

유압 시험장비에서의 전자 노이즈 대책

Preventive Measure of Electromagnetic Noise in Hydraulic Test Equipments

성백주 · 박종원

B. J. Sung and J. W. Park

1. 서 론

시험 장비를 구성함에 있어 전기 또는 전기장치의 사용은 필연적이다. 전기는 동력원으로서 뿐만 아니라 신호를 입출력하기 위해서도 반드시 필요하다. 이렇듯 시험장비 구성을 위해 반드시 필요한 전기는 장비의 구성자체를 단순하고 편리하게 해주는 장점이 있지만, 반대로 이 전기에 혼입되거나 전기의 상호작용에 의해 발생하는 노이즈(Noise)는 시험장비의 정상적인 동작을 방해하고 심하면 장비 자체를 파괴시키기에 이른다. 특히, 전기모터를 사용하는 장소에서는 전자기적 노이즈의 피해가 더욱 클 수 밖에 없다.

유압 시험장비에서 사용되는 전기모터의 유형은 크게 등속모터(Constant Speed Motor)와 가변속 모터(Variable Speed Motor)의 두 가지로 나누어진다. 등속모터로는 사용 현장에서의 전압 공급이 용이한 AC Motor가 HPU(Hydraulic Power Unit)의 구동원으로서 사용되어지며, 가변속 모터로는 시험장비의 테스트 메커니즘(Test Mechanism)부에 장착된 각종 부하의 회전수와 토크(Torque)를 공급·제어하는 목적으로 사용되어지는데, DC 또는 AC Motor가 시험대상체의 특성에 따라 선택적으로 사용된다.

과거에는 저속, 고토오크가 필요한 곳에서는 DC Motor를 사용하였는데, 현재에는 인버터 기술의 눈부신 발달로 AC Motor를 주로 사용한다. 그리고, 인버터의 제어특성이 상대적으로 콘버터 보다 우수하기 때문에, 저용량에서 대용량에 이르기 까지 거의 전 영역에 걸쳐 AC Motor가 사용되어지는 추세를 보이고 있다.

AC Motor를 제어하는 인버터가 콘버터에 비해 제어성능이 우수한 반면, 전자기적 노이즈 발생이라는 중요한 결점을 가지고 있다. 인버터는 스위치 소자의

스위칭 동작에 의해서 주파수와 전력을 변환하는 장치이기 때문에, 스위칭 주파수에 의한 전기적 노이즈를 피할 수 없다. 인버터의 스위칭 주파수는, 사이리스터(Thyristor)와 IGBT에 이르기 까지 보통 수백에서 수천 KHz에 달하고, 이러한 고주파성 스위칭 주파수가 주변의 전기 및 전자장비에 오동작을 일으키게 하는 것이다.

특히, 유압 시험장비에는 성능 측정을 위해 설치된 토오크, 속도, 압력, 유량, 온도, 변위 등의 센서(Sensor)와 이들 측정값을 지시하고 아날로그(Analog) 값으로 변환해 주는 지시계(Indicator)가 설치되는데, 인버터 노이즈는 이들 모두에 영향을 미쳐 정확한 계측을 불가능하게 만든다.

시험장비에 악영향을 미치는 전자기적 노이즈는 여러 종류가 있겠지만, 본 해설에서는, 각종 센서(Sensor)와 지시계(Indicator), 그리고 데이터 입출력(Data Acquisition) 과정 등 거의 모든 영역에서 시험장비에 가장 심각한 악영향을 미치는 인버터를 중심으로 한 효과적 노이즈 제거 대책에 대해서 서술하고자 한다.

2. 사이리스터(Thyristor)의 노이즈

유압 시험장비에는 보통 대용량(100HP 이상)의 구동동력을 발생시키는 전기모터가 사용되기 때문에 인버터(Inverter) 또한 대용량이고, 그 스위치 소자로는 대전류를 흘릴 수 있는 IGBT 또는 사이리스터(Thyristor)가 주로 사용된다. IGBT와 사이리스터는 구동 방법과 스위칭 주파수면에서 다소 차이가 나지만, 인버터에서의 역할과 노이즈 발생원리는 비슷하므로 원리설명이 상대적으로 간단한 사이리스터 인버터를 대상으로 한 노이즈 대책에 대해서 서술한다.

DC Motor를 제어하는 컨버터(Converter)에 사용되는 스위칭 레귤레이터의 경우에도 대전류를 스위칭 하는 것은 같으나, 그 출력에서 얻어지는 것은 직류전압뿐이므로 노이즈 발생 부분을 작게 만들어 실드(Shield)속에 넣고 필터(Filter)를 써서 DC만을 출력할 수도 있다. 그러나 사이리스터 인버터의 경우 위상제어로 차단된 교류파형이 그림 1과 같이 되어있어, 스위치된 결과 그 자체가 많은 고주파(High Frequency) 성분을 포함하게 된다. 즉, 사이리스터로 제어된 부분 이후의 라인에 직접 부하를 연결하는 것은 스텝(Step)전압이 수백 볼트인 노이즈 발생기의 출력에 부하를 연결하는 것과 같은 결과가 된다.

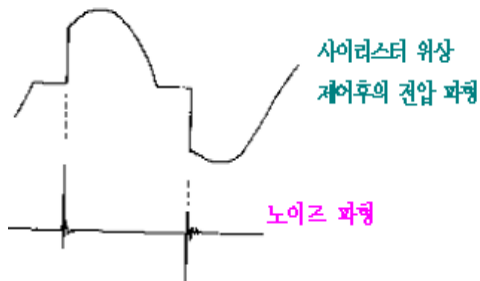


그림 1 사이리스터(Thyristor)에 의한 노이즈

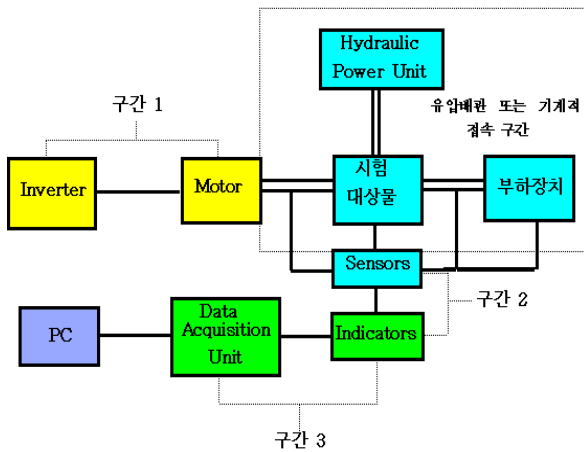


그림 2 유압 시험장비의 노이즈 대책 구간

3. 노이즈 대책

인버터에 의해서 발생되는 노이즈는 시험장비 전체에 영향을 미친다. 즉, 인버터에서 발생되는 고주파의 노이즈는 노이즈 환경에 노출된 동력선(Power Cable)과 신호선(Signal Cable)의 도체에 2차적인 전압을 유기시키고 유기된 전압이 주 신호

원에 섞여 전달됨에 따라 근본적인 노이즈 대책이 없다면, 인버터 노이즈의 피해에서 벗어날 수 없다. 심지어, 해당 시험장비는 물론이고 주위의 다른 시험장비 혹은 대중전파를 사용하는 생활용품에 까지 그 영향을 미치기도 한다. 이렇듯 주위 장비에 막대한 피해를 주는 인버터 노이즈는 해당 시험 장비를 몇 구간으로 나누어서 구간별로 노이즈 대책을 세우는 것이 효과적이다. 유압 시험장비를 인버터 노이즈의 영향을 받는 구간별로 나누어 보면 다음과 같다.

3.1 구간1에서의 노이즈 대책

구간1은 인버터의 출력과 전기모터 입력이 서로 연결되는 곳이므로 노이즈의 발생이 가장 심한 곳이지만, 전기모터의 절연이 규정대로 잘 되어 있다고 가정하면 외관상으로는 노이즈의 발생유무를 알 수 없다.

인버터가 발생시키는 고조파(Harmonics)를 모터 코일이 견디며 회전하기 때문에 노이즈의 특별한 징후를 느낄 수 없다. 그러나 이곳에서 발생한 노이즈가 전체 시험장비 시스템에 영향을 미치게 되므로 가장 철저하게 노이즈 처리를 해야 하는 구간이다.

(1) 접지(Ground)

구간1에서 접지의 대상은 인버터와 전기모터이다. 이 둘은 반드시 공통접지 되어야 한다. 서로 다른 점을 그라운드(Ground)로 하여 2점 접지를 하면, 그라운드 루프(Ground Loop)가 형성되고 이 루프에 전류가 흐르면 쇠교자속이 변화하기 때문에 전류가 흐른다. 그리고 이 전류는 다른 회로에 전자유도를 발생시켜 또 다른 2차 노이즈를 생성하게 된다^{1),4),9)}.

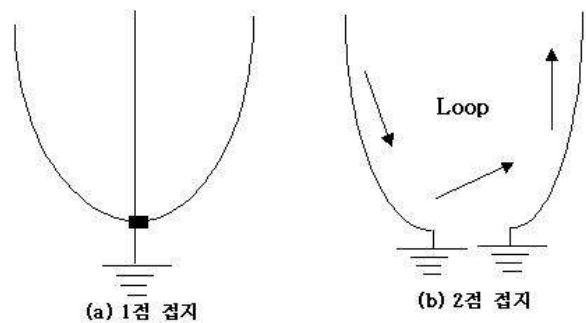
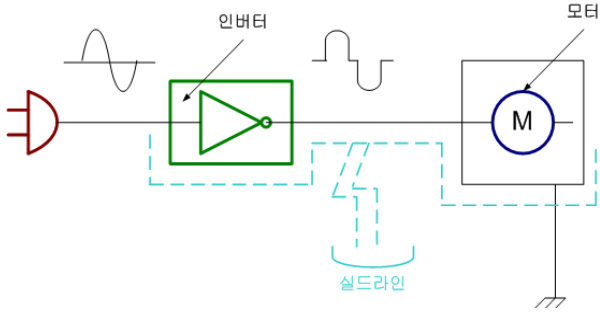
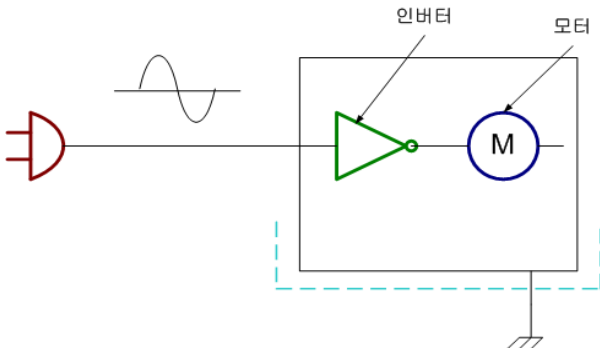


그림 3 접지(Ground) 방법



(a) 라인실드 (Line Shield)



(b) 케이스 실드 (Case Shield)

그림 4 실드(Shield) 방법

(2) 실드 (Shield)

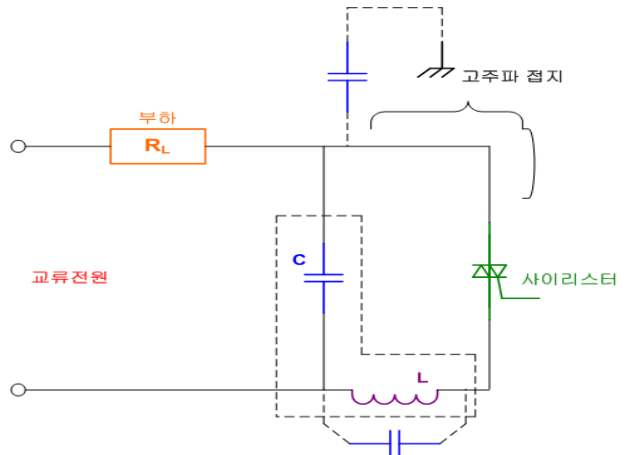
이 방법은 구간1에 해당하는 인버터와 동력 케이블 그리고 전기모터를 그림 4의 (a)와 같이 실드 (Shield) 하는 것이다. 이와 같이 해서 실드의 효과를 보지 못하면 그림 4의 (b)와 같이 제어부와 제어되는 부분, 그리고 그 사이의 케이블을 포함하여 모두를 실드하는 방법이 있다. 그러나 그림4의 (b)방법이 그림 4의 (a)방법보다 효과가 있다고는 하나, 대형 모터와 인버터를 사용하는 장비에서는 이러한 실드 방법을 시행하기가 매우 어렵다. 즉, 이러한 방법은 현장에서 사용할 때 설치상의 제약이 많고, 힘이 드는 만큼 성과가 좋지는 않은 방법이다²⁾.

(3) 필터(Filter)의 사용

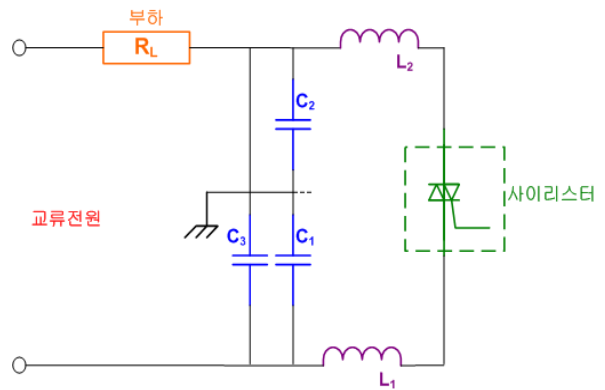
실제로 인버터의 노이즈 처리를 해 보면, 위에 소개한 두 가지 방법으로는 만족할 만한 노이즈 제거 효과를 얻을 수 없다. 여기에다 노이즈 흡수 필터를 추가로 부착해야만 다소 만족스런 효과를 기대할 수 있을 것이다. 일반적으로 사용하는 두 가지 방식의 노이즈 필터를 그림 5²⁾에 나타내었다.

그림 5의 (a)는 한쪽선에 필터를 넣은 모양으로, C의 L에 연결되지 않은 쪽을 고주파 접지라고 가정하

고 큰 분포 용량은 여기에 접속한다. 그림 5의 (b)는 양 선에 필터를 넣은 모양으로, Thyristor부를 작게 감싸 넣은 경우 등은 그림 5의 (a) 보다도 좋은 결과가 얻어진다. 여기서는 L로서 전원라인의 노이즈 차단용으로 만들어져 있는 자기포화(Magnetic Saturation)를 잘 일으키지 않는 인덕터(Inductor)와 코일(Coil)을 전제로 하고 있다.



(a) 1선 필터



(b) 2선 필터

그림 5 노이즈 흡수 필터(Filter)

그러나, 이와 같은 필터는 인버터의 노이즈 흡수에 뛰어난 성능을 나타내지만 L값과 C값을 계산하는 것이 매우 힘들고, 설령 노이즈 파형을 분석하여 그 값을 결정했다 하더라도 제작하여 설치해 보면 기대만큼 효과가 나타나지 않아 여러 번 재제작, 설치를 해야 하는 경우가 빈번하다. 또한, 이 필터를 스위치에 설치하는 일은 매우 위험하므로, 인버터에 대한 전문 지식이 반드시 있어야 한다는 단점이 있다.

최근에는 이러한 필터사용의 편리함을 도모하기 위해서, 인버터 제작회사들이 개발한 EMC(Electro

Magnetic Compatibility) Filter¹⁾가 널리 사용되고 있다. 이것의 기본원리는 그림 5와 유사하나 설치를 인버터의 스위치 전단이 아닌 출력 라인에 직접 할 수 있기 때문에 사용이 매우 편리하고 효과 또한 좋다.

그림 6에 EMC Filter를 장착하기 전과 후의 노이즈 레벨을 비교하여 나타내었다. 인버터의 용량과 스위칭 주파수에 따라 L과 C의 값은 서로 달라지겠지만 용도별로 적정값을 선정했을 경우에 노이즈 감소율은 거의 비슷하다. 그림 6²⁾은 100μH의 인덕터(Inductor)와 0.1μF의 캐패시터(Capacitor)를 사용한 필터에 기준하였다.

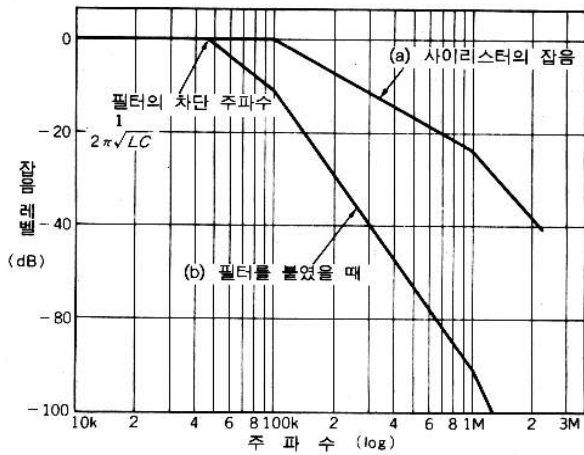
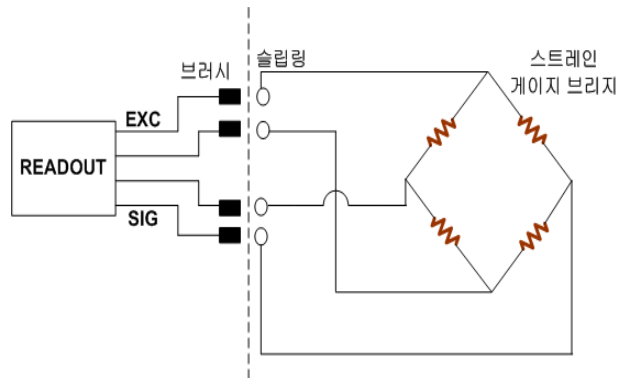


그림 6 필터의 효과

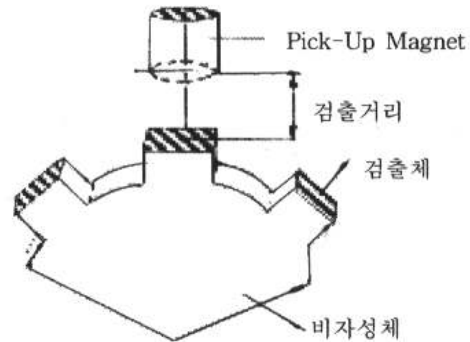
구간2는 각종 센서와 지시계가 해당되는 구간이다. 유압 시험장비에 사용되는 센서류는 신호의 출력방식에 따라 크게 나누어, 아날로그(Analog) 전압을 출력하는 방식과 펄스(Pulse)를 출력하는 방식의 두 가지로 분류해 볼 수 있다.

아날로그 전압 출력방식은 측정 변수(Parameter)의 미소변화량을 브리지 회로를 통하여 출력하고 이 값을 다시 전용 앰프(Amplifier)로 증폭한 뒤 지시계 또는 DAQ Unit(Data Acquisition Unit)로 전송한다. 펄스 출력방식은 픽업 마그네트(Pick-Up Magnet)가 회전하는 치차형 자성체를 감지하고 감지된 갯수의 펄스를 전압/주파수 변환기(F/V Converter)로 출력하여 아날로그 전압 형태로 변환한 뒤 지시계로 전송하던지, 아니면 펄스를 DAQ Unit로 직접 전송한다. 브리지 회로의 아날로그 전압 출력방식을 사용하는 대표적인 센서는 토오크(Torque), 압력센서 등이고, 펄스 출력방식의 대표적 센서는 유량, 속도센서

등이다.



(a) 브리지방식 센서의 원리



(b) 펄스방식 센서의 원리

그림 7 센서(Sensor)의 작동 원리⁶⁾

브리지 회로에서 발생하는 전압은 수 mV이고, 이것은 보통의 인버터 노이즈 레벨보다 훨씬 작은 값이므로, 노이즈가 발생했을 때 주 신호를 제대로 전달할 수 없다. 더욱이 브리지 회로의 작은 출력 값이 전용 앰프에 의해 증폭될 때, 노이즈도 같이 증폭이 되기 때문에 노이즈 레벨은 훨씬 더 커지게 된다. 그리고 펄스 출력형 센서에서 출력되는 주파수는 보통 1KHz 내외이지만, 인버터 노이즈는 수백에서 수천 KHz 이므로 노이즈가 주 신호원에 섞여 전달될 경우 실제 측정값은 전혀 다른 값이 되어버린다.

이렇듯 노이즈에 특히 취약한 센서류가 포함되는 이 구간은 인버터 노이즈에 가장 심한 영향을 받는 영역이므로, 세심한 주의가 필요하다. 이 구간에서의 노이즈를 효과적으로 제거하지 못하면 앞서 언급한 바와 같이 신호전달 및 Data Acquisition 과정에 문제가 발생해 시스템 제어가 되지 않음은 물론이고, 정확한 시험결과 또한 얻을 수 없다.

(1) 접지(Ground)

구간2에 포함되는 모든 센서들은 기본적으로 접지가 되어야 한다. 접지는 시험장비의 테스트 메커니즘(Test Mechanism)을 구성하는 테스트 베드(Test Bed)에 자연스럽게 되도록 해야 한다. 즉, 모든 센서는 금속 도체인 테스트 베드 혹은 그 위의 기계장치에 취부 되기 때문에, 테스트 베드를 인버터, 전기모터 등과 동일한 접지점에 접지해 두면 자연스럽게 접지가 되는 것이다.

그러나, 간혹 접지를 함으로써 노이즈의 영향을 더 받는 경우가 발생한다. 이것은 동일한 접지점을 사용했다 하더라도, 접지된 각 부 전선의 길이 차이가 많이 난다든지 아니면 도체의 도전율(저항율) 차이가 심해서 발생하는 각 부의 전위차 때문에 발생하는 현상이다. 이때는 접지를 해제하든지 접지점의 전위차를 없애어 등전위로 만들어 주는 추가적인 작업을 해야만 한다.

(2) 케이블(Cable) 설치

센서의 신호 전달용으로 사용되는 모든 케이블은 동력선과 분리하여 설치해야 한다. 인접하게 되면 동력선의 고주파가 신호 케이블에 전자유도 현상을 일으켜 노이즈가 신호선에 인입되게 된다.

그리고 모든 센서 케이블은 실드(Shield)선을 사용해서 고주파성 노이즈를 차폐해야 한다. 이론적으로 실드의 정도를 계산할 때는, 노이즈 파형을 정확히 분석하여 노이즈의 침투 깊이, 반사정도 등을 예측해서 해야 하지만 이러한 과정은 대단히 까다롭고 복잡하며, 계산된 두께의 실드를 갖는 실드선을 구입하기도 어렵다. 일반적으로 시중에 시판되고 있는 실드선을 사용해도 실드효과는 상당히 좋다. 실드선은 반드시 센서 쪽이나 그 반대쪽 중 한쪽만을 접지해야 한다. 두 군데 모두를 접지하면 실드 효과가 없어지고 오히려 노이즈가 더 심해지게 된다.

특히 노이즈에 민감한 센서에는 트위스트 케이블(Twisted Shield Cable)을 사용한다. 이것은 기본적으로 실드가 되어 있음은 물론이고 내부 심선들이 2가닥을 1조로 해서 서로 꼬여있기 때문에 노이즈의 상쇄 효과가 매우 크다. 유압 시험장비에서는 토오크 센서나 속도 센서 등의 케이블에 주로 사용한다.

실드선과 더불어 노이즈 제거효과를 높이는 방법

으로 저항(Resistance)을 삽입하는 방법이 있다. 이것은 케이블에 침투된 노이즈의 전기적 에너지를 저항발열로서 소멸시켜 준다.

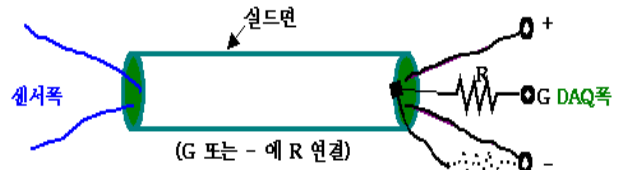


그림 8 저항 삽입 방법

3.3 구간3에서의 노이즈 대책

구간3은 지시계 혹은 센서신호 증폭 앰프와 DAQ Unit(Data Acquisition Unit)가 연결되는 구간으로 보통 시험 장비를 제어하는 별도의 제어실에 위치하는 구간이다. 이 구간에서는 구간1과 구간2의 노이즈 대책을 통과하여 인입된 노이즈를 제거하는 노이즈 대책을 강구해야 한다.

스파이크(Spike)성 노이즈는 캐패시터(Capacitor)의 병렬연결만으로 쉽게 제거할 수 있다. 이때, 지나치게 큰 값의 캐패시터를 선정하면, 주 신호가 지연되어 입력되거나, 값이 왜곡되어서 입력되므로 적절한 용량의 캐패시터를 선정하는 것이 가장 중요하다. 이 외에 특정 주파수와 진폭을 가지고 인입되는 노이즈는 별도의 필터(Filter)를 제작하여 제거해야 한다. 인버터 노이즈는 파형이 항상 일정하지만은 않고 주위 여건에 따라 자주 변하는 경우가 일반적이다. 따라서, 필터는 저주파와 고주파의 노이즈에 각각 대응할 수 있는 로우-하이(Low-High) 필터를 제작해야 한다.

로우-하이 필터의 일반적 회로와 DAQ 채널(Channel)과의 연결 방법은 다음 그림과 같다.

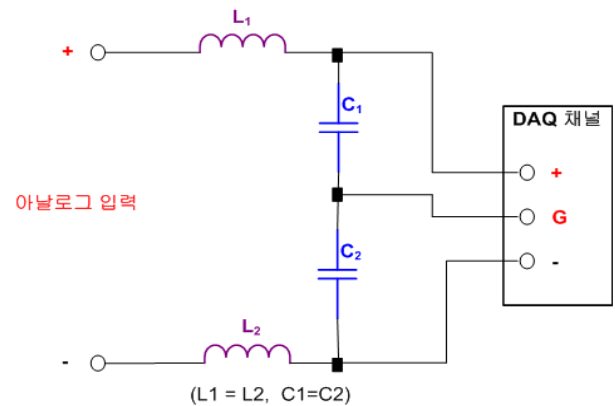


그림 9 로우-하이 필터(Low+High Filter)

4. 노이즈 대책 사례

유압 변속기 시험장비에 사용된 각종 센서류 중에서 노이즈에 가장 민감한 센서중의 하나인 토오크 센서에 대한 노이즈 대책 결과를 그림 10에 나타내었다. 이 때 사용된 인버터는 400HP(300KW)급 벡터 인버터 였다. 시험장비에 0에서 200Kg.m의 부하를 인가하면서 2000개의 데이터를 노이즈 처리 전, 후에 각각 받아서 그래프를 작성하였다.

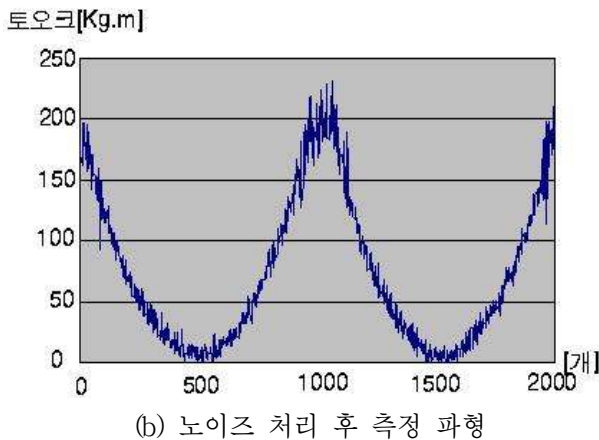
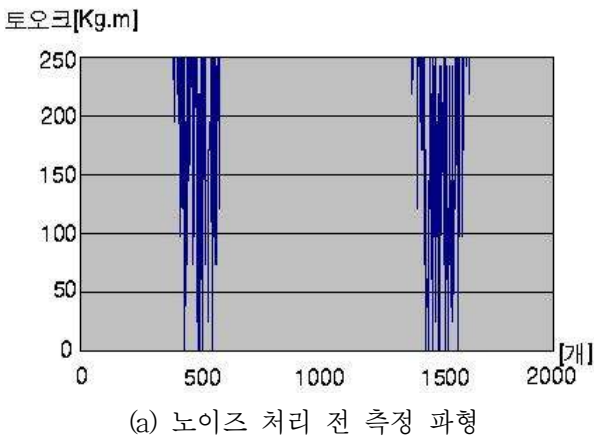


그림 10 노이즈 처리 전, 후의 파형 비교

노이즈 처리전의 그래프인 그림 10(a)를 보면, 측정값이 실제값 보다 훨씬 크거나 작아서 인가 토오크의 증감 유형을 전혀 알 수가 없다. 반면, 노이즈 처리 후인 그림 10(b)는 시간에 따른 인가 토오크의 증감 유형을 뚜렷이 나타내고 있다.

5. 노이즈 대책의 요약

인버터를 사용한 유압 시험장비에서 항상 대두되

는 노이즈 문제는, 3절에서 서술한 몇 가지의 노이즈 처리방법을 병행하여 시행함으로써 여러 시험장비에서 상당한 효과를 보았고 실제 측정파형을 4절에서 소개하였다. 이와 같은 노이즈 처리방법은 노이즈가 발생하는 다른 시험장비에도 충분히 응용 가능할 것이다. 앞서 소개한 노이즈 처리방법을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 인버터와 전기모터 간의 배선 길이를 최소화 한다.
- (2) 인버터와 전기모터를 같은 점에 1점 접지한다.
- (3) 인버터와 전기모터를 실드(Shield) 처리한다.
- (4) 인버터 출력단에 노이즈 흡수 필터를 설치한다.
- (5) 시험장비의 모든 센서를 테스트 베드(Test Bed)에 접지한다.
- (6) 테스트 베드 접지 후 상태가 악화되면 접지선을 해제하거나, 등전위로 만들어 주는 작업을 한다.
- (7) 센서 케이블과 동력 케이블을 엄격히 분리한다.
- (8) 모든 센서 케이블은 실드(Shield)선을 사용하고, 노이즈에 특히 민감한 센서에는 트위스트 케이블(Twisted Shield Cable)을 별도로 사용한다.
- (9) 센서 케이블의 실드선에 저항을 삽입한다.
- (10) 아날로그 출력라인과 DAQ 채널 사이에 로우-하이(Low-High) 필터를 설치한다.

참고문헌

- 1) ABB, "Frequency Converters for Speed and Torque Control", 1997.
- 2) 정병선 역, "노이즈 방지와 대책", 성안당, 1992.
- 3) P.C SEN, "Thyristor DC Drives", Willey Interscience Publication, 1987.
- 4) 현대중공업, "현대 인버터 기술자료", 1998.
- 5) 과학기술 정보연구소, "천력전자회로와 인버터 설계기술 및 응용", 1993.
- 6) Lebow社, "Sensor Catalog", Eaton Corporation, 1992.
- 7) Fitzgerald, "Electric Machinery", McGraw Hill, 1987.
- 8) 효성ABB, "인버터의 일반원리 및 응용", 1994.
- 9) 삼성전자, "Servo Drive Manual", 1999.

[저자 소개]



성백주 (책임저자)

E-mail : sbj682@kimm.re.kr

Tel : 042-868-7159

1966년 9월 5일생.

2006년 충남대학교 전기공학과 박사. 현재 한국기계연구원에 재직 중, 액추에이터의 연구에 종사. 유공압시스템학회, 대한기계학회, 대한전기학회 등의 회원.



박종원

E-mail : jwpark@kimm.re.kr

Tel : 042-868-7107

1971년 9월 30일생.

2003년 서울대학교 기계항공공학부 박사.

2003년 한국기계연구원 입사, 시스템

엔지니어링연구본부 시스템신뢰성연구실

에서 액추에이터 설계기술 및 기계류부

품 시스템 신뢰성기술 연구에 종사. 유공압시스템학회, 대한기계학회, 군사과학기술학회 등의 회원.