

용접구조물의 최신 비파괴 검사기술

김 영 식*·† ·길 상 철**

*한국과학기술정보연구원 ReSEAT Program

**한국과학기술 정보연구원

Latest Technology of Non Destructive Inspection for Welded Structure

Youngsik Kim*·† and Sangcheol Kil**

*KISTI ReSEAT Program, 02456, Korea

**KISTI, 02456, Korea

†Corresponding author : yskim@kmou.ac.kr

(Received January 31, 2017 ; Revised February 14, 2017 ; Accepted March 6, 2017)

Abstract

As the Non Destructive Test (NDT) for the welded structure, PT(Penetration Test), MT(Magnetic Test), RT (Radioisotope Test) and UT(Ultrasonic Test) methods are widely used in practice. These NDT methods have been developed toward high efficiency, low cost, real time, and high precise new NDT. For example, RT methods are developed to CT(Computed Tomography)and DR(Digital Radiography), and UT methods are developed into Phased array, Guide wave, TOFD method. Moreover, the Infrared thermography and Laser ultrasonic technique are newly developed for applying in high temperature objects as the non-contact NDT methods. In this review paper the new high efficiency NDT methods for the welded structure are introduced and the trend of NDT rules applying in welded structure are described.

Key Words : New NDT, Welded structure, Computed tomography, Digital radiography, Phased array, TOFD

1. 서 론

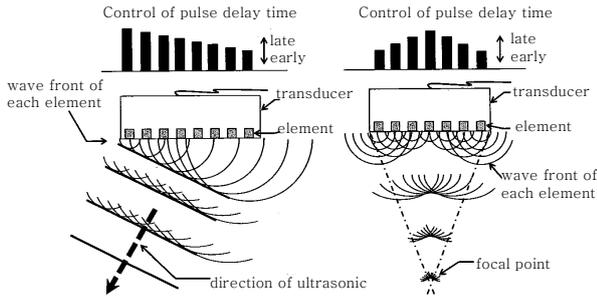
용접접합부에 대한 비파괴 검사 기술은 PT(Penetration Test : 침투탐상), MT(Magnetic Test: 자분탐상), RT (Radioisotope Test: 방사선 탐상), UT(Ultrasonic Test: 초음파탐상) 방법이 널리 사용되고 있다. 이들 비파괴 검사기술은 실시간, 저비용, 고효율, 고정밀도로 내부 결함을 평가하는 방향으로 발전되어 왔다. 현재 RT 기술은 CT(Computed Tomography) 및 DR(Digital Radiography) 등 디지털화로 발전하고 있으며, UT 기술은 페이즈드 어레이(Phased Array), 가이드(Guide) 파, TOFD 법 등 고신뢰성, 고효율의 새로운 NDT 기술이 발표되고 있다. 또한 고온환경이나 접촉이 어려운 대상물에 대한 비접촉식 비파괴검사법으로 적외선 열화

상법과 레이저초음파법이 개발되어 현장 적용연구가 활발히 진행되고 있다. 이 해설에서는 최신의 용접부 비파괴 검사기술 동향을 분석하여 국내의 비파괴검사기술 향상에 필요한 자료를 제공하고자 한다.

2. 최신의 비파괴 검사기술 개요

2.1 초음파 페이즈드 어레이(Ultrasonic Phased Array: 이하 UPA)탐상

UPA법은 복수의 소자(진동자)를 갖는 탐촉자를 사용하여 다수의 초음파 빔을 펄스 시간을 변경하여 순차로 송신(beam steering)함으로써 임의 각도로 초음파를 전파시킬 수 있다¹⁾ Fig. 1은 UPA법에서 초음파 빔의 발신(steering)의 예를 보인 것으로 다수의 소자로 부



(a) Control of direction of ultrasonic (b) Control of focal point
Fig. 1 Beam steering in ultrasonic phased array method¹⁾

터 순차로 초음파를 발신 시킨다.

Fig. 1의 (a)와 같이 우측의 소자로부터 순차로 초음파 빔을 발신시킨 경우에는 초음파의 파면을 화살표의 방향으로 전파시킬 수 있다. 이처럼 각 소자의 펄스 타이밍을 변화시킴으로써 임의의 각도로 초음파를 전파시킬 수 있다. 또한 (b)와 같이 양쪽 끝의 소자부터 순차로 초음파를 발신시키는 경우에는 초음파를 탐촉자의 중심으로 집속시킬 수 있다. 이처럼 UPA법에서는 임의의 각도로 초음파 빔을 주사(scanning)하고 또한 임의의 위치로 초음파 빔을 집속시킴으로써 종래의 UT와 비교해서 결함 검출성의 향상을 기대할 수 있다. 또한 UPA법은 화상화가 가능하여 종래의 UT와 비교하여 기록성이 탁월하다. 페이즈드 어레이 소자는 반사파동 빔을 각 소자에서의 도착시간, 진폭에 따라 공간적으로 분류할 수 있다. 기기 소프트웨어가 동작하면 각각의 반사파 포칼 로우 계산기(focal law calculator)가 빔의 특정 각도 요소와 선형경로에 따른 특정지점을 지시하고 특정 초점깊이에서의 반사를 지시한다. 반사 정보는 여러 형태로 가시화 된다²⁾.

2.2 초음파 TOFD(Time of Flight Diffraction) 탐상기술

TOFD 법은 UT에 속하는 방법이나 보통의 UT에서 측정이 곤란한 결함 높이를 고정밀도로 구하는 방법으로 1980년대에 영국에서 개발되었다.

Fig. 2에 TOFD 탐상법의 개요도를 보인다³⁾. 용접부를 사이에 두고 송신과 수신, 2개의 종파 사각탐촉자를 대향 배치하여 종파초음파를 시험체 내부에 송신하며 양 탐촉자의 거리를 일정하게 유지하면서 용접선에 따라 주사한다. 결함이 존재하면 D 스캔 화면상에 표면 근방을 전파하는 측면파(Lateral wave)와 뒷면 반사파 사이에 결함 상단 및 하단으로부터 회절파가 검출되기 때문에 화면을 관찰함으로써 결함 유무를 판정할 수

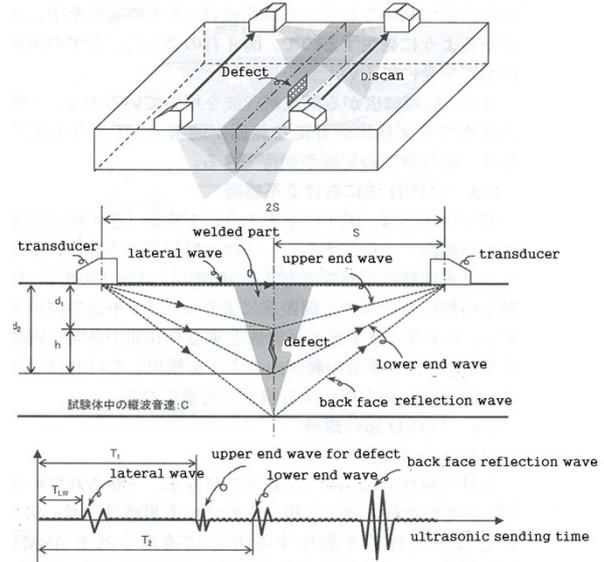


Fig. 2 Principle of TOFD method³⁾

있다. 결함 높이는 결함 상단과 하단으로부터의 회절파와 측면파의 검출시간의 차이, 시험체 중의 종파 음속 및 탐촉자 간 거리를 이용하여 구할 수 있으며 전용의 소프트웨어에 의해 자동적으로 계산된다. 일반적인 UT에서는 송수신 일체의 탐촉자에 의해 결함으로부터의 반사파를 검출하여 그 강도나 탐촉자 이동거리로부터 결함의 크기를 추정한다. 그러나 TOFD법은 결함의 상단과 하단에서의 회절파를 이용하기 때문에 결함 높이를 고정밀도로 측정할 수 있다. 또한 광범위하게 퍼지는 종파 초음파를 이용하기 때문에 결함검출 가능범위가 넓어 검사시간의 단축을 기대할 수 있다.

2.3 레이저 초음파 (Laser ultrasonic)탐상

레이저 초음파 탐상(laser ultrasonic test : 이하 LUT)법은 레이저 빔을 시험체 표면에 조사하여 순간적으로 발생하는 초음파를 이용하여 비접촉 방법으로 결함을 검출하는 방법이다. 고출력 펄스레이저를 고체표면에 조사하면 매우 얇은 흡수층에서 에너지의 흡수 및 반사가 일어나고 흡수된 에너지에 의해 고체표면의 온도가 매우 짧은 시간 동안 상승 하강하는 구배가 나타난다. 극히 짧은 시간에 이루어지는 온도구배의 열탄성효과로 인해 재료내부에 순간적인 체적 팽창이 발생하여 고주파의 초음파가 고체내부로 전달된다. 비접촉식 레이저 초음파의 발생 기구는 입사되는 레이저의 강도에 따라 크게 열탄성 영역과 어블레이션(ablation)영역으로 분류할 수 있다. Fig. 3은 레이저 초음파의 발생 원리를 보인 것이다⁴⁾. 어블레이션 영역에서는 표면 직하 방향으로 강한 종파를 발생시킬 수 있기 때문에 수 μ m 정도

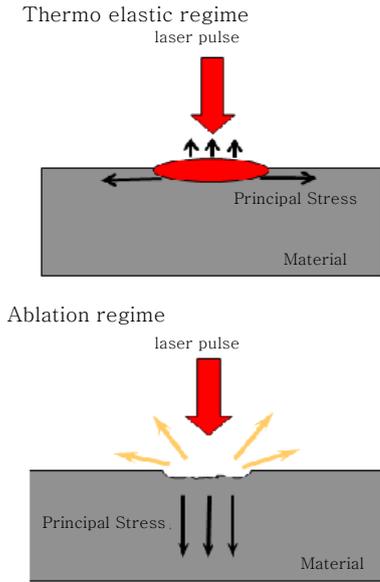


Fig. 3 Principle of Laser ultrasonic⁴⁾

의 표면 손상에 큰 영향을 받지 않는 구조재에 적용할 경우에는 어블레이션 영역에서의 레이저 초음파 기법이 구조재 내부결함 검사에 활용될 수 있다

LUT와 Farby-Perot(F-P) 간섭계를 이용하여 비접촉방법으로 초음파신호를 송 수신하여 초음파의 특성을 분석함으로써 내부결함과 표면결함의 존재유무, 내부결함의 크기 위치까지도 분석이 가능하다⁵⁾.

2.4 적외선 열화상법(infrared thermography)에 의한 탐상 방법

도체에 직류전류를 흘리면 줄(Joule)열에 의해 도체는 발열한다. 이러한 도체에 Fig. 4와 같은 모양의 균

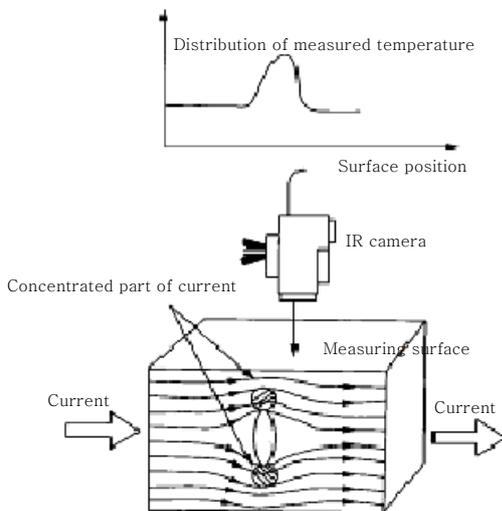


Fig. 4 Detection of crack by temperature singularity in infrared thermography⁶⁾

열결함이 존재하면 줄 발열 온도분포는 결함에 의해서 균열 끝에 전류밀도가 높은 특이점이 생긴다⁶⁾. 이러한 특이 전류장은 발열 집중부가 되기 때문에 이것을 계측함으로써 균열 검출이 가능하다. 이 방법이 자기발열 온도분포 계측방법이다. 균열이 표면으로 열려있지 않은 경우라도 균열이 표층부 근방에 있으면 이 방법의 적용이 가능하다. 한편 단열온도 계측방법은 시험체의 외부에서 가열하고 열을 흡수하는 조작을 하면 내부결함의 존재로 시험체 내에서 열의 확산이 방해를 받게 되며 결함의 단열효과로 시험체 표면에 국소적인 온도차가 생긴다. 이 국소적인 온도변화 영역의 온도분포나 형상, 위치는 내부에 존재하는 결함의 형상, 크기를 나타내므로 이것을 적외선 열 화상으로 정량적으로 계측하면 결함의 위치나 형상을 알아 낼 수 있다. 적외선 열화상기술은 ISO 비파괴시험분야에서 열 및 열간섭을 이용한 기술(ISO/TC135/SC8)로 분류되어 국외에서는 이미 다양한 산업분야에서 활용하고 있으나, 열 및 열간섭을 국내에서는 산업적 활용 및 관련기술의 보급이 매우 부족한 상황이다.

2.5 디지털 방사선 투과 시험 (이하 디지털 RT) 기술

디지털 RT검사기술은 재료의 X-선 필름의 아날로그 방식의 투과시험방법을 디지털로 바꾼 시험 방식이라 할 수 있다. 디지털 RT 기술은 1980년경에 이미징 플레이트(Imaging plate)라고 하는 화상 장치와 촬영 시스템(CR 시스템)이 등장으로 발전하게 되었다. 화상 정보는 검출기가 물체를 투과한 방사선을 받아 전기신호로 변환하여 생긴다. 일반적으로 많이 사용되는 X-선 필름의 화상정보와 비교하여 디지털 디바이스에서는 높은 방사선 감도를 갖고 있어 일반 필름에 비해 작은 방사선량으로 촬영이 가능하다. 방사선 상을 이미징 플레이트에 받은 후 이미징 플레이트를 레이저광으로 주사하고 그 때 발생하는 광을 포토 다이오드(photo-diode) 등의 광 센서에 의해 전기신호로 변환하여 디지털 화상을 얻는 방법이다. CR 시스템은 일본의 후지 필름이 1983년 FCR(Fuji Computed Radiography)의 명칭으로 발매한 것으로 X-선 필름 대신에 이미징 플레이트라는 광택성 형광체 시트(sheet)를 이용하여 촬영 후 레이저 조사에 의해 X선 데이터를 읽어내 출력화상은 디스플레이(display)로 출력된다⁷⁾. 이미징 플레이트는 상을 소거한 후 반복 촬영에 사용할 수 있다. 따라서 소모품으로 X선 필름이 불필요하게 되어 필름 처리에 소모되는 화학적 약품이나 프로세스가 불필요하게 되어 종래의 RT방법을 획기적으로 전환 시킨 방법이다.

2.6 X선 CT(Computed Tomography) 기술

X선 CT기술은 물체의 여러 각도에서 X선 빔을 투과시켜 X선의 강도를 측정하고 데이터를 디지털화하여 상을 재구성하는 새로운 화상처리 기법이다. 의학적으로 적용하기 위하여 Hounsfield가 처음 개발한 이 방법은 현재 산업현장에 적용하기 위한 개발이 급속히 진행되고 있다. 일렬로 배열된 검출기에 입사하는 X선 또는 폭이 좁은 X선으로 시편을 주사한다. X선 선원, 빔 집속기 및 검출기들은 동일한 프레임에 고정되어 단계적으로 조금씩 시편 주위를 회전하게 된다. 각 단계마다 시편 주위에 좁게 배열되어 있는 검출기의 출력값이 판독, 디지털화 및 저장되며, 각 판독 값은 흡수량 또는 투과 강도를 나타내게 된다.

산업용으로는 X선 선원과 검출기를 고정시키고 시편을 회전 및 이송시키는 것이 편리하다. Fig. 5는 XRCT의 시스템 개요도를 보인 것이다. 턴 테이블에 고정된 시편은 회전 및 이송이 이루어지면서 스캐닝 된다. 스캐닝 데이터는 각종 디지털 디바이스를 통해 필요한 개소의 슬라이스(slice) 화상으로 컴퓨터에 의해 재구성된다. CT의 핵심기술인 수학적 원리인 영상 재구성 알고리즘은 설계의 기초이면서 영상의 질을 결정하는 매우 중요한 요소이다. 이 영상 재구성 알고리즘은 CT의 역사와 더불어 발전을 거듭하여 현재 3D 고속 영상 재구성 알고리즘이 개발되어 있다.

3. 용접구조물의 최신의 비파괴검사 기술 연구 개발 현황

용접구조물의 비파괴 검사 기술에 대한 방법 별 연구 개발 및 적용빈도를 살펴보기 위해 Web of Science (SCI-E)데이터 베이스로부터 2006년~2016년의 10

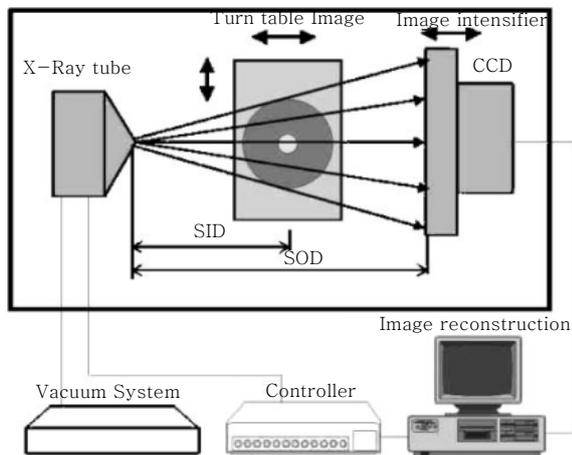


Fig. 5 XRCT system

년 간 용접구조물의 비파괴검사 관련 논문 635편에 대해 그 방법을 분석 한 결과 Fig. 6과 같이 나타났다.

이 결과에 의하면 UT방법이 전체의 47%를 차지하고 있어 절반 가까이 차지하고 있고, 그 다음 RT법이 24%, 적외선 열화상(Infrared Thermograph : 이하 IRT)법이 8%로 그 다음을 차지하고 있다. 그리고 어코스틱 에미션(Acoustic Emission : 이하 AE)법과 와류탐상(Eddy Current : 이하 ECT)법이 같이 7%이며, 자기탐상(Magnetic Test : 이하 MT)법이 4%, 침투탐상(Penetration Test : 이하 PT)법이 1%로 나타났다.

UT법은 페이즈드 어레이(Phased Array), 가이드(Guide) 파, TOFD(Time-of-Flight-Diffraction)법 등 새로운 고신뢰성, 고효율의 기술이 발표되고 있으며 RT 시험은 CT (Computed Tomography) 및 DR (Digital Radiography) 등 디지털화로 발전하고 있다. Fig. 7은 2006년부터 2016년의 10년간에 걸쳐 UT기술 관련 논문 중 구체적인 탐상기술의 분포를 보인 것이다.

Fig. 7에 의하면 재래의 UT기술이 63%로 과반을 차지하고 있으나 37%는 재래의 UT기술을 기반으로 고신뢰성과 고정밀성, 고효율성의 새로운 초음파탐상기술로 진화하고 있다. 새로운 UT기술 중 초음파 페이즈드 어레이 탐상기술이 19%로 가장 많고 그 다음이 TOFD

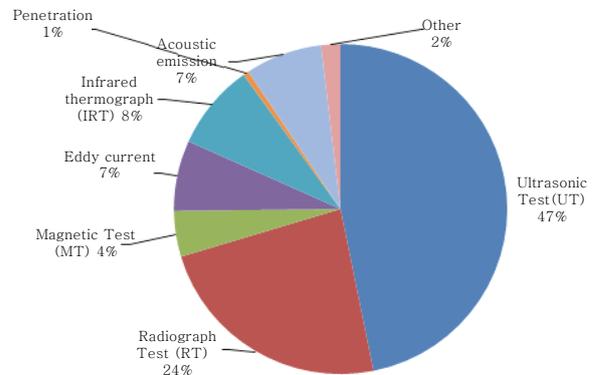


Fig. 6 Distribution of NDT methods form research papers during 10 years from 2006 to 2016

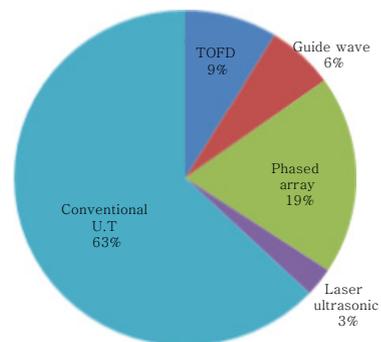


Fig. 7 Distribution of ultrasonic test methods

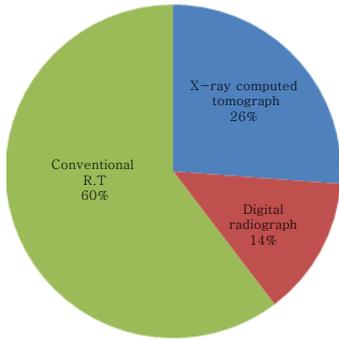


Fig. 8 Distribution of radioisotope test methods

법이 9%, 가이드 파(Guide wave)법이 6%, 레이저 초음파법이 3%를 차지하고 있다.

Fig. 8은 2006년~2016년의 10년간에 걸친 RT법의 구체적 분포를 보인 것이다. 이 결과에 의하면 재래의 RT시험은 60%로 과반을 차지하고 있으나 40%는 새로운 기술로 발전하고 있음을 알 수 있다. 새로운 RT 기술로 X선 단층 영상(X-ray computed tomograph) 기술에 의한 탐상법이 26%, 디지털 방사선(Digital radiograph)이 14%를 차지하고 있다.

이상의 결과를 종합하면 용접구조물의 비파괴검사기술과 관련하여 지난 10년간 발표된 연구논문에서 취급된 비파괴검사 방법은 초음파 탐상법과 방사선투과 시험이 전체의 70%를 차지하고 있어 대부분을 점유하고 있으나 최신의 비파괴탐상기술로 적외선 열화상기술이 중요한 비파괴검사기술로 정착되어 있음을 알 수 있다.

4. UT와 RT의 진화와 연도별 추이

UT방법은 2000년대 들어 결합 탐상의 고능률과 고감도를 위해 페이스드 어레이, TOFD, 가이드 파, 레이저 초음파 방법으로 발전되고 있다. Fig. 9는 UT방법에서 진화한 이들 방법의 연도별 논문 건수의 추이를 보인 것이다.

Fig. 9에 의하면 2006년 이후 시간이 지남에 따라 페이스드 어레이 방법과 TOFD 방법이 증가하고 있으며, 그 중에서도 페이스드어레이 탐상기술이 크게 증가하고 있다. 한편 재래의 UT기술은 감소하고 있는 추세를 보이고 있어 UT기술은 금후로도 페이스드어레이 기술이나 TOFD법으로 발전되어 갈 것으로 예상된다. 또한 레이저 초음파 탐상법도 비접촉 초음파 탐상법으로 기존의 접촉식 초음파기법의 한계인 고온 환경 및 피검사체의 복잡한 형상 등 환경적 요인에 의한 접근성 제한을 극복하는 방법으로 발전되어 갈 것으로 예상된다.

RT 방법은 2000년대 들어 디지털 RT, X선 CT로

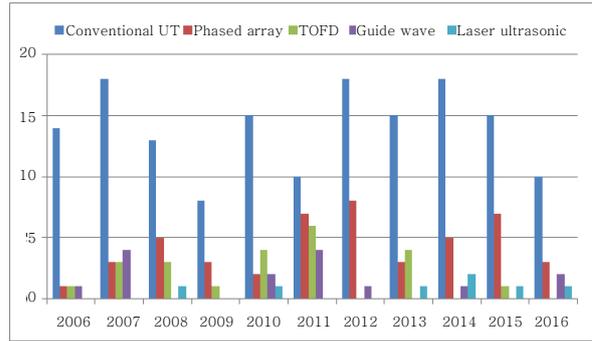


Fig. 9 Change of ultrasonic test methods with years

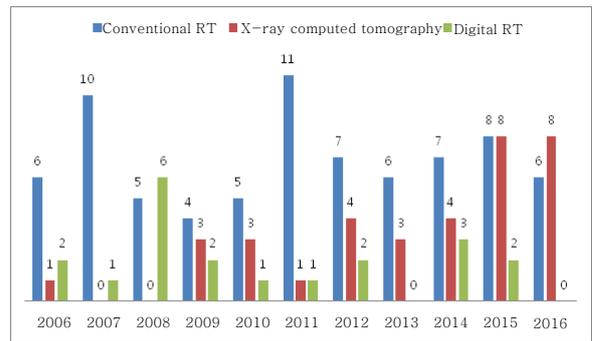


Fig. 10 Change of radioisotope test methods with years

진화하고 있다. Fig. 10은 RT방법에서 진화한 비파괴 검사방법들의 연도별 추이를 보인 것이다. Fig. 10에 의하면 시간이 지남에 따라 재래의 RT 기술관련 논문은 줄어들고 대신에 X선 CT 기술논문과 디지털 RT 기술 관련 논문이 증가하고 있다. 특히 X선 CT 기술 관련 논문이 최근 들어 크게 증가하고 있음을 보이고 있다. 따라서 RT 기술은 금후 X선 CT 방향으로 발전해 갈 것으로 예상된다.

5. 비파괴 검사기술에 관한 국내의 연구개발 동향

국내의 비파괴 검사현장에서 방법별 적용 현황은 방법별 매출비중을 통해 추정할 수 있다. Fig. 11은 과거 2008년부터 2011년의 4년간에 걸쳐 국내의 비파

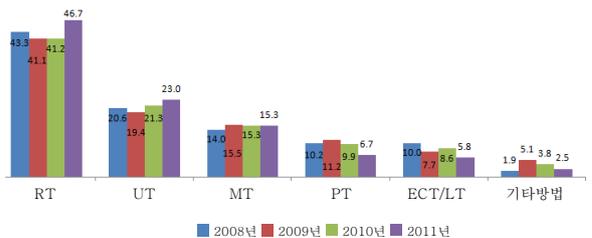


Fig. 11 Change of ratio of the sale with years for 2008~2011

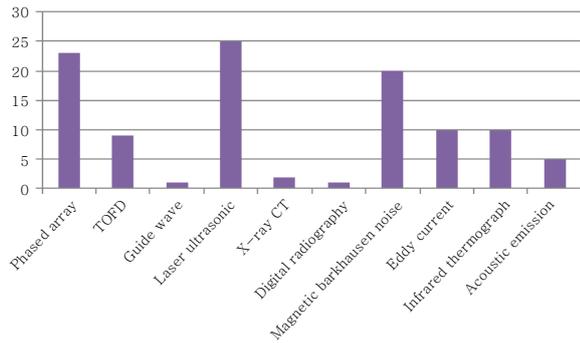


Fig. 12 Number of presented papers related to NDT domestic for 2006~2016

과 검사 방법별 매출 비율을 보인 것이다⁸⁾. 이 그림에 의하면 RT의 비율이 가장 커서 46.7%이다. RT의 비율은 매년 조금씩 감소하는 추세에 있으나 2011년에는 증가하고 있으며 UT는 꾸준히 증가하고 있다. MT는 평행, PT와 와류탐상(ECT)법 등은 감소하는 추세에 있다.

Fig. 12는 전술한 최신의 비파괴 검사법들에 관해 NDSL 데이터 베이스로 부터 국내에서 2006년부터 2016년간의 10년간에 걸쳐 발표된 논문 중 금속 및 용접과 관련한 논문만을 추출하여 그 발표논문 숫자를 나타낸 것이다.

Fig. 12에 의하면 레이저 초음파를 이용한 비파괴 검사관련 논문이 가장 많고 그 다음이 UT 페이즈드 어레이법, Magnetic barkhausen noise법, 와류법, 적외선 열화상법, 초음파 TOFD법, AE법 순으로 나타났다. 한편 RT법에서 발전한 X선 CT법이나 디지털 RT법은 매우 희소한 것으로 나타났다. 이들 RT기반의 방법들은 의료진단 분야에 주로 사용되나 금속 및 용접분야에의 응용은 외국에 비해 아직 그 응용이 저조한 것으로 나타났다.

최근에 국내에서 발표된 페이즈드 어레이법에 관한 연구는 주로 원자력 발전소 배관 용접부에 대해 그 결합 탐상에 적용을 위한 연구가 이루어지고 있다^{9,11)}. 이러한 연구 결과를 통해 국내에서도 페이즈드 어레이 탐상기술이 정착단계에 와 있다고 볼 수 있다.

레이저 초음파 비파괴검사법은 비접촉, 실시간 검사가 가능하다는 장점으로 이의 실용화를 위한 연구가 국내에서도 활발히 진행되고 있다. 원자력 발전소 배관 손상부위의 평가¹²⁾, 내부결합 검사에 적용하기 위한 레이저 초음파의 시뮬레이션에 의한 해석 연구¹³⁾, 레이저 초음파 영상화 연구 등 실용화연구가 진행되고 있다.

TOFD UT 연구는 원자로 구성부품 용접부의 결함 탐상에 적용하기 위한 연구^{14,15)} 가 최근에 발표되어 실용화가 추진되고 있다.

적외선 열화상법은 비접촉식으로 넓은 범위를 빠른 시간 안에 검사할 수 있는 장점으로 인해 이의 실용화 연구가 국내에서 활발하게 전개되고 있다. 적외선 열화상법에 초음파기술을 접목하여 결합부위만을 검출하는 초음파 적외선 열화상법을 이중재 용접부의 탐상에 적용하여 그 가능성을 입증한 연구¹⁶⁾, 이 방법을 철도차량의 대차 용접부의 결합평가에 적용한 연구¹⁷⁾ 등 다양한 분야에 적용하기 위한 연구가 진행되고 있다.

6. 비파괴 검사기술의 규격화, 표준화의 국내외 동향

디지털 RT는 미국의 경우, ASTM E 1000 "Standard Guide for Radioscopy"로 1992년에 규격화되어 있다. 그 이후 1996년 E1255 "Practice for Radioscopy"가 제정되어 실용화되어 있다.

유럽에서는 EN 13068 "Radioscopic testing part 1, 2, 3"가 1999년부터 순차 제정되어 있고, 또한 CR (Computed Radiography) 시스템을 이용한 방사선 투과시험에 관한 유럽규격으로 EN14784-1 및 -2가 2005년에 제정되어 있다. ISO 규격으로는 EN14784-1에 대응하여 ISO16371-1이 2011년에 제정되었고, EN14784-2에 대해서는 ISO16371-2가 제안되어 심의 중이다. UT의 신기술 규정으로 ISO/TC44(용접)에서 「ISO 10863 : 2011 용접부의 TOFD법에 의한 초음파 탐상시험의 적용」과 「ISO 13588 : 20112 용접부의 비파괴 시험-초음파탐상시험- 자동 페이즈드 어레이 초음파 탐상시험방법의 적용」이 제정되어 있다 그리고 「ISO/NP19285 용접부의 비파괴시험 - 페이즈드 어레이 초음파 탐상시험방법- 합격 레벨」이 심의 중에 있다.

비파괴 검사 기술자의 자격, 인증에 관해서는 비파괴 검사 자격 제도 ISO/EN-9712가 제정되어 국제적으로 비파괴 검사자 자격 인증 제도가 운영되고 있다.

이상과 같이 새로운 비파괴 검사기술이 국제규격으로 규격화됨에 따라 각 국가에서는 자국의 국가 규격을 여기에 부합화하거나 새로운 규격을 제정하여 국제규격에 대응하는 노력을 기울이고 있다.

한편 국내의 산업규격에 RT나 UT에서 발전한 디지털 RT, CR 및 페이즈드 어레이, TOFD법 등 새로운 검사기술들에 관한 규정이 미비 되어 있어 이의 개선 노력이 시급히 요구되고 있다.

7. 결 론

- 1) 용접부의 결합탐상 기술로서 UT(초음파 탐상), RT

(방사선 투과시험), MT(자분탐상), PT(침투탐상)법 등 비파괴 검사 기술은 구조물의 안전성 확보나 기존 설비의 잔여수명 평가를 위해 필요 불가결한 요소이다. 이들 비파괴 검사기술은 실시간, 저비용, 고효율, 고정밀도로 내부 결함을 평가하는 방향으로 발전되고 있다.

2) UT방법은 가장 능률적인 방법으로 현장에서 널리 사용되고 있는 방법이다. 그러나 기존의 UT에서는 결함의 존재 위치나 결함의 형상은 추정이 가능하나 결함의 크기나 검출상의 정확성에는 한계가 있다. 이를 보완하는 방법으로 페이스드 어레이법, TOFD법이 개발되어 실용화 되어 가고 있다.

3) RT방법은 IT기술과의 융합에 의해 디지털 RT법과 CT방법으로 발전하여 산업계에서도 실용화가 시작되고 있다.

4) 고온환경이나 접촉이 어려운 대상물에 대한 비접촉식 비파괴검사법으로 적외선 열화상법과 레이저초음파법이 개발되어 아직 실용화단계에는 이르지 못하였으나 현장 적용연구가 활발히 진행되고 있다.

5) 국내의 현장에서 적용되고 있는 비파괴 검사방법은 RT의 비중이 가장 커서 46.7%이다. RT의 비중은 매년 조금씩 감소하는 추세에 있으며 UT는 꾸준히 증가하고 있다. MT는 평행, PT와 ECT법 등은 감소하는 추세에 있다.

6) 국내에서의 최신의 비파괴검사 관련 연구논문은 레이저 초음파를 이용한 비파괴 검사관련 논문이 가장 많고 그 다음이 UT 페이스드 어레이법, Magnetic barkhausen noise법, 와류법, 적외선 열화상법, 초음파 TOFD법, AE법 순으로 나타났다.

7) 국내의 연구논문 중 RT법에서 발전한 X선 CT법이나 디지털 RT법은 매우 희소한 것으로 나타났다. 이들 RT기반의 방법들은 의료진단 분야에 주로 사용되나 금속 및 용접분야의 응용은 외국에 비해 아직 그 응용이 저조한 것으로 나타났다.

8) 우리나라 비파괴 검사 관련 산업 규격에는 해외에서 실용화가 추진되고 있는 신기술을 적용하기 위한 기술기준이나 적용코드가 미비 되어 있고 재래식 기술 기준에만 의존하고 있는 구조적 문제가 있다. 따라서 해외의 기술기준을 모니터링하고 국내규격의 심의와 제정을 담당할 전문가로 구성된 기구의 조직이 필요하다.

후 기

본 기술해설은 미래창조과학부 과학기술진흥기금과 복권기금을 지원받아 수행하는 ReSEAT 프로그램의 성과물입니다.

References

- Hatanaka H., Tagami M., Guideline of Innovative Processing and Control System-Non-Destructive Insection-, *Jnl. of Japan Welding Society*, 85 (3) (2016), 295-300
- C. Hellier, A Review of Nondestructive Examination Technology for the Power Industry, *Jnl. of America Welding Soc*, 94 (12) (2015), 40-44
- Fukushima M., et.al., Nondrstructive Exam[nation for Weld Joint using TOFD Technique, *Jnl. of Japan Welding Society*, 81 (4) (2012), 239-243
- J.G. Kim, et al., Simulations for Internal Defect Inspection Using Laser Generated Ultrasonic Wave in Ablation Regime, *Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing*, 34 (3) (2014), 226-232
- J.Y. Kim, K.S. Song, D.J. Yang, Laser-Ultrasonics Application for Non-Contact and Non-destructive Evaluation of Strucyure, *Trans. of korean Soc. of Machine Tool Engineers*, 14 (4) (2005) pp 49~54
- KWJS, Handbook of Welding and Joining II, (2008), 397 (in Korean)
- Shinoda Kunihiko, Introduction of Digital Radiography Technique, *Jnl. of Japan Welding Society*, 81 (4) (2012) 244-250
- KANDT, The System Improvement Study for Promotion of NDT Technology, *Research report*, (2013)
- Jin-Hoi Kim, Yongsik Kim, Field Application of Phased Array Ultrasonic Testing for Structural Weld Overlay on Dissimilar Welds of Pressurizer Nozzles, *Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing*, 35 (4) (2015), 268-274
- Seung-Pyo Lee, et al., Feasibility Study of Flexible Phased Array Ultrasonic Technology Using Irregular Surface Specimen, *Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing*, 35 (1) (2015), 52-60
- Kim, Hak-Joon, et al., Simulation Based Investigation of Focusing Phased Array Ultrasound in Dissimilar Metal Welds, *International journal of the Korean Nuclear Society*, 48 (1) (2016), 228-235
- Kyung-Min Hong, et al., Application of Laser Ultrasonic Technique for Nondestructive Evaluation of Wall Thinning in Pipe, *Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing*, 33 (4) (2013), 361-367
- Jin-Gyum Kim, et al., Simulations for Internal Defect Inspection Using Laser Generated Ultrasonic Wave in Ablation Regime, *Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing*, 34 (3) (2014), 226-232
- Jeong Seok Lee, et al., A Feasibility Study for Flaw Detection in J-groove Weld of Reactor Upper Head Penetration Using Time of Flight Diffraction UT Technique, *Transactions of the Korean society of pressure vessel and piping*, 11 (2) (2015), 1 - 5
- Jeong Seok Lee, Jin Hoi Kim, A Feasibility Test for Flaw Detection in Overlay Weld of Reactor Upper Head Penetration Using Time of Flight Diffraction

- Technique, *Transactions of the Korean society of pressure vessel and piping*, 10 (1) (2014), 15 - 19
16. Jeong-Hak Park, et al., The Study of Micro Crack Detection in Dissimilar Metal Weld Using a Variable Ultrasound Infrared Thermography, *Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing*, 35 (3) (2015), 215-220
17. Seok Jin Kwon, et al., Defect Evaluation for Weld Specimen of Bogie Using Infrared Thermography, *J. Korean Soc. Precis. Eng.*, 32 (7) (2015), 619-625