

수치영상을 이용한 도로 노면관리시스템 개발

서동주^{1*}

Development of Road Surface Management System using Digital Imagery

Dong-Ju SEO^{1*}

요 약

본 연구에서는 수치영상을 이용하여 아스팔트 콘크리트포장 도로를 대상으로 차량에 비디오 카메라를 설치하여 도로에서 일정하게 차량속도를 유지하면서 촬영된 수치 영상정보로 객체 지향적인 언어인 Delphi를 이용하여 도로노면정보(균열, 소성변형, 중평탄성)를 획득할 수 있는 도로노면 관리시스템을 개발하고, 개발된 시스템은 동영상 및 그래프를 이용하여 시각화 효과를 증진시킬수 있도록 하였다.

다중영상표정과 광속조정법에 의해 결정된 도로노면의 3차원 좌표의 정확도를 분석한 결과 표준 오차의 평균은 X방향으로 0.0427m, Y방향으로 0.0527m, Z방향으로 0.1539m로 나타났다. 이 값은 우리나라에서 현재 제작하여 사용하고 있는 축척 1:1,000 이하의 지도제작 및 GIS 자료로서 충분히 활용성이 있다. 수치영상을 이용하여 12개소에 대하여 균열폭의 정확도를 분석한 결과 표준오차가 $\pm 0.256\text{mm}$ 로 정밀도가 아주 높게 나타났으며, 또한 소성변형량을 비교하기 위하여 4개소의 실측된 횡단면과 영상으로부터 추출된 횡단면을 비교한 결과 최대 오차는 10.80mm로 나타났으나, 작업능률면에서는 실용성이 있다고 판단된다.

주요어 : 수치영상, 도로포장균열정보, 소성변형정보, 중평탄성정보, 노면관리시스템

ABSTRACT

In the study digital imagery was used to examine asphalt concrete pavements. With digitally mastered-image information that was filmed with a video camera fixed on a car travelling on road at a consistent speed, a road surface management system that can gain road surface information (Crack, Rutting, IRI) was developed using an object-oriented language "Delphi". This system was designed to improve visualized effects by animations and graphs. After analyzing the accuracy of 3-D coordinates of road surfaces that were decided using multiple image orientation and bundle adjustment method, the average of standard errors turned out to be 0.0427m in the X direction, 0.0527m in the Y direction and 0.1539m in the Z direction. As a

2006년 10월 31일 접수 Received on October 31, 2006 / 2006년 12월 12일 심사완료 Accepted on December 12, 2006

1 동의대학교 토목공학과 Department of Civil Engineering, Dong-Eui University

* 연락처 E-mail : dpsdj@pknu.ac.kr

result, it was found to be good enough to be put to practical use for maps drawn on scales below 1/1000, which are currently produced and used in our country, and GIS data. According to the analysis of the accuracy in crack width on 12 spots using a digital video camera, the standard error was found to be $\pm 0.256\text{mm}$, which is considered as high precision. In order to get information on rutting, the physically measured cross sections of 4 spots were compared with cross sections generated from digital images. Even though a maximum error turned out to be 10.88mm, its practicality is found in work efficiency.

KEYWORDS : *Digital Imagery, Road Surface Crack Information, Rutting Information, International Roughness Index Information, Surface Management System*

서론

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

또한, 포장유지관리 시스템은 노면의 상태를 분석하고 도로의 유지보수에 대한 정보를 제공해 줄 수 있는 시스템으로 구성하여야 한다. 현재 적용되고 있는 대부분의 포장유지관리 시스템은 전문가가 현장에서 노면의 상태를 파악한 후 그 자료를 입력하도록 되어 있다. 그러나 우리나라 포장도로의 총 연장이 2005년 12월 현재 102,293km이며, 이중 포장도로의 연장은 78,578km에 이르고 있다(건교부, 2006). 그러므로 현재의 실정과 향후 포장도로의 증가를 고려할 때, 포장도로 전체를 전문가가 직접 조사하는 것은 비효율적일 뿐만 아니라 지속적인 포장유지관리시스템의 유지가 어려운 환경이다. 이러한 문제 때문에 최근 포장도로 노면에 대한 자동 측정시스템에 대한 연구가 선진국에서는 활발히 진행되고 있다.

먼저, 전자센서와 컴퓨터시스템을 이용하여 포장의 응력자료를 추출하는 연구가 시작되었고(Jeyapalan 등, 1988), 그리고 비디오 촬영을 통해 얻어진 포장영상을 분석하는 저가의 시

스템을 개발했으며(Acosta 등, 1992), 수치영상처리기법을 이용하여 포장체의 응력을 평가하는 연구를 하였다(Georgopoulos 등, 1995). 또한 Lee(1994, 1996)는 비디오테이프로부터 균열영상을 입력한 후 평균값 필터를 처리하여 노이즈를 제거한 뒤 영상의 평균 밝기값을 계산하고 샘플영상으로부터 optimal threshold가 결정되면 thresholding처리를 통해 영상의 배경과 균열을 분리하고 자동 상관함수를 이용하여 균열의 형태와 균열밀도를 측정할 수 있는 새로운 처리과정을 개발하였다(Lee 등, 1994, 1996). 그리고 획득된 영상정보의 정확도를 향상시키기 위해서 입체영상을 이용하여 3차원공간정보로 처리하는 방법들을 연구하였다. 그리고 솔트레이크시티의 포장관리시스템에 적용하기 위해 프로그램과 간단한 장비를 장착한 차량을 개발하였다(Henri 등, 1998). 최근에는 GIS와 CVS를 통합하여 포장의 응력을 분류하는 연구를 통하여 멀티센서를 이용한 포장관리시스템의 기초자료를 추출하는 연구가 한창 진행되고 있다(Mohammed 등, 2006).

그러나 우리나라의 경우는 미흡한 상태이며 도로포장 노면관리에서 가장 중요한 노면균열 상태 및 연성포장에서 소성 변형량의 측정이 어려운 실정이나, 최근 들어서 많은 연구가 진행되고 있다. 망원렌즈를 장착한 자동포장상태 조사장비를 사용하여 균열폭을 측정한 연구가 있었으며(고지훈, 2002), 비디오카메라를 이용

하여 도로노면정보를 획득하는 연구도 있었다(장호식, 2005;연상호, 2000;이창현 등, 2004;서동주 등 2005).

따라서, 본 연구에서는 수치영상을 이용하여 획득된 영상을 도로노면의 정보로 추출하고, 추출된 자료를 객체지향적인 언어 통해 도로노면 관리시스템을 개발하고자한다. 개발된 시스템은 중추적인 사회간접자본 시설인 도로의 효율적인 관리를 위한 방법을 제시하는데 그 목적이 있다.

이론적 고찰

1. 도로포장관리시스템(Road Pavement Management System : RPMS)

과거 도로포장의 건설 및 관리 물량이 적었을 때에는 포장에 관한 전문지식과 경험을 가진 전문가와 의사결정자의 주관적 판단을 근거로 보수작업을 요하는 포장에 예산을 분배, 투입하였다. 그러나 포장도로의 연장이 방대하게 늘어나고 예산이 증가함에 따라 포장관리에 투입되는 재료, 노무, 장비 등의 투입비용을 보다 합리적으로 편성해야 했으며, 또한 한정된 자원내에서 최대의 효과를 획득하기 위한 관리 시스템이 요구되었다. 결국 조사된 포장상태와 교통하중에 따른 각종 유지보수 대안을 제시하고 이를 평가하여 우선순위를 선정하는 형태의 초기 포장관리시스템이 1970년대 개발 되었다(Kulkarni와 Miller,2002). 이러한 초기 Project Level의 포장관리시스템은 공용성 예측과 공법적용 시기에 따른 미비한 분석이 수행되고 단순 조사 데이터의 처리과정에 국한 되었다. 즉, 객관적인 조사방법 및 관리기준의 통일성 등에 중점을 두어 최적예산 할당을 위한 경제성 분석 등 일련의 과정이 불충분 하였다. 이후 관리대상인 전체 도로망에 대한 공용성을 예측하여 제한된 예산범위 내에서 최적의 도로상태를 유지관리하는 Network Level PMS의 중요성이 1980년대 들어 부각되

기 시작하였다. 최근에는 장단기 공용성 예측, Network 및 Project Level의 최적화, 다중 우선순위 분석, GIS 결합 등 각각의 요소가 통합된 포장관리시스템이 연구 개발되어 활용되고 있다(임영환, 2003). 따라서 도로포장관리시스템은 일련의 절차를 통하여 얻고자하는 목표에 따라 Network Level과 Project Level로 구분할 수 있다(서정훈, 2004).

1.1 Network Level PMS

Network Level PMS는 전체 도로망의 상태를 파악하고 공용성을 예측하여 적정 관리수준을 제시, 최적의 서비스 수준 및 목표 상태로 유지시키고 소요되는 적정예산을 제시하는데 그 목적이 있다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 Network Level에서는 현재상태 파악 및 미래의 관리수준 설정을 위하여 PSI(Pavement Serviceability Index)나 PCI(Pavement Condition Index) 등 공용성 및 결함의 합성지수로 포장상태를 평가, 일정한 예측모델을 이용하여 포장상태 흐름 및 미래 공용성을 예측한다. 이 예측된 모델에 따라 관계기관은 해당 정책 및 예산조건을 적용, 각종 대안을 선정, 분석하고 전체 포장을 일정 관리수준에 맞도록 관리하기 위하여 최종 대안을 결정하고 소요되는 예산을 판단한다. 그림 1에서 보는바와 같이 Network Level은 예산의 수립이나 포장관리수준을 결정하는 상급관리자의 의사결정을 지원하는 단계로서 대상구간이 방대하므로 정보의 상세도는 project level에 비하여 낮은 편이다.

1.2 Project Level PMS

Project Level PMS는 유지보수 조사대상구간을 선정하고 선정된 구간에 대하여 상세한 조사 및 분석을 실시하여 유지보수 공법과 보수우선순위를 결정하는 단계이다. Network Level PMS와는 달리 결함의 합성지수에 의한 전반적 평가보다는 각 결함별 분포도 및 심각

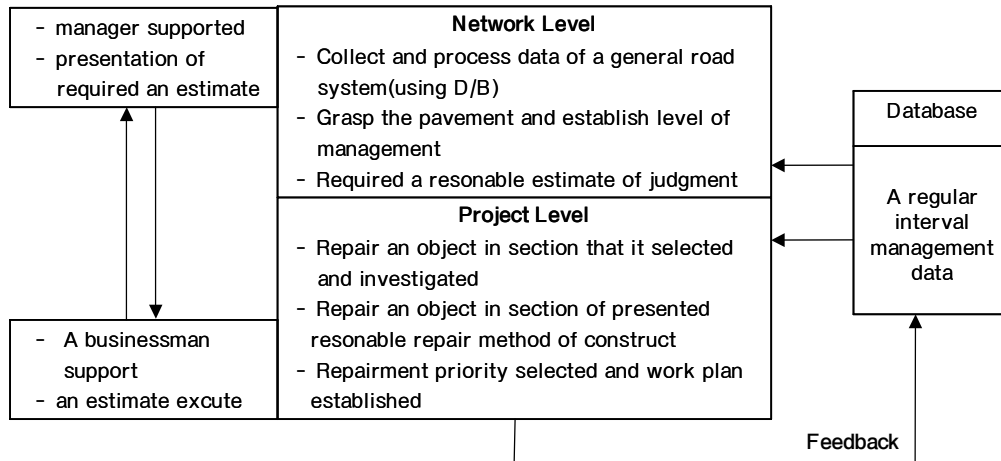


FIGURE 1. Step-by-Step work function

성을 고려하여 개별적 보수공법을 적용하게 된다. 이때 유지보수공법의 결정논리는 도표나 그림 2와 같은 의사결정도를 이용하거나 각 대안별 경제성 분석 등을 통해서 이루어진다.

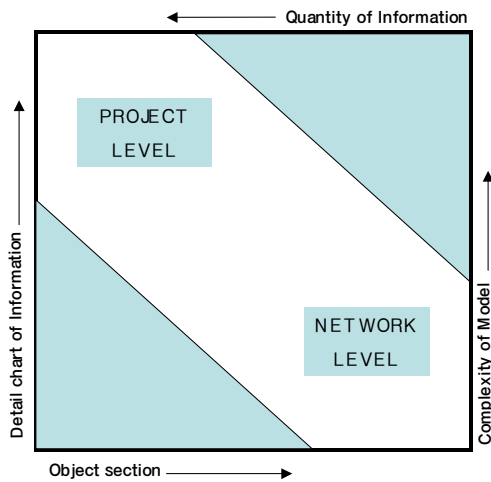


FIGURE 2. Comparison of Step-by-Step information and model

Project Level은 포장 유지보수의 기술적 의사결정을 수행하는 해당 관리조직이나 기술자를 지원하는 단계로서 Network Level에 비하여 적은 대상구간을 상대로 상세한 정보를 다

루게 된다.

Network 및 Project Level PMS 이외에 장기간 축적된 데이터베이스를 분석하여 포장설계법의 평가 및 개선, 신재료 및 신공법의 분석, 유지보수공법별 수명연장효과 비교와 장기 유지보수 정책 수립의 영역을 포함하는 관리단계로 Reserch Level을 규정하기도 한다. 그림 3은 Reserch, Network, Project Level의 3단계 포장관리시스템 흐름도를 나타낸 것이다.

2. 노면의 평가

2.1 공용성지수에 의한 방법

미국의 AASHTO 도로시험의 결과로부터 얻어진 공용성지수(Present Serviceability Index)를 이용하는 방법으로, 이는 균열을 중시한 것으로 당장의 대응공법을 선택하는데에 사용되며, 식(1)로 나타낸다.

여기서, PSI : 공용성지수

σ : 종단방향의 요철의 표준편차(mm)

C : 균열률(%)

D : 소성변형깊이의 평균(cm)

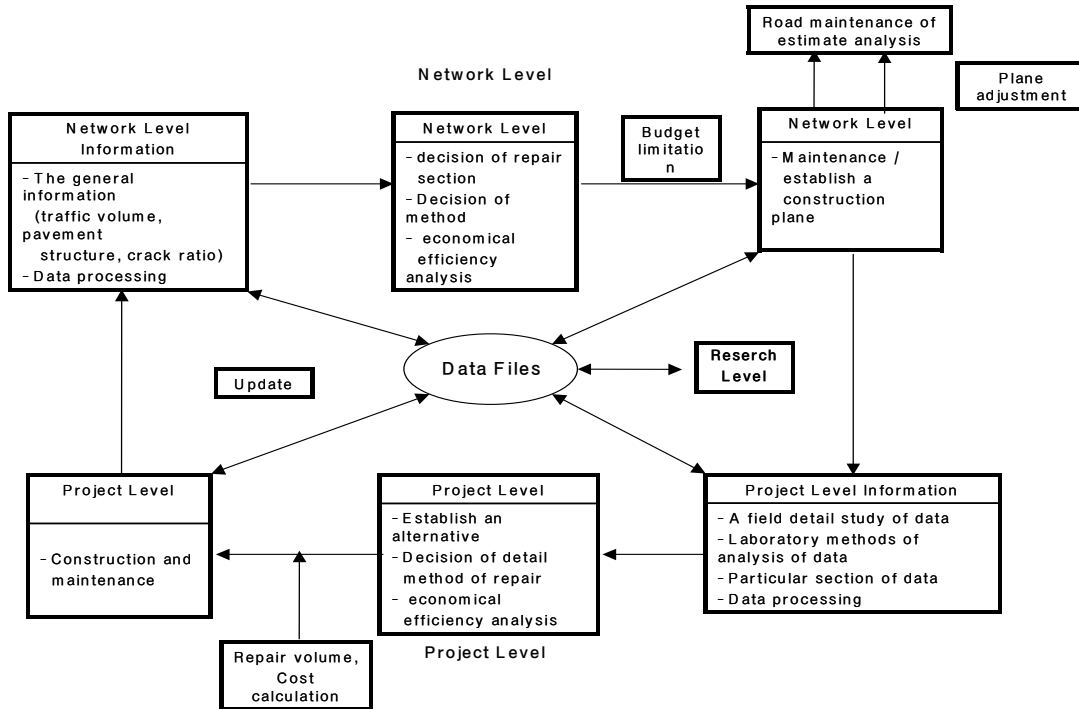


FIGURE 3. Flow chart order by the level of PMS

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

공용성 지수에 의한 대응공법의 선정은 표 1에 따라 유지보수를 실시하는 것이 바람직하나 포장의 수명을 보다 길게 유지하기 위해서는 이 값 이하에서 조치하는 것이 좋다.

TABLE 1. Present Serviceability Index and Correspondence Method

PSI	Summary correspondence Method
3~2.1	Surface Treatment
2~1.1	Overlay
1~0	Repavement

2.2 유지관리지수에 의한 방법

유지관리지수(Maintenance Control Index)는 일본건설성토목연구소가 1981년 포장의 공

용성을 노면의 특성값에 의해 수치적으로 나타낸 것이며, 유지보수의 기준으로 활용하고 있다. 이는 노면의 소성변형을 중시한 평가지수이다. 지수는 다음 식(2)로 산출되며, 표 2에 유지관리지수를 이용한 유지보수 기준을 나타내었다.

$$\begin{aligned}
 MCI &= 10 - 1.48C^{0.3} - 0.29\sigma^{0.7} - 0.47\sigma^{0.2} \quad (2) \\
 MCI0 &= 10 - 1.5C^{0.3} - 0.3D^{0.7} \\
 MCI1 &= 10 - 2.23C^{0.3} \\
 MCI2 &= 10 - 0.54C^{0.7}
 \end{aligned}$$

여기서, MCI : 유지관리지수(균열, 소성변형량, 종단평탄성 3종의 특성)

MCI0 : 균열과 소성변형의 2종의 특성에 의한 유지관리 지수

- MCI1 : 균열률에 의해 구한 지수
 MCI2 : 소성변형량에 의해 구한 지수
 C : 균열률(%) (조사대상면적에 대한 균열 및 팻칭면적의 백분율)
 D : 소성변형량(mm) (최대변형량의 평균치)
 σ : 평탄성(mm) (3m 프로필로미터에 의한 측정치의 표준편차)

TABLE 2. The standards of maintenance mending by maintenance management index

MCI	Management Maintenance Standard
3 blow	Urgently repair necessity
4 blow	Repair necessity
5 blow	Desirable level of control

수치영상을 이용한 정보획득

1. 균열률의 정보획득

본 연구에서는 대상 도로의 균열율 정보를 획득하기 위해 수치영상의 획득 및 처리, 표정 작업, 도화작업에 의해 결정된 3차원 자료를 이용하여 DXF파일로 나타내어 균열정보에 대한 3차원 자료를 취득할 수 있었다. 획득된 균열정보의 검증을 위하여 크랙케이지로서 실측한 값과 수치영상으로 획득한 것과 비교분석하였으며, 그 값은 표준편차 $\pm 0.256\text{mm}$ 로 분석되었으며, 그 값은 표 3과 같다. 수치영상을 통한 균열정보를 획득한 모습은 그림 4와 같으며, 실측한 모습은 그림 5에 나타내었다. 이러한 균열정보를 이용하여 균열률을 산정하였다. 균열률은 평균 0.18%로 산출되었으며, 그 값은 표 4에 나타내었다.

2. 소성변형의 정보 획득

대상 도로의 소성변형 정보를 획득하기 위해 도화작업에 의해 결정된 3차원 자료를 이



FIGURE 4. Shape of extracting crack



FIGURE 5. Crack measurement using crack gage

용하여 소성변형에 대한 3차원 정보를 획득할 수 있었다. 먼저 비디오카메라에 의해 획득된 영상으로부터 소성변형을 추출하기 전에 실험대상 구간내에 4개소의 단면을 선정하여 10cm 간격으로 레벨에 의한 수준측량을 실시하여 횡단면도를 구하고, 영상처리의 결과로부터 같은 지점의 횡단면도를 구하여 비교 분석한 결과 최대소성변형량의 평균이 10.80mm로 나타났으며, 표 5는 비교분석한 결과이다. 그리고 정지영상에서 횡단면의 소성변형량을 추출하는 모습은 그림 6과 같으며, 표 6은 실험대상구간의 최대소성변형량을 산출한 값이며, 최대 소성 변형량 평균값은 20.3mm로 나타내었다.

TABLE 3. Result data of crack width extraction

No	Most Probable Value(mm)	Measurement Value(mm)	Deviation (mm)	Standard Deviation
1	3	3.7	-0.7	±0.3mm
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	

TABLE 4. Result of crack data

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

TABLE 5. Comparison analysis of rutting
(Units : mm)

Section	A	B	C	D	E	Max
1	2.0	9.6	7.0	10.2	3.0	10.2
2	1.0	6.8	3.7	9.9	10.5	10.5
3	6.0	11.2	7.7	10.1	11.8	11.8
4	3.6	8.3	2.4	10.7	7.2	10.7
Average						10.8

TABLE 6. Result of rutting data

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

3. 종평탄성의 정보 획득

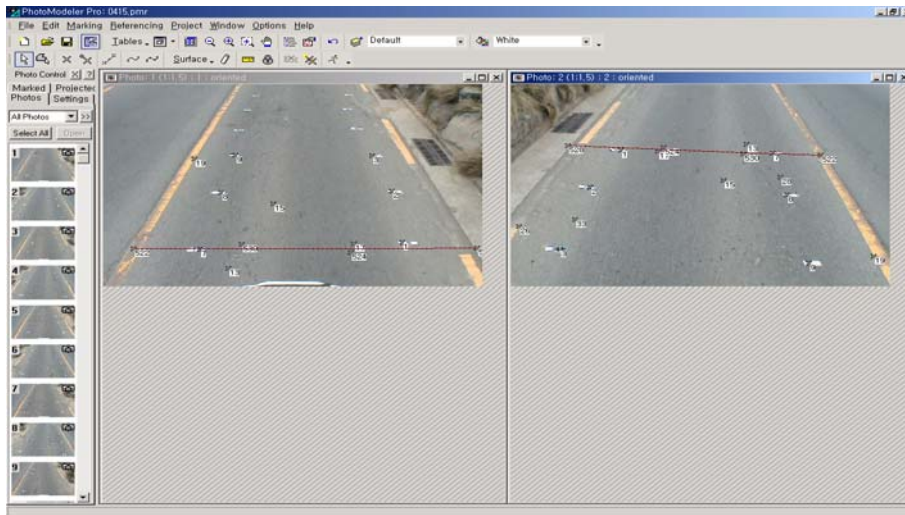
대상도로의 종평탄성을 추출하기 영상처리를 하였으며, 그 결과 삼각수준측량 결과와 영상처리의 좌표값을 비교분석한 결과는 X방향 0.0427m, Y방향 0.0527m, Z방향 0.1539m의 오차를 보이고 있으며, 이 값은 우리나라에서 현재 제작하여 사용하고 있는 축척 1:1000 이하의 지도제작 및 GIS자료로서 충분히 활용성이 있었으며, 이 정보를 이용하여 실험대상구간의 종평탄성 산출을 위한 표고를 정밀하게 측정할 수 있다. 연속된 각 점에서 노면의 표고를 알면 도로의 종평탄성을 계산할 수 있으며, 그림 7는 평탄성 계산하는 방법을 나타낸 것이다. 종평탄성 관리기준은 시멘트 콘크리트 포장은 16cm/km이하, 아스팔트콘크리트포장은 10cm/km이하이다.

도로노면관리시스템

1. 도로노면정보추출

1.1 도로노면균열정보

도로의 노면균열정보 추출은 비디오카메라를 이용하여 획득된 영상을 이용하여 영상처

FIGURE 6. Shape of still image in processing(Rutting)

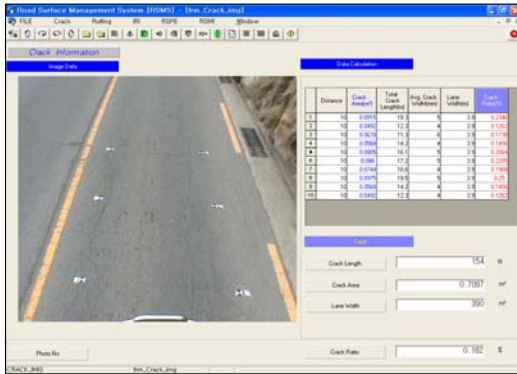


FIGURE 8. Calculation of crack information system

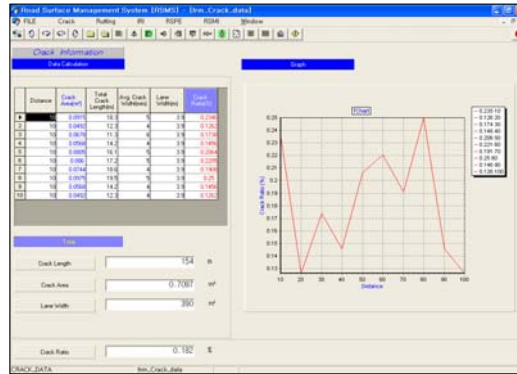


FIGURE 9. Graph of crack information system

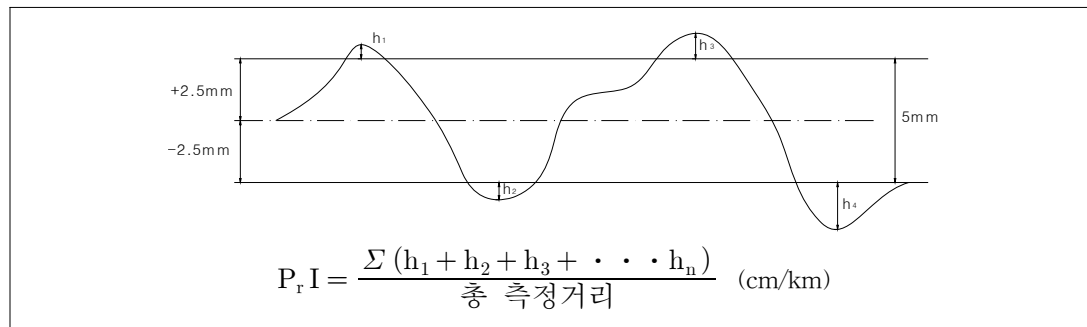
리한후 추출된 결과값을 이용하였다. 디지털 사진영상으로부터 획득된 균열자료들을 거리별로 균열면적, 균열길이, 균열폭, 차선폭등을 추출하여 균열율을 산정하였고, 산정된 균열율을 조사구간의 거리에 대하여 그래프화 하였다. 균열정보를 직접 입력할 수 있도록 하였으며, 입력된 수치로부터 거리별로 따른 균열면적과 균열율을 계산할 수 있도록 하여 전체적인 균열율을 산정하였고 프로그램 화면은 그림 8과 같다. 그리고 거리별로 산정된 값으로부터 균열율 그래프를 그림 9에 나타내었다.

1.2 소성변형정보

도로의 노면소성변형정보 추출은 비디오카메라를 이용하여 획득된 수치영상을 영상처리

를 통하여 추출된 값을 이용하였다. 영상으로부터 획득된 소성변형자료들을 좌측 소성변형량과 우측 소성변형량을 추출하여 좌, 우측 두개의 값으로부터 최대값을 산출하고 최대값들을 평균하여 전체 조사구간에 대한 소성변형량을 추출하였다. 개발된 도로노면관리시스템의 소성변형정보는 조사구간의 거리에 따른 좌, 우측의 소성변형량을 직접 입력할 수 있도록 하였으며, 두개의 소성변형량중 최대값을 자동적으로 계산할 수 있도록 하였다. 그리고 최대값들에 대한 조사구간전체에 대한 평균 소성변형량을 산출할 수 있도록 프로그램화 되어 있으며, 그 모습은 그림 10과 같으며, 거리에 대한 좌, 우측의 최대값들을 그래프로 도시하여 그림 11에 나타내었다.

FIGURE 7. Scheme of propile index



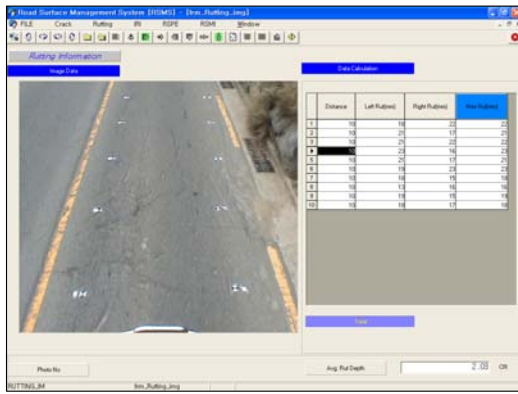


FIGURE 10. Calculation of rutting information system

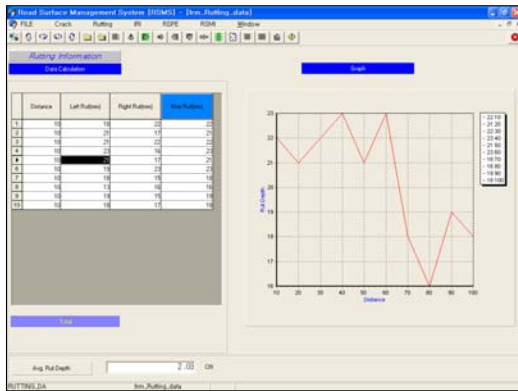


FIGURE 11. Graph of rutting information system

1.3 종평탄성정보

도로의 종평탄성정보는 비디오카메라를 이용하여 획득된 수치영상처리에서 도출된 값을 이용하였으며, 좌, 우측에 대한 도로의 3차원 좌표값으로 부터 종평탄성을 획득하였고, 디지털 영상획득에 필요한 3차원 좌표와 연동하여 사용하였다. 조사구간에 거리별로 획득된 좌, 우측에 대한 도로의 종평탄성을 비교하여 최대값을 산출하고 최대값에 대한 도로의 기준값들과 비교하여 편차를 획득하였다. 편차들에 대한 값들을 이용하여 전체 조사구간에 대한 편차를 산출하여 종평탄성의 지표로 사용

하였다. 개발된 도로노면관리시스템의 종평탄성정보의 모습을 보면 거리별에 따른 영상으로 부터 획득된 3차원좌표를 이용하여 거리를 추출하고 좌, 우측에 대한 PrI값을 입력할 수 있도록 하였고, 최대값을 산출할 수 있도록 프로그래밍 하여 기준값과의 편차에 의해 전체적인 종평탄성량을 산정할 수 있도록 하였으며, 산정된 모습은 그림 12과 같으며, 거리별로 산정된 최대 종단평탄성량을 그래프로 그림 13과 같다.

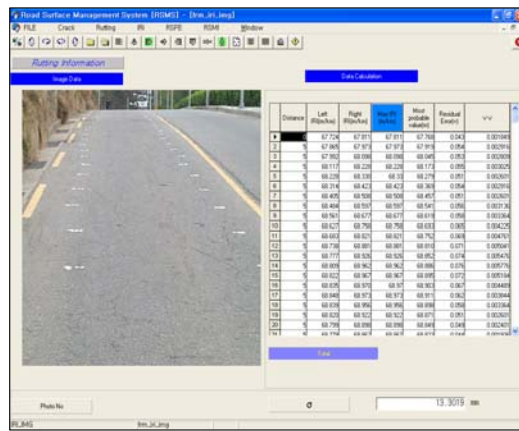


FIGURE 12. Calculation of PrI information system

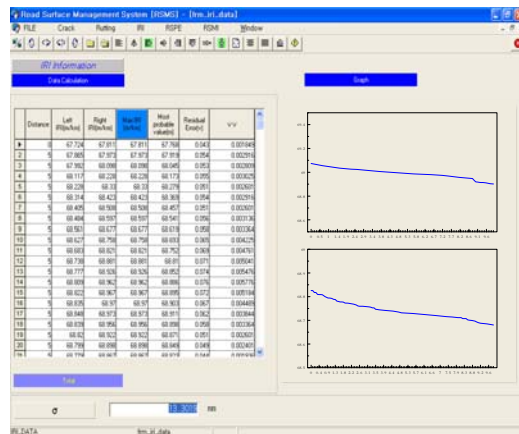


FIGURE 13. Graph of PrI information system

2. 도로노면관리시스템 구축

도로노면관리시스템에서 도로노면상의 정보에 대하여 포장관리시스템의 Network Level, Project Level, Research Level에서 활용가능하도록 획득된 자료를 지속적으로 관리할 수 있고, 쉽게 파악할 수 있도록 시각적인 효과를 높이기 위하여 도로노면관리시스템을 구축하였다.

개발된 도로노면관리시스템에서 앞서 획득한 도로노면정보의 균열, 소성변형, 종평탄성을 이용하여 도로의 공용성지수(PSI)와 유지관리지수(MCI)를 산정하고 대응공법을 제시하여 대상 포장구간의 보수보강공법 결정에 이용할 수 있도록 하였다. 또한, 조사구간에 매년 도로노면에 대한 조사자료를 이용하여 변화상태를 파악하고 적절한 도로의 유지보수를 통하여 이용자로 하여금 쾌적한 도로주행환경을 제시할 수 있도록 도로노면관리정보를 구축하기 위하여

앞서 입력한 정보 및 산출된 지수들이 자동적으로 입력되도록 하였다. 입력된 결과값들을 통해 균열율, 소성변형량, 종단평탄성을 이용하여 매년 변화상태를 파악할 수 있는 그래프와 공용성 지수와 유지관리지수에 대한 그래프를 도시화 하여 관리할 수 있도록 하였다. 공용성지수와 유지관리지수의 산출결과를 그림 14와 같으며, 조사대상구간의 수치지도로 구성된 위치도는 그림 15에 나타내었고, 조사구간 전체에 대한 균열율, 소성변형량, 종단평탄성량에 대한 그래프는 그림 16에서 보는 바와 같다. 그리고 공용성지수 및 유지관리지수에 대한 그래프는 그림 17에 나타내었다. 따라서 본 연구에 대상 도로의 도로노면평가에 사용되는 공용성지수 PSI와 유지관리지수MCI를 산정한 결과, PSI는 3.3303, MCI는 9.836으로 나타났으며, 비교적 유지관리가 잘 되어있는 도로로 평가되었다.

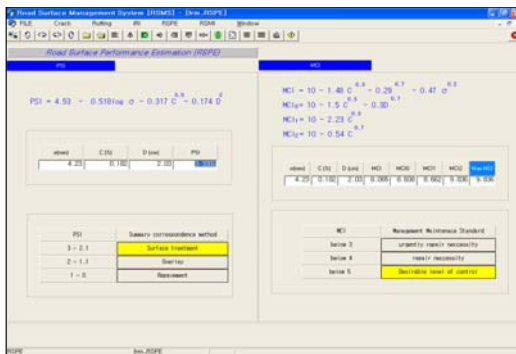


FIGURE 14. Estimation of RSMI

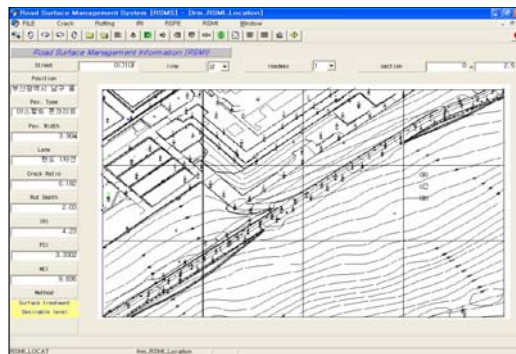


FIGURE 15. Digital map of RSMI

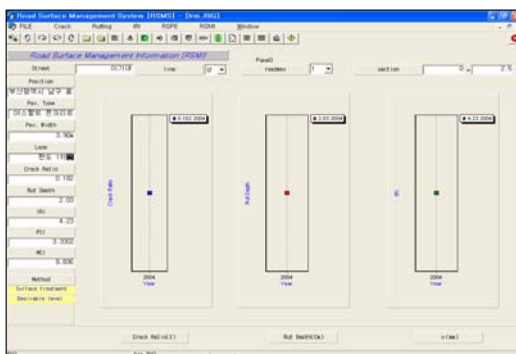


FIGURE 16. Road information graph of RSMI

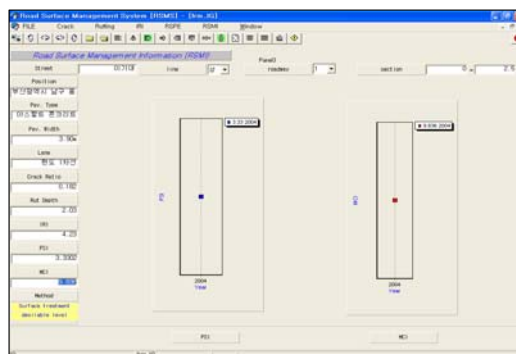


FIGURE 17. Index graph of RSMI

결론

수치영상을 이용한 도로노면관리시스템 개발하기 위하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

첫째는, 수치영상을 이용하여 획득된 정보들을 객체 지향적인 언어인 Delphi를 이용하여 도로노면정보(균열, 소성변형, 종단평탄성)를 획득할 수 있는 도로노면관리시스템을 개발하고, 개발된 시스템은 동영상 및 그래프를 이용하여 시각화된 효과를 증진시킬수 있도록 하였다.

둘째는, 다중영상표정과 광속조정법에 의해 결정된 도로노면의 3차원 좌표의 정확도를 분석한 결과 표준오차에 대한 평균은 X방향으로 0.0427m, Y방향으로 0.0527m, Z방향으로 0.1539m로 나타났다. 이 값은 우리나라에서 현재 제작하여 사용하고 있는 축척 1:1000 이하의 지도제작 및 GIS 자료로서 충분히 활용성이 있다.

셋째는, 수치영상을 이용하여 12개소에 대하여 균열폭의 정확도를 분석한 결과 표준오차가 $\pm 0.3\text{mm}$ 로 정밀도가 아주 높게 나타났으며, 또한 소성변형량을 비교하기 위하여 4개소의 실측된 횡단면과 영상으로부터 추출된 횡단면을 비교한 결과 최대 오차는 10.8mm로 나타났으나, 작업능률면에서는 실용성이 있었다.

따라서, 향후 도로를 대상으로 취득된 양질의 영상정보를 축적하여 데이터베이스화 시키면 도로노면관리시스템 분야에 있어서 예산의 절감은 물론 기존포장도로에 대한 관리시스템의 효과를 높일 뿐만 아니라 포장관리시스템의 Network Level, Project Level, Research Level PMS 분야에 많은 자료를 제공할 수 있을 것으로 사료된다. **KAGIS**

참고 문헌

고지훈, 서영찬. 2002. 이미지프로세싱을 이용한 도로포장의 균열폭 측정에 관한 연구. 한국도로포장공학회논문집 4(2):33-42쪽.
 건설교통부. 2006. 2006년 도로현황조사.
 서동주, 김진수. 2005. 근정수치사진측량의 수렴

각변화에 따른 정밀도해석. 한국지리정보학회지 8(4):123-133.
 서정훈. 2004. 디지털 비디오카메라를 이용한 아스팔트포장노면관리시스템 개발. 부경대학교 대학원 박사학위논문. 41쪽.
 연상호. 2000. 위성영상을 이용한 춘천지역의 3차원 입체영상지도생성에 관한 연구. 한국지리정보학회지 3(4):1-10.
 이창현, 최철웅. 2004. PKNU2호 영상을 이용한 정사영상 지도제작 및 3차원 입체분석. 한국지리정보학회지 7(4):77-87.
 임영환. 2003. 일반국도 PMS의 Project Level 개선과 Network Level 개선 연구. 중앙대학교 대학원 박사학위논문. 17쪽.
 장호식. 2005. 디지털 비디오 카메라를 이용한 도로노면정보추출. 한국측량학회지 23(1):9~17.
 Acosta, A.J., F.J. Ludwig and R.L. Mullen. 1992. Low-cost video image processing system for evaluating pavement surface distress, TRR 1348.
 Georgopoulos, A., A. Loizos and A. Flouda. 1995. Digital image processing as a tool pavement distress evaluation. Photogrammetric Engineering and Remote sensing 50(1):23-33.
 Henri, V. and V. George. 1998. The 3D reconstruction of straight and curved pipes using digital line photogrammetry. Photogrammetric Engineering and Remote sensing 53(1):6-16.
 Jeyapalan, K. 1988. Automated pavement evaluation using photogrammetry and remote sensing. Int. Arch. Photogramm. Remote Sensing 27(B5):292-309.
 Lee, H and H. Oshima, 1994. New crack-imaging procedure using spatial autocorrelation function. Journal of Transportation Engineering 120(7): 120-130.
 Lee, H., G. S. Robert and R. Johnston. 1996. Development of digital image processing algorithm to compute a unified crack index for Salt Lake City. TRB 75th annual meeting. January. 7-11.
 Mohammed, T.O. and A.A. Sharaf. 2006. Integration of geographic information systems and computer vision systems for pavement distress classification. Construction and Building Materials 20(2006): 657-672. **KAGIS**