

영상처리기술을 이용한 균열 진전 측정시스템 개발

류대현[†] · 남승훈* · 김용일* · 김시천*

한세대학교 IT학부 · *한국표준과학연구원 산업측정표준부

(2002. 6. 3. 접수 / 2002. 11. 20. 채택)

Development of Measurement System for Crack Growth Using Image Processing Technology

Dae-Hyun Ryu[†] · Seung-Hoon Nahm* · Yong-il Kim* · Si-Cheon Kim*

Department of IT, Hansei University

*Division of Industrial Metrology, Korea Research Institute of Standards and Science

(Received June 3, 2002 / Accepted November 20, 2002)

Abstract : We proposed a new experimental method which is required to easily observe the growth behavior of fatigue cracks. In the proposed method, the image data of cracks were stored into the computer while the cyclic loading was interrupted. After testing, crack length was determined using an image processing software which was developed by authors. By comparing the data measured by the image processing system with those by the manual measurement with a microscope, the effectiveness of the image processing system was established. If the proposed method is used to monitor and observe the crack growth behavior automatically, the time and efforts for fatigue test could be dramatically reduced.

Key Words : image processing technology, fatigue crack, block matching method, 1Cr-1Mo-0.25V steel

1. 서 론

노후 구조물이나 산업설비에서 발생될 수 있는 광범위한 균열이나 결함의 분석 및 평가가 대형 구조물 및 산업 설비의 수명 진단과 시설 안전성 평가에 있어서 매우 중요하며, 이를 위해 비파괴적으로 균열 및 결함을 실시간적으로 계측할 수 있는 여러 가지 기술들이 개발되고 있다. 또한 균열체에 대해 안전성을 평가하기 위해서는 균열성장특성 데이터와 파괴인성 값이 필요하다. 따라서 평가의 신뢰성을 향상시키기 위해선 측정기술의 향상과 함께 신뢰성 높은 데이터의 생산이 중요하다고 하겠다.

재료의 피로시험에 있어서 표면에 발생하는 균열 길이의 측정 방법은 크게 육안 및 현미경을 이용하는 직접측정과 compliance 및 전위차법을 이용하는 간접측정으로 대별할 수 있는 가운데 손쉽게 균열

길이를 직접측정 할 수 있는 현미경을 이용하는 방법이 많이 사용되고 있다. 그러나 하나의 피로 데이터를 얻기 위해서는 시간과 노동력을 많이 필요로 하므로 Nahm^{1,3)}, Ishii⁴⁾, Ichikawa⁵⁾ 등은 이런 단점을 극복하기 위하여 영상처리기술을 이용한 균열 길이 자동측정에 대한 연구를 하였다.

영상처리기술을 이용하여 균열길이를 측정하기 위해서는 광학정보를 전기신호로 변환하는 CCD (charge coupled device) 카메라가 주로 사용된다. 영상처리기술을 이용하여 표면 균열길이의 측정 시 균열의 시작점 및 끝점을 검출하는 기법에 따라 균열길이의 측정오차가 발생하게 된다. 두 개의 영상 이미지를 매칭하거나 균열 주위의 농담차이를 이용하는 방법 등 여러 방법이 제시되고 있는 실정이다. 따라서 영상처리기술을 이용하여 균열영상을 얻기 위해서는 표준조건 및 절차의 정립이 필수적이다.

본 연구에서는 균열크기 자동측정을 위한 CCD 카메라 위치제어 시스템, 균열영상처리 알고리즘 및 소프트웨어 개발을 목표로 하였다. 또한 화력발전용

[†]To whom correspondence should be addressed.
dhryu@hansei.ac.kr

터빈 로터에 사용되는 Cr-Mo-V강을 이용하여 표면 균열의 성장거동 관측에의 영상처리시스템의 유효성을 검토하였다.

2. 균열 탐지 시스템 구성

만약 CCD 카메라의 위치가 고정되어 있으면, 임의의 위치에서 균열이 발생하여 성장하는 경우나 예비 균열을 시작점으로 하여 균열이 진전하는 경우라도 균열이 진전되어 CCD 카메라의 시야 밖으로 벗어나는 경우에는 균열선단 영상을 얻을 수 없게 된다. 이런 경우, 균열 영상을 얻기 위해서는 CCD 카메라를 움직여야 하므로 사람의 노동력을 추가로 필요로 하게 된다. 사람의 노동력을 최소화하기 위해서는 균열의 진전에 따라 CCD 카메라가 자동적으로 움직일 수 있는 위치제어 시스템, 즉 자동추적 시스템의 개발이 필요하다.

본 연구에서 개발한 균열탐지시스템을 Fig. 1에 나타내었다. 본 시스템은 CCD 카메라, XYZ 스테이지, 카메라 위치제어기 및 균열영상처리 프로그램 등으로 구성되어 있다. CCD 카메라는 균열의 진전이 CCD 카메라로 얻어진 전체 영상의 3/4 지점에 도달했을 때 이동하게 되어 있다. 본 연구에서 구성한 측정 시스템 중 기본적인 장치에 대한 측정 정밀도 평가는 이전의 연구²⁾에 기술되어 있다.

2.1. CCD 카메라

작은 균열 또는 균열의 선단을 정밀하게 인식하기 위하여 대물렌즈(최대배율 6배)를 CCD 카메라(Pulnix, TM-7EX) 앞에 부착시켜 균열의 영상을 얻었다. 균열영상 취득 시 조명조건을 일정하게 하기 위하여 집중 램프를 사용하였다. 본 연구에 사용한 CCD 카메라의 픽셀은 768(H) × 494(V) 이며, 1 cell size 는 8.4 μ m × 9.8 μ m이다. 본 시스템에서 이용할 수 있는 최대 배율인 6배의 렌즈를 이용할 경우 17 인치 모니터에 나타나는 상은 실제 크기의 약 480 배 정도이다. 그리고 이 경우 입력영상의 1 픽셀(340 μ m)은 실제 약 0.7 μ m에 해당한다. 본 시스템에서 균열로의 식별이 가능한 최소한계균열크기는 약 30 μ m였다.

2.2. XYZ 스테이지

CCD 카메라 이동시스템은 마이크로 스텝 모터를 사용하여 X, Y, Z축을 독립적으로 100mm까지 움직

일 수 있다. 또한 X축은 1 μ m, Y 및 Z축은 10 μ m이내의 정밀도로 제어할 수 있도록 각 축에 직선형 엔코더를 부착시켜 카메라의 위치를 확인할 수 있도록 하였다. 본 연구에서는 균열의 성장거동을 조사하기 위하여 CT 시편의 예비균열선단 주위를 집중적으로 관찰하였다. 2배의 렌즈를 사용할 경우, 1화면에 영상처리 할 범위를 3.275mm × 1.988mm로 하여, 다음 영상으로 영상처리를 위해 2.25mm를 이동할 때 1.025mm의 범위가 겹치도록 하였다.

3. 균열 영상 처리 알고리즘

영상 처리기법을 이용한 균열 진전 탐지의 실험 절차는 영상취득과정과 균열진전 탐지과정으로 나

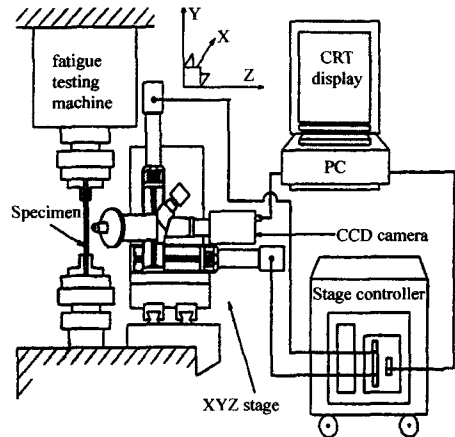


Fig. 1. Schematic diagram of crack detection system

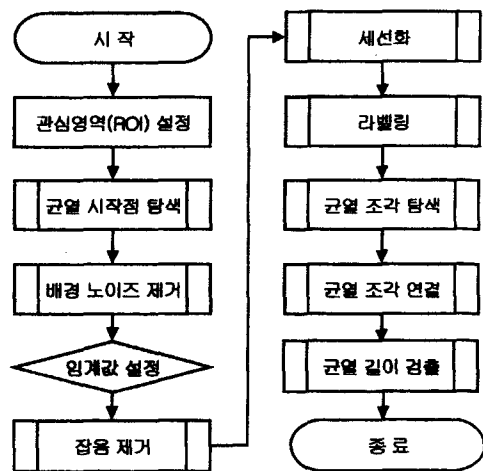


Fig. 2. Image processing algorithm

눌 수 있다. 본 연구에서 사용한 균열 탐지 시스템 프로그램(CDS)은 Windows98의 GUI를 사용하고 있기 때문에 프로그램의 체계 및 구성, 그리고 사용법이 일반적인 Windows 프로그램과 동일하다. CDS 시스템은 균열진전탐지 프로그램뿐만 아니라 카메라 영상 취득을 위한 image grabber card 및 모터제어를 위한 motion control card와 카메라 이송용 3축 이송 테이블로 구성되어 있으며, 경우에 따라서는 이러한 하드웨어 없이 이용할 수도 있다. CDS 프로그램에서 사용한 영상처리 알고리즘은 Fig. 2와 같다.

3.1. 관심영역(ROI) 정의

관심영역(region of interest: ROI)란 전체 영상 영역 중 영상처리기법을 적용할 영역을 지정함으로써 처리시간을 단축하거나, 불필요한 정보를 갖고 있는 영역을 제거할 목적으로 설정되는 영역이다. CDS 프로그램에서 사용하는 ROI 설정 방법은 취득된 균열 영상 위에서 마우스의 왼쪽 단추를 누른 상태에서 마우스를 이동시키면 마우스의 움직임에 따라 변의 길이가 달라지는 점선으로 된 직사각형이 보이며, 마우스의 버튼을 놓으면 Fig. 3과 같이 ROI가 설정된다.

3.2. 균열 시작점 탐색

ROI가 설정된 후, 균열 탐지를 시작하기에 앞서 반드시 ROI 내에 균열 시작점이 설정되어야 한다. CDS 프로그램에서는 실험 옵션에 따라 여러 가지 방법으로 균열 시작점을 설정할 수 있으며 그 방법들을 나열하면 다음과 같다.

① 수동(manual)

균열 시작점의 설정을 사용자가 설정하는 방법으로 마우스를 ROI 내의 원하는 점에 이동시킨 후, 마우스의 왼쪽 단추를 클릭(click)하면 작은 십자 모양이 그려짐과 동시에 균열 시작점이 설정된다. 만일 다른 위치에 재 설정하고자 하면 원하는 점에 이동시킨 후, 다시 마우스의 왼쪽 단추를 클릭하면 균열 시작점이 그 위치에 재 설정된다.

② 두 선의 교차점

시편의 모서리(edge)가 교차하는 점에 균열 시작점을 자동으로 설정하는 방법으로 이를 위해서는 두 모서리의 각도에 대한 정보가 필요하다. 이 두 모서리의 각도 값들은 사용자로부터 입력된다. 이때 각도값은 수평선을 기준으로 반시계 방향으로 기술되는 각도이다. 그리고 균열 시작점을 탐색하기

위해 이용하는 두 모서리들의 방향(각도)과 균열의 진행 방향이 같지 않도록 하여야 한다. 왜냐하면 균열도 일종의 모서리로 간주되기 때문이다.

모서리 탐지가 완료되면 Hough 변환 알고리즘을 이용하여 탐지된 모서리들 중에서 사용자로부터 주어진 각도값을 갖는 두 개의 직선형 모서리만을 선정하고, 두 직선형 모서리들의 교차점을 계산한다. 또한 두 직선형 모서리의 교차점에서 다소 떨어진 위치에 균열 시작점이 위치하는 경우에 사용자가 두 직선형 모서리의 교차점을 원점으로 균열점의 위치를 조정할 수 있도록 하였다. Fig. 4는 두 직선의 교차점을 균열 시작점이 설정한 경우의 결과이다.

③ 모서리 탐지

균열시작점을 두 직선의 교차점으로 자동 설정하기 위해 필요한 알고리즘이 모서리 탐지 알고리즘이다. 이 때 모서리 탐지 알고리즘의 민감도 설정을 조정하기 위한 변수 값이 필요하며 이 값에 따라 모서리 탐지의 민감도가 결정된다. 즉, 모서리 탐지를 위한 변수 값이 크면 민감도가 떨어져 명암대비가 큰 모서리들만을 추출하게 되며, 반대로 변수 값이



Fig. 3. Establishment of region of interest



Fig. 4. Search of crack initiation point using intersection of two straight lines

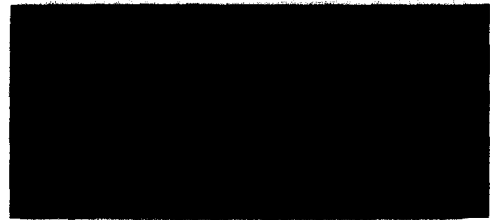
작으면 민감도가 높아져 비교적 명암대비가 작은 모서리들도 추출하게 된다. 따라서 민감도를 높게 할 경우 시편 표면에 굽힌 자국이 모서리로 인식되기도 하며, 반대로 민감도가 너무 낮으면 실제 모서리를 찾지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 따라서 이 변수 값을 적절히 입력시켜 찾고자하는 모서리를 잘 탐지할 수 있도록 하여야 한다. 또한 모서리의 명암 대비가 뚜렷할수록 모서리 탐지 알고리즘의 효율이 높아지게 된다. Fig. 5는 민감도 조절 변수에 따른 모서리 탐지 결과를 보여주고 있다.

3.3. 배경 노이즈 제거

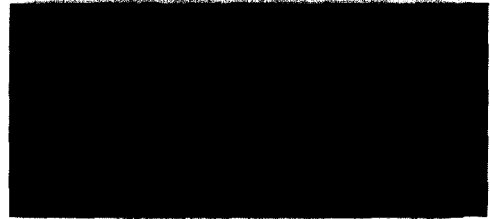
균열을 탐색함에 있어 시편 표면에 존재하는 굽힌 자국과 조명의 영향 등에 의한 배경 노이즈를 제거하는 것이 중요하다. 이러한 배경 노이즈는 실험 환경이 변하지 않는 한, 즉, 조명의 방향이나 세기가 변하지 않고 시편과 카메라가 이동되지 않는 한, 영상 내에서 어떠한 변화를 일으키지 않는다. 단지 시간이 경과한 후 균열이 발생하거나 진전된 경우에 이 변화가 영상에 포착된다. 따라서 배경 영상을 균열 영상에서 제거하여 두 영상간의 변화만을 볼 수 있다. 따라서 배경 영상을 이용하여 균열을 탐지하면 배경영상을 사용하지 않은 경우보다 탐지 효율이 높아진다. 이를 위해 CDS에서는 배경 영상을 이용할 수 있도록 하였다. 즉, 균열이 발생하기 전이나, 또는 균열이 진전되기 전의 시편 영상을 취득한 후, 시간이 경과하여 균열이 발생하거나 진전된 영상을 취득하여, 이 영상에서 배경영상을 제거하여 배경 노이즈에 의한 영향을 없앨 수 있도록 하였다. Fig. 6은 배경영상을 사용하지 않은 경우와 배경영상을 사용한 경우에 대하여 각각 임계치 처리(thresholding) 후의 결과 영상을 나타내고 있다.

3.4. 임계치 처리

일반적으로 흑백 영상의 경우 명암(gray level)을 0에서 255 단계로 나누어 나타낸다. 임계치 처리란 256등분된 명암을 주어진 임계 값 이상이면 백색, 그 이하면 흑색으로 변환시켜 줌으로써 이진화된 영상으로 변환하는 과정을 말한다. 임계치 처리는 크게 전역 임계치 처리(global thresholding), 국부적 임계치 처리(local thresholding)로 나누어지는데 CDS에서는 전역 임계치 처리를 채택하였다.



(a) Sensitivity variable = 200



(b) Sensitivity variable = 400

Fig. 5. Edge search results by sensitivity variable

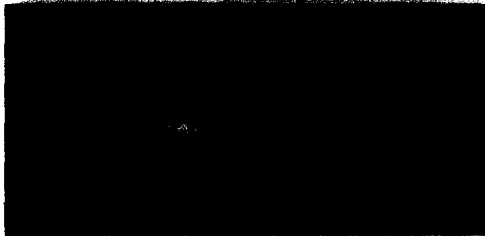
전역 임계치 처리는 다시 임계값을 잡는 방법에 따라 여러 가지 방법으로 분류되며, 대표적으로 임계값을 0에서 255 사이의 임의의 수치로 잡는 기본적인 방법(CDS에서는 simple 방법이라 부름)과 회색도 히스토그램(gray histogram)을 계산하여 이 히스토그램 누적치의 주어진 백분율에 해당하는 값을 임계값으로 잡는 방법(CDS에서는 회색도 히스토그램 방법이라 부름)이 있다. 또한 회색도 히스토그램에서 두 첨두치(peak)를 찾아 그 사이의 골짜기 값을 임계값으로 잡는 방법(CDS에서는 two peak 방법이라 부름)이 있다. 즉, 기본적인 방법은 임계값을 절대적으로 정하는 방법이며, 회색도 히스토그램을 이용하는 방법은 임계값을 상대적으로 정하는 방법이라 할 수 있다.

임계값을 임의의 수치로 잡는 기본적인 방법은 최적의 임계값을 찾아내기가 다소 어려우며, 또한 찾아냈다 하더라도 조명 등의 환경 변화에 예민하다는 단점이 있다. 회색도 히스토그램을 이용하는 방법은 대상체에 조명의 영향이 국부적으로 나타났을 때 이를 극복할 수는 없으나, 조명의 영향이 대상체 전체에 나타났을 때는 이 영향을 크게 받지 않는다는 장점이 있다.

CDS에서는 위의 세 가지 방법을 채택하였으며, 배경영상을 사용하지 않는 경우에는 simple 방법을 사용하고, 배경영상을 사용하는 경우에는 two peak 방법을 사용하도록 하였다. 그러나 필요에 따라 사



(a) In case of not using background image



(b) In case of using background image

Fig. 6. The images after noise subtraction

용자가 어느 경우라도 임계치 처리 방법을 변경할 수 있도록 하였다. Fig. 7은 임계 값이 100인 경우와 160인 경우에 있어 각각 임계치 처리 후의 결과를 나타낸 것이다.

3.5. 세션화(thinning) 및 라벨링(labeling)

ROI 내의 불필요한 객체(object)를 제거한 후, 균열 조각으로 간주되는 객체들을 대상으로 세션화 작업이 이루어진다. 세션화란 굵은 선 모양의 객체들을 가는 선으로 변환하는 작업을 말한다. 원래 균열은 실제에서 가는 선 모양을 하고 있지만 영상 취득 시 조명의 영향에 의해 균열 틈새의 주위에 조명이 반사되어 가는 선보다는 굵은 선 또는 점의 집합체처럼 보인다. 따라서 이러한 영향을 제거하기 위해 세션화 작업이 필요하다.

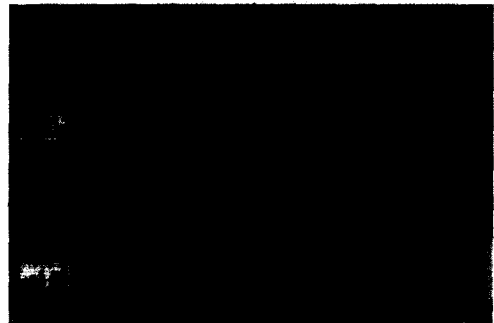
면 모양의 객체에 세션화 적용시키면 원래의 모양과 판이하게 다른 모양의 선이 나타나지만, 선 모양의 객체에는 선의 중심선을 따라 가는 선이 나타나므로 균열 탐지와 같은 경우에는 매우 유용하다.

라벨링 작업은 일종의 그룹화 작업을 말하는 것으로 바탕색과는 다른 색으로 이루어진 것들, 다시 말해 객체를 구별해내는 작업이다. 이 라벨링 작업은 ROI 내의 불필요한 객체 제거에도 사용된다. 이 작업을 통해 균열 조각으로 간주되는 객체를 파악하게 되고 이 결과는 균열 조각들의 탐색 및 연결 과정에 이용된다.

3.6. 균열 조각들의 탐색 및 연결

라벨링을 통해 구분되어진 각각의 균열 조각들을 연결하여 하나의 완전한 균열을 갖도록 하여야 한다. 그러나 라벨링을 통해 파악된 객체들은 균열 조각의 후보일 뿐 모두가 균열의 조각들은 아니다. 따라서 이 객체들 중에서 균열 조각일 가능성이 높은 것들만을 골라 연결하여야 한다. CDS프로그램에서는 다음과 같은 방법으로 균열 조각들을 연결하였다.

- ① 균열 시작점을 연결의 시작점으로 잡는다.
- ② 연결의 시작점에서 가장 가까운 거리에 있는 객체 구성 픽셀(pixel)을 찾고, 그 픽셀을 포함하는 객체를 균열 조각으로 선택한다.
- ③ 선택된 균열 조각 내에서 선택된 픽셀과 가장 멀리 있는 픽셀을 찾고 이 점을 새로운 연결의 시작점으로 잡는다.
- ④ 균열 조각간의 거리 상한치를 넘지 않는 균열 조각을 찾지 못할 때까지 2, 3의 과정을 반복한다.
- ⑤ 이 때 거리 계산은 사용자가 입력한 균열의 진행 방향 (각도)에서 벗어나는 정도에 따라 가중치



(a) Threshold value = 100



(b) Threshold value = 160

Fig. 7. The images after thresholding

를 줌으로써 가능한 균열의 진행 방향(각도)에서 벗어나지 않는 객체를 선정하도록 하였으며 또한 사용자가 입력한 균열 방향도 고려하였다.

3.7. 균열의 길이 검출

균열 조각의 연결이 완료된 후, 마지막으로 균열의 실제 길이를 계산하여야 한다. 이를 위해서는 픽셀 당 실제 길이에 대한 정보가 필요하다. CDS프로그래머에서는 자(ruler) 영상을 이용하여 픽셀 당 길이 값을 계산하도록 하였기 때문에 사용자는 균열 영상을 취득하였을 때의 카메라와 시편 사이의 거리와 같은 거리에 자를 위치시키고 영상을 취득한 후, 이 자 영상에서 두 점 사이의 실제 거리를 입력하면 자동적으로 픽셀 당 길이가 계산된다. 이러한 방식으로 입력된 정보를 이용하여 최종적으로 탐색된 균열의 길이를 계산할 수 있으며, 사용자의 편의를 위해 균열 영상에 자를 함께 그리도록 하였다. Fig. 8은 균열 조각들을 연결하고 실제 길이를 계산한 결과를 보여주고 있다.

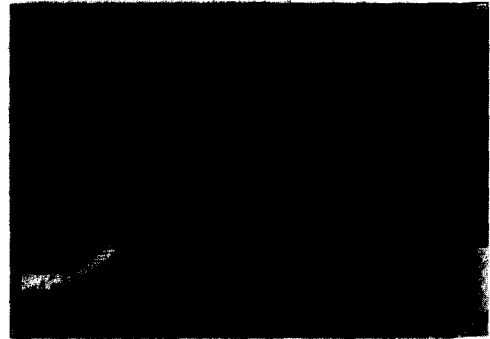
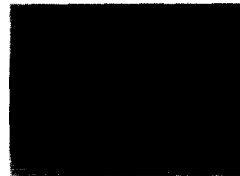


Fig. 8. Measurement of crack length using ruler



(a)

(b) Result of image processing or image(a)



(c)



(d) Result of image processing for image(c)

Fig. 9. Comparison of images obtained under different illuminating condition

4. 실험 및 고찰

4.1. 영상 취득 조건이 균열의 검출에 미치는 영향

시험영상은 시편 표면의 거칠기, 조명조건, 시편 자체의 광학적 성질, CCD 카메라의 성질 등에 따라 샘플 영상의 상태가 달라질 수 있었고, 관찰되는 균열은 연결성이 좋지 못해 자동적으로 균열을 검출하기에는 적합하지 못한 많은 약조건들이 있음을 알 수 있었다.

예를 들어 Fig. 9에서 보는 것처럼 Fig. 9(a),(b)의 경우보다 외견상 균열의 진행 부분과 그 이외의 부분을 쉽게 구분할 수 있는 Fig. 9(c),(d)의 경우가 이 진화를 위한 임계값이나 잡음 제거를 위한 필터 특성 등 동일한 영상처리 조건 하에서 균열을 쉽게 검출되지 않았다. 그 이유는 시편의 표면의 상태와 조명 조건으로 인해 Fig. 9(c),(d)의 경우 균열 선과 배경의 밝기 차이가 Fig. 9(a),(b)보다 적을 뿐 아니라 상대적으로 노이즈에 해당하는 시편 표면의 흠집이 큰 밝기를 보이기 때문이라 분석 할 수 있다.

이 실험 결과로부터 영상처리를 이용한 균열 검출은 영상의 취득 조건에 따라 전혀 다른 결과를 낼 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 영상 취득 조건에 대한 기준 설정이 영상 처리 알고리즘과 더불어 중

요함을 알 수 있다. 즉 매 시편에 대해서 가급적 동일한 영상 취득 조건을 유지해 줌으로써 인식율을 높일 수 있다. 시편이 달라지는 경우와 같이 영상 취득 조건이 달라지는 경우에는 예비균열선단 정보, 임계값, 임계값 경사도, 필터 파라미터 등을 조정해 줌으로써 인식율을 높일 수 있다. 뿐만 아니라 보다 정확하게 균열을 검출하기 위하여 균열의 특성에 관한 전문가 그룹의 사전 지식, 즉 균열의 예비 후보들을 전문가가 선택하고, 선택된 균열 예비 후보들을 집중적으로 관찰할 수 있도록 프로그램을 구성하였다.

4.2. 예비균열이 있는 경우

예비 균열이 있는 경우에는 예비 균열선단을 균열 진전 시작점으로 하여 균열의 길이를 측정한다.

균열이 진전되기 전의 영상을 백그라운드 영상, 균열이 진전된 후의 영상을 균열 영상이라 하였을 때 이 두 영상을 겹쳐서 균열의 시작점을 탐색하여 균열의 시작점 위치를 영상의 픽셀 단위로 하여 좌표 (x_0, y_0) 값의 형태로 저장한다. 이렇게 인식된 좌표값과 최종적으로 균열이 진전된 균열선단에서 검출되는 픽셀의 좌표값 (x_1, y_1) 을 구한다. 이 좌표값 가운데 횡방향에 해당되는 것이 균열의 진전 길이에 해당되므로 균열선단의 좌표값 가운데 x_1 값과 균열 시작점의 좌표값 x_0 값과의 차이 $(x_1 - x_0)$ 를 구한다. 여기서 구한 값은 픽셀값이므로 실제 균열길이를 구하기 위해서는 한 픽셀 당 어느 정도의 길이에 해당되는지를 알아야 한다. 이 정보는 표준자를 이용하여 영상을 얻기 전에 미리 정해진 배율에서 자에 대한 영상을 얻으면 픽셀 당 길이를 계산 할 수 있다. 이렇게 얻어진 픽셀 당 거리를 영상으로부터 얻어진 $(x_1 - x_0)$ 에 곱함으로써 최종적으로 균열의 길이를 얻을 수 있다.

4.3. 피로균열 성장 측정의 적용

Fig. 10은 예비 균열이 있는 시편에 대하여 균열의 진전과 그 진전 길이를 검출하는 과정을 보여주고 있다. 실제 컴퓨터 화면에서는 균열이 진전된 상태가 붉은 선으로 표시된다. 균열 영상 이미지 왼쪽 상단에 표시된 영상 위치(image position)는 CCD 카메라의 이동 위치에 해당된다.

Fig. 11은 동일한 균열을 원격측정시스템(remote measurement system: RMS)과 CDS 시스템으로 측정된 결과를 비교한 것이다. Fig. 11에서 횡축

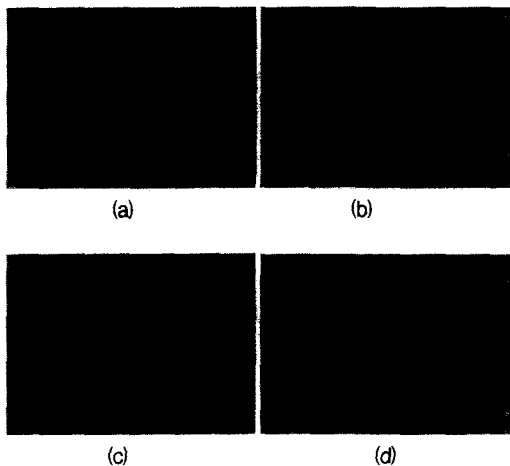


Fig. 10. Crack detecting procedure for CT specimen

은 RMS로 측정된 결과이고 종축은 CDS로 측정된 결과이다. 이 두 가지 방법으로 측정된 결과가 같다면 Fig. 11의 실선 위에 위치해야 한다.

실험값들은 이 실선에 거의 일치하고 있으며 편차는 0.03%였다. 따라서 균열측정에 이용되는 기존의 RMS 측정법에 비해 CDS를 이용한 균열측정법의 능력이 크게 뒤떨어지지 않음을 확인할 수 있었다.

Fig. 12의 원형(O) 표시는 본 영상처리시스템을 사용하여 관찰한 1Cr-1Mo-0.25V강의 CT시편에서의 긴 균열의 성장거동을 $da/dN - \Delta K$ 선도로 나타낸 것이다. 이 때 응력확대계수범위 ΔK 는 ASTM E647⁶⁾

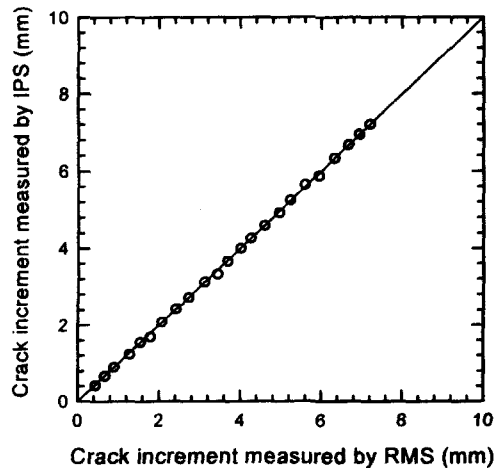


Fig. 11. Comparison of the accuracy for crack increment length measured by RMS and CDS

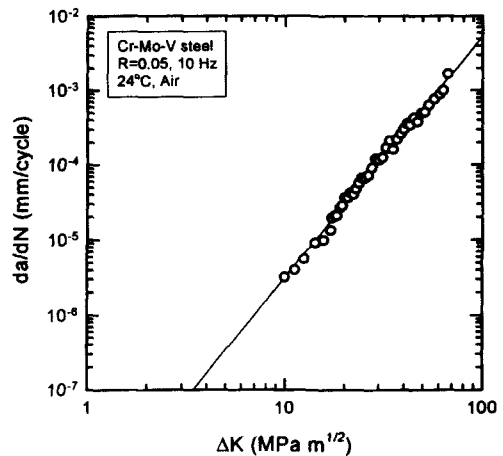


Fig. 12. Dependence of the long crack growth rate of CT specimen upon stress intensity factor range at 24°C

규격에 나온 식을 이용하여 구하였다. 피로시험을 통해 얻은 균열성장속도를 직접할선법(secant method)으로 나타내어 Paris law로 정리하여 나타내었다. Fig. 12상의 직선은 이전의 연구결과²⁾를 나타내며 본 시스템으로 측정된 데이터가 이 직선과 잘 일치하고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 영상처리기법의 알고리즘을 개발하여 균열길이 측정시스템을 구축하였으며, 이 시스템을 이용하여 균열길이를 실시간에 측정할 수 있는 가능성을 제시하였다.

1) 사람의 노동력을 최소화하기 위해서 CCD 카메라의 위치제어 시스템을 균열의 진전에 따라 자동적으로 움직일 수 있는 시스템, 즉 자동추적 시스템을 개발하였다.

2) 영상처리기법을 응용한 균열길이의 측정에 있어서 표면 거칠기, 광학적 성질 등과 같은 시편의 상태와 조명, 진동 등과 같은 시험조건에 따라 매우 상이한 영상을 얻을 수 있기 때문에 표준 조건 및 절차의 정립이 필요하며 블록매칭방식과 경사임계값 설정방식을 병합하여 영상처리 알고리즘을 개발하였다.

3) 본 연구에서 개발한 영상처리 시스템을 사용하여 얻은 1Cr-1Mo-0.25V강 CT 시편에서의 긴 균열의 성장거동은 원거리측정시스템으로 측정된 결과

와 0.03 % 정도의 차이가 있었다. 따라서 본 연구에서 개발한 영상처리 시스템의 유효성이 입증되었다.

참고문헌

- 1) S. H. Nahm, and C. M. Suh, "Observation on the Growth Behavior Small Surface Cracks Using Remote Measurement System," ASTM STP 1318, pp. 71~84, 1997.
- 2) S. H. Nahm, H. M. Lee and C. M. Suh, "A Study on Observation and Growth Behavior of Small Surface Cracks by Remote Measurement System," KSME Journal, Vol. 10, No. 4, pp. 396~404, 1996.
- 3) 남승훈, 김용일, 류대현, "영상처리기법을 이용한 1Cr-1Mo-0.25V강의 피로균열 성장거동 관찰," 비파괴검사학회지, Vol. 22, No. 1, pp. 14~21, 2002.
- 4) A. Ishii, V. Lachkhia, Y. Ochi and T. Akitomo, "Recognition of Small Surface Fatigue Crack Initiation and Crack Tip," J. Soc. Mat. Sci., Japan, Vol. 42, No. 481, pp. 1231~1237, 1993.
- 5) M. Ichikawa, T. Takamatsu and T. Matsumura, "Measurement of Small Crack Lengths under Creep-Fatigue Condition by means of Image Processing," JSME International Journal, Vol. 35, No. 2, pp. 241~246, 1992.
- 6) "Standard Test Method for Measurement of Fatigue Crack Growth Rates," Annual Book of ASTM Standards, Part 10, E647, pp. 674~701, 1999.