

차원 변환이 회전하는 목표 자극의 위치 탐색에 미치는 영향*

박운주¹ 정일영¹ 박정호² 배상원¹ 정상철^{1,2†}

¹연세대학교 인지과학협동과정

²연세대학교 심리학과

본 연구는 초기 화면의 차원 정보와 초기-검사 화면의 차원 일치 여부가 목표 대상이 0°, 90°, 180°, 270°로 회전하는 상황에서 참가자들의 위치 탐색 수행에 어떠한 영향을 미치는지를 보고자 했다. 실험 결과, 초기 화면이 2차원으로 제시되었을 때 참가자들의 수행 정확도가 높았고, 특히 3차원 초기 화면의 경우 검사 화면과 차원이 일치할 때 위치 정보의 심적 회전이 요구되는 상황에서 위치 탐색에 어려움을 겪는 것을 발견하였다. 이러한 결과는 운전 상황과 같이 보조 자료로부터 위치 정보를 얻는 것과 동시에 운전자의 위치와 방향이 변하는 경우, 실제와 시각적으로 유사하게 설계된 3차원 자료 보다는 정확한 위치 정보를 제공하는 2차원의 자료가 유리할 수 있음을 시사한다.

주제어 : 위치 탐색, 차원 정보, 심적 회전, 보조 자료, 공간 인식

* 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2010-0029270). 또한 이 논문은 2011년도 한국장학재단 국가연구장학금(인문사회계) 지원을 받아 연구되었음(2011-0296)

† 교신저자: 정상철, 연세대학교 인지과학 협동과정, 심리학과, 연구세부분야: 지각심리
E-mail: scchong@yonsei.ac.kr

과학기술이 진보함에 따라 생생한 묘사를 위해 보조 자료를 3차원으로 표현하는 상황이 많아지고 있다. 운전자에게 정보를 제공하는 네비게이션(navigation)이나 건물 방문자에게 내부를 안내하는 평면도(floor plan)가 그 예이다. 실제로 3차원 형식의 이미지는 2차원 이미지보다 사용자의 시각 경험을 향상시키며, 가장 자연스러워 보인다고 알려져 있다[1]. 하지만 빠른 속도로 정보를 획득하고 그것을 변화하는 실제에 적용하는 것이 요구되는 운전 상황 등에서 3차원 방식의 보조 자료가 사용자에게 얼마나 효율적인지에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

보조 자료에서의 차원 정보는 공간을 보여주는 시점(perspective)에 따라 정의된다. 2차원과 3차원 지도는 모두 정보가 제시되는 화면 자체는 편평한 2차원의 형태이다. 2차원 지도는 위에서 수직으로 내려다보는 시점에서 얻을 수 있는 정보를 제공한다. 반면에 3차원 지도는 대각선 위에서 내려다보는 전 방향 시야(forward field of view)를 사용한다. 따라서 3차원적 공간 표상은 2차원과는 달리 방향이나 물체의 높이 및 사용자의 위치 정보를 유추할 수 있는 단서를 내포한다. 또한, 3차원의 보조 자료는 사용자의 시점에서 사용자가 시각적으로 경험하는 공간과 가장 유사한 방식으로 정보를 표현한다. Wickens[2]는 이러한 3차원 지도의 사용자 위주의 특성을 자기-중심적(ego-referenced)이라고 하였다.

보조 자료의 3차원적 공간 표현 방식에 대해서는 두 가지 대립되는 의견이 제시되어 왔다. 먼저, 3차원 지도의 자기-중심적 특성을 바탕으로 3차원 보조 자료가 2차원에 비해 사용자에게 더 유리하다고 주장하는 입장이 있다. Dennehy와 그의 동료들[3]에 따르면, 외부 세상에 대한 정보를 3차원으로 제시하는 보조 자료는 주어진 정보를 실제에 맞게 전환해야 하는 인지적 수고를 덜어줄 수 있다. 2차원 형태의 보조 자료는 시점의 차이로 인해 외부 세상에 대한 정보가 우리 눈으로 들어오는 것과 다르게 표현된다. 따라서 실제 상황을 보조 자료에 대응시키고, 또 보조 자료로부터 얻은 지식을 외부 세상에 적용하는데 별도의 인지적 변환 작용이 필요하다. 하지만 3차원적 공간 표상은 사용자의 경험과 유사한 방식으로 정보를 제공하기 때문에 이러한 과정이 생략된다는 것이다. 이는 실제 세상을 표현하는 보조 자료는 실제와 공간적으로 최대한 유사해야 한다는 회화적 실재성의 원리(principle of pictorial realism)와 실제 대상의 움직임과 같은 시간적 변화를 반영해야 한다는 움직이는 부분의 원리(principle of moving part)와도 일치하는 주장이다[4].

반대로 실제와의 유사성이 항상 향상된 수행을 보장하지는 않는다는 주장도 있다[5]. 연구들에 의하면, 두 물체 간의 상대적인 위치나 거리 관계를 파악하는 것은 2차원 보조 자료가 유리한 반면에 물체 식별과 자연 지형을 파악하는 상황에서는 3차원이 유리하다[6,7]. St. John과 그의 동료들[6]은 컴퓨터 프로그램으로 형성한 블록들의 조합을 초기 화면에서 각각 2차원과 3차원의 시점으로 참가자들에게 보여주고, 검사 화면에서 블록들의 구조를 정확하게 묘사하고 있는 보기를 고르게 하거나(식별 과제) 특정 블록의 방위와 위치를 보고하게 하였다(항행 과제). 그 결과, 블록들의 구조를 식별하는 과제에서는 3차원의 보조 자료가 제시되었을 때 참가자들의 정확도가 더 높고 반응 시간도 빨랐으나, 방위와 위치를 찾는 항행 과제에서는 2차원으로 자료가 제시되었을 때 정확도가 높고 반응 시간이 빠른 것으로 나타났다. 이는 보조 자료에서 차원 정보의 유용성이 과제에 따라 달라질 수 있음을 의미하며, 특히 대상의 위치 및 방향 정보를 제공하는 보조 자료의 경우 3차원 제시 방식이 실제와 더 일치함에도 불구하고 수행을 저해할 수 있음을 시사한다.

시각 보조 자료의 설계에 있어서 고려되어야 하는 다른 요소는 자료로부터 얻은 정보를 실제 상황에 적용할 수 있도록 인지적으로 용이하게 변환할 수 있어야 한다는 것이다. 정보의 효율적인 변환은 주행 중 네비게이션을 보는 상황과 같이 정보의 획득과 동시에 사용자의 위치가 시시각각 변하는 경우 필수적이다. Shepard와 Metzler[8]는 참가자들이 두 개의 3차원 도형이 같은 도형인지 판단하는 과제에서 한 도형이 회전된 각도에 따라 참가자들이 과제를 수행하는 반응 시간이 선형적으로 증가함을 밝혔다. 이러한 결과는 사람들이 두 대상을 비교할 때 실제 대상을 직접 회전하는 것과 같이 심적으로 회전하는 과정(mental rotation)을 거친다는 것을 시사한다. 나아가 이러한 심적 회전 능력은 주변 맥락 정보에 영향을 많이 받는다[9]. 운전 상황에서는 주변 맥락 정보가 많이 제공되며, 그 정보를 적극적으로 활용할 수 있어야 한다. 이를 고려하면, 주변 맥락 정보가 보조 자료가 제시되는 차원에 어떤 영향을 미치는지를 연구하는 것이 필요하다.

현재까지 많은 연구들이 보조 자료가 제공하는 정보 자체에 초점을 맞추어 연구하였지만[6, 7, 10, 11], 차원 정보가 사용자의 인지 과정에 미치는 영향은 살펴보지 않았다. 즉, 기존 연구에서는 시각적으로 정보를 어떻게 제시해야 하는지에 연구의 초점을 맞추었으나, 제시된 정보를 추출하여 사용하는 과정이나 맥락은 연

구하지 않았다. 본 연구에서는 목표 자극이 회전하는 상황에서 보조 자료의 차원 및 보조 자료와 실제 상황의 차원 일치성이 시각 탐색에 미치는 영향을 알아보고자 했다. 이를 검사하기 위해 초기 화면에서 특정 목표 대상을 방해 자극들 중에서 찾는 탐색 과제를 이용하였다. 또한 운전 상황에서 연속적으로 시점이 변화하는 것과 보조 자료를 실제 상황으로 전환해야 하는 것을 고려하기 위하여, 주변 맥락 정보를 제공함과 동시에 자극의 심적 회전을 유도하였다. 참가자들은 먼저 초기 화면에서 2차원 또는 3차원으로 제시되는 블록들의 배열 중에서 하얀 점으로 표시되는 한 개 블록의 위치를 학습하였다. 그 후, 초기 화면의 차원과 일치하거나 불일치하게 제시되는 검사 화면에서 학습한 블록의 위치를 탐색하였다. 이 때 검사 화면을 초기 화면과 비교하여 0°, 90°, 180°, 270°로 회전시켜 참가자들이 초기 화면에서 얻은 위치 정보를 회전된 새로운 상황에 적용하는 능력을 살펴보았다. 종속 변인으로는 정확도, 반응 시간 및 마우스 움직임 경로를 측정하였다. 마우스 움직임 경로는 기존의 시각 탐색이 유리한 상황일수록 참가자들의 눈 운동 패턴이 시작점부터 목표 위치까지 작은 변산으로 직선에 가깝게 움직였다는 연구를 바탕으로 하였다[12]. Brockmole과 Henderson의 연구[12]에서는 눈 운동 패턴이 탐색 효율성을 반영한다고 가정하였다. 본 연구에서는 목표 자극 탐색이 마우스를 통해 이루어졌으므로, 탐색 효율성이 마우스 움직임 패턴에 반영되었다고 가정하였다. 그러므로 본 연구에서는 목표 자극이 회전할 때 초기-검사 화면의 차원 일치 여부 또는 초기 화면의 차원 정보 중 유리한 조건에서 정확도가 높고 반응시간이 빠르며 마우스 움직임 경로의 변산이 작을 것이라고 예측하였다.

실험 방법

참가자

참가자는 연세대학교 대학원생 14명과 학부학생 1명으로 총 15명이었다(남자 5명, 여자 10명). 모든 참가자가 교정시력 0.8 이상이었다. 참가자의 권익은 연세대학교 심리학과 윤리심의위원회 규정에 따라 보호되었으며, 참가자들은 동의서를

작성하고 실험에 참가하였다.

장치 및 도구

실험에서 필요한 자극 제시 및 반응 기록에 사용한 프로그램은 Matlab R2009b와 Psychophysics Toolbox 3[13,14]을 사용하여 제작하였다. 실험은 IBM Pentium III 개인용 컴퓨터로 제어되었고, 17인치 LCD 모니터를 통해 자극이 제시되었으며 해상도는 1280 x 1024, 화면 주사율은 60Hz였다. 모니터와 참가자의 거리는 75cm였다.

자극

실험에서 사용된 자극은 Lego 블록을 이용해 구성하였고, Nikon D5000 카메라, 18-55mm VR렌즈를 사용해 각 배열의 사진을 촬영했다. 먼저, 한 면이 19cm로 되어 있는 정사각형 형태의 블록 밑바탕에 가로, 세로가 2.9cm이고 높이가 1.3cm인 블록들을 사용해 자극 이미지를 만들었다. 파란 색, 노란 색, 빨간 색 블록들이 각 5개씩, 그리고 기준 자극을 만들기 위한 녹색 블록이 2개 사용되어 총 17개의 블록이 사용되었다. 기준 자극을 제외한 5개의 자극은 밑에서부터 파란색, 노란색, 빨간색의 순서로 쌓은 3층의 블록이었다. 이렇게 만들어진 5개의 자극과 기준 자극의 위치를 무작위로 선정하여 각기 다른 배열 20개를 구성하였다. 그림 1에 제시된 것과 같이 배열들에 대해 각각 3차원과 2차원 이미지를 만들었다. 두 차원은 자극이 촬영된 시점에 따라 정의되었다. 3차원은 자극의 중심으로부터 62cm 떨어진 지점에서 약 50° 눈높이에서 촬영을 하였고 2차원 이미지는 수직 방향에서 촬영을 하였다. 따라서 3차원 이미지는 대각선에서 내려다 본 시점으로 블록들의 위치, 높이 및 형태 정보를 반영했고, 2차원 이미지는 수직에서 내려다 본 시점으로 위치 정보만을 포함했다. 만들어진 이미지는 화면에서 가로, 세로 약 시각 10°로 제시되었다.

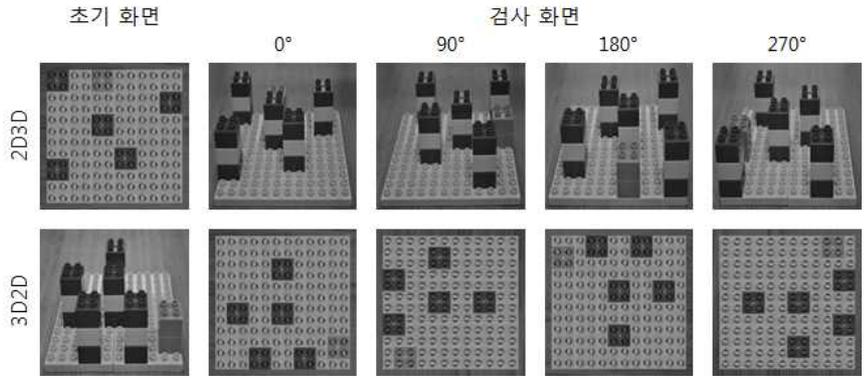


그림 1. 실험에 사용된 자극 이미지, 위쪽은 초기 화면이 2차원이고 검사 화면이 3차원인 조건이고 아래쪽은 초기 화면이 3차원이고 검사 화면이 2차원인 조건이다. 실제 자극(블록)은 최상위부터 빨간색, 노란색, 파란색이었으며, 밀판은 노란색이다.

설 계

실험의 독립 변인은 총 3개로 초기 화면의 차원(2차원, 3차원)과 차원의 일치 여부(일치, 불일치), 그리고 검사 화면의 회전각도(0°, 90°, 180°, 270°)였으며, 총 16개의 조합으로 구성되었다. 이 모든 변인은 참가자 내 변인이었다. 참가자들의 과제는 초기 화면에서 블록들의 배열을 학습하고 검사 화면에서 목표 블록의 위치를 탐색하는 것이었다. 실험은 초기 화면의 차원과 차원의 일치 여부를 중심으로 크게 4구간으로 나뉘어졌다. 첫 번째 구간에서는 2차원 이미지로 학습하고 2차원 이미지로 검사(2D2D 조건)하고, 두 번째 구간에서는 2차원 이미지로 학습한 뒤 3차원 이미지로 검사(2D3D 조건), 세 번째 구간에서는 3차원 이미지로 학습 후 3차원 이미지로 검사(3D3D 조건), 그리고 네 번째 구간에서는 3차원 이미지로 학습하고 2차원 이미지로 검사(3D2D 조건)하도록 하였으며, 각 구간이 제시되는 순서는 라틴 방향(Latin square)에 따라 참가자들 간에 균형화 되었다. 구간 별로 각기 다른 블록의 배열들이 5개씩 사용되었고, 원본 이미지를 기준으로 0°, 90°, 180°, 그리고 270° 회전된 이미지들이 무작위 순서로 검사 단계에서 제시되었다. 학습 단계에서는 항상 방향을 회전시키지 않은 원본 이미지로만 제시되었다.

가능한 블록들의 배열 5가지와 회전각도 4개의 수준은 무선적으로 각 6번씩 반복이 되어, 한 구간 당 120번의 시행, 전체 실험에서는 총 480번의 시행이 진행되었다. 반응 시간과 정확도를 측정하였고, 반응 시 마우스의 움직임 경로는 0.001초마다 기록되었다.

절 차

실험의 절차가 그림 2에 제시되어 있다. 실험에 대한 설명이 있는 후, 시행이 시작되면 화면에 응시점이 나오고 스페이스 바를 누르면 초기 화면이 500ms간 제시되었다. 그 후, 5개의 자극들 중 한 개의 블록 위에 하얀 점이 나오는 목표자극이 3000ms간 제시되었다. 참가자들은 하얀 점으로 표시된 자극의 위치를 기억하도록 지시 받았다. 다시 500ms 동안 응시점이 나온 후 검사 화면이 제시되었다. 검사 화면에서는 모든 블록들 위에 하얀 점이 나왔고, 참가자들은 초기 화면에서 표

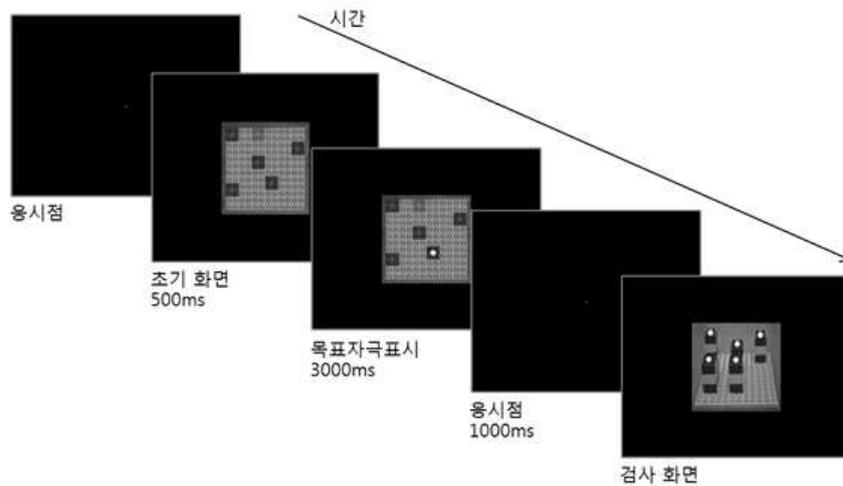


그림 2. 실험의 절차, 화면에 응시점이 제시되면 참가자가 스스로 스페이스바를 눌러 시행을 시작할 수 있었고, 목표 자극 표시와 함께 초기 화면이 3500ms 간 제시되었다. 응시점이 다시 500ms 간 나타난 후, 검사 화면이 제시되면 참가자는 목표자극을 마우스로 선택하였다.

시되었던 자극을 찾아 마우스로 목표 자극 위의 하얀 점을 클릭하도록 지시 받았다. 검사 단계에서는 시간제한을 두지 않고 마우스로 반응을 할 때까지 이미지를 제시하였다. 매 시행마다 검사 화면에서 마우스 커서는 자극의 중심에 나타나도록 했다. 따로 휴식 시간을 포함시키지 않은 대신, 피로 효과를 줄이기 위해 각 시행 전에 스페이스 바를 눌러야만 각 시행이 진행되도록 구성을 하여, 참가자들이 자발적으로 필요한 만큼의 휴식을 취할 수 있도록 하였다.

결 과

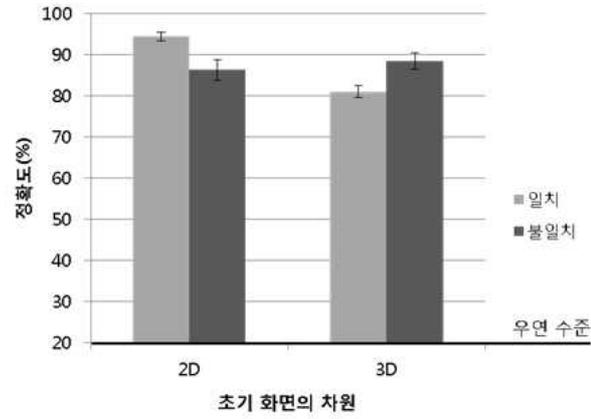
초기 화면의 차원 및 초기 화면과 검사 화면 차원의 일치 여부와 회전 각도에 따른 정확도와 반응 시간 및 마우스 움직임 경로의 차이를 알아보기 위해 반복측정 변량분석을 실시하였다.

정확도 분석

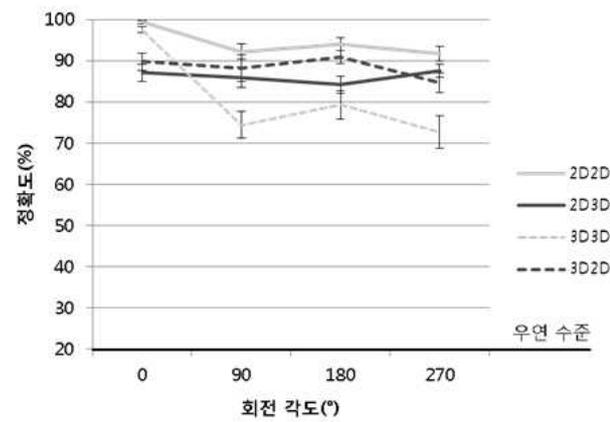
참가자들의 위치 탐색 수행의 전체 평균 정확도는 87.5%였다(우연 수준 20%). 초기 화면과 검사 화면의 차원 일치 여부에 의한 주효과는 $F(1, 14) = .241, p = .631$ 로 통계적으로 유의미하지 않은 것으로 나타났다. 그러나 초기 화면의 차원에 따른 정확도에서는 유의미한 차이를 발견할 수 있었는데($F(1, 14) = 16.747, p < .01$), 이는 초기 화면과 검사 화면 간의 시각적 일치 여부 보다는 초기 화면의 차원 정보가 위치 탐색에 더 영향을 미친다는 것을 의미한다. 특히, 초기 화면이 2차원이었던 조건의 평균 정확도는 90.3%로 3차원이었던 조건(84.7%)보다 정확도가 높았다. 이는 2차원의 초기 정보가 위치 탐색에 더 유리하다는 것을 시사한다. 회전 각도에 의한 주효과도 유의미하였는데($F(3,42) = 18.059, p < .01$), Bonferroni 사후 분석 결과 이는 회전 각도가 0°일 때와 다른 각도들 간의 차이 때문인 것으로 나타났다. 즉, 검사 화면이 회전하였을 때 회전하지 않았을 때보다 참가자들의 수행이 낮았다.

초기 화면의 차원과 차원 일치 여부와의 상호작용 효과는 통계적으로 유의미하

였다($R(1, 14) = 63.088, p < .01$). 초기 화면이 2차원이었을 때에는 검사 화면도 2차원일 때 참가자들의 수행이 좋았으나, 초기 화면이 3차원으로 제시되었을 때에는 2차원으로 검사할 때 정확도가 더 높았다. 그림 3(가)에 제시되어 있듯이, 2D2D 조건이 94.4%로 평균 정확도가 가장 높았으며, 다음으로 3D2D 조건이 88.4%,



(가)



(나)

그림 3. 정확도 분석 결과. (가) 초기 화면의 차원과 차원의 일치 여부에 따른 정확도 차이. 오차 막대는 표준오차를 나타낸다. (나) 검사 화면의 회전 각도에 따른 정확도 차이. 오차막대는 표준오차이다.

2D3D 조건이 86.2%이었고, 3D3D조건의 평균 정확도가 81%로 가장 낮았다. 대응 표본 t 검증 결과 네 조건의 평균 정확도는 3D2D 조건과 2D3D 조건을 제외하고 모두 유의미하게 차이가 났다(모든 $p < .01$). 더불어, 초기 화면의 차원과 검사 화면의 회전각도($R(3,42) = 10.725, p < .01$), 차원의 일치 여부와 회전각도($R(3,42) = 14.361, p < .01$) 및 초기 화면의 차원, 차원 일치 여부 및 회전 각도의 삼원 상호작용($R(3,42) = 7.455, p < .01$)은 모두 통계적으로 유의미하였다. 이는 그림 3(나)에 제시된 것과 같이 3D3D 조건에서 검사 화면이 회전하였을 때 목표 탐색 정확도가 매우 낮았기 때문이다. 이러한 결과는 초기 화면과 검사 화면 중 하나라도 2차원의 화면이 포함되었을 때 참가자들의 위치 탐색 수행이 뛰어났음을 의미하며, 이는 일관적으로 검사 대상이 회전하는 상황에서 2차원의 정보가 3차원에 비해 상대적으로 위치 파악에 효과적임을 보여준다.

반응 시간 분석

반응 시간은 참가자들이 정확하게 답한 시행만 분석하였다. 눈의 피로 및 집중력의 정도에 의한 오염변인을 줄이기 위해 반응 시간이 3 표준편차 밖에 있는 시행들은 분석에서 제외하였고, 그 비율은 1.7%였다. 참가자들의 전체 평균 반응 시간은 1.6초였다. 반응 시간의 경우 정확도 분석 결과와는 달리 초기 화면의 차원에 의한 차이는 유의미하지 않았고($R(1,14) = 1.025, p = .329$), 차원의 일치 여부에 의한 주효과는 차원이 일치할 때 평균 1.55초, 일치하지 않을 때 1.66초로 통계적으로 유의미한 것으로 나타났다($R(1,14) = 6.175, p < .05$). 또한, 그림 4(가)에 제시된 것과 같이, 초기 화면의 차원과 차원의 일치 여부에 따른 상호작용 효과는 유의미하였다($R(3,42) = 9.404, p < .01$). 구체적으로, 2D2D 조건에서 평균 1.44초로 반응 시간이 가장 빨랐으며, 3D2D 조건이 1.59초, 3D3D 조건이 1.66초, 2D3D 조건이 1.72초였다. 이들 조건은 2D3D와 3D3D 조건, 그리고 3D2D와 3D3D 조건 간의 차이를 제외하고는 모두 유의미하였다(모든 $p < .05$). 이러한 결과는 속도-정확도 교환(speed-accuracy trade off)이 발생하지 않았다는 것을 의미하며, 초기 화면과 검사 화면의 차원 일치가 정확도에는 영향을 주지 않지만 참가자들의 반응 시간을 유의미하게 줄일 수 있음을 보여준다.

본 실험의 주요 관심 중 하나였던 회전 각도에 따른 반응 시간의 차이는 유의미한 것으로 나타났다($F(3,42) = 46.492, p < .01$). Bonferroni 사후 분석 결과 이 차이는 0° 와 180° , 270° 간의 반응 시간 차이로부터 기인한 것으로 밝혀졌다. 검사 화면이 회전하였을 때 회전하지 않았을 때 보다 반응 시간이 긴 경향이 있었으나, 기존의 심적 회전 연구들에서 발견한 회전 각도에 따른 반응 시간의 선형적인 증가 경향과는 정확히 일치하지는 않았다. 이는 본 실험에서 회전 각도가 심적 회전을 검사할 만큼 충분히 세분화되지 않았고 참가자들이 원래의 화면과의 대칭성을 사용했을 가능성이 있기 때문인 것으로 판단된다. 한편, 초기 화면의 차원과 회전 각도에 의한 상호 작용($F(3,42) = 9.404, p < .01$), 차원 일치 여부와 회전 각도에 의한 상호 작용($F(3,42) = 12.767, p < .01$), 그리고 초기 화면의 차원과 차원 일치 여부 및 회전 각도에 따른 삼원 상호 작용($F(3,42) = 6.325, p < .01$)은 모두 통계적으로 유의미한 것으로 나타났다. 그림 4(나)에서와 같이 이러한 결과는 정확도 분석에서와 마찬가지로 3D3D 조건에서 회전 각도가 0° 이었을 때보다 다른 각도 조건들에서의 반응 시간이 느렸기 때문인 것으로 보인다. 즉, 3D3D 조건에서의 위치 탐색은 위치 정보의 심적 회전에 매우 취약한 것으로 드러났다.

마우스 움직임 경로 분석

마우스 움직임은 모든 조건에서 참가자들이 화면 위에서 마우스를 이용하여 이동한 경로로 정의되었다. 따라서 3차원 이미지는 실제로 자극의 높이나 깊이 정보까지 포함하지만 참가자의 마우스 움직임은 2차원 평면인 화면 위로 제한하여 분석되었다. 각 독립변인이 참가자의 마우스 움직임 경로 반응에 미친 영향을 알아보기 위해 화면에서 마우스 커서가 나타난 곳에서부터 목표 자극의 위치까지의 거리를 0에서 1로 표준화(normalize)하였다. 탐색 시작 위치부터 목표 자극의 위치 사이의 직선거리를 기준으로 0.1초마다 마우스의 위치가 기준선으로부터 벗어난 정도의 변산을 계산하고 그 평균값을 반복측정 변량분석을 통해 조건 별로 유의미한 차이가 있었는지 알아보았다. 그 결과, 초기 자극이 2차원으로 제시되었을 때(0.19) 3차원으로 제시되었을 때(0.12)보다 마우스의 움직임 경로 변산이 큰 것을 발견하였고($F(1, 14) = 34.839, p < .01$), 차원의 일치 여부에 따른 효과도 유의미하여($F(1,$

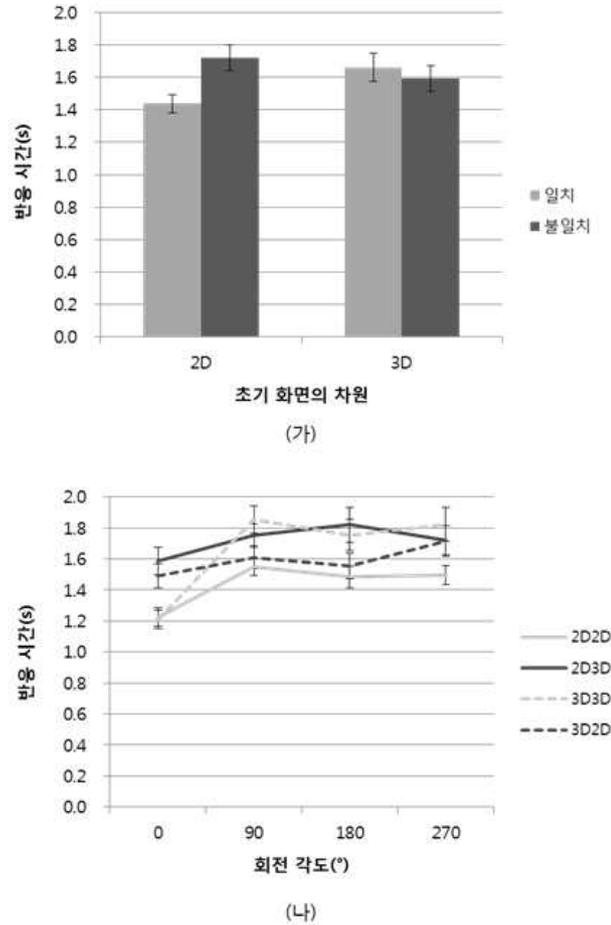
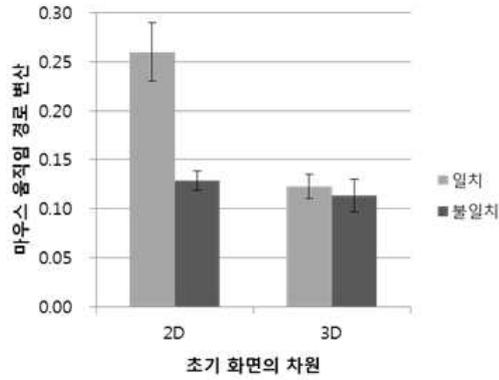


그림 4. 반응 시간 분석 결과. (가) 초기 화면의 차원과 차원의 일치 여부에 따른 반응 시간 차이. 오차 막대는 표준오차를 나타낸다. (나) 회전 각도에 따른 반응 시간 차이. 오차 막대는 표준오차이다.

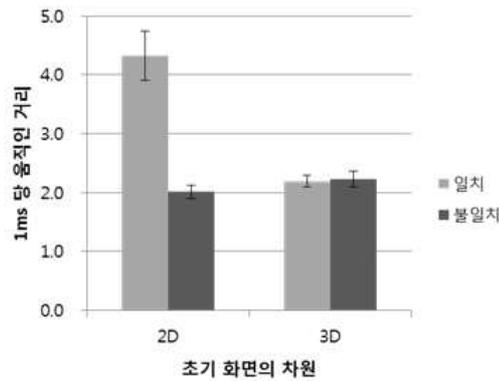
14) = 19.622, $p < .01$) 차원이 일치했을 때(0.19) 일치하지 않았을 경우(0.12)보다 마우스의 움직임 변산이 더 큰 것으로 나타났다. 초기 화면의 차원과 검사 화면 간의 일치 여부에 따른 상호작용 효과도 통계적으로 유의미하였다($F(1, 14) = 13.348, p < .01$). 그림 5(가)에 제시된 것과 같이, 2D2D 조건에서 0.26으로 경로 변

산이 다른 조건에 비해 두 배 가량 크게 나타났다. 나머지 조건의 경우 각각 2D3D 조건이 0.13, 3D3D 조건이 0.12, 3D2D 조건이 0.11의 변산을 보여주었다.

초기 화면과 검사 화면이 모두 2차원이었던 조건에서 마우스 움직임 변산이 가장 크다는 결과는 2D2D 조건에서 참가자들이 빠른 시간 안에 가장 정확하게 목표 탐색 과제를 수행했다는 결과와 비교했을 때, 탐색에 유리한 조건에서 탐색 경로



(가)



(나)

그림 5. 마우스 움직임 경로 변산 분석 결과. (가) 초기 화면의 차원과 차원의 일치 여부에 따른 마우스 움직임 경로 변산. 오차 막대는 표준오차를 나타낸다. (나) 초기 화면의 차원과 차원의 일치 여부에 따른 1ms 당 마우스 움직임 거리. 오차 막대는 표준오차이다.

또한 효율적일 것이라는 예상과 일치하지 않는다. 따라서 목표 탐색을 위한 마우스 움직임 경로가 참가자들의 확신 정도를 반영할 것이라는 가설을 세우고 이를 검증하기 위해 각 조건에서 참가자들이 마우스로 1ms 당 움직인 거리를 계산하였다. 그 결과, 경로 변산에서와 마찬가지로 2D2D 조건에서 참가자들이 다른 조건에 비해 유의미하게 단위 시간 당 많은 거리를 이동했다는 것을 알 수 있었다($R(1, 14) = 25.33, p < .01$, 그림 5(나)). 이러한 결과는 2D2D 조건에서의 높은 정확율과 빠른 반응 시간을 종합해보았을 때, 참가자들이 목표 자극의 위치를 더 확실하게 알았으며, 그로 인해 마우스를 신속하게 움직여 마우스 움직임에 변산이 크게 나타났다는 것을 시사한다.

종합 논의

본 연구에서는 초기 화면의 차원 정보와 초기-검사 화면의 차원 일치 여부가 회전하는 목표의 위치 탐색에 미치는 영향을 알아보았다. 그 결과, 탐색 대상이 회전하는 상황에서 초기 화면이 2차원이었을 때 3차원에서보다 참가자들의 위치 탐색 수행이 뛰어난 것을 알 수 있었다. 초기 화면과 검사 화면의 일치 여부에 대한 정확도 차이는 없었으나 일치했을 때 반응 시간이 유의미하게 빠른 것으로 나타났다. 또한, 초기 화면과 검사 화면이 모두 2차원이었을 때 위치 탐색에 대한 정확도가 가장 높았으며, 반대로 초기 화면과 검사 화면이 모두 3차원이었을 때 회전에 가장 취약하여 탐색 수행이 저조했다. 탐색이 이루어지는 검사 화면이 회전하였을 때의 반응 시간은 회전하지 않았던 조건에서보다 유의미하게 느렸으나, 회전한 각도 간의 유의미한 차이는 발견할 수 없었다. 위치 탐색을 위한 마우스 움직임 경로는 초기 화면과 검사 화면이 모두 2차원이었던 조건에서 직선거리로 부터의 변산이 가장 크게 나타나 해당 조건에서 참가자가 탐색을 보다 더 확신하고 수행했다는 것을 알 수 있었다.

2차원의 초기 자료가 회전하는 목표 위치 탐색의 정확도를 높인다는 결과는 기존의 2차원 보조 자료가 탐색 과제에 유리함을 밝힌 연구들을 지지한다(6, 7). 운전 상황에서 보조 자료는 네비게이션이고 목표 위치 탐색 과제는 실제 상황이라고

가정해 볼 수 있다. 실제로 네비게이션의 정보는 2차원 혹은 3차원으로 제시되고 있으나, 이 정보를 이용해 목표를 탐색하는 실제 상황은 항상 3차원 상에서 이루어진다. 그러므로 2D3D조건에서 3D3D조건에 비해 목표 탐색 정확도가 높았다는 결과는 2차원 정보의 유용성을 시사한다. Tittle과 그의 동료들[7]에 따르면, 2차원 보조 자료는 상대적인 거리 및 위치 파악에 유리한 반면에, 3차원 보조 자료는 대상의 형태 인식에 더 유용하다. 본 연구에서는 참가자들이 목표 탐색 과제를 수행하기 위해 블록들 간의 상대적인 위치 관계를 이용했을 가능성이 높다. 따라서 3차원의 초기 화면보다는 2차원의 초기 화면에서 목표 탐색이 정확했으며, 특히, 초기 화면과 검사 화면 중 하나라도 2차원의 정보가 포함되어 있는 조건(2D2D, 2D3D, 3D2D)에서 탐색 수행이 좋았다는 결과는 탐색 대상이 회전하는 상황에서도 2차원 자료가 상대적 위치 관계 파악에 더 유리한 정보를 제공한다는 것을 뜻한다.

한편, 본 연구의 결과는 3차원 이미지가 외부 세상을 더 실제와 같이 표현하기 때문에 유리하다고 주장했던 기존의 가설[3, 4]을 일부 지지한다. 초기 화면과 검사 화면의 차원 일치 여부에 의한 유의미한 정확도 차이는 없었으나 3차원 초기 화면 조건에서 회전 각도가 0°인 상황에서는 검사 화면의 차원이 초기 화면과 일치할 때(3D3D) 2차원 초기 화면 조건에서만(2D2D) 정확도가 높고 반응 시간이 빨랐기 때문이다. 하지만 초기 화면과 검사 화면이 모두 3차원이었던 조건에서 검사 화면이 회전했을 때 다른 조건에 비해 참가자들의 반응 시간은 현저하게 느려지고 정확도가 낮아지는 결과를 보였다. 이는 보조 자료와 정보를 실제로 적용하는 상황의 차원이 일치하더라도 3차원의 보조 자료로부터 얻은 정보는 검사 대상의 회전에 의한 인지적 변환에 취약하다는 것을 시사한다.

본 연구에서는 검사 화면이 회전 하도록 조작하여 위치 정보의 심적 회전을 유도하였다. 하지만 반응 시간이 회전 각도가 0°이었던 조건과 다른 각도들 간에서만 차이가 있었을 뿐, 기존의 심적 회전 연구[8]에서처럼 회전 각도가 커짐에 따라 반응 시간이 선형적으로 증가하지는 않았다. 이는 참가자들이 위치 탐색을 위해 배열의 대칭성과 같은 다른 단서를 사용했기 때문이라고 보인다. 특히, 180°조건은 가장 회전 각도가 멀리 있는 조건으로 반응 시간이 느려야 하지만 참가자들의 시점을 기준으로 원래의 블록 배열과 대칭을 이루고 있기 때문에 다른 회전 조건에

비해서 목표 자극 탐색이 유리했을 수 있다[15]. 또한, 본 연구에서 사용된 정사각형의 블록 밑판이 주변 맥락으로 심적 회전에 영향을 미쳤을 가능성도 있다. 기존 연구에 따르면, 글자 자극을 대상으로 심적 회전 시 주변 글자의 회전 각도에 따라 반응 시간에 차이가 있었고[12], 가상현실의 정사각형의 방 안에서 원형 방에서 보다 참가자들이 물건을 더 잘 찾을 수 있었다[16]. 이러한 결과는 모두 본 연구에서 참가자들이 심적 회전을 할 때 배열 내에서 블록의 위치 이외에 추가적인 정보를 사용했을 가능성을 지지한다.

본 연구의 결과가 운전 상황에 실질적으로 적용되기 위해서는 보조 자료로부터 얻은 정보의 인지적 변환이 실제 운전 행동에 미치는 영향에 대해 추후 연구가 이루어져야 할 것이다. 본 연구에서는 마우스 움직임을 통해 참가자들의 행동 반응을 간접적으로 측정하였다. 하지만 보조 자료의 차원 정보가 사람들이 실제 도로에서 목표 위치를 찾아갈 때 택하는 이동 경로나 총 이동 시간 등을 측정한다면 차원에 따른 위치 정보의 인지적 변환과 실제 움직임과의 관계를 살펴볼 수 있을 것이다.

본 연구는 목표 대상이 회전하는 상황에서 초기 화면의 차원과 초기-검사 화면의 차원 일치 여부가 목표 위치 탐색에 미치는 영향을 알아보았고, 그 결과 검사 화면이 회전할 때 초기 화면과 검사 화면의 차원 일치보다는 2차원의 초기 정보가 목표 위치 탐색에 유리하다는 것을 발견하였다. 이는 운전 상황과 같이 사용자의 시야가 변화하는 상황에서는 실제와의 유사성을 확보해주는 3차원 보조 자료에 비해 정확한 위치 표상과 인지적 변환을 용이하게 하는 2차원 보조 자료가 더 효과적일 수 있음을 의미한다. 본 연구의 결과는 보조 자료의 차원 정보가 다양한 환경 변화 속에서 목표 대상의 위치를 탐색하는데 미치는 영향 및 보다 효과적이고 안전한 수행을 보장하는 보조 자료의 설계 요건에 대한 바탕을 제공할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Seuntiëns, P. J. H., Heynderickx, I. E. J., IJsselsteijn A, W. A., Avoort, P. M. J. van

- den, Berentsen, J., Dalm, I. J., et al. (2005). Viewing experience and naturalness of 3D images. *Proceedings of SPIE*, 6016, 43-49.
- [2] Wickens, C. D. (1999). Frames of reference for navigation. In D. Gopher, & A. Koriat (Eds.), *Attention and Performance XVII* (pp.112-144). Cambridge, MA: MIT Press.
- [3] Dennehy, M. T., Nesbitt, D. W., & Sumey, R. A. (1994). Real-time three-dimensional graphics display for anti-air warfare command and control. *Johns Hopkins APL Technical Digest*, 15(2), 110-119.
- [4] Roscoe, S. N. (1968). Airborne Displays for Flight and Navigation. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 10(4), 321-332.
- [5] Smallman, H. S., & St. John, M. (2005). Naïve realism: Misplaced faith in realistic displays. *Ergonomics in Design: The Quarterly of Human Factors Applications*, 13(3), 6 - 13.
- [6] St. John, M., Cowen, M. B., Smallman, H. S., & Oonk, H. M. (2001). The Use of 2D and 3D Displays for Shape-Understanding versus Relative-Position Tasks. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 43(1), 79-98.
- [7] Tittle, J. S., Woods, D. D., Roesler, A., Howard, M., & Phillips, F. (2002). The role of 2-D and 3-D task performance in the design and use of visual displays. *Human Factors and Ergonomics Society 45th Annual Meeting Proceedings*, 45, 331-335.
- [8] Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171, 701-703.
- [9] 정일영, 이창현, 이미선, 정상철. (2009). 맥락 정보가 심적 회전에 미치는 영향. **인지과학**, 20(4), 555-571.
- [10] Hollands, J. G., Pavlovic, N. J., Enomoto, Y., & Jiang, H. (2008). Smooth rotation of 2-D and 3-D representations of terrain: An investigation into the utility of visual momentum. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 50(1), 62-76.
- [11] Tory, M., Möller, T., Atkins, M. S., & Kirkpatrick, A. E. (2004). Combining 2D and 3D views for orientation and relative position tasks. *Proceedings of the 2004 conference on Human factors in computing systems - CHI '04*, 73-80.
- [12] Brockmole, J. R., & Henderson, J. M. (2006). Recognition and attention guidance

- during contextual cueing in real-world scenes: evidence from eye movements. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59(7), 1177-1187.
- [13] Brainard, D. H. (1997). The Psychophysics Toolbox. *Spatial Vision*, 10(4), 433-436.
- [14] Pelli, D. G. (1997). The VideoToolbox software for visual psychophysics: Transforming numbers into movies. *Spatial Vision*, 10(4), 437-442.
- [15] Wagemans, J. (1997). Characteristics and models of human symmetry detection. *Trends in Cognitive Sciences*, 1(9), 346-352.
- [16] Kelly, J. W., McNamara, T. P., Bodenheimer, B., Carr, T. H., & Rieser, J. J. (2008). The shape of human navigation: How environmental geometry is used in maintenance of spatial orientation. *Cognition*, 109(2), 281-286.

1 차원고접수 : 2011. 4. 5

2 차원고접수 : 2011. 5. 30

최종게재승인 : 2011. 6. 13

(*Abstract*)

The Effect of Spatial Dimension Shifts in Rotated Target Position Search

Woon Ju Park¹ Ilyung Jung¹ Jeongho Park²
Sangwon Bae¹ Sang Chul Chong^{1,2}

¹Graduate Program in Cognitive Science, Yonsei University

²Department of Psychology, Yonsei University

This study investigated how spatial dimension information and dimensional consistency between learning and testing phase would influence the target search performance. The participants learned spatial layouts of Lego blocks shown in either two- (2D) or three-dimension (3D) and were tested with the rotated stimuli (0°, 90°, 180°, or 270° from the initial view) in consistent or inconsistent dimension. Significantly better performance was observed when initial learning display appeared in 2D than in 3D. Particularly, the participants showed difficulties in flexible usage of spatial information presented in 3D especially if the dimensional information in the testing phase also was 3D and required mental rotation. The present study indicates that spatial map presented in 2D may be more useful than 3D in driving situations in which acquired spatial information from navigating device, such as GPS, and location of driver continuously changes.

Key words : target search, spatial dimension, mental rotation, navigating device, space recognition