

예방적 유지관리에 근거한 콘크리트 포장 줄눈관리방안

Managing the Joint of the PCC Pavement based on the Preventive Maintenance Concept

김형배* · 김종호** · 김미애*** · 문형철****

Kim, Hyung Bae · Kim, Jong Ho · Kim, Mi Ae · Moon, Hyung Chul

1. 서론

콘크리트 포장의 유지관리 업무 중 줄눈의 관리는 소홀히 되기 쉬우나 콘크리트 포장의 성능에 매우 중요한 사항으로 콘크리트 포장 파손의 주된 원인 중에 하나인 줄눈부 파손과 직접적으로 관련되어 있다. 줄눈부로 유입된 이물질은 온도 및 습도에 따라 수축팽창을 하는 콘크리트 포장의 활동을 구속하여 과도한 응력을 국부적으로 유발시켜 줄눈부 탈락(Spalling)과 균열을 일으키며, 이러한 파손은 사후 보수를 시행함에도 불구하고 여전히 취약구간으로 남아 전체적인 콘크리트 포장의 공용성을 현저히 저하시킨다.

현재 포장유지관리 실무에서는 직접적으로 활용될 수 있는 줄눈재 수명평가 및 관리기준이 미흡하여 유지관리 업무를 수행할 때 줄눈재 보수에 대한 명확한 사업계획 수립에 어려운 점이 있으며 점차 콘크리트 포장 관리 연장이 증가함에 따라 예방적 유지관리 차원의 줄눈재 평가기준 및 유지보수기준 수립에 대한 필요성은 더욱 증가할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 공용중인 도로의 줄눈재 상태 및 줄눈부 포장상태의 정량적 평가 기준을 마련하여 예방적 콘크리트 포장 줄눈재 유지관리 시스템을 마련하고자 하였다.

2. 현행 줄눈재 유지관리의 문제점

2.1 예방적 유지보수 개념의 부재

예방적 유지보수란 기존 도로체계 및 그 부속물을 보다 경제적으로 유지관리하기 위한 하나의 수단으로서 기존 도로가 파손되어 그 기능이 현저히 저하되기 전에 도로의 공용성을 보존하면서 성능저하를 예방하는 개념에서 비롯된다. 즉, 그림 2.1에서 보듯이 보다 구체적으로 도로의 구조적 성능이 떨어지기 전에 저렴한 비용으로 유지관리 하면서 도로의 공용성능을 유지 또는 향상시키는 개념이다. 현재 고속도로포장평가 모형인 HPCI는 식(1)에서 보듯이 균열율, 패칭율, 평탄성의 함수로써 표현된 함수식이므로 줄눈재 상태에 따른 포장상태를 평가할 수가 없어, 실무에서 줄눈재 보수를 위한 척도로 사용이 불가능하다. 다시 말해 예방적 유지보수 개념이 적용된 콘크리트 포장의 유지보수를 실무에서는 공용기간이 어느 정도 지나서 줄눈부에 단차 또는 스폐링이 발생하여 파손이 중등도 이상으로 발생한 후에 유지보수를 할 수 있고, 줄눈재 정도만이 파손된 상황에서 수시로 보수를 하여 보다 적극적인 유지보수를 하려하여도 이를 평가하는 모형이 없어 제대로 예방적 유지차원의 유지보수를 실행 할 수가 없는 것이다. 예방적 유지보수차원에서 포장보수가 이루어지면 궁극적으로 포장의 수명을 연장시키고 전체적인 수명주기비용도 감소시킬 수 있는 가능성이 대단히 높아지게 된다.

$$HPCI = 5 - 0.84 \times IRI^{0.7} - 0.48 \times \text{Log}(1+2.5 \times CL) \quad (1)$$

여기서, IRI : 국제평탄성지수 (m/km) CL : 환산균열길이 (m)

* 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원 · 공학박사 · 031-371-3437 (E-mail : kimhyun3@freeway.co.kr)

** 정회원 · (주)로드텍 팀장 · 공학석사 · 031-400-3854 (E-mail : roadtech@paran.com)

*** 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 연구원 · 공학석사 · 031-371-3478 (E-mail : speaking@hanmail.net)(o.kr)

**** 정회원 · (주)로드텍 대표이사 · 도로공항공기술사 · 031-400-3855 (E-mail : roadtech@paran.com)

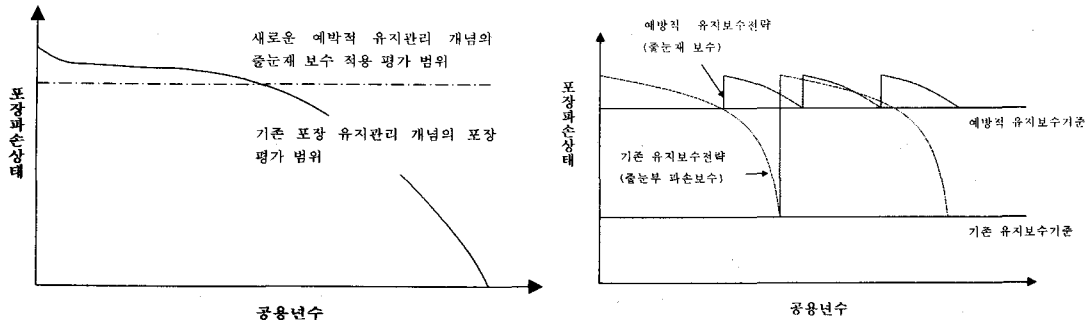


그림 2.1 예방적 유지보수에 근거한 공용성 개념도

따라서, 줄눈재 상태평가 자료 및 줄눈유지보수 자료가 체계적으로 관리되고 이에 맞춰 줄눈부 파손에 예방적 유지관리 차원에서 줄눈재 보수시스템이 가동될 수 있다면 전체적인 포장유지관리 비용은 크게 줄어들 수 있는 계기를 마련할 수 있을 것이다.

2.2 기존 줄눈재 파손평가 및 유지보수 의사결정 기준의 불합리성

기존 줄눈재의 상태평가는 유지보수 담당자들이 육안조사를 통하여 이루어지고 있는 실정이다. 육안조사물 토대로 다음과 같은 공식에 의거 보수요구율을 산정하게 된다.

$$\text{※ 보수 요구율 } S(\%) = \frac{L \times 0.1 + M \times 0.5 + H \times 1.0}{N} \times 100 \quad (2)$$

- S : 보수요구율
- L : 가로줄눈 개소당 파손연장이 1m이하시 (2차로기준, 개소)
- M : 가로줄눈 개소당 파손연장이 1~3m이상시 (2차로기준, 개소)
- H : 가로줄눈 개소당 파손연장이 3m시 (2차로기준, 개소) (L, M, H 급 : 팽창줄눈 포함)
- N : 단위구간당 가로줄눈수 (2차로기준, 개소)

체계적이지 못한 줄눈재 파손평가의 문제점들을 요약, 정리하면 다음과 같다.

- 파손상태에 대한 정량화 기준 부재
- 파손상태에 대한 조사절차(조사시기 및 주기, 조사양식, 조사결과 분석지침)의 부재
- 줄눈재 파손상태 뿐만 아니라 기타 여러 포장조건들을 종합적으로 고려한 포장 파손상태 판단 및 유지보수 의사결정 기준의 미비
- 줄눈재 파손상태 조사정보를 관리하는 체계의 부재

이러한 문제점들로 인하여 현장 실무자가 제한된 구간 내에서 육안 조사한 줄눈부 파손자료를 근거로 개인 판단에 의존하여 당해연도 줄눈유지보수 물량을 결정하는 방식이므로 포장공용성 측면은 물론이고 예산의 합리적 활용이라는 측면에서도 대단히 비효율적이 될 수밖에 없다.

3. 줄눈재 파손평가기준의 수립

3.1 파손평가절차

줄눈재 파손상태를 평가하는 핵심은 줄눈재가 주입된 줄눈시스템이 이물질 및 수분 침투를 얼마나 제대



로 차단하고 있는지를 평가하는 것이다. 실제 줄눈재의 공용성에 영향을 주는 요소는 대단히 다양하지만 일단 시공과 관련된 요소들을 제외하면 포장 줄눈부 주변 파손상태, 교통량, 기후조건등과 같은 요소들이 줄눈재의 파손을 가속화시키는데 가장 큰 영향을 준다고 알려져 있다. 따라서, 이러한 조건들을 고려하여 줄눈재 파손상태 평가절차를 수립하는 것이 필요하다. 새롭게 제안되는 줄눈재 파손평가 방법은 그림 3.1과 같다.

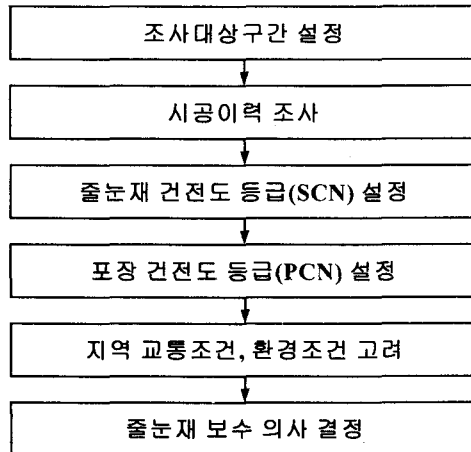


그림 3.1 줄눈재 파손평가 흐름도

먼저 줄눈재 파손율(%SL_i)은 다음과 같은 식에 의해서 산정될 수 있다.

$$%SL_i = SL_f / SL_{tot} * 100 \tag{3}$$

- %SL_i : 줄눈재 파손율(%)
- SL_{tot} : i 구간 조사 줄눈수 (최소 20개 이상)
- SL_f : 줄눈재가 파손된 줄눈수

전체 줄눈재 건전도 종합평가를 위해서는 다음과 같이 줄눈 건전도 평가지수(SCN)를 산정하게 된다.

$$SCN = 1 \cdot L + 2 \cdot M + 3 \cdot H \tag{4}$$

- 여기서, L : 줄눈재가 파손된 줄눈 수(%SL_i)가 15% 이하인 비율 (%)
- M : 줄눈재가 파손된 줄눈 수(%SL_i)가 15-30% 인 비율 (%)
- H : 줄눈재가 파손된 줄눈 수(%SL_i)가 30% 이상인 비율 (%)

전체 줄눈재 건전도 종합평가와 유사하게 전체 포장건전도 종합평가는 먼저 포장 평가지수 (PCN)를 산정하여야 하는데 줄눈재 파손과 직접적으로 연관이 있는 스포링을 기준으로 포장파손율(%PL_i)을 계산한다.

$$%PL_i = PL_f / PL_{tot} * 100 \tag{5}$$

- %PL_i: 포장파손율(%)
- PL_{tot} : i 구간 조사 줄눈수 (최소 20개 이상)
- PL_f : 줄눈부 스포링 누적길이의 합이 50mm이상인 줄눈수

전체 포장 건전도 종합평가를 위해서는 앞서 선정한 SCN과 같은 방법으로 포장 건전도 평가지수(PCN)를 산정한다.



$$PCN = 1 \cdot L + 2 \cdot M + 3 \cdot H \tag{6}$$

- 여기서, L : 줄눈부 스펠링 누적길이 합이 50mm이상인 줄눈 수(PL_i)가 15% 이하인 비율 (%)
 M : 줄눈부 스펠링 누적길이 합이 50mm이상인 줄눈 수(PL_i)가 15-30% 미만인 비율 (%)
 H : 줄눈부 스펠링 누적길이 합이 50mm이상인 줄눈 수(PL_i)가 30% 이상인 비율 (%)

계산된 SCN과 PCN으로 다음과 같은 기준에 의하여 전체 줄눈재 건전도 등급 및 포장 건전도 등급을 산정한다.

전체 줄눈재 및 포장 건전도 종합평가	SCN	PCN
우 수	< 131	< 131
양 호	131 - 199	131 - 199
불 량	> 200	> 200

3.2 줄눈재 및 포장파손 측정기준

• 줄눈재 파손 측정

포장 공용성 측면에서 줄눈재의 주요 역할은 강우, 강설 등에 따른 외부 수분이 콘크리트 포장 줄눈부를 타고 내부로 침투하는 것과 단단한 이물질이 줄눈부에 침투하여 줄눈의 거동을 방해하여 스펠링과 같은 파손을 방지가 목적이다. 따라서 이와 같은 역할을 하지 못하는 줄눈재를 파손된 것으로 간주하는 것을 기본원칙으로 하여 줄눈건전도(SCN) 측정 사항은 그림 3.2와 같이 줄눈재가 탈락되거나, 양 슬레브에 부착이 불량인 구간 길이를 측정한다. 여기서 각 줄눈재 불량정도에 따라 가중치를 부여하게 되는데, 줄눈재 탈락 및 부착 불량 누적길이 합이 50cm 미만인 경우 보정계수 0.5를 곱한다. 즉 50cm이하 파손인 줄눈은 반개정도 파손된 개수로 간주하며, 그 이상인 경우 그 줄눈 전체가 파손된 것을 의미한다.

• 포장 줄눈부 파손 측정

줄눈부에 줄눈재 부재에 의한 대표적인 결함은 스펠링(Spalling)으로 알려져 있다. 또한 반대의 경우, 조기 줄눈컷팅 및 블리딩(Bleeding)등과 같은 시공상의 문제로 스펠링이 발생하면 줄눈재의 탈락도 초기에 발생할 수 있다. 포장건전도(PCN) 측정 방법은 그림 3.3과 같이 줄눈부에 발생한 스펠링 길이를 각각 산출하여 한 개의 줄눈부에 발생한 스펠링 길이의 합을 산출한다.

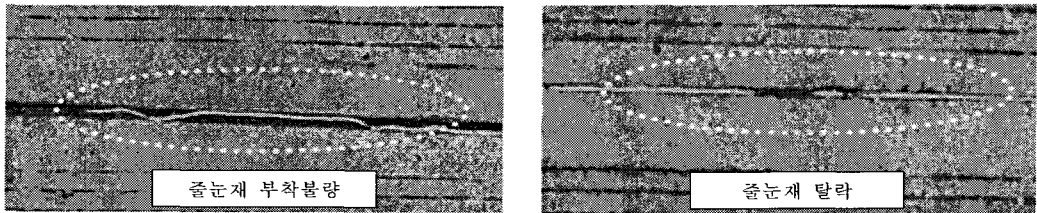


그림 3.2 줄눈 건전도 분석시 고려 대상(줄눈 접착불량 및 탈락)

3.3 조사장비 요구사항

현장조사를 수행하기 위해선 노면의 상세한 관찰이 필수적이다. 이러한 요건을 충족하기 위해 포장의 세밀한 육안 조사가 필요하나, 고속도로의 교통 특성상 육안 조사는 안전측면에서 사실상 불가능하다. 따라서 노면을 상세 분석하기 위한 조사 장비를 이용하는 것이 바람직하다. 도로구조령에 근거하여 고속도로 포장을 조사하기 위한 장비의 필요조건 사항들은 다음과 같이 요약할 수 있다.



- 줄눈 채움재 및 미세 스펙링 파손 유무 확인이 가능한 고해상도 노면 이미지 획득
- 차로폭(3.6m) 이상 조사 가능
- 주행중인 교통류에 방해될 주지 않는 조사 속도(편도 차로수에 따라 최소 40~60km/h 이상)

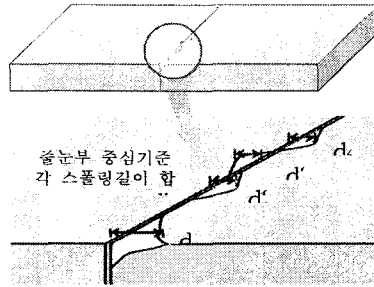


그림 3.3 포장건전도 평가를 위한 줄눈부 스펙링 평가 기준 방법

4. 현장 시험 적용

4.1 조사구간

교통량 분포가 유사하면서 개통년도가 최근(대전-통영간 고속도로)인 산내IC에서 서상IC(행선 약 80km, 총연장 약 160km) 구간을 선정하여 상·하행 주행차로(2차로)조사를 실시하였다. 무주IC를 중심으로 북쪽 연장은 4년6개월 정도 공용된 구간이며 그 이하구간은 3년6개월 된 비교적 공용년수가 짧은 구간이다. 중앙고속도로의 경우 단양IC~영주IC까지 총연장 54km를 조사하였다. 분석의 편의를 위해 IC를 기준으로 구간을 분할하였다<표 4.1>.

표 4.1 조사구간 요약표(2005년)

고속도로	조사위치명	차로	조사 연장(km)
대전-통영간 고속도로	35-A05-12	2	11.6
	35-A05-22	2	"
	35-B05-12	2	10.9
	35-B05-22	2	"
	35-C05-12	2	19.20
	35-C05-22	2	"
	35-D05-12	2	16.5
	35-D05-22	2	"
	35-E05-12	2	23.7
	35-E05-22	2	"
중앙고속도로	55-A05-12	2	17.0
	55-A05-22	2	"
	55-B05-12	2	10.2
	55-B05-22	2	"

4.2 분석과정

진체적인 분석 과정은 그림 4.1과 같다. 조사된 구간 중 분석 구간을 선정하고 선정된 분석 구간을 다시 파손정도가 유사한 기본적 분석단위인 클러스터(Cluster)로 세분화한다. 통계의 유의성을 고려하여 각 클러스터는 최소 20개 이상의 조사 줄눈을 포함하여 이렇게 세분화된 클러스터 내부 각각의 줄눈재 파손 상태 및 줄눈부 스펙링을 앞서 설명한 기준으로 분석하게되는데, 효율적인 분석을 위하여 간략한 이미지 분석 프로그램을 이용하여 줄눈재 탈리 및 스펙링 크기를 정량적으로 분석한다<그림 4.2>.

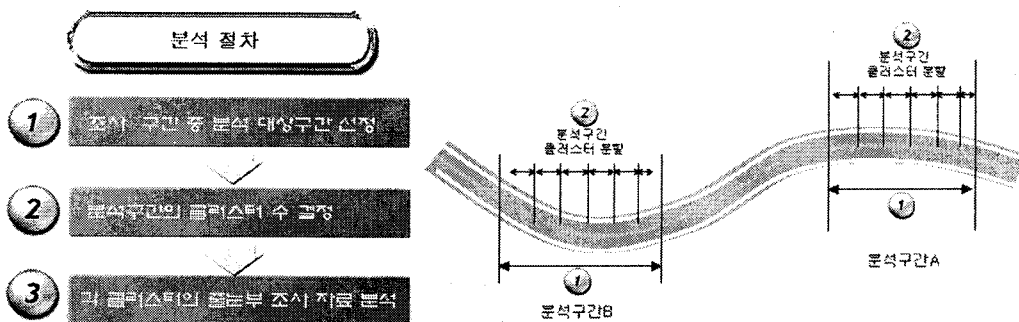


그림 4.1 조사 구간 분석 절차

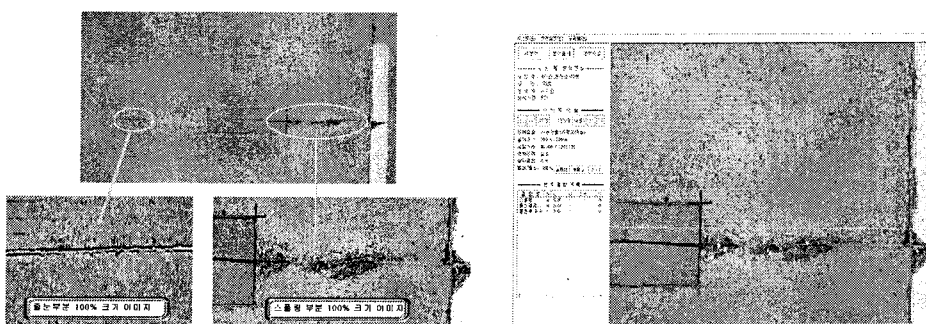


그림 4.2 조사 이미지 결합부분 및 분석 예

4.3 분석결과

• 대전-통영간 고속도로

조사 대상구간중 대전-통영간 고속도로의 SCN 및 PCN은 표 4.2와 같다. 공용년수가 비교적 오래되지 않았으나 SCN 상태는 대부분이 불량인 것으로 나타났다<그림 4.3>. 공용년수를 기준으로 SCN, PCN 분석결과를 보면 공용년수 크게 의존하지 않고 전체적으로 SCN의 경우 불량한 것으로 나타났다. PCN의 경우 SCN과 달리 비교적 양호한 상태를 나타내었는데, 양호한 포장상태를 지속적으로 유지하기 위해서는 시급하게 줄눈재 보수가 필요하다고 판단된다. 또한 본 연구의 기준으로 볼 때 현행 줄눈재의 수명이 매우 짧은 것으로 판단됨으로 줄눈재 품질, 재료 등에 대한 체계적인 연구가 필요하다 판단된다.

표 4.2 대전~통영간 고속도로 조사대상구간의 PCN, SCN

구간	클러스터수	상 행									
		포장등급(%)			PCN	등급	포장등급(%)			SCN	등급
		L	M	H			L	M	H		
35-A05-12	36	63.9	19.4	16.7	152.8	양호	0.0	0.0	100.0	300.0	불량
35-B05-12	34	5.9	20.6	73.5	267.6	불량	0.0	5.9	94.1	294.1	불량
35-C05-12	85	61.2	20.0	18.8	157.6	양호	0.0	5.9	94.1	294.1	불량
35-D05-12	48	68.8	16.7	14.6	145.8	양호	0.0	0.0	100.0	300.0	불량
35-E05-12	78	85.9	14.1	0.0	114.1	우수	0.0	0.0	100.0	300.0	불량



하 행											
구간	클러스터수	포장등급(%)			PCN	등급	포장등급(%)			SCN	등급
		L	M	H			L	M	H		
35-A05-22	34	91.2	8.8	0.0	108.8	우수	0.0	0.0	100.0	300.0	불량
35-B05-22	34	100.0	0.0	0.0	100.0	우수	0.0	0.0	100.0	300.0	불량
35-C05-22	85	98.8	1.2	0.0	101.2	우수	4.7	14.1	81.2	276.5	불량
35-D05-22	47	85.1	10.6	4.3	119.1	우수	0.0	0.0	100.0	300.0	불량
35-E05-22	78	55.1	19.2	25.6	170.5	양호	0.0	3.8	96.2	296.2	불량

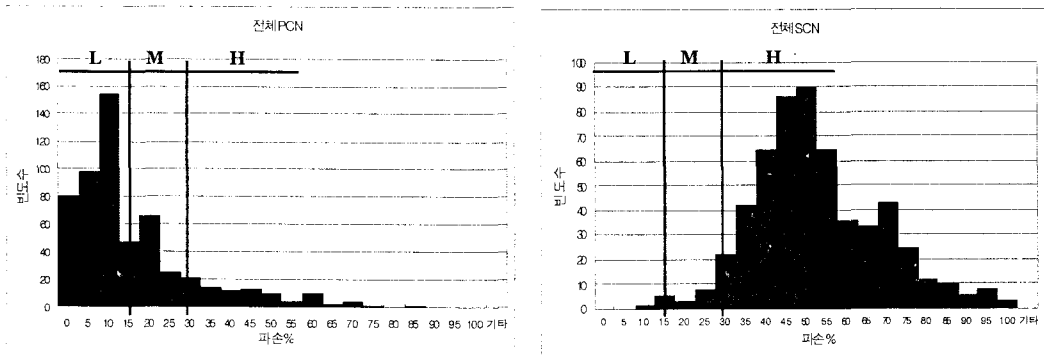


그림 4.3 대전-통영간 고속도로 조사대상구간 전체(PCN, SCN)

• 중앙고속도로

대전-통영간 고속도로와 단순 비교하면 PCN, SCN 둘 다 상대적으로 양호하였다. PCN의 경우 대부분의 클러스터에서 양호한 상태를 나타내었으며, SCN의 경우에는 보통(M) 및 불량(H)인 상태를 나타냈다(<표 4.3>,<그림 4.4>). 상·하행의 기준으로 분석해보면 SCN, PCN 모두 하행의 상태가 상행 상태보다 양호한 것으로 나타났다.

표 4.3 중앙고속도로 조사구간의 PCN, SCN

상 행											
구간	클러스터수	포장등급(%)			PCN	등급	포장등급(%)			SCN	등급
		L	M	H			L	M	H		
55-A05-12	29	38	45	17	179.3	양호	0.0	21	79	279.3	불량
55-B05-12	32	75	19	6	131.3	양호	0.0	41	59	259.4	불량

하 행											
구간	클러스터수	포장등급(%)			PCN	등급	포장등급(%)			SCN	등급
		L	M	H			L	M	H		
55-A05-22	32	94	0	6	112.5	우수	16	56	28	212.5	불량
55-B05-22	25	100	0.0	0.0	100.0	우수	0	16	84	284	불량

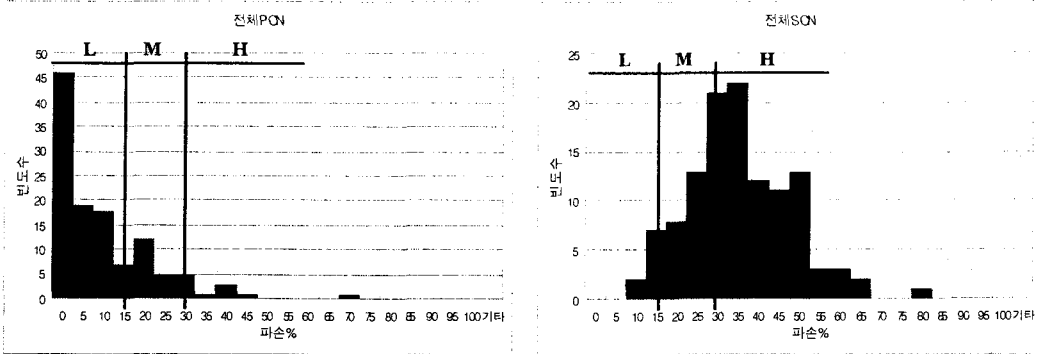


그림 4.4 중앙고속도로 조사구간 전체 PCN, SCN

5. 결론

콘크리트 포장의 줄눈재 파손상태, 포장파손상태, 교통량, 기후조건등을 고려한 합리적인 줄눈 유지보수 우선순위 결정을 위하여 줄눈재 파손평가 시스템 및 줄눈재 보수 의사결정기준에 준거하여 분석한 결과, 조사대상구간에서의 포장상태는 비교적 양호하였으나, 줄눈상태는 대체적으로 불량하였다. 이는 현행 줄눈재의 수명이 기대보다 매우 짧음을 의미한다. 보다 다양한 구간에서 이러한 조사가 실시된다면, 현행 줄눈재의 수명에 대한 객관적 평가가 이루어지며, 이를 토대로 보다 혁신적인 대체 재료가 요구되는 사항이다. 보수의사결정기준은 예방적 유지관리 개념에 근거하여 신속한 줄눈 파손보수가 이루어져 스펀링과 같은 포장줄눈부파손에 따른 공용성 저하를 사전에 예방하고자 하는 취지에서 연구목적으로 본 조사는 실시되었다. 향후 줄눈재 보수결정시스템이 전체 콘크리트 포장 예방적 유지관리의 핵심적 역할이 될 수 있도록 하기 위해서는 단시간 안에 충분한 연장에서 정밀한 줄눈파손 조사가 가능하여야 하는데, 본 과업에서는 기존 포장조사차량의 포장노면촬영의 해상도를 획기적으로 증가시켜 일반 주행속도에서도 미세한 줄눈파손 조사도 충분히 가능하도록 하여 제시된 조사절차 및 분석과정이 실현 가능하도록 하였다. 향후 실제 공용중인 다양한 형태의 줄눈재에 따른 정밀상태 분석자료를 바탕으로 재료별, 지역별, 교통량별, 기후별 줄눈재파손 평가모델을 개발하여 콘크리트 수명연장에 도움이 되는 자료로 활용되어야 할 것이다. 줄눈재 유지관리를 위한 파손평가 기준의 정량화 및 합리적 보수의사결정 기준의 수립은 예방적 줄눈유지관리에 따르는 이득을 더욱 극대화시켜 고속도로 예방적 유지관리 실무의 조기정착을 가져다 주고 스펀링, 균열과 같은 콘크리트 포장의 파손 발생원인을 미연에 방지하는 효과를 가져다 줄 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Kennedy, T.W., and Anagnos, J.N., *Procedure for the Static and Repeated-Load Indirect Tensile Test*, Research Report 183-14, Center for Transportation Research, The University of Texas at Austin, 1983
2. *Summary Report on Fatigue Response of Asphalt Mixes*, SHRP-A/IR-90-011, Strategic Highway Research Program, Transportation Research Board, Washington, D.C., 1990
3. Mathews, J.M., and Monismith, C.L., *Investigation of Laboratory Fatigue Testing Procedures for Asphalt Aggregate Mixture*, ASCE Journal of Transportation Engineering, Vol 119, No. 4, 1993, pp.634-654
4. Baladi, G.Y., *Fatigue Life and Permanent Deformation Characteristics of Asphalt Concrete Mixes*, Transportation Research Record 1227, Transportation Research Board, Washington, D.C., 1989