

지진관측 원리 및 관측망 현황

1999. 3. 19

지 현 철

한국자원연구소

1. 서론

지진계 (seismograph)는 지반의 진동을 측정하는 관측장비로 센서와 기록계가 하나의 몸체로 구성되어 있는 것을 의미하였으나, 전자기술의 발달과 더불어 진동을 감지하는 센서와 이를 기록하는 기록계가 분리되었다. 여기서는 지진연구에 사용되는 속도센서와 지진공학에 사용되는 가속도 센서의 기본 원리 및 차이점과 기록계의 디지털 과정을 순차적으로 설명하여 지진관측 원리의 이해를 도모코자 하였다. 또한 자료 획득을 위한 통신 방법을 언급하여 향후 지진 관측소나 가속도 관측 장비의 설치시 참조할 수 있도록 하였다. 자원연구소, 기상청, 대학 등 지진관련 기관의 관측소 현황을 검토하였다.

2. 수진기 (seismometer 및 accelerometer)

일반적으로 통용되는 센서 (sensor)란 어떤 물리·화학적 변화를 전기적 신호로 변환하여 주는 장치를 의미한다. 수진기는 지반의 진동을 전기적 신호로 변화하여 주는 센서를 총괄적으로 의미한다. 외부의 힘(force)에 의해 구조물이나 지반이 진동할 경우, 탄성범위 (부서지거나 땅이 갈라지지 않고 본래의 상태로 환원하는 한계) 내에서는 직류성분 (DC component)을 제외한 주파수 (주기의 역수)를 가지게 되며, 진동에 따른 물리적인 단위로는 변위 (particle displacement), 속도 (particle velocity) 및 가속도 (particle acceleration)가 있다. 변위의 시간적 변화를 측정하기 위한 기준점 (reference point)의 설정이 어렵기 때문에 이를 측정할 수 있는 센서는 없다 (최근 GPS를 이용하여 변위를 측정하는 RTK (real-time kinematics)도 임의의 기준점에 대한 상대적 변위의 시간적 변화를 측정함). 또한 가속도의 시간적 변화를 직접 측정할 수 있는 센서도 없다 (중력계의 고유 반응 주기는 무한대로 이론적으로 직류 성분의 중력을 측정함). 물리적으로 변위는 속도의 시간적 적분 값이며, 가속도는 속도의 미분 값이므로 속도를 측정할 경우 구할 수 있다.

스프링의 한쪽을 고정하고 다른 쪽에 추를 연결한 후, 외부의 힘을 추에 가할 경우 추는 스프링의 탄성계수와 추의 질량에 의해 결정되는 주파수 특성을 가지고 진동하게 된다. 만약 추가 자석이고 이를 코일(coil)속에서 진동할 경우 자력선 (flux)의 시간적 변화율에 비례하여 코일 선상에 전압이 유도된다. 스프링, 자석 및 코일을 포함하고 있는 박스가 진동할 경우, 상대적으로 코일 속의 자석이 운동하게 되는 데 이때 박스의 진동속도에 비례하여 유도되는 코일 선상의 전압을 수진기의 감도 (sensitivity, 전압/속도, voltage/m/sec)라고 한다. 따라서 수진기 중에서 이와 같이 속도에 비례한 전압을 전기적 신호로 출력하는 센서를 속도센서 (seismometer)라고 한다 (그림 1 참조).

코일에 유도되는 기전력은 자석의 진동을 억제하기 위한 현상으로, 만약 코일의 양단을 연결할 경우 자석의 진동이 급격히 감소하여 중단하게 된다 (수진기의 스프링은 매우 약하여 수진기 이동시 발생할 수 있는 충격에 의해 스프링의 탄성특성이 손상되는 것을 수진기의 출력 (코일) 단자를 연결함으로써 감소시킬 수 있다). 코일의 양단을 연결하지 않을 경우 전류가 흐르지 않기 때문에 일단 진동한 자석은 계속 진동하게 된다. 이를 자유진동 (free oscillation)라고 하며 이때의 주파수를 수진기의 고유주파수 (eigen- 또는 natural frequency)라고 한다. 코일 양단을 연결할 경우, 양단 사이의 전기적 저항 (electrical resistance)이 영이며 진동이 멈추게 되는 over-damping의 극단적 현상이 발생한다. 이에 반해 양단이 연결되어 있지 않은 경우, 저항은 무한대로 under-damping의 극단적 현상인 자유진동을 하게 된다. 따라서 코일의 양단 사이의 저항을 조절함으로써 속도의 주파수별 출력의 감도를 균일하게 할 수 있다.

속도 센서의 출력단자를 증폭장치나 기록계의 입력단자에 연결할 경우 입력단자의 저항이 코일의 damping을 결정하게 된다. 일반적으로 지진기록계 설계 시에 입력단자의 저항을 충분히 크게 하여 (보통 $200K\Omega \sim 2M\Omega$) 연결되는 센서의 특성에 따라 저항기를 병렬 연결하여 damping을 조

정하도록 구성되어 있다. 일반적으로 damping ratio를 0.7로 할 경우 센서의 고유주파수 이상에서 주파수별 감도가 균일하게 된다.

위와 같이 자석이 추가되어 진동하는 속도센서를 moving-mass type이라고 한다. moving-mass type은 설계가 용이하고 속도에 대한 전압의 선형성, 즉 linearity가 매우 탁월하여 미국 Teledyne의 S-13과 같은 초창기의 센서 대부분은 moving-mass type이다. 진동은 벡터(vector) 성분으로 완전한 기록을 위해서는 3성분(보통 수직, NS 및 EW)을 측정하여야 한다. 이때 moving-mass type의 센서일 경우 자석이 움직이므로 주변의 다른 성분 수진기와 상호작용(coupling)을 일으키게 된다(최소 60cm 이상의 상호 간격을 유지하여야 한다). 따라서 3성분의 센서를 한 개의 케이스에 결합시킬 수 없다. 이에 반해 고정된 자석을 둘러싼 코일을 추로 하여 진동을 측정하는 센서를 moving-coil type이라고 하며, 3성분의 센서를 한 개의 케이스에 결합하여 제작할 수 있다. 현재 자원연구소가 사용중인 3성분 수진기인 스위스의 STS-2나 일본의 JC-V100은 moving-coil type이다. 보통 지진관측에 이용되는 moving-coil type 수진기의 고유주파수는 1 Hz로서 이는 추의 고정점에서 코일까지의 길이(pendulum arm length)에 좌우되며, 길이가 길어질수록 고유주파수가 낮아진다.

지진관측시 가장 문제시되면서 피할 수 없는 잡음(noise)은 조수 변화에 의한 tidal noise로서 0.2 ~ 0.4 Hz 사이이다. 또한 관측소 주변의 환경 잡음(사람활동, 바람 등)은 보통 0.1 ~ 1 Hz 사이이다. 따라서 0.1 ~ 1 Hz사이의 잡음대역(noise band)을 중심으로 1 Hz 이상을 단주기(short-period)하고, 0.1 Hz 이하를 장주기(long-period)라고 정의한다(그림 2 참조). 단주기와 장주기를 모두 포함한 경우, 이를 광대역(broadband)라고 한다. moving-mass 또는 moving-coil의 진자 운동만에 의한 수진기를 mechanical 센서라고 하며, 진자 길이만을 이용하여 장주기 또는 광대역 수진기를 제작하는 것은 현실적으로 매우 어렵다. 이에 채택된 방식이 feedback circuit이라고 전자기술이다. 일반적으로 광대역 수진기의 경우, 1 Hz의 고유주파수를 가진 단주기 센서를 mechanical 센서로 사용하는 데 damping이 조정된 후에는 고유주파수(즉 1 Hz) 이하의 주파수 영역에서는 진폭(amplitude)이 18 dB/octave로 감소하는 특성을 가지고 있다. 따라서 고유주파수 이하의 진폭을 feedback circuit를 이용하여 강제로 증폭시켜 준 것이 장주기 또는 광대역 수진기이다. 지진 신호는 일종의 time series로서 feedback circuit에서 위상(phase)의 변화 없이 진폭만 증폭할 경우 지진신호를 왜곡하게 된다(즉 causality를 만족하지 못하여 ring effect같은 현상이 나타남). STS-2의 경우에는 관측대역은 120 sec ~ 45 Hz(지진관측에서는 0.1 Hz 이하의 경우 보통 주기를 사용)으로 위상 보정 기술 발달로 광대역 수진기의 관측대역이 지속적으로 넓어지고 있다.

가속도센서(accelerometer)는 mechanical sensor의 출력인 속도 성분을 시간적으로 미분하여 최종적으로 가속도에 비례한 전기적 신호(voltage/g)를 출력하는 센서이다. 그림 3에서 보는 바와 같이 가속도 센서는 속도 센서(수진기)에 비해 매우 작다. 이는 가속도 센서 내에 일반적으로 하나로 결합되어 있는 3성분의 moving-coil type인 mechanical sensor의 고유주파수가 일반적으로 50 Hz ~ 70 Hz로서 진자의 길이가 짧기 때문으로, 이는 가속도 자료의 용도에 밀접한 관련이 있다. 진앙지 결정, 단층면 해의 분석, 전파 특성 등의 지진연구를 위해서는 지진파의 정확한 위상 측정이 필요하다. 이에 반해 가속도 자료에서는 주로 주파수별 진폭을 그 연구 대상으로 하기 때문에 고유주파수 이하의 진폭을 강제로 증폭할 경우에 발생하는 위상의 문제를 중요시하지 않는다. 고유주파수 이하의 진폭을 feedback circuit를 이용하여 증폭시키는 면에서는 가속도 센서와 광대역 수진기가 동일하나 위상 보정에 있어서는 큰 차이를 나타내고 있다.

속도 센서의 자료로부터 미분하여 가속도 자료를 얻을 수 있는 데도 가속도 센서를 분리하여 사용하는 데는 보다 근본적인 다른 이유가 있다. 첫째는 속도 센서로부터 자료를 최종적으로 기록계에 저장할 경우, 센서와 기록계 사이의 signal cable에 유도되는 induction noise와 기록계의 증폭장치(gain), 필터(filter), 디지털 변환기(A/D convertor)등의 electrical noise와 함께 기록되게 된다. 이와 같은 noise은 주로 white noise이므로 속도 센서의 자료를 가속도 자료로 미분할

경우 고주파수 대역에 있는 본래의 속도 자료 뿐 아니라 noise까지도 6dB/octave로 증폭하게 되어 본래 얻고자 하는 가속도의 자료를 손상시키게 된다. 따라서 가속도 센서 내에서 속도 신호를 미분하여 얻은 가속도 신호를 출력할 경우, 그후 최종적으로 기록할 때까지의 발생되는 제반 전기적 noise의 증폭에 따른 폐단을 없앨 수 있다. 둘째는 센서의 dynamic range가 일반적으로 120dB이므로 관측할 수 있는 속도 또는 가속도 감지 범위의 제한이다. 광대역 속도센서인 STS-2의 경우 미소 지진의 측정 분해능 (resolution)을 높이기 위하여 설계되어 있으며, 최대 측정 속도는 13 mm/sec로서 이를 가속도로 환산할 경우 10 Hz에서는 0.17g이며 1 Hz에서는 0.017g이다 (강진을 측정하도록 설계되어 있는 속도 센서도 있음). 이에 반해 가속도 센서는 일반적으로 2g를 최대 측정 가속도로 설계되어 있다 (현재 한국자원연구소, 전력연구원, 대학, 기상청 등의 관측소에는 미소 지진의 경우에도 가속도의 지진파형을 파악할 수 있도록 0.5g를 최대 측정 가속도로 조정되어 있음). 일반적으로 속도 센서는 주변의 noise가 적은 지역에서의 미소 지진을 측정하는 데 사용되며, 가속도 센서는 주변의 일반적인 background noise에 민감하지 않으므로 (즉, 측정되지 않음) 시설물 등 noise가 큰 장소에서도 강진 (strong motion)을 측정하기 위해 사용된다.

3. 기록계 (recorder)

일반적으로 기록계란 센서로부터 입력되는 전기적 신호를 화면에 보여주거나 보관할 수 있는 다른 형태의 자료로 전환하는 장비로서 최근 연구실에서 널리 사용되고 있는 digital oscilloscope는 기록계의 전형적인 형태이다. 이때 센서의 감지 범위 (sensor dynamic range)가 기록계의 기록범위 (recorder dynamic range)와 다를 경우 증폭장치 등이 필요하게 된다.

디지털 변환기 (A/D convertor)의 상용화로 디지털 지진 기록계가 이미 보편화되어 있다. 디지털 기록계의 dynamic range는 내재된 변환기의 주요 변수는 최대 입력 전압 (max. input voltage) 및 bit 수이다. 센서의 전기적 신호를 analog circuit을 이용하여 임의의 배수로 증폭하거나 반대로 감쇠 시키는 것은 쉽다. 따라서 변환기의 최대 입력 전압은 변환기의 dynamic range와 무관하며, 변환기의 bit 수 의해 결정된다. bit의 수를 n이라고 하면 dynamic range은 $dB = 20 \log(2^n - 1)$ 식으로 계산되어 지는 데, 16 bit의 경우 96 dB, 18bit의 경우 108 dB이고 24 bit의 경우 144 dB이다 (변환기의 최종 2~4 bit는 신뢰할 수 없으므로 실제적인 dynamic range는 이보다 20 dB 정도 작다).

만약 센서의 dynamic range가 120 dB이고 기록계의 range가 96 dB (16 bit A/D)일 경우 센서에 감지된 모든 지진파형을 기록할 수 없게 된다. 예를 들면 일본 Mark Rand사의 단주기 센서인 JC-V100의 최대 감지 속도 (clip level)는 14 mm/sec이고 이때 출력 전압은 약 4 V 정도이다. 기록계인 16ACT는 최대 입력 전압이 5 V인 16bit A/D를 사용하고 있다. 따라서 센서가 감지할 수 있는 최대 속도를 기록할 수 있으나 출력 전압이 낮은 미소 지진은 기록할 수 없다. 기록계 range을 센서 range의 하단부분을 맞추기 위하여 센서의 출력전압을 증폭할 경우, 미소 지진을 관측할 수 있다. 하지만 강진이 발생할 경우, 즉 증폭된 센서의 출력전압이 A/D 변환기의 최대 입력전압보다 클 경우 지진기록에 clipping (포화 상태)이 발생한다. 경상분지에 설치한 자원연구소 지역관측망은 미소지진을 모니터링하기 위하여 설치한 것으로, '96년 12월의 영월 지진 및 '97년 5월의 경주지진 발생 시에 20~40 dB 정도 증폭하여 기록하도록 조정되어 있어 일부 관측소의 지진 기록에 clipping 현상이 발생하였다. 현재 자원연구소, 기상청, 전력연구원, 원자력안전기술원 및 대학이 표준 지진 관측시스템 (그림 4 참조)으로 채택하여 설치하고 있는 기록계의 dynamic range는 144 dB (24bit A/D)이고 이에 부착되는 속도 및 가속도 센서의 최대 출력 전압이 기록계의 디지털 변환기 최대 입력 전압과 동일하게 함으로서 지진 관측 시 clipping 현상이 발생하지 않도록 하였다.

전기적 신호와 같은 analog 자료를 A/D (analog/digital) 변환기 통해 디지털 자료화할 경우 피할 수 없는 것이 aliasing 현상이다. 이론상으로는 디지털 자료는 1초당 sampling한 개수(sps, samples per second)의 반을 Nyquist 주파수라고 하여 그 이상의 주파수 대역 자료는 없다. 예를 들면 1초에 100개를 sampling하면 (0.01초 간격으로) Nyquist 주파수는 50 Hz가 되고 그 이상 주파수 대역의 자료는 존재하지 않는 것이다. 이에 비해 analog 자료는 모든 주파수 대역의 자료를 가지고 있다 (연속적 자료이므로 1초당 sampling 개수가 무한대로 간주된다). 따라서 analog 자료를 아무런 사전 조치 없이 디지털 자료화할 경우, Nyquist 주파수 이상의 자료는 Nyquist 주파수를 중심으로 folding되어 Nyquist 주파수 이하의 자료에 중첩한 결과로 나타나기 때문에 본래 얻고자 하는 디지털 자료가 왜곡되게 된다. 이와 같은 aliasing 효과를 제거하기 위하여 고안된 filter가 anti-aliasing filter로서 A/D 변환기로 디지털하기 전에 analog 신호에 적용한다.

디지털하기 위해서는 먼저 1초당 sampling 개수가 결정되고 이로부터 Nyquist 주파수가 얻어진다. 지진 기록계에서는 Butterworth나 Tchebycheff filter를 anti-aliasing filter로 사용하는 데 Nyquist 주파수의 반부터 시작하여 보통 54 dB/octave (9 pole의 경우)로 감쇠 시킨다. 이때 filter가 적용되기 시작하는 주파수를 cut-off 주파수라고 한다. 따라서 1초당 100개를 sampling한 경우 Nyquist 주파수인 50 Hz의 반인 25 Hz부터 감쇠 된다. 필터의 영향을 받지 않은 주파수 대역은 DC 성분에서 25 Hz까지로 sampling 개수에 비해 많은 정보를 손실하게 된다. 이와 같은 문제점을 극복하기 위해 채택된 방법이 over-sampling 기술로 A/D converter의 급격한 발전으로 가능하게 되었다.

over-sampling 기술이란 만일 최종적으로 1초당 100개 sampling하고자 할 경우, 먼저 초당 1000개의 sampling을 한다 (A/D converter에 따라 다르다). 이때 anti-aliasing filter는 1000 개 sampling의 Nyquist 주파수의 반인 250 Hz (즉 cut-off 주파수)부터 적용되게 된다. 이후 디지털 자료를 디지털 filter를 이용하여 최종적으로 얻고자 하는 100개 sampling에 대한 Nyquist 주파수, 50 Hz 이상의 자료는 모두 제거하고, Nyquist 주파수부터 이의 80%까지 (digital filter의 cut-off 주파수), 즉 40~50 Hz까지는 Hanning window 등을 이용하여 감쇠 시킨 다음, 초당 100개로 다시 sampling을 하는 것이다. 이를 re-sampling이라고 하며, 최종적으로 얻어진 자료에는 DC 성분에서 Nyquist 주파수의 80%까지는 filter의 영향을 받지 않은 정확한 자료를 얻을 수 있다.

지진 자료의 사용 용도에 따라 over-sampling한 후 re-sampling하기 전에 적용되는 digital filter의 특성이 중요하다. 진앙 결정 및 단층면 해 등의 지진연구를 위해서는 초동 도착 시각 및 운동 방향의 정확한 판독이 중요하다. 이를 위해서는 디지털 자료가 causality를 만족하여야 한다. causality란 두 손바닥이 마주치기 전에 손에서 소리가 날수 없다는 것으로 실제적인 모든 물리적 현상은 이를 만족한다. 현재 가속도 기록계로 over-sampling 기술을 사용하고 있는 기록계 (예를 들면 미국 Kinematics사의 K2)는 digital filter로 zero-phase filter만을 사용하고 있다. 이는 위상은 그대로 두고 진폭 (amplitude)만 감쇠 시키는 것으로 이후 re-sampling한 디지털 자료는 causality를 만족하지 못한다. 이의 전형적 현상은 초동 지진파의 도착시간 전에 ringing이 나타나는 것으로 주파수 영역에서의 진폭 연구에는 문제가 없으나 지진연구를 위한 초동 지진파의 분석에 큰 장애가 된다. 이에 반해 causal filter인 minimum-phase filter를 사용할 경우 초동 지진파 분석에 적합하나 re-sampling한 후의 최종 디지털 자료에 있어서 Nyquist 주파수의 80%인 cut-off 주파수 주변의 진폭이 미약하나만 다소 감쇠 된다. 자원연구소, 기상청 등에서 설치한 지진관측소의 경우 minimum-phase filter를 적용하도록 조정되어 있다.

디지털 지진기록계는 디지털 자료를 저장하기 위하여 내부에 기억장치를 두고 있다. 현재 기억장치의 용량은 증가하면서도 급격히 소형화하고 있다. 하지만 기억용량이 충분하지 않은 상태에서는 모든 지진기록을 연속적으로 기록계 내부에 저장할 수는 없다. 따라서 개발된 기술이 실제 지진 event인지를 식별하여 event만을 기록하는 triggering 방법이다. 현재 가속도 기록계는 모두 이 방법을 통해 지진 event만 기록하게 되어 있다.

지진이 발생하지 않았을 경우 센서에 감지되는 진동은 주변의 background noise로 주변의 인

간활동 등이 빈번한 주간과 야간은 다소 다르다. 따라서 관측 시각부터 일정 시간 앞까지의 평균을 background noise level로 정하는 데 이를 LTA (long-term average)라고 한다. 만일 event가 발생할 경우 감지되는 진동의 단기간 평균인 STA (short-term average)은 LTA 보다 클 것이다. 따라서 이의 비율을 축적된 지진 자료를 분석하여 설정하고 이 비율보다 클 경우만 기록하는 방식이 STA/LTA triggering 방법이다. 이외에 단순히 감지된 진동의 level이 어떤 설정된 값보다 큰 sample의 개수가 몇 개 이상일 경우 기록하는 방식을 threshold triggering 방식이라 하며, 원자력발전소에 설치된 가속도계는 0.01g 이상의 진동이 감지될 경우 경보와 함께 이를 기록하도록 구성되어 있는 것으로 알고 있다. 이외에 background noise의 분산율 (dispersion)을 분석하여 triggering하는 방법 등 많은 방법이 발표되어 있으나 기존의 STA/LTA와 threshold 방법과 유사하다.

지진의 대부분은 단층면의 운동에 의해 발생하는 데, 이때 지진계의 설치 위치와 진앙지의 방위각에 의해 P파와 S파의 진폭 비율이 달라지게 된다. 이론상으로 단층운동 시에 P파가 전혀 전달되지 않는 면이 있는 데 이를 P파의 nodal plane이라고 하고 S파의 nodal plane과 직교하게 된다. 만일 지진관측소의 위치가 P파의 nodal plane에 위치하게 되면 기존의 어떤 triggering 방법으로도 이를 감지할 수 없고, 그 후에 도착하는 S파에 의해 triggering된다. 따라서 P파의 기록을 위해서는 triggering되는 시점에서 어느 정도의 시간 앞의 기록을 유지할 필요가 있다. drum 같은 analog 기록계를 사용하여 triggering 방법으로 기록한 과거에는 triggering 시점전의 자료를 유지할 수 있는 방법이 없었기 때문에 대부분의 기록에서 P파를 볼 수가 없다.

디지털 기록계에서는 이 문제점을 해결하기 위하여 ring buffer (circular buffer)의 개념을 도입하였다. 센서의 출력 신호를 디지털화 한 후에 이를 내장된 RAM에 할당된 ring buffer에 계속 기록할 경우, triggering되는 시점전의 기록 중 유지되는 시간은 ring buffer의 크기에 비례한다. 따라서 triggering되는 시점을 기준으로 어느 정도 시간 전 (pre-event time 또는 delay time)부터 시간 후 (post-event time)까지 기록할 것인지를 변수로 입력하게 되면 이와 상응하는 자료를 ring buffer에서 내재된 Hard Disk나 PCMCIA card에 복사하여 기록하게 된다. 표준 관측 시스템에는 2GB의 Hard Disk을 분할하여 1 GB는 속도 및 가속도 센서의 연속적인 지진자료를, 1GB는 triggering 자료를 기록하도록 구성되어 있다.

전세계적으로 주요 관측소의 지진계가 디지털 기록계로 대체되고 그 숫자가 증가하면서 관측소로부터 자료의 획득, 교환 등에 수반되는 통신방법에 대한 관심이 고조되었다. 통신이라 전화 회선 등 매질을 통하여 한쪽에서 다른 쪽으로 정보를 전달하는 것으로, 현재 우리에게 통상적으로 잘 알려져 있는 통신 방법으로는 serial 통신과 Internet 통신이 있다. serial 통신을 'physical traffic'이라고 하고 internet 통신을 'logical traffic'라고 비유할 수 있는 데, 연구실이나 사무실내의 network를 통해 잘 이해할 수 있다. 보통 연구실 내에는 자료를 취합하고 분석하는 workstation이 몇 대 있고 각 개인마다 PC가 있을 것이다. 연구실 내에 LAN (local area network)이라고 칭하는 Hub와 TP (또는 thin 2) cable이 설치되어 있지 않은 과거의 경우, 자료를 교환할 수 있는 방법은 두 PC의 serial port를 직접 연결하는 방법이다. 이와 같은 serial cable을 통한 1대1 통신을 비유하여 physical traffic이라고 한다. 이에 반해 LAN이 설치된 곳에서는 PC에 ethernet card을 장착하고 TP cable로 가장 가까운 곳의 Hub에 연결하면 network에 연결된 모든 곳과 통신이 가능하다. 통신과정에 지역적으로는 한국통신의 T1급 전용선을, 어떤 지역에서는 E1급 광통신 선을, 또는 인공위성을 이용할 것이다. 하지만 internet 통신을 하는 개별적인 사용자는 개념적으로 상대방과의 사이에 직접 통신망이 설정되어 있다고 가정하게 되어 logical traffic이라고 한다. workstation처럼 PC도 multi-tasking이 가능하여 현재 IP (internet protocol)를 통해 다중 통신이 가능하다.

만일 어느 기관이 주요 지역에 지진 관측소를 설치하여 운영하는 데 기록계가 serial 통신 방법만 지원한다고 가정하였을 때, 자료는 1대1로 serial 통신을 개통한 기관만이 실시간으로 획득할 수 있다. 따라서 그 지역의 지진자료를 실시간으로 다른 기관이 모니터링하고 싶을 때는 중복하

여 설치 운영하여야 한다. 하지만 기록계가 IP 통신을 지원하고 관측소가 network에 연결되어 있다면, 필요시 일반적인 internet 통신을 이용하여 지진자료를 타 기관도 실시간으로 모니터링 할 수 있다. 표준 관측 시스템에서 사용하는 기록계는 serial 통신 뿐 아니라 IP 통신을 지원하는 기종이다. multi-tasking이 가능하여 동시에 3곳까지 실시간으로 자료를 전송할 수 있으며 최대 동시 접속 사용자는 8명으로 관측소의 활용성이 매우 높다.

4. 관측소 현황

'95년 1월의 고베 지진 이후 '96년 12월의 영월지진이 한반도 전역에서 감지됨으로서 지진에 대한 국민의 관심이 고조된 상황에서 '97년 6월의 경주지진은 월성 원자력 발전소의 지진안전성과 함께 지진 관측망 구축의 필요성이 제기되었다. 경주지진 발생 당시에는 기상청의 아날로그 관측소 12개소와 자원연구소의 디지털 12개소 관측소가 전부였으며 디지털 관측소의 경우에서 속도 센서만 설치되어 있었고 기록계의 dynamic range의 제한으로 완전한 지진기록을 획득하지 못하였다. '97년 7월말 국무총리 주재의 지진대책회의 후 현재 지진관측소를 설치하여 운영 중에 있거나 설치 예정인 기관은 다음과 같다.

- 자원연구소 : 그림 5에서 보는 바와 같이 핵실험 감시를 위한 원주 KSRS array 관측망을 중심으로 주요 단층대의 지진 모니터링을 위한 지역관측소 및 자원연-대학 공동 광대역 관측소로 구성되어 있다. 향후 주변 잡음의 영향을 최소화하고 지표의 증폭 효과를 연구할 수 있는 최상의 자료 획득을 위해 시추공용 속도 및 가속도 센서를 이용한 borehole 관측소를 확충할 예정이다. '99년 말까지 월성 원자력 발전소의 서쪽 효동리 지역, 전북대, 경상대 및 세명대 내에 borehole 관측소를 설치할 계획이다.
- 기상청 : 신속하고 정확한 지진통보를 위해 전국 규모의 디지털 관측소를 설치할 예정으로 현재 총 8개소의 관측소 설치가 완료되었다 (그림 6 참조). 현재 10대의 디지털 지진계를 추가 구매하여 설치할 예정으로 향후 2001년까지 총 75개소의 관측소를 설치 운영할 예정이다.
- 전력연구원 : 원자력 발전소의 지진안전성 확보를 위한 발전소 부지 주변의 총 8개소의 지역관측소를 설치하여 운영 중에 있다. 향후 8개소를 추가하여 각 발전소 부지 및 주변에 4개소의 관측소를 설치 운영할 예정이다.
- 원자력안전기술원 : 원자력 발전소 구조물의 지진응답 계측기의 검증을 위해 현재 월성 및 고리 원자력 발전소 부지 내에 지진관측소를 설치하였고 '99년 6월까지 울진 및 영광 원자력 발전소 부지 내에 추가 설치할 예정이다.
- 대학 : 지역별 지진 모니터링 및 지진연구를 위해 자원연과 공동으로 관측소를 설치 운영할 예정이다. 현재 서울대와 자원연이 공동으로 수도권 관측망을 설치할 계획으로 있다.

이와 같이 각 기관별로 독자적으로 관측망을 구축할 경우 중복 투자의 가능성을 내포하게 된다. 이의 해소를 위해서는 중복 설치의 원인을 분석할 필요성이 있다. 중복 설치의 원인은 다음과 같이 요약될 수 있다.

- 타 기관의 관측소에 직접 접속할 수 없으며, 접속되어도 운영 시스템의 차이로 자료 획득이 불가능하다.
- 관측의 제반 변수를 확인할 수 없다.
- 기관별 관측 목적이 상이하다.

이와 같은 문제점의 해결책으로 open station 개념을 도입하였다. open station이란 관측소 설치 기관은 super user로서 기관의 관측 목적에 조정할 수 있고, 타 기관은 public user로 지진자료, 관측변수 및 운영과정에 관한 자료를 가져갈 수 있게 공개하는 것이다. 이를 위해서는 관측소 시스템은 multi-users의 동시 접속이 가능하여야 하며, 모든 기관이 현재 공유하고 있는 Internet 통신 방법이 가능하여야 한다. 현재 지진관측소 설치와 관련된 기관이 채택하고 있는 한국 표준 지진 관측 시스템은 이와 같은 문제점을 논의하여 얻은 해결책이다.

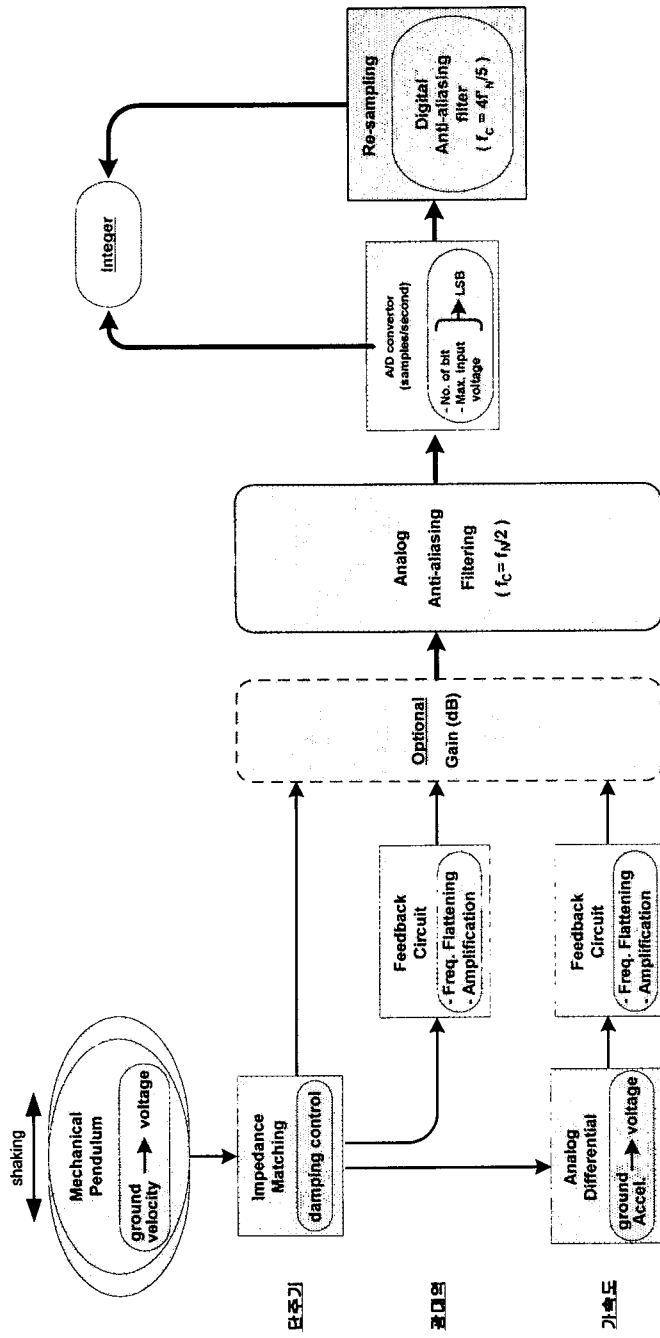


그림1. 지반 진동 관측 원리

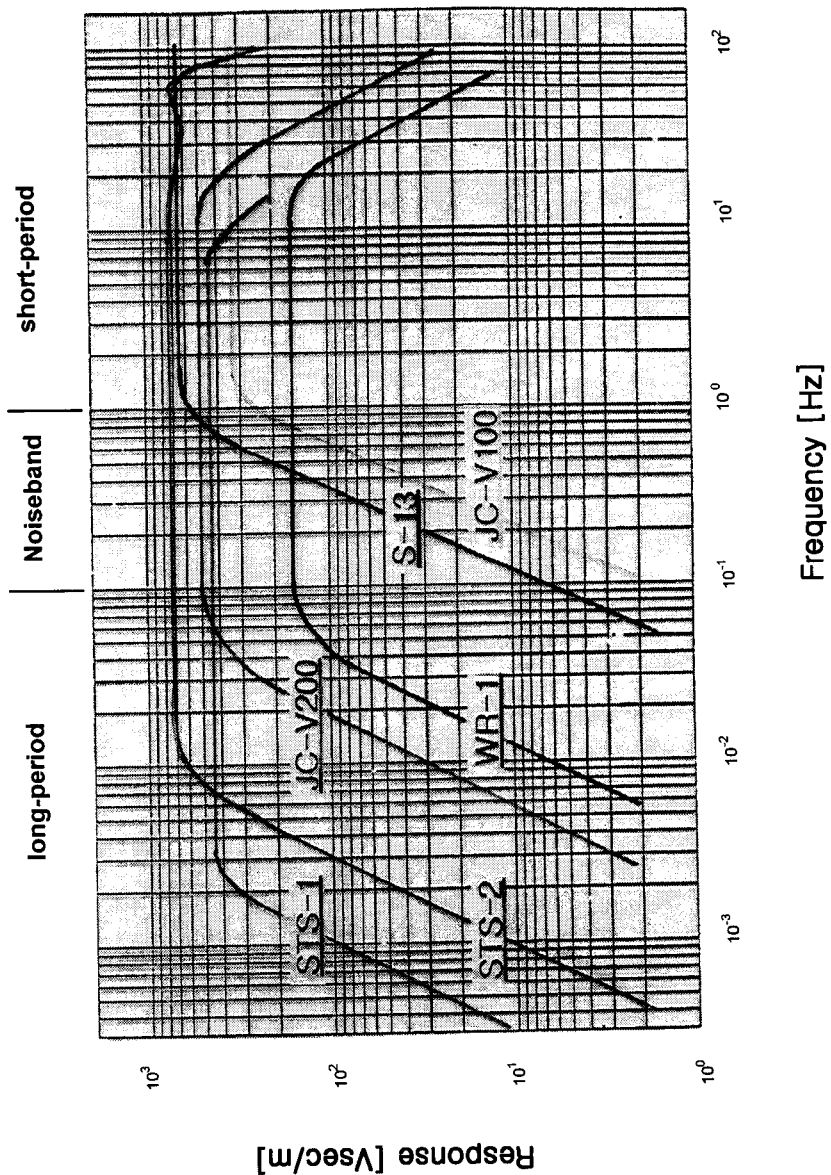


그림 2. 각종 속도센서의 frequency response spectrum.

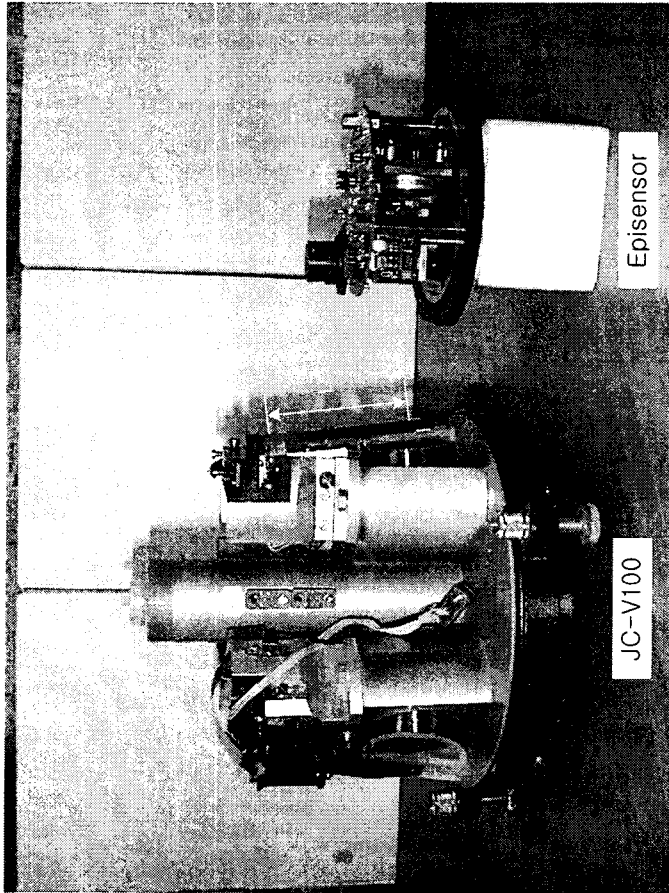
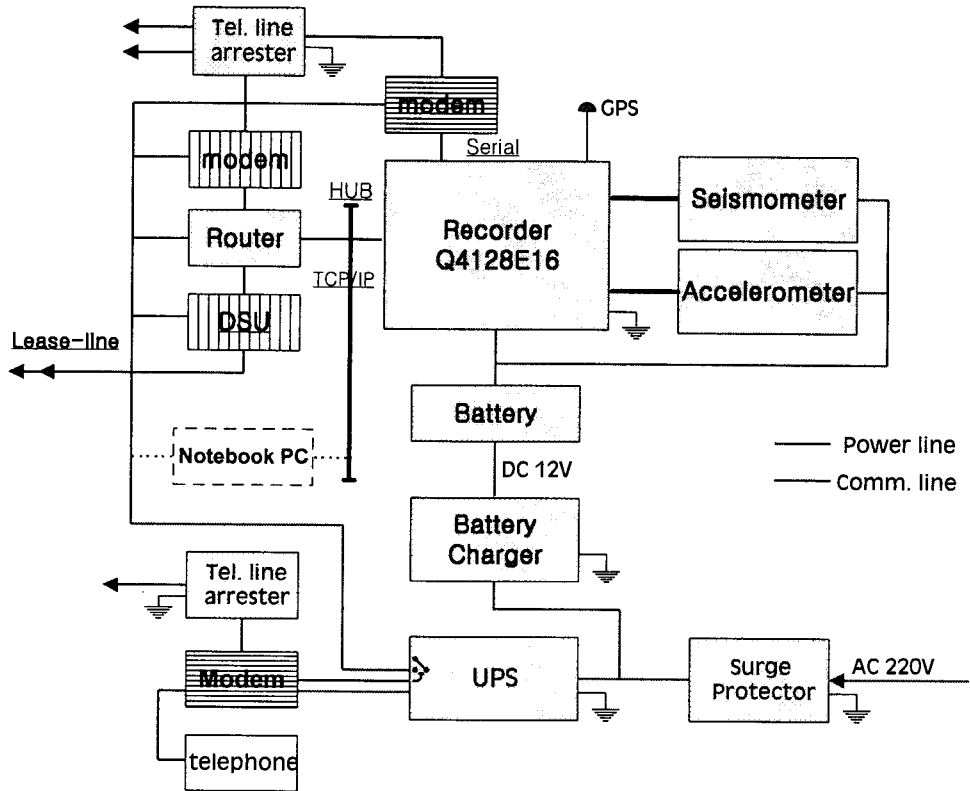


그림 3. 속도 및 가속도 센서의 비교

Standard Configuration of Korea Seismic Station



Operating sensors

- Accelerometer
 - o FBA Episensor
 - o JC-A101

- Seismometer

- o Short-period : JC-V100
- o Broadband : STS-1, STS-2

Communication : TCP/IP

Data format : SEED, Alpha

* SEED : standard for the exchange of earthquake data

* alpha : CTBTO standard data format

* DSS : Data Subscription Service

Installation : plug and play

- connector and pin assignment fixed

그림4. 한국표준 지진관측 시스템 구성

자원연-대학-한전 지진관측소 현황

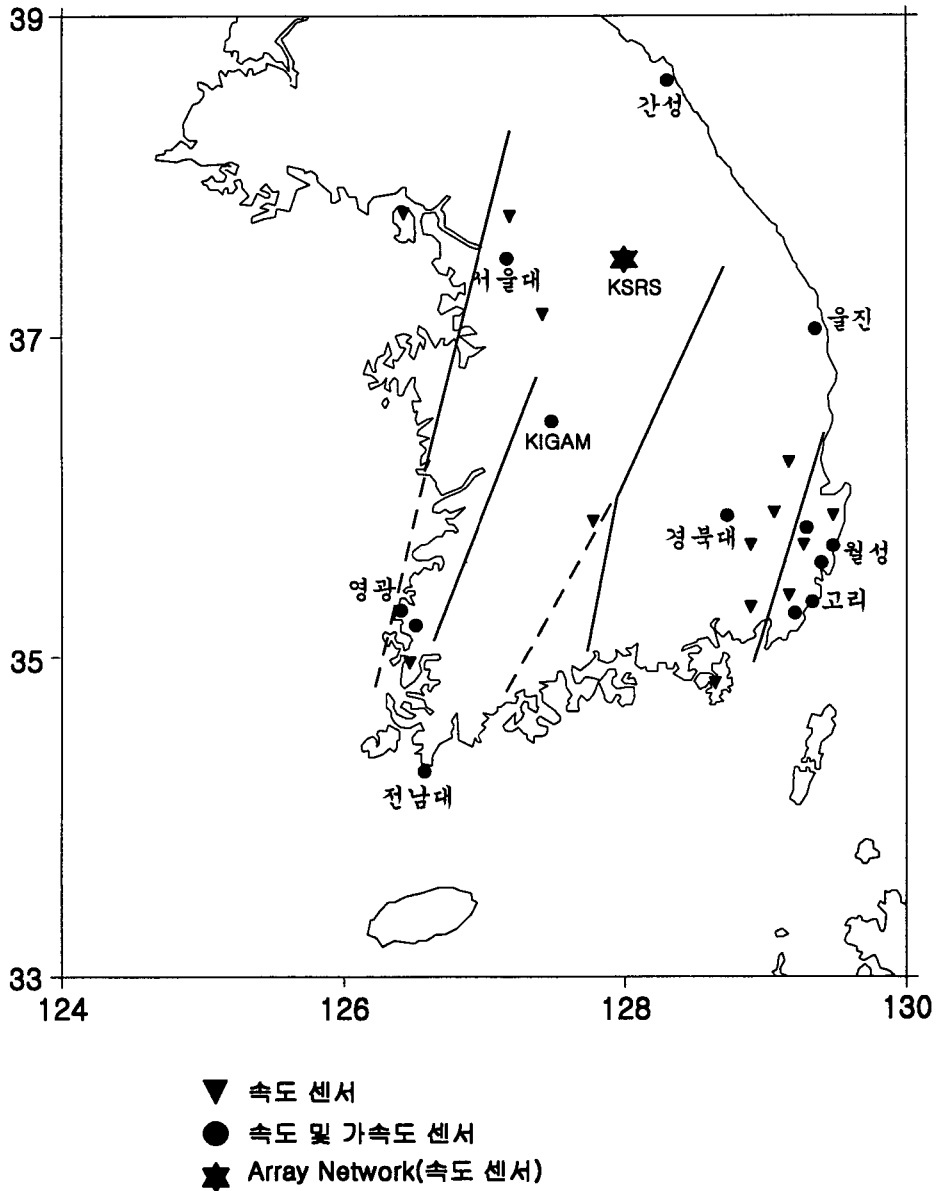


그림 5. 자원연-대학-한전 지진관측소 분포 현황

기상청이 99년 3월 현재 운영중인
디지털 지진관측망

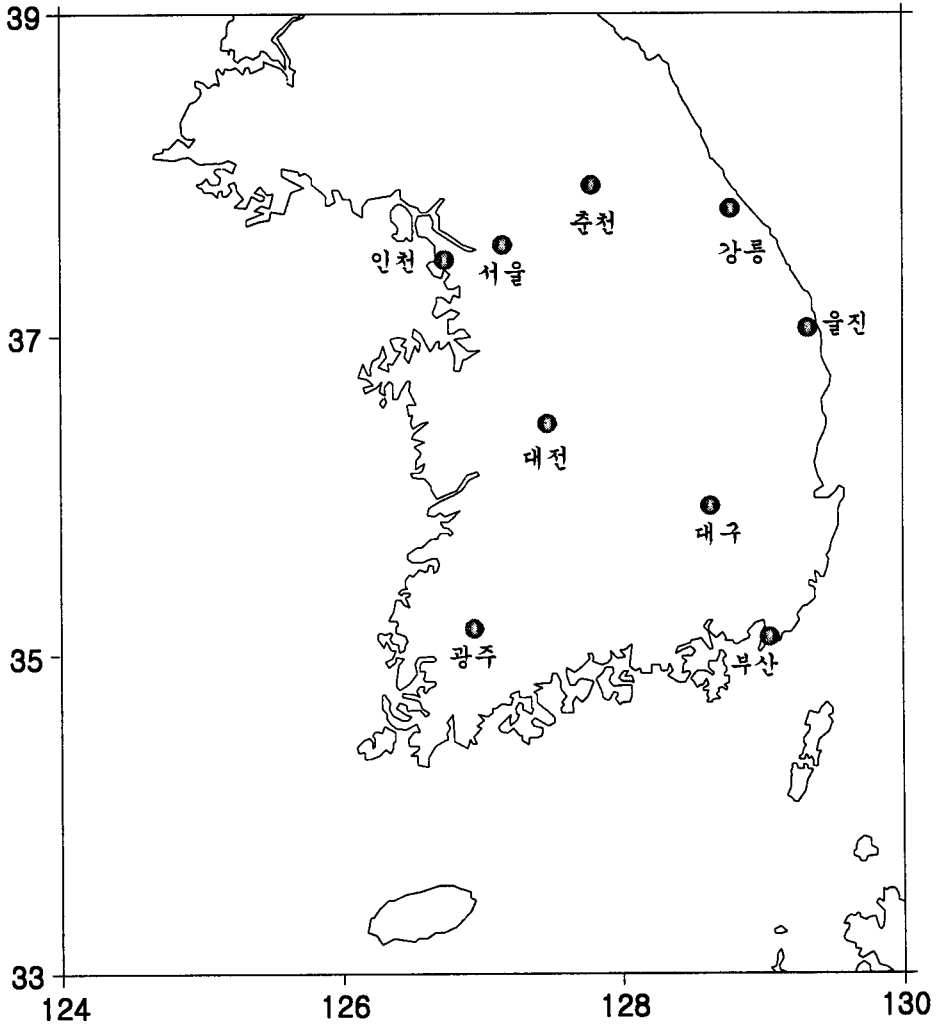


그림 6. 기상청 디지털 관측소 분포 현황