

현장실무자를 위한 설비진단 테크닉

전기를 응용하는 기술의 발달에는 실로 눈부신 바가 있다.
전기는 깨끗하고 안전한 에너지원으로써
또, 컴퓨터나 통신에 이용되는 정보전송의 매체로서
널리 사용되어 최근에는 광이나 초음파의 분야도 포함하여
실줄 모르는 진보를 계속하고 있다.

우리들은 그 전부를 볼수는 없으나, 미래기술이라는 거대한 양상에 대하여
비록 기술의 단편이라도 많이 모아 쌓이면 많은 참고가 될 것이다.
본고에서는 이를 위해 전 13장을 번역 게재할 예정이다.

글쓰는 순서

1 장 예지보전에의 기초 기술

- 이상예지를 위한 데이터 처리
- 열화 프로세스에서의 이상예지

2 장 운전감시로 되는 상태의 추정

- 운전상태를 아는 테크닉
- 이상발생 후의 상태진단

3 장 기기 외부진단의 테크닉

- 기기에 따른 외부진단 기술
- 진동 측정에 의한 외부진단

4 장 기기내부 진단의 테크닉

- 가스절연기기의 내부진단
- 물도기기의 내부진단

5 장 리모트·센싱에 의한 설비진단

- 가시광을 사용한 리모트·센싱
- 레이저를 사용한 리모트·센싱

6 장 전기기기의 새로운 진단테크닉

- 변압기의 예지보전
- 전동기의 자동고장진단
- 전동기의 자동감시장치
- 절연열화에 의한 대형회전기의 진단
- 대형회전기의 자동고장진단
- 발전기 컨디션·모니터와 적용

7 장 전력케이블의 새로운 진단테크닉

- 케이블열화의 간이측정
- 케이블절연열화 판정장치와 사용법

8 장 로울러 베어링의 새로운 진단테크닉

- 로울러 베어링의 진단테크닉
- 로울러 베어링의 모니터링시스템

9 장 기기 수명의 예상테크닉

- 코일절연으로 수명 예측
- 유입기기의 수명 예측

10 장 에너지사용 합리화를 위한 보수유지

- 소형화와 메인テナンス
- 부하변동과 냉각의 검토

11 장 부식과 방식의 케이스스터디

- 방식의 포인트
- 전동기의 방식테크닉

12 장 진단용 계기와 사용법

- 보전용 계기와 사용법

13 장 새로운 센서의 성결과 활용법

- 센서에 쓰여지는 계효과
- 변위센서와 그 사용법

운전감시로 되는 상태의 추정 (2)

대한전기기사협회 홍보과/역

Ⅱ. 이상발생후의 상태진단

서 론

일반산업 공장이 대규모화되고 고도화 함에 따라 전기기기의 사용방법도 다양화해지고 있으며 한개의 기기고장이 설비전체에 주는 영향도 크다. 따라서 기기를 항상 정상적으로 유지하도록 기기자신의 신뢰성 향상과 예방보전 등의 대책을 세우고 있다.

그러나 전기기기도 영구적인 수명을 갖는 것이 아니고 또한 생각하지 않은 전기적 또는 기계적인 응력(stress)이 작용하여 기기에 이상을 가져오는 일도 많다.

예를들면 운전중에 과부하나 단락에 의한 과전류, 서지전압침입, 과대한 토크(torque)가 작용하는 경우 등과 같이 기기는 이상 상태가 된다. 이러한 상태로 된 후에 기기는 어떠한 상태로 변화하는가, 그대로 운전을 계속할 수 있는가, 또는 어떠한 처리가 필요한가, 그것은 무엇에 의하여 판단하면 좋은가를 알고 재빨리 대책을 세우는 것이 중요한 요점이 된다.

여기서는 이러한 기기가 이상이 있는 뒤의 운전 상태에 대하여 설명한다. 전기기기와도 해도 대단히 광범위하므로 모든 것에 대해서 설명할 수는 없

다. 여기서는 회전기에 한정해서 해설한다.

1. 회전기의 고장

회전기는 효율적인 동력원이며 이의 중요성은 크고 보다 높은 신뢰성을 요구하고 있다.

재료나 기술의 발달에 의하여 모든 특성이 향상하고 콤팩트하게 구성되며 또한 수명도 길고 옛날에 비하여 고장은 감소하는 경향에 있다. 그래도 역시 여러가지 고장이 발생하고 있으며 주된 것을 들면 다음과 같은 것이 있다.

- (i) 베어링의 불량과 파손
- (ii) 코일 절연의 불량, 파괴
- (iii) 구성재료의 열화, 파손
- (iv) 각 부의 부식
- (v) 외부원인에 의한 파손, 소손
- (vi) 기타

이러한 고장원인은 하나만 아니고 몇가지 원인이 겹치거나 하나의 원인이 다른 원인을 유발시키는 일이 많다. 고장원인을 크게 나누면 다음과 같다.

- (i) 주회로에 기인하는 것; 전압 변동, 개폐기의 이상, 배선의 단선 등
- (ii) 주위의 환경조건에 의하는 것; 고온이나 고습, 부식성 가스, 먼지 등

- (iii) 부하 또는 운전조건에 의하는 것; 과부하, 빈번한 시동, 중관성(重慣性) 부하
- (iv) 보수 조건에 의하는 것; 그리스 보급, 브러시 교환의 태만등
- (v) 설치조건에 의하는 것; 연약한 기초, 중심내기 불량 등
- (vi) 제조상의 결함에 의한 것; 조립불량, 이물질 혼입 등
- (vii) 경년 열화, 수명에 의한 것; 여기서는 운전중의 이상 요인에 의한 것을 취급하고 (i)과 (iii)항에 대하여 설명한다.

2. 운전중의 이상상태란

운전중, 전원이나 부하에 이상이 생겼을 때에 회전기는 전기적 또는 기계적인 응력을 받고 운전 상태에 변화를 준다. 그 운전 이상에 대한 주된 것은 다음과 같은 것이다.

- (i) 연속 또는 반복의 과부하
- (ii) 원동기의 조속기 부조화에 의한 발전기 또는 직류 전동기의 계자(界磁)상실에 의한 런 어웨이(run away) 등의 과속도
- (iii) 차단기 개폐, 번개 등에 의한 서지 전압의 침입
- (iv) 발전기에서 부하 단락 사고에 의한 과전류
- (v) 과대한 토크가 축에 작용한 경우
- (vi) 단선이나 접속부 접촉 불량 등에 의한 전압 불평형 또는 단상 운전
- (vii) 부하의 이상으로 큰 진동이 전파
- (viii) 베어링의 윤활 이상
- (ix) 냉각 이상
- (x) 점점 접촉 불량이나 시퀀스 불량등 제어장치 이상

이러한 요인은 각각 단독으로 작용할 뿐만 아니라 서로 관련되어서 작용하는 경우가 많다. 예를 들면 부하 단락에 의한 과전류는 축에 과대한 토크를 생기게 하고 서지전압이 발생하는 요인도 된다.

3. 이상의 발생한 뒤의 회전기 운전상태

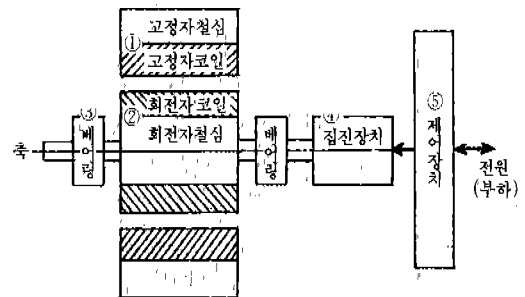
회전기는 <그림 1>과 같이 ①고정자 철심(statorcore), 코일, ②회전자, 축, 코일, ③그것을 지지하는 베어링, 링, ④회전자의 에너지를 출입시키는 집전장치, ⑤개폐기를 포함한 제어장치 등으로 구성운전된다. 운전중의 이상상태는 각각 다른 작용을 각부에 전달한다.

<그림 2>는 회전기의 운전상태에 대한 변화를 나타내고 있다. 회전기의 종별에 따라 동일한 요인에 대하여 영향을 받는 것이 다른 경우가 있으며 기종이 특유한 것은 ()안에 기종명을 표시하였다.

<그림 2>에서 실선은 회전기의 손상 상태를 나타내며 파선은 특성, 전압, 전류, 회전 속도등 계측기가 변화하는 상태를 나타내고 있다.

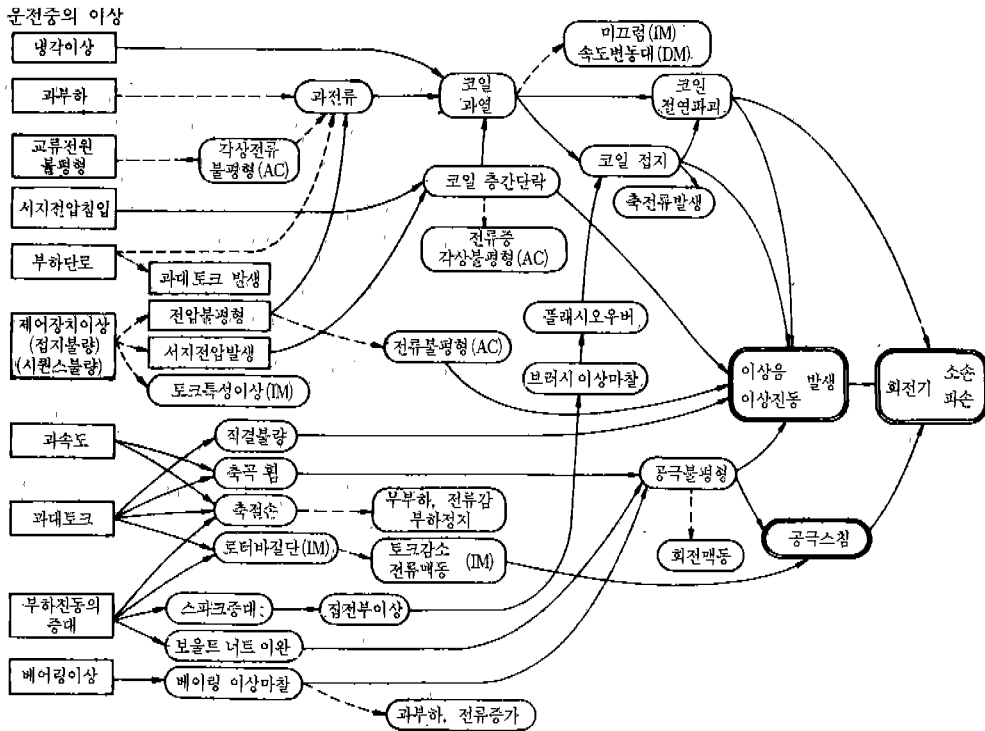
이상한 상태가 발생한 뒤에 염려되는 것은 그대로 운전을 할 수 없게 되는 것이다. 예상되는 조건에 대해서는 치명적인 상태가 되지 않도록 사전에 어떠한 대책을 취하는 것이 바람직하다.

회전에서 이상한 상태가 발생한 뒤에 영향을 받기 쉬운 곳은 코일 관계, 축을 포함한 베어링 관계 및 집전부 관계이다. 다음은 이에 대하여 설명한다.



<그림 1> 회전기의 구성

연 재 ②



비고(1) ; 회전기이상상태, -----; 운전상태변화를 나타낸다.

(2) (IM)은 기종명을 나타내고 IM은 유도기, DM은 직류전동기, AC, DC는 각각 총류기, 직류기를 나타낸다.

〈그림 2〉 운전이상과 그뒤의 회전기의 상태

(1) 코일 절연

코일은 회전기에서 가장 중요한 부분이며 코일 파괴는 치명적인 결과를 초래한다. 코일이 파괴하는 원인으로 다음과 같은 것을 생각할 수 있다.

- (i) 이상 전압의 인가(접압 열화)
- (ii) 과열에 의한 절연 열화(열열화)
- (iii) 오손이나 흡습에 의한 절연 열화(환경열화)
- (iv) 진동에 의한 절연 열화: 코일의 전자 진동, 기계적인 진동에 의한 기계적 열화

이 중에서 (i)항은 서지 전압의 침입으로 인하여 생기는 요인이며 (iii)는 과부하 또는 과전류에 의하

여 생긴다. 또한 (iv)의 진동에 의한 원인은 2차적인 현상으로서 회전기의 진동으로 생긴다. 회전기의 운전 환경이 나쁜 경우에는 이러한 원인에 의하여 코일의 이상을 조장시킨다.

모터인 경우에 코일의 절연 파괴는 대부분 코일 端部부분, 그것도 슬롯(slot)에서 나온 곳이 많다. 따라서 이상일때에 점검해야할 요소이다. 최근에는 에폭시 수지계의 절연재료가 보급되어 있기 때문에 일괄하여 모듈도 성형해서 신뢰성을 향상시키고 있다.

코일 수명에 가장 크게 영향되는 것은 온도 상승이다. 일반적인 회전기의 경우에 코일의 온도 상승

은 주위 온도보다 온도계의 계측으로 E종은 65°C, B종은 70°C, F종은 85°C까지 높아져도 좋다고 규정되어 있다.

과부하나 과전류가 생긴 경우, 이상이 발생한 뒤에 코일 온도의 상승이 위에 말한 제한값 안에 있는가 어떤가를 검사한다. 온도 상승이 클 때에는 부하를 감소시키든가 정지시켜서 온도가 내려가는 것을 기다린 다음 부하 운전을 한다. 일반적으로 절연물의 수명은 온도가 10°C 상승하는데 따라 절반으로 감소된다고 한다. 이러한 것도 염두에 두고 운전하는 것이 좋다.

코일 온도가 상승하는 원인은

- (i) 전원 전압 불평형 또는 단상 운전(3상 유도기)
- (ii) 전압 강하가 클때(동일한 부하를 운전하기 때문에 전류가 증가)
- (iii) 과부하
- (iv) 베어링 마모에 의한 공극(air gap) 불평형
- (v) 먼지 등으로 통풍구 폐쇄에 의한 냉각 효과저하
- (vi) 집전장치나 단락장치의 접촉 불량으로 인한 2차 회로 불평형(유도기)등이다.

회전기는 반도체 장치에 비하여 열용량이 크고 온도에 의한 코일의 파괴는 순간적으로는 일어나지 않으나 회전기 수명과 관계가 크기 때문에 항상 관심을 두어야 한다.

교류 발전기인 경우에 불평형 부하 운전을 하면 역상자계(逆相磁界)에 의하여 배주과 전류가 회전자 표면에 흐르고 회전자를 과열 손상시키는 일이 있다. 일반적으로 역상 전류 릴레이로 보호된다. 큰 불평형 부하 운전을 한 경우에는 발전기의 회전자, 특히 폴(pole)표면, 댐퍼 권선(damper winding), 코일 등을 검사할 필요가 있다. 전철부하나 아크로 부하(electric arc furnace load)등과 같이 장기적인 불평형 또는 고조파 부하가 예상될 때에는 설계 시점에서 미리 제동 권선 등을 강화하는 대책을 취하는 것이 보통이다.

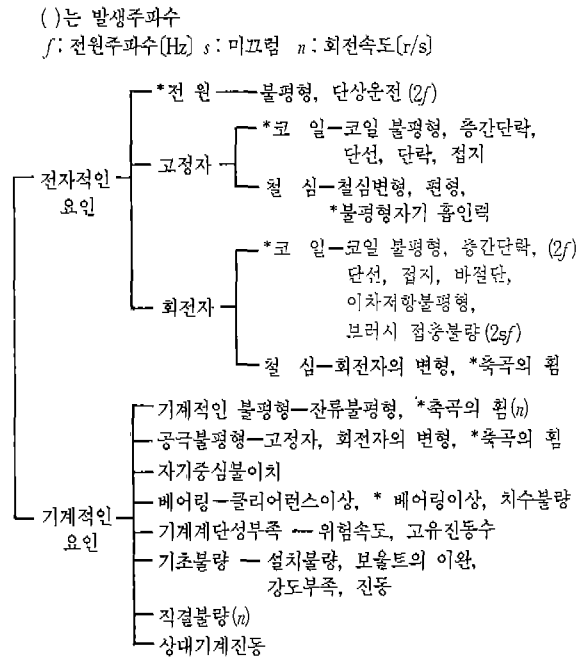
(2) 진동과 잡음

회전기는 정상일 때에도 어느 정도의 진동이나 소리를 발생하고 있다. 이상 운전을 할 때에는 정상시와 다른 진동(이상 진동)이나 소리(이상음)가 생긴다.

회전기의 운전상태를 판정하는 것은 진동과 소리로 할 수 있다고 해도 과언이 아니다. <표 1>에는 가장 범용적인 유도전동기의 진동 발생 요인을 <표 2>에는 소음 발생요인을 나타내고 있다.

개폐기를 여는 순간에 이상 진동이나 소리가 소멸하면 그것은 전기적인 원인(단상 운전이나 전압 불평형)때문이다. 이상 진동의 원인은 그 주파수에 따라 추정할 수가 있다. 전기적인 원인에 의한 이상 진동은 대부분의 경우 이상음이 따른다.

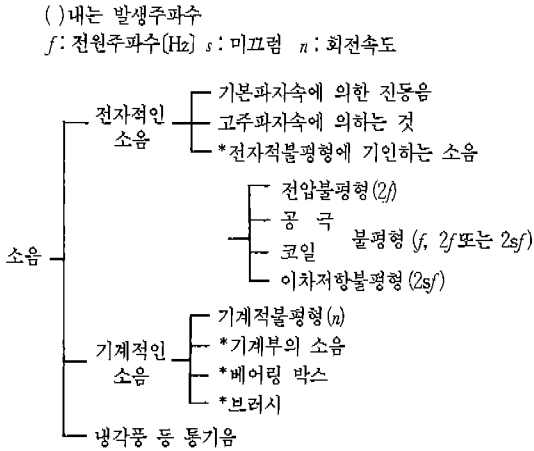
<표 1> 유도기의 진동발생요인



○ 표시가 이상시 1차적 또는 2차적으로 발생하기 쉬운 요인을 나타낸다.

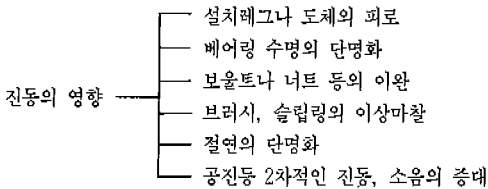
연 재 ②

〈표 2〉 유도기의 소음



○ 표시가 이상시 1차적 또는 2차적으로 발생하기 쉬운 요인을 나타낸다.

〈표 3〉 진동의 영향

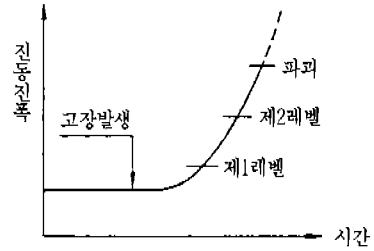


이상 진동이 발생하면 2차적으로 다른 곳에도 영향을 미치고〈표 3〉 가속적으로 회전기의 이상이 진전되는 일이 있다. 대형 회전기인 경우에는 〈그림 3〉과 같이 진동 진폭을 항상 감시하여 자동적으로 경보나 정지 지령을 낼수 있는 시스템을 적용한다. 또한 발생 진동이나 소음의 주파수를 분석하여 발생요인을 아는 방법도 사용되고 있다.

〈표 1〉과 〈표 2〉의 오른쪽 끝에 있는 () 안에 이상 진동과 소음의 주파수도 기입되어 있다.

(3) 과도한 힘에 의한 축의 손상

축 및 회전자에 관계되는 문서로써



〈그림 3〉 회전기의 진동감시

- (i) 축의 휨
- (ii) 회전자의 위험 속도
- (iii) 축의 피로 한도

등이 있다. 축의 휨은 국부적인 과열이나 전기적인 불평형 또는 베어링의 이상에 의한 공극의 불평형으로 불평형 자기 흡인력의 문제를 낳게 하고 치명적인 공극 스침의 요인도 된다. 진동과 소음으로 조기에 이상을 발견하도록 노력할 필요가 있다.

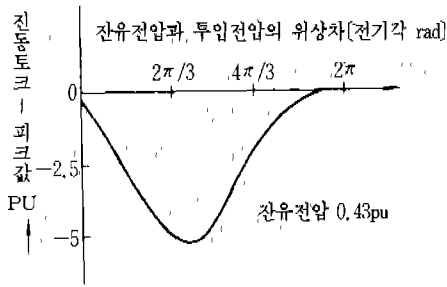
(iv) 항의 위험 속도는 회전자와 기계계의 고유 진동이 일치하는 경우 또는 가까운 경우에 문제가 되는 사항이며 시운전 이외에는 별로 문제가 되지 않는다.

(v) 에서 축의 피로는 소형 회전기나 범용기(汎用機)에서 비교적 많은 문제이며 급격한 시동이나 정지, 하중변동, 충격 하중이 작용하면 피로에 의하여 축이 절손하는 사고로 된다.

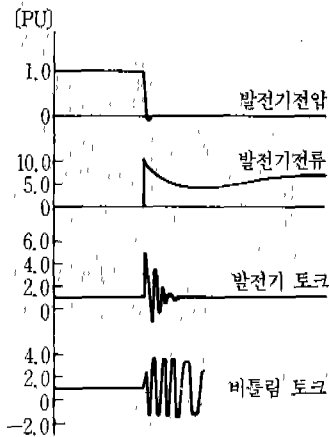
일반적으로 축은 안전계수가 1.5~3.0배이다. 벨트를 연결한 경우에는 굽힘의 응력이 가해지기 때문에 벨트 풀리(belt pulley)의 상황에도 주의해야 한다(처음부터 벨트 부하를 연결하는 지점이 있는 경우에는 미리 안전계수를 가산해서 설계를 하기 때문에 문제는 적다).

과대한 토크가 축에 가해지는 실례를 들어 본다.

(i) 모터인 경우; 때에 전원의 영향을 저감시키기 위하여 적용되는 유도 전동기의 $\lambda-\Delta$ 시동중인 경우로서 시동도중에 한번 전원서부터 개방하고 전압을 다시 인가하면 과도 전류가 크게 흐르고 이것



(그림 4) 유도전동기 -△ 시동시의 과도진동 토크(역방향일파폭)의 계산치



(그림 5) 교류발전기의 삼상단락시의 특성에(계산치)

에 의존하고 있던 진동 토크가 발생한다. 이의 크기는 전원을 개방할때의 잔류전압과 재투입할때의 전압크기와 위상에 따라 좌우된다.

회로상수의 조건에 따라서는 대단히 큰 힘이 작용한다. (그림 4)에 이의 한가지 예를 나타내고 있다.

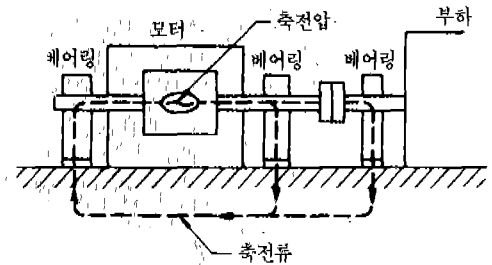
(ii) 교류 발전기인 경우; 발전기에서 본 계통에 대한 임피던스의 급격한 변화, 예를 들면 부하단락 사고와 차단 재투입 또는 직력 콘덴서나 제동 저항의

투입과 차단에 의하여 전기토크의 변동이 생기고 원동기와 발전기의 축계통에 그 고유 진동으로 비틀림 진동이 발생하게 된다.

크기는 전기토크가 변동하는 타이밍에 따라 다르나 정격 토크의 4~5배에 달하는 경우도 있다. (그림 5)는 3상 단락할때의 계산 예를 나타내고 있다.

(4) 축전류에 의한 베어링 손상

이상 운전을 한 뒤에 예사로 생각하는 문제에 축전류가 있다. 코일이 파손하는 사고에서 2차적으로 축전류를 발생하여 베어링을 손상시키는 경우가 있다.



(그림 6) 축전류

(표 4) 슬라이딩 베어링의 축전류 한계값

축전류[A]	베어링의 상태
10 이하	해는 없다.
10~40	1년 정도의 운전에는 견딘다
100 이상	위험

(표 5) 로울러 베어링의 축전류 한계값

축전류[A/mm ²]	베어링의 상태
1 이하	해는 없다.
1~14	유백시간은 운전에는 견딘다.
2 이상	위험, 수시간에서 손상한다.

축전류의 발생 원인은

- (i) 축과 교차하는 회계 자계(자기 회로의 자기적인 불평형)
- (ii) 축을 지나는 자속(磁束)에 의한 단극 발전 작용(축의 잔류 자속과 축을 둘러싼 여자 회로(exciting circuit)에 의한 단극작용)
- (iii) 회전자 코일 접지에 의한 자기적인 불평형
- (iv) 정전기에 의한 축전압
- (v) 외부전원의 직접 인가에 따른 축전압

등이다. (iii)항 이외는 설계나 제작 또는 시운전하는 시점에서 고려되며 대책을 취할 문제는 아니다. 이

상 운전을 한 뒤에 코일이 손상되고 접지한 경우에는 자기적인 불평형이 되고 일시적으로 축전압이 생겨서 <그림 6>과 같은 경로로 축전류가 흐르고 베어링을 전식(電蝕)하며 손상시키는 일이 있다.

이상 운전을 한 뒤에 코일을 검사함과 동시에 베어링의 점검도 실시해야 할 항목이다.

<표 4, 5>는 축전류 체크의 목표값을 나타낸다.

㉔

<다음호 계속...>

휴게실

화재용 낙하산

"불이야!"하면 누구나 잼싸게 일어난다. 아무리 빨리 일어났다 하더라도 고층건물의 높은 곳에서 는 밖으로 뛰어내릴 수도 없다.

이 우산은 대형 우산이다. 아래에 발을 끼우는 손잡이끈도 달려 있다. 그리고 땅에 닿았을 때의 소 크를 덜기 위하여 스프링까지 붙어 있다. 발명자는 이것을 고층건물의 각 층에 사람수대로 갖추어 두라고 말한다.

그런데 문제는 이 커다란 우산을 펼수 있는 넓은 발코니가 있으면 문제가 되지 않으나 이것을 펴 려면 우리들 팔이 몇배는 길어야할 것이다. 이에 발명자는 이렇게 말하고 있다.

"걱정하지 마십시오. 반쯤만 펴고 뛰어내리면 풍압에 의해서 활짝 퍼집니다."

어뢰가 맞지않는 배

제1차 세계대전 때의 일이다. 독일은 1917년 1월 31일 연합군에 대하여 무제한 잠수함공격의 개시 를 선언하였다.

잠수함의 어뢰는 상대편 배의 선복 한가운데를 겨냥한다. 명중률이 좋고 엔진이 한가운데에 있기 때문이다. 이것을 고려하여 그림과 같이 배의 선복을 위로 바짝 올라 붙게 만든 배이다. 어뢰가 향해 오더라도 끄떡 없다.

갑판에서 선복 밑을 지나가는 3개의 어뢰의 꼬리에 서 나는 흰 물거품을 바라보면서 "어뢰는 맞지 않아 좋은데 짐살을 곳이 없어서..." 하고 있을 때 '광'하고 명중!

어뢰를 쏜 자가 숙달되지 못하여 한가운데를 겨냥했으나 빗나가 한쪽 끝에 맞은 탓이다.

이것은 미국 특허로서 제1차 세계대전 말기의 발명 이다.

