

# 금속 내부의 이물질 검출 향상을 위한 X-ray 영상 보정 모델

김원  
우송대학교 IT융합학부 교수

## X-ray Image Correction Model for Enhanced Foreign Body Detection in Metals

Won Kim  
Professor, Division of IT Convergence, Woosong University

**요약** 자외선보다 파장이 짧은 X-선은 투과력이 매우 좋아 산업 분야 및 의료분야에 융합되어 많이 사용되고 있다. 특히 산업분야에서는 비파괴 검사 장비인 x-ray를 이용하여 금속과 같은 제품의 생산 과정에서 발생할 수 있는 금속 내부의 이물질에 검출에 대한 연구가 다양하게 이루어지고 있는 실정이다. X-ray 영상 이미지를 디지털 방식으로 획득하는 DR(Digital Radiography) 방사선 촬영 방식의 확산으로 디텍터의 사용이 활발해지고 있으나 내부의 센서 잡음 및 감도에 따라 이물질 검출이 불가능한 경우도 발생하고 있다. 금속 제품을 생산할 경우 이물질의 혼입으로 생산 제품의 불량률이 높아질 수 있기에 정확한 검출이 필요하다. 이에 본 논문에서는 금속 내부의 이물질과 같은 결함 검출의 효율을 향상시키기 위하여 획득한 X-ray 이미지의 보정 모델을 제안한다. 제안 모델을 통하여 금속 제품 생산 공정의 불량 검출에 적용하면 제품 결함의 검출을 정확하고 신속하게 처리할 수 있을 것으로 기대된다.

**주제어** : 융합, 디텍터, 이미지 보정, 영상 평균화, 신틸레이터

**Abstract** X-rays with shorter wavelengths than ultraviolet light have very good penetration power. It is convergence in industrial and medical fields has been used a lot. In particular, in the industrial field, various researches have been conducted on the detection of foreign body inside metal that can occur in the production process of products such as metal using x-ray, a non-destructive inspection device. Detectors are becoming increasingly popular for the popularization of DR (Digital Radiography) photography methods that digitally acquire X-ray video images. However, there are cases where foreign body detection is impossible depending on the sensor noise and sensitivity inside the detector. When producing a metal product, since the defective rate of the produced product may increase due to contamination of the foreign body, accurate detection is necessary. In this paper, we provide a correction model for X-ray images acquired in order to improve the efficiency of defect detection such as foreign body inside metal. When applied to defect detection in the production process of metal products through the proposed model, it is expected that the detection of product defects can be processed accurately and quickly.

**Key Words** : Convergence, Detector, Image Correction, Image Averaging, Scintillator

\*This paper was supported by the 2019 Woosong University academic research fund.

\*Corresponding Author : Won Kim(kimwon@wsu.ac.kr)

Received September 14, 2019

Accepted October 20, 2019

Revised October 7, 2019

Published October 28, 2019

## 1. 서론

방사선의 일종인 X-선은 자외선보다 파장이 짧은 전자기파로서, 투과력이 매우 좋고 의료분야 및 산업분야에서 많이 응용되고 있다. 의료분야에서는 X-ray 이미지를 활용하여 증강현실 기반으로 심전도 측정 시스템을 구현한 연구 및 방사선의 피폭선량 경감을 위한 디지털 방사선 장치의 구리 부가 필터의 유용성 평가와 같은 연구가 이루어지고 있다[1,2]. 또한 IT 기술의 급속한 발전으로 산업의 급격한 변화 속에 산업분야에서는 생산과 관련된 공장 자동화를 통하여 생산성 효율을 증대시키기 위한 스마트공장에 대한 표준체계 확립 연구가 이루어지고 있는 추세로서[3], 생산 제품들의 검사가 자동으로 이루어짐에 따라 제품의 검사에 광학 검사를 시행하여 효율적이고 정확한 제품의 검사가 요구되고 있으나, 광학 검사는 대부분 제품의 표면만을 검사하고 있는 실정으로 제품의 내부적인 결함을 검사하기 위하여 X-ray를 이용하여 내부의 결함을 찾는 방사선 DR(Digital Radiography) 검사 시스템에 대한 활발한 연구가 진행되고 있는 실정이다[4]. X-ray는 비파괴 검사 장비이며, 물체의 투과성으로 주물과 같은 금속 제품을 파손하지 않고 내부를 확인할 수 있는 유일한 방법이다[5]. 이물질(Foreign Body)은 다른 물질이 본래의 재료 속에 혼입되거나, 금속을 제작하는 중에 부주의로 다른 물질이 들어가는 것으로 금속을 제조하는 공정 과정 중에 발생하는 것으로 [6], 금속 제품을 생산할 경우 다른 물질의 혼입으로 발생할 수 있는 이물질은 생산 제품의 불량률이 높아질 수 있기에 정확한 검출이 필요하다[7]. 이를 위하여 최근 X-ray를 사용하여 이물질을 검출하는 시스템의 사용이 확산되고 있는 실정으로, 디지털 방식의 영상을 획득하기 위하여 디텍터(Dector)를 사용하고 있으나 디텍터 내부의 센서 잡음 및 센서 감도에 따라 금속 제품 내부의 이물질 검출이 불가능한 경우가 발생하고 있는 상황이다 [8]. 또한 디텍터에서 효율적으로 전압의 신호를 획득하기 위하여 ROIC(Readout Integrated Circuit)를 사용하고 있지만, 전하증폭기의 특성이 일정하지 못한 경우가 발생하고 있기에 불균일한 이득 특성이 나타나고 있으며, 이는 고정형태의 잡음의 원인이 되고 있다[9]. 이에 본 논문에서는 금속과 같은 제품의 생산 과정에서 금속 내부의 이물질과 같은 제품의 결함 검출의 효율을 향상시키기 위하여, 획득된 X-ray 이미지의 보정 모델을 제안한다. 제안 모델을 통하여 금속 제품의 생산과 같은 공정에 적용하면 제품의 결함에 대한 검출을 정확하고 신속하게

처리할 수 있기에, 금속 제품의 생산 효율이 크게 증가할 것으로 기대된다.

## 2. 관련연구

### 2.1 디텍터(Detector)

X-선을 이미지화하여 확인하기 위한 방법은 필름 현상에 의한 아날로그 방식과, X-선을 전기 신호로 변환하여 이미지를 생성하는 디지털 방식이 있다. 디지털 방식으로 영상을 획득하기 위해 사용하는 장비를 디텍터라고 하며, 일반적으로 산업용 및 의료용에서 사용되고 있는 디지털 방사선 촬영 방식인 DR(Digital Radiography) 시스템은 직접 방식 및 간접 방식과 같이 두 종류로 분류할 수 있다[10-12]. DR은 기존 아날로그 방식의 많은 문제점을 해결할 수 있는 것으로[13], 직접 방식은 디텍터에 광 전도체를 사용하여 X-선을 전기 신호로 직접 변환하여 이미지를 생성하는 방식이며, 간접 방식은 X-선을 받으면 발광하는 신틸레이터(Scintillator)라고 하는 형광 물질을 사용하여 X-선을 가시광선으로 전환한 후, 전환된 가시광선을 센서를 통하여 전기적 신호로 변환하여 변환된 이미지를 생성하는 방식이다. 다음의 Fig. 1은 X-선 발생 장치로부터 간접 방식의 디텍터를 통하여 이미지가 생성되는 과정이다. 간접 방식의 디텍터(Detector)는 X-선을 가시광선으로 전환하는 형광물질인 신틸레이터, 가시광선을 전기 신호로 변환하는 이미지 센서, 전기 신호를 모아 디지털화하는 PCB 보드로 구성된다.

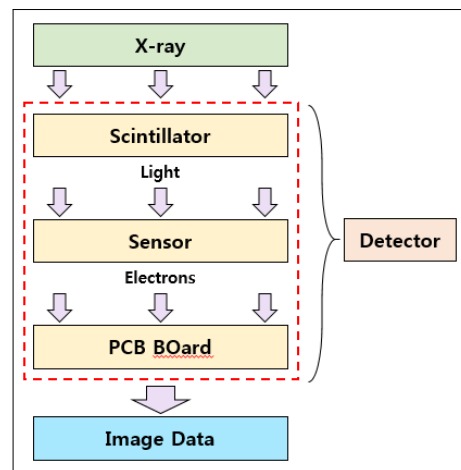


Fig. 1. X-ray Image Generation Process

### 2.2 평균 필터(Mean Filter)

가우시안 잡음과 블러링을 감소시키기 위하여 사용되는 평균 필터는 선형 공간 필터로서 영상 이미지의 전처리 작업에 사용되고 있다. 평균 필터는 다음의 (식 9)와 같이 정의되며, (식 10)은 화소의 영역이다.

$$p(x, y) = \sum_i \sum_j f(x-i, y-i) h(i, j) \quad (\text{식 } 9)$$

$$0 \leq x-i < N, 0 \leq y-i < M(i, j \in W) \quad (\text{식 } 10)$$

선형공간필터는 영상  $f(x, y)$ 와 임펄스 응답  $h(x, y)$ 의 2차원 컨볼루션으로 이루어져 있으며, 평균 필터를 적용하여 처리된 영상은  $p(x, y)$ 이다.  $W$ 는 설정한 윈도우 크기로서, 영상의 크기는  $N \times M$ 이다[14].

영상의 밝기 변화가 적은 저주파 영역에서 잡음 제거가 우수하나, 그레이 레벨의 변화가 큰 고주파 영역에서는 에지와 같은 영상 정보를 고려하기 어려워 잡음제거 능력이 다소 미흡하다[15].

## 3. 제안 모델

### 3.1 모델 구성도

다음의 Fig. 2는 제안 모델의 전체적인 시스템 구성도이다. X-ray 발생 장치에서 발생하는 X-선을 그레이 값 이미지로 변환시켜 주는 디텍터를 사용하여 획득한 X-ray 영상을 보정하고 금속과 같은 제품 내부의 이물질 검출 성능을 향상시키기 위한 제안 모델의 시스템 구성도로서 다음과 같이 크게 2단계로 구성되어 있다.

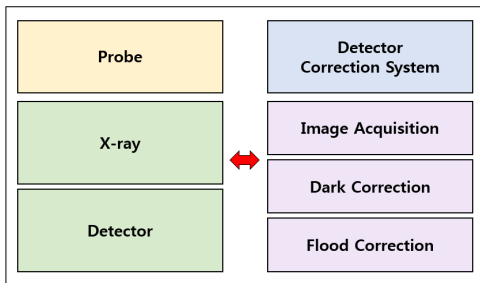


Fig. 2. System Configuration

첫째, Probe로서 X-ray 발생장치와 X-선을 영상화하는 디텍터이다. 둘째, Probe 구성을 통해 영상을 획득하고 디텍터의 고정 잡음을 제거하기 위한 Dark 보정과

디텍터 내부 센서 별 감도를 보정하는 Flood 보정을 획득하는 디텍터 보정 시스템으로 구성하였다.

### 3.2 시스템 프로세스

다음의 Fig. 3은 제안 모델의 시스템 프로세스로서 Dark 보정, Flood 보정, 보정된 영상과 같이 크게 3가지 형태로 구성하였다.

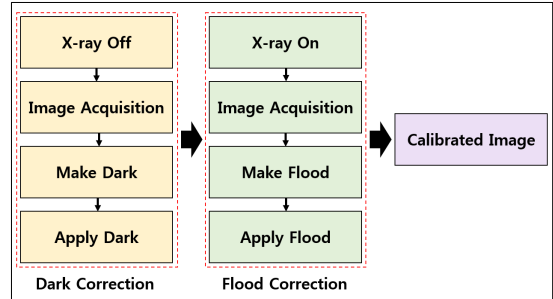


Fig. 3. System Process

첫째, Dark 보정 프로세스로서, X-선이 방출되지 않은 상태에서 디텍터 영상을 획득한다. 획득한 임의의 수량에 대한 영상을 픽셀 별 그레이 값의 평균값을 산출하여 픽셀 별 해당 평균값을 가지는 Dark 이미지를 생성하여 적용한다. 둘째, Flood 보정 프로세스로서, 일정한 양의 X-선을 받는 디텍터에서 Dark 이미지가 적용된 영상을 획득한다. 획득한 임의의 개수의 영상을 각 픽셀에 대한 평균값을 구한 후, 모든 픽셀 값을 정렬하여 적절한 값을 확인하여 해당 값으로 보정되는 Flood 이미지를 생성한다. 셋째, 이미지 보정으로, 보정 프로세스를 통해 획득한 Dark 이미지와 Flood 이미지를 적용하여 획득한 영상은 고정 잡음과 픽셀 별 감도 차에 대하여 보정이 이루어진다.

### 3.3 Dark 마스크 생성 및 적용

제안 모델에서 사용된 디텍터의 영상은 0부터 최대값을 16383까지 나타낼 수 있는 14bit 그레이 값 이미지이다. X-선이 방출되지 않은 상태에서 영상을 획득하게 되면 디텍터 내부의 고정 잡음으로 인하여, 낮은 값에 픽셀 값이 나타나게 된다. 평균 필터는 획득된 영상 이미지의 밝기값을 전체 이미지에 적용하는 알고리즘으로 사용되고 있으나, 이는 스무딩 되어 옛지도 잡음으로 처리될 수 있어 영상 이미지의 왜곡이 발생할 가능성이 많기에 본 논문에서는 영상 평균화 기법을 사용하여 보정 이미

지를 생성하였다. 각 픽셀에 대한 평균값의 이미지를 Dark 이미지라고 하며, 고정 잡음을 보정하기 위해 Dark 이미지를 생성하여 적용한다. Dark 이미지를 생성하기 위해서 X-선이 조사되지 않는 환경에서 디텍터 영상을 임의의 개수만큼 획득한다. 획득한 영상은 같은 위치의 픽셀 값을 누적한 후 누적한 영상의 개수로 나누어 픽셀의 평균 값을 구하는 것으로 다음의 (식 1)에 의하여 생성한다.

$$DM(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N II_i(x, y) \quad (\text{식 1})$$

여기서,  $DM$ 은 Dark 마스크이고,  $II$ 는 입력 이미지로서 X-ray가 조사되지 않은 상태에서 획득한 디텍터 영상이고,  $N$ 은 누적하고자 하는 임의의 영상 개수이며,  $(x, y)$ 는 영상의 좌표이다.

Dark 보정은 획득한 영상과 계산된 Dark 이미지와의 영상 차를 이용하여 적용한다. 다음의 Fig. 4는 이미지 보정 전과 후의 프로파일 그래프이다.

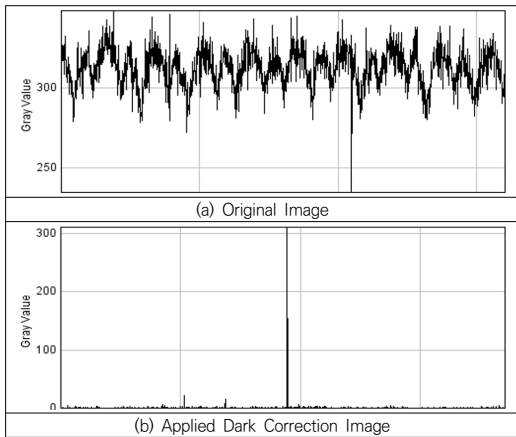


Fig. 4. Profile Graph of Offset Original Image

(a)는 Dark 이미지를 보정하기 전의 원본 이미지로서, 300에서 350사이에 분포하는 낮은 값을 가진 고정 잡음을 확인할 수 있다. (b)는 Dark 이미지 보정 후의 픽셀 값을 나타내는 프로파일 그래프로서, Dark 보정은 획득한 영상과 계산된 Dark 이미지와의 영상 차를 이용하여 적용한다. 획득한 영상에 Dark 보정을 적용함으로써 고정 잡음이 제거되어 균일한 픽셀 값을 나타내는 프로파일 그래프를 확인할 수 있다.

### 3.4 Flood 마스크 생성 및 적용

픽셀 별 센서 감도 오차를 보정하기 위한 Flood 이미지를 생성하기 위하여 먼저 일정한 X-선을 디텍터 장치에 조사하기 위하여, X-ray 발생 장치와 디텍터 장치 사이에 어떠한 물체도 없는 상태를 유지한 후 X-선이 조사된 디텍터 영상을 임의의 개수만큼 획득한다.

획득한 영상 이미지의 평균화를 통해 각 픽셀 별 평균 값을 구한다. 다음으로 평균화된 영상의 픽셀 값을 정렬한 후 전체 픽셀 개수 중 중간에 위치한 픽셀 값으로 보정 값을 구한다. 모든 픽셀이 획득한 보정 값을 보유할 수 있도록 각 픽셀에 대하여 보정 값을 해당 픽셀 값으로 나누어 계산된 값의 이미지를 Flood 이미지라고 한다.

다음의 Fig. 5는 Flood 이미지를 생성하는 과정으로 다음의 (식 2)와 (식 3)을 적용한 것이다.

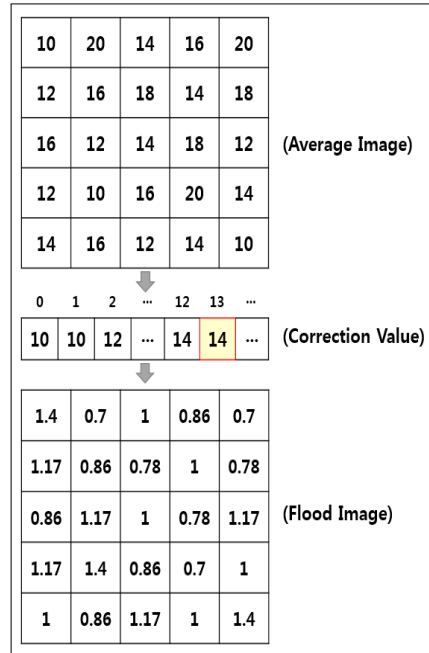


Fig. 5. Flood Image Generation Process

$$DCI(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N II_i(x, y) - DM(x, y) \quad (\text{식 2})$$

$$FM(x, y) = \frac{\text{median}(DCI(x, y))}{DCI(x, y)} \quad (\text{식 3})$$

여기서,  $DCI$ 는 Dark 보정 이미지이고,  $II$ 는 X-ray가 조사된 상태에서의 디텍터 영상이며,  $N$ 은 누적하고자 하는 임의의 영상 개수이고,  $(x, y)$ 는 영상의 좌표이다.

다음의 Fig. 6은 X-ray 발생 장치로부터 X-선이 방출된 상태에서 Dark 이미지를 적용하여, 고정 잡음을 제거하고 획득한 디텍터 영상을 센서의 감도에 따라 픽셀 값들이 고르지 못한 정도를 나타내는 히스토그램 분포도와 Flood 이미지를 적용하여 고르게 분포하는 히스토그램 분포도이다.

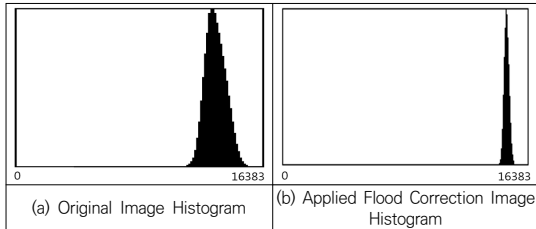


Fig. 6. Histogram of Gain Original Image

#### 4. 실험 및 고찰

다음의 Fig. 7은 임의의 평균화 값을 입력한 후 Dark 이미지와 Flood 이미지를 생성하고 적용하여 영상 보정 정도를 확인하는 제안 모델인 보정 시스템의 메인 화면이다.

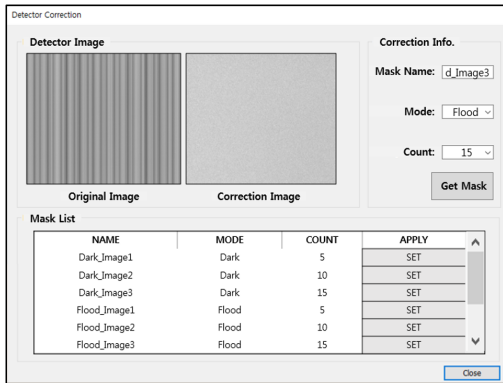


Fig. 7. Calibration System Main Screen

제안 모델의 실험 및 측정에 사용된 디텍터의 영상은 0부터 최대값을 16383까지 나타낼 수 있는 14bit 그레이 값에 대한 이미지이고, 비주얼 스튜디오 2010의 MFC와 OpenCV 라이브러리를 사용하여 제안 모델을 구현하였다. 상단 좌측은 디텍터 원본 영상과 보정 이미지를 적용한 영상을 확인하기 위한 출력하도록 구성되어 있고, 상단 우측은 보정 정보를 입력하고 사용자가 설정

한 개수만큼 이미지를 획득하여 보정 이미지를 획득하도록 구성되어 있다. 하단에 리스트는 획득한 보정 이미지에 대한 정보를 가지고 있으며, 보정 이미지를 선택하여 보정된 이미지를 확인할 수 있다. 다음의 Fig. 8은 Dark, Flood 이미지를 적용하여 보정 이미지를 획득하는 알고리즘의 일부이다.

```

for( int y=0; y<Image_Height; y++) {
    for( int x=0; x<Image_Width; x++) {
        Dark_Corrected_Image(x, y) = Input_Image(x, y)
        - Dark_Mask(x, y);
        Corrected_Image(x, y) =
        Dark_Corrected_Image(x, y) * Flood_Mask(x, y);
    }
}
    
```

Fig. 8. Corrected Image Acquisition Algorithm

다음의 Table 1은 히스토그램 분포도에서의 최대값과 최소값의 차이를 나타낸 결과이다.

Table 1. Max-Min Difference in Pixel Values by Averaging Number

| Average Number of Input Images | Noise Level after Calibration |
|--------------------------------|-------------------------------|
| 1                              | 13303                         |
| 5                              | 5946                          |
| 10                             | 4203                          |
| 15                             | 3432                          |
| 20                             | 2979                          |
| 25                             | 2660                          |
| 30                             | 2434                          |
| 50                             | 1875                          |
| 100                            | 1330                          |
| 200                            | 944                           |

보정 영상 획득 단계에서 임의의 평균화 개수에 따라 발생하는 보정 정도를 확인하기 위해서 Dark, Flood 이미지 보정을 모두 적용한 이미지에 결과로서, 평균 영상 획득 값이 높아질수록 픽셀 별 차이가 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 획득 영상이 16비트 이미지로 표현되므로 5% 이하의 잡음 레벨을 고려하면, 획득 영상을 20장 이상 사용할 경우 보정 속도 및 정확성이 매우 효율적이라 할 수 있다.

#### 6. 결론 및 향후 연구

투과력이 매우 좋은 X-선은 의료 및 산업 분야에서 다양하게 응용되어 사용되고 있으며, 특히 산업 분야에서는 비파괴 검사 장비인 X-ray를 이용하여 금속 제품의

생산에서 금속 내부의 이물질 혼입과 같은 불량 제품의 검출에 적용한 시스템이 확산되고 있는 실정이다. X-ray 영상 이미지를 획득하기 위하여 최근 DR 방사선 촬영 방식이 이용되고 있으나, 디텍터 내부의 센서 잡음과 센서의 감도에 따라 이물질 검출이 불가능한 경우도 많이 발생하고 있기에, 본 논문에서는 금속 내부의 이물질과 같은 결함을 정확하게 검출하기 위하여 디텍터를 통하여 획득한 X-ray 이미지 보정 모델을 제안한다. 제안 모델을 통하여 금속 제품 생산 공정에 적용하면, 제품 결함을 신속하고 정확하게 검출할 수 있을 것으로 기대된다.

## REFERENCES

- [1] K. I. Lee, J. S. Jang & T. R. Lee. (2016). Using the X-ray Image, Augmented Reality based electrocardiogram measurement system Development. *Journal of Digital Convergence*, 14(9), 331-339.  
DOI : 10.14400/JDC.2016.14.9.331
- [2] S. H. Kim. (2015). A Convergence Study on Evaluation of Usefulness of Copper Additional Filter in the Digital Radiography System. *Journal of Digital Convergence*, 13(9), 351-359.  
DOI : 10.14400/JDC.2015.13.9.351
- [3] J. C. Shin & K. I. Kim. (2018). The necessity of Smart Factory's Standards and Certification System Based on Grounded theory. *Journal of Convergence for Information Technology*, 8(2), 203-208.  
DOI : 10.22156/CS4SMB.2018.8.2.203
- [4] M. K. Park, H. J. Moon & D. H. Lee. (2015). The development of product inspection X-ray DR image processing system using intensifying screen. *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, 19(7), 1737-1742.  
DOI : 10.6109/jkiice.2015.19.7.1737
- [5] I. S. Cho, J. I. Kim & C. H. Lim. (2010). In-situ X-ray Observation of Shrinkage Defect of the Aluminum Alloy Castings. *Journal of Korea Foundry Society*, 30(5), 174-178.
- [6] The Korean society for Nondestructive testing. (2004). *Dictionary of Nondestruction Testing*. Seoul : Sejinbook. 128.
- [7] H. R. Ji & H. Hong. (2013). Automatic Detection of Foreign Body through Template Matching in Industrial CT Volume Data. *Journal of Korea Multimedia Society*, 16(2), 1376-1384.  
DOI : 10.9717/kms.2013.16.12.1376
- [8] H. N. Cho, G. R. Park, D. H. Kim, J. W. Kim & H. Y. Lee. (2019). A Study on Image Correction System to Detect Defects in Casting. *Proceedings of Conference on Knowledge Information Technology and Systems*, 185-188.
- [9] D. S. Kim & E. Kim. (2016). Noise power spectrum of the fixed pattern noise in digital radiography detectors. *Medical Physics*, 43(6), 2765-2773.  
DOI : 10.1118/1.4948691
- [10] W. Zhao, D. C. Hunt, K. Tanioka & J. A. Rowlands. (2005). Amorphous selenium flat panel detectors for medical applications. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 549(1-3), 205-209.  
DOI : 10.1016/j.nima.2005.04.053
- [11] J. Y. Park, J. K. Park, S. S. Kang, C. W. Moon, H. W. Lee & S. H. Nam. (2003). Comparison Study of the Modulation Transfer Function of a Prototype a-Se based Flat Panel Detector with Conventional Speed Class 400 Film/screen System. *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea SC*, 40(3), 163-171.
- [12] B. K. Cha, D. H. Lee, B. H. Kim, G. H. Yoon, S. C. Jeon & Y. Huh. (2010). Research and Development of Scintillating Materials For Digital 3D Fluoroscopy X-ray Sensors. *Conference of the Institute of Electronics and Information Engineers*, 33(1), 2025-2027.
- [13] J. W. Gil, J. H. Park, S. H. Bae, H. J. Hwang & Y. G. Kim. (2014). The solution to the limitation of the conventional digital x-ray system and its feasibility test. *Journal of digital convergence*, 12(12), 371-379.  
DOI : 10.14400/JDC.2014.12.12.371
- [14] M. C. Pan & A. H. Lettington. (1998). Smoothing images by a probability filter. *IEEE International Joint Symposia on Intelligence and Systems (Cat. No. 98EX174)*, 343-346.
- [15] X. Long & N. H. Kim. (2013). An Improved Weighted Filter for AWGN Removal. *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, 17(5), 1227-1232.  
DOI : 10.6109/jkiice.2013.17.5.1227

김 원(Won Kim)

[정회원]



- 1990년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과(공학사)
- 1999년 2월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과(공학석사)
- 2007년 8월 : 한국과학기술원 전자전산학과(공학박사)
- 1990년 3월 ~ 2007년 2월 : 국방과학연구소 연구원
- 2000년 3월 ~ 2007년 7월 : 우송공업대학 디지털전자정보계열 교수
- 2007년 8월 ~ 현재 : 우송대학교 IT융합학부 교수
- 관심분야 : 비전 시스템, 무선통신, 로봇틱스, 유전자 알고리즘
- E-Mail : kimwon@wsu.ac.kr