

Technical Feasibility Study on Live-line Maintenance Robot System for Overhead Distribution Lines

가공 배전선로 활선 정비 로봇 시스템의 기술 타당성 검토

Joon-Young Park, Yoon-Geon Lee, Young-Sik Jang
박준영, 이윤건, 장영식

Abstract

The distribution live-line work method is an operation method of working in a state in which electricity flows through overhead distribution lines to minimize inconvenience to electric customers due to power failure. In June 2016, to strengthen the safety of electrical workers, Korea Electric Power Corporation announced that it would in principle abolish the rubber glove method, in which workers wore protective equipment such as rubber gloves and performed their maintenance work. In addition, KEPCO announced that it would develop a short-range live working method using smart sticks and an advanced live-line maintenance robot system where workers work without touching wires directly. This paper is a preliminary study for the development of the live-line maintenance robot system, and deals with the results of analyzing the technical feasibility of whether the live works performed by workers can be replaced by robots or not.

Keywords: Robot, Live-line Maintenance, Distribution Lines, Feasibility Study

I. INTRODUCTION

배전 활선공법은 배전선로에 전기가 흐르는 상태에서 작업하는 공법으로 정전으로 인한 국민불편을 최소화하기 위하여 시행되고 있다. 직접활선공법(Rubber Glove 공법)은 1992년 국내에 최초로 도입된 공법으로 작업자가 활선작업차의 버킷에 탑승하여 고무장갑 등의 보호 장구를 착용하고 직접 작업을 수행하는 공법이다.

한국전력공사는 2016년 6월 작업자의 안전강화를 위하여 직접 활선공법의 원칙적 폐지를 발표하였다. 또한, 이와 함께 작업자가 전선을 직접 만지지 않고 작업하는 '스마트 스틱(Smart Stick) 근거리 활선공법'과 '미래형 첨단 활선로봇공법'을 개발하겠다고 공표하였다. 이 중에서 스마트 스틱 간접활선공법은 2018년 2월에 도입되어 현재까지 현장에서 활용되고 있으며, 간접활선 100% 전환을 목표로 추가 기자재와 공정들을 개발하고 있는 중이다.

배전 활선작업 로봇은 1980년대 중반부터 미국 EPRI의 TOMCAT[1], 스페인 IBERDROLA의 ROBTET[2~4], 일본 규슈전력의 Phase I(원격조작)[5, 6], Phase II(반자동화)[7, 8], Phase III(완전 자동화)[9] 등에 이르기 까지 선진국에서 많이 개발해왔었지만, 당시 기술 수준으로 인해 완전 자동화에는 이르지 못하였었다. 하지만, 최근 로봇 분야뿐만 아니라 반도체, 센서, 배터리 등 부품 소재 분야와 인공지능, 클라우드, 빅데이터 등 ICT 분야에서 눈부시게 기술이 발전함에 따라 인공지능을 이용하는 다양한 로봇 시스템 개발이 가능해졌고, 2020년 6월 중국 국가전망(State Grid)의 Tianjin

Electric Power에서는 세계 최초로 인공지능을 활용하는 배전선로용 활선작업 로봇 Chuangxiang의 개발에 성공하였다[10]. 이 로봇 시스템은 1호기부터 4호기까지 순차적 개발을 통해 성능을 발전시켰으며, Laser Radar 등을 활용하여 작업환경을 3차원으로 재구성하고, 인공지능을 활용하여 시각 인식 및 동작 제어로 구동되며, 자동화된 알고리즘을 사용하여 여러 배전 활선작업을 수행할 수 있다.

국내에서도 2000년대에 들어서면서 한국원자력연구원에서 배전선로 무정전 활선작업용 매니플레이터 로봇을 개발한 사례가 있었으나[11], 기능적 측면과 경제성 측면에서 현장에 도입되지는 못하였다. 한국전력공사는 2022년 1월 9일 안전사고 근절을 위한 특별대책을 발표하였고, 각종 안전 센서, AI 영상, 드론 운영, 로봇 공법을 개발하여 전기공사 현장의 위해 요인을 근본적으로 줄여나가겠다고 공표하였다. 본 논문은 이러한 미래형 첨단 활선로봇공법을 향후 개발하기 위한 사전 연구의 일환으로 국내 가공배전선로 활선작업에 대한 로봇 시스템의 기술적 실현 가능성에 대하여 분석한 내용을 다루고 있다.

II. 로봇 적용 대상작업 선정

본 연구에서 검토한 로봇이 작업을 수행하는 기본 작업환경은 일반적인 특고압 활선 가공배전선로(22.9kV, 높이 10m)로, 로봇이 적용될 대상작업은 배전운영처에서 2021년 10월 20일 새로 제정

Article Information

Manuscript Received June 10, 2022, Accepted September 16, 2022, Published online December 30, 2022

The authors are with KEPCO Research Institute, Korea Electric Power Corporation, 105 Munji-ro Yuseong-gu, Daejeon 34056, Republic of Korea.

Correspondence Author: Jintae Cho (jintae.cho@kepcoco.kr)



This paper is an open access article licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public License.

To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>

This paper, color print of one or more figures in this paper, and/or supplementary information are available at <http://journal.kepcoco.kr>.

한 “간접활선 표준작업절차서(H0-배전-절차-0061)”를 기준으로 로봇을 활용한 작업 구현성 평가를 수행하였다.

본 연구에서는 상기 간접활선 표준작업절차서를 기준으로 배전 간접활선 표준작업의 공종별 분석을 통해 작업 필수동작과 필요공구를 선정하고 동작별 구현 가능여부를 평가하였다. 간접활선 표준작업절차서 대상 작업은 Table 1과 같은데, 이 중에서 “5. 기계화 공간확장 장비사용 공종”의 경우 본격적인 작업에 앞서 작업자가 기계화 공간확장 장비인 ‘승강구동장치’와 ‘독립형이선장치’를 전주에 직접 조립 및 설치해야 하기 때문에 로봇공법에 활용되기에는 적합하지 않다고 판단되어 분석대상에서 제외하였다. 대신에 동일한 공종들이 활선용 완철 장비를 사용하여 수행될 수 있으므로, 로봇 활용 공법에 적합한 “6. 활선용 완철 장비 사용 공종”에 중점을 두고 분석을 수행하였다.

각 활선작업 공법에 대한 공종 분석 방법은 우선 작업절차 흐름도를 바탕으로 세부작업 절차 별로 필수동작, 필요공구 및 작업대상물을 분석하였고 로봇을 활용할 경우 작업 구현 가능여부를 로봇 동작 별로 「1(低)~5(高)」의 5단계 난이도로 구분하여 평가하였다. 여기서, 난이도 수치는 로봇이 수행하는 동작 간의 상대적인 난이도를 나타낸다. 각 공종 분석 결과물은 취합하여 향후 활선 로봇과 선단공구의 기능 및 요구조건을 도출하기 위한 기반 데이터로 사용될 수 있다.

III. 로봇구현성 평가 위한 공종 분석 사례

본 연구에서는 Table 1의 표준작업 공종 중에서 기계화 공간확장 장비사용 공종을 제외한 총 14종에 대하여 로봇으로 구현가능한지를 분석하여 평가하였다. 각 활선공법에 대한 공종 분석 방법은 먼저 현행 작업 절차에 따라 작업자가 수행하는 세부내용을 살펴보고, 로봇으로 대체하기 위하여 필요한 로봇의 필수 동작, 필요

TABLE 1
간접활선 표준작업절차서 대상 작업[12].

번호	작업명	번호	작업명
1	점퍼선 절단 공종	6.1	LP애자 교체
2	전선 압축 접속 공종	6.2	어깨쇠(핀완철) 교체 공종
3	절연커버 설치 공종 - 간접활선용 절연커버 설치 (직선개소) - 간접활선용 슬리브 커버(분기개소)	6.3	핀전주 교체 공종
4	인하선 연결 공종 - 분기고리 절분(인하선 분리 포함) - 분기고리 압축(인하선 연결 포함)	6.4	전선이선 공종
5	기계화 공간확장 장비사용 공종	7	공사용 개폐기 공종
5.1	LP애자 교체	8	바이패스 케이בל 공종
5.2	어깨쇠(핀완철) 교체 공종	9	이동용 변압기 공종
5.3	핀전주 교체 공종	10	위험표지판 설치 공종
5.4	전선이선 공종	11	충전부 방호 공종
6	활선용 완철 장비 사용 공종	12	전주 방호 공종









공구, 구현성 난이도 등을 분석하는 과정을 포함한다. 이는 향후 활선작업 로봇 및 작업용 선단공구의 설계 시 필요한 요구 기능, 제한 조건, 제어 방식 등에 관한 기초 자료를 얻기 위함이다. 본 논문에서는 14개의 공종 중에서 “전선 압축 접속 공종”을 그 분석 사례로서 소개한다.

A. 작업개요

22.9kV-y 특고압 공중배전선로에서 배전활선(무정전)전공이 간접활선 절연스틱을 사용하여 특고압 전선의 피복을 제거하고 본 선로 간 또는 본 선로와 분기 점퍼선을 압축 연결하는 간접활선 작업

B. 현행 사용장비

TABLE 2
전선 압축 접속 사용장비

번호	품명	사진	비고
1	로터스틱		1.5m 이상
2	햇스틱		1.5m 이상
3	그랩스틱		1.5m 이상
4	핸드스틱		1.5m 이상
5	압축기 (홀더포함)		
6	점퍼선 슬리브		
7	테이핑기		
8	피박기		

C. 작업 공중 분석

TABLE 3
전선 압축 접속 공중에 대한 로봇 구현성 분석.

현행 작업 절차	작업 세부내용	로봇 필수 동작	필요 공구	구현성 평가 (난이도)
작업준비	보행자 통로 확보, 교통안내원, 차량 접지, 바퀴 고임목			
안전회의	임무 부여, 안전장구 확인, 선로 점검, 작업서류 작성		인력 수행 작업	
배전센터 작업 통보	작업 상황 통보, 보호기기 재폐로 기능 정지 확인			
중성선 방호	충전부 접근한계거리 90cm 이내 작업 시 전력선 등 방호 시행		로봇 활용 시 방호작업 불필요	
공사현장 모니터링 시스템 전송	지정 Point 촬영 전송		인력 수행 작업	
보조 거치대 설치(필요시)			로봇 활용 시 보조 거치대 불필요	
전선 피박 (피복 벗기기)	(부)*피박 부위 그래프스틱으로 고정	지지(고정)	그리퍼	2
	(주)*피박기를 피박 부위에 위치	이동(삽입)	피박기	3
	(부)피박기를 전선에 가볍게 고정	조작(회전)	피박기	1
	(주)피박 시행	피박	피박기	1
	(부)피박기 풀어 (주)피복을 끊음	조작(회전)	피박기	1
	(부)피박기 풀어 (주)전선에서 분리	이동(분리)	-	1
전선 압축	압축기 홀더에 유압 압축기 부착			
	(부)그래프스틱 이용하여 점퍼선용 슬리브 삽입	파지 → 이동(삽입)	그리퍼	3
	(주)점퍼선 압축	이동(삽입) → 압축	압축기	3
슬리브 테이핑, 커버 설치 및 테이핑	(부)전선 핸드스틱으로 고정	파지	그리퍼	2
	압축된 슬리브 위에 이중절연 자기용창테이프로 테이핑	이동(삽입) → 테이핑	테이핑기	3
	(주)이미 끼워 놓은 원통형 슬리브 커버를 전선 압축개소에 위치	이동(삽입)	그리퍼	3
	(주)원통형 슬리브 커버에 테이핑	이동(삽입) → 테이핑	테이핑기	1
	(부)테이프 커팅 후 테이프 끝부분을 전선에 최대한 접착	조작(밀기)	그리퍼	2
중성선 방호 철거	충전부 방호 철거 - 필요시		로봇 활용시 방호작업 불필요	
배전센터 작업완료 통보	작업완료 통보, 재폐로 동작 환원 요청			
작업 마무리	접지 철거, 표지판 · 라바콘 · 구획로프 등 철거, 현장 주변 정리		인력 수행 작업	

IV. 공중별 로봇구현성 평가

전술한 바와 같이 본 연구에서는 Table 1의 표준작업 공중 중에서 기계화 공간확장 장비사용 공중을 제외한 총 14종에 대하여 로봇으로 구현가능anz지를 분석하여 평가하였다. Table 4는 이러한 분석 결과로서 간접활선 표준작업 공중 별로 로봇에게 요구되는 필수동작 기능 요구조건을 정리한 것이다.

상기 분석결과를 바탕으로 간접활선 표준작업공정을 다시 살펴보면, 총 4종류의 공중으로 구분할 수 있었고 각 분류 별 소속 공정의 특징은 다음과 같다.

* 기본공중 [점퍼선 절단, 전선 압축 접속, 절연커버 설치, 인화선 연결] : 굉장히 다양한 공구가 사용되며 작업 구현 난이도도 작업 별로 다양하다.

* 활선용 완철 자동화 장비 활용 공중 [LP애자·핀완철·핀전주 교체, 전선이선] : 다양한 공구가 사용되지 않으나, 작업대상물이 많고 중량물을 취급하며 구현 난이도도 높다. 로봇과 연계하여 활용

할 활선용 완철 자동화 장비 개발도 필요하다.

* 기자재 활용 공중 [공사용 개폐기, 바이패스 케이블, 이동용 변압기] : 본 작업이 인력에 의해 수행되는 작업으로, 로봇공법은 전체 공중의 일부분으로 보조적으로 사용된다. 작업 구현 난이도가 상대적으로 낮다.

* 기타 공중 [위험표지판 설치, 충전부 방호, 전주 방호] : 기타 공중은 필요도구가 타 공중에 비해 매우 적다. 위험표지판 설치 공중은 다양한 별도의 공구가 사용되고, 방호 공중은 부드러운 재질의 절연물을 조작하여야 하기 때문에 작업 구현 난이도가 높다.

이상의 분석으로부터 배전활선 표준작업공중은 고난이도의 작업들을 포함하고 있지만 로봇 시스템을 활용하여 모든 공중이 수행 가능할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 국내외 배전선로 활선작업 로봇 개발 사례와 국내 로봇기술 관련 로드맵 자료들을 참조하여, 배전선로 활선작업 로봇 개발에 필요한 총 15개의 핵심 요소기술들을 선정하고 Table 5와 같이 5개 기술분야로 분류하였다.

TABLE 4
공중 별 로봇기능 요구조건 및 구현난이도

공중	파지	지지 (고정)	이동		공구				조작						난이도		
			삽입	분리	피박	압축	테이핑	절단	회전	밀기	당기기	커팅	결합	분리	복합	MIN	MAX
접퍼선 절단	○	○	○					○								1	3
전선 압축 접속	○	○	○	○	○	○	○		○	○						1	3
절연커버 설치	○	○	○	○				○	○			○	○	○	○	1	5
인하선 연결	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○	○		1	4
활선용 완철	LP애자 교체	○	○	○	○				○	○	○		○	○	○	1	4
	핀완철 교체	○	○	○	○				○	○	○		○	○	○	1	5
	핀전주 교체	○	○	○	○				○	○	○		○	○	○	1	5
	전선 이선	○	○	○					○	○	○		○		○	2	5
공사용 개폐기	○	○	○	○	○	○	○	○	○						2	3	
바이패스 케이블	○	○	○	○	○	○	○	○	○						2	3	
이동용 변압기	○	○	○		○		○		○						2	3	
위험표지판 설치		○	○												2	2	
충전부 방호	○	○												○	2	5	
전주 방호	○			○										○	3	5	

TABLE 5
배전 활선작업 로봇 핵심 요소기술 분류

분류	핵심 요소기술	기술 내용
기구	Manipulator 설계	기구학, 동역학, 최적 설계, 중력보상 등
	End-Effector 및 Tools 설계	Robot Hand(파지 능력, 파지 센싱), 전용 공구, 자동공구 교환 장치 등
	Anti-EMI 설계	활선 전자기 차폐, 절연성능, 광파이버
제어	Robot Control	Motion Planning, Redundant Control, Compliance/Impedance Control
	Teleoperation	원격 로봇제어
시스템	Haptics	Machine/Computer/Human Haptics
	시스템 통합	매니퓰레이터, 제어기, 센서 등 다양한 요소기술들을 유연하게 결합 전체 시스템 설계
	S/W 인터페이스	SW 통합, 센서 정보처리, 인간-로봇 인터페이스 설계(영상/음성 기반, Robot Language, Multi-modal Integration), 사용자 인증
환경인식	통신 네트워크	고속 (분산) 네트워크 설계, 통합 원격관리, 시스템 보안
	Sensor Fusion	다양한 센서 활용 주위환경 인식 기술(Stereo Vision, 열화상, LiDAR, 초음파 등)
	SLAM	작업환경 3D 구현, Localization, 가상/증강 현실 활용, Simulator 개발 등
지능 (자율판단)	딥러닝 설비 인식	전력설비, 환경, 장애물 인식 등, 다중 물체 추적, 환경 이해를 위한 학습/추론 기술
	운동지능	직접 교시, 딥러닝 자가학습, 인간 동작 모방
	자율작업	인지 모델 기반 환경변화 적응형 작업계획, 임무 단위 작업계획, 추론 및 학습 기반 목표점 추종 작업계획, 장애물 회피
	양팔로봇 협업제어	양팔 협조 제어

V. 결론

한국전력공사는 2016년 6월 작업자 안전강화를 위해 직접활선 공법의 원칙적 폐지를 발표하였고, 이와 함께 작업자가 전선을 직접 만지지 않고 작업하는 'Smart Stick 근거리 활선공법'과 '미래형 첨단 활선로봇공법'을 개발하겠다고 공표하였다. 본 논문은 미래형 첨단 활선로봇공법을 향후 개발하기 위한 사전 연구의 일환으로서, 배전 활선작업 로봇 기술에 대하여 로봇을 활용한 간접활선 표준작

업 구현 가능성을 평가하고, 동작 구현을 위한 핵심 요소기술들을 선정하였다. 향후 배전 활선작업 로봇기술의 개발을 통하여 배전설비 활선작업을 자동화하게 되면, 작업의 안전성을 높이고 전력설비의 신뢰도를 향상시키는데 크게 기여할 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This paper presents the results of "A Study on the Development

Plan of Advanced Live-line Maintenance Robot System for Overhead Distribution Lines” project supported by 2021 KEPRI preliminary projects performed by KEPCO Research Institute.

본 논문은 한국전력공사 전력연구원이 2021년도 자율과제의 일환으로 수행한 "가공배전선로 활선작업 로봇공법 최적 개발방안 연구" 과제의 연구 결과임을 밝힌다.

References

- [1] J. H. Dunlap, J. M. Van Name, and J. A. Henkener, "Robotic maintenance of overhead transmission lines," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. PWRD-1, no. 3, pp. 280~284, Jul, 1986, <https://doi.org/10.1109/TPWRD.1986.4308004>.
- [2] R. Aracil, L. F. Penin, M. Feme, L. M. Jimenez, A. Bamentos, A. Santamaria, P. Martinez, and A. Tudun, "ROBTET: A new teleoperated system for live-line maintenance," *IEEE International Conference on Transmission and Distribution Construction, Operation and Live-line Maintenance*, pp. 205~211, Oct., 1995, <https://doi.org/10.1109/TDCLLM.1995.485058>.
- [3] L. F. Penin, R. Aracil, M. Feme, E. Pinto, M. Hernando, and A. Barrientos, "Telerobotic system for live power lines maintenance: ROBTET," *IEEE International Conference on Robotics & Automation*, pp. 2110~2115, May 1998, <https://doi.org/10.1109/ROBOT.1998.680632>.
- [4] M. Hernando, E. Gambao, E. Pinto, and A. Barrientos, "Collision control in teleoperation by virtual force reflection. an application to the ROBTET system," *IEEE International Conference on Robotics & Automation*, pp. 565~570, May 1999, <https://doi.org/10.1109/ROBOT.1999.770036>.
- [5] S. Nio, and Y. Maruyama, "Remote-operated robotic system for live-line maintenance work," *IEEE International Conference on Transmission and Distribution Construction, Operation and Live-line Maintenance*, pp. 425~435, Sep., 1993, <https://doi.org/10.1109/TDCLLM.1993.316229>.
- [6] Y. Maruyama, K. Maki, and H. Mori, "A hot-line manipulator remotely operated by the operator on the ground," *IEEE International Conference on Transmission and Distribution Construction, Operation and Live-line Maintenance*, pp. 437~444, Sep., 1993, <https://doi.org/10.1109/TDCLLM.1993.316228>.
- [7] K. Yano, Y. Maruyama, K. Morita, and M. Nakashima, "Development of the semi-automatic hot-line work robot system "Phase II"," *IEEE International Conference on Transmission and Distribution Construction, Operation and Live-line Maintenance*, pp. 212~218, Oct., 1995, <https://doi.org/10.1109/TDCLLM.1995.485059>.
- [8] K. Tsunemi, Y. Maruyama, K. Yano, M. Nakashima, and S. Tanaka, "Development of a hot-line work robot, "Phase II" and a training system for robot operators," *IEEE International Conference on Transmission and Distribution Construction, Operation and Live-line Maintenance*, pp. 147~153, Apr., 1998, <https://doi.org/10.1109/TDCLLM.1998.668346>.
- [9] K. Takaoka, K. Yokoyama, H. Wakisako, K. Yano, K. Higashijima, and S. Murakami, "Development of the fully-automatic live-line maintenance robot- Phase III," *IEEE International Symposium on Assembly and Task Planning Soft Research Park*, pp. 423~428, May, 2001, <https://doi.org/10.1109/ISATP.2001.929071>.
- [10] www.ruijiarobot.com
- [11] 배전선로 무정전 활선작업용 Manipulator Robot 및 신공법 기술개발 (최종보고서), KAERI, Oct., 2008.
- [12] 간접활선 표준작업절차서, 한국전력공사 배전운영처, 나주, H0-배전-절차-0061, Oct. 20, 2021.
- [13] S. Bae, *Research Trends of Photovoltaic Generation Forecasting*, KIEE: World of electric, vol. 67, no. 12, pp. 16-25, 2018.
- [14] A. Almadhor, "Performance prediction of distributed PV generation systems using Artificial Neural Networks (ANN) and Mesh Networks," *International Conference on Smart Grid*, Nagasaki, Japan, pp. 88-91, 2018.
- [15] M. N. Rahman, A. Esmailpour, "An Efficient Electricity Generation Forecasting System Using Artificial Neural Network Approach with Big Data," *IEEE First International Conference on Big Data Computing Service and Applications*, Redwood City, CA, pp. 213-217, 2015.
- [16] Gwon-Yoon Lee, Sang-Boo Lee, *Universal Prediction System Realization Using RNN*, *Journal of KII*, vol. 16, no. 10, pp. 11-20, 2018.
- [17] Ospina, Juan, AlviNewaz, M. Omar Faruque, *Forecasting of PV plant output using hybrid wavelet-based LSTM-DNN structure model*, *IET Renewable Power Generation*, vol. 13, no. 7, pp. 1087-1095, 2019.
- [18] Tomonobu, S., Atsushi, Y., Naomitsu, U., Toshihisa, F., "Application of Recurrent Neural Network to Long-Term-Ahead Generating Power Forecasting for Wind Power Generator," *IEEE Power Systems Conference and Exposition*, pp. 1260-1265, 2006.
- [19] Jungin Lee, Il-Woo Lee. "Technology trends of Renewable energy generation forecasting based on ICT," *The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences*, vol. 36, no. 11, pp. 3-8, 2019.
- [20] K. W. Kim, G. S. Jang, S. M. Lim, I. K. Ahn, J. Park, H. C. Oh, "GRU-based Activity Recognition from Early-stage Motion," *The Institute of Electronics and Information Engineers*, pp. 2016-2019, 2020.
- [21] Yong-jin Jung, Kyoung-woo Cho, Jong-sung Lee, Chang-heon Oh, *Particulate Matter (PM10) Concentration Forecasting model using GRU*, *The Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vo. 23, no. 2, pp. 644-646, 2019.
- [22] Ju-Hwan Ham, Sung-Yul Kim, "A Study on the Comparison of Kernel Functions Appropriate to the SVR-based Power Demand Prediction Algorithms," *The Korean Institute of Electrical Engineers, Workshop*, pp. 158-159, 2020.
- [23] Mun, Gwon-Sun, *Understanding of VAR model*, *KOSTAT, Research of statistics analysis*, pp. 23-56, 1997.
- [24] Boualit, S.B.; Mellit, A., "SARIMA-SVM hybrid model for the prediction of daily global solar radiation time series," *In Proceedings of the 2016 International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*, IEEE, Marrakesh, Morocco, pp. 712-717, PP. 14-17, November 2016.