



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2010년 8월
석사학위논문

초음파 서모그래피를 적용한
내연기관 피스톤의 비파괴
신뢰성평가

조선대학교 대학원

첨단부품소재공학과

양 용 하

초음파 서모그래피를 적용한
내연기관 피스톤의 비파괴
신뢰성평가

A Nondestructive Reliability Evaluation of
Combustion Engine Pistons to which
Ultrasound Thermography Has Been Applied

2010년 8월 25일

조선대학교 대학원

첨단부품소재공학과

양 용 하

초음파 서모그래피를 적용한
내연기관 피스톤의 비파괴
신뢰성평가

지도교수 김 재 열

이 논문을 공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2010년 4월

조선대학교 대학원

첨단부품소재공학과

양 용 하

양용하의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 심재기 (인)

위원 조선대학교 교수 김경석 (인)

위원 조선대학교 교수 김재열 (인)

2010년 5월

조선대학교 대학원

목 차

LIST OF FIGURES	iv
NOMENCLATURE	vii
ABSTRACT	viii
제 1 장 서론	1
제 1 절 연구배경	1
제 2 절 연구목적 및 동향	3
제 2 장 내연기관의 피스톤	5
제 1 절 내연기관	5
1. 가솔린 기관	5
2. 디젤 기관	6
제 2 절 피스톤	8
1. 피스톤의 구조	8
2. 피스톤의 재질	10
3. 피스톤의 손상유형	11
제 3 장 적외선 열화상계측 및 초음파 가진기	14
제 1 절 적외선 열화상계측 시스템	14
1. 적외선 열 측정 이론	14

2. 적외선 열화상 계측 시스템 구성	14
제 2 절 초음파 가진기의 원리 및 구성	26
제 4 장 초음파 서모그래피	28
제 1 절 초음파 서모그래피 시스템	28
제 2 절 초음파 서모그래피 시스템	30
1. 시험장치 구성	30
2. 초음파 혼 설계 제작	31
3. 시험편 제작	32
제 5 장 연구 결과 및 분석	33
제 1 절 초음파 서모그래피 적용	33
1. 적용실험	33
2. 적용실험 결과	34
제 2 절 가솔린 피스톤 초음파 서모그래피	36
1. 피스톤 헤드 계측 분석	36
2. 피스톤 스커트 미세균열 계측 분석	38
3. 피스톤 스커트 절단균열 계측 분석	41
제 2 절 디젤 피스톤 초음파 서모그래피	43
1. 피스톤 헤드 계측 분석	43
2. 피스톤 스커트 미세균열 계측 분석	44
3. 피스톤 스커트 절단균열 계측 분석	47
제 6 장 결 론	49

REFERENCE50

LIST OF FIGURES

Fig. 2-1 Configuration of the piston	9
Fig. 2-2 Petrol engine piston with a crack from one side of the pin hole to the head	12
Fig. 2-3 Diesel engine piston (with cooling gallery) with a crack from one side of the pin hole to the head	12
Fig. 2-4 Diesel engine piston with a crack from one side of the pin hole to the other pin hole going through the head of the piston	13
Fig. 2-5 Engine piston with damaged skirt: (a) piston; (b) detail of damaged skirt	13
Fig. 3-1 The electromagnetic spectrum	1
Fig. 3-2 Atmospheric transmission in different wavelength bands	14
Fig. 3-3 Incident radiation	15
Fig. 3-4 Exitan radiation	15
Fig. 3-5 Radiation contributions to the general measurement situation ..	16
Fig. 3-6 Infrared thermography (Pulse technique)	21
Fig. 3-7 Infrared thermography (Lock-in Technique)	21
Fig. 3-8 Component of thermovision 900 system	22
Fig. 3-9 Schematic diagram of system controller	23
Fig. 3-10 Exploded view of the scanner optical path	24
Fig. 3-11 Schematic diagram of scanner	25
Fig. 3-12 The composition of ultrasonic exciter	26
Fig. 3-13 Converter of the theoretical concepts.	27
Fig. 4-1 Diagram of Heating System using Ultrasonic Excitation	29

Fig. 4-2	DYW-430H Spec	30
Fig. 4-3	DYW-430H	30
Fig. 4-4	The composition of experiment equipment	31
Fig. 4-5	2D design drawings and images of the produced horns	31
Fig. 4-6	Manufactured specimen	32
Fig. 5-1	Pistons used for the experiment	33
Fig. 5-2	Cracks from impact	33
Fig. 5-3	Fixed to press into specimen and horn	34
Fig. 5-4	IR image of piston	34
Fig. 5-5	Spot temperature graph of piston	35
Fig. 5-6	IR image of gasoline piston head	36
Fig. 5-7	Spot temperature graph of gasoline piston head	37
Fig. 5-8	Gasoline piston skirt IR image of microcrack (Appoint the spot by the Vertical way)	38
Fig. 5-9	Gasoline piston skirt spot temperature graph of microcrack (Appoint the spot by the Vertical way)	39
Fig. 5-10	Gasoline piston skirt IR image of microcrack (Appoint the spot by the Horizontal way)	40
Fig. 5-11	Gasoline piston skirt spot temperature graph of microcrack (Appoint the spot by the Horizontal way)	40
Fig. 5-12	Gasoline piston skirt IR image of cutting crack	41
Fig. 5-13	Gasoline piston skirt spot temperature graph of cutting crack ..	42
Fig. 5-14	IR image of Diesel piston head	43
Fig. 5-15	Spot temperature graph of Diesel piston head	44
Fig. 5-16	Diesel piston skirt IR image of microcrack (Appoint the spot by the Vertical way)	44

Fig. 5-17 Diesel piston skirt spot temperature graph of microcrack (Appoint the spot by the Vertical way)	45
Fig. 5-18 Diesel piston skirt IR image of microcrack (Appoint the spot by the Horizontal way)	46
Fig. 5-19 Diesel piston skirt spot temperature graph of microcrack (Appoint the spot by the Horizontal way)	47
Fig. 5-20 Diesel piston skirt infrared image of cutting crack	47
Fig. 5-21 Diesel piston skirt spot temperature graph of cutting crack	48

NOMENCLATURE

B	: Spectrum parameter
C	: Speed of Sound in a Material of Horn
E	: Modules of Elasticity
F	: Model parameter
F	: Frequency
I_m	: Thermal value of measured whole radiation
$I(T)$: Thermal Value
P	: Density
R	: Correspondence parameter
T_{amb}	: Ambient air temperature
T_{atm}	: Atmosphere air temperature
T_{obj}	: Temperature of measurement target
W_b	: Exitance of whole radiant energy
α	: Absorptivity
ϵ	: Emissivity
ρ	: Reflectivity
τ	: Transmissivity
σ	: Stefan-Boltzman constant
λ	: Wavelength

ABSTRACT

A Nondestructive Reliability Evaluation of Combustion Engine Pistons to which Ultrasound Thermography Has Been Applied

Yang Yong-Ha

Advisor : Prof. Kim Jae-Yeol Ph. D.

Department of Precision Mechanical
Engineering,

Graduate School of Chosun University

Passenger cars, trucks, buses, and motorcycles are moved by converting the heat energy generated by burning fuels such as gasoline, diesel, and LPG inside the engine to mechanical energy. Such engine is called “combustion engine,” which is generally used in motor vehicles.

The number of automobile engine parts manufacturers in South Korea was 1,290 in 2008, representing a 200.10% increase from 642 in 2003 and a 962% increase from 134 in 1991. The annual average growth rate of these manufacturers was 13.95% from 1991 to 2008 and 24.23% from 2001 to 2003. Thus, the growth rate during the recent three years increased compared to the growth rate from 1991 to 2003. The domestic automobile engine parts manufacturing industry continuously expanded from 1991 at

the annual average growth rates of 5-30%, and the production has also steadily increased. This growth trend is expected to continue for more than five years in the future. While the domestic automobile engine parts manufacturing industry is continuously growing, the nondestructive testing(NDT) technology for engine parts is still weak.

In South Korea, NDT is used in the three areas of quality control, quality evaluation, and maintenance. The domestic NDT service market is mostly for quality control and quality evaluation related to the product manufacturing processes. The NDT market for maintenance is limited to nuclear-power-related facilities. It is true that the technical level of the South Korean NDT industry is weaker than those of Japan and the U.S., but South Korea has competitiveness in RT, UT, MT, and PT. The percentage of RT and UT, which accounts for over 50% of the NPT market, is 70% in South Korea compared to 55.7% in Japan. This situation will be gradually improved by the increasing share of UT. Among the existing NDT techniques, some are not easy to automate (e.g.,MT) and some have been designated as objects of environmental regulation due to pollution. Thus, the percentages of the use of NDT technologies will gradually change in the future. It is expected that UT, RT, IR, optical, and photonic tests will be used most frequently.

Regarding the status of infrared and thermal testing (IR), the demand for IR for NDT is increasing, thanks to the dramatic development of thermography technology in the last few years and the rapid digitalization from the use of microprocessor and computer technologies.

At present, cutting or radiographic testing is generally used to test

automobile parts. The cutting test can accurately determine the internal quality and can find the defects, but it can damage some parts and can be used only for cutting surfaces. On the other hand, the radiographic test, although nondestructive, has difficulty identifying the exact shape and location of defects. To solve this problem, H Company is researching on the use of computed tomography (CT). CT with several hundreds of kV can effectively analyze the exterior and interior of aluminum parts, but its use is limited for steel, plastic, or polymer parts due to its permeability and resolution problems. Furthermore, the device is voluminous, and it takes a long time for it to produce one image of aluminum parts; it thus takes about five hours for it to scan large parts such as engine blocks and one to two hours to scan small parts. Therefore, CT is appropriate for use in sampling or internal-quality tests on small products, but it is difficult to apply CT to mass production lines that require instant internal-quality tests.

Ultrasound thermography detects defects by radiating 20-30 kHz ultrasound waves to the samples and capturing the heat generated from the defects with the use of an infrared thermographic camera. This technology is being spotlighted as a next-generation NDT technique for the automobile and aerospace industries because it can test large areas and can detect defects such as cracks and exfoliations in real time. The heating mechanism of the ultrasound vibration has not been accurately determined, but the thermomechanical coupling effect and the surface or internal friction are estimated to be the main causes. When this heat is captured by an infrared thermographic camera, the defects inside or on the

surface of objects can be quickly detected. Although this technology can construct a testing device relatively simply and can detect defects within a short time, there are no reliable data about the factors related to its detection ability. The ultrasound waves with a frequency of 20 kHz have elements with wavelengths of several tens of centimeters. Furthermore, they have sufficient amplitude energy even when they progress for a much longer distance than the wavelength. If there is no loss in the material, ultrasound waves can spread for a distance of several wavelengths without attenuation. The typical speed of sound waves in solids is several kilometers per second. When an ultrasound excitation pulse is applied, the sound field completely penetrates the entire test region of a structure with the size of 1 m² or less. If a high-speed infrared thermographic camera with the image-capturing time of several kHz is used, defects with the size of several tens of μ s can be detected. Thus, to effectively cause heat at the defects, the excitation frequencies of 15~40 kHz at the boundary of audible frequencies are used. In general, 20 kHz frequencies are widely used.

In this study, the ultrasound thermography technique was used to manufacture gasoline and diesel engine piston specimens, and nondestructive reliability tests to verify the applicability and validity of the ultrasound thermography technique.

제 1 장 서 론

제 1 절 연구배경

승용차, 트럭, 버스 및 오토바이 등은 가솔린, 디젤, LPG등의 연료를 엔진 내부에서 연소시켜 발생하는 열에너지를 기계적 에너지로 변환시킴으로써 자동차를 움직인다. 이것을 내연기관이라고 하며 일반적으로 자동차에서 사용되는 엔진을 말한다.⁽²⁹⁾

현재 우리나라의 자동차 엔진용 부품 제조업 현황은 2008년도 1290개소로 2003년의 642개소와 비교하여 약200.10% 증가하였고, 1991년도의 134개소와 비교하여 962% 증가하였다. 구체적으로 사업체수의 연평균 성장률을 살펴보면, 1991년부터 2008년까지 연평균 성장률은 13.95%, 2001년부터 2003년까지 연평균 성장률은 24.23%의 성장률을 기록하여 최근 3년간의 연평균 성장률은 1991년부터 2003년까지의 연평균 성장률 보다 증가하였다. 국내 자동차 엔진용 부품 제조산업은 1991년부터 현재까지 연평균 5~30%로 지속적으로 증가했으며 생산량 또한 꾸준히 증가하였으며 이러한 증가세는 향후 5년 이상 지속될 것으로 전망하고 있다. 이렇듯 자동차 엔진용 부품 제조업은 지속적으로 증가하고 있으나 엔진용 부품의 NDT 기술은 미약한 실정이다.⁽²⁵⁾⁽³⁰⁾

국내 NDT 현황으로 비파괴 시험은 품질관리, 품질평가 그리고 보수·관리의 3가지 부문에 이용된다. 국내 NDT 업무 시장의 대부분은 생산품의 제조과정과 관련이 있는 품질관리와 품질평가를 위한 것이고 보수평가에 관한 것은 원자력관련시설 이외는 아주 미미한 상태이다. 국내 비파괴업체의 기술 수준은 일본이나 미국에 비해 열위인 것은 사실이나 RT, UT, MT, PT에 대한 경쟁력은 있다고 본다. 물론 비파괴 검사시장의 50% 이상을 차지하는 RT와 UT의 비중은 일본의 55.7%에 비해 우리는 70%이다. 이것은 UT 비율증가로 점차 해소할 수 있을 것이다. 기존의 NDT 기술들 중에는 자동화가 쉽지 않거나(MT), 공해물질배출로 환경규제 대상으로 지목된 기술(PT)들이 있다. 따라서 앞으로 NDT 기술들은 활용비율이 점차 변화할 것이며, UT와 RT 그리고 IR, 광 및 포토닉 검사가 가장 활용도가 많은 NDT 기술로 응용 될 것으로 예상된다.

국외 적외선 및 열 검사(Infrared & Thermal Testing; IR) 현황으로 지난 수년간 열화상 기술의 획기적인 발전과 마이크로프로세서, 컴퓨터 기술의 접목으로 디지털

화가 빠르게 진행됨에 따라 NDT에 IR기술의 수요가 증가되는 추세이다.

항공우주분야는 적외선/열 화상기술이 항공기보수프로그램에 넓게 이용되고 있다. 적외선 화상기술은 기체의 넓은 영역에 대한 결함을 스캐닝 하는데 효과적이다.

화학/ 석유화학분야는 적외선 서모그래피가 석유·석유화학플랜트의 사전 보수프로그램에 반영되고 있다.

에너지분야는 적외선 및 열화상 방식이 화력, 원자력발전, 송배전설비의 기계장비, 액체이송시스템, 열 교환기 기능을 모니터링 하는데 이용되고 있다. 이 방식은 기능검사와 안전성측면에서 저렴하다.

전기 전자분야는 실시간 IR현미경이 집적회로의 기능서과 수명검사에 이용된다.

제조업분야는 비 접촉 적외선 온도측정 장비들이 제조업에서 이용되고 있다. 제조 공정에서 제품품질향상과 공정의 효율화와 관련하여 온도를 모니터링 하고 제어하는데 적외선카메라가 이용된다. 알루미늄 누출공장, 열연공장, 제강공장의고로, 연속주조, 열처리로 등에서 품질균일화를 위한 온도제어와 관련하여 열화상시스템이 도입되고 있다.

초음파 적외선 영상(Ultrasonic Infrared Imaging : UII) 분야는 물체 속에 결함을 검출하는데 초음파 에너지와 적외선 영상을 함께 응용하는 합성기술이다. 균열 박리 등이 초음파에너지를 받으면 열이 발생하게 되는데 이것들의 위치와 방향을 적외선 영상이 찾아내 해석하게 된다. 미국의 Wayn 주립대학에서 연구개발 중이며 4개의 특허를 획득하였다. Boeing 사도 항공기 동체와 기타구조물의 시험용 UII기에 대한 특허를 취득하였고, GM사는 자동차 산업에 사용할 수 있는 초음파 서모그래피를 개발 중이다.

제 2 절 연구목적

현재 자동차 부품을 검사하기 위한 일반적인 수단으로 절단 또는 방사선 투과검사 기법을 사용하고 있다. 절단 검사는 내부 품질 및 결함을 정확히 파악할 수 있다는 장점이 있지만 부품이 훼손되고 절단면 이외에는 검사할 수 없다는 단점이 있다. 반면 방사선 검사의 경우 비파괴 검사라는 장점이 있지만 결함의 정확한 형상과 위치를 파악하기 어렵다는 한계를 가진다. 이러한 문제점으로 전산화 단층촬영에 대한 연구가 H사에서 진행되고 있다. 하지만 수백 kV급 단층촬영기를 사용하면 알루미늄 부품의 외부와 내부에 대한 효과적인 분석이 가능하나 반면 철강 재료와 플라스틱, 고분자 등의 소재는 투과력과 해상도 등의 문제로 적용 범위가 제한적이다. 또한 장치의 부피가 크며, 알루미늄 부품의 단층 이미지 1장을 촬영하는데 필요한 시간이 1분정도 소요되므로 전체 제품을 스캔하는 경우 엔진 블록과 같은 대형 부품은 5시간 내외, 소물류의 경우 1~2시간 정도가 필요하다. 그러므로 샘플링 검사나 소량 생산품의 내부 품질 확인에 적합한 반면, 즉시 소재 내부 품질 판정을 판별해야 하는 대량 생산 라인이나 현장에서는 적용하기 어렵다.⁽³⁰⁾

초음파 서모그래피 (ultrasound thermography) 기술은 시편에 20~30 kHz 대역의 초음파를 입사하면 결함부에서 발열이 되고, 그 열원을 적외선 열화상 카메라로 측정함으로써 결함을 검출하는 기술이다. 이 기술은 넓은 면적을 동시에 검사 할 수 있고, 크랙 또는 박리와 같은 결함을 실시간으로 검출 할 수 있어 자동차 산업, 우주항공 산업에서 차세대 비파괴 검사기술로 주목 받고 있다. 초음파 가진에 의한 발열 메커니즘은 정확히 규명되지 않았으나, 열-기계 연성효과(thermo-mechanical coupling effect)와 결함 계면사이의 마찰효과(surface friction or internal friction)가 주요한 원인인 것으로 추정되고 있다. 이러한 열을 적외선 열화상 카메라로 측정하면 물체 내 또는 표면에 존재하는 결함을 신속하게 검출할 수 있다. 그러나 이 기술은 비교적 간단하게 시험장치를 구성하여 빠른 시간 내에 결함을 검출 할 수 있으나, 아직까지는 검출능과 관련된 인자들의 신뢰성 있는 데이터는 없다. 20kHz 대역 주파수의 초음파는 수십cm의 파장 성분을 갖는다. 또한 파장 길이보다 훨씬 먼 거리를 진행할 경우에도 초음파는 충분한 진폭 에너지를 가지면서 전파된다. 재료에 손실이 없을 경우 초음파는 감쇠 없이 수파장 이상의 거리를 전파할 수 있다. 일반적으로 고체에서 음파의 속도는 수 km/s 이다. 초음파 여기 펄스가 인가되는

순간에 1m² 이내의 크기를 갖는 구조물의 전 검사 영역을 음장(Sound Field)이 완전히 투과한다. 수 kHz 대의 영상 획득시간을 갖는 초고속 적외선 열화상 카메라를 이용할 경우 수십 μ s 이내에 결함을 검출할 수 있다. 따라서 결함부위에서의 발열을 효과적으로 여기하기 위해 가청 주파수의 경계에 위치하는 15kHz~40kHz 대역의 여기 주파수를 사용하며 일반적으로 20kHz 대역이 널리 사용된다.^(12~17)

본 논문에서는 이러한 초음파 서모그래피 기법을 이용하여 가솔린과 디젤기관의 피스톤을 대상으로 시험편을 제작하고 각각의 피스톤에 맞는 초음파 혼을 최적설계·제작하고 피스톤에 대한 비파괴 신뢰성 평가를 수행하여 현장 적용성 및 타당성을 검증하고자 한다.

제 2 장 내연기관의 피스톤

제 1 절 내연기관

내연기관(Internal combustion engine)이라 함은 광의의 의미에서는 원동기류에 속하는 동력원의 하나이다. 여기서 원동기(Prime mover)라 함은 여러 가지의 자연적 또는 인위적 에너지를 기계적 에너지로 바꾸어 일에 활용할 수 있도록 한 기계를 총칭하는 것이다. 이것은 바람의 힘을 이용한 풍력기계, 물의 힘을 이용한 수력기계, 화력을 이용한 화력기계들이 포함된다. 내연기관은 이들 중 화력을 이용한 화력기계 중의 하나로 볼 수 있으며 이는 열에너지를 기계적 에너지로 변환시키는 기기이다. 특히 내연기관은 연료를 기관내부에서 연소시켜 그 열에너지를 이용하는 기관을 의미하며, 외부에서 연소를 시켜 작동물질인 증기의 압력을 이용하는 기관을 외연기관(External combustion engine)이라고 한다. 내연기관에서 열(Heat)을 일로 바꾸기 위해서는 작동물질(Working substance)이 필요하며 이 작동물질의 변화 과정을 가역적 또는 비가역적으로 순환시키는 것을 내연기관의 사이클이라고 한다. 이 내연기관의 사이클에 의해 기관의 작동원리와 효율, 마력 등이 결정되게 되며 이러한 원리는 열역학적 이론에 그 근거를 두고 있다.⁽²⁹⁾

1. 가솔린 기관

가솔린 기관(Spark ignition engine)은 혼합기를 만들어 연소실에 흡입 후 전기 불꽃에 의해 점화시켜 작동시키는 기관이다. 일반적으로 기화기에서 공기와 연료를 균일하게 혼합시킨후 연소시키며 등적사이클(Otto cycle)로 작동한다. 가솔린 기관은 오토사이클 기관이라고도 하며 대개 4행정기관(Four stroke cycle engine)을 사용하지만 1~2마력 또는 0.7~1.4kw 정도의 동력에서는 2행정기관(Two-stroke cycle engine)을 대부분 사용한다. 가솔린엔진은 대형기관의 경우 수냉식을 사용하며 소형기관의 경우는 공랭식을 주로 사용한다. 산업용기계의 경우는 주로 대형엔진을 사용하며 농업용 또는 토목용기계의 경우는 소형엔진이 많이 쓰인다.

가솔린 엔진의 종류는 피스톤의 운동방식, 가스의 변화, 점화방식, 연료의 공급방

식 등 크게 4가지로 분류된다. 이에 피스톤의 운동방식은 왕복동 엔진과 로터리 엔진, 가스의 변화에 따라 4사이클과 2사이클 엔진, 점화방식에 따라 배터리식과 마그네토식, 연료의 공급방식에 따라 기화기 엔진과 가솔린 분사 엔진 등이 있다. 이러한 엔진들은 모두 가솔린 엔진이라고 하더라도 작동원리는 조금씩 다르다.

가솔린 엔진에서는 가솔린을 연소시켜 열에너지를 얻지만 이 열에너지를 우리들이 필요로 하는 기계적 에너지로 바꾸려면 실린더에 공기와 가솔린의 혼합기를 흡기해 피스톤으로 압축한 후 점화 연소시키면 열에너지를 발생하고 연소가스는 고온이 됨과 동시에 고압이 된다. 이에 실린더 내를 상하로 왕복하는 피스톤의 헤드에 높은 압력이 작용하고 이 압력에 의해 피스톤을 이동시키게 되므로 이것이 기계적 에너지로 바뀌어진다. 피스톤의 운동은 직선왕복운동이기 때문에 이것을 회전운동으로 바꾸기 위해 일반적으로 커넥팅 로드와 크랭크 축의 기구가 사용된다.

피스톤의 운동이 피스톤 핀으로 피스톤에 연결된 커넥팅 로드를 운동시켜 이것에 의해 커넥팅 로드와 연결된 크랭크 축이 회전하는 것을 알 수 있다. 이와 같이 열에너지가 피스톤의 왕복운동으로 바뀌고 왕복운동이 다시 회전동력으로 바뀌어지는 것이다.

피스톤이 주기적 운동을 계속하기 위해서는 연소된 가스는 배출하고 새로운 혼합기를 보충해야 한다. 따라서 크랭크 축의 회전과 연동하는 밸브기구가 필요하고 이 흡·배기구인 밸브를 정확히 타이밍을 맞춰서 개폐한다. 또한 실린더는 그속에서 가스를 연소시키지만 동시에 크랭크 케이스와 같은 고정부분과 더불어 피스톤에 전달하는 가스의 힘에 반력을 지지하고 있다.⁽²⁷⁾

2. 디젤 기관

디젤기관은 고압으로 압축한 고온고압의 공기 중에 액상의 연료를 고압으로 분사시켜 연료스스로 자기착화(Self-ignition : Selbstzündung)하여 폭발적으로 연소가 이루어지게 하는 압축 착화기관이다.

따라서 디젤기관은 가솔린기관에는 반드시 필요한 전기점화장치가 생략되는 대신에 고온고압의 연소실에 연료를 고압으로 분사하는 높은 정밀도의 연료분사장치를 필요로 한다. 왕복피스톤기관으로서의 기본구조는 가솔린기관과 거의 같다.

디젤연료분사장치는 액상의 연료를 기관의 부하에 따라 약 180bar에서부터 약

2,200bar까지의 고압으로 연소실에 분사한다. 높은 분사압력과 아주 작은 분공(약 0.15mm)에 의해 안개상태로 무화된 연료입자는 고온(약 800℃)의 공기에 의해 가열되어 자신의 표면에서부터 증발, 기화된다. 증발, 기화된 연료는 고온의 공기와 혼합되면서 더욱더 가열되어 결국은 자기착화(Self-ignition)하게 된다.

분사된 연료가 자기착화하여 연소가 진행됨에 따라 연소실 내 가스의 온도와 압력은 급격히 상승한다. 이 압력에 의해 피스톤은 하향/직선운동을 하게 된다. 피스톤의 하향/직선운동은 피스톤핀→커넥팅로드를 거쳐 크랭크축의 회전운동으로 변환된다. 점화방식은 다르나 가솔린기관과 마찬가지로 디젤기관도 연소행정이 진행되는 동안에 연료로부터 공급된 열에너지가 크랭크축의 기계적 일로 변환된다.

피스톤이 폭발 상사점에 있을 때, 가스압력은 최대 약 65~190bar(과급), 온도는 약 2,000℃에 이른다. 그러나 피스톤이 하사점 근방에 도달하면 약 3~5bar, 800~900℃ 정도로 낮아지고 이어서 배기밸브(또는 배기공)를 거쳐 대기 중으로 방출된다.

디젤기관은 가솔린기관보다 열효율이 높은 기관으로 수 kW(kilo-watt)의 소형기관에서부터 10,000kW 이상의 대형기관에 이르기까지 다양한 크기로 제작되며, 교통용, 산업용, 농용, 발전기용 등으로 아주 폭넓게 사용된다. 교통용으로는 주로 자동차(승용, 상용), 기관차, 선박 등의 기관으로 사용된다.⁽²⁸⁾

제 2 절 피스톤(Piston)

실린더 내를 왕복운동 하는 피스톤은 실린더 벽과의 사이에 강한 마찰을 발생시킴과 동시에 2000℃에 달하는 연소가스와 닿아 고온 고압의 상태로 되기 때문에 열전도가 잘되며 내마모성도 높은 알루미늄 합금제가 주류를 이룬다.

제조방법에는 녹인 합금을 주형에 흘려 넣어 만드는 주조(鑄造)와 고온상태에서 압력을 가해 형태를 만드는 단조(鍛造)가 있다. 단조쪽이 강도를 높일 수 있으나 제조 비용이 들기 때문에 시판하는 자동차에는 주조 피스톤을 주로 사용한다.

피스톤은 머리부분을 피스톤 헤드(Piston head)라 부르며 하부를 피스톤 스커트(Piston skirt)이라 부른다. 피스톤 헤드는 평탄한 크라운이 기본이나 연소실의 용량을 작게하고 압축비를 높이기 위하여 중앙부가 높아진 것도 있다. 또 밸브와의 접촉을 피하기 위해 헤드부에 노치(Notch)를 둔 피스톤도 있다. 피스톤의 직경은 실린더의 직경보다 약간 작게 되어 있고 이것을 피스톤 간극이라고 한다.

피스톤 간극을 너무 작게하면 온도 상승으로 인한 팽창으로 마찰손실이 증가하고 반대로 너무 크게 하면 압축시 혼합기가 빠져나가는 블로바이 현상이 심해져서 동력 저하나 크랭크케이스에 침입하여 엔진오일을 열악하게 만들기도 한다. 피스톤과 실린더의 소재에 따라 팽창률이 다르지만 실린더 직경의 0.05% 정도가 피스톤 간극이 된다. 그리고 실린더는 동그란 원이나 피스톤은 타원으로 되었었다. 피스톤 핀을 지탱하는 보스부분을 튼튼히 하기 위하여 보스 부분은 두께가 두껍게 되어있다. 이 때문에 보스의 한 부분이 팽창으로 커지므로 직경이 약간 작게 되어있다. 엔진이 워밍업되어 정상 온도가 되면 팽창에 의하여 피스톤이 동그란 원이 된다.⁽²⁷⁾

1. 피스톤의 구조⁽²⁷⁾

피스톤은 실린더 안지름보다 약간 작은 지름으로 연소실의 일부를 구성하는 헤드부와 피스톤 링을 끼우는 링부분, 피스톤 핀을 끼우는 보스 부분과 스커트 부로 나뉜다. Fig. 2-1은 피스톤의 구성을 나타내고 있다.

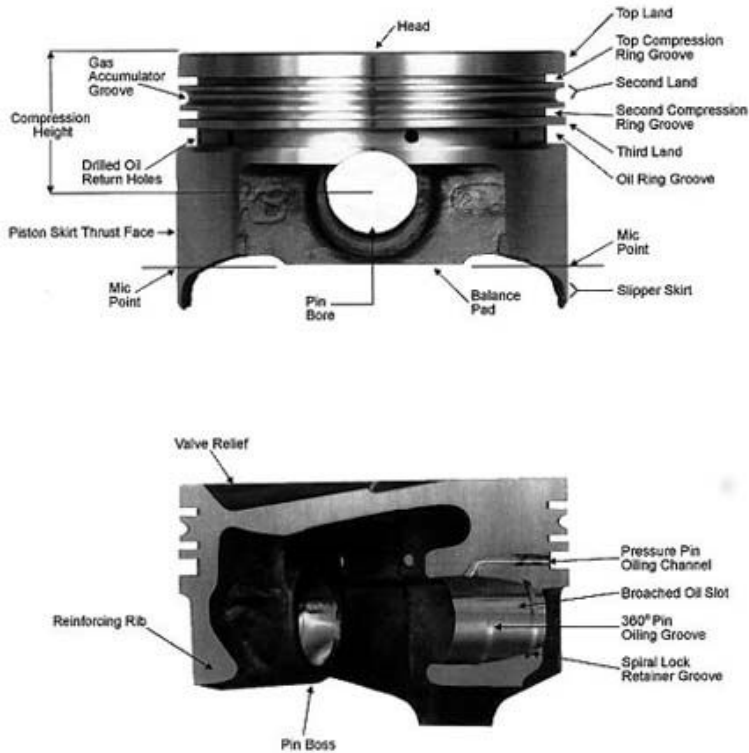


Fig. 2-1 Configuration of the piston

가. 피스톤 헤드(Piston Head)

피스톤 헤드는 연소실의 일부를 구성하고 고온 고압을 받으며 냉각수나 외기에 의한 냉각을 할 수 없이 실린더에 비해 그 팽창비율이 훨씬 크다. 따라서 피스톤의 설계시 온도변화에 따른 팽창 비율을 고려하여 피스톤 헤드는 스커트 부분의 지름보다 약간 작고 피스톤 왕복 운동시 측압을 받는 측압부가 핀보스 부분보다 지름이 약간 크게 설계되어지며 헤드 윗부분에는 혼합기의 와류를 좋게 하기 위해 홈이 파여져 있다.

나. 피스톤 링 랜드(Piston Ring Land)

Fig. 2-1과 같이 링홈과 랜드로 구성되며 3~4개의 피스톤링을 끼워 실린더 벽과 마찰하여 기밀을 유지하고 오일이 연소실로 들어가는 것을 방지한다. 피스톤 링을 끼우는 부분을 링홈이라 하고 홈과 홈 사이를 랜드(land)라고 한다.

또한 오일링을 끼우는 홈에는 과도한 오일을 피스톤 안으로 빼내기 위한 배유구가 있으며 피스톤 헤드 아래 부분에는 동력 행정시 발생하는 고온의 열이 링지대로 전달되는 것을 막기 위하여 히트댐(Heat dam)을 두기도 한다.

다. 피스톤 핀 보스(Piston Pin Boss)

피스톤 핀이 설치되는 부분으로 비교적 다른 부분보다 강성을 위하여 두껍게 되어 있고 피스톤 핀이 끼워져 피스톤에서 동력을 커넥팅로드에 전달할 수 있게 한다.

라. 피스톤 스커트(Piston Skirt)

피스톤의 아래 부분이 되는 스커트부는 피스톤이 왕복운동 할 때 측압을 받는 일을 하며 피스톤이 받는 열을 방출하는 역할을 한다. 또한 스커트 부는 피스톤 헤드 부 보다 지름이 크게 되어있다.

2. 피스톤의 재질

자동차용 피스톤은 특수 주철제 피스톤과 알루미늄 합금 피스톤이 있으며, 가볍고 열전도율이 좋은 알루미늄 합금이 주로 가솔린엔진에 사용되며 특수 주철제 피스톤은 강도가 높아 디젤엔진에 사용되고 있다. 알루미늄 합금은 열팽창이 크므로 피스톤 설계상 열팽창을 고려하여 설계해야 한다.

가. 특수 주철 피스톤

특수 주철 피스톤은 알루미늄 합금 피스톤에 비해 열팽창이 적기 때문에 피스톤 간극을 적게 할 수 있으므로 피스톤의 슬랩 현상이나 블로바이 현상이 적으며, 피스톤의 강도가 크다.

피스톤의 비중이 크기 때문에 관성이 증대되어 고속용 기관에는 적합하지 않다.

나. 알루미늄 합금 피스톤

알루미늄 합금 피스톤은 주철 피스톤에 비하여 열전도성이 양호하며 비중이 작다.

따라서 피스톤 헤드의 온도가 낮게 되므로 고속·고압축비 기관에 적합하며, 출력을 증대시킬 수 있는 장점이 있다. 또한 알루미늄 합금 피스톤은 주철 피스톤에 비하여 강도가 적고 열팽창 계수가 큰 단점이 있으며 이를 보완하기 위하여 구리(Cu), 마그네슘(Mg), 니켈(Ni), 규소(Si) 등을 첨가한 구리계의 Y합금 피스톤과 규소계의 Lo-Ex합금 피스톤 및 고규소 합금 피스톤으로 분류된다.

(1) 구리계 Y합금 피스톤 : 구리계의 Y합금 피스톤은 Cu 3.0~3.5% + Mg 1.2~1.8% + Ni 1.7~2.3% 나머지는 Al의 합금이며, 영국의 물리연구소에서 발표한 주조용 경합금이다. Y합금은 강인성을 가지고 있으며 Lo-Ex에 비하여 비중(2.8)과 팽창지수가 큰 단점이 있으나 고온에서 강도 및 경도의 감소가 적은 내열성이 크고 열전도성이 양호하다.

(2) 규소계 로우엑스(Lo-Ex)피스톤 : 규소계의 로우엑스 피스톤은 Cu 0.8~1.5% + Mg 0.7~1.3% + Ni 1.0~2.5% + Si 11~13% + Fe 0.7% 나머지는 Al의 합금이며, 미국의 알루미늄회사에서 발표한 주조용 경합금이다. Lo-Ex합금은 Y합금에 비하여 비중(2.7)이 적고 열전도성이 우수하며, 팽창계수가 적다. 또한 주조성이 우수하고 내압성, 내마멸성, 내식성이 우수하며 고온에서 강도 및 경도의 감소가 적은 내열성은 Y합금보다는 약간 못하다.

(3) 고규소 합금 피스톤 : 고규소 합금 피스톤은 Cu 0.8~1.5% + Mg 0.8~1.3% + Ni 0.8~1.3% + Si 23~26% + Fe 0.7% 나머지는 Al의 합금으로 Lo-Ex보다 비중(2.65)이 적고 열전도성이 우수하다. 또한 팽창 계수가 적고 주조성이 우수하며, 내마멸성, 내압성, 내식성이 우수하다. 내열성은 Y합금 보다는 약간 못하다.

3. 피스톤의 손상유형⁽²¹⁾

현재 유가 상승으로 유사 연료사용의 증가만큼 그로 인한 피스톤 손상 사례가 급증하고 있다. 유사 연료는 폭발력이 너무 높아 피스톤에 균열이 일어 날 수 있으며 또한 높은 온도로 피스톤이 녹아내려 피스톤의 기능을 상실 한다. 그리고 냉각불량 및 연료의 과다분사에 의해서도 피스톤은 손상될 수 있다. 또 다른 유형으로 노킹

현상에 의한 손상이 있다. 노킹현상은 가솔린 엔진에서 많이 일어나며 이상연소 및 이에 동반하여 발생하는 소리로서 가솔린 엔진의 폭발 행정은 우선 플러그의 스파크에 의하여 화염의 핵이 발생하고, 이 핵을 중심으로 화염이 주위로 퍼져나가는 화정을 거치는데 이때 플러그로부터 떨어진 부분의 혼합기가 연소되기 시작한 부분의 열과 압력에 의하여 자연 발화하여 연소실 전체의 가스가 순간적으로 연소하는 현상이다. 이러한 원인을 제공하지 않는다해서 피스톤에 손상이 가지 않는 것은 아니다. 피스톤은 엄청난 압력과 열에 상시 노출되어 있어 언제 균열이나 손상이 갈지 모른다. Fig. 2-2는 가솔린 피스톤 헤드부분의 균열이며 Fig. 2-3, Fig. 2-4은 디젤 피스톤 헤드부분의 균열 보여주고 있다. Fig. 2-5는 피스톤 스커트부분의 균열을 보여주고 있다.

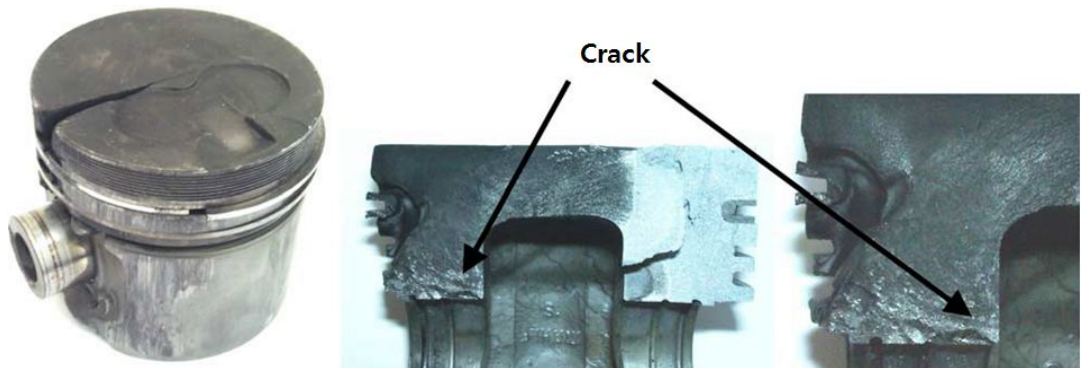


Fig. 2-2 Petrol engine piston with a crack from one side of the pin hole to the head

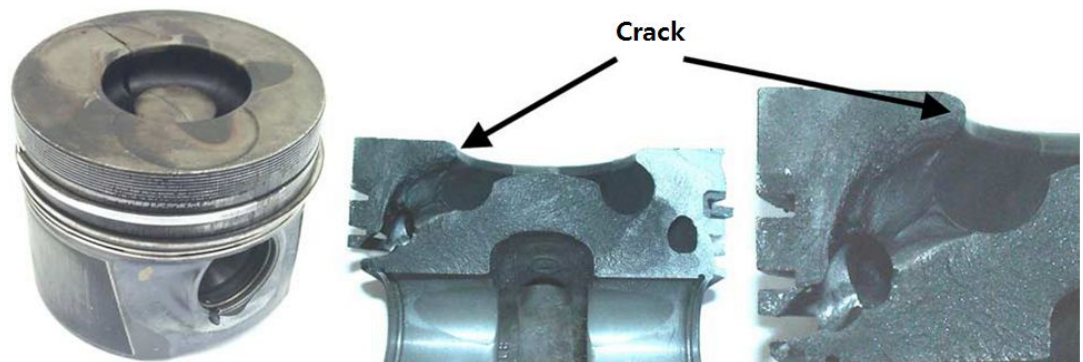


Fig. 2-3 Diesel engine piston (with cooling gallery) with a crack from one side of the pin hole to the head



Fig. 2-4 Diesel engine piston with a crack from one side of the pin hole to the other pin hole going through the head of the piston

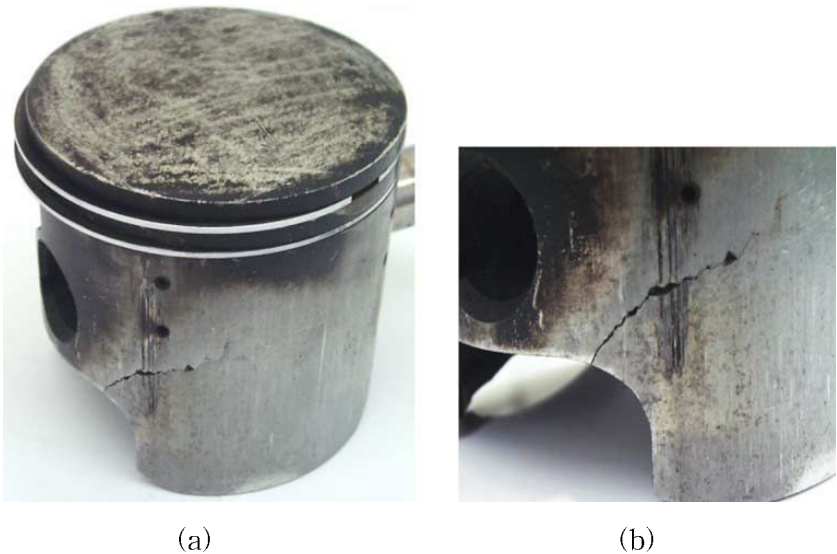


Fig. 2-5 Engine piston with damaged skirt: (a) piston; (b) detail of damaged skirt

제 3 장 열화상 계측 및 초음파 서모그래피

제 1 절 열화상 계측 시스템

1. 열측정 이론

적외선 열화상(Infrared Thermography)은 열복사로 피사체에서 방사되는 적외선 영역을 열화상 카메라를 통하여 가시적인 화상을 만들어 주는 기술이다. 적외선은 가시광선보다 파장이 긴 전자기적 복사의 한 형태이며, 기타 전자기적 복사 파로는 X-레이, 자외선, 라디오파 등이 있다. 전자기적 복사는 주파수 혹은 파장에 의해 범위가 정해진다. 전자기 스펙트럼은 대역(band)이라고 부르는 많은 파장의 영역으로 나눌 수 있다. 적외선 열화상 카메라는 Fig. 3-1 ,Fig. 3-2에 나타낸 바와 같이 $2\mu\text{m}\sim 13\mu\text{m}$ 대역을 사용한다. 여기서 단파(SW:Short wave) 영역은 $2\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ 의 대역에서 복사가 검출될 수 있는 범위를 말하며, 장파(LW:Long wave) 영역은 $8\mu\text{m}\sim 12\mu\text{m}$ 의 대역의 복사가 검출될 수 있다. 그리고 중간에 $5\mu\text{m}\sim 8\mu\text{m}$ 의 대역에서는 대기에 의한 낮은 투과율에 의해 전달률이 0%를 나타내고 있으므로 적외선 검출이 불가능하다. 또한 SW 영역에서는 고온의 적외선 검출이 용이하고 LW 영역에서는 저온의 적외선 검출이 용이하다.⁽²²⁾

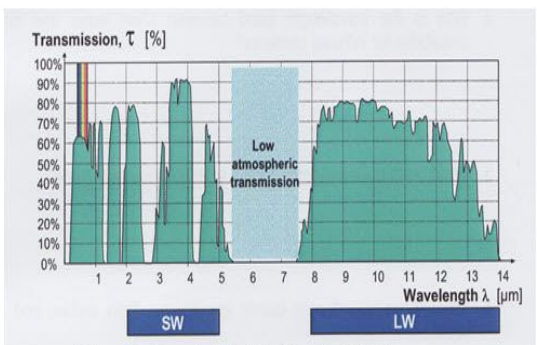
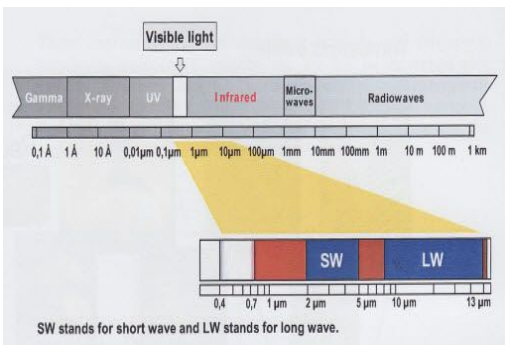
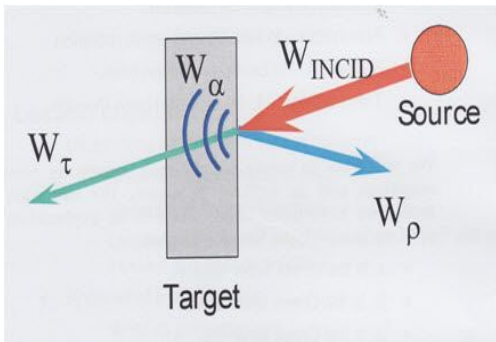


Fig. 3-1 The electromagnetic spectrum Fig. 3-2 Atmospheric transmission in different wavelength bands

가. 적외선 열화상 측정 원리

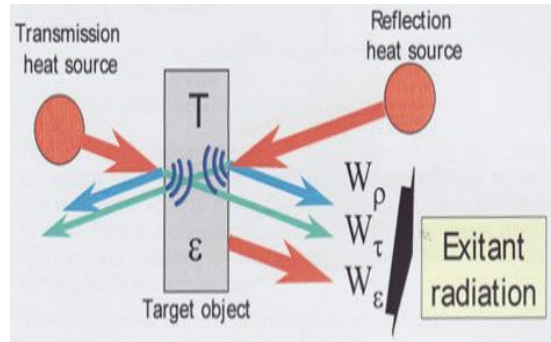
본 과제에 사용된 적외선 카메라는 AGEMA사에서 제작한 Thermovision 900 SE/TE 기종이며 빛이 물체에 방사되어 나오는 각종 파장 중에서 적외선 부분만을 검출해 내어 온도분포를 측정한다. 복사 에너지는 Fig. 3-3, Fig. 3-4에서 나타난 것과 같이 Incident 복사와 Exitan 복사로 세분화 할 수 있다.



$$W_{\alpha} + W_{\rho} + W_{\tau} = W_{\text{INCID}} = 100\%$$

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

Fig. 3-3 Incident radiation



$$W_{\epsilon} + W_{\rho} + W_{\tau} = W_{\text{EXIT}} = 100\%$$

$$\epsilon + \rho + \tau = 1$$

Fig. 3-4 Exitan radiation

Incident 복사란 물체의 주위 사물로부터 물체에 부딪히는 모든 복사에너지를 말하는 것으로 흡수율(α) + 반사율(ρ) + 투과율(τ) = 1로 나타낼 수 있으며 Exitan 복사는 원래의 열원에 상관없이 물체의 표면을 떠나는 모든 복사 에너지를 말하며 방출률(ϵ) + 반사율(ρ) + 투과율(τ) = 1로 나타낼 수 있다. 즉, $\alpha = \epsilon$ 이므로 물체가 Incident 복사에너지를 흡수하는 용량 또는 능력은 그 물체 자신이 복사에너지를 방출하는 용량과 언제나 같음을 알 수 있다.⁽²³⁾

그리고 어떤 파장이라도 그것에 부딪히는 모든 복사선을 흡수하는 물체를 흑체라고 정의하는데, 이는 모든 빛을 똑같이 방출시킬 수 있다는 것이며 이 온도 검출은 흑체(Blackbody)에 가까운 대상체를 제작하여 이 시편을 기준으로 하여 보정된 값으로 나타낸다. 여기서 중요하게 작용하는 요인은 각각의 물체와 온도, 거리에 따라 달라지는 방사율인데 이 방사율값의 차이에 따라서 온도를 측정하는 것이다.

흑체에 대해,

$$W = \sigma T^4 \text{ W/m}^2 \tag{3-1}$$

식 (3-1)에서, σ 는 스테판 볼츠만(Stephan-Boltzmann)상수 ($5.67 \times 10^{-8} \text{W/m}^2\text{K}^2$)이다.

방사율(Emissivity)이란 복사열이 완전히 흡수되는 흑체의 복사강도를 기술한 플랑크(Planck)법칙에 의해 물체로부터 방출되는 전체 에너지는 스테판 볼츠만 법칙으로 다음과 같다.

$$\text{Stephan - Boltzmann Law : } E = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (3-2)$$

같은 온도 같은 파장에서 Black body에 의해 방출되는 복사에너지에 대한 Real body에 의해 방출되는 복사에너지의 비율로서 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\epsilon = \frac{W_{RB}}{W_{BB}} \quad , \quad W_{BB} = \frac{W_{RB}}{\epsilon} = T \quad (3-3)$$

또한 적외선 열화상 카메라는 외부의 광원에서부터 대상 물체에 반사되어진 적외선 파장을 검출하여 Stefan-Boltzmann Law에 의한 온도와 파장의 관계식을 이용하여 적외선 detector로부터 검출된 적외선 파장을 온도의 함수로 나타내어 온도의 고저를 화상으로 보여주는 것이다.

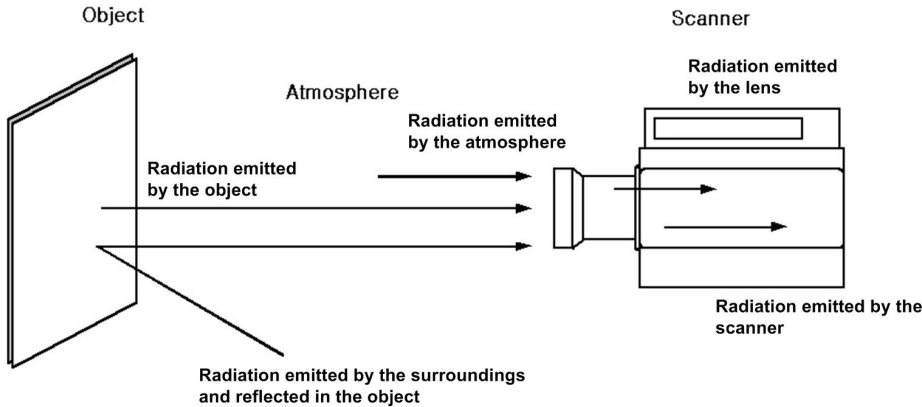


Fig. 3-5 Radiation contributions to the general measurement situation

Fig. 3-5에 나타난 것과 같이 대기와 물체 방사율에 영향을 미치는 보정은 열상에 존재하는 부수적인 방사에너지와 대기에 의해 감쇄된 피사체의 방사에너지뿐만 아니라 주위로부터의 방사에너지, 즉 대기 자체에서 방사된 방사에너지와 대기에 의한 감쇄와 물체에서 반사되어진 방사에너지로 존재한다. 피사체 방사에너지 강도는 존재하지 않는 완전한 흑체 방사율의 함수와 같다. 이에 상응하는 측정공식은 시스

탐 컨트롤러에 포함된 ERIKA 소프트웨어 안에 주어진다. 열 측정 공식은 식 3-1에서와 같이 표현된다. 여기에서 첫 번째 항은 피사체의 방사, 두 번째 항은 주위에서 반사된 방사, 세 번째 항은 대기에서의 방사를 나타내고 있다.

$$I_m = I(T_{obj}) \times \tau \times \epsilon + \tau(1 - \epsilon) \times I(T_{amb}) + (1 - \tau) \times I(T_{atm}) \quad (3-4)$$

이 측정 공식은 Thermovision 900에 의해 자동적으로 계산되며 오퍼레이터가 피사체에 대해 입력해야 하는 매개변수는 대상체의 방사율, 피사체거리, 상대 습도, 대기 온도, 반사된 주위 온도 등이다.

식 3-4에서 $I(T)$ 는 온도 T 일 때 흑체로부터 방사량에 비례하는 신호 값으로서 물체, 대기, 주변에 관한 함수이다. 식 3-4은 불투명 물체, Lambertian 표면, 일정 분광 방사율(grey body)이라는 가정을 갖는다.

스캐너로부터 반사된 방사에너지의 교정, 다시 말해 스캐너와 그 고유 광학계로부터 반사되어진 스캐너 온도에 의한 방사에너지 교정은 Thermovision 900에서 자동적으로 실행된다. 이것은 두 흑체 온도를 기준으로 4개의 온도센서 스캐너를 사용하는 마이크로프로세서로 컨트롤된 시스템에 의해 실행된다. 이러한 교정기능은 블랙바디온도와 스캐너의 신호 출력간의 비선형 관계를 표현해 주는 것이며 각 렌즈와 각 필터, 영역 조합은 그 자신이 교정 기능을 가지고 있다. 이 기능에 대한 상수는 스캐너에 저장되어 있고 시스템은 자동으로 사용된 조합에 대하여 적당한 상수를 선택한다. 또한 플랭크법칙과 스캐너 및 필터의 분광 응답을 이용하여 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 플랭크법칙과 일부 경험적인 것에 의존한다.

$$I = \frac{R}{\exp\left(\frac{B}{T}\right) - F} \quad (3-5)$$

식 3-5에서 I 는 온도 값이고 R 은 대응인자, B 는 분광인자, F 는 모형인자며, T 는 물체의 온도이며 스캐너의 출력 신호는 입사된 방사에너지와 비례한다는 가정을 갖는다.

검출기의 응답은 비선형이기 때문에 네 번째 측정 상수의 보정 기능이

Thermovision 900에 덧붙여 작은 비선형 에러를 보정하여 준다.

$$I_s = \frac{U}{1 - (U \times L)} \quad (3-6)$$

식 3-6에서 U 는 스캐너 안에 A/D 변환기로부터의 비디오 신호이며 L 은 비선형 상수, I_s 는 Object signal이다. 또한 Object signal은 측정 표시 단위이고 이 신호는 비선형적인 교정을 거친 후 표시된다. 이 신호는 광 방사에너지와 비례한다.

피사체 매개변수들의 선정은 특정한 측정 상황을 설명한다. 그리고 대상물 온도에서 방사에너지 값의 전환에 앞서 피사체의 교정을 위해 요구한 매개변수들 즉 방사율과 대기에 의한 영향을 소프트웨어에서 포함하고 있다. 피사체 매개변수들은 방사 계수, 대기온도, 주위 온도, 피사체거리, 상대 습도, 반사된 주위 온도 영향을 포함하고 있다.

방사율의 경우 실제 피사체는 거의 “블랙”이 아니기 때문에 방사요인은 측정 식으로 나타난 적외선 온도 측정으로 고려하여야 한다. 피사체 방사는 측정 될 수도 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 페인트 표면은 방사가 아주 크게 증가한다. 사람 피부 방사율은 1에 가깝게 표시된다. 반사된 주위온도에서 불투명한 피사체의 방사요인은 $\rho = 1 - \epsilon$ 로서 얻을 수 있다. 따라서 낮은 방사 요인은 피사체로부터의 방사율이 같은 온도의 흑체의 그 것보다 낮을 뿐만 아니라, 주위로부터 바람직하지 않은 복사가 피사체에서 반사되어 스캐너로 들어오게 됨을 의미한다. 측정 식은 이 복사를 보정하며, 이 보정은 반사된 주위온도(피사체 주위 온도의 평균 값)에 근거한 것이다. 대부분 대기온도, 반사 주위 온도 값은 같은 것이라 생각한다. 대기온도는 피사체와 스캐너 사이의 대기의 온도를 말한다. 그 경로의 온도가 과도하게 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 피사체에서의 측정은 적외선 복사를 잃게 할 것이다. 이 대기 희박 효과는 측정 공식에 의해 보상된다. 측정 공식은 피사체와 스펙트럼 안의 복사에 의한 앞 렌즈사이의 대기 투과율을 의미하는 상수 τ 를 사용한다. 이 τ 는 피사체 거리, 대기 온도, 상대습도의 기

능으로써 τ 가 계산된 소프트웨어로 계산 할 수 있고, τ 값이 측정에 의해 또는 Lowtran과 같은 고기능 대기용 모델로부터 알려 질 수 있다면 직접 입력에 의해 계산될 수도 있다. 만약 오퍼레이터가 τ 값을 입력한다면 추정된 τ 는 소프트웨어에 의해 계산된 값을 무시 할 것이다. 효과적인 대기 투과율을 계산하기 위해서 소프트웨어가 사용한 식은 3-7과 같이 경험적이다.

$$\tau = X \times \exp(-\sqrt{d}(\alpha_1 + \beta_1 \sqrt{W})) + (1 - X) \times \exp(-\sqrt{d}(\alpha_2 + \beta_2 \sqrt{W})) \quad (3-7)$$

식 3-7에서 τ 는 효과적인 대기 투과율이고, X 는 무게 요인, α_1 와 α_2 는 감쇠 계수, β_1 과 β_2 는 수증기와 관련된 감쇠 계수, d 는 물체와 스캐너 렌즈 앞쪽 사이의 거리, W 는 equivalent water content(소프트웨어로부터 계산된 상대습도와 대기온도의 함수)이다. 대기 상수 $X, \alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$ 는 수증기 함수와 피사체 거리 사이에 계산된 것으로 알고리즘에 알맞게 계산되며 Lowtran 대기 모델에서 모든 스펙트럼은 Thermovision 900 스캐너와 전형적인 대기 안에 표준 필터에 의해 값을 이끌어내 사용된다. 이 모든 대기 상수는 새 필터를 선택했을 때 자동적으로 적재된 것과 스캐너 안에 포함된다.

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

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

$$I'_o = \epsilon_o \tau_o I_o + \tau_o (1 - \epsilon_o) I_\alpha + (1 - \tau_o) I_{atm} \quad (3-8)$$

$$I_o = \frac{R}{e^{b/T_o - F}} \quad (3-9)$$

식 3-8에서 I_o 는 물체 방사를 위한 디지털 값이고, I_o' 는 스캐너로부터 받아들인 총 방사량(디지털 값에서), R, B, F 는 보정 매개변수, T_o 는 물체의 온도, ϵ_o 는 물체의 방사율, τ_o 는 물체의 투과율, I_a 은 (a)에 의하여 변환된 주변의 온도, I_{atm} 은 식 3-9에 의하여 변환된 대기의 온도이며, 투과율 τ 는 계산된 투과율 공식에 의해 계산된다. 공식에서 W 인자는 다음 식에 의해 계산된다.

$$W = \text{RelHum} \times \text{precipitable water content} \quad (3-10)$$

Water content는 다음 식에서 표현할 수 있다.

$$\text{PrecWater} = \exp(k1 + k2 \times T + k3 \times T^2 + k4 \times T^3) \quad (3-11)$$

$$W = \text{RelHum} \times \exp(k1 + k2 \times T + k3 \times T^2 + k4 \times T^3) \quad (3-12)$$

식 3-11과 식 3-12에서 $k1= 1.5587$, $k2= 6.939E-2$, $k3= -2.7816E-4$, $k4= 6.8455E-7$ 의 값을 갖는다.⁽¹⁾

적외선 열화상 테크닉은 기본적인 Pulse 적외선 열화상 테크닉과 Lock-in 적외선 열화상 테크닉, Pulse-phase 적외선 열화상 테크닉이 있다.

Pulse 적외선 열화상 테크닉은 적외선 열화상 테크닉에 있어서 가장 보편적인 열자극 방법 중 하나로 짧은 열자극 펄스에 의한 시험의 신속성 때문이며 짧은 순간의 열 자극은 사용이 편리한 heating sources를 이용하여 평판에 직접 주사하는 방법을 취한다. 더욱이 신속한 열 자극은 재료의 손상을 방지한다.

기본적으로 Pulse 테크닉은 시편에 순간의 열 자극을 주고, 이때의 온도 변화를 기록하는 것이다. 이러한 현상의 금속에서의 온도 변화는 금속 내부에서 전파의 산란으로 인하여 매우 빨리 변화한다. 이에 시편의 결함 검출에 있어서 깊이에 따라 표면 온도를 관찰하였을 때 주위의 온도가 달리 나올 것이다. 깊은 결함일수록 명암의 대비가 확실하여 검출하기 편리하다.

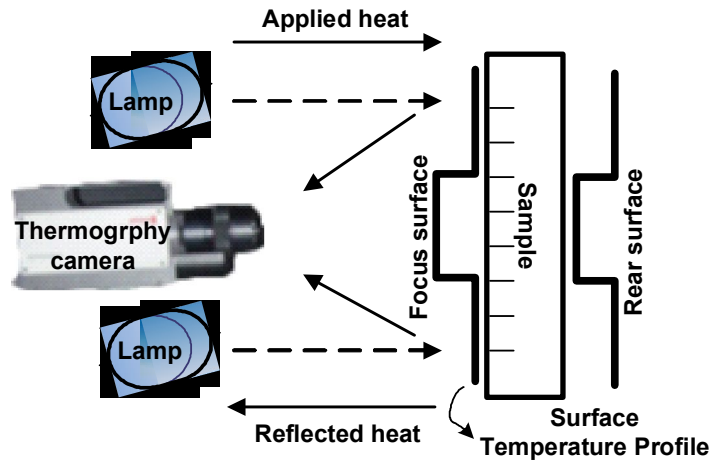


Fig. 3-6 Infrared thermography (Pulse technique)

Fig. 3-6은 Pulse technique 기법이며 Fig. 3-7은 Lock-in Technique 기법이다. Lockin 적외선 테크닉은 모듈레이터 램프의 레이저 공학에서 기초되었다. 측정 대상체에 저주파의 thermal wave를 동시에 주사하여 IR 장비로 측정을 하는 원리이다. 또한 IR 장비 검출기로 주사된 물체에 대해서 수많은 점 중에서 단지 1개의 점에 대해서만 모니터링이 가능하다.⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾

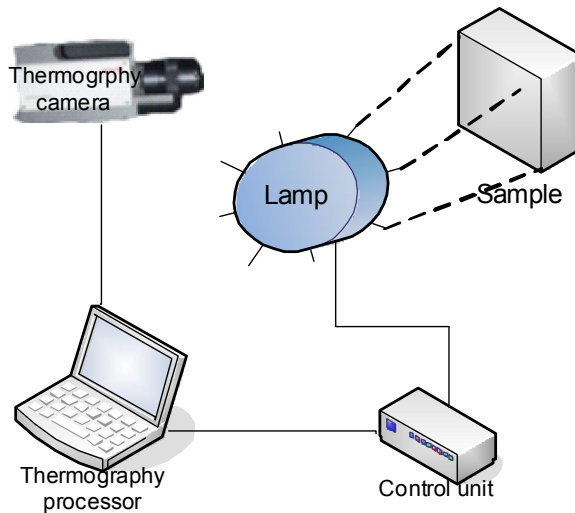


Fig. 3-7 Infrared thermography (Lock-in Technique)

2. 적외선 열화상 계측 시스템 구성

본 연구에 사용한 적외선 열화상 카메라 Thermovision 900 system은 AGEMA 적외선 SYSTEM AB에서 생산한 적외선 SCANNING SYSTEM을 사용하였다. 이중 채널 마이크로프로세서를 기초로 하는 제어기 부분에서는 2개의 68020 프로세서가 사용되고 32비트 VME버스, 2개의 16비트 IR버스가 사용된다. 스캐너의 냉각방식은 열 전기적이며 검출형태는 2개의 스프리트, 직렬 스캐닝, 2~5.4 마이크로 스펙트럼 응답을 보이며 온도 범위는 $-10^{\circ}\text{C} \sim 500^{\circ}\text{C}$ (고온 필터 사용 시 $2,000^{\circ}\text{C}$ 까지 검출 가능), 민감도는 30°C 에서 0.1°C , 공간 해상도는 140원소/Line(50%변조), IR라인 주파수 3.5kHz, 심플/라인 204를 갖추고 있다. Fig. 3-8은 적외선 열화상 카메라 Thermovision 900 system의 전체적인 모습과 이동성을 위해 노트북컴퓨터와 연결할 수 있는 Research package 900의 구성도를 나타낸다.⁽¹⁾

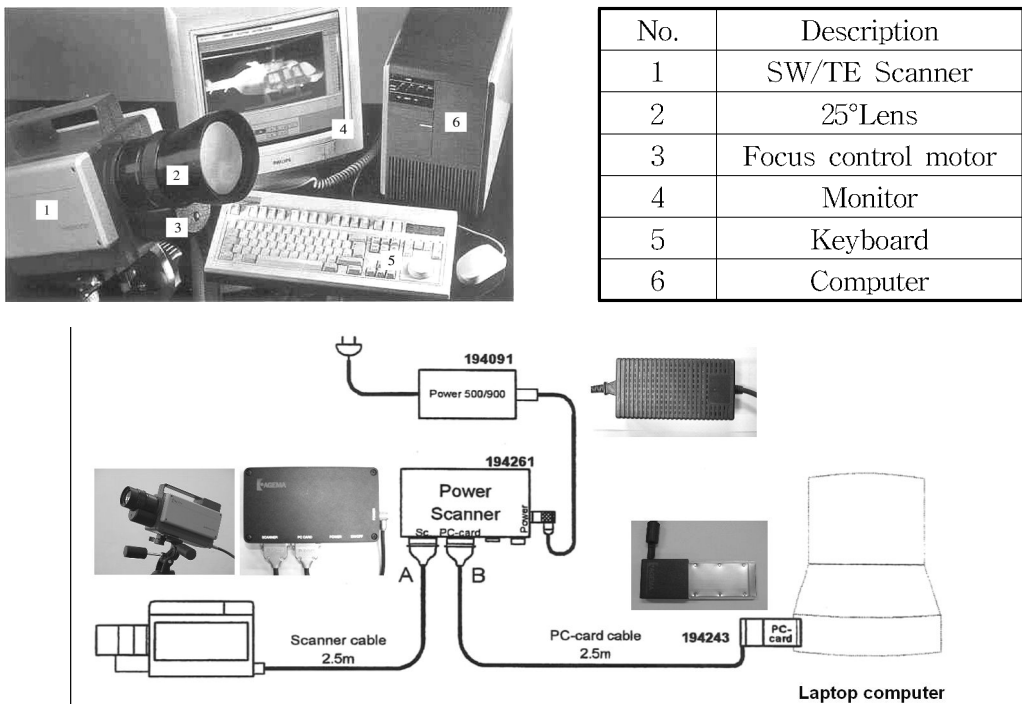


Fig. 3-8 Component of thermovision 900 system

가. 시스템 제어기

시스템 제어기는 산업표준 VME bus를 기초해서 만들어진 마이크로컴퓨터이며 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 스캐너 신호를 동시에 전송 할 수 있는 시스템을 가지고 있다. Fig. 3-9는 시스템 제어기의 신호 처리 방식과 제어 이동 경로를 나타내었다.

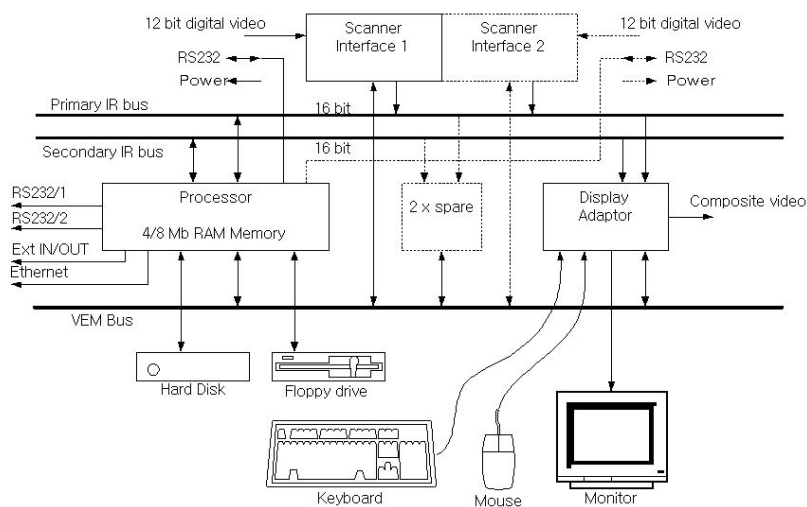


Fig. 3-9 Schematic diagram of system controller

3개의 메인 버스는 산업표준 VME 32비트 시스템버스, 스캐너 인터페이스를 위한 2개의 IR버스로 프로세서 장치에서 사용한다. 프로세서 장치는 기본적인 싱글 혹은 듀얼 스캐너 시스템을 위해 사용 할 수 있는 5개의 보드 슬롯 중 프로세서를 위한 것 1개, 스캐너 인터페이스와 디스플레이 인터페이스 보드 등 3개를 사용한다. 스캐너로부터 데이터입력은 완전한 온도범위에서 고 해상도를 주는 12비트 디지털 형태이다. 화상데이터는 12비트 형태로 저장됨으로써 차후 분석은 리얼 분석과 같은 정확도로 수행 될 수 있다. 시스템 Ethernet interface 혹은 2개의 RS232-C 커넥터 중 하나를 경유해서 멀리 호스트 컴퓨터에 연결되어 제어 될 수 있고 데이터를 교환 할 수 있다.⁽¹⁾

나. 스캐너

스캐너 기기는 적외선을 디지털신호로 전환 할 수 있고 이는 시스템 컨트롤러로써 해석 할 수 있다. 또한 칼라 혹은 그레이스케일로 물체의 상을 보여주는데 사용되고 있다. 스캐너에서 적외선 복사는 12비트 디지털신호로 변환된다. 이는 중간 케이블 또는 광섬유 접속 부위를 지나 Process unit로 들어간다. 스캐너는 광 스캐닝 모듈 LK4, 검색 모듈 합병 신호 변조기, 신호-수치 변환기, 마이크로프로세서 보드 및 서보 모터 제어 보드로 구성된다. 주사는 부교착이고 2개의 다른 프레임 레이트에서 발생된다. Fig. 3-10은 스캐너의 파츠별 구성을 나타내고 있다.

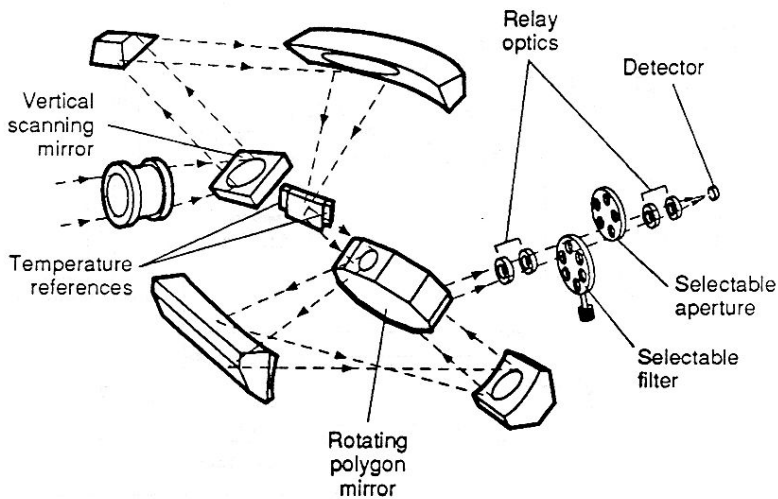


Fig. 3-10 Exploded view of the scanner optical path

스캐너는 복사선을 광학 스캐닝 모듈에 있는 첫 번째 스캐닝밀러에 초점을 맞추고 이 거울은 DC모터토크에 의해 수평면으로 진동한다. 진동밀러의 빔은 3개의 고정 밀러에 의해 회전다각형밀러의 꼭짓점으로 도달한다. 진동밀러와 회전다각형밀러는 서보 모터 제어 보드로부터 제어된다. 회전다각형밀러로부터 관련된 빔은 다각형의 반대 면에 2개의 멀리 고정된 밀러에 의해 초점이 맞추어져 있다. 필터, 휠, 최종으로 검출기의 초점이 맞추어지고 선택할 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 제어기에 전송을 위한 병렬에서 직렬형태로 바뀐다. 2개의 온도를 보상하기 위해 스캐너는 3개의 분리된 온도센서와 스캐너에 의해 복사 방출을 보상하기 위한 2개의 기준이 있다.

Fig. 3-11에서는 스캐너의 신호 처리와 제어 경로를 나타내었다.⁽¹⁾

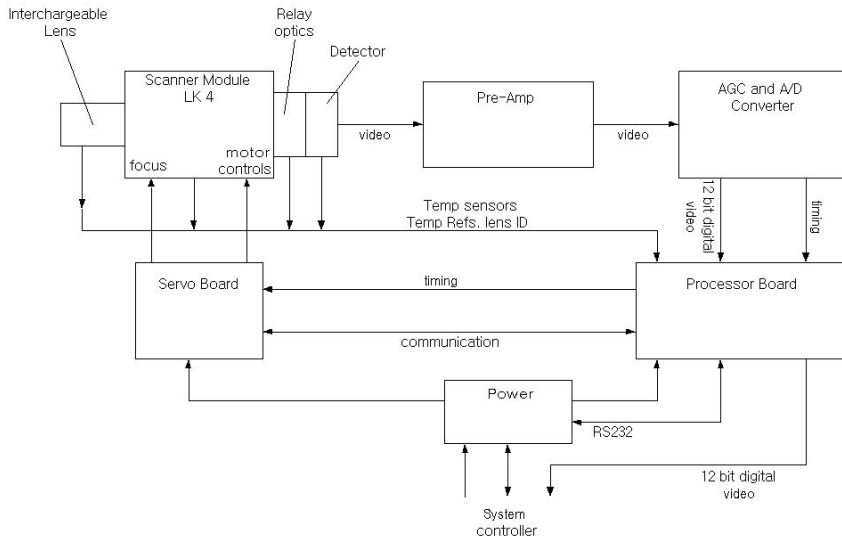


Fig. 3-11 Schematic diagram of scanner

제 2 절 초음파 가진기의 원리 및 구성⁽²⁴⁾

초음파 가진기는 초음파 용접기에 근거하며 초음파 발전기(Generator), 초음파 진동자(Transducer), 부스터(Booster) 및 혼(Horn)으로 구성된다. 발전기는 50~60Hz의 전기적 에너지를 고효율의 고주파수(15~40Khz)로 변환하여 진동자에 공급하는 장치이다. 진동부에는 진동자와 부스터가 있으며 진동자는 발전기에서 공급되는 고주파수의 전기적 에너지를 수직운동의 기계적 에너지로 변환하여 주는 일종의 변환장치이다. 부스터는 용착시 혼에 요구되는 진폭을 얻기 위해 혼과 진동자 사이에 장착하는 고정혼을 지칭하는 장비이다. 혼은 진동자에서 발생한 기계적 진동에너지와 가압력을 대상물에 가해주는 역할을 한다.

초음파 진동자의 재료는 주로 피에조(Piezo) 재료를 이용하며, 초음파를 발생시키는 음원에 따라서 자왜형, 압전·전왜형 및 전자형 진동자 등이 있으며, 현재 압전·전왜형 볼트체결형 란슈반 진동자(Bolt-clamped Langevin Transducer : BLT)를 가장 많이 사용하고 있다. Fig. 3-12는 초음파 가진 장치의 구성을 나타내고 있다.

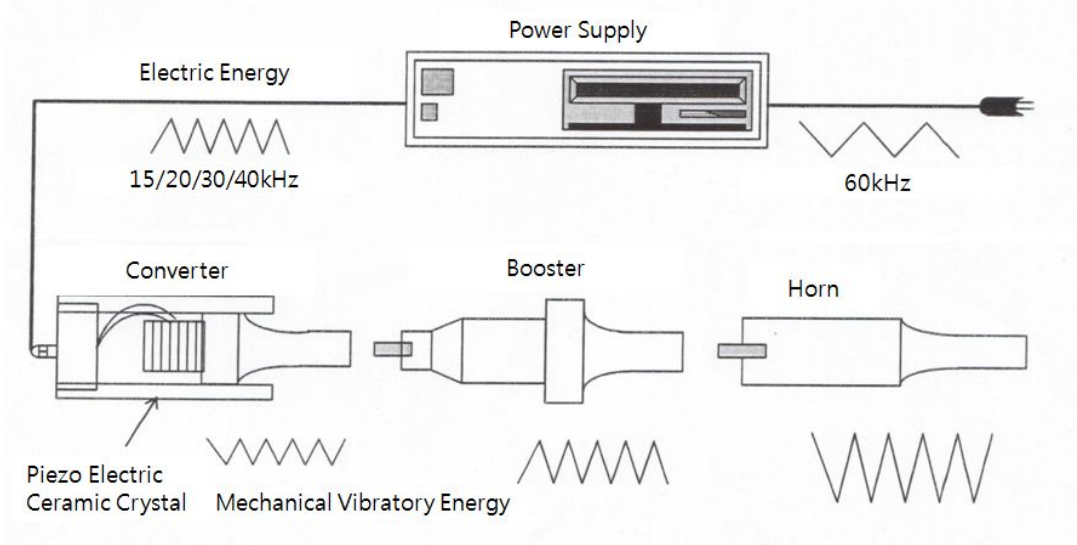


Fig. 3-12 The composition of ultrasonic exciter

공진주파수에 따라서 28kHz, 40kHz, 50kHz, 60kHz 등으로 구분되며 일반적으로 플라스틱의 용접에서는 20~40kHz, 금속의 고상용접에는 20~60kHz, 반도체 공정에서 사용되는 와이어 본딩(Wire bonding)에는 60~100kHz의 주파수 범위를 사용

하고 있다. 이러한 주파수의 범위는 절대적인 것이 아니며 필요에 따라 적합한 영역을 선택하여 사용한다.

부스터와 혼의 경우에 사용자가 결정할 수 있는 사양은 부스터와 혼의 증폭비 형상이다. 그러나 많은 경우에 부스터는 제조업체에서 초음파 진동자와 함께 제공하며 부스터의 증폭비 값이 일정 범위내에서 표준사양이 결정되어 있는 관계로 사용자는 혼을 적절하게 설계하여야 한다. 식 3-14는 혼의 이론적 개념을 나타내었으며 Fig. 3-13은 커넥터의 이론적 개념을 나타내고 있다.

$$\begin{aligned} \text{공정 증폭비} &= \text{혼의 진폭} / \text{초음파 진동자의 진폭} \\ \text{혼의 증폭비} &= \text{공정 증폭비} / \text{부스터의 증폭비} \end{aligned}$$

$$\frac{\lambda}{2} = \frac{C}{2F}, \quad C = \sqrt{\frac{E}{P}} \tag{3-14}$$

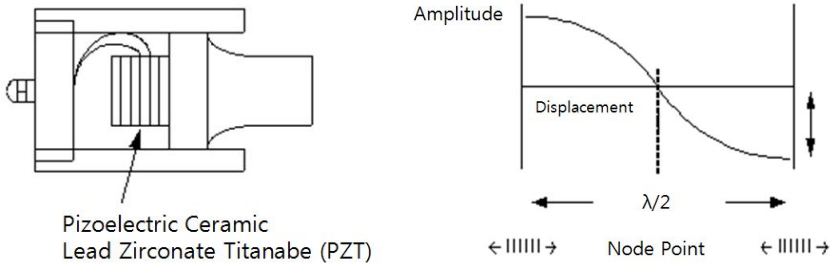


Fig. 3-13 Converter of the theoretical concepts

제 4 장 초음파 서모그래피 실험방법

제1절 초음파 서모그래피 시스템

균열 또는 접합면의 결함 등이 존재하는 물체에 초음파를 입사시키면 균열, 결함 부위의 표면에서 국부적인 열이 발생 된다. 이는 고에너지 초음파 여기 탄성파가 물체의 균열, 박리 등의 결함 부위를 통과할 때 서로 맞닿은 결함 면이 균일하게 진동하지 않고 결함 면 사이의 마찰(friction), 문지름(rubbing) 또는 부딪침(clapping) 현상 에 의해 탄성파의 일부가 열로 변환되기 때문이다. 이러한 열을 적외선 열화상 카메라로 관측하면 물체 내에 고에너지 초음파 펄스를 인가하여 결함 부위에서 국부적으로 발생하는 열을 적외선 열화상 카메라로 관측하여 결함을 검출하는 것을 초음파 열화상 검사기법으로 정의한다. 초음파 여기 탄성파가 구조물에 전달될 때 결함 부위에서만 선택적으로 발열현상이 나타난다. 이를 적외선 열화상 카메라로 관측하면 구조물의 건전 부위는 휘도가 낮은 검은 배경으로 보이게 되고, 균열 등의 결함 등의 결함 부위는 휘도가 높은 밝은 영역으로 보이게 된다. 이러한 휘도(그레이 레벨)가 높은 밝은 지점을 핫 스팟(hot spot)으로 부르고 있다. 결함이 있는 구조물의 적외선 열화상 이미지에서는 전체적으로 어두운 배경에서 결함 위치만 밝은 영역으로 뚜렷이 대비되므로 용이하게 핫 스팟을 관측할 수 있으며 이를 처리하여 구조물의 결함 위치를 신속 정확하게 검출할 수 있다. 초음파 서모그래피를 이용한 비파괴 검사는 주로 항공기, 자동차 등의 복합재료의 결함 검출에 사용되고 있다. Fig. 4-1은 초음파 서모그래피의 결함 검출 원리를 나타내고 있다.⁽²⁾⁽⁴⁾

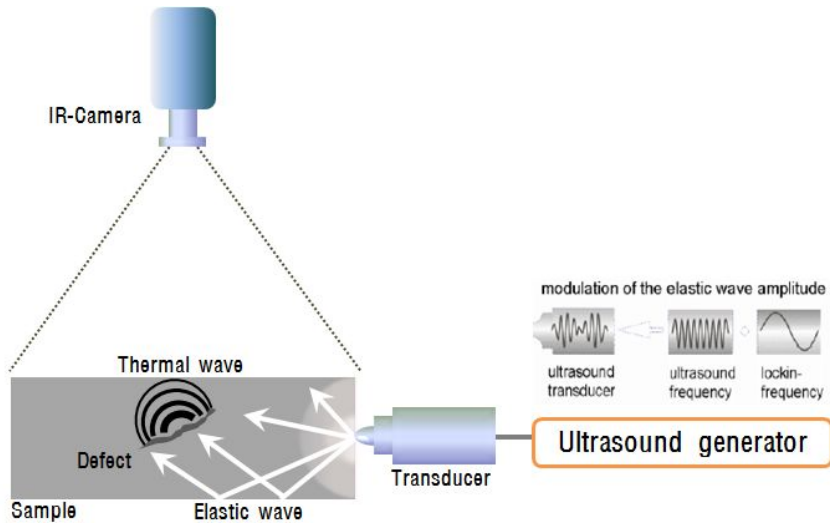


Fig. 4-1 Diagram of Heating System using Ultrasonic Excitation

초음파가 물체의 결함 부위를 통과 할 때 서로 맞닿은 두 결함 면은 균일하게 진동하지 않는다. 결함 면 사이의 마찰이 탄성파의 일부를 열로 변환시킨다. 이러한 발열현상을 적외선 열화상 카메라로 관측하면 구조물의 균열과 같은 결함을 효율적으로 검출 할 수 있다. 고에너지 초음파 펄스 (폭: 50~300ms, 주파수: 20~40kHz, 진폭: 2kV)를 검사시편에 인가하여 결함 부위에서 국부적인 열이 발생되도록 한다. 적외선 열화상 카메라를 이용하여 초음파 펄스 인가 전후의 시간 경과에 따른 결함 부위의 발열 현상을 관측한다. 20kHz 대역 주파수의 초음파는 수십 cm의 파장 성분을 갖는다. 또한 파장 길이보다 훨씬 먼 거리를 진행 할 경우에도 초음파는 충분한 진폭 에너지를 가지면서 전파된다. 재료의 손실이 없을 경우 초음파는 감쇠 없이 수파장 이상의 거리를 전파 할 수 있다. 일반적으로 고체에서 음파의 속도는 수 km/s이다. 초음파 여기 펄스가 인가되는 순간에 1m² 이내의 크기를 갖는 구조물의 전 검사 영역을 음장(sound field)이 완전히 투과한다. 수 kHz 대의 영상 획득시간을 갖는 초고속 적외선 열화상 카메라를 이용할 경우 수십 μ s이내에 결함을 검출할 수 있다. 따라서 구조물의 결함 부위에서의 발열을 효과적으로 여기 하기 위해 가청 주파수의 경계에 위치하는 15kHz~40kHz 대역의 여기 주파수를 사용하며 일반적으로 20kHz 대역이 널리 사용된다.^(3~5)

제2절 초음파 서모그래피 실험방법

1. 시험장치 구성

본 논문에 사용한 적외선열화상카메라는 AGEMA사의 Thermovision 900 system 이며 초음파 가진기는 대영초음파의 DYW-430H 핸드건 타입의 부스터 일체형 가진기이다. 사양은 입력전원 AC180~245V, 초음파가진시간 0.1~5sec 연속발진이 가능하며, 주파수조정범위는 30kHz이다. 출력은 400W이며 제원은 Fig. 4-2와 같다.

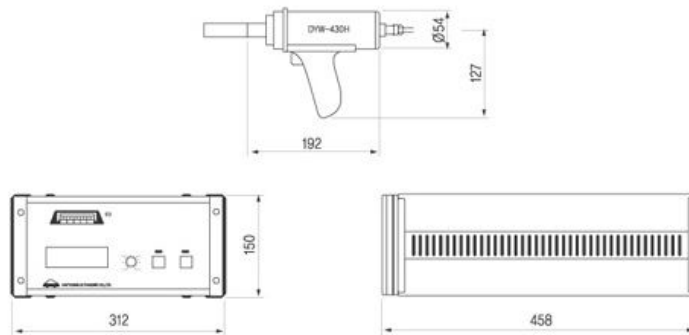


Fig. 4-2 DYW-430H Spec

시험에 사용된 핸드건 타입의 가진기는 시험의 용이성을 위하여 버튼식으로 수정하였으며, Fig. 4-3은 발진기이다. 시험장치는 Fig. 4-4와 같이 지그로 고정하였고 지그는 가진시 움직임을 최소화 하기위하여 볼트로 고정하였다.



Fig. 4-3 DYW-430H

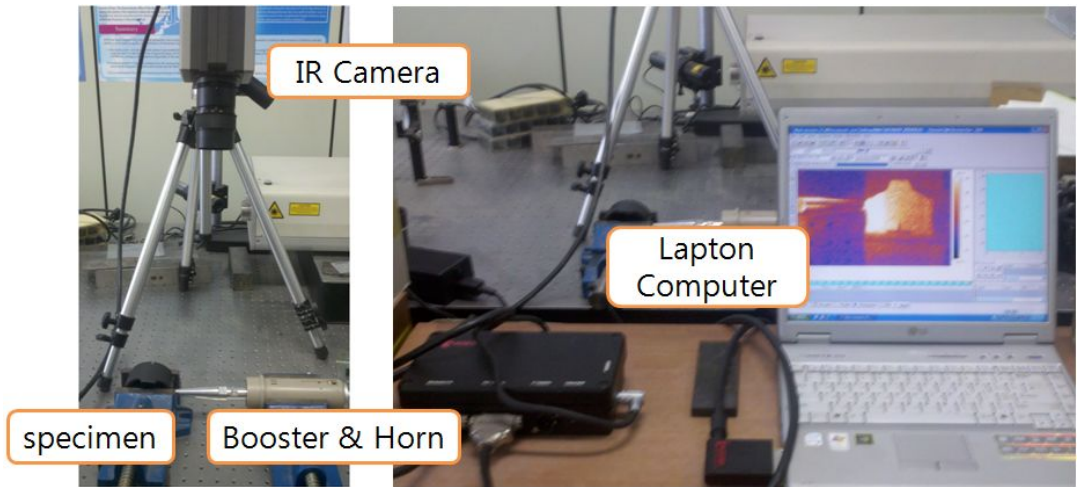


Fig. 4-4 The composition of experiment equipment

2. 초음파 혼 설계 제작

대상체에 최적의 초음파 펄스를 입사하기 위하여 관련 논문 및 자료를 참고하여 원뿔형의 혼을 설계하고 두랄루민 재질로 제작하였다. Fig. 4-5 는 2D설계도면과 제작한 Cone type의 혼의 이미지를 나타내고 있다.

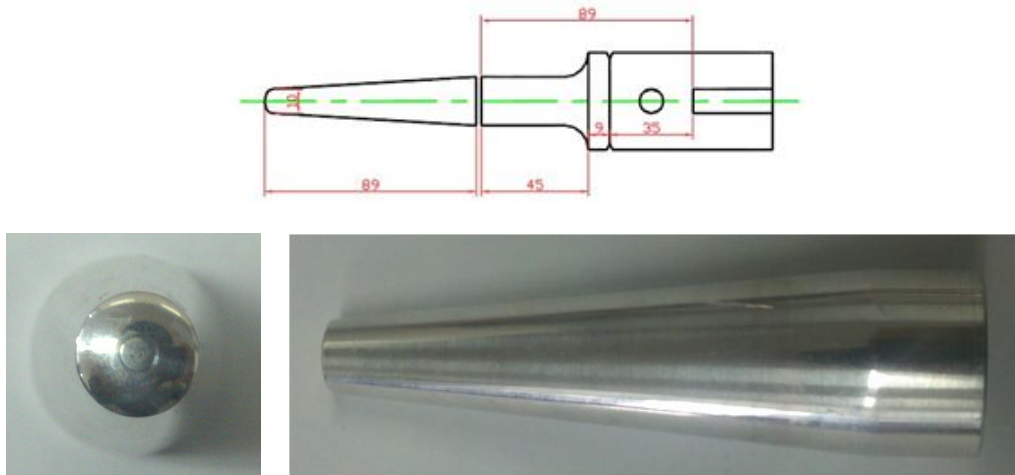
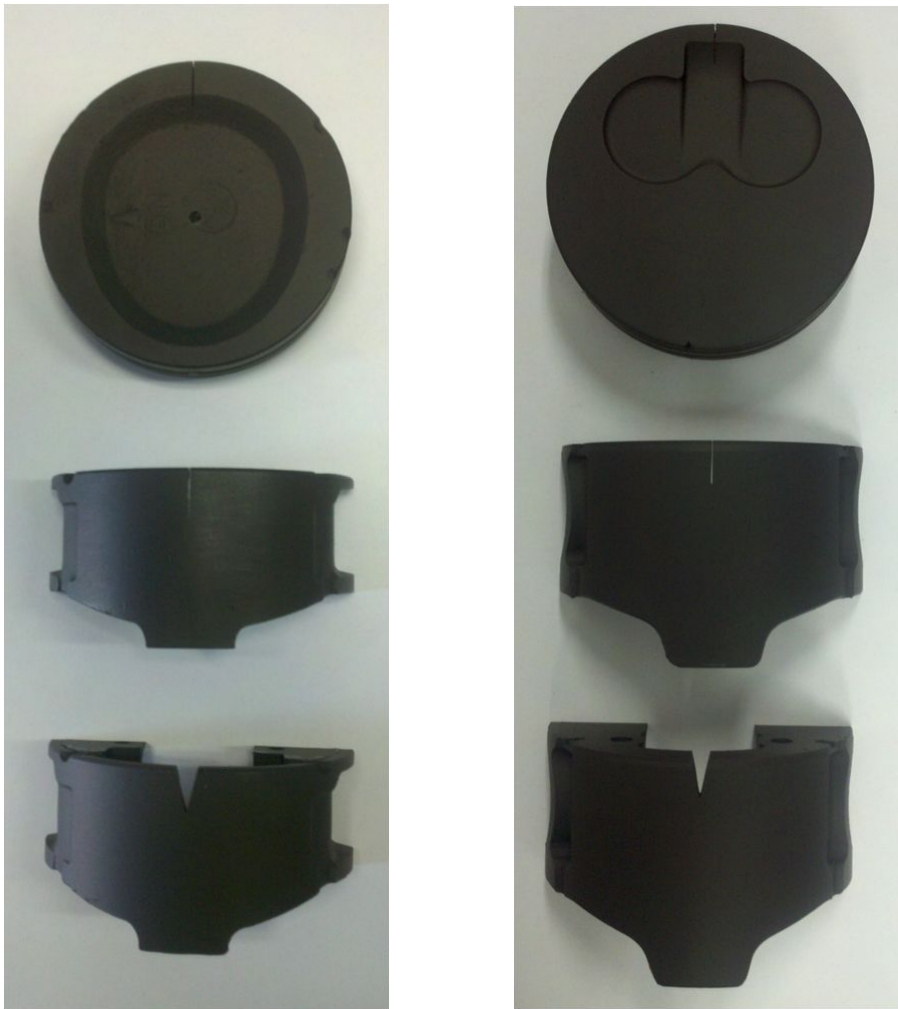


Fig. 4-5 2D design drawings and images of the produced horns

3. 시편제작

시편은 가솔린과 디젤기관의 피스톤을 피스톤 헤드와 피스톤 스커트로 와이어컷팅하고 피스톤 스커트는 다시 2개로 컷팅하였다. 결함을 주기위하여 가솔린과 디젤 피스톤 헤드에 1cm를 와이어 컷팅 하였다. 또한 피스톤 스커트는 1cm 컷팅하면서 미세균열을 발생시켰으며, 다른 한부분은 가로 0.5cm, 세로 1cm 홈 형태로 컷팅하면서 절단균열을 발생시켰다. 이렇게 제작한 시편은 Fig. 4-6와 같으며 (a)는 가솔린 피스톤, (b)는 디젤 피스톤이다.



(a) Gasoline specimen

(b) Diesel specimen

Fig. 4-6 Manufactured specimen

제 5 장 연구 결과 및 분석

제1절 초음파 서모그래피 적용

1. 적용실험

본 실험을 수행하기 전 초음파 서모그래피를 적용가능성을 알아보기 위하여 기초 실험을 실시하였으며, 기초실험에 사용된 시험편은 K사의 3기통 가솔린기관 피스톤으로 소재는 알루미늄 합금으로 구성되어있다.

시험편은 충격을 주어 임의의 균열을 주었으며 이를 초음파 서모그래피 기법을 적용하여 NDT를 수행하고자 한다.

위에서 언급 했던 것과 같이 적외선열화상기법은 방사율에 큰 영향을 받는다. 이러한 이유로 시험편에 검은색 무광 페인트를 도포하였으며, Fig. 5-1은 도포 후 기초 실험에 사용한 시험편이며, Fig. 5-2은 임의의 충격으로 균열을 발생 시킨 후 페인트를 도포한 이미지를 보여주고 있다.



Fig. 5-1 Pistons used for the experiment



Fig. 5-2 Cracks from impact

실험은 시험편과 가진기 혼을 지그에 고정하고 초음파 펄스가 최대한 입사될 수 있도록 시험편과 혼을 밀착시켰으며, 60초 동안 주파수 30kHz의 초음파 펄스로 5초씩 총12회 가진하면서 적외선 열화상 카메라를 이용하여 1초당 1프레임으로 촬영하였다. Fig. 5-3은 지그에 고정되어 밀착된 시험편과 혼을 보여주고 있다.

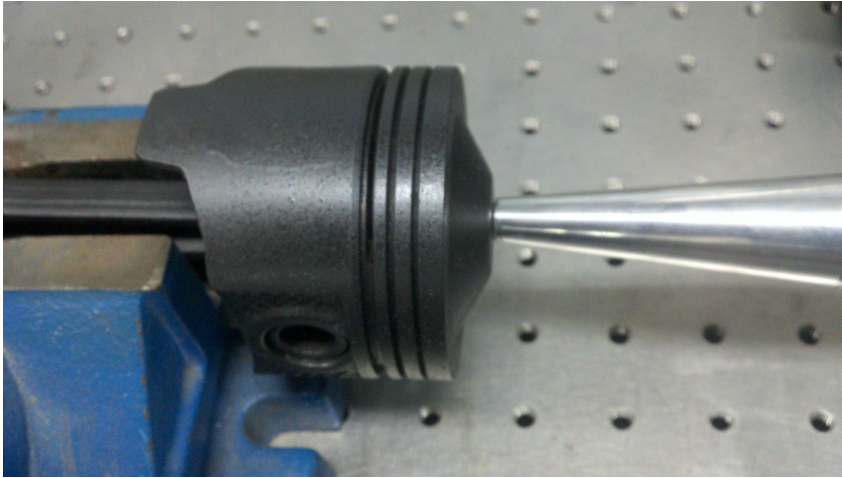


Fig. 5-3 Fixed to press into specimen and horn

2. 적용실험 결과

피스톤에 30kHz의 초음파 펄스를 인가한 직후 Fig. 5-4 적외선 열화상 이미지를 보듯이 균열 부위에서 핫 스폿이 발생 되었다.

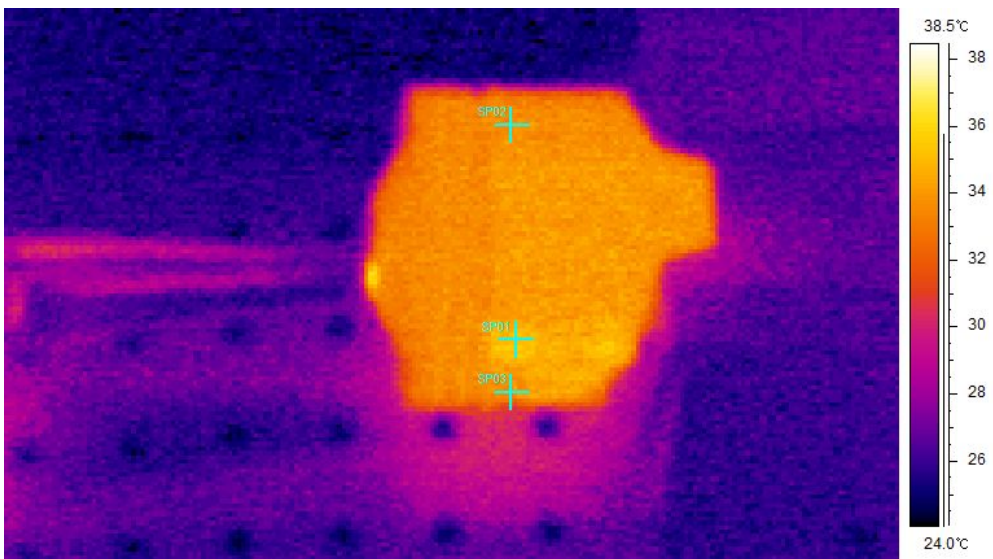


Fig. 5-4 IR image of piston

균열 부위의 정확한 온도 데이터를 얻기 위하여 3개의 Spot을 지정하였다. Spot 1은 균열 부위이며, Spot 2, Spot 3는 균열이 없는 부위를 지정하여 비교 하였다. Fig. 5-5에 각 Spot의 온도 데이터를 그래프로 나타내었다. 그 결과 Spot 2, Spot 3는 온도 편차가 비슷한 반면 균열 부위인 Spot 1은 온도가 계속 상승하는 것을 볼 수 있다. 이는 초음파 서모그래피 기법을 피스톤에도 충분히 적용 할 수 있다는 것을 보여준다.

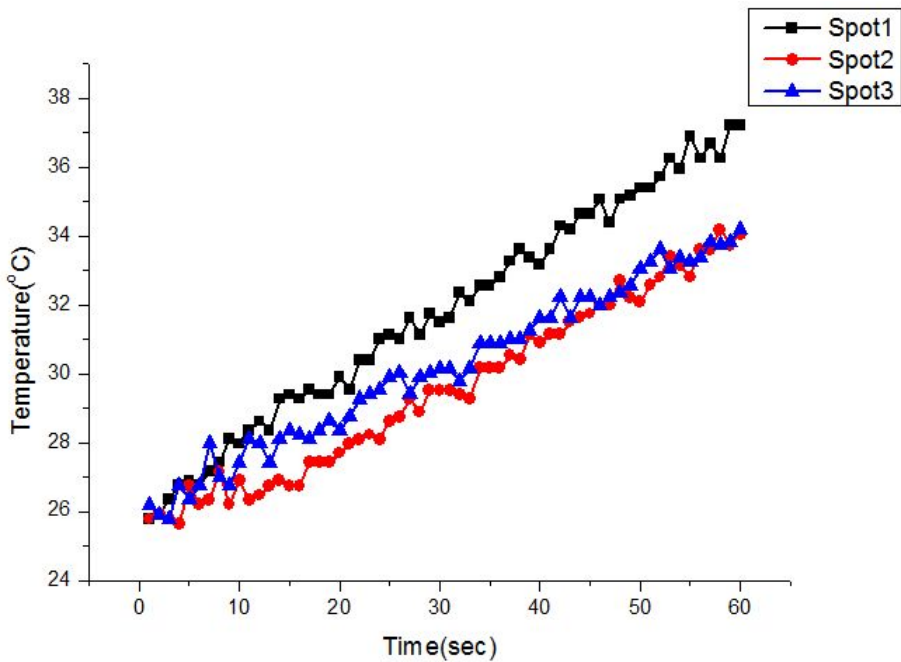


Fig. 5-5 Spot temperature graph of piston

제2절 가솔린 피스톤 초음파 서모그래피

가솔린 피스톤 시험편은 피스톤 헤드와 피스톤 스커트는 미세균열과 절단균열 이렇게 총 3가지이며 60초 동안 5초 간격으로 초음파 펄스를 인가하여 1초당 1프레임으로 적외선 열화상 카메라로 계측하였다. 초음파 가진시 시험편과 가진기의 미끄러짐을 방지하기 위하여 시험편과 가진기 모두 지그로 고정하였다.

데이터 분석의 용이성을 위하여 균열의 종류에 따라 Vertical 방법과 Horizontal 방법으로 구분하여 분석하였다. Vertical 방법은 Spot지정을 세로로 하는 것이며 Horizontal 방법은 가로 형태로 Spot을 지정하는 것을 뜻 한다.

1. 피스톤 헤드 계측 분석

가솔린 피스톤 헤드는 가진 위치에 작은 홈들이 있어 초음파 펄스를 인가하는데 어려움이 발생 하였다. 그래서 결합부위와 가까운 곳에서 초음파 펄스를 인가하였으며, 그 결과 Fig. 5-6 와 같은 열화상 이미지를 계측 할 수 있다.

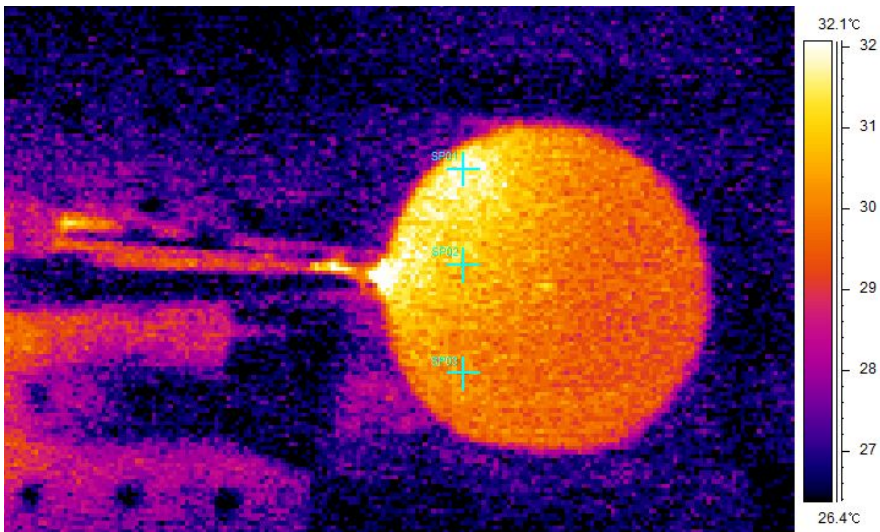


Fig. 5-6 IR image of gasoline piston head

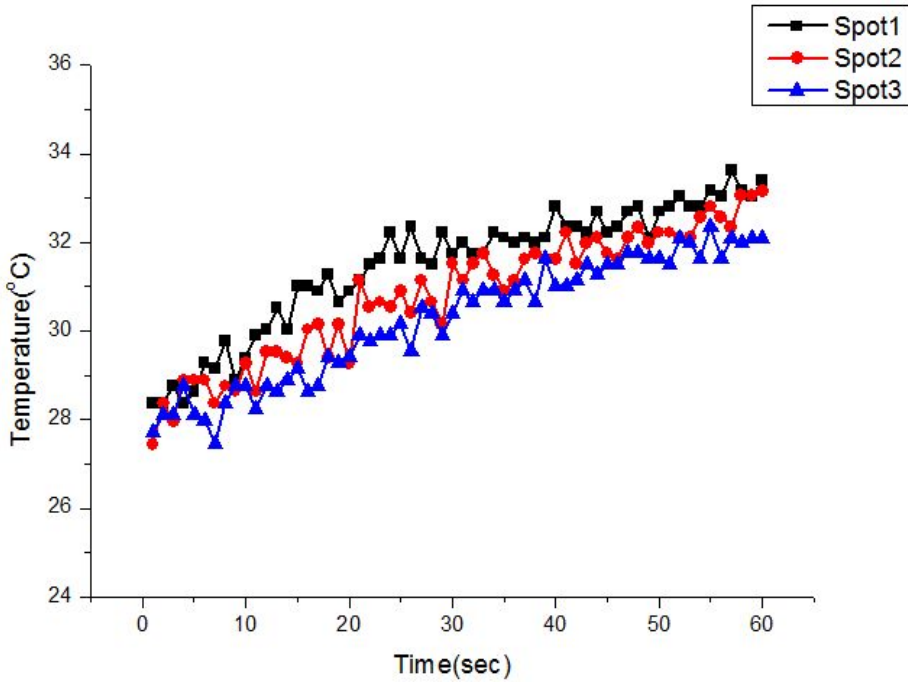


Fig. 5-7 Spot temperature graph of gasoline piston head

초음파 펄스 인가 후 가솔린 피스톤 헤드 부분의 Fig. 5-6과 같이 균열 부에서 핫스팟이 발생하였으며 Fig. 5-7의 그래프를 보듯이 28초 때에 균열 부위의 온도가 32도 이상으로 올라가는 것을 볼 수 있다.

피스톤 헤드는 초음파 혼를 접촉 시킬 부분이 매끄럽지 못하여 완전한 주파수의 펄스가 인가되지 않았지만 결함을 검출하기에는 충분했다.

2. 피스톤 스커트 미세 균열 계측 분석

초음파 펄스를 오른쪽에서 인가하여 정확한 데이터를 분석하기에는 Vertical 방법이 적당하나 초음파 펄스의 열전달을 알아보기 위하여 Horizontal 방법으로도 데이터를 분석하였다.

가. Vertical 데이터 분석

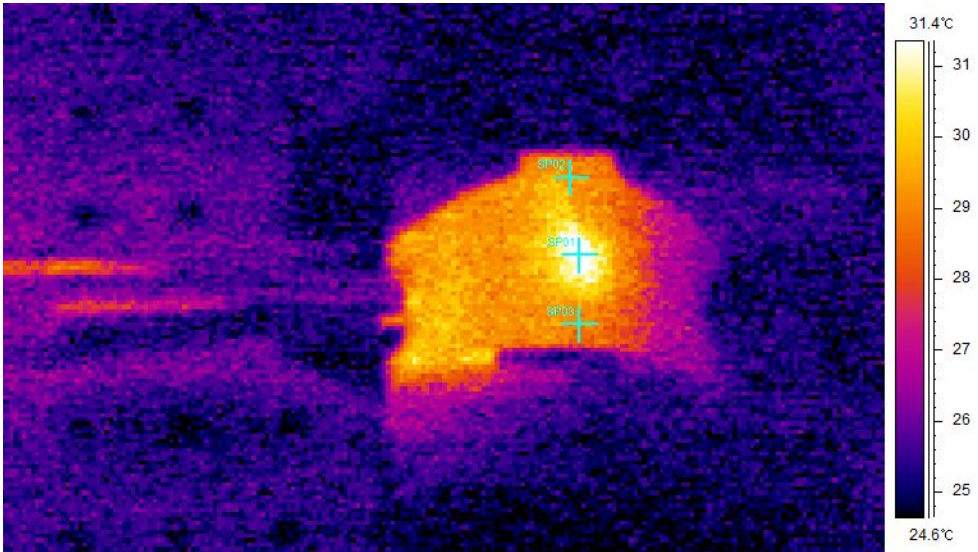


Fig. 5-8 Gasoline piston skirt IR image of microcrack
(Appoint the spot by the Vertical way)

초음파 펄스의 인가로 인해 피스톤 스커트의 미세균열에서 떨림이 발생하여 Fig. 5-8과 같은 핫 스팟이 생성되었으며, 이에 균열 부위인 Spot 1과 균열이 없는 정상 상태인 Spot 2, Spot 3를 지정하여 Fig. 5-9와 같은 그래프를 얻을 수 있다.

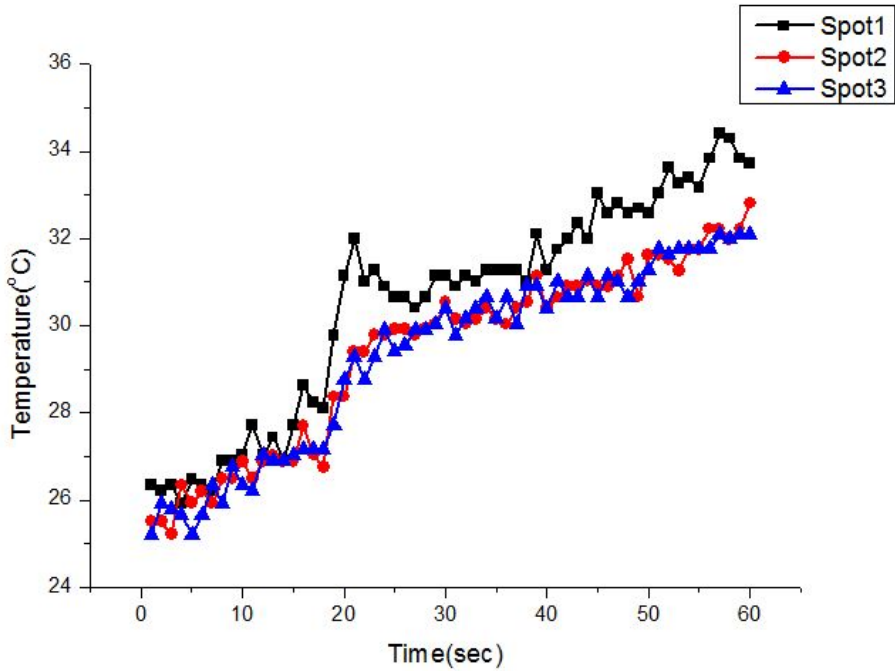


Fig. 5-9 Gasoline piston skirt spot temperature graph of microcrack
(Appoint the spot by the Vertical way)

그 결과 Spot 1은 20초 부근에 초음파 펄스에 인한 떨림 형상으로 핫 스폿이 생성되었으며 계속 되는 초음파 펄스의 인가로 인해 일정한 온도로 상승되는 것을 볼 수 있다. 또한 정상 상태인 Spot 2와 Spot 3은 균열 부위와 달리 일정하게 온도가 상승하는 것을 볼 수 있다.

나. Horizontal 데이터 분석

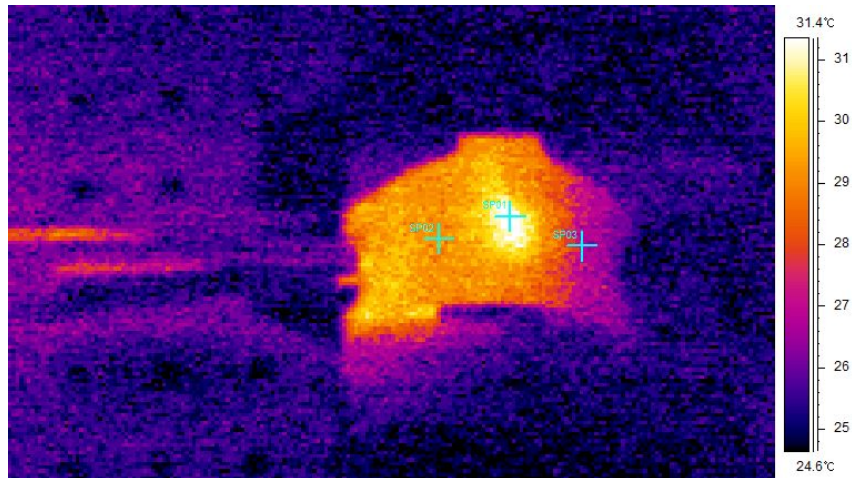


Fig. 5-10 Gasoline piston skirt IR image of microcrack
(Appoint the spot by the Horizontal way)

Fig. 5-10에 나타난 것과 같이 Horizontal 방법은 Vertical 방법과 달리 초음파 펄스의 인가에 의해 상승하는 온도데이터에 중점을 주어 데이터를 얻을 수 있다. 이러한 방법으로 Fig. 5-11과 같은 그래프를 나타낼 수 있다.

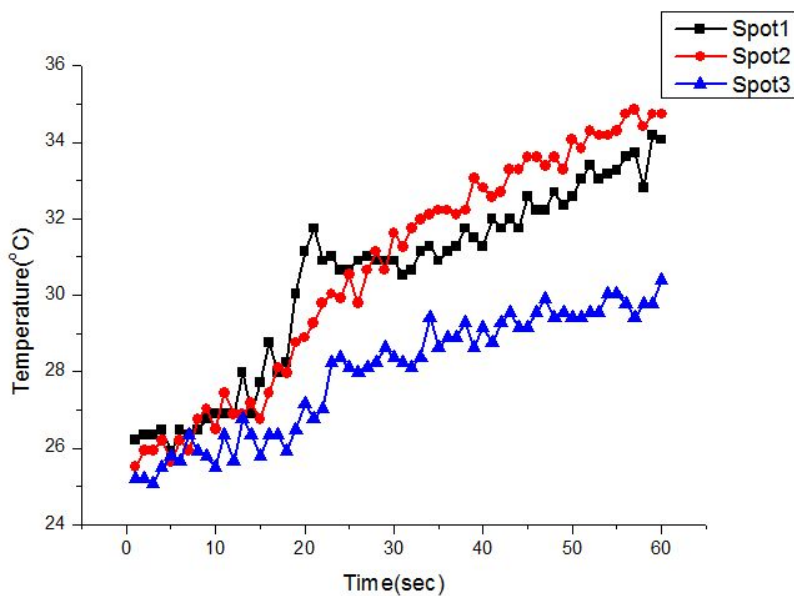


Fig. 5-11 Gasoline piston skirt spot temperature graph of microcrack
(Appoint the spot by the Horizontal way)

그 결과 결함 부위보다 오히려 가진기 쪽의 온도 더 높은 것을 볼 수 있다. 20초 부근에서 균열에 핫 스팟이 생성되었지만 계속되는 초음파 펄스의 인가로 인하여 시험편의 평균온도가 상승하게 되고 그로인하여 균열부의 온도보다 시험편의 온도가 더욱 상승하게 되는 것이다. 이는 할로겐 램프를 열원으로 사용하는 NDT기법에 비교하여 보면 할로겐 램프를 사용하여 NDT를 수행 할 경우 지속적인 열의 인가로 균열을 찾아내지만 초음파 서모그래피 기법은 어느 한순간 초음파 펄스에 의해 발생하는 핫 스팟으로 균열을 찾아낸다. 그러므로 초음파 서모그래피 기법은 빠른 시간에 NDT를 수행하여 결함을 측정하는 것이 가능하다.

3. 피스톤 스커트 절단 균열 계측 분석

절단 균열 시험편에 초음파 펄스를 인가한 결과 Fig. 5-12와 같이 아래쪽에서 시작된 핫 스팟이 점점 균열 부위를 타고 올라오는 현상을 계측 할 수 있었다. 초음파 서모그래피 기법은 초음파 펄스를 인가하여 그로인해 발생된 균열부의 핫 스팟을 검출 하는 기법이다. 따라서 이 같은 현상은 초음파에 의한 떨림이 제일 먼저 발생한 곳이 시험편 아래쪽이며 이로 인해 발생한 발열이 균열부를 타고 전달되었다

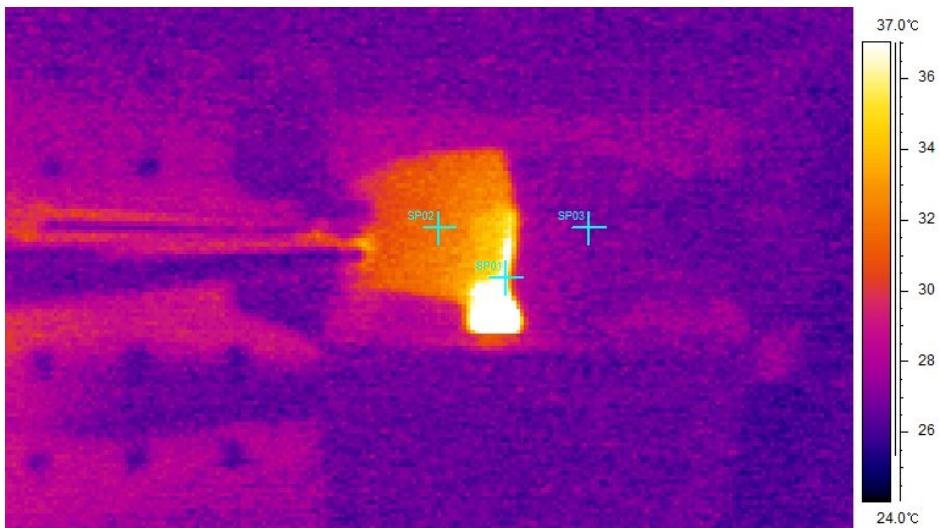


Fig. 5-12 Gasoline piston skirt IR image of cutting crack

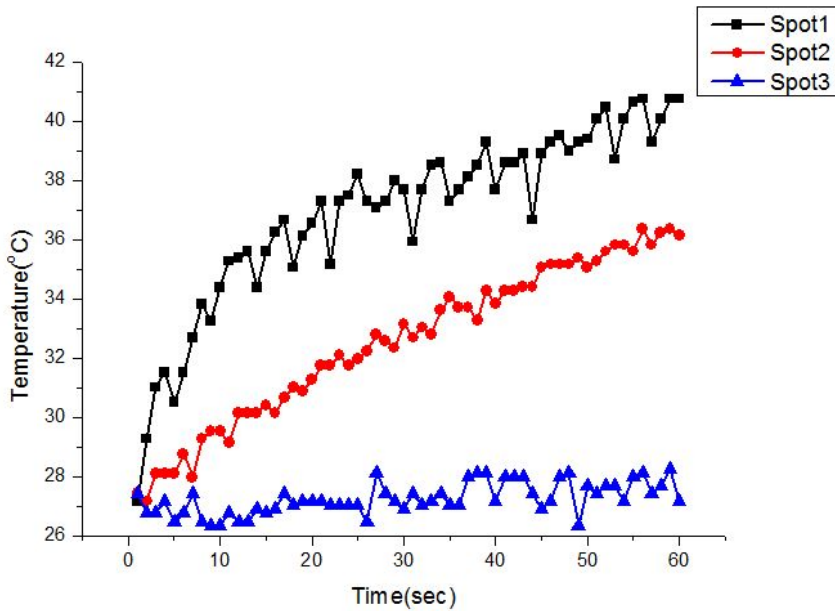


Fig. 5-13 Gasoline piston skirt spot temperature graph of cutting crack

Horizontal 방법으로 데이터를 분석하였으며 Fig. 5-13과 같은 그래프를 얻을 수 있었다. 미세균열과 다르게 절단균열의 온도 변화는 뚜렷하게 나타났다.

초음파 펄스를 인가한 직후 균열에서 핫 스팟이 생성 되었으며 그 발열량은 Spot2보다 높았다. 미세균열의 경우 한순간 핫 스팟이 생성되었다면 절단균열의 경우는 초음파 펄스 인가 직후부터 꾸준히 핫 스팟이 생성되었다.

Vertical 방법이 아닌 Horizontal 방법으로 데이터를 분석한 이유는 Fig. 5-12의 IR 이미지를 보듯이 절단균열을 경계로 온도의 변화가 거의 없다는 것을 알 수 있다. 이는 초음파 펄스가 절단부위를 통과하지 못하고 반사되어 돌아와 Spot3 부분은 온도의 변화가 거의 없으며 통과하지 못하고 반사되는 초음파 펄스로 인하여 균열의 높은 발열로 이어져 이 같은 온도 분포를 보이게 된다.

제3절 디젤 피스톤 초음파 서모그래피

제2절과 같은 방법으로 디젤 피스톤에 초음파 서모그래피를 적용하여 NDT를 수행하였다.

1. 피스톤 헤드 계측 분석

가솔린 피스톤 헤드와 다르게 디젤 피스톤의 헤드는 혼을 밀착하는 큰 지장이 없어 초음파 펄스의 인가에 어려움은 없었다. Fig. 5-14는 디젤 피스톤 헤드의 IR 이미지를 보여주고 있으며 Spot1은 균열부분이다.

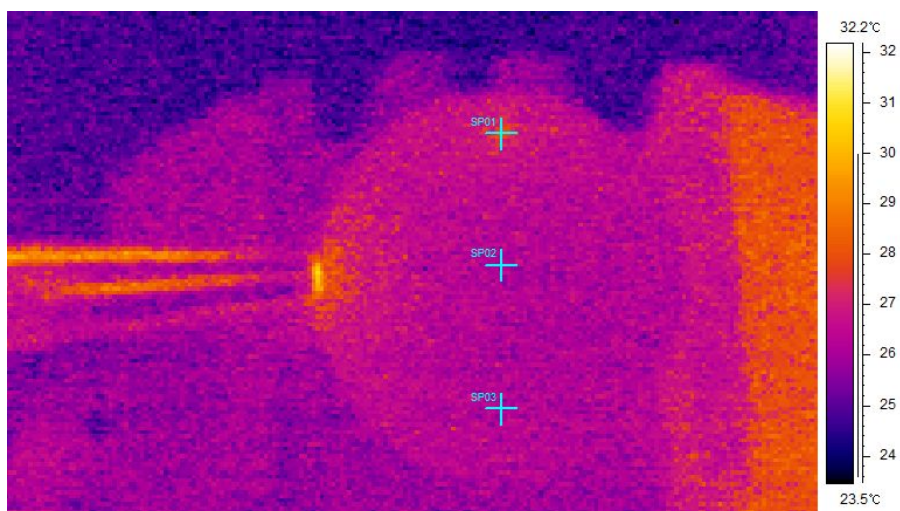


Fig. 5-14 IR image of Diesel piston head

가솔린 피스톤 헤드의 초음파 서모그래피 NDT 결과와 거의 흡사한 온도 분포를 보여 주고 있으며 Fig-5-15에 각 Spot에 대한 온도 그래프를 나타내었다.

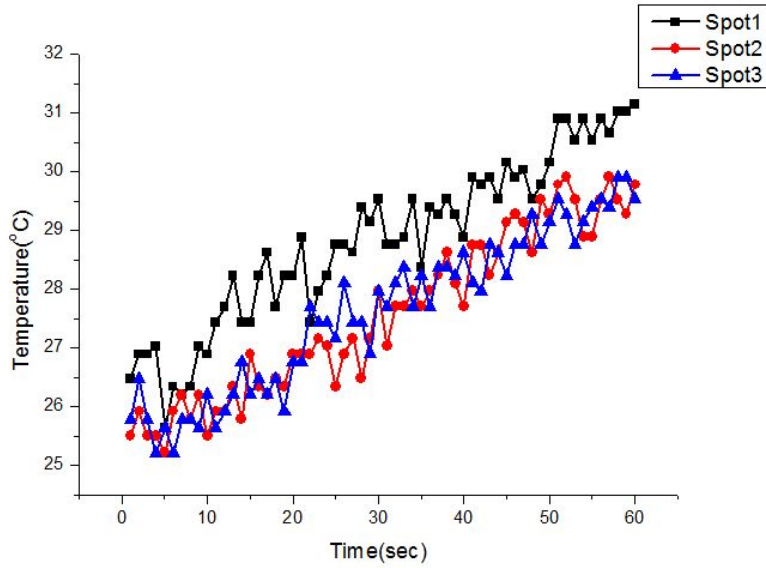


Fig. 5-15 Spot temperature graph of Diesel piston head

2. 피스톤 스커트 미세 균열

미세균열의 데이터 분석은 가솔린 때와 같이 Vertical방법과 Horizontal방법을 사용하였다.

가. Vertical 데이터 분석

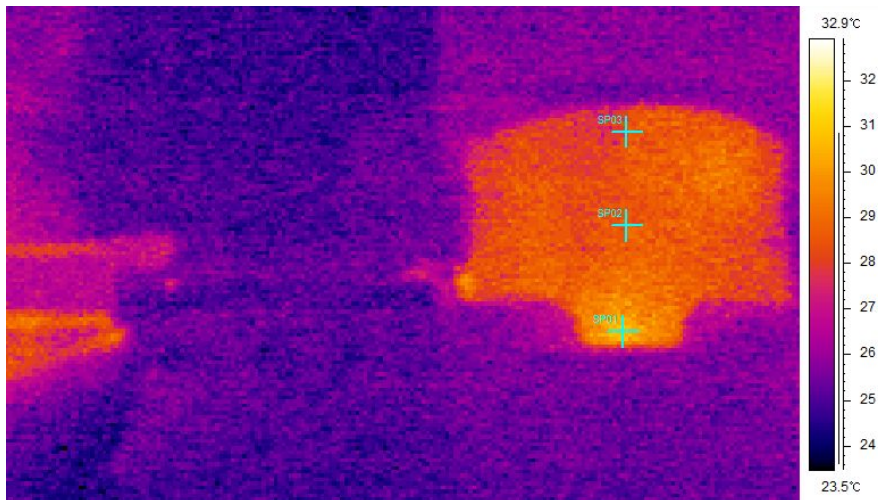


Fig. 5-16 Diesel piston skirt IR image of microcrack
(Appoint the spot by the Vertical way)

Vertical 데이터 분석결과 대체적으로 가솔린과 비슷한 온도 분포를 나타내었다. Fig. 5-16은 Vertical방법으로 Spot을 지정한 IR 이미지를 보여주고 있으며 Spot1은 균열부분이다.

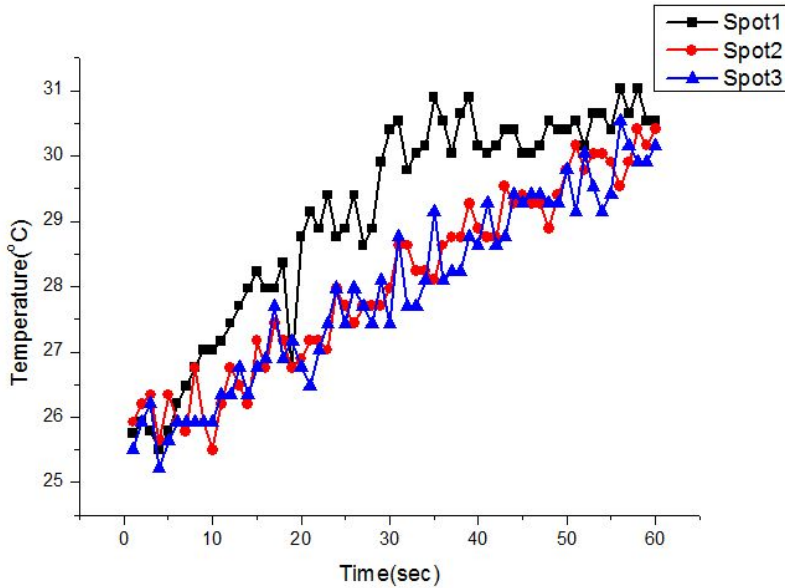


Fig. 5-17 Diesel piston skirt spot temperature graph of microcrack
(Appoint the spot by the Vertical way)

Fig. 5-17에서 나타낸 것과 같이 디젤 피스톤 스커트의 미세균열 NDT 결과 초음파 펄스 인가 후 35초 부근에서 가장 높은 30.8도의 온도가 발생되었다.

똑같은 결함으로 실험한 가솔린 피스톤 스커트 미세균열의 결함을 검출하는데 걸리는 시간은 20초 였으나 디젤 피스톤 스커트 미세균열의 결함을 검출하는데 걸리는 35초로 약 15초의 시간차이를 보였다. 이는 단순히 가솔린과 디젤의 부피 차이이며 이로 인하여 초음파 펄스의 인가 시간이 길어 진 것으로 볼 수 있다.

나. Horizontal 데이터 분석

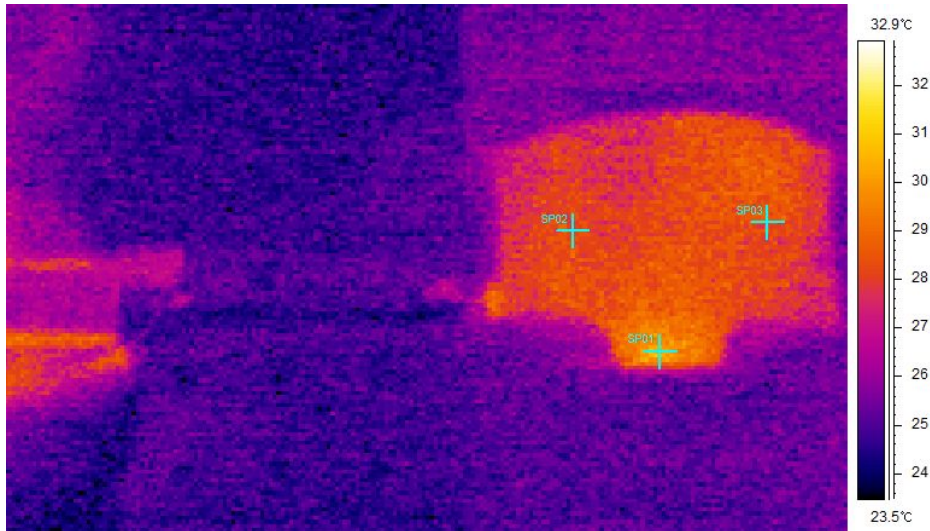


Fig. 5-18 Diesel piston skirt IR image of microcrack
(Appoint the spot by the Horizontal way)

Fig. 5-18은 Horizontal방법의 Spot을 지정한 IR 이미지를 보여주고 있으며 이미 지상으로는 가솔린과 거의 흡사한 온도 분포를 보이는 것 같으나 Horizontal 데이터 분석 결과 Fig. 5-19와 같이 Spot 2가 아닌 Spot 3의 발열이 더 높게 나타났다. 정확한 원인은 파악되지 않았으며 시험편과 지그사이에서 초음파 펄스에 의해 떨림이 발생하여 이 같은 온도 분포가 나타난 것으로 추측된다.

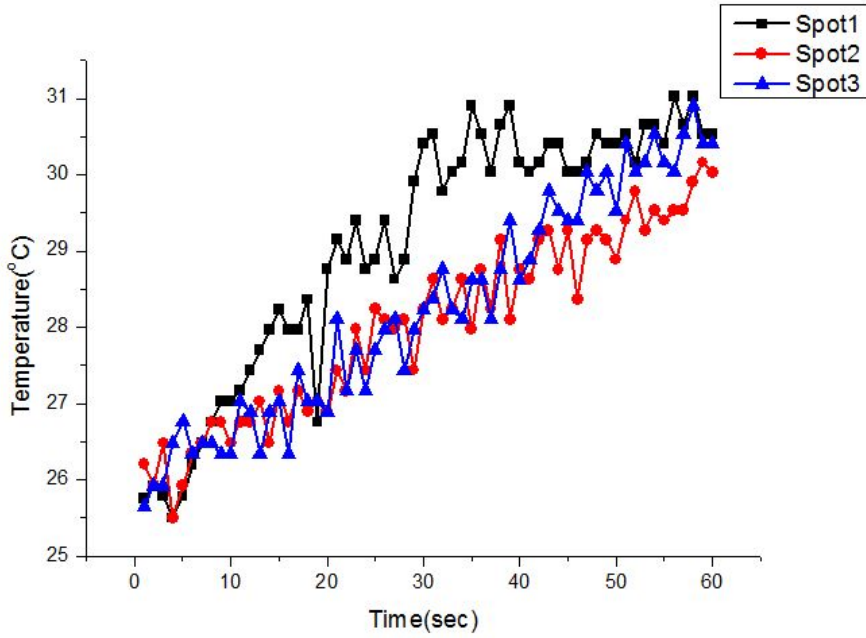


Fig. 5-19 Diesel piston skirt spot temperature graph of microcrack
(Appoint the spot by the Horizontal way)

3. 피스톤 스커트 절단 균열

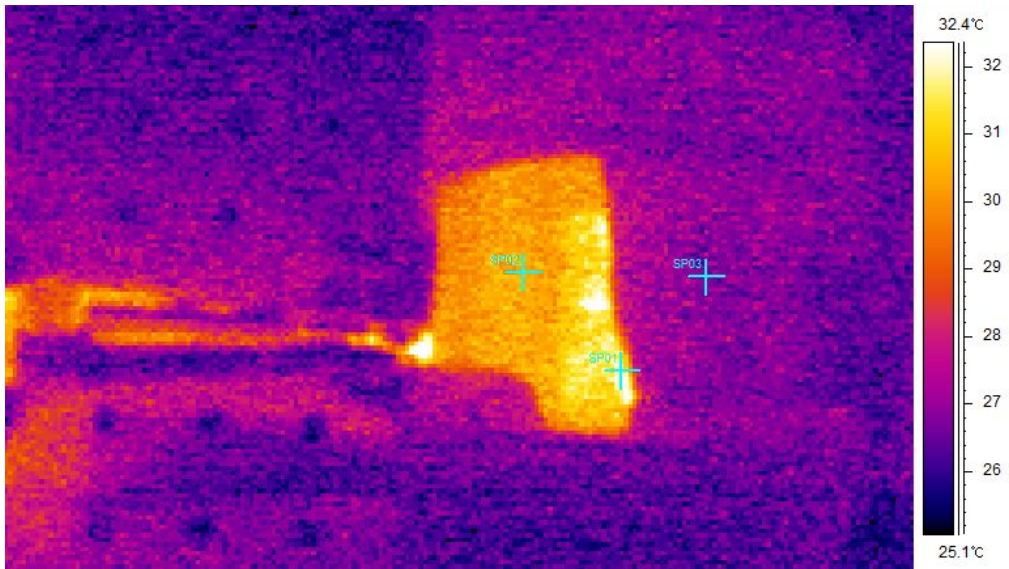


Fig. 5-20 Diesel piston skirt infrared image of cutting crack

절단균열 NDT 결과 균열부위에서 Fig. 5-20과 같이 발열이 고루 생성되는 것을 볼 수 있으며 Fig. 5-21는 각 Spot의 온도를 그래프로 나타내고 있다. 대체적으로 가솔린 절단균열과 비슷한 현상을 보인다.

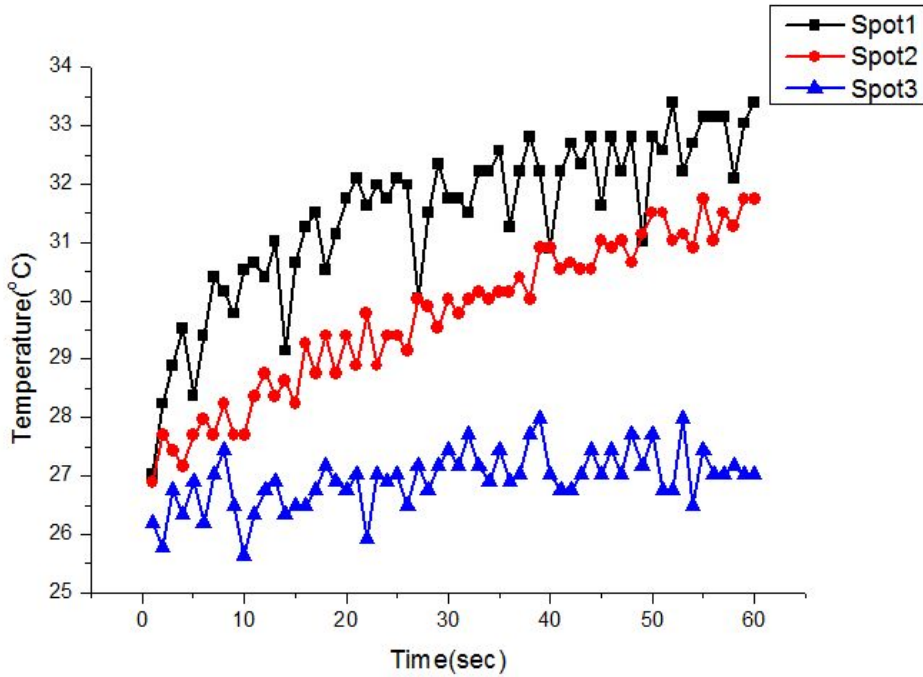


Fig. 5-21 Diesel piston skirt spot temperature graph of cutting crack

제 5 장 결 론

내연기관 피스톤의 비파괴 신뢰성 평가를 위하여 초음파 서모그래피 기법을 적용하였으며 현장 적용성 및 신뢰성을 검증하고자 피스톤 균열에 대한 열화상 진단을 수행하였다. 초음파 서모그래피 기법 적용을 위하여 국내·외 관련자료를 참고하여 초음파 혼을 설계 제작하였으며 시험편은 가솔린과 디젤기관의 피스톤을 피스톤 헤드와 피스톤 스커트로 나누어 미세균열과 절단균열을 진단하였고 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

1. 초음파 펄스의 인가로 인하여 모든 시험편에서 균열부위에 발열이 발생하였으며, 지속적인 열의 인가로 균열을 찾아내는 NDT 기법에 비해 초음파 서모그래피 기법은 초음파 펄스의 파장을 이용한 진동에 의한 발열을 이용하므로 초음파 펄스 인가 후 40초 이하에서 균열을 파악 할 수 있었다.
2. 미세균열이 있는 시험편에 초음파 펄스를 인가할 경우 시험편의 온도가 전체적으로 올라가면서 균열부위에서 핫 스폿이 생성되는 반면 절단균열의 경우 시험편의 균열부위에서 초음파 펄스가 전파되지 않고 반사되어 균열부위에서 높은 발열이 생성 되었으며, 시험편을 절반으로 나눈 형상과 같은 이미지를 계측할 수 있었다.
3. 균열의 크기 및 모양에 따라 가솔린 피스톤과 디젤 피스톤 모두 흡사한 온도 분포를 나타내었으나 결함을 검출하는데 걸리는 시간은 차이가 있었다. 피스톤 스커트의 정확한 미세균열을 검출하는데 가솔린은 20초의 시간이 걸렸으나 디젤의 경우 35초의 시간이 걸렸다. 이는 가솔린 피스톤과 디젤 피스톤의 부피차이로 초음파 펄스의 파장 전파 속도에 차이가 난 것으로 사료된다.
4. 본 연구에서는 Cone type의 혼과 30kHz의 주파수만을 사용하여 측정하였지만 각각의 시험편에 최적의 혼과 주파수를 선정한다면 좀 더 빠르고 정확한 결함 검출이 가능 할 것으로 판단된다.

REFERENCE

1. "Level I Course Manual" Infrared Training Central, 1998, pp. 12~56
2. T. Zweschper, G. Riegert, A. Dillenz and G. Busse, "Ultrasound Burst Phase Thermography (UBP) for Applications in the Automotive Industry", Review of Progress in Quantitative Nondestructive, Vol. 657, 2003, pp. 531~536
3. A. Gleiter, G. Riegert, T. Zweschper, G. Busse, "Ultrasound lock-in thermography for advanced depth resolved defect selective imaging", Insight - Non-Destructive Testing and Condition Monitoring, Vol. 49, 2007, pp. 272~274
4. T. Zweschper, A. Dillenz, G. Riegert, D. Scjerling and G. Busse, "Ultrasound excited thermography using frequency modulated elastic waves", Insight - Non-Destructive Testing and Condition Monitoring, Vol. 45, 2003, pp. 178~182
5. T. Zweschper, G. Riegert, A. Dillenz and G. Busse, "Ultrasound Excited Thermography - Advances Due To Frequency Modulated Elastic Waves", Quantitative Infrared Thermography, Vol. 2-1, 2005, pp. 65~76
6. A. Dillenz, T. Zweschper and G. Busse, "Elastic wave burst thermography for NDE of subsurface features", Insight, Vol. 42, No. 12, 2000, pp. 815~817
7. M. Shepard, T. Ahmed and R. Lhota, "Experimental Considerations in Vibrothermography", SPIE Thermosense, Vol. 5405, 2004, pp. 12-16
8. S. Pickring, D. Almond, "Matched excitation energy comparison of the pulse and lock-in thermography NDE techniques", NDT&E International, Vol. 41, 2008, pp. 501~509
9. L. D. Favro, X. Han, Z. Ouyang, G. Sun and R. L. Thomas, "Sonic Ir Imaging of Cracks and Delaminations", Analytical Sciences April 2001, Vol.

- 17, 2001, pp. 451~453
10. R. Plum, T. Ummenhofer, "Ultrasound excited thermography of load bearing members used in constructional steelwork", QIRT2008, 2008
 11. R. B. Mignogna, R. E. Green Jr, J. C. Duke Jr, E. G. Henneke II and K. L. Reifsnider, " Thermographic investigation of high-power ultrasonic heating in materials", Ultrasonics, Vol. 19, 1981, pp. 159~160
 12. J. W. Cho, Y. C. Seo, S. H. Jung, S. H. Kim and H. K. Jung, "Fast Defect Detection of PCB using Ultrasound Thermography", KIEE2006, Vol. 55, No. 2, 2006, pp. 68~71
 13. J. W. Cho, Y. C. Seo, S. H. Jung, H. K. Jung and S. H. Kim, "A Measurement of Size of the Open Crack using Ultrasound Thermography", 제어·자동화·시스템공학 논문지, Vol. 13, No. 3, 2007, pp. 218~223
 14. J. W. Cho, C. M. Chung, Y. S. Choi, S. H. Jung and H. K. Jung, " A Welding Sefect Inspection using an Ultrasound Pulse Thermography", Journal of KWJS, Vol. 25, No. 1, 2007, pp. 9~13
 15. J. W. Cho, Y, C. Seo, S. H. Jung, H. K. Jung and S. H. Kim, "A Study on Real-Time Defect Detection Using Ultrasound Excited Thermography", Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing, Vol. 26, No. 4, 2006, pp. 211~219
 16. J. W. Cho, Y. S. Choi, S. H. Jung and H. K. Jung, "A Brazing Defect Detection Using an Ultrasonic Infrared Imaging Inspection", Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing, Vol. 27, No. 5, 2007, pp. 426~431
 17. J. W. Cho, Y. C. Seo, S. H. Jung, S. H. Kim and H. Y. Jung, "Defect Detection of Ceramic Heating Plate Using Ultrasound Pulse Thermography", Journal of the Korean Ceramic Society, Vol. 43, No. 4, 2006, pp. 259~263
 18. W. S. Chae, K. W. Kim, H. M. Choi, D. H. Kim, " Turning and Metallic

- Characterization for Piston Materials of Automobile” 한국공작기계학회 추계 학술대회 논문집, 2001, pp. 202~206
19. Robert Madding, Gray orlove, "INFRAMATION 2004", Vol. 5, 2004.
 20. Robert Madding, Gray orlove, "INFRAMATION 2005", Vol. 6, 2005.
 21. F. S. Silva, "Fatigue on engine pistons - A compendium of case studies", Engineering Failure Analysis, Vol. 13, 2006, pp. 480~492
 22. "Level I Course Manual" Infrared Training Central, 2006, Chapter 6
 23. "Level I Course Manual" Infrared Training Central, 2006, Chapter 7
 24. <http://www.dywelder.com/>, "초음파 가진기의 원리"
 25. 한국과학기술정보연구원, "엔진 부분품", MCTNET 부품·소재 종합정보망
 26. K. Y. Lee, "The Trend of Automobile Engine Technology", Auto Journal, 2008, pp. 26~35
 27. 정찬문, 정윤수, 임종문, 조성철 "자동차 가솔린 기관 공학", 미전 사이언스, 2004, pp. 71~75
 28. 김재희, "자동차디젤기관", 콜든-벨, 2009, pp. 11~83
 29. 이주성, "내연기관", 건기원, 2007, pp. 11~175
 30. 한승훈, "자동차부품 제조업의 동향과 전망", 코덱레서치 겨울, pp. 95~12
 31. S. H. Choi, Y. H. Yang and J. Y. Kim, "Study on NDE by heat source of 7FA+(e) gas turbine blades that apply IRT", 한국공작기계 춘계학술대회 논문집, 2009, pp. 414~419
 32. Y. H. Yang, S. H. Choi, J. K. Sim and J. Y. Kim, "According to material about research on vibration and thermal change of high speed lathe processing applied infrared thermal imaging technique", 한국공작기계학회 추계 학술대회 논문집, 2009, pp.329~333

감사의 글

마부직침(磨斧作針)의 자세로 2년이라는 시간이 지나고 한편의 논문이 나오기까지 지도해 주시고 연구자의 자세를 가르쳐 주신 김재열 지도교수님께 감사드리며 논문이 나오기까지 교정 및 심사를 하시느라 고생하신 심재기 교수님 그리고 김경석 교수님께도 고마움을 금할 길이 없습니다. 또한 학위과정 동안 많은 지도와 가르침을 주신 김영석 교수님 오울권 교수님 이동기 교수님 유영태 교수님께 감사드립니다.

대학원 생활동안 부족한 점 많은 저를 위해 마다하지 않고 많은 도움을 주신 송격석 교수님과 최승현 선배님, 정호희 선배님, 고명석 선배님, 최진호 선배님께도 감사하다는 말을 전합니다.

그리고 실험실 생활을 하면서 동거동락한 동기 대광이형과 후배 성현이 선영이한테도 고맙다는 말을 전합니다.

힘이 들고 세상이 싫어져 모든 걸 포기하고 싶을 때 옆에서 조용히 어깨를 빌려주고 지탱해주며 위로 해준 지현이게도 고맙다는 말을 전합니다.

27년동안 철없는 아들을 위해 고생하시고 방약무인(傍若無人)이 되지 않도록 바른길로 인도해 주신 아버지와 아낌없이 주는 나무와 같이 저를 위해 모든 걸 주신 어머니에게 진심으로 사랑하고 감사하다는 말을 전합니다.

2010년 06월 양 용 하

저작물 이용 허락서

학 과	첨단부품소재공학 과	학 번	20097109	과 정	석사
성 명	한글 : 양 용 하 한문 : 梁 壩 夏 영문 : Yong_Ha Yang				
주 소	광주광역시 북구 신안동 139-9번지				
연락처	E-MAIL : yyh1028@hanmail.net				
논문 제목	초음파 서모그래피를 적용한 내연기관 피스톤의 비파괴 신뢰성 평가 A Nondestructive Reliability Evaluation of Combustion Engine Pistons to which Ultrasound Thermography Has Been Applied				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집·형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음
7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의() 조건부 동의() 반대()

2010년 8월

저작자 : 양 용 하 (서명 또는 인)

조선대학교 총장 귀하