

## 초고압 직류 설비의 전극봉 부식원인에 대한 연구

박종광, 김찬기, 양병모, 최영도, 한병성\*  
한전 전력연구원, 전북대학교\*

### Study of Electrode Cracking in High Voltage Direct Current System

Jong-kwang Park, Chan-ki Kim, Byoung-mo Yang, Young-do Choy, Byeong-sung Han\*  
KEPRI, \*Chonbuk Univ.

**Abstract :** One of the electrode in Haenam converter, which is role of rectifier in Jeju-Haenam HVDC system is destroyed and we found many cracks at another electrode and we also found many cracks in Jeju converter station, which is role of inverter of Jeju-Haenam HVDC system, there is no exact reason for these phenomenon, even though the life cycle of these electrode is 40 years. So, the experts for HVDC system in KEPCO and Anotec corporation, which is manufacturer of electrode, would perform research for the reason of electrode disorder. In this paper analyze the reason of electrode disorder and corrosion in high voltage direct current system.

**Key Words :** Electrode, HVDC, Cracking

### 1. 서론

제주-해남 HVDC 시스템의 DC 송전선은 계속적으로 또는 과도 시간동안 대지 혹은 바닷물을 귀로로 사용하는 데, 이를 간단히 대지귀로라고 부르고 있다. 설계된 대지 전극의 대지 귀로와 금속 도체를 귀로로 사용했을 때와 비교하면 대지귀로가 매우 낮은 저항으로 인한 낮은 전력 손실을 갖기 때문에 경제적으로 유리함을 알 수 있다. 대지귀로 방식이 가장 낮은 비용으로 전력을 전송할 수 있다는 장점이 더 있다.

대지 귀로형의 Monopolar 직류송전 방식에서 모든 역전류는 전극을 통하여 대지로 흐른 반면에 Bipolar 직류송전인 경우 불평형 전류의 잔여분이 대지로 흐른다.

제주-해남 HVDC 시스템은 그림 1과 같이 해수 귀로방식의 전극 설계로 먼저 양석으로 만든 방파제로 석호(潟湖)를 만들게 되며 모든 전극봉은 해수에 매달 수 있게 설치되어 있다. 전극봉을 매달은 것은 물의 순환을 가능케 하여 염소의 집중을 감소하고 전극의 수명을 연장하기 위해서이다. 전극봉은 Kynar suspension과 밧줄로 들어올릴 수 있으며 Kynar는 반염소 플라스틱(chlorine resistance plastic)으로 되어있다. 전극봉은 20개의 high silicon chromium steel이 전극으로 사용되고 있다.

제주-해남 HVDC 시스템은 평상시에 Bipolar 운전을 하기 때문에 대지로 흐르는 전류는 대부분 불평형 전류의 잔여분만이 흐르게 된다. 실제로 2003년까지 매년 유지보수 기간에 전극봉의 표면을 관찰해본 결과 HVDC 시스템의 운전과 관련하여 전극봉의 전극 소모는 거의 없음을 확인할 수 있었다. 그러나 1998년부터 2003년까지의 전극봉의 부식현황을 조사해 본 결과, 제주와 해남에서 각각 전극봉 3개씩 균열이 점점 진전되고 있으며, 마침내 2001년에는 해남에서 전극봉 1개가 균열에 의하여 부러지게 되었다. 그래서 전극 소모가 크게 일어나지 않은 제

주-해남 HVDC 시스템의 전극봉에서 전극봉 균열이 발생되는 원인에 대하여 전력연구원과 제작사의 분석을 보여주고자 한다.

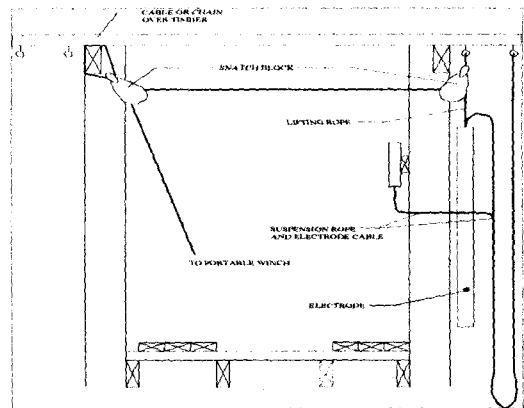


그림 1. 제주-해남 HVDC 시스템의 전극봉.

### 2. 본론

#### 2.1 제주-해남 HVDC 시스템의 전극봉 부식 원인

제주-해남 HVDC 시스템의 Monopole 운전에서 대지귀로로 흐르는 역전류는 850A가 되며 Bipole 운전의 경우 운전 전류의 1~3%의 불평형 전류가 흐른다. 해수귀로방식을 사용하기 때문에 수소와 염소가 전기화학작용으로 Cathode와 Anode에서 각각 발생한다. Cathode 환경(환원작용)내의 근처에서는 낮은 전류밀도 때문에 부산물로 생성되는 수산화나트륨, 수산화마그네슘, 그리고 수소의 양은 전극봉 근처에만 발생하게 된다. 실제적으로 환경에 무해한 고체인 수산화마그네슘과 수산화칼슘이 전극봉의 표면을 하얗게 덮는 것을 제주-해남 HVDC 시스템의 유지보수기간에 확인할 수 있었다.

제주-해남 HVDC 시스템의 운전 실적과 관련하여 전극봉 균열의 추이의 상관관계를 보면, HVDC 시스템의 케이블 사고로 인하여 제주-해남 HVDC 시스템이 장기적인 Monopole 운전을 할 수 밖에 없었고 전기화학적 위치로는 Cathode의 역할을 하게 되는 시점에서 제주와 해남 변환소에서 전극봉 균열이 두드러지게 나타나고 있음을 확인할 수 있다.

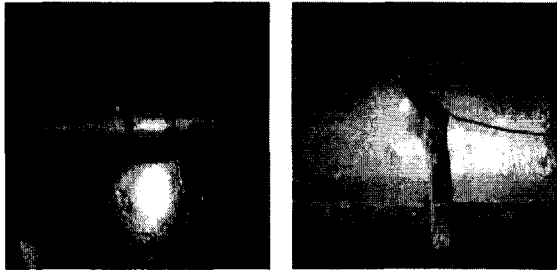


그림 2. 균열된 전극봉 부식

### 2.2 제주-해남 HVDC 시스템의 전극봉 소모 설계

전극봉의 수명을 고려한 전극봉에 대한 교체와 주변의 설비들에 대한 부식방지를 위하여 전극봉의 소모율을 Ampere-hour의 단위로 평가하여 HVDC 시스템의 운영과 관련하여 전극봉 설계수명을 40년으로 설정하고 있다. 또한 주요한 케이블 사고를 가정하기 위하여 케이블당 4번의 중요한 해저 케이블사고를 허용치로 한하여 전극봉의 수명을 고려한 설계시 소모율은 총 39.6 million A-h가 된다.

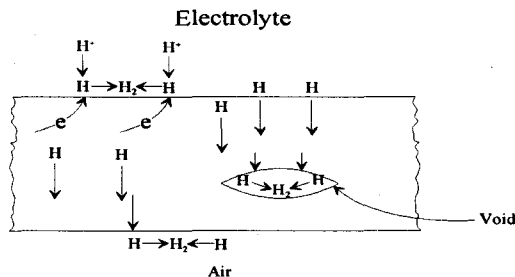


그림 3. 수소 침입으로 인한 기포 형성

### 2.3 수소에 의한 전극봉에 대한 부식 원인

금속 균열에 대한 원인별 특성을 분석하여 보면 전기화학적 반응으로써 Cathode에서 발생될 수 있는 가장 큰 원인은 HIC가 있을 수 있다. 수소 취성은 전해질을 해수로 사용하고 있는 HVDC 시스템의 해수귀로 방식에서 Cathode에서 주로 발생되는 기체이다. 일반적으로 금속의 균열 원인은 크게 기계적인 Stress에 의한 균열과 부식으로 인한 균열로 나누어 볼 수 있는데 기계적인 Stress는 전극봉 운반이나 설치할 때 발생될 수 있는 현상으로 여기서는 분석 대상에서 제외하였다. 부식으로 인한 금속 균열에 대한 원인은 SCC(Stress Corrosion Cracking)에 의해서 Stress, 부식 환경, 그리고 금속 재료의 성질이 복합적으로 발생한다고 할 수 있다. 수소 취성에 대한 금속 균열을 모델링하면 그림 3과 같다.

### 2.4 전극봉 부식 원인 분석 결과

먼저 제주-해남 HVDC 시스템의 전극봉 부식에 대하여 전극봉을 직접 제작한 Anotec 회사와 전극봉 설계를 담당했던 Teshmont 회사의 전극봉 부식 원인에 대한 내용을 정리하면 다음과 같다.

#### ● Anotec社(전극봉제작사) 분석

전극봉 중앙 부분에서 미세한 공극과 이물질이 발견되었는데 이것은 전극봉 처리과정에서 생긴 것으로 생각되며 전극봉 균열이 생긴 위치와 밀접한 관계가 있다. 또한 전극봉의 구조적인 균열의 전적인 원인은 아니나 전극봉 중앙 부분에서 균열과 부러짐이 발생하는 위치 제공은 하였다고 생각된다.

#### ● Teshmont社(전극설계) 분석

전극봉 부식의 근본 원인 기계적인 충격에 의한 균열로 생각되기 때문에 부식이 일어난 전극봉 8개는 교체하고 이후에 또 다시 전극봉 균열에 대한 문제가 발생할 상황을 대비하여 예비품으로 8개의 전극봉을 준비하는 것이 합리적이라고 생각된다.

## 3. 결론

제주-해남 HVDC 시스템의 전극봉 균열의 문제는 여러 가지 원인이 복합적으로 작용하여 이루어진 부식 메카니즘이라고 여겨진다. 먼저 금속 균열이 제주와 해남 변환소의 전극소에 불균일하게 일어나게 되는 원인은 설치 및 운반으로 인한 기계적인 충격에 의하여 불특정 전극봉에 대하여 기계적인 Stress가 가해짐으로써 부식의 원인을 제공한 것으로 여겨진다. 또한 전극봉의 균열이 주로 중앙부분에서 일어나 이유는 전극봉 제작 처리과정에서 발생한 이물질이 케이블 연결부분에서 충분히 용해되지 않았기 때문으로 발생한 것으로 생각된다.

기계적인 충격에 의한 금속 균열의 가능성을 배제하고 HVDC 시스템의 운전 상황을 고려한 전극봉 부식 원인을 분석하면, 초창기 설계 시 2번의 케이블 사고로 인한 장시간의 모노폴 운전을 고려하지 못함으로써 전극봉 재질을 산화극에만 적합한 High Silicon Cast Iron을 선택하여 Monopole 운전 시 환원극에서 수소 취성에 의한 원인으로 금속 균열이 가속화 되었다고 생각된다. 더구나 전극봉의 무게가 80kg으로 일정한 Stress의 중력이 작용하고 있기 때문에 수소취성으로 인하여 부식의 가속화가 가능하였다고 생각된다.

## 참고 문헌

- [1] Environmental and geographical aspects in HVDC electrode design, IEEE on Power Delivery, 1996
- [2] Basslink HVDC System Project Report, 2002
- [3] Anotec's Analysis Report for Kepco's Electrode, 2004
- [4] Reserach into Reasons for Failure of the Shangjai Electrode, The 4th International HVDC Transmission Operating Conference, 2001