

# 수치사진측량을 이용한 수중 파이프 비디오 모자이크 영상 제작에 관한 연구

강진아<sup>1\*</sup> · 권광석<sup>2</sup> · 김병국<sup>3</sup> · 오윤석<sup>4</sup>

## A Study on Underwater-Pipe Video Image Mosaicking using Digital Photogrammetry

Jin-A KANG<sup>1\*</sup> · Kwang-Seok KWON<sup>2</sup> · Byung-Guk KIM<sup>3</sup>  
Yoon-Seuk OH<sup>4</sup>

### 요 약

현재 국내의 수중 및 해양 시설물 관리는 아날로그 필름에 의한 육안분석에 의존하고 있다. 본 연구에서는 이러한 방법을 개선하기 위하여 보다 정량적인 수중시설물의 공간적인 상태를 분석하고자 하였다. 본 연구는 수중영상 왜곡보정과 모자이크 제작의 두 단계로 나누어 진행하였다. 수중영상 왜곡보정 단계에서는 수중 타겟을 제작하고 타겟 격자점으로부터 왜곡계수를 산출한 후, 수중영상으로 포착한 영상점을 왜곡이 보정된 영상점으로 위치 보정하는 기술을 개발하였다. 그리고 모자이크 제작 단계에서는 먼저, 수중에 송유관 형태의 파이프를 설치한 후 영상을 획득하였으며, 왜곡보정을 실시한 후 보정된 파이프 영상을 좌표 변환 후, 산출된 특이점을 바탕으로 모자이크 영상을 제작하고 필터링을 통해 외곽선 추출하고 파이프와 수중바닥과의 거리를 계산하였다. 그 결과, 실제 파이프와 수중지반과의 거리가 6cm일 때 평균 RMSE 0.3cm로 나타났다.

주요어 : 수중비디오카메라 캘리브레이션, 파이프 모자이크, 수중 송유관 관리

### ABSTRACT

The present domestic underwater and ocean facilities management depends on analysis with the naked eye. This study performs quantitative analysis to improve conventional methods, analyze spatial situation of underwater facilities. This research is divided into two steps;

2008년 11월 11일 접수 Received on November 11, 2008 / 2008년 12월 10일 수정 Revised on December 10, 2008 / 2008년 12월 18일 심사완료 Accepted on December 18, 2008

\* 이 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신사업과제의 연구비지원(06국토정보C01)에 의해 수행되었습니다.

1 한국건설기술연구원 유비쿼터스국토연구실 연구원 Research, Ubiquitous Land Research Division, Korea Institute of Construction Technology

2 인하대학교 지리정보공학과 박사 수료 Dept. of Geoinformatic Engineering, Inha University

3 인하대학교 사회기반시스템공학부 정교수 College of Social Science, Inha University

4 한국건설기술연구원 유비쿼터스국토연구실 선임연구원 Senior Research, Ubiquitous Land Research Division, Korea Institute of Construction Technology

※ 연락처자 E-mail : jakang@kict.re.kr

underwater image distortion correction and image mosaic step. First, underwater image distortion correction step is for the production of underwater target, calculates the correction parameters, and then developed the method that convert the original image point to whose distortion is corrected. Second step is for the obtaining pipe images installed in the underwater, corrects the distortion, and then transforms a coordinates of the correction pipe image. After coordinate transformation, we make the mosaic image using the singularities. As a result, when we measure the distance between pipe and underwater ground and compare with calculation value on mosaic image, it is showed that RMSE is 0.3cm.

**KEYWORDS :** Underwater Video Camera Calibration, Pipe Mosaic, Underwater Oil Pipeline Management

## 서 론

최근 발생한 태안 앞바다 원유누출사고와 관련하여 석유 유출 관련 사고가 사회적 문제로 대두되고 있다. 누출사고에는 태안의 예와 같이 선박의 충돌로 인해 발생하는 사고와 해상 원유 하역시설중 하나인 부이(Buoy)의 손상에 의한 사고, 부이에서 육상까지 원유운송을 위한 해저 송유관 손상에 의한 사고 등이 있다. 본 연구에서는 해저 송유관 손상 사고와 같은 해양석유유출사고의 예방 및 관리를 위하여 공간정보 구축 기술 개발에 목적을 두고 연구를 진행하였다. 해외에서는 자원 탐사 및 해양 시설물 관리를 위하여 수중 로봇(AUV, ROV)을 활용한 연구가 많이 진행되었다. 그러나 수중 로봇은 장비 가격뿐만 아니라 유지 관리비가 매우 높아 국내 수중 시설물 관리에서 일반적으로 활용한 사례가 거의 없다.

현재 국내에서는 해양오염 방지를 위해 선박이나 시설 등에 대한 출입 검사를 실시하고 있으며, 해저 송유관, 호스, 저장탱크, 돌핀 또는 원유소유용 부이 등의 해양시설물에 관한 정기적인 점검을 실시하도록 법적으로 규정하고 있다. 그러나 이러한 일련의 점검은 잠수사의 아날로그 비디오 촬영으로만 시행되고 있어, 보다 정량화·자동화 된 수중시설관리용 공간정보 기술이 요구된다. 해저영상촬영의 경우 수중환경 특성상 시야가 혼탁하고, 좁은 시

야각과 짧은 촬영 거리를 가지고 있으므로 넓은 지역을 여러 개의 구역으로 나누어 촬영 한 후, 모자이크 과정을 수행해야 한다(Sakai와 Tanaka, 2004). 또한 수중에서는 촬영 시 광량 부족하여 적절한 조명 사용해야 하고, 피사체에 대한 조명 효과를 제거 해주는 변환을 해야 한다(Marks 등, 1997).

수중 렌즈를 장착한 대표적인 수중 로봇을 활용한 대표적인 연구 사례는 다음과 같다.

Rzhanov et al.(2000)은 영상이 지면에 수직이라는 전제하에 대상물을 촬영하고, 조명 효과를 제거하기 위해 푸리에 변환과 역변환을 실시하였다. 또한 mellin 변환을 통해 각 영상의 회전 및 축척요소를 산출하여 모자이크 하는 방법을 제시하였다. Sakai와 Tanaka(2004)는 모자이크 작업시, 특이점 부재와 위치 정보의 정확성 부재로 인한 자동화의 문제점으로 제시하였다. Laser Line을 이용하여 영상의 오프셋 및 목표물과 카메라 사이의 거리를 이용하여 영상의 축척을 계산하는 방법과 Affine 투영 변환을 적용하여 모자이크 영상을 제작하는 방법을 제시하였다.

본 연구에서는 국내에서 주로 시행되고 있는 잠수사에 의한 비디오카메라를 이용한 육안 분석 기법을 보다 자동화 및 정량화된 수중시설 관리용 공간정보 기술을 제시하고자 한다. 먼저 아날로그 필름의 수중 비디오카메라를 보정하고, 보정 결과를 수중 송유관과 유사한 모델에 적용하였다. 수중 파이프의 다수 영상을 모자이크로 구성하여 정량적인 공간 정보 추출을 시도하였다.

## 수중사진측량 환경 분석

### 1. 물리적인 요인

수중 촬영은 지상과는 다른 여러 가지 특징을 가진다. 첫 번째로 영상 전반에 안개처럼 뿌옇게 되는 현상이 나타난다. 안개 현상은 수중 촬영 시, 물의 혼탁도와 색조의 상실이 그 원인이다. 또한 수중에는 작은 모래나 플랑크톤과 같은 미생물에 이르는 다양한 이물질에 의해 광량이 감소시키거나 빛을 직접 반사하기도 한다. 혼탁도는 수중 촬영을 어렵게 만드는 가장 큰 원인이며, 촬영 시 시야가 제한되어 촬영에 지장이 있다.

두 번째는 장파장 빛의 투과가 제한되어 콘트라스트와 색조가 상실된다. 그림 1은 파장별 투과 수심을 나타낸 것이다. 또한 수중에서는 적황색 계열, 이외에도 밝은 청색, 녹색 그리고 노란색을 띠는 피사체를 촬영 할 때에도 피사체의 색을 충분히 고려해야 한다. 특히 백색을 가진 물체는 난반사를 일으킬 뿐만 아니라 빛을 반사하는 성질을 갖고 있기 때문에 안개효과를 만들어낸다(손인식, 2004).

그림 2은 위의 두 가지 특징을 잘 보여주고 있는 예시이다. 영상 전체적으로 혼탁도가 높으며, 부분적으로 난반사가 일어나는 것을 볼 수 있다. 또한 영상이 전체적으로 녹색 계통을 나타내며 피사체의 색감을 인식할 수 없다.

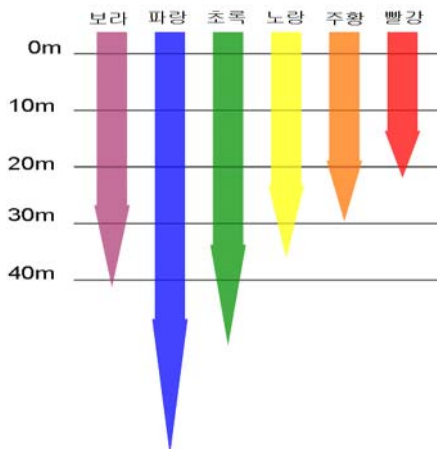


FIGURE 1. 파장별 투과 수심(손인식, 2004)



FIGURE 2. 수중 영상 예시

### 2. 촬영 자세

수중영상촬영은 환경의 분석도 중요하지만, 촬영 패턴의 분석도 영상 모자이크에서 중요한 항목이다. 특히 렌즈 보정 시 렌즈 자세 및 카메라와 타겟과의 위치 관계를 규명하기 위해서 촬영 상황에 대한 패턴 분석이 중요하다. 보정 시 웨이트 밸런스, 하우스링 밸런스, 호흡, 그리고 훅키 등을 통한 촬영 패턴을 분석하여 카메라와 타겟과의 자세 및 위치관계를 규명해야 한다(조용재, 2007).

본 연구에서 분석된 촬영 패턴 항목은 표 1과 같다. 표 1를 기준으로 모자이크 과정을 수행할 영상들의 패턴을 분석할 수 있다.

TABLE. 1 촬영 패턴 항목

촬영패턴에 변화 항목	특징
기본적 웨이트밸런스	·자신에 대한 무게중심 잡기 ·촬영 자세에 대한 무게 중심 잡기
하우스링밸런스	·자신에 무게 및 하우스링 무게에 대한 중심 잡기
호흡	·폐속에 공기 유입으로 인한 무게 및 자세 안정
훅키	·조류를 따라 이동하며 촬영하는 방식 ·관성에 법칙에 사용한 일정 패턴의 자세 잡기

### 3. 조명 및 필터

태양광이 수면을 통과하는 동안 일부가 반사되기 때문에 물속으로 들어오는 빛의 양은 현저하게 줄어든다. 또한 투과된 빛도 미생물이나 먼지와 같은 작은 입자의 부유물에 의해 산란, 반사되기 때문에 수심이 깊어질수록 빛의 양과 명암이 감소하여 인식률이 변화하게 된다. 즉, 수심은 깊어지고 주위환경이 어두워지면 촬영이 어려워진다. 이를 해결하기 위해서는 낮은 수심에서 촬영하는 방법, 인공광인 수중라이트를 이용하는 방법, 그리고 색보정 필터(color compensating filter)를 사용하는 방법 등이 있다. 수중 비디오 촬영에서 선명하고 자연스런 색감을 살리는 방법은 태양광이 잘 들어오는 낮은 수심에서 촬영하는 것과 빛이 반사할 수 있는 깨끗한 바다가 영상촬영에 좋은 환경이라 할 수 있다.

앞서 기술한 바와 같이, 수중에서는 적황색 계열이 사라지면서 점점 단일화된 색을 띄게 된다. 이는 하우징 내부에 장착된 색 보정 필터를 사용함으로써 전체적인 색을 보정할 수 있지만, 아주 낮은 수심에서만 가능하다. 대부분의 수중비디오 촬영에서는 인공광인 수중라이트를 사용하게 된다. 수중라이트에서 쓰이는 인공광원은 붉은색 계열의 할로겐램프와 태양광과 같은 색온도를 가진 HID 램프로 나누어진다. 최근에는 태양광과 같은 색온도를 가지며, 고장에 대비해 여러 개의 램프가 장착된 LED 램프도 출시되었지만, 촬영 시 초점이 여러 개가 나타나는 단점이 있다.

### 연구 방법

수중비디오카메라 영상 모자이크 영상 제작은 지상에서 사용하는 비디오카메라에 하우징을 씌워, 수중에서 영상을 촬영한 후 모자이크 과정을 수행하기 때문에 비디오카메라에 대한 보정 부분과 모자이크 영상 제작 부분으로 나누어진다. 지상 실험의 경우, 획득한 영상의 왜곡보정

을 위하여 비디오카메라 렌즈에 대한 보정만 수행한다. 그러나 수중에서는 렌즈 보정뿐만 아니라 비디오카메라를 둘러싸고 있는 하우징 안과 밖의 매질 차이로 인한 왜곡도 보정해야 한다. 또한 그림 3과 같이 촬영 패턴에 맞는 투영 변환을 실시하고 파이프상의 특이점을 이용하여 모자이크 과정을 수행해야 한다.

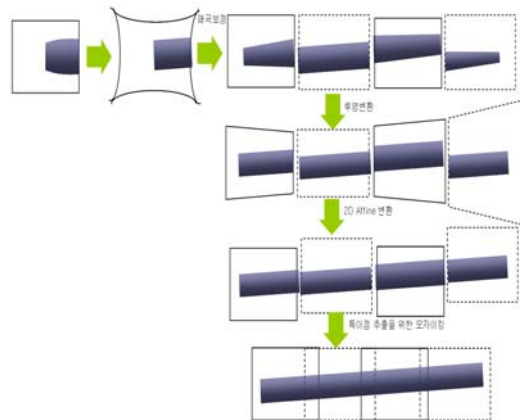


FIGURE 3. 수중비디오 모자이크 영상 제작 개념도

#### 1. 수중 영상 왜곡 보정

본 연구에서는 수중영상 왜곡 보정을 위해 사진 측량에서 사용하는 주점편위, 방사왜곡 및 비대칭 왜곡계수를 사용하였다. 주점편위는 영상의 중심과 CCD의 중심이 일치하지 않음으로 해서 발생하는 왜곡량이며, 방사왜곡은 상의 위치가 주점으로부터 방사방향을 따라 왜곡되어 나타나는 것을 말한다. 비중심왜곡은 접선왜곡과 방사왜곡이 합성된 것으로서 렌즈 조합의 불완전하게 발생한다(서동주 등, 2005).

수중 촬영에서는 수중의 미세 먼지 및 매질에 의하여 피사체가 실제보다 10~20%정도 가깝게 찍히게 된다. 이러한 현상은 방사왜곡으로 나타나게 되며, 영상 중심에서 외곽으로 갈수록 왜곡이 심해진다.  $x, y$  방향에 대한 방사

왜곡은 식 (1)과 같다(Wolf와 Dewitt, 2000).

$$\begin{aligned} y \text{ 방사왜곡량} &= y_j(1 + k_1 r_j^2 + k_2 r_j^4 + k_3 r_j^6) \\ x \text{ 방사왜곡량} &= x_j(1 + k_1 r_j^2 + k_2 r_j^4 + k_3 r_j^6) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서  $(x_p, y_p)$ 은 사진 주점 편위를 의미한다.  $x, y$  방향에 대한 비중심왜곡량은 식 (2)와 같다.

$$\begin{aligned} x \text{ 비중심왜곡량} &= (1 + p_3 r_j^2 + p_4 r_j^4) \\ & [p_1 (r_j^2 + 2x_j^2) + 2p_2 x_j y_j] \\ y \text{ 비중심왜곡량} &= (1 + p_3 r_j^2 + p_4 r_j^4) \\ & [2p_1 x_j y_j + p_2 (r_j^2 + 2y_j^2)] \end{aligned} \quad (2)$$

주점 편위, 방사왜곡, 그리고 비중심왜곡 도입한 통합 관측방정식은 식 (3), 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned} F = 0 &= x_j - x_p \\ &- x_j(1 + k_1 r_j^2 + k_2 r_j^4 + k_3 r_j^6) \\ &- (1 + p_3 r_j^2 + p_4 r_j^4) \\ & [p_1 (r_j^2 + 2x_j^2) + 2p_2 x_j y_j] + f_x \frac{r}{a} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} G = 0 &= y_j - y_p - y_j(1 + k_1 r_j^2 + k_2 r_j^4 + k_3 r_j^6) \\ &- (1 + p_3 r_j^2 + p_4 r_j^4)[2p_1 x_j y_j \\ &+ p_2 (r_j^2 + 2y_j^2)] + f_y \frac{r}{a} \end{aligned} \quad (4)$$

## 2. 파이프 모델 기반 투영 변환

모자이크을 위해서는 외부 표정요소가 중요하다. 수중 로봇의 경우, 카메라의 위치 및 자세, 파이프와의 거리 정보를 제공한다. 그러나 본 연구에서는 실험조건의 제약으로 인해 수중에 설치한 실제 송유관 형태의 파이프를 잠수사가 촬영한 자료를 사용하였다. 실험의 정확도를 위해 그림 4와 같이 최대한 일정한 거리와 방향을 유지하며 바닥과 지면이 동시에 촬영되도록 하였다.

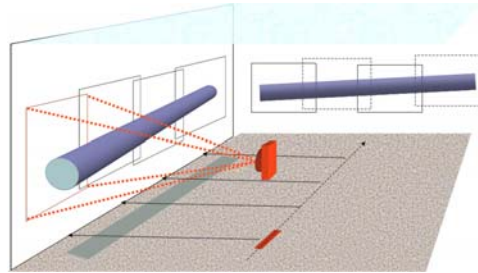


FIGURE 4. 수중 파이프 촬영 패턴

본 연구에서는 촬영한 조건에 부합하는 투영변환을 실시하였다. 수중촬영을 고려하여 투영변환은 원근변환식(Perspective Transform)을 이용하였다. 즉, 영상과 영상 간에 카메라 회전 성분만이 존재한다고 가정한 후, 최초 촬영 영상을 기준 영상으로 정하여 기준 영상과 이외의 다른 영상과의 투영 관계를 원근변환식을 활용하여 분석하였다. 원통 투영을 위해서는 식 (5)와 같은 관계를 이용하여 실제계 좌표  $P(X, Y, Z)$ 를 2차원 실린더 좌표계로  $(\theta, z)$ 로 변환 시켜야 한다.

$$\theta = \tan^{-1}(X/Z), v = Y/\sqrt{X^2 + Y^2} \quad (5)$$

여기서  $\theta$ 는 카메라의 회전각도이며,  $v$ 는 스캔 라인(scanline)이다. 본 연구에서는 사용하고 있는 좌표계는 영상 좌표  $P(x, y)$ 이다. 그

러프로 식 (5)는 식 (6)과 같이 나타낼 수 있으며, 이를 이용하여 직교좌표계의 영상을 실린더 좌표계로 변환된다.

$$\theta = \tan^{-1}(x/f), v = y/\sqrt{x^2 + f^2} \quad (6)$$

### 3. 디지털영상처리기술을 이용한 모자이크

실린더 좌표계로 변환된 영상의 특이점 추출을 위하여 Harris 특징 추출법을 사용하였다. Harris 기법은 각 영상의 픽셀에 대하여 아래 식 (7)과 식 (8)에 나타낸  $R$ 과  $M$ 을 계산한 후,  $R$ 의 국부 최대값을 가지는 픽셀을 특이점으로 선택하는 것이다.

$$M = \begin{pmatrix} s_o(I_0^2) & s_o(I_x I_y) \\ s_o(I_x I_y) & s_o(I_y^2) \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$R = \det M - k(\text{trace} M)^2 \quad (8)$$

여기서  $I_x$ 와  $I_y$ 는 각각 영상  $I$ 의  $x, y$ 에 대한 편미분,  $S_o$ 는 등방성 가우시안 필터를 의미한다. 추출된 특이점을 이용하여 투영 변환 행렬을 계산하기 위해 지역레지스터와 전역 레지스터를 산출하였다. 지역 레지스터를 산출하는 과정은 다음과 같다.

연속된 두 영상 사이의 투영변환행렬은 일치점의 집합으로부터 계산되며, 두 영상을 영상 1, 2로 나누고 각 점의 좌표를 각각  $X_1=(x_1, y_1, 1)^T, X_2=(x_2, y_2, 1)^T$  이라고 하면, 식 (10)과 같은 투영변환식을 만족한다.

$$X_2 = M_{12} X_1 \quad (9)$$

$$\begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} m_0 & m_1 & m_2 \\ m_3 & m_4 & m_5 \\ m_6 & m_7 & 1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (10)$$

여기서  $(m_0, m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6, m_7)$ 은 미지수이다. 식 (10)을 정리하면 두 영상의 동일 위치 점에 대해 아래 식 (11)과 같은 연립 방정식을 만들 수 있다.

$$\begin{aligned} m_0 x_1 + m_1 y_1 + m_2 \\ - m_6 x_1 x_2 - m_7 y_1 x_2 = x_2 \\ m_3 x_1 + m_4 y_1 + m_5 \\ - m_6 x_1 y_2 - m_7 y_1 y_2 = y_2 \end{aligned} \quad (11)$$

따라서  $(m_0, m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6, m_7)$ 의 8개 파라미터를 산출하기 위해서는 4쌍 이상의 대응점을 이용하여야 한다. 다음으로 전역레지스터를 산출하는 과정은 다음과 같다.

두 영상에서 얻어진 지역 레지스터 값은 전역 레지스터를 통해서 다시 변환된다. 즉 연속 영상 중 기준 영상을 정하고 이에 대한 나머지 모든 영상의 투영변환행렬계수를 산출한다. 전역 레지스터링 대한 변환 과정은 그림 5와 같으며, 최종 투영변환행렬,  $T_j$ 를 이용하여 모자이크 영상을 구현한다(김효성 등, 2002).

기준영상

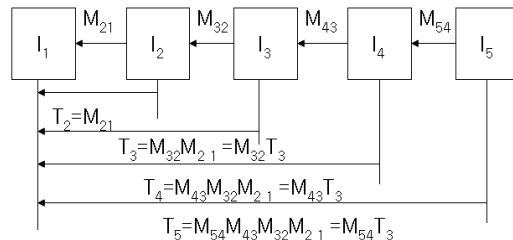


FIGURE 5. 전역 레지스터링

### 4. 디지털 모자이크 영상기반 이격거리산출

본 연구 최종 목적은 수중비디오 카메라를 이용한 시설물 중 특수한 수중 송유관 관리에 사용되는 모델을 개발하는데 있다. 이를 위한 전체 공정은 그림 6과 같다.

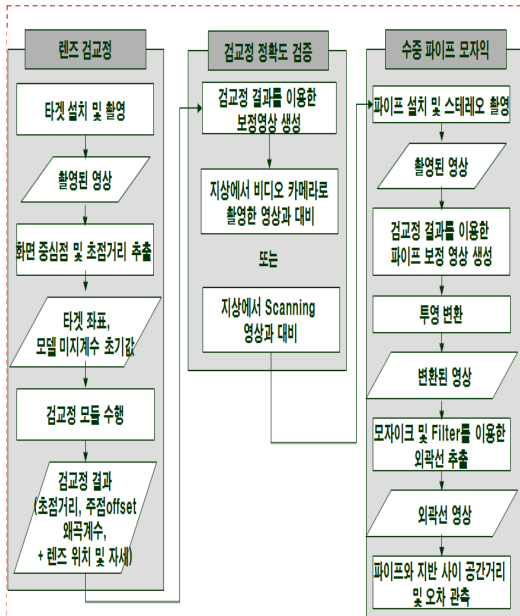


FIGURE 6. 모자이크 및 이격거리 산출 순서

파이프와 지반과의 공간적인 상태를 분석하기 위해서는 해당 파이프와 지반의 외곽선 추출이 가능해야 한다. 또한 에지(edge) 추출 시, 에지의 중심에 위치한 임의의 에지만을 찾을 수 있어야 하며, 폐곡선의 윤곽선을 찾을 수 있는 필터를 사용해야 한다.

본 연구에는 이와 같은 외곽선 추출을 위해 라플라시안 필터(Laplacian filter)를 사용하였다. 라플라시안 필터는 2차원 미분 연산자로서, 에지의 방향을 단일화하기 때문에 다른 연산자와 구별이 되며, 에지의 경우 방향에 관계없이 큰 값을 갖는 특징을 가지고 있다. 본 연구에서는 그림 7과 같은 마스크를 사용하여 에지를 추출하고 공간 정보를 수치화한다.

0	1	0
1	-4	1
0	1	0


FIGURE 7. 에지 추출에 사용된 마스크

### 실험 및 분석

본 연구에서는 수중영상 보정을 위하여 한국 폴리텍3대학(강릉캠퍼스) 수중실습장에 보정 시설을 제작하여 설치하고 실험하였다. 이 장소는 낮은 수심이고 자연광을 사용할 수 있기 때문에 안개 문제를 제거할 수 있으며, 바닥 색깔이 파란색이므로 색조 감소의 현상과 난반사를 막을 수 있다. 또한 바닥이 편평하여 삼각대를 사용할 수 있어 잠수사의 밸런스 문제를 제거할 수 있는 장점이 있다. 그림 8은 보정을 위해 잠수사에 의한 타겟 촬영 현장을 나타낸 것이다.

일반적으로, 수중에서의 비디오 촬영은 캠코더가 들어갈 수 있는 하우징을 사용하여 촬영하는 방법이 일반적이며, 수중촬영 전용으로 제작된 수중 비디오카메라는 아직 없다. 표 2는 본 연구에서 사용한 일본 sony사에서 제작된 HDR-FX1 비디오카메라 사양과 특징을 나열하였다.

TABLE 2. 비디오카메라 사양 및 특징

	1440×1080	줌	12
화소	(112만 화소)		
	bit	14bit HD	렌즈 고성능 와이드 앵글 렌즈
	와이드	16:9	무게
크기 (mm)	151×181×365	원산지	일본

타겟을 촬영한 후, 수중 비디오카메라의 왜곡 계수를 산출한 뒤, 송유관과 동일한 모양의 파이프를 수중에 설치하였다. 실제 원유 수송 현장에서 사용되고 있는 송유관은 원유 하역시설의 규모에 따라 직경의 차이는 있지만, 해당 시설에서 사용되는 대부분의 송유관 직경은 동일하다.

본 연구에서 사용한 파이프는 길이가 128cm이며, 직경이 28cm와 33cm 인 두 개의 파이프를 연결하여 사용하였다. 또한 파이프 유격은 지상에서 실측하였으며, 여기서 유격은 파이프와 지반과의 공간 사이 간격을 의미한다. 그리고 이 유격은 파이프의 이격거리 산출시 검증 값이 된다.



FIGURE 8. 잠수사에 의한 타겟 촬영 모습

보정 프로그램을 사용하기 위해서 그림 9와 같이 9개의 방향에 대한 영상을 취득하였다. 보정의 정확도를 높이기 위하여, 삼각대를 사용하였으며 타겟과 카메라의 각도는 대략 30°~45° 범위에서 촬영 하였다. 취득된 영상은 그림 9와 같다.

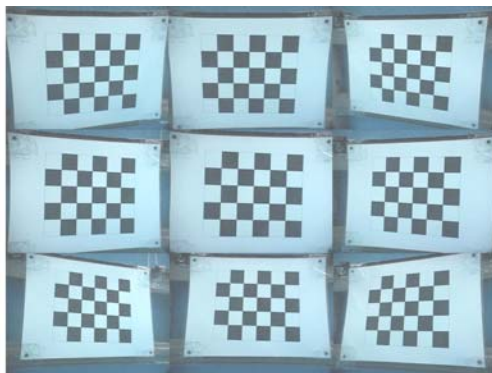


FIGURE 9. 수중에서 9개 방향에서 촬영한 영상

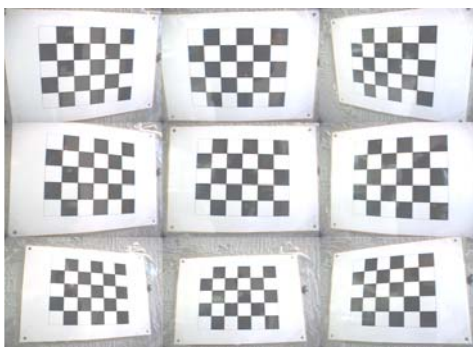


FIGURE 10. 지상에서 9개 방향에서 촬영한 영상

또한 수중 영상의 보정 계수를 분석하기 위해 지상에서 동일한 방법으로 그림 10과 같이 촬영하였다. 본 연구에서는 보정 계수 추출 시 안개 문제를 제거를 위해 자연광을 사용할 수 있고, 바닥 색깔이 파란색이므로 난반사를 제거할 수 있는 수심이 1.5m인 수중실습장에서 실험하였다. 그리고 지상과 수중에서 영상을 촬영하여, 격자 점을 추출하고 보정하였다. 각각 산출된 보정 계수를 표 3에 나타내었다. 촬영장수를 두 배로 늘려 18장으로 보정 계수를 추출한 결과, 9장의 영상으로 보정한 결과와 차이는 거의 없었다.

수중 촬영의 경우, 매질 차이로 인해 10~15% 굴절이 일어나는데, 실제 촬영 보다 가깝게 촬영되는 현상이 발생하는 것을 표 3의  $f_x$ ,  $f_y$ 를 통해 알 수 있으며, 또한 방사왜곡 계수에서 지상촬영과 비교했을 때, 증가폭이 큰 증가함수이기 때문에 수중촬영의 경우, 방사왜곡이 크게 나오는 결과가 나왔다(강진아 등, 2008).

TABLE. 3 보정 계수

수중 촬영		지상 촬영	
$x_p$	350.100	$x_p$	341.854
$y_p$	242.351	$y_p$	243.371
$f_x$	645.299	$f_x$	501.522
$f_y$	654.616	$f_y$	509.536
$k_1$	0.03771396	$k_1$	-0.15371211
$k_2$	0.31109638	$k_2$	0.23202907
$k_3$	-0.0000801	$k_3$	0.00037835

파이프 영상을 취득한 후, 표 3에서 산출한 보정계수를 사용하여 촬영된 영상을 보정한 결과는 그림 11과 같다. 보정 전 영상에서 영상 중심에서 외곽으로 갈수록 왜곡이 증가하는 것을 파이프 외곽선을 통해 알 수 있으며, 또한 보정 후 영상에서 외곽 부분의 영상점들이 영상 안쪽으로 위치 보정된 것을 확인할 수 있다.

또한 식 (6)의 관계를 이용하여 직교 좌표계 영상을 원통 좌표계 변환하면 그림 12와 같다.

한편, 수중영상 왜곡보정 자동화를 위해서는 카메라 자세 및 대상물과의 거리 관계에 관한



명확한 정보가 필요하다. 그러나 본 연구에서 사용한 장비는 일반 비디오카메라로, 자동화를 위한 정보가 부족하다. 그러므로 본 연구에서 파이프에서 임의로 특이점을 추출하여 여러 개의 영상을 그림 13과 같이 모자이크하였다(정동훈, 2004).

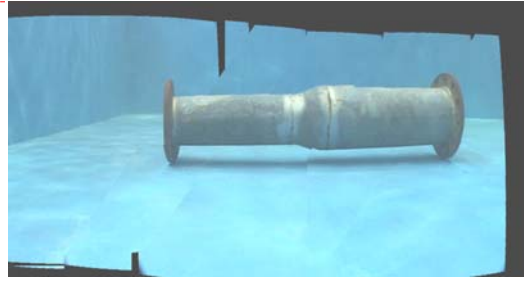
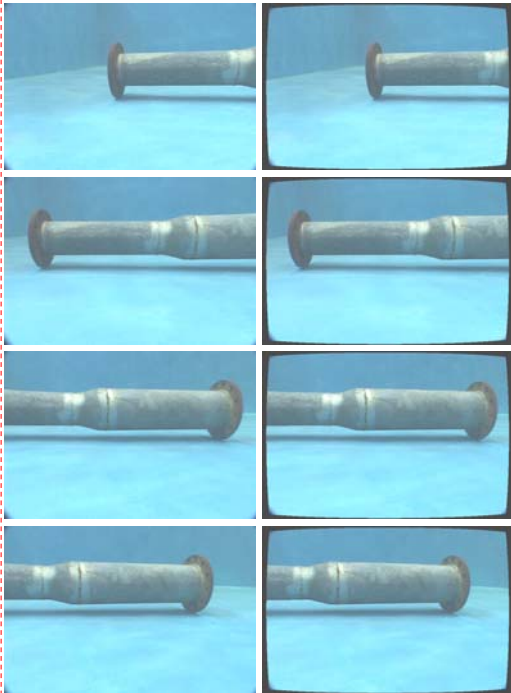


FIGURE 13. 모자이크 영상

파이프와 지반과의 거리를 추출하기 위해서는 모자이크 영상에서 파이프의 외곽선 추출을 위하여 라플라시안 필터를 사용하였다. 외곽선 부분 추출 결과는 그림 14와 같다. 이 영상의 에지 부분에서 부호가 바뀌는데, 이를 영교차(zero crossing)라 부르며, 이 부분에서 출력 화소를 생성하게 된다. 연구에 사용된 송유관은 직경이 일정하므로 픽셀 비를 이용하여 지반과의 거리를 산출할 수 있다. 즉, 그림 14의 세로 흰색 선으로 표시된 부분에서 파이프의 직경과 지반과의 픽셀개수의 비는 103 : 38pixel 이다. 실제 측정에 의한 파이프의 직경이 16 cm이므로, 픽셀 개수의 비례식에 의해 파이프와 지반의 공간 사이 거리가 5.9cm로 산출됨을 알 수 있다. 파이프와 지반과의 거리의 실제 측정값은 6cm 이었다. 그러므로 영상에서 계산된 값과 실제 거리와의 차이는 1mm가 발생하였다.



보정 전

보정 후

FIGURE 11. 파이프 보정 전·후 영상

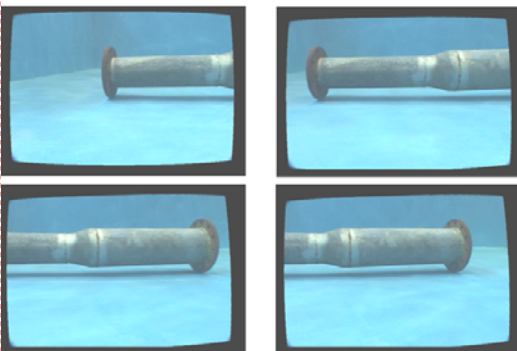


FIGURE 12. 원통 좌표계로 변환

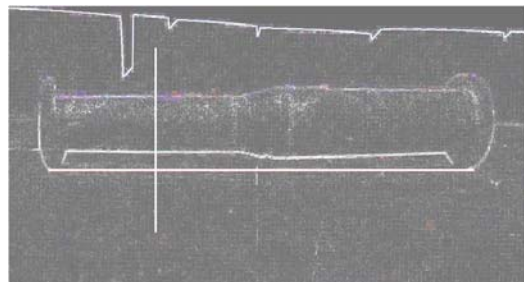


FIGURE 14. 라플라시안 필터를 이용한 외곽선 추출

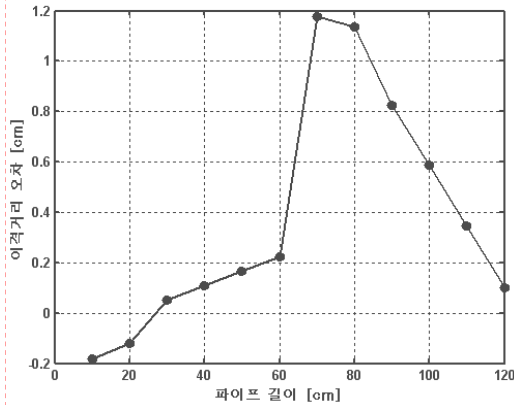


FIGURE 15. 파이프 길이에 따른 이격거리 오차 산출

파이프의 직경을 사용하여 파이프 전체에 대한 이격거리의 오차를 산출한 결과는 그림 15와 같다. 파이프 좌측을 기준으로 10cm 간격으로 이격거리를 구하였다. 파이프 길이가 60~70cm에서 파이프의 굵기가 변하는 것을 알 수 있으며, 60cm까지는 파이프 좌측을 기준으로 거리가 멀어질수록 오차가 증가하는 것으로 볼 수 있다. 이는 투영 변환에 따른 오차가 증가하는 것으로 볼 수 있으며, 70cm 이상부터는 오차가 줄어드는 것을 볼 수 있다. 그 원인은 영상의 왜곡과 기준 영상에 따른 투영 변환 오차가 나타나는 것을 볼 수 있다. 실측된 이격거리 6cm에 대하여 거리에 따른 평균 RMSE를 구하면 0.315cm로 나타났다.

### 결 론

수중에서는 빛의 굴절에 의해 방사왜곡이 크게 발생하고 파장에 따라 빛 흡수 또는 혼탁도의 영향을 크게 받기 때문에, 이러한 특성을 고려하여 왜곡 보정 모델 및 체계가 필요하다. 이에 본 연구에서는 앞서 기술한 수중환경 특성을 고려하여 보다 정량화된 기술을 제시하였으며 향후 자동화된 수중시설 관리용 관측시스템에 기반기술로서 활용하고자 하였다. 수중비디오카메라를 이용하여 관측방향과 거리를 일정하게

유지하면서 파이프를 촬영하였다. 제시된 왜곡 보정모델로 보정 및 좌표 변환을 실시한 뒤, 특이점을 추출하여 모자이크를 수행하였다. 라플라시안 필터를 사용하여 모자이크 영상에서 바닥면에서 수중파이프 하단까지의 높이를 산출하였다. 외곽선을 추출하여 실제 측정값과 비교한 결과 그림 15와 같이, 최대 오차가 1.2cm이고 평균 RMSE가 약 0.3cm 정도로 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 현재 국내 수중시설물 관리에 사용되는 잠수부에 의한 방법에 적용한 기술들을 개발하였다. 따라서 영상획득에 있어 인위적인 오차가 추가 될 수 있으며, 이는 연구 결과에도 영향을 미칠 수 있다. 해외에서는 이러한 문제점을 보완하기 위하여 해양 자원 탐사를 위하여 수중로봇(ROV, AUV)를 활용하고 있다. 그러므로 향후 국내에서도 잠수사가 아닌 상시 모니터링 장비나 로봇과 연계된 기반 연구가 필요하다.

잠수부 촬영 시스템에 본 연구에서 제안된 기술을 적용할 경우, 수중 공간정보 정량화와 자동화에 기여할 것으로 판단된다. 이러한 시스템은 정량적인 결과를 도출하여 각종 모니터링 시스템이나 로봇 응용, 나아가 첨단 수중 관측 기술 및 수중 비디오 영상시스템과의 연계를 통한 다양하고 신뢰도 높은 수중환경정보 구축에 활용할 수 있을 것으로 기대된다. **KAGIS**

### 참고 문헌

강진아, 박재민, 김병국. 2008. 사진측량 기법을 사용한 광각렌즈 왜곡보정에 관한 연구. 한국측량학회지 26(2):103-110.

김효성, 김길중. 2002. 해상 환경에서의 파노라마 영상 생성 기법에 관한 연구. 신호처리 시스템학회 논문집 3(3):41-46.

손인식. 2004. 텔레비전 수중촬영 기법에 관한 연구. 중앙대학교 석사학위 논문. pp.15-44.

서동주, 김진수. 2005. 근접수치사진측량의 수렴각변화에 따른 정밀도 해석. 한국지리정보학회지 8(4):123-133.

- 조용재, 이영도, 정범석. 2007. 무선조종 헬기 영상을 이용한 절취단면의 토사유출인자 산정. 한국지리정보학회지 10(2): 81-89.
- 정동훈. 2004. 차량측량시스템을 위한 카메라 교정 및 3차원 위치결정에 관한 연구. 인하대학교박사학위 논문. 94-103쪽.
- Marks, R.L., S.M. Rock and M.J. Lee. 1995. Real-time video mosaicking of the ocean floor, Oceanic Engineering, IEEE Journal, Vol. 20, pp. 229-241.
- Rzhanov, Y., L.M. Linnett and R. Forbes. 2000. Underwater video mosaicking for seabed mapping, Image Processing, 2000 International Conference on, Vol. 1, pp. 224-227.
- Sakai H. and T. Tanaka. 2004. Applicability and improvement of underwater video mosaic system using AUV, MTTTS/IEEE TECHNO-OCEAN '04. Vol. 2, pp. 659-664.
- Wolf, P. R., and Dewitt, B. A. 2000. Elements of photogrammetry with application in GIS, 3th Edition, McGraw-Hill, pp. 608. **KAGIS**