

초음파를 이용한 결함길이 측정의 신뢰도 개선 연구 Improvement of Reliability of Defect Length Using the Ultrasonic Test

*윤근위¹, #박희동², 이원¹

*G. W. Yoon¹, #H. D. Park², W. Lee¹

¹숭실대학 기계공학과, ²한국건설생활환경시험연구원.

Key words : Ultrasonic Test, Defect Length, Uncertainty Measurement.

1. 서론

원전 주요설비의 결함검출을 위해 사용되는 대표적인 검사 기법이 초음파 검사이다. 일반적으로 초음파를 이용한 비파괴 평가 기술은 결함에 의한 산란신호를 통해 재료내부의 결함존재 여부를 평가하는 것으로 보다 신뢰성 높은 평가를 위해서는 측정설비의 최적화된 주파수 및 탐촉자 위치의 선정과 검출 결함 형태에 따른 특성값의 정확도의 제고가 절대적이다. 초음파탐상시험에서 탐상기 CRT 상에 얻게 되는 초음파 신호는 초음파 탐촉자를 통해 발생된 초음파가 피검체내를 전파하면서 전파경로에 존재하는 결함 및 기하학 형태의 반사체에 의해 반사된 신호형태로 획득하게 된다. 이러한 과정에서 획득한 신호로부터 작업자는 결함신호의 정량적 정보인 결함인자(위치, 크기, 종류)를 산출해낼 수 있다. 금속 용접부의 결함은 길이에 따라 등급을 나누어 구조물 건전성평가 및 제품의 불량 여부를 판단한다. 초음파 탐상 시험에서 산출한 결함길이 값에 존재하는 불확실한 요인에 대하여 국제적으로 측정결과의 신뢰성을 판단할 수 있는 척도로 사용하고 있는 불확도의 개념을 도입하여 측정결과의 신뢰성을 증대시킬 수 있다.

2. 초음파 탐상 시험

초음파탐상기는 A 스코프 표시의 펄스반사식으로 대상체에 초음파를 전파시킨다. 본 논문에서는 6db drop법으로 CRT 화면에서 전반사가 생긴 최대 에코높이에서 탐촉자의 입사점이 결함의 끝단부를 지시할 때 초음파 신호가 최대에코높이의 1/2을 지시하는 원리를 이용하여 결함길이를 측정하는 방법이다. 측정불확도 평가사례를 지시하기 위해서 초음파장비는 초음파사각탐상용 표준시험편 STB-A1과 STB-A2를 사용하여 탐촉자(MWB 45-4)의 탐상각도와 입사점에 대하여 교정을 실시하였고 시험편은 두께가 20 mm인 탄소강으로 내부에

직경이 3 mm의 인공결함을 각각 두께 방향에서 바닥면으로부터 10 mm와 15 mm 위치에 가공하였다. 초음파탐상기는 Sonatest사의 Sitiescan 130 상용 모델을 사용하였다.

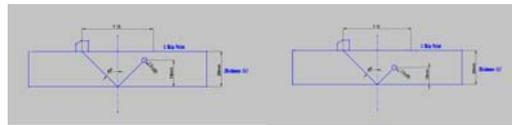


Fig. 1 Schematic of Ultrasonic Test

3. 측정불확도 평가

3.1 수학적 모델의 설정

초음파탐상으로 결함의 크기를 대략적으로 측정해낼 수 있으나 그 값이 참값과의 거리가 멀기 때문에 버니어 캘리퍼스로 결함길이를 측정하여 실제 값과 측정값의 오차값을 보정해주는 방법을 사용하였다. 즉 시험편의 결함길이 l 은 식 (1)과 같이 표현된다.

$$l = l_t + \Delta l \quad (1)$$

여기서 l 은 결함의 실제 값이고, l_t 는 초음파 탐상으로 얻은 결함길이이고, Δl 은 동일 시험편에서 초음파탐상시 발생하는 오차의 보정값이다.

$$\Delta l = l_m - l_u \quad (2)$$

여기서 l_m 은 버니어 캘리퍼스를 이용하여 측정된 결함길이이고, l_u 는 초음파탐상에서 얻은 결함 길이이다.

3.2 합성표준불확도 관계식 유도

불확도 전파법칙에 따라 수학적 모델식으로부터 각 입력량의 상관관계를 고려하여 다음과 같은 합성표준불확도 관계식을 얻을 수 있다.

$$u_c^2(l) = c(l_t)^2 u^2(l_t) + c(\Delta l)^2 [c(l_m)^2 u^2(l_m) + c(l_u)^2 u^2(l_u)]$$

3.3 표준불확도 산출

수학적 모델식에서의 각 입력량에 해당되는 표준불확도를 다음과 같이 구할 수 있다.

3.3.1 측정 길이의 표준불확도

캘리퍼스의 교정지침서(DYS-CW-L07, KRISS)에 의거하여 교정된 디지털 캘리퍼스를 이용하여 초음파탐상에 의하여 두께방향으로부터 각각 거리가 다른 두 결함의 길이를 9회 반복측정 하여 다음의 값들을 산출해냈다.

Table 1 Measured length data

| Defect Length (15 mm) | Average | ST DEV | Average (vernier) |
|-----------------------|---------|--------|-------------------|
| 19.4 19.79 19.98 | | | |
| 19.62 19.41 19.82 | 19.74 | 0.213 | 20.35 |
| 20.03 19.87 19.74 | | | |
| Defect Length (10 mm) | Average | ST DEV | Average (vernier) |
| 20.39 20.17 20.68 | | | |
| 19.77 20.46 20.00 | 20.36 | 0.293 | 21.09 |
| 20.43 20.59 20.63 | | | |

3.3.2 버니어 캘리퍼스의 표준불확도

반복측정의 평균값 \bar{q} 에 대한 표준편차 $s(\bar{q})$ 를 사용하여 측정 반복성으로 인한 A형 불확도와 $u_A(l_m)$ 를 구할 수 있고, 자유도 $v_A(l_u)$ 와 $v_A(l_m)$ 은 다음과 같다.

$$u_A = \frac{s(\bar{q}_i)}{\sqrt{n}} \quad , \quad v_A(i) = n - 1$$

길이측정에 사용된 디지털 캘리퍼스의 확장불확도는 0.013 mm(DYS-CW-L07, KRISS)이고, 분해능에 의한 지시값의 산포범위는 ±0.01 mm가 되며, 직사각형 확률분포로 가정할 수 있다.

$$u_B(j) = \frac{a_j}{2} \quad , \quad u_B(j) = \frac{b_j}{\sqrt{3}} \quad , \quad v_B = \infty$$

3.4 합성표준불확도 및 유효자유도의 계산

입력량의 상관관계를 고려한 합성표준불확도 $u_c(l)$ 과 유효자유도 v_{eff} 를 계산하면 다음과 같다.

$$u_c^2(l) = \left(\frac{\partial l}{\partial l_t}\right)^2 u^2(l_t) + \left(\frac{\partial l}{\partial \Delta l}\right)^2 \left[\left(\frac{\partial \Delta l}{\partial l_m}\right)^2 u^2(l_m) + \left(\frac{\partial \Delta l}{\partial l_u}\right)^2 u^2(l_u) \right] = 0.138$$

$$v_{eff} = \frac{u_c^4(l)}{\sum_{i=1}^N \frac{[c_i u(x_i)]^4}{v_i}} = 27.7$$

3.5 불확도 총괄표 작성

Table 1 Overview Diagram of Uncertainty

| Uncertainty Factor | Symbol | Type | Standard Uncertainty | DOF ν | Probability Distribution |
|------------------------------------|--------|------|----------------------|-----------|--------------------------|
| UT Length (15 mm) | l_u | A | 0.071 | 8 | - |
| Vernier Length (15 mm) | l_m | A | 0.007 | 8 | - |
| UT Length (10 mm) | l_t | A | 0.098 | 8 | - |
| Resolution (Vernier) | a | B | 0.003 | ∞ | Rectangular |
| Calibration Certificates (Vernier) | b | B | 0.007 | ∞ | Regular |

3.6 확장불확도 계산

측정불확도 표현지침서에 지정된 t-분포표를 사용하여 신뢰기준 약 95%에서의 유효자유도와 대응되는 k=2.11을 사용하여, 확장불확도를 구하면 $U = k \times u_c(l) = 0.29$ mm가 된다.

3.7 불확도 보고

결함길이 측정결과는 $l = 20.91 \pm 0.29$ mm이고, k = 2.11, 신뢰기준이 약 95%이다.

4. 결론

본 논문에서는 초음파를 이용하여 결함길이를 측정하는데 있어 발생하는 측정 불확도를 평가함으로써 기존의 결함길이를 단순히 오차의 개념으로 표현하는 정확도를 제고시켜주고 측정결과에 대한 신뢰성을 부여할 수 있는 것으로 사료된다.

참고문헌

1. ISO, "Guide to the Exoression of Uncertainty in Measurement," ISO/IEC Guide 98-3, 2008.
2. 한국표준협회, "금속재료의 펄스 반사법에 따른 초음파탐상 시험방법 통칙," KS B 0817, 2006.