

하절기 콘크리트 포장 초기균열 방지를 위한 시공 관리 요령

2005. 9

머 리 말

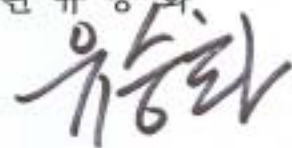
일반적으로 콘크리트 포장은 아스팔트 포장에 비해 공용수명이 20년 이상으로 길며 이에 따라 보수 횟수가 상대적으로 적은 것으로 알려져 있으나 국내에서 공용중인 콘크리트 포장들은 이러한 공용수명을 충족시키지 못하고 조기 파손이 발생하는 사례가 있는 실정입니다. 주요 원인으로는 교통량의 증가, 시공품질관리 체계 미비, 유지관리 체계 미흡 등이 있으나 이들 원인 중 고온다습한 하절기의 시공조건에서는 초기 시공균열 발생 및 2차 균열파손 등으로 인하여 장기 공용성에 심각한 영향을 받게 될 수 있으므로 더욱 세심한 콘크리트 포장 품질관리가 필요하다고 판단됩니다.

본 요령에서는 콘크리트 포장의 초기품질관리를 중점으로 양생제 살포량 조절, 차광막 설치 등 하절기 현장에서 실무자가 취할 수 있는 시공요소들의 정량적인 기준을 정립하여 이를 쉽게 사용할 수 있도록 i-button 및 HIPERPAV 프로그램의 사용자 매뉴얼을 첨부하였습니다.

본 요령을 활용하는 과정에서 개선이 필요한 부분에 대해서는 지속적으로 보완해 나갈 것이며 이를 위해 활용하시는 여러분의 많은 조언을 부탁드립니다. 끝으로, 본 지침 제정 작업에 참여하신 한국도로공사와 한국건설기술연구원 그리고 관계 공무원 여러분의 노고에 감사의 마음을 전합니다.

2005년 9월

건설교통부 도로기획관 유 승 화



목 차

1. 총 칙	1
1.1 적용범위	1
2. 초기균열의 정의 및 특징	4
2.1 초기균열의 정의	4
2.2 초기균열의 문제점	6
2.3 초기균열발생온도조건	9
3. 초기균열 방지를 위한 시공관리 방안	15
3.1 하절기 콘크리트 포장의 줄눈컷팅 시기	16
3.2 하절기 양생제의 적정 살포기준량	18
3.2.1 일반 사항	18
3.2.2 양생제 정의	18
3.2.3 하절기 슬래브 표면 수분유지를 위한 양생제 살포기준량	19
3.3 하절기 콘크리트 포장 초기 온도 관리를 위한 차광막 설치 기준	25
3.3.1 일반 사항	25
3.3.2 차광막의 설치	28
4. 콘크리트 포장 결함원인 분석을 위한 시공일자 현장표식방안	30

4.1 시공일자 현장표식 및 온도계 매설 방안	30
인용문헌	33
부록	35
부록 A HIPERPAV 사용자 매뉴얼	36
부록 B i-button 사용자 매뉴얼	48
부록 C 양생제 살포량 실험 자료	71
부록 D 초기균열 사례	76
부록 E 적정 줄눈컷팅을 위한 초기강도 예측방법	79

1. 총 칙

1.1 적용범위

본 요령은 하절기 콘크리트 포장 시공 시 예상되는 다양한 문제점 중 온도 및 습도 조절을 통한 초기균열 최소화 방안을 규정하는 것을 목적으로 한다. 본 요령에 규정되어 있지 않은 사항은 □□도로공사 표준시방서□□, □□도로설계기준□□ 및 □□도로 포장 설계·시공 지침□□에 따른다.

【해 설】

본 요령은 일반적인 하절기(6월~8월) 시공에 적용하는 것이 바람직하며, 특히 시공 당일 예상되는 최고기온이 32℃ 이상 되는 경우에는 필히 적용토록 한다. 하절기 콘크리트 시공의 특징은 높은 기온 뿐 아니라 굳지 않은 콘크리트(Fresh Concrete)의 높은 온도, 높은 태양복사열, 낮은 상대습도 등으로 높은 수화열과 함께 건조수축의 가능성도 높아지기 때문에 시공직후 수일 내에 원치 않는 초기균열 문제가 발생될 가능성이 크다. 뿐만 아니라, 콘크리트의 수분 요구량도 커지며 슬럼프손실(Slump Loss)도 가속화되며, 연행공기(Entrained Air)를 조절하는 데도 어려움이 있고 응결시각(Setting Time)도 짧아지는 특성이 있어 시공 상의 여러 가지 어려움도 함께 가지고 있다(PCA, 2003).

본 요령은 하절기 시공시 고려해야 하는 일반적인 사항들도 규정하고 있으나 특히 수화열과 건조수축으로 인해 콘크리트 포장 포설 후 수일 내에 발생하는 초기균열을 방지하기 위한 온도관리 방안을 규정하는 것에 초점을 맞추었다.

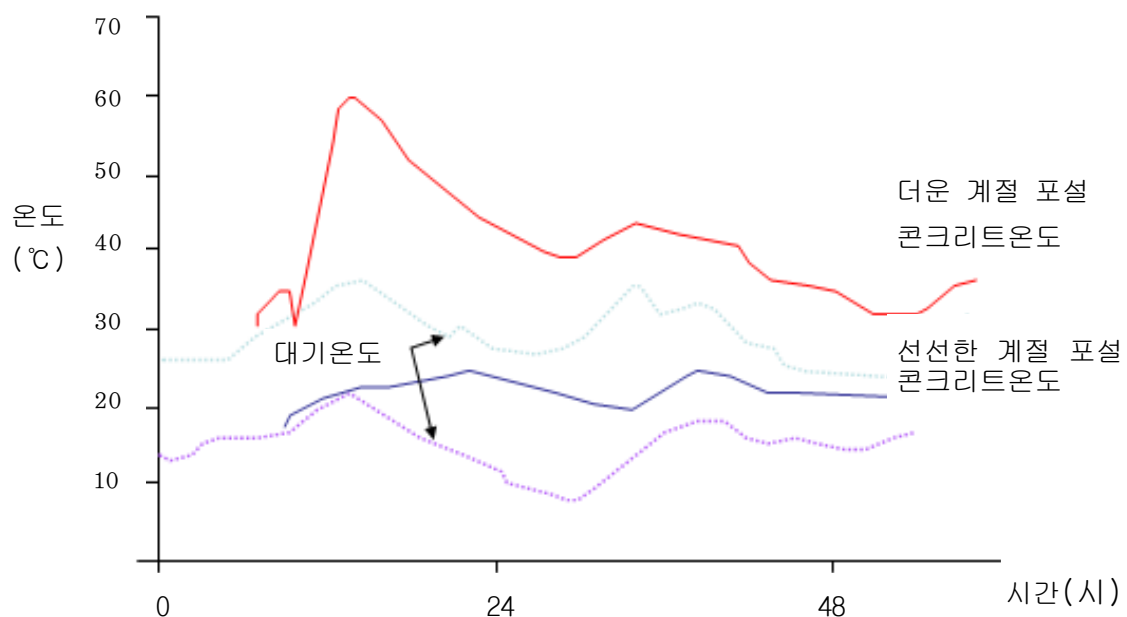
국내 및 해외의 경우 온도가 어느 이상 되면 콘크리트 포설을 아예 제한하는 경우도 있다는 점을 참고하여 본 요령에서 제시하는 다양한 방법으로 초

기균열 가능성을 낮출 필요가 있다.

일반적으로 봄·가을에도 높은 일교차나 바람 등의 영향으로 초기균열 발생 가능성이 있는데 이 경우에도 본 요령에서 제시하는 방법을 준용할 수 있다.

<표 1.1> 미국 각 주의 콘크리트 포설 제한 대기온도

애리조나	32℃	아칸소	32℃
플로리다	29℃	일리노이	32℃
루이지애나	35℃	사우스캐롤라이나	32℃
뉴욕	32℃	오하이오	32℃



<그림 1.1> 포설계절에 따른 슬래브 온도 변화 패턴

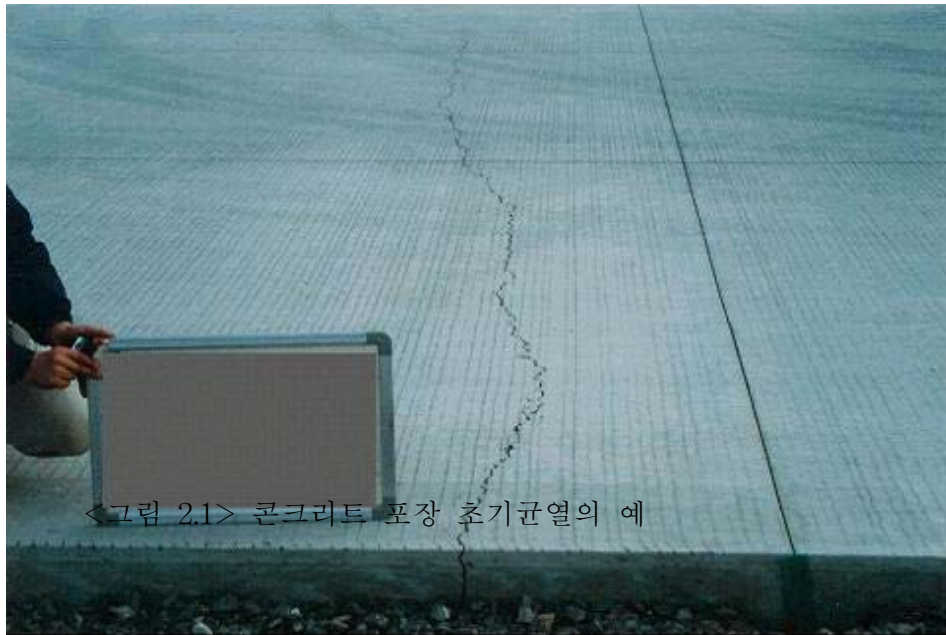
<그림 1.1>에서 보듯이 대기온도가 높은 계절에서 콘크리트 포장 슬래브가 포설되면 이미 크게 올라가 있는 대기온도에 콘크리트 슬래브 초기 양생 과정에서 발생하는 높은 수화열이 더해져서 콘크리트 내부 온도가 지나치게 상승하게 된다. 이 경우 초기 응결 시간을 지나서 콘크리트 슬래브가 응결되

는 시점과 콘크리트 내부 온도가 최저에 이르게 되는 시점 사이의 온도차가 커지고 발생하는 응력의 크기 또한 크게 상승하여 초기 균열발생 가능성은 그만큼 높아지게 된다. 따라서, 일정 수준이상으로 대기온도가 높아져 콘크리트 포장 포설 이후 양생과정에서 콘크리트 내부에서 큰 온도변화가 예상되는 경우에는 별도의 대책수립을 통하여 콘크리트 포장 온도를 적절하게 유지할 수 있도록 하여야 한다.

2. 초기균열의 정의 및 특징

2.1 초기균열의 정의

초기균열이라 함은 콘크리트 포설 후 수일(72시간) 이내에 수화열과 건조수축에 의해 발생하는 균열로서 <그림 2.1>에서 보는 바와 같이 일반적으로 균열 틈이 많이 벌어지고 모양도 구불구불한 것이 그 특징이다.

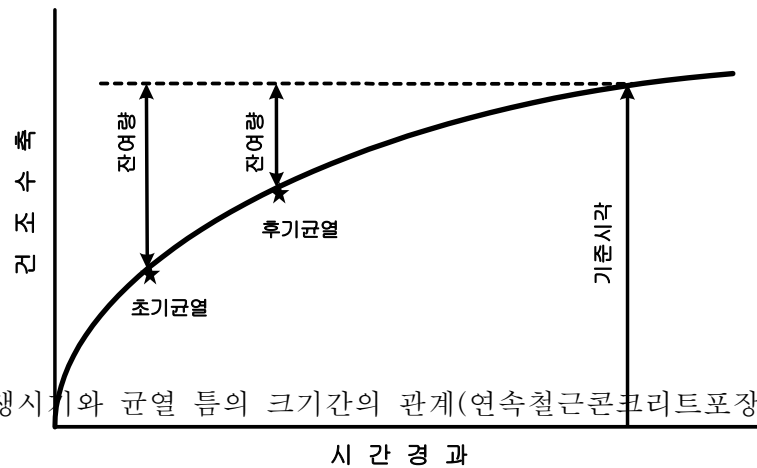


<그림 2.1> 콘크리트 포장 초기균열의 예

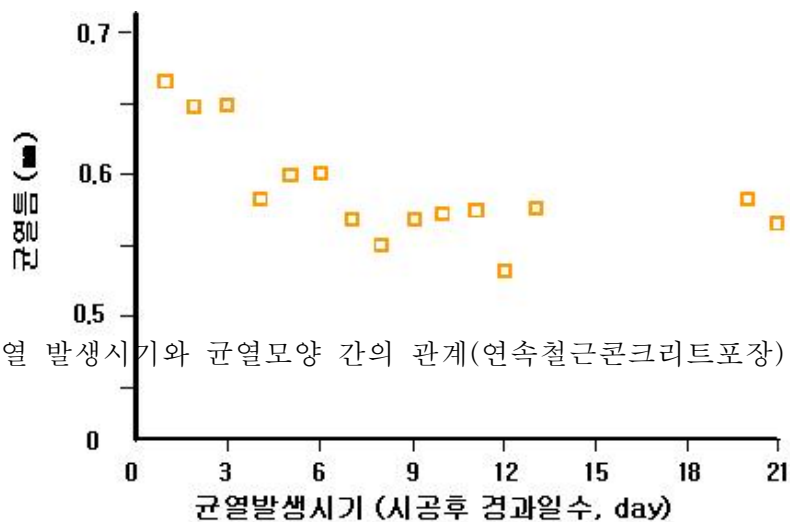
【해 설】

초기균열은 이외에도 재령이 증가함에 따라 그 균열 폭이 넓어지게 되는데, 이는 잔여 건조 수축량이 남아있기 때문에 건조수축이 끝날 때까지 이 틈은 계속 하여 벌어지게 된다(<그림 2.2>, <그림 2.3>).

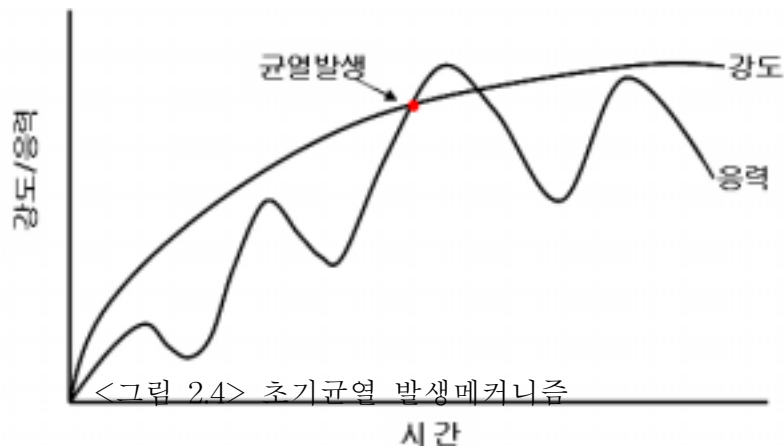
초기균열의 발생은 시공초기에 강도가 충분히 발현되지 않은 상태에서 높은 수화열과 건조수축으로 인해 콘크리트에 발생하는 인장응력이 콘크리트의 인장강도를 넘어설 때 발생하게 된다(<그림 2.4>).



<그림 2.2> 균열 발생시기와 균열 틈의 크기간의 관계(연속철근콘크리트포장)



<그림 2.3> 균열 발생시기와 균열모양 간의 관계(연속철근콘크리트포장)



이런 초기균열은 무근콘크리트 포장의 경우 줄눈컷팅 전에도 발생할 수 있고, 줄눈컷팅 후에 발생할 수 있는데 이 두 경우를 별도로 고려하여야 할 것이다.

2.2 초기 균열의 문제점

무근 콘크리트 포장의 경우 초기균열의 문제점은 다음 세 가지 측면에서 생각할 수 있다.

- (1) 줄눈이외의 지점에서 균열이 발생할 가능성이 높아진다.
- (2) 줄눈에 균열유도가 된 경우라도 균열틈이 과도하게 벌어질 가능성이 높아진다.
- (3) 초기균열의 인접 줄눈에서는 균열유도가 되지 않을 가능성이 높아진다.

【해 설】

무근 콘크리트 포장에 있어서 초기균열은 줄눈컷팅 이전에 발생할 수 있는데 이렇게 발생한 균열은 일종의 무작위균열(Random Crack)로서 줄눈으로 유도된 균열이 아니므로 기본적으로 다음과 같은 문제점을 안고 있다.

(1) 하중전달불량

무근 콘크리트 포장에서 발생한 무작위균열은 다웰바가 설치되어있지 않으며 균열틈도 많이 벌어져있으므로 하중전달이 불량한 상태이므로 장기적으로 단차나 2차균열의 발생가능성이 높아진다.

(2) 물이나 돌 등의 이물질 침투

초기균열은 일반적으로 균열틈이 크기 때문에 그대로 방치할 경우 물이나 돌등이 균열틈으로 침투하여 국부적 지반약화, 펌핑, 스폴링, 블로우업 등의 문제를 야기시킬 수 있다.

(3) 외관상의 문제

기본적으로 무근 콘크리트 포장은 줄눈부외에서는 균열발생을 허용하지 않는 포장형식으로서 무작위균열은 외관상 좋지 않은 점도 가지고 있다. 줄눈에 정상적으로 균열이 유도가 된 경우라 하더라도 줄눈컷팅 직후에 발생하는 균열은 균열틈이 크게 벌어지는 특징이 있으므로 장기적으로 하중전달 측면에서 불리하게 된다.

연속철근 콘크리트 포장의 경우 초기균열의 문제점은 다음 두 가지로 나눌 수 있다.

- (1) 균열틈이 과도하게 벌어질 가능성이 높아진다.
- (2) 모양이 구불구불하여 초기균열 주위에 2차 균열 발생 가능성이 높아진다.

【해 설】

연속철근 콘크리트 포장(CRCP, Continuously Reinforced Concrete Pavement)의 경우, 초기균열은 균열틈이 크고 모양이 구불구불하기 때문에 <그림 2.5>에서 보는 바와 같이 Y형 균열이나 펀치아웃(Punchout)등의 발생 가능성을 높이며 하중전달 및 차수효율을 떨어뜨려 장기적으로 포장 수명을 단축시키게 된다.



<그림 2.5> 초기균열사례(Y형 균열이나 펀치아웃 발생 가능성이 높아진다.)

2.3 초기균열 발생 온도 조건

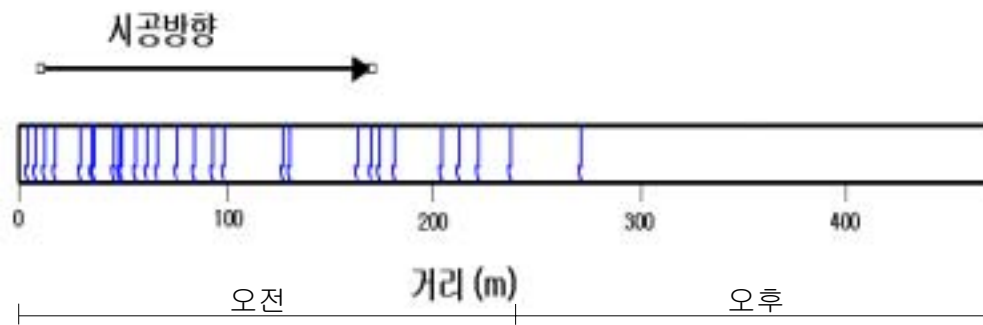
하절기 시공시 수화속도가 빨라지므로 짧은 시간내에 수화열이 크게 발생하게 되어 시공당일 밤 온도하락기에 초기균열 발생 가능성이 높아진다. 하절기 시공의 경우 오전 시공부분의 경우 수화열이 본격적으로 발생하는 시기가 그날의 최고 온도 시간대와 일치할 경우가 많으므로 초기균열의 가능성은 특히 높아진다.

【해 설】

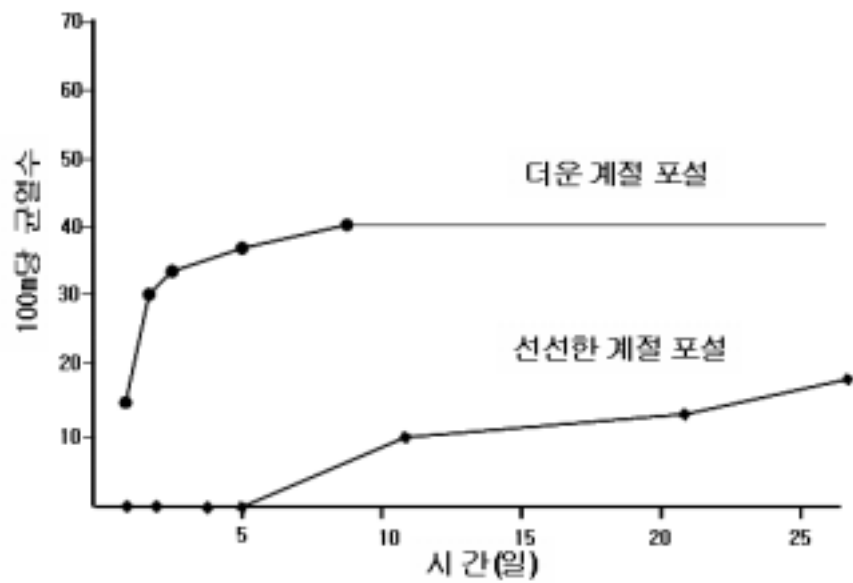
초기균열은 그 발생빈도에 있어서 콘크리트 포설시기에 크게 좌우된다. <그림 2.6>과 <그림 2.7>은 연속철근 콘크리트 포장에서 포설계절과 포설 시각에 따른 초기균열 발생패턴의 차이를 보여주고 있다. 그림에서도 나타나듯이 더운 계절일수록 또 더운 계절의 경우 포설시각이 오전일수록 초기균열이 더 많이 발생한다는 것을 알 수 있다.

또 <그림 2.8>은 포설당시의 대기온도가 14년간 공용후의 포장상태에 미치는 영향을 보여주고 있는데, 온도가 어느 이상에서 포설한 경우 파손율이 상당히 높았음을 잘 보여주고 있다.

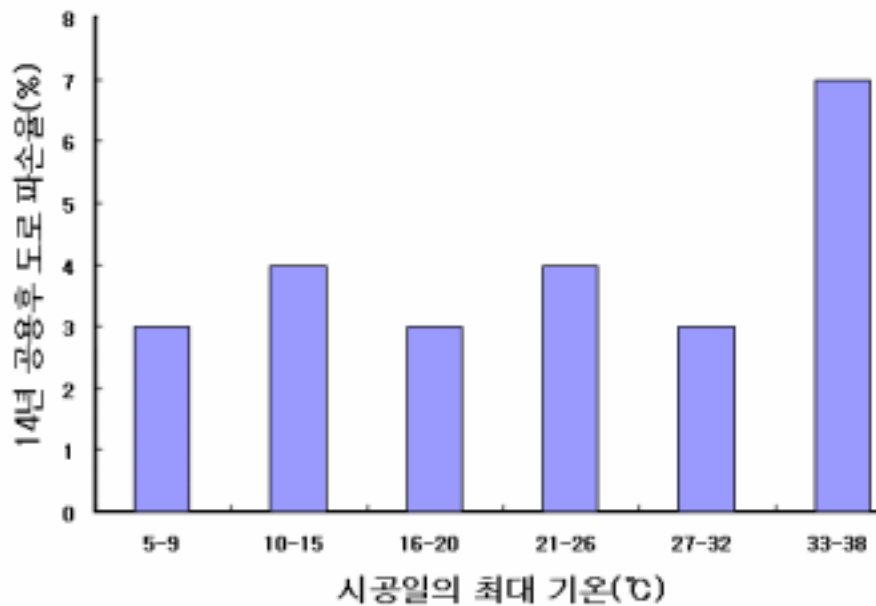
이 그림들은 연속철근콘크리트 포장의 경우이나 초기균열은 콘크리트와 철근과의 부착이 충분하게 이루어지지 않은 상태에서 발생하므로 무근 콘크리트 포장의 경우에서도 줄눈 컷팅을 하지 않는 경우 유사하게 일어날 수 있다.



<그림 2.6> 포설계절과 초기균열 발생 빈도



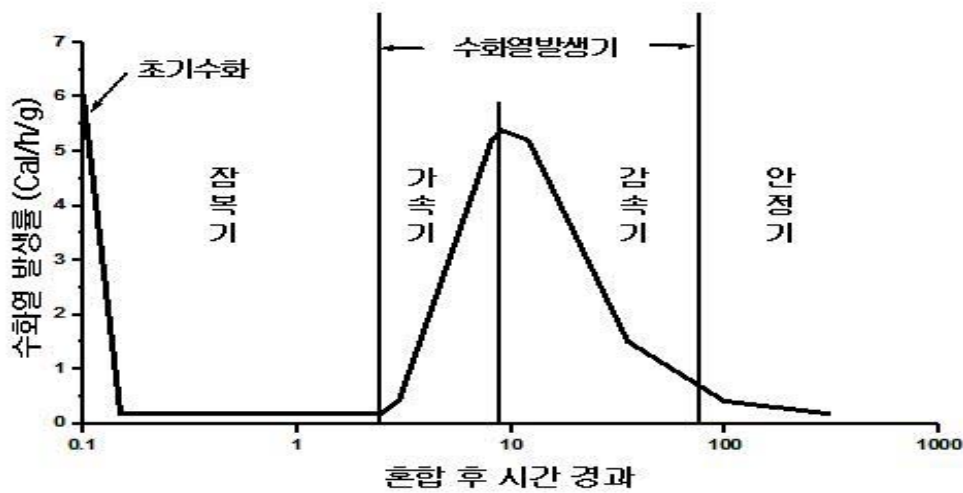
<그림 2.7> 포설시각과 초기균열 발생 패턴



<그림 2.8> 포설당시의 대기온도와 장기적인 포장상태간의 관계

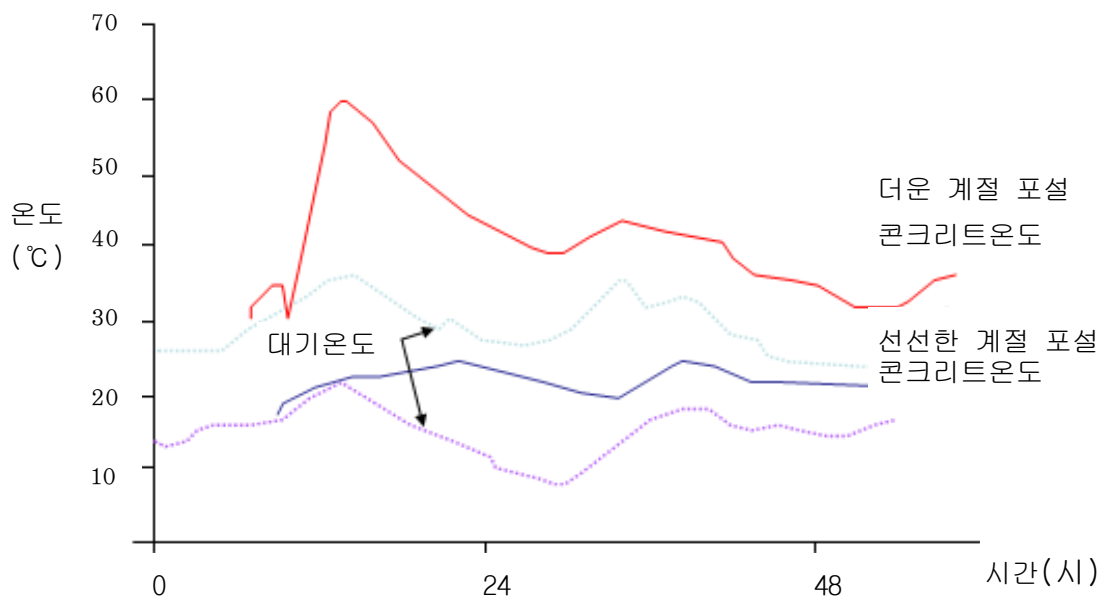
시멘트는 물과 만나면 수화과정에서 에너지를 방출하며 이 에너지는 열을 발생시켜 양생 중 콘크리트의 온도를 상승시키는 작용을 한다. <그림 2.9>에서보면 수화열이 본격적으로 발생하는 시기는 시멘트가 물과 혼합된 직후가 아니라 일정시간이 경과한 후이다. 이런 수화열의 발생률은 수화열의 발생속도나 최대 수화열의 크기가 외부의 온도 조건에 크게 영향을 받는다.

그러므로 콘크리트 포설시의 주변온도(대기온도, 콘크리트 혼합물의 온도, 태양의 복사열 등) 조건은 수화열의 발생패턴을 결정하는 매우 중요한 요소라 할 수 있다.



<그림 2.9> 시멘트 주성분의 시간에 따른 수화열 발생률

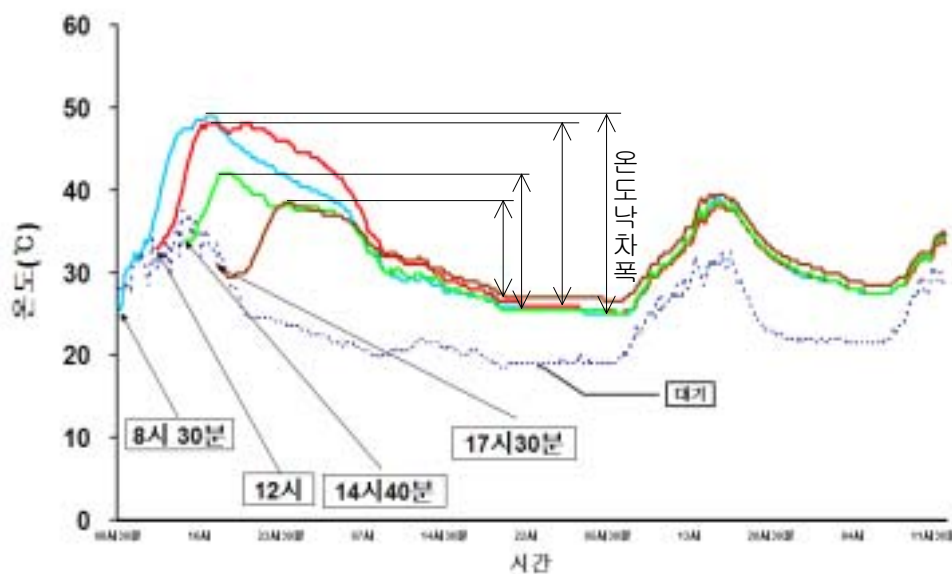
<그림 2.10>에서 대기온도의 변동 패턴(점선)은 포설계절에 관계없이 비슷하지만 슬래브 온도의 변동 패턴(실선)은 큰 차이가 있음을 알 수 있다. 즉 선선한 계절 공사에서는 슬래브 온도의 변화폭이 적은 반면 더운 계절 공사에서는 포설 후 첫 24시간 동안 슬래브 온도의 변화폭이 매우 컸음을 알 수 있다.



<그림 2.10> 포설계절에 따른 슬래브 온도 변화 패턴

포설시각이 초기균열 발생에 미치는 영향은 본격적인 수화열 발생시기가 물과 시멘트가 혼합되고 몇 시간이 지나서야 시작된다는 점에서부터 설명된다. 즉, 더운 계절의 아침 일찍 포설한 구간의 본격적인 수화열 발생 시기는 기온이 최고에 도달하는 정오에서 4시 사이와 일치하게 되므로 수화작용은 급속도로 진행되어 콘크리트 온도는 급상승하게 된다. 반면에 더운 계절에 시공했다 하더라도 오후에 포설한 구간은 포설 당시의 온도는 높지만 기온이 상당히 떨어진 저녁때 본격적인 수화열 발생이 시작하게 되므로 전체적인 콘크리트 포장 온도의 상승은 오전 시공분에 비하여 그다지 크지 않게 된다.

즉, 양생과정에서 콘크리트 내부 온도의 변화 폭은 오전 최초 시공 분에서 가장 크게 나타나고 오후에 시공된 포장일수록 내부온도 변화 폭은 점점 감소하게 된다<그림 2.11>. 온도 낙차 폭이 크면 클수록 체적변화와 더불어 내부에 발생하는 응력 또한 커져 균열이 발생할 가능성이 커지게 되므로 온도 낙차 폭이 상대적으로 큰 오전시공 부분에서 초기 균열발생 가능성이 높아지게 된다.



<그림 2.11> 시공시기에 따른 온도 낙차폭

이러한 포설시각의 영향은 더운 계절에 포설한 경우에만 해당한다. 선선한 계절의 온도 변화 패턴은 전반적인 주변온도가 낮기 때문에 포설시각에 관계 없이 온도 변동 폭도 작으며 결과적으로 일교차가 심하지 않은 경우라면 초기균열 발생 빈도는 매우 낮다.

3. 초기균열 방지를 위한 시공관리 방안

시공당일 최고 기온이 32℃ 이상인 경우에는 필수적으로 초기균열의 가능성을 검토하고 그 결과에 따라 적절한 조치를 통하여 초기균열 발생 가능성을 사전에 저감 하도록 한다. 초기균열의 가능성이 우려되는 구간의 경우 줄눈 커팅 시기에 특히 유의하여야 하며, 양생제 살포 적정농도를 필히 준수하고 필요하다면 태양광 차단막을 설치하여 초기 콘크리트 포장 온도의 지나친 상승을 억제하여 초기균열의 가능성을 낮추는 방안을 강구하여야 한다. 또한, 굳지 않은 콘크리트 (Fresh Concrete)의 온도는 가능한 한 낮은 것이 좋으며 어떠한 경우라도 35℃를 넘어서는 안된다.

【해 설】

하절기(6-8월) 콘크리트 시공시 초기균열 가능성을 최소화 하기위해 우선, 이전 시공이나 과거의 경험을 참고하여 여러 가지 조치를 강구하도록 해야 한다. 하절기 콘크리트 포장의 강도발현 속도를 고려한 줄눈 커팅 시기 조절, 급속한 수분증발을 억제하는 양생제 살포량의 조절, 초기 콘크리트 양생온도를 적절하게 유지할 수 있도록 하는 태양광 차단막의 활용, 중용열 시멘트의 사용, 플라이 애쉬와 같은 첨가재 사용 등이 과거의 시공사례에서 찾아 볼 수 있는 초기 균열 저감을 위한 하절기 콘크리트 포장 시공 방안들이다. 본 요령에서는 이 중에서 줄눈커팅 시기 조절, 적정 양생제 살포량 준수, 태양광 차단막의 활용에 관한 구체적 방안을 제시하고자 한다.

3.1 하절기 콘크리트 포장의 줄눈컷팅 시기

하절기 콘크리트 포장에 있어서 줄눈컷팅은 구간 별로 포설 후 4~5시간이 지나면 지속적으로 경화정도를 관찰하되 줄눈컷팅이 가능할 정도로 강도가 발현되면 즉시 컷팅을 시작한다. 특히 오전시공 부분은 초기균열 가능성이 높으므로 줄눈컷팅 시기를 놓치지 않도록 주의한다.

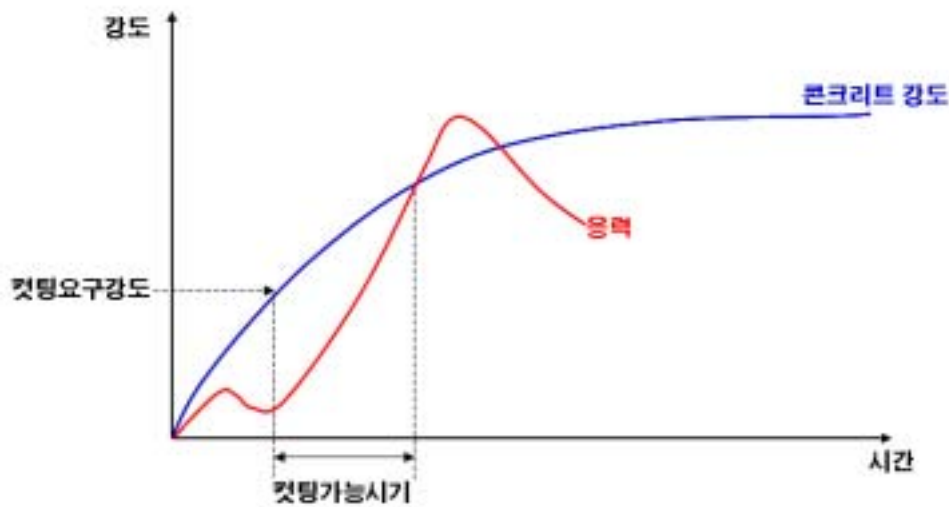
【해 설】

• 줄눈컷팅 시기의 중요성

줄눈컷팅은 초기균열이 발생되기 전에 실시되어야 하는 것이 중요한 사항이다. 줄눈컷팅이 너무 늦으면 균열이 이미 발생하는 상태이므로 앞서 언급한 무작위균열의 문제점을 그대로 갖게 되며 다월바는 콘크리트 속에서 아무런 작용을 하지 못하는 이물질로서만 존재하게 된다. 반대로, 줄눈컷팅이 너무 이르게 되면 콘크리트가 아직 충분히 경화된 상태가 아니므로 줄눈컷팅기를 올려놓을 수도 없으며 올려놓을 수는 있다하더라도 컷팅이 불가능할 수도 있다. 또한 컷팅이 가능하더라도 충분한 강도 발현이 미흡한 상태에서 컷팅된 경우 추후에 스폴링이 발생할 우려가 크다.

• 적정 줄눈컷팅 시기

일반적으로 줄눈컷팅은 콘크리트가 줄눈컷팅이 가능할 정도로 경화된 이후에 가능하며 동시에 균열이 발생되기 전에 실시하여야 한다. 이것을 그림으로 나타내면 아래 그림과 같다(Okmoto, 1994). 적정 줄눈컷팅 가능기간(Saw-Cutting Window)은 <그림 3.1>에서 보는 바와 같이 콘크리트가 줄눈컷팅이 가능할 정도로 경화된 시점 이후와 균열 발생 시각 이전이 되게 된다.



<그림 3.1> 적정 줄눈컷팅 시기 설정 개념

적정 줄눈컷팅 가능기간이 하절기의 경우 매우 작을 수 있게 된다. 더불어 오전 시공부분에 대해서는 총칙에서 설명한 것과 같이 대기온도와 맞물려 콘크리트온도가 급격하게 상승되고 경화된 이후에는 온도하락폭이 오후 시공부분보다 커 상대적으로 응력발생이 크기 때문이다. 즉 하절기 콘크리트의 경우 높은 수화열로 인해 초기균열이 시공당일 저녁이나 새벽에 발생할 가능성이 크므로 컷팅가능 콘크리트 경화 시점을 시공일 밤이라 할 때, 수 시간 만에 줄눈컷팅이 이루어져야 할 수도 있다. 실제로 정확한 적정 줄눈컷팅 가능기간의 시·종점을 예측하는 것은 앞으로 연구되어야 할 사항이나, 가능시기를 결정하기 위한 초기콘크리트의 강도발현곡선을 구하는 방법은 일반적으로 현장 공시체 강도 시험법, 적산온도 강도 예측법, 기타 비파괴(초음파 등) 방법을 이용한 강도 측정법 등이 있다. 이 사항들에 대한 자세한 설명은 부록 E에 설명하였다.

3.2 하절기 양생제의 적정 살포기준량

3.2.1 일반 사항

본 절에서는 하절기 시공시 초기 콘크리트슬래브 표면에서의 급격한 수분 증발로 인한 건조 수축 균열을 방지하기 위한 양생제 적정 살포량의 기준을 규정한다.

【해 설】

일반적으로 초기 콘크리트균열의 원인은 여러 가지가 있으나 주원인은 수화열에 의한 온도균열외에 초기 소성상태에서 슬래브 표면에서 수분이 급격히 증발하면서 발생하는 건조수축 균열이 있다(Suh, 1991). 양생제의 경우 후자를 방지할 목적으로 사용되는 것이다. 최근 실험결과에 의하면 국내 콘크리트 포장의 현행 양생제 살포방법은 콘크리트의 수분증발을 충분히 제어하지 못하고 있는 것으로 나타났다. 특히 양생제의 농도측면에서 개선되어야 할 것이며, 필요하다면 양생제 분사 노즐을 개선하여 충분한 농도의 양생제 살포가 가능토록 해야 한다.

3.2.2 양생제 정의

본 요령에서 지칭하는 양생제라 함은 KS F 2540 규격에 의거한 액상 피막 형성제를 의미하며, KS F 2406 의 콘크리트 양생용 재료의 보수 능력 시험 방법에 의한 시험을 통과한 유용성 계열의 유색 양생제에 국한한다.

【해 설】

본 요령에서는 포장용 콘크리트에 주로 사용되는 유용성 계열의 유색 양생제에 국한한다. 양생제는 습윤한 콘크리트에 잘 부착되어야 하며, 건조했을 때 피막은 연속하여 유연하고 찢어지거나 구멍이 생성되지 않아야 한다. 또한 분무노즐을 이용한 균등한 분사가 가능하도록 쉽게 살포할 수 있어야 한다. 이외에 KS F 2540 규격 및 KS F 2406에 명시된 조건을 갖춘 양생제는 다음과 같은 성분과 성질을 갖는다.

- 적어도 4시간동안 적절히 육안으로 확인 될 수 있을 것.
- 연속된 막을 형성할 수 있을 것.
- 콘크리트에 대해 해로운 작용을 하지 않을 것.
- 분무할 수 있을 것.
- 3개월 이상 보관할 수 있어야하며 침강시 교반하여 사용할 수 있을것
- 4시간이내 건조될 것.
- 72시간동안에 $0.55\text{kg}/\text{cm}^2$ 이내의 물이 손실될 것.

현장 적용시 분사력을 증가시키기 위해 희석되지 않은 양생제이어야 한다.

3.2.3 하절기 슬래브 표면 수분유지를 위한 양생제 살포기준량

양생제의 살포량은 현행 KSF 2406 만족하는 양생제를 기준으로 할 때 $400 \sim 500\text{ml}/\text{m}^2$ 으로 살포하도록 한다. 그러나 양생제 고형물의 농도를 높여 살포량을 줄일 수도 있다<표 3.2>. 살포 시기는 타이닝 후 콘크리트표면의 물빛이 없어진 직후로 한다.

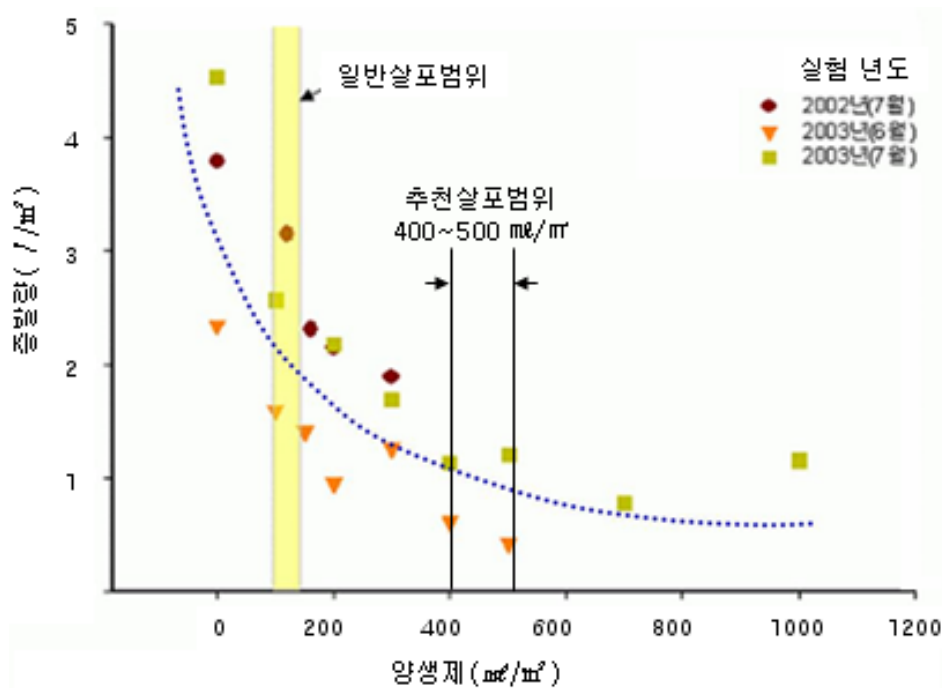
【해 설】

<그림 3.2>은 국내 하절기(6~8월) 고속도로 공사 현장에서 KS 규정을 통과한 양생제 살포량과 증발량의 관계를 나타낸 것이다. 일반적 시공시 살포량으로 조사된 $100 \sim 160\text{ml}/\text{m}^2$ 을 보면 살포량이 증가하여도 수분증발이 크

게 줄어들지 않는 한계증발량 $400\sim500\text{ml}/\text{m}^2$ 때 보다 훨씬 많은 수분이 증발하는 것을 확인할 수가 있다.

<표 3.1> 국내 일반적 양생제 살포 기준

콘크리트 표면온도(타설후)	적정 살포량
36시간이내에서 기온이 41°C 이상	$167\text{ ml}/\text{m}^2$ ($6\text{ m}^2/\ell$)
36시간이내에서 기온이 $38\sim40^{\circ}\text{C}$ 일때	$143\text{ ml}/\text{m}^2$ ($7\text{ m}^2/\ell$)
36시간이내에서 기온이 $26\sim37^{\circ}\text{C}$ 일때	$125\text{ ml}/\text{m}^2$ ($8\text{ m}^2/\ell$)
36시간이내에서 기온이 25°C 이하	$111\text{ ml}/\text{m}^2$ ($9\text{ m}^2/\ell$)



<그림 3.2> 양생제 살포량과 증발량 관계

또한 $400\sim500\text{ml}/\text{m}^2$ 이상 살포를 하더라도 증발량은 더 이상 크게 감소하지 않음으로, 하절기 고온에 의한 시공초기 슬래브 표면에서 급속한 증발이 예

상될 경우 $400\sim 500\text{ml}/\text{m}^2$ 의 양생제를 살포할 것을 권장한다. 가급적 슬래브의 옆면에도 양생제가 살포되도록 하여 측면에서의 수분 증발도 차단할 수 있도록 한다. 현행 KS기준 농도로 $400\sim 500\text{ml}/\text{m}^2$ 의 양생제를 살포하기 위해서는 여러 차례에 걸쳐 살포할 수밖에 없다. 그러나 양생제의 고형분 농도를 높인다면 살포 횟수를 줄이고도 동일한 효과를 기대할 수 있을 것이다. 이 경우, 고형물 농도 상승으로 인해 필요시 노즐을 개선해야 할 수도 있다. <그림 3.3>은 국내외 양생제 살포장면을 비교한 것이다. <표 3.1>은 한계 증발량 유지를 위한 적정 살포량 및 반복횟수를 보여주고 있다.



<그림 3.3> 외국의 양생제 살포 농도(좌) 와 국내의 살포 농도(우)

<표 3.2> 미국 각주의 양생제 살포량 기준

지역	애리조나	알칸사스	아이오와	루이지애나	미시시피	다코타(남)	텍사스	유타	버지니아
살포량 (ml/m^2)	407	325	300	407	340	325	447	407	407

하절기 슬래브 표면에서 급속한 증발을 차단하기 위한 양생제 살포기 운행 속도와 분사량과의 관계는 <표 3.3>과 같다.

살포 전 양생제가 슬래브 표면에 골고루 분사될 수 있도록 분사노즐의 상태를 점검한다. 반대로 노즐의 구멍이 너무 크거나, 분사 압력이 낮아 굳지 않은 슬래브 표면에 직접 떨어져 표면손상이 발생하지 않도록 주의한다.

<표 3.3> 양생제 살포기* 운행 속도와 분사량에 따른 적정 살포 횟수

속도 10m/분 살포시	
양생제 살포 노즐 평균 분사량(ml/분)	살포 횟수 (회)
750~950	5~6
950~1250	4~5
1250~1900**	3
1900이상	2

* 노즐 간격 약30cm, 슬래브 표면과 노즐과의 높이 60~80cm

** 일반적 양생제 살포기 분사 노즐의 평균 분당 분사량

양생제 살포기 노즐의 분당 분사량 측정은 임의의 노즐 3개 이상을 선택하여 양생제 분사량 부피 측정이 가능한 용기(메스실린더)를 장착하여 10~30초 정도 살포하여 그 부피를 분당 분사량으로 환산한다<그림 3.4>, <표 3.4>.



<그림 3.4> 양생제 살포기 분사량 측정

$$S_m = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{S_n}{T_e} \times 60 \right)}{n} \dots\dots\dots \langle \text{식 3.1} \rangle$$

여기서,

S_m : 양생제 살포기 노즐의 분당 평균 분사량(ml/분)

S_n : n번째 노즐의 분사량(ml)

T_e : 측정 시간(초)

n : 임의의 측정 노즐 개수

〈표 3.4〉 양생제 살포기 분당 평균 분사량 계산예

양생제 살포기 분사량 점검지								
공 구 명 : xx공구						점검 담당자 : ○ ○ ○		
점 검 일 시 : 2004 년 7월 5일								
①임의 선택 노즐수 : 3 개						③합계	④평균	평균 분당
②측정시간(초) : 40 초								분사량
각 노즐 분사량(ml)								③÷①
No.# 1	No.#	No.#	No.#	No.#	No.#	(④÷②)×		
	13	24				60		
1120	980	1005	—	—	—	3105	1035	1552.5

현행 양생제 살포기의 운행속도는 20~30m/분 정도이다. 양생제 피막이 형성되기에는 다소 빠른 속도이다. 본 요령에서는 일반적 운행 속도의 절반인 10m/분 정도의 운행속도를 권장한다. 과도하게 저속으로 운행하며 살포할 경우 슬래브 표면에 양생제가 흐를 수 있으므로 주의한다〈그림 3.5〉. 〈표 3.3〉에 제시된 기준으로 반복하여 슬래브 표면에 골고루 양생제 피막이 형성될 수 있도록 살포한다. 또한 가능하면 저속운행이나 살포횟수를 늘리는 방법보다는 양생제 고형분의 농도를 높이는 방법으로 이 문제를 해결할 것을

추천한다.



<그림 3.5> 과도한 저속살포에 의한 양생제 흐름

충분한 양의 양생제를 살포하는 것도 중요하지만 적절한 시기에 살포하는 것 또한 매우 중요하다. 양생제는 콘크리트 표면의 물빛이 없어진 직후 살포하며, 살포시 얼룩이 생기지 않아야 한다. 살포시 살포방향을 바꾸어 2회 이상 실시한다(콘크리트학회, 1999). 두 번째 살포시기는 첫 번째 피막이 형성된 후 굳어진 다음 살포한다.

3.3 하절기 콘크리트 포장 초기 온도 관리를 위한 차광막 설치 기준

3.3.1 일반 사항

본 요령에서의 차광막이라 함은 하절기 과도한 일사량에 의해 시공 초기 콘크리트 슬래브의 급격한 온도 상승을 차단하기 위해 설치되는 막을 뜻하며 형태는 슬래브에 수직 방향으로 일정 높이를 갖는 수평적 구조형태를 의미한다. 또한 기능적으로는 햇빛에 의한 초기 콘크리트슬래브의 온도상승을 낮추는 기능을 가진다.

【해 설】

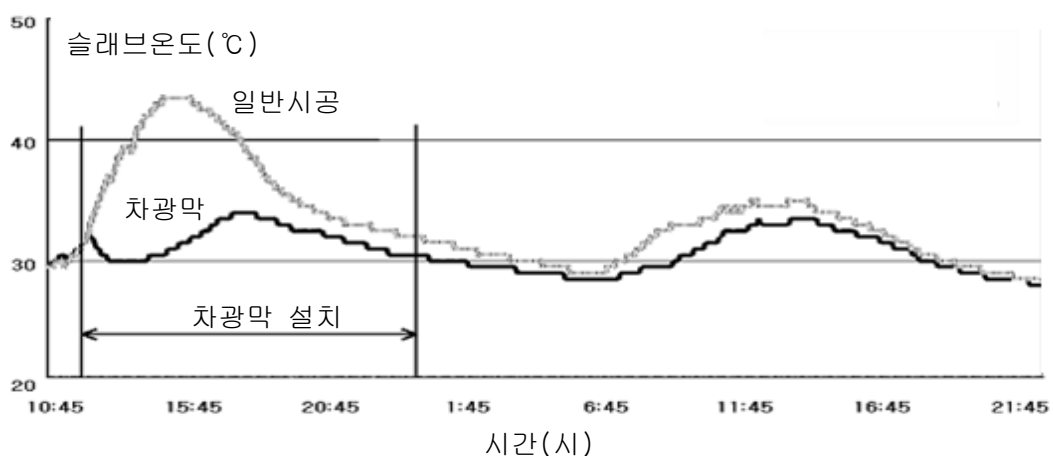
시멘트는 물과 만나면서 수화 반응에 의해 열에너지를 방출하게 된다. 이는 초기 양생중 콘크리트의 온도를 상승시키는 작용을 한다. 이러한 수화열 크기에 영향을 주는 중요한 요인 중 하나는 외부 온도 조건이다. 양생온도가 높을수록 즉, 주변 온도가 높을수록 수화열의 크기는 높아진다(서영찬, 1993). 주변 온도를 효과적으로 낮출 수 있는 방법에는 여러 가지 있을 수 있으나 가장 적극적인 방법 중 하나인 일사량을 차단함으로써 초기 콘크리트 슬래브의 온도를 낮출 수 있다. 독일의 경우 실제 이를 활용하고 있으며, 국내에서는 1988년 중부고속도로 일부 시공구간에 대해 적용한 경우가 있다 <그림 3.6>(도로공사, 1988).



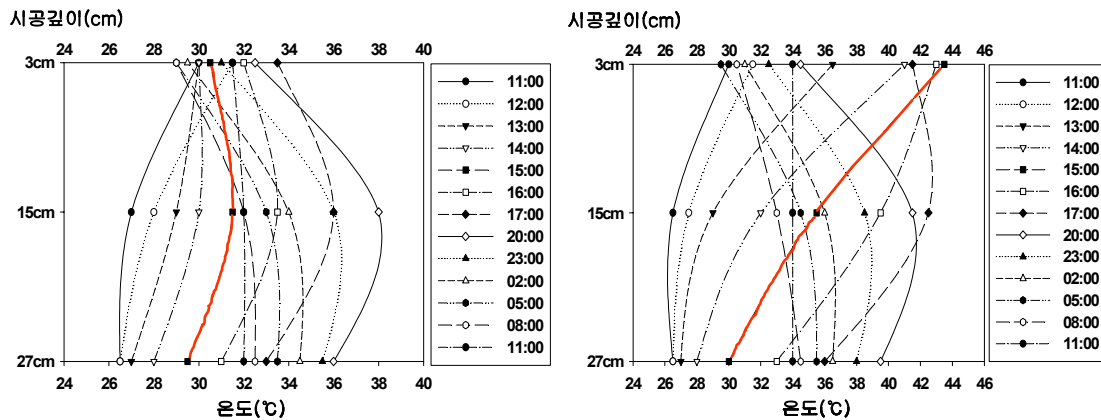
<그림 3.6> 차광막의 적용 예(좌:독일, 우:국내)

<그림 3.7>은 우리나라에서 하절기(8월) 고속도로 시공현장에 차광막을 설치한 경우와 그렇지 않은 경우 슬래브표면의 온도 차이를 나타낸 그림이다.

그림에서 확인할 수 있듯이 일사량을 차단하는 것으로 일반 시공구간과 비교해 보면 온도를 비교적 크게 낮출 수 있는 것을 확인할 수 있다. 또한, <그림 3.8>에서 보듯이 차광막 설치 구간의 온도경사가 일반구간보다 상당히 작게 나타나고 있다. 즉, 온도변화에 따른 컬링(Curling) 응력이 보다 적게 발생하게 되어 초기균열 발생 가능성을 낮추는 효과를 나타내며, 콘크리트 포장의 장기 공용수명 증진에 크게 도움이 될 수 있다.



<그림 3.7> 하절기 차광막에 의한 슬래브 온도 저감 효과 예(슬래브 표면)



<그림 3.8> 차광막 설치 구간(좌)과 미설치 구간(우)의 슬래브 수직 온도편차

차광막의 구조는 습윤양생을 하기 위해 슬래브위에 얹는 양생포와 구별되어진다. 차광막은 콘크리트 슬래브의 수직방향으로 어느 정도의 간격을 유지하고 설치되어야 하며, 측면은 초기 슬래브에 발생되는 열이 쉽게 빠져나갈 수 있도록 사방으로 틈여 있어야 하며 햇빛강도를 충분히 약화시킬 수 있는 막을 사용하여야 한다<그림 3.9>.



<그림 3.9> 차광막 구조의 한 예

본 요령에서 제안하는 차광막은 다음과 같은 구조를 갖는다.

- (1) 수평적 형태로는 슬래브 너비 전체를 가릴 수 있는 크기를 갖는다.
- (2) 수직 형태로는 공기의 순환이 자유로운 개방 구조를 가진다.

3.3.2 차광막의 설치

차광막 설치는 대기온도가 매우 고온(32℃이상)이 예상되며, 비교적 구름이 없어 일사량이 많은 경우 11시 이전 포설한 구간에 설치한다. 차광막의 설치시기는 양생제 살포 후 바로 설치하며, 제거는 줄눈 1차 커팅 시간 직전에 제거한다. 차광막 재료는 차단율이 90%이상이어야 한다.

【해 설】

차광막의 설치 시 시공 시작 후 기온이 정점에 오르는 11시 이전 시공 구간에 대해 설치하고, 설치시기는 양생제 살포 직후로 한다. 차광막의 제거는 줄눈 1차 커팅 시간 직전으로 하며, 다른 작업으로 인해 부득이하게 차광막을 제거해야 하는 경우 작업 후 재설치 한다. 차광막 설치를 오전시공(11시 이전)부분에 국한하는 이유는 수화열에 의한 온도상승이 오전시공부분에 특히 크기 때문이다. 오후 시공부분은 본격적인 수화열이 저녁에 발생되므로 온도 변화에 의한 균열가능성이 그만큼 낮아진다. 차광막에 의한 초기온도 저감효과가 충분히 발현되기 위해서는 차광막의 일사량 차단율이 일정이상 유지되어야 한다. <그림 3.7>에서 보이는 정도의 초기온도 저감효과를 기대하기 위해서는 차단율이 90%이상이어야 하며 이를 위해서는 각각의 차광막 일사량 차단율이 70% 이상이 되는 이중직 차광막을 적용하는 것이 바람직하다.



〈그림 3.10〉 소성상태에서의 균열(건조수축 균열)

4. 콘크리트 포장 결함원인 분석을 위한 시공일자 현장 표식방안

4.1 시공일자 현장표식 및 온도계 매설 방안

콘크리트 포장의 환경하중(온도, 습도)에 의해 발생하는 결함의 원인분석을 통해 추후 시공관리에 반영하기 위하여 매 시공일자마다 시공 시작부에 시공일자 및 시공자를 표시하고 온도계를 매설한다.

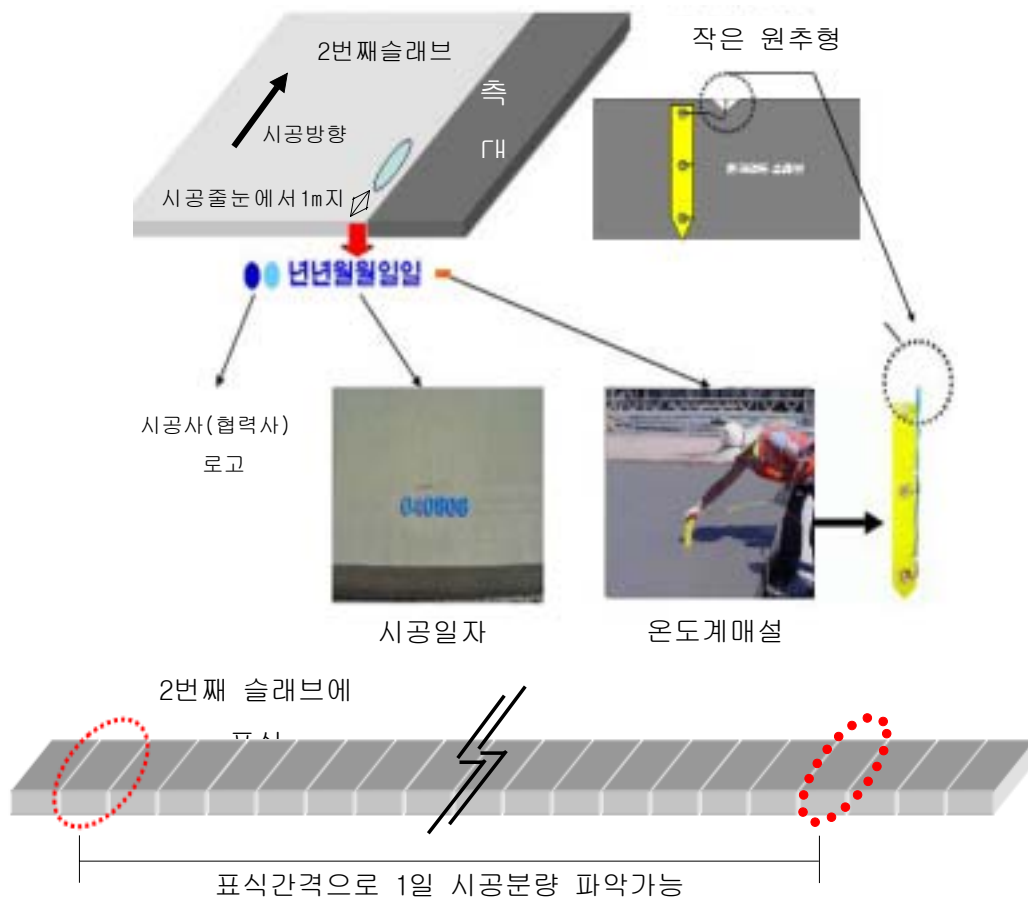
【해 설】

많은 경우에 초기균열이 발생하더라도 그 원인이 무엇인지에 대한 합리적인 분석이 뒤따르지 않고, 대부분 몇몇 기술자의 직관적인 추측만으로 문제를 정의하고 대책을 강구하는 경우가 많아왔다. 또 가급적 문제를 확대시키지 않으려는 의도에서 분명한 원인 분석이 어려웠던 것이 사실이다. 그 결과 동일 현장에서 비슷한 문제가 되풀이 될 수도 있으며 설사 해당 현장에서는 문제가 해결되었다 하더라도 다른 현장에서는 같은 문제가 또 발생할 수 있다.

• 원인파악의 현실적 한계

초기균열 원인의 체계적인 분석은 문제현장의 시공당일의 온도, 습도, 바람 등 기후조건에 의해 크게 좌우되게 되는데, 실제로 현장에서 이러한 자료를 수집하고 있지 않기 때문에 문제구간의 원인파악에 한계를 가지고 있다. 또 실제로 문제가 일어날 약간의 가능성에 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 발생시만 해당구간의 기후자료 수집이 용이하도록 하기 위해 매 시공일마다 시공일자를 시공시작 구간에 시공일자 표식 및 슬래브 수직온도를 측정할 수 있는 온도계를 매설하도록 한다<그림 4.1>. 추후 i-button에 의한 습도 측정방법이 실용화 되면 습도계도 매설하는 것이 좋다. 온도계는 별도의 전원 없이 온도를 측정·저장하는 i-button을 이용하여 제작된 온도계를 사용하는 것을 권장한다. i-button 통신선이 콘크리트표면에 임의로 돌출되어 있을 경우 교통개방 후 손상될 가능성이 크므로 <그림 4.1>과 같이 작은 원추형의 홈을 내어 통신선이 교통개방 등의 이유로 끊어지는 것을 방지한다. i-button 설치 및 활용에 관한 자세한 내용은 【부록 B】에 상세히 수록하였다.



<그림 4.1> 시공현장 표식 및 설치 개략도

표기 내용은 시공사 및 협력사의 로고를 음각으로 표시하며 필요시 건설자의 실명을 동일한 방법으로 표시할 수도 있다. 시공날짜의 경우 년·월·일 각각 2자리수로 총 6자리로 표기하며, 표식 위치는 시공 첫 슬래브 시공줄눈에서 약 7m(2번째 슬래브 줄눈에서 1m지점)지점에 음각으로 표시될 수 있도록 한다.

• 시공일자 현장표식의 이점

이렇게 매 시공구간마다 시작부분에 시공 일자를 표시해두게 되면 무시할 수준의 비용으로 다음과 같은 큰 이점을 기대할 수 있다.

- (1) 문제구간이 발생하는 경우 해당 구간시공시의 기후 자료를 시공날짜를 통해 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 장기 공용성을 시공조건과 연계하여 분석하는 것이 가능해진다. 사실 10년 이상 경과된 포장의 경우 각 구간이 어느 날짜 어느 시각에 시공되었으며 그때의 기상 및 재료조건을 아는 것은 거의 불가능한 일이었다. 그러나 시공일자 표식물이 없어지지 않는 한 장기적인 포장결함의 원인 분석에도 사용될 수 있다.
- (4) 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.

인용문헌

서영찬(1993), 콘크리트 포장의 포설시기가 시공초기의 균열 발생 패턴에 미치는 영향, 대한토목학회 논문집, 제 13권 제 2호, pp135-139.

한국 도로공사(1988), 중부고속도로 건설지. PP.494-495.

한국 콘크리트학회(1999), “최신 콘크리트공학,” 기문당.

Okamoto P. A. (1994), Guidelines for Timing Contraction Joint Sawing and Earliest Loading for Concrete Pavements Final Report, FHWA-RD-91-079, FHWA. Washington D.C.

PCA(2003), Design and Control of Concrete Mixtures, 14ed.

Shindler, Anton K., and B. F. McCullough(2002), "The Importance of Concrete Temperature During Concrete Pavement Construction in Hot Weather Conditions," paper for TRB annual meeting

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.

부 록

【부록 A】 HIPERPAV 사용자 매뉴얼

【부록 B】 i-button 사용자 매뉴얼

【부록 C】 양생제 살포량 실험 자료

【부록 D】 초기균열 사례

【부록 E】 적정 줄눈컷팅을 위한 초기강도 예측방법

【부록 A】 HIPERPAV 사용자 매뉴얼

A.1 HIPERPAV 프로그램 개요

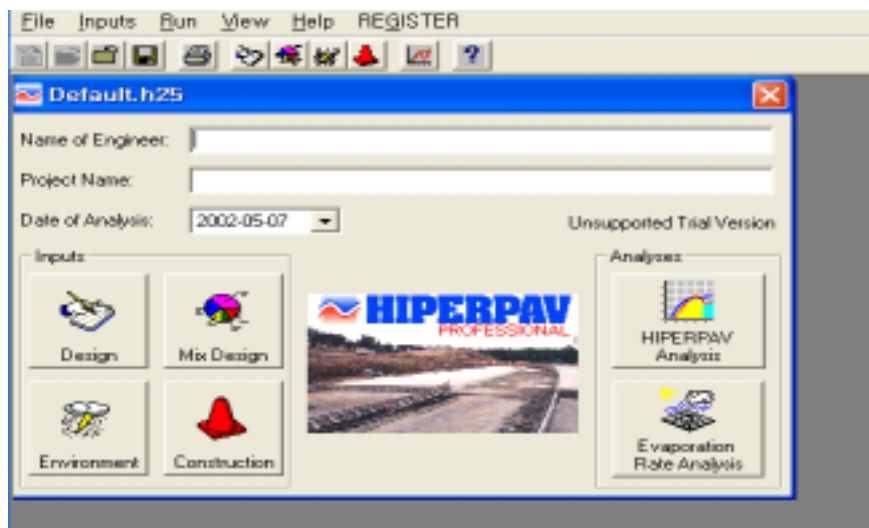
콘크리트 포장 초기거동 예측프로그램인 HIPERPAV(High PERformance PAVing software)는 미국 연방도로국(FHWA)의 Special Project #201의 수행과제로써, 콘크리트 포장(JCP)의 강도 및 응력발생에 관련한 여러 요소를 고려하여 콘크리트 포장의 초기 재령의 거동을 예측하는 일종의 콘크리트 초기거동 예측 시뮬레이션 프로그램이다. 아스팔트 포장에 비해 공용성 및 유지보수에 있어서 우수한 성능을 보여주고 있는 콘크리트 포장에 대한 프로그램의 검증에 의해 미국의 여러 주에서 검증을 수행하였다 <표 A.1>, <그림 A.1>. 프로그램의 구성은 크게 4개의 카테고리로 이루어져있다 <그림 A.2>. 각 항목에는 매우 많은 입력변수항목들이 있는데, 이러한 입력변수들을 종합적으로 분석하여 <그림 A.3>과 같이 콘크리트 포장의 초기 강도 발현 및 응력의 크기를 계산하게 된다.

<표 A.1> 각 사이트별 관측값과 예측값 비교

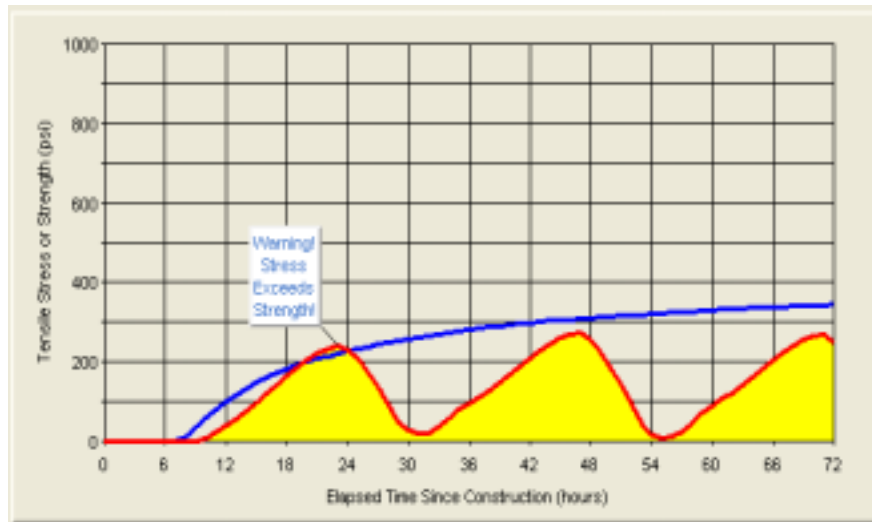
시험지역	슬래브 No.#.	균열관측 시각(시간)	HIPERPAV 균열 예측시각(시간)	오차 (%)
애리조나	1	21.7	18.5	15
	5	43.4	43.4	0
네브래스카	1	16.0	18.5	16
	2	26.3	39.3	49
텍사스	3	24.0	15.8	34
	4	14.9	13.5	9
노스 캐롤라니아	2	33.8	32.6	4
	4	37.5	36.3	3
미네소타	1	43.5	21.7	50
	2	40.7	40.8	0



<그림 A.1> 보조기층의 마찰력시험 (Push-off Test)



<그림 A.2> 프로그램 입력창



<그림 A.3> 프로그램 결과

이처럼 HIPERPAV 프로그램은 시뮬레이션을 통해 특정 시공환경에서 시공시 콘크리트 슬래브의 초기 거동을 정량적으로 분석할 수가 있어 시공계획 및 품질향상에 많은 정보를 얻을 수 있는 콘크리트 슬래브의 초기거동 예측프로그램이다.

A.2 HIPERPAV 프로그램 입력변수

A.2.1 각 항목별 주요 입력 변수

(1) 설계입력 (Design Inputs)

설계항목의 입력창은 줄눈간격, 차선평, 슬래브의 두께 등의 기하학적 자료와 재령 28일 간접인장강도, 탄성계수의 실내시험 자료, 보조기층의 종류 및 마찰력의 크기 입력창으로 구성되어있다<그림 A.4>.

JCP General Design Parameters

Geometry

Transverse Joint Spacing: 15 feet

Lane Width: 12 feet

Slab Thickness: 10 inches

Reliability Level: 90 %

Laboratory Testing

Laboratory 28-Day PCC Indirect Tensile Strength: 520 psi

Laboratory 28-Day Modulus of Elasticity (E): 5000000 psi

Subbase Properties

Subbase Type: Flexible (Unbound Aggregate)

Use Default Slab-Subbase Friction? ☒ Yes ☐ No, Use Friction Force: 2 psi

Movement at Sliding: 0.02 inches

<그림 A.4> 설계변수 입력창

가. 마찰력

마찰력은 Push-off Test로 슬래브와 보조기층간의 마찰력을 구한다. 기본적으로 프로그램에서 제공되는 보조기층의 종류는 8가지를 제공하고 있으나, 국내에서 마찰력 감소를 위해 쓰이는 방법인 비닐이 포함된 린 콘크리트 보조기층에 대한 자료는 포함되어 있지 않다. 따라서, 본 요령 A.3.2절에서 국내에 적용할 수 있는 값을 수록하였다.

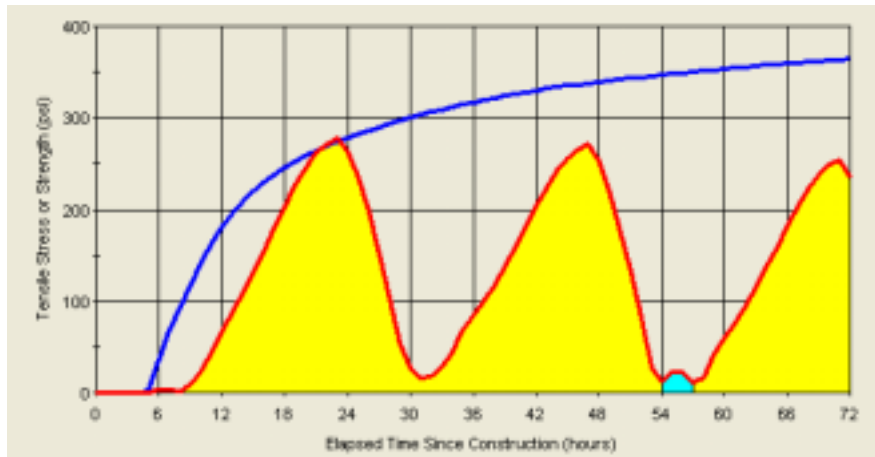
나. 간접인장강도 및 탄성계수

간접인장강도 및 탄성계수는 실내 시험값을 입력하게 된다. 간접인장강도 시험은 현재 국내 콘크리트 포장 품질 시험에는 포함되어 있지 않으나, 프로그램 내부에 제공되는 변환식을 통해 휨강도로 간접인장강도를 추정할 수 있다.

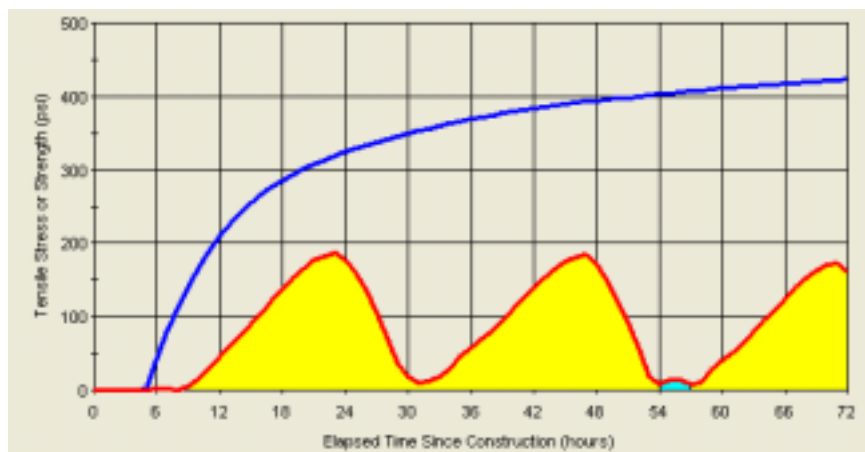
다. 신뢰성 (Reliability)

신뢰성은 일종의 안전율 개념으로써, 프로그램을 통한 시뮬레이션을 수행함에 안전성을 얼마나 고려할 것인가를 상대적인 수치(%)로 나타낸 것이다. 또한 프로그램에서 제공되지 않는 상황 혹은 고려하지 못한 변수들을 반영해 주는 항목으로써, 매우 높은

등급의 도로나 시공상 엄격한 품질 관리를 한다면 그 값을 크게 설정할 수 있다<그림 A.5>. 반대로 등급이 낮은 도로를 시공하거나, 일반적인 품질관리 기준이라면 입력변수 값의 크기는 상대적으로 작은 값을 입력해야 할 것이다<그림 A.6>.



<그림 A.5> Reliability 90%인 경우



<그림 A.6> Reliability 50%인 경우

(2) 배합설계(Mix design)

배합설계 입력창은 <그림 A.7>과 같다. 시멘트의 종류, 콘크리트혼합물 강도발현

실내시험값, 골재의 종류, 배합설계 등의 많은 입력변수가 있음을 알 수가 있다.

<그림 A.7> 배합 설계입력창

가. 시멘트의 종류

프로그램에서 제공하는 기본적인 시멘트의 종류는 5가지이다. 시멘트의 종류에 따라 수화반응의 속도가 다르므로, 이는 곧 건조수축량 및 온도차에 의한 체적변화에 영향을 미치게 된다.

나. 골재의 종류

콘크리트의 온도의 영향은 대부분은 골재(굵은골재)의 특성에 좌우된다. 일반적인 골재의 열팽창 계수를 프로그램에서 제공하고 있으며, 필요에 따라 사용되는 골재의 열팽창계수를 알고 있다면 직접 입력도 가능하다.

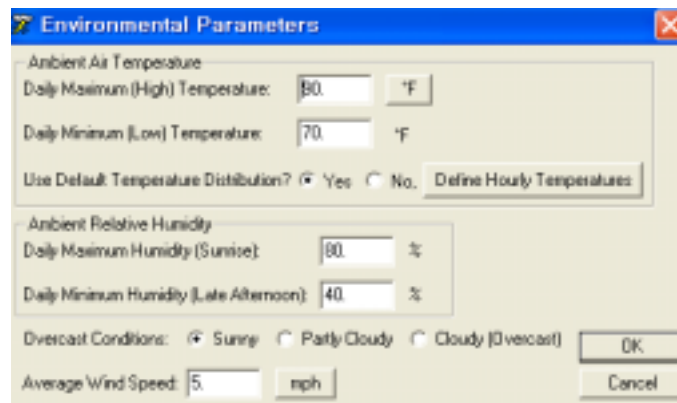
다. 혼화재 및 혼화제(Admixture & Chemical Admixture)

현재 국내에서 포장용 콘크리트 혼화재로는 거의 사용되지 않고 있으나, 플라이 애쉬, 실리카 흙, 제강슬래그의 단위면적당 중량을 입력할 수 있다.

(3) 환경(Environment Inputs)

환경에 관한 입력변수 입력창은 일 최고·최저기온, 최고·최저습도, 풍속 등의 입력창으로 구성되어 있다<그림 A.8>.

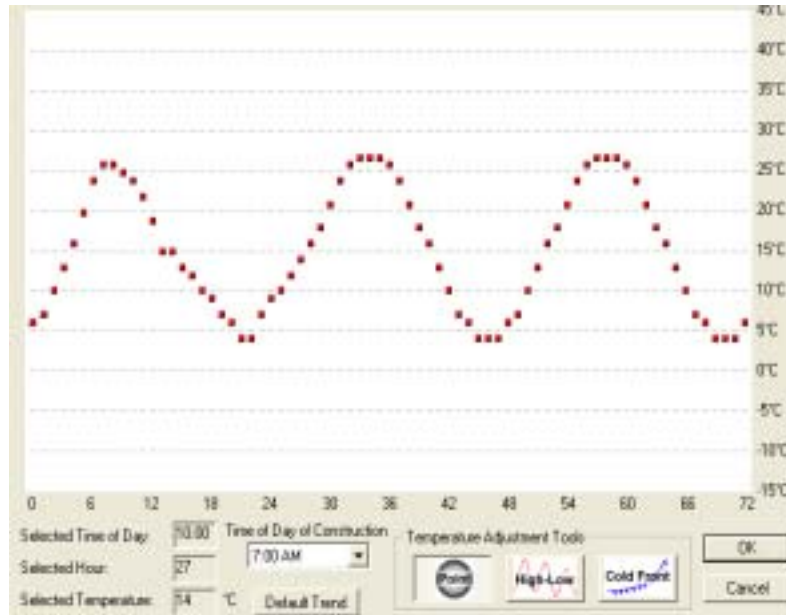
(1)

The image shows a software dialog box titled "Environmental Parameters". It contains several input fields and controls. Under "Ambient Air Temperature", there are fields for "Daily Maximum (High) Temperature" (set to 80) and "Daily Minimum (Low) Temperature" (set to 70), both with a unit selector set to "°F". Below these is a checkbox "Use Default Temperature Distribution?" which is checked, and a button "Define Hourly Temperatures". The "Ambient Relative Humidity" section has fields for "Daily Maximum Humidity (Sunrise)" (set to 80) and "Daily Minimum Humidity (Late Afternoon)" (set to 40), both with a unit selector set to "%". The "Overcast Conditions" section has three radio buttons: "Sunny" (selected), "Partly Cloudy", and "Cloudy (Overcast)". At the bottom, there is an "Average Wind Speed" field (set to 5) with a unit selector set to "mph". "OK" and "Cancel" buttons are at the bottom right.

<그림 A.8> 환경변수 입력창

가. 일 최고·최저기온

현장 시공지역의 최고·최저 기온을 입력하는 것이 바람직하나, 주변의 측후소 자료를 입력하여도 무방하다. 만약, 예보자료를 바탕으로 3일 기온의 변화 패턴을 알 수 있다면 매시간 단위로 기온을 입력하여 정확한 분석이 가능하다<그림 A.9>.



<그림 A.9> 일 기온변화패턴 입력창

나. 일 최고, 최저 습도

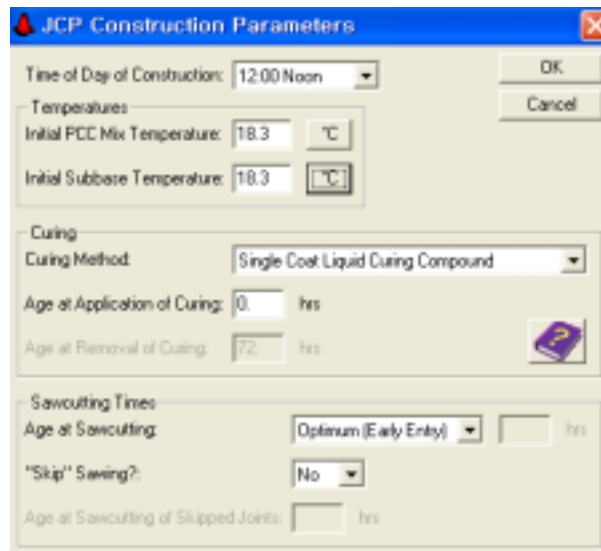
온도와 마찬가지로 현장의 습도를 입력하는 것을 권장하나, 특수한 상황이 아니면 주변 측후소의 자료를 입력하여도 무방하다.

다. 운량 및 풍속

운량(overcast)은 일조량에 관한 사항으로 구름의 양에 따라 Sunny, Partly Cloudy, Cloudy의 3단계로 일조량의 영향을 입력할 수가 있다. 풍속은 슬래브에서 가급적 근접한 지점의 풍속값을 권장하고 있으나, 온도와 습도의 경우와 마찬가지로 인근 측후소의 자료를 사용하여도 무방하다.

(4) 시공(Construction Inputs)

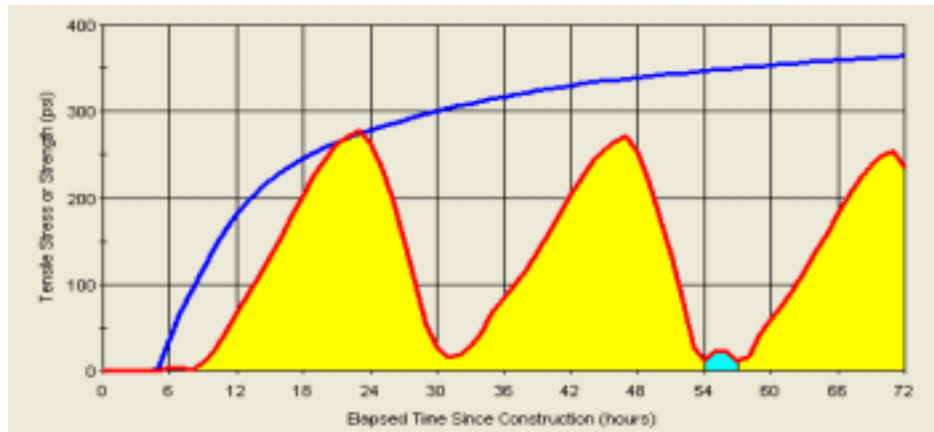
시공에 관한 입력변수 창은 시공시각, 콘크리트혼합물 온도, 양생방법, 줄눈컷팅시기 등 시공과 관련한 자료를 입력한다<그림 A.10>.

The image shows a software dialog box titled "JCP Construction Parameters". It contains several input fields and buttons. At the top right are "OK" and "Cancel" buttons. The "Time of Day of Construction:" field has a dropdown menu showing "12:00 Noon". Below this is a "Temperatures" section with "Initial PCC Mix Temperature:" and "Initial Subbase Temperature:" fields, both set to "18.3" with a "°C" unit button. The "Curing" section has a "Curing Method:" dropdown set to "Single Coat Liquid Curing Compound", "Age at Application of Curing:" set to "0" hrs, and "Age at Removal of Curing:" set to "72" hrs. The "Sawcutting Times" section has "Age at Sawcutting:" set to "Optimum (Early Entry)" hrs, a "Skip" Sawing? dropdown set to "No", and "Age at Sawcutting of Skipped Joints:" set to an empty field hrs. There is a small icon of a saw blade next to the "Age at Removal of Curing:" field.

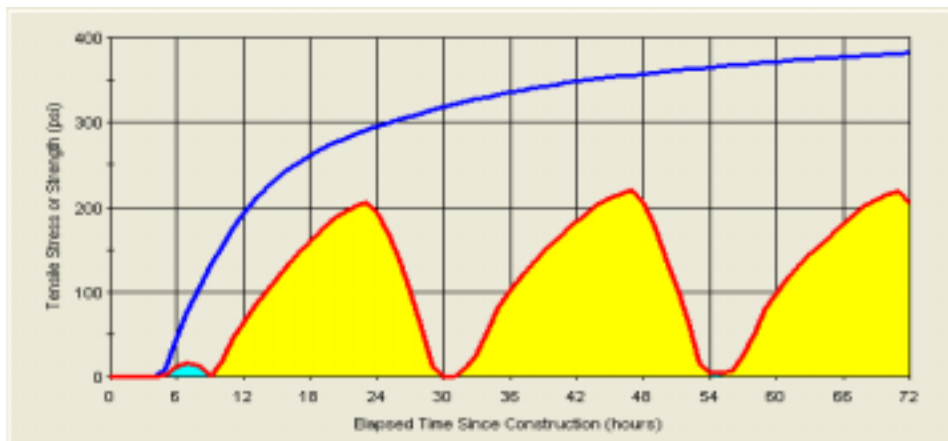
<그림 A.10> 시공변수 입력창

가. 양생

프로그램에서 양생의 방법은 6가지 방법을 제공하고 있다. 여기서 액상 양생제의 경우 1겹, 2겹, 3겹 적용하는 경우를 제공하고 있으나, 프로그램에서는 이에 대한 자료부족으로 이러한 영향을 제대로 적용하지 못하고 있다(McCullough, 1999). 그 외의 양생방법을 적용하는 경우 차이를 보임을 알 수 가 있다. 현재 우리나라의 경우 시공현장에서 양생제 기능의 중요성을 실무자가 제대로 인식을 하지 못하고 있는 실정이다. 양생 방법만으로도 콘크리트 슬래브의 위험 응력을 줄이는 방법으로 사용될 수도 있다 <그림 A.11>, <그림 A.12>.



<그림 A.11> 양생제의 효과(1겹 액상 양생제의 경우)



<그림 A.12> 양생제의 효과(비닐막+코튼매트 사용)

나. 시공시각

시공시각은 시멘트의 수화반응에 의한 수화열의 정점에 영향을 주게 된다.

다. 포설시 콘크리트혼합물 온도 및 보조기층의 온도

포설시 굳지 않은 콘크리트(Fresh Concrete) 온도와 보조기층의 온도는 계절적 영향을 많이 받게 된다. 평균 기온이 높은 계절의 경우 시공전 콘크리트 온도와 보조기층의 온도가 상대적으로 기온이 낮은 계절에 비해 높을 것이다. 포설시기에 따른 수화열의 패턴에서 확인할 수 있듯이 더운계절에 포설한 슬래브온도 정점의 경우 선선한

계절에 포설한 슬래브보다 매우 높은 패턴을 나타낸다.

이처럼 콘크리트 포장의 초기거동에 영향을 주는 요소는 매우 다양하다. 입력요소의 콘크리트 포장에 대한 악영향을 최소화하기 위해서는 각 변수들의 작용을 예측해 볼 수 있는 이러한 프로그램을 통한 시뮬레이션이 중요함을 알 수가 있다.

A.3 국내 물성 특성을 고려한 HIPERPAV 입력변수 제시

A.3.1 입력변수의 구분

HIPERPAV 프로그램은 크게 4개의 분야로 이루어져있으며, 각 분야에는 다양한 변수를 입력하도록 구성되어 있다. 이러한 변수들 중에는 국내 시공환경과 관계없이 입력할 수 있는 변수들이 있는 반면, 국내 시공환경을 반드시 고려해야하는 입력변수들도 존재한다. 프로그램의 국내 적용을 위해 다음과 같이 입력 변수들을 분류하였다.

<표 A.2> 입력변수의 구분

클래스	내 용
I	시공현장 및 시공전 현장 수집항목
II	시험 및 문헌조사를 겸한 자료 수집항목
III	문헌조사를 통한 자료 수집 항목

이러한 클래스로 분류한 목적은 다음과 같다.

- 국내 실무자들이 손쉽게 현장에 적용하기 위한 국내 적용 기본값 제시
- 한국형 포장 설계법 개발 과제 내에서 중복 시험을 방지
- HIPERPAV 프로그램을 다른 과제에서 적용할 때 국내 실정에 맞게 적용하기 위한 공통입력변수를 선정

- 기존 국내물성 반영 자료를 수집하여 항목별 각 입력변수의 범위를 파악

이를 기준으로 입력변수를 클래스로 정리해 보면 <표 A.3>과 같다.

<표 A.3> 입력변수의 클래스 설정

분야	입 력 변 수	클래스	분야	입 력 변 수	클래스
설 계 입 력 변 수	줄눈간격(Joint spacing)	I	배 합 입 력 변 수	시멘트 종류	II
	차선평폭(lane width)	I		시멘트의 조성비	II, III
	슬래브 두께(Thickness)	I		Maturity Data	II
	실험실 간접인장강도	III		골재 종류	I
	실험실 탄성계수	III		골재(콘크리트)열팽창계 수	III
	보조기층의 마찰력	III		배합비	I
				혼화제 사용 여부	I
환 경 입 력 변 수	일 기온 온도	II	시 공 입 력 변 수	시공시각	I
	일 최고 최저 습도	II, III		혼합물온도(콘크리트)	I
	운량(구름양)	II		보조기층의 온도	I
	풍속	I		양생 방법	II
				줄눈컷팅 방법	I

A.3.2 입력변수 제시

현재 국내 시공환경에 적용 가능한 입력변수의 잠정적 범위는 다음과 같다.

<표 A.4> 국내 물성 특성을 고려한 입력변수의 크기 범위

항 목	입 력 값	비 고
휨강도	55~64kg/cm ²	고속도로 품질검사 평균값
보조기층 마찰력	94kPa(린콘크리트) 5.5kPa(비닐시트)	국내 실험값
시멘트 조성비	KS 규격	
골재에 따른 콘크리트 열팽창계수	화강암(10.7) : 1.8~11.9με/°C 안산암(9.2) : 4.1~10.3με/°C 사암(9.6) : 4.3~13.9με/°C 편마암(10.7) : - 석회암(-) : 4~8με/°C	국내 실험값 범위 (일반적 적용값)
콘크리트 탄성계수(28일)	2.8~3.2*10 ⁵ kg/cm ²	국내 실험값 범위

【부록 B】 i-button 사용자 매뉴얼

B.1 i-button의 콘크리트 포장 적용

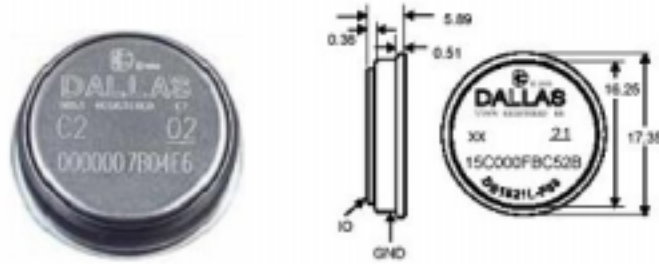
미국 TxDOT(텍사스 도로국)에서는 콘크리트 포장의 공용성에 대해 많은 연구를 하고 있다. 최근의 어느 한 연구에서 콘크리트 양생온도를 측정하는데 기존의 온도계인 thermocouple을 사용하지 않고 i-button을 사용하였다. 그 결과 우리나라에서의 결과와 마찬가지로 적용성이 우수함을 검증하였다.

<표 B.1> 온도계의 원리 및 포장체에 적용시의 장/단점

	Thermocouple	Thermistor	i-button
원리	서로 다른 성질을 가진 두 금속이 접촉하고 있으면 두 접합점 양단에서 기전력이 발생하여 온도를 측정	- 금속산화물(열에 민감)을 소결하여 만들며 온도에 따라 저항치가 변하는 특성을 이용함 - Thermistor의 저항치는 온도가 증가함에 따라 감소함	내장된 온도센서가 온도를 감지하면, 1 wire 시스템에 의하여 온도를 디지털 신호로 변환하여 온도를 측정함
장점	- 넓은 측정 범위 - 온도계의 비용은 저렴함 - 분해능 : 0.1℃	- 값이 싸고 소형임 - 분해능 : 0.1℃	- i-button 만으로 자동계측 가능 - i-button 만으로 무인계측 가능 - 온도 data 수집이 용이함 - 설치가 용이함 - Interval 설정가능 4096bits의 memory 내장 - 내구성이 뛰어남 - 자체 전원 공급 - 장기간 동안 계측 가능함
단점	- 수동계측을 할 경우 data 수집이 불편함 - 자동계측을 할 경우 고가의 장비가 필요함 - 자동계측을 할 경우 전원이 필요함(현장에서는 발전기가 필요함) - 무인계측이 불가능함 - 수명이 짧음	- 수동계측을 할 경우 data 수집이 불편함 - 자동계측을 할 경우 고가의 장비가 필요함 - 무인계측이 불가능함 - 자동계측을 할 경우 전원이 필요함(현장에서 발전기가 필요함) - 직선성과 감도 좋지 않음	- 측정범위가 -30℃~85℃로 한정적임 - 포장체 내부에 매립할 때 간단한 작업(납땀, 코팅)이 필요함 - 분해능 : 0.5℃

B.2 i-button특징

i-button은 온도변화에 민감한 냉동 창고나 음식물 수송차량의 내부에 설치하여 온도변화를 쉽게 알기 위해서 개발되었다. 사용자의 목적에 따라 온도측정간격을 설정하여 원하는 장소에 i-button을 설치하면 i-button 내부에서 전원을 공급받아서 온도 data를 스스로 저장하게 되는 것이다. 따라서 자동/무인 측정이 가능한 것이다. 또한, 온도 data를 얻기 위한 방법이 매우 간단하여 손쉽게 사용할 수 있다.



<그림 B.1> i-button의 크기

i-button의 특징을 세부적으로 요약하면 다음과 같다.

(1) 온도 범위 및 정확도

- 측정 가능한 온도 범위는 모델에 따라 약간의 차이가 있으나 콘크리트 포장 적용에서 사용한 것은 $-40^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$ 이며 0.5°C 단위로 증감한다.
- 정확도는 $-20^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$ 에서 1°C 이다.

(2) 온도 저장 및 전송

- 자체 내부전원(리튬 배터리)으로 외부의 도움 없이 data 저장이 가능함
- 4,096 bits의 read/write memory가 내장되어 있어 한 번의 명령에 2,048번의 온도측정이 가능함(온도 1회 측정시 2 bits 소요됨)
- 온도 저장 간격은 1분~255분까지 분단위로 설정 가능함
- 1시간 간격으로 온도 측정시 85.3일 동안 2,048개의 온도 저장이 가능함
- 256bits의 보조기억장치(scratchpad) 내장
- 온도계에 명령을 주거나 온도 data를 download할 때 필요한 i-button viewer는 web site에서 무료로 download 받을 수 있다.
- Adapter(DS 9097U-009 Universal Serial Port Adapter)와 통신선(또는 전화선)을 이용하여 data를 전송함
- 수집되고 있는 온도 data를 언제든지 download 받을 수 있다.

- 여러 개의 i-button을 병렬로 연결하여 data를 전송할 수 있다.

(3) i-button viewer program

- 사용자가 원하는 온도 측정 방법에 관한 여러 가지 명령을 줄 수 있다.
- 실시간으로 시간-온도 그래프와 히스토그램을 보여줄 수 있다.
- 사용자가 임의로 온도 범위를 설정할 수 있는데, 만약 온도가 그 범위를 벗어나게 된다면 알람기능에 의해 그 때의 시각과 지속시간을 기록한다.

(4) i-button의 수명

- 자체 내부전원(리튬 배터리)의 수명은 10년이다.
- 85℃가 넘는 온도에 노출될 경우 리튬의 수명은 줄어든다.

(5) 그 외의 특징

- i-button 내부의 시계 정확도는 0℃~45℃ 범위에서 ±2분/month이다(윤년과 Y2K 오류를 해결함).
- i-button 내부에 있는 시간/달력은 언제든지 조정할 수 있다.
- 거친 환경에도 파손의 우려가 적어 내구성이 좋다(stainless steel 케이스).
- 완전방수(waterproof)는 아니지만 내수성(water-resistant)이 있다.
- 크기가 작아서 취급이 용이하다.

B.3 i-button의 실행에 필요한 부속품 및 재료

i-button을 시멘트 콘크리트에 매립하여 온도 data를 얻기 위해서는 2가지의 부속품과 몇 가지의 재료가 필요하다. 부속품으로는 Universal Serial Port Adapter와 모뎀 및 전화선에 연결되는 RJ 11 잭이 필요하다.

또한, 시멘트 콘크리트에 적용하기 위하여 몇 가지 조치를 해야 하는데, 그 대표적인 것으로는 stainless steel용 납땜도구와 에폭시가 필요하다.

(1) DS 9097U-009 Universal Serial Port Adapter(이하 adapter)

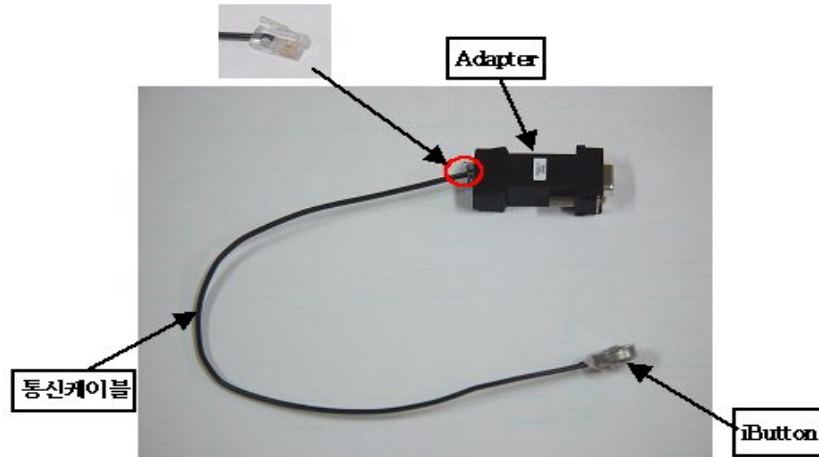
Adapter는 i-button에서 인식된 온도신호 data를 컴퓨터에 송신하기 위해 필요한 부속품으로 모양은 <그림 B.2>와 같다. <그림 B.2>의 ① 부분은 RS232 COM port에 연결되고, 반대 부분인 ②는 i-button에 연결된 전(화)선의 반대쪽인 RJ 11잭과 연결된다. 만약, 사용자가 이 adapter를 대신하여 이와 비슷한 형태의 다른 부품을 사용할 경우에는 error가 생기는데, 그 이유는 이 adapter의 내부에는 특수한 회로기판이 있는데, 이것은 단지 data의 전송역할만 하지는 않기 때문이다. 따라서 i-button을 구입할 경우에 반드시 이 adapter를 함께 구매해야 한다.



<그림 B.2> DS 9097U-S09 Universal Serial Port Adapter

(2) 전화선 혹은 통신선

i-button과 adapter를 연결하는 cable 역할을 한다. i-button에는 두 가닥의 전선이 연결되는데, 하나는 접지(어스)역할을 하고, 다른 하나는 저장된 온도(디지털 신호)를 전송하는 역할을 한다. 이러한 시스템을 1-Wire 라고 한다. 두 선이 서로 뒤바뀔 경우에는 data 전송이 안 되므로 주의해야 한다. 이 경우에 사용되는 전선은 일반전선이나 통신선(전화선)을 사용하면 된다. 이 경우에 전선의 한쪽은 반드시 RJ 11 잭으로 접합되어 있어야 한다. 이러한 전선은 시중에서 손쉽게 구할 수 있다. 아래의 <그림 B.3>은 i-button과 연결된 부속물의 결합 사진이다.



<그림 B.3> i-button과 결합된 부속품

(3) Stainless steel용 납땜도구

i-button의 바깥 재질이 stainless steel이어서 일반 납땜으로는 접착이 되지 않는다. 따라서 납땜을 할 경우에는 stainless steel의 코팅막을 제거해줄 특수 화합물을 i-button의 표면에 미리 바른 후에 납땜 작업을 해야 한다. 이 때 필요한 도구로는 인두, 실납, 그리고 “stainless steel용 특수 화합물” 등이 있다. 이 방법 이외에 stainless steel 용도의 납이 있는데, 실제로 적용해 본 결과 접착력이 부족해서 사용할 수 없었다. 하지만 “고주파 인두기”로 실험해 본 결과 만족할 만한 결과를 보였다.



<그림 B.4> 실납 및 stainless steel용 특수 화합물

(4) 에폭시

i-button이 물속에 잠겨있거나 굳지 않은 콘크리트(Fresh Concrete)에 매립될 경우에는 온도 Data 전송이 잘 되지 않는다. 따라서 방수와 합선방지를 위한 에폭시 도포

가 필요하다. 이 때 사용되는 에폭시는 흘러내림이 적고 작업성, 강도 그리고 방수성이 우수하며 경화속도가 빠른 것이 좋다. 이러한 조건이 만족되는 접착력을 가진 재료가 있다면 어떠한 것을 사용하여도 무방하다.



<그림 B.5> 에폭시

B.4 i-button과 통신선의 연결방법

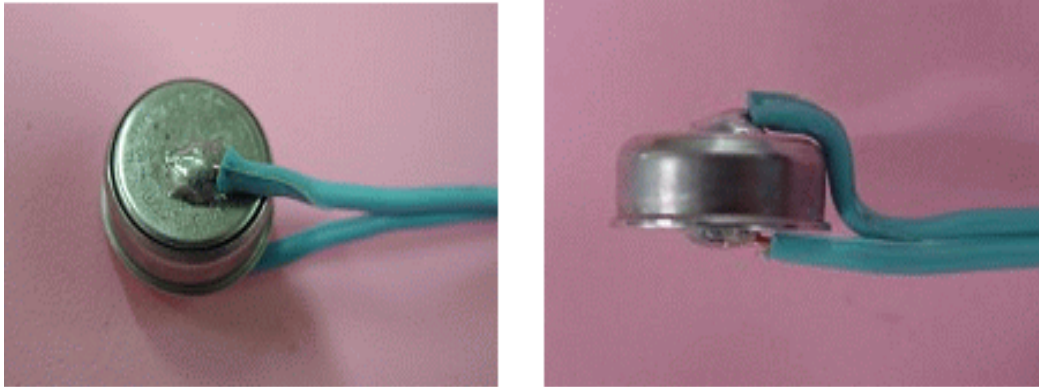
만일, i-button이 대기의 온도를 측정하는 용도로 사용된다면 i-button과 통신선이 항상 연결되어 있을 필요가 없다. 다만 i-button에 명령(mission)을 줄 때와 data를 download할 때만 i-button과 통신선이 연결되어 있으면 된다.

하지만 i-button이 콘크리트 포장에 매립된다면 상황은 달라진다. 필요할 때마다 콘크리트 포장의 일부를 부수어 i-button을 회수한 후 포장을 보수하는 작업을 할 수 없기 때문에, i-button과 통신선이 항상 연결되어 있어야 한다. 그리고 연결된 통신선이 콘크리트 포장 밖으로 노출되어 있어야 한다.

이러한 경우에, i-button과 통신선의 연결을 위해서는 i-button의 전기적 신호가 통신선을 통해 전달될 수 있어야 하며 i-button과 통신선의 연결이 콘크리트 포장 내부에서 쉽게 떨어지지 않도록 지탱될 수 있어야 한다. 즉 전도체이면서 접착력을 지닌 성분이 필요하다. 이러한 방법에 가장 적합한 것은 납땜과 용접이 있다. 하지만 용접은 i-button의 내부에 있는 센서와 메모리 칩에 고전압을 주어 손상의 우려가 있기 때문에 사용할 수 없다. 납땜의 경우에도 문제점을 보였는데, 그 이유는 i-button의 바깥 재질이 stainless steel이기 때문이었다. Stainless steel은 (일반)납으로는 전선과 바로 연결이 되지 않는 단점이 있다. 이 점을 보완하기 위하여 다음과 같은 i-button

과 통신선의 연결방법을 제안한다.

그 방법은 stainless steel에 일반 납이 잘 붙을 수 있도록 도와주는 “특수 화합물”을 바른 후에 납땜을 하는 것이다. <그림 B.6>은 i-button에 통신선을 연결한 모습을 보여주는 사진이다.



<그림 B.6> i-button과 납땜된 통신선

B.5 i-button의 방수 및 합선방지 처리

i-button이 물속에서도 온도 data를 측정하여 저장할 수 있는 특성을 지녔다는 것은 앞서 말한 바 있다. 하지만, 물속에 잠겨 있는 그 순간의 온도를 바로 측정하여 전송할 수는 없다. 다만 그렇게 하기 위해서는 물속에서 i-button을 꺼내어 온도 data를 download하여 다시 물속에 넣는 방법을 사용하는 방법이 있을 수 있다.

콘크리트 역시 초기에는 다량의 물을 함유하고 있다. 하지만 물에서처럼 필요에 따라 i-button을 넣었다가 뺄 수는 없는 상황이기 때문에 다른 방법을 고안해야 한다.

여기서는 i-button이 콘크리트 포장의 시공 초기에도 온도 data를 제공할 수 있도록 i-button의 외부를 “코팅” 처리하여 실험에 성공하였다<그림 B.7>. 여러 가지 재료를 실험 해 본 결과 부착력, 방수, 합선방지, 그리고 매립 후에 떨어지지 않는 강도를 유지하는 에폭시가 가장 우수한 것으로 결정되었다.

만일 코팅처리를 하지 않고 i-button을 콘크리트 포장에 매립한다면, 물의 함유량이 많을 경우에는 data 전송을 하지 못하다가 어느 정도 양생이 되어 물이 i-button을

완전히 덮어씌우고 있지 않을 때에야 비로소 data 전송이 가능해 진다. 하지만, 현장에서 실시간 data를 신속히(실시간으로) download하여 분석하기 위해서는 i-button에 코팅을 하는 것이 적합할 것이다.



<그림 B.7> i-button의 코팅

B.6 현장에서의 i-button 거치 방법

지금까지의 내용은 i-button을 시멘트 콘크리트 포장에 매설하여 온도 data를 얻기 위한 가장 단순한 방법을 설명하였다. 하지만, 실제 현장에서는 상황에 따라 다양한 위치와 깊이에서의 온도 data를 얻어야 하는 경우가 많다. 또한 정해진 매립된 i-button이 정확한 data를 취득하기 위해서는 센서가 다른 곳으로 움직이지 않아야 한다.

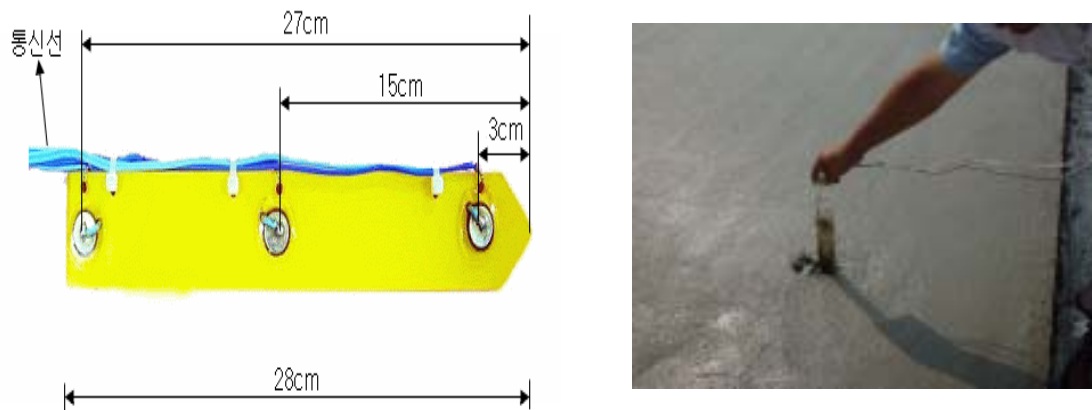
본 절에서는 이러한 상황에 적합한 현장용 i-button 거치대를 사용하여 i-button을 매립하고 거치하는 방법에 관한 사항을 살펴보도록 한다.

i-button의 첫 현장 실험은 “콘크리트 포장 성능 개선 연구”의 일환으로 수행된 시험시공현장에서 이루어 졌다. 이 시험시공현장의 포장 두께는 시멘트 콘크리트 포장 표층의 일반적인 두께인 30cm이다.

시멘트 콘크리트 포장의 온도는 위치(포설시간)에 따라 다를 뿐 아니라, 깊이에 따라 서로 다른 패턴을 보인다. 이와 같은 온도 차이를 보이는 이유는 포장의 깊이에 따른 대기온도의 영향과 수화열의 차이 때문이다. 따라서 i-button을 포장의 위치(포설시간)와 깊이에 따라 달리 매설할 필요가 있다. 여기서는 현장 매립에 앞서, 위치에 따른 세 가지 깊이의 온도를 측정하기 위한 거치대가 필요하게 된다.<그림 B.8>. 여기서 말

하는 세 가지의 깊이는 표면으로부터 각각 3cm, 15cm, 27cm 떨어진 곳에 해당된다. 이곳을 i-button의 직경과 유사한 드릴 날로 천공하여 i-button을 끼운 후, 납땜과 코팅작업을 하면 된다. 이 거치대를 매립하게 되면 윗부분에 2 Cm의 여유가 생기는데 이것은 거치대가 밖으로 노출되지 않도록 하기 위함이다.

이 거치대는 열전도가 거의 되지 않는 아크릴 재질로서 거치된 각각의 i-button은 서로 독립적으로 온도 data를 수집한다. 또한 아크릴 재질은 시멘트의 알칼리성에 저항할 수 있는 특성을 가졌다. 아랫부분이 뽀족한 이유는 타설된 후의 시멘트 콘크리트 위에 i-button 거치대를 삽입하기가 용이하도록 하기 위함이다.



<그림 B.8> I-button 거치대 치수 및 현장 매립

B.7 i-button 저장자료 불러오기

(1) 프로그램 다운로드

i-button viewer는 <http://www.ibutton.com> 에서 무료로 다운로드 할 수 있다.

i-button viewer(이하 i-button viewer)는 OS의 사양에 따라 다음과 같은 3가지 형식으로 분류되며 그 중 컴퓨터의 OS에 적합한 형식을 다운로드 하면 된다.

가. Microsoft Window (32-bit) 용 : Window XP, 2000, 98, 95, NT 4.0

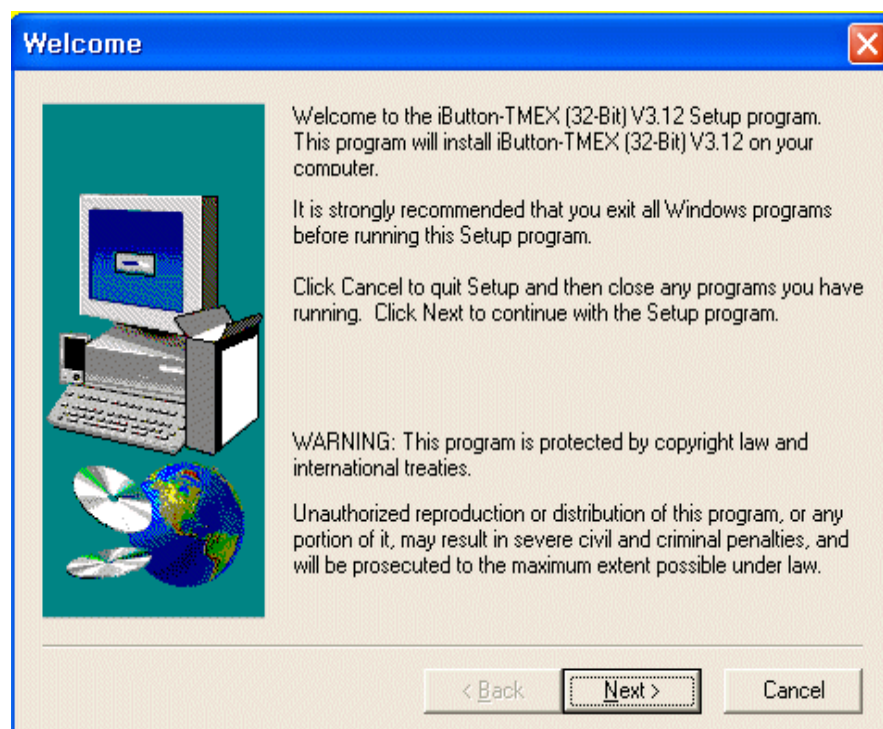
나. Microsoft Window (16-bit) 용 : Window 3.1

다. Dos 용

(2) 설치(installation)

i-button Viewer Program의 설치과정은 여타 프로그램과 비슷하다. 프로그램 설치 과정 중의 하나인 Port Selection은 아래의 과정을 따라야 한다.

<그림 B.9>는 설치과정에 나타나는 첫 번째 창인 "Welcome"을 보여주고 있다. 그 후에 나타나는 "Software License Agreement", "Read Information", "User Information" 등의 과정을 거치고 나면 Port Selection의 방법을 설명하는 "1-Wire Net Port Selection" 창이 나타난다<그림 B.10>. 간략하게 내용을 살펴본 후 Next를 누르면 <그림 B.11> 창이 나타난다.



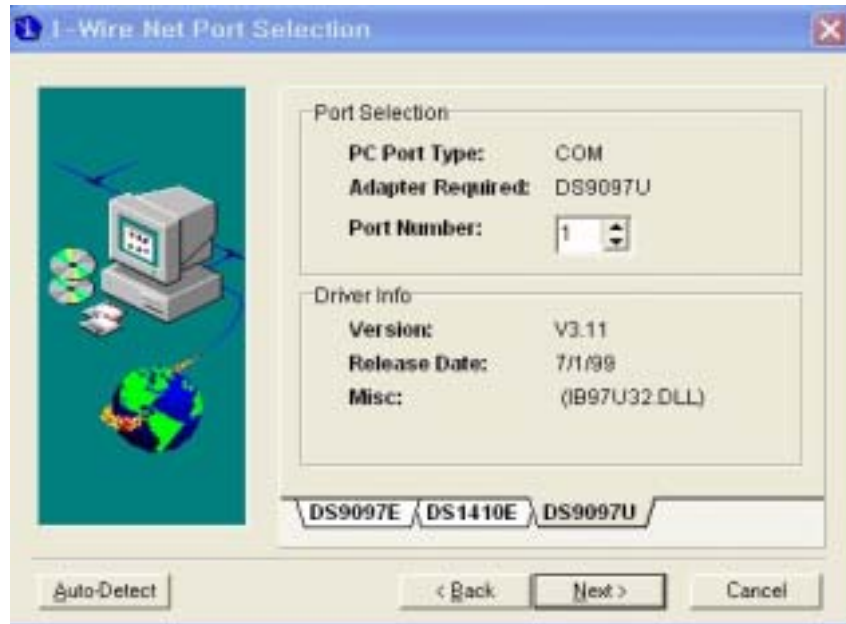
<그림 B.9> 설치 초기화면



<그림 B.10> Port Selection 설명 창

<그림 B.11>에서 결정해야 할 것은 i-button의 adapter가 연결된 “Port Number”와 연결된 “adapter”의 종류이다. “Port Number”를 선택한 후에 <그림 B.11>의 하단에 있는 3가지의 adapter 중에서 DS 9097U를 선택해야 한다. 이 과정이 잘 이해되지 않을 경우에는 “Auto-Detect” 버튼을 눌러주면 해결된다. 만일, 컴퓨터에 adapter가 연결되어 있지 않았다면 이 과정에 error가 생기기 때문에 반드시 adapter를 연결한 후에 설치해야 한다.

설치가 끝난 후 컴퓨터를 다시 시작하게 되면 “ibutton TMEX”라는 프로그램 폴더에 “i”아이콘이 설치되면서 설치과정이 끝나게 된다. “i”아이콘이 바로 i-button viewer의 아이콘이다.



<그림 B.11> Port Selection

(3) i-button의 Main Screen의 구성

①을 실행시키면 <그림 B.12>가 나타난다. 만약 이 때 adapter가 연결되어 있지 않았다면 실행되지 않는다.

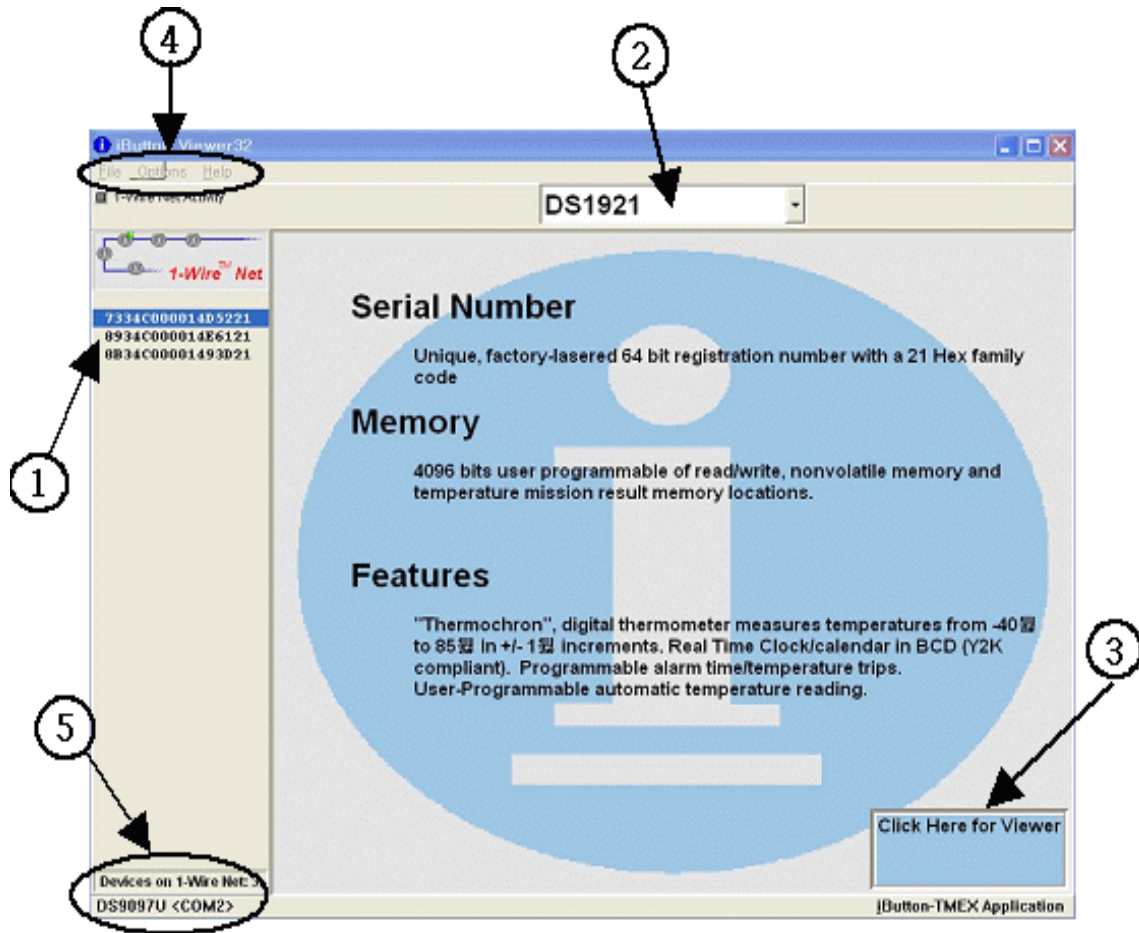
<그림 B.12>에 나타난 i-button viewer 실행 초기화면은 다음과 같은 5가지로 구성되어 있다.

- Network List Box

<그림 B.12>에서 ①에 해당되며 i-button이 연결되어 있을 경우에 나타난다. 화면에 보이는 숫자와 문자의 조합은 현재 adapter에 연결되어 있는 i-button 각각의 고유 번호이다. 하나의 adapter에는 여러 개의 i-button의 연결이 가능하며 아래의 경우에는 세 개의 i-button이 adapter에 연결되어 있는 경우를 보여주는 것이다.

- Part Number drop-down Combo box

<그림 B.12>에서 ②에 해당되며, i-button이 연결되어 있을 경우에 알맞은 viewer로 자동 설정된다. 여기서 사용하는 i-button의 full name은 “DS1921L-F5X i-button ThermoChron” 이므로 box에는 DS1921이 나타나게 되는 것이다.



<그림 B.12> i-button viewer 실행 초기화면

(i-button 3개가 연결되어 있는 경우)

- Viewer Launching button

<그림 B.12>에서 ③에 해당되며 i-button Thermochron Viewer를 보여주는 기능을 한다. i-button Thermochron Viewer를 시작하는 방법에는 세 가지가 있는데, 그 중 한 가지 방법이 Viewer Launching button을 이용하는 것이다. 다른 두 가지 방법은 다음과 같다.

- (2) - ①에 있는 i-button의 고유번호를 더블클릭 한 후 i-button Thermochron Viewer를 클릭 한다.
- (3) - 마우스의 오른쪽 버튼을 누른 후 Viewer를 선택한다.

- Menu Bar

〈그림 B.12〉에서 ④에 해당된다. 세 개의 메뉴 중 Option의 주요기능을 살펴보기로 하자.

(4) - 1-Wire Net Port : i-button Viewer를 모니터 해주는 1-Wire Port를 적절히 바꿔주는 기능이다. 처음 프로그램을 설치할 때 정해주기 때문에 default 그대로 사용하면 된다.

(5) - Auto Viewer Start : i-button Viewer Program을 시작할 때 i-button Thermochron Viewer가 자동으로 실행되도록 설정하는 기능이다.

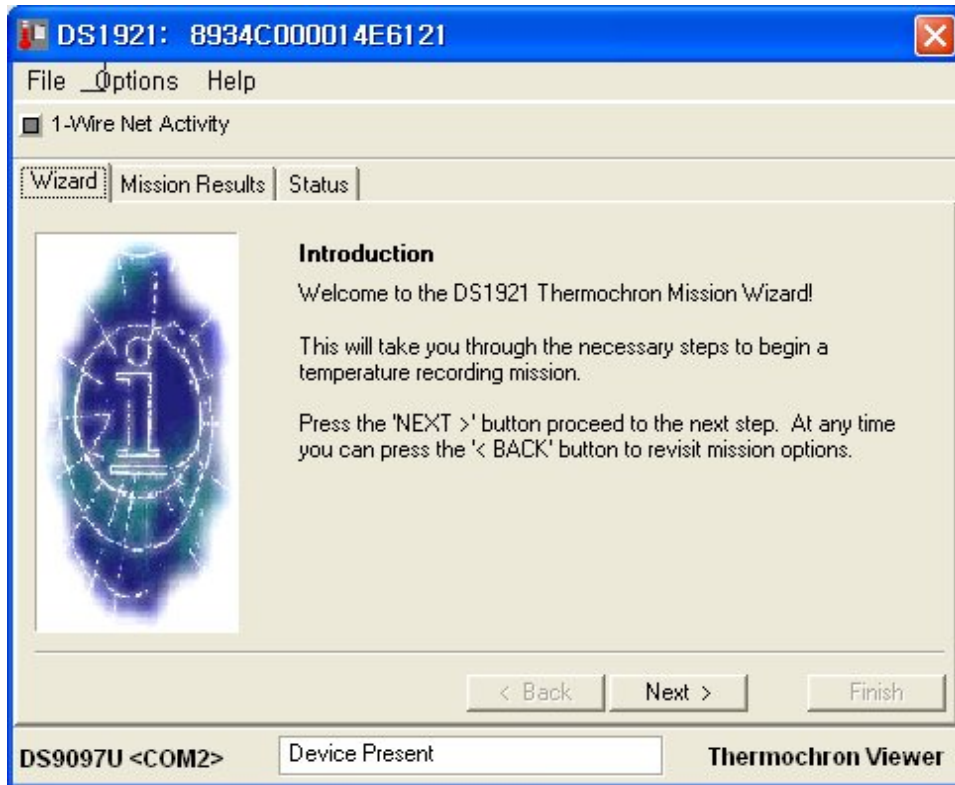
(6) - Auto Save Size/Position : i-button Viewer를 실행시켰을 경우, 원하는 크기의 창이 나타나도록 하며, 또한 원하는 위치에 놓이도록 설정하는 기능이다.

- Port Number와 adapter

〈그림 B.12〉의 ⑤의 윗줄은 현재 연결되어 있는 i-button의 개수를 나타내고 아랫줄은 Port의 Number와 adapter의 종류를 보여주는 것이다.

B.8 i-button Thermochron Viewer

i-button의 사용자는 사용목적에 따라 i-button의 다양한 기능을 조절을 조절할 수 있으며 그 기능을 설정하는 곳이 i-button Thermochron Viewer이다. i-button Thermochron Viewer의 주요기능은 원하는 시간간격으로 온도 data를 얻을 수 있도록 명령하고, i-button 자체에 저장된 온도 data를 다운로드 하는 것이다. 앞에서 설명한 Main Screen을 통해 i-button Thermochron Viewer를 실행 시키게 되면 〈그림 B.13〉과 같은 창이 생성된다.



<그림 B.13> i-button Thermochron Viewer의 초기화면

<그림 B.13>의 상단에 위치해 있으며 "Wizard", "Mission Results" 그리고 "Status"로 구성되어 있으며 주요 탭에 대한 설명은 다음과 같다..

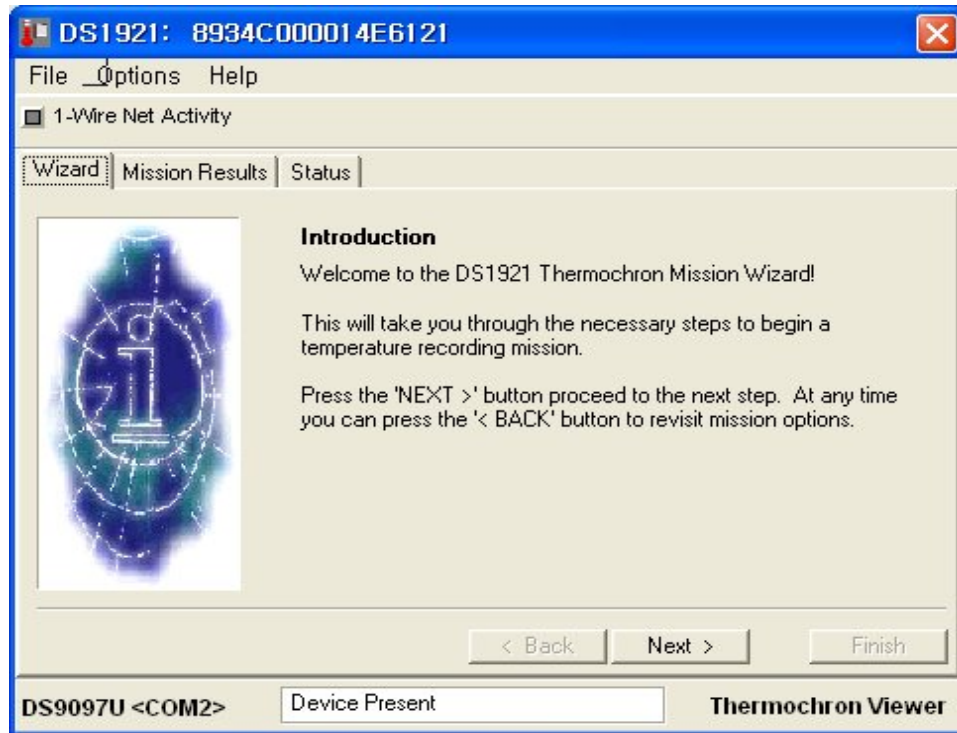
(1) Wizard

Wizard는 "Introduction"부터 시작하여 순차적으로, "Time Set", "Time Alarm", "Mission Start Delay", "Sample Rate", "Temperature Alarms", "Roll-Over" 그리고, "Finish"의 총 여덟 개의 단계로 이루어져 있다. 각각의 단계에서 알맞은 설정을 한 후 Next 버튼을 이용하여 다음 단계로 넘어간다. 또한, Back 버튼을 이용하여 설정했던 사항을 변경할 수 있다.

Wizard의 세부 내용을 예를 들어가면서 살펴보면 다음과 같다

가. Introduction

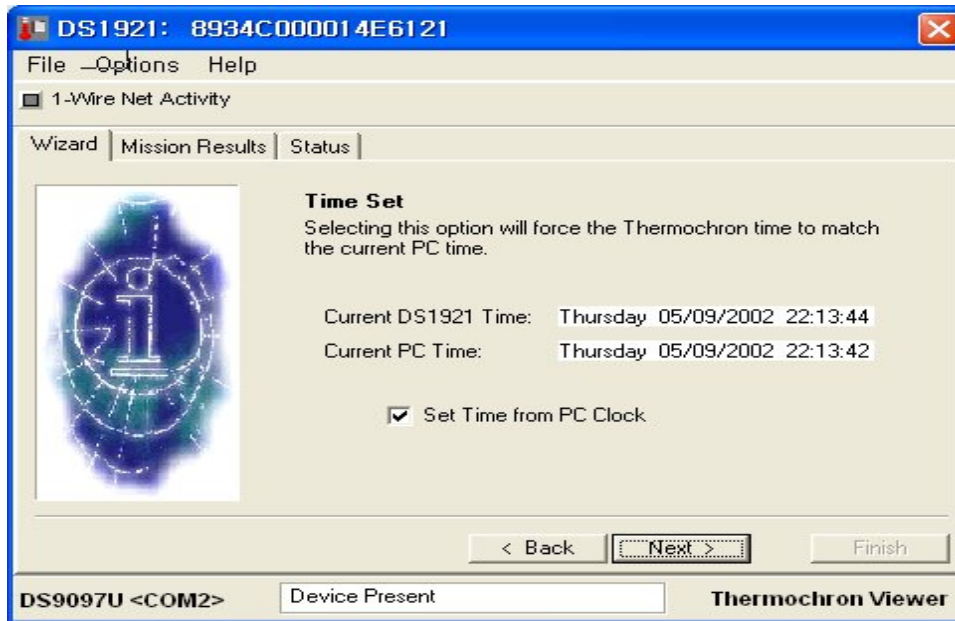
Wizard의 초기화면으로 Wizard를 사용하는 방법이 나와 있다.



<그림 B.14> Introduction

나. Time Set

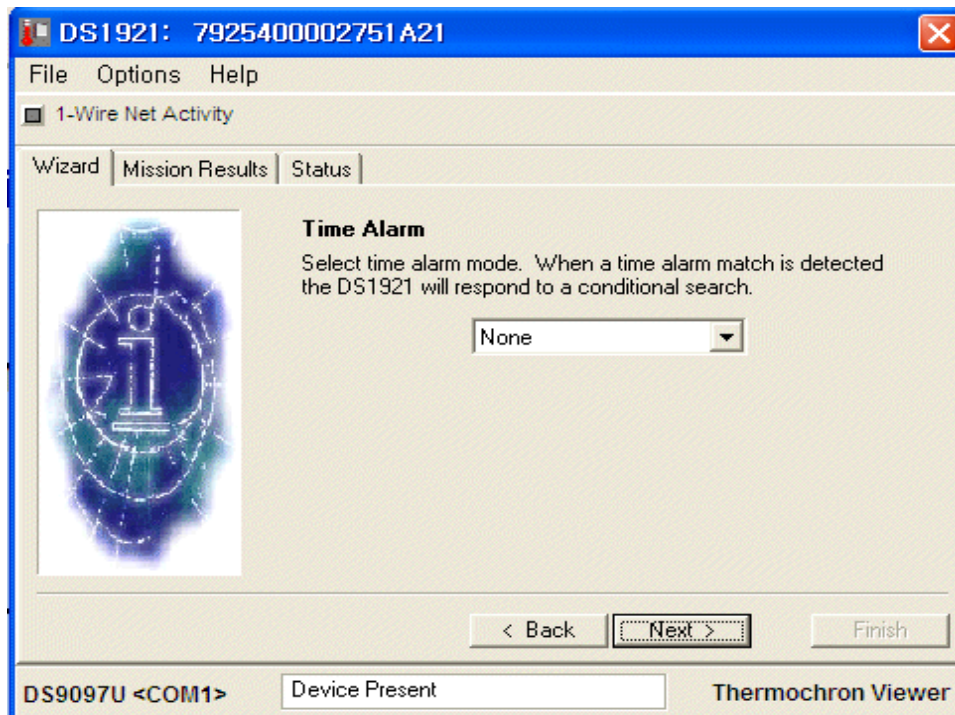
i-button(화면상에는 DS1921로 표기됨) 내부의 시간과 현재 연결되어 있는 컴퓨터의 시간에 동일하게 맞추어 주는 기능을 한다. 이 기능을 적용시키기 위해서 “Set Time from PC Clock”에 “v”표시를 하게 되면 i-button의 시간은 컴퓨터의 시간에 맞추어 진다.



<그림 B.15> Time Set

다. Time Alarm

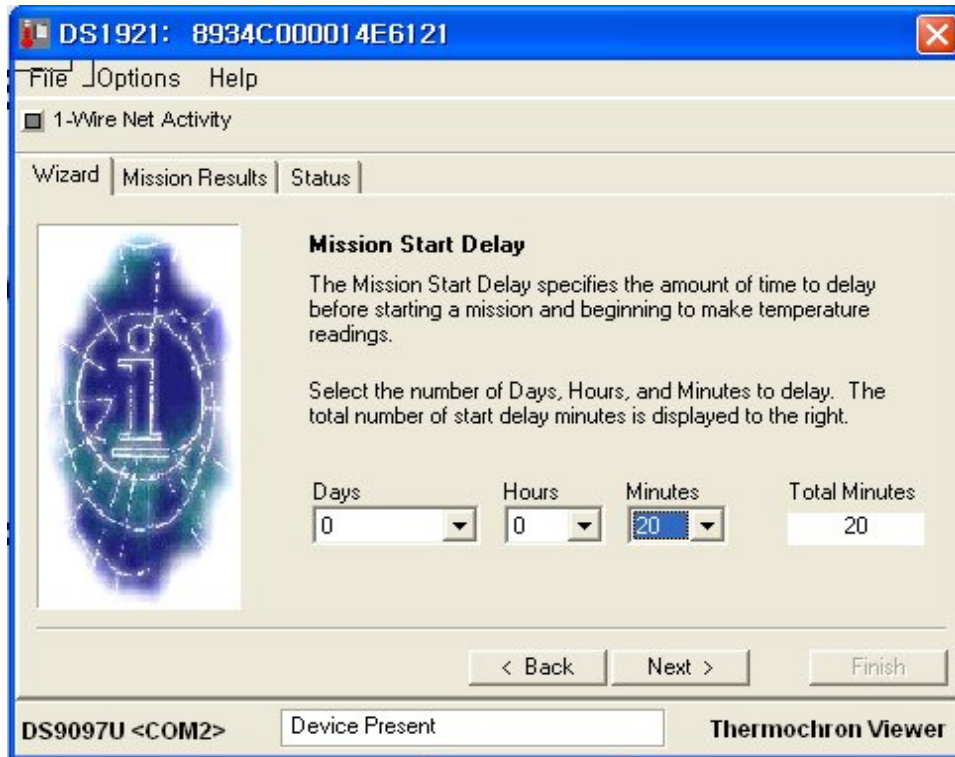
Time Alarm의 설정은 <그림 B.16>에서 처럼 "None"상태로 설정 한 후 다음 창으로 넘어간다.



<그림 B.16> Time Alarm

라. Mission Start Delay

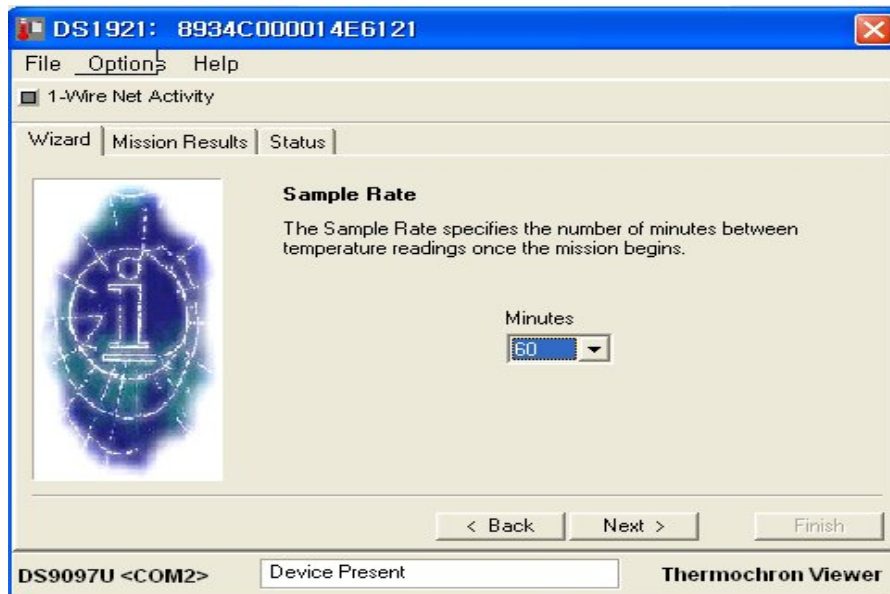
Wizard 설정을 마친 후 온도 측정을 얼마 후에 해야 하는지를 설정한다. Delay 시간은 최대 64799분(약 45일)이고, 최소 시간은 Wizard 설정 후 바로 시작하는 것이다. 아래 <그림 B.17>는 Mission Start Delay의 설정을 20분으로 한 예이다.



<그림 B.17> Mission Start Delay

마. Sample Rate

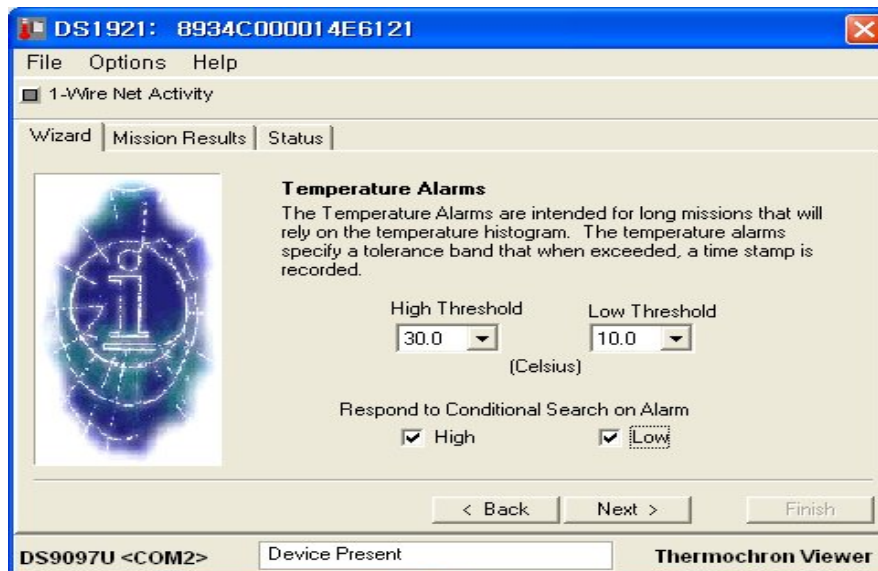
온도측정의 시간간격(Time Interval)을 설정하는 기능으로, 1분에서 최대 255분까지 1분단위로 설정 가능하다. 아래의 <그림 B.18>은 60분 간격으로 온도를 측정하는 경우를 나타내는 것이다.



<그림 B.18> Sample Rate

바. Temperature Alarms

사용자가 임의의 온도범위를 설정하여 그 범위를 벗어나게 될 경우의 시각과 지속된 시간을 결과상에 나타나게 하는 기능이다. “High/Low Threshold”에서 상·하한 경계 온도를 설정하면 “Mission Results”에서 결과를 확인할 수 있으며 “Respond to Conditional Search on Alarm”에 “v” 표시를 하면 설정된 온도가 결과 file에 저장된다.

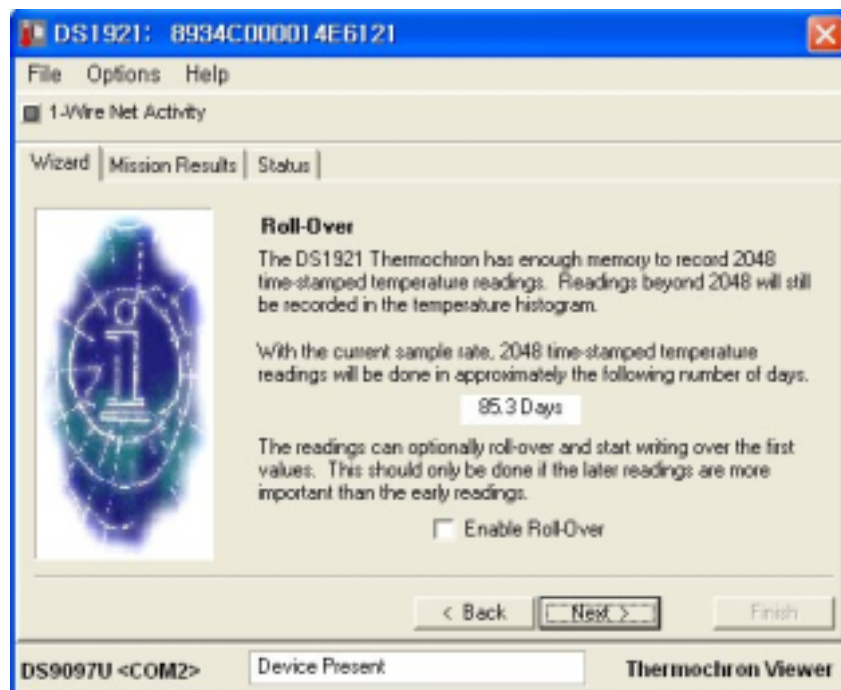


<그림 B.19> Temperature Alarms

사. Roll-Over

i-button이 연속적으로 측정할 수 있는 온도 data 개수는 2048개 이다. <그림 B.20>의 가운데 있는 숫자인 “85.3 Days”는 2048개의 온도를 측정하는 데 소요되는 시간을 나타내는 것이다.

아래쪽에 있는 "Enable Roll-Over"는 2048개의 온도가 다 측정되고 난 후에, 측정을 멈추지 않고 앞에 저장된 온도 data를 지워가면서 덮어쓰는 기능을 말한다. 이 경우를 사용해야 하는데 data의 손실을 피하고 싶다면 미리 data를 저장한 후에 사용해야 한다. 참고로 한 번 지워진 data는 복구되지 않는다. 이 기능을 설정하기 위해서는 "Enable Roll-Over"에 “v”표시를 해야 한다.

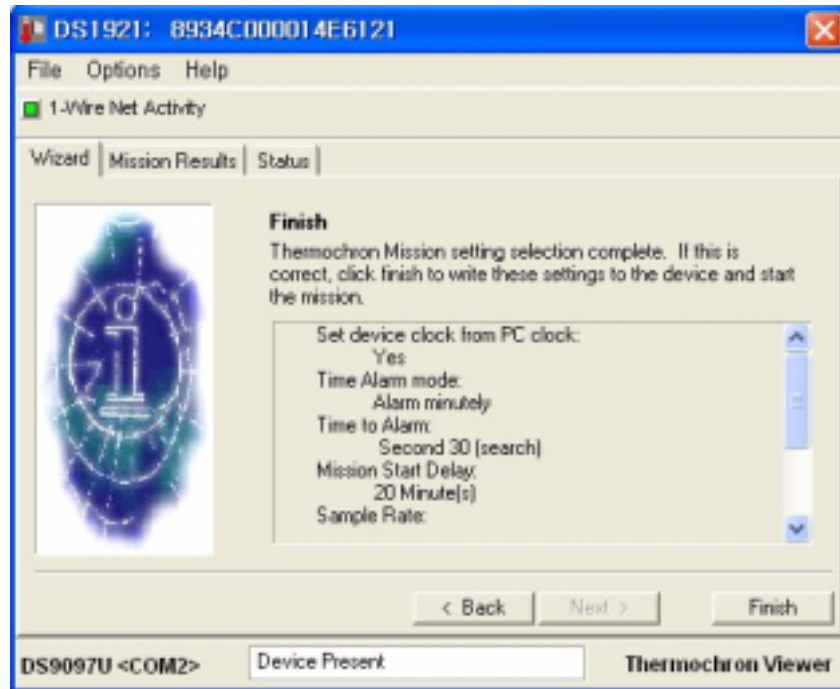


<그림 B.20> Roll-Over

아. Finish

Wizard의 마지막 단계인 Finish에서는 지금까지 일곱 개의 step에서 설정한 항목들을 모두 보여준다<그림 B.21>. 만약 이곳에서 잘못된 설정을 발견했다면 “Back” 버튼을 이용하여 정정할 수 있다.

모든 사항을 확인한 후에 더 이상 정정할 사항이 없을 경우에는 “Finish” 버튼을 누른다. “Finish” 버튼을 누르고 나면, 화면은 “Status” 탭으로 이동된다.

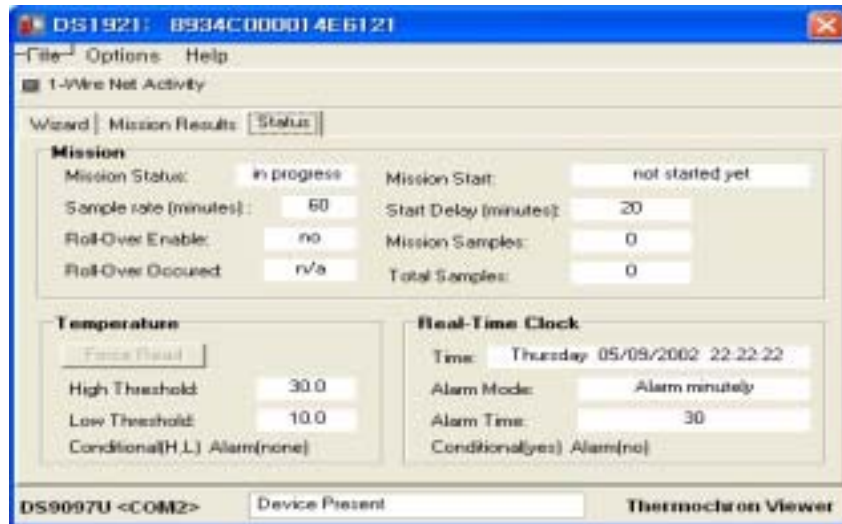


<그림 B.21> Finish

(2) Status

Wizard를 끝냈을 경우(즉, Mission이 진행 중인 경우)에 현재 i-button의 setting 상태를 보여준다. 아래의 <그림 B.22>의 경우 Mission Status는 진행 중("in Progress")이지만 Delay 시간이 20분으로 설정되었기 때문에 Mission Start가 "not started yet" 상태로 남아있는 것이다. 현재 시간이 약 22시 22분이기 때문에 20분 후인, 22시 42분에는 온도측정을 시작하게 되며, 이 순간에 Mission Start의 "not started yet"가 사라지고 그 대신 "22시 42"이라는 온도 측정 시작 시간이 나타난다. 이와 동시에 "Mission samples"에는 1이 기록된다. 이 후부터 sample수는 한 시간 간격으로 하나씩 증가된다.

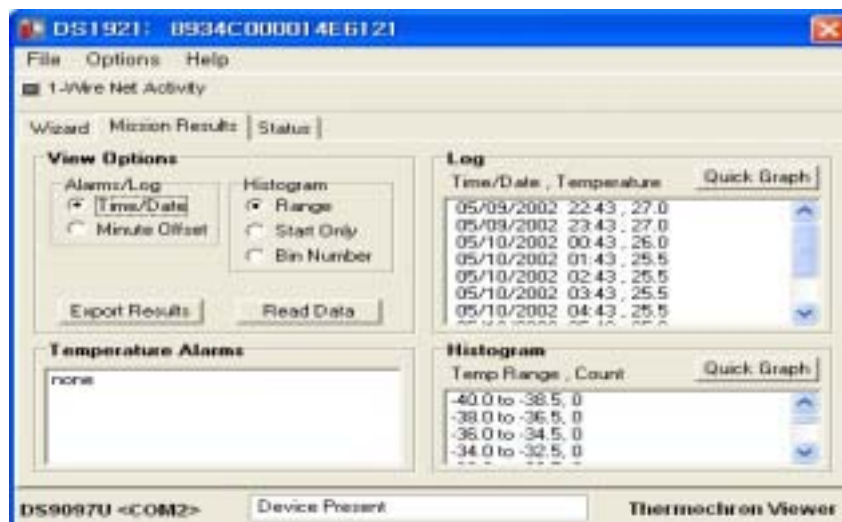
만약, 사용자가 Wizard의 설정을 하지 않고 바로 Status 탭으로 들어간다면 "Force Read" 버튼이 활성화되어 있음을 확인 할 수 있는데, 이 버튼은 현재의 온도를 바로 알고자 할 때 사용할 수 있는 기능이다.



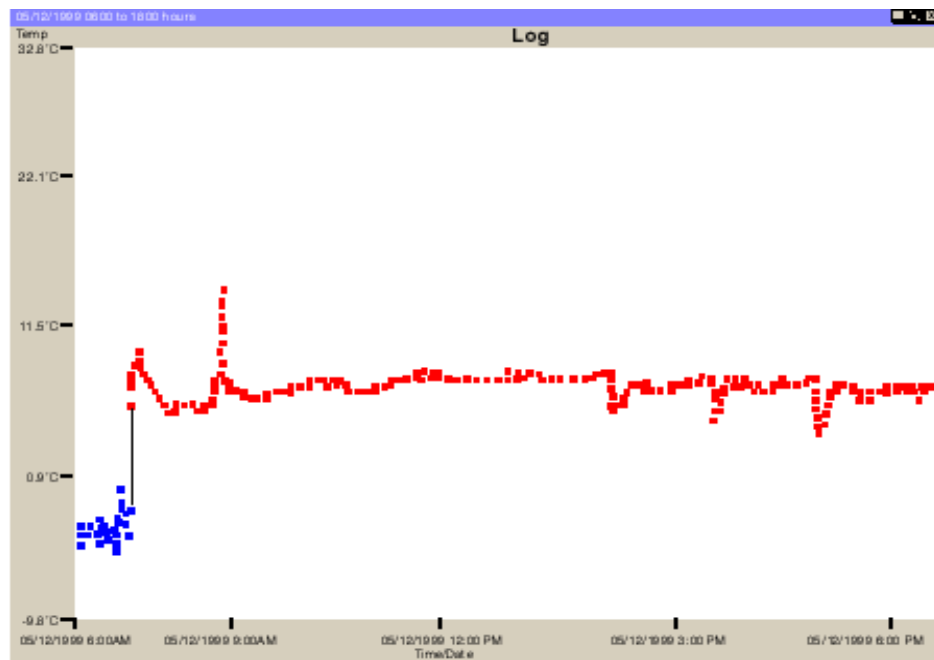
<그림 B.22> Status

(3) Mission Results

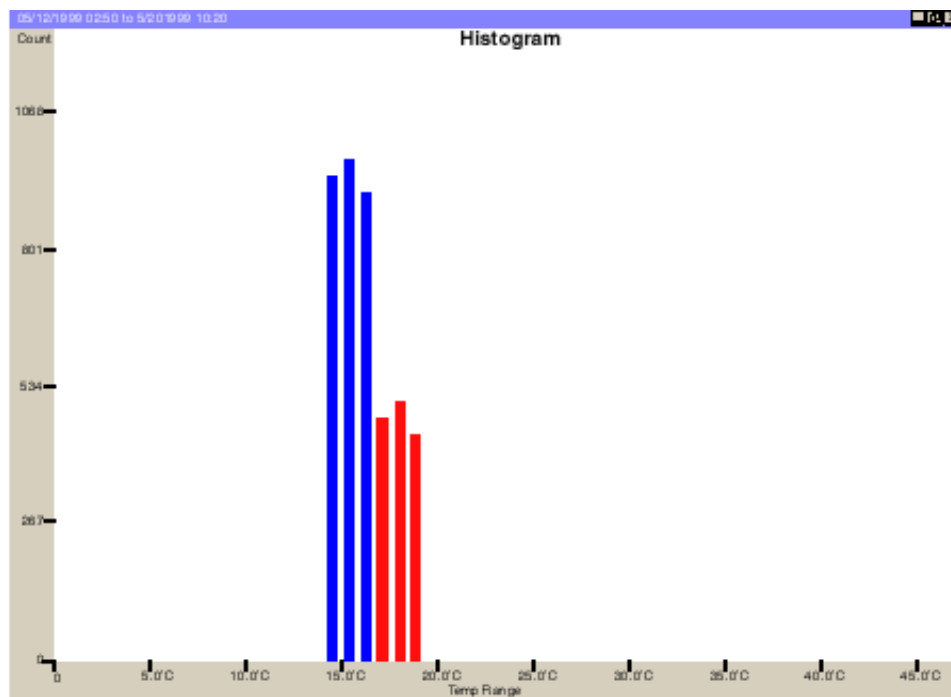
"Mission Results" 탭은 현재까지 측정된 온도 data를 i-button으로부터 download하는 곳이다. <그림 B.23>의 "Export Results" 버튼을 누르면 측정된 data를 저장할 수 있다. 또한 <그림 B.23>의 오른쪽에 두 개의 "Quick Graph" 버튼이 있는데, 위쪽의 버튼을 누르면 현재까지의 data를 <그림 B.24>에서처럼 "시간-온도 그래프"로 볼 수 있고 아래의 "Quick Graph" 버튼을 누르면 <그림 B.25>에서 나타난 것과 같은 "온도-측정회수 히스토그램"을 볼 수 있다.



<그림 B.23> Mission Results



<그림 B.24> 시간-온도 그래프



<그림 B.25> 히스토그램

【부록 C】 양생제 살포량 실험 자료

C.1 양생제 살포량에 따른 증발량 측정

<표 C.1> 증발시편을 이용한 양생제 살포량에 따른 증발량 측정

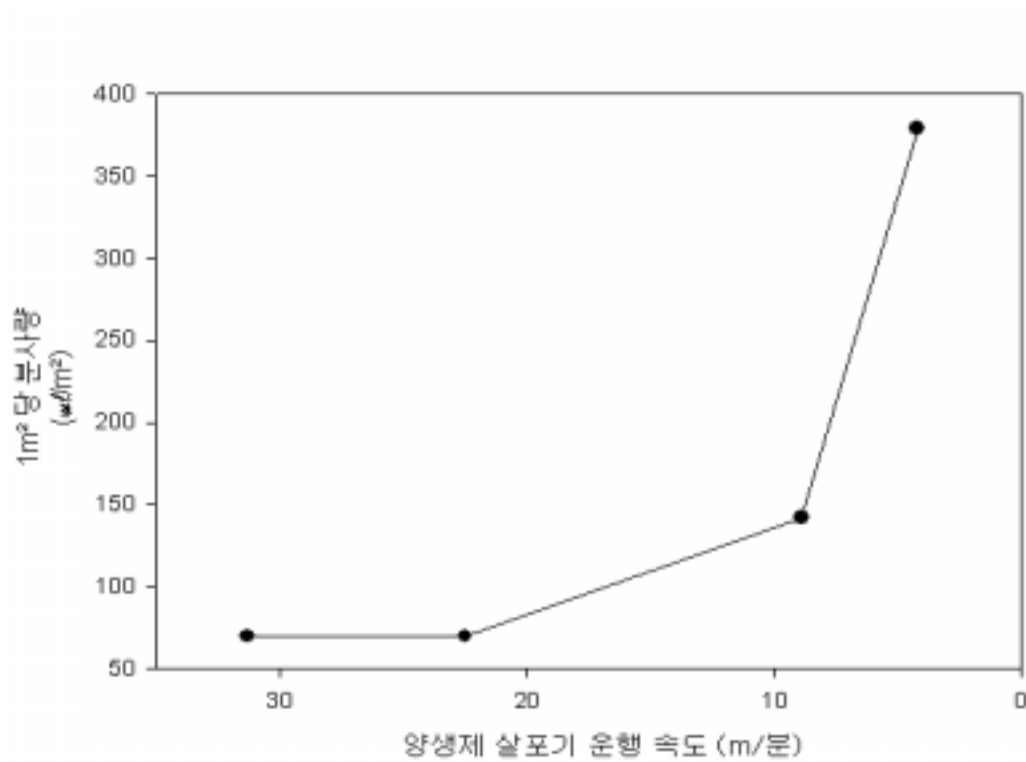
(살포후 10시간후, 단위: ℓ/m^2)

양생제 살포량 (ml/m^2)	2002년 7월	2003년 6월	2003년 7월
0	3.783	2.337	4.524
100		1.593	2.562
120	3.145		
150		1.407	
160	2.304		
200	2.145	0.952	2.167
300	1.884	1.259	1.683
400		0.613	1.133
500		0.421	1.207
700			0.772
1000			1.149



<그림 C.1> 실험 장면

C.2 양생제 살포기 운행 속도와 면적당 분사량 관계



<그림 C.2> 양생제 살포기 운행속도와 면적당 살포량 관계

<표 C.2> 양생제 살포반복횟수와 분당 분사량과의 관계(운행속도20~30m/분)

분당분사량 (ml/분)	양생제 살포량 (ml/m ²)	살포반복횟수에 따른 살포량(ml/m ² , 운행속도 : 20~30m/분)									
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
750	36.9	74	111	148	185	222	258	295	332	369	406
800	39.4	79	118	158	197	236	276	315	354	394	433
850	41.8	84	126	167	209	251	293	335	377	418	460
900	44.3	89	133	177	222	266	310	354	399	443	487
950	46.8	94	140	187	234	281	327	374	421	468	514
1000	49.2	98	148	197	246	295	345	394	443	492	541
1050	51.7	103	155	207	258	310	362	414	465	517	569
1100	54.1	108	162	217	271	325	379	433	487	541	596
1150	56.6	113	170	226	283	340	396	453	509	566	623
1200	59.1	118	177	236	295	354	414	473	532	591	650
1250	61.5	123	185	246	308	369	431	492	554	615	677
1300	64.0	128	192	256	320	384	448	512	576	640	704
1350	66.5	133	199	266	332	399	465	532	598	665	731
1400	68.9	138	207	276	345	414	482	551	620	689	758
1422	70.0	140	210	280	350	420	490	560	630	700	770
1500	73.8	148	222	295	369	443	517	591	665	738	812
1550	76.3	153	229	305	382	458	534	610	687	763	839
1600	78.8	158	236	315	394	473	551	630	709	788	866
1650	81.2	162	244	325	406	487	569	650	731	812	893
1700	83.7	167	251	335	418	502	586	669	753	837	921
1750	86.1	172	258	345	431	517	603	689	775	861	948
1800	88.6	177	266	354	443	532	620	709	797	886	975
1850	91.1	182	273	364	455	546	637	729	820	911	1002
1900	93.5	187	281	374	468	561	655	748	842	935	1029
1950	96.0	192	288	384	480	576	672	768	864	960	1056
2000	98.5	197	295	394	492	591	689	788	886	985	1083

<표 C.3> 양생제 살포반복횟수와 분당 분사량과의 관계(운행속도 10m/분)

분당분사량 (ml/분)	양생제 살포량 (ml/m ²)	살포 반복횟수에 따른 살포량(ml/m ² , 운행속도 : 10m/분)									
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
750	74.9	150	225	300	374	449					
800	79.9	160	240	320	399	479					
850	84.9	170	255	340	424	509					
900	89.9	180	270	359	449	539					
950	94.9	190	285	379	474	569					
1000	99.9	200	300	399	499	599					
1050	104.9	210	315	419	524						
1100	109.8	220	330	439	549						
1150	114.8	230	345	459	574						
1200	119.8	240	359	479	599						
1250	124.8	250	374	499							
1300	129.8	260	389	519							
1350	134.8	270	404	539							
1400	139.8	280	419	559							
1422	142.0	284	426	568							
1500	149.8	300	449	599							
1550	154.8	310	464								
1600	159.8	320	479								
1650	164.8	330	494								
1700	169.8	340	509								
1750	174.8	350	524								
1800	179.7	359	539								
1850	184.7	369	554								
1900	189.7	379	569								
1950	194.7	389	584								
2000	199.7	399	599								



140ml/m² 살포



400ml/m² 살포

<그림 C.3> 양생제 140ml/m² 분사와 400ml/m² 분사일때 슬래브 표면사진

【부록 D】 초기균열 사례



<그림 D.1> 줄눈부 초기관통균열 1



<그림 D.2> 줄눈부 초기관통균열 2



<그림 D.3> 슬래브 중심부 초기관통균열 1



<그림 D.3> 슬래브 중심부 초기관통균열 2



<그림 D.5> 부분적 균열 발생 1

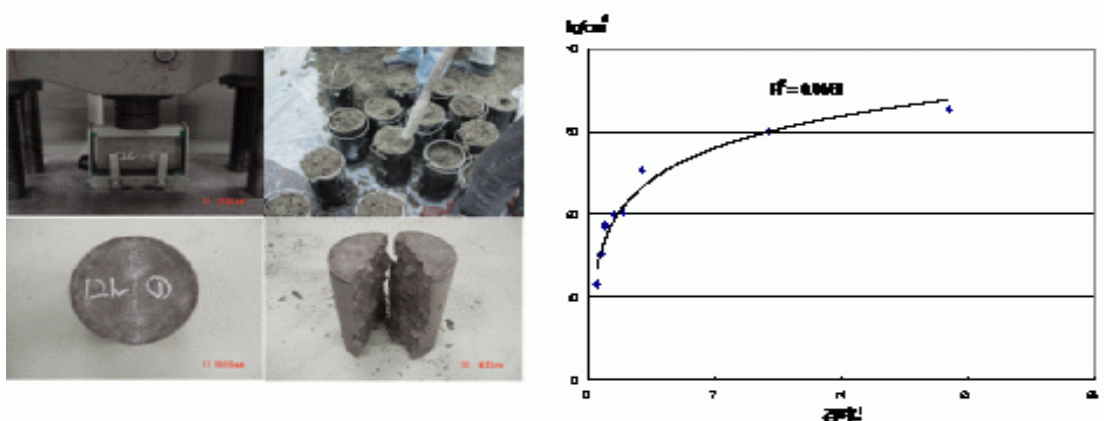


<그림 D.6> 부분적 균열 발생 2

【부록 E】 적정 줄눈컷팅을 위한 초기강도 예측방법

(1) 공시체 강도시험(압축, 인장)

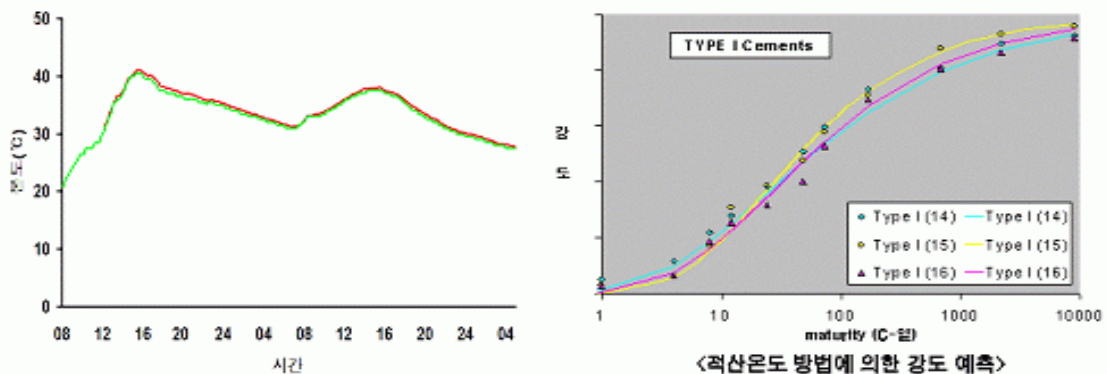
콘크리트 슬래브의 강도를 추정하는 가장 기본적인 방법인 동시에 직접적인 방법이다. <그림 E.1>과 같이 현장에서 공시체를 제작하여 줄눈컷팅시작시기와 동시에 공시체 강도 실험을 하여 라벨링이 발생하지 않는 강도발현 시기를 파악하여 다음 시공분에 대해 공시체 강도시험으로 사전에 파악한 강도가 나타나는 시기에 줄눈컷팅을 시행하는 방법이다.



<그림 E.1> 공시체를 이용한 현장 강도 시험(인장강도)

(2) 적산온도를 통한 강도 예측

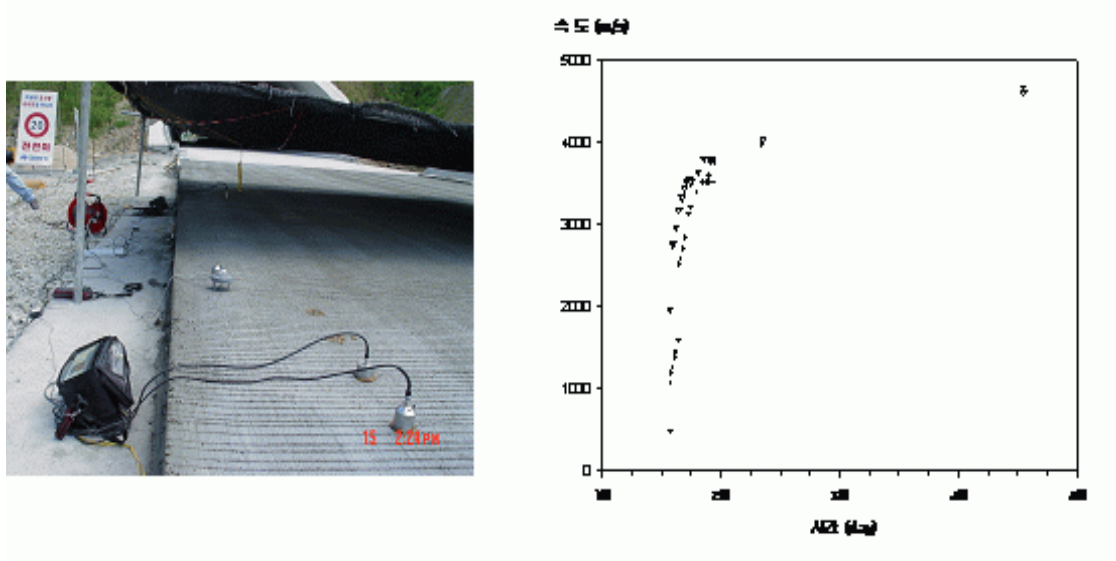
적산온도의 개념은 어떤 특정한 시간에서의 콘크리트의 강도를 예견할 수 있는 시간과 온도와의 관계식이다. 강도와 온도·시간과의 관계에 따라 강도를 유추하는 방법으로 콘크리트온도 자료만으로 강도 유추가 가능하다.<그림 E.2>.



<그림 E.2> 적산온도개념을 이용한 강도 예측

(3) 초음파를 이용한 강도 예측

초음파를 이용한 물체의 강도 예측은 비파괴 측정 분야에서 널리 쓰이는 방법이다. 물체가 단단할수록 음파의 전달 속도가 빠르다는 원리를 이용한 방식으로 초기 콘크리트가 경화하기 전에는 음파의 전달속도가 상대적으로 느리나, 경화가 진행되면서 음파의 전달속도 또한 빨라지게 되어 특정 강도일 때의 전파속도를 파악하게 된다면 그때의 콘크리트강도를 예측할 수 있게 된다<그림 E.3>.



<그림 E.3> 초음파를 이용한 강도 예측

지금까지의 국내 경험을 통해보면 하절기 콘크리트 포장에 있어서 줄눈컷팅 방법은 구간 별로 포설 후 4-5시간이 지나면 지속적으로 경화정도를 관찰하되 줄눈컷팅이 가능할 정도로 강도가 발현되면 즉시 컷팅을 시작하는 것이 초기균열을 방지하는 방법이 된다. 반면에 봄·가을 선선할 계절에 시공할 경우 콘크리트의 수화가 천천히 진행되므로 초기균열이 시공당일 밤 동안 발생할 가능성은 아주 작다. 따라서 이 경우 적정 줄눈컷팅 가능기간은 24시간 이상 긴 기간이 된다. 따라서 줄눈컷팅은 사공 다음날 낮 시간 동안에 실시하여도 무방하다.

참여 연구진

◆ 집필진

서영찬 한양대학교 교통공학과 정교수

김형배 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원

권순민 한국도로공사 도로교통기술원 연구원

김장락 (주)로드텍 조사팀장

김종호 (주)로드텍 연구개발팀장

조영오 (주)로드코리아 대리

◆ 자문위원(가나다 순)

강장환 원주지방국토관리청 도로시설국장

김덕용 한국도로공사 도로교통기술원 연구기획팀장

문형철 (주)로드텍 대표이사

박광현 (주)용마엔지니어링 전무

박진식 한국도로공사 도로교통기술원 도로시험팀장

신재상 한국도로공사 설계처 도로설계팀장

양 현 (주)제일엔지니어링 부사장

윤성오 건설교통부 도로환경팀장

천석현 서울특별시 기술심의관

최이현 (주)로드코리아 대표이사

◆ 건설교통부

유승화(前/강영일) 건설교통부 도로국장

유인상(前/정내삼) 건설교통부 도로건설과 과장

노성열(前/김인수) 건설교통부 도로건설과 사무관

안성수(前/이승엽) 건설교통부 도로건설과 담당

이 지침에 대하여 궁금한 사항이 있으시면 건설교통부 도로건설과
(02-2110-8224 / <http://www.moct.go.kr>), 한국도로공사 도로교통기술원
포장연구그룹(031-371-3364 / <http://research.freeway.co.kr>)로 문의하
시기 바랍니다.