

물체의 크기와 이동거리에 따른 속도감 변화

박경수* · 최정아* · 이은혜*

The Effects of Object Size and Travel Distance on Human Speed Perception

Kyung-Soo Park*, Jeong-A Choi*, Eun-Hye Lee*

ABSTRACT

Human perceptual speed is different from its real speed. There is lack of research that the perceptual speed is different from real speed in 2-dimension, because most research of speed perception has concentrated on points and lines. This research investigates the effects of object size on speed perception. In this research, we used 2-D circular objects of the different size, 0.9, 1.8 and 3.6°. The objects moved 9.0, 13.5 and 18.0° with three different speeds, 6.0, 9.0 and 18.0°/s. Six participants were exposed to the environment with standard scene(size: 1.8°, speed: 9.0°/s and travel distance: 13.5°). After the first scene, another scene in which the object had changed to different sizes, speeds and distances, was shown to the participants. A magnitude estimation method was used to construct a scale of the perceived speed level. The relationship between the perceived and the actual speed level was explained by Stevens's power law that the value was 0.978 with the exponent of 0.992. The size of object had an effect on the speed perception but travel distance was not. The perceptual speed of bigger object was lower than of smaller object. It showed that the degrees of perceptual speed decreased as size of object increased.

Keyword: Speed perception, Object size, Travel distance

1. 서 론

인간은 같은 속도로 움직이는 물체라 하더라도 물체의 상태나 시연되는 화면 조건 등 여러 가지 요인에 의해서 인지되는 속도가 다르게 나타난다. 인간이 인지하는 속도에 영향을 미치는 대표적인 요인으로 contrast, spatial frequency 등에 대한 여러 가지 연구가 꾸준히 진행되어 왔다(Watson & Ahumada, 1983, 1985; Adelson & Bergen, 1985, 1986; McKee, Silverman & Nakayama, 1986; Thompson, 1976, 1982; Campbell & Maffei, 1981; Stone & Thompson, 1992; Müller & Greenlee, 1994; Hawken, Gegenfurtner & Tang, 1994; Ledgeway & Smith, 1994, 1995). 하지만

이들 연구들은 주로 점 또는 선을 대상으로 실험한 것으로, 일반적인 2차원 물체의 특징에 대한 고려는 하지 않았다. 하지만 물체의 2차원적인 특성도 인간이 물체의 속도를 인지하는데 영향을 미치는 것으로 보인다. 그 한 예로, 고속도로처럼 물체들이 작게 보이는 환경에서 운전할 때가 도심처럼 큰 물체가 많은 곳에서 운전할 때보다 속도감을 덜 느끼게 되는 것을 들 수 있다.

그러므로 본 연구에서는 기존 연구에서와는 달리 2차원의 면적을 가진, 다소 큰 크기를 가진 물체의 크기 변화에 따른 인지 속도의 변화를 알아보려고 한다. 또한, 움직이는 물체의 이동거리에 따른 인지 속도의 변화에 대해서도 알아보고자 한다. 실제로 각종 게임이나 시뮬레이터 등에서 사용하는 물체들이 기본적으로 2차원 면적을 가지고 있으므로 크기와

*KAIST 산업공학과

교신저자: 박경수

주 소: 305-701 대전광역시 유성구 구성동 373-1, 전화: 042-869-3152, E-mail: kspark@kaist.ac.kr

같은 2차원적인 특징이 인지 속도에 미치는 영향에 대한 연구가 반드시 필요하다고 하겠다. 또한 이 결과들은 물체의 크기 혹은 이동거리에 변화를 줌으로써 속도감을 추가 혹은 감소시키는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

이를 위하여 본 연구에서 피실험자들이 인지하는 속도를 측정하기 위해 크기 추정법(magnitude estimation technique)을 사용하였고, 인지된 속도와 실제 속도의 관계는 Stevens's power law(1957)를 사용해 정량화 하였다. 크기 추정(magnitude estimation)은 심리학에서 현재 가장 많이 빈번하게 쓰이는 척도 방법(scaling method)이고 다양한 자극 강도에 대한 주관적 강도를 정량화하는 분석에서 유용하게 사용되는 방법이다. Power law는 다음과 같이 나타내어진다.

$$S = kO^m,$$

여기서, S는 감각의 크기, O는 자극의 강도, k는 척도 단위(scale unit)를 결정하는 임의의 상수이며, m은 감각 양상(modality)과 자극 조건에 따른 power exponent이다. 예를 들어 m이 큰 경우 실제 속도 변화량보다 주관적으로 판단한 속도 변화량이 더 크다는 것을 의미한다.

이 실험에서는 인지된 자극의 강도를 측정하기 위한 정량적인 반응 척도로 2가지 방법 즉, 숫자 추정(NE; numerical estimation)과 선긋기(LP; line production)를 사용하였다. 피실험자는 주관적으로 인지한 자극 강도에 비례해 선을 긋거나, 숫자로 표현하게 된다. NE와 LP는 감각 심리학과 사회 심리학 척도 모두에서 널리 사용되는 반응 척도이다. Stevens와 Guirao(1963)가 지적한 대로, NE와 LP는 멱지수 1을 가지고, log-log 좌표계에서 선형관계임이 잘 알려져 있다.

2. 예비 실험

예비 실험에서는 피실험자의 비례 판단 능력에 근거한 크기 추정법을 사용하였다. 본 실험에 앞서 피실험자가 이 방법에 익숙해지고, 피실험자의 비례 판단 능력을 검증하기 위해 예비 실험을 실시하였다.

2.1 실험 방법

2.1.1 피실험자

8명의 대학생 및 대학원생을 대상으로 예비 실험을 실시하였다. 모든 피실험자는 화면을 집중해서 보는데 시각 능력 장애가 없는 정상인이었으며, 과거 유사한 실험을 수행한 경

험이 없었다. 피실험자 모두 교정시력 1.0 이상의 시력을 가졌으며 평균 나이는 24.9세(22~28세)였다.

2.1.2 실험 절차

예비 실험에서는 인지된 자극 강도를 측정하기 위해 피실험자에게 2가지 반응 양상, 숫자 추정(NE)과 선긋기(LP)를 실시하도록 하였다. 예비 실험은 Lodge(1981)의 절차를 따랐다. 피실험자는 실험 안내문(Lodge, 1981)을 읽고, 각 장마다 길이가 다른 선이 그려져 있는 일련의 시험지와 '50'이라는 값과 기준선이 그려져 있는 시험지를 받는다. 피실험자는 먼저, 기준선과 비교해 시험지의 다양한 선들이 얼마나 길거나 짧은지 추정해 기준값과 비교해 숫자로 답한다. 그 다음에는 1~200 사이의 숫자가 적힌 시험지들을 받아서 기준선과 비교해 숫자에 상응하는 직선을 다른 도구 없이 그리게 된다.

2.2 실험 결과

두 가지 반응 양상(LP와 NE)은 멱지수 1.0의 값을 가지는 특성이 있다. 만약 피실험자가 두 반응 척도를 이해하고 적절히 사용해 비례 판단을 하였다면 숫자에 상응하는 선긋기와 선 길이에 상응하는 숫자 추정을 통해 얻은 멱지수는 기울기가 1.0에 가까운 power function의 결과를 갖게 된다. 각 피실험자 마다 자극과 반응 사이의 관계를 log-log 좌표계에 나타내었고, 기울기 값이 이론값인 1.0에 95% 신뢰구간 안에 포함되는지 테스트하였다.

예비 실험 결과 피실험자 중 6명만이 위 조건을 만족하였고, 이들을 대상으로 본 실험을 진행하였다. 또한 예비 실험의 결과는 본 실험 결과의 회귀 편의를 조정하는데 사용하였다.

3. 실험

본 실험의 목적은 물체의 크기가 속도인지에 미치는 효과를 알아보기 위한 것이다. 피실험자가 인지한 속도 수준은 Stevens's power equation으로 표현된다. 그리고 속도와 물체의 크기뿐만 아니라, 물체가 움직이는 거리에도 변화를 주어 실험하였다.

3.1 실험 방법

3.1.1 피실험자

예비 실험에 참가한 피실험자들 중 테스트를 통과한 6명

의 피실험자를 대상으로 실시하였다. 평균 나이는 25.4세(22~28세)였다.

3.1.2 실험 장비

본 실험에서 사용된 하드웨어는 화면을 제시하기 위해 펜티엄III PC와 화면 표시를 위한 스크린(162×122cm), 그리고 ASK COMPACT C6 모델의 프로젝터를 사용하였다.

3.1.3 동영상

실험에 사용된 화면은 3D Studio Max를 사용하여 800×600 pixel 크기의 동영상을 제작하였다. Frame rate는 초당 30 frame으로 설정했다. 제시되는 전체 화면은 가로 36.0°, 세로 27.0°이며, 원형의 물체는 화면의 왼쪽에서 오른쪽으로 움직이도록 제작하였다. 물체의 속도 수준은 각속도 6.0, 9.0, 1.8°/s의 3수준이고, 물체의 크기는 0.9°, 1.8°, 3.6°로 설정하였다. 그리고 물체가 움직이는 범위는 9.0°, 13.5°, 18.0°로 이 거리는 물체의 중심에서 중심까지를 기준으로 하였다.

피실험자들은 속도, 물체의 크기, 움직인 거리 별로 각각 27가지 화면 움직임 조건 - 속도(3수준)×크기(3수준)×거리(3수준) - 을 모두 수행하였고, 모든 조건의 실험 순서를 랜덤하게 실시하였다.

3.1.4 실험 절차 및 Measure

실험은 조용한 방에서 개별적으로 실시하였으며, 각 피실험자에게 실험 안내를 한 후, 실험 안내서를 읽도록 하였다. 본 실험에서는 매번 피실험자에게 기준 화면(물체의 크기 1.8°, 움직이는 범위 13.5°, 속도 9.0°/s 화면)의 동영상을 보여준 후, 각 수준별 화면을 1개씩 보여주었다. 피실험자는 각 세트의 화면을 본 후, 기준 화면과 비교하여 제시된 영상의 속도 수준을 추정하게 된다. 예비 실험에서와 마찬가지로 피실험자는 기준 자극에 해당하는 기준선과 기준값 '50'에 비례해 인지된 속도 수준을 추정해 선을 긋고 숫자로 답하게 된다. 피실험자가 선 긋기와 숫자 추정을 마치면, 다른 세트의 기준 동영상과 비교 동영상을 보여준다. 각 피실험자들에게 27개의 모든 조건에 대해서 실험을 실시한다.

3.2 실험 결과

본 연구에서는 피실험자가 인지하는 속도 수준을 두 가지 반응 양상(LP와 NE)을 이용해 측정하였다. Lodge(1981)는 간단하고 적용하기 쉬운 수정식을 제안하고, 이를 이용해 회귀 편의를 조정하여 실제 척도에 보다 가까운 추정이 가능함을 보였다. 본 연구에서는 이 식을 이용하여 측정에서 발생한 편의를 조정하고 피실험자가 인지한 속도 수준을 통

합 척도로 구하였다. 통합 척도(IM)를 얻기 위해 사용한 수정식은 다음과 같다.

$$IM = \sqrt{NE^{m_N} \cdot LE^{m_L}}$$

여기서 m_N 은 각 피실험자가 예비 실험에서 각 직선에 답한 NE로부터 얻어진 멱지수이고, m_L 은 각 숫자에 대응한 LP로부터 얻어진 멱지수이다. 통합 척도(IM)와 기준값을 이용해 실제 속도 수준으로부터 인지한 속도 수준을 계산하였다.

그림 1은 실제 속도에 대해 인지된 속도의 비를 나타낸 것이다. 실험 결과 피실험자들은 기준 속도보다 낮은 속도 수준에서는 실제 속도보다 과소평가 하고, 기준 속도와 기준 속도보다 높은 속도 수준에서는 실제 속도보다 과대평가 하는 것으로 나타났다.

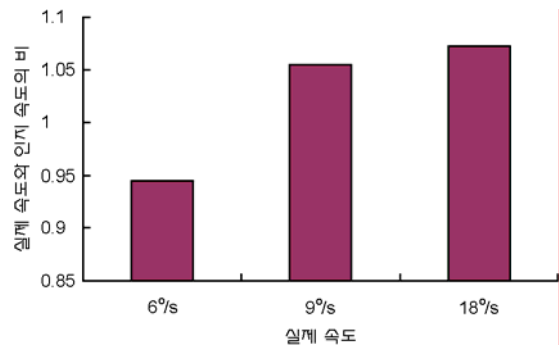


그림 1. 실제 속도에 대한 인지 속도의 비

그림 2에서는 실제 속도와 인지된 속도 간의 power law 관계를 보이기 위해 모든 피실험자의 데이터를 log-log 좌표계에 나타내었다. 그림 2에서 멱지수는 회귀 직선의 기울기이다. 모든 실험 수준에서의 피실험자의 데이터를 이용해 구한 실제 속도 수준과 인지된 속도 수준 간의 대응함수의 멱지수는 0.992이고, r^2 값은 0.978이다. 높은 r^2 값은 실제 속도와 인지된 속도와와의 관계가 Stevens's power law에 잘 맞는다는 것을 보여주며, 속도 수준이 0.992의 멱지수 값을 갖는 비선형 척도임을 말한다.

그림 3과 4는 물체의 이동거리와 크기에 따라 실제 속도와 인지 속도의 관계를 log-log 좌표계에 표현한 것이다.

그림 3에서 물체의 이동거리 9.0°에서는 멱지수 1.021, r^2 는 0.988, 이동거리 13.5°에서는 멱지수 0.999, r^2 는 0.979, 18.0°에서는 멱지수 0.963, r^2 는 0.973으로 이동거리가 증가함에 따라 인지속도와 실제 속도와의 차이가 커졌다.

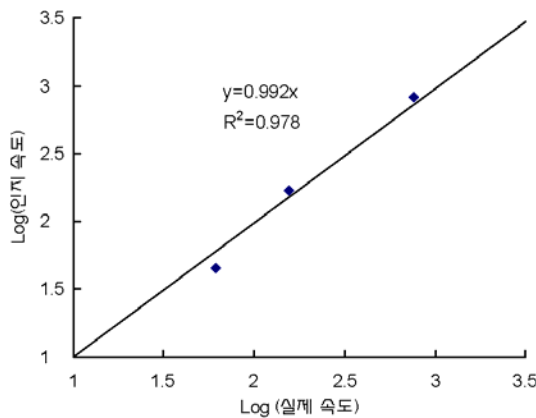


그림 2. 실제 속도와 인지 속도간의 관계

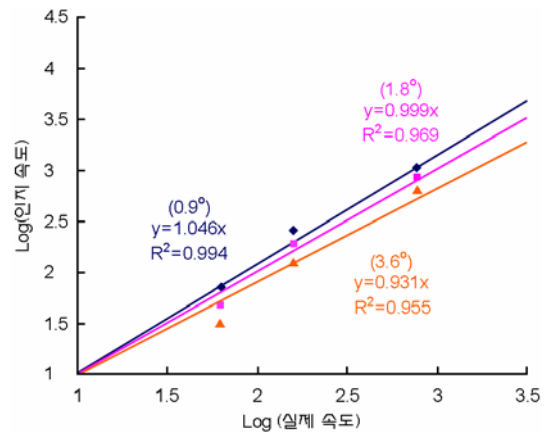


그림 4. 물체의 크기에 따른 실제 속도와 인지 속도의 관계

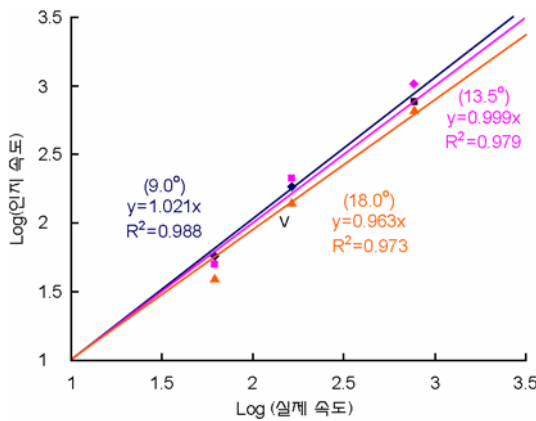


그림 3. 물체의 이동거리에 따른 실제 속도와 인지 속도의 관계

또한 기준화면보다 짧은 이동거리를 움직이는 물체의 경우, 실제 속도보다 과대평가하는 경향(떡지수>1)이 나타났으며, 반대로 기준화면보다 긴 이동거리를 움직였을 때에는 실제 속도보다 과소 추정(떡지수<1)하는 결과를 나타내었다.

그림 4에서 물체의 크기가 0.9°인 경우 떡지수 1.046, r^2 는 0.994이고, 크기가 1.8°인 경우 떡지수 0.999, r^2 는 0.969, 3.6° r^2 인 경우에는 떡지수가 0.931, r^2 는 0.955이었다. 기준화면의 물체의 크기에 비해서 크기가 작은 물체의 화면을 제시했을 때에는 실제보다 인지속도를 과대추정(떡지수>1)하고 있으며, 기준화면의 물체보다 크기가 큰 물체의 경우는 과소 추정(떡지수<1)하는 결과를 보여주고 있다.

표 1은 제시된 실제 속도 수준에서 피실험자가 인지한 속도 수준을 종속 변수로 3(속도)×3(이동거리)×3(물체의 크기)의 분산분석(ANOVA) 결과이다. 물체의 실제 움직임 속도($p<0.001$)와 물체의 크기($p=0.0011$)에 따라 유의한 차이가 있었지만, 물체의 이동거리($p=0.1829$)는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 또한 각 변수간의 교호작용도 유의하

표 1. 물체의 크기와 속도, 이동거리가 인지 속도에 미치는 효과

| Source | Pr > F |
|----------------|---------|
| 물체의 크기 | 0.0011* |
| 이동거리 | 0.1829 |
| 속도 | <.0001* |
| 이동거리*물체의 크기 | 0.8714 |
| 물체의 크기*속도 | 0.5540 |
| 이동 거리*속도 | 0.4405 |
| 이동거리*물체의 크기*속도 | 0.9769 |

*significant at 0.01 level

표 2. 실제 속도 수준별 물체의 크기와 이동거리가 인지 속도에 미치는 효과

| Source | Pr > F | | |
|--------------|----------|---------|--------|
| | 6°/s | 9°/s | 18°/s |
| 물체의 크기 | 0.0244** | 0.0026* | 0.0997 |
| 이동 거리 | 0.4986 | 0.1571 | 0.3180 |
| 이동 거리*물체의 크기 | 0.2818 | 0.9892 | 0.9280 |

*significant at 0.01 level, **significant at 0.05 level

지 않았다.

다음으로, 각 실제 속도 수준별 물체의 크기와 이동거리가 인지 속도에 미치는 효과를 알아보았다. 표 2에서와 같이, 물체의 이동거리의 효과는 전체 속도 수준에서 유의하지 않았고, 물체의 크기의 경우에는, 속도 수준 6°/s, 9°/s에서는 물체의 크기가 인지 속도에 미치는 영향이 유의하게 나타났으나, 18°/s에서는 유의하지 않았다. 그러므로 일정 수준 이상의 속도에서는 물체의 크기가 인지 속도에 영향을 미치지 않는다고 할 수 있다.

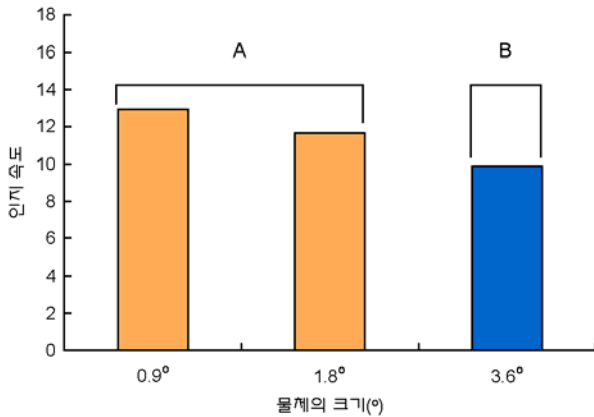


그림 5. 물체 크기의 Duncan Grouping 결과

그림 5에서 보여지는 바와 같이, 물체의 크기가 증가함에 따라 인지 속도는 감소하는 경향을 보이고 있다. 그러므로 실제로 같은 속도로 움직이는 물체라 할지라도 물체의 크기가 커지면 속도가 느리게 인지된다고 할 수 있다. 또한 Duncan Grouping을 실시하여 물체의 크기에 따른 인지 속도의 정도를 확인하였는데, $0.9^\circ \cong 1.8^\circ < 3.6^\circ$ 인 결과를 도출했다.

4. 결론 및 추후 연구

본 연구에서는 2차원 물체의 여러 가지 특징 중에서 물체의 크기 변화와 이동거리에 따른 인지 속도의 변화에 관해 살펴보았다. 그 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 모든 피실험자에 대해 실제 속도와 인지 속도의 관계를 Stevens's power law에 적용한 결과 매우 적합하게 나타났으며 ($r^2=0.978$), 이것은 속도 수준이 멱지수 0.992을 가지는 비선형 척도임을 의미한다.

둘째, 물체의 크기를 다르게 하여 화면을 제시했을 때, 기준화면의 물체 크기에 비해서 크기가 작은 물체의 화면을 제시했을 경우는 실제보다 인지 속도를 과대추정하고 있으며, 기준보다 크기가 큰 물체의 경우는 과소추정하는 결과를 보여주고 있다. 또한 물체의 크기가 인지 속도에 영향을 미치며, 물체의 크기가 커짐에 따라서 속도를 느리게 인지하는 것으로 나타났다.

셋째, 물체의 이동거리에 변화를 주면 물체의 크기에서와 마찬가지로 기준화면의 이동거리에 비해서 짧은 거리를 움직이는 화면을 제시했을 때에는 실제 속도보다 인지 속도를 과대추정하고 있으며, 기준화면보다 이동거리가 긴 경우는 과소추정하는 결과를 보여주고 있다. 하지만 물체의 이동거

리가 인지 속도에 미치는 영향이 유의하게 나타나지는 않았다.

위와 같이 본 연구의 결과는 점 단위의 크기 변화 실험에서 보인 결과와는 사뭇 다른 양상을 보이고 있다. 기존의 점 단위의 연구 결과에서는 점의 크기가 큰 경우가 작은 경우보다 빠른 속도를 보이고 있는데 반하여, 비교적 크기가 큰 물체를 가지고 실험한 본 실험의 경우에는 물체의 크기가 클수록 인지 속도가 느리게 인지되고 있다.

이와 같이 상이한 두 결과는 움직임과 속도 인지에 대한 신경망 모델(Chey, Grossberg & Mingolla, 1998)로 설명할 수 있을 것이다. Chey의 연구에 따르면 물체의 크기에 따라 속도가 달라지는 원리를 감각세포의 활성 정도로 설명하였는데, 일반적으로 큰 크기를 가진 물체가 작은 물체보다 여러 감각세포에 걸치게 되므로 활성화되는 세포 수가 많게 되어 인지 속도가 크게 나타난다고 설명하였다. 하지만, 단순히 물체의 크기로 감각세포 몇 개를 자극하느냐 보다는 물체들의 activity로 인하여 감각세포를 얼마나 여러 개 자극하게 되느냐가 더 중요하다고 밝히고 있다. 즉, 물체의 크기가 너무 작게 되면 움직일 때 거쳐가는 감각세포의 수가 적을 것이고, 반대로 크기가 너무 크게 되면 물체의 내부가 지나가는 부분은 변화가 없으므로 감각세포가 활성화되지 않아 속도를 느끼지 못하므로 두 경우 모두 속도가 느린 것으로 인지될 것이다. 결국, 여러 가지 크기의 물체가 존재할 때 물체의 크기가 너무 크거나 작은 경우 보다는 감각세포를 많이 점유하면서, 물체의 activity가 여러 감각세포를 가로질러 많이 활성화시킬 수 있는 중간 크기의 물체가 속도를 가장 빠르게 느끼게 되는 것이다.

따라서 기존 연구의 점을 대상으로 한 실험은 물체의 크기가 activity의 차이를 유발할 정도로 크지 않아 물체의 크기만이 속도인지에 영향을 미치게 되므로, 크기가 큰 점이 작은 점보다 신경세포를 많이 점유하여 빠른 속도를 나타내었다고 볼 수 있다. 하지만 본 실험의 경우에는 물체의 크기가 커서 물체들의 activity가 인지 속도에 핵심적인 영향을 미치게 되므로 오히려 물체의 크기가 큰 경우가 작은 경우보다 느리게 인지되었다고 볼 수 있다.

앞서 살펴본 바와 같이 본 실험과 기존 실험의 차이에 대한 결론론적인 설명도 의미가 있겠지만 실제로 여러 게임이나 시뮬레이터 등에서 속도를 예측하는데 도움을 주려면 물체의 크기에 따른 인지 속도의 전반적인 추이를 알아볼 필요가 있다. 예를 들어, 어느 정도의 크기에서 activity의 차이를 유발하게 되는지에 대해 알아낸다면, 특정 상황에서 속도감을 증가 혹은 감소 시키고 싶을 때 물체의 크기 자체와 activity의 영향을 모두 고려하여 물체의 크기를 조절함으로써 원하는 속도감을 구현할 수 있을 것이다. 이를 위하여 차후 다양한 속도 수준과 크기 수준에서의 인지 속도에 대한

연구가 필요할 것으로 생각된다.

참고 문헌

- Adelson, E. H. and Bergen, J. R., Spatiotemporal energy models for the perception of motion. *Journal of the Optical Society of America A*, 2, 284-299, 1985.
- Adelson, E. H. and Bergen, J. R., *The extraction of spatiotemporal energy in human and machine vision* (pp. 135-139). Charleston, S.C.: Institute of Electrical and Electronic Engineers Computer Society 1986.
- Campbell, F. W. and Maffei, L., The influence of spatial frequency and contrast on the perception of moving patterns. *Vision Research*, 21, 713-721, 1981.
- Chey, J., Grossberg, S. and Mingolla, E., Neural dynamics of motion processing and speed discrimination. *Vision Research*, 38, 2769-2786, 1998.
- Hawken, M. J., Gegenfurtner, K. R. and Tang, C., Contrast dependence of colour and luminance motion. *Nature*, 367, 268-270, 1994.
- Ledgeway, T. and Smith, A. T., The perceived speed of second order motion patterns, *Investigative Ophthalmology and Visual Science (Suppl.)*, 35, 1405, 1994.
- Ledgeway, T. and Smith, A. T., The perceived speed of second order motion and its dependence on stimulus contrast. *Vision Research*, 35, 1421-1434, 1995.
- Lodge, M., *Magnitude scaling: Quantitative measurement of opinions*. Beverly Hills, CA: Sage 1981.
- Mckee, S. P., Silverman, G. and Nakayama, K., Precise velocity discrimination despite random variations in temporal frequency and contrast. *Vision Research*, 26, 609-619, 1986.
- Müller, R. and Greenlee, M. W., Effect of contrast and adaptation on the perception of the direction and speed of drifting gratings. *Vision research*, 23, 2071-2092, 1994.
- Stevens, S. S., On the psychophysical law. *Psychological Review*, 64, 153-181, 1957.
- Stevens, S. S. and Guirao, M., Subjective scaling of length and area and the matching of length the hardness and brightness. *Journal of Experimental Psychology*, 59, 60-67, 1963.
- Stone, L. S. and Thompson, P., Human speed perception is contrast dependent. *Vision Research*, 32, 1535-1549, 1992.
- Thompson, P., Velocity aftereffects and the perception of movement. Doctoral dissertation, University of Cambridge, Cambridge 1976.
- Thompson, P., Perceived rate of movement depends on contrast. *Vision Research*, 22, 377-380, 1982.
- Watson, A. B. and Ahumada, A. J. Jr, A look at motion in the frequency domain. In *Motion: perception and representation*, New York: Association for Computing Machinery (also published as NASA Technical Memorandum 84352) 1983.
- Watson, A. B. and Ahumada, A. J. Jr, Model of human visual motion sensing. *Journal of the Optical Society of America A*, 2, 322-342, 1985.

○ 저자 소개 ○

❖ Kyung-soo Park ❖

He received the B.S. degree in Mineral & Petroleum Engineering from Seoul National Univ. in 1965, the M.S. degree in Industrial & Systems Engineering from Univ. of Florida in 1969, and the Ph.D. degree in Industrial & Operations Engineering from Univ. of Michigan in 1973, respectively. Since 1981, he has been with the department of industrial engineering at Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST).

❖ Jeong-A Choi ❖

She is a Ph.D. student of Industrial Engineering at KAIST. She received the B.S. degree in Industrial Design from KAIST and M.S. degree in Industrial Engineering from KAIST.

❖ Eun-Hye Lee ❖

She received the B.S. degree in Industrial Engineering from Korea University and M.S. degrees in Industrial Engineering from KAIST.

논문 접수일 (Date Received) : 2004년 10월 25일

논문게재승인일 (Date Accepted) : 2005년 05월 17일