

# 공간 격자를 이용한 3차원 공간 입력 인터페이스의 효용성에 관한 연구

한승훈<sup>1</sup>, 채영호<sup>2</sup>  
중앙대학교 첨단영상대학원<sup>1</sup>  
lurirori@gmail.com<sup>1</sup>, yhchai@cau.ac.kr<sup>2</sup>

## A Study on the Effectiveness of 3D Input Interface by Using Spatial Dynamic Grid

Seung Hoon Han<sup>1</sup>, Young Ho Chai<sup>2</sup>  
The Graduate School of Advanced imaging Science  
Multimedia and Film, Chung-Ang University<sup>1 2</sup>

### 요약

본 논문은 몰입형 가상환경 시스템에서 3차원 공간입력 인터페이스 시스템을 이용한 3차원 오브젝트 설계, 오브젝트의 변형 등의 작업을 수행하기 위해 몰입형 가상환경 시스템이 갖는 부정확한 입력과 접근성을 향상시키기 위한 연구이다. 몰입형 가상환경 시스템은 가상 디자인 분야에서의 활용이 예견되고 있으나, 사용자의 입력이 부정확한 단점으로 인하여 정밀한 입력을 요구하는 작업을 진행하기 위해 많은 어려움을 겪고 있다.

본 논문에서는 가상 디자인 분야에서의 사용자 입력 정밀도를 향상 시키는 방법으로 공간격자를 제시하고 두 가지 실험을 통해 공간격자를 사용할 때 사용하지 않았을 때 보다 좀 더 높은 입력 정밀도를 갖는 것을 알 수 있었다.

Keyword : HCI, VR, User Interface, Spatial Grid

## 1. 서론

오늘날의 디자인 과정은 사용자의 의도를 조형적으로 실체화하기 위해 2차원의 평면적 컨셉 디자인 과정을 거쳐 직관적인 2차원 이미지를 엔지니어링 디자인 과정을 통해 3차원 정보로 전환하는 방법을 사용하고 있다. 그러나 분업화된 이러한 과정을 통해 제품주기의 연장, 생산비용 증가, 인적자원의 비효율적 분배, 엔지니어링 디자인 과정에서 사용하는 일반적인 3D 저작 도구인 2차원 입력 인터페이스가 갖는 짧지 않은 교육기간 등의 문제점이 나타날 수 있다.

이와 같은 문제점을 해결 또는 보완하고 2차원 작업 환경이 갖는 평면적인 한계를 뛰어넘어 3차원 공간상에서 사용자의 의도를 표현하고 상호작용이 가능한 작업을 수행하기 위해 기존의 2차원 입력 인터페이스 시스템을 보다 직관적인 표현이 가능하고 비교적 공간에 구애받지 않는 가상환

경과 접목시킨 3차원 공간 입력 인터페이스 시스템에 대한 다양한 연구가 진행되고 있는 실정이다. 이에 적합한 가상환경 시스템으로 프로젝션 방식인 몰입형 가상환경 시스템은 사용자의 시각적인 몰입감을 극대화시킴과 동시에 다양한 방식으로 상호작용을 할 수 있다는 면에서 크게 부각되고 있다. 이 시스템은 프로젝션을 위한 다양한 디스플레이 장치가 존재하며 사용자의 위치를 추적하는 트래킹 장비가 통합되어 있다. 트래킹 장비는 시스템 안에서 사용자가 작품을 제작하거나 관객이 작품과 상호작용을 하기 위해 주로 무선 트래킹을 이용하여 사용자 움직임에 원활하게 해준다.

하지만 3차원 공간 입력 인터페이스 시스템은 기존의 2차원 입력 인터페이스에 비해 직관적인 표현이 다양한 상호작용이 가능하고 교육기간이 상대적으로 짧은 장점이 있지만 익숙한 2차원 평면 작업공간이 아닌 3차원 가상공간과 3차원 입력 인터페이스라는 특수함 때문에 시스템에 익

속하기 위한 시간이 소모되고 2 차원 입력 시스템에 비해 입력 정밀도는 떨어질 수 밖에 없다. 그래서 3 차원 공간 입력 인터페이스 시스템으로 제작되는 결과물들은 주로 입력 정밀도에 구애받지 않는 3 차원 디지털 아트 작품의 형태를 표현하는데 그치고 있다.

이 연구에서는 3 차원 공간 입력 인터페이스 시스템을 이용할 때 가상공간에서 사용자의 의도에 부합되는 곡선을 그릴 수 있게 도와주는 공간격자(Spatial Grid)를 제시하고 이를 적용했을 때 사용자 입력 정밀도에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 실험을 목적으로 하며, 공간격자는 크게 두 종류로 분류되며 각각 기존 2 차원의 평면적인 격자를 3 차원으로 재구성한 정적인 공간격자(Static Spatial Grid)와 공간상에서 완드의 위치정보에 따라 상호작용이 가능한 동적인 공간격자(Dynamic Spatial Grid)가 있다.

본 논문은 사용자가 3 차원 공간입력 인터페이스 시스템을 이용할 때 가상공간에 대한 낮은 접근성과 3 차원 입력 인터페이스가 갖는 이질감을 완화시키고 보다 정밀한 입력이 가능하게 하여 정교한 모델링 또는 제품 디자인 등의 분야에서 활용하는데 도움이 되고자 한다.

## 2. 3차원 공간입력 인터페이스 시스템을 위한 공간격자

격자라고 하면 우리가 일상적으로 대하는 창문의 틀, 바둑판의 빗금처럼 사각형들의 각 모서리를 겹쳐놓거나 직선들을 수직으로 포개 놓은 형태를 말한다. 기존의 2 차원 환경에서의 3 차원 그래픽 저작 도구인 3DS Max, Alias Maya, Rhino3D 등에서 필수 기능으로 들어있는 격자는 사용자로 하여금 위치를 가늠할 수 있게 하고 보다 정확히 형상을 그리거나 오브젝트의 배치를 도와주는 일종의 가이드이다. 각 저작 도구들은 격자의 간격이나 측량 단위, 색상 등을 변경할 수 있는 옵션이 존재하고 사용자로 하여금 의도한 위치에 정확히 표현할 수 있도록 측정도구로써의 격자를 제공한다. 이러한 격자를 3 차원 공간입력 인터페이스

시스템에 적합하게 3 차원으로 재구성한 것을 공간격자라고 한다.

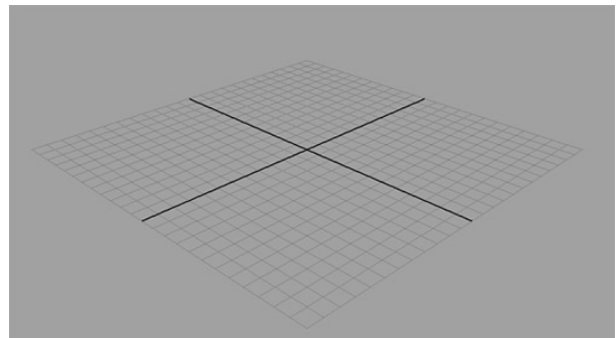


그림 1. Alias Maya 격자

3 차원 가상공간은 기존의 2 차원 평면에 Z 방향의 깊이가 더해진 것이다. 깊이의 여부로 인해 공간상의 물체는 원근감에 의존하여 위치를 가늠할 수밖에 없다. 3 차원 가상공간 시스템에서 그려지는 물체들은 Z 값의 위치에 따라 크기가 표현되며 입력장치로 사용되는 완드의 위치에 대응하는 포인터 역시 Z 값의 위치에 따라 크기가 변해서 포인터의 위치를 가늠하거나 사용자가 완드를 움직이는 것으로 공간상에서의 포인터 위치를 가늠하게 된다. 하지만 원근감만으로 포인터의 위치 정보를 정확히 가늠하기가 어려우며 시스템에 처음 접한 사람들이 적응하기까지 시간이 소모된다.

공간격자 형태는 크게 두 종류로 분류하였다. 첫 번째로 기존의 2 차원 저작 도구에서 흔히 사용되는 일반적인 형태의 격자를 Z 평면을 추가해주는 것으로 3 차원형태로 재구성하였고 이것을 정적인 공간격자 부르며 다음 그림 2의 형태를 취한다.

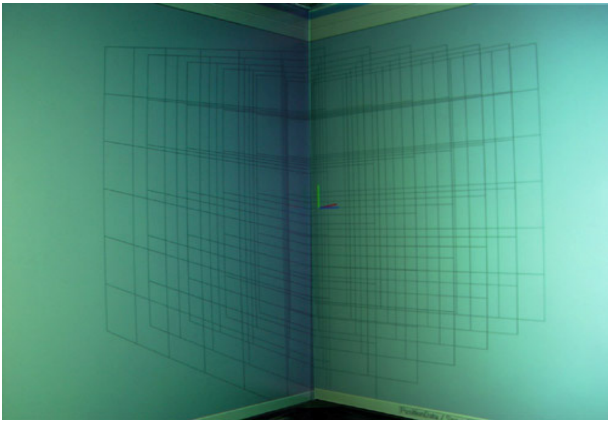


그림 2. YZ 평면으로 구성된 공간격자  
(CASE 2: YZ plane grid)

두 번째로 동적인 공간격자는 XY 평면, YZ 평면, XZ 평면의 기본적인 격자를 고정시키고 완드의 위치에 따라 가변적인 가이드를 제공해서 사용자로 하여금 자신이 움직이는 완드의 위치를 잘 판단할 수 있게 도와주는데 초점을 두고 구현해보았다.

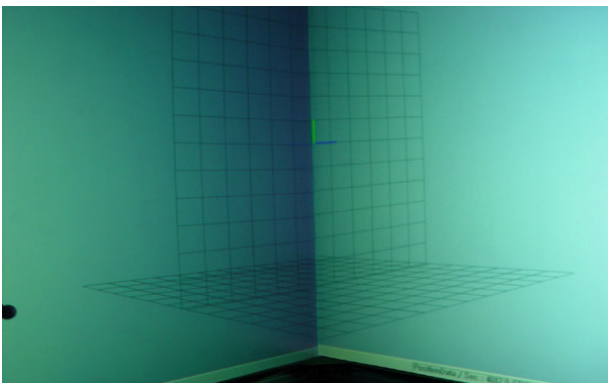


그림 3. 완드위치에 가변적인 YZ 평면 격자  
(CASE 3: Translate Z plane grid)

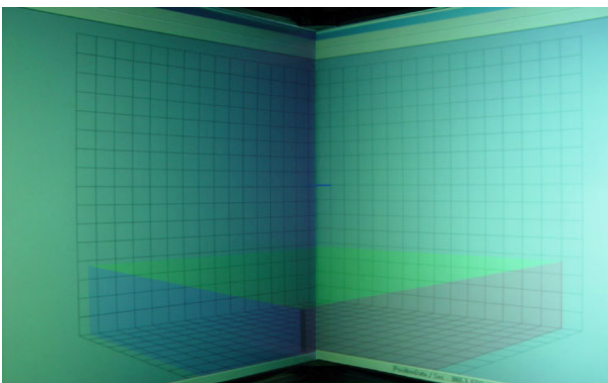


그림 4. 고정된 격자평면에 완드 위치에 박스 형태의 격자(CASE 4: Graphical Box guided grid)

### 3. 공간격자를 적용한 실험

#### 3-1. 실험방법 및 종류

2 장에서 소개된 공간격자를 적용하여 공간상에 목표곡선이 있을 때 공간격자의 유무 및 종류에 따라 사용자의 곡선 스트로크와 목표곡선과의 오차에 대해 실험을 진행하였다.

실험은 두 종류로 나뉘고 공간상에 목표곡선을 대상으로 피실험자의 곡선 스트로크와의 정확도를 측정하였다. 1 차 실험은 가장 기본적인 형태의 곡선이 목표곡선들이 주어지고 피실험자가 공간 내에서의 깊이 인지에 대해 공간격자가 미치는 영향에 초점을 두었다. 2 차 실험은 타원 형태의 목표곡선들을 주어지고 피실험자가 공간 내에서의 크기 인지에 대해 공간격자가 미치는 영향에 초점을 두었다.

1 차 실험은 가상공간 내에 목표곡선을 표시하고 목표곡선에 대고 직접 따라 그리는 실험 1 종과, 목표곡선을 표시하지 않고 머릿속의 이미지로 그리는 실험 2 종, 목표곡선을 옆에 두고 보고 그리는 실험 3 종 으로 구성되며 공간격자가 없을 때와 공간격자를 적용했을 때로 나뉘게 된다. 2 차 실험은 1 차 실험에서의 실험 1 종과 2 종만으로 구성하였다.

#### 3-2. 가상공간 내에 주어지는 목표곡선

1 차 실험에서 사용된 목표곡선은 다음 그림 5 와 같다.

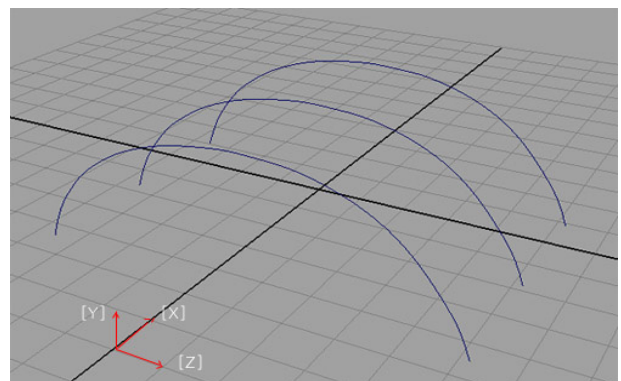


그림 5. 1 차 실험의 목표곡선

중심점을 기준으로 음의 Z 방향에서 양의 Z 방향으로 이어지고 각 곡선의 X 방향은 일정 간격으로 떨어진 차수가 3 이고 제어점의 개수가 20 개인 B-Spline 곡선으로 구성되었다. 이 3 개의 목표곡선이 주어지고 사용자의 자유곡선 스트로크를 최소 제곱 근사 곡선 알고리즘을 이용하여 전환해서 생성곡선과 목표곡선의 제어점 간의 거리 차를 통해 평균값을 얻어내어 정확도를 측정한다.

2 차 실험에서 사용된 목표곡선은 다음 그림 6 과 같다.

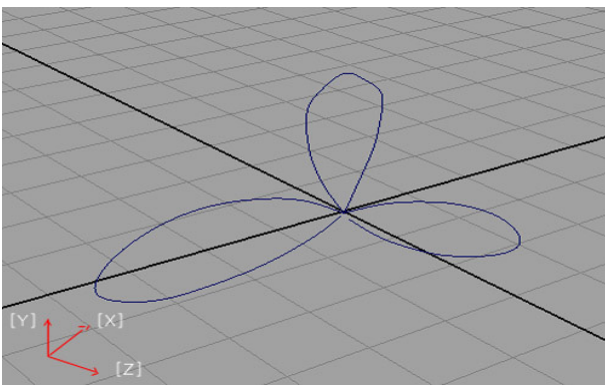


그림 6. 2차 실험에서 사용된 목표곡선

중심점을 기준으로 X, Y, Z 방향으로 향하는 타원 형태의 곡선들로 이루어져 있으며, 각 곡선은 차수가 3 이고 제어점의 개수가 10 개 인 B-Spline 곡선으로 구성되어있다. 1 차 실험의 목표곡선과 마찬가지로 사용자의 자유곡선 스트로크를 최소 제곱 근사 곡선 알고리즘을 통해 B-Spline 곡선으로 전환해서 원점에서 생성곡선의 제어점의 길이와 미리 계산된 목표곡선의 원점으로 부터의 제어점 길이의 차로 크기를 비교하였다.

#### 4. 실험 결과

##### 4-1. 1 차 실험 - 3 차원 공간상의 깊이 인지

1 차 실험에선 피실험자 A, B, C 의 생성곡선 제어점과 목표곡선 제어점의 거리 차에 대한 평균 정확도를 비교하였다. 피실험자 A 는 시스템에 숙련된 사용자이고 B, C 는 비숙련자로 나뉜다.

다음 그림 7 은 실험 1 종에 대한 평균 정확도를

비교한 결과를 보여준다.

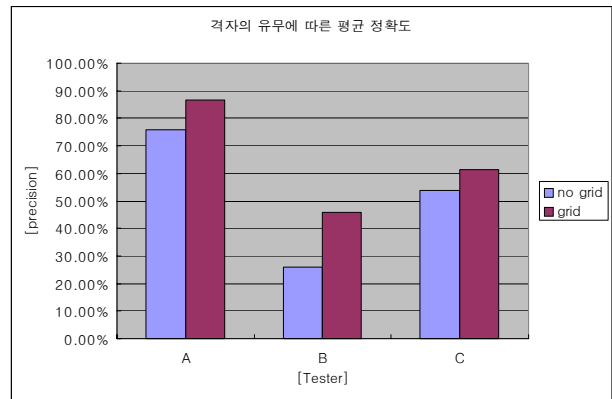


그림 7. 1차 실험 1종에 대한 평균 정확도 비교

위의 그림 7 에서 피실험자 A, B, C 의 정확도는 격자가 적용되었을 때가 그렇지 않을 때 보다 각각 10.56%, 19.82%, 7.69%의 정확도가 증가했다.

다음 그림 8 은 실험 2 종에 대한 평균 정확도를 비교한 결과를 보여준다.

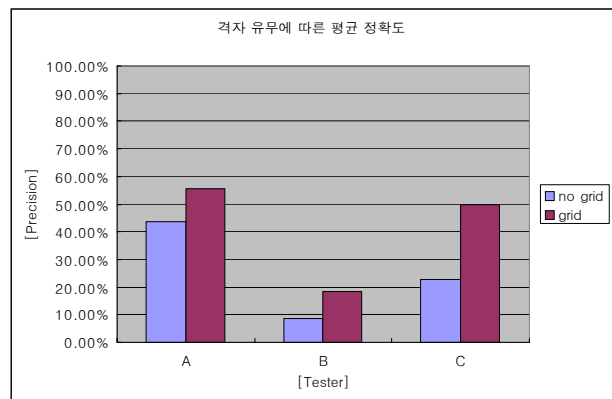


그림 8. 1차 실험 2종에 대한 평균 정확도 비교

위의 그림 8 에서 보인 정확도는 전체적으로 1 종에 비해 감소됐지만 역시 공간격자를 적용했을 때가 그렇지 않았을 때보다 좀 더 높은 정확도를 나타냈다. A, B, C 는 각각 25.81%, 7.12%, 15.69%의 정확도가 증가했다.

다음 그림 9 는 실험 3 종에 대한 평균 정확도를 비교한 결과를 보여준다.

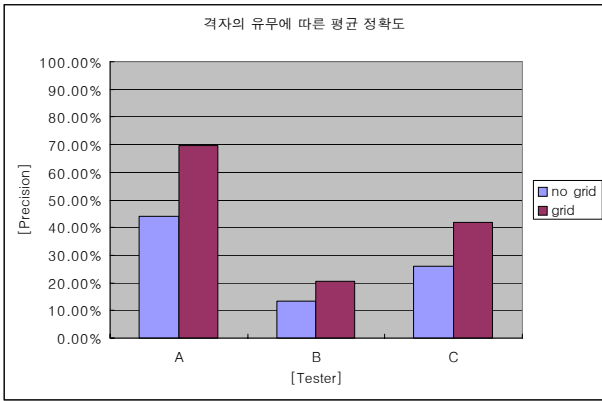


그림 9. 1차 실험 3종에 대한 평균 정확도 비교

실험 3종의 정확도 역시 공간격자를 적용했을 때가 그렇지 않을 때 보다 좀더 높은 결과를 나타냈다. A, B, C는 각각 12.08%, 9.43%, 26.99%의 정확도가 증가했다.

1차 실험에선 최종적으로 다음 표 1과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

표 1. 1차 실험의 정확도 결과

Tester A	Experiment 1	Experiment 2	Experiment 3
CASE 1	75.96%	26.12%	53.85%
CASE 2	86.07%	47.80%	58.47%
CASE 3	87.23%	41.17%	66.42%
CASE 4	86.25%	48.86%	59.74%
Tester B	Experiment 1	Experiment 2	Experiment 3
CASE 1	43.98%	13.37%	26.02%
CASE 2	64.36%	14.22%	37.86%
CASE 3	77.36%	26.85%	45.09%
CASE 4	67.65%	20.41%	42.17%
Tester C	Experiment 1	Experiment 2	Experiment 3
CASE 1	43.62%	8.80%	22.70%
CASE 2	47.33%	16.71%	46.59%
CASE 3	59.80%	21.49%	53.60%
CASE 4	59.98%	16.50%	48.88%

각 실험 중별 결과에서 A, B, C 모두 격자가 없을 때 보다 있을 때 정확도 높은 것으로 나타났고, 공간격자는 정적인 것보다 동적인 종류에서 좀 더 목표곡선과 비슷한 곡선을 그릴 수 있었다.

#### 4-2.2 차 실험 - 3차원 공간상의 크기 인지

2차 실험에선 피실험자 A, B, C, D, E의 생성곡선과 각 목표곡선간의 크기에 대한 정확도를 측정

하고 있다. 피실험자 A, B, C는 1차 실험에 참가한 사람들이고 D, E는 2차 실험부터 참가한 사람들을 말한다.

다음 그림 10은 실험 1종에 대한 평균 정확도를 비교한 결과를 보여준다.

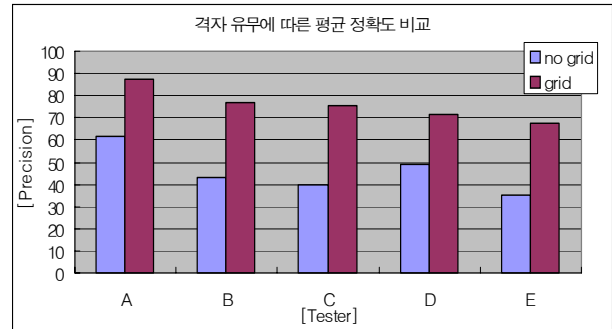


그림 10. 2차 실험 1종에 대한 평균 정확도 비교

1차 실험과 마찬가지로 격자가 없을 때보다 있을 때 A, B, C, D, E는 각각 25.75%, 33.65%, 35.76%, 22.2%, 31.93%의 정확도가 증가했다.

다음 그림 11은 실험 2종에 대한 평균 정확도를 비교한 결과를 보여준다.

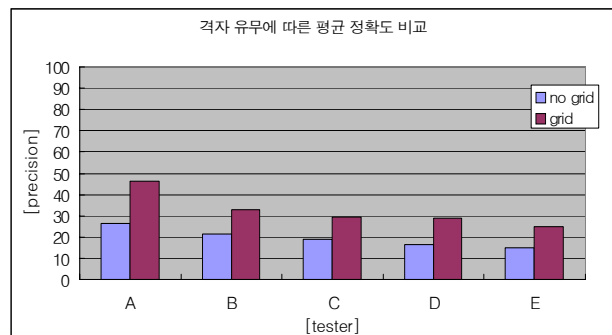


그림 11. 2차 실험 2종에 대한 평균 정확도 비교

실험 2종도 1차 실험에서와 마찬가지로 격자가 없을 때 보다 격자가 있을 때 공간상의 곡선의 크기에 대한 정확도가 높은 것을 알 수 있었다.

A, B, C, D, E는 각각 20.24%, 11.58%, 10.31%, 12.42%, 9.79%의 정확도가 증가했다.

2차 실험에선 최종적으로 다음 표 2와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

표 2.2 차 실험의 정확도 결과

Tester A	Experiment 1	Experiment 2
CASE 1	61.47%	26.16%
CASE 2	86.09%	43.80%
CASE 3	88.47%	44.37%
CASE 4	87.09%	51.05%
Tester B	Experiment 1	Experiment 2
CASE 1	43.37%	21.23%
CASE 2	74.11%	27.30%
CASE 3	79.50%	31.84%
CASE 4	77.47%	39.30%
Tester C	Experiment 1	Experiment 2
CASE 1	39.97%	18.81%
CASE 2	71.63%	29.6%
CASE 3	76.19%	30.46%
CASE 4	79.38%	27.28%
Tester D	Experiment 1	Experiment 2
CASE 1	49.12%	16.22%
CASE 2	69.61%	26.17%
CASE 3	68.45%	32.22%
CASE 4	75.9%	27.54%
Tester E	Experiment 1	Experiment 2
CASE 1	35.38%	15.06%
CASE 2	59.6%	18.73%
CASE 3	74.05%	30.28%
CASE 4	68.28%	25.53%

1 차 실험과 거의 비슷한 결과로, 동적인 공간격자를 사용했을 때가 그렇지 않았을 경우에 비해 목표곡선의 크기에 가까운 곡선을 그릴 수 있었다.

## 5. 결론

이 논문에서는 3 차원 공간입력 인터페이스 시스템에서 입력 정밀도의 향상을 위해 공간격자를 제시하고 시스템에 적용하여 실험을 통해 공간격자가 없을 때 보다 향상된 입력을 할 수 있다는 결과를 얻게 되었다.

공간격자는 1 차 실험에서 목표곡선을 두고 사용자가 직접 따라 그릴 때 격자가 없어도 숙련자나 비숙련자도 목표곡선과 비슷한 곡선을 그릴 수 있었지만 공간격자를 적용함으로써 모두 정확도가 증가됨을 알 수 있다. 공간상에 목표곡선이 없을 때나 보고 그릴 때 격자가 없으면 목표곡선과의 형태차이는 컸지만 공간격자를 통한 깊이에 대한 가늠이 쉬워져 목표곡선에 근접한 곡선을 그려낼

수 있었다. 이를 통해 3 차원 공간상에서의 깊이에 대해서 좀 더 정확한 입력이 가능할 수 있다는 것을 알 수 있다. 또한 2 차 실험을 통해 3 차원 공간상의 형상의 크기 인지에 대해서도 숙련자, 비숙련자 모두 격자가 적용되었을 때 목표곡선과 근접한 곡선을 그릴 수 있었다. 공간격자의 종류에 선 정적인 격자보다 사용자와의 인터랙션이 가능한 동적인 공간격자가 형상을 표현하고 인식하는데 좀 더 도움이 된다는 결과를 얻을 수 있었다.

이러한 공간격자를 각각의 가상환경 시스템에 맞춰 사용자와의 인터랙션을 강화하고 시각적 몰입감에 대한 것 뿐만 아니라 촉각, 청각적인 부분까지도 보강해서 입력정밀도를 높여 기존 3 차원 공간입력 인터페이스 시스템의 주목적이었던 디지털 3D 아트, 전시 분야만이 아닌 제품 디자인, 3 차원 저작도구 등과 같은 분야에 활용될 수 있게 되길 기대해본다.

## 감사의 글

이 논문은 2005 년 정부(교육인적자원부)의 대학 특성화 지원 사업의 재원으로 수행된 연구임.

## 참고문헌

- [1] Wesche, G., Seidel, H. "FreeDrawer-A Free-form Sketching System on the Responsive Workbench.", Proceedings of VRST2001, Banff, Alberta, Canada, pp.167-174, 2001.
- [2] D. Keefe, D. Acevedo. "CavePainting: A Fully Immersive 3D Artistic Medium and Interactive Experience", Proceedings of SIGCHI 2001, pp.85-93, 2001.
- [3] Patrick Baudisch. "The Cage: Efficient Construction in 3D using a Cubic Adaptive Grid", UIST 1996, Seattle, WA, USA, pp.171-172, 1996.
- [4] 최한울, "가상 캘리그래픽 스케칭 인터페이스", 중앙대학교 석사학위논문, pp.16-50, 2005.
- [5] 유충렬, "3 차원 디지털 아트를 위한 몰입형 가상환경 시스템 개발", 중앙대학교 석사학위논문, pp.14-48, 2003.