

# 전압, 전류 변화 추이를 이용한 전력용 변압기 보호계전 알고리즘

論 文

50A - 4 - 1

## A New Protective Relaying Algorithm for Power Transformer Based on Three Phase Voltage and Current

金 尚 泰\* · 李 承 宰\*\* · 姜 相 熙\*\*\* · 陳 保 建§ · 尹 相 鉉 · 李 太 成§§

(Sang-Tae Kim · Seung-Jae Lee · Sang-Hee Kang · Bo-Gun Jin · Sang-Hyun Yoon · Tae-Sung Lee)

**Abstract** - The two criteria to identify the disturbances of the power transformer has been reported in this paper. They have been derived through EMTP simulations of internal faults, inrush and overexcitation for the model of 154/22.9[kV], 40[MVA], Y-Y three-phase power transformer. We propose the crisp algorithm which uses two criteria. A series of test results clearly indicate that the method can identify not only an internal fault but also the other transients. The average of relay operation times is about 7.2[ms]. The proposed algorithm immune to the transient state.

**Key Words** : Protective relay, Power transformer protection, Differential relay

### 1. 서 론

보호 계전기는 계기용 변성기(PT, CT)로부터 전압, 전류 등의 계전 신호를 입력정보로 받아들여 이를 수치적으로 가공한 후, 연산한 값을 미리 정해놓은 임계값(Threshold)과 비교하여 동작한다. 그런데, 전류와 같은 계전 신호에는 변류기 포화 등으로 인하여 입력 오차가 어느 정도 포함되어 있을 수 있어, 계전기가 사고를 판단하는 과정에서 오류를 유발할 수 있는 원인이 되기도 한다. 그리고, 고장점 저항이 작은 사고가 발생한 경우에는 계전 신호의 값이 정상 상태에 비해 크게 변화하지만, 어떤 사고의 경우에는 계전신호 값이 정상 상태에 비해 크게 변하지 않기도 한다. 반면, 변압기의 여자돌입 현상처럼 사고가 아닌 경우에도 사고가 발생한 경우처럼 전류가 크게 변하기도 한다. 따라서, 사고와 사고가 아닌 외란을 구분하는 데 어려움이 있다. 앞에서 언급한 두 가지 이유 때문에, 보호 계전기 특히, 변압기 보호 계전기와 같은 경우에는 한 가지 기준만으로는 여자 돌입 및 과여자와 같은 외란을 사고와 정확하게 구분하는 것이 매우 어렵다.

발전기, 송전선의 경우와 마찬가지로 변압기 보호용으로 전류차동 (current differential) 방식이 주로 사용되어 왔다. 그런데, 이 방식 단독으로는 내부 사고와 내부 사고가 아닌 외란 즉, 여자 돌입, 과여자를 명확하게 구분하기 어렵다. 이

러한 경우 계전기의 오동작을 방지하기 위하여 변압기 투입 시 일시적으로 동작을 중단하는 방식, 감도저하 방식, 고조파 억제방식 등이 제안되었다.[1-4] 그러나 이러한 방법들은 변압기 투입시 사고발생에 대한 보호가 불가능하며, 계통 변화에 따른 과도상태 고조파발생 특성변화로 변압기 내부사고시 차단지연 또는 계전기의 부동작을 초래할수 있다.[2] 특히 심한 과여자시 5조파가 오히려 감소하는 경향이 있고, 또한 변압기 철심 재질의 변화와, 경제적 이유에 의한 변압기 철심의 설계방식의 변화에 따라 여자 돌입시 2조파가 적게 발생하게 되고 과여자시 5조파역시 감소한다. 반면에 고압화와 지중화에 따른 커패시턴스가 큰 계통일수록 내부 사고시에도 차동 전류에 2조파가 많이 포함되어 고조파 억제방식은 수정이 불가피하게 되었다.[4] 또 기본파, 2조파, 5조파 억제 요소를 이용하기 위해서는 수치해석적인 방법을 이용하는데 이것도 한 주기 이상이 지나야 정상적인 값을 얻을 수 있으므로 처음 한주기내에 포함되어 있는 에러요소 때문에 빠른 판단이 어려운 실정이다. 이와 같은 필요에 의하여 최근에, 변압기 보호용으로 퍼지 논리를 이용한 방식이 제안되었고[5,6,8], 그 외에도 신경회로망, 전력차동을 이용한 알고리즘들이 제안되어왔다.

본 논문에서는 변압기의 내부 사고와 내부 사고가 아닌 과도 상태 즉, 여자 돌입, 과여자를 구분 지을 수 있는 알고리즘을 제안한다. 제안된 방식은 360 여가지의 EMTP 모의 데이터로부터 전압과 전류 데이터의 수치해석적 분석을 통하여 외란 발생 시 3상에서의 전압 전류 변화가 내부사고인 경우와 다른 외란인 경우가 다른 특성을 가졌다는 것을 확인하였고, 이것을 변압기 보호용 계전 알고리즘으로 이용하였다. 본 알고리즘은 사례연구를 통해 위에서 언급한 변압기 보호의 문제점을 해결하였고, 판단 속도 역시 빠른 새로운 개념의 알고리즘임을 확인하였다.

\* 正 會 員 : 明知大 電氣工學科 碩士課程

\*\* 正 會 員 : 明知大 電氣情報制御工學部 教授 · 工博

\*\*\* 正 會 員 : 明知大 電氣情報制御工學部 副教授 · 工博

§ 準 會 員 : 明知大 電氣工學科 博士課程

§§ 正 會 員 : Procom System

接受日字 : 2000年 11月 29日

最終完了 : 2001年 3月 21日

## 2. EMTP를 이용한 변압기 모의

본 논문에서는 변압기 과도 현상을 모의하기 위해 EMTP (Electromagnetic Transient Program)를 이용하였다. 대상 변압기로는 154/22.9 kV, 40 MVA, Y-Y 단상 3대로 운전하는 3상 Bank 변압기와 3상 변압기를 모의하였고, 변압기 내부 사고를 모델링하기 위하여 참고 문헌 [7]에 제시되어 있는 방법을 사용하였다. 또한, 변압기의 여자 돌입 및 과여자 등 포화 특성을 표현하기 위하여 변압기의 히스테리시스 특성까지 모델링하였고, 이를 위하여 EMTP의 보조 프로그램인 HYSDAT을 사용하였다.

### 2.1 변압기 선형 모델링

그림 1은 EMTP용 변압기 내부사고를 위한 모델이다. 변압기 1차측 권선을 A, B, C 세 구간으로 나누고, FLT1, FLT2 두 개의 스위치 단자를 이용하여 내부사고를 모의 하였다. 모의한 내부사고로는 지락사고(5%~80%, 완전지락), 상간단락(AB, ABC), 층간단락(5%~80%), 권선지락(완전지락, 5%~90%)을 다루었고, 전압 투입위상각은 0°, 90°로 하였다. 이 모델은 변압기 선형 모델링 기법인 BCTRAN 보조 프로그램을 이용하였고 참고문헌[7]을 이용하여 분할된 권선의 데이터를 구하였다.

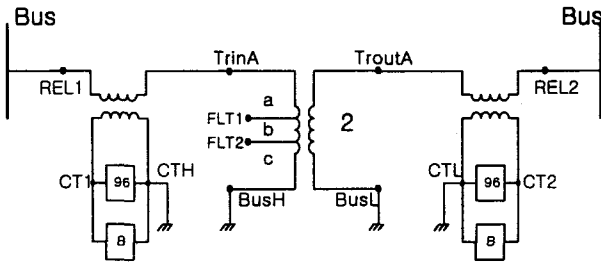


그림 1. 변압기 선형 모델을 이용한 내부사고 모델  
Fig. 1. Internal Fault Model using Transformer Linear Model

### 2.2 변압기 포화 모델링

여자돌입과 과여자와 같이 변압기 포화모델이 필요한 외란을 모의하기 위해서는 변압기 자화곡선이 필요하다. EMTP 내에 자화곡선 모델링이 가능한 Type-96소자를 이용하여 그림 2와 같이 변압기 모델을 이용하였다. 여자돌입 모의 시 전압 위상각에 크게 의존하는 사실에 입각하여 전압 투입위상각을 0°에서 90°까지 변화시켰고, 과여자의 경우는 전압 크기를 102%~140%까지 모의하였다.

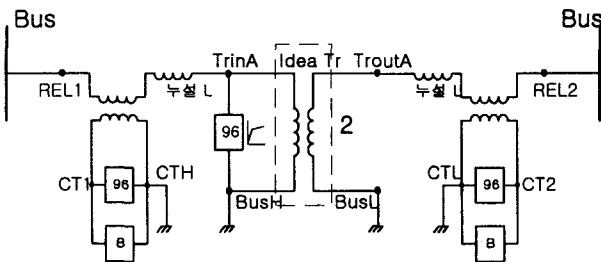


그림 2 변압기 포화 모델  
Fig. 2 Transformer Saturation Model using Type96 unit

## 3. 변압기 모의 분석

EMTP를 이용하여 그림 3과 같은 모의 계통을 360여가지 (내부사고 34%, 여자돌입 33%, 과여자 33%) 데이터로부터 3가지의 변압기 외란상태를 모의 하였고, 기본 모델과 변압기 포화점 그리고 변압기 2차측 선로 정전용량을 변수로 고려하여 변화된 계통도 고려하였다. 모의 시간은 사고전 2주기, 사고후 8주기이고, 주기당 16샘플링을 하였고, 고조파 분석은 DFT(이산 푸리에 변화)을 이용하였고 전압은 변압기 1차측 단자 전압 데이터를 이용하였고, 전류는 변압기 1,2차측 정보를 이용하였다.

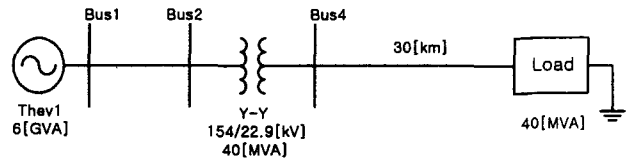


그림 3. 모의 계통  
Fig. 3. Simulation Model System

### 3.1 전압 데이터 결과 분석

#### 3.1.1 1차측 단자 전압의 RMS값의 추이

EMTP 모의 결과에서 정상상태 2주기의 RMS값을 구하면 초기 한주기는 과도상태이고, 그다음 한주기부터 정상적인 RMS값이 나온다. 외란이 발생하게 되면 이 RMS 값이 변하게 되는데, 그림 4와 5에서 보면 0[ms]에서 변압기 내부사고가 발생했을 경우, 사고상의 단자전압이 정상상태일 때 보다 감소하게 된다.

여자돌입인 경우 변압기 2차측이 개방된 상태에서 투입을 한다. 이때 변압기 1차측 전압이 없는 상태에서 전압값이 급격히 증가하게 되고, 과여자는 부하탈락이나 외부고장이 제거되었을 때 전압이 증가하지만 여자돌입 현상에 비해서는 크게 증가하지는 않는다.[3,4]

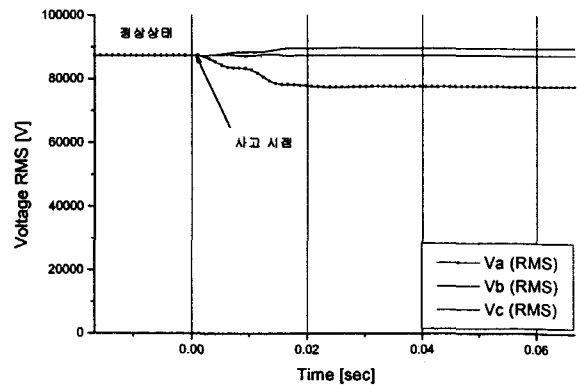


그림 4. 5% 층간단락 시 1차측 단자전압의 RMS 값  
Fig. 4. RMS value of Primary Voltage on 5% turn to turn fault

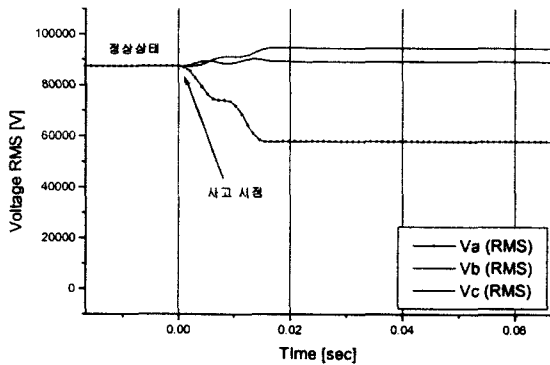


그림 5. 30% 충전단락 시 1차측 단자전압의 RMS 값  
 Fig. 5. RMS value of Primary Voltage on 30% turn to turn fault

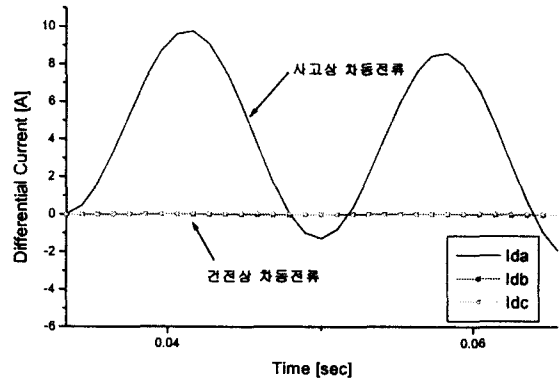


그림 6. A상 충전단락 사고시 A, B, C상 차동전류  
 Fig. 6. 3 phase differential currents on A phase turn to turn fault

3.1.2 1차측 단자 전압의 반주기 적분 값

일반적인 정현파의 절대값 적분 시 반주기 데이터 창을 이용하면 항상 같은 값이 나오는 사실을 이용하여 정상상태 전압과 외란상태 시 전압값을 비교할 수 있다. 내부사고시 3.1.1에서 살펴본 것처럼 RMS값이 감소하기 때문에 적분값 역시 감소하게 된다. 여자돌입이나 과여자의 경우도 RMS가 증가하므로 적분값 역시 증가하게 된다.

3.2 전류 데이터의 결과 분석

변압기 보호에는 일반적으로 변압기 1,2차측의 전류 차를 이용한 차동전류 계전기가 사용되므로, 본 연구에서는 차동전류의 측면에서 데이터를 분석하였다.

3.2.1 차동전류의 순시치 분석

보호 계전기에서 계기용 변성기로부터 입력되는 데이터는 순시치 데이터들로서 그림 6, 7, 8은 사고발생, 변압기 투입, 과여자등이 시작되는 시점에서 부터 변압기 차동전류를 도시한 것이다. 변압기 내부사고의 경우 그림 6에서 처럼 사고상(A상 충전단락)만 차동전류가 발생하고, 사고 이외의 상에서는 차동전류가 0의 값을 갖는다. 또 그림 7은 여자돌입의 경우 변압기 투입 후 3상에서 모두 차동전류가 검출되고, 그림 7에서와 같이 같은 시간대(약 1/6주기 동안)에 3상 모두 똑같이 0에 근접한 값을 나타내는 특징을 갖는다. 과여자의 경우 그림 8처럼 과여자 발생 후 3상에서 모두 다른 값의 차동전류가 발생한다. 이러한 현상을 계전 알고리즘으로 만든다면 3상중 차동전류가 두상이나 한상에서 검출 되면 확실한 고장이라 말할 수 있다. 또 3상 모두에서 차동전류가 검출이 된다면 내부사고, 여자돌입 그리고 과여자라고 할 수 있다.

3.2.2 차동전류의 고조파 분석

위 3.2.1에서 살펴본 것처럼 각 외란에 대해서 차동전류가 발생을 하게되고, 각 외란별로 차동전류의 고조파 성분의 함

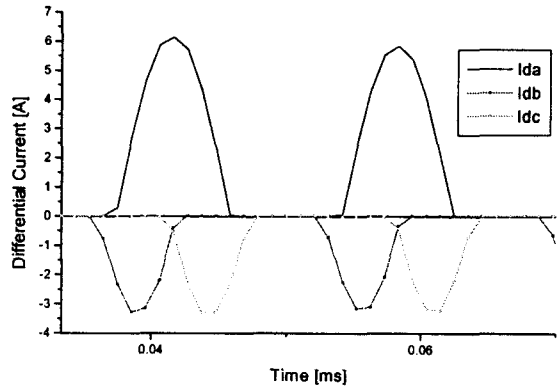


그림 7. 여자돌입 0° 투입시 A, B, C상 차동전류  
 Fig. 7. A, B, C differential Currents on Inrush Condition 0°

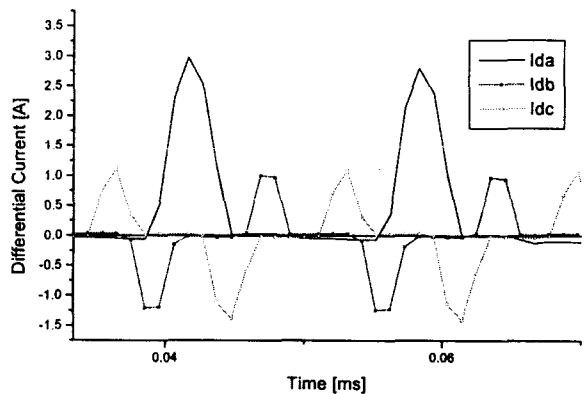


그림 8. 과여자시 A, B, C상 차동전류  
 Fig. 8. A, B, C phase differential Currents on Overexcitation

유정도가 다르다. 일반적인 디지털 계전기에서 사용되는 수치해석 방법인 DFT(이산 푸리에 변환)을 이용하여 각 외란의 고조파를 분석하였다.

### 3.2.2 차동전류의 고조파 분석

위 3.2.1에서 살펴본 것처럼 각 외란에 대해서 차동전류가 발생을 하게되고, 각 외란별로 차동전류의 고조파 성분의 함유정도가 다르다. 일반적인 디지털 계전기에서 사용되는 수치해석 방법인 DFT(이산 푸리에 변환)을 이용하여 각 외란의 고조파를 분석하였다. 내부사고의 경우 그림 9와 같이 기본파 성분은 증가를 하지만 2고조파나 5고조파는 외란 발생 초기에 많이 발생하나 반주기 이후 감소하고 한주기가 지나면 거의 없어진다. 그림 10에서 여자돌입의 경우 5고조파는 감소하지만 2고조파는 기본파 성분의 약 30%이상 함유되어있다. 그림 11에서 과여자의 경우 2고조파는 감소하나 5고조파 성분 역시 약 30%이상 존재하였다. 그러나 외란 초기 한주기 내에서 증감하는 고조파의 정보는 변압기 보호용 차동전류 계전기의 억제요소로 사용할 수 없다는 단점이 있다. 예를 들어 2조파 억제요소의 경우 일반적으로 15%정도로 정정되어 있는데 외란 초기 반주기까지 살펴보면 함유량이 50%이상인 구간도 나타난다. 이것은 수치해석적인 에러로써 계전 신호로는 사용할 수 없기 때문에 일반적으로 시지연을 두어 적용한다.

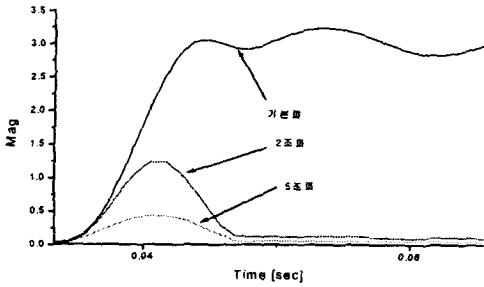


그림 9. 중간 단락 사고시 차동전류 고조파 분석  
Fig. 9. Differential Current Harmonic Analysis on turn to turn fault

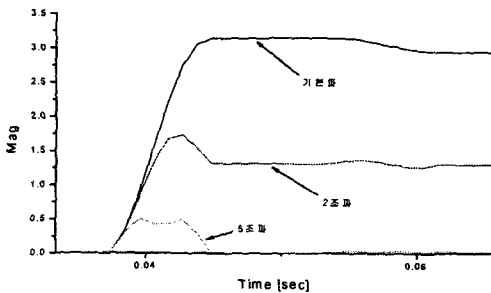


그림 10. 여자돌입시 차동전류 고조파 분석  
Fig. 10. Differential Current Harmonic Analysis on Inrush

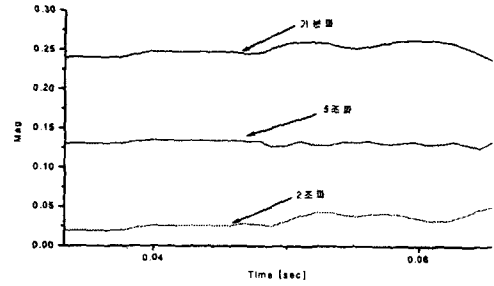


그림 11. 과여자시 차동전류 고조파 분석  
Fig. 11. Differential Current Harmonic Analysis on Overexcitation

## 4. 변압기 외란 판단 룰

서론에서 살펴보았듯이 변압기 보호의 많은 문제점은 변압기 재질의 변화와 정전용량의 증대로 인한 외란 발생시 고조파 발생 형태의 변화이다. 또 다른 문제점은 기존의 고조파 억제 알고리즘은 외란 발생후 과도상태에서 적용할 수 없고, 데이터 창이 한주기가 지난 후에 사용이 가능하다는 것이다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하고자 새로운 변압기 보호계전 알고리즘 룰을 제시한다. 본 변압기 보호 계전 알고리즘은 단상혹은 3상의 1차측 단자 전압과 변압기 1,2차측 전류 데이터를 사용하여 다음과 같은 알고리즘을 제시한다.

### ■ 단상 변압기

#### ■ Rule 1 변압기 차동전류 변화

- 차동전류 변화 → 외란

#### ■ Rule 2 변압기 1차측 단자전압 변화

- 기준전압에 비해 감소 → 내부사고
- 기준전압에 비해 50% 이상증가 → 여자돌입
- 기준전압에 비해 50% 미만증가 → 과여자

### ■ 3상 변압기

#### ■ Rule 1 3상에서의 변압기 차동전류 변화

- 1상 or 2상 차동전류 변화 → 내부사고
- 3상 차동전류 변화 → 외란

#### ■ Rule 2 3상의 변압기 1차측 단자전압 변화

- 3상중 어떤 상이라도 기준전압에 비해 감소 → 내부사고
- 3상 모두 기준전압에 비해 50% 이상증가 → 여자돌입
- 3상 모두 기준전압에 비해 50% 미만증가 → 과여자

본 알고리즘 룰은 변압기 차동전류의 기본파와 변압기 1차측 단자 전압의 RMS 값을 이용하였고, 각상에서의 전압

전류 파형 변화 추이를 이용하면서 외란초기 수치해석적인 어려에 관계없이 변압기 외란을 판단할 수 있다.

### 5. 변압기 보호를 위한 외란 판단 Algorithm

본 연구에서 제시한 알고리즘의 전체적인 사고판정의 흐름은 그림 12와 같다. 전력계통에서 전류와 전압 데이터를 실시간으로 계속 받아 들여 차동전류를 DFT하여 기본파를 얻고 전압은 RMS를 구하고, 차동전류의 크기가 임의의 기준값을 세 번 연속 넘을 경우 사고의 징후로 간주하여 사고 판정부로 들어가게 되고, 사고판정부에서 사고여부를 판단한다.

본 알고리즘의 S/W는 일반적인 계전알고리즘과 같이 도입부, 외란 여부 판정부, 사고판정부, 결과 출력부로 이루어져 있다.

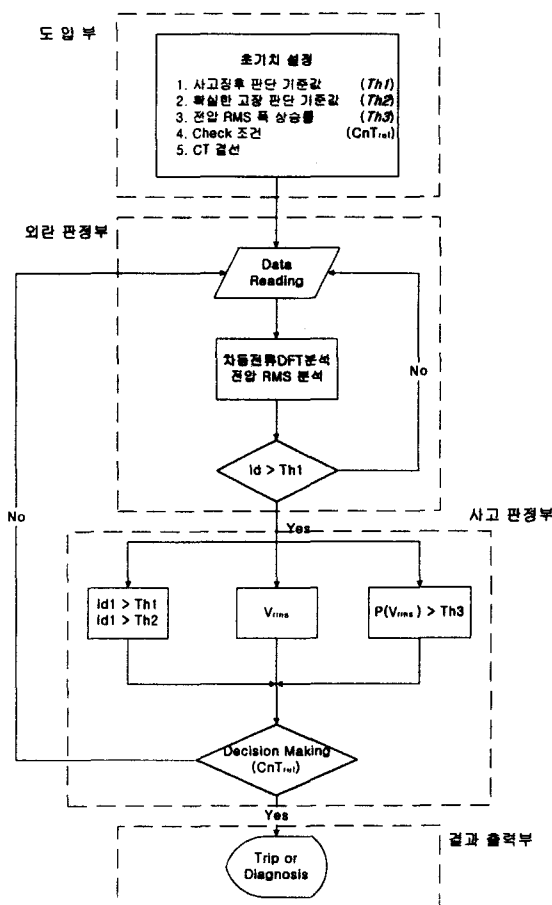


그림 12. 알고리즘의 전체 흐름도  
Fig. 12. Flow Chart of Algorithm

#### 5.1 도입부

계전알고리즘을 수행하기 전에 다음에 해당하는 초기값들을 입력한다.

##### 1) 사고징후를 판단하는 기준값(Th1)

사고징후를 판단하는 기준값은 다음의 식과 같이 정한다.

$$I_{d_{stable}} < Th1 < I_{d_{min}}$$

$I_{d_{stable}}$  : CT비 오차를 고려한 정상상태시 차동전류 기본파 크기

$I_{d_{min}}$  : 변압기 외란중 차동전류 기본파의 최소값

본 논문에서는 변압기 외란의 차동전류중 최소값과 정상상태시 차동전류 사이값인 0.4[A]로 정하였다.

##### 2) 확실한 고장 판단 기준값(Th2)

이 기준 값을 넘으면 확실한 고장이라고 판단할 수 있다. 이 값은 변압기 내부사고가 아닌 외란중 차동전류가 가장 큰 여자돌입 0° 에서의 기본파 크기 보다 크게 선정하였으며, 본 연구에서는 4.5[A]로 그 값을 정하였다.

##### 3) 전압의 RMS 상승 폭(Th3)

이 값은 여자돌입과 과여자를 구분하는 요소로 사용되며, 여자돌입의 경우 변압기를 투입하기 때문에 전압값이 0에서 발생 하므로 항상 100[%] 상승 하지만 과여자의 경우 원래 전압값에서 큰폭(최대 40%)으로 상승하지 않는다. 본 논문에서는 폭 상승률을 식 (1)과 같이 적용하였으며, P와 Th3를 비교하여 과여자와 여자돌입을 구분하는데 이용하였다.

$$(\text{폭 상승률}) P = \frac{V_{rms-ph}(i) - V_{rms-ref}}{V_{rms-ph}(i)} \times 100 \quad (1)$$

$V_{rms-ph}(i)$  : 현재 상별 전압 RMS 값

$V_{rms-ref}$  : 기준 상별 전압 RMS 값

본 논문에서는 폭 상승률 Th3를 40과 100사이 값인 90[%]로 정하였다.

##### 4) 상태판단을 하는 check 조건(CnTref)

기준값을 중심으로 어떤 상태를 판단하는 조건에 check 조건을 고려하여 판단하도록 하였다. 기준값을 넘었을 경우 그 상태를 바로 단정짓지 않고 그 추이를 살피는 과정이 필요하다. 그래서 어떠한 상태라도 몇회 이상 계속 되어야 판단을 하게 된다. 본 알고리즘에서는 그 조건을 3회로 적용하였으며, 이 값은 사용자에게 따라 변경 가능하다.

##### 5) CT 결선

일반적으로 변압기 결선과 CT 결선은 1,2차측 전류 위상차이의 보상을 위해 결선을 Y인 경우 Δ로 하는 것이 일반적이거나 Y인 경우 Y가 될 수도 있다. 본 논문에서는 일반적인 경우인 Y일 때 Δ결선을 기준으로 전류를 추출 하였다. 그러므로 변압기 결선이 Y일 때 CT 결선도 Y인 경우 변환식이 필요하다. 각 결선에 따른 전류 추출 식은 다음의 표1과 같다. 본 논문에서는 표1에서 1의 경우를 기본값으로 했다.

#### 5.2 외란 여부 판정부

5.1절에서 언급한 상태 판단 check 조건에 따라 외란발생 여부를 판단한다. 그림 13은 외란 여부 판정부를 나타내는 흐름도이며, 이것은 위에 나오는 'Check 조건'과 흐름이 같다. 흐름도에서 외란 카운터(CnT)는 3상에서 추출된 각 차동전류의 기본파 크기중 한 상이라도 기준값(0.4[A])를 넘으

면 카운터가 시작 된다. 다음 샘플의 차동전류의 기본과 크기에 의해 기준치 이상일 경우 증가되며, 연속적으로 기준치를 넘지 않을 경우 카운터는 리셋된다. 3회(CnT<sub>ref</sub>) 연속 기준치를 넘으면 이후로는 설정치는 비교되지 않고 사고판정부로 넘어가게 된다.

표 1. CT 결선에 따른 전류 상전류 변환  
Table 1. Phase Current transformation following CT connection

| TR 결선 | CT 결선 |   | 각상 추출 전류                 | 변환식   |
|-------|-------|---|--------------------------|---|
| Y     | 1     | Y | $i_{a1}, i_{b1}, i_{c1}$ | $i_a = i_{a1} - i_{b1}$<br>$i_b = i_{b1} - i_{c1}$<br>$i_c = i_{c1} - i_{a1}$ |
|       |       |   | 2                        | $\Delta$  |

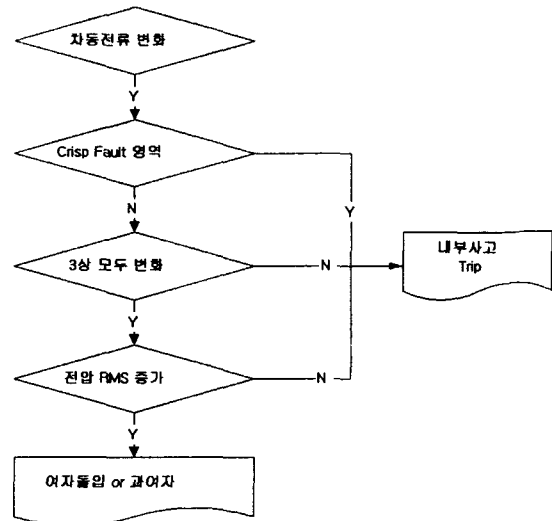


그림 14. 사고 판정부 Flow chart  
Fig. 14. Disturbance Decision Flow Chart

6. 사례 연구

제시한 방식을 검증하기 위하여 사용한 모델 계통을 그림 2에 나타내었다. EMTP를 이용하여 360 가지가 넘는 변압기의 3가지 상태 즉, 내부 사고, 여자 돌입, 과여자를 모의 하였다. 계통 전압은 154[kV] 이고, 샘플링 주파수는 60[Hz] 시스템에서 960 [Hz] 즉, 주기당 16 샘플링을 하였다. 또한 계통 데이터에서 변압기 포화점과 변압기 2차측 선로의 정전 용량을 증가 시켜 검증하였다. 사고는 시간 0[sec]에서 발생했다. 사례연구를 위한 본 알고리즘의 초기치는 표 2와 같다.

표 2. 초기치  
Table 2. Initial Value

|                    |     |
|--------------------|-----|
| Th1                | 0.4 |
| Th2                | 4.5 |
| Th3                | 90  |
| CnT <sub>ref</sub> | 3   |
| CT결선               | 1   |

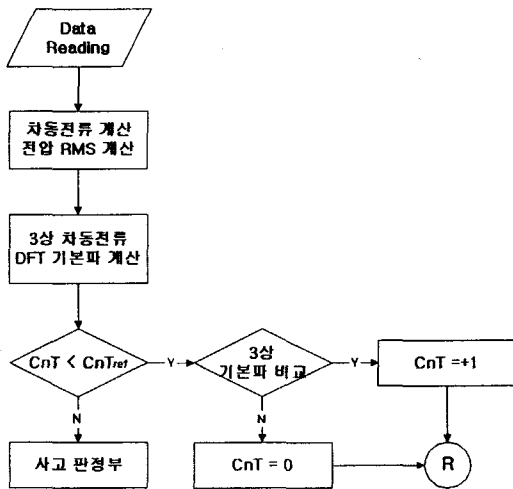


그림 13. 외란 여부 판정부  
Fig. 13. Disturbance Sign Decision Part

5.3 사고 판정부

사고 판정부의 흐름도는 그림 14와 같다. 입력된 데이터가 확실한 고장 영역(Fault Crisp Region)에 속하는지 판단하고, 그렇지 않을 경우 다른 룰이 적용된다. 판단 결과가 나오면 결정 기준에 따라서 최종 판단을 하게 되는데, 판단 기준이 결정 기준에 어긋나면 다음 샘플 값을 받아들인다. 흐름도는 그림 14와 같다.

5.4 결과 추력부

사고판정부에서 나온 결과를 보여주는 부분이다. 모든 외란에 대해서 외란의 종류 판단, 판단 시간, 그리고 진단 정보를 출력하며 내부 사고인 경우 Trip 신호를 출력한다.

6.1 내부 사고

사고가 난 권선 위치에 따른 지락 사고, 단락 사고 등 내부 사고를 모의하였다. 그림 15에서 18은 중간 단락 5%, 10%, 30%, 50% 전압 위상각 0° 사고에 대한 Trip 결과를 도 시하였고, 판단 시간은 사고후 8.33[ms]에서 7.28[ms] 사이에서 판단하였다. 중간 단락 사고에 대한 판단 시간 결과가 표 3에 요약되어 있으며, 제시한 계전 알고리즘은 본 저자가 연구했던 참고문헌[8]에서 제시한 지능형 계전 알고리즘에 비해 판단 시간이 빠름을 알 수 있었다. 계전기 동작시간은 사고 발생후 반 주기이내에서 모두 판단 하였으며, 모든 사례 경우에 대해 평균 동작 시간은 사고 발생 후 약 7.2[ms]였다. 본 논문에는 다른 외란과 구분이 명확하지 않은 중간단락 사고의 예를 보여주었다. 또 상간단락이나 3상단락과 같은 사고는 차동전류의 크기가 확실한 고장영역에 속하므로 판단에 문제가 없었다.

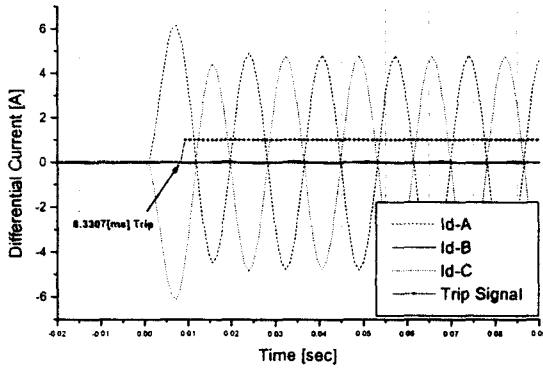


그림 15. A상 충전단락 5% 사고 (전압 위상각 0°)  
 Fig. 15. A Phase 5% Turn to turn Fault (Voltage Inception Angle 0°)

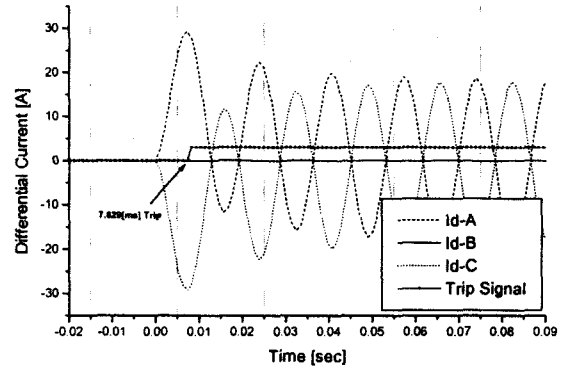


그림 18. A상 충전단락 50% 사고 (전압 위상각 0°)  
 Fig. 18. A Phase 50% Turn to turn Fault (Voltage Inception Angle 0°)

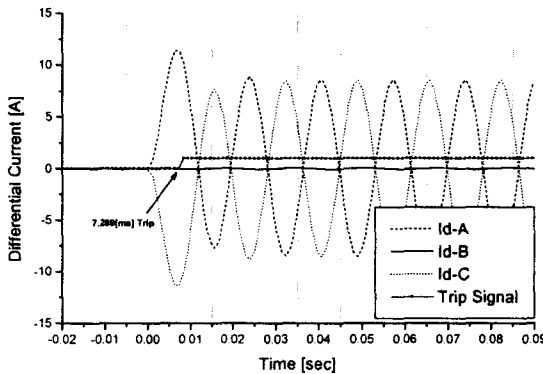


그림 16. A상 충전단락 10% 사고 (전압 위상각 0°)  
 Fig. 16. A Phase 10% Turn to turn Fault (Voltage Inception Angle 0°)

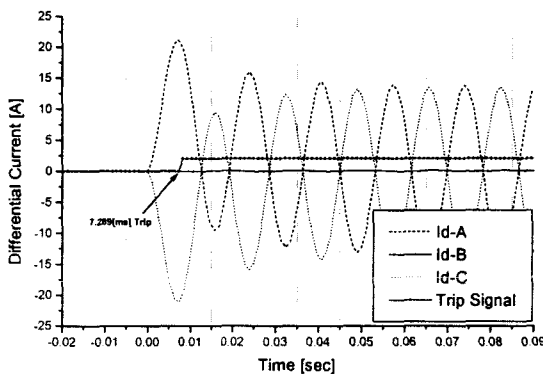


그림 17. A상 충전단락 30% 사고 (전압 위상각 0°)  
 Fig. 17. A Phase 30% Turn to turn Fault (Voltage Inception Angle 0°)

표 3. 판단 시간 결과

Table 3. The Result of Decision Making

| 내부사고종류       | 지능형 계전기   | 제안 알고리즘   |
|--------------|-----------|-----------|
| 충전단락 5% 0°   | 12.5 [ms] | 8.33 [ms] |
| 충전단락 5% 90°  | 14.6 [ms] | 7.29 [ms] |
| 충전단락 10% 0°  | 12.5 [ms] | 7.29 [ms] |
| 충전단락 10% 90° | 14.6 [ms] | 7.29 [ms] |
| 충전단락 50% 0°  | 12.5 [ms] | 7.29 [ms] |
| 충전단락 50% 90° | 14.6 [ms] | 6.24 [ms] |

6.2 여자돌입

제시한 알고리즘은 변압기에 사고가 발생했는지의 여부를 판정할 뿐만 아니라, 내부 사고가 아닌 경우에 외란의 종류를 판정할 수 있다.

그림 19와 20은 시간 0[sec]일 때 전압 0° 투입 시 여자돌입 현상의 변압기 차동전류와 전압 RMS 값을 도시하였다. 3상 모두에서 기준값(Th1)을 넘는 차동전류가 발생해도 트립 신호를 내지 않았다. 또한 그림 20에서 보듯이 기준전압(reference voltage)값이 0일 때 식 (1)에 RMS값을 대입했을 경우 그 값이 100이 나오므로 여자돌입임을 알 수 있다.

그림 21과 22는 전압 위상각 50°, 90° 인 경우의 여자돌입 현상이다. 여자돌입 0° 와 마찬가지로 내부사고로 판단하지 않는다. 본 알고리즘에서 여자돌입이라 판단하는데 걸리는 시간은 내부사고와 같이 평균 7.2[ms]였다.

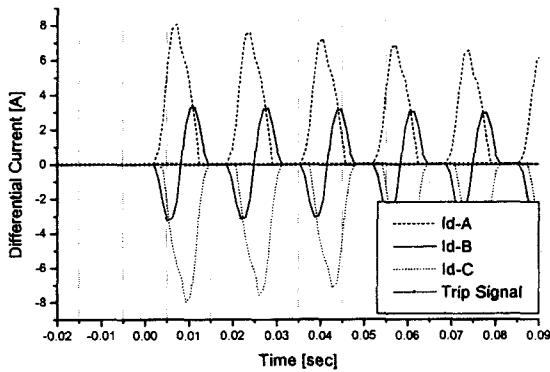


그림 19. 여자돌입 (전압 위상각 0°)  
Fig. 19. Inrush (Voltage Inception Angle 0°)

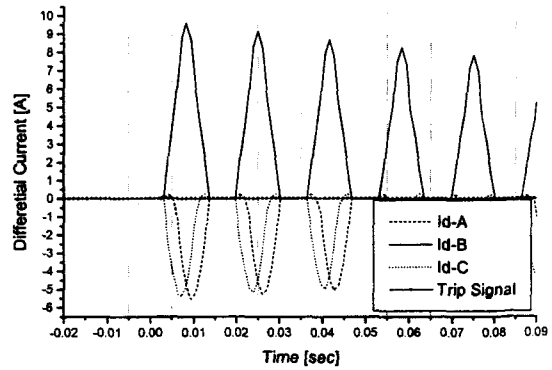


그림 22. 여자돌입 (전압 위상각 90°)  
Fig. 22. Inrush (Voltage Inception Angle 90°)

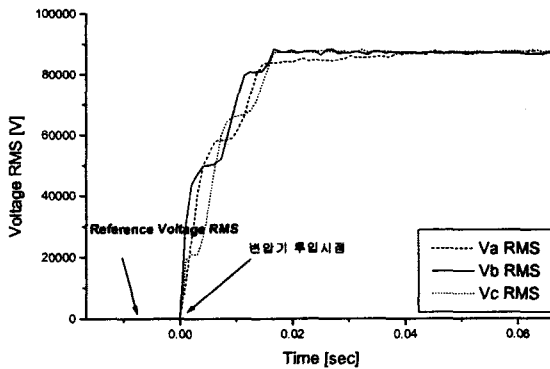


그림 20. 여자돌입시 전압 RMS(전압 위상각 0°)  
Fig. 19. Voltage RMS on Inrush (Voltage Inception Angle 0°)

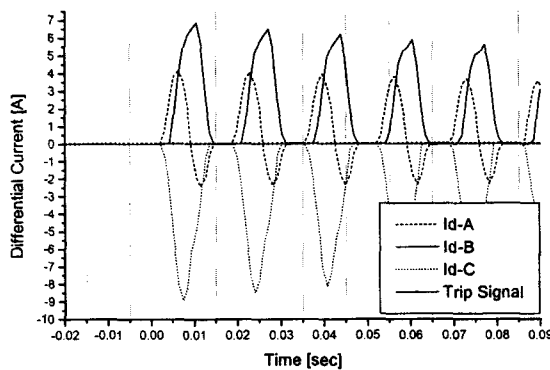


그림 21. 여자돌입 (전압 위상각 50°)  
Fig. 21. Inrush (Voltage Inception Angle 50°)

위에서 살펴본것과 같이 본 알고리즘은 내부사고와 여자돌입 구분이 명확함을 알 수 보여주었고, 판단 시간 또한 기존에 제시되었던 알고리즘 보다 빠름을 확인하였다.

### 7. 결론

본 논문에서는 전력용 변압기 보호알고리즘에 사용되는 알고리즘을 제시하였다. 360여가지의 EMTP 모의를 통해 변압기의 3가지 상태 즉, 내부사고, 여자돌입, 과여자를 모의하였고, 그 때 변압기 1, 2차 전류, 그리고 1차측 전압을 분석하여 외란 발생 후 차동전류의 기본파와 전압 RMS 값을 이용한 전압, 전류 추이 변화를 이용한 두가지의 변압기 외란 판단 기준과 알고리즘을 제시하였고, 본 알고리즘은 기존의 알고리즘과 달리 기본파 이외의 다른 고조파 분석 없이도 변압기의 외란을 판단할 수 있었으며, 여러 가지 테스트 결과 성공적으로 동작하고 있음을 확인하였다. 제시한 알고리즘은 외란이 발생하였을 때 내부 사고의 유무를 판정할 뿐만 아니라 외란의 종류도 구분할 수 있다. 기존의 계전기와 비교실험을 하지는 못하였으나 최근 제안되었던 지능형 계전 알고리즘 보다 본 연구에서 제시한 알고리즘이 외란 판단의 속도 면에서 뛰어남을 확인하였으며, 앞으로 실 적용테스트를 통한 기존의 계전기와 성능비교 및 실 적용화 연구가 필요하다.

### 감사의 글

이 논문은 한국과학재단의 산학협력연구의 연구비 지원에 의하여 수행되었음. (1999-30200-002-2)

### 참고 문헌

- [1] I. Hermanto, Y. V. V. S. Murty, M. A. Rahman, "A Stand-alone Digital Protective Relay for Power Transformers", IEEE Trans. on PWRD, Vol. 6 No. 1, January 1991, pp.85-95
- [2] P. Liu, O. P. Malik, D. Chen, G. S. Hope, Y. Guo, "Improved Operation of Differential Protection of Power Transformers for Internal Faults", IEEE Trans. on



PWRD, Vol. 7, No. 4, October 1992, pp.1912-1919,  
 [3] ABB, Protective Relaying Theory and Applications, Marcel Dekker Inc., 1994, pp.145-185  
 [4] J. Lewis Blackburn, Protective Relaying Principles and Applications, Second Edition, Marcel Dekker Inc., 1998, Chap9, pp.275-326  
 [5] A. Wiszniewski, B. Kasztenny, "A Multi-Criteria Differential Transformer Relay Based on Fuzzy Logic", IEEE Trans. on PWRD, Vol. 10 No. 4, October 1995, pp.1786-1792

[6] B. Kasztenny, E. Rosolowski, M. M. Saha, B. Hillstrom, "A Self-Organizing Fuzzy Logic Based Protective Relay - An Application to Power Transformer Protection", IEEE Trans. on PWRD, Vol. 12, No. 3, July 1997, pp.1119-1127,  
 [7] P. Bastard, P. Bertrand, M. Meunier, "A Transformer Model for Winding Fault Studies", IEEE Trans. on PWRD, Vol. 9 No. 2, April 1994, pp.690-699  
 [8] 지능형 보호계전기 연구개발 최종보고서, 전력연구원

저 자 소 개



**김 상 태 (金 尙 泰)**  
 1971년 2월 15일 생. 1996년 명지대 공대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.  
 Tel : 031-336-3290, Fax : 031-321-0271  
 E-mail : miserere@mju.ac.kr



**진 보 건 (陳 保 健)**  
 1976년 9월 28일 생. 2000년 명지대 공대 전기전자공학부 졸업. 현재 동 대학원 전기공학과 석사과정.  
 Tel : 031-336-3290, Fax : 031-321-0271,  
 E-Mail : sinato@mju.ac.kr



**이 승 재 (李 承 宰)**  
 1955년 11월 30일 생. 1979년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1988년 Univ. of Washington 전기공학과 졸업(공학박사). 1994년 Univ. of Washington 교환교수. 현재 명지대 공대 전기정보제어공학부 교수.  
 Tel : 031-330-6362, Fax : 031-321-0271  
 E-mail : sjlee@mju.ac.kr



**윤 상 현 (尹 相 鉉)**  
 1951년 1월 10일 생. 1980년 한양대 전기공학과 졸업. 1971년~1983년 한국전력공사 전원계획부장대리. 현재 (주)프로컴시스템 대표이사  
 Tel : 02-3446-7007



**강 상 희 (姜 相 熙)**  
 1962년 8월 15일 생. 1985년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 현재 명지대 공대 전기정보제어공학부 부교수.  
 Tel : 031-330-6364, Fax : 031-321-0271  
 E-mail : shkang@mju.ac.kr



**이 태 성 (李 太 成)**  
 1971년 5월 23일 생. 1994년 한양대 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 (주)프로컴시스템 부설 전력기술연구소 선임연구원  
 Tel : 02-3446-7007(202), Fax : 02-3446-0115  
 E-mail : tslee@procom.co.kr