

22.9kV 케이블 단말 부위 소손 사고의 원인에 관한 고찰

심헌*

한국폴리텍대학 청주캠퍼스 교수

A Consideration on the Causes of 22.9kV Cable Terminal Burning Accident

Hun Shim*

Professor, Cheongju Campus of Korea Polytechnics

요약 케이블 사고의 주요 원인은 케이블 자체 또는 내·외적으로 전기적, 기계적, 화학적, 열적, 수분침입 등으로 인한 열화의 가속화로 절연성능 감소되고 절연파괴가 발생하여 케이블 사고를 유발하게 된다. 케이블 사고는 과전압, 과전류의 영향으로 절연이 불량한 부분에서 발생할 수 있으므로, 변압기, 차단기의 이상여부, 상간불평형에 의한 지락사고 등을 종합적으로 분석할 필요성이 있다. 케이블의 절연파괴에 의한 지락사고는 케이블 자체의 결함, 케이블 시공불량 뿐만 아니라 운영상의 영향, 전기설비(개폐기, 차단기 등)의 운전 시 아크 등에 의해 발생할 수 있어 사고시점을 전후로 운전 데이터 및 사고 이력에 대한 분석이 필요하다. 이 연구에서는 국내의 한 공장에서 발생한 케이블 사고의 분석을 통하여 케이블 사고의 원인을 고찰하고자 한다.

주제어 : 케이블 열화사고, 지락사고, 절연파괴, 케이블 접속재, 케이블 트리

Abstract The main cause of cable accidents is the accelerated deterioration of the cable itself or internal and external electrical, mechanical, chemical, thermal, moisture intrusion, etc., which reduces insulation performance and causes insulation breakdown, leading to cable accidents. Insulation deterioration can occur even when there is no change in the appearance of the cable, so there is a difficulty in preventing cable accidents due to insulation deterioration. Since cable accidents can occur in areas with poor insulation due to the effects of overvoltage and overcurrent, it is necessary to comprehensively analyze transformers and circuit breakers, and ground faults caused by phase-to-phase imbalance. Ground fault accidents due to insulation breakdown of cables can occur due to defects in the cable itself and poor cable construction, as well as operational influences, arcs during operation of electrical equipment (switchers, circuit breakers, etc.). analysis is needed. This study intends to examine the causes of cable accidents through analysis of cable accidents that occurred in a manufacturing factory.

Key Words : Cable burning accident, Earth fault, Insulation failure, Cable Termination, Cable Tree

*교신저자 : 심헌(hshim@kopo.ac.kr)

접수일 2022년 1월 29일 수정일 2022년 3월 21일 심사완료일 2022년 3월 28일

1. 서론

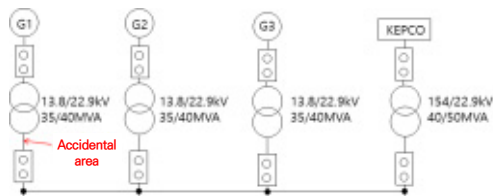
변압기(13.8/22.9kV, 35/40MVA) 22.9kV측 케이블 단말부위에서 원인을 알 수 없는 이유로 케이블 소손사고가 국내의 한 제조공장에서 발생하였다. 케이블 단말부위의 사고원인을 특정하기 위해서는 사고케이블뿐만 아니라 사고가 발생한 전력설비와 이에 대한 운전현황을 면밀히 분석해야 한다. 이 분석이 진행되지 않을 경우에 절연체손상, 공극형성, 이물질침입 등 케이블 시공오류에서 사고원인을 찾게 된다. 하지만 케이블사고는 시공 오류뿐만 아니라 케이블 자체결함, 운영·관리 문제, 외부 충격 등 다양한 원인에 의해 발생할 수 있기 때문에 사고 분석으로 원인 규명에 접근할 필요가 있다.

사고분석에 있어서 가장 중요한 부분은 사고현황과 이에 대한 논리적 근거를 일치시켜 사고발생 원인을 정확히 찾는 데 있다. 이러한 배경에서 이 연구에서는 케이블 사고분석을 위해 국내의 한 공장의 케이블 소손사고 원인에 대한 논리적 근거에 대해 고찰하고자 한다.

2. 사고계통 분석

2.1 전력설비의 현황 분석

사고케이블은 발전기에 연결된 승압용 변압기(13.8/22.9kV, 35/40MVA)의 2차측인 22.9kV R1, S1, T1 선로 중 T1 상으로 고장지점은 변압기와 연결되는 케이블의 종단접속부위로, 계통구성은 자가용 발전설비 G1, G2, G3와 계통이 병렬운전, 교차투입 또는 단독 운전하여 운영할 수 있는 구조로 병렬 운전시 전압, 주파수, 위상 등의 동기가 필요하며 발전기 또는 각상의 과전류 또는 상간불평형으로 영상전류가 증가할 수 있다.



[Fig. 1] Diagram for electric distribution system

사고케이블은 외기와 접속보호를 위해 외부에 설치된 큐비클 내부에 접속 시공되었다. 큐비클 내부의 전기설비의 경우 다량의 열이 농축될 수 있으며 이에 따라 케이블의 허용전류를 감소시킬 수 있다. 케이블의 허용전류

과도시 케이블에 열이 발생하고 열이 발산하지 못하면 과도한 열이 방출되어 케이블 소손과 절연 파괴의 원인이 된다.

정상상태에서 전력설비의 작동 및 유지관리를 위해 설비를 취급하는 동안 전기적 위험이 있을 수 있어 전력설비의 운전 형태에 따라 사고발생, 위험에 노출, 전력설비의 손상과 아크 플래시 발생이 가능하다. 이러한 이유로 정상적인 상태에서의 전력설비의 운영·관리 및 유지보수 지침을 준수해야 한다.

2.2 사고 케이블의 분석

G1발전기 승압용 변압기의 2차측 T1 선로의 사고 케이블 사진에 의하면 사고가 발생한 T1상의 종단 접속부에서 절연외장이 찢어지고 절연체인 XLPE에서 절연이 파괴된 흔을 확인할 수 있으며 흔 내부에 탄화 흔적을 확인할 수 있다.



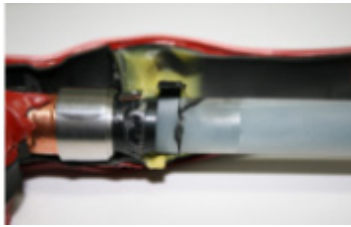
[Fig. 2] Insulation failure of damaged cable

특고압 케이블 접속 시공으로 케이블 종단부의 케이블 절연 효과를 해친 경우 충분한 절연을 보강하여 접속부의 열화 원인의 제거가 필요하다. 만약, 절연체가 파손되면 절연성능 저하로 절연체가 열화하고 누설전류가 발생으로 케이블 사고가 발생할 수 있다.

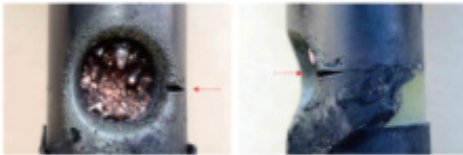
Fig. 3(a)의 절연체 두께 손상에 따른 시험[1]에 의하면 절연체 두께가 2mm 감소한 경우에 절연파괴 전압이 43kV로, 이러한 절연파괴 전압을 가했을 때 케이블 소손이 매우 작게 나타났음을 알 수 있다. 그러나 Fig. 2의 사고케이블의 사진에서 유사한 절연파괴 전압으로 케이블 손상이 발생 여부 확인에 어려움이 있다.

그림 Fig. 3(b)의 사고 사례[2]는 절연체의 천공된 부위(절연파괴공)에서 도체에 수직방향으로 두께 약 1mm 정도의 공구에 의해 손상된 흔적이 확인되었을 때 반도체 층 경계 부분을 중심으로 하여 절연체가 원형으로 천공된 형상을 나타내고 있으며 천공된 내측의 도체가 전기적 발열에 의해 용융된 것으로 추정할 수 있다. Fig. 2 사고케이블의 절연파괴와 Fig. 3(b)의 케이블의 절연파

과 사례를 비교하면 사고의 원인이 되는 누설전류 또는 아크의 진행 방향에 따라 천공 형태가 달라짐을 알 수 있다. Fig. 2의 사고케이블 절연파괴 부위에서 열수축형 종단접속재 시공 중에 도전층 박피 과정에서 칼집 자국 등이 발생했다는 것을 확인할 수 없어 시공 중에 절연체가 손상되었다고 단정하기 어렵다.



(a) Insulation breakdown by heat shrink test



(b) Insulation breakdown of cable

[Fig. 3] Insulation breakdowns of accident cable

2.3 시험에 의한 시공의 적정성 판단

케이블 오류를 판단하기 위해, 사용전 검사의 절연내력 시험에서 케이블의 공칭전압 이상의 전압을 가하여 절연체의 손상 여부를 확인하며 이러한 시험 결과는 다음과 같다.

2.3.1 절연내력 시험

특고압 전로의 절연저항 및 절연내력 시험은 최대 사용전압의 0.92의 시험전압의 2배의 직류 전압을 전로와 대지 사이에 연속하여 10분간 가하여 절연내력을 시험하였을 때에 이에 견뎌야 한다[3]. 이때, 일반적으로 공칭 전압이 1kV초과 500kV 미만의 전로는 최대사용전압을 그 전로의 공칭전압의 1.15/1.1로 한다[4]. 따라서 다음과 같은 시험전압 이상으로 결정된다.

$$22,900V \times 1.15 / 1.1 \times 0.92 \times 2 = DC 44,051V \quad (1)$$

사고케이블의 절연내력 시험 결과는 Table 1과 같으며 기준에 부합한다.

<Table 1> Test result of insulation strength

Items		Voltage	
		45kV	
		1min	10min
R1	Leakage Current[μ A]	0.85	0.55
	Insulation Resist.[M Ω]	50,000	75,000
S1	Leakage Current[μ A]	0.85	0.57
	Insulation Resist.[M Ω]	50,000	75,000
T1	Leakage Current[μ A]	1.05	0.91
	Insulation Resist.[M Ω]	40,000	50,000

2.3.2 누설전류 시험

교류시험전압의 2배의 직류전압으로, 누설전류를 측정하여 누설전류대 전압곡선상 급경사(knee)가 발생하지 않고 누설전류가 안정되어 10분간 견뎌야 하며, 누설전류가 10 μ A 이상에 해당될 경우 요주의 사항으로 고압 이상 전로에 대한 절연에서 검사기준[5.6]을 정하고 있다. Table 2와 같이 사고 케이블 T1의 누설전류는 최대 1.1 μ A로 요구기준 이하이며 전류변화특성의 급경사(knee) 현상 발생 없이 안정함을 알 수 있다.

<Table 2> Leakage current of accident cable

Phase		Voltage				45kV	
		10kV	20kV	30kV	40kV	1min.	10min.
Leakage Current [μ A]	R1	0.06	0.14	0.31	0.51	0.88	0.59
	S1	0.07	0.21	0.34	0.49	0.88	0.59
	T1	0.05	0.19	0.51	0.8	1.09	0.89

2.3.3 상간불평형률

고압이상 전로의 절연에서 다음과 같이 검사기준⁵⁾을 정하고 있다. 사용 중인 케이블의 경우 최종시험전압에서 누설전류 상간불평형률이 200% 이상이면 요주의 판정으로 상간 불평형률(A, B, C 공통)이 43%로 측정되어 양호한 것으로 판단된다.

2.3.4 성극지수(PI) 시험

전기안전공사 검사판정기준[5,6] 고압이상 전로의 절연에서 전류의 흡수특성을 나타내는 척도로서 성극비가 이용되며 일반적으로 건전한 케이블의 성극비는 크고, 누설전류는 작다고 검사기준을 정의하고 있으며, 여기에 활용되는 성극비를 다음과 같이 계산한다.

$$\text{성극비} = \frac{\text{전압인가 1분후의 전전류 값}}{\text{전압인가 10분후의 전전류 값}} \quad (2)$$

여기에서, 사용 중인 케이블의 경우 최종시험전압에서 누설전류 상간불평형률이 200% 이상이면 요주의 판정하는 것으로 사고케이블 T1상의 성극비는 1.22로 측정되어 양호한 것으로 판단된다.

<Table 3> Polarity ratio of accident cable

Phase	R1	S1	T1
Polarity Ratio	1.40	1.40	1.22

종합적으로 이와 같은 시험에 의해 시공은 적정하게 이루어졌다고 판단된다.

3. 케이블 열화원인 분석

3.1 고압 케이블 사고원인 분석

고압케이블 고장은 케이블의 외상, 열화, 제작불량, 시공불량 등이 원인으로 Table 4와 같이 일본의 고압배전선로의 사례[7]를 살펴보면 시공 또는 자재 불량에 고압케이블 사고의 원인일 뿐만 아니라 운영상에 발생할 수 있는 열화로 케이블 사고가 발생할 수 있다.

<Table 4> Outage by electric accident

cause of accident	3.3kV Dist. Line	6.6kV Dist. Line
Burning	58.8%	24.7%
Natural burning	4.4%	3.5%
Out damage	12.3%	41.8%
Bad wiring, material	16.7%	18.0%
etc	7.9%	12.0%
Sum	100%	100%

3.1.1 전기적 열화[8]

상시 운전 전압이나 과전압, 서지 전압 등에 의해서 부분 단전, 전기트리, 수트리 등이 발생하여 케이블 열화가 발생할 수 있다. 고압 이상의 케이블의 경우 보이드, 이물질, 돌기, 수분 등에 의해 성능저하가 발생할 경우, 전계집중 및 물리화학 작용에 의해 수트리가 발생하여 절연파괴 발생이 가능하다.

3.1.2 열적 열화

허용전류 내에서의 온도상승은 열적 열화에 거의 문제가 되지 않지만, 이상온도 상승, 열신축(열싸이클) 등에 의해서 열적으로 변화되거나 기계적인 손상 및 변화를 일으켜서 장기적 요인과 복합작용으로 인하여 열화하고 열에 의해서 재질자체가 화학적으로 변화할 수 있다. 사고 케이블의 경우 다양한 원인으로 인한 케이블의 과전류 발생, 큐비클 내의 온도 상승으로 인한 절연층 재질 변화에 의한 열적 열화가 발생할 수 있다.

3.1.3 화학적 열화

각종 화학 물질 등에 의해서 케이블의 절연외피를 부식시키거나 화학반응으로 변질, 화학물질이 절연층을 투과하여 도체에 닿으면 화학 Tree를 일켜서 케이블의 절연 열화 발생한다. 해당 사고 케이블의 경우, 큐비클 내에 접속된 종단 접속 부위로 화학 물질에 의한 절연 열화의 가능성은 낮아 보인다.

3.1.4 기계적인 열화

기계적인 압력이나 인장, 충격 또는 외상에 의해서 케이블이 기계적으로 손상 변형되어 전기적 원인과 복합작용으로 열화, 피복의 손상으로 침투되어 절연 파괴가 발생한다.

3.1.5 생물적 열화

개미나 쥐, 벌레 등이 케이블의 외피나 절연 등을 갈아 먹는 원인으로 케이블이 손상될 수 있어, 무인으로 운전되는 전기설비의 지락사고 원인이 되고 있다.

3.2 케이블 화재의 발화메커니즘[9,11]

3.2.1 유기질 절연물의 탄화에 의한 발화

탄화는 두 전극간의 절연물 중, 일부분에서 시작되는데 탄화로 인하여 절연체의 고유저항이 감소되면 그 부분의 전류밀도가 증가하여 국부가열 현상이 발생한다. 이 발열 열이 주위의 열보다 많으면 열이 누적되어 온도상승과 동시에 국부적인 탄화현상이 가속된다. 이러한 과정이 진전되면 탄화 영역이 확대되고 전위경도가 강한 곳이 발생하여 점차적으로 절연파괴 현상이 발생한다. 탄화정도가 어느 정도로 진전되어 절연 저항치가 특정치(약1,600Ω~2,000Ω)에 도달하면 온도가 급격히 상승, 발화현상은 열파괴론에 입각한 절연파괴가 진전될 수 있다.

3.2.2 접속부 과열에 의한 발화

전선과 전선, 전선과 단자 또는 접속 핀 등의 도체에 있어서 접촉상태가 불완전하면 특별한 접촉저항(이산화동 현상, 접촉저항 등)을 나타내어 발열하게 되며, 접속부의 접촉저항에 의한 국부가열로 인한 화재 발생이 가능하다. 특히 유기질 전기접속기의 접속부 과열에 의한 발화의 경우와 전선이나 케이블 접속부분에서의 과열 또는 전선과 철선과의 접속부분의 과열에 의한 발화가 가장 많다. 유기질 전기접속기 내의 접속 상태가 불완전하면 접촉저항의 증가로 가열이 일어나 유기질 절연물이 발화 또는 착화가 가능하다.

3.2.3 누전에 의한 발화

누전화재는 전선이나 전기기기에서 전류 유출 부분의 금속재 발열 등 화재 구조가 다양하므로 전류의 통로인 금속재의 상태도 다양하므로 발화의 위치와 양상도 일률적으로 언급하기는 곤란하다.

누전화재가 발생하는 장소에는 접지물과 누전점이 주로 되며, 고압이상의 전로에는 일반적으로 대기전류 발생시 전로를 차단하는 보안장치가 부설된 감지전류 이하로 누전될 때는 차단불능으로 지락지점에 인화물질이 있으면 화재가 발생한다.

3.2.4 단락(합선)에 의한 발화

단락에 의한 발화는 전기화재 중 가장 많은 비중을 차지하는데, 단락이란 두 개의 전선에 어떠한 원인에 의해 접촉하는 현상이며 이 경우 대부분 전압이 그 접촉부에 걸리게 되고 접촉구의 낮은 저항차에 의해 매우 큰 전류가 흐르게 된다. 이러한 전류는 대단히 많은 열을 발생하여 단락순간 폭음과 함께 단락지점이 떨어지게 된다.

3.2.5 과전류에 의한 발화

전선에도 약간의 전기저항이 있기 때문에, 전류가 흐르는 경우 흐르는 전류의 제곱에 비례하는 주열이 전선 내에서 발생하는데, 흐르는 전류량이 점점 커지게 되면 결국 전선의 절연피복이 과열되어 발화한다.

4. 케이블 화재 원인 분석

케이블의 화재 원인은 케이블 자체가 발화한 경우와 외부로부터의 연소에 의한 경우로 구분할 수 있다. 케이

블 자체의 발화의 경우, 지락·단락 고장시 대전류 Arc 발생, 다회선 포설에 따른 허용전류 저감률 부족, 시공불량 등에 의한 온도상승과 더불어 외상,약품, 절연체의 열화 등으로 절연 파괴에 의한 발화로 화재 원인을 구분할 수 있다[10].

해당 사고의 경우 T1상의 케이블만 소손된 것으로 보고되어 1선 지락사고가 발생된 것으로 추정되며, 이에 대한 원인으로 해당 케이블의 과전류, 케이블의 절연파괴 등이 원인이다. 케이블의 외부로부터 기인한 발화로 는 공사 중 용접 불꽃 등에 의한 발화, 케이블 주변에서 기름 등의 가연물이나 구축물의 연소에 의한 발화, 케이블이 접속되어 있는 기기류의 과열에 의한 발화 등으로 화재 원인을 구분할 수 있다.

케이블 접지 선로와 누설전류 경로가 형성되면 열이 절연체를 국부적으로 파괴시켜 시간의 경과에 따라 누설 전류가 증가하며, 이러한 환경이 장시간 경과하여 발열이 누적되었을 경우, 주위 가연물로 작용하는 케이블 피복 발화의 가능성이 있다. 따라서 당해 사고의 경우, 외장 및 절연파괴가 발생하여 이로 인해 발생한 아크가 1선 지락사고가 발생했을 가능성이 있다. 발생된 아크는 사고 부위와 가까운 외함 또는 케이블 접지 동선을 통해 접지측으로 귀로하였을 것으로 판단된다.

해당 사고가 1선 지락사고로 규정한다면, 운전상에서 발생한 내·외부적 요인으로 기인한 종단접속 부위의 지속적인 스트레스 누적 때문에 1선 지락사고가 발생한 것으로 판단된다.

지락사고의 국부적 요인에 의해 동시다발적이고 광범위한 전기화재로 확대될 수 있다[12]. 3상 4선식 특고압 배전선로에 있어 전압선 중 1선이 지락되는 경우 건전성의 전압은 정상상태의 상전압보다 1.38~1.39배 높은 일시 과전압[13]이 나타난다. 이와 같은 과전압은 주변 전기설비의 절연을 파괴하면서 큰 고장전류 발생시켜 동시다발적 화재가 발생할 수 있다.

5. 결론

절연체의 구성이 전혀 다른 두 케이블이라도 온도변화에 따라 비슷한 비율로 절연저항이 감소되었으면 절연파괴가 일어나는 절연저항 또한 비슷한 수치에서 발생 [14,15]되므로 다른 케이블의 절연파괴 가능성이 있다.

케이블 사고는 과전압, 과전류의 영향으로 절연이 불량한 부분에서 발생할 수 있으므로, 변압기, 차단기의 이

상여부, 상간불평형에 의한 지락사고 등을 종합적으로 분석할 필요성이 있다. 케이블의 절연파괴에 의한 지락 사고는 케이블 자체의 결함, 케이블 시공불량 뿐만 아니라 운영상의 영향, 전기설비(개폐기, 차단기 등)의 운전 시 아크 등에 의해 발생할 수 있어 사고시점을 전후로 운전 데이터 및 사고 이력에 대한 분석이 필요하다.

해당 사고 케이블은 절연내력 시험, 누설전류, 상간불평형, 성극지수시험을 통해 시공 결과가 양호한 것으로 판단된다. 해당 사고의 경우, 시공후 즉각적인 또는 단시간 내에 1선 지락사고가 발생하거나 외상, 약품, 강제적 절연체 파괴 등 외부적 요인에 의해 1선 지락사고가 발생하지 않았으므로 1선 지락사고가 발생했다면 과전류, 진동 등에 의한 내·외부적 요인으로 기인한 종단접속 부위에 스트레스 누적으로 1선 지락사고가 발생한 것으로 추정할 수 있다.

정확한 사고 원인 규명을 위해서는 사고 전후의 운전 이력(각상의 전압/전류, 유효전력, 무효전력, 역률, 무효율, 영상전류, 불평형률, 사고이력 등)에 대해 종합적인 분석이 필요하다. 케이블 사고는 다양한 요인에 의해 발생할 수 있고 장시간 경과 후에도 절연파괴, 화재사고 등이 발생할 수 있으므로 케이블 자체의 절연성능의 확보, 설치·시공관리, 운영관리에 주도면밀한 고려가 필요하여 지속적인 점검 및 유지보수로 케이블 사고 예방이 가능할 것이다.

REFERENCES

[1] S.M.Baek, J.W.Choi, S.H.Kim and Y.S.Kim, "Electrical Properties of 6.6kV Cable Termination by Mechanical Damage" Journal of KIEE Summer Conference, pp.1299-1300, 2009.

[2] H.K.Ji and Y.G.Cho, "Analysis of the Power Cable Fire Case in Busan-JungKwan Energy", Journal of KOSHAM, Vol.20, No.3, pp.117-122, 2020.

[3] The Inspection Verdict of Electrical Equipment Technology Standard, MOTIE, 2021.

[4] The Commentary of Electrical Equipment Technology KEA, pp.95, 2016.

[5] KEC The Standard of Inspection Verdict, KECA, 2020.

[6] Supervising Practice of Distribution and Transmission Line Installation, KEEA, 2002.

[7] B.K.Kim, Y.S.Mok, K.W.LEE and D.H.Park "Insulation Test and Maintenance Method of High Voltage Cable", Journal of KEEA, pp.4-10, 2003.

[8] K.H.Moon, J.W.Kang and J.C.Kim, "Analysis of the cause of insulation breakdown in Transmission cable EB-A", Journal of 2011 KIEE Summer Conference, pp.511-512, 2011.

[9] S.H.Hong, "A Study of the Cause of Burning Cable and Cable Flame Resisting Test Method", KDPA, Journal of Disaster Technology, Vol.51, pp.6-12, 2011.

[10] S.K.M, B.S.Bae, C.M.Kim, "The cause analysis of explosion on junction termination of 345kV cable", KESCO-ESRI, pp.63-79, 2010.

[11] S.Y.Oh, "Analysis of the Causes for Cable Fire and Improvement of the Systems", Yeonsei Uni., 2004.

[12] J.H.Yoo, H.S.Kim, H.G.ee and Y.S.Cho, "A Study on Fire Investigation Technique For Single Line to Ground Faults in Distribution Line Using EMTF Simulation", Journal of the Korean Society of Safety, Vol.33, No.3, pp.21-26, 2018.

[13] S.D.Kang, J.H.Kim, J.H.Kim, "A Study on the Insulation Resistance in Cable with Rising Temperature", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers 32(3), pp.72-77, 2018.

[14] S.M.Park, H.N.Roh, S.S.Cho and H.H.Lee, "An Analysis on the Over-voltages by the Earth Fault in 22.9kV-Y Distribution Line", Journal of 1999 KIEE Summer Conference, pp.3126-3128, 1997.

[15] Avinash Chaudharya, "Characteristics of Power Cables in a Compartment", Procedia Earth and Planetary Science 11, pp.376-384, 2015.

심 현(Hun Shim)

[정회원]



- 2012년 2월 : 한양대학교 전기공학(공학박사)
- 2015년 12월 ~ : 한국폴리텍대학 청주캠퍼스 전기에너지과 교수
- 2021년 1월 ~ : 학교법인 한국폴리텍 기획부

<관심분야>

전력계통, 신재생에너지, 스마트그리드, 마이크로그리드