

# 삼차원 사진측량 시스템을 이용한 교통사고 해석에 관한 연구

## A Study on the Traffic Accident Analysis using by 3-D Photogrammetric System

신 봉 호\* 이 재 기\*\*  
Shin Bong-Ho Lee Jae-Kee  
최 석 근\*\*\* 노 관 훈\*\*\*\*  
Choi Suk Keun Ro Kwan Hun

### 요 목

현재의 교통사고 조사에서 첨부되는 사고 현장의 조사 내용은 현장에서 작성된 현장 상황 스케치와 소요점간을 줄자로 측정하는 것이 대부분이다. 이러한 처리 방법은 대형화 되어가고 복잡해지는 교통사고의 처리에 한계가 제기되고 있다.

본 연구에서는 이러한 문제의 해결을 모색하기 위해 사진 측량의 방법을 도입하여 교통사고 현장의 필요점간의 정확한 3차원 측정 및 정밀도화를 수행하였다. 사진 측량의 효과로는 신속한 현장조사, 교통체증의 조기해소, 사고 현장의 연쇄 사고의 방지 등이 있다.

본 연구에서 이용한 준측량용 카메라와 3차원 사진측량 시스템은 기준점 측량이 필요없이 간단한 조작과 경제적으로 이용 가능하기 때문에 경찰에서의 교통사고 조사 및 증거자료 확보 등의 다양한 분야에 걸쳐 매우 유용할 것으로 사료된다.

### ABSTRACT

A diagram has been annexed to the spot inspection record of the traffic accident were drawn up with measuring-tape heretofor.

However, conventional reduction method have been usually contained the various problems according to the social development.

To solve these problems, it was performed that photogrammetric method are measured 3-D coordinate of needed points and precised plotting of traffic accident spot investigation. Also, they have produced some good effects on speedy spot investigation and settlement of traffic stagnation.

Because semi-metric camera and MR2 system are utilize for low cost, simple operation and almost unnecessary for control point surveying, these fittings being at the close-range photogrammetry will be extremely powerful over versatile fields like traffic accident in police.

## 1. 서 론

우리의 생활과 밀접한 관계가 있는 자동차 문화는 차량의 증가에 따라 급속히 발전하고 있지

만, 도로의 확충과 정비는 극히 미비하기 때문에 교통사고 발생의 빈번함과 사고 규모의 대형화는 교통 사고의 신속·정확한 조사 및 처리에 저해되는 요소가 되고 있다.

따라서 본 연구는 사진측량을 교통사고 조사 및 처리에 도입하여 현재의 교통사고 처리 방법인 사고 순간의 차량속도 계산에 Skid mark 를 줄자를 이용하여 측정하고, 교통 경찰관의 사고 상황 진술서와 일반사진 1 장, 그리고 사전사고

\* 충북대학교 교수  
\*\* 충북대학교 부교수  
\*\*\* 충북대학교 토목공학과 박사과정  
\*\*\*\* 충북대학교 토목공학과 석사과정

현장 스케치만으로 처리하여 교통사고 조사의 신뢰성, 교통사고 발생 현장의 사후처리 및 조사 시간의 지연으로 인한 중복, 연쇄 사고의 가능성, 교통사고에 따른 교통체증 시간의 증가, 제한된 조사 인원과 장비의 낙후성 등 여러가지 제반 문제점을 해결하고자 한다.

교통사고 처리를 위한 사진측량은 1933년 처음으로 스위스의 쾰리히 경찰에서 도입하여 사용하였고, 이후 독일, 이탈리아, 오스트리아 등에서 이용된 이후 유럽에서 이용된 것을 기초로, 1967년 일본의 사이타마현 경찰 사령부에서 교통사고 처리를 위한 입체 측량용 카메라와 도화기를 도입하여 처리시간 단축 및 정확한 증거제시 등의 효과를 가져왔으며,<sup>1)2)</sup> 우리나라에서는 1984년 8월 영동고속도로에서 버스와 승용차가 정면 충돌한 사고를 입체 카메라에 의해서 측정한 것이 처음이었고,<sup>3)</sup> 그 후 입체 카메라를 이용한 교통사고 처리에 관한 연구가 계속되고 있다. 현재 국내·외에서는 사고 순간의 차량속도 계산과 사고 상황을 조사하는 방법으로 Skid mark를 이용한 기존의 방식을 탈피하여, 정확하게 재구성된 현장 도화도상에서의 차량 파괴량 및 사고 위치에 대한 충격 요소를 결정하기 위하여 차량의 파괴량과 손상되지 않은 차량의 자료를 이용함으로써 충격시의 차량의 속도, 방향을 정확하게 분석하는 방법이 연구되고 있다.<sup>4)~7)</sup>

본 연구에서는 무점고 고가인 입체 측량용 카메라의 촬영 및 해석의 제한성을 극복하기 위해 중량이 가볍고, 촬영 방향이나 경사 등 촬영 조건이 자유로우며,<sup>8)</sup> 기준점 측량이 필요없는 준측량용 카메라를 이용하여 촬영한 후, PC를 이용하여 다중영상 복원 기법으로 계산하고 CAD에 의해 현장에 대한 정밀도화<sup>8)~10)</sup> 및 필요한 지점간의 3차원 좌표를 측정·분석함으로써 근거리 사진측량에 의한 교통사고 처리와 그 활용 방법을 모색하는데 목적을 두고 있다.

## 2. 다중영상 해석 이론

사진 측량에 의한 3차원 공간좌표 계산은 기

계적인 방법과 해석적인 방법이 있으나, 기계적인 방법은 기계의 한계성으로 인해 다소 정확도가 떨어지고 있어 최근에는 정확도가 향상된 해석적인 방법이 실행되고 있다.<sup>11)12)</sup> 최근의 정확도 향상을 위한 해석적 방법으로는 대상물의 위치 해석을 2장의 입체 사진에 의한 위치해석보다는 여러장의 단사진을 이용하여 자유도를 증가시키므로써 정확도를 향상시키고, 수학적 Modeling에 의해 신속하고 정확하게 자료를 처리할 수 있는 다중 영상 Bundle 조정법이 많이 연구되고 있다.<sup>13)14)</sup>

Bundle 조정은 카메라의 투영 중심과 대상점, 그리고 이에 대응하는 사진상의 점이 동일직선상에 위치한다는 공선 조건을 기본으로 하여 대상물에 대한 3차원 위치 해석이 이루어진다.<sup>7)</sup>

### (1) 공선조건(Collinearity condition)

공선 조건을 행렬식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} x_p - x_o \\ y_p - y_o \\ -f \end{bmatrix} = \lambda \cdot \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_p - X_o \\ Y_p - Y_o \\ Z_p - Z_o \end{bmatrix} \quad \dots\dots(2.1)$$

윗 식은 다음과 같은 공선 조건식으로 나타낼 수 있다.

$$x_p - x_o = -f \frac{m_{11}(X_p - X_o) + m_{12}(Y_p - Y_o) + m_{13}(Z_p - Z_o)}{m_{31}(X_p - X_o) + m_{32}(Y_p - Y_o) + m_{33}(Z_p - Z_o)}$$

$$y_p - y_o = -f \frac{m_{21}(X_p - X_o) + m_{22}(Y_p - Y_o) + m_{23}(Z_p - Z_o)}{m_{31}(X_p - X_o) + m_{32}(Y_p - Y_o) + m_{33}(Z_p - Z_o)}$$

$$\dots\dots(2.2)$$

사진 좌표계와 대상물 공간 좌표계 사이의 관계를 나타내면 그림 1과 같다.

식 (2.2)는 공간속에서의 상점, 촬영점의 세 점을 통하여 공간상에서 통과하는 한쌍의 직선 방정식을 나타내며, 이것이 투영방정식으로서 사진 측량과정의 기본조건이 된다.

사진측량에서는 우연오차(Random Error)의

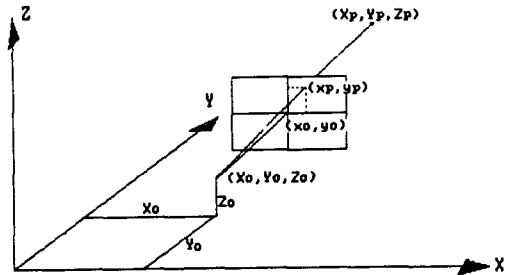


Fig. 1. Geometry of the collinearity condition

조정 방법으로서 최소제곱법이 사용되고 있으나, 사진측량 관측값에는 우연오차 뿐만 아니라 정오차가 포함되어 있기 때문에 식 (2.2)의 공선 조건을 만족하지 못한다.

정오차( $\Delta x, \Delta y$ )는 어떤 일정한 형식을 가지고 있으므로 이들 정오차를 조정계산에 추가함으로써 공선조건식이 만족하게 된다.

일반적인 공선조건에 대한 정오차의 보정항이 포함된 확장된 공선방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F(x) = x - x_p - C \frac{X'}{Z'} + \delta x = 0$$

$$F(y) = y - y_p - C \frac{Y'}{Z'} + \delta y = 0 \quad \dots\dots(2.3)$$

여기에서

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix}$$

보정항  $\delta x, \delta y$ 는 모델화 되었으며, 각 사진의 내부표정 요소는 독립적으로 계산된다.<sup>15)</sup>

## (2) 다중 영상 Bundle 조정

해석 사진 측량의 위치 해석에 있어서 대상물의 정확한 재현은 Bundle 조정에서 교차하는 동일 광선의 정확한 수학적 모델에 의해 나타낼 수 있다. Bundle 조정은 측정된 사진 좌표와 표정요소, 그리고 측정된 기준점의 3차원 좌표값에 의해 대상물을 정확하게 재현할 수 있다.<sup>12)16)</sup> 이러한 Bundle 조정은 공선 조건을 기본으로 하며, 이 관계식은 중심투영(Center Perspective)의 수학적 Model로서 표현되고, 대상물을 사진

상에 투영한 관계식은 외부표정 요소와 내부표정 요소를 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다

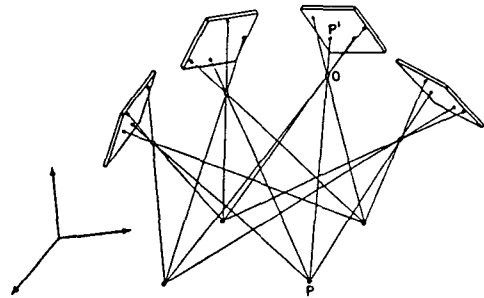


Fig. 2. Principle of multi-image bundle adjustment

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = M(\omega, \phi, \kappa) \begin{bmatrix} X_p - X_0 \\ Y_p - Y_0 \\ Z_p - Z_0 \end{bmatrix} \quad \dots\dots(2.4)$$

$$\begin{bmatrix} X_p - X_0 - \Delta x \\ Y_p - Y_0 - \Delta y \end{bmatrix} = \frac{-f}{Z} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} \quad \dots\dots(2.5)$$

식 (2.4)는 대상물 좌표계를 투영중심점으로 이동한 후, 상좌표계와 평행한 위치로 변환한 것이고, 식 (2.5)는 이 좌표계를  $-f/Z$ 의 비율로 상좌표 평면에 투영한 것이다. 상좌표는 주점의 위치 및 상오차를 나타내는 변수에 의해서 정오차가 보정된다.<sup>10)</sup>

위의 두식에 의해서 상좌표( $x_p, y_p$ )와 미지수에 대한 직접적인 함수 관계가 성립된다. 미지 변수에 대한 조정 개념은 표정요소, 부가변수, 기준점좌표 등에 오차가 포함되어 있다는 가정에서 관측이 가능한 양이다. 확장된 공선방정식 (2.3)은 비선형이므로 Taylor 급수에 의해 선형화 되며, 2차항을 무시하면 다음과 같은 관측방정식이 된다.

$$AV + \dot{B}\dot{A} + \dot{B}\dot{A} + \dot{B}\dot{A} + E = 0 \quad \dots\dots(2.6)$$

외부표정 인자와 대상물좌표 그리고 부가변수의 관측방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \dot{V} - \dot{A} + \dot{E} &= 0 \\ \dot{V} - \dot{A} + \dot{E} &= 0 \\ \dot{V} + \dot{A} + \dot{E} &= 0 \end{aligned} \quad \dots\dots(2.7)$$

경중불행렬(weight matrix)은 관측량에 대해

결정된 분산-공분산행렬의 역행렬과 비례하드로 상좌표에 대한 분산-공분산행렬은 다음과 같다.

$$\Sigma_{xy} = \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & \sigma_{xy} \\ \sigma_{xy} & \sigma_y^2 \end{bmatrix}$$

관측방정식 (2.6), (2.7)을 경중률행렬과 조합시켜 나타내면 다음과 같다.

$$\bar{V} + \bar{B}\bar{Z} + \bar{E} = 0 ; W \quad \dots\dots(2.8)$$

측정값의 수가 미지수보다 많은 경우는 최소 제곱법으로 구하며, 이것은 잔차 제곱의 합이 최소가 되도록 하는 방법이다.<sup>17)18)</sup>

$$\bar{V}^T \bar{W} \bar{V} = \text{최소} \quad \dots\dots(2.9)$$

이들  $V^T W V$ 의 최소값은 다음과 같은 미지변수( $Z$ )에 대한 모든 관측의 유일해를 산출한다.

$$\bar{N}\bar{Z} + \bar{U} = 0 \quad \dots\dots(2.10)$$

$N$ 행렬이 비특이행렬(Nonsingular matrix)이면 다음과 같다.

$$\bar{Z} = -\bar{N}^{-1}\bar{U} \quad \dots\dots(2.11)$$

식(2.11)의 선형화 과정에서 2차항을 무시하면 마지막 벡터( $Z$ )는 무시할 정도로 작게 될 때까지 반복 수렴 계산하므로써 제거된다.

### (3) 3차원 사진측량 시스템

준측량용 카메라로 얻은 다중 영상을 해석하기 위한 시스템으로서 현장 스케치에 기록된 외부 표정 요소의 대략값과 기준점으로 측정된 좌표값이 초기 자료로 이용된다. Reseau marks를 측정함으로써 영상 좌표계가 설정되고 Affine 변환계수가 결정된다. 사진상의 표정점을 측정함으로써 직접 상좌표를 얻을 수 있으며, 이 상좌표를 절대 좌표값으로 계산하기 위해 다중영상 표정(Multi-image orientation) 계산을 하며, 다음의 세가지 과정을 거친다.

#### Model calculation

이 모델 계산은 2장의 사진을 이용하여 상호 표정(relative orientation)에 관한 5가지 상수(회전각, X, Y 이동거리)를 계산하며, 이 계산은 15번 반복(iteration)하여 잔차(residual error)가 0.001 mm 미만일 경우 끝나며 모델 좌표계를 형성한다.

#### Photo orientation

설정된 모델 좌표계에 의해서 각 사진에 대한 상호 표정이 이루어지며, 7가지의 변환상수( $X_0, Y_0, Z_0$ , rotation,  $X_0, Y_0, Z_0$ , translation, scale)가 결정된다.

#### Absolute orientation

결정된 7개의 변환 상수와 초기값으로 입력한 6개의 좌표, 1개의 실측거리를 이용하여 모델 좌표계가 절대 좌표계로 바뀌는 절대 표정이 이루어지며, 계산 후 상좌표가 절대좌표(absolute coordinate)로 계산된다.

계산된 절대 좌표값과 외부표정 요소는 점의 좌표를 구하는 포괄적인 방법인 Bundle 조정에서 더욱 정확하게 계산되어 내부·외부 표정요소 및 3차원 최적 절대좌표를 얻게 된다.

다음 표는 다중영상 복원 시스템의 해석 알고리즘을 나타낸다.

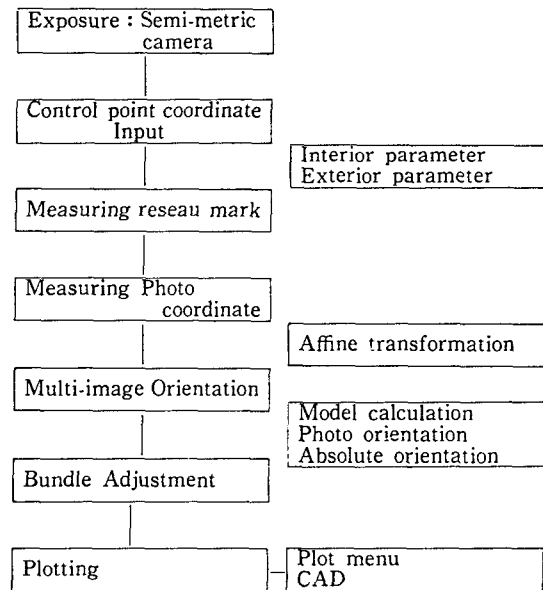


Fig. 3. Multi-Image Restitution system analysis algorithm

## 3. 교통사고 촬영 및 결과분석

### (1) 교통사고

교통사고는 충돌전, 충돌, 충돌후의 세 과정으로 구분되며, 교통사고 분석에서 가장 필요로 하는 정수는 타이어의 미끄러짐에 의한 마찰계

수(f)로서 자동차사고 현장에는 타이어의 흔적(Skid mark)이 존재한다. 타이어 흔적을 분석하면 사고가 일어난 정도를 분석할 수 있으며, 타이어 흔적의 농도에 따라 차량이 주행한 방향, 타이어 흔적의 길이에 따라 차량의 주행 속도를 추정할 수 있다.<sup>19)</sup>

마찰계수는 차량의 타이어와 도로의 포장면에 형성되는 접촉면의 특성 즉, 노면의 윤활상태, 타이어의 상태, 제동속도 등에 크게 좌우한다.

Table 1. The Coefficient of friction

노면 상태	건조	습윤	빙결
콘크리트 포장	0.8	0.6	0.3
아스팔트 포장	0.8	0.7	0.2
자연 도로	0.5	0.8	

다음은 우리나라에서 타이어의 흔적을 이용해 차량의 속도를 추정하는 방법이다.<sup>20)</sup> 속도 V (Km/h)와 제동거리  $D_b$ (m)의 관계로서

$$D_b = \frac{V^2}{2g(f+G)} \text{ (m/sec)} \quad \dots\dots(3.1)$$

으로 나타낼 수 있으며, 마찰계수와 중력 가속도를 고려하고 단위를 m/sec에서 km/h로 환산하여 계산하면 식 (3.1)은

$$D_b = \frac{V^2}{254(f \pm G)} \quad \dots\dots(3.2)$$

이때 타이어 흔적(skid mark)을 이용하여 속도를 산출하면 식 (3.2)으로부터

$$V = \sqrt{254D_b(f+G)} \text{ (km/hour)} \quad \dots\dots(3.3)$$

을 얻는다.

여기서  $D_b$  : 차량의 제동거리

V : 주행 속도

$$G : \tan \alpha = \text{중단구배}/100$$

f : 마찰 계수

$$g : 9.8 \text{ m/sec}^2$$

## (2) Semi-Metric Camera

본 연구에서 사용된 카메라는 준측량용 카메라로서 촬영 방법은 주로 광축을 교차시켜 촬영하는 수렴촬영 방법으로 촬영하기 때문에 촬영 기선장이 길게 된 것과 같은 결과가 나타나므로 높은 정도를 얻을 수 있다.

준측량용 카메라는 필름면 바로 전면에 Réseau plate가 있고, 정확한 위치를 갖는 격자망으로 상좌표 측정의 기준좌표계로서 상좌표 오차를 보정에 이용할 수 있다. 렌즈는 내부표정 요소가 검정된 기지값을 이용하며, 왜곡수차가  $\pm 5 \mu\text{m}$  이내인 교환렌즈를 사고 현장의 상황에 따라 3003 camera는 15—1000 mm, 6006 camera는 40—500 mm 렌즈를 교환하여 사용할 수 있다.

다음 표 2, 표 3은 본 연구에서 사용한 준측량용 카메라의 제원과 검정값이다.

Table 2. Main features of Camera

구 분	3003 Camera (28mm)	6006 Camera (40mm)
촬 점 거 리	28.20 mm	40.78 mm
조 리 개	f 1.4—f 22	f 1.2—f 22
셔 터 속 도	B. 16초—1/2000	B. 30초—1/500
렌즈해상력	30 $\mu\text{m}$	30 $\mu\text{m}$
필름크기	24 mm × 36 mm	60 mm × 60 mm
격 자	5*7 : 35 개	11*11 : 121 개

Table 3. Camera calibration data

구 분	40 mm Lens	80 mm Lens	150 mm Lens	250 mm Lens	비 고
No.	40	80	150	250	Camera Number
*ck	40.78 mm	80.35 mm	150.2 mm	249.56 mm	주점거리
xh	0.051 mm	-0.04 mm	-0.1 mm	0.12 mm	주점의 x좌표
yh	-0.168 mm	0.09 mm	0.1 mm	-0.07 mm	주점의 y좌표
k1	-1.0600 E-004	-1.0270 E-005	4.920 E-006	8.3400 E-006	1차 왜곡상수
k2	1.2300 E-007	1.2700 E-009	-5.670 E-011	-8.4800 E-010	2차 왜곡상수

\* 주점거리(ck)는 Click-Stop에 따라 교정표로 교정함.

**(3) 사진 촬영**

본 연구에서 사고 현장의 사진 촬영은 준측량용 카메라를 이용하였고, 수렴 촬영을 하였다. 사진 촬영은 현장에서 사고의 위치 및 상황이 잘 나타날 수 있는 위치에서 근사적인 3차원 절대좌표를 설정한 후 지면에 서서 3매, A형 사다리 위에서 3매를 촬영하였으며, 사고 차량의 도화를 위해 6매의 근접수렴 촬영을 하였다. 표정점은 현장의 자연 표정점(5점)과 인공표정점(6점)을 이용하였으며, 표정점중에서 3점의 6개의 좌표와 1개의 거리를 steel tape로 측정하여 다중영상 분석에서 절대 기준점(control

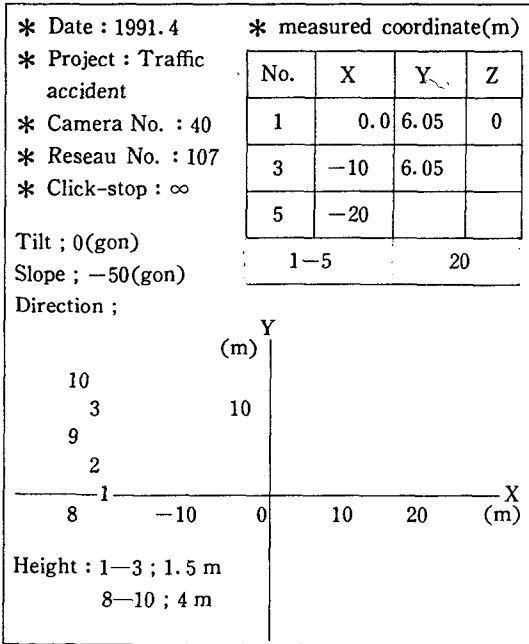


Fig 4. Exposure sketch

point)으로 이용하였다. 다음 그림은 현장 촬영 시 작성된 현장 스케치이다.

**4. 결과 분석**

본 연구는 필요 지점의 3차원 좌표계산, 사고지역의 정확한 현장도 작성 등을 실시간(real time) 내에서 측정하고, 사고상황 재현, 필요시 추가 측정 및 자료 열람 등을 목적으로 연구를 수행하였다. 다음은 계산에 이용된 기준점 좌표와 초기 외부표정 요소값을 나타낸다.

Table 4. Control point coordinate

기 준 점	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	0.00	6.05	0.00
3	-10.00	6.05	
5	-20.00		
1 - 5	: 20.00(m)		

다음 표 6, 7, 8은 다중복원 Bundle 조정에 의한 내부표정 요소, 외부표정 요소 및 표정점에 대한 3차원 절대좌표 계산결과이다.

Table 6. Interior orientation result

Camera No.	40
Focal Length : Ck	-40.7800[mm]±0.0000[mm]
Principle Point : Xh	-0.0200[mm]±0.0000[mm]
Principle Point : Yh	0.1500[mm]±0.0000[mm]
Rad. Sym. Dist. : A1	-0.3427E-04±0.8706E-10
Rad. Sym. Dist. : A2	0.2136E-07±0.8706E-18

Table 5. Approximate value of exterior orientation parameter

사진번호	X <sub>0</sub> (m)	Y <sub>0</sub> (m)	Z <sub>0</sub> (m)	Direction(gon)	Slope(gon)	Tilt(gon)
1	-23.0	0.0	1.5	350	0	0
2	-23.0	6.0	1.5	300	0	0
3	-23.0	12.0	1.5	250	0	0
8	-28.0	-3.0	4.0	350	-50	0
9	-28.0	6.0	4.0	300	-50	0
10	-28.0	15.0	4.0	250	-50	0

Table 7. Exterior orientation result

No.	Direction	Slope	Tilt	Stpoint. X	Stpoint. Y	Stpoint. Z
1	336.643 ±0.093	-8.938 ±0.796	-2.438 ±1.094	-23.521 ±0.017	-0.159 ±0.040	1.505 ±0.208
2	296.575 ±0.184	-15.743 ±0.432	0.215 ±1.316	-23.539 ±0.025	5.957 ±0.021	1.527 ±0.162
3	268.106 ±0.189	-13.930 ±0.702	0.725 ±1.184	-23.686 ±0.020	12.071 ±0.056	1.755 ±0.198
8	328.748 ±0.263	-20.280 ±0.690	-6.542 ±1.214	-28.536 ±0.034	-3.300 ±0.074	3.569 ±0.279
9	300.315 ±0.256	-18.835 ±0.433	0.597 ±1.337	-30.775 ±0.054	6.138 ±0.053	3.795 ±0.217
10	273.483 ±0.273	-18.351 ±0.634	-1.194 ±1.250	-28.359 ±0.036	15.205 ±0.095	3.871 ±0.264

Table 8. Object coordinate

No.	X	Y	Z	$\sigma X$	$\sigma Y$	$\sigma Z$
1	0.0000	6.0500	0.0000	±0.0000	±0.0000	±0.0000
2	-4.9203	6.0361	0.0337	±0.0281	±0.0063	±0.0325
3	-9.9047	6.0524	0.0504	±0.0246	±0.0050	±0.0655
4	-14.9105	6.0500	0.0755	±0.0171	±0.0000	±0.0995
5	-20.0000	6.0500	0.0959	±0.0000	±0.0000	±0.1347
6	-17.6718	3.5696	0.1297	±0.0097	±0.0148	±0.1312
7	-17.6754	1.8484	0.1533	±0.0115	±0.0228	±0.1497
8	-10.8360	12.3618	5.3233	±0.0466	±0.0926	±0.1453
9	-10.1973	9.5576	9.7013	±0.0769	±0.1774	±0.1079
10	-12.5305	8.0721	1.1993	±0.0221	±0.0106	±0.0906
11	-11.4332	12.5137	1.3203	±0.0235	±0.0279	±0.1464
Standard error of unit weight			Sigma 0 : 0.022			

위의 다중영상 계산 결과를 이용하여 CAD로 현장에 대한 도화를 실시하였으며, 도화된 현장도면상에서 필요점간의 거리와 소요점의 3차원 좌표가 정확하게 산출되었다. 차량 제동시의 흔적인 Skid mark를 측정된 결과 트럭(차량 A)의 제동거리는 13.44 m로서 충돌시 속도는 52.25 km/hour 이었으며, 택시(차량 B)의 제동거리는 4.88 m로 충돌시의 속도는 31.48 km/hour 산출되었다. 사고 현장은 건조한 아스팔트 포장도로로서 마찰계수는 0.8을 적용하였다. 차량의 손상 정도를 알기 위하여 택시의 파손된 부분에 대한

등고선 도화를 병행 실시하였으며, 파괴정도를 도면상으로 참고는 할 수 있으나, 파괴 부분에 대한 체적 산출은 차량의 손상부위에 따라 수리 비용 및 배상 비용이 달라지므로 실시하지 않았다.

다음 도면은 준측량용 카메라를 이용하여 촬영된 사진을 다중영상 복원 기법으로 처리하여 얻은 사고 현장 도면 및 차량의 손상 정도를 알기 위하여 차량을 근접하여 수렴 촬영한 손상 부분의 도면, 다중영상 복원 시스템에서 3차원 좌표를 얻어 Kriging 보간법<sup>21)</sup>에 의해 얻은 손상 부위

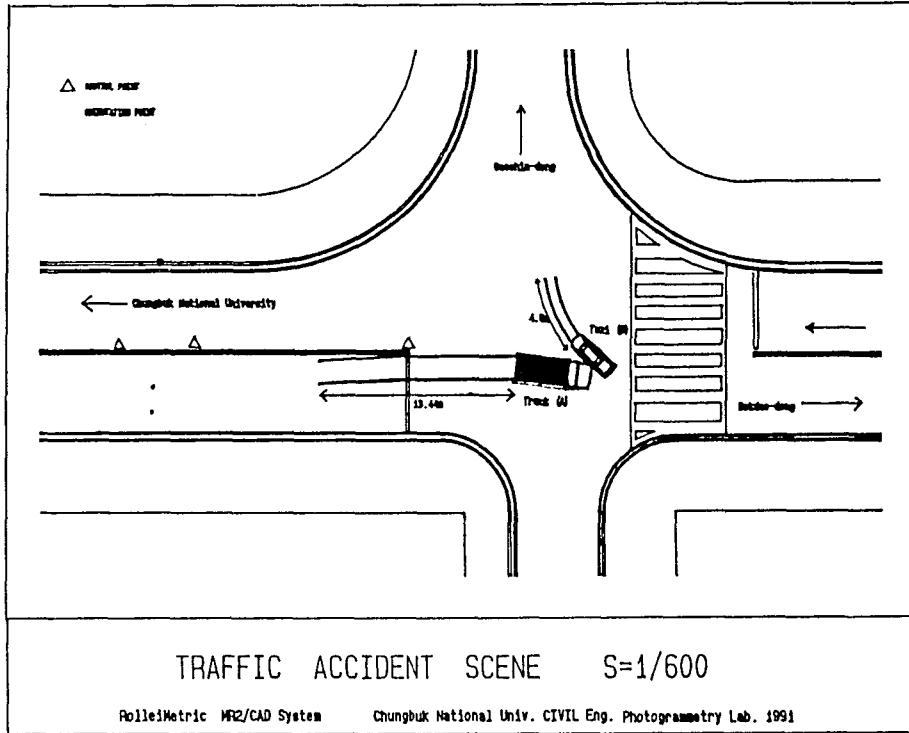


Fig 5. Plotting of traffic accident scene

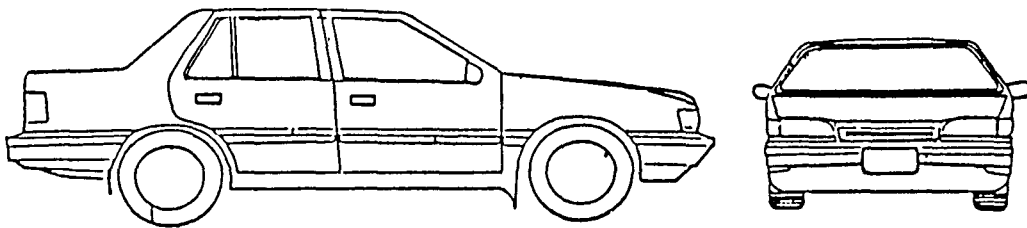


Fig 6. plot of unfailare car

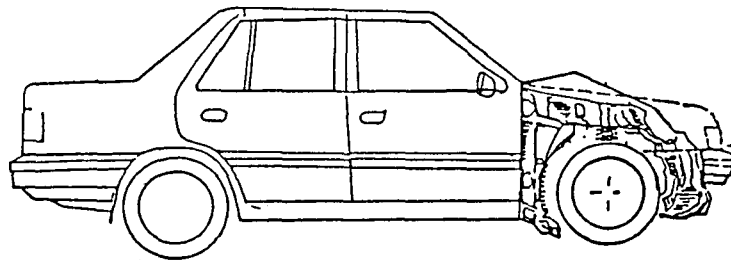


Fig 7. plot of failure car



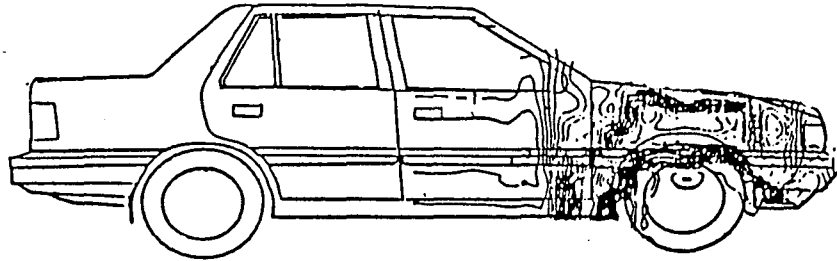


Fig 8. plot of failure carcontour

Table 9. Compare of semi-metric and metric camera

	Rollei 3003	Rollei 6006	Stereo ST-120
기 선 길 이	기선이 필요 없음	기선이 필요 없음	120 cm
촬 영 렌 즈	Carl zeiss 15—1000 mm	Carl zeiss 40—500 mm	DF PENTAX 65 mm
조 리 개	f/2—f/22(28 mm)	f/1.4—f/22(50 mm)	f/8—f/45
왜 곡 수 차	±5 μm 이내	±5 μm 이내	5 μm 이내
셔 터	B. 16 초—1/2000 초	B. 30 초—1/500 초	B. 1 초—1/500
촬 영 거 리	1.2 m—∞	1.2 m—∞	5 m—∞
건 판	24 mm*36 mm	60 mm*60 mm	65 mm*90 mm
화 각	74°(28 mm)	88°/69°(40 mm)	62°/47°30'(30')
지 표	5.5 mm 격자 5*7 개	5 mm 격자 11*11 개	간격 75 mm
전 원	NiCd Battery 10 V	NiCd Battery 10 V	6 V 단 3형 전전지 4 개
수 준 기	필요 없음	필요 없음	감도 60"/2 mm 양면
삼 각	필요 없음	필요 없음	엘리베이터식 신축 삼각
중 량	1.65 kg(28 mm 렌즈)	2.5 kg(40 mm 렌즈)	17 kg
사 용 필 름	Color, B & W 35 mm	Color, B & W 120 mm	유리판, B & W(Posi, Nega)
도 화 기	MR 2	MR 2	PAMS

의 등고선도이다.

다음 표는 지상사진용 입체 측량용 카메라와 본 연구에서 이용된 준측량용 카메라의 제원을 비교한 결과이다.

본 연구 결과 사진 측량을 경찰에서 이용하면 예상되는 효과는 다음과 같다.

- ① 사고나 범죄의 정확한 측정과 계산 및 평가
- ② 도로상에서의 작업 부담의 경감과 사고로 인한 사고 현장의 교통 흐름의 신속한 복구
- ③ 교통사고로 인한 피해자의 보호
- ④ 사전사고 현장의 도면에 의한 재현
- ⑤ 준측량용 카메라에 의해 얻어진 사진 그 자체로도 명확한 증거가 될 수 있다.
- ⑥ 사고 현장이 정밀하게 도면화되고 자료로

저장되므로 보존이 용이하다.

- ⑦ 사고 처리의 전문화가 가능하여 집중 처리가 가능하다.

준측량용 카메라 및 삼차원 사진측량 시스템을 이용함으로써 위의 효과를 기대할 수 있으나, 현재 우리나라에서는 촬영 카메라의 부족, 조작 인원의 미확보 및 사진측량 시스템이나 기법을 이용할 수 있는 전문요원의 부족 등 기본적인 문제점을 안고 있다. 이러한 문제점은 이미 일부 경찰 당국에서 확보되어 있는 Semi-metric camera를 이용한 교통경찰의 촬영과 삼차원 사진측량 시스템을 도경찰청 단위로 보급하거나 또는 인접 대학 및 연구기관의 사진측량 연구인력을 이용하면 해결될 수 있을 것으로 사료된다.

## 5. 결 론

다중 영상 복원 기법을 이용하여 교통사고 처리에 관한 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Semi-metric camera 에 의한 촬영으로 사고 현장조사 시간을 단축시킬 수 있었으며, 외업인 사고 현장의 사진 촬영과 내업인 자료처리 과정으로 나뉘어져 교통사고 조사 및 처리에 분업화 및 전문화가 가능 하였다.
2. 기준점 측량이 필요없이 사진촬영 및 간단한 현장 조사에 의한 자료획득으로 표정점 및 소요점에 대한 3차원 좌표와 사고 현장에 대한 평면도, 입면도 및 측면도를 정확 하게 작성할 수 있었다.
3. Semi-metric camera 에 의한 사진촬영은 사진측량 전문 기술자가 아니 약간의 사진 촬영 요령을 이수한 교통 경찰관도 촬영이 가능하기 때문에 폭넓은 이용이 가능하다.
4. 기준점 및 입입의 표정점에 대한 3차원 좌표값과 사고 현장에 대한 도면이 정확하게 작성되어 자료로 저장되므로 필요시 언제든지 참고할 수 있다.

### \* 감사의 글

본 논문은 1990 년도 교육부 지원 한국 학술진흥 재단의 대학부설 연구소 지원 학술연구 조성비에 의하여 연구되었음.

### 参考文献

1. ASPRS(Photogrammetric Engineering and Remote Sensing) "Photogrammetry for Police Use: Experience in Japan" Vol.46.No.3. March 1980, pp. 329-332.
2. Wolf, P.R., W.J. Janssen, "Survey of Traffic Accident", Full Technical Meeting ACSM-ASP, San Francisco, Calif., pp.198-208.
3. 백은기, 김감래, 1988, "교통사고 처리의 합리적 방법에 관한 연구" 한국 측지학회 제6권 제1호.
4. ASPRS(Photogrammetric Engineering and Remote Sensing) "Photographs and Maps Go To Court" pp.7-11.
5. 大島太市, "寫眞測量による交通事故處理方法とらの問題點", 交通工學 Vol.2, No.4, 1967, pp. 20-36.
6. 大島太市, "近距離寫眞測量の交通事故現場記録への利用", 日本測量 15 卷 1 號, 1965, pp.17-23.
7. 淺川章 "警察におけるステシオカメラの運用について", 寫眞測量とリモートセンタ, Vol.17, No.1, 1978, pp.18-23.
8. Rollei Fototechnic, "Rolleimetric MR2-Vom Foto zur Maß stabgerechten Zeichnung", Rollei Fototechnic GmbH, Brannschweig, 1987.
9. Rollei., "Unfallaufnahme der Verkehrspolizei mit Rolleimetric MR2", Germany Rollei Fototechnic GmbH., 1989.
10. Rollei., "Manual of MR2 system", W.Germany Rollei Fototechnic GmbH., 1989.
11. S.K.Ghosh, "Analytical Photogrammetry", 2nd ed, PERGMON PRESS, 1988.
12. Hotteir, P., "Accuracy of Close-Range Analytical Restitution", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 42(3), 1976, pp. 345-375.
13. Brown, D.C., "The Bundle Adjustment Progress and Prospects" Comm. III, 13th Congress of ISPRS, 1976, pp.151-159.
14. Jacosen. K., "Bundle Block Adjustment with Small Format Photographs", Comm. III, 14th Congress of ISP, 1980, pp.314-323.
15. Fraser, C.S., "Simultaneous Multiple Camera & Multiple Focal Setting Self-Calibration In Photogrammetry", Ph.D. Dissertation, Univ. of Washington, 1979.
16. H.M. Karara, "Non-Topographic Photogrammetry", 2nd ed, ASPRS, 1989. pp.377-387.
17. Paul R.Woif, "Adjustment Computations", 2nd ed, P.B.L. Publishing Co.1980, pp.87-99.
18. Sandor A. Veress, "Adjustment by Least Squares", American Congress on Surveying and Mappng", 1974, pp.13-14.
19. 서울특별시 경찰국, "교통사고 조사요령"
20. 원제무, 최재성, "교통공학", 1990. pp.26-29.
21. Delfiner, P., Delhomme, J. P., "Optimum Interpolation by Kriging", NATO Advanced Study Institute, 1982.