

## 1. 머리말

Man-Machine Interface (이하 MMI)란 용어는 자동화 및 로봇틱스 관련 종사자를 포함한 기계, 산업, 전기/전자공학 전공자들에게는 친숙한 용어이지만 본 학회지의 주된 독자인 건설업 관련 종사자에게는 다소 생소하게 느껴 질 수도 있겠다. 광의의 의미로 볼 때 이 말은 직역을 해보면 알 수 있듯이 사람과 기계간의 접촉 매체 및 수단을 뜻하는 것이며, 사람과 기계간의 통신과 관련된 모든 주제를 포함하는 하나의 연구분야로도 인식된다. 가장 간단한 예로서 오디오 기기를 켜고 끄기 위한 스위치, 그리고 볼륨 조절을 위한 스위치도 오디오 기기와 이를 사용하는 사람을 연결시켜주는 MMI 인 것이며, 스위치들을 효율적으로 배치하고 시각적으로 눈에 잘 띠게 만들어 사용자로 하여금 직관적으로 기계조작을 쉽게 해 줄 수 있도록 만들어 주는 것이 연구분야로서의 MMI 에서 다루는 주제가 된다. 이러한 간단한 예로부터 시작하여 우주공간에서의 시설물을 건설하기 위한 로봇의 원격조종을 위해 개발된 기술적으로 매우 복잡한 MMI 도 있다 [Bejczy et al. 1994]. 그러므로 MMI 가 뜻하는 것은 실로 광범위한 것이다. 하지만 본 기사와 관련된 자동화 및 로봇틱스 분야에서 뜻하는 MMI 란 통상 원격조종 장비 혹은 자동화 장비의 조종을 위한 진보된 형태의 조종 인터페이스 시스템을 뜻하며, Human-Machine Interface 혹은 Man-Machine System 으로 불리기도 한다. 본 기사에서는 MMI 가 건설자동화에 어떻게 기여할 수 있는가에 대하여 논의하고 몇 가지 사례를 제시하며 앞으로 건설자동화 분야에서 취해야 할 연구 및 개발 방향에 대해 언급하고자 한다.

## 2. 건설자동화

건설자동화에 대한 연구 및 개발은 1980

년대 초에 시작하여서 이제 약 20년이 약간 넘는 아직은 짧은 역사를 가지고 있다. 토목/건축 시설물의 시공 및 유지보수를 포함한 건설작업의 자동화는 이미 많은 분야에서 성공적으로 이루어진 제조업에서의 공장자동화에 비하여 여러 가지 다른 점이 많으며 성취하기가 힘들다. 이는 대부분의 건설작업이 제조업에 비하여 큰 힘을 요구하고 작업환경이 정형화 되어있지 않으며, 실외에서 행하여지고 작업자체의 반복성이 떨어지기 때문이다. 그러므로 우리가 자동화 또는 로봇틱스 하면 상기하기 쉬운 완전자동 시스템이나 자율 조종 로봇 혹은 수행해야 할 작업이 미리 프로그램된 로봇 (Pre-program-mable robot)의 적용이 작업의 특성에 따라 다르긴 하지만 공장자동화 하고 비교해 보았을 때 매우 힘들거나 개발 가능하더라도 개발비용이나 작업시간 등이 현실적이지 못한 경우가 많다. 그럼에도 불구하고 건설산업계는 로봇 혹은 자동화 시스템의 도입을 절실히 필요로 하고 있다. 건설산업은 위험한 작업환경으로 인하여 여러 가지 안전사고를 쉽게 유발할 수 있는데, 로봇과 원격조종 시스템의 도입을 통하여 이와 같은 산업재해를 방지할 수 있기 때문이다. 또 다른 이유로서는 숙련된 건설 작업 인력의 부족을 들 수 있다. 소위 3D로 분류되는 건설산업의 현장에 종사하는 작업인력(노무자와 장비조종자)은 점차 감소하는 추세에 있으며 특히 젊은층의 도입이 계속 감소하고 있기 때문에 전반적인 건설산업 인구가 고령화가 되어가고 있다. 숙련된 작업인력의 절대적 부족으로 야기되는 문제들을 로봇의 도입을 통하여 완화시키며, 건설산업의 이미지를 개선하여 건설산업 종사자의 수를 증가시키기 위해서도 자동화 기술의 도입이 필요하다.

위에 설명한 바와 같이 건설 프로세스의 자동화는 공장 자동화와는 달리 많은 어려움을 수반하는데, 로봇 혹은 장비조종의 일부를 조종자에게 맡기는 반자동 시스템이

# Man-Machine Interface 와 건설자동화

서종원, 한양대학교 토목공학과 조교수



문제 해결을 위한 좋은 대안이 될 수 있다. 일본의 Kajima 사의 콘크리트 바닥마감용 로봇의 경우가 이에 관한 좋은 예라고 볼 수 있는데, Kajima 사는 많은 노력을 기울여 콘크리트 바닥을 조종자의 도움 없이 돌아다닐 수 있는 자율항법 (Self-Navigation) 시스템을 가진 완전자동 시스템을 개발하였지만 생산성의 문제 때문에 이를 포기하고 사람이 원격조종을 하여 로봇의 진로결정을 하되 트롤링 (trowelling, 흙손작업) 및 충돌방지등의 기능은 로봇이 수행하게 되는 반자동 원격조종 시스템을 선택하게 되었다 [Cousineau and Nobayusi, 1999]. 이는 결국 기계와 사람 즉 조종자가 하나의 협력체제를 이루었을 경우가 완전히 기계에 의존했을 때 보다 나은 성과를 보였다는 것을 뜻하는 것이다. 건설환경에서의 로봇의 적용은 많은 경우 위의 예와 유사한 상황을 맞이하기 때문에 이에 대한 적절한 대처로서 인간이 보유한 능력과 기계가 보유한 능력을 적절히 조합하여야 하며, 진보된 형태의 MMI 가 이 부분에 크게 기여할 수 있다.

여기서 한가지 짚고 넘어가야 할 사항은 자동화의 범주일 것이다. 이 분야에 생소한 독자들은 자동화하면 사람을 배제시키고 기계가 모든 것을 알아서 처리를 하게되는 시스템을 상상하겠지만, 이러한 완전자동 시스템을 포함해서 반자동 시스템 그리고 장비의 조종성 향상을 위한 모든 형태의 노력을 자동화의 범주에 넣어야 하는 것이다. 한가지 예로서 수 개의 수동 레버를 이용하여 조종되던 굴삭기를 사용하기 간편한 조이스틱과 컴퓨터의 도움에 의해 조종하여 작업의 품질이 조종자의 숙련도에 받는 영향을 줄이게 된 것도 엄연한 자동화의 일환으로 볼 수 있다.

### 3. 건설장비 조종을 위한 MMI

머리말에서 잠시 언급한 바와 같이 조종자와 장비의 단순한 통신의 수준을 넘

어서서 자동화와 연관지어 지칭되는 MMI의 형태로는 1) 기존의 조종방식에서 벗어나서 작업의 속도 및 품질을 향상시킬 수 있는 혁신적인 조종명령 입력기구, 2) 조종자에게 작업상황 및 환경에 대한 이해를 돕는 도구 혹은 시스템, 3) 기계 (컴퓨터)와 조종자의 협력을 통해서 주어진 작업을 수행하게 되는 협력체제 등이 있을 수 있겠다. 본 절에서는 이러한 다양한 형태의 MMI에 대한 사례를 제시함으로써 건설자동화에 있어서의 MMI에 대한 이해를 돕고자 한다. 건설 장비 혹은 로봇과 관련된 MMI에 대한 예는 상당한 수에 달하지만 본 기사는 저자가 직,간접적으로 경험할 수 있었던 MMI 들에 대해 실어보았다.

#### 3.1 건설 매니퓰레이터(Manipulator)의 조종을 위한 MMI

유압에 의해 작동되는 다목적용 건설 매니퓰레이터의 조종성을 향상시키기 위해서 세가지의 MMI 가 미국의 텍사스 주립대학교 건설자동화 연구실에서 개발되었다 [Owen et al. 1997]. 그림 1에 보인 바와 같이 매니퓰레이터는 플랜트 건설시의 파이프 설치등에 쓰이는 총 8개의 자유도를 가진 중장비다. 이 매니퓰레이터의 자유도는 전체 몸체의 회전, 크레인 붐

의 리프트(Lift)와 텔레스코프 (Telescope : 길이를 길게 늘였다 줄였다 하는 동작), 매니퓰레이터 팔의 리프트 (Lift)와 텔레스코프 (Telescope), 그리고 엔드 이펙터 (End Effector: 파이프 혹은 다른 물체를 실제적으로 쥐는 부분)의 3개의 회전 자유도이다. 이들 자유도는 8개의 해당 조인트에 할당된 유압밸브에 의해 조종이 되며, 조종자는 그림 2에 보여진 8개의 수동 레버를 이용하여 각각의 조인트를 조종하여야 했다. 그러므로 조종자는 한번에 단지 두 개의 조인트만을 양손을 이용하여 움직일 수 있었으며, 레버의 숫자가 너무 많아 매니퓰레이터의 조종이 혼란스럽고 힘들었다. 이러한 문제를 극복하기 위하여 그림 3과 4에 보인 Ergo-Stick을 개발하였다. 그림 3은 Ergo-Stick을 매니퓰레이터 그래픽 모델에 연결하여 조종에 대한 시뮬레이션을 하는 모습이다. 이 Ergo-Stick은 복잡한 매니퓰레이터의 조종을 훨씬 쉽게 하였는데 그림 4와 같이 왼팔 조종대로는 크레인에 할당된 3개의 자유도를 그리고 오른팔 조종대로는 매니퓰레이터에 할당된 다섯 개의 자유도를 직관적으로 조종할 수 있었으며, 기존의 수동레버 조종시스템과는 달리 2개 이상의 조인트를 동시에 조종함으로써 조종성을 향상시킬 수 있었다.

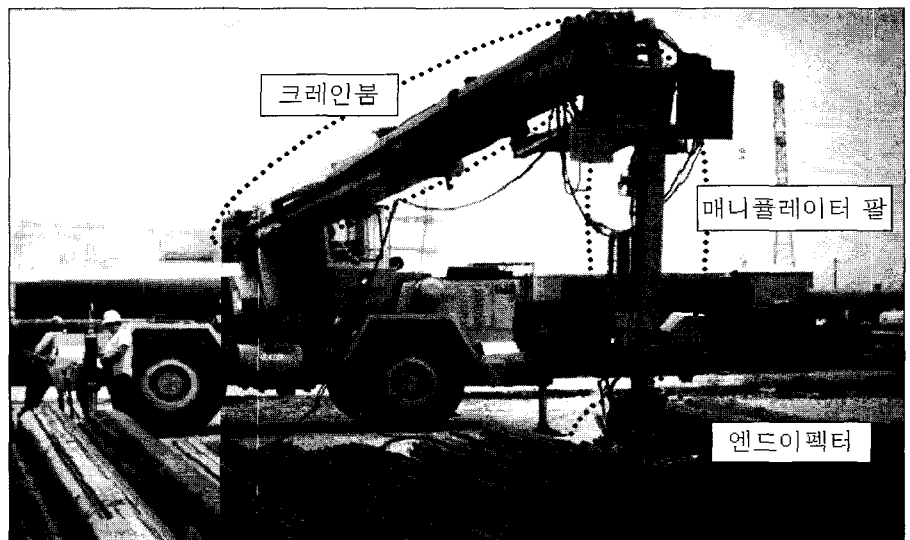


그림 1. 건설 매니퓰레이터

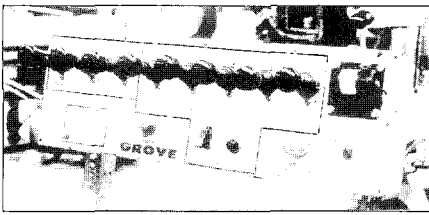


그림 2. 매니플레이터 조종을 위한 수동레버<sup>7</sup>

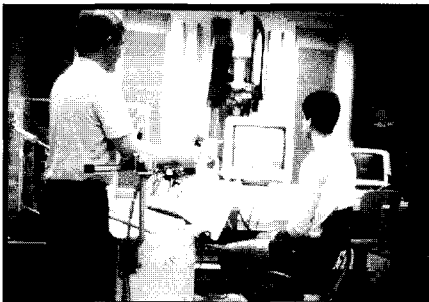


그림 3. Ergo-Stick을 이용한 매니플레이터 조종

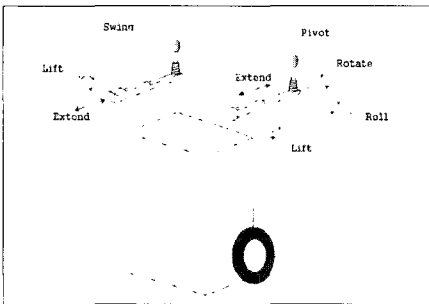


그림 4. Ergo-Stick 의 구조<sup>1</sup>

Ergo-Stick 다음세대로서 개발된 MMI 는 그림 5에 보인 스페이스볼 (SpaceBall) 이다 이 스페이스볼은 전후 좌우로 밀고 당김으로서 그리고 위로 당기고 아래로 누름으로써 매니플레이터 팔의 리프트와 텔레스코프 그리고 몸체의 회전에 대한 조종을 하였으며, 엔드 이펙터가 가진 3개의 회전 자유도는 그림 5에 보인 x,y,z 축을 중심으로 회전하여 줌으로써 이룰 수 있었다. 그러므로 이는 매니플레이터의 조종을 더욱 직관적이고 용이하게 만들었다.

또한 이 스페이스볼을 이용하여 Resolved Motion Control을 위한 몇가지의 모드 또한 개발되었는데 이는 예를 들어 엔드이펙터가 쥐고 있는 파이프의 방향 (Orientation)을 바꾸지 않으면서 직선운

동을 하는 경우가 그중 하나이다. 이러한 움직임을 위해서는 몇 개의 조인트가 동시에 움직여야 하는데 이를 위한 인버스 Kinematics 계산은 컴퓨터에 의해 행하여 졌고 조종자는 단지 스페이스볼을 원하는 방향으로 밀거나 당기기만 하면 되었다. 앞에 설명한 두가지의 MMI는 전술한 세 개의 형태의 MMI 중에서 첫 번째인 '기존의 조종방식에서 벗어나서 작업의 속도 및 품질을 향상시킬 수 있는 혁신적인 조종명령 입력도구'의 범주에 속하는 것이다. 그 외에 컴퓨터 그래픽을 이용한 MMI 도 개발 되었으나 이는 이어지는 절에서 설명되는 그래픽 조종 인터페이스와 유사한 개념이므로 더 이상 실지 않기로 한다.

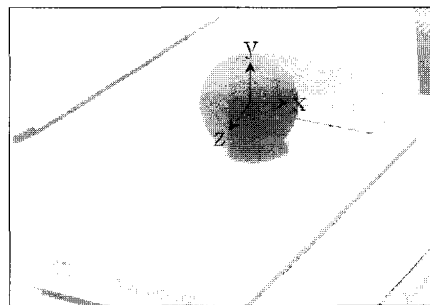


그림 5. 매니플레이터 조종을 위한 스페이스 볼 (Space Ball)<sup>7</sup>

### 3.2 컴퓨터 그래픽에 근거한 MMI (그래픽 조종 인터페이스)

본 절에서는 건설 장비의 자동화 및 조종성 향상을 위하여 사용되는 컴퓨터 그래픽에 근거한 MMI 에 대해 서술해 보았다. 장비와 작업환경에 대한 컴퓨터 그래픽 묘사는 보다나은 공간감각을 운전자에게 제공함으로써 크기가 큰 중장비나 원격조종장비를 조종하는데 있어서 조종성을 향상시킬 수 있다. 우주공간에서의 시설물의 건설을 위한 로봇의 원격조종[Bejczy et al. 1994] 그리고 핵폐기물 처리를 위한 장비의 원격조종 [Christensen, 1993] 으로부터 시작된 이 기술은 소위 그래픽 조종 인터페이스라 불리우며, 시시각각으

로 변하는 작업환경과 장비에 대한 그래픽 모델을 실제 상황과 같이 실시간으로 업데이트 함으로써 장비조종자로 하여금 장비의 조종을 그래픽환경을 이용하여 할 수 있게끔 해준다.

조종자는 이 기술을 이용하여 크기가 큰 중장비나 원격조종장비를 조종하는데 있어서 향상된 공간감각을 갖게 될 수 있을 뿐만 아니라, 그래픽 모델을 이용한 장비조종의 실시간 시뮬레이션을 통하여 안전하고 신뢰성 있는 장비조종을 보장할 수 있다. 또한, 그래픽 조종 인터페이스는 시공하고자 하는 시설물의 CAD 데이터 장비와 작업환경에 대한 그래픽 모델을 합성함으로써 장비조종의 계획, 관련된 측량작업, 그리고 장비운용의 경과를 기록하는데 있어서 큰 도움을 줌으로써 시공과정의 자동화에 크게 기여할 수 있다.

이어지는 절에서는 그래픽 조종 인터페이스의 개념 및 기능에 대해서 소개를 하고 이 기술의 적용과 관련하여 모범이 될 만한 2개의 사례를 제시하였다. 제시된 사례는 화력발전소의 용광로 유지보수 작업의 자동화를 위한 용재괴(Clinker) 분쇄로봇의 조종을 위해 개발된 3차원 컴퓨터 그래픽 조종 인터페이스와 토공사자동화를 위해 개발된 인터페이스에 관한 것이다.

#### 3.2.1 개념 및 기능

그림 6에서 보인바와 같이 그래픽조종 인터페이스를 사용한 장비의 조종시스템에서는 장비 및 작업환경에 대한 그래픽 형상 모델이 센서 데이터에 의해 실시간으로 업데이트 되며 조종자는 이 그래픽 정보와 더불어 작업환경 및 장비에 대해서 시각 혹은 청각 등에 의해 직접적으로 감지된 다른 가용한 정보에 근거하여 장비를 조종하게 된다. 그래픽 환경은 장비의 조종을 매우 효율적으로 만들어 줄 수 있는데 이는 그래픽 뷰(View)의 각도 및 줌 기능을 이용하여 조종자에게 보다 나은 공간감각을 제공하여 주기 때문이다.

또한 실제로 장비를 조종을 하기 전에 그래픽 환경에서 하고자 하는 작업을 우선 모사를 해보고 난 후 만족스러운 작동 명령을 장비에게 보냄으로써 안전하고 신뢰할 수 있는 조종을 할 수도 있게 된다. 그리고 시공하고자 하는 시설물의 설계에 대한 CAD 데이터를 장비와 작업환경과 함께 그래픽환경에서 묘사를 해줌으로써 조종자로 하여금 수행하여야 할 작업에 대한 정보를 제공해 줄 수 있는데, 이러한 기능을 통하여 시공과정에서 요구되는 측량작업을 제거하거나 혹은 대폭 줄여 줌으로써 시공자동화에 크게 기여할 수 있게 된다. 이에 대한 예는 3.2.3에서 포함하였다.

그러나 시공 또는 시설물의 유지보수와 같은 건설관련 작업의 환경은 공장에서의 제조 작업과는 달리 조절하기가 힘들며 시시각각으로 변화하게 된다. 이에 대한 실시간 형상 모델링이 적절히 이루어져야만 그래픽조종 인터페이스를 장비의 조종에 사용할 수 있게 되는데, 변화하는 작업 환경의 실시간 형상 모델링에는 많은 어려움이 따르게 된다. 이 이유로 인해서 건

설 중장비에 있어서 그래픽조종 인터페이스의 적용은 제조업에 쓰이는 자동화장비와 비교해 볼 때 쉽게 이루어지지 않았다. 그러나 센서기술의 발달에 힘입어 작업환경에 대한 실시간 형상 모델링이 점차 용이해 지면서 이 기술의 시공 및 유지보수 장비에의 적용이 가능하게 되었다 (Seo et al., 2000).

그래픽 조종 인터페이스는 MMI 의 형태 중 '조종자에게 작업상황 및 환경에 대한 이해를 돕는 도구' 그리고 '기계(컴퓨터)와 조종자의 협력을 통해서 주어진 작업을 수행하게 되는 협력체제' 두가지 경우에 모두 해당한다 할 수 있겠다. 다음 두 절에서는 위에 설명한 그래픽 콘트롤 인터페이스의 직접적인 사례에 대해 알아 보았다.

3.2.2 사례 1: 화력 발전소 유지 보수 로봇

그림 7에 보여진 로봇은 화력발전소의 유지보수 작업의 하나인 용재괴(Clinker) 분쇄작업을 위해 제작되었다. 갈탄을 사용하는 화력발전소의 용광로는 갈탄 연소

과정 후의 부산물인 용재괴를 산출하며, 이 용재괴는 용광로의 바닥부분인 호퍼구조물에 쌓이게 되는데, 그림 7에 보인바와 같이 로봇을 호퍼구조물에 장착시킨 후 공기압 해머가 부착된 로봇팔을 움직여서 크기가 큰 용재괴를 분쇄하게 된다. 이 로봇은 원격조종을 필요로 하였는데, CCTV에만 의존하여 로봇을 원격조종할 경우 조종자가 정확한 공간감각을 갖기 힘들기 때문에 조종의 효율성이 떨어지며 최악의 경우 작업중 사고로 까지 이어질 수 있었다. 더욱이 용광로 호퍼구조물안의 환경은 먼지와 재 때문에 CCTV의 화질 또한 정상적인 상황보다 좋지 않게 될 수 있기 때문에 그래픽조종 인터페이스가 개발되었다.

개발된 그래픽 조종 인터페이스는 그림 8과 같이 용재괴의 위치정보를 포함한 호퍼 환경과 로봇팔의 3차원 그래픽 모델을 실시간으로 업데이트 해줌으로써 조종자에게 향상된 공간감각을 공급하여 주었고 또한 이들 모델의 실시간 해석을 통하여 로봇팔과 호퍼구조물의 충돌을 사전에 방지하여 줌으로써 로봇의 안전한 조종을 보장 할 수 있었다.

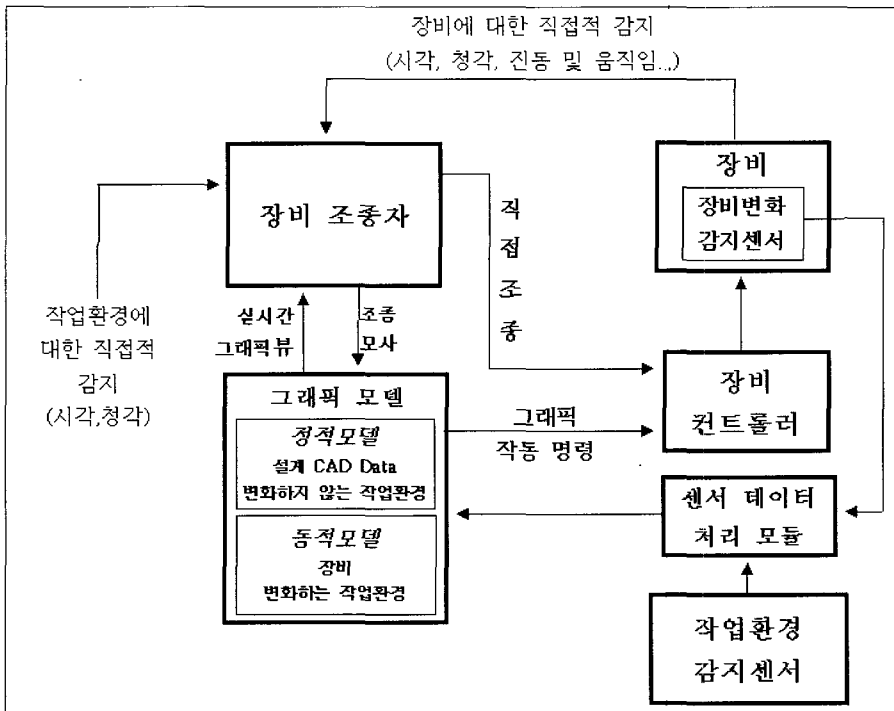


그림 6. 그래픽 조종인터페이스를 이용한 장비의 조종

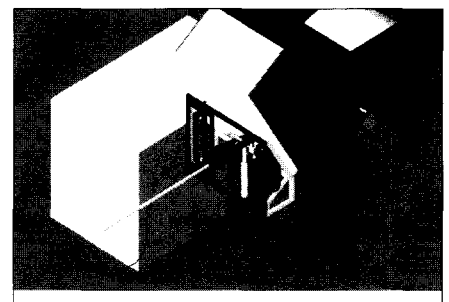


그림 7. 용재괴 분쇄로봇의 그래픽 모델

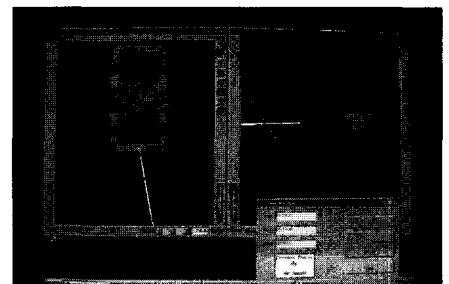


그림 8. 그래픽 콘트롤 인터페이스

로봇의 효과적인 원격조종을 위하여 개발된 MMI는 본 절 시작부분에 언급한 세 가지의 기능을 모두 가지는 하나의 시스템이었는데, 그림 9에 보인 바와 같이 콘트롤 스테이션에 부착된 조이스틱을 통하여 조종명령 입력이 매우 직관적으로 이루어 졌다. 조이스틱의 세 개의 버튼은 로봇팔의 전,후진과 공기압해머의 작동을 위해 이용되었으며, 로봇팔이 목표하는 방향 (Orientation)은 조이스틱을 전후좌우로 조작함으로써 바꾸어 준다.



그림 9. 로봇 조종을 위한 조이스틱

### 3.2.3 사례 2: 토공자동화 시스템

그래픽을 이용한 MMI 의 또 다른 예로서 미국 Trimble 사와 Caterpillar 사의 토공자동화 시스템을 들 수 있다. 이들 시스템은 불도저, 다짐기, 굴삭기등의 토공장비의 실시간 위치정보를 GPS 시스템을 이용하여 실시간으로 업데이트 하여 그림 10과 같이 장비내에 설치된 모니터상에 CAD 설계정보와 오버랩하여 보여주므로써 장비 운전자에게 절토위치와 성토위치에 대한 정보를 제공하여 준다. 이 MMI 를 이용하면 기존의 토공작업시 요구되던 측량말뚝을 설치할 필요 없이 조종자는 어느 부분을 절토 혹은 성토를 해야할지를 그래픽정보에 준하여 알 수 있게 되므로 매우 효율적인 토공작업을 수행할 수 있게 된다 [Caterpillar, 2003; Seo et al., 2000; Trimble, 2002]. 그림 11은 GPS를 이용한 토공장비의 위치정보를 업데이트 방식을 개념적으로 보여주고 있으며, 그림 12는 원지반과 함께 절,성토면에

관한 정보를 보여주는 그래픽 MMI이다.

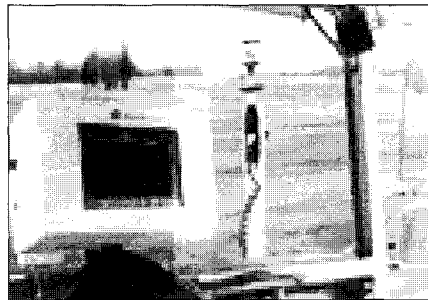


그림 10. 토공자동화를 위한 MMI

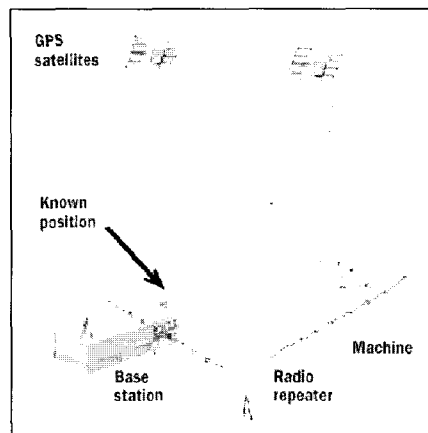


그림 11. GPS를 이용한 장비의 위치 파악

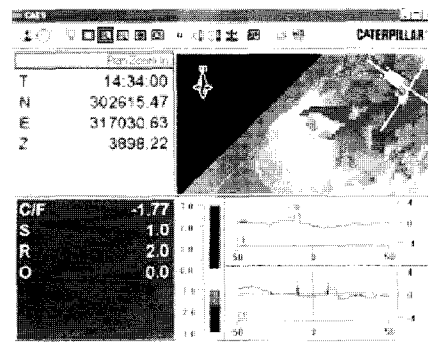


그림 12. 그래픽 MMI 스크린

## 4. 결론

이상 짧지만 MMI 가 무엇이며, 건설자동화 분야에 MMI 가 어떻게 기여 할 수 있는가에 대해 알아보았다. 본 기사에서 다루지 못한 여러 가지 다른 형태의 건설자동화와 관련된 MMI 들도 있다. 조종자가 터치 센서타입 (Touch Sensitive) 모니터 상에 보여진 도로면의 균열을 펜으

로 추적하면, 컴퓨터가 사람의 입력으로 인하여 생긴 오차를 정확히 보정하여 주고, 엔드이펙터 (End Effector) 의 진로를 결정해주는 도로면 크랙실링 자동화 시스템도 본 기사에서 자세히 다루지 못한 건설장비 관련 MMI 중 하나이다 [Kim, 1997]. 필자는 본 기사를 통하여 독자의 MMI에 대한 전반적인 이해를 도울 수 있기를 바라는 바이다.

우리가 행하는 건설작업을 버튼 하나만을 누름으로서 원하는 품질과 속도로 작업을 마감할 수 있는 완전자동시스템을 얻을 수 있다면 이상적이겠지만, 단, 중기적인 안목으로 보았을 때 건설 산업의 특성과 현재 단계의 기술수준에 근거하여 보다 나은 해답을 제시하고 있는 MMI를 바탕으로 한 반자동 혹은 부분자동 시스템에 대한 연구 및 개발에 초점을 맞추어야 할 것이다. MMI를 이용한 부분자동 시스템을 사람과 기계의 단순한 통신 수단 이라기보다는 장비의 조종에 있어서 기계의 장점과 사람의 장점을 취할 수 있는 협력체제로 본다면 지속적인 연구 및 개발을 통하여 점차적으로 사람이 맡아야 하는 부분을 줄여 나가면서 자동화의 정도를 높여 나갈 수 있으리라 본다. 동시에 장기적인 안목으로서 건설환경이 가지는 여러 가지 어려운 점을 극복하기 위한 센싱 및 콘트롤 기술에 대한 기초연구를 통하여 완전자동화 시스템에 사용될 수 있는 핵심부품 혹은 기술에 대한 개발이 이루어져야 할 것이다.

## 참고문헌

1. Alciatore, D. (1989). Automation of a Piping Construction Manipulator and Development of a Heuristic Application-Specific Path Planner. Ph.D. Dissertation, Department of Mechanical Engineering, The University of Texas at Austin.

2. Bejczy, A. K., Kim, W. S., and Schenker P. S. (1994). The Role of Computer Graphics in Teleoperation. Proc. of the ASCE Specialty Conference, Albuquerque, NM, pp. 1-92
3. Caterpillar. (2003). Caterpillar Computer Aided Earth Moving Systems, [http://www.caterpillar.com/products/shared/technology\\_products/01\\_products/\\_products\\_caesultra.html](http://www.caterpillar.com/products/shared/technology_products/01_products/_products_caesultra.html)
4. Christensen, B. K. (1993). Virtual Environments for Telerobotic Shared Control. Proc. of the Int. Society for Optical Engineering, Telemanipulator Technology and Space Telerobotics, pp. 74-83
5. Cousineau, L. and Nobuyasu M. (1998). Construction Robots: The Search for New Building Technology in Japan, ASCE Press, Reston, VA
6. Kim, Y. (1997). Man-Machine Balanced Control for Automation of Infrastructure Crack Sealing, Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, The University of Texas at Austin, Austin, TX December
7. Owen, F., Park, G., Haas C., Gibson G., Traver, A. (1997). Performance Testing of a Large Scale Manipulator to Determine Relative Utility of Several Operator Interfaces, Proc. of the 14th Int. Symposium on Automation and Robotics in Construction, The Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh PA, June 8-11.
8. Seo, J., Haas, C., Sreenivasan, S., and Saidi, S. (2000). Graphical Control Interface for Construction and Maintenance Equipment, ASCE Journal of Construction Engrg. and Mgmt. Vol. 126(3) pp. 210-218
9. Trimble. (2002). Site Vision Automatic Grade Control System(Tech. Brochure). Trimble Navigation Limited, Sunnyvale, CA