

**技術報告**

Welded Titanium Tube에 대한 Eddy Current Testing

문 정 훈  
풍산금속공업 (주)

1985년 12월 8일 접수

Eddy Current Testing for welded Titanium Tube

Jeong Hoon Moon

1. 서 론

국내에서는 최초로 1983년부터 본격 생산 되어온 Welded Titanium Tube는 그 뛰어난 특성 즉, 무게가 가벼우면서 강도/무게의 비가 높고 용융점이 높으며 내식성이 우수하다. 이러한 특성을 이용하여 종래에 Titanium Tube는 내식성을 요구하는 분야, 화학공업, 식품 폐액 처리등에 사용되어 왔으며 자연해수에 대해 반영구적인 수명이 기대된다는 점에서 해수를 냉각수로 사용하는 화력 및 원자력 발전소의 복수기 및 담수설비등의 열교환기 용으로 사용된 것은 비교적 최근의 일이다.

이러한 높은 신뢰성이 요구되는 원자력 발전소용 등의 Welded Titanium Tube를 생산하는데 있어서 고품질의 제품을 보증하기 위해서 당사에서는 비파괴 검사중 RT, UT, ET를 실시해왔다. 금번에는 Welded Titanium Tube에 적용된 비파괴 검사중 Eddy Current Testing에 대해서 논하기로 한다.

본문의 목적은 Welded Titanium Tube에 대한 Eddy Current Testing의 결과를 토대로 생산 현장에서 Eddy Current Testing 작업 및 결함

관독 능력을 향상시켜 탐상기술을 증진시키고 생산제품에 대한 품질보증을 꾀하는데 있다.

2. 시험 및 검사

가. 인공결함에 대한 위상특성과 결함 검출능

1) Test piece

Test piece는 당사에서 생산해온 19<sup>#</sup> × 0.7<sup>t</sup>와 25.4<sup>#</sup> × 1.0<sup>t</sup> 2 가지를 택하였고 인공 결함은 Drill hole과 축방향 Notch Type으로 하였다.

가공방법은 Drill hole은 방전가공, Notch는 결함가공용 Sawing machine으로 가공하였다. 표 1에 인공결함의 종류 및 치수를 기록하였다.

표 1. 인공결함의 종류 및 치수

인공결함	가공위치	시 험 관 size (mm)	결함치수 (mm)		
			폭	길이	직경 및 깊이
Drill hole	모 재 부	19 <sup>#</sup> × 0.7 <sup>t</sup>	—	—	0.5 0.7 1.1 1.4
		25.4 <sup>#</sup> × 1.0 <sup>t</sup>	—	—	0.5 0.7 1.1 1.4
축 방 향 Notch	모 재 부 (Tube외면)	19 <sup>#</sup> × 0.7 <sup>t</sup>	0.5	10	0.5 0.7 0.9 0.9
		25.4 <sup>#</sup> × 1.0 <sup>t</sup>	0.5	10	0.5 0.7 0.9 0.9
	모 재 부 (Tube내면)	25.4 <sup>#</sup> × 1.0 <sup>t</sup>	0.5	10	0.5 0.7 0.9 0.9

2) 사용탐상기 및 시험조건

시험에 사용한 탐상기는 생산제조 Line에 설치된 것으로 Test coil 은 자기비교형 Encircling Type 이다. 표 2 에 시험조건을 표시하였다.

표 2. 시험조건

Frequency (KHz)	30
충진율 (%)	90, 95
시험 속도 m/min	24

※충진율은 Test coil 내경 기준 계산치임.

3) 시험결과

a) 인공결함과 위상특성

그림 1 과 2 에 Drill hole 및 외면 Notch 에 대한 위상특성을 표시하였다. 그림에서 알수 있듯이 Drill hole 및 Notch Type 모두 30~60° 에서 최대 감도를 나타냈다.

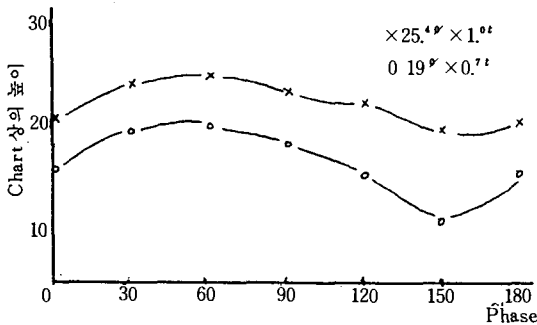


그림 1. Drill Hole의 위상 특성

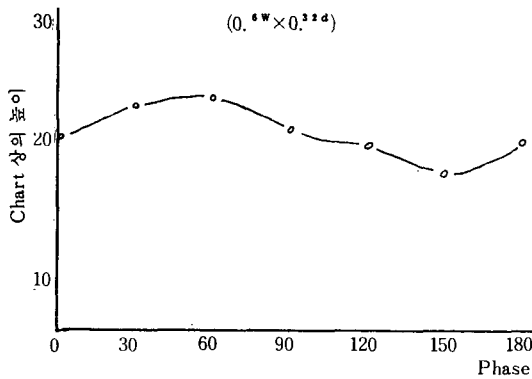


그림 2. Notch의 위상특성

b) 인공결함에 대한 결함 검출능

그림 3, 4, 5 에 시험결과를 나타냈다. 그림은 인공결함의 크기와 검출능을 신호대 잡음비 (S/N) 으로 나타낸 것이다. 이로써 다음 결과를 알 수 있다.

Drill hole : 19φ × 0.7t, 25.4φ × 1.0t 어느 경우에도 Hole 직경 0.78φ 에서 S/N 3 이상으로 검출이 가능

외면 Notch : 깊이 0.1mm 에서 어느 경우에도 S/N 3 이상으로 검출가능

내면 Notch : 깊이 0.3mm 이상에서만 S/N 3 이상으로 검출가능

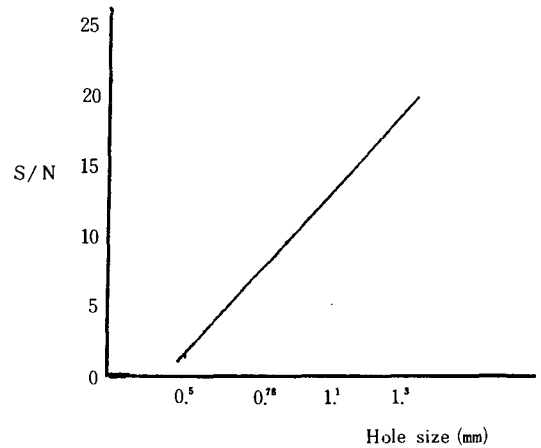


그림 3. Hole Type에서 S/N

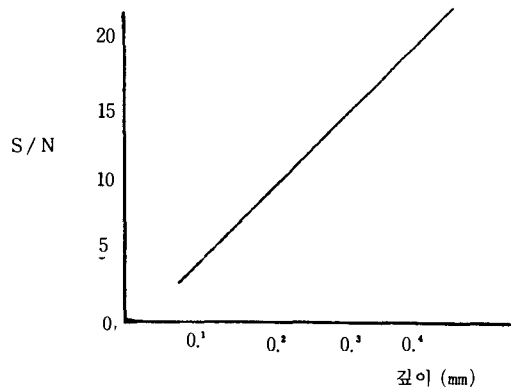


그림 4. Notch Type에서 S/N

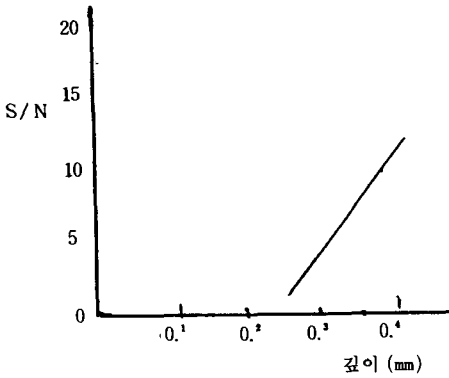


그림 5. 내면 Notch Type에서 S/N

나. ON LINE 검사

1) Test piece 제작

ASTM B 338에 의거 그림6과 같이 제작하고 인공결함은 Drill hole Type으로 방전가공 하였다.

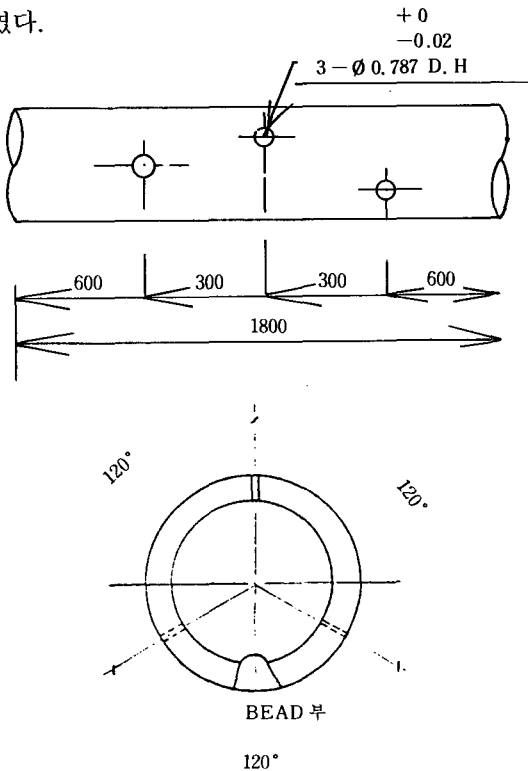


그림 6. Test piece 형상 및 치수

※ 3개의 Hole을 가공한 이유는 Recording chart 상에 3개의 결함이 항상 동일한 크기로 나타나게 하여 Test coil 내경과 Tube 외경의 간격을 일정하게 유지 시키고 또한 장비의 성능을 수시로 점검할 수 있다.

2) 시험조건

Frequency 30KHz, Fill Factor 90% Line speed 24m/min 시험강도는 0.78mm Drill hole 이 Recording chart 전체 높이에 50%가 되도록 설정하였다.

3) 시험결과

시험결과 나타난 결함에는 모재부 결함과 용접부 결함으로 나눌수 있는데 그 대표적인 것으로 모재부 결함으로는 압연시 발생한 이물질 혼입, dent 등이고 용접부 결함으로는 용접부 Hole Burn through, 용입부족, Arrow, Ring mark 등이다. 이들 결함의 형상 및 발생원인을 아래 표 3에 표시했다.

3. 결 론

Welded Titanium Tube에 대한 Eddy Current Testing 결과 다음의 결론을 얻었다.

1) 인공결함의 검출력 S/N을 3 이상으로 했을때

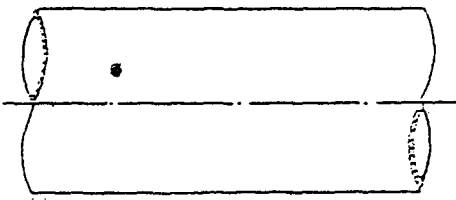
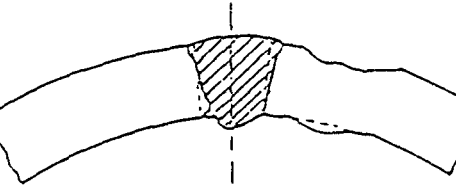
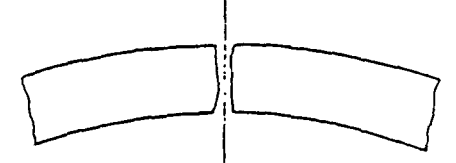
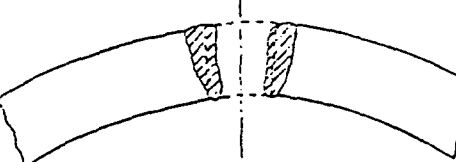
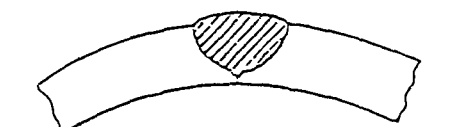
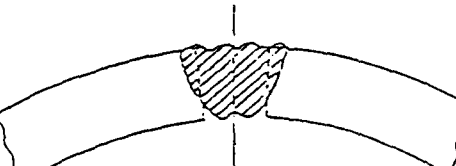
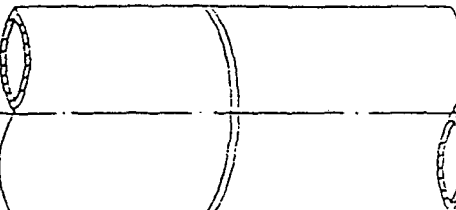
Drill hole : 직경 0.78mm

외면 Notch : 깊이 0.1mm 또는 두께의 12.5%

내면 Notch : 두께의 30%의 결함 검출가능

2) 생산 Line에서 Welded Titanium Tube에 Eddy Current Testing으로 용접부 및 모재부의 결함을 비교적 높은 감도로 검출 품질 향상에 크게 기여할 것으로 사료됨.

표 3. 자연결합의 형상 및 발생원인

결함명	형상	발생원인 및 특징
압연이물결		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 압연시 이물질등의 눌림 현상 Tube 내·외면에 발생</li> <li>• 비교적 높은 감도</li> </ul>
Dent		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 취급시 부주의</li> <li>• 비교적 높은 감도</li> </ul>
용접부 Hole		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 용접조건의 부적당(낮은 전류 빠른 용접속도)으로 용접되지 않은 상태</li> <li>• 높은 감도</li> </ul>
Burn through		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 용접조건의 부적당(높은 전류 느린 용접속도)으로 용접부에 구멍</li> <li>• 높은 감도</li> </ul>
용입부족		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 용접조건의 부적당(낮은 전류 빠른 용접속도)으로 미용착 상태</li> <li>• 미용착 상태에 따라 변함</li> </ul>
Arrow		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 용접조건의 부적당으로 용접 비드가 화살모양으로 형성</li> <li>• 비교적 높은 감도</li> </ul>
Ring mark		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 연속작업중 일시 작업중단으로 인한 Roll의 눌림에 의한 두께 변화</li> <li>• 높은 감도</li> </ul>