

## 공업플랜트의 상태감시를 위한 열화상 파노라마 이미지 처리기법 연구

### Panorama Image Processing for Condition Monitoring with Thermography in Power Plant

전병준\*, 김태환\*, 김순걸\*, 모윤섭\*, 김원태\*\*†

Byoungjoon Jeon\*, Taehwan Kim\*, Soongeol Kim\*, Yoonsyub Mo\*\* and Wontae Kim\*\*†

초 록 본 논문은 공업플랜트의 이상 발생을 작업자의 위험 부담없이 확인 및 유지보수가 용이하게 하기 위한 CCD와 열화상 이미지 처리기법에 관한 것이다. 넓은 영역의 상태 확인을 위해 카메라 대수에 상관없이 하나의 이미지로 확인을 위한 panorama 알고리즘 기법을 개발하였다. 열화상의 영상처리를 용이하도록 영상간 이미지 융합기술을 개발 하였다. 실시간으로 빠른 이미지 처리를 위하여 최초 이미지를 융합하고, 이 때의 매칭 데이터를 저장하여 이후로 영상 융합시 매칭포인트와 매칭위치 검색은 생략을 하여 시간을 절약할 수 있었다.

주요용어: 공업플랜트, 열화상, 파노라마기법, 영상처리, 상태감시, 특징점

**Abstract** In this paper, imaging processing study obtained from CCD image and thermography image was performed in order to treat easily thermographic data without any risks of personnels who conduct the condition monitoring for the abnormal or failure status occurrable in industrial power plants. This imaging processing is also applicable to the predictive maintenance. For confirming the broad monitoring, a methodology producting single image from the panorama technique was developed no matter how many cameras are employed, including fusion method for discrete configuration for the target. As results, image fusion from quick realtime processing was obtained and it was possible to save time to track the location monitoring in matching the images between CCTV and thermography.

**Keywords:** Power Plant, Thermography, Panorama Technique, Imaging Processing, Condition Monitoring, Particular Points

#### 1. 서 론

1962년 건설된 울산미포국가산업단지과 1973년 세워진 온산국가산업단지 등 국내에 노후된 플랜트 시설을 갖추고 있다. 물론 설비와 부품이 모두 낡았다고 단정하기는 어렵다. 하지만 1997년 외환위기 이후 정유업체들을 제외한 석유화학업계 대부분

이 경영에 어려움을 겪으면서 제대로 된 설비 재투자가 이뤄지지 않아 시설이 전반적으로 노후화 경향을 보이고 있다. 최근 석유화학공단의 암모니아 가스유출사고, 차량 탱크로리 폭발, 벤젠탱크 파열 등 시설 안전점검 미흡으로 인하여 울산화학공단에 서만 30여명이 숨지고 1천억원이 넘는 재산 피해가 난 것으로 추산된다.

적외선열화상기술은 대상체의 표면 복사에너지를 검출하고 이를 온도로 환산하여 실시간으로 영상을 제공함으로써 재료의 열적특성평가, 전력시설물 열화진단, 복합재료 결함검사, 건축물 단열평가, 체열측정을 통한 의료진단 등의 분야에 활용되고 있다[1]. 플랜트 특성상 고온, 고압의 위치에 작업자가 점검을 하기에는 위험요소가 많아 점검이 잘 안되는 것이 사고의 원인이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 작업자의 안전 및 플랜트의 설비 운행 상황을 실시간으로 확인하고, 사고원인을 미연에 방지하기 위한 감시 시스템을 개발하는 것이 무엇보다 중요하다. 실시간으로 넓은 영역의 플랜트를 감시하기 위한 열화상감시시스템을 개발하였다. 열화상을 이용하면 온도 변화를 영상으로 보여주기에 사람이 플랜트의 이상을 실시간으로 감시가 가능하고, 온도 변화를 실시간으로 확인하여 에너지 절감에 효과도 기대할 수 있다[2].

2. 연구 배경

열화상으로 온도 감시 및 플랜트장비 이상을 실시간으로 감시하기 위해서는 우선 사람이 육안으로

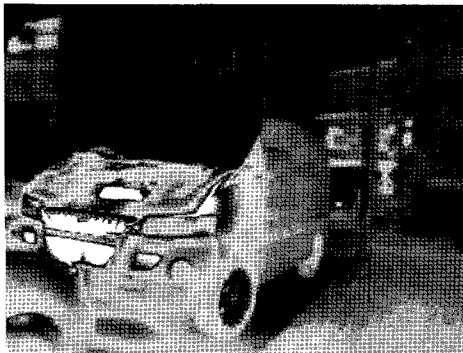


Fig. 1 Thermography image for the automotive



Fig. 2 CCTV image for the automotive

확인이 가능하도록 하는 것이 중요하다[3]. 그리고 온도를 분석하여 이상온도를 확인하도록 한다. 사람의 육안으로 열화상을 확인을 하면 온도의 발열 부분에 따라 이미지가 많은 차이를 가져오기에 육안으로 사물의 정확한 모양을 인식하기는 힘들다.

Fig. 1-2를 보면 열화상에서는 온도 발열로 인하여 사물을 확인하기가 힘든 반면 CCD에서는 사물의 구분이 가능하다. 반면 Fig. 11과 같이 열화상에서는 온도 발열 부분이 구분이 가능하지만 Fig. 2의 CCD 영상에서는 구분이 어렵다[3,4]. 따라서 본 연구에서는 CCD 이미지와 열화상 이미지를 융합하여 새로운 fusion 이미지를 생성하므로 사람이 육안으로 플랜트의 위치와 상태를 확인 가능하도록 개발을 하였다. 또한, 플랜트의 넓은 영역을 육안으로 확인하기 위하여 넓은 영역의 이미지들을 채용함하여 한번에 확인이 가능하도록 열화상 panorama view기능을 개발하도록 하였다.

3. 영상처리 프로세싱 방법

사물의 구분을 육안으로 쉽게 판단을 하고, 그 사물의 온도 분석이 가능하도록 하기 위하여 CCD 이미지와 열화상 이미지를 융합하는 방법은 CCD와 열화상의 특징점을 분석하여 CCD에서 같은 위치를 추적하여 이미지 융합을 하였다. 본 연구에서 사용된 CCD, 적외선 시스템 및 panorama 구동 시스템은 Table 1과 같다. 또한 화면융합(picturing fusion)을 실시간으로 동작 가능하도록 하기 위하여 Fig. 3의 순서를 따른다.

Table 1 Specification of experimental apparatus

System	Ltd.	Model	Item	Performance
CCD	Samsung Tech	SDZ-370	Zoom	X37
			Lux	$5 \times 10^{-5}$
			Pixel	768×494
IR System	ICI	MV-7384	FOV	$16^\circ \times 12^\circ$
			Sensitivity	0.06℃
			Pixel	384×288
			Accuracy	±2%
Pan /Tilt Driver	Shinwoo Tech	SPT-70808	Speed (R/L)	0.1~60/sec
			Angle (R/L)	350
			Motor	Brushless DC

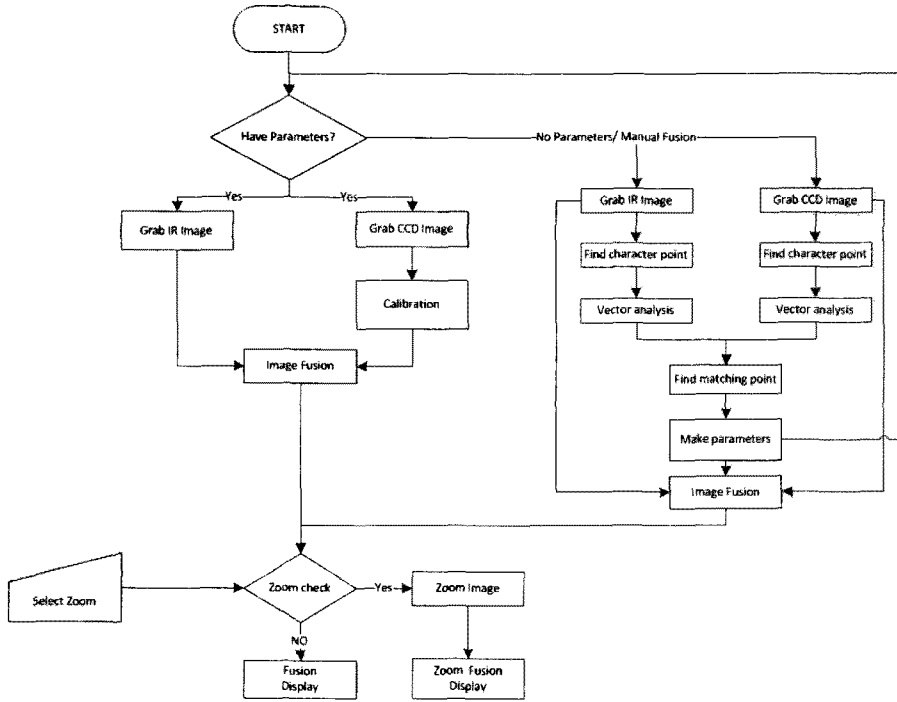


Fig. 3 Flow chart in imaging fusion for view matching

최초 장비 셋팅시에 수동으로 영상을 융합을 하며, 이때 생성된 데이터를 이용하여 실시간으로 영상을 융합이 되도록 한다. Fusion영상을 생성하기 위해서는 특징점 검출과 이미지 융합이 중요하다.

3.1. 특징점 검출

이미지의 융합을 하기 위해서는 영상의 융합을 하기 위한 위치 데이터를 확인하여야 한다. 이러한 위치 데이터를 자동으로 확인하기 위해서는 영상의 특징이 되는 부분을 탐색하여 CCD와 열화상의 mapping에 따라 매칭되는 위치를 비교하여 정확한 위치에 대응되도록 한다.

또한, 상호 화상간의 매칭을 위한 특징점을 검출하기 위해서는 영상의 edge 성분을 분석하여 특징이 되는 특징점(particular point)을 검출하여 CCD로부터 얻어진 영상과 열화상으로부터 얻어지는 화상의 특징 point를 Fig. 3의 순서도에 따라 비교 분석을 수행하여야 한다. 이미징 처리를 위한 특징점을 검출하는 방식으로는 헤리스 코너 포인트 검출 방법으로 영상 내에 정의된 헤리스 코너 포인트 검출 수식으로부터 다음과 같이 나타낼 수 있다[6].

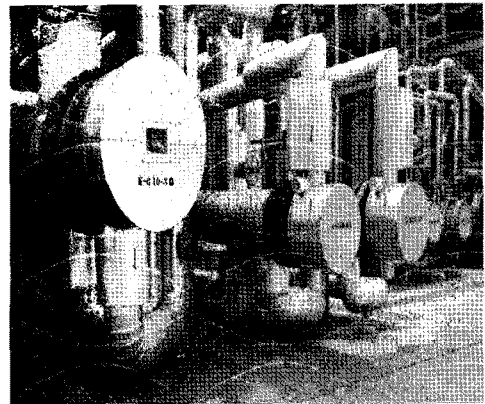


Fig. 4 CCTV image for power plant

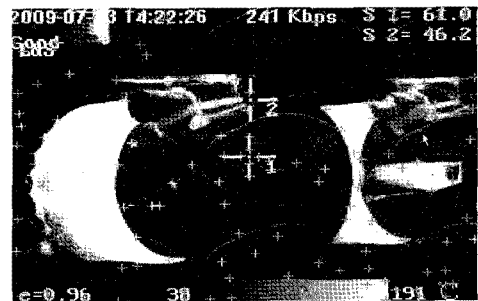


Fig. 5 Thermography image for power plant

$$c(x,y) = \sum_W [I(x,y) - I(x+\Delta x, y+\Delta y)]^2 \quad (1)$$

$$I(x+\Delta x, y+\Delta y) \approx I(x,y) + \begin{bmatrix} I_x(x,y) & I_y(x,y) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} \quad (2)$$

상기 식(1)~(2)으로부터 CCTV로부터 얻어진 이미지와 열화상 간의 매핑을 위해서는 윈도우 안에 픽셀값이 상하좌우 방향으로 모두 급격하게 변하는 위치를 코너(특징point)로 규정하는 방식이다.

$$c(x,y) = \sum_W \left( \begin{bmatrix} I_x(x,y) & I_y(x,y) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} \right)^2 = \begin{bmatrix} \Delta x & \Delta y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sum_W (I_x(x,y))^2 & \sum_W (I_x(x,y)I_y(x,y)) \\ \sum_W (I_x(x,y)I_y(x,y)) & \sum_W (I_y(x,y))^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} \quad (3)$$

식(3)으로부터, 특징점(point)들을 검출한 후 point 간의 벡터 성분을 조사하여 같은 형상의 벡터 성분을 융합을 위한 좌표점으로 설정을 하고, 이 좌표점을 이용하여 이미지 융합을 하도록 한다.



Fig. 6 Imaging processing using particular point

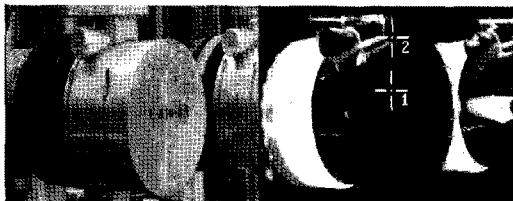


Fig. 7 Slmaging processing using particular point

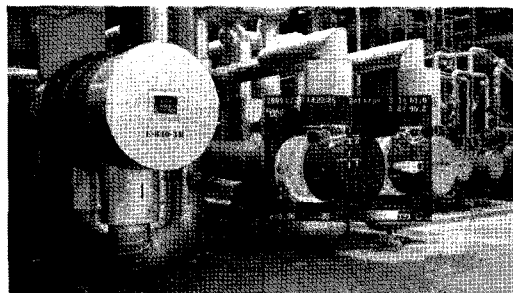


Fig. 8 Imaging processing using particular point

### 3.2. Fusion 매칭 이미지 처리

Fig. 4에서 CCD 이미지의 화각은 열화상의 화각보다 크다. CCD 이미지의 전체 영역에서 특징점을 검출하여 열화상과 융합을 위한 매칭 포인트를 검출하고자 하면 많은 오차율이 발생을 한다.

Fig. 5는 CCD 이미지에서 열화상과 융합이 되어 질 곳을 찾아 특징점을 검출한 결과이다. 이 특징점들의 위치값 중에서 매칭을 위한 포인트를 Fig. 6에서 보여주고 있다 특징점을 매칭하는 방법으로는 획득한 특징점들에 대해서 모든 위상각을 계산하고, 한 점에 대한 인접 특징점들에 대한 위상을 계산한다. 이때 한 모형이 생성이 된다면 그 모형에 맞추어 다른 이미지의 특징점들 중에 비교 오차범위 내에 존재한다면 이 점을 매칭 점으로 등록한다. 이 방식으로 모든 점에 대한 특징점을 검출을 한다[7,8].

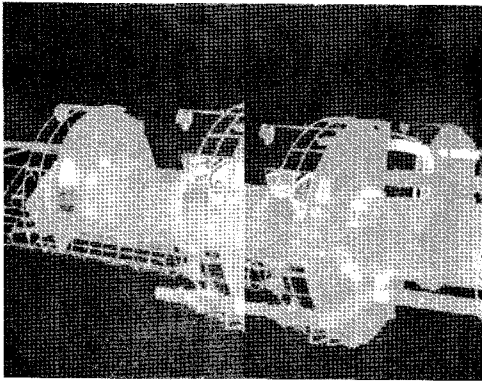
Fig. 6과 Fig. 7에서 보이는 것처럼 2대의 카메라가 같은 거리에서 고정되어 같은 물체를 촬영시에 중복되는 영상의 위치는 일정하다. 이에 CCD 영상의 부분영역을 지정하여 그 부분의 특징점과 열화상영상의 특징점을 매칭하여 이미지 융합을 한다 또한, 카메라와 촬영 물체와의 거리에 변화가 없다면 각각의 카메라에서 촬영한 이미지의 비율은 변화가 없다[3]. 하지만 거리가 멀어지면 각각의 카메라 화각에 영향을 받아 이미지의 위치와 비율이 변화가 발생을 한다.

따라서, Fig. 8로부터 매칭되는 위치에서 좌우  $\pm 15 \sim \pm 20$  픽셀(pixel)의 여유공간을 비교매칭구간으로 설정하여 융합(fusion)된 영상을 생성하였다.

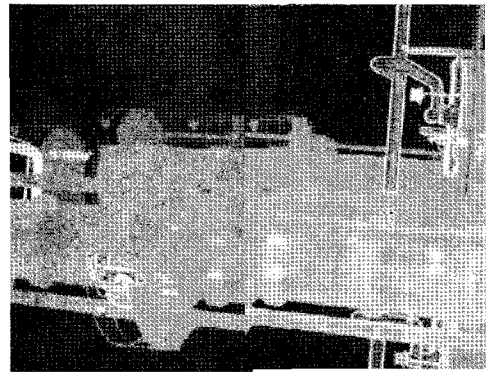
### 4. 결과 및 고찰

Fig. 9는 영상 중첩구간을 지정하여 특징점을 검출한 이미지이다. Fig. 9에서 구한 특징점들의 결과를 서로 비교하여 파노라마 영상 매칭의 순서도를 나타낸 Fig. 10에서와 같이 매칭포인트를 검출하였으며, 검출된 매칭 포인트를 이미지 융합을 위한 영상들 간의 매칭포인트로 사용한다. 이로부터 파노라마(panorama) 이미징의 생성시간을 최소한으로 단축시키기 위하여 다음과 같은 고정 조건을 생성하여 하였다.

- ⓐ 각각의 열화상영상의 촬영 각도를 지정하여 둔다.



(a) Thermography part 1 in power plant



(b) Thermography part 2 in power plant

Fig. 9 Separated thermography imaging in power plant

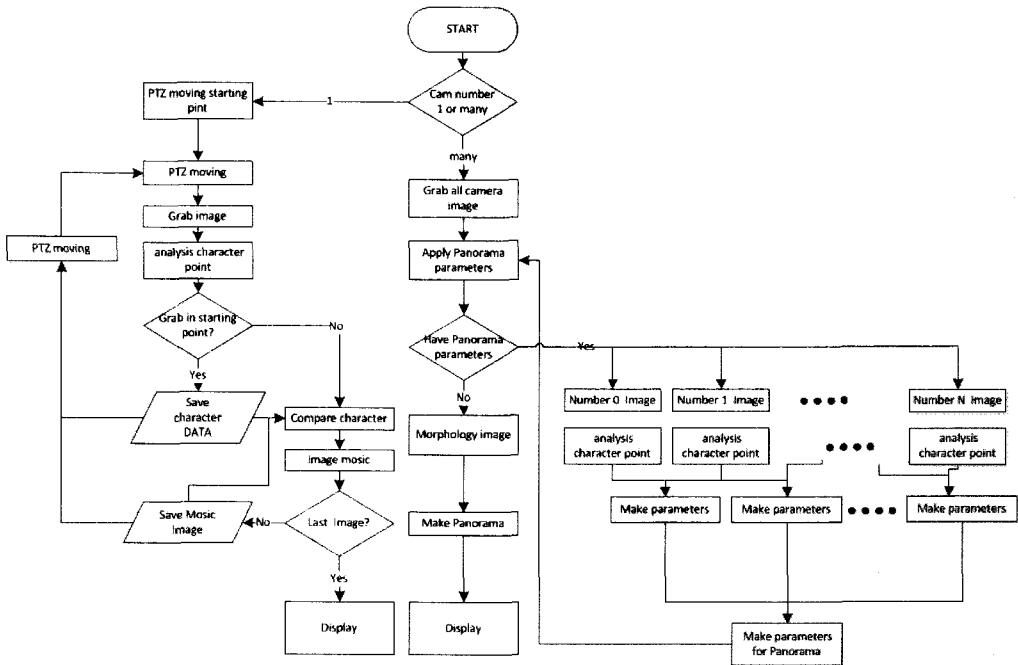


Fig. 10 Flow chart in panorama view matching

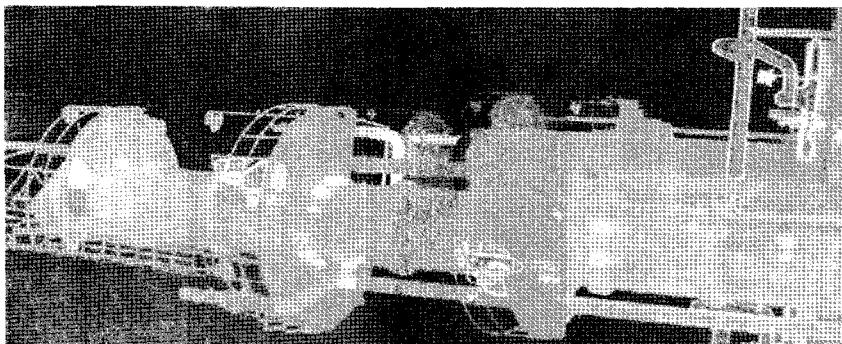


Fig. 11 Thermal imaging processed from panorama picturing by matching fusions

- ㉑ 상기 ㉐의 설정으로 항상 열화상 이미지의 중복 부분은 일정하다.
- ㉒ 이미지 중복으로 인한 특징점 매칭 구간은 일정부분으로 한정하여 매칭을 한다.

동력플랜트의 분리된 적외선열화상인 Fig. 9에 대하여 Fig. 10의 순서도에 따라서 상기 3.2에서 수행된 영상의 특징점으로부터 융합된 영상처리후 실시간 파노라마가 제작이 되도록 하였다. Fig. 11은 각각의 매칭 포인트를 이용한 파노라마 생성한 결과로부터 얻어진 이미지이다.

공업플랜트는 짧게는 수십 m 에서 수 km까지 설비 자체가 상당히 거대하다. 이렇게 거대한 설비에 전체 영역을 열화상으로 감시하기 위해서는 카메라가 여러대 장착이 되어야 한다 하지만 열화상 카메라의 경우 다수의 카메라가 장착될 경우 비용이 급증을 하게 된다[9,10]. 또한, 작업자가 개별의 이미지를 확인하면서 이미지 간의 연결성을 생각하려면 많은 시행착오가 발생을 한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 현대의 열화상 카메라를 이용하여 다각도로 회전을 하면서 취득한 열화상을 파노라마 영상으로 연결하여 작업자가 쉽게 장비의 문제점이 발생하는 부분을 육안으로 확인 및 점검을 할 수 있다.

## 5. 결론

본 연구에서는 CCTV와 적외선열화상으로 실시간으로 파노라마(panorama) 영상을 생성하기 하는 연구를 수행하였다. 본 연구의 결과로부터 얻어진 결과는 다음과 같다.

- 1) CCTV와 적외선열화상으로 구한 상호화상으로 부터 매칭포인트를 구하는 계산의 결과를 실시간 파노라마 재생시 매번 사용을 하여 이미징의 보상 및 실시간으로 파노라마 영상을 생성하는 프로그램을 개발하였다.
- 2) CCTV 및 적외선 카메라의 회전위치를 사용자가 지정을 하도록 하고 그 위치에서 영상을 취득을 하게 되었다.

- 3) 매번 파노라마 생성 이미지들의 중첩된 영역이 항상 일정하기에 실시간으로 넓은 영역을 파노라마 이미지를 생성하여 그 결과가 매우 영상적으로 잘 매칭되어짐을 확인할 수 있었다.

## 참고문헌

- [1] C. J. Harris and M. Stephens, "A combined corner and edge detector," Proc. of the Alvey Vision Conf., pp. 147-151 (1988)
- [2] P. Torr and D. W. Murry, "Outlier detection and motion segmentation," Proc. Sensor Fusion VI, Boston MA, pp. 432-443 (1993)
- [3] S. G. Mallat, "A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation," IEEE Trans. On PAMI, Vol. 11, No. 7, pp. 674-693 (1989)
- [4] 김원태, 최만용, "적외선열화상 시스템의 CCD 영상 맵핑 연구", 대한체열학회 추계논문집, pp. 7-17 (2004)
- [5] T. Blaszkza and R. Deriche, "Recovering and characterizing image features using an efficient model based approach," INRIA, N 2422, pp. 45-187 (1994)
- [6] J. H. Ko and I. W. Lee, "Feature-based image mosaicing with rotation and scale change," 한국멀티미디어학회 춘계학술발표논문집, pp. 175-180 (2000)
- [7] 김대현, 최종수, "유사 특징점을 이용한 모자이킹 영상의 구성", 대한전자공학회 논문지, Vol. 34, No. 2, pp. 381-391 (2001)
- [8] 최재봉, "에너지 수송배관의 안전성평가기술 현황", 비파괴검사학회지, Vol. 21, No. 1, pp. 91-99 (2001)
- [9] X. P. Maldague, "Advances in signal processing for nondestructive evaluation of materials," NATO ASI Series. Vol. 262. pp. 85-102 (1994)
- [10] 김원태, 최만용, "적외선열화상을 이용한 비파괴시험 활용 및 결함진단", 비파괴검사학회지, Vol. 23, pp. 525-531 (2004)