

# 배전선로 접지공사 시공품질 향상방안 연구(상)

송대봉  
한국전력공사 경영대학원 과정 16기 부장  
황수천  
한국전력공사 모평지점 배전과장

## 1. 클머리에

접지란 대지에 전기적 단자를 시설하는 것으로서 이를 영국에서는 Earthing, 미국에서는 Grounding이라 하고, 우리나라에서는 보통 어스라 한다. 접지의 목적은 피유도체를 대지와 똑같은 전위로 하는 것으로서 대지의 表面電位는 零電位이기 때문에 그 물체의 전위를 대지와 동전위 또는 전위차를 최소로 하기 위해 접지를 하는 것이다.

접지의 시초는 1952년 미국의 프랭크린이 뇌(雷)의 정체가 전기임을 규명하고, 건물을 落雷災害로부터 지키기 위한 피뢰침 접지에서 시작되었다.

당시의 전기지식 수준으로 천재뇌에 대한 안전설비를 발명한 것은 위대한 창조이며 이것이 인류사회에 끼친 공헌은 매우 커 현재도 그 공적이 이어지고 있다. 접지설비에 대한 진보는 재료, 접지방식, 시공법에서 크게 두드러지고 있는데, 재료면에서는 다양화·경제화가 이루어져 동복강봉(銅覆鋼棒), 連接打入접지봉, 低減접지재료, 아스룽 및 그의 공법, 다중도전율의 측정방법, 網狀 접지방식의 적용시공법 등이 있다. 이렇게 접지에 대한

진보가 있었음에도 현장에서는 쉽게 접지물량을 산출하여 적용하는 방법이 없으므로 이 논문에서는 배전공사 시공실무 중 가장 기본이면서도 간과하기 쉬운 접지공사의 시공품질 향상을 위한 방법을 제시하여 인간존중, 복지사회의 자주적인 안전확보와 원가절감 및 시설자와 시공자의 책임감을 고취하고자 한다.

## 2. 배전선로 접지공사 기준 및 이론 고찰

### 가. 접지공사의 목적

22.9kV-y 다중접지 배전선로에서 지락고장시 보호계 전기의 동작을 확실하게 하고, 이상전압의 상승을 억제하기 위하여 중성선에 접지공사를 시행하고 있으며, 전력선과 중성선이 혼촉되어 중성선의 전위가 상승되었을 경우, CP와 인체 접촉시 접지봉 매설위치에 따른 접촉전압과 보폭전압에 의해 발생할 수 있는 感電을 방지한다.

또 접지공사는 (특)고압 전로와의 혼촉이나 전로로부터의 유도, 누전 등이 있을 경우에 전기설비의 보호, 인체에 대한 보안 등을 도모하거나 전로에서의 이상전압을

〈표 1〉 접지공사의 종류 및 접지저항

| 접지공사의 종류  | 접 지 개 소  | 접 지 저 항 치  |
|-----------|--|--|
| 제1종 접지공사  | (특)고압용 기계기구의 철대, 금속제 외함의 접지, 피뢰기의 접지 등 원칙적으로 전로 이외의 금속체의 접지에 적용되는 것으로 위험의 정도가 큰 것에 적용된다.                         | 10Ω 이하   |
| 제2종 접지공사  | (특)고압전로가 저압전로와 혼촉될 우려가 있는 경우에 적용되는 것으로서 저압전로의 보호를 위하여 적용된다.  | 변압기의 고압측 또는 특별고압측 전로의 1선지락전류의 암페어 수로 150(변압기 고압측의 전로 또는 사용전압이 35,000V 이하인 특고압측 전로가 저압전로와 혼촉에 의하여 대지전압이 150V를 넘는 경우로서 1초를 넘고 2초 이내에 자동적으로 (특)고압전로를 차단하는 장치를 설치할 때에는 300, 1초 이내에 자동적으로 (특)고압전로를 차단하는 장치를 설치할 때에는 600)을 나눈값과 같은 Ω수 이하 |
| 제3종 접지공사  | 400V 미만의 저압용 기계기구의 철대, 금속제 외함의 접지, 보호선, 보호망의 접지 등, 원칙적으로 전로 이외의 금속체의 접지에 적용되는 것으로서 위험의 정도가 비교적 작은 것에 적용된다.       | 100Ω 이하  |
| 특별3종 접지공사 | 400V 이상의 저압용 기계기구의 철대, 금속제 외함의 접지 등, 원칙적으로 전로 이외의 금속체의 접지에 적용되는 것으로 위험의 정도는 크지만 대지에 발생하는 전위경도 등은 비교적 작은 것에 적용된다. | 10Ω 이하   |

방지하는 등 여러 가지 목적으로 시설되며 시설장소도 광범위하다.

## 나. 접지공사의 종류

### (1) 접지공사의 종류 및 접지저항

전기설비의 공사·유지 및 운용에 관하여 필요한 사항을 정함으로써 공공의 안전 확보를 목적으로 한 전기설비기술기준에 표 1과 같이 접지공사의 종류 및 접지저항을 규정하고 있으며, 배전선로 운영상 한전의 배전설계기준 및 실무교재에 접지저항 규정치를 강화하고 있다.

### (2) 접지저항 유지기준(설계기준, 배전실무 교재 발취)

- 피뢰기
  - 25Ω 이하 : I/S설치주 - 선로보호 차원, 부하전류만 개폐시
  - 10Ω 이하 : R/C설치주 - 피보호기기에 준함 - 고신뢰도, 중요개소
- 다중접지 계통의 중성선 접지는 인가 밀집지역과 규정된 접지저항치를 얻기 어려운 곳에서 배전주마다, 야외지역은 300m 이하마다 1개소 이상 시공
  - 3종 접지 100Ω 이하, 단 1km 당 합성접지 저항치

는 5(Ω/km 이하<sup>1)</sup> ↘

\*규정 접지저항치를 얻기 쉬운 장소에서 3개소/km에 시공했을시 평균적으로 개소당 12Ω 이하로 해야 함.  
 \*규정 접지저항치를 얻기 어려운 장소에서 20개소/km에 시공했을시 평균적으로 개소당 83Ω 이하로 해야 함.  
 - 경간 50m, 결합계수 1.2 적용

- 옥내 또는 지상에 시설하는 특고압 기기의 외함
  - 10Ω 이하
- 주상에 설치하는 3상 4선식 다중접지 계통의 변압기 및 기기외함
  - 25Ω 이하 : P.Tr, I/S
  - 10Ω 이하 : G/S
- 송전선과 접근 교차시 시설하는 보호망
  - 10Ω 이하

## 다. 안전접지의 기본문제

### (1) 개요

지락사고시 고장전류가 대지속으로 흘러들어가면 주변에 전위경도가 생긴다. 접지가 부실하면 지락시 지표면에

1) 전기설비기술기준에는 각접지선을 중성선으로부터 분리했을 때 각 접지점 저항은 150Ω 이하, 합성접지저항은 15Ω/km 이하로 규정

상의 최대전위경도는 인체에 위험을 초래하게 된다. 또한 접지한 철구나 기기의 외함 또는 지지물과 부근 대지간에 위험한 전위차가 발생할 수 있다. 이와 같은 위험전위는 접지계의 구조, 토양의 성분 및 균질성 지락전류의 크기 및 지속시간, 인체의 전기적 특성 등 관계되는 요소가 많을 뿐 아니라 그 특성이 복잡하고 불확실하여 정확한 계산은 불가능하다.

(2) 인체를 통하는 전류의 허용치

전류가 인체에 미치는 영향은 주파수, 크기, 지속시간 및 통로에 관계된다.

(가) 주파수

상용주파수 즉 60Hz에 대해서만 고려한다. 그러나 일반적으로 사람은 좀더 큰 25Hz의 전류에 견딜 수 있고 직류는 상용주파수 교류의 5배까지 견딜 수 있다.

(나) 크기 및 지속시간

사람은 일반적으로 1mA가 흐르면 감전을 느끼기 시작하며 9~25mA가 흐르면 상당한 고통을 느끼고 손에 잡은 물체를 놓기 곤란하거나 놓을 수 없을 정도로 근육통제의 결여를 초래한다. 보다 큰 전류가 흐르면 근육위축으로 호흡이 곤란해진다. 이때에는 근육위축이 심하여 호흡이 수분간 정지하지 않는 한 그 영향은 전류만 차단되면 곧 없어진다. 보다 큰 전류가 흐르면 심실세동(Ventricular Fibrillation)으로 죽음을 초래한다. 이런 경우는 인공호흡도 효과가 없다. 이 심실세동이 시작되는 전류치가 최대의 관심사이다. 캘리포니아 대학의 C.F.Dalziel 교수의 동물실험에 의하면 심실세동을 일으키지 않고 사람이 견딜 수 있는 전류는 지속시간 3초 이내 일 때 다음 식에 의하여 결정된다.

$$I^2_{Kt} = 0.0135 \dots\dots\dots(1)$$

다시쓰면

$$I_K = \frac{0.116}{\sqrt{t}} \dots\dots\dots(2)$$

$I_K$  : 인체통과 전류허용치(A rms)

$t$  : 지속시간 (sec)

즉, 사람은 감전시간이 짧으면 보다 큰 전류에라도 견딜 수 있다. 따라서 고속도 차단이 안전면에서 중요하다는 것을 표시한다. (2)식은 3초간 시험결과로 얻은  $t$ 이므로 그 이상의 장시간에 대하여는 적용할 수 없다. 지속시간이 수분 또는 그 이상일 때는 9mA를 적용한다.

이상은 심장을 포함한 인체기관을 전류가 통과할 때의 경우이다. 그러나 일반적으로 사람의 두 다리 사이만을 흐르는 전류는 위험성이 훨씬 적다고 한다.

(3) 보폭전압(Step Voltage), 접촉전압(Touch Voltage)의 최대허용 전위차

(2)식에 의한 허용전류와 적당한 회로 정수로서 접촉 가능성이 있는 점간의 전위차를 계산할 수 있다. 접촉전압, 보폭전압의 허용한계는 그림 1, 2의 등가회로와 식 (2)로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E_T \leq \{R_H + R_K + \frac{1}{2}(R_F + R_{MF})\} \frac{0.116}{\sqrt{t}} \dots\dots\dots(3)$$

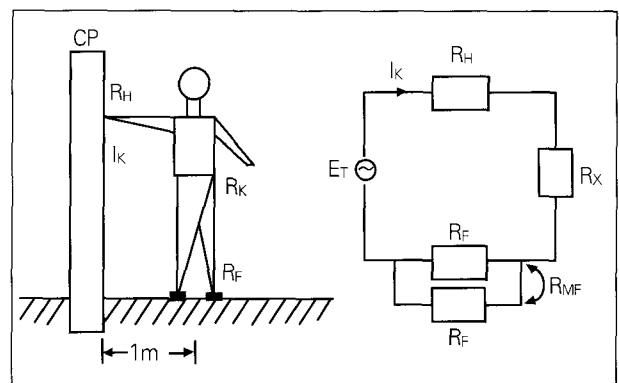
$$E_S \leq \{R_K + 2(R_F - R_{MF})\} \frac{0.116}{\sqrt{t}} \dots\dots\dots(4)$$

$E_T$  : 접촉전압(V)

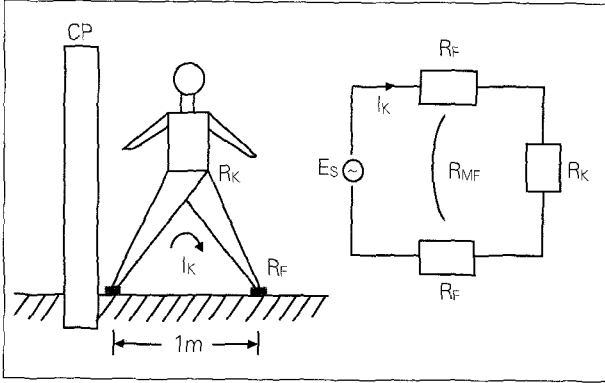
$E_S$  : 보폭전압(V)

$R_H$  : 손과 CP와의 접촉저항( $\Omega$ )

$R_K$  : 인체의 저항( $\Omega$ )



〈그림 1〉 CP와의 접촉전압과 등가회로



〈그림 2〉 CP와의 보폭전압과 등가회로

$R_F$  : 한쪽 발과 대지와의 접촉저항( $\Omega$ )

$R_{MF}$ : 발과 발 사이의 Mutual Resistance( $\Omega$ )

그런데 접촉전압과 보폭전압의 최대허용치는 다음의 인자에 의하여 결정된다.

① 손과 CP와의 접촉저항( $R_H$ )

습한 상태에서 일반적으로 2,000 $\Omega$ 정도를 적용하고 있다.

② 인체의 저항( $R_K$ )

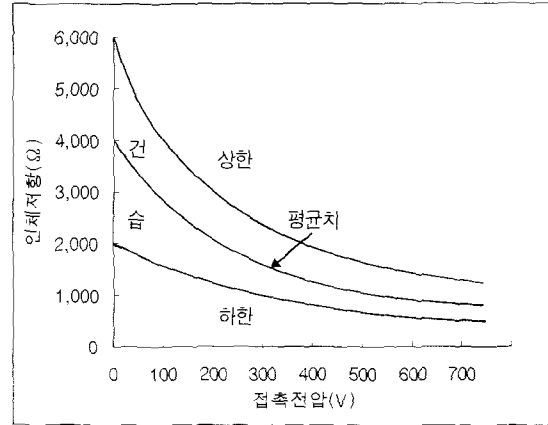
인체저항은 인체에 가해지는 전압, 소위 접촉전압에 의해 변화하고 피부의 건조상태에 따라서도 변화한다. 그림 3은 독일의 Freiburger에 의한 인체저항(통상상태)과 접촉전압과의 관계를 나타낸 것이다.

그림3에서 보는 바와 같이 피부가 습한 경우와 건조한 경우의 저항의 비는 약 3배의 차가 있다. 그러나 전압이 높을수록 그 비는 작게 된다. 그림 4는 Freiburger에 의한 인체등가회로 모델을 표시한다.

이 그림은 부의 저항모델이다. 저항이 변화하는 원인은 양단의 피부저항에 있다고 한다.

보통 내부저항은 인체각부에 따라 다르지만 보통은 1,000 $\Omega$ 을 적용하며, 손발이 물에 젖으면 피부 표면의 각질층의 저항이 대단히 작게 되어 인체저항은 대부분 약 500 $\Omega$ 가 된다.

③ 발과 대지와의 접촉저항( $R_F$ )



〈그림 3〉 인체저항과 접촉전압의 관계

한 발의 접촉저항은 접촉면의 대지고유저항( $\rho_s$ ), 발과 대지와의 접촉면적 및 인체의 체중에 따라 다르지만, 실험에 의하여 신발과 양말의 저항을 무시한 경우에 다음 식을 적용하고 있다

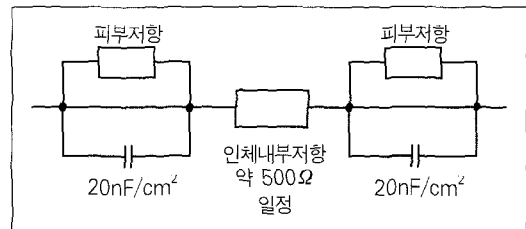
$$R_F = \frac{\rho_s}{4r} \approx 3 \rho_s \dots\dots\dots(5)$$

$\rho_s$  : 대지고유저항 ( $\Omega$ -m)

$r$  : 0.08(m)(성인남자의 발의 면적인 200cm<sup>2</sup>를 원의 반경으로 환산한 값)

따라서 접촉전압에 의한 두발의 합성 접촉저항은 두발이 병렬이므로 1.5 $\rho_s$ 이고, 보폭전압에 의한 합성 접촉저항은 두발이 직렬이므로 6 $\rho_s$ 이다.

그러나 발의 접촉저항에 직접 관계가 되는 대지고유저항은 표 2와 같은 토양의 저항 외에 함수율 및 온도에 따



〈그림 4〉 인체등가회로 모델

라서도 변화가 심하여 정량화할 수는 없지만, 여기에서는 발의 중간치인 100Ω-m로 계산하였다.

〈표 2〉 토양별 고유저항

| 종 류       | 고 유 저 항 (Ω-m) |
|-----------|---------------|
| 점 토 질 습 지 | 10 ~ 150      |
| 발         | 10 ~ 200      |
| 산 지 점 토   | 200 ~ 2,000   |
| 산지(암반지대)  | 2,000 ~ 5,000 |
| 물 층(적 토)  | 50 ~ 500      |
| 자         | 3,000 이상      |
| 콘 크 리 트   | 1,000 ~ 1,500 |
| 아 스 팔 트   | 5,000 이상      |

④ 발과 발 사이의 Mutual Resistance(R<sub>MF</sub>)

발에 전류가 흐를 경우에 발의 영향에 의한 한쪽 발의 R<sub>MF</sub>는 다음과 같다.

$$R_{MF} = \frac{\rho_s}{4\pi dF} (\Omega) \dots\dots\dots(6)$$

R<sub>MF</sub> : Mutual Resistance (Ω)

ρ<sub>s</sub> : 대지고유저항 (Ω-m)

dF : 보폭거리 (m)

그러므로 발과 발 사이의 거리(dF)를 1m로 보는 경우에, 접촉전압에 의한 R<sub>MF</sub>는 두 발에 흐르는 전류의 방향이 동일하므로  $\frac{\rho_s}{4\pi}$ 가 되고 보폭전압에 의한 R<sub>MF</sub>는 전류의 방향이 반대이므로  $\frac{\rho_s}{\pi}$ 가 된다.

⑤ 고장지속시간(t)

배전선로의 고장 지속시간은 고장전류의 크기에 따라 다르지만 순시는 15Hz 이내이고, 한시는 30Hz 이내로 되어 있다.

그래서 현재 발·변전소의 접지설계시에도 고장지속시간을 1초로 적용하고 있고, 배전선로의 사고도 전압선과 중성선의 혼촉시를 고려하였으므로 여기에서도 고장 지속시간을 1초로 계산하였다.

(4) 최대허용 접촉전압과 보폭전압

최대허용 접촉전압은 식(3)에서

$$E_{touch} \leq \{R_H + R_K + \frac{1}{2}(R_F + R_{MF})\} \frac{0.116}{\sqrt{t}} \dots\dots(7)$$

$$\leq \{R_H + R_K + \frac{1}{2}(3\rho_s + \frac{\rho_s}{2\pi})\}0.116$$

$$\leq \{2,000 + 1,000 + \frac{1}{2}(3 \times 100 + \frac{100}{2\pi})\}0.116$$

$$\leq 366[V]$$

가 되며 최대허용 보폭전압은 식 (4)에서

$$E_{step} \leq \{R_K + 2(R_F - R_{MF})\} \frac{0.116}{\sqrt{t}} \dots\dots\dots(8)$$

$$\leq \{R_K + 2(3\rho_s - \frac{\rho_s}{2\pi})\}0.116$$

$$\leq \{1,000 + 2(3 \times 100 - \frac{100}{2\pi})\}0.116$$

$$\leq 182[V]$$

가 된다.

이와 같이 일반적으로 최대허용 보폭전압은 접촉전압보다 적다. 또한 사람은 두 다리 사이에만 흐르는 전류라면 심장을 통하는 전류보다 큰 것도 견딜 수 있다. 즉, 동일조건하에서는 E<sub>step</sub> < E<sub>touch</sub>이므로 E<sub>touch</sub>를 대상으로 고찰하면 된다.

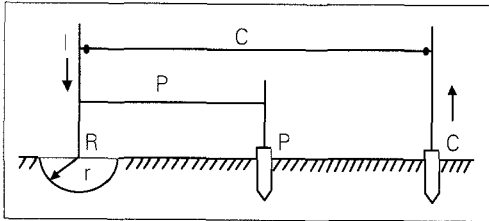
라. 접지측정의 이론적 고찰

종래의 접지저항 측정법에서 일반적으로 전류보조극의 거리는 피측정 접지극에서 20m, 전위보조극은 10m의 거리에서 측정토록 하고 있으나, 이것에 대한 이론적 체계는 정립되어 있지 않다. 따라서 여기에서는 접지저항 측정을 위한 전위보조극의 적정배치에 대한 이론적인 검토를 해 보았다.

(1) 61.8%의 법칙

측정대상인 접지전극을 그림 5와 같이 반경 r의 반구상 접지전극으로 하면, 주변 대지의 저항률은 어디서나 같고 그것을 ρ로 한다.

E 전극(측정대상의 반구상 전극)의 중심에서 C(m)의 장소에 전류전극 C를 타입하고, P(m)의 곳에 전위전극 P를 타입한다고 하자. E전극에는 전류 I가 유입되고 C 전극으로부터는 전류 I가 유출되고 있다.



〈그림 5〉 접지저항의 측정

반구상 접지전극의 접지저항  $\frac{\rho}{2\pi r}$  ( $\Omega$ )로부터, E전극에 전류 I가 유입하게 되면 그 전위는 무한원점을 기준으로 하여 전류 I에 의해 P점의 전위가 어느 정도 상승하는가를 계산해 보면, 반구상 전극의 중심으로부터 거리 r(m)인 점의 전위는 다음식으로 주어진다.

$$E = \frac{\rho I}{2\pi r} \dots\dots\dots(9)$$

그림5에서의 EP간 거리는 P(m)이므로 P점의 전위는  $\frac{\rho I}{2\pi p}$ 가 된다.

그러므로 E전극에 유입하는 전류 I에 의한 EP간의 전위차는 E전위에서 P의 전위를 빼면,

$$V_1 = \frac{\rho I}{2\pi r} - \frac{\rho I}{2\pi p} = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{p} \right) \dots\dots(10)$$

다음에 C전극에 유입하는 전류 I에 의한 EP간의 전위차는 먼저 C전극으로부터 유출하는 전류 I에 의한 E전극의 전위상승을 구한다. C전극은 반구상은 아니지만 식(9)를 적용하면, E전극의 전위상승은

$$-\frac{\rho I}{2\pi c}$$

부(-)의 기호는 전류의 방향이 반대이기 때문이다.

같은 방법으로 P점의 전위상승은

$$-\frac{\rho I}{2\pi(c-p)}$$

따라서 C전극으로부터 유출하는 전류에 의한 EP간의 전위차는

$$V_2 = -\frac{\rho I}{2\pi c} - \left( -\frac{\rho I}{2\pi(c-p)} \right)$$

$$= -\frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{c} - \frac{1}{c-p} \right) \dots\dots\dots(11)$$

이와 같이 EP간에는  $V_1$ 과  $V_2$ 라고 하는 2개의 전위차가 가져져 최종적인 EP간의 전위차는 식(10)과 (11)의 합으로 되어 다음식과 같이 된다.

$$V_1 + V_2 = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{p} - \frac{1}{c} + \frac{1}{c-p} \right) \dots\dots(12)$$

이것을 전류 I로 나누면 접지저항 측정치 R가 구해진다.

$$R = \frac{\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{p} - \frac{1}{c} + \frac{1}{c-p} \right) \\ = \frac{\rho}{2\pi r} \left( 1 - \frac{1}{p_1} - \frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_1 - p_1} \right) \dots\dots(13)$$

$$\text{단, } p_1 = \frac{p}{r}, \quad c_1 = \frac{c}{r}$$

여기에서  $\frac{\rho}{2\pi r}$ 는 반구상 접지전극 접지저항의 참값이다. 이것을  $R_1$ 라고 하면 접지저항의 측정치 R는

$$R = R_1 \left\{ 1 - \left( \frac{1}{p_1} + \frac{1}{c_1} - \frac{1}{c_1 - p_1} \right) \right\} \dots\dots(14)$$

괄호 가운데 제2항은 일반적으로 오차항이라고 하며, 이것이 0으로 될 때 측정치는 참값과 같게 된다.

$$\frac{1}{p_1} + \frac{1}{c_1} - \frac{1}{c_1 - p_1} = 0 \dots\dots\dots(15)$$

$$\text{즉, } p_1^2 + c_1 p_1 - c_1^2 = 0$$

p를 변수로 하고 2차방정식을 풀면 해는 다음과 같이 2개로 된다.

$$p_1 = 0.618c$$

$$p_1 = -1.618c$$

$$\text{따라서, } \frac{p_1}{c_1} = 0.618$$

의 조건을 만족할 때 측정치는 참값과 같아지게 된다.

즉 이것은 반구상 접지전극의 접지저항을 측정하는 경우에 그림5와 같이 EC간 거리의 61.8%의 곳에 전위전극(P극)을 타입하면 정확한 값을 얻을 수 있다는 것을 의미한다.  $\blacksquare$  (다음호에 계속)