

전력수요 전망에 따른 154kV 변압기의 이용률 향상 방안

송성환 이상호 오태규  
한국전기연구원

The Scheme for Improving Utilization Rate of 154kV Transformers according to the Power Demand Prospects

Sung-Hwan Song Sang-Ho Lee Tae-Kyoo Oh  
Korea Electrotechnology Research Institute

**Abstract** - 본 논문에서는 전력수요 증가 둔화 및 수요의 편중화 추세에 대비하여 송변전설비계획 측면에서 대응방안을 검토하고자 한다. 특히 수요지와 밀접하게 관련이 있는 154kV 변압기를 중심으로 하여 1) 변압기의 과부하율 허용 2) 지역별 부하 밀집도를 고려한 설비용량의 다양화 3) 최저로딩을 개념의 적용 등의 이용률 향상 방안을 제시한다. 사례연구를 통해 각 지역관리처별로 변전소의 실측 로딩률과 예측 로딩률 데이터를 바탕으로 로딩률을 분석하여 본 논문에서 제시하는 이용률 향상방안을 검토한다. 제시된 이용률 향상방안을 통하여 합리적 기준에 의한 송변전설비계획의 추진이 가능할 것이며, 이에 적정 설비 구성과 적정 공급신뢰도를 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

내외, 3% 정도의 점유율을 보이면서 다소 수요성장이 포화상태에 이르는 것으로 보인다. 전반적으로 수도권을 제외한 비수도권 지역에서는 전력수요 증가가 둔화 추세를 보이고 있으며, 이러한 환경에 대비하여 기존에 운영되어 온 설비들의 이용률 향상방안들에 대한 검토가 필요하다.

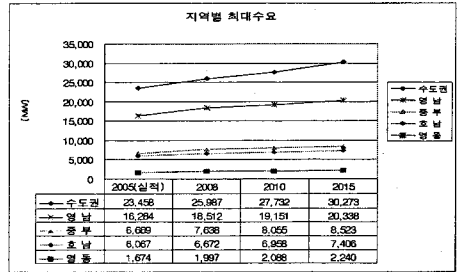


그림 1 지역별 최대 수요

1. 서 론

현재 국내 전력수요는 꾸준한 증가추세를 보이고 있지만, 2011년 이후 전력수요 증가 추세가 1.1% 정도로 둔화될 것으로 예상된다 [1]. 그리고 대규모 주택 및 산업단지, 행정복합/혁신/기업도시 등의 개발로 수요의 편중화 추세도 더욱 뚜렷해 질 것으로 예상된다. 부하밀집지역의 안정적 전력공급과 변전소 부지 확보의 어려움을 해소하고 설비규모의 경제성을 추구하기 위한 8 Bank 규모의 허브(Hub) 변전소의 도입 검토와 경부하 지역과 대용량 고객에 대한 전력공급의 경제성 및 송변전설비의 효율성을 제고하기 위하여 다양한 용량의 설비기준검토가 요구되고 있다.

이러한 전력수요 증가 둔화 및 수요의 편중화 추세에 대비하여 향후 예상되는 송변전설비의 loading을 변화분 분석하여 장기적인 송변전 설비 이용률 향상을 위한 종합대책의 수립도 필요하다. 이는 기존의 성장 위주의 전력산업에서 효율성 향상으로의 패러다임 변화가 요구되고 있음을 보여주는 것이다.

본 논문에서는 이러한 전력수요 저 성장시대에 적합한 설비투자에 대한 당위성 및 경제성과 효율성을 동시에 추구하기 위한 방안을 제시하고자 한다. 특히, 수요지와 밀접하게 관련이 있는 배전용 154kV 변압기의 로딩률 분석들을 통하여 계통구성 여건 변화에 따른 로딩률 편차가 발생한 설비와 로딩률이 낮은 설비들을 가려내고 이들의 이용률 향상 방안을 제시한다.

2. 국내 수요전망

그림 1은 2005년 실적 전력수요와 2008년부터 2015년 까지 수도권, 영남, 중부, 호남, 영동 지역의 지역별 동시 최대수요 전망을 나타낸 것이다.

수도권의 경우 신도시 개발이나 택지개발 등으로 2015년까지 점유비가 40%이상 꾸준히 증가하는 것으로 관측된다. 영남권은 전체적으로 30%정도의 점유비율을 가지고 있으며, 2015년경에는 산업단지 등 신규개발의 둔화 때문에 수요 성장이 다소 주춤한 경향을 볼 수 있다. 중부와 호남권의 경우와 영동지역의 경우도 각각 10%

3. 이용률 향상방안

위에서 언급한 전력수요 증가 둔화 및 수요의 편중화 추세에 대비하여 송변전설비계획 측면에서 154kV 변압기의 대응방안을 검토하고자 한다.

3.1 변압기의 과부하율 허용

현재의 국내 송전용 전기설비 시설 기준 중에 345kV 변압기 증설 기준은 변압기 1뱅크 상정고장 시 건전 Bank의 용량이 정격용량의 100%를 초과할 경우에 증설 가능하다고 되어있다. 이러한 기준은 해외사례와 비교하면 상대적으로 많은 여유도를 갖는 기준이다. 미국이나 일본 등의 기준에서는 상정고장 시 단시간 또는 장시간 과부하허용범위를 지정하여 건전 Bank의 용량이 과부하허용범위 내에서 유지되도록 하는 기준을 사용하고 있다. 일본의 예를 보면 단시간 과부하는 120~150%, 장시간 과부하는 105~125% 정도를 사용하고 있다 [2]-[5]. 특히 변압기의 경우는 기기 특성상 주변온도에 따라 허용되는 과부하가 달라지므로 일률적인 기준을 정하기는 어려우나 평상시 설비의 이용률 향상을 꾀하고 상정고장 시 계통절체 등의 제어동작을 감안하여 변압기의 기기용량이 허용하는 정도(약 120%)의 과부하는 허용 가능한 것으로 보인다.

현재까지는 국내 부하가 지속적인 성장상태에 있으므로 설비 계획 측면에서 상대적으로 큰 여유도를 갖기 위하여 현재의 기준을 사용하는 것이 타당하나 제3차 전력수급기본계획에서 예상하는 바와 같이 (2011년 이후 연평균 전력수용 증가율 1.1%) 향후 전력수요가 포화될 것을 가정하면 해외 사례와 같이 과부하 허용범위를 사용하여 평상시 더 높은 이용률을 갖도록 유도하는 것이 바람직해 보인다.

### 3.2 지역별 특성을 반영한 변압기 용량 다양화

또 다른 방안으로서 지역별 특성을 반영한 변압기 용량의 다양화를 생각해 볼 수 있다. 기본적으로 154kV 변전소의 경우 60MVA 변압기를 설치하고 지역의 수요량에 따라 Bank 수로 다양화할 수 있다. 일부 경부하 지역(40MW 이하) 및 최종수요의 포화가 40MW로 예상되는 지역은 부분적으로 40MVA 변압기 검토 가능하다. 40MW로 설정된 근거는 40MVA 2Bank 설치 변전소의 1Bank 고장시 나머지 1Bank의 공급능력을 초과하지 않는 범위에서 필요한 최저부하량으로 다음과 같이 시산된다.

$$- 40MVA \times 1Bank \times 0.9 \times 1.2 (\text{부하절체량}) = 43.2MW$$

40MVA 변압기 1Bank 운영시 0.9의 역율을 가지고, 20% 부하절체량을 추가로 고려하는 것으로 하였다.

그리고 경제성 검토 및 수요패턴 분석을 통하여 60MVA 변압기 보다 40MVA 건설이 유리한 경우 40MVA 변압기 건설도 가능하다.

해외사례에서도 변압기 용량을 지역별 성격에 따라 설비용량의 다양화를 추구하고 있음을 엿볼 수 있다. 표 1과 같이 동정전력과 구주전력의 경우 고수요 밀도지역이나 도시 중심부에서는 30MVA급으로 변압기를 운영하고 있으며, 그 이외 지역인 지방도시 및 근교 지역은 20MVA, 15MVA, 10MVA로 다양화하여 설비 로딩을 향상을 꾀하고 있는 것으로 판단된다.

표 1 일본의 변압기 용량 다양화

|                          | 동정전력           | 구주전력                      |
|--------------------------|----------------|---------------------------|
| 고수요 밀도지역 / 도시중심부         | 30MVA X 3      | 30MVA X 3 or 4            |
| 도시와 주변, 지방도시의 시가지 및 근교 등 | 20MVA X 3      | 20MVA X 3 (15, 10MVA X 3) |
| 상기 이외의 지역                | 10MVA X 3 or 2 |                           |

추가적으로 수요밀집지역이나 수요규모가 확대될 것으로 예상되는 지역에서는 허브변전소 건설이 추진되고 있다. 허브변전소의 설비 규모는 주변압기 60MVA급 8Bank로 구성되어 총 480MVA의 규모를 가진다. 이런 허브변전소가 건설될 수 있는 대상지역은 주택/산업단지의 경우, 최종 전력수요가 200MW를 초과하는 개발지구이며, 변전소 추가 신설이 필요한 지역에서는 통합변전소 형태로 운영될 수 있다. 그리고 부하밀집지역인 도심지, 행정복합/혁신/기업도시 등으로 대상변전소 선정 기준을 정하고 있다. 여기서 전력수요의 200MW 산정 근거는 60MVA 변압기 4Bank 규모에서 1Bank 탈락에 대비하여 운영하는 경우 0.9의 역률과 부하절체량 1.2를 고려한 값으로 다음과 같이 계산된다.

$$- 60MVA \times 3 Bank \times 0.9 \times 1.2 (\text{부하절체량}) = 194.4MW$$

앞서 설명하였던 부하 밀집도에 따른 변전소들에 적용되는 적정 설비 용량을 제안하며, 이를 표 2에 경부하 지역 및 경부하의 지역별로 선정될 수 있는 변압기 용량을 Bank 수에 따라 정리하였다. 154kV 변전소의 건설은 4Bank 규모가 원칙이며 초기 2Bank 건설 및 3Bank까지 증설 고려할 수 있다. #4 변압기는 부하급증, 신규변전소 건설지연 등 향후 불확실성에 대비하며, 증설의 조건은 변압기 1Bank 고장시 전전 Bank 용량이 100% 초과할 경우이다.

표 2 지역별 변압기 용량 산정

| 변전소 규모      | Bank 수   | 2   | 3   | 4   | - | 8   |
|-------------|----------|-----|-----|-----|---|-----|
|             | 용량 [MVA] |     |     |     |   |     |
| 경부하지역 (농어촌) | 30       | 60  | 90  | 120 | - |     |
|             | 40       | 80  | 120 | 160 | - |     |
| 경부하 외지역     | 45       | 90  | 135 | 180 | - |     |
|             | 60       | 120 | 180 | 240 | - | 480 |

| 154kV 변전소 | 초기 | 증설 | 원칙 | 허브 변전소 |
|-----------|----|----|----|--------|
|           |    |    |    |        |

농어촌 등 경부하 예상지역에는 30/40MVA 변압기를 제한적으로 적용가능하며, 경부하 예상지역 이외의 지역은 가급적 45/60MVA 변압기를 적용하되 경제성, 수요 및 개발 전망 등을 종합적으로 검토하여 용량을 결정하게 된다. 그리고 154kV 허브 변전소의 경우 60MVA 급 8Bank까지 고려할 수 있다.

### 3.3 최저로딩을 설정

마지막 이용률 향상대책으로서 “최저로딩을” 개념을 설정하는 것을 제안한다. 예를 들어, 고속도로에서는 효율적 경제속도와 고속도로의 고속화 및 안전을 위해 최저속도를 설정하고 이를 도로교통법으로 명시하고 있다. 송변전설비 계획시 최저로딩을 설정하여 고려한다면 효율적이고 경제적인 계획수립에 일조(一助)할 것으로 사료된다. 다만, 신뢰도 고시와 같이 기준(Standard) 수준으로 명시하기는 현실적으로 어려워 보이지만, 내부지침 수준 정도로 명시하는 것이 바람직하다.

그림 2는 최저로딩을 개념을 설명하기 위해 도식화한 그림이다. 기존의 154kV 변전소의 계획시 변전소 로딩율이 1Bank 사고에 대비하여 설계되었고, 실제 운영도 그러한 방향으로 해 왔다. 여기에서 1Bank 탈락에 대비한 로딩을 값을 최고로딩율로 설정할 수 있고, 최저로딩율은 설정된 최고로딩율의 비율로 설정할 수 있다. 예를 들면, 최저로딩율은 최고로딩율의 50%로 설정하여 적용할 수 있다는 것이다. 최저로딩율이 설정되어 실제 운영시 반영된다면, 설비 이용률 관점에서 효율적인 설비 운영을 유인할 수 있다.

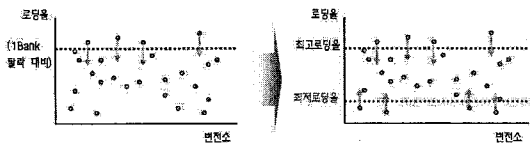


그림 2 최저 로딩을 개념 도식화

즉, 154kV 변전소에 대해서 Bank 수에 따라 최저 로딩율을 설정하고(최고 로딩율의 50%) 경부하 예상 변전소들을 추출하고 각 변전소 별로 최저로딩을 값에서 벗어난 정도(Deviation)를 파악할 수 있다. 이는 경부하 예상 변전소들의 로딩율을 향상시킬 수 있는 제도적인 기준을 제시하고 최종적으로 이용률을 향상시키는 데 그 의미를 찾아볼 수 있다.

### 4. 사례연구

본 사례연구에서는 154kV 변전소의 Bank 수에 따른 최고 로딩율과 최저 로딩율을 바탕으로 중부하 예상 변전소와 경부하 예상 변전소를 추출하고, 부하 밀집도에 따른 다양한 설비용량을 검토하기로 한다.

154kV 변전소의 경우 PSS/E 데이터에서는 단순히 P(유효전력)/Q(무효전력) 값으로 모델링 되어 있기 때문에, 로딩을 값을 분석하기 위해 각 지역관리처별로 변전소의 실측 로딩율과 예측 로딩율 데이터를 바탕으로 분석하였다 [6].

앞서 설명하였듯이, 154kV 변전소의 건설은 4Bank 규모가 원칙이며 초기 2Bank 건설 및 3Bank까지 증설 고려할 수 있다. 증설의 조건은 변압기 1Bank 고장시 건전 Bank 용량이 100% 초과할 경우이다. 이 내용에 근거하여 표 3과 같이 변압기 Bank수에 따라서 최대로 걸릴 수 로딩을 값과 적어도 어느 이상의 평균 로딩을로 변압기가 운전될 수 있도록 기준을 제시하는 최저 로딩을 값을 산정할 수 있다.

표 3 Bank수에 따른 최고 로딩율과 최저 로딩율

| Bank 수   | 최고[%] | 최저[%] |
|----------|-------|-------|
| 2 Bank   | 50    | 25    |
| 3 Bank   | 67    | 33    |
| 4 Bank   | 75    | 37.5  |
| 5 Bank   | 80    | 40    |
| 6 Bank   | 83    | 42    |
| (8 Bank) | 75    | 37.5  |

예를 들어 4Bank 규모의 변전소는 1Bank 탈락에 대비하여 용량이 100%가 넘지 않는 범위에서 총 3Bank만 이용할 수 있으므로 전체용량에 대해서 75%가 가용하다. 이러한 방식으로 각 Bank 수에 따라 최고 로딩을 값을 정할 수 있으며, 여기에 대해서 최저 로딩을 값을 각 최대 로딩율의 1/2 정도는 유지할 수 있어야 합리적인 것으로 판단되어 본 연구에서는 최대 로딩율의 50%로 산정하였다. 8Bank의 경우 허브변전소의 최고, 최저 로딩을 값을 나타내었는데, 이는 4Bank 규모 2 set가 건설되는 것으로 가정하고 그 값을 산정하였다.

이 때, 최고 로딩을 값으로 산정된 것은 신뢰도 관점에서 계통의 안정운동을 피할 수 있는 기준값이고, 최저 로딩을은 이용을 향상 관점에서 적어도 이 값 이상으로 운영될 수 있도록 함으로써 계통의 효율적인 운영을 유도할 수 있는 기준값으로 제시가 되었다.

이러한 기준 로딩을 값에 따라서 2015년 기준으로 총 764개의 154kV 변압기의 로딩을 값을 검토하였다. 기본적으로 2008년부터 2015년까지 각 변전소별로 조정전 부하[MW], 변압기 용량[MVA], 부하절체 후 부하[MW], 조정후 부하에 대한 정보가 있으며, 부하절체 내용들이 기록되어 있다. 이러한 정보를 바탕으로 2008년부터 2015년까지 로딩을 평균값을 구하고 각 변전소의 변압기 Bank수를 기록하였다. 이 Bank수를 바탕으로 표 3에서 제시한 최고 로딩율과 최저 로딩을 값을 계산하였고 이 값들의 범위를 벗어나는 변전소들을 선정하였다. 즉, 최고 로딩을 값 이상을 보이는 변전소들은 신뢰도 관점에서 문제가 될 수 있으며, 최저 로딩을 값 이하를 보이는 변전소들은 이용을 관점에서 문제가 될 수 있다.

표 4는 표 3에서 제안된 Bank 수에 따른 최고 로딩율과 최저 로딩율을 바탕으로 그 기준값들을 벗어나는 과부하예상 변전소와 경부하예상 변전소를 지역관리처 별로 정리하였다.

2008년에서 2015년 평균 로딩율을 기준으로, 과부하예상 변전소는 수도권 지역인 1지역관리처에서 4지역관리처 지역에 집중되어 있는 것으로 볼 수 있으며, 경부하예상 변전소는 비수도권 지역인 5지역관리처에서 11 지역관리처에 집중되어 있음을 알 수 있다. 그리고 추가적으로 다음의 사항을 고려하여 일부 과부하 변전소와 경부하 변전소의 해당 설비 수를 조정하여 기록하였다.

1) 2015년을 최종수요 시점으로 가정하여 2015년에 부하절체 내용들을 포함하여 2015년 기준으로 로딩율에 문제가 발생하지 않은 변전소들은 제외 함

2) 2013년 이후에 신설된 변전소들은 2015년에 최종 부하를 반영하는 것이 어려우므로 신설 변전소들은 제외 함

표 4 과부하예상 변전소 및 경부하예상 변전소

| 지역 관리처 | 변전소 수 | 과부하예상 변전소 수 |   | 경부하예상 변전소 수 |   |
|--------|-------|-------------|---|-------------|---|
|        |       | A           | B | A           | B |
| 1 서울   | 109   | 4           | 3 | 1           | 0 |
| 2 남서울  | 83    | 4           | 0 | 2           | 0 |
| 3 인천   | 47    | -           | - | 1           | 0 |
| 4 수원   | 88    | 3           | 0 | 2           | 0 |
| 5 제천   | 75    | 8           | 2 | 5           | 4 |
| 6 대전   | 68    | -           | - | 6           | 4 |
| 7 전주   | 31    | -           | - | 1           | 1 |
| 8 광주   | 63    | 1           | 1 | 3           | 2 |
| 9 대구   | 89    | -           | - | 7           | 3 |
| 10 부산  | 62    | -           | - | 3           | 2 |
| 11 창원  | 49    | -           | - | 3           | 2 |

Note

A: 2008~2015평균

B: 2015(부하 절체내용포함, 신설변전소 제외)

표 5에서는 경부하예상 변전소들과 각 변전소 별로 최저로딩을 값에서 벗어난 정도(Deviation)를 정리하였다. 위의 최저로딩을 개념이 도입된다면 아래표에서 추출된 경부하예상 변전소들의 로딩율을 향상시킬 수 있는 제도적인 기준값을 제시하고 있는 것으로 해석할 수 있다.

표 5 경부하 예상 변전소 및 Deviation

| 지역 관리처 | 경부하예상 변전소            | Deviation              |
|--------|----------------------|------------------------|
| 5 제천   | 영월66, 태백66, 북평66, 도계 | -10%, -75%, -67%, -42% |
| 6 대전   | 공세, 배방, 둔포#2, 삼교     | -32%, -25%, -46%, -19% |
| 7 전주   | 팔복                   | -7%                    |
| 8 광주   | 고창시흥, 화원             | -36%, -27%             |
| 9 대구   | 위천, 예천, 산동           | -7%, -3%, -42%         |
| 10 부산  | 벌일, 정관               | -11%, -4%              |
| 11 창원  | 사남, 갈사               | -37%, -25%             |

참고로 표 4와 5는 주어진 부하율 데이터를 바탕으로 작성된 것으로 과부하 및 경부하 관점에서 주의가 요망되는 변전소를 표시한 것이고, 더욱 정확한 분석을 위해서는 각 관리소 변전소별 부하량 패턴 (수요) 분석 및 개발방향 등의 개별검토가 필요하다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 전력수요 증가 둔화 및 수요의 편중화 추세에 대비하여 수요지와 밀접하게 관련이 있는 154kV 변압기의 로딩을 분석을 통하여 이들의 이용을 향상 방안을 제시하였다. 이에 송변전설비계획 및 설비계획기준 측면에서, 1) 변압기의 과부하율 허용 2) 지역별 부하 밀집도를 고려한 설비용량의 다양화 3) 최저로딩을 개념의 적용 등을 제안하였다. 제시된 이용을 향상방안을 통하여 합리적 기준에 의한 송변전설비계획의 추진이 가능하며, 이에 적정 설비 구성과 적정 공급신뢰도를 확보를 통하여 전력산업의 효율성을 제고하는데 도움을 줄 것으로 예상된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 제3차 전력수급기본계획, 2006
- [2] 일본 전력시스템의 장애, 일본전력중앙연구소 리뷰, 2000
- [3] 전력유통망의 새로운 평가수법, 일본전력중앙연구소 리뷰, 2000
- [4] "선비 계획 매뉴얼", 일본 동경 전력, 1996
- [5] "계통 계획 책정 매뉴얼", 일본 구주 전력, 1991
- [6] 154kV 변압기 부하절체 내용, 한국전력