

국내외 배전 활선작업 Manipulator 적용현황

김재훈, 김승호*, 김대식**, 박강식***, 이흥호, 한상욱
충남대학교, 한국원자력연구원*, 한국전기공사협회**, 대덕대학***

Applying Cases of Manipulator for Live Working on Internal and External Distribution Lines

Jae-Hoon Kim, Seung-Ho Kim*, Dae-Sik Kim**, Kang-Sik Park***, Heung-Ho Lee, Sang-Ok Han
Chungnam National University, KAERI*, KECA**, Daeduk College***

Abstract - Nowadays, economical and social environments are changing to the type of an advanced country for development of techniques in power industry. So most of workers are recently avoiding the 3D works and asking for safety of working environment, etc. in highly dangerous parts such as hot line working on distribution lines, especially. Therefore, most advanced countries are using the support-arm or robotic systems on distribution line works for securing the construction reliability, economical feasibility and protection of linemen from the electric shock and so forth. In special Japanese electric power companies are using the robotic system named manipulator.

In Korea, a support-arm has been developed for safety and facility in live working on distribution lines but not widely supplied.

In this paper we will introduce development cases of support arm and manipulator robot for live working on distribution lines.

1. 서 론

송배전선로는 국가 기간설비의 하나로써 그 중요성이 매우 크며 이러한 중요 설비의 원활한 선로운전을 위한 유지보수작업은 필수적이다. 우리나라의 사회구조가 선진국형으로 변화되면서 고품질의 전력수요 공급을 위하여 배전선로의 활선작업의 필요성은 매우 커지고 있다. 최근 배전선로 유지보수작업에 있어 활선작업은 일반화되어 있으며, 대부분의 전력회사에서는 전력공급 신뢰도 확보 및 무정전 공급을 위해 활선작업에 의한 유지보수를 선호하고 있다. 이와 같은 활선작업은 무정전 측면에서는 좋으나 활선을 직접 접촉하여 작업을 하는 관계로 매우 위험성이 크며 작업자는 약간의 부주의로 인한 사고로 인명손실 및 부상 등을 당할 우려가 있다. 따라서 이러한 문제를 해결하지 않고서는 작업환경의 위험성으로 인해 작업자의 확보가 어려워 질 수 있으며, 작업 기피현상도 우려된다. 이러한 위험성을 줄이거나 방지하기 위한 방안의 일환으로서 이미 일부 선진국의 경우에는 간접활선작업용 활선작업 공구의 일종인 보조암이나 활선작업용 로봇을 개발하여 활용하고 있다. 이러한 장비는 작업자를 대신하여 위험한 작업을 수행하거나 작업자를 보조해주는 역할을 하며 위험상황으로부터 작업자를 보호하게 된다. 그러나 이러한 장비는 현재로서는 가격이 매우 고가이어서 전기공사업체가 활용하기에는 다소 부담스러운 상황이기 때문에 실질적으로 이러한 로봇의 활용이 쉽지 않다.

국내외의 경우 과거 배전선로 활선작업을 위한 로봇시스템 개발을 추진하여 왔으나 외국으로부터 기술도입을 통하여 그대로 활용하기에는 우리나라의 선로 및 선로환경

에 적합하지 않으며 또한 막대한 개발비, 개발 후 경제성 등으로 개발되지 못한 실정이다.

그러나, 최근 전기공사협회와 한전전력연구원, 한국전기연구원 등에서 활선작업 시 작업자를 보조해 줄 수 있는 보조암 및 공구류를 개발한 전례가 있으며, 한국원자력연구원과 한전전력연구원을 중심으로 배전선로 활선작업을 위한 매니플레이터(manipulator) 로봇 개발에 대한 연구가 가속화되고 있다.

본 연구에서는 현재 일본, 스페인, 미국 등과 같은 선진국과 국내외의 활선작업용 로봇시스템의 개발현황 및 사례에 대해서 조사 및 분석을 수행하였다.

2. 본 론

2.1 배전선로 활선공법의 종류

2.1.1 직접활선공법

직접활선공법은 간접활선공법의 단점을 보완하기 위하여 그리고 초창기 배전전압이 낮은 경우에 적용된 방식으로 작업자가 대지로부터 절연된 활선작업용 버켓트럭(bucket truck)을 타고 활선 상태에 있는 전선을 직접 고무장갑이나 고무장구를 이용하여 작업하는 공법이다. 이 공법은 작업이 용이하고 특히 작업시간을 매우 단축시킬 수 있어 작업현장에서 선호되고 있지만 항상 섬락에 대한 위험이 크다는 것이 큰 단점이 되고 있다.

직접활선공법으로 이루어지고 있는 배전공사의 종류로는 직선점퍼선 연결, 분기점퍼선 연결, 편에자 및 완금교체, 개폐기신설 및 교체, COS교체, 인하선 신설, 할입주신설, 장주변경 피뢰기신설 및 철거 등을 들 수 있다.

직접활선공법은 대지로부터 절연된 버켓을 타고 전압이 인가되어 있는 활선을 직접작업을 하는 관계로 작업자의 부주의에 의한 사고의 위험성이 매우 크다. 이에 따라 활선작업시에는 작업자의 숙련된 기술을 요구하며, 나아가 관련 장비의 전기적인 절연성능이 매우 중요하다.

2.1.2 간접활선공법

간접활선공법은 작업자가 전기적으로 절연된 공구(hot-stick) 또는 장비를 이용하여 활선으로부터 일정한 거리를 유지한 상태에서 작업하는 방식으로서 안전성은 있으나, 작업시간이 길게 소요되는 것이 큰 단점이다. 배전선로 작업 중 간접활선공법으로 이루어질 수 있는 작업은 전주교체작업, 현수재교체작업, 완금교체작업, 특고압편에자교체, 분기점퍼선절단연결 등의 작업이 있다. 간접활선작업은 많은 작업인원이 필요하고 작업소요시간이 과다하게 걸리는 문제점이 있으나, 활선작업차가 진입하지 못하는 좁은 현장에서는 다소 효과적인 방법이라고 할 수 있다. 이러한 장비로서 홀드암(hold arm), 미케니컬암(mechanical arm), 로드밸런스암(load balance arm), 슈퍼암(super arm) 등의 외팔형 매니플레이터와 양팔형 활선작업용 로봇인 매니플레이터(manipulator)가

있다. 본 논문에서는 로봇형 매니플레이터의 개발 및 현황에 대해서만 언급하도록 하겠다.

2.2 배전선로 활선작업용 매니플레이터

매니플레이터(manipulator)는 미국, 캐나다, 일본, 스페인 등과 같은 일부 선진국에서 선로를 유지보수하기 위해 개발되어진 로봇시스템으로서 기동차(機動車)라고도 하고 로봇이라고도 하며, 활선작업용 매니플레이터의 구동 방식에는 크게 전동구동방식과 유압구동방식이 있다. 다음은 각 국가별 양팔형 로봇 매니플레이터의 개발현황 및 사양을 보여준다.

2.2.1 미국

1979년 미국에서는 EPRI(Electric Power Research Institute)와 Schilling Robotics社가 TOMCAT(Teleoperator for Operations, Maintenance, and Construction using Advanced Technology)이라 불리는 활선작업용 로봇을 처음으로 개발하였다. 이 TOMCAT은 절연 버켓 트럭, 7자유도의 매니플레이터와 비전(vision) 시스템으로 구성되어 있다. 그림 1은 TOMCAT을 이용한 활선작업을 보여주고 있다.

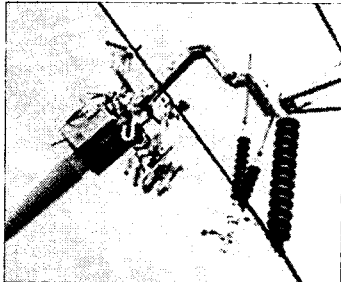


Fig 1. TOMCAT System(USA)

2.2.2 스페인

스페인의 경우 1995년 Polytechnic University of Madrid에서 ROBTET(ROBot para Trabaois En Tension)이라 불리는 활선 유지보수 작업용 매니플레이터를 개발했다. 스페인의 배전계통전압은 46kV로써 우리나라를 포함하여 다른 나라의 계통전압에 비해 높기 때문에 매니플레이터의 절연성능 또한 높게 설계되었다.

그림 2에서 ROBTET을 이용한 활선작업이며, 표 1은 ROBTET의 주요 사양을 나타내고 있다.

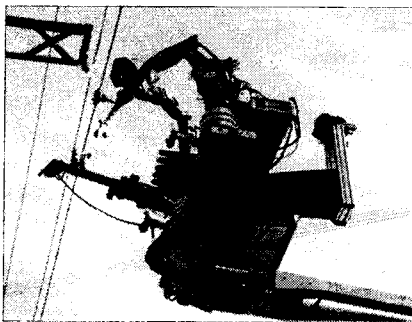


Fig 2. ROBTET System(SPAIN)

주요 구동부	2팔, 6 자유도
	팔 중량 60kgf
	선단지지하중 45kgf
로봇 조종부	유압구동방식
	지상 차량내에서 조작
	원격 및 자동제어
절연성능	스크린상에서 작업
	볼 69kV
구동방식	보조지브 49kV
	유압구동방식

2.2.1 일본

가. 구주전력(KEPCO)

일본에서는 1980년대 초부터 위험작업을 대신할 수 있는 배전선로 활선작업용 로봇(또는 기동차)을 개발하기 시작하였는데, 구주전력(Kyushu Electric Power Company)의 경우에는 일본의 Yaskawa Electric社와 공동으로 Phase I, Phase II로 구분하여 단계별로 로봇을 개발하여 활용 중에 있으며, 현재 Phase III를 개발하고 있다. 1985년에 개발된 Phase I은 버켓 내에서 조종하는 방식이며 전동/유압혼용 구동방식을 사용하고 있고, 1992년 개발된 Phase II는 지상에서 조작하는 방식으로 전동구동방식이다. 그림 3~5는 각 Phase I, Phase II, Phase III를 보여주고 있으며, 주요 사양은 표 2와 같다.

나. 동경전력(TEPCO)

동경전력(Tokyo Electric Power Company)은 지난 1984년부터 개발에 착수한 후 원격제어형과 조작실내에서 스크린을 통해 조작하는 2가지 형태의 실험용 시스템을 개발하여 각종 실험을 통해 실용 가능한 시스템을 개발하게 되었다. 주요 사양은 표 3과 같다.

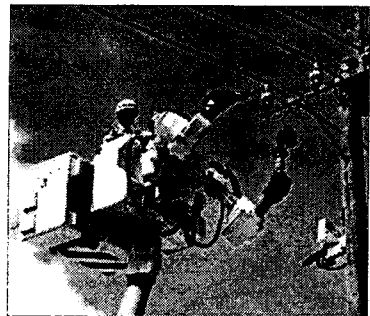


Fig 3. Phase I (KEPCO in Japan)

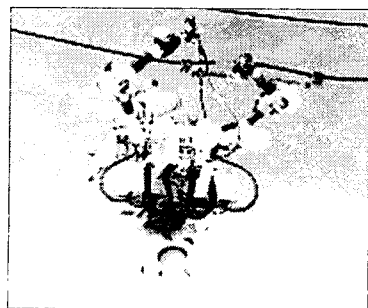


Fig 4. Phase II (KEPCO in Japan)

Table 1. Specific of ROBTET System

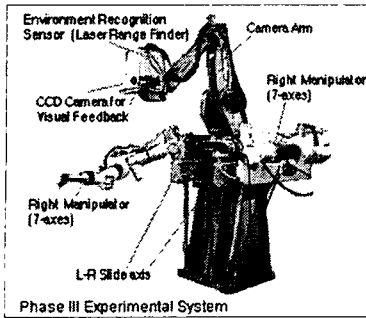


Fig 5. Phase III(KEPCO in Japan)

Table 2. Specific of Phase I and Phase II

구분	Phase I	Phase II
로봇의 주요 구동부	2팔, 7자유도	2팔, 7자유도
	팔 추가 불가	팔 추가 가능
	팔중량 110[kgf]	팔중량 85[kgf]
	특수모터 사용	특수모터 사용
	전동/유압식 혼용	전동식
로봇 조종부	버킷 내에서 조작	지상의 차량내에서 조작
	원격제어	원격 및 자동제어
	Joystick 또는 Master/Slave 조작	Joystick 조작
	작업자 육안확인 작업	스크린상에서 작업
절연성능	주수시 6kV 건조시 13kV	주수시 6kV 건조시 22kV
공구 탈착부	작업자가 수동교환	공구 자동교환 자동 자재 운반
작업자	3인 소요	2인 소요

Table 3. Specific of Manipulator of TEPCO

조작방식	·Master/Slave 조작방식 ·조이스틱 조작방식
전기절연성능	·절연암부와 매니플레이터 각부 - 건조시 20kV/1min - 주수시 10kV/1min ·조작실 또는 Cabin - 13.8kV/5min
조상능력	200 [kgf]
탑재차량	3.5톤
구동방식	유압구동방식
자유도 수	6 자유도
팔끝단부 이동하중	30 kgf
암중량	65 kgf/본
암길이	약 1,300 mm

3) 기타

이외에도 일본의 중부전력, 관서전력, 북해도전력, 간사이전력 등과 같은 전력회사에서 자체적으로 개발한 매니플레이터를 사용하고 있다. 표 4는 이상과 같은 일본의 각 전력회사에서 개발한 활선작업용 로봇의 개발 및 적용 현황에 대해 총괄적으로 보여 주고 있다.

Table 4. A Kind of Manipulator in Japan

구분	로봇 형식	로봇 적용 시공분야
구주 전력	·전동식 및 유압식 혼용 ·사람이 탑승하여 조작	·전선철단, 파지 및 피복 제거 등 ·접속속리보 삽입 ·접속속리보 삽입 및 압축 작업 ·기타 활선작업 관련 분야
동경 전력	·전기구동 및 유압방식 ·사람이 탑승하여 직접 조작 ·수평 및 수직이동가능 ·차량탑재형 ·작업인원 3명 소요	·전선철거 및 애자철거 ·개폐기 설치 및 피복 탈피 ·분기선 취부 ·분기슬리브압축
중부 전력	·전기구동방식 ·원격제어 가능 ·1인 작업	·대부분 배전선로 활선작업
관서 전력	·전기구동 및 유압방식 ·사람이 탑승하여 조작 ·수평 및 수직이동 ·작업인원 3명 소요	·전선 파지 및 절단 작업 ·개폐기 설치 및 피복 탈피 ·전선 연결 및 슬리브 설치작업
북해도 전력	·수동식 및 유압식 ·2개 관절부	·점퍼선 및 인화선 등 파지 ·바이패스 케이블류 설치 및 분리 ·고압 핀애자 교체시 전선파지

3. 결 론

본 연구에서는 배전선로의 무정전 활선작업에 대한 국외 자료조사를 통하여 활선작업에 이용되고 있는 보조장치 및 매니플레이터에 대해 살펴보았다. 선전국의 경우 경제성 확보, 전공인력 감소에 대한 대책방안, 작업의 위험성 탈피 등의 목적으로 이러한 간접적인 활선작업을 추진하여 왔으며 현재는 일반화된 기술로서 많은 작업내용을 활선작업으로 추진하고 있는 실정이다. 특히, 배전선로뿐만 아니라 송전선로 유지보수를 활선작업에 의해 수행하고 있다.

이에 반해 국내의 경우 배전선로의 활선작업은 간접활선작업보다 직접활선작업을 통해 이루어지고 있으며 활선작업을 위한 로봇 및 공구에 대한 개발은 활발하지 않은 실정이다.

따라서, 국내에서 활선작업용 로봇개발을 통하여 국내 환경에 적합한 국가 기간산업시설인 송배전선로의 유지보수 기술을 보유하여야 하며 이를 통해 국가 선로 및 전력공급의 신뢰성을 확보해야 할 것이다. 또한, 활선작업에 의한 유지보수를 통하여 전력의 품질을 향상시킬 수 있고 작업자의 안전성을 확보하여 대형사고 방지에 따른 유지보수비 절감이 가능토록 조속한 활선작업용 로봇의 개발이 이루어져야 할 것이다.

본 논문은 산업자문부에서 시행하는 전력산업연구개발 사업의 지원으로 수행된 논문입니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이형권, 김효진, "활선작업시 보조암을 이용한 감전사고 저감대책", 대한전기학회 학술대회, 2000.
- [2] 이형권, 김효진, "배전선로 활선작업용 보조암 개발", 대한전기학회 하계학술대회, 2002.
- [3] 이형권, 김효진, "배전선로 활선작업 보조용 작업암 및 관련공구 개발", 대한전기학회 하계학술대회, 2004
- [4] "배전선로 활선작업용 보조암 개발", 한국전력공사, 2001
- [5] Lynne E. Parker, "Robotics Applications in Maintenance and Repair", Handbook of Industrial Robotics, 2nd Edition, 1998
- [6] Yoshinaga Maruyama, "A Hot-Line Manipulator Remotely Operated by the Operator on the Ground", IEEE, pp 437-444, 1993
- [7] Nakashima, "Application of Semi-Automatic Robot Technology on Hot-Line Maintenance Work", IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp 843-850, 1995