

전력계통에 초전도한류기 적용을 위한 보호계전기기술

임성훈
 송실대학교 전기공학부

1. 서 론

증가되고 있는 전력수요에 대응하기 위한 발전원의 증가와 신뢰성있는 전력공급을 위한 계통의 루프화로 계통의 고장전류는 불가피하게 증가되어 왔다. 이에 대한 대응방안으로 초전도체가 갖는 영저항특성과 무손실특성이 기존의 대안보다 유리한 장점으로 기대가 높아짐에 따라 초전도한류기 개발에 대한 연구가 보다 경쟁적으로 진행되어 왔다. 이에 따라, 보다 확장되고 지능화되고 있는 계통보호를 위한 미래기술 확보를 위해 국가사업들을 통해 특성향상과 용량증대를 위한 초전도한류기 개발과 실증에 적용한 연구결과들이 지속적으로 보고되고 있다[1-5].

최근에는 배전계통의 효율향상과 효율적인 운영을 위한 계통의 스마트 그리드화로 다수의 대용량 분산전원 도입을 진행하고 있으며, 대용량의 분산전원도입은 계통의 고장전류 증가를 야기하게 되어, 관련보호설비의 용량증대로 보호기기의 교체가 예상되고 있다. 이에 대한 대안으로, 분산전원 연계에 따른 전압변동 억제와 전력품질향상을 위한 기술개발과 함께 관련 보호기기들의 교체를 지연시키기 위해 배전계통에 초전도한류기 적용을 위한 기술개발이 진행되고 있다 [4-7].

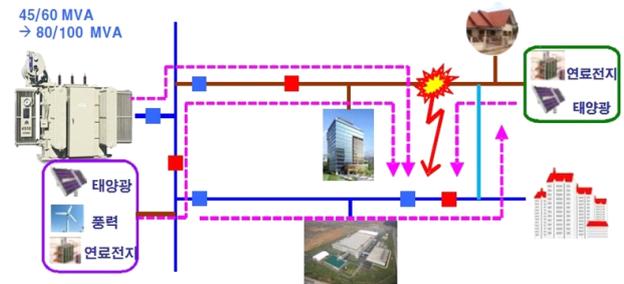


그림 1. 분산전원이 연계된 배전계통 구성 예.

반면에, 실계통에 초전도한류기 적용의 유용성을 검증하기 위해서는 고장전류 저감에 따른 관련계통을 보호하고 있는 기존 보호시스템과의 협조가 필수적이며, 초전도한류기 적용을 위한 보호협조 기술들도 확보되어야 할 중요한 기술로 부각되고 있다[4-7].

본 특집에서는 현재까지 개발된 초전도한류기들의 종류와 실계통에 설치되어 적용되고 있는 초전도한류기들에 대해 간략히 소개하고 분산전원이 도입된 배전계통에 초전도한류기 적용시 야기되는 보호협조문제와 이를 해결하기 위한 방안들을 몇가지 사례를 들어 기술하고자 한다.

2. 초전도 한류기 연구동향

초전도 응용기기중 초전도 한류기는 다른 초전도 응용기기와 달리 초전도체의 퀘치현상을 이용한 응용기기로서 다양한 구조와 장단점에 대해 가장 활발하게 보고되어 왔으며, 퀘치현상을 이용하지 않은 무퀘치형의 한류기도 보고되고 있다. 초기에는 벌크, 선재, 박막 등 여러 가지 형태로 제작된 초전

+ Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Soongsil University, Korea.

E-mail : superlsh73@ssu.ac.kr

* Dept. of Electrical Engineering, Soongsil University, Korea.

Received : July 14, 2012; Accepted : November 28, 2012

도체를 이용한 저항형과 튜브나 링형태로 제작한 초전도체를 이용한 차폐유도형, 정류회로를 이용한 브리지형이 보고되었다 (그림 2). 하지만, 제조기술의 어려움과 경제성 등으로 실제통적용을 위한 대용량 초전도한류기 개발에 어려움을 겪었지만 접점스위치와 상전도리액터를 이용한 트리거형 초전도한류기(그림 3)가 보고되면서 보다 향상된 하이브리드 초전도한류기(그림 4)를 국내에서 먼저 개발하게 되었고 이후 실증적용을 위한 사업들이 활발하게 진행되어 왔다[8-14].

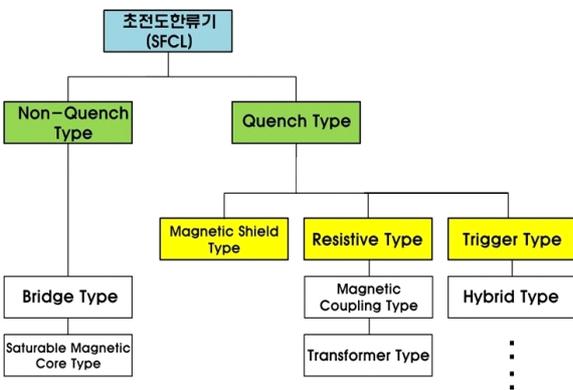


그림 2. 개발된 초전도한류기 분류.

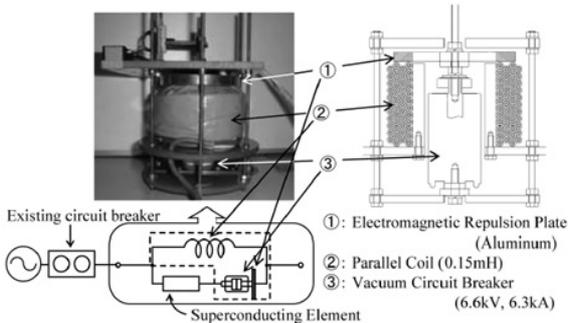


그림 3. 트리거형 초전도한류기 구조.

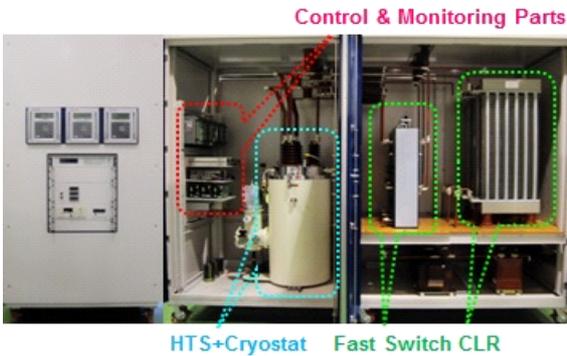


그림 4. 하이브리드(복합형) 초전도한류기 구성도.

이와 함께, 두개 또는 다수 코일의 자기결합을 이용하거나 전력용 스위치와 기계접점스위치를 활용하여 초전도한류기 부담감소와 성능향상에 대한 연구결과들이 다수 보고되어 왔다[14-17]. 또한, 고장전류 제한과 더불어 계통의 모션전압 억제와 계통연계측면에서 유리한 초전도한류기 계통적용위치에 대한 검토가 보고되기도 하였다 (그림 5, 6)[18-20].

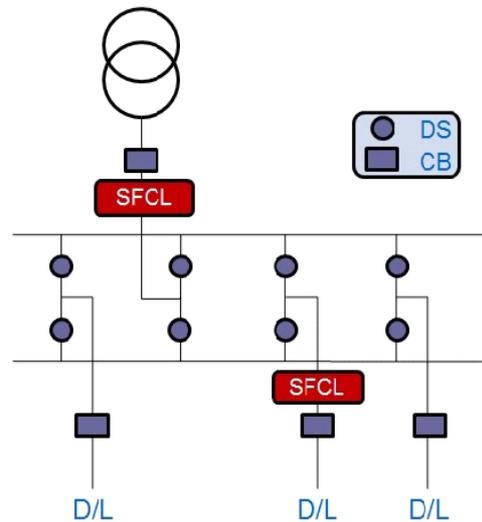


그림 5. 초전도한류기가 적용된 배전계통 구성 예 (주변압기 2차측, 피더인출단).

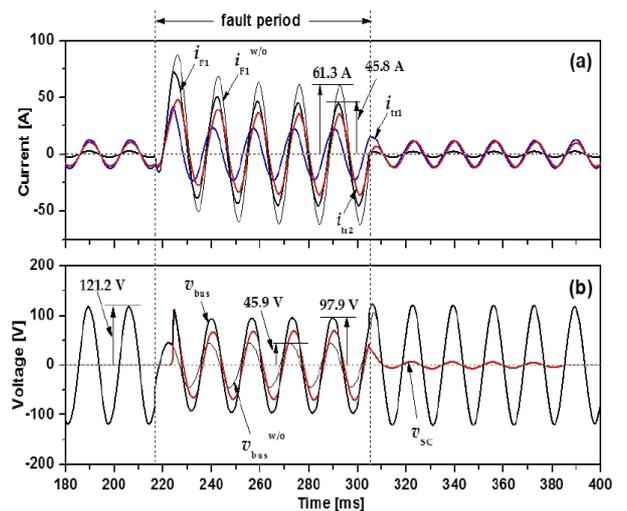


그림 6. 병렬운전중인 주변압기 모션사이에 초전도한류기 적용시 고장전류 제한 및 모션전압 억제특성 파형 예.

3. 배전계통에 초전도한류기 적용을 위한 보호계전 기술

전력계통에 초전도한류기 적용시 고장전류 저감으로 야기되는 문제로, 보호계전기들의 동작영역변화로 인한 부동작 또는 오동작 문제가 발생하게 되며, 이로 인한 보호계전기간 보호협조문제를 야기하게 된다. 배전계통보호를 위해 대표적으로 사용되고 있는 과전류계전기의 경우, 순시영역에서 한시영역으로, 한시영역에서 동작지연의 문제를 야기하게 되어, 계통보호를 위해 설정된 보호계전기간의 협조에 영향을 주게 된다 (그림 7) [20-22].

이와 더불어, 대용량 분산전원이 배전계통에 도입될 경우 고장전류 저감을 위해 초전도한류기 적용이 필요하지만 관련 보호계전기들의 동작검토를 통해 보호계전기들의 정정과 보정이 수반되어야 하며, 실증에서 적용되고 있는 보호시스템 장치들의 제한된 동작과 기술적인 제약으로 보호계전기간의 협조를 위한 다양한 방안들을 검토하는데 어려움을 겪고 있다. 또한, 송전계통 보호뿐 아니라 분산전원이 도입된 배전계통 보호를 위해 초전도한류기 적용과 보호협조를 위한 기술개발의 필요성을 인지하고 활발한 연구가 진행되고 있지만, 구체적인 보호협조 개선을 위한 기술개발에 대한 보고는 학계를 중심으로 주로 보고 되고 있는 상황이다[22-24].

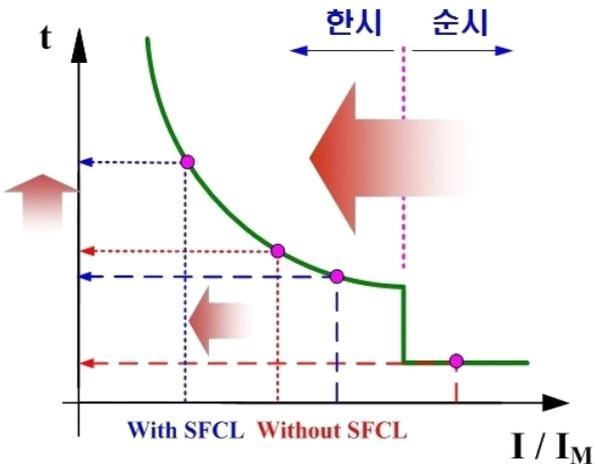


그림 7. 초전도한류기 적용에 따른 보호계전기 동작영역 변화 예.

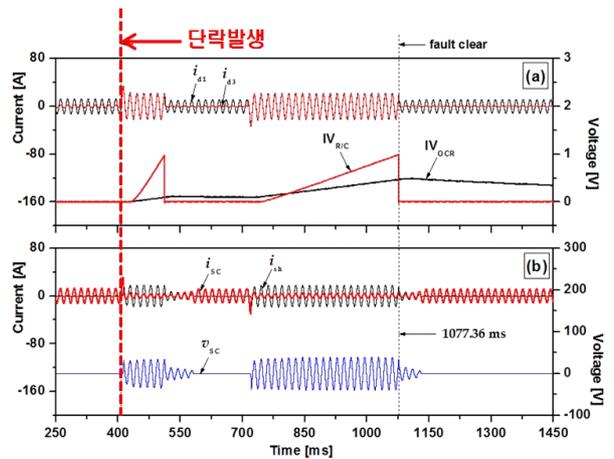


그림 8. 분산전원이 미도입된 배전계통에 단락발생시 보호계전기 동작에 따른 고장선로 전류 및 초전도한류기 동작과형 예.

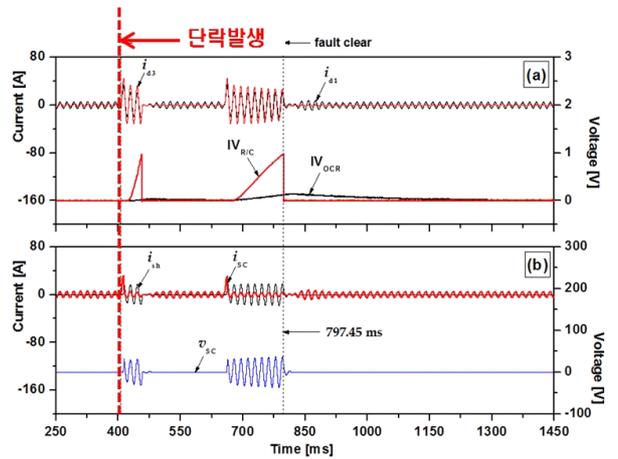


그림 9. 분산전원이 도입된 배전계통에 단락발생시 보호계전기 동작에 따른 고장선로 전류 및 초전도한류기 동작과형 예.

분산전원이 도입된 배전계통 보호를 위해 초전도한류기를 적용한 경우 보호계전기 동작과 보호협조에 영향을 보여주는 사례로써 배전계통에 영구고장이 발생한 경우 초전도한류기 적용시 보호계전기 동작으로 차단기 개방과 투입에 따른 고장선로 전류와 초전도한류기 동작과형을 그림 8과 그림 9에 나타내었다. 배전계통에 분산전원이 도입될 경우 고장전류가 증가되어 보호계전기의 동작영역에 영향을 주게 되지만 초전도한류기를 적용할 경우 고장전류 제한을 통해 보호계전기 동작에 주는 영향을 줄일 수 있으며, 그림 10에서

보여주는 바와 같이 보호계전기 동작영역을 벗어나지 않는 초전도한류기 임피던스 선정을 통해 분산전원 도입전의 보호계전기 동작을 유지할 수 있음을 확인할 수 있다.

분산전원이 도입된 배전계통 보호를 위해 초전도한류기를 적용할 경우 보호계전기 동작과

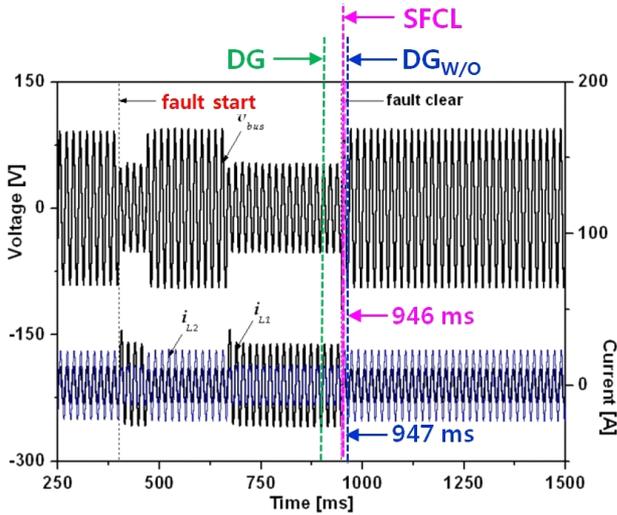


그림 10. 분산전원이 도입된 배전계통에 초전도한류기 임피던스를 조정된 경우 보호계전기 동작에 따른 고장선로전류 및 모션전압.

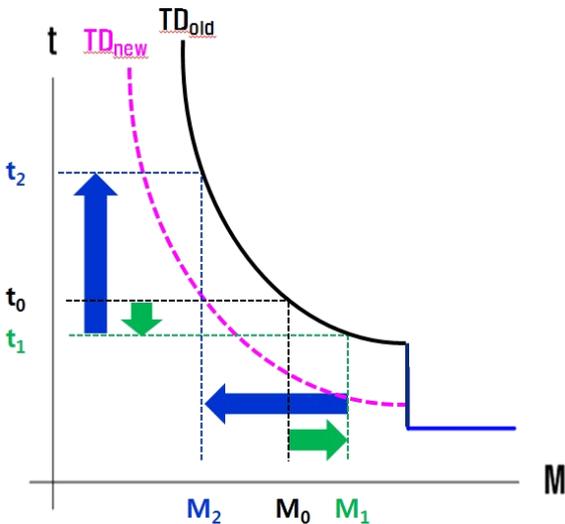


그림 11. 분산전원이 적용된 배전계통에 초전도한류기 적용을 고려한 보호계전기 정정개요.

보호협조를 위한 다른 방법으로 그림 11에 도시한 바와 같이 보호계전기 기준지표(M)와 레버(TD)의 설정을 정정을 통해 동작영역을 유지할 수 있다. 이외에도 배전계통에 분산전원 도입위치, 분산전원 용량 및 초전도한류기 적용위치 등 다양한 계통구성에 따른 보호계전기의 오동작과 부동작이 발생할 수 있으며, 이를 방지하기 위한 방안과 보호계전기간의 협조를 위한 기술개발이 분산전원이 도입된 배전계통에 초전도한류기 적용을 위해서는 필수적으로 선행되어야 될 것으로 사료된다. 이와 함께, 초전도한류기 적용을 고려한 보호계전기 정정 및 보정 등 동작개선을 위한 알고리즘 개발도 다양한 사례를 통해 이루어지고 있다.

4. 초전도한류기 계통적용을 위한 보호계전 기술 전망

대용량 다수의 분산전원 도입과 전력계통의 복잡화로 인한 고장전류 증가로 초전도한류기 적용을 위한 기술개발이 지속적으로 이루어질 것으로 전망되고 있으며, 실계통 적용을 위한 초전도한류기의 용량증대 및 특성향상을 위한 연구와 함께 고장전류 저감에 따른 기존 보호시스템과의 협조를 위한 기술개발과 초전도한류기 적용을 위한 보호협조 방안들이 향후 확보되어야 할 중요한 기술로 부각되고 있다.

국내외적으로 진행된 초전도한류기와 관련된 실증사업과 추진중인 사업에 대한 보고가 있지만, 제한된 계통과 기설치된 보호계전기의 제한된 동작으로 다양한 보호협조를 위한 기술개발이 더디게 진행되고 있는 실정이다. 하지만, 초전도한류기 실계통 적용을 위한 보호계전 기술개발에 대한 중요성을 인지하고 각종 지원과 사업이 적극적으로 진행되어 기술선점이 이루어진다면 국제적으로 전력분야에서의 경쟁력이 있는 초전도한류기 보호계전기술을 확보할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] S. H. Lee et al., "FCL Application Issues in Korean Electric Power Grid", Proc. of IEEE PES GM 2006, Montreal, Que. Canada, June 18-22 (2006)
- [2] H. R. Kim et al., "Development and Grid Operation of Superconducting Fault Current Limiters in KEPCO", IEEE Trans. on Appl. Supercond. Vol. 24 No. 5 (2014)
- [3] C. Neumann, "Superconducting Fault Current Limiter (SFCL) in the Medium and High Voltage Grid", Proc. of IEEE PES GM 2006, Montreal, Que. Canada, June 18-22 (2006)
- [4] O. B. Hyun et al., "Long-Term Operation and Fault Tests of a 22.9 kV Hybrid SFCL in the KEPCO Test Grid", IEEE Trans. on Appl. Supercond. Vol. 21 No. 3 (2011)
- [5] W. S. Kim et al., "Dynamic Characteristics of a 22.9 kV Hybrid SFCL for Short-Circuit Test Considering a Simple Coordination of Protection System in Distribution Networks", IEEE Trans. on Appl. Supercond. Vol. 22 No. 3 (2012)
- [6] S. H. Lim et al., "Analysis on Protection Coordination of Protective Devices With a SFCL Due to the Application Location of a Dispersed Generation in a Power Distribution System", IEEE Trans. on Appl. Supercond. Vol. 22 No. 3 (2012)
- [7] S. M. Cho et al., "Study on Coordination of Protective Relays Between Primary Feeder and Interconnecting Transformer Grounded by SFCL of Wind Farm", IEEE Trans. on Appl. Supercond. Vol. 22 No. 3 (2012)
- [8] M. S. Joo et al., "The Analysis of the Fault Currents According to Core Saturation and Fault Angles in an Inductive High-Tc Superconducting Fault Current Limiter", IEEE Trans. on Appl. Supercond. Vol. 6 No. 2 (1996)
- [9] T. Hoshino et al., "Design of 6.6 kV, 100 A Saturated DC Reactor Type Superconducting Fault Current Limiter", IEEE Trans. on Appl. Supercond. Vol. 13 No. 2 (2003)
- [10] J. Sim et al., "14 kV single-phase superconducting fault current limiter based on YBCO films", Cryogenics 47, 183-188 (2007)
- [11] T. Hori et al., "Study of Superconducting Fault Current Limiter Using Vacuum Interrupter Driven by Electromagnetic Repulsion Force for Commutating Switch", IEEE Trans. on Appl. Supercond. Vol. 16 No. 4 (2006)
- [12] B. W. Lee et al., "Practical Application Issues of Superconducting Fault Current Limiters for Electric Power Systems", IEEE Trans. on Appl. Supercond. Vol. 18 No. 2 (2008)
- [13] J. W. Sim, "LS 산전 한류기 사업 현황", Superconductivity and Cryogenics Vol. 16 No. 2 (2014)
- [14] B. W. Lee et al., "Practical Application Issues of Superconducting Fault Current Limiters for Electric Power Systems", IEEE Trans. on Appl. Supercond. Vol. 18 No. 2 (2008)
- [15] H. S. Choi et al., "Switching properties of a hybrid type superconducting fault current limiter using YBCO stripes", IEEE Trans. on Appl. Supercond. Vol. 12 No. 3 (2002)

[16] S. H. Lim et al., "Improvement of Recovery Characteristics of a Flux-Lock Type SFCL Using a Superconductor's Trigger", IEEE Trans. on Appl. Supercond. Vol. 20 No. 3 (2010)

[17] S. H. Lim et al., "Study on Peak Current Limiting Characteristics of a Flux-Lock Type SFCL Using Its Third Winding", IEEE Trans. on Appl. Supercond. Vol. 21 No. 3 (2011)

[18] J. S. Kim et al., "Analysis on fault current limiting and bus-voltage sag suppressing operations of SFCLs using magnetic coupling of two coils according to their application locations in a power distribution system", Physica C 471 1358-1363 (2011)

[19] J. F. Moon et al., "Assessment of the Impact of SFCL on Voltage Sags in Power Distribution System", IEEE Trans. on Appl. Supercond. Vol. 21 No. 3 (2011)

[20] J. S. Kim et al., "Bus-voltage Sag Suppressing and Fault Current Limiting Characteristics of the SFCL Due to its Application Location in a Power Distribution System", J. Electr. Eng. Technol. Vol. 8 No. 6 1305-1309 (2013)

[21] I. K. You et al., "Study on Protection Coordination Between Protective Devices in a Power Distribution System With an SFCL", IEEE Trans. on Appl. Supercond. Vol. 20 No. 3 (2010)

[22] S. H. Lim et al., "Analysis on Protection Coordination of Hybrid SFCL With Protective Devices in a Power Distribution System", IEEE Trans. on Appl. Supercond. Vol. 21 No. 3 (2011)

[23] J. S. Kim et al., "Study on Application Method of Superconducting Fault Current

Limiter for Protection Coordination of Protective Devices in a Power Distribution System", IEEE Trans. on Appl. Supercond. Vol. 22 No. 3 (2012)

[24] S. H. Lim et al., "Improvement of Protection Coordination of Protective Devices Through Application of a SFCL in a Power Distribution System with a Dispersed Generation", IEEE Trans. on Appl. Supercond. Vol. 22 No. 3 (2012)

저자이력



임성훈(林成勳)

1992-1996년 전북대학교 전기공학과 공학사, 1996-1998년 전북대학교 전기공학과 공학석사, 1998-2003년 전북대학교 전기공학과 공학박사, 2003-2006년 전북대학교 공학연구소 연구원, 2006년-현재 숭실대학교 전기공학부 정교수