

수치사진측량기법을 이용한 도로노면정보 추출

The Extration of Road-Surface Information using Digital Photogrammetry

이종출¹⁾ · 차성렬²⁾ · 김대현³⁾ · 김진수⁴⁾

Lee, Jong Chool · Cha, Sung Yeoul · Kim, Dae Hyeon · Kim, Jin Soo

¹⁾ 부경대학교 공과대학 건설공학부 교수(E-mail:jclee@pknu.ac.kr)

²⁾ 양산대학 토목조경과 교수(E-mail:sycha@yangsan.ac.kr)

³⁾ 동의공업대학 건설정보계열 교수(E-mail:kdhdit@hanmail.net)

⁴⁾ 부경대학교 대학원 토목공학과 박사과정(E-mail:pkssurveying@mail1.pknu.ac.kr)

Abstract

In this study, we extracted road surface information which are required highway pavement management system from the obtained digital imagery and these digital image data were analyzed. Thus, this paper says the higyway surface management system and information of surface conditions which are required to management of highway pavement

1. 서론

연성포장은 차량의 반복하중이나 온도변화에 따른 체적변화 등으로 인해서 균열의 발생을 피하기는 어렵다. 발생한 균열로 우수나 이물질이 침투할 경우 하부층의 지지력 약화, 과다한 스폴링 등의 파손으로 진전되어 포장의 공용성을 현저히 저하시킨다. 근본적으로 이런 문제를 해결하기 위해서는 발생한 균열부위로 우수나 이물질에 의한 포장체의 손상이 생기기 전에 균열을 보수하여야 한다. 균열의 보수는 포장의 종류나 주위환경에 따라 허용 균열폭 이상일 경우에 실시해야 하며, 이를 위해서는 정기적인 균열폭 조사를 필요로 한다. 그러나 균열폭 측정은 현재까지 전문가들에 의해 현미경을 이용한 육안조사가 대부분이다. 이 방법은 광대한 양의 도로연장에 대해서 지속적으로 균열폭을 측정하여 포장상태를 관리하기에는 시간이나 비용이 너무 많이 소요된다. 또한 교통을 통제된 상태에서 조사를 실시해야 하기 때문에 교통량이 많은 도심부나 고속도로에서는 측정자체가 매우 어려운 문제점이 있었다. 근간에는 도로연구기관을 중심으로 도로포장 유지관리시스템 개발을 위한 자체 연구를 진행하고 있으며, 이와 동시에 일부 구간에 대해서는 첨단측정장비를 갖춘 고가의 외국 자동도로포장상태 조사장비(ARAN, ARIA, ARIS- I)가 도입하여 운용함으로써 보다 과학적인 포장유지관리체계 구축을 도모하고 있으나, 장비운영 및 조사 이외에 포장조사 결과가 최종적으로 이용되는 도로포장 관리시스템의 포장분석 기능이 고려되어 있지 않다. 또한 측정오차발생 및 측정값과 위치오차의 동기화 오차 발생 등에 의한 장비의 성능 부족, 향후 개발되는 새로운 첨단기술의 계속적 이전에 필요한 추가비용부담, 외국산 부품사용으로 인한 장비 유지관리의 어려움, 현재 우리나라의 도로상태 및 규정에 적합하지 않으며 적용성이 문제점으로 대두되고 있다. 그리고 도입장비에 대한 활용성에 대해서 기초적인 지식만이 습득되어 있을뿐 획득된 수치영상에 대한 정량적, 정성적인 분석이 미흡한 상태로 측량학적인 정확성이 검증되어 있지 않으며, 경제성 및 실용성에 대해서 많이 불리한 상태이다. 그러므로, 수치 사진기를 통하여 취득되고 입체영상의 해석으로 저장된 데이터로부터 정확한 해석할 수 있어 정밀 측위기법으로 많이 응용되는 수치사진측량 방법을 이용하여 상용화되어 있는 디지털 비디오 카메라로 단시간에 실시간으로 도로노면정보를 추출하고자 한다.

2. 수치사진측량 이론

다중영상정합의 표정(Orientation)이란 여러 다른 사진들과 대상물에 관련된 각 사진의 카메라 위치(X_c, Y_c, Z_c)와 회전요소(ω, φ, κ)에 대한 계산이며, 표정점에 대한 대상물 좌표를 계산하는 것으로서 내부표정과 외부표정으로 구분할 수 있다.

내부표정은 카메라의 내적인 특성을 나타내는 것으로 주점의 위치(X_0, Y_0)와 주점거리(cK)를 결정하는 것이다. 그리고, 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 표현된다. 그러므로, 절대좌표에 관계되는 사진좌표축의 각회전 ω, φ, κ 를 알아야 한다. 영상과 대상물 관계를 정의함에 있어서 기본적으로 외부표정요소는 좌표변환이며, 표정각 ω, φ, κ 는 사진좌표계와 절대좌표계 사이에서의 회전변환을 말한다. 다중영상정합에서는 자체검정에 의한 카메라의 내부표정요소와 공간 후방교회법(Space Resection)에 의해 결정된 외부표정요소에 의해 사진의 정확한 외부표정과 표정점의 대상물 좌표를 계산하기 위한 대상물 좌표체계결정을 이용한다. 공간 전방교회법은 광속이 3차원 공간에서 교차하는 것을 기초로 하는 사진측량학적인 계산방법으로 두 장의 사진에 대한 외부표정과 사진좌표로부터 공통된 대상물의 표정점을 계산하는 것으로, 이를 도식화하면 그림 1과 같다.

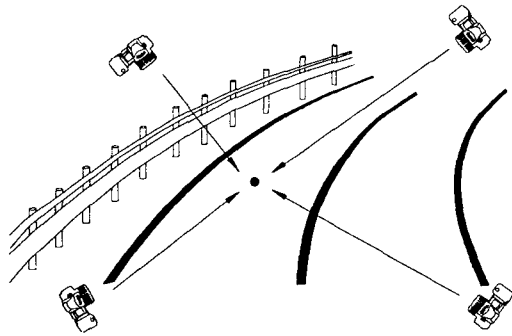


그림 1. 공간전방교회법

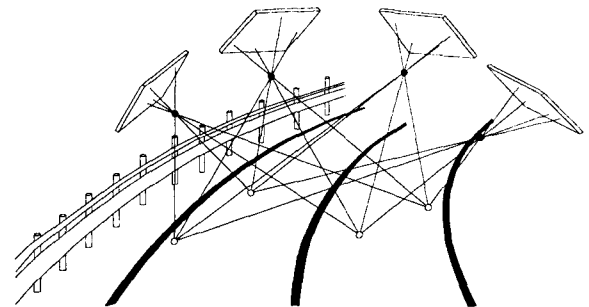


그림 2. 공간후방교회법

공간 후방교회법은 이미 알고 있는 위치와 일치하는 지점에서 적어도 3개의 지지방향으로 교차시킴으로써 공간 위치를 결정하는 것이며, 기지의 대상물 좌표와 적어도 3개의 표정점의 사진 좌표로부터 어떤 사진의 외부표정을 결정하는 방법으로써 이를 도식화하면 그림 2와 같다.

공선조건에 만족하기 위하여 대상물 좌표체계 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 $60\sim 90^\circ$ 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.

3. 도로노면정보

포장의 조사에는 포장노면의 상태조사와 포장의 지지력을 구하기 위한 조사가 있다. 이러한 조사에는 노면의 상태와 파손원인을 조사하여 잔존수명을 추정하거나 유지보수공법을 선정하기 위해 실시한다. 조사 방법에는 점검에 의한 정성적인 조사와 기기를 이용한 정량적인 조사가 있다.

3.1 균열

균열의 정도는 아스팔트 포장에 대해서는 균열률로 나타낸다. 균열의 측정은 스캐치에 의하는 방법과 균열측정차(사진연속촬영)에 의하는 방법이 있다. 스캐치에 의한 방법은 노면 위에 균열이 발생한 부위를 사각형으로 둘러싸도록 생각하여 그 면적을 차선별로 기록한다. 면적의 계산에는 길이와 폭을 측정한다. 이때 종방향균열이 1번 발생하여 있을 경우에는 폭을 30cm로 하고 길이를 곱하여 면적으로 한다. 팻칭량의 면적도 균열면적과 같이 팻칭면적을 측정한다. 또한 균열측정차에 의한 방법은 조사대상구간이 긴 경우(수 km)에 상세한 자료를 얻고자 하는 때에는 자동차에 탑재된 촬영장치, 전원 및 조명장치를 이용하여 차량의 주행속도와 카메라의 필름회전속도 및 조명장치를 연동시켜 시속 30~50km로 주행하며 노면을 연속촬영하여 해석하는 방법이다.

3.2 단차

단차는 교량접속부, 암거 등 지하매설구조물의 주변에 생기는 것으로 통상순찰시에 충격을 느낄 정도이면 측정한다. 측정은 그림 3과 같이 실을 이용하여 1차선당 3점 이상 또는 가장 깊은 곳에서 시행하며 최대치 D (mm)로 단차량을 나타낸다. 실을 당기는 길이는 일반적으로에서는 10m, 고속도로에서는 15m로 한다.

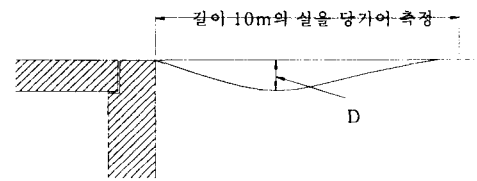


그림 3. 단차의 측정

3.3 소성변형

소성변형의 측정은 차선별로 측정하는데 측정방법에는 직선자 또는 실을 당기는 방법과 횡단프로필로미터에 의하는 방법이 있다. 직선자 또는 실을 당기는 방법은 차선을 바르게 횡단하도록 직선자 또는 실을 당겨 그림 4와 같이 차선별로 D_1 , D_2 값 중 큰 쪽의 값을 취한다. 조사대상구간 또는 대표구간의 소성변형깊이는 각 단면이 최대치(D_1 , D_2 의 큰쪽의 값)의 평균치를 가지고 나타낸다. 횡단프로필로미터(Profilometer)에 의하는 방법은 일반적으로 평탄성측정용으로 사용하는 프로필로미터를 이용하여 자기 기록장치가 양단을 고정된 범위를 이동하며 횡단파형을 기록하는 것으로 기록지 위의 파형으로부터 작도하여 최대소성변형량을 읽는다.



그림 4. 소성변형의 측정

3.4 종단방향의 요철 및 변형량

종단방향의 요철은 유지보수 공법선정과 공용성 평가를 위해 측정하는 것으로 요철의 측정 방법에는 3m 직선자에 의하는 방법, 프로필로미터에 의하는 방법, 라프네스미터(Roughnessmeter)에 의하는 방법 그리고, 기타 계기에 의하는 방법 등이 있다. 또한 변형량은 벤켈만 빔(Benkelman Beam)을 사용하여 측정한다. 벤켈만 빔은 변형량의 2배의 배율로 측정할 수 있는 것이 많이 사용되며 자기기록되는 것도 있다.

4. 현장실험 및 분석

본 연구는 2004년 4월 부산광역시에 소재한 ○○도로를 대상으로 실시되었으며, 본 대상지는 대형차량의 유출입이 많고 이로인해 포장이 훼손된 구간이 많은 도로이다. 수치영상의 획득을 위한 장비로는 ○○사에서 제조한 ○○ 비디오카메라를 사용하였으며, 카메라의 형상 및 제원은 그림 5과 표 1과 같다.

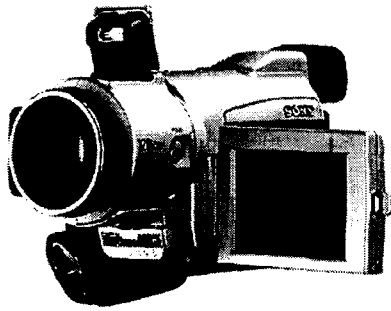


그림 5. 비디오 카메라

표 1. 비디오 카메라 제원

Classification		GR-DV3000KR
Recording mode		CCD recode
Total pixels		133 만
Efficient pixels	Video mode	69만
	Memory mode	125 만
Shutter		1/100 sec(자동)
Focal Length		f = 4.5 ~ 45
Dimensions		76×90×194 mm
Weight		660g (without batteries)

4.1 카메라 검정

카메라 렌즈의 정확한 파라메타를 검정하기 위하여 본 연구에서는 35mm 슬라이드를 이용하여 그리드 무늬를 약 1.2m×1m 크기로 투영시켜 카메라 위치를 왼쪽 및 오른쪽의 상단위치, 중앙위치, 중앙 수직위치(90° 회전), 하단위치에서 8장의 사진을 획득하였다. 카메라 검정을 위한 작업모습 및 획득된 8장의 영상은 그림 6 및 그림 7과 같고, 검정 결과는 표 2와 같다.

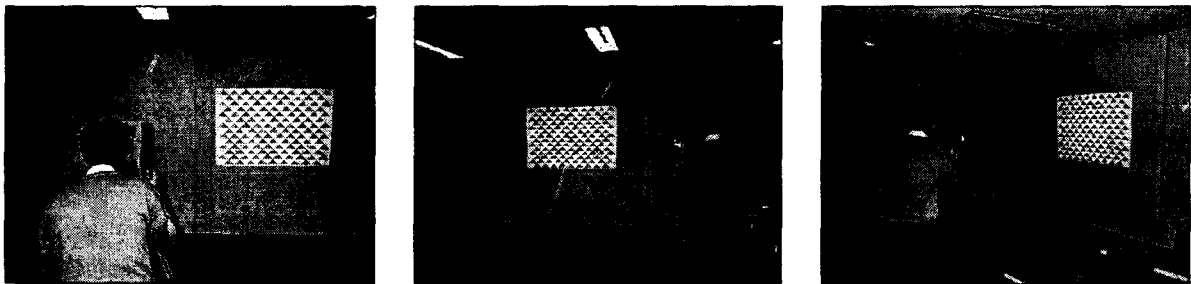


그림 6. 카메라 검정 영상

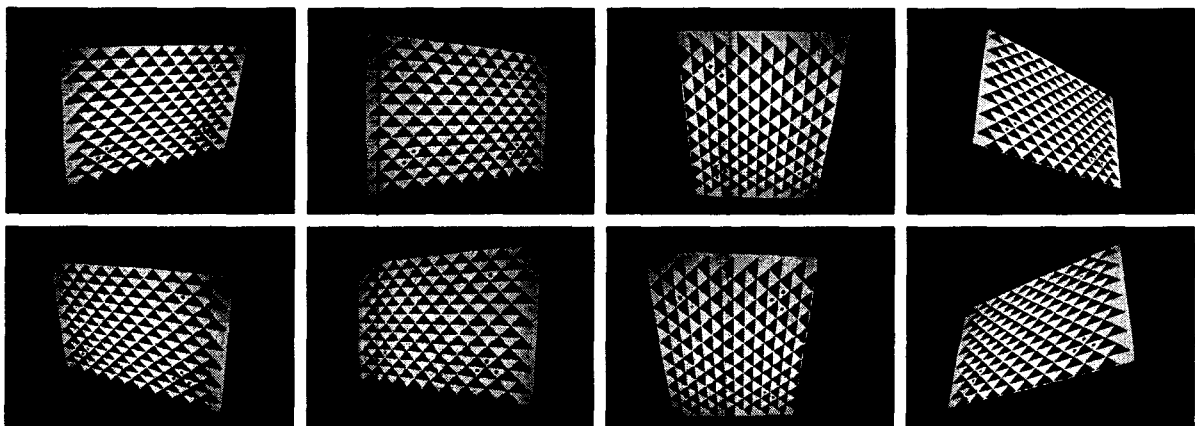


그림 7. 카메라 검정 영상

표 2. 카메라 검정 자료

Interior Orientation	Focal Length	4.4625 mm	
	Format Size	W	2.8454 mm
		H	2.1605 mm
	Principal Point	X	1.3535 mm
		Y	1.0808 mm
	Lens Distortion	A1	-0.003895
		A2	-0.0009427
		P1	0.001147
P2		0.001082	
Image Size	720×480		

4.2 관측시스템 구성

본 연구에서는 영상획득을 위한 관측시스템을 구성하기 위해서 그림 8과 같이 관측시스템을 구성하였다. 먼저 중복촬영을 위해 차량의 좌측과 우측에 각각 비디오카메라를 서로 수렴할 수 있도록 설치하였으며, 도로위치정보 및 도로의 종단평탄성의 추출을 위해서 기지점에 기지국을 설치하고 차량 루프의 좌·우측에 각각 GPS 수신기를 설치하여 GPS측량기법 중 DGPS 모드로 관측하였다.



그림 8. 관측시스템 구성

4.3 영상획득 및 처리

본 연구에서 이용한 수치사진측량 프로그램은 학계에서 많은 연구가 진행되었던 EOS System사의 Digital Photogrammetric Close-Range Program인 PhotoModeler를 사용하여 지상사진측량의 새로운 접근을 시도했던 프로그램으로써 대상물의 사진에 대한 3차원 좌표를 설정하고, 사진으로부터 영상자료를 처리하는 방식이다. 또한 기존에 다중영상을 입력할 때 레조마크를 수동으로 입력하였던 과정을 자동으로 실시하고, 디지털과 아날로그 카메라의 영상을 처리할 수 있으며, 표정점의 상좌표 취득과정을 자동으로 신속히 수행할 수 있다. 그리고 사진측량 S/W 중 다양한 카메라 및 렌즈의 선택과 설치의 편의성이 있고, 특히 교통사고분석, 문화재 보존 측량, 의학, 기타 정밀기계 등과 같은 산업분야에서 많이 활용되고 있다. 이러한 EOS System사의 PhotoModeler는 복잡한 수치영상에서 상좌표 취득이 용이할 뿐만 아니라 자료처리의 모든 공정이 자동으로 수행되며, 높은 정확도의 해석이 가능하다.

본 연구에서의 수치영상처리과정은 8단계로 구성되어 있으며, 그 과정의 흐름도는 그림 9와 같으며, 프로그램상에서 표정하는 모습은 그림 10과 같다.

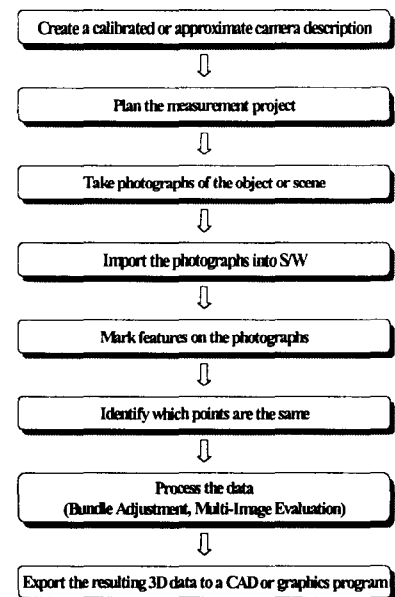


그림 9. 수치영상처리과정

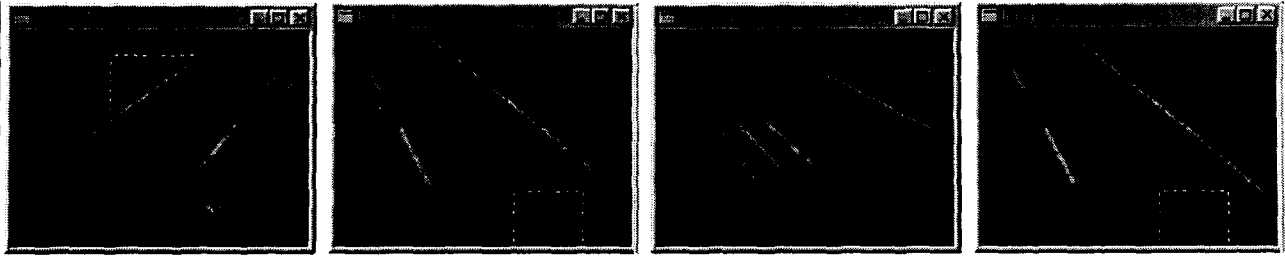


그림 10. 수차영상자료 처리모습

5. 결 론

본 연구에서는 이동식 차대에 디지털 비디오 카메라와 GPS 수신기를 부착하여 도로에서 일정한 속도를 유지하면서 촬영된 영상으로부터 수차영상자료를 획득하여 도로노면의 균열, 소성변형상태, 종단평탄성 등을 분석한 후 도로위치정보와 함께 도로노면상태를 동시에 추출할 수 있는 기법을 소개하였다. 이러한 자료들은 지속적으로 관리할 수 있는 도로노면관리 시스템의 개발에 있어서 중요한 자료가 될 것으로 판단되며, 향후 도로노면관리 시스템을 구축함으로써 도로의 노면상태를 단시간에 조사하여 지속적으로 관리가 가능하고 도로의 재포장, 덧씌우기 등의 적절한 보수 시기의 판단, 국가예산의 절감 및 도로 이용자로 하여금 보다 쾌적한 도로상태를 제공하여 안전운행에 기여할 것으로 기대된다.

참고문헌

- 고지훈, 서영찬(2002), 이미지프로세싱을 이용한 포장도로의 균열폭 측정에 관한 연구”, 한국도로포장공학회논문집, 제4권 제2호, pp.33~42.
- Mohajeri M.(Jerry) H. and Patrick J. Manning(1991), ARIA : An Operating System of Pavement Distress Diagnosis by Image Processing, *Transportation Research Board*, pp.120~130.
- EI-Korchhi Tahar, Michael A. Gennert, Matthew O. Ward, and Norman Wittels(1991), Lighting Design for Automated Pavement Surface Distress Evaluation, *Transportation Research Board*, pp.144~148.
- 강성철(2000), 보행중 노면요철 자동측정기기 개발, 석사학위논문, 명지대학교 대학원, pp3~21.
- Jung-Hyun Eom, Hyun-Hee Park, Dong-Sun Seo, Woong Huh, Joon-Bum Kim and Yong Kim(1998), 표면요철 측정을 위한 광학적 거리측정기기 개발, *IEEE Korea Council*, Vol. 2, No. 1, pp53~60.
- 박영석, 정태주, 신동구, 이원태, 조성구(1999), 고속도로 교량 노면조도의 스펙트럼에 관한 연구, 대한토목학회논문집, 제19권 제1-1호, pp67~78.