

超高壓 電力系統의 電氣的 設計에 대한 小考

A Study on the Electrical Design of Ultra-high Voltage Power System

백용현*, 이정선*, 오두석*, 이복희*

*인하대학교 공과대학 전기공학과

1. 서론

세계적으로 고도산업사회와 정보화 시스템의 발달에 의한 전기에너지 사용의 급격한 증대로 고전압 대전력계통이 요구됨에 따라 초고전압 전력전송기술은 대량의 전기에너지를 수송할수 있는 송전, 배전, 변압기기 및 보호제어장치의 개발과 연구의 기초기술은 괄목할 정도로 발달되어 왔다. 최근 우리나라는 고도의 경제성장과 국민 문화생활의 향상으로 전력수요가 급증하였으며, 생활환경에 있어서의 소비에너지 구성은 쾌적성과 안정성의 추구로 인하여 가스, 가스린등의 소비비중보다도 전력에너지의 소비율이 점점 증가하는 경향이다. 우리나라의 전력수요는 연평균 13%라는 높은 성장율로 증가하고 있으며 설비용량 21,000 MW의 발전설비로 증대하였다.

대도시에서의 전력사용이 점점 집중화되고 있으며 대전력을 도시중심부까지 안정하게 공급하기 위하여 154kV, 345kV 송전계통이 이루어졌으며, 앞으로는 765kV송전계통이 기간전력계통으로 설치될 예정이다. 도시중심부에 변전소를 건설하는 경우 변전소용 부지의 문제로 전력기기를 보다 소형 경량화 시키는 것과 방재성이나 환경조화등을 고려하는 것이 중요하다. 대전력의 수송에 있어서 필수요건중의 하나인 고전압기술분야는 변압기, 차단기, 케이블, 절연재료, 피뢰기 등 전력기기 및 보호장치의 개발과 연구에 대한 기반기술로 전력산업 발전에 기여분야이며, 우리나라의 중전기 산업중에서 취약부분중의 하나인 이 분야에 대한 연구 개발이 절실히 요구되고 있다.

따라서 본고에서는 최근 우리나라의 전력수급 동향과 사용전력의 증가에 따른 대전력전송 및 전력설비용 기기의 고전압화와 대응량화의 필요성과 현황에 대하여 살펴보고, 초고압송전계통과 관련된 전기적 절연설계와 절연협조기술,전과압입, 코로나잡음, 정전유도, 전자계의 영향등 초고압 가공송전선이 환경에 미치는 영향과 대책등에 대하여 중점적으로 조사 검토하고, 이들에 관련된 최근의 연구개발의 현황과 동향에 대하여 기술한다.

2. 전력수요 동향

전력에너지는 국가경제의 성장을 비롯하여 국민 문화생활의 향상을위해 없어서는 안될

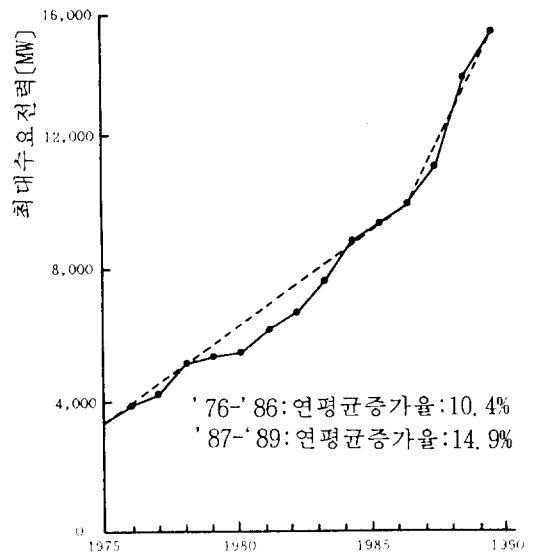


그림 1. 最大需要電力의 成長 推移

초고압전력계통의 전기적 설계에 대한 소고

필수에너지로서 산업발전의 선도적 역할을 하여 왔으며, 전력사용량은 곧 국가경제 및 국민문화생활의 척도라고도 볼수 있다. 우리나라의 최근 3개년간의 전력수요는 고도경제성장 및 국민 문화생활의 향상에 따라 연평균 13.4%로 급증하고 있다⁽¹⁾.

최대전력수요의 성장추이는 그림1에 나타낸 바와 같이 급성장하고있으며, 1989년도 전력수요증가율을 부문별로 살펴보면 주택용 14.9%, 산업용 15.7%, 산업용 8.1%로 최근 산업용 보다는 주택용과 산업용의 수요가 현저한 증가추세를 나타내고 있음이 이례적이며 이에 대한 대책이 요구되고 있다.

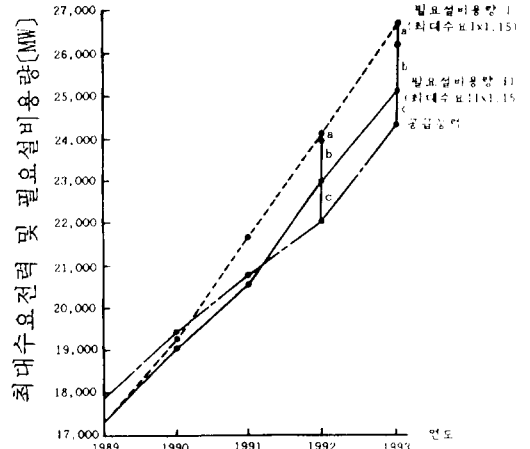
급증하는 전력수요에 대한 대응책으로는 전력공급회사와 정부의 정책만으로는 해소가 될 수 없으며, 사용자와 국민 모두가 참여하는 총체적인 대응책이 필요하다고 생각된다.

3. 초고압송전의 필요성과 현황

단위시간당 전송되는 전기에너지는 전압과 전류의 곱으로 정해지므로 다량의 전기에너지를 수송하기 위해서는 전압과 전류중 어느 하나 또는 둘다 크게 할 필요가 있다. 전력전송과정에서 발생하는 손실이나 단락사고시의 차단용량을 생각하면 소전류 고전압계통이 잇점이 있으나 전력기기 및 계통의 절연적 측면과 안전성을 고려하면 대전류 저전압계통이 유리하다. 전력계통을 고전압화 시키게 되면 전력기기 절연의 강화, 붓싱 및 애자의 대형화, 코로나손실 등의 문제점이 대두되므로 설비비와 운용비사이의 경제적 측면을 고려하여 결정되는 경제적인 전력전송전압을 사용하여야 한다.

최근 전력수요의 성장추세로보아 향후 3년간은 연평균 9.7%로 증가할 것으로 예상되며 필요 공급 예비율을 최대수용전력의 15% 수준으로 가정할 때의 최대수용전력의 전망과 필요설비 용량은 그림2와 같다⁽¹⁾ 이와 같이 급상승하는 수요전력의 공급에 대처하여 전기에너지의 전송능력을 증대시키고 효율적 전력전송을 도모하기 위해서는 전력계통의 대형화와 전력전송전압의 초고전압화는 필수적으로 이루어져야만 된다. 선진국에서도 전력을 수송가까지 효율적, 경제적으로 수송하기 위하여 가능한 범위까지의 전

력계통전압을 높혀 왔으며, 세계 각국의 전력전송전압의 성장추이는 그림3과 같이 고전압화되어 왔고 최근 소련에서는 가장 높은 전력전송전압으로 1,150kV급 초고압전송이 실용화되었다.



최대수요 II: 최대수요 I-수요관리-필요설비용량 I
a. 열병합발전수요감소분x1.15
b. 수요관리효과전망x1.15
c. 부족설비용량

그림 2. 最大需要電力의 展望과 必要發電 設備容量 (예비율을 15%로 가정한 경우)

우리나라의 최대전송전압은 345kV로 최근의 전력수요의 증가추세를 감안해 볼때 송전전압의 격상이 절대 필요하며 이의 국내 기술에 의한 성공적 실현을 위해서는 고전압기술과 절연재료의 성능향상이 선행되어야

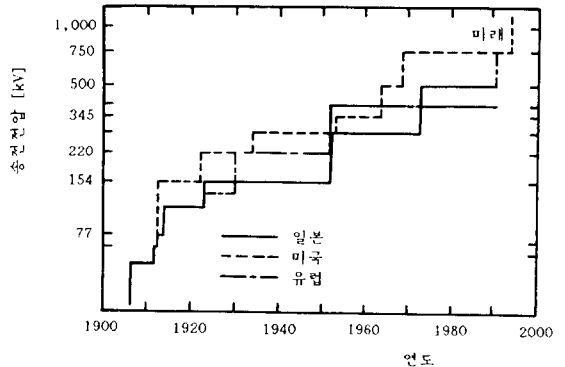


그림 3. 여러나라의 電力傳送電壓의 年次成長推移

야하며 중요한 요소로 대두되었다. 최근 세계 각국에서도 전송전압의 고전압화가 추진되고 있으며, 현재 각국의 전력계통에 사용되고 있는 최고사용전압 및 송전전압의 격상 추진 현황은 표1과 같다.

표 1. 여러나라의 電力傳送電壓의 格上推進 현황

항목 국명	現最高使用 電 壓	格上推進現況
미 국	765kV	1,500kV급 격상 기술 완료
일 본	525kV	1,000kV급 격상 선로 공사중
프랑스	400kV	800kV급 격상 기술 연구중
스웨덴	380kV	800kV급 격상 기술 연구중
한 국	345kV	765kV 격상 기술 연구중

최근의 전력수요는 대량의 전력을 전송할 뿐만 아니라 고도정보화시스템의 구축으로 질적인 면에 있어서도 주파수변동이 0.2(Hz)이하, 순간적 정전시간이 0.07초 이내로 유지되는 양질의 전력이 요구되고 있다. 아울러 고도의 안정성도 필수요건이며, 새로히 요구되는 전력공급에 있어서의 문제점과 해결하여야 할 과제를 들어 보면 다음과 같다.

- (1) 2,000년대를 전후하여 실현될 765KV송전용 전력기기의 절연재료에 대한 대응
- (2) 대도시지구에 전력을 공급하는 지하변전소용 대용량 고전압기기의 실현
- (3) 전력단가가 저렴하며 신뢰성 있는 전력기기의 소형 경량화를 달성시킬 수 있는 신 절연기술
- (4) 과도이상전압에 의하여 유발되는 절연파괴에 의한 일시적 돌발정전 및 전력계통의 사고를 극력 회피할 수 있는 설비진단 기술의 고도화

4. 초고압 송전 기술

4.1 절연기술⁽²⁾

가공송전선(Overhead Transmission Line)은 바람, 비, 빙설, 눈, 염진 등 가혹한 자연대기중에 노출되어 있기 때문에 절연설계상 전선의 동요, 애자의 절연저하 및 각종 과전압 등을 종합적으로 고려하여 애자의 갯수, 전선과 지지물 사이의 간격, 전선상호간의 간격등을 고려하여 결정할 필요가 있다.

고압 송전선의 전기적 절연설계기술도 자연조건, 사용전압에 따라서 적용범위 및 방법이 다르며, 적정치의 설정한계가 필요하므로 본고에서는 초고압전력계통의 절연설계에 대한 일반적 지침에 대하여 개괄적으로 기술한다. 가공송전선의 절연설계시 고려하여야 될 사항은 계통에서 발생하는 상용주파과전압 및 개폐과전압에 대하여는 절연과피사도가 일어나지 않아야 되며, 뇌과전압에 대하여는 어느 정도의 침략을 허용할 것인가에 대한 기준의 설정이 기본이다.

4.1.1 절연설계의 대상

송전선의 절연설계에 의해서 결정되는 대상은 애자의 개수, 최소아크혼간격, 이상시 절연간격, 표준절연간격, 최소상간절연간격이다. 최소절연간격은 풍속 20(m/sec) 정도의 바람에 의해서 애자장치 또는 점퍼선이 횡진할 때의 전선 또는 애자장치과전부와 지지완금 및 지지물 측면과의 클리어런스에 적용되어 왔다. 애자의 개수는 개폐과전압, 아크혼간격과의 뇌협조 및 계통전압이나 단시간 과전압에 대한 오손설계에 의하여 결정된다. 표준절연간격은 뇌침략시의 아크통로를 아크혼사이로 고정하는데 필요한 과전부와 지지완금사이에 확보될 간격으로 정해진다. 최소상간절연간격은 상간개폐과전압에 의하여 결정되므로 내장 절탑의 하부상의 애자금구나 변전소 인입구의 상간 클리어런스에 적용한다.

4.1.2 개폐과전압에 대한 절연

뇌과전압은 이상전압중에서 가장 높으며, 절연강도를 뇌과전압정도로 설계하는 것은

초고압전력계통의 전기적 설계에 대한 소고

비경제적이므로 접지저항을 저감하는 등 별도의 내뢰대책을 강구하는 것이 일반적이며, 뇌과전압은 통상의 운전상태에서 발생하는 가장 큰 전압스트레스이다. 따라서 개폐과전압에 대한 절연으로부터 애자장치나 절연간격을 결정하는 것이 절연설계의 기본이다. 그외에 예상되는 뇌사고나 애자오손에 의한 사고, 강풍에 의한 전선의 횡진 등을 고려하여 최종적인 절연설계를 수행한다. 개폐과전압은 수십 μs 에서 수ms의 상승시간을 가지며, 수백Hz에서 수십kHz의 주파수로 감쇄진동한다. 개폐시험에 사용하는 표준개폐임펄스전압 파형으로는 250/2500 μs 의 2중지수함수 파형을 적용한다. 그러나 개폐임펄스 절연 특성은 파형파라미터, 특히 파두장의 영향이 크며, 오손상태나 전극형상, 주수상태, 기상의 영향 등에 따라 대단히 다르므로 절연설계에 대하여 표준적으로 적용하는 절연한계는 통계적이고 확률론적으로 취급하는 것이 보다 합리적이다^{(3), (4)}. 개폐과전압에 대한 애자의 갯수나 아크흔간격, 과전부에서 지지물 사이 등의 대지절연수치 및 상간절연간격은 결정론적 방법으로는 다음 식으로 구해지게 된다.

$$V_{50}(d) = 0.816K_1K_2nUm \quad (1)$$

여기서 $V_{50}(d)$ 는 절연치수 d (m)일 때의 50% 개폐임펄스섬락전압(kV), Um 은 최고허용전압(KV), n 은 최대개폐과전압배수(p. u), K_1 은 표고보정계수, K_2 는 내압계수로 $1/(1-2\delta)$ 또는 $1/(1-3\delta)$ 이 사용된다. δ 는 섬락전압의 표준편차이다. 이 결정론적 방법으로 설계된 송전선은 선로길이 100km, 차단기 조작회수 25회/년 정도로는 50년에 1회 이하의 사고율을 나타내는 계산으로 타당성이 우수한 설계이다.

4. 1. 3 애자의 개수

송전선에서의 섬락전압은 애자의 개수(連結長)에 거의 선형적으로 증가한다. 그러나 가공송전선은 자연대기중에 노출되므로 비, 눈, 염분의 부착 등에 의하여 오손되므로 오손에 대한 절연설계가 중요하다. 오손지구에서의 애자의 개수는 설계시 고려할 전압, 오손의 정도, 애자의 내전압특성에 의하여 정해진다⁽⁵⁾.

- (1) 설계시 고려할 전압(汚損耐電壓 目標值)
초고압이상의 중요송전선의 설계시에

는 상구대지전압의 최대치 또는 1선지락시의 건전상대지전압을 고려하는 경우가 있으며 이것은 지락사고의 과급방지를 의미하고 常規對地電壓의 1.2-1.3배를 취한다.

- (2) 오손의 정도

대상지점의 최대염분부착량(等價鹽分附着密度)을 실측으로 얻은 자료를 기초로 한다.

- (3) 汚損耐電壓特性

인공오손시험결과와 과거의 섬락사고의 실적으로부터 구해진 그림 4와 같은 오손내전압특성을 사용하며 필요한 애자의 개수는 오손내전압 목표치를 1개 당의 내전압치로 나누어 적용한다.

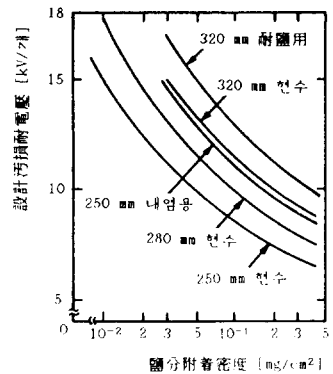


그림 4. 碍子の 設計汚損耐電壓特性(設計基準曲線)

결정론적 오손설계방법에 의하면 소요애자개수는 다음 식으로 구해진다.

$$N = U/V_w \quad (2)$$

여기서 N 은 소요애자개수, V_w 는 송전선경과지의 등가염분부착밀도에 대한 애자의 설계내전압이다. U 는 내전압목표치로 계통최고전압의 對地成分 또는 1선지락시의 건전상전압의 상승치이며, 이 방법은 오랜 운전경험을 바탕으로 한 것으로 신뢰성이 대단히 높다.

4. 1. 4 절연간격

가공송전선의 절연설계시 고려할 주요사항으로 아크흔간격, 표준절연간격, 이상시 절연간격이 있다. 아크흔의 간격은 개폐과전압 또는 상용주파과전압에 대하여 섬락을 일으

초고압전력계통의 전기적 설계에 대한 소고

트립사고로 된다. 雷遮弊失敗와 역섬락방지 대책으로서의 차폐각의 감소, 전력선의 하부에의 차폐선설치, 架空地線의 多條化, 철탁각 접지저항의 저감, 아크혼간격의 확대, 불평형 절연의 채용, 선로용 피뢰기의 설치 등이 있다. 송전선용 피뢰장치는 애자장치와 병렬로 전력선과 철탁사이에 피뢰기를 설치한 것으로 뇌격에 의해서 철탁완급부의 전위가 상승하여도 피뢰기가 동작하여 과전압을 억제하기 때문에 아크혼사이에서는 섬락이 일어나지 않는다. 뇌써-지가 통과한 후에는 빠르게 절연상태가 自復되므로 계통전압에의 한 속류는 거의 흐르지 않는다.

4. 2. 3. 再閉路方式

송전선의 雷害事故를 선로의 하드웨어 설계만으로 감소시키는 방법은 설비투자효율이 나쁘기 때문에 재폐로방식을 적용함으로써 단시간사고의 제거, 복구를 도모하는 것이 효과적이다. 재폐로방식은 무전압시간으로부터 고속재폐로(1초정도 이하), 中速재폐로(수초-10초), 저속재폐로방식이 있으며, 계통의 중요도, 후보호방식의 故障相判別特性, 再閉路의 目的등으로부터 최적의 방식을 선택한다.^[6]

4. 3 초고압 송전선과 환경

눈부신 과학기술의 진보와 산업의 발전으로 인간의 생활은 대단히 풍요로워 졌으나 인체에 장애가 되는 대기오염, 수질오염, 토질오염, 소음 및 방사능 등 여러가지 환경문제가 제기되었다. 또한 대전력을 경제적, 효율적, 전송을 위한 송전선의 고전압화, 대형화, 다회선화에 따라 가공송전선의 설비, 전압, 전류 등에 의한 환경에의 영향이 문제로 대두됨에 따라 최근 이분야에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.^{[9]-(11)}

전력설비가 대형화됨에 따라 미관상의 영향, TV전파의 반사나 차폐에 의한 TV수신장애, 소음의 발생등의 문제가 생기게 되었다. 송전전압의 상승과 더불어 송전선 밑에서의 정전유도방지, 전선이나 애자 등에서의 부분방전에 기인하는 라디오수신장애, 소음방지가 중요한 문제로 되었다.

4. 3. 1 초고압송전이 미치는 환경영향

송전전압의 고전압화와 더불어 코로나잡음의 다음으로 제기된 문제가 정전유도이

다. 송전선 밑에서 금속제 울타리나 우산등의 도전성 물체에 유도전압이 생기고 사람이나 동물 등이 이들에 접촉하여 전기적 쇼크를 받게 되는 문제이다. 또한 송전선로에 병행하는 울타리용 금속선 등에 전자유도에 의해 발생하는 전류에 의한 쇼크도 문제로 된다. 인체에의 직접적인 영향, 심장에의 영향, 胸波나 심전도 등의 의료용 전자장치에의 영향 등이 문제로 된다. 이상 언급된 것이 주요 환경영향들이나 초고압송전선의 원인별 환경영향을 살펴보면 표2와 같다.^[2]

표 2. 超高壓送電線의 原因別 環境影響

원 인	현 상	대 상	비 고
설 비	TV전파 장애	TV수신기	ghost 발생, 수신전계의 저감
	바람 소음	사 람	卓越音에 의한 障害
전 압	靜電誘導	사 람 동 물	전압, 전류에 의한 感電
	電界影響	사 람, 동 물, 식 물	生理的 障害
	코로나 雜音	라디오, TV수신기	聽取障害 畫像障害
	코로나 騷音	사 람	불규칙소음과 잡음에 의한 장애
전 류	電磁誘導	사 람 동 물	전류에 의한 쇼크
	電界影響	사 람	직접적영향, 심장의 機能障害 등

4. 3. 2. 초고압송전선의 환경영향 대책

전송전력량, 전송거리 등을 기초로 하여 전압계급, 도체방식, 기중절연간격 등을 정하고 경과지의 환경조건에 적합하도록 耐雷, 耐汚損, 耐震, 耐風力 등을 결정한다. 설계단계에 있어서 고려할 환경문제는 무엇보다도 정전

유도대책이며, 사람이 많이 왕래하는 장소에 시설하는 특별고압가공송전선로는 지표상의 1(m)높이에서 전계강도가 30(V/cm)이어야 하며 정전유도작용에 의해서 사람에게 위험을 끼치지 않도록 시설하여야 한다. 환경영향의 문제와 대책에 대한 검토에 있어 기본적으로 고려할 사항은 다음과 같다.⁽²¹⁾⁽¹²⁾⁽¹³⁾.

- (1) 多導體 방식은 동일한 단면적의 경우 素導體의 수가 많을수록 코로나특성이 양호하다.
- (2) 코로나잡음은 선로를 傳搬하면서 영향을 미치기 때문에 모든 전선에 대한 대책이 필요하다.
- (3) 코로나소음, 정전유도, 風騒音 등은 국소적인 대책이 가능하다. 건설후에 대책이 필요로 할 것으로 예측되는 경우 철탑 등의 설계에 대한 배려가 필요하다.
- (4) 애자장치에서의 부분방전에 의한 전과잡음이나 소음은 전선의 소음이하로 억제할 필요가 있다.
- (5) TV전과장해는 송전선측에서의 대책이 대단히 곤란하므로 피해자측에의 대응에 대한 배려가 필요하다. 환경영향의 허용치의 목표로는 현재 다 음과 같은 값을 적용하고 있다.

• 靜電誘導

사람이 많이 왕래하는 장소의 지표상 1(m) 높이의 전계는 30(V/m)이하로 하며 그이외의 장소는 기설송전선의 실적 및 전계의 생물영향평가를 감안하여 정하고 이의 목표전계는 100(V/cm)이하로 보고있다. 세계 각국의 최고전압송전선하부의 지표상의 전계강도는 표3과 같다.

• 電界影響

전계의 생물에 대한 영향에 대하여는 많은 연구가 이루어져 왔으며 최근까지는 100(V/cm)정도의 전계는 건강에 유해한 영향은 미치지 않는 것으로 판단된다.

• 코로나 잡음

라디오나 TV의 방송파의 세기(S)와 잡음의 세기(N)와의 비로 평가한다. 우천시에 S/N비가 20dB미만인 경우에는 방해방지대책을 고려할 필요가 있으며 S/N비로 20dB를 목표로 하고 있다.

표3. 세계각국의 超高壓送電線下部의 地表上의 電界強度

나라명	사업자	대표설비	초고압송전선하부에서 지표상의 전계강도 [V/cm]
미국	뉴욕주 전력국 (PASNY)	765kV	120
일본	아메리카 전력회사 (AEP)	765kV	120
	전 전력회사	500kV	30(사람의 왕래가 빈번한장소)
이탈리아	전력 공사 (ENEL)	400kV	100 - 120
프랑스	전력 공사 (EDF)	400kV	100
영국	중앙발전국 (CEGB)	400kV	100
서독 스웨덴		400kV	50 - 100
	전력청 (SSPB)	400kV	100

• 코로나 소음

코로나 소음의 음질, 불쾌감 등은 일반적인 소음과는 다른점이 있으나 평가는 용이하지 않지만 우천시의 코로나소음 레벨은 50dB이하를 목표로 하고 있다.

• 전자 유도

초고압송전선하부에 시설된 울타리등의 금속선에 대하여는 사람이 접촉하여도 많은 전류(약 4.5mA 이상)가 흐르지 않도록 대책을 강구하여야 한다.

• 자계영향

자계가 인체에 미치는 영향에 대한 疫學的 연구가 많이 이루어져 왔으며 유해성과 질병의 발병확율은 비교적 낮다. 위험평가를 위한 유용한 데이터를 얻기 위하여는 아직도 상당한 연구가 필요하며 최근 검토단계의 대상이다.

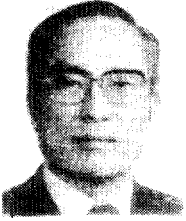
5. 결론

전력설비를 비롯하여 모든 생산설비나 공공 기간설비 등의 설계, 운용, 건설은 설비의 목적달성에 충분한 기능을 가지며 가능한한 저렴하고 효율적으로 이루어져야만 된다. 전력계통 운용상 계획된 송전선은 필요로 하는 전력을 발생지점에서부터 소비지점까지 가장 경제적 효율적으로 전송시킬 수 있는 최적설계를 이루어야 한다. 도시미관, 소음 등의 환경과의 조화, 변전소용 부지의 문제, 운전보수나 건설공사비의 저렴화, 안정성, 신뢰성 등의 문제를 가스절연기기가 해결할 수 있으므로 최근 가스절연변전소가 급속히 보급되고 있다. 고전압 대전류를 취급하는 초고압송전용 전력기기의 성능 향상과 소형경량화, 안전성, 환경조화성 등을 실현시키기 위해서는 양질의 전기절연을 이룩하여야만 한다. 결국 전기절연재료기술이 양질의 전기를 공급할 수 있다고 해도 과언이 아닐 것이다. 즉 초고압전력계통의 구성에 대하여도 절연재료의 성능과 합리적 설계가 기반기술로 대두하게 된다. 따라서 전력계통의 초고압화도 재료기술과 직결되며 현재 우리나라의 실정에서는 특히 취약한 신절연기술에 대하여 보다 심층적인 연구가 수행되어야 될 것이다.

참 고 문 헌

- [1]. 한국전력공사: 최근의 전력수요 동향 및 대책, 1990. 4.
- [2]. 중앙전력연구소: 187kV-1, 100kV의 교류 가공송전선의 전기적 설계 핸드북, pp. 1-90.
- [3]. IEEE Working Group on Switching Surges : "Switching Surges :Part IV Control and Reduction on AC Transmission Lines", IEEE, Vol. PAS-101, No. 8, 1982, pp. 2694-2702.
- [4]. IEC Publication 60-1-3: High Voltage Test Techniques, 1973.
- [5]. 전기학회: 고전압대전류공학, 1988, pp. 176-186.
- [6]. 河村達雄, 北條準一: "雷放電現象に関する最近の研究動向", 電氣學會全國大會論文集, pp. S3. 1-S3. 4, 1986.
- [7]. 井上敦之, 秋山哲夫: "送電線における雷害対策", 電氣學會誌 Vol. 110, No. 1, pp. 10-15, 1990.
- [8]. Beasley, W. H., "Positive cloud-to-ground lightning observations", J.

- Geophys., Res., Vol. 90, pp. 6131-6138, 1985.
- [9]. W. Kouwenhoven, et al: "Medical Evaluation on Man Working in AC Electric Fields", IEEE Trans., Vol. PAS-86, No. 4, pp. 506-511, 1967.
- [10]. R. S. Banks and A. N. Williams: "The Public health implications of HVDC transmission lines : an assessment of the available evidence", IEEE Trans., Vol. PAS-102, No. 8, 1983.
- [11]. M. A. Epstein and G. W. Ondra: " The interaction of static and alternating electric fields with biological system", IEEE Trans., Vol. EMC-18, PP. 45-50, 1976.
- [12]. Vinh T, et al: "Audible noise and corona loss performance of 9-conductor bundle for UHV transmission lines", IEEE Trans., Vol. PAS-104, No. 10, PP. 27-64-2770, 1985.
- [13]. Popeck R, A, Knapp R, F. : "Measurement and analysis of audible noise from operating 765 kV transmission lines", Vol. PAS-100, No. 4, pp. 2138-2148, 1981.



백용현

1927년 5월 5일생. 1952년 서울대공대 전기공학과 졸업. 1973년-76년 일본 게이오 대학 대학원 졸업(공학박사). 1986년-87년 대한전기학회 회장. 현재 인하대 공대 전기공학과 교수. 당 학회 회장.



이정선

1951년 3월 14일생. 1991년 4월 한국방송통신대 전자계산학과 졸업. 1992년 6월 인하대학 산업기술대학원 재학. 1978년 12월-현재 한국전력공사 안전지점 배전과장.



오두석

1955년 11월 1일생. 1982년 2월 단국대 공대 전기공학과 졸업. 1992년 6월 현재 인하대학 산업기술대학원 고급산업관리자 과정. 현재 주식회사 오성전기 대표이사.



이복희

1954년 6월 29일생. 1980년 인하대학 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1988년-89년 일본동경대학 생산기술연구소 객원연구원. 현재 인하대학 공대 전기공학과 조교수 당 학회 학술이사.