

— 현장 계전기 기술 ① —

역/박 한 증(협회 교육홍보위원)

보호계전기가 이 세상에 생겨난지 거의 100년이 되어간다. 최초의 것은 코일에 흐르는 전류로 철심을 끌어 당겨 접점을 개폐하는 것으로서, 쾡거루 가죽으로 만든 풀무로 철심을 서서히 움직여 동작시간을 늦게 하는 것이었다. 「옛날에는 릴레이(보호계전기)를 설치하기는 했지만 거의 작동하는 일이 없었다. 사고로 발전기가 울리면 이웃 발전소와 전화연락을 하여 이것이라고 생각되는 차단기를 트립시켰다」는 시절도 있었다고 한다.

이와 같은 시대를 생각하면 현재의 보호계전기는 격세지감이 있다. 지금은 전자회로로 구성된 계전기가 사용되고 있고, 주요 부분에 생긴 사고는 계전기가 0.04초 이내에 동작하는 것을 전제로 전력계통이 구성되고 있다. 또한 계전기의 불량률 자동 감시하여 90% 가까이 인력에 의하지 않고 발견할 수 있게 되었다. 이제 보호계전기의 기술은 대단히 광범위한 것이 되어 그 전모를 알기가 어려워졌다.

앞으로 1년간에 걸쳐 보호계전기의 사용방법과 응용방식, 그리고 사고 구간을 검출하는 여러가지 방법에 대한 기본 원리를 해설하고 이어서 계전기의 여러가지 구조와 그 동작발생 원리와 특성에 대해서 설명하기로 한다. 아울러 각 보호 대상마다의 각종 사고구간 검출법을 해설하고 마지막으로 계전기를 적용, 시험하는데 있어서의 주의사항중 비교적 보편적인 사항을 설명한다.

1. 보호계전기란 무엇인가

계전기란 「미리 규정한 전기량 또는 물리량에 응동하여 전기회로를 제어하는 기능을 가진 장치를 말한다」고 정의되고 있다.

계전기를 일명 릴레이라고 하는 말에서 일반 사람이 생각나는 것은 운동회에서 반드시라고 할 수 있을 정도로 하고 있는 릴레이 경주일 것이다. 바통이 주자에서 주자에게 넘겨지듯이 정보를 전기회로에서 다른 전기회로에 전하는

것에 계전기(릴레이)라는 명칭이 주어졌다.

계전기는 코일에 의한 여자(勵磁)로 철편을 끌어 당겨 접점을 개폐하는 것으로부터 시작하여 여러가지 형태로 발전하였다. 원시의 이 형은 지금도 보조계전기로 사용되고 있지만 그래도 공업 제어에 사용되는 제어용 계전기, 전화교환기 등과 같은 통신분야에 사용되는 전화용 계전기 등 각각의 목적에 따라 분화되어 나갔다. 이것들은 전기 입력이 인가됐는가

의 여부에 따라 응동하는 것인데, 인가된 입력의 값이 일정값 이상 인가의 여부를 검출하는 계전기가 나와 단락사고 검출에 사용되고 있다. 이것이 보호계전기인데, 세월과 더불어 많이 발전을 하고 있다.

보호계전기가 처음 등장한 것은 1901년이라고 한다. 이 해에 미국에서 과전류 계전기가 처음 제작되었다. 그때까지 전력설비의 단락사고는 퓨즈나 과전류 트립기구가 달린 차단기로 보호되고 있었

다. 따라서 전력계통의 구성이 좀 복잡해지면 사고 구간만을 선택하여 차단하는 것이 곤란해져 동작 값이나 동작 시간의 정밀도 향상에 의한 선택 차단을 목적으로 하여 보호계전기가 등장한 것이다.

그 후, 전력계통의 확대에 따라 단순한 과대전류 현상만으로는 사고 구간의 선택 차단이 곤란해져 이것의 개선을 도모하기 위해 사고점의 방향을 식별하는 방향 계전기나 사고점까지의 거리에 응동하는 거리계전기 등 새로운 기능의 계전기가 계속해서 만들어졌다. 이 사이에 보호계전기의 구조도 당초의 전자 흡인력으로 흡인하여 접점을 개폐하는 가동철심형에서 전자 유도로 회전력을 발생시키는 유도형으로 바뀌고, 또한 반도체 회로를 사용한 트랜지스터형도 사용되게 되어 필요한 검출 기능을 만들어내게 됨과 동시에 정밀도나 감도의 향상 및 동작시간의 단축 등이 도모되어 왔다.

현재는 전자계산기에 의한 디지털 연산을 이용한 보호계전기와 변류기의 2차 전류를 다른 전기소에 μ 파 반송 등에 의해 전송, 보호를 하는 계전기도 사용되고 있다.

이상의 발전과정으로도 알 수 있듯이 보호계전기의 임무는 전력계통 어딘가에 단락 또는 지락사고가 발생했을 때 그 부분을 신속히 계통의 다른 부분으로부터 격리하도록 지령하는 것이나 그 밖에 전력설비의 파괴를 초래하는 이상 운전(장시간의 과부하·회전기의 과속도 등)이나 계통의 다른 부분에 악영향을 주는 이상 운

전(동기기의 동기 이탈·계자 상실 등)에 대해서도 동일한 처리를 필요로 한다.

이상과 같은 임무를 수행하는데 있어서 보호계전기에 요구되는 사항은 선택성·감도·속도 및 신뢰성이다. 사고 차단에 필요한 최소한의 차단기만을 차단하고 다른 구간을 차단하지 않게하는 선택성은 전력 공급의 지장을 최소한으로 하기 위해 극히 중요하다. 선택성은 보호계전 기술상의 원칙으로 되어 있다.

사고점에 흐르는 사고전류는 반드시 항상 큰 것은 아니고 부하전류보다 작은 경우도 있다. 작은 전류라도 장시간 계속되면 사고점의 손상이 커지며 결국 대사고가 된다. 사고의 영향을 조금이라도 작게 하기 위해 감도는 가능한 범위에서 높을 것이 요망된다.

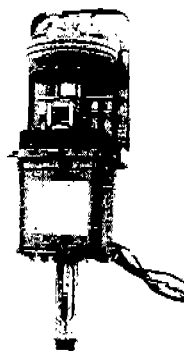
동작시간이 짧을 수록 사고설비의 손상이 적고 전력계통의 타부분에의 영향이 적다. 또한 사고점 위치에 따라서는 어느 정도의 시간내에 차단이 되지 않으면 발전기간의 동기가 상실되며 전력계통

전체의 운전이 불능이 되어 광범위한 장시간 정전을 일으킨다. 이 때문에 속도는 적용 개소에 따라 필요 최소한의 값을 유지해야 하고 가능한한 고속도일 것이 요망된다. 그러나 선택성을 유지하기 위해 허용 가능한 범위에서 속도를 희생하는 일이 많다.

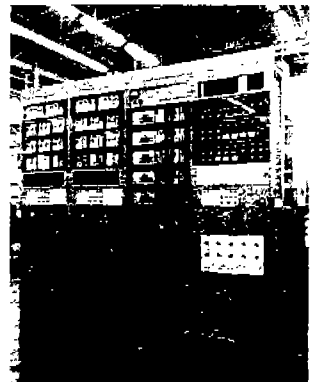
신뢰성은 사고의 정상 차단에 매놓을 수 없는 것이다. 신뢰성을 높이는 데는 설계 및 제조기술에 의한 기기 자체의 고유 신뢰도를 높이는 동시에 적용, 설치, 보수 및 환경 정비에 있어서 능력을 완전히 발휘할 수 있도록 하는 것도 중요하다.

2. 선택 차단

사고시 사고 구간을 선택하여 차단 범위를 최소한으로 하는 것은 보호계전기의 원칙이라는 것을 앞에서 기술하였다. 그림 3은 이 선택 보호의 원리를 나타낸 그림이다. 그림과 같이 계통의 각부를 구분하는 점에 차단기가 설치되며, 점선 또는 ---선으로 표시



(그림 1) 초기의 보호계전기 (플렌저형)



(그림 2) 전체 트랜지스터 계전기 (초고압 전선용)

한 부분들이 보호 범위이다. 계전기는 각각의 보호 범위 사고시 동작하며 보호 범위내에 표시되어 있는 차단기를 트립시킨다.

인접한 보호 범위가 차단기를 중복 포함하고 있는데, 이것은 보호 범위의 경계를 정하는데 있어 가장 좋은 방법이다. 이렇게 하면 중복부분 사고시 불필요한 차단기가 차단되지만 사고점이 어느 위치에 있더라도 차단되지 않는 일이 없다. 이와 같은 중복이 없으면 불필요한 차단은 감소되지만 맹점(盲点)에 생긴 사고가 차단되지 않게 된다. 그림에서 변압기 및 모선이 하나의 보호 범위로 되어 있는 부분이 있는데, 이것은 반드시 변압기와 모선을 1개의 계전기로 보호한다는 것이 아니고 개별적인 계전기를 사용해서 동일한 차단기를 트립시키는 경우도 많다.

보호 범위의 경계는 계전기에 입력을 공급하는 변류기의 설치위치로 정해진다. 즉, 송전선 보호의 경우 계전기는 변류기에서 송전선

측의 사고를 송전선 사고로서 검출하고, 변류기에서 모선측의 사고는 송전선 사고로 판단하지 않는다. 그림 3의 보호 범위 중복은 차단기 양측에 변류기를 설치할 필요가 있지만 경제적 이유 때문에 한 쪽에만 설치하는 경우가 대부분이다. 이와 같은 경우는 맹점 사고에 대한 보호 대책을 검토해 두어야 한다.

3. 후비 보호란

계전기는 그림 3의 보호 범위와 같이 전력계통을 분담해서 보호하고 있지만 이 보호가 반드시 항상 확실하게 행하여진다고는 할 수 없다. 단락 및 지락사고에 대해서는 보호 불능시의 대책으로서 후비 보호를 설치하는 일이 많다. 후비 보호에 대해서 차단 범위가 최소한이고 또한 차단이 최고속인 보호를 주보호라고 하고 있다.

주보호를 부동작으로 하는 원인에는

- (1) 변류기 및 계기용 변압기

또는 이들 2차 회로의 불량

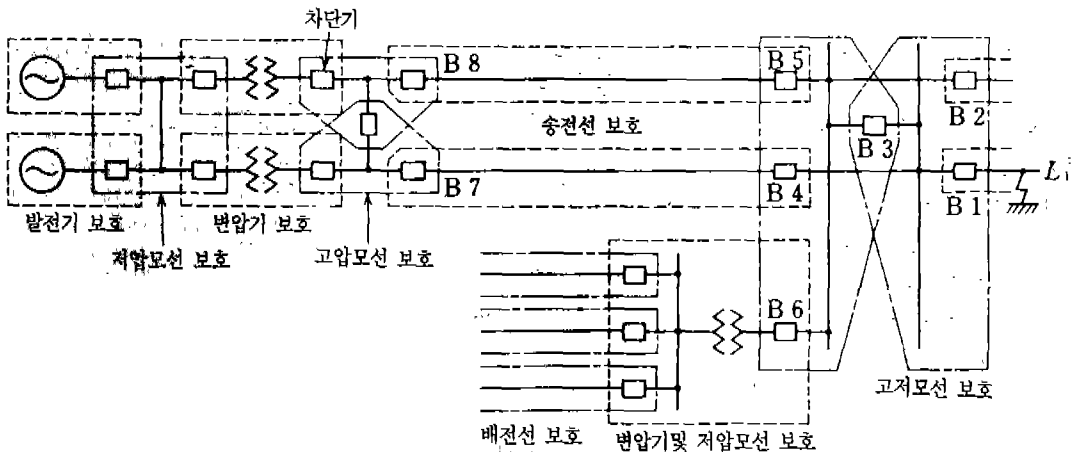
- (2) 보호계전기의 불량
- (3) 차단기 및 그 트립 회로의 불량
- (4) 제어 전원의 불량
- (5) 맹점사고

등이 있다. 후비 보호는 이와 같은 경우에 보호되는 것이 아니면 안된다.

「자구간(自區間) 후비 보호」는 주보호 범위의 사고를 검출하여 그 양단의 차단기를 트립시키는 것으로서, 주보호 보다는 저속도이지만 경제적인 계전기가 사용된다.

이 보호는 사고에 가장 가까운 단자에서 행하여지므로 사고 구간의 식별이 용이하고 비교적 고속도 차단이 가능하며, 또 최소 범위의 차단으로 끝난다. 그러나 주보호와 동일 원인으로 동작 불능이 될 우려가 많으며 주로 상기 (2)의 대책인 이른바 계전기 후비 보호이다.

「원방 후비 보호」는 주보호 장치와는 다른 전기소에서 보호하는



〈그림 3〉 선택보호의 원리

것으로서, 예를 들면 그림 3의 L1 사고에서 B1이 차단되지 않는 경우의 보호를 B2에 대항하는 단자와 B7, B8에 있는 후비 보호계전기가 각각의 차단기를 트립시킨다.

이 보호는 주보호와 동일 불량으로 부동작이 되는 일이 없고, 또 맹점사고도 후비 보호할 수 있지만 차단 범위가 상당히 광범위해지고 또 사고 구간의 식별이 곤란한 일도 많다. 그리고 B3을 원방 후비 보호 동작전에 개방하는 모션 분리를 하면 B8이 차단되지 않고 1회선 송전이 가능해지므로 이따금 사용된다.

「자체 타구간 후비 보호」는 자체 전기소내의 다른 차단기를 트립하는 것으로서, 그림 3의 L1 사고 B1 차단 불능에 대해서는 B3, B4 등을 차단한다. 이 보호는 앞의 두가지의 중간적인 성질을 갖는다. 이 보호는 자체구간 후비의 중대한 결점인 (3)의 대체인 이른바 차단기 후비 보호로서 계전기 동작과 차단기 부동작을 검출하여 행하는 일이다.

원방 후비 보호능력이 있는 계전기는 일반적으로 자구간 후비 보호능력이 있고 또한 속도가 허용되면 주보호계전기로서 사용할 수도 있다. 이 때문에 원방 후비 보호는 대부분의 경우 사용된다. 이상(異常)운전에 대해서는 전체적 견지에서 후비 보호가 일반적으로 시행되지 않는다.

4. 단락사고 발견방법

대부분의 보호계전기는 전력계

통의 전압 및 전류의 크기나 양자의 관계로 사고나 이상(異常)운전을 검출하므로 전압 및 전류의 대략의 경향을 알아 두는 것이 중요하다.

그림 4는 단락사고시의 전원 P, 사고점 F 및 중간점 S의 각상 전압과 각상 전류의 양상을 나타내는 것으로서, 사고점 저항과 부하 전류는 무시하고 있다. 전원 P에서는 각상 전압 $\dot{E}_{ap}, \dot{E}_{bp}, \dot{E}_{cp}$ 는 사고의 영향이 없고 상시의 상태와 같지만 사고점 F의 각상 전압 $\dot{V}_{af}, \dot{V}_{bf}, \dot{V}_{cf}$ 는 사고의 영향을 가장 많이 받는다.

사고점 각상 전압은 3상 단락 및 지락시는 각상 모두 0이다. bc상 2상 단락시는 건전상 전압 \dot{V}_{af} 는 사고전 전압 \dot{E}_{af} 와 다르지 않고 사고상 전압 $\dot{V}_{bf}, \dot{V}_{cf}$ 는 $\dot{E}_{af}/2$ 와 같으며 사고상간 전압이 0이 된다. 중간점 S의 전압은 전원 P와 사고점 F의 전압 중간적 상태에 있다.

사고전류는 3상 사고시는 그림과 같이 각상이 평행되게 흐르며 위상은 각상의 전원 전압에 대해서 90° 약으로 뒤진다. 전류가 전원 전압에 대해서 이와 같은 위상이 되는 것은 발전기, 변압기 및

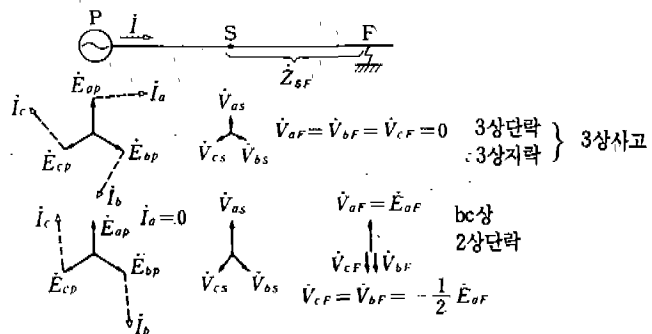
송전선의 임피던스가 전부 저항분이 작고 인덕턴스분이 큰 것이기 때문이다.

bc상 2상 단락시의 전류는 a상에는 흐르지 않고 bc상에 크기가 같고 위상이 반대인 전류로서 흐른다. $\dot{I}_b - \dot{I}_c$ 가 $\dot{E}_{bp} - \dot{E}_{cp}$ 에 대해서 약 90°의 뒤진 위상이 된다. 실제의 사고시 전류는 이상과 같은 사고전류에 건전시의 부하전류가 중첩된다. 통상적으로 단락전류는 부하전류에 비해서 충분히 크다.

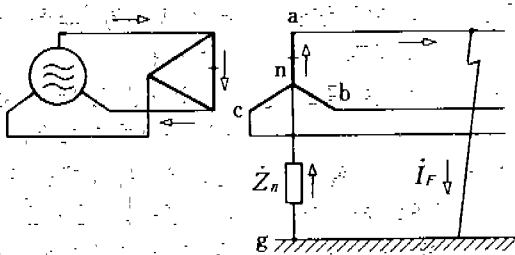
이상과 같이 단락 사고시에는 과대 전류가 흐르거나 전압이 강하하거나 하므로 이 현상으로부터 단락사고의 발생을 검출할 수 있다. 또한 전압과 전류의 위상관계로부터 사고점의 방향을 알 수가 있다. 중간점 S와 사고점 F간에 분기가 없고 이 사이의 임피던스를 \dot{Z}_{SF} 라고 하면 S점의 사고상간 전압의 사고상간 전류에 대한 비, 예를 들면 $(\dot{V}_b - \dot{V}_c)/(\dot{I}_b - \dot{I}_c)$ 은 \dot{Z}_{SF} 와 같으며, 이로부터 사고점까지의 거리를 알 수가 있다.

5. 지락사고 발견방법

지락사고시의 전압 전류현상은 사고 구간의 중성점 접지방식에



(그림 4) 단락사고시의 전압전류



(그림 5) 1상 지락

따라 크게 다르다. 고저항 접지계에서는 그림 5의 Z_n 이 고저항이고 1상-지락시에 그림과 같은 경로로 사고전류 I_F 가 흐른다.

계통의 다른 부분의 임피던스에 대해서는 Z_n 의 임피던스가 극심하게 크기 때문에 변압기 각상의 대중성점(對中性點) (n점) 전압이 거의 변화하지 않고 그림 6의 \dot{V}_{an} , \dot{V}_{bn} , \dot{V}_{cn} 와 같이 정상시의 값을 유지한다. 사고점 저항을 무시하면 a상 전위와 대지(g)의 전위가 거의 같고 사고상 대지전압 \dot{V}_a 는 0이 된다. 건전상 대지전압 \dot{V}_b , \dot{V}_c 는 상간 전압과 같으며 정상시 값의 $\sqrt{3}$ 배로 상승한다.

사고전류 I_F 의 크기는 일반적으로 부하전류보다 작다. 또, I_F 의 전압 \dot{V}_{an} 에 대한 위상각은 중성점 접지 임피던스 Z_n 의 각도로 정해지며 Z_n 이 저항기일 때는 동위상

이 된다. 1상 지락사고의 발생을 상전류를 사용해서 검출하는 것은 곤란한 일이 많으며, 일반적으로는 영상전류를 사용해서 검출한다.

영상전류 및 영상전압은 다음 식과 같이 각상 전류 또는 각상 전압의 합의 1/3로서, 1상 및 2상 지락 사고시에 생긴다.

영상전류

$$\dot{I}_0 = 1/3(\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c) \dots\dots(1)$$

영상전압

$$\dot{V}_0 = 1/3(\dot{V}_a + \dot{V}_b + \dot{V}_c) \dots\dots(2)$$

부하전류에는 통상 영상전류가 포함되지 않고 정상시의 \dot{I}_0 는 대단히 작으며, 사고시에는 $\dot{I}_0 = \dot{I}_F/3$ 이 되므로 \dot{I}_0 를 사용해서 지락사고를 검출할 수 있다. 전압에 의한 지락사고의 검출은 사고 대지 전압의 강하를 사용하여도 가능하지만 일반적으로 영상전압 \dot{V}_0 이

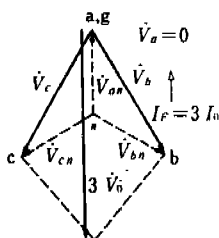
사용된다. 정상시는 $\dot{V}_0=0$ 이고 지락 사고시에는 그림 6과 같이 사고상 전압과 역위상의 \dot{V}_0 를 발생한다. \dot{V}_0 과 \dot{I}_0 의 위상관계에서 (Z_n 으로 정해진다) 사고점의 방향을 알 수가 있다.

지락 사고시의 사고전류는 전원이 없는 단자라도 중성점 접지가 있으면 흐른다. 그림 7은 이 현상을 나타내는 설명도인데, 한 쪽은 전원이 있지만 비접지이고, 다른 쪽은 접지가 있지만 전원이 없는 경우이다.

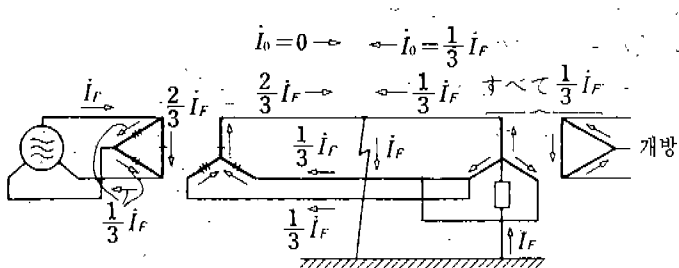
사고전류 I_F 는 사고점으로부터 접지끝의 중성점으로 흐르는데, $I_F/3$ 씩 각상에 분류한다. $I_F/3$ 이 Δ 권선을 환류하기 때문에 이와 같은 분류가 가능해진다.

건전상의 각 $I_F/3$ 이 전원끝에서 사고상에 들어가고 전원끝에서 2 $I_F/3$ 이 사고점에 유입한다. 영상전류는 중성점 접지를 전원으로 흐른다. 전원이 있어도 중성점 접지가 없으면 영상전류는 흐르지 않는다. 그리고 건전상에도 사고전류가 흐른다.

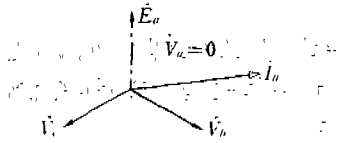
비접지계에서는 그림 5의 Z_n 을 무한대로 생각할 수 있고 전압현상은 그림 6과 동일해진다. 사고전류는 선로의 대지 정전용량을 통해서 흐르며 사고상의 상시전압



(그림 6) 고저항 접지계 a상 1상 지락시의 전압전류



(그림 7) 1상 지락시의 사고전류의 분류



〈그림 8〉 직접접지형 a상 1상 지락시의 사고점 전압전류

에 대해서 앞선 위상이다. 또 계 전기용에 접지변압기가 사용되고 있을 때는 이 변압기를 통해서도 흐른다. 이 전류는 접지용 변압기의 2차 부담으로 크기와 위상이 정해지며 통상적으로는 사고상 상시전압과 거의 동위상이다. 비접

지도 이들 전류로 사고점의 방향을 식별할 수 있다.

직접접지계에서는 그림 5의 Z_0 이 0이고 사고상(事故相)전류 I_a 는 그림 8과 같이 사고상 상시전압 $E_a(I)$ 에 대해서 약 90° 의 뒤진 위생이며 또한 단락사고와 동일한 큰 값이 된다. 한편 전전상 대지전압 V_b, V_c 의 변화가 적고 또 V_0 도 작다.

V_0 은 다른 접지방식과 달리 사고점에서 떨어지는 데 따라 급속히 작아진다. 각상 전류 및 각상 전압을 이용한 사고발생의 검출, 사고점 방향의 판별 및 사고점까

지의 거리 식별이 단락사고시와 동일하게 가능하다. 또한 I_0 을 사용한 사고의 검출 및 방향의 판별도 이루어진다.

이상은 1상 지락시에 대해서인데, 2상 지락시의 현상은 사고상간에 한하면 동일하다. 따라서 통상적으로는 단락보호용 계전기가 2상 지락사고를 담당하고 지락보호용 계전기는 1상 지락사고를 담당한다. 또한 2상 지락시도 영상 전압 전류를 발생한다.

〈다음호에 계속...〉

지구의 나이는 어떻게 측정하나?

천문학자들은 지구의 나이를 알기 위해 관측과 추론을 병행한다. 우주가 부풀어 오르는 팽창처럼 팽창한다는 것과 따라서 먼 곳이 가까운 곳보다 더 빨리 멀어진다는 것은 이미 알려져 있다. 팽창이 빠를수록 우주가 현재의 크기에 이르는 데 시간이 적게 걸린 것이다. 따라서 팽창 속도를 측정하면 우주의 나이를 알 수 있다.

적색 편위(偏位) : 팽창률을 측정하기 위해 천문학자들은 우선 동떨어진 곳의 은하가 멀어지는 속도를 계산한다. 그것은 은하가 방출하는 광선의 색깔을 측정함으로써 알아낼 수 있다. 그 광선 스펙트럼은 식료품 바 코드 같은 모양을 이룬다. 천문학자들은 그 막대의 위치를 기지(既知)의 스펙트럼의 것과 비교한다. 그 막대가 이동한 정도를 적색편위라 부른다. 그와 같은 편위는 은하의 퇴행(退行)으로 일어난다. 앵블런스가 멀어질수록 사이렌소리가 잦아드는 것처럼 지구로부터 멀어지는 은하가 내뿜는 광선도 변하는 것이다. 적색 편위의 정도는 멀어지는 속도와 직접적인 관계가 있다.

거 리 : 그 다음에는 은하와의 거리를 측정한다. 망원경으로 케페이드라 불리는 진동하는 별의 외견상 밝기를 측정한다 다음 그것을 케페이드의 실제 밝기와 비교한다. 케페이드의 진동빈도와 그 밝기 사이에는 밀접한 관계가 있기 때문이다. 실제 밝기와 외견상의 밝기를 비교하면 거리가 산출된다.

측 정 : 마지막으로 일정한 거리에서 멀어지는 비율을 계산한다. 이것이 거리 단위당 속도로 표현된 허블 상수(H_0)다. H_0 은 우주의 나이를 산출하기 위한 공식에 대입된다. H_0 가 높을수록(10월말의 조사에서는 80정도로 계산됨) 우주의 나이가 젊은 것이다.