

## 송배전선로의 자동화 공법 기술방향 수립에 관한 연구

김승호, 김창희, 조재완, \*김효진, \*김대식, \*\*한상욱  
한국원자력연구소 원자력로봇랩, \*한국전기공사협회, 기술경영연구소, \*\*충남대학교 전기공학과

### An investigation for developing the automation techniques of power transmission/distribution lines

Kim Seung-ho, Kim Chang-Hoi, Cho Jai-Wan, \*Kim Hyo-Jin, \*Kim Dae-Sik, \*\*Han Sang-Ok  
KAERI, \*KECA, \*\*Chungnam National University

**Abstract** 송배전선로 자동화 공법과 관련한 일반적인 기술들이 이미 선진외국에 의해 많이 개발되었으나 선로 구성 및 지형적 특징으로 인하여 외국으로부터 기술도입을 통하여 그대로 활용하기는 어려운 실정이다. 본 연구에서는 송배전선로의 자동화 공법 기술개발 방향수립을 위하여 송배전 작업 현황 및 선진외국의 송배전 자동화 작업 신공법 기술동향을 분석하고 작업자의 안전과 직접적으로 관련이 있는 송배전 활선 작업 현황을 조사하였다. 또한 국내의 활선작업용 로봇 개발 및 적용현황을 조사 분석하고 활선작업용 로봇 개발을 위한 요소기술을 검토하였다. 이를 통하여 국내 적용 가능한 활선작업 신공법의 적용방안을 제시하였다.

#### 1. 서 론

우리나라는 경제 활성화를 위한 설비투자, 공공 기반 시설 투자, 주택 보급률 증대 등으로 전력 수요가 지속적으로 증대하여 2005년에는 5,185 만 kW의 전력 최대 수요가 예측되며 이러한 전력 수요는 향후 10년 후에는 6,700 만 kW에 이를 것으로 전망된다. 이러한 전력수요를 충당하기 위하여 2015년까지 2,137 만 kW의 발전설비를 준공할 계획이다.

국내의 전력 계통은 설비의 효율 향상과 기술의 고도화로 단위의 발전 용량이 1,300 MW 급으로 대용량화 되었으나 발전시설의 입지 확보 문제로 대용량 발전 단지는 주로 동남/서남 해안에 편재되어 있다. 국내 전력 수요의 42%가 경인지역에 집중되어 있고 하절기 냉방 수요가 약 1,100 만kW 수준으로 최대 수요의 약 20%를 점유하여 지역별 계절별 수급 불균형으로 전력계통의 대전력 수송이 불가피하다. 또한 송전계통망의 초고압화에 의하여 대용량 발전력 탈락시 전체 전력 계통의 불안정이 파급 확대되어 전기품질 저하 및 광역 정전 발생이 우려되어 전력 계통 운영에 탄력성이 부족한 형편이다. 이러한 국내 전력 수요의 증가와 전력 계통 운영의 안정성 향상을 위하여 송배전 설비 공사의 수요도 증가할 것으로 전망된다.

그러나 토지 이용의 고도화 및 민원 문제 해소의 어려움이 심화되고 환경 보호에 대한 요구 증대 및 관련 법이 강화되고 사회적으로 인구의 노령화에 따른 숙련된 작업자의 확보가 어려워지고 있다. 또한 세계 경제의 복잡화 및 세계를 상대로 경쟁력 우위 확보를 위한 기술 개발 필요성 심화 등 송배전 선로 공사 분야의 주변 환경이 변화되고 있다. 이러한 변화에 능동적으로 대처하기 위한 기술 개발이 시급하게 요청되고 있는 실정이다.

#### 2. 송배전 작업의 신공법 기술동향

국내 송배전선로는 한국전력 단일 회사에 의해 운영되고 있으나 송배전선로 관련 기술개발에 대한 적극적인

투자가 이루어지지 못하고 있다. 또한 공사업체의 경우 송배전선로 건설시장이 크기 않고 시공 기술 개발에 투자할 경제적, 인적 여력이 없기 때문에 송배전 선로 관련 기술 개발이 저조하였으나 국내의 송배전선로 공사 기술은 765 kW 초고압 송배전선로의 건설을 계기로 철탑규모가 커지고, 조립식 가선공법 도입에 따른 신장비 도입, 새로운 시공법 등이 적용되어 장비나 공구관련 기술개발이 활발하게 추진되고 있다. 이러한 기술개발 동향은 관련 특허 출원 현황에도 그대로 반영되어 그림 1에서 나타난 것과 같이 90년대 후반 이후 송배전선로 관련 특허가 매년 증가되고 있으며 특히 송배전선로의 경우는 765kV 송배전선로 공사를 수행하면서 송배전선로 관련 특허가 출원되고 있다. 03년도의 특허 등록 건수가 줄어든 것은 심사 진행 중인 출원건수를 포함하기 않았기 때문이다. 출원인별 특허등록 현황은 국내 독점적인 전력회사인 한전이 최대 출원인이며, 공공기관이나 학교의 경우 전체 출원건수가 15건으로 공공기관의 송배전선로 공법에 대한 연구가 활발하지 못한 것으로 판단된다.

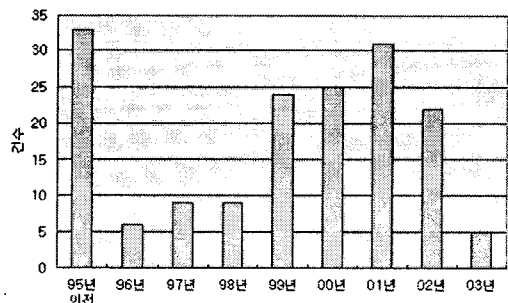


그림 1. 연도별 특허출원 현황

송배전분야 설비공사는 송배전선로를 건설하기 위해 필요한 각종 시공기술을 의미하는 것으로서, 철탑기초공사, 가선공사, 송전선로 자재 운반 공사, 케이블 포설 및 접속 공사 및 송배전선로 유지보수 등을 포함하고 있다. 이러한 공사 분야 중 현재의 기술 수준을 고려할 때 자동화가 가능하고 시급하게 요구되고 있는 분야는 선로 유지보수 분야이다. 표 2, 3의 에 나타난 것과 같이 선로 유지보수를 위한 특허가 가장 높은 비율을 차지하고 있다.

송배전선로 기술개발은 국가별로 철탑규모, 시공방법, 사용장비 및 공구, 공사환경 등의 특성이 상이하여 다양하게 이루어지고 있다. 미국이나 유럽의 경우와 같이 평활한 지역과 일본과 같이 산악지에 건설하는 경우 건설 환경이 완전히 다르기 때문에 개발되는 기술에도 차이가 있다.

표 1. 송전선로 관련 주요 특허 내용

기술 분야	주요 내용
공사비 절감공법 및 저비용 고품질 확보 기술 (5건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>스페이서 댐퍼</li> <li>가선재의 시험편 제작방법</li> <li>불량애자 교체기</li> </ul>
안전대책 기술 (2건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>주야간 항공장애 표시구</li> </ul>
전기공사 및 유지보수 신공법 (26건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>가공송전선로 고장정보 수집 시스템</li> <li>송전선로 진단방법 장치</li> <li>차단기의 투입 및 제어방법</li> </ul>
첨단기술 활용 장비, 공구류 (7건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>송전탑 경과지 설계 시스템</li> <li>송전선로의 자동 복구 방법</li> <li>사고 전류 제한기</li> </ul>

표 2. 배전선로 관련 주요 특허 내용

기술 분야	주요 특허내용
공사비 절감공법 및 저비용 고품질 확보 기술 (19 건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>가선장치</li> <li>접지공법</li> <li>케이블 행어</li> </ul>
배전선로 활선공법 기술 (26건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>가공지선 교체방법</li> <li>전주내 전선이선기구</li> <li>절연봉, 애자 세척 방법</li> </ul>
환경친화형 공법 (8건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>환경친화형 전주</li> <li>조류퇴치 및 유도</li> </ul>
안전대책 기술 (4 건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>수평이격거리 측정</li> <li>전주작업용 받침판</li> </ul>
유지보수 신공법 개발 (66건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>지락사고 검출장치</li> <li>고장 구간 원격감시방법</li> <li>개폐장치</li> </ul>
첨단기술 활용 장비, 공구류 개발 (13건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>계통 관리 시스템</li> <li>배전자동화용 단말측정장치</li> </ul>

프랑스, 독일 등에서의 송전선로 공사는 비교적 평평한 대지에서 이루어지며, 그 외의 유럽지역은 우리나라와 유사한 공사 환경을 지니고 있으며 기술력이 뛰어난 유럽지역은 기술력을 바탕으로 공사에 필요한 중장비, 공구류 등의 개발이 앞서 있고, 공사의 기계화가 일찍부터 발달되었다. 일본의 송전선로 공사기술은, 다른 나라와는 달리 작업자의 노령화, 시공환경 열악성, 시공의 효율성 등에 대해 송전선로 시공분야에 있어 연구개발을 활발하게 진행하고 있다.

외국의 송배전 선로 신공법을 조사하기 위하여 유럽특허청이 생성하여 관리하는 INPADOC(International Patent Document File)의 데이터를 검색하였다. 국가별로는 북미가 최대 출원국(미국: 111 건, 캐나다: 15 건)이며 아시아의 경우 일본 19 건, 중국 25 건, 한국 4 건이 출원되어 있다.

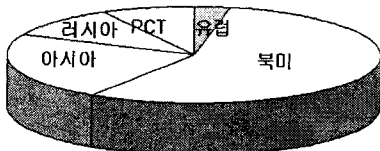


그림 2. 지역별 출원현황

3. 송배전 활선작업 신공법 기술 현황

활선작업은 국내에서는 1962년 직접활선공법이 도입되었으며 고전압에 대한 위험성이 커짐에 따라 간접활선공

법이 실행되고 있다. 특히 배전 선로의 경우 인하선 및 분기점퍼선 연결작업, 교체작업, 애자청소/불량애자검출 등의 다양한 분야에서 활선작업이 수행되고 있다.

송전선로 활선 작업을 수행하기 위하여 '154 kV 변전소 구내 활선작업 방안 연구', '345kV 활선작업에 의한 볼트조임 공법 연구' 등의 연구를 수행한 바 있으며 활선작업 관련 국내 특허 현황은 표 3과 같다.

표 3. 활선작업 관련 특허 출원 현황

기술분류	특허 등록 항목
인하선 및 분기점퍼선 연결작업	고, 저압 위상변환 무정전 바이패스 장치
	변전소 모선용 활선 바이패스 장치
	저압 무정전 바이패스 장치
	3상 주상변압기의 바이패스 결선 방법
	절연케이블을 이용한 활선작업 공법
교체작업	가공지선 교체 방법
	전주내 전선이선기구를 이용한 무정전공법
	무정전 가공지선의 가설 장치
	무정전 공사용 변압기 장치
	배전선로 활선작업용 보조암
	전선로 가지지 장치
	지상형 이동변압기
활선 케이블 장치	
기타 활선작업	활선작업 보조아암용 클램프
	활선 케이블 절연열화 진단 방법 및 장치
	활선 고소작업차의 절연봉 세정 방법
	애자 활선 세척 방법
	전력손실을 줄이는 제어반의 시험 방법
가공지선지지대커버	
배전선로의 가지침 철거용 활선공구	

송전선로와 관련한 활선작업 실적은 거의 없으며 한국 전력의 경산전력소에서 345kV 울주 T/L의 내장애자장치에서 압축클램프 과열개소를 활선작업으로 볼트 조임을 수행한 바 있다.

4. 국내외 활선작업용 로봇 개발 현황 및 개발 방안

우리나라의 사회구조가 선진국형으로 변화되면서 고품질의 전력 수요 공급을 위하여 송배전선로의 활선작업의 필요성은 매우 커지고 있으나 이러한 활선작업은 매우 위험성이 크다. 실제로 국내에서 매년 감전사고로 인한 부상자는 약 천여명이 발생하며 2002년도의 경우에는 87 명이 사망하였다.




일본의 전력회사들은 활선작업의 위험성으로 인해 작업자를 대신하여 작업하거나 작업을 도와줄 수 있는 로봇을 개발하여 활용하고 있다. 일본 전력회사들이 개발한 활선작업용 로봇은 작업자를 보조하는 보조암 형태와 양 팔을 이용하여 작업자가 원격조작에 의하여 활선작업을 수행하는 양팔형 매니퓰레이터로 구분된다. 표 4는 일본의 활선작업용 로봇 개발 현황을 보여준다. 이들 중 구주전력의 활선로봇은 93 대가 현장에서 활용 중인 것으로 보고되어 있다. 또한 스페인의 경우 활선작업용 로봇 Robtet을 개발하였으며 미국도 활선작업용 로봇 Tomcat을 개발하였다.

국내에서는 한국전기공사협회 부설 기술경영연구소에서 활선작업용 보조암을 개발한 바 있다. 외국에서 개발된 활선작업용 로봇을 그대로 활용하기는 어려운 실정이고 우리나라의 선로 및 선로환경에 적합한 활선공법 및 활선작업용 로봇이 개발되어야 한다.

국내 선로환경을 고려한 로봇을 개발하기 위해서는 작업현장에 로봇을 투입하기 위한 현장접근성을 고려가 선행되어야 한다. 또한 활선작업시 공법별 사고확률을

도출하여 이에 대한 대비를 하여야 하며 작업 내용에 따른 로봇의 자유도와 필요 공구에 대한 분석을 수행하고 이러한 기술적 검토를 토대로 시뮬레이션을 통하여 작업 절차에 대한 검증은 수행함으로써 개발기간을 단축시킬 수 있다.

표 4. 일본의 활선 로봇 주요 개발 현황

개발된 로봇	주요 제원	적용 분야
 로드밸런스암	자유도 : 8 본체중량 : 70 kg 절연강도 : 20kV, 취급하중 : 10 kg 작업반경 : 1.920 mm	작업 범위가 넓고 공구 교체가 가능 함에 따라 파지, 절단, 전선압착 등 다양한 작업 가능
 SuperArm2	본체중량 : 70 kg 절연강도 : 20kV, 취급하중 : 10 kg 작업반경 : 1.920 mm	핫스틱의 역할을 대신할 경량형의 다목적용 보조암
 PhaseII	2팔 7 자유도 본체중량 : 85 kg 구동방식 : 전동식 지상 조작 절연강도 : 22 kV	전선 절단, 파지, 피복제거, 접속커버 삽입, 접속 슬리브 삽입 및 압착작업
 동경전력 로봇	양팔 자유도 절연강도 : 10kV 취급하중 : 30 본체중량 : 65 kg 암길이 : 1.3m	전선 절단, 파지, 피박, 연마, 분기 선 취부 및 분기술 리브 압착

이와 같은 기술적 측면이외에도 현장에서의 활용성이 큰 기능을 우선적으로 개발하고 광범위한 분야에의 적용이 가능하도록 다양한 공구의 개발도 병행하여 경제성을 향상시킬 수 있어야 한다. 외국의 개발 사례와 같이 현장 접근성이 어려운 송전선로보다 배전선로를 적용 대상으로 하여 우선적으로 개발하고 향후 송전 분야로의 적용 분야의 확대를 도모하여야 한다.

배전선로의 경우 상용화된 활선차량에 장착된 버킷에 탑재가 가능하도록 로봇을 개발함으로써 개발비용을 줄일 수 있다. 로봇이 작업자를 보조하는 역할이 아닌 작업자의 역할을 대신하여 수행할 수 있기 위해서는 사람과 같이 두 팔로 작업이 가능하여야 하고 1 축 이상의 자유자유도를 가질 수 있어야 한다. 이러한 여유자유도를 가진 양팔형 로봇은 개발비용 및 시간이 증가하는 단점보다 개발 성공 이후의 작업성능 개선, 작업시간 단축, 작업의 융통성 부여 및 향후 적용 범위 확대 등의 얻을 수 있는 장점이 더 많다.

로봇의 활용빈도를 높이고 경제성을 입증하기 위해서는 사용자 위주의 편리성을 추구하여야 한다. 이를 위하여 로봇의 조정은 활선차량에 장착된 지상제어장치에서 수행되도록 하여야 한다. 조작자는 지상에서 로봇의 작업상황을 입체 화면을 통하여 원격현장감을 가지고 작업상황을 감시할 수 있어야 작업 효율을 향상시킬 수 있다. 활선작업용 로봇이 수행하는 동작은 세분하면 몇 가지 동작의 조합과 반복으로 다양한 작업을 수행할 수 있다. 작업 절차의 분석과 분류를 통하여 로봇의 명령어를 설정할 수 있으며 이를 미리 프로그래밍하여 로봇은 프로그램된 내용에 따라 로봇은 자동으로 활선 작업을 수행하고 작업자는 로봇의 작업내용을 원격에서 감시하면서 작업자의 조치가 필요한 경우에만 직접 로봇을 제어토록

하여 작업자의 부담을 덜 수 있으며 작업자의 오작동으로 인한 오류를 미연에 방지할 수 있다. 그림 3은 이러한 개념의 활선작업용 로봇 개념도를 보여준다.

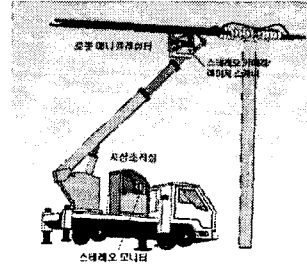


그림 3. 활선작업 로봇 개념도

활선공법이 현재는 배전선로에 대해서만 적용되고 있으나 장기적으로는 초고압 송전선로를 포함한 모든 선로에 대하여 활선공법이 적용될 것으로 전망된다. 따라서 1단계로 배전선로 활선작업을 위한 로봇 및 공구를 개발하고 활선작업 관련 기준, 규정, 지침 등을 정비한 후 개발된 로봇의 실증을 통하여 타당성을 검증하여야 할 것이다. 다음 단계로 154 kV, 345 kV, 765 kV 등의 송전선로에 확대 적용을 위해서는 선로 주변 환경이 배전선로와 상이하기 때문에 현장 접근 방법에 대한 고려가 선행되어야 한다. 현장 접근 이후의 작업 내용은 배전선로 용으로 개발된 로봇의 보안을 통하여 수행이 가능할 것으로 전망된다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 송배전 선로의 신공법 기술현황을 분석하였고 국내 첨단기술을 활용하여 송배전선로의 자동화 공법을 개발하기 위한 활선작업 및 활선작업 로봇에 대한 기술개발 현황을 조사하였다. 외국의 선로 조건 및 환경이 우리나라의 경우와는 매우 다르기 때문에 외국에서 개발된 활선작업용 로봇을 도입하여 활용하기에는 문제가 있으며 기술 도입 방식은 원천기술을 확보하는 데는 한계가 있으며 선진 기술의 종속으로 전락할 수밖에 없어 새로운 공법의 개선이나 발전이 오히려 늦어질 수 있다. 송배전 선로의 자동화 공법은 자체적으로 개발하여야 하며 이를 토대로 더욱 발전시킬 계기를 마련할 수 있어야 한다.

## 감사의 글

본 연구는 한국전기공사협회의 전기공사 시공기술 및 제도 연구지원의 일환으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

- [1] 한국전기공사협회, 초고압 송전선로 활선공법 및 관련 장비 개발을 위한 조사연구, 2002. 7
- [2] 엔티에스, 선진외국의 송전선로 신공법 현황조사 분석 및 국내 적용방안 연구, 2002. 9
- [3] 한국전력공사 중앙교육원, 무정전공법, 2001. 4
- [4] Moriyuki Nakashima et al, "Application of Semi-Automatic Robot Technology on Hot-Line Maintenance Work," IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 843-850, 1995
- [5] L. F. Penin et. al, "Telerobotic system for Live Power Lines Maintenance:ROBTET," Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 2110-2115, Mat 1998