

디지털 비디오카메라를 이용한 도로노면정보 추출

Extraction of Information on Road Surface Using Digital Video Camera

장호식¹⁾

Jang, Ho Sik

Abstract

The objective of the study is to extract information about the road surfaces to be studied by analyzing asphalt concrete-paved road surface images photographed with a digital video camera. To analyze the accuracy of road surface information gained using a digital imagery processing method, it was compared and analyzed with the outcomes of control surveying. As a result, an average error of 0.0427 m in the X-axis direction, that of 0.0527 m in the Y-axis direction, and that of 0.1539 m in the Z-axis direction were found, good enough for mapping at a scale of 1:1,000 or less and GIS data. Besides, information on road surface assessment factors such as crack ratio, the amount of rutting and profile index was gained by analyzing processed digital imagery. This information made it possible to conduct road surface assessment by generating PSI and MCI. As quality digital image information has been gathered from roads and stored, important fundamental data on PMS (Pavement Management System) will become available in the future.

Keywords : Asphalt Concrete Pavement, Digital Image Processing, Crack Ratio, Rutting, PrI

요 지

본 연구는 디지털 비디오카메라를 이용하여 아스팔트 콘크리트 포장의 노면을 촬영하고 획득된 영상을 분석함으로써, 대상 도로노면의 정보를 추출하는데 그 목적이 있다. 먼저, 수치영상처리에 의한 도로노면정보의 정확도를 분석하기 위해 기준점 측량에 의한 성과와 비교·분석하였다. 그 결과, X방향으로 0.0427m, Y방향으로 0.0527m, Z방향으로 0.1539m의 평균오차를 나타내었으며, 이는 축척 1/1,000 이하의 지도제작 및 GIS 자료로 충분히 활용성이 있는 것으로 판단된다. 또한, 처리된 수치영상을 분석하여 도로노면의 평가를 위한 중요 요소인 균열률, 소성변형량, 그리고 종단평탄성 정보를 획득할 수가 있었으며, 이를 이용하여 공용성지수와 유지관리지수를 산출함으로써, 대상도로의 노면평가를 수행할 수가 있었다. 향후 도로를 대상으로 취득된 양질의 영상정보를 축적함으로써 인해 포장유지관리시스템 분야에 있어서 중요한 기초 자료를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심어 : 아스팔트 콘크리트 포장, 수치영상처리, 균열률, 소성변형량, 종단평탄성

1. 서 론

오늘날 도로의 연장이 증가함에 따라 전체 도로 유지보수 비용이 급격히 증가하는 추세에 있으며, 이로 인해 제한된 유지보수 예산으로 전체 도로망을 효율적이고 과학적으로 유지관리하기 위해서는 포장유지 관리시스템(PMS: Pavement Management System)의 운영은 필수적이다. 현

재 적용되고 있는 대부분의 포장유지관리시스템은 전문가가 현장에서 노면의 상태를 파악한 후 그 자료를 입력하도록 되어있다. 하지만, 현재의 방대한 포장도로 연장과 향후 포장도로의 증가를 고려할 때, 포장도로 전체를 전문가 직접 조사하는 것은 비효율적일 뿐만 아니라 지속적인 포장유지관리시스템의 유지가 어려운 실정이다.

기존의 연구동향을 살펴보면, 국외에서는 비디오테이프,

1) 정희원 · 경남도립 남해전문대학 토목환경시스템과 초빙부교수(E-mail: gsjhs@mail1.pknu.ac.kr)

로부터 균열영상을 입력한 노이즈를 제거한 후 영상배경과 균열을 분리하고 자동상관함수를 이용하여 균열 형태와 밀도를 측정할 수 있는 처리과정을 개발한 바 있으며(Lee 등, 1996), 퍼지이론 기반의 포장영상 처리기법에 관한 연구가 수행된 바 있다(Chou 등, 1995). 국내에서는 영상분할 및 해석 알고리즘을 이용한 균열인식 프로그램개발에 관련한 연구가 수행된 바 있으며(김정용, 2002), 망원렌즈를 장착한 자동포장상태 조사장비를 사용하여 균열폭을 측정한 연구도 수행된 바 있다(고지훈, 2002).

따라서, 본 연구에서는 디지털 비디오카메라를 이용하여 아스팔트 콘크리트 포장의 노면을 촬영하고 획득된 영상을 분석하여, 대상 도로노면의 정보를 추출하였다. 또한 수치영상을 처리 및 분석하여 도로노면의 평가를 위한 중요요소인 균열률, 소성변형량, 그리고 종단평탄성 정보를 함으로써, 중추적인 사회간접자본 시설인 도로의 효율적인 관리를 도모하는데 그 목적이 있다.

2. 이론적 고찰

2.1 CCD 영상의 특성

대상물에서 반사된 빛은 CCD 사진기의 렌즈에 의해 연속신호로 수집되고 CCD 센서가 강도를 감지함으로써 수집된 빛은 아날로그 전압신호로 전달된다. 이 신호가 A/D 변환자(analog/digital or AD converter)에 의해 디지털 정보로 변환이 이루어지는데, 관측목적에 위하여 이 강도는 전형적으로 0~255범위의 밝기값으로 변환된다(Pratt, 1991; 서동주 등, 2003).

일반적으로 CCD 사진기를 이용하여 디지털영상을 얻기 위해서는 컴퓨터 영상보드의 프레임포착기가 그림 1과 같이 A/D변환을 수행하며 모니터에 영상을 출력한다.

2.2 다중영상표정

다중영상표정이란 여러 다른 사진들과 대상물에 관련된 각 사진의 카메라 위치(X_c, Y_c, Z_c)와 회전요소(K, Φ, ω)에 대한 계산이며, 표정점에 대한 대상물 좌표를 계산하는 것

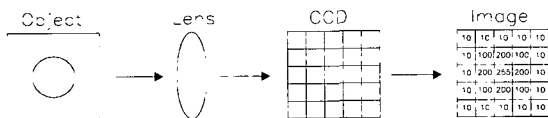


그림 1. CCD 카메라 영상 취득 원리

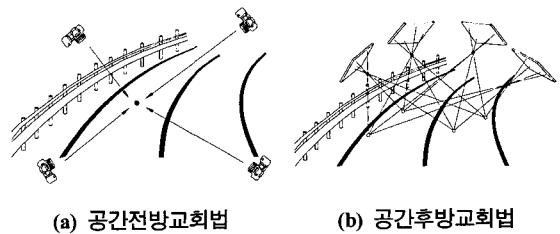


그림 2. 다중영상접합방법

으로서 내부표정과 외부표정으로 구분할 수 있다. 광속조정에서는 표정을 위해 공간 전방교회법(space intersection)과 공간 후방교회법(space resection)을 동시에 이용한다.

공간 전방교회법은 광속이 3차원 공간에서 교차하는 것을 기초로 하는 사진측량학적인 계산방법으로 두 장의 사진에 대한 외부표정과 사진좌표로부터 공통된 대상물의 표정점을 계산하는 것이며, 이를 도식화하면 그림 2(a)와 같다(김진수 등, 2004).

공간 후방교회법은 이미 알고 있는 위치와 일치하는 지점에서 적어도 3개의 기지방향으로 교차시킴으로써 공간 위치를 결정하는 것이며, 기지의 대상물 좌표와 적어도 3개의 표정점의 사진 좌표로부터 어떤 사진의 외부표정을 결정하는 방법으로써 이를 도식화하면 그림 2(b)와 같다(이철우, 2000).

2.3 도로노면정보

2.3.1 균열

균열의 정도는 아스팔트 포장에 대해서는 균열률로 나타낸다. 이러한 균열의 기존 측정방법은 스케치에 의하는 방법과 균열측정차에 의하는 방법이 있다.

2.3.2 소성변형량

소성변형은 하중이 증가함에 따라 서서히 발생하며, 일반적으로 바퀴가 접촉하는 양쪽 측면이 밀려 올라와 종방향으로 포장이 손상되는 형태로 나타난다. 이러한 소성변형은 포장의 조기파손, 수막현상에 의한 노면마찰력 감소, 평탄성 불량 등 서비스 불량의 근본 원인이 되고 있다. 소성변형의 측정은 차선별로 측정하는데 기존의 측정방법에는 직선자 또는 실을 당기는 방법과 횡단프로필로미터에 의하는 방법이 있다.

2.3.3 종단평탄성

차량 주행시 승차감과 직결되는 종단방향의 요철은 유

지보수 공법선정과 공용성 평가를 위해 측정하는 것으로 요철의 기존 측정 방법에는 3m 직선자에 의하는 방법, 프로필로미터에 의하는 방법, 라프네스미터에 의하는 방법, 기타 계기에 의하는 방법 등이 이용된다.

2.4 도로노면의 평가

도로의 노면을 평가하는 방법에는 일반적으로 공용성지수(Present Serviceability Index)에 의한 방법과 유지관리지수(Maintenance Control Index)에 의한 두 가지의 방법이 이용되고 있다.

공용성지수는 미국의 AASHTO 도로시험의 결과로부터 얻어진 방법으로, 이는 균열을 중시한 것으로 당장의 대응 공법을 선택하는데 사용되며, 식 (1)로 나타낸다.

$$PSI = 4.53 - 0.518 \log \sigma - 0.371 \sqrt{C} - 0.17 D^2 \quad (1)$$

여기서, PSI : 공용성지수

σ : 종단방향 요철의 표준편차(mm)

C : 균열률(%)

D : 소성변형깊이의 평균(cm)

이다. 표 1은 PSI 지수와 그에 대한 개략적인 대응공법을 나타내고 있다.

유지관리지수는 일본건설성토목연구소가 1981년 포장의 공용성을 노면의 특성값에 의해 수치적으로 나타낸 것이며, 유지보수의 기준으로 활용하고 있다. 이는 노면의 소성변형을 중시한 평가지수이다. 유지관리지수는 다음 식 (2)로 산출된다.

$$\begin{aligned} MCI &= 10 - 1.48C^{0.3} - 0.29D^{0.7} - 0.47\sigma^{0.2} \\ MCI_0 &= 10 - 1.5C^{0.3} - 0.3D^{0.7} \\ MCI_1 &= 10 - 2.23C^{0.3} \\ MCI_2 &= 10 - 0.54D^{0.7} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, MCI : 유지관리지수

MCI₀ : 균열과 소성변형에 의한 유지관리지수

표 1. 공용성지수와 대응공법

공용성 지수(PSI)	개략적인 대응공법
3~2.1	표면처리
2~1.1	덧씌우기
1~0	재포장

표 2. 유지관리지수와 대응공법

유지관리지수(MCI)	유지보수기준
3이하	시급히 보수가 필요
4이하	보수가 필요
5이하	바람직한 관리수준

MCI₁ : 균열률에 의해 구한 지수

MCI₂ : 소성변형량에 의해 구한 지수

C : 균열률(%)

D : 소성변형량(mm)

σ : 평탄성(mm)

이다. 표 2는 MCI 지수와 그에 대한 기준을 나타내고 있다.

이처럼 도로노면의 평가방법들에는 균열, 소성변형, 그리고 종단평탄성의 요소들이 포함된다.

3. 현장관측

3.1 카메라 검정

본 연구에서 수치영상의 획득을 위한 장비로는 Sony사에서 제조한 DCR-TRV60 카메라를 사용하였으며, 카메라의 형상 및 재원은 그림 4 및 표 3과 같다. 또한 일정한 높이에서 도로의 한 차선을 한 화면에 촬영하기 위하여 디지털 비디오카메라 앞에 VCL-HG0737X 광각렌즈를 부착하여 비디오 모드(108만 화소)로 카메라 검정 및 도로노면을 촬영을 하였으며, 이때 초점거리는 4.5mm로 고정하여 검정을 실시하였다. 그림 3은 디지털 비디오카메라의 형상을 나타낸 것이며, 카메라 렌즈의 정확한 매개변수를 검정하기 위하여 그림 4에 나타난 것과 같이 카메라 위치를 왼쪽 및 오른쪽의 상단위치, 중앙위치, 중앙 수직위치(90° 회전), 하단위치에서 8장의 사진을 획득하여 검정을 수행하였다. 카메라 검정 결과는 표 3에 나타난 것과 같다.

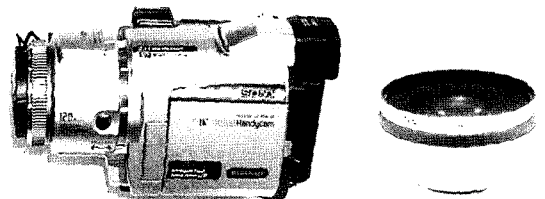
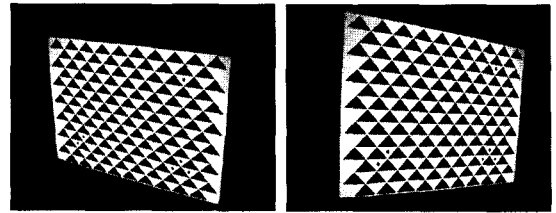


그림 3. 디지털 비디오 카메라 및 광각렌즈

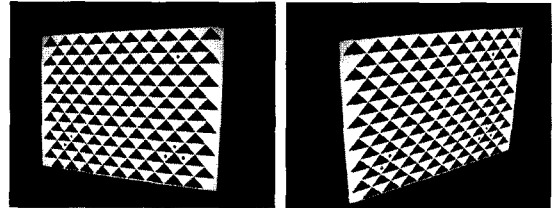
표 3. 카메라 검정 결과 데이터(1, 2번 카메라)

Calibration [SONY DCR-TRV60 Digital Video Camera] (1)				
Interior Orientation	Focal Length		3.0358 mm	
	Format Size	W	2.6291 mm	
		H	1.9682 mm	
	Principal Point	X	1.3599 mm	
		Y	0.9902 mm	
	Lens Distortion	Radial	K1	-0.000459
			K2	0.0005789
		Decentering	P1	-0.001099
P2			-0.001376	
Image Size		720×480		
Calibration [SONY DCR-TRV60 Digital Video Camera] (2)				
Interior Orientation	Focal Length		3.0796 mm	
	Format Size	W	2.6086 mm	
		H	1.9645 mm	
	Principal Point	X	1.2948 mm	
		Y	1.0382 mm	
	Lens Distortion	Radial	K1	-0.001489
			K2	-0.001311
		Decentering	P1	-9.052E-005
P2			0.001219	
Image Size		720×480		



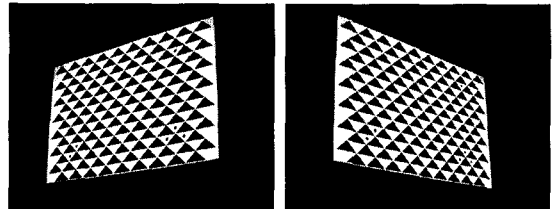
상단 우측 영상

상단 좌측 영상



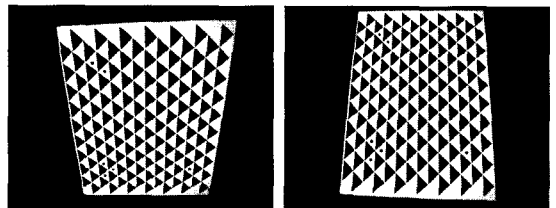
중단 우측 영상

중단 좌측 영상



하단 우측 영상

하단 좌측 영상



상단 90° 회전

하단 90° 회전

그림 4. 카메라 검정에 이용된 영상

3.2 관측대상지역

본 연구의 관측대상지역은 부산광역시 남구 ○○동에 소재한 총연장 약 100m, 도로폭 3.9m인 편도1차선의 아스팔트 콘크리트포장 도로를 선정하였다. 비교적 교통량이 많은 지역을 택하였으며, 다양한 노면정보를 얻기 위하여 원곡선과 직선이 조합되어 있고, 균열, 소성변형, 종단평탄성의 추출이 가능한 곳을 선정하였다. 관측대상지역의 전경은 그림 5에 나타난 것과 같다.

3.3 관측시스템 구성

그림 6은 두 대의 디지털 비디오카메라를 차량에 장착한 시스템을 대략적으로 모식화한 것이다.

4. 수치영상처리 및 결과분석

4.1 정지영상획득

본 연구에서는 촬영된 디지털 비디오 동영상을 정지영



그림 5. 관측대상지역 전경

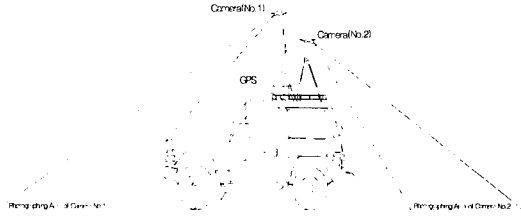


그림 6. 관측시스템의 모식도

상으로 캡처하기 위해 Pinnacle System사의 mirovideo DV200-Karte 비디오 편집보드를 사용하였으며, 편집 소프트웨어는 Adobe Premiere 6.0에서 720×480의 크기의 영상소를 갖는 정지 영상으로 획득하였다. 획득된 정지 영상을 사진해석 소프트웨어인 EOS System사의 Photomodeler 5.0을 이용하여 삼차원 좌표를 추출 하였다. 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 되어져 있으며, 사진 계측 소프트웨어를 통해 변환된 모든 점, 선, 질감 등의 형태들을 다양하게 전송 가능한 유형들로 나타내고 있으며, 본

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

4.2 수치영상처리

본 연구에서는 카메라 검정에 의해 결정된 내부표정요소를 초기 입력값으로 하여 연속된 40장의 영상에 있어서 표정점 132개의 상좌표를 측정하였다. 또한 수치영상처리

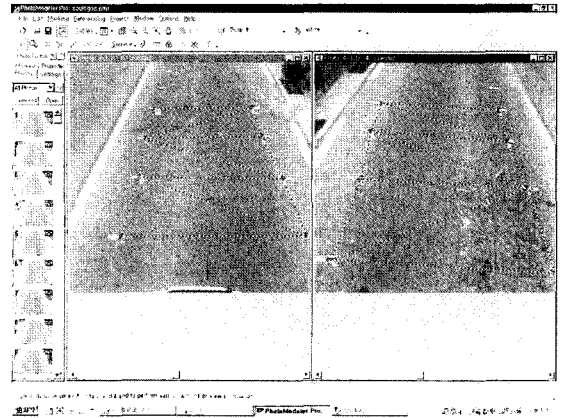


그림 7. 다중영상의 정합과정 모습

표 4. 기준점 성과 및 영상처리에 의한 성과와의 비교

No	Trigonometric Leveling surveying			bundle adjustment			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

표 5. 균열폭 추출 결과표

No	Most Probable Value (mm)	Measurement Value (mm)	Deviation (mm)	Standard Deviation
1	3	3.7	-0.7	±0.256 mm
2	4	5.1	-1.1	
3	5	5.3	-0.3	
4	5	5.8	-0.8	
5	5	4.5	+0.5	
6	8	9.5	-1.5	
7	10	11.2	-1.2	
8	10	8.9	1.1	
9	10	9.4	0.6	
10	15	14.6	0.4	
11	15	14.3	0.7	
12	20	19.7	0.3	

표 6. 대상구간의 균열을 결과표

Distance	Crack Area (m ²)	Total Crack Length (m)	Avg. Crack Width (mm)	Lane Width (m)	Crack Ratio (%)
10	0.0915	18.3	5	3.9	0.23
20	0.0492	12.3	4	3.9	0.13
30	0.0678	11.3	6	3.9	0.17
40	0.0568	14.2	4	3.9	0.15
50	0.0805	16.1	5	3.9	0.21
60	0.086	17.2	5	3.9	0.22
70	0.0744	18.6	4	3.9	0.19
80	0.0975	19.5	5	3.9	0.25
90	0.0568	14.2	4	3.9	0.15
100	0.0492	12.3	4	3.9	0.13
Average					0.18

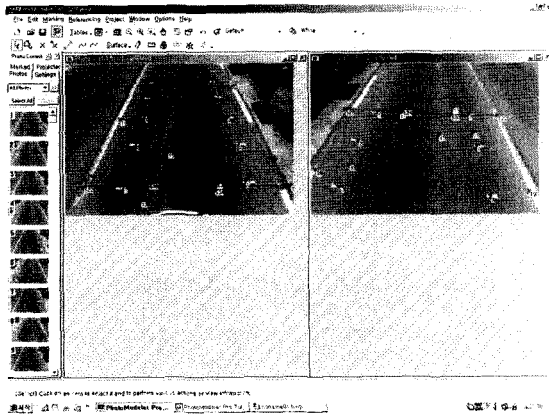


그림 9. 소성변형 처리모습

또한, 관측대상구간 내에 4개소의 단면을 선정하여 10cm 간격으로 레벨에 의한 수준측량을 실시하여 횡단면도를 구하고, 영상처리의 결과로부터 같은 지점의 횡단면도를 구하여 비교·분석하였다. 그 결과, 표 7에서 나타난 것과 같이 10.80mm의 차이를 나타내었다. 그림 10은 영상에 의해 추출된 횡단면도와 레벨에 의해 추출된 횡단면을 비교한 것이며, 수치영상처리에 의한 대상구간 내의 소성변형량은 표 8에 나타난 것과 같다.

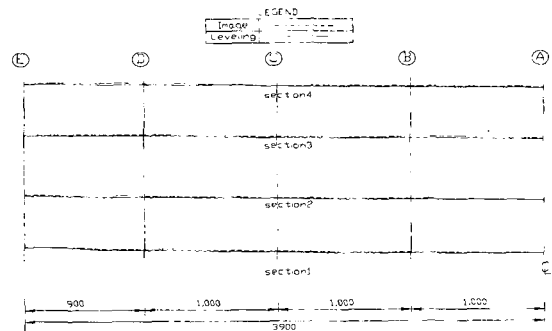


그림 10. 레벨에 의한 소성변형량과의 비교

표 7. 소성변형 비교분석표 (단위 : mm)

Section	A	B	C	D	E	Max
1	2.00	9.60	7.02	10.16	3.00	10.16
2	1.00	6.83	3.67	9.87	10.51	10.51
3	6.00	11.22	7.68	10.07	11.80	11.80
4	3.64	8.31	2.42	10.73	7.19	10.73
Average						10.80

표 8. 대상구간의 소성변형량 결과표

Distance (m)	Left Rut (mm)	Right Rut (mm)	Max. Rut (mm)
10	18	22	22
20	21	17	21
30	21	22	22
40	23	16	23
50	21	17	21
60	19	23	23
70	18	15	18
80	13	16	16
90	19	15	19
100	18	17	18
Average			20.3

표 9. 종단평탄성 측정 결과

Distance (m)	Right Height (m)	Right hi (m)	Left Height (m)	Left hi (m)	Distance (m)	Right Height (m)	Right hi (m)	Left Height (m)	Left hi (m)
0.0	69.0738	0.0788	68.8255	0.0602	5.1	68.9910	0.0010	68.7301	0.0149
0.1	69.0691	0.0741	68.8255	0.0602	5.2	68.9904	0.0004	68.7297	0.0145
0.2	69.0666	0.0716	68.8178	0.0525	5.3	68.9899	0.0001	68.7291	0.0138
0.3	69.0635	0.0685	68.8178	0.0525	5.4	68.9888	0.0012	68.7287	0.0135
0.4	69.0609	0.0659	68.8094	0.0441	5.5	68.9872	0.0028	68.7286	0.0133
0.5	69.0597	0.0647	68.8084	0.0432	5.6	68.9867	0.0033	68.7284	0.0131
0.6	69.0559	0.0609	68.8078	0.0426	5.7	68.9865	0.0035	68.7280	0.0128
0.7	69.0550	0.0601	68.8032	0.0379	5.8	68.9861	0.0039	68.7276	0.0124
0.8	69.0518	0.0568	68.7985	0.0333	5.9	68.9856	0.0044	68.7274	0.0122
0.9	69.0509	0.0559	68.7952	0.0300	6.0	68.9852	0.0047	68.7264	0.0111
1.0	69.0478	0.0528	68.7942	0.0289	6.1	68.9826	0.0073	68.7253	0.0101
1.1	69.0452	0.0502	68.7942	0.0289	6.2	68.9809	0.0091	68.7238	0.0085
1.2	69.0412	0.0462	68.7884	0.0231	6.3	68.9803	0.0097	68.7237	0.0085
1.3	69.0397	0.0447	68.7881	0.0229	6.4	68.9801	0.0099	68.7225	0.0072
1.4	69.0376	0.0426	68.7811	0.0159	6.5	68.9800	0.0100	68.7221	0.0068
1.5	69.0360	0.0410	68.7800	0.0148	6.6	68.9795	0.0105	68.7217	0.0064
1.6	69.0339	0.0390	68.7779	0.0127	6.7	68.9791	0.0108	68.7208	0.0056
1.7	69.0333	0.0383	68.7779	0.0127	6.8	68.9788	0.0112	68.7207	0.0055
1.8	69.0289	0.0339	68.7769	0.0117	6.9	68.9767	0.0133	68.7193	0.0041
1.9	69.0283	0.0333	68.7723	0.0071	7.0	68.9759	0.0140	68.7177	0.0024
2.0	69.0282	0.0333	68.7721	0.0069	7.1	68.9745	0.0154	68.7170	0.0017
2.1	69.0281	0.0332	68.7714	0.0062	7.2	68.9744	0.0156	68.7161	0.0010
2.2	69.0253	0.0303	68.7711	0.0059	7.3	68.9734	0.0165	68.7154	0.0002
2.3	69.0245	0.0296	68.7677	0.0025	7.4	68.9720	0.0179	68.7153	0.0000
2.4	69.0244	0.0295	68.7677	0.0025	7.5	68.9681	0.0219	68.7148	0.0004
2.5	69.0238	0.0288	68.7645	0.0007	7.6	68.9680	0.0220	68.7140	0.0013
2.6	69.0228	0.0278	68.7595	0.0057	7.7	68.9653	0.0247	68.7132	0.0020
2.7	69.0221	0.0272	68.7594	0.0059	7.8	68.9635	0.0264	68.7128	0.0024
2.8	69.0214	0.0264	68.7591	0.0061	7.9	68.9622	0.0278	68.7121	0.0031
2.9	69.0200	0.0250	68.7584	0.0067	8.0	68.9606	0.0294	68.7115	0.0038
3.0	69.0167	0.0217	68.7580	0.0073	8.1	68.9598	0.0301	68.7113	0.0039
3.1	69.0153	0.0203	68.7575	0.0078	8.2	68.9554	0.0345	68.7111	0.0042
3.2	69.0143	0.0193	68.7567	0.0085	8.3	68.9546	0.0354	68.7077	0.0076
3.3	69.0124	0.0174	68.7527	0.0125	8.4	68.9521	0.0379	68.7076	0.0077
3.4	69.0104	0.0155	68.7526	0.0126	8.5	68.9511	0.0388	68.7017	0.0136
3.5	69.0100	0.0150	68.7467	0.0186	8.6	68.9497	0.0402	68.7007	0.0145
3.6	69.0097	0.0148	68.7455	0.0197	8.7	68.9483	0.0417	68.6990	0.0162
3.7	69.0072	0.0123	68.7447	0.0206	8.8	68.9472	0.0428	68.6982	0.0170
3.8	69.0070	0.0120	68.7446	0.0206	8.9	68.9311	0.0589	68.6978	0.0175
3.9	69.0050	0.0100	68.7436	0.0216	9.0	68.9192	0.0707	68.6908	0.0245
4.0	69.0028	0.0079	68.7420	0.0232	9.1	68.9173	0.0727	68.6898	0.0254
4.1	69.0026	0.0076	68.7413	0.0239	9.2	68.9147	0.0753	68.6877	0.0275
4.2	68.9994	0.0044	68.7406	0.0246	9.3	68.9139	0.0761	68.6875	0.0277
4.3	68.9988	0.0039	68.7400	0.0248	9.4	68.9138	0.0762	68.6866	0.0287
4.4	68.9980	0.0031	68.7391	0.0238	9.5	68.9117	0.0783	68.6854	0.0298
4.5	68.9979	0.0030	68.7390	0.0238	9.6	68.9110	0.0790	68.6838	0.0314
4.6	68.9975	0.0025	68.7383	0.0231	9.7	68.9063	0.0837	68.6834	0.0318
4.7	68.9974	0.0024	68.7344	0.0192	9.8	68.9049	0.0850	68.6832	0.0321
4.8	68.9957	0.0007	68.7328	0.0175	9.9	68.9031	0.0869	68.6822	0.0331
4.9	68.9956	0.0006	68.7319	0.0166	10.0	68.9013	0.0887	68.6806	0.0346
5.0	68.9923	0.0024	68.7316	0.0163	PrI		0.3256		0.1906



그림 11. 차로의 좌측 종단평탄성 그래프

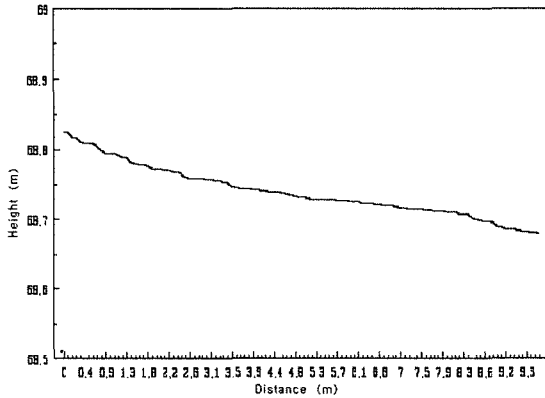


그림 12. 차로의 우측 종단평탄성 그래프

4.4.3 종단평탄성

대상구간 내의 차로 좌·우측의 종단평탄성 측정 결과는 표 9에 나타낸 것과 같으며, 그림 11과 12는 좌·우측 종단평탄성을 그래프로 각각 도식화한 것이다.

4.5 도로노면평가

이렇게 결정된 도로의 균열, 소성변형량, 종단평탄성 정보를 이용하여, 도로노면평가에 사용되는 공용성지수 PSI와 유지관리지수 MCI를 산정한 결과, PSI는 3.3303, MCI는 9.836으로 나타났다. 또한, PCI와 MCI에 의한 대상도로의 포장상태는 유지관리가 잘 이루어지고 있는 상태로 보수공사를 시행할 단계가 아닌 것으로 나타났다.

5. 결 론

디지털 비디오카메라를 이용하여 아스팔트 콘크리트 포

장의 도로노면정보를 추출한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 다중영상표정과 광속조정법에 의해 결정된 도로노면의 3차원 좌표의 정확도를 분석한 결과, X방향으로 0.0427m, Y방향으로 0.0527m, Z방향으로 0.1539m의 평균오차를 나타냈다. 이 값은 우리나라에서 현재 제작하여 사용하고 있는 축척 1/1000 이하의 지도제작 및 GIS 자료로서 충분히 활용성이 있을 것으로 판단된다.

2. 대상도로에 관련된 수치영상을 획득하고 이를 분석함으로써 기존의 도로노면정보 획득 방법보다 정성적이고 정량적인 정보를 취득할 수 있었다.

3. 디지털 비디오카메라를 이용하여 12개소에 대하여 균열폭의 정확도를 분석한 결과 $\pm 0.256\text{mm}$ 의 표준편차를 나타내었으며, 4개소의 실측된 횡단면과 영상으로부터 추출된 횡단면을 비교·분석한 결과 소성변형량에 있어서 평균 10.80mm의 최대 오차를 나타내었다.

4. 향후 도로를 대상으로 취득된 양질의 영상정보를 축적함으로써 포장유지관리시스템 분야에 있어서 중요한 기초 자료를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

고지훈, 서영찬 (2002), 이미지프로세싱을 이용한 도로포장의 균열폭 측정에 관한 연구, 한국도로포장공학회논문집, 제4권, 제2호, pp. 33-42.

김정용, 조운호 (2002), 이미지프로세싱기법을 이용한 균열인식 알고리즘 및 프로그램 개발, 대한토목학회논문집, 제22권, 제4-D호, pp. 639-647.

김진수, 서동주, 이종출 (2004), 수치사진측량기법을 이용한 토랑 환산계수 산정, 한국측량학회, 제22권 제4호, pp. 339-347.

서동주, 이종출 (2003), 수치사진측량을 이용한 도로평면선형정보 체계 개발, 한국측량학회, 제21권, 제4호, pp. 347-353.

이철우 (2000), 수치사진측량을 이용한 Fender의 3차원 수치모형생성, 공학석사학위논문, 충북대학교, p. 12, 25.

Jaching Chou, Wende A. O'Neill, and Hengda Cheng (1995), Pavement distress evaluation using fuzzy logic and moment invariants, *TRR 1505*.

Lee, H., Jitprasithsiri, S. and Sorcic, R. G. (1996), Development of digital image processing algorithm to compute a unified crack index for Salt Lake City, *Transportation Research Record*, No. 1526, TRB, pp. 142-148.

Pratt, W.K. (1991), *Digital Image Processing*, 2nd ed, Wiley Interscience, pp. 447-662.

(접수일 2004. 12. 16, 심사일 2005. 3. 5, 심사완료일 2005. 3. 10)