

후방산란 엑스선 영상획득을 위한 다채널 검출기 개발

이정희¹ · 박종원¹ · 최영철¹ · 임창휘^{2*} · 이상헌³ · 박재홍³

¹선박해양플랜트연구소 · ²(주)엠원인터내셔널 · ³다운테크놀로지

Development of Multi-channel Detector of X-ray Backscatter Imaging

Jeonghee Lee¹ · Jongwon Park¹ · Yungchul Choi¹

Chang Hwy Lim^{2*} · Sangheon Lee³ · Jaeheung Park³

¹Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering ·

²M1 International Corp · ³DAON Technology

E-mail : jeonghee@kriso.re.kr / charlielim77@gmail.com*

요 약

엑스선 후방산란 영상획득기술은 물체에서 산란되는 엑스선을 활용하여 피조사체 내부 영상을 획득할 수 있는 기술로 영상획득을 위해서는 시스템은 엑스선 발생장치와 산란 엑스선을 측정하기 위한 검출시스템을 포함하여야 한다. 엑스선 후방산란 영상획득장치는 고속으로 회전하는 회전 콜리메이터를 통해 생성되는 엑스선을 샘플링 간격으로 실시간 신호를 획득하여야 하며 이를 위해서는 고속 신호획득장치가 요구된다. 우리는 후방산란 영상획득장치를 위해 대면적 플라스틱 섬광체(500×600×50mm³)와 광증배관으로 구성된 후방산란 엑스선 획득용 센서부에서 생성되는 신호의 변환 및 전달하기 위한 고속 다채널 신호획득장치를 개발하였다. 개발한 후방산란 영상획득용 검출시스템은 최소 15μ초 간격으로 신호의 획득이 가능하며 최대 6채널의 신호의 변환 및 전달이 가능한 시스템으로 고속 후방산란 엑스선 영상획득이 가능하다. 개발된 검출시스템은 개별 센서의 보정을 위한 전압, 신호이득, 저레벨 제거 등의 원격 조절 기능을 포함한다. 현재 우리는 다양한 조건에서 엑스선 후방산란 영상획득을 적용 시험을 수행하고 있다.

ABSTRACT

Backscattered x-ray imaging is a technology capable of acquiring an image inside an irradiated object by measuring X-rays scattered from an object. For image acquisition, the system must include an X-ray generator and a detection system for measuring scattered x-rays. The imaging device must acquire a real-time signal at sampling intervals for x-rays generated by passing through a high-speed rotating collimator, and for this purpose, a high-speed signal acquisition device is required. We developed a high-speed multi-channel signal acquisition device for converting and transmitting signals generated by the sensor unit composed of a large-area plastic scintillator and a photomultiplier tube. The developed detector is a system capable of acquiring signals at intervals of at least 15μ seconds and converting and transmitting signals of up to 6 channels. And a system includes remote control functions such as high voltage, signal gain, and low level discrimination for individual calibration of each sensor. Currently, we are conducting an application test for image acquisition under various conditions.

키워드

후방산란 엑스선 영상, 플라스틱 섬광체, 회전 콜리메이터, 고속 다채널 검출기

1. 서 론

보안검색을 위한 검색장치는 검사대상체의 내부

를 정확하고 신속하게 검색하기 위하여 다양한 방법을 사용한다. 일반적으로 내부검사는 X-선을 이용하여 내부 투과검사를 수행하는 방법을 사용하나 피검사체 내부의 검사대상이 유기물의 경우 투과영상을 통해 정확한 물체를 검출할 확률이 낮아

* corresponding author

진다. 특히 고에너지 X-선을 사용하는 화물 컨테이너 검색의 경우 영상을 검색하는 X-선이 MeV 이상의 에너지를 사용하기 때문에 낮은 밀도의 불법화물(마약, 폭발물 등)을 식별하기에 많은 어려움이 있다[1]. 이와 같은 문제점들을 해결하기 위하여 화물내 유기물들을 더욱 정확히 검사하기 위한 다양한 방법들이 사용된다[1-3]. 이와같은 다양한 방법들 중에서 후방산란 영상획득기술은 화물내 유기물 검색에 특화된 검색기술로 일부 선진국(미국)에서만 개발 및 활용되고 있다[4]. 후방산란 영상획득장치는 입사되는 X-선이 물체와 반응하여 생성되는 콤프턴 산란선 중에서 후방으로 비정하는 X-선을 측정하여 피조사체의 내부 영상을 나타내는 기술로 후방으로 산란되는 X-선을 수집용 대면적 검출센서를 사용한다[5]. 후방산란 영상의 경우 펜슬빔 형태의 X-선을 검사물체의 상하로 스캔하면서 조사하며 이때 일정 각도마다 신호를 측정하게 된다. 이때 검출기는 수십 us 시간 간격으로 신호를 획득한다. 또한, 대면적 검사체 검색을 위한 컨테이너 화물 검색의 경우 대면적 실시간 검색을 위해서 다수의 대면적 검출기를 사용하여야 하며 이를 위하여 검출기들의 동시신호를 고속으로 획득하기 위한 기술이 요구된다. 본 논문은 화물 컨테이너 검색을 위한 후방산란 영상획득장치를 위한 고속 다채널 영상획득용 신호획득장치의 개발과 적용시험에 대해 기술한다.

II. 연구방법

화물 컨테이너 검색을 위한 기술개발을 위하여 우리는 절반 크기의 후방산란 영상획득장치를 개발하였다. 기술개발용 후방산란 영상획득장치는 X-선 발생을 위한 X-선 발생장치 및 콜리메이터, 후방으로 산란된 X-선을 측정하기 위한 후방산란 검출부로 구성된다. X-선의 발생을 위하여 최대관전압 225kV, 관전류 13mA의 NDI-225-FB (Varex Imaging Corp., USA) 그리고 X-선 발생반경은 상하 90도의 X-선 발생장치를 사용하였다. 발생하는 X-선은 상하로 펜슬빔 형태로 발생시켜야 하며 이를 위해서 직경 5mm의 홀 콜리메이터를 회전시키며 X-선을 발생시키게 된다. 이때 생성되는 X-선이 물체와 반응하여 후방으로 산란되며 산란된 X-선은 대면적 검출센서에 의해 수집된다. 우리는 이와같은 후방산란 엑스선 영상획득시스템을 대면적으로 구성하기 위하여 60cm×50cm×5cm 크기의 PVT (polyvinyltoluene) 플라스틱 섬광체(Eljen, USA) 6개를 사용한 대면적 후방산란 영상획득시스템을 구현하였다. 센서는 방사선과 반응하여 빛을 생성하게 되고 생성된 빛을 광증배관을 통해 전자로 변환되어 전류신호로 증폭 및 출력된다. 그림 1은 개발된 후방산란영상획득장치용 검출시스템의 구조도를 나타내고 있다. 출력된 신호는 최대 6개의 검출기에서 동시에 출력되며 각 출력신호는 신호를 증폭 및 ADC 변환을 위한 신호획득보드(PVT Driver)를 통해 전달된다. 이때

광증배관의 전하증폭을 위한 바이어스 전압은 신호 획득보드에 포함되며 인가전압은 음전압으로 0 ~ -1250V 범위로 조절이 가능하다. 광증배관에서 출력된 신호는 전하민감증폭기(charge sensitive)와 이득(gain) 증폭기, 고역통과 필터와 저레벨 제거(low level discrimination, LLD)를 위한 비교기를 거쳐서 펄스형태로 출력된다. 이때 바이어스전압, 이득 그리고 LLD은 원격 조절이 가능하다.

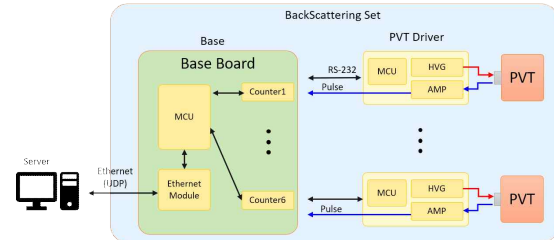


그림 1. 후방산란 엑스선 영상획득용 신호획득장치 구조 개념도; 신호획득장치는 신호의 증폭 및 변환과 고전압인가를 위한 신호획득회로인 PVT Driver와 신호의 수집 및 전달을 위한 Base 보드로 구성됨

신호의 획득은 앞서 각 과정을 통해 디지털로 변환된다. 변환된 신호는 Base 모듈로 전달되며 신호는 회로에서 개수 및 누적된다. 그리고 획득된 신호는 이더넷 통신을 통해 운영시스템으로 전달된다. 영상을 획득하기 위해서 회전콜리메이터에 일정한 각도(90도) 간격으로 부착된 4개의 홀 콜리메이터가 고정위치의 센서와 반응할 때 영상의 수직라인의 신호를 획득하게 된다. 이때 영상에서 수직방향의 픽셀의 크기는 검출기 샘플링 시간으로 정의한다. 검출시스템의 최소 샘플링 시간은 15us 이고 수직방향으로 획득할 수 있는 픽셀의 수는 128~1024 범위에서 조절이 가능하다. 그러므로 적절한 영상 획득을 위해서는 콜리메이터의 회전속도, 검출 샘플링 시간, 수직방향 픽셀의 수 등을 고려하여야 한다. 또한, 확장성을 고려하여 검출시스템들의 동기화가 가능한 기능을 포함한다.

III. 결과 및 토의

그림 2는 개발한 고속 다채널 후방산란영상획득용 검출시스템의 신호획득모듈을 나타내고 있다. 그림의 각 모듈은 그림 4에서 나타내고 있는 광증배관을 포함한 대면적 플라스틱 섬광체 센서에서 신호를 획득하여 영상획득을 위한 신호를 수집하게 된다.



그림 2. 개발된 후방산란 엑스선 영상획득을 위한 다채널 검출기의 신호처리 및 전달 모듈

그림 3은 개발된 고속 다채널 후방산란 엑스선 영상획득용 시스템의 영상획득시험 과정을 나타내고 있다. 그림에서 나타내고 있는 것과 같이 소화기, 테이프 그리고 1.5리터 물통을 활용하여 영상획득시험을 수행하였으며 영상의 획득은 1.2mm 두께의 철판을 활용하여 피조사체를 가린 상태에서 영상획득을 수행하였다.

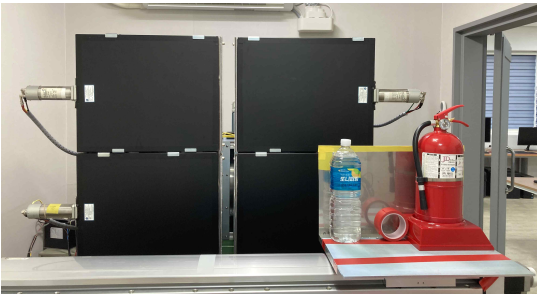


그림 3. 영상획득시험; 소화기, 테이프, 물이 채워진 물통을 1.2 mm 두께의 철판 뒤쪽에 위치하여 가로 방향으로 이동하며 영상을 획득

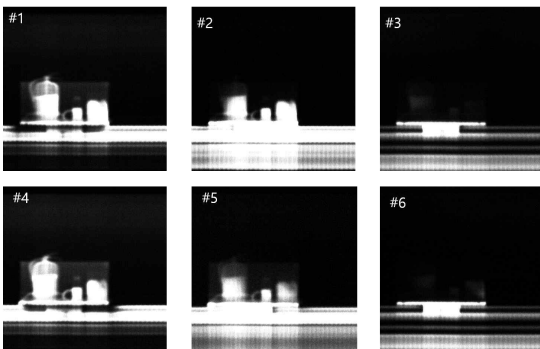


그림 4. 측정된 후방산란 엑스선 영상; 총 6개 채널에서 획득된 신호를 영상화하여 나타내었다.

앞서 기술한 영상획득조건을 바탕으로 그림 4에서 나타내고 있는 것과 같이 개발된 검출시스템을 활용한 각 검출기의 위치별 응답특성이 포함된 영상을 성공적으로 획득할 수 있었다. 그림에서 나타내고 있는 것과 같이 구조물에 의해 산란된 엑스선의 획득이 제한된 검출기의 경우와 그렇지 않은 경우 측정물체의 영상의 차이가 나타난다.

IV. 결 론

후방산란영상획득을 위한 영상획득장치는 높은 수준의 영상정보를 획득하기 위해서는 후방으로 산란되는 엑스선 광자의 획득효율이 높아야 한다. 본 연구를 통해 우리는 후방산란엑스선 영상획득을 위한 다채널 고속 검출기를 개발하였다. 개발된 고속 다채널 검출장치를 활용하여 각 채널별 획득 신호를 기반으로 후방산란 엑스선 영상의 획득에 성공하였으며 향후 이를 활용 및 기능을 개선하여 고정밀 혹은 고속 후방산란엑스선 영상획득을 위한 연구개발을 지속적으로 수행할 예정이다.

Acknowledgement

본 연구결과는 해양수산부의 “컨테이너 위험화물 자동검색 및 복합탐지 시스템 개발” 과제에서 수행된 연구결과 중 일부임을 밝히며, 연구비(1525 012204) 지원에 감사드립니다.

References

- [1] G. Zentai, “X-ray imaging for homeland security,” *Int. J. Signal and Imaging Systems Engineering*, Vol. 3, No. 1, pp. 13-20, 2010.
- [2] Y. Liu, B. D. Sowerby, and J. R. Tickner, “Comparison of neutron and high-energy X-ray dual-beam radiography for air cargo inspection,” *Applied Radiation and Isotopes*, Vol. 66, pp. 463-473, 2008.
- [3] L. Li, R. Li, S. Zhang, T. Zhao, and Z. Chen, “A dynamic material discrimination algorithm for dual MV energy X-ray digital radiography,” *Applied Radiation and Isotopes*, Vol. 114, pp. 188-195, 2016.
- [4] A. Chalmers, “Rapid Inspection of Cargos at Portals using Drive-through Transmission and Backscatter X-ray Imaging,,” in *Proceeding of SPIE 5403, Sensors, and Command, Control, Communications, and Intelligence (C3I) Technologies for Homeland Security and Homeland Defense III*, Bellingham, WA, 2004.
- [5] S. Huang, X. Wang, Y. Chen, J. Xu, T. Tang, and B. Mu, “Modeling and quantitative analysis of X-ray transmission and backscatter imaging aimed at security inspection,” *Optics Express*, Vol. 27, No. 2, pp. 337-349, 2019.