

배전선로의 무정전공법 개발과 적용

이 재 관 한국전력공사 서울연수원

1. 서론

사회생활 수준의 향상과 산업설비의 자동화, 전력을 이용한 농작물 생산 및 양식업 확산 등으로 일상생활의 전기에 대한 의존도는 점점 커지고 있으며, 질 좋은 전력 공급에 대한 요구도 더욱 증대되고 있다.

특히, 고도 정보화시대의 도래에 따라 컴퓨터 및 각종 자동화 설비 등 순간정전도 허용하지 않는 설비들이 급증하고 있어 앞으로 전력 의존도는 더욱 높아질 뿐만 아니라 전기의 품질향상 등 높은 전력공급신뢰도가 더 한층 요구될 것으로 예상된다.

따라서 선진 외국에서는 전기품질 향상을 위하여 여러 각도에서 부단한 노력을 기울이고 있으며, 우리 나라에서도 전력공급신뢰도의 척도인 정전시간을 단축하기 위하여 무정전공법을 개발하여 적용하고 있는 과정에 있다.

여기에서는 무정전공법의 필요성, 체계 및 개발 현황, 무정전공법 개요, 활선작업의 기계화 및 적용상의 문제점에 대하여 살펴보고자 한다.

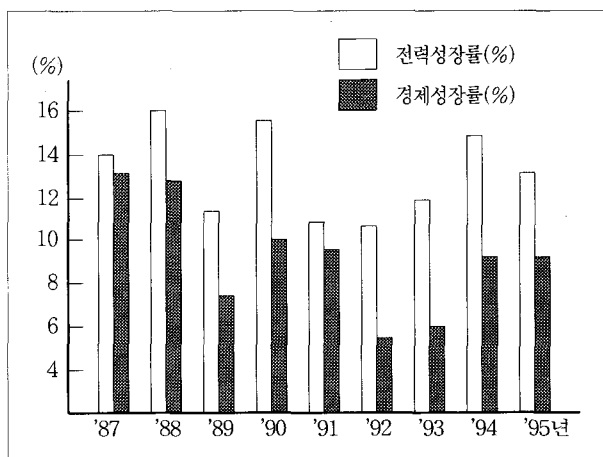
2. 본론

가. 무정전공법의 필요성

지금까지는 주로 정전범위가 큰 발·송변전설비에 대하여 무정전작업을 위한 설비투자가 이루어져 왔으며, 고객과 직접 연결되어 있는 배전설비에 대한 작업정전은 불가피한 것

으로 간주되었다.

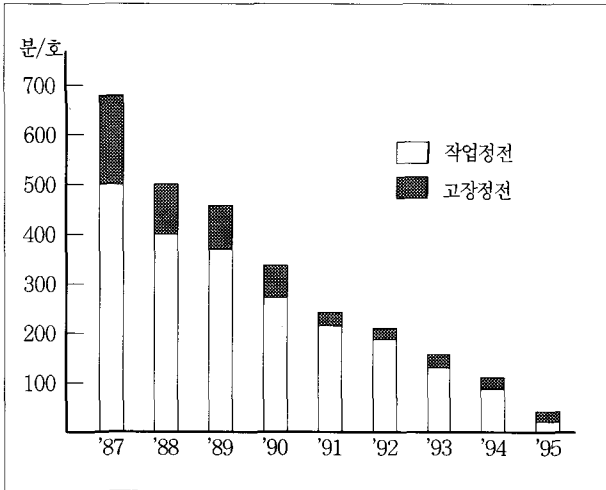
특히, 우리 나라는 산업발전과 생활수준 향상에 따른 전력 소비 증가로 그림 1과 같이 최근 수년간 경제성장률보다 높은 전력성장률을 보이고 있으며, 경제발전에 따른 도로정비, 도시개발 등 각종 기반시설의 확충 등으로 배전설비의 신·증설, 개·보수공사가 필연적으로 수반됨으로써 표 2에서 보는 바와 같이 작업정전이 '94년 말 현재 전체 정전시간의 80% 이상을 차지하고 있다.



구분	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
전력성장률 (%)	14.0	15.8	10.6	14.8	10.6	10.4	10.8	14.7	12.4
경제성장률 (%)	12.3	12.0	6.9	9.6	9.1	5.0	5.6	8.3	9.8

〈그림 1〉 전력성장률 및 경제성장률 변동 추이

기술동향



구분	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
고장	154	99	65	38	30	25	28	22	15
작업	509	399	351	275	220	181	127	82	20
합계	663	498	416	313	250	206	155	104	35

〈그림 2〉 정전시간 변동 추이

우리 나라의 정전시간은 표 1에서 보듯이 선진외국에 비해 높은 실정으로 고도정보화 및 국제개방화 시대에 국가경쟁력을 저하시키는 요인으로 작용할 수 있다.

〈표 1〉 외국의 정전시간 현황

(단위 : 분/호)

구분	한국 ('94)	일본전력 9사평균 ('93)	동경전력 ('93)	미국FPL ('87)	미국 PG&E ('92)	호주PE ('93)
고장	22	32	3	58	-	70
작업	82	7	1	6	-	43
계	104	39	4	64	80	113

FPL : Florida Power & Light Company
 PG&E: Pacific Gas & Electric
 PE : Prospect Electric Company

따라서 종래의 배전계통 Loop화, 선로개폐기의 조밀부설 등 정전구간 축소 방법이나 활선작업 공법으로는 정전시간 단축에 한계를 느끼게 되었으며, 작업정전시간을 획기적으로

단축시킬 수 있는 새로운 무정전작업 공법의 개발과 적용이 시급한 단계에 이르게 된 것이다.

나. 무정전공법의 체계 및 개발 현황

배전설비의 작업정전 축소를 위한 작업방법은 주로 미국, 일본 등에서 개발되어 왔다. 우리 나라에서도 지난 '65년부터 활선작업 공법 개발을 지속함으로써 현재는 정착단계에 이르렀다. '94년에는 이동용변압기차와 바이패스케이블(BYPASS Cable)공법 장비를 이용한 새로운 무정전공법을 개발하여 현장에 적용중에 있다.

(1) 무정전공법의 체계

무정전공법의 체계는 그림 3과 같으며 이 공법들 중 배전공사 현장에서 최신 공법으로 적용되고 있는 공법은 "바이패스케이블 공법", "이동용변압기차 공법" 그리고 "공사용개폐기 공법"이다.

(2) 개발 현황

무정전작업은 '60년대부터 미국을 중심으로 활선작업이 먼저 시행되어 왔으며 우리 나라에서의 무정전작업은 '65년부터 한국전력공사 소속 전기원 중심으로 간접활선 작업을 시행하여 왔고, '87년부터 공사업체에 대한 간접활선공법 교육을 시행하였으며 '92년부터는 작업능률의 향상을 위해 직접활선공법을 개발·적용하여 정착단계에 이르고 있다.

이와 병행하여 활선작업으로서는 시행할 수 없는 일부 공종에 대한 무정전공사 방법의 개발을 위하여 외국의 적용사례 연구 및 기술검토 등을 거쳐 '94년 4월에 이동용 변압기차와 By-Pass Cable차의 규격을 제정하고, '94년 6월에 장비 제조업체에서 무정전장비를 개발, 실증시험을 마쳤다.

또한 무정전 배전공사 전문업체의 육성을 위하여 관련 지침 및 기준을 제정하여 '94년 12월 67개의 무정전공사 전문업체를 선정하여 전국적으로 확대적용중에 있다(표 2 참조).

(3) 기대효과

무정전공법의 조기 정착을 통하여 배전선로의 작업정전

간접활선공법 적용(직영시공) (154개 공종)	공사업체 활선교육 활선도급 시공	직접활선 공법적용 (282개 공종)	무정전 공사용 장비 개발	이동용 변압기차 바이패스 케이블 공법전용 (324개 공종)
'65	'87	'92	'94	'95년

〈표 2〉 연도별 무정전공법 개발 및 적용 현황

Zero化를 달성하고, 배전설비에 대한 효율적인 설비투자 등으로 고장정전을 감축하여 선진외국 수준의 전력공급신뢰도를 달성함으로써,
·고객에게는 정전 없는 고품가가치의 전력을 공급하여 국

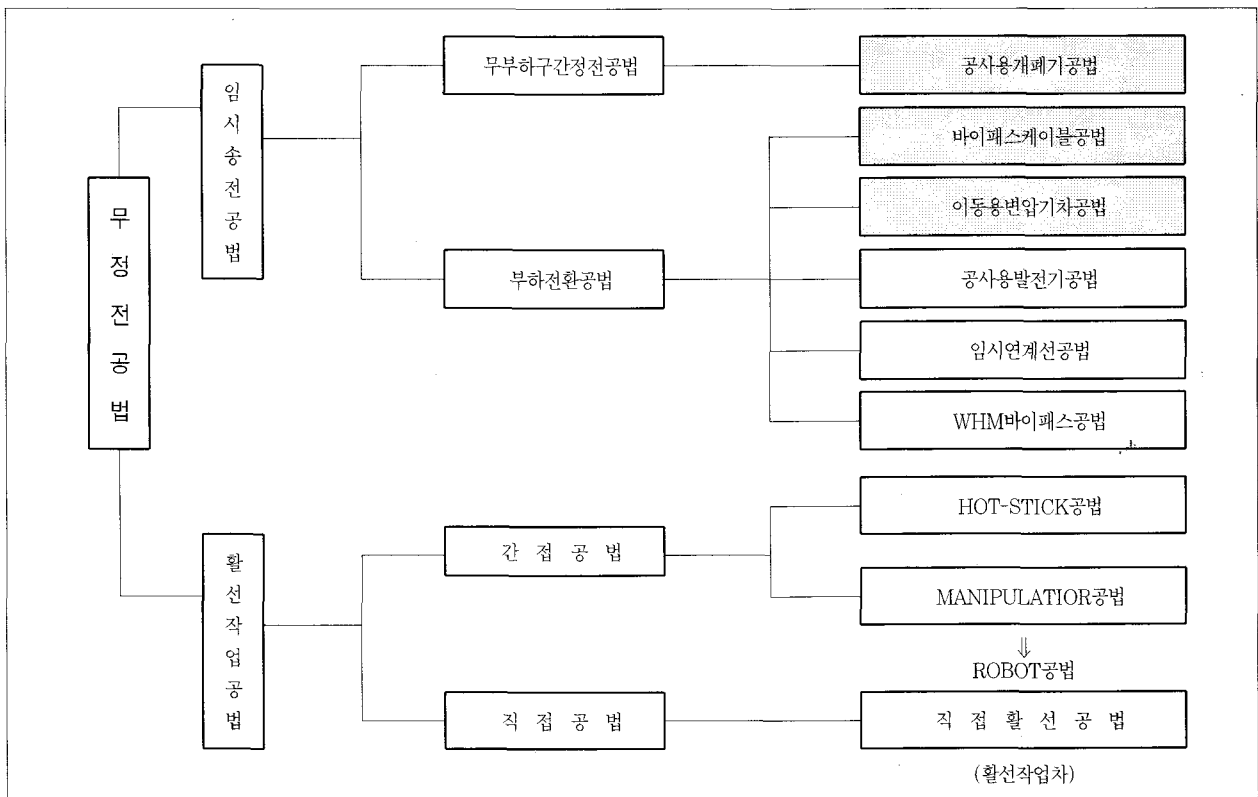
민생활의 편의를 도모함은 물론 국가경제의 활력을 제공할 수 있을 것이며

·전력회사로서는 공사의 안전성 및 시공품질을 확보하여 경영효율을 높이고, 신뢰받는 기업으로서의 면모를 갖출 수 있을 것이다(그림 4 참조).

다. 무정전공법 개요

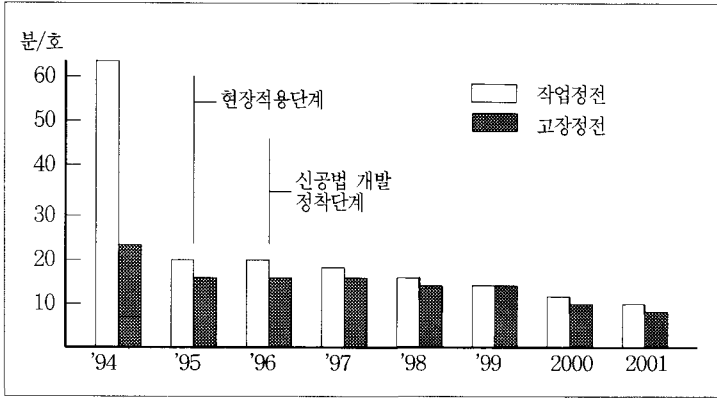
(1) 공사용개폐기 공법

공사용개폐기 공법은 공사구간내에 부하가 없고, 공사구간 이후 부하를 타 선로로 전환할 수 있는 두 가지 조건이 만족되어야 적용할 수 있는 공법이다. 따라서 상기와 같은 제약조건으로 광범위하게 적용할 수 없는 문제점이 있다. 그러나 현재 대부분의 배전선로의 2~3개 D/L이 서로 연계되어 두번째 조건을 만족하는 선로가 대



〈그림 3〉 무정전공법의 체계

기술동향



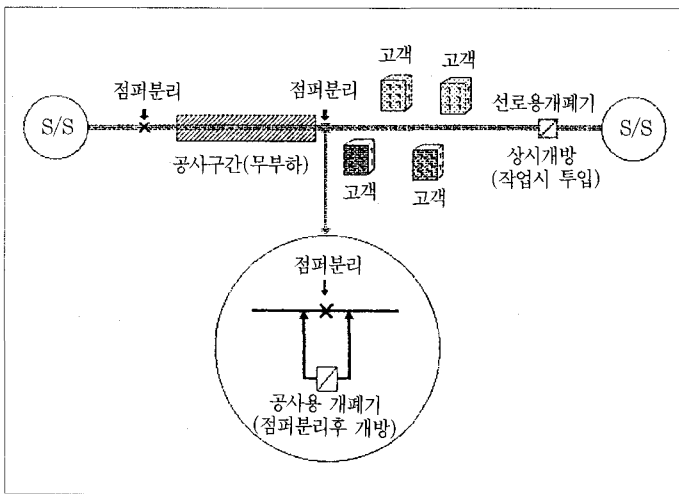
〈그림 4〉 작업정전 감소전망

부분이다. 따라서 작업구간이 무부하인 조건만 되면 이 공법을 적용할 수 있다. 이 공법을 이동용변압기차 공법과 병행하여 적용한다면 준비과정이 번거로운 바이패스케이블 공법을 적용할 장소도 이 공법을 적용함으로써 간편하게 할 수 있다.

(가) 작업방법

공사구간내에 부하가 없고, 공사구간 이후 부하를 타 선로로 전환할 수 있는 경우, 공사용 개폐기를 설치하여 공사구간의 전원 및 부하측 점퍼선을 활선작업으로 분리하고 시공하는 방법

(나) 작업 개요도(그림 5 참조)



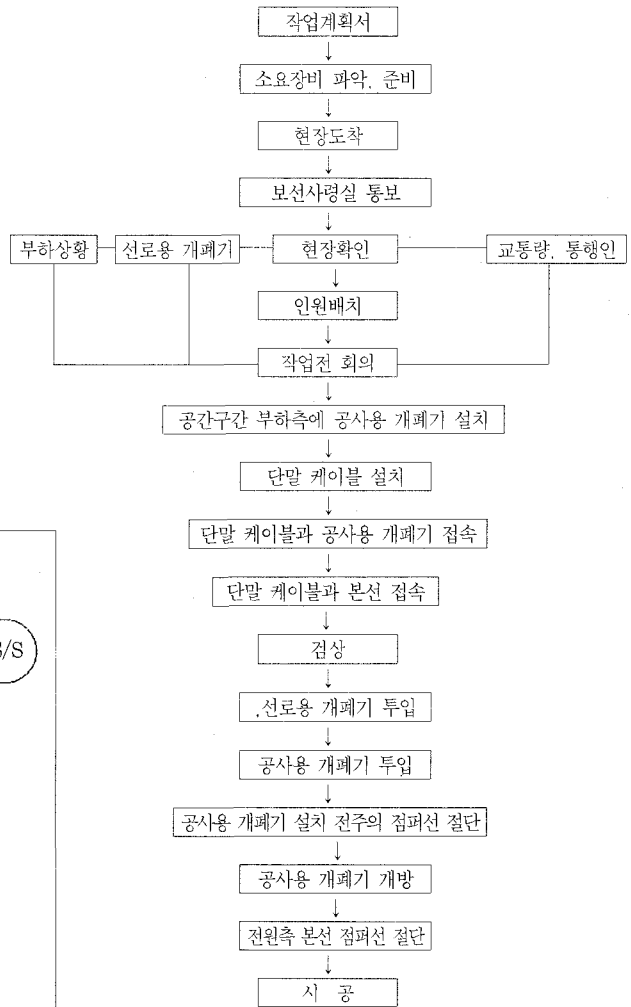
〈그림 5〉 공사용개폐기 공법 개요도

(다) 작업인원 및 장비

- 작업인원
 - 활선작업원 4명
 - 기타공사 필요인원
- 장비
 - 활선장비 1식
 - 공사용 개폐기 1대

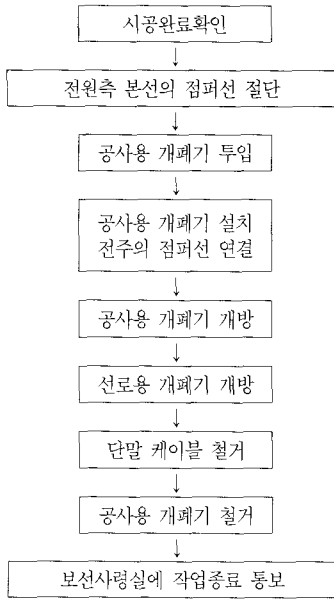
(라) 작업절차

1) 설치작업(그림 6 참조)



〈그림 6〉 설치작업

2) 철거작업(그림 6 참조)



〈그림 6〉 철거작업

(2) 바이패스케이블 공법

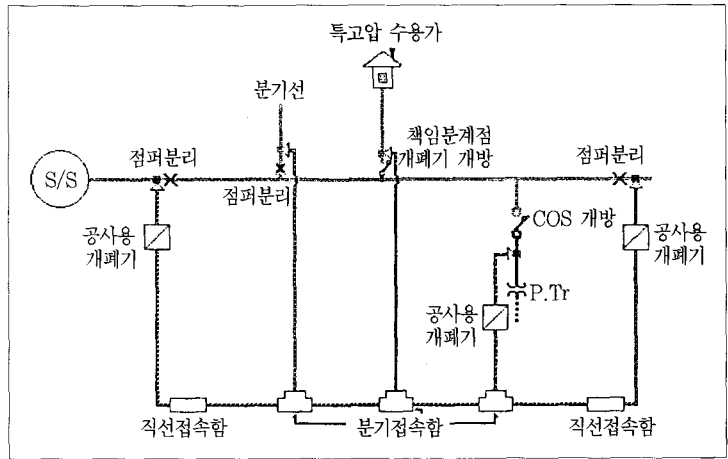
○ 바이패스케이블 공법은 공사용개폐기 공법과는 달리 작업구간 내에 부하가 있고 공사구간 이후의 부하를 타 선로로 전환할 수 없는 경우에 적용하는 공법이다. 따라서 공법적으로는 적용상 제약조건이 없기 때문에 대규모의 배전공사에서는 이 공법을 가장 많이 적용하게 된다. 그러나 이 공법은 바이패스케이블을 운반하기 위한 바이패스케이블 운반차(그림 8 참조), 바이패스케이블 포설, 케이블과 케이블을 접속하기 위한 직선(분기)접속재 그리고 공사용 개폐기 등 많은 장비가 동원되고, 준비과정 또한 번거로워 대도시의 경우 교통 장애를 일으킬 수 있는 문제점을 가지고 있다. 따라서 이 공법은 전기적인 문제보다는 현장 적용과정에서 발생하는 작업환경 측면에서 많은 제약을 받게 된다.

(가) 작업방법

공사구간 내에 분기선로, 특고압 고객, 변대주 등의 설비가 있을 경우 공사구간의 전원 및 부하측을 공사용 개폐기

와 바이패스케이블로 임시 연결하여 공급하면서 공사구간의 점퍼선을 활선작업으로 분리하고 시공하는 방법

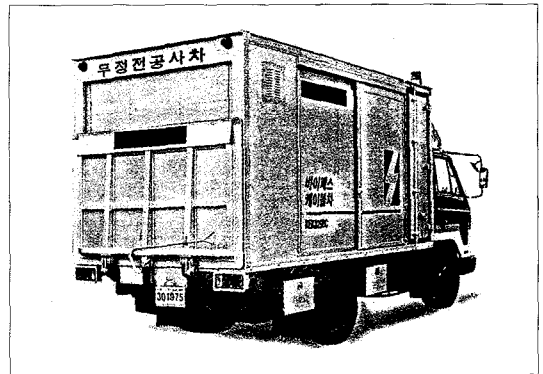
(나) 작업 개요도(그림 7 참조)



〈그림 7〉 바이패스케이블 공법 개요도

(다) 작업인원 및 장비

- 작업인원
 - 활선작업원 4명
 - 기타공사 필요인원
- 장비
 - 활선장비 1식
 - 바이패스케이블 1식
 - 공사용 개폐기 1대

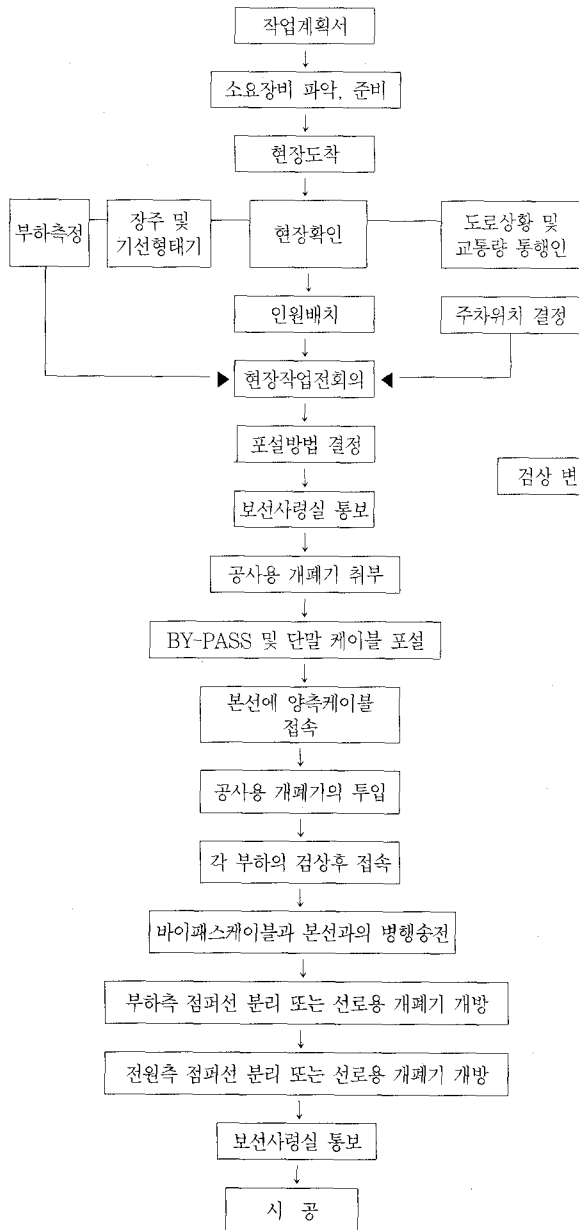


〈그림 8〉 바이패스케이블차

기술동향

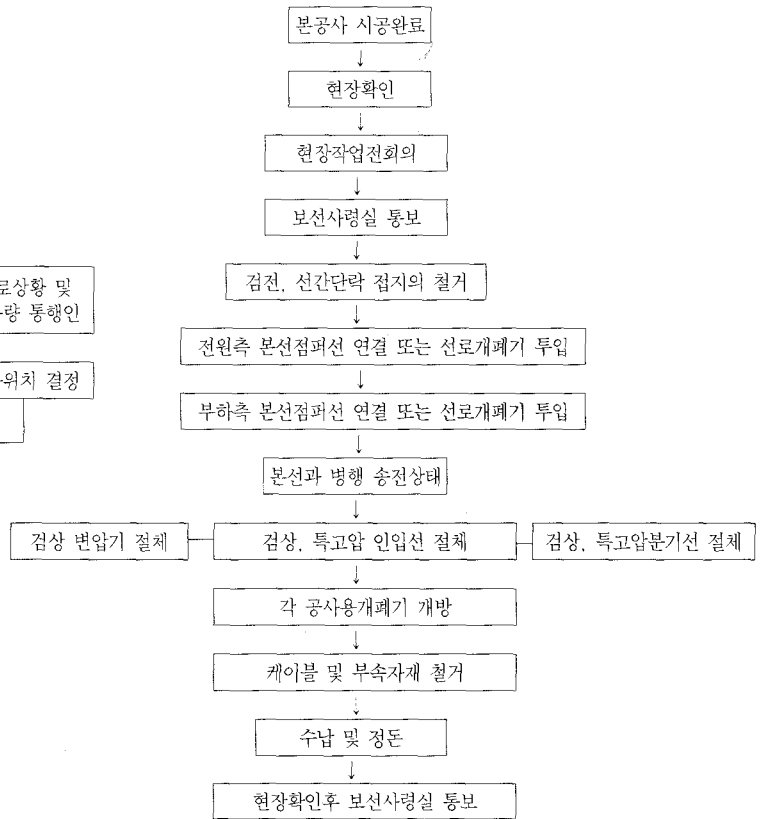
(라) 작업절차

1) 설치작업(그림 9 참조)



<그림 9>

2) 절거작업(그림 10 참조)



<그림 10>

(3) 이동용변압기차 공법

이동용변압기차 공법은 주상에 설치된 변압기를 교체 또는 점검하는 경우 이동용 변압기차에 내장된 변압기로 부하를 임시 절환하여 고객의 설비가 정전되지 않도록 하는 공법을 말한다.

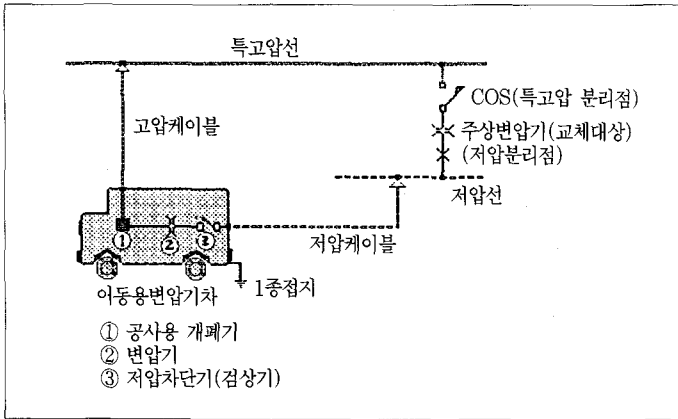
(가) 작업방법

무정전으로 주상변압기를 교체하고자 할 경우, 이동용변압기차(그림 12 참조)를 이용하여 저압부하를 공급하고 변압기를 교체하는 방법

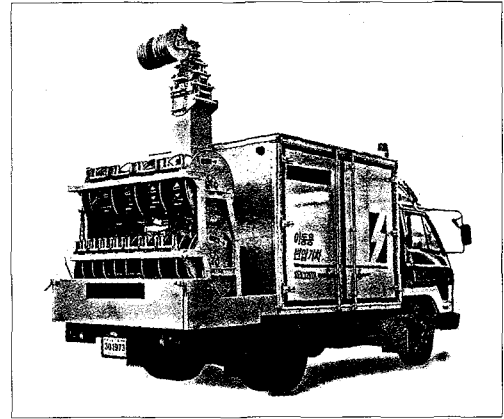
(나) 작업 개요도(그림11 참조)

(다) 작업인원 및 장비

· 작업인원



<그림 11> 이동용변압기차 공법 개요도

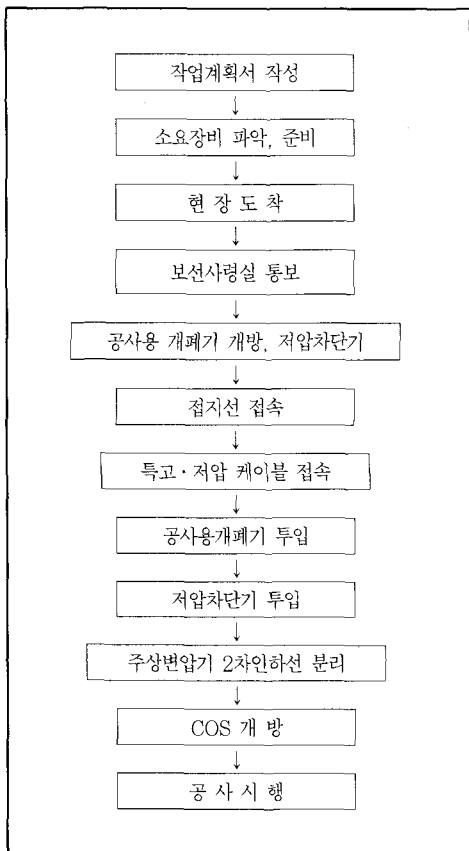


<그림 12> 이동용변압기차

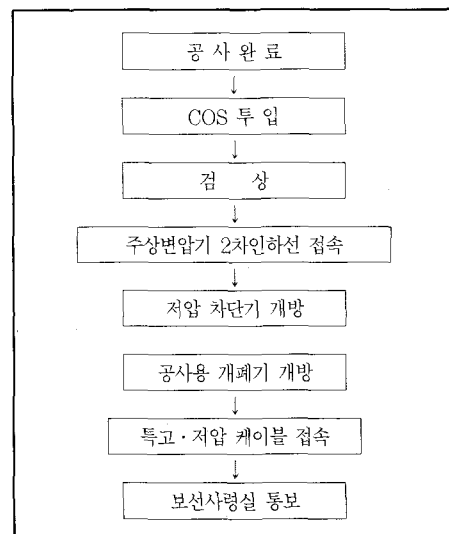
- 활선작업원 4명
- 기타공사 필요인원
- 장비
- 활선장비 1식
- 이동용변압기차 1대

(라) 작업절차

- 1) 설치작업(그림 13 참조)
- 2) 철거작업(그림 14 참조)



<그림 13>



<그림 14>

기술동향

라. 배전활선작업의 기계화

(1) 배전활선작업의 추이

- (가) 직접활선공법
 - 작업자 자신이 전주에 올라가 직접 손으로 작업
 - 감전의 위험이 많고 피로도가 큼(특히 하절기)
- (나) 간접활선공법
 - Hot-Stick(절연봉)을 사용하여 충전부와 인체간에 일정 간격 유지하며 간접적으로 작업
 - 감전의 위험은 직접활선공법에 비해 적지만 승주하여 위를 바라보며 하는 작업이기 때문에 피로도가 큼
- (다) 활선작업차를 이용한 직접활선공법
 - 절연Boom이 있는 활선작업차의 Bucket에 타고 직접 손으로 작업
 - 작업효율은 간접공법에 비해 좋으나 감전의 위험이 크고 피로도가 큼(작업반경내 접지체에 대한 충분한 방호와 대지간 절연관리가 중요)

(라) Robot 공법

- 수작업으로는 불가능했던 작업도 안전, 확실하게 시공
- 효율화 : 지금까지 전주상 3인의 작업자가 1인으로 가능하고 작업시간도 1/2로 감축

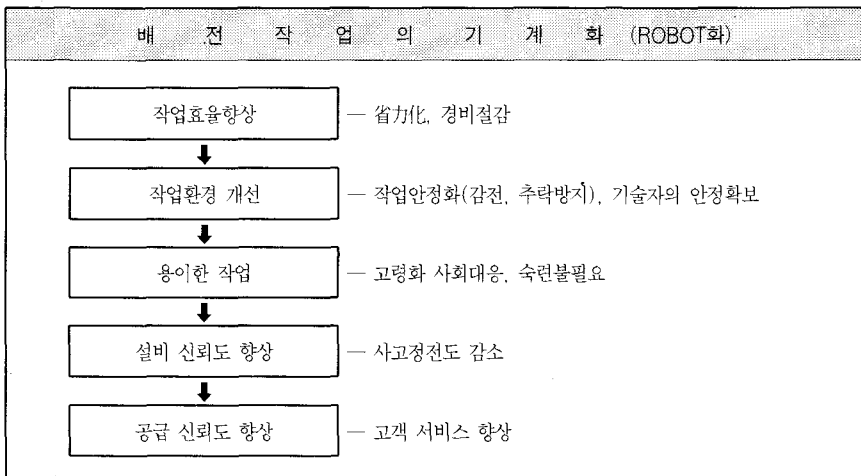
(2) 배전작업의 작업환경 특성(그림 15 참조)

(3) 배전작업 기계화의 추진방향

구 분	제 1 단계	제 2 단계	장 래	
가 공 선	건설공사 개량공차	특수차량·공구로 기계화 작업의 Manipulator화	작업의 지상 조 작 화	작업의 ROBOT化 (자율작업 ROBOT)
	보수작업	소형 Bucket차	작업의 Manipulator化	
지 중 선	관료공사, CABLE 인입공사, 사교시 응급송전의 기계화			

(4) 배전작업 ROBOT차 개발(외국의 예)

- 도로상에서의 작업
- 전주, 전선, 변압기 등 중량물을 취급하는 노동집약형 작업
- 전기를 공급하면서 전주상에서의 고소 활선작업
- 변압기의 접속, 개폐기의 설치 등 고도의 기술과 숙련이 필요



(가) 개발 Concepts

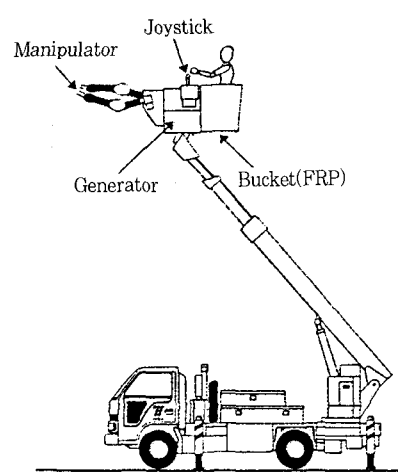
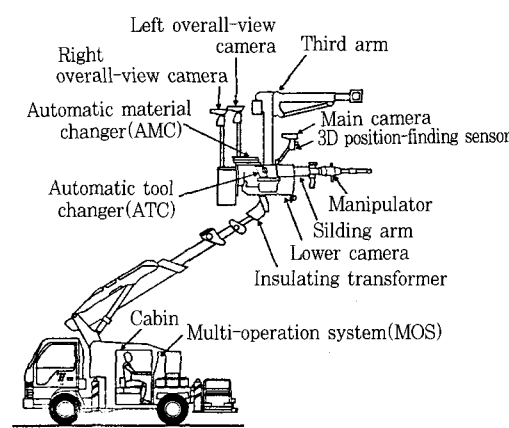
- 고소 승주 활선작업을 완전히 배제하여 우천시, 혹서,시에도 쾌적한 작업 환경을 확보
- 자동작업화로 작업효율 향상
- 작업기술의 개인차를 없애고, 높은 공사품질로 전기공급 신뢰도 향상

(나) 배전작업 Robot차의 특징

- 옥외를 이동 : 옥외에 산재해 있는 배전설비에 대해 Robot를 이동하면서 작업
- 대상물을 움직임 : 전주상에서 불규칙하게 진동하고 있는 전선의 작업
- 전기절연 : 특고압의 전기절연(우천시에도 작업가능)
- 소형경량화 : 작업중 교통지장을 피하기 위해 소형차량에 탑재

〈그림 15〉

(5) 배전작업용 ROBOT차의 개발 개요

구 분	탑승조작형 Manipulator차 (Phase I)	지상조작형 Robot차 (Phase II)	
의 관			
특 징	조 작 자	· Robot와 함께 Bucket상에 탑승	· 차량 Frame상의 Cabin내
	조 작	· 역상부 Joystick으로 수동조작	· Touchpanel식 Display로 반자동 작업지시(필요에 따라 수동조작보조)
	공 구 자 재	· Operator가 수동교환	· 자동 공구 교환(ATC) · 자동 자재 수수(AMC)
규 격	본체중량(片腕)	110kgf	85kgf
	可搬重量(片腕)	20kgf	20kgf
	반복위치결정精度	±0.3mm	±0.3mm
	Drive unit	AC Servocontroller	ACS Servocontroller

(6) 지상조작형 ROBOT차의 기술개발(표 3 참조)

(7) 배전작업 Robot차 개발효과

(가) 산업사회에 변혁

- 전기사업 뿐만 아니고, 통신, 운수, 소방, 건설업 등 타산업에서도 활용전망

(나) 기술혁신

- 산업계 기술혁신에 넓게 기여
- 배전공사의 전자동 System 개발에 박차

(8) 향후과제

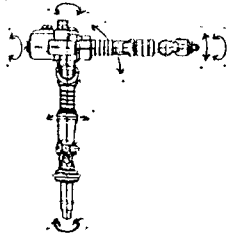
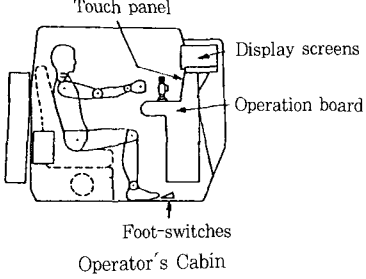
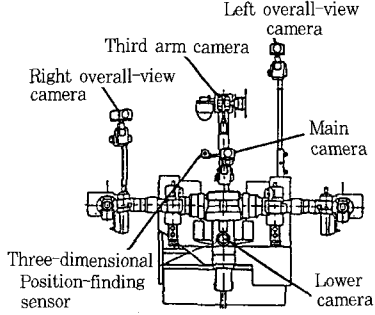
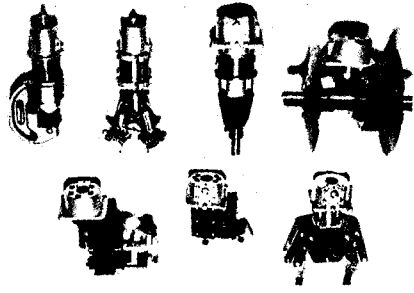
(가) 배전작업 Robot차의 개발

- Phase 1(탑승 조작형 Manipulator차)
- Phase 2(지상조작형 Robot차)
- Phase 3(전자동 Robot차)

(나) 배전작업 Robot차에 적합한 배전설비 형성 (장주형태, 공사방법 등)

기술동향

〈표 3〉 지상조작형 ROBOT차의 기술개발

신 기술		설 명	신 기술	설 명
M a n i p u l a t o r	인간협조형 Robot	· 인간이 원격조작으로 보조하는 인간협조형의 반 자동 Robot	자 동 작 업	작동작업제어 <ul style="list-style-type: none"> · 쌍완 협조제어 : 편완을 움직이면 타완도 자동적으로 추종 동작되는 기능 · 역상제어 : Robot의 선단에 가하는 힘을 조작자의 손 바닥에서(Bilateral제어)느끼는 기능 · Complianting 기능 : Robot가 유연한 동작을 하도록 하는 기능 · Programing 기능 : Start Button을 누르는 것만으로 자동작업을 시키는 기능 · 좌표축동작기능 : 작업내용과 아울러 4종류의 좌표를 선택하여 최적 이동을 시키는 기능 · Fail Safe 기구 : Robot의 충돌에 따른 Robot 본체 및 주변 기기의 손상을 방지하는 기능
	전동식 Robot로 경량화	· 소형고출력 Motor와 감속장치		
	7 軸Robot	· 옥외이동 Robot로는 불특정 장애물의 회피가 필요하므로 이론적인 검토가 완료된 7축을 최적 위치에 배치하여 실용화  7축 Robot		
	전기절연기술	· 전천후 활선작업 가능 - Boom, Robot, 공구의 3중 절연 - 절연변압기를 사용하여 Robot에 전원을 공급	Human Interface	· 조작판의 Simple화를 기하기 위해 Touch Panel Display · Camera조작을 조작자의 음성으로 행하는 음성인식 제어
	자동공구교환 (ATC) 자동자재수수 (AMC)	· 작업내용에 따라 6개의 공구를 자동교환 · 작업내용에 따라 필요자재를 자동 수수·교환	조작용 Cabin	· 차량 Frame상의 에어컨으로 쾌적한 조작실  Operator's Cabin
시각보조장치	· 4대의 Zoom Camera를 장비 - 1대는 Robot선단의 작업점을 자동추종 - 2대의 Camera로 작업점까지 거리를 측정하여 작업개소에 Robot를 자동접근 · Cabin내에 10inch컬러모니터 2대 장비 	복합자동공구	· 10수 종류의 단기능 공구와 수종류의 복합공구 개발 	

마. 무정전공법 적용상의 문제점

배전작업의 작업환경은 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

- ▶ 노상 작업이 많다.
- ▶ 전주, 전선, 변압기 등 중량물을 취급하는 노동집약형
- ▶ 전기에너지를 공급하면서 주상의 高所에서 활선작업
- ▶ 변압기 접속, 개폐기의 설치 등 기능과 숙련이 필요

이러한 작업 특징은 무정전공법을 적용하는 과정에서 많은 장애요인이 되고 있는데 그 내용을 보면 다음과 같다.

(1) 저압 및 인입선 바이패스 케이블 공법 개발

현재의 공법은 고압선 작업에 대한 무정전공법 위주로 되어 있어 저압선을 교체하는 경우에는 무정전 작업을 할 수 없다. 따라서 비교적 작업규모가 작은 저압선 교체 및 인입선 교체에 적용할 수 있는 바이패스케이블 공법의 개발과 장비가 개발되어야 한다.

(2) 발전기차 공법의 도입

공사의 규모가 큰 배전공사는 바이패스 공법을 적용하고 있다. 이 공법은 준비작업 시간이 많이 걸릴 뿐만 아니라 중장비가 많이 동원되어 대도시에서는 교통장애를 일으키게 되어 작업자들이 많은 어려움을 겪고 있다. 그러나 발전기차 공법을 적용하면 시공이 비교적 간편하여 이러한 문제를 해결할 수 있을 것으로 생각된다.

(3) 안전관리 문제

무정전공법은 기본적으로 기설 선로와 바이패스케이블을 병렬 송전하고 기설선로를 분리 또는 연결하는 과정이 필연적으로 수반된다. 이 과정에서 충전부와 비충전부가 혼재된 상태에서 작업자가 놓이게 된다. 따라서 방호와 보호방법에 대한 집중적인 연구와 작업자의 안전의식의 고취가 필요하다.

(4) 장비 및 공구의 제도적 관리

무정전공법은 모든 장비 및 공구의 절연이 완벽하게 처리되어 있는 것을 전제로 적용하는 공법이다. 따라서 배전공사 업체에서 상시 사용하고 있는 장비 및 공구에 대한 절연 기

능의 유지를 확인하고 유지하는 것은 필연적인 사항이다. 따라서 장비 및 공구의 안전성 확보를 위한 완벽한 제도적 관리 뿐만 아니라 일상점검에 대한 제도적 장치가 시급하다. 그러나 현실은 이러한 절연을 유지하기 위한 공인기관의 지정이 미흡하고 정기적으로 절연 측정을 할 수 있는 공인된 기관과 측정결과에 대한 조치를 할 수 있는 전문 세정기관의 확보가 미흡하다.

(5) 기계화에 대비한 현 장주 형태의 변형

현재 사용하고 있는 배전선로의 장주 형태는 특고압인 경우 수평장주가 표준장주로 되어 있다. 그러나 기계화작업이 진행되고 있는 현 시점에서는 배전선로 장주 형태의 변화를 시도할 시기가 생각한다. 즉, 배전선로의 기계화 작업이 수월하게 진행되기 위하여는 수평장주의 형태에서 수직장주의 형태로 전환되어야 할 것이다.

(6) 무정전 작업용 로봇의 개발 필요

현재 우리 나라의 무정전공법은 간접작업에서 직접작업으로 전환되는 경향이 있다. 그러나 안전을 고려한다면 직접작업의 형태에서 간접작업으로 전환되는 것이 정석이라 생각한다. 따라서 작업자의 안전성 및 작업성을 높이기 위해서는 진정한 의미의 간접공법인 로봇 공법이 도입되어야 한다.

3. 결 론

현재 적용 중에 있는 배전선로의 무정전공법은 전력공급의 신뢰도 향상 측면에서 사회적으로 많은 공헌을 하고 있는 것은 분명한 사실이다. 그러나 이러한 공법이 제대로 성장·육성되기 위하여는 이 분야에 종사하고 있는 전력인들의 많은 관심이 필요하다. 제도적인 측면에서는 무정전공법의 안전관리 기준의 합리적인 조정·보완이 선행되어야 하고, 하드웨어적인 측면에서는 장비의 소형화 및 각종 접속재의 조작 편의성이 이루어져야 한다. 또한 현재 적용하지 못하고 있는 저압 및 인입선 부분에 대한 무정전공법의 개발과 작업준비 과정을 단축시킬 수 있는 발전기차 공법 및 작업자의 안전성을 높일 수 있는 로봇 공법의 도입이 요구된다.