

애자 청소 로봇 제어 시스템의 개발

변승현, 조병학, 박준영, 이재경
한전 전력연구원 I&C그룹

Development of Control System for Insulator Cleaning Robot

Seung-Hyun Byun, Byung-Hak Cho, Joon-Young Park, and Jae-Kyung Lee
KEPRI, I&C Group

Abstract - 애자 청소 작업은 애자의 절연 저하를 사전에 예방하기 위해 고소·고압의 환경에서 이루어지는 위험한 작업으로 정비작업의 능률과 정밀도가 떨어져 로봇을 이용한 활선 애자 청소 및 진단의 자동화가 요구되어진다. 이러한 요구에 따라 활선 애자 청소 로봇이 개발되고 있다. 본 논문에서는 개발된 애자 청소 로봇 제어를 위해 마스터 슬레이브 구조를 갖는 제어 시스템 구성을 제안하고, 실험을 통해 구현한 제어 시스템의 효용성을 보인다.

1. 서 론

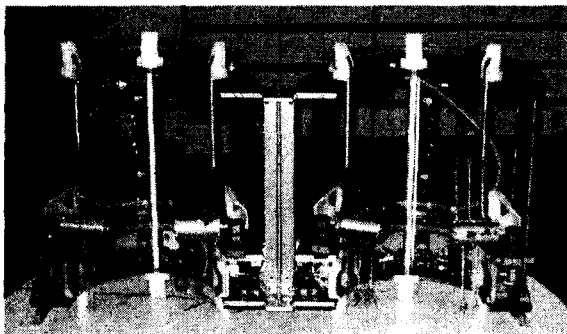
한 나라의 기간 산업으로서 중요한 역할을 차지하는 전력산업은 사회의 발전과 더불어 증가되는 전력 소비량과 양질의 전력 요구에 의해 지속적으로 발전되고 있다. 전력 수요에 대해서 양질의 전력을 안정적으로 공급하기 위해서는 송전선로를 고장없이 운용하는 것이 매우 중요하다. 애자 청소 작업은 애자의 절연 저하를 사전에 예방하기 위해 고소·고압의 환경에서 이루어지는 위험한 작업으로 정비작업의 능률과 정밀도가 떨어져 로봇을 이용한 활선 애자 청소 및 진단의 자동화가 요구되어진다. 이러한 요구에 따라 활선 애자 청소 로봇이 개발되고 있다. 본 논문에서는 애자 청소 로봇 제어를 위해 원격 제어 및 감시를 담당하는 호스트 제어 시스템과 로봇에 장착되어 I/O를 처리하고 로봇을 직접 제어하는 로컬 제어 시스템으로 구성되어지는 제어시스템을 제안한다. 로컬 제어 시스템은 마스터 제어기 하나와 슬레이브 제어기 2개로 구성되어지고, 마스터 제어기와 슬레이브 제어기 간의 통신은 RS-485를 통해 이루어지며, 마스터 제어기와 호스트 제어 시스템은 무선 랜을 통해 데이터를 주고 받는다. 본 논문에서는 또한, 제안한 제어시스템을 구현하고, 실험을 통해 구현한 제어시스템의 효용성을 보여준다.

2. 본 론

2.1 애자 청소 로봇

2.1.1 이동 메커니즘

개발한 애자 청소 로봇의 모습은 그림 1과 같다. 애자 간의 이동 작업은 애자편을 따라 단순히 직선 운동을 하므로, 이동을 위한 로봇의 최소 자유도는 1이며, 이의 구현을 위해 DC 모터에 의해 구동되어지는 볼 스크류를 이용하였다. 또한, 이동을 위하여 로봇을 외부 프레임과 청소 기구부의 두 부분으로 구성하고, 각 부분이 클램프를 사용하여 애자의 자기 부분을 교대로 잡으면서 이동하도록 하였다. 이 클램핑 방식은 포획에자수가 2개 이내로 기존 메커니즘에 비해 절연측면에서 우수하며, 기구부가 프레임의 역할을 겸하므로 구조가 간단해지고 로봇의 경량화가 가능한 장점을 가진다. 이동 메커니즘은 외부 프레임과 CM(Circular Motion) Guide를 장착한 내부 프레임, 볼 스크류 메커니즘, 클램프, 스키드 바, 스키드 블록 등으로 구성된다. 클램프는 RC 서보 모터에 의해 구동되는 2개의 링크 구조로서, 애자 스키트를 잡기 위해 클램핑할 때 2 자유도의 링크가 특이점에 빠지도록 설계 제작되었다.



〈그림 1〉 애자 청소 로봇

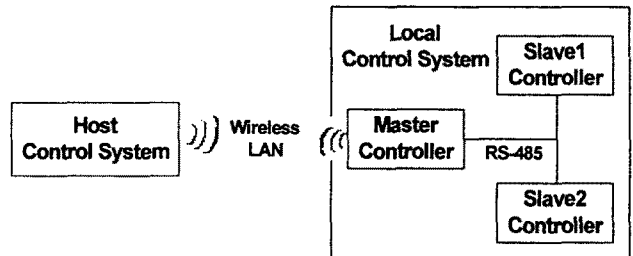
2.1.2 청소 메커니즘

애자 청소로봇에서는 청소 방법으로 건식 청소 방법을 채용하였다. 건식 청소를 위해 애자의 청소 면이 원형이라는 점과 애자의 뒷면과 달리 애자의 밑면은 오손물이 부착되기 쉬운 복잡한 형상으로 되어 있다는 점을 고려하여 회전형 브러쉬를 선택하였다. 애자의 청소면이 원형이므로 회전 브러쉬가 애자의 청소면을 이동하는데 필요한 최소 자유도는 1이고, 애자 전체를 청소하기 위해서는 회전 브러쉬가 애자편을 따라 360도 회전을 하는 것이 필요하다. 이 메커니즘은 2개의 회전 브러쉬가 장착된 CM Guide를 회전시킴으로써 구현되어진다. 청소 메커니즘은 베벨기어-평기어의 조합으로 구동되는 CM Guide, CM Guide의 움직임을 보조하는 가이드 롤러, CM Guide 위에 장착되는 2개의 회전 브러쉬 등으로 구성된다. 브러쉬의 개폐 동작에는 RC 서보모터를 사용하였고, CM Guide의 회전 및 브러쉬의 회전에는 DC 모터를 사용하였다.

2.2 제어 시스템

2.2.1 제어 시스템의 구성

애자 청소 제어 시스템은 그림 2와 같이 크게 호스트 제어 시스템과 로컬 제어 시스템으로 구성된다. 호스트 제어 시스템은 윈도우즈 기반의 휴대형 PC (랩톱 또는 PDA)와 무선 랜 카드로 구성되어지며, 애자 청소 로봇을 원격으로 제어 감시하는 역할을 한다. 로컬 제어 시스템은 Atmel사의 마이크로컨트롤러인 Atmega128을 이용하여 구성되는 임베디드 시스템으로 애자 청소로봇에 직접 장착되어 로봇을 직접 제어하며, 로봇이 처리하는 I/O를 모니터링 하는 역할을 한다. 호스트 제어 시스템은 로컬 제어 시스템과 무선 랜을 통해 데이터를 주고 받는다. 호스트 제어 시스템은 사용자 MMI를 통해 입력된 사용자 요구에 따라 로봇 이동 알고리즘과 청소 알고리즘에 따른 로봇 언어를 생성하고, 로컬 제어 시스템에 무선 랜을 통해 생성된 일련의 로봇 언어를 전송하며, 로컬 제어 시스템으로부터 로봇의 운전 데이터 등을 전송받아 관리한다. 로컬 제어 시스템은 리미트 스위치 상태 등으로부터 취득한 I/O 상태를 고려하여 호스트 제어 시스템으로부터 전달된 로봇 언어를 수행한다.



〈그림 2〉 제어 시스템의 구성

〈표 1〉 애자 청소 로봇에서 처리해야 하는 I/O 포인트 수

타입	I/O 종류	I/O				통신 포트	계
		AI	DI	DO	R/C		
내장애자장치용		7	21	26	14	1	69
협수애자장치용		6	23	19	12	1	61

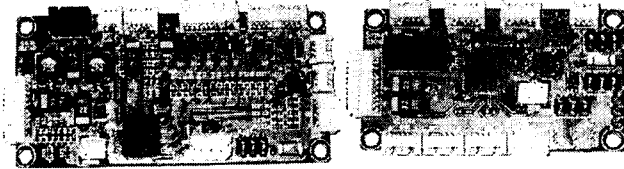
2.2.2 로컬 제어 시스템

로컬 제어 시스템의 설계 개념은 로봇 기구부에 장착할 수 있으면서도 로봇의 무게를 최소화할 수 있도록 소형 경량이어야 하며, 약 70 개의 I/O 포인트를 처리할 수 있어야 하고, 로봇 기구부의 장착을 용이하게 하기 위하여 분산 처리 모듈로 구성하는데 있다. 로컬 제어 시스템에서 처리해야 하는 I/O 포인트 수는 표 1과 같다. 표 1에서 AI는 로봇 제어기의 전원인 배터리 전압과 애자 점검용 신호 측정용 아날로그 입력을 의미하고, DI는 각종 리미트 스위치 입력용 디지털 입력을 나타낸다. DO는 디지털 출력으로 모듈에 전원을 공급하는 스위치용과 DC 모터 구동용으로 이용되어진다. DC 모터 구동용으로 사용되는 DO의 경우에는 3채널을 이용하여 4단계의

모터 속도와 모터 회전방향을 제어한다. R/C는 RC 서보 모터 구동용PWM 출력으로 로봇 기구부에서 채용한 RC 모터 제어를 담당한다. 표 1의 I/O 포인트를 수용하기 위해서는 I/O 포인트의 특성과 위치에 맞게 분산 시킬 필요가 있다. 본 논문에서는 3개의 마이크로컨트롤러를 채용하여 그림 2에서 보는 바와 같이 한 개의 마스터 제어기와 2개의 슬레이브 제어기 등으로 구성되는 로컬 제어 시스템을 설계하였다. 로컬 제어 시스템은 마스터 제어기, 슬레이브 제어기, DC 모터 제어 모듈, 무선 랜 제어기, 애자 감시 모듈 등으로 구성된다. 마스터 제어기와 슬레이브 제어기 간의 인터페이스는 별도의 I/O 추가를 필요로 하지 않는 시리얼 통신(RS-485)을 통해서 서로의 데이터를 주고받는 구조를 취하도록 하였다. 로컬 제어 시스템의 각 제어기에서 수용하는 I/O 수를 나열하면 표 2와 같다. 표 2에서는 로컬 제어 시스템을 내장 애자련과 현수애자련에 대해 겸용으로 사용하기 위해 I/O 포인트가 추가되고, 로컬 제어 시스템의 구성상 제어기간 통신 필요성으로 인해 각 모듈의 통신 포트가 추가되었다. 마스터 제어기는 호스트 제어 시스템과의 무선 통신을 통해서 커맨드와 데이터를 주고 받으며, 별도의 I/O를 처리하고, 시리얼 통신을 통해서 슬레이브 제어기들을 감시 관리하는 기능을 담당하는 일종의 임베디드 모듈로, 로컬 제어 시스템의 전원인 배터리 모듈의 전원 감시와 애자 진단용의 아날로그 입력 처리와 현수/내장 여부 파악하여 그에 따른 프로그램 수행, 전원 스위치 관리 등을 담당한다. 또한 호스트 제어 시스템으로부터 무선 랜을 통해 받은 커맨드 중 슬레이브 제어 담당 로봇 언어는 필터링하여 슬레이브 제어기에 전송한다. 슬레이브 제어기는 마스터 제어기와의 시리얼 통신을 통해 커맨드와 데이터를 주고 받으며, 모터 제어와 리미트 스위치 모니터링 등의 역할을 담당하는 임베디드 모듈이다. 그림 3은 마스터 제어기와 슬레이브 제어기의 모듈 외관을 보여준다.

〈표 2〉 로컬 제어 시스템의 각 모듈에서 수용하는 I/O 수

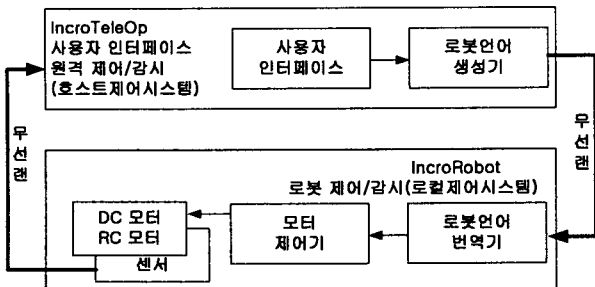
	AI	DI	DO	R/C	통신포트	계
마스터	7	4	4	1	2	18
슬레이브1	-	11	12	7	1	31
슬레이브2	-	10	12	7	1	30
계	7	25	28	15	4	79



〈그림 3〉 마스터 제어기와 슬레이브 제어기

2.2.3 응용 소프트웨어의 구성

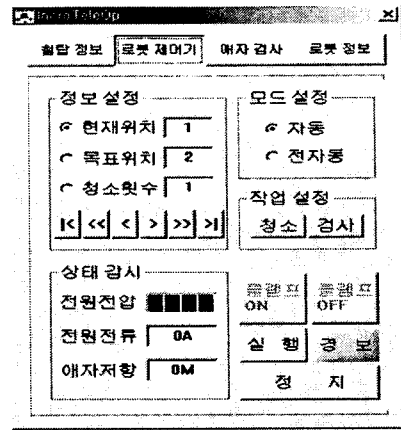
애자 청소 로봇 제어 소프트웨어는 그림 4와 같이 크게 호스트 제어 시스템에 설치되어 사용자 인터페이스와 실시간 로봇 원격 제어 및 감시 기능을 수행하는 IncoTeleOp 소프트웨어와 로컬 제어 시스템에서 설치되어 로봇을 직접 제어하는 IncoRobot 소프트웨어로 구성되어진다. 그림 5는 사용자 인터페이스 화면을 보여주고, 표 3은 애자 청소 로봇 제어시스템에서 채용하고 있는 로봇 언어의 예를 보여준다.



〈그림 4〉 제어/감시 소프트웨어 구성

2.3 실험

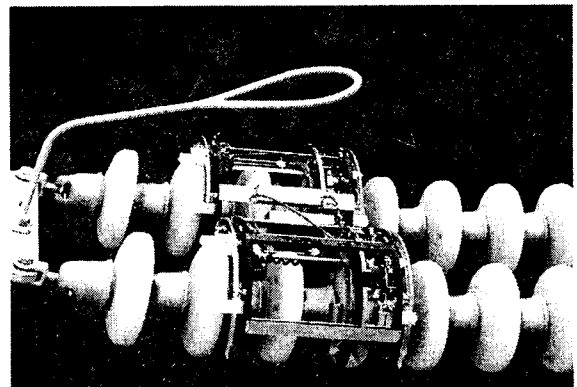
앞 절에서 기술한 제어 시스템을 구현하고, 전력연구원의 모의 철철에서 로봇 이동 및 청소 매커니즘 시험을 수행하였다. 그림 6은 모의 철철에서 청소를 하면서 내장 애자련을 타고 이동하는 로봇의 모습을 보여준다. 지상의 호스트 제어 시스템에서의 사용자 인터페이스를 통해 생성된 명령에 따라 로봇이 이동 및 청소 매커니즘을 잘 수행함을 확인할 수 있었다.



〈그림 5〉 사용자 인터페이스 화면

〈표 3〉 애자 청소 로봇 제어 로봇 언어 요약

로봇 언어	설명	Command
clampfixopen	고정부 클램프 열기	303
clampfixclose	고정부 클램프 닫기	304
clampmovopen	이동부 클램프 열기	305
clampmovclose	이동부 클램프 닫기	306
moveposup	이동부 상단 이동 또는 고정부 move down	307
moveposdown	이동부 하단 이동 또는 고정부 move up	308
brusharminsert	브러쉬 펴기	311
brusharmretract	브러쉬 접기	312
brushrotun	브러쉬 회전 동작/정지	313
brushrotstop	브러쉬 회전 정지	314
cmgrotccw	CMGuide Inward 90°회전	315
cmgrotcw	CMGuide Outward 90°회전	316
proberotinsert	검사봉 펴기	318
proberotretract	검사봉 접기	319



〈그림 6〉 내장 애자련에서의 로봇 시험

3. 결 론

본 논문에서는 애자 청소 로봇 제어를 위해 약 70 개의 I/O 포인트를 처리하면서, 로봇에 장착되기 위해서 소형 경량이어야만 요구조건을 만족시키는 제어 시스템 구성을 제안하였다. 또한 제안한 제어 시스템을 구현하고, 실험을 통해 제안한 제어 시스템의 효용성을 확인하였다.

후 기

본 논문은 산업자원부 전력산업연구개발사업에 의하여 개발 중인 송전선로 활선 애자 청소 및 점검용 자동화 시스템 개발에 관한 기술개발 결과임.

〔참 고 문 헌〕

- [1] "송전선로 활선 애자청소 및 점검용 자동화 시스템 개발", 중간보고서, 전력연구원, 2005