Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 18, No. 3 1999. 12

立體映像을 이용한 원격Robot 조작자의 수행도 분석

A Performance analysis of robot tele-operator using 3D Images

조 암* , 전 용 웅**

ABSTRACT

In order to apply three-dimensional images to industries, the possibility of realizing three-dimensional images should be ensured and when operating a task using three-dimensional images, the intention of the observer and the result of operation should be precisely related.

The aim of this paper is to investigate the task performance of a human operator during operating a robot manipulator using three-dimensional and two-dimensional image displays.

From the result of this research, it was found that the accuracy of robot operation in the case of using three-dimensional displays is much higher than in the case of using two-dimensional displays and the adapting time to the operating task using three-dimensional displays is shorter than that using two-dimensional displays.

From such results, we concluded that the application of three-dimensional displays, which can closely reflect real environment, to industries is desirable.

Keyword : Three(two)-dimensional images, Task performance, Robot manipulator.

* 동국대학교 산업공학과
** 동국대학교 산업공학과 대학원

1. 서 론

영상기술의 진보에 따라 입체영상(3D)은 풍부한 표현력을 가지게 되었다. 정보제공분야에서는 정보원의 상황하에서 느껴지는 임장감을 재현하는 것을 목표로 한 기술개발이 진전되고 있다. 최근 입체영상은 오락시설에서도 필요불가결의 기술이 되었으며, 다양한 분야에서 높은 관심을 불러일으키고 있다. 산업 현장에서도 입체영상을 사용하려는 요구가 대단히 높은데(野呂影勇 등, 1993 ; 立體映像システム關する調査研究會, 1987), 이는 인간이 현장에 들어가 작업하기가 어려운 곳, 예로서 원자력 발전소나 심해에서의 작업등을 들 수 있다. 이러한 현장에서는 영상을 보면서 원격조작으로 작업을 하고 있다. 원격조작은 인간-로봇시스템에서 기술적으로 로봇이 환경적응의 능력을 최대로 하며, 안전하게 원격지점에서 작업자의 거시적인 판단과 조작에 의해 인간과 로봇이 단독으로는 수행할 수 없는 작업을 협력하여 효율적으로 실시하기 위해 제시된 기술이다(Sheridan, 1984). 그리고 원격조작 시스템은 작업에 확실하며 효율이 좋고 동시에 인간이 사용하기 쉬운 형태가 바람직한 것이다. 현재에도 산업현장에서는 에너지를 절약하고, 自動化의 방향으로 나아가고 있다. 그러나 원격조작의 작업에서는 영상과 인간의 기능에 의존하지 않으면 안 되는 문제점을 지니고 있다. 원격조작에 있어 작업대상물을 눈으로 직접 보며 작업하는 것보다 영상을 통하여 상황을 판단하는 경우가 많아지고 있기 때문이다. 그 외의 원격작업 문제점으로는 Robot-arm의 정확성에 있다(Fu, 1982). 기존의 원격조작작업에서는 평면영상을 사용하므로 심도의 지각에 대해서는 주로 작업자의 경험과 숙련도에 의존하고 있었다. Manipulation과 평면화면을 연결하여 행한 시각시스템에 관한 연구는 1960년대 미국의 MIT등에서 시작하였다(Rosenfeld & Kak, 1976 ; Oshima & Shirai, 1982). 이 연구는 대상물의 특징을 추출하여 검출한 것을 3각 측량에 의해 심도량을 계산한 것이다. 또 다른 연구로는 보조투광기를 이용하는 시스템이다(Oshima & Shirai, 1982). 기기무라(木村)는 이동 로봇의 네비게이션用에 3차원시각센서의 한 종류인 레저레다방식으로 실험한 결과, 거리오차±25cm가 얻어졌다고 보고하였다(木村實, 1991 ; 國吉康夫 등, 1991). 그러나 이러한 방법들은 복잡함에도 불구하고 정확한 입체정보를 얻을 수가 없다. 따라서 시각정보의 신뢰성을 향상시키기 위한 필요성에서 평면영상(2D) 대신, 많은 정보를 인간에게 전해주는 입체영상의 이용을 생각하였다. 여러 분야에서는 장래에 입체영상의 이용을 고려하고 있으나(長田昌次郎, 1982, 1989;スペアー & レムクール, 1986), 이를 위해서는 먼저 입체영상의 이용가능성을 파악하는 연구(feasibility study)가 필요하다. 입체영상의 이용에서 利點으로는 두 가지를 들 수 있는데, ①정보량이 많을수록 짧은 시간에 많은 사물을 쉽게 이해할 수 있다 ②임장감이라는 점에서 우수하므로 보다 구체적이며 쉽게 그리고 정확히 사물을 판단할 수 있다는 점들이다(稻田修一 등, 1991). 이러한 이점은 시각의 매체로서 입체영상이 평면영상보다 정확한 정보를 인간에 전달한다는 실험보고에 의해 명확해지고 있다(岩崎常人 & 秋谷

忍, 1992 ; 趙 巖 & 野呂影勇, 1994 ; 趙 巖 등, 1995). 정보량이 많다는 것은 정확하며 안전한 작업과 관계가 있다고 생각되어진다. 그러나 산업의 현장에서 사용되고 있는 영상의 재현정도는 심도나 임장감을 느끼게 하는 정도로서 필요 충분하다고 할 수 없다. 원격조작을 하는 산업현장이라면 작업자는 영상을 통해 안전하며 높은 정밀도와 세밀한 작업을 수행하지 않으면 안 된다. 입체영상을 산업에 이용하기 위해서는 입체영상사용가능성의 파악 및 입체영상을 관찰할 때에 관찰자의 의사와 작업결과의 관계를 명확히 할 필요가 있다. 특히, 복잡한 작업에서는 인간의 지시에 따르는 인간협조형 원격조작 Robot manipulator의 응용이 중요하며 입체영상과 인간과의 MMI(Man-Machine Interface)에 관한 연구가 필수라고 생각한다. 본 연구에서는 입체영상과 평면영상에 따른 작업자의 작업능률을 비교·평가하기 위해 Robot manipulation에 응용해본 실험결과를 보고한다.

2. 연구의 목적

원격 Robot manipulation 작업의 경우, Robot-arm이 어느 위치에 놓여져 있는 부품을 잡아, 다른 부품과 조합하는 작업에서 작업자는 화면의 정보에 따라 부품을 잡을 때의 위치결정과 조합할 때의 위치를 정해야 한다.

조작자가 평면화상을 관찰하면서 작업을 수행할 때에 작업에 관계하는 물체를 애매하게 인식할 위험성이 있으나 그러한 상태에서 판단하는 경우도 있다. 입체영상에는 평면영상보다 많은 정보량을 제공하는 이점이 있으나, 입체영상의 사용에는 문제점이 있다. 그것은 목표물의 상대적인 거리감각에 있어서 미세한 심도감의 인식에 대해서는 정확하다고 말할 수 없다는 점이다.(趙 巖 & 野呂影勇, 1994). 실제공간에 대한 인지공간과 입체영상에 의해 만들어진 인지공간이 같지 않다는 보고가 있다(野呂影勇 등, 1993). MMI에 있어 입체영상을 보다 효율적으로 사용하기 위해서는 각각의 영상에 대한 작업효율을 명확히 알아야 할 필요가 있다. 그러나 입체영상의 특징은 임장감에 있다고 하겠으나 임장감과 작업효율과의 관계에 대해 보고가 많지 않다.

본 연구의 목적은 원격조작 시에 입체영상과 평면영상을 사용하여 작업자에게 Robot manipulator를 조작시켜 각각의 영상에 따른 작업자의 수행도를 조사·분석하는 것이다. 그 결과물로 원격조작에 사용하는 각각의 영상을 비교·분석함과 동시에 조작성을 평가하는 요인을 추출해본다.

3. 실험방법

작업은 피실험자에게 컨트롤 패널로서 Robot-arm을 조작시키게 하였으며, Robot-arm이 링을 집어 고정된 막대기에 삽입시키는 작업을 15회 시행하게 하였다. 인간이 직접 작업하게되는 어려운 환경 하에서 Manipulator를 조작하여 작업을 실행하는 방법은 안전 및 사용상 利點이 있으며 산업용 Robot Manipulation에 널리 사용되고 있다(國吉康夫 등, 1991). 그리고 이 방법은 인간의 지식,

경험을 살려 목적한 작업을 진행시킬 수 있다. 작업조건으로서 입체영상, 평면영상 그리고 실제환경(control)등의 세 가지 조건으로 설정하였다. 피실험자는 건강한 20대의 남녀대학생 30명(남학생15명, 여학생15명)으로 하였으며, 이를 10명씩 3群(3D群, 2D群, Control群)으로 하였다.

실험 전에 입체시의 이상여부를 검사하기 위해 디토마스 프라이 테스트를 전원 실시하였고 이상이 없는 사람들을 피실험자로 하였다. 그리고 본 실험에 앞서 Robot-arm을 조작하는 컨트롤 패널의 사용방법을 설명한 후, 컨트롤 패널 숙지정도는 조작방법에 대하여 아는 정도까지 연습하게 하였다. 실험의 시행에서 작업수행시간, 수정 및 실패의 횟수를 측정하였으며, 실험종료 후에 질문지로 작업수행중의 느낌에 관한 조사를 실시하였다. 피실험자 한사람에 걸리는 본 실험의 시간은 약 40분~50분 정도였다.

실험에 사용된 기기는 Robot(RM-501, Mitsubishi, 日本), 3D Camera(3D Video Camera 3DR-95, 유-즈 전자산업, 日本), VTR(NV-F15, National, 日本), Monitor(37C-CZ 1, Mitsubishi, 日本), 3D Adapter(TDR-20, 와게다, 日本)이며, Ring(지름 8cm), Pot(높이 30cm, 지름 5cm)이고 2D와 3D 작업 시, 작업자의 눈과 Monitor사이의 간격은 100cm을 유지하도록 하였다. Ring과 Pot의 위치 및 간격, Robot-arm 중립위치(Home Position)는 2D, 3D, Control群 모두 동일하다. 작업이 끝난 뒤, Robot-arm은 reset키 버튼을 통해 Robot이 가지고 있던 3차원 좌표상의 값(Home Position)으로 되돌아오게 된다. 또한, 2D와 3D Camera의 위치도 동일하고 화상은 Color이며, 3D의 경우 입체영상이 형성되는 보조안경을 착용하였다. 그림 1과 그림 2는 각각 3D群과 control群의 실험환경 및 실험장면이다.

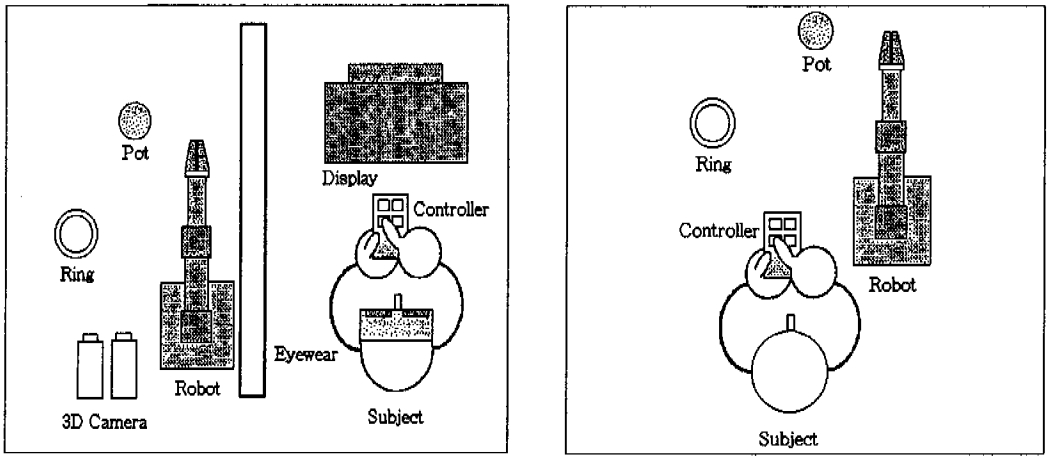

그림 1. 3D群(左)과 Control群(右)의 실험환경

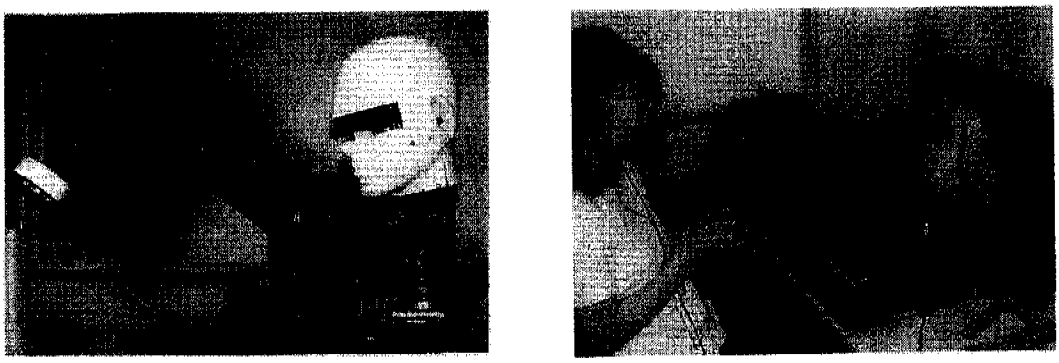

그림 2. 실험장면(3D群)

4. 실험결과

各 群 10명의 데이터를 처리하기 위해, 먼저 실험의 3요인(3D, 2D, Cont.)을 독립변수로 하고 각 요인의 수준에 따른 모평균간의 차이를 측정하기 위한 Duncan의 multiple range test를 실시하였다. 그 결과, 3개의 群에 유의차가 있었으며($P < 0.05$), 실제환경(control), 3D, 2D의 순서로 모평균간의 차가 인정되었다. 표1은 각 群의 평균수행 시간과 Duncan grouping된 결과를 나타낸 것이다.

표 1. 각 群의 평균수행 시간과 Duncan grouping 결과

Group	Mean	N	Duncan grouping
2D	120.120	150	A
3D	105.260	150	B
Control	82.173	150	C

수행총시간은 작업을 시작하여 Robot-arm이 링을 잡아 막대기에 삽입할 때까지의 시간을 총시간(total)으로 하고, 링을 잡을 때까지의 시간(catch), 잡아서 놓을 때까지의 시간(release)으로 분할하여 분석하였다. 각 군의 평균작업수행시간(total)을 그림 3에 나타내었다.

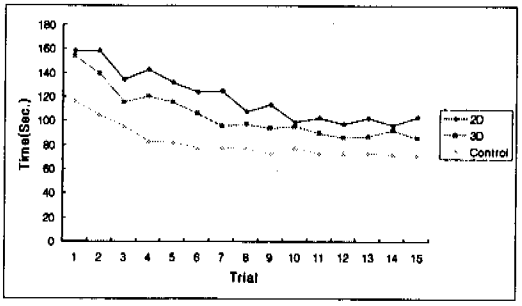

그림 3. 작업수행시간의 변화(총작업시간)

그림 4와 그림 5에 분할한 두 가지(잡는 시간, 잡아서 놓을 때까지의 시간)의 평균치를 나타내었다.

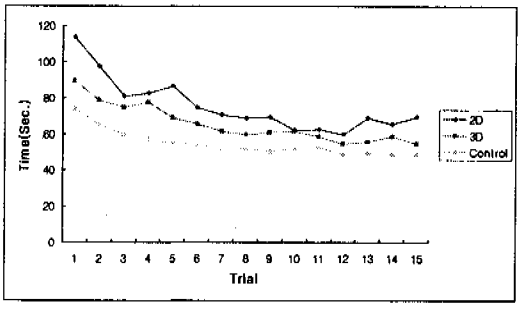

그림 4. 작업수행시간의 변화(잡는 시간)

그림 5에서 2D群보다 3D群이 control群과 유사한 곡선을 나타내며, 안정된 값인 것을 알 수 있다. 링을 삽입하는 작업에서도 2D群보다 3D群이 유리함을 알 수 있으며, 잡아서 놓는 부분에서 수정된 횟수가 많았던 점과 그림 4와 그림 5의 pattern을 살펴볼 때, 피실험자들이 작업을 수행할 때에 링을 잡는 작업보다 링을 막대기(Pot)에 삽입하는 작업이 곤란하였다는 것을 알 수 있다.

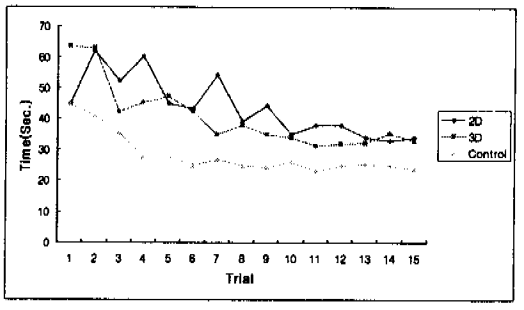

그림 5. 작업수행시간의 변화
(잡아서 놓을 때까지의 시간)

물론, 그림 4와 그림 5에서 링을 잡는 시간이 링을 막대기(Pot)에 삽입하는 시간보다 오래 걸리지만, 본 실험에서 그림 4와 그림 5의 비교에서 시간의 의미는 링의 놓여진 위치와 robot-arm의 중립위치(Home Position), 링과 막대기(Pot)사이의 거리 비에 따라서 변하게 되므로 비교의 큰 의미는 없다. 걸린 시간의 측면보다는 그래프의 pattern을 확인하는 것이 효과적이라고 판단되는데, 그림 4와 그림 5를 비교해 본다면 그림 5의 pattern이 훨씬 복잡하다는 것을 확인할 수 있다. 그림 5의 잡아서 놓을 때의 시간과 같이 전체적인 수행시간의 변화의 편차가 심하다는 것은 그림 4에서 나타난 잡는 시간에 대한 수행시간의 변화에 비해서 시간대별로 불규칙한 면이 많다는 것이며, 이것은 막대기(Pot)에 링을 삽입하는 작업이 링을 잡는 작업보다 어렵다는 것으로 볼 수 있다.

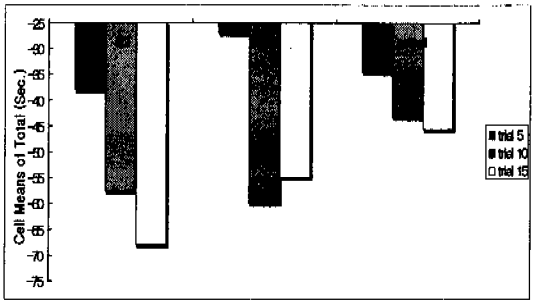

그림 6. 群 및 Trial 5,10,15에 따른 시간단축의 분석결과 (총작업시간)

다음으로 群 및 시행(1회째~5회째, 6회째~10회째, 11회째~15회째로 구분)을 요인으로 하여 2요인 분산분석을 하였다. 그 결과 교호작용에서 시간단축이 유의성이 ($F=2.527$, $P<0.05$) 있음을 확인하였다(그림 6). 시간단축의 의미는 첫 시행과 5번째, 10번째, 15번째 시행간의 시간차이를 의미하는 것으로 minus(-)는 시간단축을 의미하는 부호이다. 그리고 각 시행에서 잡는 동작에서 걸리는 시간과 3가지로 구분한 시행에 대한 분산분석의 결과 유의성이 ($F=2.910$, $P<0.05$) 있었으며 특히 2D群의 6회째~10회째 사이에는 시간단축에 유의성이 있음을 확인하였다(그림 7). 각각의 변화량을 그림 10, 그림 11에 나타내었다.

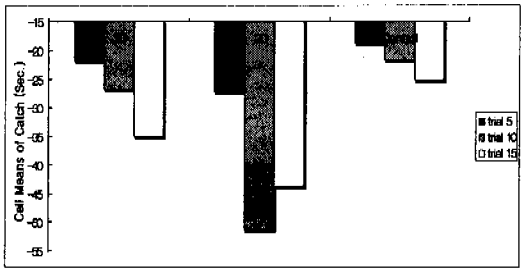

그림 7. 群 및 Trial 5,10,15에 따른 시간단축의 분석결과 (잡는 시간)

다음으로 각 시행에서 잡는 동작에서 놓는 동작까지의 시간과 3가지로 구분한 시행에 대해서는 시행의 주효과에 유의성이 ($F=7.227$, $P<0.01$) 있었으며, 특히 모든 群의 1회째~5회째, 6회째~10회째 사이에는 시간단축에 유의성이 있음을 확인하였다(그림 8).

그림 8. 群 및 Trial 5,10,15에 따른 시간단축의 분석결과
(잡아서 놓을 때까지의 시간)

各 群의 데이터를, 각각의 피실험자의 1번째시행의 소요시간을 베이스 라인으로 하는 변화량으로 변환하여 시간단축의 양상을 그림 9에 나타내었다. 시간단축의 변화량을 보면, 시간단축의 변화량을 보면, 첫 시행에 있어서 2D群은 3D群에 비해 Control群과 같은 수행력을 가지고 있으며, 2D群과 3D群에 있어 10번째의 시행에서 그리고 control群에서는 5번째의 시행에서부터는 시간단축량이 고원상태(거의 변화가 없는 직선에 가까운 상태)로 나타난다. 이는 2D群과 3D群은 control群에 비하여 작업의 숙련도가 늦다고 말할 수 있다. 각 작업 수행시간의 평균치를 그림 12에 나타내었다.

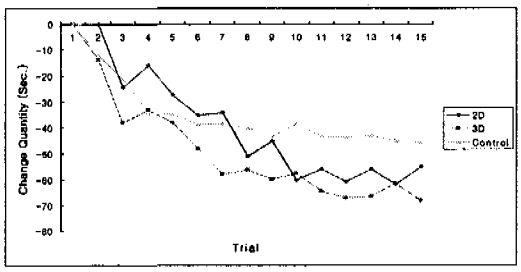

그림 9. 변화량의 추이(총작업시간)

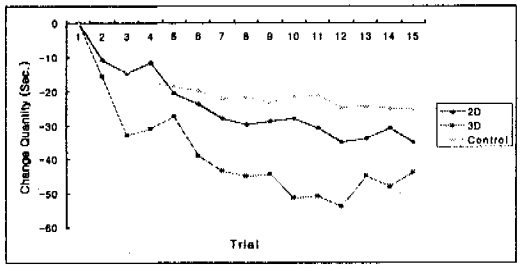

그림 10. 변화량의 추이(잡는 시간)

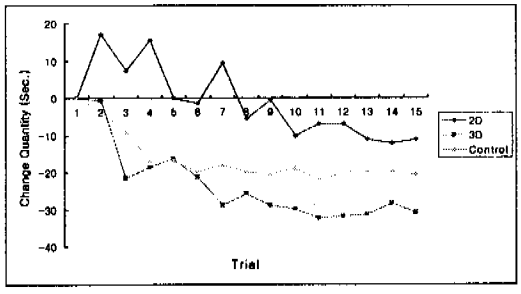

그림 11. 변화량의 추이(잡아서 놓을 때까지의 시간)

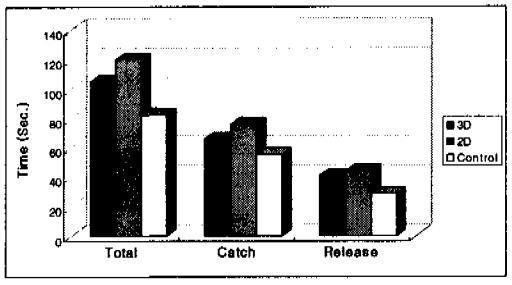

그림 12. 작업수행시간의 평균치

各 群에 있어 Robot-arm의 위치수정 횟수가 시행이 진행됨에 따라 어떻게 변하는가를 그림 13에 나타내었다. 수정이란, Robot-arm이 Ring을 집어서 Pot에 삽입하는 작업을 진행하는 중, 매끄러운 작업이 안되고 Robot-arm이 Pot을 지나치고 건드리는 등의 오작동은 발생되었지만 몇 번의 수정작업 끝에 작업이 성공하게 되는 경우를 말한다. 이와는 달리 실패라고 판단하는 경우는 더 이상의 실험이 진행될 수 없는 상태, 즉 Pot를 넘어뜨린다든지, Ring을 놓을 때 Pot에 놓지 못하는 등의 상황을 말하고 있으며 그 실패횟수를 그림 14에 나타내었다.

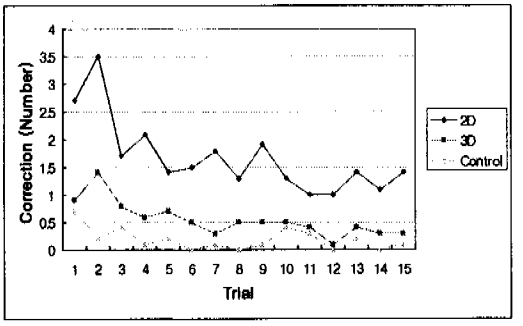

그림 13. 수정횟수의 추이

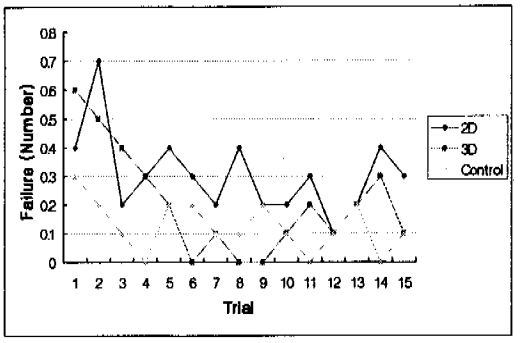

그림 14. 실패횟수의 추이

3D와 control의 경우에는 5번째 시행부터는 수정횟수가 매회 평균 1회 이하였다. 2D를 포함하여 전반적인 결과를 보면 작업수행 10번째 이상에서는 수정횟수가 거의 변동이 없었다. 이러한 결과에서 작업현장에서 입체영상 및 평면영상을 사용할 경우에는 작업자에게 실제작업에 임하기 전에는 반드시 10회 이상의 연습을 충분히 시켜야 할 필요가 있다고 생각되었다. 다음으로, 各 群에서 수행시간과 수정 및 실패횟수와의 상관관계를 구하였다. 모든 群에서 수행시간과 수정횟수 사이에 높은 상관을 나타내었다. 수정횟수가 많을수록 수행시간은 길어졌으나 수행시간과 실패횟수 사이에는 낮은 상관관계 또는 -(minus)의 상관관계가 나타났다. 이러한 의외의 현상은, 피실험자들이 지루한 작업을 빨리 완료하기 위한 조급한 마음과 장시간에서 오는 육체적인 피로에 기인하는 것으로 생각된다. 실험 개시에서 30분 경과한 시점에서(대략 10번째 시행 전후)부터는 모든 群에서 불안정한 값이 나타났다.

그림 15에 2D群에서 수행시간과 수정 및 실패횟수간의 상관관계를 나타내었다.

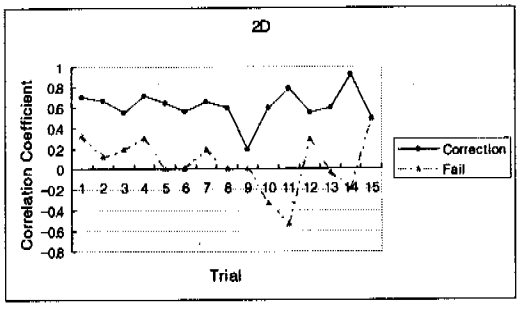

그림 15. 수행시간과 수정· 실패횟수 사이의 상관관계(2D)

2D群에서 수행횟수와 수정횟수의 상관관계는 전반적으로 일정하지 않았다. 그러나 수행시간과 실패횟수와의 상관관계에서는 10번째 시행 이후로는 상관도가 불안정한 값과 -(minus)의 상관관계가 보였다. 이는 피실험자가 실험의 수행시간을 단축시키기 위해 작업동작을 조급하게 하여 실패가 있었으나 전 작업시간은 단축될 수 있었기 때문에 이러한 현상이 나타났다고 생각된다.

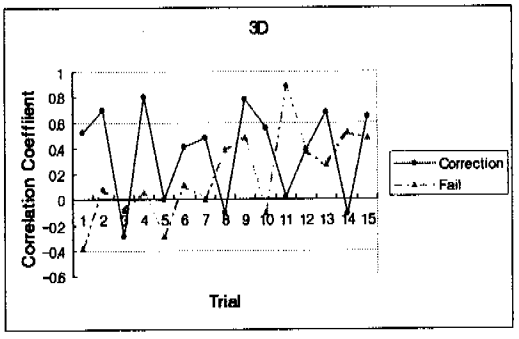

그림16. 수행시간과 수정· 실패횟수 사이의 상관관계(3D)

그림 16은 3D群에서 수행시간과 수정 및 실패횟수 사이의 상관계수를 나타내었다. 3D群에서는 실험의 1번째 시행에서 5번째 시행 사이에서는 불안정한 값이 보여졌다. 그 원인은 피실험자에 보여주는 영상이 입체이기 때문에 목표물에 대한 인식이 용이하므로 작업하기가 쉬울 것으로 판단하여 처음부터 빠른 동작으로 작업하였기 때문으로 생각된다. 그런 후 숙련이 된 다음부터 수행시간과 수정횟수· 실패횟수간의 상관관계가 +(plus)로 되었다. 그러나 10번째 시행 이후로는 다시 불안정한 값이 되었다. 이는 다른 경우와 마찬가지로 피로와 작업수행의 지루함에서 온 결

과로 생각된다. 이러한 결과에서 3D영상을 사용하여 원격조작작업을 할 때는 작업시간을 30분 이상 지속하는 것을 피하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

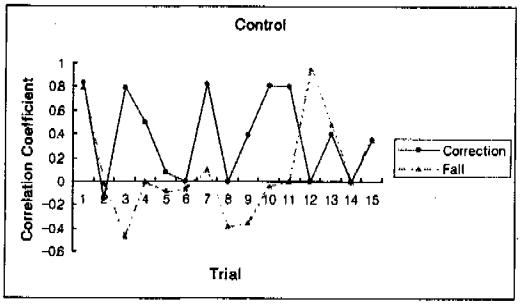

그림 17. 수행시간과 수정· 실패횟수 사이의 상관관계(Control)

그림 17은 control환경에서의 수행시간과 수정·실패횟수간의 상관관계를 나타낸 것이다. Control群에 있어 1번째 시행에서 6번째 시행 사이에서는 3D群과 유사한 현상을 나타내었다. 이는 실험조건이 실제환경이므로 처음부터 빠른 작업속도로 수행한 결과로 보여진다.

5. 고 찰

5.1. 작업수행시간

1) 작업수행시간(total) : 各 群 10명의 데이터를 처리하기 위해, 먼저 실험의 3요인(3D, 2D, Control)을 독립변수로 하고 각 요인의 수준에 따른 모평균간의 차이를 측정하기 위한 Duncan의 multiple range test를 실시하였다. 그 결과, 3개의 群에 유의차가 있었으며($P < 0.05$), 실제환경, 3D, 2D의 순서로 모평균간의 차가 인정되었다. 전반적인 결과에서 작업수행 10번째 이후의 값은 안정된 값이 나타났다. 그리고 2D群과 3D群을 control群과 비교해보면 작업에 대한 숙련이 늦다고 할 수 있으며, 더욱이 2D群이 3D群보다 늦었다. 다음은 작업수행시간을 두 가지로 나누어 고찰해 본다.

2) 작업수행시간(catch) : 2D群의 10번째 시행에서 유의한 시간단축이 인정됨은 시행의 전반부터 후반에 걸쳐 작업내용의 습득도가 현저히 향상한 것을 나타낸 것이라 할 수 있겠다. 단, 2D群은 다른 群보다도 작업수행시간이 길었기 때문에 작업효율향상에서 유효하였다고 말하기는 어렵다. 3D群에 있어서는 평균작업 수행시간 및 평균변화율의 그래프 추이에 현저한 差異는 보이지 않았다. 따라서 잡는 동작을 하는 작업에 있어서는 3D의 효과가 다른 영상과 비교하여 크게 다르지는 않았다고 할 수 있겠다.

3) 작업수행시간(release) : Robot-arm이 링을 놓는 동작에 있어서는 群 및 시행사이에는 교호작용이 인정되지 않았으나 시행의 주효과는 유효차가 인정되었다. 5번째 시행에서 10번째의 시행사이에는 시간단축이 인정되는 것은 시행이 될수록 작업내용을 습득하고 있다는 것으로 해석되었다.

4) 수정, 실패 : 실제로 보면서 작업을 하기 때문에 control群은 수정 및 실패횟수가 아주 적었다.

다른 群들은 영상을 통하여 시행하므로 자신의 감각과 실제의 위치관계 사이에서 간격이 생긴다고 할 수 있다. 그리고 영상의 종류

에 따라 수정 및 실패의 횟수가 어떻게 다른가를 검토하였다. 먼저 3D群에 비해 2D群은 수정횟수와 실패회수가 많았다. 이는 평면영상은 본 실험의 작업에 곤란하며 적합하지 않다고 할 수 있다. 다시 말해 영상을 이용하는 원격작업에 있어서는 3D영상이 2D영상보다 효율적이라 할 수 있겠다. 그러나 입체영상에서 얻어지는 입체감과 원근감에 의해 실패의 횟수는 적었지만 원격작업을 위한 완전한 정보를 획득한다고는 할 수 없다. 따라서 작업현장에서 영상을 사용할 경우, 작업개시 전에 작업자에게 반드시 10회 이상의 연습을 시킬 필요가 있다고 생각된다.

5.2. 수행시간과 수정 및 실패횟수와의 상관관계

各 群에 있어 수행시간과 수정횟수와의 상관관계는 모든 群에서 높았다. 그러나 수행시간과 실패횟수 사이에는 낮은 상관계수 혹은 -(minus)의 상관관계가 보였다. 특히 실험시작 후 30분 정도가 경과되면(대략 시행 10번째 전후) 모든 群에서 불안정한 값이 나타났다. 이러한 현상은 피실험자들이 작업을 빨리 수행하여 실험을 완료하려는 조급한 심경과 육체적인 피로의 원인으로 야기된 현상으로 파악된다. 2D群에서 수행시간과 수정횟수의 상관관계는 높았으며, 3D群 및 control群과 비교하면 전반적으로 일정하였다. 그러나 10번째 시행 이후의 상관관계는 불안정한 값으로 나타났다. 수행시간과 실패횟수와의 상관관계에서는 10번째 시행 이후의 상관도가 불안정한 값과 -(minus)상관관계로 나타났다. 이는 대부분의 피실험자가 수행시간을 단축시키기 위해 작업동작을 조급하게 한 결과로 보이며, 실패가 있어도 전작업시간이 단축된 것으로 보아 상관도가 낮아진 것으로 생각된다.

3D群에서 실험의 1번째 시행부터 5번째 시행 사이에는 불안정한 값이 나타났다. 그 원인은 피실험자에게 보인 영상이 입체영상이었기 때문에 목표물에 대한 인식이 용이함으로 작업도 쉬우리라는 판단에서 빠른 동작으로 작업한 결과라고 보여진다. 그 후, 숙련된 다음에는 수행시간과 수정횟수·실패횟수와의 상관관계가 +(plus)로 나타났다. 그러나 10번째 시행 이후가 되면 다시 불안정한 값으로 나타나는데 그 원인은 피로에 의한 것으로 판명된다. 이러한 결과에서 3D영상을 사용하여 원격조작을 할 경우, 작업시간을 30분 이상하는 것을 피하는 것이 좋다고 판단된다.

Control群에서 1번째 시행에서 6번째 시행 사이에는 3D와 유사한 현상이 나타났다. 그 이유로는 실험조건이 실제환경이므로 처음부터 작업속도를 빨리 하였기 때문으로 생각된다. 그러나 10번째 시행 이후가 되면 다시 불안정한 값으로 나타나는데 그 원인은 피로에 의한 것으로 판명된다.

5.3. 느낌에 관한 조사의 결과

실험 후, 피실험자들에게 실험중의 느낌에 관한 조사를 질문지로 실시하였다. 느낌에 관한 조사는 피험자가 실험 중의 느낌을 주관적으로 서술하고, 이러한 느낌에 관한 결과에 대하여 평가항목별로 정리·요약한 것이다. 그 결과 작업목표물의 위치파악, 작업의 용이

성을 各 群모두에서 Robot-arm이 링을 잡는 작업보다도 링을 막대기에 삽입하는 작업이 다소 어려웠다는 것을 알았다.

표 2, 표 3, 표 4는 3D, 2D, 실제환경에서의 느낌에 관한 조사내용 및 결과를 나타내었다.

표 2. 3D영상에 대한 느낌 조사

항 목	작업중의 감상	인원수(명)
작업목표물 위치의 인식 용이성	· 조작패널의 X버튼으로 로봇 암을 회전시키는 각도를 알기 어려웠다	3
	· 막대기 위치를 정확히 인식하기 어려웠다	3
	· 링의 위치는 찾기 쉬웠다	2
	· 작업이 거듭됨에 따라 링을 잡는 감각을 익혔다	1
작업시행의 용이성	· 링을 잡는 작업은 간단하였다	1
	· 시야가 좁았다	1
	· 조작패널 버튼에 익숙해지면 작업이 용이하였다	2
눈의 피로감	· 대단히 피로하였다	2
	· 작업이 거듭됨에 따라 피로를 느꼈다	4
	· 별로 피로하지 않았다	4
실험에 대한 느낌	· 흥미가 있고 재미있는 실험이었다	4
	· 시행횟수가 너무 많았다	1

표 3. 2D에 대한 느낌 조사

항 목	작업중의 감상	인원수(명)
작업목표물 위치의 인식 용이성	· 링을 막대기에 삽입할 때에, 심도감이 매우 나빴다	6
	· 링을 잡을 때에 원근감이 나빴다	1
	· 링과 막대기 모두 너무 가까이 보였다	1
작업시행의 용이성	· 처음에는 알기 어려웠으나, 점점 감각적으로 알 수 있게 되었다	2
	· 심도감을 느낄 수가 없어 위치관계가 명확하지 않았다	4
	· 처음에는 작업하기가 어려웠으나 점점 작업속도가 빨라진 것으로 생각되었다	1
	· 보통이었다	1
	· 익숙한 후에는 그렇게 어렵지는 않았다	1
	· 시계가 좁았다	1
눈의 피로감	· 없었다	5
	· 별반 없었다	2
	· 제법 피로했다	2
실험에 대한 느낌	· 원근감이 너무나 애매하였다	2

다음으로 눈(眼)의 피로감에 대하여 알아보면, 실제로 보면서 작업을 하는 control群의 경우는 피로감을 거의 느끼지 않았으며, 영상을 사용하나 보조안경이 필요 없는 2D群에 있어서는 그다지 피로감을 느끼지 않았다고 보고하였다. 그러나 입체안경을 장착하여 입체영상을 보면서 작업을 시행한 3D群에서는 피실험자의 반정도가 피로감을 호소하였다. 구체적으로 눈에 이물질이 들어간 것 같은 느낌이 있다거나, 입체안경의 장착자체가 신경이 쓰인다는 보고를 하였다. 시행횟수가 거듭될수록 피로감이 증가되므로 오랜 시간(40분~50분)의 작업에는 적합하지 않으므로 개선의 필요가 있다.

표 4. 실제환경에 대한 느낌 조사

항 목	작업중의 감상	인원수 (명)
작업목표물 위치의 인식 용이성	· 쉬웠다	5
	· 안쪽에 있는 막대기의 위치파악이 비교적 어려웠다	5
작업시행의 용이성	· 처음에는 어려웠다	1
	· 처음에는 어려웠으나 3회째 부터는 간단히 할 수 있었다	1
	· 보통이었다	1
	· 익숙해지면 대단히 쉬웠다	2
	· 보기보다 간단하며 하기 쉬웠다	2
	· 간단하였다	1
	· 로봇 암의 움직임이 느리고 지겨웠다	1
눈의 피로감	· 없었다	8
실험에 대한 느낌	· 다소 피곤하였으나 문제가 될 정도는 아니었다	2
	· 15회 시행은 너무 길다는 생각을 하였다	1

6. 결 론

실험에서 3D영상의 사용이 작업습득에 유효성이 있음을 인정할 수 있었다. 시간단축의 差에 대해서는 Duncan의 multiple range test를 실시한 결과, 실제환경, 입체영상, 평면영상의 순서로 시간단축의 차가 인정되었다. 모든 작업에서 3D영상이 2D영상보다 효율적이며, 잡는 작업보다 삽입하는 작업이 조금 더 어려웠다. 실험 후, 느낌에 관한 조사의 결과에서 3D영상의 유효성을 입증하는 사례들을 발견할 수 있었다. 예로서 작업내용 습득시간 단축에 있어 3D영상의 방식이 유효하다는 것을 분석결과에서 밝혀졌다.

수행시간과 수정횟수에서는 모든 群에서 높은 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 수행시간과 수정횟수의 관계에서, 3D영상을 사용하

여 원격조작을 하는 경우, 피로를 고려하여 작업시간을 30분 이상 지속하는 것을 피하는 것이 좋다고 생각한다. 그리고 작업자가 실제 작업을 시작하기 전에 반드시 10회 이상의 연습을 시킬 필요가 있다. 이러한 결과에서, 현재 하드개발의 방향성(고해상도, 디지털화 등)에 관한 연구와 동시에, 3D영상을 사용할 때 작업시간의 고려와 효율적인 작업방법을 위한 숙련도에 관한 연구도 중요시하여야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

〔1〕 野呂影勇·宮本博幸·井上哲理, "バーチャルリアリティ最先端", 講談社ブルーバックス B946, 1993.

〔2〕 立體映像システム關する調査研究會, 立體映像システム關する調査研究報告書, 郵政省, 1987.

〔3〕 長田昌次郎, 立體映像に關する視覺情報特性, 3Dフォーラム, Vol.3, No.4, pp.95~102, 1989.

〔4〕 趙 巖·野呂影勇, "立體映像と平面映像における奥行き量の判斷について", 日本人間工學會誌, Vol.30, No.4, pp.207~214, 1994.

〔5〕 K. T. スペアー, S. W. レムクール (芊坂直行譯), 視覺の情報處理, サイエンス社, 1986.

〔6〕 岩崎常人·秋谷忍·井上哲理·野呂影勇, "調節および瞳孔の殘餘效果に及ぼす視距離の影響", 日本人間工學會誌, Vol.28, No.3, 1992.

〔7〕 長田昌次郎, 奥行き信號分離 (NS)式立體畫像裝置と兩眼立體視特性の測定, 應用電子と生體工學, Vol.20, No.3, pp.16~23, 1982.

〔8〕 稻田修一·日下秀夫·岩田藤郎·羽倉弘之·佐藤誠, 三次元映像, 昭晃堂, 1991.

〔9〕 趙 巖·稻垣幸隆·河合隆史·野呂影勇, "立體映像のロボット·マニピュレーションへの應用", ヒューマンサイエンス, Vol.8, No.1, pp.103~111, 1995.

〔10〕 國吉康夫·井上博允·稻葉雅幸, "人間が實演して見せる作業の實時間視覺認識とそのロボット教示への應用", Vol.9, No.3, pp.295~303, 1991.

〔11〕 木村實, "レーザ視覺", 日本ロボット學會誌, Vol.9, No.5, pp.123~125, 1991.

〔12〕 Fu, K. S., Syntactic Pattern Recognition and Applications, Prentice-Hall, Englewood Cliff, 1982.

〔13〕 A. Rosenfeld and A. C. Kak, Digital Picture processing, Academic Press, 1976.

〔14〕 M. Oshima and Y. Shirai, Object recognition using threedimensional information, IEEE PAMI-5, 4, pp.353~361, 1982.

〔15〕 Sheridan, T. B., Supervisory control of remote manipulators, vehicles and dynamic process. Experimental in command and display aiding, Advances in man-machine systems research, 1, pp.49~137, 1984.