

불연속부의 위치를 고려한 초음파비파괴검사 등급보정

Level Calibration of Ultrasonic Nondestructive Testing Considering Flaw Position.

신 병 철* 송 호 산** 정 화 영***
Shin, Byoung-Chul Song, Ho-San Jeong, Hwa-Young

Abstract

KS-code(KS B 0896) for nondestructive ultrasonic testing classifies the quality level by relative flaw size only. But flaw position is more important than the flaw size. Test blocks having artificial holes near surface show lower yield load than the blocks having deeply located holes from the surface. So, level calibration table was proposed for classifying the quality level of welded steel structures.

keywords : nondestructive testing, ultrasonic, calibration, code

1. 서 론

대부분의 철강 구조물(예, 교량, 빌딩, 선박 등)은 용접부를 포함하고 있으며, 용접부가 전체 구조물의 안정성과 수명을 좌우하고 있다.

비파괴검사는 구조물을 파괴하지 않고, 재료나 구조물 내부에 있을 수 있는 결함을 찾아내는 정밀검사기술로서 구조물의 안정성 평가에 중요한 근거가 될 수 있다. 그리고 구조물 안전진단, 소재 검사, 제품 검사 등의 검사에 사용되고 있다. 이러한 비파괴검사방법 중에서 초음파탐상의 평가 기준이 될 수 있는 KS규격

(KS B 0896)¹⁾의 경우, Table 1에서 보는 바와 같이 초음파 반사파의 세기에 따라 영역을 나누어 놓았고, 지시길이에 따라 등급을 분류하고 있다. 그러나 이 등급분류표는 결함의 길이(정확히는 지시길이)와 보재의 두께만 고려하여 위험성을 분류하고 있다. 결함의 위치는 고려되고 있지 않은 것이다. 구조물 내에 결함이 존재한다면 길이(크기)뿐만 아니라 어느 위치에 존재하는가에 따라서 미치는 영향이 달라질 것이다.

따라서 본 연구에서는 KS규격(KS B 0896)의 기준에 따르면 같은 등급으로 판정나는 크기의 결함들이 그 위치가 다르면 휨강도가 달라짐을 보이고자 한다.

* 정희원, 동의대학교 공과대학 교수

** 정희원, 동의대학교 공과대학 교수

*** 동의대학교 산업기술개발연구소 연구원

• 본 논문에 대한 토의를 2001년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 2002년 4월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

Table 1 KS B 0896의 결함 지시값이에 따른 등급분류 판정

모재 두께 등급	M점출 레벨의 경우 영역 III L점출 레벨의 경우 영역 II, III			영역 IV		
	18mm이하	18~60mm	60mm이상	18mm이하	18~60mm	60mm이상
1급	6mm이하	T/3이하	20mm이하	4mm이하	T/4이하	15mm이하
2급	9mm이하	T/2이하	30mm이하	6mm이하	T/3이하	20mm이하
3급	18mm이하	T이하	60mm이하	9mm이하	T/2이하	30mm이하
4급	3급을 초과하는 것					

T : 모재의 두께(mm). 맞대기 용접시 두 모재의 두께가 다르면 얇은 쪽의 두께를 T로 함.

나이가 현재의 KS규격에 의한 등급을 보정 해주기 위한 방안을 제시하고자 한다.

2. 실험 방법

시험편의 규격은 Fig. 1과 같이 폭 24mm, 높이 12mm, 길이 250mm로서 강재를 3점 휨강도 시험을 할 수 있게 제작되었다.

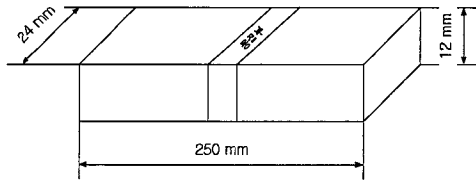


Fig. 1 시험편 치수

시험편의 종류는 아래의 Fig. 2와 같이 홈의 위치를 달리하는 다섯 종류와 Fig. 3에서와 같이 길이가 다른 네 종류를 조합하여 총 20가지 종류의 시험편을 제작하였다.

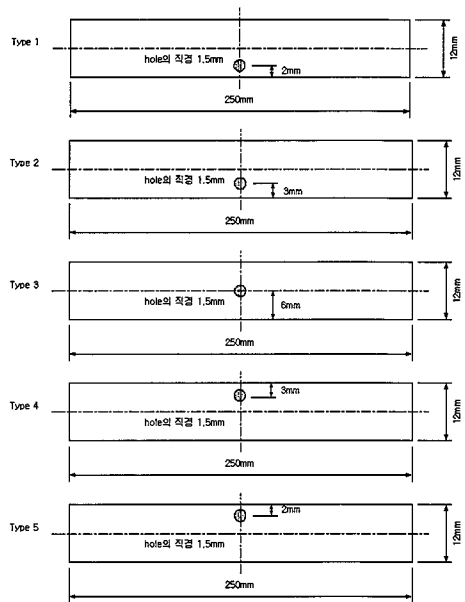


Fig. 2 인공 홈의 위치

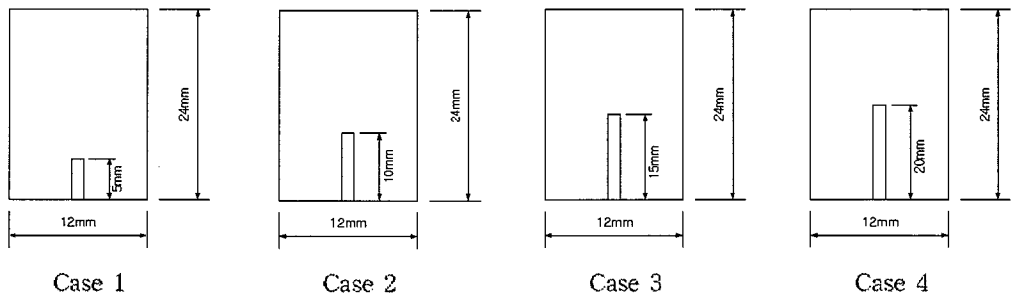


Fig. 3 인공 홈의 길이

모델링은 상용 유한요소프로그램인 ANSYS 5.5를 이용하였고, Solid 요소로 하여 3차원 해석을 하였다. 모델링은 실험에 사용된 모델과 동일하게 아래의 그림과 같이 모델링하여 실험 결과와 비교할 수 있도록 하였다. 재료는 연강을 기준으로 재료상수를 입력하였다.

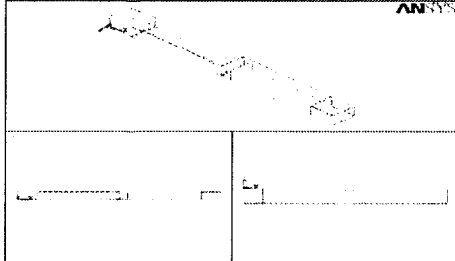


Fig. 4 유한요소 모델링

해석 모델의 종류는 실험에 사용된 모델과 동일하게 20가지 종류를 해석하였다.

Fig. 4는 ANSYS에서 모델링을 한 모습이다. Hole 주위에는 Solid 72로 요소를 형성하였고, 나머지 부분은 Solid 73으로 형성하였다. 두께방향으로 3개의 층으로 하여, 총 요소의 수는 3130개, node의 수는 1750개이다. 여기에 사용된 요소는 dx, dy, dz, Rx, Ry, Rz의 6개의 자유도를 가지고 있다.

모든 시험편은 무결함 상태에서 인공결함을 넣은 것이다. 결함 유무의 확인은 비파괴검사법¹⁾의 일종인 초음파탐상검사와 방사선투과검사를 이용하여 확인하였다.

Fig. 5는 방사선투과검사 사진이다. 여기서 막대같이 보이는 짙은 검정색의 선이 바로 구멍의 길이를 나

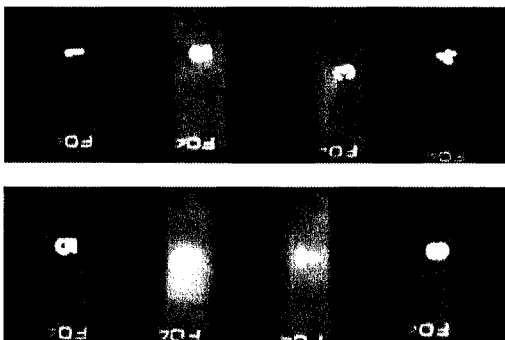


Fig. 5 시험편의 방사선 투과검사 사진

타내고 있다.

Fig. 6은 일반적으로 잘 알려진 3점 휨강도 실험 장면이다. 하단의 톨러에 의해 지지가 되고 상부에 하중을 가하여 최대 휨 항복하중을 알고자 하였다.

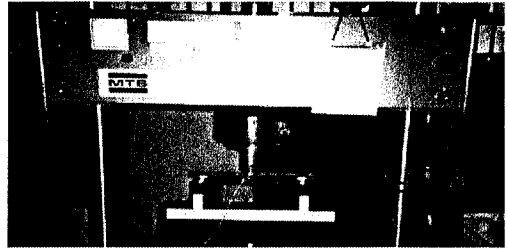


Fig. 6 3점 휨강도 실험

단순보의 중앙점하중됨에 의한 휨강도¹⁾는 아래 식에 대입하여 구했다.

$$\sigma_b = \frac{3FL}{2bd^2} \quad (1)$$

σ_b : 휨강도 (kgf/cm²),

L : 지간의 길이 (cm),

P : 최대하중 (kgf)

b : 평균너비 (cm), d : 평균두께 (cm)

3. 결과 및 고찰

실험에 사용된 시험편을 초음파비파괴검사로서 검사하여 홀의 길이를 KS규격에 따라 판정한 등급은 다음과 같다. 여기서 지시길이라는 것은 초음파탐상을 하여 결함이 검출되면 탐상기 화면상에서 피크가 나타나게 되는데, 이 피크가 기준 높이 이상에서 이하로 떨어지는 지점까지의 탐촉자 이동거리를 말하는 것이다.

Table 2의 지시길이는 KS규격에 따라 L점출 레벨을 기준으로 측정된 것이다. 이러한 지시길이는 실제 결함의 길이와 조금 다르다.

유한요소해석결과 최대 항복하중(kgf)을 Table 3과 같이 정리하였다.

Table 2 지시길이 및 KS규격(KS B 0896)에 따라 판정한 등급

홀 위치	5mm		10mm		15mm		20mm	
	지시길이	등급	지시길이	등급	지시길이	등급	지시길이	등급
Type 1	5.3mm	1급	11	3급	15.2	3급	19.8	4급
Type 2	5.2mm	1급	10.9	3급	15.3	3급	20.2	4급
Type 3	4.9mm	1급	10.7	3급	15.3	3급	20	4급
Type 4	5.4mm	1급	10.7	3급	15.5	3급	19.7	4급
Type 5	5.2mm	1급	10.9	3급	15.3	3급	19.8	4급

Table 3 홀의 위치 및 길이에 따른 항복하중(kgf)의 계산치

Hole 위치	5mm		10mm		15mm		20mm	
무결함	881.36							
Type 1	733.96		682.53		670.74		653.96	
Type 2	766.66		712.24		701.13		689.69	
Type 3	842.75		799.96		766.58		728.03	
Type 4	766.37		712.50		701.19		690.49	
Type 5	733.59		683.22		669.89		652.92	

Table 4 홀의 위치 및 길이에 따른 항복하중(kgf)의 실측치

홀 위치	5mm		10mm		15mm		20mm	
무결함	937.97							
Type 1	772.27		734.85		720.86		705.84	
Type 2	808.46		768.74		762.12		755.74	
Type 3	909.61		857.32		815.86		795.27	
Type 4	817.59		801.33		782.61		760.19	
Type 5	792.03		763.74		752.17		739.14	

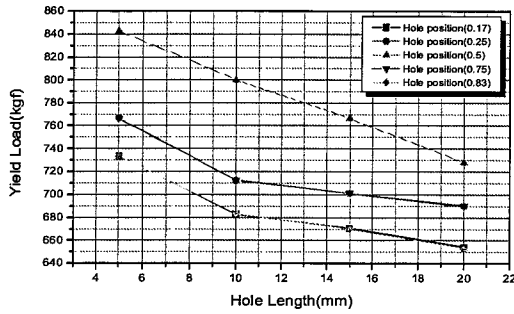
3점 휨강도 시험을 통해 얻어진 최대 항복하중(kgf)을 Table 4와 같이 정리하였다.

Fig. 7은 홀 길이에 따른 항복하중의 변화를 구멍 위치에 따라 각각 나타내고 있다. 여기서 구멍의 위치는 두께를 1로 보았을 때 홀의 상대 위치로 표시한 것으로 0.17의 경우 하부 표면에 가장 가까운 경우이고, 0.5의 경우는 중립축 그리고 0.83은 상부 표면에 가장 가까운 것이다.

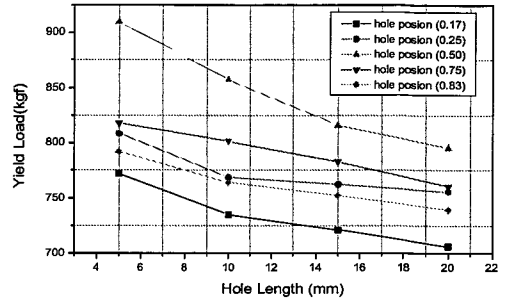
Fig. 7에서 보는 바와 같이 항복하중의 값이 홀 길이에 반비례하여 작아지는 것을 볼 수 있으며, 위치에 따라서 항복하중의 차가 나타나는데, 중앙에 있을 때 가장 큰 변화를 보이고 있다. 이것은 결함이 중앙에 있을 경

우에 크기에 민감함을 보여주고 있다. 다른 한편으로는 결함의 위치가 중앙부에서 표면에 가까이 산수축 크기보다는 위치에 영향을 많이 받는다는 것을 알 수 있다.

Table 3에서 보는 바와 같이 항복하중의 값이 홀 길이에 반비례하여 작아지는 것을 볼 수 있으며, 홀의 위치에 따라서 Fig. 8에서와 같이 중립축을 기준으로 변화가 나타나고 있다. Fig. 8에서 바닥으로부터의 표준화 위치는 하부면에서 결함까지의 거리를 시험체의 두께로 나눈 것이다. 홀 길이가 5mm의 결함이 하단부에 있을 경우 홀 길이가 20mm의 결함이 중립축에 위치할 때 보다 항복하중이 더 작게 나타나는 것을 확인하였다.

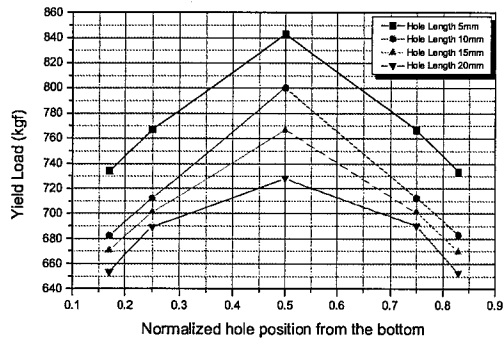


(a) 계산치

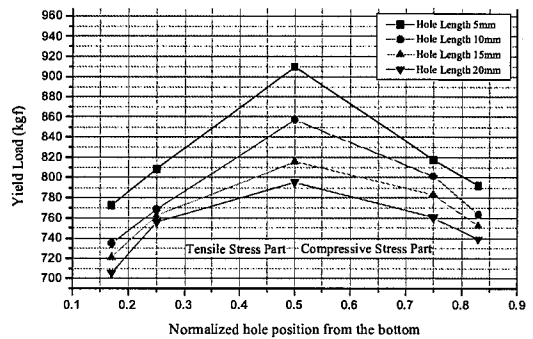


(b) 실측치

Fig. 7 홀의 길이에 따른 항복 하중의 변화



(a) 계산치



(b) 실측치

Fig. 8 홀의 위치에 따른 항복 하중의 변화

따라서 결합의 크기가 작지만 그 위치에 따라서 큰 결합과 같은 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있었다.

Table 5는 실험 결과를 바탕으로 기존의 KS규격 (KS B 0896)에 결합의 위치를 고려하여 등급을 보

Table 5 결합의 위치를 고려한 등급보정표

결합의 위치(H/T)	보정 등급
하부 표면에서 1/5 미만	+2
1/5 이상 ~ 2/5 미만	+1
2/5 이상 ~ 3/5 미만	0
3/5 이상 ~ 4/5 미만	-1
4/5 이상 ~ 상부 표면	+2

T: 모재의 두께(mm), 맞대기 용접시 두 모재의 두께가 나르면 얇은 쪽의 두께를 T로 함.
H: 하부표면에서 결합까지의 거리

정하는 방식을 제안한 것이다.

Table 6은 실험결과를 결합의 위치를 고려하여 Table 5의 기준에 따라 판정한 것이다. 결합의 위치가 고려되지 않은 등급분류보다 좀더 합리적이지만, 정확한 보정 방법을 제안하기 위해선 더 많은 실험이 이루어져야 할 것이다.

Table 6 홀의 위치에 따른 등급 보정 결과

홀 위치	홀 길이			
	5mm	10mm	15mm	20mm
0.17	3급	4급	4급	4급
0.25	2급	3급	4급	4급
0.5	1급	3급	3급	4급
0.75	2급	3급	4급	4급
0.83	3급	4급	4급	4급

4. 결 론

결함의 위치에 따른 항복하중의 변화와 강재에 미치는 영향을 관찰하기 위해 3점 휨강도실험과 구조해석 프로그램을 실행하였다. 결함이 중립축에 위치한 경우보다 인장부나 압축부의 표면으로 가까이 갈수록 작은 결함이라도 휨하중이 작아짐을 알 수 있었다.

결함의 위치에 따른 보정을 해 줌으로써 기존의 KS 규격(KS B 0896)에 비하여 더 합리적인 평가를 할 수 있었다. 따라서 초음파비파괴검사의 KS규격에서 결함의 위치를 고려하여 판정하여야 할 것이다.

본 연구에서 얻어진 데이터는 3점 휨강도 실험의 조건에 국한되어있다. 하지만 용접 구조물의 경우 다양한 형상을 하고 있으므로 앞으로 더 많은 실험과 데이터 축적으로 다양한 경우의 조건들을 수용할 수 있도록 하여야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부·한국과학재단 지정, 부산광역시 지원 지역협력연구센터인 동의대학교 전자세라믹스연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

1. 신병철, 비파괴검사(초음파탐상분야), 성안당, 1997, pp. 138 - 167.
2. 신병철, 비파괴검사공학, 도서출판 대응, 2000, pp. 25 - 63.
3. 신병철, 재료역학, 도서출판 대응, 2000, pp. 101 - 103.

(접수일자 : 2001년 2월 7일)