

시험도로 줄눈콘크리트포장 줄눈폭 움직임에 대한 계측 및 분석

Measure and Analysis about Joint Movement of Jointed Plain Concrete pavement in Korea Test Road

이승우* · 최정근**

Lee, Seung Woo · Choi, Jeong Keun

1. 서론

우리나라에서 1981년에 처음으로 부산-마산간의 남해고속도로 일부구간이 콘크리트로 포장되었고, 1984년에는 173.5km의 88고속도로가 전구간 전단면으로 콘크리트로 포장된 이후 콘크리트포장의 비중은 점차 커지고 있다. 콘크리트포장은 아스팔트포장과는 달리 중하중에 잘 견뎌내어 설계 수명이 길고 유지관리비가 적게 든다는 장점이 있는 반면 파손 발생시 유지보수가 어렵고 공사가 커지는 단점을 가지고 있다. 우리나라 대부분의 콘크리트포장에서 쓰이고 있는 JCP(Jointed Concrete Pavements)의 경우 포장 단면 뿐 아니라 줄눈부 설계가 포장 공용성에 지대한 영향을 미치며 부적절한 줄눈폭 설계는 줄눈부 스포링(Spalling), 단차(Faulting), 줄눈채움재 손상, 포장슬래브내의 균열 등의 조기 파손을 초래할 수 있다. 본 연구에서는 시험도로 줄눈콘크리트포장의 변수로 쓰인 하부지반 종류와 슬래브 두께에 따른 줄눈폭 움직임을 계측, 분석하여 포장 파손에 가장 큰 영향을 미치는 요인들을 찾아보고자 한다.

2. 줄눈폭 변화와 콘크리트포장 조기파손의 상관성

줄눈콘크리트포장의 줄눈부는 온도와 습도의 영향으로 인해 수축, 팽창한다. 온도가 낮아지거나 습도가 감소하면 콘크리트 슬래브가 수축하여 줄눈폭은 팽창하고, 온도가 높아지거나 습도가 증가하면 반대의 현상이 일어난다. 이와 같은 줄눈폭을 설계함에 있어 고려할 두 가지 사항은 그림 1.에 나타난 다웰바(Dowel bar)와 줄눈채움재(Sealant)이다. 다웰바는 인접한 슬래브 간에 하중을 전달하는 역할을 하고, 줄눈채움재는 이물질이 줄눈부에 끼이거나 우수 침투를 막아주는 역할을 한다. 만약 줄눈폭이 과도하게 벌어질 경우 다웰바가 하중 전달을 제대로 하지 못하게 되어 그림 2.와 같이 인접한 슬래브의 높이 차이가 생기는 단차가 발생할 수 있다. 줄눈커팅부에 생기는 유도 균열내부의 골재 맞물림 작용에 의하여 하중 전달이 되기도 하지만 이 또한 줄눈폭 벌어짐이 과도하게 발생할 경우 제 역할을 할 수 없게 된다. 줄눈채움재 또한 줄눈부의 거동에 크게 영향을 받는데 줄눈폭이 허용 신장량 이상으로 팽창할 경우 접착면과의 점착력이 상실되어 떨어지거나 줄눈채움재 자체의 파손으로 이어진다. 줄눈부가 과도하게 수축할 경우 줄눈채움재 압출파괴를 유발하며 또한 팽창시 침투했던 비압축성 물체에 의해 슬래브에 응력이 집중하여 줄눈부가 파손되는 스포링 현상이 발생한다. 콘크리트포장은 아스팔트포장에 비하여 중하중에 견딜 수 있는 장점에도 불구하고 이와 같이 조기에 발생하는 파손들에 의해 쉽게 공용성을 잃기도 한다.

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

** 정회원 · 강릉대학교 토목공학과 석사과정 · 033-640-2419(E-mail:nosmoker09@nate.com)

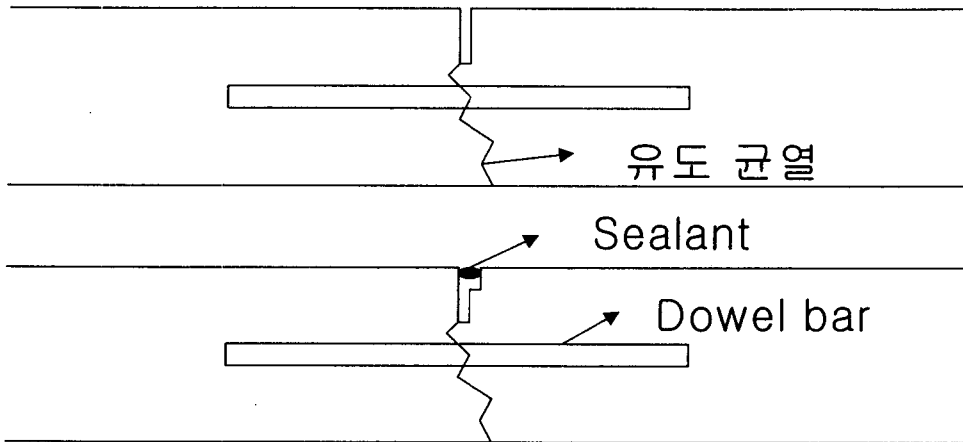


그림 1. 줄눈부 모식도

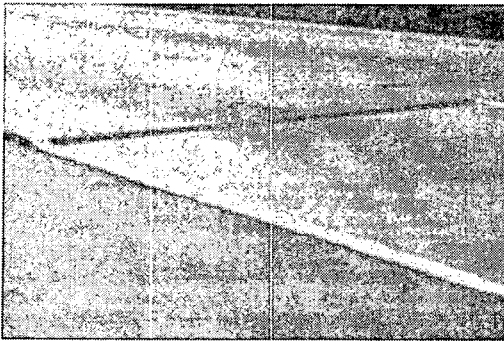


그림 2. 단차

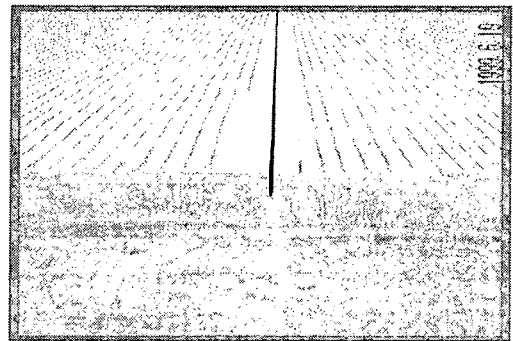


그림 3. 줄눈 잠김

3. 줄눈폭 변화의 형태

3.1 조인트 잠김(Joint Freezing)

줄눈 잠김(Joint Freezing)은 그림 1.과 같이 유도균열을 위해 시공한 줄눈컷팅부의 줄눈에 유도균열이 발생하지 않는 현상을 말하며 실제적인 형상은 그림 3.과 같다. 이와 같은 줄눈의 움직임을 측정해보면 포장의 온도 변화에 대한 줄눈폭 변위가 아주 미비하거나 움직임이 없다. 줄눈 잠김의 발생은 인접한 슬래브에서 Mid slab Cracking이 발생하기도 하는데, 줄눈 잠김에 의해 슬래브 길이가 길어져 온도 및 습도 변화에 따른 부피 팽창 수축량도 커지게 되고, 그로인해 인접한 슬래브에서는 줄눈폭이 과도하게 벌어지게 된다. 그러면 하중 전달 능력과 줄눈채움재 신장량을 초과하는 줄눈폭 변위가 발생하게 되고 초기부터 줄눈부의 심각한 파손을 초래하게 된다.

3.2 줄눈 닫힘(Joint closure)

줄눈 닫힘(Joint closure)은 특정 온도까지는 줄눈 변위와 포장온도가 선형적으로 거동하다가 특정 온도가 되면 온도가 증가하여도 줄눈폭 변위가 더 이상 일어나지 않는 현상을 말한다. 여기서 특정온도는 T_c (Joint-closure temperature)라 부른다. 줄눈 닫힘의 원인으로는 두 가지를 고려할 수 있는데, 하나는 그림 4.와 같이 온도가 상승함에 따라 슬래브가 팽창하고 줄눈폭이 점점 좁아지다가 특정 온도가 되면 슬래브가 붙어서 더 이상 팽창하지 못하는 경우이고, 그림 5.는 줄눈에 비압축성 물체가 침투하여 발생한 경우이다. 두 번째 경우라면 스펀링이 우려되기도 하고, 슬래브 솟음(Blowup)에 대한 가능성도 있다.

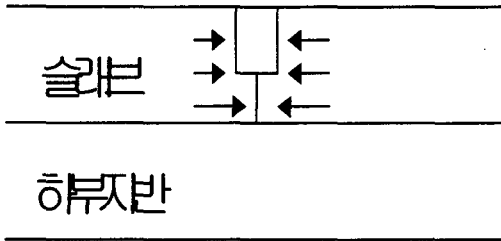


그림 4. 줄눈 단합

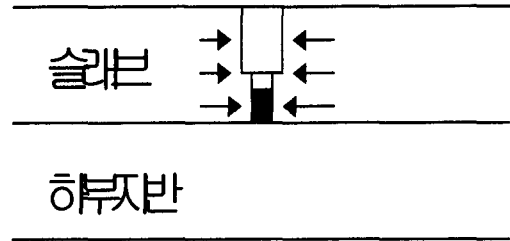


그림 5. 비압축성 물체에 의한 줄눈 단합

4. 분석대상구간 선정

시험도로에 본 연구 구간이 포함되어 있는 콘크리트포장 단면 배치는 그림 6.과 같다. 콘크리트 포장은 2개 형식의 25개 단면(줄눈콘크리트포장 22개 단면, 철근콘크리트포장 3개 단면)으로 구성되어 있다. 슬래브 두께, 보조기층 두께, 보조기층 재료가 콘크리트포장 단면 설계에 사용된 기본 변수이고, 강섬유 보강콘크리트를 사용한 단면 등 기능성 포장단면이 추가되어 있다. 본 연구에서 채택한 하부지반 재료로는 린(Lean)층, 쇄석층, BB3층으로 구분이 되어있으며, 하부지반 재료마다 25cm, 30cm, 35cm의 각각 다른 슬래브 두께를 보이는 구간에서 측정을 실시하였다. 또한 실린트 구간과 언실린트(Unsealant) 구간 비교를 위해서 두 구간의 언실린트 구간을 선정하였다. 그리고 디멕 게이지(Demec Gauge)로 줄눈 벌어짐을 측정함에 있어 오차를 줄이고 정확한 측정값을 얻기 위해 동일한 조건마다 10개의 줄눈을 표본으로 삼았고 표본으로 삼은 모든 줄눈에 디멕 게이지를 설치하였다.

콘크리트포장 단면 배치

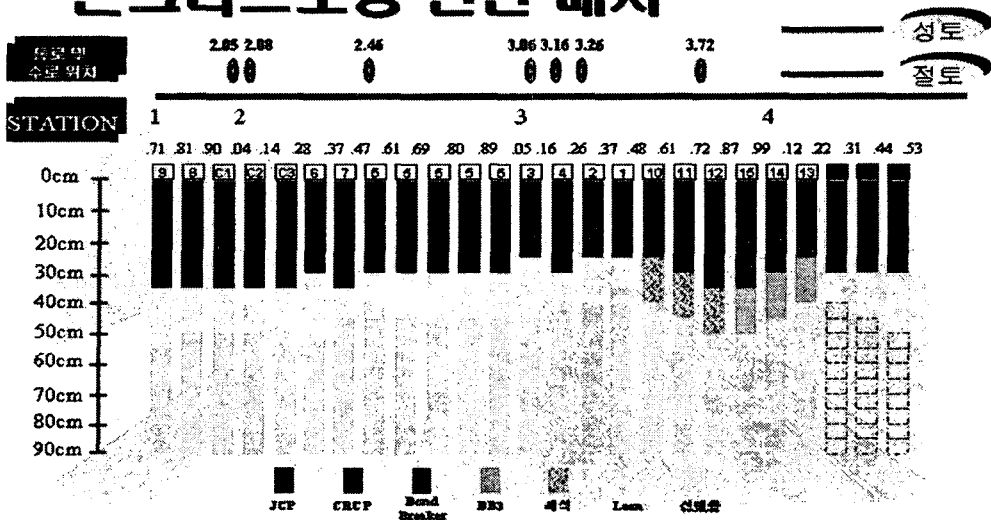


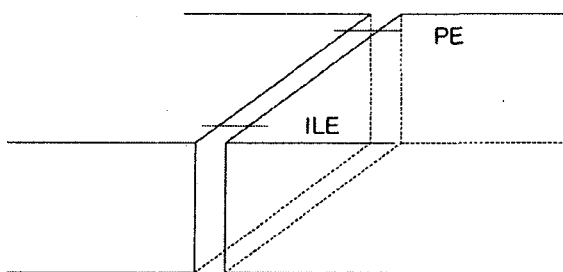
그림 6. 시험도로 콘크리트포장 단면 배치

표 1. 시험도로 줄눈 벌어짐 측정 구간

SECTION	두께	하부지반 재료	실린트 유무	줄눈 갯수	비고
J1	25cm	lean	O	10개	
J5-1	30cm	lean	O	10개	
J9-J8	35cm	lean	O	10개	
J10	25cm	쇄석	O	10개	
J10-J11	30cm	쇄석	X	10개	4개 중복
J11	30cm	쇄석	O	10개	
J12	35cm	쇄석	O	11개	
J13	25cm	BB3	O	10개	
J14	30cm	BB3	O	10개	
J15	35cm	BB3	O	10개	
J6	30cm	lean	X	6개	
합계				103개	

5. 측정 방법 및 데이터 분석 기준

시험도로 자체에 매설되어 있는 계측기가 있음에도 불구하고 디멕 게이지를 설치하는 이유는 실제 줄눈 파손에 많은 영향을 미치는 것은 포장 표면의 줄눈 거동이나 현재 시험도로에 설치되어 있는 계측기는 포장 표면에서 5cm 아래에 설치가 되어 있고 설치된 포장 구간도 린층으로 제한적이어서 줄눈 벌어짐 크기에 대한 신뢰성 해석을 위한 데이터로서 부족하고 표면 줄눈 거동과 상이 할 수 있어서 그림 7.과 같이 측정하고자 하는 줄눈부의 중앙선 부근과 길 어깨 쪽에 각각 하나씩 디멕 포인트를 설치하였다. 데이터 측정은 디멕 포인트 설치 후인 5월, 8월, 1월에 총 16번에 걸쳐 시행되었다. 측정 시간은 슬래브 온도변화를 고려해 약 3시간 주기로 측정하였다. 각각의 측정기간 사이에 시험도로의 교통이 개방되었음에도 불구하고 디멕 포인트가 전혀 손상이 없었으므로 각각의 데이터를 연계하여 사용하였다.



PE : Pavement Edge
ILE : Inner Line Edge

그림 7. 디멕 게이지 설치 위치

5.1 측정된 줄눈폭 변화 형태

시험도로의 온도 변화에 따른 줄눈폭 거동 양상은 4가지의 형태로 나타났다. 그림 8.의 경우와 같이 온도 변화에 따라 줄눈폭이 선형으로 감소하는 경우와 그림 9.과 같이 선형으로 감소하다가 특정온도부터 온도가 상승함에도 일정한 줄눈폭을 보이는 줄눈 잠김의 경우와 그림 10.과 같이 온도변화에 대해 줄눈폭 변화가 없는 줄눈 닫힘 현상과 그림 11.과 같이 온도변화에 따른 줄눈폭 변화가 아무런 상관관계 없이 나타나는 형태로 나타났다. 그림 8. 9. 10. 의 경우 여러 줄눈에서 이런 양상을 보였는데 그림 11.과 같은 경우는 J6 V11 줄눈부 한 곳에서만 관측이 되었다.

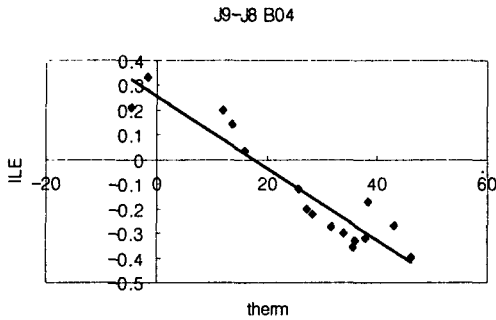


그림 8. 줄눈폭과 포장온도가 선형으로 변하는 경우

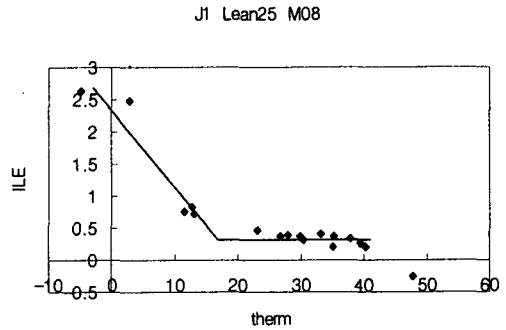


그림 9. 줄눈 단힘

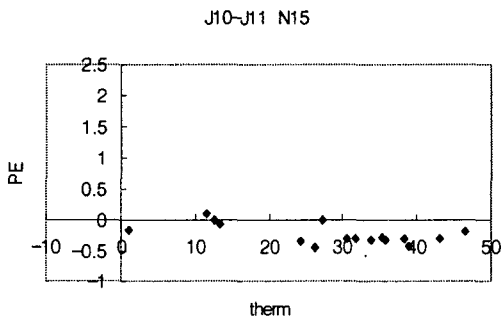


그림 10. 줄눈 잠김

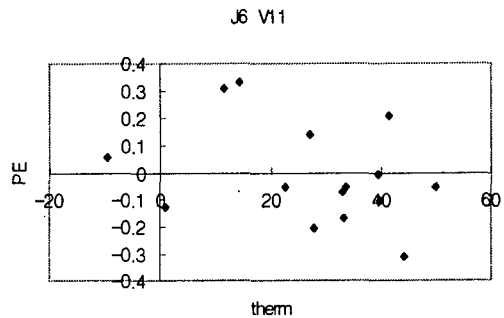


그림 11. 줄눈폭과 포장온도가 상관성이 없는 경우

5.2 ER(Effective Ratio)

포장온도 1℃ 변화에 따른 줄눈 벌어짐을 ER로 정의하였다.(단위 mm/℃) 즉, 포장온도 1℃상승 시 줄눈 폭이 1mm 작아졌다면 ER= 1mm/℃이다. ER을 산출하는 이유는 실험기간동안 측정하는 줄눈폭의 변화는 제한된 온도범위이고 각 줄눈별 최대폭을 직접 측정할 수 없기 때문에 단위온도변화 별 줄눈폭 변화로 산정하였다. 각 해당 Joint의 계측값들을 Plot 한 후 통계 프로그램을 이용하여 온도 변화에 따른 줄눈 움직임(Joint Movement)의 변화 양상을 그래프로 나타내었다. 해당 그래프의 기울기가 ER 값을 나타내며 이는 포장온도 1℃ 변화에 따른 줄눈폭의 움직임(mm)을 나타낸다.

온도변화에 따른 줄눈 움직임이 선형일 때는 측정된 모든 값이 해당 줄눈의 ER값에 영향을 주지만 줄눈 단힘이 발생한 경우 포장 온도 변화에 따른 줄눈폭 변화를 실제 보다 작게 산정하게 되어 줄눈폭 예측치가 과소평가 될 수 있다. 그림 9.에서 줄눈단힘 현상을 확인할 수 있는데 이럴 경우 줄눈단힘이 일어나기 시작한 온도보다 높은 온도의 데이터는 제외시킨 후 ER 값을 산정한다. 줄눈잠김이 발생 할 경우는 줄눈부에 균열이 발생하지 않거나 다웰바 구속(Dowel bar locking)으로 줄눈폭 변화가 억제된 경우에 나타난다. 이러한 경우는 포장온도 변화에 따른 줄눈폭 변화가 없기 때문에 ER은 0이 된다. 각 줄눈에 해당하는 데이터 중 기댓값에 많이 어긋나는 데이터는 자료수의 10% 이내에서 제거한 후 ER 값을 산정하였다.

6. 측정결과 및 분석

현재 도로설계에 사용되고 있는 줄눈 벌어짐 예측식인 AASHTO 예측식은 하부 지반에 따라 줄눈 벌어짐 크기가 차이가 날 것이라고 제시하고 있다. 그러나 본 연구의 시험도로 줄눈폭 계측 결과에 의하면 쇠석, BB3기층보다는 린기층의 줄눈폭이 다소 적게 나타나긴 했지만 뚜렷한 경향은 보이지 않았고 포장두께별, Sealed and Unsealed의 줄눈폭 역시 뚜렷한 경향이 나타나지 않았다.

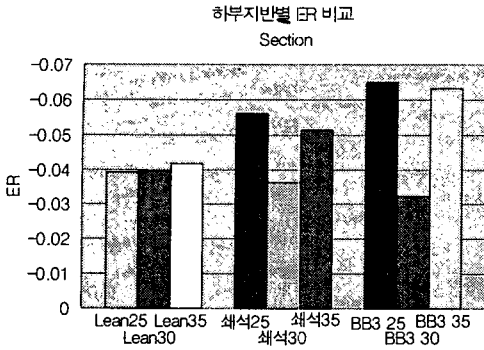


그림 12. 하부지반별 ER 비교

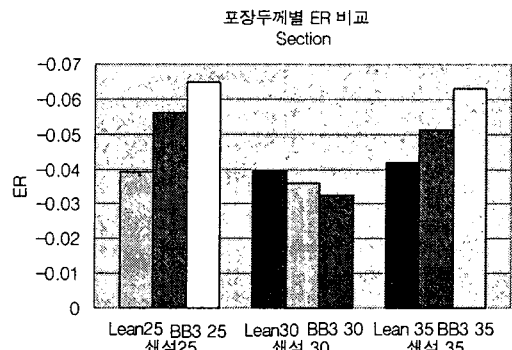


그림 13. 포장두께별 ER 비교

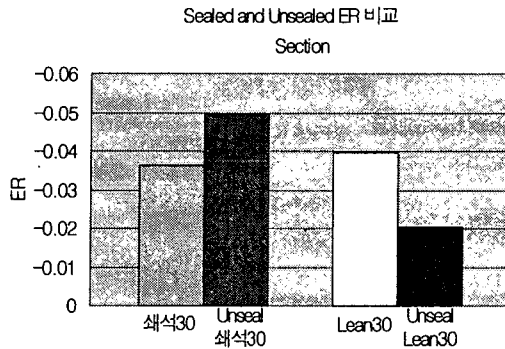


그림 14. Sealed Vs Unsealed 비교

각 구간별 줄눈 단합과 줄눈 잠김의 발생 비율은 표 2와 같다. 각 구간에서의 ILE, PE를 합한 갯수에 대한 줄눈 단합과 줄눈 잠김의 발생 횟수의 비로 나타내었다. 줄눈 단합의 경우 전체 209개의 계측점 중 70개인 33.5%의 줄눈부에서 줄눈 잠김이 관측되었는데 전체 구간에서 고루 나타남을 알 수 있다. 줄눈 잠김의 경우 6개인 2.9%의 발생 비율을 보였고 그 중 세 곳은 하부기층이 BB3인 줄눈에서 관측되었고 나머지 세 곳은 런기층(Unsealed 구간 두 곳)인 줄눈에서 관측되었다. 그림 12와 같은 온도변화에 따른 줄눈폭 움직임의 상관성이 없는 결과를 보인 곳은 J6 V11 줄눈 한 곳에서 관측 되었다.

표 2. 구간별 줄눈 단합과 줄눈 잠김의 발생 비율

	Lean25	Lean30	Lean35	쇠석25	쇠석30	쇠석35	BB3 25	BB3 30	BB3 35	Unsealed 쇠석30	Unsealed Lean30
J · C(%)	20/6(30)	20/6(30)	19/7(36.7)	19/7(36.7)	18/6(33.3)	22/10(45.5)	19/8(42.1)	20/8(40)	20/6(30)	20/4(20)	12/2(16.7)
J · F(%)	20/1(5)						19/1(5.3)	20/2(10)			12/2(16.7)

그림 15, 16, 17, 18은 하부지반별로 줄눈위치에 따른 ER값의 변화를 나타낸 것이다. 특징을 살펴보면 Unsealed 구간을 제외한 모든 곳에서 한 슬래브에 이웃해 있는 두 줄눈 중 한 곳만 줄눈폭이 크게 움직인다는 것을 알 수 있다. 이는 슬래브가 거동함에 있어 슬래브 중심을 기준으로 양쪽이 동시에 거동하는 것이 아니라 특정한 줄눈 방향으로만 거동한다는 사실을 알 수 있다. 이는 두 곳의 줄눈으로 줄눈 움직임이 분산되지 않고 한 곳에서 집중적으로 일어나 줄눈 파손을 쉽게 유발하게 될 것이다.



Lean 구간의 ER값 비교

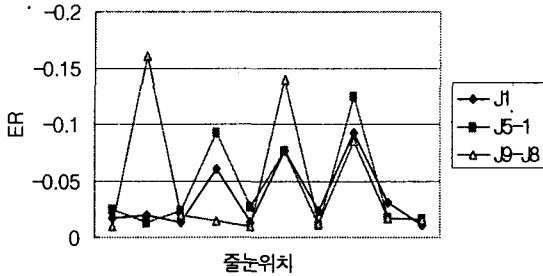


그림 15. Lean층 구간의 ER 값 비교

쇄석층 ER값 비교

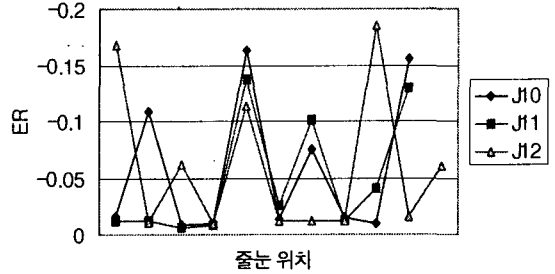


그림 16. 쇄석층 구간의 ER 값 비교

BB3기층의 ER값 비교

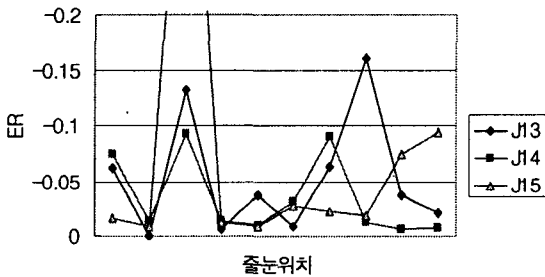


그림 17. BB3층 구간의 ER 값 비교

Unsealed구간 ER값 비교

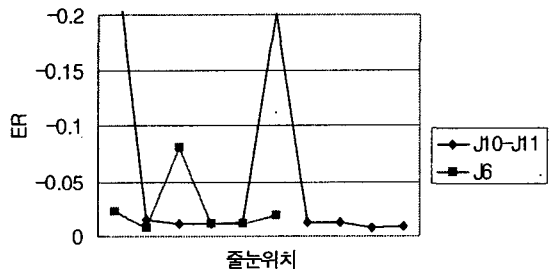


그림 18. Unsealed 구간의 ER 값 비교

7. 결론

지금까지 시험도로 줄눈콘크리트포장의 하부지반별, 슬래브 두께별로 줄눈폭 움직임에 대하여 알아보았다. 린기층, 쇄석기층, BB3기층과 25cm, 30cm, 35cm의 슬래브 두께의 조합으로 시공된 JCP의 줄눈폭을 계측, 분석 해본 결과 하부기층, 슬래브 두께에 상관없이 슬래브 거동이 일어나며 30%이상의 줄눈에서 줄눈 닫힘현상이 발생하고 2.9%의 줄눈 잠김현상이 발생함을 관측하였다. 또한 슬래브 거동이 슬래브 중심을 기준으로 양쪽으로 분산되어 이동하는 것이 아니고 특정한 줄눈을 기준으로 한 방향으로 집중되어 일어난다는 것을 계측에 의해 확인 하였다. 차후 더 많은 계측 데이터와 시험도로 하에 자체 매설된 크랙 게이지(Crack Gauge) 데이터를 이용한 연구가 필요할 것으로 보여진다.

참고문헌

1. 윤경구, Evaluation of Early joint Movement of JPCP at Field, ICPT, 2002
2. 이승우, LTPP SMP 줄눈 콘크리트포장에서의 줄눈 파손 영향인자 분석, 대한토목학회지, 2001
3. 이승우, Shelley M. Stoffels, Effects of Excessive Pavement Joint Opening and Freezing on Sealant, ASCE, 2003



4. 이승우, Shelley M. Stoffels, Analysis of in Situ Horizontal Joint Movement in Rigid Pavement, TRB, 2001
5. AASHTO, AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1986
6. 서영찬, Evaluation of Subbase Friction for Typical Korean Concrete Pavement, TRB, 2002