

전력케이블 시스템의 진단기술 지도

김 정 태

대진대학교 전기정보시스템공학과

Technical Map of Diagnosis for Power Cable Systems

Jeong-Tae Kim

Dept. of Electrical Information and System Eng., Daejin University

Abstract - This paper deals with the technical map of diagnosis for power cable systems. For this purpose, failure status, failure and degradation causes, and newly suggested diagnostic techniques were investigated and analyzed. From the analysis, the technical map of diagnosis for power cable systems was proposed.

그림 2는 참고로 각국의 지중화율을 나타낸 것으로, 국내의 지중설비는 현재 전체 송전설비의 7[%] 정도이나 도시환경과 Nimby 현상 등으로 인해 대도시를 중심으로 그 비중이 점진적으로 증대되어 2020년대에는 15~20[%] 정도로 예상되고 있다.

1. 서 론

1960년대 66kV OF 케이블 시스템이 수입에 의해 포설된 이후 그림 1에 나타난 바와 같이 154kV급 OF, POF 및 XLPE 케이블을 거쳐 현재는 345kV급 OF 및 XLPE 케이블 시스템이 포설되고 있다. 이중 국내에서는 1980년대부터 154kV OF 케이블이 개발된 이후 154kV XLPE, 345kV OF 및 XLPE 케이블 시스템이 국내 기술로 개발되어 현장 포설된 상태이다.

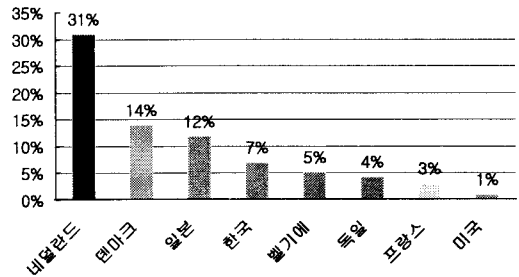


그림 2. 각국의 지중화율

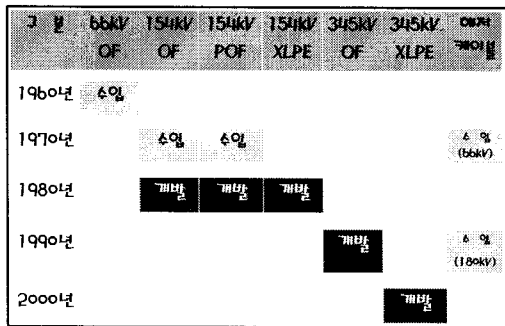


그림 1. 지중 전력케이블 변천 과정

아울러 현재 주요한 지중송전 케이블에 대해 현재까지의 포설 현황은 다음 표 1과 같다. 초기에는 OF 케이블이 많이 포설되다가 최근에는 XLPE 케이블이 주종을 이루고 있다. 345kV XLPE 케이블은 2003년에 국내에서 개발된 케이블로 포설되었다. 한편, 해저케이블은 해남-제주 간의 선로이다.

표 1. 국내 주요 초고압 케이블의 포설 현황

구분	OF	XLPE	해저(180kV)	계
154kV	758	1,208	202	2,060
345kV	200	20	-	220
계	958	1,229	202	2,389

한편, 전력케이블의 고장에 대해서는 국내의 경우 포설 초기에 비해 지중송전선로의 고장률은 상당히 줄어들어 점차로 안정되고는 있지만(1991년 3.94건/100C-km, 2002년 0.39건/100C-km) 선진외국에 비해서는 아직도 높은 수준이다. 또한, 현재 고장률이 유지된다 하더라도 향후 케이블 건설 물량이 많아지면 사고 건수가 많아지게 되어 경제·사회적으로 큰 피해가 우려되므로 고장률을 선진국 수준으로 낮출 수 있는 방안의 강구가 요구되고 있다.

따라서, 본 고에서는 지중 전력케이블 시스템의 고장이나 사고를 사전에 예방할 수 있는 진단기술에 대해 사고 현황 및 열화요인 분석과 이에 대한 최근의 진단 기술 동향을 살펴보고, 이를 토대로 전력케이블 시스템의 진단기술 지도를 초고압 케이블을 중심으로 살펴보고자 한다.

2. 본 론

2.1 고장 현황 및 열화 요인

표 2는 1980년~2003년 사이의 154kV급 케이블 시스템에 대한 이상 원인별 계통고장 현황을 나타낸 것이다. 물리적인 외상을 제외하고 지중선로의 고장원인은 절반 이상이 시공과 제작 불량이며, 경년열화로 판정된 경우(대체로 5년 이상 운전된 경우임)에도 어느 정도는 케이블에 내재된 결함에 의하기 때문에 전력케이블의 제작 및 시공의 신뢰성이 보다 확보될 필요가 있다.

또한, 운전 시작 후 1년 내에 사고가 발생된 경우 뿐 아니라 기대수명에 못 미치는 10년 이내의 케이블 선로에서도 상당한 사고가 발생되고 있어, 케이블 인증시험시의 과전시험만으로는 장기 신뢰성을 확보하지 못하며 최소 2년 이상, 3년 정도의 실증 시험이 필요하다고 볼 수 있다.

표 2. 154kV 케이블 시스템의 원인별 고장 현황

고장원인 \ 구분	OF	XLPE	기타	계
의상	46	2	-	48
시공 불량	38	10	-	48
제작 불량	4	7	1	12
고장 파급	5	1	-	6
전석	10	-	-	10
경년 열화	16	1	-	17
화재	7	-	-	7
기 타	10	1	6	17
계	136	22	7	165

표 3은 지중케이블 시스템의 열화 원인으로 제작 및 시공불량을 포함하고, 광범위하게 적용하게 위해 배전케이블 시스템도 포함하였다.

표 3. 지중 케이블 시스템의 열화 원인
(a) 초고압 OF 케이블

구성부품/ 재료	열 화 현 상		
	종 류	원 인	지 표
케이블/ Kraft 지, 합성유	- 열 열화 - 부분방전 열화	1. 절연지 잘못감김 - 오일 갭 - 절연지 접침	1. 유중 용융가스 변화 2. 절연지 중합도 저하 3. 유중수분 증가 4. 절연파괴전압
접속함/ Kraft 지, 합성유		2. 절연지 찢어짐 3. 이물 4. 흡습	5. 부분방전 발생

(b) 초고압 XLPE 케이블

구성부품/ 재료	열 화 현 상		
	종 류	원 인	지 표
케이블/ XLPE	- 부분방전 열화 - 전기트리 열화	1. 제조불량 : 보이드 및 이물 2. 시공불량 : 절연체 눌림/찌뭉, 방식층 외상	1. 부분방전 발생 2. 절연파괴 전압
접속함/ 에폭시, 고무	- 부분방전 열화 - 전기트리 열화 - 계면전기트리 열화	1. 제조불량 : 보이드 및 이물 2. 시공불량 : 이물/ 공극 잔존, 수분 투입, 잘못조립	1. 부분방전 발생 2. 절연파괴 전압

2.2 최근 연구동향 및 진단 기술

최근 연구 동향

최근 지중송전 케이블 분야의 연구 동향은 다음과 같다. 여기서는 초고압 케이블 시스템에 대해서만 언급하였다.

표 3. 지중 케이블 시스템의 열화 원인 (계속)
(c) 배전용 CNCV 케이블

구성부품/ 재료	열 화 현 상		
	종 류	원 인	지 표
케이블/ XLPE	- 수트리 열화 - 전기트리 열화	1. 제조불량 : 보이드 및 이물 2. 시공불량 : 절연체 눌림/찌뭉 3. 수분 침투	1. 절연저항, tanδ 변화 2. 부분방전 발생 3. 절연파괴 전압
접속재/ 고무	- 부분방전 열화 - 전기트리 열화 - 계면전기트리 열화	1. 제조불량 : 보이드 및 이물 2. 시공불량 : 이물/ 공극 잔존, 잘못조립	1. 부분방전 발생 2. 절연파괴 전압

① 용량증대 측면

- 대도체 케이블 / HTS(고온 초전도) 케이블 / GIL(Gas Insulated Line) 개발
- 절연두께 감소 (열방산 증대 효과 및 전력구 및 관로 크기 감소 효과)
- DRS(Dynamic Rating System : 실시간 허용전류 산정 시스템)
- 허용전류 재정립

② 신뢰성 확보 측면

- DTS(Distribute Temperature Sensing)
- PD(부분방전) 진단
- CBM(Condition Based Monitoring)
- 잔여수명
- 보호/개통해석 및 각종 시험기술

전력케이블 진단기술

(1) 초고압 XLPE 케이블 부분방전 진단

핵심요소 기술	기술의 내용	비고
센싱 기술	- 고감도 내외장형 센서 개발 및 제작기술 - 지능형 센서기술 - 측정 노이즈 제거 기술	- 단/중기 - 중/장기 - 단/중기
분석 기술	- 신호처리 기술 - 인공지능형 패턴분석기술 - 열화 원인 분석 기술	- 단기 - 단/중기 - 단/중기
진단 시스템	- On-line 원격 진단 시스템 구축 - 최적 유지보수 기법	- 중/장기 - 중/장기
준중시험 기술	- AC+PD 측정기술 - 상시감시기술과의 연계	- 단기 - 단/중기

(2) 초고압 OF 케이블 부분방전 진단

핵심요소 기술	기술의 내용	비고
유중가스 분석	- 절연유 분석기술, 열화 기준 설정 - 유중가스 추출 및 분석의 정확성 제고 - 상시 가스분석 기술	- 단기 - 단기 - 중/장기
누유지점 검출	- 현장 누유 직접 검출	- 중/장기
부분방전 진단	- 부분방전 측정 기술 - 열화판단기준 설정 - 상시 모니터링 시스템 구축	- 단/중기 - 중/장기 - 중/장기

(3) 배전 CNCV 케이블 진단

핵심요소 기술	기술의 내용	비고
열화 진단	- 사선 열화진단 기술 - 활선 열화진단 기술 - 열화 분석 기술	- 단/중기 - 중/장기 - 단/중기
시스템 기술	- 온라인 모니터링 기술	- 중/장기

(4) DTS/DRS

핵심요소 기술	기술의 내용	비고
시스템 기술	- 분포 온도 측정(DTS) 시스템 구축 기술	- 단기
적정 용량 판단 기술	- Hot Spot 판단 및 해소기술 - 케이블 허용전류 용량 추정	- 단/중기 - 단/중기
실시간용량산정(DRS) 기술	- 계통연계 실시간 허용전류 산정/운용기술	- 중/장기

(5) 계통 관련 기술

핵심요소 기술	기술의 내용	비고
써지분석 기술	- 계통유입 써지의 측정 및 분석과 대책	- 단/중기
순환전류 저감	- 시스 순환전류 원인 분석 및 대책	- 단/중기
SVL 관련	- SVL 열화진단	- 단/중기
방식중 손상	- 방식중 손상 측정기술	- 중/장기

(6) 케이블 거동 관련

핵심요소 기술	기술의 내용	비고
해석 기술	- 케이블 열-기계적 거동 해석 - 교량 등 환경에 따른 케이블 거동 해석	- 단/중기 - 단/중기
시스템 기술	- 케이블 거동 상시감시기술	- 중/장기

(7) 터널/맨홀 감시

핵심요소 기술	기술의 내용	비고
시스템 기술	- 터널 및 맨홀 상시감시기술	- 단/중기

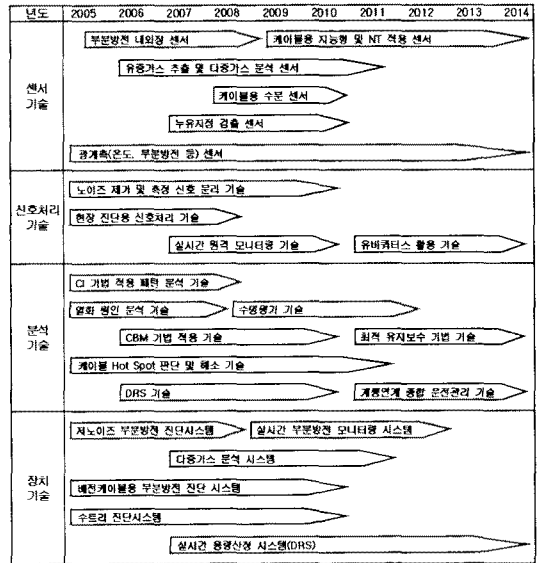
(8) 수명평가

핵심요소 기술	기술의 내용	비고
상시 감시 분석	- 온라인 모니터링 기술과의 연계	- 중/장기
물성 분석	- 수명 factor 도출	- 단/장기

2.3 전력케이블 진단 로드맵

이상 고려한 최근 연구 동향 및 각 전력 케이블 종류 별 진단 기술을 종합하여 장기적인 전력케이블의 진단에 대한 기술 로드맵을 구성하면 다음 표 4와 같다. 기본적으로는 센서 기술, 신호처리 기술, 분석 기술 등을 토대로 하고 이들을 종합한 장치 기술로 분류되며, 최종적으로는 전력계통과 연계된 종합 운전관리 기술로 집약될 수 있다.

표 4. 전력 케이블 시스템 진단 기술 로드맵



3. 결 론

이상과 같이 전력케이블 시스템의 진단을 위한 기술 지도를 제안하였다. 본 고에서 제시한 상기 기술지도 이외에도 여러 가지 진단 기술들이 포함될 수 있으리라 생각하지만, 현재까지 도출된 주요 기술들에 대해서만 말라하였다. 또한, 앞으로도 많은 진단 기술들이 도출될 것으로 기대되므로 향후 이에 대한 보완이 필요하다고 생각한다.

아울러, 본 고에서 제시한 전력케이블 시스템의 진단에 대한 기술 지도가 관련 분야의 연구 개발에 많이 활용되기를 기대한다.

[참 고 문 헌]

- [1] 임현의, "한국의 지중송전시스템 현황 및 향후 전망", 전력케이블 연구회 2005년 워크샵, 2005.1.26, 2005
- [2] 김정태, "선진국의 전력케이블 시스템 개발 현황 - CIGRE SC B1 활동을 중심으로 -", 전력케이블 연구회 2005년 워크샵, 2005.1.26, 2005