

지중송전계통 절연통보호장치 모델링 기법에 관한 연구

論 文

56-12-7

A Study on Modeling Methods for Cable Covering Protective Unit on Underground Power Cable Systems

崔慶圭[†] · 張太因^{*} · 尹亨羲^{**} · 鄭彩均^{***}
(Kyung-Kyu Choi · Tae-In Jang · Hyung-Hee Yoon · Chae-Kyun Jung)

Abstract - The conventional CCPU(Cable Covering Protective Unit) modeling methods which are used by Type 99 and Type 92 in EMTP simulation are firstly discussed in this paper, and then some problems of them are also investigated. Modeling method using Type 99 causes unstable characteristic at initial transient of CCPU operation. Time delay has also effect on the output of CCPU modeling. So, in this paper, a new modeling method for CCPU is designed by DBM(Data Base Module) of EMTP. The characteristic of Type 92 is used for the new modeling method. The reliability of this one is proved by comparing simulation with measured data. Specially, at initial transient, the waveform of the new method shows more stable result than that of conventional method using Type 99. Also, the peak value is similar to measured data.

Key Words : ATP, CCPU, EMTP, Modeling, Underground power cables

1. 서 론

현재 국내에서는 154kV와 345kV 지중송전계통에 OF 케이블 뿐 아니라 XLPE 케이블이 운용 중에 있으며, 이는 대도시 지역의 전력공급 수단으로 중요한 역할을 담당하고 있다[1]. 그러나 최근 들어 지중송전계통의 고장 발생빈도가 증가하고 있고 고장으로 인한 화재 발생 등 2차 사고로 파급되는 사례가 나타나고 있어 이에 대한 대책마련이 시급한 실정이다[2]. 일반적으로 지중송전계통에서 발생하는 고장 분석을 위해 실증시험에는 한계가 있으며, 주로 EMTP/ATP를 이용한 시뮬레이션을 통해 분석이 이루어진다. 따라서 시뮬레이션 기법에 대한 신뢰성 확보는 과도해석에 있어 가장 중요한 부분 중 하나이다.

특히, 지중송전계통 설비 중 절연통보호장치는 피뢰기와 동일하게 비선형 특성을 가지고 있어, 정확한 시뮬레이션에 많은 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 기존의 모델링 기법과 이에 대한 문제점을 분석하였으며, 이를 극복할 수 있는 새로운 모델링 기법에 대해 소개하였다. 다음으로 새로운 모델링 기법의 신뢰성 확보를 위해 독일에서 실시한 실증시험 결과와 비교 분석함으로써 기존 모델링 기법에 비해 개선된 사항을 검증할 수 있었다.

2. 기존의 절연통보호장치 모델링 기법

Type 99(Pseudo-nonlinear R)는 ZnO 피뢰기에 비선형 저항 대응으로 이용하여 근사해를 구하는 방법으로 기존의 절연통보호장치 모델링 기법으로 주로 활용되어 왔다. 그러나 이 방법은 과거 이력에 의해 구간 선형 저항 특성을 나타내는 그래프상에서 동작이 어느 구간에서 발생하는지를 결정하기 때문에 완전한 비선형성으로 사용할 수 없는 단점이 있다. 또한 섬락시에는 과거 이력이 없으므로 섬락순간 어느 구간의 특성을 나타내는지 사용자가 구간을 지정해야 하며, 동작지점이 그래프상에서 천천히 움직일 수 있도록 Δt 는 충분히 작아야 한다[3].

그림 1은 ATP의 Type 99를 이용한 교락비접지 방식을 모델링한 예를 나타내었다. 교락비접지 방식은 양단의 접속 사이에 비접지방식으로 CCPU를 설치하는 방식으로 대기간 방식과 더불어 방식층 및 접속함을 보호하기 위해 지중케이블에 주로 활용되는 방식이다. 또한 서지 보호효과가 대기간방식에 비해 우수하여 현재 국내 지중송전계통에서 주로 이용되는 방식이기도 하다.

그림 1에서처럼 Type 99를 이용한 EMTP/ATP 모델링은 Type 99 단상소자를 실제 접속방식과 동일하게 접속하여 모델링을 수행하며 절연통보호장치가 가지는 V-I 특성은 그림 1(C)와 같이 입력하게 된다[3].

그림 2는 지중송전계통에서 과도현상 발생시 Type 99를 이용한 절연통보호장치 모델링 결과이다. 그림에서 점선으로 표시된 부분의 데이터에서 볼 수 있듯이 전압파형은 과도현상이 발생하는 순간 절연통보호장치가 가지는 제한전압을 크게 초과하는 피크 값이 순간적으로 발생하게 된다. 이는 Type 99가 가지는 불안정한 동작특성과 Δt 의 영향으로 계산상 오차의 원인이 될 수 있다. 따라서 모델링 과정에서 반드시 개선이 필요할 것으로 사료된다.

† 교신저자, 正會員 : 韓電 電力研究院 先任研究員

E-mail : choikk@kepri.re.kr

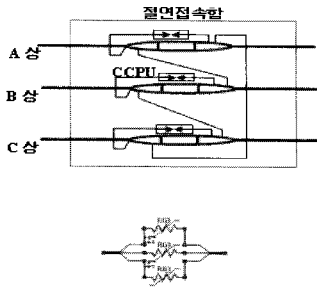
* 正會員 : 韓電 電力研究院 先任研究員

** 正會員 : 韓電 電力研究院 責任研究員

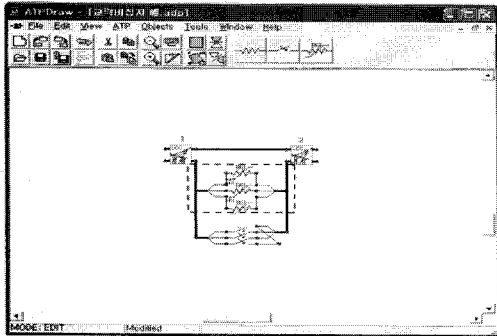
*** 正會員 : 韓電 電力研究院 研究員 · 工博

接受日字 : 2007年 10月 14日

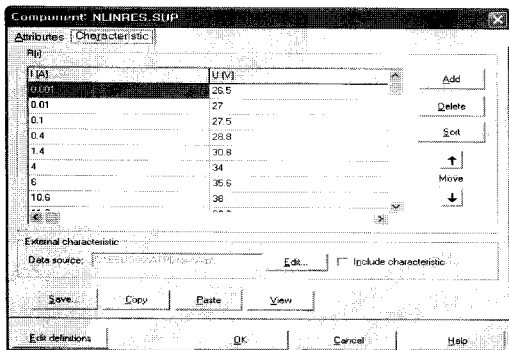
最終完了 : 2007年 11月 19日



(a) 교락비접지방식 모델링



(b) ATP 모델



(c) V-I 특성 입력

그림 1 교락비접지방식 CCPU ATP 모델링(Type 99이용)

Fig. 1 ATP Modeling of non-grounding type CCPU with cross-bonding using Type 99

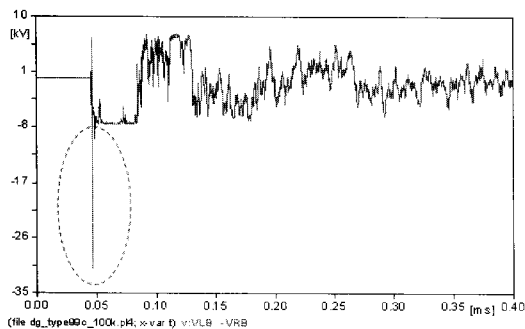
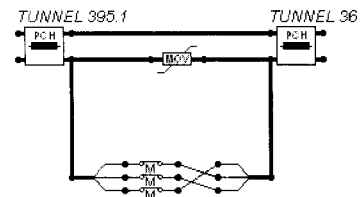


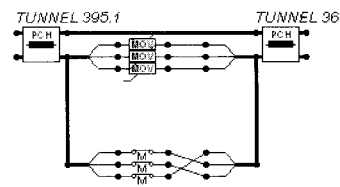
그림 2 Type 99를 이용한 CCPU 과도해석 결과

Fig. 2 Result of transient for CCPU using Type 99

위에서 언급한 것 처럼 Type 99를 이용한 절연통보호장치 모델링 결과 초기 과도특성에서 나타나는 불안정한 데이터로 절연통보호장치 모델링 방법으로 사용하는데 한계가 있음을 보였다. 이에 대한 대안으로 EMTP/ATP에서는 섬락을 고려한 ZnO 피뢰기 모델, Type 92를 지원하고 있다. Type 92는 보상정리와 뉴턴-랩슨법에 의해 해가 구해지는 비선형 소자로 이 경우 구해지는 해는 비교적 정확한 것으로 평가되고 있다. 그림 3에서는 Type 92, 단상 및 다상모델을 이용한 교락비접지방식을 모델링한 결과를 각각 나타내었다. 그러나 Type 92는 Type 99와는 달리 다상 모델이 지원되어 3상 모델을 일괄적으로 모델링 할 수 있는 장점이 있으나, Jacobian Matrix의 특성으로 인한 상호 커플링된 절연통보호장치에서 계산상의 오류가 발생하게 된다. 따라서 교락비접지 방식을 Type 92로 모델링하는 것은 불가능하다. 그러나 대지간방식은 모델링 할 수 있다.



(a) 3상 Type 92이용



(b) 단상 Type 92이용

그림 3 Type 92를 이용한 CCPU 모델링

Fig. 3 CCPU modeling using Type 92

3. 새로운 절연통보호장치 모델링 기법

2장에서 언급한 것처럼 기존의 Type 99와 Type 92를 이용한 모델링 방법에는 몇몇 계산상에 오류가 발생하여 절연통보호장치 모델링에 한계가 있음을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 EMTP의 DBM(Data Base Module)을 ATP에 접속시켜 Type 92를 모델링하는 새로운 방법을 고안하여 제시하였다.

3.1 DBM을 이용한 절연통보호장치 모델링

DBM기법은 EMTP에서 지원하는 보조 루틴인 "DATA BASE MODULE"에 의해 모델링을 수행하고 이를 \$INCLUDE 명령에 의해 ATP로 연동시키는 방법이다. 그림 4에서는 "DATA BASE MODULE"을 이용한 절연통보호장치 모델링 결과를 나타내었다. 그림에서처럼, 소자의 입출력 노드이름을 나타내는 노드명을 argument(ARG)로 사용하였으며, "I"는 소자의 출력 값 지정의 의미한다. 다시 말해, "I"

가 “1”로 지정되면 전류출력, “2”로 지정되면 전압출력, “3”으로 지정되면 전압·전류 동시 출력을 의미한다. 또한 ARG는 각각 “IN_A, IN_B, IN_C, OUT_A, OUT_B, OUT_C”를 사용하였으며, 절연통보호장치의 전류-전압특성은 그림에서 나타낸 것과 같다. 절연통보호장치의 전류-전압 특성은 그림 4의 점선으로 표시된 부분과 같으며 일반적으로 제조사에 의해 제공된다.

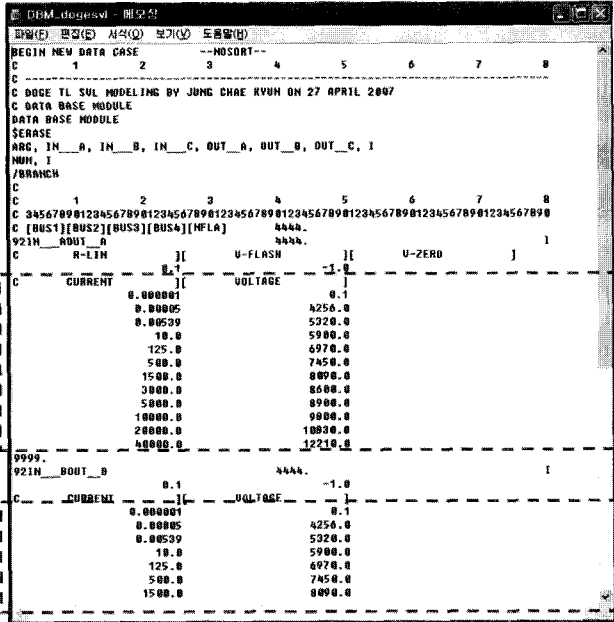
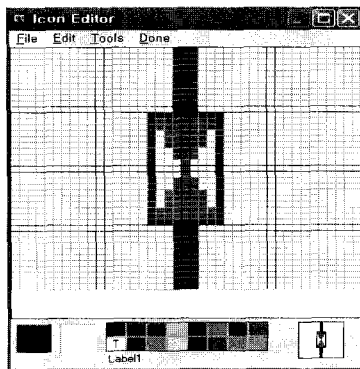
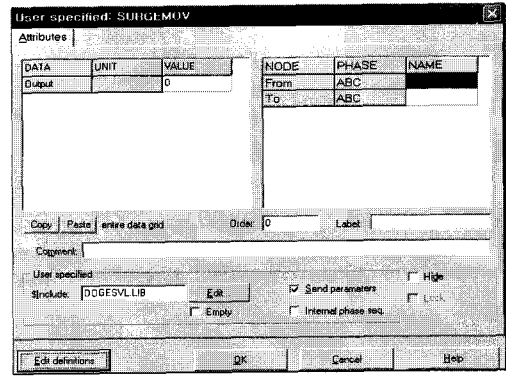


그림 4 DBM을 이용한 절연통보호장치 모델링
Fig. 4 CCPU modeling using DBM

“DATA BASE MODULE”을 이용한 절연통보호장치 모델링 결과를 ATP에 연동하기 위해 ICON Editor를 이용해 그림 5(a)와 같은 새로운 아이콘을 개발하였다. 새로운 아이콘은 ATP 메뉴에서 ICON edit/user specified를 통해 만들 수 있다. 그림 5(b)는 새롭게 만든 아이콘의 데이터 입력 창이다. 그림에서처럼 출력 값의 형태는 숫자로 결정하고 DBM을 통한 모델링 결과의 Lib파일은 \$Include에 링크하게 된다. 그림 6은 절연통보호장치 모델링 기법을 적용한 예이다.



(a) ICON



(b) Input window

그림 5 새로운 절연통보호장치 모델 아이콘 및 입력창
Fig. 5 Icon and input window of new CCPU model

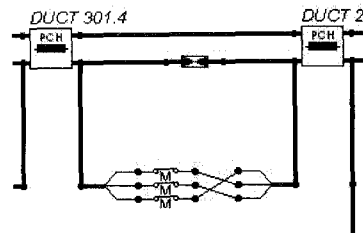


그림 6 DBM을 이용한 절연통보호장치 모델링(ATP)
Fig. 6 CCPU modeling using DBM(ATP)

3.2 절연통보호장치 모델링 기법 검증

국내에서는 현재까지 실계통을 대상으로한 절연통보호장치의 실증시험이 이루어진 사례가 없으나, 1998년 독일 400kV XLPE 케이블계통에서 절연통보호장치를 포함한 서지파도 특성에 대한 실측을 실시하였다[4]. 따라서 본 논문에서는 독일 실계통에 대한 상세정보를 입수하여 EMTP를 이용한 상세 모델링을 실시하였으며, 실측값과 비교 검토 함으로써 모델링에 대한 신뢰성을 검증하였다. 그림 7은 독일 의시계통도를 간략화한 도면을 나타내었으며, 실증시험 인가전압은 A상에 640V, 주파수는 0.01Hz이다. 이처럼 실증 시험에 사용된 전압이 저전압이기 때문에 과도현상 발생 후에도 실제 절연통보호장치의 동작전압에 크게 못미치게 되어 동작하지 않는다. 따라서 약 40V의 보호레벨을 가지는 MOV(SIOV-S10K14)를 기존의 CCPU와 병렬로 연결하여 과도특성을 측정하였다. 그림 8에서는 실증시험 계통의 ATP 모델링을 나타내었다.

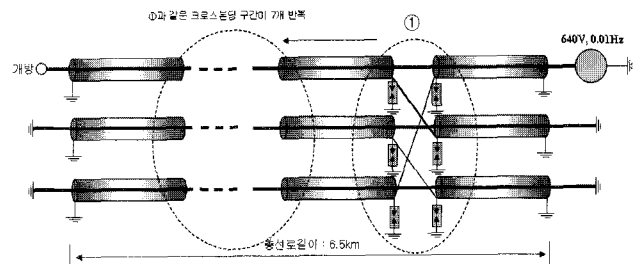


그림 7 절연통보호장치 실증시험 계통도
Fig. 7 System diagram of real test for CCPU

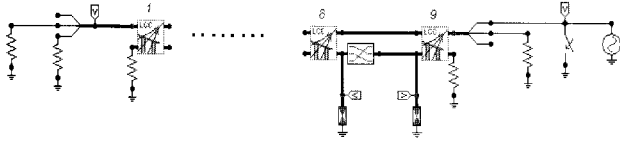
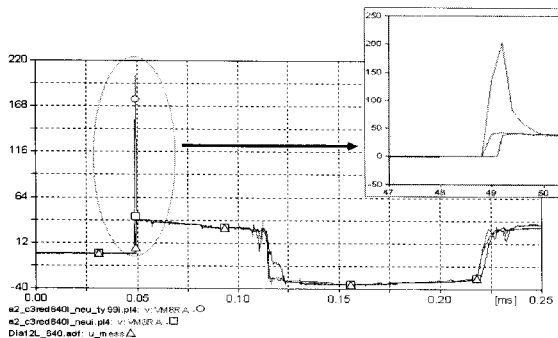


그림 8 절연통보호장치 실증시험 ATP 모델링
Fig. 8 ATP modeling of real test for CCPU

그림 9와 그림 10은 실증시험, 기존 방법인 Type 99를 이용한 모델링과 새로운 방법인 DBM을 이용한 Type 92를 상호 비교하여 나타내었다. 여기서 그림 9는 그림 7 ①지점에서 오른쪽 절연통보호장치의 전압이고, 그림 10은 왼쪽의 전압이다. 그림에서처럼 Type 99를 이용한 기존의 방법은 과도발생 초기에 보호레벨(40V)을 훨씬 초과하는 250V까지 전압이 상승하는 형태로 실측값과 비교하였을 때 매우 불안정한 형태의 파형을 보이고 있으며, 계산상 오차가 크게 발생할 수 있음을 보였다. 표 1의 최대값 비교에서도 알 수 있듯이 ①지점 오른쪽과 왼쪽 모두 새로운 방식에서는 1V 미만의 오차를 보이고 있지만, 기존의 방식(Type 99)은 과도 초기 최대값 기준으로 162V와 215.2V로 매우 큰 오차를 보이고 있다. 이 처럼 기존의 Type 99를 이용한 절연통보호장치 모델링 방법에는 여러 가지 한계가 있는 것으로 판단되나 본 논문에서 고안한 DBM을 이용한 Type 92를 이용한 모델링 기법은 실측값과 비교하여 신뢰성이 매우 높은 것으로 평가되었다. 따라서 향후 지중송전계통의 절연통보호장치를 모델링 할 때 Type 99를 이용한 방법은 지양하고 새로운 Type 92를 사용하는 방향으로 개선되어야 할 것으로 사료된다.

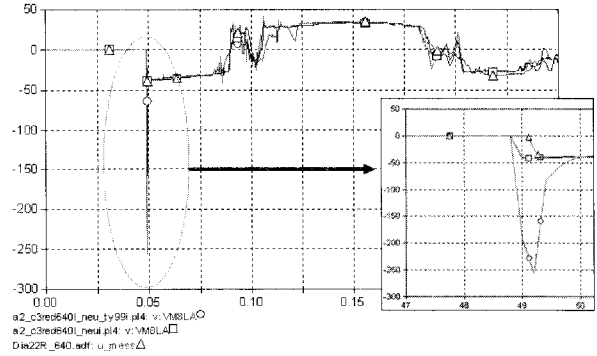


○ : Type 99, □ : Type 92, △ : 실증시험

그림 9 절연통보호장치 전압비교(실증시험/Type99/Type92)
Fig. 9 Comparison of CCPU voltages(real test/Type 99/Type 92)

4. 결 론

본 논문에서는 먼저 기존의 모델링 기법인 가상 비선형 저항(Pseudo-nonlinear R, Type 99)에 대한 분석을 수행하였으며, 새롭게 개발한 DBM(Data Base Module)을 적용한 Type 92와 비교 검토하였다. 아울러 모델링의 신뢰성 검증 을 위해 독일에서 실시한 실증시험 결과를 이용해 검증함으로써 DBM을 이용한 Type 92의 방법의 신뢰도를 증명하였



○ : Type 99, □ : Type 92, △ : 실증시험

그림 10 절연통보호장치 전압비교(실증시험/Type99/Type92)
Fig. 10 Comparison of CCPU voltages(real test/Type 99/Type 92)

표 1 절연통보호장치 최대값 비교

Table 1 Comparison of maximum voltages of CCPU

| CCPU 전압 | 실증시험 | 기존방식 | 새로운방식 |
|---------|--------|---------|---------|
| | | Type 99 | Type 92 |
| ①지점 오른쪽 | 41.6 V | 203.6 V | 42.4 V |
| ①지점 왼쪽 | 41 V | 256.2 V | 42 V |

다. 향후 국내 선로 특성에 적합한 모델링 기법의 다양한 검증 을 위해 대표적인 선로를 추가적으로 모델링 하여 모델링 기법에 대한 다양한 분석을 실시할 예정이며, 특히 절연통보호장치 상호간의 등가 커패시턴스 영향을 자세히 분석하여 모델링 오차를 최소화하는데 활용할 예정이다.

참 고 문 헌

[1] KEPCO, “지중송전케이블 시스템”, 2002. 12
 [2] KEPRI, “지중케이블 설비체계 분석 및 케이블 보호대책 수립에 관한 연구(최종보고서)“ 2004. 12
 [3] ATP Rule Book, Canadian/American EMTP user group, Portland, Oregon/USA. (revised and distributed by the EEUG Association), 1998
 [4] M. Kizilcay, Michael Ermel, Sven Demig, “Modelling of a 400kV XLPE Cable System” EEUG Meeting 2002

저 자 소 개



최 경 규 (崔 慶 圭)

1958년 11월 17일 생. 1985년 동국대 공대 전기공학과 졸업. 1985년~2007년 한국전력공사 수원전력관리처 근무. 현재 한전 전력연구원 전력계통연구소 지중케이블그룹 선임연구원

Tel : (042)865-5894

E-mail : choikk@kepri.re.kr



윤 형 희 (尹 亨 羲)

1954년 10월 20일 생. 1983년 동국대 공대 전기공학과 졸업. 한전 송변전처 및 송변전건설처 근무(1984~2004). 한전 의 정부전력소 송전부장(2004~2006). 2006년~현재 한전 전력연구원 전력계통연구소 지중케이블그룹 그룹장, CIGRE 한국 국내위원회 전력케이블 연구회 운영위원, 미국 EPRI Working Group Member.

Tel : (042)865-5890

E-mail : yoonhyh@kepco.co.kr



장 태 인 (張 太 因)

1968년 12월 5일 생. 1990년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년~1995년 (주) 삼성SDS 근무. 1996~현재 한전 전력연구원 전력계통연구소 지중케이블그룹 선임연구원

Tel : (042)865-5892

E-mail : angeljti@kepri.re.kr



정 채 균 (鄭 彩 均)

1973년 7월 14일 생. 1999년 원광대 공대 전기공학과 졸업. 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2006년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 2006년~2007년 독일 University of Siegen, Post-doc 연구원. 현재 한전 전력연구원 전력계통연구소 송전기술그룹 연구원

Tel : (042)865-7595

E-mail : chekyun@kepri.re.kr