

지중배전기기용 외함 디자인 개선

Improvement of Case Design for Underground Power Distribution Facilities

정연하 · 박철배 · 천성남

한국전력공사 전력연구원

Yeon-Ha Jeong · Chul-Bae Park · Sung-nam Chun

Korea Electric Power Research Institute, KEPCO

Abstract

In this paper we present development process and results of some cases for underground pad transformer and switchgear. Some characteristic factors was considered and tested to improve the functions of the case, such as natural convection of cooling air between the internal and external cases, properties of material that used as external panel etc. Proposed designs and functional characteristics will be adapted to making the cases of underground facilities after the elaborated tests. The results obtained from this study will improve the scenery of a street.

1. 서론

현대생활에서 전기는 생활과 문명을 유지해 가는 필수재가 된지 오래이며 생활의 질이 향상되고 문명의 발달할수록 그 중요성도 높아지고 있다. 근대화와 함께 시작한 급격한 전력수요의 증가에 대응하기 위해 우리나라는 그 동안 각종 전력설비의 증설에 박차를 가하여 세계최고수준의 전력보급률을 달성하였으나 급격한 전력수요에 경제적이며 빠른 대응을 목적으로 사업을 추진할 수밖에 없는 환경에서 대부분의 설비가 가공에 설치·운영되게 되었다. 필수재라고 여겨온 전기는 지금까지 대표적인 공공재로 인식되어 보다 효율적인 전력공급이 이루어질 수 있다면 전력기자재는 그다지 저항받지 않고 설치될 수 있었다.

1988년 서울올림픽을 개최하면서 가로시설물에 대한 정비가 본격화되었으며 전력시설물도 예외가 아니어서 가공에 설치된 전력설비들의 지중화가 이루어지게 되었다. 특히, 민주화 및 지방자치제도의 시행과 함께 높아진 시민들의 사회참여 의식은 NYMBY (Not In My Back Yard) 현상과 맞물려 각종 공공시설물에까지 개인재산권의 가치저하에 대한 보상 또는 이를 방지하기 위한 개선을 요구하기에 이르렀다.

이와 같은 문제에 대응하고 점차 복잡해지는 도심의 가로 환경개선을 위한 방법의 하나로 전력설비의 지중화가 진행되고 있다. 전력설비의 지중화는 환경개선의 효과가 높은 것은 자명하지만 동일용량의 가공설치·운영에 비해 설치비용이 과다하게 소요되는 단점을 가지는 외에 일부 설비는 운영의 관점에서 지상설치가 불가

피한 경우가 발생한다.

지중배전설비 중 지상에 설치되는 지상변압기 및 개폐기는 주로 도심지역의 가로에 설치된다. 이들 설비는 전력수요의 증가에 따라 여러 대가 집합 설치되는 경우가 많고 광고물 등의 부착으로 인해 표면이 오염되는 경우가 많아 시설물 자체가 지장물로 인식되는 경우가 많고 이로 인해 지방자치단체 및 주민들로부터 이설요구가 종종 발생되고 있다.

본 논문에서는 전력설비 운영과정에서 부딪히는 각종 민원 중 하나인 지중배전용 지상기기 이설에 대응하기 위해 외함의 개선을 위한 연구내용을 소개하기 위해 작성하였다. 본 논문을 통해 현재 운용 중에 있는 지중배전기기들의 문제점을 파악하고 이를 개선하기 위한 전략들을 소개하며 향후 한국전력공사에서 운용하려는 외함의 규격을 소개하고자 한다. 본 논문에 소개하는 내용은 전력설비의 설치 및 운영에 있어 인적인면 및 물리적인 면에서 주변과의 조화를 고려할 필요를 제기한 것으로 환경친화 전력기자재 개념의 도입을 위한 시급성이 될 것으로 보여진다.

2. 본론

2.1. 운용현황

1979년 지상변압기 4대가 처음으로 서울에 설치된 이래 배전설로의 지중화와 더불어 지상개폐기 및 변압기 등 지상기기의 설치는 급격히 증가하여 왔다. 2005년 12월을 기준으로 한국전력공사에서 5만 여대가 넘는 지상기기를 설치·운영 중에 있다.

표 1에는 2006년도 12월을 기준으로 한 우리나라 배전계통의 지중화현황을 지방자치단체별로 나타내었다.

표 1. 지방자치단체별 지중화 현황. (단위:%)
Table 1. Underground status of power distribution system in Korea. (Unit:%)

구분	서울	대전	부산	인천	광주	대구	울산	경기
지중화율	50.8	44.6	30.5	28.9	26.4	21.8	18.7	17.4
구분	제주	경남	충북	전북	강원	충남	경북	전남
지중화율	11.6	6.9	5.9	5.7	5.2	4.7	3.9	3.5

※ 총 고압배전선로 192,157km 중 23,608km가 지중선

표 1에 나타난 바와 같이 우리나라 배전계통의 지중화율은 12.3% 수준에 이르고 있어 앞으로도 지중화에 대한 수요가 계속 이어질 것으로 예상된다. 따라서 지중화와 관련해 지상기기의 철거요청과 같은 민원의 증가도 이어질 것으로 보려지는 바 이하에서는 이들과 관련된 문제점과 개선방안을 연관지어 기술하였다.

2.2. 표준화

지중배전용 지상기기의 운용으로 생기는 문제 중 하나는 전력수용의 증가에 따라 배전설비를 증설하면서 지상기기를 추가설치하게 되는 경우 서로 다른 크기의 지상기기를 집합으로 설치하게 됨에 따른 기기간 규격의 상이와 관련된 것이다. 지중배전용 지상기기는 크게 변압기와 개폐기로 나뉘어지며 이들은 다시 용량 및 조작성 등에 따라 표 2 및 3에 나타난 바와 같이 다른 외형 크기를 가지게 된다.

표 2. 지상개폐기 외함의 규격
Table 2. Specification of cases for underground switchgear.

회로	접속방식	외함크기(mm) (W × D × H)
4W4S	데드브레이크식 (스틱 조작형)	1,600 × 1,200 × 1,300
	데드브레이크식	1,600 × 1,000 × 1,300
		1,600 × 800 × 1,200
	데드브레이크식	1,600 × 1,200 × 1,300
3W3S	데드브레이크식 (스틱 조작형)	1,600 × 1,200 × 1,300
		1,200 × 1,200 × 1,200
4W2S	데드브레이크식 (스틱 조작형)	1,600 × 1,200 × 1,300

표 3. 지상변압기 외함의 규격.
Table 3. Specification of cases for underground transformer.

상별	전압 1차(kV)/ 2차(V)	용량 (kVA)	외함크기(mm) (W × D × H)	비고
단상	13.2 / 230-115	30	1,000×1,000×800	
		50		
		75		
		100		
		150	1,000×1,400×1,000	
삼상	22.9 / 400-230	200	1,000×1,400×1,000	
		75	1,500×1,000×1,400	
		100		
		150		
		200	1,500×1,100×1,400	
		300	1,500×1,350×1,400	표준
			1,500×1,100×1,400	슬립
500	1,500×1,500×1,400	표준		
	1,500×1,250×1,400	슬립		

또한 변압기의 경우에는 동일 용량을 가지는 변압기에 있어서도 제조사에 따라 서로 다른 크기를 가지게 됨에 따라 크기가 다른 지상기기를 군집시켜 운영하는 것이 불가피하다.

지상기기의 크기가 상이한 것을 군집 설치함으로 설치된 기기간의 부조화 문제와 더불어 대두된 또 다른 문제는 지상기기의 높이가 높아 상가의 진열장을 가리는 것에 관련된 것으로 지상기기의 높이를 줄일 필요가 있었다.

이상의 문제를 해결하기 위해 높이가 낮은 지상기기는 높이를 높이고 높이가 높은 지상기기는 기기의 성능을 해치지 않는 범위에서 기기의 높이를 낮추는 방안을 강구하여 지상기기의 종류와 용량을 따른 표준화안을 표 4처럼 제시하였다. 지상기기표준화를 위한 기능을 고려한 표준화방안의 세부 내용은 이전의 검토내용은 이전의 연구에 상세히 기술되어 있다.

표 4. 지상기기 외함 신 규격(안)
Table 4. New specification of cases for underground power distribution facilities.

종류	외함규격 개선(안) (WxDxH, mm)	
개 폐 기	4W4S(수동)	1,600 x 800 x 1,200
	4W4S(자동)	1,600 x 800 x 1,200
	4W2S(수동)	1,200 x 800 x 1,200
변 압 기	75,100,150	1,500 x 1,000 x 1,200
	200	-
	300	1,500 x 1,250 x 1,200
	500	1,500 x 1,500 x 1,200

*: 폐지 예상 규격

2.3. 방열특성

지상기기 중 변압기는 설비운영과정에서 에너지의 손실이 일어나며 손실된 에너지는 열로서 발산된다. 변압기에서 발생하는 열은 적절한 수단으로 변압기로부터 제거되어야 하며 이들을 효과적으로 제거하지 않는 경우 절연유 온도의 상승으로 인한 절연유의 열화와 절연지의 열화 등이 일어나는 것으로 알려져 있으며 이는 변압기의 고장 및 수명단축의 주요한 원인이 된다. 또한 절연유의 온도상승은 변압기 내부의 압력을 상승시켜 최악의 경우에는 변압기의 폭발과 같은 문제를 일으키기도 한다.

본 연구에서는 외함의 변경으로 인한 변압기의 방열 성능의 변화를 평가할 목적으로 변압기를 대상으로 방열해석을 실시하고 보다 양호한 방열특성을 가지는 변압기 외함의 구조를 검토하였다. 방열특성의 해석은 상용 열유동 해석전산코드인 Star CD 중 κ - ϵ high reynolds model을 사용하였으며 지배방정식 및 경계조건은 다음과 같다.

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \vec{u}_j \phi) = \frac{\partial}{\partial x_j}(\Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial x_j}) + S_\phi$$

-----(1)

B. C.(Boundary condition)

- ① non slip condition : $u, v, w = 0$
- ② 내함의 벽면의 온도 : 손실율로부터 계산입력
- ③ 외함 벽면의 전도도 : 재료의 전도도 적용

변압기의 방열 전산해석을 위해서 총 70,960개의 계산 격자를 사용하였으며 계산조건은 통풍구의 크기 및 위치와 외기온도를 다르게 하면서 계산하였다. 통풍구는 높이를 1, 3, 5, 10 및 15의 다섯단계로 나누어 적용하였고 통풍구의 길이는 측면 및 후면의 전체 길이를 1/3, 2/3 및 1로 하여 적용하였고 통풍구의 위치는 외함의 상부 및 하부에서 10 cm 및 20 cm 위치에 설치하는 것으로 하였고 외기온도는 여름의 기온을 상정하여 25 ℃ 및 30 ℃를 적용하였다.

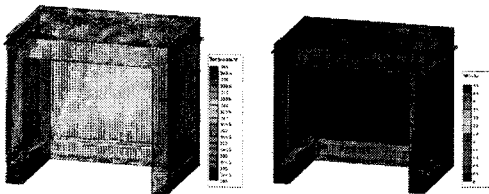


그림 1. 변압기 외함의 열유동 해석결과에 예
Fig. 1. An example of thermal effluent analysis in pad mounted transformer case.

변압기에서의 열유동 해석결과에 따르면 현재의 통풍구와 같은 구조에서 변압기 외함의 통풍량은 통풍구의 크기와 위치 그리고 외기온도 등에 따라 달라지며 그 값은 0.11~0.32 m³/s의 크기를 가지는 것으로 나타났다. 또한, 현재의 외함구조를 유지하는 경우 더워진 공기가 외함의 상부공간에 체류하는 것으로 나타나 상부 공기의 배출방안을 고려할 필요가 있음을 보여주고 있다.

개선된 변압기 외함에서는 방열효과를 최대한 목적으로 변압기 외함 상부에 통풍구를 설치하는 방안을 검토하였는 바, 외함 상판에 2.5cm 높이의 통풍구를 추가 설치한 경우의 통풍량은 외함 상판에 통풍구가 없는 경우와 비교하여 통풍량이 약 25 % 증가하는 것으로 나타났다. 변압기 외함의 재질을 철재에서 FRP 재질로 변경하는 경우의 열방산 효과를 검토한 결과 철재에 비해 절전달율이 적은 FRP 소재의 경우 동일한 외함 형상에서 공기 유동량이 약 5% 감소하는 것으로 나타나 지상 변압기에서 열 방산은 외함과 내함 사이를 지나는 공기의 유동에 의해 이루어지며 외함의 면을 통한 열방산의 효과는 미미한 것으로 확인되었다. 지상변압기 외함 내부의 열유동 해석과 관련한 세부적인 내용은 이전의 연구보고서에 상세히 기술되어 있다.

2.4. 조형성

외함의 조형성을 높이기 위하여 지중배전 기기용 외함의 개선 디자인을 개발하였다. 개선된 디자인 안은 지중배전기기가 가져야 하는 본래의 기능을 유지 또는 향상시키면서 하면서 주변과의 조화를 극대화하기 위해 기술성, 환경성, 경제성 및 조형성에 대한 디자인 도를 구성하고 image map과 연계하여 도출하였다.

본 연구에서는 총 5종의 외함의 디자인을 개발하였으며 개발된 디자인 중 일부를 그림 2에 나타내었다.

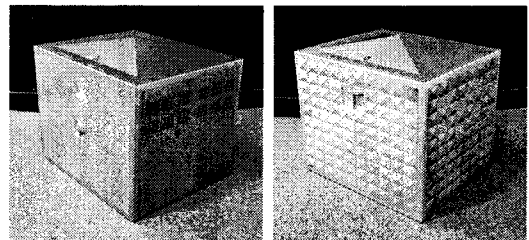


그림 2. 외함 개선 디자인의 예
Fig. 2. Examples of cases for underground power system facilities.

현재 한국전력공사에서 운영하는 변압기 및 개폐기의 외함은 가능하면 배전시설물의 설치가 사람들에게 그다지 인식되지 않도록 하는데 주요점을 두어 왔으므로 이를 위해 색상 및 모양의 선택에 있어서도 가능하면 인

식이 적도록 배려되어 왔다. 하지만 가로가 각종 시설물로 혼잡해지고 각종 광고물의 부착 등으로 전력시설물이 이전보다 시선을 끄는 대상물이 되어감에 이들 설비가 지장물로 인식되는 경우가 높아져 이전처럼 시선을 끌지 않는 개념으로의 관리에 한계를 보이고 있다.

본 디자인 개선에서는 이와 같은 운영환경을 감안하여 가로에 설치되는 전력시설물이 주변시설물과의 조화를 통해 가로시설물(street furniture)로서의 역할을 담당할 수 있도록 하였다. 사용소재는 이전의 차가운 금속재질의 한계를 극복할 목적으로 주변과의 조화가 유리한 FRP를 사용하였다. 다만, 외함이 가져야 하는 강도와 변압기의 방열특성을 유지하기 위하여 외함의 골격(frame)은 철재로 제작하였으며 자세한 규격은 이전의 보고서에 수록되어 있다.

본 연구에서 개발한 디자인은 사용여건에 따라 서로 다른 디자인 및 색상을 적용할 수 있도록 한 것으로 실제 사용에 있어 유연성을 높일 수 있을 것으로 보여진다.

2.5. 도장개선

우리나라 배전제통에 사용하는 각종 기자재의 수명이 종종 기대수명에 못 미치는 경우가 흔하다. 이런 이유 중 하나는 기자재의 상태가 양호함에도 불구하고 도장막의 손상으로 인한 외부의 부식이 주기기의 성능을 저하시키거나 사용을 불가능하도록 하는데 있다.

표 5. 외함의 도장 규격 비교
Table 5. Comparison of paint specification of cases for underground switchgear.

평가항목	관련규격		
	국내	IEEE C57.12.28	IEEE C57.12.29
도장막의 밀착성	KS M ISO2409	ASTM D 3359	ASTM D 3359
도장막의 두께	KS M ISO 2808	-	-
Crosshatch adhesion test	KS M ISO2409	ASTM D 3359	ASTM D 3359
Humidity test	-	ASTM D 4585	ASTM D 4585
충돌시험	-	ASTM D 2794	-
절연유저항시험	-	ASTM D 3359, D 3363	ASTM D 3359, D 3363
자외선 가속열화시험	-	ASTM G 53,D523	ASTM G 53,D523
모의 부식 대기시험(scab)	-	ASTM D 1654	-
마모저항시험	-	ASTM D 4060	ASTM D 4060
Gravelometer 시험	-	ASTM D. 3170	ASTM D 3170
자연가속폭로 시험	-	-	ASTM D 1654
시험항목	3	8	7

지면에 접해서 설치·운영되는 주상변압기 및 개폐기의 경우에 있어서 부식의 문제는 가공에 설치되는 다른 기자재보다도 부식의 문제가 심한 것으로 알려져 있어 주기기의 수명을 도장 막의 건전성이 좌우한다고 하고 과언이 아니다. 현재 한국전력공사가 운영하고 있는 도장 막의 시험규격은 도장막의 밀착성, 두께 및 부착력 시험의 3종에 불과해 장시간의 사용동안 도장 막의 건전성을 확보하는 것이 곤란한 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 IEEE에서 정하고 있는 변압기 외함의 건전성 실험방법을 참고하여 도장 막 평가규격을 개정 방안을 검토하였으며 이의 개략적인 내용을 표 5에 정리하여 나타내었다.

3. 결론

지중배전기기의 이설요구에 대응하고 지중배전설비 운영의 안정성을 제고할 목적으로 현재 사용되고 있는 지중 변압기 및 개폐기의 개선 외함을 개발하였다.

본 연구에서는 기존 외함의 설치·운영에서 나타난 기기별 부조화의 문제를 해결할 목적으로 장치 및 용량에 따른 외함의 표준화 방안을 검토하고 표준화방안을 제시하였다.

또한, 지중변압기에서의 방열특성을 전산수치해석을 통해 모사하였다. 기존 외함의 방열특성을 확인하고 기존 외함의 방열효과를 개선하기 위해 상부덮개에 방열구를 배치하는 방안을 검토한 결과 약 25 %의 방열 개선 효과가 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 거리기구의 개념을 도입한 주변 환경과의 조화를 이룬 조형성이 높은 5종의 외함의 디자인을 개발하였으며 이는 성능평가 등을 거쳐 연구완료와 함께 현장에 적용할 예정으로 있다.

본 연구를 통해 얻어진 결과물은 주변과 조화를 이루는 거리기구 개념의 조형물로 친환경설비 전력설비 운영의 기반을 마련하고 이를 통해 종국적으로는 전력공급의 안정성 제고에 기여할 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] R. Blue, Deepak G. Uttamchandani, "A novel optical sensor for the measurement of furaldehyde in transformer oil", IEEE Transactions on instrumentation and measurement, Vol. 47, No. 4, pp.964~966, 1998.
- [2] 전력연구원, "지중배전기기용 기능성 외함 개발(중간보고서)", 2006.