

콘크리트 포장 품질 모니터링 시스템 구축을 위한 선행 연구

Preliminary Study of Implementing Construction Monitoring System in the Concrete Pavement QC/QA

윤영미* · 김형배** · 안성순*** · 서영찬****

Yoon, Young Mi · Kim, Hyung Bae · Ahn, Sung Sun · Suh, Young Chan

1. 서론

콘크리트 포장은 시공초기의 품질관리 수준에 따라 전체수명이 결정될 정도로 시공초기의 품질관리가 매우 중요하다. 이러한 초기 품질관리는 시공자 및 관리자의 노력도 중요하지만 품질관리 정도를 정량적으로 평가하는 수단의 마련이 선행되어야 시공자와 관리자도 이 기준에 맞춰 이에 대응되는 노력을 기울일 수 있을 것이다. 많은 경우에 초기균열이 발생하더라도 그 원인이 무엇인지에 대한 합리적인 분석이 뒤따르지 않고, 대부분 몇몇 기술자의 직관적인 추측만으로 문제를 정의하고 대책을 강구하는 경우가 많아왔다. 그 결과 동일 현장에서 비슷한 문제가 되풀이 될 수도 있으며 설사 해당현장에서는 문제가 해결되었다 하더라도 다른 현장에서는 같은 문제가 또 발생될 수 있다.

초기균열 원인의 체계적인 분석은 문제현장의 시공당일의 온도, 습도, 바람 등 기후조건에 의해 크게 좌우되는데, 실제로 현장에서 이러한 자료를 수집하고 있지 않기 때문에 문제구간의 원인파악에 한계를 가지고 있다. 한편으로는 실제로 문제가 일어날 약간의 개연성에 대비하여 번거롭게 매일의 자료를 수집하도록 하는 것도 현실적으로 공사 진행에 방해를 줄 수도 있으며 별도의 업무를 시공사에 부과시키는 결과를 가져오게 된다.

이러한 불편을 줄이기 위해 시공일 마다 별도의 번거로운 기후 자료수집을 요구하지 않고 초기균열 발생 시 해당구간의 기후자료 수집이 용이하도록 하기 위해 매 시공일마다 시공일자를 시공시작구간에 시공일자 표시 및 슬래브 수직온도를 측정할 수 있는 온도계를 매설한다면 향후 문제구간에 대한 보다 과학적인 원인 분석이 이루어 질 수 있을 것이다(그림 1).

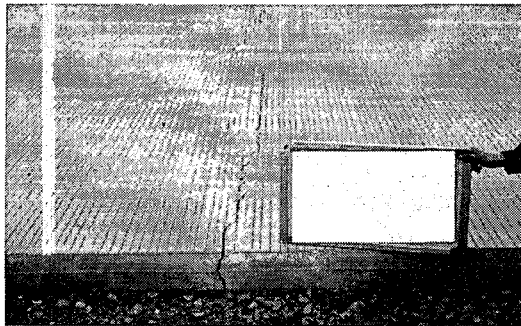


그림 1. 초기품질관리 부재로 인한 무작위 균열에

* 정회원 · 한양대학교 교통공학과 석사과정 · 공학박사 · 031-419-0552(E-mail: transaromi@hanmail.net)
** 정회원 · 도로교통기술원 책임연구원 · 공학박사 · 031-371-3437(E-mail: kimhyun3@freeway.co.kr)
*** 정회원 · 도로교통기술원 원장 · 공학석사 · 031-371-3200(E-mail: SSA@freeway.co.kr)
**** 정회원 · 한양대학교 교통공학과 교수 · 공학박사 · 031-400-5155(E-mail: suhyc@hanyang.ac.kr)



그림 2와 3은 기상청에서 제공하는 지역별 날씨자료이다. 이처럼 시공일을 알면 그날의 최고기온, 최저기온, 일일 강수량 등을 알 수는 있지만 일시적인 기상변화와 현장 시공조건변화를 알기에는 한계가 많다. 또한 이는 콘크리트 슬래브의 온도가 아닌 대기온도로 콘크리트 내부에 일어나는 변화를 알 수 없으므로 향후 문제 발생 시 그 원인을 분석하는데 많은 한계가 있다.

이런 문제점을 해결하기 위해 현장 콘크리트 포장 품질 모니터링 시스템을 구축하고자 2004년 대구-포항 고속도로 신설구간(그림 4) 전 노선에 대해 한 여름철로 대기 온도가 높은 7~8월 시공분에 한하여 현장 모니터링을 실시하여 본 연구를 검증하고자 하였다.

2004년 7월 대구

날짜	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
최고	27.3	25.6	23.7	23.7	24.4	25.7	24.4	24.4	25.9	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	
최저	21.2	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	
평균	23.7	23.0	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	23.7	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	
분량	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	
강수량	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

* 단위 : 기온(℃), 강수량(mm), 직설량(cm), 분량 -> 알량(0~2), 구름조도(0~5), 구름량(0~7), 흐림(%)
 * 분량은 0.0, 10.0으로 표현되며 강수량과 관계가 없는 구름의 양입니다.

2004년 7월 포항

날짜	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
최고	27.0	25.9	23.7	23.7	24.4	25.7	24.4	24.4	25.9	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	
최저	21.0	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	
평균	23.0	23.0	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	23.7	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	
분량	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	
강수량	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

* 단위 : 기온(℃), 강수량(mm), 직설량(cm), 분량 -> 알량(0~2), 구름조도(0~5), 구름량(0~7), 흐림(%)
 * 분량은 0.0, 10.0으로 표현되며 강수량과 관계가 없는 구름의 양입니다.

그림 2. 2004년 7월 대구지역 날씨

그림 3. 2004년 7월 포항지역 날씨

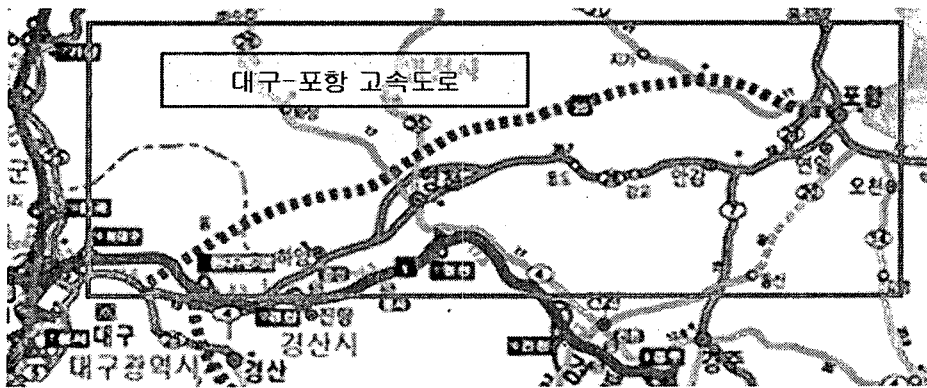


그림 4. 대구-포항 고속도로 신설구간

2. 장기계측이 가능한 콘크리트 온도 측정기 매설

시공 초기의 기초자료 수집의 불편을 줄이기 위해 그림 5처럼 매 시공일마다 슬래브 수직온도를 계측할 수 있는 온도계를 초기 시공구간에 매설한다면 향후 문제구간에 대한 보다 과학적인 원인분석이 이루어 질 수 있을 것이다.

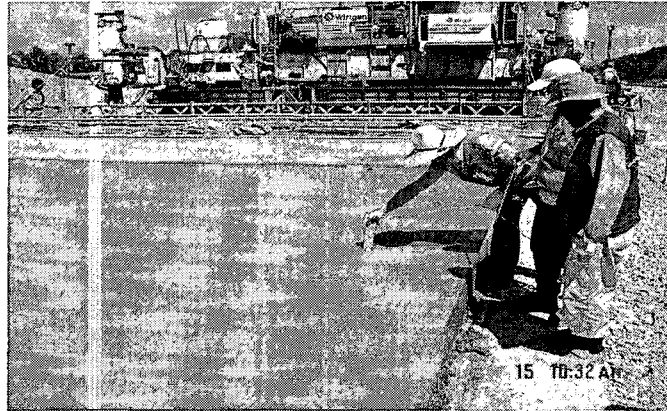


그림 5. 시공초기 i-button 매설 장면

한 예로 그림 6은 시공초기 온도계를 매설한 시점(7월30)부터의 약 25일간의 콘크리트 상부(표면 아래 3cm) 온도 변화 패턴을 나타내고 있다. 시공 당일 최고기온이 36.5도까지 올라갔으며 이로 인해 시공초기 수화열의 급격히 온도 증가를 보이고 있으며 일몰 후에는 온도가 내려가는 것을 확인할 수가 있다. 만약 이 구간에 무작위 균열이 발생하였다면 온도 분석을 통해 강도(적산온도) 및 응력(응력-온도모형)등을 통해 정량적인 원인 분석을 할 수 있는 자료로 활용될 수 있다. 또한 특정일의 대기온도도 간접적으로 추론 할 수 있는데 8월 21~23일은 실제로 이 지역에 많은 비가 내려 슬래브의 온도가 상대적으로 낮음을 확인할 수 있다.

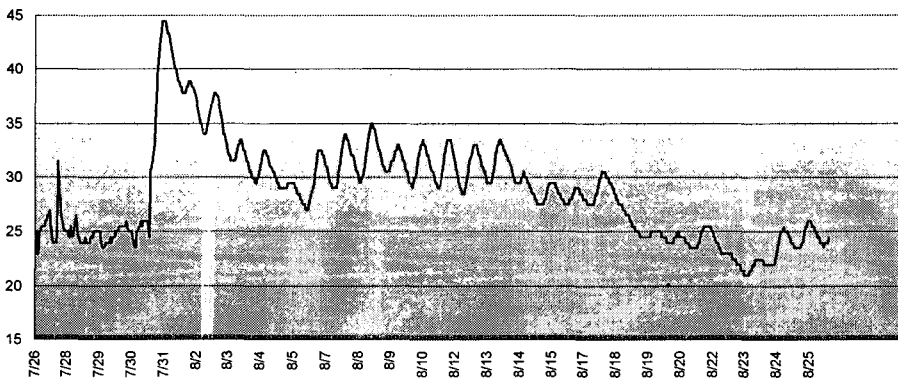


그림 6. i-button에 의한 장기간 콘크리트 온도 변화 그래프(콘크리트 상부)

또 다른 예로 그림 7과 8은 시공직후 비가 온 구간의 온도변화 패턴과 비가오지 않은 구간의 온도변화 패턴을 잘 나타내주고 있으며 시공당일의 기후조건은 표1과 같다. 그림 7은 시공직후 비가 온 구간의 온도변화 패턴을 나타내고 있는데 이런 경우 수화 반응 후 우천으로 인해 콘크리트 내부의 온도변화가 크지 않지만 그림 8과 같이 시공 후 비가 오지 않은 구간은 온도변화폭인 상당히 큰 것으로 나타나 기후변화에 따른 콘크리트 내부 온도변화를 잘 나타내주고 있다. 이처럼 포설 후 장마철 양생에 의해 포장의 수화반응이 달라지고 같은 공구임에도 불구하고 시공시기에 따라 양생패턴이 달라지는 것을 알 수 있다.

표 1. 시공당일 기후조건

	최고기온(℃)	최저기온(℃)	평균기온(℃)	운량	강수량(mm)
7월 10일	31.6	22.2	25.5	구름 조금(5.0)	0.1
7월 20일	34.0	26.6	29.9	구름 조금(4.6)	-

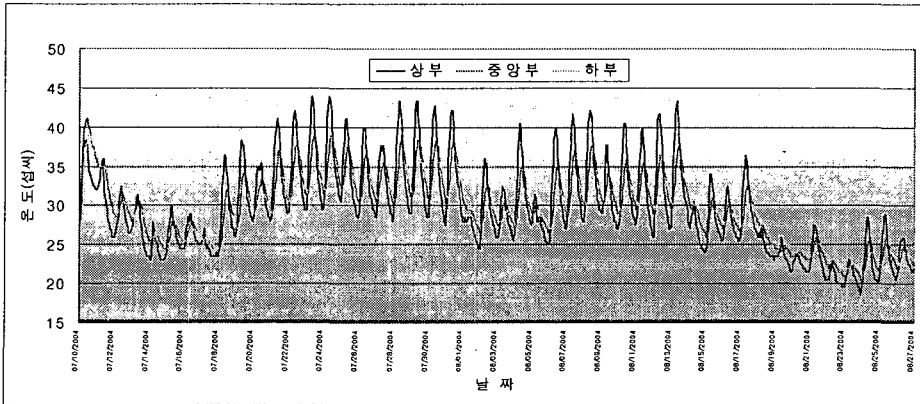


그림 7. 2004년 7월 10일 시공부 온도변화(시공직후 비가 온 구간)

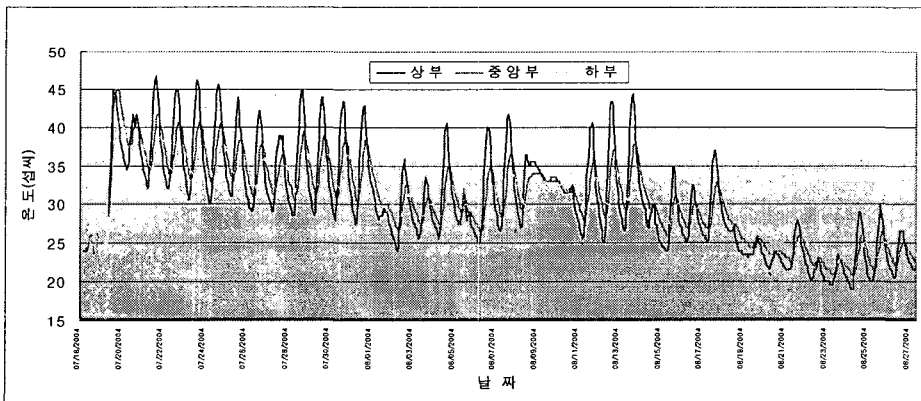


그림 8. 2004년 7월 20일 시공부 온도변화(시공직후 비가 오지 않은 구간)

그림 9와 그림 10은 대기온도차는 거의 없지만 초기 포설온도 즉 fresh 콘크리트의 온도가 수화반응에 영향을 주어 온도변화패턴이 달라지는 경우를 보여주고 있다. 그림 9는 2004년 8월 6일에 대구부근의 시공부의 온도변화 패턴을 나타내고 있으며 그림 10은 같은 날 포항부근 시공부의 온도변화 패턴을 나타내고 있으며 시공당일의 기후조건은 표2와 같다. 그림에서 보여지듯이 같은 날 시공부임에도 수화반응이 5~7℃ 정도 차이가 나며 그 이후 온도변화폭도 다른 양상을 띠고 있다. 이러한 현상으로 부터 현장의 환경조건 뿐만 fresh 콘크리트 온도의 차이와 같은 시공조건에 의하여 콘크리트 포장 품질의 변화가 발생할 수 있음을 알 수 있다. 이와 같이 단순한 대기온도 데이터만으로는 알 수 없으나, I-button에 의한 슬래브 내부의 수화반응 온도 데이터를 통해 추후 무작위 균열 발생시 정량적인 원인 분석이 이루어질 수 있을 것이다.

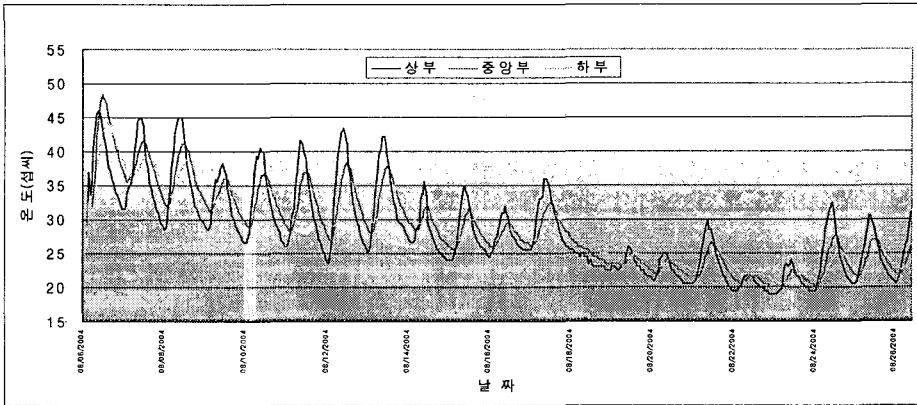


그림 9. 2004년 8월 6일 시공부 온도변화(대구부근)

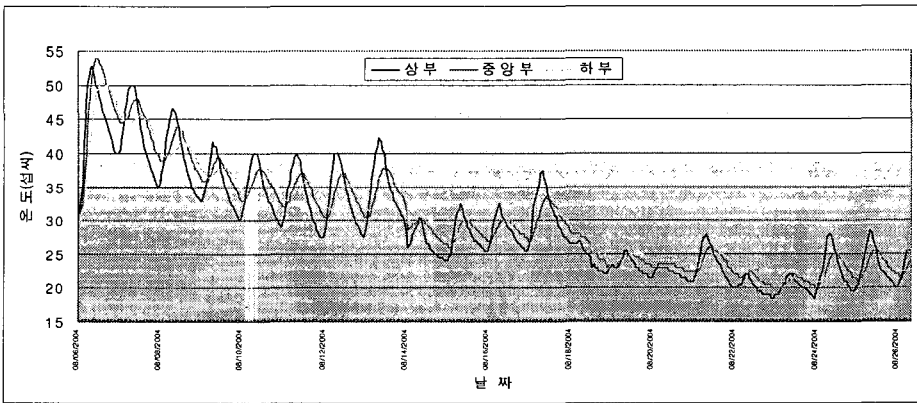


그림 10. 2004년 8월 6일 시공부 온도변화(포항부근)

표 2. 지역별 시공당일 기후조건

	최고기온(°C)	최저기온(°C)	평균기온(°C)	운량	강수량(mm)
8월 6일(대구부근)	34.3	24.0	28.4	구름조금(2.6)	-
8월 6일(포항부근)	33.3	25.3	28.7	구름조금(4.1)	-

이처럼 온도 자료를 이용하여 콘크리트포장의 거동을 유추할 수 있으며 균열이 발생한 시점과 온도 자료 및 시공자료(배합비, 골재 등)의 자료가 축적 된다면 향상된 품질의 콘크리트포장을 건설할 수 있을 것이다. 추후 i-button에 의한 습도계측방법이 실용화 되면 보다 정확한 거동분석이 가능한 자료가 수집될 수 있을 것이다.

현재 대구-포항고속도로 6개 공구에 23개의 i-button이 매설되어 2시간 단위로 온도를 수집하고 있으며 약 10년 동안의 온도 계측이 가능하다. 향후 온도 자료 및 포장 결함과 연계하여 분석한다면 현재의 추론에 의한 원인 분석보다 보다 과학적인 원인 분석이 이루어 질수 있을 것이다. 또한 장기 계측이 가능하므로 개통 후에도 포장의 공용성 분석에 자료로 활용될 수 있을 것이다.

3. 현장 시공일자 표식방안

기존에 건설된 콘크리트 포장의 특정구간에 문제가 발생한 곳이 있다면 그곳이 언제, 어떤 재료, 시공방향, 시공사 등 품질과 관련된 자료를 획득하기란 무척이나 번거로운 일이며 최악의 경우에는 이러한 자료들을 획득할 수 없다. 이는 모든 자료의 근간이 되는 시공 일시가 명확하지 않기 때문에 발생하는 문제로써 그림 11과 같이 현장 초기 시공구간에 시공일자 및 시공사(협력사)를 콘크리트 포장 표면에 음각으로 표식 한다면 이 구간 포장에 대한 대부분의 필요자료를 획득하는데 상당히 용이할 것이다. 또한 추가적으로 건설자의 실명을 동일한 방법으로 표시할 경우 품질의 향상에도 어느 정도 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서는 현장 시공일자 표식방안은 시공날짜의 경우 년·월·일 각각 2자리수로 총 6자리로 표기하며, 표식 위치는 시공 첫 슬래브 시공줄눈에서 약 7m(2번째 슬래브 줄눈에서 1m지점)치점에 표시하는 것으로 제안한다. 표식위치를 시공시점에서 7m지점에 설치하는 이유는 대부분 첫 슬래브는 인력 시공이 이루어지기 때문에 이를 피하기 위함이다.

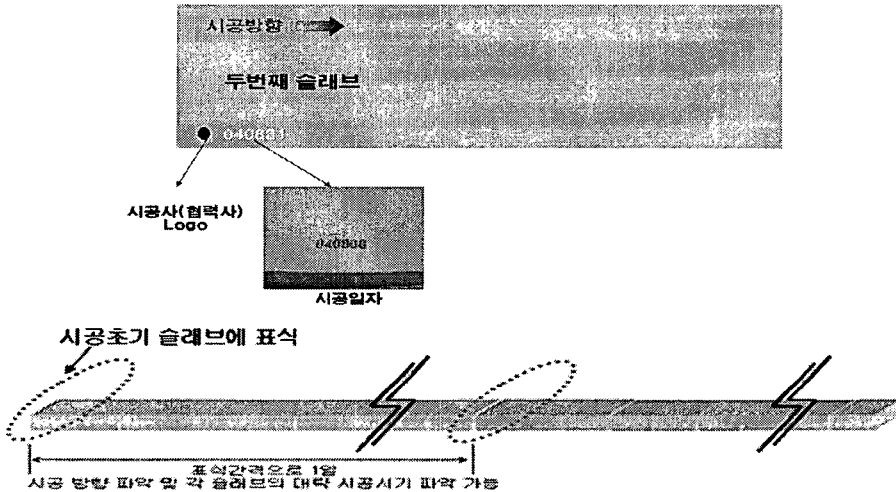


그림 11. 현장 시공일자 표식의 개략도

4. 콘크리트포장 품질 향상을 위한 현장 모니터링 시스템

위에서 언급한 2개의 항목(콘크리트 온도계측 및 현장 시공일자 표식)을 그림 12와 같이 1set으로 모든 콘크리트포장 시공구간에 매 시공시 마다 설치를 한다면 경제적인 설치비용 및 노력으로 다음과 같은 이득을 볼 수 있을 것이다.

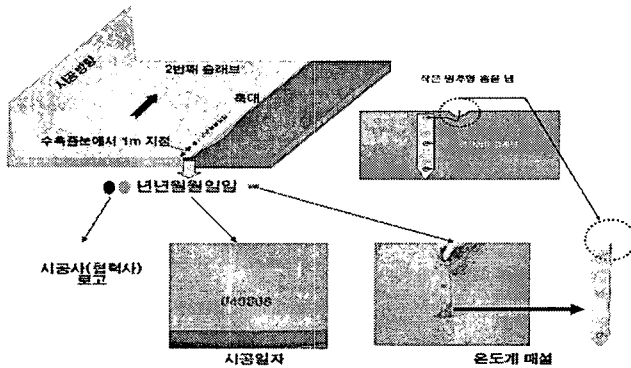


그림 12. 현장 모니터링 시스템 구성 및 설치 개략도



(1) 문제구간이 발생하는 경우 해당 구간시공시의 기후 자료를 시공날짜를 알고 있으므로 과거 기상자료를 통해 쉽게 얻을 수 있다. 또 그 구간에 사용된 재료도 플랜트의 레미콘 출하자료 등을 통해 쉽게 얻을 수 있다.

(2) 문제구간의 시공 방향도 알 수 있으므로 초기균열이 특정구간에 주로 발생된 경우 해당구간의 시공 시각도 어느 정도 추측이 가능해 진다. 시공방향은 동일날짜의 시공구간 내에서 시공일자 표식부터 가까운 경우 그날의 시공개시 시각이 되며 멀리 떨어질수록 늦게 시공된 구간임을 말해준다. 따라서 아침의 일반적인 시공개시 시각과 시간당 포설연장을 가정하면 문제구간의 개략적인 포설 시각까지도 추정할 수 있게 된다.

(3) 추후에 포장의 장기공용성을 시공조건과 연계하여 분석하는 것이 가능해진다. 사실 10년 이상 경과된 포장의 경우 각 구간이 어느날짜 어느시각에 시공되었으며 그때의 기상 및 재료조건을 아는 것은 거의 불가능한 일이었다. 그러나 시공일자 표식물이 없어지지 않는 한 장기적인 포장결함의 원인 분석에도 사용될 수 있다.

이상의 이점들을 토대로 국내에 빈번한 결함들의 원인 분석이 보다 과학적이 될 수 있으며 향후 시공되는 콘크리트 포장의 품질 관리에 반영된다면 보다 나은 품질의 포장을 기대할 수 있을 것으로 본다.

5. 향후 연구과제

(1) 현장 콘크리트 포장 품질 모니터링 시스템 구축하기 위해 시공일자 표식 및 슬래브 수직온도를 계속할 수 있는 온도계 매설에 관한 기준이 정립되어야 할 것이다. 매설절차와 방법에 대해 실무자가 이해하기 편하게끔 정확한 기준을 정립하여 그림 13처럼 시공일자 표식을 너무 깊이 매설하거나 온도계를 줄눈에 시공하여 데이터 수집의 오류를 없애야 할 것이다.

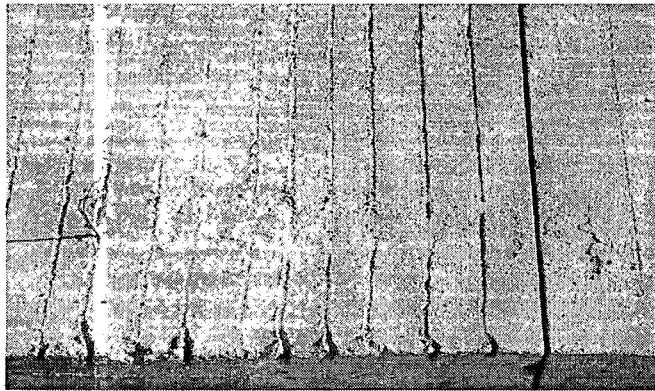


그림 13. 시공일자 표식을 잘못 매설한 경우

(2) 슬래브의 수직온도를 계속할 수 있는 온도계를 표준화할 필요가 있다. 공급이 원활하고 장기간 무인계측이 가능한 온도계를 표준화하여 체계적인 관리를 가능케 하여야 할 것이다.

(3) 이러한 현장 콘크리트 포장 품질 모니터링 시스템을 구축 실험을 통하여 얻은 자료를 D/B화 하여야 할 것이다. 이러한 자료의 D/B화를 통해 그림 14와 같이 중앙에서 담당기술자가 중앙관리하여 과학적이고 체계적인 시스템 구축이 필요할 것이다.

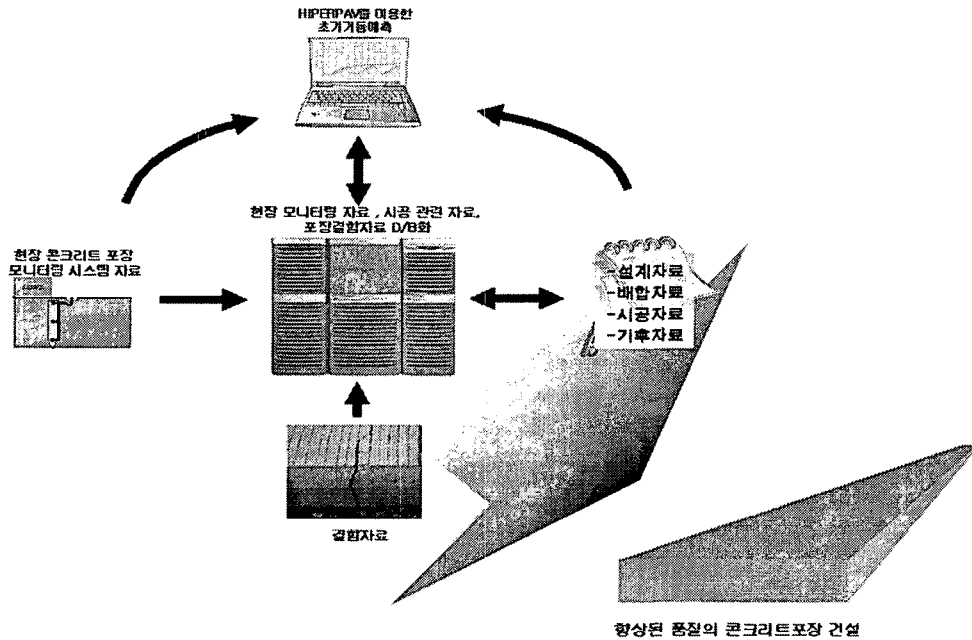


그림 14. 콘크리트포장 시공 관련 자료 D/B 피드백을 통한 품질향상 개념도

감사의 글

본 연구는 한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안연구의 일부로 본 연구를 지원하여준 건설교통부 및 한국도로공사에 감사드립니다.

참고문헌

1. 도로포장공학회(2003), "21세기 첨단 콘크리트 포장 기술 강좌"
2. 서영찬(1993), "콘크리트 포장의 포설시기가 시공초기의 균열 발생 패턴에 미치는 영향", 대한토목학회 논문집, 제 13권 제 2호, pp135-139.
3. 한국콘크리트학회(1999), "최신 콘크리트공학," 기문당.
4. Suh, Young-Chan(1991), "Early-Age Behavior of CRC Pavement and Calibration of Failure Prediction Model of CRCP-7," PhD Dissertation, The University of Texas at Austin.
5. 건설교통부(2004), "한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구" 최종보고서