

## 외관불량 배전용 콘크리트전주 건전도 평가지표 개발

(A Development of Soundness Evaluation Index for Poor Appearance Distribution Concrete Poles)

왕윤찬\*

(Yoon-Chan Wong)

### Abstract

This study was to secure the safety of poor appearance distribution concrete poles effectively and to reduce the replacement costs of them by developing a soundness evaluation index. The researcher of this study investigated poor appearance types of concrete pole, collected 53 of test samples, and tested pole strength. As a result of strength test, only 17 percent of poor appearance concrete poles were below 2.0 of safety factor spec. As results of multiple regression analysis, it is verified that surface air void, horizontal crack, net-shaped crack, elapsed year, vertical crack, and deterioration in concrete compressive strength have statistically negative effects on safety factor of concrete poles in a significant level. The researcher set up a soundness evaluation index by using multiple regression equation, and suggested that poor appearance concrete poles should be replaced or reinforced only in case of soundness evaluation score of 150 or above.

Key Words : Soundness Evaluation Index, Distribution Concrete Poles, Strength Test, Safety Factor

### 1. 서 론

외관이 불량한 배전용 콘크리트전주를 도로변에서 간혹 볼 수 있다. 특히 전주에 세로로 균열이 심하게 벌어져 있거나, 콘크리트가 탈락되어 철근이 노출되었거나, 표면이 상당히 풍화되어 자갈이 심하게 드러난 경우에는 “전주 강도가 부족해서 절손되는 것 아닌

가?”하는 막연한 불안감을 준다. 전주가 절손되면 인근지역에 전력공급이 중단되고, 지나가는 행인이 부상 또는 사망하거나, 인근 차량 및 건물 등에 물적 피해가 발생할 수 있다. 배전용 콘크리트전주는 2011년 말 기준으로 국내 가공 배전선로 지지물의 96.2%인 8,144,023기가 설치되어 있지만[1], 콘크리트전주에 관한 국내 실증 연구[2-3]는 주로 양호한 신제품만을 대상으로 시행하였기 때문에 외관이 불량한 콘크리트전주의 건전도를 과학적으로 평가할 수 있는 방법이 없다. 그래서 콘크리트전주 관리부서에서는 절손사고 예방을 위하여 단순히 외관 상태의 불량 정도가 심한 전주를 신제품으로 교체하고 있으며, 이로 인하여 전국적으

\* 주저자 : 한국전력공사 부장/박사  
\* Main author : General Manager, KEPCO / Ph.D.  
Tel : 055-717-2430, Fax : 055-717-2833  
E-mail : lastking@kepcoco.kr  
접수일자 : 2014년 5월 29일  
1차심사 : 2014년 6월 3일  
심사완료 : 2014년 7월 21일

로 막대한 교체 비용이 소요되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 외관이 불량한 배전용 콘크리트전주에 대한 건전도 평가지표를 개발하여 효과적으로 콘크리트전주의 안전성을 확보하여 국민적 불안감을 해소하고 외관불량 콘크리트전주의 교체비용을 절감하는 것이다. 이를 위하여 현장에 설치된 배전용 콘크리트전주의 외관불량 유형 조사, 시료 수집, 상태 조사 및 측정, 전주강도 시험을 통하여 안전율에 통계적으로 유의한 영향을 미치는 요인을 확인하여 건전도 평가지표를 개발하고자 하였다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 콘크리트전주의 제작 및 납품 시험

현재 현장에 설치된 배전용 콘크리트전주는 거의 대부분 프리텐션 방식 원심력 프리스트레스트 콘크리트 (Prestressed Concrete: PC) 전주이며, 그 종류 및 규격은 표 1과 같다[4]. PC 전주는 콘크리트의 인장부분에 미리 압축응력을 도입시켜 이 압축응력과 콘크리트 자체의 인장강도가 합하여 인장력에 대한 저항을 크게 증진하도록 한 것이다[5]. PC 전주 내에는 인장근과 보강근이 표 2와 같이 삽입된다. 인장근은 콘크리트에 초기응력(Prestress)을 주기 위하여 삽입하는 것으로서 형틀의 밑에서 끝까지 삽입된다. 긴장 작업 직후 PC강재의 인장응력도는 인장강도의 0.7배 이하 또는 항복점 하중의 0.8배 이하로 규정하고 있다[6]. 콘크리트전주는 테이퍼 1/75의 속이 빈 원추체로 제조하므로 끝지름이 밑지름에 비하여 작아서 끝과 밑에 삽입 가능한 강재의 수량에 차이가 있으며, 수평하중이 작용될 때 끝부분보다 밑부분 휨모멘트가 크다. 따라서 보강근은 밑에서부터 일정 길이만큼만 삽입하여 전주의 인장응력을 보강하는 것을 말한다.

PC 전주는 원심력 다짐을 시행한다. 중공형틀(강재 거푸집) 내에 조립된 PC 강재 및 철근을 배치하고 콘크리트를 타설 후 형틀을 회전시키면[5-6], 원심력에 의해 골재, 시멘트, 물이 각각의 중량에 의해 형틀의 중심에서 바깥 단면 방향으로 레이턴스, 시멘트풀, 모르타르, 골재 순으로 재료분리가 발생하면서 층이 형

성되며[7], 콘크리트 중의 기포와 잉여수분이 추출되어 고강도의 치밀한 조직을 얻을 수 있다[8]. 이렇게 원심력으로 다져진 콘크리트는 진동으로 다져진 일반 콘크리트보다 수밀성이 높고 압축강도가 130~140%이며[6], 그 표면이 매우 매끄럽다.

표 1. 배전용 콘크리트전주의 종류 및 규격  
Table 1. Types and sizes of distribution concrete pole

길이 (M)	설계하중[kN (kgf)]			끝지름 (mm)	밑지름 (mm)
	일반용	중하중용	고강도용		
10	3.43 (350)	4.90 (500)	-	190	323
12	4.90 (500)	6.86 (700)	-	190	350
14	4.90 (500)	6.86 (700)	9.80 (1,000)	190	377
16	4.90 (500)	6.86 (700)	9.80 (1,000)	190	403

표 2. PC 전주의 강봉 종류 및 규격  
Table 2. Types and sizes of steel bar for prestressed concrete pole

규격	보강근			인장근	
	지름(mm)	길이×개수		지름(mm)	길이×개수
10M (3.43kN)	5.0	3m×4	7m×4	7.4	10m×8
12M (4.90kN)	8.0	6m×4	9m×4	8.3	12m×8
14M (4.90kN)	7.0	7m×4	10m×4	9.2	14m×8
16M (4.90kN)	8.0	8m×4	12m×4	9.2	16m×8
16M (6.86kN)	11.0	9m×4	13m×4	11.0	16m×8
16M (9.80kN)	13.0	10m×4	14m×4	13.0	16m×8

신폼 전주는 납품수량에 따라 발취한 수량에 대하여 압축강도와 파단하중을 시험한다. 콘크리트 압축강도는 슈미트해머로 측정하였을 때 일반용과 중하중용은 49.0MPa(=N/mm<sup>2</sup>) 이상, 고강도용은 78.4MPa 이상이어야 하며, 파단하중은 설계하중의 2배 이상이어야 한다[4,6].

이상을 종합할 때, 신폼 배전용 콘크리트전주는 콘크리트의 압축강도와 강재의 인장강도가 안전율을 결정하는 것으로 생각된다.

## 2.2 콘크리트전주의 외관불량 유형

배전용 콘크리트전주의 외관불량 유형을 한국전력 공사 강남지사 인근의 배전용 콘크리트전주 350여기를 대상으로 조사한 결과, 그림 1과 같이 가로균열, 세로균열(접합부결함 포함), 망상균열, 표면공극, 표면풍화로 분류되었다.

균열(가로균열, 세로균열, 망상균열)이란 콘크리트의 국부적인 파단에 의해 생기는 틈을 말하며, 육안으로 식별이 가능한 미세한 실금을 포함한다.



그림 1. 콘크리트전주의 외관불량 유형  
Fig. 1. Poor appearance types of concrete pole

가로균열은 전주의 단면 방향(수평)으로 나타난 균열을 말한다[6]. 가로균열은 인류주, 각도주, 분기주와 같이 전선에 의한 불평균장력과 같이 수평중하중이 작용하는 전주와 가선된 전선의 조수가 많거나 경간이 길어서 풍압에 의한 수평항하중이 크게 작용하는 전주에서 주로 발견된다. 가로균열이 발생한 전주는 설계하중과 유사한 하중이 작용되었던 것으로 볼 수 있다[3,6]. 가로균열이 있는 부위는 콘크리트의 인장응력이 없어서 강재에 인장력이 집중되며, 균열 부위의 많은 강재가 부식되어 인장응력이 저하됨에 따라 안전율이 저하될 것으로 생각된다[9-10].

세로균열은 전주의 축방향(수직)으로 나타난 균열을 말하며, 중공형틀 접합부 부위의 공극, 콘크리트 탈락, 강재 노출 등의 접합부결함을 포함한다. 세로균열의 원인은 일반 구조물에서와 같이 콘크리트 중성화

로 인하여 강재가 부식되어 부피가 팽창함에 따라 발생하는 것으로 추정할 수 있지만[11], 경과년수가 오래되지 않은 전주의 경우에는 긴장력의 도입, 낙하 및 충격 등을 원인으로 추정하기도 한다[12]. 또한 접합부결함의 원인은 형틀의 청소 불량 또는 조임 불량으로 원심력 다짐 시 페이스트가 유출되어 발생한 공극을 통해 유해 이온이 침투하여 강재를 부식시킴에 따라 콘크리트가 탈락되고 강재가 노출되는 것으로 추정된다. 세로균열은 최소 1개에서 최대 16개까지 발생한다. 세로균열의 개수가 많을수록 전주가 하중을 받아 휨이 발생할 때 강재가 콘크리트와 분리되어 인장응력을 발휘하지 못할 뿐만 아니라 분리된 콘크리트들의 인장응력과 압축응력 저하로 인하여 안전율이 저하될 것으로 생각된다.

망상균열은 콘크리트전주 표면에 방사형, 그물모양, 또는 특정한 규칙성이 없이 나타난 균열을 의미한다[13]. 망상균열의 원인은 반응성 골재의 사용, 장시간 콘크리트 비비기, 소성수축, 동결융해의 반복 등 매우 다양하다[14]. 망상균열은 전주 둘레에 나타난 정도가 클수록 분리된 콘크리트들의 인장응력과 압축응력이 저하되어 안전율이 저하될 것으로 생각된다.

표면공극은 콘크리트전주 표면에 발생된 육안으로 식별 가능한 불규칙적인 공극(흠)을 의미한다. 육안으로 식별이 가능한 직경 1mm 이상의 공극을 갇힌 공극(entrapped air void)이라 한다[15,16]. 공극의 원인은 콘크리트의 수분이 부족하여 원심력 다짐 시 시멘트 페이스트가 골재사이의 모든 공극을 채우지 못하여 발생하는 것으로 보고 있다. 공극은 콘크리트 구조물에 다음과 같이 두 가지 영향을 미친다. 첫째, 공극분포율이 증가하거나, 공기량이 증가할 때 압축강도가 감소한다[16,17]. 둘째, 공극율이 증가함에 따라 투기성이 큰 폭으로 증가하므로[18], 염화물 이온, 탄산가스 및 물과 같은 유해한 이온들의 이동 경로를 제공하여 중성화가 촉진되어 내부 강재가 부식된다[19~21]. 따라서 표면공극이 클수록 압축응력이 저하되고, 부식에 의한 강재 단면 결손 등으로 인하여 인장응력이 저하되어 안전율이 저하될 것으로 생각된다.

표면풍화는 비, 바람 등과 같은 자연현상에 의하여 콘크리트전주 표면의 페이스트가 마모되고 모래가 탈

락됨에 따라 모래 또는 자갈이 표면에 드러난 상태를 말하며, 콘크리트전주의 노후도를 나타낸다. 표면풍화는 제작 후 현장에 설치된 기간과 현장의 기후, 그리고 제작상태에 따라 풍화정도가 다르게 나타날 것으로 생각된다. 표면이 많이 풍화되었다는 것은 설치된 자연환경이 그만큼 가혹했으며, 경과년수가 오래되어 콘크리트의 압축강도가 저하되고 내부의 철근이 부식될 가능성이 높으므로 안전율이 저하될 것으로 생각된다.

이상을 종합할 때 가로균열, 세로균열, 망상균열, 표면공극, 표면풍화 등의 외관불량 요인들이 콘크리트전주의 안전율에 저하에 영향을 미칠 것으로 생각된다.

### 3. 시험 방법

#### 3.1 시료 수집

시료는 비용 절감을 위하여 경기 및 충청권의 현장에 설치되어 있다가 철거되어 인근 불용 콘크리트전주 집하장에 입고된 796기를 대상으로 2011년 8월 23일부터 11월 17일까지 외관상태를 조사하여 각 외관불량 요인이 골고루 포함되도록 총 53기를 표 3과 같이 수집하였다.

#### 3.2 강도시험 전 상태 조사 및 측정

콘크리트전주 파괴강도 시험 전에 외관불량 상태, 경과년수 및 콘크리트 압축강도를 다음과 같이 조사 및 측정하였다.

가로균열은 개수와 폭을 조사 및 측정하였다. 가로균열 개수는 전주 전체에 나타난 가로균열의 수를 조사하였고, 가로균열 폭은 균열 폭 측정자를 이용하여 최대 폭을 mm 단위로 소수점 둘째자리까지 측정하였다.

세로균열은 개수, 길이, 폭을 조사 및 측정하였다. 세로균열 개수는 전주 둘레에 나타난 세로균열의 최대 개수를 조사하였고, 세로균열 길이는 줄자를 이용하여 세로균열의 최대 길이를 m 단위로 소수점 둘째자리까지 측정하였으며, 세로균열 폭은 균열 폭 측정자를 이용하여 최대 폭을 mm 단위로 소수점 둘째자리

까지 측정하였다.

표 3. 시료의 구성

Table 3. Composition of test sample

구분	가로균열	세로균열	망상균열	표면공극	표면풍화
가로균열	25	9	6	1	17
세로균열	-	16	6	1	14
망상균열	-	-	3	0	3
표면공극	-	-	-	3	1
표면풍화	-	-	-	-	0
소계	25	25	15	5	35

망상균열은 전주 둘레에 망상균열이 점유하는 최대 비율을 % 단위로 측정하였다.

표면공극의 측정은 공극 면적이 가장 넓은 세로 0.3m의 전주 둘레를 측정영역으로 선정하고, 공극 면적이 큰 20개소를 mm<sup>2</sup> 단위로 측정하여 그 평균면적을 계산하였다.

표면풍화는 표면이 마모되어 모래 또는 자갈이 드러난 정도를 표 4에 의거하여 5등급으로 조사하였다.

경과년수는 콘크리트전주의 표면에 표시된 제조년월을 조사하거나, 제조년월 페인트가 풍화되어 확인이 불가능한 경우에는 한전표준규격의 개정에 따라 변경된 전주 끝에서부터의 완철구멍 위치와 개수를 조사하여 표 5에 의거 제조기간을 파악 후 시험기간으로부터의 최소 경과년수를 계산하였다.

콘크리트 압축강도는 비파괴 강도측정 방법인 슈미트해머로 지지점 부위와 불량률이 가장 심한 부위를 각각 20점 타격한 평균값을 MPa 단위로 측정하였으며, 편차가 평균치의 ±20% 이상인 것은 제외하였다[6].

표 4. 표면풍화 측정척도

Table 4. Measurement scale of surface weathering

등급	상태 정의
1	표면의 시멘트가 마모되어 모래가 드러난 상태
2	표면에 자갈이 드러난 크기가 평균 5mm 이하인 상태
3	표면에 자갈이 드러난 크기가 평균 5mm 초과 10mm 이하인 상태
4	표면에 자갈이 드러난 크기가 평균 10mm 초과 15mm 이하인 상태
5	표면에 자갈이 드러난 크기가 평균 15mm 초과인 상태

표 5. 콘크리트전주 규격 변경 내역  
Table 5. Specification changes of concrete pole

제조기간	전주길이	완철구멍 위치(개수)	기타
'73.11~ '78.03	12m	250mm, 1000mm, 1750mm(3개)	-
'73.11~ '88.09	13~ 17m		
'73.11~ '78.03	10~ 11m	150mm, 250mm, 1000mm, 1700mm(4개)	-
'78.03~ '84.12	10~ 12m	150mm, 250mm, 850mm, 1000mm(4개)	설계하중변경 12m,13m : 350→500kg
'84.12~ '88.09	10~ 12m	250mm, 1000mm(2개)	-
'88.09~ '93.09	10~ 17m	250mm(1개)	-
'93.09~ '98.11	12m이상	250mm, 410mm(2개)	설계하중변경 10m:300→350kg
	10m이하	250mm(1개)	
'98.11~ '01.06	전품목	'93.09~'98.11과 동일	접지선인입구 : 수평→경사
'01.06~ '10.12	12m이상	250mm, 410mm(2개)	전주끝 구멍: 개방→밀폐
	10m이하	250mm(1개)	
'10.12~ 현재	전품목	완철구멍 삭제	

### 3.3 콘크리트전주 강도시험

콘크리트전주 파단하중을 측정하기 위한 강도시험 방법은 KS F 4304[6]를 준용하였으며, 강도시험은 2011년 9월 26일부터 12월 2일까지 시행하였다. 시험 장치는 그림 2와 같이 남양주시와 대전시에 소재한 콘크리트전주 제조회사에서 기존 콘크리트전주 납품 시험에 사용하는 시험 장치를 활용하였다. 콘크리트전주의 설치방향은 가로균열 등 외관불량이 많이 있는 부위가 인장이 되도록 하였으며, 콘크리트전주의 고정 을 위하여 표준균압에 의한 지지점(전주 밑에서부터 전주길이의 1/6지점, 단 16m 전주는 2.5m) 하부 2개소

에 지지대를 설치하였다. 가력은 전주 끝에서 0.25m 하부의 하중점에 있는 완철구멍에 볼트를 삽입하고, 하중계가 설치된 와이어를 고정한 후에 콘크리트전주 가 파괴될 때까지 서서히 하중을 증가시켰다. 콘크리트전주의 파단하중은 전주가 파괴될 때 하중계에 표시된 최대 하중으로 측정하였다. 콘크리트전주의 안전율(=파단하중/설계하중)은 측정된 파단하중을 설계 하중으로 나눈 값으로 계산하였다.



(a) 남양주시 시험 (b) 대전시 시험

그림 2. 콘크리트전주 강도시험  
Fig. 2. Strength tests of concrete pole

### 3.4 강도시험 후 상태 조사 및 측정

외관불량 콘크리트전주의 강도시험 후에는 파단위치, 파단형태 등을 조사하였다. 파단위치는 지지점으로부터 파단부위 중심까지의 거리를 m 단위로 측정하였다.

## 4. 시험 결과 및 분석

### 4.1 안전율 시험결과

외관불량 배전용 콘크리트전주 53기에 대한 강도시험 결과의 기술통계량은 표 6과 같으며, 안전율(=파단하중/설계하중) 시험결과는 그림 3과 같이 나타났다. 안전율은 최소 1.10, 최대 3.92, 평균 2.70, 표준편차 0.69660으로 나타났다. 외관불량이 있는 전주라도 83%(44기)가 안전율 규정치인 2.0보다 높게 나타났다으며, 단지 17%(9기)만이 규정치보다 낮게 나타났다.

표 6. 외관불량 콘크리트전주 강도시험 결과의 기술통계량

Table 6. Descriptive statistics quantity of poor appearance concrete pole strength test results

구분	N	최소값	최대값	평균	표준편차	
전주길이(m)	53	10	16	12.85	1.875	
설계하중(kgf)	53	300	700	470.75	86.288	
파단하중(kgf)	53	400	2300	1284.36	436.122	
안전율	53	1.10	3.92	2.7091	0.69660	
파괴위치(m)	53	-0.50	8.70	1.4798	2.14597	
가로 균열	폭(mm)	53	0.00	1.00	0.0736	0.15799
	개수	53	0	38	7.19	10.967
세로 균열	폭(mm)	53	0.00	8.00	1.3349	2.40523
	길이(m)	53	0	10.40	1.5532	2.61107
	개수	53	0	16	2.47	3.667
망상균열(%)	53	0	100	19.06	34.489	
표면공극(mm <sup>2</sup> )	53	0.0	79.4	4.587	15.3483	
표면풍화(단계)	53	0	5	1.40	1.349	
경과연수	53	4	33	19.77	7.700	
압축강도(MPa)	53	41	59	50.92	4.071	

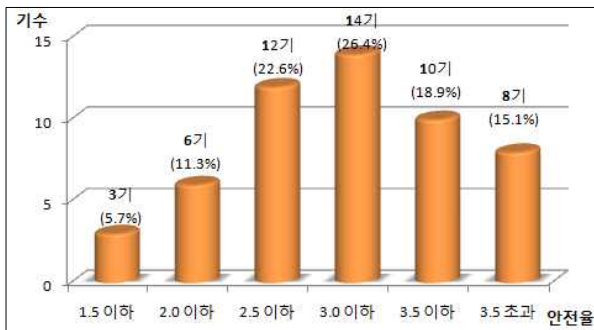


그림 3. 외관불량 콘크리트전주의 안전율 시험결과  
Fig. 3. Safety factor test results of poor appearance concrete pole

#### 4.2 파단 위치 및 형태

파단 위치는 지지점 하부가 3기(5.7%), 지지점 상부 1.0m 이하가 29기(54.7%), 지지점 상부 1m 초과가 19기(35.8%)로 나타났으며, 2기(3.8%)는 하중 가력위치까지 전주가 휘어졌으나 파단되지 않았다. 일반적으로 가로균열, 세로균열, 망상균열, 표면공극 등의 외관불

량 요인들이 가장 밀집된 지점이 파단되었고, 불량정도가 비슷한 경우에는 지지점 또는 보강근이 끝나는 지점에서 파단되었으며, 안전율이 매우 높은 경우에는 지지점 하부가 파단되었다. 그러나 접합부결함으로 강재가 노출된 지점이 파괴된 것은 없었다.

파단 형태는 표 7과 같이 세 가지로 나타났다. 지지점 상부에서 파단되는 경우, 대부분의 전주(36기, 67.9%)는 인장부위가 균열되고 압축부위가 파괴되는 형태로 나타났으나, 세로균열 개수가 많거나 망상균열이 있는 12기(22.6%)의 전주는 불량부위가 폭발하듯이 파쇄되었다. 지지점 하단이 파단된 3기(5.7%)의 경우는 사선방향으로 인장균열이 발생하였다.

표 7. 외관불량 전주의 파단 형태  
Table 7. Fracture types of poor appearance concrete pole

파단형태 (시험번호)	파단 사진 예시	기수 (빈도)	파단위치
인장균열+ 압축파괴 (Test 15)		36기 (67.9%)	지지점 상부
폭발파쇄 (Test 10)		12기 (22.6%)	지지점 상부
사선방향 인장균열 (Test 14)		3기 (5.7%)	지지점 하부

#### 4.3 가로균열과 안전율 간 관계

가로균열의 폭과 개수가 안전율에 미치는 영향을 파악하기 위하여 Minitab 17을 이용하여 다중회귀분석을 실시하였으며, 그 결과는 표 8과 같다. F통계량에 대한  $p=0.735 > 0.05$ 로 나타나서 다중회귀식이 유의하지 않으며, 독립변수인 가로균열의 폭과 개수의 유의확률도 각각  $p=0.562$  및  $p=0.735$ 로  $\alpha=0.05$ 보다 크게 나타나서 안전율에 통계적으로 유의한 영향을 미치지

않는 것으로 나타났다.

표 8. 가로균열과 안전율 간 관계 다중회귀분석 결과  
Table 8. Multiple regression analysis results of relationship between vertical crack and safety factor

Model 1	계수	SE계수	T-값	P-값	모델요약
(상수)	2.760	0.120	23.05	0.000	F=0.310, R <sup>2</sup> =0.012, p=0.735
가로 폭	-0.3770	0.6470	-0.58	0.562	
균열 개수	-.00317	0.0093	-0.34	0.735	

가로균열이 없는 전주와 있는 전주가 안전율에 대하여 통계적으로 유의한 차이가 있는지를 확인하기 위하여 독립표본 t-검정을 실시하였으며, 표 9 및 표 10과 같은 결과를 얻었다. 표 10에서 F값이 0.25이고 유의확률이 p=0.622>0.05이므로 등분산을 만족한다고 볼 수 있으며, 등분산이 가정된 상태에서 안전율의 차이 추정치는 0.42, t값은 2.28, 유의확률이 p=0.027< 0.05 이고, 평균 차이의 95% 신뢰구간에서 0이 포함되지 않으므로 대립가설이 채택되었다. 즉 가로균열이 있는 전주는 가로균열이 없는 전주에 비하여 통계적으로 유의한 수준에서 안전율이 낮게 나타남을 알 수 있다. 미세한 실금과 같은 가로균열이 한 개라도 있는 경우에는 이미 인장부위의 콘크리트가 인장응력을 상실하였기 때문에 가로균열이 없는 전주보다 안전율이 낮게 나타나는 것으로 판단된다.

표 9. 가로균열의 집단통계량  
Table 9. Group statistics of vertical crack

구 분	가로균열	N	평균	표준편차	표준오차
안전율	0=없음	28	2.908	0.670	0.13
	1=있음	25	2.487	0.671	0.13

표 10. 가로균열의 독립표본 t-검정 결과  
Table 10. Independent sample t-test result of vertical crack

T-값	DF	유의 확률 (양쪽)	차이 추정치	차이의 95% 신뢰구간	
				하한	상한
2.28	51	.027	0.420	0.050	0.790
Levene 등분산 검정 : F=0.25, 유의확률=0.622					

#### 4.4 표면풍화, 경과년수와 안전율 간 관계

표면풍화와 경과년수는 콘크리트전주의 노후도를 나타내는 변수들이다. 두 변수들을 독립변수로, 안전율을 종속변수로 설정하여 각각의 관계를 파악하기 위하여 회귀분석을 실시하였으며, 그 결과를 표 11과 표 12에 나타내었다. Model 2와 Model 3 회귀식의 설명력이 각각 8.4%, 16.4%로 나타났고, 표면풍화와 경과년수의 t값이 각각 -2.16과 -3.17이며, 유의확률이 각각 p=0.035, p=0.003으로 α=0.05보다 작게 나타나서 두 변수 모두 통계적으로 유의한 수준에서 안전율에 부(-)의 영향을 미친다고 할 수 있다. 하지만 경과년수가 표면풍화보다 설명력과 t값이 크고, 유의확률도 낮게 나타나서 안전율에 더 영향을 미친다고 할 수 있다.

표 11. 표면풍화와 안전율 간 관계 회귀분석 결과  
Table 11. Regression analysis results of relationship between surface weathering and safety factor

Model 2	계수	SE계수	T-값	P-값	모델요약
(상수)	2.9180	0.1340	21.82	0.000	F=4.67, R <sup>2</sup> =0.084, p=0.035
표면풍화	-0.1496	0.0692	-2.16	0.035	

표 12. 경과년수와 안전율 간 관계 회귀분석 결과  
Table 12. Regression analysis results of relationship between elapsed year and safety factor

Model 3	계수	SE계수	T-값	P-값	모델요약
(상수)	3.4340	0.2450	13.99	0.000	F=10.03, R <sup>2</sup> =0.164, p=0.003
경과년수	-0.0367	0.0116	-3.17	0.003	

경과년수가 오래될수록 표면풍화가 심하게 나타날 것으로 가정하고, 경과년수를 독립변수로, 표면풍화를 종속변수로 설정하여 회귀분석을 실시한 결과, 표 13과 같은 결과를 얻었다. 회귀식의 설명력이 50.4%이며, 유의확률이 p=0.000<0.01로 나타나서 경과년수는 통계적으로 매우 유의한 수준에서 표면풍화에 정(+)의

영향을 미침을 알 수 있다. 결론적으로 경과년수가 오래될수록 표면풍화가 심하게 나타나고, 안전율이 저하된다는 것을 알 수 있다.

표 13. 경과년수와 표면풍화 간 관계 회귀분석 결과  
Table 13. Regression analysis results of relationship between elapsed year and surface weathering

Model 4	계수	SE계수	T-값	P-값	모델요약
(상수)	-1.065	0.3660	-2.91	0.005	F=51.92, R <sup>2</sup> =0.504, p=0.000
경과년수	0.1245	0.0173	7.21	0.000	

4.5 강도저하 요인들과 안전율 간 관계

이상의 결과를 종합할 때, 가로균열(없음=0,있음=1), 세로균열(개수), 망상균열(점유율%), 표면공극(mm<sup>2</sup>)의 4개 외관불량 요인들과 경과년수(년), 콘크리트 압축강도저하(=60-축중값MPa)의 전주특성 요인들이 콘크리트전주의 강도저하 잠재요인으로 생각된다. 이들 6개 요인들을 독립변수로, 안전율을 종속변수로 설정하고 이들 간의 영향관계를 파악하기 위하여 다중회귀분석을 실시하였으며, 그 결과는 표 14와 같다.

표 14. 강도저하 요인들과 안전율 간 관계 다중회귀분석 결과

Table 14. Multiple regression analysis results of relationship between deterioration factors in strength and safety factor

Model 5	계수	SE계수	T-값	P-값	모델요약
(상수)	4.25500	0.20700	20.56	0.000	F=14.50, R <sup>2</sup> =0.654, p=0.000
세로균열	-0.04310	0.01720	-2.50	0.016	
망상균열	-0.00861	0.00184	-4.69	0.000	
표면공극	-0.02270	0.00417	-5.44	0.000	
압축강도저하	-0.04220	0.01750	-2.41	0.020	
경과년수	-0.02517	0.00918	-2.74	0.009	
가로균열	-0.61600	0.12600	-4.88	0.000	

다중회귀분석 결과를 살펴보면, 다중회귀식의 설명력이 65.4%로 매우 높고, F통계량에 대한 유의확률이 p=0.000<0.01이므로 다중회귀식은 매우 유의하다고

할 수 있다. 독립변수들 중 가로균열, 망상균열, 표면공극, 경과년수는 통계적으로 매우 유의한 수준에서(p<0.01), 세로균열과 압축강도저하는 유의한 수준에서(p<0.05) 안전율에 부(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 안전율에 미치는 영향력을 비교하면, 표면공극이 t=-5.44로 가장 크고, 그 다음은 가로균열(t=-4.88), 망상균열(t=-4.69), 경과년수(t=-2.74), 세로균열(t=-2.50), 압축강도저하(t=-2.41) 순으로 나타났다.

결론적으로 표면공극의 면적이 넓을수록, 가로균열이 있는 경우, 망상균열이 전주둘레에 점유하는 비율이 클수록, 경과년수가 오래될수록, 세로균열의 개수가 많을수록, 압축강도저하가 클수록 콘크리트전주의 안전율이 저하된다는 것을 알 수 있다.

5. 건전도 평가지표 설정 및 활용 방안

현장에 설치된 중하중용 이하 외관불량 배전용 콘크리트전주의 건전도 평가지표는 적용의 편의성으로 고려하여 표 14에 나타난 각 독립변수들의 비표준화 계수 값에 100을 곱하여 표 15와 같이 설정하였다.

표 15. 외관불량 배전용 콘크리트전주 건전도 평가지표  
Table 15. Soundness evaluation index of poor appearance distribution concrete poles

평가항목	가중치	평가방법
표면공극	2.27	세로 0.3m 영역의 전주둘레에서 최대 공극 20개의 평균면적(mm <sup>2</sup> )
가로균열	61.60	가로균열 없음=0, 있음=1
망상균열	0.86	전주둘레의 최대 점유율(%)
세로균열	4.31	전주둘레의 세로균열 최대 개수
경과년수	2.52	현재년월 - 제작년월
압축강도저하	4.22	60 - 압축강도 측정값(MPa)

건전도 평가지표에 의거하여 각 시료들의 건전도 평가점수를 산정하여 안전율 간의 관계를 회귀분석하여 그림 4와 같은 결과를 얻었다. 회귀식의 설명력이 65.3%로 매우 높고, 유의확률이 p=0.000<0.01로 나타나서 회귀식이 매우 유의하다고 할 수 있다.

그림 4에서 안전율 2.0 미만의 전주는 건전도 평가



점수 150점 이상의 구간에 모두 위치하고 있다. 따라서 건전도 평가지표의 활용 방안을 건전도 평가점수 150점을 기준으로 다음과 같이 제안하고자 한다. 첫째, 150점 이상의 전주는 강도 부족 전주로 판단하여 양품으로 교체하거나 강도 보강을 하여야 한다. 둘째, 150점 미만의 전주는 강도가 충분하지만 상태의 악화여부를 주기적으로 관찰할 필요가 있다.

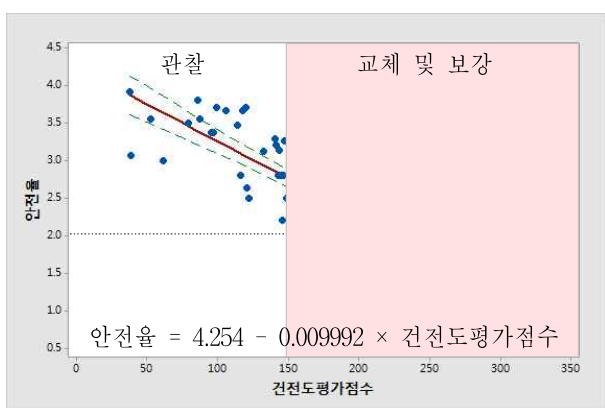


그림 4. 건전도 평가점수와 안전율 간의 관계  
Fig. 4. Relationship between soundness evaluation scores and safety factors

## 6. 결 론

외관불량 배전용 콘크리트전주 53기에 대하여 상태 조사 및 측정, 강도 시험을 시행하고 그 결과를 분석하여 건전도 평가지표를 설정하고 활용 방안을 제시하였다. 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- [1] 강도시험 결과, 17%만이 안전율 규정치인 2.0보다 낮고, 83%는 규정치보다 높게 나타나서 건전도 평가지표 개발의 필요성을 확인하였다.
- [2] 외관불량 요인들이 가장 밀집된 지점이 파단되었으며, 불량정도가 비슷한 경우에는 지지점 또는 보강근이 끝나는 지점에서 파단되었다. 따라서 건전도 평가는 이들 부위를 대상으로 시행하여야 한다.
- [3] 가로균열이 한 개라도 있는 전주가 없는 전주에 비하여 통계적으로 유의한 수준에서 안전율이 낮게 나타났다. 이러한 이유는 미세한 실금의 균

열이라도 콘크리트가 이미 인장응력을 상실하였기 때문으로 판단된다.

- [4] 경과년수는 통계적으로 유의한 수준에서 표면 풍화에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 콘크리트전주의 노후도는 경과년수로 평가하는 것이 타당함을 알게 되었다.
- [5] 다중회귀분석을 통해 표면공극의 면적이 넓을수록, 가로균열이 있는 경우, 망상균열이 전주둘레에 점유하는 비율이 클수록, 경과년수가 오래될수록, 세로균열의 개수가 많을수록, 압축강도 저하가 클수록 콘크리트전주의 안전율이 저하됨을 알게 되었으며( $p < 0.05$ ), 다중회귀식에 근거하여 건전도 평가지표를 개발하였다.
- [6] 건전도 평가점수 150점 이상의 전주는 강도 부족 전주로 판단하여 양품으로 교체하거나 강도 보강을 하여야 하며, 150점 미만의 전주는 강도가 충분하지만 상태의 악화여부를 주기적으로 관찰할 필요가 있다고 제안하였다.

## References

- [1] Korea Electric Power Corporation, 2012 Distribution Practice, 2012.
- [2] D. M. Kim, Research of Stresses Distribution and Loading Weight on Concrete Electric Pole Considering Field Condition, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, 18(5), pp.183-188, 2004.
- [3] Y. C. Wang, D. H. Kim, J. S. Park, and D. Y. Yi, Strength Characteristics of the Vertical and Inclined Concrete Pole, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, 23(6), pp.118-124, 2009.
- [4] Korea Electric Power Corporation, Technical Standard of KEPCO ES-5680-0001 Concrete Poles, 2010.12.
- [5] K. S. Rye, A Study on the Design Method of the Prestressed Concrete Pole, Review of Architecture and Building Science, 29(123), pp. 49-52, 1985.
- [6] Korean Agency for Technology and Standards, KS F 4304 Prestressed Spun Concrete Poles, 2002.12.
- [7] S. L. Lee, S. S. Gang, and S. W. Yoo, Experimental Study on Segregated Layers of Materials and Compressive Strength of Concrete for Pretensioned Spun High Strength Concrete Pole, Journal of the Korea Concrete Institute, 13(1), pp.16-22, 2001.
- [8] J. D. Jaung, W. K. Kim, Y. Jeong, J. C. Kim, and T. J. Yoo, A Study on Production and Physical Properties of Prestressed Concrete Piles(I): Effect of Factors on the

Centrifugal Compaction of Concrete Piles, Proceedings of the Korea Concrete Institute, 1992.

[9] H. H. Kim, S. M. Jang, and S. Y. Noh, Crack Behavior of Reinforced Concrete Tension Member under Steel Corrosion after Cracking, Journal of Architectural Institute of Korea, 23(9), pp.99-106, 2007.

[10] J. J. You, Influence of Carbonation and Corrosion of Steel on Reinforced Concrete with Crack Widths, Proceedings of the Architectural Institute of Korea, 23(2), pp.459-462, 2003.

[11] J. D. Jaung, Present Status of Researches on Carbonation of Concrete, Journal of the Korea Concrete Institute, 4(1), pp.17-24, 1992.

[12] K. S. Kim, and D. J. Yoon, An Investigation Report of Causes of Concrete Distribution Poles in Gunsan Branch Office, KEPCO Research Institute, 2007.4.

[13] K. H. Lee, and H. S. Lee, Selection System for Appropriate Methods to Repair and Rehabilitate the Crack of Reinforced Concrete Structures, Journal of Architectural Institute of Korea, 18(9), pp.171-180, 2002.

[14] K. J. Ji, Causes of Cracking and Retrofit Measure of Concrete Structure, Land & Hosing Institute, 1996.

[15] C. Y. Seok, To Remove Bughole(1), Ssangyong Technical Information Service, 30, pp.1-2, 2007.

[16] S. I. Jeon, J. H. An, J. B. Lee, and S. A. Kwon, Variation of Image Analysis Results for Determining the Characteristics of the Air-Void System and Hardened Concrete, Journal of the Korean Society of Road Engineers, 13(1), pp.157-168, 2011.

[17] J. W. Ko, M. H. Lee, and C. H. Seo, An Experimental Study on the Spread of Air Voids in the Compressive Strength of Concrete, Proceedings of the Architectural Institute of Korea, 20(1), pp.375-378, 2004.

[18] S. B. Park, and D. G. Kim, A Experimental Study on the Chloride Diffusion Properties in Concrete, Journal of the Korea Concrete Institute, 12(1), pp.33-44, 2000.

[19] E. I. Yang, M. Y. Kim, B. C. Lho, and J. H. Kim, Evaluation on Resistance of Chloride Attack and Freezing and Thawing of Concrete with Surface Penetration Sealer, Journal of the Korea Concrete Institute, 18(1), pp.65-71, 2006.

[20] J. G. Lee, K. S. Park, H. J. Kim, and J. J. Lee, Prediction Model of Remaining Service Life of Concrete for Irrigation Structure by Measuring Carbonation, Journal of the Korea Concrete Institute, 15(4), pp.529-540, 2003.

[21] S. K. Kim, B. C. Song, D. H. Lee, J. S. Ko, J. S. Lim, H. R. Kim, and S. C. Yoon, Experimental Study on the Material Durability and Behavior of Structure for 10-Years Curing Concrete, Hosing and Urban Research Institute of Korea National Hosing Corporation, 2003.

◇ 저자소개 ◇



**왕윤찬(王駿燦)**

1967년 11월 14일생. 1996년 울산대학교 전기공학과 졸업. 2000년 알토대학교 경영학과 졸업(석사). 2008년 서울과학종합대학원대학교 경영학과 졸업(박사). 1986~1996년 한국전력공사 직원. 1997~2001년 한국전력공사 차장. 2002~2009년 한국전력공사 인재개발원 배전교육팀 교수. 2009년~현재 한국전력공사 부장. 2005~2009년 서울과학기술대학교 전기공학과 겸임교수. 2010~2012년 서울과학종합대학원대학교 겸임교수.