

# 전차선로 강관 지지물 경제성 개선에 대한 연구

## A study on an improvement of economical efficiency for an overhead catenary supporting thin walled steel pole

이기원\*, 경기수\*\*, 조용현\*\*\*, 황민오\*\*\*\*, 권삼영\*\*\*, 박영\*

Kiwon Lee, Ki-Soo Kyung, Yong Hyeon Cho, Min-Oh Hwang, Sam-Young Kwon, Young Park

### ABSTRACT

Since Kyung-Bu High Speed Line has been introduced, a railway electrification has been proceeded rapidly. Therefore, in this study, a specification and application standard for an overhead catenary supporting thin walled steel pole using STKT590 material are proposed in order to improve an economical efficiency. To decide the specification, strength analysis, deflection analysis, deflection test and fracture test are performed. If the supporting structures using high strength materials such as STKT590 are installed, the advantages of cost by the materials price reduction and demand and supply are expected.

### 1. 서론

우리 나라 전기철도는 1972년 태백선 증산~고한간 시험선을 시작으로 건설되어 그 동안 수도권 전철 및 지하철, 호남선 전철화 및 고속화를 추진하였고, 기존선 복선화 및 전철화가 추진 중에 있다. 2004년 경부고속철도의 개통과 함께 KTX열차의 기존선 연계운행을 위하여 경부선(동대구~부산), 호남선 및 충북선의 전차선로가 새로 건설되거나 개량된 바 있다. 기존선을 개량하여 속도향상을 하게 되면 고속전철과 연계하여 국가 수송망을 확충할 수 있으므로 향후 기존선의 전철화는 지속적으로 추진될 전망이다.

국내 전철화율은 Table 1에서 볼 수 있는 바와 같이 2005년 7월 현재 47%이다[1]. 이를 일반철도와 고속철도로 나누어 보면 일반철도의 전철화율은 43.2%이고, 고속철도의 전철화율은 100%이다.

Table 1. Electrification Rate in Korea

| 구분   | 영업거리[km] | 전철거리[km] | 전철화율[%] | 비고         |
|------|----------|----------|---------|------------|
| 합계   | 3,374.1  | 1,585.8  | 47.0    | 2005.7. 현재 |
| 고속전철 | 233.6    | 223.6    | 100     |            |
| 일반철도 | 3,150.5  | 1,362.2  | 43.2    |            |

\* 정회원, 한국철도기술연구원 선임연구원

\*\* 정회원, 한국철도공사, 부장

\*\*\* 정회원, 한국철도기술연구원 책임연구원

\*\*\*\* 정회원, 포항산업과학연구원 책임연구원

이러한 전철화율의 급속한 증가는 KTX의 개통과 관련이 깊다. KTX 운행 구간 중 기존선을 활용한 구간이 전체의 67%에 달한다. 한편, 외국의 전철화율을 살펴보면 스위스 100%, 스웨덴 72%, 독일 49%, 프랑스 45%, 일본 60%, 북한 72%이다. 국내 전철화율은 주요 외국의 전철화율에 비하여 상대적으로 낮은 편에 속한다. 호남고속철도의 추진, 기존선 연계에 따른 고속철도의 수송량의 증대 등 정부의 교통정책이 도로 중심에서 도로와 철도가 적정 비율로 분담할 수 있는 방향으로 선회하고 있으므로 향후 국내 철도의 전철화 투자가 지속적으로 추진될 전망이다. 다음 표는 『철도 전철화 구축 기본계획(2)』에서 제시하는 전철화 추진계획이다.

Table 2. Basic plan for electrification in korea

| 구분       |        | 2010까지 | 2020까지 | 2020이후 |
|----------|--------|--------|--------|--------|
| 영업거리[km] |        | 3,668  | 4,854  | 5,887  |
| 전철화      | 거리[km] | 3,240  | 4,441  | 5,463  |
|          | 비율     | 88%    | 92%    | 93%    |
| 복선화      | 거리[km] | 2,886  | 3,707  | 3,950  |
|          | 비율     | 79%    | 76%    | 67%    |

전철지지물의 국내 현황은 Table 3과 같다(1). 전철지지물 중 철주가 70% 이상을 차지하고 있다. 철주는 일반철도에서는 조합철주와 H 빔이 주로 사용되고 있고 고속철도에서는 H빔이 사용되고 있다.

Table 3. Status of installed supports

| 구분   | 콘주[본]  | 철주[본]  | 고정빔[본] | 합계     |
|------|--------|--------|--------|--------|
| 계    | 11,775 | 65,713 | 15,959 | 93,447 |
| 수도권역 | 3,059  | 16,388 | 7,039  | 26,486 |
| 일반철도 | 8,716  | 19,088 | 4,028  | 31,832 |
| 고속철도 | -      | 30,237 | 4,892  | 35,129 |

콘크리트주는 산업선의 전철화 초기에 주로 설치되었고, 현재 노후·불량한 콘크리트 전주는 철주로 개량되고 있다.

2001년에 조립식 전철주와 고정비임 등을 주변 환경과의 조화와 미관을 고려하여 철도청 주관으로 전철지지물 구조개선을 추진하여 강관주를 전철지지물 표준규격으로 제정한 바 있다. 이 때 전철주와 고정비임을 원형 강관으로 바꾸고 전주기초를 기계화시공에 적합한 원형기초로 구조 개선되었다. 이에 따라서 기존의 철주와 함께 강관주를 전철지지물로 사용되어 왔으나, 2004년 10월 한국철도시설공단에서 단독 전철주를 단순하고 미관이 양호한 강관주로 채용하기로 전차선로 지지물 적용기준을 재정립한 바 있다.

따라서, 본 연구에서는 전철화 투자가 지속적으로 추진되고 있는 상황에서 그 동안 축적된 국내 전철화 경험을 토대로 단독주에 대한 설계기법을 정립하고, 기존 강관단독주의 경제성을 개선할 수 있는 고강도 강관 단독주의 신 사양(안) 및 적용기준(안)을 제시하였다.

## 2. 사양 비교

신 사양 전철지지물의 강관 소재는 기존 소재와 가격대비 강도 효과와 향후 포스코 공급 예측을 고려하여 Table 4와 같이 선정하였다. 기존의 강관 전철지지물에 사용하는 소재는 SM490(용접구조용 압연강재)이다(3, 4). 신 사양 전철지지물의 소재로 STKT590(철탑용 고장력 강관)을 검토하였을 때 아래 표와 같이 STKT590은 SM490에 비하여 강도는 35% 높으나 가격은 9% 비싸다(5).

Table 4. Price comparison between two materials

| 사용가능 재료                 | 항복강도 [N/mm <sup>2</sup> ] | 강재 톤당가격 * | 강도/가격 | 수급예측 | 비고 |
|-------------------------|---------------------------|-----------|-------|------|----|
| SM490<br>(용접구조용 압연강재)   | 325                       | 511,800   | 1.000 | △    | 현행 |
| STKT590<br>(철탑용 고장력 강관) | 440                       | 557,900   | 1.242 | ○    | 선정 |

(2006/3월 현재)

기존 전철지지물로 사용되는 강관은 직관이며, 강관 외경은 10"와 12"의 두 종류이고, 강관의 두께는 모두 9t이다. 신 사양의 경우 밴드 및 플랜지 등의 설치 용이성 및 현장 적용성을 고려하여 강관 외경을 기존의 강관 외경과 같은 10"와 12"로 하고, 경량화를 위하여 두께를 7t로 줄였다.

Table 5는 현재 사용하고 있는 강관주와 신 사양의 강관주에 대한 사양을 보여주고 있다. 파단 변형을 에 있어서 STKT590은 SM490과 비슷하므로 강도 증가에 따른 피로수명의 감소는 발생하지 않을 것으로 보인다.

Table 5. Specification comparison between two materials

(9m-long)

| 단면       | 하단 단면적 [cm <sup>2</sup> ] | 단위중량 [kgf/분] | 강종      | 항복강도 [N/mm <sup>2</sup> ] | 연신율  |
|----------|---------------------------|--------------|---------|---------------------------|------|
| P-10"X9t | 73.06                     | 534          | SM490   | 325                       | 17이상 |
| P-12"X9t | 87.51                     | 636          | SM490   | 325                       | 17이상 |
| P-10"X7t | 57.26                     | 415          | STKT590 | 440                       | 20이상 |
| P-12"X7t | 68.50                     | 495          | STKT590 | 440                       | 20이상 |

위와 같은 사양의 STKT590을 사용하여 강관주를 경량화할 수 있다면 소재비 뿐만 아니라 도금비 등 많은 부분에서 예산을 절약할 수 있을 것으로 기대된다.

## 3. 신 사양 검토 및 성능평가

신 사양에 대한 안전성 검토는 강도해석, 휨강성 해석, 휨강성 시험 및 파괴시험에 대하여 수행하였다. 강도해석 및 휨강성 해석은 "철도설계편람(3)"에서 제시한 아래 Figure 1과 같은 표준장주도를 고려하였고, Table 6과 같은 전차선로 조건을 검토하였다.

Table 6. Considered Catenary condition

| 종별  | 헤비심플 케터나리 |         |         |         | 심플 케터나리 |         |
|-----|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|
|     | 선종        | 장력[kgf] | 선종      | 장력[kgf] | 선종      | 장력[kgf] |
| 급전선 | ACSR288   | 900     | Cu150   | 900     | Cu150   | 900     |
| 보호선 | ACSR93    | 400     | Cu75    | 500     | Cu75    | 500     |
| 조가선 | Bz65      | 1400    | CdCu80  | 1,500   | Bz65    | 1200    |
| 전차선 | Cu150     | 1,400   | Cu170   | 1,500   | Cu110   | 1200    |
| 고배선 | ACSR160   | 700     | ACSR160 | 700     | ACSR160 | 700     |

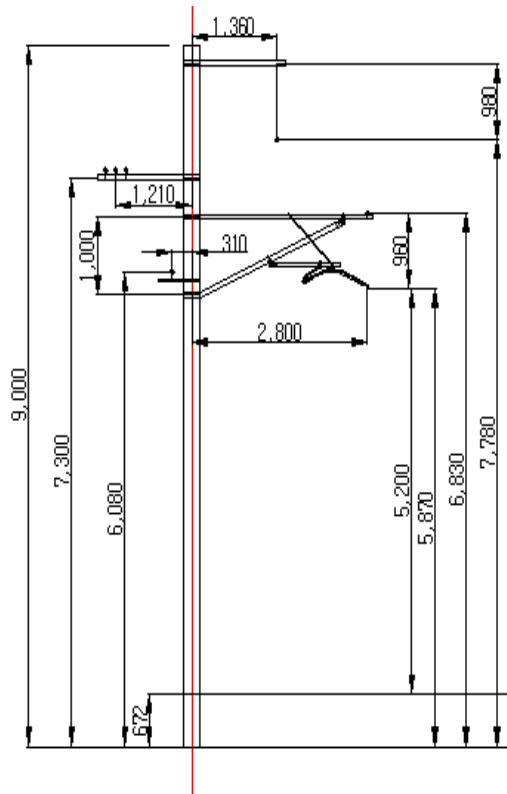


Figure 1. Considered Mounting Diagram

### 3.1 강도해석

“철도설계편람”에서는 우리나라 기후의 특성상 적설이 많지 않고, 태풍의 영향이 큰 것을 감안하여 갑종풍압하중을 일반개소의 풍속인 35m/s 및 특수개소의 풍속인 50m/s만을 적용하여 갑종풍압만을 고려하여 강관주의 강도에 대하여 검토하였다(3). 그러나, 고정장력으로 설치된 고배선을 고려하였을 경우 을종 및 병종풍압하중에서 횡장력에 의한 영향 등이 전주에 많은 영향을 미치고 있기 때문에, 본 연구에서는 기존선 단독지지물 설계기준(3)에 따라 갑종풍압하중 뿐만 아니라 을종 및 병종풍압하중도 고려하여 강도해석을 하였다. 각 하중별 고려한 하중을 간략히 정리하면 Table 7과 같다.

Table 7. Considered load conditions

| 종별 | 적용풍속                         | 수평하중에 의한 모멘트                  |                                  | 수직하중에 의한 모멘트            |
|----|------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| 갑종 | 일반개소 : 35m/s<br>특수개소 : 50m/s | 각종 선, 부속품 및 전주에 작용하는 풍압하중     | 표준온도(10℃) 조건에서 곡선반경 및 편위에 의한 횡장력 | 각종 선 및 부속품 (애자, 브래킷 등)  |
| 을종 | 갑종풍압하중의 1/2                  | 각종 선, 부속품, 전주 및 피빙에 작용하는 풍압하중 | 10℃→-5℃ 온도변화시 곡선반경 등에 의한 횡장력     | 선, 피빙 및 부속품 (애자, 브래킷 등) |
| 병종 | 갑종풍압하중의 1/2                  | 각종 선, 부속품 및 전주 등에 작용하는 풍압하중   | 10℃→-20℃ 온도변화시 곡선반경 등에 의한 횡장력    | 선 및 부속품 (애자, 브래킷 등)     |

위와 같은 하중조건에서 SM490 및 STKT590에 대하여 강도해석을 수행한 결과는 Table 8과 같다. 두 재질 모두 거의 동일한 크기의 전주가 결정되었으나, 특수개소, 헤비심플 전차선로 조건(고배선 설치) 등 2 개소에서 SM490 재질이  $\phi 12$  크기로 결정되었다.

Table 8. Strength Analysis Results

| 구분     | 전차선로 |    | 일반개소<br>(풍속35m/s) |                      | 특수개소<br>(풍속50m/s) |                      |
|--------|------|----|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|
|        |      |    | 고배선 미설치           | 고배선 설치               | 고배선 미설치           | 고배선 설치               |
| 일반구간   | 심플   | 직선 | $\phi 10$         | $\phi 10$            | $\phi 10$         | $\phi 12$            |
|        |      | 곡선 | $\phi 10$         | $\phi 10$            | $\phi 10$         | $\phi 12$            |
|        | 헤비심플 | 직선 | $\phi 10$         | $\phi 10$            | $\phi 10$         | $\phi 10(\phi 12)^*$ |
|        |      | 곡선 | $\phi 10$         | $\phi 10$            | $\phi 10$         | $\phi 12$            |
| 평행구간** | 심플   | 직선 | $\phi 10$         | $\phi 10$            | $\phi 10$         | $\phi 12$            |
|        |      | 곡선 | $\phi 10$         | $\phi 10(\phi 12)^*$ | $\phi 10$         | $\phi 12$            |
|        | 헤비심플 | 직선 | $\phi 10$         | $\phi 10$            | $\phi 10$         | $\phi 12$            |
|        |      | 곡선 | $\phi 10$         | $\phi 12$            | $\phi 10$         | $\phi 12$            |

\* ( ) : SM 490적용시

\*\* 평행구간 : 복주사용 및 중간주 기준

### 3.2 휨강성 해석

전차선로에서 전차선 등 각 선의 곡선 및 직선에서의 편위, 풍압 등에 의해 지지물이 휘어도 팬터그래프의 유효 폭을 넘지 않아야 하기 때문에 다음과 같은 제한 조건을 제시한다(3, 7, 8).

Table 9. Deflection analysis conditions

| 항목       | 휨 제한<br>(계산 위치)         | 수 직                              | 수 평                        |                            |      |
|----------|-------------------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|------|
|          |                         | 수직<br>편심하중                       | 횡장력<br>(곡선반경<br>+최저온도)     | 풍압집중                       | 풍압분포 |
| 병종풍압하중   | 100mm<br>(레일면 상부<br>7m) | 조가선<br>전차선<br>급전선<br>비임지지물<br>기타 | 조가선<br>전차선<br>급전선<br>기타 전선 |                            |      |
| 풍속 30m/s | 50mm<br>(전차선 높이)        |                                  |                            | 조가선<br>전차선<br>급전선<br>기타 전선 | 전주   |

휨강성 시험을 기초로 하고 강도해석에서 결정된 강관주 설치기준에 대하여 휨강성 해석을 수행한 결과, 일반개소, 일반구간, 고배선을 설치한 곡선조건에서 제한조건인 100mm를 초과하여 강관의 크기를  $\phi$  12로 상향 조정하였다. Table 10은 결정된 전차선로 조건에 따라 휨강성 해석을 수행한 결과다.

Table 10. Deflection analysis results

(mm)

| 구분 | 전차선로 |    | 레일 위 7m 위치 |        | 전차선 위치<br>(30m/s 풍압) |        |
|----|------|----|------------|--------|----------------------|--------|
|    |      |    | 고배선 미설치    | 고배선 설치 | 고배선 미설치              | 고배선 설치 |
| 일반 | 심플   | 직선 | 49         | 80     | 19                   | 34     |
|    |      | 곡선 | 84         | 90*    | 17                   | 17*    |
| 구간 | 헤비심플 | 직선 | 55         | 86     | 21                   | 36     |
|    |      | 곡선 | 94         | 96*    | 19                   | 19     |

\* 휨강성 해석결과  $\phi$ 10 강관 사용시 제한변위를 초과하여  $\phi$ 12 강관으로 상향조정 후 휨해석 결과

### 3.3 휨강성 및 파괴시험

신사양에 의해 제작된 강관주가 “전철용 강관주” 규격[6]에 적합한지 확인하기 위하여 휨강성 및 파괴 시험을 규격에 따라 수행하였다. 강도해석결과에 따르면 SM490을 이용한 강관주의 설치기준에서 STKT590을 이용하였을 때 6.5t도 만족한 결과를 얻었다. 따라서, 신 사양(7t)의 강관주 대신 6.5t 강관으로 시험을 수행하였다.

규격에서는 지지점 설계 최대 휨모멘트를 8,500kg·m로 고려하고 있으나, 강도해석결과  $\phi$ 12의 경우 최대 13,000kg·m(설계하중 1.5ton),  $\phi$ 10의 경우 10,200kg·m(설계하중 1.2ton)의 모멘트가 작용하고 있어 강도해석 결과의 최대 설계하중 이상까지 휨강도 시험을 실시하였다.

휨강성 시험은 하중을 설계하중까지 50kg씩 단계적으로 증가시켜 설계하중 재하 후 이상 없이 원상 복구하여야 한다. 아래 Figure 2는 직관(S) 및 테이퍼주(T)에 대한 시험결과이고, 설계하중까지 휨강도 시험에서 문제가 없음을 알 수 있다.

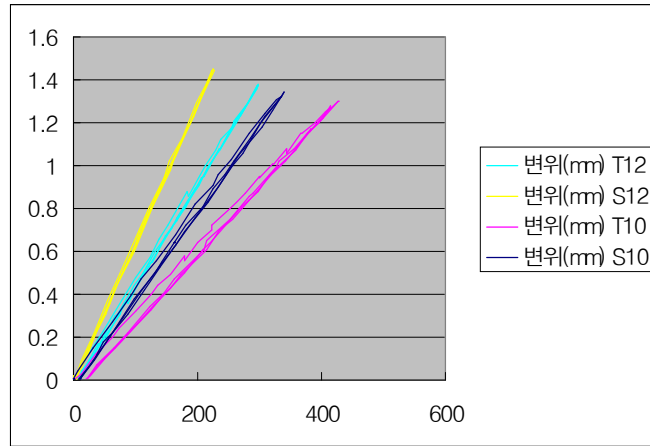


Figure 2. Deflection test results

파괴시험은 규격에 따르면 설계하중의 2배까지 하중을 증가시켰을 때 파괴되지 않아야 한다. Figure 3의 시험결과와 같이 파괴시험하중( $\phi 12 : 3\text{ton}$ ,  $\phi 10 : 2.4\text{ton}$ )에서 파괴가 되지 않음을 알 수 있다. 그리고, Figure 4의 파괴형상을 살펴보면 용접부 터짐이나, 강재의 파단 없이 국부좌굴로 파괴가 일어나 실제구간에서 사용 중 파괴시 대형사고를 방지할 수 있다.

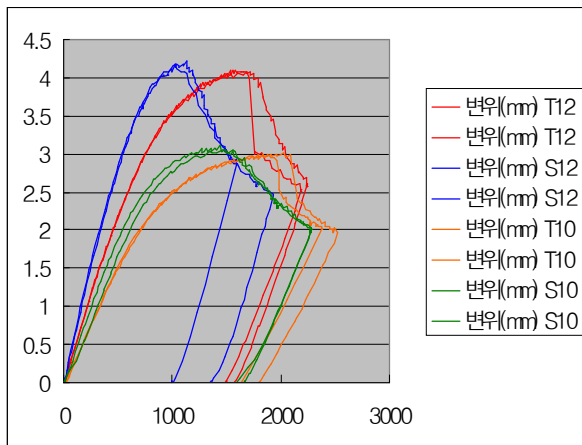


Figure 3. Fracture test results



Figure 4. Specimen performed fracture test

위와 같이 휨강성 시험 및 파괴시험을 규격에 따라 6.5t의 STKT590의 재질로 수행한 결과에서도 사양을 만족하였기 때문에 신 사양(7t, STKT590)의 강관주에서는 문제가 없을 것임을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 STKT590 재질을 이용한 신사양의 강관 단독주에 대하여 강도해석, 휨강성 해석, 휨강성 시험 및 파괴시험을 통하여 설계기법을 제시하고, Table 11과 같이 새로운 적용기준(안)을 제시하였다.

Table 11. Application standard for thin walled steel pole applied STKT590 with 9m-long and 7t

| 구분                     | 전차선로 |    | 일반개소<br>(풍속35m/s) |                    | 특수개소<br>(풍속50m/s) |           |
|------------------------|------|----|-------------------|--------------------|-------------------|-----------|
|                        |      |    | 고배선 미설치           | 고배선 설치             | 고배선 미설치           | 고배선 설치    |
| 일반<br>구간               | 심플   | 직선 | φ10               | φ10                | φ10               | φ12       |
|                        |      | 곡선 | φ10               | φ12 <sup>***</sup> | φ10               | φ12       |
|                        | 헤비심플 | 직선 | φ10               | φ10                | φ10               | φ10(φ12)* |
|                        |      | 곡선 | φ10               | φ12 <sup>***</sup> | φ10               | φ12       |
| 평행<br>구간 <sup>**</sup> | 심플   | 직선 | φ10               | φ10                | φ10               | φ12       |
|                        |      | 곡선 | φ10               | φ10(φ12)*          | φ10               | φ12       |
|                        | 헤비심플 | 직선 | φ10               | φ10                | φ10               | φ12       |
|                        |      | 곡선 | φ10               | φ12                | φ10               | φ12       |

\* ( ) : SM 490적용시  
 \*\* 복주사용 및 중간주 기준  
 \*\*\* 휨강성 해석에 의해 상향조정

STKT590과 같이 고강도 소재를 사용하여 전철주의 경량화를 통해 부품비용절감 등의 경제성을 제고할 수 있어 전철화 건설비 절감 기대할 수 있고, 고강도 소재의 공급 확대를 통하여 국내 철강업계의 경쟁력 강화에 기여할 수 있다. 또한, 고강도 강관 전철지지물을 사용하면 기존의 강관 전철주를 대체할 수 있는 대안이 마련 발주자 입장에서 보면 자재의 수급에 유리하다.

[참 고 문 헌]

[1] 한국철도공사 전기사업단, “전기업무자료(제12호)”, 2005  
 [2] 철도청, “철도 전철망 구축 기본계획 수립”, 2002  
 [3] 한국철도시설공단, “철도설계편람(전철전력편 : 전차선)”, 2004  
 [4] 철도청, “전철지지물구조개선추진용역 : 용역보고서”, 2001  
 [5] 2006년도 POSCO 철강가격  
 [6] 철도용품품질규격 “전철용 강관전주(철도 5975- 3222라”, 한국철도공사  
 [7] JR教本研究會編, “支持物”, 1994  
 [8] 電車線裝置 中 / JR教本研究編, “국유 철도 전기공작물(전차선로)설계 시공 표준”, 電氣概論 (電車線シリーズ)