

## 콘크리트 교량 방호벽의 균열원인 및 패턴 분석에 대한 연구

### Study on Cracking Causes and Patterns in Median Barrier and Guardrail Concrete in RC Bridge

최 세 진<sup>1)</sup>                      최 정 옥<sup>2)</sup>                      권 성 준<sup>3)\*</sup>  
Se-Jin Choi                      Jung-Wook Choi                      Seung-Jun Kwon

#### Abstract

Concrete guide rail and median barrier are an attached RC member, however they are vulnerable to cracking due to slip form construction and large surface of member. In this study, causes and pattern of cracking are analyzed through assessment and NDT (Non-Destructive Technique) evaluation for concrete guide rail and median barrier on highway structure. For this work, analysis on drying shrinkage and hydration heat are performed considering installation period, and plastic shrinkage is also analyzed considering their environmental conditions. From the evaluation, plastic settlement around steel location, drying/ plastic shrinkage, and aggregate segregation are inferred to be the main causes of cracking in the structures. The crack causes and patterns are schematized and techniques of crack-control are suggested. Furthermore concrete guide rail/ median barrier in the bridge on the sea are vulnerable to cracking at early age so that special attentions should be paid at the stages of material selection and construction.

Keywords : Median barrier, Guide rail concrete, Crack at early age, Plastic shrinkage, Plastic settlement

#### 1. 서 론

콘크리트 교량은 현대 토목산업의 진수이며, 우리나라 근대 산업의 핵심을 이루어 왔다. 콘크리트 교량은 거더와 교각과 같은 대표적인 주요부재 뿐 아니라 다양한 부속 구조물을 가지고 있다. 콘크리트 중앙분리대 및 방호벽은 핵심부재는 아니지만, 사용자 측면에서 안전 및 미관을 담당하므로 이에 대한 시공 및 유지관리는 매우 중요하다. 중앙분리대는 최초 1940년대 중반 California Bakersfield의 US-99도로에서 처음으로 설치된 것으로 알려져 있는데, 주된 목적은 차선이탈의 최소화화 사고빈도가 높은 장소에서 교량/도로 유지보수의 최소화라고 할 수 있다 (NCHRP Synthesis, 2006). 콘크리트 중앙분리대는 GM type, NJ Shape, F-shape, Single shape, Vertical wall 등 다양한 종류가 있지만, F-shape barrier가 안전성 면에서 가장 우수하다고 알려져 있다.

방호벽 또는 중앙분리대에 대한 연구는 주로 충돌해석에

대한 안전성 연구가 주를 이루고 있다. 최초로 1993년 최초로 차량 충돌에 의한 전도 등이 해석적으로 수행되었으며 (Ross et al., 1993), 최근에는 탑승자의 안전, 동역학적 거동, 그리고 방호벽의 등급화에 대한 연구 (Woo et al., 2000; Jeon et al., 2007a,b; 2008) 등이 추가적으로 연구되고 있다. 플라스틱 또는 알루미늄 소재의 중앙분리대와 방호벽이 있으나 주로 임시 시설물 등에 사용되고 있으며, 주요 교량 시설물에서는 콘크리트가 사용되고 있다. 현장타설, 프리캐스트 등의 방법이 있지만, 최근 들어 슬립폼 기법을 이용한 non-slump 콘크리트로 시공되는 추세이다.

이러한 구조물은 콘크리트 타설 후 외기에 바로 노출되므로 소성수축균열, 건조수축균열 등과 같은 초기재령 콘크리트 균열이 쉽게 발생한다. 이러한 균열은 내부 철근부식을 촉진하게 되는데, 균열부의 투수성 증가 (Park et al., 2012a), 염화물 침투의 증가 (Park et al., 2012b; Kwon et al., 2009), 탄산화 증가 (Song et al., 2006; Na et al., 2012; Kwon et

1) 정회원, (재)포항산업과학연구원, 강구조연구소  
2) 정회원, KCI 공학연구소  
3) 정회원, 한남대학교 건설시스템공학과, 교신저자

\* Corresponding author : jjuni98@hnu.kr

• 본 논문에 대한 토의를 2014년 10월 31일까지 학회로 보내주시면 2014년 11월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

al., 2007) 등은 이미 많은 문헌에서 보고되고 있다.

본 논문에서는 대형교량에서 슬립폼으로 시공되는 중앙분리대 및 방호벽 콘크리트의 균열에 대한 연구로 균열원인 분석과 이에 따른 균열 패턴화가 이루어질 것이다.

## 2. 콘크리트 방호벽 구조의 외관조사 결과

### 2.1 대상구조물 현황

대상구조물은 PSM (Precast Segment Method)구간과 사장교 구간에 시공된 방호벽 및 중앙분리대로서 균열이 다양한 형태로 발생하여 미관 및 내구적인 문제로 진전될 가능성이 있다. 총 100개의 교각에 대해 균열이 많이 발생한 구간을 A구간 (P22~P24), B구간 (P39~P41), C구간 (P80~P84), D구간 (P98~P100)으로 분류하여 균열 깊이 및 패턴을 조사하였다. 콘크리트 방호벽과 중앙분리대 구조는 대부분 단면의 비표면적이 작고 긴 구조물이므로 일체타설후 균열유발 줄눈 설치가 필수적인데, 커팅에 의한 줄눈간격은 3m로 일정하였다. Fig. 1에서는 대표적인 중앙분리대 형식을 나타내고 있으며 대상구조물은 F형식에 해당한다.

### 2.2 비파괴 검사를 통한 균열 깊이 평가

해당 구간에 따라 초음파 검사를 통하여 균열깊이를 평가하였는데, 식 (1)을 이용하였다.

$$h = \sqrt{\left(\frac{T_c^2}{T_0^2} - 1\right)} \quad (1)$$

여기서  $T_0$ 는 건전부의 초음파 시간 ( $\mu s$ ),  $T_c$ 는 균열부의

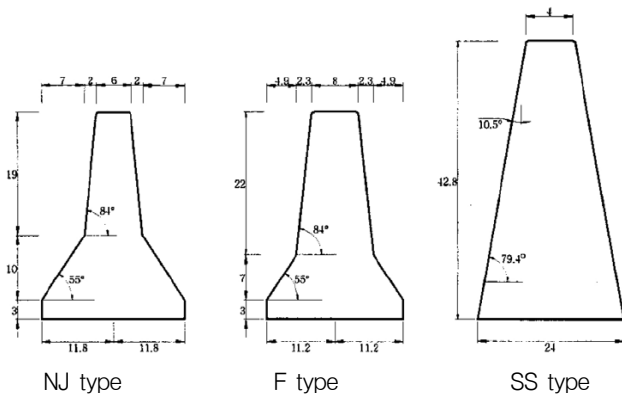


Fig. 1 Typical shapes for median barrier

초음파 시간 ( $\mu s$ ),  $h$ 는 균열깊이 (mm)를 나타낸다.

A구간에서는 평균 146mm의 균열깊이가 측정되었으며, 일부 구간에서 관통균열이 발생하였다. B구간에서는 평균 58mm, C구간에서는 99mm, P98~P100에서는 88mm의 균열깊이가 발생하였다. 여기서 균열은 북부위치에서의 종방향 균열에 대해 측정한 것이다. Table 1에서는 각 구간별 측정된 균열 깊이를 요약하였다.

### 2.3 발생 균열의 패턴분석

중앙분리대의 균열패턴은 상부에 집중된 미세균열, 등간격의 상부균열, 북부의 횡방향 균열, 표면의 망상균열 등으로 파악되었는데, 대표적인 균열형태는 Fig. 2와 같다.

A와 D구간에서는 균열은 하부보다는 상부에 주로 발생하

Table 1 Summary of crack depth investigated

Location	Crack depth (mm)	Standard deviation	Number of sample
A	58	26	4
B	146	46	6
C	99	47	14
D	88	36	4



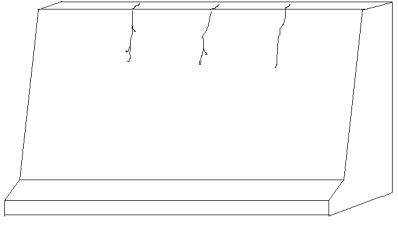
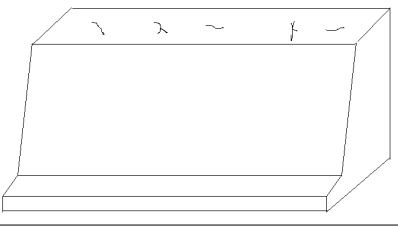
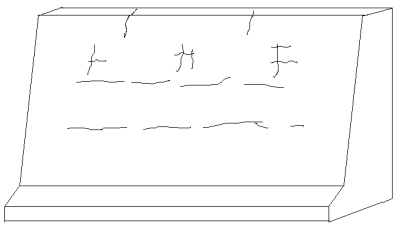
(a) Cracking in horizontal and vertical directions



(b) Sealant in crack inducing joint

Fig. 2 Representative pattern of cracking on guard rail concrete

Table 2 Crack pattern for the structures

Location	Crack pattern
A and D	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cutting joint length: 3m</li> <li>• Crack width 0.1~0.2mm</li> <li>• Crack length: 0.6~0.8m</li> <li>• Equivalent crack spacing</li> </ul>
B	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cutting joint length: 3m</li> <li>• Crack width: 0.3mm</li> <li>• Crack length: under 0.2m</li> <li>• Aggregate segregation</li> </ul>
C	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cutting joint length: 3m</li> <li>• Vertical crack width: 0.3~0.5mm</li> <li>• Vertical crack length: 0.2~0.3m</li> <li>• Horizontal crack width: 0.1~0.2m</li> <li>• Horizontal crack length: 1.5~2.0m from 0.3m and 0.5m from bottom</li> </ul>

였으며, 0.1m~0.2mm의 균열폭을 가지고 있었다. 60~80cm의 등간격을 가지고 60~80cm의 균열길이가 평가되었다. B 구간에서는 상부에 0.3mm 이상의 균열이 발생하였으며, 종방향 및 횡방향으로 200mm이하의 균열이 발생하였다. C구간에서는 다른 구간에 비해 다양한 균열이 발생하였다. 종방향 균열은 A 및 D구간과 동일하게 균열이 발생하였으며, 하부 0.3m, 0.5m 위치에 균열폭 0.1~0.2mm의 횡방향 균열이 1.5~2.0m길이로 발생하였다. 대상 구조물의 균열패턴을 정리하면 Table 2와 같이 나타낼 수 있다.

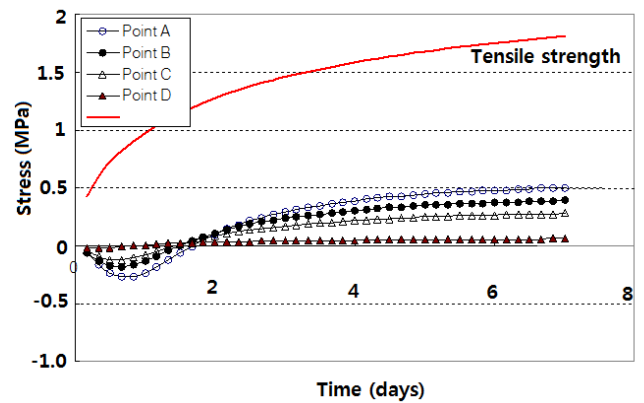
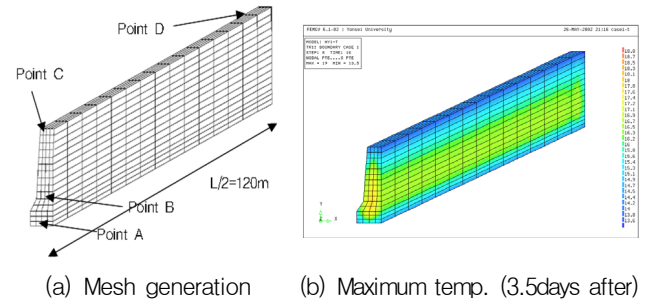
### 3. 콘크리트 방호벽 구조의 균열 패턴 및 원인추정

#### 3.1 균열발생 원인추정

본 절에서는 균열의 발생원인을 추정하기 위해, 수화열분

Table 3 Mix proportions for hydration heat analysis

w/c (%)	$f_{ck}$ (MPa)	Water (kg/m <sup>3</sup> )	Cement (kg/m <sup>3</sup> )	Sand (kg/m <sup>3</sup> )	Coarse aggregate (kg/m <sup>3</sup> )	AE (% of C)
47	24	172	370	820	908	0.15%



(c) Tensile strength and induced stress

Fig. 3 Analysis results of hydration heat

석, 건조수축 분석, 소성수축 분석을 수행하였다. 방호벽부재는 충돌로 인한 손상이외에는 자중만 받고 있으므로 재료적인 균열이라고 판단되며, 추가적으로 시공조건을 분석하였다.

#### 3.1.1 수화열 평가

대상구조물은 방호벽의 높이가 1,350mm이며 저면의 폭이 420mm로 콘크리트 단면이 작아서 매스콘크리트에서 발생하는 수화열 균열은 발생하지 않을 것으로 예상된다. 그러나 길이방향으로 240m 정도 설치되어 바닥의 구속이 크므로 이에 대한 해석을 수행하였다. 해석은 중양을 대칭으로 하여 mesh generation을 하였으며 사용배합은 Table 3에, 해석결과를 Fig. 3에 나타내었다.

Fig. 3의 결과에서는 최대 상승온도가 18°C이며 이로 인해 야기되는 최대인장응력이 0.5MPa 수준이므로 수화열에 의한 균열발생은 없을 것이라 판단된다.

### 3.1.2 건조수축 평가

#### 1) 커팅시기에 따른 건조수축 평가

건조수축은 빈배합 뿐 아니라 부배합에서도 비표면적인 큰 부재 및 긴 부재에 대해 크게 발생한다 (Park et al., 2011). 슬립폼에 의해 시공된 대상 구조물은 3m간격으로 줄눈이 도입되어 있으나 줄눈도입 시기에 따라 균열이 발생가능성이 변화할 수 있다. 조사결과 대상 구조물의 설치를 위한 슬립폼의 이동속도는 240m/12h이었으므로 6시간, 12시간, 24시간 작업후로 가정하여 건조수축해석을 수행하였다. Fig. 4에서는 mesh generation과 방호벽 길이변화에 따른 균열저항성 평가를 나타낸다.

길이가 증가할수록 저면의 구속력이 증가되므로 균열발생 시기가 증가하였다. 균열은 전형적인 단부구속에 의한 저면 균열이었으며, 양 끝단 단부저면에서 균열발생이 가장 빠르게 진행되었다. L=120m일 때 220일, L=240m일 때 210일에서 저면에 균열이 발생되었다. 또한 방호벽 상부에서도 (Point C, D)에서도 270~300일 사이에 균열이 발생됨을 알 수 있다.

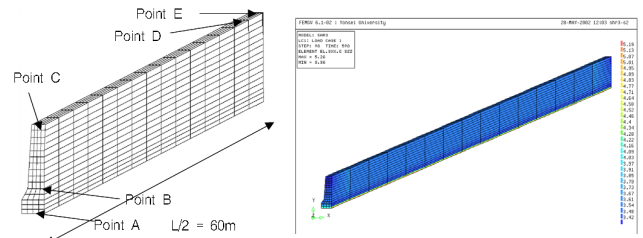
그러나 Table 2의 균열매핑에서도 알 수 있듯이 건조수축 균열이 시작되기 위해서는 먼저 방호벽 저면에서 균열이 발생해야하고 상부에서는 양 끝단에서 균열이 먼저 발생해야 한다. 등간격의 종방향 균열은 건조수축이 균열에 영향을 줄 수 있으나 주된 원인은 아니라고 판단된다.

### 3.1.3 소성수축 평가 및 시공성 평가

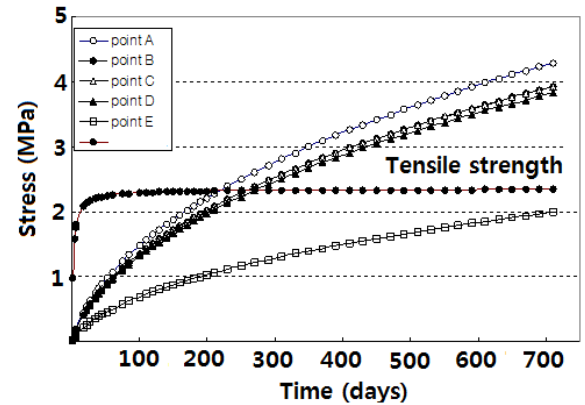
#### 1) 소성수축평가

소성수축균열은 경화하는 과정에서 외부에 수분을 빼앗기면서 발생하는 초기재령균열을 의미하는데, 비표면적이 큰 방호벽이나 슬래브에서 크게 발생한다. 뚜렷한 전산해석 수행이 어려우므로 비슷한 배합의 기존 문헌을 분석하여 소성수축 균열을 평가하였다. 기존의 문헌 (Almusallam, 2001)에서는 단위시멘트량 350kg/m<sup>3</sup>, w/c 0.5인 배합을 이용하여 1일 소성수축의 크기를 평가하였는데, 최대 7000×10<sup>-6</sup>의 높은 수축변형률을 나타내고 있다. 소성수축은 온도가 높을수록, 풍속이 클수록, 상대습도가 낮을수록 크게 증가하였다. Fig. 5에서는 기존의 환경영향에 따른 소성 수축량을 요약한 것이다.

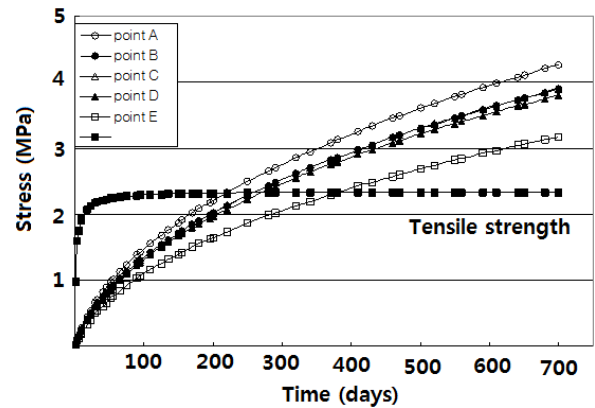
시공조건을 분석하면, 대상구조물은 9월~11월에 시공되었으며, 평균풍속은 12km/h, 최고온도 평균은 25.3℃, 습도는 68%를 나타내었다. 1일 작업시간은 12시간이며 시공속도는 240m/12h이므로 소성수축균열이 발생할 수 있는 가능성이 매우 높다. Fig. 5의 결과에 대해 다중회귀분석을 수행하면



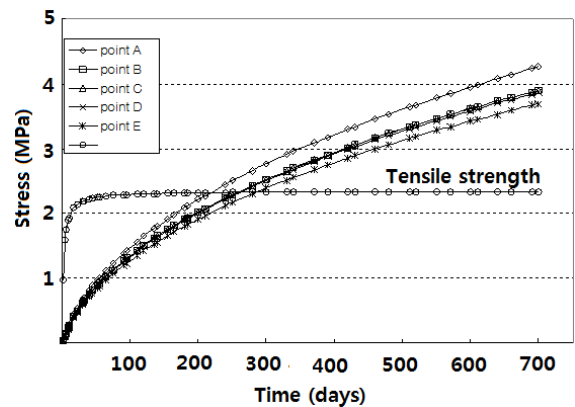
(a) Mesh generation (b) Stress contour (L=480m, 700days after)



(c) Stress variation (L=120m case)



(d) Stress variation (L=240m case)



(e) Stress variation (L=480m case)

Fig. 4 Analysis results of drying shrinkage

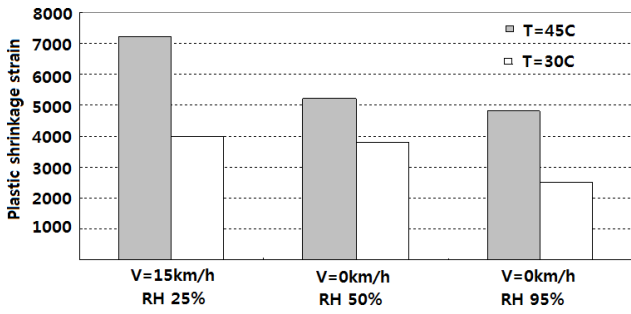


Fig. 5 Results of plastic shrinkage (Almusallam, 2001)

식 (2)와 같다.

$$\epsilon = -2305 + 97.4(V) - 5.6(RH) + 175.6(T) \quad (2)$$

여기서  $\epsilon$ 은 소성수축균열 ( $\mu$ ),  $V$ 는 풍속 (km/h),  $RH$ 는 상대습도 (%),  $T$ 는 온도 ( $^{\circ}C$ )를 나타낸다.

식 (2)를 고려하여 실제 구조물의 노출환경을 대입하면 2927.1 $\mu$ 으로 충분한 균열가능성을 보이고 있다. 배합은 비슷하지만, 기존의 연구는 비표면적인 큰 슬래브를 이용한 것이므로 약간 과다하게 평가되었으나 소성수축균열에 대한 원인을 배제할 수 없다.

## 2) 균열유발주는 시공상태 평가

줄눈 커팅폭은 3.0m, 커팅깊이는 30mm로 적절하게 수행 되어 있었는데, 커팅이후 실린트로 적절하게 메움이 되어 있었다. 또한 방호벽 사이의 신축이음부는 경간별로 분리되어 있었으므로 방호벽간의 연결은 없었다. 기존의 연구에서는 커팅에 대한 시기는 타설후 일반적으로 8~10시간으로 보고 되고 있다 (KISTEC, 1999). 이 시간을 넘어서는 경우 일체시

공이 되어 균열이 발생할 가능성이 있다. 해석을 위해 원칙적으로 시공된 3m 간격의 건조수축해석과 6m 간격의 건조수축해석을 수행하였다. Mesh generation은 Fig. 4와 동일하며, 해석결과는 Fig. 6에 나타내었다.

Fig. 6 결과에서도 알 수 있듯이, 커팅이 체시간에 이루어지지 않아 6m의 방호벽 단위가 생길 경우, 상부의 단부에도 균열이 발생하고 있음을 알 수 있다. 3m 방호벽에서는 하부에만 균열이 발생하고 상부에는 2년이 경과한 후에도 균열이 발생하지 않았다.

## 3.2 균열의 패턴화 및 원인분석

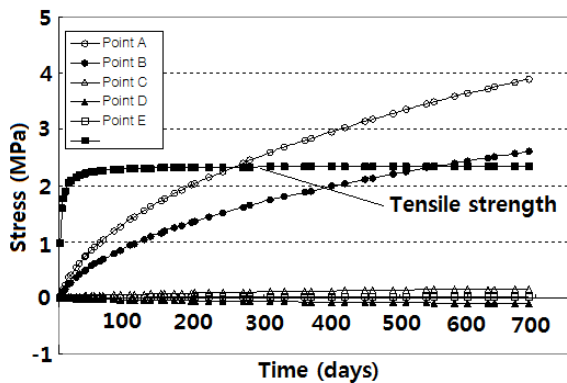
### 3.2.1 개요

본 절에서는 외관조사 결과와 균열저항성평가 결과를 이용하여 방호벽의 균열원인을 분석하고 이를 패턴화하도록 한다. 외관조사 결과에서는 대상구조물의 균열은 크게 등간격의 종방향 균열 (0.2mm 이하, 0.6~0.8m 간격), 0.1mm이하의 종방향 미세균열, 복부 망상균열, 등간격의 횡방향 균열 (0.2mm 이하, 저면으로부터 0.3m 및 0.5m) 등으로 분류할 수 있다.

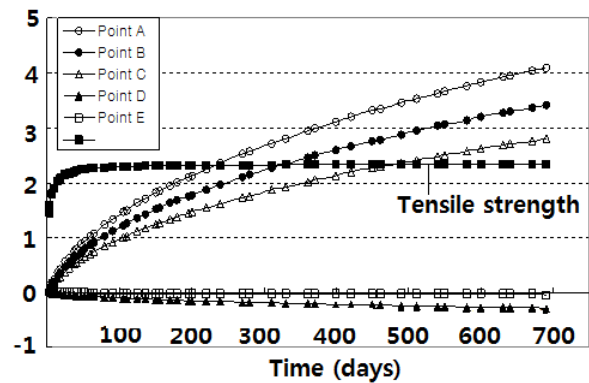
### 3.2.2 균열 원인 분석

#### 1) 종방향 등간격 균열 (0.2mm 이하)

슬립폼으로 타설된 콘크리트는 외부노출에 민감하며 품질관리가 철저히 이루어지지 않으면 시공초기에 균열이 발생할 수 있다. 해석결과에서 알 수 있듯이 건조수축이 발생하게 될 경우는 저면에서 균열이 시작되어야 하지만, 상부균열이 발생하였으므로 소성침하 및 소성수축균열로 판단된다. 또한 등간격으로 균열이 발생한 부위를 초음파 장비로 탐상



(a) L=3m (cutting for joint on time)



(b) L=6m (delayed cutting for joint)

Fig. 6 Cracking evaluation considering crack joint

한 결과, 철근의 위치에서 균열이 발생하였다. 철근이 고정되어 있는 상태에서 콘크리트의 슬럼프가 미세하게 발생하여 균열이 발생한 것으로 판단된다. 슬럼프 20mm 이하의 콘크리트라 하더라도 수mm의 슬럼프가 발생하며, 이에 따라 매립된 수직철근 부위에 균열이 발생한다. 이는 기존의 문헌에서도 대표적인 소성침하균열의 중 하나로 평가되고 있다 (KISTEC, 1999; Emmons, 1994). 이러한 균열은 커팅을 통한 줄눈부의 시공이 일부 지연된 영향을 받았으리라 판단된다.

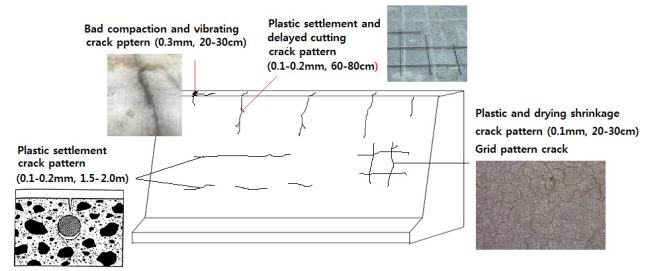


Fig. 7 Cracking causes and pattern

### 2) 불규칙한 상부균열 (0.3mm 이하)

불규칙한 상부균열은 국소적인 다짐불량이 주된 원인이다. 구조적인 균열은 아니며, 실립폼이 진동하면서 이동시 골재가 밀집된 부분에 발생된 것으로 조사되었다. 이는 국부적인 콘크리트의 품질불량이며, B구간에만 집중되었다.

### 3) 복부 망상균열 (0.1mm 이하)

복부 망상균열은 건조수축 및 소성수축의 대표적인 경우이며, 균열깊이가 비교적 작다. 방호벽은 해상위에 시공된 교량 위에 설치되었으므로 풍속이 지면보다 빠르고 9~11월의 최고온도는 낮에 20°C가 넘으며, 상대습도가 70% 이하로 건조하다. 이러한 시공환경은 소성수축이 발생하기에 아주 유리한 환경이다. 균열은 격자형의 형태를 가지고 있었으며, 진전하는 균열은 아닌 것으로 조사되었다.

### 4) 횡방향 균열 (0.2mm 이하)

횡방향 균열은 지반에서 일정한 높이 (0.5m, 0.8m)에 발생하였으며 대표적인 소성침하에 의한 균열패턴이다. 조사결과 횡방향 균열의 높이는 수평철근의 위치와 동일했으며, 종방향 등간격 균열과 마찬가지로 20mm 미만의 낮은 슬럼프를 가지는 배합이라 하더라도 발생하는 슬럼프로 인해 소성침하 균열이 발생하였다.

#### 3.2.3 균열 패턴화

이상의 균열원인 및 패턴을 정리하면 Fig. 7과 같이 정리할 수 있다. 균열의 원인은 재료상, 시공상 문제가 같이 발생한 것이며 방호벽 전구간의 균열은 Fig. 7과 같이 패턴화할 수 있다.

### 3.4 방호벽 및 중앙분리대 콘크리트의 균열저감 대책

콘크리트 구조물을 설치하면서 균열이 없는 부재를 만들

Table 4 Cracking control in median barrier and guard rail concrete

Material part	Construction part
<ul style="list-style-type: none"> <li>Slump under 20mm</li> <li>Air amount: over 4.5% with AE</li> <li>Hydration accelerator</li> <li>Suitable grading of aggregate with 19mm of <math>G_{max}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Slow construction speed (120~180m/12h)               <ul style="list-style-type: none"> <li>Recommendation below at 100~120m/12h</li> </ul> </li> <li>Crack joint installation (below 3m, within 10hours)               <ul style="list-style-type: none"> <li>Recommendation within 8hour</li> </ul> </li> <li>Crack joint depth to 10% of each side</li> <li>Interval of cracking joint of 10~18m</li> <li>Protection from direct rain and wind (sheet curing)</li> <li>Avoidance from vibration of heavy vehicle</li> </ul>

기는 거의 불가능한 일이다. 방호벽 콘크리트의 차량 충돌을 제외하면 대부분 재료적인 원인에 기인한 균열이며, 2~3년 이내에 균열은 진전되지 않는다. 그러나 이렇게 발생한 균열은 내구적인 문제점을 야기하므로 적절한 대책이 필요하다 (Park et al., 2012c). 국내에서는 방호벽에 대하여 0.3mm까지는 균열을 허용하는 것으로 알려져 있다 (KISTEC, 1999). 특히 방호벽과 같은 벽체 구조물에 대해서는 10~18m 정도의 줄눈간격을 가지게 하고, 채움재의 성능을 확인한 뒤 부채두께의 양면 10% 정도 줄눈 깊이를 확보하도록 한다 (Korea Remicon Association, 2005). 균열보수에 대한 내용은 본 연구의 주된 목적이 아니며, 많은 문헌에서 보수에 대한 방법이 나와 있으므로 본 절에서는 생략하기로 한다. 재료 및 시공분야로 분류하여 균열저감대책을 Table 4와 같이 제시할 수 있다.

## 4. 결론

본 연구에서는 슬립폼으로 시공되는 방호벽 및 중앙분리대 콘크리트의 균열원인을 분석하고 패턴화하였으며, 재료 및 시공상의 균열제어 대책을 수립하였다. 본 연구를 통하여 도출된 결론은 다음과 같다.

- (1) 수화열 해석 및 건조수축해석을 수행한 결과 중앙분리대 및 방호벽에 발생된 균열은 대부분 시공초기에 발생된 균열이며, 소성수축 및 소성침하에 따른 균열이 많이 발생하였다. 특히 복부에서는 소성수축균열 형태가 지배적이었으며, 상부의 종방향 균열과 하부의 횡방향 균열은 뚜렷한 등간격의 소성침하균열을 나타내었다.
- (2) 타설이후 균열유발 줄눈부의 커팅시간이 증가할수록 균열발생 가능성은 증가하였으며, 12시간 초과시 중앙부에 건조수축으로 인한 균열이 발생할 수 있다.
- (3) 현재 3m의 균열 유발줄눈 간격은 적당하다고 판단되지만, 거의 시공이후 초기재령에서 균열이 발생하였으므로 슬립폼 이동속도의 단축, 기상조건을 고려한 양생 등이 필요한 것으로 판단되었다.
- (4) 해상위에 설치된 비표면적이 크고 긴 콘크리트 부재에 대하여 균열유발줄눈이 좀 더 깊게 (양측 10% 깊이) 설치되고 설치시간이 10~12시간으로 조정되면 균열의 빈도 및 간격을 줄일 수 있는 것으로 평가되었다.

#### 감사의 글

본 연구는 국토교통부 건설교통기술지역특성화사업 연구개발사업의 연구비지원 (13RDRP-B066780)에 의해 수행되었습니다.

#### References

1. Almusallam, A. A. (2001), Effect of environmental conditions on the properties of fresh and hardened concrete, *Cement and Concrete Composites*, 23(4-5), 353-361.
2. Emmons, P. H. (1994), *Concrete Repair and Maintenance Illustrated*, R.S. Means Company, 5-16.
3. Jeon, S. J., Choi, M. S., Kim, Y. J. (2007a), Failure mode of concrete barrier, *Proceedings of KCI*, 19(2), 329-332 (in Korean).
4. Jeon, S. J., Choi, M. S., Kim, Y. J. (2008), Test level of domestic concrete barrier, *Proceedings of KCI*, 20(1), 113-116 (in Korean).
5. Jeon, S. J., Choi, M. S., Kim, Y. J., Hyun, B. H. (2007b), Static test of precast concrete barrier-I Ultimate behavior and test level, *Journal of KSCE*, 27(6A), 891-899 (in Korean).
6. KISTEC-Korea Infrastructure Safety Corporation (1999), *Guidelines for Crack Evaluation and Repair/ Restrengthening in Reinforced*

- Concrete Structures*, TS-99-R5-010, 12 (in Korean).
7. Korea Remicon Association (2005), Improvement of Durability and Long Service-Life for Concrete Structure, Technical Report, 105-192.
8. Kwon, S. J., Na, U. J., Park, S. S., Jung, S. H. (2009), Service life prediction of concrete wharves with early-aged crack : probabilistic approach for chloride diffusion, *Structural Safety*, 31(1), 75-83.
9. Kwon, S. J., Park, S. S., Nam, S. H., Cho, H. J. (2007), A study on survey of carbonation for sound, cracked, and joint concrete in RC Column in Metropolitan City, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 11(3), 116-122 (in Korean).
10. Na, U. J., Kwon, S. J., Chaudhuri, S. R., Shinozuka, M. (2012), Stochastic model for service life prediction of RC structures exposed to carbonation using random field simulation, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 16(1), 133-143.
11. NCHRP-National Cooperative Highway Research Program (2006), Report 500-Guidance for Implementation of the AASHTO Strategic High Way Safety Plan, TRB Board, 12-56.
12. Park, S. S., Kwon, S. J., Jung, S. H. (2012b), Analysis technique for chloride penetration in cracked concrete using equivalent diffusion and permeation, *Construction and Building Materials*, 29(2), 183-192.
13. Park, S. S., Kwon, S. J., Jung, S. H., Lee, S. W. (2012a), Modeling of water permeability in early aged concrete with cracks based on micro pore structure, *Construction and Building Materials*, 27(1), 597-604.
14. Park, S. S., Kwon, S. J., Song, H. W. (2011), Analysis technique for restrained shrinkage of concrete containing chlorides, *Materials and Structures*, 44(2), 475-486.
15. Park, S. W., Park, S. S., Hwang, I. B., Cha, S. J., (2012), A case study on cause analysis for longitudinal crack of duct slab in tunnel, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 16(5), 19-28 (in Korean).
16. Ross, H. E. Sicking, Jr., D. L., Zimmer R. A., Michie, J. D. (1993), Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of highway Feature, NCHRP report, TBR Board, 85-104.
17. Song, H. W., Kwon, S. J., Byun, K. J., Park, C. K. (2006), Predicting carbonation in early-aged cracked concrete, *Cement and Concrete Research*, 36(5), 979-989.
18. Woo, K. S., Lee, G. D., Kim, S. U., Ko, M. G. (2000), Safety evaluation of concrete median barrier by computer simulation, *Proceedings of KSCE*, 1(2), 315-324 (in Korean).

Received : 04/09/2014

Revised : 05/27/2014

Accepted : 05/30/2014

---

## 요 지

콘크리트 방호벽 및 중앙분리대는 교량의 부속시설이지만, 슬립폼 시공과 넓은 비표면적으로 인해 초기재령 균열이 발생하기 쉽다. 본 연구에서는 대형 교량의 방호벽과 중앙분리대 콘크리트의 외관조사 및 비파괴실험을 수행하여 균열의 원인과 발생 균열의 패턴을 분석하였다. 이를 위해 시공기간을 고려하여, 건조수축, 수화열 해석이 수행되었으며, 현장의 환경조건을 고려하여 소성수축 특성을 평가하였다. 평가결과 대상구조물의 균열 원인은 철근위치에 따른 소성침하균열, 소성수축 및 건조수축에 의한 복부균열, 재료분리에 따른 상부균열로 추정할 수 있었다. 또한 균열원인과 발생 패턴을 도식화하였으며, 시공 및 재료분야에서 균열제어대책을 제안하였다. 해상위 교량에 설치하는 중앙분리대 및 방호벽 콘크리트는 환경조건 (풍속, 온도, 습도)에 매우 민감하여 초기재령균열이 쉽게 발생하므로 재료선택 및 시공방법에 신중을 기해야 한다.

**핵심 용어** : 중앙분리대, 방호벽, 콘크리트, 초기재령 균열, 소성수축, 소성침하

---