

원격조작을 위한 입체영상 시스템 연구

이용범, 김용기, 박순용, 김승호, 이종민
한국원자력연구소

A Study on Stereo Imaging System for Remote Handling

Young-Bum Lee, Woong-Ki Kim, Soon-Yong Park, Seung-Ho Kim, Jong-Min Lee
Korea Atomic Energy Research Institute

ABSTRACT

In hazardous conditions, where entry of human operators is restricted, such as high radiation regions in nuclear facilities, a lot of remote inspections and remote handling tasks must be performed. In this study, the stereo imaging system has been developed and the remote handling technique has been studied to enhance the efficiency of tele-operation. The nozzle dam handling robot is one of the most important robots applied to nuclear facility. The robot will be equipped with the developed stereo imaging system. The stereo imaging system will outstandingly improve the tele installing/removal tasks for nozzle dam.

1. 서론

작업자의 접근이 어려운 원자력시설과 같은 극한환경에서의 각종작업은 원격 모니터링을 이용하여 원격에서 이루어져야 한다. 일반적인 원격 모니터링 장치는 폐쇄회로 TV(CCTV)를 이용한 2차원적인 모니터링 기술을 사용한다. 그러나 인간은 두 눈의 시차(disparity)에 의해 사물의 원근감을 느끼기 때문에, 2차원적인 모니터링 기술로서는 관측물에 대한 심도(depth) 정보를 얻을 수 없다. 심도정보는 모니터를 통해 작업현장의 사물을 원격에게 관측하거나, 작업할 때 작업자가 작업현장에서 직접 작업하는 것과 같은 현장감을 제공하는 중요한 요소이다. 2차원 영상 모니터링에 비하여 3차원의 입체영상 모니터링은 관측자에게 사물의 원근감을 제공함으로써 작업시간단축, 오차율의 감소 및 비용절감의 효과를 가져와 원격작업의 효율을 향상시킨다.

입체영상 시스템은 두 대의 카메라를 이용하여 두 카메라의 광축이 일치되는 평면의 영상을 입체적으로 표현해 주는 장치이다. 입체영상 시스템은 원자력산업, 우주항공산업, 또는 다른 극한 작업환경에서의 원격 작업상 필요한 주변환경인식, 3차원적인 구조를 가진 복잡한 장소의 분석 및 원격작업과 입체적인 구조를 가진 분자모델의 분석, 가상현실의 구현을 위한 가상현실 시스템, 입체영화 등에 광범위하게 이용될 수 있다[1,2,5].

본 연구에서는 원전시설에 종사하는 방사선 환경 작업자의 직업적 방사선 피폭시간을 줄이기 위한 노력의 일환으로 입체영상시스템을 개발하고, 중기발생기 수신패

노즐담 장/탈착작업을 무인, 원격으로 수행하기 위한 로봇에 입체영상 시스템을 적용하여 원격작업의 효율을 극대화하기 위한 연구를 수행하였다.

2. 입체영상 시스템

입체영상 시스템은 사람의 눈이 하나의 물체를 볼 때 좌측 눈의 영상과 우측 눈의 영상사이의 시차를 두뇌에서 판별하여 관측영상을 입체화하는 원리를 응용한 것이다. 이 시스템은 사람의 두 눈을 대신하는 한 쌍의 영상획득 장치를 사용하여 좌측 눈의 영상과 우측 눈의 영상을 얻고, 각각의 영상을 독립적인 전송로를 통해 사람의 두 눈에 각각의 영상을 분리시켜 전달한다. 입체영상 시스템은 입체영상을 획득하는 카메라부와 입체영상을 표현하는 출력부, 시스템을 제어하고 입체영상을 저장 관리하는 시스템 제어 및 저장부로 나누어진다.

2.1. 카메라부

본 연구에서 개발한 입체영상 카메라 모듈은 원자력시설에서의 원격 조작작업, 특히 노즐담 장/탈착시 원격작업자에게 현장감을 부여하여 작업 효율을 향상시킨다. 입체영상 카메라 모듈은 작업현장의 영상을 입체적으로 획득하기 위해 두 대의 카메라로 구성된다. 이때 카메라의 광축이 일치하는 평면상의 점들은 카메라의 초점면 상의 점들과 1:1 대응이 되어 초점면상의 모든 점들은 두 카메라의 초점면에서 상대적으로 같은 위치에 대응된다. 그러나 초점면보다 가까이 또는 멀리 떨어져 있는 점들은 두 카메라의 초점면에서 상대적으로 수평방향의 위치가 서로 다른 점들과 대응된다. 수평 방향의 상대적 위치차이 즉 시차에 의해 관측자는 입체감을 느끼게 된다. 입체감을 나타내는 심도는 그림 1에서와 같이 3차원 대상 물체상의 한점이 결정되면 그 점에 대응하는 두 카메라의 초점면들에서의 대응점 x, x' 이 정해지고 x, x' 의 차이로 정의 되는 시차 P 는 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} P &= x - x' \\ &= 2f \tan(\theta) - f B/Z \\ &= f B(1/k - 1/Z) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 f 는 카메라의 초점거리, B 는 두 카메라의 이격거리, θ 는 두 카메라의 광축 교차각, 그리고 k 는 기준선에서 부터 두 카메라의 광축 교차점 까지의 거리이다.

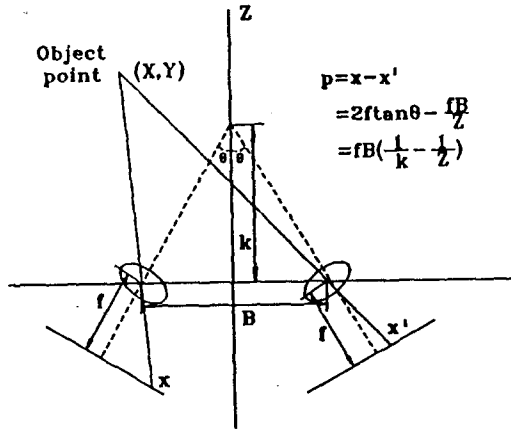


그림 1. 입체영상 획득 원리
Fig. 1 Geometry of Stereoscopy

두 카메라의 이격거리 및 카메라의 광축 교차는 입체영상의 특성결정에 중요한 요소이다. 입체영상을 이루는 좌/우 두 영상은 수평시차를 제외한 거의 모든 점에서 같은 영상이어야 한다. 두 영상간 수평시차를 제외한 다른 차이점들은 관측자가 입체영상을 관측할 때 일반적인 비전에서 발생하지 않는 어지러움이나, 불편함을 느끼게 하는 원인이 된다. 두 영상간 차이점으로는 콘트라스트, 밝기, 기하학적 오차 등을 들 수 있으며 밝기차이 보다 콘트라스트 (contrast) 차이가 입체영상관측에 더 큰 영향을 미치며, 기하학적 오차에서 수직오차와 회전오차는 각각 0.4퍼센트와 0.25도를 넘지 않아야 한다. 그리고 수평오차는 잘못된 심도정보를 추출하는 원인이 된다[3].

본 연구에서 개발한 입체영상 시스템의 카메라부에는 자동초점 카메라들을 사용했으며 두 카메라의 줌(zooming) 제어를 동시에 할 수 있도록 하였다. 또한 관측물체에서 카메라의 광축이 교차하도록 그림 2와 같이 관측물체의 거리에 따른 카메라 사이 각도 조절기능을 첨가하였다. 카메라 사이 각도 조절은 영상의 초점영역에서 좌우 영상의 시차를 최소화 시킬 수 있도록 영상정합을 통하여 수행된다 [6].

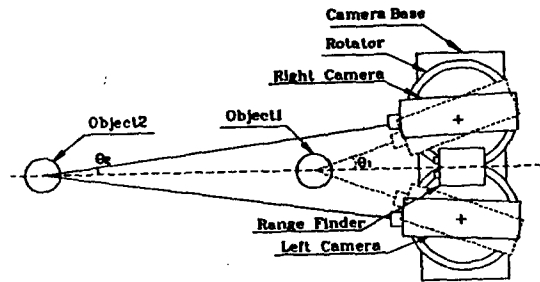


그림 2. 입체영상 카메라부의 구성
Fig. 2 The schematic diagram of stereo-camera

2.2. 영상 출력부

입체영상 출력부는 그림 3과 같이 표현되는 입체영상의 시차 q가 얻어지도록 좌/우 영상을 각각의 눈에 분리 전달한다.

$$\begin{aligned} q &= X' - X \\ &= -m x' + m x + S \\ &= m p + S \end{aligned} \quad (2)$$

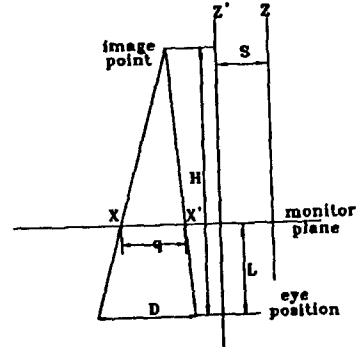


그림 3. 입체영상 디스플레이 원리
Fig. 3 Geometry in Stereoscopic Display

여기서 X와 X'는 모니터 화면에서의 관측영상의 대응점들이며 S는 오른쪽 영상이 모니터에 디스플레이될 때 발생하는 수평이동 정도를 나타낸다. 그리고 m은 카메라 CCD 크기에 대한 모니터 화면의 크기 비율 나타내는 배율이다. 사람의 눈에서 모니터 상를 통해 디스플레이되는 관측물의 거리 H는 아래의 식과 같이 표현된다.

$$\frac{q}{D} = \frac{H - L}{H} \quad (3)$$

$$H = \frac{Z}{M} \frac{1}{1 - Z \left(\frac{1}{k} + \frac{S - D}{m f B} \right)} \quad (4)$$

$$M = \frac{m f B}{D L} \quad (5)$$

관측영상이 축소 또는 확대되어 보이면서 찌그러지지 않으려면 영상거리 H가 실제거리 Z의 일차함수가 되어야 하므로 아래의 식이 성립하여야 한다.

$$S = D - \frac{m f B}{k} \quad (6)$$

여기서 D는 관측자의 두눈 이격거리, L은 모니터와 관측자와의 거리이다.

식(2)와 (4)로 표현되는 입체영상의 디스플레이는 좌,우 영상을 사람의 눈에 전달하는 전송방법에 따라 색분리방식, 편광방식 및 동기분리방식으로 나누어진다. 본 연구에서는 영상정보의 전달에 있어 정보의 손실을 최소화시킬 뿐만 아니라 원격조작에 적합한 방식인 편광방식과 동기방식을 분석하였다.

2.2.1. 편광방식

편광방식 디스플레이는 좌/우 두 영상을 사람의 눈으로 분리 전송함에 있어 편광필터를 이용한다. 이방식은 그림 4와 같이 서로 수직 방향성을 갖는 편광필터가 부착된 각 모니터의 영상을 semi-reflective 거울을 이용하여 하나로 묶어 디스플레이하면, 관측자는 착용하고 있는 편광안경을 통하여 좌/우 영상을 분리 관측한다.

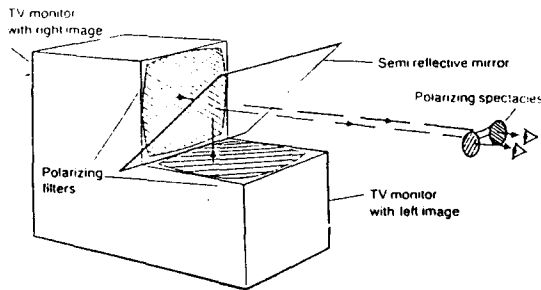


그림 4. 편광방식 입체영상 디스플레이
Fig. 4 Polarized light stereoscopic display

두 모니터를 이용하는 편광 디스플레이는 부피가 크고 스크린 크기에 제한을 받지만 비디오 프로젝트를 이용하면 큰 스크린에 디스플레이할 수 있다. 그러나 비디오 프로젝트를 사용하는 경우 일반 스크린을 사용하면 편광현상이 사라지는 탈편광(depolarization)현상이 발생하므로 알루미늄이즈 전면투사(aluminized front projection) 스크린을 사용해야 한다. 편광방식의 디스플레이는 색분리방식이나 동기방식에 비해 영상정보의 손실이 작아 보다 선명한 화질의 입체영상을 관측할 수 있으나 두대의 모니터를 이용하기 때문에 시스템의 규모가 커지는 단점이 발생한다.

2.2.2 동기분리방식

동기분리방식 디스플레이는 영상 동기신호를 이용하여 좌/우 영상을 분리 전송한다. 일반적인 NTSC 신호의 1 화면을 표현하는 데는 1/30초가 소요되며 1 화면은 홀수와 짝수의 두 필드로 구성된다. 이 방식은 그림 5와 같이 NTSC 신호의 한 화면을 구성하는 좌/우 필드에 대해 각각 좌/우 영상신호를 할당하여 관측자에게 입체영상을 전송한다. 이때 관측자는 동기신호에 동기되어 좌/우가 번갈아 개폐되는 LCD 셔터가 내장된 안경을 통하여 입체영상을 관측한다.

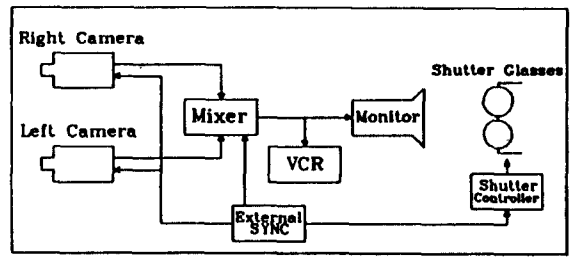


그림 5. 동기분리 입체영상 시스템의 구성
Fig. 5 The block diagram of time division stereo-imaging system

60Hz의 NTSC 신호를 사용한 입체영상기술은 좌/우 영상신호를 각각 초당 15 화면씩 필드단위로 교대로 디스플레이하기 때문에 화면이 겹쳐거리고, 화질이 편광방식의 반(512x256)으로 떨어지게 된다. 따라서 이러한 현상을 없애주기 위해서 디스플레이 주파수를 120Hz로 높여 각 입력신호당 60Hz 즉 초당 30화면이 전송되도록함으로써 화면의 떨림을 없애고 화질을 높일 수 있다.

2.3 시스템 제어 및 저장부

본 연구에서 개발된 입체영상 시스템의 제어 및 영상 저장은 486 PC에 내장된 2개의 영상처리보드, 영상신호 합성 및 동기신호 발생기 그리고 저장부로 구성된다. 영상처리보드는 영상신호를 디지털화하여 식(4)로부터 계산되는 관측영상의 거리정보 추출을 위한 좌/우 영상에서의 특징점 좌표값 획득에 사용된다. 거리정보의 추출에 사용되는 특징점은 모니터상에 디스플레이되는 좌/우 영상에서 관측자가 정확히 정합되는 동일한 특징점을 마우스로 선택함으로써 얻어진다. 디지털화된 두개의 영상신호는 신호합성기에 의해 하나의 NTSC신호로 합성되며, 합성에 사용된 동기신호는 입체영상 관측자가 착용하고 있는 LCD 셔터의 개폐 주기를 동기시킨다.

동적인 입체영상의 저장은 VCR에 의해 비디오 테이프에 저장되는데 이때 2대의 VCR을 사용해 좌,우 영상신호를 각각 저장하는 방법과 좌,우 두 영상신호를 하나의 NTSC신호로 합성해 하나의 VCR에 저장하는 방법이 있다. 2대의 VCR을 사용하는 경우 각 비디오 테이프에 미리 타임 코드(time code)를 기록하여 좌/우 영상의 시간적 동기를 맞추어야 한다. 하나의 비디오 테이프를 사용하는 경우 영상신호의 합성과정을 거쳐야 하기 때문에 화질이 2대의 VCR을 이용할 경우의 반으로 떨어지게 된다. 정지영상은 디지털 영상 메모리에 좌/우 페어 단위로 저장된다. 정지영상은 일반 영상데이터베이스와 호환성을 가지며 원격작업이나, 영상정보 관리에 있어 주요시설물의 영상을 입체로 관측하게 함으로써 효율적인 영상정보 관리를 수행할 수 있다.

3. 입체영상 시스템의 응용

입체영상시스템은 작업자의 접근이 제한되는 위험한 작업환경에서의 원격조작 및 검사작업에 널리 이용된다. 일반적으로 많이 사용되고 있는 이차원 즉 평면 모니터링에 의한 원격작업에 비해 입체 모니터링은

비용절감, 작업시간단축, 안전성 향상 등 작업효율을 극대화할 수 있다. 입체영상시스템의 응용분야로는 원격조작이 요구되는 원자력산업분야, 우주항공분야, 폭발물해체작업 등 극한작업분야와, 입체구조를 가진 분자모델의 분석, 3차원 그래픽분야 및 가상현실의 구현, 입체 TV방송 등을 들 수 있다.

원자력시설에서는 고방사선 환경으로 인하여 사람의 접근이 제한되어 로봇 등 각종 자동화기가 이용되고 있다. 특히 증기발생기 노즐담 장/탈착 작업은 좁고, 높은 방사선 환경으로 인하여 국내 원전의 정기보수 기간중 작업별 피폭량의 16.58 퍼센트를 차지하는 작업자의 방사선 피폭이 극심한 작업이다. 노즐담 장/탈착 작업이 수행되는 증기발생기의 내부는 그림 6과 같이 급격한 경사면으로 된 좁은 공간으로 되어 있다. 따라서 로봇의 원격조작에는 많은 제약이 받으며

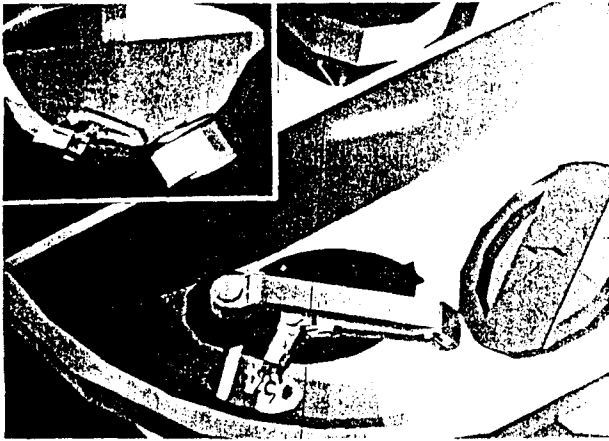


그림 6. 증기발생기내 노즐담 장/탈착 작업 로봇
fig. 6 The nozzle dam installing/removal robot in steam generator

특히 볼트의 체결 및 해체시 또는 노즐담의 운반시 로봇이 증기발생기의 벽면과 충돌할 우려가 대단히 크다[4]. 입체영상 시스템은 이러한 원격작업의 부담을 줄이고 작업의 효율을 높이기 위해서는 필수적이다.

4. 결론

본연구에서는 작업자의 접근이 제한되는 극한작업환경에서의 원격조작, 원격검사 등 원격작업의 효율을 극대화하기 위한 입체영상시스템에 관한 연구를 수행하였다.

개발된 입체영상시스템은 카메라부, 영상출력부, 시스템제어 및 영상저장부로 구성되며, 카메라부는 영상정합에 의해 관측물의 거리 변화에 따른 두 카메라의 교차각 조정이 가능하도록 설계하였고, 동기분리방식의 디스플레이는 디스플레이 주파수를 120Hz로 높여 화면의 떨림현상과 화질을 개선하였다.

개발된 시스템은 원전시설의 원격조작 특히 증기발생기내 노즐담 장/탈착 작업에서의 원격작업시 작업효율을 높이기 위해 로봇 시스템에 장착될 예정이다. 심도정보를 얻을 수 없는 일반 2차원 모니터링에 의한 원격조작으로는 많은 어려움이 예상되는 노즐담 장/탈착 작업시 수행될 볼트의 체결, 해체, 파지, 노즐담의 파지, 운반, 설치 작업에 입체영상시스템을 활용하게 되면 작업시간단축, 비용절감, 안전성 향상 등 원격 작업의 효율을 극대화 시켜줄 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] 이종민, 원자력시설에서의 영상처리 응용현황, 한국원자력연구소, KAERI/AR-369/93, 1993.
- [2] Robert E. Cole and Donna L. Parker, "Stereo TV improves manipulator performance," SPIE Vol.1083, Three - Dimensional Visualization and Display Technologies, 1989.
- [3] A.A. Dumbreck, C.W. Smith and S.P. Murphy "The Development and Evaluation of a Stereoscopic Television System for Remote Handling," Image Technology, January 1990.
- [4] 이종민, 증기발생기 노즐담 장탈착 작업의 원격화 기술분석, 한국원자력연구소,KAERI/TR-376/93,1993.
- [5] Lenny Lipton, "Compatibility of stereoscopic video systems with broadcast television standards," SPIE Vol. 1083, Three-Dimensional Visualization and Display Technologies, 1989.
- [6] D.Marr, T.Poggio "A computational theory of human stereo vision," Proc. R. Soc. Lond. B. 204, 301-328, 1979.