

토목 · 건설기계의 자동 제어 기술

서삼준, 김동식*

*고려대 부설 정보·통신기술공동연구소 선임연구원, **순천향대 전기·전자공학부 조교수

1. 서론

불도우저, 굴삭기, 혹은 덤프 트럭으로 대표되는 토목 건설 기계 차량은 기계 자체가 움직이면서 작업하는 작업 환경이나 조건, 대상물이 상당히 변화하기 때문에 각 작업에 최적의 조작은 숙련 운전자의 직감과 경험에 의존할 수 밖에 없다. 그러나, 건설기계의 운전자 부족은 심각하여 건설 현장에서 쉽게 볼 수 있는 유압 굴삭기는 대강 조작할 수 있는데 3~5년 걸리는 것으로 숙련도가 요구되며 다른 건설기계에서도 이와 비슷한 상황이다. 건설 기계 운전시 숙련 운전자는 부지불식간에 최적의 조작이 몸에 배어 있지만 초심자는 어떻게 대처하면 좋을지 알 수 없는 경우가 많다. 따라서, 미묘한 조작을 직감과 경험에 의존하지 않고 간편한 조작을 통하여 초심자도 쉽게 조작할 수 있을 뿐만 아니라 반복 작업과 복합 작업을 기계에 맡겨 사람의 조작량을 경감할 수 있는 건설 기계의 자동화가 절실히 요구되고 있다. 또한, 건설 기계가 가동되는 현장은 산악지대, 광산 등 위험도가 높은 장소가 많아 기계의 전락, 전도, 충돌에 의한 인명 사고와 기계의 이상에 의한 재해 발생, 그리고 기계의 가동율을 저하 등의 문제점들이 많다.

최근에 급속하게 사회 문제화 되어온 에너지 문제, 숙련된 운전자의 고령화 및 안정성 확보라는 사회적 배경과 이에 대한 요구가 높아져 토목·건설기계의 자동화, 전자화에 의한 기술 혁신이 급속히 진행되고 있는 실정이다.

건설기계의 운전자의 부족은 심각하여 어느 건설 현장에서도 볼 수 있는 유압 굴삭기는 대강 조작할 수 있도록 되기까지 3-5년 정도의 시간이 소요될 만큼 고도의 숙련도가 요구된다. 다른 건설기계에서도 숙련이 필요한 것은 마찬가지이며, 미묘한 조작을 직감과 경험에 의존하지 않고 실현할 수 있는 기계가 요망되고 있다. 조작이 간단하며 반복작업을 자동화하거나 또는 복합작업을 기계에 맡겨 사람의 조작량을 경감할 수 있는 건설기계의 개발이 당연한 긴급 과제이다.

따라서 본 논고에서는 센서나 전자제어를 적극적으로 달

고 넣어서 지능화를 진행하고 있는 국내외에서 발표된 토목·건설기계의 신 기술 및 자동 제어 기법들을 소개하고 급후의 기술동향의 방향성을 살펴 보고자 한다.

2. 토목 · 건설 기계의 자동화 목표

2.1 성에너지

성에너지는 건설기계가 작동할 때 부하에 필요한 출력을 유효하게 엔진으로부터 전달하게 하는 것과, 불필요한 연료를 소비시키지 않도록 제어를 하는 것이다. 예를 들면 작업을 하지 않을 때의 유압을 필요 이상으로 높게 하지 않도록 제어한다든지, 흙을 옮기는 작업을 행할 때는 엔진의 출력을 최대로 하여 작업하도록 부하력을 제어하는 것 등이 있다. 이러한 일련의 작업을 숙련된 운전자와 미숙한 운전자가 행할 경우 각각 비교하여 보면 연료 소비량이 수십 % 정도 차이가 나는 것으로 알려져 있고 자동화를 하여 작업을 수행할 경우에는 숙련된 운전자의 연료 소비량 보다 20~30% 정도 감소한다는 실제 예들이 있다.

2.2 조작성과 기능의 향상

일반적으로 건설 기계는 조작이 상당히 어려운 것으로 알려져 덤프 트럭 3년, 불도우저 8년 모터 그레이더 13년 정도의 경험이 없다면 숙련된 기술자가 되기 힘든 것으로 알려져 있다. 여기서 모터 그레이더라는 도로 마무리 작업 기계의 예를 들어 보도록 하자. 일반적으로 도로나 평지를 조성하는데 불도우저나 모터 그레이더를 사용하여 마무리 가공을 행한다. 이때의 마무리 정도는 고속도로에서 수 mm 라는 고정밀도가 요구되고 있는 실정이다.

모터 그레이더라는 작업기를 조작하는데에는 조작레버가 6~8개, 주행용 손잡이, Accelerator, Throttle, Brake 등, 약 6종류의 조작이 필요하고 이것을 동시에 조작할 뿐만 아니라 전방의 노면 상태를 보면서 미리 예측하여 조종하지 않으면 정확한 마무리를 할 수 없다. 따라서, 아주 오래된 경험이 없더라도 숙련된 운전자와 비슷하게 혹은 그 이상의

성능으로 작업을 할 수 있도록 작업기의 조작을 안전하게 제어하며 운전자는 주행 운전만을 행하도록 하는 반자동화 된 기계가 많이 개발되고 있다.

이러한 작업기의 자동화는 불도우저의 압상작업, 굴삭기의 굴삭작업 등에도 많이 적용되고 있는 실정이다.

한편, 이러한 작업기의 자동화에 기존의 기계에서는 할 수 없었던 새로운 기능을 부가하도록 하는 여러 가지 예들이 있다. 예를 들면 낮 동안에만 작업을 할 수 없었던 것을 레이저식 자동 Leveling 기계를 이용하면 밤에도 낮과 같이 효율적인 작업이 가능하게 된다.

2.3 안정성, 서비스성의 향상

대부분의 건설기계는 시가지용 소형 건설기계를 제외하고는 대부분 산악지대, 광산, 부정지등 위험도가 상당히 높은 장소에서 주로 운행된다. 따라서 기계의 전락, 전도, 충돌에 의한 인명사고나 기계의 손상방지, 기계 이상에 의한 재해방지, 또는 기계의 가동율을 높게 유지하기 위한 기계 이상의 미연방지 등에 대한 요구가 상당히 높다. 이에 따라 각종 센서에 의한 이상검출과 마이컴에 의한 판단과 제어에 의해 안전성을 향상시키고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 건설기계 차체외의 외부조건을 적절하게 검출하는 센서는 아직까지 다양하지 않으나 추후에 여러 종류의 센서들이 개발되리라 예상된다. 한편 차체 내부의 이상을 감지하는 것은 이에 비해 상당히 용이하여 많은 건설기계의 기본 사양으로 채택되고 있다. 예를 들면, 냉각수 온, 유온도, 유압, 회전수, 속도 등을 검출하는 다양한 센서를 이용하여 이상상태를 판단하고 경고음을 발효하던지 더욱 더 위험도가 높은 이상 상태가 발생하게 되면 비상정지 등의 조치가 취해지며 차량식 대형 크레인 등에서는 조하하중과 크레인의 팔의 각도를 검출하여 전도할 위험한 상태가 되기 전에 미리 경보하여 주고 전도하기 전에는 자동으로 정지하는 안전장치가 장착된 차량이 증가되고 있다.

3. 토목·건설기계의 자동화 기술

모터 그레이더나 아스팔트 피니셔 등의 도로 마무리 기계의 마무리 정도를 높이기 위해, 도로를 따라 뻗어 있는 와이어 로프를 따라 작업하는 자동 모방식, 경사계를 이용한 페루프 방식에 의한 자동 Leveling, 원격 조종식 건설기계 등 토목건설기계에의 자동제어의 적용은 최근에 급속도로 확산되기 시작했다.

1980년대 이후 LSI화가 비약적으로 이루어졌고 1 Chip 마이컴의 출현으로 크기, 기능, 가격, 내환경성 신뢰성등 모든 면에서 비약적으로 진보하여 건설기계의 자동화, 전자화는 점점 가속되어 실용화되고 있는 실정이다.

건설기계의 자동제어 분야를 크게 나누어 보면 다음과 같다.

- (1) 조작계를 개선한 작업기계를 중심으로한 제어
- (2) 성에너지를 위한 원동기계의 엔진, 유압계의 제어
- (3) 안전성과 서비스성의 개선을 위한 제어
- (4) 무인, 원격 제어

여기서는 현재 실용화 단계에 있는 작업기계를 중심으로한 제어를 중점적으로 선택하여 최근 주로 일본에서 개발된 몇 가지 구체적인 예와 국내에서 연구되고 있는 예를 소개하도록 한다.

3.1 작업기계의 자동 제어

앞에서 서술한 것처럼, 일반적으로 건설기계의 조작은 숙련도에 의해 작업효율에 상당한 차이를 보인다. 따라서, 숙련되지 않는 초심자도 숙련된 운전자처럼 혹은 그 이상의 작업효율을 얻을 수 있도록 여러 가지 작업을 자동화하는 연구가 많이 진행되어 실용화 단계에 있다.

(1) 자동 Leveling

도로나 비행장의 활주로 등의 마무리 작업에 모터 그레이더가 사용되는 것은 앞에서도 잠깐 언급했다. 이 경우의 마무리 정도는 5mm 이하라는 고정밀도가 요구되어지며 차속 5 ~ 10Km/h에서 수동으로 이러한 마무리 작업을 행하는 것은 상당히 어려운 기술이다. 그래서 최근에 레이저 광을 이용하여 기준되는 광평면을 만들고, 그 광평면에 토공판(블레이드)의 높이를 평행하게 유지하도록 자동 추종 제어시키는 레이저식 자동 Leveling 장치가 사용되고 있다.

레이저로는 헬륨·네온 가스 레이저가 일반적으로 사용되어지고 빔의 반경은 수 mm, 출력은 수 mW이다. 이 빔을 회전시키는 것에 의해 반경 200~300m의 기준 광평면이 얻어진다. 레이저 투광기는 수평평면은 물론 0~±10%의 경사평면을 만들 수가 있으므로 불청소하기 좋은 흙, 도로, 논밭 등의 마무리 기준면으로도 사용할 수 있다.

한편 이 광을 추종하기 위한 수광기는 토공판 위에 장착되어 있는데 여기에는 반도체 수광소자가 상하로 배열되어져 있고 레이저 광이 수광소자에 들어가면 전기신호로 변환되어 수광중심에서의 편차가 출력되도록 되어 있다. 즉, 기준평면에서의 어긋남, 편차량을 알 수 있다. 이 편차 신호를 사용하여 항상 수광기의 중심에 레이저 빔이 명중하도록 토공기 상하용 유압 실린더를 제어한다. 이렇게 하여 지면과 접하는 토공기의 작업선은 항상 레이저 빔과 평행하게 되어 일정 높이로 유지되고 정확한 평면 마무리를 행할 수 있다.

전혀 건설기계의 운전 경험이 없는 운전자가 작업을 수행하더라도 이 레이저식 자동 Leveling 방식을 채용한 모터 그레이더는 시속 5~10Km로, ±5mm이하의 정밀도로 불도우저에서는 시속 5~7Km로, ±3cm 정도의 정밀도로 작업이 가능하다. 게다가, 숙련된 운전자가 작업한 경우보다도 약 20%정도의 연료 절감 효과도 추가적으로 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다.

그러나, 이러한 제어 시스템에서 블레이드가 흙을 파고 있는 경우와 흙에서 떠있는 무부하 상태에서는 유압 실린더와 블레이드로 구성된 스프링과 암의 길이, 관성 질량에 의한 공진 주파수 및 이득 대역폭이 각각 변화한다. 즉, 블레이드가 파고 들어간 흙의 양에 의해 최적 이득은 크게 변화하고 또한 토질에 의해서도 최적 이득이 변화하여야 한다. 현재 이러한 비선형성과 기타 여러 가지 외란을 보상하기 위한 연구들이 활발히 진행되고 있다.

(2) 자동 부하 제어

불도우저를 사용하여 압상작업을 수행할 때에는 엔진 출력을 최대한 유효하게 활용하는 것이 바람직하다. 즉, 불도우저의 차속과 압상력의 곱이 부하에 필요한 파워이므로 이 파워가 엔진 출력의 최대치에 매칭되도록 주행 차속 또는 블레이드에 걸리는 힘을 제어할 필요가 있다. 그래서 대지 차속을 도플러 레이더를 사용하여 검출하고 블레이드에 걸리는 부하력을 검출하여 연산하고, 엔진의 속도-토크 곡선의 최대치에서 운전할 수 있도록 차속 또는 블레이드를 제어하는 방법이 많이 사용되고 있다.

그림 1에 실제 유압 굴삭기에 사용되고 있는 엔진/유압 자동 부하 제어 시스템의 한 예를 나타내었다. 실제 자동 부하 제어 시스템은 토질에 의해 지면 저항력이 대폭 변화하고 차속과 부하력에 의해서 슬립율로 변화하는 비선형 계통이므로 기존의 선형 제어 기법이나 고전적인 PID 제어 기법으로는 최적 이득을 구하기가 어려워 최근에는 다양한 현대제어 이론의 적용에 관한 연구가 진행되고 있다.

(3) 반자동 굴삭 제어

유압 굴삭기는 인간의 팔과 유사한 일종의 다관절 로봇

트로 붐, 암, 버킷의 3관절로 구성되어 있어 건설현장의 굴삭작업과 경사면의 고르기 작업등에 용이하다. 경사면의 고르기 작업에서는 버킷이 경사면으로부터 받는 토압에 의한 미지의 외란과 함께 버킷의 선단을 미리 정한 기준면에 근접하게 움직이는 일이 요구되는데 현재 굴삭기의 운전 및 제어는 전적으로 운전자의 숙련도에 달려있다. 이러한 작업이 자동화된다면 운전자의 부담을 경감시킬 수 있어 작업 효율이 증가할 뿐만 아니라 안전성, 경제성 향상을 기대할 수 있다.

이러한 유압 굴삭기가 실제 작업을 하는 상황 다음과 같다.

- (1) 버킷이 무부하로 떠 있는 경우
- (2) 버킷이 흙을 파고 들어간 경우
- (3) 버킷에 흙이 담겨 공중에 떠있는 경우

실제 숙련된 운전자는 작업환경이나 조건, 대상물에 따라 위의 3가지 상황에 최적의 조작을 따라 부지불식간에 몸에 배어있어 직감과 경험에 의존하여 결정하게 된다.

예를 들면 암과 버킷의 실린더 속도가 양쪽다 클 때는 흙이 부드러워서 부하가 가벼울 때이다. 이때는 버킷이 천천히 움직이고, 암의 속도 지령을 크게 하여서 끌어당기도록 한다. 부하가 클 때에는 붐을 올리는 동작은 필요없으므로 붐 속도는 0으로 한다.

한편, 버킷이나 암의 속도가 작을때는 부하가 크고 굴삭하기 어려운 때이다. 이때는 암의 속도를 중립으로 하고 붐을 상측으로 놓아둔다. 다시 부하가 크게되면 붐을 빠르게 올리도록 속도를 지령한다.

최근 신 캐터필라-미쓰비시는 유압 굴삭기의 숙련된 운

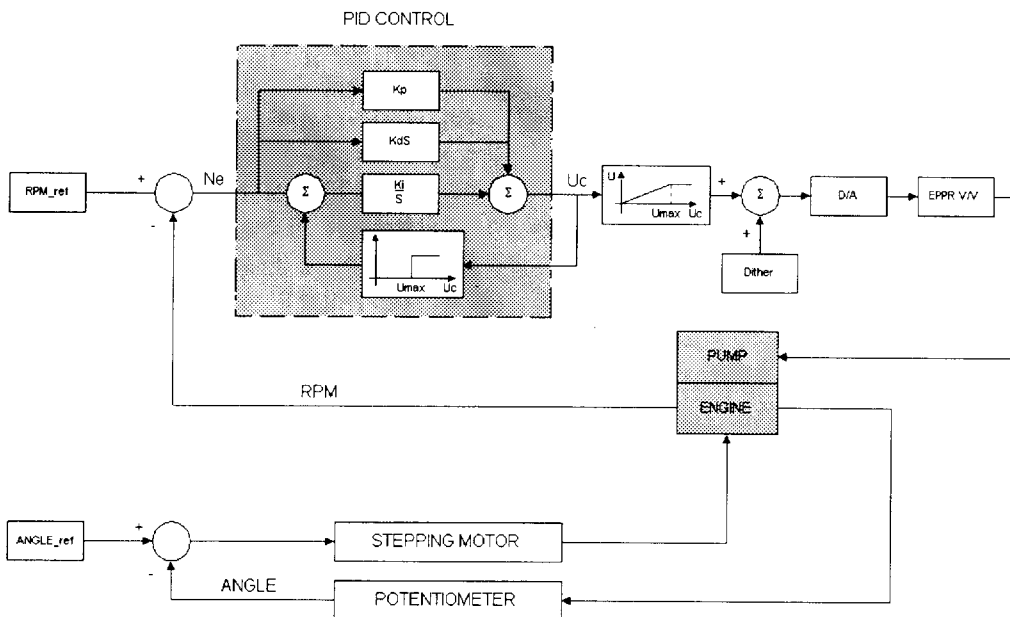


그림 1. 엔진 / 유압 자동 부하 제어 시스템

전자의 굴삭방법을 실린더 속도에 주목하여 퍼지 이론을 적용하고 Rule화하여 전자제어하는 방법으로, 구멍파는 작업을 자동화하는 연구를 진행하여 어떤 장소에 고정하여 굴삭하는 경우 숙련된 운전자가 굴삭하는 토량의 80-90%를 굴삭할 수 있는 시스템을 개발하였다.

그림 2에 실제 유압 굴삭기에서 많이 이용되는 일정각 굴삭작업의 한 예를 도시하였다.

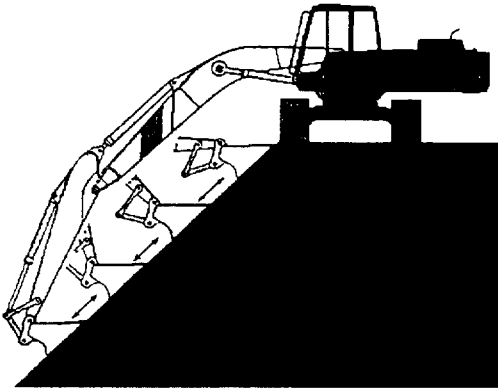


그림 2. 일정각 굴삭작업

(4) 1개의 레버로 조작성 개선

건설기계의 조작은 각 동작에 대응하여 1개씩의 레버가 존재하는데 유압 굴삭기에서는 유압 실린더가 3개 있고 선회와 주행용의 유압 모터가 3개있다. 모두 6자유도인 유압 굴삭기를 운전자는 2개의 레버와 1개의 페달로 조작하여야 하기 때문에 복수의 레버를 동시에 조작하지않으면 안된다. 기능이 많은 모터 그레이더에서는 핸들의 회전에 8개의 레버가 있는 등 조작이 훨씬 더 복잡하다.

유압 굴삭기에서는 각 레버가 선회, 버킷, 암, 붐 중 2개씩을 담당하고 각 조작은 유압 실린더에서 신축운동으로 변환되지만 각각이 회전지점에 의해 결합되어져 있어 레버를 직선적으로 움직임에도 불구하고 각각이 회전 운동을 하게된다.

따라서 원하는 궤적을 따라 운전자가 레버 조작량을 머릿속에서 회전 동작으로 변환하고, 이렇게 동작하면 이같이 움직인다고 예측하지 않으면 안되고 레버의 동작과 실제 궤적의 배치도 다른 문제점을 가지고 있다.

최근에 동북대학교공학부 기계지능공학과와 중야교수들은 Kawasaki건설과 공동으로 1개의 레버로 버킷의 암측 장착점의 동작을 조작하는 Master/Slave를 개발하여 종래 3-5년의 익숙해짐을 필요로 하였던 사면 성형이나 평면 성형을 1시간 안되는 연습으로 작업이 가능하도록 하였다.

(5) 무선 원격 조종식 불도우저

건설 기계를 통한 시공 형태의 이상형인 동시에 최종 목표는 로봇트에 의한 무인 시공이라 할 수 있다. 그러한 목표에 도달하기 위한 기술적인 접근방법으로 운전 조작의

자동화와 Remote Control 등에 의한 원격 조종 기술 등이 있다.

운전 조작의 자동화는 운전자가 피로를 느끼지 않도록 함과 동시에 숙련을 요하는 운전 조작을 지원하는 시스템이며 최근에는 불도우저의 퍼핑 작업시에 Deceleration 작업을 자동화한 Shoe Slip Control System 및 유압 굴삭기의 복합 조작을 1개의 스위치 조작으로 자동 직선 굴삭등을 제어하는 등의 고도의 시스템이 실용화되고 있다.

또한 원격 조종 기술은 인간의 접근이 곤란한 환경 조건 등의 열악한 장소에서의 작업을 위해 개발되었으나 건설기계의 운전은 시각에 의한 정보뿐만 아니라 엔진음 등의 청각 및 차체 경사, 가속도 등의 체감 정보를 종합하여야 가능하므로 원격 조작에 의한 작업 효율의 저하가 발생한다. 이러한 단점을 보완하기 위해 최근에 입체 화상에 의한 가상 현실감을 조종자에게 주는 시스템도 실용화되고 있으나 탑승 운전 이상으로 신경을 써서 조작해야 하므로 장시간 작업의 경우에는 조종자의 피로에 의한 능률 저하를 초래한다.

그러므로 고능률의 무인 시공 시스템을 실현하기 위해서는 자동화, 자율화된 차량을 원격 조작하는 식의 접근 방법이 더욱 효과적이다.

최근 운전자는 간단한 원격 조작에 의해 불도우저를 조종하고 집중력과 숙련을 요하는 운전 조작은 Controller가 장착된 차량이 분담하여 운전자의 부담을 경감함으로써 탑승 운전시와 같은 작업을 장시간 유지할 수 있는 D375A와 같은 무선 원격 조종식 불로우저가 Kawasaki 중공업에 의해 개발되어 실용화 되고 있다.

3.2 작업기계이외의 제어

앞에서는 주로 작업기계를 중심으로 설명하였지만 이것 이외에도 다음과 같은 제어가 필요하다.

- (1) 엔진계의 제어
- (2) 주행계, 파워 트랜스미션계의 제어
- (3) 유압계의 제어
- (4) 기계 고장을 방지하는 안정성 향상을 위한 제어
- (5) 작업자의 작업능률 증대를 위한 제어

표 1과 2에 대우중공업에서 발표한 유압 굴삭기의 시스템과 조립용/요소 부품에 대한 주요 기술 발전 방향을 도시하였다. 나타난 바와 같이 유압 굴삭기부문에만도 다양한 요소들의 설계 및 제어 방법에 대한 기술 발전 방향이 설정되어 있으므로 본고에서는 지면관계상 일반적으로 건설 기계에 많이 도입되고 있는 자동 변속 제어와 덤프 트럭에 사용되고 있는 리터드 브레이크의 제어, 현대중공업에서 연구중인 힘 제한 및 입체영상을 이용한 원격 조종 시스템에 관해 간단히 소개하겠다.

표 1. 유압 굴삭기 시스템의 주요 기술 발전

제품구성요소	년대			
	'80년대	'90년대 상반기	'90년대 하반기	2000년대 (~2010년)
(엔진계통) MOUNTING계	RUBBER MOUNTING		액체 DAMPER 내장식	
흡배기계	PRE CLEANER 분리형단순MUFFLER	PRE CLEANER 기능 내장형 / SILENCER		
연료CONTROL	기계식		외장형전기식	INJECTION PUMP 내장형 전기식
(유압계통) 엔진, PUMP 제어	전 마력 제어	POWER SHIFT 제어		
PUMP, CONTROL VALVE 제어	NEGACON, POSICON	LOAD SENSING	유량 MODULATION	
CONTROL VALVE, ACTUATOR	고정 유압 회로	가변 유압 회로	CYL.위치 FEEDBACK 제어	시간인식, FUZZY
SWING	COUNTER BALANCE VALVE	SPOOL제어	SWING TORQUE 제어	위치 제어
주행(CRAWLER)	무변속	2단 변속	자동변속	
주행(WHEEL)	기계식	유압식 POWER SHIFT	SPEED FEEDBACK	

표 2. 유압 굴삭기의 조립용 / 요소부품의 주요 기술 발전

제품구성요소	년대			
	'80년대	'90년대 상반기	'90년대 하반기	2000년대 (~2010년)
엔진	직접 분사	TURBO	TURBO INTERCOOLER	CERAMIC 신소재 적용
PUMP	FIXED/GEAR	VARIABLE / SWASH P.	전자제어 가변식	
CONTROL VALVE	기계식 / 단순기능	유압식/복합 동작 제어 기능 추가		전기식 / 자동화 제어
주행 MOTOR	1-STAGE 속도제어	2-STAGE 속도 제어		무단가변 속도제어 (소요량 고속)
CYLINDER	250kg/cm ²	280kg/cm ²	320kg/cm ²	400kg/cm ²
선형 DEVICE	1단 PLANETARY	2단 PLANETARY		저소음, 소형, 고속화
FRONT	40K	50K		80K
RADIATOR	FLAT FIN	CORRUGATED FIN	LUBER 삽입	
T/MISSION	기계식	POWER SHIFT (MANUAL)	POWER SHIFT (AUTOMATIC)	
AXLE	전식 BRAKE 장치	습식 BRAKE 장치 (MAINTENANCE FREE 형)		
HOSE	250K	280K	320K	400K
FITTING	UNION	FLANGE	ORFS	초소형 ORFS

(1) 전자식 자동 변속 제어 장치

중래의 건설기계에서는 기계적인 링크를 채용한 변속기구가 주류를 이루었기 때문에 변속 쇼크가 크고 토크 변화에 의한 속도 저하등의 큰 결점이 있었다. 또한 운전자에 의한 수동 변속이기 때문에 부적절한 속도 타이밍에 의한 마력 손실이 발생하였다.

트랜스미션 각 클러치 팩의 유압 전자 제어에 의하여 이러한 문제점을 해소함으로써 작업 효율에 크게 기여한 자동 변속 장치에서는 변속단의 범위는 미션 레버를 수동으로 설정하여 두고 그 때의 토크 제어 출력 회전수와 트로틀

신호에 대응하여 최적 변속단을 자동 선택 제어하는 것으로 부하 토크의 변화에 대응하여 무리없이 변속하는 것이다. 입력 신호로는 변속단(R,N,3,2,1)의 신호 토크 제어 출력 회전수와 엑셀 페달의 발판각에 대한 트로틀 신호로 이것들에 의해 최적 변속단을 변속 패턴에 의해 판단하고 변속단 절환 밸브, Lock Up 밸브 등을 제어한다.

실제 기계 작업시 엔진 트로틀 고정상태에서 작업하는 경우가 많으므로 차속에 따라 유효 출력이 최대가 되는 속도단에서 사용할 수 있도록 변속점을 설정한다. 그리고, 변속점의 히스테리시스, 변속 금지 시간을 주행상태에 따라 설정하여 운전자 감각에 따라 변형할 수 있도록 하였고, 전속도단의 유압을 유지하면서 다음 속도단의 팩에 유를 빠르게 채우는 방법에 의해 변속시 토크 변경 시간이 단축되어 주행 상태에 따른 유압 상승률을 선택에 의해 변속함으로써 요동을 저감시킨 시스템들이 개발되었다.

(2) 리터드 브레이크의 자동 제어

대형 덤프트럭이 화물을 만재하여 급하고 긴 비탈길을 내려갈 때 안전한 차속을 유지하고 브레이크의 발열방지, 엔진 브레이크의 효과적인 이용 및 냉각계의 효율화가 잘 행해지지 않으면 상당히 위험한 상황이 발생되기도 한다. 그러나, 이러한 모든 것을 운전자가 동시에 관리하기는 상당히 숙련도가 요구되므로 안전도를 향상시키고 고가의 장비를 보호하고 운전자가 좀 더 안락한 분위기에서 작업하도록 하기 위한 것이 리터드 브레이크 자동 제어 시스템이다. 이 제어 시스템의 동작 원리는 다음과 같다.

- (1) 브레이크 냉각유온이 안전 영역에 있을 경우에는 차속 설정 레버에 의해 수동 설정된 차속으로 강판할 수 있도록 차속이 제어되어 운전자의 부담이 대폭 경감된다.
- (2) 브레이크 냉각유온이 상승하면 이것을 감지하여 속도를 내리기 위한 Shift Down을 행한다. 이것에 의해 엔진 브레이크의 효과가 상승하고 더욱 더 냉각유온을 내리기 위하여 엔진 회전수를 올리는 등의 복합제어가 행해져 브레이크의 보호와 주행의 안전성이 대폭 향상되었다.

(3) 위치 및 힘 제한 제어 시스템

1950년대 이후에 폭넓게 연구되어온 원격 조종 시스템에 관한 연구는 인간의 감각이나 조작 능력을 원거리까지 전달할 수 있기 때문에 위험 부담없이 운전자가 위험한 일을 수행할 수 있다. 원격 조종을 추구하는 목적은 운전자의 감각을 원거리에 있는 작업 공간까지 전달하여 원거리에 있는 작업 기계로 하여금 운전자가 그 작업 장소에 실제 존재하는 것처럼 감지하고 조작하는 것이다. 이러한 원격 조정 시스템은 이미 텔레비전이나 비디오와 같은 가전 제품 등에서는 보편화 되어 있어 생활의 편리함을 더해주고 있으며, 원자력 발전소나 우주, 해저, 광산, 심해에서의 작업

같이 인간이 직접 작업하기에는 위험한 장소에서의 생명을 보호하기 위하여 원격 조종을 적극 활용하고 있는 실정이다.

일반적으로 원격 조종 작업은 Master Controller에 인가된 운전자의 명령을 Slave가 원격 조종하는 형태로 수행된다. 이러한 단방향 원격 조종 시스템은 실제 Slave가 받는 힘에 대한 정보를 알 수 없기 때문에 운전자가 복잡하고 힘든 작업을 수행하지 못할 뿐만 아니라 쉽게 피로해 지는 단점을 가지고 있다. 최근에 Master Arm의 조작성 향상을 위해 유압 굴삭기가 그 작업 환경으로부터 받는 반력을 운전자에게 직접 귀환하도록 제어하는 힘 귀환 제어(Force Feedback Control)에 의한 원격 조종 시스템에 대한 연구가 진행되고 있다.

그림 3에 힘 귀환 제어를 이용한 유압 굴삭기의 원격 조종 시스템의 한 예를 나타내었다.

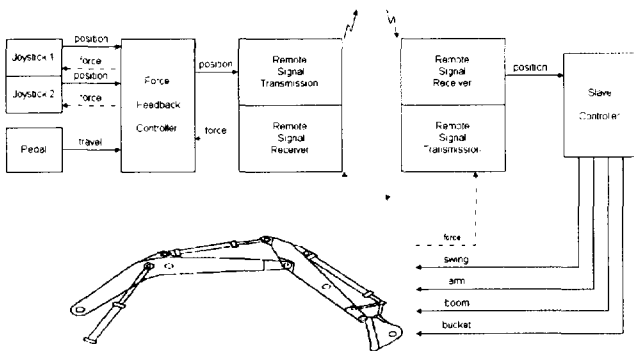


그림 3. 힘 귀환 제어를 이용한 유압 굴삭기의 원격 조종 시스템

(4) 입체 영상을 이용한 가상 현실 시스템

원격 조종 시스템 기술은 인간의 접근이 곤란한 환경 조건등의 열악한 장소에서의 작업을 위해 개발되었으나, 건설기계의 운전은 시각에 의한 정보 뿐만 아니라 엔진음 등의 청각 및 차체 경사, 가속도 등의 체감 정보를 종합하여야 가능하므로 원격 조정에 의한 조작에서는 작업 효율의 저하가 발생한다. 이러한 단점을 보완하기 위해 최근에 실용화 단계에 있는 입체 화상에 의한 가상 현실(Virtual Reality) 시스템을 건설 기계에 도입하여 운전자가 복잡하고 힘든 작업을 장시간 수행할 경우에도 운전자의 피로를 줄여주고 현실감을 느끼면서 작업할 수 있는 연구가 진행되고 있다.

그림 4에 가상 현실을 이용한 유압 굴삭기의 원격 조종 시스템의 한 예를 나타내었다.

최근에 현대중공업에서는 앞에서 언급한 두 시스템을 결합하여 운전 조작의 자동화를 구현하여 운전자가 피로감을 느끼지 않도록 함과 동시에 숙련을 요하는 운전 작업을 간편하게 지원하고 위험한 지역에서도 안전하게 작업할 수 있는 무선 원격 조종식의 건설 기계의 개발에 필요에 따라 사람의 팔과 같이 동작할 수 있게 힘 귀환 제어를 이용한 Master/Slave Controller를 개발하고 작업자가 현장에 있는 것처럼 느낄 수 있도록 입체 영상을 이용한 가상 현실 시스템을 이용하여 굴삭기를 무선 원격 제어할 수 있는 원격

조종 시스템의 개발에 관한 연구도 진행되고 있는 것으로 알려져 있다.

그림 5에 통합된 전체 유압 굴삭기 원격 조종시스템을 간략하게 도시하였다.

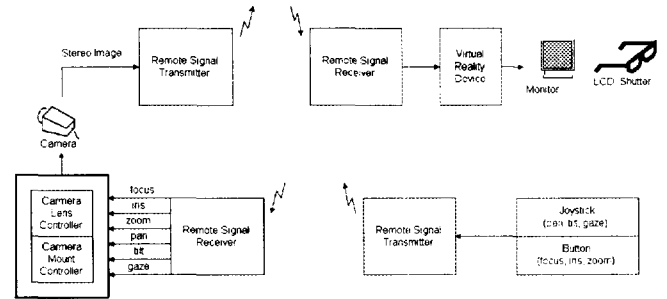


그림 4. 가상 현실을 이용한 유압 굴삭기의 원격 조종 시스템

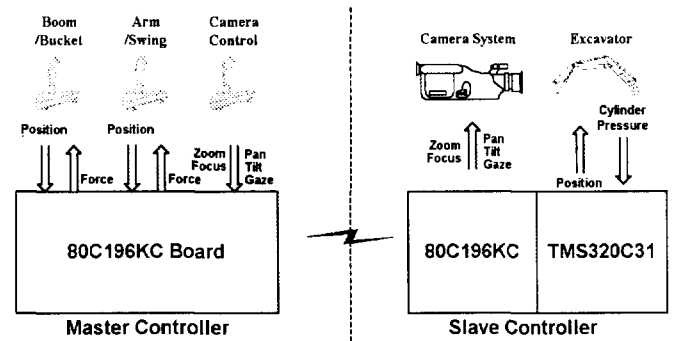


그림 5. 통합된 유압 굴삭기 원격 조종 시스템

4. 결 론

토목·건설기계에 있어서의 자동제어의 응용은 최근 수십년 사이에 비약적인 진보가 이루어져 운전 조작의 자동화를 구현하여 운전자가 피로감을 느끼지 않도록 함과 동시에 숙련을 요하는 운전작업을 간편하게 지원하고 위험한 지역에서도 안전하게 작업할 수 있는 제어기술들이 선진국에서는 많이 실용화되고 있다.

최근 초기 유럽 및 미국국가들에 의해 주도되어 왔던 건설기계들중 특히 유압 굴삭기 같은 기계의 개발 및 판매는 최근들어 고용량, 전자화, 자동화, 성에너지 분야에 꾸준한 기술발전이 이루어지고 있고 수출도 많이되고 있으나 첨단 자동화 기술에 관 연구는 아직 초보적인 수준에 머물러 있다.

이제 국내에서도 토목·건설기계의 자동화 기술에 대한 인식을 높여 선진국에서도 아직 완전 실용화 이전의 연구 단계에 있는 기술들을 조기에 연구하여 국내 관련 기술 확보 및 선진 기술 중속성 탈피에 도움이 되고 아울러 대외 기술 경쟁력 제고에 기초를 확립하고 국제적인 무역 장벽, 안전과 건강에 관한 규제 강화, 환경 규제의 강화에 발맞추어 기술 발전의 혁신이 필요하다.

참고문헌

[1] T.B. Sheridan, "Telerobotics," *Automatica*, Vol. 25, No. 4, pp. 487-507, 1987

[2] G.T. Raju, G.C. Verghese and T.B. Sheridan, "Design Issue in 2-port Network Models of Bilateral Remote Manipulation," in *Proc. on Robotics and Automation*, pp. 1316-1321, 1989

[3] M.W. Thring, *Robot and Telechirs*," John Wiley & Sons Press, pp. 82-131, 1983

[4] Daniel E. Whitney, "Historical Perspective and State of the Art in Robot Force Control," *The international Journal of Robotics Research*, Vol. 6, No. 1, Spring 1987

[5] Koichi Furuya and Nobuaki Takanasi, "Predictive bilateral Master-Slave manipulation with Statistical Environment Model," *IEEE Int. Conf. on Rob. and Auto.*, pp. 755-760 (1993)

[6] T.F. Chan and R.V. Dubey, "Generalized Bilateral Controller for a Teleoperator System with a Six Dof Master and a Seven Dof Slave," included in *the Video Proceedings of the 1994 Int Conf. on R&A*, San Diego.

[7] Y. Yokohji and T. Yoshikawa, "Bilateral Control of Master-Slave Manipulators for Ideal Kinesthetic

Coupling," In *Proc. of 1992 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 849-858, 1992.

[8] "Telerobotic excavator operates in hazardous environments," *Hydraulics & Pneumatics* pp. 33-34, 1991

[9] Shigeru Yamamoto, "D375A 自動化 ラジコンブルドザ," *건설 기계* 6월, pp. 55-63, 1994

저 자 소 개



서삼준(徐三峻)

1966년 4월 16일생. 1989년 고려대 공대 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 고려대 부설 정보통신기술공동연구소 선임연구원.



김동식(金東植)

1963년 9월 10일생. 1986년 고려대 공대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 순천향대 공대 전기·전자공학부 조교수.