

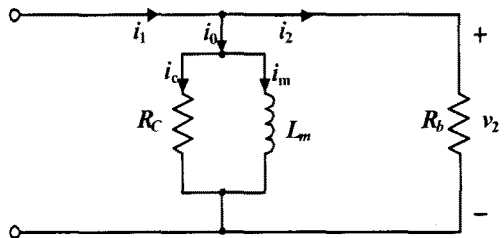
DSP를 이용한 변류기 보상 알고리즘

강용철, 이병은, 소순홍\*, 황태근, 이지훈, 차선희, 김연희, 장성일\*\*  
전북대학교, \*\* 한국IED Eng.

CT compensating algorithm Based on a Digital Signal Processor

Yongcheol Kang, Byungeun Lee, Soonhong So, Teakeun Hwang, Jihoon Lee, Sunhee Cha, Yeonhee Kim, Sungil Jang\*\*

**Abstract** - This paper proposes a compensating algorithm of a measurement current transformer (CT) using DSP. The core flux is calculated and then magnetizing current is estimated in accordance with the flux-magnetizing current curve. The core loss current is obtained with the core loss resistance and the secondary voltage. The correct secondary current is estimated by adding the exciting current to the measured secondary current. The performance of the proposed algorithm was tested using EMTP generated data. The experiment on the real CT was conducted using the prototype compensated system based on a digital signal processor. The results indicate that the algorithm can increase the accuracy of the measurement CT significantly.



$v_2$ : 2차 전압  $i_0$ : 2차 측으로 환산한 1차전류  
 $i_2$ : 2차 전류  $i_0'$ : 여자 전류  $i_c$ : 철손 전류  
 $i_m$ : 자화 전류  $R_c$ : 철손 저항  $L_m$ : 자화 인덕턴스  
 $R_b$ : 부담 저항

그림 1. 변류기 등가회로

1. 서 론

전력 계통에 흐르는 전류를 각종 측정용 장비에 공급하기 위하여 측정용 변류기는 고정밀도를 확보해야 한다. 이를 위해서는 철심 코어에 권선을 많이 감거나, 단면적을 크게 하거나, 투자율이 좋은 코어를 사용해야 한다. 따라서 고정밀 변류기의 제작 단가가 매우 상승하게 된다[1].

본 논문에서는 측정용 변류기의 오차를 보상하여 정밀도를 향상할 수 있는 방법을 제안한다. 제안한 알고리즘은 2차 전류로부터 자속을 계산하고, 자화 전류를 계산한다. 또한, 철손저항으로부터 철손 전류를 계산한다. 최종적으로 2차 전류에 여자전류를 합하여 2차 전류를 보상한다. 제안한 알고리즘의 성능을 EMTP에서 생성한 데이터를 이용하여 검증하였으며, 또한, 실제 변류기의 전류를 측정하여 TMS320C6701를 이용하여 검증하였다.

2. 측정용 변류기 보상 알고리즘

2.1 변류기의 등가회로

간략화한 변류기 등가회로는 그림 1과 같다[1].  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_0$  사이의 관계식은 다음과 같다.

$$i_1 = i_2 + i_0 \quad (1)$$

$i_2$ 는 측정된 2차 전류이므로,  $i_0$ 를 구할 수 있으면, 식 (1)로부터  $i_1$ 을 구할 수 있다.

2.2 측정용 변류기 보상 알고리즘

실제 변류기의 자화 인덕턴스와 철손 저항이 비선형의 특성을 가지기 때문에, 그림 1에서 철손저항과 자화 인덕턴스로 빠져나가는 여자 전류로 인하여 1차 전류와 2차 전류사이에 오차가 발생한다. 본 논문에서는 철손저항과 자화 인덕턴스로 빠져나가는 여자 전류를 추정하여 보상하는 방법을 제안한다.

제안한 방식은 2차 전류에 자화 전류와 철손 전류를 더하여, 2차 전류를 얻는다. 여자전류는 식 (2)와 같다.

$$i_0 = i_m + i_c \quad (2)$$

2차 전류로부터 자속을 계산하고, 이를 자화 곡선에 대입하여 자화 전류를 계산한다. 또한, 자속이 0이 될 때의 자화 전류는 0이 된다. 자화 전류가 0인 순간의 여자 전류는 철손 전류와 같기 때문에 여자 전류와 2차 전압으로부터 철손 저항을 계산할 수 있다. 철손 저항과 2차 전압을 이용하면 철손 전류를 구할 수 있다.

$$R_c i_c = R_b i_2 \quad (3)$$

제안한 알고리즘의 흐름도는 그림 2와 같다.

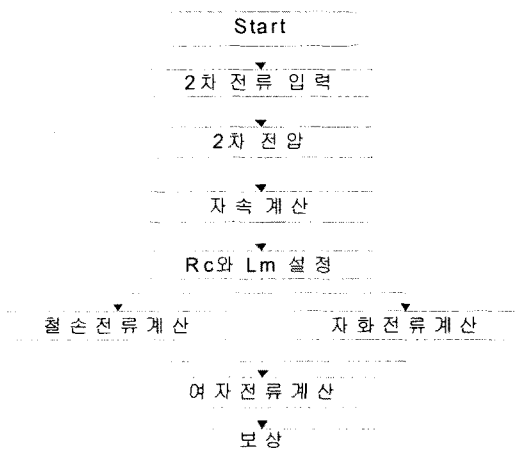


그림 2. 제안한 알고리즘의 흐름도

### 3. 사례 연구

#### 3.1 모델계통

제안된 방식의 성능을 검증하기 위하여 그림 4와 같은 모델 계통을 선택하였고 3상 Y-Y 변압기를 EMTP를 사용하여 모델링 하였다. 변압비는 154kV/23kV이고 전체 송전선 길이는 50[km], 변압기 양단에 설치된 변류기는 포화점이 2.047[A], 0.02[Vs]인 측정용 변류기를 사용하였다. 과전류정수는 2로 하였다. 부하는 순수 저항부하를 사용하였고, 변류기의 2차 부담은 0.5옴으로 하였다.

주기 당 64샘플의 데이터를 사용하였으며, 지역통과 필터로는 컷오프 주파수가 1920Hz인 중첩방지용 1차 RC 필터를 사용했다.

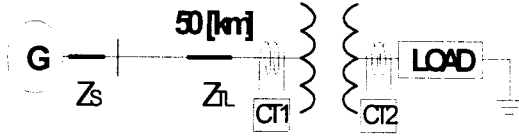
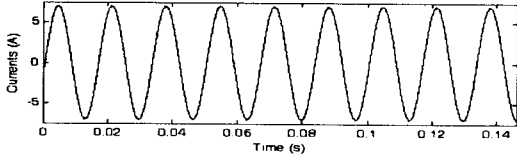


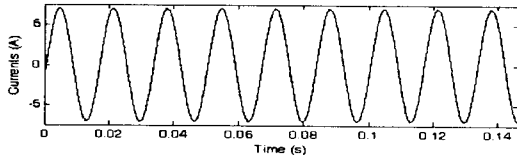
그림 3. 모델계통

#### 3.1.1 변류기 1차 전류가 정격인 경우

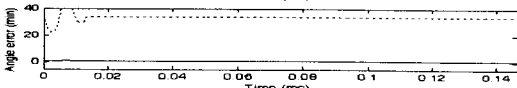
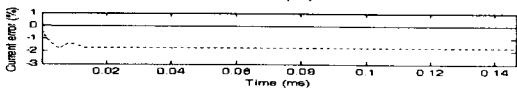
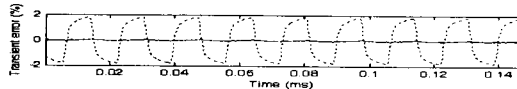
그림 4는 변류기 1차 전류가 정격 전류인 경우의 결과를 나타내었다. 그림 4a에서 점선은 2차 전류, 실선은 변류비에 맞는 1차 전류를 나타내었다. 그림 4b에서 점선은 보상된 2차 전류를 나타내었고, 실선은 1차 전류를 나타내었다. 그림 4c에서 점선은 보상하지 않은 경우의 오차, 실선은 보상한 경우의 오차를 나타내었다. 그림 4c에서 첫 번째 그림은 과도 오차를 나타내었다. 보상하지 않은 경우 오차는 1.8%이며, 보상한 후 오차는 0.1%로 줄었다. 그림 4c에서 두 번째 그림은 비오차를 나타내었다. 보상하지 않은 경우 오차는 -1.73%이며, 보상한 후 오차는 -0.003%로 줄었다. 그림 4c에서 세 번째 그림은 위상오차를 나타내었다. 보상하지 않은 경우 오차는 34분이며, 보상한 후 오차는 1.05분으로 줄었다. 보상을 한 경우와 보상을 하지 않은 경우의 오차를 비교해보면 오차가 많이 감소했음을 알 수 있다.



(a) 1차 전류와 2차 전류



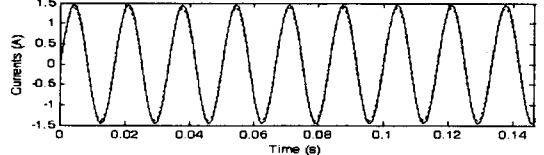
(b) 1차 전류와 보상된 2차 전류



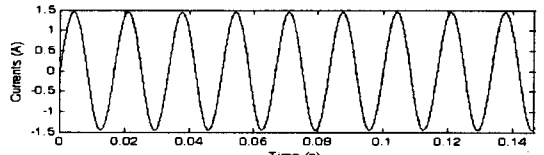
(C) 보상하지 않은 경우와 보상한 경우의 오차  
그림 4. 정격전류의 경우

#### 3.1.2 변류기 1차 전류가 정격의 0.2배인 경우

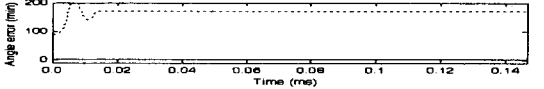
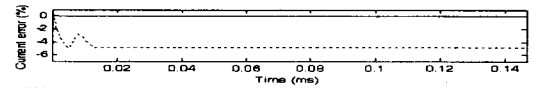
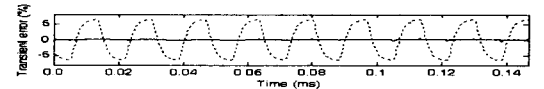
그림 5는 변류기 1차 전류가 정격 전류인 경우의 결과를 나타내었다. 이 경우의 과도 오차는, 보상하지 않은 경우 6.4%이며, 보상한 후에는 0.5%로 줄었다. 비오차는, 보상하지 않은 경우는 -5%이며, 보상한 후에는 -0.0067%로 줄었다. 위상오차는, 보상하지 않은 경우 173분이며, 보상한 경우에는 1.64분으로 줄었다. 보상을 한 경우와 보상을 하지 않은 경우의 오차를 비교해보면 오차가 많이 감소했음을 알 수 있다.



(a) 1차 전류와 2차 전류



(b) 1차 전류와 보상된 2차 전류



(C) 보상하지 않은 경우와 보상한 경우의 오차  
그림 5. 정격전류의 경우

### 4. DSP를 이용한 실험

#### 4.1 실험계통

제안된 계통방식의 성능을 검증하기 위하여 그림 6과 같은 실험 모델을 선택하였고 단상 변압기를 사용하여 모델링 하였다. 220V의 전원에 가변 전원을 설치하였고, 전류를 높이기 위해 변압비가 220V/10V인 강압변압기를 설치하였다. 변류기는 정확도가 1.2C인 측정용 변류기로, 변류비가 100:5이고, 정격 부담은 12.5VA(0.5옴)이다. 실험 시 부담을 1옴으로 하였다. 부하는 순수 저항부하를 사용하였다.

주기 당 64샘플의 데이터를 사용하였으며, 지역통과 필터로는 컷오프 주파수가 1920Hz인 중첩방지용 1차 RC 필터를 사용했다.

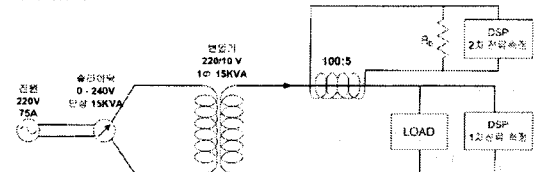
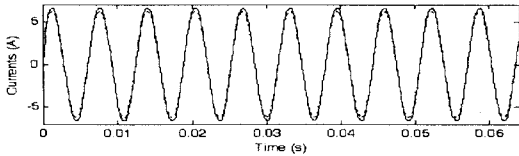


그림 6. 실험 모델

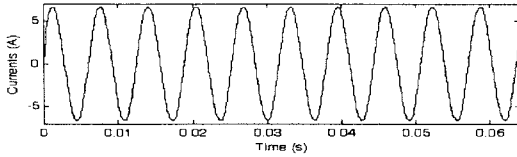
#### 4.2 변류기 1차 전류가 정격인 경우

그림 7은 변류기 1차 전류가 정격 전류인 경우의 결과를 나타내었다. 이 경우의 과도 오차는, 보상하지 않은 경우 6.65%이며, 보상한 후에는 0.79%로 줄었다. 비오차

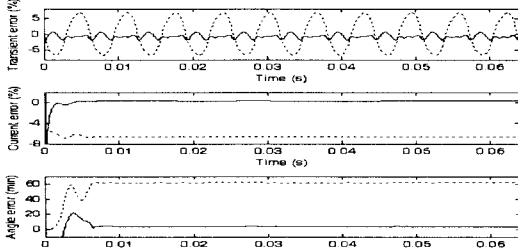
는, 보상하지 않은 경우는 -6.61%이며, 보상한 후에는 -0.32%로 줄었다. 위상오차는, 보상하지 않은 경우 62.1분이며, 보상한 경우에는 3.7분으로 줄었다. 보상을 한 경우와 보상을 하지 않은 경우의 오차를 비교해보면 오차가 많이 감소했음을 알 수 있다.



(a) 1차 전류와 2차 전류



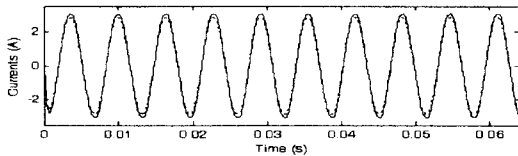
(b) 1차 전류와 보상된 2차 전류



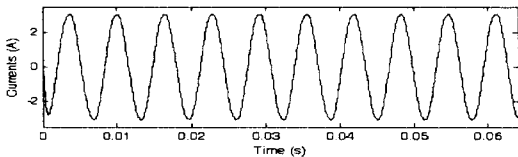
(c) 보상하지 않은 경우와 보상한 경우의 오차  
그림 7. 정격전류의 경우

#### 4.3 변류기 1차 전류가 정격의 0.5배인 경우

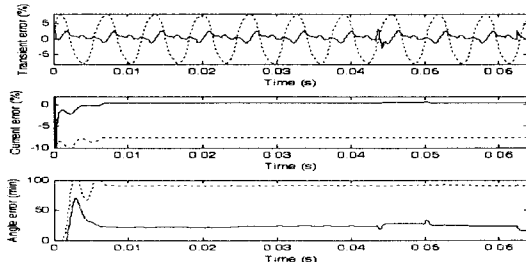
그림 8은 변류기 1차 전류가 정격 전류의 0.5배인 경우의 결과를 나타내었다.



(a) 1차 전류와 2차 전류



(b) 1차 전류와 보상된 2차 전류



(c) 보상하지 않은 경우와 보상한 경우의 오차  
그림 8. 정격전류의 0.5배인 경우

이 경우의 과도 오차는, 보상하지 않은 경우 7.72%이며, 보상한 후에는 2.7%로 줄었다. 비오차는, 보상하지 않은 경우는 -7.58%이며, 보상한 후에는 -0.53%로 줄었다. 위상오차는, 보상하지 않은 경우 91.26분이며, 보상한 경우에는 21분으로 줄었다. 보상을 한 경우와 보상을 하지 않은 경우의 오차를 비교해보면 오차가 많이 감소했음을 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 측정용 변류기의 2차 전류 보상 방법을 제안하였다. 제안한 방식은 측정된 2차 전류에 철손 전류와 자화 전류를 더하여 보상 전류를 구하였다.

전류보상 알고리즘은 EMTP 모의와 실제 변류기를 사용한 실험을 통하여 검증한 결과, 보상한 오차가 매우 감소하는 것을 알 수 있었다.

제안한 방식을 사용하면 측정용 변류기의 정확도를 매우 향상시킬 수 있다. 또한, 투자율이 작은 코어를 사용할 수 있으며, 크기가 작은 코어를 사용할 수 있으므로 제작 단가를 감소할 수 있다.

본 연구는 전북대학교 BK21 전자정보 사업단의 테마워크 프로그램을 통한 지원으로 이루어졌으며 이에 감사사를 드립니다.

### [참 고 문 헌]

- [1] S.H. Horowitz, A.G. Phadke, "Power System Relaying", Research Studies Press Ltd, 1992.