

## RTDS를 이용한 SMES model Algorithm 개발

정희열\*, 박대진\*, 김재호\*, 이재득\*, 김아롱\*, 박민원\*, 유인근\*, 심기덕\*\*, 김석호\*\*, 김해중\*\*, 성기철\*\*  
 국립 창원 대학교\*, 한국 전기 연구원\*\*

### Algorithm development of SMES model using RTDS

Hee-Yeol Jung\* , Dae-Jin Park\*, Jae-Ho Kim\*, Jaedeuk Lee\*, Arong Kim\*, Minwon Park\*, In-Keun Yu\*,  
 Ki-Deok Sim\*\*, SeokHo Kim\*\*, Hae-Jong Kim\*\*, Ki-chul Seong\*\*  
 Changwon National University\*, KERI\*\*

**Abstract** - Recently, utility network is becoming more and more complicated and huge due to IT(Information Technology) and OA(Office Automation) devices. In addition to, demands of power conversion devices which have non-linear switching devices are getting more and more increased. Voltage sag from sudden increasing loads is also one of the major problems inside of the utility network. In order to compensate the voltage sag problem, power compensation devices systems could be a good solution method. In case of voltage sag, it needs an energy source to overcome the energy caused by voltage sag. Superconducting Magnet Energy Storage (SMES) is a very good promising source due to the high response time of charge and discharge. This paper presents a real-time simulation algorithm for the SMES by using Real Time Digital Simulator (RTDS). With this algorithm users can easily do the simulation of utility power network applied by SMES system with the SMES coil modeled in RTDS.

특성은 계통제어에 있어서 지극히 큰 장점을 지니고 있다[2]. 그러나 현재 사용되고 있는 전력 계통 해석 프로그램은 실제 데이터를 사용하지 않기 때문에 전력 계통 해석에 한계가 있다. RTDS는 전력시스템의 전자적 과도현상을 모의하기 위한 실시간 Digital Simulator이다. RTDS를 사용하여 시스템의 제어 알고리즘이나 보호 장비 등의 페루프 시험을 실시할 수 있으며, 시스템 장비들의 동작 특성 등을 분석할 수 있다. RTDS는 실시간 계산이 가능한 고속의 프로세서들이 들어 있는 하드웨어와 시뮬레이션을 모의하고 동작시키는 소프트웨어가 결합된 형태이다 [6]. RTDS가 다른 시뮬레이터와 다른 점은 실제 시스템과의 연계 운전이 가능하다는 점이다. 이것은 RTDS가 실제 계통에서의 조건을 더 사실적으로 나타낼 수 있게 해줄 수 있음을 의미하며, 여러 논문을 통해서 응용기술이 개발되고 있다. 본 논문에서 제안된 RTDS를 이용한 SMES model 알고리즘은 실제 데이터를 사용하기 때문에 실제 SMES system의 조건을 더 사실적으로 나타낼 수 있다.

### 1. 서 론

최근 들어 국내에서도 전력품질 문제에 의해 발생하는 피해사례가 발표되고, 이에 따르는 손해배상을 환전에 요구하는 등 전력품질에 대한 관심이 증가하고 있다. 전력시스템에서 공급자와 소비자의 두 입장에서 생각해 볼 때 전력 공급자는 왜곡이나 기타 잡음이 없고, 일정한 주파수를 가지는 깨끗한 정현파 전압을 소비자에게 공급하여야 하며 전력 소비자는 정현파 전류에 가까운 부하 전류를 발생시켜야 한다[1]. 전력계통에 있어서 과거와 비교해 증가 하는 비선형 부하들은 전력 품질에 무시할 수 없는 악영향을 미치는 문제점들이다. 또한 부하의 갑작스러운 증가로 인해 생기는 순간전압 강하는 컴퓨터와 각종 자동화 제어기기에 장애를 일으켜 산업 전반적인 시스템에 나쁜 영향을 미치고 있다. SMES system은 빠른 충방전 특성 때문에 깨끗한 전압 품질을 원하는 병원, 군대 시설 및 반도체 산업 단지에 좋은 해결책이 될 수 있다[5]. SMES system의 계통 투입을 위해서는 먼저 시뮬레이션을 통해 SMES system이 계통에 어떤 영향을 미치는지를 해석해야 한다. 그러나 기존 시뮬레이션은 실제 데이터를 사용하지 않기 때문에 해석하는데 한계가 있다.

따라서 본 논문에서는 실시간으로 시뮬레이션이 가능한 고속의 프로세서들이 들어 있는 RTDS와 실제 SMES model coil을 제작, 시뮬레이션과 연계하여 fault에 따른 계통의 전압 강하를 SMES를 이용하여 보상하는 알고리즘을 개발하였다. 이 알고리즘을 이용하면 사용자가 실제 SMES system과 더욱 더 가까운 데이터를 이용하여 SMES용량을 수십[MW]~ 수십[GW]까지 조절하면서 전력 계통을 해석할 수 있게 하였다. 본 논문에서는 제안된 알고리즘을 구현해 보는데 초점을 두었다.

### 2. 본 론

#### 2.1 SMES system

SMES system은 전기 에너지를 에너지 변환하는 과정 없이 바로 저장할 수 있으므로 저장 효율이 높고, 전력의 충전, 방전 속도가 매우 빠르다는 특징을 갖는 새로운 전력저장 기술이다. 또한 현용 기술인 2차 전지나 플라이 휠 등의 다른 전력저장 장치에서는 구현할 수 없는 수 MW ~ 수십 MW 규모의 대 전력으로 전력 에너지를 저장, 방출할 수 있는 SMES system 고유의

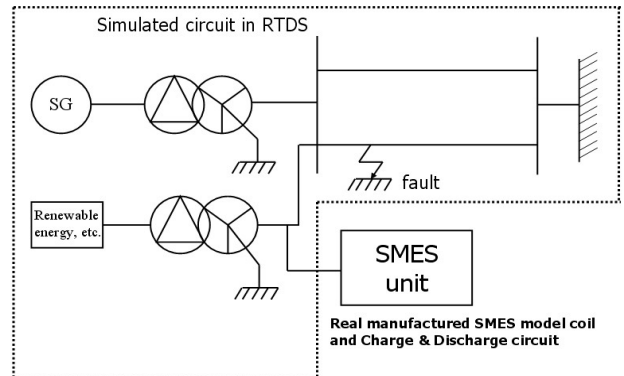


그림 1은 RTDS와 SMES model coil의 연계 알고리즘의 개념도를 나타낸 것이다. 점선 부분은 RTDS내에서 실제 계통도를 모의해서 fault 및 여러 가지 사고가 일어 난 후 실제 SMES coil 축소 모형으로부터 데이터를 입력 받아 RTDS 내에서 전력 계통을 해석할 수 있다는 것을 설명하고 있다.

#### 2.2 제안 된 알고리즘

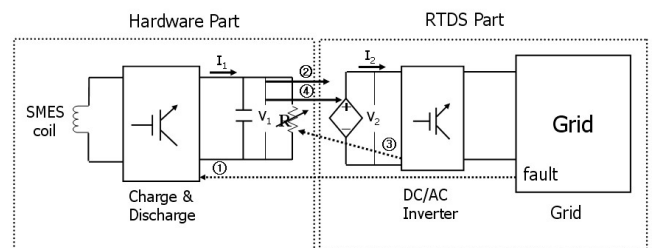


그림 2는 제안된 알고리즘을 block diagram으로 나타낸 것이다. 크게 Hardware Part와 RTDS Part 두 부분으로 나눌 수 있

다. Hardware Part는 실제 SMES coil에 직류 전원을 통하여 에너지를 충전 하게 된다. RTDS Part는 내부에서 전력 계통라인을 설계할 수 있으며 외부 Analogue/Digital 입력 단자를 통해 외부로부터 전원의 특성을 제공 받을 수 있다. RTDS로부터 fault 신호①이 Hardware 쪽으로 입력되면 충전된 에너지는 Capacitor 및 가변저항 쪽으로 방전을 하게 된다. Capacitor에 걸리는 V1전압은 신호②처럼 RTDS 내부 전원으로 사용되게 된다. V1전압은 RTDS 내부로 들어가서 내부 저항을 계산하는데 사용되며 계산된 저항 값은 신호③처럼 GPIB통신을 이용하여 전자부하장치의 setting값이 된다. 전자부하장치에 setting 된 저항 때문에 걸리는 전압V1은 신호④처럼 다시 RTDS 내부회로의 전원 값으로 입력되며 이 알고리즘은 실제 SMES system과 동일한 동작을 하게 된다. 표 1은 실제 Hardware Part와 RTDS Part를 연계하기 위한 기본적인 파라미터 값들이다.

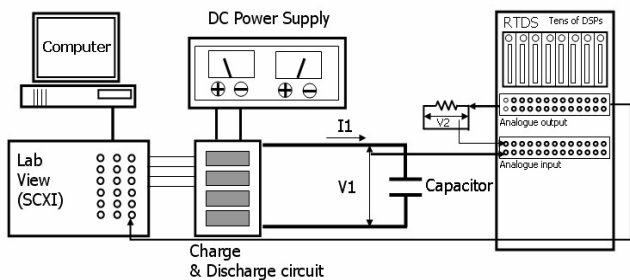
<표 1> SMES system 파라미터

Hardware Part	SMES coil	10kJ급
	충 & 방전 회로	180[kW]IGBT 4개
	Capacitor	6000[μF]
RTDS Part	전자부하장치	200[W]
	DC/AC inverter	PWM
	전력 계통	22.9[kV]

### 3. 알고리즘 확인

#### 3.1 DC Power supply를 이용한 알고리즘 확인

제안 된 알고리즘의 가장 중요한 점은 신호의 흐름도와 얼마나 짧은 시간 내에 신호의 입출력 동작이 이루어지는지이다. RTDS 내부에는 수십개의 DSP가 있으므로 연산 속도는 수십[μs]정도이다. 제안 된 알고리즘의 구현에 앞서 저자는 알고리즘을 증명하기 위해 입출력 실험을 수행하였다. 현재 에너지를 충전할 수 있는 SMES coil이 제작 되지 않았기에 DC Power Supply를 이용하여 실험을 수행하였다.



<그림 3> 알고리즘 확인 실험 시스템의 구성

그림 3에서 전원은 DC Power Supply를 사용했으며 LabVIEW(SCXI) 장비에 입력 단자를 통해 외부로부터 신호가 들어오면 출력 단자를 통해 충전방전 회로에 신호를 주어서 Capacitor 양단에 에너지를 충전되게 된다. Capacitor 양단에 걸리는 V1전압은 RTDS 내부로 입력되어 직류 회로를 계산하게 되며 그 값은 다시 RTDS 출력 단자를 통해 외부로 나오게 된다. 나온 값은 저항으로 흘러 저항에 걸리는 V2 값은 RTDS 내부로 입력되게 된다. 그 값은 RTDS 내부직류회로의 전원 값이 된다. 표 2는 실험에 사용된 파라미터 값들이다.

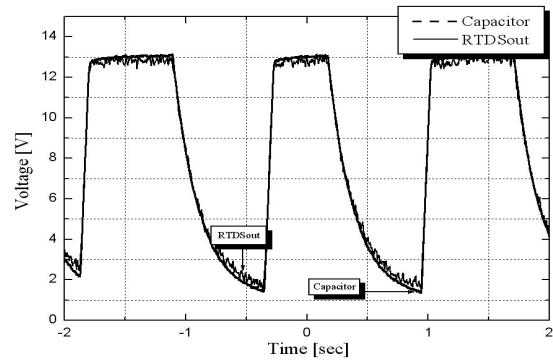
<표 2> 실험 파라미터

Hardware Part	DC Power Supply	30[W]
	충 & 방전 회로	180[kW] IGBT 4개
	Capacitor	6000[μF]
RTDS Part	저항	20[Ω] 100[W]
		직류 회로

#### 3.2 실험 결과

그림 4는 실험 결과 파형을 나타낸 것이다. 검은색 점선은 Capacitor 양단에 걸리는 V1전압을 나타낸 것이며 검은색 실선은 RTDS 출력 단자를 통해 저항 양단에 걸리는 V2전압이다. RTDS 연산 속도는 수십[μs]정도 밖에 되지 않는다. 그래서 그래프에서와 같이 delay time이 거

의 존재하지 않기에 제안 된 알고리즘을 이용하면 RTDS와 SMES coil을 연계하여 하나의 통합 시스템으로 운영할 수 있다.



<그림 4> Charge & Discharge 실험 결과 파형

## 4. 결 론



<그림 5> 제작중인 실제 시스템

[3][4]. 그림 5는 실제제작 중인 10kJ급 SMES coil을 위한 Cryostat와 충전방전 하드웨어 사진이다. 향후 실제 10kJ급 SMES coil과 RTDS를 연계해서 제안 된 알고리즘 실험을 수행할 것이다.

## 감사의 글

본 과제는 전력산업 연구개발 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

## [참 고 문 헌]

[1] Math H, J, Bollen "Understanding Power Quality Problems Voltage Sags and Interruptions" IEEE, Inc. New York, 2000  
 [2] Mauricio Aredes, Edson H. Watanabe : "New Control Algorithms for Series and Shunt Three-phase four-wire Active Power Filters", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10, No. 3, pp.1649-1656, July 1995.  
 [3] W. M. Grady, M. J. Samotyj, and A. H. Noyola : "Survey of active power line conditioning methodologies", IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 5, pp.1536-1542, 1990.  
 [4] H. Akagi, Y. Kanazawa, A. Nabae : "Instantaneous reactive power compensators comprising switching devices without energy storage components", IEEE Trans. on Ind. Application, vol. IA-20, pp.625-630, 1984.  
 [5] Math H, J, Bollen "Understanding Power Quality Problems Voltage Sags and Interruptions" IEEE, Inc., New York, 2000  
 [6] J. D. Lee, M. W. Park, and I.-K., Yu, "A study on the modeling of superconducting fault limiters using EMTDC", IFAC Symposium on Power Plants & Power System control, Vol. 1, p. 278, 2003.