

정보표현방식에 따른 사용자 호의도 및 업무부하량 변화

(User Preference and Workload Changes According to Information Visualization Methods)

정 경 호 *

(Kyung Ho Chung)

요 약 엔지니어링 정보와 같은 3차원 정보의 시각화에는 CAD, 2D 컴퓨터그래픽, 3D 컴퓨터그래픽, 가상현실(VE)을 이용한 3차원적 표현 등 다양한 정보표현방식이 이용될 수 있으나, 이들 방식의 효과에 대한 비교연구는 매우 부족하다. 본 연구의 목적은 CAD, 2D 컴퓨터그래픽, 3D 컴퓨터그래픽, 가상현실의 한 형태인 증강현실 방식(AR)의 정보표현 방식에 대한 사용자의 호의도 및 심리적, 신체적 업무부하의 차이를 비교하는 것이다. 실험결과 사용자들은 정보제공방식 간에 업무부하의 차이는 없다고 보고하였으나, 2D 정보표현보다 3D 정보표현을 선호하였다. 우리가 물체를 인식하는 방식과 동일한 방식으로 정보를 제공하는 AR방식은 인식정보의 병렬처리를 통하여 엔지니어링 정보제공에 유용한 수단으로 사용될 수 있음을 보여 주었다.

키워드 : 증강현실, 가상현실, 시각화, 업무부하

Abstract Despite the wide range of information and engineering visualization techniques available, studies in investigating the effectiveness of the techniques in visualization has been rare. The typical visualization techniques were CAD, 2D and 3D computer graphics, and virtual environment (VE) that use 3D displays of 3D space.

The objects of this study is to analyze the user preferences and workload changes according to the visualization methods of engineering drawings such as 2D CAD, 2D computer graphics, 3D computer graphics, and augmented reality which is a variation of VEs. The results showed that users preferred 3D visualization techniques to 2D visualization techniques, though there were no workloads differences. Furthermore, the 3D perspective of AR which analogies the real world could facilitate the interpretation of engineering drawings.

Key words : Augmented Reality, Virtual Environment, Visualization, Workloads

1. 서 론

컴퓨터를 이용한 정보의 시각화(visualization)는 CAD, 2D 그래픽, 3D 그래픽, 이외에도 가상현실(virtual environment)을 이용한 3D 그래픽 등 다양한 형태로 제공될 수 있다. 그러나, 동일한 정보의 경우에도 정보표현의 양식에 따라 정보전달의 용이도와 이해속도에 차이를 보일 수 있다.

이들 표현 양식 중 VE는 우리가 일상생활에서 인지하는 형태와 동일한 형태로 정보를 제공하여, 인간의 지식과 경험을 증진시킬 수 있는 가장 유용한 수단으로

기대되고 왔다. 이는 VE와 같은 3차원적 정보표현은 우리의 공간에 대한 3차원적 심성모형(mental model)과 일치하며, 정보의 표현양식이 실제정보의 존재형태와 유사하여 개념적 이해가 용이하다는 현실성의 원칙(principle of pictorial realism)에 근거한다.

따라서, 많은 연구들은 복잡하고 다차원적인 데이터를 3차원적 그래픽 정보로 제공함으로써, 정보의 이해와 해석을 증진시킬 수 있을 것으로 기대하여 왔다. 분자구조의 도식화[1], 버추얼 프로토타이핑[2], 태풍의 구조에 대한 도식화[3] 사례에서 살펴볼 수 있는 것처럼, VE의 대표적 응용분야의 하나인 정보의 시각화는 관찰자가 정보공간을 조작하거나 관찰함으로써 데이터에 대한 이해가 용이하도록 지원한다. 또한 CAD와 같이 그래픽 물체의 조작과 관찰을 필요한 작업에도 매우 유용하다.

* 정 회 원 : 한국정보보호진흥원 전략개발팀장

khc@kisa.or.kr

논문접수 : 2004년 6월 25일

심사완료 : 2004년 11월 2일

그러나, 대부분의 연구들은 정보의 시각화 방식과 기술에 관심이 갖은 반면, 그 효과의 측정에 대해서는 상대적으로 소홀하였다. 어떠한 형태의 데이터와 정보가 시각화에 유용한가에 대한 연구는 부족하다. 따라서 본 연구에서는 엔지니어링 정보의 제공을 위한 평면적 CAD 정보제공방식과 컴퓨터를 이용한 2D, 3D, AR 방식간의 효과성을 비교하기 위하여, 정보표현방식에 따른 사용자의 호의도 및 업무부하의 차이를 분석하였다.

2. 연구배경

2.1 엔지니어링정보의 유형과 가상현실기술의 적용

일반적으로 엔지니어링 정보는 물체의 형태 정보, 수치정보, 작업 프로세스의 3가지 형태를 포함한다. 형태 정보는 제조하고자 하는 물체의 외형적 형상에 대한 그래픽 정보로 2D, 3D 그래픽 도구를 이용하여 제공된다. 특히, 전통적 CAD에 비해 VE를 이용한 시각화가 갖는 장점은 3D 디스플레이를 이용한 3D 그래픽 환경의 제한, 3D 사용자 인터페이스, 그래픽 물체의 자유로운 조작과 인터랙션이다. 작업자는 일상에서 물체를 이용하는 것과 동일한 방식으로 가상의 물체를 움직이고 관찰함으로써, 물체에 대한 이해를 제고할 수 있다. 수치정보는 엔지니어링에 관련된 물체의 계량적 정보로 숫자 또는 코드화된 심볼의 형태로 표현된다. 프로세스정보는 정해진 작업순서 또는 작업자와 물체와의 인터랙션에 따라 변화되는 정보를 의미한다.

VE와 AR기술의 유효성은 업무성격과 사용정보의 유형에 의해 결정된다. 대부분의 VE 시스템이 지원하는 정보양식(modality)은 시각정보로 형태적, 공간적 정보를 필요로 하는 업무에 유용한 반면, 경험적 기술(skill based task)에 속하거나 수치정보 중심의 업무에는 부적합하다. 또한, VE시스템에 이용되는 HMDs(head mounted displays)는 좁은 시야와 해상도의 제약으로 주변상황인식이 중요하거나 정밀한 작업이 필요한 경우에는 부적합하다.

가상환경에서 이용자와 가상물체간의 상호작용(interactivity)의 장점은 많은 연구에서 보고되고 있으나, 아직까지 업무성과 개선에 대한 실증적 결론에는 도달하지 못하였다[4,5]. VE의 상호작용이 이용자의 공간감각과 네비게이션(navigation) 능력을 향상시킨다고 알려져 있으나, 이러한 결과는 상호작용에 의한 업무부하(workloads)가 크지 않은 경우로 한정된다[5]. 상호작용의 증가는 정보량의 증가를 의미하므로, 상호작용에 의한 정보부하가 이용자의 정보처리능력을 넘지 않아야 한다.

한편 AR 형태의 VE 시스템의 경우, 가상공간의 컴퓨터 그래픽 정보와 실제공간(physical space)의 정합(registration)이 매우 중요하다. 증강현실은 가상과 실

제의 두 정보채널에 공간적 근접성(spatial proximity)을 제공함으로써 정보의 병렬처리가 가능하게 한다. 그러나 공간적 근접성이 항상 정보의 병렬처리를 지원하는 것은 아니며, 두 채널간의 혼동을 최소화하기 위해서는 이들 정보의 공간적 배열과 위치의 적합성이 중요하다[6]. 정보의 병렬처리는 정보상호간의 공간적 근접성뿐 아니라, 인지적 근접성에 의해 결정된다[7].

또한 컴퓨팅 속도와 트래킹 기술의 한계로 아직까지 AR 시스템에 이용되는 상업용 트래커(tracker)로는 완벽한 정합성을 제공하는데 불충분하다. AR 시스템의 정합성 오차는 시스템 래그, 트래킹 오차, 시스템 초기화 오차, 광학 또는 전자장치의 왜곡 등에 의해 초래되며, 이중 시스템 래그의 영향이 다른 모든 요인에 의한 오차보다 큰 것으로 알려져 있다[8]. 현재까지의 대부분의 AR 연구들은 정적인(static) 환경 또는 완벽한 정합이 필요 없는 형태의 응용을 가정하고 있으며, 본 연구에서는 고정형의 AR 디스플레이를 이용하여 컴퓨터 그래픽과 실제물체간의 정합오차를 약 1mm 이내로 유지하였다.

2.2 2D, 3D 정보제공방식의 장단점

항공기 조종같은 공간정보의 이해에 있어서 3차원의 입체적 정보가 2차원의 평면적 정보보다 효과적이며, 복잡한 3D정보의 시각화에 3D 디스플레이가 2D 디스플레이보다 효과적이라는 것이 기존 연구들의 공통적인 결과였다[9,10]. 또한 3D 디스플레이에 관한 연구들도 디스플레이를 통해 제공되는 정보의 구조와 형태가 실제정보가 존재하는 형태와 일치하여야 한다는 점에서 디스플레이 일치성(display compatibility)을 주장하였다. CAD와 같은 제품디자인에 있어서도 인간의 심성모델과 일치하는 3D 정보공간이 2D 정보공간보다 효과적인 전달수단이 된다[11]. 이는 물체에 대한 2D 그래픽정보는 3D 형태정보로의 통합과 해석의 과정을 추가로 필요로 하기 때문이다. 특히 공간감지, 복잡한 형태정보의 경우에는 3D정보가 매우 효과적이다.

한편, Nielson은 3D 정보표현은 실제적인 물체가 아닌 추상적인 정보에는 부적합하다고 주장하였다[12]. 이러한 이유로 2D 디스플레이의 3D 정보 재현의 한계, 2D 인터페이스를 이용한 3D 공간에서의 제어의 한계, 3D 공간에서의 네비게이션시 업무부하의 문제 등을 제기하였다. 또한 3D 정보를 2D 정보로 표현할 경우 크기와 거리에 대한 부정확성이 초래될 수 있다[13].

2D 디바이스를 통한 3D 정보제공방식의 한계를 극복하기 위한 방안으로 VE가 사용될 수 있다. 가상현실은 2개의 독립된 디스플레이를 통해 양안에 독립적인 영상정보를 제공함으로써, 실제 인간이 시각을 통해 정보를 얻는 방식과 동일한 정보를 제공한다. 또한 물체의 제어

수단으로 데이터 글로브, 3D 트랙커 등을 사용함으로써, 현실세계에서 인간과 물체간의 상호작용과 유사한 형태의 인터페이스를 가능하게 한다.

그러나, 사용자 중심의 기준(ego-centered frame of reference), 3D 정보제공 방식에 의한 장점에도 불구하고, VE는 추가적인 비용요소를 포함한다. ① 현실감 있는 VE를 구성하기 위한 멀티모달(multimodal) 디스플레이의 사용, ② 고해상도의 3D 그래픽에 따른 래그로 인한 현실감의 감소[14], ③ 수평면이 실제보다 상승하여 보이는 VSE(virtual space effect)로 인한 물체의 높이에 대한 착오[15], ④ 제한된 시야로 인한 원근감의 감소[16], ⑤ VE환경에서 발생하는 방향감 상실, ⑥ 장시간 노출시 VE환경과 실제 환경과의 차이로 인한 병리적인 현상이 발생할 수 있다.

이러한 잠재적 문제점에도 불구하고, 현실감 있는 생생한 경험을 제공할 수 있는 VE와 AR은 다양한 형태의 작업에 효과적인 정보전달 수단으로 이용될 수 있다. 특히, 3D 공간적 근접정보를 이용하는 AR시스템은 실제세계와 VE의 두개의 서로 다른 정보채널을 결합하여 정보의 병렬처리를 가능하게 하는 효과적인 도구로 기대되고 있다[4,7]. 공간적 근접정보의 전형적인 이용사례는 자동차와 비행기의 앞유리에 계기정보를 투영하는 HUDs(head-up displays)[17,18]. AR검사시스템에 대한 연구[19,20]에서 찾아 볼 수 있다.

3. 연구방법

3.1 피실험자

본 연구의 피실험자들은 Manufacturing Process Lab.을 수강한 대학생들 중에서 선발하였다. 시력측정기를 이용하여 교정시력이 1.0 이상인 24명의 피실험자를 선정하였다. 피실험자들의 평균연령은 23.5세(최소 20세, 최대 28)이며, 성별은 남녀 각 15명, 9명이었다. 또한 피실험자간의 검사방식에 대한 이해의 차이를 최소화하기 위하여, 실험에 앞서 약 1시간에 걸쳐 치수검사에 필요한 측정기기의 이용방법에 대한 설명을 제공하였다.

피실험자의 2D, 3D 공간정보에 대한 이해도를 파악하기 위하여, 피실험자의 공간적 인지능력을 검사하였다. 인지능력테스트는 Ekstrom et al.[21]의 시각화시험(visualization test)을 이용하였다. 피실험자들의 시각화 능력점수는 평균 15.4점(20점만점)이었으며, 모든 피실험자의 점수는 10~20 범위에 분포되었다. 점수범위는 20 내로 시각화능력에 심각한 문제가 있는 피실험자는 발견되지 않았다.

3.2 실험디자인

피실험자간 비교실험(between-subjects design)이 수행되었으며, 정보제공양식은 4개 수준이(2D CAD, 2D

그래픽, 3D 그래픽, AR) 설정되었으며, 개별 실험조건에는 각 6명의 피실험자가 할당되었다.

3.3 종속변수

피실험자가 약 1시간동안 주어진 실험조건하에서 주어진 작업에 따라 정보를 제공받은 후, 피실험자가 느끼는 주관적 신체피로 및 업무부하를 Likert 설문서를 이용하여 측정하였다.

신체피로는 신체불편도에 의해 측정되었으며[22], 심리적 업무부하는 NASA TLX(NASA task loading index)에 의해 측정되었다[23]. NASA TLX는 다차원적인 업무부하를 측정하는데 이용되며 정신적부하, 육체적부하, 업무성과, 노력, 심리적 스트레스의 5개의 세부항목으로 구성된다. NASA TLX는 세부항목간 상대비교를 통해, 개별 피실험자가 세부항목에 대해 느끼는 업무부하의 차이를 반영할 수 있다. 총업무부하는 TLX의 개별항목의 평균으로 측정되며, 가중평균방식은 사이코메트릭(psychometric) 기반의 확문적 근거가 부족한 것으로 인식되고 있다.

3.4 정보제공 양식

본 실험에 사용된 업무는 일반 작업장의 대표적인 업무의 하나인 제품검사 작업이었다. 검사부품은 3개의 각형(prismatic)과 3개의 회전형 부품으로, 치수검사작업에서 전형적인 검사항목을 내재하는 부품군에서 선정되었으며, 하나의 제품에는 10-15 개의 측정항목이 존재하였다.

제품검사는 제품이 주어진 작업요구에 맞도록 제작되었는지를 판정하는 것이므로 ① 제품설계도면을 통한 검사항목 파악, ② 해당 검사항목의 측정 (3번측정), ③ 측정치의 평균치 계산, ④ 허용오차내에 있는지 판단, ⑤ 결합여부의 판정으로 구성된다.

제품정보는 CAD로 제작된 설계도면, 2D 컴퓨터 그래픽, 3D 컴퓨터 그래픽, AR 그래픽의 4가지 방식이 제작되었다. CAD 방식은 하나의 설계도면에 모든 정보(제품형태, 측정항목, 허용오차 등)를 함께 표시한다. 2D 그래픽 방식은 CAD방식과 동일하게 2D 형태로 정보를 제공하나, 측정과 관련된 정보를 작업순서에 따라 순차적으로 제공한다. 3D 그래픽방식은 작업순서에 따라 3차원적 정보를 순차적으로 제공한다. 마지막으로 AR방식은 AR 디스플레이를 통해 측정부품 위에 측정정보가 결합되도록 설계되었다(그림 1 참조).

표 1에서 보는 바와 같이 정보전달의 측면에서 볼 때 4가지 방식은 정보제공방식, 정보처리, 정보변환상에 차이를 보인다.

정보제공의 측면에서 볼 때, CAD방식은 타 정보표현 방식과 달리 집단정보를 (clustered information) 이용하여, 측정대상 항목과 측정위치를 결정하기 위한 검색

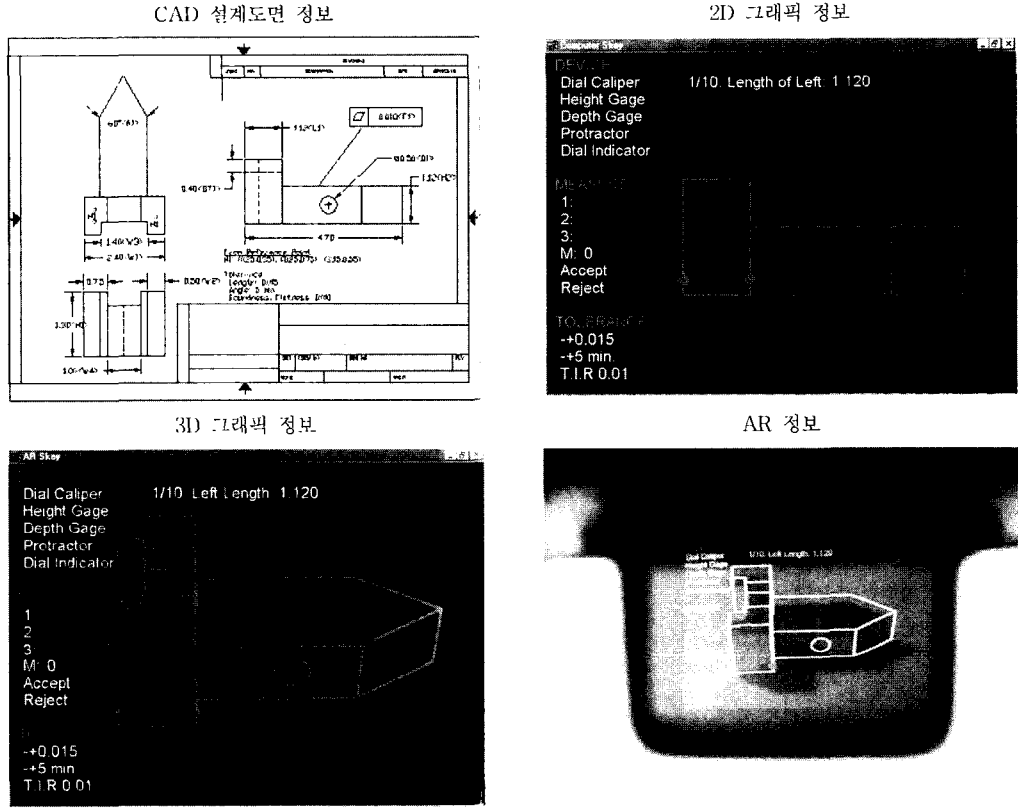


그림 1 CAD, 2D 그래픽, 3D 그래픽, AR의 정보표현 방식비교

표 1 정보표현방식별 정보제공, 정보처리, 정보변환 상의 차이

내용	CAD	2D 그래픽	3D 그래픽	AR
정보제공방식	집단정보	순차정보	순차정보	순차정보
정보처리방식	시리얼	시리얼	시리얼	병렬
정보변환방식	2D 3D	2D 3D	3D 3D	3D 3D

과정을 필요로 한다. CAD 방식은 전통적인 정보제공 방식인 설계도면을 이용하며, 측정항목, 허용오차 등 모든 정보가 동일 설계도면위에 함께 표시된다. 작업자가 검사작업을 수행하기 위해서는 작업지시서를 참조하여 설계도면상의 모든 정보 중에서 작업지시서에 표시된 정보를 선택하여야 한다. CAD 이외의 방식은 측정항목에 대한 정보가 컴퓨터를 통해 순차적으로 하나씩 표시되므로 검색과정이 생략될 수 있다.

정보변환의 측면에서 볼 때, CAD 방식과 2D 그래픽 정보는 머리속에서 3D 정보로 재구성하는 과정을 필요로 한다. 반면, 3D 그래픽과 AR방식은 정보를 실제 검사대상과 동일한 3D정보로 제공함으로써, 정보변환과정을 필요로 하지 않는다.

정보처리의 측면에서 볼 때, AR방식은 컴퓨터 그래픽

을 실제 물체정보위에 결합함으로써 정보의 병렬처리를 가능하게 한다. 작업자는 마치 물체 위에 검사에 필요한 정보가 인쇄되어 있는 것과 같은 이미지를 얻을 수 있다. AR에 의한 두개의 정보체널(실제물체와 그래픽 정보) 간의 공간적 근접정보는 정보의 병렬처리를 가능하게 한다. 한편, AR 이외의 방식은 실제물체와 설계도면이 공간적으로 분리되어 설계도면상의 측정정보를 실제 물체에 대응시키는 Mapping 과정이 필요하다.

4. 결과

4.1 평균작업시간

평균작업시간은 단일 항목의 적합성 판정에 소요된 시간으로, 검사항목 파악에서부터 결합여부의 판정까지 소요된 총 시간을 포함한다. 평균작업시간은 정보제공형태별로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 표 2에서 보는 바와 같이 CAD 방식이 가장 많은 시간이 소요되었으며, AR 방식이 가장 짧은 시간이 소요되었다. Post hoc 분석(Bonferroni t-test $p < 0.05$)은 CAD 방식과 다른 방식과는 유의한 차이가 있고, 2D 그래픽과 3D 그래픽이 AR방식과 유의한 차이가 있는 것으로 보여주

표 2 방식별 평균작업시간 (단위: 초)

방식	CAD	2D 그래픽	3D 그래픽	AR
평균소요시간	165	117	131	92

었다. 한편 2D 그래픽과 3D 그래픽 간에는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다.

4.2 심리적 업무부하

심리적 업무부하 측정을 위한 9 점척도의 설문서가 사용되었다. 낮은 점수일수록 업무부하가 적음을 의미한다. 업무부하에 대한 다변량분석(MANOVA) 결과는 정보제공방식에 대한 선호도만이 유의한 것으로 나타났다. 표 3과 같이 NASA TLX에 의한 5가지 세부업무부하인 정신적부하, 신체적부하, 시간적부하, 성과만족도, 노력도, 수행장애도와 선호도의 평균값은 5.0(보통) 이하로 나타났다. 이는 네그룹 모두 각자의 업무수행에 대해 만족하였으며, 업무부하가 높지 않다는 것을 의미한다.

표 3 업무부하에 대한 다변량분석 결과

항목	평균값				유의수준(p)
	CAD	2D	3D	AR	
정신적 부하	3.50	3.17	2.92	2.50	0.704
신체적 부하	2.67	3.17	3.42	2.50	0.727
시간적 부하	4.17	3.83	4.08	3.83	0.990
성과 만족도	3.17	2.67	2.58	2.83	0.691
노력도	4.17	2.50	3.58	3.00	0.112
수행 장애도	3.33	3.67	3.08	3.17	0.922
선호도	5.00	4.67	1.33	2.33	0.001*

그러나 사용자의 선호도에 대해서는 유의한 차이가 있었으며, Post hoc 분석(Bonferroni t-test)은 피실험자들이 3D 그래픽과 AR을 CAD방식과 2D 그래픽 보다 선호함을 보여주었다. 한편, CAD 방식과 2D 그래픽 간에는 선호도의 차이가 유의하지 않았다(표 4 참조).

표 4 선호도에 대한 Bonferroni t-Test (CDB= 1.7725, $p < 0.05$)

정보제공방식 (평균)	CAD (5.00)	2D 그래픽 (4.67)	AR (2.33)	3D 그래픽 (1.33)
CAD			2.67*	3.67*
2D 그래픽		0.33	2.34*	3.34*
AR		-	-	1.00
3D 그래픽				

업무부하에 대한 개인별 차이를 파악하기 위하여, 설문조사시 7점 이상(약간 어려움)을 응답한 경우를 조사하였다(표 5 참조). 총 24명의 피실험자 중 4명만이 업무부하를 보고하였다. 이들 피실험자는 CAD와 2D 그래픽 정보제공방식을 이용한 피실험자들로 정신적 부하와 시간적 부하가 크다고 보고하였다.

표 5 업무부하에 대한 개인간 차이

세부업무부하	CAD	2D	3D	AR	합계
정신적 부하 (mental demand)	1	1			2
신체적 부하 (physical demand)					
시간적 부하 (temporal demand)	1	1			2
성과 만족도 (performance)					
노력도 (effort)					
수행장애도 (frustration level)					
합계	2	2			4

3.2 신체피로도

설문결과에 의한 신체피로에 대한 다변량분석 결과는 표 6과 같으며, 네 가지 실험조건에 대해 유의한 차이는 없었다. 설문서는 9점 척도로 설계되었으며, 낮은 점수일수록 해당 부위의 피로가 적음을 의미한다. 네가지 실험조건하에서 대부분의 신체부위별 피로도의 평균값은 5.0 (보통) 이하로, 통계적으로는 네가지 정보제공방식 모두 신체피로를 일으키지 않은 것으로 나타났다.

표 6 신체 부위별 피로도에 대한 다변량 분석

신체부위	CAD	2D그래픽	3D그래픽	AR	유의수준(p)
머리	3.67	3.00	1.67	2.50	0.38
눈	4.33	2.50	3.42	3.00	0.60
목	3.83	4.50	3.08	3.83	0.82
어깨	3.33	3.33	3.58	2.83	0.95
상완	3.17	3.50	2.08	2.17	0.43
팔꿈치	3.50	4.67	1.25	2.17	0.06
하완 및 손	3.17	4.00	3.08	2.83	0.86
등 상부	3.50	5.50	5.08	4.67	0.63
등 하부	4.83	4.17	5.75	4.50	0.79
엉덩이/허벅지	3.50	3.00	1.58	2.00	0.37
무릎	3.50	2.83	1.08	2.33	0.19
발목/발	3.50	3.50	1.08	1.08	0.10

개인별 피로도의 차이를 파악하기 위하여, 설문조사시 7점이상(약간 불편)을 응답한 경우를 조사하였다(표 7참)

표 7 개인별 신체부위별 불편도 보고회수

신체부위	CAD	2D그래픽	3D그래픽	AR	합계
머리		1			1
눈	1				2
목	1	2			4
어깨	1	1	1		3
상완		1		1	1
팔꿈치	1	2	1		3
하완 및 손		2			3
등 상부	1	3			9
등 하부	2	2	1		9
엉덩이/허벅지	1		3	2	1
무릎	1	1	3	2	2
발목/발	1	1			2
합계	10	16	9	5	40

조). 평균적인 피로도는 5점 이하였으나, 총 24명의 피험자 중 9명은 한 부분 이상의 신체부위에 약간 이상의 피로를 보고했다. 신체부위별로는 등상부와 등하부에 대한 불편이 가장 많이 보고 되었다. 정보제공방식에 있어서는 2D 그래픽 식에서 신체피로가 가장 많이 보고 되었다.

5. 토의 및 결론

각 정보제공방식간의 평균작업시간의 차이는 정보제공형태, 정보처리, 정보변화의 3가지 요인에 의해 설명할 수 있다. CAD 방식은 알려진 정보의 (target의 위치와 target의 유형) 검색과 2D 정보를 3D 정보로 변환하는 과정을 필요로 하여, 가장 많은 시간이 소요되었다. 2D 그래픽 방식은 검사정보가 지정된 최적 작업순서에 따라 하나씩 제공함에 따라 검색과정이 생략될 수 있으나, 2D 정보를 3D 정보로 변환하는 과정을 필요로 한다. 3D 그래픽 방식은 검색과 2D 정보의 3D변환을 필요로 하지 않는다. AR 방식은 3D 그래픽의 장점과 함께 실제부품과 부품과 설계도면을 결합하여 동일 채널을 통하여 제공함으로써 정보의 병렬처리를 가능하게 하여 최소한의 평균작업시간을 보여주었다.

심리적 업무부하에 대한 설문결과를 네가지 정보표현 방식에 유의한 차이가 없는 것으로 나타났으나, CAD와 2D 그래픽 정보이용자 그룹내의 각 2명의 피험자는 정신적, 시간적 업무부하가 크다고 보고하였다. 따라서, 평균적으로 2D 그래픽방식이 업무부하가 크다고 볼 수는 없었으나, 업무부하에 대한 개인적인 차이가 있음을 알 수 있었다. 작업자들은 일상적으로 물체를 인식하는 방식과 같은 입체적 정보제공방식(3D 그래픽과 AR)을 평면적 방식(CAD와 2D 그래픽)보다 선호하였으나, 평균작업시간의 측면에서는 두 방식간에 차이를 보여주는 증거는 찾을 수 없었다. 2D 그래픽과 3D 그래픽 방식간에는 평균작업시간 간에 유의한 차이가 없었다.

한편, 작업자들은 CAD 방식과 2D 그래픽 방식간에 선호도에 차이를 보이지 않아, 집단정보와 순차정보와에 대해서는 선호도에 유의한 차이가 없었다. 그러나, 업무성과 측면에서는 순차적 정보를 이용할 경우 집단정보를 이용한 경우보다 작업시간을 단축할 수 있음을 보여 주어, 작업자의 선호가 작업성과와는 일치하지 않는 결과를 보여주었다. 특이한 결과는 통계적으로는 유의하지 않았으나, 2D 그래픽이 3D 그래픽보다 평균작업시간이 약간 짧았다는 것이다. 2D 그래픽방식의 평균작업시간이 짧게 소요된 것은 설명이 어려우나, 두 방식간에 평균작업시간간의 차이가 유의하지 않았던 것은 정보형태가 비교적 단순하여 2D 정보를 3D 정보로 처리하여 해석하는데 추가적인 시간이 소요되지 않았기 때문인 것

으로 판단된다.

신체피로도는 평균적인 수준에서 볼 때, 모든 조건에서 높지 않았다. 그러나, 개별 작업자들은 등부위 등 신체부위에 대해 약간의 불편을 보고하여, 장기간에 걸친 검사작업은 신체피로를 유발할 수 있음을 보여 주었다. 한편 AR 방식의 작업자들이 HMD를 이용함에도 불구하고, 최소한의 신체불편을 보고한 것은 이례적이었다. 실험자는 AR방식은 HMD의 사용으로 작업자들이 신체피로를 가장 많이 보고할 곳으로 예측하였으나, 실험결과는 AR 방식을 이용한 작업자들이 최소수준의 피로도를 보고하였다. 이러한 결과는 작업자가 대상 물체와 검사정보를 동시에 볼 수 있어서, 작업시간이 가장 짧아 신체 피로를 최소화할 수 있었기 때문인 것으로 판단된다.

연구결과는 실세계에서 우리가 물체를 인식하는 방식과 동일한 방식으로 정보를 제공하는 AR방식이 엔지니어링 형태의 정보제공에 유용한 수단으로 사용될 수 있음을 보여 주었다. 그러나 VE, AR방식을 이용한 정보제공이 보편화되기 위해서는 검사 오차율, 시스템 설계의 유연성, 비용에 대한 비교와 함께 사이버증후군에 대한 연구가 필요하다. 가상환경에서 일어나는 사이버증후군을 방지하기 위한 연구가 진행되어 왔지만, 아직 구체적인 영향요인과 측정방법에 대한 기초적인 연구조차 미흡한 상태에 있다. 사이버 증후군은 사용자가 VE 환경과 실제 작업환경과의 감각적 불일치에 기인한다. AR은 실제 공간을 감각적 판단기준(point of-reference)으로 제공함에 따라, VE에 비해 상대적으로 잔존효과(aftereffect)가 적은 것으로 알려져 왔으나 AR방식의 정보제공이 작업자들에게 받아들여지기 위해서는 부정적 효과의 방지에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] Stephen, R. E., "Origins and elements of virtual environments," In W. Barfield, T. A. Furness III (Eds.), *Virtual Environments and Advanced Interface Design*(pp. 14-57). NY: Oxford University Press, 1995.
- [2] University of Michigan, *Virtual Prototyping of Automotive Interiors*, Available: <http://www-vrl.umich.edu/project/automotive/>[2004, June]
- [3] Wilhelmson, R. B. et al., "A study of the evolution of a numerically modeled severe storm. *International Journal of Super Computer Application*," 4(2), 22-36, 1989.
- [4] Shewchuk, J. P., Chung, K. H., & Williges, R. C., "Virtual environment in manufacturing," In K. Stanney (Ed.), *Handbook of Virtual Environments* (pp. 1119-1142), NJ: Lawrence Erlbaum, 2002.

- [5] Stanney, K. M., Ronald, R. M., & Kennedy, R. S., "Human factors issues in virtual environments: A review if the literature," *Presence*, 7(4), 327-351, 1998.
- [6] Martin-Emerson, R., & Wickens, C. D., "Superimposing, symbology, visual attention, and the head-up display," *Human Factors*(39), 581-601, 1997.
- [7] Wickens, C. D., & Hollands, J. G., *Engineering psychology and human performance*, New York, NY: Harper Collins Publishers, 1999.
- [8] Holloway, R. L., "Registration error analysis for augmented reality," *Presence*, 6(4), 413-432, 1997.
- [9] Wicknes, C. D., LaClair, M., & Sarno, K., "Graph-task dependencies in three-dimensional data: Influence of three-dimensionality and color," *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society annual meeting* (pp. 1420-1424). Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society, 1995.
- [10] Wicknes, C. D., Merwin, D. H., & Lin, E. L., "Implications of graphics enhancements for the visualization of scientific data: Dimensional integrity, stereopsis, motion, and mesh," *Human Factors*(36), 44-61, 1995.
- [11] Liu, Y., Zang, X., & Chaffin, D., "Perception and visualization of human posture information for computer-aided ergonomic analysis," *Ergonomics* (40), 819-833, 1997.
- [12] Nielson, J., 2D is better than 3D, Available: <http://www.useit.com/alertbox/981115.html> [2004, Feb.]
- [13] Gregory, R. L., *Eye and Brain*, London: Weidenfeld & Nicolson, 1977.
- [14] Snow, M.P. and Williges, R.C., "Empirical models of perceived presence in virtual environments based on free-modulus magnitude estimation, *Human Factors*," 40(3), 386-402, 1998.
- [15] Wickens, C. D., & Baker, P., "Cognitive issues in virtual reality," In W. Barfield & T. Furness, III (Eds.), *Virtual Environments and Advanced Interface Design* (pp. 514-541). New York: Oxford University Press, 1995.
- [16] Henry, D. & Furness, T., "Spatial perception in virtual reality environments," In *Proceedings of IEEE Virtual Reality Annual International Symposium (VRAIS)* (pp. 33-40). September 18-22, Seattle, WA, 1993.
- [17] Goesch, T., Head up displays hit the road. *Information display*, 7(8), 10-13, 1990.
- [18] Wickens, C. D., & Long, J., "Object versus space-based models of visual attention: Implications for the design of head-up displays," *Journal of Experimental Psychology*, 1, 179-193, 1995.
- [19] Chung, K. H., Shewchuk, J. P., & Williges, R. C., "An analysis framework for applying virtual environment technology to manufacturing tasks," *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 12(3), 335-348.
- [20] Chung, K. H., Shewchuk, J. P., & Williges, R. C., "An application of augmented reality to thickness inspection," *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 9(4), 331-342, 1999.
- [21] Ekstrom, R. B., French, J. W., & Harmon, H. H., *Manual for kit of factorreferenced cognitive tests*. Princeton: ETS, 1976.
- [22] Wilson, J., "Task analysis and work design," In V. Martino & N. Corlett (Eds.), *Work Organization and Ergonomics* (pp.13-48). Geneva: International Labor Office, 1998.
- [23] Hart, S. G., & Staveland, L. E., "Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of experimental and theoretical research," In P. A. Hancock & N. Meshkati (Eds.), *Human Mental Workload* (pp. 139-183). Amsterdam: North Holland, 1988.



정 경 호

1983년 한양대학교 산업공학과 학사. 1985년 서울대학교 산업공학과 석사. 1986년~2003년 한국전자통신연구원 책임연구원. 2002년 Virginia Polytechnic Institute and State University, ISE Ph. D. 2003년~현재 한국정보보호진흥원 정보전략개발팀장 관심분야는 HCI, VR, AR, Wearable Computer, 유비쿼터스 컴퓨팅, 정보보호