



2008년 8월 석사학위논문

# 적외선 열화상 기법을 적용한 금속 소재의 표면 부식 및 내부 결함의 비파괴 평가

조선대학교 대학원

정밀기계공학과

고 명 석

# 적외선 열화상 기법을 적용한 금속 소재의 표면 부식 및 내부 결함의 비파괴 평가

Nondestructive Evaluation on Metal Material Surface Corrosion and Inside Defect of Infrared Thermography Technique Application

2008년 08월 25일

# 조선대학교 대학원

정밀기계공학과

고 명 석

# 적외선 열화상 기법을 적용한 금속 소재의 표면 부식 및 내부 결함의 비파괴 평가

## 지도교수 김 재 열

이 논문을 공학석사학위신청 논문으로 제출함

2008년 4월

조선대학교 대학원

정밀기계공학과

고 명 석

# 고명석의 석사학위논문을 인준함

위원장	조선대학교 교수	심재기 인

- 위 원 조선대학교 교수 이 동 기 인
- 위 원 조선대학교 교수 김 재 열 인

2008년 5월

# 조선대학교 대학원

LIST OF FIGURES
LIST OF TABLE
NOMENCLATURE
ABSTRACT ····································
제 <i>1</i> 장 서 론 ·································
제 1 절 연구배경 및 필요성
<i>1.</i> 표면 부식 결함 ···································
<i>2.</i> 금속 내부 결함 ···································
제 $2$ 절 연구동향
제 <i>3</i> 절 연구목적 및 내용
제 2 장 적외선 역화상 측정이론 및 시스템 구성
에 1 지 지이니 어떤지 기메기 초지 시문 7
세 1 절 적외선 열와상 카메라 즉성 이론
제 2 절 적외선 열화상 카메라 시스템 구성
<i>1.</i> 시스템 제어기
2. 스캐너
3. Research Package 900 ·····18
제 3 장 적외선 열화상 카메라를 이용한 SM45C 금속 소재
의 표면 부식 측정 <i>19</i>

목 차

제 1 절 표면 부식 측정 시스템 구성 및 실험 방법20
<i>1.</i> 실험 시편
<i>2.</i> 시스템 구성 ······23
<i>3.</i> 실험 방법 ······25
제 2 절 실험 결과 및 고찰
1. 열화상 카메라를 이용한 열화상 이미지 및 온도 분포 측정27
2. 요 약 ··································
제 4 장 적외선 열화상 카메라를 이용한 금속 소재의 내부
결함 검출
제 1 절 내부 결함 탐상 시스템 구성 및 실험 방법34
<i>1.</i> 실험 시편 ···································
<i>2.</i> 시스템 구성 ···································
<i>3.</i> 실험 방법 ···································
제 2 절 실험 결과 및 고찰
1. 열화상 카메라를 이용한 열화상 이미지 및 온도 분포 측정38
2. 요 약47
제 5 장 결 론
Reference

# LIST OF FIGURES

Fig. 2-1 Electromagnetic spectrum
Fig. 2-2 Atmospheric transmission over 1 nautical mile
Fig. 2-3 Radiation contributions to the general measurement situation9
Fig. 2-4 Infrared thermography (Pulse technique)13
Fig. 2-5 Infrared thermography (Lock-in technique)
Fig. 2-6 Thermovision 900 system
Fig. 2-7 Infrared thermal vision camera system for potable
Fig. 3-1 Circle corrosion defect and dimensions in carbon steel
Fig. 3-2 Circle corrosion defect and dimensions in carbon steel
Fig. 3-3 Rectangular corrosion defect and dimensions in carbon steel
Fig. 3-4 Rectangular corrosion defect and dimensions in carbon steel
Fig. 3-5 Crack defect in carbon steel
Fig. 3-6 Component of thermovision 900 system
Fig. 3-7 Experiment diagram for defect detection
Fig. 3-8 Thermography image and temperature
Fig. 3-9 Thermography image and temperature
Fig. 3-10 Thermography image and temperature
Fig. 3-11 Thermography image and temperature
Fig. 3-12 Thermography image and temperature
Fig. 4-2 Specimens (Stainless steel)
Fig. 4-3 Component of experiment system
Fig. 4-4 Thermal image and surface temperature of 4mm rectangle defect 39
Fig. 4-5 Thermal image and surface temperature of 7mm rectangle defect 40
Fig. 4-6 Thermal image and surface temperature of 1mm circle defect
Fig. 4-7 Thermal image and surface temperature of 4mm circle defect
Fig. 4-8 Thermal image and surface temperature of 7mm circle defect
Fig. 4-9 Thermal image and surface temperature of air bubble defect
Fig. 4-10 Surface temperature distribution of rectangle defect

Fig.	4-11	Surface	temperature	distribution	of	circ	le defec	et	•••••	45
Fig.	4-12	Surface	temperature	distribution	of	air	bubble	defect		46

# LIST OF TABLE

Table 1-	1 Applicati	ons of in	frared the	rmogr	aphy	 5
Table 4-	1 Property	and dim	ensions of	exp.	material	 5

# NOMENCLATURE

В	: Spectrum parameter
F	: Model parameter
h	: Heat transfer coefficient
Ι	: Thermal value
$I_o$	: Digital value for the object radiation
$I_m$	: Thermal value for the measured total radiation
R	: Correspondence parameter
Т	: Object temperature(K)
$T_{amb}$	: Temperature of surroundings
$T_{atm}$	: Atmospheric temperature
T <sub>obj</sub>	: Temperature of measurement target
W	: Equivalent water content
3	: Emissivity
ρ	: Reflected ratio
σ	: Stefan-Boltzman constant
τ	: Transmissivity

## ABSTRACT

## Nondestructive Evaluation on Metal Material Surface Corrosion and Inside Defect of Infrared Thermography Technique Application

Ko Myung-Seok Adviser : Prof. Kim Jae-yeol, Ph.D. Dept. Precision Mechanical Engineering Graduate School of Chosun University

Non-destructiveness estimation (Non-Destructiveness Estimation ; NDE) grasps loading condition or environment condition of material and it is destruction nondestructiveness measure technique that evaluate integrity of material synthetically forecasting life-time of material mechanically.

Because can deteriorate performance and life of construction remarkably in case material that do heterogeneous in material holds, existence and nonexistence of those, form, position grasping are very important.

There are radiant radiographic testing (R.T : Radiographic Testing), magnetic Particle Testing (M.T : Magnetic Particle Testing), ultrasonic (U.T : Ultrasonic Test) etc. various kinds by testing in reply, but a seen treatise wishes to judge measurement existence and nonexistences of various defect of metal material using infrared rays thermal image cameras. Non-destructive test method that use infrared thermography is the one of most useful tool that is used extensively over factory repair, process of production of product and monitoring and research, development etc.. industry whole the estimate enemy, procure thermal image by infrared detector can be problem solution of priority in system and structure on childhood, and is used to purposes for various prevention of disasters because can detect characteristic by heat distribution of target object.

infrared thermography detects infrared rays that is emited in surface of object temperature distribution of the object place that temperature is high thermal image (thermal imaging) that appear marking red color, low place blue color be.

That is, can receive temperature distribution of object surface from one burn. Therefore, it can measure temperature of each point as well as can know temperature distribution of the construction surface if display applied heat material from burn through thermo camera thermally.

Infrared Thermography (Infrared Thermography) is a two-dimension, nondestructiveness examination technology of change of place candle light method that can be selected usefully in nondestructiveness estimation of material that have thermal special quality thus.

To analyze surface lower form of object using thermo camera, need heat energy delivered in body using active photographing method usually.

Infrared thermography gives a lot of informations about nondestructiveness estimation essential factors such as depth in thermal resistance of defect, size, surface.

In this research, I wish to measure corrosion and defect of metal site using such infrared thermography cameras.

Defect of metal site selected by 2 types and first corrosion measurement and second by rust of SM45C metal material be inside defect of stainless metal material and achieve estimation the nondestructiveness enemy because use infrared thermography cameras wish to .

## 제1장서 론

#### 제 1 절 연구배경 및 필요성

비파괴평가(Non-Destructive Evaluation ; NDE)는 재료의 부하 조건이나 환경 조건을 파악하고 파괴역학적으로 재료의 수명을 예측하여 종합적으로 재료의 건전 성을 평가하는 비파괴계측 기법이다. 이 비파괴평가는 단순한 결함검출기법으로 재 료평가(materials evaluation)의 상당한 부분을 점유하고 있고 재료 및 구조물의 기 능, 신뢰성을 종합적으로 판단하는 기술요소로 알루미늄 및 티탄합금이 사용되는 항공기 부재 등에서는 검사가 용이한 구조물 형상을 요구하기도 하고, 구조설계를 규정하는 역할을 담당하기도 한다. 또, 한편으로 신소재, 첨단재료 등에서는 아직 이들에 대한 비파괴평가기법이 확립되어 있지 않고, 이들 첨단 재료의 품질 보증을 위한 비파괴평가기법의 확립이 신소재 개발의 중요한 과제중의 하나가 되고 있다.

금속소재의 안전성을 판단하기 위해서는 재료의 특성을 정확히 파악하고 내부 의 결함 유무를 판단하는 것이 필요하다. 재료내에 불균질한 물질이 들어있는 경우 는 구조물의 성능과 수명을 현저히 저하시킬 수 있기 때문에 그것들의 유무, 형태, 위치 파악이 매우 중요하다. 이에 대한 검사법으로는 방사선투과시험(R.T: Radiographic Testing), 자분탐상법(M.T: Magnetic Particle Testing), 초음파탐상 법(UT: Ultrasonic Test)등 여러 가지가 있지만 본 논문에서는 적외선 열화상 카메 라를 이용하여 금속소재의 각종 결함의 측정유무를 판단하고자 한다.

적외선 열화상을 이용한 비파괴시험법은 예측적 공장보수, 제품의 생산과정 및 모니터링과 연구, 개발 등 산업전반에 걸쳐 광범위하게 쓰이는 가장 유용한 도구중 의 하나이며, 적외선 감지기에 의해 획득할 수 있는 열화상은 대상 물체의 열 분포 에 의한 특징을 검출할 수 있기 때문에, 초기단계에서 시스템과 구조체내에 우선의 문제 해결책일 수 있으며, 각종 재해방지를 위한 목적에도 사용된다. 또한 사태가 심각해지기 전에 문제를 수정할 수 있는 필수 정보들을 제공해주기 때문에 고장이 나 작동정지를 피할 수 있다. 그러므로 대체나 수리적인 측면에서 절감을 이룰 수 있다.

적외선 열화상은 물체의 표면에서 방출되는 적외선을 검출하여 그 물체의 온도 분포를 온도가 높은 곳은 적색으로, 낮은 곳은 청색으로 표시하여 나타낸 열화상 (thermal imaging)이다.<sup>1)</sup> 즉, 물체 표면의 온도분포를 하나의 화상으로 얻을 수 있 다. 따라서 열적으로 가열된 재료를 적외선 카메라를 통하여 화상으로 나타내면 그 구조물 표면의 온도분포를 알 수 있을 뿐 아니라 각 지점의 온도까지 측정할 수 있다. 적외선 열화상(Infrared Thermograph : IRT)은 이와 같이 열적 특성을 갖는 물질의 비파괴 평가에 유용하게 채택될 수 있는 2차원, 비접촉 방식의 비파괴 검사 기술이다.<sup>2)</sup> 적외선 카메라를 사용하여 물제의 표면 하부의 형태를 분석하는 데에는 일반적으로 능동적인 촬영방법을 사용하여 물체에 전달되어지는 열에너지를 필요 로 한다. 적외선열화상은 결함의 열저항, 크기, 표면에서의 깊이와 같은 비파괴평가 요건들에 대한 많은 정보를 준다.<sup>3-5)</sup> 본 연구에서는 이와 같은 적외선 열화상 카메 라를 이용하여 금속소재의 부식 및 결함을 측정하고자 한다.

금속소재의 결함은 2가지 종류로 선택하였으며 첫째는 SM45C 금속소재의 녹으 로 인한 부식측정과 두번째는 Stainless steel 금속소재의 내부 결함이며 적외선 열 화상 카메라를 이용하여 비파괴적 평가를 수행하고자 한다.

1. 표면 부식 결함

부식이란 환경에 의해서 재료가 열화되는 현상이라고 정의할 수있다. 이는 재료 의 두께감육을 유발하여 응력의 집중화로 인한 구조물의 안정성을저하시킨다.<sup>6-7)</sup>

부식결함 검출의 중요성은 기계설비, 파이프, 선박, 교량, 기타 여러 용도에서 부 식으로 인한 막대한 경제적 손실을 방지하는 것과 작동기기의 안전성 향상이라는 측면에서 중요하다고 볼 수 있다. 이러한 부식을 방지하기 위하여 가장 많이사용되 는 것이 구조물의 표면에 내부식성을 가지는페인트를 도포하는 방법이다.<sup>8)</sup> 그러나 이러한 부식방지 페인트도 가혹한 환경조건하에서 금속표면과의 들뜸 현상이나 갈 라짐 등에 의해서 표면에는 보이지는 않지만 내부에서 부식이 진행되는 경우가 있 다.

기존에 연구된 부식에 의한 결함이나 두께 감육 측정법은 음향방출(Acoustic Emission)법, 초음파를 이용하기 위한 EMAT법, Laser 유도 초음파법등 있다.<sup>9)</sup> 그 러나 이러한 비파괴 검사법들은 산업현장 접근성면에서 단점을 가지고 있다. EMAT법은 구조물 표면에 자력을 발생시키기 위하여 수mm로 접근하여야 하고, Laser<sup>10,11,12)</sup>를 이용한 방법은 원거리 비파괴 검사가 가능하나 구조물의 표면상태에 따라 결함 검출이 불가능 할 수도 있다.

최근 비파괴 검사방법중 주목 받는 검사법인 적외선 열화상법을 이용하면 기존 비파괴 검사법이 가지는 단점을 해소할 수 있다.

#### 2. 금속 내부 결함

결함은 시험체에 따라 또는 분류방법 등에 따라 다양하게 구분할 수 있는데 비 파괴검사시 주로 대상이 되는 결함중 금속에서 나타날 수 있는 결함이 있는데 이 는 크게 분류하면 고유결함(Inherent discontinuity), 제작 및 가공중 결함 (Processing discontinuity), 사용중 결함(Service induced-scontinuity)로 나눌 수 있 다. 고유결함이란 금속의 용융 및 응고과정에서 장괴에 생기는 결함으로 기공 (Porosity), 개재물(Inclusion), 편석(Segrega-tion)등이 있다. 제작 및 가공중결함에 는 제작 및 가공과 관련하여 발생되는 결함으로 주조결함, 기공, 수축관등이 있으 며 사용중 결함(Senvice-induced discontinuity)는 사용중에 발생되는 결함으로 사 용조건, 즉 온도, 압력, 부식환경과 같은 요인에 따라서 재료의 손상이 발생되는 것 을 말하며 이는 주로 피로, 부식, 취화(Embrittlement), 뒤틀림(Distortion)등에 의해 발생하는 균열이 이에 해당된다. 앞에서 말한 이 모든 결함은 기계부품이나 구조물 등에서 경제적, 인명적 피해를 가져다 줄 가능성이 있으며 이대 대한 비파괴적 연 구가 절실이 요구되고 있다.

#### 제 2 절 연구동향

적외선에 의한 열 영상, 즉 Thermograph의 원리는 1960년대 스웨덴에서 개발되어 미국에서 1965년에 소개되었고 한국에도 1980년대 후반에 들어 소개되면서 도입되었다.

초기 적외선 열화상 장치는 가격이 비싸고 정교하지 못하며 응용분야가 매우 미약하였기 때문에 사용을 기피하였으나 적외선 장치의 유용함과 장점이 발표되면 서 사용폭이 점차 확대되고 있는 실정이다.

적외선 열화상 장치는 1960년대부터 상용화되어 산업전반에 널리 사용되어 왔 으며, 특히 건축물의 열관리, 발전설비의 안전진단, 콘크리트의 교량상판 결함검출, 지하 가스배관의 누설 등의 분야에 많이 활용되었다.<sup>13)</sup>

국내의 경우 적외선을 이용한 비파괴적 평가의 도입기간이 매우 짧았을 뿐아니 라 산업 분야에서 비파괴 시험에 대한 요구가 많이 않아 비중 있게 다루지는 않았 다. 그러나 최근 산업 발전과 더불어 제품의 고품질, 고부가가치의 제품으로 전환 됨에 따라 비파괴 시험에 대한 요구가 증대되고 있는 실정이다.

국내의 열화상장치는 그동안 야간 경계근무가 필요한 곳 등 군사적 목적이나 인공위성을 통한 기상예보 및 바다의 어장탐색 등을 통한 어업지원, 혈액순환 장애 에 의한 성인병 환자의 정확한 치료 위치 진단, 그리고 대형빌딩의 단열시공 미비 에 따른 열손실 평가 등에 광범위하게 사용돼 왔으며 비파괴 시험의 중요성이 인 식되기 시작하면서 사용 범위도 증가하고 있는 추세이나 장비의 고가, 전문적 기술 의 미숙 및 신뢰성 결여로 인해 아직 활용이 미미한 실정이다.

Table 1-1은 Infrared thermography의 적용분야를 보여주고 있다.<sup>14)</sup>

사용	분야	사용 사례
군사분야	적군 동향 감시	침투적군감시, 군 이동파악
	군사무기	미사일 주적, 지뢰탐지
	철강 · 금속	노벽검사, 프로세스 제어, 보전
	र्य सो	금형 온도분포, 응력측정,
	×   ×1	금속소재 결함탐지등
	서유 . 하하	설비보전, 가열로, 반응로 등의
	711 - 51 - 7	공정관리
산업 분야	요업 · 글라스	노벽검사, 공정관리
(연구개발, 품질관리,	즈태 거서	단열효과판정, 박리검사, 시설물
상태감시능)	14.22	유지관리
	전기 · 전자	실장부품시험, 열설계 평가시험
	전력 · 가스	시설관리, 누설감지, 접속불량
	경비 · 보전	침입자 감시, 화재감시
	철도·도로	침입자 감시, 박리검사
	혈행장애	동정맥류, 백랍병 등의 검사
	기으시거자에	자율신경질환, 신경 블록
이근 보자	사활신성생애	효과판정
귀표 군아	염증	표재성 염증, 경과관측
	조아	표재성 종양, 유방종양 등의
	00	검사

Table 1-1 Applications of infrared thermography

#### 제 3 절 연구목적 및 내용

다양한 구조물의 안전성 및 내구성, 안전사고의 위험성으로부터 벗어나기 위해 서는 재료의 눈에 보이지 않는 결함을 검출해 내는 것은 상당히 중요하다. 구조물 의 비파괴 평가기법으로는 엑스레이(X-ray), 초음파 및 방사선 투과시험 등으로 눈 에 보이지 않는 결함을 검출하기 위해 광범위하게 적용되어 왔다. 그러나 이러한 검사들은 진단과정에서 실험체나 생명체에 해를 끼칠수 있다. 이와 반대로 적외선 은 생명체에 아무런 해가 없기 때문에, 적외선 열화상을 응용하는 것에 대한 인식 증가는 다양한 기술응용과 원격탐사 진단의 발전을 이끌었으며 최근에는 비파괴 검사로 탐지하는 분야 중 특히, 적외선열화상을 이용한 결함검출은 적외선 카메라 의 빠른 보급과 더불어 국내에서도 관심이 점차 증폭되고 있으며 수 많은 연구가 진행되고 있다.<sup>14)</sup> 또한 타 비파괴 검사법에 비해 적외선 열화상을 이용한 비파괴 검사는 검사하고자 하는 대상체에 대한 복잡한 절차를 거치지 않고 적외선 열화상 장비만 간단히 설치하여 측정을 할 수 있어 신속성 및 현장적용성이 매우 뛰어나 다고 할 수 있으며 비파괴 검사의 획기적인 방법이 될 수 있을 것이다.<sup>15)</sup>

본 연구에서는 열적으로 가열된 부식이 있는 SM45C 금속소재와 Stainless steel 의 내부결함에 대하여 적외선 열화상을 이용한 열화상 패턴을 비파괴 기법으로 연 구하여 결함과 열화상 패턴간의 특성을 분석하고자 하며 결함부에 대한 적외선 열 화상 기법의 결함 판별 유무를 측정하고자 한다.

본 연구에서는 다음과 같은 순서로 연구를 진행하였다.

- 2장에서는 적외선 열화상 카메라의 측정이론 및 시스템 구성에 대하여 서술 하였다.
- 3장에서는 SM45C 금속소재의 녹으로 인한 표면 부식 측정을 적외선 열화상 기법을 적용하여 결함 검출 측정 가능여부를 검토하였다.
- 3. 4장에서는 Stainless steel 금속소재의 내부 인공결함 시편을 제작하여 적외선 열화상 카메라의 비파괴평가 기법을 적용하였고 그 유용성을 검증하였다.
- 마지막으로 5장에서는 부식 및 결함에 대해 적외선 열화상 카메라 기법을 적 용한 연구결과를 통하여 얻어진 결과를 종합하였다.

## 제 2 장 적외선 열화상 측정이론 및 시스템 구성

#### 제 1 절 적외선 열화상 카메라 측정 이론<sup>16)</sup>

전자기 스펙트럼은 대역(Band)이라고 부르는 많은 파장의 영역으로 나눌 수 있다. 여기에는 전자기 스펙트럼의 다른 대역간의 기본적인 차이점은 없고 모두가 동일 법칙에 의해 지배를 받고 있으며 유일한 차이점은 단지 파장의 차이 뿐이라 는 사실이다. 적외선 열화상 카메라는 Fig. 2-1에 나타낸 바와 같이 2µm~13µm 대 역을 사용한다.



Fig. 2-1 Electromagnetic spectrum.

여기서 SW(Short wave) 영역은 2µm~5µm의 대역을 사용하고 LW(Long wave) 영역은 8µm~12µm의 대역을 사용한다. 중간에 5µm~8µm의 대역에서는 Fig. 2-2에 나타낸 바와 같이 공기중의 수증기에서의 전달율이 0%를 나타내고 있으므 로 적외선 검출이 불가능하기 때문이다. 또한 SW 영역에서는 고온의 적외선 검출 이 용이하고 LW 영역에서는 저온의 적외선 검출이 용이하다.



Fig. 2-2 Atmospheric transmission over 1 nautical mile.

본 연구에 사용된 적외선 카메라는 AGEMA사에서 제작한 Thermovision 900 SW/TE 기종이며 빛이 물체에 방사되어 나오는 각종 파장 중에서 적외선 부분만 을 검출해 내어 온도분포를 측정한다. Thermovision 900 적외선 스캐너는 일정한 분광 범위에서 적외선 복사선을 측정한다. 이는 일반 적외선 부분만을 추출하여 이 적외선 파장 에너지를 전기 신호로 변환하여 영상을 통한 열상을 보여주는 것이다. 여기서 어떤 파장이라도 그것에 부딪히는 모든 복사선을 흡수하는 물체를 흑체 (Blackbody)라고 정의하는데, 이는 모든 빛을 똑같이 방출시킬 수 있다는 것이며 이 온도 검출은 흑체를 기준으로 하여 보정된 값으로 나타낸다. 스캐너 출력을 위 한 흑체 온도 함수로 나타내는 보정기능은 대상물의 정확한 온도를 재기 위한 방 사에너지 변환에 사용된다. 스캐너 디텍터에 의해 받아들여진 방사에너지는 물체로 부터 뿐만 아니라 주변, 대기, 스캐너 공학계에서 나오는 방사에너지로 되어있다. 방사에너지는 대기와 스캐너 광학계에 의해 역시 감쇄된다. 이 모든 요인은 대상물 의 온도 계산에 포함되어 있다.



Fig. 2-3 Radiation contributions to the general measurement situation.

대기와 물체 방사율에 영향을 미치는 보정은 열상에 존재하는 부수적인 방사 에너지는 대기에 의해 감쇄된 피사체로부터의 방사에너지 뿐만 아니라 주위로부터 의 방사에너지, 즉 대기자체에서 방사된 방사에너지와 대기에 의한 감쇄와 물체에 서 반사되어진 방사에너지로 존재한다. 피사체 방사에너지 강도는 존재하지 않는 완전한 흑체 방사율의 함수와 같다. 이에 상응하는 측정공식은 시스템 컨트롤러에 포함된 ERIKA 소프트웨어 안에 주어진다. 측정공식은 식(2-1)과 같이 표현된다. 여기에서 첫 번째 항은 피사체의 방사, 두 번째 항은 주위에서 반사된 방사, 세 번 째 항은 대기에서의 방사를 나타내고 있다.

 $I_m = I(T_{obj}) \times \tau \times \varepsilon + \tau (1 - \varepsilon) \times I(T_{amb}) + (1 - \tau) \times I(T_{atm})$ (2-1)

이 측정 공식은 Thermovision 900에 의해 자동적으로 계산되나 Operator는 현

재 측정 환경에 대한 방사, 피사체거리, 상대 습도, 대기 온도, 반사된 주위 온도 등의 피사체 매개변수를 입력해야 한다.

스캐너로부터 반사된 방사에너지의 교정은 스캐너와 그 고유 광학계로부터 반 사된 스캐너 온도에 의한 방사에너지 교정은 Thermovision 900에서 자동적으로 실 행된다. 이것은 두 흑체 온도를 참고로 하는 4개의 온도센서 스캐너를 사용하는 마 이크로프로세서로 컨트롤된 시스템에 의해 실행된다. 이것은 방사에너지가 교정된 렌즈의 온도센서가 포함된다.

교정기능은 블랙바디온도와 스캐너의 신호 출력간의 비 선형 관계를 표현해 준다. 각 렌즈, 필터와 영역 조합은 그 자신이 교정 기능을 가지고 있다. 이 기능에 대한 상수는 스캐너에 저장되어 있고 시스템은 자동으로 사용된 조합에 대하여 적 당한 상수를 선택한다. 교정기능은 Plank 법칙과 스캐너 및 필터의 분광 응답을 이 용하여 계산하지만 더 많은 정확한 결과는 측정에 의해서 얻을 수 있다. 이는 많은 블랙바디 소스가 스캐너로 측정되었을 때 측정 중에 이루어 질 수 있는 것이다. Thermovision 900에 사용되어진 교정기능은 일부 Plank 법칙과 일부 경험적인 것 에 의존한다.

 $I=R/(\exp(B/T)-F)$ 

식 (2-2)에서 /는 온도 값이고 /은 대응인자, / B는 분광인자, / F는 모형인자 며, / T는 물체의 온도이다. 또한 식(2-2)에서 스캐너의 출력 신호는 입사된 방사에 너지와 비례한다는 가정을 갖는다.

(2-2)

검출기의 응답은 비선형이기 때문에 네 번째 측정 상승의 보정 기능이 Thermovision 900에 덧붙어 작은 비 선형 에러를 보정하여 준다. 비선형 교정은 화상이 저장되거나 또는 그 반대로 조작되기 전에 표를 봄으로써 가능하다.

 $I_{s} = U/(1 - (U \times L))$ (2-3)

여기서 U는 스케너 안에 A/D 변환기로부터의 비디오 신호이며 Z은 비 선형 상수, I<sub>s</sub>는 "Object signal"이다. 또한 "Object signal"은 측정 표시 단위이고 이 신호는 비선형적인 교정을 거친 후 표시된다. 이 신호는 광 방사에너지와 비례 한다.

피사체 매개변수들의 선정은 특정한 측정 상황을 설명한다. 그리고 대상물 온 도에서 방사에너지 값의 전환에 앞서 피사체 교정을 위해 요구한 매개변수들 -방 사율과 대기에 의한 영향-을 소프트에서 포함하고 있다. 피사체 매개변수들의 선정 은 실제 측정 상황이 스스로 저장되었기 때문에 저장되고 되 불려질 수 있다. 피사 체 매개변수들은 방사 계수, 대기온도, 주위 온도, 피사체거리, 상대 습도, 반사된 주위 온도 영향을 포함하고 있다.

방사율의 경우 실제 피사체는 거의 "Black"이 아니기 때문에 방사요인은 측정 식으로 나타난 적외선 온도 측정으로 고려하여야 한다. 피사체 방사는 측정 될 수 도 있고 표에서 찾을 수 있다. 보통 피사체 재질과 표면은 약 0.1~0.95 범위에서 방사율을 갖는다. 광택이 많이 나는(거울) 표면은 0.1이하로 떨어지고 산화 혹은 폐 인트 표면은 방사가 아주 크게 증가한다. 사람 피부 방사율은 1에 가깝게 표시된 다. 보통 재료의 방사율을 부록에 표시하였다. 반사된 주위온도에서 불투명한 피사 체의 반사요인은  $\rho = 1 - \epsilon$ 로써 얻을 수 있다. 따라서 낮은 방사 요인은 피사체로 부터의 방사율이 같은 온도의 흑체의 그 것보다 낮을 뿐만 아니라, 주위로부터 바 람직하지 않은 복사가 피사체에서 반사되어 스캐너로 들어오게 됨을 의미한다. 측 정식은 이 복사를 보정하며, 이 보정은 반사된 주위온도(피사체 주위 온도의 평균 값)에 근거한 것이다. 대부분 대기온도, 반사 주위 온도 값은 같은 것이라 생각한 다.

대기온도는 피사체와 스케너 사이의 대기 온도를 말한다. 그 경로의 온도가 과 도하게 변화한 경우, 그 때의 평균값이 사용된다.

계산된 투과율은 스펙트럼 대역에서 대기흡수 적외선 복사의 구성을 사용하고 있다. 가장 중요한 가스들은 물(기체)과 이산화탄소이다. 이 흡수는 피사체에서 측 정된 적외선 복사를 엷게 할 것이다. 이 대기 희박 효과는 측정 공식에 의해 보상 된다. 측정 공식은 피사체와 스펙트럼 안에 복사에 의한 앞 렌즈사이의 대기 투과 율을 의미하는 상수 τ를 사용한다. 이 τ는 피사체 거리, 대기 온도, 상대습도의 기능으로써 τ가 계산된 소프트웨어로 계산 할 수 있고, τ값이 측정에 의해 또는 LOWTRAN과 같은 고기능 대기용 모델로부터 알려 질 수 있다면 직접 입력에 의 해 계산될 수도 있다. 만약 오퍼레이터가 τ값을 입력한다면 추정된 τ는 소프트웨 어에 의해 계산된 값을 무시 할 것이다.

공식은 효과적인 대기 투과율을 계산하기 위해서 소프트웨어가 사용한 식은 다음과 같이 경험적이다.

 $\tau = X \times \exp\left(-\sqrt{a}\left(\alpha_{1} + \beta_{1}\sqrt{W}\right)\right) + (1 - X) \times \exp\left(-\sqrt{a}\left(\alpha_{2} + \beta_{2}\sqrt{W}\right)\right)$  (2-4)

여기서 τ는 효과적인 대기 투과율이고, *X*는 무게 요인, α<sub>1</sub>와 α<sub>2</sub> 은 감쇠 계수, β<sub>1</sub>와 β<sub>2</sub>는 수증기과 관련된 감쇠 계수, *d*는 물체과 스케너 렌즈 앞쪽 사 이의 거리, *W*는 equivalent water content (소프트웨어로부터 계산된 상대습도와 대기온도의 함수)이다. 대기 상수 *X*, α<sub>1</sub>, α<sub>2</sub>, β<sub>1</sub>, β<sub>2</sub>는 수증기 함수와 피사체 거리 사이에 계산된 것으로 알고리즘에 알맞게 계산되었다. LOWTRAN 대기 모델에서 모든 스펙트럼은 Thermovision 900 스캐너와 전형적인 대기 안에 표준 필터에 의 한 값은 이끌어내 사용된다. 이 모든 대기 상수는 새 필터를 선택했을 때 자동적으 로 적재된 것과 스캐너 안에 포함된다.

추정 투과율에서 가끔 측정 조건은 트릭이 있을 수 있고, 대기를 통한 전송 계 산에 있어서 정상적인 연산 방식이 적용되지 않을 수 있다. 그와 같은 경우 그것은 종렬 추종 투과율로 값을 세팅하므로 자동적으로 계산된 대기 전송을 무시 할 수 가 있다. 즉 이는 측정통로에서 사파이어 윈도우가 있을 경우인 것이다. 이러한 윈 도우는 0.87의 투과율을 갖고 있고, 이는 계산된 투과율을 곱해야 한다. 추정 투과 율 값은 보통 전혀 값을 갖지 않는다. 그리고 0은 사용되지 않는다.

상대습도는 피사체와 스캐너 사이의 대기의 상대 습도이다. 이 매개변수는 유 효 대기 투과율의 계산에 사용된다.

$$I_{o}' = \varepsilon_{o} \tau_{o} I_{o} + \tau_{o} (1 - \varepsilon_{o}) I_{a} + (1 - \tau_{o}) I_{atm}$$

$$\tag{2-5}$$

$$I_o = \frac{R}{e^{b/T_o - F}} - \dots - (a)$$

여기서 I<sub>o</sub>는 물체 방사를 위한 디지털 값이고, I<sub>o</sub>'는 스케너로부터 받아들인 총 방사량(디지털 값에서), R, B, F는 보정 매개변수, T<sub>o</sub>는 물체의 온도, ε<sub>o</sub>는 물체 의 방사율, τ<sub>o</sub>는 물체의 투과율, I<sub>a</sub>은 (a)에 의하여 변환된 주변의 온도, I<sub>atm</sub>은 (a)에 의하여 변환된 대기의 온도이며, 투과율 τ는 계산된 투과율 공식 의해 계산 된다. 공식에서 W 인자는 다음 식에 의해 계산된다.

₩ = 상대습도(RelHum)×특정 온도에서 침전수 상수(precipitable watercontent)(2-6)

Water content는 다음 식에서 표현할 수 있다.

$$\operatorname{PrecWater} = \exp\left(k_{1} + k_{2} \times T + k_{3} \times T^{2} + k_{4} \times T^{3}\right)$$

$$(2-7)$$

```
W = \operatorname{RelHum} \times \exp\left(k1 + k2 \times T + k3 \times T^2 + k4 \times T^3\right) (2-8)
\varphi \neq \varphi \neq \varphi
```

- *k*1 = 1.5587
- k2 = 6.939E-2
- *k*3 = -2.7816E-4
- *k*4 = 6.8455E-7
- 이다.17)

적외선 열화상 기술에는 기본적인 Pulse 적외선 열화상 기술과 Lock-in 적외 선 열화상 기술, Pulse-phase적외선 열화상 기술이 있다.

Pulse 적외선 열화상 기술은 적외선 열화상 테크닉에 있어서 가장 보편적인 열 자극 방법 중 하나로 짧은 열자극 펄스에 의한 시험의 신속성 때문이며 짧은 순간 의 열 자극은 사용이 편리한 heating sources를 이용하여 평판에 직접 주사하는 방 법을 취한다. 더욱이 신속한 열 자극은 재료의 손상을 방지한다.

기본적으로 Pulse 기술은 시편에 순간의 열 자극을 주고, 이때의 온도 변화를 기록하는 것이며 온도 변화는 금속의 내부로 전파의 산란으로 인하여 매우 빨리 변화한다. 이때 시편 결함검출에 있어서 깊이에 따라 표면 온도를 관찰시 주위의 온도가 달리 나올 것이다. 깊은 결함일수록 명암의 대비가 검출하기 수월해진다.

Fig. 2-4는 적외선 열화상기술 중 Pulse technique을 나타내고 있다.



Fig. 2-4 Infrared thermography (Pulse technique)

Lock 적외선 열화상 기술은 모듈레이터 램프의 레이저 공학에서 기초되었고 측 정 대상체에 저주파의 thermal wave를 동시에 주사하여 IR 장비로 측정을 하는 원 리이다. 또한 IR 장비 검출기로 주사된 물체에 대해서 수많은 점중에서 단지 1개의 점에 대해서만 모니터링이 가능하다는 점이다.

Fig. 2-5는 적외선 열화상기술 중 Lock-in technique을 나타내고 있다.



Fig. 2-5 Infrared thermography (Lock-in technique)

## 제 2 절 적외선 열화상 카메라 시스템 구성

본 연구에 사용한 적외선열화상카메라 Thermovision 900 system은 AGEMA 적외선 SYSTEM AB에서 생산한 적외선 스캐닝 시스템을 사용하였다. 이중채널 마이크로프로세서를 기초로 하는 제어기 부분에서는 2개의 68020 프로세서가 사용 되고 32비트 VME버스, 2개의 16비트 IR버스가 사용된다. 스캐너의 냉각방식은 열 전기식이며 검출형태는 2개의 스프리트, 직렬 스캐닝, 2~5.4 마이크론 스펙트럼 응 답을 보이며 온도 범위는 -10°C~500°C(고온 필터 사용 시 2,000°C까지 검출이 가 능), 민감도는 30°C에서 0.1°C, 공간해상도는 140원소/LINE(50%변조), IR라인 주파 수 3.5kHZ, 심플/라인 204를 갖추고 있다. 다음 Fig. 2-6은 적외선 열화상 카메라 Thermovision 900 system의 전체적인 모습을 보여주고 있다.

	Number	Description
	1	SW/TE Scanner
- 1 - 6	2	25°Lens
	3	Focus control motor
	4	Monitor
	5	Keyboard
THE AND THE AND	6	Computer

Fig. 2-6 Thermovision 900 system

1. 시스템 제어기

시스템 제어기는 산업표준 VME BUS를 기초해서 만들어진 마이크로 컴퓨터 이며 Thermovision 900 System 스캐너와 함께 사용하도록 특별히 설계 되어있고 다음과 같은 특징이 있다. OS9 운영시스템 아래 X윈도우 시스템을 사용하고 2개의 68020 프로세서를 사용하며 화상조절을 위해 특별히 내장된 조절 장치와 ENHANCED 키보드를 사용하고 4+8Mb DRAM를 포함하고 있다. 또한 두 개의 스케너 신호를 동시에 전송 할 수 있는 시스템을 가지고 있다.

시스템 제어기는 Thermovision 900을 위해 특별히 설계된 마이크로 컴퓨터로서 특별히 시스템제어를 하는 ENHANCE 키보드, 마우스, VGA모니터, 간편한 데스크 탑 하우징에 있는 마이크로 프로세서를 기초로 하는 프로세서 장치, 변조 설계로 구성된다. 시스템은 리얼 타임 환경, 메뉴드라이브를 쉽게 사용 할 수 있도록 OS9 운영 시스템 아래 X윈도우 시스템을 사용한다.

프로세서 장치는 프로세서와 인터페이스 보드, 시스템 버스, 디스크 드라이브, 스캐너에 필요한 전원 공급을 포함한다. 3개의 메인 버스는 산업표준 VME 32비트 시스템버스, 스캐너 인터페이스를 위한 2개의 IR버스로 프로세서 장치에서 사용한 다. 프로세서 장치는 기본적인 싱글 혹은 듀얼 스캐너 시스템을 위해 사용 할 수 있는 5개의 보드 슬롯 중 프로세서를 위한 것 1개, 스캐너 인터페이스와 디스플레 이 인터페이스 보드 등 3개를 사용한다. 스캐너로부터 데이터입력은 완전한 온도범 위에서 고 해상도를 주는 12비트 디지털 형태이다. 레벨과 SPAN 셋팅은 화상을 기록하기 전에 요구되지 않는다. 화상데이터는 12비트 형태로 저장됨으로써 차후 분석은 리얼 분석과 같은 정확도로 수행 될 수 있다.

모든 화상은 순차적 기록으로 수행되고 하드디스크에 화상을 저장한다. 기록율 은 하드디스크 속도와 실제 디렉토리의 화상의 양에 의존한다. 만약 모든 화상이 렘 혹은 하드디스크에 저장된다면, 파열 기록 옵션이 설치되어 있어야 한다.

시스템 소프트웨어는 시스템 제어기 안에 장착된 100/500Mb winchester 디스 크에 저장되어 있다. 시스템 ETHERNET인터페이스 혹은 2개의 RS232-C 커넥터 중 하나를 경유해서 멀리 호스트 컴퓨터에 연결되어 제어 될 수 있고 데이터를 교 환 될 수 있다. Thermovision 900 스캐너는 간편하고, 가벼운 변조 설계장치이다. 모든 광학적인 전자 모듈은 알루미늄 샤시 주위에 위치하고 있고 이는 스캐너의 Base plate를 형성하고 있다. 2. 스캐너

스캐너 기기는 적외선을 Digital 신호로 전환 할 수 있고 이는 시스템 컨트롤 러로써 해석 할 수 있다. 또한 칼라 혹은 Grey스케일로 물체의 상을 보여주는데 사용되고 있다. 스캐너에서 적외선 복사는 12비트 디지털신호로 변환된다. 이는 중 간 케이블 또는 광섬유 접속 부위를 지나 Process unit로 들어간다. 스캐너는 광 스캐닝 모듈 LK4, 검색 모듈 합병 신호 변조기, 신호-수치 변환기, 마이크로 프로 세서 보드 및 서보 모터 제어 보드로 구성된다. 주사는 부교착이고 2개의 다른 프 레임 레이트에서 발생된다.

스캐너는 복사선을 광학 스캐닝 모듈에 있는 첫번째 스캐닝 거울에 초점을 맞 추고 이 거울은 DC모터토크에 의해 수평면으로 진동한다. 진동 거울의 빔은 3개의 고정 거울에 의해 회전 수평 거울 꼭지점으로 도달한다. 진동 거울과 다각형 거울 은 서보 모터 제어 보드로부터 제어된다. 이 거울들의 비디오 클램스텐은 2개의 온 도 레퍼런스 110을 유지하는 고온도 레퍼런스, 내부온도에 의한 저온도 레퍼런스를 에워싸고 있다. 이 참조는 3번째 고정된 거울 안쪽에 위치한다. 회전 다각형 거울 로부터 관련된 빔은 다각형의 반대 면에 2개의 멀리 고정된 거울에 의해 초점이 맞추어져 있다. 필터, 휠, 최종으로 검출기의 초점이 맞추어지고 선택 할 수 있는 구경을 포함하여 교체 시각을 설치함으로 통과한다.

검출기 출력은 전치증폭기를 통하여 통과되고 아날로그에서 디지털 컨버터로 제어 회로를 얻을 수 있다. 12비트 신호 통과로부터 프로세서 보드까지 시스템 제 어기에 전송을 위한 병렬에서 직렬형태로 바뀐다. 스캐너는 3개의 분리된 온도 센 서에 알맞고 스캐너의 방사된 것을 위해 보상하기 위한 레퍼런스이다. 2개의 온도 를 보상하기 위해 스캐너는 3개의 분리된 온도센서와 스캐너에 의해 복사 방출을 보상하기 위하여 2개의 레퍼런스가 있다.

온도센서는 렌즈. 구경 뒤에 검출기, 교체렌즈와 필터 휠 안에 위치한다. 검출 기에 있는 센서는 온도가 정확한 화상 설명을 위해 올바른 검출기의 온도 상태를 주도록 사용한다. 2개의 레퍼런스는 스캐닝 모듈에 위치한다. 교체 할 수 있는 렌 즈에 위치한 멀리 온도 센서 렌즈 장치로부터 복사로 보상하기 위해 스캐너 프로 세서에 의해 사용한다.

#### 3. Research Package 900

Fig. 2-7에서는 본 실험에 사용된 스케너의 이동성을 최대화하기 위하여 시스 템 컨트롤러 대신에 노트북을 연결할 수 있는 장비이다. 노트북용 PC 인터페이스 카드와 카메라, PC 카드의 연결을 위한 Power scanner, 전원 공급을 위한 전원 장 치로 구성이 비교적 간단화 되었다.



Fig. 2-7 Infrared thermal vision camera system for potable.

## 제 3 장 적외선 열화상 카메라를 이용한 SM45C

## 금속 소재 표면 부식 측정

기존에 연구된 부식에 의한 결함이나 두께 감육 측정법은 음향방출(Acoustic Emission)법, 초음파를 이용하기 위한 EMAT법, Laser 유도 초음파법등 있다. 그 러나 이러한 비파괴 검사법들은 산업현장 접근성면에서 단점을 가지고 있다. EMAT법은 구조물 표면에 자력을 발생시키기 위하여 수mm로 접근하여야 하고, Laser를 이용한 방법은 원거리 비파괴 검사가 가능하나 구조물의 표면상태에 따라 결함 검출이 불가능 할 수도 있다.

최근 비파괴 검사방법중 주목 받는 검사법인 적외선 열화상법을 이용하면 기존 비파괴 검사법이 가지는 단점을 해소하리라 생각된다.

본 3장에서는 적외선 열화상 카메라를 이용하여 SM45C 금속부재의 부식측정을 비파괴검사에 응용하고자 열화상 카메라를 이용하여 부식결함의 열화상 이미지 및 온도분포 특성을 알아보았으며 부식 결함의 유무를 확인할 수 있었다.

#### 제 1 절 표면 부식 측정 시스템 구성 및 실험 방법

#### 1. 실험 시편

본 연구에 사용된 시험편은 기계구조용 중탄소강인 SM45C는 고주파 담금질에 의해 표면을 경화시키면 피로 강도가 높아져 마모에 강한 기계부품으로 사용할 수 있어 그 용도가 광범위하며 SM45C의 기계적 성질은 밀도(ρ) 7.85g/cm<sup>3</sup>, 인장강도 48 Kgf/mm<sup>2</sup>, 연신율 20% 이다.

적외선 열화상 카메라를 이용하여 페인트 하부에 있는 부식결함과 크랙을 검출 하기 위한 인공결함 시험편은 탄소강(SM45C)을 이용하여 외형을 150mm×50mm ×3mm(L×W×T)의 크기로 제작하였다. 결함으로는 원형과 사각형의 부식형상을 만 들었고 열화상 이미지를 이용한 결함 검출의 성능 검증을 위하여 여러 크기의 결 함을 제작하였다. 또한 깊이 0.5mm의 크랙형상을 제작하여 선형결함 검출 능력을 비교하였다.

부식 시편에 대해서는 페인트 하부에 있는 부식결함을 측정하기 위한 것으로 부식 시편 위에 검정색 무광페인트를 도포하였다.

다음 Fig.3-1~Fig.3-5는 본 연구에 사용된 표면 부식 및 크랙 시편을 보여주고 있다.



Fig. 3-1 Circle corrosion defect and dimensions in carbon steel



Fig. 3-2 Circle corrosion defect and dimensions in carbon steel



Fig. 3-3 Rectangular corrosion defect and dimensions in carbon steel



Fig. 3-4 Rectangular corrosion defect and dimensions in carbon steel



Fig. 3-5 Crack defect in carbon steel

2. 시스템 구성

실험에 사용된 적외선 열화상 카메라는 AGEMA사에서 제작한 Thermovision 900 SW/TE이다. 적외선 열화상 카메라 스캐너의 냉각방식은 TE(Thermal Electric)이며 검출형태는 2개의 스프리트, 직렬 scanning, 2 ~ 5.4 마이크론 스펙트 럼 응답을 보이며 온도범위는 -10℃ ~ 500℃(고온 필터 사용 시 2000℃까지 검출), 민감도는 30℃에서 0.1℃, 공간 해상도는 104원소/Line(50%변조), IR line frequency 는 3.5Khz이다. Fig.3-6에서는 X-Windows OS(operation system)에서 운영되는 Thermovision 900 system을 microsoft windows OS 기반 laptop computer에 연결 할 수 있게 해주는 Research Package900을 나타내고 있다.



Fig. 3-6 Component of thermovision 900 system

IR 열화상 검사의 난점은 검사표면으로 많은 양의 열에너지를 균일하게 공급하 는 것이다. 제작된 시험편의 적외선 열화상 카메라 촬영을 위해서는 일정한 온도로 가열하는 장치가 필요하다. 본 연구에서는 빛을 이용하여 시험편의 표면을 가열하 였고, 시험편으로 1M 떨어진 위치에서 할로겐 램프를 이용하여 가열하도록 설계하 였다. 시험편의 주위는 실제 조건과 같게 하기 위하여 단열은 하지 않았다. 또한 외부 열원을 차단하여 최적의 실험 상태를 유지하기 위해서 암실을 제작하여 그 안에서 실험을 시행하였다.

다음 Fig. 3-7은 결함 검출을 위한 실험 장치의 구성도를 보여주고 있다.



Fig. 3-7 Experiment diagram for defect detection

3. 실험 방법

실험 방법은 결함의 형상이 틀린 부식 시험편을 제작하고 시험편의 한쪽면에서 할로겐 램프로 가열하고 열전도율의 차에 의해 발생하는 반대면 열분포를 적외선 열화상 카메라로 측정하는 방식으로 실험을 진행하였다. 또한 적외선 열화상 카메 라와 시험편간의 거리는 대기의 영향으로 적외선이 감쇠되는 것을 최소화시켜 선 명한 열화상을 얻기 위해 카메라의 최적 초점거리(1M)로 하였다.

시험편의 가열 방법은 60W의 할로겐 램프를 이용하였고 램프의 온도는 약 20 0℃이며 램프와 시험편간의 간격은 열화상 이미지 측정시 열화상 카메라에 영향을 주지 않도록 카메라 렌즈 위치와 동일한 1M로 하여 빛에 의한 직접적인 가열 방 법을 택하였다.

시험편의 표면은 외부광원으로부터의 난반사를 제외시키면서 페인트 하부에 결 함을 검출하기 위하여 블랙 페인트를 도포하였다.

열화상 이미지는 10초에 한프레임씩 촬영하였으며 각 시험편당 5분간 가열한 후 5분간 냉각시켰으며 총 60프레임을 촬영하으며 실험 data는 부식 시편의 결함 유무를 측정하기 위하여 가열 후 3분에서 측정하였다.

#### 제 2 절 실험 결과 및 고찰

1. 열화상 카메라를 이용한 열화상 이미지 및 온도 분포 측정

SM45C 금속소재에 대한 부식결함을 측정하기 위하여 원형 형상의 부식결함 시 편 2개와 사각형 부식결함 시편 2개, 깊이 0.5mm Crack시편 1개를 적외선 열화상 카메라를 이용하여 측정하였다.

Fig. 3-8~Fig 3-12는 5개의 결함시편에 대한 열화상 이미지 및 온도 분포를 나타내고있다.

Fig. 3-8~Fig 3-9는 원형 표면 부식결함에 대하여 (a)는 구간별 (b)는 전체 열 화상 이미지 및 온도분포를 나타내고 있다.

Fig. 3-10~Fig. 3-11은 사각형 부식결함에 대하여 (a)는 구간별 (b)는 전체 열 화상 이미지 및 온도분포를 나타내고 있다.

Fig. 12는 0.5mm 깊이의 Crack 형상을 가진 결함에 대하여 (a)는 구간별 (b)는 전체 열화상 이미지 및 온도분포를 나타내고 있다.



(a) Division data



Fig. 3-8 Thermography image and temperature distribution for circle defect in carbon steel



(a) Division data



Fig. 3-9 Thermography image and temperature distribution for circle defect in carbon steel



(a) Division data



(b) Whole data

Fig. 3-10 Thermography image and temperature distribution for rectangle defect in carbon steel



(a) Division data



Fig. 3–11 Thermography image and temperature distribution for rectangle defect in carbon steel



(a) Division data



(b) Whole data

Fig. 3-12 Thermography image and temperature distribution for crack defect in carbon steel

#### 2. 요 약

열화상 이미지에서 보이는 것과 같이 결함의 크기와는 상관없이 각각의 결함의 형상에 따른 결함 검출은 일부시편을 빼고는 선명하게 확인할 수 있었으며 확인이 잘되지 않는 시편에 대해서는 온도 그래프를 보고 결함을 유추할 수 있었다. 결함 부위와 무결함부위의 온도 차이는 평균 2~4℃의 차이를 보였으며 일부에 대해서 는 4℃이상 차이가 나는 곳도 있었다. 부식결함이 존재한 곳의 온도가 주위온도보 다 낮다는 것을 알 수 있는데, 이는 열전도율의 상관관계에 따라 부식결함이라는 열전도 개체의 존재 유무에 따라 시편에 전달되는 열에너지의 크기가 다르기 때문 이라고 해석 할 수 있다.

Crack 결함의 경우 부식결함과 같이 열화상 이미지에서 선명하게 확인이 가능 하였으며, Crack 부분의 온도가 주위의 온도보다 낮음을 확인 할 수 있다.

# 제 4 장 적외선 열화상 카메라를 이용한 금속 소재의 내부 결함 검출

금속소재의 비파괴적 평가방법으로 RT와 UT등 여러 가지 방법이 사용되고 있 다. 그러나 이러한 방법들은 산업현장에서의 접근성면에서 단점을 가지고 있고 구 조물의 표면상태에 따라서 결함 검출의 어려움이 따르기도 한다.

금속내부에 결함이 존재하면 금속과 결함의 열전도율에 차이가 나게 된다. 이를 이용하여 결함이 존재하는 부위와 그렇지 않은 부위의 온도차로 내부 결함의 존재 를 확인할 수 있다. 열전도율의 차에 의해 나타난 표면의 온도차는 적외선 열화상 카메라를 이용하여 광범위한 부위를 단시간에 파악함으로써 기존의 비파괴 검사 법의 단점을 해소할 수 있다.

본 4장에서는 적외선 열화상 카메라를 이용하여 Stainless steel 금속부재의 결 함의 측정 가능여부를 확인하고자 결함의 열화상 이미지 및 온도분포 특성을 알아 보았으며 결함 검출의 확인 가능여부를 확인할 수 있었다.

### 제 1 절 내부 결함 탐상 시스템 구성 및 실험 방법

#### 1. 실험 시편

적외선 열화상 카메라를 사용하여 금속내부에 있는 결함을 검출하기 위한 인공 결함 시험편은 Stainless steel을 이용하여 외형을 50mm×50mm ×15mm(L×W×T) 의 크기로 제작하였다. 결함으로는 용접부에 발생하는 기공을 가상하여 결함을 지 름 20mm의 크기의 원형 결함(3개), 시험편 양쪽으로 관통되어진 사각형 모양의 결 함(2개), 지름 2mm의 기공모양(1개)의 결함을 제작하였으며 시험편의 표면은 외부 광원으로부터의 난반사를 제외시키기 위하여 페인트를 도포하였다. 결함의 형상과 치수는 Fig. 4-1에 나타내었다. Table 1은 실험에 사용된 소재에 대한 사양이다.



Fig. 4-1 Dimensions of defect



Fig. 4-2 Specimens (Stainless steel)

Table 4-1 Property and dimensions of exp. material

	dimension	Thermal conductivity
	(L×W×H, mm)	(k, W/mK)
Stainless	50×50×10	14.40
Air(Defect)	Ø20, 10×50, 25-Ø2	0.014

2. 시스템 구성

본 연구에 사용한 적외선열화상카메라 Thermovision 900 system은 AGEMA 적외선 SYSTEM AB에서 생산한 적외선 스캐닝 시스템을 사용하였다. 이중채널 마이크로프로세서를 기초로 하는 제어기 부분에서는 2개의 68020 V프로세서가 사 용되고 32비트 VME버스, 2개의 16비트 IR버스가 사용된다. 스캐너의 냉각방식은 열 전기식이며 검출형태는 2개의 스프리트, 직렬 스캐닝, 2~5.4 마이크론 스펙트럼 응답을 보이며 온도 범위는 -10°C~500°C(고온 필터 사용 시 2,000°C까지 검출이 가능), 민감도는 30°C에서 0.1°C, 공간해상도는 140원소/LINE(50%변조), IR라인 주 파수 3.5kHZ, 심플/라인 204를 갖추고 있다.

본 연구에서는 빛을 이용하여 시험편의 표면을 균일하게 가열하였고, 시험편으 로 10mm 아래 떨어진 위치에서 할로겐 램프를 이용하여 가열하도록 설계하였다. 시험편의 주위는 실제 조건과 같게 하기 위하여 단열은 하지 않았다. 또한 외부 열 원을 차단하여 최적의 실험 상태를 유지하기 위해서 암실을 제작하여 그 안에서 실험을 시행하였다.



Fig. 4-3 Component of experiment system

3. 실험 방법

본 논문에서는 Fig. 4-1과 같은 결함을 가지는 금속부재를 제작하여 적외선 열 화상 장비를 이용하고 Pulsed 열영상법을 이용하여 고온의 열에너지를 침투시켜 표면의 온도분포를 관찰함으로서 금속부재의 열화상 패턴 및 결함을 검출한다.

실험을 위하여 결함의 형상과 깊이가 틀린 시험편을 제작하고 시험편의 한쪽면 에서 Halongen lamp로 가열하고 열전도율의 차에 의해 발생하는 반대면 열분포를 적외선 열화상 카메라로 측정하는 방식으로 실험을 진행하였다. 또한 적외선 열화 상 카메라와 시험편간의 거리는 대기의 영향으로 적외선이 감쇠되는 것을 최소화 시켜 선명한 열화상을 얻기 위해 카메라의 최적 초점거리(0.5M)로 하였다.

시험편의 가열 방법은 60W의 할로겐 램프를 이용하였고 램프의 온도는 약 20 0℃이며 램프와 시험편간의 간격은 10mm로 하여 빛에 의한 직접적인 가열 방법을 택하였다.

시험편의 표면에 방사율 페인트를 도포하여 방사율 보정과 빛의 반사를 방지하였다. 열화상 이미지는 10초에 한프레임씩 촬영하였으며 각 시험편당 10분간 총 60 프레임을 촬영하였으며 실험 data는 1, 3, 7, 10분에서의 열화상 이미지 및 온도분 포 특성을 파악하였다.

#### 제 2 절 실험 결과 및 고찰

1. 열화상 카메라를 이용한 열화상 이미지 및 온도 분포 측정

Stainless steel 금속소재에 대한 내부 결함을 측정하기 위하여 용접부에 발생 하는 기공을 가상하여 결함을 지름 20mm의 크기의 원형 결함(3개), 시험편 양쪽으 로 관통되어진 사각형 모양의 결함(2개), 지름 2mm의 기공모양(1개)의 결함을 제 작적외선 열화상 카메라를 이용하여 측정하였다.

Fig. 4-4~Fig. 4-5는 표면으로부터 결함의 깊이가 4mm, 7mm인 사각형 인공 결함을 가열시간 1,3,7,10분에서의 (a)는 열화상 이미지와 (b)에서 온도분포를 나타 내고 있다.

Fig. 4-6~Fig. 4-8은 표면으로부터 결함의 깊이가 1mm, 4mm, 7mm인 원형 인공결함을 가열시간 1,3,7,10분에서의 (a)는 열화상 이미지와 (b)에서 온도분포를 나타내고 있다.

Fig. 9는 표면으로부터 1mm 깊이에 있는 원형 기공 결함(지름 2mm, 25개)에 대하여 가열시간 1,3,7,10분에서의 (a)는 열화상 이미지와 (b)에서 온도분포를 나타 내고 있다.

Fig. 10은 4mm, 7mm의 사각형 결함에 대하여 할로겐 램프로 가열 후 10분에서 의 온도 분포 특성을 나타내고 있다.

Fig. 11은 1mm, 4mm, 7mm의 원형 결함에 대하여 할로겐 램프로 가열 후 10분 에서의 온도 분포 특성을 나타내고 있다.

Fig. 12는 1mm깊이의 원형 기공 결함에 대하여 할로겐 램프로 가열 후 10분에 서의 온도 분포 특성을 나타내고 있다.



(a) Thermal image



Fig. 4-4 Thermal image and surface temperature of 4mm rectangle defect



Fig. 4-5 Thermal image and surface temperature of 7mm rectangle defect



Fig. 4-6 Thermal image and surface temperature of 1mm circle defect



(a) Thermal image



(b) Temperature profile





Fig. 4-8 Thermal image and surface temperature of 7mm circle defect



Fig. 4-9 Thermal image and surface temperature of air bubble defect



Fig. 4-10 Surface temperature distribution of rectangle defect



Fig. 4-11 Surface temperature distribution of circle defect



Fig. 4-12 Surface temperature distribution of air bubble defect

5. 요 약

열 영상 이미지를 통한 정성적인 결함 검출에서는 결함 깊이에 따라 표면에서 의 열 분포가 다름을 알 수 있었으며 표면으로부터 결함의 깊이가 멀어질수록 결 함검출이 어려워지는걸 알 수 있다. 결함이 있는 부위와 없는 부위의 온도 차이는 2~4℃정도 차이를 보였으면 Heating time과 결함부위와 무결함 부위의 온도차이 는 많은 차이를 보이지 않았으며 1분이나 3분 Heating으로도 결함검출이 가능 하 였다.

정량적인 데이터 분석을 통한 온도 프로파일에서는 결함이 있는 위치에서의 온 도가 정상부위에서 결함 부위의 온도에 비해 결함 부위의 온도에 비해 낮은걸 알 수 있었으며, 이것은 결함부의 공기층과 시편 재료의 비열과 열전달률 차에 따른 현상으로 볼 수 있다.

열화상 이미지에서 보이는 것과 같이 결함의 깊이(1mm, 4mm, 7mm)와는 상관 없이 각각의 결함의 형상에 따라 결함 검출을 확인할 수 있었고 만약 열전도율이 Stainless steel보다 더 높은 재질로 실험을 하면 결함과 무결함 온도차의 폭은 더 큼을 쉽게 예상이 가능하였다.

#### 제 5 장 결 론

본 연구에서는 SM45C의 부식결함 측정과 Stainless steel의 금속부재 내부결함 의 비파괴검사를 목적으로 적외선 열화상 카메라를 이용하여 결함 측정가능 여부 를 비접촉 비파괴탐상 기법으로 실험을 수행하였으며 그 결론은 다음과 같이 정리 하였다.

- 금속 표면의 부식결함의 형상과 크기를 다양하게 변화시켜 적외선 열화상 이미지를 통하여 결함 검출이 가능함을 확인 할 수 있었고 정량화된 적외선 열화상을 통하여 결함의 형상 및 위치의 추측이 가능하였다.
- 2. 부식결함과 같은 면적결함뿐만 아니라 크랙의 선형결함 검출도 가능하였으며
   타 비파괴 검사법에 비교하여 시간당 검사효율이 좋을뿐만 아니라 산업현장
   의 다양한 환경에서 적용성이 뛰어남을 확인하였다.
- 다양한 형상 및 깊이의 내부 결함에 대하여 적외선 열화상 이미지를 통하여 결함 검출이 가능함을 확인하였으며 결함 위치가 표면과 멀어질수록 정성적 인 결함검출이 어려워지는 걸 알 수 있었다.
- 정량화된 적외선 열화상을 통하여 금속소재 내부 결함의 형상과 위치의 추
   측이 가능하였으며 타 비파괴 측정법에 비하여 현장 적용성 및 시간당 검사 효율이 뛰어남을 알 수 있었다.
- 5. 표면 부식과 내부 결함에 대한 적외선 열화상 기법 적용 결과 타 비파괴 검 사 기법에 비해 단순 결함 측정 유무에서는 경제성, 신속성 및 현장 적용성이 매우 뛰어나는걸 알 수 있었다.

## Reference

- 1. J. M. Lloyd, Thermal Infrared System, Plenum press, 1979
- Cielo P, Maldauue X, Eeom Aa, Lewak R. *Thermograppic Nondestructive Evaluation of Industrial Materials and Structures*, Mat Eval., Vol 45. The American Society for Nondestructive Testing, (1987) p. 452-465
- Vavilov V. Thermal Nondestructive Testing : Hort History and State- of-art. In : Balageas D, Busse G, Carlomagno GM, Editors Proceedings of the Qirt 92, Eurotherm Series 27. EETI ed., (1992) p. 179-193
- 4. Giorleo G, Meola C. Locatin and Geometry of Defects in Composite Laminates from Infrared Images. ASM int J Master Eng Perform (1998)
- Maldague X. Application of Infrared Thermography in Nondestructive Evaluation. In: Rastogi P, Editor. Trends in Optical Nondestructive Testing(Invited Chapter), (2000) p. 591–609
- A. Bentur, S. Diamond and N.S. Berke, "Steel corrosion in concrete : Fundamentals and Civil Engineering Practice", 1997
- 7. John P. Broomfield, "Corrosion of steel in concrete : Understanding, investigation and repair", 1997
- Taylor, S. R.; Isaacs, H. S.; Brooman, E. W., Proceedings of the Symposium on Environmentally Acceptable Inhibitors and Coatings, The Electrochemical Society Inc., Pennington, NJ, U. S. A., 1997
- 김태형, "Lamb-EMAT기법을 이용한 박판의 두께감육 평가에 관한 연구", 서울 산업대학교, 석사학위논문, 2006

- Dewhurst R.J., Edwards c., Mckie A.D., and Palmer, S.B., 1987, "Estimation of the thickness of thin metal sheet using laser generated ultrasound", Appl. Phys. Lett., Vol. 51, No. 14, pp. 1066–1068
- 11. Hutchins D.A., and Lundgren K., 1987, "A laser study of transient Lamb waves in thin materials", J. Acoust. Soc. Am. Vol. 85, No. 4, pp. 1441-1448
- Tsukahara Y., 1991, "Analysis of the elastic wave excitation in solid plates by phase velocity scanning of a laser beam", Appl. Phys Lett., Vol. 59, No. 25, pp. 2384–2385
- Patrick O. Moore, Nondestructive Testing Handbook, Infrared and Thermal Testing, Vol.3, 3rd Ed., ASTM, 2001
- 14. 한영기, "적외선열화상에 의한 금속부재의 비파괴계측 연구", 충남대학교, 석사 학위논문, pp3~18, 2004
- 15. 김재열, 최승현, 송경석, 안연식, 박상기, 최진호, "가스터빈 1단버킷의 운전주기
   에 따른 코팅층 건전성 평가", 한국비파괴검사학회, 춘계학술대회논문집, pp.135-141, 2008.
- 16. 12. 양동조, "적외선 열 화상 카메라를 이용한 주행 중 타이어 트레드부 온도 분포 해석", 조선대학교, 석사학위 논문, pp10-16, 2002
- 17. "Level I Course Manual" Infrared Training Central, 1998, pp. 12-56

#### 감사의 글

어느덧 2년이란 시간이 흘러 한편의 논문을 마무리하면서 아쉬움과 부족함에 대한 후회를 남기면서 저를 도와주신 모든 분들게 감사의 글을 전합니다.

저에게 배움의 길과 연구의 자세를 일깨워주시고 석사과정 동안 아낌없 는 지도편달로 이끌어 주신 김재열 지도교수님께 진심으로 감사드립니다.

논문 심사과정에서 세심한 지도와 조언을 아끼지 않으신 심재기 교수님, 이동기 교수님께 깊은 감사를 드리며 2년동안 많은 지도와 가르침을 주신 김영석 교수님, 오울권 교수님, 유영태 교수님께 감사의 말씀을 드립니다.

부족한 저에게 실험실 생활에서 많은 조언을 해주신 송경석 선배님, 김창 현 선배님, 김우진 선배님 그리고 김진우 선배님, 양호동 선배님, 신호준 선 배님에게 깊은 감사를 드리며 실험실에서 동고동락 하면서 같이 생활한 심 험실 동기 최승현, 정효회 후배 그리고 최진호 후배에게 고맙다는 말 전해 드립니다.

마지막으로 지금까지 저를 낳아주시고 길러주신 어머님 그리고 하늘나라 에 계신 아버지, 할머니, 누나 그리고 동생에게 이 작은 결실을 바치며 진심 으로 머리숙여 감사드립니다.

2008. 06. 나노계측메가트로닉스 실험실에서...

저작물 이용 허락서								
학 과	정밀기계공학과	학 번	20067524	과 정	석사			
성 명	성 명 한글:고 명 석 한문:高 明 錫 영문:Ko myung-seok							
주 소		광주광역	시 광산구 동림동 (	391번지				
연락처		E-MAIL	_ : <u>msko1379@hanma</u>	<u>il.net</u>				
논문제목	한글 : 적외선 결함의 I 영어 : Nondes Corros Techni	열화상 기 비파괴 평기 tructive sion and que Appli	법을 적용한 금속 소 가 Evaluation on M Inside Defect of cation	⊇재의 표면 etal Mate Infrared	! 부식 및 내부 erial Surface Thermography			
본인이 을 이용할	저작한 위의 저작 같 수 있도록 허락;	물에 대하이 하고 동의학	려 다음과 같은 조건여 갑니다.	아래 조선대	학교가 저작물			
<ul> <li>- 다 음 -</li> <li>1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함</li> <li>2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집 · 형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.</li> <li>3. 배포 · 전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.</li> <li>4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.</li> <li>5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.</li> <li>6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음</li> <li>7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송 · 출력을 허락함.</li> </ul>								
동의여부 : 동의( O ) 반대( )								
2008 년 8 월 일								
저작자: 고 명 석 (서명 또는 인)								
조선대학교 총장 귀하								

- 52 -