

# 노후 가공송전선의 수명과 열용량의 평가

## Evaluation for Lifetime and Thermal Ratings for Aged Overhead Transmission Lines

김 성 덕\*

Sung Duck Kim\*

### Abstract

Thermal rating or lifetime evaluation for aged overhead transmission line becomes more important concerns with respect to keeping power delivery stable having proper capability. Both load rating and dip/clearance are essential factors to determine transmission capacity. In order to evaluate thermal rating and conductor lifetime for domestic transmission lines with double-circuit, the dip/ground clearance standards as well as the electrical equipment technical standard are examined. Conductor temperature and dip are calculated under the assumption of a contingency, and then, a method to up-rate load capacity is searched. As thermal rating and limit dip for aged conductor are properly evaluated, an improved strategy in order to guarantee the existing power system reliability is presented in this paper.

### 요 약

적절한 송전용량으로 전력공급을 안정하게 유지하기 위하여 노후 가공송전선의 열용량이나 수명 평가가 더욱 중요한 관심사가 되었다. 부하정격과 이도/이격거리 모두는 송전용량을 결정하는 중요한 요소들이다. 국내의 2회선 송전선로에 대한 열용량 및 도체수명을 평가하기 위하여, 전기설비기술기준은 물론 이도 및 지상고에 대한 설계기준들이 검토된다. 상정사고를 가정하여 도체온도와 이도를 계산하고 부하용량을 증대시키기 위한 방안이 모색되었다. 본 논문에서는 노후 도체에 대한 열용량과 한계이도를 적절히 평가함으로써, 기존 전력계통의 신뢰성을 보장하기 위한 개선 방안이 제시되었다.

*Key words : ACSR conductor, dip and ground clearance, dynamic line rating, overhead transmission lines, thermal line rating.*

### 1. 서 론

21세기에 이르러 전력산업이 재편되어 경제적이고

\* 한밭대학교 전기전자제어공학부 교수  
(Department of Electrical, Electronic and Control Engineering,  
Hanbat National University)

- 교신저자 (Corresponding Author) : 김성덕  
- 接受日: 2011年 12月 23日, 修正完了日: 2012年 01月 20日  
- 掲載確定日: 2012年 01月 31日

효율적인 운용이 요구됨에 따라 신규투자를 제한하면서 기존설비의 합리적인 운용 방안을 모색하게 되었다[1]. 그 결과, 과거 10년 동안, 관련법규의 정비, 공급과 수요의 최적화, 기존설비의 실태파악 및 운용방법 개선 등이 진행되었다. 그러나 폭발적인 전력수요 증가로 인하여 설비용량 부족 등 또 다른 문제가 초래되었다. 전력수요에 안정적 공급을 위한 근본적인 해결책은 발전능력을 확충하는 일이나, 전력의 생산, 소비자 사이에 전력을 공급하는 송전계통의 신뢰성도 확보되어야 한다. 2011년 9월의 대규모 정전사태는 공급발전량의 예비율 부족으로 인한 조치이었으나,

송전설비의 과부하나 전력조류제어 실패로 일어난 사고였다면 문제는 더욱 심각했을 것이다. 따라서 기존 송전선로에 관한 설계기준, 운용실적 및 현재 상황을 검토하여 설비의 효율개선 방안을 찾아내거나 새로운 대책을 개발하여 적용할 필요가 있다.

송전설비의 설계중심은 도체의 열용량(thermal rating)인 허용전류로 각 전력회사마다 조금씩 다른 기준들을 적용하고 있다. 최대허용온도(maximum allowable temperature)는 도체의 어닐링에 의한 인장손실이나 설계수명(design conductor lifetime)을 결정한다[2]. 송전용량을 제한하는 2가지 중요한 요소들 중 하나는 도체의 열용량을 나타내는 SLR(Static Line Rating)이며, 다른 하나는 도체의 기계적 신장 특성인 이도(dip)이다[3,4]. 도체나 설비들 사이의 이격거리나 도체와 대지 사이의 지상고 (ground clearance)는 SLR이나 도체온도를 토대로 규정된다. 이때 선로의 허용송전용량 (allowable transmission capacity)은 도체의 열용량과 이도/지상고로 결정된다. 따라서 도체전류가 적정한 것인지를 판단하거나 정격을 증대시키는 방안은, 최대허용온도와 이도에 관한 설계기준으로부터 구할 수 있다. 도체의 열용량과 이도의 설계기준이 결정되면, 재료 및 기계적 특성으로 도체의 최대허용온도나 전류가 계산된다.

본 연구는 가공송전선 도체의 열화나 열용량과 도체수명 특성에 대해 기술한다. 도체수명은 선로의 허용송전용량과 직접적인 관계가 있으므로 가설기간 동안의 열적거동, 즉, 누적부하에 영향을 받는다[5]. 물론, 이도/지상고, 도체의 어닐링, 도체의 최대허용온도 등도 수명과 송전용량에 중요한 요소로 작용한다. 2회선 송전선로에 대해 SLR, 최대허용온도, 설계기준 등이 검토되고, 실측부하와 기상데이터를 사용하여 안전하고 신뢰성 있도록 송전선로를 운용하기 위한 부하 및 이도특성을 분석한다.

## II. 도체의 열적 특성

### 2.1 도체의 경년열화

가공송전선 도체로 사용되는 ACSR (Aluminum Stranded Conductors Steel Reinforced)은 재질, 제조 방법 및 가설상태와 노출환경 등 매우 다양한 요소들의 상호작용에 의하여 경년열화 된다. 초기 가선헌 경우에는 도체의 영구신장을 고려한 크립(creep) 보정을 적용하여 이도를 설계한다. 도체는 시간의 경과에 따라 비탄성신장이 발생하여 이도가 변화되므로 긴선 시에는 이도를 작게 가선헌한다. 가설 초기에는 전류가 공급되지 않음으로 도체온도는 기온과 같으며 이때 도체인장은 정격인장강도(rated tension strength)의

10-30[%]에 지나지 않는다. 긴선 이후 비활선상태로 2-3 개월이 지나면 도체신장은 안정한 상태가 된다. 이 상태에서 부하를 걸면 전류에 의해 열용량이 증가하여 도체온도는 기온보다 높아진다. 따라서 도체이도는 초기이도보다 증가한다. 도체의 신장은 도체온도에 의한 온도신장, 장력에 의한 장력신장 및 도체의 재료와 구조에 의한 비탄성신장 등이 있다. 이때, 연속허용전류는 도체의 어닐링이나 응축과정이 장기간 축적되어 나타나는 인장손실 및 이도의 영구적 변화량에 따라 결정된다.

장기간 대기 중에서 운용된 송전선로는 경년열화뿐만 아니라 도체 부하에 의한 열적거동에 의하여 인장이 저하되므로, 전력을 안전하게 공급하기 위하여 적당한 시기에 교체되거나 보수되어야 한다. 그러나 송전설비 중 도체는 수명이나 열화 정도를 검출하거나 진단하지 못하는 유일한 설비다. 가공도체 수명에 대한 분석결과에 따르면[6], 교체수명(refurbishment lifetime)은 11-80[년]까지 매우 광범위한 범위로 나타났다. 스페이서 등의 금구류, 철탑 등 송전설비 대부분의 설계수명은 50[년] 정도로 나타났다. 20세기 말에 이르러 미국 등의 전력회사에서는 다수의 선로가 이러한 유효수명을 넘어섰다고 판단하여 노후 송전선을 교체하거나 보강하기도 하였다.

### 2.2 열용량과 이도

도체의 송전용량을 결정하는 중요한 2가지 요소는 SLR 및 이도이다. SLR는 알루미늄 어닐링 때문에 초래되는 도체의 인장 감소를 제한하여 도체를 안전한 이격거리로 유지하도록 최대허용도체온도 값을 결정하는 것으로 도체의 열용량을 나타낸다. 도체의 최대허용온도는 보통 도체전류, 기상조건 및 도체종류와 규격에 따라 다른 값으로 계산된다. 도체전류와 온도를 각각  $I[A]$  및  $T_c[^\circ C]$ 라 하면 정상상태에서 열평형방정식은 다음과 같다[2].

$$I^2 R_{ac}(T_c) + Q_s = Q_c(T_c) + Q_r(T_c) \quad (1)$$

여기서  $R_{ac}[m\Omega]$ 는 주어진 도체온도에서의 교류저항이고,  $Q_c[W/m^2]$ ,  $Q_r[W/m^2]$ , 및  $Q_s[W/m^2]$ 는 각각 대류손실, 방사손실 및 태양열을 나타낸다.

가공송전선의 열용량은 특정 기상조건 하에서 도체의 최대허용온도가 나타나는 전류로 도체의 연속허용전류로 정의한다. 대부분의 전력회사에서는 규정 기상조건에서 허용전류 한계를 나타내는 SLR을 적용하였다. 그러나 일상적인 기상상태에서는 SLR 이상의 열용량을 동일한 도체로 전달할 수 있다. ACSR

도체의 최대허용온도는 기상요소나 지리적 요소 등의 선택에 따라 50-150[°C]까지 다양하다. 이러한 결과로 SLR 역시 다양한 값으로 주어진다[2]. 한국전력에서는 ACSR의 최대허용온도를 가혹기상조건에서 90[°C]로 규정하고 있다. 일반적으로 규정 기상조건과 같은 가혹조건이 발생할 확률은 거의 없으므로, 대부분 선로도체는 항상 규정치 이상의 여유용량을 갖는다.

한편 이도는 도체의 신장률이 증가하면서 발생하는 인장강도의 손실을 반영하며 이도 역시 도체의 열적거동과 관계된다. 자중이  $W_c$ [kg/m]인 도체를 경간  $S$ [m]에 가설하면 도체온도  $T_c$ 에서의 장력  $T_L$ 를 구할 수 있으며 이때 이도,  $D$ 는 다음과 같이 구해진다 [7].

$$D = \frac{W_c S^2}{8T_L} + \frac{W_c^2 S^4}{384T_L^3} \quad (2)$$

일반적으로 식 (2)는 도체가 가설될 경우에 계산되는 설계이도이다.

### 2.3 도체 열용량의 증대

전력수요가 증가함에 따라 송전용량이 부족한 노후 송전망의 일부 선로는 과부하 되거나 과밀한 부하가 되기도 한다. 모든 선로는 도체의 어닐링 한계나 지상고에 따른 안전 최대전류한계(safe maximum current limit)가 있다. 따라서 정격한계에 근접하는 선로는 열적으로 포화된다. 현재에 전력회사는 선로의 열적조건의 정확한 정보를 갖고 있지 못하기 때문에 관계적인 부하나 큰 안전율로 운용한다. 만약, 허용전류에 대한 정확한 정보를 안다면, 전력회사는 저밀한 선로로 전력을 재분배할 수 있다.

송전선으로의 송전용량을 증대시키기 위한 방안은 SLR 및 DLR(Dynamic Line Rating) 검토로부터 출발한다. SLR을 조절하는 방안 중, 대표적인 방법은 장력을 조절하여 재가선(re-tensioning)하는 방법과 새로운 다른 도체로 교체(re-conductoring)하는 방법이 있다[8]. 장력을 조절하는 방법은 보통 노후선로에 적용하며, 도체의 이도가 열용량 증가에 대한 한계치로 작용했거나 또는 예측 못한 과부하가 걸렸던 선로를 대상으로 한다. 이와는 달리, 도체교체는 용량이 큰 다른 도체로 기존도체를 교체하는 방법이다. 도체 인장은 감소되지 않아 저 이도를 유지하고, 도체의 열용량을 증가시킬 수 있는 도체가 사용된다.

한편, DLR을 적용하는 방식은 기존선로의 도체나 철탑을 교체하기 않고 가설조건에서 계산되었던 SLR 대신, 실제조건에서 최대허용온도까지 공급할 수 있

는 부하를 연속적으로 계산하여 사용한다. 선로에 대한 기상 및 지리적 조건 등에 관한 조건과 실제조건 사이에 차에 의한 허용송전용량 여유가 있으며 DLR은 이 값들만큼 증가시킬 수 있는 역할을 한다. 물론, 이 경우에 이도, 장력 또는 부하전류나 도체온도 등을 측정하여 이용하기도 한다[9].

## III. 설계기준 및 도체이도

### 3.1 기존 송전선로의 설계기준

가공송전선 도체로는 전기적 특성이 양호할 뿐만 아니라 경제적이기 때문에 대부분 ACSR를 사용하고 있다. 한국전력의 약 30 만[c-km] 가공송전선 대부분이 ACSR 도체이다. 국내 가공송전선의 절반 이상이 20[년] 이상 경과되었으므로 경년열화나 수명 등을 평가해야 한다. 가선도체의 수명진단 방법은 현재 기술로는 한계가 있으나 기준설비, 설치기준 등을 고려하여 합리적인 방안들을 마련하여야 한다.

국내 송전선으로는 시기적으로 다른 3가지 지상고 설계기준이 적용되었다[10]. 92년 6월 이전에 가설된 ACSR 도체 가공송전선으로는 지상고 설계 시 도체온도는 40[°C]로 가정하였다. 92년 7월부터는 도체온도기준을 75[°C]로 변경하였다. 이후, 이 기준은 97년 10월 지상고 설계기준만 개정되었다. ACSR 410[mm<sup>2</sup>] 도체는 연속허용온도 및 전류는 각각 90[°C] 및 848[A]이다. 이도 설계기준에 규정된 154[kV]의 최대경간을 가정하여 이도, 이도여유와 이 이도에 해당하는 한계이도온도(limit dip conductor temperature)를 계산하였다[7]. 3가지 설계기준에 대하여 이도여유는 0.5, 0.5 및 2.05[m]이고 한계이도온도는 각각 51, 86 및 122[°C]이었다. 도체온도는 설계조건에서 해당 이도가 나타날 때 계산된 도체온도로, 이때 도체는 최저이도가 된다.

### 3.2 누적열용량과 도체수명

알루미늄의 어닐링에 의한 인장손실이 규정치 이하로 나타나는 기간을 도체의 유효수명이라 하고 이 값을 고려하여 최대허용도체온도를 결정한다. 그러나 도체의 구조나 재료의 특성과 열적거동의 정량화가 쉽지 않을 뿐만 아니라 인장 특성도 매우 다양하여 통일된 척도로 교체수명을 결정할 수 없다. 그러나 영국의 NGRID에서는 정격인장강도의 20[%]가 저해되는 시점을, 캐나다의 Ontario Hydro[11]에서는 초기 인장강도에 대하여 30[%] 인장손실이 나타나는 시점을 도체의 교체수명(refurbishment lifetime)으로 규정하기도 하였다. 일본에서는 도체수명을 연속허용온도

에서 36[년] 연속적으로 사용할 경우에 인장 손실이 10[%] 저하되는 것을 기준으로 하고 있다[5]. 국내에서도 일본과 유사한 설계수명을 규정하여 적용하였다.

문헌[5]의 자료를 토대로 도체온도, 이도와 수명 사이의 관계를 나타내면 그림 1(a)와 같으며, 설계수명을  $y$ [년]라 하고 도체온도를  $T_c$ [°C]라 하면 다음과 같은 추정함수를 구할 수 있다.

$$\log y = 8.5 \times 10^{-4} T_c^2 - 0.27 T_c + 19.16 \quad (3)$$

식 (3)은 도체의 최대허용온도로 산출하는 연속허용전류, SLR이나 단시간 정격 등의 누적용량에 대한 수명을 추정하는데 사용할 수 있다. 즉, 유효수명까지의 총 열용량과 누적열용량(accumulate thermal rating)을 비교함으로써 가용열용량이나 가상적인 수명을 추정할 수 있다. 물론 노후선로에 대한 전 운전기간 동안의 부하이력과 기상데이터에 의해 도체온도를 구할 수 있으므로 누적열용량도 산출할 수 있다. 그렇지만 선로가 건설된 시기로부터 운용부하나 기상데이터 이력이 관리되지 않았으므로 누적열용량으로 도체수명을 진단하는 것은 쉽지 않다.

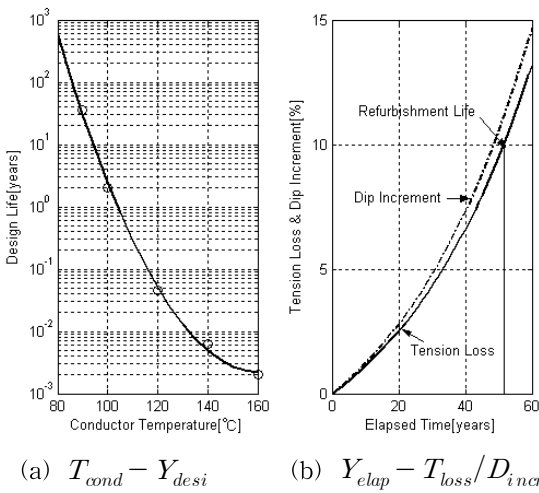


Fig. 1 Conductor lifetime characteristics.  
그림 1 도체수명 특성.

도체의 어닐링이나 부식열화 또는 열적거동 등 다양한 요소들로 인하여 인장 특성의 정량적 해석이 용이하지 않다. 그러나 Ontario Hydro 연구진은 철거도체 샘플들의 기계적 특성분석을 토대로 경년,  $y$ 과 인장손실률,  $e_T$ 에 대한 다음과 같은 실험식을 제시하였다[11].

$$e_T = e^{(1.41 + 0.024y)} \quad (4)$$

일반적으로 도체의 초기인장강도는 정격인장강도에 비하여 높다. 식 (4)에서 초기인장손실률을 제거하면 그림 1(b)와 같다. 일반적으로 문헌 [11]에서는 정격인장강도의 80[%](인장손실률 20[%] 임)에 도달하는 시간을 교체수명으로 하였으나 누적부하를 고려하는 경우에는 인장이 10[%] 감소되는 시점으로 가정하였다. 이때 이도는 인장과 반비례하므로 인장손실률 10[%]를 고려하여 이도증가율을 구하였다. 10[%] 인장손실이 발생하는 시기는 그림 1(b)와 같이 52[년] 정도로, 교체평균수명 45[년]보다 약간 큰 값이다.

#### IV. 사례 연구

##### 4.1 분석 선로

분석선로로 최초 지상고 설계기준으로 가설되어 현재에도 운용되고 있는 한국전력의 한 송전선로를 선택하였다. 이 선로는 154 kV, 2회선 선로로서, 각 회선은 ACSR 410[mm] 2도체이며 87년에 건설되었다. 분석을 위하여 2009년에 부하데이터를 이용하였고, 분석시기까지의 경년은 22[년]이다. 설계도체온도 40 [°C]이고 한계이도온도 51[°C]인 가장 낮은 저이도 선로이다. 이도나 도체온도 계산에는 2009년, 1년 동안 모선에서 측정된 실측부하와 관할변전소에서 가까운 기상관측소에서 동일기간에 모니터링된 기상데이터를 사용하였다.

가공송전선은 전력공급의 신뢰성과 안정성을 위하여 2회선 선로로 구성하는 것이 일반적이다. 특히, 2회선 선로는 운전 중 1회선의 고장이 발생하면 고장회선의 부하를 건전회선에 부담시킴으로써 정전 없이 전력공급이 가능하다. 분석선로는 일부 기간에 한 회선의 고장으로 인하여 고장회선의 부하가 건전회선에 자동 분담되기도 하였으나 과부하 되거나 한계이도를 초과하지는 않았다. 그러나 여름 첨두부하 시에 고장 발생을 상정하여 도체온도 및 이도 특성을 검토함으로써 노후선로의 송전용량 증대나 과부하 대책을 찾을 수 있다.

그림 2는 분석선로의 8월 중 1주일간 TL#1 및 #2의 부하특성이다. 부하는 모두 실측된 값이나 25-48시에는 TL#1이, 97-144시 사이에 TL#2가 고장이라 가정하였다. 고장기간 동안에 고장회선의 부하는 자동적으로 건전회선에 부담된 부하로 상정하였다. 이 선로는 병렬 2회선 선로이므로 한 회선이 고장에 의해 차단되면 고장회선의 부하가 자동적으로 건전회선에 부담되도록 운용된다. 따라서 고장 중에 건전회선

의 부하전류가 증가하므로 도체온도는 물론 이도가 증가한다. 고장시간 동안에 TL#1 및 #2의 최대전류는 각각 1,445 및 1,059[A]로 ACSR 410[mm<sup>2</sup>] 2 도체의 정격전류인 1,696[A] 이하이다[12]. 따라서 도체부하는 최대송전용량 이하임을 알 수 있다.

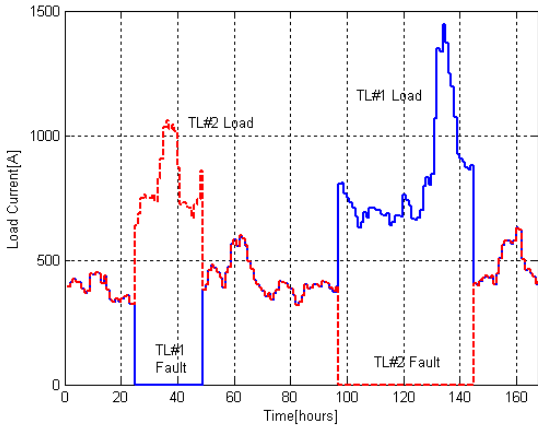


Fig. 2 A weekly load characteristics for a contingency. 그림 2 상정사고를 가정한 1주간 부하 특성.

4.2 도체온도와 이도 추정

동일기간에 그림 2와 같은 가상부하와 실측 기상 데이터를 이용하여 TL#1 및 #2의 추정도체온도를 구하면 그림 3과 같다. 일반적으로 도체온도는 일일 중 10-12 및 16-18[시]에서 최대치가 나타나지만 이도는 재료의 열시정수에 의해 1시간 정도 후에 최대가 된다. 회로차단기에 의해 고장회선이 선로에서 분리되므로 고장회선에는 전류가 흐르지 않는다. 따라서 야간에는 도체온도가 기온과 유사하고 주간에는 일사량에 의하여 온도가 상승한다.

그림 3에서 25-48[시] 사이에는 TL#1 고장에 의해 TL#2의 도체온도가 상승하였으며, 최대온도는 33[시]에서 46.13[°C]이었다. 또한, 97-144[시] 사이에는 TL#2 고장에 의해 TL#1의 부하가 2배가 됨으로써 최대온도는 131-132[시] 사이에서 59.8[°C]이었다. 앞에서 언급하였듯이, 상정사고에 대해 이 선로의 설비용량은 과부하 상태가 아니었지만 선로의 부하는 지상고 설계기준에도 안전하도록 운용되어야 한다. 이 선로는 저이도 설계기준을 적용하여 가선했으므로 한계이도온도는 51[°C]이고 따라서 상정사고 시의 TL#1은 한계이도온도를 초과한다. 결국 도체의 이도가 증가하여 송전선로는 지락 등 위험이 초래될 수 있다.

한편, 표준경간을 가정하여 이도를 그림 4(a), 실측 부하의 1일 최대치와 기상요소들로 도체온도를 그림

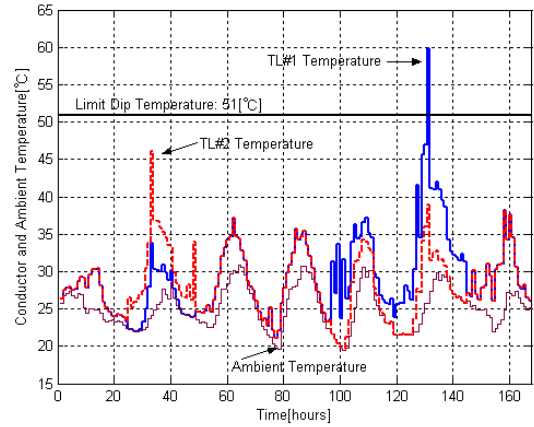


Fig. 3 Temperature estimates of conductors in TL#1 and #2. 그림 3 TL#1 및 #2의 도체추정온도.

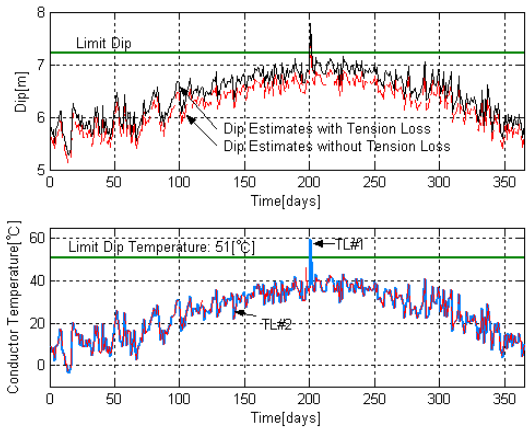


Fig. 4 Annual estimates of dip and conductor temperature. 그림 4 연중 이도와 도체온도 추정치.

4(b)와 같이 구하였다. 이때 선로가 한계이도온도, 51[°C]에서 한계이도는 7.22[m]이다. 이 선로는 경년은 22[년]이므로 식 (4)에 경년을 적용하여 인장강도 손실을 추정하면 2.85[%]이고, 그림 1(b)에 의하여 이도 변화율을 구하면 3.17[%]이다. 이 결과로부터 계산 이도와 인장손실을 고려하여 추정한 이도는 각각 7.54[m] 및 7.78[m]이다. 경년에 의한 인장손실을 고려하는 경우에 이도는 약 24[cm] 정도 증가되는 것으로 나타난다. 결국 이 선로는 상정사고 기간에 한계이도보다 큰 이도가 발생함으로 사고 기간에는 건전회선을 최대부하로 제한하거나 사고회선의 부하를 다른 선로로 분배시켜야 한다. 물론, 이러한 위험은 그림 2에서처럼 고의로 상정한 사고가 원인일 뿐, 실제로 운용했던 부하에 의한 이도는 경년을 고려하더라도 안전한 범위였다고 판단된다. 따라서 저이도 선로임에도 불구하고 전력공급에 안전한 지상고를 유지함

을 알 수 있다.

### V. 결론

전력산업의 재편으로 신규 설비투자가 억제됨으로써, 안정한 전력공급을 위하여 노후 가공송전선의 열정격이나 수명 평가가 중요한 관심사가 되었다. 이때, 부하정격과 이도/이격거리는 송전용량을 결정하는 중요한 요소들이다. 전기설비기술기준은 물론 이도 및 지상고에 대한 설계기준들이 검토하여 국내의 2회선 송전선로에 대한 열 정격 및 도체수명을 평가하였다. 저이도 설계기준으로 가설, 운용되었던 노후 가공송전선로에 대하여 실측부하와 기상데이터를 사용하여 도체온도와 이도를 계산하고 그 특성도 분석하였다. 특히, 침두부하 시에 발생할 수 있는 상정사고를 가정하여 도체온도와 이도를 검토한 결과로부터 기존 선로의 부하운용 개선책을 찾을 수 있었다. 노후 도체에 대하여 수명곡선, 열정격, 한계이도 등을 토대로, 기존 전력시스템의 전력공급의 신뢰성을 평가하는 방안을 제시하였다.

### 참고문헌

[1] A.K. David and F. Wen, "Transmission planning and investment under competitive electricity market environment", 2001 Power Engineering Society Summer Meeting, Vol. 3, pp. 1725-1730, 2001.

[2] IEEE Standard 738, IEEE Standard for Calculating the Current-Temperature of Bare Overhead Conductors, 2006.

[3] K.M. Klein, P.L. Springer, and W.Z. Black, "Real-time ampacity and ground clearance software for integration into smart grid technology", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 25, Issue 3, pp. 1768-1777, 2010.

[4] CIGRE' WG26\_B2, "'Sag-tension calculation for overhead lines'" TB 324 june 2007.

[5] 가공송전선의 전류용량, 일본 전기학회 기술보고 제 660호, 1997.

[6] J.M. Ferguson, and R.R. Gibbon, "Overhead transmission lines-refurbishment and developments", Power Engineering Journal, Vol. 8, No. 3, pp. 109-118, 1994.

[7] 가공선 이도 설계기준 - 1211, 한국전력공사, 2003.

[8] K. Kopsidas, and S.M. Rowland, "Evaluating opportunities for increasing power capacity of existing overhead line systems", Generation, Transmission & Distribution, IET, Volume: 5 ,

Issue: 1, pp.1-10, 2011.

[9] S. Edward, "Risk analysis in dynamic thermal overhead line rating", 2006 International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems, pp. 1-5, 2006.

[10] 송전선으로 지상고 기준 - 1020, 한국전력공사, 2003.

[11] D.G. Harvard, et. al, "Aged ACSR conductors. II. Prediction of remaining life", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 7, No. 2, pp. 588-595, 1992.

[12] 가공송전선용 도체 선정기준 - 1210, 한국전력공사, 2003.

### 저자 소개

#### 김성덕 (정회원)



1978, 80, 88년 : 한양대학교 전기공학과 (공학사, 석사, 공학박사)  
 1980년 10월~현재 : 한밭대학교 전기전자제어공학부 교수  
 1990.7-1991.6: 호주국립대학(ANU) 객원교수  
 2001.12-2001.12, 2010.12-2011.12:

미국 Kansas State Univ. 객원교수  
 <주관심분야> 자동제어시스템 해석 및 설계, 자동화 계측, 전력품질, 전력시스템 진단