

연구논문

# 디지털 비디오카메라를 이용한 아스팔트 콘크리트 포장 노면 정보획득 Surface Information Acquisition for Asphalt Concrete Pavement Using Digital Video Camera

서정훈\* · 서동주\*\* · 이종출\*\*\* · 이성록\*\*\*\*

Seo, Jeong Hoon · Seo, Dong Ju · Lee, Jong Chool · Lee, Sung Rock

## 要 旨

포장노면관리시스템은 노면의 상태를 정밀히 조사·분석하고 유지보수에 대한 계획을 수립할 수 있는 시스템으로 구성하여야 한다. 현재 구축되어 있는 대부분의 포장노면관리시스템은 전문가가 현장에서 노면의 상태를 조사한 후 그 결과를 입력하도록 되어있다. 현재의 실정과 향후의 포장도로의 증가를 고려할 때 포장도로 전체를 전문가가 직접 조사하는 것은 비효율적일 뿐만 아니라 지속적인 포장노면관리시스템의 유지가 어려운 실정이다. 따라서, 다중영상표정과 광속조정법에 의해 결정된 도로노면의 3차원 좌표의 정확도를 분석한 결과 표준오차의 평균은 X방향으로 0.0427m, Y방향으로 0.0527m, Z방향으로 0.1539m로 나타났다. 이 결과는 우리나라에서 현재 제작하여 사용하고 있는 축척 1:1000 이하의 지도제작 및 GIS 자료로서 충분히 활용성이 있다.

**핵심용어** : 수치사진측량, 디지털 비디오 카메라, 도로노면영상, 다중영상표정

## Abstract

In the study, there has been a sharp upward trend in road maintenance cost as the expansion of road networks increases. Running a pavement management system(PMS) is indispensable for efficient and scientific maintenance of the whole road networks with limited maintenance budgets. With a PMS, a maintenance plan should be drawn up after surface conditions are precisely examined and analyzed. The majority of the present PMSs are run by the fact that experts first examine surface conditions on sites, and then enter results into systems. However, considering the actual circumstances of the present time and the increase in paved road hereafter, it is inefficient that experts examine the whole paved roads in person and long-lasting PMSs can not be kept up. As a result, after analyzing the accuracy of 3-D coordinates representing road surfaces that was decided using multi orientation and digital photogrammetry, the average of standard errors turned out to be 0.0427m on the X-axis, 0.0527m on the Y-axis and 0.1539m on the Z-axis. It was found to be good enough to be put to practical use for maps drawn on scales below 1:1000, which are being currently made and used within the country, and GIS data.

**Keywords** : Digital Photogrammetry, Digital Video Camera, Road Surface Image, Multi Image Orientation

## 1. 서 론

도로의 연장은 해마다 증가하고 있으며, 또한 도로 연장이 증가함에 따라 전체 도로 유지보수 비용은 급격히 증가하는 추세에 있으며 제한된 유지보수 예산으로 전체 도로망을 효율적이고 과학적인 유지관리를 위해서는 포장유지관리 시스템(Pavement Management System : PMS)의 운영은 필수적이다.

따라서, 포장유지관리 시스템은 노면의 상태를 분석하고 도로의 유지보수에 대한 정보를 제공해 줄 수 있는 시스템으로 구성하여야 한다. 현재 적용되고 있는 대부분의 포장유지관리시스템은 전문가가 현장에서 노면의 상태를 파악한 후 그 자료를 입력하도록 되어 있다. 그러나 우리나라 포장도로의 총 연장이 2003년 12월 현재 97,252km이며, 이중 포장도로의 연장은 74,640km에 이르고 있다(건설교통부, 2003). 그러므로 현재의 실정과

2004년 8월 23일 접수, 2004년 9월 10일 채택

- \* 정희원, 부경대학교 토목공학과 공학박사 (jhseo@mail1.pknu.ac.kr)
- \*\* 정희원, 부경대학교 토목공학과 공학박사 (dpsdj@mail1.pknu.ac.kr)
- \*\*\* 정희원, 부경대학교 건설공학부 교수 (jcleee@mail.pknu.ac.kr)
- \*\*\*\* 부경대학교 건설관리협동과정 박사수료 (lsungrock@hanmail.net)

향후 포장도로의 증가를 고려할 때, 포장도로 전체를 전문가가 직접조사하는 것은 비효율적인 뿐만 아니라 지속적인 포장유지관리시스템의 유지가 어려운 환경이다. 이러한 문제 때문에 최근 포장도로 노면에 대한 자동 측정 시스템에 대한 연구가 선진국에서는 활발히 진행되고 있으나 우리나라의 경우는 미흡한 상태이다. 그리고 포장상태 자동측정 시스템은 고가이기 때문에 경제성이다소 떨어지는 실정이며, 도로포장 노면관리에서 가장 중요한 노면균열상태 및 연성포장에서 소성변형량의 측정이 어려운 실정이다.

이에 선진국에서는 근거리 사진측량용 디지털 사진기로 영상을 획득하여 입체영상 해석을 통하여 삼차원 형상을 해석할 수 있어 공간분석에 널리 응용되고 있다(Henri 등, 1998).

따라서, 본 연구에서는 아스팔트 콘크리트 포장도로의 노면정보를 비디오 카메라를 이용하여 디지털 영상화하고 분석하여 아스팔트 콘크리트 도로의 노면포장 관리시스템을 개발에 필요한 정보를 제공함으로써, 중추적인 사회간접자본 시설인 도로의 효율적인 관리를 위한 방법을 제시하는데 그 목적이 있다.

## 2. 디지털 영상이론

사진측량학은 사진과 렌즈의 투영중심 그리고 대상물간의 기하학적 관계를 이용하여 대상물이 지니고 있는 특성을 정량·정성적으로 해석하는 것이다(Krauss, 1997). 사진의 기하학적인 원리는 중심투영이며, 대상물의 영상은 대상물로부터 반사된 빛이 렌즈의 중심을 통과하여 필름면에 투영되어 나타난다. 사진과 대상물간의 상관관계는 공선조건식, 광속조정법, 에피플러 기하학 등의 이론에 의해 해석된다.

### 2.1 공선조건식

사진의 기하학적 원리는 중심투영이며, 사진의 상은 대상물로부터 반사된 광선이 렌즈의 중심을 통과하여 필름면 또는 CCD에 투영되어 나타나게 된다. 이러한 사진과 대상물간의 관계는 공선조건에 의해 해석된다(Wolf, 1983).

공선조건(collinearity condition)은 대상물과 사진기의 관계에 있어서 사진의 노출점과 촬영된 사진상의 점 및 대상점이 일직선상에 놓여야 한다는 조건을 식으로 나타낸 것이며 기하학적으로는 그림 1과 같다(Pratt, 1991).

### 2.2 다중영상표정 및 광속조정

다중영상의 표정이란 여러 다른 사진들과 대상물에 관

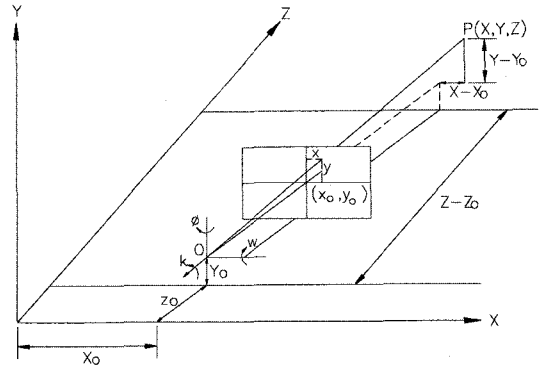


그림 1. 공선조건

련된 각 사진의 카메라 위치( $X_c, Y_c, Z_c$ )와 회전요소( $\kappa, \Phi, \omega$ )에 대한 계산이며, 표정점에 대한 대상물 좌표를 계산하는 것으로서 내부표정과 외부표정으로 구분할 수 있다.그 모습은 그림 2와 같다.

내부표정은 카메라의 내적인 특성을 나타내는 것으로 주점의 위치( $X_0, Y_0$ )와 주점거리( $cK$ )를 결정하는 것이고, 외부표정은 카메라 시스템과 대상물 공간사이의 관계를 나타내는 것으로 카메라 외부투영 중심으로 절대좌표계  $X, Y, Z$ 에 관계되는 촬영점 좌표  $X_c, Y_c, Z_c$ 에 의해 표현되며, 절대좌표에 관계되는 사진좌표축의 각회전  $\kappa, \Phi, \omega$ 를 알아야 한다. 상-대상물 관계를 정의함에 있어서 기본적으로 외부표정요소는  $\kappa, \Phi, \omega, X_0, Y_0, Z_0$ 이며, 표정각  $\kappa, \Phi, \omega$ 는 사진좌표계와 절대좌표계 사이에서의 회전변환요소를 말한다.

다중영상접합에서는 표정을 위해 공간 전방교회법(space intersection)과 공간 후방교회법(space resection)을 동시에 이용한다.

공간 전방교회법은 각 영상에서의 동일점을 지나는 광속이 3차원 공간에서 교차한다는 원리를 기초로 하는 사진측량학적인 계산방법으로 두 장도는 그 이상의 사진에

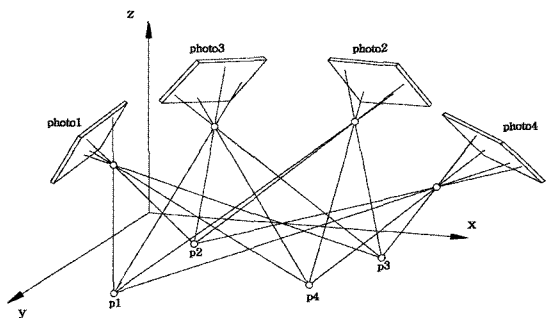


그림 2. 다중영상표정

대해서 알고있는 내부 및 외부표정을 이용하여 점의 지상좌표를 풀기 위한 것이며, 이를 도식화하면 그림 3과 같다.

공간 후방교회법은 이미 알고 있는 위치와 일치하는 지점에서 적어도 3개의 기지방향으로 교차시키므로써 공간 위치를 결정하는 것이며, 기지의 대상물 좌표와 적어도 3개의 표정점의 사진 좌표로부터 어떤 사진의 외부 표정을 결정하는 방법으로써 이를 도식화하면 그림 4와 같다.

공선조건에 만족하기 위하여 대상물 좌표계 결정에 이용된 표정점은 표정 순서에서 최소 3장의 사진에 나타나야 하며, 맨 처음 두 장의 사진은 공간 전방교회법으로 모델 좌표를 계산하게 된다. 두 장의 사진방향은 3차원 공간에서 60~90°의 각도가 이루어지도록 하고 대상물 전역에 골고루 분포되어 있는 최소 7개의 표정점을 갖고 있어야 하며, 공간 후방교회법의 계산을 위하여 각 표정 순서에서 이미 알고 있는 3개의 표정점이 적어도 3장의 사진에 나타나야 한다. 그리고 결과값에 대한 정확도를 미리 고려하여 사진의 표정 순서를 결정하여 그에 대한 영향을 최소화해야 한다(이종출와 서동주, 2003).

### 3. 도로노면의 디지털영상 획득 및 결과

#### 3.1 디지털 비디오카메라 검증

본 연구에서 사용된 카메라는 Sony사에서 제조한 DCR-TRV60 비측량용 디지털 비디오 카메라를 사용하여 일정한 높이에서 도로의 한 차선을 한 화면에 촬영하기 위하여 디지털 비디오카메라 앞에 VCL-HG0737X 광각렌즈를 부착하여 비디오 모드(108만 화소)로 캘리브레이션 및 도로노면을 촬영을 하였으며, 이때 초점거리는 4.5mm로 고정하여 캘리브레이션을 하였다. 그리고 도로폭원을 한사진에 나타나지 않아서 두 대의 카메라를 사용했으며, 그리고 광학렌즈까지 부착하여 촬영하였다. 또한 캘리브레이션에서도 광학렌즈를 부착한 두 대의 카메라로 실시하였다.

카메라 렌즈의 정확한 매개변수를 검증하기 위하여 본 연구에서는 그림 5와 같은 35mm 슬라이드를 이용하여 그림 6과 같이 어두운 벽면에 그리드 무늬를 약 1.2m×1m 크기로 투영시켜 카메라 위치를 왼쪽 및 오른쪽의 상단위치, 중앙위치, 중앙 수직위치(90°회전), 하단위치에서 8장의 사진을 획득하였다.

본 연구에서 사용한 S/W Photomodeler 5.0은 비측량

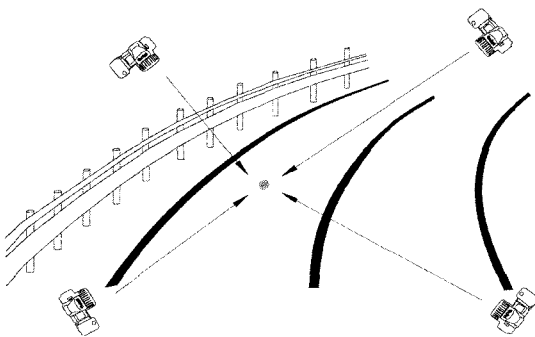


그림 3. 공간전방교회법

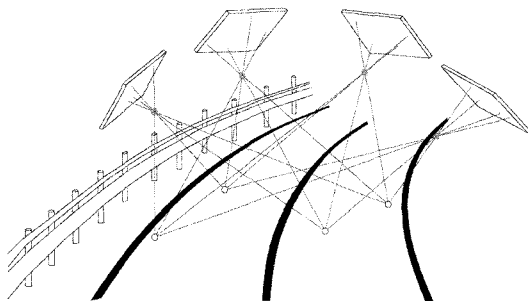


그림 4. 공간후방교회법

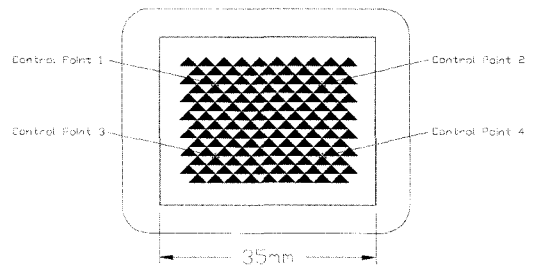


그림 5. 35mm 슬라이드

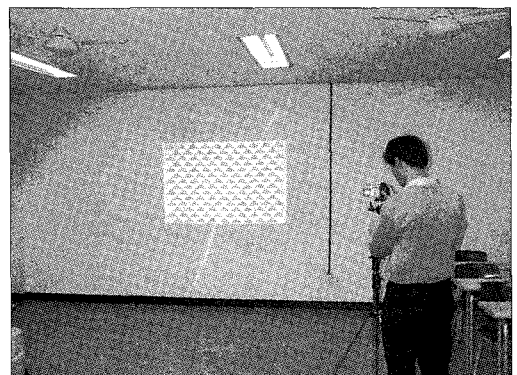


그림 6. 카메라 검증 실험 전경

용 카메라를 비롯하여 스틸카메라, 비디오카메라, 디지털 카메라 등에 광범위하게 적용할 수 있고, Photomodeler에 의해 생성된 3D 모델을 저장하여 일반적인 응용프로그램으로 출력할 수 있으므로 Photomodeler5.0을 이용하여 자동 포인트 마킹으로 검정한 결과 표 1 및 표 2와 같으며, 디지털비디오 카메라 1과 카메라2의 차이는 내부표정요소중 초점거리와 포맷사이즈, 주점의 위치, 그리고 렌즈수차가 미소한 차이가 나타났다.

표 1. 카메라검증결과(No.1)

| [SONY DCR-TRV60 Digital Video Camera] |             |         |              |
|---------------------------------------|-------------|---------|--------------|
| 내부표정                                  | 초점거리        |         | 3.0358mm     |
|                                       | Format Size |         | W 2.6291 mm  |
|                                       |             |         | H 1.9682 mm  |
|                                       | 주점          |         | X 1.3599 mm  |
|                                       |             |         | Y 0.9902 mm  |
|                                       | 렌즈수차        | 방사왜곡    | K1 -0.000459 |
|                                       |             |         | K2 0.0005789 |
|                                       |             | 편심왜곡    | P1 -0.001099 |
|                                       |             |         | P2 -0.001376 |
| 영상크기                                  |             | 720×480 |              |

표 2. 카메라검증결과(No.2)

| [SONY DCR-TRV60 Digital Video Camera] |             |         |                |
|---------------------------------------|-------------|---------|----------------|
| 내부표정                                  | 초점거리        |         | 3.0796 mm      |
|                                       | Format Size |         | W 2.6086 mm    |
|                                       |             |         | H 1.9645 mm    |
|                                       | 주점          |         | X 1.2948 mm    |
|                                       |             |         | Y 1.0382 mm    |
|                                       | 렌즈수차        | 방사왜곡    | K1 -0.001489   |
|                                       |             |         | K2 -0.001311   |
|                                       |             | 편심왜곡    | P1 -9.052E-005 |
|                                       |             |         | P2 0.001219    |
| 영상크기                                  |             | 720×480 |                |

3.2 실험대상지역 선정 및 관측장비 구성

3.2.1 실험대상지역

실험대상지역으로 부산광역시 남구 용당동 인근의 총 연장 약 2.5Km, 도로폭 3.9m인 편도 1차선인 아스팔트 콘크리트포장 도로를 선정하였다. 비교적 교통량이 많은 지역을 택하였으며, 다양한 노면정보를 얻기 위하여 원

곡선과 직선이 조합되어 있고, 균열, 소성변형, 종단평탄성의 추출이 가능한 곳을 선정하였다.

이 실험대상지역의 전경은 그림 7과 같다.

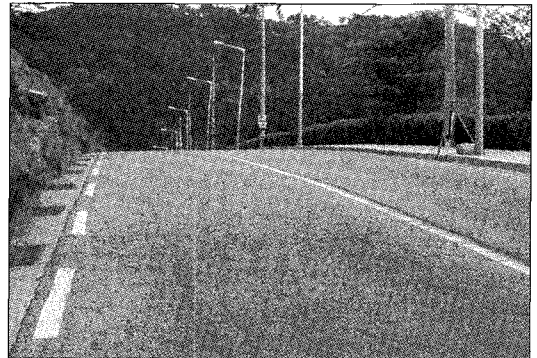


그림 7. 실험대상지역 전경

3.2.2 디지털비디오 카메라

본 연구에서 디지털 영상 획득을 위하여 사용된 카메라는 Sony사에서 제조한 Digital Video Camera(DCR-TRV60)로 카메라의 형상과 제원은 그림 8 및 표 3과 같다.

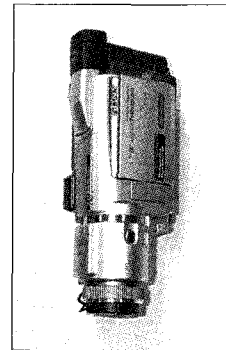


그림 8. 디지털비디오 카메라(DCR-TRV60)

표 3. DCR-TRV60 제원

|        |                  |         |
|--------|------------------|---------|
| 분 류    | DCR-TRV60        |         |
| 레코딩 모드 | CCD recode       |         |
| 총화소    | 211만 화소          |         |
| 유효화소   | 비디오모드            | 108만 화소 |
|        | 메모리모드            | 192만 화소 |
| 셔터     | 1/4000 sec(자동)   |         |
| 주점거리   | f = 4.5 ~ 45     |         |
| 크기     | 73 × 91 × 174 mm |         |
| 중량     | 565g (배터리제외)     |         |

그리고 광각렌즈를 부착하여 화각을 확대하였다. 이때 사용한 광각렌즈 VCL-HG0737X의 모습은 그림 9과 같고, 제원은 표 4와 같다.

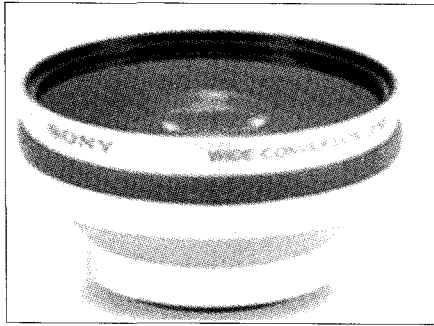


그림 9. VCL-HG0737X 광각렌즈

표 4. VCL-HG0737X 광각렌즈 제원

| 분 류 | VCL-HG0737X |
|-----|-------------|
| 화 각 | 광 각         |
| 배 율 | 0.7X        |
| 직 경 | 37mm        |
| 크 기 | 67 × 47mm   |
| 중 량 | 196g        |

3.2.3 관측장비조합

본 연구에서 도로노면정보를 추출하기위하여 사용된 장비는 디지털비디오카메라 2대와 GPS수신기 2대 이다. 실제 본 실험에서는 차량에 비디오카메라와 GPS수신기를 장착하였다. 장착 후 촬영모습과 관측장비 조합 모식도를 그림 10와 그림 11에 나타내었다.

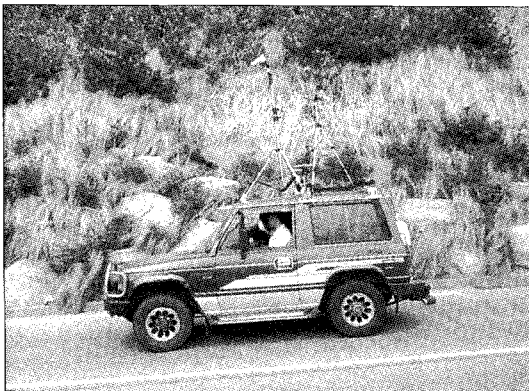


그림 10. 실험모습

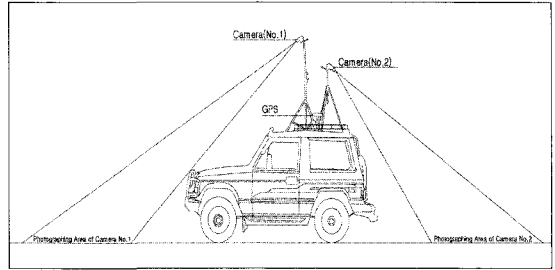


그림 11. 실험장비조합 모식도

3.3 지상기준점 측량 및 결과

3.3.1 지상기준점 측량을 위한 GPS측량

실험대상지역의 기준점 측량을 위하여 대상지역 근처의 삼각점  $\Delta 309$ 와  $\Delta 422$ 를 이용하여 GPS 정적측위방법으로 10초씩 1시간관측을 하였다. 두 개 삼각점을 고정점으로 하여 대상지역에 2점(B43, B47)을 관측 하였고, 관측 시 위성수는 평균 5개 이상이 관측되었으며, PDOP는 2~4값이 나와 안정된 관측을 하였다. 삼각점의 좌표와 측정된 지상기준점 좌표의 WGS84좌표는 표 5에 나타내었고, 이를 우리나라 직각좌표계로 나타내면 표 6과 같다. 삼각망도는 그림 12에 나타낸 바와 같다.

표 5. WGS84(BLH)의 좌표

| 점            | 좌표             |                 |         | $\sigma$ (mm) |        |        |
|--------------|----------------|-----------------|---------|---------------|--------|--------|
|              | 위도             | 경도              | 표고(m)   | s(X)          | s(Y)   | s(Z)   |
| B43          | 35°6'47.99456" | 129°6'11.49296" | 69.9206 | 0.0201        | 0.0161 | 0.0428 |
| B47          | 35°6'45.98786" | 129°6'13.49671" | 70.9263 | 0.0246        | 0.0190 | 0.0505 |
| $\Delta 422$ | 35°9'26.15301" | 129°4'54.96182" | 427.63  | 0.0000        | 0.0000 | 0.0000 |
| $\Delta 309$ | 35°7'02.74860" | 129°7'18.73467" | 224.6   | 0.0000        | 0.0000 | 0.0000 |

표 6. TM 좌표

| 점            | 좌표          |             |         | $\sigma$ (mm) |        |        |
|--------------|-------------|-------------|---------|---------------|--------|--------|
|              | N(m)        | E(m)        | H (m)   | s(X)          | s(Y)   | s(Z)   |
| B43          | 179364.4965 | 209349.7402 | 69.9206 | 0.0201        | 0.0161 | 0.0428 |
| B47          | 179302.7072 | 209400.5448 | 70.9263 | 0.0246        | 0.0190 | 0.0505 |
| $\Delta 422$ | 184236.8118 | 207407.7793 | 427.630 | 0.0000        | 0.0000 | 0.0000 |
| $\Delta 309$ | 179821.0928 | 211051.9423 | 224.600 | 0.0000        | 0.0000 | 0.0000 |

3.3.2 지상기준점 측량 및 결과

본 연구에서 실험대상지역 기준점에 대한 정밀한 측량을 위하여 삼각측량방법을 이용하여 GPS로 측량한 후 결정된 두 개의 기준점 B43, B47을 이용하여 대상지역 도로주변에 기준점을 설치하였다. 그리고 대상도로노면

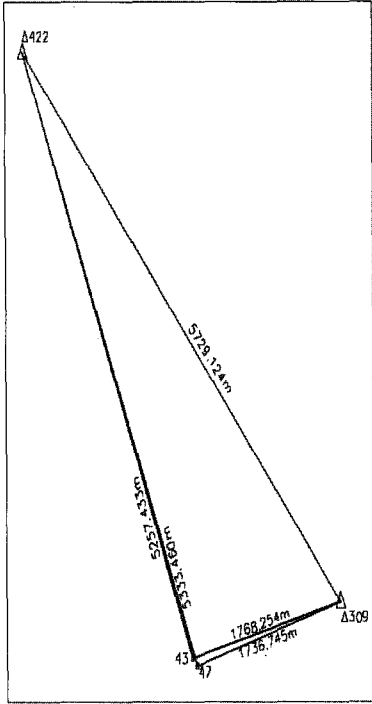


그림 12. 삼각망도

에 약 1.5m간격으로 자체제작한 10cm×10cm의 일반적인 타겟 표정점들을 설치하여 토달스테이션 장비를 이용하여 삼각수준측량을 하였다.

그림 13에 나타난 바와 같이, 우측과 좌측에 두 점을 표시하고, 토달스테이션을 이용하여 두 점간의 거리 3.1228m를 관측하여 기선으로 결정하였다. 그리고 두 점에서 토달스테이션을 이용하여 기준점과 대상점간의 수평각과 고저각을 관측하였다.

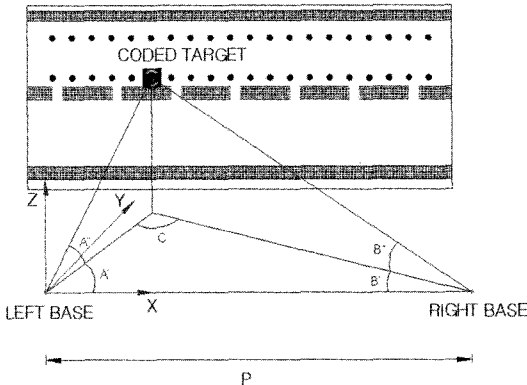


그림 13. 기준점측량 모식도

좌측 기체의 위치를 원점으로 하여 대상점의 3차원 좌표를 계산하였다.

### 3.4 도로노면영상 획득 및 분석

#### 3.4.1 정지영상 획득

기존의 영상처리기법은 촬영된 사진을 스캐너를 이용하여 디지털 영상으로 변환하였으나, 디지털 비디오 카메라로 촬영된 영상은 그러한 과정이 필요하지 않는다. 디지털 비디오 영상의 가장 큰 장점 중의 하나는 편집이 용이하다는 것이다. 디지털 비디오 영상은 비선형편집(non-linear editing)이므로 디지털 포맷의 비디오 영상이 Link Interface를 통하여 작업을 수행할 컴퓨터로 바로 전송될 수 있으며, 디지털 비디오 편집 전용 소프트웨어에 로딩(loading)시켜 편집할 수 있다. 이 작업을 화면 캡처(capture)라고 하며, 이 때 필요한 기본장치가 편집보드(edit board)이다. 이 비디오 영상을 편집하기 위하여 비디오 정보를 디지털로 변환하는 과정에서 상당한 디스크 용량이 요구되는데, 초당 약 3.67MB를 차지함으로써 10분당 약 3~4GB 정도의 디스크 용량이 필요하다.

본 논문에서는 촬영된 디지털 비디오 동영상을 정지영상으로 캡처하기 위해 비디오 편집 보드로 시스템 안정성과 고화질을 제공하는 Pinnacle System사의 mirovideo DV200-Karte를 이용하였으며, 편집 소프트웨어는 Adobe Premiere 6.0에서 720×480의 크기의 영상소를 갖는 정지 영상으로 획득하였다. 획득된 정지영상모습은 그림 14에서 나타내었다.

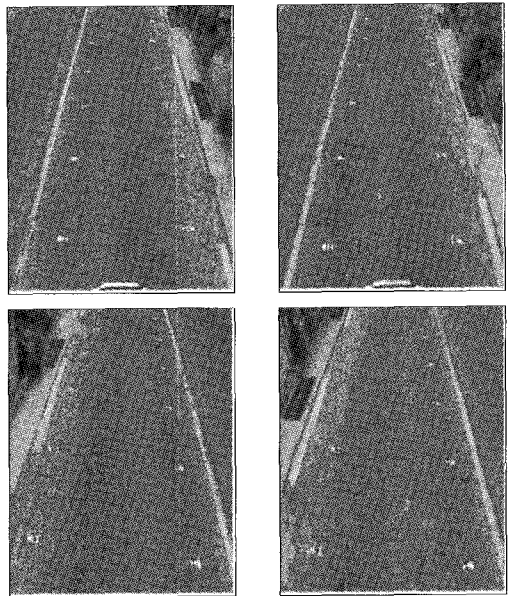


그림 14. 정지영상획득 모습

3.4.2 디지털영상처리 소프트웨어

획득된 정지 영상을 사진해석 소프트웨어인 EOS System 사의 Photomodeler 5.0을 이용하여 삼차원 좌표를 추출하였다.

여기서, 출력할 수 있는 파일은 Autodesk DXF(2D and 3D), Microsoft DirectX, 3D Studio, Wavefront OBJ, VRML1 or 2, IGES and RAW data 형식으로 저장하여 AutoCAD, Cosmo Player, 3D MAX, MicroStation 등과 같은 응용 소프트웨어 프로그램에서 사용 가능하도록 되어 있으며, 사진 계측 소프트웨어를 통해 변환된 모든 점, 선, 길감 등의 형태들을 다양하게 전송 가능한 유형들로 나타내고 있다.

본 연구에서는 AutoCAD로 전송할 수 있는 DXF(3D) 파일을 선택하여 사용하였다.

3.4.3 디지털영상자료 처리

본 연구에서는 카메라 검정에 의해 결정된 내부표정요소와 두 대의 카메라를 통해 결정된 촬영 당시의 카메라 노출위치를 입력하여 획득된 40장의 영상에 있어서 표정점 132개의 상좌표를 측정하였으며, 그림 15는 획득된 영상으로부터 좌표를 측정하는 것이고, 그림 16은 한 구역에 대한 각사진의 표정점을 이용하여 중복시키기 위한 영상들간의 표정작업을 실시하는 과정이며 그림 17은 다중영상의 접합과정과 상좌표 측정모습을 나타내고 있다.

3.4.4 디지털영상처리 결과분석

본 연구에서는 다중영상표정을 이용하여 광속조정법에 의해 결정된 대상물 3차원 좌표의 정확도를 분석하기 위해 삼각수준측량과 Photomodeler에 의한 기준점 좌표

성과와의 차이를 비교하였으며, 그 결과는 표 7과 같다. 이는 CCD와 GPS 그리고 INS를 부착하여 도로정보를 추출하는 MMS(Mobile Mapping System)을 이용하여

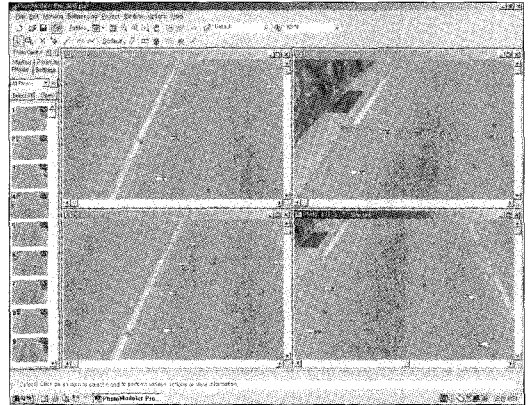


그림 16. 영상간의 표정작업

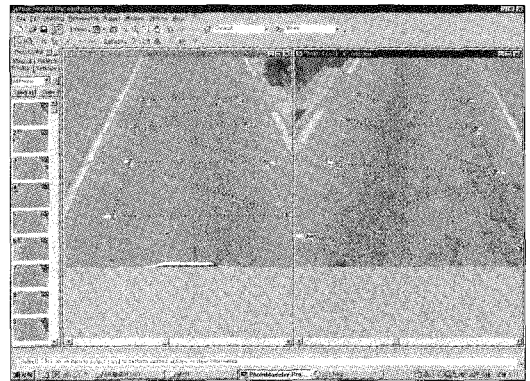


그림 17. 다중영상 표정

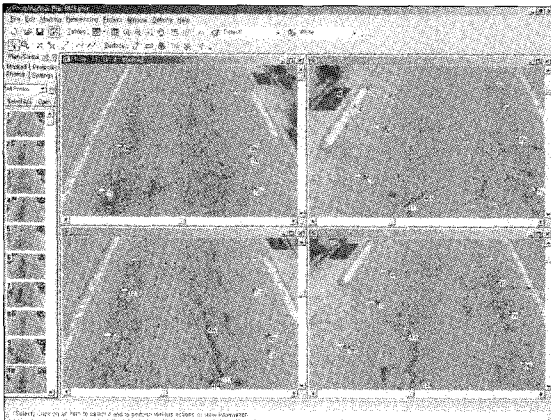


그림 15. 획득영상 좌표측정 모습

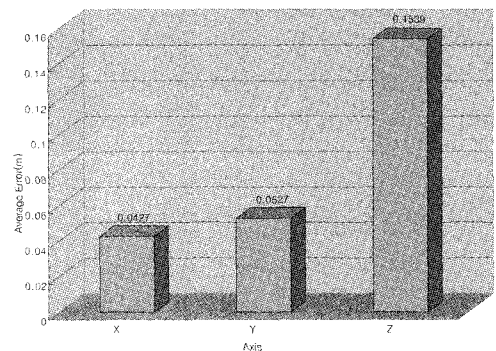


그림 18. 기준점 평균오차 [X,Y,Z]

표 7. 삼각수준측량과 디지털 영상처리비교분석

| No | Trigonometric Leveling surveying |             |         | Image Coordinate |             |         | Ex (m) | Ey (m) | Ez (m) |
|----|----------------------------------|-------------|---------|------------------|-------------|---------|--------|--------|--------|
|    | X(m)                             | Y(m)        | Z(m)    | X(m)             | Y(m)        | Z(m)    |        |        |        |
| 1  | 209352.4490                      | 179399.0711 | 67.7536 | 209352.4597      | 179399.0385 | 67.7236 | 0.0108 | 0.0326 | 0.0299 |
| 2  | 209354.2827                      | 179399.0898 | 67.8473 | 209354.3024      | 179399.0443 | 67.8653 | 0.0196 | 0.0455 | 0.0180 |
| 3  | 209356.0506                      | 179399.1346 | 67.9321 | 209356.0784      | 179399.0776 | 67.9918 | 0.0278 | 0.0570 | 0.0597 |
| 4  | 209357.9658                      | 179399.1168 | 68.0220 | 209358.0125      | 179399.0430 | 68.1166 | 0.0467 | 0.0738 | 0.0946 |
| 5  | 209359.7961                      | 179399.2063 | 68.1090 | 209359.8555      | 179399.1238 | 68.2276 | 0.0594 | 0.0824 | 0.1185 |
| 6  | 209361.4217                      | 179399.0924 | 68.1758 | 209361.4888      | 179399.0095 | 68.3139 | 0.0671 | 0.0829 | 0.1380 |
| 7  | 209363.2185                      | 179399.1621 | 68.2498 | 209363.2883      | 179399.0773 | 68.4049 | 0.0698 | 0.0848 | 0.1551 |
| 8  | 209364.9298                      | 179399.2059 | 68.3227 | 209365.0030      | 179399.1239 | 68.4841 | 0.0732 | 0.0819 | 0.1615 |
| 9  | 209366.7139                      | 179399.2393 | 68.5478 | 209366.7885      | 179399.1643 | 68.5606 | 0.0746 | 0.0750 | 0.0128 |
| 10 | 209368.4419                      | 179399.2164 | 68.4614 | 209368.5190      | 179399.1445 | 68.6267 | 0.0771 | 0.0719 | 0.1653 |
| 11 | 209370.0736                      | 179399.1266 | 68.5210 | 209370.1503      | 179399.0658 | 68.6827 | 0.0766 | 0.0608 | 0.1617 |
| 12 | 209371.6898                      | 179399.1446 | 68.5777 | 209371.7548      | 179399.0860 | 68.7383 | 0.0650 | 0.0586 | 0.1606 |
| 13 | 209373.4232                      | 179399.1678 | 68.6331 | 209373.4749      | 179399.1057 | 68.7773 | 0.0517 | 0.0622 | 0.1442 |
| 14 | 209375.1686                      | 179399.1217 | 68.6862 | 209375.2477      | 179399.0762 | 68.8090 | 0.0791 | 0.0456 | 0.1228 |
| 15 | 209376.8969                      | 179399.0663 | 68.7454 | 209376.9681      | 179399.0326 | 68.8222 | 0.0712 | 0.0337 | 0.0767 |
| 16 | 209378.6625                      | 179399.0981 | 68.8022 | 209378.7345      | 179399.0767 | 68.8348 | 0.0719 | 0.0214 | 0.0326 |
| 17 | 209380.3159                      | 179399.2130 | 68.8586 | 209380.3414      | 179399.1910 | 68.8482 | 0.0255 | 0.0219 | 0.0105 |
| 18 | 209381.9105                      | 179399.2002 | 68.9073 | 209381.9811      | 179399.1987 | 68.8388 | 0.0706 | 0.0015 | 0.0685 |
| 19 | 209383.5565                      | 179399.1983 | 68.9475 | 209383.6000      | 179399.2227 | 68.8196 | 0.0435 | 0.0243 | 0.1279 |
| 평균 |                                  |             |         |                  |             |         | 0.0427 | 0.0527 | 0.1539 |

연구한 외국의 사례의 결과와 비교하여 정확도면에서 더욱 향상된 값을 나타내었다(Ellum and EL-Sheimy, 2000; Graefe and Caspary, 2001).

또한, 기준점의 오차에 대한 평균은 X방향으로 0.0427m, Y방향으로 0.0527m, Z방향으로 0.1539m로 나타났으며, 이 값은 우리나라에서 현재 제작하여 사용하고 있는 축척 1/1000 이하의 지도제작 및 GIS자료로서 충분히 활용성이 있다. 이를 도식적으로 나타내면 그림 18과 같다.

## 5. 결 론

디지털 비디오카메라를 이용하여 아스팔트 콘크리트 포장의 노면정보획득에 대하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1. 다중영상표정과 광속조정법에 의해 결정된 도로노면의 3차원 좌표의 정확도를 분석한 결과 표준오차에 대한 평균은 X방향으로 0.0427m, Y방향으로 0.0527m, Z

방향으로 0.1539m로 나타났다. 이 값은 우리나라에서 현재 제작하여 사용하고 있는 축척 1:1000 이하의 지도제작 및 GIS 자료로서 충분히 활용성이 있다.

2. 기존의 도로노면정보 획득을 위한 방법보다 정성적이고 정량적인 정보를 디지털 비디오 카메라를 이용하여 손쉽게 동영상을 획득하여 정지영상을 추출하여 분석할 수 있었다.
3. 디지털 비디오 카메라를 이용하여 획득된 정보를 이용하여 도로노면정보를 획득할 수 있는 도로노면관리 시스템을 개발하고, 개발된 시스템은 동영상을 이용하여 시각화된 효과를 증진시킬 수 있을 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 건설교통부, (2003), “건설교통통계연보”, 건설교통부, www.mot.go.kr.
2. 서동주, 이종출 (2003), “수치사진측량을 이용한 도로평면선형정보체계 개발”, 한국측량학회지, 제21권, 제4호, pp. 347-354.



3. Henri, V., George, V., (1998), "The 3D reconstruction of straight and curved pipes using digital line photogrammetry", *ISPRS Journal and Photogrammetry and Remotsensing*, Volume 53, pp. 6-16.
4. Kraus, K., (1997), "Photogrammetry I, II", 4th edition.
5. Wolf, P. R., Bon A. Dewitt, (1999), *Elements of Photogrammetry with Application in GIS*, 3rd edition, pp. 237-246.
6. Pratt, W.K.(1991), "Digital Image Processing", 2nd ed, Wiley Interscience, pp. 447-662.
7. Ellum, C. M., N. El-Sheimy, (2001), "A Mobile Mapping System for the Survey Community.", *The 3rd International Symposium on Mobil Mapping Technology*, session 4, unpaginated CD-ROM.
8. Graefe, G., Caspary, W, (2001), Heister, H., and Klemm, J., "The Road Data Acquisition System MoSES-Determination and Accuracy of Trajectory Data Gained with the Applanix POS/LV", *The 3rd International Symposium on Mobil Mapping Technology*, unpaginated CD-ROM.