
듀얼센서 기반 X-선 검색영상 스테레오 가시화 연구

이남호* · 황영관** · 박종원*** · 임용곤***

A Study on Stereo Visualization of the X-ray Scanned Image Based on Dual-line Sensors.

Nam-ho Lee* · Young-Gwan Hwang** · Jong-Won Park*** · Yong-gon Lim***

요 약

본 논문에서는 고속 이동 컨테이너 화물을 효율적으로 검색하기 위한 스테레오 방사선 영상 기반 3차원 형상화 연구에 관하여 기술하였다. 스테레오 방사선 영상은 X-선 발생장치, 선형 방사선 센서 그리고 이동 스테이지로 구성된 일련의 장치로부터 실물을 대상으로 획득하였다. 두 개의 방사선 센서는 검색 대상체의 정류된 X-선 영상을 얻도록 설계 및 제작되었다. 스테레오 X-선 영상을 이용하여 두 영상간의 대응점을 찾는 매칭 알고리즘을 구현하고, 대상체의 실제 3차원 형상을 복원과정을 연구하였다. 대상체는 컨테이너 화물을 모사하기 위해 평형 철재 상자 내부에 넣은 다음 시험하였다. 3가지 대상체에 대해 스캔시험과 3차원 복원과정을 차례로 진행하였으며, 방사선 영상의 정보부족으로 인한 한계를 극복하기 위해 에지정보를 기반으로한 영상복원을 시도하였다. 시험결과는 제안한 기술이 컨테이너 화물 검색에서 보다 효율적인 정보를 제공할 수 있음을 확인시켜 주었다.

ABSTRACT

This paper presents a 3-D visualization technique using stereo radioactive images to provide efficient inspection of fast moving cargo objects. The proposed technique can be used for such objects which CT or MRI cannot inspect due to restricted scan environment. Stereo radioactive images are acquired from a specially designed equipment which consists of a X-ray source, linear radioactive sensors, and a moving stage. Two radioactive sensors are installed so that rectified stereo X-ray images of objects are acquired. Using the stereo X-ray images, we run a matching algorithm to find the correspondences between the images and reconstruct 3-D shapes of real objects. The objects are put in a parallelepiped box to simulate cargo inspection. Three real objects are tested and reconstructed. Due to the inherent ambiguity in the stereo X-ray images, we reconstruct 3-D shapes of the edges of the objects. The experimental results show the proposed technique can provide efficient visualization for cargo inspection.

키워드

스테레오 영상, X-선 영상처리, 화물검색장치

Key word

Stereo, X-ray, Image, Cargo, Inspection

* 한국원자력연구원 (nhlee@kaeri.re.kr)

** 한국원자력연구원

*** 한국해양연구원

접수일자 : 2010. 07. 13

심사완료일자 : 2010. 08. 30

I. 서 론

쿼리 부부가 라듐을 발견한 이후 방사선은 의료분야 뿐만 아니라 국방, 산업, 농업, 환경 등의 광범위한 분야에서 이용되고 있다. 산업분야에서는 주로 비파괴검사용 장비로 활용되고 있으며, 공항 출입국관리소의 X-선 검색대는 대표적인 방사선 응용 비파괴 영상장비이다.

최근 미국은 9.11 사태 이후 수출입물류의 보안 및 안정성 강화를 위해 자국으로 수입되는 모든 컨테이너 물류의 방사선 검색을 의무화하는 법률을 제정하였다. 이로 인해 컨테이너 물류 검색장치의 수요가 세계적으로 급증함에 따라 미국, 중국 등은 물류 검색장치의 개발에 심혈을 기울여 왔고, 최근에는 일부제품의 상품화 단계에 이르고 있다.

그러나 현재 개발된 검색장치는 대부분 검사 오브젝트의 방사선 스캔 단면영상을 제공하고 있어서, 이 2차원(2 Dimension, 2-D) 방사선 영상정보만으로는 물류 컨테이너 내부 오브젝트의 형태를 정확히 판단하는데 한계가 있었다. 이러한 문제를 극복하고 보다 신뢰도 높은 검사가 가능하도록 하기 위해서는 오브젝트에 대한 3차원(3 Dimension, 3-D) 방사선 검색정보가 필요하게 되었다. 그러나 완벽한 3차원 내부 영상정보를 제공하는 CT(Computed Tomography)나 MRI(Magnetic Resonance Image)는 검사시간과 설치공간의 제약으로 인해 고속 선형 이동성이 요구되는 컨테이너 물류용 검사장치에 적용하기엔 한계가 있다.[1-4]

본 논문에서는 기존 2-D 방사선 영상에 비해 보다 효과적인 검색정보를 제공함과 동시에 CT나 MRI로는 불가능한 고속 이동 컨테이너에 대한 적용성을 동시에 높일 수 있는 새로운 기술인 ‘방사선 검색영상의 스테레오 영상화’ 즉, 스테레오 X-선 검색장치로 스캔한 두 방사선 영상의 3차원 가시화에 대한 연구를 시도하였다.

연구 진행은 먼저 두 대의 X-선 라인 디텍터를 이용하여 축소형 컨테이너 내 실물 오브젝트를 대상으로 X-선으로 스캔하여, 두 장의 스테레오 방사선 영상을 획득한다. 이어 영상 매칭(Matching)을 통해 스테레오 영상간의 동일위치를 탐색한 다음 이 매칭결과와 스캔장치의 캘리브레이션(Calibration) 매트릭스 정보를 기반으로 오브젝트의 3-D 데이터를 복원하고, 최종적으로 3차원 복원정보를 가시화하게 된다. 본문에서는 개발한 스테레오 X-선 영상 시스템의 구성과 기능에 대해 설명하고, 이

시스템을 통해 세 개의 오브젝트를 컨테이너 박스에 담은 상태로 스캔하여 스테레오 방사선 영상을 획득한 다음, 각각의 3차원 정보를 추출하고 가시화하는 연구과정을 상세히 기술하였다.

실험결과를 통해 본 연구에서 제안한 방사선 스캔영상에 대한 스테레오 영상화 기술이 3차원 컨테이너 검사장치로서 현장에서 활용될 가능성이 충분함을 확인하게 되었다.

II. 스테레오 X-선 검색장치 및 구동 알고리즘

2.1 스테레오 X-선 영상 획득장치

그림 1은 설계 제작한 축소형 스테레오 X-선 검색장치의 그래픽 모델로 X-선 발생장치(X-ray Generator), 검색 오브젝트 등속 선형 스캔용 스테이지(Stage), 방사선 디텍터(Detector)로 두 대(Dual-line)로 구성 되어 있다.

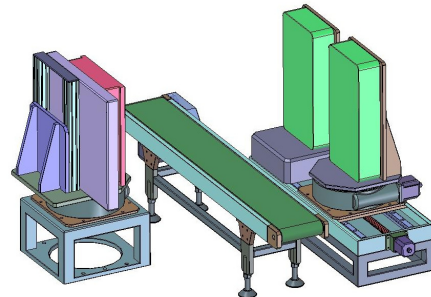


그림 1. 스테레오 X-선 검색장치의 그래픽 모델
Fig. 1. The graphic model of the stereo inspection system

장치 구성중 X-선 발생장치는 컨테이너 내부 오브젝트의 비파괴 검사용이며, 두 대의 디텍터는 X-선 장치로부터 오브젝트의 깊이에 따른 시차(Disparity)를 가지는 두 장의 스테레오 영상을 획득하기 위한 구조로 설계된 것이다.

X-선 발생장치는 관전압이 40kV에서 최대 120kV까지 인가할 수 있고 전류는 250 μ A에서 7,500 μ A 범위에서 조정 가능하다. X-선 발생 튜브(Tube)는 장치 전면부로부터 81.75mm 안쪽, 밑면에서 101.6mm 위, 그리고 왼쪽 모서리로부터 367.05mm에 위치하고 있다. X-선 빔의 방출

부위에는 0.4mm 두께의 알루미늄 필터를 부착하였고, 방출 X-선 빔은 상하로는 80°, 좌우는 최대 10°의 각을 갖도록 설계하였다. 본 연구에서 사용된 X-선의 에너지는 129keV이다. 등속 스캔용 선형 스테이지는 AC 모터로 구동하였고, 모터의 기어비는 9:1, 벨트를 포함한 축의 직경은 62mm, 모터의 RPM은 1,550rpm으로 최대속도는 33 meter/min이며, 실제 실험시 오브젝트 구동 스캔속도는 5 m/min로 설정하고 방사선 영상을 획득하였다.

스테이지 상에 놓인 검사용 오브젝트는 두 개의 라인 디텍터에서 스캔되어 두 장의 이차원 방사선 영상으로 획득되는데, 두 스테레오 영상간의 시차 제어를 위해 두 디텍터 간의 간격을 조절할 수 있도록 하였고 동시에 디텍터와 방출 X-선의 광축 일치(Align)를 위해 그림 1에서와 같이 디텍터 하부에 회전 스테이지를 구성하였다.

듀얼 라인 디텍터는 1차원 선형배열센서(Linear array sensors)로 640개의 화소(Pixels) 센서를 수직으로 적층한 구조이다. 각 화소인 포토다이오드 센서는 높이 0.4mm, 폭 0.3mm의 형태로 전면에 부착된 신틸레이터(CsI)에서 변환된 X-선의 광정보를 취득하게 된다. 또한 디텍터 전면에 부착된 콜리메이터(Collimator)는 0.4mm의 너비로 설계되었고 디텍터의 최소 영상 집적시간은 0.5ms이므로 0.3mm의 폭을 고려할 경우 최대 스캔 속도, 60cm/s로 오브젝트 검색이 가능함을 알 수 있다. X-선 발생 장치로부터 디텍터까지의 거리는 1,005mm인데, 디텍터 내부의 X-선 감지용 포토다이오드 센서가 표면으로부터 내부 10mm에 위치하고, X-선 발생지점(Spot)이 장치 표면으로부터 81.75mm 안쪽에 놓여있어 X-선 장치와 디텍터 간의 정확한 거리는 1,096.8mm로 계산된다.

2.2 장치구동 및 영상획득용 프로그램

스테레오 X-선 영상을 얻기 위한 윈도우 기반 프로그램을 그림 2와 같이 개발하였다. 이 프로그램은 선형 스테이지를 제어하여 검사용 오브젝트를 등속 이동시키면서 X-선에 의한 오브젝트 투과영상을 스캔하여 2-D 영상을 획득하도록 구현한 것으로서 다음의 장치 초기설정 기능을 함께 수행한다. 구동장치의 조정값을 설정하는 ‘Scan Setting’에서는 팝업 윈도우를 통해 X-선 발생장치와 이송장치, 그리고 디텍터의 각 변수들을 검색 오브젝트의 물리적 특성에 맞게 설정한다. 그리고 ‘Scan Init.’은 설정된 변수값을 기준으로 장치에 대한 초기화를 수행하고, ‘Scan Start’는 영상스캔의 시작을 지시한다.

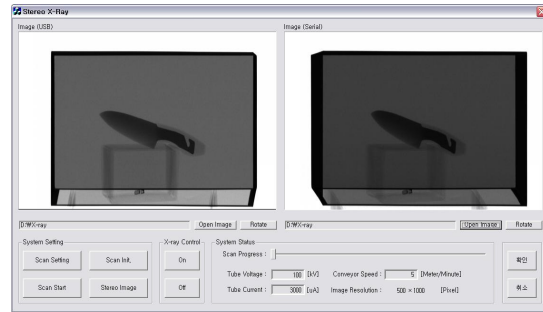


그림 2. 장치운용 및 영상획득 프로그램
Fig. 2. A System control and acquisition software

이상의 설정이 완료되면 ‘Stereo Image’로 스테레오 영상을 획득하게 되며, 스캔 결과의 영상은 그림 2에서와 같이 두 장의 2-D 이미지로 디스플레이 되고, 동시에 파일로 저장된다.

III. X-선 영상획득 및 스테레오 가시화 시험

3.1 X-선 스테레오 가시화 시험절차

이상에서 설명한 스테레오 X-선 영상장치와 영상획득 프로그램을 사용하여 실제 오브젝트를 대상으로 스테레오 방사선 영상을 획득하고 오브젝트의 3차원 형태를 가시화하는 연구를 그림 3에서와 같은 과정으로 진행하였다.

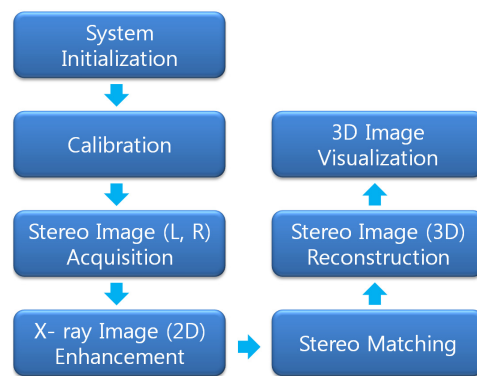


그림 3. 스테레오 X-선 영상획득 및 3차원가시화과정
Fig. 3. Steps of stereo acquisition and 3D visualization

초기에 X-선 발생장치와 디텍터를 초기화(Initialization) 하고 장치의 기하구조 특성을 캘리브레이션(Calibration) 한다. 전체 장치의 기하구조에 대한 캘리브레이션 과정은 스캔된 오브젝트의 정확한 3-D 형태복원 과정에 필수적인 정보를 제공하게 된다.

다음은 장치구동과 더불어 두 디텍터로부터 스테레오 X-선 영상을 획득하는 과정으로, 두 영상의 중심이 영상 내 동일 수직 좌표축 상에 위치하도록 하기 위해 두 디텍터의 중심을 일치시켜 진행한다. 이러한 등록(Registration) 절차는 두 영상 동일위치 탐색(Search)의 범위를 일정 범위로 제한할 수 있게되어 신속한 스테레오 매칭(Stereo matching)을 가능하게 해 준다.

획득된 초기 방사선 스테레오 영상은 많은 잡음신호를 포함하고 있기 때문에 다양한 잡음 필터링 처리를 통하여 영상 개선(Enhancement)이 필요하며, 그 후에 두 영상에서 동일 위치를 찾는 스테레오 매칭과정이 진행된다. 이 매칭결과에 앞서 구한 장치 캘리브레이션 정보를 보정하여 영상 내 해당 화소별 동일 위치의 깊이(Depth) 정보를 계산하고, 최종 도출된 깊이정보를 3-D 그래픽 모델로 변환하여 가시화함으로써 검사용 오브젝트의 3차원 정보를 복원하게 된다.

3.2 X-선 스캔 영상 획득

실제 컨테이너 내에 있는 오브젝트의 스테레오 X-선 영상을 얻는 실험을 위해 그림 4(a)와 같이 선형 스테이지에 시험용 오브젝트를 얹은 후 박스로 오브젝트를 씌웠다. 철 재질의 박스는 컨테이너를 모사하기 위한 것으로 너비, 깊이, 높이가 각각 360mm, 144mm, 144mm이고, 판의 두께는 5mm로 실물 컨테이너 1/10 축소 형태로 제작하였다. 오브젝트는 디텍터에 대해 전면과 후면이 서로 다른 깊이(Depth)감을 갖도록 비스듬하게 위치시켰다.

8mm/sec 등속으로 선형 스테이지를 이동하면서 얻은 그림 4(a)의 X-선 스테레오 영상이 그림 4(b)이다. 이 때 두 디텍터의 베이스 라인 간격은 150mm로 설정하여 디텍터 간의 시야각은 약 7.7896°로 계산된다. 그림 4(b)의 두 영상을 자세히 살펴보면 시차(Disparity)가 존재함을 알 수 있는데, 이는 두 영상의 깊이정보가 서로 달라 발생된 것이다.

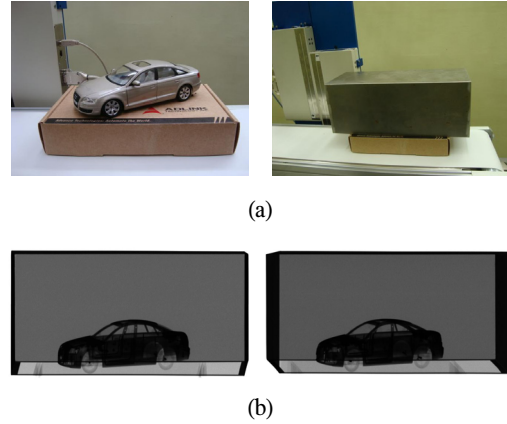


그림 4. 스테레오 X-선 영상의 예
(a) 시험용 오브젝트와 덮개 박스
(b) 두 디텍터에서의 X-선 스캔영상

Fig 4. Sample Image of stereo X-ray Images
(a) The test object and the cover box
(b) Example of stereo scan images

3.3 두 X-선 검색영상기반 3차원 검색정보가시화

획득한 스테레오 X-선 영상을 이용하여 오브젝트의 3차원 형태를 복원하고 가시화하는 방법과 과정은 다음과 같다. 제작한 X-선 스캐닝 장치는 3차원 좌표로 표현되는 방사선 발생장치와 검사용 오브젝트, 그리고 2차원 좌표로 나타나는 방사선 스캔 영상의 상관관계를 근거로 그림 5와 같이 모델링할 수 있다. 그림에서 오브젝트 상의 임의 3차원 실측점(x,y,z)에 대해 두 디텍터에 투영(Projection)되는 좌, 우 각 영상의 좌표축은 다음의 수식 1로 표현된다.[4-6]

$$u_k = \frac{x - T_{xk} - (z - T_{zk}) \tan \theta_k}{S_k} \quad (1)$$

$$v_k = f_k \cos \theta_k \frac{y - T_{yk}}{z - T_{zk}} + p_{vk}$$

여기서, $T_k = (T_{xk}, T_{yk}, T_{zk})$ 는 월드(World) 좌표축으로부터 카메라 좌표축으로의 이동(Translation), θ_k 는 y축 방향에 대한 두 디텍터 간의 회전(Rotation) 각도, p_{vk} 는 y축 방향의 디텍터 좌표축의 중심 보상(Offset) 값. 그리고 S_k 는 x-축 방향으로 오브젝트의 이동속도를 나타낸다. 이 식에서 k 는 두 디텍터를 각각 나타내는 변수로 0 과 1에 해당된다.

스테레오 X-선 영상 획득 장치에서 첫 번째 디텍터와 월드 좌표를 정확히 일치시켜 제작되었고, 두 번째 디텍터는 y축 방향으로 각 θ 로 회전되어 있으므로 $\theta_1 = 0$ and $\theta_2 = \theta$ 가 된다. 그리고 두 디텍터의 속도와 초점거리는 동일하므로 관측 오브젝트 상의 3차원 점의 깊이

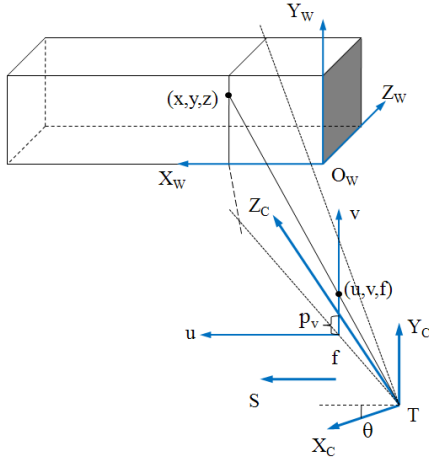


그림 5. 선형 스캐닝 센서 모델
Fig 5. Linear scanning sensor model

(Depth) 값은 다음 수식 2와 같이 결정된다.

$$z = \frac{S(u_2 - u_1) - T_{x1} + (T_{x2} - T_{z2} \tan \theta)}{-\tan \theta} \quad (2)$$

여기서, 실측값에 의거 $\tan \theta = (150/1096.8)$ 이다. 월드 좌표에 대한 디텍터 좌표의 이동 벡터는 식 3으로 결정된다.

$$T_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -1096.8 \end{pmatrix} \quad T_2 = \begin{pmatrix} 150 \\ 0 \\ -1096.8 \end{pmatrix} \quad (3)$$

앞서 획득한 깊이값을 이용하여 임의의 점의 x, y 값은 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

$$x = u_1 S + T_{x1} \quad (4)$$

$$y = \frac{(v_1 - p_{v1})(z - T_{z1})}{f} + T_{y1}$$

일반적인 스테레오 영상 매칭기술은 좌, 우 영상간의 서로 일치하는 점을 찾는 것이다. 오브젝트의 두 스테레오 영상이 일반 가시광 카메라에 의해 획득되었다고 가정하면, 그 영상은 오브젝트의 외부 표면을 보여주게 되므로 두 영상의 매칭된 두 점(Point)은 오브젝트의 표면 상의 한 위치를 지시하게 된다. 즉, 두 이차원 영상 내 각각 한 개의 점을 이용하여 그 위치의 3차원 값이 복원할 수 있게 되는 것이다. 그러나, X-선 스테레오 영상 내의 한 점은 이제 더 이상 표면에 해당하는 포인트가 아니다. 즉, 매칭된 두 점은 오브젝트의 내부에 위치한 점일 수도 있고, 외부의 점일 가능성도 있다. 이와같은 X-선 스테레오 영상의 물리적 모호함으로 인해 본 연구에서는 영상의 모든 픽셀(Pixel)을 사용하는 대신 오브젝트의 에지 특성만을 사용하여 매칭을 진행하게 되었다. 이것은 오브젝트가 불균일 특성의 물질로 구성되지 않다고 가정하더라도 에지특성은 오브젝트 표면의 점을 나타내게 된다는 아이디어를 적용한 것이다. 최종 실험결과에서 에지 특성은 오브젝트의 3차원 형태에 대한 유용한 정보를 제공한다는 것을 확인하게 되었다.

그림 6은 실험에 사용된 세 가지 실제 오브젝트(키, 칼, 자동차)를 보여주고 있는데, 모두 금속 성질의 물질으로 제작된 것이다. 따라서 X-선 영상에서의 오브젝트는 배경에 비해 선명도가 높아 소벨(Sobel)과 같은 간단한 영상 처리 알고리즘을 통해서도 에지 추출이 용이했다.

그림 7(a)는 제작한 스테레오 X-선 영상 획득장치를 통해 획득한 ‘키’ 오브젝트의 X-선 스테레오 영상을 보여주고 있다. 이 오브젝트는 선형 스테이지에 놓인 상태에서 8mm/sec의 등속으로 월드 좌표계의 x-방향으로 이동시켰다. 그림 7(b)는 오른쪽 방사선 영상의 에지영상이다. 이 영상의 각각 에지 점 (u_2, v_2) 에 대해 왼쪽 영상 (u_1, v_1) 에서의 매칭점을 찾았다. 매칭은 식 5와 같은 좌, 우 영상의 템플릿인 W_1 and W_2 사이의 정규 교차상관(Normalized cross correlation, NCC)을 기준으로 진행하였다.[1,2]

$$\rho(W_1, W_2) = \frac{Cov(W_1, W_2)}{\sqrt{Var(W_1) Var(W_2)}} \quad (5)$$

여기서, W_k 는 템플릿 윈도우로 중심이 (u_k, v_k) 에 위치하고 있으며, 이 논문에서는 그 크기를 25 픽셀로 설정하였다. 좌 영상 내의 검색영역에서 모든 가능한 템플릿

W_1 은 오른쪽 템플릿과의 NCC를 계산하는데 사용된다. 설정 영역내 처리를 완료한 후, 최대 NCC 값을 갖는 W_2 템플릿을 좌영상에서의 매칭 점으로 결정한다.

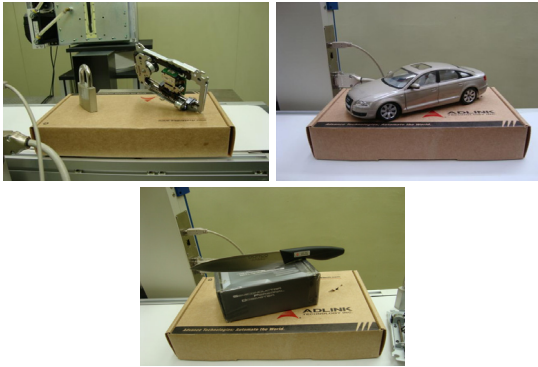


그림 6. 세 가지 시험 오브젝트 ('키', '칼', '자동차')
Fig 6. Test Samples ('key', 'knife', 'car')

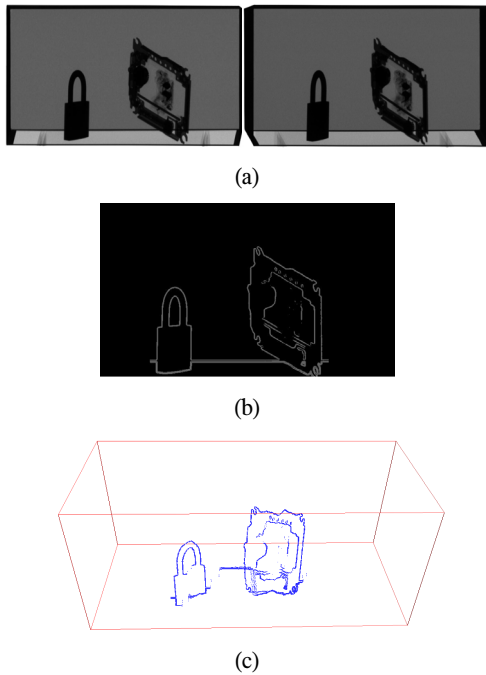


그림 7. '자물쇠'의 3차원 복원 과정 및 결과
(a) 좌, 우 X-선 영상 (b) 우 영상의 에지영상
(c) 오브젝트의 3D 형상
Fig. 7 Result and Processing of 3D reconstruction ; Key
(a) Left & Right X-ray Image (b) Right edge image
(c) Reconstruct 3D image of the object

그림 7(c)는 '키' 오브젝트의 복원된 3차원 형태를 보여주고 있다. 그림에서 평행육면체 상자는 인위적으로 삽입한 것으로서 오브젝트의 실제 철제 박스를 가시화하기 위한 것이다. 매칭 결과로 에지로 표현된 오브젝트의 형태가 실제 오브젝트의 3차원 정보를 양호하게 표현하고 있음을 알 수 있다.

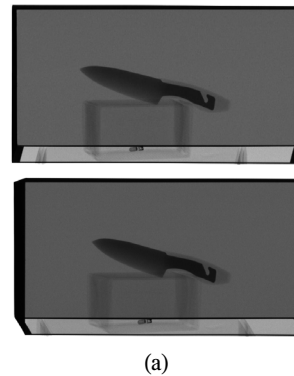


그림 8. '칼'의 3차원 복원 과정 및 결과
(a) 좌, 우 X-선 영상
(b) 오브젝트의 3D 형상
Fig. 8 Result and Processing of 3D reconstruction ; Knife
(a) Left, Right X-ray Image
(b) Reconstruct 3D image of the object

그림 8은 '칼'의 스테레오 X-선 이미지를 보여주고 있는데 '칼' 오브젝트의 날 끝 방향이 디텍터를 향하고 있는 반면 날의 아래쪽은 종이상자에 꽂혀 있음을 볼 수 있다. 그림 8(b)에서 실루엣 형태로 오브젝트의 3차원 형태로 복원된 결과를 볼 수 있다.

마지막으로 세 번째 시험 오브젝트는 '자동차'로서, 이 오브젝트의 스테레오 X-선 좌, 우 영상이 9(a)이고 그림 9(b)는 자동차 실물 오브젝트의 3차원 정보를 에지 형태로 복원한 결과 그래픽이다.

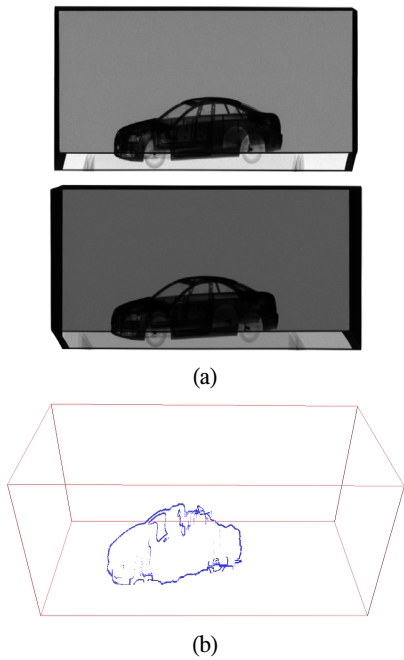


그림 9. '자동차'의 3차원 복원 과정 및 결과
 (a) 좌, 우 X-선 영상
 (b) 오브젝트의 3D 형상
 Fig. 9 Result and Processing of 3D reconstruction ; Car
 (a) Left, Right X-ray Image
 (b) Reconstruct 3D image of the object

IV. 결 론

본 논문에서는 현재 상용화된 2-D 방사선 스캔 영상 장치에 비해 보다 개선된 검색정보를 제공할 수 있는 방사선 검색영상의 스테레오 영상화에 대해 국내 최초로 연구에 대해 기술하였다. 먼저 X-선 발생장치와 두 대의 X-선 라인 디텍터로 구성된 시험장치를 구성하고, 여기에서 소형 실물 오브젝트를 X-선으로 스캔하여 두 장의 스테레오 방사선 영상을 얻었다. 획득된 두 영상에 대한 영상 매칭과 장치의 캘리브레이션 정보를 기반으로 오브젝트의 3-D 데이터를 추출하고 최종적으로 오브젝트의 3차원 복원정보를 가시화하였다.

복원된 오브젝트 에지기반의 3차원 방사선 형상화 정보의 결과는 기존의 2D 방사선 검색장치를 대체하여 효율이 높은 3차원 컨테이너 검사장치에 활용 가능성이

충분하다고 판단된다. 향후 스테레오 X-선 영상으로부터 오브젝트 표면정보를 가시화하는 연구를 진행할 예정이다.

참고문헌

- [1] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, Digital Image Processing, 2nd Ed, Prentice Hall, New Jersey, (2002)
- [2] Anil K. Jain, Fundamentals of Digital Image Processing, 1st. Prentice Hall, (1989)
- [3] Avinash C. Kak, Malcolm Slaney, Principles of Computerized Tomographic Imaging, 1st, Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, (2001)
- [4] Zhigang Zhu and Yu-Chi Hu, "Gamma/x-ray linear pushbroom stereo for 3D cargo inspection," Proc. SPIE, Conference on Non-Intrusive Inspection Technologies, Vol. 6213, 621304, 2006.
- [5] Alison Noble, Richard Hartley, Joseph Mundy, and James Farley, "X-ray metrology for quality assurance," in Proc. IEEE Robotics and Automation Conference, pp.1113~1119, 1994.
- [6] H.C. Longuet-Higgins, "A computer algorithm for reconstructing a scene from two projections," Nature, vol.293, pp.133-135, Sept 1981.

저자소개



이남호 (Nam-ho Lee)

1991년 경북대학교 전기공학과 (공학사)

1993년 경북대학교 전기공학과 (공학석사)

2004년 충남대학교 전기공학과 (공학박사)

현재: 한국원자력연구원 융합기술개발부 책임연구원

※관심분야: 방사선센서, 입체영상, 원격제어시스템



황영관(Young-gwan Hwang)

2008년 수원대학교 대학원
전자공학과 (공학석사)
2010년 충남대학교 대학원
정보통신공학과
(박사과정)

현재: 한국원자력연구원 연구원

※ 관심분야: 방사선 검색장치, X-ray 영상처리



박종원 (Jong-won Park)

1995년 아주대학교 전자공학과
(공학사)
1997년 아주대학교 전자공학과
(공학석사)

2006년 아주대학교 전자공학과 (공학박사)

현재 한국해양연구원 해양시스템 기술연구본부 선임
연구원

※ 관심분야: 수중통신, 수중통신 네트워크, 선박 IT-
융합 시스템, 함정 자동화 체계 등



임용곤(Yong-gon LIM)

1979년 충남대학교 전기공학과
(공학사)
1984년 충남대학교 전력전자공학과
(공학석사)

1994년 아주대학교 전자공학과 (공학박사)

현재 한국해양연구원 해양시스템 기술연구본부 책임
연구원/소장

※ 관심분야: 수중통신 및 네트워크, 해양통신, 선박
IT-융합 시스템, 해운 물류 등