

<원저>

컨테이너 검사 효율 극대화를 위한 화질 향상 기법 연구

- A Study on Technique for Image Quality Enhancement to Maximize Container Inspection Efficiency -

¹⁾인제대학교 재난관리학과 · ²⁾동서대학교 방사선학과
³⁾동서대학교 방사선보건환경연구센터 · ⁴⁾인제대학교 원자력응용공학부
 이창호¹⁾ · 신지혜¹⁾ · 김장오¹⁾ · 정영진^{2,3)} · 민병인⁴⁾

— 국문초록 —

본 연구에서는 컨테이너 엑스선 검색기의 노후화, 검출 감지기(Sensor) 불량으로 발생하는 검색영상의 잡음(Noise)을 줄이기 위한 알고리즘을 제시하고 MATLAB 툴박스에 이를 적용하여 컨테이너 검색영상의 화질(Image Quality)을 개선하고자 하였다. 검색영상은 일반적인 컨테이너 검색기 작동 점검을 위한 일일 점검영상을 활용하였으며 일일점검영상의 수평 영상과 수직 영상을 기준으로 잡음(Noise)을 디지털 방사선 영상에서 가장 기본으로 사용되는 잡음평가 방법인 제곱평균제곱근(Root Mean Square; RMS)으로 평가하였다. 또한 개선된 알고리즘을 실제 컨테이너검색영상에 적용하여 일일 점검영상과 실제 컨테이너 검색영상의 화질을 평가하였다. 그 결과 제곱평균제곱근이 일일 점검영상에서는 수평 영상에서 원본 영상 대비 평균 13.5%, 수직 영상에서는 원본 영상 대비 평균 18.2% 가 낮은 결과치를 나타내었다. 또한 실제 컨테이너 검색영상에서는 수평 영상에서 원본 영상 대비 평균 13.4%, 수직 영상에서는 원본 영상 대비 19.1%가 낮은 결과치를 나타내었다. 이는 영상의 화질개선을 객관적, 시각적으로 확인할 수 있었으며 관세청의 컨테이너 검색영상 관독 업무에 큰 도움이 될 것이라 사료된다.

중심 단어: 컨테이너 엑스선 검색기, 검출기 감도 보정, 영상처리, 잡음, 제곱평균제곱근(RMS)

I. 서 론

2001년 9월 11일 미국 세계무역센터에 발생한 “9.11 테러” 발생 이후 국가 간 무역에서 컨테이너에 대한 검사가 필수적으로 진행되게 되었다[1-5]. 국내 컨테이너 검색기는 밀수 및 안보위해물품 등 다양한 불법 반입물품의 적발에 유용하게 활용하기 위하여 관세청에서 2002년 부산항 7부두에 최초로 도입하였다. 현재 인천항, 부산항, 평택항 등 국내 주요 항만 14곳에서 운용 중에 있다[6-8]. 컨테이너 검색 시스템은 방사선을 발생 기술 및 차량 이송, 방사선 검출, 영상처리, 제어

등 다양한 분야가 집약되었다[9,10]. 컨테이너 검색기는 방사선 발생장치인 선형가속기(Linear Accelerator)에서 발생한 고 에너지(2.5~9 MeV) 엑스선(X-ray)을 이용하여 컨테이너 화물의 내부를 개장(Devanning)하지 않고 검사할 수 있는 장비이다[11-15]. 이는 엑스선의 투과 성질을 이용하여 컨테이너를 비해체 검색(Non-Intrusive Inspection; NII)을 하는 것으로 추가적인 영상처리 알고리즘을 통해 디지털 방사선 영상으로 재구성된다[16,17].

Fig. 1과 같이 컨테이너 검색기는 컨테이너 화물 차량이 검색터널 내에 진입하면, 방사선 차폐문이 닫히고, 이송대차

(Cargo Moving System)가 컨테이너 차량의 앞바퀴를 들어 올려 고정된 고 에너지 방사선 검색기를 이동 스캔하게 된다. 이를 위해 수직과 수평 방향에 위치한 2대의 고 에너지 방사선 발생장치와 2대의 1차원 선형 배열(Linear array)의 단일검출기(1000~1500개 채널)를 통과하여 검색을 위한 영상 정보를 획득하게 된다[8]. Fig. 2와 같이 검출기(Detector)는 CdWO₄ 섬광체와 광-다이오드(Photodiode)가 결합한 2채널 감지기(Sensor) 모듈형태이다. 섬광체는(Scintillator)는 검출기에 들어오는 방사선을 빛으로 변환하는 역할을 한다. 광-다이오드 감지기는 섬광체에 부착되어 섬광체에서 방출된 빛을 전기적 신호로 바꿔주는 역할을 한다.[18]

하지만 국내에 운용 중인 컨테이너 검색기는 전량 수입에 의존하기 때문에 유지관리가 어렵고 수리 시 비용과 시간이 많이 소요된다. 최근 내용 연수가 도래한 장비들의 노후화



Fig. 1 Container inspection system (source: Jeollabuk-do press release, 2016)

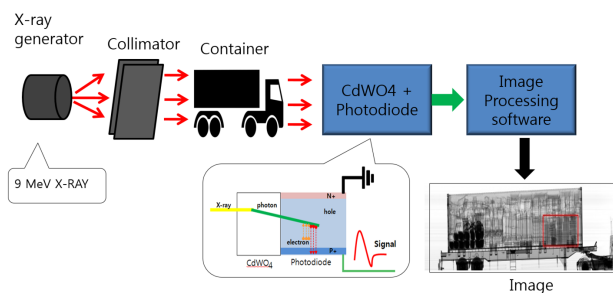


Fig. 2 Operation flowchart of container inspection system (Source : Korea customs service press release, 2017)

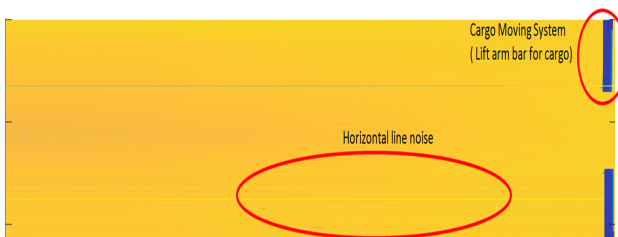


Fig. 3 Daily checking image taken for operating of equipment (Top-view).

에 따른 Fig. 3과 같은 화질(Image Quality) 저하 현상으로 영상 판독에 많은 어려움이 발생하고 있다. 이는 국민생활 위해물품 밀반입 적발에서 가장 큰 문제점으로 직결될 수 있기 때문에 신속하고 효율적인 화질 개선을 위한 영상처리 기술의 국내 기술 확보가 시급하다.

본 연구에서는 컨테이너 검색에서 다양한 물리적 특성에 따라 발생하는 잡음(Noise)을 제거하는 영상 재구성 알고리즘을 MATLAB 소프트웨어에 적용하는 영상처리기술을 개발하여 판독영상의 판독 능력을 향상하고 관세행정에서의 효율성을 제고하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 연구 재료

컨테이너 화물 검색에서는 고 에너지 엑스선을 발생시키는 선형가속기(Linatron M9, Varian Medical System, USA), CdWO₄ 섬광검출기의 1차원 선형 배열(Linear array) 검출기 및 신호에서 영상(Image)으로 생성하는 소프트웨어(Actis series, BIR, USA)를 사용 되고 있다[15]. 소프트웨어(Actis series, BIR, USA)에서 생성된 영상을 무손실 저장 포맷인 TIFF 형식으로 저장하여 영상 분석에 사용하였다. 영상 분석 및 코딩은 영상처리에 관련된 소프트웨어(MATLAB R2017b, Image Processing Toolbox, Mathworks, USA)을 이용하였다.

2. 컨테이너 검색 영상의 획득

2017년 5월과 6월에 테스트한 일일점검영상으로 무손실 저장 포맷인 TIFF 형식으로 저장된 수평 영상과 수직 영상 35개씩 컨테이너 검색을 획득하여 영상 분석에 사용하였다. 개선된 영상에 활용될 실제 컨테이너검색영상은 2017년 6월에 검색한 영상으로 일일점검영상과 마찬가지로 TIFF 형식으로 저장된 수평 영상과 수직 영상을 70개씩 컨테이너 검색을 획득하여 영상 분석에 사용하였다.

3. 감지기(Sensor) 감도 보정

일일점검영상에서 불균일한 검출 감지기의 감도로 인하여 가로줄 형태의 잡음이 쉽게 파악되는 것을 확인할 수 있다. 이를 보완하기 위해서 각 감지기가 가지는 신호 파워(power)를 계산하여 각 감지기의 감도를 아래의 식(1)과 같이 보정할 수 있다.

$$Gain\ Calibration\ Factor(y) = \frac{1}{\sum_{x=1}^n \frac{bg(x,y)}{n}} \quad (1)$$

$$Processed\ Img = Img \otimes Gain\ Calibration\ Factor$$

where, bg(x,y)= Acquired image area with no container (Air area)

x is pixel number of x-axial direction,

y is pixel number of y-axial direction in the image,

여기서, Processed Img는 각각의 검출기(Detector) 영상의 감도가 보정된 영상으로 기존의 영상대비 가로줄 모양의 잡음이 제거된 영상이다. \otimes 는 Gain Calibration Factor 행렬과 Img행렬을 y축에 대해서 일대일 곱을 표현한 기호로, Fig. 4와 같은 형식의 연산이 이루어진다.

이득 교정 인자(Gain calibration factor)는 빈 공간에서 촬영된 영상의 가로줄 평균을 1에서 나누어준 값으로 감도의 비율을 나타내는데 활용될 수 있다. bg(x,y)는 촬영된 영상 전체에서 빈 공간 영역의 영상을 나타낸다.

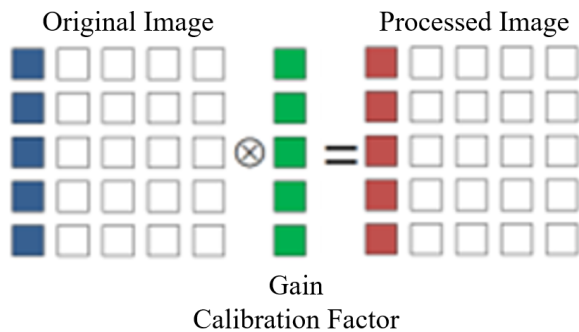


Fig. 4 Mark of Operators

4. 제곱평균제곱근(Root Mean Square, RMS) 잡음 평가

잡음을 평가하는 방법에는 위너스펙트럼과 제곱평균제곱근(RMS) 등이 있다. 본 연구에서는 촬영된 영상의 화질을 평가하는 가장 기본적인 방법으로 영상의 제곱평균제곱근(RMS) 잡음 레벨 평가를 수행하였다. 제곱평균제곱근(RMS)는 광자 데이터의 표준편차로 나타낸다[19]. 잡음 레벨 평가는 기본적으로 빈 공간(air)을 촬영한 영상을 바탕으로 전체 영상의 평균값을 참값(true image)로 가정하고 촬영된 영상은 참값과 잡음의 합으로 이루어진 것으로 가정하였다[19]. 이는 빈 공간의 모든 값이 동일하다는 가정을 전제로 하고

있다. 이와 같은 개념을 바탕으로 아래와 같이 영상의 제곱평균제곱근(RMS) 잡음 레벨을 평가하였다. 제곱평균제곱근(RMS)의 값이 높으면 픽셀의 평균값인 참값과 차이가 크므로 우수한 화질의 영상이라 할 수 없다. 즉, 제곱평균제곱근(RMS) 값이 낮을수록 영상 화질이 개선된 우수한 영상이라 할 수 있다[20]. 아래의 노이즈 평가 방법은 MATLAB R2017b 프로그램의 영상 처리 툴 박스(Image processing toolbox)에 포함되어 있는 함수인 IMMSE 함수를 응용하여 MATLAB code로 구현되어 연구에 적용하였다.

$$True\ Image = I_{avg} = \sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^m I(x,y) \quad (2)$$

$$RMS\ Noise = \sqrt{\frac{\sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^m (I(x,y) - TrueImage(x,y))^2}{n*m}} \quad (3)$$

where n is pixel size of X-axis, m is pixel size of y-axis, I is measured image matrix

이와 같은 식(3)의 제곱평균제곱근(RMS) 잡음 평가 방법을 일일 검색 영상에 적용하여 잡음 레벨의 변화를 측정하였으며, 이를 실제 컨테이너검색영상에 적용하여 영상의 잡음 변화를 측정하고 영상에서의 화질 개선을 평가하였다.

III. 결 과

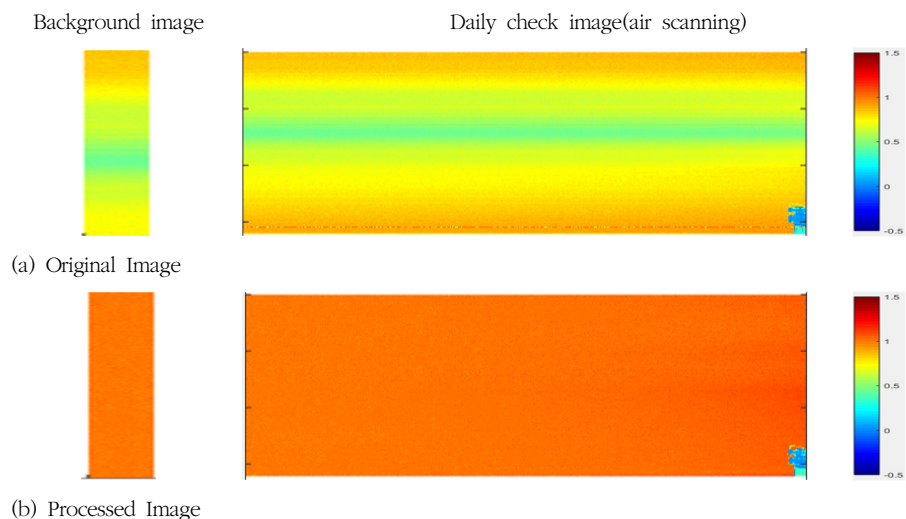
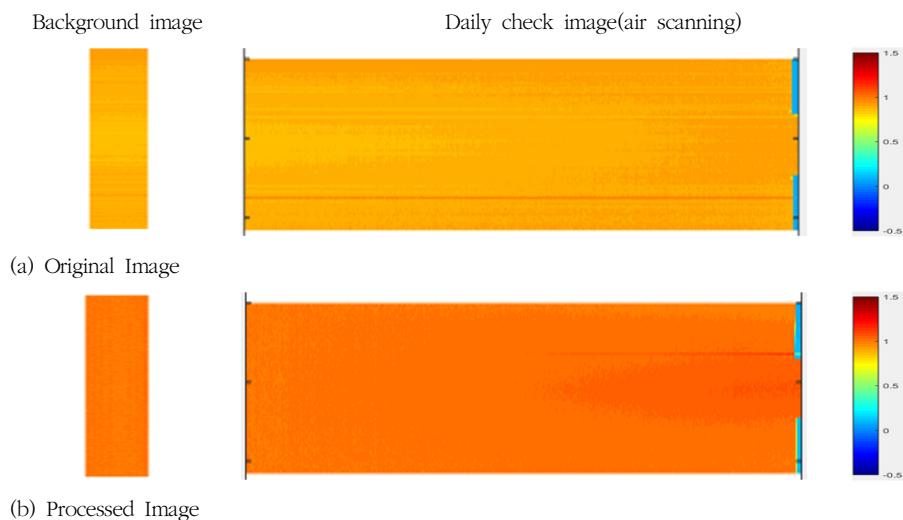
1. 일일점검영상 평가

일일점검에서는 컨테이너 화물 검색과 같은 자동 모드로 사용된 영상으로 수평 영상과 수직 영상에서 결과의 차이가 있었다. 2017년 5월과 6월에 검색한 수평 영상(Side-view)과 수직 영상(Top-view)에 대해 원본 영상과 개선된 영상을 35회씩 측정하여 제곱평균제곱근(RMS) 결과치를 산출하였다. 이를 통해 일일점검영상의 잡음 제거 처리 전후 영상 화질을 평가하였다(Table 1).

일일점검영상에서 제곱평균제곱근(RMS) 결과치는 낮을수록 영상 화질이 개선된 우수한 영상이다[19,20]. 원본 수평 영상은 최대 0.1198, 최소 0.0943, 평균 0.112으로 나타났다. 이를 개선한 개선 영상의 수평 영상은 최대 0.0197, 최소 0.0143, 평균 0.0151으로 나타났다. 이는 최대 20.1%, 최소 11.9%, 평균 13.5%의 결과치가 줄어들어 영상 화질이 개선됨을 나타낸다. 또한, 원본 수직 영상은 최대 0.0215, 최소 0.0201, 평균 0.0209으로 나타났다. 이를 개선한 개선 수직 영상은 최대 0.0046, 최소 0.0036, 평균 0.0038으로

Table 1 Results of RMS noise level (Daily check image)

		RMS Noise Level		
		Max	Min	Avg.
Side-view	Original	0.1198	0.0943	0.1112
	Processed	0.0197	0.0143	0.0151
Top-view	Original	0.0215	0.0201	0.0209
	Processed	0.0046	0.0036	0.0038

**Fig. 5** Comparison of the original and processed results of the daily check images containing the container moving system(Side-View)**Fig. 6** Comparison of the original and processed that enlarge the container moving system in daily check images(Top-view).

나타났다. 이는 최대 22.9%, 최소 16.7%, 평균 18.2%의 수치가 줄어들어 영상 화질이 개선됨을 나타내었다.

또한, 일일점검 영상에 대한 원본 영상과 잡음이 제거된

개선 영상을 비교한 결과 Fig. 5와 Fig. 6에서 확인할 수 있다. Fig. 5에서와 같이 수평 영상에서 위는 원본 영상으로 제곱평균제곱근(RMS) 결과치가 0.1186이며, 아래는 잡음이 제거된

개선 영상으로 제공평균제곱근(RMS) 결과치가 0.0148로 12.5% 줄어들었다. Fig. 6에서는 수직 영상으로 위는 원본 영상이며 제공평균제곱근(RMS) 결과치가 0.0206이다. 아래는 잡음이 제거된 영상으로 제공평균제곱근(RMS) 결과치가 0.0039로 18.9% 줄어들어 잡음 성분이 상당히 줄어든 것을 수치적으로 확인하였으며, Fig. 5와 Fig. 6에서도 잡음이 제거됨을 직관적으로도 확인할 수 있었다.

2. 실제 컨테이너검색영상 평가

실제 컨테이너검색영상에서는 자동 모드로 사용된 영상으로 수평 영상과 수직 영상에서 결과의 차이가 있었다. 2017년 6월에 검색한 수평 영상(Side-view)과 수직 영상(Top-view)에 대해 원본 영상과 개선된 영상을 70회씩 측정하여 제공평균제곱근(RMS) 결과치를 산출하였다. 이를 통해 실제 컨테이너검색영상의 잡음 제거 처리 전후 영상 화질을 평가하였다(Table 2).

실제 컨테이너검색영상에 적용된 제공평균제곱근(RMS) 결과치는 낮을수록 영상 화질이 개선된 우수한 영상이다 [19,20]. 원본 수평 영상은 최대 0.1213, 최소 0.0945, 평균 0.1113으로 나타났다. 이를 개선한 수평 영상은 최대 0.0152,

최소 0.0144, 평균 0.01510.0149으로 나타났다. 이는 최대 16.1%, 최소 11.9%, 평균 13.4%의 수치가 줄어들어 영상이 개선됨을 나타낸다. 원본 수직 영상은 최대 0.0210, 최소 0.0189, 평균 0.0199으로 나타났다. 이를 개선한 수직 영상은 최대 0.0047, 최소 0.0036, 평균 0.0038으로 나타났다. 이는 최대 24.9%, 최소 17.1%, 평균 19.1%의 수치가 줄어들어 영상 화질이 개선됨을 나타내었다.

또한, 실제 컨테이너검색영상에 대한 원본 영상과 잡음이 제거된 영상을 비교한 결과 Fig. 7와 Fig. 8에서 확인할 수 있다. Fig. 7에서와 같이 수평 영상에서 상단은 원본 영상으로 제공평균제곱근(RMS) 결과치가 0.1196이며, 하단은 잡음이 제거된 영상으로 제공평균제곱근(RMS) 결과치가 0.0149로 12.5% 줄어들었다. Fig. 8에서는 수직 영상으로 상단은 원본 영상이며 제공평균제곱근(RMS) 결과치가 0.0202이며, 하단은 잡음이 제거된 영상으로 RMS 결과치가 0.0040로 19.8% 줄어들어 잡음 성분이 상당히 줄어든 것을 수치적으로 확인하였으며, Fig. 7와 Fig. 8에서도 잡음이 제거됨을 직관적으로도 확인할 수 있다. Fig. 9는 수평 영상에서 원본 영상과 개선된 영상을 확대한 것으로 가로줄형 잡음이 제거됨을 직관적으로 관찰할 수 있었다.

Table 2 Results of RMS noise level (Actual container image)

		RMS Noise Level		
		Max	Min	Avg.
Side-view	Original	0.1213	0.0945	0.1113
	Processed	0.0152	0.0144	0.0149
Top-view	Original	0.0210	0.0189	0.0199
	Processed	0.0047	0.0036	0.0038

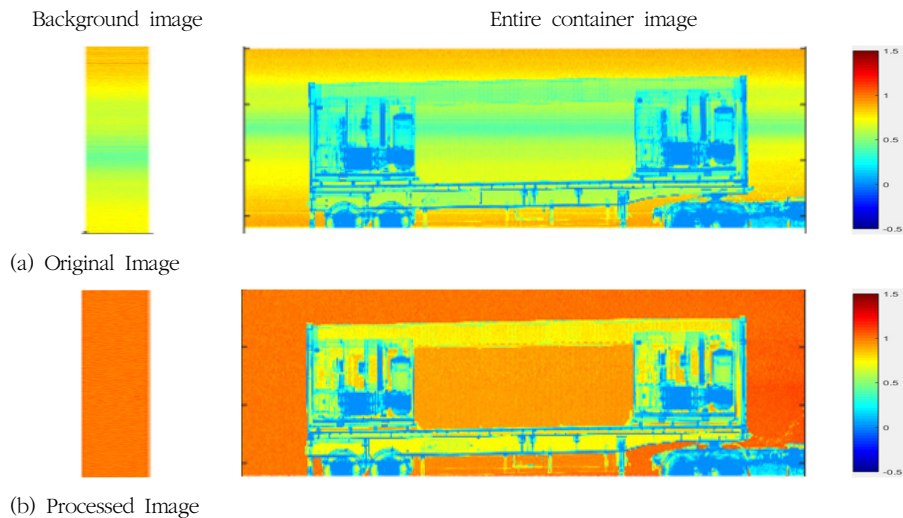


Fig. 7 Comparison of actual Container screening images(Side View)

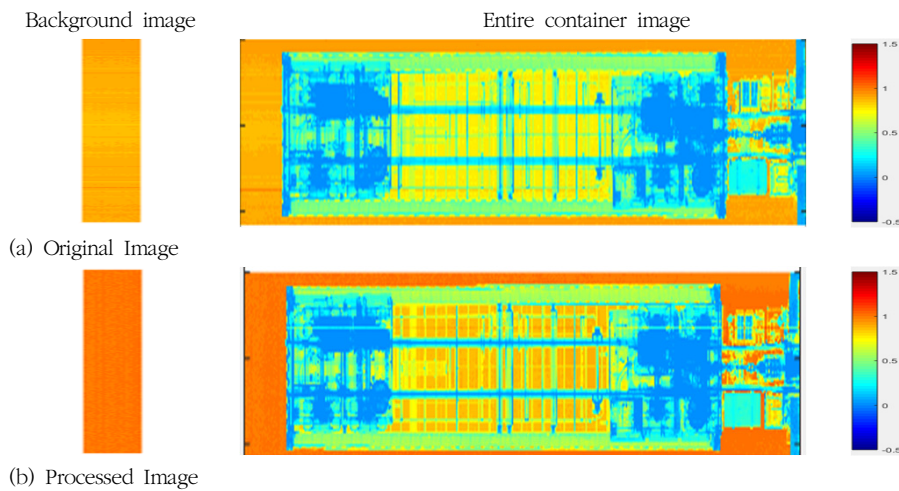


Fig. 8 Comparison of actual Container screening images(Top View)

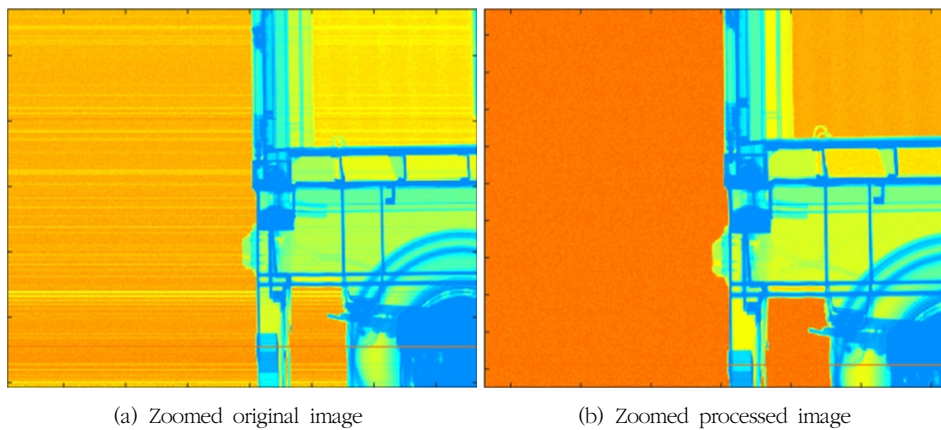


Fig. 9 Comparison of enlarged image of Container screening images (Side View)

IV. 고 찰

이송대차(cargo moving system) 방식의 컨테이너 검색 장비는 시간의 흐름에 따른 검출기(Detector) 감지기의 감도 변화가 발생함으로 인해 잡음 성분이 증가하는 현상이 유발된다. 그러나 현재 모든 컨테이너 검색기가 외산 장비로서 이에 따른 전문적인 정도관리가 제대로 수행되기 어려워, 컨테이너 검색기의 하드웨어를 조정하는 작업에 많은 비용의 발생 및 긴 수리기간 등의 문제점이 존재해 왔다.

본 연구에서의 결과는 단순히 컨테이너 검색 장비의 작동을 확인하는 일일점검 영상을 활용하여 검출기 감지기의 작동 상태를 확인할 뿐만 아니라, 제곱평균제곱근(RMS) 결과치가 수평 영상에서 원본 영상 대비 평균 13.4%, 수직 영상에서는 원본 영상 대비 평균 19.1%가 감소하여 화질이 향상되는 것을 나타내었다. 이는 원천적으로 검출기(Detector)의 감도를 조정하는 것은 아니나, 영상의 후처리(Post-processing) 과정

을 통하여 마치 하드웨어의 감도를 조정하는 효과를 얻을 수 있었다. 일일점검영상 및 실제 컨테이너검색영상 모두에서 잡음 레벨이 감소하는 제곱평균제곱근(RMS) 결과치로 나타났다. 영상에서도 화질 향상이 직관적으로 관찰되었다.

향후, 이와 같은 영상 후처리 알고리즘이 포함된 일반적인 소프트웨어가 개발된다면, 현재 막대한 비용을 들여 국내에 설치된 14대의 컨테이너 검색장비의 정도관리에 비용적, 검색의 효율성 면에서 큰 도움이 될 것이라 기대한다.

V. 결 론

본 논문에는 컨테이너 검색장비의 국내 기술 확보를 위한 소프트웨어 처리기술을 연구하였다. 또한, 외산장비가 가지고 있는 특징이 반영된 영상의 단점을 극복하고 개선된 영상을 제공하는 기법을 소개하였다. 특히, 본 알고리즘은 컨

테이너 검색기가 가지는 노후화된 다중 1차원 선형 배열 검출기(Linear arrayed detector)의 잡음 제거에 유용함을 확인할 수 있었다. 또한 일상적인 점검(Routine test)에서 얻어지는 영상을 통해 객관적인 분석방법을 적용하여 화질이 개선되었다. 그리고 검출기의 상태를 확인하여 컨테이너 검색기의 정도관리에 유용하게 활용될 수 있음을 확인하였다.

결과적으로 본 연구결과는 관세청의 컨테이너 검색영상 판독 업무의 효율성 향상 및 향후 컨테이너 검색기의 국내 기술 개발에 크게 기여할 것이라 사료된다.

REFERENCES

- [1] Song SU. A Study on the Countermeasures in Korea against Implementation of the 100% Container Scanning Legislation in U.S. The Journal of Korea Research Society for Customs, 2013;14(3):87-108.
- [2] Cho SW, Koo JS. A Study on the Impact and Countermeasure of US 100% Container on Korean Parties Concerned in Global Supply Chain. Journal of Industrial Economics and Business, 2009;22(3):1461-1485.
- [3] Choi JH. The Main Contents and Implications of the New Security Enhancement Act of the United States. Proceeding of the Korea Trade Research Association Conference, 2007;127-144.
- [4] Huh ES. A Study on Impact of the U.S. Security Initiatives on Korean participants in Global Supply Chain. International Commerce and Information Review, 2008;10(1):217-236.
- [5] Han SH. The Security Strategy and the Misuse by Terrorists of the Maritime Container System Focused on Transport Authorities. The Journal of Korea Research Society for Customs, 2008;9(3):29-49.
- [6] Han SH, Choi JH. A Study on the Application and Counter Measures of IC tag in International Marine Container Transport. International Commerce and Information Review, 2010;12(2):133-158.
- [7] Lee SY, Seo CG. A Study on Efficiency Evaluation of Domestic Container Terminals by Classifying Port Types. Korean Journal of Business Administration, 2006;19(6):2237-2260.
- [8] Cho KS. Large Container Radiation Inspection System Technology and Status. Radioisotope News, 2006;21(2):26-32.
- [9] Jeollabuk-do press release. ARTI, Successful Commercialization of domestic container inspector. Carbon Industry Division, 2016.
- [10] KAERI press release. Commercialize Domestic Container Inspection System. Radiation Equipment Research Division, 2016.
- [11] Chol YH. Monte Carlo Estimation of Activation Products Induced in Concrete Shielding Around Electron Linac used in an X-ray Container Inspection System. Journal of The Korea Academia-Industrial Cooperation Society, 2010;11(3):1035-1039.
- [12] Kim JK, Kim SY, Shin CH, et al. Technology Development of a High-Accuracy Introscopy System. Hanyang University/Ministry of Science and Technology, 2005.
- [13] Kim GT, Kang HS. Susceptible Object Detection Method for Radiographic Images. Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, 2014;18(3):670-678.
- [14] Hwang JH, Kim YS, Kim JN. Freight Inspection System using X-ray Image for Automatic Port Logistics. Proceeding of the Korea Multimedia Society Conference, 2006.
- [15] Korea Customs Service. Container inspection Center Final Design Report, 2006.
- [16] Tims S, Norton, Asha Menon. Image format standardization : a revolution in the making, 2017;83:4-6.
- [17] World Customs Organization. NII Guidelines : Guidelines for the Procurement and Deployment of Scanning/Non-Intrusive Inspection Equipment, 2015.
- [18] Kim BB. Development of Photodiode Detector Coupled with a Scintillator for a Cargo Scanner. [master's thesis]. Daegu: Kyungpook University; 2015.
- [19] Kim JM, Lee GS, Kim YH. Correction Method of Wiener Spectrum(WS) on Digital Medical Image Systems. Journal of Radiological Science and Technology, 2009;32(1):17-24.
- [20] Lee JS, Ko SJ, Kang SS, et al. Quantitative Evaluation of Image Quality using Automatic Exposure Control & Sensitivity in the Digital Chest Image. Journal of the Korea contents association, 2013;275-283.

•Abstract

A Study on Technique for Image Quality Enhancement to Maximize Container Inspection Efficiency

Chang-Ho Lee¹⁾·Ji-Hye Shin¹⁾·Jang-Oh Kim¹⁾·Young-Jin Jung^{2,3)}·Byung-In Min⁴⁾

¹⁾*Department of Emergency Management, Inje University*

²⁾*Department of Radiological Science, Dongseo University*

³⁾*Center for Radiological Environment & Health Science, Dongseo University*

⁴⁾*Department of Nuclear Applied Engineering, Inje University*

The purpose of this study is to present the algorithm to minimize the image noise caused by deterioration of high X-ray container inspection equipment and the faulty detection sensors, and to improvement quality of the container inspection images using MATLAB Toolbox. The daily checking images for the container inspection were used with the subject images and the noise caused by the horizontal and vertical images was evaluated with Root Mean Square (RMS) method, which is the most basic evaluation method of digital radiation image. Also, quality of the improved images was evaluated compared to quality of the original images. As a result, all RMS value of the improved images was lower then the original images by a mean of 13.5% in the horizontal images and 18.2% in the vertical images respectively. Also so did RMS value of the improved container images, by a mean of 13.4% in the horizontal images and 19.1% in the vertical images respectively. These findings can be verified objectively and visually and they would help the reading process of the container images be effective in Korea Customs Service.

Key Words : Container X-ray Scanner, Detector Sensitivity, Sensitivity Correction, Image Processing, RMS