

전력회사의 로봇 적용현황에 관한 조사연구

(A study on the application of robots in electric power company)

*이 범희 **우 희곤 **양 일권 김 정국 *홍 지민 *문 찬우 *이 명용 *박 시영 *서 창원
B.H. Lee H.K. Woo I.K. Yang J.K. Kim J.M. Hong C.W. Moon M.Y. Lee S.Y. Park C.W. Suh

* 서울대학교 제어계측공학과
** 한전기술연구원 전자응용연구실

ABSTRACT

As a preliminary study for the application of robots in electrical power company, several case studies in foreign countries, such as a substation patrol robot, a robot for nuclear power facilities, an insulator cleaning robot and a robot system for live-distribution line works, have been carried out for the application of robots.

Various application fields, application-related problems, technical difficulties, and the feasibility of applications are studied.

1. 서론

현대사회에서 양질의 전력공급의 중요성은 날로 더해가고 있다. 이에 따라 전력회사의 설비, 운영 및 효율적 관리는 전력계통이 복잡화 및 다양화되어, 더욱 향상된 컴퓨터 응용기술을 통한 각종 설비의 유지 보수, 일상점검 및 모니터링 시스템에 대한 요구를 가증시키고 있다.

현재 선진국의 경우 로봇기술을 전력설비에 적용함으로써, 단순한 인간의 대역 업무뿐만 아니라 전천후 위험방지를 위한 감시제어, 각종기기 및 설비의 유지보수 등으로 전력설비를 효율적으로 운용하고 전력의 품질 및 신뢰성을 향상시키고 있다. 그러나 국내의 경우 이에대한 연구개발이 체계적으로 이루어지지 못해 설비운영이 효율적이지 못하고 사고발생시 속히 대처하지 못하고 있는 실정이다.

본 논문은 한전기술연구원 전자응용연구실과 공동으로 시행중인 연구과제의 진행상황을 요약, 발췌한 것으로 변전소 감시로봇, 원자력 발전소용 로봇, 애자청소 로봇, 활선작업 로봇에 대한 외국 적용사례를 조사하여 응용분야, 응용상의 문제점, 기술상의 애로점, 적용 타당성을 검토한다[1].

변전설비의 경우 현재는 사람이 점검을 하고 있으나 시간이 많이 걸리고, 초고압기기의 이상유무를 사람이 파악하기 어려운 등의 문제가 발생한다. 이에 변전소 구내를 주행하면서 기기의 온도분포, 절연상태 등을 감시하고 기기의 상태를 효율적으로 감시할 감시로봇이 필요하다. 관련기술은 크게 본체기술과 유도기술 등의 이동로봇기술, 통신기술, 제어기술 및 감시기능을 수행하기 위한 각종 센서기술로 나뉜다.

원자력 발전소는 1기당 발전량이 매우 많을 뿐만 아니라

주변지역에 미치는 영향 또한 크기 때문에 순조로운 운전과 보수는 매우 중요하다. 또한 원전내에서 장시간 작업할 경우 방사능 피폭 등 여러가지 위험이 존재하기 때문에 다량의 작업인원을 짧은 시간동안 교대로 투입해야 한다. 이로 인해 작업능률이 떨어지고 가동률이 떨어지게 된다. 따라서 작업시간의 단축, 경비절감, 설비수명의 연장등을 위해서는 원격조종 로봇의 개발이 필요하다. 원자력 발전소내의 자동화는 순회감시, 보수유지, 사고처리 등을 중심으로 이루어지고 있는데 이동기구, 매니플레이터, 센싱에 관한 모든 기술이 이와 관련되어 있다.

애자에 전도성 염류(NaCl)나 공장의 매연등이 부착되면 애자의 절연저항이 감소하고 송전효율과 내전압이 저하된다. 내전압이 많이 저하될 경우 절연파괴 사고의 위험이 있으므로 허용 오손량에 도달하기 전에 애자청소 작업이 이루어져야 한다. 이를 위한 애자세정법은 물분사에 의한 방식과 세정기구를 이용하는 방식, 로봇을 이용하는 방식이 있다. 기술개발 부분은 등반 및 주행기구 개발과 세정기구 개발로 구분할 수 있다.

현대는 전력수요의 급증으로 인하여, 배전선 및 배전기기 용량을 증가하기 위한 신설, 철거, 교환 등의 많은 작업이 필요하다. 그런데 이에 따른 정전의 영향도 증가하므로 정전시간을 줄이기 위한 활선작업이 요구된다. 그러나 활선작업은 고소작업인 동시에 고압하에서의 작업이므로 위험도가 극히 높은 작업이다. 또한 사람이 작업할 경우 안전을 위해 많은 시간과 경비가 요구된다. 더욱기 앞으로는 고압 배전선의 전압상승이 예상되고 있으므로 작업환경과 조건은 더욱 악화될 것이다. 따라서 이러한 작업을 편하고 안전하고 신속하게 행할 수 있는 로봇의 개발이 필요하다. 필요기술은 매니플레이터기술, 절연기술, 공구개발로 구분된다.

2. 변전소 감시로봇

(1) 개발현황

(가) 시스템 구성

일본 중부전력연구소에서 주관하여 다수의 협력업체와 함께 개발, 적용하고 있는 지능 감시로봇 시스템은 로봇본체, 로봇의 주행유도선, 화상, 음향, 제어신호 전송용 RPC 케이블등의 전송장치, 자동충전장치, 제어용 컴퓨터 등으로 구성된다[2], [3], [4], [5].

로봇본체는 적외선 카메라, 칼라 카메라, 이상필수

검출기, 마이크로폰, 통신장치, 유도검출기, 충전단자 등을 내장한다.

(나) 시스템 특성

· 감시내용

적외선 카메라는 기기온도 감시용으로 차단기, 변압기 등의 내부이상을 파악하기 위해 적외선 화상으로 표면온도를 감시하며, 차단기 접속부, 도체 접속부 등의 온도분포 측정에 사용된다. 칼라 카메라는 기기상태를 감시하고 변압기의 온도계, 유면계 등의 계기류의 지시치를 감시한다. 야간감시시 할로겐 램프를 사용하면 700w로 약 20m 정도까지 관측 가능하다. 적외선 카메라와 칼라 카메라는 6배 줌 기능을 가지며, 항상 연동되면서 상하좌우로 회전하게 되어 눈으로 확인하기 어려운 고소기기도 약 40m 정도 떨어져도 관측 가능하게 된다. 이상펄스음 검출기는 절연열화가 진행된 상태를 음향으로 검출한다. 마이크로폰은 변압기 냉각 팬 등의 이상음을 검출하는 데 사용된다.

· 주행방식

감시경로에 부설한 유도선을 주행하면서 감시하는 전자유도 방식으로 변전소 구내에서 내환경이란 점에서 다른 방식보다 유리하며 구내의 주행거리를 약 150m씩 4분할하여 주행한다. 유도선(2mm², 단선)에 5kHz, 4.5V, 300mA의 전류를 공급하면 검출기 출력에 500mV가 유기되는데 검출기에 5kHz용 필터를 내장시켜 변전소 자계의 영향을 무시할 수 있다. 안전을 위해 경로로 부터 10cm 이상 떨어지면 유도검출기의 출력레벨 저하를 검출하여 비상 정지하고, 로봇트 전방에 장애물이 있는 경우 초음파로 거리를 측정하여 전방 3m에서 감속하고 전방 1.5m에서 정지한다. 전원으로 배터리를 사용하며 주행후 차고의 충전장치에 자동 접속되어 충전되며 충전기측 단자는 1개의 극판으로 이루어져 로봇트측 극판과 결합한 상태에서 원격제어에 의해 충전되고, 고무덮개로 싸여 사람이나 먼지로 부터 보호된다.

· 정보전송

변전소 기기의 영향으로 무선방식이 적절하지 못하므로 화상, 음성, 제어신호가 FM변조되어 로봇트의 송신안테나로부터 유도선과 병행하게 설치한 케이블을 통해 전송된다. 그림 1은 전송시스템의 구성도로 안테나와 케이블간의 간격

은 4cm이고 제어실까지 300m 전송하는데, 전송손실로 인해 전송거리가 200m가 되어 감시경로를 분할하여 전송한다.

(2) 적용방안

(가) 개발 가능성

감시로봇트를 개발하기 위해서는 크게 다음과 같은 4개의 기술요소가 필요하다.

- 변전소 구내를 주행하기 위한 본체기술과 유도기술 등의 이동로봇트 기술
- 감시기능을 수행하기 위한 각종 센서기술
- 감시정보와 제어신호를 전송하기 위한 통신기술
- 전체 시스템을 제어하기 위한 제어기술
- 국내에서의 이동로봇트 기술은 AGV(Automated Guided Vehicle) 관련기술로 볼 수 있다. 현재 국내에서 AGV 제조는 기술도입에 의해 삼성, 금성, 대우 및 통일 등에서 제작 판매하고 있으나, 본 연구와 직접 관련된 전자유도 방식과 음성, 화상 등 각종 정보 송수신을 겸비한 AGV 제작에는 기술수준이 미흡하다. 개발에 있어 외국 시스템에 준하는 기능을 목표로 할 때 본체, 중앙 제어부 컴퓨터와의 인터페이스 및 프로토콜 기법, 유도선, 유도검출장치, 충전장치 등의 H/W 및 S/W 에 대한 연구 수행이 필요하다.
- 감시로봇트의 중요 요소인 센서기술은 국내의 축적된 기술로서 실용화된 외국의 시스템 기능에 접근한 시스템 제작이 가능하다. 다만 관련 센서류, 부품류 등을 제외한 일부는 시스템의 정밀도를 위하여 수입에 의존할 것으로 추정되며 화상처리 알고리즘, 분석기법, 음향감지 시스템, 센싱기법 등에 관한 연구 수행이 필요하다.
- 통신기술 부분은 변조기술과 전송기술, 통신장치 등에 관한 연구 수행이 필요하며 변전소 구내의 전·자계의 영향을 감소시키는데 중점이 주어져야하며, 유선통신 방식의 개발이 적합하다.
- 제어기술은 16비트 PC로 시스템을 충분히 제어가능하다고 평가된다.

(나) 적용효과

감시용 지능로봇트 시스템의 개발은 기존의 감시전문인력의 감시영역, 감시장소, 감시기능 등을 각종 센서기술과 컴퓨터기술, 로봇트기술을 결합하여 최대한으로 보강해주고, 컴퓨터와 연계된 중앙제어반에서의 감시효율을 극대화시킬 수 있다. 이를통해 전력회사의 발·변전소의 전전후 감시 제어 시스템 개발에 활용할 수 있고 중앙제어반에서의 통합 조정기능을 제공할 수 있다. 또한 개발에 각종 기술이 종합화 되므로, 변전소의 무인자동화 뿐만아니라 전력기관 자동화의 기초기술로 활용할 수 있다.

3. 원자력 발전소용 로봇트

원자력 발전소 에서의 로봇트 적용 가능 작업은 그림2와 같은 것을 들수가 있다.

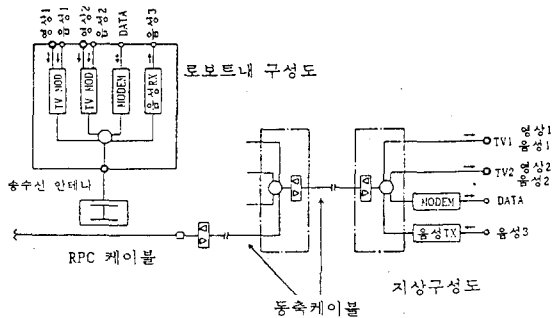


그림 1 전송시스템의 구성도
Fig. 1 Block diagram of transmission system

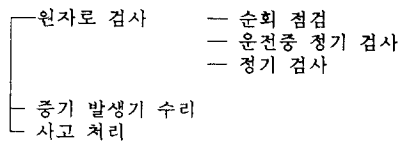


그림 2 원전에서의 로봇 적용 가능 작업
Fig. 2 Tasks for robot application in nuclear power station

(1) 개발현황

원자력 산업용 으로는 위험물 처리등 다양한 기능을 수행하는 원격 조종 매니플레이터와 감시용등으로 쓰일수 있는 자동주행 로봇이 개발되어 있다. 외국의 경우 원격 조종 로봇으로는 ROGER, ROSA, TIM, BBR manipulator 등의 암(arm)이 개발되어 있다[6].

- ROGER (remotely operated generator examination and repair)

와동 전류 (eddy current) 검사, 용접, 균열 검사, 플러그 설치, 수리 작업에 사용 할수 있다.

- ROSA (remotely operated service arm)

Westinghouse 사가 개발 하였으며 증기 발생기 검사, 수선 이외에 여러가지 기능을 수행할수 있다. 컴퓨터에 의해 제어되며 조이스틱(joystick)으로 조종 한다.

- TIM (tube indexing service)

Quadrex Energy service 가 저가격의 증기 발생기 검사용으로 개발 하였다. ¼ 크기의 매스터 암(arm)으로 슬레이브 암을 조종하는 형태이다.

이동 로봇에는 Oscar, Pedesco, Kluge, Rocomp, Huter III, Cms, MF3, 6w.8, Herman, Rcv-150등이 개발 되어있다.

- OSCAR

Babcock and Wilcox 가 개발한 트랙터형의 로봇으로 레버를 사용하여 조종한다. 크기 51cm x 30.5 cm x 20 cm, 무게 40kg이며 80kg까지 적재가 가능하다. 최고속도 0.25m/s 로 움직일수 있다.

- Pedesco

pedesco company사가 개발한 전지에 의해 움직이는 6륜차로 조이스틱(joystick) 으로 조종 하며 크기 100cm x 66cm x 46 cm, 무게 103 kg 이고 112.5kg 까지 적재 가능하다.

- Kluge

Cybernation 에서 감시용으로 제작 하였으며 원격 조종, 무인동작이 모두 가능한 3륜형의 로봇이다.

국내의 경우 원자력 발전소 설비의 유지 보수를 위한 로봇 관련 기술 개발은 거의 없는 형편이며 사용하는장비의 대부분을 국외에서 개발된 제품에 의존하고 있다. 국내의 원자력 발전소에서는 증기 발생기 수리용으로 BBR manipulator, Finger walker 등의 장비를 보유하고 있고 이러한 제품들을 모델로 원자력 발전소용 로봇의 개발을 시도 하고 있다.

(2) 적용방안

(가) 개발 가능성

국내의 경우 원자력 발전소용 로봇 개발은 기술 개발이 비교적 쉽고 원자력 발전소의 구조 변경이 필요 없는 순회 점검 및 증기 발생기 수리용 로봇을 중심으로 이루어지는 것이 바람직 하다. 원자력 발전소용 로봇을 개발할 때에는 다음과 같은점들을 고려 해야한다.

i) 원자력 발전소용 로봇은 작업에 따라 수증및 1년간 방사능 적산량 10⁶R 이상의 극한 환경에 서 동작해야 하므로 내 방사선성등 고도의 내환경성을 가져야 한다.

ii) 작업의 특성상 높은 신뢰도가 요구 되므로 적어도 1000시간의 무조정 고장이 보장되어야 한다.

iii) 로봇이 오염 또는 고장을 일으켰을때를 대비하여 고장난 로봇의 회수 방법 확립과 함께 수리, 교체가 용이해야한다.

이러한 특성을 만족시키기 위해서는 전자 부품의 모듈화, 신호 동력 공급 장치의 소형화가 필요하다. 원자력 발전소용 로봇 개발을 위한 관련 기술 분야는 다음과 같은 것들이 있다.

① 매니플레이터 기술 분야

산업용 매니플레이터와 기술을 공유하는 부분이 많다. 경량급(취급 중량 20Kg 까지), 중량급(20 에서 50Kg), 중량급(重量급, 50 에서 100Kg), 초중량급(100Kg 이상) 등의 매니플레이터를 작업 목적에 맞추어 개발하는것이 필요하다. 이송기구에 장착할 경우를 고려하여 취급 중량 대 자중비를 크게 하여야 한다.

② 이송기구 기술 분야

AGV 와 기술을 공유 한다. 궤도를 따라 이동하는 궤도 방식, 자유롭게 이동하는 무궤도방식이 있으나 일반적으로 무궤도 방식이 바람직하다. 이송기구를 설계할때는 탑재 중량이 크도록 하여야 한다.

③ 매니플레이터 제어 기술 분야

매니플레이터의 조작성을 결정하는 분야이다. 사람이 매스터암을 조작하여 슬레이브암을 조종하는 방법이 많이 쓰이며 이때 힘의 감각이 매스터암에 되먹임되는 bilateral 방식이 유리하다. 센서를 이용한 자율적 충돌 회피 및 자기보호 기능을 갖추도록 설계 하는것이 바람직하다.

④ 센서및 신호 전송

작업 기능의 향상을 위해서는 시각, 촉각, 근접각등 여러종류의 센서를 이용할 필요가 있다. 신호 전송이나 하중등의 이유 때문에 센서를 다수 탑재하는것은 곤란하므로 작업 용도에 따른 센서 선택이 필요 하다. 시각 센서의 경우 카메라가 일반적으로 사용되며 용도에 따라 일반 카메라, 적외선 카메라, 방사선 카메라 등이 있다.

⑤ man-machine-interface

원격 조작 작업을 안전하게 하기 위해서는 조작원이 로봇의 상태, 주변 작업 환경 및 작업 현황을 정확하게 파악할 필요가 있다. man-machine-interface 기술중 가장 중요한

부분이 TV 감시 시스템 이며 조작자가 작업하기 편하도록 입체적으로 구성해야한다.

(나) 적용 효과

원격 조종 로봇트는 보수 유지 등의 작업이외에 제작된 로봇트 팔에 Plugging 이나 Sleeving의 작업기계를 부착 하면 가압수형 원자로의 증기 발생기 수리작업에도 이용 가능하다. 원자력 발전소에서는 연간 1000 드립 정도의 폐기물이 발생하며 이의 운반, 처리 및 지하 매립지 관리에도 원격 조종 로봇트의 적용이 가능하다. 또한 파이프 검사, 방사능 검사, 제염등 여러가지 활용 가능하다.

4. 애자청소 자동화

(1) 주수식 세정법

물을 분사시켜 세척하는 방법으로 설치비가 비교적 싸고 낮은 지역에서 사용할 수 있으므로 가벼운 오염지역의 발/변전소에 사용된다. 이 방식에서 고려되어야 할 인자는 물의 고유저항, 노즐의 구조와 위치, 공급수압, 노즐과 애자와의 안전거리, 애자세정 내전압, 세정의 순서와 주수량, 물분사의 제어방법 등이다.

활선 주수 세정의 가능 한계치는 주수하는 물의 고유 저항과 관계가 있고 세정을 행할 경우 일시적으로 절연 저항이 감소하여 섬락의 위험성이 있으나 세정이 진행되면 절연은 좋게 되어 충분한 활선 작업이 가능하다.

노즐에는 주수량이 많은 분무침상 노즐과 고속수류의 침상노즐이 있으며 방수량은 노즐에 걸리는 공급압력과 노즐의 구조로부터 결정된다.

주수식 세정의 제어는 밸브를 수동으로 개폐하는 수동식과 전자석 스위치를 이용해 원격 제어하는 원격 조작방법 그리고 세정의 순서, 시간을 시퀀서에 짜서 자동으로 세정하는 방식이 있다. 세정시에는 미세세정 애자에 세정수가 닿지 않도록 아래쪽 부터 윗쪽으로 순차적으로 세정하고 위쪽의 세정도 2-4종류의 세정 시퀀스를 짜 두었다가 풍향에 따라 선택한다.

(2) 울산식 애자 세정기

두 사람이 철탑에 등반하여 세정할 수 있는 절연된 기구이며 세정기, 물 탱크, 펌프, 절연봉으로 구성된다. 절연봉을 세정기에 걸어 수작업을 가능하게 하며 물러와 브러쉬가 부착된 세정기를 애자에 장착시킨 후 좌우로 회전시켜 세정하게 된다.

절연봉은 Telescopic 구조로 신축가능하고 절연을 위해 Glass fiber나 FRP가 사용되며 금속을 거의 사용하지 않는다.

(3) 500kV용 활선 로봇트 애스기(碍掃機)

전체 구성은 원통형 본체, 공기제어기, 공기공급부로 구성되는데 본체는 공기압 실린더로 구동되는 두 개의 암을 가지고 있어 이 암의 개폐에 의해 본체가 이동한다. 공기제어기는 각 암의 개폐와 전후이동, 물분사 등의 제어를 하며 공기공급부는 압축기를 통해 6기압의 압축공기를 만들어내

고 공기호스를 통해 공기제어기로 운반한다.

본체의 이동은 큰 암을 열어 전방으로 이동하여 닫고 작은 암을 열어 이동시킴으로 결과적으로는 연동동작으로 본체가 전진하게 된다.

염분 수용액을 애자에 분사후 건조시키고 수세량을 200cc 수압을 3-6kg/cm²로 변화시켜 세정하면서 애소효율을 측정하고 섬락전압 특성 및 누설 전류 실측을 하여 안전시험을 거친 후 실제 사용해야한다.

(4) 등반기능을 갖춘 애자 청소의 자동화 방식

등반기능을 갖춘 애자 청소의 자동화는 등반 모듈, 암 모듈, 세정 모듈, 급수 모듈, 원격 감시 모듈 등 모듈별로 구성되는데 구상중이며 실용화되어 있지는 않다

(가) 등반 모듈

높은 철탑에 무인으로 오르기 위해 레일을 이용한 등반을 구상하는데 등반기구는 세정기를 싣고 곡선 레일을 자유로이 이동할 수 있도록 스프링장치를 사용하여 구동바퀴는 고정되며 중동바퀴는 습동동작을 하여 자유로이 방향을 바꿀 수 있도록 한다. 구동축의 모터는 100-200W로 감속기를 넣어서 8Kg정도를 들어올릴 수 있어야 한다.

(나) 암 모듈

등반 모듈을 이용해 철탑에 등반한 후 등반모듈로부터 세정기가 애자에 접근하도록 이동시키는 모듈이다. 자유도2를 가진 2축으로 목표지점을 향하도록 하는 부분과 신축암을 이용해 세정기를 목표애자에 접촉시키는 부분으로 구성된다.

1축은 모터를 이용하여 신축암을 목표애자로 향하게 하는 부분이고 2축은 캠을 이용해 목표애자로 상하방향을 조정하는 부분으로 상하 동작 각도는 ±7.5°이던 된다.

신축암은 밴드그래프를 이용하게 되는데 휘게되는 약점이 있으므로 삼각기둥이나 사각기둥의 형태를 이용한다. 신축의 동작은 실린더의 신축에 의하거나 모터로 나사를 구동시켜 행한다.

(다) 세정 모듈

세정 모듈은 순서 기어박스과 클램프, 세정 브러시, 전후진 센서로 구성된다. 기어박스는 여러개의 캠과 기어 및 클러치로 구성되어 구동축의 회전에도 따라 캠과 기어가 작동되므로 정해진 순서의 작업이 행해진다. 이들 기기는 절연물로 만들어지는 것이 좋고 전자적인 순서 제어장치는 고압송전선의 잡음에 의하여 오동작을 일으킬 수 있으므로 기계적인 제어가 안정하다.

두 개의 클램프 개폐에 의하여 세정기가 진행하며 원반의 회전으로 링크에 연결된 2개의 브러시가 서로 반대회전을 하여 애자를 세정하게 된다.

(라) 급수 모듈

지상의 펌프와 탐상의 밸브로 구성되며 철탑높이 70m에 대해 펌프 출력압은 1.5 Mpa가 필요하다.

(마) 원격 감시 모듈

지상으로부터 애자세정작업을 감시하기 위한 모듈로 쌍안

경형의 망원경을 필요로 한다. 카메라 시스템을 이용한 경우에는 잡음과 통신의 어려움이 있다.

(5) 활용방안

전국의 애자 오염상태, 오손, 안전사고, 애자분포, 청소비용과 경제성의 조사가 선행되어 수작업을 위한 기구를 개발할 것인가 완전자동화를 할 것인가를 결정하는 것이 바람직하다.

주수식 세정법 개발시에는 분사노즐의 개발과 물의 고유저항 측정시험, 고압에서의 세정중 내전압 측정 등의 고난도 실험이 요구된다. 정확한 수류제어가 필수적이며 제어반과 노즐, 노즐과 애자사이의 절연기술이 중요하다. 노즐의 위치를 적당한 위치에 설치하면 발/변전소 등 낮은 곳의 애자에는 적당한 방식이다. 철탑등 높은 곳의 애자에 있어 오염피해가 적고 청소비용이 적게 들 경우 울산식 애자세정기나 500kV용 활선 로봇 애소기의 개발이 적당하며 절연과 안전시험이 필수적이다.

등반기능을 갖춘 애자청소 자동화 시스템을 개발하려면 우선 철탑에 레일의 설치가 필요하고 소형의 큰 토크를 얻을 수 있는 모터의 개발과 모터제어, 공기압 제어, 수압 제어의 연구를 해야한다. 무엇보다도 철탑의 구조에 적합한 기계적 모델구성이 시급하다. 강전계에서의 작업이므로 모든 기기는 이에 견딜수 있어야 하므로 되도록 기계적 기기를 사용한다. 강전계의 잡음을 막을 수 있다면 모터의 사용을 늘리고 슬레노이드를 사용하여 실린더의 사용을 없애며 카메라를 이용한 시스템을 구상할 수 있다.

5. 배전선 활선작업 로봇

(1) 개발현황

일본의 중부전력 기술연구소에서 개발한 시스템은 고소작업차의 붐(boom)위에 설치한 캐빈(cabin)속에서 슬레이브 암(slave arm)을 조종하는 매니플레이터(manipulator)형 로봇으로써, 전선의 절단 및 접속작업과 개폐기의 교환작업을 한다.

(가) 시스템의 전체구성

전체 시스템은 고소작업차, 매니플레이터, 윈치 암(winch arm), 조종실 캐빈으로 구성된다.

- 로봇트를 탑재할 고소작업차는 4륜 차량으로 지상으로부터 선단까지의 높이가 14m인 3단 신축형 붐이 있고 상부의 조이스틱(joy stick)에 의해 조종된다.
- 매니플레이터는 1.9m 길이, 6축으로 매스터 슬레이브(master-slave)방식과 조이스틱방식을 병용하여 조종된다.
- 윈치 암은 1.8m 길이의 2단 신축형으로 상부의 조이스틱에 의해 조종된다.
- 시스템의 모든 동작을 조종하는 조종실 캐빈에는 조종용 조이스틱과 조작방식을 선택하는 스위치들로 구성된 조종반, 조종훈련의 편리성을 고려한 2개의 조종석이 있다.

(나) 시스템의 특징

• 슬레이브 암의 축배치

다양한 전주들을 포괄하는 작업가능범위, 선단에서의 자유도, 공구의 길이 등을 고려하여 필요한 암의 최대길이를 1.9m로 하고 6축 다관절로하여, 선단에 회전동력을 주고 관절부를 소형으로 하였다. 또한 절연성의 확보를 위해 유압모터를 관절부에서부터 분리하여 설치하는 원격구동방식을 채용하였다. 한편 슬레이브 암의 축배치를 결정하는데 있어서 배전선작업을 가상한 컴퓨터 시뮬레이션(simulation)을 실시해 축의 배치, 축간의 거리, 가동범위를 검토하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- i) 횡형 암에서는 작업중 암이 전방의 시계를 방해하는 상황이 횡형 암에 비해 발생하기 쉽다.
- ii) 횡형 구조가 조종자의 어깨와 팔의 감각에 유사한 구조이므로 배전선에의 접근과 자세제어가 용이하여 매스터 암(master arm)의 조종이 편리하다.
- iii) 횡형 구조의 경우 자중에 의한 부하가 더해지는 관절이 종형 구조에 비해 적기때문에 액츄에이터의 성능이 충분히 발휘된다. 따라서 슬레이브 암의 축배치를 횡형으로 하였다.

그러므로 슬레이브 암의 축배치를 횡형으로 하였고 다음의 그림 3에서와 같이 각 축의 동작범위를 결정하였다.

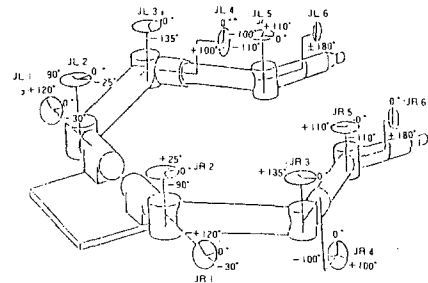


그림 3 각 축의 동작범위

Fig. 3 Range of motion for robot joints

• 절연구성

절연은 활선작업용 매니플레이터 시스템에서 가장 중요한 과제이므로 가능한 한 성능향상을 목표로 해야 한다. 따라서 표면을 전부 절연물로 덮고 금속부의 노출을 없도록 하였다. 또한 선단부를 충전부에 접촉시킨 상태에서 다른 선과의 단락이나 완금등과의 접촉으로 인한 지락사고를 방지하기 위하여 슬레이브 암을 암의 선단부, 중간부, 부착부로 분해절연하였다. 캐빈은 절연 구조재료(FRP성형, 아크릴판)로 구성하였고 절연부분을 거치는 동력과 정보의 전달방식으로는 유압 호스(hose), 광 파이버(fiber) 케이블을 사용하였다.

• 슬레이브 암의 조종방식

매니플레이터, 슬레이브 암, 윈치 암, 차량 붐, 캐빈의 수진 등 모든 동작을 조종실 캐빈에서 조종하도록 구성하였다. 슬레이브 암을 조종하는 방법에는 조이스틱에 의한 방식과 매스터 암에 의한 방식이 있다.

- i) 조이스틱에 의하여 슬레이브 암을 조종할 경우 관절축을 직접 조작하는 관절 좌표계, 슬레이브 암의 부착부를 기준좌표계로 하는 기본 좌표계, 슬레이브 암 선단의 위치와 자세를 기준으로 하는 공구 좌표계를 채용하여 각각의 위치제어와 자세제어의 선택이 가능하고, 공구교환의 자세, 수납 자세, 기본 자세에의 왕복동 동일반복을 행하는 제어에는 조종선택을 하는 것으로 자동운전이 가능하다. 따라서 세밀한 동작의 제어에 용이하다.
- ii) 매스터 암에 의하여 슬레이브 암을 조종할 경우 교시, 재생의 기능이 있으므로 동일한 경로를 통과하여 반복작이 가능하고 큰 동작의 제어에 용이하다.

· 공구의 개발

필요에 따라 공구를 개발하였는데 특히 작업시간의 단축을 위하여 공구의 자동화, 다기능화를 꾀하였다. 전선을 좁히는 공구, 전선의 피복을 제거하는 공구, 전선을 자르는 공구, 선단보호용 공구 등의 단기능 공구와 이음과 절단시 잡개용 공구, 개폐기의 볼트(bolt) 조임용 공구, 접속작업용 공구, 테일을 감는 공구, 압축공구 등의 다기능 공구가 있다.

(2) 적용방안

(가) 개발 가능성

배전선 활선작업 로봇을 기능별로 분류해 보면 차량부, 로봇 본체부, 로봇제어 캐빈, 기본 공구부로 나눌 수 있다.

- 이때 무엇보다도 중요한 것은 절연기술이다. 즉 절연능력이 좋아야 하고 절연부분을 통한 동력과 정보의 전달이 잘 되어야 한다. 최근 신소재의 개발로 뛰어난 절연성을 갖는 물질들을 이용하여 원하는 절연능력을 얻을 수 있다.
- 로봇 매니플레이터의 경우에는 이미 개발이 완료된 매니플레이터들이 있으므로 그 기술을 이용하여 개발이 가능한데, 원치 암의 경우에는 전선을 말아올리는 기능만을 필요로 하기 때문에 손쉽게 제작할 수 있다.
- 로봇제어 캐빈의 경우 사람이 조종석에 앉아 조이스틱이나 매스터 암에 의해 슬레이브 암을 조종하기 때문에 암의 제어기 개발이 가장 중요하다. 또한 버튼에 의해 좌표계의 선택과 제어의 선택이 이루어 지도록 하는 것과, 반복동작을 할 때 교시, 재생의 기능을 부여함으로써 복잡한 작업과정에 대한 자동운전이 가능하게 하는 것에 대한 소프트웨어(software)의 개발도 필요하다. 하지만 단순한 동작의 경우에만 필요하고 비교적 적은 정밀성을 요구하므로 충분히 가능하다.
- 기본 공구부의 경우 공구의 정밀도에 따라 작업의 정확성 여부가 달려 있으므로 공구의 개발이 시급하다. 전선을 잡는다는가 피복을 벗긴다는가 하는 단기능 공구만이 아니라 복잡한 작업을 수행할 수 있는 다기능 공구를 개발함으로써 작업시간의 단축을 가져올 수 있다.

따라서 이러한 배전선 활선작업 로봇의 제작은 축적되어 있는 기술을 기초로 하여 쉽게 제작이 가능하다.

(나) 적용효과

배전선 활선작업 로봇은 고소작업차가 다닐 수 있는 곳은 어디든지 사용이 가능할 뿐 아니라 활선작업의 위험을 줄일 수 있고, 절연구성을 하고 있기 때문에 방호작업에 소요되는 시간을 없앴으므로 작업시간의 단축을 가져올 수 있다. 또한 여러가지 기능의 공구를 개발함으로써 복잡한 배전선작업을 보다 간단하게 행할 수 있는데, 배전선작업용 공구대신 다른 공구들을 이용하여 여러가지 다른 작업에 응용될 수도 있다.

6. 결론

전력회사의 로봇 시스템 개발 적용은 사고 발생대비와 유사시 신속한 대처능력을 제공함으로써 전력설비를 효율적으로 운용할 수 있도록 한다. 또한 연구개발에 있어서 각종 기술이 연관을 가지고 종합화되어, 전력기관의 자동화에 이바지 할 뿐 아니라 궁극적으로는 양질의 전력을 소비자에게 공급할 수 있으므로 이러한 기술개발은 상당히 의미있는 일이다.

본 논문에서는 변전소 감시로봇, 원자력 발전소용 로봇, 애자청소 로봇, 배전선 활선작업 로봇의 적용방안에 대하여 검토하였다. 이러한 로봇의 개발은 선진국의 경우 시험중에 있거나 이미 완료된 상태로 KEPCO에서의 개발이 시급히 요청된다.

7. 참고문헌

- [1] 연구 보고서, "전력회사의 로봇 적용방안에 관한 연구", 기초전력공학 공동연구소, 1989
- [2] 小松 巖, 岩田幸三, "154KV 변전소 구내의 감시로봇 주행실험 결과", 1986년 전기관계학회 동해지구연합대회
- [3] 小松 巖, 他, "무인변전소 감시로봇의 화상전송 실험 결과", 1987년 전기학회 전국대회
- [4] 小松 巖, 山岸武久, 他, "변전소 감시로봇의 개발", 1988년 전기학회 전국대회
- [5] 小松 巖, 山岸武久, 井倉浩司, "변전소구내 순시로봇의 구내실험", 1989년 전기학회 전국대회
- [6] "Nuclear Engineering international", 1986.4
- [7] 연구 보고서, "고압송전선 애자청소자동화시스템 책정 연구", 일본 기계공업연합회, 일본 산업용로봇공업회 1980