

댐 매설 계측기 및 계측결과의 원격 신뢰성 평가를 위한 신호처리 기법의 개발

Development of New Data Analysis Method to Evaluate Reliability of the Sensor or Measured Data

박 형 춘^{1)*} 황 혜 진²⁾ 이 종 욱³⁾

Park, Hyung Choon Hwang, Hea Jin Lee, Jong Wook

Abstract

Many kind of sensors in the dam produce a lot of data associated with the maintenance and safety of the dam. So it is important to measure the reliability of the sensor (or measured data). In this paper, the new method using modified coherence function is proposed to measure the reliability of the sensor remotely. To verify feasibility of proposed method in the field, proposed method was applied to data of piezometer and earth pressure cell. Through field applications, the potential of the proposed method was verified.

Keywords : Sensor, Data, Reliability, Coherence function, Real-time evaluation

1. 서 론

댐에는 간극수압계, 토압계, 경사계 등 다양한 종류의 계측기가 매설되어 있다. 이러한 다양한 계측기에서 얻어지는 데이터는 댐의 유지 관리 또는 연구를 위한 기본 데이터로서 매우 중요하다(KGS, 2010). 계측기는 측정하고자 하는 물리량을 우리가 사용할 수 있는 수치 값으로 변환하여 제공한다. 이상적인 계측기는 계측기 시스템을 구성하고 있는 요소들의 성질이 시간에 따라 변화 없이 일정하여야 한다(constant parameter 조건). 또한 여러 입력들이 동시에 이루어지는 경우 출력은 개별 입력들에 해당하는 출력들의 합이어야 하며 동시에 입력이 일정 상수 배 증가하면, 출력도 동일한 상수 배만큼 증가하여야 한다(linear 조건) (Bendat and Piersol, 1991; Dunncliff and Green, 1998). 이러한 linear 조건은 다음과 같은 수식으로 간단히 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} f(x_1 + x_2) &= f(x_1) + f(x_2) \\ f(cx) &= cf(x) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 x 는 입력, 즉 우리가 측정하고자 하는 대상이며, $f(x)$ 는 출력, 즉 계측기에서 얻어지는 계측 결과이다. 계측기 시스템이 이러한 조건을 만족하지 못한다면, 계측기는 동일한 입력에 대해 시간에 따라 다른 출력 값을 주게 되거나 측정하고자 하는 대상 값을 입력 크기에 따라 과대 또는 과소평가하게 되는 등 계측기로서의 기능, 즉 신뢰할 수 있는 계측결과의 제공을 수행하지 못하게 된다. 계측기(또는 계측 데이터)의 신뢰성 평가는 일반적으로 계측기에 대한 직접 접근을 통한 성능 시험을 통해 수행될 수 있으나, 일반적으로 댐 매설 계측기들은 직접적인 접근이 어렵다. 또한 계측기가 계측신호를 더 이상 생성하지 않는 기계적인 고장의 경우, 계측기의 상태(즉 명확한 고장 상태)를 명확히 알 수 있으나 경우에 따라 계측기에 고장이 발생하여 신뢰성 있는 계측이 이루어지지 않는 경우에도 지속적으로 계측 데이터를 생성하는

1) 정회원, 충남대학교 토목공학과 부교수, 교신저자
2) 비회원, 충남대학교 토목공학과 박사과정
3) 비회원, 한국수자원연구원 기반시설연구소 지반연구팀 책임연구원

* Corresponding author : civilman@cnu.ac.kr 042-821-5673
• 본 논문에 대한 토의를 2012년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 2013년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

경우가 있다. 이러한 신뢰성 없는 계측 데이터를 댐의 유지 관리에 사용하는 경우 잘못된 결과를 발생시킬 수 있다.

본 연구에서는 계측기에 대한 직접적인 접근 없이 계측된 데이터에 대한 평가를 통해 계측기 및 계측 데이터의 신뢰성을 시간에 따라 지속적으로 평가 할 수 있는 새로운 데이터 처리 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 인공 계측 데이터와 실제 댐에서 수행된 계측 데이터에 대해 적용·검토 하였으며, 이를 통해 제안된 방법의 타당성을 확인하였다.

2. 계측기 및 계측 신호의 신뢰성 평가를 위한 데이터 처리 기법

계측기의 목적은 측정대상의 물리적인 상태를 정확히 측정하여 수치적인 데이터로 제공하는 것이다. 따라서 계측기의 신뢰성은 계측기에서 제공되는 계측 데이터의 신뢰성과 동일하며, 이러한 신뢰성의 평가는 계측결과의 신뢰성 평가를 통해 수행 될 수 있다. 계측 결과의 신뢰성을 저해하는 요소는 두 가지로 분류할 수 있다. 첫째는 계측기 내부에 발생하는 문제로 계측기 시스템이 앞에서 언급된 linear 조건과 constant parameter 조건을 만족시키지 못하는 경우에 발생한다. 둘째는 계측기 외부의 문제로 계측기 외부에 존재하는 배경 잡음 등에 의해 발생한다. 따라서 계측기 및 계측결과의 신뢰성 평가는 이러한 신뢰성 저해요인의 정도를 평가함으로써 수행될 수 있다. 이러한 계측결과 및 계측기 신뢰성 저해 요인의 평가는 계측기에 대한 입력신호와 출력신호의 비교를 통해 이루어질 수 있다. 즉 출력신호의 에너지 중 어느 정도가 실제 입력신호에 의한 것인지를 검토하여 계측기 및 계측결과의 신뢰성 저해 요인의 정도를 평가하고 이를 통해 신뢰성을 측정할 수 있다. 이러한 입·출력 신호사이의 상관관계는 입·출력 신호사이의 상관함수(Coherence function) 결정을 통하여 수치적으로 평가될 수 있다. 상관함수는 출력신호의 에너지 중 몇 퍼센트가 입력신호에 의한 것인지를 평가하는 함수로 출력신호의 질을 평가하는 데 사용된다. 상관함수는 다음 수식에 의해 정의된다(Bendat et al., 1991).

$$\gamma_{xy}^2(f) = \frac{|G_{xy}(f)|^2}{G_{xx}(f) G_{yy}(f)} = \frac{|S_{xy}(f)|^2}{S_{xx}(f) S_{yy}(f)}$$

$$0 \leq \gamma_{xy}^2(f) \leq 1 \quad (2)$$

여기서 G_{xx} 는 입력신호의 Auto spectral density 함수이며, G_{yy} 는 출력신호의 Auto spectral density 함수로 계측기 입·출력 신호의 주파수별 에너지의 크기를 나타내는 함수이다. G_{xy} 는 입력신호와 출력신호의 Cross spectral density 함수이다. 식 (2)에서 정의된 상관함수는 단위가 없는 0에서 1사이의 값을 가지며, 다음 식과 같이 변환하여 표현할 수 있다.

$$\gamma_{xy}^2(f) = 1 - [G_{nn}(f)/G_{yy}(f)] \quad (3)$$

여기서 G_{nn} 은 잡음의 Auto spectral density 함수로서 계측 신호의 신뢰성 또는 계측기의 신뢰성을 감소시키는 모든 요소의 합이다. 식 (3)을 보면 상관함수는 잡음/신호비의 함수로서 잡음의 크기가 커질수록 상관함수의 값은 작아진다. 즉 잡음이 전혀 없는 경우 상관함수 값은 1을 가지며, 잡음이 커질수록 상관함수의 값은 감소한다. 따라서 상관함수 값이 1에 가까울수록 계측기 또는 계측 결과의 신뢰성은 증가한다. 이러한 상관함수 값의 감소, 즉 계측기 또는 계측 결과의 신뢰성 감소는 다음 2가지 요인에 의해 발생한다.

- 외부에 측정대상 이외의 배경잡음이 존재하는 경우
- 입력신호가 들어가 출력신호를 내는 계측기 시스템이 선형시스템이 아닌 경우

이러한 상관함수 결정을 위해서는 계측결과(계측기 출력신호) 외에 계측기 입력 부분에서의 실제 입력신호가 필요하다. 그러나 실제 이러한 계측기 입력 단에서의 입력신호는 측정 할 수 없다. 이러한 계측기 입력신호는 간접적인 방법으로 결정할 수 있다. 댐과 같은 경우 댐체에 발생하는 여러 변화, 즉 계측기를 사용하여 측정하고자 하는 계측 대상들의 변화를 유발하는 요소는 주로 댐 저수위 변화이다. 따라서 이러한 댐체의 저수위 데이터는 계측기의 간접적인 입력 데이터로 사용될 수 있다. 만일 저수위 기록과 같은 데이터를 간접 입력 신호로 사용할 수 없는 경우, 계측기 주변에 위치하는 동일 종류 계측기의 출력 데이터를 간접 입력 데이터로 사용할 수 있다.

위에서 언급한 바와 같이 계측기 및 계측결과 신뢰성 평가는 계측기 입·출력 신호사이의 상관함수 결정을 통해 수행될 수 있다. 본 연구에서는 이러한 상관함수를 계측기 신뢰성 평가에 적용하기 위하여 수정된 상관함수를 제안하였으며, 이를 위해 개발된 신호처리 알고리즘은 다

음과 같다.

2.1 계측기 및 계측 신호의 신뢰성 평가 방법

계측된 결과를 사용한 계측기 및 계측결과의 신뢰성 검토 알고리즘은 다음과 같다.

- (1) 대상 계측 시스템의 시간영역 입력 데이터와 출력 데이터를 결정한다(Fig. 1).
 - 출력 데이터는 대상 계측 시스템에서 출력된 결과를 이용한다.
 - 입력 데이터는 직접 측정이 불가능하기 때문에 탠의 경우 저수위 데이터 또는 대상 계측기 주변에 위치하는 동일 종류 계측기의 출력 데이터를 간접적인 입력 데이터로 사용한다.
- (2) 입력 데이터의 Power spectral density 함수, $PSD_{input}(f)$ 를 결정한다(Fig. 2).
 - (2-1) 일정크기 이상의 에너지를 가지는 주파수 성분들, f_{select} 를 결정한다(Fig. 2).

$$f_{select}(j) = f_i$$

when, $[magnitude\ of\ PSD_{input}(f_i)] > \beta \times [magnitude\ of\ PSD_{input}(f_i)]_{max}$ (4)

- (3) 입력 데이터와 출력 데이터 사이의 상관함수, $Coh(f)$ 결정한다(Fig. 3).
- (4) (2-1)에서 결정된 주파수 성분들, f_{select} 들에 대해 $PSD_{input}(f_{select})$ 의 크기를 가중치로 하여 상관함수의 가중 평균 Coh_{signal} 을 다음과 같이

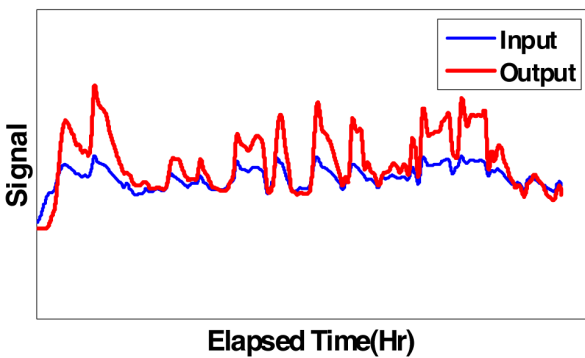


Fig. 1 Input and output signal of sensor

결정한다(Fig. 3).

$$Coh_{signal} = \frac{\sum_i PSD_{input}(f_{select,i}) \times Coh(f_{select,i})}{\sum_i PSD_{input}(f_{select,i})} \quad (5)$$

- (5) 결정된 상관함수의 가중평균값 Coh_{signal} 이 일정 기준을 넘으면 계측기(또는 계측신호)는 신뢰성을 가지는 것으로 결정한다.

$$\begin{aligned} Coh_{signal} > \alpha & \quad \text{reliable} \\ < \alpha & \quad \text{unreliable} \end{aligned} \quad (6)$$

이 때 α 값은 0에서 1사이의 값을 가지며, 1에 가까운 값을 사용할수록 보수적인 결과가 나온다. 본 연구에서는 α 값으로 0.7을 사용한다.

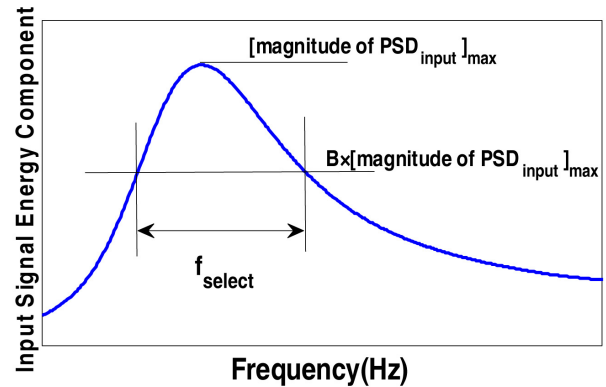


Fig. 2 Power spectral density function of input signal($PSD_{input}(f)$) and f_{select}

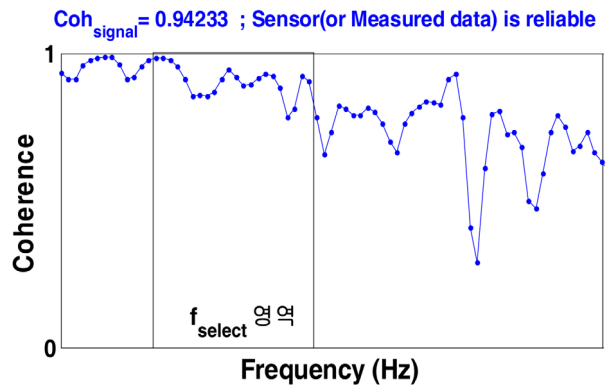


Fig. 3 Coherence function and Coh_{signal} between input and output data

2.2 시간(기간)에 따른 계측기 및 계측 신호의 실시간 신뢰성 변화 평가 방법

2.1장에서는 일정기간동안 측정된 계측신호를 사용하여 그 기간 전체에 걸쳐 평균적인 계측기 및 계측 신호의 신뢰성을 검토하는 데이터 분석 알고리즘을 제안하였다. 실제 현장에서의 계측은 دم체의 유지 관리를 위해 장기간에 걸쳐 연속적으로 이루어진다. 따라서 계측기 및 계측 신호의 신뢰성 평가는 시간에 따라 실시간으로 이루어져야 한다. 이러한 시간 흐름에 따른 계측기 및 계측신호의 신뢰성 평가는 일정한 시간 폭을 가지는 window를 결정한 후 window를 시간축 상에서 이동시키며 시간영역 계측신호를 분해한 후 분해된 신호 조각에 대해 2.1장에서 제안된 신호처리 방법을 적용하여 수행될 수 있다. 이를 위하여 제안된 알고리즘은 다음과 같다(Fig. 4).

- (1) Moving window의 폭, ΔT 을 결정한다.
- (2) 결정된 window를 사용하여 계측기 입력신호와 출력신호의 조각을 결정한다.
- (3) 앞에서 결정된 입력신호 및 출력신호 조각에 대해 2.1장에서 제안된 알고리즘을 사용하여 Coh_{signal} 을 결정한다.
- (4) 결정된 window 함수를 시간축 상에서 Δt 만큼 이동시켜 새로운 입력신호와 출력신호 조각을 결정한 후 (3)과정을 다시 수행한다.
- (5) 이러한 과정을 반복 수행한다.

실시간 평가를 위해서는 Δt 만큼 시간이 흐를 때마다 계측신호 신뢰성 평가를 수행하며, 이를 통해 Δt 시간 간격으로 window 폭 ΔT 를 시간영역 해상도로 가지는 시간에 따른 실시간 계측기 및 계측결과 신뢰성 평가가 가능하다(Fig. 5).

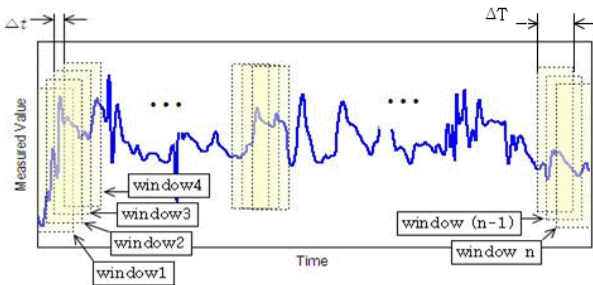


Fig. 4 Evaluation of sensor reliability with time using Moving Window

3. 검증

3.1 인공신호를 이용한 검증

실제 계측 데이터들은 국부적으로는 증가(또는 감소)하거나 주기함수 형태를 가진다. 이러한 국부적인 평가가 가능하면 시간에 따른 신뢰성 평가는 자동으로 가능하게 된다. 제안된 방법을 검증하기 위하여 Fig. 6에 주어진 바와 같이 임의의 증가형태를 가지는 입력신호(Input case 1)와 주기함수 형태의 입력신호(Input case 2)를 생성하고 이러한 입력신호에 대해 선형시스템의 출력신호를 생

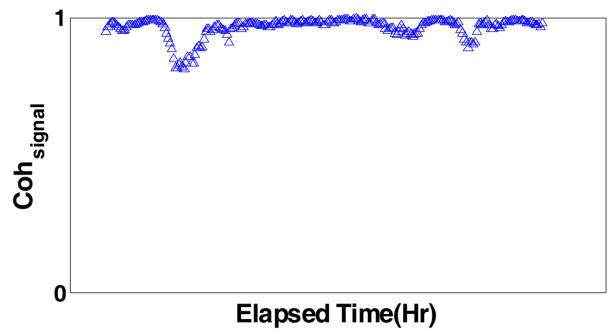
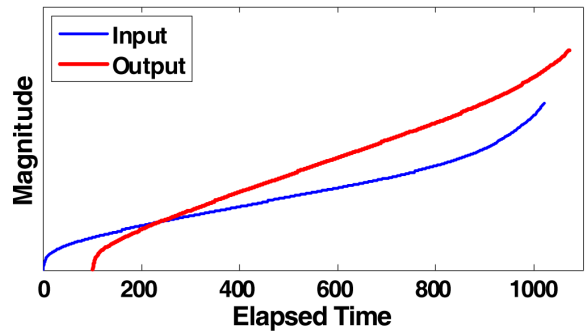
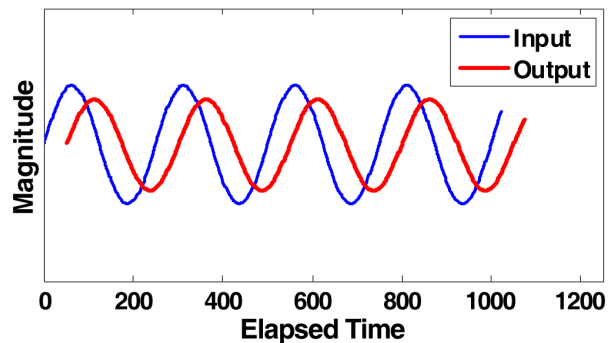


Fig. 5 Real time evaluation of reliability of sensor and output data



(a) Input and output signal with randomly increasing value



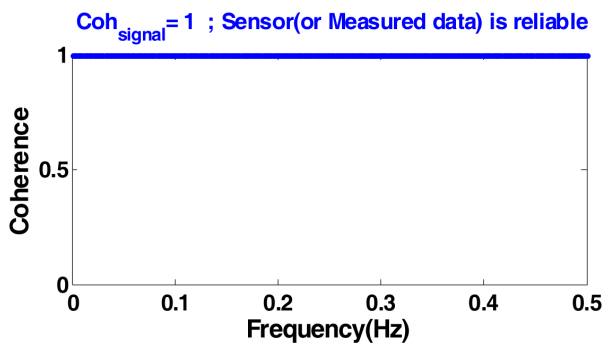
(b) Sinusoidal input and output signal

Fig. 6 Simulated input and output signals

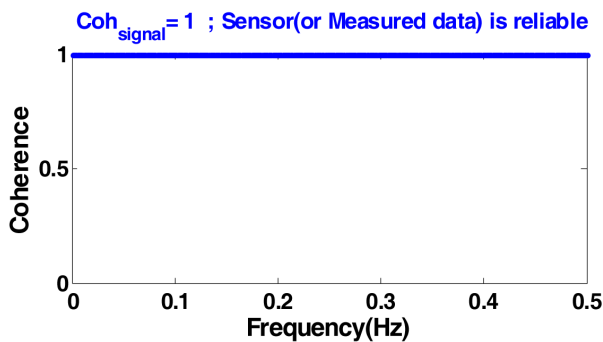
성(Output case 1 과 2)하였다. 각각의 쌍에 대해 제안된 방법을 적용하여 시스템(또는 계측기)의 신뢰성을 평가하였다.

Fig. 7은 입력·출력 case 1과 2에 대해 제안된 방법에 따라 결정된 상관 함수 $Coh(f)$ 그리고 Coh_{signal} 값을 나타낸 그림이다. case1과 2의 경우 모두 출력신호는 입력신호가 선형시스템을 통과하여 얻어진 신호이기 때문에 서로 높은 상관관계를 가지며, Fig. 7에서 보는 바와 같이 제안된 방법은 모든 경우에 대해 Coh_{signal} 값을 1로 평가한다. 이로부터 제안된 방법은 대상 시스템이 선형시스템이라는 것 즉, 신뢰성 있는 계측기라는 것을 효과적으로 평가하고 있음을 알 수 있다.

앞에서 언급한 바와 같이 신뢰성 있는 계측기는 선형 시스템이어야 한다. 만일 출력신호와 입력신호 사이에 이러한 선형관계가 깨진다면, 출력신호가 그 자체로 아무리 타당성 있어 보일지라도 그 출력신호를 신뢰할 수 없다. 일반적으로 주기 함수 형태의 출력신호의 경우 그 자체로 타당성 있어 보일지라도 입력신호가 주기 함수가 아니라면 선형 시스템에서는 출력될 수 없는 신호이다. 이러한 경우를 알아보기 위하여 Input case1(증가 형태 입력)과



(a) Randomly increasing value



(b) Sinusoidal case

Fig. 7 Evaluation of sensor reliability

Output case 2(주기 함수 출력)를 이용하여 시스템의 신뢰성을 평가하였다. Fig. 8은 이러한 입출력 신호를 사용하는 경우의 결과 그림으로 Coh_{signal} 값은 0.0021137이다. 그림에서 보는 바와 같이 제안된 방법은 이러한 경우 대상시스템이 선형시스템이 아니며, 이러한 계측기와 계측결과는 신뢰할 수 없다는 결과를 효과적으로 보여주고 있다.

4. 현장 적용

제안된 방법의 현장 적용성을 평가하기 위하여 00담에 매설된 계측기들에 대해 제안된 방법을 적용하여 계측기 및 계측 데이터의 건전성을 평가하였다. 00담에는 다양한 계측기들이 설치되어 있으며, 이중 간극수압계와 토압계에 대해 제안된 방법을 적용하여 계측기 및 계측자료의 건전성을 평가하였다. 본 연구에서 사용된 간극수압계와 토압계의 위치는 Fig. 9와 같다.

4.1 간극 수압계

담 내에 매설, 설치된 간극수압계들 중 2개의 간극수압계(P#1, P#2) 선정하여 제안된 방법을 적용하였다. 감

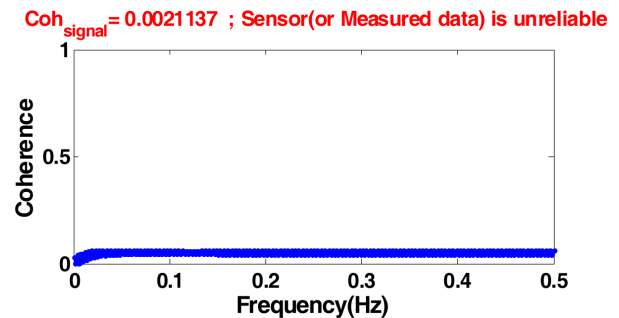


Fig. 8 Evaluation of sensor reliability (Input: Input case1, Output: Output case2)

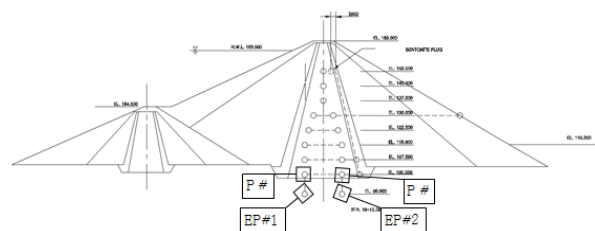


Fig. 9 Location of sensor in the dam (Piezometer: P#1, P#2; Earth pressure cell: EP#1, EP#2)

지기 P#1, P#2는 표고 100m에 위치한다(Fig. 9). 각 계측기의 신뢰성 평가를 위해 필요한 입력 데이터로 저수위 자료를 사용하였다. 동시에 저수위와 같은 직접적인 입력 데이터를 사용하지 못하는 경우, 제안된 방법의 적용성을 평가하기 위하여 동일 표고에 위치하는 주변 계측기 출력 신호를 입력 데이터로 사용하여 계측기 및 계측 신호의 신뢰성 평가를 수행하였다.

4.1.1 case1(입력 : 댐 수위계 계측자료, 출력 : 각 간극수압계 계측자료)

Fig. 10은 간극수압계 및 계측신호 신뢰성 평가를 위한 입력 데이터로 사용된 댐 저수위의 시간에 따른 계측 기록과 이 시간영역 계측기록에 대한 Power spectral density 함수 $PSD_{input}(f)$ 이다. Fig. 11은 간극수압계 P#1, P#2에서 계측된 시간에 따른 간극수압 변화 기록이다. Fig. 12는 댐 저수위 변화와 측정된 간극수압사이의 상관 함수 $Coh(f)$, 그리고 제안된 방법에 따라 결정된 각 간극수압계의 Coh_{signal} 값을 나타내고 있다. 간극수압계

P#1, P#2는 0.93, 0.04의 Coh_{signal} 값들을 가짐을 볼 수 있다. 이 값들은 전체 계측기간 동안의 평균적인 신뢰성을 나타내는 수치로서 간극수압계 P#1의 경우 Coh_{signal} 값이 0.7 이상의 값을 보인다. 이로부터 간극수압계 P#1이 신뢰성 있게 거동을 하고 있으며, 계측된 계측신호가 충분한 신뢰성을 가지고 있음을 확인할 수 있다. 이에 반하여 간극수압계 P#2의 경우 Coh_{signal} 값이 0.04로 시간에 따른 지속적인 간극수압 계측은 이루어지고 있으나, 계측결과와 신뢰성이 매우 떨어지며, 간극수압계가 정상적으로 작동하고 있지 않음을 확인할 수 있다. 간극수압계 P#2의 경우 실제 현장 검사를 통해 이상이 확인 되었으며, 이를 통해 본 연구에서 제안된 방법에 따른 댐 체 매설 계측기 및 계측신호의 원격 신뢰성 평가가 계측기의 정상 작동 유무 및 계측결과와 신뢰성을 매우 효과적으로 평가함을 알 수 있다.

Fig. 13은 시간에 따른 각 간극수압계의 Coh_{signal} 값 변화 곡선으로 이를 통해 각 간극수압계 및 계측신호의 시간에 따른 실시간 신뢰도 변화를 평가할 수 있다. 그림

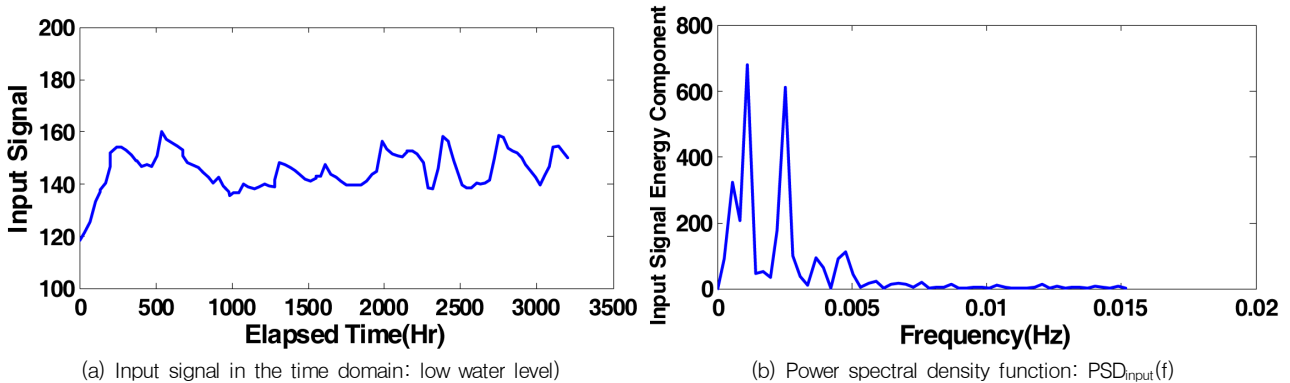


Fig. 10 Input signal(low water level) in the time domain and Power spectral density function $PSD_{input}(f)$

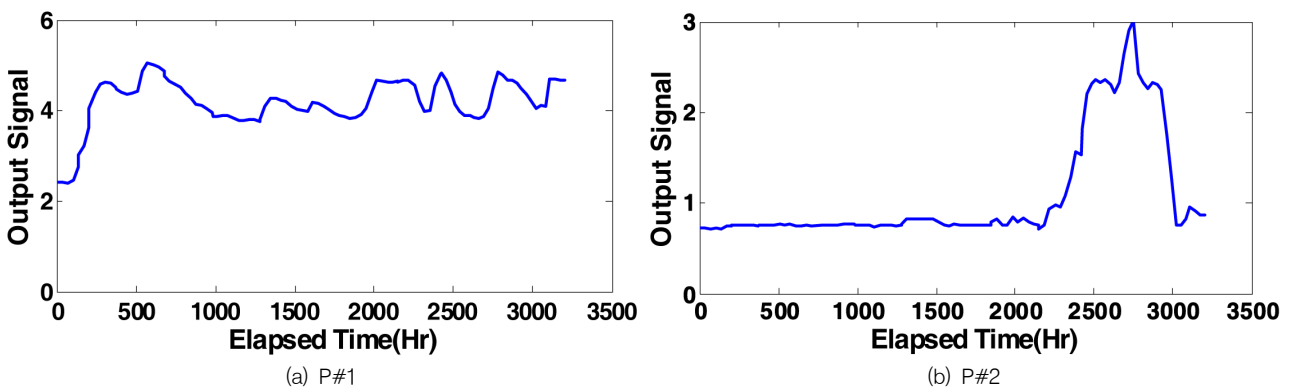


Fig. 11 Variation of pore water pressure measured by piezometer, P#1 and P#2 in the time domain

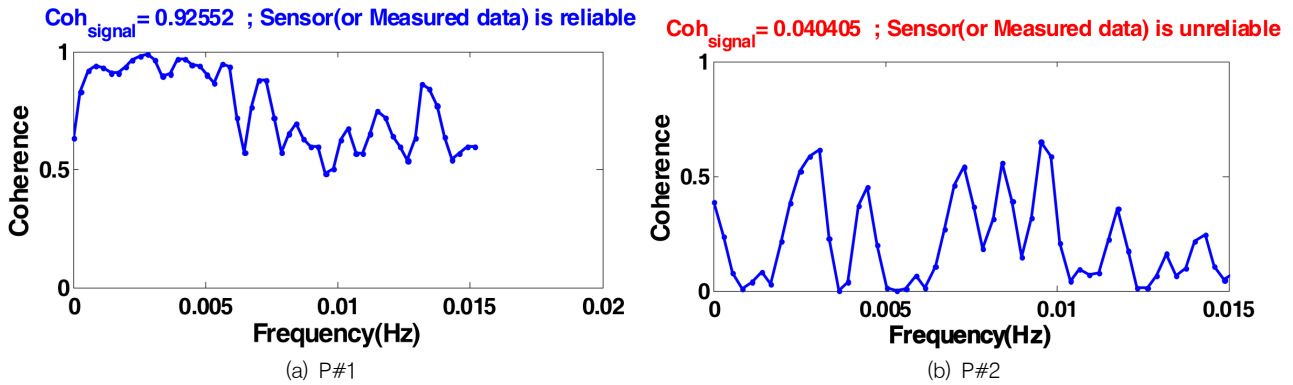


Fig. 12 Evaluation of reliability of piezometer, P#1 and P#2

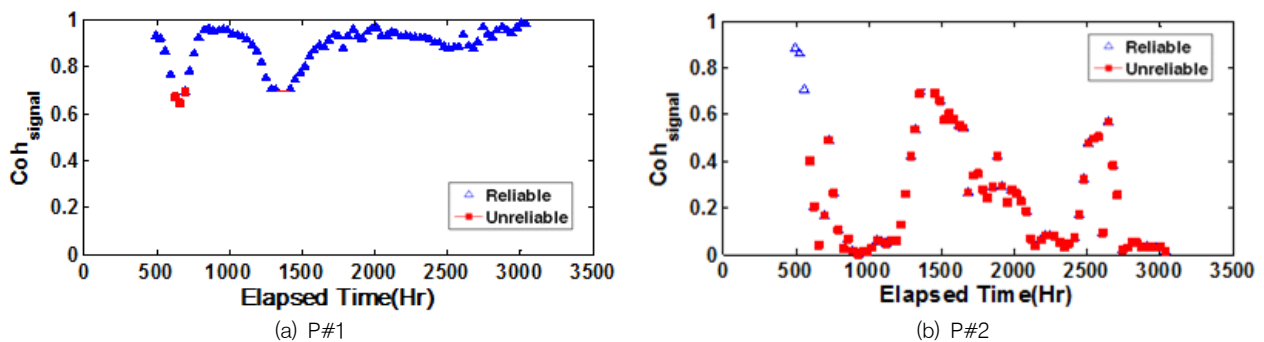


Fig. 13 Real time evaluation of reliability of piezometer, P#1 and P#2

에서 삼각형은 계측기 및 계측신호가 충분한 신뢰성을 나타내는 시간 구간이며, 사각형은 계측기 및 계측신호를 신뢰할 수 없는 시간 구간을 나타낸다. P#1의 경우(Fig. 13(a)) 600hr 부근에서 신뢰성이 극부적으로 감소하는 결과를 주는 것을 볼 수 있다. 그러나 이 부근을 제외한 전체 계측기간에 걸쳐 간극수압계가 신뢰할 수 있는 계측 결과를 제공하고 있음을 알 수 있다. P#2의 경우(Fig. 13(b))는 초기시간을 제외하고 계측이 이루어지는 전체 기간 동안 지속적으로 신뢰할 수 없는 계측결과를 주고 있음을 알 수 있다. 이러한 시간에 따른 신뢰성 평가는 실시간 평가를 가능하게 하며, 이러한 실시간 평가는 계측된 데이터를 사용한 댐의 유지 관리에 매우 효과적으로 사용될 수 있다.

4.1.2 case2(입력 : 간극수압계 계측자료, 출력 : 간극수압계 계측자료)

본 경우에는 계측기 건전성 평가를 위한 직접적인 외부 입력 데이터를 획득하기 어려운 경우를 모사하고자, 간극수압계 건전성 평가를 위한 입력 데이터로 계측기 주

변에 위치하는 동일 종류 계측기의 계측 값을 입력으로 사용하여 대상 계측기의 신뢰성을 평가하였다. 이를 위하여 대상 계측기와 동일 매설 표고에 위치하는 계측기의 측정값을 대상 계측기에 대한 간접적인 입력 값으로 사용하였다.

Fig. 14는 매설표고 100m 위치하는 P#1과 P#2중 P#2 간극수압계 및 계측결과 신뢰성 평가를 위하여 P#1 계측결과를 P#2 계측기의 입력 데이터로 사용하여 얻어진 신뢰성 평가 결과로서, 두 계측기 시간영역 신호 사이의 상관함수 $Coh(f)$ 및 Coh_{signal} 값을 보여주고 있

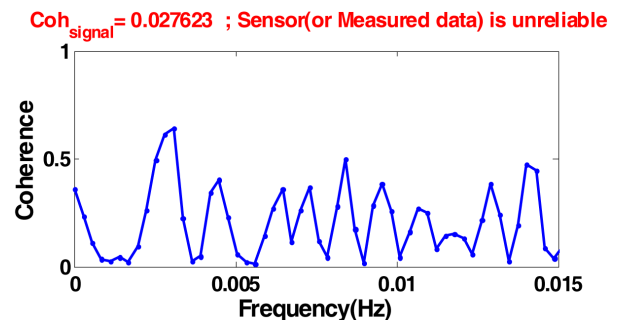


Fig. 14 Evaluation of sensor reliability

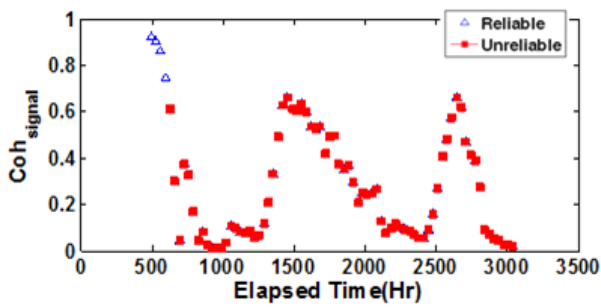


Fig. 15 Real time evaluation of sensor reliability

다. Fig. 14를 보면 P#2의 Coh_{signal} 값은 0.03으로서 전체 계측기간에 걸쳐 평균적으로 P#2 간극수압계는 신뢰성 있게 작동하지 못하고 있으며 계측결과는 신뢰할 수 없다는 것을 알 수 있다. 이러한 결과들은 시간에 따른 저수위 변화곡선을 입력으로 사용한 경우(4.1.1절)와 마찬가지로, 대상 계측기 주변부에 위치하는 동일 종류 계측기의 계측값을 간접적인 입력값으로 사용하여도 계측기 및 계측신호의 신뢰도를 효과적으로 평가할 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 15는 P#1 계측결과를 P#2 계측기의 입력 데이터로 사용하여 결정한 시간에 따른 실시간 Coh_{signal} 값 변화 곡선으로 계측기 및 계측신호의 시간에 따른 신뢰성 변화를 나타낸다. Fig. 15의 결과는 저수위 변화를 입력으로 사용한 Fig. 13의 결과와 거의 동일함을 볼 수 있다.

이러한 결과를 통해 신뢰성 평가대상 계측기 주변에 위치하는 동일종류 계측기의 계측결과를 간접적인 입력 데이터로 사용하여도 신뢰할 수 있는 평가결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

4.2 토압계

담 내에 매설, 설치된 토압계들 중 2개의 토압계 (EP#1, EP#2)를 선정하여 제안된 방법을 적용하였다. 감지기 EP#1, EP#2는 표고 90m에 위치한다(Fig. 9). 각 계측기의 신뢰성 평가를 위해 필요한 입력 데이터로 저수위 자료를 사용하였다. 동시에 저수위와 같은 직접적인 입력 데이터를 사용하지 못하는 경우, 제안된 방법의 적용성을 평가하기 위하여 동일 표고에 위치하는 주변 계측기 출력 신호를 입력 데이터로 사용하여 계측기 및 계측신호의 신뢰성 평가를 수행하였다.

4.2.1 case1(입력 : 담 수위계 계측자료, 출력 : 각 토압계 계측자료)

Fig. 16은 토압계 및 계측신호 신뢰성 평가를 위한 입력 데이터로 사용된 담 저수위의 시간에 따른 계측 기록과 이 시간영역 계측기록에 대한 Power spectral density 함수, $PSD_{input}(f)$ 이다. Fig. 17은 토압계 EP#1, EP#2에서 계측된 시간에 따른 토압 변화 기록이다. Fig. 18은 담 저수위 변화와 측정된 토압사이의 상관함수 $Coh(f)$, 그리고 제안된 방법에 따라 결정된 각 토압계의 Coh_{signal} 값을 나타내고 있다. 토압계 EP#1, EP#2는 0.93, 0.90의 Coh_{signal} 값들을 가짐을 볼 수 있다. 이 값들은 전체 계측기간 동안의 평균적인 신뢰성을 나타내는 수치로서 토압계 EP#1, EP#2의 경우 Coh_{signal} 값들이 0.7 이상의 값을 보인다. 이로부터 토압계 EP#1, EP#2가 신뢰성 있게 거동을 하고 있으며, 계측된 계측신호가 충분한 신뢰성을 가지고 있음을 확인할 수 있다.

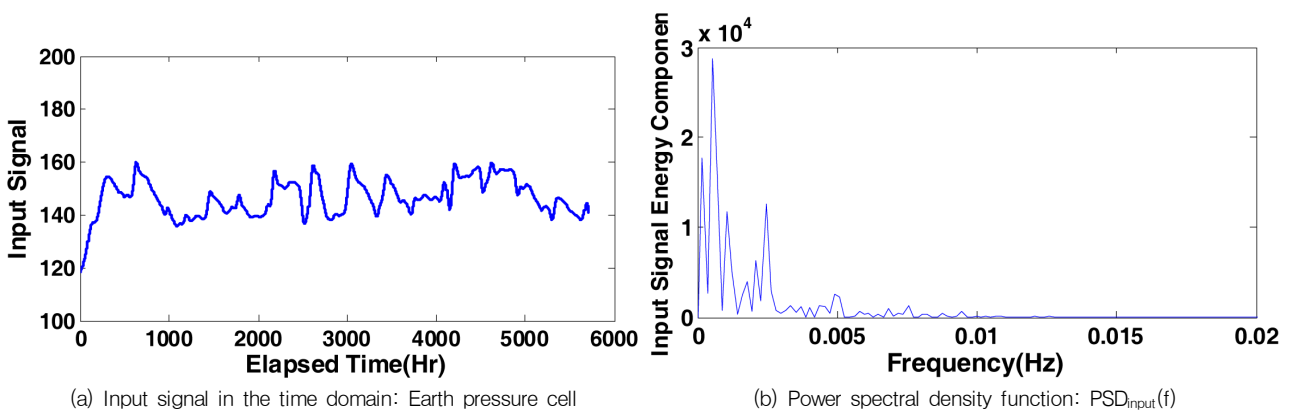


Fig. 16 Input signal (low water level) in the time domain and Power spectral density function $PSD_{input}(f)$

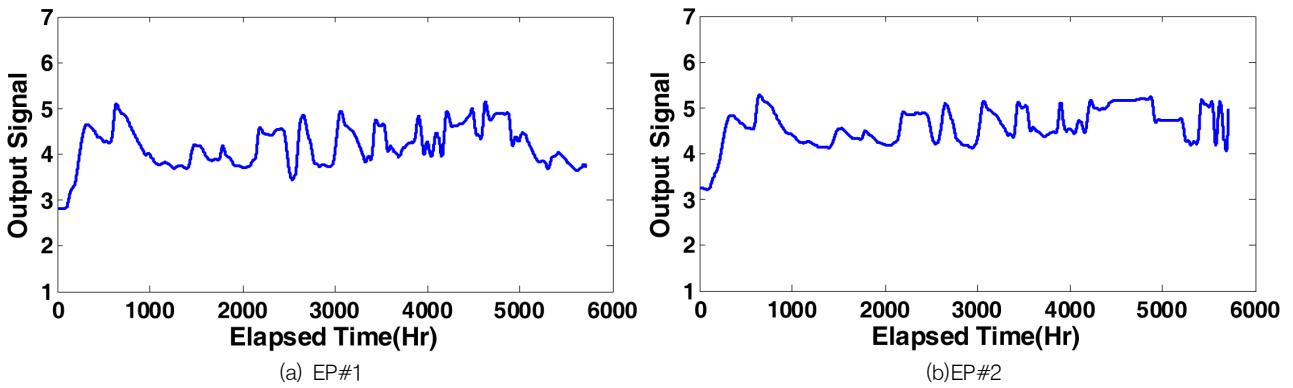


Fig. 17 Variation of pore water pressure measured by piezometer, EP#1 and EP#2

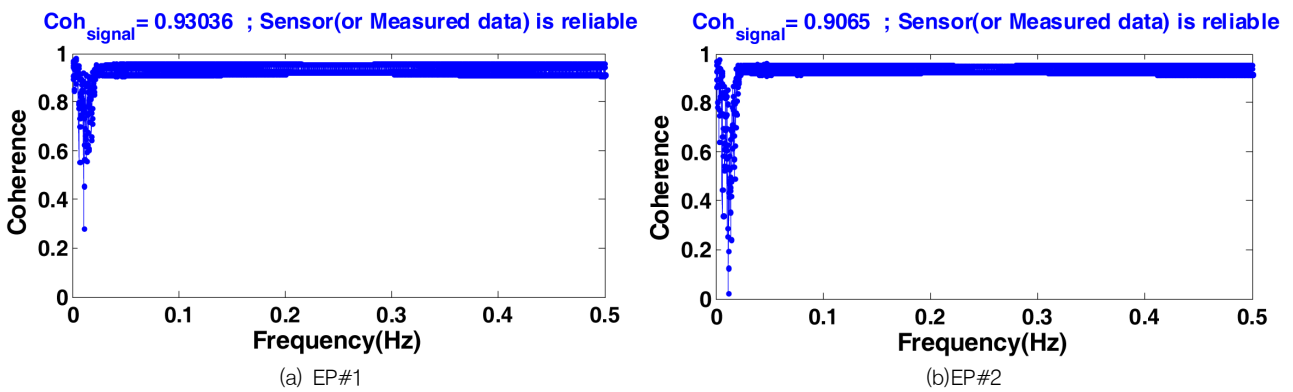


Fig. 18 Evaluation of reliability of earth pressure cell, EP#1 and EP#2

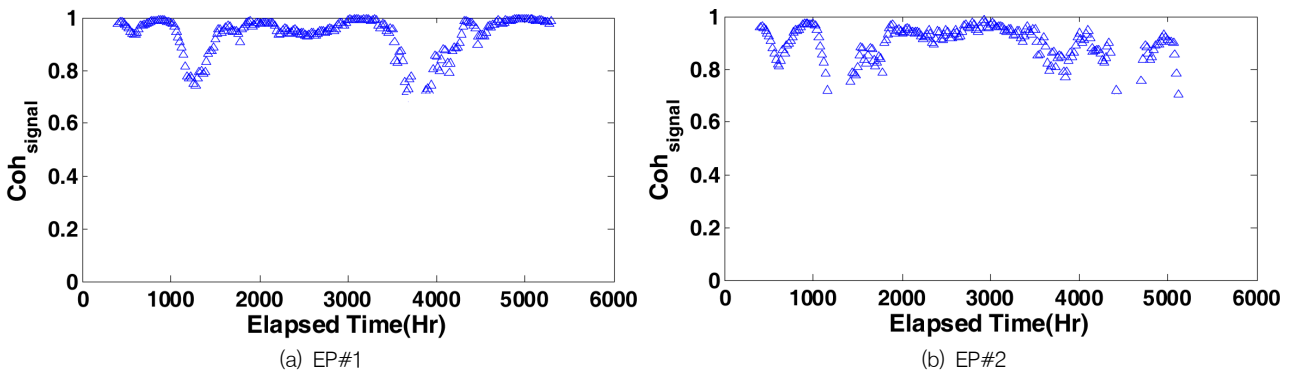


Fig. 19 Real time evaluation of reliability of earth pressure cell, EP#1 and EP#2

Fig. 19는 시간에 따른 각 토압계의 Coh_{signal} 값 변화 곡선으로 이를 통해 각 토압계 및 계측신호의 시간에 따른 실시간 신뢰도 변화를 평가할 수 있다. 그림에서 삼각형은 계측기 및 계측신호가 충분한 신뢰성을 나타내는 시간 구간을 나타낸다. EP#1, EP#2의 경우(Fig. 19(a), (b)) 계측이 이루어지는 기간 내내 신뢰할 수 있는 계측결과를 보여주고 있다. 이러한 시간에 따른 신뢰성 평가는 실시간 평가를 가능하게 하며, 이러한 실시간 평가는 계측된

데이터를 사용한 댐의 유지 관리에 매우 효과적으로 사용될 수 있다.

4.2.2 case2(입력 : 토압계 계측자료, 출력 : 토압계 계측자료)

본 경우에는서는 계측기 건전성 평가를 위한 직접적인 외부 입력 데이터를 획득하기 어려운 경우를 모사하고자, 토압계 건전성 평가를 위한 입력 데이터로 계측기 주변에

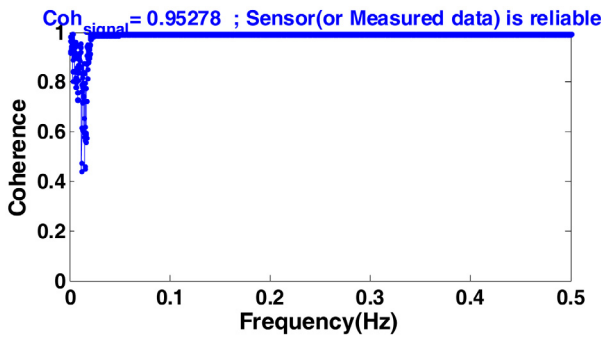


Fig. 20 Evaluation of sensor reliability

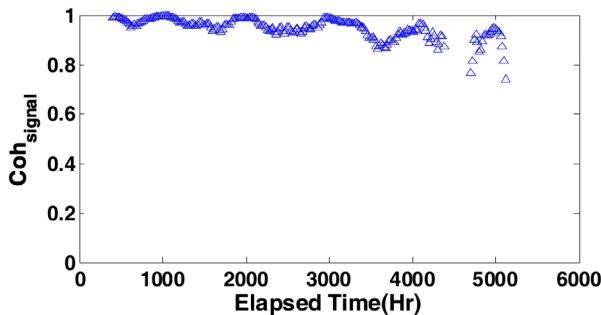


Fig. 21 Real time evaluation of sensor reliability

위치하는 동일 종류 계측기의 계측 값을 입력으로 사용하여 대상 계측기의 신뢰성을 평가하였다. 이를 위하여 대상 계측기와 동일 매설 표고에 위치하는 계측기의 측정값을 대상 계측기에 대한 간접적인 입력 값으로 사용하였다.

Fig. 20은 매설표고 90m 위치하는 EP#1과 EP#2중 EP#2 토압계 및 계측결과 신뢰성 평가를 위하여 EP#1 계측결과를 EP#2 계측기의 입력 데이터로 사용하여 얻어진 신뢰성 평가 결과로서, 두 계측기 시간영역 신호사이의 상관함수 $Coh(f)$ 및 Coh_{signal} 값을 보여주고 있다. Fig. 20을 보면 EP#2의 Coh_{signal} 값은 0.95로서 전체 계측기간에 걸쳐 평균적으로 EP#2 간극 수압계는 신뢰성 있게 작동하고 있으며 계측결과는 충분한 신뢰성을 가지고 있다는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과들은 시간에 따른 저수위 변화곡선을 입력으로 사용한 경우 (4.1.1절)와 마찬가지로 결과로, 대상 계측기 주변부에 위치하는 동일 종류 계측기의 계측값을 간접적인 입력값으로 사용하여도 계측기 및 계측신호의 신뢰도를 효과적으로 평가할 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 21은 EP#1 계측결과를 EP#2 계측기의 입력 데

이터로 사용하여 결정한 시간에 따른 실시간 Coh_{signal} 값 변화 곡선이다. Fig. 21의 결과는 저수위 변화를 입력으로 사용한 Fig. 19(b)의 결과와 거의 동일함을 볼 수 있다.

이러한 결과를 통해 신뢰성 평가대상 계측기 주변에 위치하는 동일종류 계측기의 계측결과를 간접적인 입력데이터로 사용하여도 신뢰할 수 있는 평가결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 댐체 매설 계측기 및 계측신호의 신뢰성을 시간에 따라 지속적으로 평가할 수 있는 새로운 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 댐체 매설 계측기에 대한 직접적인 접근 없이, 계측기에서 생성되는 계측 데이터에 대한 평가를 통해 신뢰성 분석이 이루어진다. 이러한 계측기 및 계측 데이터에 대한 실시간 신뢰성 평가는 댐의 유지 관리에 매우 중요하게 사용될 수 있다. 제안된 방법은 다양한 인공신호에 대해 적용되었으며, 실제 댐에서 얻어진 계측 데이터에 적용되었다. 이러한 적용을 통해 제안된 방법이 계측기 및 계측데이터의 신뢰성을 매우 효과적으로 평가할 수 있음을 알 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2008-0060310).

참고문헌

1. Bendat J. S and Piersol A. G., Random Data: Analysis and Measurement Procedures, Wiley, NY, 1991.
2. Dunnycliff J and Green G. E., Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance, Wiley, NY, 1988.
3. Korean Geotechnical Society (KGS), Design, Construction and Safety Management for the Dam and Embankment, Goomi book, Seoul, 2010.

Received : 04/25/2012

Revised : 08/31/2012

Accepted : 09/03/2012

요 지

댐에는 다양한 계측기들이 설치되어 있으며, 계측되는 데이터는 댐의 유지관리 및 안전을 위해 사용된다. 따라서 신뢰성 있는 계측결과들의 획득이 중요하다. 본 논문에서는 댐체 매설 계측기 (또는 계측데이터)의 신뢰성을 평가할 수 있는 수정된 상관함수를 이용한 새로운 데이터 처리 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 인공 계측 데이터와 실제 댐에서 수행된 계측 데이터에 대해 적용·검토 하였으며, 이를 통해 제안된 방법의 타당성을 확인하였다.

핵심 용어 : 계측기, 계측 데이터, 신뢰성, 상관함수, 실시간 평가
