

도로 및 공항 포장상태 조사를 위한 ROMA153

백명엽* · 권희용** · 위성동***

1. 서 론

도로는 국가의 대표적인 기간 시설중 하나로, 지속적이고도 효율적인 유지 관리 기술을 필요로 한다. 선진국들은 방대한 도로시설에 대해 신속하고 정량적인 유지 관리를 위해 자동화한 도로포장상태 조사장비를 개발하여 운영하고 있다. 최근에는 국내에서도 도로포장상태 조사장비를 자체기술로 개발하는 등, 도로의 이상상태 검사를 자동화하기 위한 노력이 계속되고 있다. 그림 1은 실제 도로의 파손 정도가 심각함을 예로써 보여주고 있다. 특히, 차량이 고속으로 주행하는 고속도로라든가 시가지 도로에서의 교차로 등은 도로의 균열이나 소성변형으로 인해 직접적인 차량 사고로 이어질 수 있어 지속적인 관리 및 유지보수를 필요로 한다[1-3].

그중에서도 공항의 활주로는 하루에도 수십대의 비행기가 이착륙하면서 활주로에 많은 부담을 주고 있다. 비행기가 이착륙하면서 활주로에 주어지는 마찰과 충격으로 인해 활주로에는 균열

과 소성변형 등의 표면결함이 발생하게 되며, 표면 결함은 비행기의 이착륙 시 대형 사고로 이어지는 계기가 될 수 있기 때문에 사고를 미연에 방지하기 위하여 공항에서는 주기적으로 활주로의 표면 상태를 측정하고 결함이 있는 곳을 보수하여야 한다. 과거에는 활주로의 표면 상태를 트레이싱지와 막대자를 이용하여 관리자가 직접 측정하였으나 이는 측정시간과 정확성에 문제가 있어 자동조사장비의 개발이 시급하다. 따라서 본 논문에서는 (주)한국도로기술이 자체개발한 자동조사장비 ROMA153(ROad Measurement Analyzer)에 대한 내용을 소개하고자 한다. ROMA153은 공항의 특성을 고려하여 야간조사가 가능하도록 레이저 카메라와 레이저 센서 등을

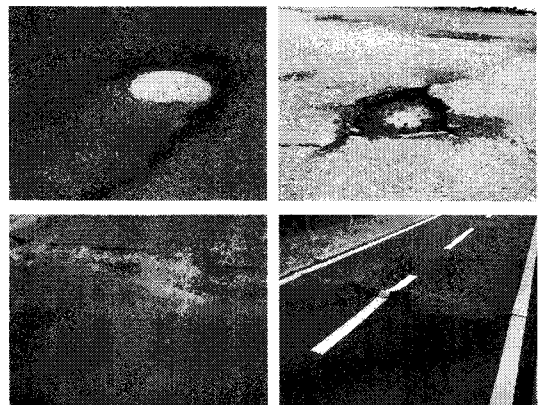


그림 1. 도로 파손 예

* 교신저자(Corresponding Author): 권희용, 주소: 경기도 안양시 만안구 안양5동(430-714), 전화: 031)467-0878, FAX: 031)463-1249, E-mail: hykwon@anyang.ac.kr

* 안양대학교 컴퓨터공학과 박사과정
(E-mail: newmybaek@naver.com)

** 안양대학교 컴퓨터공학과 교수

*** (주)한국도로기술 대표이사
(E-mail: kohat@kohat.com)

적용한 소성변형 측정 방식이며, 도로 및 활주로 의 표면 결함을 차량을 통하여 고속으로 측정할 수 있는 자동포장조사장비이다. 본 논문은 다음과 같이 구성되었다. 2장에서는 국내의 자동조사장 비의 현황에 대해서 소개하고, 3장에서는 (주)한 국도로기술에서 개발한 자동조사장비인 ROMA153 을 간략하게 설명하며, 4장에서는 실제로 테스트 한 결과를 예시하고 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 국내의 자동조사장비 현황

2.1 국외 현황

미국에서는 1950년대부터 도로포장관리 개념 을 도입하여 연구 발전시켰으며, 1993년부터는 미 국 각주에 도로포장관리시스템 도입을 의무화하 였다. 또한 1995년부터는 각 주 내의 County, 시, 주도 및 지방도등의 도로에도 의무화하여 자동 조사 장비를 통한 평가를 수행하고 있다. 뉴햄프 셔 주는 1990년대에 들어 도로연장의 증가와 함께 도로건설 및 유지관리에 소요되는 비용이 급격하 게 증가되면서 도로를 체계적으로 관리할 수 있는 시스템의 필요성을 인식하게 되었다. 포장상태를 평가하는 기초 자료의 수집을 위해서, 1975년 처 음으로 'Mays Meter'을 도입하여 포장의 표면결 함을 판단하는데 이용하였으며, 1985년에는 'ARAN'이 도입되어 포장상태와 승차감 자료를 수집하여 좀 더 일관성 있고 객관적인 데이터를 제공하였다.

일본에서는 1965년에 세계 최초로 자동 도로포 장 조사 장비인 'ROADRECON'을 개발하여 1980 년대부터 포장관리를 전문화하기 시작하였다. 특 히 일본 동경의 경우 1) 매년 빠른 속도로 증가하 는 포장보수예산은 재원조달의 한계에 봉착하였

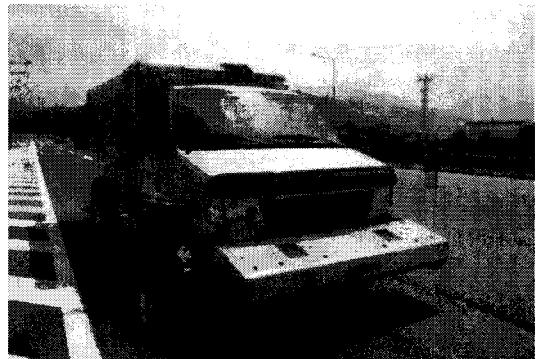


그림 2. 국외 자동조사 차량들

고, 2) 교통량 증가에 따른 잦은 보수공사로 교통 체증이 점차 사회 문제화 되면서 유지 보수 빈도 를 줄일 수 있는 방법이 필요하였으며, 3) 방치된 포장 파손으로 인한 민원을 줄이기 위하여 전체 포장상태를 효율적으로 파악하고 신속히 대처할 방법이 필요하였으며, 4) 잦은 지하 매설물 공사 로 인한 도로 포장 파손에 적절히 대처할 필요성 등의 이유로 도로 관리에도 첨단 자동화 시스템이 도입되었다[1].

2.2 국내 현황

국내의 도로포장 관리는 1990년대 초부터 시작 하여 일반 국도를 중심으로 부분적으로 시행되어 지고 있다. 또한 도로포장에 대한 육안 조사의 한 계성을 극복하기 위하여 일부 도로관리 기관을 중심으로 고가의 외국산 조사장비를 수입하여 운 용함으로써 보다 과학적인 도로포장 유지관리 체 계 구축을 도모하고 있다. 그러나 이러한 고가의



그림 3. 국내 자동조사 차량들

외국산 조사장비를 수입하여 운영하는 과정에는 포장 분석 기능의 한계, 장비의 성능 부족, 확장 시 추가 비용 부담, 유지 관리 비용 증가 등의 여러 가지 문제점이 지적되고 있다. 이에 따라 최근에는 국내 기술로 자체 개발된 제품들이 속속들이 등장하고 있다. 한국도로공사에서는 일반도로 및 고속도로 등에서도 고속으로 종단평탄성 측정이 가능한 노면 요철 측정 차량인 'ARPA'를 개발하였으며[3], 최근에는 국내 기업인 R사에서 도로 균열이나 소성변형, 종단평탄성 등의 종합적인 측정이 가능한 조사장비를 개발하고 있다[2].

3. 각 모듈별 자동조사장비 ROMA153 소개

3.1 전체 시스템 구성

ROMA153 조사장비는 도로 및 공항 포장조사를 위해 (주)한국도로기술에서 개발한 장비로 다

음과 같은 3가지 주요기능을 위해서 2008년 12월에 개발되었다; 1) 종방향평탄성(IRI), 2) 횡방향 소성변형(RUT), 3) 포장균열(Crack)등의 표면결함측정.

한편, 전체 시스템 구성도는 그림 4에서 보여주고 있다. ROMA153은 시스템 구성도에서 보이는 바와 같이 GPS 및 DMI를 이용한 지리정보시스템과 통합하여 포장결함 위치에서의 포장결함 상태정보를 획득하고, 획득된 정보를 활용하여 도로 및 공항포장상태를 평가하는데 이용된다. 이러한 정보는 국가의 도로 및 공항포장 유지보수정책을 입안하는데 사용되는 과학적이고 효율적인 포장조사장비이다. 그림 5는 ROMA153의 제품화된 조사장비의 전면모습을 보여준다.

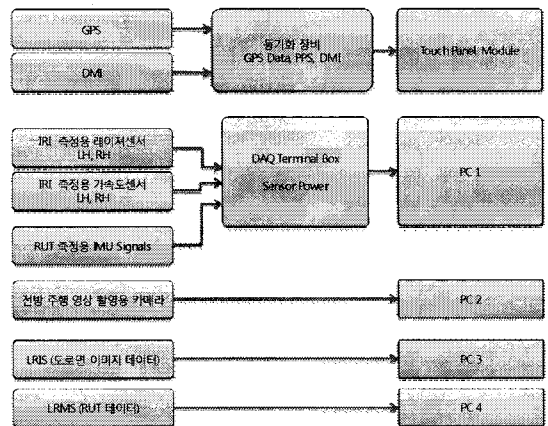


그림 4. ROMA153의 구성도

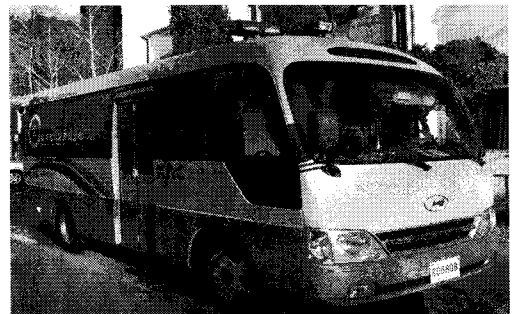


그림 5. ROMA153 조사장비

3.2 균열 검출

도로표면의 영상을 취득하기 위한 방법으로는 일반적으로 디지털카메라 방식과 레이저카메라 방식을 들 수 있다. 최근까지도 광원을 이용한 디지털카메라 방식의 영상취득 방법을 많이 사용하였으나 최근에는 점차 레이저광선을 활용한 레이저카메라방식이 확대되고 있는 추세이다. 본 ROMA153 장비에서도 레이저광선을 이용한 레이저카메라방식을 사용하였다. 이러한 방식은 균등한 레이저 광원에 의해 주야간의 외부 환경에 영향을 받지 않고 선명한 노면 영상을 획득할 수 있는 도로 표면결합 조사장비이다.

ROMA153의 레이저카메라는 조사장비 후면에 장착되고, 2대의 레이저카메라와 2개의 레이저광원을 서로 엇갈리게 대각선방향으로 주사하여 도로표면의 결합상태를 스캔할 수 있다.

그림 6의 사진은 야간에 도로를 촬영한 이미지이다. 보이는 것과 같이 야간에도 아무런 지장 없이 촬영 가능함을 알 수 있다.

도로 표면 영상 추출은 도로를 일정한 크기로 나누어 촬영하고, 영상 병합한 후, 영상 처리 기법을 이용하여 균열을 찾아낸다. 영상 병합 시에는



그림 6. 야간에 촬영한 도로 노면 영상

영상의 좌우 역전 현상이나 주행 및 스캔 속도 차에 따른 밀림 현상을 보정하여 영상을 병합한다.

그림 7은 영상 병합이 이뤄지는 과정을 보이고 있다.

영상 병합이 끝난 영상은 그림 8의 균열 검출 프로그램을 통하여 균열의 길이 및 특징 등을 추출해 낸다[4-12].

이때, 균열을 추출하는 과정은 그림 9와 같다.

3.3 소성변형 측정

도로 이용자 측면에서 안전에 많은 영향을 미치는 주요사항 중 하나는 소성변형이다. 시가지 도로에는 교차로가 다수 존재하며, 소성변형은 주

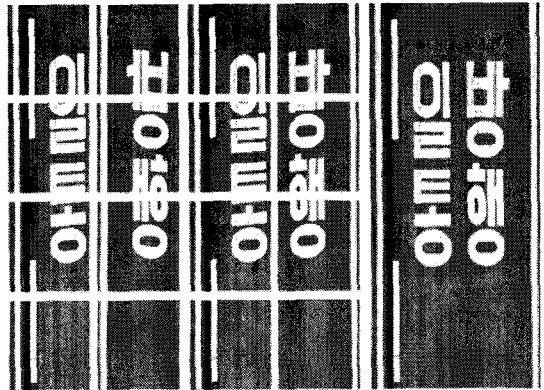


그림 7. 영상 병합 및 영상 보정 예

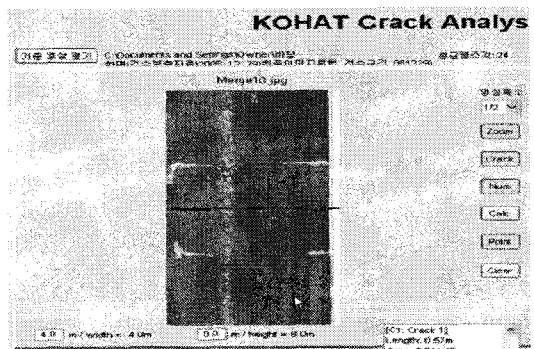


그림 8. 균열 추출 프로그램

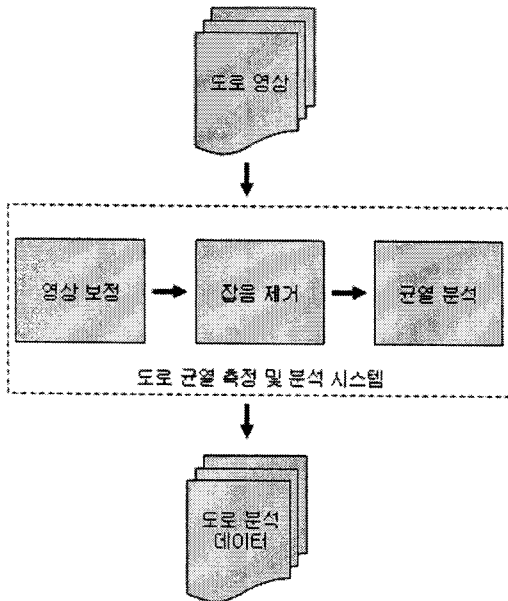


그림 9. 도로 균열 측정 및 분석 시스템의 구조

로 교차로 주변에서 발생하는 결함으로 우천 시 발이랑에 물이 고이듯이 웅덩이를 형성하여 차량이 주행할 때 타이어와 노면 사이에 물이 있는 이른바 수막현상을 발생시켜 차량 주행 안전에 많은 영향을 미치게 된다.

소성변형을 측정하는 방식은 초음파 및 레이저 변위센서를 이용한 방식과 광학방식을 적용한 방식이 있다. 초음파 및 레이저 변위센서를 이용한 방식은 노면과 수평이 되도록 센서를 배열하고 센서가 설치된 위치와 노면 간의 상대적 위치를 파악하여 굴곡을 측정하는 방식으로, 측정하고자 하는 노면 폭과 같은 크기의 측정 장치가 필요하다. 그림 10은 레이저 변위센서를 이용한 소성변형 측정 방법을 나타내고 있다. 여기서 깊이정보를 계산하기 위한 공식은 식 1과 같다.

$$\text{Rut Depth} = (D_2 + D_3) / 2 - D_1 \quad (\text{식 1})$$

초음파 및 레이저 변위센서의 단점을 보완하기

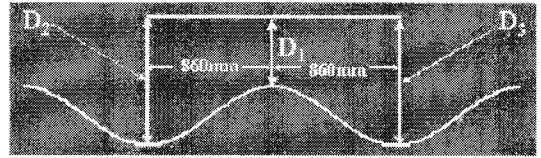


그림 10. 레이저 변위센서를 이용한 소성변형 측정

위하여 최근에는 광학방식을 적용한 소성변형 측정 방법을 더 선호하고 있으며, 본 개발 장비에서도 광학방식을 적용한 소성변형 측정 방법을 사용하였다.

그림 11은 광학방식을 적용한 소성변형 측정 방법을 나타내고 있다. 하부에서 레이저빔을 생성하며, 상부에는 이러한 레이저빔이 노면상태에 따라 형성되는 굴곡을 이미지화하는 영상센서가 장착되어 있다. 그렇게 얻어진 깊이 데이터는 그림 12와 같이 Ruler Line을 이용하여 실제 깊이 정보를 얻어낸다.

여기서 Ruler Line은 횡방향소성변형(RUT)을 측정하기 위한 기준이 되는 축을 의미하고, Middle Line은 Rut Depth를 의미한다.

4. 테스트 주행 결과 및 분석

다음 그림 13 및 그림 14에서 ROMA153장비를 사용하여 테스트한 IRI 및 RUT결과물에 대한 이미지화면을 보여준다. 그림 13의 IRI결과물은 포

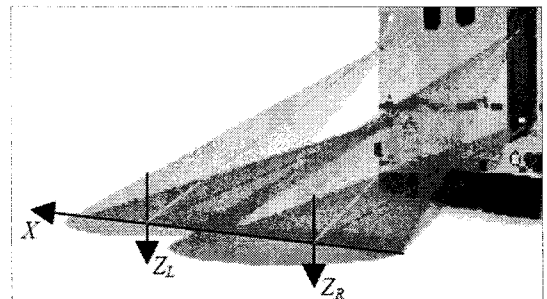


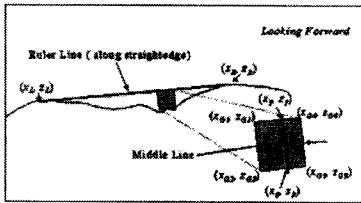
그림 11. 광학방식을 이용한 소성변형 측정

```

Data Information
Int column : Index and Driving Distance [m]
2nd column : GPS Time [HH:MM:SS.S]
3rd column : Latitude [deg]
4th column : Longitude [deg]
5th - 8th column : Raw Data at each distance (total 4 data at each distance) [mm]

start
0 166844.8 5751.4209 12683.1484 1028.518231 10.064972 1012.4
9992 3.309096 840.412579 51.127455 227.223975 4.490949 424.14
4.911723 678.374146 4.122998 678.101763 0.380000 4.941723 671.809441
7172 486.817749 1.458817 486.846271 0.380000 486.474823 6.3800
417 -1.399771 280.742788 -1.482809 279.557288 -2.542592 274.38
8.786229 -1.884254 111.813339 -2.042229 109.760043 -2.872461
    
```

(a) 깊이 데이터 획득



(b) Ruler Line 및 실제 깊이 정보 측정

```

Data Information
Int column : Index and Driving Distance [m]
2nd column : RulerLine_startPoint_x [m]
3rd column : RulerLine_startPoint_y [m]
4th column : RulerLine_endPoint_x [m]
5th column : RulerLine_endPoint_y [m]
6th column : RulerLine_startPoint_z [mm]
7th column : RulerLine_endPoint_z [mm]
8th column : RulerLine_startPoint_x [m]
9th column : RulerLine_startPoint_y [m]
10th column : RulerLine_endPoint_x [m]
11th column : RulerLine_endPoint_y [m]
12th column : RulerLine_startPoint_z [mm]
13th column : RulerLine_endPoint_z [mm]
14th column : RulerLine_startPoint_x [m]
15th column : RulerLine_startPoint_y [m]
16th column : RulerLine_endPoint_x [m]
17th column : RulerLine_endPoint_y [m]
18th column : RulerLine_startPoint_z [mm]
19th column : RulerLine_endPoint_z [mm]

start
0 89.222961 41.41778 95 -235.300079 -26.371119 100 -200.2
1 -108.172261 41.478613 22 -201.844232 -44.425204 204 -416.9
2 -119.822944 41.549445 28 -207.397229 -62.476277 201 -414.4
3 -128.873627 41.620277 34 -212.950226 -80.527350 198 -411.9
4 -137.924310 41.691109 40 -218.503223 -98.578423 195 -409.4
5 -146.974993 41.761941 46 -224.056220 -116.629496 192 -406.9
6 -156.025676 41.832773 52 -229.609217 -134.680569 189 -404.4
7 -165.076359 41.903605 58 -235.162214 -152.731642 186 -401.9
8 -174.127042 41.974437 64 -240.715211 -170.782715 183 -399.4
9 -183.177725 42.045269 70 -246.268208 -188.833788 180 -396.9
10 -192.228408 42.116101 76 -251.821205 -206.884861 177 -394.4
    
```

(c) 실제 깊이 정보 저장

그림 12. 실제 깊이 정보 측정 구조

파일(F) 편집(E) 서식(S) 보기(V) 도움말(H)
 IRI 분석 결과

시험 일시 : 오후 1:31:32 ~ 오후 1:31:59
 주행거리 : 275.0m

운전석 측 IRI 평균값 (mm/m) : 5.7
 조수석 측 IRI 평균값 (mm/m) : 3.5

운전석 측 IRI 최대값 (mm/m) : 14.66 (주행거리 (m) : 280.0)
 IRI 최소값 (mm/m) : 1.64 (주행거리 (m) : 90.0)

조수석 측 IRI 최대값 (mm/m) : 15.32 (주행거리 (m) : 130.0)
 조수석 측 IRI 최소값 (mm/m) : 0.98 (주행거리 (m) : 170.0)

IRI 데이터

주행거리 [m]	운전석측(mm/m)	조수석측(mm/m)
10.000	5.248	3.024
20.000	10.469	2.019
30.000	3.776	1.928
40.000	6.762	2.589
50.000	4.383	3.069
60.000	4.814	1.528
70.000	3.273	1.544
80.000	2.644	1.687
90.000	1.644	1.937
100.000	3.592	3.377
110.000	3.644	2.812
120.000	12.653	4.374

그림 13. IRI 결과 출력물예시

장종방향의 거칠기를 표현하는 국제적인 지수로 조사장비 왼쪽 및 오른쪽 바퀴하의 종방향평탄성을 표시하는 지수이다. 또한, 그림 14는 3.3 절에서

파일(F) 편집(E) 서식(S) 보기(V) 도움말(H)
 RUT 분석 결과

Test Date & Time : 08_12_30 13:32

데이터 정보

1축 : 주행거리 (m)
 2축 : 횡방향소성변형률(RUT) (mm)
 3축 : 종방향소성변형률(RUT) (mm)
 4축 : 횡방향 최대값 (mm)
 5축 : 종방향 최대값 (mm)
 6축 : 165일 : 측정된 데이터 (mm)
 166일 ~ 325일 : Rut 데이터 (mm)

0.000	43.613	14.585	230.830	16.590
962.009	937.939	913.968	884.502	860.723
812.980	789.024	765.069	741.114	717.530
693.696	669.652	645.919	617.912	594.372
546.738	523.004	499.131	475.446	448.815
427.808	404.247	380.059	356.443	332.545
286.483	262.586	238.578	214.584	190.513
166.576	142.547	118.531	94.531	70.509
22.507	-1.507	-25.507	-49.523	-73.529
97.532	-121.524	-145.557	-169.555	-193.588
-241.563	-265.587	-287.877	-311.702	-335.564
359.426	-383.289	-407.151	-430.957	-451.925
-499.340	-522.979	-546.683	-570.388	-594.053
617.676	-637.479	-661.835	-684.591	-707.868
-754.961	-778.208	-801.843	-825.166	-848.589

그림 14. RUT 출력물예시

설명한 소성변형의 결과물을 예시한다. 도로포장의 횡방향의 소성변형량을 측정하여 요약한 결과물로서 최대 및 최소의 소성변형량과 일정간격으로 측정된 소성변형량을 표시하고 있다. 이에 대한 결과물은 측정된 자료를 분석용 프로그램을 사용하여 분석한 정제된 자료를 출력한다. 또한, 이에 대한 자료의 검증은 현장에서 실측한 자료와의 비교를 통하여 검증된다.

5. 결론

도로 및 공항 포장조사는 현재 국내외적으로 매우 중요한 국가시설물 유지관리업무의 업무이다. 이에 대한 과학적이고 체계적인 조사장비개발은 매우 필수적인 요소임을 알 수 있다. (주)한국도로기술에서 개발된 ROMA153은 국내에서 개발된 최초의 최첨단 도로 및 공항 포장조사장비이다. ROMA153의 측정요소는 종방향평탄성(IRI), 횡방향소성변형(RUT), 및 균열 등의 포장표면 결합이미지측정 등의 3요소가 주된 측정요소이다. 횡방향 및 종방향 조사는 레이저센서를 이용한 측정과 분석으로 이루어진다. 균열 등의 포장표면 결합 등은 레이저카메라를 이용하여 포장표면결

합을 스캔하고 이를 이용하여 포장의 결합상태 (균열 등)를 측정 및 평가한다.

ROMA153조사장비는 국내외적으로 성능 면에서 매우 우수하다고 사료된다. 또한, 최첨단 측정장비를 조합하고, GPS 및 DMI를 통합하여 정확한 포장표면결합의 위치를 조합하여 DB화하고 이를 정보화하는 과학적이고 체계적인 조사장비인 것으로 판단된다. 추후 이러한 첨단장비를 국가 SOC유지관리에 활용함으로써 국가기간산업의 합리적이고 경제적인 유지관리행정에 기여할 수 있기를 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] 장항배, 장용원, 한병완, 이홍주, “합리적인 도로 유지보수를 위한 도로포장관리시스템 개발,” 한국경영정보학회 추계 학술대회, 2002.
- [2] 김종호, 김장락, 문형철, “도로포장상태조사를 위한 조사장비개발,” 한국도로학회 학술발표회 논문집, pp. 475-484, 2008. 10.
- [3] 엄주용, 홍승호, 김준범, “포장 상태 조사장비 실무 적용을 위한 실용화 연구,” 한국도로공사 도로연구소, 2001. 12.
- [4] 김정용, 조운호, “이미지프로세싱 기법을 이용한 포장이미지의 특성과 노이즈 제거를 위한 알고리즘 선정,” 한국도로학회, 도로 포장공학회지 제3권 제4호, pp. 137-146, 2001. 12.
- [5] 김형진, 이정호, 문영식, “영상처리 기법을 이용한 콘크리트 교량의 균열 검출,” 대한전자공학회 학술대회 논문집, 제 30권, 제 1호, pp. 381-382, 2007. 7.
- [6] 구교범, 손수국, “영상 기술기에 기반한 도로 노면 균열 검출 방법,” 한국도로학회 학술발표회 논문집, 제 4권 제 1호, pp. 195-198, 2002. 10.
- [7] 김정용, 조용호, “이미지프로세싱기법을 이용한 균열인식 프로그램 개발에 관한 연구,” 한국도로학회 학술발표회 논문집, 제 3권, 제 1호, pp. 129-132, 2001. 10.
- [8] 고지훈, 서영찬, “이미지프로세싱을 이용한 도로 포장의 균열폭 측정에 관한 연구,” 한국도로학회 도로포장공학회논문집, 제 4권, 제 2호, pp. 33-42, 2002. 6.
- [9] 윤경호, 최병재, 김광백, “영상 처리 기법을 이용한 콘크리트 슬래브 표면의 균열 추출 및 분석,” 한국지능정보시스템학회 추계학술대회 논문집, pp. 327-335, 2006. 11.
- [10] 김광백, 박현정, “개선된 Max-Min 신경망을 이용한 콘크리트 균열 인식,” 한국컴퓨터정보학회 논문지, 제 12권, 제 2호, pp. 77-82, 2007. 5.
- [11] Peggy Subirats, Jean Dumoulin, Vincent Legeay, Dominique Barba, “Automation of pavement surface crack detection using the continuous wavelet transform,” IEEE ICIP 2006, pp. 3037-3040, 2006.
- [12] Rupen Meylani, Aypyn Ertuzun, Aytul Ercil, “Texture Defect Detection using the Adaptive two-dimensional lattice filter,” IEEE ICIP96 , pp. 169-172, 1996.



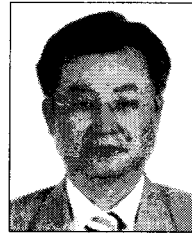
백 명 업

- 2003년 안양대학교 컴퓨터공학과(공학사)
- 2006년 안양대학교 일반대학원 컴퓨터공학과(공학석사)
- 2009년 안양대학교 일반대학원 컴퓨터공학과(공학박사 수료)
- 2006년~현재 안양대학교 외래강사
- 2003년~현재 안양대학교 Application Software Lab 연구원
- 관심분야 : 패턴인식, 영상처리, 임베디드 소프트웨어



권희웅

- 1983년 서울대학교 공과대학 전자계산기공학과(공학사)
- 1985년 서울대학교 대학원 전자계산기공학과(공학석사)
- 1993년 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과(공학박사)
- 1986년~1995년 한국통신 연구개발원 선임연구원
- 1999년 King's College London, Visiting Academic
- 1995년~현재 안양대학교 컴퓨터공학과 교수
- 관심분야 : 패턴인식, 영상처리, 신경망 응용, 임베디드 시스템



위성동

- 1985년 한국과학기술연구원(공학석사)
- 1993년 미국 The Ohio State University 토목공학과(공학박사)
- 1985년~1990년 한국도로공사 도로연구소 연구원
- 1993년~1993년 한국과학기술연구원 대우교수
- 2001년~2002년 세종대학교 토목환경공학과 겸임교수
- 2005년~2006년 경기대학교 토목공학과 겸임교수
- 2008년~현재 The Ohio State University 토목공학과 방문교수
- 1998년~현재 (주)한국도로기술 대표이사
- 관심분야 : 도로포장조사차량개발, 포장유지관리시스템(PMS)등