Journal of Radiation Industry 7 (2~3) : 121~126 (2013)

원자력시설내 제한된 구역의 구조물 계측을 위한 비전 알고리즘 평가

염민교 · 이백근[1] · 민병일 · 윤홍식[1] · 서경석*

한국원자력연구원 원자력환경안전연구부
[1]성균관대학교 사회환경시스템공학과

Evaluation of the Vision Algorithm for Measuring Structure in the Districted Area of the Nuclear Facilities

Min Kyo Youm, Baek Gun Lee[1], Byung Il Min, Hong Sik Yoon[1] and Kyung Suk Suh*

Nuclear Enviroment Safety Research Division, Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon 305-353, Korea
[1]*Department of Civil and Environmental Eng. SKKU, Suwon 440-746, Korea*

Abstract - The new algorithm technique is necessary to incorporate for analyzing and evaluating extreme condition like a nuclear accident. In this study, the combined methodology for measuring the three-dimensional space was compared with SIFT (Scale Invariant Feature Transform) and SURF (Speeded-Up Robust Feature) algorithm. The suggested method can be used for the acquisition of spatial information using the robot vision in the districted area of the nuclear facilities. As a result, these data would be helpful for identify the damaged part, degree of damage and determination of recovery sequences.

Key words : SIFT, SURF, Robot vision, Recovery

서 론

인류는 오랫동안 자연의 수많은 재난에 직면하였고, 재난을 극복하는 과정에서 인류는 재난의 피해를 최소화 하기 위한 연구를 수행하며, 재난을 예측하는 기술들을 개발하였다. 하지만 일반적인 재난과는 달리 원자력과 관련된 재난은 피해규모가 매우 클 뿐만 아니라 재난을 분석하고 평가하는 데 많은 제약이 존재한다.

* Corresponding author: Kyung Suk Suh, Tel. +82-42-868-4788, Fax. +82-42-868-8943, E-mail. kssuh@kaeri.re.kr

체르노빌과 후쿠시마 원자력사고와 같은 대형 원자력 재난 사고 시 높은 방사선 준위로 인하여 원자력시설내의 상태 정보를 얻는 것이 매우 어렵다. 산업시설의 재난 시 접근이 어려운 지역의 상태정보를 취득하기 위하여 3차원 공간정보기술을 활용하는 방법이 제안되었다. 현재 3차원공간정보를 추출하는 기법은 크게 고 정밀 레이저 스캐너를 이용한 방법과 스테레오 매칭을 이용하는 카메라 비전 기반 계측방법이 있다(유 등 1999). 카메라 비전 계측은 저렴한 비용으로 쉽게 계측할 수 있는 장점과 인간이 접근할 수 없는 지역을 계측하는 장점이 있지만 많은 이상 관측값와 노이즈 등으로 인하여 정확성이 떨어지는 단점이 있다(서 등 2011).

이에 카메라 비전 매칭 기법에 대한 많은 연구가 이루어져 왔다. 매칭 기법의 시초인 모서리 점을 특징기반으로 하는 Harris Corner Detection (Harris *et al.* 1988)이 개발 된 이후 수 많은 알고리즘이 개발되었다.

카메라 비전 알고리즘 중 현대 매칭 알고리즘의 기초인 극점을 기반으로 하는 고속 알고리즘 SIFT (Scale Invariant Feature Transform)이 개발되었으며 (Lowe *et al.* 2004) 적분영상을 이용한 Hessian Matrix를 사용하는 SURF (Speeded-Up Robust Feature) 알고리즘이 개발되었다 (Herbert *et al.* 2008). 이후에도 고성능의 매칭 알고리즘이 개발되고 있지만 알고리즘의 저작권 등의 이유로 국내에서는 OpenCV (Computer Vision) 라이브러리 내의 오픈소스 알고리즘인 SIFT 알고리즘과 SURF 알고리즘을 개선하는 연구가 주로 진행되어 왔다. 신뢰도 공간에 기반한 스테레오 정합기법 (이 2011) 등이 연구 되었으며 적분영상의 SURF 알고리즘을 위치와 색상정보를 이용하여 성능을 향상시키는 연구 (이 등 2012)도 수행되었다.

본 연구에서는 OpenCV 라이브러리 내의 오픈소스 알고리즘인 SIFT와 SURF 알고리즘을 비교 분석하여 인간의 접근이 제한된 산업시설 지역의 계측에 적합 여부를 속도와 정확성 점군의 개수 등의 항목을 통해 평가하였으며 이를 통하여 3차원 공간정보 측정 작업의 효율성을 향상하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 사진 측량학 개론

본 연구에서 인간의 접근이 제한된 지역의 3차원 공간전보 측정에 사용한 방법은 근접 사진 측량 방법이다 (유 등 1999). 입체영상은 측정대상을 서로 다른 위치 및 각도에서 중복하여 촬영한 영상이며 입체영상을 이용한 3차원 공간정보를 정리하면 Fig. 1과 같다.

Fig. 1에 나타낸 좌측 영상에서 측정대상 지점이 촬영된 부분의 영상좌표인 (x_L, y_L)와 계산 대상인 측정지점의 3차원절대좌표 (X, Y, Z) 사이에는 식 (1)과 식 (2)와 같은 공선조건이 형성된다.

이 식들에서 (X_{LO}, Y_{LO}, Z_{LO})와 m_{ij} (i=1～3, j=1～3) 값들은 GPS/INS 통합계산 결과로부터 취득할 수 있으며 C_x, C_y 그리고, (x_{LO}, y_{LO})는 카메라 캘리브레이션을 통해 미리 결정 할 수 있다. 따라서 영상에서 측정하고자 하는 지점의 영상좌표를 측정하면 측정대상지점의 3차원 좌표인 (X, Y, Z)의 3개 미지수를 포함하는 2개의 방정식이 형성되는데 우측영상에도 동일한 방식으로 2개의 방정식

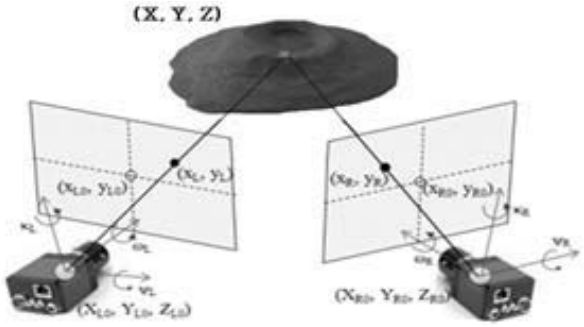

Fig. 1. Photogrammetry surveying by Digital camera.

을 형성할 수 있기 때문에 (X, Y, Z)를 결정 할 수 있다.

$$x_L - x_{L0} = -c_x \frac{m_{11}(X-X_{L0})+m_{12}(Y-Y_{L0})+m_{13}(Z-Z_{L0})}{m_{31}(X-X_{L0})+m_{32}(Y-Y_{L0})+m_{33}(Z-Z_{L0})} \quad (1)$$

$$y_L - y_{L0} = -c_y \frac{m_{21}(X-X_{L0})+m_{22}(Y-Y_{L0})+m_{23}(Z-Z_{L0})}{m_{31}(X-X_{L0})+m_{32}(Y-Y_{L0})+m_{33}(Z-Z_{L0})} \quad (2)$$

여기서 $c_x = f\lambda_x$, $c_y = f\lambda_y$

(f는 초첨거리, λ_x, λ_y는 화소의 수평, 수직 비율을 나타내는 축척계수)

m_{11}～m_{13}: 외부표정정보 중 자세값 (ω_L, ψ_L, κ_L)으로 구현한 회전행렬의 요소값

x_L, y_L: 지형지물의 위치에 대한 영상좌표

x_{L0}, y_{L0}: 영상중심 좌표

X_{L0}, Y_{L0}, Z_{L0}: 영상초점의 3차원 좌표 (외부표정요소)

X, Y, Z: 영상에 표시할 지형 지물의 3차원 좌표

2. SIFT 알고리즘

SIFT 알고리즘은 David G. Lowe에 의해 처음 제안되었다 (오 등 2011). 이 알고리즘은 객체의 모서리나 꼭지 점 등에서 생성되는 특징 점을 벡터로 추출하여 영상의 크기변화, 회전, 조명변화 등에 의한 변형에 대해 뛰어난 매칭 성능을 가진다. 하지만 SIFT 알고리즘은 영상을 반복적으로 연산하는 과정을 거치기 때문에 처리속도는 낮은 편이다. SIFT 디스크립터는 영상 변환, 크기, 회전, 노이즈 영향에도 일정한 특징정합 성능을 유지한다. SIFT를 이용한 특징 추출과정은 아래 그림처럼 크게 특징 점을 찾는 부분과 선택된 특징 점의 서술자 (Descriptor)를 생성하는 두 단계로 구분 할 수 있다.

특징점 추출단계에서는 스케일 공간상의 후보 특징점을 추출하고 후보 특징 점의 안정성을 검사하여 안정된 특징점의 위치를 세부 위치로 보정한다. 서술자 단계 에는 선택된 점들을 중심으로 주변 영역의 그레디언트를

통해 방향 성분을 얻게 되고, 얻어진 방향 성분을 중심으로 관심영역을 재 설정 하여 서술자를 생성하게 된다. SIFT 알고리즘은 특징 점을 추출하기 위해 여러 단계를 거친다. 첫 번째 단계에서는 같은 개체가 다른 관점에서라도 반복적으로 추출될 수 있는 크기와 위치의 후보 픽셀들을 뽑는 것이다. 각각의 추보 픽셀에 대하여 더 세밀한 검사를 거쳐 특징 점으로 사용할 지를 결정한다. 처음 검사는 낮은 대비를 가지는 픽셀을 우선적으로 제거한다. 그 후 두 번째 검사는 모서리에 의해 추출된 특징 점을 제거한다. 위와 같은 일련의 매칭 과정에서 연산의 개수가 많아짐에 따라 처리 속도는 낮으나 칼라 기반의 특징 점을 추출할 수 있는 장점과 벡터 기반의 특징 점을 추출 하기 때문에 정확성이 향상되는 장점이 있다.

3. SURF 알고리즘

SURF 알고리즘은 여러 개의 영상으로부터 크기, 조명, 시점 등의 환경변화를 고려하여 환경변화에 불변하는 특징을 찾는 알고리즘 중에 하나이다. 일반적으로 성능이 우수하다고 알려져 있는 SIFT와 견줄만 한 성능을 보이면서 동시에 속도를 크게 향상시킨 알고리즘이다. 하지만 SURF 알고리즘은 흑백 공간상의 정보만 이용함에 따라 컬러 공간상에 주어진 많은 유용한 특징을 활용하지 못하는 단점을 가지고 있다(안 등 2012).

SURF 알고리즘은 적분영상을 이용하여 특징점을 탐색하게 된다. 특징점을 탐색하는 과정에서 간편화한 탐색기와 디스크립터를 활용하여 특징점을 구하는데 이는 계산의 차원수를 줄여줌으로써 기존의 매칭 알고리즘 보다 빠른 수행속도를 가지게 한다. 간편화한 탐색기에는 헤시안 행렬을 기반으로 탐색을 한다. SURF 알고리즘이 소개된 논문에서 헤시안 행렬을 사용하는 이유는 정확성이 좋고 행렬 값이 최대인 위치에서 Biob 구조를 검출하기 위함이라고 설명되어 있다. 간편화된 헤시안 행렬은 식(3)에 나타낸 바와 같다.

$$H(X,\sigma)=\begin{vmatrix} L_{xx}(X,\sigma) & L_{xy}(X,\sigma) \\ L_{xy}(X,\sigma) & L_{yy}(X,\sigma) \end{vmatrix} \quad (3)$$

Fig. 2에 나타낸 바와 같이 특징점은 파란색 원으로 표현된 하얀색 계통의 특징점과 빨간색 원으로 표현된 흑색 계통의 특징점으로 나뉜다. 원의 크기가 작을수록 특징 점의 강인함이 크다.

적분 영상을 이용하는 SURF 알고리즘의 매칭 패턴은 행렬 값이 음수이고 고유 값이 서로 다른 부호라면 그 점은 특징점이 아니라고 인식하고 행렬 값이 양수이고 고유 값이 서로 같은 부호라면 특징점이라고 인식을 하는 구조를 가지고 있다. SURF 알고리즘의 경우 2차 미분을 가우시안을 이용하여 사용하는 데 그 이유는 Scale-Space를 분석하는 데 가우시안이 가장 최적의 방법이기 때문이다. 따라서 x축, y축, xy축(대각축)에 대하여 4개의 진입점을 헤시안 행렬로 계산하면 특징점 들의 후보가 검출된다. 또한 Fig. 2처럼 근사화 된 헤시안 박스 필터를 이용하는 데 계산을 더 간편하고 단순화 하기 위해 근사화 된 Dxy와 Dyy 등의 박스 필터를 이용한다.

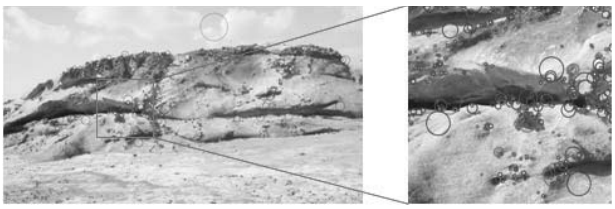

Fig. 2. Feature point searching by SURF.

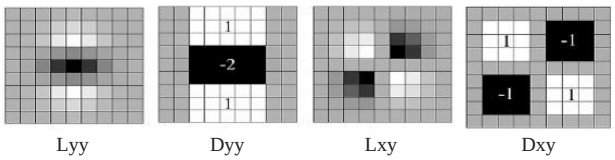

Fig. 3. Approximated Hessian box filter.

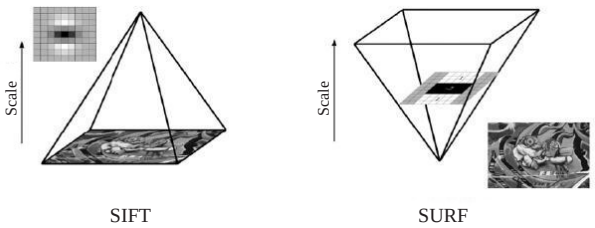

Fig. 4. Image Pyramid of SIFT and SURF.

또한 SURF 알고리즘은 Fig. 4와 같이 박스필터의 사이즈를 업-스케일링 하면서 분석을 한다. 이런 방식을 사용하는 주된 이유는 계산적으로 효율이 높기 때문이다. 또한 다운-스케일링을 하지 않기 때문에 에일리어싱이 일어나지 않는 장점이 있지만 범위의 불변성의 경우에서 제한적은 단점이 있다.

결과 및 논의

1. SIFT 알고리즘과 SURF 알고리즘의 특징점 탐색

본 연구에서 제안한 두 가지 매칭 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 각기 다른 두 알고리즘의 특징점들을 탐색하는 실험을 선행하였다. 실험의 대상은 일정한 패턴

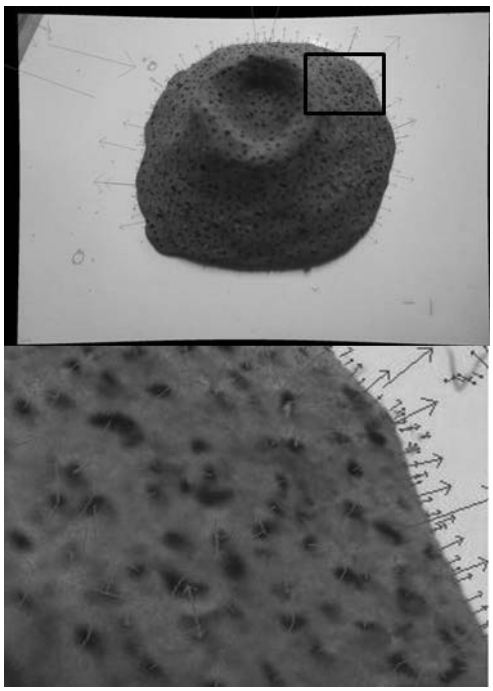

Fig. 5. Feature point detection by SIFT algorthm.

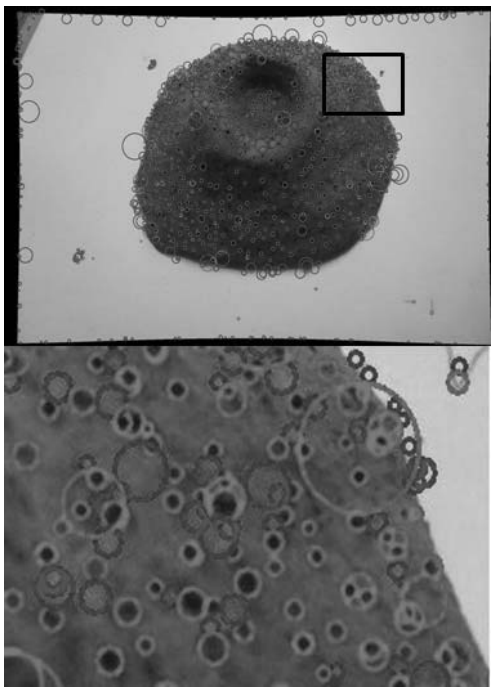

Fig. 6. Feature point detection by SIFT algorthm.

이 없는 비정형화한 찰흙 조형물을 스테레오 상태로 10쌍 촬영하였으며 카메라 캘리브레이션을 통하여 내부 표정요수를 보정하였다. 비정형화한 실험대상을 선택한 이유는 일반적인 정형화된 구조물이 아닌 원전중대사고와 같은 사고 발생 시 구조물의 변형 및 손상 측정여부를 분석할 수 있기 때문이다.

먼저 SIFT 알고리즘의 특징점 탐색 결과이다.

Fig. 5에서 나타낸 바와 같이 극점을 이용하는 SIFT 알고리즘의 특성을 볼 수 있다. 극점들은 벡터성분을 가지기 때문에 화살표로 도식 되었으며 화살표의 크기가 작을수록 강인한 특성을 가지고 있다.

또한 Fig. 5에 나타낸 바와 같이 특성이 강인한 점들은 대부분 측정대상의 모서리 부분에 집중되어 있음을 확인할 수 있는데 이는 Harris Corner를 기반으로 하는 SIFT 알고리즘의 특성을 나타내기 때문이다.

다음은 SURF 알고리즘의 특징점 탐색 결과이다.

Fig. 6에 나타낸 바와 같이 SURF 알고리즘은 영상을 적분하여 Gray-Scale로 변환 후 특징점을 찾는다. 영상에 도식되어 있는 수많은 원들은 특징점을 나타내며 원의 크기가 작을수록 특징의 강인함을 나타낸다. 또한 빨간색 원은 그레이를(RGB: 128 ,128 ,128) 기준으로 검은색에 가까운 특징점이며, 파란색 원은 하얀색에 가까운 특징점이다.

또한 Fig. 6에 나타낸 바와 같이 극점을 기반으로 하지 않기 때문에 모서리 부분보다는 측정 대상의 중심부에 특징점들이 분포되어 있음을 확인할 수 있다. 이는 영상의 색상을 기반으로 하는 SURF 알고리즘의 특성을 나타내기 때문이다.

2. SIFT 알고리즘과 SURF 알고리즘의 매칭 과정

SIFT 알고리즘과 SURF 알고리즘의 특징점들을 기준으로 매칭을 수행 하였다. 특징들의 임계 값은 동일하게 3000으로 설정하였으며 그 결과는 다음과 같다.

Fig. 7과 Fig. 8에 나타낸 바와 같이 두 알고리즘의 매칭 패턴이 상이한 것을 알 수 있다.

먼저 SIFT 알고리즘의 경우 모서리 점에 대해서는 많은 매칭이 이루어졌다. 반면 측정 대상의 중심부는 매칭 수가 적음을 알 수 있다. 이는 SIFT의 특징점 검색에서 나타난 바와 같이 극점을 기반으로 하는 SIFT 알고리즘의 특성이다.

다음 SURF 알고리즘의 경우 SIFT 알고리즘의 특성과 반대로 모서리 점에서의 매칭은 적으나 중심부의 매칭은 상대적으로 많음을 알 수 있다. 이 역시 색상 기반으로 하는 SURF 알고리즘의 특성이라 볼 수 있다.

3. 결과 분석

본 연구에서는 두 가지의 알고리즘을 이용하여 특징점

Table 1. Compare SIFT with SURF

10-Pair	Number of points (n)		Matching percent (%)		Processing time (sec)		Distribution of point cloud	
Parameter	100	1000	100	1000	100	1000	100	1000
SIFT Algorithm	15589	3301	98%	98%	697 sec	428 sec	–	–
SURF Algorithm	14684	3245	94%	97%	224 sec	167 sec	–	–

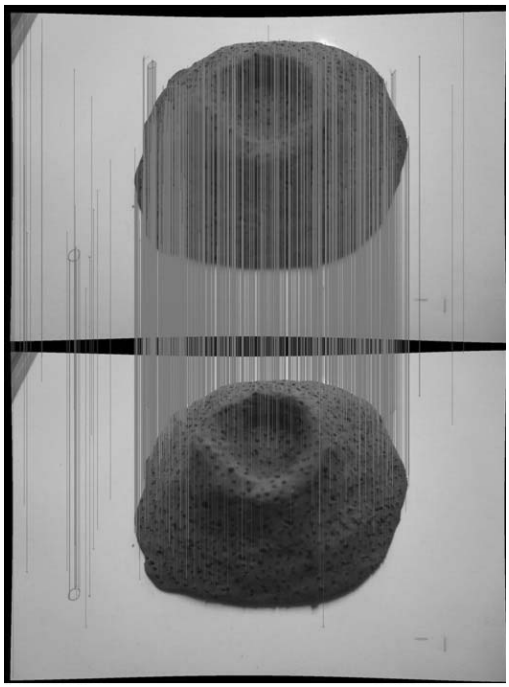

Fig. 7. Point matching by SIFT (Zoom-up).

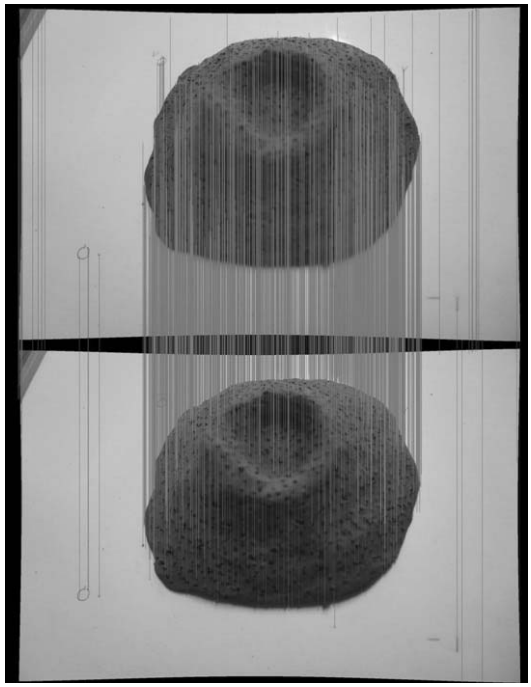

Fig. 8. Point matching by SURF (Zoom-up).

탐색과 매칭을 수행 한 후 사진측량학적 요소를 이용하여 3차원 공간좌표 추출하였다. 추출된 3차원 (x, y, z) 공간좌표는 AutoCad를 이용하여 도식 하였으며 각 알고리즘을 정량적, 정성적으로 평가 및 분석하기 위하여 점군의 개수, 매칭율, 연산속도를 비교하였다.

알고리즘의 비교는 두 가지 임계 값을 사용하여 비교하였으며 비교 결과는 Table 1과 같다. 먼저 점군의 개수는 큰 차이가 없음을 확인할 수 있었다. 이는 동일한 임계값을 사용하여 SIFT 알고리즘과 SURF 알고리즘을 비교하였기 때문이다.

매칭률의 경우 SIFT 알고리즘이 다소 높은 것으로 도출되었다. 이는 RGB (Red, Green, Blue) 컬러를 사용하는 SIFT 알고리즘에 비하여 SURF 알고리즘은 Gray 영상을 사용하기 때문에 두 가지 다른 색상의 픽셀을 동일하게 인식하는 부정합 점이 소수 발생하기 때문이다.

마지막으로 연산속도에서는 SIFT 알고리즘에 비하여 SURF 알고리즘이 약 3배 빠른 연산속도를 보유하는 것으로 나타났다. 이는 간편화된 헤시안 행렬을 이용하는 SURF 알고리즘의 특성으로 영상을 적분한 후 그레이 스케일을 기준으로 검은색과 하얀색을 구분하여 한 영상에서의 특징점이 검은색 픽셀이라면 다른 영상에서의 특징 후보 군들중 하얀색 픽셀을 제거하는 방식을 택하기 때문이다. 이 연산의 최대 장점은 절반정도의 후보군들을 제외하기 때문에 연산속도가 대폭 상승될 뿐 아니라 매칭 정확도도 높아지는 장점을 가지고 있다. 또한 극점 (모서리 점)을 사용하는 SIFT 알고리즘에 비해 SURF 알고리즘은 픽셀의 색상 값을 사용하기 때문에 특징점이 확실하지 않은 사물에 대해서도 강점을 보인다.

마지막으로 점군의 분포에서는 SIFT 알고리즘이 SURF 알고리즘에 비하여 좋은 것으로 측정되었다. 이는 SIFT 알고리즘이 색상 정보를 사용하기 때문에 적분된 그레이 영상을 사용하는 SURF 알고리즘에 비해 다양한 점들을 서술자로 생성하여 매칭하기 때문이다.

또한 Fig. 9와 Fig. 10에 나타낸 바와 같이 SIFT 알고리

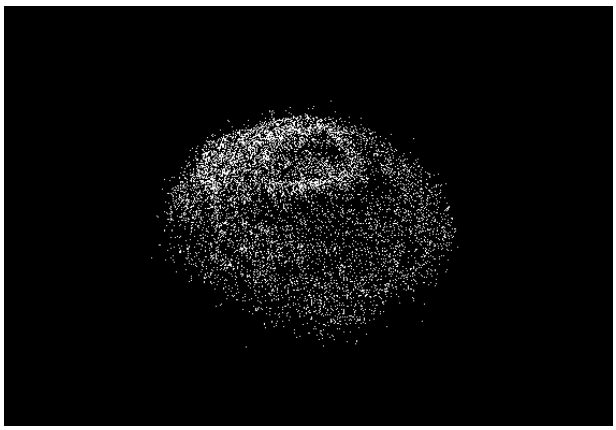

Fig. 9. Point cloud by SIFT Algorithm.

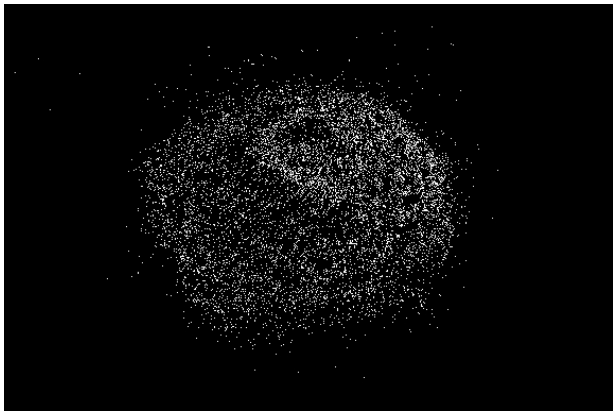

Fig. 10. Point cloud by SURF Algorithm.

즘의 점군은 SURF 알고리즘의 점군에 비하여 부정합 점들의 적게 나옴을 알 수 있다. 이는 Grey Scale을 사용 하는 SURF 알고리즘의 특성상 발생하는 부정합 점들이다.

결 론

본 연구에서는 인간의 접근이 제한된 지역에서의 3차원 공간측정에 필요한 컴퓨터 비전 알고리즘에 대한 비교 분석 연구로서, 기존의 카메라와 로봇을 이용하여 시설 내 중요한 정보를 획득할 수 있음을 보였다. 또한 사진 측량학적 요소의 도입으로 3차원 공간정보를 추출하였으며 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

첫째, 컴퓨터 비전 알고리즘과 사진 측량학적 요소만으로도 3차원 공간정보를 추출할 수 있었다.

둘째, 인간의 출입이 제한된 지역에 대해서도 디지털 카메라와 로봇을 결합하여 원격 사진 측량을 수행할 수 있었다.

셋째, 컴퓨터 비전 알고리즘인 SIFT 알고리즘과 SURF 알고리즘의 비교 결과 대부분의 항목에서는 SIFT 알고리즘이 근소하게 좋은 성능을 보였으나 구동 속도에서 SURF 알고리즘이 3배 이상의 빠른 속도를 보였다.

연구 수행 결과는 원자력 시설의 정상 및 사고시 높은 방사선으로 인하여 인간의 접근이 불가능한 지역 내 기존의 카메라나 로봇을 이용한 카메라 촬영을 통하여 시설 내 주요한 상태정보를 획득하는 데 적용할 수 있다.

사 사

이 논문은 2013년도 미래창조과학부와 원자력안전위원회의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (과제번호: 2012M2A8A4025912 및 2012M5A1A1029210).

참 고 문 헌

서강, 중도붕홍. 2011. 스테레오 방식 카메라 로봇비전, 자동화기술, 제27권, 제9호, 통권 320호, pp. 80-86.

안효정, 이상범. 2012. 의미있는 특징점을 이용한 향상된 SURF 알고리즘 기반의 고속이미지 스티칭 기법, 정보처리학회지. **b19**(2), 93-98, 1598-2866.

오재홍, 이효성. 2011. 공간처리영상을 위한 SIFT 매칭 기법의 성능분석, 한국측량학회지. **29**(5):449-457, 1598-485 KCI.

유복모. 1999. 현대 디지털 사진 측량학, pp. 163-165.

유복모, 김원대. 1999. 수치사진측량을 이용한 지형 공간 정보 추출, 한국지형공간정보학회지. **7**(2):81-91, 1598-2955.

이경승, 김대훈, 노승민, 황인준. 2012. 위치와 색상 정보를 사용한 SURF 정합 성능 향상 기법, 한국항행학회논문지. 16(2):394-402, 122-9026 KCI.

이승태. 2011. 신뢰도 공간에 기반한 스테레오 정합 기법, 석사학위논문, 숭실대학교.

Harris C and Stephens M. 1988. A combined corner and edge detector. Proc. Alvey vision conf., pp. 147-151.

Herbert B, Andreas E, Tinne T and Luc VG. 2008. SURF: Speeded up robust feature, CVIU (Computer vision and image understanding), pp. 404-617.

Lowe DG. 2004. Distinctive image feature from scale-invariant keypoints, international journal of computer vision. **60**(2): 91-110.

SURF- http://vision.ee.ethz.ch/~surf/.

Manuscript Received: July 15, 2013
Revised: November 25, 2013
Revision Accepted: November 26, 2013