

대형 변압기 방진장치개발

Development on a Vibration Reducing Element for the Large Transformers

이준신*, 이옥륜**, 손석만***, 이상국****

Jun-Shin Lee, Wook-Ryun Lee, Sang-Guk Lee

Key Words : Vibration Reduction (진동저감), Seismic Control Device (내진장치), Noise Reduction(소음저감), Transformer(변압기)

ABSTRACT

The large transformers used in the electric power company become targets of public complaints because of those characteristics generating high-level noise. Reducing vibration level is the basis of noise control for the large transformers. For this reason, a vibrating reducing element is developed for the large transformers with a sub-element enduring seismic movement. Large attenuation of vibration is achieved by applying the element to the large transformers in a substation.

1. 서 론

전력산업분야에서 사용되는 대형변압기는 전기를 공급하는 핵심 기기임에도 불구하고 고소음 유발 특성 때문에 변전소 주변 거주자들에 의한 민원제기 대상이 되고 있어 효과적인 전력공급 차질은 물론 변전소 종사자의 업무 손실이 발생되고 있는 실정이다. 이러한 현상은 도심이 점점 확장되면서 거주지가 변전소 인근까지 접근하는 경우가 생기며, 또한, 도심에 새로운 변전소들이 신설되면서 더욱 악화되고 있다. 본 연구는 변압기의 소음 저감시의 기본이라 할 수 있는 변압기 방진장치에 대한 것이다.

전력산업분야에서 사용되는 대형변압기는 옥외형인 경우 지반에 고정되어 사용되며 옥내형인 경우 지지구조물에 고정되어 운전하게 된다. 변압기를 지반에 고정하는 것은 지진과 같은 외부 충격에 의해 변압기가 자리를 이탈함으로써 발생하는 기능상실을 미연에 방지하고자 하는 목적이다. 하지만 변압기를 고정함으로써 변압기 자체의 진동 증폭에 의해 변압기 외부로 전파되는 소음이 커지게 된다. 또한, 변압기 진동이 지반에 그대로 전달되면서 변압기 주변 구조물의 건전성에 영향을 끼치게 된다. 특히 옥내형 변압기의 경우 변압기 진동에 의해 변압기 지지구조물이 손상되는 경우가 종종 발생하고 있다.

본 연구에서는 고무패드를 변압기 하부에 적절히 배치하여 변압기 진동을 저감시키는 구조를 개발한다. 덧붙여, 변압기에 대해 방진처리만 하였을 경우 지진발생시 변압기가 자리를 이탈할 가능성이 있다. 이와 같은 단점을 해소하고자 변압기 자리 이탈 방지안도 제시한다. 궁극적으로 개발된 방진 장치는 현장에 적용하여 그 효과를 검증하기로 한다.

2. 변압기 방진구조

전력산업분야에서 사용되는 대형변압기는 옥외형인 경우 Fig 1(a)와 같이 지반에 고정되어 사용되며 옥내형인 경우 Fig 1(b)와 같이 지지구조물에 고정되어 운전하게 된다. 변압기를 지반에 고정하는 것은 지진과 같은 외부 충격에 의해 변압기가 자리를 이탈함으로써 발생하는 기능상실을 미연에 방지하고자 하는 목적이다. 하지만 변압기를 고정함으로써 변압기 자체의 진동증폭에 의해 변압기 외부로 전파되는 소음이 커지게 된다. 또한, 변압기 진동이 지반에 그대로 전달되면서 변압기 주변 구조물의 건전성에 영향을 끼치게 된다. 특히 옥내형 변압기의 경우 변압기 진동에 의해 변압기 지지구조물이 손상되는 경우가 종종 발생하고 있다.

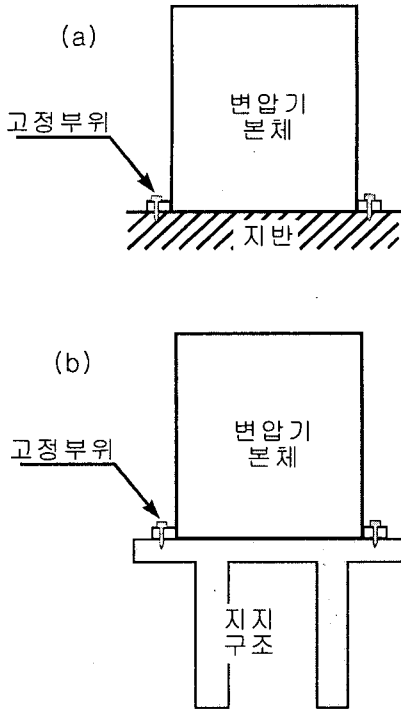


Fig. 1 기존의 변압기 지지구조의 개략적 설명

본 개발은 기존의 변압기 지지구조의 단점을 개선하는 것으로서 Fig 2 와 같이 변압기 하부에 고무패드를 적절히 배치하여 변압기 진동을 저감시킨다.

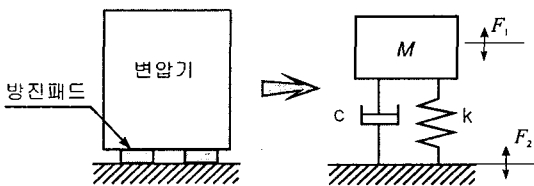


Fig. 2 변압기의 1 자유도 진동계로의 모사

변압기의 방진은 변압기 밀면인 콘크리트 지반 위에 Fig 2(a)와 같이 방진패드를 설치하는 것으로서 이를 1 자유도계 진동계로 모사한 것이 Fig 2 (b)와 같다. M 은 변압기의 전체질량, k 와 c 는 설치될 방진패드의 스프링 상수와 댐핑 계수를 각각 나타낸다. 이때 변압기의 상하 진동만을 고려하는 것은 방진패드 부착시 상하진동의 고유진동수가 가장 높기 때문이다.

변압기에서 발생하는 진동력 F_1 과 지반으로 전

달되는 힘 F_2 와의 진동전달률(magnification factor) 을 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$|F_2/F_1| = \sqrt{\frac{1+(2\zeta r)^2}{(1-r^2)^2+(2\zeta r)^2}} \quad (1)$$

여기서, r 은 변압기 및 방진패드 시스템의 진동 주파수 f 와 공진주파수 f_n 의 비이다. 또한, ζ 는 방진패드의 감쇠계수이다. 이때, 변압기용 방진패드의 감쇠계수는 0.05 ~ 0.15 사이의 값을 가진다 Fig 3 은 각 감쇠계수에서의 주파수 변화에 따른 진동전달률을 그린 것이다.

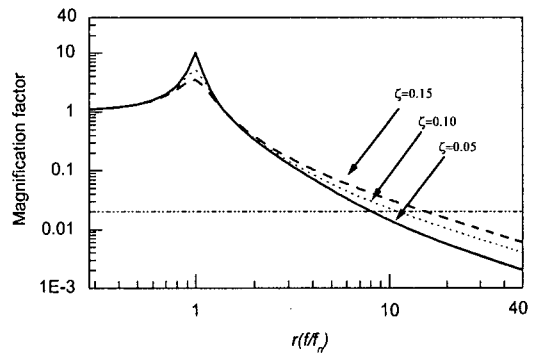


Fig. 3 자유도 진동계의 진동 전달률

변압기에서 발생하는 진동/소음은 전원 주파수 (60Hz)의 2 배 성분을 기저주파수로 하는 하모닉 성분(120Hz 의 배수)을 가진다. 따라서 변압기 방진구조 부착시의 고유진동수는 10 Hz 이하가 되도록 하는 것이 바람직하다. 120 Hz(파장:2.86m) 성분을 기준으로 변압기 진동전달률을 구하면 먼저 r 이 12 이기 때문에 진동전달률은 대략 이 0.02(오십분의 일배) 정도가 됨을 Fig 3 로부터 알 수 있다.

방진패드는 Fig 4 와 같은 바둑판 형태를 가지며 이 형태 안에 적절한 모양의 보강 형태(마름모형태 등)를 삽입시켜 상부로부터 하중을 받을 때 뒤 틀리거나 힘을 방지하게 된다. 또한, 변압기 방진 패드는 KS 규격 (KSF 4420-98)을 따르며, 이 규격에 따라 방진패드가 가져야 할 물리적/기계적 특성은 표 1 과 같다.

50x50x20.5mm

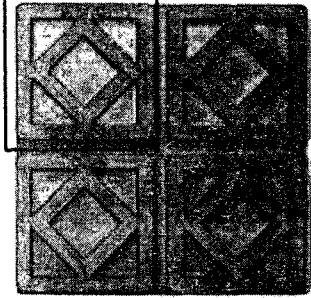


Fig. 4 방진패드 사진

Table 1 방진패드의 물리적/기계적 특성

시험항목	단위	결과치	시험방법
인장강도	kg/cm ²	180±20	KSF 4420-98
신장율	%	530±50	"
경도	HS	60±6	"
인열저항	kg/cm ²	10±1	"
인장강도 변화율	%	-7.0±0.7	"
신장율 변화율	%	-14.0±1.4	"
경도변화	-	4.0±0.4	"
노후화	100°C	72hrs	"

이와 같이 엄선된 방진 패드를 주 재료로 사용하여 변압기 방진 구조는 다음과 같은 방법에 의해 제작한다. (Fig 5 는 기술한 방식에 의해 제작된 방진장치 의 실제 모형)

15.0mm 두께로 제작된 상부철판을 취부하여 가능한 변압기 의 하중이 방진 패드에 균일하게 분포가 되도록 하고 패드 하부는 패드보호용 철판 5mm 를 설치토록 한다. (변압기 bed 면이 불균일하기 때문에 방진장치 설계시 변압기 하중을 균일하게 분포되도록 변압기 bed 면에 대한 주의 깊은 관찰이 필요하다.)

Layer 는 2 겹으로 하며 2.0mm 삽입철판을 패드 사이에 본드로 접착한다. 베이스의 형태에 따라 균일한 변위를 확보하기 위하여 삽입철판이나 상부철판의 크기를 조정하여 조립한다.

변압기에 대해 방진처리만 하였을 경우 지진발생시 변압기가 자리를 이탈할 가능성이 있는 단점을 해소하기 위해 Fig 6 와 같은 내진 구조를 보완한다. 본 구조는 변압기 하부에는 Fig 6 과 같이 고무패드를 적절히 배치하여 변압기 진동을 저감시키며 내진기능을 구비하여 지진발생시 변압기가 이탈하는 것을 방지한다.

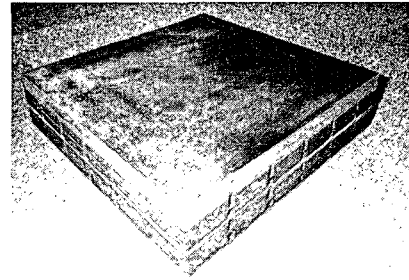


Fig. 5 방진장치모형 (3*3 모듈, 변압기 하부에 취부됨)

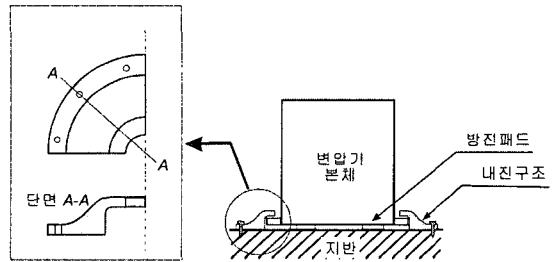


Fig. 6 변압기 내진구조 개념도

내진구조의 내부와 변압기 고정부는 약간의 이격을 두어 지진발생시 이외에는 서로 접촉이 없게 한다. 하지만 변압기 운전 중 두 고체 간에 마찰이 우려되므로 탄성력이 거의 없는 고무소재를 내진구조 내면에 부착하여 사용한다.

변압기 내진구조의 내진 역할을 설명하기로 한다. 변압기가 지진가속도 a 로 의해 움직이게 되면 내진구조는 지진력 Ma 와 지진모멘트 MaL 을 받게 된다. 이때 내진구조의 단면은 Fig 7 과 같은 응력이 발생하며 그 최대 응력은 다음과 같다.

$$\sigma_m = \frac{(M_b = MaL)(t/2)}{1/12bt^3} = \frac{6MaL}{bt^2} \quad (2)$$

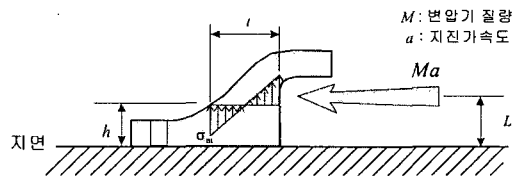


Fig 7. 내진구조 응력분포도

표 2 와 같은 설계사양을 적용할 경우 지면 ($h = 0$)에서 변압기 내진구조가 견딜 수 있는 있는 지

진가속도는 약 1.2g 이다.

Table 2 내진구조사양의 일 예

M	150 tons
L	약 4cm
폭 (b)	약 10cm
t	바닥면에서 $t = 5\text{cm}$
항복응력(σ_u)	860 Mpa(stainless steel)

이 경우 변압기 방진패드의 마찰저항을 무시한 값이기 때문에 실제로는 1.2g 보다 큰 지진가속도에도 변압기 내진구조는 견딜 수 있다. 지진가속도 1.2g 는 원자력발전소 지진설계 시 지반에서 2%의 감쇄를 가지는 기기의 진동 최대치에 상당하기 때문에 고안된 변압기 내진구조는 지진에 의한 변압기 이탈을 방지하게 된다.

여기서 내진구조의 전체 형태는 높이 h 에 따라 같은 크기의 항복응력을 가지게 하기 위해 Fig 7 과 같은 포물선 형태를 가지게 한다.

3. 결과 및 고찰

방진 효과분석은 대형 변압기가 설치된 변전소에서 수행하였다. 진동 측정점은 Fig 8 에 표기된 것과 같이 변압기 각 모서리에서 지표의 한 지점과 약 50cm 높이의 변압기 본체 지점에 대해 총 8 개소에서 진동을 측정하였다. 표 3 은 방진장치 사양을 보여준다.

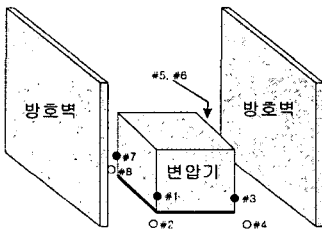


Fig. 8 변압기 진동측정점 표시

Table 3 변전소 변압기 방진장치 사양

	MTR #1
변압기 무게(tons)	148
패드수 (EA)	192
패드 정적변위(mm)	4.63
허용 무게(tons)	192
고유주파수(Hz)	7.329

변압기에 대한 방진장치 적용전/후의 진동레벨 비교 결과(측정점 #1, #3, #5, #7)를 보면 방진장치 적용 후 변압기 자체의 진동은 4dB 가까운 진동저감을 이루어졌다. 또한, 변압기 바닥면에서는 10dB 이상의 진동전달이 저감되어 변압기 주변소음이 5dB 가까이 줄어들음을 예측할 수 있었다.

Table 4 변압기에 대한 방진장치 적용전/후의 진동레벨 비교

측정점	설치전	설치후	측정점	설치전	설치후
#1	6.19	3.69	#2	0.0888	0.0179
#3	3.95	2.84	#4	0.483	0.0268
#5	2.81	1.86	#6	0.0828	0.0240
#7	4.85	3.00	#8	0.424	0.179
평균	4.450	2.848	평균	0.270	0.0619
평가	36.00%, 3.88dB 진동저감		평가	77.07%, 12.8dB 진동저감	

4. 결론

대형 변압기에 고무패드를 적절히 배치하여 방진장치를 개발하였다. 개발된 방진장치는 현장에 적용하여 그 성능이 우수함을 알 수 있었다.