

HVDC 해저케이블 접속절차

안용호*, 장대인, 전동훈, 황갑철, 정길조, 김정년
 한전전력연구원, 한전전력연구원, 한전전력연구원, 한전전력연구원, 한국전력공사, LS전선(주)

The Jointing Method for HVDC Submarine Cable

Y.H.An, T.I.Jang, D.H.Jeon, K.C.Hwang, G.J.Jung, J.N.Kim
 KEPRI, KEPRI, KEPRI, KEPRI, KEPCO, LS Cable

Abstract - HVDC(High Voltage Direct Current) is an underwater cable between Jeju Island and Haenam in main land and supplies approximately 50% of electrical usage in Jeju Island. If there is any power failure due to HVDC, it will cost approximately 50,000 US dollars per day including Thermal Electrical Generation. Therefore it is absolutely necessary to recover the problem in rapid timely basis.

In conclusion, jointing method of HVDC cable is needed urgently to upgrade current HVDC underwater cable repair technique in Korea to minimize the cost and time factors.

1. 서 론

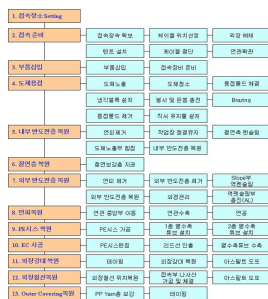
해저케이블 설비를 보유하고 있는 유럽 및 일본 등의 국가들은 대부분 해저케이블 생산 및 고장복구 능력을 보유하고 있는 반면 우리나라는 현재 제주-해남간 해저케이블을 운전중임에도 불구하고 해저케이블 생산이 전무하고, 유지보수 경험이 부족한 상태이다. 국내 케이블 업체의 경우에 육상케이블의 생산능력은 세계적 수준이므로 국내 최초로 도입된 직류 지절연 케이블(HVDC 케이블)에 대한 접속제 개발을 통하여 HVDC 해저케이블 고장 발생시 신속한 복구를 위한 접속제 및 접속기술을 확보하고 국내 HVDC케이블 고장시 신속한 대응 및 국내 기술수준의 향상을 도모할 필요성이 있다.

본 논문에서는 2006년 제주-해남 HVDC 해저케이블 복구시 수행되었던 조립과정을 기술하고 기 실시하였던 Nexans 기술이전 교육 때와의 다른 점을 언급하고자 한다.

2. 본 론

2.1 HVDC 해저케이블 접속

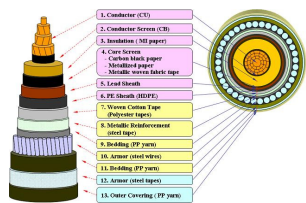
HVDC 해저케이블 접속중 본 논문에서는 Repair Joint에 대한 접속방법에 대하여 기술하였으며, 주요 접속공정은 그림 1에 나타내었다.



<그림 1> 접속절차 요약

2.2 HVDC 해저케이블 구조

HVDC 해저케이블 구조는 그림 2와 같다.



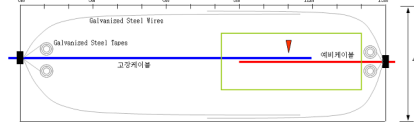
<그림 2> HVDC 해저케이블 구조

2.3 HVDC 해저케이블 접속방법

HVDC 해저케이블 접속은 총 13개 공종으로 이루어지며 각 작업공종별 절차는 다음과 같다.

2.3.1 접속장소 셋팅

접속장소로는 평평하고 깨끗한 장소이어야 하며 또한 작업 시작에서부터 마무리까지 한번에 완료하는 장시간 작업이 요구되므로 작업환경적인 면에서 적절한 조명을 비롯하여 작업자에게 최적의 조건이 갖춰져야 한다. 그러므로 작업공간으로서는 최소 폭 4m, 길이 15m 이상을 확보하여야 하며 조립을 위한 공간의 전체적인 Layout은 아래 그림 3과 같다. 이때, 작업장 온도관리는 30℃ 미만, 습도는 40% 내외로 한다.



<그림 3> 접속장소 개요도

2.3.2 접속준비

2.3.2.1 케이블 절단

접속장소의 중앙부분에 고장 케이블과 예비 케이블을 겹쳐서 케이블을 절단하며, 겹치는 거리는 Armor층 접속을 위해 약 3m로 여유를 둔다.

2.3.2.2 케이블 외장제거

고장케이블의 11.5m와 예비 케이블의 7,000mm 지점을 표시하고 Steel band로 표시한 지점을 결속한다. Outer Covering을 마-킹한 지점까지 제거한다. Galvanized steel tape를 마-킹한 지점까지 제거한다. Bedding(Polypropylene yarn)을 마-킹한 지점까지 벗겨낸다. Galvanized steel wire(Ø6mm x 37)를 마-킹한 지점까지 4-5가닥씩 모아서 벗겨내어 손상되지 않도록 접속시 재사용을 위하여 잘 보관한다. Bedding(Polyester tapes) Tape를 마-킹한 지점까지 벗겨내되 접속시 재사용을 위해서 감아서 잘 보관해 둔다. Galvanized steel tape를 마-킹한 지점까지 벗겨내되 접속시 재사용을 하여 감아서 잘 보관하여 둔다. Bedding Tape를 마-킹한 지점까지 제거한다. Polyethylene sheath를 제거하여 연피(Lead sheath)를 노출 시킨다. 이때 고장 케이블은 케이블 끝단에서 5,600mm까지 제거하며, 예비 케이블은 케이블 끝단에서 2,000mm까지 제거한다.

2.3.3 부품삽입

부품삽입은 열수축 튜브를 Polyethylene sheath상에 삽입하여 두며, 고장 케이블은 총 9개를 삽입(Ø115/54mm 7개, Ø140/42mm 2개)하고, 예비 케이블은 총 3개를 삽입(Ø115/54mm 2개, Ø140/42mm 1개)한다.

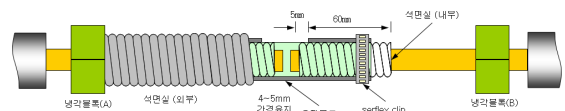
연관(Lead pipe) 삽입은 Ø64mm, 길이 3,600mm로 연관을 원통형 확장밀대를 사용하여 확장하고, 고장 케이블의 연피에 삽입하여 둔다.

2.3.4 도체용접

도체용접은 도체노출, 도체정소, 용접몰드체결, 냉각블록 설치, 봉사 및 은봉충전, 브레이징, 용접몰드 제거, 직선유지를 설치 등의 과정을 거쳐 이루어지며, 주요 공종은 다음과 같다.

2.3.4.1 냉각블록 설치

용접 형태 양끝 지점에 급, 배수 장치가 부착된 냉각 block을 서포터를 이용하여 설치하고, 용접 형태와 냉각 block 사이에 노출된 도체와 미리감은 석면실 위에 3mm의 석면 실을 감는다. 그림 5와 같이 냉각 block에 급, 배수 Pipe를 연결하여 냉각수로 급, 배수를 한다.



<그림 5> 냉각블록 설치 개념도

2.3.4.2 브레이징

냉각 block을 석면포로 두껍게 쓴다. 합성 용접기(Twin flame blow torch)에서 8-10mm 길이의 불꽃을 얻기 위하여 산소 4bar와 프로판 0.7bar 정도로도 압력계를 조절한다. 그림 6과 같이 용접 형틀이 빨강케 되도록 정기지며, 가열할 동안 $\Phi 3\text{mm}$ 銀 용접봉(Castollin 1802)으로 용접 형틀 내 혼합물이 기포가 일어나도록 휘젓는다. 균일한 용접 주형을 얻기 위하여 $\Phi 3\text{mm}$ 銀 용접봉을 녹인다. 용접시간은 약 8-9 분으로 한다. 그림 7은 용접이 끝난 상태이다.



<그림 6 도체용접 작업 중>



<그림 7 도체용접 작업 후>

2.3.5 내부반도전층 복원

내부반도전층을 복원하기 위한 공정은 연피 1차제거, 외부반도전층, 절연층, 내부반도전층 제거, 도체 콤파운드 합침, 내부반도전층 복원 순서로 이루어지며, 특히 내부반도전층은 용접된 도체와 케이블의 도체 끝단에서 60mm까지 절연 콤파운드로 합침된 Semi-conduct paper roll로 감는다. Taping 사이에 공간이 없도록 교번 층으로 감는다. 즉 한 층을 다 감은 후 다음 층으로 넘어갈 때 한 번 더 감은 후 반대 방향으로 감아야 하며 이때는 Tape를 절단하면 안 된다. 케이블의 절연층에 겹쳐 Taping하지 않도록 한다. 복원된 부분의 외경을 측정하여 기록한다.

2.3.6 절연층 복원

겹쳐서 교대로 감아야 하며, 각층의 절연지는 마주보는 방향으로 감고 다시 반대방향으로 감는다. 이때 절연지를 절단하면 안 된다. 절연지는 Paper Roll이 제공되는데 절연층 외부로 갈수록 폭이 넓은 것을 감는다.

2.3.7 외부 반도전층 복원

Creped semi-conduct tape(폭22mm)를 겹침 없이 케이블의 Carbon black tape까지 감는다. PMP(폭22mm)tape를 겹쳐서 케이블의 Metalized paper까지 감는다. Metallic woven fabric tape(폭50mm)에 콤파운드를 합침 하여 15% 겹쳐서 케이블의 동일한 Tape까지 감는다. 외부 반도전층(Screen on Insulation)을 포함하여 복원되는 절연층의 외경은 케이블의 연피 외경과 동일하여야 한다. 복원된 절연층은 Silk oil tape를 감아 보호하고, 줄을 이용하여 케이블의 연피의 절단된 부분을 폭 50mm로 빗각으로 갈아낸다. 케이블의 연피와 동일한 외경으로 유지하기 위하여 케이블 연피의 빗각으로 갈아낸 부분과 외부 반도전층 Slope부분은 납 Foil tape를 감아서 공간을 충전 한다.

2.3.8 연피 복원

접속부 방향의 연관(Lead pipe)의 끝을 연관 확장기로 벌린다. 절연층 복원부에 Damage가 나지 않도록 조심하여 접속부로 연관을 삽입한다. 도면 No.SM192에 의하여 케이블 연피 끝단에서 110mm(중첩거리)까지 설치하고 그 위치를 기록한다. 연피 튜브의 한쪽 끝단을 3M tape로 고정시킨다. 서포터 위에 수축 기계(Contracting machine)를 설치하고, 연관은 매번 Roller set의 크기를 0.5mm까지 변경하면서 수축을 한다. 연관의 수축이 충분하지 나무망치로 연관을 두드려 소리를 들어본다. 수축된 연관이 절연층과 밀착되었을 때와 공간이 있을 때는 소리로 판단한다. 밀착되었으면 즉시 수축을 종료 시킨다. 연관의 수축작업이 완료되면 남은 여장의 연관은 제거한다. 줄을 이용하여 연관의 끝부분을 폭 30mm로 빗각으로 갈아낸다. 도면 No. SM192의 치수와 같이 케이블의 연피와 연관 간에 방사선 방향으로 연공을 한다. 연공이 완료되어 냉각되면 폭 25mm 강화 접착 tape(Reinforcement adhesive tape)를 노출된 전체 연피(케이블 및 접속부)에 35% 겹쳐 감는다.

2.3.9 PE 시스 복원

PE 시-스는 $\Phi 114\text{mm}$ 와 $\Phi 140\text{mm}$ 열수축 튜브(Raychem제품)에 의하여 복원된다. 그리고 양 열수축 튜브의 양 단말은 Sygmaform SFT 87 mastic으로 밀봉 처리한다. PE 시-스의 양 끝단을 빗각으로 잘라낸다(100mm). 접속부 전체 길이를 따라 점진적으로 변화하는 외경을 얻기 위하여 작은 외경 부위는 완충 Pad를 붙인다. 열수축 튜브를 설치하는 부분의 양 끝단에서 500mm까지 SFTS 87 mastic을 테이핑 한다. 열수축 튜브의 중심에서 약 끝단으로 열을 가하여 수축 시킨다. 첫 번째 열수축 튜브의 각 양단에 가늘어진 부분을 절단하고 접착성 테이프로 양 단말을 테이핑 한다. 2번째로 설치되는 열수축 튜브의 양 끝단 위치에 500mm SFTS 87 mastic을 테이핑 한다. 첫 번째 설치한 열수축튜브와 동일한 방법으로 설치한다. 열수축 튜브 설치를 완료한후 외경이 가는 부분은 Adhesive wrap 25mm tape를 감아 외경을 균등하게 만든다.

2.3.10 Earthing Connection 복원

E/C 접속방법은 우선 PE시스 편칭한 후 연피를 노출시켜, 리드 와이어(스틸테이프)의 끝단을 노출된 연피와 납땀을 한 후 양쪽으로 일정한 피치로 PE시스위에 2m정도 감으며, 연피를 노출시킨 부위에 수밀테이프 프로 테이핑하고, 열수축 튜브를 사용하여 수축하여 최종적으로 수밀구조를 확보하는 것으로 이루어 지며 주요과정을 그림 8에 나타내었다.



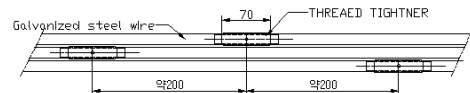
<그림 8 E/C 과정>

2.3.11 외장강대 복원

외장강대 복원은 우선 열수축 튜브의 설치 부분에 Polyester film 1층과 Reemay tape 1층을 감고, 외장 해체 작업시 벗겨서 말아놓은 4줄의 Galvanized Steel tape를 원래의 방향 및 위치로 복원한다. 복원 작업시 약300mm 간격으로 강화 접착성 테이프(Reinforcement adhesive tape)를 감아 Steel tape가 풀리지 않도록 조여 준다. Steel tape에 가열된 Bitumin을 바른다.

2.3.12 외장철선 복원

외장 해체 작업시 벗겨서 보관한 Steel wire를 원래의 위치대로 복원한다. 복원시 Wire들이 꼬이거나 누락되지 않도록 하고 케이블과 공극이 없도록 Steel clamp로 단단히 조이면서 원래 위치로 복원한다. Wire들의 배열을 맞추어 아래 그림과 같이 200mm씩 어긋나게 1가닥씩 배치하여 양 Wire 사이의 간격이 20mm 되도록 절단한다. 1가닥씩 고정 케이블 측과 예비 케이블 측의 Wire를 좌,우로 30mm씩 나사산을 만들어 내부에 Tap이 만들어진 콘넥타(Threaded tightener)로 연결하여 접속한다. 1가닥씩 상기와 같이 작업을 하고 완료되면 각 콘넥타(Threaded tightener)를 각각 더 조여서 완전하게 결속 시킨 다음 가열된 아스팔트를 Wire위에 바른다. 그림 9는 외장철선(Armor) 체결도 이다.



<그림 9 Armor 체결도>

2.3.13 Outer Covering 복원

마지막 공종인 Outer Covering 복원은 우선 Polyethylene 13000 Tex 실로 Wire위에 조밀하게 감고, 접속부 양측 말단 150mm정도를 강력 접착 tape(Reinforcement adhesive tape)를 감아 보강하며, 매 400mm마다 강력 접착 tape를 3회씩 감는 것으로 모든 접속공종을 마무리한다.

2.4 케이블 접속후 시험

케이블 접속후 접속의 건전성을 평가하기 위해서 아래와 같이 평가하였다. 실제 해저구간에서 고장이 발생시 고장점을 찾아 케이블을 절단한 후 한 측을 우선 복구선 으로 인양 한 후 접속전과 A C/S(Converter Station)사이에서 또 다른 고장점이 있는가를 확인하기 위해서 DC내압시험을 수행한 후 건전하다고 평가되면 A Side측을 연공(수밀)한 후 해저에 다시 침수시킨다. 다음 단계로 반대측(B Side)를 인양한 후 B Side와 B C/S와의 케이블의 건전성을 평가(DC 내압시험)한 후 B Side와 복구용 예비케이블의 접속을 시작한다. B Side 접속이 완료된 후 예비 케이블을 필요한 부분만큼 절단후 끝단에서 다시 DC내압시험을 수행하여 접속의 건전성을 평가한다. 그 후 케이블 A Side를 다시 인양한 후 예비케이블 끝단과 접속을 수행한다. 접속 후 접속의 건전성을 평가하기 위해서 A C/S에서 DC내압을 수행하여 전구간 케이블 및 접속 구간에 이상이 없음을 확인한다. 2006년 고장 복구시 상기와 같이 시험을 수행하여 접속의 건전성을 평가하였다. 접속후 접속건정성 평가시험 중 DC 내전압 시험은 해저케이블을 복구하고 포설 후 215kV(시운전 전압의 80%)로 15분간 시행하였다.

3. 결 론

본 논문에서는 기존 HVDC 해저케이블 접속절차에 2006년 고장복구시 접속절차를 보완하여 기술하였으며, 특히 E/C 시공법 및 선상 접속 시험방법에 대하여 제시하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사 전력연구원 안용호 외 "HVDC 해저케이블 접속제 및 접속기술 개발" 중간보고서, 2007