

펌프 Diffuser Vane 표면결함 깊이측정 기법 개발

박철용[†] · 김진희^{*}

Development of Inspection Technology for the Depth Sizing on Surface Flaw of Pump Diffuser Vane

Cher-Young Park[†] and Jin-Hoi Kim^{*}

ABSTRACT

NDE(Nondestructive examination) detects a flaw or discontinuity in materials. Flaws detected by the pre-service or in-service examinations shall be sized for the purpose of analysis and repair. A flaw that is initiated from the surface is difficult to determine its depth by NDE. The depth of the surface flaw can be measured using an ultrasonic diffracted wave. To find the optimum standard for ultrasonic parameter(For example, frequency & size of transducer), a mock-up test and simulation were established and studied. This inspection technology may show the depth sizing possibility of the flaw down to nearly two(2) mm.

Key Words : Diffracted Wave(회절파), Transducer(탐촉자), Surface flaw(표면결함), Near Zone(근거리 음장), Nondestructive examination(비파괴검사), EDM(Electrical Discharge Machining, 방전가공)

1. 서론

현장에서 표면검사(침투탐상검사 및 자분탐상검사 등)로 발견된 결함의 깊이를 측정하여 적절한 보수 계획을 수립하거나 균열을 평가하기 위한 검사 기법의 필요성이 증가하였다.

이에 따라, 결함 깊이측정 검사의 가능성을 확인하기 위해 액체침투탐상결과 지시가 발견된 주급수펌프의 Casing Diffuser Vane의 결함에 대해 본 연구에서 개발한 기법을 적용하여 실험 및 검증하였다.

표면 굴곡이 심하고, 마르텐사이트(Martensite)계 스테인리스강으로 제작된 펌프 Casing Diffuser Vane의 표면 결함 깊이 측정을 위해 예상되는 결

함의 종류에 따라 사용될 주 검사기법과 이를 검증할 확인 검사기법을 선정하여 실험하였다.

시편의 구조상 문제가 발생할 수 있는 일정 깊이 이상의 결함을 측정할 수 있는 초음파 검사를 주 검사기법으로 개발하였고 이를 검증하기 위하여 와전류검사 기법을 사용하였다.

주 검사기법인 초음파탐상검사(UT)에서는 단부 에코법(Tip Diffraction Echo Method)을 사용하여 시험체 표면 및 용접 보수부위에 발생할 수 있는 미세 균열의 깊이를 측정하였다.

확인검사기법으로 사용된 와전류 검사기법의 경우에는 Martensite계 스테인리스 주강이 자성의 성질을 가진 금속으로써 일반 비자성체 와전류탐상 검사와 달리 투자율의 영향으로 침투깊이에 제한을 받으며, 또한 결함 깊이 변화에 따라 위상각이 분리되지 않는 특성을 가지고 있다. 따라서 측정 가능한 결함 깊이에 대해 보정시험편을 이용하여 모형(Mock-up) 시험을 실시한 후 진폭분석법을 이용하여 깊이 측정 정도를 확인하였다.

[†] 책임저자, 회원, 한국수력원자력(주) 원자력발전기술원

E-mail : mightyp@khnp.co.kr

TEL : (042)870-5632 FAX : (042)870-5632

^{*} 한국수력원자력(주) 원자력발전기술원

2. 검사기법의 소개

2.1 개요

초음파를 이용한 표면결함 깊이 측정은 45도 엣지를 이용해서 결함의 표면지시가 CRT(모니터) 화면에 나타나는지 우선 확인하고, 하부 끝단 결함부에서 산란되어 나타나는 신호(Tip Diffraction Signal)가 표면 결함 신호와 분리되는지를 확인하였다. 탐촉자를 전진 및 후진하여, 결함 끝단부(Tip)의 최대 신호를 잡아 깊이를 측정하였다. 즉, Fig. 1과 같이 기존의 검증된 AATT (Absolute Arrival Time Technique) 기법을 역으로 사용하여 표면 결함깊이를 측정하였다.

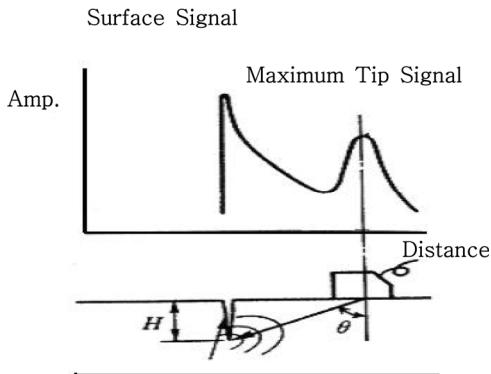


Fig. 1 Tip Diffraction Echo Method

2.2 초음파검사 시뮬레이션

초음파를 이용해서 표면결함의 깊이 측정에 앞서 실험 횟수를 줄이고 실험의 가능성을 확인하기 위해 프랑스 CEA(원자력청) 산하 NDE & NDT Department에서 개발한 UT/ECT Beam Computation 및 Defect Response 시뮬레이션(CIVA 8.0) 프로그램 이용했으며 결과는 다음과 같다.

표면결함 시뮬레이션 입력값으로 탐촉자 주파수를 2.25MHz와 5MHz를 선택했으며, 탐촉자 모양과 크기를 원형 0.25 인치로 입력했다. 시험편의 재질은 스테인리스강으로 두께는 15mm를 선택했다. 노치 깊이는 표면에서 1, 2, 3, 5, 7, 9mm를 가공한 것으로 선택하였다.

Fig. 2는 주파수가 2.25MHz인 경우에 대해 시뮬레이션을 수행한 결과이다. 노치 깊이가 1, 2mm인 경우, 표면신호와 노치 끝단신호 구분이 불가능했

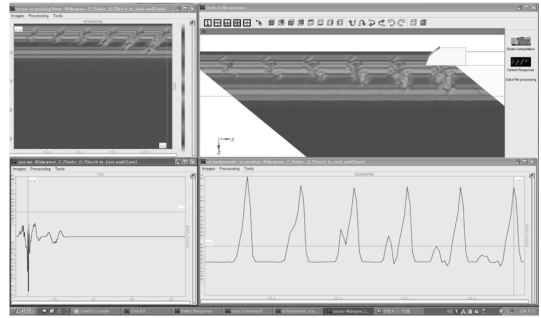


Fig. 2 Simulation of surface flaw(2.25MHz)

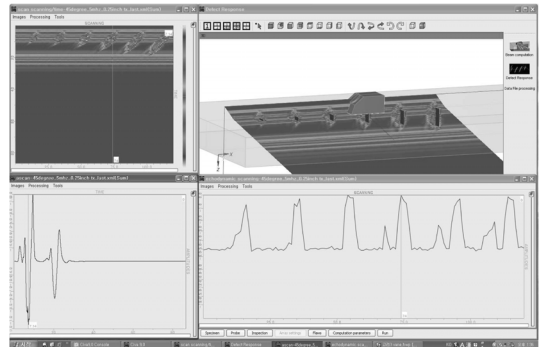


Fig. 3 Simulation of surface flaw(5.0MHz)

으며, 노치 깊이가 3mm 이상인 것은 표면신호와 노치 끝단신호 구분이 가능한 것으로 나타났다. 신호 분석 결과 노치 깊이가 1, 2mm 인 것은 근거리 음장(Near Zone)의 영향으로 노치 끝단신호와 표면신호가 서로 중첩되어 나타나 평가하기에 곤란 하였으며, 노치 깊이가 3mm 이상이어야 깊이 측정이 가능한 것으로 판단됐다.

Fig. 3은 주파수 5MHz인 경우에 대한 시뮬레이션 결과이며 노치 깊이가 1, 2, 3mm 인 것은 표면신호와 노치 끝단 신호의 구분이 불가하였고, 노치 깊이가 5mm 이상이어야 표면신호와 분리되어 깊이 측정이 가능한 것으로 나타났다.

2.3 시험편을 이용한 검사기법 실험

검사 대상인 펌프 Casing Diffuser Vane에 대한 검사기법을 개발하기 위해 실험에 필요한 시험편을 제작하였다. 펌프 Casing Diffuser Vane은 마르테사이드계 스테인레스강으로 제작되었다. 마르텐사이트계 스테인리스 주강(Grade : CA6NM)에 대한 화학조성과 기계적 성질을 Table 1과 같다.

Table 1 Chemical compositions of material and mechanical properties of ASTM A487, CA6NM

Chemical Requirements(ASTM A 487 CA6NM)								
Composition	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo
%	0.06	1.00	0.04	0.03	1.00	3.5-4.5	11.5-14.0	0.4-1.0
Mechanical Properties								
Grade	Tensile Strength, ksi	Yield Strength, ksi	Elongation, min %	Reduction of Area, min%				
CA6NM	110-135	80	15	35				

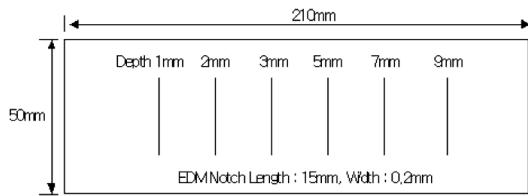


Fig. 4 Test Specimen for Measuring Depth

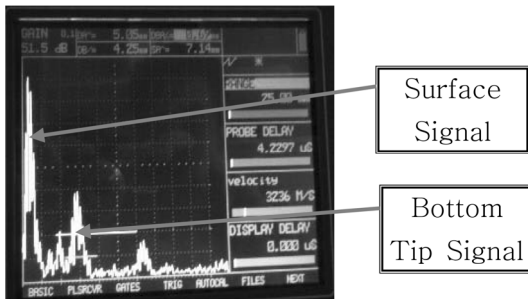


Fig. 5 Surface and Bottom Signal(at 5mm Notch)

본 실험을 위해 제작된 시험편은 크기는 길이 210mm, 폭 50mm, 두께 15mm로, 깊이가 각각 1, 2, 3, 5, 7, 9mm의 6개의 Crack-like EDM Notch를 가공하여 실험하였다. Fig. 4는 깊이측정을 실험하기 위해 제작된 시험편의 형상을 나타낸다.

결함의 깊이를 측정 실험을 수행하기 위해 초음파검사 및 와전류 검사 방법 두 가지를 사용하였다.

초음파를 이용한 실험에서는 시험편을 활용하여 실험한 결과 Fig. 5에서 보이는 것처럼 깊이 5mm의 결함에 대한 실험에서 표면신호(Surface Signal)와 하부 끝단 결함부에서 산란되어 나타나는 신호(Tip Diffraction Signal)가 분리되어 나타나는 것

을 보여주고 있다. 실험결과에서 2~9mm까지는 표면결함에 대하여 표면 결함과 하부 끝단 신호가 분리되어 결함의 깊이 측정이 가능함을 보여주었다.

실험의 검사조건으로는 2.25MHz, 지름 1/4", 굴절각 45°의 탐촉자를 선정하였고, 이는 시뮬레이션 결과와 매우 유사한 것으로 나타났다.

와전류 검사를 이용한 기법에서는 진폭분석법으로 와전류신호 신호의 크기와 외면 결함 사이에는 관계를 일정깊이까지 측정하였다. 이 기법은 체적의 변화량을 나타냄으로 균열의 폭이 동일하다고 가정 하에 측정함으로, 만일 균열의 깊이가 깊거나, 균열이 불규칙한 경우 오차 발생이 확률이 높다. 시험편을 이용한 경우 3mm이내까지 매우 정확한 측정치를 얻을 수 있었다.

이 결과치는 시험의 동일한 폭의 노치를 사용한 결과로써 만일 현장에서 결함깊이를 측정하는 경우 균열의 깊이가 깊을수록 오차가 커질 것으로 예상된다.

이 실험의 결과 주 검사기법으로 초음파 검사를 수행하여 2mm이상의 결함을 측정하고 만일 결함의 깊이를 측정하기 어려운 경우, 결함이 표면에서 2mm이내인지 확인하기 위하여 와전류 검사를 수행하는 것이 적합하다고 판단되었으며, 이때의 검사 시스템 구성은 MIZ-70 주파수발생기, +Point Pencil형 탐촉자를 사용하였다.

3. 검사기법의 적용

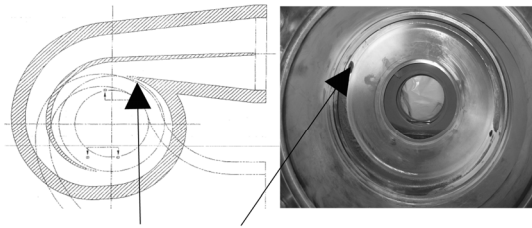
3.1 검교정 수행

검사기법 적용 전 마르텐사이트계 스테인리스 주강의 시험편을 활용하여 초음파 검사 및 와전류 검사에 필요한 최적 변수 대한 보정을 수행하였다.

검사 종료이후에도 검사의 건전성을 보증하기 위하여 다시 한번 검교정을 수행하였다.

3.2 검사 대상

Fig. 6은 실제 현장 검사대상부 주급수 펌프 Diffuser Vane에 대해 액체침투탐상검사를 수행한 결과 검출된 결함을 (3개 균열, 이하 지시#1 ~ 3)을 나타낸다.



The Location of Defect

Fig. 6 Main Feedwater Pump Casing Diffuser Vane

3.3 검사수행

액체침투 탐상결과 발견된 3개의 결함에 대해 길이는 알 수 있었으나 결함의 깊이는 측정이 불가능 하였다. 이 결함에 대해 연구에 의해 개발된 초음파 검사 기법을 이용하여 깊이를 측정했다.

Fig. 7은 결함 지시 #1의 표면신호와 하부 끝단 신호가 분리되어 나타나는 것을 보여주고 있으며, 측정 결과, 결함의 깊이는 2.07mm로 측정됐다.

초음파를 이용해서 측정할 수 있는 결함 중 #2와 #3은 결함 깊이가 낮아 초음파를 이용한 깊이 측정기법으로는 결함 깊이를 측정할 수 없었다.

초음파를 이용해서 측정할 수 없었던 결함 #2와 #3은 와전류를 이용하여 측정했으며, 결함 #1은 초음파를 이용한 측정값을 검증하기 위해 와전류 검사를 수행하였으며, 이를 통해 검사방법이 적절하였음을 확인하였다.



Fig. 7 Surface and Bottom Signal(at Indication #1)

4. 결론

본 연구에서는 표면 결함을 가진 마르텐사이트계 스테인리스 주강의 Diffuser Vane 및 제작된 보정 시험편을 이용하여 표면 결함 깊이를 비파괴

검사(초음파 검사 및 와전류검사)를 이용하여 측정하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 초음파를 이용하여 표면 결함의 깊이를 측정하기 위해 결함면에서 탐촉자를 전진 및 후진하여, 결함 끝단(Tip)의 최대 신호를 잡아 결함면으로부터의 깊이를 측정하였다. 결함의 깊이가 얇은 경우, 이와 같은 방법을 적용하여 검사를 수행하는 것이 가능함을 알 수 있었다. 실험 결과 초음파 탐촉자의 주파수는 2.25MHz, 1/4", 45도 탐촉자가 균열 깊이 측정에 우수한 편이다.
2. 와전류 검사는 결함의 깊이가 낮은 경우(2mm 이내) 매우 유효한 결과를 보였다. 즉, 초음파를 이용하여 결함의 깊이를 측정할 수 없는 경우 이를 연역적으로 깊이가 낮다고 추정하고 이를 와전류 기법을 사용하여 검증할 수 있다.
3. 이상의 시험 검토 결과 와전류 검사를 이용할 경우에는 약 3mm 정도의 결함 깊이까지, 초음파를 이용한 경우 2 ~ 9mm까지 평가할 수 있다.

참고문헌

1. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section V. "Nondestructive Examination"(1995)
2. ASME B Boiler and Pressure Vessel Code, Section XI. "In-service Inspection"(1995)
3. 新版 非破壊検査工學 編者 石井 勇五郎(1995)
4. J. H. Williams etc. ; Materials Evaluation, Vol 42 (1992)
5. ASTM A 487/A 487M-93 "Standard Specification for Steel Castings Suitable for Pressure Service"(2007)
6. Paul E. Mix, "Introduction to Nondestructive testing"(1987)