

대단면 터널 라이닝 콘크리트의 균열저감 연구

A Study on Crack Control of Tunnel Lining Concrete with Large Section

김완영*

Kim, Wan Young

ABSTRACT

The lining concrete of water tunnel is a much capability to occur crack due to drying shrinkage and vibrator compaction etc. Because of crack of concrete induce structural problem and decrease durability of concrete, it is need to reduce crack of concrete. In this an Analytical study to analyze the effect of curing of concrete and compaction on the lining concrete.

As the results, it was found that control of construction condition into curing of concrete and compaction improve on construction efficiency of the lining concrete.

요 약

라이닝콘크리트란 터널의 영구적인 라이닝으로서 무근 또는 철근콘크리트로 구축되는 터널의 가장 내측에 시공되는 터널의 부재를 말하며, 라이닝의 목적은 터널주변 암반의 풍화방지 및 유수에 의한 지반열화 경감, 터널의 내구성 증대 등이다.

라이닝시 콘크리트는 시공불량, 내부응력, 건조수축 등에 따라 균열을 야기할 수 있으며, 콘크리트 구조물에서 발생하는 이러한 균열은 내구성의 저하와 외관의 손상을 초래하여 사용성을 저하시킬 뿐만 아니라, 균열로 인한 보수비용을 증대시킨다.

본 연구는 직경이 15m 이상의 대단면 터널의 라이닝콘크리트의 실제 현장에서 발생한 균열에 대하여 발생하는 균열에 대한 구조, 재료에 대한 분석을 수행하였으며, 그 결과를 제시하므로서 합리적이고 효율적인 대단면 터널 라이닝콘크리트의 균열에 대한 대책을 제시하고자 한다.

근번 검토 결과, 구조적 특성에 의한 것이 아님을 알 수 있었으며 다음과 같이 몇가지 원인에 대한 대책을 통해 균열을 저감할 수 있을 것이다.

- 1) 하절기배합인 플라이애쉬 20% 배합으로 변경하면, 수화열 저감효과와 함께 초결시간 지연 효과도 가져올 수 있으므로 연직균열 및 수평균열에 유리한 조건을 만들어 줄 수 있을 것으로 사료된다.
- 2) 균열이 주로 발생된 S.L 부근의 다짐방법과 관련하여 다음과 같이 개선코자 한다. 즉, 3단과 4단투입구間계면 방지를 위하여 4단 투입구를 통하여 일부 콘크리트를 타설 후 타설중지 상태에서 3단과 4단 투입 콘크리트를 같이 다짐을 실시한다. 이 때 주의할 점은 3단 타설 콘크리트의 초결 이전에 재다짐이 되어야 하므로 전체 시간을 6시간 이내에 완료해야 한다(플라이애쉬 20% 혼입 조건).
- 3) 일단 S.L 부근까지 콘크리트를 타설한 후, 하단부 콘크리트가 충분히 침강이 일어날 수 있도록 30분 내외 타설을 중지하였다가 후속 콘크리트를 타설토록 한다.

*정회원, 한국수자원공사 댐안전연구소 책임연구원, 공학박사, E-mail: wykim@kwater.or.kr

1. 서론

본 보고서는 00현장 터널 라이닝 콘크리트에 발생된 균열에 대한 균열패턴 및 균열발생 원인을 분석하여 이에 대하여 구조, 재료적인 분석을 통하여 균열저감대책을 마련하고자 한다.

2. 균열발생 현황분석

2.1 균열발생 현황

본 00터널 라이닝 구간은 5개월 동안 시공중으로 T1, T2 각각 10 스패를 완료하였으며, 지금까지 타설된 각 스패별 균열발생 현황을 균열관리대장 및 현장확인(그림 2 참조)을 토대로 정리하면 아래 표 1과 같다.

표 1 터널라이닝 균열발생 현황

Span #	T1				T2			
	연직균열	수평균열	경사균열	타설일자	연직균열	수평균열	경사균열	타설일자
1	2개소	-	-	1/4	-	-	-	11/26
2	1개소	1개소	-	1/16	1개소	1개소	1개소	12/6
3	1개소	-	-	1/24	2개소	1개소	1개소	12/20
4	1개소	-	-	2/1	-	-	-	12/28
5	1개소	-	1개소	2/8	2개소	2개소	-	1/8
6	1개소	-	-	2/15	2개소	1개소	-	1/18
7	1개소	-	-	3/5	1개소	2개소	-	1/27
8	2개소	-	-	3/11	1개소	6개소	3개소	2/10
9	-	3개소	-	3/21	1개소	1개소	-	3/4
10	-	미확인	-	4/12	2개소	1개소	-	4/2

표 1에서 보는 바와 같이 발생된 균열패턴들은 크게 연직균열(굴진방향에 직각), 수평균열(굴진방향), 경사균열(그림 1 참조)로 나눌 수 있으며, 발생 시점은 명확히 확인하기 힘들지만, 최초 확인은 거푸집제거(타설 후 3-5일) 후 표면 살수작업을 끝낸 시점에서 표면이 건조됨과 동시에 가능하였다.

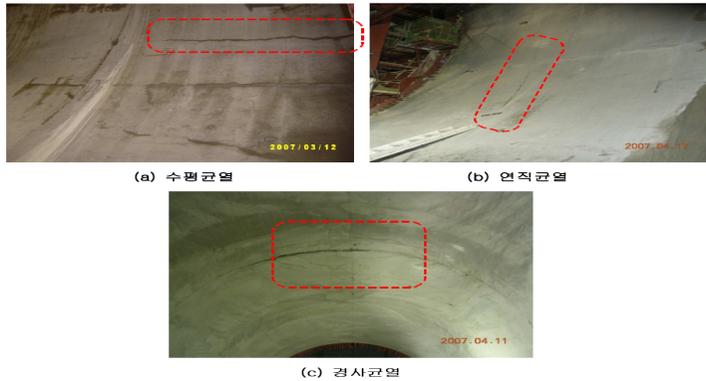


그림 1 터널라이닝의 균열형태

2.2 균열발생분석

상부터널 라이닝 타설은 전구간에 있어 동일한 구조 및 양생조건으로 수행된 것이 아니므로 이를 고려한 검토가 필요하다. 구조적 측면으로 볼 때 라이닝 구조는 5th span까지는 직선구간이고, 6th ~ 12th span 까지는 변경사구간에 놓이게 된다. 또한 양생조건도 2월 타설 span(T1:6th span, T2:8th span)까지는 동절기 보온양생(폼탈형진까지 평균 15°C로 양생)을, 그 이후는 대기에 노출양생을 실시하였다. 상기조건을 감안하여 표 1의 균열발생현황을 분석해보면, 다음과 같은 균열발생 특성을 도출할 수 있다.

- ① 직선구간의 경우는 주로 연직균열이, 변경사구간에서는 수평균열의 발생 빈도가 큼
- ② 보온양생을 실시한 조건이 노출양생조건보다 균열발생 빈도가 큼

3. 균열조사

3.1 조사개요

라이닝 콘크리트에 발생된 균열의 상태 및 건진성을 정량적으로 파악하기 위하여 균열조사를 수행하였다. 조사항목은 균열 상태평가를 위하여 균열폭 및 균열깊이를 조사하였고, 균열 부근의 콘크리트의 건진성 및 피복상태를 평가하기 위하여 비파괴강도시험과 철근탐사시험을 수행하였다. 해당시험은 접근이 용이한 T1 7~9th span과 T2 9~10th span의 발생 균열 중 수직균열 2개소, 수평균열 5개소에 대해 수행하였다.

3.2 조사결과

표 2 균열폭/깊이 및 피복두께 시험결과

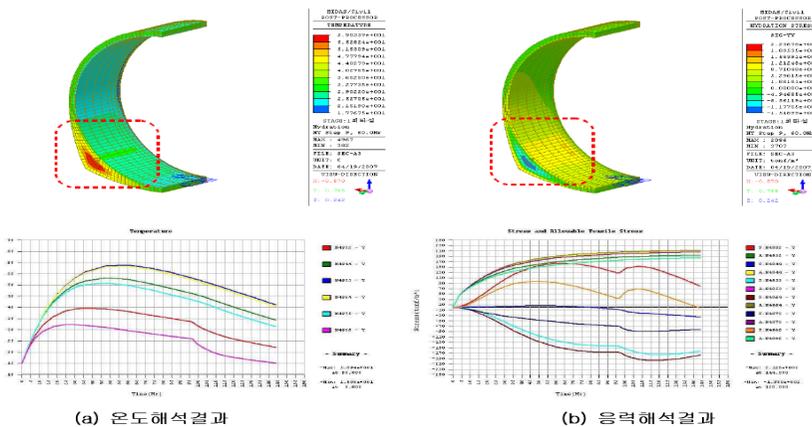
위치	균열 개수	피복두께(mm)	균열폭(mm)	균열깊이(mm)
T1	7th Span 좌측 수직균열	109	0.25 ~ 0.35	46
	8th Span 우측 수평균열	78	0.20 ~ 0.30	166
	9th Span 좌측 수평균열	95	0.25 ~ 0.30	74
T2	9th Span 우측 수평균열	98	0.20 ~ 0.30	125
	좌측 수평균열	105	0.15 ~ 0.25	66
	우측 수직균열	102	0.25 ~ 0.30	168
	하부 수평균열	112	0.20 ~ 0.30	74

표 3 압축강도 시험결과

위치	속정값(MPa)	결계기준(MPa)	재정일(day)	
T1	7th Span 좌측 수직균열	29.6	24	47
	8th Span 우측 수평균열	28.0	24	37
	9th Span 좌측 수평균열	26.3	24	27
T2	9th Span 우측 수평균열	27.3	24	44
	좌측 수평균열	24.6	24	14
	10th Span 우측 수직균열	21.5	24	14
	하부 수평균열	22.6	24	14

4. 균열 원인분석

4.1 연직균열



(a) 온도해석결과

(b) 응력해석결과

그림 2 수화열 해석결과(인버트)

균열발생 현황에 따르면, 연직균열의 거의 모든 span에 걸쳐 발생하였으며, 주로 각 span의 중앙단면 (연장 10m 중 5m 구간) 인버트부에서 S.L 부근까지 분포된 것으로 확인되었다. 발생부위와 시점을 감안한다면 가장 큰 원인으로는 수화열에 의한 온도균열로 예측할 수 있다. 즉, 라이닝 단면중 가장 단면이 매시브한 인버트(두께 1.0m 이상)에서의 온도상승 및 하강이 가장 크게 나타날 것으로 예상되며, 이로 인하여 단면 내외부 온도차가 가장 극심한 인버트부를 중심으로 연직균열이 발생할 가능성이 높다.

온도균열의 발생여부 판단을 위하여 수화열 해석을 수행하였고, 그 결과는 그림 2와 같다.

그림 2에서 보는 바와 같이, 인버트부를 중심으로 최대 온도도달 시점(약 2.5일)에 표면부를 중심으로 큰 인장응력이 발생함을 확인할 수 있다. 그림 2의 응력이력곡선을 보면, 상기 인장응력은 양생조건변화 (동결기 보온양생의 경우)와 관련없이 발생하는 것을 알 수 있다.

일반적으로 내부구속에 의한 표면부 온도균열의 경우 그 깊이는 피복 전후까지 진행되는 경우가 많으나 관통균열로 발전할 가능성은 거의 없고 온도하강 이후 균열 진전도 미미한 것으로 알려져 있으며, 이는 균열조사결과와 일맥상통한다.

4.2 수평균열

1) 구조적 특성

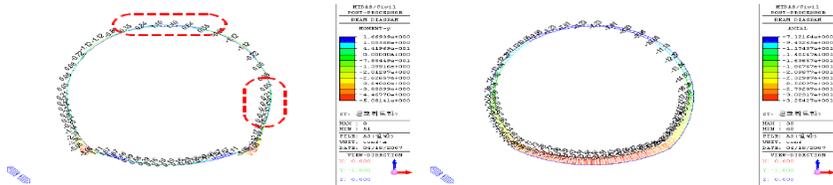


그림 3 구조검토결과(자중만 고려, $f_{cu}=70\text{kgf/cm}^2$ 조건)

2) 재료적 특성

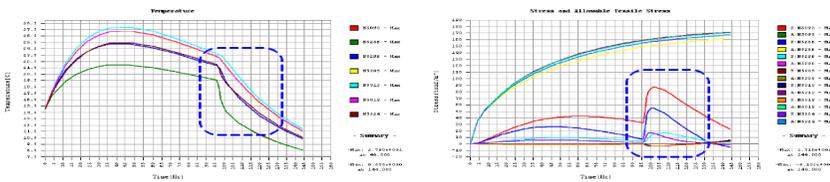


그림 4 수화열 해석결과(S.L부)

5. 균열저감대책

지금까지 검토한 균열원인은 구조적 특성에 의한 것이 아님을 알 수 있으며 다음과 같이 몇가지 원인에 대한 대책을 통해 균열을 저감할 수 있을 것이다.

- 1) 하절기배합인 플라이애쉬 20% 배합으로 변경하면, 수화열 저감효과와 함께 초결시간 지연 효과도 가져올 수 있으므로 연직균열 및 수평균열에 유리한 조건을 만들어 줄 수 있을 것으로 사료된다.
- 2) 균열이 주로 발생된 S.L 부근의 다짐방법과 관련하여 다음과 같이 개선코자 한다. 즉, 3단과 4단투입구間계면 방지를 위하여 4단 투입구를 통하여 일부 콘크리트를 타설 후 타설중지 상태에서 3단과 4단 투입 콘크리트를 같이 다짐을 실시한다. 이 때 주의할 점은 3단 타설 콘크리트의 초결 이전에 재다짐이 되어야 하므로 전체 시간을 6시간 이내에 완료해야 한다(플라이애쉬 20% 혼입 조건).
- 3) 일단 S.L 부근까지 콘크리트를 타설한 후, 하단부 콘크리트가 충분히 침강이 일어날 수 있도록 30분 내외 타설을 중지하였다가 후속 콘크리트를 타설토록 한다.

참고문헌

1. Hikasa, J. & Genba, T., Replacement for asbestos in reinforced cement products - 'Kuralon' PVA fibres, properties, structure. Paper presented at the International Man-Made Fibres Congress, Austrian Chemical Institute, Austria, September, 1986.
2. 김완영, 최세진, 원종필, "CFRD 차수벽 콘크리트의 소성수축 균열 제어특성에 관한 실험적 연구", 2000년도 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 2000. 5. 20, PP.118-121.