

# 배전계통에서의 디지털 과전류 계전기 자동 정정 시스템 개발

論 文

56-4-6

## Development of the Automative Correction System for the Digital Over-current Relay With Distribution System

李 昊 俊<sup>†</sup> · 白 榮 植<sup>\*</sup>  
(Ho-Jun Lee · Young-Sik Baek)

**Abstract** - In the distribution system, Change of system happens frequently. However, most of the relays are operated manually by a person or not changed when system changed. So, when fault happened, a case that relay does not act rapidly happens. Also, in current power system, digital relays are used because of digitization of relay. Digital relay has very many advantages than existing analog relay. One of these advantages is that communication is available and easily can make characteristic curve. If specific values are sent to a relay by communication, A relay can make suitable characteristic curve according to the value.

In this paper, by using voltages and currents measured by relay, state of CB(Circuit Breaker) and these relays, SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition) system that control and correct characteristic curve of overcurrent relay at system change by using HMI(Human Machine Interface) is proposed.

**Key Words** : Overcurrent relay, SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition), HMI, Characteristic Curve

### 1. 서 론

배전계통은 부하 절체나 복구, 설비 점검 등으로 계통의 변경이 자주 발생한다. 또, 사고가 발생했을 때 흐르는 사고 전류는 계통의 상태에 따라 달라진다. 그러므로 계통이 변경이 되면 계통의 안정성을 향상시키기 위해서 보호기기 또한 상황에 맞게 적절히 설정값이 변경되어야 한다. 하지만 현재 대부분의 보호기기들은 정정이 이루어지지 않고 있거나 전문가에 의해서 수작업으로 이루어 지고 있다. 그래서 계통이 변경되었을 경우 사고 발생 시 기기가 오동작, 부동작을 하는 확률이 높아지게 된다.

현재는 기술의 발달로 인해 계전기들이 대부분 과거의 기계식이 아닌 디지털 계전기로 개발이 되고 있다. 이러한 디지털 과전류 계전기는 과거의 기계식 과전류 계전기에 비해 많은 장점을 가지고 있다. 그 중 하나가 기계식 과전류 계전기의 경우는 특성상 동작특성곡선이 미리 결정되어 있거나 여러 개의 주어진 특성곡선 중에서 탭과 Time dial을 결정하면 동작특성곡선의 위치가 결정되는 방법을 사용했다. 하지만 디지털 과전류 계전기의 경우는 이러한 방법뿐만 아니라 사용자가 직접 동작특성 곡선의 일부 점들을 결정하면 이 점들을 연결하고 직선으로 동작특성곡선을 생성하는 방법도 제공하고 있다. 이런 계전기를 이용하여 현재 다양한 방법들의 특성곡선 정정방법들이 소개되고 있다. 그 중 대표적인 것이 RLS(Recursive Least Squares) 알고리즘을 이용

한 방법이다.[4]

RLS 알고리즘을 이용한 방법은 계전기 스스로 특성곡선을 정정할 수 있지만 RLS 알고리즘이 제대로 동작하기 위해서는 매 샘플링 시간마다 바뀌는 전압과 전류의 값을 읽어야 하나 이는 실제로는 불가능하다고 할 수 있다. 또한 RLS 알고리즘은 충분한 양의 Data를 필요로 하고 Noise에 민감해서 잘못된 결과를 추정해 낼 수도 있다.[5]

일반적으로 계통을 구성하면 그 계통에 대한 구성상태와 구성요소들의 파라미터 값 등은 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 계통의 각각의 구성요소들의 값을 이용하여 SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition)와 HMI(Human Machine Interface)를 이용하여 계전기의 특성곡선을 정정하는 SYSTEM을 제안한다.

### 2. 본 론

#### 2.1 디지털 과전류 계전기의 구성

디지털 과전류 계전기는 그림 1과 같이 구성되어 있으며 크게 입력부, 아날로그/디지털 변환부와 디지털 연산처리부로 구분된다. 입력부의 CT(Circuit Transformer)와 PT(Potential Transformer)에서 계통의 전압, 전류를 측정해서 적절한 크기로 조정되어 멀티플렉서를 통해 일정한 Sampling Time으로 A/D 변환기로 입력되어 아날로그 신호가 디지털 신호가 된다. 이후 디지털 연산처리부에서 ROM(Read Only Memory)에 저장된 동작수순(Program)에 의해 CPU에서 연산을 수행하여 계통의 사고 여부를 판단한다. 만약 사고로 판단될 경우 CB(Circuit Braker)로 Trip 신

<sup>†</sup> 교신저자, 學生會員 : 慶北大學校 電氣工學科 碩士課程  
E-mail : windswar@hotmail.com

<sup>\*</sup> 正 會 員 : 慶北大學校 電子電氣컴퓨터學部, 正教授, 工搏  
接受日字 : 2006年 8月 31日  
最終完了 : 2007年 2月 26日

호를 보내 선로를 차단하여 사고구간을 계통으로부터 분리시킨다.[1, 3]

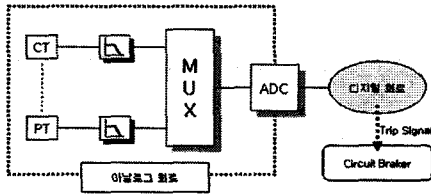


그림 1 디지털 계전기의 구성  
Fig. 1 Configuration of Digital Protective Relay

2.2 과전류 계전기의 특성곡선

과전류 계전기는 현재 사용되고 있는 송배전 보호방법 중 가장 기본적인 설비이다. 기본 보호원리는 사고가 발생했을 때 상시 전류보다 큰 사고전류가 흐르는 것을 검출해서 큰 사고전류에 빨리 동작하도록 사고전류에 반비례하는 시간에 차단신호를 보내도록 동작(반한시 특성)한다. 또한 사고발생 시 계전기가 고장 등의 이유로 동작을 하지 않는 경우를 대비하여 주위의 다른 계전기들과 상호 보호협조를 이루어서 동작하도록 한다. 보호계전기는 일반적으로 자구간의 주보호와 인접구간의 후비보호를 겸하기 때문에 인접구간의 계전기와 협조를 충분히 고려해야 하기 때문에 과전류 계전기를 정정하는 작업이 쉽지않은 않다.[4, 7]

1장에서 소개한 바와 같이 계전기의 특성곡선을 만들기 위해서는 몇 개의 동작점이 필요하다. 동작점을 정하기 위해 다음과 같은 규칙을 따른다. 계전기의 동작전류는 최대부하 전류보다 크고 최소고장전류보다 작은 값이며 일반적으로 최소고장전류는 최대부하전류보다 매우 큰 전류이므로 감도를 높이기 위하여 정상부하의 200%를 최대 부하로 가정하고 동작전류를 정한다.[13]

또한 사고 시 전류의 경우 3상 단락사고는 극히 드물지만 발생하게 되면 아주 큰 고장전류가 흐른다. 그래서 특히 차단기 용량의 결정, 보호 계전기의 정정, 기기에 가해지는 전 자력을 추정하는 데 필요하다.[14] 그러한 이유로 최대고장 전류는 자구간의 시작점에서 3상 단락사고를 상정하여 구하고 다음단과 협조를 이루기 위해 다음단의 시작점에서 3상 단락사고를 상정하여 다음단 최대 고장전류를 구한다. 그리고 강반한시 특성을 얻기 위해 특정한 한 점을 일정 비율로 선택하면 총 4개의 점을 얻을 수 있다. 그리고 이 전류값들의 동작시간은 후비보호 및 협조조건을 만족하기 위하여 자 구간 최대고장전류에 대해서 0.5s, 다음단 최대고장전류에 대하여 협조시간인 0.5s로 정한다. 동작전류는 일반적으로 무한대의 시간을 가져야 하지만 자구간 최대고장전류에 대한 동작시간의 100배 정도면 충분하고 할 수 있다. 그렇게 함으로써 강반한시 특성을 나타내는 계전기 특성곡선을 생성할 수 있다. 이러한 특성을 갖는 특성곡선을 생성하기 위해서는 각 계전기별로 설치된 지점에 흐르는 최대고장전류를 알아야 한다.[4]

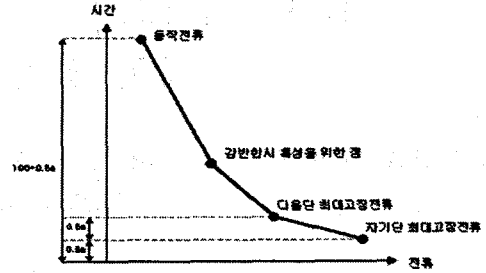


그림 2 과전류 계전기의 특성곡선  
Fig. 2 Characteristic curve

2.3 SYSTEM의 구성

본 논문에서는 그림 3과 같이 구성된 SCADA System을 이용하여 디지털 과전류 계전기를 Control하도록 설계하였다.

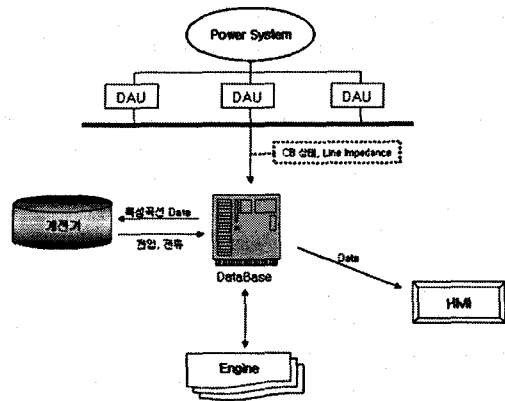


그림 3 System의 구성도  
Fig. 3 Configuration of the System

계통으로부터 DAU(Data acquisition Unit)를 통해서 계통의 CB(Circuit Braker) 상태와 선로 임피던스 데이터를 획득을 하고 계전기에서 측정되는 전압, 전류 값을 이용해서 현재 계통의 상태를 판단하여 현재 계통에 대해 적절한 특성곡선 데이터를 계전기와 통신을 이용하여 보낸다. 그리고 이러한 상태들은 HMI를 통해 사용자에게 모두 모니터링이 되어져서 현재의 계통상황을 한 눈에 알아볼 수 있게 하고 계통의 변경사항이 있을 경우 수정도 용이하도록 하였다. 또한 Engine은 Database로부터 계통의 각 data들을 받아서 고장전류를 예측한 값을 다시 Database로 넘겨주는 역할을 한다.

2.4 최대고장전류 계산

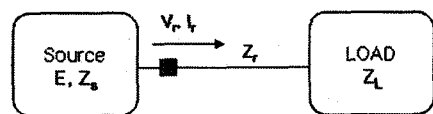


그림 4 계전기에서 바라본 등가 전력계통  
Fig. 4 Equivalent power system

배전계통은 일반적으로 루프구조가 아닌 트리구조를 가지고 있다. 그러므로 계통을 그림 4와 같이 계전기를 기준으로 전원측과 부하측으로 나누어 계전기에서 각 방향으로 바라본 등가회로로 모델링을 한다. 자기단 최대고장전류는 자기단의 시작점에서 3상 단락사고를 상정하여 구하므로 등가전원  $\vec{E}$ 와 등가 임피던스  $\vec{Z}_S$ 를 알면 구할 수 있다. 마찬가지로 다음단 고장전류는  $\vec{E}$ ,  $\vec{Z}_S$ ,  $\vec{Z}$ 를 알면 구할 수 있다. 이러한 계통은 다음과 같은 방정식을 만족하게 된다.

$$\vec{V}_r = \vec{E} - \vec{Z}_S \vec{I}_r \quad (1)$$

식 (1)에서 보듯 모든 값은 복소수 형태이므로 우선 디지털 과전류 계전기의 CT(Circuit Transformer), PT(Potential Transformer) 통해 측정이 되는 전압과 전류의 순시값을 복소수 형태로 바꾸어야 한다. 그러기 위하여 측정되는 값들을 일정시간동안 저장하여 저장된 데이터로부터 그림 5와 같은 방법으로 전압과 전류의 크기와 위상을 구한다.

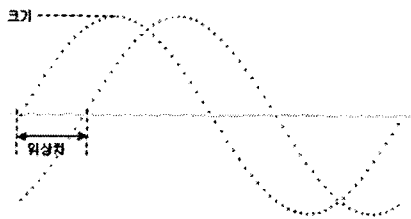


그림 5 순시전압의 복소화  
Fig. 5 Change of measured voltage

계통에 변화가 없이 정상상태를 유지하면 그림 5와 같이 순시치가 입력이 되는 것을 일정시간 이상 저장을 하면서 그 순시치 중 최고값을 찾으면 그 값이 교류전압, 전류의 크기가 되고 값이 음에서 양으로 바뀌는 지점의 시간과 기준 신호의 시간차로부터 위상을 구할 수 있다. 본 논문에서 사용한 계전기는 960Hz로 sampling을 한다.

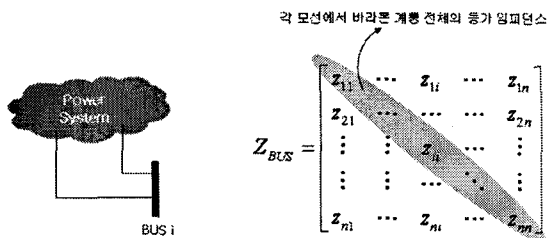


그림 6 계통과 Bus Impedance Matrix ZBUS의 관계  
Fig. 6 Relationship of system and ZBUS

Bus Admittance Matrix  $Y_{BUS}$ 는 현재 계통의 상태를 나타낼 수 있으며 또한 Bus Impedance Matrix  $Z_{BUS}$ 의 대각 성분들은 각각 그 모선에서 바라본 계통의 전체 등가 임피던스를 의미한다. 즉 CB 상태를 판단하여 계통의  $Y_{BUS}$ 를 구하고 그로부터 Linked List 알고리즘을 이용하여 서로 연결된 상태를 판단하여 계통이 분리되어 있는 상태를 구분할 수 있다. 그 예를 그림 7에 나타내었다.

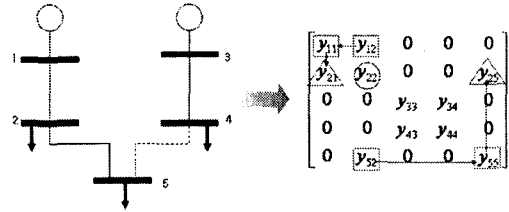


그림 7 계통의 연결상태 판단방법  
Fig. 7 Method to judge connection state of the power system

그림 7의 예에서 보듯 4번 모선과 5번 모선사이의 선로가 어떠한 이유로 인해 open이 되어 서로 분리되어 운영되고 있는 상태라고 가정하고  $Y_{BUS}$ 를 구하면 오른쪽에 있는 행렬의 형태를 가지게 된다. 이 행렬에서 Linked List를 이용하여 2번 모선과 연결된 모선들인 1번, 5번 모선을 찾고 또 1번 모선과 연결된 다른 모선을 찾아가는 방법으로 계속 찾아가면 임의의 모선과 연결된 다른 모선들을 모두 찾을 수 있게 되는 것이다. 이렇게 함으로써 현재 계통이 어떻게 구분되어 있는가를 판단을 할 수 있다. 계통의 분리상태를 판단한 후 해당 모선에서 Load측에 속하는 모선들을 제외하고 다시 Bus Admittance Matrix를 구하여 대각성분의 값을 읽으면 해당 모선에서 전원측 등가 임피던스  $\vec{Z}_S$ 를 구할 수 있다. 배전계통의 경우 변전소에서 송전계통의 단락 임피던스 값을 제공하므로 그 값을 이용하면 송전계통 전체의 임피던스를 알 수 있다.

위의 과정을 통해 식 (1)의  $\vec{V}_r$ ,  $\vec{I}_r$ ,  $\vec{Z}_S$ 를 구하면 식 (2)에 의해  $\vec{E}$ 를 구할 수 있고 전체 계통을 그림 4에 나타난 등가계통으로 바꿀 수 있다.

$$\vec{E} = \vec{V}_r + \vec{Z}_S \vec{I}_r \quad (2)$$

그림 8은 전체적인 시스템의 실행순서를 나타내고 있다.

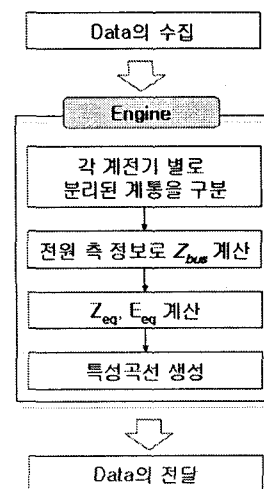


그림 8 system의 실행순서  
Fig. 8 Operating Process of the System

3. 사례연구

그림 9는 간단한 배전계통을 보여주고 있다. 각 모선마다 계전기가 설치되어 있으며 계전기의 CB의 ON/OFF 상태를 나타내고 있다. 변전소에서 본 송전계통은 하나의 발전기와 선로로 모델링을 하였다.

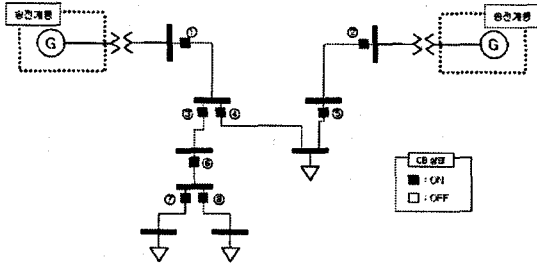


그림 9 간단한 배전계통  
Fig. 9 Distribution System for simulation

각 선로의 Data는 표 1과 같고 원격 감시를 위해 그림 10과 같은 HMI 화면을 구성하였다. HMI로 구성된 화면으로 현재의 계통 상태를 판단할 수 있고 현재 계전기들이 적절히 보호협조를 이루면서 운용되고 있는가를 판단할 수 있다. 또한 선로 임피던스의 변화와 같이 계통의 상태가 변경되었을 경우 사용자가 Update를 할 수도 있다.

표 1 선로 임피던스 데이터  
Table 1 Impedance data of the system

FBus	TBus	R	X	CB state
1	0	34.5	64.3	1
1	3	2.3	7.5	1
3	5	3.4	9.8	1
5	7	4.5	6.7	1
7	8	6.7	10.5	1
7	9	3.3	8.8	1
3	6	4.5	9.4	1
2	0	36.2	73.4	1
2	4	5.4	10.2	1
4	6	3.8	6.1	1

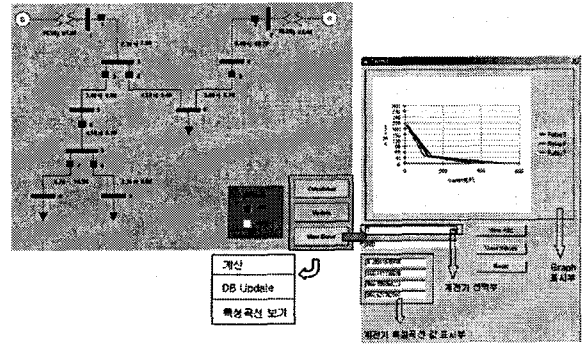


그림 10 Intouch를 이용한 HMI 화면 구현  
Fig. 10 HMI Display using Intouch

표 2는 계전기로부터 측정된 전압, 전류를 직각좌표 형식으로 바꾼 것을 보여주고 있다. 이 값을 이용하여 각 계전기별로 동작전류와 자기단 최대고장전류, 다음단 최대 고장전류를 계산한 값은 표 3과 같다. 강반한시 특성을 위한 임의의 한 전류값은 다음단 최대고장전류 값의 1/3이 되는 전류를 선택하였다.

표 2 각 계전기에서 측정된 전압과 전류  
Table 2 Measured voltage and current from each relay

Relay Number	Vr	Vi	Ir	Ii	State
1	23143.77	19.07	5.32	-10.46	1
2	24770.8	4.94	-4.22	8.42	1
3	23053.08	3.23	2.93	-5.77	1
4	23503.08	3.23	2.4	-4.69	1
5	24879.46	2.52	-4.22	8.42	1
6	22986.58	-5.87	2.93	-5.77	1
7	22934.73	0.47	1.55	-2.33	1
8	22934.73	0.47	1.38	-3.44	1

표 3 각 계전기별로 계산된 특성값  
Table 3 characteristic value of each Relay

Relay Number	Pickup	Optional	Next	Self
1	10.99589	99.15551	297.46654	328.89863
2	10.93897	85.67295	257.01885	293.25045
3	10.99589	138.14864	414.44594	505.77350
4	10.93897	87.79952	263.39858	197.41069
5	10.93897	79.57441	238.72325	257.07883
6	10.99589	121.15503	363.46509	414.44597
7	4.74911	100.11175	300.33526	357.62176
8	6.30544	104.67622	314.02867	359.21307

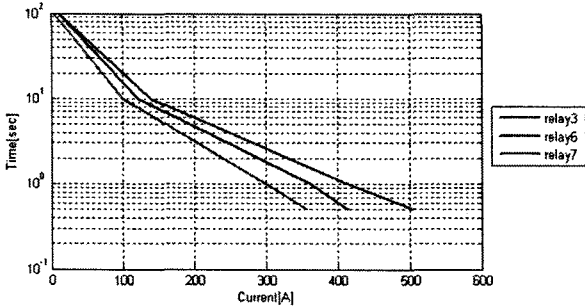


그림 11 각 계전기의 특성곡선  
Fig. 11 Created characteristic curve

그림 11은 생성된 계전기의 특성곡선들의 보호협조 관계를 보여주기 위해서 그래프로 나타내었다. 그림에서 보듯 적절하게 보호협조를 이루면서 동작하는 것을 확인할 수 있다. 다음으로 계통이 바뀌는 경우를 고려해 보면 처음 시뮬레이션 한 시스템에서 설비 점검 등의 이유로 4번 CB가 Open이 되었을 경우를 고려해 본다. 그림 12에 그러한 상태의 계통을 나타내었다.

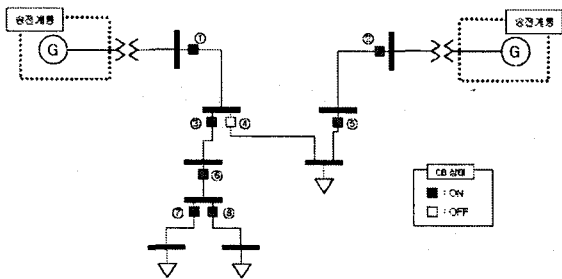


그림 12 4번 CB가 Open된 계통  
Fig. 12 Changed Power system

그림 12에서 보듯이 4번 CB가 Open이 됨으로써 하나의 배전계통이 서로 다른 2개의 계통으로 분리되어 운영되는 것을 알 수 있다. 이렇게 되면 계전기도 원래 설정되어 있는 값에서 바뀐 계통의 상황에 맞도록 적절히 수정이 되어야 한다. 표 4는 수정이 된 계전기의 설정값을 보여준다. 각 계전기는 계통이 변화하는 경우 적절히 설정값이 수정이 되는 것을 볼 수 있다. 4번 계전기의 경우는 4번 CB가 Open인 상태로 있으므로 전류가 흐르지 않기 때문에 설정값을 굳이 수정할 필요가 없다.

특성곡선을 수정하기 위하여 Engine에서 정정에 필요한 고장전류 값을 계산하는 알고리즘을 수행하는데 걸린 시간은 1초가 되지 않았고 30모션 이상인 실제의 더 큰 배전계통에서도 약 2초 이내에 알고리즘을 수행하는 것을 확인하였다. 이와 같은 결과는 일반적으로 계통의 변경이 수 초 내에 몇 번씩 자주 발생하는 것은 아니므로 충분히 계통의 변화에 대처할 수 있는 시간으로 판단된다.

표 4 변경된 계통에 대한 계전기 정정값  
Table 4 Modified setting values of the relay

Relay Number	Pickup	Optional	Next	Self
1	10.99589	99.15551	297.46654	328.89863
2	10.93897	85.67295	257.01885	293.25045
3	10.99589	87.94606	263.83818	297.46646
4	0	0	0	0
5	10.93897	79.57441	238.72325	257.01883
6	10.99589	80.83290	242.49870	263.83820
7	4.74911	70.05639	210.16918	236.50353
8	6.30544	72.51507	217.54521	238.09011

### 3. 결 론

본 논문에서는 디지털 과전류 계전기와 SCADA 시스템을 이용하여 계통이 변경되었을 경우 특성곡선을 설정하는 시스템을 제안하였다. 그리고 사례연구를 통해 실제로 적절히 정정이 되는 것을 확인하였다. 현재는 디지털 계전기의 경우 사용자가 직접 특성곡선을 생성하기 위한 전류값들을 입력시켜야 하지만 통신기술의 발달로 통신이 가능한 디지털 계전기들이 개발이 되고 있기 때문에 추후 이러한 계전기가 개발이 된다면 본 논문에서 제안된 시스템을 실 계통에 적용하여 보다 안정적으로 전력을 공급할 수 있고 또한 배전자동화 분야에도 크게 기여할 수 있을 것이라고 생각한다.

### 감사의 글

본 연구는 경북대학교 BK21 정보기술연구 인력양성 사업단의 지원으로 이루어졌으며 이에 감사를 드립니다.

### 참 고 문 헌

- [1] Mohindar S.Sachdev, Ratan Das, "Understanding Microprocessor-Based Technology Applied to Reaying", 현대중공업 전기전자시스템 사업부, February 2004
- [2] 이창호, "과부하 상태의 변동을 고려한 디지털 보호계전기의 최적보호 알고리즘 연구", 석사학위논문, 경북대학교, 2005
- [3] D. Baigent, E. Lebenhaft, "Microprocessor-Based Protection Relay : Design and Application Examples", IEEE Trans. on Industry Application, Vol. 29, No. 1, JAN. 1993
- [4] 윤준석, 최면송, 이승재, 현승호 "계통변화를 고려한 자율 적용형 과전류 계전기", 대한 전기학회 논문지 8호, 52권, pp. 444-449, 2003.

[5] A.M. Chebbo, M. R. Irving, M.J.H. Sterlin, "Voltage collapse proximity indicator : behavior and implications", IEEE Trans. Power Systems, col.10, pp.788-794, 1995. 5.

[6] K. Vu, M. M. Begovic, D. Novosel, M.M.Saha, "Use of local measurements to estimate voltage-stability margin", IEEE Trans. Power System, vol. 14, pp. 1029-1035, 1999. 8.

[7] S.M.Brahma, A.A.Girgis, "Development of Adaptive Protection Scheme for Distribution System With High Penetration of Distributed Generation", IEEE Trans on Power Delivery, Vol. 19, No. 1, JAN. 2004

[8] A. R. Bergen, V. Vittal, "Power System Analysis 2nd edition", Prentice-Hall, 2000.

[9] Sam F. Farag, M. K. Jhaveri, "Intelligent Microprocessor -Based Device Provide Advanced Motor Protection, Flexible control and Communication in Paper Mills", IEEE Trans. Industry Applications, Vol. 33, No. 3, May/June 1997.

[10] Drew Baigent, Ed Lebenhaft, "Microprocessor-Based Protection Relays : Design and Application Examples", IEEE Trans. Industry Applications, Vol. 29, No. 1, Jan./Feb. 1993

[11] J. A. Jiang, C. L. Tseng, C. S. Yu, Y. C. Wang, C. S. Chen, "Digital protective relaying algorithms for double circuit lines protection", ICPC 2002 on Power System Technology, Vol. 4, pp. 2551-2555, Oct. 2002.

[12] Murty, V. V. S. Yalla, "A Digital Multifunction Protective Relay", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 7, No. 1, pp. 193-201, Jan. 1992.

[13] 신대승, "보호계전시스템", 기다리, 2000.

[14] 유상봉, 임성준, 강창원, 이순형, 한찬호, 박용덕, 진명수, 김정철, "보호계전 시스템의 실무활용기술", 기다리, 2002.

[15] 이성환, 박상배, 안인석, "디지털 계전기를 이용한 전력감시 및 분산제어", 한국산업응용학회지, 제4권, 제3호, 263-266, 2001. 8.

[16] 서희석, 권기백, "DSP를 이용한 변압기용 디지털 보호 계전기 설계에 관한 연구", 대한조명.전기설비학회논문지, 제 17권, 제 6호, 2003. 11.

---

저 자 소 개



**이 호 준 (李昊俊)**

1997년 6월 26일생. 2005년 경북대학교 공대 전자전기공학부 졸업. 2005년~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정.  
Tel : (053)940-8802  
E-mail : windswar@hotmail.com



**백 영 식 (白榮植)**

1950년 7월 8일생. 1974년 서울대 전기공학과 졸업. 1977년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1977년 명지대 전기공학과 조교수. 현재 경북대 전자전기컴퓨터학부 교수.  
Tel : (053)950-5602  
E-mail : ysbaek@mail.knu.ac.kr