

수치영상을 이용한 도로편경사 추출 Extraction of Road Superelevation using Digital Imagery

이종출¹⁾ · 차성렬²⁾ · 이영도³⁾ · 김세준⁴⁾

Lee, Jong Chool · Cha Sung Yuel · Lee Young Do · Kim Se Jun

- 1) 부경대학교 공과대학 건설공학부 교수(E-mail:jclee@pknu.ac.kr)
- 2) 양산대학 토목과 교수(E-mail:sycha@yangsan.ac.kr)
- 3) 부경대학교 대학원 토목공학과 박사과정(E-mail:leeyd1976@hanmail.net)
- 4) 부경대학교 대학원 토목공학과 석사과정(E-mail:id324@mail1.pknu.ac.kr)

Abstract

This study deals with the extraction of highway's superelevation using digital imagery which are economic method in constructing database for the side of highway management. Using CCD camera, both center line and shoulder of highway are measured by analyzing the result value and enough result values were obtained. This study is expected to become effective method for extraction of highway alignment elements in the Digital Photogrammetry.

1. 서론

국토가 좁고 산악지형이 많은 우리나라에서는 계획에서부터 하나의 도로가 완성되기까지는 많은 어려움이 따른다. 도로의 설계 단계에서 도로 선형은 도로의 서비스를 얼마만큼 만족시킬 수 있는지 또는 임의의 도로 지점에서 과연 안전한 주행이 가능한지를 우선적으로 고려해야한다. 지형 특성상 우리나라 도로는 평면선형에서 곡선부가 많이 설치되고 있는 상황이다. 곡선부에서는 자동차가 주행시 원심력을 받게 되어 주행 안정상 많은 위험을 가지고 있다. 이를 방지하기 위하여 노면에 편경사를 설치하여 횡단방향으로 안정된 주행을 유지할 수 있도록 설계해야 한다. 이렇게 설계된 사항은 주행차량의 안전과 밀접한 영향을 미치므로 정밀하게 시공되어야 한다. 그러나 설계된 사항이 얼마만큼 정확히 시공 되었는지를 검토하기 위해서는 많은 시간을 요하게 된다. 그래서 본 연구에서는 준공시 기존의 재래식 측량방법을 대체하여 3차원 수치사진측량 기법을 사용하여 편경사를 추출하였으며, 이를 위해 먼저 연구대상도로의 일부 곡선구간을 선정하여 차도중심선, 양방향 노면을 Rollei d7 metric⁵ 카메라를 사용하여 영상을 취득하였으며 Close Range Digital Workstation로 원곡선, 완화곡선의 데이터를 분석하고, 이를 통해 실제 편경사를 추출, 분석 하였다. 이와 같이 수치사진측량 기법을 제시함으로써 도로의 편경사를 보다 경제적이고 효율적으로 추출하여 도로시설물의 유지관리의 기초 자료로 활용되고자 한다.

2. 수치영상 및 편경사 이론

2.1 CCD 영상의 특성

영상은 수평 및 수직으로 설정된 2개의 좌표축 x 와 y 에 의해 표현되는 2차원 정보를 가

리킨다. 2개의 변수로 나타내는 위치에서의 밝기를 농도값을 나타내면 다음 <식 1>과 같다.

$$f(x, y) = g \quad (1)$$

영상정보를 입력할 경우 그 관측계 및 주위 환경의 영향을 받으므로 입력 검출기의 수광 소자가 받는 빛의 양으로서 농도값 g 의 연속치로 주어지는 영상을 아날로그 영상이라 한다. 아날로그영상의 대표적인 것을 렌즈계에 의해 광학적으로 영상을 취급하는 분야이다. 수치 영상은 어떤 주기에서 격자로 구획을 나누고, 각 교점에서 이산적 위치를 이산적 농도값으로 표현하는 영상이다.

즉, 영상의 각 지점(x,y)의 광강도를 전류로 바꾸어 화상을 표본화하고, 그것을 디지털 숫자로 바꾸는 정량화 과정을 통하여 수치영상을 얻는다. 연속영상 $f(x,y)$ 을 등간격으로 샘플링하여 $N \times N$ 배열의 형태로 정량화시킨다면 <식 2>와 같은 행렬이 된다.

$$f(X, Y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \cdots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \cdots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(N-1,0) & f(N-1,1) & \cdots & f(N-1,N-1) \end{bmatrix} \quad (2)$$

프레임 한 개의 화상은 $N \times N$ 개의 화소로 구성되고, N 은 대체로 $N=2^n$ (n 은 정수)이 되도록 정한다. g 를 농도값으로 하면 $N=2^m$ 가 되는 자연수를 농도값의 최대값이 되도록 한다. 여기서 m 은 농도값을 나타내는 비트의 수가 되며 보통 8비트이다. 따라서 농도값은 $(0 \sim 2^m) - 1$ 범위의 자연수로서 나타낸다. 8비트 수치로 나타내면 $0 \sim 255$ 가 농도값을 나타내는 범위가 된다. 이러한 수치영상의 화소들의 이산적인 표현을 행렬로 나타내면 그림 1과 같다(KRAUS, 1997. W.K., 1991).

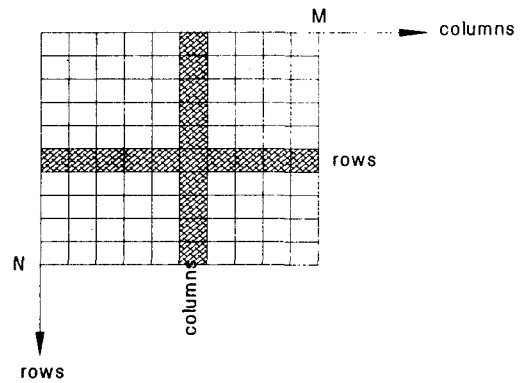


그림 1. 수치영상의 이산적인 표현

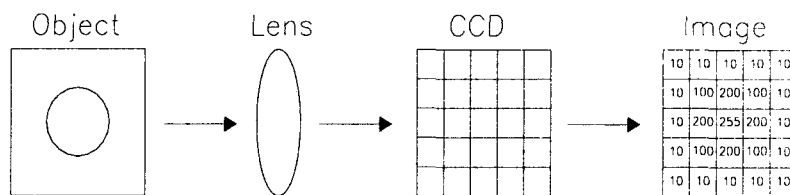


그림 2. CCD 카메라 영상 획득 원리

대상물에서 반사된 빛은 CCD 사진기의 렌즈에 의해 연속신호로 수집되고 CCD 센서가 강도를 감지함으로써 수집된 빛은 아날로그 전압신호로 전달된다. 이 신호가 A/D변환자에 의해 수치정보로 변환이 이루어지는데, 관측목적에 위하여 이 강도는 전형적으로 $0 \sim 255$ 범위의 밝기값으로 변환된다(Karara, 1979). 일반적으로 CCD 사진기를 이용하여 수치영상을 얻기 위해서는 컴퓨터 영상보드의 프레임포착기가 그림 2와 같이 A/D변환을 수행하며 모니터에 영상을 출력한다.

2.2 도로 편경사

자동차가 평면곡선부를 주행할 때에는 원심력에 의하여 자동차는 곡선 바깥쪽으로 힘을 받게 되며 이때 원심력은 자동차의 속도 및 중량, 평면곡선반경, 타이어와 포장면의 횡방향마찰력 및 편경사와 관련하여 자동차에 작용하게 된다.

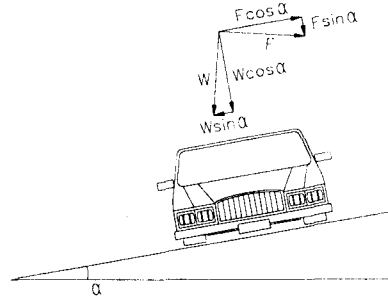


그림 3. 평면곡선부 주행시의 원심력

이와 같이 평면곡선부를 주행하는 자동차에 작용하는 힘의 요소들에 대하여 주행의 안전과 쾌적을 확보할 수 있도록 횡방향미끄럼마찰계수와 편경사의 값으로 설계속도에 따른 최소 평면곡선반경을 산정하게 된다.

이때 직선부에서와 같이 안전하고 쾌적한 주행이 가능하도록 횡방향미끄럼마찰계수와 편경사의 값을 결정하게 되므로 두 요소는 주행의 안전과 쾌적에 가장 큰 영향을 미치는 기본적인 요소라 할 수 있다.

차도의 곡선부의 곡선반경은 클수록 도로선형은 양호하나, 지형 여건상 크게만 하는 경우 도로선형의 전체적인 균형이 잡히지 않고, 경제성이 결여될 수도 있다. 따라서 자동차의 물리적 운동에 안전을 유지할 수 있는 범위 내에서 최소값을 정해두고, 최소값 이상 적용할 수 있는 경우에는 지형 여건에 적합하게 전체적인 균형이 유지되도록 설계함이 이상적이라 할 수 있다. 평면곡선부를 주행하는 자동차는 원운동을 하기 위하여 구심력이 필요하며, 그에 반하여 평면곡선 반경과 속도에 따라 다음과 같은 크기의 원심력이 작용하게 된다 <그림 3> 에서 보듯이 평면곡선부를 주행하는 자동차의 원심력은 <식 3>과 같다.

$$F = \frac{W}{g} \times \frac{V^2}{R} \quad (3)$$

여기서, F : 원심력(kg)

W : 자동차의 총중량(kg)

g : 중력가속도($\approx 9.8\text{m/sec}^2$)

v : 자동차의 속도(m/sec)

R : 곡선반경(m)

횡방향 마찰력에 의한 횡방향미끄럼계수를 f 라 하면 자동차의 안전을 위하여는 다음의 식을 만족하여야 한다.

$$(F \cos \alpha - W \sin \alpha) \leq f(F \sin \alpha + W \cos \alpha) \quad (4)$$

여기서, α : 노면의 경사각

f : 횡방향미끄럼에 대한 노면과 타이어간의 마찰계수(횡방향미끄럼마찰계수)

<식 3>과 <식 4>를 전개하여 속도(v :m/sec)를 설계속도(V : km/hr)로 정리하면 <식 5>와 같다.

$$R \geq \frac{V^2}{127(i+f)} \quad (5)$$

<식 5>는 평면곡선부를 주행하는 자동차가 횡방향으로 미끄러지지 않을 조건의 평면곡선

반경, 설계속도, 횡방향미끄럼마찰계수 및 편경사의 관련식이다.

3. 실험 및 결과 분석

3.1 실험대상 지역 및 장비제원

실험대상지역은 부산광역시 남구 용당동 인근 도로를 선정하였다. 비교적 교통량이 많은 지역을 택하였으며, 선형정보의 원활함을 위하여 완곡선과 직선이 분포되어 있는 곳을 선정하였다. 그리고 측량용 카메라인 Rollei d7 metric⁵ camera의 제원은 <표 1>과 같고 그 모습은 <그림 4>에 나타내었다.

표 1. Specifications of Rollei d7 metric⁵ Camera

Classification	Rollei d7 metric ⁵
Recording mode	CCD recode
Shutter	1/8,000 sec
Focal Length	7mm
Dimensions	151×102×106 mm
Weight	650g (without batteries)
Pixel in X	2,552
Pixel in Y	1,920
Sensor in X	8.932
Sensor in Y	6.720

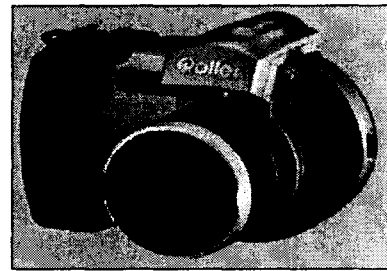


그림 4. Rollei d7 metric⁵ camera

본 실험에서는 Rollei d7 metric⁵ camera를 이용하여 3m 높이에서 촬영하였으며 대상지역을 15m 간격으로 14개의 Zone을 나누어 네 모퉁이에서 촬영하는 방법을 채택하여 실시하였으며 그 모습은 <그림 5>과 같고, 도로의 연속성을 유지하기 위하여 각각의 Section을 중복하여 촬영하였다.



그림 5. 표정하는 모습

그리고 촬영된 영상을 Close Range Digital Workstation을 통하여 다중표정영상이론에 입각하여 표정한 후 도화하여 도로 편경사를 추출하였다.

이러한 다중영상표정과 광속조정법에 의해 결정된 대상물의 3차원 좌표의 정확도를 분석하기 위해 20개의 검사점을 이용하여 비교·분석하였다. 그 결과 X방향으로 0.0203m, Y방향으로 0.0208m, Z방향으로 0.0513m로 평균오차가 나타났다.

3.2 결과 분석

Total station의 관측 결과를 참조점으로 하여 수치영상과 비교하였다. 관측 결과 각 측정점의 편경사와 지반고를 비교한 값은 아래의 <표 2>와 같다.

표 2. Total Station과 수치영상의 관측 결과

측 점	관 측 결 과				
	우 측		중심선 지반고 (m)	좌 측	
	편경사 (%)	지반고 (m)		지반고 (m)	편경사 (%)
NO.1	-5.1	72.397	72.591	72.346	-5.0
<NO.2	1.2	71.022	71.943	71.854	-2.0
NO.3	1.3	71.532	71.432	71.410	-0.6
NO.4	2.9	71.221	71.011	70.930	-2.1
NO.5	-2.2	70.540	70.632	70.638	0.3
NO.6	-2.5	70.181	70.256	70.208	-1.4
NO.7	-2.7	69.820	69.931	70.088	2.1
NO.8	0.8	69.766	69.751	69.732	0.3
NO.9	-1.0	69.701	69.745	69.755	0.6
NO.10	-1.0	69.722	69.764	69.901	2.7
NO.11	1.1	70.041	70.002	70.012	-1.1
NO.12	2.8	70.177	70.053	70.012	-1.0
NO.13	2.4	70.342	70.248	70.101	-3.6
NO.14	1.4	70.398	70.304	70.221	-2.7
NO.15	-2.2	70.310	70.422	70.341	-2.7
NO.16	-1.7	70.661	70.637	70.491	-4.0

측 점	관 측 결 과				
	우 측		중심선 지반고 (m)	좌 측	
	편경사 (%)	지반고 (m)		지반고 (m)	편경사 (%)
NO.1	-4.4	72.403	72.585	72.340	-5.3
NO.2	1.3	72.001	71.950	71.860	-2.2
NO.3	1.2	71.517	71.467	71.450	-0.4
NO.4	2.7	71.119	71.005	70.931	-1.9
NO.5	-2.3	70.554	70.652	70.652	0
NO.6	-2.7	70.142	70.248	70.192	-1.4
NO.7	-2.8	69.830	69.948	70.045	2.3
NO.8	0	69.755	69.755	69.760	0.1
NO.9	-0.9	69.683	69.716	69.745	0.7
NO.10	-0.9	69.719	69.758	69.880	2.9
NO.11	1.1	70.036	69.991	69.912	-1.9
NO.12	3.0	70.165	70.041	69.991	-1.2
NO.13	2.4	70.321	70.222	70.072	-3.5
NO.14	1.32	70.339	70.284	70.186	-2.5
NO.15	-2.4	70.340	70.448	70.341	-2.8
NO.16	-1.6	70.693	70.628	70.458	-4.2

관측 결과 우 평균오차는 0.194%이며, 좌 평균오차는 0.219%로 신뢰할 수 있는 결과를 얻을 수 있었다. 아래의 그림은 Total Station과 수치영상의 좌·우 편경사를 비교하여 나타내었다.

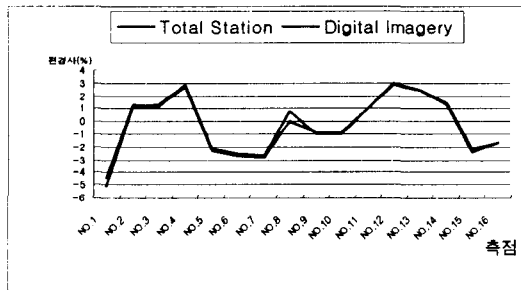


그림 6. 우 편경사 비교

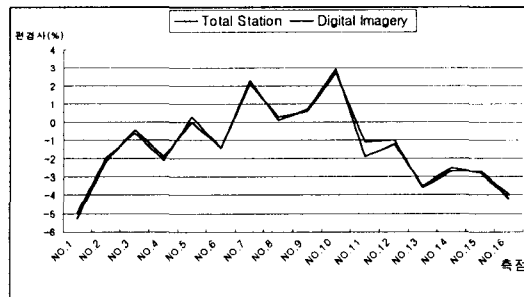


그림 7. 좌 편경사 비교

4. 결 론

본 연구에서는 기존의 재례식 측량 방법을 대신 하여 CCD 카메라를 이용, 도로의 편경사를 추출하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 근접수치사진측량용인 Rollei d7 metric⁵카메라를 이용하여 대상 도로에서 원하는 지점의 절대좌표를 획득하여 도로의 편경사를 추출할 수 있었다.
2. 대상도로의 참조점을 Total station으로 측량하여 근접수치사진측량을 통해 획득한 측정점의 좌표와 비교 및 검증 실시한 결과 우 평균오차는 0.194%이며 좌 평균 오차는 0.219%로 신뢰 할수 있는 결과를 얻을 수 있었다.
3. 기존의 편경사 측정 방법보다 정확하고, 경제적으로 대상도로의 편경사를 추출할 수 있었다.

참고문헌

- 건설교통부 (2000), 도로 구조·시설기준에 관한 규칙, pp149~151,
- Glennon, J.C. (1971), *State of the Art Related to Safety Criteria for highway Curve Desgin*, Texas Highway Department Report 134-4.
- Horst A. Beyer, *Geometric and radiometric Analysis of a CCD Camera based Photogrammetric Close-Range System*, Zurich
- 신승훈 (2001). 도로 편경사 측정기법의 효율성 향상, 부경대학교 산업대학원 석사 학위 논문, pp18~20,
- Klaus Hanke, Mostafa A. Ebrahim. (1999), *The Digital Projector Raytracing as a tool for close-range photogrammetry*, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 54, pp35~40,