

산업공장의 전력계통분석

洪 淳 庚

한국전력기술(주) 기술고문

→ 외·역 → → → → → → → → → → → → → → → →

↑ 전력계통의 분석은 첫번째로 특수조건하에 ↓
 ↑ 서 기존 또는 계획된 전력계통의 성능을 예측 ↓
 ↑ 하거나 개선하는데 사용되는 기술로서, 이 기 ↓
 ↑ 술을 산업체의 전력계통에 적용할 때 안정성, ↓
 ↑ 신뢰성, 고품질의 전력 그리고 초기투자과 운 ↓
 ↑ 전비의 절감과 같은 전력계통 설계의 목적을 ↓
 ↑ 달성하는데 크게 공헌하게 된다. ↓

↑ 산업체의 전력계통 분석은 주로 단락사고, ↓
 ↑ 보호설비의 협조, 전력조류, 전동기의 기동, ↓
 ↑ 접지, 과도적 과전압, 역률개선, 기타의 설계 ↓
 ↑ 등을 위한 계산이 포함된다. 전력계통 분석은 ↓
 ↑ 전력계통을 신설 또는 개조할 때는 물론이고 ↓
 ↑ 기존시설의 부하나 용량이 현저하게 변경되었 ↓
 ↑ 을 때 또는 기존시설의 고장을 진단할 때에 ↓
 ↑ 반드시 실행되어야 한다. ↓

← ← ← ← ← ← ← ← ← ← ← ← ← ← ← ←

1. 서 론

전력회사에서는 발전 및 송배전시설의 성능을 예측하고 개선하기 위하여 오래전부터 전력계통

의 분석 및 진단의 기술을 사용해 오고 있으나 최근까지도 산업공장에서는 이 기술의 적용이 전력회사에 비해 뒤떨어져 있는 실정이다. 그러나 일반산업체의 전력계통도 그 규모가 커지고 또한 복잡화, 자동화함에 따라 전력계통 분석의 필요성이 점점 증가하고 있으며 또한 고장정전으로 인한 공장가동의 정지가 막대한 피해를 주고 있는 실정에서 이 연구로 인한 이득이 크다는 것을 인식하기 시작하고 있다.

최근에 정유공장, 종합화학공장, 제지공장 등에서는 전력계통의 고장진단 및 보호계전기 보호협조를 한국전력기술주식회사에 의뢰하여 공장의 전력계통을 분석 검토한 바 있으며 진단결과 기존공장의 전력계통에 많은 문제점이 있음을 발견하고 이의 해결책을 제시하여 공장운영에 많은 도움을 준 사례도 있다.

전력계통 분석은 보통 3상 60Hz 교류회로에 적용되는 기본법칙을 기본으로 한 기술이며 이 기술은 새로운 계통의 설계나 설계변경 또는 기존계통의 고장진단을 돕기 위하여 특수조건하에서 전력계통의 성능을 계산하는데 용이한 방법

제공하고 있다.

전력계통 분석의 주목적은 그 계통의 설계에 있어 다음의 목표를 달성하기 위한 것이다.

- ① 안전성
- ② 신뢰성
- ③ 고품질의 전력
- ④ 운전 및 보수의 용이성
- ⑤ 용이하고 저렴한 확장
- ⑥ 최소의 초기투자 및 운전비

여기서는 어떠한 전력계통 분석의 기술이 산업공장의 전력계통에 사용되는지 그리고 이 기술이 어떻게 전력계통의 목적을 달성하는데 도움을 주는지를 설명하고자 한다.

2. 전력계통 분석

다음은 산업공장의 전력계통 분석에 있어서 가장 보편적으로 적용되는 종류에 대하여 간단하게 기술하기로 한다.

가. 단락회로 검토

단락회로 검토는 전력계통의 한 곳 또는 여러 곳에서 특별한 상황하에서 가능한 단락전류를 계산하는 것이다. 가장 공통적인 단락회로 검토는 사고지점에서 3상단락전류를 사고저항이 없는 완전한 사고(Bolted Fault)를 가정하여 계산하는 것으로 이는 3상단락전류가 다른 사고전류보다 가장 크기 때문이다. 그러나 때로는 완전 1상지락 사고도 검토되어야 한다. 1상지락전류가 $\Delta-Y$ 변압기 또는 발전기 중성점의 직접접지계통에서 공급될 경우에는 3상단락전류보다 높을 때도 있기 때문이다.

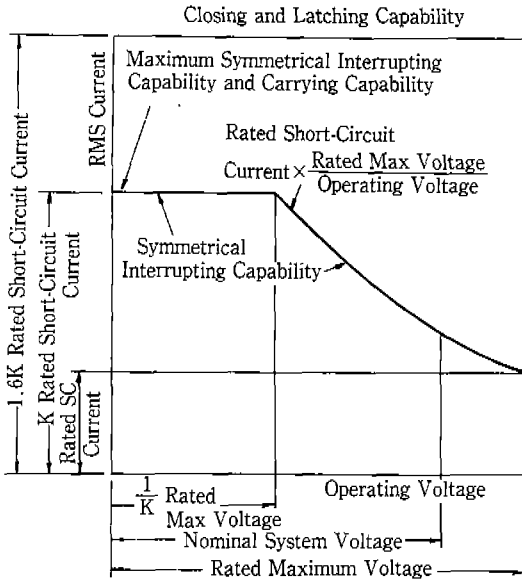
모든 단락회로 계산은 3상계통을 등가회로(Equivalent Network)로 변형하여 시행한다.

3상단락사고를 계산할 때는 3상회로 각상의 대

지에 대한 임피던스(Impedance)가 같기 때문에 단상계통과 유사하게 취급할 수 있으므로 3상단락회로를 등가회로로 변형하는 것은 매우 간단하다. 그러나 접지단락 또는 선간단락과 같은 불균형사고전류를 계산할 때는 정상, 역상, 영상과 같은 대칭성분의 이론을 3상회로에 적용하여야 한다. 이 대칭성분의 결선은 단락사고의 종류에 따라서 달라지게 된다. 예를 들면 1상지락사고는 정상, 역상, 영상회로가 사고지점에서 볼 때 유효하게 직렬로 연결되게끔 등가회로를 작성하게 된다.

보통 산업체의 전력계통 분석에서는 사고조건하에서 계통의 성능을 명확히 입증하기 위하여 최소한 두 종류의 단락회로가 검토되어야 한다. Interrupting Reactance 및 Momentary Reactance에 의한 3상단락전류를 계산하여 Medium Voltage 또는 High Voltage 차단기의 Rated Short-Circuit Current와 Maximum Symmetrical Interrupting Capability와 비교하여 충분한 여유를 보유하고 있는지를 검토하며 저압차단기 또는 퓨즈의 Interrupting Capability와도 수락할 수 있는 정도로 만족한 여유가 있는지를 검토하여야 한다. 그림 1에 차단기의 Rated Short-Circuit Current, Maximum Symmetrical Interrupting Capability, Closing and Latching Capability의 관계를 표시하였다.

단상접지단락 검토도 직접접지계통에서는 반드시 이행되어야 한다. 계통이 실제의 임피던스를 통하여 접지되어 있을 때는 접지단락전류는 접지 임피던스에 의하여 정해지며 상대적으로 낮은 전류로 제한된다. 그러나 중성점이 직접접지된 계통에서는 접지사고전류는 같은 장소에서의 3상단락전류에 상당히 근접하고 있으며 이는 오직 케이블, 변압기 그리고 계통내의 기기의 정상, 역상, 영상 임피던스에 의하여 제한된다. 접지사고전류의 검토는 통상 접지계통의 정정형조에 사용된다. 역사적으로 단락전류계산은 처음에는 수계산



<그림 1> Relation of Symmetrical Interrupting Capability, Closing Capability, Latching Capability, and Carrying Capability to Rated Short-Circuit Current

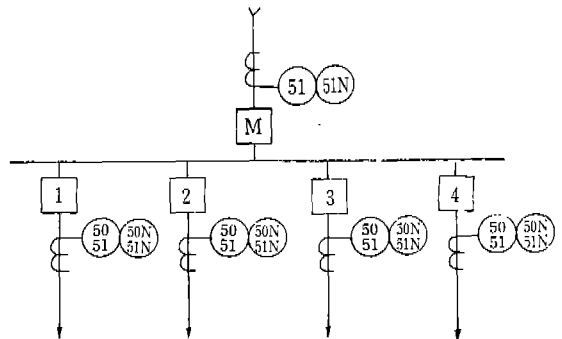
(Hand Calculation)으로 시작이 되었으나 계통이 커지고 복잡해짐에 따라 수계산으로는 너무 시간이 많이 소비되고 오차도 많아지게 되었다. 그 해결책으로 DC Board를 개발하여 사용하였으며 현재에는 Computer Programs이 발달하여 적고 간단한 계통을 제외하고는 대부분 PC를 이용하여 단락전류계산을 하고 있는 실정이다. 단락회로의 검토 또는 이와 같은 검토의 산업체 전력계통에의 적용을 위하여 필요로 하는 자료를 3 및 4장에 기술하기로 한다.

나. 보호설비의 협조검토

보호설비의 협조검토는 보호계전기, 퓨즈, 과전류차단기기 등의 특성 및 정정(Setting)을 정하기 위하여 이행하게 된다. 이는 전력계통의 보호와 부하(Load)에 대한 신뢰성을 위해 최적의 합의점을 찾는 데 있으며 원래 이 두 목적은 서로 상반

관계에 있다. 전력공급에 있어서 최대의 신뢰성은 전력계통에서 일어나는 어떠한 사고라도 그 사고를 제거하는 동안 최소의 계통부하만을 차단하게끔 보호설비를 선택하고 정정함으로써 이루어진다. 예를 들어 그림 2를 보면 Feeder 1에서의 사고는 Feeder 차단기만 차단함으로써 제거되어야 하며, 이때 Main 차단기가 차단되어서는 안된다. Main 차단기가 차단되면 Feeder 2, 3, 4로부터 부하를 불필요하게 차단하게 된다. Main 차단기의 과전류계전기(상과전류계전기, 51, 접지과전류계전기, 51N)는 Feeder의 사고를 Main 차단기의 차단없이 Feeder 차단기만으로 차단하기 위하여 Feeder 차단기의 과전류계전기(상과전류계전기, 50 및 51, 접지과전류계전기, 50N 및 51N)보다는 계전기의 동작치 및 지연시간을 높게 정정하여야 한다. 이와 같은 구성은 Feeder 및 Main 차단기의 선택운전(Selective Operation) 및 최대의 신뢰성있는 전력공급을 이루게 한다. 이는 한편 Switchgear의 보호에 있어 피할 수 없는 회생을 포함시킨다.

Switchgear내에서의 단락사고는 Main 차단기의 계전기의 지연시간이 지난 후에만 차단하게 되며 이 시간지연은 모든 차단기가 사고 검출 즉시 동시에 차단되는 것보다는 선택적 계통



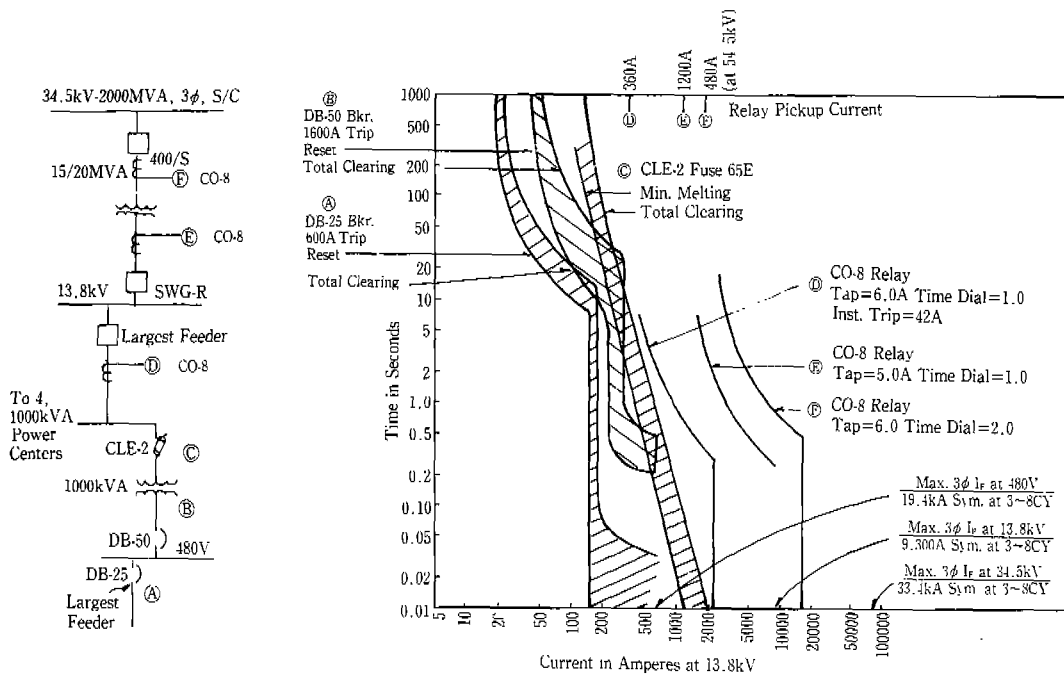
<그림 2> Protective Relaying of Typical Medium-Voltage Industrial Substation Switchgear.

(Selective System)에서는 길게 정정할 것이 요구된다. 선택적 협조계통(Selective Coordinated System)에서는 Switchgear가 손상되는 모험은 감수해야 하며 이와 같은 상황은 전력계통 보호 업무에서는 매우 보편적인 일로서 서로 상반되는 목적의 중요성을 기술적으로 판정하기 위해서는 많은 경험과 훈련이 요구되고 있다. 대부분의 보호설비 협조검토는 여러 보호설비의 전류와 동작 시간의 특성을 비교검토하여 이를 표준대수곡선도면(Standard Logarithmic Curve Sheets)에 그려 넣음으로써 이루어진다. 그림 3은 산업공장의 전력계통을 위한 보호협조의 한 예를 표시한 것이다.

과전류보호기기의 특성 및 정정은 어느 계통의 사고라도 사고회로망을 차단하게끔 선택되어 있다. 예를 들면 13.8kV 케이블상의 사고는 보호계전기 "D"의 순시차단요소가 동작함으로써 Main 차단기 "E"의 과전류계전기가 시간지연동작을 하

기 전에 13.8kV Feeder 차단기를 차단하게 된다. 따라서 Main 차단기는 Close 상태로 유지되며 기타의 13.8kV Feeders(도면에는 표시 안됨)에는 계속 전력을 공급하게 된다. 그림 3에서 보는 바와 같이 크고 복잡한 계통을 위한 보호협조도면을 손으로 작성하는 것은 매우 힘들고 시간이 많이 소모되는 일이다. 더욱이 복잡한 Closed-Loop나 Network 계통은 다수의 사고전류가 흐를 위험성이 많고 고려하여야 할 계통협조의 변화 등으로 인하여 손으로 보호협조를 작성하는 것은 거의 불가능하다. 이러한 어려움을 해결하기 위하여 전력퓨즈 및 보호계전기의 Computer Programs이 개발되어 있으며 이 Program은 단락회로 검토와 Program 속에 들어 있는 보호설비협조의 원칙을 기본으로 보호계전기 종류, 정정치, 퓨즈정격, 기기동작시간 및 관계되는 Data를 계산하고 있다.

보호협조도를 작성할 때 보호설비의 정확한 연



<그림 3> Time-Current Coordination Curves for Typical Industrial Power-Distribution System

속동작을 보증하기 위하여 여러 보호설비의 동작 특정곡선 사이에 확실한 시간간격을 유지하여야 한다.

이 시간간격은 계전기의 Overtravel 및 퓨즈의 용해특성과 차단기의 동작시간 때문에 요구되는 것으로 때로는 이 시간간격을 시간여유(Margins)라고도 부른다. 과전류계전기를 협조할 때는 협조시간간격 즉 CTI(Coordination Time Interval)는 통상 0.3~0.4초로 정한다. 이 간격에는 다음의 요소가 포함된다.

- 차단기동작시간 : 0.08초(5사이클)
- 계전기 Overtravel : 0.1초
- 안전율 : 0.12~0.22초

변압기 보호를 위한 보호설비는 ANSI Point와 Inrush Point와의 협조를 반드시 고려하여야 한다. Inrush Point는 보통 0.1초에서 변압기 전격 전류의 8~12배의 Inrush 전류치로 표시한 점이며, ANSI Point는 변압기 외부에서 일어난 단락 사고로 인해 발생하는 변압기의 기계적 및 열에 의한 응력에 견딜 수 있는 능력을 시간과 전류의 크기로 표시한 점이다. ANSI Point는 변압기의 유입식 또는 건식(Dry Type) 형식에 따라 다르며 또한 변압기용량에 따라서 계산방법이 상이하다. ANSI/IEEE C57. 12.00 및 C57. 12. 01에는 변압기를 다음과 같이 분류하고 있다.

● 유입변압기

Category	Single-Phase (kVA)	Three-Phase (kVA)
I	5~500	15~500
II	501~1,667	501~5,000
III	1,668~10,000	5,001~30,000
IV	Above 10,000	Above 30,000

● 건식변압기

Category	Single-Phase (kVA)	Three-Phase (kVA)
I	1~500	15~500
II	501~1,667	501~5,000
III	1,668~10,000	5,001~30,000

단락회로전류가 흐르는 시간은 유입변압기에서 Category I에서는

$$t = \frac{1250}{I_{sc}^2}$$

Categories II, III 및 IV에서는 2초로 제한하고

있다.

건식변압기에서는 Categories I, II 및 III 모두 2초로 제한하고 있다. 단락회로전류의 크기는 유입변압기에서는 Categories I, II에서는 변압기 임피던스만 사용해서 계산하고 Categories III, IV에서는 계통의 임피던스도 포함해서 계산한다. 즉

$$I_{sc} = \frac{I_R}{Z_T + Z_S}$$

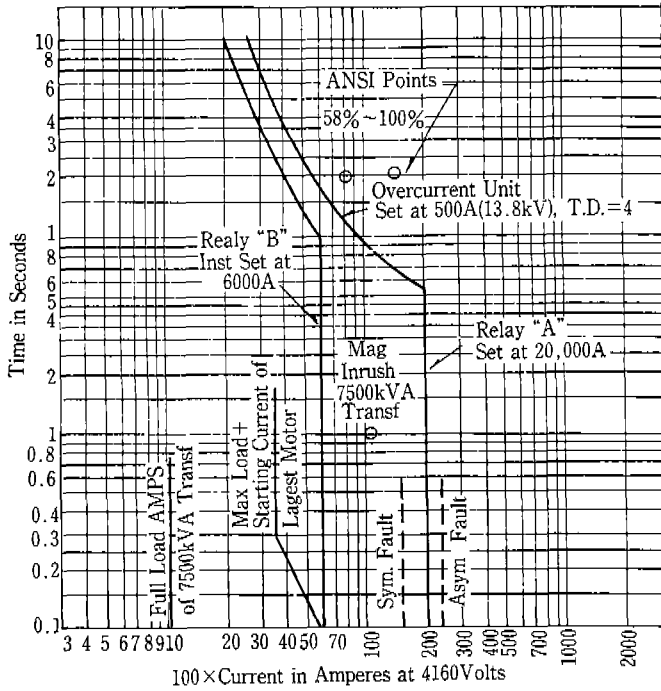
건식변압기의 경우는 Category I에서는 변압기 임피던스만 사용해서 계산하고 Categories II와 III에서는 계통의 임피던스를 포함해서 계산하여야 하나 변압기정격전류의 25배를 추가해서는 안 되도록 제한을 하고 있다.

△-Y 결선의 변압기에서는 2차측의 1선지락 사고가 발생하면 1차측에 흐르는 지락사고전류는 2차측의 사고전류의 58%로 전류 크기가 감소한다. 따라서 ANSI Point는 시간은 변동없이 크기만 100% 전류점에서 58% 전류점으로 이동시켜야 한다. 변압기의 보호설비의 동작곡선은 위에서 기술한 ANSI Point와 Inrush Point 사이에 들어갈 수 있도록 선택하고 협조되어야 한다.

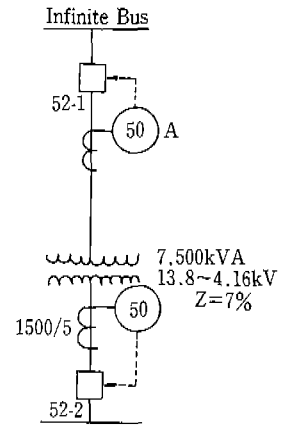
변압기보호설비로 전력 퓨즈를 사용할 때는 퓨즈의 Total Clearing 특성곡선과 ANSI Point가 협조되어야 하며 또한 퓨즈의 Minimum Melting 특성곡선과 Inrush Point가 협조되어야 한다. 그림 4에는 변압기보호용 과전류계전기와 ANSI Point 및 Inrush Point의 예를 표시하였다.

다. 전력조류(Load Flow) 검토

전력조류 검토는 전압, 전압위상각, 유효 및 무효전력, 전선 및 변압기에 흐르는 전력조류와 기타 전력계통을 위한 Data를 계산하는 것이다. 그러나 주목적은 전압강하 및 전압변동률을 계산하는 것에 있다고 할 수 있다.



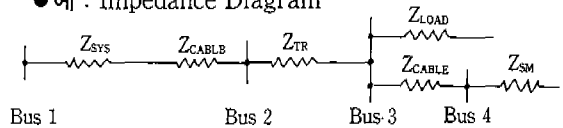
<그림 4> 100×Current in Amperes at 4160Volts



전압강하 및 전압변동을 계산은 일반적으로 간단하게 Ohm's 법칙을 적용하여 행해진다. 첫번째는 여러 부하조건하에서의 전류를 계산하고 이 전류에 케이블이나 변압기 임피던스를 곱하여 전압강하를 계산하는 아주 근본적인 방법으로 널리 사용되어 왔다.

두번째는 회로의 퍼센트 또는 Per Unit의 임피던스 비율을 기초로 하여 계산하는 방법이다. 이는 상이한 회로의 임피던스 비율이 전압의 크기를 결정한다는 것을 이용하는 방법으로 전압을 구하고자 하는 모선(Bus)의 등가임피던스(Equivalent Impedance)와 회로전체의 임피던스와의 비율로서 전압을 구하는 방법이다. Radial 계통에서는 타당한 정밀성이 있는 계산방법이라 할 수 있으며 일반적으로 산업공장의 전력계통은 Radial 계통이기 때문에 이 방법을 효율적으로 사용할 수 있다.

● 예 : Impedance Diagram



- Z_{SYS} ; System Impedance
 - Z_{CABLE} ; Feeder Cable Impedance
 - Z_{TR} ; Transformer Impedance
 - Z_{LOAD} ; Running Load Impedance
 - Z_{SM} ; Starting Motor Impedance
- Bus 3의 Load Equivalent Impedance

$$Z_{EQ} = \frac{Z_{LOAD} \times (Z_{CABLE} + Z_{SM})}{Z_{LOAD} + (Z_{CABLE} + Z_{SM})}$$

Total Impedance

$$Z_{TOTAL} = Z_{SYS} + Z_{CABLE} + Z_{TR} + Z_{EQ}$$

Bus 3에서의 임피던스 비율

$$V_{BUS} = \frac{Z_{EQ}}{Z_{TOTAL}} \text{ Per Unit}$$

만일 이 임피던스비율이 0.85 Per Unit라고 가

정한다면 모선 3의 전격전압이 480V일 때

$$480V \times 0.85 = 408V$$

이는 모선 3에 연결된 한 전동기가 기동할 때 모선 3의 전압은 408V로 강하함을 나타낸다.

그러나 이는 매우 간단한 예로서 실제로는 계통이 더욱 복잡해지고 운전조건이 제한적으로 변함에 따라 위에서 기술한 방법으로는 전압강하를 계산하기가 매우 어렵게 되었다. 오늘날에는 산업공장의 전력계통도 복잡해지고 있으며 또한 운전조건 및 전압제한도 점점 까다로워지고 중요시되어 가고 있다. 따라서 여러 운전상태에서의 요구를 입증하기 위하여 컴퓨터를 사용한 전력조류(Load Flow) 검토가 필요하게 되었으며 이 방법이 전압강하 검토에서는 가장 정확한 방법이라고 말할 수 있다. 산업공장에서는 어떠한 조건하에서도 전력계통의 여러 모선이 유지하여야 할 적합한 전압은 공장 운전을 위한 중요한 요소로 인식되어야 하며 전력조류 검토는 다음의 운전조건을 위한 안전한 전압을 계산하여야 한다.

- ① 전부하운전(Running Motor 포함)
- ② 전부하운전(Starting Motor 포함)
- ③ 최저부하운전
- ④ 기동(Start-up)운전

이 전력조류 검토는 변압기의 자동부하탭 전환기(Automatic Load Tap Changer)를 전압조정모선이 요구하는 전압으로 유지하기 위하여 자동으로 Tap Setting을 선택한다. 실제로 상시부하상태는 물론 부하의 증감이 있을 때에도 계통의 정상상태일 때의 성능을 보여주고 있으며 전압의 변화 역률 및 계통의 계획된 부하증가로 인한 기존계통의 선로나 변압기의 부하부담 또는 계통변경에 따르는 여유 등을 정확히 예측할 수 있게 한다. 완전히 새로 설계되는 계통의 성능을 계획단계에서 예측할 수 있으며 여러 종류의 계통구성, 역률개선을 위한 축전기(Capacitor Bank)의 위치 및 크기 등등을 결정할 수 있다. 또한 계통

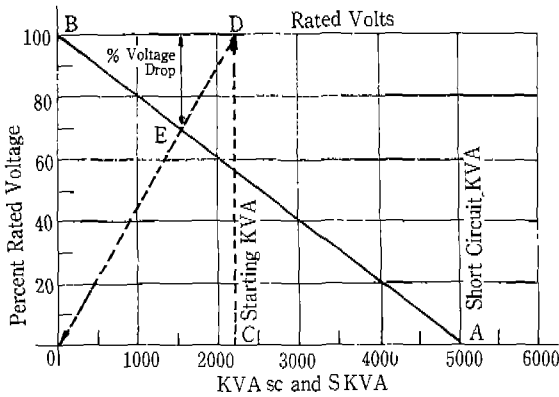
에 연결되어 있는 큰 용량의 전동기가 기동할 때 여러 모선 및 기동전동기 단자에서의 전압강하도 이 전력조류 검토시 동시에 계산된다. 평상운전시에 용납할 수 있는 전압의 한계치는 보통 전동기의 정격전압의 $\pm 10\%$ 이며 전동기 기동시 전동기의 단자전압은 전동기 정격전압의 80%를 요구하고 있다.

라. 전동기 기동시의 전압 검토

비교적 약한 전력계통에 연결되어 있는 큰 용량의 전동기를 기동할 때는 심한 전압강하가 일어나게 된다. 이는 전동기의 기동전류는 전격전류의 8배까지도 올라갈 수 있으며 또한 기동역률은 대략 20%로 내려가기 때문이다.

큰 용량의 전동기를 기동할 때에는 공장의 운전에 영향을 미치는 중요한 기기에서 전압이 위협한 한계까지 강하하는지 또한 부하를 가속하기 위한 적절한 Torque를 얻을 만큼 충분한 전압을 전동기 단자에서 이용할 수 있는지 알기 위해 전압을 계산하고 검토하여야 한다. 종래에는 전동기 기동시의 전압강하계산도 수계산(Hand Calculation)으로 계산하여 왔는데 앞에서 설명한 임피던스비율방법 또는 Graphic 방법 등이 그 예이다. Graphic 방법에 의해 전압강하를 계산하는 방법을 아래 그림 5에 표시하였다.

그러나 이러한 방법들은 전력계통이 간단하고 적을 경우에만 사용할 수 있는 방법이다. 오늘날에는 일반산업공장에서도 계통이 복잡해지고 커져서 계산하는데 많은 시간을 요하고 또한 착오도 많아졌으므로 앞에서 기술한 것 같이 전력조류 검토 Program에 포함시켜서 컴퓨터를 이용하여 계산하고 있는 실정이다. 컴퓨터로 계산하면 용량이 큰 전동기의 기동전, 기동시, 기동후의 모든 계통의 모선의 전압상태를 쉽고도 단시간내에 계산할 수 있어 전압강하의 상태를 비교 검토하



<그림 5> Graphic Method for Determining Voltage Drop.

는데 많은 도움이 되고 있다.

다음 표에 컴퓨터 Program을 이용하여 전력조류 검토에 의한 전압강하를 계산결과를 한 예로 표시하였다.

마. 과도적과전압 및 계통접지 검토

대개 전력계통은 크고 작은 차이는 있으나 늘 과도적과전압 상태에 노출되어 있다. 배전기기는 정상시의 운전상태에서 일어나는 과전압에 견딜 수 있도록 설계되어 있기 때문에 이 과도적인 전압서지(Voltage Surges)가 가끔 문제를 일으키고 있다. 산업공장의 전력계통은 보통 옥내에 설치되어 있으며 또 전선회로도 지중에 매설되어 있으므로 낙뢰에는 노출되지 않는다. 결과적으로 산업계통의 엔지니어들은 전력회사의 엔지니어들과 같이 과전압의 원인 및 효과에 대하여 가끔 관심을 적게 가지는 것으로 생각된다. 과도적과전압의 주요원인은 다음과 같다.

- (a) Lightning Strokes on or Near Exposed Equipment
- (b) Switching and Fault Interruption
- (c) Arcing Fault, Especially Ground Fault
- (d) Harmonic Resonances and Ferroresonance

이와 같이 과도적과 전압상태는 낙뢰(Lighting Stroke) 외에도 Switching Surge나 Arcing 사고로 인하여 일어나는 경우가 많기 때문에 산업공장 설계 및 운영에 있어서는 필수적으로 검토하여야 한다. 어떠한 특별한 경우에는 과전압검토를 위해 계통중성점 접지의 효과를 조사할 때도 있다.

계통의 중성점이 적절하게 접지되어 있으면 비접지계통과 비교할 때 과도적과전압의 확률이 많이 감소된다. 다시 말하면 적절히 접지된 계통은 Arcing 접지사고로 인한 과도적과전압을 방지할 수 있다.

과전압검토의 결과는 Surge 보호 및 접지방법 등을 위한 연구에 사용되며 수전단에서 피뢰기 설치의 필요성 및 설치장소 등을 검토하고 또한 고압전동기단자에 Surge Capacitor의 설치 및 저압 Load Center 변압기에 피뢰기 설치 등의 필요성은 이 과도적과전압 검토를 통하여 연구되고 확인되어야 한다.

3. 전력계통연구를 위한 필요한 정보

전력계통연구를 수행하기 위하여 필요한 Data를 Table 1에 요약하였다. 계통분석의 종류에 따라 사용되는 여러 종류의 컴퓨터 프로그램이 요구하는 상세한 Data는 약간씩 차이는 있으나 대부분의 경우에 요구되는 Data를 표시하였다.

산업체의 전력계통을 설계하고 변경하며 또한 진단하는데 도움을 주는 보통 수행하여야 할 검토항목을 Table 2에 요약하였다.

< TABLE 1 >

- (1) 단락회로 검토
 - (a) 단선도(Single Line Diagram)
 - (b) 전력회사 계통으로부터의 단락전류 및 X/R 비율
 - (c) 모든 변압기의 임피던스, 전압비, MVA 정격, 권선의 결선 및 중성점의 접지방법

●Results●

Bus	Name	Real	Reactive	Voltage	Angle	Motor--V
1	220kV SYS 2 TO BUS 2 GENERATE	** SWING 0.4252 0.4252	BUS ** 0.3127 0.3127	1.0520	0.00	
2	13.2kV BUS 00A03B P+JQ LOAD TO BUS 1 TO BUS 3 TO BUS 23 TO BUS 24	1.0140 0.2743 -0.4217 0.1225 0.0089 0.0159	-0.1994 0.1226 -0.1985 0.0699 0.0056 0.0004	1.0334	-11.12	1.0334
3	4.16kV CL-1E BUSES P+JQ LOAD TO BUS 3 TO BUS 4 TO BUS 5 TO BUS 6 TO BUS 7 TO BUS 9 TO BUS 10 TO BUS 13	0.9941 0.0924 -0.1213 0.0038 0.0039 0.0025 0.0031 0.0034 0.0031 0.0058	-0.2441 0.0448 -0.0619 0.0023 0.0024 0.0015 0.0019 0.0022 0.0017 0.0032	1.0236	-13.80	1.0646
4	480V LC 20B12 P+JQ LOAD TO BUS 3 TO BUS 11 TO BUS 25	0.9785 0.0017 -0.0038 0.0009 0.0011	-0.2709 0.0010 -0.0021 0.0006 0.0006	1.0153	-15.48	1.0594
5	480V LC 20B13 P+JQ LOAD TO BUS 3 TO BUS 18	0.9776 0.0032 -0.0038 0.0007	-0.2711 0.0017 0.0022 0.0005	1.0145	-15.50	1.0586
6	480V LC 30B10 P+JQ LOAD TO BUS 3	0.9933 0.0025 -0.0025	-0.2638 0.0014 -0.0014	1.0277	-14.88	1.0724
7	480V LC 30B11 P+JQ LOAD TO BUS 3	0.9866 0.0030 -0.0030	-0.2666 0.0018 -0.0018	1.0220	-15.12	1.0664
8	480V LC 20B11 P+JQ LOAD TO BUS 3 TO BUS 17	0.9843 0.0025 -0.0032 0.0007	-0.2670 0.0015 -0.0019 0.0004	1.0198	-15.18	1.0642
9	480V LC 30B13 P+JQ LOAD TO BUS 3	0.9819 0.0034 -0.0034	-0.2683 0.0020 -0.0020	1.0179	-15.28	1.0622
10	480V LC 30B12 P+JQ LOAD TO BUS 3	0.9878 0.0031 -0.0031	-0.2681 0.0016 -0.0016	1.0236	-15.19	1.0681
11	480V MCC 00B55 P+JQ LOAD TO BUS 4 TO BUS 12	0.9544 0.0006 -0.0009 0.0003	-0.2731 0.0004 -0.0006 0.0001	0.9927	-15.97	1.0358

- (d) 전류제한 Reactor의 Ohmic Reactance
 - (e) 모든 유도전동기 및 동기전동기의 특성, 2,400V 및 이상의 Medium-Voltage 전동기의 Data에는 전부하전류, 전압, 속도, Reactance치가 포함되어야 한다. 저압전동기는 모두 합하여 한개의 기기로 취급하고 동기 Reactance치를 가정하여 사용한다.
 - (f) 모든 발전기의 MVA, 정격전압, 중성점의 접지방식, 속도 및 Subtransient Reactance
 - (g) 모든 케이블의 Type, 굵기, 도체수 및 길이
 - (h) 차단기의 평상운전시의 개폐(Open or Close) 표시
- (2) 차단기용량 검토
- (a) 단선도
 - (b) 3상단락전류 및 1선지락전류 계산결과
 - (c) 모든 차단기의 단락전류정격, Closing 및 Latching 정격 및 차단시간
- (3) 전력조류검토
- (a) 단선도
 - (b) 모든 변압기의 MVA 정격, 임피던스, 전압비, 이용 가능한 Taps, 현재의 전압 Tap치, 부하 Tap 변환변압기의 표시
 - (c) 모든 모선에서의 전동기부하, 기타 부하(Static Type Load) 및 역할
 - (d) 기동전동기의 정격, 기동역률, 기동전류
 - (e) 모든 모선의 정격전압
 - (f) 발전기의 정격 MW, Reactive Limits 및 전압
 - (g) 모든 케이블의 종류, 굵기, 도체의 수, 길이
 - (h) 전력회사 전력계통의 수전단에서의 최고 및 최소 전압
- (4) 보호설비의 협조검토
- (a) 단선도
 - (b) 계기용변압기(CT 및 PT)의 전류 및 전압비
 - (c) 각 보호계전기의 Type, 조정범위, Style 또는 Catalog 번호, 제작회사, 기존 계전기의 정정치(Settings)
 - (d) 전력퓨즈의 Type, 전압, 정격전류, 차단용량, 제작회사
 - (e) 각 Feeder에 예측되는 최대부하전류, 전동기회로에서는 Locked Rotor 전류, Locked Rotor 시간 및 기동시간
 - (f) 480V 변압기 2차회로에서의 차단기 종류, Trip Unit의 Type, Trip Setting
 - (g) 요구되는 과전류계전기 및 저압차단기의 Trip Unit 사이의 보호협조시간간격(Coordinating Time Interval)

- (h) 3상단락 및 1상지락 전류계산 결과
- (5) 접지검토
- (a) 저저항(Low Resistance) 또는 Reactance 접지계통을 위한 3상단락 검토결과
 - (b) 저저항 및 Reactance 접지계통을 위한 영상임피던스도(Zero Sequence Impedance Diagram)
 - (c) 고저항접지(High Resistance Ground)계통을 위한 전체 Capacitive Charging 전류

< TABLE 2 >

- (1) 새 계통의 설계
- (a) 3상 Subtransient, Transient 단락검토 및 1상 단락검토(직접접지계통)
 - (b) 전력조류검토
 - (c) 임피던스 접지계통에서의 접지검토
 - (d) 보호설비의 협조검토
- (2) 기존계통의 변경
- (a) 만일에 중요한 새로운 단락회로근원이 추가되거나 Switchgear 용량이 한계에 있을 때는 단락회로 검토
 - (b) 전력조류 검토
 - (c) 새로운 또는 기존계통의 보호설비협조 검토
- (3) 기존설비의 고장진단
- (a) 만일에 선택성보호에 문제가 있을 때 보호설비의 협조 검토
 - (b) Surge 전압사고로 문제가 있을 때 과전압 검토
 - (c) 저전압 및 역률에 문제가 있을 때 전력조류 검토

4. 결 론

명확히 TABLE 2는 다만 산업공장전력의 엔지니어링에 있어 전력계통분석 기술의 적용을 목록으로 작성하였을 뿐이며 이것이 전부는 아니다. 여기에서 알 수 있듯이 전력계통분석은 비밀의 예술은 아니고 다만 전력회사 또는 산업공장에 종사하는 전기기술자가 이해하고 사용하는 기술이다. 그 대신 이것은 산업체의 전력계통기술자가 그의 판단하에서 전력계통의 목적에 적합하도록 전력계통을 설계하고 진단하는데 있어 매우 유효하고 큰 도움을 주는 도구의 Set(A Set of Tools)라고 말할 수 있다.