

강관을 이용한 급전선금구의 응력해석 및 경제성 분석

Analysis on the stress and economy of Feeder supporting metal designed a steel pipe

나현* 안영훈** 이기원***
Na, Hyun, Ahn, young-hoon Lee, ki-won,

ABSTRACT

The catenary line and feeder line installed on same electrical pole in opened place of AC electrical railroad. The Electrical pole has receive a different weight from the catenary line and feeder line. So we have designed the Feeder supporting metal with new shape and material based on this fact. And then we have examined the stability of Feeder supporting metal designed a steel pipe by FEM program. New steel pipe compared with existing steel pipe on a economy respect. That result give proof the stability and economy as feeder supporting steel. Therefore this device have a basic of Value Engineering, so we have the need of reflection to design as a device of new electrical pole.

1. 서 론

교류전기철도 지상구간의 전차선로는 전철주(Electric pole) 간에 일정한 경간(Span)을 유지하고 있으며 이 전철주들에 가동브래킷이 취부되어 조가선과 전차선, 균압드롭퍼에 의한 커티너리 형상이 이루는 경간을 기본 단위로 연속적으로 구성되어진 전차선로가 전기차량에 전력을 공급하는 형태의 구조를 갖게 되어 커티너리 방식(Catenary system)이라고 명명되어지고 있다. 그러나 전기철도의 전철주에는 가동브래킷을 부착하여 구성하는 전차선로 이외에 가동브래킷 상부의 전철주 위치에 취부된 급전선금구에 의하여 전차선로와는 일정한 절연 이격거리를 유지하며 독립된 급전선로가 형성되어 있다. 즉 교류전기철도 지상구간의 모든 전철주에는 전차선로와 급전선로가 동일 전철주에 일정한 이격거리를 두고 독립적으로 취부되어 있으며, 이들이 전철주에 미치는 각각의 수평하중과 수직하중의 크기가 다른 점에 착안하여 전철주의 높이를 줄이되 급전선로의 하중을 극복할 수 있는 일체형 급전선금구를 설계하여 전철주와 접속함으로써 전철주의 본당 재료비를 절감할 수 있는 방법을 생각하였다. 최근 H형강의 단점을 보완하는 강관주를 기준으로 하여 새로운 형상으로 설계한 일체형 급전선금구와 강관을 결합하여 접속하였을 때 급전선금구에 미치는 응력분포를 FEM 프로그램으로 해석하여 안정성을 검토하고 기존의 강관주의 재료비와 비교하여 경제성도 함께 검토함으로써 설계에 적용 가능성여부를 VE(Value Engineering)의 기본수준에서 수행하였다.

* 한국철도시설공단, 기술본부 전철전력설계팀, 비회원

E-mail : nh007@naver.com, ahnknr@korea.com

TEL : (043)607-4265 FAX : (043)607-4269

** 세종기술(주), 전철사업본부 상무이사, 정회원

*** 한국철도기술연구원, 집전전력연구실 선임연구원, 정회원

2. 본 문

가. 전철주 강도계산의 기본 조건

전철주 강도계산의 기본조건으로서 기온, 풍압, 전선훈장력, 하중, 모멘트 등을 적용한다. 적용기온은 최고 40℃, 최저 -20℃, 표준 10℃이다. 적용풍압은 35m/sec로서 갑종풍압하중(전기설비기술기준의 판단기준 제62조)을 적용하고, 합성전차선로에 사용되는 전선훈장력은 표1과 같다. 하중 적용기준에 있어서 수직하중은 단위중량[N/m]× 전주경간[m]× 수량[조] = [N]으로 갑종풍압하중은 단위면적[m²/m]× 풍압하중[N/m²]× 전주경간[m]× 수량[조] = [N]로 구할 수 있으며, 곡선로에서의 횡장력은 다음 의 수식(1)을 적용하였다.

$$P = \frac{ST}{R}[N] \text{ -----(1)}$$

P : 곡선훈장력[N] S : 전주경간[m]
 R : 곡선반경[m] T : 전선의 장력[N]

표1. 합성전차선로에 사용되는 전선훈장력

| 종 별 재 질 | 전 차 선 | 조 가 선 | 급 전 선 | 비 절 연 보 호 선 |
|------------------------|---------|---------|--------|-------------|
| | 경 동 | 장심동연선 | 경 동 | 경 동 |
| 단면적 (mm ²) | 110 | 65 | 150 | 75 |
| 계산 단면적 | 111.1 | 65.4 | 152.8 | 75.25 |
| 외 경(mm) | 12.34 | 10.3 | 16.0 | 11.1 |
| 반 경(m) | 0.00617 | 0.00515 | 0.008 | 0.00555 |
| 구 성 | | 19/2.1 | 19/3.2 | 7/3.7 |
| 질 량(N/m) | 9.6794 | 5.929 | 13.475 | 6.635 |
| 파괴강도(N) | 38,220 | 42,238 | 58,702 | 28,518 |
| 허용하중(N) | 17,375 | 16,895 | 26,676 | 12,956 |
| 표준장력(N) | 11,760 | 11,760 | 8,820 | 4,900 |
| 저 항 20℃(Ω/km) | 0.1592 | 0.462 | 0.118 | 0.239 |

나. 급전선의 검토

강관주에 접속되는 강관파이프 급전선금구에 걸리는 하중과 구속조건을 구하기 위하여 급전선의 조건, 급전선의 수직하중, 급전선의 수평하중, 급전선의 횡장력에 대하여 검토하여 계산한 값은 아래의 표 2, 표3, 표4, 표5와 같다.

표2. 급전선의 조건

| 종 별 | 규 격 | 단위중량 [N] | 단위면적 [m ²] | 갑종풍압 [N/m ²] | 표준장력 [N] | 설치거리 [m] | 설치높이 [m] |
|-------|-----------------------|-------------|---------------------------|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|
| 급 전 선 | Cu 150mm ² | m 13.475 | 0.016 | 745 | 8,820 | 1.38 | 7.82 |

표3. 급전선의 수직하중

| 종 별 | 전 주 경 간 규 격 | 50m R 1000 | | 45m R 800 | | 40m R 600 | | 비 고 |
|-------|-----------------------|------------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----|
| | | 하중 [N] | 모멘트 [N·m] | 하중 [N] | 모멘트 [N·m] | 하중 [N] | 모멘트 [N·m] | |
| 급 전 선 | Cu 150mm ² | 674 | 930 | 606 | 836 | 539 | 744 | |
| 계 | | 674 | 930 | 606 | 836 | 539 | 744 | |

표4. 급전선의 수평하중

| 종 별 | 전주경간 규 격 | 50m R 1000 | | 45m R 800 | | 40m R 600 | | 비 고 |
|-------|-----------------------|------------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|
| | | 하중 [N] | 모멘트 [N·m] | 하중 [N] | 모멘트 [N·m] | 하중 [N] | 모멘트 [N·m] | |
| 급 전 선 | Cu 150mm ² | 596 | 4,661 | 536 | 4,192 | 477 | 3,730 | |
| 현수애자 | 고분자재 φ138 | 74 | 659 | 74 | 659 | 74 | 659 | 날개: 7개 |
| 계 | | 670 | 5320 | 610 | 4851 | 518 | 4389 | |

표5. 급전선의 횡장력

| 종 별 | 전주경간 규 격 | 50m R 1000 | | 45m R 800 | | 40m R 600 | | 비 고 |
|-------|-----------------------|------------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----|
| | | 하중 [N] | 모멘트 [N·m] | 하중 [N] | 모멘트 [N·m] | 하중 [N] | 모멘트 [N·m] | |
| 급 전 선 | Cu 150mm ² | 441 | 3,449 | 496 | 3,879 | 588 | 4,598 | |
| 계 | | 441 | 3,449 | 496 | 3,879 | 588 | 4,598 | |

다. 강관주의 표준장주도

강관주에 급전선금구를 결합하여 급전선로를 지지하는 기존의 강관주의 표준장주도 설계도면은 그림1 및 그림2와 같으며 가동브래킷 상부의 강관주의 높이를 줄이되 급전선로의 하중을 극복할 수 있는 일체형 강관 파이프로 급전선금구를 설계하여 강관주와 접속함으로써 급전선로를 지지하게 하여 전철주의 본당 재료비를 절감할 수 있는 방법을 적용하여 새로운 형상으로 설계한 변경된 강관주의 표준장주도 설계도면은 그림3 및 그림4와 같다. 그림2의 변경된 강관주의 표준장주도는 교류전기철도 지상구간의 토공개소에 적용되어지는 것이나 강관주에 접속되는 강관파이프의 급전선금구의 방향을 선로외측(180°회전)으로 하여 강관주에 접속할 경우 교량구간에도 적용할 수 있다.

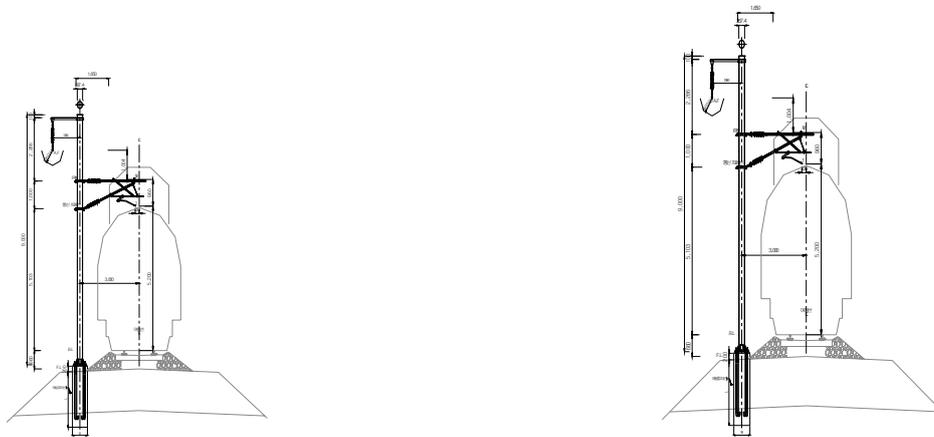


그림1. 기존의 강관주의 표준장주도

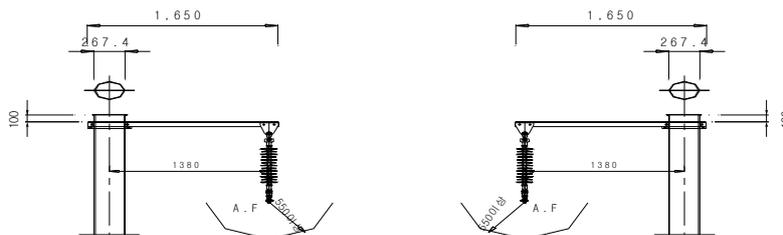


그림2. 기존의 강관주의 급전선금구의 취부방향

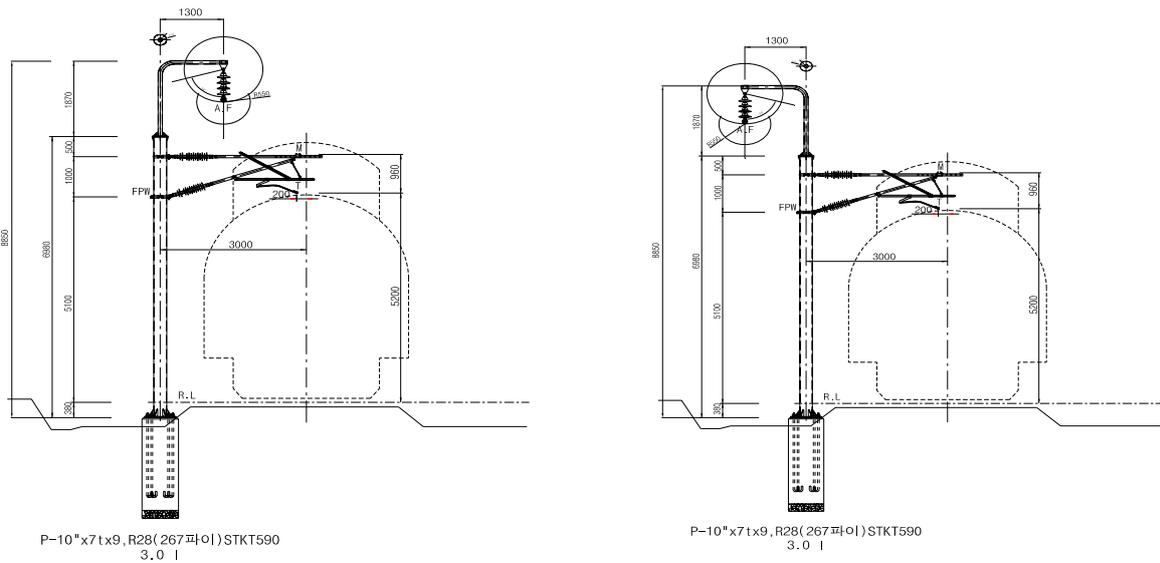


그림3. 변경된 강관주의 표준장주도

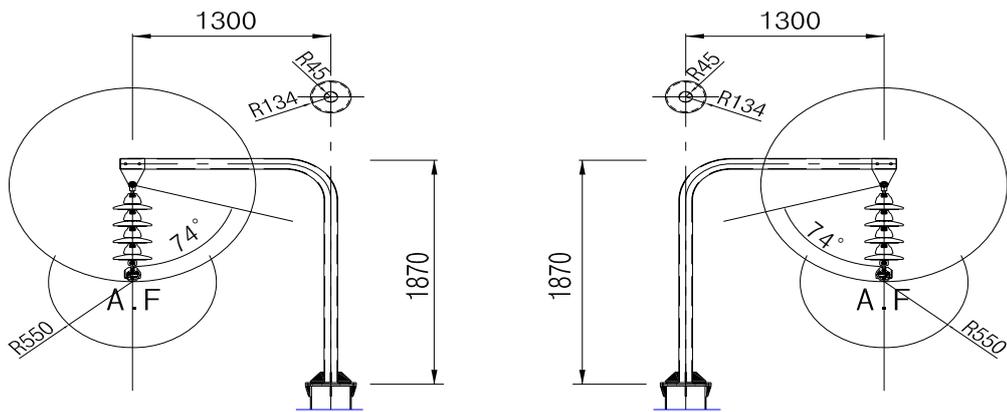


그림4. 변경된 강관주의 급전선금구의 취부방향

라. 급전선금구의 안전성 검토

그림2에서 강관주 위에 접속되는 강관파이프 급전선금구의 설계된 재원을 가지고 FEM 프로그램을 이용하여 해석하였다. 해석에 이용한 프로그램은 상용 FEM 해석툴인 ANSYS v. 11.0 Workbench를 사용하여 원형강관을 빔요소(beam element)로 그림3과 같이 모델링 하여 강관주에 걸리는 응력해석을 수행하였다. 그림5는 모델링된 급전선금구에 걸리는 하중과 구속조건을 나타내고 있다. 그림6의 하중과 구속조건을 부여하여 급전선금구에 걸리는 응력해석을 보여주는 것이 그림7이다. 응력해석의 결과 급전선금구(원형 강관)의 하단에 약 158 MPa의 최대응력(Max. combined stress)이 작용하였다. 고려된 하중이 안전율을 고려하였다면 최대응력이 SS400의 항복응력인 250MPa 보다 작으므로 구조적으로 안전하다고 판단된다. 그러나, 변경된 강관주를 실제 설계에 반영하여 필드에 반영하기 위해서는 강관파이프를 이용한 급전선금구와 강관주와의 접속방법에 따른 세부적인 검토가 필요하다. 즉, 접속부를 용접구조로 설계한다면 접속강재의 경우 용접시 강재의 두께 및 재료에 따라 고려해야 할 부분이 있으므로 강재의 종류가 정해지면 이에 대하여 검토해야 할 부분이 있다.

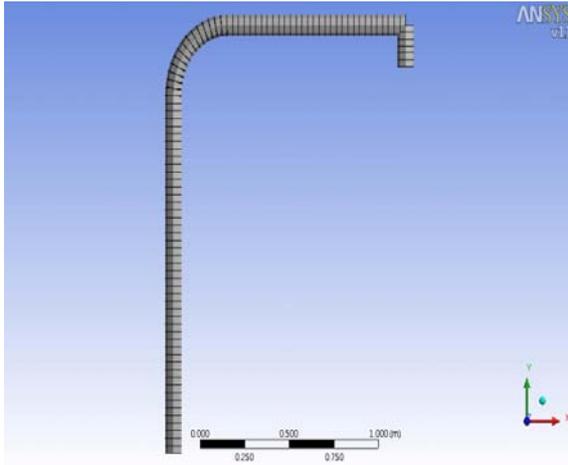


그림 5. Mesh ($\phi 90$, 4t)

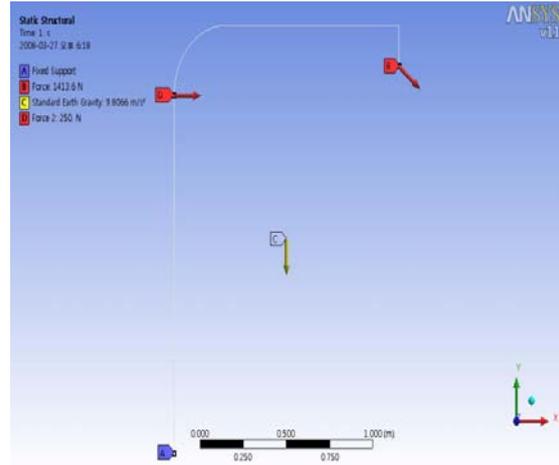


그림 6. 구속조건 및 하중조건

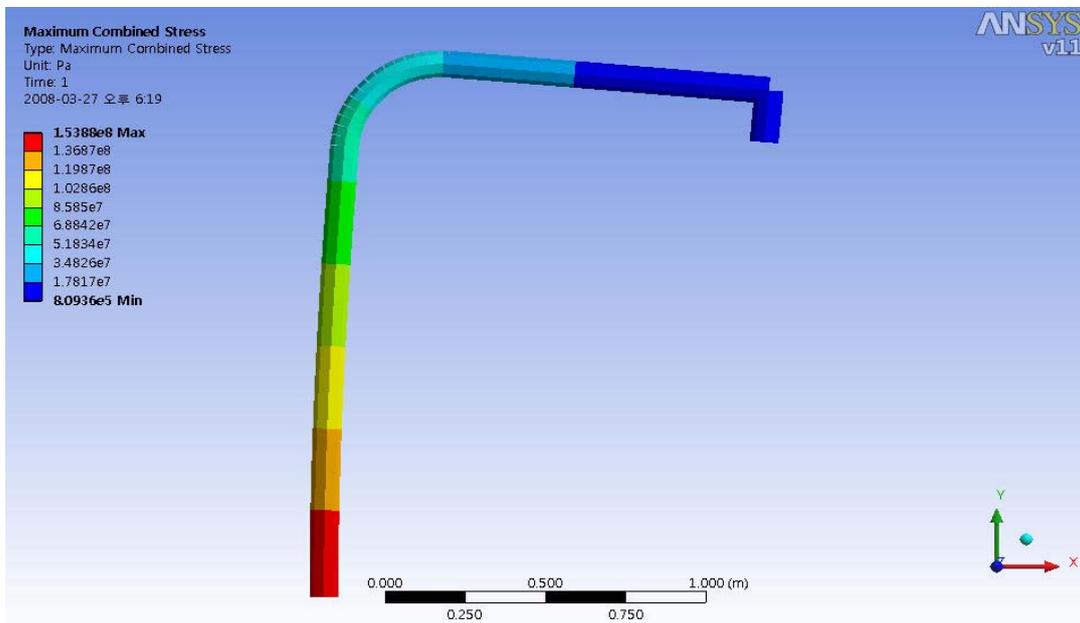


그림 7. 응력해석

라. 강관주의 경제성 검토

강관주의 높이를 9m를 표준으로 하여 강관주의 규격을 P-10"×9t×9m에서 P-10"×7t×9m의 고강도 강관주로 변경하는 것으로 비교하였다. 강관파이프를 이용한 급전선금구를 고려하면 실제로는 2m정도 적은 강관주를 사용하게 되나 강관주와의 접속을 플레이트방식으로 할 경우 플레이트 접속에 따른 별도 비용을 계산하여야 하고 용접접속을 할 경우에도 이에 다른 별도 비용을 계산하여야 하므로 이를 고려하지 않았다. 강관주의 재료비 측면에서 검토는 표7과 같다. 이를 근거로 10Km의 복선 지상구간의 경간 50m를 기준으로 단독 강관주를 설계 했다고 가정했을 경우 재료비 절감액은 표8과 같다. 순수하게 재료비 측면만을 고려할 경우 복선선로의 경우 1km당 7,031,440원의 공사비 절감효과가 있다. 이 공사비 절감효과는 단순히 재료비 측면에서의 절감이고 실제로는 1km당 10,000,000원 이상의 공사비 절감효과가 단일 공정의 재료비에서 절감이 예측된다. 이것은 아래와 같은 이유 때문이다. 강관주의 두께가 9t에서 7t로 바뀌고 실제 길이가 2m 정도 적어지게 되면 강관주의 중량 감소에 따른 전철주 기초에 미치는 강관주의 수직하중이 적어져 전철주 기초의 체적을 줄일 수 있으며 또한 강관주 운송에 따른 운송비도 실제로는 절감될 것이다. 그러나 여기서는 이러한 요인들을 고려하지 않고 심플한 계산을 위하여 강관주의 재료비 측면에서만 개략적인 경제성을 검토하였다.

표7. 강관주의 재료비 비교

| 단독주 | 규격 | 단위 | 수량 | 재료비 | 비고 |
|-----|-------------|----|----|-----------|-----|
| 강관주 | P-10"×9t×9m | 본 | 1 | 1,407,058 | |
| 강관주 | P-10"×7t×9m | 본 | 1 | 1,231,272 | 고강도 |
| 차액 | | | | 175,786 | |

표8. 강관주의 재료비 절감액

(10km 복선선로, S=50m 기준)

| 단독주 | 규격 | 단위 | 수량 | 재료비 차액 | 재료비 절감액 |
|-----|-------------|----|-----|---------|------------|
| 강관주 | P-10"×7t×9m | 본 | 400 | 175,786 | 70,314,400 |

3. 결 론

강관주를 고강도 강관주로 변경하고 강관주에 걸리는 선로 종류에 따라 하중이 다름에 착안하여 가동브래킷 상부의 급전선로를 지지하는 급전선지지금구를 강관파이프를 이용하여 설계함으로써 강관주의 실제 길이를 낮추어 강관주와 급전선지지금구를 강관 형태로 통일하여 접속하여 강관주의 전체 중량을 낮추고 주변경관과 어울리는 효과도 발휘하도록 설계에 반영하여 필드에 적용하기 위해서는 급전선금구에 미치는 급전선로에 의한 하중과 구속조건에 대하여 응력해석(Stress analysis)을 통하여 안정성(stability)과 재료비(material cost) 측면에서의 경제성(Economy)도 동시에 검토하여 두 가지 조건을 만족하여야 VE(Value Engineering)의 기본수준에 해당되므로 설계에 반영할 가치를 가진다. 따라서 본 연구에서는 강관파이프(Steel pipe)를 이용한 급전선금구(Feeder supporting metal)가 구조적으로 안정성이 있고 재료비 측면에서의 경제성도 있음을 확인하였다. 그러나 상세 설계(Practical design)를 통하여 현장에 맞게 강관주와 강관파이프를 이용한 급전선금구의 접속방법(Connection method)에 대하여는 세밀한 검토로 안정성을 확실하게 보장하고 강관주 전체 중량 감소에 따른 전철주 기초의 체적축소 가능성의 문제를 향후 심도 있게 검토하여야 전기철도 전철주 구조물로서 설계에 반영되어 전차선로 공사현장에 사용될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 이기원, 조영현, 황민호, 석창성(2006) “고강도 강의 적용을 통한 전차선로 강관 지지물 경제성 개선에 대한 연구” 제9권5호, pp582-587.
2. 철도인력개발원(2007), 전기철도구조물전문가.
3. 박정석,(2004), 전차선로설비 강도계산 , 기다리.
4. 강인권, 이기윤, 이재석(2003), 전기철도구조물의 응용역학과 강도, 성안당.
5. 김양수, 유해출(1999), 전기철도공학, 통일출판사.