理學碩士學位論文

컨테이너 검색 효율 극대화를 위한 방사선 영상 처리 기법 연구

仁濟大學校 大學院

災難管理學 放射線安全工學 專攻

李 昌 浩

指導敎授 閔 丙 仁

컨테이너 검색 효율 극대화를 위한 방사선 영상 처리 기법 연구

仁濟大學校 大學院

災難管理學 放射線安全工學 專攻

李 昌 浩

이 論文을 理學碩士論文으로 提出함

指導敎授 閔 丙 仁

2017年 12月

목 차

표 차례 ····· i
그림 차례 ····· ii
국문 초록 ····· vii
ABSTRACT ····· viii

1. 서론 ····· 1
1.1. 관리대상화물 제도 및 엑스선(X-Ray) 검사 ····· 1
1.2. 컨테이너 검색의 중요성 ····· 3
1.3. 연구 배경 및 목적 ····· 10
2. 이론적 배경 ····· 14
2.1. 컨테이너 영상 검색의 연구 현황 ····· 14
2.2. 컨테이너 검색 시스템 ····· 16
2.3. 컨테이너 검색 영상의 특징 ····· 18
2.4. 디지털 영상의 잡음 ····· 20
2.4.1. 디지털 영상의 잡음 특징 ····· 20
2.4.2. 디지털 영상의 잡음 평가 방법 ····· 21
2.4.2.1. 제곱평균 제곱근(RMS) ····· 21
2.4.2.2. 자기 상관 함수(ACF) ····· 23
2.4.2.3. 잡음 파워 스펙트럼(NPS) ····· 23
2.5. 영상처리 기법 ····· 24
2.5.1 밝기 변환 영상 처리 ····· 24

2.5.1.1. Window width and Window level ····· 24
2.5.1.2. 감마 보정(Gamma correction) ····· 25
2.5.2 히스토그램 영상 처리 ····· 26
2.5.2.1. 히스토그램(Histogram) ····· 26
2.5.2.2. 히스토그램 평활화(Histogram Equalization) ····· 28
3. 연구 방법 ····· 29
3.1. 컨테이너 검색 영상 수집 ····· 29
3.2. 컨테이너 검색 영상 잡음 평가 ····· 32
3.2.1. 감지기(Sensor) 감도 보정 ····· 32
3.2.2. 제곱평균 제곱근(RMS) 잡음 레벨 평가 ····· 37
3.3. 검색 영상 판독 프로그램 개발 환경 및 도구 ····· 38
3.3.1. 검색 영상 판독 프로그램 개발 환경 ····· 38
3.3.2. 검색 영상 판독 프로그램 개발 도구 ····· 39
4. 결과 ····· 41
4.1. 감도 보정을 통한 화질 개선 ····· 41
4.1.1. 일일점검 영상의 화질 개선 결과 ····· 41
4.1.2. 실제 컨테이너 검색 영상의 화질 개선 결과 ····· 44
4.2. 컨테이너 검색 영상 잡음 평가 ····· 47
4.2.1. 일일점검 영상의 화질 평가 결과 ····· 47
4.2.2. 실제 컨테이너 검색 영상의 화질 평가 결과 ····· 49
4.3. 컨테이너 검색 영상 판독 프로그램 개발 ····· 51
4.3.1. 개요 ····· 51
4.3.2. 영상 처리 기법 구현 ····· 56
4.3.2.1. Window width/level 조절 기능 ····· 56

4.3.2.2. 감마 보정(Gamma correction) 조절 기능 ····· 57
4.3.2.3. 히스토그램 평활화 조절 기능 ····· 58
4.3.3 검색 영상 판독프로그램 적용 ····· 59
5. 고찰 ····· 63
6. 결론 ····· 65
참고문헌 ····· 67
감사의 글 ····· 71

표 차례

<Table 1> Performance of detecting container inspection smuggling ·· 4

<Table 2> Performance of detecting dried red chilli disguised as frozen red chilli ····· 8

<Table 3> Results of RMS noise level(daily check image) ····· 48

<Table 4> Results of RMS noise level(actual container image) ··· 50

그림 차례

<Figure 1> Introduction of controlled cargo system ····· 1

<Figure 2> Flow chart of controlled cargo system ····· 2

<Figure 3> Detection image of methamphetamine and fake impotence drug by container inspection ····· 5

<Figure 4> Detection image of smuggling cigarette by container inspection ····· 6

<Figure 5> Detection image of dried red chilli by container inspection ····· 9

<Figure 6> Concept figure of fixed container inspection system ····· 17

<Figure 7> Conceptual image of fixed container inspection image ··· 19

<Figure 8> Digital image windowing ····· 24

<Figure 9> Gamma correction ····· 25

<Figure 10> Histogram according to basic form : (a) Dark image (b) Brightness image (c) Low contrast (d) High contrast · 27

<Figure 11> Daily check image : (a) Side view (b) Top view ····· 30

<Figure 12> Actual container inspection image : (a) Side view (b) Top view ····· 31

<Figure 13> Horizontal noise in the daily check image : (a) Side view, (b) Top view ····· 33

<Figure 14> Set background area in daily check image : (a) Side view, (b) Top view ····· 34

<Figure 15> Set background area in actual container inspection image : (a) Side view, (b) Top view ····· 35

<Figure 16> Mark of operators ····· 36

<Figure 17> Class structure ····· 38

<Figure 18> MATLAB Editor window ····· 39

<Figure 19> Layout editor of MATLAB GUIDE ····· 40

<Figure 20> Results of comparing original with processed image of horizontal daily check image : (a) Background image of original (b) Original image (c) Background image of processed image (d) Processed image ····· 42

<Figure 21> Results of comparing original with processed image of vertical daily check image : (a) Background image of original (b) Original image (c) Background image of processed image (d) Processed image ····· 43

<Figure 22> Results of comparing original with processed image of horizontal actual inspection image : (a) Background image of original (b) Original image (c) Background image of processed image (d) Processed image ····· 44

<Figure 23> Results of comparing original with processed image of vertical actual inspection image : (a) Background image of original (b) Original image (c) Background image of processed image (d) Processed image ····· 45

<Figure 24> Results of comparing extended image of side with top view in the actual inspection image : (a) Original image of side view (b) Processed image of side view (c) Original image of top view (d) Processed image of Top view ····· 46

<Figure 25> Main screen of developed container inspection interpretation software ····· 51

<Figure 26> Image analysis screen of developed container inspection interpretation software ····· 53

<Figure 27> Operation panel of developed container inspection interpretation software ····· 55

<Figure 28> Results of post-processing image by window width/level slide bar : (a) Original image, (b) Post-processing image ····· 56

<Figure 29> Results of post-processing image by gamma factor : (a) Original image (b) Post-processing image with gamma factor greater than 1 by slice bar (c) Controlled image with gamma factor less than 1 by slice bar ·· 57

<Figure 30> Results of post-processing image by histogram equalization : (a) Original image (b) Post-processing image ····· 58

<Figure 31> Main screen for analyzing the frozen red chilli image by developed container inspection interpretation software : (a) Crop&ROI function button (b) Window of Top-view (c) Window of Side-view (d) Window of segmentation (e) Window of histogram (f) List box of segmentation (g) Yellow box of Crop& ROI ····· 60

<Figure 32> Results of post-processing image divided into three components in the region of interest : (a) Original image of segmentation (b) Black is component 1 of segmentation (C) Black color is component 2 of segmentation ·····61

<Figure 33> Results of post-processing enlarged image of histogram analysis results according to the analysis of frozen red chilli : (a) Red is component 1 of segmentation (b) Blue is component 2 of segmentation ·····62

국 문 초 록

본 연구에서는 컨테이너 엑스선 검색기의 노후화, 검출 감지기(sensor) 불량으로 발생하는 검색 영상의 잡음(noise)을 줄이기 위한 알고리즘을 제시하고 MATLAB 툴박스에 이를 적용하여 컨테이너 검색 영상의 화질(image quality)을 개선하고자 하였다. 검색 영상은 일반적인 컨테이너 검색기 작동 점검을 위한 일일점검 영상을 활용하였으며 일일점검 영상의 수평 영상과 수직 영상을 기준으로 잡음을 디지털 방사선 영상에서 가장 기본으로 사용되는 잡음 평가 방법인 제곱평균 제곱근(root mean square, RMS)으로 평가하였다. 또한, 개선된 알고리즘을 실제 컨테이너 검색 영상에 적용하여 일일점검 영상과 실제 컨테이너 검색 영상의 화질을 평가하였다. 그 결과 제곱평균 제곱근이 일일점검 영상에서는 수평 영상에서 원본 영상 대비 평균 13.5%, 수직 영상에서는 원본 영상 대비 평균 18.2% 가 낮은 결과치를 나타내었다. 또한, 실제 컨테이너 검색 영상에서는 수평 영상에서 원본 영상 대비 평균 13.4%, 수직 영상에서는 원본 영상 대비 19.1%가 낮은 결과치를 나타내었다. 개선된 화질을 활용할 수 있는 영상 처리 기법을 구현하여, 매트랩 환경이 아닌 일반적인 윈도즈 환경에서 누구나 쉽게 사용할 수 있는 검색 영상 판독 프로그램을 개발하였다. 이를 통해 수입 화물을 통한 불법 밀수 차단에 이바지할 것으로 기대한다.

색인단어 : 컨테이너검색영상, 잡음, 화질개선, 영상처리, 판독소프트웨어

ABSTRACT

A Study on Technique for Radiation Image Processing to Maximize Container Inspection Efficiency

Chang-Ho, Lee
(Advisor : Prof. Byung-in Min, Ph.D.)
Department of Emergency Management,
Graduate School, 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. By implementing the image processing technique that can utilize the improved image quality, we have developed a retrieval image interpretation program that can be easily used by anyone in

a normal Windows environment instead of the MATLAB environment. It is expected to contribute to the blocking of illegal smuggling through imported cargo.

Key Words : Container inspection image, Noise, Improve image quality, Image processing, Interpretation software

1. 서론

1.1. 관리대상화물 제도 및 엑스선(X-Ray) 검사

관세청은 무역자유화와 급증하는 무역량을 대비하여 대부분의 선량한 물품은 별도의 검사 절차 없이 물류 흐름을 원활하게 하고 신속하게 통관하는 것을 원칙으로 한다.[1] 1996년 7월 1일부터 수입통관이 수입면허제에서 수입신고제로 전환되었다. 이에 따라 검사 생략 범위가 확대되는 등 화물 관리에 대한 규제가 완화되고 통관절차도 대폭 간소화되었다.[2] 이러한 통관 절차 간소화를 악용하여 총기·마약류 등 국가 안보 및 국민 건강 위해 물품 및 부정·불공정 무역 등의 예방과 적발을 위하여 우범성이 높은 화물을 입항 단계에서부터 선별하여 집중 관리 및 정밀검사를 하는 위험관리(risk management) 기법이다.[3-4](Figure 1)

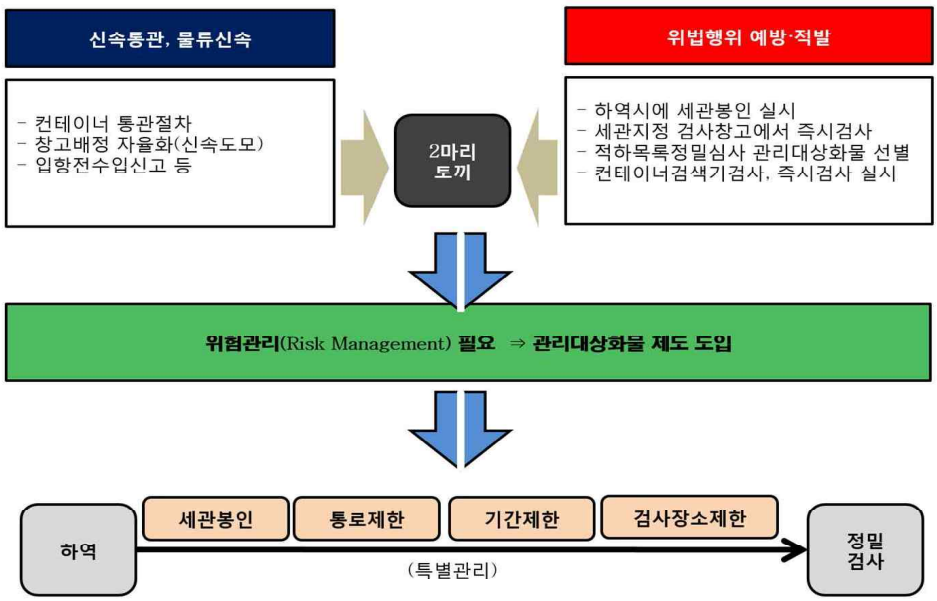


Figure 1. Introduction of controlled cargo system

관리 대상 화물 검사는 즉시 검사와 검색기 검사가 있다. 위험관리기법에 따라 선별된 관리 대상 화물 컨테이너는 선박으로부터 하역할 때 즉시 검사는 세관 전자봉인(e-seal)을 시봉한 후 세관장이 지정하는 창고로 이동하여 컨테이너에서 수입 물품을 꺼내거나 끄집어(devanning)내는 개장 검사를 받는다. 컨테이너 검색기 검사는 세관 봉인(seal)을 시봉한 후 세관장이 지정한 컨테이너 화물 검사 센터에서 엑스선(X-ray)을 이용한 화물 검색(cargo inspection)을 받는다.[3,5](Figure 2)

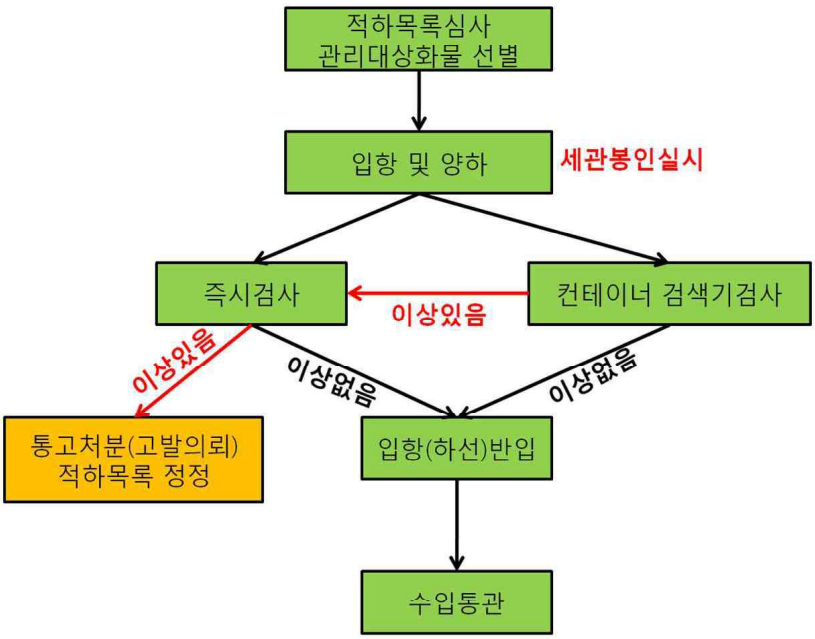


Figure 2. Flow chart of controlled cargo system

1.2. 컨테이너 검색의 중요성

컨테이너 화물 검색기는 컨테이너 물동량의 지속적인 증가와 날로 교묘해지고 증가해가는 밀수 및 사회 안전 위해 물품의 국내 반입 차단을 위해 2002년 부산항부터 도입되어 현재는 인천항, 군산항, 평택항, 광양항, 울산항, 도라산 통관장에 설치되어 운영되고 있다.[6] 지금도 부산항과 인천항에는 새로운 컨테이너 화물 검색 장비가 도입이 진행 중이며, 2018년 3월에는 설치 완료되어 가동할 예정이다. 컨테이너 화물 검색기는 고에너지 엑스선을 사용하여 해상 컨테이너 화물을 컨테이너에서 꺼내거나 끄집어내지 않고 내장 물품을 검사할 수 있는 비 해체 검색(non-intrusive inspection, NII) 장비로 미국, 중국, 일본 등 국가의 관세 국경에서 밀수품 및 테러 물품 등을 적발하는데 적극적으로 활용하여 많은 적발 성과를 거두고 있는 최첨단 컨테이너 화물 검색 장비이다.[7]

컨테이너 화물 검색기 도입은 신속한 통관이 가능토록 하였다. 기존 화물검사는 관리 대상 화물을 컨테이너에서 풀어서 끄집어내는 즉시 검사를 하였는데 컨테이너 화물 1개를 검사하는 3~4시간 정도 소요되었으며 또한 화주는 상당한 개장 검사 비용이 발생하였다. 그러나 컨테이너 검색기가 도입되어 컨테이너 1개를 검사하는데 약 10분 이내로 검사 시간이 단축되었고, 검사 비용도 발생하지 않아 효과적이다. 또한, 관세청에서는 관리 대상 화물 검사 비율을 높이면서 신속한 통관과 정밀한 검색이 가능해졌다.

관세청 관세 연감에 따르면 컨테이너 검색기를 통한 밀수 적발은 2008년 28건, 84억 원, 2009년 48건, 154억 원으로 증가하였다.[8-9] 2010년 32건, 80억 원으로 건수 및 적발금액이 감소하였으나, 2011년에는 45건, 178억 원으로 밀수가 증가한 것을 확인할 수 있다.[8-9] 또한, 컨테이너 검색기를 통한 해상 컨테이너 화물의 밀수 적발은 계속되고 있다.(Table 1)

Table 1. Performance of detecting container inspection smuggling

(Units : Count, Billion won)

	2008년		2009년		2010년		2011년	
	Count	Price	Count	Price	Count	Price	Count	Price
Detection performance	28	8.4	48	15.4	32	80	45	17.8

Customs yearbook(2012, 2015)

2015년 수원 지방검찰청 보도 자료에 의하면 회사 수출입 컨테이너를 이용하여 200억 원 상당의 필로폰 6 kg(1회 투약 0.03 g 기준, 20만 명 동시 투약분), 가짜 발기부전치료제 70만 정(정품 소매가 기준 84억 원) 등을 대량 은닉, 밀반입 시도하다 세관의 컨테이너 검색기로 적발하였다.[10)] (Figure 3)

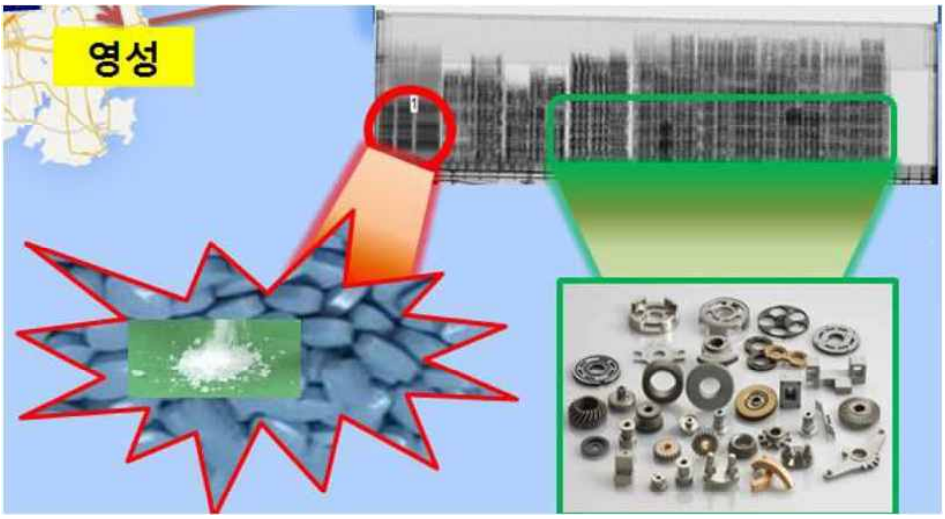


Figure 3. Detection image of methamphetamine and fake impotence drug by container inspection(source : Suwon district prosecutor office press release, 2015)

관세청 보도 자료에 따르면 2016년 11월 7일부터 2016년 12월 3일 사이 3차례에 걸쳐 인도네시아 담배 72,850 갑(약 2억 8천만 원 상당)을 정상 수입되는 컨테이너 화물(의자, 소파 등 가구) 안쪽에 숨기는 일명 '커튼 치기' 수법으로 밀수하거나 밀수입을 시도하다 세관의 컨테이너 검색기로 적발하였다.[11](Figure 4)

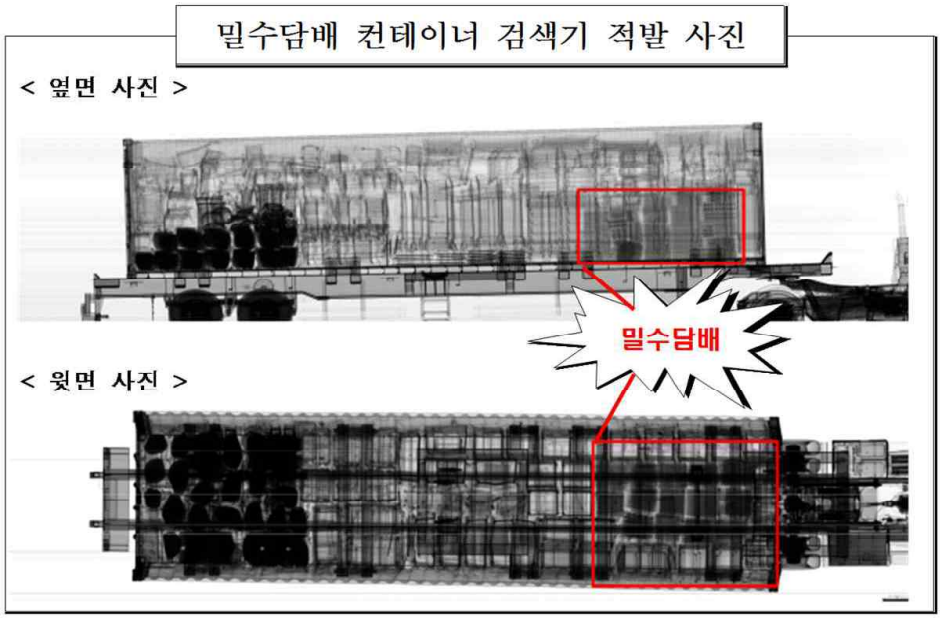


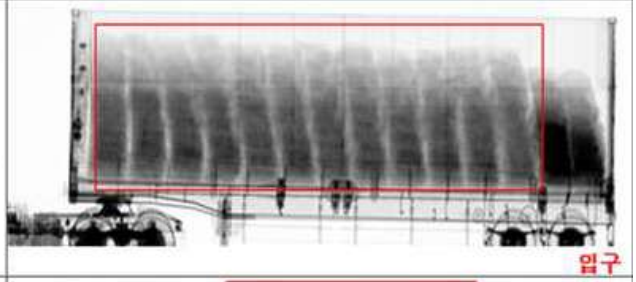
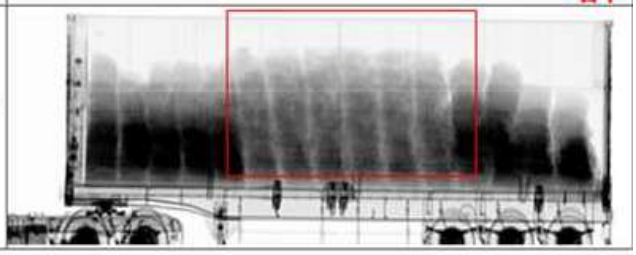
Figure 4. Detection image of smuggling cigarette by container inspection(source : Korea customs service press release, 2017)

관세청 보도 자료에 의하면 2016년 2월 8일 설 명절 맞아 시행한 먹을거리 특별단속(1.11~2.19) 기간에 농산물 밀수 조직이 컨테이너 속에 고세율(270%)의 중국산 건 고추와 저 세율(27%)의 냉동 고추를 섞어 마치 냉동 고추를 수입하는 것처럼 세관에 신고하는 새로운 형태의 고추 밀수를 화물 검사 과정에서 연달아 적발했다. 이 같은 신종 수법을 이용하여 2015년 12월부터 2016년 1월 말까지 밀반입하다가 적발된 중국산 건 고추는 총 5회, 87톤, 범칙 시가 7억 원 상당(관세 포탈액 7.6억 원)이다.(Table 2) 종전에는 컨테이너 안쪽에 건 고추를 은닉하고 입구 쪽에 냉동 고추를 적재하는 '커튼 치기'나 컨테이너 바닥이나 가운데에 건 고추를 은닉하는 '알박기'와 같은 고전적인 밀수 수법을 사용했으나, 이 같은 수법은 세관의 컨테이너 검색기 때문에 적발되어 왔다.[12](Figure 5)

Table 2. Performance of detecting dried red chilli disguised as frozen red chilli

No.	Date	Import volume (Ton)	Detecting volume (Ton)	Method of mixed dried chilli	Penalty price (Hundred million)	Deficient duty (Hundred million)
1	‘15.12.04	101.0	13.5	67% mixed in one of five containers	1.1	1.2
2	‘15.12.15	120.6	25.2	21% mixed in each of six containers.	2.0	2.2
3	‘16.01.08	120.6	14.0	31%, 39% mixed in two of six containers	1.1	1.2
4	‘16.01.18	60.6	19.3	34% mixed in each of three containers.	1.6	1.7
5	‘16.01.25	101.0	15.0	25% mixed in three of five containers	1.2	1.3
Total		503.8	87.0		7.0	7.6

Korea customs service press release(2017)

구분	은닉수법	X-ray 적발영상
커튼 치기	컨테이너 입구쪽에 냉동고추를, 뒤쪽에는 건고추를 적재	
알박기	컨테이너 **바닥**이나 **가운데에** 은닉	

* 약한 음영(빨간색 박스 안)부분 건고추, 진한부분 냉동고추

Figure 5. Detection image of dried red chilli by container inspection (source : Korea customs service press release, 2016)

1.3. 연구 배경 및 목적

관세청은 우리나라의 관세 국경 관리 업무를 수행하는 정부 기관이다. 수입되는 물품에 관세를 부과·징수하는 국가 재정 수입을 확보하는 세수 기관이며, 총기류·폭발물·방사성물질 등 안보·위해 물품의 국내 반입을 차단하고 불법 밀수를 방지하는 등의 공익적 임무를 담당한다. 소속 공무원들은 통관·관세탈루심사·밀수감시단속 등에 대해 관세법 등의 관련 규정에 따라 관세 행정을 수행한다.[13)]

관세청은 전통적으로 수입 물품에 대한 관세 및 내국세를 부과·징수하고 수출입물품에 대한 효율적인 통관 관리를 통해 밀수 및 부정 수출입 행위를 단속해 왔다. 관세청은 관세 행정의 대내외적인 환경 변화에 따라 경제 질서 확립을 위하여 대외무역법 및 외환 거래 관련 위반 사항을 종합적으로 단속, 수출입물품의 원산지 표시 확인과 지적 재산권 침해 행위의 단속을 통하여 소비자를 보호, 마약·총기류·멸종 위기에 처한 동식물 등의 불법적인 반입을 통제하여 국민 건강과 사회 안전을 확보하고 환경 보호까지 그 역할과 임무가 새롭게 확대되고 있다.[13)]

2001년 미국 9·11 테러 이전에는 해상 화물 운송에 있어 주요 보안 물품의 도난 방지 및 마약, 불법 이민, 도난 차량의 수송 등 불법적인 수출입을 차단하는데 초점이 있었다. 그러나 9·11 사건 이후 테러와의 전쟁이 미국 행정부의 최우선 정책 목표가 되었을 뿐 아니라 미국 관세 행정에도 매우 큰 변화를 가져오는 계기가 되었다.[14-15)]

2002년 2월부터 국제 해상물류의 안전 확보를 위하여 미국이 주도하는 프로그램이다. 미국 경유 또는 도착 예정 컨테이너 중 일부 화물을 선별하며 수출국 또는 환적항에서 선적 전에 검사하는 프로그램인 컨테이너 안정 협정(container security initiative, CSI)을 시행하였다. 2003년에는 핵·방사능 물질을 적재한 컨테이너 화물이 미국 경유 또는 경유되는 것

을 사전에 차단하기 위해 출항 또는 환적항에서 선적 전에 검사하는 화물 안보 구상(secure fright initiative, SFI) 제도 종료 후 국제간 이동하는 모든 컨테이너 화물에 대해 핵물질과 기타 방사성 물질을 탐지하여 불법거래를 차단하는 프로그램인 거대 항구 방사능 탐지 구상(mega ports initiatives, MI)을 시행하였다. 특히 2006년 미국 항만보안법(SAFE Port Act)에 미국 이외의 지역에서 적하(stowage) 되고 미국 항구에서 양하(landing)되는 화물 컨테이너는 100% 스크리닝, 고위험 화물 컨테이너는 100% 검사를 통해 위험화물을 사전에 완벽하게 차단하기 위해 규정을 마련하였다. 여러 가지 여건으로 100% 컨테이너 검사법은 연장되고 있다.[15-18)]

9·11 테러 이후 국제 해상 컨테이너 화물 운송에 있어 주요 보안 문제는 도난 검색(theft proof)에서 위험물 검색(tamper proof)으로 개념이 바뀌었다. 테러리즘과 대량파괴 무기의 위협은 보안 문제를 공급망 전체 문제로 확대했다.[19)]

이러한 국내·외 상황을 고려하여 관세청은 신속한 통관절차, 불법적인 밀수 방지 및 총기류·폭발물·방사성물질 등 위해 물품의 국내 반입을 차단하기 위해 2002년에 최초로 부산항에 선형가속기(linear accelerat-or)에서 나오는 고에너지 엑스선(X-Ray)을 이용한 컨테이너 화물 검사 시스템(container cargo inspection system)을 도입하였다. 컨테이너 검색기를 통해 국내로 수입되는 해상 컨테이너 화물 보안 검색을 하고 있다. 현재는 부산항을 비롯하여 전국 주요 항만에 14대의 컨테이너 화물 검사 센터가 실치·운용되고 있다.

관세청 보도 자료에 의하면 관세청과 한국원자력연구원은 컨테이너 검색기 국산화 개발을 위해 양해각서(MOU)를 체결하였으며 그 결과 국산화 컨테이너 2기가 부산항과 인천항에 2018년 3월에 도입될 예정이다.[20)]

해양수산부 보도 자료에 의하면 세계 최초 3차원 고속 컨테이너 검색

기를 개발하여 광양항에 설치하였다.[21] 세계 관세 기구(World Customs Organization, WCO)는 컨테이너 화물 검사 시스템 제작 업체와 통합 영상 파일 형식(unified image file format)에 대한 국제 표준을 만드는 협정을 맺었다. 이러한 배경으로 고에너지 엑스선을 이용한 컨테이너 화물 검사 시스템은 지속해서 증가할 수밖에 없으므로 이와 관련된 연구가 매우 중요하다고 할 수 있다.[22]

컨테이너 화물 검사 시스템은 선형 가속기, 검출기, 이송 대차, 안전 및 방사선 방호 장비, 기타 운영 프로그램 등 컨테이너 화물을 검색(inspection)하는데 필요한 모든 장비 및 관련 장치와 구조물, 건물 등을 말한다. 컨테이너 검색기는 디지털 방사선 영상 시스템을 사용한다. 컨테이너 화물 검사 시스템을 통하여 획득한 영상(image)은 디지털 저장 매체에 저장되고 언제든지 활용할 수 있는 특징이 있다.

컨테이너 화물 검사 시스템은 해상 컨테이너 수입 화물의 신속한 통관을 도모하고 총기류·폭발물·마약류 등의 사회 안전 위해 물품 밀반입 방지 업무 등에 적극적으로 활용되는 첨단 과학 검색 장비이다. 하지만, 컨테이너 화물 검사 시스템 관련 국내 산업은 최근에서야 연구·개발하는 분야이다. 아직은 개발과 개선이 필요한 부분이 많이 존재한다. 대표적으로 장비의 노후화 등으로 인해 영상에 잡음이 발생하여 최적의 영상 판독을 저해하는 요인이 된다.

컨테이너 검색기 제작 기술을 보유한 제조회사 및 공급업체는 고유의 컨테이너 검색 장비를 제공한다. 컨테이너 제조회사마다 고유의 영상 데이터를 생성한 판독 프로그램이 사용된다. 이에 따라 판독 프로그램마다 독점적인 영상 포맷(image format) 형식으로 영상이 저장되어 데이터를 공유하거나 관리하는 데 문제가 발생한다. 신규 세관 직원들은 설치된 제조사마다 각각의 판독 프로그램을 배워야 한다는 문제가 발생한다. 결과적으로 세관 당국은 공유가 어려운 영상 데이터를 만드는 검색 장비를

보유하고 있다. 세관 당국은 관리 대상 화물 검사의 신뢰도 향상 및 검색 작업의 관리를 집중화하기 위해 컨테이너 검색기 제작 기술을 보유한 제조회사 및 공급업체의 장비로 만들어진 영상 데이터 및 영상 포맷에 대해 통합된 하나의 특정 형식의 사용이 요구되고 있다.

이에 따라 본 논문에서는 컨테이너 화물 검사 시스템에서 발생하는 영상 잡음을 최소화하는 알고리즘을 개발하여 영상의 화질을 향상하고자 하였다. 또한, 복잡해지고 교묘해지는 밀수 수법에 대응하기 위해 방사선 영상 기법을 구현하여 밀수 적발에 이바지하고 다양한 영상 포맷을 사용할 수 있는 통합 영상 판독 프로그램(unified image interpretation program)을 개발하여 영상 판독 능력을 향상하고자 하였다. 이를 통하여 불법 밀수품 및 안보 위해 물품의 국내 반입을 차단함으로 경제적·사회적 손실을 최소화하여 사회 안전을 저해할 수 있는 요소를 효과적으로 차단하고 나아가 국민 복지 및 삶의 질 향상에 직·간접으로 이바지할 것으로 기대된다.

본 논문의 연구 목적과 내용은 다음과 같다. 첫째, 노후화된 검출기(detector)에서 발생하는 영상 잡음을 제거하는 알고리즘 개발이다. 둘째, 컨테이너 화물 검사 시스템에서 활용되고 있는 방사선 영상 처리 기법을 구현한다. 셋째, 방사선 영상 처리 기법을 구현을 통해서 다양한 영상 포맷을 사용할 수 있는 통합 영상 판독 프로그램 개발이다. 넷째, 개발된 통합 영상 판독 프로그램을 통해 주요 수입 물품이면서 농도 차이가 적어 판독하기 어려운 고추(Red chilli) 검사에 적용하여 고추 영상 분석 기법의 개발이다.

2. 이론적 배경

2.1. 컨테이너 검색 영상의 연구 현황

조규성[6-7](2006)은 컨테이너 검색기로 검색한다고 모든 밀수품을 찾아낼 수 있는 것은 아니다. 컨테이너 검색기의 성능과 수입 물품의 은닉된 상태가 결합하여 만드는 영상의 질(quality), 판독자의 경험에 따라 검색 확률이 결정된다. 길이 6~15m, 높이 2.4m의 컨테이너를 컴퓨터 화면에 보이는 엑스선 영상으로 점점 교묘하게 은닉해오는 밀수품을 적발하기 위해서는 디지털 영상처리 기법들을 활용해야 한다고 지적하였다.

곽성우[23](2004)는 컨테이너 검출 시스템으로 단결정과 광센서로 구성된 포토다이오드 기반의 고체 상태 검출기를 사용한다. 컨테이너를 검사하기 위한 검출기는 강한 투과력으로 인해 엑스선 입사 방향과 평행하게 배치되고 이러한 배열은 신호를 향상하기 위해 검출기 깊이를 증가시켜 신호뿐 아니라 잡음의 증가를 일으킨다고 지적하였다. 컨테이너 검출기의 잡음은 신호 대 잡음 비(signal to noise ratio, SNR)에 큰 영향을 미친다.

유주완[24](2005)은 엑스선 영상에서의 잡음 신호의 특성을 바탕으로 라프라시안 피라미드를 이용한 엑스선 영상의 잡음 제거 방법을 제안하였으며 잡음 제거를 위해 엑스선 영상 신호의 지역적 표준 편차와 신호 영역 특징을 이용하여 잡음 제거 연구를 하였다.

황진호[25](2006)는 컨테이너 화물 검사는 컨테이너 내 품의 엑스선 영상을 판독자의 시각을 통해서만 평가하고 그 결과에 따라서 관리 대상 화물을 즉시 검사로 결정해 왔다. 이것은 판독자의 숙련도에 따라 평가가 달라질 수 있다고 지적한다. 그래서 해상 컨테이너의 엑스선 검사 자동화 기술 연구로서 컨테이너 내 품이 동일 물품으로 재질이 균일하여 같은 농도를 가지는 물체에 대해 검사 영상(scan image)을 추출한 후 영

상 분할과 영상 정보 설정을 통해 이질 물체를 검출하는 연구를 하였다.

Wicher Visser[26](2016)는 담배(Cigarettes)와 같은 우범 화물이 컨테이너 내부에 있는 경우 이를 자동 표적 인식(automated target recognition, ATR) 기술을 통하여 세관 공무원에게 알려주는 해상 컨테이너 화물 검사를 위한 엑스선 영상의 자동 비교 기술을 제안하였다. 또 이 논문에서는 영상 포맷의 표준이 없다는 단점을 제기하였으며, 유럽 연합의 세관 당국에서 컴퓨터 기반 훈련(computer based training, CBT)이 시행된다면 컨테이너 화물의 엑스선 검사의 검출 능력이 크게 향상될 것으로 제안하였다. 이 논문에 의하면 화물 검사를 위한 엑스선 영상의 자동 비교 기술은 ACXIS 프로젝트라는 이름으로 유럽연합 차원의 다자간 공동 기술 개발 프로그램(framework programme EU)의 재정 지원을 받고 연구가 진행되고 있다.

위와 같은 선행연구와 같이 우리나라로 수입한 해상 컨테이너 화물을 컨테이너에서 풀어서 꺼내는 끄집어내지 않고 비 해체 검색(non-intrusive inspection, NII) 기술을 적용하여 밀수품의 은닉 등을 찾아내는 매우 중요한 장비이다. 또한, 같은 물품의 균일한 농도(density)를 가지는 물질에 대한 판독 기법이 연구 초기 단계이다. 그리고 컨테이너 화물 검색기의 제조사마다 다양한 영상 포맷을 사용하여 표준화된 영상 표준(image standard)이 없다. 이로 인해 다양한 판독 기법을 적용하기가 쉽지 않고, 농도 차이가 적은 영상의 판독이 어렵다. 판독 프로그램이 다양하여 판독자가 프로그램마다 상당한 적응 기간이 필요하다.

2.2. 컨테이너 검색 시스템

컨테이너 검색기는 고에너지 엑스선을 발생시키는 가속기 시스템(acce-lerator system)과 해상 컨테이너를 투과한 고에너지 엑스선을 전기적 신호로 전환하여 검색 영상을 만드는 검출 시스템(detection system), 컨테이너 운반 차량을 이동시키는 이송장치(cargo moving system, CMS) 그리고 방사선을 방호하는 차폐시설 등으로 구성된다.[27] 컨테이너 검색기는 해상 컨테이너를 적재한 운반 차량이 컨테이너 화물 검사 센터에 도착하면, 세관 공무원은 컨테이너 번호, 중량, 봉인 번호(seal number)를 확인한다. 해상 컨테이너 운반 차량은 이송 장치를 통하여 검색 터널을 이동하면서 고에너지 엑스선 검색기를 이동 스캔(cargo scanning)을 하게 된다. 검색 터널 내부에 수직과 수평 방향에 2대의 고에너지 엑스선 발생 장치와 2대의 선형 배열(linear array) 검출기를 통과하여 검사를 위한 영상 정보를 획득하게 된다.[6-7,28](Figure 6)

Figure 6. Concept figure of fixed container inspection system (source : Jeollabuk-do press release, 2016)

2.3. 컨테이너 검색 영상의 특징

컨테이너 검색기에서 사용되는 방사선은 엑스선, 감마선, 그리고 중성자를 이용한다. 이 중에서 고에너지 엑스선을 이용한 검색기가 가장 널리 사용되고 있다. 현재 컨테이너 검색기를 제작 공급 업체는 Varex Imaging(미국), L3(미국), RAPISCAN(미국), Nuctech(중국) 등이 있다.[22)]

컨테이너 검색기는 의료에서 사용되는 디지털 엑스선 촬영 장비와 마찬가지로 엑스선 발생 장치, 검출기와 컴퓨터 시스템으로 구성되어 있다. 의료용과의 차이점은 사용하는 엑스선 에너지가 의료용보다 매우 높다는 점이다. 의료용 DR(digital radiography)는 2차원 배열(array) 검출기를 사용하여 한 번 방사선 조사(exposure)로 2차원 방사선 영상을 만들어 낸다. 하지만 컨테이너 검색기는 문서 스캐너(document scanner)처럼 1차원 선형 배열(linear array) 검출기를 사용하기 때문에 선원과 검출기가 고정되어 있고 컨테이너 화물이 이동하여 영상을 얻는다는 점이 다르다.[6-7)] 이러한 차이점으로 인해 의료용에서 사용되는 박막형 검출기(flat panel detector) 대신 단결정 섬광형 검출기(single crystal scintillation detector)를 사용되고 있다.[6,29)]

전자 선형 가속기(electron linear accelerator)는 중국 Nutech 사를 제외한 대부분에서 미국 Varian 사의 Linatron-M 모델을 사용하는데 전자선 다발이 텅스텐 표적(target)을 향해 6 또는 9 MeV까지 가속되고 이때 표적을 투과하면서 발생하는 제동복사 엑스선(bremsstrahlung X-ray)이 슬릿형 조준기(slit collimator)를 통과하여 부채꼴 빔(Fan beam) 형태로 컨테이너 검색 터널로 조사(exposure)하는 구조이다.[6)] 가장 많이 사용되고 있는 미국 Varian 사의 Linatron M-9의 9 MeV 선형가속기의 경우 표적으로부터 1 미터 거리에서 최대 30 Gy/min의 방사선량율을 갖도록 하고 있어 선형 가속기 주변으로 산란 방사선에 의한 높은 공간 방사선

량으로 견고한 공학적 차폐가 이루어져 있다. 따라서 컨테이너 화물 검사 시설의 일반적인 구조는 컨테이너 이송을 위한 검색 터널과 검색 터널 중앙 부분에 선형 가속기가 있으며 선형 가속기 반대편에는 검출기가 위치하는 형태이다.[27)]

검출기(detector)는 1,000~1,500개 채널의 단일 검출기가 일렬로 배열된 형태이며 단일 검출기는 $CdWO_4$ 섬광체(pitch : 4~5mm, width : 5~15mm, length : 30~50 mm)와 광-다이오드(pin photodiode)가 결합한 2채널 감지기 모듈의 형태이다.[29)] 섬광체(scintillator)는 검출기에 들어오는 방사선을 빛으로 바꿔주는 역할을 한다. $CdWO_4$ 섬광체는 높은 원자번호와 밀도를 가지므로 엑스선에 대한 검출 효율이 높다. 광-다이오드 감지기는 섬광체에 부착되어 섬광체에서 방출된 빛을 전기적 신호로 바꿔주는 역할을 한다.[10)](Figure 7)

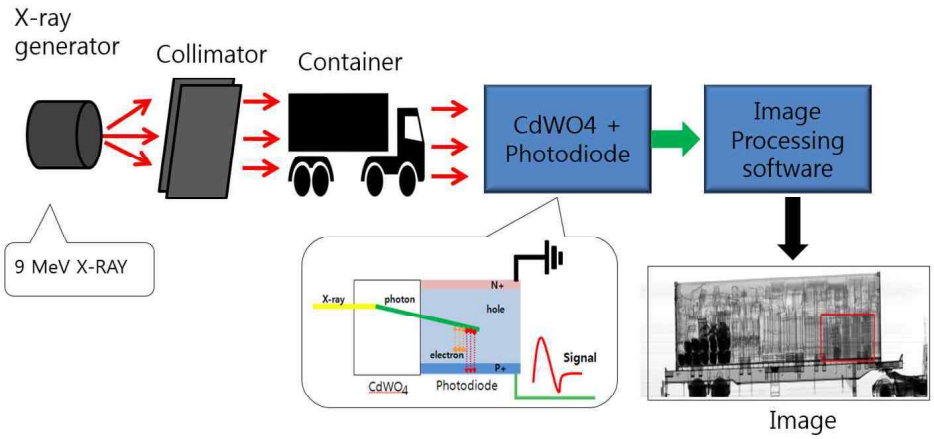


Figure 7. Conceptual image of fixed container inspection image (source : Korea customs service press release, 2017)

2.4. 디지털 영상의 잡음

2.4.1. 디지털 영상의 잡음 특징

방사선 영상에서의 잡음은 검사하는 물체에서 만들어지는 것이 아닌 영상 검사 과정에서 들어오는 원하지 않는 신호의 변동이라 할 수 있다.[30] 아날로그로 영상에서 사용하던 필름-스크린 시스템보다 현재 사용하는 방사선 디지털 영상 시스템은 더 복잡하고 다양한 구조로 이루어져 있어 잡음의 원인이 되는 인자들이 많이 존재한다. 아날로그 필름-스크린 시스템에서는 영상 시스템의 잡음으로 인해 하나의 영역에서 다른 영역의 필름 밀도가 변동(fluctuation)하는 엑스선 양자 반점(quantum mottle)이 잡음의 원인이었다.[31-34] 1차 잡음 성분은 증감지에 흡수된 엑스선 양자의 공간적 변동, 형광체 코팅에서 무작위 구조 불균일성과 관련된 증감지 흡수의 공간적 변동 및 유제(emulsion)의 단위 면적당 할로겐화은 입자 수의 무작위적 분포로 인한 필름 감도(sensitivity)의 공간적 변동이다. 하지만, 방사선 디지털 영상 시스템에서는 엑스선 양자 반점 그 밖에도 방사선 검출기의 구조적 잡음, 전기적 잡음, 양자화 잡음 등이 발생한다.[34-37]

2.4.2. 디지털 영상의 잡음 평가 방법

2.4.2.1. 제곱평균 제곱근(root mean square, RMS)

방사선 디지털 영상에서 나타나는 잡음은 재현성이나 주기성을 무작위에 의한 성질을 가지므로 통계적인 방법을 사용한다.[32] 먼저 RMS를 이해하기 위해 표본 표준편차에 대해 정의하였다.

$$\bar{x} = \frac{1}{n}(x_1 + x_2 + \cdots + x_n) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \quad (1)$$

Equation 1은 모집단에서 크기가 n인 표본 $x_1, x_2, \cdots, x_n$을 임의 추출하였을 때 $\bar{x}$을 표본평균(sample mean)이라 한다.

$$s^2 = \frac{1}{n-1}\left\{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \cdots + (x_n - \bar{x})^2\right\} \quad (2)$$

$$= \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2$$

Equation 2는 표본분산(sample variance)을 나타내고 Equation 3은 Equation 2의 표본분산의 양의 제곱을 나타내는 표본 표준편차(sample standard deviation)이다.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1}\left\{\left(x_1-\overline{x}\right)^2+\left(x_2-\overline{x}\right)^2+\cdots+\left(x_n-\overline{x}\right)^2\right\}} \quad (3)$$

$$= \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i-\overline{x}\right)^2}$$

Equation 3과 같이 표본 표준편차의 개념을 디지털 영상의 농도(den-sity) 변동에 응용한 것이 제곱평균 제곱근(RMS)이다.

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i-\overline{x}\right)^2 \quad (4)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i-\overline{x}\right)^2} \quad (5)$$

여기서 $\overline{x}$는 화소 값의 평균을 나타내고, x_i는 각 화소가 가지는 화소값, n은 영상에서의 총 화소의 개수를 나타낸다. 이때 분산 평균에서 어느 정도의 변동이 발생하는지를 나타내는 것이 Equation 4의 표본분산 σ^2이다. Equation 4의 표본분산 σ^2에 제곱근을 취하는 것이 Equation 5의 표본 표준편차 σ가 된다. 즉, RMS값이 클수록 변동이 크다는 의미로 화질이 저하됨을 알 수 있고, RMS값이 작을수록 변동이 작아 우수한 화질임일 알 수 있다.

2.4.2.2. 자기 상관 함수(autocorrelation function, ACF)

ACF는 디지털 영상에서 주기성이나 재현성을 가지고 있지 않은 무작위에 의한 성질의 잡음을 나타내주는 방법의 하나이다. Equation 6은 두 영역의 화소 값의 상관관계를 나타내는 함수이다.

$$AFC(\tau) = \lim_{x\to\infty}\frac{1}{x}\int_{-\frac{x}{2}}^{\frac{x}{2}} f(x)\cdot f(x-\tau)dx \qquad (6)$$

여기서, $f(x)$는 영상에서 화소 값처럼 거리에 따라 변하는 1차원 함수, τ는 상관관계를 조사하는 거리, x는 영상의 크기를 나타낸다. 상관관계를 조사하는 거리 τ가 0일 때 최댓값을 가지며, 상관관계를 조사하는 거리가 멀어질수록 작은 값을 가진다.[34)]

2.4.2.3 잡음 파워 스펙트럼(noise power spectrum, NPS)

NPS는 자기 상관 함수(ACF)를 시간 영역 함수를 주파수 영역의 함수로 변환하는 푸리에 변환(fourier transform, FT)을 통해서 구하며, 방사선 영상에서는 위너 스펙트럼(wiener spectrum)이라고도 한다.[34)]

2.5. 영상 처리 기법

2.5.1. 밝기 변환 영상 처리(intensity transformation image processing)

2.5.1.1. window width and window level

컨테이너 검색 영상의 경우 밀도가 낮아 엑스선 흡수가 적은 매질은 밝게 나타나고, 밀도가 높은 매질은 엑스선 흡수가 커서 어둡게 나타난다.

window width를 좁히면 뚜렷한 흑백 영상이 되고, 넓히면 관용도(latitude)가 넓게 되어 다양한 밀도를 포함한 농도를 가지는 영상이 된다. 즉, window width의 변화는 대조도(contrast)를 조절하고 window level은 영상의 밝기(brightness)를 조절한다.(Figure 8) 대조도가 높을수록 관용도는 감소하게 되므로 적절하게 조절하여 영상 판독에 활용하여야 한다.[38-45)]

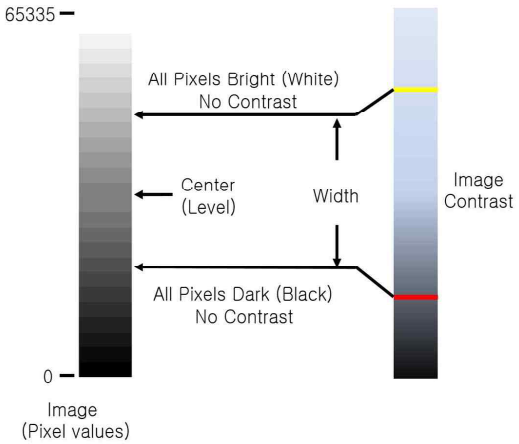


Figure 8. Digital image windowing

2.5.1.2. 감마 보정(Gamma correction)

감마 보정은 명암도(gray-scale) 영상의 밝기 변환을 위한 기본적인 기능이다. 감마 보정은 비선형 전달 함수(non-linear transfer function)을 사용하여 영상에서의 강도(intensity) 신호를 비선형적으로 변경하는 것이다. 영상의 색 데이터와 실제 출력 영상의 관계를 조절하여, 더욱 자연스러운 영상을 얻기 위한 보정 작업이다. 즉, 모니터 등의 장치에서 원본 영상의 밝기값을 정확하게 표현하는 데 필요한 보정 작업이다.[38-45] (Figure 9)

감마가 1보다 작으면 밝은 영상으로 나타나고, 반대로 감마가 1보다 크면 어두운 값으로 변하게 된다.

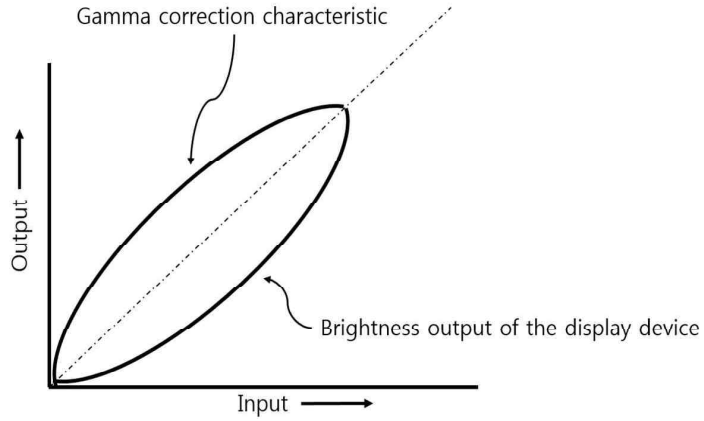


Figure 9. Gamma correction

2.5.2. 히스토그램 영상 처리(Histogram image processing)

2.5.2.1. 히스토그램(Histogram)

범위[0, L-1]에서 전체 L개의 명암도 가지는 디지털 영상의 히스토그램은 Equation 7과 같은 이산함수이다.

$$h(r_k) = n_k \tag{7}$$

여기서, r_k는 구간[0, L-1]의 k번째 명암도, n_k는 영상에서의 명암도가 r_k인 화소의 수, n은 영상에서의 전체 화소 수이다. 히스토그램은 각각의 화소 값 $h(r_k)$의 모든 요소를 영상 전체 화소 수(n)로 나누어 Equation 8과 같이 정규화된 히스토그램으로 작업한다.

$$p(r_k) = \frac{h(r_k)}{n} \tag{8}$$

여기서, 정수 영상에서 $k = 1, 2, \ldots, L$ 이다. $p(r_k)$는 명암도 r_k 발생할 확률의 추정치임을 알 수 있다.

Figure 10은 히스토그램이 가지는 일반적인 명암도의 어둡고(dark), 밝고(brightness), 고 대조도(high contrast), 저 대조도(low contrast) 특성을 보여준다. X축은 명암도 값인 명암도 r_k 에 해당하며, 영상에서의 히스토그램은 0은 검은색, 255는 흰색의 밝기를 의미합니다. Y축은 $h(r_k) = n_k$ 에 해당하며, 정규화 되었다면 $p(r_k) = \frac{n_k}{n}$ 의 값에 해당된다. 어두운 영상에서 히스토그램은 0에 가까운 쪽에 집중되어 있으며, 밝은

영상에서의 히스토그램은 255에 가까운 쪽에 집중되어 있다. 고 대조도 영상에서는 히스토그램이 넓은 범위에서 명암도를 가지고 있으며, 저 대조도 영상에서는 히스토그램이 중앙에 좁게 모여져 있다.[38-45)]

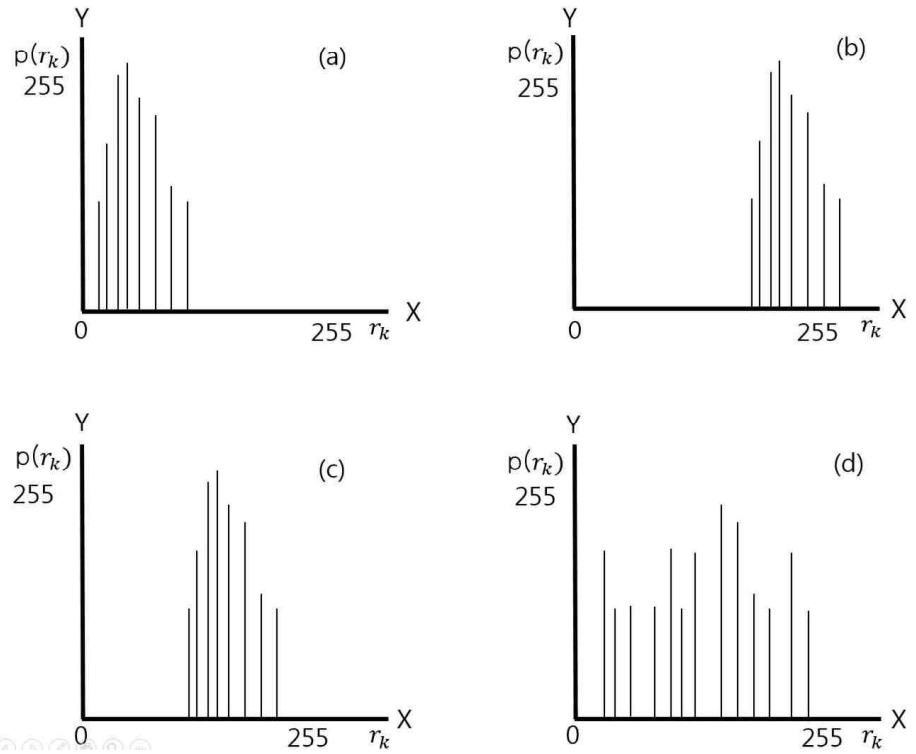


Figure 10. Histogram according to basic form : (a) Dark image (b) Brightness image (c) Low contrast (d) High contrast

2.5.2.2. 히스토그램 평활화(Histogram Equalization)

히스토그램 평활화는 영상의 농도 분포를 나타내는 히스토그램의 형태가 균일하도록 명암값의 분포를 조정하는 것이다. 일반적으로 평활화는 주변 화소 값을 이용하여 전체적으로 영상을 부드럽게 한다. 이 평활화는 경계 부분까지 부드럽게 변하면서 영상의 선예도가 저하되어 흐릿해 보이는 단점이 있다.[38-45)]

3. 연구 방법

3.1. 컨테이너 검색 영상 수집

컨테이너 화물 검색에서는 선형가속기(Linatron M9, Varian Medical System, USA)가 고에너지 엑스선을 발생시킨다. $CdWO_4$ 섬광 검출기의 1차원 선형 배열 검출기에서는 컨테이너를 투과한 엑스선을 전기적 신호로 변환해준다. 영상 획득 시스템은 전기적 신호를 제작사의 고유의 raw data로 변환하고 무손실 TIFF 형식으로 원본 영상을 만든다. 이 TIFF 원본 영상은 영상 판독 소프트웨어(Actis series, BIR, USA)에서 사용된다. 본 논문에서 사용되는 영상은 영상획득시스템에서 생성된 영상인 무손실 TIFF 형식으로 만들어진 원본 영상을 사용하였다.

일일점검(daily check)은 컨테이너 검색 시스템의 원활한 작동 상태를 점검하기 위해 매일 이루어지는 유지보수 활동이다. 일일점검 중 컨테이너 화물이 없는 상태에서 자동 검색 상태로 공기 중에 방사선을 조사하여 Figure 11과 같은 일일점검 영상이 만들어진다. 일일점검 영상의 무손실 TIFF 형식의 원본 파일을 사용하였다. 일일점검 영상은 Figure 11 (a) 와 같은 수평 영상과 Figure 11(b)와 같은 수직 영상을 35개씩을 일일점검을 통해 획득하여 영상 분석에 사용하고자 하였다.

Figure 12와 같은 실제 컨테이너검색 영상(actual container inspection image)은 2017년 6월에 검색한 영상으로 일일점검 영상과 마찬가지로 TIFF 형식의 원본 파일을 사용하였다. 실제 컨테이너검색 영상은 Figure 12(a)와 같이 수평 영상과 Figure 12(b)와 같은 수직 영상을 70개씩 컨테이너 검색을 활용하여 영상 분석에 사용하였다.

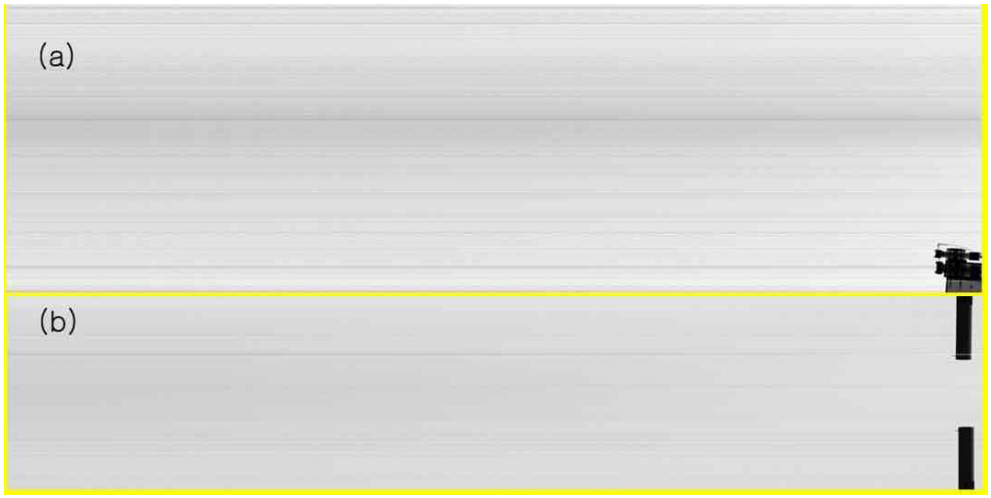


Figure 11. Daily check image : (a) Side view (b) Top view

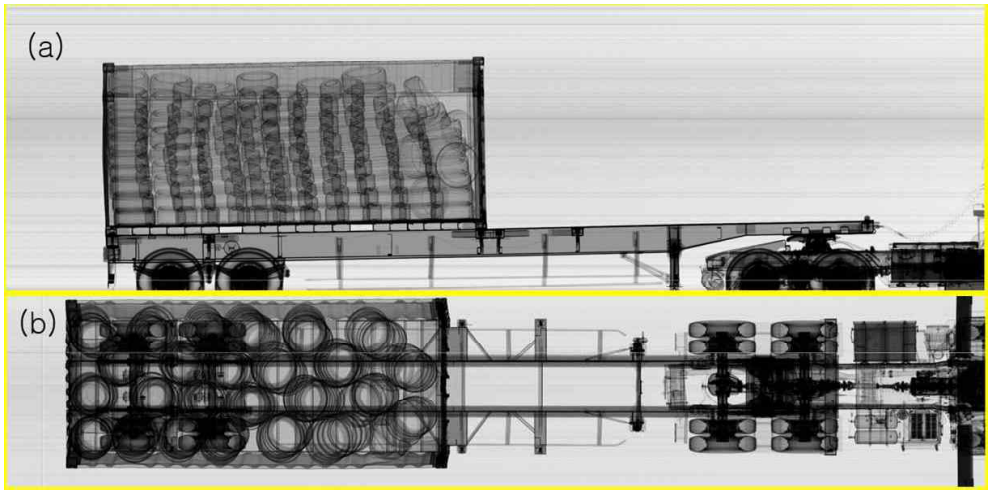


Figure 12. Actual container inspection image : (a) Side view (b) Top view

3.2. 컨테이너 검색 영상 잡음 평가

3.2.1. 감지기(Sensor) 감도 보정

일일점검 영상에서 불균일한 검출 감지기의 감도로 인하여 Figure 13과 같은 영상에서 전체적으로 가로줄 형태의 잡음이 쉽게 파악되는 것을 확인할 수 있다. 이를 보완하기 위해서 각 감지기가 가지는 신호 힘(power)을 계산하여 각 감지기의 감도를 Equation 9와 같이 바로잡을 수 있다.

$$Gain\ Calibration\ Factor(y) = \frac{1}{\sum_{x=1}^{n} \frac{bg(x,y)}{n}} \tag{9}$$

여기서, x는 x축 방향의 화소의 수, y는 y축 방향의 화소의 수, n은 영상에서의 총 화소의 개수를 나타낸다. $bg(x,y)$는 촬영된 영상 전체에서 빈 곳 영역의 영상을 나타낸다.

일일점검 영상에서는 Figure 14에서와 같이 공기 스캐닝(air scanning)한 영역에서 배경 값을 의미한다. 실제 컨테이너 검색 영상에서는 전체 영역의 배경 값(background value)으로 설정할 수 없으므로 Figure 15와 같이 실제 컨테이너가 없는 공기 영역을 배경 값으로 설정하여 보정을 수행하였다.

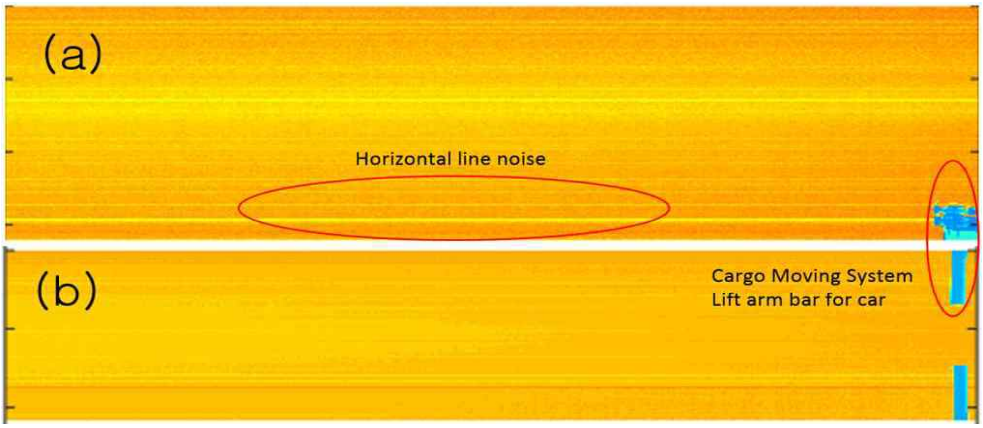


Figure 13. Horizontal noise in the daily check image : (a) Side view, (b) Top view

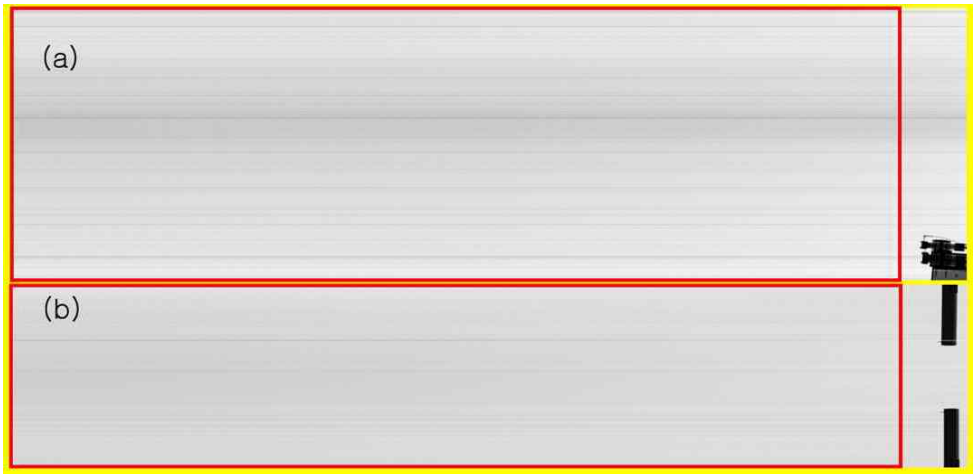


Figure 14. Set background area in daily check image : (a) Side view, (b) Top view

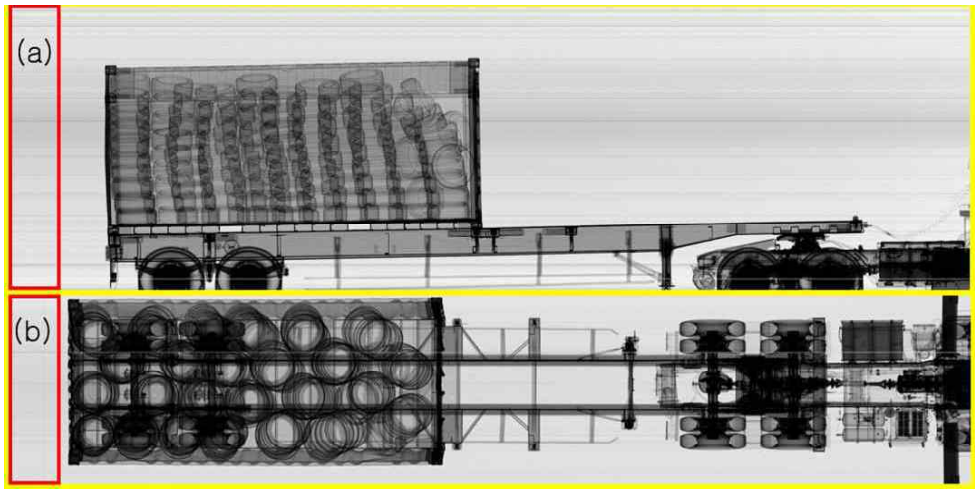


Figure 15. Set background area in actual container inspection image : (a) Side view, (b) Top view

Equation 9로 감도가 보정된 영상의 행렬과 원본 영상의 행렬의 일대일 곱으로 가로줄 형태의 잡음을 Equation 10을 통해 제거하고자 하였다.

$$Processed\,Img = Img \otimes Gain\,Calibration\,Factor \tag{10}$$

여기서, $Processd\,Img$ 는 각각의 검출기 영상의 감도가 보정된 영상으로 기존 영상대비 가로줄 모양의 잡음이 제거된 영상이다. $\otimes$ 는 $Gain\,Calibration\,Factor$ 행렬과 Img 행렬을 y축에 대해서 일대일 곱을 표현한 기호를 나타낸다. 이득 교정 인자(gain calibration factor)는 빈 곳에서 촬영된 영상의 가로줄 평균을 1에서 나누어준 값으로 감도의 비율을 나타내는데 활용될 수 있다. Figure 16은 Equation 10으로 잡음이 제거된 영상의 연산을 나타낸다.

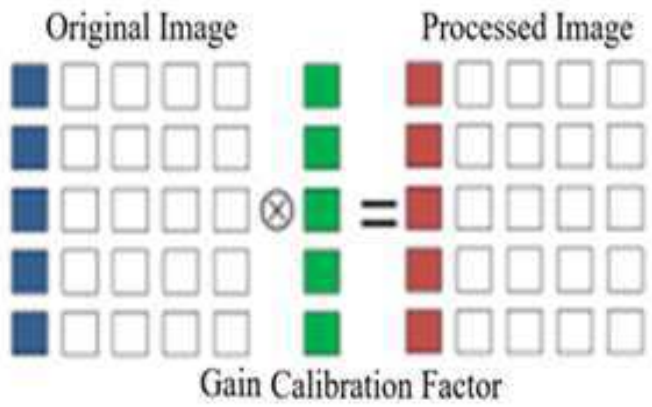


Figure 16. Mark of Operators

3.2.2. 제곱평균 제곱근(RMS) 잡음 레벨 평가

본 논문에서는 촬영된 영상의 화질을 평가하는 가장 기본적인 방법으로 영상의 제곱평균 제곱근(RMS) 잡음 레벨 평가를 수행하였다. 잡음 레벨 평가는 기본적으로 빈 곳(air)을 촬영한 영상을 바탕으로 전체 영상의 평균값을 참값(true image)으로 가정하고 Equation 11과 같이 표현할 수 있다. 촬영된 영상은 참값과 잡음의 합으로 이루어진 것으로 가정하였다. 이는 빈 곳의 모든 값이 같다는 가정을 전제로 하고 있다.

$$True\ Image = I_{avg} = \sum_{x=1}^{n}\sum_{y=1}^{m} I(x,y) \tag{11}$$

여기서 n은 x축에서의 화소 크기, m은 y축의 화소 크기, I 는 측정된 영상의 매트릭스(matrix)이다.

Equation 12는 제곱평균 제곱근(RMS) 잡음 평가 방법으로 일일 검색 영상에 적용하여 잡음 레벨의 변화를 측정하였으며. 이를 실제 컨테이너검색 영상에 적용하여 영상의 잡음 변화를 측정하고 영상에서의 화질 개선을 평가하였다.

$$RMS\ Noise = \sqrt{\frac{\sum_{x=1}^{n}\sum_{y=1}^{m}(I(x,y) - True\ Image(x,y))^2}{n^*m}} \tag{12}$$

여기서 n은 x축에서의 화소 크기, m은 y축의 화소 크기, I 는 측정된 영상의 매트릭스이다.

제곱평균 제곱근(RMS)의 값이 크면 픽셀의 평균값인 참값과 차이가 크므로 우수한 화질의 영상이라 할 수 없다.

3.3. 판독프로그램 개발 환경 및 도구

3.3.1. 판독프로그램 개발 환경

검색 영상 판독프로그램은 윈도즈 환경에서 사용할 수 있도록 설계되었다. 검색 영상 판독프로그램은 검색 영상을 불러오고 전처리 할 수 있는 Load & Pre-processing 방식과 영상의 명암도 등을 조절하여 판독 기능을 수행할 수 있는 Interpretation 방식 그리고 히스토그램을 통한 영상 분석을 할 수 있는 Analysis 방식으로 크게 세 가지 방식으로 동작할 수 있도록 Figure 17과 같은 클래스로 설계되었다.

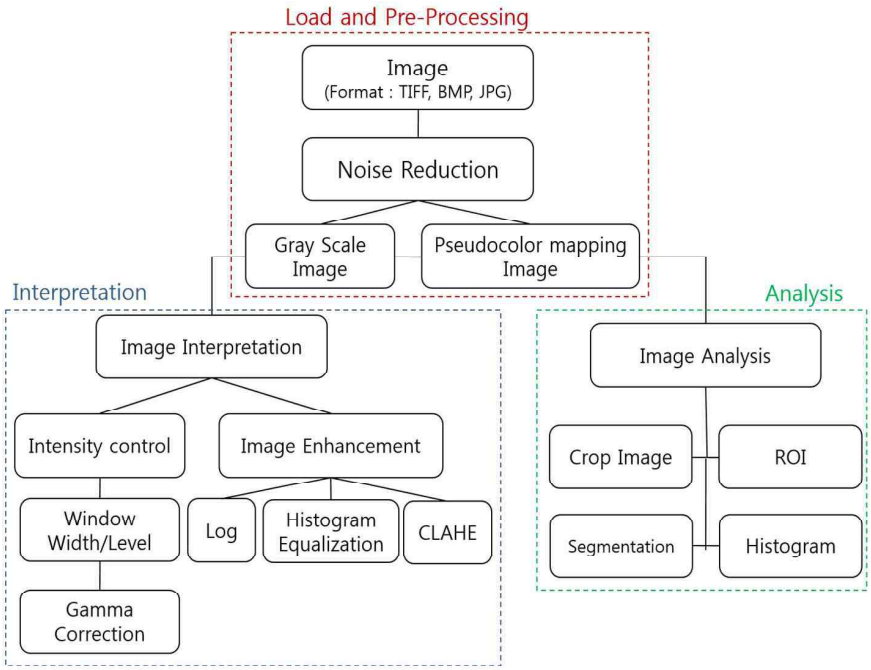


Figure 17. Class structure

3.3.2. 판독프로그램 개발 도구

영상의 잡음 분석을 위해 미국 Mathworks 사에서 개발된 R2017a 버전의 매트랩(MATLAB) 영상 처리 툴(image processing toolbox, IPT)을 사용하였다. 매트랩은 과학적 계산과 시각화를 수행하는 데 사용된다. 매트랩은 다양한 과학적 문제들과 그래픽을 분석할 수 있는 매우 유용한 소프트웨어이다. 매트랩은 과학적 계산과 시각화를 위한 많은 내장 함수를 통해 프로그래밍 할 수 있는 통합 개발 환경(integrated development environment, IDE)을 제공한다. 매트랩은 사용 가능한 내장함수 외에도 일반적으로 C 또는 C++ 과 같은 언어를 사용할 수 있는 기능 및 프로그래밍 구조를 제공한다. Figure 18은 매트랩 편집기 화면이다. 이 편집기 화면을 통해 계산하고자 하는 코드를 작성하였다.[39-45)]

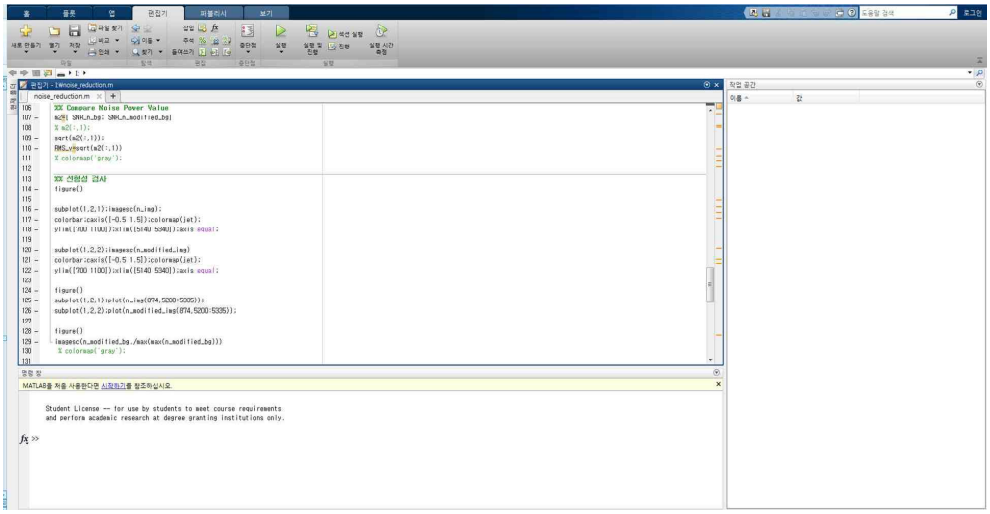


Figure 18. MATLAB Editor window

또한, 영상처리 구현을 위해 개발된 컨테이너 검색 영상 판독 프로그램은 매트랩에서 GUI(graphical user interfaces)를 개발할 수 있는 환경을 제공한 GUIDE를 사용하였다. 매트랩 GUIDE는 사용자가 조작하고 제어할 수 있는 GUIDE layout editor를 제공한다. GUIDE layout editor의 모양과 버튼 그리고 목록상자와 같은 구성요소를 사용하여 프로그램을 더욱 쉽게 수행할 수 있다. 어느 위치에서나 구성요소를 선택하고 크기 등을 조절하고 배치할 수 있으며, 콜백(callback) 함수를 사용하여 사용자가 구성요소를 조작하여 GUI를 생성할 수 있다. GUIDE는 GUI 및 구성요소에 대한 콜백 함수를 포함하는 코드를 만들고 그림 파일(figure file) 및 M-코드 파일(code file)로 저장하여 실행하였다.[39-45](Figure 19)

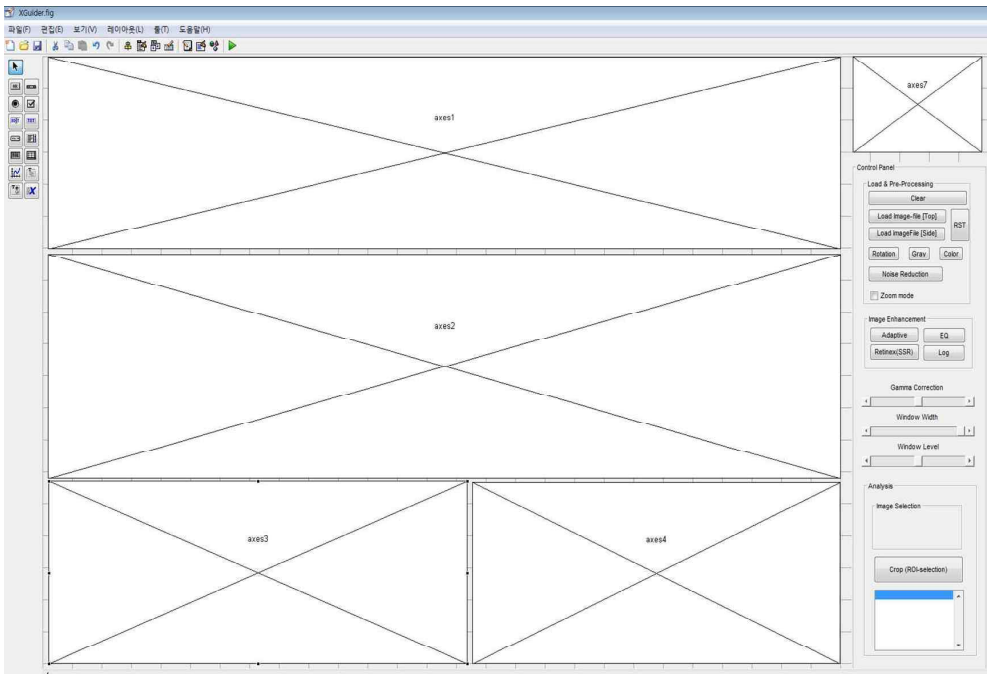


Figure 19. Layout Editor of MATLAB GUIDE

4. 결과

4.1 감도 보정을 통한 화질 개선

4.1.1. 일일점검 영상의 화질 개선 결과

Figure 20은 Figure 14(a)의 일일점검 수평 영상의 보정된 영상이다. Figure 20(a)는 Figure 14(a)의 배경영상을 색채 대응(color mapping)한 영상이고, Figure 20(b)는 Figure 14(a)의 영상을 색채 대응(color mapping)한 영상이다. Figure 20에서 (a)영상과 (b)영상은 잡음을 제거하기 전 영상을 나타낸다. Figure 20(c)는 감도 보정을 통한 개선된 배경영상이다. Figure 20(d)는 Equation 10을 이용하여 바로잡은 일일점검 수평 영상이다.

개선 전 영상인 Figure 20 (a)영상과 (b)영상보다 개선 후 영상인 Figure 20 (c)영상과 (d)영상은 영상 전체적으로 가로줄 형태의 잡음이 개선된 것을 확인할 수 있었다.

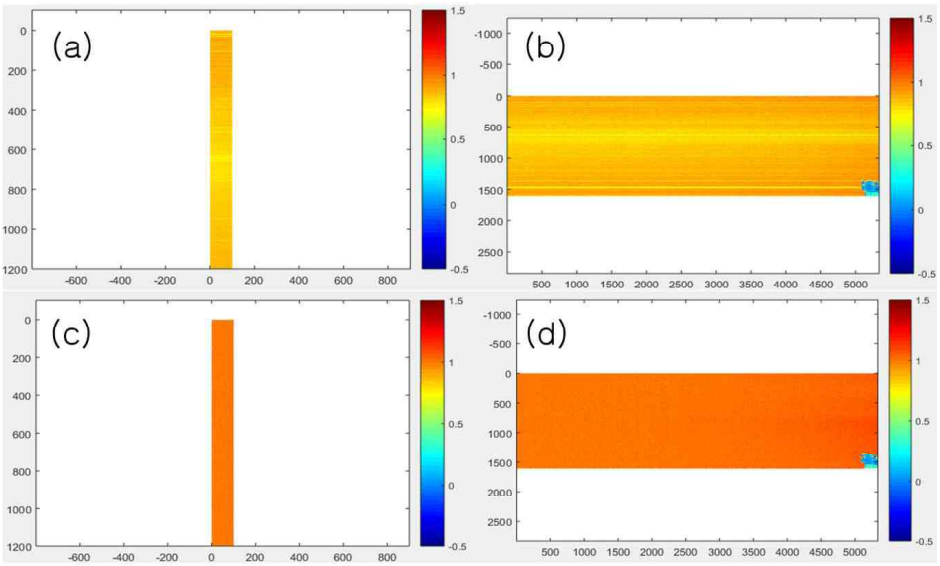


Figure 20. Results of comparison original with processed image of horizontal daily check image : (a) Background image of original (b) Original image (c) Background image of processed image (d) Processed image

Figure 21은 Figure 14(b)의 일일점검 수직 영상의 보정된 영상이다. Figure 21(a)는 Figure 14(b)의 배경영상을 색채 대응한 영상이고, Figure 21(b)는 Figure 14(b)의 영상을 색채 대응한 영상이다. Figure 21에서 (a)영상과 (b)영상은 잡음을 제거하기 전 영상을 나타낸다. Figure 21(c)은 감도 보정을 통한 개선된 배경 영상이다. Figure 21(d)는 Equation 10을 이용하여 바로잡은 일일점검 수직 영상이다.

개선 전 영상인 Figure 21 (a)영상과 (b)영상보다 개선 후 영상인 Figure 21 (c)영상과 (d)영상은 영상 전체적으로 가로줄 형태의 잡음이 개선된 것을 확인할 수 있었다.

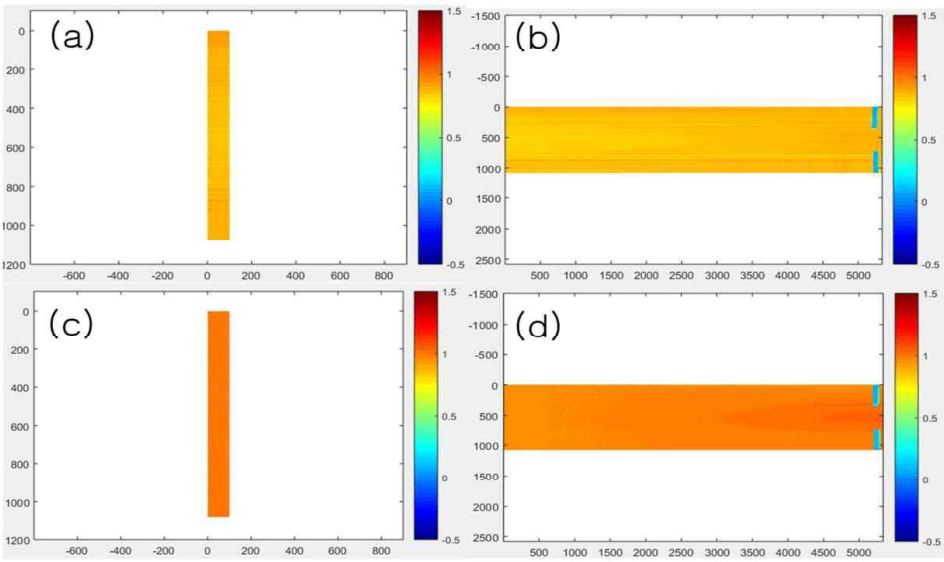


Figure 21. Results of comparison original with processed image of vertical daily check image : (a) Background image of original (b) Original image (c) Background image of processed image (d) Processed image

4.1.2. 실제 컨테이너 검색 영상의 화질 개선 결과

Figure 22는 Figure 15(a)의 실제 컨테이너 수평 영상의 보정된 영상이다. Figure 22(a)는 Figure 15(a)의 배경영상을 색채 대응한 영상이고, Figure 22(b)는 Figure 15(a)의 영상을 색채 대응한 영상이다. Figure 22에서 (a)영상과 (b)영상은 잡음을 제거하기 전 영상을 나타낸다. Figure 22(c)는 감도 보정을 통한 개선된 배경 영상이다. Figure 22(d)는 Equation 10을 이용하여 바로잡은 실제 컨테이너 수평 영상이다. 개선 전 영상인 Figure 22 (a)영상과 (b)영상보다 개선 후 영상인 Figure 22 (c)영상과 (d)영상은 영상 전체적으로 가로줄 형태의 잡음이 개선된 것을 확인할 수 있었다.

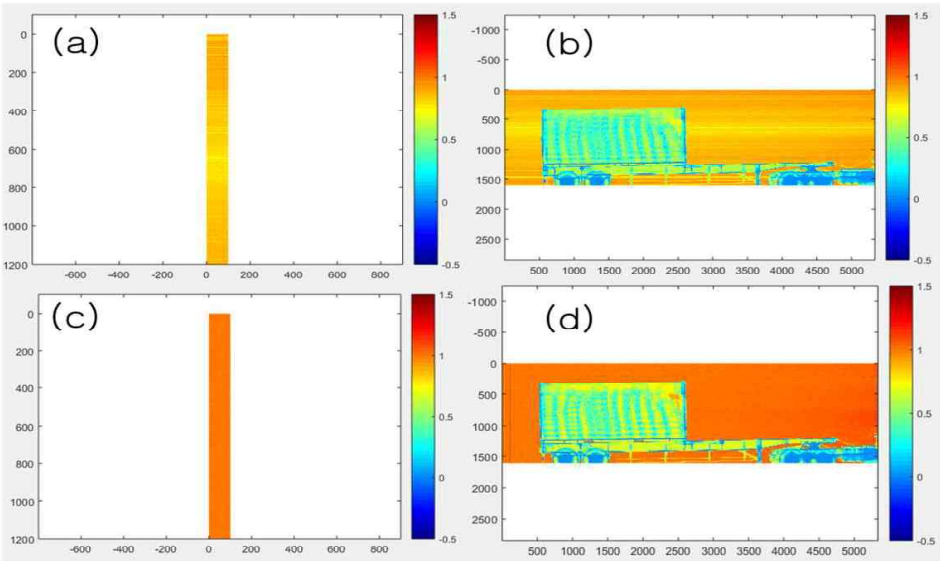


Figure 22. Results of comparison original with processed image of horizontal actual inspection image : (a) Background image of original (b) Original image (c) Background image of processed image (d) Processed image

Figure 23은 Figure 15(b)의 실제 컨테이너 수직 영상의 보정된 영상이다. Figure 23(a)는 Figure 15(b)의 배경영상을 색채 대응한 영상이고, Figure 23(b)는 Figure 15(b)의 영상을 색채 대응한 영상이다. Figure 23에서 (a)영상과 (b)영상은 잡음을 제거하기 전 영상을 나타낸다. Figure 23(c)는 감도 보정을 통한 개선된 배경 영상이다. Figure 23(d)은 Equation 10을 이용하여 바로잡은 실제 컨테이너 수직 영상이다. 개선 전 영상인 Figure 23 (a)영상과 (b)영상보다 개선 후 영상인 Figure 23 (c)영상과 (d)영상은 영상 전체적으로 가로줄 형태의 잡음이 개선된 것을 확인할 수 있었다.

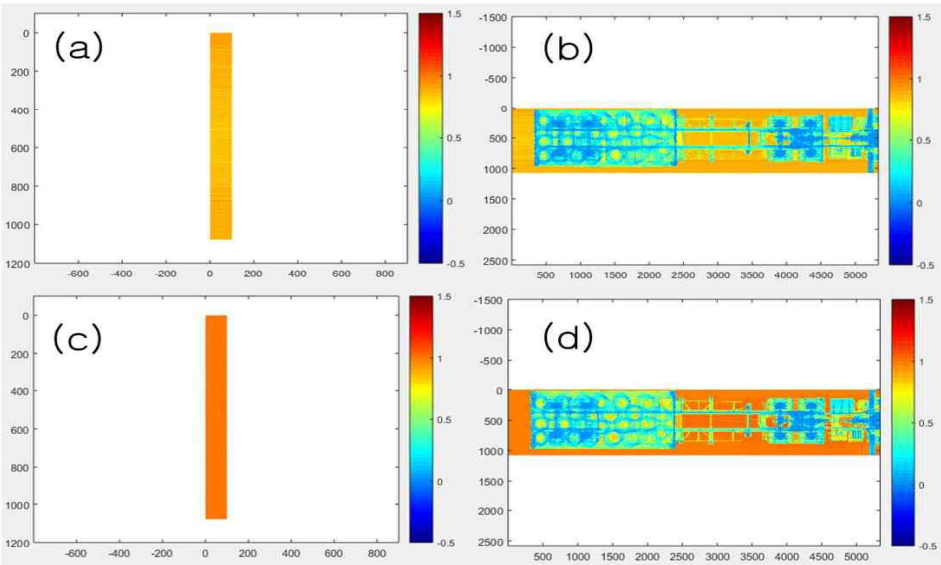


Figure 23. Results of comparison original with processed image of vertical actual inspection image : (a) Background image of original (b) Original image (c) Background image of processed image (d) Processed image

Figure 24는 Figure 22와 Figure 23의 실제 컨테이너 검색 영상의 확대 영상이다. Figure 24(a)는 Figure 22(b)의 보정 전 수평 영상의 확대 영상을 나타내고, Figure 24(b)는 Figure 22(d)의 보정 후 수평 영상의 개선된 확대 영상이다. Figure 24(c)는 Figure 23(b)의 보정 전 수직 영상의 확대 영상을 나타내고, Figure 24(d)는 Figure 23(d)의 보정 후 수직 영상의 개선된 확대 영상이다.

실제 컨테이너 검색의 확대 영상인 Figure 24에서 개선 전 (a)영상과 (c)영상보다 개선 후 확대 영상인 Figure 24 (c)영상과 (d)영상은 영상 전체적으로 가로줄 형태의 잡음이 개선된 것을 확인할 수 있었다.

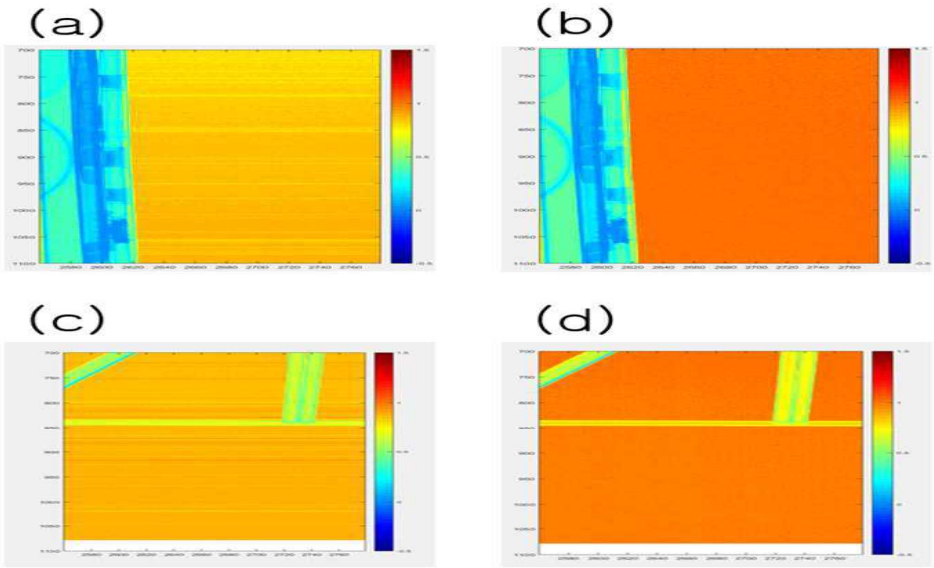


Figure 24. Results of comparison extended image of side with top view in the actual inspection image : (a) Original image of side view (b) Processed image of side view (c) Original image of top view (d) Processed image of Top view

4.2. 컨테이너 검색 영상 잡음 평가

감도 보정을 통한 잡음 제거 효과를 보정 전과 보정 후의 영상 비교를 통해 정성적으로 원본 영상대비 보정된 영상에서 가로줄 형태의 잡음이 많이 감소하였음을 알 수 있었다. 이를 정략적으로 분석하기 위하여 RMS noise level 평가를 시행하였다.

4.2.1. 일일점검 영상의 화질 평가 결과

일일점검에서는 컨테이너 화물 검색과 같은 자동으로 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 제곱평균 제곱근(RMS) 결과치를 산출하였다. 이를 통해 일일점검 영상의 잡음 제거 처리 전·후 영상 화질을 평가하였다.(Table 5)

일일점검 영상에서 제곱평균 제곱근(RMS) 결과치는 낮을수록 영상 화질이 개선된 우수한 영상이다. 원본 수평 영상은 최대 0.1198, 최소 0.0943, 평균 0.1112로 나타났다. 이를 개선한 개선 영상의 수평 영상은 최대 0.0197, 최소 0.0143, 평균 0.0151로 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 0.0209로 나타났다. 이를 개선한 개선 수직 영상은 최대 0.0046, 최소 0.0036, 평균 0.0038로 나타났다. 이는 최대 22.9%, 최소 16.7%, 평균 18.2%의 수치가 줄어들어 영상 화질이 개선됨을 나타내었다.

Table 3. Results of RMS noise level(daily check image(air scanning))

		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

4.2.2. 실제 컨테이너 검색 영상의 화질 평가 결과

실제 컨테이너검색 영상에서는 자동으로 사용된 영상으로 수평 영상과 수직 영상에서 결과의 차이가 있었다. 2017년 6월에 검색한 수평 영상과 수직 영상에 대해 원본 영상과 개선된 영상을 70회씩 측정하여 제곱평균 제곱근(RMS) 결과치를 산출하였다. 이를 통해 실제 컨테이너 검색 영상의 잡음 제거 처리 전·후 영상 화질을 평가하였다.(Table 4)

실제 컨테이너 검색 영상에 적용된 제곱평균 제곱근(RMS) 결과치는 낮을수록 영상 화질이 개선된 우수한 영상이다. 원본 수평 영상은 최대 0.1213, 최소 0.0945, 평균 0.1113으로 나타났다. 이를 개선한 수평 영상은 최대 0.0152, 최소 0.0144, 평균 0.0149로 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 0.0199로 나타났다. 이를 개선한 수직 영상은 최대 0.0047, 최소 0.0036, 평균 0.0038로 나타났다. 이는 최대 24.9%, 최소 17.1%, 평균 19.1%의 수치가 줄어들어 영상 화질이 개선됨을 나타내었다.

Table 4. 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

4.3. 컨테이너 검색 영상 판독 프로그램 개발

4.3.1. 개요

컨테이너 검색 영상 판독 프로그램은 기존의 영상 판독(interpretation) 기능에 히스토그램을 통한 영상 분석(analysis) 기능이 가능하도록 구성되었다. 검색 영상 프로그램은 무손실 원본 영상인 TIFF 파일과 BMP 그리고 JPG 파일 통합하여 사용할 수 있도록 하였다.

영상 판독 기능에서는 컨테이너 검색기에서 만들어진 컨테이너 검색 영상을 불러오기 기능을 통해 영상의 후처리를 할 수 있다. 컨테이너 검색 영상 판독 프로그램은 Figure 25의 메인 화면에서 확인할 수 있는 것처럼 수직 영상과 수평 영상을 동시에 확인할 수 있게 되어 있으며, 우측의 영상 처리 버튼(button)을 통해서 이용하여 기존의 영상 판독 기능을 손쉽게 조작할 수 있다.

Figure 25. Main screen of developed container inspection interpretation software

영상을 분석(analysis)하는 방법에는 히스토그램과 플롯 프로파일(plot profile) 등이 있다. 본 영상 분석 논문에서는 히스토그램을 이용하여 영상을 분석하였다.

영상 분석 기능에서는 Figure 26의 오른쪽 아래 잘라내기(crop) 기능을 이용하여 전체 영역 또는 관심 영역(region of interest, ROI)을 선택하면, 잘라(crop)낸 영역이 관심 영역 창(window)에 보여진다. 동시에 관심 영역에서의 화소(pixel)에서의 각각의 농도 값(density value)을 가지는 화소의 수를 그래프로 나타낸다. 그래프에서 X-축은 화소가 가지는 농도 값, Y축은 각 농도 값이 가지는 빈도수를 나타낸다. X-축의 왼쪽으로 치우칠수록 어두운 영상의 농도 값을 가지는 분포를 나타내며, X-축의 오른쪽으로 치우치면 밝은 영상의 농도 값 분포를 가진다.

본 논문에서 개발된 검색 영상 판독 프로그램에서 제공하는 히스토그램 분석(histogram analysis)은 가독성을 높이기 위하여 피크니스 검출 알고리즘(peakness detection algorithm)을 적용하였다.

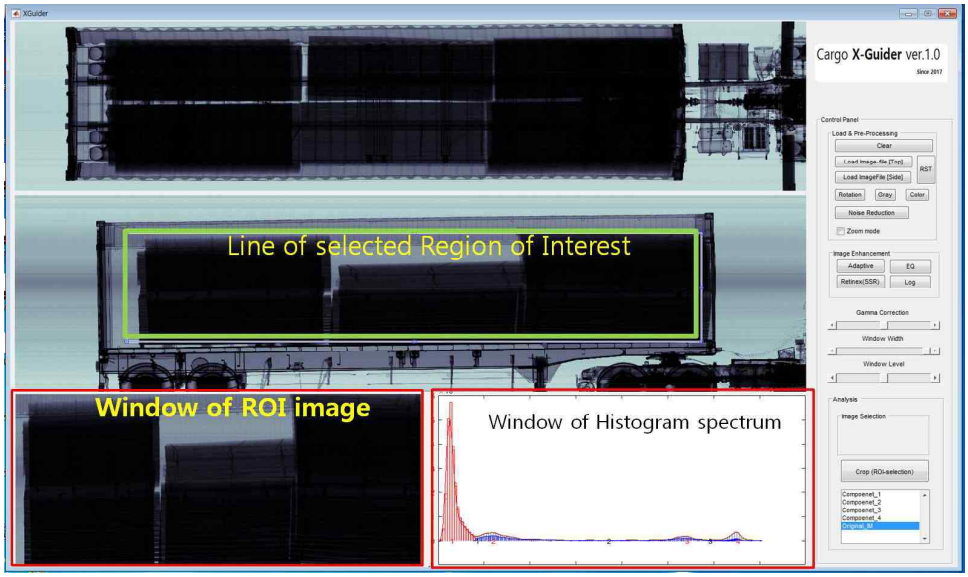


Figure 26. Image analysis screen of developed container inspection interpretation software

컨테이너 검색 영상 판독 프로그램은 화면 구성은 Figure 27과 같이 우측 편에 버튼 형식과 슬라이드 바(slide bar) 조절기 형식으로 디자인 되었다. [Load & Pre-Processing]에서는 수직 영상을 불러올 수 있는 [Load Image-file[Top]], 수평 영상을 불러올 수 있는[Load Image-file[Side]], 불러온 영상을 회전할 수 있는 [Rotation], 영상의 색채(color)를 변화시킬 수 있는 [Gray] 및 [Color], 잡음을 줄이는 기능이 포함된 [Noise Reduction], 영상을 확대 또는 축소할 수 있는 기능은 [Zoom mode]로 구성하였다.

[Image Enhancement]에서는 영상 증강을 통해 판독 능력을 향상하고자 설계하였다. 명암대비(contrast) 제한 적응적 히스토그램 평활화 툴박스 함수는 [Adaptive], 히스토그램 평활화 툴박스 함수는 [EQ], 저대역 필터 [Rotation], 영상의 밝기 조절을 위한 로그 툴박스 함수는 [LOG]로 구성하였다. 또한, Window width 와 Window level과 감마 보정은 미세하게 조절할 수 있는 슬라이드 바로 조절기를 구성하여 영상에서의 밝기 변화를 효과적으로 할 수 있도록 하였다.

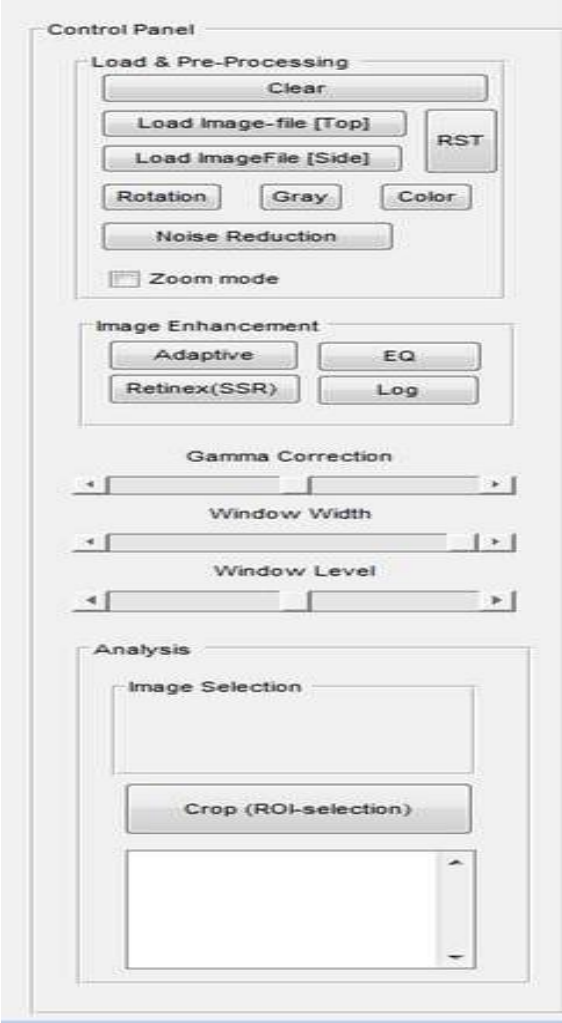


Figure 27. Operation panel of developed container inspection interpretation software

4.3.2. 영상 처리 기법 구현

4.3.2.1. Window width/level 조절 기능

Figure 28(a)는 영상처리 전의 원본 영상이고, Figure 28(b)는 window width/level을 실행한 영상이다. window width 넓은 경우 관용도가 넓게 되어 다양한 밀도 농도를 영상에서 표현할 수 있다. 하지만, window width가 좁으면 뚜렷한 흑백 영상으로 변한다. window width와 window level은 슬라이드 바 조절기를 통해 미세하게 조절할 수 있도록 하였다.

Figure 28. Results of post-processing image by window width/level : (a) Original image, (b) Post-processing image

4.3.2.2 감마 보정(Gamma correction) 조절 기능

감마 보정이 실행된 전후 영상은 Figure 29와 같다. Figure 29(b)와 같이 감마가 1보다 작으면 밝은 영상으로 나타나고, 반대로 Figure 29(c)와 같이 감마가 1보다 크면 어두운 값으로 변하게 된다. 감마 보정은 슬라이드 조절기를 통해 미세하게 조절할 수 있도록 하였다.

Figure 29. Results of post-processing image by gamma factor : (a) Original image (b) Controlled image with gamma factor greater than 1 by slice bar (c) Controlled image with gamma factor less than 1 by slice bar

4.3.2.3. 히스토그램 평활화(Histogram equalization) 조절 기능

영상의 농도 분포를 나타내는 히스토그램의 형태가 균일하도록 명암값의 분포를 조정하는 것이다. 일반적으로 주변 화소 값을 이용하여 전체적으로 영상을 부드럽게 한다. 이 평활화는 경계 부분까지 부드럽게 변하면서 영상의 선예도가 저하되어 흐릿해 보이는 단점이 있다. 히스토그램 평활화는 [EQ]버튼(button)을 누르면 히스토그램 평활화가 영상에서 표현될 수 있도록 하였다.(Figure 30)

Figure 30. Results of post-processing image by histogram equalization : (a) Original image (b) Controlled image

4.3.3. 검색 영상 판독 프로그램 적용

본 논문에서 개발된 검색 영상 판독 프로그램은 기존 판독 프로그램과 가장 큰 차이가 히스토그램을 통해 농도 차이가 적은 영상을 시각적 그래프로 확인할 수 있다는 것이다. 이를 검증하기 위해 농도 차이고 적고 국내 밀반입이 빈번한 고추(Chilli)에 히스토그램 분석을 적용하고자 한다.

고추는 냉동 고추(frozen red chilli) 또는 마른 고추(dried red chilli)로 수입된다. 하지만, 마른 고추는 고세율 농산물로 세율이 270%이며, 냉동 고추는 세율이 27%이다. 이 점을 악용하여 수입신고는 냉동 고추를 하고 실제 수입 물품은 마른 고추를 가져오는 일이 빈번히 발생한다. 하지만 냉동 고추와 마른 고추의 경우 영상에서 농도 차이가 적어 판독자가 판독하기 까다로운 검사 품목이다.

Figure 31은 고추영상을 개발된 검색 영상 판독프로그램의 영상 분석 기능에 적용하였다. 영상 분석은 Figure 31(a)의 crop(ROI) 버튼을 통해 Figure 31(c)의 수평 영상 창에 관심 영역을 Figure 31(g)와 같이 상자 모양으로 적용하였다.

그 결과 Figure 31(d)의 관심 영역 창에 crop(ROI) 영상이 보이고, Figure 31(e)의 히스토그램 창에 히스토그램이 보인다. 농도 구분이 어려웠던 고추 영상이 Figure 31(e)에서는 한 가지 성분은 빨간색의 히스토그램의 보이고, 또 다른 한 가지 성분은 파랑색으로 보여주어 두 가지 성분이 있음을 보여준다. 또한 이 두 가지 성분을 Figure 31(f)의 목록 상자에서는 crop(ROI) 기능이 적용된 잘린 영상의 원본과 구성 성분을 component 1과 component 2로 총 3가지 농도를 가진다는 것을 알 수 있었다.

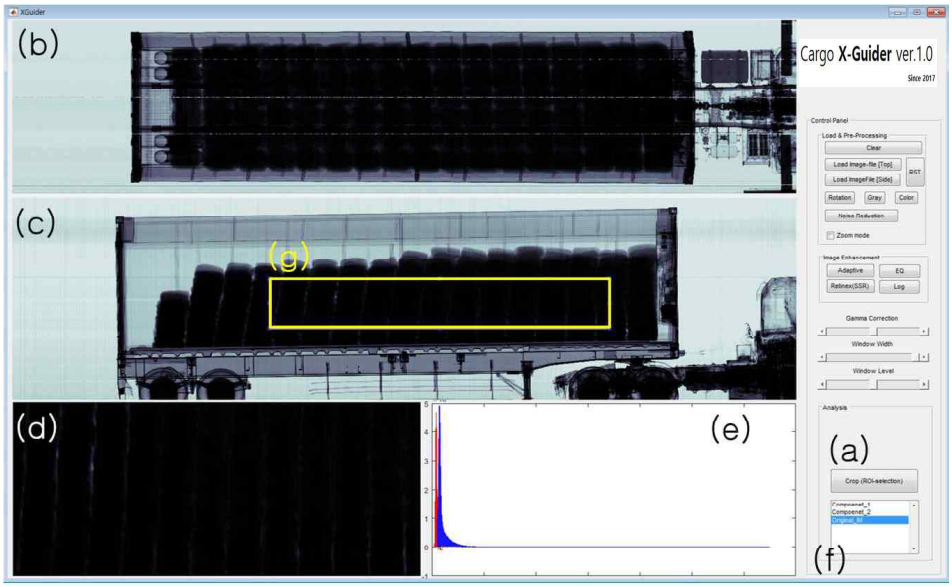


Figure 31. Main screen for analyzing the frozen red chilli image by developed container inspection interpretation software : (a) Crop&ROI function button (b) Window of Top-view (c) Window of Side-view (d) Window of segmentation (e) Window of histogram (f) List box of segmentation (g) Yellow box of Crop& ROI

Figure 31(d)의 관심 영역 창에서는 이 3가지 구성 성분에 따라 Figure 32와 같이 보여준다. Figure 32(a)는 crop(ROI) 기능이 적용된 잘린 원본 영상, Figure 32(b)의 검은색 영역은 Figure 31(f)의 component 1의 영상, Figure 32(c)의 검은색 영역은 Figure 31(f)의 component 2의 영상의 영상을 보여준다.

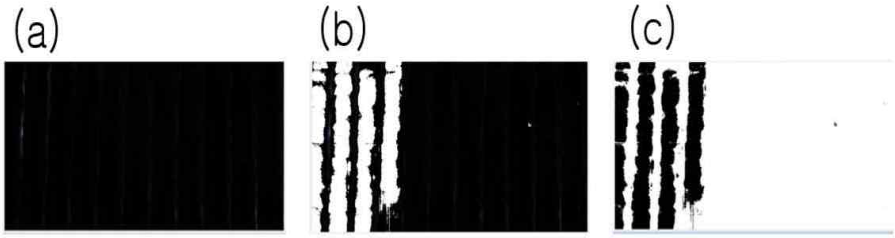


Figure 32. Results of post-processing image divided into three components in the region of interest : (a) Original image of segmentation (b) Black is component 1 of segmentation (C) Black color is component 2 of segmentation

Figure 33은 Figure 31(e)에서 보여준 히스토그램을 확대하였다. Figure 33에서 보는 것과 같이 히스토그램은 구성 성분 목록 상자에서와 같이 두 가지 성분을 보여주고 있다. 농도가 상대적으로 어두운 영상을 빨간색의 히스토그램, 농도가 상대적으로 밝은 영상을 파란색의 히스토그램으로 보여주었다.

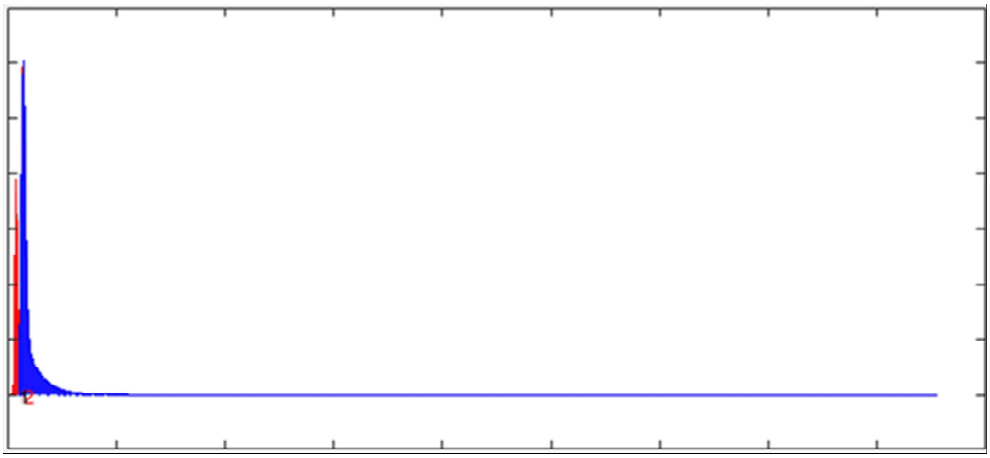


Figure 33. Enlarged image of histogram analysis results according to the analysis of frozen red chilli : (a) Red is component 1 of segmentation (b) Blue is component 2 of segmentation

이를 통해 개발된 검색 영상 판독 프로그램의 분석기능은 농도 차이가 적은 영상을 히스토그램으로 시각화하여 보여줌으로써 판독자로 하여금 쉽고 빠르게 정확한 분석을 할 수 있을 것이다.

5. 고찰

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

본 연구에서의 결과는 단순히 컨테이너 검색 장비의 작동을 확인하는 일일점검 영상을 활용하여 검출기 감지기의 작동 상태를 확인할 뿐만 아니라, 감도 보정을 통한 영상의 잡음이 개선되었음을 영상으로 확인할 수 있었다. 또한 제곱평균 제곱근(RMS) 결과치가 일일점검 영상의 수평 영상에서 원본 영상 대비 평균 13.5%, 일일점검 영상의 수직 영상에서는 원본 영상 대비 평균 18.2%, 실제 컨테이너 검색 영상의 수평 영상에서는 원본 영상 대비 평균 13.4%, 실제 컨테이너 검색 영상의 수직 영상에서는 원본 영상 대비 평균 19.1%, 가 감소하여 화질이 향상되는 것을 나타내었다. 수직에 설치된 검출기에 비교해 수평에 설치된 검출기의 사용량이 많아 검출기의 노후화가 더 심해 영상 화질이 더 떨어지는 것을 관찰할 수 있었다. 일일점검 영상 및 실제 컨테이너 검색 영상 모두에서 잡음 레벨이 감소하는 제곱평균 제곱근(RMS) 결과치로 나타났다. 이는 원천적으로 검출기의 감도를 조정하는 것은 아니나. 영상의 후처리 과정을 통하여 마치 하드웨어의 감도를 조정하는 효과를 얻을 수 있었다. 이를 통해 판독자로 하여금 컨테이너 검색 영상의 화질이 향상되어 판독 능력이 향상될 것이 기대된다.

검색 영상 판독프로그램 개발을 통하여 영상 판독에 사용되는 기능인 밝기 영상 처리를 구현하였으며 추가로 영상 분석 기법을 적용하였다. 이 판독 프로그램의 개발은 현재 해외 제작사마다 고유의 영상 포맷을 사용하여 전용 판독 프로그램을 사용해야 하는 단점을 보완하여 모든 영상을 사용할 수 있다. 이는

세계 관세 기구(WCO)에서 진행하고 있는 통합된 영상 포맷의 선행연구로서 가치를 가진다고 말할 수 있을 것이다.

농도 차이가 적어 판독하기 어려웠던 냉동 고추에 혼입된 영상을 분석하는 기법을 제안하였다. 이 제안을 바탕으로 판독 프로그램에 적용하여 다양화되고 지능화되는 밀수 수법에 대응하고자 하였다.

본 연구에는 결과적으로 기계 작동 확인용으로만 사용되었던 일일점검 영상을 활용하여 화질 평가에 활용하여 영상 화질 향상에 이바지하였다. 판독 프로그램에서 사용된 다양한 영상 처리 기능을 구현하였다. 실제 판독 프로그램으로 개발함으로써 판독에 실패할 확률이 줄어들어 판독 능력이 향상되고 불법 밀수입 및 부정 불법 무역의 차단에 효과적일 것으로 기대한다. 또한 컨테이너 검색기의 국내 기술개발이 아직 시작단계에서 본 연구가 국내 기술력 확보 및 향상에 크게 이바지할 것이라 생각한다.

6. 결론

컨테이너의 수출입 물품의 적하목록 및 밀수입을 차단하기 위한 컨테이너 검색 영상을 통해 다음의 연구를 수행하였다. 첫째, 컨테이너 검색 영상의 잡음을 평가하고 잡음 제거를 통한 화질 개선연구를 하였다. 둘째, 실제 검색센터에서 사용할 수 있는 윈도즈(windows) 기반의 검색 영상 판독 프로그램 개발하였다. 셋째, 영상에서 농도 차이가 적어 판독하기 어려운 수입 물품을 분석할 수 있는 분석 기법에 관한 연구를 수행하였다.

화질 평가 및 개선 연구는 감지기의 감도 보정을 통한 잡음 제거 알고리즘을 확립하였고 매트랩(MATLAB)을 이용하여 개선된 화질을 구현하였다. 개선된 영상의 신뢰도를 향상하기 위해 잡음 화질 평가 방법인 제곱평균 제곱근(RMS) 잡음 레벨을 정량적으로 평가하였다. 이를 통해 제곱평균 제곱근(RMS) 결과치가 일일점검 영상의 수평 영상에서 원본 영상 대비 평균 13.5%, 일일점검 영상의 수직 영상에서는 원본 영상 대비 평균 18.2%, 실제 컨테이너 검색 영상의 수평 영상에서는 원본 영상 대비 평균 13.4%, 실제 컨테이너 검색 영상의 수직 영상에서는 원본 영상 대비 평균 19.1%, 가 감소하여 화질이 개선되는 것으로 나타났다. 참고로 수직 영상보다 수평 영상의 노후화가 더 진행된 것으로 판단되므로 수평 검출기에 대한 유지보수가 요구된다.

영상 판독 프로그램 개발 연구는 잡음 제거 알고리즘이 반영되었고 검색 영상 판독에 주요한 영상 처리 기능이 포함된 판독 프로그램으로 개발되었다. 개발된 판독 프로그램은 기존 판독 프로그램의 단점인 다양한 영상 포맷의 사용이 가능하도록 설계하였으며, 복합적인 기능을 활용할 수 있도록 하였다. 또한, 기존 판독 프로그램에서는 없는 새로운 영상 분석 기능인 피크니스 검출(peakless detection)과 분할(segmentation) 알고리즘을 적용하여 영상 판독 프로그램을 더욱 효과적이고 국내 실정과 환경에 맞게 개선하였다.

농도 차이가 적어 판독하기 어려운 수입 물품을 분석할 수 있는 분석 기법에 관한 연구는 영상에서 농도 차이가 적어 판독하기 어려운 수입 물품을 분석할 수 있는 히스토그램 분석 기법을 제안하였고 냉동 고추 속에 혼입된 건 고추 영상에 적용하였다. 이는 기존 판독 프로그램에서 없는 새로운 기법으로 피크니스 검출 알고리즘을 적용하여 판독자로 하여금 가독성을 높였으며, 분할 알고리즘을 적용하여 개장 검사에서 물건을 쉽게 구별할 수 있는 구분할 수 있는 영상이 제공되도록 개선하였다. 이는 히스토그램을 이용하여 새로운 컨테이너 검색 영상 판독 기법을 개발하였고, 냉동 고추에 혼입된 건 고추 등을 판별 평가하는데 적용한 결과 판별 능력이 우수한 것으로 나타났다. 하지만, 제안된 분석 기법은 기존에 적발된 영상을 분석한 것으로 실제 고추의 수분 분석 결과를 비교해야 더 정확한 영상 분석 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

결과적으로 본 연구결과는 컨테이너 검색 영상에 대한 화질 평가를 연구하여 화질을 개선하였다. 농도 차이가 적어 판독이 어려운 수입 물품에 대해 피크니스 검출 알고리즘이 적용된 히스토그램 분석 방법을 냉동 고추 속에 혼입된 건 고추 영상에 적용하여 분석이 쉬울 것으로 기대된다. 잡음 제거 알고리즘과 피크니스 검출 알고리즘을 적용한 판독 프로그램은 실무에서 직접 사용할 수 있도록 개발하였다. 해외 제작사의 판독 영상 뷰어(viewer)로 사용할 수 있다. 컴퓨터 기반 교육(CBT) 등 다양한 현장에서 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

앞으로는 다양한 수입 물품의 패턴을 인식하고 기록하여 자동으로 혼입 물품을 검출할 수 있는 인공지능기반의 보조 판독 프로그램 개발에 관한 연구가 계속되어야 할 것이다.

참고문헌

(1) 관세국경관리연수원. 우범화물선별검사. 2016.

(2) 관세국경관리연수원. 수입C/S위험관리기법. 2010.

(3) 관세국경관리연수원. 우범화물선별 및 검사기법. 2010.

(4) 관세국경관리연수원. 수출입물류실무. 2017.

(5) 부산경남본부세관. 해상물류. 2011.

(6) 조규성. 대형 컨테이너 방사선 검색기 기술 및 국내 현황. 동위원소회보, 한국방사선동위운소협회, 2006년, 21(2).

(7) 조규성. 화물 검색 기술. 동위원소회보, 한국방사선동위원소협회, 2004, 17(1).

(8) 관세청. 관세연감. 2012.

(9) 관세청. 관세연감. 2015.

(10) 수원지방검찰청 보도자료. 회사 수출입 컨테이너를 이용하여 200억원 상당의 필로폰 6 kg 등을 밀수한 신종 밀수사법 3명을 적발하여 구속기소. 2015.

(11) 관세청 보도자료. 밀수담배 컨테이너 검색기 적발. 2015.

(12) 관세청 보도자료. 설 명절 특수노린 신종 수법 고추 밀수 연속 적발. 2016.

(13) 관세청 홈페이지(www.customs.go.kr)

(14) 이지혜. 위험화물을 사용한 해상테러와 대응방안에 관한 연구. 한국해양대학교 석사학위논문, 2016.

(15) 윤창기. 수출입화물의 국제운송 보안강화에 관한 연구. 건국대학교 석사학위논문, 2010.

(16) 조성원, 구종순. 미국의 컨테이너 100% 검색제도와 우리나라 공급망 관리 참여자의 영향과 대응 방안. 산업경제연구, 2009, 22(3) : 1461-1485.

(17) 허은숙. 미국물류보안규범이 우리나라의 공급망 참여자에 미치는 영향과 대응방안. 통상정보연구, 2008, 10(1) : 217-236.

(18) 남풍우, 한상현. 미국 컨테이너보안협정(CSI)의 운용 현황과 문제점에 관한 연구. 산업경제연구, 2004, 17(6) : 2651-2671.

(19) 한상현. 국제해상컨테이너와 관련된 테러행위의 유형과 보안전략의 고찰. 관세학회지, 2008, 9(3) : 29-49.

(20) 관세청 보도자료. 컨테이너 검색기 국산화 개발 추진 : 관세청과 한국원자력 연구원 상호협력 양해각서 체결. 2015.

(21) 해양수산부 보도자료. 세계 최초 3차원 고속 컨테이너 검색기 개발. 2017.

(22) Tims S. Norton, Asha Menon. Image format standardization : a revolution in the making. WCO news, 2017, 83 : 4-6.

(23) Sung-woo Kwak, Gyu-seong Cho, Jin-sung Kim. Optimization of High Energy X-ray Detector Based on SNR in Cargo Container Inspection System. IEEE, 2004.

(24) 유주완, 이종민, 김회율. 공간 적응적 임계값 설정을 통한 X-ray 영상의 잡음 제거. 한국정보과학회 학술발표논문집, 2005, 32(2) : 934-936.

(25) 황진호, 김영선, 김종남. 항만 물류 자동화를 위한 X-ray 영상의 화물 검사 시스템. 한국멀티미디어학회 학술발표논문집, 2006, : 627-630.

(26) Wicher Visser, Adrian Schwaninger, Diana Hardmeier, et al. Automated Comparison of X-ray Images for Cargo Scanning, 2016.

(27) 조영호. 고에너지 X-ray를 이용한 화물 검색 시설에서의 (n,γ)반응에 의한 방사화생성물. 서울대학교 박사학위 논문, 2006.

(28) 전라북도 보도자료. 정읍 첨단방사선연구소 국산 컨테이너검색기 상용화 성공. 2016.

(29) 김보배. 섬광체와 광-다이오드 센서를 결합한 검출기 특성 연구. 경북대학교 석사학위 논문, 2015.

(30) 홍성숙, 김호철. Digital Radiography System에서 X선 광자 검출 방식에 따른 선량 및 화질 특성에 관한 연구. 전자공학회. 2013. 50(12) : 247-253.

(31) 신영훈, 배석환, 김용권. 디지털 X선 영상검출기의 잔류편차 및 이득 교정 알고리즘. 대한전자공학회 학술대회, 2016, 1312-1313.

(32) Gary T. Barnes. Radiographic mottle : A Comprehensive theory. Medical Physics, 1982, 9(5) : 656-667.

(33) 신동규. 평판 X선 영상 시스템 개발에 관한 연구. 연세대학교 박사학위 논문, 2005.

(34) 이미나. 디지털 의료영상에서 Flat-Field 보정에 따른 Noise Power Spectrum 분석. 대구가톨릭대학교 석사학위 논문, 2013.

(35) 신수연, 서재원. 양방향 가중치를 이용환 X-선 영상 잡음 제거 알고리즘. 한국정보통신학회논문지, 2007, 21(1) : 137-143.

(36) 고승현, 수레쉬 라에 판트, 이준환. 방사선 의료영상 잡음제거를 위한 퍼지논리 활용 다해상도 기반 유도필터. 한국지능시스템학회 논문지, 2014, 24(4) : 372-378.

(37) 엄일규, 우동현, 김유신, 등. 웨이블릿 계수의 혼합 모델링을 이용한 영상 잡음 제거. 한국통신학회논문지, 2003, 28(8C) : 788-794

(38) 권덕문, 김영근, 김영일, 등. 의료영상정보학. 대학서림, 2014.

(39) Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, Steven L. Eddins. MATLAB을 이용한 디지털 영상처리. 한티미디어, 2015.

(40) Nayana R. Shenoy, Kamala C, Vindhya K. A Matlab GUI : Designed to perform basic image processing operations. International journal of advanced technology in engineering and science, 2016, 4(1) : 88-96.

(41) 김경중. MATLAB을 이용한 GUI 생성과 활용. 교유사, 2015.

(42) 편도영, 김정수, 정영진. 동적 양전자방출단층 영상 분석을 위한 소프트웨어 개발 : DIA TOOL. 방사선과학기술학회지, 2016, 39(3) : 369-376.

(43) 명현국, 최훈희. MRI Data 가시화용 후처리 프로그램 개발. 한국전산유체공학회 학술대회논문집, 2007. 67-72.

(44) 강보선. 디지털진단의료영상 화질평가 프로그램 개발. 한국방사선학회 논문지, 2008, 2(2) : 5-10.

(45) 문선호. X-ray 화물 검색시스템의 영상 압축 기법과 영상처리 Software 구현. 고려대학교 석사학위논문, 2004.