

핫라인 써포트암을 이용한 직접활선 완철교체공법

김점식*[§], 박용범[§], 문성원[§], 송현석[§], 조시형[#], 최영호[#]
 대원전기(주)[§], 한국전력공사 중앙교육원[#]

The Method for Replacement of Strain Pole Crossarm using the Hot-line Support Arm

J. S. Kim[§], Y. B. Park[§], S. W. Mun[§], H. S. Song[§], S. H. Cho[#], M. H. Choi[#]
 Daewon Electric Corp.[§], KEPCO[#]

Abstract - 본 논문은 가공배전선로용 무정전 내장주 완철교체용 활선공구 및 표준화된 활선공법 개발에 있다. 개발된 공구의 명칭을 핫라인 써포트암으로 부여하였으며 활선공구의 활용성을 높이고 직접활선의 안정성을 향상시키기 위하여 완철교체작업을 현재 공법보다 손쉽고 안전하게 작업할 수 있는 직접활선공법을 개발한다.

1. 서 론

국내 활선공법은 20여 년 전 외국에서 도입되어 많은 경험과 기술력을 바탕으로 직접활선공정은 현재 외국의 기술을 앞서가고 있지만 활선공구 및 활선공법 절차가 없으며, 외국의 경우 간접활선작업을 위한 스틱류와 공구는 개발되어 있지만 전선의 장력을 잡아주는 직접활선용 공구가 개발되어 있으나 3상전선의 장력을 견디고 동시에 이선한 후 완철을 교체할 수 있는 공구는 아직까지 전무한 실정이다.[1]

또한 배전 직접활선작업 중 내장주 완철교체 작업 품셈이 제정되어 배전직접활선 전산설계에도 반영이 되어 도급을 시행하고 있으나 표준화된 활선공법이 없어 현장시공 안정성 결여는 물론이고 일부 도급업체는 직접활선 내장주 완철교체 작업이 불가능하며 도급업체마다 시공방법 및 절차가 상이하여 시공품질이 저하되고 공사비가 과다하게 지출되고 있는 실정이다.[2]

따라서 이러한 문제점을 해소하고 안정성 확보를 위하여 보다 손쉽고 안전하게 작업 할 수 있고 또한 자체 개발이 가능한 활선공구 개발이 시급한 실정이다. 이와 더불어 개발된 공구를 활용하여 표준화된 공법을 개발하고자 한다.[3]

2. 본 론

2.1 활선공구 개발

그림 1의 상부고정장치를 전주에 설치하고 연결장치를 결합하여 삽입편을 끼워 고정한 다음 절연가완목을 이음봉과 삽입편을 이용하여 좌측과 우측을 상부고정장치에 결합한다.

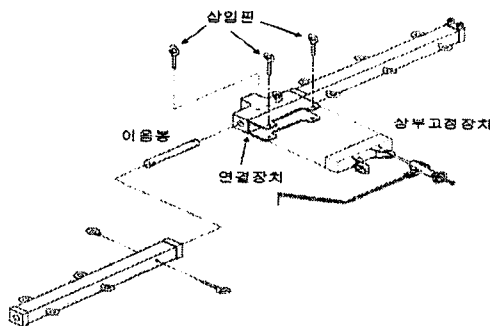


그림 1. 핫라인 써포트암 조립도
 Fig. 1. The assembly diagram of Hot-line support arm

2.2 설계하중

작업하중은 절연가완목의 자중, 전선의 자중, 작업공구, 및 기자재의 하중과 풍압하중을 고려하여야 한다.

본 논문에서는 보다 과도한 하중이 적용되는 편출장주를 기준으로 설계하중을 계산한다[5].

1) 절연가완목의 자중(P₁)

편출장주일 경우는 2개의 절연가완목이 사용되므로 절연가완목 2개의 자중(P₁)은
 $P_1 = 8.5kg \times 2개 = 17kg$ (1)

2) 전선의 자중(P₂)

절연가완목 2개에는 최대 3상의 전선이 걸리기 때문에 전선의 하중계산을 위해서는 3상 전선을 기준으로 계산한다. 전선은 ACSR/AW- OC 160을 기준으로 한다[6].

표준 경간 50m의 1상당 전선의 자중은 36.5kg으로 3상의 전선 자중을 구하면
 $P_2 = 0.73kg/m \times 50m \times 3상 = 109.50kg$ (2)

3) 전선의 풍하중(P_{3a})

전선의 풍하중을 고려할 때에는 풍압하중치를 고려하여 계산해야 한다. 그러나 활선작업 안전수칙에 의하면 작업자의 안전을 위해 강풍, 강우, 강설, 진은 안개, 혹서·혹한등 작업이 곤란한 경우 원칙적으로 작업을 중단할 수 있다[7].

ACSR/AW-OC160 전선을 기준으로 표준 내장주의 전선의 풍하중과 마찬가지로 50m 표준 경간에서 전선 1상에 걸리는 풍하중은
 $P_{3a1} = 38kg/m^2 \times 23.4 \times 10^{-3}m \times 50m = 44.46kg$ (3)

편출장주의 경우에는 3상의 전선을 고려해야 하기 때문에 전선의 풍하중(P_{3a})은
 $P_{3a} = 44.46kg/1상 \times 3상 = 133.38kg$ (4)

4) 절연가완목의 풍하중(P_{3b})

완철에 받는 풍압하중을 참고로 절연가완목에 걸리는 풍하중을 계산할 수 있다.

편출장주에 설치되는 절연가완목의 폭과 길이는 각각 76mm, 2,000mm이다. 따라서, 유효풍압하중을 적용하여 절연가완목에 가해지는 풍하중(P_{3b})을 구하면
 $P_{3b} = 61kg/m^2 \times 76 \times 10^{-3}m \times 2m = 9.27$ (5)

5) 작업공구 및 자재하중(P₄)

완철을 교체하는 과정에서 사용되는 작업공구 및 기자재의 하중은 보호장구나 활선공구 및 애자류 등이 포함되는 하중이며, 표 1과 같이 산출할 수 있다.

표 1. 작업공구 및 자재하중(3상 기준)
 Table 1. Tools and materials load(3-phase reference)

작업공구 및 자재	중량	수량	합계
폴리머 현수애사	1.72kg	6개	10.32kg
전선커버	1.80kg	6개	10.80kg
인장크래프160	1.05kg	6개	6.30kg
데드엔드커버	2.30kg	6개	13.80kg
고무브랑켓	3.60kg	2개	7.20kg
활선용장선기	2.70kg	3개	8.10kg
합	계		56.52kg

편출장주에 사용되는 작업공구 및 자재하중의 합계는 표 3과 같이 총 56.52kg이다. 그러나 제작특성 및 편차를 고려하여 60kg로 적용하여 계산하였다.

$P_4 = 60kg$ (6)

6) 설계하중 계산

따라서 풍압하중을 고려할 때 편출장주에 작용하는 최대 설계하중(P₁)은 다음과 같다.

$$P_1 = P_1 + P_2 + P_{3a} + P_{3b} + P_4$$

$$= 17kg + 109.5kg + 133.38kg + 9.27kg + 60kg = 329.15kg$$
 (7)

이상과 같이 편출장주의 설계하중은 최대 329kg 정도이며, 공인인증 시험기관에 의뢰하여 측정된 편출장주의 하중시험 결과치는 550kg이었다. 이는 설계하중 329kg 보다 큰 값으로 건디는 하중에는 문제가 없음을 알 수 있다[8].

2.3. 절연가관목의 강도

절연가관목의 강도는 일측으로 연결된 2개의 절연가관목에 대한 최대응력(stress)이 생기도록 하는 부분에서 지지봉이 분담하는 하중(Q_v)에 의해 절연가관목에 가해지는 응력보다 인장강도값이 크도록 정해져야 한다[9].

1) 수치별 물성 DATA

표 2. 불포화 폴리에스터의 물성 데이터

Table 2. The property of matter data of unsaturated poly-ester

시험항목	단위	결과치	시험방법
인장강도	kg/㎠	760	ASTM D 638
굴곡탄성계수 (E ₁)	kg/㎠	33,600	ASTM D 790

표 3. 비닐에스터의 물성 데이터

Table 3. The property of matter data of unsaturated vinyl-ester

시험항목	단위	결과치	시험방법
인장강도	kg/㎠	860	ASTM D 638
굴곡탄성계수 (E ₂)	kg/㎠	42,540	ASTM D 790

표 2는 절연가관목의 외부재로 쓰이는 불포화 폴리에스터의 물성 Data표이며, 표 3은 절연가관목 내부에 압착되어있는 비닐에스터의 물성 Data표이다.

2) 탄성계수(E)

표 2와 표 3의 물성 데이터로부터 알 수 있다.

- 불포화 폴리에스터의 탄성계수(E₁) : 33,600kgf/㎠
- 비닐에스터의 탄성계수(E₂) : 42,540kgf/㎠

3) 관성 모멘트(I)

$$I_1 = \frac{1}{12} \times bh^3 - \frac{\pi d_1^4}{64} \quad [cm^4] \quad (8)$$

$$I_2 = \pi - 64(d_1^4 - d_2^4) \quad [cm^4] \quad (9)$$

여기서, I₁은 불포화 폴리에스터에 대한 관성모멘트로써, 절연가관목의 형태가 불포화 폴리에스터의 단면(정사각형)에서 비닐에스터의 단면(원형)을 뺀 형태이므로 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다. 그리고 I₂는 비닐에스터에 대한 관성모멘트이며, 비닐에스터 외경(d₁)으로부터 내경(d₂)을 뺀 면적값으로 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

식 (8), (9)로부터 각각의 관성모멘트를 구하면

$$I_1 = \frac{1}{12} \times 7.6 \times 7.6^3 - \frac{\pi \times 5.1^4}{64} = 244.81cm^4 \quad (10)$$

$$I_2 = \frac{\pi}{64} (5.1^4 - 4.1^4) = 19.34cm^4 \quad (11)$$

4) 힘에 의한 각부분의 처짐

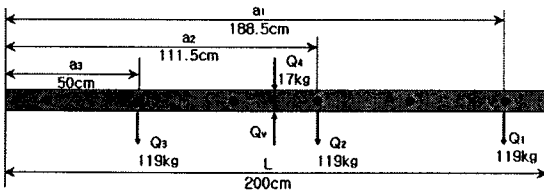


그림 3. 절연가관목의 Bending Moment

Fig. 3. The Bending Moment of Hot-line support arm

그림 3의 Q₁, Q₂, Q₃, Q₄의 하중에 의한 처짐을 표 5, 표 6의 탄성계수(E₁, E₂)와 관성모멘트(I₁, I₂)를 각각 대입하여 계산하면 식 (12)-(15)과 같다.

$$Q_4 \text{에 의한 처짐 [cm]: } \frac{Q_4 \left(\frac{L}{2}\right)^2}{6(E_1 I_1 + E_2 I_2)} \left(3a_1 - \frac{L}{2}\right) = 10.2cm \quad (12)$$

$$Q_2 \text{에 의한 처짐 [cm]: } \frac{Q_2 \left(\frac{L}{2}\right)^2}{6(E_1 I_1 + E_2 I_2)} \left(3a_2 - \frac{L}{2}\right) = 5.14cm \quad (13)$$

$$Q_3 \text{에 의한 처짐 [cm]: } \frac{Q_3 a_3^2}{6(E_1 I_1 + E_2 I_2)} \left(\frac{3}{2}L - a_3\right) = 1.37cm \quad (14)$$

$$Q_4 \text{에 의한 처짐 [cm]: } \frac{Q_4 \left(\frac{L}{2}\right)^3}{6(E_1 I_1 + E_2 I_2)} = 0.31cm \quad (15)$$

∴ Q₁, Q₂, Q₃, Q₄의 하중에 의한 처짐의 합은 다음과 같다.

$$Q_v = 10.20cm + 5.14cm + 1.37cm + 0.31cm = 17.02cm$$

이때 지지봉이 받는 하중(Q_v)은 Q₁, Q₂, Q₃, Q₄의 하중에 의한 처짐의 합(Q_v)으로부터 산출할 수 있다.

$$\frac{Q_v \left(\frac{L}{2}\right)^3}{6(E_1 I_1 + E_2 I_2)} = 17.023cm \quad (16)$$

$$\therefore Q_v = 924.18kg$$

5) Bending Moment(M)

그림 4와 식 (16)의 Q_v로부터 Bending Moment를 계산하면 다음과 같다.

$$M = Q_1 a_1 + Q_2 a_2 + Q_3 a_3 + Q_4 \cdot \frac{L}{2} - Q_v \cdot \frac{L}{2} \quad (17)$$

$$= -49,068kg \cdot cm$$

(-)값은 힘의 방향이 반대이다.

6) 절연가관목에 가해지는 응력

σ_{x1}, σ_{x2}는 각각 불포화 폴리에스터와 비닐에스터에 작용하는 응력으로 y₁, y₂는 각각 불포화 폴리에스터와 비닐에스터의 반경(cm)이다.

불포화 폴리에스터와 비닐에스터의 각각의 탄성계수(E₁, E₂), 관성모멘트(I₁, I₂)와 식 (17)의 Bending Moment(M)를 적용하여 응력을 계산하면 다음과 같다.

$$\sigma_{x1} = \frac{M y_1 E_1}{E_1 I_1 + E_2 I_2} = 692.39kg/cm^2 \quad (18)$$

$$\sigma_{x2} = \frac{M y_2 E_2}{E_1 I_1 + E_2 I_2} = 588.26kg/cm^2 \quad (19)$$

식 (18), (19)로부터 절연가관목에 가해지는 불포화 폴리에스터와 비닐에스터의 응력은 각각 692.39kg/㎠과 588.26kg/㎠이다. 이는 표 5와 표 6의 불포화 폴리에스터와 비닐에스터 각각의 인장강도값 760kg/㎠, 860kg/㎠보다 더 작은 것임을 알 수 있다[10].

3. 결 론

본 논문에서는 기존 직접활선 내장주 완철교체 작업시 활선작업용 작업공구 미흡 및 표준공법의 부재에 따른 안전성의 결여 및 시공품질의 저하와 공사비 과다지출 등의 여러 문제점을 해소하고 작업자의 안전성 확보와 시공품질을 향상시키기 위해 가공 배전선로의 무정전 내장주 완철교체용 활선공구인 핫라인 씨포트암의 개발 및 이를 활용하여 표준화된 활선공법을 개발하였다.

이로 인하여 내장주 완철교체 작업이 가능해 졌으며 작업공구 및 공법을 단순화 하면서도 안정성 및 시공품질이 향상으로 인해 작업중 전력계통이 안정하여 안전사고 예방에 큰 도움을 줄 것으로 사료된다. 또한 기존공법에 비해 작업시간이 단축되고 이로 인하여 약 20% 이상의 공사비 절감효과를 기대할 수 있다.

따라서 본 논문에서 개발된 활선작업 공구인 핫라인 씨포트암 및 이를 이용한 표준공법으로 인해 배전 선로의 직접활선 작업자의 안전성 확보 및 시공품질의 향상은 물론 공사비 감소에도 크게 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전력 중앙교육원, "배전전공 교육교재", 2003. 5
- [2] 한국전력 중앙교육원, "무정전 배전공법", 2005. 1
- [3] 한국전력 중앙교육원, "무정전공법(기초과정)", 2002
- [4] 한국전력공사 배전처, "配電施工基準(架空篇)", 2001. 6
- [5] 한국전력공사 배전처, "배전설비 시공실무", 2003. 4
- [6] 한국전력공사, "設計基準(配電分野)", 1989. 2
- [7] 한국전력공사 品質保證室, "標準購買示方書(1)" 1995. 12
- [8] 양형렬의 4인, "기계금속재료", 보문당, 2003
- [9] 金楨圭외4인, 材料力學, 청문각, 2004. 1
- [10] T. J. Lardner, R. R. Archer, "Mechanics of Solids", McGraw Hill, 2000. 8