



02

항공기 전기 계통 Aircraft Electrical System

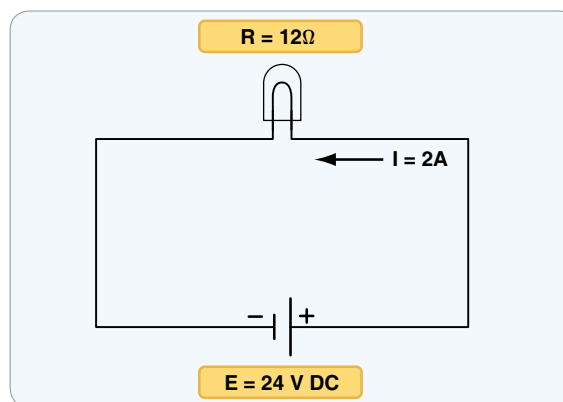
- 2.1 서론
- 2.2 항공기 배터리
- 2.3 항공기 전기 계통
- 2.4 배선설비
- 2.5 전기 계통 부품
- 2.6 항공기 조명 계통

2.1 서론(Introduction)

현대 항공기의 성능은 전기 계통(electrical systems)과 서브시스템(subsystems)의 지속적인 안정성에 달려 있다. 잘못하거나 부주의하게 설치 또는 유지된 배선은 직접적 위험과 잠재적 위험의 원인이 될 수 있기 때문이다. 이러한 전기시스템의 지속적이고 적절한 성능은 전기시스템의 전선과 케이블을 설치하고, 검사하며 관리하는 정비사의 지식과 기술에 달려 있다.

2.1.1 옴의 법칙(Ohm's Law)

전기의 기본적인 수학적 관계를 설명하는 옴의 법칙은 독일의 물리학자 조지 사이먼 옴(George Simon Ohm, 1789~1854)의 이름에서 유래되었다. 도체를 통과하는 전류(전자의 흐름)는 도체에 가해진 전압(전기적 압력)에 정비례하고 도체의 저항에 반비례한다는 법칙이다. 저항을 측정하는 데 사용되는 단위는 옴(ohm)이라고 부르며, 부호는 그리스 문자 Ω [오메가(Omega)]이다. 수식에서, 대문자 R은 저항을 나타낸다. 도체의 저항과 전압은 도체에 흐르는 전류값을 결정한다. 그러므로 저항 1[ohm]은 1[volt]의 전압이 가해진 곳에서 도체에 1[ampere]로 전류흐름을 제한한다. 옴의 법칙으로부터 나타나는 기본적인 공식은 다음과 같다.



[그림 2-1] Ohm's Law

$E=I \times R$ E=volt로 측정되는 기전력(electromotive force), I=ampere로 측정되는 전류, 그리고 R=ohm으로 측정되는 저항이다. 다음 공식들 또한 전류와 저항값을 구하기 위해 사용할 수 있다.

$$I = \frac{E}{R} \quad R = \frac{E}{I}$$

옴의 법칙은 전기가 특정 상황에서 어떤 방식으로 반응하는지 예측하는 수학적 공식의 기초를 알려준다. 예를 들어, 그림 2-1에서 12[ohm]의 램프가 24[V] 직류전력원(DC power source)에 연결되었을 때 옴의 법칙을 사용하면 2[amp]의 전류가 흐른다는 것을 계산할 수 있다.

Example

28[V]의 착륙등(landing light) 회로에 4Ω의 저항을 가지는 램프가 달려 있다. 회로의 전체 전류를 계산해 보자.

Solution

$$I = \frac{E}{R} = \frac{28}{4} = 7[amp]$$

Example

28[V] 제빙장치 회로에 6.5[amp]의 전류가 흐른다. 제빙장치의 저항을 계산해 보자.

Solution

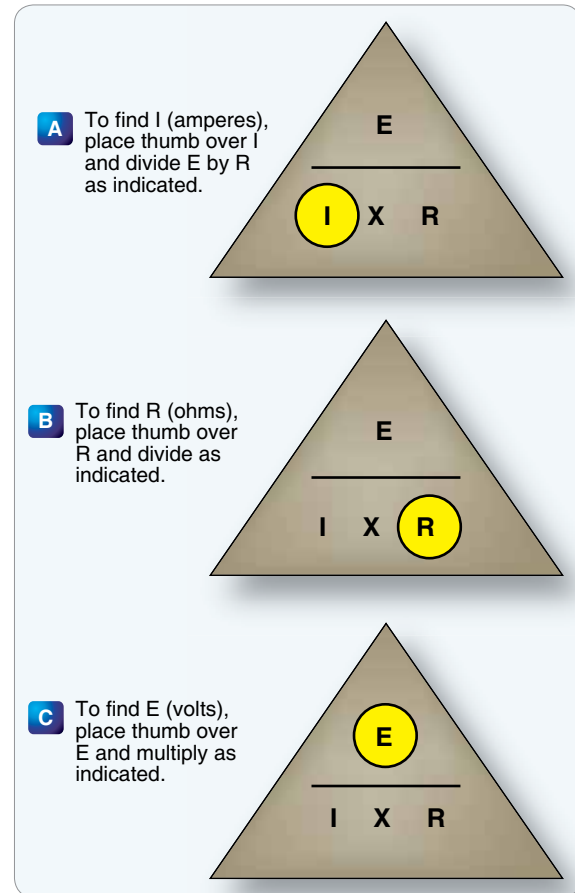
$$R = \frac{E}{I} = \frac{28}{6.5} = 4.31[\Omega]$$

Example

유도등(taxi light)은 4.9[Ω]의 저항을 가지며 2.85[amp]의 전체 전류가 흐른다. 시스템전압을 계산해 보자.

Solution

$$E = I \times R = 2.85 \times 4.9 = 14[volt]$$



[그림 2-2] Ohm's Law chart

항공기 전기회로를 고장탐구 할 때는 언제나 옴의 법칙을 고려하는 것이 중요하다. 저항과 전류흐름 관계에 대한 올바른 이해는 회로의 개방(open) 또는 단락(short)을 결정하는 데 도움을 줄 수 있다. 낮은 저항이 전류의 증가를 불러일으킨다는 것을 기억한다면 회로차단기(CB, circuit breaker)가 튀어나오고, 퓨즈(fuse)가 녹는 이유를 설명할 수 있을 것이다. 대부분의 경우에, 항공기 부하(load)는 서로 병렬로 배선되어 있다. 모든 부하는 정전압(constant voltage)이 걸리고 부하를 통해 전류는 흐르며 부하는 저항의 역할이 된다.



그림 2-2에서는 옴의 법칙을 이용하여 전류, 전압, 저항을 계산하는 몇 가지 방법을 알려준다.

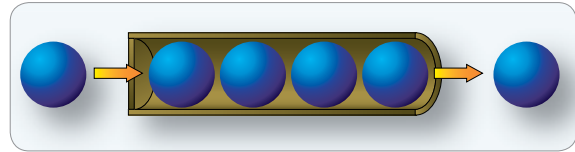
2.1.2 전류(Current)

전류는 전자의 이동이라 할 수 있다. 이러한 전자의 이동은 전류, 흐름, 또는 전류의 흐름이라고 부른다. 전자의 움직임은 도체, 즉 전선 내에서 일어난다. 전류는 일반적으로 암페어(ampere) 단위로 측정된다. 전류에 대한 부호는 I이고 암페어의 부호는 A이다.

전류의 흐름은 좀 더 정확하게 말하자면 도체 내에 있는 자유전자의 흐름이다. 구리, 은, 알루미늄, 금 등이 도체에 해당한다. “자유전자”라는 용어는 외곽전자(outer electron)가 느슨하게 이들의 모원자(parent atom)에 결합되는 것을 말한다. 이 느슨하게 결합된 전자들은 배터리와 같은 외부전원이 회로에 가해질 때 일정한 방향으로 쉽게 이동한다. 이들 전자는 배터리의 양극단자(positive terminal)로 끌려 당겨지며, 음극단자(negative terminal)는 전자의 공급원이 된다. 따라서 전류로 측정되는 것은 일정한 시간에 도체를 통과하는 전자의 수라고 말할 수 있다.

전류의 국제적 단위는 암페어[A]이다. 1[A]의 전류는 1초 동안에 도체를 거쳐 지나가는 1쿨롱[coulomb]의 전하와 같다. 1쿨롱의 전하는 6.28×10^{18} 의 전자와 같다. 쿨롱의 단위는 실제로 사용하기에는 너무 작은 단위이기 때문에 암페어 단위가 사용하기에 더 편리하다.

전류가 한쪽으로만 흐를 때, 직류(DC, direct current)라고 한다. 회로 내에서 주기적으로 전류의



[그림 2-3] Electron flow

방향이 바뀌는 교류는 전기이론의 뒷부분에서 설명된다. 여기서는 직류만 설명하도록 한다. 질량을 가진 모든 물체가 그렇듯이, 전자의 이동, 즉 전류는 전자를 밀어주는 힘이 있을 때 발생하게 된다. 이 힘을 전압이라 한다. 전압이 도체에 가해졌을 때, 기전력이 도체에 전기장(electric field)을 발생시키면 전류가 생성된다. 전자는 직선 방향으로 움직이는 것이 아니라, 도체 내에 가까이 있는 원자들과 반복해서 충돌한다. 이러한 충돌은 다른 전자들을 그들의 원자로부터 떨어뜨린다. 떨어진 전자들은 표류속력(drift velocity)이라고 부르는, 상대적으로 낮은 평균속력으로 도체의 양극단(positive)으로 이동한다. 그림 2-3과 같이, 전류의 효과에 의한 순간속도를 좀 더 제대로 이해하기 위해서, 쇠구슬을 채운 기다란 관(tube)을 이용한다.

도체를 나타내는 관의 한쪽 끝단으로 들어온 쇠구슬이 들어오면 관의 반대쪽 끝단에서 다른 쇠구슬이 즉시 방출하게 된다는 것을 알 수 있다. 그러므로 비록 비교적 낮은 속도를 가지는 전자의 움직임이더라도, 전류는 순간적으로 발생한다는 것을 알 수 있다.

2.1.2.1 전통적 전기이론과 전자이론

(Conventional Current Theory and Electron Theory)

전류에 대한 서로 다른 두 가지 학설이 존재한다. 전통적 전류이론과 전자이론인데, 이 두 가지 이론

모두 도체를 통과하는 전자의 이동에 대해 설명한다. 두 이론은 단순히 전류의 방향만을 설명하며, 전기회로의 연결, 문제 해결 시에 꾸준히 사용된다.

전통적 전류이론은 전류가 양의 근원에서 전하가 부족한 음의 근원으로 흘러간다고 생각한 벤저민 프랭클린(Benjamin Franklin)에 의해 주창되어 발전하였다. 전하가 풍부한 곳에 대해서는 양(Positive(+))으로, 전하가 부족한 곳에 대해서는 음(Negative(-))으로 표시하였다. 그 당시에는 양(+)에서 음(-)으로 전류가 흐르는 것이 자연스럽다고 생각하였다. 그러나 이후의 발견들은 정반대의 생각이 옳다는 것을 밝혀내었다. 전자이론은 전자가 음의 근원으로부터 양의 근원으로 이동하여 전류가 생성된다고 하였다. 전통적인 전류이론과 전자이론 모두 산업에서 이용되고 있다.

2.1.3 기전력(Electromotive Force(Voltage))

전압(voltage)은 전기적인 압력(electrical pressure force)이라고 할 수 있다. 이것은 기전력이라고 부르며, 도체의 한쪽 끝단에서 반대쪽 끝단으로 전자를 움직이는 압력이다. 기전력의 부호는 E이다. 기전력은 항상 2개의 지점 사이에서 측정되며 전압은 2개의 지점 사이의 값이다. 예를 들어보자. 일반적인 항공기 배터리의 단자 사이에 전압은 12[V] 또는 24[V]의 전위차로 측정된다. 이러한 전압은 배터리의 2개 단자 사이에 걸리는 힘이라 할 수 있으며 이를 통해 회로에 전류가 흐르게 된다. 배터리의 음극단자에 있는 자유전자는 양극단자에 있는 수많은 양전하 쪽으로 이동한다. 이러한 과정을 통해 도체에 전류가 흐르게 된다. 배터리, 발전기,

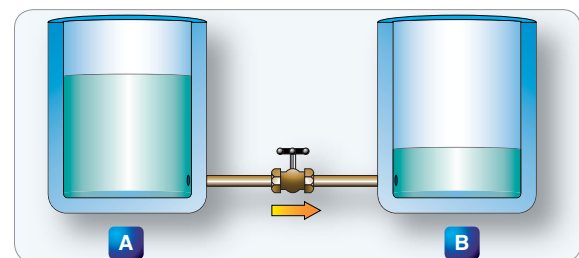
또는 지상동력장치를 통해 전압이 공급되지 않으면 도체에 전류가 흐를 수 없다. 전기시스템의 2개 지점 사이에 발생하는 전압(전위차)은 다음 식에 의해 결정된다.

$$V_1 - V_2 = V_{Drop}$$

2.1.3.1 예시(Example)

한 지점에서 전압은 14[V]이다. 두 번째 지점에서 전압은 12.1[V]이다. 1.9[V]의 전체 전압강하(total voltage drop)를 구하기 위해 상기 공식을 이용한다.

그림 2-4에서는 전류에 대한 전자의 흐름을 보여준다. 2개를 서로 연결시킨 물탱크는 각각의 물탱크에 가해지는 압력이 다르기 때문에, 두 물탱크의 물의 높이가 같아질 때까지 물이 이동하게 된다. 그림 2-4에서 탱크 A의 물의 높이가 더 높으며, 10[lbs/inch², psi]의 더 높은 위치에너지로 가지는 반면, 탱크 B의 경우 2[psi]의 더 낮은 위치 에너지를 가진다. 2개의 물탱크 사이에, 8[psi] 전위차가 있다. 만약 물탱크 사이의 연결선에 있는 밸브가 열리면, 물은 양쪽 물탱크의 높이가 같아질 때까지 탱크 A로부터 탱크 B로 흐른다. 물이 흐르게 하는 원인은 탱크 A의 압력 그 자체가 아니라,



[그림 2-4] Difference of pressure



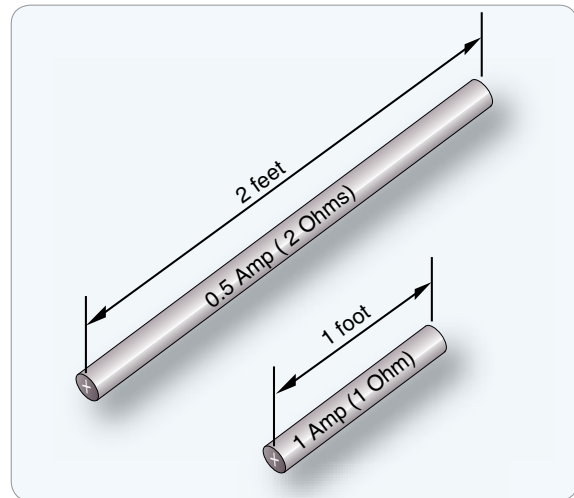
탱크 A와 탱크 B 사이에 압력 차이에 있다는 것을 알아야 한다. 이러한 비교를 통해 더 많은 전자를 가지는(더 높은 위치에너지를 가지는) 지점에서 전자가 부족한(더 낮은 위치에너지를 가지는) 지점으로 전자가 이동한다는 원리를 설명할 수 있다. 두 지점 사이의 전기적 위치에너지의 차이가 이러한 이동을 일으키는 힘이 된다. 이 힘을 전기압력, 전위차, 또는 기전력이라고 부른다.

2.1.4 저항(Resistance)

전류와 전압의 두 가지 근본 성질은 저항이라는 세 번째 속성과 관계된다. 전기회로에, 전압이 가해졌을 때, 전류가 발생하게 되는데, 이때 저항은 주어진 전압 1V당 흐르는 전류의 양을 결정한다. 일반적으로 회로저항이 크면 클수록, 전류는 작아진다. 만약 저항이 줄어들면, 전류는 증가한다. 이 관계는 사실 상 선형이며 옴의 법칙으로 알려졌다. 예를 들어 전압이 그대로일 때 회로의 저항이 2배가 되면, 저항을 통과하는 전류는 반으로 줄어든다.

도체와 절연체 사이에 명확한 경계선은 없지만, 적절한 조건에서 모든 재료는 약간의 전류를 전도한다. 도체와 부도체(절연체) 사이에 적절한 저항과 전류를 제공하는 재료는 “반도체”라고 하며, 트랜지스터 분야에 적용된다.

도체는 다수의 자유전자를 소유한 재료, 주로 금속이고, 반대로 절연체는 적은 자유전자를 갖는 재료이다. 도체는 은, 구리, 금, 그리고 알루미늄이지만, 탄소와 물 같은 일부 비금속도 도체처럼 사용될 수 있다. 고무, 유리, 도기, 그리고 플라스틱 등과 같은 재료는 보통 절연체로 사용되는 부도체이다.



[그림 2-5] Resistance varies with length of conductor

이들 재료 중 일부는 전류흐름이 영(Zero)으로 간주될 만큼 낮다.

2.1.4.1 저항에 영향을 미치는 요소

금속성 도체의 저항은 도체 재료의 종류에 따른다. 금속은 일반적으로 이들의 외곽궤도의 수많은 자유전자 때문에 도체로 사용된다. 동일한 직경의 구리선은 같은 직경의 알루미늄선보다 더 낮은 저항을 가지기 때문에, 이용하기 좋은 도체이다. 그러나 알루미늄은 구리보다 가격 측면에서 유리하고 무게도 아주 가볍다. 알루미늄은 가벼운 무게가 중요할 때 종종 사용된다.

금속성도체의 저항은 도체의 길이에 정비례한다. 전선의 길이가 길면 길수록, 저항은 더 커진다. 그림 2-5에서는 서로 다른 길이의 2개의 전선을 보여준다. 만약 길이가 1[feet]이고 저항이 1[Ω]인 도체의 양쪽 끝단에 1[V]의 전기 압력이 가해진다면, 전류흐름은 1[A]로 제한된다. 만약 동일한 도체의 길이가 2배가 된다면, 1[V]의 전압이 가해졌을 때 저항이 2배가 된다는 것을 알 수 있다.

2.1.5 전자기 전력

(Electromagnetic Generation of Power)

전기에너지는 수많은 방법으로 만들어 낼 수 있다. 일반적인 방법은 빛, 압력, 열, 화학제품, 그리고 전자기유도(electromagnetic induction) 등을 이용하는 것이다. 이 중 전자기유도는 인간이 사용하는 전력 중 대부분 생산에 가장 큰 부분을 차지한다. 실질적으로 전력을 발생시키는 발전기와 교류기 등 모든 기계장치는 전자기유도의 과정을 이용한다. 전력을 위한 빛, 압력, 열, 그리고 화학적인 이용은 항공기에서도 찾아볼 수 있으나 이는 극히 일부에 해당한다.

간단히 말해, 태양광전지는 빛을 이용하여 전기를 만들어낼 수 있다. 광전지에는 빛에너지를 전압과 전류로 전환하는 특정한 화학물질이 들어 있다.

전력을 발생시키기 위해 압력을 이용 하는 것을 일반적으로 압전효과(piezoelectric effect)라고 부른다. 그리스어에서 따온 압력(Piezo 또는 Piez는 Press, Pressure, Squeeze)의 의미이며, 압전효과는 유전체(dielectric) 또는 부전도 수정(nonconducting crystal)에 물리적압력을 적용한 결과이다.

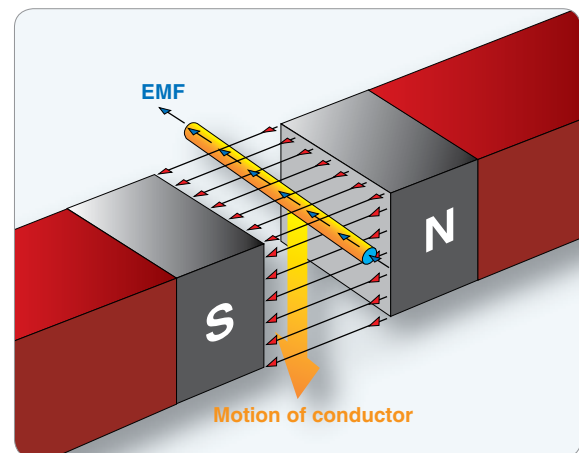
화학에너지를 전기로 변환하는 가장 일반적인 방법은 전지를 이용하는 것이다. 일차전지는 알칼리성의 전해액과 같은 화학용액에 2개의 서로 다른 금속을 이용하여 전기를 생산한다. 화학반응(chemical reaction)은 많은 전자를 자유롭게 하는 금속 사이에서 발생한다.

전기를 생성하기 위해 사용된 열은 열전효과(thermoelectric effect)를 일으킨다. 열전쌍(thermocouple)이라고 부르는 장치에 열이 가해지

면 전압이 생성된다. 열전쌍은 온도차에 관계된 전압을 발생시키는 서로 다른 2개 금속의 접합이다. 만약 열전쌍이 완성회로에 연결되면, 전류가 흐른다. 열전쌍은 가끔 실린더헤드온도계와 같은 온도감시시스템의 일부로서 항공기에서 찾아볼 수 있다.

전자기유도는 도선에 관계되는 자기장(magnetic field)을 움직여서 전압, 즉 기전력을 만드는 과정이다. 그림 2-6과 같이, 도선, 전선이 자기장에서 움직일 때, 기전력이 도선에서 발생한다. 만약 완성회로가 도선에 연결된다면, 전압 또한 전류흐름을 만들어 낸다.

그림 2-6과 같이, 단심(single conductor)은 전자기유도를 매개로 하여 많은 전압/전류를 만들지는 못한다. 단선 대신에, 전선의 코일이 강한 자석의 자기장을 통과하여 움직이면 더욱 큰 전기출력(electrical output)을 발생시킨다. 대부분의 경우에, 자기장은 강력한 전자석을 사용하여 만들어진 다. 일반적인 자석과 더욱 강한 자기장을 만들어내는 전자석의 특징 때문에 더욱 큰 전압/전류를 만들어 낸다.



[그림 2-6] Inducing an EMF in a conductor

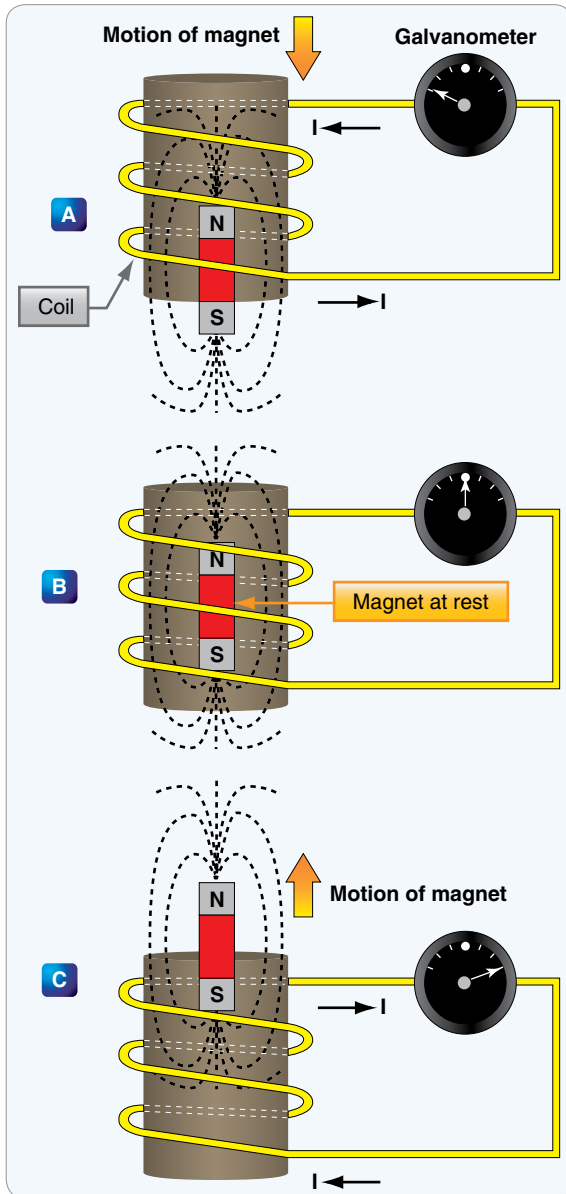


$$Power(P) = Current(I) \times Voltage(E)$$

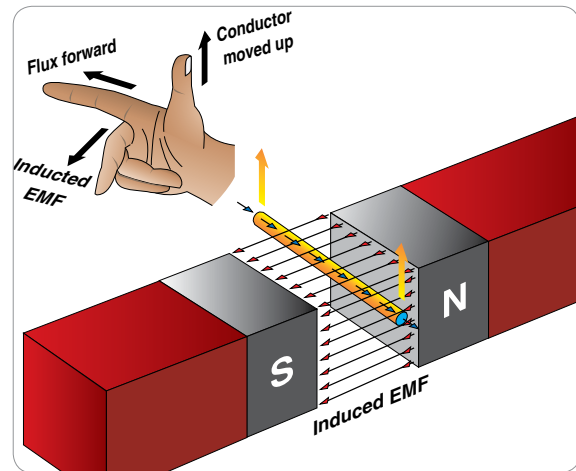
전압, 즉 전기압력은 전류, 즉 전자흐름을 만들어 내기 위해 있어야 한다는 것을 기억하라. 이 교재는 전력에 관해서 전압/전류를 자주 언급한다. 그

러므로 전자기유도의 과정을 통해 발전된 출력에너지는 항상 전압으로 구성된다. 또한 전류는 완성회로가 그 전압에 연결되었을 때의 결과이다. 전력은 전기압력 E, 즉 기전력과 전류 I 모두가 있을 때 생긴다.

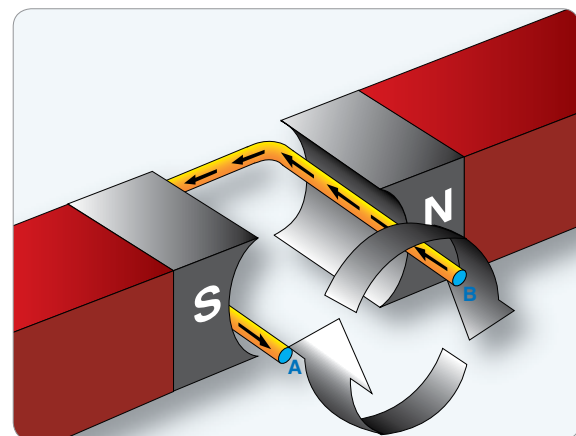
도선과 자기장 사이의 상대적인 운동이 도선에 전류를 흐르게 한다. 도선 또는 자석 중 어느 하나를 움직이거나 고정할 수 있다. 그림 2-7과 같이, 자석과 자석의 장(field)이 코일형도선(coiled



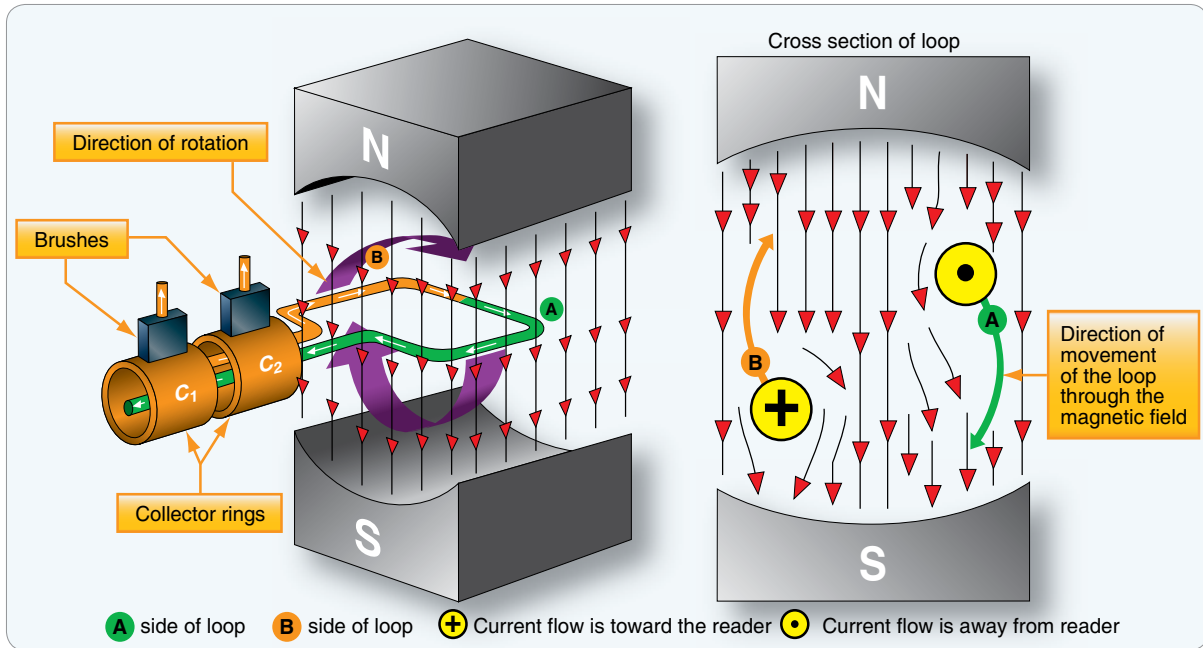
[그림 2-7] Inducing a current flow



[그림 2-8] An application of the generator right-hand rule



[그림 2-9] Voltage induced in a loop



[그림 2-10] Simple generator

conductor)을 관통하여 움직일 때, 특정한 극성을 가지고 있는 직류전압이 생성된다. 이 전압의 극성은 자석이 움직이는 방향과 자기장의 S극과 N극의 위치에 따라 결정된다.

그림 2-8과 같이, 발전기오른손법칙(right-hand rule)은 도선 내에 전류흐름의 방향을 결정하는 데 사용된다. 물론 전류흐름의 방향은 도선에서 유도된 전압의 극성과 관계된다.

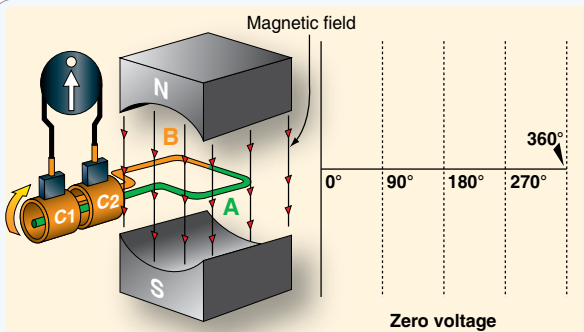
실제로는 전자기유도의 과정을 이용하여 전압/전류를 만들어주는 회전기가 필요하다. 일반적으로 모든 항공기에서 발전기 또는 교류기는 항공기에 쓰이는 전력을 생산하기 위해 전자기유도의 원리를 이용한다. 그림 2-9와 같이, 자기장이나 도선 모두 회전하여 전력을 만들어낼 수 있다. 항공기 엔진과 같은 기계장치로 이러한 회전을 일으킨다.

전자기유도의 과정에서, 유도전압/전류의 값은 세

가지 기본 요소에 따른다.

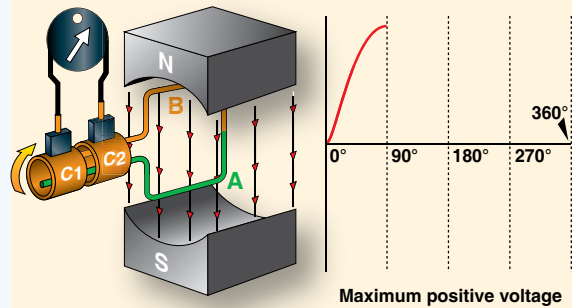
- ① 도선 코일의 회전수(loop)가 많을수록 더 큰 유도전압이 발생한다.
- ② 전자석(자기장)이 강하면 강할수록, 유도전압은 더 커진다.
- ③ 도선 또는 자석의 회전 속도가 빠를수록, 유도전압은 더 커진다.

그림 2-10에서는 전압을 발생시키기 위해 사용된 회전 기계장치에 대해 설명하고 있다. 이러한 장치는 A와 B로 표시된 N극과 S극 사이의 회전루프(rotating loop)로 이루어진다. 루프의 끝단은 2개의 금속 슬립링(slip-ring), 즉 집전고리(collector ring), C₁과 C₂에 연결된다. 전류는 슬립링에서 브러시를 통하여 나온다. 만약 루프가 전선 A와 B로 분



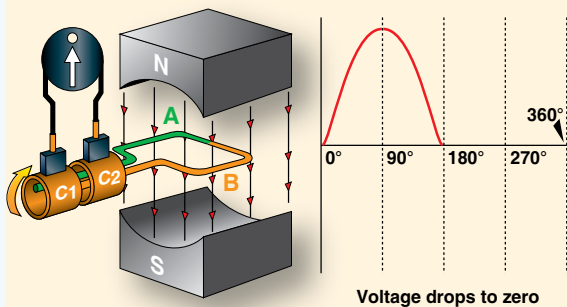
Position 1

Rotating conductors moving parallel to magnetic field, cutting minimum lines of force.



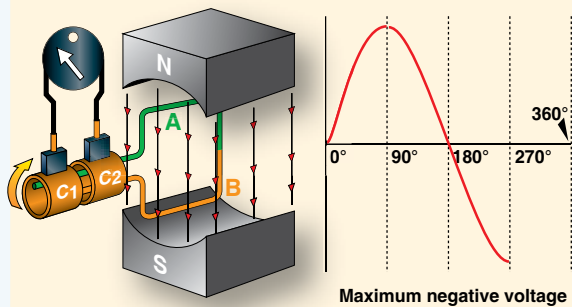
Position 2 Quarter turn completed

Conductors cutting directly across the magnetic field as conductor A passes across the north magnetic pole and B passes across the S pole.



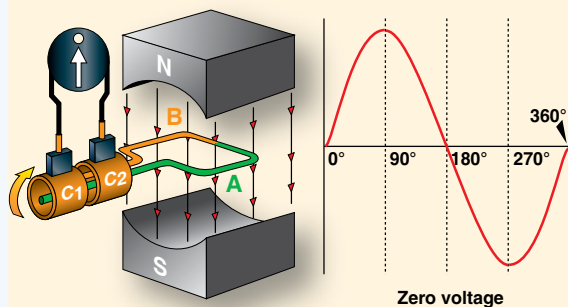
Position 3 One half turn completed

Conductor again moving parallel to magnetic field, cutting minimum lines of force.



Position 4 Three quarters turn completed

Conductors again moving directly across magnetic field A passes across south magnetic pole and B across N magnetic pole.



Position 5 Full turn completed

Conductor A has made one complete cycle and is in same position as in position A. The generator has generated one complete cycle of alternating voltage or current.

[그림 2-11] Generation of a sine wave

리된 것이라면, 발전기에 대한 오른손법칙(right-hand rule)을 적용하고, 이때 전선 B가 자기장(field)을 가로질러 위쪽으로 이동할 때, 전압은 전류가 독자의 반대 방향으로 흐르도록 유도한다는 것을 알 수 있다. 전선 A가 자기장을 가로질러 아래쪽으로 이동할 때, 전압은 전류가 독자 쪽으로 흐르도록 유도한다. 전선이 루프로 형성되면, 루프의 양쪽에서 유도된 전압은 합쳐질 수 있다. 그러므로 자기장이 회전할 때, 도선 A 또는 도선 B의 작용은 루프의 작용과 유사하다고 볼 수 있다.

그림 2-11에서는 자기장에서 회전하는 간단한 루프 도선으로 교류(AC, alternating current)의 발생을 설명한다. 루프가 반시계방향으로 회전할 때, 전압의 변화가 전도성루프 내에 유도된다.

Position 1

도선 A는 자력선과 평행하게 움직인다. 도선은 자력선을 전혀 절단하지 않기 때문에, 유도전압은 영(Zero)이다. 도선이 Position 1에서 Position 2로 움직일 때, 유도전압은 서서히 증가한다.

Position 1

도선은 지금 선속(flux)에 직각을 이루며 움직이고 있고, 자력선의 최대수를 절단하게 되므로, 최대 전압이 유도된다. 도선이 Position 2를 지나 움직일 때, 도선은 매 순간 감소되는 선속의 양을 절단하고, 따라서 유도전압은 감소한다.

Position 3

이 지점에서, 도선은 회전운동의 1/2을 하였고 도선은 다시 자력선에 평행하여 움직여 전압은 도선

에서 유도되지 않는다. 도선 A가 Position 3을 지날 때, 유도전압의 방향은 도선 A가 아래쪽방향으로 움직이고, 반대 방향에서 선속을 절단하기 때문에, 바로 반대로 된다. 도선 A가 남극을 가로질러 움직일 때, Position 4에 도달할 때까지, 유도전압은 서서히 증가한다.

Position 4

Position 2에서와 같이, 도선은 다시 선속에 직각을 이루며 움직이고 있고 음의 최대전압을 발생한다. Position 4에서 Position 5로 도선이 움직이는 동안, 유도전압은 전압이 영(Zero)일 때까지 서서히 감소하고, 그리고 도선과 파(wave)는 새로운 순환의 시작을 준비한다.

Position 5

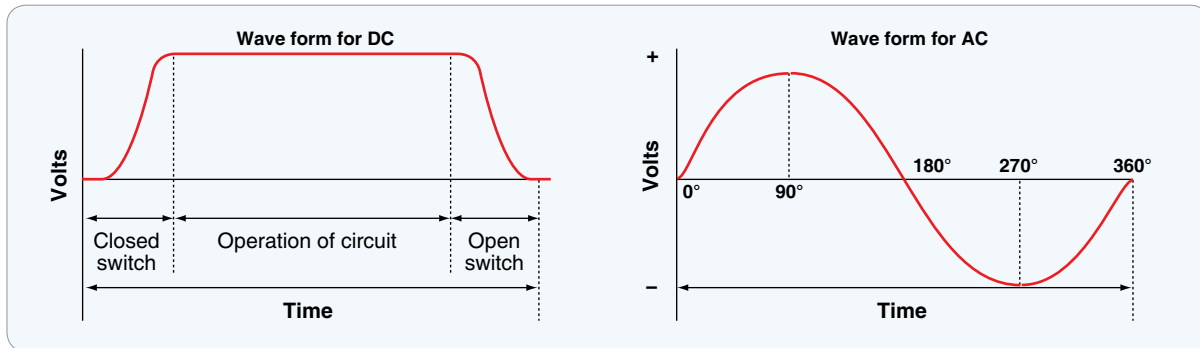
Position 5에서 보여주는 곡선은 사인파(sine wave)라고 부른다. 사인파는 발생전압의 순간값 극성과 크기를 나타낸다. 수평기선은 도(degree), 또는 시간으로 구분되고, 수평기선의 위쪽 또는 아래쪽에 수직거리(vertical distance)는 루프 회전에 각각 특정한 지점의 전압의 값을 나타낸다.

교류기와 발전기 모두의 상세한 작동원리는 나중에 소개한다.

2.1.6 교류 소개

(Alternating Current Introduction)

교류 전기시스템은 대부분 다발항공기, 고성능터빈항공기, 그리고 운송분류 항공기에서 찾아볼 수 있다. 교류는 산업과 가정의 전원으로 사용되는 것



[그림 2-12] DC and AC voltage curves

과 동일한 형태의 전기이다. 직류는 경량항공기와 자동차와 같이, 배터리전원을 사용하는 시스템에 이용된다. 항공기 전기시스템은 직류전력보다 교류전력을 이용할 때 많은 이점이 있다.

교류는 전압을 변압기를 이용하여 승압하거나 감압할 수 있기 때문에, 직류보다 더욱 쉽고 경제적으로 장거리 송전을 할 수 있다. 항공기, 특히 대형운송분류 항공기에서 점점 더 많은 부품이 전기로 작동되는 이유는 교류를 통해 동력소요가 줄어드는 이점 때문에 실현될 수 있는 것이다. 특히 전동기와 같은 교류장치는 직류장치보다 더 작고 간단하기 때문에 공간과 무게를 절약할 수 있다. 대부분 교류전동기에서는 브러시가 필요하지 않으며 직류전동기보다 정비 횟수가 적다. 직류시스템에서는 아크의 발생으로 인해 회로차단기를 자주 교체하여야 하는 반면, 교류시스템에서는 부하가 걸린 상태에서도 만족스럽게 작동한다. 마지막으로, 24[V] 직류시스템을 사용하는 대부분 비행기는 일정 양의 400[cycle] 교류전류를 필요로 하는 특별한 장비를 갖추고 있다. 이런 항공기를 위해 직류를 교류로 변환시켜주는 인버터(inverter)라고 부르는 장비가 사용된다. 인버터는 이 책 후반에 서술된다.

교류는 이름에서 알 수 있듯이 값과 극성이 주기적으로 변화하는 것이다. 그림 2-12에서는 직류와 교류를 비교하여 보여준다. 직류의 극성은 절대로 변하지 않지만, 교류에서는 극성과 전압이 주기적으로 변한다. 교류순환(AC cycle)은 주어진 간격이 반복되는 것임을 주목해야 한다. 교류는 전압과 전류 모두 영(Zero)에서 시작하여 증가하다가 최고점에 도달한 후 감소하며 극성을 반대로 한다. 이를 그려보면 교류파형을 볼 수 있다. 이 파형을 사인파라고 부른다.

2.1.6.1 용어 정의(Definitions)

(1) 교류의 값(Values of AC)

교류에서 전압과 전류 모두에 적용되는 세 가지 값이 있다. 순간값(instantaneous value), 최고값(peak value), 그리고 유효값(effective value)이라고 부르며 이 값들은 사인파를 규정하는 데 도움이 된다. 이 값들은 모든 교류회로(AC circuit)에서 전압과 전류에 적용된다.

(2) 순간값

순간값은 교류파에 따르는 어떤 순간에서의 값이

다. 사인파는 연속된 순간값을 나타낸다. 전압의 순간값은 0° 의 영(Zero)부터 90° 의 최대값까지, 180° 에서 다시 영(Zero)으로 감소되고, 270° 에서 반대방향으로 최대값까지, 그리고 360° 에서 다시 영(Zero)로 바뀐다. 사인파 상의 어느 한 지점 또한 전압의 순간값으로 간주된다.

(3) 최고값

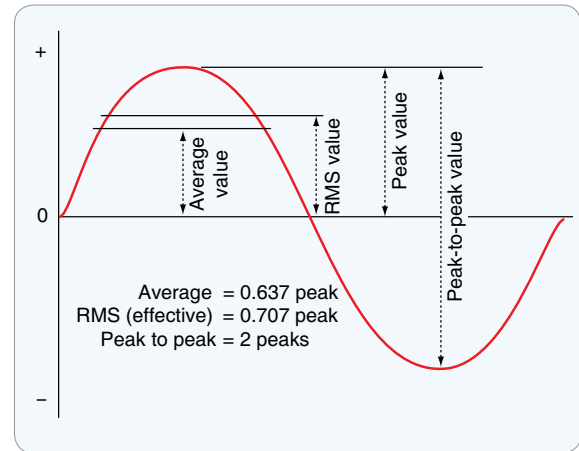
최고값은 가장 큰 순간값이다. 가장 큰 하나의 양의 값은 사인파가 90° 에 도달할 때 나타나고, 그리고 가장 큰 하나의 음의 값은 사인파가 270° 에 도달할 때 나타난다. 비록 교류사인파를 이해하는 데 중요하지만 최고값은 항공정비사에 의해 드물게 사용된다.

(4) 유효값

전압에 대한 유효값은 항상 사인파의 최고값, 즉 최대값보다 적고 동일한 값의 직류전압에 가깝다. 예를 들어, $24[V]$ 와 $2[A]$ 의 교류회로는 $24[V]$ 와 $2[A]$ 의 직류회로에서 저항기를 통해 동일한 열을 발생시킨다. 유효값은 수학적 방법을 사용하여 Root Mean Square 또는 RMS값으로 알려져 있다.

대부분 교류계측기는 교류의 유효값을 나타내며, 대부분의 경우 시스템 또는 장비의 정격전압과 정격전류는 유효값이 주어진다. 다시 말해, 산업정격은 유효값에 근거한다. 특정한 경우에만 최고값과 순간값을 사용한다. 교류에서 전류 또는 전압에 대해 주어진 값은 다른 방법으로 명시되지 않았다면 유효값으로 본다. 실질적으로 전압과 전류의 유효값만을 사용한다.

유효값은 최고값, 즉 최대값의 0.707배이다.



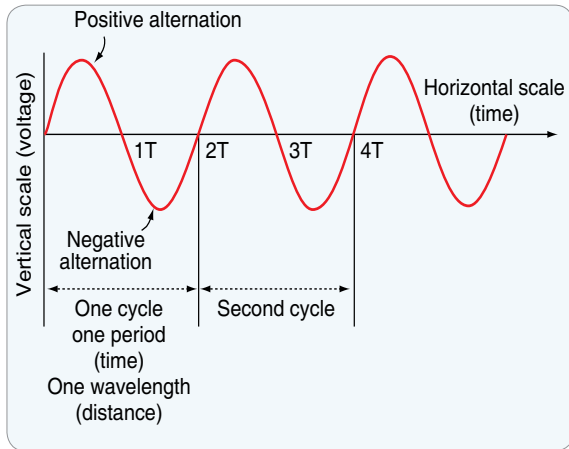
[그림 2-13] Values of AC.

반대로 최고값은 유효값에 1.41배이다. 그러므로 교류에 주어진 $110[V]$ 값은 이 전원의 최고전압의 0.707배이다. 최대전압은 약 $155[V]$ ($110 \times 1.41 = 155[V]$)이다.

그림 2-13에서 보여주는 것과 같이, 얼마나 자주 교류파형이 반복되는지는 교류주파수로 알 수 있다. 주파수는 일반적으로 cycle per second(cps) 또는 hertz[Hz]로 측정된다. 1[Hz]는 1[cps]와 같다. 사인파가 한 번 순환하기 위해 필요한 시간을 주기(period, P)라 한다. 주기의 단위로 second, millisecond, 또는 microsecond 등을 사용한다. 주기는 항상 순환이 교류발전기의 회전에서 360° 에 관계되는 것처럼, 360° 에 완성된다는 것을 말한다.

(5) 순환(Cycle)

순환은 패턴이 완성되는 것이다. 전압 또는 전류가 연속된 변화를 거쳐 결국 출발점으로 되돌아가고, 다시 똑같은 연속된 변화를 시작하게 되는데, 이러한 것을 순환이라 한다. 그림 2-14는 전압값을



[그림 2-14] Cycle of voltage.

도표로 나타낸 것이다. 그림에서는 완전한 교류순환이 나타난다. 한 번의 순환은 사인파 또는 360°라고 말한다. 이것은 전압이 영(Zero)인 사인파에서 시작하는 것이다. 이때 전압은 양의 최대값으로 증가한 후, 영의 값으로 감소하고, 음의 최대값으로 증가하고, 다시 영으로 감소한다. 순환은 전압을 더 이상 이용할 수 없을 때까지 반복한다. 완전순환으로 두 가지의 교번이 있는데, 양의 교번(positive alternation)과 음의 교번(negative alternation)이다. 전압의 극성은 매 반순환(half-cycle)마다 반대로 한다는 것에 주목한다. 그러므로 양의 반순환시에 전자흐름이 한쪽 방향으로 흐른다면 음의 반순환시에 전자는 방향을 반대로 하고 회로를 통해 반대쪽으로 흐른다.

(6) 주파수(Frequency)

주파수는 1[sec]당 교류의 순환의 횟수이다. 그림 2-15와 같이, 주파수측정의 기본단위는 hertz[Hz]이다. 발전기에서, 전압과 전류는 코일 또는 도선이 자석의 북극과 남극 아래로 지나갈 때마다 완전순환

의 값을 거쳐 지나간다. 코일 또는 도선의 매 회전운동마다 순환의 횟수는 극의 한 쌍의 수와 같다. 주파수는 한 번 회전운동의 순환의 횟수에 초당회전수를 곱한 것과 같다.

(7) 주기(Period)

한 번의 전순환(full cycle)을 완성하기 위한 사인파에서 요구된 시간은 주기라고 부른다. 그림 2-14와 같이, 사인파의 주기는 주파수에 반비례한다. 즉, 주파수가 커지면 커질수록, 주기는 더 짧아진다. 주파수와 주기 사이에 수리적 관계는 다음과 같이 주어진다.

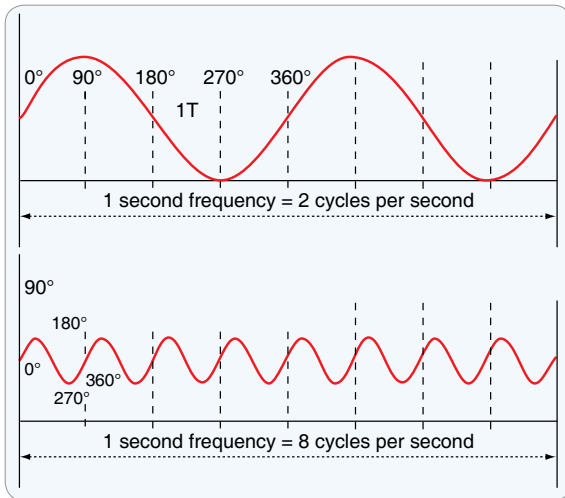
$$Period: t = \frac{1}{f} \quad Frequency: f = \frac{1}{t}$$

(8) 파장(Wavelength)

파형이 한 번의 주기 동안 이동한 거리를 일반적으로 파장이라고 하며 그리스 문자 람다[Lambda(λ)]로 나타낸다. 파장은 다음 공식으로서 주파수에 관계된다.

$$\frac{Wave\ Speed}{Frequency} = Wavelength$$

주파수가 높으면 높을수록, 파장은 더 짧아진다. 그림 2-14와 같이, 파장은 파형의 하나의 지점에서 다음 번 파형에 대응점까지의 길이를 말한다. 파장은 거리이기 때문에, 측정의 일반적인 단위는 meter, centimeter, millimeter, 또는 nanometer이다. 예를 들어, 주파수 20[Hz]의 음파는 17[m]의 파장을 갖고 눈에 보이는 4.3×10^{-12} [Hz]의 적색광파는 개략적으로 700[nanometer]의 파장을 갖는다.



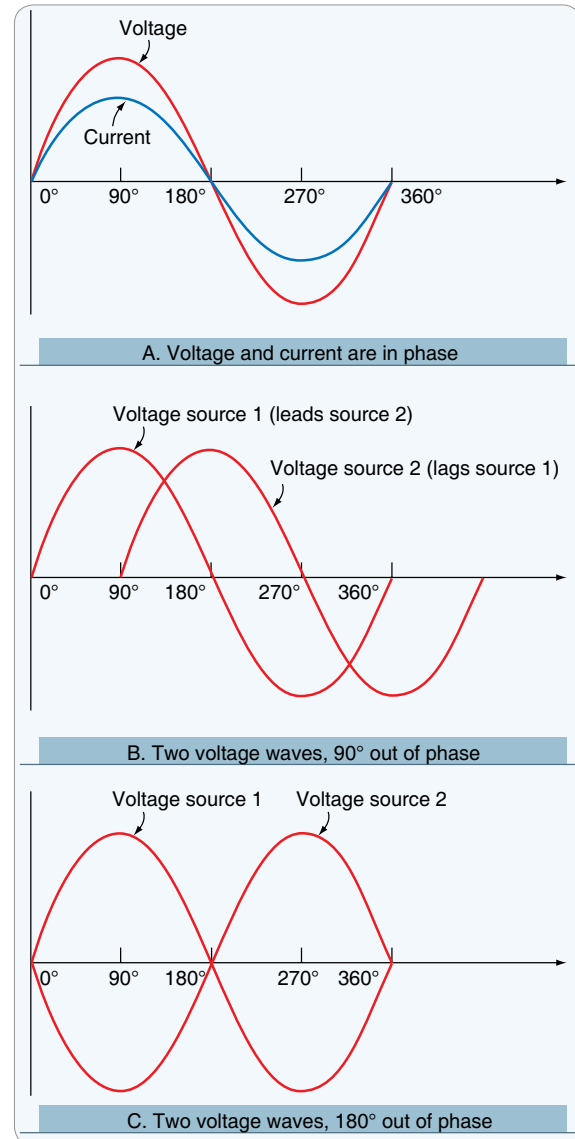
[그림 2-15] Frequency in cycles per second

다. 실제의 파장은 파형이 통과하는 매질에 따라 달라진다.

(9) 위상 관계(Phase Relationships)

위상은 일반적으로 각도(degree)로 측정되는 2개의 사인파 사이의 관계이다. 예를 들어, 만약 전력을 생산하는 2개의 서로 다른 교류기가 있다면, 그들 각각의 사인파를 비교하여 그들의 위상관계를 쉽게 결정할 수 있다. 그림 2-16의 B에서, 2개의 전압 파형 사이에 90° 위상차(phase difference)가 있는 것을 볼 수 있다. 위상관계는 어떤 2개의 사인파 사이에 있을 수도 있다. 위상관계는 서로 다른 교류기 또는 동일한 교류기에 의해 생산된 두 개의 전류와 전압 사이에서 측정될 수 있다.

그림 2-16의 A에서는 동일한 시간 축에 겹쳐 놓은 전압신호와 전류신호를 보여준다. 전압이 (+)교번으로 증가할 때 전류도 역시 증가하여, 전압이 최고값에 도달할 때, 전류 또한 최고값에 도달하게 된다. 이후 두 파형은 영(Zero) 크기로 다시 감소하고,



[그림 2-16] In-phase and out-of-phase conditions

양의(+) 방향으로 증가했을 때와 같이 음의(-) 방향에서 동일한 방식으로 파형이 진행된다. 2개의 파가 실제로 서로 일치하여 있을 때, 그들은 동상(in-phase)이라고 말한다. 동상의 상태에서, 2개의 파형은 동시에 그리고 동일한 방향으로 그들의 최대점과 최소점을 지나야 한다.



2개의 파형이 서로 다른 시간에 그들의 최대점과 최소점을 지날 때, 위상차는 2개의 파형 사이에 존재할 것이다. 이 경우, 두 파형은 서로에 대해 이상(out-of-phase)의 상태에 있다고 한다. 앞섬(lead)과 뒤짐(lag)은 파형 사이의 위상차를 설명하기 위한 용어이다. 최대값 또는 최소값에 먼저 도달한 파형은 다른 파형에 앞선다고 할 수 있다. 그림 2-16의 B에서는 ‘이상’의 관계를 보여준다. 하나의 전압원은 0° 위치에서 올라가기 시작하고 두 번째 전압원은 90° 위치에서 올라가기 시작한다. 하나의 전압원이 두 번째 전압원에 비하여 더 높은 위치에서 증가하기 시작했기 때문에, 첫 번째 전압원은 두 번째 전압원을 앞서고 있으며, 반대로 두 번째 전압원은 첫 번째 전압원에 뒤지고 있다. 파형이 앞섬 또는 늦음이라고 말할 때, 도(degree)를 이용하여 그 차이를 설명한다. 만약 2개의 파형이 360°로 서로 다르다면, 그들은 서로 동상의 상태에 있는 것이다. 그림 2-16의 C와 같이, 만약 2개의 신호 사이에 180° 차이가 있다면, 이때 비록 이들이 동시에 최소값과 최대값에 모두 도달하고 있지만 이상에 상태에 있다고 말한다.

2.1.7 교류 전류의 방해

(Opposition to Current Flow of AC)

교류회로에서 전자의 흐름, 즉 전류를 방해하는 세 가지 요인이 있다. 직류회로와 같이, 저항은 옴(ohm)의 단위로 주파수에 관계없이 교류에 영향을 미친다. 반면, 유도리액턴스(inductive reactance)와 용량리액턴스(capacitive reactance)는 직류회로에서는 일어나지 않으며, 오직 교류회로에서만 전

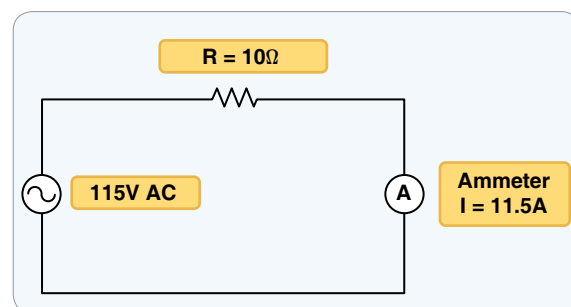
류의 흐름을 방해한다. 교류는 일정하게 방향과 강도가 변하기 때문에, 인덕터(inductor)와 커패시터(capacitor)는 교류회로에서 전류흐름의 방해를 만들어낸다. 또한 유도리액턴스와 용량리액턴스는 교류회로에서 전압과 전류 사이에 위상변이를 일으킨다. 교류회로를 분석할 때 저항, 유도리액턴스, 그리고 용량리액턴스를 고려하는 것은 매우 중요하다. 세 가지 모두 교류회로의 전류에 영향을 준다.

2.1.7.1 저항(Resistance)

저항은 직류회로와 마찬가지로 교류회로에서도 전류를 방해한다. 교류회로의 저항을 통과하는 전류는 그 회로의 가해진 저항에 반비례하고 전압에 정비례한다. 방정식 $I=E/R$ 과 $E=I \times R$ 은 전류와 전압, 저항과의 관계를 보여준다. 교류회로에서 저항은 전압과 전류 사이에 위상변이를 만들어내지 않는다는 것에 주목해야 한다.

그림 2-17에서는 10[Ω]의 회로에 115[V]의 교류 저항회로를 통과하여 11.5[A]의 전류흐름이 어떻게 흐르는지 보여준다.

$$I = \frac{E}{R} = \frac{115[V]}{10[\Omega]} = 11.5[A]$$



[그림 2-17] Resistance

2.1.7.2 유도리액턴스(Inductive Reactance)

전선의 코일을 통과하여 자석이 이동할 때, 전압이 코일에 유도된다. 완성회로가 이루어졌을 때에도 전류가 유도될 것이다. 유도전압(induced voltage)의 크기는 코일에 대한 자기장의 변화율에 정비례한다.

결론적으로, 전선의 코일을 통과하여 흐르는 전류는 자기장을 만들어낸다. 이 전선이 코일로 형성되었을 때, 그것은 기본적인 인덕터가 된다.

코일의 일차효과는 코일을 통과하여 전류에서 어떤 변화에 저항하는 속성이다. 이 속성은 유도용량(inductance)이라고 부른다. 전류가 어떤 도선을 통과하여 흐를 때, 자기장은 전선의 중심으로부터 확장되기 시작한다. 자력선이 도선을 통과하여 바깥쪽 방향으로 나아갈 때, 도선 자체에 기전력을 유도한다. 유도전압은 항상 전류흐름의 방향의 반대방향이다. 이 역기전력(countering emf)의 효과는 현재 전류의 흐름을 방해하는 것이다. 이 효과는 일시적인 현상이다. 전류가 도선에서 안정된 값에 도달하는 경우, 자력선은 더 이상 확장하지 않을 것이고 역기전력 또한 더 이상 나타나지 않을 것이다. 교류는 값이 끊임없이 변화하고 있기 때문에, 순환하여 반복하는 유도용량은 항상 인가전압에 반대이다. 유도용량을 측정하는 단위가 henry(H)라는 것에 주목해야 한다.

다음은 유도용량에 영향을 미치는 물리인자이다.

(1) 권회수

동일한 양의 전류가 흐를 때, 코일의 권회수를 2배로 하면, 전계는 2배로 강하게 일어난다. 일반적으로, 유도용량은 권회수의 제곱으로 변화한다.

(2) 코일의 단면적

코일의 유도용량은 중심의 단면적이 증가하면 즉시 증가한다. 코일의 반경을 2배로 하면 4배 만큼 유도용량을 증가시킨다.

(3) 코일의 길이

동일한 권회수를 유지하면서, 코일의 길이를 2배로 하면 유도용량은 1/2로 줄어든다.

(4) 코어 재료

코일은 자성체 또는 비자성체에 감겨져 있다. 비자성체는 공기, 구리, 플라스틱, 유리 등이다. 자성체는 자력선에 대해 좋은 경로를 마련하고 더 강한 자기장을 일으키는 물체로 니켈, 철, 강, 또는 코발트 등이 있다.

$$X_L = 2\pi fL$$

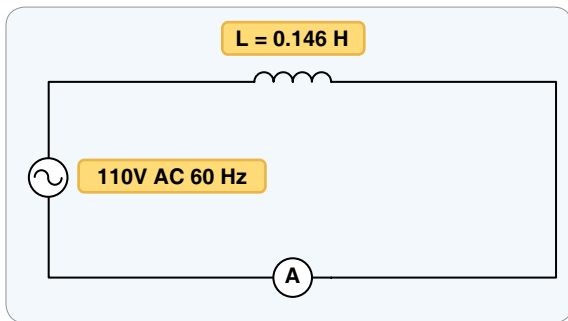
교류는 상수상태가 변화하기 때문에, 인덕터 내에서 자기장 또한 지속적으로 변화하는 유도전압/유도전류를 만들어낸다. 이 유도전압은 인가전압을 방해하는 역기전력으로 알려져 있다. 이 방해를 유도리액턴스라고 부르며, X_L 부호로 나타내었고, 그리고 옴(ohm)으로 측정된다. 인덕터의 이런 특성은 또한 회로의 전압과 전류 사이에 위상변이를 만들어낸다. 유도리액턴스에 의해 만들어진 위상변이는 항상 전압으로 하여금 전류를 앞서게 한다. 즉, 유도성회로(inductive circuit)의 전압은 전류가 최고값에 도달하기 전에 전압의 최고값에 도달한다. 위상변이에 대한 추가적인 설명은 이 장 후반에 설명된다.



유도용량은 전류의 변화를 반대하는 회로의 성질이며 henry단위로 측정된다. 유도리액턴스는 회로에 얼마나 많은 역기전력이 인가전류에 반대하는지의 척도이다. 유도리액턴스는 구성요소의 유도용량과 회로에 인가주파수에 정비례한다. 유도용량이나 인가주파수가 증가하면 유도리액턴스는 마찬가지로 증가하고 회로에서 전류를 더 방해한다. 관계는 다음과 같다. X_L 은 회로의 유도리액턴스, 단위는 ohm이고, f 는 주파수이며 단위는 [cycle/sec]이다. 그리고 $\pi = 3.1416$ 이다.

그림 2-18에서, 교류직렬회로(AC series circuit)는 유도용량 0.146[H], 주파수 60[Hz]에 전압은 110[V]를 보여준다. 유도리액턴스는 다음 방법에 의해 결정된다.

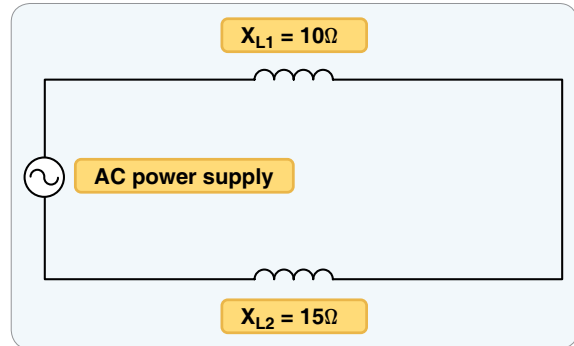
$$X_L = 2\pi \times f \times L = 2 \times 3.14 \times 60 \times 0.146 = 55[\Omega]$$



[그림 2-18] AC circuit containing inductance

그림 2-19와 같이, 교류직렬회로에서, 유도리액턴스는 직류회로에서 직렬로 저항과 같이 추가되었다. 회로에서 전체리액턴스는 각각의 유도저항의 합과 같다.

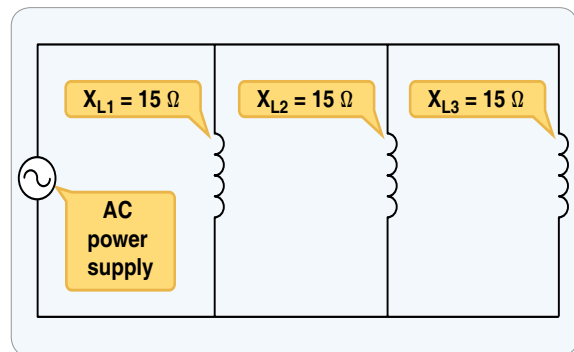
$$X_L = X_{L1} + X_{L2} = 10 + 15 = 25[\Omega]$$



[그림 2-19] Inductances in series

그림 2-20과 같이, 병렬로 연결된 인덕터의 전체 유도저항은 병렬회로(parallel circuit)에서 전체 저항과 동일한 방법으로 구한다. 그러므로 병렬로 연결된 유도용량의 전체 유도저항은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} X_{LT} &= \frac{1}{\frac{1}{X_{L1}} + \frac{1}{X_{L2}} + \frac{1}{X_{L3}}} \\ &= \frac{1}{\frac{1}{15} + \frac{1}{15} + \frac{1}{15}} \\ &= 5[\Omega] \end{aligned}$$



[그림 2-20] Inductances in parallel

2.1.7.3 용량 리액턴스(Capacitive Reactance)

정전용량(capacitance)은 전하(electric charge)를 잡아두는 물체이다. 일반적으로 커패시터는 절연체로서 격리된 2개의 평행판으로 이루어진다. 절연체는 일반적으로 유전체(dielectric)라고 부른다. 커패시터의 판은 전압원에 의해 충전되었을 때 전자를 저장하는 능력을 갖고 있다. 커패시터는 인가전압이 더 이상 존재하지 않을 때 방전되고 전류경로에 연결된다. 전기회로에서, 커패시터는 전기를 위한 저장소 또는 창고로서 역할을 한다.

정전용량의 기본단위는 패럿(farad)이며 문자 F로 표시된다. 1[farad]는 커패시터의 판에 걸쳐 1[V]로 저장된 1[coulomb]의 전하이다. 1[farad]는 많은 양의 정전용량이며, 실제 전자공학에서 이보다 더 작은 단위가 사용된다. 그 단위는 10^{-6} [farad] 인 microfarad[μ F]와 10^{-12} [farad] 인 picofarad[pF]이다.

정전용량은 커패시터의 물리적 성질이다.

- (1) 평행판의 정전용량은 판의 면적에 정비례한다.
판의 면적이 클수록 더 큰 정전용량을 만들어내고, 판의 면적이 작을수록 더 적은 정전용량을 만들어낸다. 만약 판의 면적을 2배로 한다면, 2배로 많은 전하를 위한 공간이 있는 것이다.
- (2) 평행판의 정전용량은 판 사이에 거리에 반비례한다.
- (3) 유전체는 평행판의 정전용량에 영향을 준다.
진공에서 유전율(dielectric constant)은 1이고, 공기는 1에 아주 가깝다. 다른 재료들은 모두 공기(또는 진공)에 비교하여 특정한 값을 갖는다.

그림 2-21과 같이, 교류가 회로에 가해졌을 때, 판의 전하는 끊임없이 변화한다. 이것은 전기가 처음에 Y에서 X로 돌아서 시계방향으로 흐르고, 그다음에 X에서 Y로 돌아서 반시계방향으로, 다시 Y에서 X로 돌아서 시계방향으로 흐르는 것을 계속한다. 비록 전류가 커패시터의 판 사이에 절연체를 통해 흐르지 않을지라도, 전류는 X와 Y 사이에 나머지 회로에서 끊임없이 흐른다. 이 전류가 커패시터를 왔다갔다 교류할 때, 시간지연이 발생한다. 커패시터가 저항을 통해 충전하거나 또는 방전할 때, 완전 충전 또는 완전방전을 위해 어느 정도의 시간이 요구된다. 커패시터에 걸린 전압은 순간적으로 변화하지 않는다. 충전 또는 방전의 비율은 회로의 시상수(time constant)에 따라 결정된다. 충전을 또는 방전을 용량리액턴스이고 교류회로에서 전류흐름에 방해로 일으킨다. 용량리액턴스는 X_C 부호로 나타내지고 옴(ohm)으로 측정된다. 커패시터의 이런 특성은 회로의 전압과 전류 사이에 위상변이를 일으킨다. 용량리액턴스에 의해서 발생된 위상변이는 항상 전류로 하여금 전압을 앞서게 한다. 즉, 용량성회로(capacitive circuit)의 전류는 전압이 최고값에 도달하기 전에 최고값에 도달한다.

용량리액턴스는 용량성회로가 얼마나 많이 인가전류 흐름에 저항하는지에 대한 척도이다. 회로의 용량리액턴스는 회로의 정전용량과 회로의 인가주파수에 반비례한다. 정전용량 또는 인가주파수 중 어느 것 하나가 증가하면, 반대로 용량리액턴스는 감소한다. 이 관계는 다음과 같이 주어진다.

여기에서 X_C =용량리액턴스, f =c.p.s[cycle/second]로 나타낸 주파수, C =farad로 나타낸 정전용량이다.



$$X = \frac{1}{2\pi fC}$$

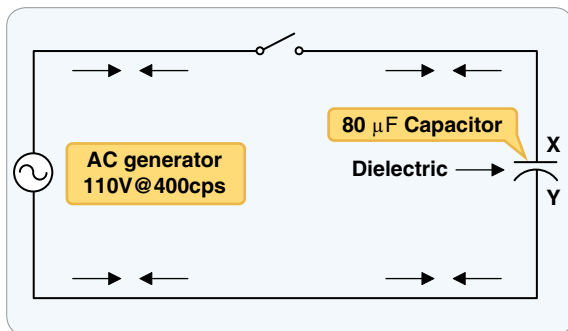
그림 2-21에서, 인가전압이 110[V], 400[cps]이고, 그리고 콘덴서의 정전용량이 80[μF]인 직렬회로를 보여준다. 용량리액턴스와 흐르는 전류를 구한다.

$$X = \frac{1}{2\pi fC}$$

용량리액턴스를 구하기 위하여 다음 방정식을 이용한다.

먼저 정전용량, 80[μF]을 80을 1,000,000으로 나누어 farad로 고친다. 그 이유는 백만 microfarad가 1[F]이기 때문이다. 0.000080[F]를 식에 대입하면

$$X = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 400 \times 0.000080} = 4.97[\Omega]$$



[그림 2-21] Capacitor in an AC circuit

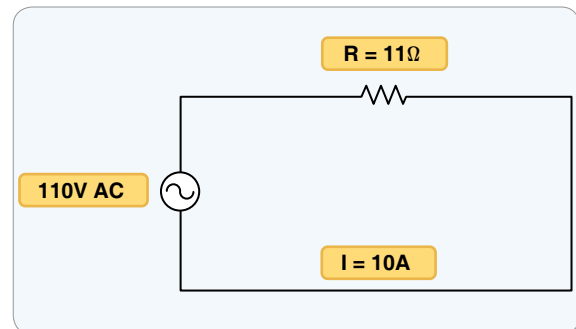
2.1.7.4 임피던스(Impedance)

교류회로에서 전류흐름의 전체방해를 임피던스라고 부르고 문자 Z로 표시한다. 다시 말해, 저항, 유도리액턴스, 그리고 용량리액턴스의 합을 교류회로에서 임피던스라 한다. 교류회로에서 전압과 전류를

정확하게 계산하기 위해서는 저항과 함께 유도용량과 정전용량의 영향이 고려되어야 한다. 임피던스는 옴(ohm)으로 측정된다.

직류회로에 대한 법칙과 방정식은 회로에 유도용량과 정전용량이 없고 단지 저항만이 있을 때에만 교류회로에 적용한다. 직렬회로와 병렬회로 모두, 회로가 저항으로만 구성되어 있다면, 임피던스의 값은 저항과 같고, 교류회로에 대한 옴의 법칙, $I=E/Z$ 는 실제로 직류회로와 같다. 그림 2-22에서는 110[V] 전원이 연결된 11[Ω]의 저항으로서의 발열체를 포함하는 직렬회로를 보여준다. 만약 110[V] 교류가 가해진다면, 전류흐름은 얼마인지 알아보자.

$$I = \frac{E}{R} = \frac{110[V]}{11[\Omega]} = 10[A]$$



[그림 2-22] Applying DC and AC to a circuit

그림 2-23과 같이, 교류전압에 병렬로 연결된 2개의 저항값이 있다면, 임피던스는 회로의 전체저항과 같다. 만약 그것이 직류회로이면 동일하게 취급하여 계산한다.

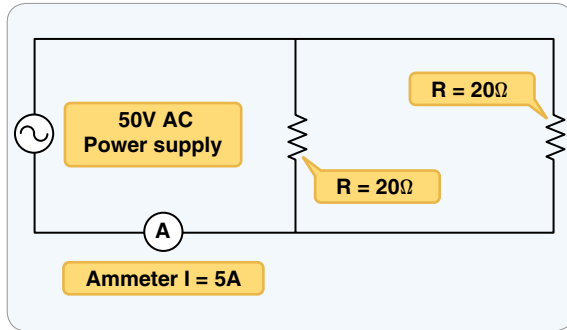
$$X_{LT} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{1}{\frac{1}{20} + \frac{1}{20}} = 10[\Omega]$$

이것은 순수한 저항회로이었기 때문에 $R_T = Z$, 즉 저항=임피던스이다.

$$Z_T = R_T = 10[\Omega]$$

방정식을 이용하여 회로에 흐르는 전류를 구해본다.

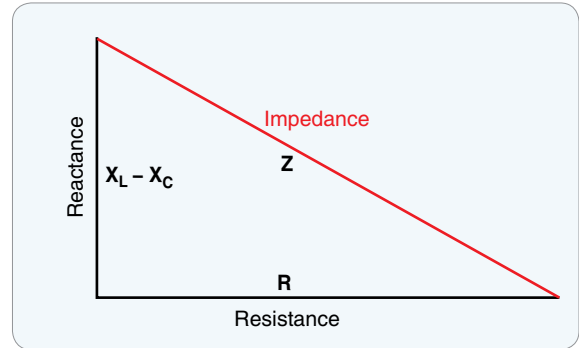
$$I = \frac{E}{Z} = \frac{50[V]}{10[\Omega]} = 5[A]$$



[그림 2-23] Two resistance values in parallel connected to an AC voltage

임피던스는 교류회로에서 흐르는 전류의 전체 방해량이다. 만약 회로가 유도용량 또는 정전용량을 갖고 있다면, 임피던스(Z)를 구하기 위해 저항(R), 유도리액턴스(X_L), 그리고 용량리액턴스(X_C)를 모두 고려해야 한다.

이 경우에 Z 는 R_T 와 같지 않다. 저항과 유도리액턴스 또는 용량리액턴스는 직접 합할 수 없지만, 저항과 유도저항은 서로에 직각으로 작용하는 두 가지 힘으로 생각할 수 있다. 그러므로 그림 2-24와 같이, 저항, 유도저항, 그리고 임피던스 사이의 관계는 직각삼각형으로 설명할 수 있다. 이 세 가지는 직각삼각형의 변에 관계되기 때문에, 임피던스를 구하는 공식은 피타고라스 정리(Pythagorean



[그림 2-24] Impedance triangle

theorem)를 이용하여 구할 수 있다. 빗변의 제곱은 다른 두 변의 제곱을 더한 것과 같다. 그러므로 다른 두 변을 알 때 직각삼각형의 나머지 한 변의 값을 구할 수 있다.

그림 2-25와 같이, 만약 직렬교류회로가 저항과 유도용량을 포함하고 있다면, 양변 사이에 관계는

$$Z^2 = R^2 + (X_L - X_C)^2$$

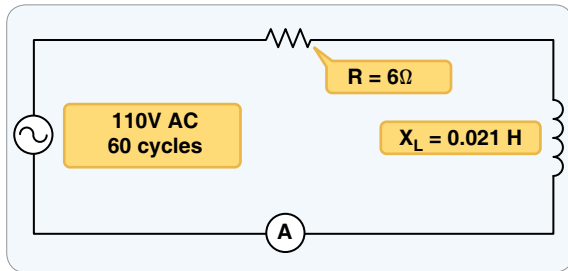
주어진 방정식의 양변의 제곱근을 구하면

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

이 공식은 유도리액턴스와 저항의 값이 알려졌을 때 임피던스를 결정하기 위해 사용할 수 있다. 그것은 공식에서 X_L 대신에 X_C 로 대치하여 용량리액턴스와 저항을 포함하는 회로에서 임피던스를 풀기 위해 응용할 수 있다. 유도리액턴스와 용량리액턴스 모두와 저항을 포함하는 회로에서, 유도저항은 합쳐질 수 있지만, 회로 내에서 2개의 유도저항의 결과는 정확하게 정반대의 것이기 때문에, 항상 큰 값에서 작은 값을 빼야 한다.



$$Z = X_L - X_C \quad \text{or} \quad X = X_C - X_L$$



[그림 2-25] A circuit containing resistance and inductance

Example

그림 2-25에서, 직렬로 연결된 저항과 유도용량으로 이루어진 직렬회로가 60[cps]로서 110[V]의 공급원에 연결되었다. 저항 소자는 6[Ω]의 저항을 가지는 램프이고, 그리고 유도성 소자는 0.021[H]의 유도용량을 가지는 코일이다. 임피던스는 얼마이며 램프와 코일을 통과하는 전류는 얼마인가?

Solution

먼저 코일의 유도리액턴스를 계산한다.

$$X_L = 2\pi \times f \times L = 2 \times 3.14 \times 60 \times 0.021 = 8[\Omega]$$

다음에는 전체임피던스(total impedance)를 계산한다.

$$\begin{aligned} Z &= \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{6^2 + 8^2} \\ &= \sqrt{36 + 64} = \sqrt{100} = 10[\Omega] \end{aligned}$$

Z에 대하여 계산할 때 항상 유도용량이 아니고 유

도리액턴스를, 그리고 정전용량이 아니고 용량리액턴스를 사용한다는 것을 기억하라.

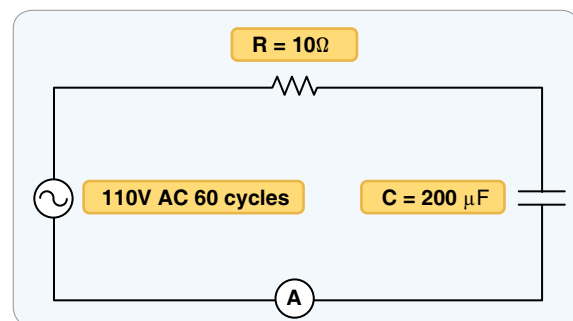
임피던스를 알아냈을 때, 전체 전류를 계산할 수 있다.

$$I = \frac{E}{Z} = \frac{110[V]}{10[\Omega]} = 11[A]$$

이 회로는 저항성 소자와 유도성 소자로 이루어져 있기 때문에 전압이 전류를 앞서는 위상변이가 존재한다.

Example

그림 2-26과 같이, 200[μF]의 커패시터가 10[Ω]의 램프에 직렬로 연결된 직렬회로이다. 임피던스의 값, 전류, 그리고 저항기에 걸린 전압강하는 얼마인가?



[그림 2-26] A circuit containing resistance and capacitance

Solution

먼저 정전용량을 단위[μF]에서 패럿(farad)으로 고친다. 백만 microfarad가 1[F]이므로

$$X = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 60 \times 0.000020}$$

$$= \frac{1}{0.07536} = 13[\Omega]$$

임피던스를 구하면

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{10^2 + 13^2} = 16.4[\Omega]$$

이 회로는 저항성의 것과 용량성의 것이기 때문에
전류가 전압을 앞서는 위상변이가 있다.

전류는

$$I_T = \frac{E}{Z} = \frac{110[V]}{16.4[\Omega]} = 6.7[A]$$

저항기 E_R 에서의 교류회로는

$$E_R = I \times R = 6.7 \times 10 = 67[V]$$

커패시터(E_C)에서의 교류회로는

$$E_C = I \times X_C = 6.7 \times 13 = 86.1[V]$$

전류가 전압을 앞서고 있기 때문에, 이들 두 가지
전압의 합은 인가전압과 같지 않다. 인가전압을 구
하기 위하여 다음 공식이 쓰인다.

$$Z = \sqrt{67^2 + 86.1^2} = \sqrt{4,489 + 7,413}$$

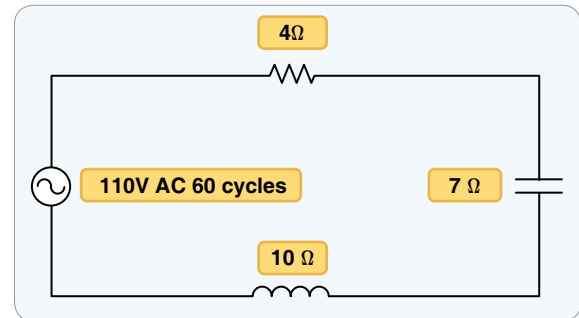
$$= \sqrt{11,902} = 110[V]$$

회로가 저항, 유도용량, 그리고 정전용량을 포함
할 때, 임피던스를 구하기 위해 다음 식을 사용할 수
있다.

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Example

그림 2-27과 같이, $7[\Omega]$ 의 용량리액턴스를 가지
고 있는 커패시터, $10[\Omega]$ 의 유도리액턴스를 가지
고 있는 인덕터, 그리고 $4[\Omega]$ 의 저항을 가지고 있
는 저항기로 이루어진 직렬회로의 임피던스는 얼마
인가?



[그림 2-27] A circuit containing resistance, inductance, and capacitance

Solution

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{4^2 + (10 - 7)^2}$$

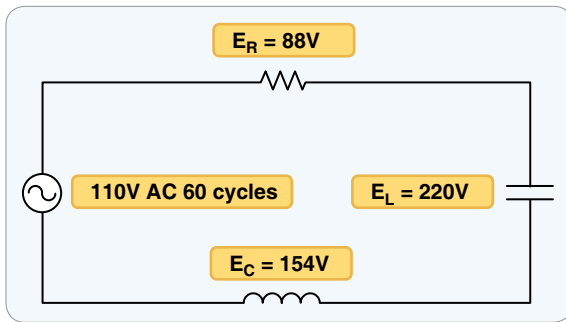
$$= \sqrt{25} = 5[\Omega]$$

$$I_T = \frac{E_T}{Z} = \frac{110[V]}{5[\Omega]} = 22[A]$$



유도리액턴스와 용량리액턴스는 전압과 전류 사이에 위상변이를 일으킬 수 있다는 것을 기억하라. 이 예에서, 유도리액턴스는 용량리액턴스보다 크다. 그래서 전압이 전류를 앞선다.

유도리액턴스, 용량리액턴스, 그리고 저항이 수직으로 서로 영향을 미치기 때문에 특정 직렬교류회로의 전압강하는 벡터의 합을 이용하여 더해야 한다. 그림 2-28에서는 Example에서 설명한 직렬교류회로의 전압강하를 보여준다.



[그림 2-28] Voltage drops

각각의 전압강하를 계산하기 위해, 간단한 방정식을 이용한다.

$$E_R = I \times R$$

$$E_{XL} = I \times X_L$$

$$E_{XC} = I \times X_C$$

회로의 전체인가전압을 계산하기 위해, 각각의 전압강하는 벡터합을 이용하여 더해야 한다.

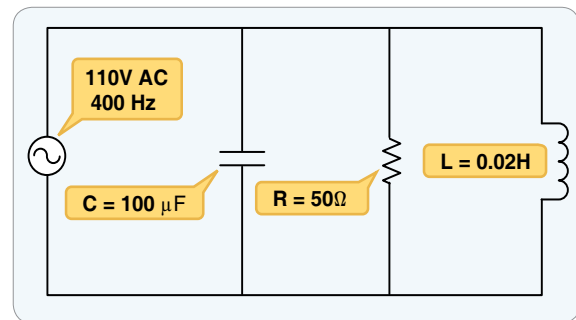
$$\begin{aligned} Z &= \sqrt{E_R^2 + (E_L - E_C)^2} = \sqrt{88^2 + (220 - 154)^2} \\ &= \sqrt{88^2 + 66^2} = \sqrt{12,100} = 110[\Omega] \end{aligned}$$

2.1.7.5 병렬교류회로(Parallel AC Circuits)

병렬교류회로(parallel AC circuit)를 풀 때 또한 피타고라스의 정리(Pythagorean theorem)를 이용한다. 교류회로에서 임피던스를 구하기 위한 방정식은 다음과 같다.

$$Z = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2}$$

그림 2-29와 같이, 병렬회로의 전체임피던스를 구하기 위해서, 우선 용량리액턴스와 유도리액턴스를 구한다. microfarad를 farad로 변환시키는 것을 기억하라.



[그림 2-29] Total impedance of parallel circuit

$$X_L = 2\pi fL = 2 \times 3.14 \times 400 \times 0.02 = 50[\Omega]$$

$$X_C = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 400 \times 0.0001} = 4[\Omega]$$

그다음 임피던스를 구한다.

$$\begin{aligned}
 Z &= \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2}} \\
 &= \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{50}\right)^2 + \left(\frac{1}{50} - \frac{1}{4}\right)^2}} \\
 &= \frac{1}{\sqrt{0.0004 + 0.0529}} \\
 &= 4.33[\Omega]
 \end{aligned}$$

회로에서 전류흐름을 구한다.

$$I_T = \frac{E_T}{Z} = \frac{100[V]}{4.33[\Omega]} = 23.09[A]$$

회로의 각각의 병렬경로를 통해 전류흐름을 구한다.

$$I_R = \frac{E}{R} = \frac{100[V]}{50[\Omega]} = 2[A]$$

$$I_L = \frac{E}{X_L} = \frac{100[V]}{50[\Omega]} = 2[A]$$

$$I_C = \frac{E}{X_C} = \frac{100[V]}{4[\Omega]} = 25[A]$$

병렬회로의 전체 전류흐름은 다음과 같이 각각의 전류흐름의 벡터합을 이용하여 구한다는 것을 알아야 한다.

$$\begin{aligned}
 Z &= \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2} = \sqrt{2^2 + (2 - 25)^2} \\
 &= \sqrt{533} = 23[A]
 \end{aligned}$$

2.1.7.6 교류회로 내의 전력

전압과 전류가 전력을 결정하기 때문에, 교류회로와 직류회로에 의해 소비된 전력의 양은 유사하다. 그러나 교류에서, 전류는 회로의 저항과 유도저항 모두에 관련된 함수이다. 교류회로에 의해서 소비된 전력은 인가전압 그리고 회로의 저항과 유도저항에 달려 있다. 교류회로는 두 가지 뚜렷한 형태의 전력을 갖고 있는데, 하나는 회로의 저항에 의해 만들어지고 다른 하나는 회로의 유도저항에 의해 만들어진다.

2.1.7.7 유효전력(True Power)

어떤 교류회로에서의 유효전력은 보통 회로의 작업전력(working power)이라고 부른다. 유효전력은 회로의 저항 부분에 의해서 소비된 전력이며 watt[W]로 측정된다. 유효전력은 문자 P를 기호로 사용하며 회로 내에 전력계에 의해서 표시된다. 유효전력은 다음 공식에 의해 계산된다.

$$P = I^2 \times R$$

2.1.7.8 피상전력(Apparent Power)

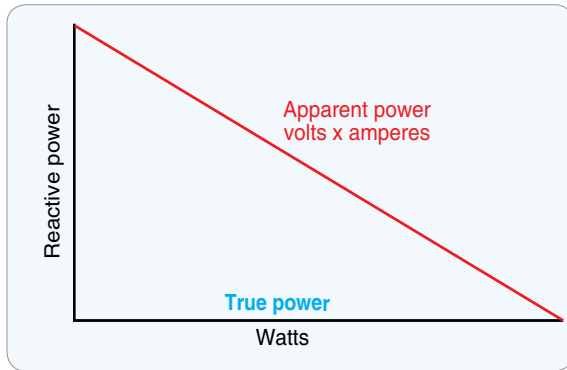
교류회로에서 피상전력은 때때로 회로의 무효전력(reactive power)과 관련이 있다. 피상전력은 저항과 유도저항 모두를 포함하는, 전체의 회로에 의해서 소비된 전력이다. 피상전력은 문자 S로 기호화되고 volt-amp[VA]로 측정된다. 피상전력은 유효전압과 유효전류의 곱이다. 피상전력은 다음 공식에 의해서 계산된다.

$$S = I^2 \times Z$$



2.1.8 역률(Power Factor)

그림 2-30과 같이, 저항성전력과 무효전력은 서로 직각(90°)으로 회로에 영향을 준다. 교류회로에서 역률은 이러한 직각의 영향으로 만들어진다.



[그림 2-30] Power relations in AC circuit

역률은 유효전력과 피상전력 사이에 수리적인 차이로서 정의된다. 역률은 비율이고 항상 0에서 100 사이로 측정된다. 역률은 회로의 위상변이와 직접적인 관계가 있다. 회로에서 위상변이가 크면 클수록 역률이 더 작아진다. 예를 들어, 저항 없이 오직 유도저항만을 포함하는 순수 유도성 교류회로는 90°의 위상변이를 갖으며 역률은 0.0이다. 유도저항 없이 순수 저항으로만 구성된 교류회로는 0°의 위상변이를 갖으며 역률은 100.0이다. 역률은 다음 공식에 의해 계산된다.

$$PF = \frac{\text{True Power}[W]}{\text{Apparent Power}[VA]} \times 100$$

Example

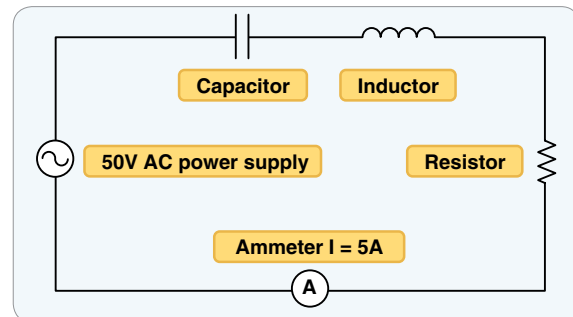
역률을 계산하는 예로서, 그림 2-31에서는 50[V] 전원장치에 연결된 교류부하를 보여준다. 회로의 전류는 5[A]이고 회로의 전체저항(total resistance)은 8[Ω]이다. 이 회로에 대해 유효전력, 피상전력, 그리고 역률을 구해본다.

Solution

$$P = I^2 \times R = 5^2 \times 8 = 200[W]$$

$$S = E \times I = 50 \times 5 = 250[VA]$$

$$PF = \frac{TP}{S} \times 100 = \frac{200}{250} \times 100 = 80$$



[그림 2-31] AC load connected to a 50-volt power supply

역률은 또한 백분율로서 나타낼 수 있다. 역률을 나타내기 위해 백분율을 사용하며, 이전의 예에서 회로는 80[%]의 역률을 갖는다.

낮은 역률은 바람직하지 않다는 것에 주목해야 한다. 더 낮은 역률을 가지고 있는 회로는 전원장치에서 과잉부하를 만들어내고 시스템에 비효율을 만든다. 항공기 교류발전기는 일반적으로 90~100[%] 사이의 역률로 운영되어야 한다. 그러므로 항공기

전기시스템을 설계할 때 역률을 신중히 고려하는 것은 매우 중요하다.

2.2 항공기 배터리

항공기 배터리는 예를 들어 지상전원(ground power), 비상전원(emergency power), 직류버스 안정성 향상, 그리고 결함 해소 등과 같이 다양한 기능을 위해 사용된다. 대부분 소형 자가용항공기는 황산납배터리(lead-acid battery)를 사용하고 대부분 사업용항공기와 상용항공기는 니켈카드뮴배터리(nickel-cadmium battery, NiCd)를 사용한다. 그러나 다른 황산납배터리 형태의 배터리는 밸브-조절 황산납배터리(Valve-regulated Lead-acid(VRLA) Battery)를 이용할 수 있다. 특정 상황에 가장 알맞은 배터리는 무게, 가격, 부피, 보급 또는 저장수명, 방전율, 정비, 그리고 충전율과 같은 몇몇의 특성의 상대적 중요도에 따라 달라진다. 배터리 유형의 변경은 주요 변경으로 간주된다.

2.2.1 배터리 유형

항공기 배터리는 보통 판(plates)에 사용된 재료에 의해서 구분된다. 가장 일반적인 두 가지 유형의 배터리는 황산납배터리와 니켈카드뮴배터리이다.

2.2.1.1 황산납배터리(Lead-acid Batteries)

(1) 건식충전셀 황산납배터리

(Dry Charged Cell Lead Acid Batteries)

그림 2-32과 같이, 침수식배터리(flooded



[그림 2-32] Lead acid battery installation

battery) 또는 습식배터리(wet battery)로 알려진 건식충전셀(dry charged cell) 황산납배터리는 완전히 충전되고 건조된 전극, 즉 판으로 조립된다. 전해액은 사용 시에 배터리에 보충되며 배터리 수명은 전해액이 보충되었을 때 시작한다. 항공기 축전지(storage battery)는 직렬로 연결된 6~12 납전지(Lead-acid Cell)로 이루어진다. 6셀(cell) 배터리의 개로전압(open circuit voltage)은 약 12[V]이고, 그리고 1셀 배터리의 개로전압은 약 24[V]이다. 개로전압은 부하에 연결되지 않았을 때의 배터리 전압이다. 침수식(배기식)배터리가 충전 중일 때, 양극판에서 발생된 산소가 셀에서 빠져나온다. 동시에, 음극판의 수소는 물로부터 발생되고 셀에서 나온다. 셀에서 가스가 발생하며 물이 감소하는 결과가 이루어진다. 그러므로 침수식 셀은 주기적인 물의 보충이 필요하다.

(2) 밸브-조절 황산납배터리(Valve-Regulated Lead Acid batteries(VRLA))

그림 2-33과 같이, 밸브-조절 황산납배터리는



[그림 2-33] Valve-regulated lead-acid battery(sealed battery)

전해액 없이 글라스 매트 격리판에 흡수된 모든 전해액을 담고 있고, 때때로 밀폐형배터리(sealed battery)라고도 부른다. VRLA 배터리에서 전기화학반응은 VRLA 배터리에서 탁월한 가스재결합장치를 제외하고, 침수식 배터리와 동일하다. 이들 유형의 배터리는 범용항공기와 터빈동력기에 사용되며 때때로 니켈카드뮴배터리에 대한 대체가 허가된다.

VRLA 배터리가 충전 중일 때, 산소는 황산염납(lead sulfate, $PbSO_4$)과 물을 형성하기 위해, H_2SO_4 가 있는 음극판(negative plate)에서 납과 화학적으로 결합한다. 이 산소재결합은 음극판에서 수소의 발생을 억제한다. 일반적으로 충전하는 동안 물의 감소는 없다. 매우 적은 양의 물은 자체방전반응의 결과로 줄어들지만, 물의 보충이 필요 없을 정도이다. 배터리 셀은 배터리가 과충전되었을 경우 배출하는 압력릴리프안전밸브(pressure relief safety valve)를 갖추고 있다.

2.2.1.2 니켈카드뮴배터리(NiCd Batteries)

그림 2-34와 같이, 니켈카드뮴배터리는 다수의 셀을 담아두는 보통 스테인리스강, 수지피복강, 도



[그림 2-34] NiCd battery installation

색강, 또는 티타늄으로, 금속성의 박스(box)로 이루어져 있다. 이들의 셀은 12[V] 또는 24[V]를 얻기 위해 직렬로 연결된다. 셀은 높은 전도성의 니켈 구리 연결부에 의해 연결된다. 배터리박스 내부에, 셀은 격막, 라이너(Liner), 스페이서(Spacer), 그리고 덮개어셈블리(cover assembly)에 의해 적절히 고정된다. 배터리는 과충전 상황 시에 생산된 가스의 배출과 정상작동 시의 냉각을 위해 환기장치를 갖추고 있다.

항공기 배터리에 장착된 NiCd 셀은 전형적인 배기식셀(vented cell) 유형이다. 배기식셀은 과충전 또는 빠르게 방전되었을 때 발생된 산소가스와 수소가스를 배출시키는 배출밸브(vent valve) 또는 저압방출밸브(low pressure release valve)를 갖추고 있다. 이것은 또한 배터리가 과도한 충전, 방전, 또는 심지어 음전하 충전에 의해 손상되지 않는 것을 의미한다. 셀은 재충전할 수 있으며 방전 내내 12[V]의 전압을 제공한다.

일반적으로 니켈카드뮴배터리가 장착된 항공기는 배터리의 상태를 감시하는 결함보호장치(fault protection system)를 갖추고 있다. 배터리충전기

(battery charger)는 배터리의 상태를 감시하는 장치이고 다음과 같은 상황을 감시한다.

- ① 과충전상황
- ② 저온조건(-40°C (-40°F) 이하)
- ③ 셀 불균형
- ④ 개방회로(open circuit)
- ⑤ 단락회로(shorted circuit)

만약 배터리충전기가 결함을 발견하면, 배터리충전기는 꺼지고 전기부하관리시스템(ELMS, electrical load management system)으로 결함 신호를 보낸다. 니켈카드뮴배터리는 배터리의 외기온도가 약 $16\sim 32^{\circ}\text{C}$ ($60\sim 90^{\circ}\text{F}$)의 범위 내에 있을 때 정격용량으로 작동될 수 있다. 이 범위에서 온도의 증가 또는 감소는 줄어든 용량으로 작동된다. 니켈카드뮴배터리는 배터리의 온도를 제어하기 위한 환기장치를 갖고 있다. 그림 2-35와 같이, 71°C (160°F)를 초과하는 높은 배터리 온도와 과충전의 결합은 열폭주(thermal runaway)라고 부르는 상황에 이르게 할 수 있다. 배터리의 온도는 안전작동을 확보하기 위해 끊임없이 감시된다. 열폭주는 정전압원과 반복적인 재충전 하에서 니켈카드뮴배터리의 NiCd 화학약품에 의한 화재 또는 폭발이 일어날 수 있고, 이는 계속 증가하는 온도와 충전전류에 기인한다. 하나 이상의 단락된 셀 또는 고온 그리고 저충전(low charge)은 다음의 순환 순서를 만들 수 있다.

- ① 과도한 전류
- ② 증가된 온도



[그림 2-35] Thermal runaway damage

- ③ 감소된 셀 저항
- ④ 더욱 증가된 전류, 그리고
- ⑤ 더욱 증가된 온도

만약 배터리 온도가 71°C (160°F)를 초과하기 전에 정전압충전원(constant-voltage charging source)이 제거되면 자체적인 열화학작용이 발생하지 않는다.

2.2.1.3 용량(Capacity)

용량은 실온에서 차단전압(cut-off voltage)에 대해 명시된 방전율(discharge rate)에 이르는 Ampere-hour로서 정량적으로 측정된다. 차단전압은 셀당 $0.1[\text{V}]$ 이다. 배터리 유효용량은 다음과 같은 요인들에 따른다.

(1) 셀 디자인

셀 결합구조, 판의 두께, 하드웨어, 그리고 단자 설계는 온도, 방전율 등의 사용조건에 따라 성능이 좌우된다.



(2) 방전을

고전류율(high current rate)이 저전류율(low current rate)보다 더 적은 용량을 산출한다.

(3) 온도

용량과 전압준위(voltage level)는 배터리 온도가 16°C(60°F)에서 32°C(90°F)로 높고 낮은 극단으로 이동할수록 감소한다.

(4) 충전율

대개 충전율(charge rate)이 높을수록 더 큰 용량을 산출한다.

2.2.1.4 항공기 배터리 등급

(Aircraft Battery Ratings by Specification)

배터리의 방전율인 1시간 정격은 셀당 1.67[V] 또는 그 이상, 또는 24[V] 황산납배터리에서는 20[V], 또는 12[V] 황산납배터리에서는 10[V]의 배터리전압으로 1[hour] 동안 지속된 것이다. Ampere Hour[Ah]로서 측정된 1시간 용량은 방전율과 명시된 종지전압(end voltage)까지의 시간[hour]의 곱이다.

비상률(emergency rate)은 30분[minutes] 동안 필수버스에 공급하는 데 필요한 암페어로 측정된 총 필수부하(total essential load)이다. 배터리 방전율인 이것은 셀당 1.67[V] 또는 그 이상, 또는 24[V] 황산납배터리에서는 20[V], 또는 12[V] 황산납배터리에서는 10[V]의 배터리전압으로 30[min] 동안 지속된다.

2.2.1.5 저장과 점검 시설

(Storing and Servicing Facilities)

침수식전해액 황산납배터리와 니켈카드뮴배터리

의 저장 또는 보급을 위한 별도의 시설이 유지되어야 한다. 알칼리성전해액 안으로 산성전해액의 이입은 배기식(침수식) 니켈카드뮴배터리에 영구적인 피해의 원인이 되고 반대의 경우도 같다. 그러나 밀봉된 배터리는 동일한 구역에서 충전할 수 있고 용량을 점검할 수 있다. 밸브조절식 황산납배터리에 있는 전해액은 격리판과 다공질판에 흡수되었기 때문에, 비록 동일한 구역에서 점검되었다고 할지라도 니켈카드뮴배터리는 오염되지 않는다.

WARNING

동일한 지역에 황산납배터리와 니켈카드뮴배터리를 저장하고 점검하는 것은 대단히 위험하다. 알칼리성전해액 안으로 산성전해액의 이입은 니켈카드뮴배터리를 파괴하고 반대의 경우도 같다.

2.2.1.6 배터리 결빙(Battery Freezing)

표 2-1과 같이, 냉온에 노출되고 방전된 황산납배터리는 전해액의 결빙으로 인하여 판손상이 될 수 있다. 동해를 방지하기 위해, 1.275로서 각각의 셀의 비중을 유지시키거나 또는, 밀봉식 황산납배터리에 대해서는 개로전압을 점검한다. 니켈카드뮴배터리 전해액은 충전(charged state)과 방전(discharged state) 사이의 화학변화가 없기 때문에 결빙에 민감하지 않다. 그러나 전해액은 약 -59°C(-75°F)에서 동결한다.

NOTE

부하점검(load check)은 종합적인 배터리 상태를 결정한다.

[표 2-1] Lead-acid battery electrolyte freezing points

Specific Gravity	Freezing Point		State of Charge (SOC) for Sealed Lead-Acid Batteries at 70°		
	°C	°F	SOC	12 volt	24 volt
1.300	-70	-95	100%	12.9	25.8
1.275	-62	-80	75%	12.7	25.4
1.250	-52	-62	50%	12.4	24.8
1.225	-37	-35	25%	12.0	24.0
1.200	-26	-16			
1.175	-20	-04			
1.150	-15	+05			
1.125	-10	+13			
1.100	-08	+19			

2.2.1.7 온도 보정(Temperature Correction)

미국조립식 황산납배터리는 비중이 1.275~1.300 사이일 때 완전충전으로 간주된다. 27°C(80[°F])의 전해액 온도에서 액체비중계로 시험했을 때 1/3 방전된 배터리는 약 1.240을 나타내고 2/3 방전된 배터리는 1.200의 비중을 보여준다. 그러나 표 2-2와 같이, 정밀한 비중 판독값을 결정하기 위해, 온도보정은 액체비중계 지시에 적용되어야 한다. 예를 들

[표 2-2] Sulfuric acid temperature correction

Electrolyte Temperature		Points to Subtract From or Add to Specific Gravity Readings
°C	°F	
+60	+140	+0.024
+55	+130	+0.020
+49	+120	+0.016
+43	+110	+0.012
+38	+100	+0.008
+33	+90	+0.004
+27	+80	0
+23	+70	-0.004
+15	+60	-0.008
+10	+50	-0.012
+05	+40	-0.016
-02	+30	-0.020
-07	+20	-0.024
-13	+10	-0.028
-18	0	-0.032
-23	-10	-0.036
-28	-20	-0.040
-35	-30	-0.044

어, 1.260의 액체비중계와 5°C(40[°F])의 전해액 온도에서, 전해액의 보정된 비중은 1.244이다.

2.2.1.8 배터리 충전(Battery Charging)

주변온도 또는 충전전압 한도를 넘는 항공기 배터리의 작동은 전해액 비등, 셀의 빠른 변질, 그리고 배터리고장에 이르게 하는 과도한 셀 온도가 발생할 수 있다. 최대 충전 전압과 배터리 셀 수 사이의 관계도 중요하다. 이것은 주어진 주변온도와 충전상태에 따라 배터리 내에서 에너지가 열로 흡수되는 비율을 결정한다. 황산납배터리에서, 셀당 전압은 2.35[V]를 초과하지 않아야 한다. 니켈카드뮴배터리의 경우에, 충전전압 한도는 설계 및 구성에 따라 달라진다. 셀당 1.4~1.5[V]의 값이 일반적으로 사용된다. 항상 배터리제조사의 권장사항을 따르도록 한다.

(1) 정전압충전(Constant Voltage Charging(CP))

비행기에서 배터리충전시스템은 정전압형이다. 필요한 전압을 공급할 수 있는 엔진구동발전기는 항공기 전기시스템을 통해 배터리에 직접 연결된다. 배터리스위치는 비행기가 가동되고 있지 않을 때 배터리가 분리될 수 있도록 한다.

발전기의 전압은 발전기의 계자회로(field circuit)에 연결된 전압조절기에 의해 정밀하게 제어된다. 12[V] 장치에서, 발전기의 전압은 약 14.25[V]로 조정된다. 24[V] 장치에서, 조정은 28~28.5[V] 사이에 있어야 한다. 이러한 조건이 존재할 때, 배터리를 통과하는 초기충전전류는 높다. 충전상태에 있을 때, 배터리전압 또한 증가하고, 전류는 점점 줄어든다. 배터리가 완전히 충전되었을 때, 배터리전압은 거의 발전기전압과 같게 되고, 아주 적은 전류



가 배터리 안으로 흐르게 된다. 충전전류가 낮아질 때, 배터리는 손상 없이 발전기에 연결된 상태로 유지된다.

배터리 작업장에서 정전압식을 사용할 때, 자동적으로 정전압을 유지시키는 전압조절기를 시스템에서 운용한다. 예를 들어 42[Ah]와 같이, 대용량 배터리는 33[Ah]와 같은 저용량배터리보다 더 낮은 저항을 갖는다. 결국 대용량배터리는 양쪽이 동일한 충전상태에 있을 때, 그리고 충전전압이 같을 때 저용량배터리보다 더 높은 충전전류를 끌어들이는다. 정전압법은 황산납배터리를 위해 선호되는 충전법이다.

(2) 정전류충전(Constant Current Charging)

정전류충전은 가지각색의 전압의 여러 배터리를 동일한 시스템에서 한 번에 충전하기 때문에 비행기 외부에서 배터리를 충전하기에 가장 용이하다. 정전류충전식은 보통 정상의 교류원을 직류로 변환시키는 정류기로 이루어진다. 변압기는 정류기를 거치기 전에 110[V] 또는 220[V] 교류원을 원하는 정도로 낮추는 데 사용된다. 만약 정전류충전시스템(constant current charging system)이 사용되면, 충전전류는 배터리가 과열하거나 또는 과도하게 가스를 발산하지 않는 수준으로 유지되도록 제공되어, 다수의 배터리가 직렬로 연결되게 한다.

정전류충전법은 니켈카드뮴배터리를 충전하기에 알맞은 방법이다. 일반적으로 니켈카드뮴배터리는 모든 셀이 적어도 1.55[V]에 도달하기 전에 1[CA]의 비율로 충전하는 정전류충전이다. 또 다른 충전순환은 모든 셀이 적어도 1.55[V]에 도달하기 전에 0.1[CA]로 이어진다. 일반적으로 충전은 0.1[CA]

의 비율로 4[hour] 이상의 시간 동안, 과충전 또는 추가충전으로 마무리된다. 과충전의 목적은 만약 모든 가스(gas)가 음극에서 수소, 양극에서 산소가 수집되지 않을 때에는 그와 같은 양만큼 배출시키기 위한 것인데, 이들 가스 중 일부는, 전해액 수위를 조정하기 위해 안전하게 가장 높은 높이로 전해액 수위를 끌어올릴 수 있는 물을 형성하기 위해 재결합한다. 과충전 또는 추가충전 시에, 셀전압은 1.6[V]를 넘어가고 그다음에 서서히 떨어지기 시작한다. 셀은 건전지에서 1.71[V] 이상 올라가거나 또는 1.55[V] 이하로 떨어지지 않아야 한다.

충전은 벤트 캡(vent cap)을 풀거나 개방을 수행해야 한다. 움직이지 않는 배출구는 셀의 압력을 증가하게 한다. 또한 그것은 충전전류가 계속 공급되고 있는 동안에 추가충전이 끝나기 전에 높이를 수정하기 위해 물의 보충을 허용한다. 그러나 외기로부터 용해된 이산화탄소는 셀을 탄화시키고 배터리를 낡게 하기 때문에 셀은 배출이 완료되고 점검되면 곧바로 다시 닫혀야 한다.

2.2.1.9 배터리 검사(Battery Maintenance)

배터리 검사절차와 정비절차는 화학공학의 유형과 물리적구성의 종류에 따라 변한다. 항상 배터리 제조사 인가절차를 따른다. 배터리 성능은 배터리의 나이, 활력상태, 충전상태, 그리고 기계적 무결성에 따르며, 다음에 따라 판정할 수 있다.

- ① 배터리의 수명과 나이를 판정하기 위해, 배터리에서 배터리의 장착일자를 기록한다. 배터리 정상점검 시에 배터리 나이는 항공기정비일지 또는 작업장정비일지에 상세히 기록되어야 한다.

- ② 황산납배터리 활력의 상태는 배기식 배터리의 경우에 지속적인 정기점검에 의해, 온도와 같은 환경요인에 의해, 그리고 배선과 커넥터의 부식 또는 분말염의 축적에 의한 흔적과 같은 검사에서 관찰된 전해액 누출에 의해 판정된다. 만약 배터리가 외부누출의 흔적 없이, 재 보급을 필요로 한다면, 배터리, 배터리충전장치의 상태 불량이나 과충전 상황을 나타낼 수 있다.
- ③ 전해액의 무게와 맑은 물의 무게를 비교하는 황산납배터리 전해액의 비중을 결정하기 위해, 액체비중계를 사용한다. 전해액이 뽑아내어졌던 곳의 셀로 되돌아갔는지를 확인한다. 0.050 이상의 비중 차이가 배터리의 셀 사이에 존재한다면 배터리는 유효수명이 거의 다 됨을 의미하며 교체를 고려하여야 한다. 전해액 높이는 증류수의 보충으로 조정되며 전해액은 보충하지 않는다.
- ④ 배터리 충전상태는 배터리를 충전하기와 방전하기의 누적효과에 의해 결정된다. 정상전기충전시스템에서, 항공기 발전기 또는 교류기는 60~90분[minutes]의 비행 시 완전충전하여 배터리를 복원시킨다.
- ⑤ 적절한 기계적 무결성은 어떤 물리적손상의 유무뿐만 아니라 하드웨어의 정확한 장착과 배터리가 적절한 연결이 되었을 때 보증된다. 필요한 경우, 배터리와 배터리격실 통기장치 튜브, 니플(nipple), 그리고 부착물은 폭발가스의 잠재적 축적을 방지하는 수단을 마련하고, 그리고 주기적으로 그들이 안전하게 연결되었는지, 정비교범의 장착절차에 따라 올바른 방향에 놓

였는지를 확인하기 위해 점검되어야 한다. 항상 배터리 시스템이 명시된 성능을 발휘하는 능력을 제공할 수 있도록 특정 항공기와 배터리 시스템에 대하여 정해진 절차를 따른다.

2.2.1.10 배터리와 충전기 특성(Battery and Charger Characteristics)

그림 2-36과 같이, 정보는 일반적인 항공기 배터리와 배터리충전기 유형의 특성으로 사용자가 숙지할 수 있도록 제공된다. 제품은 기술의 서로 다른 적용으로 인하여 설명과 다를 수 있다. 특정 성능자료에 대해서는 제조사에 문의하라.

NOTE

정확히 점검되지 않는 한 충전기에 황산납배터리를 절대로 연결하지 않는다.

(1) 황산납배터리(Lead-acid Batteries)

배기식황산납배터리(lead-acid vented battery)는 두 가지 볼트(volt)의 공칭셀전압(nominal cell voltage)을 갖고 있다. 배터리는 개개의 셀을 떼어 놓을 수 없도록 조립된다. 정상점검에서 과충전으로



[그림 2-36] Battery charger



인한 물손실을 대체하기 위해 물의 보충이 필요할 때가 있다. 완전히 충전된 배터리는 재충전을 할 수 없다. 밀봉식 황산납배터리는 배기식 황산납배터리와 거의 유사하지만, 물 보충을 필요로 하지 않는다.

황산납배터리는 경제적이고 광범위하게 적용되지만, 다른 유형의 동등한 성능 배터리에 비해 무겁다. 황산납배터리는 높은 방전율과 저온에서도 높은 성능을 가진다. 일정시간 동안 높은 방전율을 유지하면 일반적으로 배터리가 단락되어, 셀 판을 휘게 한다. 배터리의 전해액은 적당한 비중을 갖고 있고, 충전상태는 액체비중계로 점검할 수 있다.

황산납배터리는 보통 조절된 직류전압원에 의해 충전된다. 이것이 재충전의 초기 부분에서 충전이 최대로 축적되게 한다.

(2) 니켈카드뮴배터리(NiCd Batteries)

배기식니켈카드뮴배터리는 1.2[V] 공칭셀전압을 갖고 있다. 때때로 증류수의 첨가는 정상사용 중 과충전으로 인한 물손실을 대체하기 위해 요구된다. 고장은 보통 셀이 단락되거나 약화된 경우에 발생한다. 셀을 교체하게 되면, 배터리의 수명은 5년 [year] 이상 연장될 수 있다. 완전방전은 이런 유형의 배터리에 해가 되지 않는다.

밀봉식니켈카드뮴배터리는 대부분 배기식니켈카드뮴배터리와 유사하지만, 대개 물의 보충을 필요로 하지 않는다. 0[V]로 배터리의 완전 방전은 1개의 이상의 셀에 비가역적 손상을 일으킬 수 있고, 저용량의 결과로 결국 배터리 고장으로 이어진다.

니켈카드뮴배터리의 충전상태는 수산화칼륨 전해액의 비중 측정으로 알 수 없다. 전해액 비중은 충전 상태에서 변화하지 않는다. 니켈카드뮴배터리의 충

전상태를 결정하기 위한 정확한 방법은 오직 니켈카드뮴배터리 충전기와 제작사사용법설명서를 따르는 방전에 의해 측정된다. 배터리가 완전 충전되고 2시간[hour] 이상 기다린 후, 필요하다면 증류수 또는 탈염수를 사용하여 유체면(fluid level)을 조정한다. 유체면은 충전상태에서 변하기 때문에 배터리가 항공기에 장착되었을 때는 물을 절대로 보충하지 않아야 한다. 배터리의 과도한 충전은 충전 중 전해액 분출의 원인이 된다. 이것은 셀 연결부의 부식, 배터리의 자체방전, 전해액 농도의 희석, 셀 배출구의 막힘, 그리고 우발적인 셀 파열의 원인이 된다.

니켈카드뮴셀 전압이 부온도계수를 갖기 때문에 정전류 배터리충전기는 일반적으로 니켈카드뮴배터리를 위해 제공된다. 정전압 충전원인 니켈카드뮴배터리에 단락된 셀이 존재하면, 항공기에서 배터리 파괴와 과도한 충전으로 인한 과열, 열폭주 등을 일으킬 수 있다. 펄스전류(pulsed-current) 배터리충전기는 때때로 니켈카드뮴배터리를 위해 제공되기도 한다.

CAUTION

시험과 정비 시에 배터리에 대한 적절한 충전절차를 사용하는 것은 중요하다. 회복순환(reconditioning cycle)과 충전순환(charging cycle)을 위한 이 충전체제(charging regime)는 항공기제작사에 의해 한정되며 반드시 준수하여야 한다.

2.2.1.11 항공기 배터리 검사

(Aircraft Battery Inspection)

항공기 배터리 검사는 다음 항목으로 이루어진다.

① 배터리 상태와 안전을 위해 배터리 썬프자

(Sump Jar)와 라인(Line)을 검사한다.

- ② 부식(corrosion), 점식(pitting), 전호(arcing), 그리고 불탄 흔적(burn)에 대해 배터리 단자와 신속분리플러그 그리고 핀(Pin)을 검사한다. 필요시 깨끗하게 한다.
- ③ 제한, 품질저하, 그리고 안전을 위해 배터리 배수관과 통풍관을 검사한다.
- ④ 정기 비행 전 검사절차와 비행 후 검사절차는 물리적 손상, 풀린 접속, 그리고 전해액 상실의 흔적에 대한 관찰을 포함시켜야 한다.

2.2.1.12 환기장치(Ventilation Systems)

현대의 비행기는 배터리 환기장치를 갖추고 있다. 환기장치는 화재위험을 줄이기 위해 기체부분에 손상을 배제시키기 위해 배터리로부터 가스와 산성연무를 제거한다. 공기는 통풍관을 통해 비행기 외부에 공기흡입구로부터 배터리케이스의 내부로 운반된다. 공기, 배터리가스, 그리고 산성연무는 배터리의 맨 위를 통과한 후 다른 튜브를 통과하여 배터리 썸프(ump)로 운반된다. 이 썸프는 최소 1[pint] 용량의 유리병 또는 플라스틱 통이다. 병에는 물과 5[%]의 중탄산나트륨의 용액으로 포화된 약 1[inch] 두께의 펄트 패드(Felt Pad)가 있다. 썸프로 연무를 운반하는 튜브는 Felt Pad의 약 1/4 정도까지 병 안으로 이어진다. 오버보드 디스차지 튜브(Overboard Discharge Tube)는 썸프병의 위에서 비행기 바깥지점까지 이어진다. 이 튜브의 출구는 비행기가 운항 중에 있을 때는 언제나 튜브에 부압(negative pressure)이 있도록 설계되어 있다. 이것은 썸프에서 배터리의 상부를 거쳐 비행기 바깥쪽으로 연속적인 공기의 흐름을 확보하는 데 도움이 된다. 썸프 안

으로 들어가는 산성연무는 수산화나트륨용액의 작용으로 중화되며, 항공기 금속외판의 부식과 직물면(fabric surface)의 손상을 방지한다.

2.2.1.13 장착 연습(Installation Practices)

① 외부 표면

항공기에 장착 이전에 배터리의 외부표면을 깨끗하게 한다.

② 황산납배터리 교체

황산납배터리를 니켈카드뮴배터리로 교체할 때, 배터리 온도감시장치 또는 전류감시장치를 장착한다. 배터리박스 또는 배터리격실을 중화시키고 물로 완전히 세척하고 건조시킨다. 비행매뉴얼 부록에도 니켈카드뮴배터리 장착에 대해 명문화되어 있어야 한다. 산잔기(acid residue)는 알칼리성의 것이 황산납배터리에서 하는 것처럼, 니켈카드뮴배터리의 적절한 작용에 유해할 수 있다.

③ 배터리 환기

배터리 연무와 가스는 폭발성혼합물 또는 오염된 격실의 원인이 되고 적절한 환기로 분산되어야 한다. 환기장치는 가끔 배터리케이스를 통해 신선한 공기로 세척하거나 안전한 외기방출지점으로 분출하도록 램압력(ram pressure)을 이용한다. 배기장치 차동압력은 항상 양의 수치여야 하며 권고된 최소값과 최대값 사이를 유지해야 한다. 라인(line) 설치하는 자유로운 기류가 갇히거나 방해하는 배터리 범람유동체 또는 응축이 없도록 한다.

④ 배터리썸프자(battery sump jar)

배터리썸프자의 장착은 배터리 전해액 범람을 처리하기 위해 환기장치에 합체되게 한다. 썸프자는



적절히 설계되어야 하며 적당한 중화제를 사용해야 한다. 썸프자는 오직 배터리 환기장치의 배출 측에 위치되어야 한다.

⑤ 배터리 장착

항공기에 배터리를 장착할 때, 배터리 단자의 부주의한 단락을 방지하기 위해 조심하도록 한다. 프레임, 외피와 다른 서브시스템, 항공전자기기, 전선, 연료 등과 같은 항공기 구조물에 중대한 손상은 전기에너지의 높은 방전에 달려 있다. 이 상황은 대부분 장착하는 동안 단자기둥(terminal posts)을 절연시켜 피할 수 있다. 배터리를 제거하기 위해 우선 접지도선(grounding lead)을 분리하고, 그다음에 양극도선(positive lead)을 분리한다. 장착 시 배터리의 전극의 단락 위험성을 최소화하기 위해 배터리의 접지도선을 마지막으로 연결한다.

⑥ 배터리 잠쇠장치(Battery Hold Down Device)

배터리 잠쇠장치가 단단한지 확인하라. 그러나 배터리의 내부단락의 원인이 되는 배터리를 뒤틀리게 하는 초과압력이 가해지도록 너무 단단히 조여서는 안 된다.

⑦ 신속분리형 배터리

만약 배터리 도선의 교차를 막는 신속분리형(quick-disconnect type) 배터리커넥터(battery

connector)를 사용하지 않았다면, 항공기 배선이 적당한 배터리 단자에 연결되었는지 확인한다. 전기시스템에서 극의 뒤바뀐 배터리와 다른 전기 부품에 심각한 피해를 입힐 수 있다. 배터리 케이블 접속이 전호와 고저항 접속 방지를 위해 단단히 연결되었는지 확인한다.

2.2.1.14 고장탐구(Troubleshooting)

표 2-3에서는 고장탐구도표를 보여준다.

2.2.2 직류발전기와 제어

(DC Generators and Controls)

직류발전기는 기계에너지를 전기에너지로 변환한다. 명칭에서 알 수 있듯이, 직류발전기는 직류를 생산하며 일반적으로 경량항공기에서 볼 수 있다. 대부분의 경우, 직류발전기는 직류교류기(DC alternator)로 대체되었다. 양쪽 장치 모두 항공기의 전기부하에 동력을 공급하기 위해, 그리고 항공기의 배터리를 충전하기 위해 전기에너지를 생산한다. 비록 이들은 동일한 목적을 분담하고 있지만, 직류교류기와 직류발전기는 아주 다르다. 직류발전기는 발전기가 항공기의 현재 전기 상태에 대해 정

[표 2-3] Battery troubleshooting guide

Trouble	Probable Cause	Corrective Action
Discolored or burned end connectors or intercell connectors	Dirty connections Loose connection Improper mating of parts	Clean parts; replace if necessary. Retighten hardware using proper torque values. Check to see that parts are properly mated.
Distortion of battery case and/or cover	Explosion caused by: Dry cells Charger failure High charge voltage Plugged vent caps Loose intercell connectors	Discharge battery and disassemble. Replace damaged parts and recondition.

Trouble	Probable Cause	Corrective Action
Apparent loss of capacity	Very common when recharging on a constant potential bus, as in aircraft Usually indicates imbalance between cells because of difference in temperature, charge efficiency, self-discharge rate, etc., in the cells Electrolyte level too low Battery not fully charged	Reconditioning will alleviate this condition. Charge. Adjust electrolyte level. Check aircraft voltage regulator. If OK, reduce maintenance interval.
Complete failure to operate	Defective connection in equipment circuitry in which battery is installed, such as broken lead, inoperative relay, or improper receptacle installation End terminal connector loose or diengaged Poor intercell connections Open circuit or dry cell	Check and correct external circuitry. Clean and retighten hardware using proper torque values. Replace defective cell.
Excessive spewage of electrolyte	High charge voltage High temperature during charge Electrolyte level too high Loose or damaged vent cap Damaged cell and seal	Clean battery, charge, and adjust electrolyte level. Clean battery, tighten or replace cap, charge and adjust electrolyte level. Short out all cells to 0 volts, clean battery, replace defective cell, charge, and adjust electrolyte level.
Failure of one or more cells to rise to the required 1.55 volts at the end of charge	Negative electrode not fully charged Cellophane separator damage	Discharge battery and recharge. If the cell still fails to rise to 1.55 volts or if the cell's voltage rises to 1.55 volts or above and then drops, remove cell and replace.
Distortion of cell case to cover	Overcharged, overdischarged, or overheated cell with internal short Plugged vent cap Overheated battery	Discharge battery and disassemble. Replace defective cell. Recondition battery. Replace vent cap. Check voltage regulator: treat battery as above, replacing battery case and cover and all other defective parts.
Foreign material within the cell case	Introduced into cell through addition of impure water or water contaminated with acid	Discharge battery and disassemble, remove cell and replace, recondition battery.
Frequent addition of water	Cell out of balance Damaged "O" ring, vent cap Leaking cell Charge voltage too high	Recondition battery. Replace damaged parts. Discharge battery and disassemble. Replace defective cell, recondition battery. Adjust voltage regulator.
Corrosion of top hardware	Acid flumes or spray or other corrosive atmosphere	Replace parts. Battery should be kept clean and kept away from such environments.



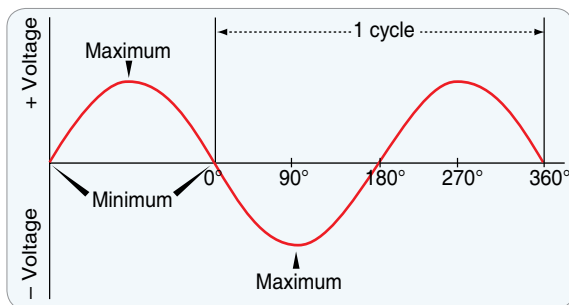
확한 전압과 전류를 유지 보장하기 위해 제어회로를 필요로 한다. 일반적으로, 항공기 발전기는 약 14[V] 또는 28[V]의 공칭출력전압을 유지한다.

2.2.2.1 발전기(Generators)

그림 2-37과 같이, 전자기유도의 원리는 이 챕터의 앞에서 설명하였다. 이들 원리는 전압이 도체의 완전한 360[°] 회전 내내 발전기의 전기자에서 유도되는 것을 보여준다. 전기자는 직류발전기의 회전부분이다. 보이는 것과 같이, 유도되는 전압은 교류이다.

도선 루프(loop)가 일정한 속도로 회전하고 있기 때문에, 전기부하에 이들 전선의 루프를 연결하기 위한 장치가 제공되어야 한다. 그림 2-38과 같이, 슬립링과 브러시는 회전루프에서 상시항공기부하로 전기에너지를 전달하는 데 사용된다. 슬립링은 루프에 연결되고 회전하며, 브러시는 고정되어 전기부하에 전류경로를 가능하게 한다. 일반적으로 슬립링은 구리이고 브러시는 연화탄소계물질(soft carbon substance)이다.

이 기본적인 발전기에 의해 생산되고 있는 전압은 교류이고, 교류전압은 슬립링에 공급된다는 것을 기억하는 것이 중요하다. 목적은 직류부하에 공급하기

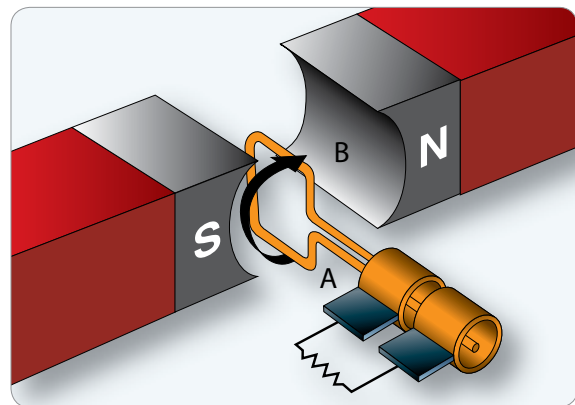


[그림 2-37] Output of an elementary generator

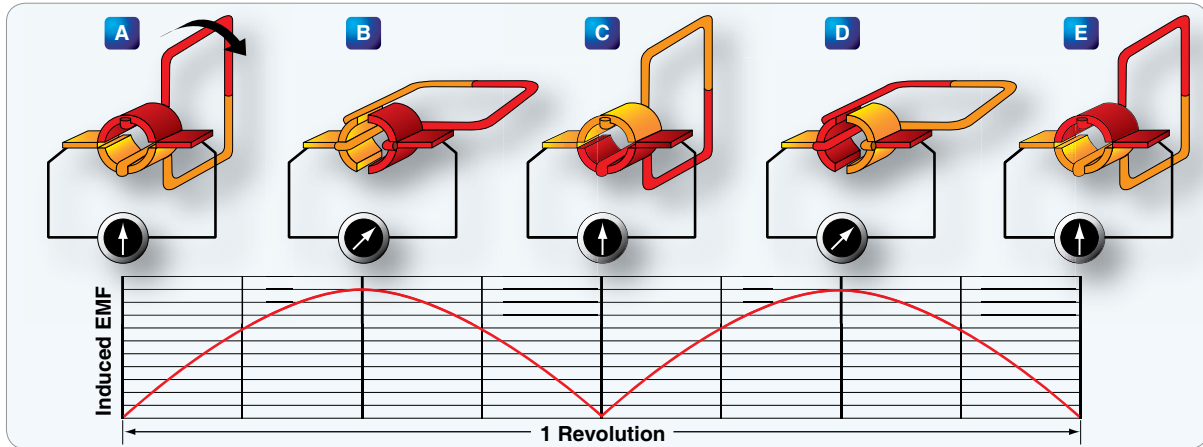
위한 것이기 때문에, 교류전압을 직류전압으로 바꾸어주도록 장치되어야 한다. 발전기는 발전기 루프에서 생산된 교류를 직류전압으로 바꾸어주는, 정류자(commutator)로 알려진, 개조된 슬립링 배열을 사용한다. 정류자의 작용은 발전기의 직류출력 생산을 가능하게 한다.

2개의 절반 원통, 즉 정류자를 이용하여 기본적인 교류발전기의 슬립링을 대체하면, 기본적인 직류발전기가 얻어진다. 그림 2-39에서, 코일의 적색 부분은 적색 편에 그리고 코일의 황색 부분은 황색 편에 연결되었다. 편은 서로 절연되어 있다. 2개의 고정된 브러시가 정류자의 양쪽에 배치되어 있으므로 각각의 브러시는 정류자가 루프와 함께 동시에 순환할 때 정류자의 각각의 편에 접촉하도록 설치된다. 직류발전기의 회전부분, 즉 코일과 정류자는 전기자(armature)라고 부른다.

그림 2-39의 아주 간단한 발전기와 같이, 루프가 회전할 때 브러시는 정류자의 서로 다른 편에 접촉된다. Position A, C, 그리고 E에서, 브러시는 브러시 사이에 절연체에 닿는데, 루프가 이들 위치에 있을 때, 생산되는 전압은 없다. Position B에



[그림 2-38] Generator slip rings and loop rotate; brushes are stationary



[그림 2-39] A two-piece slip ring, or commutator, allows brushes to transfer current that flows in a single direction (DC)

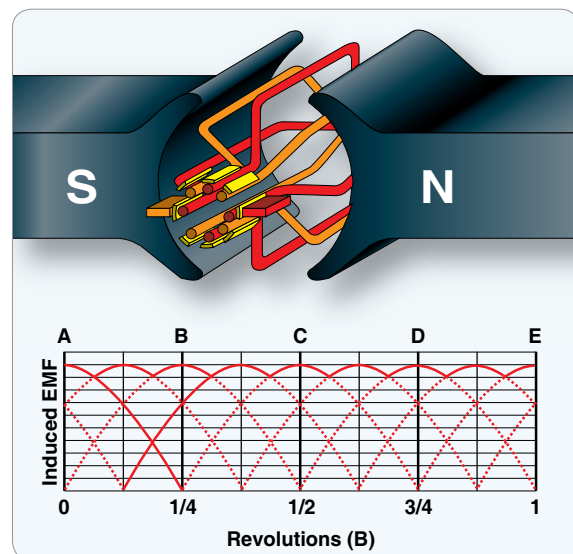
서, 양극브러시는 도선 루프의 적색 부분에 닿는다. Position D에서, 양극브러시는 전기자 도선의 황색 부분에 닿는다. 이 형태의 접속반전은 항공기에 동력을 공급하기 위해 도체 코일에서 생산된 교류를 직류로 변환시킨다. 전선의 몇 개 루프와 정류자편(commutator segment)을 가지고 있는, 실제의 직류발전기는 더 복잡한 것이다.

이 정류자의 전환특성(switching characteristic) 때문에, 적색브러시는 항상 아래쪽 방향으로 움직이는 코일측과 접촉하는 것이고, 황색브러시는 항상 위쪽 방향으로 움직이는 코일측과 접촉하는 것이다. 실제로 전류는 교류발전기에서와 마찬가지로 루프에서 전류의 방향을 반대로 하지만, 정류자 작용은 전류로 하여금 외부회로 또는 계측기를 통하여 항상 같은 방향으로 흐르게 한다.

그림 2-39와 같이, 기본적인 직류발전기에 의해 발생하는 전압은 루프의 회전운동마다 영(Zero)에서 최대값까지 두 번씩 바뀐다. 그림 2-40과 같이, 이러한 직류전압의 변동은 리플(ripple)이라고 하고 루프 또는 코일을 더 많이 사용하여 줄어든다.

한다.

그림 2-40과 같이, 루프의 수가 늘어났을 때, 전압의 최대값과 최소값 사이의 변동은 줄어들고, 그리고 발전기의 출력전압은 거의 정상 직류값에 접근한다. 회전자에 각 추가된 루프에 대해, 또 다른 2개의 정류자편이 요구된다. 그림 2-41에서는 전형적인 직류발전기 정류자의 사진을 보여준다.



[그림 2-40] Increasing the number of coils reduces the ripple in the voltage



[그림 2-41] Typical DC generator commutator

2.2.2.2 직류발전기의 구성

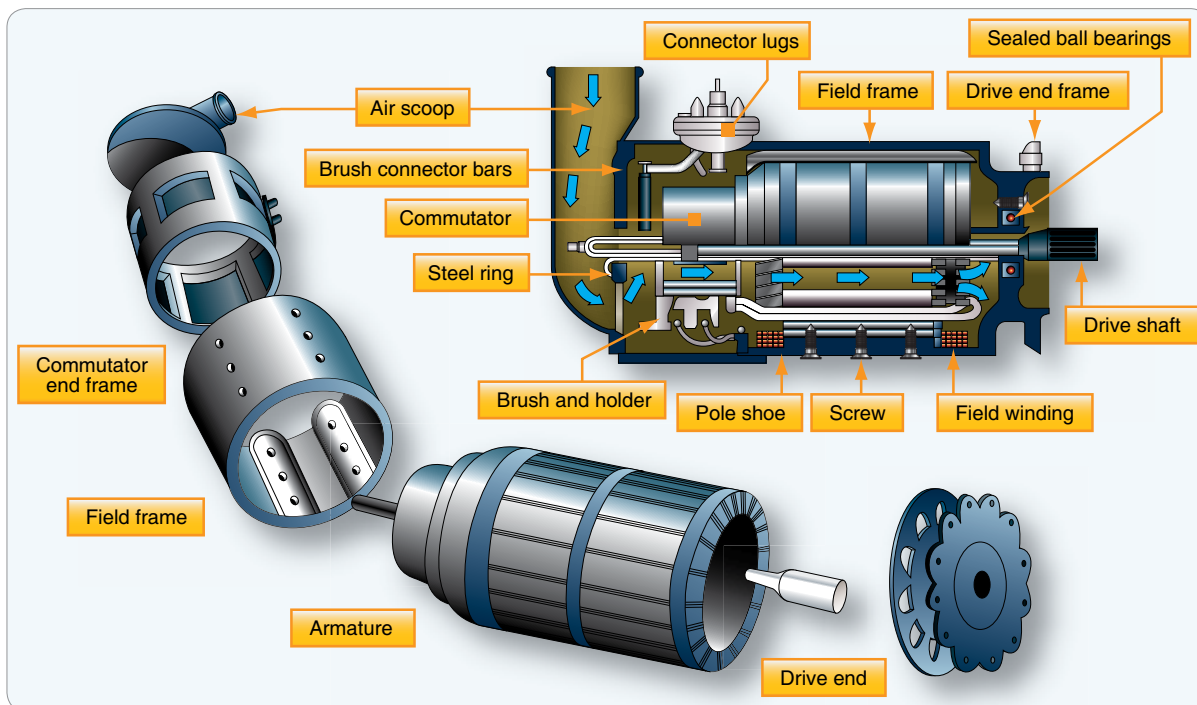
(Construction Features of DC Generators)

직류발전기의 주 구성품 또는 어셈블리는 계자 틀(field frame), 회전하는 전기자(rotating armature), 그리고 브러시어셈블리(brush

assembly)이다. 그림 2-42에서는 일반적인 항공기의 발전기 부품을 보여준다.

(1) 계자 틀(Field Frame)

그림 2-43과 같이, 틀은 두 가지 기능을 갖고 있는데, 자기장을 일으키는 데 필요한 권선을 잡아주는 것, 그리고 발전기의 다른 부품을 위한 기계적 지지물로 사용하는 것이다. 실제의 전자석 도선은 계자극(field pole)이라고 부르는 적층판으로 만든 금속의 조각 주위에 감겨진다. 극은 일반적으로 틀 안쪽에 볼트로 죄어지고 와전류손실(eddy current loss)을 줄이기 위해서 적층판으로 만들어지고 전자석의 철심과 같은 용도이다. 철심은 계자코일(field coil)에 의해 일으켜진 자력선을 집결시킨다. 계자코일은 절연선을 많이 감아(회전) 만들고, 보통 단단히 고정되



[그림 2-42] Typical 24-volt aircraft generator



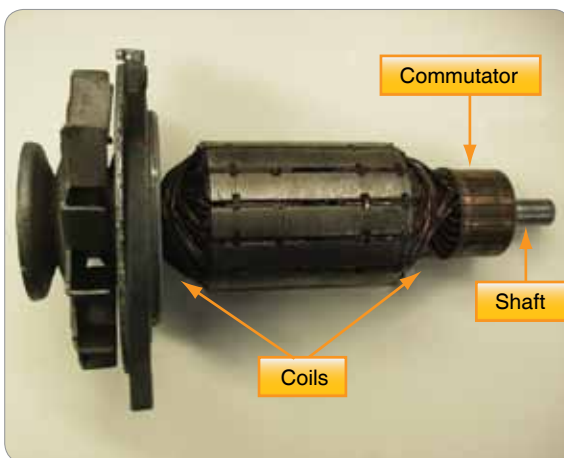
[그림 2-43] Generator field frame

어 있는 극의 철심 위에 적합한 형태로 감긴다.

직류전류는 전자기장(electromagnetic field)을 일으키기 위해 계자코일로 보내진다. 이 전류는 일반적으로 발전기 시스템을 위한 전압과 전류제어를 위해 외부전원으로부터 얻어진다. 발전기제어시스템은 이 챕터 후반에 설명된다.

(2) 전기자(Armature)

발전기의 전기자어셈블리(armature assembly)는 2개의 일차요소로 이루어지는데, 철심 주위에

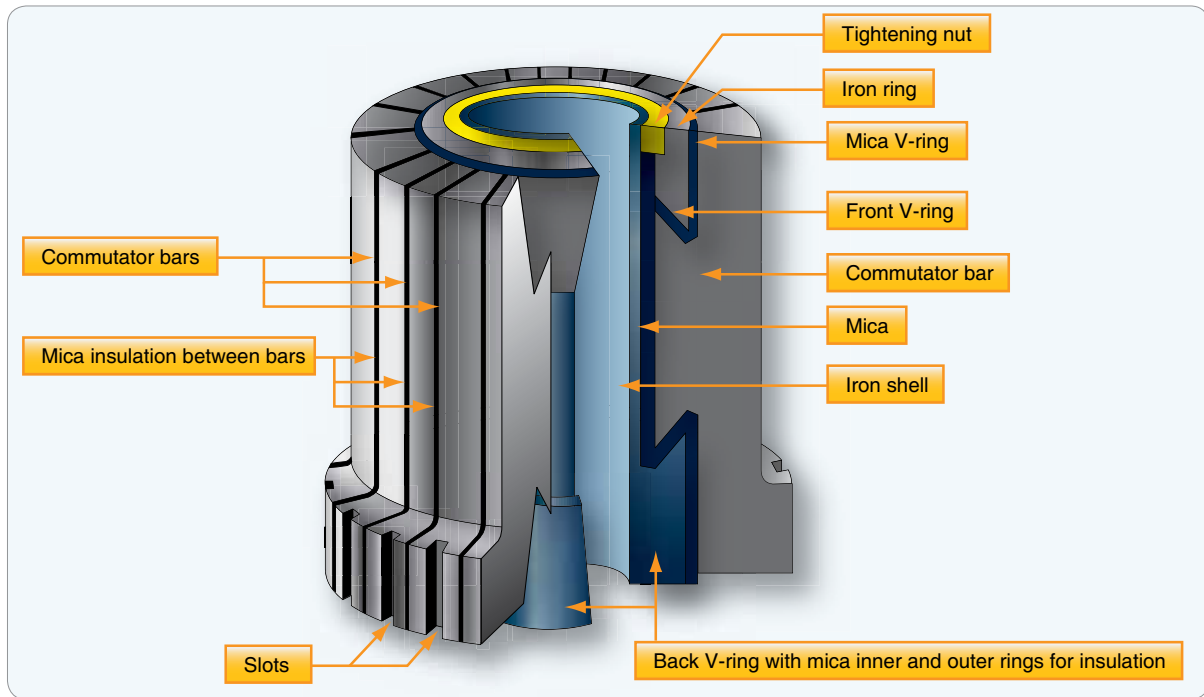


[그림 2-44] Typical DC generator commutator

감긴 권선이라 부르는 전선코일과 정류자어셈블리이다. 전기자권선은 전기자 주위에 균등하게 일정한 간격을 두고 강축(steel shaft)에 설치된다. 전기자는 계자코일에 의해 만들어진 자기장 내에서 회전한다. 전기자의 자심은 자기장 내에서 철도체(iron conductor)처럼 작용하며, 이 때문에 와전류의 순환을 방지하도록 적층판으로 만들어진다. 그림 2-44에서는 일반적인 정류자어셈블리를 보여준다.

(3) 정류자(Commutators)

그림 2-45에서는 일반적인 정류자의 단면도를 보여준다. 정류자는 전기자의 끝단에 위치하고 얇은 절연체로서 분할된 동편(copper segment)으로 이루어진다. 절연체는 종종 광물성윤모로 제작된다. 브러시는 전기자코일(armature coil)과 외부회로 사이에 전기접점을 형성하는 정류자의 표면에 얹혀서 움직인다. 일반적으로 접촉용 구리줄이라고 부르는, 잘 구부러지는, 편조된 구리도체는 외부회로로 각각의 브러시를 연결한다. 브러시는 정류자의 표면에 있는 요철을 따라가기 위해 브러시홀더(brush holder)에서 아래위로 미끄러지도록 자유롭다. 브러시와 정류자편(commutator segment) 사이에 전기적 연결에 위한 브러시와 정류자 사이에 마찰과 함께 계속되는 생산과 중단은 브러시를 닳아 없어지게 하고 정기적인 점검과 교체를 필요로 한다. 이러한 이유로, 일반적으로 브러시에 사용되는 재료는 고품질의 탄소이다. 탄소는 정류자의 과도한 마모를 방지하기에 충분히 부드러워야 하고 적당한 브러시 수명을 제공하기에 충분히 단단한 것이어야 한다. 탄소의 접촉저항은 상당히 크기 때문에, 브러시는 전기자권선(armature winding)을 위한 전류경로를



[그림 2-45] Commutator with portion removed to show construction

제공하도록 커야 한다.

정류자 표면은 가능한 한 마찰을 줄이기 위하여 고도로 마멸시킨다. 오일 또는 그리스는 정류자에 절대 사용해서는 안 되고, 표면의 훼손 또는 손상을 피하기 위해 정류자를 손질할 때 세심한 주의를 기울여야 한다.

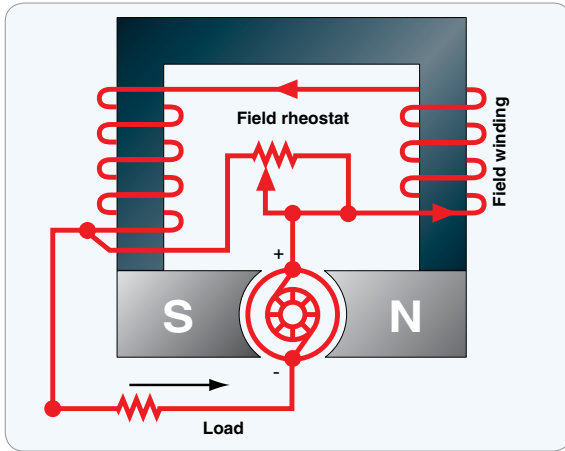
2.2.2.3 직류발전기 유형

직류발전기는 세 가지 유형이 있는데, 직권(series-wound), 분권(parallel-wound or shunt-wound), 직·분권(series-parallel wound) 또는 복권(compound-wound)이 있다. 적합한 발전기는 외부회로에 연결된 전기자와 계자회로(field circuit)에 따라 결정된다. 외부회로는 발전기에서 동력을 받는 전기부하이다. 일반적으로, 외부회로는 항공기 배터리 충전과 항

공기에서 사용되는 모든 전기장치에 전원을 공급하기 위해 사용된다. 명칭에서 의미하듯이, 직렬로 있는 권선은 병렬로 있는 권선과는 다른 특성을 갖는다.

(1) 직권 직류발전기(Series Wound DC Generator)

그림 2-46과 같이, 직권발전기는 외부회로에 직렬로 연결된 계자권선(field winding)을 갖고 있다. 직권발전기는 외부회로로 계자코일을 통과한 전류가 많으면 많을수록, 유도기전력이 더 증가하고 단자전압 또는 출력전압이 더 커지기 때문에, 변화하는 부하에서 매우 불량한 전압조절이 이루어진다. 항공기 전기부하가 증대되었을 때, 전압도 증가하고, 마찬가지로 부하가 감소되었을 때 전압도 감소한다.



[그림 2-46] Diagram of a series wound generator

직권발전기는 이런 불량한 전압조절과 전류제어가 되기 때문에, 비행기의 발전기로 사용하지 않는다. 비행기의 발전기는 분권형이거나 또는 복권형으로 연결된 계자권선을 갖는다.

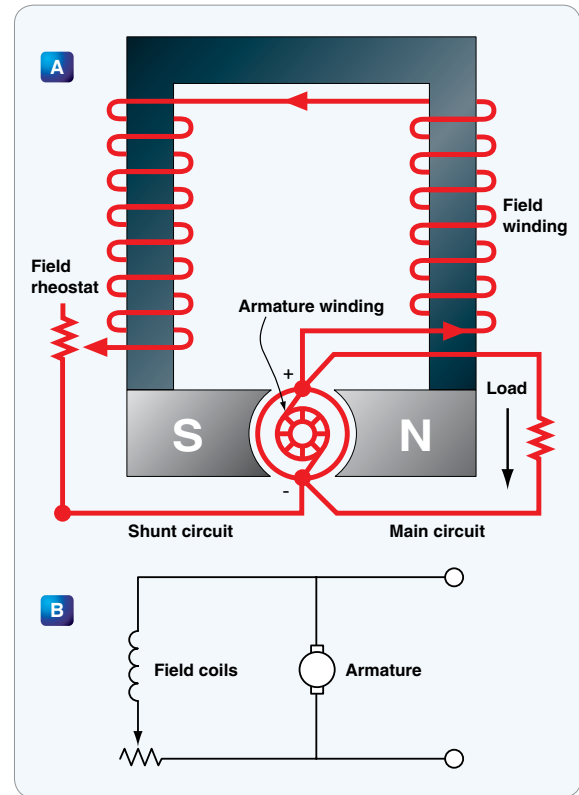
(2) 분권 직류발전기

(Parallel(Shunt) Wound DC Generator)

그림 2-47과 같이, 외부회로와 병렬로 연결된 계자권선을 갖는 발전기는 분권발전기라고 부른다. 전기용어로 분권은 병렬을 의미한다. 그러므로 이 형태의 발전기는 분권발전기(shunt generator)라고 부르거나 병렬발전기(parallel generator)라고 부른다.

분권발전기에서, 부하의 증가는 출력전압 감소의 원인이 되고, 그리고 부하의 감소는 출력전압 증가의 원인이 된다. 이 현상은 계자권선이 부하와 전기자에 병렬로 연결되었기 때문에 일어나고, 그리고 외부회로에 흐르는 모든 전류는 계자가 아니고 오직 전기자권선을 거쳐나간다.

그림 2-47의 A와 같이, 분권발전기의 출력전압은



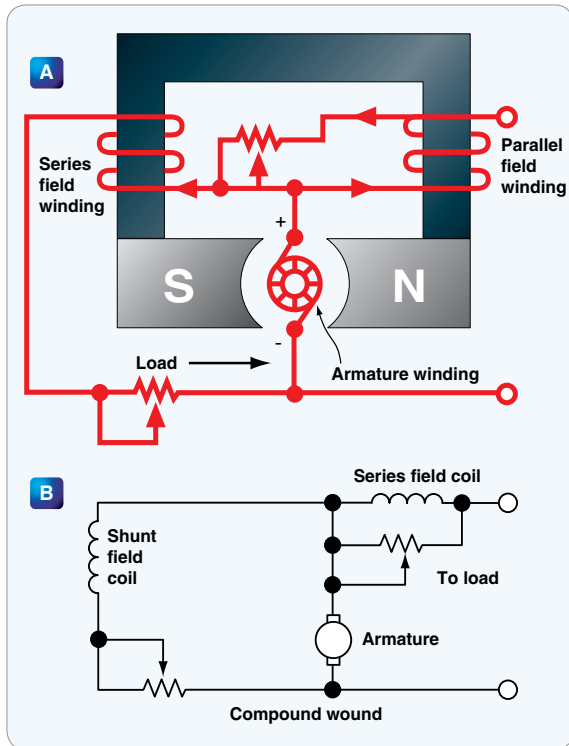
[그림 2-47] Shunt wound generator

계자권선에 직렬로 삽입된 가감저항기를 써서 제어할 수 있다. 계자회로의 저항이 증대되었을 때, 계자전류(field current)는 줄어드는데, 결과적으로 발생하는 전압이 줄어든다. 계자저항이 감소되었을 때, 계자전류는 증대하고 발전기출력은 증대한다. 실제의 항공기에서, 계자가감저항기는 전압조절기와 같은, 자동제어장치로 대체된다.

(3) 복권 직류발전기

(Compound Wound DC Generator)

그림 2-48과 같이, 복권발전기는 부하에 직렬로 하나 그리고 병렬로 다른 하나, 2개의 계자권선을 갖고 있다. 이 배열은 이전에 설명한 직렬특성과 병



[그림 2-48] Compound wound generator

렬특성 모두의 장점을 취한다. 복권발전기의 출력은 부하가 변화되어도 비교적 일정하다.

2.2.2.4 발전기 등급(Generator Ratings)

직류발전기는 일반적으로 발전기의 전압과 동력 출력(power output)에 대하여 등급이 평가된다. 각각의 발전기는 대략 14[V] 또는 28[V]로 명시된 전압에서 작동하도록 설계된다. 이것은 항공기 전기시스템이 이들 두 가지 전압값 중 어느 하나로 작동하도록 설계되었다는 것에 주목해야 한다. 항공기의 전압은 항공기에 선택되는 배터리에 따라 달라진다. 배터리는 완전충전 되었을 때 12[V] 또는 24[V]이다. 선택되는 발전기는 배터리전압보다 약간 더 높은 전압출력을 가져야 한다. 결국 항

공기 직류발전기는 14[V] 또는 28[V] 정격이 요구된다.

발전기의 정격출력은 발전기가 안전하게 공급할 수 있는 암페어의 최대값으로 주어진다. 발전기 정격과 성능자료는 발전기에 부착된 명판에 새겨진다. 발전기를 교체할 때, 적절한 정격의 발전기를 선택하는 것은 중요하다.

발전기의 회전은 작동 측에서 보았을 때, 시계방향 또는 반시계방향 중 하나이고, 회전의 방향은 명판(data plate)에 새겨지게 된다. 정확히 회전하는 발전기가 사용되는 것은 중요한데, 그렇지 않으면 출력전압의 극성은 반대로 된다. 항공기 엔진의 속도는 공회전수(idle rpm)에서 이륙회전수(take-off rpm)까지 변화하는데, 비행의 대부분은 정속순항속도(constant cruising speed)이다. 발전기 구동장치는 보통 엔진크랭크샤프트속도(engine crankshaft speed)의 $1\frac{1}{8} \sim 1\frac{1}{2}$ 배 사이에서 발전기를 돌리도록 맞물린다. 대부분 항공기 발전기는 발전기의 정상 전압을 생성하기 시작하는 속도를 갖는다. 이를 “개시(coming-in)” 속도라고 하며, 그것은 보통 약 1,500[rpm]이다.

2.2.2.5 직류발전기 정비

(DC Generator Maintenance)

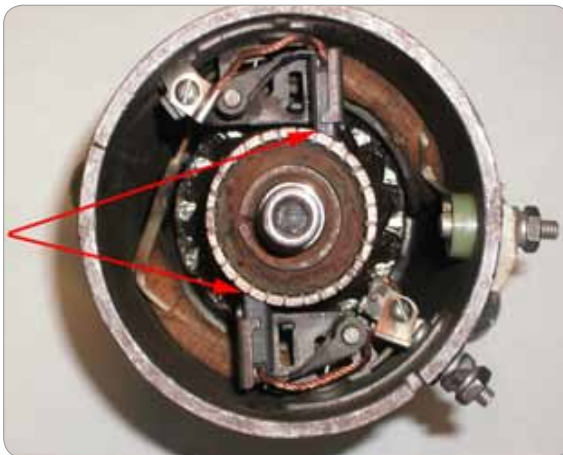
직류발전기시스템의 점검 및 유지보수에 대한 다음 정보는 많은 다른 항공기 발전기시스템 때문에 사실상 일반적인 것이다. 아래 절차는 단지 이해를 돕기 위한 것이며, 항상 주어진 발전기시스템에 적용할 수 있는 제작사사용법설명서에 따른다. 일반적으로, 항공기에 장착된 발전기의 검사는 다음 항목을 포함해야 한다.

- (1) 발전기 설치의 안전성
- (2) 배선의 상태
- (3) 발전기에 있는 먼지와 오일. 만약 오일이 있다면 엔진 오일실(oil seal)을 점검한다. 압축공기로 먼지를 불어낸다.
- (4) 발전기 브러시의 상태
- (5) 발전기 작동
- (6) 전압조절기 작동

그림 2-49와 같이, 브러시의 불꽃은 정류자편(commutator bar)과 접촉하는 유효브러시 면적을 빠르게 줄인다. 이러한 불꽃의 정도는 반드시 결정되어야 한다. 과도한 마모는 세부검사와 여러 구성요소 교체의 근거가 된다.

그림 2-50과 같이, 제조사는 보통 슬립링 또는 정류자에 양호한 접촉을 만들지 않는 브러시의 안착을 위해 다음과 같은 절차를 권고한다.

탄소브러시의 거친 면으로, 브러시의 아래에 극세 000Grit, 또는 더 미세한, 샌드페이퍼(sandpaper)의 길고 가느다란 조각의 삽입을 위해 브러시를 충

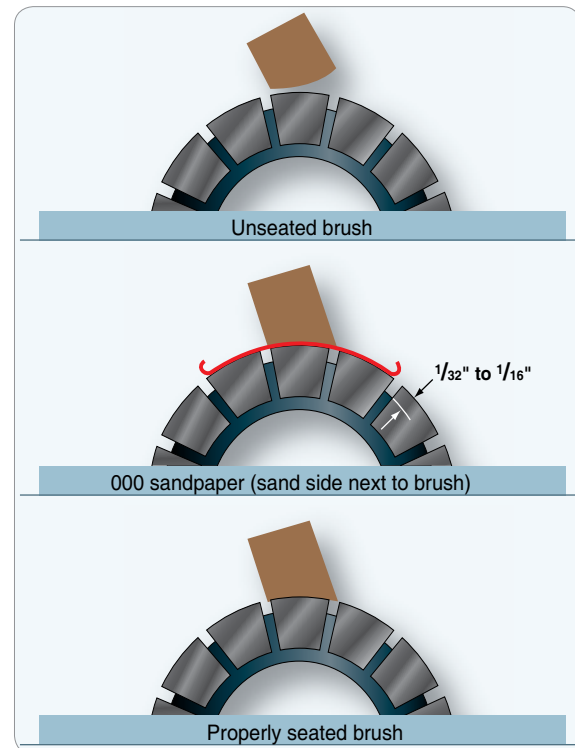


[그림 2-49] Wear areas of commutator and brushes

분히 들어 올린다.

브러시의 가장자리가 둥글게 되는 것을 피하기 위해 슬립링 또는 정류자 표면에 가깝게 샌드페이퍼의 끝단을 유지하면서, 전기자 회전 방향으로 사포를 잡아당긴다. 출발점으로 다시 샌드페이퍼를 끌어당길 때, 브러시가 샌드페이퍼에 올라타지 않도록 브러시를 위로 올린다. 오직 회전 방향으로만 브러시를 사포로 닦는다. 브러시 사포 결과로 발생하는 탄소가루는 사포 작업 후에 발전기의 모든 주요 부분에서 철저히 세척되어야 한다.

발전기를 짧게 가동한 후, 사포 부스러기가 브러시에 끼워지지 않았는지 확인하기 위해 검사해야 한다. 금강사 천 또는 유사한 연마제는 이들이 브러시와 정류자편 사이에서 전호의 원인이 되는 도전재료



[그림 2-50] Seating brushes with sandpaper



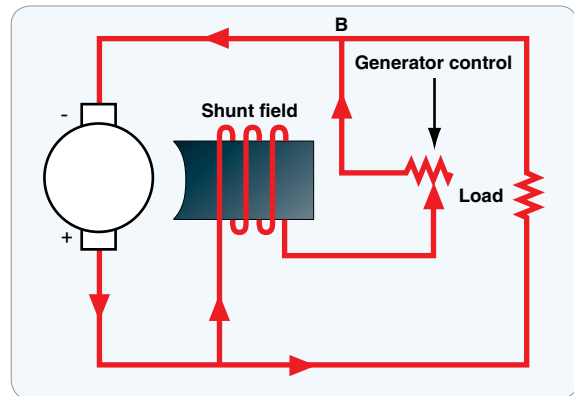
을 함유하기 때문에, 어떤 경우에도 브러시를 안착이나 정류자를 매끄럽게 하기 위해 사용하지 않는다. 브러시의 스프링압력을 수정하는 것은 중요하다. 초과압력은 브러시의 신속한 마모의 원인이 된다. 그러나 너무 작은 압력은 브러시가 튀게 하여 불에 탄 표면과 움푹 들어간 표면이 발생하게 한다. 제조사에 의해 권고된 압력은 온스(ounce)로 눈금을 표시한 용수철저울의 사용하여 점검해야 한다. 일부 발전기에 브러시 스프링장력은 조절할 수 있다. 용수철저울은 브러시가 정류자에 가하는 압력을 측정하기 위해 사용한다.

유연한 저저항 접속용구리줄은 큰 전류를 운반하는 통전브러시(current carrying brush)에 연결되고, 확실히 접속되어야 하며 자주 점검되어야 한다. 접속용구리줄은 개조되거나 브러시의 자유운동을 제한하지 말아야 한다. 접속용구리줄의 목적은 전기자에서, 브러시를 통해, 발전기의 외부회로로 전류를 전도하는 것이다.

2.2.3 발전기 제어

2.2.3.1 발전기 제어 이론

모든 항공기는 특정한 전압범위 내(예를 들어 13.5~14.4[V])에서 운용되도록 설계되었다. 그리고 항공기는 엔진이 발전기를 가동시키는, 변화하는 엔진 회전속도(엔진이 발전기를 구동한다), 그리고 변화하는 전력수요에서 운용되기 때문에, 모든 발전기는 제어시스템에 의해 조절되어야 한다. 발전기제어시스템(generator control system)은 변화하는 모든 비행에 대해 한도 이내로 발전기출력을 유지하도록 설계되었다. 발전기제어시스템은 종종 전압조절



[그림 2-51] Regulation of generator voltage by field rheostat

기(voltage regulator) 또는 발전기제어장치(GCU, generator control unit)라고 부른다.

항공기 발전기출력은 발전기의 자기장 강도의 제어를 통해 쉽게 조정될 수 있다. 자기장의 강도는 발전기출력에 직접 영향을 준다는 것을 기억하라. 계자전류(field current)가 강하면 강할수록 발전기출력은 더 커지고, 계자전류가 약하면 약할수록 발전기출력은 더 작아진다. 그림 2-51에서는 계자전류를 조정하기 위해 사용된 간단한 발전기제어를 보여준다. 계자전류가 제어되었을 때, 발전기출력은 제어된다. 이 시스템은 수동으로 조정되어 항공기에 적합하지 않다. 항공기 시스템은 자동으로 되어야 하고 그러므로 조금 더 복잡하다.

발전기제어는 두 가지 기본적인 유형이 있는데, 전기·기계식(electro-mechanical)과 솔리드-스테이트(solid-state), 즉 트랜지스터식이다. 전기·기계식제어는 구형 항공기에서 찾아볼 수 있고 정기검사와 유지보수를 필요로 하는 경향이 있다. 솔리드-스테이트 시스템은 더 현대적인 것이고 일반적으로 더욱 좋은 신뢰도와 더욱 정밀한 발전기출력제어를 갖는 것으로 간주된다.

2.2.3.2 발전기제어시스템의 기능

대부분 발전기제어시스템은 직류발전시스템(DC generation system)의 조절, 감지, 그리고 보호에 관계된 다수의 기능을 수행한다. 일반적으로 경량항공기는 대형다발항공기보다 덜 복잡한 발전기제어시스템을 필요로 한다. 다음에 기록된 기능 중 일부는 경량항공기에서 찾아볼 수 없다.

(1) 전압조절(Voltage Regulation)

가장 기본적인 발전기제어장치(GCU) 기능은 전압조절이다. 어떤 종류의 조절은 알고 있는 기준에 발전기출력의 표본추출과 비교하기 위한 조절장치(regulation unit)를 필요로 한다. 만약 발전기의 출력전압이 정해진 한도를 벗어나면, 조절장치는 발전기계자전류를 조정해야 한다. 계자전류를 조정하면 발전기출력이 제어된다.

(2) 과전압보호(Overvoltage Regulation)

과전압보호시스템은 기준전압(reference voltage)에 표본추출전압(sampled voltage)을 비교한다. 과전압보호회로(overvoltage protection circuit)는 계자여자전류(field excitation current)를 제어하는 릴레이를 개방하기 위해 사용된다. 이것은 일반적으로 더 복잡한 발전기제어시스템에서 찾아볼 수 있다.

(3) 발전기 병렬운전(Parallel Generator Operation)

다발항공기에서, 병렬특성은 모든 발전기를 한도 이내로 작동하기 위해 사용된다. 일반적으로, 병렬시스템(paralleling systems)은 2개 이상의 발전기 사이에 전압을 비교하고 전압조절회로에 의해 조정

한다.

(4) 과여자방지(Over-excitation Protection)

병렬운전방식에서 하나의 발전기가 고장 났을 때, 발전기 중 하나는 과여자되고, 전체 부하가 아니라면, 부하의 점유율 이상을 처리하려는 경향이 있다. 기본적으로 이런 상황은 발전기로 하여금 더 많은 전류를 생산하게 한다. 만일 이런 상황이 감지되었다면, 과여자된 발전기는 한도 이내로 되돌려야 하거나, 그렇지 않으면 손상이 일어나야 한다. 과여자회로(over-excitation circuit)는 종종 발전기를 제어하는 과전압회로(overvoltage circuit)와 함께 작동한다.

(5) 차동전압(Differential Voltage)

제어시스템 중 이 기능은 모든 발전기전압값(generator voltage value)이 부하버스(load bus)에 연결되기 전에 허용한계 이내에 있는지를 보장하도록 설계된다. 만약 출력이 명시된 허용한계 이내에 있지 않다면, 발전기접촉기(generator contactor)가 부하버스로 발전기를 연결하는 것을 허용하지 않는다.

(6) 역전류감지(Reverse Current Sensing)

만약 발전기가 요구된 전압준위를 유지할 수 없다면, 결국 전압을 공급하는 대신에 전류를 사용하기 시작한다. 예를 들어, 이 상황은 발전기가 고장 났을 경우에 발생한다. 발전기가 고장 났을 때, 작동되고 있는 다른 발전기 또는 배터리의 부하가 된다. 결합이 있는 발전기는 버스로부터 차단되어야 한다. 역전류감지기능(reverse current sensing function)



은 역전류에 대해 시스템을 감시한다. 역전류는 전류가 발전기로부터 나오는 것이 아니고 발전기로 흐르는 것을 나타낸다. 만일 이 현상이 일어난다면, 시스템은 발전기릴레이(generator relay)를 개방시키고 버스로부터 발전기를 분리한다.

2.2.3.3 고출력발전기를 위한 발전기 제어

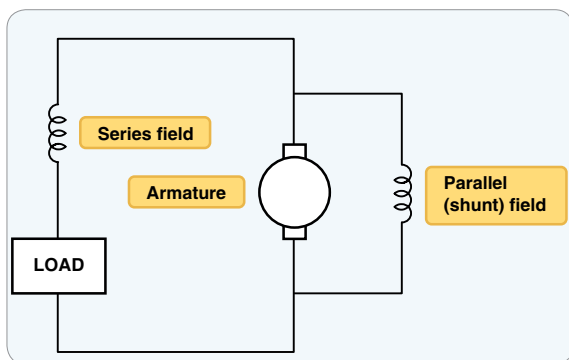
(Generator Control for High-output Generator)

가장 현대의 고출력발전기는 터빈동력식(turbine powered corporate-type) 항공기에서 찾을 수 있다. 소형 상용제트기와 터보프롭항공기는 하나의 장치로 결합된 발전기와 시동기를 쓴다. 이 장치는 스타터-제네레이터(starter-generator)라고 부른다. 스타터-제네레이터는 하나의 틀 안에 2개의 장치를 결합시켜 공간과 무게 절약의 이점을 갖는다. 스타터-제네레이터는 엔진시동과 전력의 발전, 두 가지 업무를 수행하기 때문에, 이 장치에 대한 제어시스템은 비교적 복잡하다.

그림 2-52와 같이, 스타터-제네레이터의 간단한 설명은 장치가 2개조의 계자권선이 포함되어 있음을 보여준다. 하나의 계자는 엔진을 시동하는 데 사

용되고 다른 하나는 전력의 발전을 위해 사용된다.

시동기능(start function)을 하는 동안, 발전기제어장치(GCU)는 직권계자에 전압을 가하고 전기자는 스타터-제네레이터가 전동기처럼 작동하게 한다. 발전모드(generating mode) 동안, 발전기제어장치(GCU)는 직권계자를 분리시키고 분권계자를 자화하여, 전기자에 의해 생산된 전류를 제어한다. 이때에 스타터-제네레이터는 일반적인 발전기와 같이 작용한다. 물론 발전기제어장치(GCU)는 전압을 제어하고 시스템을 보호하기 위해 이전에 설명하였던 모든 기능을 수행한다. 이들 기능은 전압조정(voltage regulation), 역전류감지(reverse current sensing), 차동전압(differential voltage), 과여자보호(over-excitation protection), 과전압보호



[그림 2-52] Starter-generator



[그림 2-53] Generator control unit (GCU)

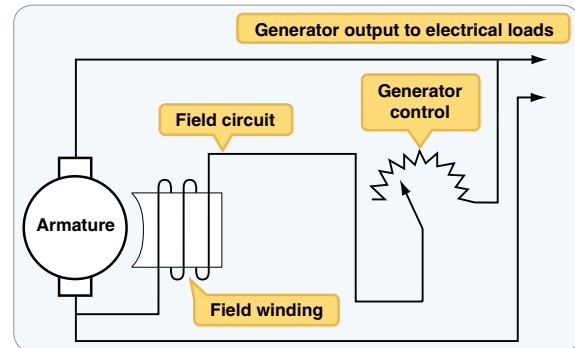
(overvoltage protection), 그리고 병렬발전기운전(parallel generator operation)을 포함한다. 그림 2-53에서는 일반적인 발전기제어장치(GCU)를 보여준다.

일반적으로, 고출력발전기를 위한 현대의 발전기 제어장치(GCU)는 발전기 또는 스타터-제네레이터의 운전을 감지하기 위해 솔리드-스테이트 전자 회로를 쓴다. 회로소자는 여러 배전버스(distribution bus)에 장치를 연결하고 분리하도록 일련의 릴레이나 솔레노이드를 제어한다. 거의 모든 전압조정 회로에서 찾아볼 수 있는 한 가지 구성부분은 제너다이오드이다. 제너다이오드는 시스템전압을 감시하는 데 사용되는 전압감지장치(voltage sensitive device)이다. 발전기제어장치회로(generator control unit circuitry)와 함께, 제너다이오드는 발전기출력을 제어하는, 계자전류를 제어한다.

2.2.3.4 저출력발전기의 발전기 제어(Generator Control for Low-output Generator)

저출력발전기에 대한 대표적인 발전기제어회로는 발전기출력전력(generator output power)을 제어하기 위해 발전기계자에 전류흐름을 변경한다. 비행의 변수와 전기부하의 변화에 따라, 발전기제어장치(GCU)는 전기시스템을 감시해야 하고 적절한 시스템전압과 시스템전류를 보장하기 위해 적절한 조정을 수행해야 한다. 전형적인 발전기제어장치(GCU)는 전압조정기 또는 발전기제어장치라고 부른다.

대부분 저출력발전기는 구형 항공기에서 발견되며, 이들 시스템에 대한 제어시스템은 전기·기계장치이다. 솔리드-스테이트 장치는 직류발전기가 아니고 직류교류기(DC alternators)를 사용하는 현대

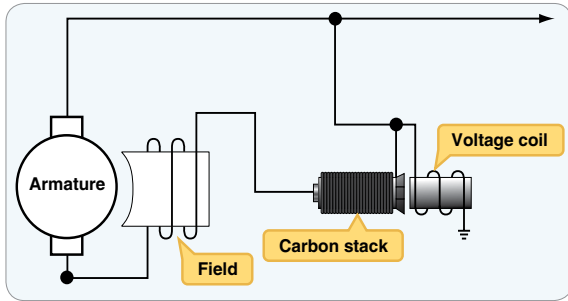


[그림 2-54] Voltage regulator for low-output generator

의 항공기에서 발견된다. 두 가지의 가장 일반적인 유형의 전압조정기는 카본파일조정기(carbon pile regulator)와 3단조정기(three-unit regulator)이다. 이 장비들 각각은 가변저항기의 형태를 사용하는 계자전류를 제어하고, 계자전류 제어는 발전기출력을 제어한다. 그림 2-54에서는 간단한 발전기제어회로를 보여준다.

(1) 카본파일조정기(Carbon Pile Regulators)

카본파일조정기는 겹쳐 쌓아진 카본디스크(carbon disk), 즉 카본파일(Carbon Pile)을 통과하여 계자전류를 보내 직류발전기출력(DC generator output)을 제어한다. 카본디스크는 발전기계자(generator field)와 직렬로 있다. 만약 카본디스크의 저항이 증대한다면, 계자전류는 감소하고 발전기출력도 떨어진다. 이와 반대로 카본디스크의 저항이 감소한다면, 계자전류는 증대하고 발전기출력도 올라간다. 그림 2-55에서 보여준 것처럼, 전압코일(voltage coil)은 발전기 출력도체(output lead)와 병렬로 장착되어 있다. 전압코일은 발전기 출력전압이 변화할 때 강도를 증대시키거나 감소시키는 전자석처럼 작동한다. 전압코일의 자기력은 탄소스택(carbon stack)에 압력



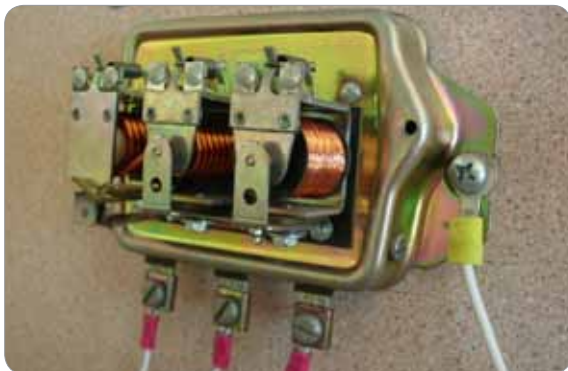
[그림 2-55] Carbon pile regulator

을 제어한다. 탄소스택의 압력은 탄소의 저항을 제어하는데, 탄소의 저항은 계자전류를 제어하고 계자전류는 발전기출력을 제어한다.

카본파일조절기는 정확한 전압조절을 보장하기 위해 정기적인 유지보수를 필요로 하는데, 이런 이유로 대부분 항공기에서 더 현대적 시스템으로 교체되었다.

(2) 3단조절기(Three-unit Regulators)

직류발전기시스템(DC generator system)과 함께 사용된 3단조절기는 3개의 별개 구성부분으로 제작되었다. 이들 구성부분 각각은 전기시스템운용(electrical system operation)을 수정하기 위해 특



[그림 2-56] The three relays found on this regulator are used to regulate voltage, limit current, and prevent reverse current flow

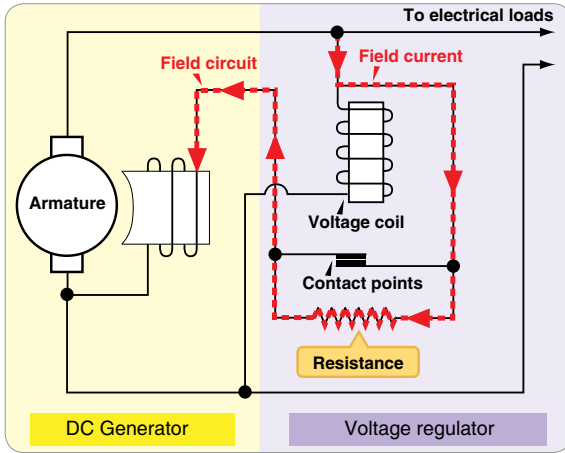
정 기능을 수행한다. 전형적인 3단조절기는 단일틀(single housing)에 장착된 3개의 릴레이로 구성되어 있다. 3개의 릴레이 각각은 발전기출력을 감시하고 시스템의 필요에 따라 릴레이접점(relay contact point)을 개방하거나 접속시킨다. 그림 2-56에서는 전형적인 3단조절기를 보여준다.

(3) 전압조절기(Voltage Regulator)

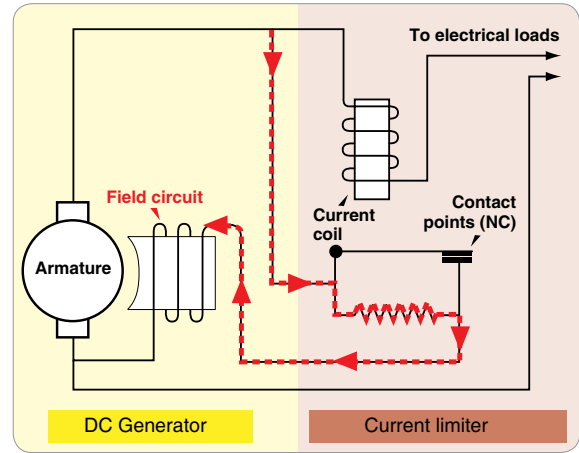
3단조절기의 전압조절기 부분은 발전기 출력전압을 제어하기 위해 사용된다. 전압조절기는 발전기출력을 감시하고 필요시에 발전기계자전류(generator field current)를 제어한다. 만약 전압조절기가 시스템전압이 너무 높다는 것을 감지하면, 릴레이접점은 개방되고 계자회로에 전류는 저항기를 통해 이동해야 한다. 이 저항기는 계자전류를 낮추고, 발전기출력을 낮춘다. 발전기출력은 발전기 계자전류가 떨어질 때에는 언제나 떨어진다.

그림 2-57과 같이, 전압코일(voltage coil)은 발전기출력에 병렬로 연결되고, 그 결과 시스템의 전압을 측정한다. 만약 전압이 미리 결정된 한도를 넘어서 얻어지면, 전압코일은 강한 자석이 되고 접점을 개방한다. 만약 접점이 개방되면, 계자전류는 저항기를 통해 이동해야 하고 그 결과 계자전류는 떨어진다. 점선으로 된 화살표는 릴레이접점이 열릴 때 전압조절기를 통한 전류흐름을 보여준다.

이 전압조절기가 점접개방(point open)과 점접접합(point closed)의 오직 두 가지의 위치를 갖기 때문에, 이 장치는 정확한 전압조정이 유지되도록 끊임없이 조절을 해야 한다. 정상시스템운용 시에, 접점은 일정한 간격을 두고 개방하고 접속한다. 점접은 사실상 진동하고 있다. 이런 형태의 전압조절기



[그림 2-57] Voltage regulator



[그림 2-58] Current limiter

는 때때로 진동식조절기(vibrating type regulator)라고 부른다. 접점이 진동할 때, 계자전류는 올라가고 내려와서 계자자기력(field magnetism)은 정확한 발전기 출력전압을 유지하는 수준으로 유지된다. 만약 시스템이 더 많은 발전기출력을 요구한다면, 접점은 더 오랫동안 접속 상태로 있고, 더 적은 발전기출력을 요구한다면, 접점은 더 오랫동안 개방 상태로 있다.

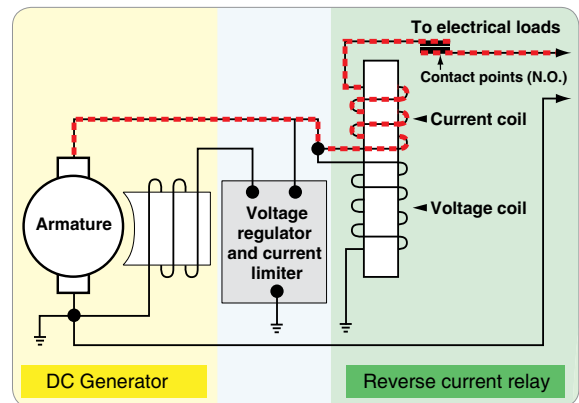
(4) 전류제한기(Current Limiter)

3단조절기의 전류제한기 부분은 발전기출력전류(generator output current)를 제한하도록 설계된다. 이 장치는 발전기출력에 대하여 직렬로 배선된 코일을 가지고 있는 릴레이를 포함한다. 그림 2-58과 같이, 모든 발전기출력전류는 릴레이의 전류코일(current coil)을 통해 이동해야 한다. 이것은 발전기의 전류출력(current output)에 민감한 릴레이를 만들어낸다. 즉, 발전기출력전류가 증대한다면, 릴레이접점은 열리고, 발전기출력전류가 감소한다면, 릴레이접점은 닫힌다. 점선은 전류제한기

접점(current limiter point)이 열릴 때 발전기계자(generator field)에 전류흐름을 보여준다. 전압조절기의 릴레이와는 다르게, 전류제한기는 일반적으로 정상비행 시에 닫힌다는 것에 주목해야 한다. 극단적인 전류부하(current load) 시 전류제한기 접점이 열린다. 이때에 계자전류는 낮아지고 발전기출력은 한도 이내로 유지된다.

(5) 역전류릴레이(Reverse-current Relay)

3단조절기의 세 번째 장치는 전류가 배터리로부터



[그림 2-59] Reverse-current relay



발전기로 공급을 방지하기 위해 사용된다. 이 형태의 전류흐름은 배터리를 방전시키고 정상작동의 정 반대이다. 이것은 역전류 상태라고 생각할 수 있다. 그림 2-59에서는 전압코일과 전류코일 모두를 담고 있는 간단한 역전류릴레이를 보여준다.

전압코일은 발전기출력에 병렬로 배선되고 발전기 출력이 사용전압(operational voltage)에 도달할 때 자화된다. 전압코일이 자화되었을 때, 접점은 닫히고 전류는 점선으로 보여준 것과 같이, 항공기 전기 부하로 흐르게 된다. 도해는 정상작동위치에서 역전류릴레이를 보여주는데, 접점은 닫혀있고 전류는 발전기에서 항공기 전기부하로 흐른다. 전류가 부하로 흐를 때, 전류코일은 자화되고 접점은 닫힌 상태이다. 만약 시스템고장으로 인하여 발전기출력이 없다면, 릴레이가 자력을 상실하기 때문에 접점은 열린다. 접점이 열린 상태면, 발전기는 자동적으로 항공

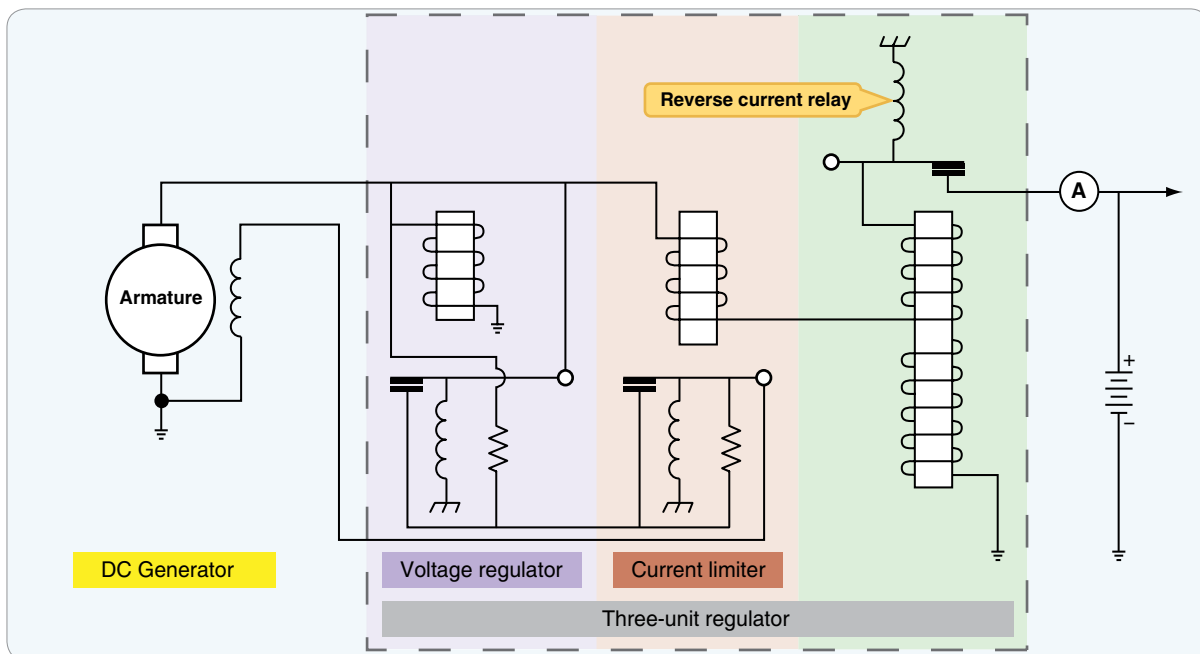
기 전기시스템으로부터 분리되고, 부하버스에서 발전기로 역류를 방지한다. 그림 2-60은 항공기 발전기의 전형적인 3단조절기를 보여준다.

그림 2-60과 같이, 3단조절기의 세 가지 장치 모두는 발전기출력을 제어하기 위해 함께 작동한다. 3단조절기는 발전기출력을 감시하고 비행에 필요한 항공기 부하에 전력을 제어한다. 항공기에 사용되는 전형적인 진동식조절기는 더 복잡하다.

2.2.4 직류교류기와 제어

(DC Alternators and Controls)

발전기와 같이, 직류교류기는 전자기유도의 과정에 의해 기계에너지를 전기에너지로 바꾼다. 일반적으로, 직류교류기는 직류발전기보다 더 가볍고 더 효율적이다. 직류교류기와 관련된 제어는 현



[그림 2-60] Three-unit regulator for variable speed generators

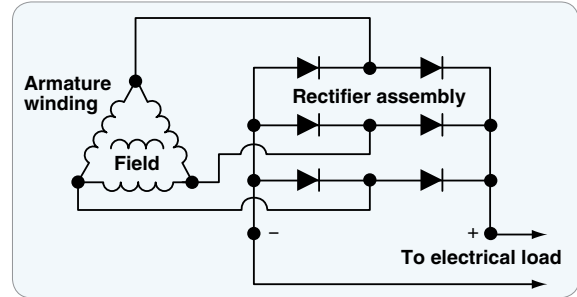


[그림 2-61] DC alternator installation

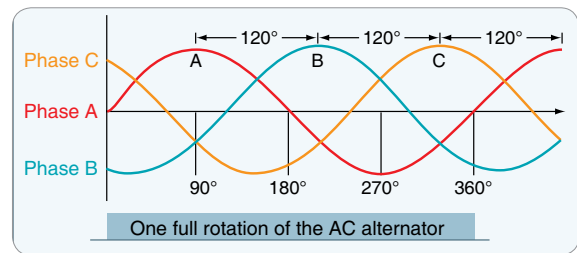
대의 피스톤엔진경량항공기(light piston-engine aircraft)에서 찾을 수 있다. 그림 2-61과 같이, 교류기는 항공기 엔진으로부터 동력을 받는, 브이-벨트(V-belt) 또는 구동기어기계장치(drive gear mechanism)에 의해 가동되는 엔진실(engine compartment)에 설치된다. 직류교류기의 제어시스템은 자동으로 교류기 출력전력(output power)을 조절하기 위해 사용되고 여러 비행매개변수(flight parameter)에 대해 정확한 시스템전압을 보장한다.

2.2.4.1 직류교류기(DC Alternators)

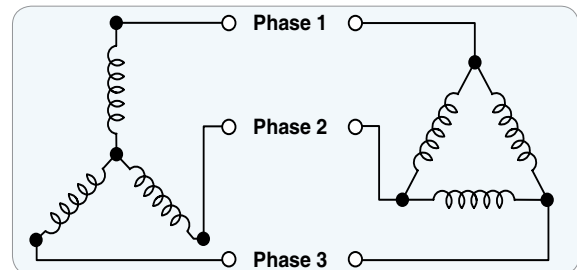
직류교류기는 2개의 주요 구성요소를 갖고 있는데, 전기자권선과 계자권선이다. 자기장을 일으키는 계자권선은 전기자 안쪽에서 회전하고, 전자기유도 과정을 이용하여 전기자는 전압을 생산한다. 전기자에 의해 생산된 이 전압은 항공기 전기버스(electrical bus)로 흘러 들어가고 전기부하(electrical load)에 동력을 공급하기 위한 전류를 일으킨다. 그림 2-62에서는 전형적인 교류기의 기본적인 도해를 보여준다.



[그림 2-62] Diagram of a typical alternator



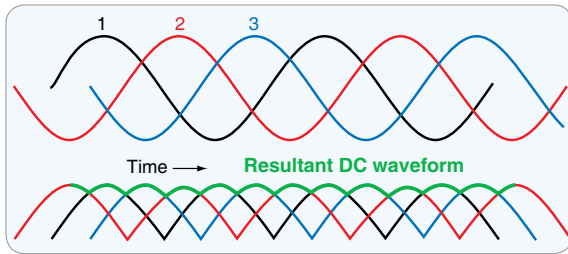
[그림 2-63] Sine waves



[그림 2-64] Three-phase armature windings: Y on the left and delta winding on the right

직류교류기에서 사용된 전기자는 실질적으로 3개의 전선 코일을 담고 있다. 각각의 코일은 자기장이 전기자 내에서 회전할 때 전류를 받는다. 그림 2-63과 같이, 생성된 출력전압은 3개의 별개 교류사인파(AC sine wave)로 이루어진다. 3상전기자(three-phase armature)로 알려진 전기자권선은 3개의 서로 다른 전압 파형을 만들어낸다.

그림 2-64에서는 3상전기자권선(three-phase



[그림 2-65] Relatively smooth ripple DC

armature winding)을 연결하기 위해 사용된 두 가지 일반적인 방법을 보여주는데, 델타결선(delta winding)과 와이결선(Y-winding)이다. 실제로, 두 가지 결선은 동일한 항공기 직류교류기에서 동일한 결과를 만들어낸다.

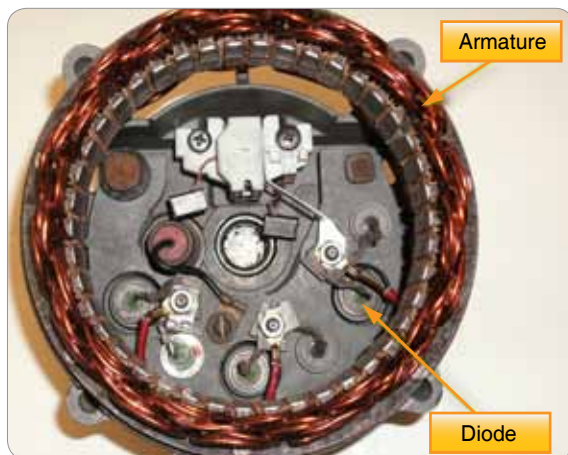
그림 2-64와 같이, 교류기 전기자에 의해 생산된 3상전압(three-phase voltage)은 교류이기 때문에, 이것은 전형적인 직류전기부하(DC electrical load)와 호환되지 않고 직류로 변환, 정류되어야 한다. 이런 이유로, 전기자 출력전류는 3상교류에서 직류로 바꾸는 정류장치를 통해 보내게 된다. 그림 2-65와 같이, 3상전기자의 각각의 위상은 정류되었을 때 위에 겹치고, 그리고 출력은 비교적 매끄러운

맥동직류(ripple DC)로 된다.

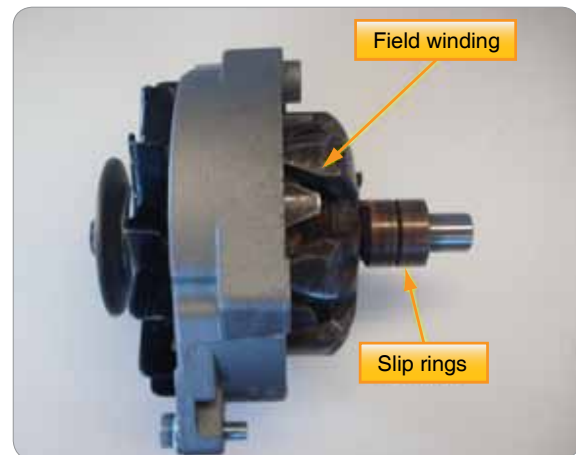
다이오드의 발명은 교류기의 발전을 가능케 하였다. 정류장치(rectifier assembly)는 6개의 다이오드로 구성된다. 이 정류장치는 직류발전기에서 찾아볼 수 있는 정류자와 브러시를 대체하고 더 효율적인 교류기를 만드는 데 도움이 된다. 그림 2-66에서는 전형적인 교류기의 내부를 보여준다. 전기자어셈블리는 교류기의 외측가장자리에 위치되고 다이오드는 케이스에 설치된다.

그림 2-67과 같이, 계자권선은 전기자어셈블리의 안쪽에서 회전시킬 수 있도록, 회전자축(rotor shaft)에 설치된다.

계자권선은 전자석을 만들기 위해 항공기 배터리로부터 전류를 받아야 한다. 계자는 회전하기 때문에, 브러시 세트(한조)는 회전자계(rotating field)에 전원을 보내기 위해 사용된다. 2개의 슬립링은 회전자에 설치되었고 브러시라고 부르는 전기접점(electrical contact)으로 계자권선을 연결시킨다. 그림 2-68과 같이, 브러시는 비교적 저전류를 이동시키기 때문에, 교류기의 브러시는 일반적으로 직류



[그림 2-66] Diode assembly



[그림 2-67] Alternator field winding



[그림 2-68] Alternator brushes

발전기 내부에서 볼 수 있는 것들보다 더 작은 것이다. 직류교류기 브러시는 오랫동안 지속되고 직류발전기에서 볼 수 있는 것들보다 더 적은 유지보수를 필요로 한다.

교류기 케이스는 엔진에 장착되는 소형틀 내부에서 교류기 구성부품을 잡아준다. 항공기 교류기는 14[V] 출력 또는 26[V] 출력을 생산한다. 일반적으로 교류기의 물리적 크기는 교류기의 전류의 세기와 관계된다. 보통의 경량항공기 교류기 출력 범위는 60~120[amp]이다.

2.2.4.2 교류기 전압조절기

(Alternator Voltage Regulators)

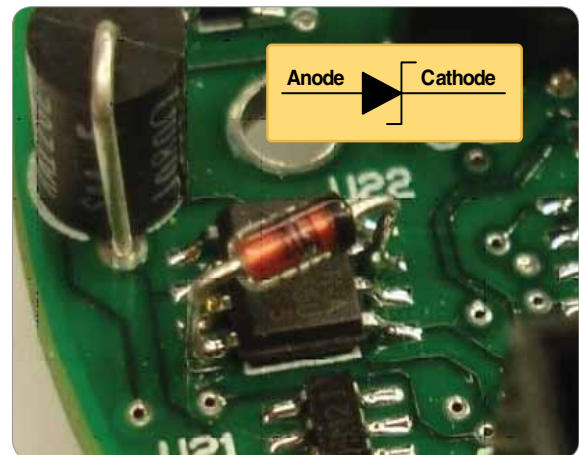
직류교류기에 대한 전압조절기는 직류발전기에서 확인할 수 있는 것과 유사한 것이다. 일반적인 개념은 교류기 계자전류를 조정하여 교류기 출력을 제어하는 것과 동일한 것이다. 가장 현대적인 항공기에 사용하는, 대부분 직류교류기에 대한 전압조절기는 진동릴레이형조절기(vibrating-relay type regulator)이거나 솔리드-스테이트조절기(solid-state regulator)이다. 진동릴레이형조절기는 발전

기조절기 섹션에서 논의된 것과 유사하다. 릴레이의 접점이 열릴 때, 계자전류가 낮아지고 교류기 출력도 낮아지고 계자전류가 높아지면 교류기 출력도 높아진다.

2.2.4.3 솔리드스테이트조절기

(Solid-State Regulators)

현대의 경량항공기에서 솔리드-스테이트조절기는 교류기제어장치(ACU, alternator control unit)라고 부르기도 한다. 이들 장치는 움직이는 부품이 없고 일반적으로 더 신뢰할 수 있는 진동릴레이형조절기보다 더 좋은 시스템조절을 제공한다. 솔리드스테이트는 교류기 계자전류와 교류기 출력을 제어하기 위해 트랜지스터회로를 사용한다. 조절기는 교류기 출력전압/출력전류를 감시하고 그것에 따라 교류기 계자전류를 제어한다. 솔리드스테이트조절기는 일반적으로 진동릴레이형조절기에는 없는 부가적인 보호회로를 제공한다. 보호는 과전압보호 또는 부족전압보호(under-voltage protection), 과전류보호(over-current protection)뿐만 아니라 결함이 있



[그림 2-69] Zener diode.



는 다이오드와 같은, 내재결함에 대한 감시를 포함하게 된다. 또한 교류기제어장치에 시스템기능불량이 일어나면 조종사에게 경고 지시를 제공한다.

솔리드스테이트조절기의 주된 부품은 제너다이오드로 알려져 있다. 그림 2-69에서는 제너다이오드의 계통도부호(schematic diagram symbol)뿐만 아니라 교류기제어장치에 장착된 사진을 보여준다.

제너다이오드의 작동은 제너가 오직 한쪽방향으로 전류흐름을 가능케 하는 것으로 일반적인 다이오드와 유사하다. 이것은 제너에 인가된 전압이 어떤 수준에 도달할 때까지이다. 미리 결정한 전압준위에서, 제너는 양쪽 극성으로 전류흐름을 가능케 한다. 이것은 항복전압(breakdown voltage) 또는 제너전압(zener voltage)으로 알려져 있다.

교류기제어장치가 교류기 출력을 감시할 때, 제너다이오드는 시스템전압에 연결된다. 교류기 출력이 특정한 제너전압에 도달할 때, 다이오드는 회로에 있는 트랜지스터를 제어하고, 결국 교류기 계자전류를 제어한다. 그림 2-70과 같이, 이것은 교류기제어장치의 완성회로에 대한 간단한 설명이다. 그렇지만, 이것은 제너다이오드회로와 트랜지스터회로가 진동릴레이형조절기에서 전기·기계식릴레이 대신

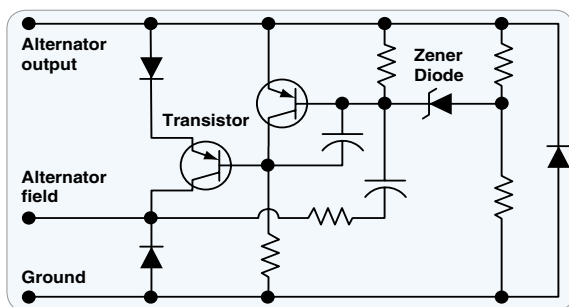
에 어떻게 사용되는지 보기 쉽게 해준다. 솔리드스테이트부품의 사용은 거의 유지보수가 필요 없는 더 정밀한 조절기를 만들어낸다. 솔리드스테이트 교류기제어장치(solid-state alternator control unit)는 직류교류기를 사용하는 현대의 항공기에서 선택되는 제어장치이다.

2.2.5 전력 시스템(Power Systems)

많은 항공기는 교류전기시스템(AC electrical system)뿐만 아니라 직류전기시스템도 사용한다. 전형적인 교류전기시스템은 교류기(발전기), 교류기를 위한 조절 시스템, 교류전력배전버스(AC power distribution bus), 그리고 관련되어 있는 퓨즈와 배선을 포함한다. 교류전기시스템을 언급할 때 용어 “교류기”와 “발전기”는 종종 같은 의미로 혼용하여 사용된다. 이 장에서는 용어 “교류발전기”를 사용한다.

교류전력시스템은 현대적인 항공기에서 더 인기를 얻어가고 있다. 경량항공기는 직류를 사용하여 대부분 전기시스템을 작동시키려는 경향이 있어, 직류배터리는 예비전력원(backup power source)으로서 쉽게 역할을 수행할 수 있다. 일부 현대의 경량항공기는 또한 작은 교류시스템 사용한다. 이 경우에, 경량항공기는 이 시스템에서 필요한 교류를 생산하기 위해 교류변환장치(AC inverter)를 이용한다.

적은 양의 교류가 특정한 시스템에 요구되는 경우, 일반적으로 변환장치가 사용된다. 변환장치는 또한 교류발전기를 사용하는 항공기에서 예비전력원으로 사용된다. 그림 2-71에서는 현대의 항공기에서 사용하는 일반적인 변환장치를 보여준다.



[그림 2-70] ACU circuitry

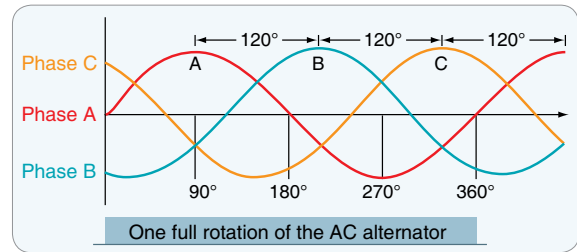


[그림 2-71] Inverter

현대의 변환장치는 직류전력을 교류전력으로 전환하는 솔리드스테이트장치이다. 변환장치 내에 전자회로소자는 아주 복잡하다. 그러나 변환장치는 간단하게 직류전력을 사용하는 장치이며, 교류배전버스(AC distribution bus)로 전원을 공급한다. 많은 변환장치는 26[V] 교류뿐만 아니라 115[V] 교류 모드를 공급한다. 항공기는 한 가지 전압을 사용하거나 동시에 모드를 사용하도록 설계될 수 있다. 만약 두 가지 전압이 사용된다면, 전원은 독립된 26[V]와 115[V] 교류버스에 배전되어야 한다.

2.2.6 교류발전기(AC Alternators)

교류발전기는 많은 양의 전력을 사용하는 항공기에서 찾아볼 수 있다. 실질적으로 Boeing 757 또는 Airbus A-380과 같은, 모든 운송용범주항공기(transport category aircraft)는 각각의 엔진에 의해 가동되는 한 개씩의 교류발전기를 사용한다. 이들 항공기는 또한 보조 동력장치(APU, auxiliary power unit)에 의해 구동되는 보조 교



[그림 2-72] AC alternator sine waves

류발전기(auxiliary AC alternator)를 갖고 있다. 대부분의 경우, 운송용범주항공기는 교류변환장치 또는 램에어터빈(RAT, ram-air turbine)에 의해 구동되는 소형 교류발전기와 같이, 적어도 1개 이상의 교류예비전력원(AC backup power source)을 갖추고 있다.

교류발전기는 3상교류출력(three-phase AC output)을 생산한다. 교류기의 각각의 회전마다, 장치는 3개의 분리된 전압을 생산한다. 그림 2-72와 같이, 이들 전압에 대한 사인파는 120[°]씩 나누어졌다. 이 파형은 내면적으로 직류교류기에 의해 생산되는 것과 유사하지만, 이 경우, 교류발전기는 전압을 정류하지 않으며 이 발전기의 출력은 교류이다.

현대의 교류발전기는 브러시 또는 슬립링을 이용하지 않고 종종 브러시 없는 교류발전기(brushless AC alternator)라고 부른다. 이 무브러시설계는 대단히 신뢰성이 있고 아주 적은 유지보수를 필요로 한다. 브러시 없는 교류기에서, 교류기의 회전자로 들어가고 나오는 에너지는 자기에너지를 이용하여 전송된다. 다시 말해서, 고정자에서 회전자로 가는 에너지는 자속에너지(magnetic flux energy)와 전자기유도의 과정을 이용하여 전송된다. 그림 2-73에서는 전형적인 대형항공기 교류발전기를 보여준다.



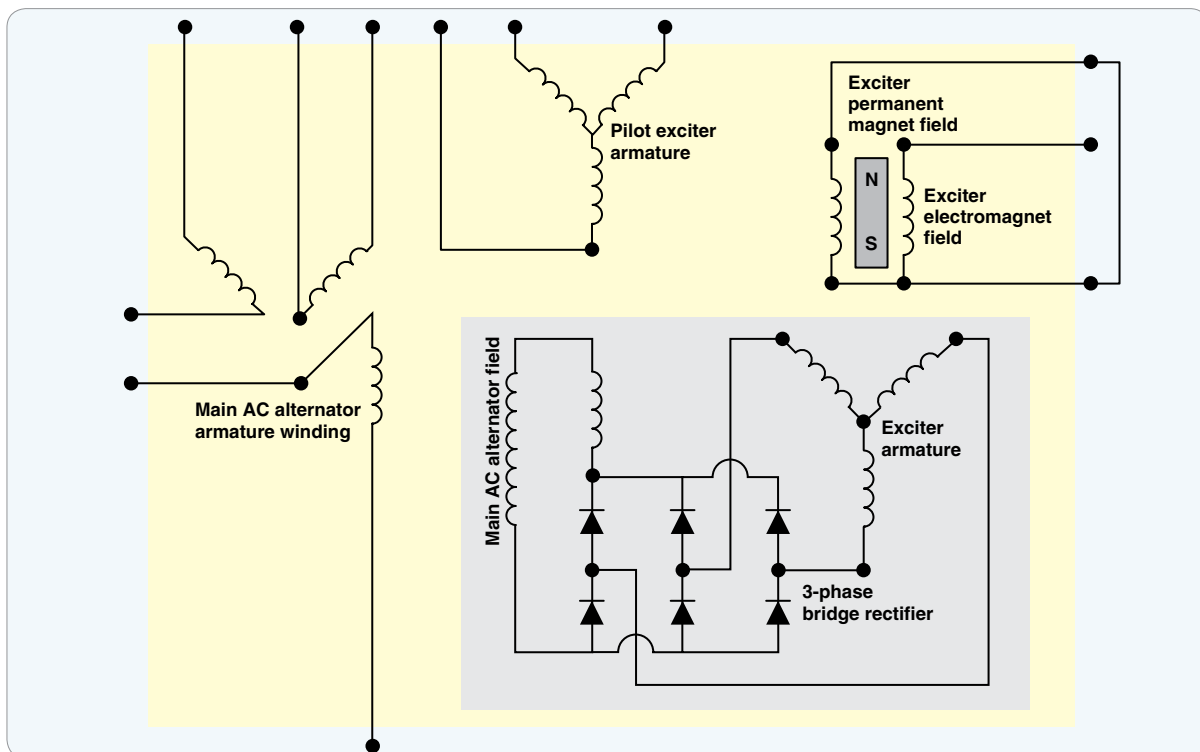
[그림 2-73] Large aircraft AC alternator

그림 2-74와 같이, 브러시 없는 교류기는 실질적으로 3개의 발전기를 포함하고 있는데, 전기자와 영구자석계자(permanent magnet field)의 여자발전기(exciter generator), 전기자권선과 계자권선

의 부여자발전기(pilot exciter generator), 그리고 전기자권선과 계자권선의 주 교류발전기(main AC alternator)이다. 브러시의 필요성은 이들 3개의 별개의 발전기 조합을 사용하여 없어진다.

여자발전기는 영구자석과 2개의 전자석으로 제작된 고정자계(stationary field)를 가지고 있는 소형 교류발전기이다. 여자전기자(exciter armature)는 3상이고 회전자축에 설치된다. 여자전기자 출력은 정류되고 부여자계(pilot exciter field)와 주 발전기 계자로 보내진다.

부여자계는 발전기의 회전자축에 장착되고 주 발전기 계자와 직렬로 연결된다. 부여자전기자는 어셈블리의 고정부분에 장착된다. 부여자전기자의 교류출력은 정류되고 조절되는 발전기제어회로



[그림 2-74] Schematic of an AC alternator

(generator control circuitry)에 공급되고, 그다음에 여자기계자권선으로 보내게 된다. 여자기 계자로 보내진 전류는 주 교류발전기를 위해 전압조절을 한다. 만약 더 큰 교류발전기 출력이 필요하면, 여자계(exciter field)로 더 많은 전류를 보내고 적은 출력이 필요하면, 여자계로 더 적은 전류를 보낸다.

요약하면, 여자영구자석과 전기자는 발전과정을 시작하고, 여자전기자의 출력은 정류되고 부여자계로 보내진다. 부여자계는 자기장을 만들어내고 전자기유도를 통해 부여자전기자에서 전력을 유도한다. 부여자전기자의 출력은 주 발전기제어장치(main alternator control unit)로 보내지고 그다음에 여자계로 되돌려 보내진다. 회전자가 계속 돌아가면서 주 교류발전기 계자는 전자기유도를 이용하여, 주 발전기 전기자에서 전력을 발생시킨다. 주 교류전기자(main AC armature)의 출력은 3상교류이며 여러 가지의 전기부하에 동력을 공급하기 위해 사용한다.

일부 교류기는 교류기의 내부부품을 통해 오일을 순환시켜 냉각한다. 냉각을 위해 사용된 오일은 정속구동장치어셈블리(constant speed drive assembly)에 공급되고 때론 외부 오일냉각기어셈블리(oil cooler assembly)에 의해 냉각된다.

발전기와 정속구동장치어셈블리를 연결하는 플랜지(flange)에 위치한 배출구는 발전기와 정속구동장치 사이에 오일흐름을 가능하게 한다. 일반적으로 이 오일 레벨은 중요한 것이고 정기적으로 점검한다.

2.2.7 교류기의 구동(Alternator Drive)

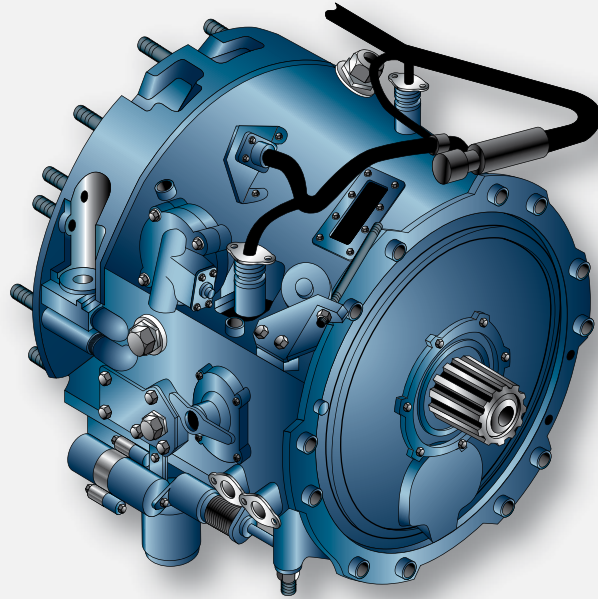
그림 2-75에 보이는 장치는 자동구동장치(automatic drive mechanism)와 결합된 교류기어

셈블리(alternator assembly)를 포함하고 있다. 자동구동은 교류기가 일정한 400[Hz] 교류출력을 유지하게 하는 교류기의 회전속도를 제어한다.

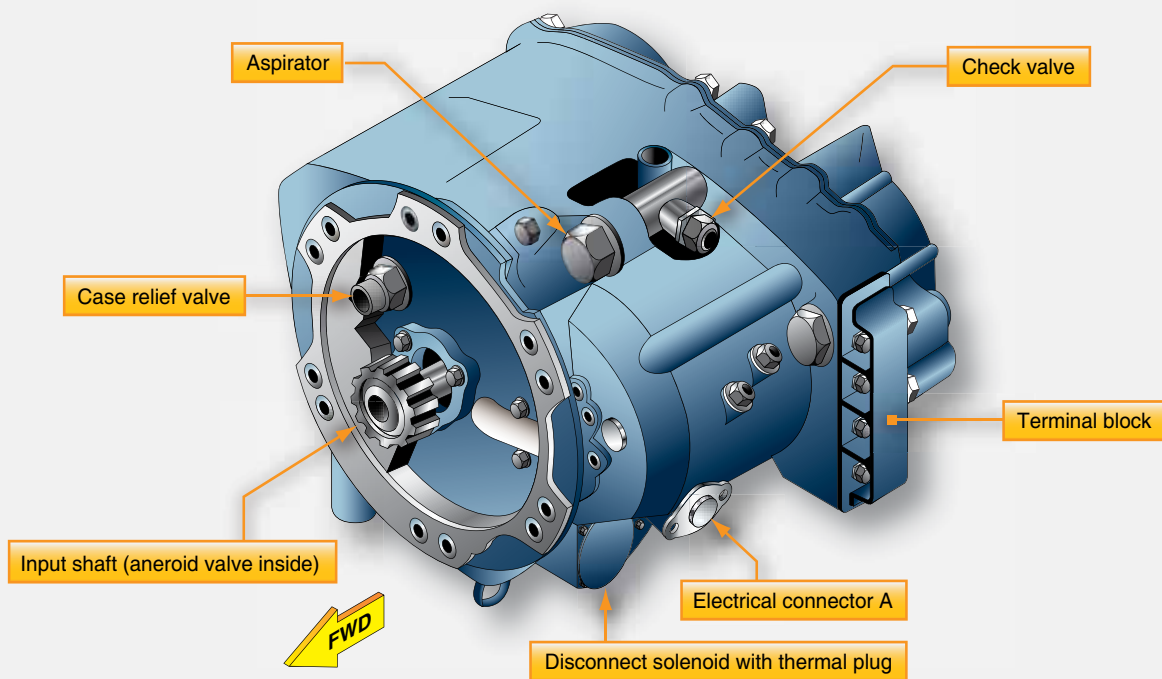
모든 교류발전기는 범위 내에서 교류전압의 주파수를 유지하기 위해 특정 rpm으로 회전해야 한다. 항공기 교류발전기는 약 400[Hz]의 주파수를 생성한다. 만약 주파수가 이 값에서 10[%] 이상 벗어나면, 전기시스템은 정확하게 작동되지 않는다. 정속구동장치(CSD, constant speed drive)라고 부르는 장치는 400[Hz] 주파수를 보장하기 위해 교류기가 정확한 속도의 회전을 보장하기 위해 사용된다. 정속구동장치는 독립적인 장치이거나 교류발전기 틀 안에 장착할 수 있다. 정속구동장치와 교류기가 하나의 장치 안에 포함되었을 때, 어셈블리는 통합구동발전기(IDG, integrated drive generator)라고 부른다.

정속구동장치는 현대의 자동차에서 확인되는 자동변속기와 유사한 유압장치(hydraulic unit)이다. 차량의 속도를 일정하게 유지하면서, 자동차의 엔진 rpm을 변화시킬 수 있다. 이것은 항공기 교류발전기에서 일어나는 동일한 과정이다. 항공기 엔진이 속도를 변화시켜도, 교류기 속도는 일정하게 유지된다. 그림 2-76에서는 전형적인 유압식구동장치(hydraulic-type drive)를 보여준다. 이 장치는 전기적으로 또는 기계적으로 제어될 수 있다. 현대 항공기는 전자시스템을 쓴다. 정속구동장치는 엔진 공회전수(engine idle rpm) 약간 이상에서, 최대 엔진회전수(maximum engine rpm)에서 작동할 때까지 교류기가 동일한 주파수를 생성하는 것을 가능케 한다.

유압변속장치(hydraulic transmission)는 교류

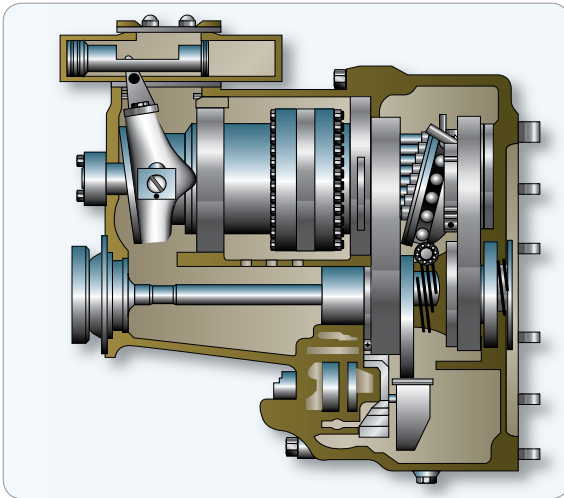


Constant-speed drive



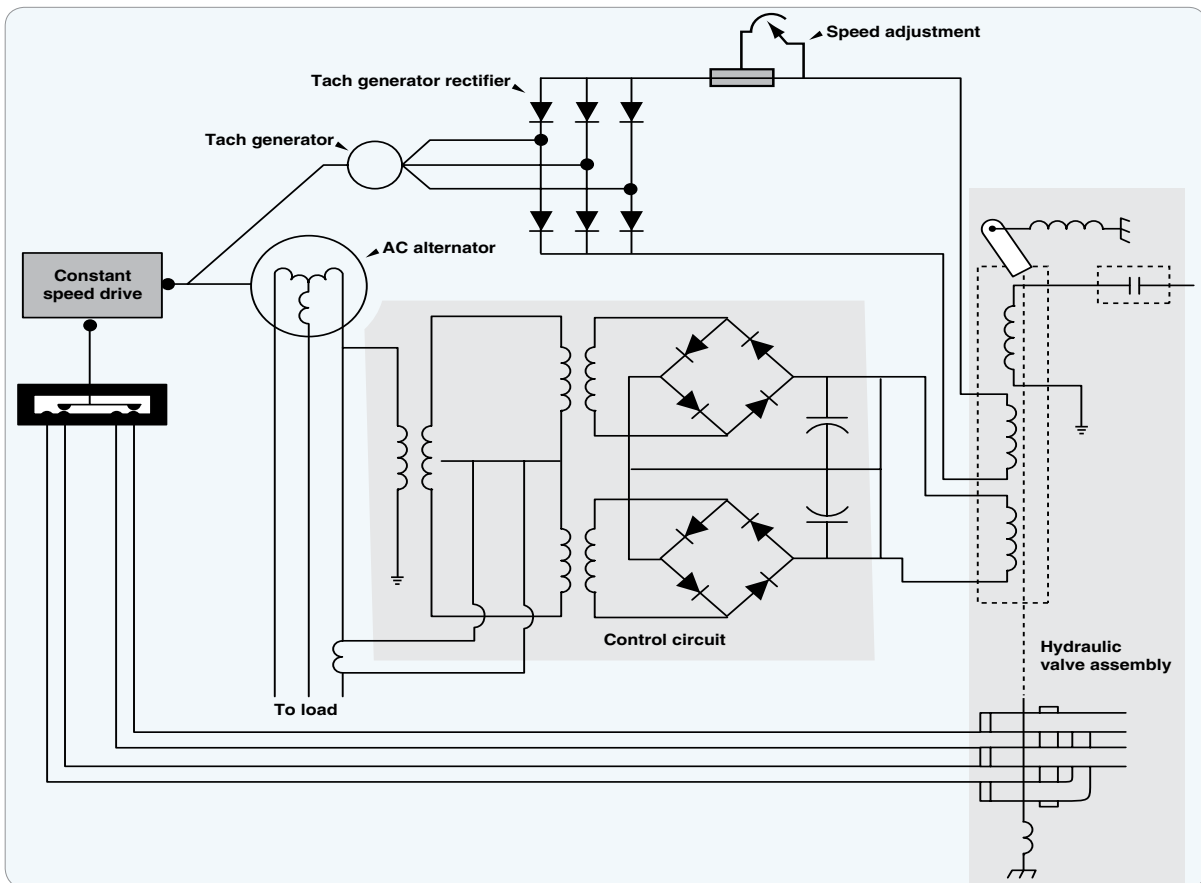
Integrated drive generator

[그림 2-75] Constant-speed drive (top) and integrated drive generator (bottom)



[그림 2-76] A hydraulic constant speed drive for an AC alternator

발전기와 항공기 엔진 사이에 설치된다. 유압유 또는 엔진오일은 교류기를 가동시키기 위해 정속출력속도(constant output speed)를 만드는, 유압변속장치를 작동시키기 위해 사용한다. 그림 2-76의 정속구동장치 절단면에서와 같이, 일부의 경우, 이 동일한 오일은 교류기를 냉각하기 위해 사용된다. 입력구동축(input drive shaft)은 항공기 엔진 기어케이스(engine gear case)에 의해 동력이 공급된다. 변속장치의 반대쪽 끝단에서, 출력구동축(output drive shaft)은 교류기의 구동축에 맞물리게 한다. 정속구동장치는 유압펌프어셈블리



[그림 2-77] Speed control circuit



(hydraulic pump assembly), 기계적속도조종장치 (mechanical speed control), 그리고 유압구동장치 (hydraulic drive)를 사용한다. 엔진회전수는 유압 펌프(hydraulic pump)를 구동하고, 유압구동장치는 교류기를 돌린다. 속도제어장치(speed control unit)는 출력속도를 제어하기 위해 유압을 조정하는 경사판(wobble plate)으로 구성된다.

그림 2-77에서는 교류기 속도를 제어하기 위해 사용된 전형적인 전기회로를 보여준다. 회로는 정속구동장치에서 찾아볼 수 있는 유압어셈블리(hydraulic assembly)를 제어한다. 그림과 같이, 교류기 입력속도는 회전계용발전기(tachometer generator)에 의해 감시된다. 회전계용발전기신호는 정류되어 밸브어셈블리(valve assembly)로 보내진다. 밸브어셈블리는 밸브를 작동시키는 3개의 전자기코일(electromagnetic coil)을 포함하고 있다. 또한 교류발전기 출력은 유압 밸브어셈블리에 전력을 공급하는 제어회로를 통해 보내진다. 3개의 전자석에 의해 발생된 힘의 균형으로, 밸브어셈블리는 자동변속기(automatic transmission)를 통해 유동체의 흐름을 제어하고 교류발전기의 속도를 제어한다.

교류발전기는 만약 그 교류기가 정속으로 회전하는 엔진에 의해 직접 구동된다면 또한 일정한 400[Hz]을 생산한다는 것에 주목해야 한다. 수많은 항공기에서, 보조 동력장치는 일정한 rpm으로 작동한다. 이들 보조 동력장치에 의해서 가동되는 교류발전기는 일반적으로 엔진에 의해 직접 구동되고, 그래서 규정된 정속구동장치가 없다. 이 장치들의 경우, 보조 동력장치 엔진제어는 교류기 출력주파수를 감시한다. 만약 교류기 출력주파수가

400[Hz]에서 바뀌면, 보조 동력장치 속도제어는 한도 이내로 교류기 출력을 유지하기 위해 엔진회전수를 조정한다.

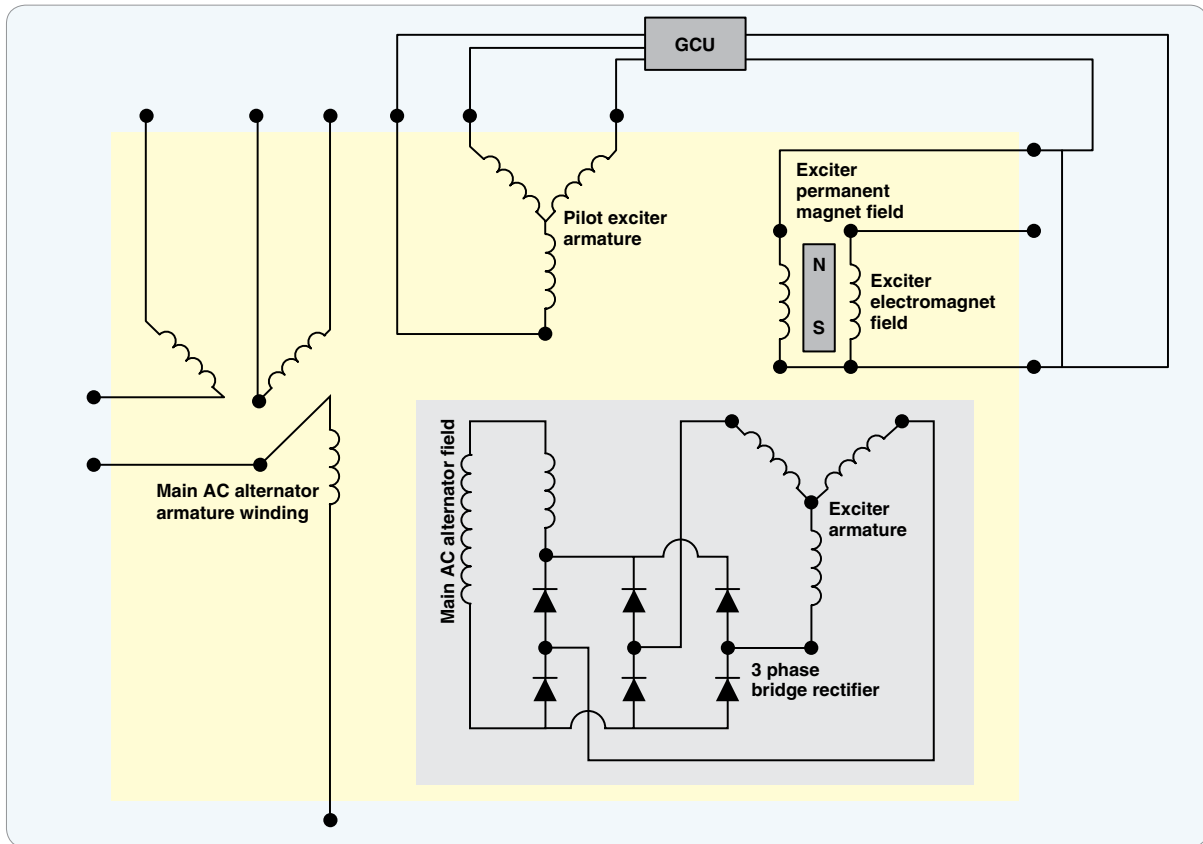
2.2.8 교류기 제어 시스템 (AC Alternators Control Systems)

교류발전기를 사용하는 현대 항공기는 일반적으로 항공기 전체에 걸쳐 교류전력의 조절을 위해 사용하는 컴퓨터식제어장치를 장비격실(equipment bay)에 위치시킨다. 그림 2-78에서는 전형적인 컴퓨터식제어장치의 사진을 보여준다.

대형운송용범주항공기에서 찾아볼 수 있는 교류발전기는 수백 명의 승객을 수송하도록 설계되었기 때문에, 이 발전기의 제어시스템은 시스템고장일 경우에 안전을 대비하는 여분의 컴퓨터를 항상 갖춘다. 직류시스템과는 달리, 교류시스템은 교류기의 출력주파수가 한도 이내로 유지되도록 해야 한다. 만약 교류기의 주파수가 400[Hz]에서 변하거나, 또는 동일한 버스에 연결된 2개 이상의 교류기가 이상(out-of-phase)이라면, 시스템에서 손상이 발생할



[그림 2-78] Line replaceable units in an equipment rack



[그림 2-79] Schematic GCU control of the exciter field magnetism

다. 모든 교류발전기 제어장치는 전압과 주파수 모두를 조절하는 회로를 포함한다. 또한 이들 제어장치는 특정한 시스템고장을 탐지하기 위한 다양한 인자를 감시하고 전기시스템의 완전한 상태를 보장하기 위한 보호조치를 취한다. 교류발전기를 제어하기 위해 사용되는 가장 일반적인 두 가지 장치는 버스전원제어장치(BPCU, bus power control unit)와 발전기제어장치(GCU, generator control unit)이다. 이 경우, 비록 의미는 같지만, 용어는 교류기가 아니고 “발전기”가 사용된다.

발전기제어장치(GCU)는 교류기 기능을 제어하는 주 컴퓨터이다. 버스전원제어장치(BPCU)는 항공기

의 전역에 위치한 배전버스로 교류전력의 배전을 제어하는 컴퓨터이다. 일반적으로 각각의 교류발전기를 감시하고 제어하기 위해 사용되는 1개씩의 발전기제어장치(GCU)가 있고, 그리고 항공기에 1개 이상의 버스전원제어장치(BPCU)가 있을 수 있다. 버스전원제어장치(BPCU)는 이 장의 후반에 설명되지만, 버스전원제어장치(BPCU)는 현대의 항공기에서 교류를 제어하기 위해 발전기제어장치(GCU)와 함께 일한다는 것에 주목해야 한다.

전형적인 발전기제어장치(GCU)는 교류기가 일반적으로 115~120[V] 사이에서, 정전압을 유지하도록 보장한다. 발전기제어장치(GCU)는 교류기의 최



대전력출력(maximum power output)이 절대로 초과되지 않도록 한다. 발전기제어장치(GCU)는 교류기 고장인 경우에 고장검출과 회로보호 기능을 제공한다. 발전기제어장치(GCU)는 교류주파수를 감시하고 만약 교류기가 400[Hz]를 유지하면, 출력을 보장한다. 전압조절의 기본방법은 모든 교류기시스템에서 찾아볼 수 있는 것과 유사한 것인데, 교류기의 출력은 자기장의 강도를 변화시켜 제어된다. 그림 2-79와 같이, 발전기제어장치(GCU)는 교류기 출력전압을 제어하기 위해 브러시 없는 교류기(brushless alternator) 내에 여자계 자기력을 제어한다. 주파수는 발전기제어장치(GCU)에 의해 감시된 신호와 함께 정속구동장치의 유압장치에 의해 제어된다.

또한 발전기제어장치(GCU)는 교류발전기의 작동과 정지를 위해서도 이용된다. 조종사가 교류발전기를 조작하면, 발전기제어장치(GCU)는 전압과 주파수가 한도 이내에 있는지 확인하기 위해 교류기의 출력을 감시한다. 만약 발전기제어장치(GCU)가 교류기의 출력을 만족하면, 발전기제어장치(GCU)는 적합한 교류배전버스에 교류기를 연결시키는 전기접점으로 신호를 보내준다. 종종 발전기 차단기(GB, generator breaker)라고 부르는, 접촉기(contactors)는 기본적으로 한조의 대형 접점을 제어하는 전자기식솔레노이드(electromagnetic solenoid)이다. 대형 접점은 대부분의 교류발전기에 의해 생산된 많은 양의 전류를 취급하기 위해 필요한 것이다. 이 접촉기는 발전기제어장치(GCU)가 교류기 출력에서 결함을 탐지할 경우 작동되는데, 이 경우에 접촉기는 버스로부터 교류기를 분리한다.

2.3 항공기 전기 계통 (Aircraft Electrical Systems)

사실상 모든 항공기는 전기시스템을 갖고 있다. 대부분 항공기는 엔진의 점화시스템(ignition system)의 작동을 위한 전기를 생산해야 한다. 현대 항공기는 비행의 거의 모든 양상을 제어하는 복잡한 전기시스템을 갖고 있다. 일반적으로, 전기시스템은 시스템의 기능에 따라 여러 범주로 나눌 수 있다. 전기 계통은 조명시스템, 엔진시동시스템(engine starting system), 그리고 발전시스템(power generation system)을 포함한다.

2.3.1 소형 단발 항공기 (Small Single-Engine Aircraft)

대형운송용범주에 속하는 항공기보다 단순한 경량항공기는 비교적 간단한 전기시스템을 갖고 있다. 대부분 경량항공기에서, 엔진구동교류기(engine-driven alternator) 또는 발전기에 의해 동력이 공



[그림 2-80] Light aircraft circuit breaker panel

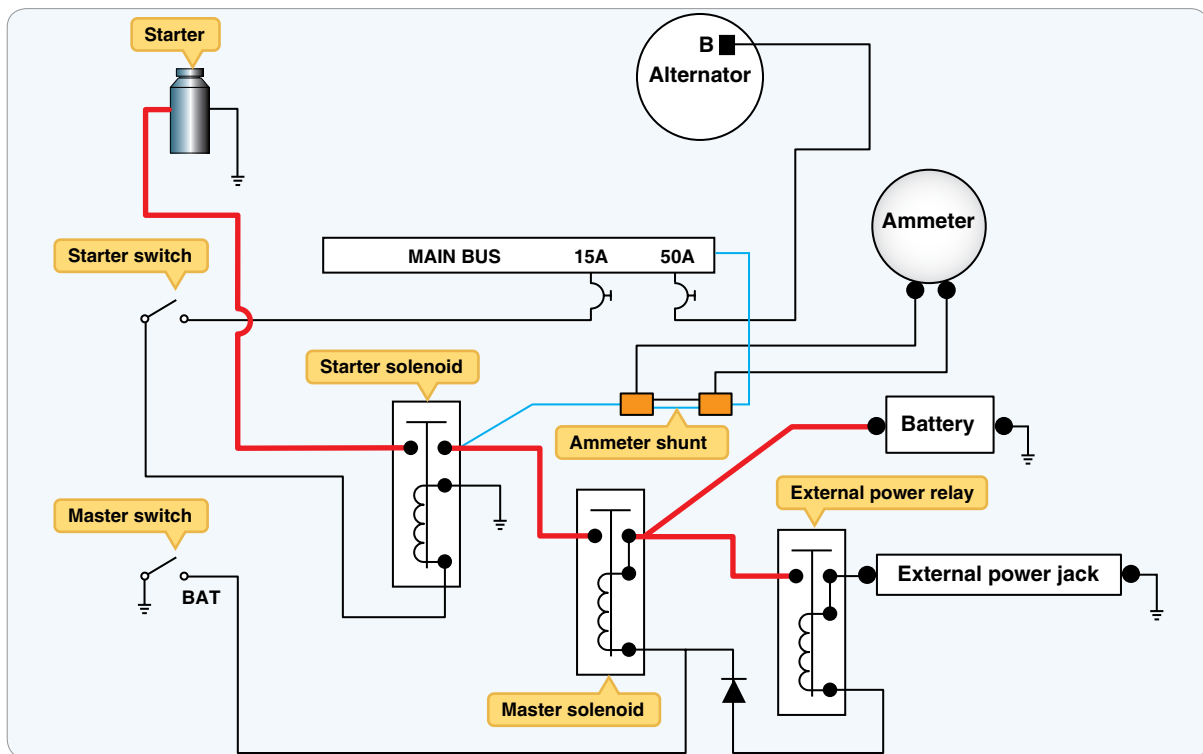
급되는 하나의 전기시스템이 있다. 항공기 배터리는 비상전원과 엔진시동을 위해 사용된다. 전력은 일반적으로 전기버스 또는 모선(bus bar)으로 알려진 1개 이상의 공통접점(common points)을 통해 배전된다.

거의 모든 전기회로는 시스템에서 일어날 수 있는 결함으로부터 보호되어야 한다. 결함은 일반적으로 개방 또는 단락으로 알려져 있다. 개방회로는 회로가 분리 되었을 때 일어나는 전기결함이다. 단락회로는 1개 이상의 회로가 원치 않는 접속을 만들 때 일어나는 전기결함이다. 가장 위험한 단락회로는 (+)전선이 원치 않는 (-)접속 또는 접지를 만들 때 일어난다. 이것은 일반적으로 접지 또는 단락이라고 말한다.

결함으로부터 전기 계통을 보호하기 위한 두 가지 방법이 있는데, 기계적 방법과 전기적 방법이다. 기계적 방법은 전선과 부품을 적절하게 장착하고 보호 덮개와 차폐(shields)를 추가하여 마찰과 과도한 마모를 방지한다. 전기적 방법은 회로차단기와 퓨즈를 사용하여 보호한다. 회로차단기는 단락회로인 경우에 시스템을 보호한다. 퓨즈는 회로차단기 대신에 사용할 수 있으며 일반적으로 구형 항공기에서 찾아볼 수 있다. 그림 2-80에서는 경량항공기의 회로차단기패널(circuit breaker panel)을 보여준다.

2.3.1.1 배터리회로(Battery Circuit)

항공기 배터리와 배터리회로는 엔진시동을 위한 전원을 공급하고 교류기 또는 발전기가 고장 난 경



[그림 2-81] Schematic of typical battery circuit



우에 이차적인 전원공급을 제공하기 위해 사용된다. 그림 2-81에서는 일반적인 배터리회로의 개략도(schematic)를 보여준다. 이 그림은 시동기회로(starter circuit)와 외부전원회로(external power circuit)의 관계를 보여준다. 그림에서 볼 수 있는 굵은 선(배터리 (+)접속에서 시작하는)은 이들 전선을 통해 제공되는 다량의 전류로 인하여 배터리 회로에서 사용된다. 배터리가 큰 전류흐름을 공급할 수 있기 때문에 일반적으로 배터리는 전기솔레노이드(electrical solenoid)를 통해 시스템에 연결된다. 매 비행의 시작과 끝에서, 배터리는 솔레노이드접점을 통해 배전버스에 연결되고 분리된다. 조종실에 있는 배터리마스터스위치(battery master switch)는 솔레노이드를 제어하기 위해 사용된다.

용어 “솔레노이드(Solenoid)”와 “릴레이(Relay)”는 종종 혼동된다. 솔레노이드는 일반적으로 고전류회로의 전환을 위해 사용되고, 릴레이는 저전류회로를 제어하기 위해 사용된다. 용어 “접촉기(contactor)”는 종종 자기식스위치(magnetically operated switch)를 설명할 때 이용된다. 일반 목적에서는, 용어 릴레이, 솔레노이드, 그리고 접촉기를 동의어로 간주할 수 있다. 이들 세 가지 용어는 각각 전자석에 의해 제어되는 전기스위치를 설명하기 위해 그림과 개략도에 사용될 수 있다.

이 개략도에서는 배터리마스터스위치가 작동될 때 배터리 (+)전선이 전기버스에 연결되는 것을 볼 수 있다. 그림 2-82에서는 배터리솔레노이드를 보여준다. 배터리스위치는 배터리 접속을 제어하여 사실상 모든 전력을 켜고, 끄기 때문에 가끔 마스터스위치(master switch)라고 부르기도 한다. 배터리솔레



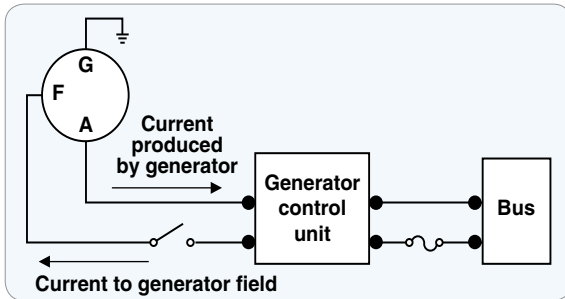
[그림 2-82] Battery solenoid

노이드의 전기적 접속은 각각의 전선의 끝단에 달린 고무 커버에 의해 어떻게 누전으로부터 보호되는지 주목하라.

배터리회로에 있는 전류계는 배터리에서 배전버스까지 전류흐름을 모니터링하기 위해 사용된다. 모든 시스템이 정상적으로 작동되는 경우, 배터리 전류는 전류계에 양의 지시(positive indication)를 제공하는 주 버스(main bus)에서 배터리로 흘러야 한다. 이 경우, 배터리는 충전 중이다. 만약 항공기 교류기 또는 발전기에 고장이 발생하면, 전류계는 음의 값을 지시한다. 음의 지시(negative indication)는 전류가 버스에 연결된 전기부하에 동력을 공급하기 위해 배터리에서 나가고 있다는 것을 의미한다. 배터리는 방전 중 이고 항공기는 모든 전력을 잃을 위험에 처하게 된다.

2.3.1.2 발전기회로(Generator Circuit)

발전기회로는 항공기 발전기와 배전버스 사이에 전력을 제어하기 위해 사용된다. 일반적으로 이들 회로는 교류기로 업그레이드하지 않은 구형 항공기에서 찾아볼 수 있다. 발전기회로는 계자권선에 전원과 발전기에서 배전버스까지 전력을 제어한다.



[그림 2-83] Simplified generator control circuit

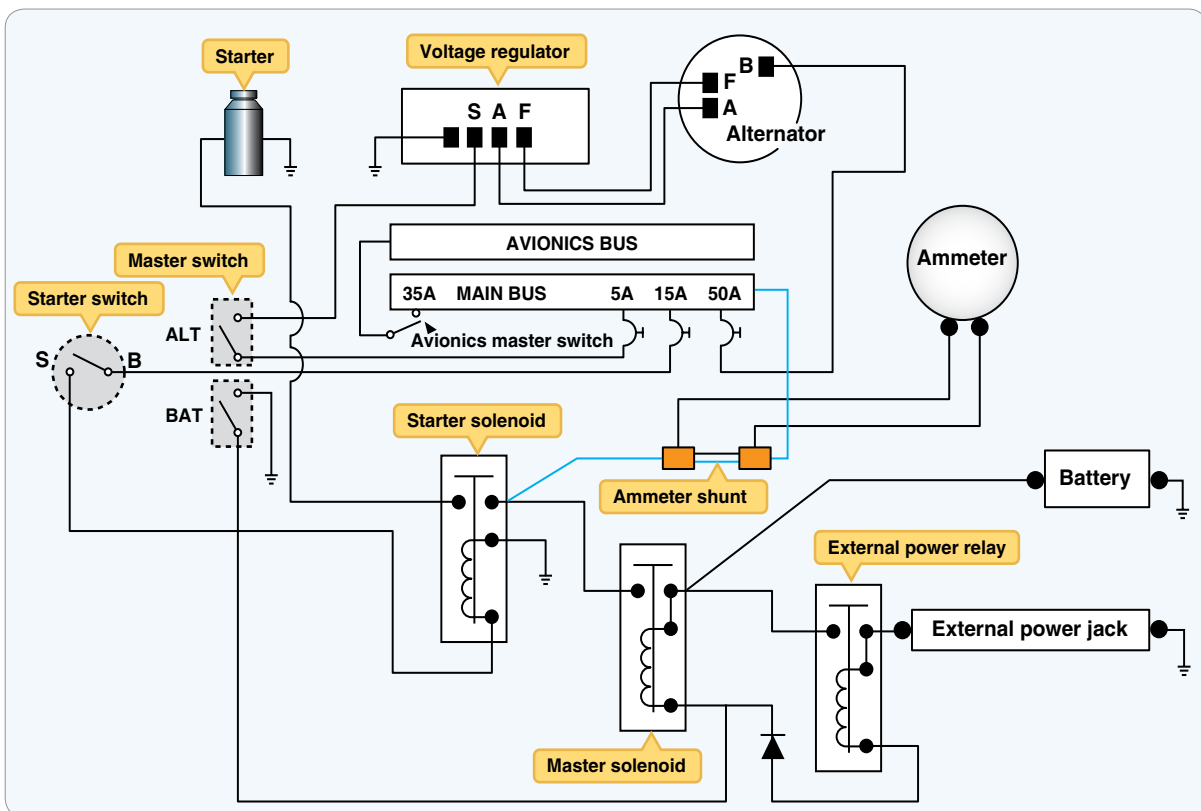
발전기마스터스위치(generator master switch)는 일반적으로 계자전류를 제어하여 발전기를 켜는 데 사용된다. 발전기가 공회전하고 전류가 계자회로로 흐르면, 발전기는 전력을 생산한다. 발전기의 동력 출력(power output)은 발전기제어장치(GCU) 또

는 전압조정기(voltage regulator)를 통해 제어된다. 그림 2-83에서는 간단한 발전기제어회로를 보여준다.

그림 2-83과 같이, 발전기스위치는 발전기계자(generator field), F 단자에 전원을 제어한다. 발전기출력전류는 발전기의 전기자회로(armature circuit), A 단자를 통해 항공기 버스로 공급된다.

2.3.1.3 교류기회로(Alternator Circuit)

그림 2-84에 보여준 것과 같이, 교류기회로는 발전기회로처럼, 교류기와 교류기가 주고받는 모든 전원을 제어해야 한다. 교류기는 교류기 마스터스위치를 통해 제어한다. 교류기 마스터스위치는 교류



[그림 2-84] Alternator control circuit



기제어장치(alternator control unit) 또는 전압조절기 내에 회로를 차례로 작동시키고 교류기계자(alternator field)로 전류를 보내준다. 만약 교류기가 항공기 엔진에 의해 구동되는 경우, 교류기는 항공기 전기부하에 제공되는 전력을 생산한다. 교류기 제어회로는 교류기회로의 세 가지 주요 부품을 담고 있는데, 교류기, 전압조절기, 그리고 교류기 마스터 스위치이다.

전압조절기는 항공기 전기부하에 따라 발전기제자전류를 제어한다. 만약 항공기 엔진이 가동되고 있고 교류기 마스터스위치가 On이라면, 전압조절기는 필요에 따라 교류기계자에 전류를 조정한다. 만약 더 많은 전류가 교류기계자에 흐르면, 교류기 출력은 증대하고 배전버스를 통해 항공기 부하로 공급된다.

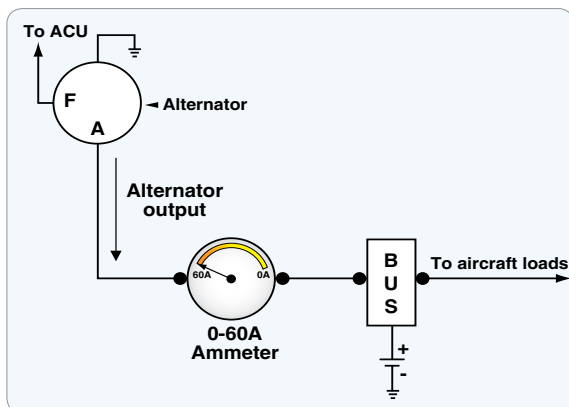
모든 교류기의 출력을 정확히 모니터링할 필요가 있다. 대부분 경량항공기는 교류기 출력을 모니터링하기 위해 전류계를 사용한다. 그림 2-85에서는 교류기 출력을 모니터링하기 위해 사용된 일반적인 전류계회로(ammeter circuit)를 보여준다. 교류기회로에 배치되는 전류계는 오직 한쪽방향으로 교류기

에서 버스까지의 전류흐름을 보여주는 단일극계측기(single polarity meter)이다. 교류기는 전기자회로에 다이오드를 포함하고 있기 때문에, 전류는 버스에서 교류기로 역류할 수 없다.

교류기시스템의 고장탐구를 수행할 때, 항공기 전류계를 반드시 살펴보아야 한다. 만약 교류기시스템이 작동하지 않으면, 전류계는 '0'을 표시한다. 이 경우에 배터리는 방전된다. 전압계는 또한 교류기시스템의 문제를 해결할 때 필요하다. 전압계는 엔진과 교류기가 작동하는 동안 전기 계통에 설치되어 있어야 한다. 시스템운영은 대개 지정된 범위(전기 계통에 따라 약 14[V] 또는 28[V]) 내의 전압을 생산한다. 항공기 매뉴얼을 참고하고 시스템 전압이 정확한지 확인한다. 만약 전압이 규정값 이하라면, 충전시스템을 점검하여야 한다.

2.3.1.4 외부전원회로(External Power Circuit)

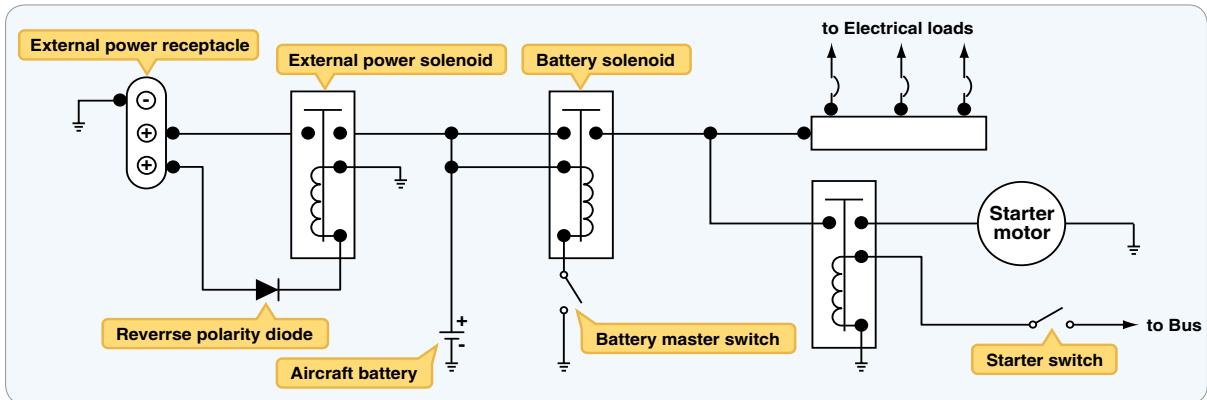
지상전원에서 항공기로 전력을 연결시키기 위해서 외부전원회로를 이용한다. 외부전원은 엔진 시동이나 항공기에서 정비활동을 위해 사용한다. 이러한 유형의 시스템은 배터리를 방전하지 않고 여



[그림 2-85] Typical ammeter circuit used to monitor alternator output



[그림 2-86] External power receptacle



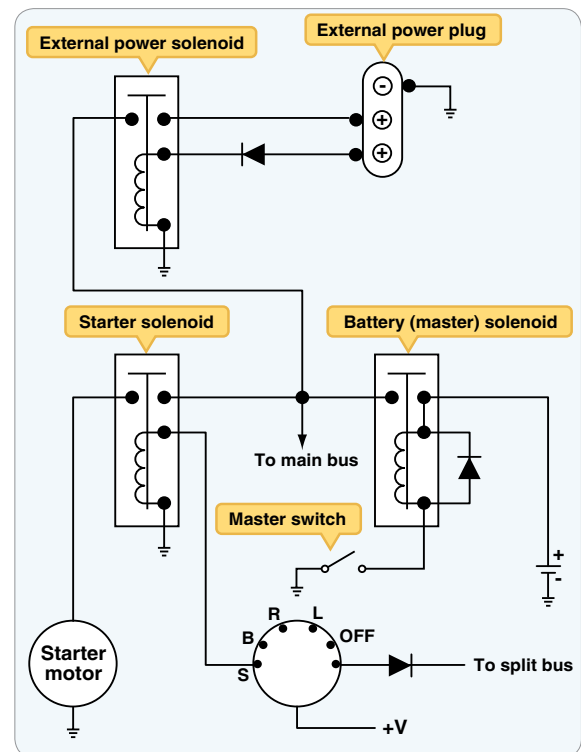
[그림 2-87] A simple external power circuit diagram

러 전기시스템을 작동하게 한다. 외부전원시스템은 일반적으로 동체에 위치한 전기플러그, 버스에 외부전원을 연결하는 솔레노이드, 그리고 시스템에 관련된 배선으로 구성된다. 그림 2-86에서는 일반적인 외부전원리셉터클(external power receptacle)을 보여준다.

그림 2-87에서는 외부전원 리셉터클이 역극성 다이오드(reverse polarity diode)를 통해 외부전원솔레노이드(external power solenoid)에 어떻게 연결되어 있는지 보여준다. 이 다이오드는 외부전원 공급이 부정확한 극성을 가질 경우에, 예를 들어 양과 음의 배선이 반대로 되는, 임의의 우발적인 접속을 방지하기 위해 사용된다. 역극성접속은 항공기의 전기시스템에 큰 재해가 될 수 있다. 만약 역극성으로 지상전력원이 연결되면, 다이오드는 전류를 차단하고 외부전원솔레노이드는 접속되지 않는다. 그림 2-87은 외부전원이 항공기 배터리를 충전하거나 항공기 전기부하에 동력을 공급하기 위해 사용될 수 있음을 보여준다. 항공기 엔진과 전기부하에 동력을 공급하는 외부전원의 작동을 위해 배터리마스터 위치의 접속이 필요하다.

2.3.1.5 시동기회로(Starter Circuit)

그림 2-88과 같이, 실질적으로 모든 현대 항공기는 항공기 엔진 시동을 위해 전동기를 사용한다. 엔진 시동에는 많은 마력이 필요하기 때문에, 시동전



[그림 2-88] Starter circuit



[그림 2-89] Multifunction starter switch

동기(starter motor)는 종종 100[ampere] 이상 끌어들이 수 있다. 이런 이유로, 모든 시동전동기는 솔레노이드를 통해 제어된다.

굵은 전선이 시동전동기에 동력을 공급하기 위해 필요하고 배터리와 시동기가 항공기에서 서로 가까이 장착될 때 무게감함을 이룰 수 있어, 시동기회로는 배터리에 최대한 가까이에 연결되어야 한다. 시동기회로도(starter circuit diagram)와 같이, 시동기스위치(starter switch)는 엔진마그네토(engine magneto, 내연 기관의 고압자석발전기)를 제어하기 위해 사용되는 다기능스위치(multi-function switch)의 일부일 수 있다.

시동기는 항공기 배터리 또는 외부전원장치에 의해 동력이 공급될 수 있다. 종종 항공기 배터리가 약하거나 또는 충전을 필요로 할 때, 외부전원회로는 시동기에 동력을 공급하기 위해 사용된다. 일반적인 작동 시, 시동기는 항공기 배터리에 의해 동력이 공급된다. 배터리마스터스위치는 켜져야 하고 마스

터솔레노이드(master solenoid)는 배터리로 엔진을 시동하기 위해 접속되어야 한다.

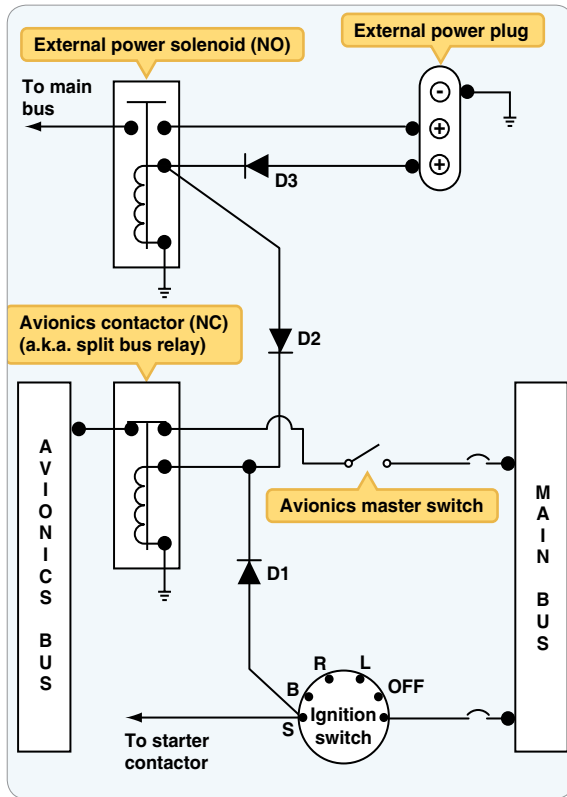
2.3.1.6 항공전자기기 전원회로

(Avionics Power Circuit)

그림 2-90과 같이, 많은 항공기는 전자장치를 위해 단독배전버스(separate power distribution bus)를 갖고 있다. 이 버스는 가끔 항공전자기기버스(avionics bus)라고 부른다. 현대의 항공전자장비(avionics equipment)는 민감한 전자회로를 쓰기 때문에, 항공전자장비의 회로를 보호하기 위해 전력으로부터 모든 항공전자기기를 분리하는 것이 유리하다. 예를 들어, 항공전자기기버스는 시동전동기(starter motor)가 작동할 때, 종종 동력이 공급되지 않는 경우가 있는데, 이것은 시동기에 의해 일어난 과도전압이 민감한 항공전자기기로 들어가는 것을 방지하기 위한 것이다.

회로는 주 전원버스로 항공전자기기를 연결하는 정상닫힘식솔레노이드(normally closed solenoid)를 이용한다. 솔레노이드의 전자석은 시동기가 작동될 때마다 작동된다. 솔레노이드가 개방되고 항공전자기기버스에 동력을 공급하지 않게 하는, 전류는 시동기스위치(starter switch)로부터 다이오드 D1을 통해 보내진다. 동시에 항공전자기기버스에 연결된 모든 전자장치는 전원을 상실한다. 항공전자기기 접촉기(avionics contactor) 또한 외부전원이 항공기에 연결될 때 항상 작동된다. 이 경우에, 전류는 다이오드 D2와 D3을 통해 항공전자기기버스 접촉기로 이동한다.

독립된 항공전자기기전원스위치(avionics power switch)는 또한 전체의 항공전자기기버스의 전원을



[그림 2-90] Avionics power circuit

끊는 데 사용된다. 일반적인 항공전자기기전원스위치는 항공전자기기전원버스(avionics power bus)와 직렬로 배선된다. 일부의 경우, 회로차단기스위치(circuit breaker switch)라고 부르는, 이 스위치는 회로차단기와 결합되고 두 가지의 기능을 수행한다. 또한 항공전자기기접촉기는 접촉기가 주 모선(main bus)으로부터 항공전자기기버스를 분리(분할)하기 때문에, 가끔 분할버스릴레이(split bus relay)라고도 부른다.

2.3.1.7 착륙장치회로(Landing Gear Circuit)

경량항공기에서 찾아볼 수 있는 또 다른 일반적인 회로는 고성능경량항공기(high-performance

light aircraft)에 접개들이식착륙장치시스템(retractable landing gear system)을 작동시킨다. 이들 비행기는 일반적으로 기어(gear)를 움직이기 위해 유압 시스템을 사용한다. 이륙 후에, 조종사는 Retract(UP) 위치로 기어위치스위치(gear position switch)를 이동하고, 이것은 전동기를 시동시킨다. 전동기는 유압펌프를 작동시키고, 유압시스템은 착륙장치를 움직인다. 시스템의 정확한 작동을 보장하기 위해, 착륙장치 전기시스템은 상대적으로 복잡하다. 전기시스템은 오른쪽기어, 왼쪽기어, 그리고 전방기어, 각각의 위치와 완전올림(Full Up) 또는 완전내림(Full Down)에 도달할 때를 측정해야 하며, 전동기는 이것에 따라서 제어된다. 기어의 우발적인 작동을 방지하기 위한 안전장치가 있다.

일련의 제한스위치(limit switch)는 시스템의 작동 중에 각각의 기어의 위치를 모니터링 하기 위해 필요하다. 제한스witch는 기어가 이동의 한도에 도달할 때 작동되는 단순한 스프링작동식(spring-loaded), 순간접점스위치(momentary contact switch)이다. 일반적으로 착륙장치 바퀴집(wheel well)에 장착된 6개의 제한스위치가 있다. 3개의 올림제한스위치(up-limit switch)는 기어가 Full Retract(UP) 위치에 도달할 때 감지하기 위해 사용된다. 3개의 내림제한스위치(down-limit switch)는 기어가 Full Extended(Down) 위치에 도달할 때 감지하도록 사용된다. 이들 스위치의 각각은 기어가 주어진 적합한 한도에 도달할 때 착륙장치어셈블리의 구성요소에 의해 기계적으로 작동된다.

착륙장치시스템은 또한 기어가 착륙을 위해 안전한 위치에 있다는 것을 조종사에게 표시를 제공한다. 대부분 항공기는 3개의 기어 모두가 착륙위치로



내려오고 잠겼을 때 일련의 3개의 녹색등을 사용한 다. 이들 3개의 녹색등은 착륙장치 바퀴집에서 찾아 볼 수 있는 올림제한스위치와 내림제한스위치에 의해 작동된다. 그림 2-91에서는 착륙장치 위치스위치와 3개의 기어내림 표시를 보여주는 전형적인 계기판을 보여준다.

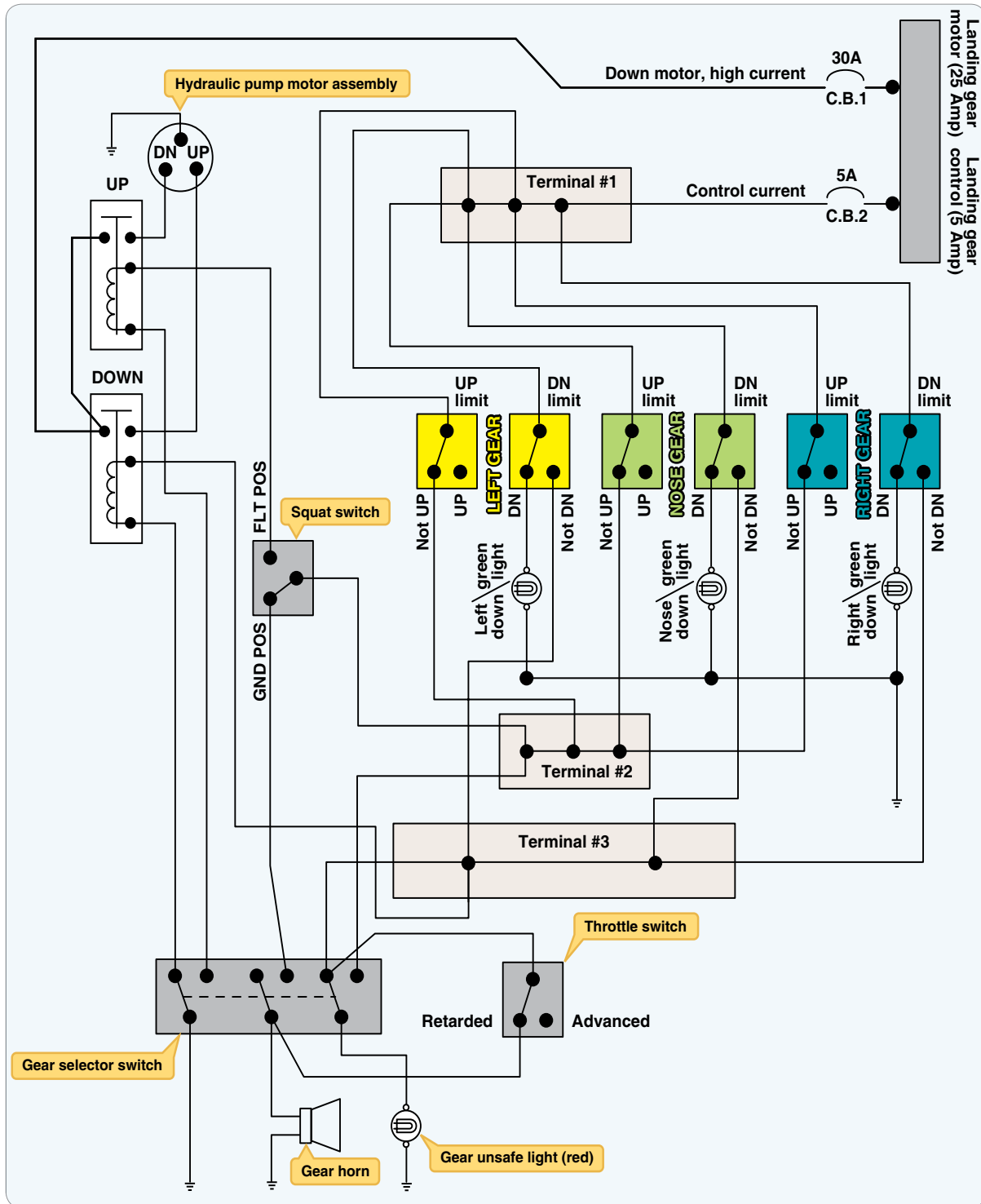
그림 2-92의 왼쪽 위 구석에 위치한 유압모터 · 펌프어셈블리(hydraulic motor/pump assembly)는 Up 솔레노이드 또는 Down 솔레노이드를 통하여 동력이 공급된다. 솔레노이드는 왼쪽 아래에 있는 기어선택스위치(gear selector switch)와 그림 2-92의 중앙에 있는 6개의 착륙장치 제한스위치에 의해서 제어된다. 3개의 기어내림지시기(Gear DOWN Indicator)는 3개의 기어내림스위치(gear

DOWN switch)에 의해 통제되는 개개의 녹색등이다. 각각의 기어가 내림위치에 도달할 때, 제한스위치는 내림위치로 움직이고, 녹색등은 켜진다.

그림 2-92에서는 완전내림위치(Full DOWN Position)에 있는 착륙장치를 보여준다. 항상 착륙장치 전기회로도를 해독할 때 기어 위치를 아는 것은 아주 중요하다. 기어 위치를 알면 정비사가 그림을 분석하고 회로의 정확한 작동을 이해하는 데 도움이 된다. 또 다른 중요한 개념은 하나 이상의 회로가 착륙장치를 작동시키는 데 사용된다는 것이다. 이 시스템에서 그림 2-92의 오른쪽 위에 저전류제어회로가 있고, CB2는 5[ampere]에서 된다. 이 회로는 표시등과 기어전동기 접촉기의 제어를 위해 사용된다. 그림 2-92의 오른쪽 위에 기어전동



[그림 2-91] Instrument panel showing the landing gear position switch and the three gear down indicators



[그림 2-92] Aircraft landing gear schematic while gear is in the DOWN and locked position



기에 동력을 공급하기 위한 단독회로가 있고, CB3는 30[amp]에서 된다. 이 회로는 대용량전기흐름을 운반하기 때문에, 전선은 짧고 러버부츠(Rubber Boots) 또는 나일론(Nylon) 절연체로 보호된다.

다음 단락에서는 시스템이 기어 올림과 내림으로 움직일 때 착륙장치회로를 통해 흐르는 전류를 설명한다. 그림 2-93에서는 기어가 내림 위치로 이동하고 있을 때를 보여준다. 전류흐름은 각각의 설명을 위해 붉은 색으로 표시하였다.

기어내림(Gear Down) 전동기가 작동하기 위해서, 전류는 CB2를 떠나 Terminal 1을 거쳐 내림제한스위치의 NOT DOWN 접점으로, Terminal 3을 거쳐, 왼쪽 위에 DOWN 솔레노이드 양극단자로 흘러야 한다. DOWN 솔레노이드코일의 음(-) 쪽은 기어선택스위치를 거쳐 접지로 연결된다. 기어내림스위치는 병렬로 배선되어 기어가 완전내림위치에 도달할 때 작동하는 것을 기억하라. 기어내림 전동기는 3개의 기어가 Full DOWN에 도달해야 멈춘다. 또한 기어선택스위치는 기어솔레노이드의 음(-) 쪽을 제어하는 것을 주목해야 한다. 선택스위치는 UP 솔레노이드와 DOWN 솔레노이드 모두에서 접지회로의 제어를 통해 기어올림과 내림 전동기의 독립제어를 할 수 있다.

착륙장치 제어회로가 DOWN 솔레노이드로 양(+) 전압을 보내는 동시에 기어선택스위치는 음(-)전압을 보내고 있을 때, 솔레노이드 자석에 전압이 가해진다. Gear DOWN 솔레노이드에 전압이 가해지면, 고전류기어전동기회로(high-current gear motor circuit)는 CB1에서 Down 솔레노이드 접점을 거쳐 기어내림 전동기로 전류를 보낸다. 전동기가 돌아갈 때, 유압펌프는 압력을 일으키고 기어는 움직이

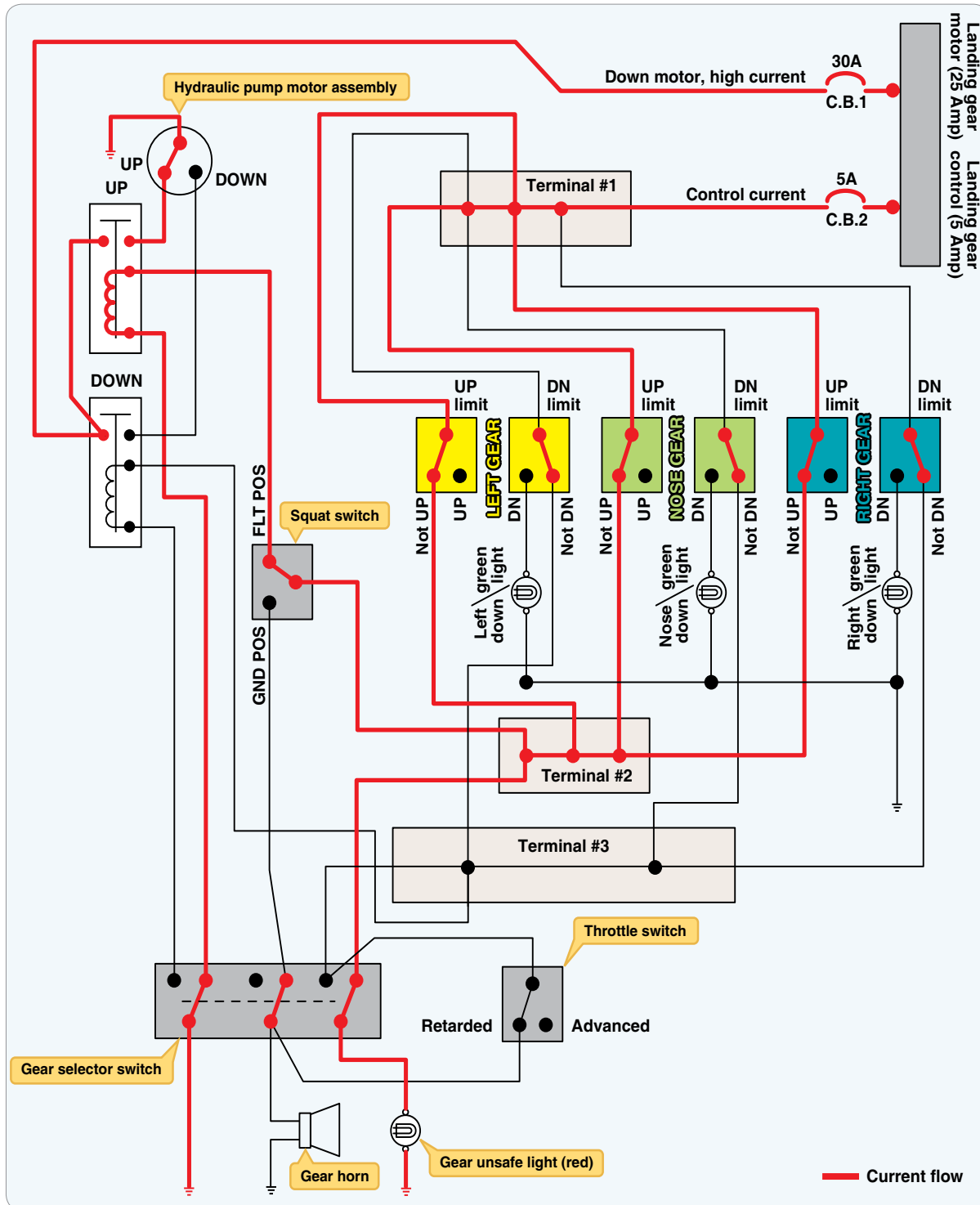
기 시작한다. 3개의 기어 모두가 내림위치에 도달할 때, 기어내림스위치들은 내림위치로 움직이고, 3개의 녹색등이 조명되며, 그리고 기어전동기는 완성된 기어내림순환(Gear DOWN cycle)을 멈춘다.

그림 2-94에서는 기어가 Retract(UP) 위치로 움직일 때 적색으로 보여주는 전류흐름경로를 가지고 있는 착륙장치 전기회로도 보여준다. 그림의 오른쪽 구석 위에서 시작하여, 전류는 제어회로에 있는 CB2를 거치고 Terminal 1을 거쳐 3개의 기어올림스위치(gear UP switch)의 각각으로 흘러야 한다. 기어올림스위치가 Not UP 위치에 있으면, 전류는 Terminal 2로 흐르고 결국은 스킴트스위치(squat switch)를 거쳐 UP 솔레노이드 전자석코일로 흐른다. UP 솔레노이드코일은 기어선택스위치를 통해 음(-)전압을 받는다. UP 솔레노이드코일이 작동되면, UP 솔레노이드는 접촉하고 전원은 전동기회로를 거쳐 이동한다. 전동기에 전원을 공급하기 위해, 전류는 버스에서 CB1을 거쳐 DOWN 솔레노이드에서 단자 앞에서 UP 솔레노이드를 거쳐 UP 전동기로 이동한다. 전류는 DOWN 솔레노이드가 작동되지 않았기 때문에 이때에는 DOWN 솔레노이드를 거쳐 이동할 수 없다는 것을 기억하라. UP 전동기가 돌아갈 때, 각각의 기어는 Retract 위치로 이동한다. 그러면 기어올림스위치는 NOT UP Position에서 UP Position으로 움직인다. 마지막 기어가 Up에 도달할 때, 전류는 Terminal 2로 더 이상 이동하지 않고 기어전동기는 멈춘다. 기어전동기가 3개의 기어 모두가 요구된 위치에 도달할 때까지 계속 작동을 의미하는, 기어스위치의 병렬 배선은, DOWN에서와 동일하다.

착륙장치작동의 양쪽 DOWN과 UP 순환 내내,



[그림 2-93] Landing gear moving down diagram



[그림 2-94] Aircraft landing gear schematic while gear is moving to the UP position

전류는 제한스위치에서 Terminal 2로 이동한다. Terminal 2에서, 기어선택스위치를 거쳐 기어언세이프등(unsafe light)으로 전류경로가 이루어진다. 만약 기어셀렉터(gear selector)가 기어는 DOWN 이고 조종사는 UP으로 선택했을 경우와 같이 현재의 기어 위치와 일치하지 않는다면, 언세이프등(unsafe light)이 켜진다.

그림 2-93의 왼쪽 중간에 보여준, 스쿼트스위치(squat switch)는 항공기가 GROUND 또는 FLIGHT에 있는지 판단할 때 사용된다. 이 스위치는 착륙장치 스트러트(strut)에 위치한다. 항공기의 무게가 스트러트를 압축시킬 때, 스위치는 작동되고 GROUND 위치로 움직인다. 스위치가 GROUND 위치에 있을 때, 기어는 접어 놓아질 수 없고 만약 조종사가 기어올림(Gear UP)을 선택한다면 경적(warning horn)이 울린다. 스쿼트스witch는 때때로 WOW(Weight-on-wheel) 스위치라고도 불린다.

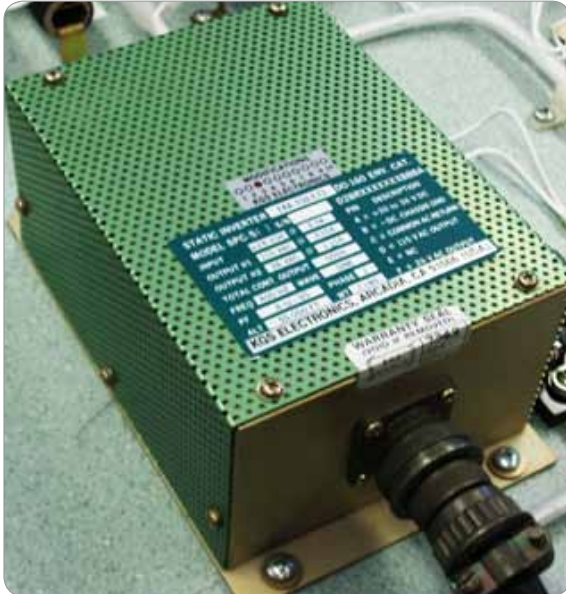
스로틀스위치(throttle switch) 또한 대부분 항공기에서 착륙장치회로와 함께 사용된다. 만약 스로틀(throttle)이 어떤 정해진 지점을 넘어서 속력이 늦추어졌다면, 항공기는 하강하고 결국 착륙한다. 따라서 항공기 제작사는 엔진동력이 줄었을 때에는 언제나 스로틀스위치가 작동되도록 제작한다. 만약 엔진동력이 너무 낮게 줄었다면, 착륙장치를 내리도록 조종사에게 알릴 수 있도록 경적이 울린다. 물론 이 경적은 만약 기어가 이미 DOWN에 있거나 또는 조종사가 기어스위치를 내림위치로 선택했을 경우에는 울리지 않는다. 이 경적은 만약 항공기가 지상에 있고 기어스위치를 UP 위치로 이동시켰을 경우에도 울린다. 그림 2-93에서는 왼쪽 아래에

경적을 보여준다.

2.3.1.8 교류 공급(AC Supply)

현대의 경량항공기는 저전력교류전기시스템(low-power AC electrical system)을 쓴다. 일반적으로, 교류시스템은 단지 교류를 사용하여 작동하는 특정 계기와 일부 조명에 동력을 공급하기 위해 사용된다. 전계발광판(electro-luminescent panel)은 항공기 계기판을 위해 널리 보급된 조명시스템이며 교류 시스템을 필요로 한다. 전계발광조명(electro-luminescent lighting)은 가볍고 효율적이어서 항공기에 적용하기 좋다. 전계발광재료는 전압이 공급 되었을 때 빛나는 반죽 같은 물질이다. 이 재료는 일반적으로 플라스틱판으로 성형되어 조명으로 사용된다.

변환장치라고 부르는 장치는 경량항공기에서 필요로 할 때 교류를 공급하기 위해 사용된다. 간단히 말해, 변환장치는 직류를 교류로 변환시킨다. 두 가지 형태의 변환장치를 항공기에서 찾아볼 수 있다. 회전형변환장치(rotary inverter)와 정지형변환장치(static inverter)인데, 회전형변환장치는 낮은 신뢰성, 과도한 무게, 그리고 비효율로 인하여 구형 항공기에서만 볼 수 있다. 회전형변환장치는 교류발전기를 회전시키는 직류전동기를 쓴다. 장치는 일반적으로 하나의 부품이고 전압안정도를 확보하기 위해 전압조절기회로를 포함한다. 대부분 항공기는 회전형 변환장치 대신에 현대적인 정지형변환장치를 갖춘다. 이름에서 알 수 있듯이, 정지형변환장치는 가동부를 포함하지 않고 직류에서 교류로 전환시키기 위해 전자회로소자를 사용한다. 그림 2-95에서는 정지형변환장치를 보여준다. 그림 2-96과 같이, 교류



[그림 2-95] A static inverter

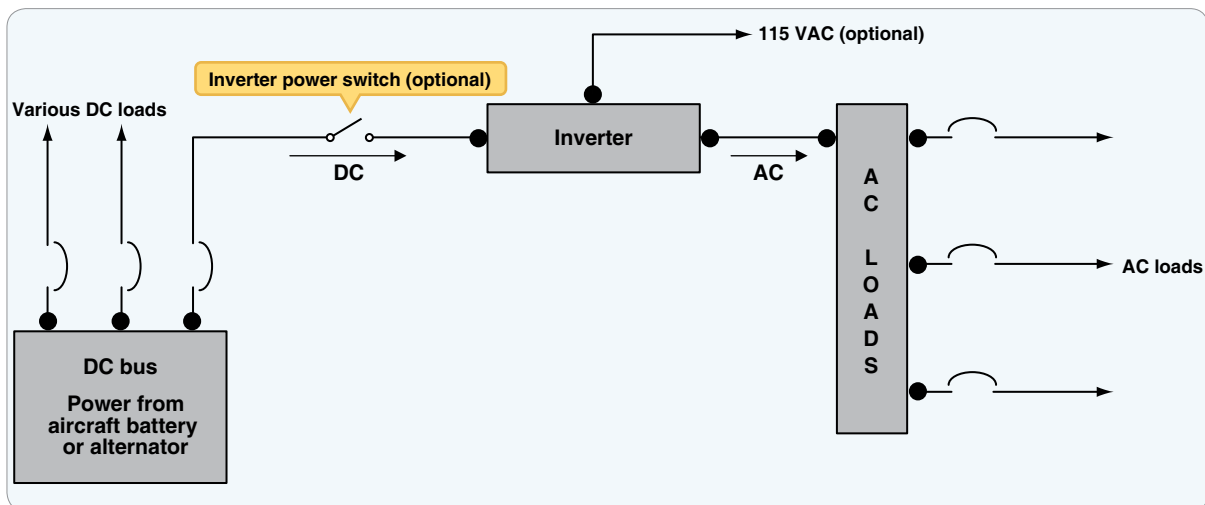
가 경량항공기에서 사용될 때에는 언제나, 직류시스템으로부터 분리된 배전회로(distribution circuit)를 사용해야 한다.

일부 항공기는 교류전력을 제어하기 위해 변환기 전원스위치(inverter power switch)를 이용한다.

직류버스(DC bus)에 동력이 공급되는 동시에 변환기 전원스위치가 필요하지 않을 때에 항공기는 단순히 변환기에 동력을 공급한다. 복잡한 항공기에서, 1개 이상의 변환기는 예비교류전력원(backup AC power source)을 백업하기 위해 사용된다. 대부분 변환기는 한 가지 이상의 전압출력을 제공한다. 항공기 변환기에서 찾아볼 수 있는 두 가지 일반적인 전압은 26[V]와 115[V] 교류이다.

2.3.2 경량 다발항공기(Light Multiengine Aircraft)

다발항공기는 일반적으로 단발항공기보다 더 빠르게, 더 높게, 그리고 더 멀리 비행한다. 다발항공기는 경량단발기에 비해 추가된 안전성과 대리기능(redundancy, 어느 장치가 고장 났을 때 동일한 기능을 할 수 있는 장치)으로 설계되었고, 그런 까닭에, 종종 더 복잡한 배전시스템(power distribution system)을 포함한다. 쌍발로서, 이 항공기는 항공기의 다양한 부하에 전류를 공급하는 2개의 교류



[그림 2-96] Distribution circuit

기 또는 발전기를 가동할 수 있다. 배전버스시스템(electrical distribution bus system)은 2개 이상의 시스템으로 나뉜다. 배전버스시스템은 일반적으로 일련의 회로보호기, 다이오드, 그리고 릴레이를 통해 연결된다. 배전버스시스템은 1개 이상의 전원을 통해 대부분 부하에 전류를 공급하며 매우 안정적인 배전시스템을 만들어 내도록 설계된다.

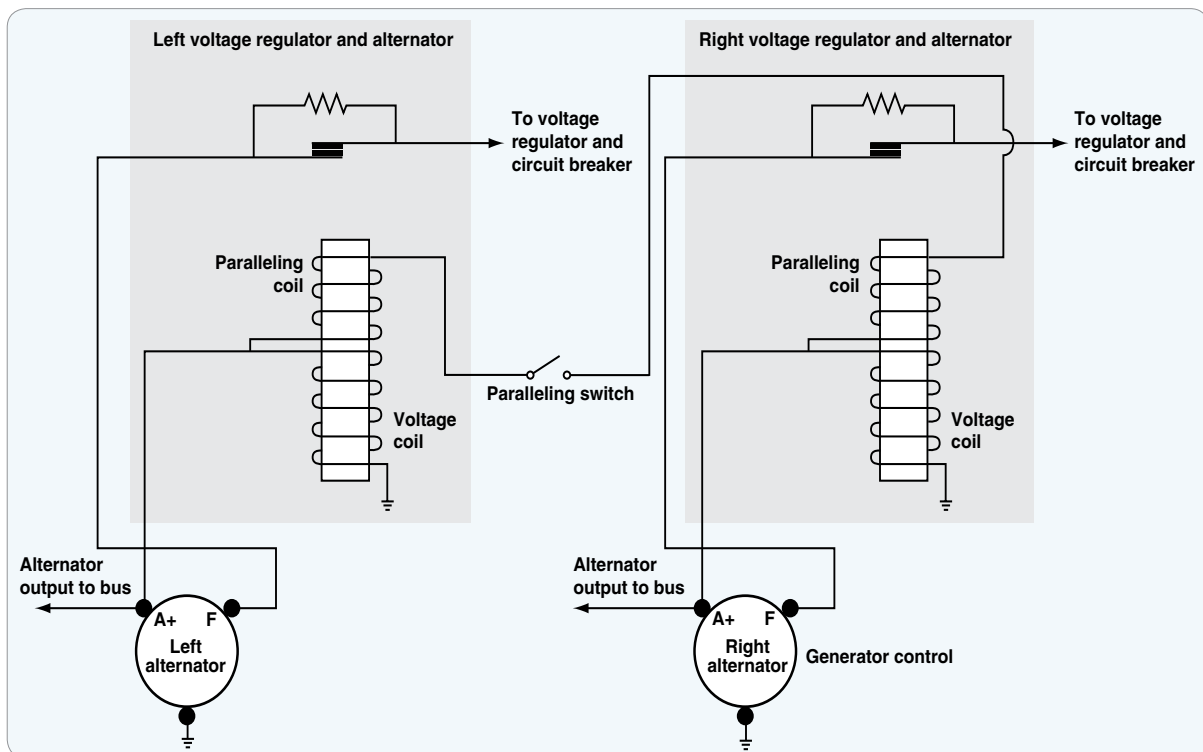
2.3.2.1 병렬접속 교류기 또는 발전기

(Paralleling Alternators or Generators)

2개의 교류기 또는 발전기가 쌍발항공기(twin-engine aircraft)에 사용되기 때문에, 양쪽 교류기에 균등하게 전기부하가 걸려야 한다. 교류기 출력의 동등화 처리는 종종 병렬접속이라고 부른다. 일

반적으로, 병렬접속은 경량항공기에서 직류전력시스템(DC power system)을 처리할 때 간단한 과정이다. 만약 양쪽 교류기가 동일한 부하버스에 연결되고 양쪽 교류기가 동일한 출력전압을 생산한다면, 교류기는 균등하게 부하를 분배한다. 따라서 병렬 시스템은 양쪽 전력생산기(power producer)가 수 volt 이내로 시스템전압을 유지할 수 있도록 보장해야 한다. 대부분 쌍발항공기에서, 전압은 교류기 작동으로 직류 26.5~28[V] 사이에 있게 된다. 그림 2-97에서는 병렬접속 교류기에서 사용된 간단한 진동점접장치(vibrating point system)를 보여준다.

그림 2-97과 같이, 왼쪽과 오른쪽 전압조절기 모두는 각각의 교류기의 출력에 연결된 병렬접속코일(paralleling coil)을 포함하고 있다. 이 병렬접속코



[그림 2-97] Vibrating point system used for paralleling alternators



일은 적당한 교류기 출력을 보장하기 위해 전압조절기의 전압코일과 함께 작동한다. 병렬접속코일은 양쪽 교류기의 출력단자(output terminal) 사이에 직렬로 배선되었다. 따라서 만약 2개의 교류기가 같은 전압을 공급한다면, 병렬접속코일은 효과를 얻지 못한다. 만약 1개의 교류기가 더 고전압출력(higher voltage output)을 갖는다면, 계사전류 제어와 교류기 출력을 제어하는 병렬접속코일은 접점을 개방/접속에 적합한 자력을 만들어낸다.

오늘날 항공기는 교류기의 적절한 병렬접속을 보장하기 위해 솔리드스테이트 제어회로(solid-state control circuit)를 쓴다. 구형 항공기는 교류기 출력을 모니터링하고 제어하기 위해 진동점전압조절기(vibrating point voltage regulator) 또는 카본파일조절기를 사용한다. 대부분 부품에서, 모든 카본파일조절기는 역사에 남은 항공기를 제외하고 대체되었다. 비록 이 시스템들이 현대 항공기에서 더 이상 사용하고 있지는 않지만, 많은 항공기는 진동점점장치를 아직도 유지한다. 다양한 형태의 전압조절기에 대해서는 이 장 초반에 설명하였다.

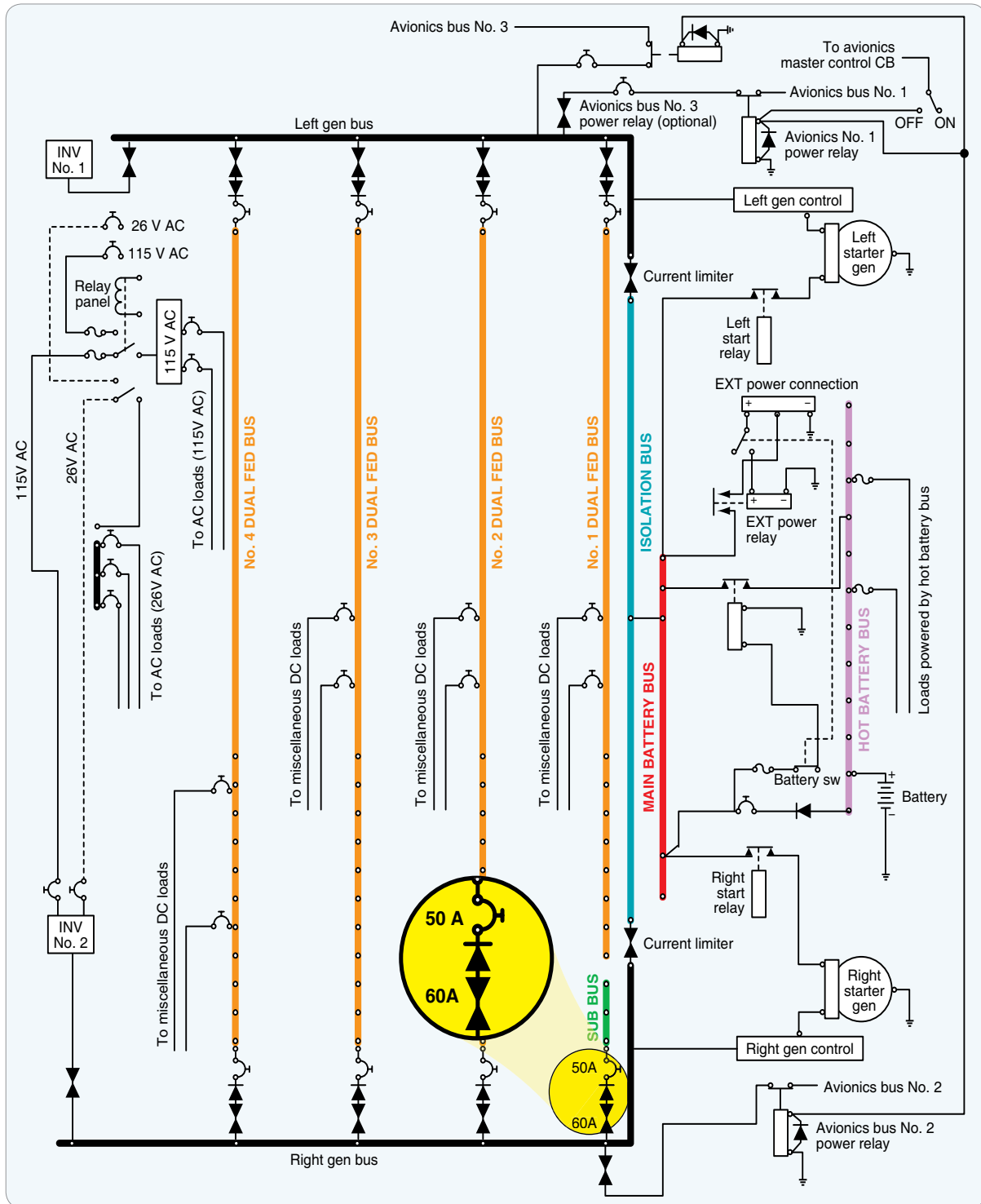
2.3.2.2 다발항공기의 배전(Power Distribution on Multiengine Aircraft)

현대의 다발항공기에서 찾아볼 수 있는 배전시스템은 전력의 신뢰성을 보장하기 위해 여러 분배소 즉 버스와 여러 가지의 제어기와 보호기기를 포함한다. 다양한 임무를 수행하기 위해 수많은 전자 장비를 이용하는 항공기에 있어서 전력시스템(electrical power system)의 신뢰성은 매우 중요한 요소이다. 신뢰성을 증진시키기 위한 한 가지 수단은 1개 이상의 전력원이 임의로 주어진 부

하에 동력을 공급하기 위해 사용될 수 있도록 하는 것이다. 또 다른 중요한 설계개념은 1개 이상의 버스로부터 중요한 전기부하에 공급하는 것이다. 일반적인 기업제트항공기(corporate jet) 또는 근거리도시간왕복항공기(commuter aircraft)와 같은, 쌍발항공기는 2개의 직류발전기를 갖고 있고, 또한 각각의 발전기로부터 공급되는 병렬배전버스(multiple distribution bus)를 갖추고 있다. 그림 2-98에서는 쌍발터보프롭항공기(twin-engine turboprop aircraft)에 대한 배전시스템의 개략도를 보여준다.

이 항공기는 엔진의 가동과 직류전력(DC electrical power)의 발전을 위해 2개의 시동·발전장치(starter generator unit)를 사용한다. 시스템은 전형적으로 다이오드와 전류제한기를 거쳐 각각의 하위버스(sub bus)로 연결되는 전기부하를 분할(분배)하는 왼쪽과 오른쪽 발전기버스(generator bus)가 있기 때문에 분할버스배전시스템(split-bus power distribution system)으로 정의된다. 발전기는 병렬로 이루어지고 균등한 부하를 가한다.

비록 적은 양의 교류가 2개의 변환장치에 의해 공급되지만, 이 항공기에서 공급된 1차 전원은 직류이다. 항공기 그림은 그림의 상단과 중간 좌측에서 교류배전(AC power distribution)을 보여준다. 1개의 변환장치는 주 교류전력(main AC power)에 사용되고 두 번째는 대기(standby)로 작동되며 백업으로서 존재한다. 양쪽 변환장치는 26[V]와 115[V] 교류를 생산한다. 작동하고 있는 변환장치를 선택하는데 사용되는 조종사 제어 스위치(pilot controlled switch)에 의해 조작되는 변환장치 선택 릴레이가 있다.



[그림 2-98] Diagram of the power distribution system for a twin-engine turboprop aircraft



그림 2-98의 오른쪽에서는 핫배터리버스(hot battery bus)가 항공기 배터리에 직접 연결된 것을 보여준다. 이 버스는 항공기에 충전된 배터리가 있을 경우 항상 전압이 걸린다. 이 버스에 의해 동력이 공급되는 항목은 항상 전원을 사용할 수 있어야 하며, 출입구 조명과 항공기 시계와 같은 기본적인 것을 포함한다. 이 버스에 의해 동력이 공급되는 다른 항목은 소화기(fire extinguisher), 연료 차단(fuel shut off), 그리고 연료펌프와 같은, 비행안전에 중요한 것이다. 대량의 시스템고장 시, 핫배터리버스는 항공기에서 가장 마지막으로 고장 나야 하는 버스다.

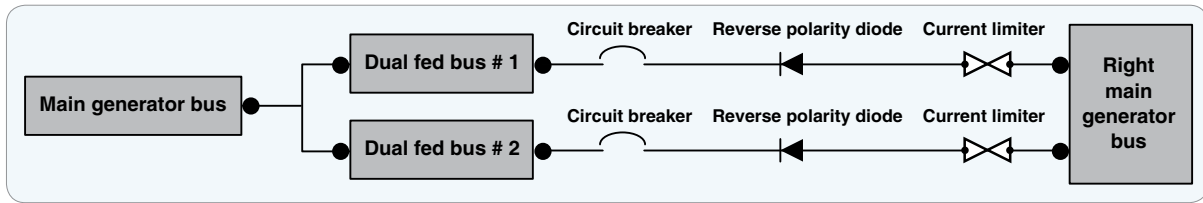
만약 배터리스위치가 접속되고 배터리릴레이가 작동되었다면, 배터리전원(battery power)은 주 배터리버스(main battery bus)와 격리버스(isolation bus)에 연결된다. 주 배터리버스는 엔진시동과 외부 전원에 쓰일 전류를 운반한다. 주 배터리버스는 항공기의 가장 큰 전류부하(current load)를 운반하기 위한 것이므로 충분히 큰 용량을 지녀야 한다. 배터리와 시동기는 실질적으로 가까운 곳에 버스가 위치하여야 하며, 접지나 단락으로부터 보호되어야 한다.

격리버스는 왼쪽과 오른쪽 버스에 연결되고 주 배터리버스에 전압이 가해졌을 때에는 언제나 전원을 받는다. 격리버스는 병렬로 왼쪽과 오른쪽 발전기의 출력을 연결한다. 이때 두개의 발전기의 출력은 추가된 버스를 거쳐 부하로 보내진다. 발전기버스는 전류제한기라 알려진 퓨즈를 거쳐 격리버스로 연결된다. 전류제한기는 단락회로가 발생할 때 버스를 격리하는 고암페어퓨즈(high amperage fuse)이다. 버스 사이의 보호를 위해 이 시스템에서 사용

된 여러 전류제한기가 있다. 그림 2-98과 같이, 전류제한기 부호는 서로 마주보는 2개의 삼각형 모양이다. 격리버스와 주 발전기버스(main generator bus) 사이에 전류제한기는 325[ampere]으로 정격되며 지상에서만 교체할 수 있다. 대부분 전류제한기는 초과 전류와 관련된 기능 불량에 한해서 지상에서 교체가 가능하다.

왼쪽과 오른쪽 직류발전기는 각자의 주 발전기버스에 연결된다. 각각의 발전기는 발전기 각자의 버스에 공급하고, 그리고 버스가 정상적인 상황에서 연결되었기 때문에, 발전기는 병렬로 운전한다. 양쪽 발전기는 함께 모든 부하에 공급된다. 만약 하나의 발전기가 고장이거나 전류제한기가 개방된다면, 발전기는 독립적으로 작동할 수 있다. 이 설계는 만약 고장일 경우에 대리기능(redundancy)을 허용하는 것이고 만약 두 개의 발전기 고장일 경우에 배터리지원(battery backup)을 제공한다.

그림 2-98의 중간에, 4개의 이중급전전기버스(dual-feed electrical bus)가 있다. 이들 버스는 그들이 왼쪽과 오른쪽 발전기버스 모두로부터 전원을 받기 때문에 이중급전으로 간주된다. 만약 결함이 발생하면, 각각의 발전기버스는 이중급전버스에 있는 어떤 버스 또는 모든 부하에 동력을 공급할 수 있다. 항공기의 설계단계 시에, 전기부하는 이중급전버스의 각각의 사이에 균일하게 배전되어야 한다. 또한 서로 다른 버스로부터 중복되는 시스템에 동력을 공급하는 것은 중요한 것이다. 예를 들어, 조종사의 윈드실드(windshield) 가열은 부조종사의 윈드실드 가열에 동력을 공급하는 버스와 다른 버스도 동력이 공급되게 한다. 만약 하나의 버스가 고장이거나 다른 하나의 윈드실드 가열은 적절하게 작동하



[그림 2-99] Dual-feed bus system

도록 하여 항공기가 결빙상태(icing condition)에서 안전하게 착륙할 수 있다.

그림 2-99와 같이, 이중급전버스는 양쪽 전류제한기와 다이오드를 거쳐 주 발전기버스에 연결되었다는 것을 알 수 있다. 다이오드는 한쪽 방향으로만 전류흐름을 하게 한다는 것을 기억한다.

전류는 발전기버스에서 이중급전버스로 흐를 수는 있지만, 이중급전버스에서 발전기버스로 흐르는 것은 불가능하다. 다이오드는 주 버스가 전류흐름에서 하위 버스(sub bus)보다 더 양이 되도록 회로에 위치한다. 또한 이 회로는 전류제한기와 회로차단기를 포함한다. 회로차단기는 조종실에 위치하며 조종사에 의해 재기동될 수 있다. 전류제한기는 정비사에 의해 지상에서 교체될 수 있다. 회로차단기는 전류제한기보다 약간 더 낮은 전류값으로 정격되기 때문에, 만약 회로차단기에 전류 과부하가 있다면 개방되어야 한다. 만약 회로차단기가 개방된 상태에서 고장 나면, 전류제한기는 백업보호를 제공하고 회로를 분리시킨다.

2.3.3 대형 다발항공기 (Large Multiengine Aircraft)

운송용범주항공기는 일반적으로 매번 항행에 수백 명의 승객을 나르고 수천 마일을 비행한다. 따라

서 대형 항공기는 컴퓨터가 제어하는 안정적인 전력 분배 시스템을 필요로 한다. 이들 항공기는 교류발전기로 다발전력원(multiple power source)과 여러 가지의 배전버스를 갖는다. 전형적인 정기여객기는 항공기 터빈엔진에 의해 구동되는 2개 이상의 교류발전기뿐만 아니라 1개 이상의 예비교류발전기(backup AC generator)를 포함한다. 또한 직류시스템은 대형 항공기에서 사용되고 항공기의 배터리는 다중고장의 경우에 비상전원을 공급하기 위해 사용된다.

때때로 교류기라고 부르는 교류발전기는 3상, 115/200[V] 교류, 400[Hz]를 생산한다. 대부분 운송용범주항공기는 2개의 엔진으로 설계되었기 때문에, 2개의 주 교류발전기(main AC generator)가 있다. 또한 보조 동력장치는 교류발전기를 구동시킨다. 이 장치는 주 발전기 중 하나가 고장 난 경우에 비행 내내 이용할 수 있는 것이다. 주 발전기와 보조 발전기(auxiliary generator)는 출력 용량이 일반적으로 유사하며 최대 110[kilovolt amp, KVA]를 공급한다. 비상램공기터빈(emergency ram air turbine)에 의해 구동되는 네 번째 발전기는 2개의 주 발전기와 1개의 보조 발전기가 고장 났을 경우에 이용할 수 있는 것이다. 비상 발전기(emergency generator)는 일반적으로 더 작고 적은 전원을 생산한다. 현대 항공기에서 이용할 수 있는 4개 교류발



전기로 인하여, 완전한 정전(power failure)이 발생할 가능성은 거의 없다. 그러나 만일 모든 교류발전기가 고장 난다면, 항공기 배터리는 중요한 시스템을 작동시키는 직류전력의 공급을 지속할 것이다.

2.3.3.1 교류전력시스템(AC Power Systems)

운송용범주항공기는 여러 가지 시스템을 위해 많은 양의 전력을 사용한다. 승객의 편의를 위해 조명, 시청각시스템(Audio Visual System)의 전원, 식품보온기와 음료냉각기를 위한 주방전원을 필요로 한다. 비행조종시스템, 전자식엔진제어시스템(electronic engine control system), 통신시스템, 그리고 항법시스템과 같은 여러 가지 전기시스템이 항공기를 비행시키기 위해 필요하다. 하나의 엔진구동교류발전기(engine-driven AC generator)의 출력 용량은 일반적으로 이러한 모든 전기시스템을 위한 동력을 공급할 수 있다. 두 번째 엔진구동발전기는 전기부하의 분배와 대리기능(redundancy)을 위해 비행 중 가동된다.

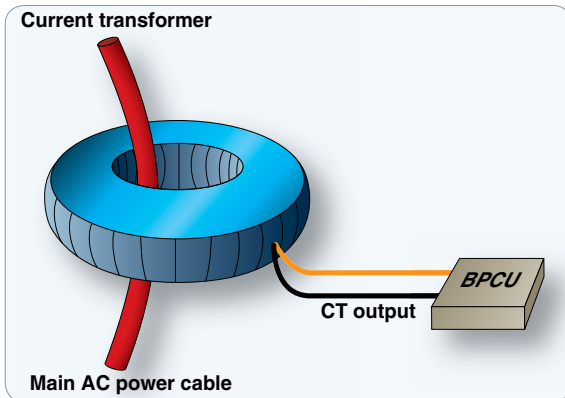
많은 복잡한 발전기와 다양한 배전버스는 전력의 공급을 안전하고 일정하게 유지하기 위해서 여러 가지의 제어장치를 필요로 한다. 교류전기시스템은 주파수 $400[\text{Hz}] \pm 10[\%]$ 에 $115 \sim 120[\text{V}]$ 의 일정한 출력을 유지해야 한다. 시스템은 반드시 전력제한을 초과되지 않도록 해야 한다. 교류발전기는 적절한 시점에 적절한 배전버스에 연결되며, 필요할 때 동일한 위상의 상태를 가진다. 또한 항공기에 공급된 외부전원을 모니터링하고 제어하는 것뿐만 아니라 직류전력의 제어도 필요하다.

2개의 전자현장교체장치(electronic line replacement unit)는 일반적인 대형 항공기에서

전력을 제어하기 위해 사용된다. 발전기제어장치(GCU)는 전압조절과 주파수제어와 같은, 교류발전기 기능의 제어를 위해 사용된다. 버스전원제어장치(BPCU)는 항공기에 여러 가지의 배전버스 사이에 전력 분배를 제어하기 위해 사용된다. 발전기제어장치(GCU)와 버스전원제어장치(BPCU)는 전력을 제어하고, 결함을 탐지하며, 필요하면 교정조치를 취하기 위해 함께 일하고, 그리고 조종사와 항공기의 중앙정비시스템(central maintenance system)으로 결함을 통보한다. 일반적으로 각각의 교류발전기에 대해 하나의 발전기제어장치(GCU)와 버스접속(bus connection)을 제어하기 위해 적어도 1개의 버스전원제어장치(BPCU)가 있다. 이들 현장교체장치(LRU, line replacement unit)는 항공기의 전자장비격실(electronics equipment bay)에 위치하고 간편한 교체가 가능하도록 설계된다.

조종사가 조종실에서 발전기제어스위치(generator control switch)를 조작하여 발전기전원(generator power)을 요구할 때, 발전기제어장치(GCU)는 정확한 작동을 보장하기 위해 시스템을 모니터링한다. 만약 모든 시스템이 한도 이내로 작동하고 있다면, 발전기제어장치(GCU)는 적합한 발전기회로에 전압을 가하고 시스템을 위해 전압조절을 제공한다. 또한 발전기제어장치(GCU)는 일정한 $400[\text{Hz}]$ 주파수를 보정하기 위해 교류출력을 모니터링한다. 만약 발전기출력이 한도 이내에 있다면, 발전기제어장치(GCU)는 전기접촉기(electrical contactor), 즉 솔레노이드를 거쳐 주발전기버스로 전력을 연결한다. 이들 접촉기는 주 발전기회로를 차단하고, 연결하기 때문에 종종 발전기 차단기(GB, generator breaker)라고 부른다.

발전기전원을 이용할 수 있을 때, 버스전원제어장치



[그림 2-100] Current transformer

(BPCU)는 전력을 배전하기 위해 여러 가지의 접촉기를 작동시킨다. 버스전원제어장치(BPCU)는 전체 전기시스템을 모니터링하고 적절한 작동을 보장하기 위해 발전기제어장치(GCU)와 통신한다. 그림 2-100과 같이, 버스전원제어장치(BPCU)는 시스템을 모니터링하기 위해 변류기(CT, current transformer)라고 부르는 원격전류감지기를 이용한다.

변류기(CT)는 전원분배시스템의 주 전원케이블(main power cable)을 둘러싼 유도장치(inductive unit)이다. 교류전력이 주 전원케이블을 거쳐 흐를 때, 변류기(CT)는 유도전압을 받는다. 변류기(CT) 전압의 양은 케이블을 통해 흐르는 전류에 직접적으로 연관된다. 변류기(CT)는 시스템의 정확한 전류모니터링을 할 수 있도록 버스전원제어장치(BPCU)에 연결된다. 일반적인 항공기는 전기시스템 전체에 걸쳐 여러 가지 변류기(CT)를 사용한다.

버스전원제어장치(BPCU)는 항공기에서 볼 수 있는 다양한 배전버스 사이에 전기적인 접속을 제어하는 전용컴퓨터이다. 버스전원제어장치(BPCU)는 여러 가지의 회로의 접속을 위해 모션연결차단기(BTB, bus tie breaker)라고 부르는 접촉기, 즉 솔

레노이드를 사용한다. 이들 모션연결차단기(BTB)는 조종사와 버스전원제어장치(BPCU)의 요구에 의해 시스템운용에 필요한 버스 사이에 접속을 개방하고 접속시킨다. 이것은 간단한 일처럼 들리지만, 다양한 조건에서 적절한 작동을 보장해야 하는 버스시스템은 매우 복잡한 것이다.

운송용범주항공기에서 찾아볼 수 있는 세 가지 일반적인 형태의 배전버스시스템이 있는데, 분할버스(split bus), 병렬버스(parallel bus), 그리고 분할·병렬버스(split parallel bus)이다.

(1) 분할버스배전시스템

(Split-Bus Power Distribution Systems)

Boeing 737, 757, 777, Airbus A-300, A-320, 그리고 A310과 같은, 현대의 쌍발항공기는 분할버스배전시스템을 사용한다. 정상적인 상황에서, 각각의 엔진구동교류발전기는 오직 한 개의 주 교류버스(main AC bus)에 동력을 공급한다. 버스들은 분할된 상태를 유지하며, 2개의 발전기는 절대로 동시에 동일한 버스에 동력을 공급할 수 없다. 발전기출력전류(generator output current)가 조절된 위상이 아니기 때문이다. 만약 2개의 이상(out-of-phase) 발전기가 동일한 버스에 연결되면, 시스템에 손상이 일어나게 된다. 분할버스시스템(split bus system)은 양쪽 엔진구동발전기가 하나의 버스에 동력을 공급하게 하지만, 동시에 하지는 않는다. 발전기는 손상을 피하기 위해 서로 격리되어야 한다. 발전기제어장치(GCU)와 버스전원제어장치(BPCU)는 적절한 발전기운용과 배전을 보장한다.

현대적인 분할버스시스템이 있는 항공기는, 비행 중 보조 동력장치의 시동 및 작동이 가능하다. 이것



그림 2-101의 아래에 4개의 교류발전기를 볼 수 있다. 이들 발전기는 발전기차단기를 거쳐 각자의 버스에 연결된다. 예를 들어, Generator 1은 GB 1을 거쳐 AC Bus 1로 전류를 보낸다. AC Bus 1은 여러 가지의 1차 전기부하에 공급되고, 그리고 차례로 추가의 부하에 동력을 공급하는 하위버스로 흘러든다.

① GB 1은 고장 난 발전기를 분리시키기 위해 발전기제어장치(GCU)에 의해 개방된다.



- ② 버스전원제어장치(BPCU)는 BTB 1과 BTB 2를 접속시킨다. 이것은 Generator 2에서 AC Bus 1로 교류전력을 공급한다.
- ③ 조종사는 보조 동력장치를 시동시키고 보조 동력장치 발전기를 연결시킨다. 이때, 버스전원 제어장치(BPCU)와 발전기제어장치(GCU)는 보조 동력장치가 AC Bus 1에 동력을 공급하고 Generator 2는 AC Bus 2에 동력을 공급하도록 시스템을 정확하게 배열하기 위해 적절한 모션연결차단기(BTB)를 이동시킨다. 다시 한번 말하지만 발전기가 정상이면, 2개의 교류발전기는 AC Bus 1과 AC Bus 2에 동력을 공급하기 위해 독립적으로 작동한다.

만약 모든 발전기가 고장 나면, 그림 2-101의 중앙에서 교류는 정지형변환장치를 통해 이용할 수 있다. 모든 발전기가 고장 나면, 변환장치는 핫배터리버스로부터 동력이 공급되고 필수교류부하(essential AC load)를 위해 사용된다. 물론 발전기 제어장치(GCU)와 버스전원제어장치(BPCU)는 결함이 있는 장치를 격리시키기 위해 적절한 조치를 취하고 변환장치 전원을 사용하여 필수교류부하에 공급을 지속한다.

직류전력을 생산하기 위해, AC Bus 1은 그림 2-101의 왼쪽 중앙에 TR 1로 전류를 보낸다. 변압정류장치(TRU, transformer rectifier unit)는 교류를 직류로 변환하는 데 사용된다. 변압정류장치(TRU)는 115[V] 교류를 26[V] 교류로 전압을 낮추기 위한 변압기와 26[V] 교류를 26[V] 직류로 변환시키는 정류기를 포함한다. 따라서 변압정류장치(TRU)의 출력은 26[V] 직류로서 항공기 배터리

와 호환된다. 직류전력은 민감한 위상이 없기 때문에 직류버스는 정상작동 시 연결된다. 만약 버스 문제인 경우, 버스전원제어장치(BPCU)는 직류전력의 정확한 배전을 보장하기 위해 1개 이상의 직류버스를 분리할 수 있다. 이 항공기는 비상직류전력(emergency DC power)을 공급하는 데 사용되는 2개의 배터리를 담고 있다.

(2) 병렬접속방식(Parallel Systems)

Boeing 727, MD-11, 그리고 초기의 Boeing 747과 같은, 다발항공기는 병렬배전시스템(parallel power distribution system)을 사용한다. 정상비행 조건에서, 모든 엔진구동발전기는 서로 연결되며 교류부하에 동력을 공급한다. 이런 구성에서, 발전기는 병렬로 작동하기 때문에 병렬배전시스템이라 한다. 병렬접속방식에서, 모든 발전기출력전류(generator output current)는 위상이 조절되어야 한다. 발전기가 동일한 버스에 연결되기 전에, 발전기의 출력주파수는 교류출력이 양의 최고점(positive peak)과 음의 최고점(negative peak)에 동시에 도달하게 조정되어야 한다. 비행 시, 발전기는 적절한 작동을 위해 이 동상조건(in-phase condition)을 유지해야 한다.

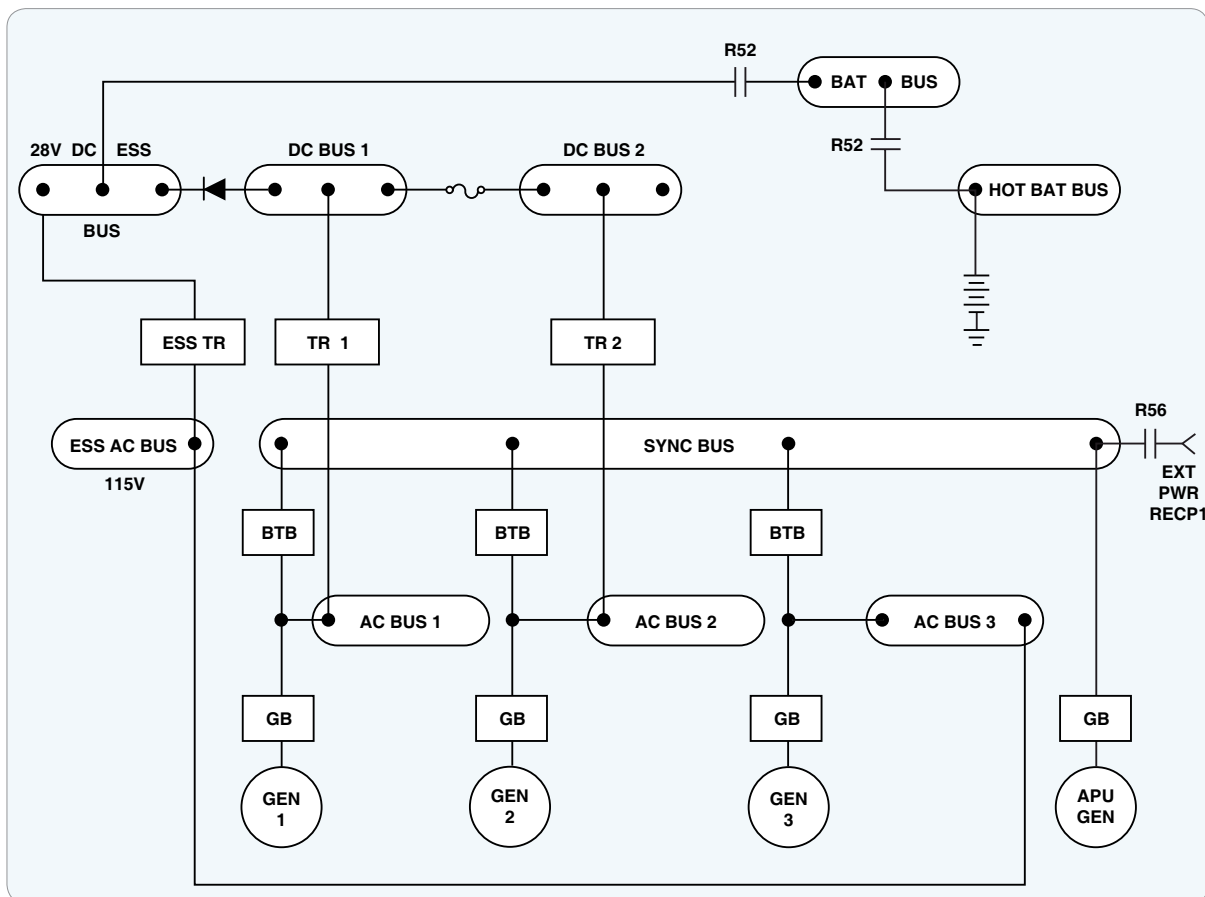
병렬접속방식의 하나의 이점은 발전기고장 시, 버스는 이미 연결되어 결점이 있는 발전기만 시스템으로부터 격리하면 된다는 것이다. 병렬접속버스(paralleling bus) 또는 동기조정버스(synchronizing bus)는 비행 중에 발전기에 연결시키기 위해 사용된다. 동기조정버스는 가끔 싱크버스(sync bus)라고도 부른다. 이러한 시스템은 대부분 자동화되어 있지 않기 때문에 비행승무원이 시



시스템을 모니터링하고 제어버스접촉기(control bus contactor)를 수동으로 제어해야 한다. 모션연결차단기(BTB)는 비행승무원이 전기제어패널(electrical control panel)을 통해 조작하며 필요한 버스들을 연결하는 데 이용된다. 발전기차단기는 발전기를 연결하고 분리하기 위해 사용된다.

그림 2-102에서는 간단한 병렬배전시스템을 보여 준다. 이 항공기는 3개의 주 엔진구동발전기(main engine-driven generator)와 1개의 보조 동력장치 발전기를 사용한다. 오른쪽 아래에 보조 동력장치 운항 중에 작동하지 않아 예비전력을 제공할 수 없

다. 보조 동력장치 발전기는 오직 지상운전을 위한 것이다. 그림 2-102의 아래쪽에 3개의 주 발전기는 No.1, No.2, 그리고 No.3 GB를 거쳐 그들 각각의 교류버스에 연결된다. 교류버스는 3개의 모션연결차단기(BTB)를 거쳐 동기조정버스에 연결된다. 이러한 방식으로, 3개의 발전기 모두는 전체의 교류전기부하(AC electrical load)를 분담한다. 동기조정버스에 연결된 모든 발전기는 동상(in-phase)이어야 한다는 것을 명심하라. 만약 발전기가 고장 나면, 비행승무원은 결함이 있는 발전기를 간단히 격리시키고 비행은 중단 없이 지속될 것이다.



[그림 2-102] Parallel power distribution system

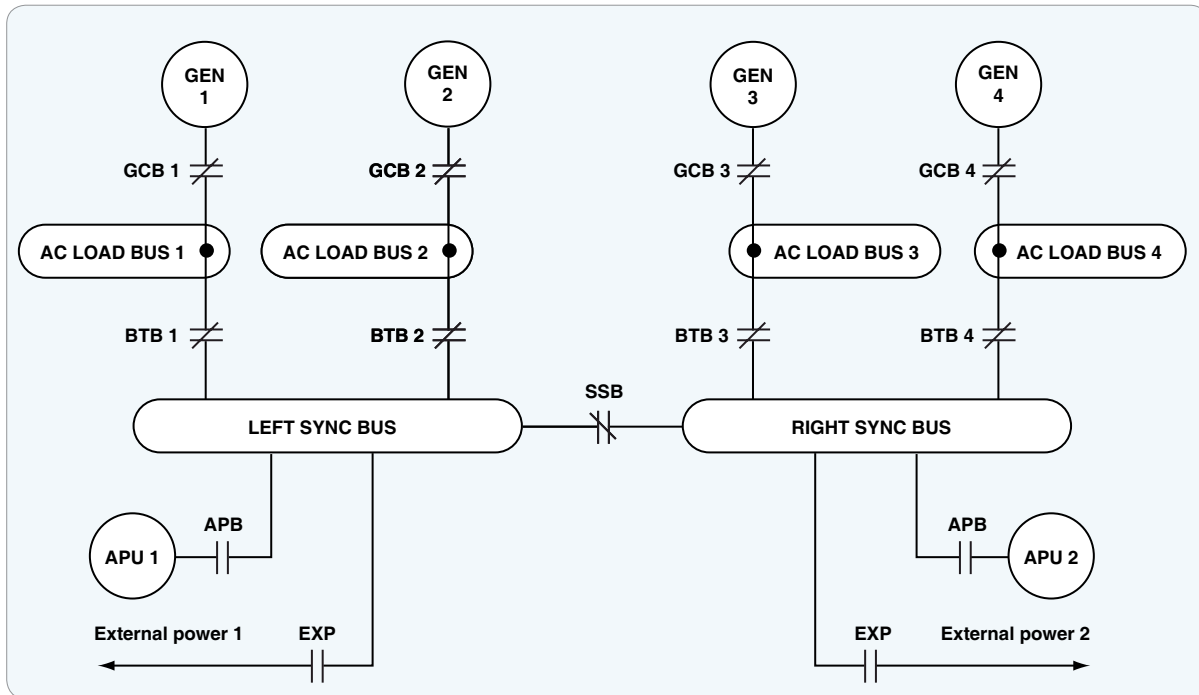
그림 2-102의 왼쪽 꼭대기에 No.1과 No.2 직류 버스는 항공기의 직류전기부하(DC electrical load)에 전원을 공급하는 데 사용된다. DC Bus 1은 TR 1을 통해 AC Bus 1로부터 전원을 받는다. DC Bus 2는 AC Bus 2로부터 동일한 방식으로 공급된다. 직류버스 또한 배터리버스(battery bus)와 연결되며 결국에는 배터리카지 연결된다. 왼쪽 꼭대기에 필수 직류버스(essential DC bus)는 DC Bus 1 또는 필수변압정류장치(essential TRU)로부터 공급될 수 있다. 다이오드는 필수직류버스가 DC Bus 1으로 동력이 공급되는 것을 방지한다. 필수직류버스는 필수 교류버스(essential AC bus)로부터 전력을 받는 필수변압정류장치(essential TRU)로부터 전력을 받는다. 이것은 필수교류버스가 격리될 수 있기 때문에 대리기능(redundancy)의 여분의 충을 제공하여 어떤 주 발전기로부터 공급될 수 있다. 그림 2-102에서는 필수교류버스에 동력을 공급하는 Generator 3을 보여준다.

(3) 분할 · 병렬버스(Split-Parallel Systems)

분할 · 병렬버스(split parallel bus)는 기본적으로 분할버스시스템(split-bus system)과 병렬버스시스템(parallel-bus system) 모두 최상의 것을 사용한다. 분할 · 병렬시스템은 Boeing 747-400에서 찾아볼 수 있고 주 엔진발전기(main engine generator)에 의해 가동되는 4개의 엔진구동발전기와 2개의 보조 동력장치구동발전기(APU-driven generator)를 포함한다. 시스템은 병렬로 모든 발전기를 이용하여 작동할 수 있거나, 분할버스시스템처럼 독립적으로 작동시킬 수 있는 발전기로 작동될 수 있다. 정상비행 중, 4개의 엔진구동발전기 모

두는 병렬로 작동된다. 시스템은 단지 특정 고장조건에서 또는 외부전원을 사용할 때에만 분할버스모드(split-bus mode)로 작동된다. Boeing 747-400 분할 · 병렬시스템은 4개의 발전기제어장치(GCU)와 2개의 버스전원제어장치(BPCU) 컴퓨터를 이용하여 제어된다. 각각의 발전기를 제어하는 하나씩의 발전기제어장치(GCU)가 있는데, BPCU 1은 왼쪽 버스배전(bus power distribution)을 제어하고, 그리고 BPCU 2는 오른쪽 버스배전을 제어한다. 발전기제어장치(GCU)와 버스전원제어장치(BPCU)는 분할시스템에서 이전에 설명했던 것과 유사하게 작동된다.

그림 2-103에서는 간단한 분할 · 병렬배전시스템(split-parallel power distribution system)을 보여준다. 그림 2-103의 꼭대기에 주 발전기는 주 터빈엔진(main turbine engine)에 의해서 구동된다. 각각의 발전기는 발전기회로차단기(GCB)를 거쳐 발전기의 부하버스에 연결된다. 발전기제어장치(GCU)는 조종사가 발전기 전원을 필요로 할 때 그리고 모든 시스템이 정상적으로 작동하고 있을 때 발전기회로차단기(GCB)를 접속시킨다. 각각의 부하버스는 다양한 전기시스템과 추가의 하부버스(sub-bus)에 연결된다. 모선연결차단기(BTB)는 버스전원제어장치(BPCU)에 의해 제어되고 왼쪽과 오른쪽 동기조정버스(synchronizing bus)에 각각의 부하버스를 연결한다. 분할시스템차단기(SSB, split system breaker)는 왼쪽과 오른쪽 동기조정버스를 연결하기 위해 사용되고 정상비행 동안 접속된다. 분할시스템차단기(SSB), 발전기회로차단기들(GCBs), 그리고 모선연결차단기들(BTBs)이 접속위치(closed position)이면, 발전기는 병렬로 운



[그림 2-103] Split-parallel distribution system

전한다. 병렬로 운전할 때, 모든 발전기는 동상(in-phase)이어야 한다.

만약 항공기 전기시스템이 기능불량이 발생하면, 제어장치는 필요한 모든 부하가 전력을 받을 수 있도록 적절한 조정을 한다. 예를 들어, 만약 Generator 1이 고장 나면, GCU 1은 결함을 탐지하고 GCB 1을 개방하도록 명령한다. GCB 1 개방과 함께, AC Load Bus 1은 바로 동기조정버스와 3개의 작동하는 발전기로부터 공급받는다. 또 다른 예로서, 만약 AC Load Bus 4가 접지로 단락되었다면, BPCU 4는 GCB 4와 BTB 4를 개방한다. 이것은 단락된 부하버스 4를 격리시키는 것이다. 단락된 버스, 즉 AC Load Bus 4는 격리된다. 단락된 버스의 부하는 더 이상 동력이 공급되지 않고, Generator 4는 더 이상 사용할 수 없다. 비록 3개의 남아있는

발전기로 작동하지만, 비행은 안전하게 지속할 수 있다.

모든 대형 항공기가 그렇지만, Boeing 747-400은 직류배전시스템(DC power distribution system)을 포함한다. 직류시스템은 배터리와 비상 운전(emergency operation)을 위해 사용된다. 직류시스템은 변압정류장치(TRU)에 의해 동력이 공급된, 이전에 설명했던 것과 유사한 것이다. 변압정류장치(TRU)는 교류버스에 연결되고 교류를 26[V] 직류로 변환시킨다. 직류전력시스템은 만약 큰 재앙의 전기고장인 경우에 최후의 예비 전력이다. 항공기가 비행하는 데 가장 중요한 시스템은 일반적으로 배터리로부터 전원을 받는다. 또한 이 항공기는 필요하면 비상교류전력(emergency AC power)을 공급하기 위한 2개의 정지형변환장치를 포함한다.

2.4 배선설비(Wiring Installation)

2.4.1 배선도(Wiring Diagrams)

전기배선도는 대부분 항공기 서비스매뉴얼에 포함되고 특정한 적용을 위해 사용되는 전선의 크기와 단자의 형태와 같은 정보를 명시한다. 또한 배선도는 항공기의 생산시행 동안의 변화를 포함하며, 일반적으로 부품번호와 일련번호로 시스템 내의 각 구성요소를 식별한다. 배선도는 종종 전기적인 기능불량의 문제 해결에 사용한다.

2.4.1.1 기능구성도(Block Diagrams)

기능구성도는 복잡한 전기시스템과 전자시스템의 문제 해결에 보조 자료로 사용된다. 기능구성도는

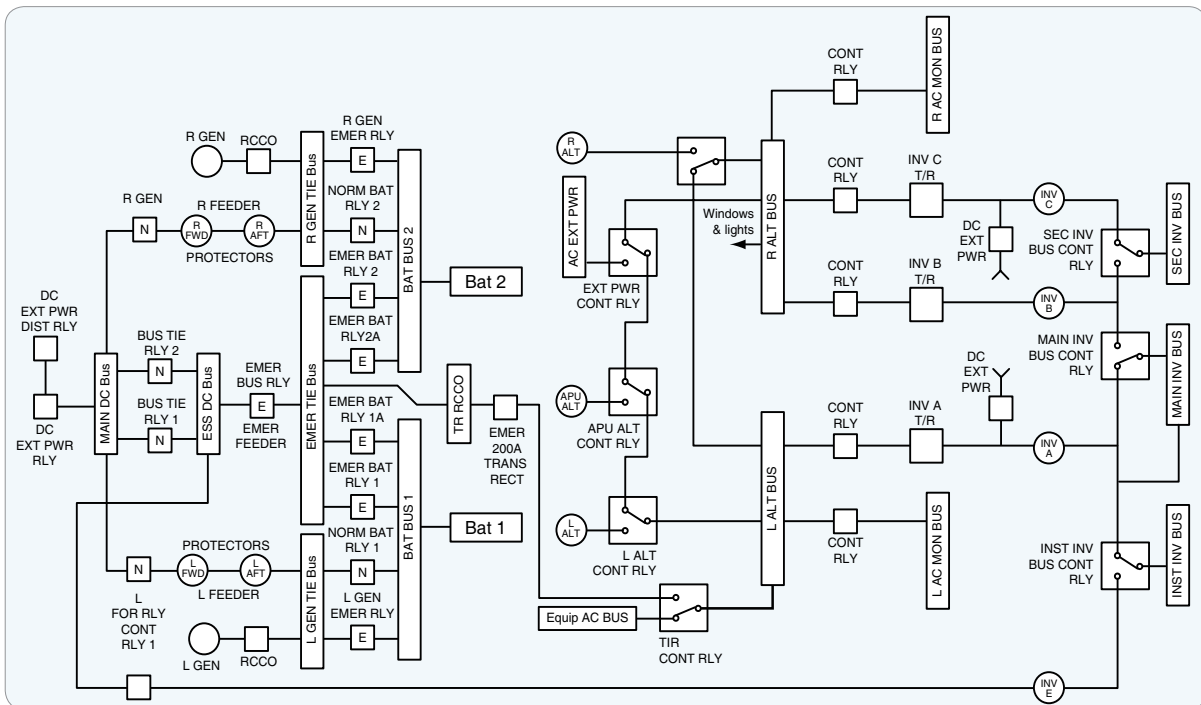
회로기판 또는 교체할 수 있는 모듈의 일부 다른 형태처럼, 여러 부품을 묘사한 개별 블록들로 구성된다. 그림 2-104에는 항공기 전기시스템의 기능구성도를 보여준다.

2.4.1.2 그림도해(Pictorial Diagrams)

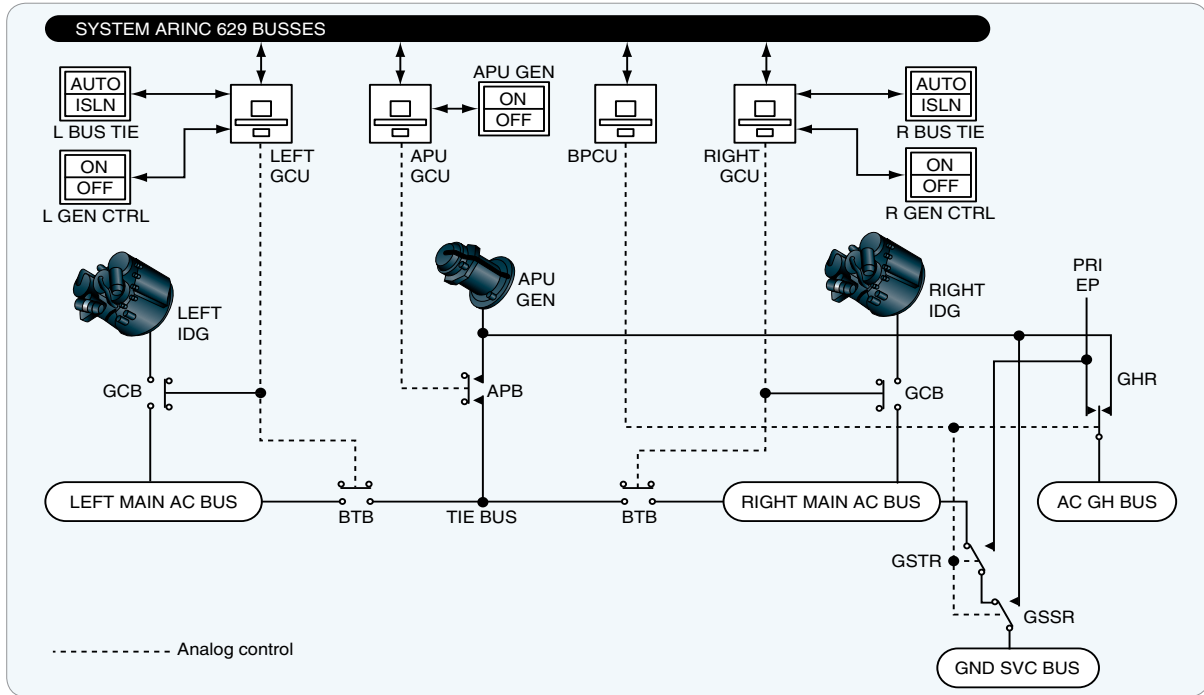
그림 2-105와 같이, 그림으로 나타낸 도해에서, 부품의 그림은 시스템도(schematic diagram)에서 볼 수 있는 전통적인 전기부호(electrical symbol)를 대신하여 사용된다. 그림도해는 정비사가 시각적으로 시스템의 작동을 볼 수 있도록 도움을 준다.

2.4.1.3 시스템도해(Schematic Diagrams)

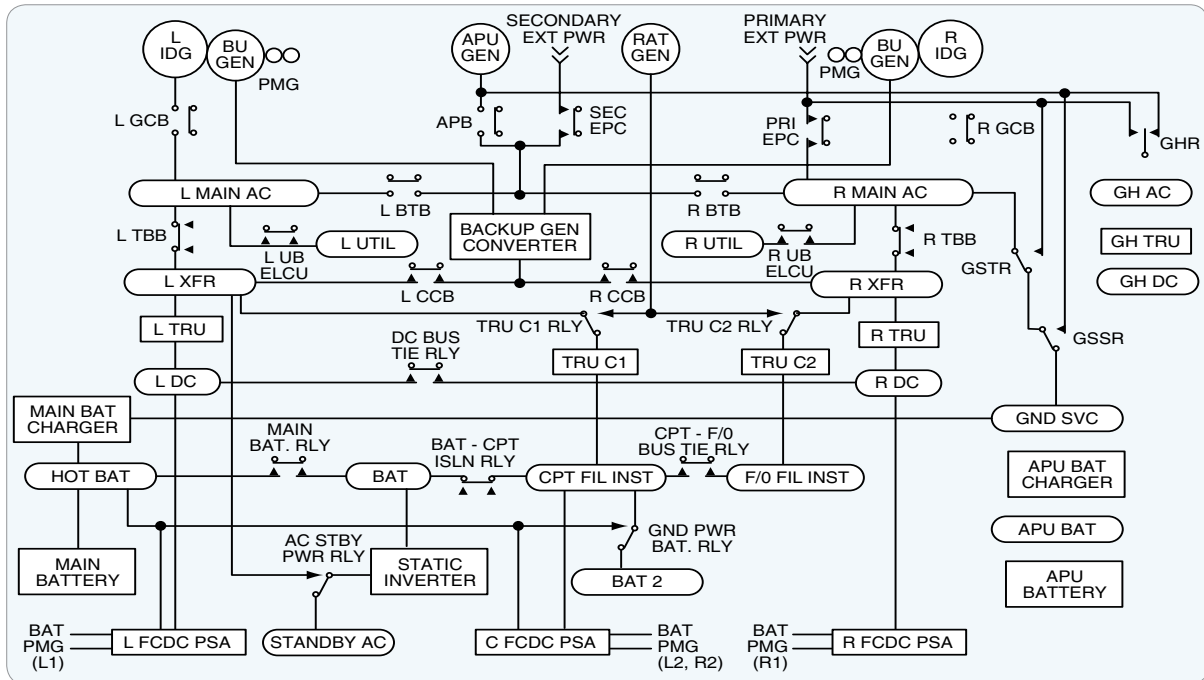
그림 2-106과 같이, 시스템도해는 작동 원리를 설명하기 위해 사용되며, 실제로 나타내거나 또는 기



[그림 2-104] Block diagram of an aircraft electrical system



[그림 2-105] Pictorial diagram of an aircraft electrical system



[그림 2-106] Schematic diagram

능을 하는 부품을 보여주지는 않는다. 그러나 시스템도해는 서로 관계되는 부품의 위치를 나타낸다. 시스템도해는 문제 해결에 있어서 가장 유용하게 활용된다.

2.4.2 전선종류(Wire Types)

현대 항공기의 성능은 전기계통과 하부계통의 지속적인 안정성에 크게 좌우된다. 부적절하거나 부주의하게 관리된 배선은 즉각적, 잠재적 위험의 원인이 될 수 있다. 전기계통의 성능은 전기 계통 전선 또는 케이블을 설치, 검사, 관리하는 정비사의 지식과 기술에 달려 있다.

이 절에서 설명하는 절차(procedures)와 실례(practices)는 일반적인 권고이고 제작사사용법설명서와 승인된 실례를 대체하는 것은 아니다.

전선은 단선(single conductor), 경선(solid conductor), 또는 절연재료로 감싼 연선(stranded conductor)으로 설명된다. 그림 2-107에서는 전선의 이들 두 가지 정의를 설명한다. 비행 중 진동과 휨 때문에, 원형전선은 피로손상을 최소화 하기 위해 꼬여야 한다.

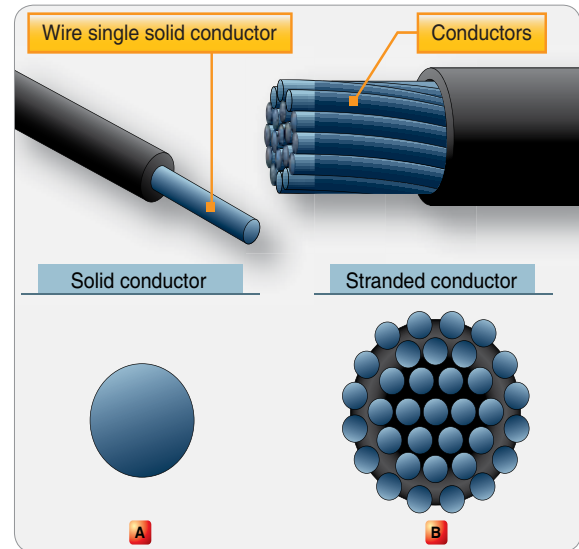
항공기 전기설비에 사용되는, 용어 “케이블(Cable)”은 다음과 같다.

(1) 다심케이블(Multi-conductor Cable)

다심케이블은 같은 재킷(jacket) 내에 2개 이상의 개별적인 절연전선

(2) 트위스트페어케이블(Twisted Pair Cable)

함께 꼬여진 2개 이상의 개별적인 절연전선



[그림 2-107] Aircraft electrical cable

(3) 실드케이블(Shielded Cable)

금속편조차폐물(metallic braided shield)로서 감싸진 1개 이상의 절연전선

(4) 무선주파수케이블(Radio Frequency Cable)

금속편조외부도체(metallic braided outer conductor)를 가지고 있는 단일중심절연전선(single insulated center conductor)

그림 2-108과 같이, 용어 “와이어하니스(Wire Harness)”는 절연전선의 배열이 오직 특정 장비에 사용하기에 적합한 배열로 설계된 레이싱코드(lacing cord), 금속밴드(metal band), 또는 다른 묶음으로 함께 결합될 때 사용되는데, 와이어하니스는 말단을 포함하게 된다. 와이어하니스는 모든 전기부품을 연결하는 항공기에서 광범위하게 사용된다.

여러 해 동안, 경량항공기에 표준전선은 600[V]



[그림 2-108] Shielded wire harness

와 105[°C]의 온도가 정격인 주석도금구리도체(tin-coated copper conductor)를 사용하는, MIL-W-5086A이었다. 그리고 이 기본전선은 다양한 절연피복으로 코팅되었다. 상업용 항공기와 군용기는 현재 군사(military)와 FAA 요구사항을 준수하는, MIL-W-22759 규격에 따라 제작된 전선을 사용한다.

항공기 전선의 선정에서 가장 중요한 고려사항은 적용환경에 전선의 구성을 적절하게 일치시키는 것이다. 발생할 수 있는 가장 가혹한 환경조건에 적합한 전선 구성이 선택되어야 한다. 전선은 일반적으로 노출배선 또는 보호된 배선(protected wiring)의 적용 중 적합한 것으로 분류된다. 전선 온도정격(temperature rating)은 전형적으로 주위온도와 전류와 관련된 도체 온도상승의 조합에 잘 견딜 수 있는 절연능력(insulation's ability)의 척도이다.

2.4.2.1 도선(Conductor)

대체로 가장 많이 사용된 두 가지 도선은 구리와 알루미늄이다. 각각은 특정 상황에서 사용이 유리

[표 2-4] Aircraft electrical cable

Characteristic	Copper	Aluminum
Tensile strength (lb-in)	55,000	25,000
Tensile strength for same conductivity (lb)	55,000	40,000
Weight for same conductivity (lb)	100	48
Cross section for same conductivity (CM)	100	160
Specific resistance (ohm/mil ft)	10.6	17

한 특성을 갖고 있다. 또한 각각은 특정한 단점이 있다. 구리는 고도전율(high conductivity)을 갖는데, 더 연성이고, 비교적 높은 인장강도를 가지며, 그리고 쉽게 납땀할 수 있다. 구리는 알루미늄보다 더 값이 비싸고 더 무겁다. 비록 알루미늄은 구리의 도전율에 약 60[%]을 갖지만, 광범위하게 사용된다. 알루미늄의 가벼움은 가능한 긴 경간(long span)을 만들고, 주어진 도전율에 대한 상대적으로 큰 직경은 높은 전위(high potential)를 갖는 전선으로부터 전기 방전인, 코로나를 줄인다. 큰 직경 전선을 사용할 때보다 작은 직경 전선을 사용할 때 방전이 더 크다. 일부 모선은 동일한 전도도에 대해 더 큰 방열면(radiating surface)이 필요한 장소에 구리 대신 알루미늄으로 구성한다. 표 2-4에서는 알루미늄과 구리의 특성이 비교되었다.

2.4.2.2 도금(Plating)

나동선(bare copper)은 온도에 대한 비율로 표면 산화피막(surface oxide coating)을 발생시킨다. 이 산화피막은 불량한 전기 도체여서 전선의 측정을 방해한다. 그런 까닭에, 모든 항공기 배선은 매우 느린 산화율(oxidation rate)을 갖는 주석, 은, 또는 니켈을 피복 재질로 한다.

① 주석도금구리(tin-coated copper)는 아주 일

반적인 도금재료이다. 고활성 용제 없이 성공적으로 납땀이 되게 하는 주석도금구리의 능력은 제작 후 시간이 흐름에 따라 빠르게 감소된다. 주석도금구리는 150[°C]의 한계온도(limiting temperature)까지 사용될 수 있다.

② 은도금전선(silver-coated wire)은 온도 200[°C](392[°F])를 초과하지 않는 곳에 사용된다.

③ 니켈도금전선(nickel-coated wire)은 260[°C]를 넘어서도 해당 속성을 유지하지만, 이러한 도금된 가닥(coated strands)을 사용하는 대부분 항공기 전선은 장기적인 노출에도 260[°C]를 초과하지 않게 하는 절연시스템을 갖는다. 니켈도금전선의 납땀된 말단은 주석도금도선 또는 은도금도선과 함께 사용되는 것보다 다른 솔더슬리브(solder sleeve) 또는 용제의 사용을 필요로 한다.

2.4.2.3 절연(Insulation)

절연재료의 두 가지 근본적인 성질은 절연저항(insulation resistance)과 절연내력(dielectric strength)이다. 이들은 완전히 다른 것이고 별개의 성질이다.

절연저항은 절연재료의 표면 관통 및 표면 위의 누설전류에 대한 저항이다. 절연저항은 절연체를 손상시키지 않고 절연저항계(megohmmeter)/절연시험계(insulation tester)로 측정하고, 그리고 이렇게 얻어진 자료는 절연체의 일반적인 조건을 결정하는 유용한 지침이 된다. 그러나 이러한 방식으로 얻어진 자료는 절연체의 정확한 상태를 나타내지 못할 수 있다. 갈라지거나 또는 다른 결함을 갖는 깨끗하

고, 건조한 절연체는 절연저항이 높은 값을 보여줄 수는 있지만, 사용하기에 부적합하다.

절연내력은 전위차를 잘 견디기 위한 절연체의 능력이며 보통 절연체가 정전응력(electrostatic stress)으로 인해 약해지는 때를 전압으로 표현한다. 최대절연내력값(maximum dielectric strength)은 절연이 파괴될 때까지 시료의 전압 상승에 의해 측정될 수 있다.

도선절연재료의 종류는 설치 유형에 따라 달라진다. 특성은 내마모성(abrasion resistance), 방전저항(arc resistance), 내식성(corrosion resistance), 관통강도(cut-through strength), 절연내력(dielectric strength), 내화(flame resistant), 기계적 강도(mechanical strength), 연기방출(smoke emission), 유체저항(fluid resistance), 그리고 열변형(heat distortion)과 같은 환경에 따라 선정되어야 한다. PVC/Nylon, Kapton®, 그리고 Teflon®과 같은 절연체 등의 종류는 새로운 항공기 설계에 더 이상 사용되지 않지만, 구형 항공기에는 여전히 장착될 수 있다. 새로운 항공기 설계를 위한 절연재료는 Tefzel®, Teflon®/Kapton®/Teflon®, 그리고 PTFE/Polyimide/PTFE로 만든다. 절연재료의 개발은 현재 까지도 계속해서 진행되고 있다.

전선이 검사를 장시간에 걸쳐 간헐적으로 되는 구역에 장착될 수 있기 때문에, 전선의 선정에 있어서 열노화 특성을 고려할 필요가 있다. 열에 대한 저항은 전선 정격에 기본적 요소이기 때문에, 항공기 용도에 따른 전선의 선정에서 가장 중요한 것이다. 전선이 높은 외기온도, 고전류부하(high current loading), 또는 두 가지의 조합으로 인하여 더 높은 온도에서 작동하도록 요구되는 경우, 선정은 가장



엄격한 운전조건에서 양호한 성능을 기초로 만들어야 한다.

2.4.2.4 전선차폐(Wire Shielding)

현대의 항공기에서 볼 수 있는 대단히 민감한 전자장치의 수의 증가와 함께, 많은 전기회로에 대한 적절한 차폐를 보장하는 것은 매우 중요해지고 있다. 차폐는 전자기간섭(EMI, electromagnetic interference)을 배제하기 위해 배선과 장비에 금속성피복(metallic covering)을 적용하는 공정이다. 전자기간섭(EMI)은 전자기장(electromagnetic field), 즉 전파(radio wave)가 전선 또는 부품에 고주파전압(high frequency voltage)을 유도할 때 발생한다. 이 유도전압은 시스템의 부정확 또는 고장의 원인이 될 수 있다.

85[%] 범위 이상으로 차폐의 사용을 권장한다. 그림 2-109와 같이, 동축케이블, 3축케이블(triaxial cable), 쌍축케이블(Twin-axial cable), 또는 4축케이블(Quadr-axial Cable)은 차폐 목적에 따라, 단일점 또는 중복점에 접지로 연결된 차폐로, 적절하게 사용되어야 한다. 또한 기체접지구



[그림 2-109] Shielded wire harness for flight control

조(airframe grounded structure)는 전자기간섭(EMI) 차폐로 사용될 수 있다.

2.4.2.5 대체 전선(Wire Substitutions)

대체 전선이 기존 항공기의 수리와 개조에 필요한 경우, 정규항공기제작사(OAM, original aircraft manufacturer)의 대체 승인 여부 결정을 위해 우선 항공기에 대한 정비매뉴얼을 검토해야 한다. 만약 그렇지 않다면, 제작사에 허용되는 교체를 위해 연락을 해야 한다.

2.4.2.6 열풍 · 습기문제 지정 구역

(Areas Designated at Severe Wind and Moisture Problem(SWAMP))

그림 2-110과 같이, 열풍 · 습기문제 구역은 항공기마다 다르지만, 혹독한 환경을 갖게 되는 바퀴집(wheel well), 날개 플랩(wing flap) 근처, 날개 폴드(wing folds), 파일론(pylon), 그리고 다른 외부 구역이다. 이들 구역에서의 전선은 종종 환경으로부터 보호하기 위한 외부재킷을 갖는다. 이런 것이 적용된 전선은 종종 특별한 전선을 만들게 하는 구성에 통합된 설계특성을 갖기 때문에 교체품



[그림 2-110] Wire harness with protective jacket

을 찾기가 매우 힘들고, 불가능할 수 도 있다. 항공기 제조업체의 정비편람(aircraft manufacturer's maintenance handbook)에서 권고된 전선 유형을 사용하는 것은 매우 중요하다. 절연체 또는 재킷은 환경에 따라 달라진다.

2.4.3 전선규격선택(Wire Size Selection)

전선은 미국전선규격(AWG, american wire gauge)으로 알려진 표준에 따르는 크기로 제조된다. 표 2-5와 같이, 규격번호(gauge number)가 클수록 전선 직경은 작아진다. 일반적인 전선크기는 No.40에서 No.0000까지의 범위를 정한다.

규격번호는 전선의 직경을 비교하기에 유용하지만, 그러나 전선 또는 케이블의 모든 종류의 규격을 정확하게 측정할 수 있는 것은 아니다. 더 굵은 전선은 보통 이들의 유연성을 증대하기 위해 몇 가닥의 전선이 하나로 꼬여져 있다. 이런 경우에, 총면적은 보통 직경 또는 규격번호를 알고 있을 때 서클러밀(circular mil(1/1000[inch]))로 계산된, 전선 또는 케이블의 가닥 개수에 한 가닥의 면적을 곱하여 결정할 수 있다.

전력을 송전하고 배전하는 전선의 크기를 선정할 때는 여러 가지 요소들이 고려되어야 한다.

- (1) 전선은 충분한 기계적 강도를 갖추어야 한다.
- (2) 전선의 허용전력손실(I^2R loss)은 열로 변환되는 전기에너지를 나타낸다. 굵은 도선의 사용은 저항을 줄여 결과적으로 I^2R 손실이 줄어든다. 그러나 굵은 도선은 값이 비싸고 무겁기 때문에 더 많은 수의 지주를 필요로 한다.

(3) 전원을 전선에 입력할 때 정전압을 유지하면, 전선 부하의 변동은 선전류(line current)의 변동과 전선에서의 IR 드롭(drop)으로 필연적 변동을 일으킨다. 전선에서 IR 드롭의 폭넓은 변동은 부하에서 불충분한 전압조절의 원인이 된다. 명확한 교정법은 전류를 줄이거나 저항을 줄이는 것이다. 선저항(line resistance)의 감소가 요구된 도선의 크기와 무게가 증가하는 반면, 부하전류(load current)의 감소는 송신되는 전력의 양을 낮춘다. 절충안은 대개 부하에서 전압변동이 허용 가능한 한도 내에 있고 선도체(line conductor)의 무게가 과도하지 않을 때 이루어진다.

(4) 전류가 도선을 통해 흐를 때 열이 발생된다. 전선의 온도는 방사된 열 또는 방출된 열이 전선을 통한 전류의 흐름에 의해 발생된 열과 같아질 때까지 상승한다. 만약 도선이 절연되었다면, 도선에서 발생된 열은 도선이 절연되지 않을 때보다 쉽게 제거되기 어렵다. 그러므로 너무 많은 열로부터 절연체를 보호하기 위해, 도선을 통과하는 전류의 양을 일정 값 이하로 유지해야 한다. 전기도선이 외기온도가 비교적 높은 장소에 장착되는 경우, 외부원인에 의해 발생된 열은 전체도선가열의 큰 원인이 된다. 허용오차는 허용도선전류에 외부가열의 영향에 대해 만들어져야 하고, 그리고 각각의 경우는 일정한 제한을 갖는다. 절연전선의 최대허용온도는 사용되고 있는 도체절연의 종류에 따라 바뀐다.

그림 2-11과 같이, 만약 No.20보다 더 작은 크



[표 2-5] American wire gauge for standard annealed solid copper wire

Cross Section			Ohms per 1,000 ft		
Gauge Number	Diameter (mils)	Circular (mils)	Square inches	25 °C (77 °F)	65 °C (149 °F)
0000	460.0	212,000.0	0.166	0.0500	0.0577
000	410.0	168,000.0	0.132	0.0630	0.0727
00	365.0	133,000.0	0.105	0.0795	0.0917
0	325.0	106,000.0	0.0829	0.100	0.166
1	289.0	83,700.0	0.0657	0.126	0.146
2	258.0	66,400.0	0.0521	0.159	0.184
3	229.0	52,600.0	0.0413	0.201	0.232
4	204.0	41,700.0	0.0328	0.253	0.292
5	182.0	33,100.0	0.0260	0.319	0.369
6	162.0	26,300.0	0.0206	0.403	0.465
7	144.0	20,800.0	0.0164	0.508	0.586
8	128.0	16,500.0	0.0130	0.641	0.739
9	114.0	13,100.0	0.0103	0.808	0.932
10	102.0	10,400.0	0.00815	1.02	1.18
11	91.0	8,230.0	0.00647	1.28	1.48
12	81.0	6,530.0	0.00513	1.62	1.87
13	72.0	5,180.0	0.00407	2.04	2.36
14	64.0	4,110.0	0.00323	2.58	2.97
15	57.0	3,260.0	0.00256	3.25	3.75
16	51.0	2,580.0	0.00203	4.09	4.73
17	45.0	2,050.0	0.00161	5.16	5.96
18	40.0	1,620.0	0.00128	6.51	7.51
19	36.0	1,290.0	0.00101	8.21	9.48
20	32.0	1,020.0	0.000802	10.40	11.90
21	28.5	810.0	0.000636	13.10	15.10
22	25.3	642.0	0.000505	16.50	19.00
23	22.6	509.0	0.000400	20.80	24.00
24	20.1	404.0	0.000317	26.20	30.20
25	17.9	320.0	0.000252	33.00	38.10
26	15.9	254.0	0.000200	41.60	48.00
27	14.2	202.0	0.000158	52.50	60.60
28	12.6	160.0	0.000126	66.20	76.40
29	11.3	127.0	0.0000995	83.40	96.30
30	10.0	101.0	0.0000789	105.00	121.00
31	8.9	79.7	0.0000626	133.00	153.00
32	8.0	63.2	0.0000496	167.00	193.00
33	7.1	50.1	0.0000394	211.00	243.00
34	6.3	39.8	0.0000312	266.00	307.00
35	5.6	31.5	0.0000248	335.00	387.00
36	5.0	25.0	0.0000196	423.00	488.00
37	4.5	19.8	0.0000156	533.00	616.00
38	4.0	15.7	0.0000123	673.00	776.00
39	3.5	12.5	0.0000098	848.00	979.00
40	3.1	9.9	0.0000078	1,070.00	1,230.00

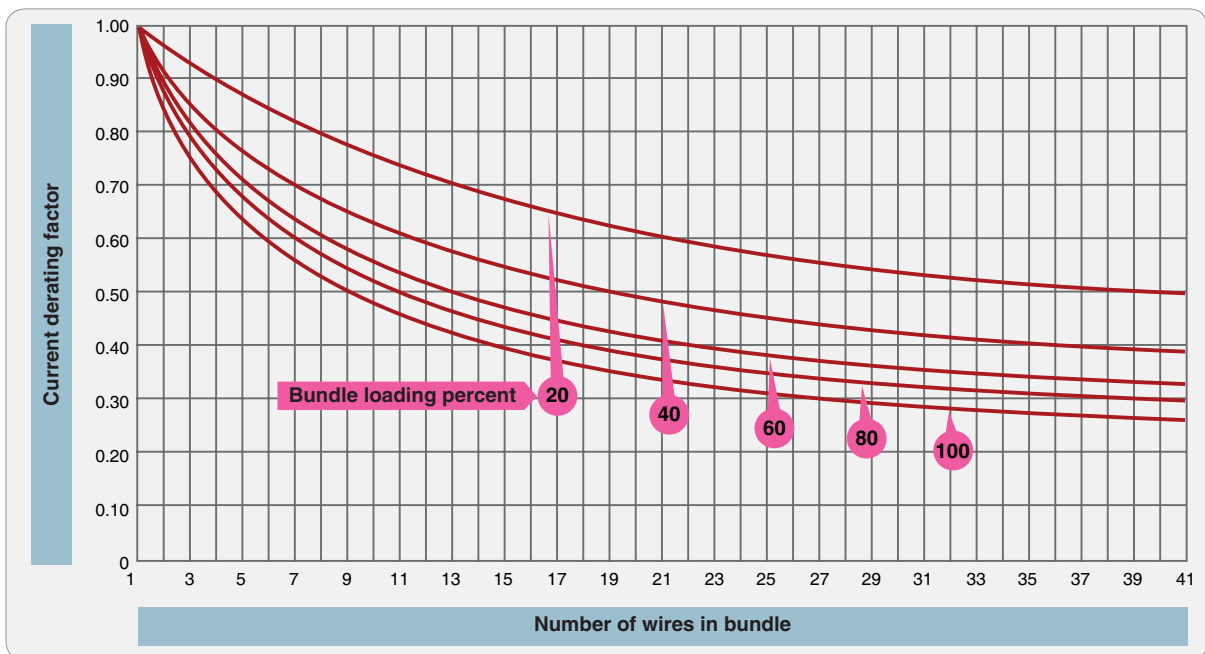
기의 전선을 사용하고자 할 경우, 기계적 강도와 흔들림, 구부림, 말단과 같은 전선의 장착처리에 특별한 주의를 기울여야 한다. 19 가닥 이하의 전선은 사용되지 않아야 한다. 기계적 강도를 증가시키기 위해 가는 굵기의 전선에 고강도합금도선(high-strength alloy conductor)의 사용을 고려해야 한다. 일반적으로, Size No.20 이하의 전선은 추가로 클램프가 제공되어야 하며 적어도 3개의 다른 전선과 그룹이 되어야 한다. 또한 커넥터 그로밋(connector grommet), 변형방지장치 클램프(strain relief clamp), 열수축 슬리빙(shrinkable sleeving), 또는 신축식 부싱(telescoping bushing)과 같이, 말단에 추가의 지지대가 있어야 한다. 전선은 과도한 흔들림, 반복된 굽힘, 또는 스크루(screw) 말단으로부터 잦은 분리가 되는 곳에는 사용되지 않아야 한다.

2.4.3.1 전류운반능력

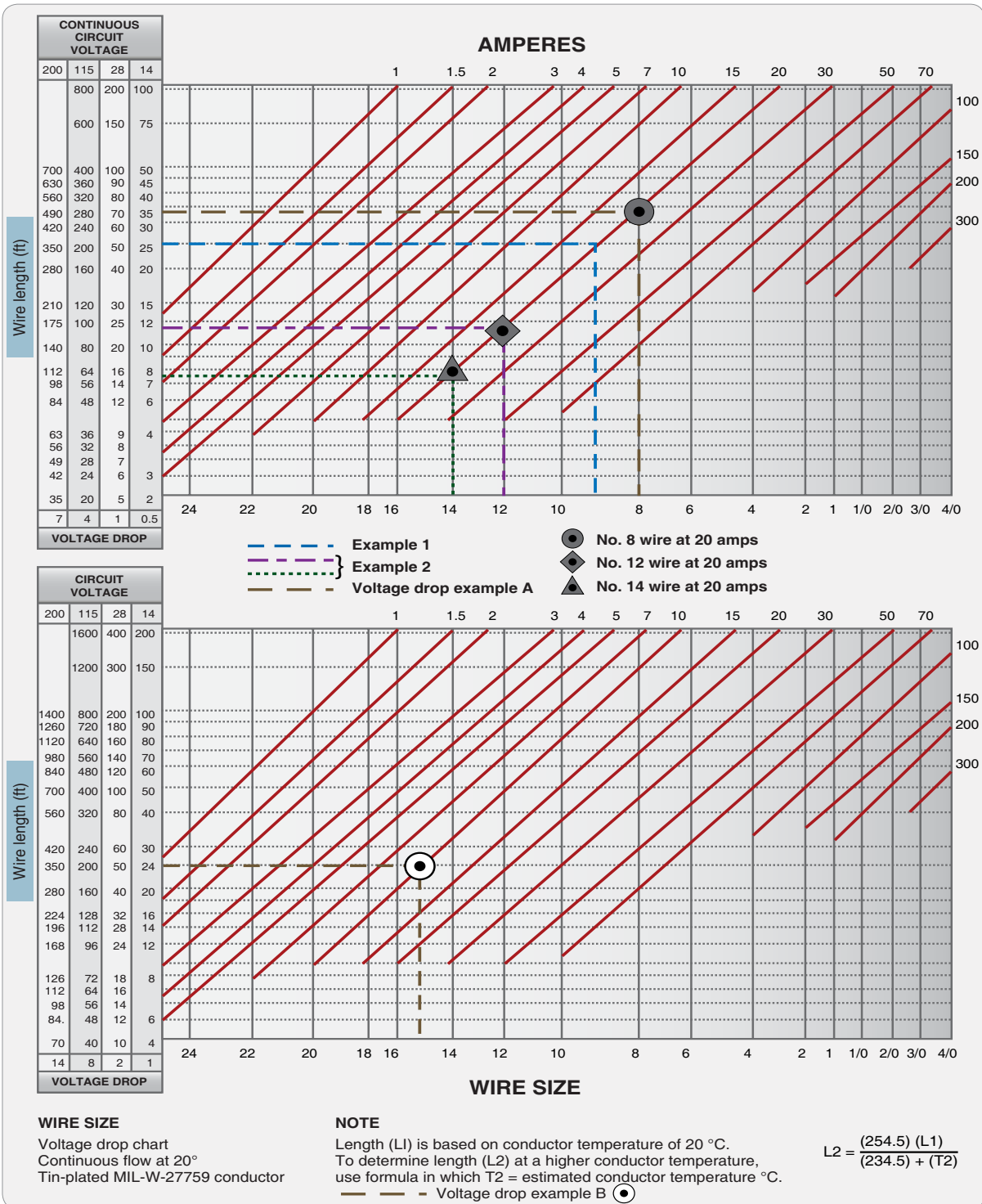
(Current Carrying Capacity)

일부의 경우에, 전선은 관련 커넥터(connector)의 접속에 권고된 것보다 더 많은 전류를 운반할 수 있다. 이 예에서는, 전선에 의해 운반되는 최대전류를 규정하는 것은 점접정격(contact rating)이다. 더 큰 굵기의 전선은 흐르는 전류에 적절하게 정격된 커넥터 접속의 압착(crimp) 범위에 맞게 사용되어야 한다. 그림 2-112에서는 번들 정격감소계수(derating factor)를 얻게 하는 곡선의 도해들을 제공한다.

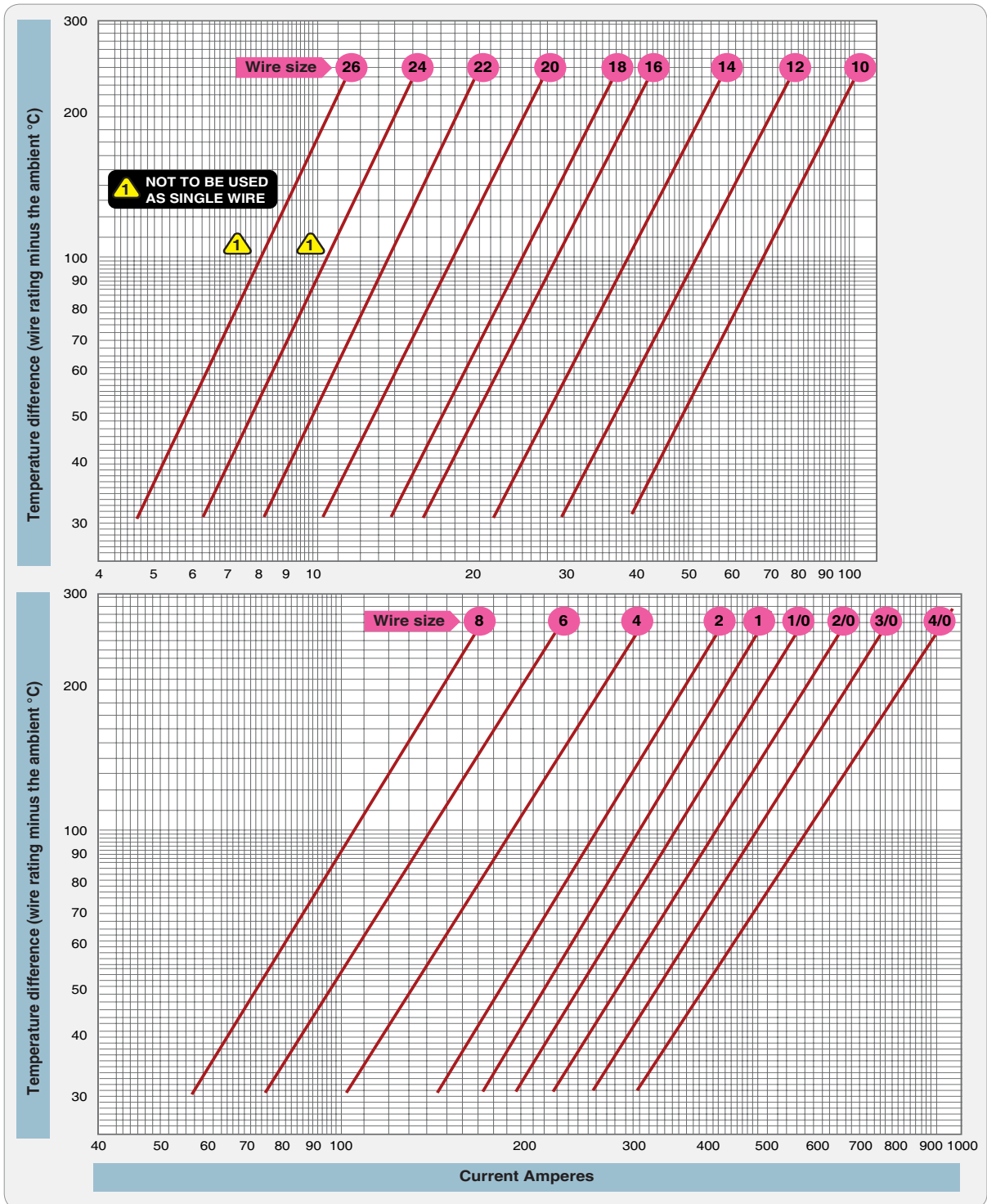
(1) 최대운전온도(Maximum Operating Temperature)
전선의 정격온도와 동일한 온도정상상태조건(temperature steady state condition)의 원인이 되는 전류는 초과되지 않아야 한다. 전선의 정



[그림 2-113] Bundle derating curve



[그림 2-111] Conductor chart, continuous (top) and intermittent flow (bottom)



[그림 2-112] Single copper wire in free air



격온도는 도선 또는 절연체가 저하 없이 연속운전(continuous operation)에 얼마나 견딜 수 있는지에 달려 있다.

① 자유대기의 단선(Single Wire in Free Air)

그림 2-112와 같이, 배선방식(wiring system)의 전류운반능력(current-carrying capacity)은 주어진 크기의 전선이 허용온도차이(정격온도 - 외기온도)를 초과하지 않고 운반할 수 있는 최대전류이다. 곡선은 자유대기에 구리 단선을 기준으로 그려졌다.

② 하니스 내의 전선(Wire in a Harness)

그림 2-113과 같이, 전선이 하니스 안에서 다발지어졌을 때, 단선에서 얻어지는 전류는 줄어들어야

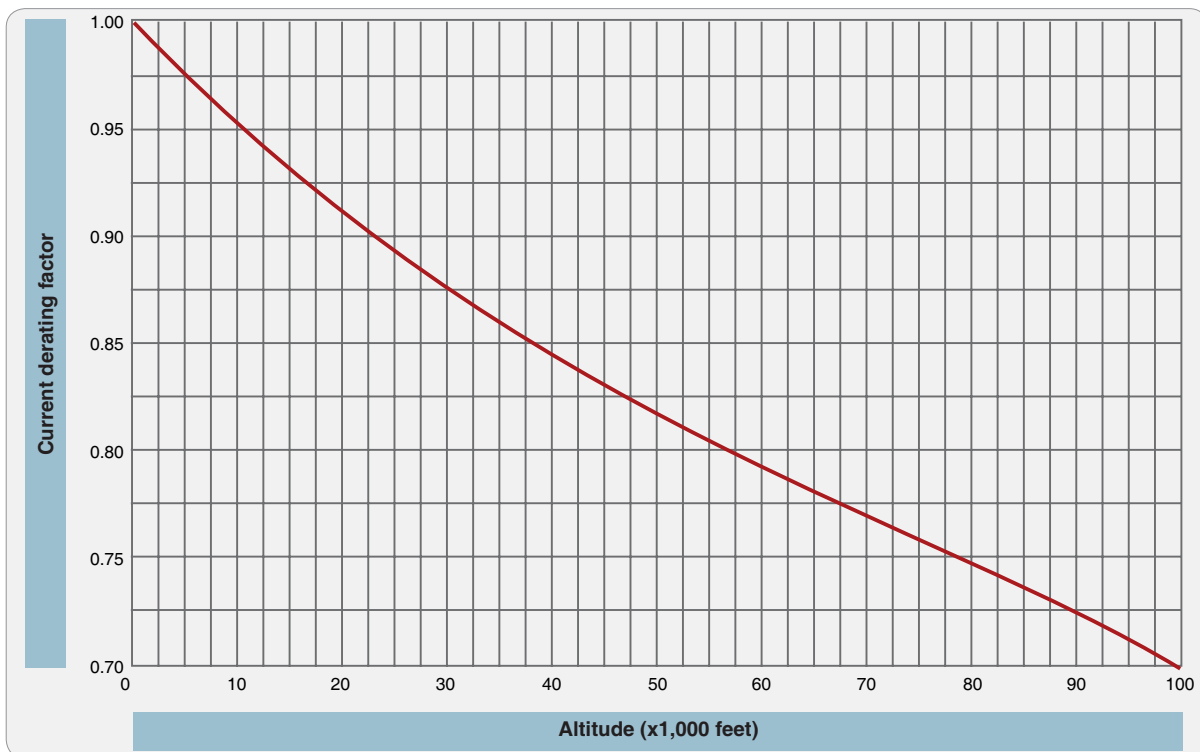
한다. 전류 경감의 양은 번들에 있는 전선의 가닥수와 사용 중인 총 전선다발(wire bundle) 용량의 백분율을 변수로 가지는 함수이다.

③ 고도에서의 하니스(Harness at Altitude)

번들로부터의 열손실은 증대된 고도에 따라 줄어들기 때문에, 전류의 양은 감소되어야 한다. 그림 2-114에서는 고도감소계수(altitude-derating factor)를 얻을 수 있는 곡선을 제공한다.

④ 알루미늄전선(Aluminum Conductor Wire)

알루미늄전선이 사용되었을 때, 크기는 표 2-6에서 보여준 전류정격(current rating)을 기초로 선택되어야 한다. No.8보다 작은 크기의 전선은 잘 사용되지 않는다. 알루미늄선은 엔진장착부속품(engine-mounted Accessory)에 부착되거나 부



[그림 2-114] 고도감소계수곡선

[표 2-6] Current-carrying capacity and resistance of aluminum wire

Wire size	Continuous duty current (amp) wires in bundles, groups, or harnesses or conduits		Max. resistance ohms/1000feet
	Wire conductor temperature rating		
	@ 105 °C	@ 150 °C	@ 20 °C
#8	30	45	1.093
#6	40	61	0.641
#4	54	82	0.427
#2	76	113	0.268
#1	90	133	0.214
#0	102	153	0.169
#00	117	178	0.133
#000	138	209	0.109
#0000	163	248	0.085

식성 연무(corrosive fume), 심한 진동, 기계적응력을 갖는 구역, 또는 자주 분리를 필요로 하는 곳에서는 사용하지 않아야 한다. 또한 알루미늄선은 3[feet] 이하에서는 배선하지 않는 것이 좋다. 말단 하드웨어(hardware)는 알루미늄도선과 함께 사용할 수 있도록 설계하여야 한다.

(2) 전류운반능력의 계산

(Computing Current Carrying Capacity)

다음 절에서는 항공기 전선의 부하용량(load carrying capacity)을 어떻게 계산하는지 몇 가지 예를 제공한다. 계산은 단계적인 접근이고 몇몇의 그래프는 특정한 전선의 전류운반능력을 계산하기 위한 정보를 얻기 위해 사용된다.

Example

10개의 전선, Size 20, 200[°C]의 등급을 갖고 있는 구리선, 그리고 25개의 전선, Size 22, 200[°C]의 등급을 갖고 있는 구리선으로 이루어진 하니스, 즉

노출선(open wire) 또는 편조선(braided wire)이 외기온도가 60[°C]인 지역에 장착되었고 항공기가 3만 5,000[feet] 고도에서 운용할 능력이 있는 것이라고 가정한다. 회로해석은 번들에 있는 35개의 전선 중 7개, 약 20[%]가 용량에 근접하거나 또는 용량까지 전원전류를 운반하고 있다는 것을 나타낸다.

Solution

Step 1

그림 2-112에서 자유대기곡선(free air curve)에 있는 단선(single wire)을 참고한다. 자유대기정격(free air rating)을 결정하기 위해 전선에서 온도의 변화를 판정한다. 전선은 60[°C]의 외기온도와 200[°C]에서 평가되기 때문에, 온도의 변화는 $200 - 60 = 140[°C]$ 이다. 그림 2-111에서 전선크기 선과 교차할 때까지 수평으로 140[°C] 온도 차이만큼 따라 간다. Size 20에 대한 자유대기정격은 21.5[amp]이고, 그리고 Size 22에 대한 자유대기정격은 16.2[amp]이다.

Step 2

그림 2-113에서 번들경감곡선(bundle de-rating curve)을 참고한다. 20[%] 곡선은 하니스에 있는 전선 중 20[%] 이하를 지시하는 회로해석이 전원전류(power current)를 운반하고 있으며 번들용량(bundle capacity)의 20[%] 이하가 사용되어야 한다. 번들에 35개 전선이 있기 때문에, 수평축에서 35를 찾은 후 20[%] 곡선에서 수직축 0.52의 감소계수(derating factor)를 결정한다.



Step 3

8.4[amp] 하니스 내 정격(in-harness rating)을 구하기 위해 16.2에 0.52를 곱하여 Size 22 자유대기정격의 정격출력을 낮춘다.

11.2[amp] 하니스 내 정격을 구하기 위해 21.5에 0.52를 곱하여 Size 20 자유대기정격의 정격출력을 낮춘다.

Step 4

그림 2-114의 고도경감곡선(altitude derating curve)을 참조한다. 항공기가 운항하고 있는 곳의 고도인 35,000[feet]를 수평축에서 찾는다. 전선은 수직축에서 찾은 0.86의 계수로 정격출력을 낮추어야 한다는 것에 주목한다. 7.2[amp]를 구하기 위해 8.4[amp]에 0.86을 곱하여 Size 22 하니스 내 정격을 낮춘다. 9.6[amp]를 구하기 위해 11.2[amp]에 0.86을 곱하여 Size 20 하니스 내 정격을 낮춘다.

Step 5

전체 하니스용량(total harness capacity)을 구하기 위해, 정격출력이 낮추어진 용량, 즉 $25 \times 7.2 = 180.0[\text{amp}]$ 로서 Size 22 전선의 총수(total number)를 곱하고 정격출력이 낮추어진 용량, 즉 $10 \times 9.6 = 96.8[\text{amp}]$ 로서 곱해진 Size 20 전선의 수와 더하고 20[%] 하니스용량계수(harness capacity factor)로서 합에 곱한다. 결국 총하니스용량은 $(180.0 + 96.8) \times 0.20 = 55.2[\text{amp}]$ 이다. 총 하니스전류(total harness current)는 55.2[amp]를 초과하지 않아야 한다. Size 22 전선은 7.2[amp] 이상 운반하지 못하며 Size 20 전선은 9.6[amp] 이상 운반하지 못한다.

Step 6

번들에 있는 각각의 전선에 대해 그리고 전체의 번들에 대해 실제의 회로전류를 결정한다. 만약 Step 5에서 계산된 값이 초과된다면, 다음의 더 큰 크기 전선을 선택하고 계산을 반복한다.

Example

12개의 Size 12, 200[°C]의 등급을 갖고 있는 구리선으로 이루어진, 하니스, 즉 노출선(open wire) 또는 편조선(braided wire)이 해수면에서 25[°C]의 외기온도와 20,000[feet] 고도에서 60[°C]로 운용된다고 가정한다. 12개의 전선 모두는 그들의 최대용량(maximum capacity)에서 작동된다.

Solution

Step 1

그림 2-112에서 자유대기곡선에 있는 단선을 참고하여, 자유대기정격을 결정하기 위해 전선의 온도 차이를 결정한다. 전선은 25[°C]와 60[°C]의 외기온도에 있고 200[°C]의 등급을 갖고 있기 때문에, 온도 차이는 $200 - 25 = 175[°C]$ 와 $200 - 60 = 140[°C]$ 이다. 그림 2-111에서 각각의 전선크기에서 선과 교차할 때까지 175[°C]와 140[°C] 온도차이선(temperature difference line)을 따라간다. Size 12의 자유대기정격은 각각 68[amp]와 59[am]이다.

Step 2

그림 2-115에서 번들경감곡선을 참고한다.

100[%] 곡선 우리가 12개의 전선 모두가 전체 부하(full load)를 운반하고 있다는 것을 알고 있기 때문에 선택되었다. 번들에 12개의 전선이 있기 때문에 수평축에서 12를 찾고 100[%] 곡선에서 수직축에서 0.43의 정격출력경감계수(de-rating factor)를 결정한다.

Step 3

각각 29.2[amp]와 25.4[amp]를 구하기 위해 68[amp]와 61[amp]에 0.43을 곱하여 크기 No.12 자유대기정격의 정격출력을 낮춘다.

Step 4

그림 2-114의 고도정격출력경감곡선(altitude de-rating curve)은 부하가 운반되는 곳에서의 조건이기 때문에 수평축 해수면과 2만[feet]를 찾는다. 전선은 각각 1.0과 0.91의 계수로 정격출력을 낮추어야 한다.

Step 5

29.2[amp]와 23.1[amp]을 얻기 위해 해수면에서 29.2[amp] 그리고 2만[feet]에서 25.4[amp]에 각각 1.0과 0.91을 곱하여 번들정격(bundle rating)에 있는 Size 12의 정격출력을 낮춘다. 해수면에서 그리고 25[°C] 외기온도에서 전체 번들용량(total bundle capacity)은 $29.2 \times 12 = 350.4$ [amp]이다. 20,000[feet], 60[°C] 외기온도에서, 번들용량은 $23.1 \times 12 = 277.2$ [amp]이다. 각각의 Size 12 전선은 해수면, 25[°C] 외기온도에서 29.2[amp]를 운반할 수 있거나 또는 2만[feet], 60[°C] 외기온도에서 23.1[amp]를 운반할 수 있다.

Step 6

번들에 있는 각각의 전선과 번들에 대해 실제의 회로전류를 결정한다. 만약 Step 5에서 계산된 값이 초과한다면, 다음 크기의 전선을 선택하고 계산을 반복한다.

2.4.3.2 허용전압강하(Allowable Voltage Drop)

전기발생원(generation source) 또는 배터리로부터 버스까지 주 전원선(main power wire)에서 전압강하는 발전기가 정격전류(rated current)를 운반하고 있을 때 또는 배터리가 5분방전율(5-minute rate)로 방전되고 있을 때 조정전압(regulated voltage)의 2[%]를 초과하지 않아야 한다. 표 2-7의 표는 버스와 이용기기(utilization equipment) 접지 사이에 부하회로(load circuit)에서 최대허용전압강하(maximum acceptable voltage drop)를 정의한다.

항공기 구조물을 통한 전류귀환경로(current return path)의 저항은 일반적으로 무시해도 좋지만 이것은 구조물에 적절한 본딩(bonding) 또는 특별한 전류귀환경로가 무시해도 좋은 전압강하로 필요한 전류를 운반할 수 있게 장치되었을 때 가능하다. 회로저항을 결정하기 위해 회로 양단의 전압강하를 확인한다. 전압강하는 항공기제작사 또는 제품 생산자에 의해 지정된 한도를 초과하지 않으면, 회

[표 2-7] Tabulation chart (allowable voltage drop between bus and utilization equipment ground)

Nominal system voltage	Allowable voltage drop during continuous operation	Intermittent operation
14	0.5	1
28	1	2
115	4	8
200	7	14



[표 2-8] Determining required tin-plated copper wire size and checking voltage drop

Voltage drop	Run lengths (feet)	Circuit current (amps)	Wire size from chart	Check calculated voltage drop (VD) = (resistance/feet) (length) (current)
1	107	20	No. 6	VD = (0.00044 ohms/feet) (107 x 20) = 0.942
0.5	90	20	No. 4	VD = (0.00028 ohms/feet) (90 x 20) = 0.504
4	88	20	No. 12	VD = (0.00202 ohms/feet) (88 x 20) = 3.60
7	100	20	No. 14	VD = (0.00306 ohms/feet) (100 x 20) = 6.12

[표 2-9] Determining maximum tin-plated copper wire length and checking voltage drop

Maximum Voltage drop	Wire size	Circuit current (amps)	Maximum wire run length (feet)	Check calculated voltage drop (VD) = (resistance/feet) (length) (current)
1	No. 10	20	39	VD = (0.00126 ohms/feet) (39 x 20) = 0.98
0.5	---		19.5	VD = (0.00126 ohms/feet) (19.5 x 20) = 0.366
4	---		156	VD = (0.00126 ohms/feet) (156 x 20) = 3.93
7	---		273	VD = (0.00126 ohms/feet) (273 x 20) = 6.88

로의 저항값을 만족한 것으로 간주할 수 있다. 회로 점검 시, 입력전압은 일정한 값으로 유지되어야 한다. 표 2-8과 표 2-9에서는 전선에서 전기저항을 결정하기 위해 사용되는 공식과 그 전형적인 예를 보여준다.

다음 공식은 전압강하를 점검하기 위해 사용할 수 있다. 저항/feet는 표 2-8에서 찾아볼 수 있고 전선 크기에 대해서는 표 2-9에서 확인할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{Calculated Voltage Drop [VD]} \\ & = \text{Resistance/feet} \times \text{Length} \times \text{Current} \end{aligned}$$

(1) 전선 도표 설명(Electric Wire Chart Instructions)

전선의 정확한 크기를 선택하기 위해, 두 가지 주요 조건이 필요하다.

- ① 표 2-7과 같이, 전선이 지정된 거리까지 전류를 운반하는 동안 과도한 전압강하를 방지할 수 있어야 한다.
- ② 크기는 요구된 전류를 운반하는 전선의 과열을 방지하기에 충분한 것이어야 한다. 연산전류용량법(computing current carrying capacity method)에 대해서는 최대운전온도(maximum operating temperature)를 참조한다.

그림 2-11을 이용하여 정확한 전선크기를 선택하는 두 가지 필요조건에 부합시키기 위해, 다음 사항을 알아야 한다.

- ① 전선의 길이
- ② 운반하고자 하는 전류의 암페어의 수
- ③ 허용전압강하
- ④ 요구되는 연속전류(continuous current) 또는 단속전류(intermittent current)
- ⑤ 예측되는, 또는 측정된 도선의 온도
- ⑥ 전선이 전선관과 번들 중 어디에 장착되는가?
- ⑦ 자유대기에 단선으로 장착되는가?

Example

다음 알려진 정보를 이용하여 그림 2-11에서 전선크기를 알아본다.

- ① 접지선(ground wire)을 포함하는, 전선설치는 50[feet]이다.
- ② 전류부하(current load)는 20[amp]이다.
- ③ 전압원은 버스에서 장비로 28[V]이다.
- ④ 회로는 연속운전이다.
- ⑤ 예측된 도선 온도는 20[°C] 이하이다. 도표 왼쪽의 눈금은 14[V], 28[V], 115[V], 200[V]와 같이, 정해진 전압원계통(voltage source system)에 대한 과도한 전압강하를 방지하기 위한 최대전선길이(maximum wire length)를 나타낸다. 이 전압은 눈금의 꼭대기에서 그리고 밑바닥에서 연속운전에 대해 상응하는 전압강하한도(voltage drop limit)로 확인된다. 도표의 꼭대기에 사선(slant line) 눈금은 암페어를 나타낸다. 도표의 밑바닥 눈금은 전선규격(wire gauge)을 나타낸다.

Step 1

왼쪽 눈금에서, 28[V] 전원 열 아래에 전선길이 50[feet]를 찾는다.

Step 2

20[amp] 부하에 대한 경사진 선과 교차할 때까지 오른쪽으로 부합하는 수평선을 따라간다.

Step 3

이 지점에서, 도표의 밑바닥에서 수직으로 내려간다. 값은 No.8과 No.10 사이에 떨어진다. 오른쪽으로 하나 더 큰 크기의 전선을 택한다. 이 경우에는 No.8을 선택한다. 이것은 왼쪽 눈금의 밑바닥에서 표시된 전압강하한도의 초과 없이 사용할

수 있는 가장 작은 크기의 전선을 뜻한다. 이 예는 그림 2-111에 전선 도표에서 구성된다. 연속흐름(continuous flow)에 대해서는 그림 2-111의 위쪽 그리고 단속흐름(intermittent flow)에 대해서는 그림 2-111의 아래쪽을 사용한다.

Example

다음 알려진 정보를 이용하여 그림 2-111에서 전선크기를 알아본다.

- ① 접지선을 포함하는, 전선설치는 200[feet]이다.
- ② 전류부하는 10[amp]이다.
- ③ 전압원은 버스에서 장비로 115[V]이다.
- ④ 회로는 단속운전(intermittent operation)이다.

Step 1

왼쪽 눈금에서, 115[V] 전원 열 아래에 전선길이 200[feet]를 찾는다.

Step 2

10[amp] 부하에 대한 경사진 선과 교차할 때까지 오른쪽으로 부합하는 수평선을 따라간다.

Step 3

이 지점에서, 도표의 밑바닥에 수직으로 내려간다. 값은 No.16과 No.14 사이에 떨어진다. 오른쪽으로 하나 더 큰 크기 전선, 이 경우에는 No.14를 선택한다. 이것은 왼쪽 눈금의 밑바닥에서 표시된 전압강하한도 초과 없이 사용할 수 있는 가장 작은 크기 전선이다.



2.4.4 전선 식별(Wire Identification)

회로 및 전압과 전선 및 케이블의 적절한 식별은 작동의 안전, 정비사의 안전, 그리고 정비의 용이함을 마련하기 위해 필요한 것이다. 항공기에 사용된 모든 전선은 전선의 유형 식별을 전선의 길이를 따라 표시해야 한다. 전선제조사를 인지하는 5개의 아라비아숫자/문자 제작사등록번호부호(CAGE, commercial and government entity code)로 이 부품번호(Part Number)를 따르는 것이 일반적이다. 부품번호의 이용은 교체가 필요한 현재 장착된 전선의 성능을 확인할 수 있고, 저성능 전선의 부주의한 사용과 부적당한 교체전선의 부주의한 사용을 막는다.

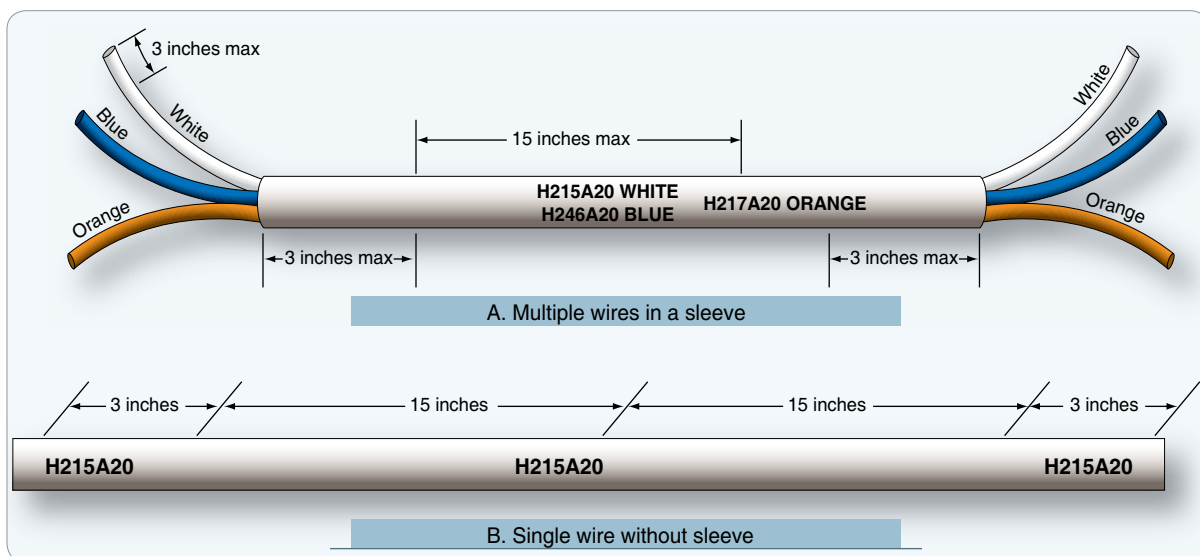
2.4.4.1 식별표식배치

(Placement of Identification Markings)

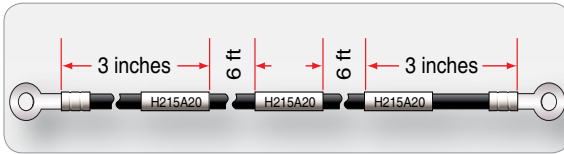
식별표식은 전선의 양쪽 끝단과 전선의 길이를

따라 15[inch] 최대간격으로 배치되어야 한다. 길이 3[inch] 미만의 전선은 식별할 필요가 없다. 길이 3~7[inch] 전선은 거의 중앙에 식별되어야 한다. 추가된 식별표식 슬리브(Identification Marker Sleeve)는 타이(tie), 클램프, 또는 지지장치가 식별을 읽기 위해 제거할 필요가 없도록 위치되어야 한다. 전선식별부호(wire identification code)는 수평(왼쪽에서 오른쪽으로) 혹은 수직으로(위에서 아래로) 읽도록 인쇄되어야 한다. 전선 또는 케이블에 표시하는 두 가지 방법은 다음과 같다.

- ① 그림 2-115의 B와 같이, 직접표식(direct marking)은 케이블의 외부피복에 인쇄하여 수행한다.
- ② 간접표식(indirect marking)은 열수축슬리브(heat-shrinkable sleeve)에 인쇄하고, 전선 또는 케이블 외부피복에 인쇄된 슬리브를 장착하여 수행한다. 그림 2-116과 같이, 간접표식



[그림 2-115] Wire markings for single wire without sleeve



[그림 2-116] Spacing of printed identification marks (indirect marking)

전선(indirectly-marked wire) 또는 케이블은 양쪽 끝단에서 6[feet]를 넘지 않는 간격으로 인쇄된 슬리브로 확인되어야 한다. 그림 2-115의 A와 같이, 케이블 내에 개개의 전선은 종단 3[inch] 이내에서 확인되어야 한다.

2.4.4.2 전선표식 방법(Types of Wire Markings)

선호방법(preferred method)이란 절연체의 변질 없이 전선에 직접 표식을 하는 것이다. Teflon-coated Wire, 차폐배선(shielded wiring), 다심케이블(multi-conductor cable), 그리고 열전도선(thermocouple wire)은 보통 인식기호(identification mark)를 수행하기 위해 특별한 슬리브를 필요로 한다. 위에서 언급된 전선 유형에 직접 각인할 수 있는 전선표식기계장치(wire marking machine)가 몇 가지 있다. 어떤 표식 방법을 사용하더라도 표식은 읽기 쉬워야 하며 색은 전선절연, 슬리브와 뚜렷한 차이를 보여야 한다.

그림 2-117과 같이, 전선에 직접 표시하는 방법에는 핫스탬프마킹(hot stamp marking), 잉크프린터(ink printer), 그리고 레이저제트프린터(laser jet printer) 등이 있다. 핫스탬프 방법은 얇은 절연물을 사용하는 전선의 절연물이 손상될 수 있다. 스탬핑다이(stamping die)에 의해 절연벽(insulation wall)이 파괴되고 이들 재료의 도체에 침투가 발생한다. 이후 가동 중에 유동체 또는 습기로 적셔지고,



[그림 2-117] Laser wire printer



[그림 2-118] Alternate method of identifying wire bundles

심각한 전호와 표면을 따라 전선다발에 손상이 일어난다.

그림 2-118과 같이, 식별슬리브(identification sleeve)는 전선에 직접표식이 가능하지 않으면 사용할 수 있다.

투명한 또는 불투명한 유연슬리빙(flexible sleeving)은 일반적으로 사용하기에 적절하다. Color-coded Wire 또는 Striped Component Wire가 케이블의 일부분으로 사용되었을 때, 식



[표 2-10] Recommended size of identification sleeving

Wire size		Sleeving size	
AN #	AL #	No.	Nominal ID (inch)
24		12	0.085
22		11	0.095
20		10	0.106
18		9	0.118
16		8	0.113
14		7	0.148
12		6	0.166
10		4	0.208
8	8	2	0.263
6	6	0	0.330
4	4	$\frac{3}{8}$ inch	0.375
2	2	$\frac{1}{2}$ inch	0.500
1	1	$\frac{1}{2}$ inch	0.500
0	0	$\frac{5}{8}$ inch	0.625
00	00	$\frac{5}{8}$ inch	0.625
000	000	$\frac{3}{4}$ inch	0.750
0000	0000	$\frac{3}{4}$ inch	0.750

별슬리브는 색이 각각의 전선식별코드(wire identification code)와 연관된다는 것을 명시해야 한다. 식별슬리브는 보통 전선 또는 케이블에서 Unjacketed Shielded Wire, 열전도선(thermocouple wire), 동축케이블, 다심케이블(multi-conductor cable), 그리고 고온전선(high-temperature wire) 등의 유형을 식별하기 위해 사용된다. 대부분 식별테이프(identification tape)는 슬리빙을 대신하여 사용할 수 있다. 400[°F] 이상의 고온에 노출되는 슬리빙에는 실리콘 유리섬유와 같은 재료가 사용되어야 한다. 폴리올레핀슬리빙(polyolefin sleeving)은 솔벤트(solvent)와 합성유압유(synthetic hydraulic fluid)에 저항력이 필요한 구역에 사용되어야 한다. 슬리브는 케이블타이

(cable tie) 또는 열수축에 의해 제 위치에 고정되어야 한다. 표 2-10에서는 여러 가지 크기의 전선에 대한 식별슬리빙을 보여준다.

2.4.5 전선의 장착과 배선 (Wire Installation and Routing)

2.4.5.1 노출배선(Open Wiring)

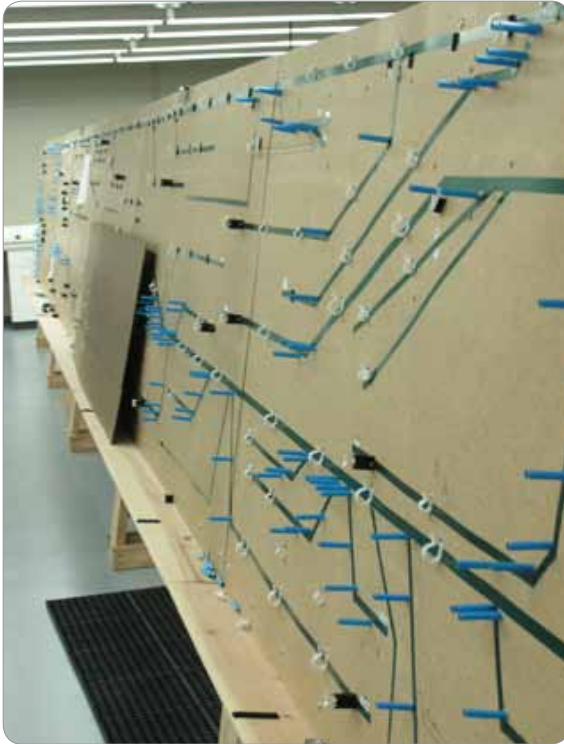
취급노출(handling exposure)과 사용노출(service exposure)로부터 손상에 견디도록 절연되어 있는 내부연결전선은 대개 내부동체(interior fuselage)나 가압식동체(pressured fuselage)에서, 2지점 간(point-to-point) 노출하니스(open harness)에 사용된다. 전기배선은 종종 특별한 에워싸는 수단 없이 항공기에 장착된다. 이 실행은 노출배선(open wiring)이라고 하며 정비의 용이함과 경감된 무게의 이점을 제공한다.

2.4.5.2 전선그룹, 다발짓기, 배선

(Wire Group and Bundles and Routing)

전선은 가끔 더욱 조직적인 장착을 만들기 위해 번들(bundle)에 장착된다. 이 전선다발은 종종 와이어하니스라고 부른다. 그림 2-119와 같이, 와이어하니스는 공장 또는 전기작업장의 지그보드(jig board)에서 전선다발이 항공기에 적합하도록 만들어진다. 결과적으로, 특정 항공기 장착을 위한 각 하니스의 모양과 길이는 동일하다. 와이어링하니스(wiring harness)는 전자기간섭(EMI)을 피하기 위해 금속편조(metal braid)로 덮을 수 있다.

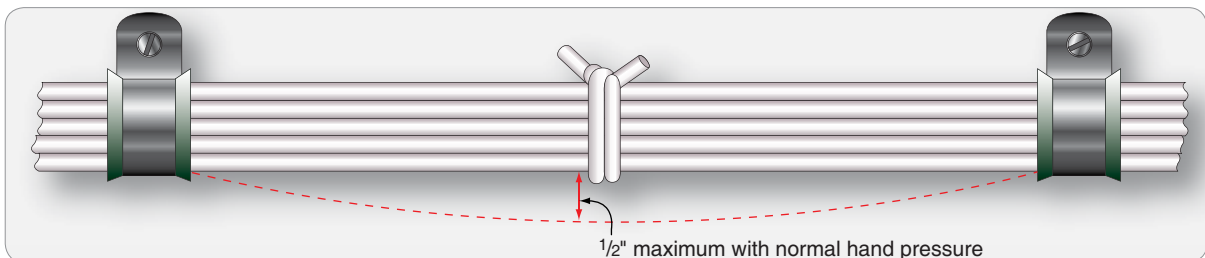
전기적으로 비보호전력배선(unprotected power wiring)과 이중핵심구성요소(duplicate vital



[그림 2-119] Cable harness jig board

component)로 가는 배선과 같은, 전선모으기 (grouping) 또는 다발짓기(bundling)는 피해야 한다. 실행 가능한 전선다발은 일반적으로 75개 전선 이하, 또는 직경 1½~2[inch] 이하가 되어야 한다. 여러 전선이 접속배선함(junction box), 단자판 (terminal block), 패널(panel) 등에 모였을 때, 번들 내에 그룹의 식별은 유지할 수 있다.

(1) 전선 번들의 느슨함(Slack in Wire Bundles)
배선은 번들과 개별 전선에 장력이 걸리지 않도록 느슨하게 장착되어야 한다. 가동구성요소(movable component) 또는 완충마운트식(shock-mounted) 장비에 연결된 전선은 번들에 장력이 걸리지 않은 상태에서 충분히 이동할 수 있도록 충분한 길이를 가져야 한다. 터미널러그(terminal lug) 또는 커넥터에 배선은 전선의 교체 없이 두 번의 재-종단(re-termination)을 허용할 수 있는 충분한 여유가 있어야 한다. 이 여유는 드립루프(drip loop)와 가동구성요소의 허용오차에 추가되어야 한다. 그림 2-120과 같이, 일반적으로 전선그룹(wire group) 또는 번들은 지지점 사이에 1/2[inch] 편향을 초과하지 않아야 한다. 만약 전선그룹 또는 번들이 벗겨짐을 일으키는 표면에 닿는 가능성이 없다면 이 치수는 초과해도 된다. 양쪽 끝단은 단자(terminal)의 교환과 정비를 편리하게 할 수 있도록 충분히 느슨해야 하는데, 전선, 케이블, 접합점, 그리고 지주에 기계적 변형을 방지하고, 완충마운트식과 진동마운트식(vibration-mounted) 장비의 자유로운 이동을 허용하고, 그리고 필요하면 항공기에 장착되어 있는 동안에 얼라인먼트(alignment), 서비싱(servicing), 튜닝(tuning), 먼지덮개(dust cover)의 제거 및 내부구성요소의 변경을 수행하기 위해 장비의 이동을



[그림 2-120] Slack between supports of a cable harness



허용한다.

(2) 전선비틀(Twisting Wires)

엔지니어링 도면에 명시되었거나 그 지역적 실행(a local practice)이 수행되었을 때, 평행한 전선은 때때로 비틀어져야 한다. 다음은 가장 일반적인 예이다.

- ① 자기나침반(magnetic compass) 또는 플럭스 밸브(flux valve)의 부근에 있는 배선
- ② 3상배전(three-phase distribution) 배선
- ③ 엔지니어링 도면에 명기된 보통 라디오 배선

표 2-11과 같이, 1[feet]당 비틀의 수를 대략 만들고, 서로에 대하여 편하게 놓이도록 전선을 비튼다. 항상 비틀기 후 손상에 대해 전선 절연체를 점검한다. 만약 절연체가 찢어졌거나 또는 마모되면 전선을 교체한다.

[표 2-11] Recommended number of wire twists per foot

Gauge #	22	20	18	16	14	12	10	8	6	4
2 Wires	10	10	9	8	7 1/2	7	6 1/2	6	5	4
3 Wires	10	10	8 1/2	7	6 1/2	6	5 1/2	5	4	3

(3) 스플라이스 연결

(Spliced Connections in Wire Bundles)

스플라이싱(splicing)은 배선의 신뢰성과 전기·기계특성에 영향을 주지 않는 한 배선에 허용된다. 전력선, 동축케이블, 복합버스(multiplex bus), 그리고 큰 규격전선의 스플라이싱은 인가된 자료를 갖추어야 한다. 전선의 스플라이싱은 최소로 유지되어야 하며 극심한 진동이 있는 장소에서는 완전히 피

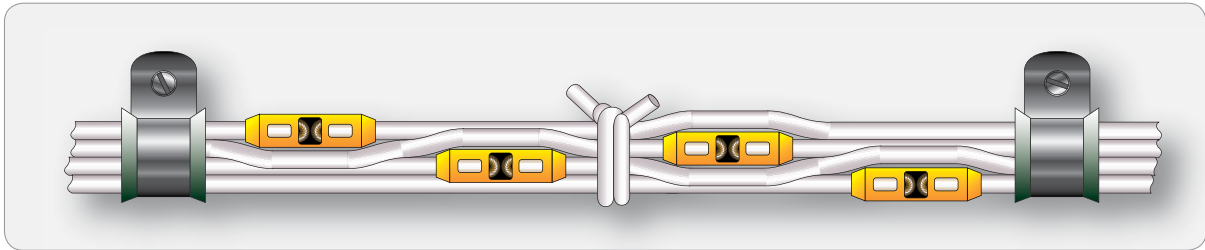
해야 한다. 그룹 또는 번들에 있는 개별 전선의 스플라이싱은 엔지니어링 승인을 가져야 하고 스플라이스(splice)는 정기검사를 고려하여 위치되어야 한다.

수많은 종류의 항공기 스플라이스커넥터(splice connector)는 개개의 전선을 스플라이싱할 때 사용할 수 있다. 자체절연식스플라이스(self-insulated splice)의 사용이 선호되지만, 비절연식스플라이스(non-insulated splice) 커넥터는 스플라이스가 양쪽 끝단에 고정되는 플라스틱슬리빙(plastic sleeving)으로 덮어 사용할 수 있다. 환경적으로 MIL-T-7928에 일치하는 밀봉식스플라이스(sealed splice)는 열풍·습기문제(SWAMP) 지역에서 스플라이싱의 믿을 수 있는 수단을 제공한다. 그러나 사용되는 비절연식스플라이스 커넥터는 스플라이스에 적절한 재료의 듀얼-월쉬링크슬리빙(Dual-wall Shrink Sleeving)으로 덮어 사용할 수 있다.

어떤 2개의 커넥터 또는 다른 분리지점 사이에 어떤 하나의 전선 구획에서 1개 이상의 스플라이스가 있어서는 안 된다. 하지만 커넥터를 예비 피그테일 리드(spare pigtail lead)에 부착할 때, 단선에 다선(multiple wire)을 스플라이싱할 때, 커넥터 점접압착배럴(Contact Crimp Barrel)을 맞추기 위해 전선 크기를 조정할 때, 그리고 인가된 수리를 만드는 것이 요구되었을 때는 예외이다.

그림 2-121과 같이, 번들에 있는 스플라이스는 설계된 공간 내에 번들 조립을 막거나 역으로 정비에 영향을 주는 혼잡함을 일으키는 번들의 크기에 어떤 중대를 최소로 하도록 서로 엇갈리게 해야 한다.

스플라이스는 단선에 다선을 합쳐 잇기 위해, 또는 점접압착배럴 크기에 적합하도록 전선크기를 조



[그림 2-121] Staggered splices in wire bundle

정하기 위해서 말단장치(termination device)의 연결선 여분의 도선에 부착할 때를 제외하고, 말단장치에서 12[inch] 이내로 사용되어서는 안 된다.

(4) 굴곡반경(Bend Radii)

전선그룹 또는 번들에서 굴곡부의 최소반경은 전선이 말단에서 이탈하거나 또는 번들에 역방향인 단 말단자를 제외하고, 가장 굵은 전선 또는 케이블의 외경(outer diameter)에 10배 이하가 되어서는 안 된다. 전선이 적절하게 지탱된 곳에서, 반경은 전선 또는 케이블 직경의 3배가 되게 한다. 반경필요조건(radius requirement) 이내로 전선 또는 케이블을 장착하는 것이 사실상 어려운 곳에서는 굴곡부가 절연배관(insulating tubing)으로 감싸져야 한다. 열전도선(thermocouple wire)에 대한 반경은 제조사의 권고에 따라야 수행되어야 하고 케이블의 초과손실 또는 초과손상이 일어나지 않도록 충분히 두꺼워야 한다. 동축케이블과 3축케이블(triaxial cable)과 같은 무선주파케이블(RF cable)은 케이블의 외경에 6배 이상의 반경으로 구부려야 한다.

(5) 마찰로부터 보호

(Protection against Chafing)

전선과 전선그룹은 날카로운 표면 또는 다른 전선과

접촉으로 절연체를 마멸시키거나 또는 벗겨짐이 기체 또는 다른 구성요소에 의해 발생할 수 있는 장소로부터 보호되어야 한다. 절연체에 손상은 단락회로, 기능 불량, 또는 장비의 부적절한 작동의 원인이 된다.

(6) 고온으로부터 보호

(Protection against High Temperature)

배선은 절연체의 변질을 방지하기 위해 고온장비 또는 고온전선으로부터 멀리 떨어져 배선되어야 한다. 전선은 도선 온도가 전류용량(current-carrying capacity)에 관련된 외기온도와 열 상승을 고려할 때 최대전선사양(wire specification maximum) 이내로 유지되도록 등급이 매겨져야 한다. 항공기가 장기간 주기될 때 햇빛 노출로 인한 잔열효과도 고려되어야 한다. 화재 시 그리고 화재 후에 작동해야 하는 화재감지계통, 소화계통, 연료차단계통, 플라이바이와이어(fly-by-wire) 비행조종계통에 사용되는 전선은 명시된 기간 동안 화재에 노출된 후에도 회로보존성이 제공되도록 등급이 갖추어진 종류로 선택되어야 한다. 전선절연은 고온에 노출되었을 때 급속히 저하한다.

절연파괴를 방지하기 위해 저항기, 배기통(exhaust stack), 열풍덕트(heating duct)와 같은 고온장비로부터 전선을 격리시킨다. 유



리섬유 또는 폴리테트라플루오에틸렌(PTFE, polytetrafluoroethylene)과 같은 고온 절연재료로 고열지역을 통과해 지나가야 하는 전선을 절연시킨다. 이들 재료는 상승된 온도에서 변질과 변형될 수 있기 때문에 폴리에틸렌과 같은 부드러운 플라스틱 절연체로 케이블에 사용하는 경우에는 고온지역을 피해야 한다. 수많은 동축케이블은 이러한 종류의 절연체를 갖고 있다.

(7) 용액 및 유체로부터의 보호

(Protection against Solvents and Fluids)

전선과 금속가연성유동체관(metallic flammable fluid line) 사이에 전호결함(arcing fault)은 관에 구멍을 뚫고 화재의 원인이 될 수 있다. 산소, 오일, 연료, 유압유, 또는 알코올을 담고 있는 관과 장비로부터 전선을 물리적으로 분리하여 이러한 위험요소를 방지하도록 노력해야 한다. 배선은 가능하면 언제나 6[inch] 이상의 최소간격으로 이들 관과 장비 위에 배선되어야 한다. 이런 배열을 실행할 수 없을

때에는 유동체관(fluid line)에 평행하지 않도록 배선하여야 한다. 적어도 1/2[inch] 간격을 유지하도록 확실히 고정되었을 때와 유동체운반장비에 직접 연결할 때를 제외하고, 배선과 관, 그리고 장비 사이에 최소한 2[inch]는 배선이 유지되어야 한다. 그림 2-122와 같이 클램프를 장착한다. 이들 클램프는 전선다발을 지탱하는 수단으로 사용되어서는 안 된다. 추가의 클램프가 전선다발을 지탱하기 위해 장착되어야 하고 클램프는 상대운동을 방지하도록 유동체관을 지탱하기 위해 사용된 동일한 구조물에 고정되어야 한다.

전선 또는 전선의 그룹은 실행할 수 있는 위쪽방향으로 접속배선함에 들어가거나 또는 장비의 한쪽에서 끝나야 한다. 트랩(trap) 또는 드립루프는 커넥터, 단자판(terminal block), 패널(panel), 또는 접속판(junction block)을 향하여 아래쪽 방향으로 경사진 전선 또는 케이블 끝단은 흘러들어오는 유동체 또는 응축물을 막도록 장치되어야 한다. 그림 2-123과 같이, 드립루프는 전선이 아래쪽 방향부터 커넥터까지 위쪽으로 이동하도록 만드는 지역이다.



[그림 2-122] Positive separation of wire and fluid lines and wire clamps



[그림 2-123] Drip loop

유동체와 습기는 드립루프의 밑바닥으로 전선을 따라 흐를 것이고 전선, 접속장치, 또는 연결된 장치에서 전기전도율에 영향 없이 똑똑 떨어지거나 증발되게 한다.

전선이 접속배선함 또는 전기장치에서 아래쪽방향으로 배선되어야 하는 곳에서, 입구는 접속배선함 또는 전기장치에 들어가는 습기를 방지하기 위해 제작사명세서에 따라 밀봉되어야 한다. 유동체가 모이는 항공기 밑 만곡부 또는 다른 장소에 장착된 전선과 케이블은 가능한 가장 낮은 지점에서 멀리 배선되거나 또는 방습덮개(moisture-proof covering) 등의 다른 방법으로 배선되어야 한다.

(8) 바퀴집 구역의 전선보호

(Protection of Wires in Wheel Well Areas)

착륙장치와 바퀴집 구역에 위치한 전선은 만약 적절하게 보호되지 않았다면 수많은 위험한 상황에 노출될 수 있다. 전선다발이 구부린 지점을 지나가는 곳에서, 부품이 완전히 펼쳐지고 수축될 때 부착물에 어떤 변형 또는 과도한 느슨함이 없어야 한다. 배선과 보호배관은 자주 검사되어야 하고 마모의 첫 번째 징후에서 교환되어야 한다.

전선은 유동체가 커넥터로부터 멀리 떨어져 배출되도록 배선되어야 한다. 이것을 실행할 수 없을 때, 커넥터는 보호하기 위해 넣어야 한다. 바퀴집 또는 다른 외부지역에 배선되는 전선은 하니스덮기(harness jacketing)와 커넥터 변형방지장치(strain relief)의 형태로서 추가보호를 해주어야 한다. 배선을 보호하기 위해 사용된 전선관 또는 유연슬리빙에는 습기의 포착을 방지하기 위해 배수구가 설치되어야 한다.

정비사는 전선과 케이블이 조약돌, 얼음, 진흙 등과 같은 것에 충격으로부터 손상에 노출되는 바퀴집과 다른 구역에서 적절하게 보호되었는지를 검사하는 동안 점검해야 한다. 만약 전선 또는 케이블의 재배선이 실용적이지 않은 경우에는, 보호피복을 설치할 수 있다. 이 유형의 설치의 최소로 유지해야 한다.

(9) 클램프장착(Clamp Installation)

그림 2-124와 같이, 전선과 전선다발은 클램프 또는 플라스틱케이블스트랩(plastic cable strap)으로 지지되어야 한다. 클램프와 다른 1차 지지장치는 온도, 유체저항(fluid resistance), 자외선(UV, ultraviolet light)에 노출, 그리고 전선다발에 걸리는 물리적 부하 등의 모든 면에서 적합한 재료로 구성되어야 한다. 이들은 24[inch]를 넘지 않는 간격으로 이격되어야 한다. 그림 2-125에서 그림 2-127까지 보여준 것과 같이, 전선다발에 클램프는 사이에서 전선이 죄어지지 않고 꼭 맞도록 선택하여야 한다.



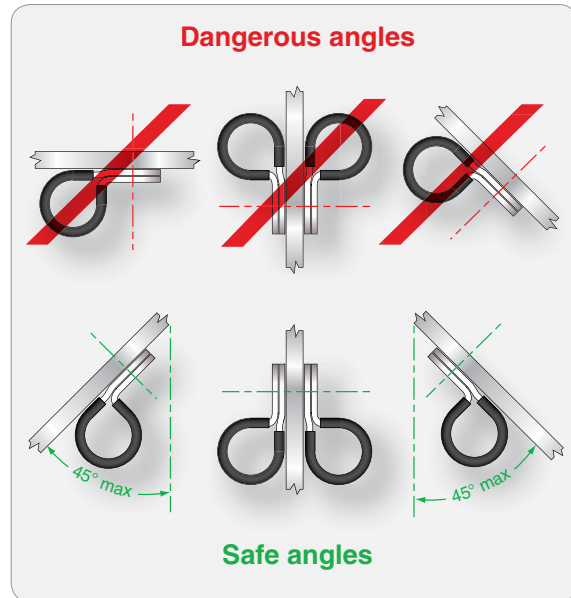
[그림 2-124] Wire clamps



CAUTION

동축무선주파케이블(coaxial RF cable)에 금속클램프(metal clamp)의 사용은 만약 클램프 고정시 무선주파케이블(RF cable)의 단면을 왜곡시킬 경우 문제를 일으킬 수 있다.

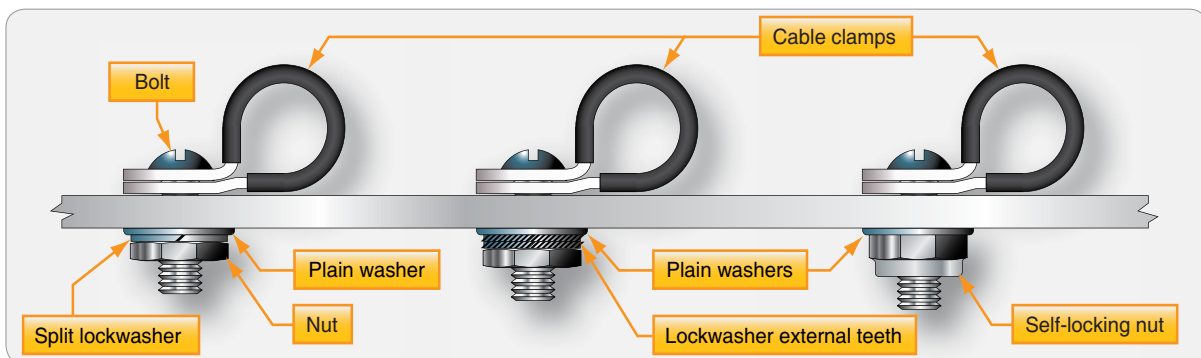
그림 2-125와 같이, 전선 번들의 클램프는 약간의 축방향당김(axial pull)이 가해졌을 경우 클램프를 통해 움직이는 것이 허용되지 않는다. 클램프가 무선주파케이블(RF cable)을 눌러 파쇄되지 않는 동시에 케이블이 클램프를 통해 움직이는 것을 막기 위한 적절한 사이즈를 선택해야 한다. 그러나 케이블이 가벼운 축방향당김(axial pull)이 가해졌을 때 클램프를 통해 미끄러지는 정도는 허용하여도 좋다. 케이블 또는 전선다발은 이러한 고정을 이루도록 요구되었을 때 1[turn] 이상의 전기 용테이프로 감기게 한다. 플라스틱클램프(plastic clamp) 또는 케이블타이(cable tie)는 이들의 결합이 가동조종장치(movable controls), 가동장비와 전선다발 접촉, 필수의 또는 보호되지 않은 배선에 벗겨짐 손상(chafing damage)의 간섭으로 발생할 수 있는 곳에서는 사용이 금지된다. 이들은 느슨함으로 인한 움직임이 벗겨짐 등을 포함한 배선의 손



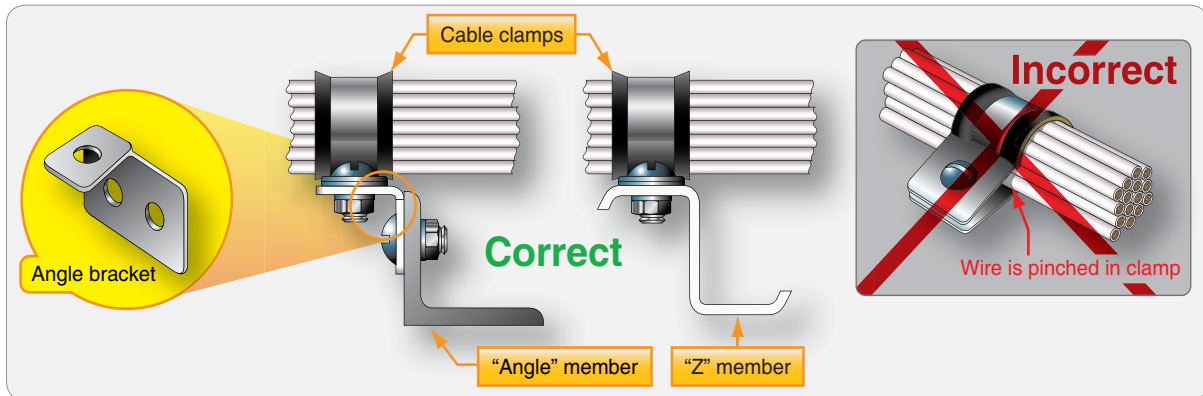
[그림 2-125] Safe angle for cable clamps

상을 일으킬 수 있는 수직배선에는 사용되지 않아야 한다. 클램프는 전선다발 무게 또는 전선다발 벗겨짐의 결과로 회전할 가능성이 낮게 실행되도록 위쪽에 배치된 이들의 부착하드웨어에 장착되어야 한다.

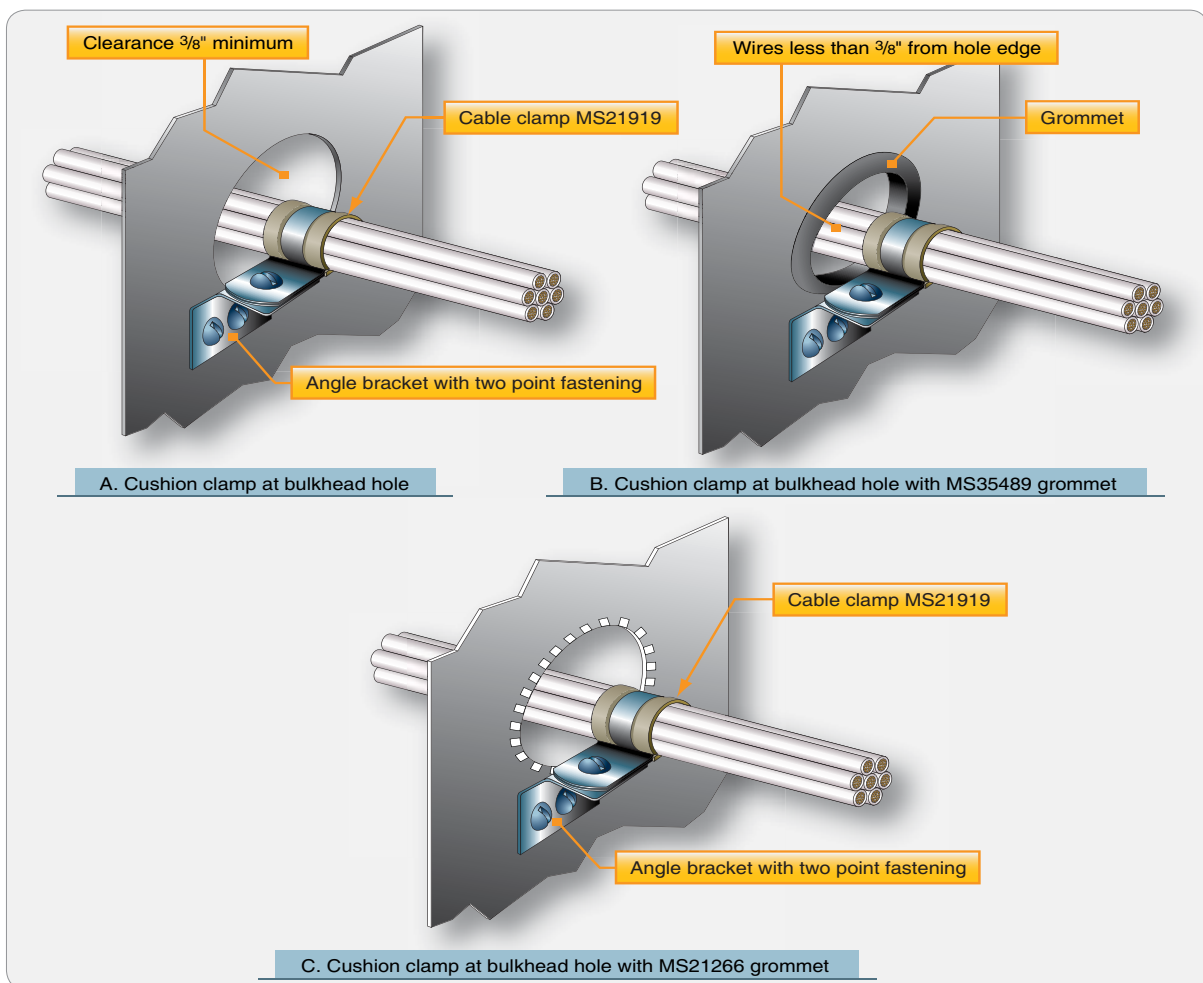
그림 2-126과 같이, 비금속성재료(nonmetallic material)에 나란히 세워진 클램프는 배선을 따라 전선다발을 지탱하도록 사용되어야 한다. 묶기는 클



[그림 2-126] Typical mounting hardware for MS-21919 cable clamps



[그림 2-127] Installing cable clamp to structure



[그림 2-128] Clamping at a bulkhead hole



램프 사이에 사용할 수 있지만, 접착테이프는 노화 변질될 수 있기 때문에 클램핑(clamping)의 대용으로 고려해서는 안 된다.

그림 2-127과 같이, 실행할 수 있는 때에는 언제나, 클램프의 뒤쪽 구조부재(structural member)에 얹혀 있어야 한다. 격리아자(stand-off)는 전선과 구조물 사이에 최소여유공간을 유지하기 위해 사용한다. 클램프는 전선이 진동을 받았을 때 항공기의 다른 부분에 접촉하지 않도록 장착되어야 한다. 충분한 느슨함은 단자(terminal)에서 변형을 방지하기 위해 그리고 완충마운트식 장비에 악영향을 최소화하도록 마지막 클램프와 전기장치 사이에 놓여야 한다. 전선 또는 전선다발이 격벽(bulkhead) 또는 다른 구조부재를 거쳐 지나는 곳에 그로밋(grommet) 또는 적절한 클램프가 마손을 방지하기 위해 장치되어야 한다.

전선다발이 제 위치에 고정되었을 때, 만약 격벽결부(bulkhead cutout)와 전선다발 사이에 3/8[inch] 이하의 여유 공간이 있다면, 적합한 그로밋을 그림 2-128과 같이 장착할 수 있다. 쉽게 장착되도록 45° 각도로 절단한 그로밋은 제 위치에 접합되고 슬롯(slot)은 결부(cutout)의 상부에 위치되어 제공된다.

(10) 전선과 케이블클램프 검사

(Wire and Cable Clamp Inspection)

적당한 조임에 대해 전선과 케이블클램프를 검사한다. 케이블이 구조물 또는 격벽을 거쳐 지나가는 곳에, 적절한 클램프와 그로밋에 대해 검사한다. 케이블단자(cable terminal)에 변형을 방지하고 완충마운트식 장비에 악영향을 최소화하기 위해 마지

막 클램프와 전기장치 사이에 충분한 느슨함에 대해 검사한다. 전선과 케이블은 트로프(trough), 덕트(duct), 또는 전선관에 포함되었을 때를 제외하고, 24[inch] 이하의 간격으로 적당한 클램프, 그로밋, 또는 다른 장치로 지지된다. 지지장치는 전선과 케이블을 절연체에 손상 없이 안전하게 잡아주는, 적당한 크기와 유형을 사용해야 한다.

전선과 구조물 사이에 간격을 유지하기 위해 금속격리아자(metal stand-off)를 사용한다. 테이프 또는 배관은 간격을 유지하기 위해 격리아자를 대체하는 것은 허용되지 않는다. 배선간격을 유지하기 위해 Off-angle 클램프를 장착하는 것이 불가능한 구멍, 격벽, 마루, 또는 구조부재에 페놀블럭(phenolic block), 플라스틱라이너(plastic liner), 또는 고무그로밋(rubber grommet)을 장착한다. 이런 경우에, 플라스틱 또는 절연테이프의 형태로서 추가적인 보호는 사용할 수 있다.

전선과 케이블의 움직임이 단자기둥(terminal post) 또는 커넥터에 지주와 납땜연결(solder connection) 또는 기계적 연결(mechanical connection) 범위로 제한되도록 클램프고정볼트(clamp retaining bolt)를 적절하게 고정시킨다.

(11) 가동비행조종 전선의 주의사항

(Movable Controls Wiring Precautions)

가동비행조종장치(movable flight control) 근처에 배선된 전선의 고정은 스틸하드웨어(steel hardware)로 부착해야 하고 단일부착점(single attachment point)의 결합이 조종장치 간섭으로 귀착할 수 없도록 간격을 두어야 한다. 배선과 가동비행조종장치 사이에 최소간격은 번들이 조종장치

의 방향으로 가벼운 손압력으로 옮겨졌을 때 적어도 1/2[inch]는 있어야 한다.

2.4.5.3 전선관(Conduit)

그림 2-129와 같이, 전선관은 금속성재료와 비 금속성재료로 모두 단단하고 유연한 형태로 제작된다. 1차적으로 그 목적은 케이블 또는 전선의 기계적인 보호를 위한 것이다. 전선관크기는 전선다발의 최대직경보다 약 25[%] 정도 큰 전선관 내경(inner diameter)을 지정하여, 정비 시 용이성, 그리고 일어날 수 있는 미래에 회로 확장을 감안하여 특정한 전선다발 적용을 위해 선정되어야 한다.

전선관 문제점은 다음 지침으로 방지할 수 있다.

- ① 승객 또는 정비사가 손잡을 곳 또는 딛고 오르는 층계로 사용될 만한 곳에 전선관을 위치시키지 않는다.
- ② 전선관 도관의 가장 낮은 부분에 배수구를 장치한다. 구멍을 뚫은 부분의 깔쭉깔쭉함은 신중히 제거하여야 한다.
- ③ 구조물에 대한 벗겨짐을 방지하기 위해 그리고



[그림 2-129] Flexible conduit

끝단 피팅(fitting)에 응력을 피하기 위해 전선관을 지지한다.

(1) 경질전선관(Rigid Conduit)

손상된 전선관 부분은 Tube 구역의 80[%] 만큼 사용하는 전선 또는 전선다발에서 피해를 미리 방지하도록 수리되어야 한다. 표 2-12에서는 경질전선관에 대해 최소허용튜브굴곡부반경(minimum allowable tube bend radii)을 보여준다. 경질전선관에서 뒤틀리거나 주름진 굴곡부는 교환되어야 한다. 타원형으로 납작해져 공칭배관지름(nominal tubing diameter)의 75[%] 이하의 짧은 지름(minor diameter)을 갖는 배관 굴곡부는 튜브 직경이 적어도 10[%] 줄었기 때문에, 교환되어야 한다.

[표 2-12] Minimum bend radii for rigid conduit

Nominal tube OD (inches)	Minimum bend radius (inches)
1/8	3/8
3/16	7/16
1/4	9/16
3/8	15/16
1/2	1 1/4
5/8	1 1/2
3/4	1 3/4
1	3
1 1/4	3 3/4
1 1/2	5
1 3/4	7
2	8

(2) 가요전선관(Flexible Conduit)

MIL-C-6136 규격에 부합하는 가요알루미늄전선관(flexible aluminum conduit)은 두 가지 유형을 이용할 수 있는데, Type I, 나가요전선관(bare flexible conduit)과 Type II, 고무피복가요



전선관(rubber-covered flexible conduit)이다. MIL-C-7931 규격에 부합하는 가요황동전선관(flexible brass conduit)은 이용할 수 있고 전파장애틀 최소로 하는 데 필요한 곳은 대개 가요알루미늄(flexible aluminum) 대신에 사용된다. 또한 MIL-T-8191A 참조문을 이용하여, 플라스틱가요배관(plastic flexible tubing)을 이용할 수 있다. 가요전선관은 전선관 끝단 사이에 움직임이 있는 구역 또는 복잡한 굴곡부가 필요한 구역과 같이, 경질전선관을 사용하는 것이 불가능한 곳에 사용하게 된다.

투명접착테이프의 사용은 편조의 풀림을 최소로 하도록 쇠톱으로 가요관(flexible tube)을 절단할 때 권고된다. 테이프는 테이프를 통해 절단 쇠톱으로 절단기준표식(cutting reference mark) 위에 중심에 있어야 한다. 가요전선관을 절단한 후, 투명테이프는 제거하고, 너덜너덜해진 편조 끝단은 다듬어야 하고, 전선관 안쪽에 깔죽깔죽함은 제거되어야 하며, 그리고 결합너트(coupling nut)와 페룰(ferrule)이 장착되어야 한다. 표 2-13에서는 가요

[표 2-13] Minimum bending radii for flexible aluminum or brass conduit

Nominal ID of conduit (inches)	Minimum bending radius inside (inches)
$\frac{3}{16}$	$2\frac{1}{4}$
$\frac{1}{4}$	$2\frac{3}{4}$
$\frac{3}{8}$	$3\frac{3}{4}$
$\frac{1}{2}$	$3\frac{3}{4}$
$\frac{5}{8}$	$3\frac{3}{4}$
$\frac{3}{4}$	$4\frac{1}{4}$
1	$5\frac{3}{4}$
$1\frac{1}{4}$	8
$1\frac{1}{2}$	$8\frac{1}{4}$
$1\frac{3}{4}$	9
2	$9\frac{3}{4}$
$2\frac{1}{2}$	10

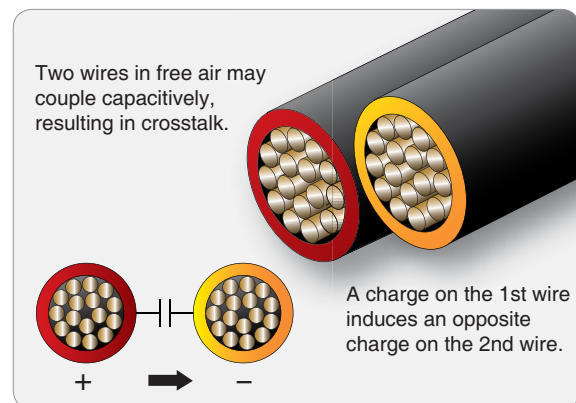
전선관에 대한 최소허용튜브굴곡반경(minimum allowable bending radii)을 보여준다.

2.4.5.4 전선차폐(Wire Shielding)

그림 2-130과 같이, 전통적인 배선방식에서, 회로는 각각의 회로의 차폐 필요조건에 따라 두 겹, 세 겹, 또는 네 겹으로 개별적으로 차폐된다. 전선은 대개 회로가 와이어하니스에 있는 다른 회로에 의해 영향을 받을 수 있다고 예상될 때 차폐된다. 전선이 서로 가까워질 때, 전선에 연결된 회로소자에 유해한 혼란상태의 원인이 되는 간섭의 가능성이 있다. 이러한 현상을 혼선(crosstalk)이라 한다. 전선이 상호작용하기 위해 전선의 전계에서 필요한 만큼 가까워져야 하며, 혼선효과(crosstalk effect)를 일으키는 작동모드에 있어야 한다. 그러나 혼선에 대한 가능성은 실제로 존재하며, 혼선을 방지하기 위한 수단이 바로 전선을 차폐하는 것이다.

(1) 본딩과 접지(Bonding and Grounding)

항공기 전기계통의 설계와 정비에서 더욱 중요한 요인 중 한 가지는 적절한 본딩과 접지이다. 부적



[그림 2-130] 혼선

절한 결합 또는 접지는 시스템의 신뢰할 수 없는 작동, 전자기간섭(EMI), 민감한 전자장비에 정전기방전(electrostatic discharge) 손상, 인원의 감전위험(shock hazard), 또는 낙뢰(lightning strike)로부터 손상을 이룰 수 있다.

(2) 접지(Grounding)

그림 2-131과 같이, 접지는 정상회로이거나 또는 결합회로를 안전하게 완성하기 위한 목적으로 전도성구조물(conductive structure)이나 또는 다른 전도성귀환경로(conductive return path)에 전도성물체를 전기적으로 연결하는 과정이다. 만약 직류발전기와 교류발전기의 신호와 같이, 다른 유형의 전원에서부터 귀선전류(return current)를 운반하는 전선이 동일한 접지지점에 연결되었다면 또는 귀환경로(return path)에 공유접속(common connection)을 갖는다면, 전류의 상호작용이 일어난다. 잡음이 하나의 공급원에서 다른 공급원으로 연결되기 때문에 그리고 디지털시스템에 대해 주요 문제가 될 수 있기 때문에 여러 가지 전원에서부터 혼합귀선전류(mixing return current)는 피해야 한다. 여러 가지의 귀선전류 사이에 상호작용을 최소화하기 위해, 서로 다른 유형의 접지가 사용되어야 한다. 최소한 설계는 세 가지의 접지유형을 사용해야 하는데, 교류귀환접지(AC return ground), 직류귀환접지(DC return ground), 그리고 다른 모든 것들이다.

배전계통(distributed power system)에서 대체되는 전력원(power source)에 대한 전력귀환점(power return point)은 격리되도록 한다. 예를 들어, 왼쪽과 오른쪽에 하나씩, 2개의 교류발전기계통에서 만약 오른쪽 교류발전기가 왼쪽 장비선반(equipment



[그림 2-131] Ground wires

rack)에 위치한 장비에 예비전력을 공급하고 있다면, 예비교류접지귀로(backup AC ground return)는 “AC Right”라고 명칭이 붙여져야 한다. 왼쪽 발전기에 대한 귀선전류는 “AC Left”라고 명칭을 붙인 접지 지점(ground point)에 연결되어야 한다.

접지귀로회로(ground return circuit)의 설계는 회로의 다른 도선 만큼 많은 주의를 제공해야 한다. 적절한 접지접속(ground connection)에 대한 필요조건은 근본적으로 일정한 임피던스를 유지하는 것이다. 접지귀로회로는 연결된 전기장치와 전자장치의 만족스러운 작동을 위해 충분한 전류정격과 전압강하를 갖추어야 한다. 시스템의 전력선에 의해 일어날 수 있는 전자기간섭(EMI) 문제점은 회로차단기판(circuit breaker panel)과 같은 전력배선의 원점 가까이 연관된 접지귀로(ground return)를 위치시키고, 전력선과 꼬임 쌍(twisted pair)으로 접지귀로를 배선하여 실질적으로 감소될 수 있다. 접지귀로도선(ground return lead)에 교체를 확실히 하도록 특히 주의해야 한다. 베어접지점퍼(Bare Grounding Jumper) 대신에 열



거된 절연도선(insulated wire lead)의 사용은 이 점에서 도움이 될 수 있다. 일반적으로, 장비품목(equipment item)은 내부적으로 접지되었어도 외부접지접속(external ground connection)을 갖추어야 한다. 마그네슘구조물에 직접 접속은 화재위험을 만들 수 있기 때문에 접지귀로로 사용되지 않아야 한다.

발전기, 변압정류기(transformer rectifier), 배터리, 외부전원리셉터클 및 다른 고전류부하에 대한 전력접지접속(power ground connection)은 적당한 금속 간 결합연결장치(metal-to-metal bonding attachment)로 항공기 구조물에 부착되는 개개의 접지브래킷(grounding bracket)에 부착되어야 한다. 이 연결장치와 주위의 구조물은 과도한 전압강하와 구조물에 손상을 일으키지 않고 시스템의 정격전류와 결합전류를 수용하기에 적당한 전도성을 제공해야 한다. 삼각형의 또는 사각형의 패턴이 있는, 적어도 3개의 파스너(fastener)는 진동 하에 풀려져 고장발생을 최소로 하도록 브래킷(bracket)을 고착하는 데 사용되어야 한다. 만약 구조물이 알루미늄 또는 구리보다 더 큰 고유저항을 갖는, 탄소섬유제(CFC, carbon fiber composites)와 같은, 재료로 조립되는 경우, 전력귀선전류(power return current)를 위한 대체되는 접지경로(ground path)를 마련하는 것이 필요하다. 특별한 주의가 복합소재항공기(composite aircraft)에 고려되어야 한다.

가연성증기지역(flammable vapor area) 내에서 전력귀환접지접속(power return ground connection) 또는 결합전류접지접속(fault current ground connection)은 피해야 한다. 만

약 이것들이 만들어져야 한다면, 반드시 이들의 접속이 유도뇌격전류(induced lightning current)를 포함하는, 모든 가능한 전류흐름 또는 기계적 결합 하에 전호를 이루지 않는지, 불꽃이 튀지 않는지, 또는 과열되지 않는지 확인해야 한다. 항공기의 예상내용 연수(expected life) 전반에 걸쳐서 지속된 감항성을 보장하기 위해 검사와 정비에 대한 기준이 수립되어야 한다. 전력귀환결함전류(power return fault current)는 대개 구조물에서 흐르는 가장 높은 전류이다. 이 전류는 전체발전기전류용량(full generator current capacity)일 수 있다. 만약 전체발전기결함전류가 탄소섬유구조물(carbon fiber structure)의 국부적인 영역을 통해 흐르는 경우, 가열과 고장이 일어날 수 있다. 탄소섬유제(CFC)와 다른 유사한 저내화재료는 전력귀환경로(power return path)로 사용되지 않아야 한다. 귀환경로에서 추가적인 전압강하는 전압조절 문제의 원인이 될 수 있다. 반면에 전류급상승(current surge)에 의한 반복된 국부재료(localized material) 가열은 재료열화(material degradation)의 원인이 될 수 있다. 양쪽 문제점은 경고 없이 일어날 수 있으며 반복되는 고장의 원인은 아니다.

1개 이상의 회로 또는 기능을 위한 공용접지접속(common ground connection)의 사용은 1개 이상의 회로에 영향을 줄 수 있는 연관된 기능불량이 위험상태로 초래하지 않는다는 것을 보여줄 수 있는 곳을 제외하고 피해야 한다. 심지어 다중계통(multiple system)의 상실은 그 자체로 위험을 만들지 않은 경우에도, 이런 고장의 영향은 승무원의 주의를 산만하게 할 수 있다.

(3) 본딩(Bonding)

본딩은 다른 방법으로 적절하게 연결되지 않은 2개 이상의 전도성대상(conducting object)의 전기적 접속이다. 다음 결합 필요조건은 고려되어야 한다.

① 장비본딩(Equipment Bonding)

항공기 구조물에 저임피던스 경로(low-impedance path)는 일반적으로 무선주파수귀환 회로(radio frequency return circuit)를 장치하기 위한 전자장치에 그리고 전자기간섭(EMI)의 감소를 용이하게 하기 위해 대부분 전기장치에 필요하다. 전자기에너지를 일으키는 부품의 케이스는 구조물에 접지되어야 한다. 전자장치의 적절한 작동을 보장하기 위해, 상호접속, 본딩, 그리고 접지가 수행될 때 시스템의 설치명세서(installation specification)를 확인하는 것은 특히 중요하다.

② 금속외부분딩(Metallic surface Bonding)

기체의 외부에 모든 전도성대상은 전도성정전하(conducting static charge)와 낙뢰도 수행할 수 있는 기계식이음, 전도성힌지(conductive hinge), 또는 본드스트랩(bond strap)을 통해 기체에 전기적으로 연결되어야 한다. 예외는 기능이 기체로부터 전기적으로 격리될 것을 필요로 하는 안테나소자와 같은, 일부 대상을 위해 필요하게 된다. 이런 항목은 적절한 정전하(static charge) 또는 뇌격전류(lightning current)를 전도하는 대체수단이 제공되어야 한다.

③ 스태틱본드(Static Bond)

움직이고 있는 유동체 또는 공기의 침전으로 인하여 감지할 수 있을 정도의 정전기대전

(electrostatic charging)을 받는, 3[inch²] 이상의 면적과 3[inch] 이상의 길이를 갖는 항공기 내부와 외부에 모든 격리된 전도성부분은 일어날 수 있는 정전하를 방산시키기 위해 충분한 도전율의 항공기 구조물에 기계적으로 확실한 전기접속을 갖추어야 한다. 깨끗하고 건조될 때 1[ohm] 미만의 저항은 일반적으로 대형 물체에 대하여 이런 소멸을 보장한다. 더욱 높은 저항은 기체구조물에 더 작은 물체의 연결에서 허용된다.

(4) 본드와 접지 검사(Testing of Bonds and Grounds)

모든 본드와 접지접속의 저항은 접속을 마무리하기 전에 만들어진 것을 점검하여야 한다. 본드와 접지접속의 저항은 통상 0.003[Ω]을 초과해서는 안 된다. AN/USM-21A 또는 동등품, 고품질시험장치는 매우 낮은 저항값을 정밀하게 측정하기 위해 요구된다.

(5) 본딩점퍼 장착(Bonding Jumper Installation)

그림 2-132와 같이, 본딩점퍼는 가능한 한 짧게 만들어, 각각의 접속의 저항이 0.003[Ω]을 초과하



[그림 2-132] Bonding jumpers



지 않는 방식으로 장착되어야 한다. 점퍼(jumper)는 조종면제어(surface control) 같은, 가동항공기 소자(movable aircraft element)의 작동을 방해하지 않아야 할뿐만 아니라 이들 소자의 정상움직임이 본딩점퍼에 손상을 초래해서도 안 된다.

① 본딩연결(Bonding Connections)

저저항접속을 보장하기 위해 페인트와 양극산

화피막(anodizing film)과 같은 부전도마무리(nonconducting finish)는 본딩터미널(bonding terminal)로 접촉시키고자 하는 부착표면에서 제거되어야 한다. 또한, 전기배선은 마그네슘부분에 직접 접하지 않아야 한다.

② 부식방지(Corrosion Protection)

전기계통 본딩과 접지에서 결합의 빈번한 실패 원인 중 한 가지는 부식이다. 완성된 접속 주변 지역

Aluminum Terminal and Jumper					
Structure	Screw or bolt and nut plate	Locknut	Washer A	Washer B	Washer C
Aluminum alloys	Cadmium-plated steel	Cadmium-plated steel	Cadmium-plated steel or aluminum	None	Cadmium-plated steel or aluminum
Magnesium alloys	Cadmium-plated steel	Cadmium-plated steel	Magnesium-alloy	None or magnesium alloy	Cadmium-plated steel or aluminum
Cadmium-plated steel	Cadmium-plated steel	Cadmium-plated steel	Cadmium-plated steel	Cadmium-plated steel	Cadmium-plated steel or aluminum
Corrosion-resisting steel	Corrosion-resisting steel or Cadmium-plated steel	Cadmium-plated steel	Corrosion-resisting steel	Cadmium-plated steel	Cadmium-plated steel or aluminum
Tinned Copper Terminal and Jumper					
Aluminum alloys	Cadmium-plated steel	Cadmium-plated steel	Cadmium-plated steel	Aluminum alloys ²	Cadmium-plated steel
Magnesium alloys ¹					
Cadmium-plated steel	Cadmium-plated steel	Cadmium-plated steel	Cadmium-plated steel	none	Cadmium-plated steel
Corrosion-resisting steel	Corrosion-resisting steel or cadmium-plated steel	Cadmium-plated steel	Corrosion-resisting steel	none	Cadmium-plated steel

¹Avoid connecting copper to magnesium.

²Use washers with a conductive finish treated to prevent corrosion, such as AN960JD10L.

[그림 2-133] Bolt and nut bonding or grounding to flat surface

은 적절한 마무리칠(finish coating)로 빠르게 마무리하여야 한다.

③ 부식예방(Corrosion Prevention)

전해작용(electrolytic action)은 적절한 예방책을 취하지 않을 경우 본딩접속(bonding connection)을 빠르게 부식시킨다. 알루미늄 합금 점퍼(aluminum alloy jumper)는 대부분 권장되지만, 구리점퍼(copper jumper)는 스테인리스강, 카드뮴도금강(cadmium-plated steel), 구리, 황동, 또는 청동으로 제작된 부품을 접합하는 곳에만 사용되어야 한다. 이종금속(dissimilar metal) 사이의 접촉을 피할 수 없는 곳의 경우에는 점퍼와 하드웨어 중 부식이 더 적게 일어나는 것으로, 부식될 가능성이 있는 부분에 점퍼와 관련 하드웨어가 있어야 한다.

④ 본딩점퍼 부착(Bonding Jumper Attachment)
본딩점퍼를 부착할 때 땀납을 사용해서는 안 된다. 강관부재(tubular member)는 Jumper가 부착되는 곳에 클램프를 이용하여 접착해야 한다. 클램프 재료의 적절한 선정은 부식을 최소화한다.

⑤ 접지귀로 연결(Ground Return Connection)
그림 2-133과 같이, 본딩점퍼가 실질적인 접지귀로전류(ground return current)를 운반할 때, 점퍼의 전류정격이 적절해야 하고, 무시해도 좋을 정도의 전압강하만이 존재해야 한다.

2.4.6 전선번들의 끈으로 묶기와 매기 (Lacing and Tying Wire Bundles)

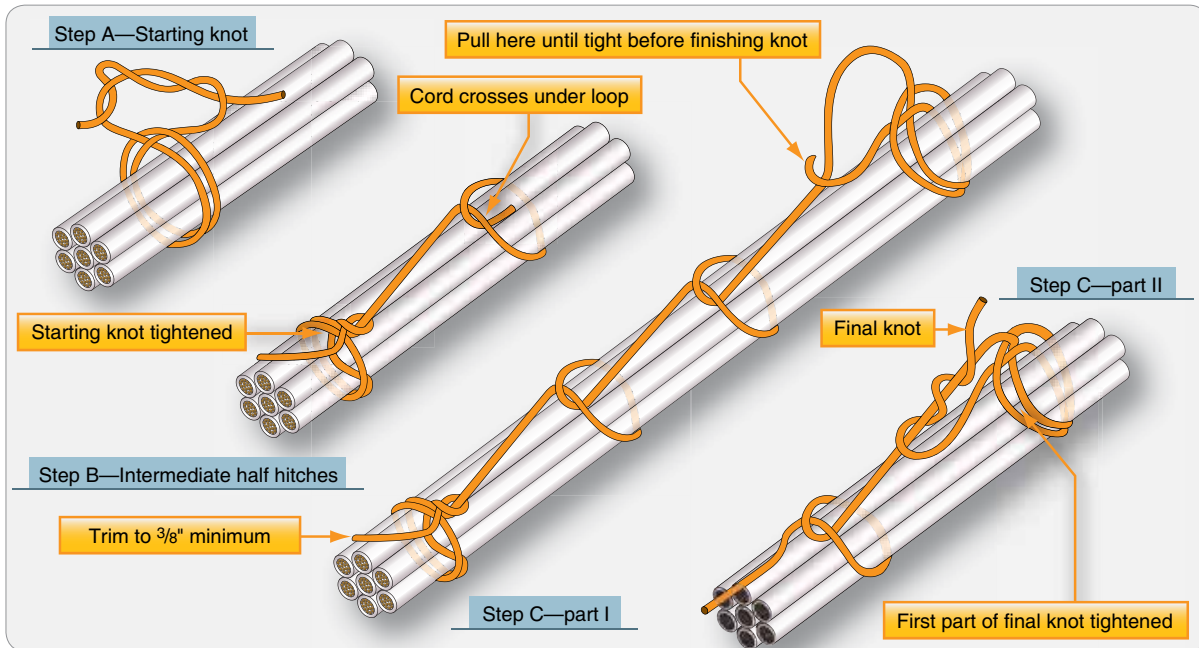
그림 2-134와 같이, 매기, 묶기, 그리고 스트랩(strap)은 정비, 검사, 그리고 장착의 용이성을 제



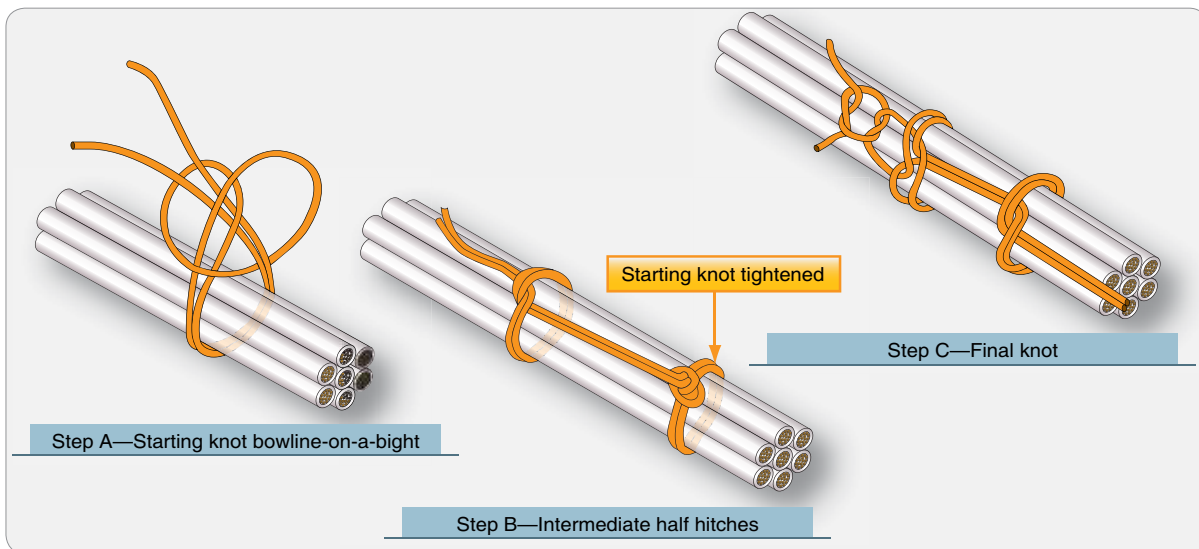
[그림 2-134] Wire lacing

공하기 위해 전선모으기 또는 전선다발을 고정하는 데 사용된다. 스트랩은 바퀴집과 날개 플랩의 근처, 또는 날개가 접히는 곳과 같이 열풍과 습기(SWAMP)가 있는 부분에는 사용할 수 없다. 스트랩의 결함이 절연체와 충돌할 위험이 있는 기계연동장치(mechanical linkage) 또는 다른 가동기계부품(moving mechanical parts)을 손상시킬 수 있는 부분을 향하여 움직이도록 배선을 허용하게 되는 고진동지역에서 사용할 수 없다. 또한, 비록 스트랩이 이런 노출에 저항력이 있다고 할지라도 자외선(UV, ultraviolet light)에 노출될 수 있는 곳에는 사용하지 않아야 한다.

외줄묶기법(single cord-lacing method)과 매기 테이프(tying tape)은 직경 1[inch] 이하 전선그룹의 번들에 사용한다. 외줄묶기법을 시작하기 위한 권장 매듭은 이중고리식 외벌 매듭(double-looped overhand knot)으로 고정된 감아매기(clove hitch)이다. 그림 2-135의 Step A와 같이, 직경 1[inch] 이상 전선다발에는 쌍줄묶기법(double cord-lacing method)을 사용한다. 그림 2-136의 Step A와 같



[그림 2-135] Single cord lacing method

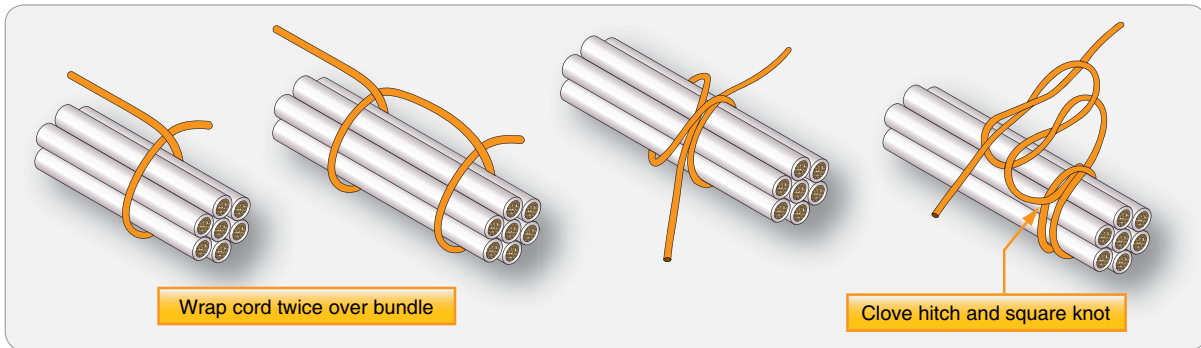


[그림 2-136] Double cord lacing

이, 쌍줄묶기법을 사용할 때, 시작매듭(starting knot)으로 두겹고정매듭(bowline-on-a-bight)을 이용한다.

2.4.6.1 매기(Tying)

그림 2-137과 같이, 전선을 위한 지지대가 12[inch] 이상 떨어져 있는 곳에 전선그룹 또는 번



[그림 2-137] tying

들타이(bundle tie)를 사용한다. 매기(tie)는 움매듭(square knot)으로 고정되고, 전선그룹 또는 번들의 주위를 감는 감아매기(clove hitch)로 구성된다.

2.4.7 전선단자(Wire Termination)

2.4.7.1 전선벗기기(Stripping Wire)

전선을 커넥터, 터미널, 스플라이스 등에 조립하기 전에, 절연체는 나도체(bare conductor)를 노출시키도록 연결하는 끝단에서 벗겨내야 한다. 구리선(copper wire)은 크기와 절연체에 따라 여러 가지 수단으로 제거될 수 있다.

알루미늄선은 개개의 가닥은 표면에 새긴 자국이 만들어진 후에는 아주 쉽게 끊어지기 때문에, 피복을 벗길 때 매우 주의하여야 한다. 다음 일반적인 예방책은 모든 종류의 전선에서 제거할 때 권고되는 사항이다.

- (1) 모든 종류의 와이어스트리퍼(wire stripper)를 사용할 때, 전선이 와이어스트리퍼의 날(cutting blade)에 직각이 되도록 전선을 유지한다.

- (2) 자동피복기(automatic stripping tool)를 주의 깊게 조정하는데, 가닥에 새긴 자국, 절단, 또는 다른 손상을 피하기 위해 제작사사용법설명을 따른다. 이것은 알루미늄선과 No.10보다 작은 구리선에 더욱 중요하다. 제작사사용법설명의 지침에 나와 있는 새긴 자국 또는 끊어진 전선의 허용개수 이상을 갖는 모든 전선을 잘라내고 만약 길이가 충분하다면 다시 벗기거나 버리고 교체한다.

- (3) 절연체가 해지거나 들쭉날쭉한 가장자리 없이 깔끔한지 확인한다. 필요하면 깎아 다듬는다.

- (4) 모든 절연체는 제거 영역으로부터 제거되어야 한다. 전선의 일부 종류는 도체와 1차 절연체 사이에 투명한 절연체가 공급된다. 만약 이것이 있는 경우, 절연체를 제거한다.

- (5) 3/4[inch] 이상 절연체의 길이를 제거하기 위해 핸드-플라이어 스트리퍼(hand-plier Stripper)를 사용하는 경우, 2번 이상 조작으로 이루는 것이 더 쉽다.

- (6) 만약 필요하다면, 가닥의 원래 상태의 꼬임과 견고함을 복원하기 위해, 손 또는 플라이어(plier)로 구리 가닥을 다시 꼰다.



그림 2-138에서는 핸드헬드와이어스트리퍼(handheld wire stripper)를 보여준다. 이 공구는 일반적으로 대부분의 종류의 전선을 벗기는 데 사용된다. 다음 일반 절차는 핸드스트리퍼(hand stripper)로 전선의 절연체를 벗기는 단계를 설명한다.

- (1) 벗기고자 하는 전선크기(wire size)에서 절단 홈(cutting slot)의 정확히 중앙에 와이어를 삽입한다. 각 슬롯은 전선크기가 표시되어 있다.
- (2) 핸들이 닫히면서 가게 될 만큼 멀리 간다.
- (3) 와이어홀더(wire holder)가 개방위치(open position)로 되돌아 갈 수 있도록, 핸들을 풀어 놓는다.
- (4) 벗겨진 전선을 빼낸다.



[그림 2-138] Wire strippers



[그림 2-139] Ring-tongue terminals

그림 2-139와 같이, 단자는 단자대(terminal strip) 또는 장비의 품목에서 전선의 연결을 쉽게 할 수 있도록 전선의 끝단에 부착된다. Wire-to-terminal Joint의 인장강도는 적어도 전선 자체의 인장강도와 동등해야 하고, 그리고 그 자체의 저항은 전선의 정상적인 저항과 비교해 무시할 수 있을 정도여야 한다.

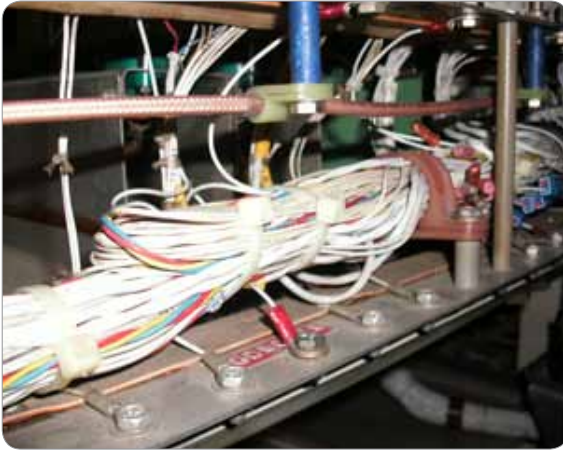
전선단자(wire terminal)를 선정할 때 고려해야 할 점은 다음과 같다.

전류정격, 전선의 크기(규격과 절연체 직경), 도체 재료의 적합도, 응용환경, 땀남 여부

Pre-insulated Crimp-type Ring-tongue Terminal이 선호된다. 강도, 크기, 그리고 스테드(stud)의 지지수단과 결합단자(binding post), 뿐만 아니라 전선크기는 어느 한 곳의 지주에 부착되는 단자의 수를 결정할 때 고려할 수 있다. 고온 적용에서, 단자 온도정격(temperature rating)은 외기온도에 전류 관련 온도상승을 더한 값보다 커야 한다. 니켈도금터미널(nickel-plated terminal)과 고온 절연슬리브를 이용하는 비절연터미널(uninsulated terminal)의 사용을 고려해야 한다. 단자판은 적당한 전기적 여유 공간 또는 설치하드웨어와 전도성부품 사이에 격리대(insulation strip)와 함께 제공되어야 한다.

2.4.7.2 단자대(Terminal Strips)

그림 2-140과 같이, 전선은 보통 단자대에 결합된다. 방벽으로 설비된 단자대는 인접한 스테드에 단자(terminal)가 서로 접촉을 방지하기 위해 사용할 수 있다. 스테드는 회전되지 않도록 고정되어야 한다. 4개 이상의 단자를 함께 연결하고자 할



[그림 2-140] Terminal strip

때 작은 금속버스(metal bus)는 2개 이상의 인근 스테드를 가로질러 장착되도록 해야 한다. 모든 경우에 전류는 자신의 스테드에 의해서가 아니라 단자 접촉면으로 운반되어야 한다. 결함이 있는 스테드를 더 작은 크기의 단자대 스테드로 교체할 경우 너트가 과도하게 조여져 전단되기 때문에, 동일한 크기와 재료의 스테드로 교체하여야 한다. 교체 스테드는 단자대에 안전하게 설치되어야 하고 단자고착너트(terminal securing nut)는 풀리지 않아야 한다. 단자대는 떨어진 금속성물체가 단자 또는 스테드에 걸쳐 떨어질 수 없는 방식으로 설치되어야 한다. 미래의 회로 확장 또는 스테드가 부러지는 경우를 대비하여 적어도 1개 여분의 스테드를 제공하는 것이 좋다.

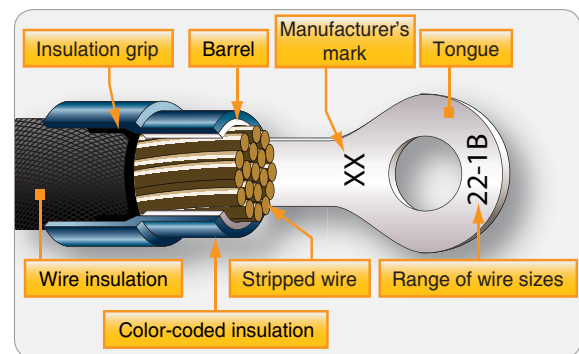
항공기 전기계통에서 무선계통과 전자계통의 연결을 제공하는 단자대는 접속부풀림(loose connection), 단자대에 걸쳐 떨어진 금속성물체, 먼지와 그리스(grease) 축적 등에 대해 검사되어야 한다. 이들 상황은 화재와 계통고장을 발생시키는 전호의 원인이 될 수 있다.

2.4.7.3 터미널러그(Terminal Lugs)

전선 터미널러그는 단자판 스테드 또는 장비터미널스테드(equipment terminal stud)에 배선을 연결하는 데 사용된다. 4개 이상의 터미널러그, 또는 3개의 터미널러그와 모선은 하나의 스테드에 연결할 수 없다. 스테드 당 터미널러그의 총수는 근처 스테드와 합류하는 공통모선(common bus bar)을 포함한다. 4개의 터미널러그와 공통모선은 하나의 스테드에서 허용되지 않는다. 터미널러그는 스테드의 직경과 일치하는 스테드 구멍 직경으로 선택해야 한다. 그러나 직경이 여러 가지인 터미널러그가 스테드에 부착되었을 경우, 가장 큰 직경은 밑바닥에 그리고 꼭대기에 가장 작은 직경을 배치해야 한다. 단자 연결(terminal connection)이 너무 꽉 조여져 터미널러그나 스테드를 변형시키지 않도록 한다. 터미널러그는 터미널러그의 구부러짐으로 인해 체결스크루(fastening screw)와 너트를 제거시켜야 하거나 더 나은 접속을 위해 터미널러그의 움직임이 추가로 필요하지 않도록 적당한 장소에 위치해야 한다.

(1) 구리전선단자(Copper Wire Terminals)

그림 2-141과 같이, 비뿔납 압착형(crimp-



[그림 2-141] Wire terminal



style), 구리선, 터미널러그는 MIL-T-7928에서 확인된 것을 사용하게 된다. 스페이서(spacer) 또는 와서는 터미널러그의 Tongue 사이에 사용할 수 없다.

(2) 알루미늄전선단자(Aluminum Wire Terminals)

알루미늄 터미널러그는 오직 알루미늄선만 압착한다. 쌓아올렸을 때 알루미늄 터미널러그의 Tongue 또는 알루미늄 터미널러그의 Tongue의 충수는 터미널스터드(terminal stud)에서 종결되었을 때 2개의 평와셔(flat washer) 사이에 삽입되어야 한다. 스페이서 또는 와서는 터미널러그의 Tongue의 사이에 사용되지 않아야 한다. 특별한 주의는 궁극적으로 접합의 결함으로 인하여 접합에서 과도한 전압강하와 고저항으로 초래되는 상황에서 보호하도록 알루미늄선과 케이블 장착에서 제시되어야 한다. 이런 상황의 예는 단자와 와서의 잘못된 장착과 부적절한 염력(torsion, 비트는 힘), 즉 너트의 Torquing(회전시키는 힘), 그리고 부적절한 단자접촉면(terminal contact area)이다.

(3) 전절연스플라이스(Pre-insulated Splices)

그림 2-142와 같이, 전절연터미널러그와 스플라이스는 고품질압착공구를 사용하여 장착해야 한다. 이런 공구는 전선크기에 적합한 위치잡이(positioners)와 함께 제공되고 각각의 전선크기에 대해 조정된다. 압착깊이(crimp depth)는 각각의 전선크기에 적합해야 한다. 만약 오그라뜨림깊이가 너무 깊다면, 개개의 가닥을 부수거나 절단해야 한다. 만약 압착이 충분히 깊지 않다면, 단자 또는 커넥터에서 전선이 유지될 정도로 바짝 조이지 않은 것이다. 잘 조이지 않은 압착(crimp)은 오그라뜨린 단자와 전선 사이의 부식을 일으켜 고저항에 영향을



[그림 2-142] Terminal splices



[그림 2-143] Crimping tools

받게 한다.

(4) 압착공구(Crimping Tools)

그림 2-143과 같이, 수공구(hand tool), 휴대용공구(portable tool), 그리고 고정전동공구(stationary power tool)는 터미널러그를 오그라뜨리기 위해 사용할 수 있다. 이들 공구는 도선에 바렐(barrel)을 오그라뜨리고, 그리고 동시에 전선절연(wire insulation)에 절연지주(insulation support)를 형성한다.

2.4.7.4 긴급 스플라이싱 수리

(Emergency Splicing Repairs)

끊어진 전선은 압착식 스플라이스를 사용하거나,

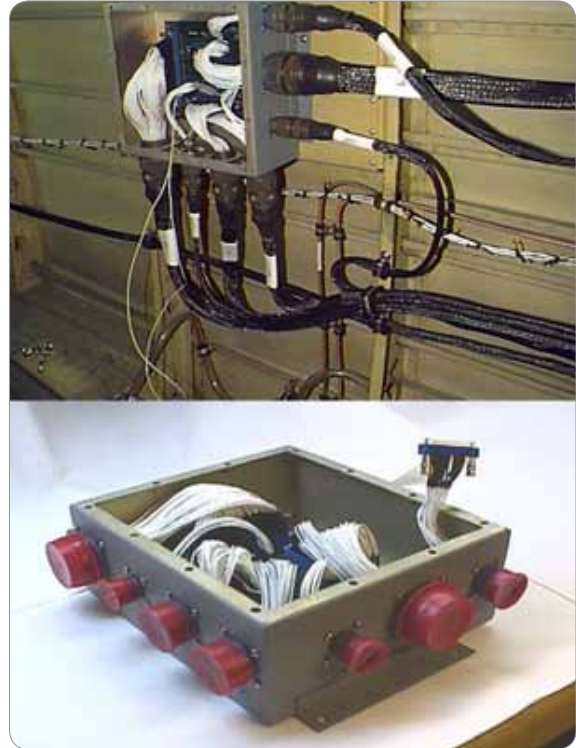
Tongue가 떨어져 나간 곳에 터미널리그를 사용하거나, 끊어진 가닥을 함께 납땜하고 밀봉함으로써 수리할 수 있다. 이러한 수리는 구리선에 적용할 수 있다. 손상된 알루미늄선은 임시방편으로 접합할 수 없다. 이러한 수리는 오직 임시방편이며 가능한 빨리 영구적인 수리를 하여야 한다. 일부 제작사는 스플라이싱을 금지하기 때문에, 제작사의 사용설명서를 참고한다.

2.4.7.5 접속배선함(Junction Boxes)

그림 2-144와 같이, 접속배선함은 장비에 부착된 적합한 하니스로 모으기, 구성하기, 그리고 분배회로에 사용된다. 접속배선함은 또한 릴레이와 다이오드 같은 잡다한 구성요소를 편리하게 간수하기 위해 사용된다. 고온지역에서 사용되는 접속배선함은 스테인리스강으로 제작되어야 한다.

교체 접속배선함은 원래의 것 또는 알루미늄과 같은 내화성 비흡수성 재료, 또는 기준에 맞는 플라스틱 재료를 사용하여 조립해야 한다. 방염이 요구되는 곳에는 스테인리스강 접속배선함의 사용을 권고한다. 강성구조(rigid construction)는 내부 단락회로로 귀착될 수 있는 박스(box) 쪽의 오일캐닝(oil-canning)을 방지한다. 배수구는 항상 박스의 가장 낮은 부분에 장치되도록 한다. 전력장비(electrical power equipment)의 케이스는 접지사고관련 화재를 막기 위해 금속성구조물로부터 절연되어야 한다.

접속배선함은 장비, 단자, 모든 전선에 쉽게 접근할 수 있도록 배치하여야 한다. 한계여유공간(marginal clearance)이 정해진 곳에서, 절연재료는 통전부(current carrying part)와 접지면(grounded surface) 사이에 삽입되어야 한다. 내



[그림 2-144] Junction boxes

부여유공간에 대한 검사는 도어(door) 또는 커버(cover)가 닫힌 위치에 있을 때 불가능하기 때문에, 접속배선함의 커버 또는 도어에 장비를 설치하는 것은 좋은 방법이 아니다.

접속배선함은 배선함의 내용물을 검사할 때 쉽게 접근할 수 있는 방식이며 항공기 구조물에 단단히 설치되어야 한다. 가능한 경우 열린 쪽(open side)은 아래쪽방향으로 또는 와서 또는 너트와 같은, 떨어진 금속성물체가 단자 사이에 끼어들게 하기보다는 오히려 접속배선함 벗어나 떨어지게 향하도록, 비스듬한 각도로, 향해야 한다.

접속배선함은 적절한 배선 공간과 향후 추가에 대한 필요성을 고려하여 설치되어야 한다. 전선다발은 케이블이 다른 구성요소에 닿지 않도록, 빠른 접



근을 방해하지 않도록, 또는 표식 또는 라벨(label)을 덮어 감추지 않도록 박스 내부에서 끈으로 묶거나 또는 고정시켜야 한다. 입구개구(entrance opening)에서 케이블은 그로밋 또는 다른 적절한 수단을 사용하여 벗겨짐에 대하여 보호되어야 한다.

2.4.7.6 AN/MS 커넥터(AN/MS Connectors)

커넥터, 즉 플러그와 리셉터클은 분리 시 정비를 손쉽게 한다. 여러 유형의 커넥터가 있다. 압착식 콘택트(contact)를 사용하는 커넥터 유형은 일반적으로 항공기에 사용된다. 일부 더 일반적인 유형은 원형캐논형(round cannon type), 직사각형, 그리고 모듈블록(module block)이다. 내환경성커넥터(environmentally-resistant connector)는 유동체, 진동, 열, 기계적 충격, 또는 부식성요소 적용 분야에 사용되어야 한다.

HIRF(high intensity radiated fields)/피뢰(lightning protection)가 요구될 때, 특별한 주의가 개개의 또는 전부의 차폐의 말단에 주어져야 한다. 그림 2-145와 같이, 배선방식의 개수와 복잡성은



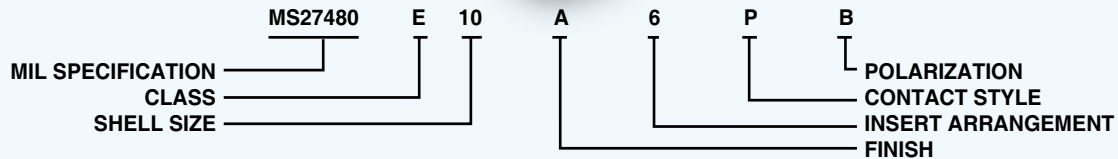
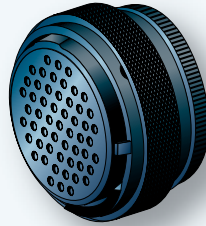
[그림 2-145] Electrical connectors

전기커넥터의 사용을 증가시킬 수 있다. 커넥터의 적절한 선정과 적용은 항공기 배선방식의 중요한 부분이다. 커넥터는 항공기에 안전과 신뢰성의 최대등급을 마련하기 위해 최소한도로 유지, 선택, 장착되어야 한다. 어떤 특정한 커넥터어셈블리(connector assembly)의 장착 시, 제작사의 명세서 또는 해당 관리기관의 규격을 따라야 한다.

(1) 커넥터의 유형(Type of Connector)

커넥터는 MIL Specification(MS) 또는 OEM Specification에서 파생된 고유식별번호(original identification number)에 의해 인지되어야 한다. 그림 2-146에서는 MS Style 커넥터에 관한 정보를 제공한다.

내환경성커넥터(environmentally-resistant connector)는 그들이 유동체, 진동, 열, 기계적 충격 부식의 영향을 받는 곳에 사용된다. 같은 동일한 특색을 포함하는 방화등급커넥터(firewall class connector)는 추가로 항공기 방화벽커넥터(firewall connector)의 열린 구멍을 통한 화재의 침투를 방지할 수 있고 화재에 노출되었을 때 명시된 일정기간 동안 고장 없이 역할을 다 할 수 있어야 한다. 밀폐형 커넥터(hermetic connector)는 여압구역(pressurized area)을 유지하기 위해 압력 Seal을 장착한다. 전자기간섭(EMI)/무선주파간섭(RFI, radio frequency interference) 보호가 요구되었을 때, 특별한 주의가 개개의 또는 전부의 차폐가 말단에 주어져야 한다. 백셸어댑터(backshell adapter)는 차폐종단(shield termination), 전도성 마무리(conductive finish)를 가지는 커넥터를 위해 설계되며, 전자기간섭(EMI) 접지지침(grounding



MS27472	Wall mount receptacle	MS27484	Straight plug, EMI grounding
MS27473	Straight plug	MS27497	Wall receptacle, back panel mounting
MS27474	Jam nut receptacle	MS27499	Box mounting receptacle
MS27475	Hermetic wall mount receptacle	MS27500	90° Plug (note 1)
MS27476	Hermetic box mount receptacle	MS27503	Hermetic solder mount receptacle (note 1)
MS27477	Hermetic jam nut receptacle	MS27504	Box mount receptacle (note 1)
MS27478	Hermetic solder mount receptacle	MS27508	Box mount receptacle, back panel mounting
MS27479	Wall mount receptacle (note 1)	MS27513	Box mount receptacle, long grommet
MS27480	Straight plug(note 1)	MS27664	Wall mount receptacle, back panel mounting (note 1)
MS27481	Jam nut receptacle (note 1)	MS27667	Thru-bulkhead receptacle
MS27482	Hermetic wall mount receptacle (note 1)		
MS27483	Hermetic jam nut receptacle (note 1)		

NOTE

1. Active

	Supersedes
MS27472	MS27479
MS27473	MS27480
MS27474	MS27481
MS27475	MS27482
MS27477	MS27483
MS27473 with MS27507 elbow	MS27500
MS27478	MS27503
MS27499	MS27504
MS27497	MS27664

CLASS

- E Environment-resisting box and thru-bulkhead mounting types only (see class T)
P Potting—including potting form and short rear grommet
T Environment-resisting wall and jam-nut mounting receptacle and plug types: thread and teeth for accessory attachment
Y Hermetically sealed

FINISH

- A Silver to light iridescent yellow color cadmium plate over nickel (conductive) -65 °C to +150 °C (inactive for new design)

- B Olive drab cadmium plate over suitable underplate (conductive), -65 °C to 175 °C
C Anodic (nonconductive), -65 °C to + 175 °C
D Fused tin, carbon steel(conductive), -65 °C to +150 °C
E Corrosion resistant steel (cres), passivated (conductive), -65 °C to +200 °C
F Electroless nickel coating (conductive), -65 °C to +200 °C
N Hermetic seal or environment resisting cres (conductive plating), -65 °C to +200 °C

CONTACT STYLE

- A Without pin contacts
B Without socket contacts
C Feed through
P Pin contact—including hermetics with solder cups
S Socket contacts—including hermetics with solder cups
X Pin contacts with eyelet (hermetic)
Z Socket contacts with eyelet (hermetic)

POLARIZATION

- A, B Normal—no letter required
C, or D



finger)은 이런 목적을 위해 사용할 수 있다.

그림 2-147과 같이, 사각형 커넥터(rectangular connector)는 일반적으로 아주 많은 수의 회로가 단일결합상대(single mated pair)로 수용하는 곳에 적용하기 위해 사용된다. 이들은 기본형(standard type), 동축형(coaxial type), 그리고 대형 전력형(power type)의 혼합을 포함할 수 있는, 매우 다양한 컨택트를 이용할 수 있는 것이다. 연결기(coupling)는 여러 가지의 수단에 의해 이루어진다. 더 작은 유형은 이들의 테두리(flange)에 함께 잡아주는 나사로 고정된다. 더 큰 것은 정확한 일치를 확실하게 하는 일체성형틀맞춤핀(integral guide pin), 또는 커넥터를 정렬시키는 것뿐만 아니라 잠그는 Jackscrew를 갖고 있다. Rack과 패널 커넥터(panel connector)는 일치를 위한 일체성형핀(integral pin) 또는 선반부착식핀(rack-mounted pin) 그리고 연결기를 위한 Box Mounting Hardware를 이용한다.

모듈블록(module block)은 커넥터에서 이들과 유사한 압착식 컨택트를 받아들이는 접속배선함



[그림 2-147] Rectangular connectors

의 유형이다. 일부는 여러 가지의 회로장치(circuit arrangement)를 장치하기 위해 Internal Busing을 사용한다. 이들은 다수의 전선이 배전(power distribution) 또는 신호분배(signal distribution)를 위해 연결되는 곳에서 유용하다. 접지모듈(grounding module)로 사용되었을 때, 이들은 항공기에 하드웨어 장착을 절약하고 줄인다.

기본모듈(standard module)은 환경적용(environmental application)을 위해 Wire End Grommet Seal을 이용할 수 있는 것이고 궤도부착식(track-mounted)이다. 기능모듈블록(function module block)은 작은 저항기, 다이오드, Filter, 그리고 억제회로망(suppression network)의 내환경성설치(environment-resistant mounting)를 위해 쉽게 연결식꾸러미(wired package)를 장치하는 데 사용된다. 일렬단자접속(in-line terminal junction)은 때때로 단지 몇 개의 전선이 종결시켜졌을 때 그리고 전선을 분리시킬 능력이 요구되었을 때 커넥터의 대신 사용된다. 일렬단자접속(in-line terminal junction)은 내환경성(environment-resistant)이다. Terminal Junction Splice는 작은 것이고 주문자생산방식(OEM, original equipment manufacturer)으로 인가되었을 때 전선다발의 표면에 묶인다.

(2) 전압과 전류 정격(Voltage and Current Rating)
선택된 커넥터는 외기온도와 회로 전류부하(circuit current load)의 최대조합(maximum combination) 하에 연속운전에 대해 등급을 매겨야 한다. 밀폐형커넥터(hermetic connector)와 고돌입전류(high-inrush current)를 수반하는 회로

응용(circuit application)에 사용된 커넥터는 정격 출력을 낮추어야 한다. 이 커넥터는 최대정격전류 부하(maximum rated current load)에서 이것의 컨택트 중 대부분 또는 모두 작동하는 곳의 상황에서 예비시험(preliminary testing)을 처리하는 것은 바람직한 공학적 실행(engineering Practices)이다. 배선이 정격온도(rated temperature)에 가까운 고도선온도(high conductor temperature)로 작동하고 있을 때, 커넥터 컨택트 크기는 회로부하(circuit load)에 대해 적합하게 정격이 되어야 한다. 이것은 전선크기의 증가를 필요로 하게 된다. 전압정격감소(voltage de-rating)는 커넥터가 비여압 구역(non-pressurized area)에서 고고도(high-altitude)로 사용될 때 요구된다.

(3) 여분의 컨택트(Spare Contacts for Future Wiring)

향후 배선 추가에 편의를 도모하기 위해, 여분 컨택트는 대개 제공된다. 커넥터의 바깥쪽 부분을 따라 전선이 연결되지 않은 컨택트(unwired contact)를 위치시키는 것은 미래의 접근을 용이하게 한다. 25개 이하의 컨택트를 가지고 있는 커넥터에서 2개의 예비부품, 26~100컨택트를 가지고 있는 커넥터에서는 4개의 예비부품, 100개 이상의 컨택트를 가지고 있는 커넥터에서 6개의 예비부품을 장치하는 것은 좋은 방법이다. 여분 컨택트는 대개 추가 배선을 갖는 개연성이 낮은 부품의 리셉터클에 장치되지 않는다. 커넥터는 전선이 연결된 컨택트 또는 전선이 연결되지 않은 컨택트(Wired Contact 또는 Unwired Contact)로 채워진 모든 사용 가능한 컨택트 공동(cavities)을 갖추어야 한다. 전선이 연결되지 않은 컨택트는 플라스틱그로밋(plastic

grommet) 봉합용 플러그(sealing plug)가 장치되어야 한다.

(4) 커넥터를 통한 배선

(Wire Installation into the Connector)

다중계통(redundant system)에서 동일한 기능을 수행하는 전선은 분리된 커넥터를 통해 배선되어야 한다. 비행안전에 중대한 시스템인 경우, 계통운용배선(system operation wiring)은 계통결함경보(system failure warning)를 위해 사용된 배선으로부터 분리된 커넥터를 통해 배선되어야 한다. 또한, 이것의 결함경보회로(failure warning circuit)는 실행 가능한 범위까지 분리된 커넥터에 시스템의 지시배선(indication wiring)을 배선하는 것이 바람직하다. 이러한 과정을 통해 커넥터 결함의 결과로 일어나는 항공기의 장애 발생률을 줄일 수 있다.

(5) 인접한 커넥터(adjacent Locations)

그림 2-148과 같이, 인접한 커넥터의 결합(mating)이 가능하지 않도록 해야 한다. 이것을



[그림 2-148] Connector arrangement to avoid wrong connection



확실히 하기 위해, 인접한 커넥터 쌍은 서로 다른 외곽틀크기(shell size), 커플링 연결 수단, 삽입배열(insert arrangement)과 키배열(keying arrangement)로 이루어져야 한다. 이런 수단이 실행될 수 없을 때, 전선은 부정확하게 결합된 쌍이 서로에게 도달할 수 없도록 배선되고 고정되어야 한다. 표식 또는 색띠(color strip)의 경우 시간이 지날수록 변질되기 때문에 권고하지 않는다.

(6) 밀봉(Sealing)

커넥터는 커넥터가 결합되었을 때 압착된 주위의 씰(seal)과 계면(interfacial, 두면 사이에 낀) 씰의 사용을 통해 습기를 못 들어오게 하는 형태여야 한다. 커넥터의 배후를 통해 들어오는 습기는 커넥터의 후방그로밋(rear grommet) 밀봉범위(sealing range)로 전선의 바깥지름에 정확하게 맞추어 막아야 한다. 이것은 단지 하나의 전선이 어떤 압착형(crimp style) 콘택트에서 종결시키는 것을 권고한다. 전선직경을 늘리기 위해 열수축관재료(heat-shrinkable tubing)를 사용하거나 후방그로밋으로 후방적합성(rear compatibility)을 마련하는 등의 추가적인 수단으로 전선진입구역(wire entry area)에 채우기의 적용이 권고된다. 이들 별도수단은 고유의 불리한 조건을 갖고 있어, 단지 다른 수단이 사용될 수 없는 곳에서만 고려되어야 한다. Unwired Spare Contact는 정확히 크기로 만든 비치된 플라스틱플러그(plastic plug)를 갖추어야 한다.

(7) 배출(Drainage)

커넥터는 결합되지 않았을 때 커넥터의 안이 아니

고 밖으로 습기와 유동체를 안전하게 배출하는 방식으로 장착되어야 한다. 배선은 번들 안에서 축적된 습기가 커넥터에서 멀리 배출되도록 배선되어야 한다. 커넥터가 Shelf 또는 Floor를 관통할 때처럼, 수직자세(vertical position)로 설치되어야 할 때, 커넥터는 보존하기 위해 넣어두거나(potted) 환경적으로 밀봉되어야 한다. 이 상황에, 부합되지 않았을 때 습기에 덜 영향을 받도록 아래쪽방향으로 향하는 리셉터클을 갖는 것이 더 좋다.

(8) 전선지지(Wire Support)

그림 2-149와 같이, 리어엑세서리백셸(rear accessory backshell)은 에워싸지 않은 커넥터에 사용되어야 한다. 아주 작은 크기의 배선을 가지고 있는, 또는 잦은 정비활동을 수행하는, 또는 고진동 지역에 위치한 커넥터는 변형방지장치형(strain-relief-type) 백셸(backshell)이 장치되어야 한다. 전선다발은 클램프에 의해 고정되는 적절한 쿠션재료를 사용하여 기계적 손상으로부터 보호되어야 한다



[그림 2-149] Backshells with strain relief

다. 넣어진(potted) 커넥터 또는 주조된 후방 어댑터(adapter)를 갖고 있는 커넥터는 정상적으로 분리형변형방지장치부속품(separate strain relief accessory)을 사용하지 않는다. 변형방지장치클램프(strain relief clamp)는 클램프와 컨택트 사이의 전선에 장력을 주어서는 안 된다.

적당한 드립루프를 확보하기 위해 커넥터에 충분한 전선길이가 필요하며 커넥터와 컨택트의 완전한 교체 후에도 말단에 변형이 없어야 한다.

2.4.7.7 동축케이블(Coaxial Cable)

모든 배선은 손상으로부터 보호되어야 할 필요가 있다. 그러나 동축케이블 또는 3축케이블(triaxial cable)은 어떤 형태의 손상에 특히 약점이 있다. 그림 2-150과 같이, 작업자는 동축케이블을 취급하거나 주위에서 작업하는 동안 주의해야 한다. 동축케이블 손상은 너무 단단하게 고정되었을 때, 또는 대개 커넥터나 또는 커넥터 근처에서 급격하게 구부러졌을 때 발생할 수 있다. 손상은 또한 동축케이블 주위에서 관련 없는 정비행위 도중에 발생할 수 있



[그림 2-150] Coaxial cables

다. 동축케이블은 외부에서 손상의 어떤 흔적 없이 내부에 심각하게 손상될 수 있다. 단선축도체(solid center conductor)로 되어 있는 동축케이블은 사용되지 않아야 한다. 그림 2-151과 같이, 표준축동축케이블(standard center coaxial cable)은 단선축동축케이블(solid center coaxial cable)에 대한 직접적 대체물로 사용될 수 있다.

동축케이블 예방책은 다음을 포함한다.

- ① 동축케이블을 절대로 비틀지 않는다.
- ② 동축케이블에 물건을 떨어뜨리지 않아야 한다.
- ③ 동축케이블을 밟지 말아야 한다.
- ④ 동축케이블을 급격하게 구부리지 말아야 한다.
- ⑤ 허용굴곡부반경(allowable bend radius)보다 더 바깥 쪽 동축케이블을 고리로 만들지 않는다.
- ⑥ 직선을 제외하고 동축케이블을 당기지 말아야 한다.
- ⑦ 손잡이를 위해 사용하거나, 동축케이블에 기대는, 또는 동축케이블에 또는 어떤 다른 전선을 걸지 말아야 한다.

2.4.8 전선 검사(Wire Inspection)

항공기는 전선에 좋지 않은 환경이다. 만족한 서비스를 보장하기 위해 매년 마손, 절연 불량, 부식, 말단의 상태에 대해 전선을 검사한다. 전원, 배전장비, 전자기차폐를 위한 접지접속을 할 때에는 전기 결합저항이 접속의 헐거워짐 또는 부식으로 인해 크게 증가하지 않았는지 확인하기 위해 특별한 주의를 기울여야 한다.



[그림 2-151] Coaxial cable connectors

2.5 전기 계통 부품 (Electrical System Components)

2.5.1 스위치(Switches)

그림 2-152와 같이, 스위치는 회로를 개방하고 접속하는 장치이다. 이들은 한 쌍 이상의 접촉으로 이루어진다. 회로에서 전류는 접촉이 접속되었을(closed) 때 흐른다. 순간접점(momentary contact)을 가지고 있는 스위치는 일시적으로 회로를 발동시키고, 그리고 스위치가 놓아졌을 때 내부의 스프링에 의해 정상위치(normal position)로 되돌아간다. 연속접점(continuous contact)을 가지고 있는 스위치는 작동될 때 그 위치에 남아있다. 스위치 작동에서 위험스러운 실수는 논리적이고 일관된 장치로 피할 수 있다. 2단(two-position) On/Off 스위치는 On Position이 토글(toggle)의 위쪽 방향으로 또는 앞쪽방향으로 움직이도록 설치되어야 한다. 스위치가 착륙장치 또는 플랩과 같은, 가동 항공기부위를 제어할 때, 토글은 원하는 작동과 동일한 방향으로 움직여야 한다. 스위치의 부주의한 작동은 스위치 위에 적당한 가드(guard)를 설치하여 방지할 수 있다.

특별하게 설계된 스위치는 스위치 오작동이 위험할 수 있는 모든 회로에 사용되어야 한다. 이러한 스위치는 견고한 구조를 가지며 연결된 부하전류를 끊고, 형성하고, 운반하기에 충분한 접촉능력(contact capacity)을 갖는다. 걸쇠작용(snap action)의 설계는 대개 이것에 의해서 접촉 전호를 최소로 하여 작동하는 토글(toggle) 또는 플런저(plunger)의 속도에 관계없이 접촉의 신속한 개방과 접속을 얻기 위



[그림 2-152] Switch guard

해 선택된다. 전통적인 항공기 스위치의 명목상의 전류정격은 보통 스위치틀(switch housing)에 찍혀 있다. 이 정격은 접속된 접촉을 상대로 연속전류정격(continuous current rating)을 나타낸다. 스위치는 다음 유형의 회로에 대한 이들의 공칭 전류정격에서 정격출력을 낮추어야 한다.

(1) 고난입회로(High Rush-in Circuit)

고난입회로는 연속전류보다 15배 더 큰 초기전류(initial current)를 끌어당길 수 있는 백열등(incandescent lamp)을 담고 있다. 접촉 태우기(burning) 또는 용접(welding)은 스위치가 접속될 때 일어나게 된다.



[표 2-14] Derating table for switches

Nominal system voltage (DC)	Type of load	Derating factor
28V	Lamp	8
28V	Inductive	4
28V	Resistive	2
28V	Motor	3
12V	Lamp	5
12V	Inductive	2
12V	Resistive	1
12V	Motor	2

(2) 유도성회로(Inductive Circuit)

제어스위치(control switch)가 개방될 때 솔레노이드코일 또는 릴레이에 축적된 자기에너지가 방출되며 전호로 나타낸다.

(3) 전동기(Motors)

직류전동기(DC motor)는 시동 시 정격전류의 몇 배를 끌어들이고, 전기자와 계자코일에 축적된 자기 에너지는 제어스위치가 개방될 때 방출된다.

표 2-14에서는 연속부하전류(continuous load current)가 알려진 경우에 공칭 스위칭정격(switch rating)을 선택하기 위해 사용된다. 이 선택은 본질적으로 정격출력을 낮추어 스위치의 효율과 수명을 늘리기 위한 것이다.

2.5.1.1 스위치의 종류(Type of Switches)

(1) 단극단투(Single-pole Single-throw(SPST))

단일회로(single circuit)를 개방하고 접속시킨다. 극(pole)은 활동될 수 있는 단독회로(separate circuit)의 수를 나타내고, 그리고 스로(throw)는 전류경로(current path)의 수를 나타낸다.

(2) 쌍극단투

(Double-pole Single-throw(DPST))

하나의 Lever로서 2개의 회로를 On과 Off로 전환한다.

(3) 단극쌍투

(Single-pole Double-throw(SPDT))

2개의 경로 중 어느 쪽으로 회로전류를 보낸다. 스위치는 양쪽 위치에서 ON이다. 예를 들어, 스위치는 한쪽 위치에 있는 적색등(red lamp)을 켜고 다른 쪽 위치에서는 녹색등(green lamp)을 켜다.

(4) 쌍극쌍투

(Double-pole Double-throw(DPDT))

동시에 2개의 단독회로를 발동시킨다.

(5) 쌍투스위치(Double-throw Switch)

2개 또는 3개의 위치를 갖고 있다.

(6) 이위스위치(Two Position Switch)

극(pole)은 항상 2개의 스로(throw) 중 한 곳에 연결된다. 삼위스위치(three-position switch)는 양쪽 스로(throw)로부터 극(pole)의 접속을 끊는 중앙 OFF Position을 갖고 있다.

(7) 스프링작동식 스위치(Spring-loaded Switch)

두 가지 유형으로 이용할 수 있는데, 1) 정상열림(NO, normally open)과 2) 정상닫힘(NC, normally closed)이다. 정상열림(NO) 스위치의 접촉은 정상위치에서 접촉이 끊어지고 스위치가 작동되었을 때 접속된다. 스위치는 스위치에 가해진 힘이 해제되었을 때 정상위치로 되돌아온다. 정상닫힘(NC) 스위치의 접촉은 정상위치에서 접속되고 스위치가 작동되었을 때 개방된다. 스위치는 스위치에 가해진 힘이 해제되었을 때 정상위치로 되돌아온다.



[그림 2-153] Toggle and rocker switches

2.5.1.2 토글스위치와 로커스위치

(Toggle and Rocker Switches)

그림 2-153과 같이, 토글스위치(toggle switch)와 로커스위치(rocker switch)는 대부분 항공기의 전기부품을 제어한다. 자동화된 조종석으로 갖춰져 있는 항공기는 종종 전기부품을 제어하기 위해 푸쉬 버튼(push button)을 사용한다.

2.5.1.3 회전스위치(Rotary Switches)

회전스위치(rotary switch)는 노브(knob) 또는 샤프트(shaft)를 회전시켜 작동되고 보통 무선제어판(radio control panel)에서 확인할 수 있다. 회

전스witch는 2개의 이상의 회로를 제어하는 데 활용된다.

2.5.1.4 정밀(마이크로)스위치

(Precision(Micro) Switches)

마이크로스위치(micro switch)는 아주 적은 압력으로도 작동한다. 이러한 유형의 스위치는 스프링 작동식(spring-loaded)이며, 압력이 제거되면, 접촉은 정상위치로 되돌아간다. 이 유형의 스위치는 전형적으로 단극쌍투(Single-pole Double-throw(SPDT)) 또는 쌍극쌍투(Double-pole Double-throw(DPDT))이고, 세 가지의 접촉을 가지고 있는데, 정상열림(NO), 정상닫힘(NC), 그리고 공통이다. 마이크로스witch는 착륙장치, 플랩, 스폐일러 등과 같이 위치를 탐지하거나 또는 가동부(moving part)의 왕복운동을 제한하기 위해 사용된다.



[그림 2-154] A micro switch

2.5.2 릴레이와 솔레노이드(전자석스위치)

(Relays and Solenoid(Electromagnetic Switches))

릴레이는 적은 전류를 이용하여 큰 전류의 흐름을 제어하기 위해 사용된다. 저전력직류회로(low-



power DC circuit)는 릴레이를 작동시키기 위해 사용되고 큰 교류전류의 흐름을 제어한다. 이들은 전동기와 다른 전기장치의 On과 Off를 전환하기 위해, 그리고 과열로부터 릴레이를 보호하기 위해 사용된다. 솔레노이드는 가동철편(moving core)을 갖고 있는 릴레이의 특별한 형태이다. 릴레이에 있는 전자석철편(electromagnet core)은 고정되어 있다. 솔레노이드는 거의 기계식 액추에이터(mechanical actuator)처럼 사용되지만, 대용량(large current)을 전환하기 위해서도 사용된다. 릴레이는 오직 전류를 전환하기 위해 사용된다.

2.5.2.1 솔레노이드(Solenoids)

그림 2-155와 같이, 솔레노이드는 무게경감을 이룰 수 있는 곳 또는 전기제어(electrical control)가 단순화될 수 있는 곳에 개폐장치(switching device)로 사용된다. 앞서 논의한 스위치정격은 대개 솔레노이드접촉정격(solenoid contact rating)에 적용할 수 있다. 솔레노이드는 보통 강 또는 철로 만들어진 가동철심(movable core)/전기자를 갖고 있으며, 코일은 전기자 주위에 감겨져 있다. 전자기관(electromagnetic tube)



[그림 2-155] Solenoid

과 전기자를 갖고 있는 솔레노이드는 관의 안쪽과 바깥쪽으로 움직인다.

2.5.2.2 릴레이(Relays)

그림 2-156과 같이, 릴레이의 두 가지 주요 유형은 전기·기계형(electro-mechanical type)과 고체형(solid-state type)이다. 전기·기계릴레이(electro-mechanical relay)는 접촉이 있는 고정철심(fixed core)과 가동판(moving plate)을 갖고 있고, 반면에 고체릴레이(solid-state relay)는 트랜지스터와 유사하게 작동하며 가동판을 갖고 있지 않다. 전기·기계릴레이의 코일을 통해 흐르는 전류는 레버(lever)를 끌어당겨 스위치접촉(switch contact)을 바꾸어주는 자기장을 만들어낸다. 코일 전류(coil current)는 릴레이가 2개의 스위치위치(switch position)를 갖고 있기 때문에 연결하거나 또는 차단할 수 있고, 그래서 이들은 쌍투스위치(double-throw switch)이다. 잔류자기(residual magnetism)는 평범한 문제이며 접촉은 잔류자기의 작은 양에 의해 접촉(closed) 또는 개방 상



[그림 2-156] Relay

태에 머무르게 한다. 릴레이는 전기작동식스위치(electrically operated switch) 이고 이런 이유로 저계통전압조건(low system voltage condition) 하에서 Dropout(자성체의 결함 등으로 결락되는 일)이 될 수 있다. 릴레이는 하나의 회로가 첫 번째 회로로부터 완벽하게 격리되어 두 번째 회로에 전환될 수 있다. 예를 들어, 저전압 직류배터리 회로(DC battery circuit)는 110[V] 3상교류회로(three-phase AC circuit)로 전환하기 위해 릴레이를 사용할 수 있다. 2개의 회로 사이에 릴레이의 안쪽에 전기접점은 없는데, 연결부는 자석과 기계적인 구조이다.

2.5.3 전류제한장치(Current Limiting Devices)

도체는 전원버스(electrical power source bus)에 가깝게 위치한 회로차단기 또는 퓨즈로 보호되어야 한다. 일반적으로, 전기장치의 제조사는 장비를 장착할 때 사용되어야 하는 퓨즈 또는 회로차단기를 명시한다. 회로차단기나 퓨즈는 도체가 연기를 발생하기 전에 회로를 개방해야 한다. 이를 위해 보호장치의 시간-전류특성(time current characteristic)은 관련된 도체보다 아래에 위치해야 한다. 회로보호기특성(circuit protector characteristic)은 연결된 장비를 최대한 활용하기 위함이다. 표 2-15는 구리도체의 퓨즈를 보호하는 회로차단기를 선정하는데 사용된 도표이다. 이 도표는 외기온도와 전선다발 크기가 명시된 특정한 설정에서 적용할 수 있고 통상적으로만 제시된다. 특정 목적을 위한 도체의 선정하기 이전에 이런 지침을 참고하는 것은 중요한 것이다. 예를 들어, 외기에서 하나의 전선흐름은 도

[표 2-15] Derating table for switches

Wire AN gauge copper	Circuit breaker amperage	Fuse amperage
22	5	5
20	7.5	5
18	10	10
16	15	10
14	20	15
12	30	20
10	40	30
8	50	50
6	80	70
4	100	70
2	125	100
1		150
0		150

표에서 보여준 것보다 그다음 더 높은 정격의 회로 차단기에 의해 보호된다.

2.5.3.1 퓨즈(Fuses)

그림 2-157과 같이, 퓨즈는 전압원에 직렬로 놓고 모든 전류는 퓨즈를 통해 흘러야 한다. 퓨즈는 유리외피 또는 플라스틱외피에 봉해 넣어진 금속의 스트립(strip)로 이루어진다. 금속 스트립은 저용해점(low melting point)을 갖고 있고 보통 납, 주석, 또는 구리로 만들어진다. 전류가 퓨즈의 용량을 초과할 때, 금속 스트립은 뜨거워지고 끊어진다. 이 결과로, 회로에서 전류의 흐름은 정지한다.



[그림 2-157] 퓨즈



퓨즈에는 두 가지 기본 유형이 있는데, 신속형(fast acting)과 지연형(slow blow)이다. 신속형은 특정한 전류정격이 초과되었을 때 매우 빠르게 개방된다. 이것은 아주 많은 전류가 매우 짧은 시간에 퓨즈를 통해 흐를 때 빠르게 망가질 수 있는 전기장치에 중요하다. 지연형 퓨즈(slow blow fuse)는 내부에 코일이 감긴 구조이다. 이들은 오직 단락회로와 같은 연속과부하(continued overload)에서만 개방되도록 설계되어 있다.

2.5.3.2 회로차단기(Circuit Breakers)

그림 2-158과 같이, 회로차단기는 과부하 또는 단락회로로 인한 손상으로부터 전기회로를 보호하기 위해 설계되었으며 자동적으로 작동되는 전기스위치이다. 이것의 기본적인 기능은 고장상황을 탐지하였을 경우 즉시 전기흐름을 중단하는 것이다. 퓨즈는 한 차례 작동하고 교체해야 하지만, 회로차단기는 정상작동을 회복하도록 재기동(reset)을 할 수 있다. 모든 재기동할 수 있는 회로차단기는 과부하 또는 회로고장이 존재할 때 운영제어(operating control)의 위치에 관계없이 장착된 곳에서 회로를 개방시켜야 한다. 이러한 회로차단기는 “트립프리(Trip Free)”라고도 한다. 자동복귀회로차단기(automatic reset circuit breaker)는 스스로 자동적으로 재기동한다. 이들은 항공기에서 회로보호장치로 사용되어서는 안 된다. 회로차단기가 트립(trip)되었을 때, 전기회로는 점검되어야 하고 결함은 회로차단기가 재기동하기 전에 제거되어야 한다. 때때로 회로차단기가 명백한 이유 없이 트립되면, 회로차단기는 한 번 재기동할 수 있다. 만약 회로차단기가 다시 트립되면, 회로고장이 존재하는 것이고



[그림 2-158] Circuit breaker panel

작업자는 회로차단기를 재기동하기 전에 회로 문제를 해결해야 한다.

일부 신형 항공기 설계는 디지털회로보호설계(digital circuit protection architecture)를 사용한다. 이 시스템은 특정회로를 통해 감시한다. 이 회로가 최대전류량(maximum amperage)에 도달되었을 때 전원이 회로에서 떨어져 다시 배선된다. 이 시스템은 기계적회로차단기의 사용을 줄인다. 이점은 기계부품의 무게경감과 절감이다.

2.6 항공기 조명 계통 (Aircraft Lighting System)

항공기 조명계통은 실내용도와 실외용도 모두를 위해 조명이 제공된다. 외부에 등은 야간에 착륙, 결빙상황(icing condition)의 검사, 그리고 공중충돌로부터 안전을 위한 운항을 위해 조명을 장치한다. 내부등(interior light)은 계기, 조종석, 객실, 그리고 승무원과 승객에 의해 점유된 다른 구획을 위해

조명을 장치한다. 표시기와 경고등과 같이, 특별한 등은 장비의 작동상태를 지시한다.

2.6.1 외부등(Exterior Lights)

위치등(position light), 충돌방지등(anti-collision light), 착륙등(landing light), 그리고 유도등(taxi light)은 항공기 외부등(exterior light)의 일반적인 예이다. 일부 조명은 야간운용을 위해 요구된다. 날개검사등(wing inspection light)과 같은 외부등은 전문비행운용(specialized flight operation)에 큰 이점이 된다.

2.6.1.1 위치등(Position Lights)

그림 2-159와 그림 2-160과 같이, 야간에 항공기 운영은 미연방규정집(CFR, code of federal regulations)의 Title 14에 명기된 최소한의 요구사항에 합당하는 위치등(position light)을 갖추고 있어야 한다. 위치등의 한 조는 1개의 적색, 1개의 녹

색, 그리고 1개의 흰색등으로 이루어진다.

일부 유형의 설비에서, 조종석에 있는 스위치는 위치등의 정상운전과 섬광운전(flashng operation)을 위해 장치한다. 수많은 항공기에서, 단일등(single lamp)을 포함하고 있는 각각의 장치는 항공기의 표면에 설치되었다. 다른 유형의 위치등장치(position light unit)는 2개의 램프를 포함하고 있으며 가끔 항공기 구조물의 표면 안에 유선형으로 되어 있다. 녹색등장치(green light unit)는 항상 오른쪽 날개의 맨 끝에 설치된다. 적색등장치는 왼쪽 날개에 동일한 위치에 설치된다. 흰색등장치는 보통 항공기의 후미에서 광각(wide angle)을 통해 분명히 볼 수 있는 위치인 수직안정판(vertical stabilizer)에 위치한다. 그림 2-161에서는 위치등 회로의 계통도(schematic diagram)를 보여준다. 위치등은 항해등(navigation light)이라고도 부른다.

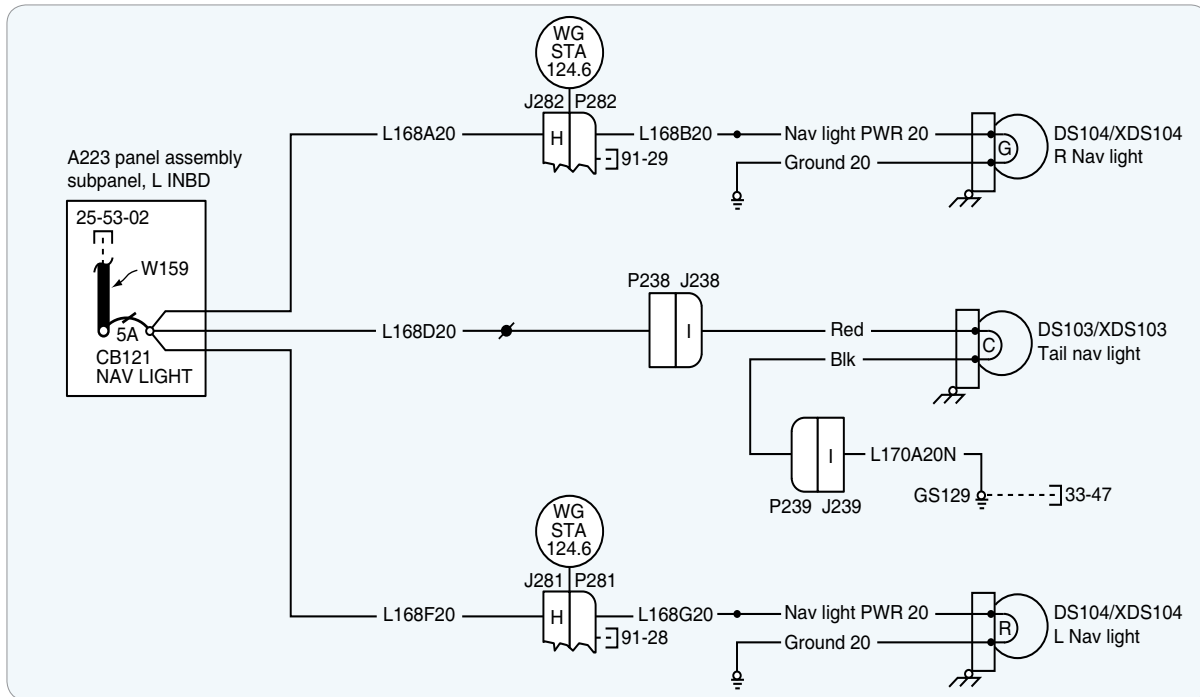
물론, 다른 항공기에 사용된 위치등 회로(position light circuit)에는 많은 변이가 있다. 모든 회로는



[그림 2-159] A left wing tip position light (red) and a white strobe light



[그림 2-160] A right wing tip position light, also known as a navigation light



[그림 2-161] Navigation light system schematic

퓨즈 또는 회로차단기로 보호되며, 많은 회로는 섬광장치(flashing equipment)와 조광장치(dimming equipment)를 포함한다.

소형기는 보통 간단한 제어스위치와 회로소자를 갖추고 있다. 일부 경우에, 하나의 제어노브(control knob) 또는 스위치는 등의 여러 Set를 켜기 위해 사용되는데, 예를 들어, 제어노브를 활용하는 한 가지 유형은 그것의 첫 번째 움직임이 위치등과 계기판등(instrument panel light)을 켜는데 사용한다. 더 나아가 제어노브의 회전은 오직 패널등(panel light)의 강도를 증가시킨다. 점멸장치(flasher unit)는 거의 경량항공기의 위치등회로소자(position light circuitry)에 포함되지 않으며 소형쌍발항공기에 사용된다. 전통적인 위치등은 백열전구(incandescent light bulb)를 사용한다. 발광다이오드(LED light)은 선명함과 적은 전력소비, 신뢰성 등의 장점이 있으며 이로 인해 최신 항공기에 도입되었다.

이오드등(LED light)은 선명함과 적은 전력소비, 신뢰성 등의 장점이 있으며 이로 인해 최신 항공기에 도입되었다.

2.6.1.2 충돌방지등(Anti-Collision Lights)

충돌방지등계통(anti-collision light system)은 하나 이상의 등으로 이루어진다. 충돌방지등장치는 보통 승무원의 시각에 영향을 주지 않으면서 위치등의 가시도(visibility)를 떨어뜨리지 않는 장소에 동체 또는 꼬리의 꼭대기에 장착된 빔등(beam light)을 회전시키고 있다. 대형운송형항공기는 항공기의 꼭대기와 밑바닥에 충돌방지등(anti-collision light)을 사용한다. 그림 2-162에서는 수직안정판에 전형적인 충돌방지등 설비를 보여준다.

충돌방지등장치(anti-collision light unit)는 보



[그림 2-162] Anticollision lights

통 전동기에 의해 작동되는 1개 또는 2개의 회전등(rotating light)으로 이루어진다. 등은 고정되지만 돌출 붉은유리(red glass)를 내부의 회전반사경 아래에 설치된다. 반사경은 전호(arc)가 있는 상태에서 회전하고 그 결과로 일어나는 섬광률(flash rate)은 분당 40~60[cycle]이다. 최신의 항공기 설계는 발광다이오드유형(LED-type)의 충돌방지등을 사용한다. 충돌방지등은 특히 과밀지역에서 다른 항공기에 경고하기 위한 안전등(safety light)이다.

백색섬광등(white strobe light)은 또한 일반적인 충돌방지등의 두 번째 유형이다. 보통 날개끝(wing tip)에 그리고 미부 말단에 설치된 섬광등(strobe light)은 백색광(white light)의 매우 밝

은 간헐적섬광(intermittent flash)을 만들어낸다. 빛은 커패시터의 고전압방전(high-voltage discharge)에 의해 생기게 한다. 전용전원함(dedicated power pack)은 커패시터를 수용하고 밀봉식제논충전관(sealed xenon-filled tube)으로 전압을 공급한다. 제논(xenon)은 전압이 공급되었을 때 섬광으로 이온화한다. 섬광등은 그림 2-159에서 보여준다.

2.6.1.3 착륙등과 유도등

(Landing and Taxi Lights)

착륙등은 야간착륙 시에 활주로를 비추기 위하여 항공기에 장착된다. 이 등은 매우 강력하며 조명의 최대도달거리(maximum range)를 제공하는 각도로 포물면반사장치(parabolic reflector)에 의해 전달된다. 소형 항공기의 착륙등은 보통 양쪽 날개의 리딩에지(leading edge)의 중간에 위치하거나 항공기 표면 안에 유선형으로 되어 있다. 대형 운송용범주항공기에서 착륙등은 보통 날개의 리딩에지에 위치한다. 각각의 등은 릴레이에 의해 제어되거나 전



[그림 2-163] 착륙등



기회로에 직접 연결될 수 있다. 그림 2-163과 같이, 일부 항공기에서, 착륙등은 유도등과 동일한 지역에 설치된다. 밀봉된 빔(beam), 할로젠(halogen), 또는 고강도제논방전등(high-intensity xenon discharge lamp)이 사용된다.

그림 2-164와 같이, 유도등은 활주로, 유도

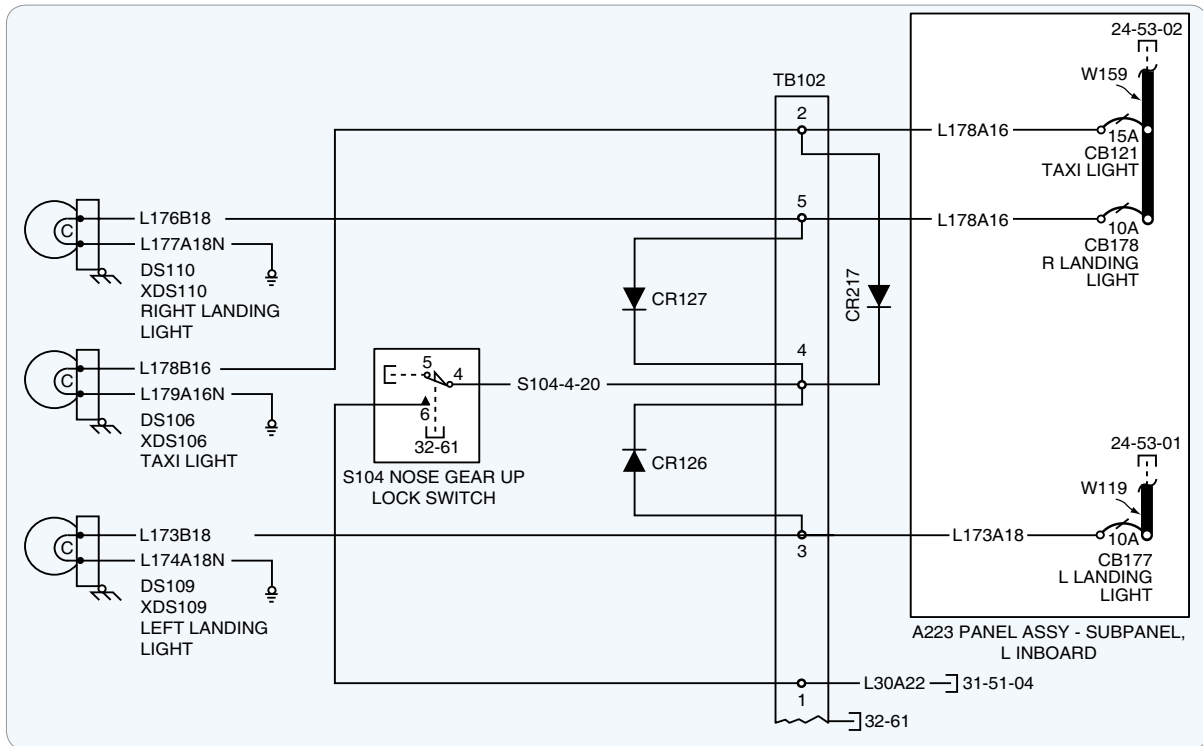


[그림 2-164] Taxi lights

로(taxi strip)로부터, 또는 격납고구역(hangar area)으로 항공기를 유도 또는 견인하는 동안 지상에 조명을 제공하도록 설계되었다. 유도등은 착륙등에 필요한 조명의 정도를 제공하도록 설계되지 않았다. 세바퀴착륙장치(tricycle landing gear)를 가지고 있는 항공기에서, 단일등형유도등(single taxi light) 또는 다등형유도등(multiple taxi light)은 전방착륙장치(nose landing gear)의 비조향부분(non-steerable part)에 설치된다. 이들은 항공기 앞쪽에 직접 조명을 그리고 항공기 경로의 오른쪽과 왼쪽으로 조명을 제공하기 위해 항공기의 중심선에 비스듬한 각도로 적당한 장소에 위치한다. 일부 항공기에서, 양수유도등(dual taxi light)은 동일한 회로에 의해 제어되는 날개 끝 가장 바깥쪽을 표시하는 등(clearance light)에 의해 보완된다. 유도등은 또한 날개리딩에지(wing leading edge)의 오목한 구역에 설치되고, 가끔 고정식착륙등(fixed landing light)과 함께 동일한 지역에 설치된다.

대부분 소형 항공기가 유도등을 갖추고 있지 않지만, 활주운전(taxiing operation) 상태에서 빛을 비추기 위해 착륙등을 사용한다. 아직도 다른 항공기는 유도를 위해 줄어드는 조명을 제공하기 위해 착륙등회로(landing light circuit)에 조광저항기(dimming resistor)를 이용한다. 그림 2-165에서는 유도등에 대한 일반적인 회로를 보여준다.

일부 대형 항공기는 노즈레이돔(nose radome)의 후미, 항공기의 아랫면에 위치한 다른 유도등을 갖추고 있다. 주 유도등에서 별도 스위치로서 작동되는 이 등은 항공기 기수의 앞쪽과 바로 아래쪽에 가까운 지역을 비춘다.



[그림 2-165] Taxi light circuit

2.6.1.4 날개검사등(Wing Inspection Lights)

일부 항공기는 비행 중에 날개의 리딩에지 구역의 결빙과 일반상황의 관찰을 가능케 하도록 비추는 날개검사등을 갖추고 있다. 이러한 조명등은 야간에 비행하는 동안에 날개리딩에지에 결빙형성의 육안탐지를 가능케 한다. 이들은 보통 조종석에 있는 On/Off 토글스위치(toggle switch)에 의해 릴레이를 통해 제어된다. 일부 날개검사등계통(wing inspection light system)은 때때로 카울(cowl), 플랩 또는 착륙장치와 같은, 인접지역을 비추는, 나셀등(nacelle light)라고 부르는 추가의 등을 포함하거나 또는 추가의 등으로 보완된다. 이들은 대개 동일한 형태의 등이고 동일한 회로에 의해 제어된다.

2.6.2 내부등(Interior Lights)

그림 2-166과 같이, 항공기는 객실을 조명하기 위해 내부등을 갖추고 있다. 종종 흰색등과 적



[그림 2-166] Interior cockpit and cabin light system



색등 설치가 제공된다. 사업용항공기는 주 객실을 비추는 조명계통, 승객의 객실등이 꺼졌을 때 독서할 수 있도록 하는 독립조명계통(independent lighting system), 그리고 비상사태 시에 항공기의 승객을 돕기 위해 항공기의 바닥에 비상조명계통(emergency lighting system)을 갖추고 있다.

2.6.3 정비 및 검사 수행용 조명계통

(Maintenance and Inspection Lighting Systems)

항공기 조명계통의 검사는 대개 모든 눈에 보이는 배선, 접속, 단자, 퓨즈, 그리고 스위치의 상태와 보안 검사를 포함한다. 많은 고장의 원인이 가끔 연속 상태에 대해 각각의 회로를 계통적으로 시험하여 찾아낼 수 있기 때문에, 연속조명 또는 측정기는 이들 점검 수행하는 데 사용될 수 있다.