

5장. 진단사례를 반영한 전력구의 유지관리방안



추진호
한국시설안전공단
도시철도실
차장



윤태국
한국시설안전공단
시설안전연구소
그룹장



강영구
한국시설안전공단
진단평가실
부장



신용석
한국시설안전공단
도시철도
실장

1. 개요

지중구조물의 하나인 전력구는 도시계획 초기의 설계 여부에 따라 공동구내의 전력시설과 단독구내 지중선로의 전력시설로 구분할 수 있다. 국토해양부(2010) 공동구 설계기준 시행령을 개정하여 200만²를 초과하는 개발사업에 공동구 설치를 의무화하고 있으며 공동구의 수용시설 범위를 전선로, 통신선로, 수도관, 열수송관, 중수도관, 쓰레기 수송관을 의무적으로 수용하고 가스관과 하수도관은 심의를 거쳐 수용할 수 있도록 개정하였다. 전력구의 명확한 현황은 출처 및 미공개 자료가 대부분으로

명확한 통계는 본 고에서 생략하였다. 전력구의 단면형태는 박스형과 터널형으로 구분하며 시공방법에 따른 개착식과 굴착식(NATM, TBM)으로 분류된다. 현재 전력구에 대한 유지관리를 위한 안전점검 및 평가를 위한 지침은 한국전력의 자체 점검 매뉴얼을 마련하고 있으나 현재까지는 한국시설안전공단(2011)의 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(터널)」을 적용하고 있다. 본 기술기사에서 터널 세부기준을 이용한 전력구의 점검 및 진단방법을 기술하였으며 사례를 통한 전력구의 유지관리방안을 설명하고자 한다.

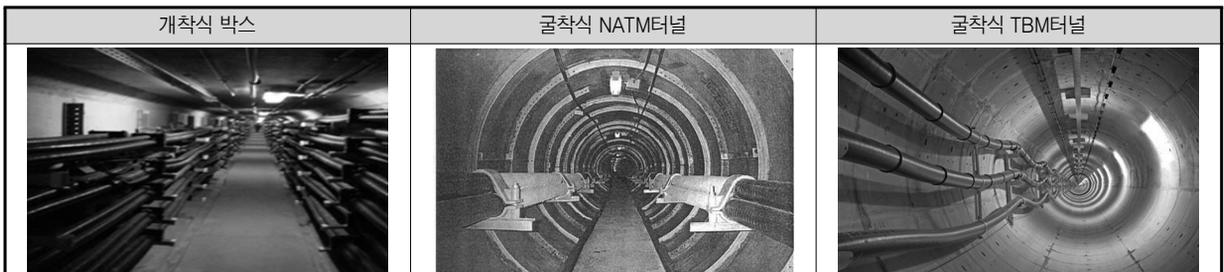


그림 1. 시공방법에 따른 전력구의 형태

2. 전력구의 안전점검 및 정밀안전진단

전력구는 「시설물안전에관한특별법」 1, 2종 시설물 이외의 시설물로 FMS(시설물정보관리통합시스템)에 한국전력공사의 37건만이 리스트화 되어있다. 이정일(2011)은 공동구 전력구를 제외한 단독구 전력구 현황을 77개소/ 81.8km로 기술하였다. 전력구의 경우 정밀안전진단에 대한 기준은 없으나 정기 및 정밀점검을 포함하는 정밀안전진단 기준에 맞추어 기술하였다.

2.1 현장조사

전력구의 현장조사를 실시하기 이전에 자료조사(건설지, 준공도면, 보수/보강이력, 주변 지형 및 지질) 내용을 충분히 검토하여 사전조사를 실시하여 변경되었거나 신설구조물의 계획 등을 확인한다.

2.1.1 점검사항 일반

전력구의 상태평가 시 점검사항은 구조물의 특성에 따라 다를 수 있으나 시공방법 및 라이닝의 재질에 따라 전력구는 그림 1~2와 같은 결함특성이 파악된다.

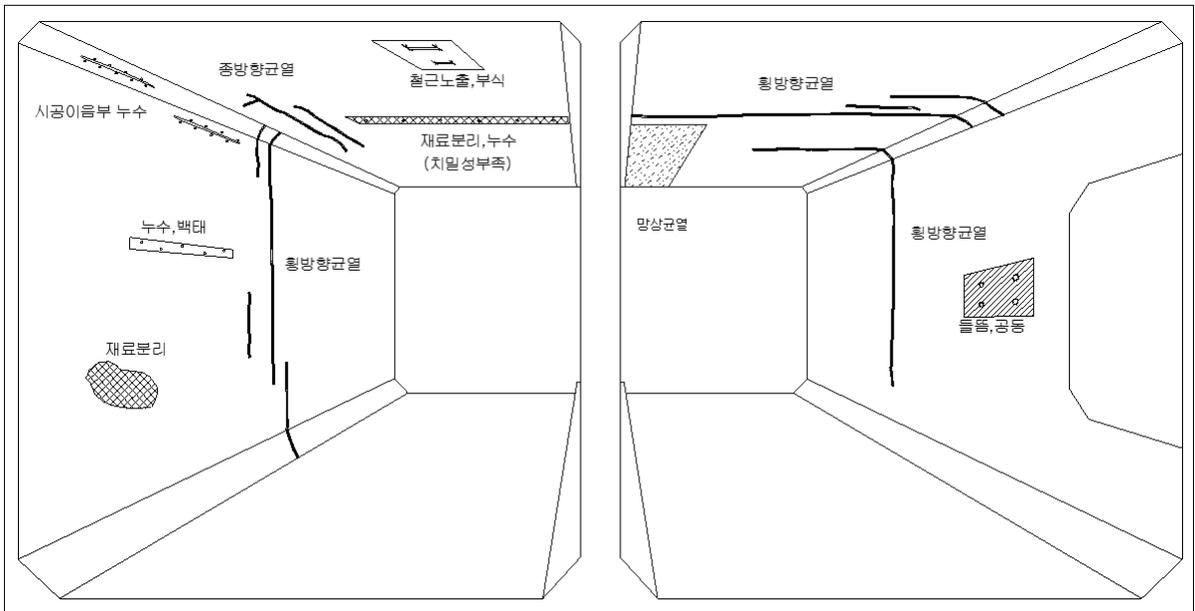


그림 1. 개착식 전력구의 일반적인 결함 모식도

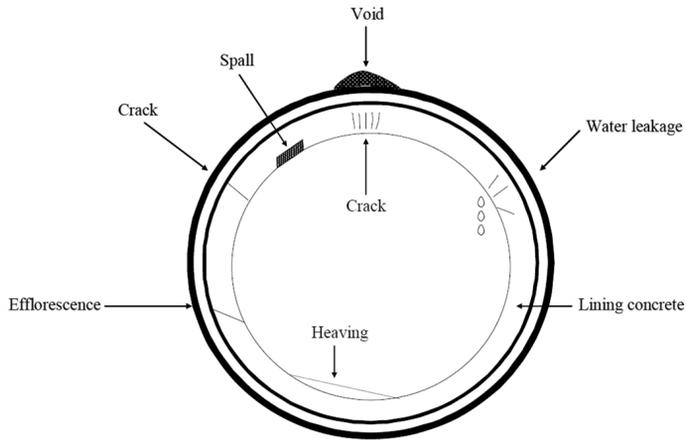


그림 2. 터널식 전력구의 일반적인 결함 모식도

2.1.2 정밀안전진단의 점검항목

가. 정기점검 및 정밀안전진단의 점검항목

전력구의 점검은 원구조체 내부 및 외부로 판단될 수 있는 수직구, 기타 주변을 표 2와 같이 조사할 수 있다.

표 2. 정밀안전진단 항목

점검부위	점 검 항 목	점 검 장 비
전력구 내부	<ul style="list-style-type: none"> • 균열조사(위치, 폭, 길이, 깊이, 진행성여부) • Joint부 조사(위치, 크기, 진행성) • 누수조사(위치, 누수량, 탁도, 수질) • 콘크리트 라이닝(두께, 강도, 부식, 열화) • 내부결함 탐사(공동 및 공극, 강지보 규격) • 터널 계측(내공변위, 단면측량, 라이닝응력) • 지반상태(풍화정도, 일축압축강도, R.Q.D) • 배수/공동구 상태조사(배수, 퇴적, 파손상태) • 진동 및 소음 상태조사 • 기타조사 	반발/초음파검사법 균열측정기 적외선 탐사법 탄산화시험 Impact-Echo시험 염화물함유량시험 코어채취시험 GPR탐사/내시경 탐사 진동 및 소음측정기
전력구 외부	<ul style="list-style-type: none"> • 수직구의 주요변상(균열, 누수, 강도, 주변조사) 	시추조사
기타	<ul style="list-style-type: none"> • 표지판 여부 • 퇴적물 상태 • 안전 및 유지관리 계획여부, 청소상태 • 진동 및 소음상태 	

2.2 재료시험 항목 및 수량

전력구의 재료시험 항목은 단면의 규모 및 연장에 따라 터널지침에 비교하여 적은 수량이 가능할 것으로 판단되며 면적용 또는 책임기술자의 판단을 근거로 관리주체와 협의하여 결정하는 것이 바람직하다.

표 3. 정밀안전진단 재료시험 항목

구 분	기 본 과업	선 택 과업
전력구 원구조체	<ul style="list-style-type: none"> • 측정분할 • 터널 단면측량 • 콘크리트 강도(비파괴시험) • 철근배근탐사 • 탄산화 깊이 측정 • 철근부식도조사 • 균열깊이조사 • 염화물함유량시험 	<ul style="list-style-type: none"> • 콘크리트 강도(코어채취) • 내공변위 측정 • 진동 및 소음측정 • 변형을 측정 • 수질조사 및 침전물 분석 • 지표·지질조사 등 • GPR탐사

2.3 상태평가 기준 및 방법

전력구의 기본시설 및 부대시설의 기준정립이 이루어지지 않은 상태이나 전력구 및 관리동은 기본시설, 연직갱은 부대시설로 평가될 수 있을 것으로 판단되며 터널결함지수 산정시 과 갱문 점수를 제외한 분모를 적용하는 것이 타당하다.

2.3.1 개착식 터널(Box형 철근콘크리트 구조물)

평가기준		a	b	c	d	e	
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$	
철근콘크리트 구조물	균열	0~2	3~5	6~8	9~11	12~13	
	누수	0	1	2	3	4~5	
	파손 및 손상	0	0	1	2	3	
	재질 열화	박리	0	0	1	1	1
		층분리 및 박락	0	0	1	2	3
		백태	0	0	1	1	1
		재료분리	0	0	1	1	1
		철근노출	0	1	2	3	4
		탄산화	0	1	2	3	-
염화물	0	1	1	2	-		
터널 주변	배수상태	오염됨 : 1					
		배수불량 또는 막힘 : 2					
	지반상태	중화변질 및 단층파쇄대	영향범위 내 : 2~3				
			영향범위 외 : 1				
갱문상태	손상 : 0.5~1						
공동구상태	덮개파손 및 오염됨 : 0.5						
	이물질 퇴적 및 침수 : 1						
특수조건	도심지 토사터널, 전력구터널, 전차선을 설치한 터널에서 낙수 및 동결위험 (추가점수) : 1~3						

$$\text{라이닝 결함지수 (f)} = \frac{\sum \text{결함점수}}{36}, \text{ 터널결함지수 (F)} = \frac{\sum \text{결함점수}}{43}$$

주) 전력구는 갱문상태를 제외하고 평가할 수 있다.

2.3.2 NATM 터널(철근콘크리트 라이닝)

평가기준		a	b	c	d	e	
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$	
라이닝	균열	0~2	3~5	6~8	9~11	12~13	
	누수	0	1	2	3	4~5	
	파손 및 손상	0	0	1	2	3	
	재질열화	박리	0	0	1	1	1
		층분리 및 박락	0	0	1	2	3
		백태	0	0	1	1	1
		재료분리	0	0	1	1	1
		철근노출	0	1	2	3	4
		탄산화	0	1	2	3	-
		염화물	0	1	1	2	-
터널수표	배수상태	오염됨 : 1					
		배수불량 또는 막힘 : 2					
	지반상태	풍화변질 및 단층파쇄대	영향범위 내 : 2 ~ 3				
			영향범위 외 : 1				
갱문상태	손상 : 0.5~1						
공동구상태	덮개파손 및 오염됨 : 0.5						
	이물질 퇴적 및 침수 : 1						
특수조건	도심지 토사터널, 전력구터널, 전차선을 설치한 터널에서 낙수 및 동결위험 (추가점수) : 1~3						

$$\text{라이닝 결합지수 (f)} = \frac{\Sigma \text{결합점수}}{36}, \quad \text{터널결합지수 (F)} = \frac{\Sigma \text{결합점수}}{43}$$

주) 전력구는 갱문상태를 제외하고 평가할 수 있다.

2.3.3 TBM 터널

평가기준		a	b	c	d	e	
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$	
라이닝	균열	0~2	3~5	6~8	9~11	12~13	
	누수	0	1	2	3	4~5	
	파손 및 손상	0	0	1	2	3	
	재질열화	박리	0	0	1	1	1
		층분리 및 박락	0	0	1	2	3
		백태	0	0	1	1	1
		재료분리	0	0	1	1	1
		철근노출	0	1	2	3	4
		탄산화	0	1	2	3	-
		염화물	0	1	1	2	-
특수조건	배수상태	오염됨 : 1 배수불량 또는 막힘 : 2					
	지반상태	풍화변질 및 단층파쇄대	영향범위 내 : 2~3 영향범위 외 : 1				
	갱문상태	손상 : 0.5~1					
	공동구상태	덮개파손 및 오염됨 : 0.5 이물질 퇴적 및 침수 : 1					
특수조건		도심지 토사터널, 전력구터널, 전차선을 설치한 터널에서 낙수 및 동결위험 (추가점수) : 1~3					

$$\text{라이닝 결합지수 (f)} = \frac{\sum \text{결합점수}}{36}, \quad \text{터널결합지수 (F)} = \frac{\sum \text{결합점수}}{43}$$

주) 전력구는 갱문상태를 제외하고 평가할 수 있다.

2.4 안전성평가 기준 및 방법

전력구의 안전성평가는 부재단면 및 결함을 고려한 현상태에 하중 및 지반상태를 감안하여 부재별 단면력 및 응력을 계산하여 부재별 안전율을 검토하여 그림 3과 같이 구조안전성을 평가할 수 있다.

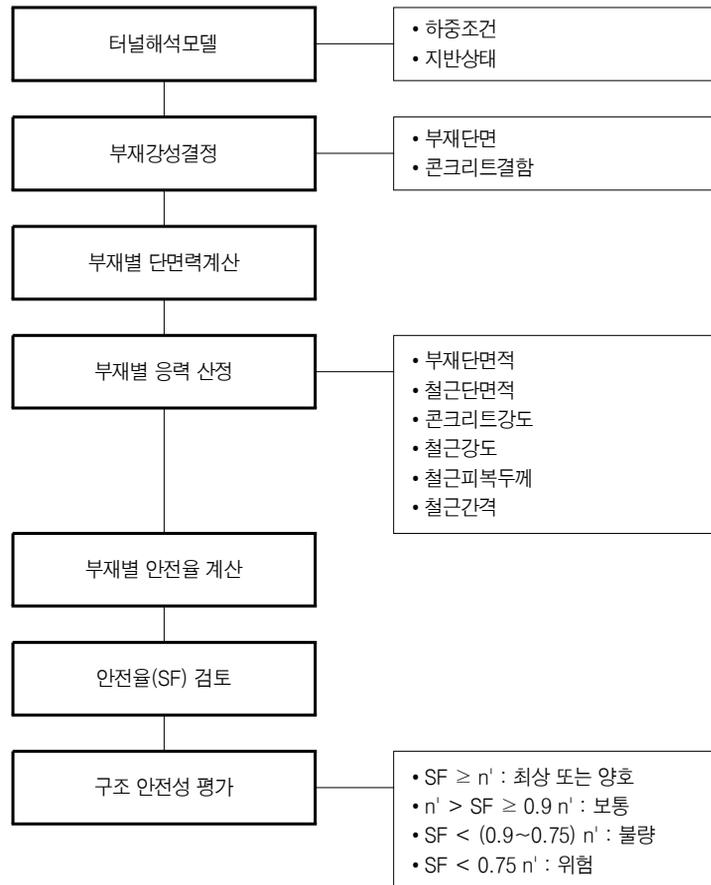


그림 3. 안전성평가 결과 산정 방법

2.5 종합평가 기준 및 방법

전력구의 종합평가는 터널의 상태평가와 안전성평가를 종합한 평가로 그림 4와 같다.



그림 4. 시설물의 종합평가 결과 산정절차

2.6 보수보강 방법

일반적인 콘크리트표준시방서 및 해당 설계기준 등을 참고하여 보수보강의 필요성 여부를 판단하며 세부적인 사항은 공법에 따른 전문시방서를 참고할 수 있다.

3. 전력구 점검사례를 통한 유지관리방안

3.1 개착식전력구

개착식터널과 형식 및 시공방법은 유사하나 단면의 크기가 작아 타설이음 품질관리가 용이하여 시공품질의 원인으로 인한 결함은 개착식터널에 비해 적게 발생하는 것으로 분석하였다. 하지만 그림 5와 같이 단면이 확대되는 경우 그 균열의 형태 및 패턴은 기존 터널에서 발생하는 형태와 유사한 것으로 확인되었다. 케이블 받침 및 케이블 지지용 선반 고정을 위한 앵커부의 균열 및 결함은 전력구만의 특징적인 결함으로 파악되었으며 전력구로 유입되는 유입수를 위한 내부 배수로의 기울기 불량에 따른 체수구간이 국부적으로 발생하는 것으로 조사되었다. 전력구의 경우, 다른 지중구조물과 달리 습기에 의한 부식 및 합선과 같은 대형사고가 발생할 수 있으므로 차수에 대한 적극적인 유지관리 계획을 제시하였다.

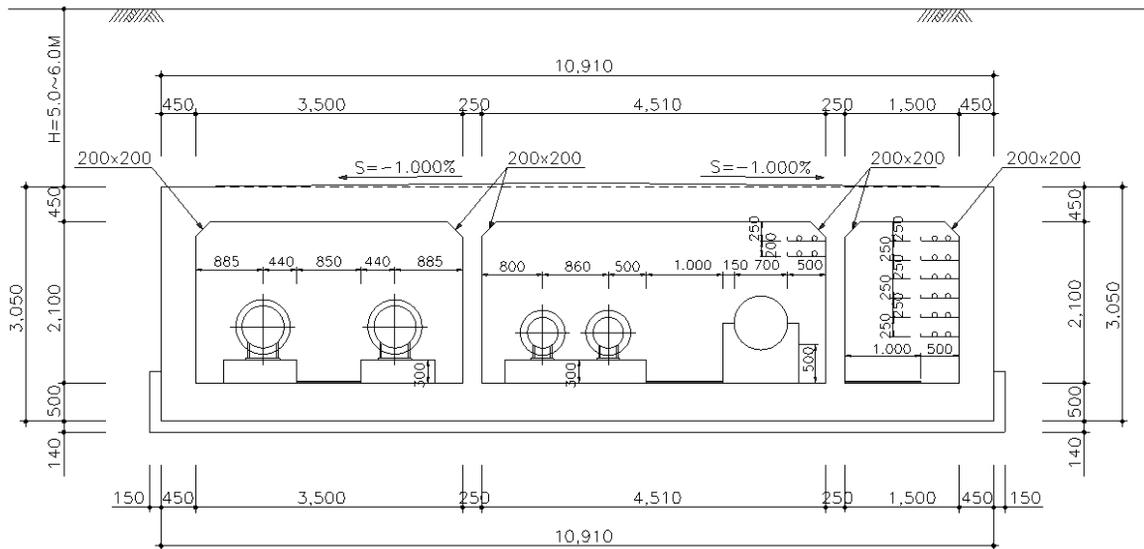


그림 5. 개착식전력구의 단면 예시



a. 측벽부 누수



b. 케이블 지지부 누수



c. 바닥부 체수

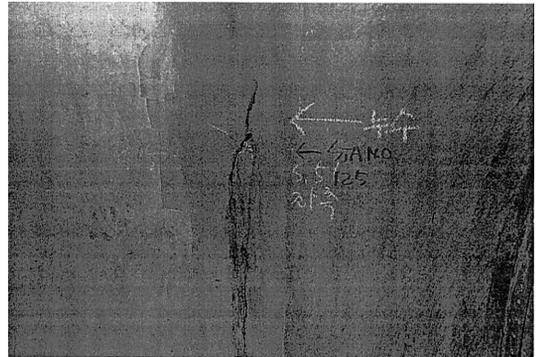
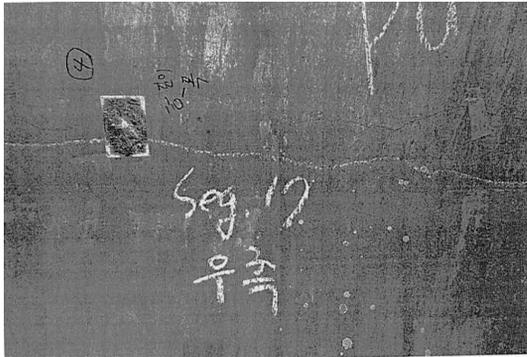


d. 철근노출

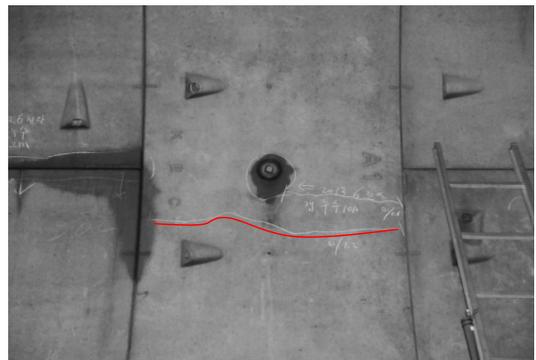
그림 6. 개착식전력구의 일반적인 결함 예시

3.2 터널식전력구

개착식전력구에 비해 상대적으로 대심도에 시공되는 터널식전력구는 지상부로부터 해당심도까지 연직갱을 선시공한 이후에 NATM (New Austrian Tunnelling Method) 및 TBM (Tunnel Boring Machine)등의 공법에 따른 전력구는 현장타설 라이닝 또는 Precast Segment로 시공된다. NATM터널의 보편적인 균열 형태는 한국시설안공단(1999), 추진호 등(2011)의 분석내용과 유사하였으며 Segment 라이닝의 경우 세그먼트 접속부 및 볼트부의 누수 및 백태, 세그먼트 우각부 및 중앙부의 균열 등이 일반적으로 기존 Shield 터널의 결함형태와 유사한 것으로 판단하였다. 규모는 작지만 기존 터널의 결함(균열, 누수, 백태, 철근노출, 박락, 재료분리, 볼트 풀림 등)과 유사하나 장래적으로 전력구의 특수성을 고려한 상태평가의 연구가 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.



a. NATM 터널식전력구의 결함: 좌-균열, 우-누수



b. TBM 터널식전력구 결함: 좌-균열, 우-누수 및 균열

그림 7. 터널식 전력구의 일반적인 결함 예시

3.3 기타(연직갱 및 도로부 조사)

터널식전력구는 대심도에 시공되어 필연적으로 연직갱 및 경사갱을 시공하게된다. 연직갱에 대한 지중응력변화는 김도훈(2012) 및 Paik and Salgado(2003) 등과 같이 연구되고 있으나 구조물에 발생되는 결함연구에 관한 실적은 미미한 상태이다. 그림 8은 전력구 심도에 접근하기 위한 중간슬래브의 균열에 관한 분석내용으로 양생시 초기강도 발현 이전에 자중 및 작업하중으로 인한 것으로 분석되었다. 분석된 연직갱의 결함특성으로는 시공품질과 관련된 것으로 구조적인 결함은 확인되지 않았다.

3.3.1 연직갱

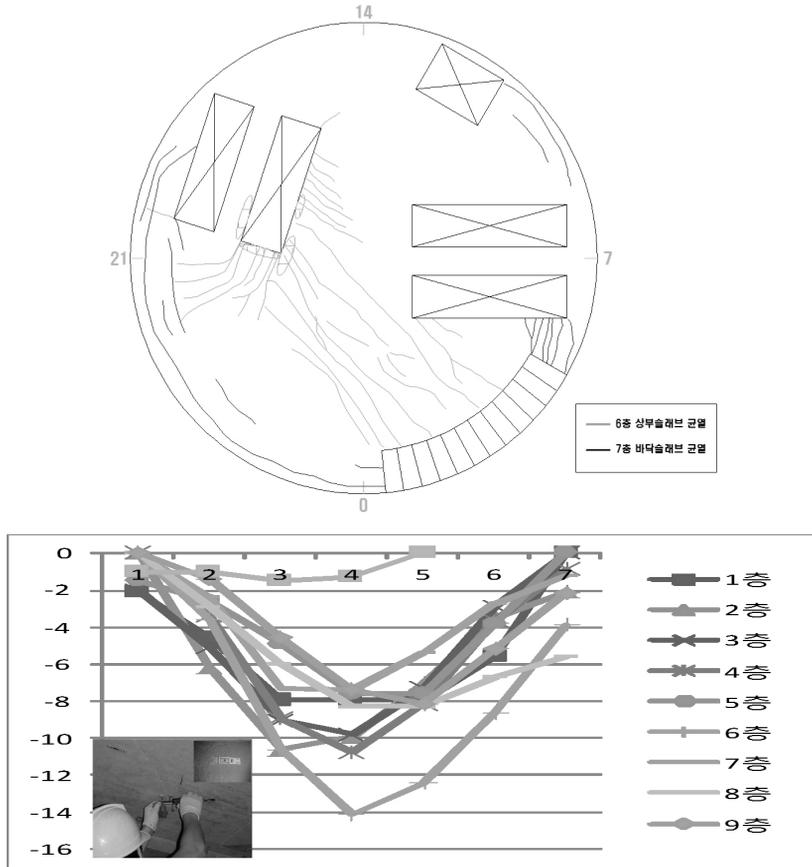


그림 8. 전력구 연직갱의 균열 사례



그림 9. 전력구 연직갱의 결함 예시

3.3.2 지상부

터널식전력구 및 연직갱의 굴착은 지하수위의 변동, 주변지반의 침하, 장기적인 지반침하 등을 야기할 수 있는 것으로 보고되고 있다(I Lamb et al, 2011, Rock Talk, 2001). 현재까지 보고된 전력구 주변으로 지상부의 지반침하 및 붕괴에 관한 보고는 없는 것으로 분석되었으나 향후 정밀안전진단시 해당항목에 대한 평가를 고려하도록 제안하고자 한다.

4. 결론

전력구의 유지관리에 관한 의무적인 관리기준은 제정되지 않은 상태이나 향후 국가의 life line의 합리적인 유지관리를 위한 체계가 필요한 실정이다. 현재 수행되고 있는 전력구의 정밀점검, 진단 및 해외사례를 검토하여 다음과 같은 유지관리시 고려될 사항을 제안하고자 한다.

- 점검 및 진단시기에 대한 관리기준 정립과 전력구의 특수성을 감안하여야 한다.
- 전력구의 경우, 시공방식 및 라이닝의 형식에 따른 상태평가 항목 및 단면 감소에 따른 재료시험, 추가 조사 항목등의 연구가 필요하다.
- 전력구 접근의 특수성 및 자료공유의 제한으로 연직갱 및 세그먼트 라이닝의 지하구조물에 대한 결함특성의 판단근거 연구가 미흡하 실정으로 향후 자료 취합 및 DB분석이 필요한 실정이다.
- 최근의 문제가 되는 지하구조물의 시공관리 미흡에 따른 주변 지반의 문제를 야기할 수 있는 전력구의 유지관리는 설계, 시공시의 자료를 축적하여 DB 관리의 체계화가 필요하다.

참고문헌

1. 김도훈, 2012, 원형 수직터널에 작용하는 토압 특성 연구, 고려대학교 대학원 박사학위 논문.
2. 추진호, 박성우, 김형탁, 지기환, 윤태국, 2011, 정밀안전진단 결과를 활용한 NATM터널(무근)의 라이닝균열 종류별 발생원인 및 분석-Part I, 한국터널지하공간학회논문집, 제13권 제3호, pp.199-214.
3. 한국시설안전기술공단, 1997, NATM터널(도로)의 종방향균열 원인분석과 보수·보강공법 연구.
4. 한국전력공사, 2010, 전력구 설계기준.
5. 한국시설안전공단, 2011, 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(터널)
6. I. Lamb, N. Ramsey, J. Rivalland and S. Goff, 2011, Baseline ground settlement and groundwater monitoring for tunnelling – a case study in Melbourne, 14th australasian tunnelling conference, Auckland, New zealand, 8-10 March, pp.397-405.
7. Paik, K. H. and Salgado, R. 2003, Estimation of active earth pressure against rigid retaining walls considering arching effects. Geotechnique Vol.53, No.7, pp. 643-653.
8. Rock Talk, 2001, when the ground lets you down-ground subsidence and settlement hazards in colorado, Vol.4, No.4, pp.1-12.