

# 송전선로의 설비특성을 고려한 운영그룹 분류 및 최고허용온도

論 文

57-11-5

## An Operation Grouping and Its Maximum Allowable Conductor Temperature Considering Facility-conditions of Transmission Lines

孫洪寬<sup>†</sup> · 金秉杰<sup>\*</sup> · 朴寅杓<sup>\*\*</sup> · 安相炫<sup>\*\*\*</sup> · 張太因<sup>§</sup> · 崔鍾基<sup>§§</sup>

(Hong-Kwan Sohn · Byung-Geol Kim · In-Pyo Park · Sang-Hyun An · Tae-In Jang · Jong-Kee Choi)

**Abstract** - The thermal rating of a conductor are maximum continuous current capacity and short time emergency current capacity. The overload operation for a faults have an effect on a conductor lifetime. Its time duration and overload level are limited to facility conditions of transmission lines. The short time emergency current capacity in KOREA observe the KEPCO's DESIGN RULE 1210, but its rules are not included to concept of an allowable short time duration. This papers are described to the calculation concept of short time emergency current capacity considering a time duration and an overload level. And we suggested a operation grouping and its maximum conductor temperature considering facility conditions - conductor lifetime, stability of connection points, conductor height above ground and clearance, in the operating and new T/L.

**Key Words** : thermal rating, current capacity, LTE(long time emergency), STE(short time emergency), maximum allowable conductor temperature, operating grouping of T/L

### 1. 서 론

전력소비의 증가에 따라 발전력의 증대 및 송전능력의 확대가 절실히 요구되고 있으나 신규 송전선로의 건설은 갈수록 어려워지고 있다. 현재 운영 중인 송전선로의 송전능력은 아직 여유가 있는 상태이지만 일부 선로의 경우 부하가 증가하여 1회선 사고시 안정성의 확보가 어려운 상태에 도달하고 있고, 이와 같은 선로는 앞으로 더욱 늘어날 것으로 예상되고 있다. 따라서 송전선로 1회선 사고시의 안정성을 미리 확보해 두지 않으면 사고의 파급범위가 확대되어, 광역 정전으로 확대될 우려가 있고, 국가기간선로에서 안정도가 붕괴되어 국가 전체의 전력망이 무너지는 혼란이 발생할 가능성도 배제할 수 없다.

송전선로의 열용량은 연속허용온도에 대한 연속허용용량과 사고 시에 일시적으로 과부하 운전을 하기 위한 단시간 허용용량으로 구분되는데, 송전선로의 과부하운전은 도체의 수명에 영향을 미치고, 송전선로의 설비특성에 따라 제약을 받으므로 명확한 기준에 따른 관리가 필요하다. 국내의 단시간 허용용량에 대한 기준은 한전 설계기준 1210에서 규정하고 있으나 과부하를 인가할 수 있는 허용시간의 개념이

고려되지 않고, 도체의 단시간허용온도에 해당하는 허용전류만을 규정하고 있는 상태이며, 이에 대한 기준정립과 관리시스템의 도입이 시급한 실정이다. 이를 위해서는 선로별 과부하 시간에 따른 도체의 수명평가가 필요하고, 선로의 취약지점인 접속개소에 대한 특성과 지상고에 대한 분석이 수반되어야 한다.

본 논문에서는 과부하정도와 과부하 허용시간을 고려한 단시간허용전류의 산정방법에 대해 검토하고, 현재 ACSR 도체의 연속허용온도 90℃, 단시간허용온도 100℃로 운영 중인 규정이 향후 연속허용온도 90℃, 장시간허용온도 100℃, 단시간허용온도 120℃로 변경하여 운영될 예정이므로 신설선로 및 기설선로에 대하여 도체의 수명, 접속개소의 안정성, 지상고 및 이격거리와 같은 송전선로 설비특성을 고려하여 송전선로 운영그룹의 분류기준과 운영그룹별 최고허용온도를 제시함으로써 안정적인 과부하운전 및 관리가 가능하도록 하였다.

### 2. 과도허용전류 산정

#### 2.1 과도허용전류의 산정개념

한전 설계기준 1210은 도체종류별 연속, 단시간 및 순시정격에 해당하는 허용전류 산정에서 연속 및 단시간정격은 각각 최고허용온도 90℃, 100℃에 대해 정상상태의 열평형방정식을 이용하여 산정하고, 순시정격은 180℃에 대해 과도상태의 열평형방정식을 이용하여 산정하고 있다.

그러나 외국의 경우 단시간정격이나 순시정격과 같은 과도정격은 시간의 개념이 포함시켜 과도상태의 열평형방정식을 이용하여 정격을 산정하고, 과도정격을 장시간정격과 단시간정격으로 구분하여 운영하는 것이 일반적이다. 따라서 본 연구에서는 문헌[1-3]을 참조하여 표 1과 같이 과도정격

† 교신저자, 正會員 : 韓國電氣研究院 電力研究團 責任研究員

E-mail : hksohn@keri.re.kr

\* 正會員 : 韓國電氣研究院 材料應用研究團 責任研究員

\*\* 正會員 : 韓國電氣研究院 電力研究團 研究員

\*\*\* 正會員 : 韓國電氣研究院 材料應用研究團 研究員

§ 正會員 : 韓電 電力研究院 電力系統研究所 先任研究員

§§ 正會員 : 韓電 電力研究院 電力系統研究所 先任研究員

接受日字 : 2008年 8月 18日

最終完了 : 2008年 9月 3日

을 장시간정격과 단시간정격으로 구분하여 최고허용온도를 각각 100℃ 및 120℃로 적용하되 장시간정격은 정상상태 해석을, 단시간정격은 과도상태 해석을 이용하여 산정하는 것으로 적용하였다.

즉 2회선 송전선로의 1회선 사고가 발생하여 사고전류를 건전회선으로 인가할 경우 건전회선에는 사고전류만큼의 스텝전류가 인가되게 되며, 스텝전류에 의한 도체의 온도는 서서히 증가하여 약 2시간 정도 이후에 안정된 포화영역에 도달하게 된다. 이는 과도상태 열평형방정식의 해석을 통해 해석이 가능하며, 과도허용전류를 산정하기 위해서는 최고허용온도, 허용시간 및 사고발생 시점의 초기전류를 필요로 한다.

표 1 정격종류별 최고허용온도 및 산정방법  
Table 1 Maximum allowable temperature and its calculation method for current ratings

정격	구분		산정 방법		
	최고허용온도(℃)	현행	적용	현행	적용
연속	90	90	정상상태	정상상태	
장시간	-	100	-	정상상태	
단시간	100	120	정상상태	과도상태	
순시	180	180	과도상태	과도상태	

외국의 경우 일반적으로 장시간정격에 대한 허용시간을 4~12시간, 단시간정격에 대한 허용시간을 10분~30분 범위에서 적용하고 있다. 따라서 스텝전류 인가에 따른 도체온도의 포화시간인 약 2시간보다 허용시간이 짧은 단시간정격의 경우에는 과도상태 해석이 필요하고, 허용시간이 2시간 이상인 장시간정격의 경우에는 정상상태 해석에 의해 허용전류를 산정할 필요가 있다.

그림 1은 ACSR 410mm<sup>2</sup> 도체에서 연속허용전류의 80% 허용전류(도체온도 약 75℃)로 운전 중 1회선 사고에 의해 과부하를 인가할 때, 단시간허용온도를 120℃, 인가시간을 15분으로 가정하여 단시간허용전류를 산정하는 개념을 설명하고 있다.

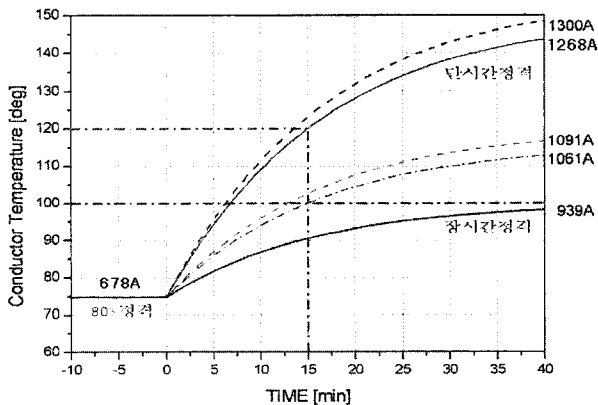


그림 1 과도허용전류 산정개념  
Fig. 1 A calculation concept of transient allowable current

즉 인가시간의 개념이 없이 정상상태 해석으로 단시간허용온도 120℃에 도달하는 전류는 1,091[A]로서 현재 한전

설계기준 1210에 규정되어 있는 단시간허용전류이며, 인가시간 15분에 허용온도 120℃에 도달하는 과도허용전류는 1,268[A]로서, 기존 규정의 전류치인 1,091[A]보다 약 16.2% 정도 단시간 허용전류를 증대시킬 수 있음을 보여준다.

2.2 부하수준 및 인가시간에 따른 과도허용전류의 변화

2회선 송전선로를 운전 중에 1회선의 정지가 발생하여 건전회선으로 2배의 전력을 송전하는 경우 사고발생 시점의 부하수준, 즉 초기전류의 크기와 과부하전류의 인가시간에 따라 단시간 과도허용전류를 달리 적용할 수 있다. 따라서 여기서는 해석을 통해 초기전류 및 인가시간에 따른 과도허용전류의 변화를 검토하여 정리하였다.

2.2.1 초기전류에 따른 과도허용전류 변화

송전선로마다 운전상태가 다르기 때문에 인가 시간과 함께 사고 발생 시점의 부하수준, 즉 사고에 의해 스텝전류가 인가될 때 사고시점의 초기전류를 고려할 필요가 있다. 그림 2는 주의 온도 40℃, 허용인가시간 15분의 조건에서 연속허용전류에 대한 초기전류의 비율에 따른 단시간 허용전류의 변화를 나타낸 것이며, 초기전류의 크기가 작을수록 단시간 허용전류가 크게 나타난다.

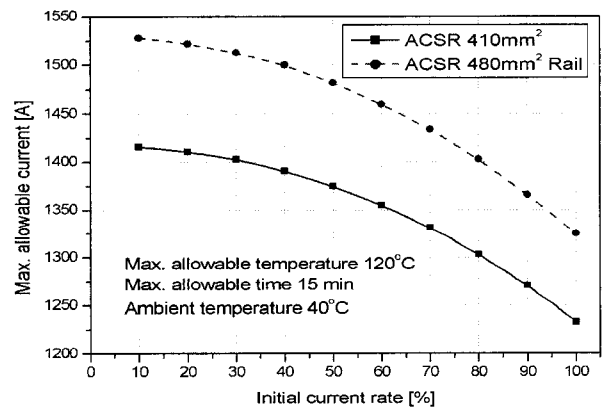


그림 2 초기전류에 따른 단시간 허용전류의 변화 추이  
Fig. 2 Trends of short time allowable current versus initial current to normal current rating.

2.2.2 인가시간에 따른 과도허용전류 변화

그림 3은 단시간허용온도 120℃를 기준으로 인가시간에 따른 단시간허용전류의 변화 추이를 나타낸 것이며, 인가시간이 짧을수록 단시간허용전류는 증가하게 되고, 도체온도가 포화되는 시점과 비교할 때 인가시간이 10분인 경우 약 124% 정도의 용량증대 효과가 있으며, 인가시간이 약 1시간 이상이 되면 인가시간을 규정하는 의미가 거의 없으므로 최고허용온도 120℃에 대한 정상상태 허용전류를 구하면 된다.

따라서 인가시간이 4~8시간 정도의 범위에서 정해지는 장시간허용전류는 장시간 최고허용온도인 100℃만으로 포화되는 전류를 산정하고, 인가시간이 10~30분의 범위에서 결정되는 단시간허용전류는 인가시간과 최고허용온도를 동시에 고려하여 단시간허용전류를 산정해야 함을 알 수 있다.

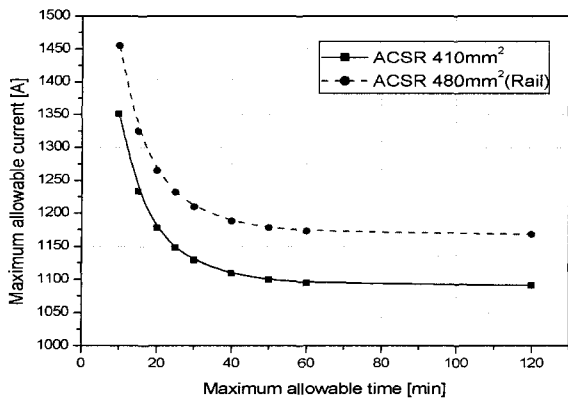


그림 3 인가시간에 따른 단시간 허용전류의 변화 추이  
Fig. 3 Trends of short time allowable current versus allowable time

2.2.3 부하수준 및 인가시간에 따른 단시간허용전류 운전패턴

연속허용전류의 80%부하의 초기전류에 대하여 과부하 인가시간을 각각 15분, 30분으로 가정하고, 15분, 30분 이후에는 사고에 대한 처리가 완료되어 연속허용전류(도체온도 90℃)로 운전한다고 가정할 때 도체의 온도변화와 인가전류의 관계를 그림 4에 나타냈다. 즉 연속허용전류의 80%부하인 678[A]로 운전 중 사고가 발생하여 건전회선으로 전류를 절체할 경우 인가시간을 15분으로 적용하면 단시간허용전류는 1,268[A], 인가시간을 30분으로 적용하면 단시간허용전류는 1,140[A]까지 적용할 수 있으며, 각각 15분, 30분 이후에 사고를 임시로 조치하여 연속허용전류로 운전할 경우의 도체온도는 90℃로 서서히 변화하는 추이를 나타내고 있다.

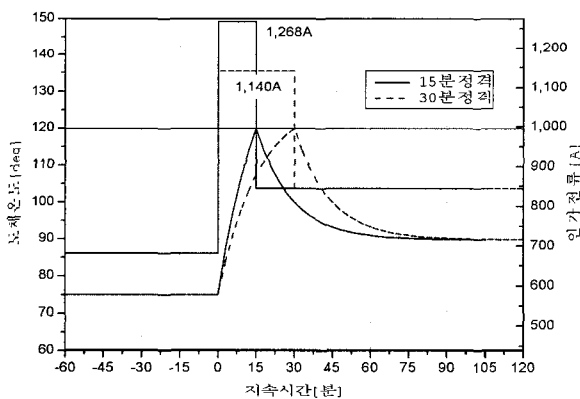


그림 4 초기전류 및 인가시간을 고려한 도체온도의 추이  
Fig. 4 Trends of conductor temperature for a initial current and time

3. 송전선로의 설비특성 검토

송전선로의 단시간정격을 정하기 위해서는 ① 도체의 수명, ② 송전선로 접속개소의 안정성, ③ 송전선로의 지상고 및 이격거리의 3가지 요소를 검토해야 한다. 그러나 신설선로의 경우 90년대 후반부터 직선슬리브에 의한 선로 중간의

접속방법을 사용하지 않고 있으므로 도체의 수명과 송전선로의 지상고 및 이격거리에 대해서만 검토하였다.

3.1 도체의 수명

3.1.1 도체의 수명곡선

도체의 수명평가는 소선의 인장강도가 10%저하하는 시점을 한계수명으로 평가하고 있으며, ACSR 410mm<sup>2</sup>를 구성하고 있는 알루미늄 소선 4.5mm의 가속열화실험 결과 그림 5와 같은 수명곡선을 얻었다. 도체는 어떤 조건에서도 설계수명(40년)을 유지해야 하므로 연속허용온도인 90℃에서 설계수명 40년을 초과한 5.2년이 여유수명이라고 볼 수 있고, 과부하 온도인 90℃ 이상의 온도에서도 비례적으로 계산하여 여유수명을 표 2와 같이 유추할 수 있다. 즉 120℃로 1.062년 운전하는 것과 90℃로 40년 운전하는 것은 도체에 동일한 영향을 준다는 의미로서, 120℃로 0.138년을 운전하고, 나머지는 90℃로 계속 운전해도 설계수명 40년 동안 도체의 인장강도 저하를 10% 이내로 유지할 수 있음을 나타낸다.

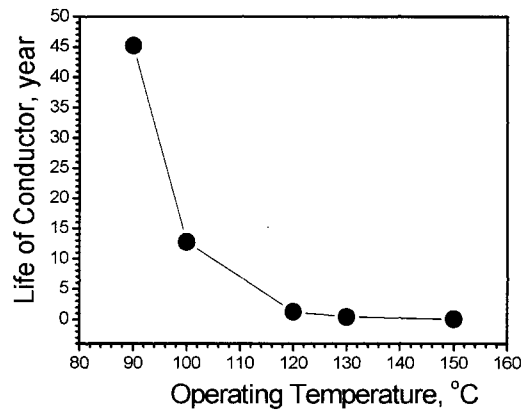


그림 5 ACSR 410mm<sup>2</sup>의 4.5mmφ 소선의 수명곡선  
Fig. 5 Lifetime curve of 4.5mmφ subconductor for ACSR 410mm<sup>2</sup>

표 2 도체온도별 여유수명의 유추

Table 2 Estimation of conductor lifetime margin for operating temperature

Al 소선온도 도체수명(년)	90℃	100℃	120℃	130℃	150℃
총 수명 (a)	45.2	12.8	1.2	0.4 (3,710 hr)	0.23 (2,000 hr)
설계수명 (b)	40.0	11.328	1.062	0.354 (3,283 hr)	0.204 (1,770 hr)
여유수명 (a-b)	5.2	1.472	0.138	0.046 (427 hr)	0.026 (230 hr)

3.1.2 수명측면의 과부하 허용시간

한국전력 가공송전선로의 1997년~2001년까지 5년간 발생한 순간고장을 제외한 모든 고장에 대한 전압별 고장건수 및 고장시간은 연평균 약 58건, 6,231분이 발생한 것으로 조사되었다. 또한 회선 당 연간 최대 고장횟수는 154kV 상주

#2T/L의 4회('98.3.3/ '98.4.12/ '98.8.8/ '98.8.12)로 조사되었다. 따라서 도체의 설계수명 40년 동안 회선당 연간 최대 고장횟수를 5회로 고려하여 과부하 허용시간을 추정하였으며, 이를 표 3에 나타낸다.

즉 도체의 수명측면에서는 장시간허용온도인 100℃로 64시간까지 운전이 가능하고, 단시간허용온도인 120℃에서는 6시간까지 운전해도 수명에 영향을 미치지 않음을 나타내고 있다. 이것은 열적인 특성에 의한 평가결과로서 기타의 환경요인에 의해서 수명이 감소할 수 있는 부분도 있지만 과부하 허용시간의 결정에서 도체의 수명이 결정적인 요소로 작용하지 않음을 의미하고 있다.

표 3 도체 수명시험결과에 의한 과부하 허용시간

Table 3 Maximum allowable overload time for conductor lifetime test results

		90℃	100℃	120℃	130℃	150℃
도체수명	(년)	45.2	12.8	1.2	0.4	0.23
	(시간)	395,952	112,128	10,512	3,710	2,000
여유수명	(년)	5.2	1.472	0.138	0.046	0.026
	(시간)	45,552	12,894	1,208	427	230
년간허용시간 (수명40년)		-	322	30	10	5.75
최대 과부하 허용시간		-	64	6	2	1.15

\* 최대과부하 허용시간은 회선당 연간고장횟수 5회기준

### 3.2 송전선로 접속개소의 안정성

국내 기설선로의 대부분에 슬리브, 압축인류클램프, 점퍼소켓 등의 접속개소가 설치되어 있다. 이러한 접속개소의 안정성 검토는 송전선로 운영에 있어 매우 중요한 요소이다. 단시간정격을 위한 접속개소 특성은 이들 모두를 검토하는 것이 좋지만 일반적으로 압축인류클램프에서 발생한 사고는 거의 없는 것으로 보고되고 있으며, 점퍼소켓의 경우에는 특성상 장력이 인가되어 있지 않으므로 사고 가능성이 적으므로 본 연구에서는 가장 문제가 되는 직선슬리브 접속개소에 대해서만 검토하였다. 실선로에서 철거된 직선슬리브를 절단, 분석하여 3가지 모델을 선정하였고, 이들 표준, 강심파단 및 편중슬리브 모델을 제작하여 모델별 기계적 및 열적특성시험과 50년 가속열화시험을 실시하였다. 편중슬리브는 슬리브 끝점에서의 삽입길이를 기준으로 70mm, 40mm, 13mm의 3가지 종류에 대해 열적 특성시험을 실시하였고, 40mm 삽입된 슬리브를 최악조건인 슬리브로 가정하였다. 따라서 편중슬리브에 대한 50년 가속열화시험은 40mm 삽입된 슬리브 모델에 대해서만 실시하였다. 시험결과는 도체의 허용전류 산정기준인 대기온도 40℃, 풍속 0.5 m/sec, 해발고도 500m 등의 조건으로 환산하여 나타낸다.

표 4는 슬리브 모델별 열적 특성시험의 결과이며, 130% 부하인 1100A의 전류에서 편중슬리브(40mm)가 단시간허용온도인 120℃를 초과하였다. 또한 표 5는 50년 가속열화에 의한 열적특성 시험결과를 열화하기 이전 결과와 비교한 것으로서 편중슬리브(40mm)가 최고허용온도를 많이 초과하고 있음을 알 수 있다. 그러나 재료시험에서 열화 전후의 열적 특성이 크게 차이가 없는 것이 일반적이다. 즉 가속열화실

험은 짧은 시간에 열화특성을 파악하기 위해 높은 온도를 인가시킨 상태로 정해진 시간 동안 실험을 하게 되는데, ACSR 도체의 내부에 충전된 유분이 고온에 영향을 받아 나타나는 현상으로 해석된다. 따라서 본 연구에서는 유분이 포함되지 않은 도체를 확보하여 가속열화실험을 추가로 실시하고 있으며, 이 부분은 향후 별도로 발표할 계획이다.

표 4 슬리브 모델별 열적 특성 시험결과

Table 4 Thermal characteristics test results for sleeve model

구분	부하 (A)	표준 슬리브		강심파단 슬리브		편중슬리브							
		10mm	중양	10mm	중양	70mm		40mm		13mm			
슬리브						10mm	중양	10mm	중양	10mm	중양	10mm	중양
	850	58.7	54.8	57.1	52.1	61.3	53.0	79.5	61.0	103.8	75.7	103.8	75.7
	950	64.3	59.7	63.4	56.4	84.8	57.2	82.4	62.2	118.0	88.8	118.0	88.8
도체													
						강심	외층	강심	외층	강심	외층	강심	외층
	850	74.8	69.8	79.1	72.1	78.5	77.2	86.6	80.7	89.8	84.8	89.8	84.8
	950	85.9	78.6	90.4	82.4	87.0	85.6	95.6	89.2	101.4	95.6	101.4	95.6
	1100	112.8	102.3	114.4	102.7	111.5	110.1	120.9	112.4	136.2	112.4	136.2	112.4

표 5 슬리브 모델별 가속열화에 의한 열적특성 시험결과

Table 5 Accelerated Aging characteristics test results for sleeve model

구분	부하 (A)	표준슬리브		강심파단슬리브		편중슬리브(40mm)	
		열화 이전	50년 열화	열화 이전	50년 열화	열화 이전	50년 열화
슬리브	850	58.7	60.7	57.1	59.1	79.5	103.8
	950	64.3	65.8	63.4	64.9	82.4	118.0
	1100	79.4	78.5	77.4	79.4	120.9	136.2
도체	850	74.8	93.0	79.1	-	87.3	101.4
	950	85.9	100.4	90.4	100.5	95.6	120.6
	1100	112.8	120.9	114.4	120.4	136.2	161.7

이상의 실험결과를 통해 슬리브가 존재하는 선로에 대해서는 최악조건인 강심파단 또는 편중(40mm)슬리브가 포함되어 있다고 가정하였고, 표 5의 실험결과에서 편중슬리브(40mm)의 50년 열화시 도체온도인 101.4℃가 연속허용온도인 90℃ 이내로 운전되기 위해서는 연속허용전류의 약 80% 부하이상을 인가할 수 없는 것으로 잠정 결정하였다. 즉 슬리브가 존재하는 선로는 최고허용온도를 75℃로 잠정 결정하고, 향후 추가적인 실험을 통하여 정확한 온도를 추정하여 결과를 보완할 필요가 있다.

### 3.3 송전선로 지상고 및 이격거리

#### 3.3.1 지상고 기준에 따른 송전선로의 분류

송전선로의 지상고 및 이격거리에 따라서도 송전용량에 제약을 받을 수 있으므로 이와 관련된 기준을 검토할 필요가 있다. 송전선로의 지상고 기준은 1997.10.24 개정되었으며, 송전선로의 지상고를 결정하는 도체온도는 1992.6월 시점으로 40℃에서 75℃로 변경되어 운용 중에 있다. 이 두 가지 조건을 결합하면 지상고 및 이격거리에 따른 송전선로를 표 6과 같이 분류할 수 있다.

표 6 지상고 기준에 따른 송전선로의 분류

Table 6 Classify of T/L for revision date of rules

선로구분 Group	신설선로 -	기설선로		
		Group I	Group II	Group III
건설시점	개정이후	1992.6이전	1992.7~1997.10	1997.10~개정일
지상고결정 도체온도	75℃	40℃	75℃	75℃
지상고 여유	변경후 기준	변경전 기준	변경전 기준	변경후 기준

3.3.2 지상고 여유 검토

한전의 지상고 기준인 설계기준 1020에 시설물별 기준치와 가산치를 고려한 지상고 설계치를 규정하고 있고, 이 기준에 따라 송전선로의 높이를 설계하도록 되어 있다. 그러나 이 기준은 한전의 기준으로서 국가기준인 “전기설비기술기준의 판단기준(산업자원부 공고 2006-213호)”를 만족시켜야 한다. 여기서는 지상고 설계기준 1020의 설계치와 전기설비설계기준의 판단기준 중 관련 항목으로 산정한 규정치를 항목별로 비교하여, 송전선로 그룹별 여유이격거리를 표 7과 같이 산정하였다.

표 7 송전선로 그룹별 여유이격거리

Table 7 Clearance margin for T/L group

(unit : m)

구분 전압	154kV	345kV	765kV
Group I	① 0.50	② 1.02	-
Group II		③ 1.72	
Group III 신설선로	① 0.80 ② 1.02 ③ 2.80	④ 1.02 ⑥ 3.02	⑤ 2.52 ⑦ 6.72 ⑧ 4.48

3.3.3 여유이격거리에 대한 허용온도 산정

여유이격거리별 허용온도를 산정하기 위해서 표 8과 같이 최악조건을 대표조건으로 적용하여 해석한 결과 여유이격거리에 대한 전압별 및 송전선로 그룹별 허용온도는 표 9와 같다.

표 8 여유이격거리별 허용온도를 산정하기 위한 대표조건

Table 8 Applied typical conditions in allowable temperature analysis

구분	검토지역	검토경간	검토도체
대표 조건	3지역	345kV이하 : 700m 765kV : 900m	154kV : ACSR 410mm <sup>2</sup> 345kV : ACSR 480mm <sup>2</sup> Rail 765kV : ACSR 480mm <sup>2</sup> Cardinal

4. 송전선로 운영그룹 분류 및 최고허용온도

4.1 허용가능온도 및 최고허용온도

신규로 건설되는 신설송전선로는 현재 직선슬리브를 사용하지 않으므로 접속개소의 안정성 측면에서 잠정적으로 결정된 75℃ 제약조건은 해당되지 않고, 도체의 수명과 지상고 여유이격거리에 의해 허용온도가 결정되고, 기설선로의 경우에는 접속개소 안정성 측면의 제약조건을 포함한 최고허용온도를 검토할 필요가 있다.

표 9 여유이격거리별 도체 허용온도

Table 9 Maximum allowable conductor temperature for clearance margin

전압	Group I	Group II	Group III 신설선로
	154kV	①0.50m (51℃)	①0.50m (87℃)
345kV	②1.02m (63℃) ③1.72m (79℃)	②1.02m (99℃) ③1.72m (116℃)	④1.02m (99℃) ⑤2.52m (135℃) ⑥3.02m (147℃) ⑦6.72m (242℃)
765kV	-	-	⑧4.48m (175℃)

송전선로 여유이격거리에 의한 표 9의 허용온도에 의해 전압별 연속/장시간/단시간 허용가능온도는 표 10과 같이 정리할 수 있으며, 접속개소의 안정성 측면에서 잠정 결정된 75℃와 신설선로의 연속, 장시간 및 단시간 허용온도인 90℃, 100℃ 및 120℃를 동시에 고려하면 전압별 최고허용온도는 표 11과 같이 적용할 수 있다. 이 결과는 송전용량 설계시 활용하는 연속허용온도 90℃, 단시간허용온도 100℃를 송전선로 운영에서도 일률적으로 적용할 수 없음을 나타내는 것이며, 향후 부하의 증가에 대비하기 위해서는 송전선로별로 직선슬리브의 제거를 위한 전력선 교체와 지상고 및 이격거리를 확보하기 위한 취약부분의 철탑 및 도체 교체작업 등이 필요할 것으로 판단된다.

표 10 정격별 허용가능 도체온도

Table 10 Maximum allowable conductor temperature for current ratings

전압	Group I (연속/장시간/단시간)	Group II (연속/장시간/단시간)	Group III 및 신설선로 (연속/장시간/단시간)
	154kV	①(51℃/51℃/51℃)	①(87℃/ 87℃/ 87℃)
345kV	②(63℃/63℃/63℃) ③(79℃/79℃/79℃)	②(90℃/ 99℃/ 99℃) ③(90℃/100℃/116℃)	④(90℃/ 99℃/ 99℃) ⑤(90℃/100℃/135℃) ⑥(90℃/100℃/147℃) ⑦(90℃/100℃/242℃)
765kV	-	-	⑧(90℃/100℃/175℃)

표 11 선로별 최고허용온도

Table 11 Allowable conductor temperature for sleeve existence

전압	슬리브 有 / 無	Group I 연속/장시간/단시간	Group II 연속/장시간/단시간	Group III 연속/장시간/단시간
		154 kV	51℃/51℃/51℃	75℃/ 75℃/ 75℃
345 kV	슬리브 有	63℃/63℃/63℃ 75℃/75℃/75℃	75℃/ 75℃/ 75℃	75℃/ 75℃/ 75℃
	슬리브 無	63℃/63℃/63℃ 79℃/79℃/79℃	90℃/ 99℃/ 99℃ 90℃/100℃/116℃	90℃/ 99℃/ 99℃ 90℃/100℃/120℃
765kV		-	-	90℃/100℃/120℃

4.2 송전선로 운영그룹 분류

송전선로의 송전용량은 해당 선로에서 가장 취약한 지점의 지배를 받게 되며, 이 취약한 지점은 선로에 따라 다르게 나타날 수 있는데, 표 7 및 표 9와 같이 지상고 및 이격거리에 의한 제약과 슬리브의 존재 유무에 따라 구분할 필요가 있다.

본 논문에서는 이들 취약조건들을 종합적으로 검토하여 표 12와 같은 송전선로 운영그룹의 분류기준을 제시하고, 각 운영그룹별 최고허용온도는 표 13과 같이 제안한다.

표 12 송전선로의 운영그룹 분류기준(안)

Table 12 Classification of Transmission Line operation Group

분류	분류기준	
그룹 I	A	• 1992.6월 이전에 건설된 모든 154kV 송전선로
	B	• 1992.6월 이전에 건설된 345kV 송전선로로서 154kV이하 가공선로와 교차구간이 존재하는 송전선로 (이격거리 7.2m 미만)
	C	• 1992.6월 이전에 건설된 345kV 송전선로로서 154kV이하 가공선로와 교차구간은 없으나, 슬리브가 설치되어 있는 송전선로 • 1992.6월 이전에 건설된 345kV 송전선로와 154kV이하 가공선로와의 교차구간 이격거리가 7.2m 이상인 송전선로 중 슬리브가 설치되어 있는 선로
	D	• 1992.6월 이전에 건설된 상기 이외의 345kV 송전선로 • 1992.6월 이전에 건설된 345kV 송전선로와 154kV이하 가공선로와의 교차구간 이격거리가 7.2m 이상인 송전선로 중 슬리브가 설치되지 않은 선로
그룹 II	A	• 1992.6~1997.10 사이에 건설된 슬리브가 설치되어 있는 송전선로
	B	• 1992.6~1997.10 사이에 건설된 상기 이외의 154kV 송전선로
	C	• 1992.6~1997.10 사이에 건설된 345kV 송전선로로서 154kV이하 가공선로와 교차구간이 존재하는 송전선로 (이격거리 7.2m 미만)
	D	• 1992.6~1997.10 사이에 건설된 상기 이외의 345kV 송전선로 • 1992.6~1997.10 사이에 건설된 345kV 송전선로로서 154kV이하 가공선로와의 교차구간 이격거리가 7.2m 이상인 송전선로(슬리브 미설치)
그룹 III	A	• 1997.10월 이후에 건설된 송전선로로서 슬리브가 설치되어 있는 송전선로
	B	• 1997.10월 이후에 건설된 154kV 송전선로로서 154kV이하 가공선로와 교차구간이 존재하는 송전선로 (이격거리 4.0m 이하)
	C	• 1997.10월 이후에 건설된 154kV 송전선로로서 345kV 가공선로와 교차구간이 존재하는 송전선로 (이격거리 6.5m 이하) • 1997.10월 이후에 건설된 345kV 송전선로로서 154kV이하 가공선로와 교차구간이 존재하는 송전선로 (이격거리 6.5m 이하)
	D	• 1997.10월 이후에 건설된 상기 이외의 송전선로 • 1997.10월 이후에 건설된 154kV 송전선로로서 154kV이하 가공선로와 교차구간이 존재하는 송전선로 (이격거리 6.0m 이상) • 1997.10월 이후에 건설된 154kV 송전선로로서 345kV 가공선로와 교차구간이 존재하는 송전선로 (이격거리 8.4m 이상) • 1997.10월 이후에 건설된 345kV 송전선로로서 154kV이하 가공선로와 교차구간이 존재하는 송전선로 (이격거리 8.4m 이상)

표 13 송전선로의 운영그룹별 최고허용온도

Table 13 Maximum allowable temperature for operation group

분류	정격 (연속/장시간/단시간)		
	A	(51℃/51℃/51℃)	
Group I	B	(63℃/63℃/63℃)	
	C	(75℃/75℃/75℃)	
	D	(79℃/79℃/79℃)	
	A	(75℃/75℃/75℃)	
Group II	B	(87℃/87℃/87℃)	
	C	(90℃/99℃/99℃)	
	D	(90℃/100℃/116℃)	
	A	(75℃/75℃/75℃)	
Group III	B	(90℃/93℃/93℃)	
	C	(90℃/99℃/99℃)	
	D	(90℃/100℃/120℃)	

5. 결 론

① 송전선로의 과도정격으로 장시간정격과 단시간정격으로 구분하여 장시간정격의 개념을 도입하고, 장시간허용온도를 100℃, 단시간허용온도를 120℃로 적용될 예정이다.

② 장시간허용전류는 정상상태의 열평형방정식을, 단시간허용전류는 과도상태의 열평형방정식을 이용하여 산정한다.

③ 단시간허용전류의 산정은 부하수준 및 인가시간을 고려해야 하며, 부하수준은 연속허용전류의 80%부하를 고려하는 것이 물리적인 측면에서 합리적이고, 인가시간을 고려한 단시간정격의 산정개념을 검토하였다.

④ 송전선로의 단시간정격을 결정하기 위해서는 도체의 수명, 접속개소의 안정성, 지상고 및 이격거리와 같은 송전선로 설비특성을 고려할 필요가 있으며, 단시간 운영정격을 검토하기 위해 도체의 수명 및 슬리브의 안정성에 대한 실험을 실시하였다.

⑤ 도체의 수명 측면에서 과부하 운전시간은 많은 여유가 있으며, 과도정격을 결정하는데 결정적인 요소로 작용하지는 않는 것으로 분석되었다.

⑥ 접속개소의 안정성에 대해서는 직선슬리브가 존재하는 선로에 대해 75℃를 한계온도로 잠정 결정하였으나 가속열화특성에 대한 추가적인 실험을 통해 정확한 한계허용온도를 규명하고, 그 결과를 보완할 필요가 있다.

⑦ 송전선로 지상고 및 이격거리에 대한 기준의 변경시점에 따라 송전선로를 3개의 그룹으로 구분할 수 있으며, 각 그룹은 A, B, C, D의 4개 소그룹으로 구분하여 총 12개 운영그룹의 분류기준과 각 운영그룹별 연속/장시간/단시간 최고허용온도를 제시하였다.

⑧ 향후 부하수준 및 인가시간에 따른 과도정격 산정프로그램을 개발하여 송전선로별 운전조건에 따른 단시간정격 산정에 활용할 경우 비상운전 시 선로 운전자를 지원함으로써 선로운영의 신뢰도를 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

**참 고 문 헌**

- [1] 손홍관 외10, “송전선로의 설비특성을 고려한 단시간정격 검토”, 2008년도 대한전기학회 하계학술대회논문집
- [2] 손홍관 외7, “부하수준 및 인가시간에 따른 과도허용전류 산정기법”, 2008년도 대한전기학회 하계학술대회논문집
- [3] 산업자원부, “국내 송전선로 설비특성을 고려한 단시간과도정격 운영기준 정립(2차년도 보고서)”, 2007
- [4] 산업자원부, “가공송전선 허용용량산정시스템 개발(최종)”, 2005.
- [5] 한국전력, “송전설계기준 1210(가공송전용 전선선정기준)”, 2004.
- [6] 한국전력 전력연구원, “송전설계기준 제·개정 및 보완연구”, 2001.
- [8] National Grid USA, “TRANSMISSION PLANNING GUIDE”
- [9] IEEE, “Draft standard for calculating the current-temperature relationship for bare overhead conductors”, IEEE Standard p738, 1999
- [10] CIGRE WG 22-12, “The thermal behavior of overhead conductor”, Electra, No. 144, 1992

**저 자 소 개**



**손 홍 관 (孫 洪 寬)**

1962년 3월 21일생. 1985년 충남대 전기공학과 졸업. 1987년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 충남대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1987~현재 한국전기연구원 전력연구단 책임연구원  
 Tel : 055-280-1341  
 Fax : 055-280-1390  
 E-mail : hksohn@keri.re.kr



**김 병 길 (金 秉 杰)**

1961년 3월 14일생. 1983년 경북대 금속공학과 졸업. 1987년 경북대 대학원(금속재료전공) 졸업(석사). 1991년 동북대 대학원(재료물성전공) 졸업(공학박사). 1992~현재 한국전기연구원 재료응용연구단 책임연구원  
 Tel : 055-280-1634  
 Fax : 055-280-1590  
 E-mail : bgkim@keri.re.kr



**박 인 표 (朴 寅 杓)**

1977년 2월 13일생. 2002년 동아대 공대 전기공학과 졸업. 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004~현재 한국전기연구원 전력연구단 연구원  
 Tel : 055-280-1344  
 Fax : 055-280-1390  
 E-mail : ippark@keri.re.kr



**안 상 현 (安 相 炫)**

1981년 2월 24일생. 2007년 부경대 소재프로세스공학과 졸업. 2008년 현재 동 대학원 소재프로세스공학과 재학(석사과정). 2007~현재 한국전기연구원 재료응용연구단 연구원  
 Tel : 055-280-2533  
 Fax : 055-280-1590  
 E-mail : ansang24@keri.re.kr



**장 태 인 (張 太 因)**

1968년 12월 5일생. 1990년 2월 한양대 공과대학 전기공학과 졸업(학사). 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994.9~1996.2 (주)삼성SDS 근무. 1996.2~현재, 한국전력공사 전력연구원 전력계통연구소 지중케이블그룹 선임연구원  
 Tel : 042-865-5892  
 Fax : 042-865-5808  
 E-mail : angeljti@kepri.re.kr



**최 중 기 (崔 鍾 基)**

1969년 2월 1일생. 1992년 동국대 전기공학과 졸업. 1995년 홍익대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1995~현재 한전 전력연구원 전력계통연구소 선임연구원  
 Tel : 042-865-5854  
 Fax : 042-865-5808  
 E-mail : jkchoi@kepri.re.kr