

이미지 프로세싱 기술을 이용한 증기발생기 세관 제염장비 원격 제어 연구

김성균, 이근우

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

sungkyun@kaeri.re.kr

1. 서론

원자력 발전소의 증기발생기는 대형 금속 구조물로 원전의 필수 요소 중 하나이다. 그러나 증기발생기는 오랜 시간 운전함에 따라 세관이 막히거나 누수가 되어 결국 원전의 가동을 저하 및 안전성 문제로 원전 운전 중 교체가 불가피 하다. 현재 국내에서는 1998년 고리 1호기의 증기발생기 2기의 교체를 시작으로 2011년에는 울진 1,2호기의 증기발생기 6기가 교체될 전망이며, 이어 영광 등의 원전에서도 증기발생기의 교체가 지속적으로 발생할 것으로 전망하고 있다.

노후화된 증기발생기는 대형 금속폐기물로 임시 저장할 경우 대규모 공간이 소요될 뿐만 아니라 폐기물 확산 방지 측면에서 이를 효과적으로 해체할 필요가 있다. 증기발생기는 세관내부에 오염 정도가 높고, 나머지 부분은 오염 정도가 미미하여 세관 내부만 제염하면 대부분 규제 면제 폐기물로 전환할 수 있다. 현재 한국원자력연구원에서는 증기발생기 세관 내부를 제염하기 위해 연마재 분사 제염 기술을 연구하고 있으며 연마재 분사 제염 기술이 세관 내부의 제염에 우수한 성능이 발휘됨을 확인하였다. 그러나 연마재 분사 제염 시 분사 노즐을 3,388개나 되는 세관에 정확히 위치 시켜야 하며, 세관 내부의 고방사화로 인해 이러한 작업을 원격으로 수행해야 하는 문제점을 갖고 있다. 따라서 연마재 분사 노즐을 세관 중심원에 정확히 일치시키기 위해서는 정밀한 제어 기술이 필요하다.

본 연구에서는 증기발생기 세관 다발을 카메라로 촬영한 후 이미지 프로세싱 기술을 적용하여 세관 중심의 위치를 원거리에서 정확히 측정할 수 있는 방법을 기술하고, 이 기술을 증기발생기 세관 목표에 적용한 결과에 대해 언급하였다.

2. 본론

2.1 Hough 변환

증기발생기 세관의 직경 위치는 증기발생기의

장시간 운전으로 인해 변형되거나 세관 다발 단면을 절단하는 과정에서 실제 설계된 위치에서 크게 벗어남에 따라 설계된 세관의 위치 좌표를 이용한 제어 방법은 적용이 불가하다. 따라서 세관의 위치 좌표를 측정할 수 있는 새로운 방법이 도입되어야 한다. 본 연구에서는 세관 단면 이미지를 Hough 변환 방법을 이용하여 세관 원주를 형상으로 인식하여 좌표를 찾는 방법을 사용하였다.

Hough 변환으로 원의 중심을 찾는 방법은 다음과 같다. 이미지 상의 원의 방정식은 다음과 같다.

$$(x_i - a)^2 + (y_i - b)^2 = r^2 \quad \text{----- (1)}$$

여기서 $i = 1 \dots N$ 이고, x_i, y_i 는 이미지의 픽셀을 나타내며, a, b 는 원의 중심점을 나타낸다. 식(1)을 다시 다음과 같은 원주좌표계로 바꾸어 쓸 수 있다.

$$x_i = a + r \cos \theta \quad \text{----- (2.1)}$$

$$y_i = b + r \sin \theta \quad \text{----- (2.2)}$$

식(2)를 2D Hough 변환하면 식(3)과 같다.

$$a = x_i - r \cos \theta \quad \text{----- (3.1)}$$

$$b = y_i + r \sin \theta \quad \text{----- (3.2)}$$

Fig. 1은 식(2)를 식(3)의 2D Hough 변환식을 통해 그래프로 나타낸 그림이다. 2D Hough 변환하여 겹쳐진 원들의 교점이 원래의 원의 중심점 a, b 가 되고 그 중심점을 기준으로 반경 r 의 원을 그리면 원래 이미지 상의 원과 동일한 원을 그릴 수 있다.

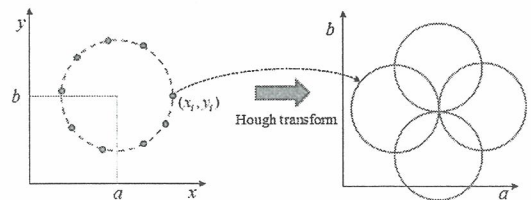
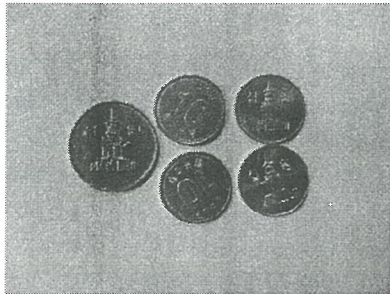


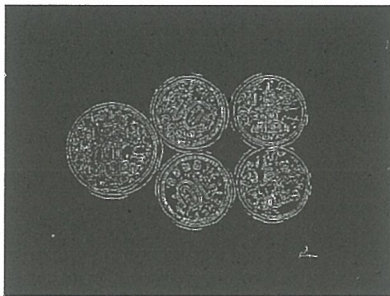
Fig. 1. Circle pixel 2D Hough transform

2.2 Hough 변환 예제

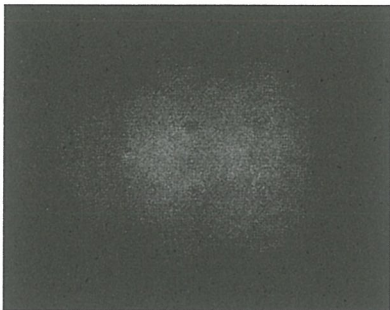
앞 절에서 언급한 Hough 변환 방법을 이용하여 다음과 같은 간단한 예제를 통해 방법론을 테스트 하였다. Fig. 2(a)와 같이 여러 개의 동전에



(a) Original image



(b) Edge detecting image



(c) Hough transformation image



(d) Circle overlapped with original image

Fig. 2. Circle detection of coins using Hough transformation technique

대한 이미지에서 동전 중심을 Hough 변환 방법으로 구하였다. 먼저 동전의 중심원을 구하기 위해 Fig 2(b)와 같이 Fig 2(a)를 Edge 이미지로 변환하였다. 변환된 Edge 이미지를 식(3)을 이용하여 Fig (c)와 같은 Hough space 상의 이미지를 구할 수 있으며 이 이미지에 흰색 점이 동전의 중심점이 된다. Fig. 2(d)는 실제 이미지에 Hough 변환을 통해 구해진 좌표에 동전의 크기와 동일한 원을 일치 시킨 그림을 나타내며 실제 크기와 정확히 일치하는 것을 알 수 있다.

2.3 목업 증기발생기 세관 위치 제어 장비

본 연구에서는 앞에서 언급한 이미지 프로세싱 방법을 통해 세관 중심의 위치를 측정하고 측정된 값을 기반으로 연마 분사제염 노즐을 원격으로 위치시킬 수 있는 장비를 개발하였다. Fig. 3은 SG 목업 세관을 카메라로 촬영한 후 Hough 변환 기법을 이용하여 세관 중심점의 위치를 측정된 결과를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 이미지 프로세싱을 통해 세관 중심의 위치가 정확히 측정됨을 확인할 수 있다.

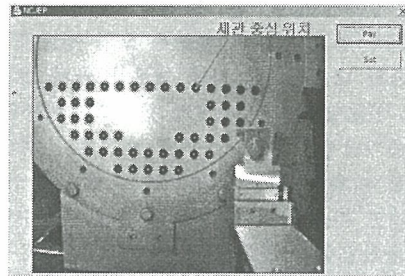


Fig. 3. Center detecting test for SG mock-up

3. 결론

본 연구에서는 연마제 분사 노즐을 증기발생기 세관 중심에 정확히 위치시키기 위해 이미지 프로세싱 기법인 Hough 변환 방법을 적용하였다. 본 방법을 이용하여 증기발생기 세관에 적용할 수 있는 연마제 분사 원격 제어 장비를 제작하였고, 증기발생기 축소 목업에 적용하여 분사노즐이 세관 중심에 정확히 위치함을 확인하였다.

4. 참고문헌

[1] Shapiro, Linda and Stockman, George. Computer Vision, Prentice-Hall Inc. 2001.