

줄눈 콘크리트포장의 적정 줄눈간격에 대한 연구

A Study for Optimum Joint Spacing in Jointed Concrete Pavement

이승우* · 전범준** · 김경수***

Lee, Seung Woo · Chon, Beom Jun · Kim, Kyoung Su

1. 서 론

줄눈콘크리트 포장에서 줄눈의 설치 목적은 콘크리트 슬래브의 건조수축, 수화열, Subbase Friction, Curling으로 인한 슬래브내 인장응력의 크기를 적정치 이하로 제어하여 슬래브 내 무작위 균열이 발생하는 것을 제어하는 것이다. 그러나 줄눈은 그 자체가 구조적 취약부로 우수침투에 의한 하부지반의 지지력을 약화시켜 Faulting이 발생되고, 비압축성 이물질의 침투로 인해 Spalling 등이 발생되어 포장의 조기 파손의 원인이 된다. 그러므로 불연속면의 이러한 단점을 보완하기 위해서 합리적인 설계 기법이 마련되어야 하겠다.

본 연구는 합리적인 불연속면의 설계 기법 마련의 일환으로써 적정 줄눈간격을 제시하고자 한다. 국내 줄눈 콘크리트 포장에서 줄눈간격은 합리적인 산정 방안이 제시된바 없이 경험적 방식에 의존하고 있다. 줄눈간격 산정의 경우, 86 AASHTO Guide에서 최대 줄눈간격을 슬래브 두께(inch)의 2배 이하로 제시하고 있고, 국내에서는 도로설계요령에서 포장두께의 2.4배로 규정하여 획일적으로 6m로 설계하고 있다.(한국도로공사, 2001) 이러한 경험적이고, 획일적인 설계 방안은 많은 문제를 갖고 있다. 줄눈간격이 과대하게 설계되어질 경우, 콘크리트 강도가 충분히 발현되기 전 시공초기 환경 하중(온·습도 변화에 의한 Subbase Friction 및 Curling)에 의해 슬래브내 인장응력이 발생하여 무작위 균열이 발생할 수 있다. 반대로 줄눈간격이 과소하게 설계되어질 경우, 일정 구간내의 줄눈의 수량이 늘어서 관련공사비(Saw cutting, 줄눈채움재, Dowel 설치)가 증가하고, 포장내 불필요한 불연속면의 설치로 승차감이 저하된다. 그리고 줄눈간격이 과소하면 줄눈잠김이 발생하여 슬래브의 역학적 길이가 길어짐으로 과대한 인장응력이 발생하여 잠김줄눈에 인접한 줄눈에 과도한 줄눈폭의 변화가 생긴다. 과도한 줄눈폭의 변화는 줄눈채움재의 조기파손을 가져오며 다웰바의 하중전달율(LTE)을 저하시켜 Spalling과 Faulting의 원인이 된다.(이승우, 2001)

2. 적정 줄눈간격 산정 흐름

본 연구에서 적정 줄눈간격 산정을 위한 흐름은 그림 1과 같다. 적정 줄눈간격 산정을 위해 초기거동에서 국내 권역별 기후데이터를 통계처리하여 HIPERPAV(High PERFORMANCE PAVING Software)에 적용하였다. 그리고 장기거동에선 다웰바의 하중전달율(LTE)를 고려하였다.

3. 적정 줄눈 간격 산정

3.1 초기거동에서의 줄눈간격 산정

줄눈 콘크리트포장의 장기적 공용성을 유지하기 위해선 콘크리트 타설 후 72시간동안의 초기거동에서의 품질관리가 중요하다. 콘크리트포장 수명은 초기 시공관리에 따라 10~20년이 증가 또는 단축된다. 초기품질

* 정희원 · 강릉대학교 토목공학과 조교수 · 033-640-2419(E-mail:swl@kangnung.ac.kr)

** 정희원 · 강릉대학교 토목공학과 박사과정 · 033-640-2416(E-mail:najunya@kangnung.ac.kr)

*** 정희원 · 강릉대학교 토목공학과 대학원생 · 033-640-2416(E-mail:kims@kangnung.ac.kr)

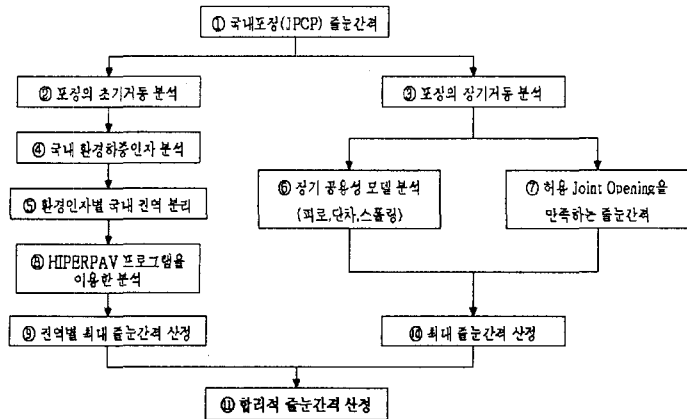


그림 1. 줄눈간격 산정에 대한 흐름도

관리를 위해 선진국의 경우 HIPERPAV (High PERFORMANCE PAVing Software)을 시공에 활용하고 있다. HIPERPAV은 FHWA Special Project #201의 연구결과물로 설계, 재료, 환경, 시공조건을 정량적으로 입력하여 콘크리트 포장 포설 후 72시간동안 인장응력 및 인장강도를 역학적으로 예측할 수 있는 프로그램이다. 설계, 재료, 환경, 시공조건에서 입력변수는 표 1.에서 정리되어 있다.

표 1. HIPERPAV 입력변수

구분	내용
General Design Parameters	포장두께, 줄눈간격, 보조기층, 마찰력 감소층, 28일 강도
Environmental parameter	일대기온도변화, 일대기습도변화, 복사조건, 평균풍속
Mix Design Parameters	골재종류, 시멘트종류, 물-시멘트비, 혼화제종류, 굵은 골재량, 잔 골재량
Construction Parameters	양생방법, 양생시기, 포설전 콘크리트 온도, 포설전 보조기층 온도, Saw Cutting Time

본 연구에서도 HIPERPAV를 사용하여 시공 초기 강도가 충분히 발휘되기 전(교통개방 전) 환경하중의 영향에 따른 슬래브내 무작위 균열이 발생하지 않도록 줄눈간격을 산정하여 보았다. 본 연구에서 HIPERPAV은 신뢰도 99%로 수화열이 가장 많이 발생하는 여름철 시공으로 하여 실행하였다. 복사 조건은 Sunny로 하였고, Saw Cutting Time은 여름 시공 시 포설 후 9~10시간이지만 시공 오차를 고려하여 11시간으로 하였다. 골재의 종류는 국내에서 가장 많이 사용하는 화강암/석회암으로 하였고, 보조기층의 종류는 국내 콘크리트포장이 린층에 비닐막 처리하는 것을 고려하여 Unbound Aggregate로 하였다. 국내 기후특성에 따른 환경 하중을 HIPERPAV에 적용하기 위하여 국내 53개 기후관측지점을 선정하여 10년간의 기후 자료를 수집·통계 처리하였다. 통계처리를 통하여 지역별, 일별, 월별 최고기온, 최저기온, 최대상대습도, 최소상대습도 평균풍속에 대한 Data를 얻었다. 이 Data를 통해 국내 기상청의 지역구분과 동일하게 지역별 기후특색이 유사하고 근접한 지역을 25개 권역으로 구분하였다. 본 연구에선 HIPERPAV 환경변수로 시공초기 온도에 따른 환경영향이 여름철 가장 크게 나타나므로 신뢰도 95%로 통계 처리 되어진 월별 대표값 중 8월의 Data를 적용하였다. HIPERPAV 환경변수로 사용된 데이터는 표 2에서 볼 수 있다.



표 2. HIPERPAV에 사용되어진 Environmental Parameters

권역	지역	최고기온 (°C)	최저기온 (°C)	최대상대 습도(%)	최저상대 습도(%)	평균풍속 (m/s)
강원남부	영월	29.4	19.6	82.0	40.3	1.3
	원주	30.3	20.9	79.8	43.2	0.9
강원북부	인제	29.0	19.3	80.7	43.3	1.6
	철원	28.7	19.8	82.7	40.0	1.7
강릉동해안	동해	27.6	20.5	84.1	46.0	1.9
	강릉	29.0	21.4	79.3	42.9	1.9
	속초	27.4	20.5	84.0	48.9	2.1
강원산간	대관령	23.6	16.3	87.9	49.7	3.4
	태백	26.2	17.2	77.4	42.0	1.5
강원중부	춘천	30.2	20.4	83.0	44.8	1.2
	홍천	30.4	20.0	73.6	38.5	0.9
경기남부	이천	30.2	20.7	77.0	41.4	1.2
	수원	30.2	22.3	77.5	42.5	1.9
경기중부	서울	30.1	22.4	77.1	41.2	1.9
경기북부	동두천	29.7	20.3	80.8	40.4	1.7
	문산	28.5	19.4	89.8	44.1	1.8
경기서해안	인천	30.0	22.4	81.0	46.5	2.2
충남남부	금산	30.4	20.3	75.1	41.9	1.1
	부여	31.2	21.6	78.7	44.7	1.3
충남중부	대전	30.6	22.1	79.5	42.1	2.2
	천안	30.4	20.9	76.3	45.1	1.6
충북중부	청주	30.6	22.0	75.1	41.5	2.0
	보은	29.7	19.9	72.5	41.7	1.2
	추풍령	29.6	20.3	80.5	43.0	1.6
충북북부	제천	29.4	19.2	75.1	41.7	1.3
	충주	30.3	20.4	75.7	42.8	1.3
충남서해안	보령	30.1	22.1	80.1	51.9	2.1
	서산	30.1	21.5	82.3	46.0	2.5
전남중부	광주	30.9	22.7	77.9	42.9	2.6
	순천	30.9	21.0	74.6	42.2	0.8
전남서부남해안	목포	30.3	23.1	79.1	45.0	3.5
	진도	26.7	20.0	95.7	59.2	5.6
	완도	29.5	22.7	82.0	52.2	3.4
전남동부남해안	고흥	30.0	21.6	72.3	41.8	1.5
	여수	29.3	23.5	80.6	46.2	4.0
전북중부	전주	31.2	22.6	79.1	42.1	1.7
전북서해안	임실	29.7	19.7	78.9	46.6	1.2
	군산	30.0	22.8	80.9	49.9	3.4
경기북부	안동	30.2	21.0	76.7	37.6	1.4
	대구	31.5	22.8	60.1	38.4	2.5
	영덕	28.6	20.4	79.6	44.6	2.0
경남남부	마산	30.8	23.8	76.9	42.4	2.1
	부산	29.9	23.4	82.0	47.7	4.0
	진주	31.0	22.1	79.9	38.3	1.8
	통영	29.8	23.3	80.8	44.7	2.8
경남서부	합천	31.3	21.0	73.3	37.5	1.2
	거창	29.5	19.9	79.0	37.0	1.0
경북서부	영주	29.8	19.7	76.1	39.9	1.5
	상주	29.3	20.3	86.7	44.3	1.4
	구미	31.2	21.1	74.8	37.0	1.1
	영천	30.9	20.9	73.9	40.3	1.5
제주남부	제주	30.2	24.4	78.1	48.0	3.0
제주북부	서귀포	30.2	24.8	80.7	48.0	3.3

※ 평균 풍속은 mile/hr로 환산하여 HIPERPAV 프로그램에 사용



마지막으로 일반적인 설계 변수로서 포장의 두께는 25cm, 30cm, 35cm로 하여 초기거동에 있어 두께에 따른 영향을 고려하였다. 초기거동에서 HIPERPAV에 의해 예측된 줄눈간격은 표 3과 같다. 표 3에서 25개 권역의 53개 지역이 대부분 28m에서 43m의 결과값을 얻었다. 이러한 결과값은 콘크리트포장 초기거동 예측 프로그램의 국내 적용성 연구에서 시험시공을 통해 줄눈을 설치하지 않은 경우 슬래브내에 무작위 균열이 발생하는 위치가 약 36m 지점으로 관찰되어진다.(김중호, 2002) 그러나 초기거동에서 산정된 과도한 줄눈간격은 큰 줄눈폭의 변화로 인해 포장체의 조기파손의 원인이 된다. 따라서 초기거동에서 고려된 줄눈간격은 줄눈 간격 설계에 있어 임계의 설계 요소가 아니라고 할 수 있다.

표 3. 무작위 균열이 발생하는 최대줄눈간격

권역	지역	두께(cm)			권역	지역	두께(cm)		
		25	30	35			25	30	35
강원남부	영월	31m	35m	39m	충남서해안	서산	29m	32m	36m
	원주	34m	39m	43m		전남중부	광주	29m	33m
강원북부	인제	30m	33m	37m	전남서부		순천	34m	39m
	철원	29m	33m	37m		남해안	목포	28m	31m
강릉동해안	동해	30m	34m	37m	전남동부		진도	26m	30m
	강릉	30m	34m	38m		남해안	완도	28m	32m
	속초	29m	33m	37m	전남서부		고흥	31m	35m
강원산간	대관령	27m	30m	33m		남해안	여수	28m	32m
	태백	29m	33m	37m	전북중부		전주	31m	35m
강원중부	춘천	31m	36m	40m		전북서해안	임실	31m	35m
	홍천	32m	37m	41m	경북북부		군산	28m	32m
경기남부	이천	32m	37m	41m		경북북부	안동	31m	35m
	수원	30m	34m	38m	경남남부		대구	29m	33m
경기중부	서울	30m	35m	39m		경남남부	영덕	29m	33m
	경기북부	동두천	30m	34m	38m		경남남부	마산	30m
경기서해안		문산	29m	33m	37m	경남남부		부산	28m
	충남남부	인천	29m	33m	37m		경남남부	진주	30m
충남남부		금산	32m	36m	40m	경남서부		통영	29m
	충남중부	부여	32m	37m	41m		경남서부	합천	31m
충북중부		대전	30m	34m	38m	경북서부		거창	32m
	충북북부	천안	30m	35m	38m		경북서부	영주	30m
충남서해안		청주	30m	35m	38m	제주남부		상주	31m
	충남북부	보은	31m	36m	39m		제주북부	구미	33m
충남서해안		추풍령	30m	34m	38m	제주북부		영천	30m
	충남북부	제천	31m	35m	39m		제주북부	제주	29m
충남북부		충추	31m	36m	39m	제주북부		서귀포	29m
	충남북부	보령	29m	34m	38m				

3.2 장기거동에서 줄눈간격 산정

줄눈 콘크리트포장의 장기거동에선 환경하중과 교통하중으로 인해 설계시 고려된 줄눈폭의 변화량보다 과도하게 줄눈폭이 벌어질 경우 줄눈채움재의 파손과 골재 맞물림 및 다웰바의 하중전달효율(LTE) 이하로 Spalling, Faulting이 발생되어 포장의 내구성 및 공용성이 떨어지는 원인이 되고 있다. 따라서 본 연구에서는 줄눈간격을 산정하기 위하여 과도한 줄눈폭의 변화에 따른 LTE 저하를 고려하였다. 줄눈 콘크리트포장에서 다웰바의 LTE(Load Transfer Efficiency)는 교통 하중 재하시 옆 슬래브로의 하중 전달율을 의미한다. LTE는 식(1)에 의해 얻을 수 있다. 중차량에 대한 적정 LTE는 75% 또는 그 이상으로 간주하고 있으며,(AASHTO-FHWA, 1995) LTE가 급격하게 감소하는 줄눈폭의 최대 움직임은 0.5in로 제시하고 있다.(AASHTO-FHWA, 1979)



$$LTE = \left(\frac{2 \cdot W_u}{W_u + W_l} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

여기서 LTE : 교통 하중 재하시 옆 슬래브로의 하중 전달율(%)

W_u : 하중이 제하되기 전 슬래브 침하

W_l : 하중에 제하되었을 때 슬래브 침하

본 연구는 86 AASHTO Guide (AASHTO, 1986)등 현재 일반적으로 사용되고 있는 줄눈폭 변화량 산정식을 이용하여 줄눈간격을 산정하여 보았다. 줄눈폭 변화량 산정식은 식 (2)와 같다.

$$\Delta L = C \cdot L (\alpha \cdot \Delta T + S) \quad (2)$$

여기서 ΔL : 줄눈폭 변화량

C : 보조기층과 슬래브 마찰저항에 대한 보정계수

L : 줄눈간격

α : 콘크리트 슬래브 열팽창계수

ΔT : 슬래브내 온도변화

S : 콘크리트 슬래브의 건조수축 계수

위 식(2)에서 C는 안정처리한 보조기층에 대해서 0.65, 입상 재료층에선 0.80로 제시한다. 식(2)는 1977년 Dater등에 의해서 제안 되었는데 4 Section의 제한된 현장데이터를 기초로 C값을 제시하였고, 신뢰성에 많은 의문이 제시 되고 있다. Lee(2000)는 보조기층에서 마찰 저항을 받는 콘크리트 슬래브의 수평변위에 대한 역학적 모델링 결과를 토대로 C값이 입상재료 보조기층, 안정처리된 보조기층 모두 1에 근접하고 있을 보였다. 본 연구에서는 국내 콘크리트 포장의 보조기층이 린층으로 비닐막을 설치하여 마찰저항이 현저히 감소되므로 C값을 1로 사용하였다.(Suh, 2002) 그리고 미국 Long Term Performance Pavement Seasonal Monitoring Program (LTPP SMP)의 구간에 대해 AASHTO Guide에 의한 Maximum joint opening(mm)과 Maximum in situ joint opening(mm)를 비교하여 누적 Joint Opening에 대한 95%에 해당하는 비율에 2.5값을 가지는 신뢰도 개념으로 줄눈폭 변화량 산정식에 접목시켜 L을 산정하였다. (Lee.2001) 그림 2는 LTPP SMP구간에서 Maximum joint opening(mm)과 Maximum in situ joint opening(mm)비의 범위 내 지역을 누적하여 나타낸 그래프이다.

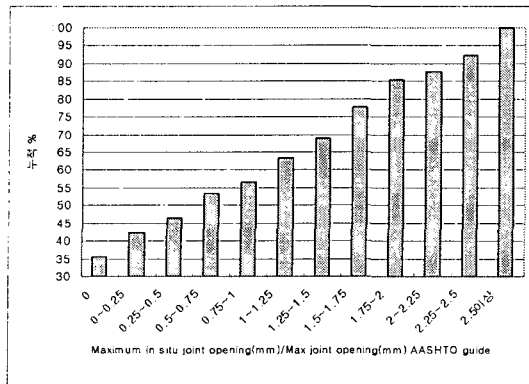


그림 2. Maximum in situ joint opening(mm)과 Max joint opening(mm) AASHTO Guide의 누적 비율



식 (2)에서 ΔL를 0.5in로 놓고 신뢰도 개념으로 2.5배하여 산정된 국내 권역별 줄눈간격 잠정안은 표 4에서 제시된다. 표 4의 줄눈간격 잠정안에서 줄눈간격이 국내 콘크리트포장에 적용되어지고 있는 현행 6m 지역 외에도 7~8m 지역도 확인할 수 있다. 경부고속국도 언양-부산 간 확장공사 제 3공구 내송-구서 간으로 이정 417+280부터 417+960까지 680m 구간의 조사에서도 줄눈간격이 8~9m인 10여개의 슬래브에서 균열이 발생하지 않았다.(홍익대학교 산업기술연구소, 2003)

표 4. 권역별 줄눈간격 잠정안

권역	지역	줄눈간격 (m)	권역	지역	줄눈간격 (m)
강원남부	영월	6	충남서해안	서산	7
	원주			서산	
강원북부	인제	6	전남중부	광주	7
	철원			순천	
강릉동해안	동해	7	전남서부 남해안	목포	8
	강릉			진도	
	속초			완도	
강원산간	대관령	6	전남동부 남해안	고흥	7
	태백			여수	
강원중부	춘천	6	전북중부	전주	6
	홍천			임실	
경기남부	이천	6	전북서해안	군산	7
	수원			안동	
경기중부	서울	7	경북북부	대구	7
	서울			영덕	
경기북부	동두천	6	경남남부	마산	7
	문산			부산	
경기서해안	인천	7		진주	
	인천			통영	
충남남부	금산	6	경남서부	합천	7
	부여			거창	
충남중부	대전	6	경북서부	영주	7
	천안			상주	
충북중부	청주	7		구미	
	보은			영천	
	충풍령		영천		
충북북부	제천	6	제주남부	제주	8
	충주		서귀포		
충북서해안	보령	7			

4. 줄눈간격의 영향 검토

본 연구에서 산정된 줄눈간격이 포장파손에 미치는 영향을 포장거동에 대한 장기 공용성 예측 모델을 통해 검토하였다. 포장거동에 있어 장기 공용성 예측은 Transverse Cracking, Joint Faulting, Spalling, 평탄성 지수(IRI)을 고려하였다. 장기 공용성 예측을 위한 각각의 모델 식들은 표 5에서 볼 수 있다. 그리고 줄눈간격 증가에 따른 장기 공용성 예측 모델들의 결과는 표 6에서 정리 하였다.

표 5. 포장파손 예측 모델식

구분	포장파손 예측 모델식
%CRACKING	$\%CRACKED = \frac{100}{1 + 1.16FD^{-1.3}}$ <p>· %CRACKED=슬래브내 크랙(%) · FD= 피로 파손도</p>
FAULTING	$FAULT = DAMAGE^{0.275} * [0.1741 - 0.0009911 * DAY^S90 + 0.001082 * PRECIP]$ <p>· Fault= 평균 줄눈부 단차, in · BASETYPE= 보조기층 종류(0 if nonstabilized; 1 if ATB, CTB, LCB) · LCB= 린관콘크리트층 (1 if LCB is present, 0 if LCB is not present) · WETDAYS= 연 평균 습윤 일 수. · DAY90= 년 중 최고 32°C(90°F)를 넘는 일 수 · DOWEL= 다웰바 유무 (1 if dowels are present, 0 if dowel are not present) · DAMAGE= n / N n= 실제 단축 하중 회수 (ESAL's) N= 허용 단축 하중 회수 (ESAL's)</p>



%SPALLING	$\%SPALL = AGE^{2*}10^{-6}*JTSPACE*[551.6 - 847.3*(LIQSEAL + PREFSEAL) + (0.936*(DAY90)^3*10^{-3}) + (364*DOWELCOR) + (2.783 - 1.40*LIQSEAL - 2.368*PREFSEAL*LIQSEAL - 2.368*PREFSEAL - 0.676*SILSEAL)*FI]$
	<ul style="list-style-type: none"> · %SPALL= 줄눈부의 중간에서 심각한 스폐링발생 비율, % · AGE= 공용년수 · DOWELCOR= 다웰바의 부식 여부 (assumed to be equal to 0) = 0, if 다웰이 없거나 부식 방지가 될 경우 = 1, if 부식 방지가 되어 있지 않을 경우 · JTSPACE= 평균 줄눈간격, ft · LIQSEAL= 1, if 역상줄눈채움제일 경우, otherwise, 0 · PREFSEAL= 1, if 성형줄눈채움제일 경우; , otherwise, 0 · SILSEAL= 1, if 실리콘 실린트일 경우; otherwise, 0 · FI= 동결지수, °F-days · DAY90= 일년중 일 최고기온이 32°C(90°F)보다 높은 날 수
IRI	$IRI = 105.9 + 159.1*\left(\frac{AGE}{KSTATIC}\right) + 2.167*JTSPACE - 7.127 * THICK + 13.49*EDGESUP$
	<ul style="list-style-type: none"> · IRI= 평탄성 지수, in/mi · AGE= 공용년수. · KSTATIC= 평균 정적 역산 K-value, psi/in · THICK= 슬래브 두께, in · EDGESUP= 길어깨 지지 여부(1=tied PCC shoulder, 0=any other shoulder type).

표 6. 줄눈간격에 따른 공용성 모델의 결과

모델	결과		
	6m	7m	8m
CRACKING	16.4 (%)	21.6 (%)	37.2 (%)
FAULTING	0.035 in	0.036 in	0.038 in
SPALLING	1.6 (%)	1.8(%)	2.2 (%)
IRI	81.0(in/ml)	86.3(in/ml)	92.4(in/ml)

5. 결론

본 연구는 줄눈 콘크리트포장에서 초기거동과 장기거동을 고려하여 적정 줄눈간격 산정에 대해 연구하였다. 연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 초기거동에서 통계처리 되어진 국내 권역별 기후자료를 HIPERPAV에 적용하여 무작위 균열이 발생하지 않도록 예측된 줄눈간격은 28~43m로 큰 값을 보였다. 이러한 결과값은 콘크리트 슬래브에 과도한 줄눈폭 움직임 유발하여 포장체의 조기 파손의 원인 될 수 있다. 초기거동에서 HIPERPAV를 통한 품질관리가 중요하지만, 적정 줄눈간격 설계에선 임계설계변수가 아님을 확인하였다.
- (2) 장기거동에서 86 AASHTO Guide에서 제시한 줄눈폭 변화량 산정식에 신뢰도 개념을 도입하여 산정한 국내 권역별 줄눈간격 잠정안은 6~8m이다. 국내 줄눈간격은 획일적으로 6m로 설계하지만, 본 연구에서 산정한 권역별 줄눈간격 잠정안을 통해 지역별 기후 특색에 적합한 적정 줄눈간격을 산정할 수 있다. 이러한 적정 줄눈간격을 통해 얻을 수 있는 기대효과는 Joint Opening과 Joint Freezing의 영향을 감소시켜 포장의 수명파 공용성의 증진을 가져 올 수 있다. 그리고 적정 하게 줄눈 간격이 늘어날 경우 Joint수/km 가 줄어, 줄눈 시공에 들어가는 공사비용과 포장의 취약 부의 감소로 포장파손으로 인한 보수보강비용의 절감 및 승차감의 향상도 예상된다.



참고문헌

1. 한국도로공사, “도로설계요령”, 2001
2. 윤경구, “줄눈콘크리트 포장의 줄눈손상해석 및 대책 연구”, 한국도로공사, 1998
3. 이승우, “콘크리트 포장의 줄눈의 잠김에 대한 연구”, 한국도로포장공학회지, 2001
4. 건설교통부, “한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구(2차년도 1단계)-콘크리트 포장 설계법 개발”, 2003.10
5. 건설교통부, “한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구(2차년도 1단계)-콘크리트 포장 성능 개선 연구 및 품질관리 기준 정립, 2003.10
6. Seung Woo Lee, Shelley M, Stoffels, “Effects of Excessive Pavement Joint Opening and Freezing on Sealants”, *Journal of Transportation Engineering*, 2003.
7. American Association of State Highway Transportation Officials, “AASHTO Guide for Design of Pavment Structures 1986”, 1986
8. Mr. J, Mauricio Ruiz, “Evaluation of Load Transfer Efficiency for SMP sections in the LTPP database”, TRB, 2003
9. Morian. D. A. and Stoffels S. M., “Evaluation of Rigid Pavement Joint Seal Movement”, Transportation Research Board 78th Annual Meeting, Washington DC., 1999
10. Imad L. Al-Qadi, Saad Abo-Qudais, Ramzi E.Khuri, “Method to Evaluate Rigid-Pavement Joint Sealant Under Cyclic Shear and Constant Horizontal Deflection”, TRB, 1999
11. Yang H. Huang, “Pavement Analysis and Design”, Prentice Hall PTR, 1992
12. Young Chan Suh, Seung Woo Lee, MIn Soo Kang, “Evaluation of Subbase Friction for Typical Korean Concrete Pavement”, Transportation Research Record 1809, 2002
13. 김종호, “콘크리트포장 초기거동 예측프로그램의 국내 적용성 연구”, 한양대학교 대학원, 2002
14. 홍익대학교 산업기술연구소, “콘크리트포장 확장부의 현장조사 및 계측”, 2003
15. “Joint-Related Distress In PCC Pavement Cause, Prevention And Rehabilitation”, TRB,1979
16. JOHN W. BUGLER, “Design, Construction, and Maintenance of PCC Pavement Joint”, TRB, 1995
17. Federal Highway Administration, “Improved Prediction Models for PCC Pavement Performance-Related Specifications”, Volume I :Final Report, 2000