

제 3 장 조사, 정량화 및 평가 방법

1. 조사방법

1.1 조사기준

1.1.1 조사항목

포장상태 조사는 외관조사, 줄눈조사로 구분하여 수행하였으며 외관조사는 중요성 및 발생 빈도 등을 감안하여 아스팔트콘크리트 포장 구간 12개, 시멘트콘크리트포장 구간 13개 항목으로 조사를 수행하였다. 표 3.1은 각 포장형식별 조사항목을 보여준다. 줄눈조사는 줄눈부의 건전성을 판단할 수 있도록 2개의 항목으로 수행하였으며 외관조사 항목별 정량화 단위는 표 3.2~표 3.3과 같다.

표 3.1 조사항목

구분	아스팔트콘크리트포장 (12개)	시멘트콘크리트포장 (13개)
외관 조사	·거북등균열 ·소성변형 ·블록균열 ·종단평탄성 ·시공이음부 손상 ·패칭 ·반사균열 ·블리딩 ·종방향 균열 ·포트홀 ·횡방향 균열 ·기타	·우각부균열 ·편치아웃 ·내구성(D)균열 ·스케일링 ·종방향 균열 ·종방향 스폐링 ·횡방향 균열 ·횡방향 스폐링 ·아스콘 패칭 ·줄눈조사 ·단면보수 ·종단평탄성 ·기타

표 3.2 조사항목별 정량화 단위(외관조사)

구 분	길이(m)	면적(m²)	기 타
아스팔트 콘크리트포장 (12개)	· 블록균열 · 시공이음부 손상 · 조인트 반사균열 · 종방향 균열 · 횡방향 균열	· 거북등균열 · 블리딩 · 패칭 · 포트홀 · 기타	· 소성변형 (cm) · 종단평탄성 (IRI)
시멘트 콘크리트포장 (13개)	· 우각부 균열 · 종방향 균열 · 횡방향 균열 · 줄눈탈리	· 종방향 스펠링 · 횡방향 스펠링 · 내구성(D) 균열 · 아스콘 패칭 · 단면보수 · 편치아웃 · 스케일링 · 기타	· 종단평탄성(IRI)

※ 종단평탄성 단위인 IRI(International Roughness Index)는 종단평탄성 기준의 국제적 통일을 위해 세계은행에서 개발한 종단평탄성 표준단위임.

표 3.3 조사항목별 정량화 단위(줄눈조사)

구 분	개소, 길이(m)	면적(m²)	기 타
콘크리트JCP (2개)	줄눈재탈리	횡방향 스펠링	

1.1.2 조사간격

외관조사와 줄눈조사의 경우 인접한 단구간에서도 서로 상이한 형태를 보이는 포장 손상의 특성을 감안할 때 조사간격을 가급적 최소화하는 것이 유리하나, 조사간격이 너무 작을 경우 데이터양이 너무 방대해지는 문제가 있어 간격 축소에 따른 실효성 증대보다는 효율성 저하로 인한 문제가 더 클 수 있기 때문에 10m 간격을 적용하고 있다.

1.1.3 조사방법의 선정

조사방법은 크게 인력조사에 의한 방법과 자동조사장비를 이용한 방법이 있으며, 표 3.4는 두 조사방법의 장단점을 비교한 것이다.

표 3.4 조사방법 비교

구 분	인력조사	장비조사
장점	· 교통제한 등 여건 제약이 없을 경우 - 장비조사시 보다 정밀조사 가능 - 조사대상의 제약이 없음 · 소규모구간 또는 조사의 제약이 있는 경우나 연구목적인 경우 유리	· 조사기간 최소화 가능 · 교통제한 불필요 · 조사결과의 신뢰도 및 객관성 확보 가능 · PMS 등 전산화시스템 활용 용이 · 대규모구간 조사시 유리
단점	· 조사기간 장기화 · 교통제한 불가피 · 교통제한 불가시 조사항목 등의 제약 불가피 · 조사결과의 신뢰도 및 객관성 확보 곤란 · PMS 등 전산화시스템 활용 곤란 - 별도의 전산화 작업 필요	· 일부 교통제한구역 필요 - 영업소광장부 및 IC 램프구간

한국도로공사에서는 조사방법의 장단점과 수천 km의 대규모로 시행되는 조사 규모를 감안하여 장비조사에 의한 방법을 적용하고 있으며, 본 과업에서 투입된 자동조사장비 및 정량화 방법에 대해서는 다음절에서 세부적으로 기술하였다.

1.2 조사장비 및 측정시스템

1.2.1 조사장비

본 과업에 투입된 자동조사장비인 MIDAS(Multi Infrastructure Distress Analysing System)는 순수 국내 기술로 제작되었으며 2012년부터 조사에 투입되어 활용중에 있다. 조사 장비 투입전 캐나다 Roadware Group에서 제작한 ARAN 장비와 비교 테스트를 수행하여 데이터 결과의 신뢰도를 향상시켰다. MIDAS는 80km/hr속도로 주행하면서 전방영상, 노면영상, 소성변형, 종단평탄성 및 GPS를 동시에 측정 할 수 있으며, 차량이동거리 측정기(DMI, Distance Measuring Instrument)와 연동되어 동일한 위치에서 데이터를 측정할 수 있도록 되어있다. 각 측정 기능에 대한 세부내용은 다음과 같다.

표 3.5 MIDAS 조사 장비

구 분	MIDAS
전방영상	360도 전방위 카메라
종단평탄성	레이저와 가속도계 사용
소성변형	카메라와 IR조명 사용
노면영상	Linescan 카메라



그림 3.1 MIDAS 조사 차량

1.2.2 측정시스템

(1) 표면손상(SD) 측정시스템

표면손상 정량화를 위한 노면영상은 그림 3.2와 같이 차량후방에 장착된 2대의 IR 레이저 조명과 카메라를 사용하여 조사속도 0~110km/hr까지 촬영이 가능하며 조사폭원 최대 4.1m, 10m 길이의 영상획득이 가능하다. 또한, DMI와 연동하여 실시간으로 균일한 밝기의 영상을 획득할 수 있으며 노면영상은 1mm 균열까지 측정이 가능하다. MIDAS는 평균 80km/hr의 속도로 주행하면서 불연속이나 겹침 현상이 없이 연속적인 노면영상을 얻을 수 있다.



그림 3.2 노면영상 측정시스템

측정된 노면영상은 그림 3.3과 같이 폭 4.0m이상, 길이 10m의 JPG 파일로 제공되므로, 일반 하드디스크나 CD, DVD 등에 저장할 수 있어 장기간 기록 유지와 활용이 용이하다.

MIDAS - LINE SCAN

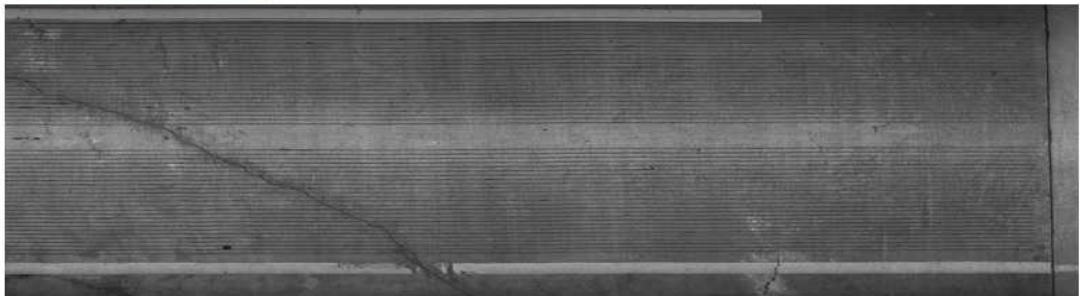


그림 3.3 노면영상 건본

(2) 종단평탄성(IRI) 측정시스템

종단평탄성은 그림 3.4와 같이 차량후면에 부착된 레이저센서와 가속도계를 이용하여 측정된다. 종단평탄성 측정시스템은 레이저센서와 가속도계의 조합으로 구성되며, 실시간으로 종단평탄성(국제평탄성지수 : IRI)의 산출이 가능하다. 측정간격은 25mm이며, 양쪽 차륜부에 각 1대씩 2대의 시스템이 장착되어 있어 도로 양측 차륜부에 대한 측정이 가능하다.

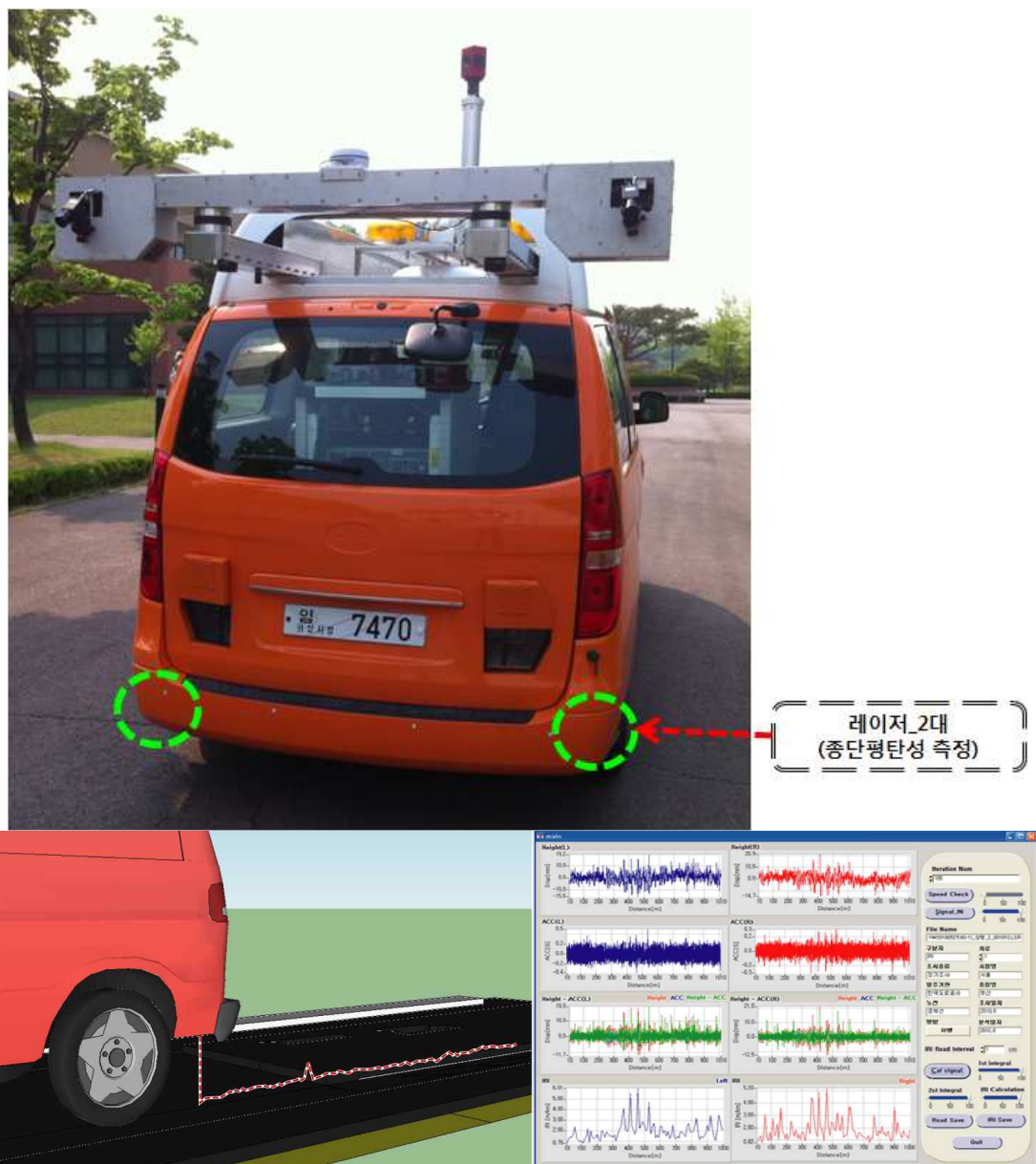


그림 3.4 종단평탄성 측정시스템

(3) 소성변형(RD) 측정시스템

소성변형 측정시스템은 그림 3.5와 같이 레이저 조명과 IR(적외선) 카메라를 이용하여 노면에 광학적 라인을 비추어 라인의 굴곡을 이미지로 획득하여 이미지 처리를 거쳐 노면의 굴곡을 측정하는 방식으로 최대 4.1m 폭원의 도로에 대하여 0.5m마다 소성을 측정한다. 소성변형 측정시스템의 측정정밀도는 $\pm 1\text{mm}$ 이다.

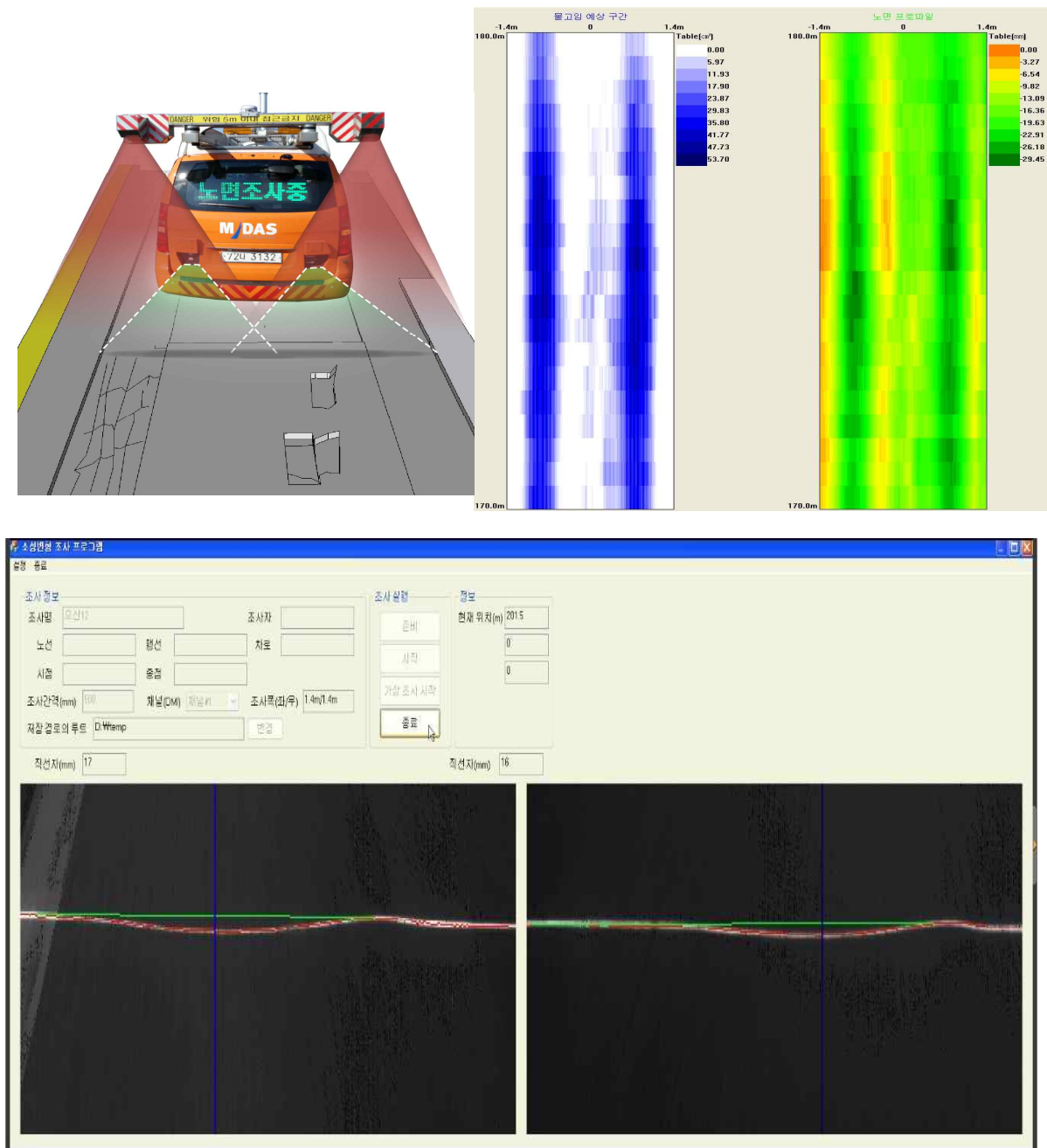


그림 3.5 소성변형 측정시스템

(4) 전방영상 측정시스템

전방영상은 그림 3.6과 같이 차량 외부에 설치되어 있는 360도 카메라를 이용 대 상도로를 촬영할 수 있도록 되어있으며, 10m마다 파노라마 형식의 사진이 저장되어 조사 구간의 전방위를 확인할 수 있다.

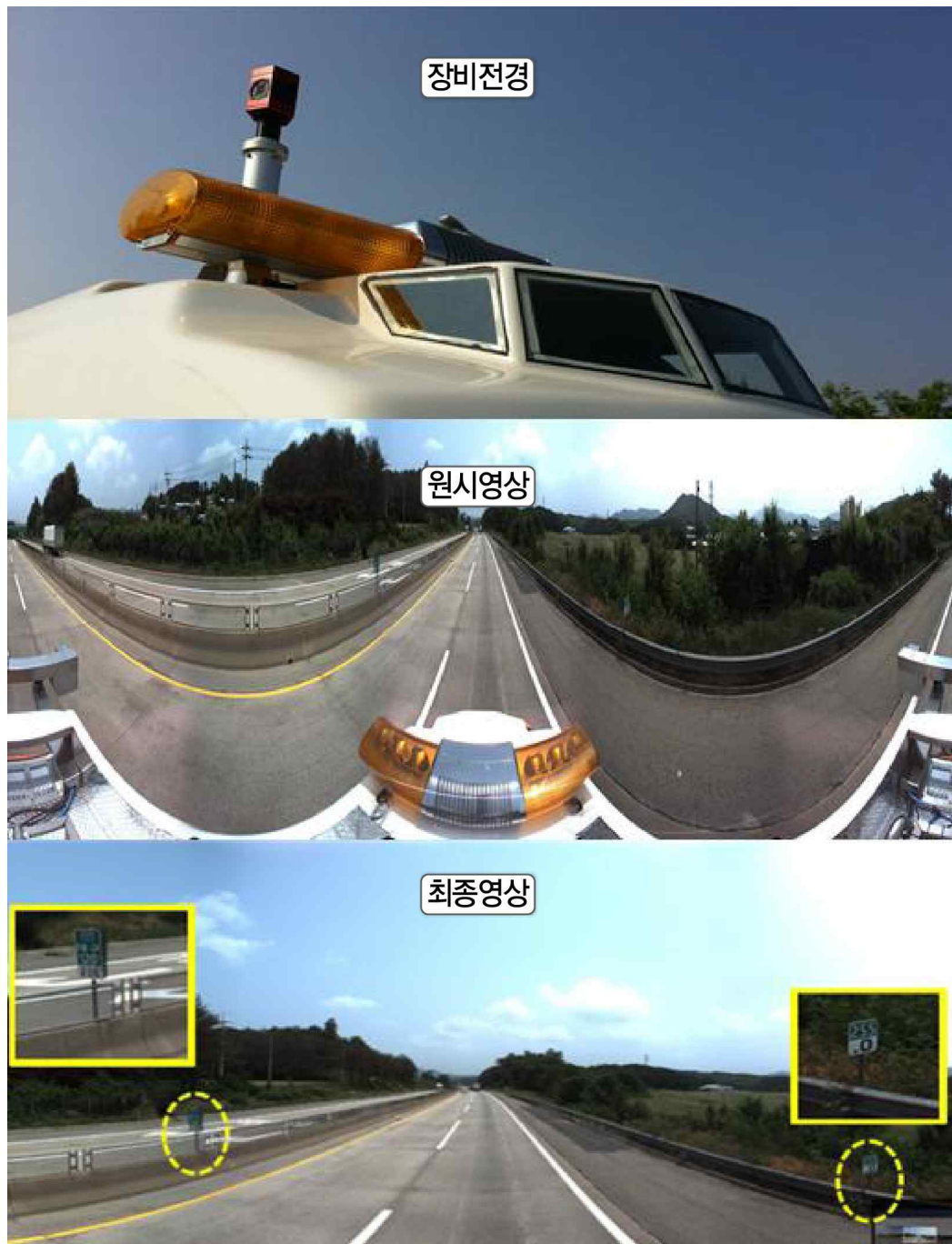


그림 3.6 전방영상 측정시스템(360도 카메라)

2. 분석방법

2.1 정량화 및 포장상태 평가

2.1.1 표면손상 정량화

(1) 표면손상(SD) 분석

균열, 패칭 등의 표면손상 정량화는 그림 3.7과 같이 조사장비에서 촬영된 노면영상상과 분석 프로그램을 이용하여 수행하였다.

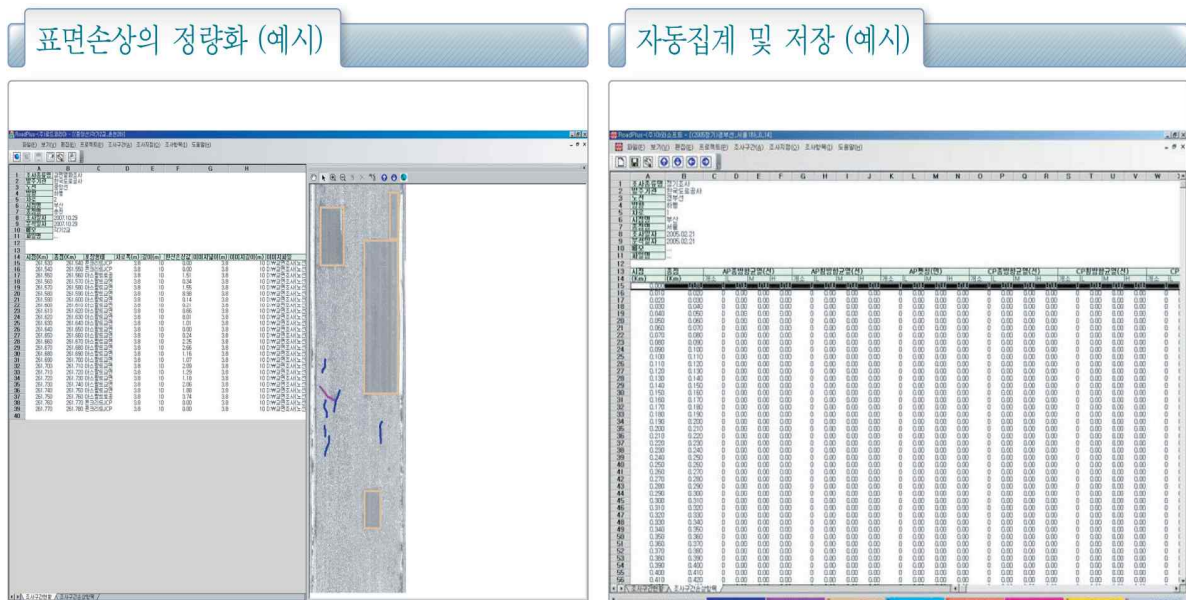


그림 3.7 표면손상 정량화(예) 및 자동집계화면

세부적인 정량화 방법을 단계별로 기술하면 다음과 같다.

- 1단계 : 장비에서 측정된 노면영상의 이상 유무 및 기본정보 확인
- 2단계 : 정량화 대상 노면영상을 분석 프로그램에 연결
- 3단계 : 전문 분석인력이 노면영상 마다(10m) 포장형식 및 손상발생 확인 후 분류 표시 (특이사항 기록 포함)
- 4단계 : 3단계에서 표시된 손상은 분석 프로그램에서 자동으로 조사 단위에 맞추어 길이 또는 면적으로 수치화
- 5단계 : 손상집계 및 확인

(2) 줄눈 분석

가. 줄눈재 파손(SCN)

포장 공용성 측면에서 줄눈재의 주요 역할은 강우, 강설 등에 따른 외부 수분이 콘크리트 포장 줄눈부를 타고 내부로 침투하는 것을 방지하는 것과 단단한 이물질이 줄눈부에 침투하여 줄눈의 거동을 방해하여 발생할 수 있는 스폐링과 같은 파손을 방지하는 것이 목적이다.

따라서, 이와 같은 역할을 하지 못하는 줄눈재가 손상된 것으로 간주하는 것을 기본 원칙으로 하여 줄눈건전도 (SCN : Sealant Condition Number)를 산출한다.

SCN을 산출하기 위한 측정사항은 그림 3.8과 같이 줄눈재가 탈락되거나, 양쪽 슬래브에 부착이 불량한 길이를 측정한다.

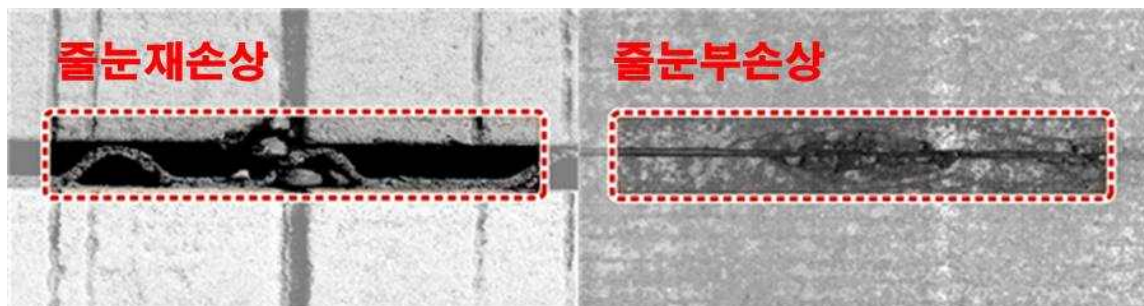


그림 3.8 줄눈 건전도 분석시 고려 대상(줄눈 접착불량 및 줄눈부파손)

나. 줄눈부 파손(PCN)

줄눈부 파손은 스폐링 포장파손을 평가항목으로 설정하였다. 스폐링은 줄눈단부에서 포장이 파손되는 현상을 말하며, 이로 인하여 줄눈재 손상, 종단평탄성 저하 등이 발생된다. 이러한 스폐링의 원인은 손상된 줄눈부내의 비압축성 물질의 침투, 온도 및 습도의 상승에 따른 콘크리트 팽창, 하중전달장치의 불량 등의 복합적인 조합으로 발생된다.

줄눈부 건전도(PCN) 산출방식은 그림 3.8과 같이 스폐링 발생 면적을 산출한다.

현장 조사된 이미지 자료를 정량적으로 분석하기 위해 전문가 입장에서 파손을 정의하며, 파손에 대한 수치적 정량화를 위한 도구가 필요하게 된다. 본 과업에서는 이

와 같은 목적으로 HPMS 분석에 사용된 'Roadplus' 프로그램(그림 3.9)에 줄눈분석 항목을 추가하여 분석에 활용하였다.

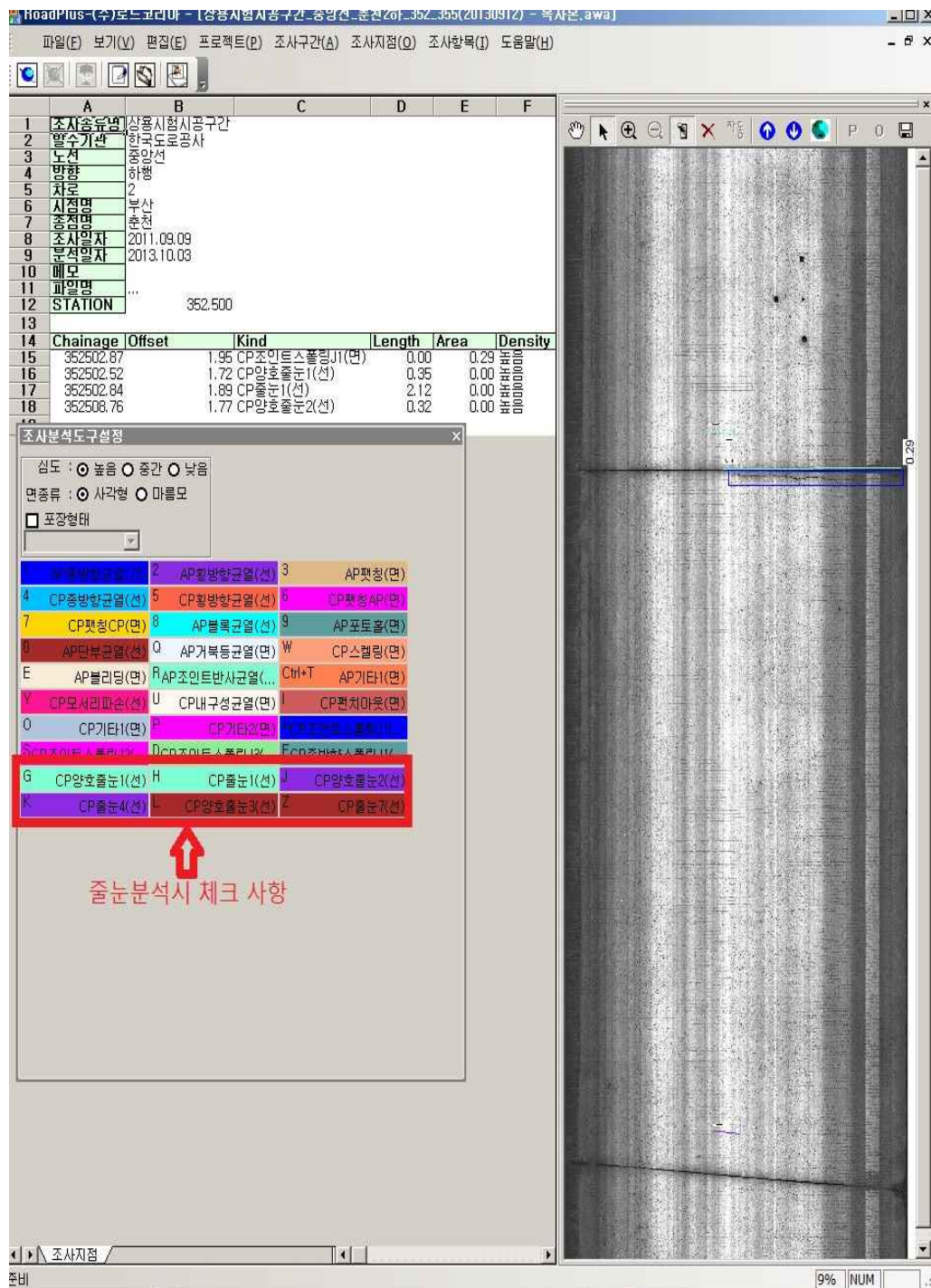


그림 3.9 줄눈분석 프로그램

2.1.2 종단평탄성 [IRI] 정량화

(1) 토공부

1982년 World Bank에서 시행한 노면데이터 분석과정에서부터 표준화에 대한 연구가 시작되었는데, 도로면 형태와 거칠기의 변화를 대표할 수 있는 값을 산출하기 위해, 기준이 되는 1/4차량 필터 모델(Quartor Car Simulation)을 제안하여 표준화된 물성치들을 정립하였다. 이 때 이용된 수학적 모델은 NCHRP (National Cooperative Highway Research Program)에서 제안된 "Golden Car"라고 불리우며 이를 바탕으로 결정된 노면 성능지수를 IRI(International Roughness Index)라 한다. 현재 1/4차량 모델을 이용한 IRI는 일반적으로 많이 쓰이는 노면 성능지수이다. IRI를 이용하여 여러 도로 타입과의 관계를 그림 3.10에서 보이고 있다.

본 과업의 경우 토공구간과 교량구간으로 나누어 종단평탄성을 산출하였다.

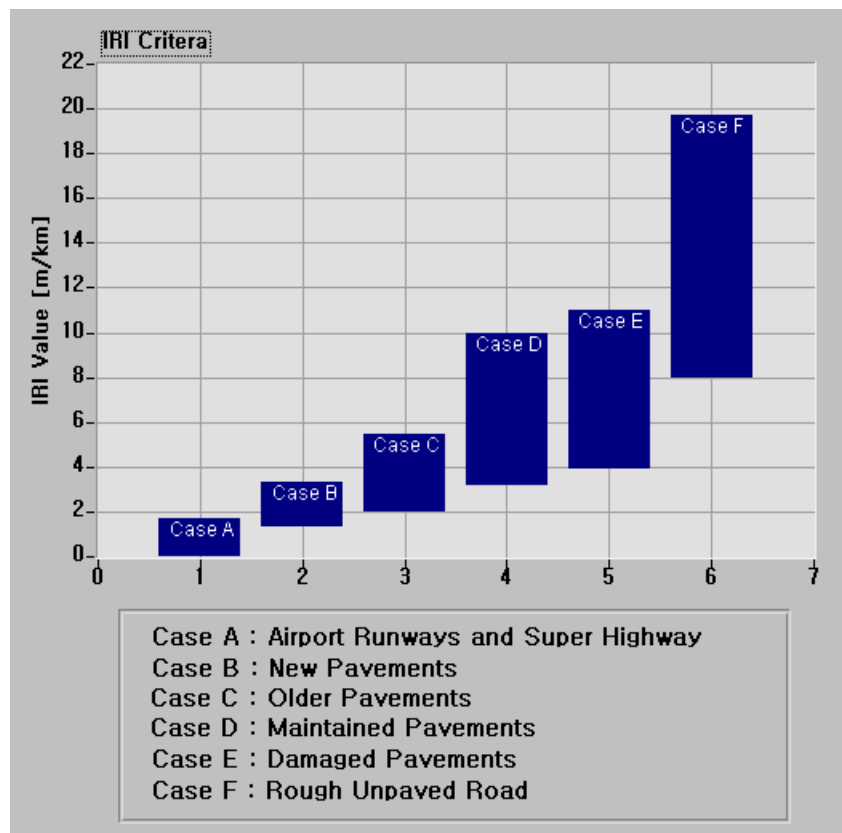


그림 3.10 종단평탄성과 도로와의 관계

IRI는 1/4차량 필터를 통과한 노면데이터의 절대값의 평균값으로 정의할 수 있다. 그림 3.11은 IRI를 연산하는 과정을 보이고 있으며, 그림 3.12에서 보이는 1/4차량 필터는 “Golden Car”로부터 결정된 물성치들을 이용하여 구한 형상이다.

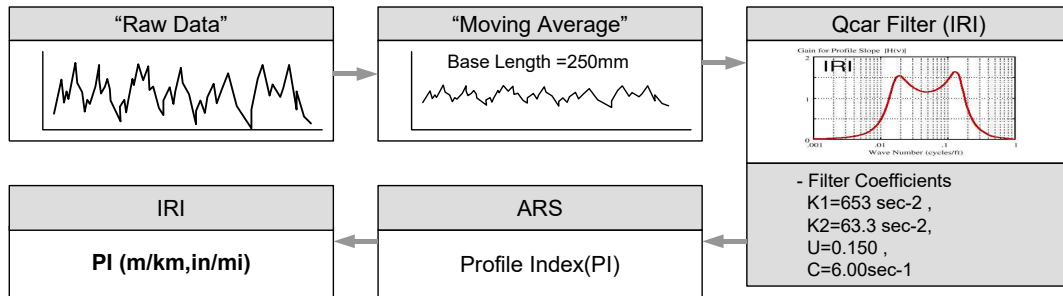


그림 3.11 종단평탄성 산출 과정

IRI 계산시 이용되는 1/4 차량 필터 모델을 보이고 있다. 기존의 1/4차량 모델과 차이점은 없으며, 이용되는 물성치는 “Golden Car”에서 결정된 수치들이다. 식 (3.1) ~ 식 (3.4)는 1/4차량 모델의 상태 변수와 상태 방정식을 나타낸다.

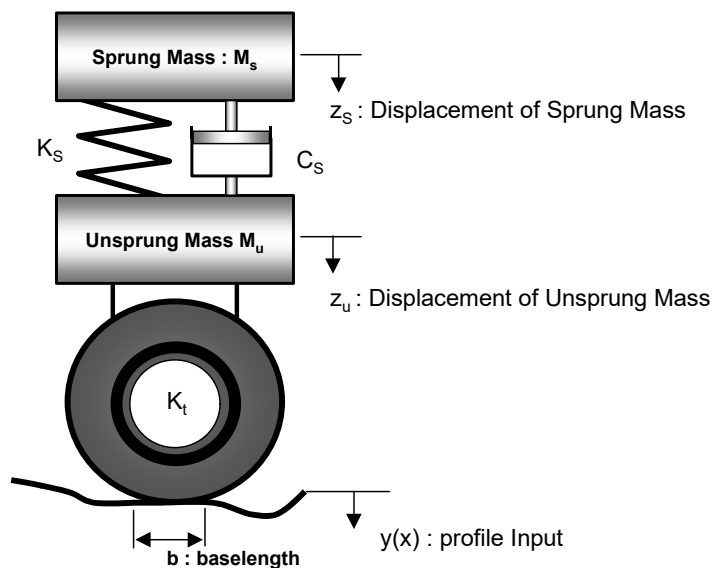


그림 3.12 1/4 Car filter model

$$Z^T = [z_s \quad \dot{z}_s \quad z_u \quad \dot{z}_u] \quad (3.1)$$

$$Z(t) = \underline{A} Z(t) + \underline{B} y(t) \quad (3.2)$$

$$\underline{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -K_2 & -C & K_2 & C \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ K_2/u & C/u & -(K_2+K_2)/u & -C/u \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

$$\underline{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ K_1/u \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

$$K_1 = Kt/Ms, K_2 = Ks/Ms, u = M/Ms, C = Cs/Ms \quad (3.5)$$

식 (3.5)는 1/4 차량의 필터 변수들을 나타내며 그 값은 다음과 같다.

$$K_1 = 653 \text{ sec}^{-2}, K_2 = 63.3 \text{ sec}^{-2}, u = 0.150, C = 6.00 \text{ sec}^{-1}$$

데이터 샘플링 시간 간격이 일정하다는 가정하에 위의 필터 변수를 대입한 행렬 A와 B를 식 (3.6)과 식 (3.7)에 적용시켜 ST와 PR을 구하면, 최종적으로 식 (3.8)의 필터를 통과한 상태변수 행렬 Z(i)를 얻게 된다.

$$\underline{ST} = e^{\underline{A}dt} \quad (3.6)$$

$$\underline{PR} = \underline{A}^{-1}(\underline{ST} - \underline{I})\underline{B} \quad (3.7)$$

$$Z(i) = \underline{ST} Z(i-1) + \underline{PR} y_s(i) \quad (3.8)$$

여기서 ST : 4 x 4 State transition matrix

PR : 1 x 4 Partial Response matrix

$$dt(\text{sec}) = dx(\text{m}) * 3600(\text{sec/h}) * 0.001(\text{km/m}) / \text{Velocity}(\text{km/h})$$

IRI는 현가장치 상대변위의 절대치의 거리에 대한 평균값으로 정의된다. 따라서 식

(3.9)와 같이 현가장치 상대변위를 계산하여 그 절대치의 합을 측정거리로 나누면 IRI 값을 얻는다.

$$IRI = \frac{\sum |CZ(i)|}{test\ distance} \quad C=[10-10] \quad (3.9)$$

산출절차는 분석 프로그램에 의해 자동으로 수행되며, 그림 3.13에는 종단평탄성 측정 데이터의 형태가 그림 3.14에는 일정구간에 대한 종단평탄성 프로파일을 도시 예를 나타낸 것이다.

거리	도로현황	도로포장구분	측정변형	종단평탄성				조사속도	위도	경도
[km]	이미지	이미지	직선차(mm)	L1[m/km]	R1[m/km]	최대[m/km]	평균[m/km]	속도[km/h]		
378.99	Ladybug 1	지사령가_002(수원지사)_S000010000.jpg	4.62	1.12	1.02	1.12	1.07	64	37.15181972	127.0847073
378.98	Ladybug 2	지사령가_002(수원지사)_S000020000.jpg	4.37	2.46	1.83	2.46	2.14	64	37.15173691	127.0846711
378.97	Ladybug 3	지사령가_002(수원지사)_S000030000.jpg	3.80	1.38	3.71	3.71	2.55	65	37.1516539	127.0846343
378.96	Ladybug 4	지사령가_002(수원지사)_S000040000.jpg	4.27	1.53	1.72	1.72	1.63	66	37.15154692	127.0845875
378.95	Ladybug 5	지사령가_002(수원지사)_S000050000.jpg	4.25	1.65	1.01	1.65	1.33	66	37.15147721	127.0845571
378.94	Ladybug 6	지사령가_002(수원지사)_S000060000.jpg	4.06	1.99	1.80	1.99	1.90	67	37.15139888	127.0845227
378.93	Ladybug 7	지사령가_002(수원지사)_S000070000.jpg	4.91	1.27	0.92	1.27	1.09	68	37.15131961	127.0844884
378.92	Ladybug 8	지사령가_002(수원지사)_S000080000.jpg	8.23	1.19	1.15	1.19	1.17	69	37.15119881	127.0844365
378.91	Ladybug 9	지사령가_002(수원지사)_S000090000.jpg	9.39	1.64	1.17	1.64	1.40	69	37.15113363	127.0844087
378.9	Ladybug 10	지사령가_002(수원지사)_S000100000.jpg	8.63	1.78	1.22	1.78	1.50	70	37.15105134	127.0843743
378.89	Ladybug 11	지사령가_002(수원지사)_S000110000.jpg	4.82	3.69	3.49	3.69	3.59	70	37.15096842	127.0843405
378.88	Ladybug 12	지사령가_002(수원지사)_S000120000.jpg	5.99	1.89	1.57	1.89	1.73	70	37.15087672	127.0843038
378.87	Ladybug 13	지사령가_002(수원지사)_S000130000.jpg	7.62	1.99	1.24	1.99	1.61	70	37.15076802	127.08426
378.86	Ladybug 14	지사령가_002(수원지사)_S000140000.jpg	8.37	3.74	2.73	3.74	3.23	71	37.15070944	127.0842363
378.85	Ladybug 15	지사령가_002(수원지사)_S000150000.jpg	7.85	3.33	2.86	3.33	3.10	70	37.15062541	127.0842022
378.84	Ladybug 16	지사령가_002(수원지사)_S000160000.jpg	6.73	2.38	2.54	2.54	2.46	71	37.15054934	127.0841728
378.83	Ladybug 17	지사령가_002(수원지사)_S000170000.jpg	6.85	3.17	3.08	3.17	3.12	71	37.15044729	127.0841347
378.82	Ladybug 18	지사령가_002(수원지사)_S000180000.jpg	7.46	1.33	1.73	1.73	1.53	71	37.15037064	127.0841061
378.81	Ladybug 19	지사령가_002(수원지사)_S000190000.jpg	7.13	1.00	1.21	1.21	1.10	71	37.15028541	127.084075
378.8	Ladybug 20	지사령가_002(수원지사)_S000200000.jpg	8.40	1.49	1.72	1.72	1.60	71	37.15020861	127.084048
378.79	Ladybug 21	지사령가_002(수원지사)_S000210000.jpg	8.06	1.57	0.81	1.57	1.19	70	37.15011481	127.0840162
378.78	Ladybug 22	지사령가_002(수원지사)_S000220000.jpg	8.06	1.33	1.20	1.33	1.26	70	37.15002138	127.0839849
378.77	Ladybug 23	지사령가_002(수원지사)_S000230000.jpg	8.38	2.94	2.95	2.95	2.94	70	37.14993663	127.0839571
378.76	Ladybug 24	지사령가_002(수원지사)_S000240000.jpg	7.44	3.82	2.96	3.82	3.39	70	37.14985219	127.0839303
378.75	Ladybug 25	지사령가_002(수원지사)_S000250000.jpg	9.15	4.02	3.17	4.02	3.60	69	37.14975973	127.0839005
378.74	Ladybug 26	지사령가_002(수원지사)_S000260000.jpg	8.73	1.31	1.38	1.38	1.35	69	37.14966754	127.0838717

그림 3.13 종단평탄성 측정데이터의 예

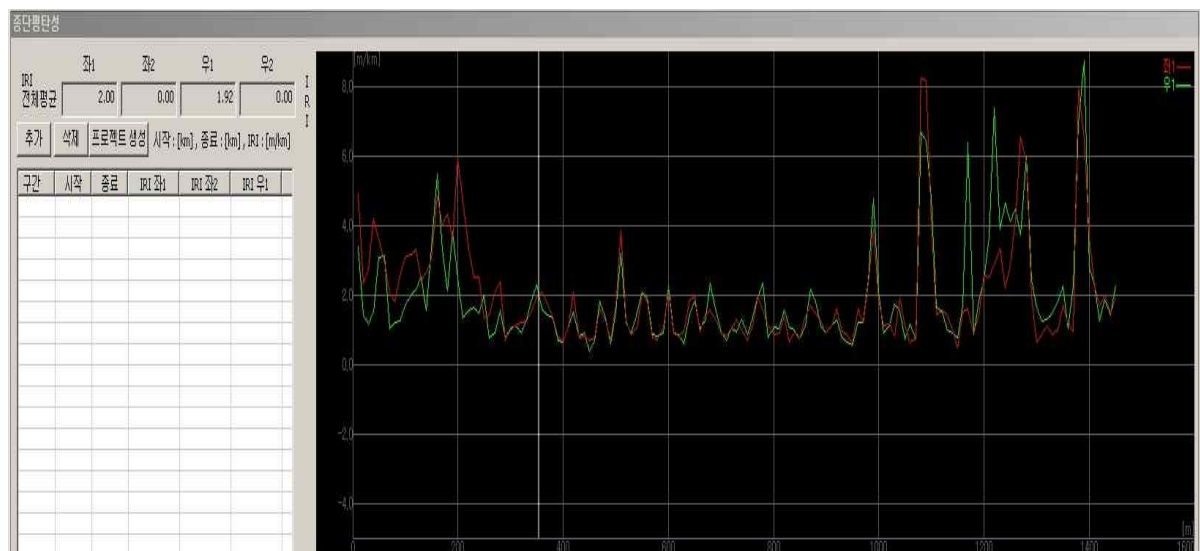
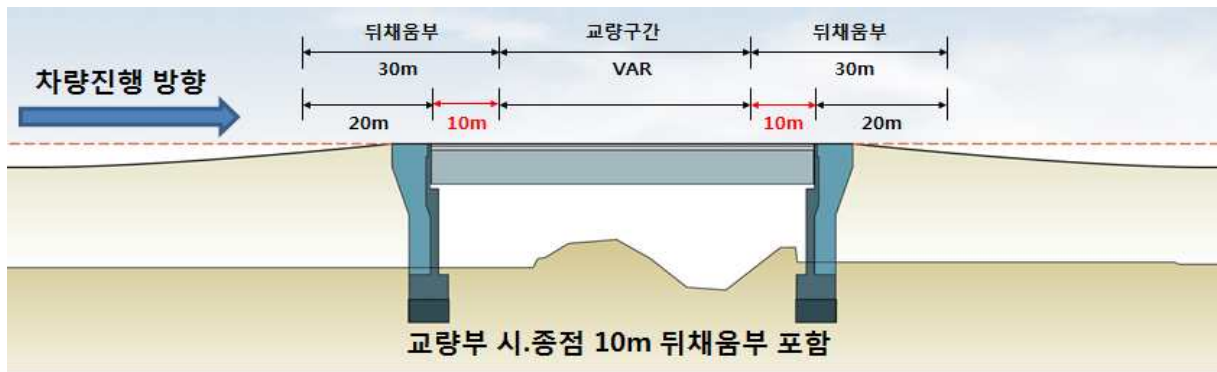


그림 3.14 종단평탄성 프로파일 예

(2) 교면부

교량구간의 경우 교량구간과 교량뒤채움부 구간으로 나누어 종단평탄성을 산출하며, 뒤채움부는 교량 조인트로부터 20m, 교량의 시·종점 10m를 포함한 30m 구간의 평균값이며, 교량구간의 종단평탄성은 교량 시·종점 10m를 제외한 구간에서의 종단평탄성 평균값을 산출하였다.

교량의 종단평탄성을 산출함에 있어 뒤채움부의 상태(침하 유무), 교량 조인트 형식에 따라 교량의 종단평탄성이 상이할 수 있으므로 뒤채움부 및 교량 조인트의 영향을 받을 수 있는 교량 시·종점부 10m의 종단평탄성을 뒤채움부에 포함하여 분석하였다.



노선명	사진명	시점	종점	행선	차로	포장형식	IRI	RD	SD	HPCI	교량명	구분
울산선	울산선-001_S008060000.jpg	8.03	8.04	E	1	아스팔트포공	2.00	1.46	0.00	3.99		
울산선	울산선-001_S008070000.jpg	8.04	8.05	E	1	아스팔트포공	1.79	1.91	0.00	4.04		
울산선	울산선-001_S008080000.jpg	8.05	8.06	E	1	아스팔트포공	1.35	1.93	0.00	4.21		뒤채움부
울산선	울산선-001_S008090000.jpg	8.06	8.07	E	1	아스팔트포공	4.11	1.33	0.00	3.26		
울산선	울산선-001_S008100000.jpg	8.07	8.08	E	1	콘크리트교면	2.40	0.00	0.00	3.52	사현대교	2.62
울산선	울산선-001_S008110000.jpg	8.08	8.09	E	1	콘크리트교면	1.05	0.00	0.00	4.17	사현대교	교량 0.88
울산선	울산선-001_S008120000.jpg	8.09	8.1	E	1	콘크리트교면	0.83	0.00	0.00	4.30	사현대교	
울산선	울산선-001_S008130000.jpg	8.1	8.11	E	1	콘크리트교면	0.86	0.00	0.00	4.28	사현대교	
울산선	울산선-001_S008140000.jpg	8.11	8.12	E	1	콘크리트교면	0.82	0.00	0.00	4.31	사현대교	
울산선	울산선-001_S008150000.jpg	8.12	8.13	E	1	콘크리트교면	0.78	0.00	0.00	4.33	사현대교	
울산선	울산선-001_S008160000.jpg	8.13	8.14	E	1	콘크리트교면	0.77	0.00	0.00	4.33	사현대교	
울산선	울산선-001_S008170000.jpg	8.14	8.15	E	1	콘크리트교면	0.66	0.00	0.00	4.41	사현대교	
울산선	울산선-001_S008180000.jpg	8.15	8.16	E	1	콘크리트교면	0.64	0.00	0.00	4.42	사현대교	
울산선	울산선-001_S008190000.jpg	8.16	8.17	E	1	콘크리트교면	0.88	0.00	0.00	4.27	사현대교	
울산선	울산선-001_S008200000.jpg	8.17	8.18	E	1	콘크리트교면	0.88	0.00	0.00	4.27	사현대교	
울산선	울산선-001_S008210000.jpg	8.18	8.19	E	1	콘크리트교면	0.96	0.00	0.00	4.22	사현대교	
울산선	울산선-001_S008220000.jpg	8.19	8.2	E	1	콘크리트교면	0.87	0.00	0.00	4.27	사현대교	
울산선	울산선-001_S008230000.jpg	8.2	8.21	E	1	콘크리트교면	0.90	0.00	0.00	4.26	사현대교	
울산선	울산선-001_S008240000.jpg	8.21	8.22	E	1	콘크리트교면	0.82	0.00	0.00	4.30	사현대교	
울산선	울산선-001_S008250000.jpg	8.22	8.23	E	1	콘크리트교면	1.23	0.00	0.00	4.08	사현대교	
울산선	울산선-001_S008260000.jpg	8.23	8.24	E	1	콘크리트교면	1.24	0.00	0.00	4.07	사현대교	
울산선	울산선-001_S008270000.jpg	8.24	8.25	E	1	콘크리트교면	7.10	0.00	0.00	1.85	사현대교	뒤채움부
울산선	울산선-001_S008280000.jpg	8.25	8.26	E	1	아스팔트포공	3.81	3.79	0.00	3.19		4.41
울산선	울산선-001_S008290000.jpg	8.26	8.27	E	1	아스팔트포공	2.32	2.00	0.00	3.83		
울산선	울산선-001_S008300000.jpg	8.27	8.28	E	1	아스팔트포공	1.97	3.32	0.00	3.87		
울산선	울산선-001_S008310000.jpg	8.28	8.29	E	1	아스팔트포공	1.41	1.00	0.00	4.24		

그림 3.15 교량구간 종단평탄성 분석

2.1.3 소성변형 [RD] 정량화

소성변형량은 조사장비를 이용하여 도로의 횡방향 단면형상을 우선 측정한 후 직선자에 의한 측정방법을 적용하여 산출하였다.

측정방법은 그림 3.16의 방법으로 계산되며, 그림 3.17 및 그림 3.18은 측정결과 의 예를 나타낸 것이다.

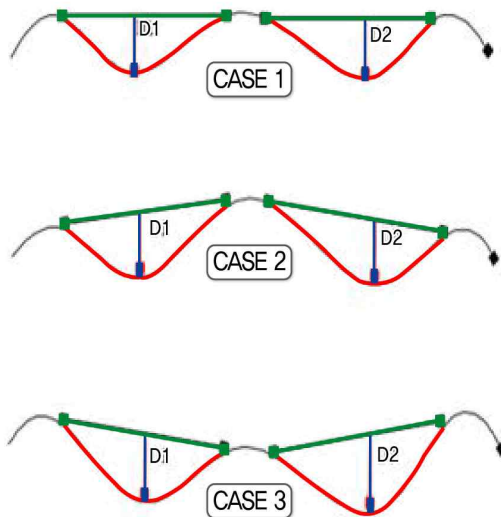


그림 3.16 직선자법

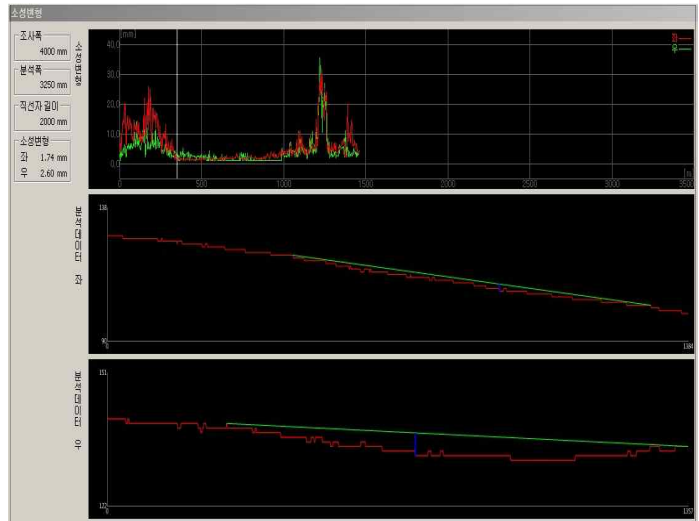


그림 3.17 소성변형 횡단프로파일 그래프의 예

거리 [km]	도로현황	도로포장균열	소성변형	종단평탄성				조사속도	위도	경도
	이미지	이미지	직선자(mm)	L1[m/km]	R1[m/km]	최대[m/km]	평균[m/km]	속도[km/h]		
378.99	Ladybug 1	지사평가_002(수원지사)_5000010000.jpg	4.62	1.12	1.02	1.12	1.07	64	37.15181972	127.0847073
378.98	Ladybug 2	지사평가_002(수원지사)_5000020000.jpg	4.37	2.46	1.83	2.46	2.14	64	37.15173691	127.0846711
378.97	Ladybug 3	지사평가_002(수원지사)_5000030000.jpg	3.80	1.38	3.71	3.71	2.55	65	37.1516539	127.0846343
378.96	Ladybug 4	지사평가_002(수원지사)_5000040000.jpg	4.27	1.53	1.72	1.72	1.63	66	37.15154692	127.0845875
378.95	Ladybug 5	지사평가_002(수원지사)_5000050000.jpg	4.25	1.65	1.01	1.65	1.33	66	37.15147721	127.0845571
378.94	Ladybug 6	지사평가_002(수원지사)_5000060000.jpg	4.06	1.99	1.80	1.99	1.90	67	37.15139888	127.0845227
378.93	Ladybug 7	지사평가_002(수원지사)_5000070000.jpg	4.91	1.27	0.92	1.27	1.09	68	37.15131961	127.0844884
378.92	Ladybug 8	지사평가_002(수원지사)_5000080000.jpg	8.23	1.19	1.15	1.19	1.17	69	37.15119881	127.0844365
378.91	Ladybug 9	지사평가_002(수원지사)_5000090000.jpg	9.39	1.64	1.17	1.64	1.40	69	37.15113363	127.0844087
378.9	Ladybug 10	지사평가_002(수원지사)_5000100000.jpg	8.63	1.78	1.22	1.78	1.50	70	37.15105134	127.0843743
378.89	Ladybug 11	지사평가_002(수원지사)_5000110000.jpg	4.82	3.69	3.49	3.69	3.59	70	37.15096842	127.0843405
378.88	Ladybug 12	지사평가_002(수원지사)_5000120000.jpg	5.99	1.89	1.57	1.89	1.73	70	37.15087672	127.0843038
378.87	Ladybug 13	지사평가_002(수원지사)_5000130000.jpg	7.62	1.99	1.24	1.99	1.61	70	37.15076802	127.08426
378.86	Ladybug 14	지사평가_002(수원지사)_5000140000.jpg	8.37	3.74	2.73	3.74	3.23	71	37.15070944	127.0842363
378.85	Ladybug 15	지사평가_002(수원지사)_5000150000.jpg	7.85	3.33	2.86	3.33	3.10	70	37.15062541	127.0842022
378.84	Ladybug 16	지사평가_002(수원지사)_5000160000.jpg	6.73	2.38	2.54	2.54	2.46	71	37.15054934	127.0841728
378.83	Ladybug 17	지사평가_002(수원지사)_5000170000.jpg	6.85	3.17	3.08	3.17	3.12	71	37.15044729	127.0841347
378.82	Ladybug 18	지사평가_002(수원지사)_5000180000.jpg	7.46	1.33	1.73	1.73	1.53	71	37.15037064	127.0841061
378.81	Ladybug 19	지사평가_002(수원지사)_5000190000.jpg	7.13	1.00	1.21	1.21	1.10	71	37.15028541	127.084075
378.8	Ladybug 20	지사평가_002(수원지사)_5000200000.jpg	8.40	1.49	1.72	1.72	1.60	71	37.15020861	127.0840408
378.79	Ladybug 21	지사평가_002(수원지사)_5000210000.jpg	8.06	1.57	0.81	1.57	1.19	70	37.15011481	127.0840162
378.78	Ladybug 22	지사평가_002(수원지사)_5000220000.jpg	8.06	1.33	1.20	1.33	1.26	70	37.15002138	127.0839849
378.77	Ladybug 23	지사평가_002(수원지사)_5000230000.jpg	8.38	2.94	2.95	2.95	2.94	70	37.14993663	127.0839571
378.76	Ladybug 24	지사평가_002(수원지사)_5000240000.jpg	7.44	3.82	2.96	3.82	3.39	70	37.14985219	127.0839303
378.75	Ladybug 25	지사평가_002(수원지사)_5000250000.jpg	9.15	4.02	3.17	4.02	3.60	69	37.14975973	127.0839005
378.74	Ladybug 26	지사평가_002(수원지사)_5000260000.jpg	8.73	1.31	1.38	1.38	1.35	69	37.14966754	127.0838717

그림 3.18 소성변형 정량화 결과 예시

2.1.4 포장상태평가

(1) 포장상태지수(HPCI) 산출

포장상태지수(HPCI)는 포장상태조사를 통하여 확보된 표면손상 및 소성변형, 종단 평탄성 Data를 변수로 산출되며, 개량사업대상구간 선정 및 각종 현황 분석에 활용된다.

식 4.1과 식 4.2는 현재 고속도로에 적용하고 있는 포장상태 평가지수이며, 포장형식별 특성을 감안하여 아스팔트콘크리트포장과 시멘트콘크리트포장을 구분 적용하고 있다.

■ 아스팔트콘크리트포장의 포장상태평가지수

$$HPCI_{10m} = 5 - 0.54 \times IRI^{0.8} - 0.75 \times RD^{1.2} - 0.9 \times \log(1 + 10 \times SD) \quad (4.1)$$

■ 시멘트콘크리트포장의 포장상태평가지수

$$HPCI_{10m} = 5 - 0.8 \times IRI^{0.7} - 0.85 \times \log(1 + 10 \times 2.5 \times SD) \quad (4.2)$$

$$\text{여기서, } HPCI_{100m} = \sum_n^{n+10} (HPCI_{10m})$$

IRI(International Roughness Index) = 국제 평탄성지수(m/km)

RD(Rut depth) = 차바퀴패임량(cm)

SD(Surface Distress) = 노면손상 환산면적(m²)

$$SD = \sum \text{각 손상균열길이} \times 0.15 + \sum \text{각 면상균열면적}$$

(2) 줄눈평가지수(SCN, PCN) 산출

콘크리트포장의 줄눈분석은 개선된 평가방법에 따라 분석을 수행하였으며, 평가방법은 다음과 같다.

가. 줄눈재 건전도(SCN) 산출

줄눈재 건전도(SCN) 산출방식은 100m 단위 구간의 줄눈개소수와 손상된 줄눈길이 개소수 및 파손 줄눈 연장에 대하여 산출하였다.

줄눈재 건전도(SCN)는 2가지 방법으로 산출하였는데 첫 번째는 100m 단위연장에 포함된 전체 줄눈 개소 중 파손이 발생한 줄눈 개소수를 구하여 계산하는 방법이고, 두 번째는 100m 단위연장에 포함된 전체 줄눈 연장 중 파손이 발생한 손상 줄눈 연장을 구하여 계산하는 방법이다.

$$SCN \text{ 손상률} = \frac{\text{손상된 줄눈연장(개소)}}{100m \text{ 구간 줄눈연장(개소)}} \times 100$$

나. 줄눈부 건전도(PCN) 산출

줄눈부 건전도(PCN) 산출방식은 100m 단위 구간의 줄눈부 포장면적 중 스폐링이 발생한 면적에 대한 손상율로 산출하였다.

각 줄눈에 발생한 스폐링 면적의 합을 합산을 한 후 단위구간 100m 연장의 전체 줄눈 개수에 3.6m를 곱하여 100m 단위구간의 줄눈부 포장면적을 산정하여 파손면적에 대한 비율을 계산 하였다.

$$PCN \text{ 손상률} = \frac{\text{스폴링 발생면적}(m^2)}{100m \text{ 구간 줄눈부 포장면적}(m^2)} \times 100$$

3. 평가기준

3.1 포장상태 평가

포장상태 등급기준은 외국 및 타 기관사례와 현장관리자의 의견 등을 감안하여 수립된 손상별 등급기준에 따라 시행 되었으며, 단위연장은 평가를 위하여 도로구간을 나누는 가장 작은 단위로 고속도로의 경우 현재 100m를 기본 평가 단위연장으로 적용하고 있다.

3.1.1 포장상태평가지수(HPCI)에 의한 등급기준

표 3.6은 평가결과에 의한 등급기준이며, HPCI 개량기준(3.0이하)과 미국의 PSI 지수, 일본의 MCI 지수에 의한 기준 등을 참고하여 결정되었다.

표 3.6 포장상태평가지수(HPCI)에 의한 등급기준

등급	HPCI	상태	대응책
1등급	4.00초과	매우 우수	Do nothing
2등급	4.00이하 ~ 3.50초과	우수	예방적 보수
3등급	3.50이하 ~ 3.25초과	다소 우수	필요시 수선유지
4등급	3.25이하 ~ 3.00초과	보통	수선유지
5등급	3.00이하 ~ 2.50초과	다소 불량	필요시 개량
6등급	2.50이하 ~ 2.00초과	불량	개량
7등급	2.00이하	매우 불량	우선 개량

3.1.2 표면손상(SD)에 의한 등급기준

(1) 표면손상(SD)

표 3.7은 표면손상에 의한 등급기준이며, 현장관리자의 의견 및 국도의 경우를 참고하여 결정되었다.

표 3.7 표면손상에 의한 등급기준

등급	SD(m²)	상태	대응책
1등급	0m²	매우 우수	Do nothing
2등급	0m² 초과 ~ 1.0m² 이하	우수	예방적 보수
3등급	1.0m² 초과 ~ 18m² 이하	다소 우수	필요시 수선유지
4등급	18m² 초과 ~ 36m² 이하	보통	수선유지
5등급	36m² 초과 ~ 52m² 이하	다소 불량	필요시 개량
6등급	52m² 초과 ~ 72m² 이하	불량	개량
7등급	72m² 초과	매우 불량	우선 개량

(2) 줄눈부손상(SCN, PCN)

줄눈부손상 평가방식의 경우 포장상태 평가지수(HPCI) 산정 단위와 일치하는 100m 단위연장으로 산정하였으며, 줄눈손상 개소수, 줄눈손상 연장, 스폴링 발생면적을 기준으로 상태를 평가하여 손상정도에 부합이 되는 적절한 평가가 이루어지도록 개선하였다.

또한, 줄눈부손상(SCN, PCN) 평가 등급을 포장상태지수(HPCI)와 동일하게 7등급으로 세분화하여 사업대상구간을 명확화 하였다.(콘크리트 포장 줄눈부 조사 및 분석 개선방안, 도로처-3114)

표 3.8 줄눈부손상(SCN, PCN) 등급기준

등 급		SCN		PCN
		개소수 기준(개소)	연장기준(m)	줄눈부 포장 손상률(%)
우수	1등급	0.0	0.0	0.0
	2등급	0.0~15.0	0.0~1.0	0.0~1.0
보통	3등급	15.0~25.0	1.0~2.0	1.0~2.0
	4등급	25.0~40.0	2.0~3.0	2.0~3.0
불량	5등급	40.0~50.0	3.0~6.5	3.0~6.5
	6등급	50.0~60.0	6.5~10.0	6.5~10.0
	7등급	60.0 초과	10.0 초과	10.0 초과

3.1.3 종단평탄성(IRI)에 의한 등급기준

(1) 유지관리등급기준

표 3.9는 기존 공용중인 고속도로에 대한 유지관리 종단평탄성에 의한 등급기준이며, 소성변형과 같이 미국 워싱턴 교통국(WSDOT)에서 적용하고 있는 기준을 참고하여 결정되었다.

표 3.9 종단평탄성에 의한 등급기준

등급	IRI(m/km)	상태	대응책
1등급	1.5이하	매우 우수	Do nothing
2등급	1.5초과 ~ 2.0이하	우수	예방적 보수
3등급	2.0초과 ~ 2.5이하	다소 우수	필요시 수선유지
4등급	2.5초과 ~ 3.0이하	보통	수선유지
5등급	3.0초과 ~ 3.5이하	다소 불량	필요시 개량
6등급	3.5초과 ~ 4.0이하	불량	개량
7등급	4.0초과	매우 불량	우선 개량

(2) 신설 및 확장구간 관리기준

표 3.10은 신설 및 확장구간 종단평탄성 등급기준이며, 장비성능 개선 및 기술축적에 따라 종단평탄성 수준이 높아지고 사용자 만족 수준이 높아짐에 따라 적용기준을 수립하였다. (2012년 고속도로공사 전문시방서 아스팔트 콘크리트 9-5절 9-15, 시멘트 콘크리트 10-2절 10-23)

표 3.10 국제평탄성지수(IRI) 적용기준

구 분	평가지수 기준		비 고
신설시공 품질기준 (아스팔트포장 및 콘크리트포장)	토공부	$IRI \leq 1.6m/km$	
	대형장비의 조합이 불가능한 경우 (교량 접속부를 포함한 교량 구간, I/C 및 JC 램프 등)	$IRI \leq 2.0m/km$	

- 교량 구간은 접속슬래브 및 조인트부와 교면을 포함한 구간임
- 확장공사에서 단순 편측확장, 유지보수 공사의 경우에는 본 기준의 적용 대상에서 제외 (기존의 PRI 기준 적용)

표 3.11 PRI 평가지수기준

구 분	평가지수 기준		비 고
신설시공 품질기준 (아스팔트포장 및 콘크리트포장)	토공부	$PRI \leq 8.0cm/km$	
	대형장비의 조합이 불가능한 경우 (교량 접속부를 포함한 교량 구간, I/C 및 JC 램프 등)	$PRI \leq 16.0cm/km$	

- 확장공사와 덧씌우기 등의 유지관리 공사에는 $PRI \leq 16.0cm/km$ 이하로 함

3.1.4 소성변형(RD)에 의한 등급기준

표 3.12는 소성변형에 의한 등급기준이며, 수막현상이 발생하는 13mm를 개량기준으로 하고, 미국 워싱턴 교통국(WSDOT)에서 적용하고 있는 기준을 추가로 참고하여 결정되었다.

표 3.12 고속도로 소성변형에 의한 등급기준

등급	RD(mm)	상태	대응책
1등급	4.00이하	매우 우수	Do nothing
2등급	4.00초과 ~ 7.00이하	우수	예방적 보수
3등급	7.00초과 ~ 10.00이하	다소 우수	필요시 수선유지
4등급	10.00초과 ~ 13.00이하	보통	수선유지
5등급	13.00초과 ~ 16.00이하	다소 불량	필요시 개량
6등급	16.00초과 ~ 20.00이하	불량	개량
7등급	20.00초과	매우 불량	우선 개량

4. 평가지수 활용

4.1 포장상태 평가지수[HPCI, IRI, RD, SD] 활용

그림 3.19는 현재 운영되고 있는 HPMS의 의사결정체계 체계를 나타낸 것이다. 수선유지/예방관리구간에 대한 의사결정체계는 현재 HPMS에 반영하여 보수공법 산정에 쓰인다.

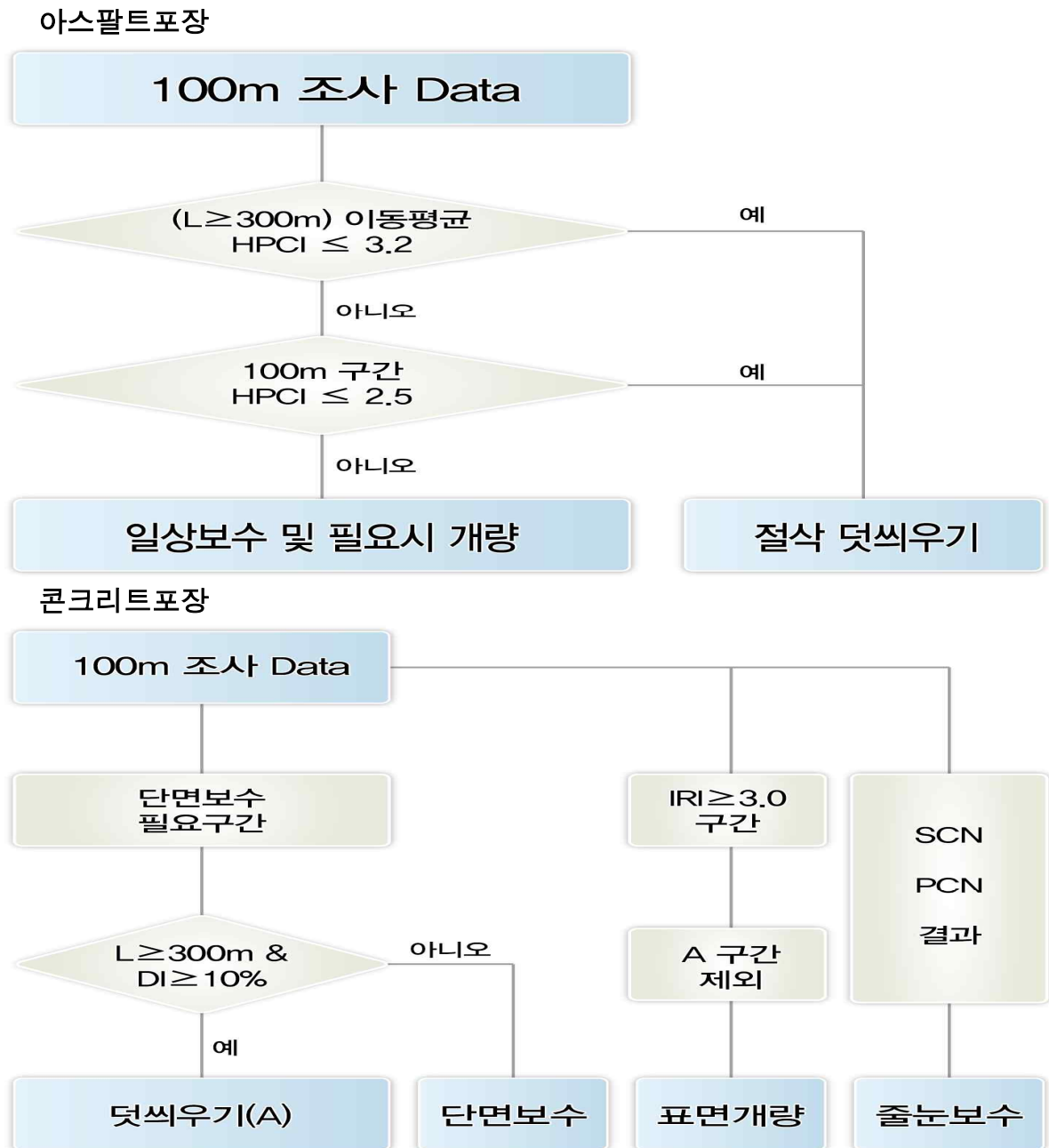


그림 3.19 HPMS 의사결정체계

4.2 줄눈상태 평가지수[SCN, PCN] 활용

일 교통량 서비스 수준(LOS), 주간공사 가능 유무, 제설재 사용량 등과 연계하여 상태등급별 보수공법 선정에 적용하고 있다.(콘크리트 포장 줄눈부 조사 및 분석 개선방안, 도로처-3114)

표 3.13 상태등급별 보수공법선정

PCN	SCN	교통조건 (LOS)	제설재사용량 (톤/lane-km/yr)	보수방법
1~2등급	1~4등급	-	-	일상 유지보수
	5~7등급	C 이상 (주간공사)	3톤 이하	줄눈보수(실리콘)
			3톤 이상	줄눈보수(성형)
		D 이하 (야간공사)	-	
			-	
3~4등급	1~4등급	-	3톤 이하	줄눈보수(실리콘)
	5~7등급		3톤 이상	스폴링 보수 후 줄눈보수(성형)
		C 이상 (주간공사)	-	
			-	
	5~7등급	1~7등급	D 이하 (야간공사)	