

논문 96-5-5-07

편광방식 스테레오 모니터링 시스템의 원격조작성 평가

이용범*, 이남호*, 박순용*, 이종민*, 진성일**

Evaluation of Remote Handling Performance with the Polarized
Stereo Monitoring System

Yong-bum Lee*, Nam-ho Lee*, Soon-yong Park*, Jong-min Lee* and Sung-il Jin**

요 약

본 논문에서는 개발된 편광방식 스테레오 모니터링(KAERI-PSM) 시스템의 성능을 평가하기 위해 6 D.O.F.의 퓨마 로봇트를 이용한 원격조작 실험을 수행하였다. 카메라의 관측각도를 달리하는 3가지 원격조작실험은 6명의 실험자가 힘반향 조이스틱을 사용하여 로봇트 암을 (1) 직접 (2) 일반 모니터 (3) 동기방식 스테레오 영상 모니터 및 (4) 개발된 편광방식 스테레오 영상 모니터를 통하여 보면서 6가지의 조합된 방법으로 총 36번 수행하여 걸린 평균 시간과 평균 에러 발생 수를 비교하는 것이다. 실험 결과 스테레오 영상 모니터를 사용한 원격작업은 일반 모니터를 이용했을 때 보다 훨씬 짧은 시간에 정확히 수행할 수 있었으며, 물체 이동에 대한 카메라의 각도가 실험의 주요한 변수가 됨을 알 수 있었다. 또한 동기방식과 편광방식의 비교에서 속도와 정확도 면에서는 두 방식이 비슷했으나 눈의 피로도로 인한 작업의 안정성 측면에서는 편광방식이 우수함을 알 수 있었다.

Abstract

This paper describes development of Polarized Stereo Monitoring System (KAERI-PSM) and compares the remote handling performance of KAERI-PSM with that of other monitoring systems, electric shutter type stereo monitoring system and general TV monitoring system. Remote handling performance is evaluated by total time and error number on remote operating experiments. Four kinds of remote handling experiments are carried out through 1) directly 2) general TV 3) electric shutter type monitor, and 4) KAERI-PSM. In these experiments six employees are participated and PUMA robot with force-torque reflectional joystic is used. The result of experiments show that camera angle against object is significant factor in monitoring and stereo monitoring system give more performance benefits in terms of accuracy and speed of remote handling operation than general TV monitoring system. In comparison of the polarized and electric shutter type stereo monitoring system, both have similar accuracy and speed for remote handling operation, but the former is superior in image quality and stability of the performance.

* 한국원자력연구소, 로봇트기반기술개발팀
(Dept. of Advanced Robotics, KAERI)

** 경북대학교 전자공학과
(Dept. of Elec., Kyungbuk Nat'l Univ.)
<접수일자 : 1996년 5월 6일>

I. 서론

고은, 심해저, 고방사선 환경 등 작업자의 접근이 제

한반는 극한의 특수 작업환경에서는 원격작업이 필수적이다. 특히 원자력 산업에서는 작업자의 방사선 피폭에 대한 허용치가 엄격하게 규제됨에 따라 ALARA(As Low As Reasonably Achievable) 개념에 입각하여 방사선 피폭을 줄이기 위해 원격작업에 관한 연구가 심도있게 이루어지고 있다[1].

한국원자력연구소에서는 원자력시설 작업 종사자의 방사선 피폭저감, 작업시간 단축, 작업비용 절감 등 원자력 관련 산업에서 수행되는 각종 원격작업의 효율을 최대로 증대시키기 위하여 스테레오 영상 시스템에 대한 연구, 개발을 수행하고 있다. 스테레오 영상 시스템은 일반적으로 원격관측 및 작업에 사용되는 폐쇄회로 텔레비전(CCTV)을 이용한 이차원적 관측과는 달리 사람의 눈으로 사물을 보는 것과 같이 두 대의 카메라를 이용하기 때문에 사물에 대한 원근감, 즉 심도, 거리정보를 관측자에게 제공함으로써 작업시 현장감을 느끼게 해준다[2,3].

본 논문에서는 한국원자력연구소 로보트기반기술개발팀에서 개발한 스테레오 영상 획득부, 출력부, 시스템 제어 및 입체영상 저장부로 구성되는 스테레오 영상 시스템의 원격 작업 효율성에 관한 성능을 평가하는 작업을 하였다. 평가는 (1) 직접 관측, (2) 일반 모니터를 사용한 관측, (3) 동기방식 스테레오 영상 모니터를 사용한 관측, 그리고 (4) 편광방식 스테레오 영상 모니터를 통해 작업현장을 관측하면서 원격조작되는 퓨마 로보트로 시험봉을 기관에 이동/삽입하는 실험으로 이루어진다. 실험은 일반영상과 스테레오 영상과의 원격작업성 비교[5,6] 뿐만아니라 두 방식의 스테레오도 비교 대상에 포함시켰다. 그리고 또한 카메라의 방향과 원격작업의 진행방향에 대한 관계를 주요변수로 채택하여 수행하였다.

개발된 시스템은 고방사선 구역인 원자력 발전소 증기발생기 수실내의 노즐담(Nozzle Dam) 장/탈착을 위한 주/종(Master/Slave) 조작기 형태의 노즐담 장/탈착 로봇에 활용될 예정이다. 현재의 노즐담 장/탈착 작업은 수실내로 입실한 작업자에 의해 수동으로 장/탈착되며, 국내 원전의 정기보수 기간중에 방사선 피폭이 가장 극심한 위험한 작업이다[4]. 노즐담 장/탈착 로봇에 탑재된 스테레오 영상 시스템은 방사선 피폭의 염려가 전혀없는 증기 발생기로부터 수백 미터 떨어진 원격의 조작자에게 원격작업의 현장감을 직접 또는 간접적으로 느끼게 하여 원격작업의 효율을 극대화시킬 수 있다.

II. 스테레오 영상 시스템의 구성과 응용

2.1 구성

2.1.1 영상획득부

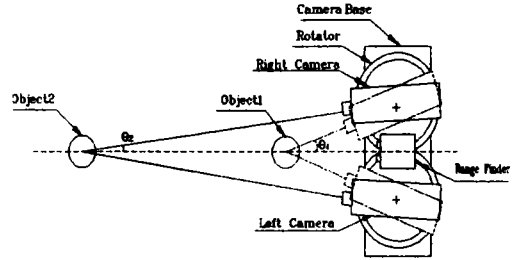


그림 1. 영상획득부

Fig. 1. Image aquisition part

스테레오 영상 획득부에는 작업현장의 영상을 입체적으로 획득하기 위해 사람의 눈과 같이 두 대의 카메라가 사용된다. 이때 카메라의 광축이 일치하는 평면상의 점들은 카메라들의 초점면 상의 점들과 1:1 대응이 되어 초점면상의 모든 점들은 두 카메라의 초점면에서 상대적으로 같은 위치에 대응된다. 그러나 광축 교차면보다 가까이 또는 멀리 떨어져 있는 점들은 두 카메라의 초점면에서 상대적으로 수평방향의 위치가 서로 다른 점들과 대응된다. 수평방향의 상대적 위치 차이 즉, 시차를 통해 관측자는 입체감을 느끼게 된다.

입체영상을 구성하는 두 영상에서 거리정보를 내포하고 있는 수평시차를 제외한 다른 차이점들은 관측자에게 입체영상을 관측할때 어지러움과 같은 불편함을 느끼게 한다. 두 영상의 차이점으로는 콘트라스트, 밝기, 기하학적 오차 등을 들 수 있으며 밝기 차이보다 콘트라스트(contrast) 차이가 스테레오 영상관측에 더 큰 영향을 미치며, 기하학적 오차에서 수직오차와 회전오차는 각각 0.4퍼센트와 0.25도를 넘지 않아야 한다. 그리고 수평오차는 잘못된 심도 즉, 거리정보를 추출하는 원인이 된다.

본 연구에서 개발한 스테레오 영상 시스템의 영상 획득부에는 사람의 눈 간격과 같이 65mm의 이격거리를 갖는 두대의 자동초점 카메라들을 사용했으며 두 카메라의 줌(zoom) 제어를 동시에 할 수 있도록 하였다. 또한 관측물체에서 카메라의 광축이 교차하도록

그림 1과 같이 관측물체의 거리에 따른 카메라 사이 각도, 즉 주시각 θ 의 조절기능을 첨가하였다. 카메라 사이 각도조절은 영상의 초점영역에서 좌,우 영상의 시차를 최소화시킬 수 있도록 영상정합을 통하여 수행되며, 좌/우 영상간 시차가 최소가 되지 않는 경우 입체 영상의 관측자는 배멀미와 같은 두통이나 어지러움을 느끼게 되어 장시간 입체영상의 관측이 불가능하게 된다[5].

2.1.2 영상출력부

스테레오 영상의 디스플레이는 좌,우 영상을 사람의 눈에 전달하는 전송방법에 따라 색분리방식, 편광방식, 동기분리방식 그리고 HMD(Head Mount Display)방식 등으로 나누어진다. 본 논문의 평가실험에는 한국 원자력연구소에서 개발, 제작한 동기 및 편광방식 출력장치를 사용하였으며 이들 시스템의 구성은 아래와 같다.

동기분리방식

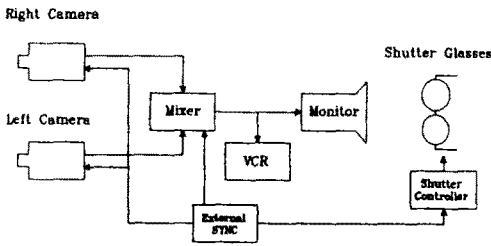


그림 2. 동기방식 구성도
Fig. 2. Configuration of electric shutter type

동기분리방식(Electric Shutter Method) 출력장치는 영상 동기신호를 이용하여 좌/우 영상을 분리, 전송한다. 일반적인 NTSC신호의 한 화면을 표현하는 데는 1/30초가 소요되며 한 화면은 홀수와 짝수의 두 필드로 구성된다. 이 방식은 그림 3의 구성도에서와 같이 NTSC 신호의 한 화면을 구성하는 두 개의 필드에 대해 각각 좌/우 영상신호를 할당하여 관측자에게 스테레오 영상을 전송한다. 이때 관측자는 동기신호에 동기되어 좌/우가 번갈아 개폐되도록 전기적 셔터가 내장된 LCD 안경을 통하여 스테레오 영상을 관측한다.

60Hz의 NTSC 동기신호를 사용한 스테레오 영상 기술은 좌/우 영상신호를 각각 초당 15 화면이 교대로 디스플레이 되기 때문에 화면이 깜빡거리는 현상이 발생하고 화질이 편광방식의 반 (512x256)으로 떨어지게 되는데 이는 입체영상을 감상하는 관측자에게 배멀미와 같은 어지러움을 느끼게 하는 등 관측 피로의 원인이 되어 장시간 관측을 어렵게 한다.

편광방식

편광방식의 출력장치는 그림3과 같이 좌/우 두 영상을 사람의 눈으로 분리 전송함에 있어 편광의 원리를 이용한다. 이 방식은 서로 수직 방향성을 갖는 편광 필터가 부착된 각 모니터의 영상을 Half Mirror를 이용하여 하나로 묶어 디스플레이하고, 관측자가 착용하고 있는 편광안경을 통하여 좌/우 영상을 분리 관측케 한다. 관측자의 편광안경은 두 모니터에 부착된 편광필터의 방향성과 일치하게되어 있어 좌/우 눈에 각각 좌/우 카메라의 입력영상만이 보이도록 한다.

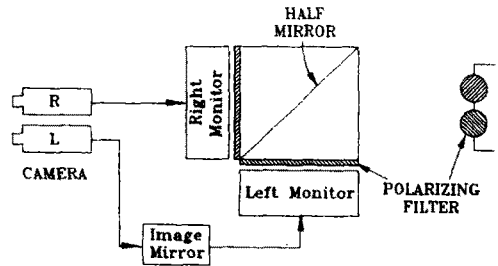


그림 3. 편광방식 구성도
Fig. 3. Configuration of polarization type

편광방식은 편광필터를 이용하기 때문에 화면이 다소 어둡다는 단점이 있지만 동기방식에 비해 고해상도의 영상(512x512)을 제공한다.

2.2 응용

스테레오 영상시스템은 작업자의 접근이 제한되는 극한의 작업환경에서의 원격조작 및 검사작업과 인간의 이해를 돕기 위한 입체 구조의 표현등에 널리 이용된다. 특히 고온, 고압, 심해저, 방사선 환경등 극한의 작업환경에서의 원격작업에는 스테레오 영상 시스템의

사용이 필수적으로 작업의 비용절감, 작업시간단축, 안전성 향상 등 작업효율을 극대화할 수 있다. 스테레오 영상시스템은 원격작업의에도 시뮬레이터, 입체영화, 입체 TV 방송, 분자모델분석, 입체구조물의 설계, 가상현실 구현 등 광범위한 분야에 응용이 이루어지고 있다.

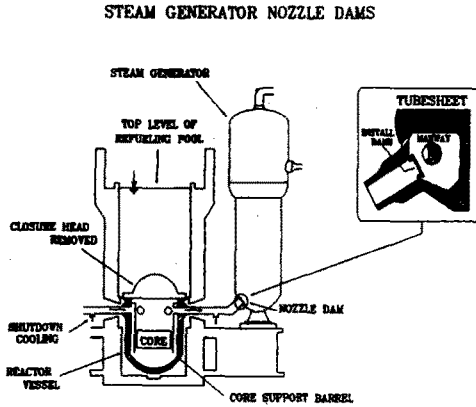


그림 4. 원자로 냉각재 계통의 구성도
Fig. 4. Scheme of reactor coolant system

원자력산업에서는 최근 국제방사선 방어 위원회가 작업자에 대한 방사선 피폭 허용치를 엄격하게 규제함에 따라 ALARA 개념에 입각하여 작업자의 방사선 피폭을 최소화하고자 하는 많은 연구가 심도 있게 이루어지고 있다. 특히 고방사능으로 오염되어 있는 원자력발전소 증기발생기 내부(그림4)의 점검 및 보수유지 작업은 작업자의 방사선 피폭이 심하게 대두되는 위험한 작업이므로 무인, 자동화가 절실히 요구된다.

노즐댐 장/탈착 작업은 증기발생기 유지, 보수시 원자로의 냉각수 역류를 막기위해 제일 먼저 행해지는 작업으로 급격한 경사면으로 된 좁은 공간의 수실내에 입실한 작업자에 의해 수행되며 방사선 피폭 정도가 심각한 어려운 작업이다. 따라서 이러한 극한의 작업을 무인, 자동화하기 위해 한국원자력연구소에서는 그림5의 형태로 구성되는 원격조작 로봇 시스템을 개발중이다. 주/종조작기 형태의 원격제어 로봇트는 노즐댐 장/탈착, 특히 볼트의 체결 및 해체 작업을 수행하게 되는데 평면영상을 이용한 원격작업시 물체간의 원근감이 없어 로봇트가 증기발생기의 벽면과 충돌하거나 볼트의 파지가 부정확할 우려가 크다.

STEAM GENERATOR

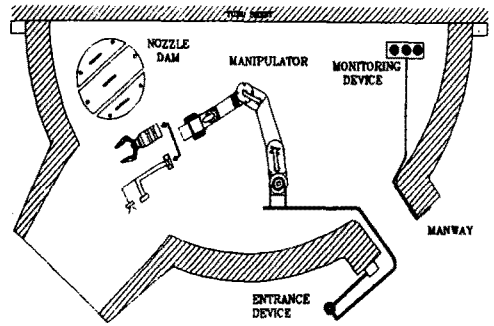


그림 5. 노즐댐 장/탈착 로봇트 시스템의 구성
Fig. 5. Configuration of nozzle-dam installation/removal robot

스테레오 영상 시스템은 이러한 원격작업의 부담을 줄이고 작업의 효율을 높이기 위해서는 필수적이다. 개발된 스테레오 영상시스템은 작업자의 방사선 피폭량을 저감하고, 작업자에게 작업의 현장감을 부여하여 작업시간 단축, 작업 에러를 감소 등 원격작업의 효율을 향상시킬 것이다.

III. 실험

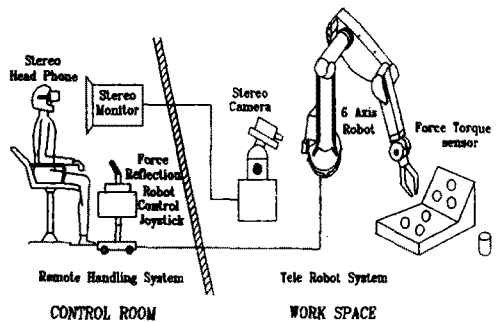


그림 6. 전체 실험 구성도
Fig. 6. Configuration of experiment

본 논문의 원격조작성 실험은 그림6과 같이 구성되는 원격조작 로봇트 시스템을 이용하여 그림7과 같이 8개의 구멍이 뚫린 직사각형의 기관에 봉을 삽입하는 작업을 ①직접 관측, ②일반 모니터를 사용한 관측,

③동기방식 스테레오 영상 모니터를 이용한 관측, 그리고 ④편광방식 스테레오 영상 모니터를 사용한 관측을 통해 수행할때 소요되는 시간과 봉을 삽입할때 발생하는 에러횟수로 평가하였다. 원격조작 시스템의 로봇은 6 D.O.F.의 퓨마 560 로봇으로 힘반향 조이스틱에 의해 조작된다. 그리고 실험에 사용된 기판은 가로, 세로 800mm x 500mm의 크기이며, 두께는 50mm, 구멍의 직경은 30mm, 봉의 지름 및 길이는 30mm, 60mm, 카메라와 기판 사이의 거리는 1m로 하였다.

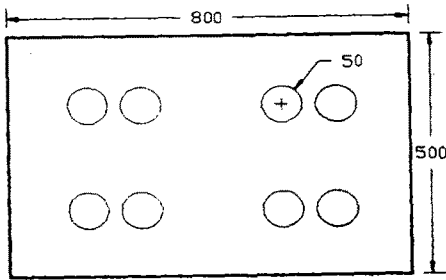


그림 7. 실험에 사용한 기판(평면도)
Fig. 7. Board used in experiment

3.1 실험1

구성 및 방법

네개의 봉을 카메라의 직각방향으로 이동하여 기판의 구멍에 삽입하는 실험으로 학습효과(Learning Effect)를 최소화 하기 위해 1)④-③-②-①, 2)③-④-②-①, 3)①-②-③-④, 4)②-①-④-③, 5)③-①-②-④, 6)①-③-④-②의 여섯가지 순서로 수행하였다. 실험에 참여한 사람들은 총 6명이며, 이들은 모두 본 실험에 사용된 퓨마 로봇에 익숙한 상태로써 원활한 실험 수행을 위해 실제 시간을 기록하기 이전에 충분한 연습을 마쳤다.

결과 및 논의

그림8에 나타난 바와 같이 편광방식 스테레오 모니터와 동기방식 스테레오를 이용한 실험에서 소요된 평균시간은 각각 44.9초와 46.8초로서 일반 2D 모니터를 이용한 작업에서의 57.1초에 비해 21.4%와 18%의 시간

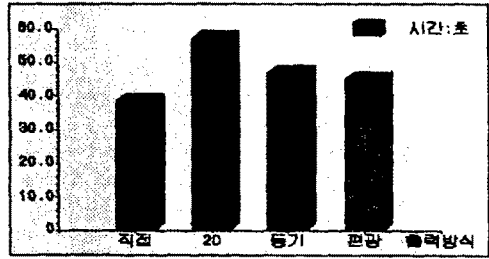


그림 8. 평균 소요 시간
Fig. 8. Averaged time consumption

감소가 나타났다. 그리고 평균 에러 수에서는 그림9에서와 같이 두가지 스테레오 방식이 각각 0.6회, 0.8회로써 2D에 비해 3.4배와 2.9배의 감소를 했다. 따라서 두 입체영상 시스템을 이용한 원격조작은 일반 2D 영상에 비해 수행 속도와 정확성에서 우수함을 알 수 있다.

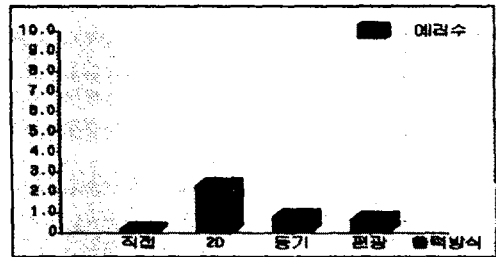


그림 9. 평균 에러 횟수
Fig. 9. Averaged error number

3.2 실험2

구성 및 방법

실험2는 2개의 봉을 카메라 방향으로 왕복 이동하며 삽입하는 실험으로 수행하였다. 실험 도구와 실험 참여자, 그리고 측정 변수는 실험1과 동일하다.

결과 및 논의

일반 2D 모니터를 사용하면서 카메라 방향으로 봉을 움직이는 원격조작(수평이동)을 수행하는 실험2는 봉을 수직방향 이동시키면서 작업하는 실험1에 비해 원격조작이 어려웠다. 작업 수행에 필요한 공간 정보

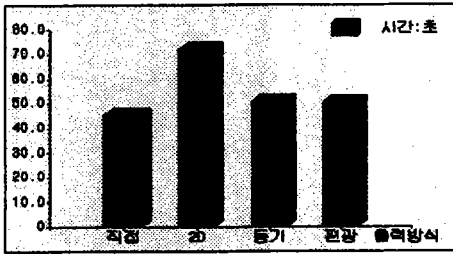


그림 10. 평균 소요 시간
Fig. 10. Averaged time consumption

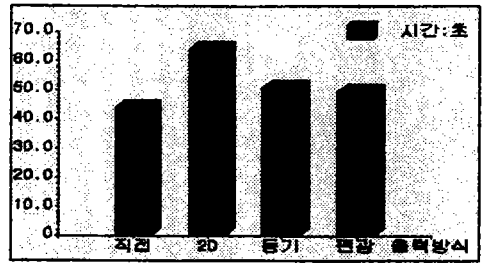


그림 12. 평균 소요 시간
Fig. 12. Averaged time consumption

가 스테레오 영상에 비해 일반영상에서는 현격히 감소하여 평균 시간비는 각각 30%로써 실험1에서 보다 증가됨을 그림10에서 알 수 있다. 또한 스테레오 영상에 비해 큰 충돌 및 잘못 짚는 횟수가 크게 증가하여 그림11에서와 같이 2D는 편광, 동기 스테레오 영상에서 보다 평균 에러 발생 비가 각각 5.3배로 크게 나타났다.

영상의 원격조작 평균시간 감소비는 각각 22.9%와 20.9%였고, 평균에러 발생 비는 3.7배, 3.6배로 나타났다으며 이는 실험1과 실험2 사이의 값이다.

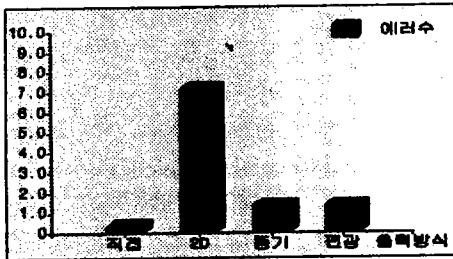


그림 11. 평균 에러 횟수
Fig. 11. Averaged error number

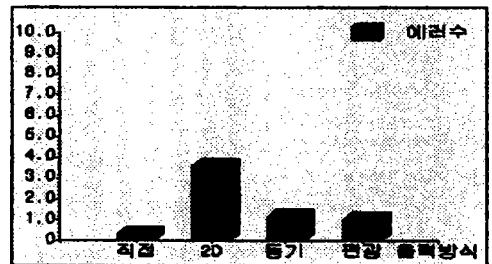


그림 13. 평균 에러 횟수
Fig. 13. Averaged error number

3.3 실험3

구성 및 방법

카메라를 45° 방향 측면에 고정된 다음 오른쪽 구멍에 있는 4개의 봉을 왼쪽구멍으로 차례로 이동하여 삽입하는 실험으로 실험 및 평가 방법은 실험1과 동일하다.

결과 및 논의

일반 2D영상에 대한 편광 및 동기 방식 스테레오

실험1,2,3에서 얻은 값들의 평균치는 표1과 같다. 이는 편광방식 스테레오 영상으로 관측하면서 원격작업을 수행한 결과가 일반 모니터를 이용해 수행한 원격작업에 비해 시간상에서 21.4%~30%의 개선이 되었고, 에러 발생면에서는 3배~5배 감소됨을 나타낸다.

표 1. 2D와 편광 3D의 비교

Table 1. Comparison of 2D with Polarized 3D

비교변수 실험방법	수행시간 감소율	ERROR 감소비
실험1(수직이동)	21.4%	3.4배
실험2(수평이동)	30%	5.3배
실험3(45도)	22.9%	3.7배

또한, 카메라 수직방향에 대한 원격작업 보다 카메라

라 방향으로의 원격작업시 이들의 개선 정도는 더욱 두드러졌다. 즉 카메라와 작업방향의 각도가 작을수록 스테레오 영상을 통한 작업이 일반영상에 비해 더 빠르고 정확함을 알 수 있다. 동기방식 스테레오 영상도 편광방식 스테레오 영상방식과 비슷한 작업 효율과 정확성을 보였으나 화상의 떨림으로 인한 눈의 피로로 실험을 장시간 수행하기에는 애로가 있음을 알 수 있었다.

IV. 결론

본 논문에서는 개발된 스테레오 모니터링 시스템의 성능을 평가하기 위해 힘반향 조이스틱에 의해 조작되는 6 D.O.F.의 퓨마 로봇트를 이용한 원격제어 실험을 수행하였다. 카메라 관측각도에 따른 3가지 실험을 6명의 실험자가 힘반향 조이스틱을 사용하여 (1)직접, (2)일반 모니터, (3)동기방식 스테레오 모니터, 그리고 (4) 개발된 편광방식 스테레오 영상 모니터를 보면서 6가지의 조합된 방법으로 총 36번 수행하여 걸린 평균 시간과 평균 에러수를 비교, 평가하였다. 그 결과 스테레오 영상 모니터를 통한 원격작업에서는 일반 모니터를 이용했을 때 보다 21.4%~30%의 작업 속도 향상과 3배~5.4배의 정확성이 나타남을 알 수 있었다. 또한 카메라와 작업방향의 각도가 작을수록 스테레오 영상을 통한 작업이 일반영상에 비해 더 빠르고 정확했다. 시간과 속도면에서는 편광방식과 동기방식이 비슷했지만 눈의 피로도도 인한 작업의 안정성 측면에서는 편광방식이 우수함을 알 수 있었다.

이상의 실험을 통하여, 본 연구실에서 개발한 편광방식 스테레오 모니터링(KAERI-PSM) 시스템은 고방사선의 원자력 시설 뿐만아니라 고온, 고압, 심해저 등 작업자의 접근이 제한되는 극한의 특수작업 환경에서 작업자의 부담을 최소화하면서 원격작업효율을 극대화 시킬 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] C. T. Raddatz, and D. Hagemeyer, "Occupational Radiation Exposure at Commercial Nuclear Power Reactors and Other Facilities," NUREG 0713, pp. 123-131, 1988.

[2] D. Marr, and T. Poggio, "A computation theory of human stereo vision," Proc. R. Soc. Lond. B. 204, 301-328, 1979.

[3] 이종민 외, 원자력시설에서의 영상처리 응용현황, 한국원자력연구소, KAERI/AR-369/93, 1993.

"Evaluation of High-Definition TV for Remote ask Performance,"ORNL/TM-10303, Oak Ridge National Laboratory, April 1987.

[4] 이종민 외, 증기발생기 노즐덴 장탈착 작업의 원격화기술분석, 한국원자력연구소, KAERI/TR-376/93, 1993.

[5] A. A. Dumbreck, C. W. Smith, and S. P. Murphy, "The Development and Evaluation of a Stereoscopic Television System for Remote Handling," Image Technology, paper 1002, January 1990.

[6] R. E. Cole, and D. L. Parker, "Stereo TV improves manipulator performance," SPIE Vol.1083, pp.18-27, 1989.

[7] L. Lipton, "Compatibility of stereoscopic video system with broadcast television standards," SPIE, Vol.1083, pp.95-100, 1989.

[8] J. V. Draper, Y. Fujita, and J. N. Herndon,

[9] S. W. Martin, "Low Cost Design Alternatives for Head Mounted Stereoscopic Displays," SPIE, Vol1083, pp.53-58, 1987.

著 者 紹 介

**이 용 범**

1962년생, 1985년 경북대 전자공학과 졸업, 1995-현재 경북대 전자공학과 박사과정, 1987-현재 한국원자력연구소 로보트기반기술개발분야 책임자, 관심분야 : 로보틱스, 입체영상, 가상현실

**이 종 민**

1943년생, 1966년 서울대 물리학과 졸(학사), 1980년 고려대 물리학과 졸(이학박사), 1973-1986년 국방과학연구소 근무, 1986-현재 한국원자력연구소 본부장, 기반연구그룹장, 관심분야 : 레이저, 분광학, 영상처리

**이 남 호**

1963년생, 1993년 경북대 전자공학과 졸업(석사), 1992-현재 한국원자력연구소 근무, 관심분야 : 가상현실, 수중로보트 센서

**진 성 일**

1977년 성루대학교 전자공학과 학사. 1981년 한국과학기술원 전기·전자공학과 석사, 1988년 Carnegie Mellon University 전기 및 컴퓨터 공학과 박사, 1981년 이후 경북대학교 전자·전기 공학부 근무, 현 부교수, 관심분야 : 패턴인식, 컴퓨터 비전, 신경회로망

**박 순 용**

1968년생, 1993년 경북대 전자공학과 졸업(석사), 1993-현재 한국원자력연구소 로보트기반기술개발분야 근무, 관심분야 : 로보트 비전, 입체영상