

# 원격 조종 작업에서 3가지 시각 궤환 조건하의 작업 수행도 (Task Performance under three Visual Feedback Conditions in a Teleoperation Task)

尹琬鎭\*, 金 眞\*\*, 趙 巖\*\*\*

\* 동국대학교 대학원 산업공학과

\*\* 김천전문대학교 공업경영과

\*\*\* 동국대학교 산업공학과

## ABSTRACT

In this research, we investigated the effect of three visual feedback conditions (direct viewing, one-monitor viewing, and two-monitors viewing) on the task performance of human operator in teleoperation task. The three different level of task difficulties under each conditions were performed by thirty-six subjects. The result of the experiments was analysed by the task difficulties, and the measurements of performance are the task completion time and the frequency of task errors.

In a teleoperator, the participation of a human operator is always required, and the man-machine interface and the operator's abilities is an important issue. Recently, the different types of sensory feedback conditions(force, vision, sound, tactile, etc) for teleoperation is a very active research area in ergonomics. Among them, visual feedback condition is an important sense that can provide the information of task environment. Therefore, the sufficient understandings and investigation for human ability under various visual feedback conditions is required to establish the efficient man-machine interface of teleoperation

The result showed that the visual feedback conditions and the level of task difficulties have a significant effect on the task performance. For three level of task difficulties, the task completion time was the shortest under the condition of direct viewing. The number of task errors under the conditions of direct viewing and two-monitors viewing were reduced by more than half compare to that of one-monitor viewing.

## 1. 序 論

오늘날 과학기술의 급격한 향상으로 인하여, 인간은 과거에는 근접하기 어려웠던 세계로의 탐사가 가능하게 되었다. 그러나, 새로운 환경으로 접근해 감에 따라, 인간은 점차 위험한 상황에 직면하게 되었으며, 이것은 외계, 심해, 고온, 저온, 유독성 혹은 방사능 환경에서와 같은 극한 환경이다. 이러한 환경에서의 작업을 수행하기 위해 특별히 고안된 인간 대행의 장치가 바로 원격 조종 시스템(teleoperator)이다.

원격 조종 시스템은 인간에게 부적합하거나 혹은 인간으로부터 멀리 떨어진 장소로 인간의 감각 및 조종 능력을 확장시킬 수 있는 기계이며, 일반적으로 다양한 환경조건 하에서 예측하기 힘든 非反復的이며 독자적인 서비스, 유지-보수, 혹은 구조작업을 수행한다<sup>[9]</sup>.

1950년대 원자력 산업 분야에서 방사성 물질을 취급하기 위해 사용하였던 원격 조종 시스템은 우주, 해양, 군사, 광업, 의료, 그리고 산업 분야 등에 적용되어 왔다. 원자력 분야에서는 장비의 유지보수, 물자의 취급 그리고 상업용 원자로의 방사성 열 교환기에 대한 유지보수에 사용되었으며<sup>[3]</sup>, 우주에서 사용된 가장 유명한 예로는 美 우주 왕복선에서 인공위성을 설치하거나 회수하는데 사용되었던 14m 길이의 원격 매니플레이터가 있다<sup>[4]</sup>.

이러한 분야에 적용됨으로써 인간은 해로운 환경으로부터 안전하게 보호되었을 뿐만 아니라 효과적으로 작업을 수행할 수 있게 되었다. 따라서 원격 조종 시스템이 가지고 있는 잠재적인 파급 효과는 앞으로 더욱 확산될 것이다.

원격 조종 시스템에서 인간의 참여는 필수적이며, 시스템과 효과적으로 상호작용하는 조작자의 능력과 인간-기계 인터페이스는 중요한 문제가 되고 있다. 특히, 최근에는 서로 다른 유형의 감각 제한 조건(힘, 시각, 소리, 촉각 등)이 조작자의 수행도에 어떠한 영향을 미치는가를 인간공학적인 측면에서 고찰하려는 연구가 진행되고 있다.

그 중에서도 인간 정보 수용의 80% 이상을 차지하고<sup>[6]</sup> 있는 視覺은 원격 조종 시스템을 감시하고 조작하는 인간에게 작업 환경의 정보를 제공하는 주된 감각 제한 조건 중의 하나이다. 물론 향상된 시각 센서가 인간의 시각을 어느 정도 대신할 수는 있으나, 다양하게 변화하는 환경을 인식하기에는 기술적으로 부족한 점이 있다. 따라서 원격 조종 시스템에서 인식(perception) 및 의사 결정을 담당하는 인간 측면에서의 적절한 시각 제한에 관한 연구는 중요하다고 할 수 있다.

현재 원격 조종 시스템에서 조작자의 시각 제한 조건으로는 직접 관측(direct viewing), 1대의 모니터 관측(one-monitor viewing), 또는 2대의 모니터 관측(two-monitors viewing)이 주로 사용되고 있으며, 3대 이상의 모니터를 관측하는 경우도 있다. 최근에는 향상된 시각 제한 조건으로 3D(dimension) 영상 기술을 적용하려는 연구도 진행되고 있으나, 충분한 기술적 수준을 가지고 있지 못하며 많은 비용의 투자를 필요로 하기 때문에 실용화할 수 있는 단계에는 미치지 못한다고 알려져 있다. 趙<sup>[10]</sup>의 연구에서는 3D 모니터를 통한 입체적 인식은 가능하나, 인식의 정도는 떨어지는 것으로 보고하고 있다. 유리창을 통한 직접 관측과 1대의 모니터 관측은 원자력 분야나 우주 분야에서 사용되고 있다. 그러나 직접 관측은 거리의 제약을 받을 수 있으며, 시야로부터 벗어난 부분은 인식할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 인간의 시각 한계를 벗어나는 경우에는 TV 모니터가 조작자의 시각을 확장하는데 사용되고 있으나, TV 모니터가 거리와 심도를 크게 왜곡하기 때문에 원격 작업 환경을 모호하게 인식하고 판단할 수 있다고 알려져 있다<sup>[7]</sup>. 또한 원자로 내부에서 단지 1대의 모니터를 통하여 매니플레이터를 조종하는 경우, 조작자는 로봇 팔과 그 주변에 중대한 손상을 줄 수도 있다고 보고되고 있다<sup>[6]</sup>. 2대의 모니터 관측의 경우에는 이러한 문제점을 해결 수 있다고 생각되나, 그 수행의 정도는 아직 명확히 밝혀지지 않고 있다. 따라서 원격 조종 시스템의 효율적인 인간-기계 인터페이스를 구현하기 위해서는 여러가지 시각 제한 조건에 대한 충분한 이해와 연구가 필요하다고 하겠다.

본 연구에서는 원격 조종 시스템에서 사용되는 3가지 시각 제한 조건(직접 관측, 1대의 모니터 관측, 또는 2대의 모니터 관측) 하의 작업 수행도를 서로 다른 난이도를 가진 3가지 작업에 따라 비교 분석하여, 작업의 난이도와 시각 제한 조건이 인간의 수행도(작업 시간과 작업 에러 횟수)에 어떠한 영향을 미치는가를 알아보고, 원격 조종시의 시각 제한을 위한 추후 연구의 정량적 기초 자료를 제공하고자 한다.

## 2. 연구 방법

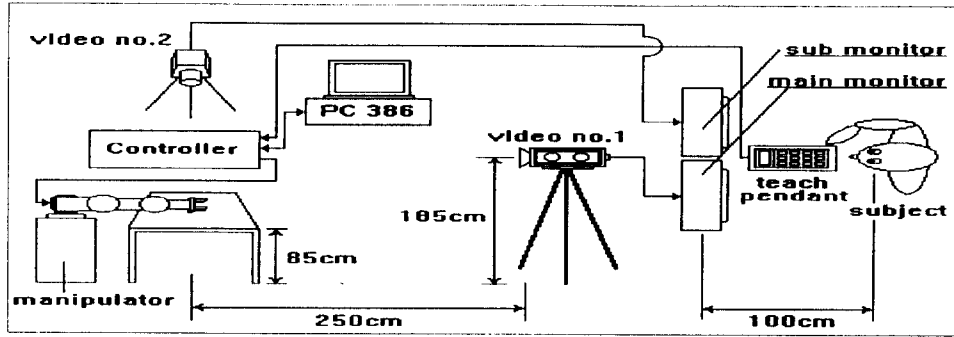
### 2.1 피실험자

피실험자로는 좌우 각각 1.0 이상의 정상시력(교정시력 포함)을 가진 건강한 대학생 및 대학원생을 대상으로 하였으며, 1995년 7월부터 8월까지 약 30일에 걸쳐 총 36명(남자 24명, 여자 12명, 나이분포 20~27세)의 피실험자가 실험에 참가하였다. 실험을 실시하기 전에, 피실험자들에게

실험에 관한 제반사항을 충분히 숙지시켰다. 실험실 내의 온도는 25~31℃ 였으며, 조명에 의한 영향을 줄이기 위해 조도는 230Lux로 고정시켰다.

## 2.2 실험장치

실험장치는 매니플레이터 시스템, TV 모니터 및 비디오 카메라, 제어 소프트웨어가 들어있는 IBM PC 386컴퓨터, 그리고 작업판으로 구성되어 있으며, 실험에서 사용된 실험장치와 그 배치는 [그림 1]에 나타내었다.

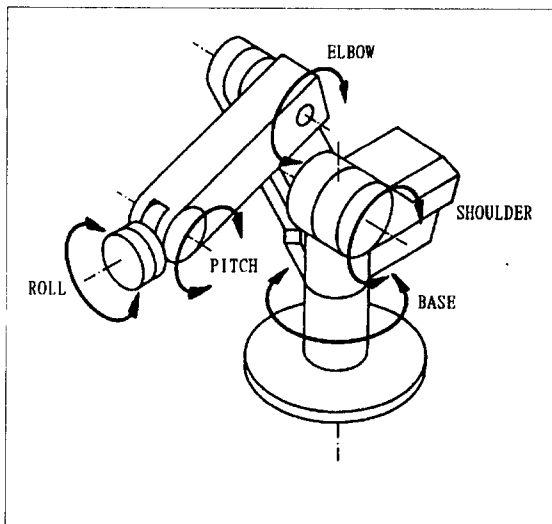


[그림 1] 실험 장치와 배치도

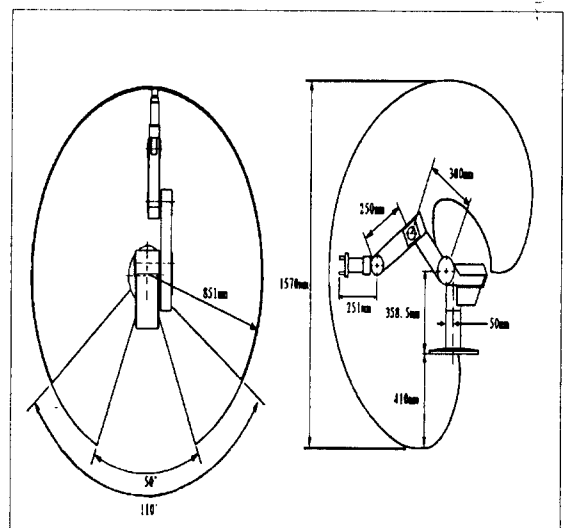
### 2.2.1 매니플레이터 시스템

본 실험에서는 Eshed Robotec 社의 교육용 로봇인 SCORBOT-ER VII의 로봇 팔을 매니플레이터로 사용하였으며, SCORBOT-ER VII는 로봇 팔, 컨트롤러, 티칭 펜던트(teach pendant), 전기 그립퍼 그리고 컴퓨터 소프트웨어로 구성되어 있다. DC servo motor에 의해 구동되는 매니플레이터의 최대 속도는 1000mm/sec.이며, 실험에서는 default value인 500mm/sec.를 사용했다. 매니플레이터의 조종 방식으로는 모든 관절이 동시에 움직이는 XYZ coordinate 방식과 각 관절별로 움직이는 joint coordinate 방식이 있으며, 실험에서는 joint coordinate 방식이 사용되었다.

매니플레이터는 총 6개의 축(base, shoulder, elbow, wrist pitch, wrist roll, gripper)으로 이루어져 있으며, 조종 축 및 범위는 [그림 2]와 [그림 3]에 나타내었다.



[그림 2] 로봇 팔의 조작 축



[그림 3] 로봇 팔의 조작 범위

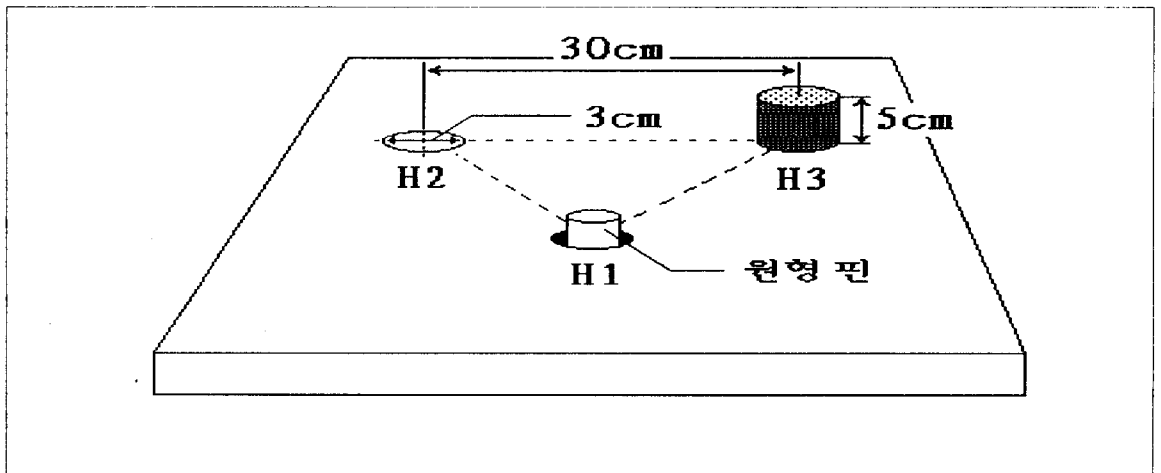
### 2.2.2 TV 모니터 및 비디오 시스템

모니터 관측 실험을 위해, 피실험자에게 제공될 시각 cue용 장치로는 2대의 칼라 모니터와 2

대의 비디오 카메라가 사용되었다. 모니터의 경우, 主 모니터(main monitor)는 33inch TV, 補助 모니터(sub monitor)는 16inch TV가 사용되었으며, 2대 모두 NTSC 해상도(프레임당 525 Line)를 가지고 있다. 또한 작업 영상을 실시간으로 제시하기 위해 사용된 비디오 카메라의 경우, 主 모니터에 영상을 제공하는 카메라는 매니플레이터 정면에 설치하였고, 보조 영상을 제공하는 카메라는 주 카메라와 직각이 되는 작업대의 우측에 설치하였다. 또한 2대의 카메라는 작업판의 중심으로부터 직선거리로 동일하게 250cm 떨어진 위치와, 185cm의 높이로 고정시켰다. 예비실험의 결과, 이 거리와 높이에서 피실험자는 작업 환경 전체(작업판과 매니플레이터)를 관측할 수 있었다. 비디오 카메라의 셔터속도는 1/60초 였다.

### 2.2.3 작업판

실험에서 사용된 작업판(가로×세로×높이 100×50×5cm)은 직사각형 나무판이며, 바닥으로부터 85cm 높이의 실험용 탁자 위에 설치하였다. [그림 4]에서 보는 바와 같이, 작업판은 3가지 작업 난이도를 위해 총 3개의 구멍을 가지고 있으며, 원형 판이 꽂혀있는 구멍으로부터 삽입할 구멍까지의 직선거리는 30cm이다. 또한 그 구멍의 직경은 3.0cm로서 구멍의 허용오차는 1.0cm이다. 사용된 원형 판은 직경 2.0cm 높이 10cm 이다.



[그림 4] 작업판

### 2.3 실험계획

이 실험에서의 작업은 작업판에 있는 하나의 구멍으로부터 원형 판을 뽑아내어 목적하는 구멍에 삽입하는 일종의 간단한 pick and place 작업이다. Pick and place 작업은 Book and Hannema(1980)<sup>[1]</sup>, Murata and Miyake(1989)<sup>[11]</sup>, Massimino and Sheridan(1994)<sup>[9]</sup> 등 많은 연구에서 원격 조종 작업으로 사용되었으며, 본 실험의 작업은 이러한 pick and place 작업과 예비실험의 결과를 바탕으로 응용된 것이다. 피실험자는 로봇트 컨트롤러와 연결된 터치 펜던트의 버튼을 조작함으로써 매니플레이터를 직접 제어했으며, 매니플레이터는 지연없이 실시간으로 작동되었다. 하나의 중립 위치를 설정하여, 각 시행마다 매니플레이터가 항상 중립위치에서 출발하도록 하였다.

매니플레이터는 3가지 관측조건(직접 관측, 1대의 모니터 관측, 2대의 모니터 관측)하에서 조종되었으며, 각 관측조건당 3가지 작업이 수행되었다. [그림 5]는 3가지 관측 조건의 실험 구성도를 보여준다.

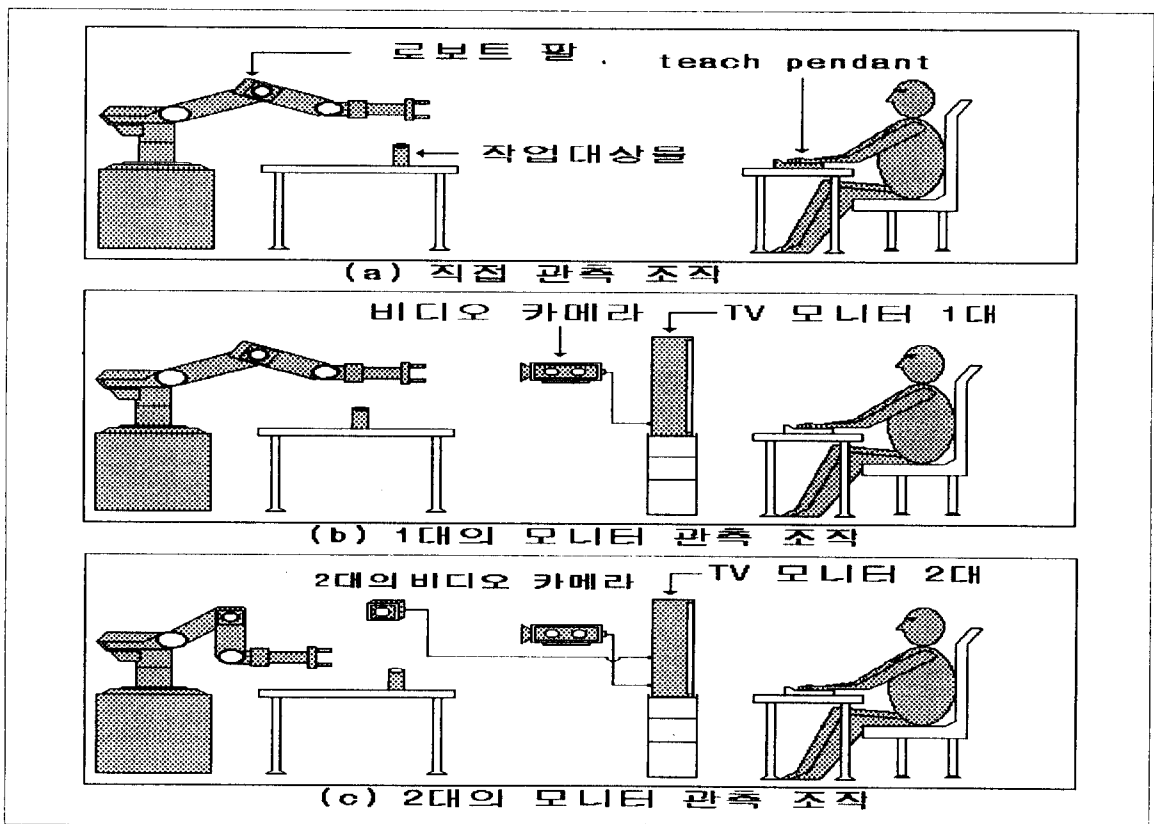
작업은 모두 3가지(B1, B2, B3)로 이루어져 있다. [그림 4]에서 보는 바와같이, B1은 H1에서 H2로, B2는 H1에서 H3로, B3는 H2에서 H3로 삽입하는 작업이다. 각 작업의 이동거리와 적합 허용오차(tolerance of fit)는 Fitt's의 법칙<sup>[2]</sup>에 의해 계산되었으며, 모두 동일한 5.9 bits의 난이도(index of difficulty)를 가지고 있다;  $ID(\text{bit}) = \log_2 2(A/B)$ , A:이동거리 B:허용오차. 본 실험에서 B1,

B2, 그리고 B3 작업의 난이도는 매니플레이터의 이동방향과 삽입할 구멍의 형태에 의해 만들어졌다. B1 작업과 B2 작업은 前方에서 後方으로 원형 핀을 운반하는 삽입작업이며, B3 작업은 좌에서 右로 원형 핀을 운반하는 단순한 삽입작업이다. B1 작업은 심도 정보와 매우 어려운 목표 지점(삽입할 구멍)의 인식을 필요로 한다. B2 작업도 심도 정보를 필요로 하나, B1 작업과는 달리 입체적인 목표 지점을 가지고 있다. B3 작업은 심도 정보를 크게 필요로 하지 않는다. B1 및 B2 작업간의 난이도 차이는 원형 핀을 삽입하는 구멍의 형태에 있는데, 이것은 입체적 목표물이 작업 수행도에 미치는 영향을 알아보기 위한 것이다.

작업 시간은 매니플레이터가 움직이는 시점부터 원형 핀을 목적하는 구멍에 삽입하여 놓는 시점까지 측정하였으며, 측정 장치로는 SEIKO의 DM(decimal minute, 1DM=1/100分) 측정용 디지털 스톱워치가 사용되었다. 총 작업 시간은 R/G(reach and grasp)와 T/I(transfer and insert) 시간으로 나뉘며, 분석에는 순수 작업 시간인 R/G-T/I 시간만을 사용하였다. 반응시간(reaction time)과 이동시간(movement time), 즉 반응 동작 시간(response time)은 고려하지 않았다. 작업 에러 횟수의 측정은 직접 관측 및 비디오 재생을 통해 이루어졌으며, 원형 핀을 뽑아내어 삽입할 때까지 매니플레이터가 충돌하거나 또는 원형 핀을 놓치는 것을 에러로 측정하였다. 분석에서는 작업 시간과 마찬가지로 R/G-T/I 사이의 에러 횟수만을 사용하였다.

실험의 1회 시행절차는 다음과 같다. 우선, 원형 핀의 위치로 매니플레이터를 이동시키고, 그 립퍼의 집게로써 원형 핀을 잡는다. 그리고 나서 원형 핀을 구멍으로부터 꺼내고, 삽입할 구멍의 위치까지 이동시켜 원형 핀을 삽입한 후, 원형 핀을 놓는다.

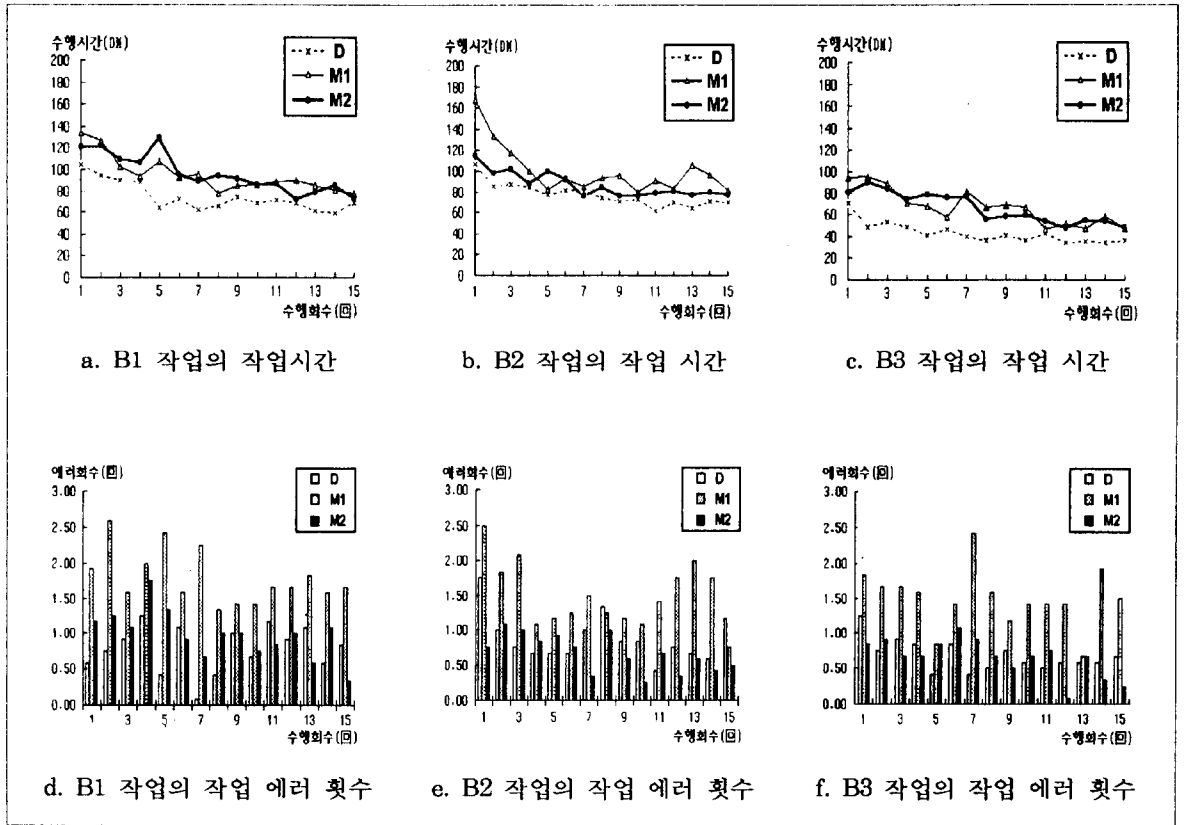
매니플레이터의 동작은 비디오 카메라에 의해 연속적으로 기록되었고, 작업 시간과 작업 에러 횟수는 비디오의 재생을 통해 재확인되었다. 모니터를 관측하는 경우, 피실험자의 위치 및 자세는 피실험자가 편히 작업을 수행할 수 있도록 임의로 조정하였다.



[그림 5] 실험 환경의 구성도

### 3. 실험의 결과

총 30일에 걸쳐 실시된 실험으로, 다음과 같은 결과가 나왔다. 그림 5는 총 36명의 피실험자로부터 얻은 15회 연속 실험 데이터의 평균값을 도시한 것이다. 또한 表 2과 3은 작업 시간과 작업 에러 횟수에 대한 실험 결과치의 평균 및 표준편차를 보여준다.



[그림 5] 15회 연속 실험에 대한 작업 수행도

#### 3.1 작업 시간

[表 2] 작업 시간에 대한 실험 결과치의 평균 및 표준편차

단위 : Decimal Minute

관측조건 작업조건	직접 관측		1대의 모니터 관측		2대의 모니터 관측	
	평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차
B 1	67.09	23.35	85.93	34.00	85.28	30.13
B 2	71.31	26.81	90.45	34.87	79.65	30.22
B 3	37.97	13.81	59.10	29.04	58.31	25.15

작업 시간에 대한 실험의 결과, B1 작업의 경우에는 직접 관측이  $67.09 \pm 23.35DM$ 으로 수행 시간이 가장 빨랐다. 1대 및 2대의 모니터 관측 사이에는 커다란 차이는 없었으나, 2대의 모니터 관측이  $85.28 \pm 30.13DM$ 으로 1대의 모니터 관측( $85.93 \pm 34.00DM$ )보다 약간 빨랐다. B2 작업의 경우에도, 직접 관측( $71.31 \pm 26.81DM$ ), 2대의 모니터 관측( $79.65 \pm 30.22DM$ ), 그리고 1대의 모니터 관측( $90.45 \pm 34.87DM$ )의 順으로 수행시간이 빨랐다. B3 작업의 경우에도 직접 관측( $37.97 \pm$

13.81DM), 2대의 모니터 관측(58.31±25.15DM), 그리고 1대의 모니터 관측(59.10±29.04DM)의 순서로 작업 수행도가 좋았다.

### 3.2 작업 에러 횟수

[表 3] 작업 에러 횟수에 대한 실험 결과치의 평균 및 표준편차

단위 : 회

관측조건 작업조건	직접 관측		1대의 모니터 관측		2대의 모니터 관측	
	평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차
B 1	0.78	1.15	1.64	1.50	0.82	1.01
B 2	0.83	1.01	1.39	1.26	0.54	0.93
B 3	0.60	0.82	1.49	1.28	0.59	0.86

작업 에러 횟수에 대한 실험의 결과, B1 작업의 경우에는 직접 관측이 0.78±1.15회로 가장 적은 에러 횟수를 보였으며, 1대 및 2대의 모니터 관측의 경우에는 2대의 모니터 관측이 0.82±1.01회로 1대의 모니터 관측(1.64±1.50회)보다 적었다. B2 작업의 경우에는, 2대의 모니터 관측이 0.54±0.93회로 가장 적은 에러 횟수를 보였고, 직접 관측이 0.83±1.01회, 그리고 1대의 모니터 관측이 1.39±1.26회로 가장 많은 에러를 나타냈다. B3 작업의 경우에는, B2 작업에서와 같이 2대의 모니터 관측(0.59±0.86회), 직접 관측(0.60±0.82회), 1대의 모니터 관측(1.49±1.28회)의 순서로 에러가 발생했다.

## 4. 분석 및 고찰

본 연구에서는 데이터의 분석을 위해 윈도우용 SPSS(Version 5.0.2)을 사용하였으며, 평균 작업 시간과 평균 작업 에러를 중심으로 분산분석과 DUNCAN의 다중범위검정(multiple range test)을 수행하였다.

### 4.1 작업 시간

관측 조건과 작업 난이도가 조작자의 작업 시간에 유의한 영향( $\alpha=0.05$ )을 미치는 가를 파악하기 위해, 이 두 요인을 독립변수로 하여 분산분석을 하였다[표 4]. 그 결과, 관측 조건 [ $F(2,1071)=49.03, p<0.001$ ]과 작업 난이도 [ $F(2,1071)=120.18, p<0.001$ ]는 모두 유의한 영향이 있는 것으로 나타났으며, 두 요인간의 교호작용 [ $F(4,1071)=1.95, p=0.101$ ]은 유의하지 않는 것으로 밝혀졌다. 따라서 두가지 요인인 관측조건과 작업 난이도가 조작자의 작업 시간에 유의한 영향이 있음을 알 수 있다.

[표 4] 작업 시간에 대한 분산분석 결과

Source	SS	DF	MS	F	Sig. of F
Main Effects	267854.204	4	66963.551	84.606	0.000
View	77613.642	2	38806.821	49.031	0.000
Task	190240.562	2	95120.281	120.181	0.000
2-way Interactions	6160.858	4	1540.214	1.946	0.101
Residual	847668.674	1071	791.474	791.474	
Total	1121683.736	1079	1039.559	1039.559	

각 요인의 수준에 따라 어떠한 차이가 있는 가를 알아보기 위해 유의수준 5%로 DUNCAN의

다중범위검정(multiple range test)을 실시하였다[표 5].

[표 5] 작업 시간에 대한 DUNCAN 다중범위검정 결과

	직접 관측	2대의 모니터 관측	1대의 모니터 관측
직접관측	-		
2대의 모니터 관측	B1, B2, B3	-	
1대의 모니터 관측	B1, B2, B3	B2	-

(1) B1 작업 : 작업 시간에 있어, 직접 관측과 2대의 모니터 관측, 그리고 직접 관측과 1대의 모니터 관측 사이에는 유의한 차이가 있는 것으로 나타났지만, 2대의 모니터 관측과 1대의 모니터 관측 사이에는 유의한 차이가 발견되지 않았다. B1 작업에서는 목표 지점(삽입 구멍)이 수평면 상에 위치하고 있어 심도 인식 및 목표 지점에 대한 주의깊은 인식을 필요로 한다. 따라서 직접 관측의 경우가 모니터 관측보다 빠르게 수행되었다. 2대의 모니터 관측과 1대의 모니터 관측의 수행시간 사이에는 큰 차이가 없음을 보여 주었다. 즉, 보조 모니터(2대의 모니터 관측의 경우)를 사용하여 심도를 인식할 수는 있지만, 수평면 상의 목표 지점을 인식하는 것은 보조 모니터를 통해서도 쉽지 않았기 때문인 것으로 생각된다.

(2) B2 작업 : 3가지 관측조건 모두 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. B2 작업의 경우에는 심도 및 입체 목표 지점의 인식을 필요로 한다. 이 경우에도 직접 관측이 가장 좋은 수행 시간을 보여주고 있다. 모니터 관측의 경우에 있어서는 2대의 모니터를 보면서 작업하는 경우가 1대의 모니터 관측보다 유의할 정도로 수행시간이 빨랐다. 이것은 B1 작업에서와는 달리, 보조 모니터를 사용하여 입체적 목표 지점을 쉽게 인식할 수 있었기 때문인 것으로 여겨진다.

(3) B3 작업 : 이 경우에는 B1 작업에서와 동일한 결과가 나왔으며, 다른 작업에 비해 빠른 수행시간을 보여주었다. 이것은 B3 작업이 다른 작업에 비해 심도 정보를 거의 필요로 하지 않는 작업이었기 때문이다.

(4) 빠른 수행 시간을 요구하는 작업에서는 직접 관측이 좋은 수행도를 보여줄 것으로 생각된다. 직접 관측이 불가능한 경우에는 모니터 관측이 사용되어야 하는데, 이 경우에는 1대나 혹은 2대의 모니터 관측 사이에 유의한 차가 없었다. 그러나, 작업자가 모니터로부터 적절하게 정보를 취합할 수 있도록 숙련시킨다면, 2대 모니터 관측에서의 수행시간은 현재보다 향상될 것으로 생각된다.

#### 4.2 작업 에러 횟수

조작자의 작업 에러 횟수에 대하여 분산분석을 행한 결과, 관측조건[F(2,1071)=64.89,  $p < 0.001$ ]과 작업조건[F(2,1071)=2.96,  $p=0.052$ ]은 모두 유의한 영향이 있는 것으로 나타났으며, 두 요인간의 교호작용[F(4,1071)=1.017,  $p=0.397$ ]은 유의하지 않는 것으로 밝혀졌다[표 6]. 이것은 조작자의 작업 에러 횟수가 관측조건과 작업조건에 모두 유의한 영향을 받는다는 것을 보여준다.

[표 6] 작업 에러 횟수에 대한 분산분석 결과

Source	SS	DF	MS	F	Sig. of F
Main Effects	168.204	4	42.051	33.928	0.000
View	160.857	2	80.429	64.892	0.000
Task	7.346	2	3.673	2.964	0.032
2-way Interactions	5.043	4	1.261	1.017	0.397
Residual	1327.417	1071	1.239	1.239	
Total	1500.663	1079	1.391	1.391	

각 요인의 수준에 따라 어떠한 차이가 있는 지를 알아보기 위해 유의수준 5%로 DUNCAN의 다중범위검정(multiple range test)을 실시하였다[표 7].



[표 7] 작업 에러 횟수에 대한 DUNCAN 다중범위검정 결과

	직접 관측	2대의 모니터 관측	1대의 모니터 관측
직접관측	-		
2대의 모니터 관측	B2	-	
1대의 모니터 관측	B1, B2, B3	B1, B2, B3	-

(1) B1 작업 : 직접 관측(0.78회), 2대의 모니터 관측(0.82회), 그리고 1대의 모니터 관측(1.64회)의 순서로 에러가 발생하였다. 직접 관측과 1대의 모니터 관측 그리고 1대의 모니터 관측과 2대의 모니터 관측 사이에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으나, 직접 관측과 2대의 모니터 관측 사이에는 유의차가 없었다. 이것은 심도 인식의 부정확성이 원격 조종 작업에서 많은 에러를 유발시킬 수 있다는 것을 보여준다.

(2) B2 작업 : 2대의 모니터 관측(0.54회), 직접 관측(0.83회), 그리고 1대의 모니터 관측(1.39회)의 순서로 에러가 많은 것으로 나타났으며, 3가지 관측조건 모두 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 특이할만한 것은 2대의 모니터 관측에서의 에러가 직접 관측시의 에러보다 유의할만큼 적게 나타났다는 점이다. 이것은 직접 관측의 경우도 부정확한 심도 인식으로 인해 많은 에러를 발생시킬 수도 있다는 사실을 보여준다. 따라서, 심도 정보를 제공할 수 있는 2대의 모니터 관측이 작업 에러를 감소시키는데 영향을 줄 수 있다고 여겨진다.

(3) B3 작업 : 2대의 모니터 관측(0.59회)과 직접 관측(0.60회) 사이에서는 유의차가 없었으며, 1대의 모니터 관측(1.49회)에서 가장 많은 에러가 관측되었다. B1 작업에서와 동일하게, 직접 관측과 1대의 모니터 관측 그리고 1대의 모니터 관측과 2대의 모니터 관측 사이에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 비록 유의한 차이가 나타나지는 않았지만, B3 작업에서도 2대의 모니터 관측이 직접 관측보다 적은 에러를 보여주고 있다.

(4) 작업 에러의 경우, 3가지의 작업 난이도에서 2대의 모니터 관측이나 직접 관측시의 에러 횟수가 1대의 모니터를 사용했을 경우보다 2배 이상 적은 것으로 나타났다. 이것은 폭발물이나 방사성 물질의 취급, 또는 의료 분야에서와 같이 수행의 질이 시간보다 중요한 작업에서는 심도에 대한 시각적 정보를 제공(2대의 모니터 사용)함으로써 안전하게 작업을 수행할 수 있음을 보여준다.

## 5. 결론

원격 조종 시스템의 향상된 시각 케환 조건으로 많은 연구의 대상이 되고 있는 3D 영상 기술 (artificial reality, tele-existence)은 기술 및 경제적 제약조건으로 인해 실용화할 수 있는 단계까지 이르지 못하고 있다. 따라서 현재 사용되고 있는 원격 조종 시스템의 시각 케환 조건에 대한 충분한 이해가 필요하며, 원격 작업에서 사용될 수 있는 여러가지 시각 케환 조건을 비교 분석해 봄으로써 보다 효율적인 인간-기계 인터페이스를 구축할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 원격 조종 시스템에서 사용되는 3가지 시각 케환 조건(직접 관측, 1대의 모니터 관측, 또는 2대의 모니터 관측) 하의 작업 수행도를 작업 난이도에 따라 비교 분석하여, 작업의 난이도와 시각 케환 조건이 인간의 수행도(작업 시간과 작업 에러 횟수)에 어떠한 영향을 미치는가를 알아보았으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 3가지의 관측 조건과 서로 다른 난이도를 가진 3가지 작업은 조작자의 작업 수행도(작업 시간, 에러 횟수)에 유의한 영향이 미치고 있음을 알 수 있었다.
- (2) 작업 시간에 있어, 직접 관측이 모니터 관측 작업보다 좋은 결과를 보였다. B1 작업이나 B3 작업의 경우 2대의 모니터 관측과 1대의 모니터 관측 사이에는 유의할만한 수행시간의 차이가 없었으나, B2 작업의 경우에는 2대의 모니터 관측의 경우가 1대의 모니터를 보면서 작업하는 경우보다 작업 수행 시간의 측면에서 우수함을 보여주었다.

(3) 작업 에러 횟수의 경우, 직접 관측과 2대의 모니터 관측 작업이 1대의 모니터 관측 작업보다 2배 이상의 좋은 결과를 보였다. 특히 B2 작업에서는 2대의 모니터 관측작업이 직접 관측 조건보다 좋은 결과를 보였다.

원격 조종 작업에서 폭넓은 일반화를 설명한다는 것은 매우 어려운 일이다. 그러나, 본 연구는 원격 조종 하의 시각 제한 조건에 대한 인간의 작업 수행도를 평가했다는 점에서 그 의의가 있다고 하겠다.

원격 조종 시스템은 해로운 환경으로부터 인간을 안전하게 보호하고 효과적인 작업을 수행할 수 있도록 개발되었다. 그러므로 작업 환경 정보를 제공하는 각각의 시각 제한 조건이 인간의 작업 수행도에 어떠한 영향을 미치는 가를 분석하여 정량적인 정보를 제시하는 것은 추후 연구에 기초적인 토대를 제공할 수 있을 뿐만 아니라, 원격 조종 시스템 전체의 수행도를 향상시킬 수 있는 계기가 될 수 있을 것이다.

향후, 2대의 카메라를 적절하게 위치시키는 문제, 직접 및 모니터 관측에서 거리에 대한 한계, 3D 모니터 관측과 2D 모니터 관측과의 관계에 관한 연구 등을 추후 연구과제로 생각할 수 있겠다.

## 參 考 文 獻

- [1] Book, W. J. and Hannema, D. P., "Master slave manipulator performance for various dynamic characteristics and positioning task parameters", IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics, 10, pp.764~771, 1980.
- [2] Fitts, P. M. "The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement", Journal of Experimental Psychology, 47, pp.381~391, 1954.
- [3] H. L., Martin and W. R., Hamel, "Joining teleoperation with robotics for remote manipulation in hostile environments", SI/SME Robots 8 Conference, June 1984.
- [4] Heer, E., "Robots in space", Decade of Robotics, Industrial Robot, pp.104~106, 1983.
- [5] Jean Vertut and Philippe Coiffet, "Teleoperation and robotics", Hermes Publishing, 1985.
- [6] Macilwain, C., "Remote control robots seen through 3D spectacles", THE ENGINEER, 35, 8 June 1989.
- [7] Mark S. Sanders, and Ernest J. McCormick, "Human factors in engineering and design", 7th Ed., McGraw Hill Inc., p.374, 1992.
- [8] Mattew, P. Mugio, "Commercial graphics", N. Y. Van Nostrand Reinhold Co., p.6, 1969.
- [9] Michael, J. Massimino and Thomas B. Sheridan, "Teleoperator performance with varying force and visual feedback", Human Factors, 36(1):145~157, 1994.
- [10] 趙 巖, 野呂影勇, "立體畫像と平面畫像における奥行き量の判斷について", 日本人間工學, Vol. 30, No. 4, pp.209~214, 1994.
- [11] 村田厚生, 三宅普司, "マニピュレーション作業における習熟特性の解析", 日本人間工學會, Vol. 25, No. 5, pp 293~299, 1989.