린 지면 위에 3개의 정지신호를 제시한 뒤 정지신호를 향해 접근하는 장면을 묘사하였다(그림 5).

그림 5. 실험 2에서 사용된 자극 예제

자극은 실험 1에서와 같이 주파수 60Hz, 해상도 1920 × 1080으로 설정된 32인치 LED 모니터로 제시되었으며, 참가자들은 모니터에서 60cm 정도 떨어져 자극을 관찰했다.

실험 1에서 적용한 차량유형과 배경크기에 상응하는 변화를 유도하기 위해서 정지판의 크기와 지면 격자의 크기를 변화시켰다. 정지판은 반지름 30cm와 60cm의 붉은색 팔각형에 검은색 ×표가 그려진 모양으로 형상화되었으며[3], 지면으로부터 1m 높이에 위치하였다. 좌우의 정지판은 중앙 정지판에서 2m 떨어진 위치에 제시되었다. 가상 지면은 가로 400m

3) 도로교통 표지와 신호에 관한 국제 표준화 규격(Vienna Convention on Road Signs and Signals)에 따르면 정지 표지판은 지름 0.6, 0.9 혹은 1.2m로 규정하고 있지만, 각 국 마다 조금씩 차이가 있다.



www.kci.go.kr

깊이 100m로 설정되었으며, 그 위로 2m×4m와 4m×8m의 격자가 조건에 따라 그려졌다(지면 격자크기 조작은 Andersen, Cisneros, Atchley와 Saidpour, 1999,이 충돌탐지에 tau-dot 이외에 속도의 효과를 검증하기 위해 사용한 변인과 유사하다). 관찰점은 정지판으로부터 31.25m와 41.67m에서 각각 45km/h(12.5m/s)와 60km/h (16.67m/s)의 속도로 출발하여, -0.1, -0.26, -0.42, -0.58, -0.74 및 -0.90의 tau-dot 값으로 감속하면서 정지판을 향해 접근해 갔다.

### 실험설계

4개의 변인, 즉 출발속도(혹은 출발거리), 정지판의 크기, 지면격자의 크기 및 tau-dot이 실험에서 조작되었다. 수집한 자료는 8(나이: 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13세) × 2(출발속도: 45km/h vs 60km/h) × 2(정지판크기) × 2(격자크기) × 6(tau-dot; -0.1, -0.26, -0.42, -0.58, -0.74, -0.9)의 혼합요인으로 설계되었다. 출발속도, 정지판 크기, 격자 크기 및 tau-dot은 피험자내 변인, 나이는 피험자간 변인으로 조작되었다.

### 실험절차

실험 1에서 사용한 동일한 절차에 따라 실험을 진행하였다. 특히 참가자들에게 실험 전 두 충돌여부에 대해서 구두 및 연습시행을 통해 충분히 설명해 주었으며, 실험 1에서와 같이 실험은 출발속도로 나누어 2구획으로 진행하였다.

## 결과 및 논의

실험 1에서와 같이 결과 분석을 위해 각 연령층의 반응을 tau-dot 가설에 의거하여 정확도 반응으로 변환시켰으며, 그 결과를 우연 수준인 50%와 단일표본 t 검증을 실시하여 비교하였다(표 5). 우선 실험 1에 비해 정확성이 상대적으로 저하된 사실을 쉽게 발견할 수 있다. 특히 눈에 띄는 결과는 5세 아동들의 반응이 우연 수준과 차이가 나지 않았다는 사실이다. 아울러 고학년(11, 12, 13세) 아동들의 지각 수준 또한 실험 1(87%)에 비해 상대적으로 저하(83%)된 사실을 발견할 수 있다. tau-dot에 대한 민감성이 국소 변형에 비해 전역 변형으로 구현될 경우 저하된다는 사실을 시사한다.

표 5. 실험 2의 충돌탐지 정확반응을 우연 수준과 단일표본 $t$ 검증으로 비교한 결과

| 연령 | 평균 | *df* | *t* |
|---|---|---|---|
| 5 | 0.53(0.08) | 13 | 1.60 |
| 6 | 0.64(0.14) | 11 | 3.35** |
| 7 | 0.67(0.12) | 13 | 5.09*** |
| 8 | 0.77(0.08) | 15 | 13.64*** |
| 9 | 0.80(0.09) | 11 | 11.38*** |
| 11 | 0.83(0.06) | 12 | 20.29*** |
| 12 | 0.83(0.05) | 16 | 24.89*** |
| 13 | 0.84(0.05) | 16 | 27.29*** |

**$p$ < .01, ***$p$ < .001 ( ) 표준편차

연령집단 간의 정확도를 비교하기 위해서 일원변량분석을 실시하였다. 분석결과, 연령 간의 차이가 나타났다, $F(7,107) = 23.63$ $p$ < .001. Tukey HSD 사후 검증을 실시한 결과, 5세가 한 집단으로, 6, 7세가 또 다른 집단으로, 그리고 마지막으로 8~13세의 초등학생집단으로 분류되었다. 실험 1과 달리 실험 2의 결과는 tau-dot에 대한 민감도에서 어린이들을 5세,



www.kci.go.kr

6~7세, 그리고 8세 이상의 3집단으로 분명하게 분리시킨다.

보다 자세한 결과 분석을 위해서 8(연령) × 2(출발속도) × 2(정지판크기) × 2(격자크기) × 6(tau-dot)의 혼합설계변량분석을 시도하였다. 분석결과, 실험 1과 같이, 연령의 주효과[$F(7,107) < 1$, ns]는 나타나지 않았지만, 출발속도[$F(1,107) = 17.30$, $p < .001$]와 tau-dot[$F(5,535) = 333.82$, $p < .001$]의 주효과는 통계적으로 유의하게 나타났다. 그러나 연령은 tau-dot과 상호작용[$F(35,535) = 9.55$, $p < .001$]하였으며, 출발속도 또한 tau-dot과 상호작용[$F(5,535) = 5.67$, $p < .001$]하였다. 아울러 출발속도, 격자크기, tau-dot의 3원상호작용[$F(5,535) = 2.95$, $p < .05$] 또한 통계적으로 유의하였다.

실험 2에서 관찰된 연령 간의 충돌탐지 반응의 차이를 보여주기 위해서 충돌탐지 반응 결과를 5~7세 연령집단과 8~13세 연령집단으로 분리하여 그림 6 위 측과 아래 측 패널에 각각 제시하였다. 5~7세 아동들의 낮은 수행능력이 8~13세 아동들의 수행능력과 대조된다. 5세 아동들의 반응 곡선이 거의 평평한 점 또한 눈여겨볼 점이다. 연령과 tau-dot 상호작용에 대한 단순주효과분석 결과 역시 이런 점을 분명히 한다. 우선 tau-dot 효과가 5세를 제외한[$F(5,103) < 1$, ns] 모든 연령에서 발견되었다. 그에 비해 연령의 효과는 tau-dot=-0.1[$F(7,107) = 16.79$, $p < .001$], tau-dot=-0.26[$F(7,107) = 6.67$, $p < .001$], tau-dot=-0.74[$F(7,107) = 5.05$, $p < .001$], tau-dot=-0.90[$F(7,107) = 10.63$, $p < .001$]에서 발견되었다. 극명하게 안전한 멈춤(tau-dot=-0.1과 -0.26)과 위험한 충돌(tau-dot=-0.74와 -0.9)에서 5~7세 아동들의 낮은 수행능력이 이 상

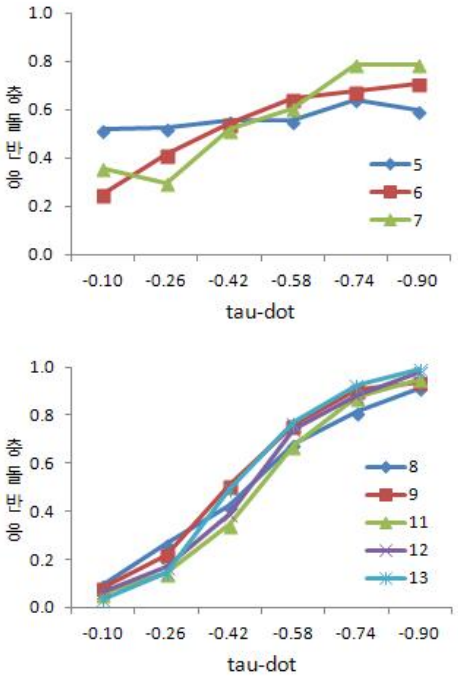


그림 6. 5~7세 연령층(상)과 8~9세 및 11~13세 연령층(하)의 충돌판단 반응

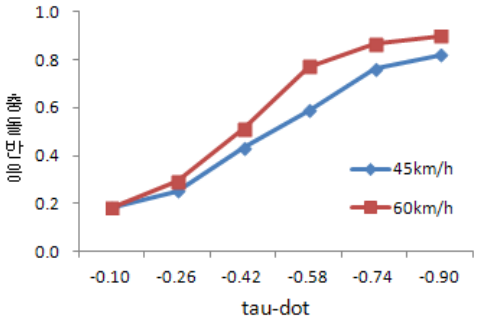


그림 7. 실험 2에서 나타난 출발속도와 tau-dot의 상호작용

호작용을 유발시킨 것으로 쉽게 추정할 수 있다. 특히 중요한 사실은 전역 변형으로 표출된 tau-dot에 대한 민감성이 5세 아동들에게는 결여된 것으로 보인다.

출발속도와 tau-dot의 상호작용이 그림 7에



www.kci.go.kr

제시되었다. 이 상호작용에 대한 단순주효과 분석은 속도의 효과를 tau-dot=-0.58[$F(1,107) = 29.54$, $p < .001$]과 tau-dot=-0.74[$F(1,107) = 13.55$, $p < .001$]에서 발견하였다. 특히 중간 정도의 tau-dot값에서, 빠른 출발속도(60km/h)로 접근할 경우, 그 접근을 좀 더 강한 충돌로 지각하는 경향이 높아진다는 사실을 반영한다. 이런 결과는 충돌탐지 및 감속 제동이 tau-dot뿐 아니라 속도의 영향을 받는다는 Andersen 등(1999)과 Rock과 Harris(2006)이 보고한 연구결과와 일치한다.

실험 2 결과를 종합하면, 광패턴 tau-dot과 그 광패턴이 명시하는 충돌여부에 대한 지각능력이 국소 변형으로 광흐름 속에서 구현될 때보다 전역 변형으로 구현될 경우 저하되는 것으로 나타났다. 특히 그 저하 양상이 5~7세 학령 전 아동들에게서 두드러졌다. 심지어 5세 어린이들은 그런 능력 자체가 감지되지 않았다. 실험 1의 결과와는 극히 대조적이다. 아울러 5세 아동들의 지각능력이 6~7세 아동들의 지각능력과 차이가 난다는 것 또한 실험 2 결과로 보다 명확해졌다.

하지만, 나이와 함께 지각능력 또한 성숙하는 것으로 보인다. 특히 학령 전 아동들에 비해 초등학교 재학 중인 8~13세 아동들의 tau-dot 지각능력은 크게 차이가 났다. 하지만, 초등학교 재학생 아동들 간의 차이는 크지 않았다. 이렇게 5~7세 아동들과 8~13세 아동들 간의 지각능력에서의 차이는 광흐름의 국소 변형(실험 1)과 전역 변형(실험 2)에 대한 민감성 모두에서 감지되었다. 하지만, 이런 지각능력이 13세 이후에는 어떻게 변화하는지에 대한 의문이 제기된다. 이 의문을 풀기 위해서 각 변형 유형에 대한 고학년(12~13세) 아동들의 수행능력을 대학생들의 수행능력과 비교하는 통제실험을 실시하였다.

## 통제실험

### 참가자

심리학개론을 수강하는 51명의 대학생들이 통제실험에 참가하였다. 그중 30명은 국소 변형 조건(실험 1)에, 21명은 전역 변형 조건(실험 2)에 참가하였다. 참가자들은 모두 정상시력(나안 또는 교정)을 보유하였다. 참가자들은 실험 참가에 동의하였으며, 참가 대가로 학점을 부여받았다.

### 실험도구, 자극, 설계 및 절차

실험 1과 2에서 사용된 도구, 자극 및 설계가 통제실험에서도 사용되었다. 절차 또한 실험자가 연습시행을 시킨 것 외에 참가자가 직접 실험을 진행했다는 점을 제외하면 동일하였다.

## 결과 및 논의

국소 변형 12~13세 아동들의 충돌탐지능력을 대학생집단과 비교한 결과, 정확도에서 전혀 차이를 발견하지 못했다(어린이: 86%; 대학생: 86%), $F(1,51) < 1$, *ns*. 2(연령) × 2(출발속도) × 2(차량크기) × 2(건물크기) × 6(tau-dot)의 혼합설계변량분석 또한 연령의 주효과를 발견하지 못하였으며[$F < 1$, ns], 다른 변인들과 상호작용도 하지 않았다.

전역 변형 12~13세 아동들의 정확도를 대



www.kci.go.kr

학생집단의 수행능력과 비교한 결과는 국소 변형 결과와 같이 차이가 나지 않았다(어린이: 83%; 대학생: 83%), $t(53) < 1$, *ns*. 2(연령) × 2(출발속도) × 2(정지판크기) × 2(격자크기) × 6(tau-dot)의 혼합설계변량분석 또한 연령의 주 효과를 발견하지 못했다. 그러나 연령은 정지판크기와 상호작용[$F(1,53) = 5.81$, $p < .05$]하였다. 대학생집단이 작은 정지판(반지름 30cm) 조건에서 보다 큰 정지판(반지름 60cm)조건에서 충돌로 판단하는 경향(56% vs 64%)이 더 높았다, $F(1,53) = 8.66$, $p < .01$. 정지판의 효과는 어린이집단에서는 나타나지 않았다. 왜 정지판크기 효과가 대학생집단에서만 나타났는지 그 이유는 분명하지 않다.

종합하면, 초등학교 고학년(12～13세) 아동들의 tau-dot 지각능력이 대학생들과 비교하였을 때 크게 차이가 나지 않는 것으로 통제실험 결과는 보여주었다. 실험 1과 2를 통해서 tau-dot 지각능력이 취학과 함께 한층 발달하지만, 그 후 더 이상 향상되지 않는 발달의 정점에 도달하는 것으로 본 연구 결과는 보여준다.

## 종합논의

OECD 회원국들의 교통사고 통계에 따르면 보행 중 교통사고로 사망하는 희생자 중 15세 이하의 어린이들이 차지하는 비중이 절대적으로 큰 것으로 나타난다. 다가오는 물체(차량)의 정면이 관찰점에 형성하는 물체각의 팽창여부를 탐지할 수 있는 지각능력은 교통사고 예방에 중요한 역할을 한다. 그에 못지않게 중요한 지각능력은 물체와의 충돌여부 탐지능력일 것이다. 다가오는 차량이 감속하여 보행자에 도달하기 전에 안전하게 멈출 것인지 아니면 보행자를 무시하고 질주할 것인지를 정확하게 감지될 경우, 보행자는 계속 횡단을 할 것인지 아니면 차량의 진로로부터 피할 것인지를 판단하여 안전을 추구할 수 있을 것이다.

Lee(1976)가 제안한 tau-dot은 접근하는 물체의 감속 정도를 명시하여 그 물체와 관찰자 간의 충돌여부를 직접 알려주는 광흐름 속에 담긴 광학정보이다. 특히 tau-dot값이 -0.5 이상일 때, 그 물체는 충분히 감속하여 관찰자 앞에 안전하게 멈추는 상태를, tau-dot값이 -0.5 이하일 때 그 물체의 감속은 불충분하여 관찰자와 심하게 충돌하는 상황을 명시한다. 따라서 관찰자는 접근하는 물체의 거리, 접근속도 및 감속도를 각각 추출하여 복잡한 공식을 풀지 않고도 간단하게 tau-dot이라는 광학정보의 값을 탐지함으로써 다가오는 물체와의 충돌여부를 지각할 수 있다. 이미 많은 연구에서 인간을 포함한 많은 동물이 이 광학정보에 민감할 뿐 아니라, 물체에 접근하는 동안 tau-dot 값에 근거하여 제동을 조절한다는 사실을 보여주었다(Kim et al., 1993; Lee et al., 1992; Rock & Harris, 2006; Treffner et al., 2002; Yilmaz & Warren, 1995).

본 연구는 tau-dot에 대한 민감성을 아동들을 대상으로 검증해 보고자 시도되었다. 연구는 실험 1과 2로 나누어 진행되었으며, 실험 1에서는 차량이 정지한 관찰자를 향해 접근하는 상황에서 발생하는 광흐름 속의 국소 변형으로 구현되는 tau-dot에 대한 민감성을, 실험 2에서는 관찰자가 정지된 물체를 향해 접근할 때 발생하는 전역 변형으로 구현된 tau-dot에 대한 민감성을, 5～13세 아동들을 대상으로 검증하였다.



www.kci.go.kr

실험 1 결과 5세 아동들을 포함하여 모든 연령층의 아동들이 이 광패턴을 식별할 수 있다는 사실을 발견했다. 하지만, 학령 전 아동들의 식별력이 취학 연령의 아동들보다 확연히 낮았다. 특히 5세 아동들의 식별력이 가장 낮은 것으로 나타났다.

전역 변형으로 구현된 tau-dot에 대한 민감성을 검증한 실험 2에서는 tau-dot이 국소 변형으로 구현될 때보다 지각능력이 저하되는 것으로 나타났다. 특히 5~7세 학령 전 아동들의 지각능력은 취학 연령 아동들에 비해 두드러지게 저하하였으며, 심지어 5세 아동들은 이 광패턴에 대한 민감성이 전혀 감지되지 않았다.

이런 결과는 tau-dot 지각능력이 나이와 함께 성숙하는 것을 시사한다. 특히 8~13세 아동들의 tau-dot 지각능력이 학령 전 아동들에 비해 큰 차이를 보였다. 하지만, 8~13세 아동들 간의 지각능력은 차이를 보이지 않았다. tau-dot 지각능력이 13세 이후에는 어떻게 변화하는지를 규명하기 위해서 고학년(12~13세) 아동들의 수행능력을 대학생들의 수행능력과 비교하는 통제실험을 시행하였다. 통제실험은 초등학교 고학년(12~13세) 아동들의 tau-dot 지각능력이 대학생들과 비교하였을 때 크게 차이가 나지 않는 것으로 나타났다. 이 연구를 통해 5~7세의 학령 전 아동들의 tau-dot 지각능력이 8~13세의 취학 아동들보다 현격하게 낮았으며, 다시 5세 아동들은 6~7세 아동들보다 민감성이 가장 낮은 것으로 나타났다. 그에 비해 8~13세 아동들의 지각능력은 성인과 비교하면 크게 차이나지 않았다.

### 연령에 따른 접촉시간 지각능력

그동안 많은 연구에서 아동들의 접촉시간 지각능력이 발달연령에 따라 변화하는 양상을 검증했다. 본 연구에서 발견된 tau-dot 지각능력의 변화추이를 이 연구 결과들에 비추어 해석해 보고자 한다. 앞서 기술하였듯이, tau-dot은 tau의 변화율이다. 비록 tau보다 더 복합적이지만, tau-dot에 대한 지각능력은 tau에 대한 민감성과 깊이 관련되었을 것으로 쉽게 추측할 수 있다.

최근 보고된 몇몇 연구에 국한하여 이 비교를 시도하고자 한다. 우선 Wann, Poulter 및 Purcell(2011)의 결과를 살펴보면, Wann 등은 물체(승용차)가 접근할 때 발생하는 물체각의 팽창 여부에 대한 민감성을 6~7세, 8~9세, 10~11세 아동들을 대상으로 검증하였으며, 그 결과를 성인들과 비교하였다.[4] 그 결과 나이가 증가할수록 팽창의 역수가 감소하는, 즉 민감성이 향상되었으며, 아동들의 민감성 또한 성인보다 낮았다는 결과를 보고했다.

그에 비해 Keshavara, Landwehr, Baures, Oberfeld 및 Hecht(2010)는 4~5세, 6~8세 및 9~10세 아동들을 대상으로 두 물체가 컴퓨터 화면을 가로질러 가는 상황을 제시한 뒤(물체는 전체 거리의 2/3 지점에 도착했을 때 사라진다), 어느 물체가 결승선에 먼저 도착하는지를 판단하게 하였다. 이때 목표에 가까운 물

4) Wann 등(2011)의 연구에 참가한 6~11세까지의 아동들의 나이는 생활연령을 나타낸다. 따라서 본 연구의 8~13세의 취학 아동들에 해당한다고 보아야 할 것이다. Wann 등은 실험에 참가한 아동들의 취학 여부는 보고하지 않았다. 아울러 이 연구에 참가한 성인들에 대한 자세한 정보 또한 보고하지 않았다. 대학생들이 참가한 것으로 추측할 수 있을 것 같다.



www.kci.go.kr

체가 먼저 도착하는 조건에서 4~5세 아동들은 80%를 맞추었지만, 6~10세 아동들은 성인들만큼 정확하게 판단하였다. 하지만, 목표에서 멀리 떨어진 물체가(빠른 속도로) 목표지점에 먼저 도착하는 조건에서는 성인들의 수행능력에는 변화가 없었지만, 아동들의 수행능력은 전반적으로 저하되었으며 아울러 각 연령집단의 수행능력 또한 서로 차이가 났다. 이런 결과에 근거하여 저자들은 접촉시간 지각이 발달연령의 증가와 함께 거리에 근거한 판단에서 속도에 근거한 판단으로 전이된다고 결론 내렸다. Benguigui, Broadrick, Baures 및 Amorim(2008) 또한 비슷한 연구에서 거리에 근거한 판단이 속도에 근거한 판단으로 전이되며 그 시기는 9세 정도에서 나타난다고 결론 내렸다.

마지막으로, Whitebread와 Neilson(2000)는 어린이들의 보행 기술이 시각탐색전략(visual search strategy)과 관련이 있는지를 4~5세(영국 교육제도에서 초등학교 1학년에 해당), 7~8세(초등학교 3학년) 및 10~11세(초등학교 6학년) 아동들을 대상으로 검증하였다. 횡단하기에 안전한 장소 탐색, 위험한 교통상황 인식 및 판단, 여러 방향들로부터 추출한 교통 상황에 대한 정보 통합 등의 과제를 실시한 결과, 7~8세경에 시각 전략에 있어서 전환이 발생한다고 결론 내렸다.

연구마다 상이한 과제 및 반응 측정 방식 때문에 직접적인 비교는 어렵지만, 그럼에도 도로횡단에 절대적으로 중요한 접촉시간 지각능력 및 시각탐색전략 등에서 발달연령과 함께 변화가 발생하며, 그 변화가 6~10세 정도에서 일어난다고 이 연구들의 결과에 근거하여 유추할 수 있을 것 같다. 사실 6세에서 10세까지의 아동들이 사망 또는 상해의 높은 위험에 노출되어있을 뿐 아니라, 성인 보행자보다 교통사고로 사망할 확률이 4배 이상 높은 것으로 나타나 있다(Struik, Alexander, Cave, Fleming, Lyttle & Stone, 1988; Thomson, 1996). 아울러 5세에서 7세까지 아동들의 보행 중 교통사고율은 높지만 10세 이상에서 위험이 급격히 감소되는 것으로 보고되고 있다(Keshavara, Landwehr, Baures, Oberfeld & Hecht, 2010; Routledge, Wright & Howarth, 1974). 교통사고 통계치들은 위의 연구 결과들과 맥락을 같이한다고 볼 수 있겠다.

### 어린이 교통안전 교육

하지만, 무엇보다 중요한 사실은 4~5세 아동들도 어느 정도의 지각능력을 겸비하고 있으며, 그런 능력이 개인차 때문에 다양하게 나타난다(Whiltebread & Neilson, 2000)는 발견이다. 사실 본 연구에서도 5세 아동들의 tau-dot 지각능력이 전역 변형으로 구현되었을 때는 발견되지 않았지만(실험 2), 국소 변형으로 구현되었을 때 어느 정도 신뢰성 있게 탐지된다는 사실(실험 1)을 발견하였다. 사실 도로 횡단에 더욱 중요한 지각능력은 국소 변형으로 구현되는 tau-dot, 즉 접근하는 차량과의 충돌여부이다.

이런 결과는 어린이 교통안전 교육에 시사하는 바가 크다. Thomson 등(2005)은 7세, 9세, 11세 아동들에게 컴퓨터로 시연된 교통 환경 속에서 도로 횡단에 대한 판단력을 훈련시킨 결과 모든 실험 연령집단에서 도로 교통 상황에 대한 개념적인 면뿐 아니라 실제 교통 상황에서의 행동으로 일반화되어, 도로 횡단 속도, 횡단에 필요한 시간 예측, 차량 간 간격 활용 등에서 통제집단보다 모두 향상된 결과



www.kci.go.kr

를 보였으며, 이렇게 학습된 결과는 8개월 후에도 계속 유지되는 것으로 보고했다.

이런 결과는 어린이들이 교통 상황을 다룰 수 있는 능력이 생물학적으로 제한되어 있기 때문에 교통안전교육이 어린이들이 그런 개념들을 수용할 수 있는 단계에 도달할 때까지 교육을 연기해야한다는 전통적인 관점과는 일치하지 않는다(Cross & Mehegan, 1988; Sandels, 1975). 특히 Thomson 등(2005)은 훈련의 효과가 모든 11세 집단 뿐 아니라 7세 및 9세 집단에서도 나타났다는 사실에 주목하여, 모든 연령층을 대상으로 교통안전교육이 시행되어야할 당위성을 강조한다.

이런 맥락에서 충돌여부를 명시하는 tau-dot에 대한 민감성을 확인한 본 연구 결과는 상당히 고무적이다. 기존의 교통안전교육에서 접촉시간 지각을 강조하였지만, 이와 병행하여 충돌여부에 대한 교육도 함께 첨가할 경우 어린이들의 교통안전을 더 향상시킬 수 있는 기반을 제공할 수 있을 것이다. 예컨대 안전하게 멈추는 상황을 정확하게 판단할 경우 그런 상황, 즉 멈춤 상황을 충돌로 오인하여 옆 차선으로 급히 이동하여 사고가 발생할 가능성을 감소시킬 수 있으며, 충돌 상황을 정확히 탐지할 경우 더 빠른 속돌로 횡단함으로써 사고를 미연에 방지할 수도 있기 때문이다. 하지만, 이에 앞서 이 광패턴이 학습으로 인하여 그 민감도가 향상될 수 있을지 어린이들을 대상으로 검증해야 할 것이다. 앞으로의 과제로 남겨 둔다.

## 참고문헌


도로교통공단 (2010). 교통사고 분석 자료집. 서울: 경신기획.

김남균 (2010). 성긴 광흐름 속에서 접촉시간 지각. 한국심리학회: 인지 및 생물, 22, 129-145.

Ampofo-Boateng, K., Thomson, J. A., Grieve, R., Pitcairn, T., Lee, D. N., & Demetre, J. D. (1991). A developmental and training study of children's ability to find safe routes to cross the road. *British Journal of Developmental Psychology, 11*, 31-45.

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.

Benguigui, N., Broderick, M. P., Baurès, R., & Amorim, M.-A. (2008). Motion prediction and the velocity effect in children. *British Journal of Developmental Psychology, 26*, 389-407.

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.

Caird, J. K., & Hancock, P. A. (1994). The perception of arrival time for different oncoming vehicles at an intersection. *Ecological Psychology, 6*, 83-109.

Connelly, M. L., Conaglen, H. M., Parsonson, B. S., & Isler, R. B. (1998). Child pedestrians' crossing gap thresholds. *Accident Analysis & Prevention, 30*, 443-453.

Cross, R. T., & Mehegan, J. (1988). Young children's conception of speed: Possible implications for pedestrian safety. *International Journal of Science Education, 10,* 253-265.




www.kci.go.kr

Demetre, J. D., Lee, D. N., Pitcairn, T. K., Grieve, R., Thomson, J. A., & Ampofo-Boateng, K. (1992). Errors in young children's decisions about traffic gaps: experiments with roadside simulations. *British Journal of Psychology, 83*, 189-202.

Department for Transport. (2010). *Pedestrian casualties in reported road accidents 2008: Road Accident Statistics Factsheet No. 3*. Retrieved January 10, 2013, from http://www.dft.gov.uk/pgr/statistics/datatablespublications/accidents/casualtiesgba/suppletablesfactsheets/pedestrian2008.pdf

Duperrex, O., Bunn, F., & Roberts, I. (2002). Safety education of pedestrians for injury prevention: A systematic review of randomized controlled trials. *British Medical Journal, 324*, 1145-1148.

Gelman, R., & Baillargeon, R. (1983) A review of some Piagetian concepts. In P. H. Mussen (Ed.), *Handbook of Child Development* (Vol. III, pp.167-230). New York: Wiley.

Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Boston: Houghton Mifflin.

Gray, R., & Regan, D. (1998). Accuracy of estimating time to collision using binocular and monocular information. *Vision Research, 38*, 499-512.

Hoffman, E. R., Payne, A. & Prescott, S. (1980). Children's estimates of vehicle approach times. *Human Factors, 22,* 235-240.

Keshavara, B., Landwehr, K., Baures, R., Oberfeld, D., & Hecht, H. (2010). Age-correlated incremental consideration of velocity information in relative time-to-arrival Judgment. *Ecology Psychology, 22*, 212-221.

Kim, N.-G., & Grocki, M. J. (2006). Multiple sources of information and time-to-contact judgments. *Vision Research, 46*, 1946-1958.

Kim, N.-G., & Turvey, M. T. (1998). Optical flow fields and Berstein's "modeling of the future," In M. T. Latash (Ed.), *Progress in motor control* (pp.221-265). Champaign, IL: Human Kinetics.

Kim, N.-G., Turvey, M. T., & Carello, C. (1993). Optical information about the severity of upcoming contacts. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 19*, 179-193.

Kuhn, D. (1988) Cognitive development. In M. H. Bornstein & M. E. Lamb (Eds.), *Developmental Psychology: An Advanced Textbook*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

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., Young, D. S., & McLaughlin, C. M. (1984). A roadside simulation of road crossing for children. *Ergonomics, 27*, 1271-1281.

Lee, D. N., Young, D. S., & Rewt. D. (1992). How do somersaulters land on their feet? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 18*, 1195-1202.

Malek, M., Guyer, B. & Lescohier, I. (1990). The epidemiology and prevention of child pedestrian injury. *Accident Analysis & Prevention, 22*, 301-313.

Michon, J. A. (1981) Traffic education for young pedestrians: an introduction. *Accident Analysis & Prevention, 13*, 163-167.



www.kci.go.kr

National Highway Traffic Safety Administration (2010). Traffic Safety Facts: 2009 Data. Retrieved January 10, 2013, from http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/Pubs/811387.pdf

Piaget, J. (1969). *The child's concept of time*. London: Routledge & Kegan Paul.

Rock, P. B., & Harris, M. G. (2006) τ as a potential control variable for visually guided braking. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 32*, 251-267.

Rothengatter, J. A. (1984). A behavioural approach to improving traffic behaviour of young children. *Ergonomics, 2*, 147-160.

Routledge, D. A., Repetto-Wright, R., & Howarth, C. I. (1974). The exposure of young children to accident risk as pedestrians. *Ergonomics, 17*, 457-480.

Sandels, S. (1975). *Children in traffic.* London: Elek.

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.

Schieber, R. A., & Vegega, M. E. (2002). Reducing childhood pedestrian injuries: Summary of a multidisciplinary conference. *Injury Prevention, 8* (Suppl. 1), i1-10.

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.

Struik, M., Alexander, K., Cave, T., Fleming, A., Lyttle, J., & Stone, A. (1988). *Pedestrian accident project report No. 4, Literature review of factors contributing to pedestrian accidents*. Melbourne: Road Traffic Authority.

Thomson, J. (1996). Child pedestrian accidents: what makes children vulnerable? In B. Gillam, & J. Thomson (Eds.). *Child Safety: Problems and Prevention from Pre-school to Adolescence*. London: Routledge.

Thomson, J. A., Tolmie, A. K., Foot, H. C., Whelan, K. M., SArvary, P., & Morrison, S. (2005). Influence of virtual reality training on the roadside crossing judgments of child pedestrian. *Journal of Experimental Psychology: Applied, 11*, 175-186.

Thomson, J. A., & Whelan, K. M. (1997). *A community approach to road safety education using practical training methods: The Drumchapel project* (Road Safety Research Rep. No. 3). London: Department of the Environment, Transport & the Regions.

Tolmie, A. K., Thomson, J. A., Foot, H. C., Burkes, M., Wu, C., Towner, E. L. M., et al. (2003). *Training children in the safe use of designated crossings* (Road Safety Research Rep. No. 34). London: Department for Transport.

Toroyan, T., & Peden, M. (2007). *Youth and Road Safety*. Geneva: World Health Organization.

Treffner, P., Barrett, R., & Petersen, A. (2002). Stability and skill in driving. *Human Movement Science, 21*, 749-784.

van der Kamp, J., Savelsbergh, G., & Smeets, J. (1997). Multiple information sources in interceptive timing. *Human Movement Science, 16*, 780-821.

Vinjé, M. P. (1981). Children as pedestrians: abilities and limitations. *Accident Analysis & Prevention*, *13*, 225-240.



www.kci.go.kr

Wann, J. P., Poulter, D. R., & Purcell, C. (2011). Reduced sensitivity to visual looming inflates the risk posed by speeding vehicles when children try to cross the road. *Psychological Science*, *22*, 429-434.

Whitebread, D., & Neilson, K. (2000). The contribution of visual search strategies to the development of pedestrian skills by 4-11 years old children. *British Journal of Educational Psychology*, *70*, 539-557.

World Health Organization (2006). *Road traffic injury prevention: training manual.* WHO.

Yilmaz, E. H., & Warren, W. H. (1995). Visual control of braking: a test of the tau hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 21*, 996-1014.

Zeedyk, S., Wallace, L., Carcary, B., Jones, K., & Larter, K. (2001). Children and road safety: increasing knowledge does not improve behaviour. *British Journal of Educational Psychology, 71*, 573-587.

1차원고접수 : 2013. 03. 05.
수정원고접수 : 2013. 05. 28.
최종게재결정 : 2013. 05. 29.



www.kci.go.kr

한국심리학회지 : 일반
*Korean Journal of Psychology: General*
2013, Vol. 32, No. 2, 325-349

# Children's Perceptual Capacity to Detect Collision Impact

**Chae-Young Lee** **Yong-Hyun Lim** **Nam-Gyoon Kim**

Department of Psychology, Keimyung University

Two experiments investigated children's perceptual capacity to detect potential collision impacts. Children from 4 to 12 years of age participated as observers in the study. In Experiment 1, displays depicted either a small car or a large truck approaching the observer against a road-scene background, producing a local perturbation in the visual field. In Experiment 2 displays depicted the observer's own movement toward obstacles (a global perturbation of the visual field). Simulated approaches were created following the tau-dot hypothesis in which, when tau-dot $\geq$ -0.5, approaches result in safe stops without collision; but when tau-dot $<$ -0.5, approaches result in collisions with impact. Predefined tau-dot values remained constant throughout each simulated approach. Results demonstrated that 4-6 year olds performed poorly compared with 7-12 year olds. Nevertheless, even the 4 year olds performed consistently with that predicted by the tau-dot hypothesis in Experiment 1 but their performance deteriorated to chance level in Experiment 2. Current child pedestrian safety education focuses on facilitating children's abilities to cross streets safely by enhancing their sensitivity to optical variables specifying time-to-contact. This research supports developing children's perceptual capacity to detect potential collision impact as part of these training programs.

*Key words : Child pedestrian safety, street crossing, tau-dot, collision impact, time-to-contact, traffic safety education*



www.kci.go.kr