

대용량 배전고객 용량증대방안 기술적 고찰

이 경극, 윤 용범
한국전력공사 경영연구소

A study on increasing the capacity of distribution line

Yi Kyung-Keug, Yoon Yong-Beum
KEPCO

Abstract - 한전 배전선로 전용고객의 공급용량증대 필요에 따라 대용량배전 공급방식으로 22.9kV 전류용량증대방안, 35kV 등 전압격상에 의한 공급용량증대방안 및 초전도기기 적용에 의한 방안을 기술적, 경제적 측면에서 비교분석하여 공급용량증대에 관한 이론적 근거를 마련하고자 한다.

1. 서 론

한전의 22.9kV 배전선로를 통한 공급가능용량은 회선당 최대 20MVA으로 제한되어있다. 수용가설비가 대용량화함에 따라 공급용량증대요구는 지속되나 배전선로경과지 확보의 어려움, 공급회선수 증가로 인한 유지보수 등 비용증가로 인해 회선당 용량을 증대할 필요성이 제기되고 있다.

2. 본 론

2.1 용량증대 대상모델 구체화

배전공급용량을 현재의 20MVA이상으로 늘리기 위해 크게 전류용량 증대, 전압격상방안을 생각할 수 있다. 전압격상은 변전, 배전시스템 전반의 절연계급 상승을 수반하며 전류용량증대 역시 선로 전선 등의 규격상향 외에 전원측인 변전소 주변압기 및 차단설비의 규격상향을 고려해야한다.

2.1.1 주변압기용량

현재 한전의 154kV 변전소에서 운영중인 45/60 MVA 변압기의 용량증대 대상으로 IEC 규격인 80, 100, 125MVA를 고려할 때, 대용량일수록 Scale merit에 의해 단위용량당 비용감소를 기대할 수 있으나 변압기 크기증가로 인해 현재의 변압기실내 설치가 곤란해지므로 100MVA변압기가 적절한 것으로 판단된다. 또한 도로 운송중량계약을 감안하여 상분리형 3Tank방식을 적용하고 냉각방식별 용량은 OA/FA 75/100MVA이 적절할 것으로 판단된다.

2.1.2 전선규격 선정

현재 22.9kV 배전선로의 경우 최대공급용량은 ACSR/AW-OC 240㎟ 적용시 20MVA이다. 동일전선으로 배전전압을 35kV로 승압시 전력용량은 약 1.6배 증가하여 최대용량을 31MVA정도로 증대시킬 수 있다. 주변압기 용량도 100MVA로 약 1.6배 증가하므로 이 경우 변압기용량 대비 선로용량은 적정할 것으로 판단된다. 다른 측면에서 적정 전선규격선정을 위해 선로기준용량을 25MVA, 30MVA, 35MVA, 40MVA 등으로 설정하는 방안을 생각해 볼 수 있으나 40MVA이상이 되면 변압기 용량대비 선로용량이 지나치게 커져 인출가능 회선수가 부하의 수용율을 감안하더라도 3회선 정도에 불과해 1개 선로 고장시 변압기 이용률측면에서 효율이

낮아진다. 선로용량이 30MVA일 경우 수용율 감안시 4회선 인출이 가능하다. 22.9kV전압으로 30MVA용량을 얻기 위해서는 단위전선 규격이 480㎟이상 되어야 하므로 도체이용효율, 시공측면, 용량추가증대 탄력성 등을 고려할 때 160㎟전선 복도체방식이 타당할 것으로 보이며 이 경우 최대용량은 31MVA로 35kV방식에서와 동일하다.

2.1.3 차단기용량선정

차단기의 정격전류는 22.9kV의 경우 변압기용량 증가로 인해 상향조정이 필요하며 계산결과는 다음과 같다.

Main CB	Feeder CB	Bus Tie CB	Sec CB
3000A 25kA	1200A 25kA	3000A 25kA	3000A 25kA

35kV의 경우 변압기용량 증가에 비해 전압이 증가하므로 기존의 정격전류와 차이는 없으나 절연계급의 상향이 필요하다.

Main CB	Feeder CB	Bus Tie CB	Sec CB
2000A 25kA	600A 25kA	2000A 25kA	2000A 25kA

차단전류는 2.2.1 고장전류계산 결과 현재 사용하고 있는 차단기 정격 25kA이내를 만족한다.

2.1.4 비교대상 모델

이상의 과정을 거쳐 용량증대방안 도출을 위해 다음과 같은 비교대상모델을 선정하였다.

	주변압기	전선	열용량
1안	154/35kV 100MVA	ACSR/AW-OC 240㎟	31MVA
2안	154/23kV 100MVA	ACSR/AW-OC 160㎟,2B	31MVA

35kV 시스템 접지방식은 외국전력사에서 대부분 채용하고 있는 Y결선 중성점 다중접지방식을 적용하였다.

2.2 대상모델별 기술적측면의 고찰

기술적 측면의 비교를 위해 고장전류, 전압강하, 전자 유도장에 및 지지를 기계적 강도측면 등의 비교분석을 수행하였다.

2.2.1 고장전류 측면

주변압기용량이 100MVA로 증가함에 따라 비례하여 고장전류는 증가하게 되나 변전소 인출 차단기의 현재 정격 25kA를 초과하지 않으므로 규격변경은 불필요하다. 하지만 배전선로에 설치된 각종 개폐장치의 정격을 초과하므로 이 문제에 대한 검토가 필요하다. 개별 개폐장치의 정격을 모두 상향시키는 것은 새로운 규격의 개발이 필요하며 경제적으로 불리하므로 전류제한장치로 초전도한류기 적용방안과 변압기의 임피던스를 상향조정

하는 방안을 고려했었다. 초전도한류기는 현재 국내에서 3000A급 연구개발이 진행중에 있으며 실용상 검증을 위해서는 상당한 시일이 필요할 것으로 보인다. 이에 비해 변압기임피던스를 높이는 방안은 실용상 문제가 없으므로 현 단계에서 이 방안을 추진하는 것이 합리적으로 보인다. 변전소 인출단의 고장전류치는 $I_S = \frac{100}{\%Z} \times I_N$ 에 의해 100MVA, %20일때 11kA, 100MVA, %33일 때 7kA정도로 기존 차단기규격이내에 있다. 또한 배전선 부하절체 등을 위해 변압기 병렬운전시에도 고장전류는 최대 22kA 정도이므로 기존 차단기규격을 적용할 수 있다.

2.2.2 전선배치

22.9kV 2B, 2회선 방식의 경우 운영중인 전압이므로 선간 이격거리 완전히 이격거리는 별도 검토가 불필요하나 전선조수가 증가하므로 1800mm 또는 2400mm완철 3단 배치가 적절하다. 35kV 방식의 경우 IEC60071-1에서 규정하는 최소이격거리는 320mm이므로 현재의 2.2.9kV 2회선 장주구조를 고려할 수 있으나 전선의 경년열화, 조류접촉고장 등 설비운영 실증을 통해 반영해야 할 절연거리 안전율을 감안시 1800mm 3단 장주로 설계하는 것이 바람직하다고 본다.

2.2.3 전압강하측면

전압강하는 선로길이에 비례하여 증가하며 본 과제에서는 검토대상을 2.5km, 5.0km, 10km인 경우 선로의 정전용량을 반영하여 II형 등가회로로 전압강하 계산을 수행하였다. 변전소 송출전압 22.9kV 역률 90%인 상태에서 22.9kV 2B 선로의 기준용량을 30MVA로 설정시 10km선로의 전압강하는 1.3kV 정도이며 전압강하율은 5.9%로 기준치 10%이내에 있다. 35kV 선로의 경우도 전압강하 측면에서 기준치이내를 충족한다.

2.2.4 전주하중측면

배전선로 지지물이 부담하는 하중은 수직, 수평하중으로 분류할 수 있으나 수직하중의 경우 전주강도가 충분하여 별도의 검토는 불필요하며, 전선로와 직각방향의 풍압하중인 수평횡하중에 대한 검토가 필요하다. 22.9kV 복도체방식 2회선 전주의 경우 풍압하중은 지역별 풍속에 따라 I, II, III 지역으로 구분 계산되며 우리나라 대부분의 지역은 II 지역(기준풍압 76kgf/m²)에 해당하므로 이를 기준으로 계산한다. I, II 지역 및 특별한 설치조건에 따른 하중계산은 사례별 검토를 통해 적정 강도를 가진 전주의 사용이 필요할 것이다. 양행지선이 없는 상태에서 III 지역계산결과 22.9kV방식의 경우 16m 고강도 CP주(설계하중 1000kg) 사용 40m 경간으로 시 설할 수 있다. 35kV 2회선장주의 경우 전주가 부담하는 기계적 강도는 기존의 22.9kV 2회선 선로보다 하중이 감소하므로 기존 전주사용에 문제가 없다.

2.2.5 복도체 소선간 이격거리

송전선로의 경우 소도체 이격거리는 40cm를 적용하고 있으나 22.9kV 배전선의 경우 국내외적으로 적용 전력사가 없는 관계로 관련 기준이 없는 실정이다. 2B 방식의 소도체간 이격거리는 장주구성뿐만 아니라 전선에 작용하는 설계풍압, 바람 또는 단락고장시 전자기력에 의한 소선간 충돌, 착설 착빙의 용이성, 선로 임피던스 변동 등에 영향을 준다. 일반적으로 소도체간 이격거리는 전선정격의 10~20배 정도를 적용한다. 한편의 배전선로는 절연전선을 사용하므로 전자기력에 의한 소선간 충돌로 인한 전선손상문제는 없겠지만 선로임피던스 저감, 고유송전용량 증대효과 등을 고려시 30cm, 40cm가 적절한 것으로 판단된다. 소도체간 스페이서의 경우 배전선은 상대적으로 경간이 짧고 절연전선을 사용하는 관계로 특별히 필요치는 않은 것으로 보이나 내장형 개소에

는 애자충돌방지, 미풍진동제어효과 등을 감안 경간양단부에 설치 가능할 것으로 보인다.

2.2.6 전력유도측면의 검토

유도전압은 이상시와 상시유도전압으로 분류할 수 있으며 유도전압계산은 기본적으로 case별 검토가 필요하나, 불평형부하의 크기(단상부하), 통신선과의 이격거리, 전력선과 통신선의 병행거리에 따라 좌우된다. 상시 유도전압의 경우 일반선로와 달리 전용선로는 단상부하 공급선로를 배제할 수 있으므로 3상부하의 불평형시에만 유도전압이 발생하며 전용선로의 평균공장 2.5km를 감안할 때 10% 이내의 불평형전류에는 유도전압문제가 발생하지 않는 것으로 보인다.[1] 이상시 유도전압은 최악조건인 배전선로 1선 지락고장전류의 크기에 좌우되거나 병행거리 1km 이내의 경우 문제가 없으며 변전소 주변압기 %임피던스 상향시에 고장전류를 줄일 수 있으며 특별한 경우에 한해 통신선로측에 유도중화코일, 차폐케이블 등 설치를 통해 유도전압문제를 해소할 수 있을 것이다.

2.2.7 보호방식 검토

현재 배전선로 보호방식은 단락, 지락과전류계전방식을 적용하고 있다. 전류용량 증대 및 전압격상의 경우에도 기본적인 보호방식에는 변동이 없으며 전압, 전류 정정치만 달라지게 된다. 한편 일반선로의 경우 부하분산으로 인해 변전소측 계전기의 동작지연시간을 두고있으나 대용량 전용고객의 경우 보호계전기 동작지연시간을 두지 않음으로써 기존 선로보호방식보다 훨씬 신뢰성 높은 고속도 고장차단방식 적용이 가능하다. 이 경우 과전류계전기 대신 송전선로에 적용하고 있는 거리계전기를 적용하여 구간별 Zone1, Zone2 정정을 통해 Zone1구간 고장을 순시 차단하는 방식이 우수할 것으로 판단된다.

2.3 신재생에너지 전원 연계용량 증대

신재생에너지 전원개발 장려정책에 따라 20MVA이상의 대용량단지의 배전계통연계요구가 증가하고 있다. 신재생에너지 전원연계용량 증대를 위해서는 선로용량 증대에 발전연계에 따른 전압강하, 고장전류증가, 계통계약 문제 검토가 필요하다. 전압강하는 발전기 개별특성에 따른 접근이 필요하며 계통계약의 문제는 연계 계통을 종합적으로 고려하여 판단할 성질의 것이다. 고장전류는 초전도한류기, 한류리액터 등의 전류제한장치로 적정치 이내유지가 필요하다. 또한 설비보호측면에서는 분산형 전원의 단독운전으로 인한 문제해결을 위해 전송차단방식, 분산전원 연계시에는 동기검출투입방식의 적용이 필요하며 선로보호를 위해 PCM전류차동방식의 도입이 필요할 것으로 판단된다.

2.4 변전설비운영측면 비교

이상에서 비교한 2가지 모델에 대해 설비운영측면에서 변압기고장 상황중 가장 발생빈도가 높은 1Bank 고장시를 상정 대비하였다. 변전소 4Bank 변압기가 모두 동일방식인 경우는 비교의 의미가 없으므로 다음과 같은 경우의 운전상황을 전체해 비교해 보았다.

2.4.1 22.9kV 100MVA×2, 60MVA×2 운전시

60MVA Bank의 경우 feeder 기준용량은 10MVA-14MVA 로 운전하고 있으며, 100MVA Bank의 경우 기준용량을 25MVA로 할때, 상시 변압기 부하율을 65%로 하면 100MVA 1Bank 고장시 정전부하는 70MVA인 반면, 타 Bank의 절체 여유분은 다음과 같이, (60-39)×2+(100-65) = 77MVA이 되므로 고장상황 대응이 가능한 것을 알 수 있다. 마찬가지로 60MVA 1Bank 고장시 정전부하는 39MVA인 반면, 타 Bank의 절체 여유분은 (60-39) + (100-65)×2 = 91MVA이

되므로 충분히 고장상황 대응이 가능한 것을 알 수 있다.

2.4.2 22.9kV 100MVA×1, 60MVA×3 운전시
100MVA 1Bank 고장시 정전부하는 65MVA인 반면, 타 Bank의 절체 여유분은 다음과 같이 $(60-39) \times 3 = 63\text{MVA}$ 이 되므로 고장시 변압기 과부하운전능력을 감안시 고장상황 대응이 가능한 것을 알 수 있다. 마찬가지로 60MVA 1Bank 고장시 정전부하는 39MVA인 반면, 타 Bank의 절체 여유분은 $(60-39) \times 2 + (100-65) = 77\text{MVA}$ 이 되므로 충분히 고장상황 대응이 가능한 것을 알 수 있다.

2.4.3 22.9kV 100MVA×3, 60MVA×1 운전시
100MVA 1Bank 고장시 정전부하는 65MVA인 반면, 타 Bank의 절체 여유분은 다음과 같이 $(60-39) + (100-65) \times 2 = 91\text{MVA}$ 이 되므로 충분히 고장상황 대응이 가능한 것을 알 수 있다. 마찬가지로 60MVA 1Bank 고장시 정전부하는 39MVA인 반면, 타 Bank의 절체 여유분은 $(100-65) \times 3 = 105\text{MVA}$ 으로 고장상황 대응이 가능한 것을 알 수 있다.

2.4.3 22.9kV 60MVA×2, 35kV 100MVA×2 운전시
동일 변전소에 35kV변압기와 22.9kV변압기를 같이 운영시에는 1Bank 고장시 절체여력을 확보하기위해 운전가능한 변압기조합은 35kV 100MVA 2Bank, 22.9kV 60MVA 2Bank만 가능하다. 이 경우 상시 변압기 부하율을 65%로 운영시 고장시 130%의 과부하운전을 해야하므로 기기보호차원에서 적절치 않을 것으로 판단되며 과부하운전을 10%로 설정시 상시 부하율은 55%로 제한되므로 2.4.1-2.4.3의 방안이 비해 불리하다.

2.4.4 설비운영방안 종합

변전소는 Bank수에 따라 전체용량의 1/2-1/4설비를 고장시 대비 예비력으로 상시 운영하고 있으며 상기와 같은 비교에서 설비조합에 따른 상시 변압기부하율의 차이를 알 수 있다. 배전선로 연계를 통한 전체 부하절체는 대용량부하의 특성상 현실적으로 곤란하며 비상시 전원으로 일부부하에 제한하여 선로절체하거나 수용가측 비상발전기 설치가 필요한 것으로 판단된다. 또한 배전선 상시 Loop기술이 실용화되면 배전공급용량을 상시 1회선 열용량에 해당하는 30MVA정도로 운전하면서 타 1회선을 고장시 예비회선으로 운영하면 1회선 고장시에도 무정전 전력공급이 가능하다.

3. 결 론

3.1 분석내용종합

배전공급용량증대 대상으로 초전도케이블, STACIR 전선 적용방안 등에 대해서도 고려하였으나 현 단계에서 기술적 실현가능성 등 한계가 있는 것으로 판단된다. 2B방식의 경우 특별한 기자재 개발 필요없이 추가용량 증대를 위해 ACSR/AW-OC 240m, 2B를 적용하면 전선의 열용량을 80MVA까지 증가시킬수 있고, 기존의 일반선로와 조합하여 동일Bank에서 인출할수 있는 잇점이 있다. 대용량 전용선로는 말단집중부하이므로 분할연계개념은 고려하지 않았으며 선로개폐장치도 필요성이 낮은 것으로 판단된다. 이 경우 고장전류억제를 위해 변압기임피던스 상향조정 또는 초전도한류기 채용방안은 불필요하며 기존 60MVA변압기와 동일 임피던스 변압기의 도입이 가능하다.

3.2 향후 계획

경제성측면의 비교를 위해 기준기간 각각의 건설비용, 유지비용을 현가화하여 비교할 예정이다. 또한 용량증대

방안에 대한 상세설계 및 부속 급구류 개발이 필요하며 일정기간 시범선로 운영 등을 통해 현장 적용토록 할 계획이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사 전자통신처, 가공배전분야 전력유도영향평가 현장판정기법(2008.3)
- [2] 한국전력공사 송변전본부, "발전기 병렬운전 연계선로 보호업무 기준서"(2004.2)
- [3] 한국전력공사 영업처, 계약전력별 최적공급전압 결정기준에 관한 연구(2005.10)
- [4] 한국전력공사 배전처, 22.9kV-Y 배전선로 적정운전용량 기준선정에 관한 연구(1994.10)
- [5] 한국전력공사 전력연구원, 대용량 배전에 관한 연구(199.1.3)
- [6] 한국전력공사, 송전 변전 배전분야 설계기준
- [7] IEC, Insulation Co-ordination Part1 : Definition, principles and rules
- [8] Bundle-Conductor Spacer Design Requirements and Development of "Spacer-Vibration Damper", IEEE Transmission on power apparatus and systems Vol.P AS-18, No.10
- [9] 2導體方式 架空送電線のスペーサおよびその取付間隔の研究, 일본 Sumitomo / 住友電氣 제73호