

압전 재료를 이용한 전기 차단기의 능동제진

노 용 래*

(Active Damping of an Electric Connector with Piezoelectric Materials)

(Yongrae Roh)

Abstract

Undesired vibratory motion of an electric connector is controlled in an active method with piezoelectric sensors and actuators. A special electric control box is developed which is suitable for the purpose. Experimental results show that the system can effectively reduce amplitude responses of the connector to external forces.

1. 서론

일반 산업 현장에는 수많은 종류의 기계들과 구조물들이 설치되어 있고 이들은 여러가지 역학적 운동을 수행함으로써 원하는 용도의 제품 생산 및 작업을 하고 있다. 기계류들이 행하는 동적운동 중에는 원래 설계 목적에 맞는 것도 있으나, 거의 모든 시설물에는 원하지 않는 진동도

같이 수반이 되어 악영향을 미치고 있다. 이러한 해로운 진동성분을 제거하기 위해 종래에 사용해 왔던 방법은 소위 수동적인 제진 방법들이었다. 그러나 최근 몇년간 수동 제진법의 한계를 극복하고 선택적인 제진기능을 발휘할 수 있는, 능동 제진법에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 이는 센서와 액추에이터를 이용하고, 이들을 다양한 알고리즘을 가지는 제진회로로 연결하여 수동 제진방법으로 가능한 범위 이상의 여진 및 잔향의 처리에의 이용을 목표로 한다. 그러나 이러한 능동적인 기법에 관하여 이론적, 실험실적 연구는 많이 이루어져 왔으나, 실제 산업현장 및 실생활에 적용된 예는 그리 많지않은 편이다 [1, 2, 3]. 이는 능동 제진기술이 가지는 경제적, 기술적인 한계가 수동적인 방법에 비해 아직은 월등하지 않은 데에 기인하는 바 크다. 따라서 본 논문에서는 이러한 능동 제진기법의 실제 응용 사례로서 실험실적 연구결과를 바탕으로, 수동 제진 기법의 적용이 어려운 실제 산업현장에 적용된 결과를 논의하고자 한다.

*산업 과학 기술 연구소, 정희권

2. 적용 대상

본 연구에서는 여러 산업 현장중 불필요한 진동에 의한 문제가 가장 심각히 야기되고, 또 그 진동이 소거되었을 때 가장 많은 부가효과가 나타나는 곳으로 변전실에 설치된 배전 시스템의 cubicle panel에 장착된 차단기에서의 불필요한 진동을 제거하고자 한다. 문제가 되는 차단기의 구조는 Fig. 1과 같다. 그림에서 보인바와 같이 차단기는 두개의 핀 A와 B가 서로 맞물려 접촉이 되면 전원이 공급되고, 이들이 단락이 되면 전원 공급이 중단되도록 만들어진 장치이다. 전원 공급을 원하는 경우 이 두 핀 A, B는 항상 균일한 접촉상태를 이루어야 전체 배전 시스템의 원활한 작동을 이룰 수 있는데, 문제는 이들 핀들이 접촉이 되었을 때 외부환경에 의해 가해지는 진동에 의해 Fig. 1-b에 보인 바와 같이 떨리고, 따라서 균일한 접촉상태를 이루지 못하고 있다는 것이다. 즉, 서로 맞물린 상태에서 핀 A, B가 각각 떨리면 이들 두 핀 사이에 간극이 생기고 이 간극에 의해 접촉불량은 물론, 순간적인 전기 spark의 발생을 일으켜 차단기의 손상을 초래하고, 나아가 전체 배전 시스템의 파손을 야기시킨다. 이러한 현상에 의한 사고를 방지하고자, 수동적 방진 공사 및 차단기의 재질 및 형상 교체를 시도하였으나, 만족할만한 제진효과가 나타나지 않아 동일한 사고가 발생할 위험은 여전히 상존하고 있다.

본 연구에서는 실험실적 연구결과를 바탕으로 [4] 차단기에서 생기는 원하지 않는 진동을 제어할 수 있는 센서와 액츄에이터의 설계와 제작, 그리고 이들을 연계 작동시킬 수 있는 별도의 제어 회로를 개발하여, 문제가 되는 불필요한 진동을 효율적으로 제어할 수 있는 능동 진동 제어시

스템 (active vibration controller) 을 구성하여 실제 적용을 하였다. 센서와 액츄에이터의 재료로는 압전 세라믹을 사용하였다. 압전물질이란 그에 가해지는 기계적 에너지와 전기적 에너지를 서로 간에 변환시킬 수 있는 특성을 가진 재료를 말하며, 압전 효과는 재료에 가해지는 응력(T), 전계(E), 변형(S), 그리고 전기적 변위(D)로 표현된다.

압전 세라믹의 이러한 전기-기계 에너지의 호환 특성은 재료 자체의 고유 특성을 이용한 것이란 점에서 다른 전자 기계류에 비해 월등히 우수한 효율과 정확도를 가지며, 이 특성은 일찌기 19세기 말엽부터 여러 용도의 기술개발에 널리 사용이 되어 왔다 [5].

3. 제진기 성능 평가

제진용으로 사용된 회로는 용도에 맞게 별도 제작을 하여 현장 설치가 용이하도록 하였다. 그림 2 는 제작된 제어기를 보이고 있으며, 사용된 논리는 제작상의 복잡도와 경제성을 고려해 단순 PID Feedback 궤환을 이루도록 했다. 제어기는 센서 신호를 받는 입력부, 신호 여과부, 위상 변환부, 증폭부 및 출력단으로 구성이 된다. 센서와 액츄에이터, 그리고 차단기의 특성 및 부착된 상태는 표 1과 그림 3에 나타난 바와 같다 [6]. 센서와 액츄에이터로는 동일한 PZT 소자를 사용하되, 단지 배치와 크기를 변화시켜 각각의 용도에 맞도록 구성을 하였다. 센서와 액츄에이터는 차단기상의 동일 지점에 배치를 하여 collinear control을 할 수도 있으나, noncollinear control로도 충분히 좋은 결과를 얻을 수 있으므로 그림 3과 같이 설치를 하였다. PZT 소자는 전계의 방향과 소자 Poling방향이 일치하느냐 그렇지 않느냐에

따라 기계적 변위의 방향이 달라진다. 즉 표 1에서 d_{31} 이 음의 값을 가지므로 전계방향이 Poling 방향과 일치하면 수축, 일치하지 않으면 팽창을 하게 된다. 이러한 성질을 이용하여 센서와 액츄에이터로 쓰이는 소자의 Poling 방향이 서로 반대가 되도록 하여 차단기에 부착을 하였다. 동일 방향으로 부착이 되더라도 위상 변환기로 충분히 보정이 가능하나, 보다 효율적인 방법을 택하였다. 액츄에이터는 한개의 소자만으로도 제진효과를 거둘 수 있으나, 잘 알려진 bimorph 이론에 의하면 bimorph 형식의 액츄에이터는 unimorph 액츄에이터에 비해 4배의 조절 변위량을 발생시킬 수 있으므로 bimorph 형식을 취하였다. 제작된 제진기는 변전소 현장에 설치를 하여, 실제 적용전에 인위적인 초기 변위 및 충격하중을 가하여 사전 성능 평가를 하였다. 전체 차단기의 모우드 해석 결과에 의하면, 차단기의 고유 공진 주파수는 8.3 Hz, 24.4 Hz, 68.2 Hz 등 이다.

먼저 차단기에 초기 변위를 가하였다가 어느 순간 해제했을 때의 차단기 자유 끝단 변위량의 시간에 따른 변화를 관찰해 보았다. 그림 4는 그 결과를 나타내며, 그림에서 횡축은 시간으로 총 30초, 종축은 차단기 자유 끝단의 변위를 센서로 측정 한 크기를 Volt 단위로 나타낸 것으로서 3 Volt는 초기의 5mm 변위에 해당한다. 이때 센서 신호는 약 10배 증폭이 되었다. 그림의 두 경우 모두 기본 진동 모드가 우세한 양상을 보이며, 과잉제어 현상은 나타나지 않았다. 차단기 자유 끝단의 진폭이 초기치의 5% 이내로 줄어드는데 걸리는 안정화 시간이 제어력이 없는 경우에는 약 24.1초가 걸렸으나, 능동 제진기가 작동한 경우에는 2.7초로 약 1/9로 줄어들었다. 이때의 증폭기의 이득율은 약 150배 이다. 다음으로 차단기에 순간적인 충격을 가하여 그 반응을 알아보았는데, 실제로 작업현장에서 문제가 되는 때가 이런 경우에 해당한다. 충격력은 직경 2.1 cm, 무게

19 g의 세라믹 공을 차단기에서 20 cm의 높이에서 투하하여 가하였다. 그 결과는 그림 5에 나타난 바와 같이 최대 진폭이 1/13로 감소하였다. 충격력이 가해지기 전에 나타나는 진동은 작업장 주위에 설치된 대형 에어 컨디셔너 및 여타 다른 동작기기들이 평상시 작동 중에 발생시키는 것들로서, 이들 또한 제진기에 의해 약 1/5로 감소되었다. 여기서 최대 진폭과 평상시 진폭의 감소도에 차이가 나는 것은, 제진회로가 입력되는 센서 신호가 0.01 Volt 이상일 때만 반응을 하도록 설계가 되었기 때문이다. 즉 진동 신호가 0.01 Volt에 해당하는 크기로 감소되는 순간 제어부는 작동을 중단하고, 따라서 더 이상의 감소는 일어나지 않기 때문이다.

표 1. 차단기 및 압전소자의 물성

connector length	42.0 cm
connector width	2.0 cm
connector thickness	2.0 cm
connector density	7.8 g/cm ³
connector Young's modulus	200 GN/m ²
PZT actuator length	4.0 cm
PZT sensor length	0.5 cm
PZT width (each)	2.0 cm
PZT thickness (each)	0.03 cm
PZT density	7.9 g/cm ³
PZT Young's modulus	139 GN/m ²
PZT d_{31}	223×10^{-12} m/V
PZT g_{31}	-12.9×10^{-3} Vm/N

4. 현장 적용

이상의 능동제진기를 변전실에 설치하여 직접 작업중에 나타나는 제진 효과를 측정하여 보았다. 그림 6은 그 결과를 보이고 있는데, 평상시

진동폭도 줄었지만 최대 진동폭은 약 1/11로 감소하였다. 그림 7은 그림 6의 결과를 FFT에 의해 변환한 값이다. 컨트롤러는 작동 주파수가 차단기의 기본 진동 모드에 맞추어져 있으므로, 기본 모드에 대해 특히 제진효과가 두드러지게 나타나서 42dB에 이르고 있다. 그 이상의 고차 모드는 별 영향을 받지 않았을 뿐더러, Spillover 현상도 관찰되지 않았다. 이때의 증폭기의 이득율은 약 150배 이다.

5. 결론

변전실 차단기의 불필요한 진동을 없애기 위해 압전 센서와 압전 액츄에이터를 이용한 능동 제진 시스템을 구성하여 차단기에 적용하였다. 현장 시험 결과 이상의 시스템은 충격력에 의한 최대 반응 진폭을 1/11 까지 줄일 수 있었으며, 초기진폭의 5%내에 이르는 안정화 시간은 1/9까지 줄일 수 있어서, 변전실 전원설비의 안정화 및 조업조건을 개선할 수 있었다. 또한 동일한 제진기는, 정밀 공작기기, 정밀 측정기기, robot, optical bench, 자동차, 가전제품 등에 쉽게 원용이 되어 사용할 수 있다.

6. 참고 문헌

1. D.B. Schaechter, "Experimental demonstration of the control of flexible structures", Journal of Guidance, vol. 7, No. 5, p.527-534, (1984)
2. J.L. Fanson, "Performance of an active control system with piezoelectric actuators", Journal of sound and vibration, vol. 126, No. 2, p.327-343, (1988)
3. A.J. Bullmore, P.A. Nelson and S.J. Elliott,

"Theoretical studies of the active control of propeller-induced cabin noise", Journal of Sound and Vibration, vol. 140, No. 2, p.191-217, 1990

4. Y. R. Roh, "Active vibration control with piezoelectric sensors and actuators", Proceedings of Korea-Japan Joint Symposium on Acoustics, p.403-408, 1991

5. V.M. Ristic, "Principles of acoustic devices", John Wiley & Sons, New York, (1983)

6. J.F. Nye, "Physical properties of crystals", Oxford Science publication, Bristol, Great Britain, (1985)

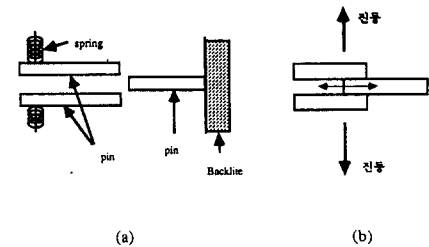


Fig.1. Schematic structure of the electric connector



Fig. 2. Configuration of the active vibration controller

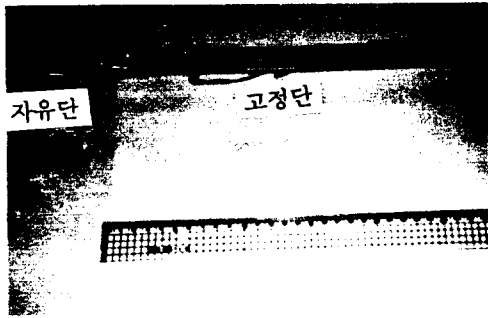
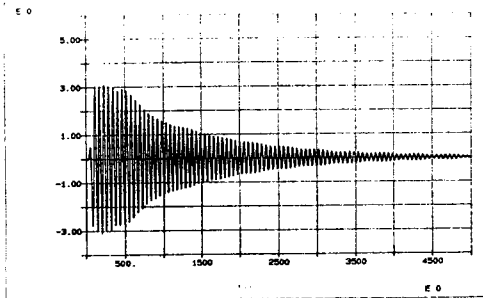
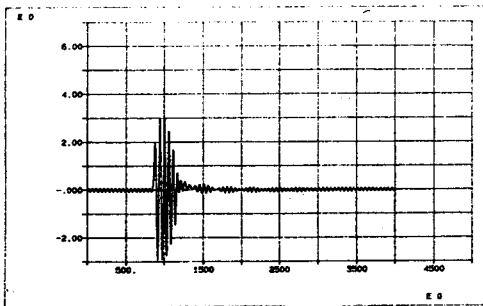


Fig. 3. Configuration of the electric connector with a piezoelectric sensor and actuators on

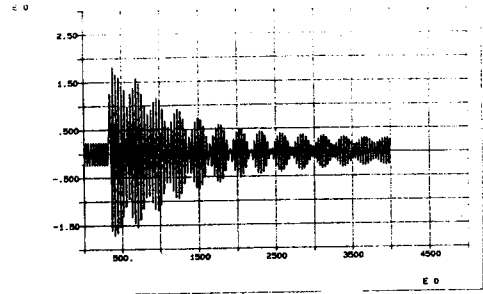


(a) before control

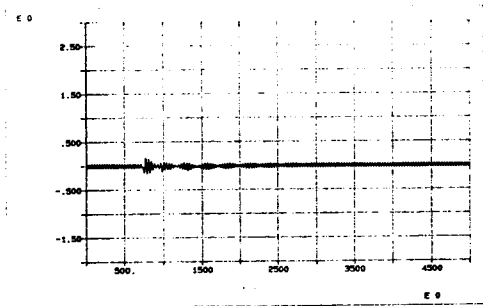


(b) after control

Fig. 4. Amplitude responses of the connector when an initial displacement is released suddenly

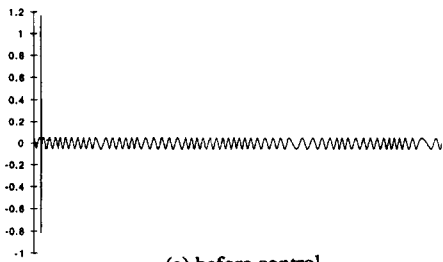


(a) before control

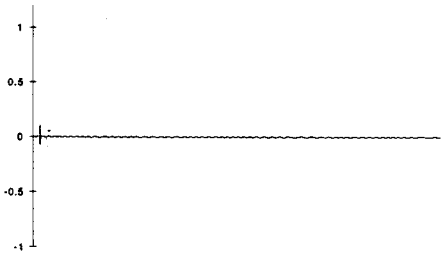


(b) after control

Fig. 5. Amplitude responses of the connector to impulse force

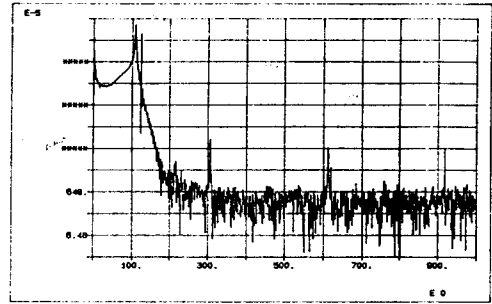


(a) before control

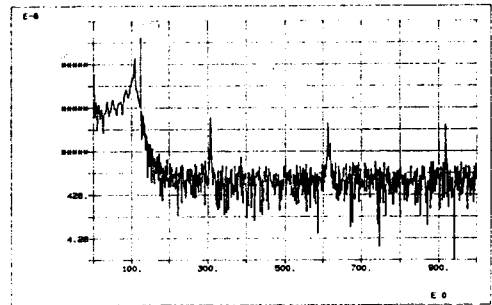


(b) after control

Fig. 6. In-situ measurement of amplitude responses of the connector to impulse force



(a) before control



(b) after control

Fig. 7. Power spectra of the signals in Fig. 6