

고강도 강의 적용을 통한 전차선로 강관 지지물 경제성 개선에 대한 연구

A Study on an Improvement of Economical Efficiency for an Overhead Catenary Supporting Thin Walled Steel Pole by the Application of High-strength Steel

이기원† · 조용현* · 황민오** · 석창성***

Kiwon Lee · Yong Hyeon Cho · Min-Oh Hwang · Chang-Sung Seok

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.

Keywords : thin walled steel pole(강관주), overhead catenary system(전차선로), high strength steel(고강도 강재)

1. 서론

우리나라 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.

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. Table 2는 『철도 전철망 구축 기본계획[2]』에서 제시하는 전철화 추진계획이다.

전철지지물의 국내 현황은 Table 3과 같다[1]. 전철지지물 중 철주가 70% 이상을 차지하고 있다. 철주로는 일반철

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	

† 책임저자: 정회원, 한국철도기술연구원, 전기신호연구본부, 선임연구원

E-mail : kenlee@krii.re.kr

TEL : (031)460-5422 FAX : (031)460-5459

* 정회원, 한국철도기술연구원 책임연구원

** 비회원, 포항산업과학연구원 책임연구원

*** 정회원, 성균관대학교 기계공학부 교수

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%

Table 3. Status of installed supports [piece]

구분	콘주	철주	고정빔	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

도에서는 조합철주와 H빔이 주로 사용되고 있고 고속철도에서는 H빔을 사용하고 있다.

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 구조 개선을 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 제시하고자 한다.

2. 소재 선정

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(용접 구조용 압연 강재)이다[3,4]. 신 사양 전철지지물의 소재로 STKT590(철탑용 고장력 강관)을 검토하였을 때 Table 4와 같이 STKT590은 SM490에 비하여 소재비 측면에서는 불리하지만 강도측면에서 매우 유리하다[5]

Table 4. Price comparison between two materials

사용가능 재료	항복강도 [N/mm ²]	강재 톤당가격*	강도/ 가격	수급 예측	비고
SM490 (용접 구조용 압연 강재)	325	511,800	1.000	△	현행
STKT590 (철탑용 고장력 강관)	440	557,900	1.242	○	선정

* 2006/3월 현재

Table 5. Specification comparison between two materials with 9m-long

단면	하단 단면적 [cm ²]	단위중량 [kgf/본]	강종	항복강도 [N/mm ²]	연신율
P-10"×9t	73.06	534	SM490	325	17이상
P-12"×9t	87.51	636	SM490	325	17이상
P-10"×7t	57.26	415	STKT590	440	20이상
P-12"×7t	68.50	495	STKT590	440	20이상

(소재비와 관련된 경제성 부분은 4장에서 다루기로 한다).

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 강관에 대한 사양을 보여주고 있다. 파단 변형률에 있어서 STKT590은 SM490과 비슷하므로 강도 증가에 따른 피로수명의 감소는 발생하지 않을 것으로 보인다. 따라서, STKT590 재료를 강관주 신사양 소재로 선정하였다.

3. 신 사양 검토 및 성능평가

신 사양에 대한 안전성 검토를 위하여 강도해석, 휨강성 해석, 휨강성 시험 및 파괴시험을 수행하였다. 강도해석 및 휨강성 해석은 “철도설계편람[3]”에서 제시한 Figure 1과 같은 표준장주도를 고려하여, Table 6과 같은 전차선로 조건을 검토하였다.

3.1 강도해석

“철도설계편람[3]”에서는 우리나라 기후의 특성상 적설이 많지 않고, 태풍의 영향이 큰 것을 감안하여 갑종풍압하중을 일반개소의 풍속인 35m/s 및 특수개소의 풍속인 50m/s

Table 6. Considered catenary conditions

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	1,400	CdCu80	1,500	Bz65	1,200
전차선	Cu150	1,400	Cu170	1,500	Cu110	1,200
고배선	ACSR160	700	ACSR160	700	ACSR160	700

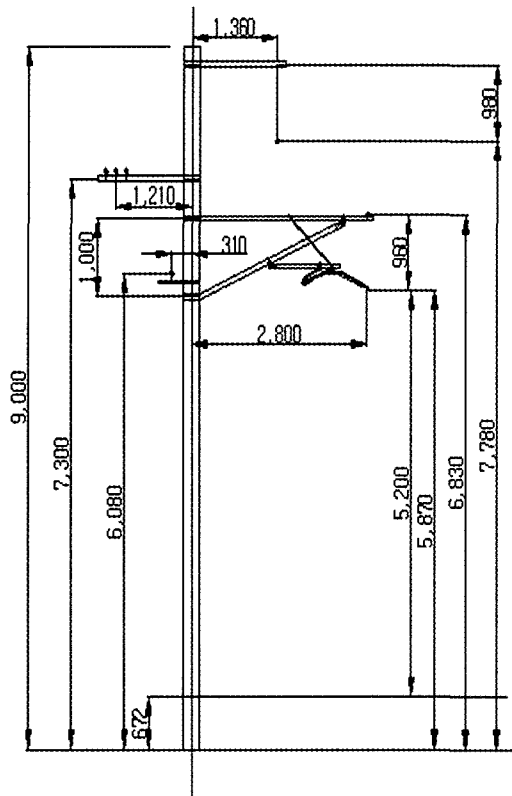


Fig. 1. Considered Mounting Diagram

만을 적용하여 감중풍압만을 고려하여 강관주의 강도에 대하여 검토하였다.

그러나, 고정 장력으로 설치된 고배선(고압 배전선)을 고려하였을 경우 을중 및 병중풍압하중에서 횡장력에 의한 영향 등이 전주에 많은 영향을 미치고 있기 때문에, 본 연구에서는 기존선 단독지지물 설계기준[3]에 따라 감중풍압하중 뿐만 아니라 을중 및 병중풍압하중도 고려하여 강도해석을 하였다. 각 하중별 고려한 하중을 간략히 정리하면 Table 7 과 같다.

위와 같은 하중조건에서 SM490 및 STKT590에 대하여 강도해석을 수행한 결과는 Table 8과 같다. 두 재질 모두 거의 동일한 크기의 전주가 결정되었으나, 특수개소, 헤비심플

Table 7. Considered load conditions

종별	적용풍속	수평하중에 의한 모멘트		수직하중에 의한 모멘트
갑중	일반개소 : 35m/s	각종 선, 부속품 및 전주에 작용하는 풍압하중	표준온도(10℃) 조건에서 곡선 반경 및 편위에 의한 횡장력	각종 선 및 부속품 (애자, 브래킷 등)
	특수개소 : 50m/s			
을중	갑중풍압하중의 1/2	각종 선, 부속품, 전주 및 피빙에 작용하는 풍압하중	10℃→-5℃ 온도변화시 곡선반경 등에 의한 횡장력	선, 피빙 및 부속품 (애자, 브래킷 등)
병중	갑중풍압하중의 1/2	각종 선, 부속품 및 전주 등에 작용하는 풍압하중	10℃→20℃ 온도변화시 곡선반경 등에 의한 횡장력	선 및 부속품 (애자, 브래킷 등)

Table 8. Application specification based on Strength Analysis

구분	전차선로	일반개소 (풍속35m/s)		특수개소 (풍속50m/s)		
		고배선 미설치	고배선 설치	고배선 미설치	고배선 설치	
일반 구간	심플	직선 φ10	φ10	φ10	φ12	
	곡선	φ10	φ10	φ10	φ12	
헤비 심플	직선	φ10	φ10	φ10	φ10(φ12)*	
	곡선	φ10	φ10	φ10	φ12	
평행 구간 **	심플	직선 φ10	φ10	φ10	φ12	
	곡선	φ10	φ10(φ12)*	φ10	φ12	
	헤비 심플	직선 φ10	φ10	φ10	φ12	
		곡선	φ10	φ12	φ10	φ12

* () : SM 490적용시

** 평행구간 : 복주사용 및 중간주 기준

전차선로 조건(고배선 설치) 등 2 개소에서 STKT590 재질과 다르게 SM490 재질의 경우 φ12 크기로 결정되었다.

3.2 횡강성 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].

3.1절의 강도해석을 통해 결정된 강관주 설치기준에 대하여 횡강성 해석을 수행한 결과, 일반개소, 일반구간, 고배선을 설치한 곡선조건에서 제한조건인 100mm를 초과하여 강관의 크기를 φ12로 상향 조정하였다. Table 10은 결정된 전차선로 조건에 따라 횡강성 해석을 수행한 결과다.

Table 9. Deflection analysis conditions

항목	힘 제한 (계산 위치)	수 직	수 평		풍압 분포
		수직 편심하중	횡강력 (곡선반경 + 최저온도)	풍압집중	
병중 풍압 하중	100mm (레일면 상부에서 7m)	조가선 전차선 급전선 비임지지물 기타	조가선 전차선 급전선 기타 전선		
풍속 30m/s	50mm (전차선 높이)			조가선 전차선 급전선 기타 전선	전주

Table 10. Deflection analysis results of STKT590 steel pole [mm]

구분	전차선로	레일 위 7m 위치		전차선 위치 (30m/s 풍압)		
		고배선 미설치	고배선 설치	고배선 미설치	고배선 설치	
일 반 구 간	심플	직선	49	80	19	34
		곡선	84	90*	17	17*
	해비 심플	직선	55	86	21	36
		곡선	94	96*	19	19

* 횡강성 해석결과 $\phi 10$ 강관 사용시 제한변위를 초과하여 $\phi 12$ 강관으로 상향조정 후 횡해석 결과

3.3 횡강도 및 파괴시험

신사양에 의해 제작된 강관주가 “전철용 강관주” 규격[6]에 적합한지 확인하기 위하여 횡강도 및 파괴시험을 규격에 따라 Figure 2와 같이 수행하였다. 강도측면에서 보면 STKT590 재료에 6.5t 두께로도 SM490과 비슷하여 STKT590 - 7t를 대신하여 STKT - 6.5t 강관으로 시험을 수행하였다.

강도해석결과 $\phi 12$ 의 경우에는 최대 13,000kg·m(설계하중 1.5ton), $\phi 10$ 의 경우에는 10,200kg·m(설계하중 1.2ton)의 규격보다 높은 모멘트가 작용하고 있어 횡강도 시험을 강도해석 결과의 최대 설계하중 이상까지 실시하였다.

횡강도 시험은 하중을 설계하중까지 50kg씩 단계적으로 증가시켜 설계하중 재거 후 이상 없이 원상 복구하여야 한다. 아래 Figure 3는 직관(S)에 대한 시험결과이고, 설계하중까지 횡강도 시험에서 문제가 없음을 알 수 있다.

파괴시험은 규격에 따르면 설계하중의 2배까지 하중을 증가시켰을 때 파괴되지 않아야 한다. Figure 4의 시험결과와 같이 파괴시험하중($\phi 12$: 3ton, $\phi 10$: 2.4ton)에서 파괴가 되지 않음을 알 수 있다. 그리고, Figure 5의 파괴형상을 살펴보면 용접부 터짐이나, 강재의 파단 없이 국부좌굴로 파괴가 일어나므로 실제 사용중에 강관주가 파괴된다고 하여도

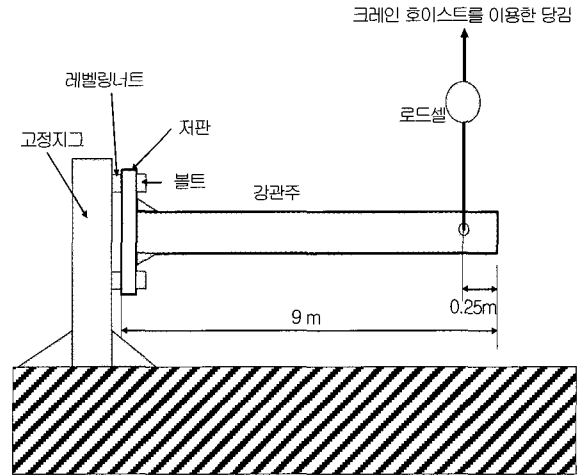


Fig. 2. Apparatus for deflection and fracture test

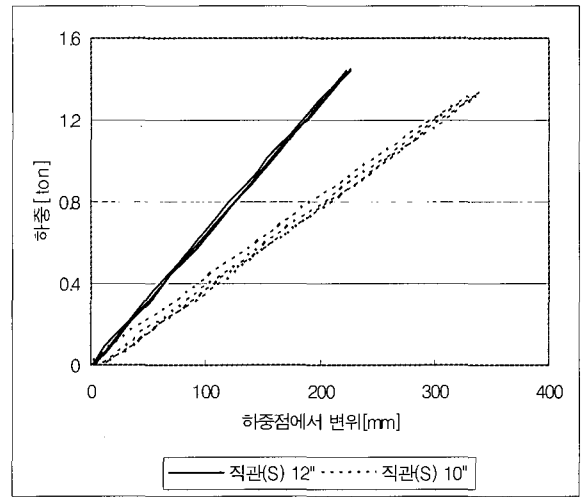


Fig. 3. Deflection test results

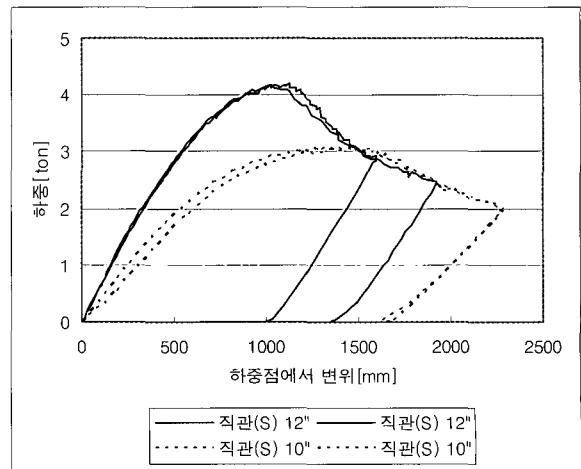


Fig. 4. Fracture test results

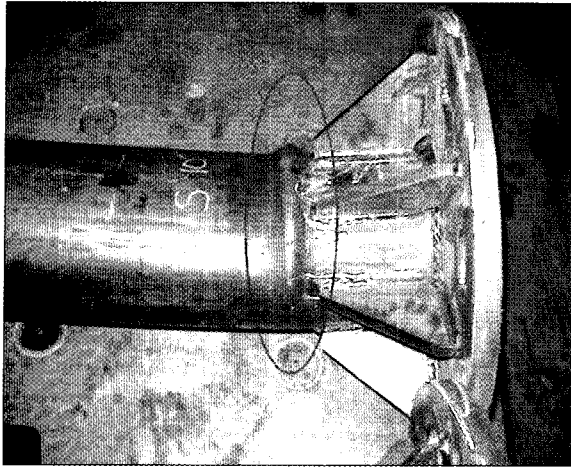


Fig. 5. Specimen performed fracture test

전차선로가 궤도로 내려앉는 대형사고는 발생하지 않을 것으로 판단된다.

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

3.4 신사양 적용기준

STKT590 재질을 사용한 신사양의 강관 단독주에 대하여 강도해석, 휨강성 해석, 휨강도 및 파괴시험을 앞 절과 같이 수행한 결과를 정리하여 Table 11과 같이 신사양에 대한 새로운 적용기준(안)을 제시한다.

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

구분	전차선로	일반개소 (풍속35m/s)		특수개소 (풍속50m/s)		
		고배선 미 설치	고배선 설치	고배선 미설치	고배선 설치	
일반 구간	심플	직선	φ10	φ10	φ12	
		곡선	φ10	φ12***	φ10	φ12
	해비 심플	직선	φ10	φ10	φ10	φ10(φ12)*
		곡선	φ10	φ12***	φ10	φ12
평행 구간 **	심플	직선	φ10	φ10	φ10	φ12
		곡선	φ10	φ10(φ12)*	φ10	φ12
	해비 심플	직선	φ10	φ10	φ10	φ12
		곡선	φ10	φ12	φ10	φ12

* () : SM 490적용시

** 복주사용 및 중간주 기준

*** 휨강성 해석에 의해 상향조정

4. 경제성 분석

강관주의 수요 예측은 신선 건설에 따른 신규 수요와 노후 지지물의 교체 수요로 나누어 추정할 수 있다.

먼저 신규 수요에 대하여 살펴보면, 전철화 계획에 따라 강관주의 신규 수요 예측을 하기 위하여 다음과 같은 가정을 하였다.

- 전철화 사업이 『21세기 국가철도망 구축 기본계획[9]』과 『철도 전철망 구축 기본계획[2]』에 따라서 차질없이 진행된다.
- 전차선로 구간의 길이는 단선의 경우 철도 연장의 1.5배, 복선의 경우 철도 연장의 2.7배이다.
- 기존선의 단독 전철지지물로 강관주가 설치된다.
- 강관주는 전차선로의 표준경간 길이 즉, 매 50m 마다 설치된다.

이와 같은 전철화계획과 가정에 의거하여 신규 수요 예측한 결과는 Table 12와 같다. 예측 결과에 따르면 2010년까지 약 20,000 개 이상의 신규 수요가 있는 것으로 추정되고, 2011년부터 2020년까지 신규 수요는 74,180본으로 2010년까지의 신규 수요에 비하여 그 수요가 급격히 증가하게 된다. 이는 2016~2020년 사이에 많은 전철화사업이 추진될 예정이기 때문이다. 정부가 수립한 전철화계획이 순조로이 수행된다면 강관주의 총 신규 수요는 약 160,840본에 달하는 것으로 추정된다.

다음은 수도권 및 산업선에 설치되어 있는 노후 지지물을 강관주로 교체하는 교체 수요를 살펴보자. 한국철도공사 노후지지물 개량 계획[1]에 따르면 Table 13과 같이 2006년 이후 노후 지지물의 교체 비율이 개량 대상의 약 34%이다. 따라서, 수도권 및 산업선에 설치되어 있는 노후 콘크리트

Table 12. Basic plan for electrification in Korea

구분	전차선로 길이 추정[km]			강관주 [본]
	일반철도	광역철도	계	
2006~2010년 완공사업	908	177	1,085	21,700
2011~2015년 완공사업	969		969	19,380
2016~2020년 완공사업	2,740		2,740	54,800
2020년 이내 착수사업	3,248		3,248	64,960
합계	4,617	177	4,794	95,880

Table 13. Improvement plan for old pole [piece]

구분	시설량	개량 대상	기투입	2004 시행	2005 예산	2006 이후
계	77,163	45,633	27,361	1,661	1,252	15,359
수도권	40,993	22,967	13,548	476	422	8,521
산업선	36,170	22,666	13,813	1,185	830	6,838

Table 14. Price comparison between two materials

단면	강종	단위중량		소재가+도금비	
10"×9t	SM490	534kg	100%	380,101원	100%
10"×7t	STKT590	415kg	78%	314,529원	83%
12"×9t	SM490	636kg	100%	452,705원	100%
12"×7t	STKT590	495kg	78%	375,161원	83%

주에 대하여 2006년 이후에 약 15,359본의 강관주가 교체수요로 예측된다.

STKT590은 SM490에 비하여 가격은 11% 비싸지만[5] 강도는 36% 높다. 신사양인 STKT590 재질을 강관주에 적용하여 경량화 한다면 한 본당 소재비를 Table 14와 같이 약 15% 이상 절감할 수 있다. 또한, 철강가격은 국내의 철강수급 및 철강원자재(철광석, 석탄 등) 가격에 따라 변동되므로 향후 가격변화 발생시 SM490 및 STKT590이 거의 같은 비율로 변동된다고 가정하면 위와 같은 본당 소재비 절감은 계속 유지할 수 있을 것으로 예상된다.

따라서, 2020년까지의 강관주 수요를 STKT590 소재로 대체한다고 가정하면, 소재비 및 도금비 측면에서만 한해 평균 약 7억원 이상의 예산을 절약할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 공사비가 전주 무게에 비례하여 산정되므로 강관 전주의 경량화를 통한 경제 효과는 더욱 커질 것으로 기대할 수 있다. 그리고, STKT590은 현재, 한전 송전철탑, 조명탑 및 강관 버팀보 등에 사용하고 있고, 중국 등 저가 수입재에 대비해 성능향상뿐 아니라 원가절감이 가능해 국내 공급사에서 전략제품으로 수요/판매를 확대중인 강종으로 향후 자재수급에 문제가 없을 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 새로운 고강도 강관전주 소재인 STKT590을 이용한 강관 단독주에 대하여 강도해석, 휨강성 해석, 휨강성 시험 및 파괴시험을 통하여 신사양에 대한 새로운 적용기준(안)을 제시하였고, 경제성 분석을 수행하였다.

기존의 전철용 금구를 그대로 사용하기 위하여 STKT590 소재 강관주의 외경은 기존의 SM490 강관주의 외경과 동일하게 유지하였다. STKT590은 고강도 소재이므로 강관의 두께를 기존의 SM490 강관주의 9t 보다 얇은 7t 로 하여도 STKT590 강관주는 강도 및 휨강성 기준을 만족할 수 있다.

강관의 벽 두께를 2t 줄임으로써 소재비 측면에서 약 15% 이상을 절감할 수 있을 뿐만 아니라, 공사비가 전주의 무게에 비례하여 산정되므로 강관주의 경량화를 통한 경제 효과는 더욱 커질 것으로 기대된다. 즉, 전차선로 강관주의 소재 변경에 따른 경량화로 경제성을 제고하게 되면, 전철화 건설비 절감 기대할 수 있고, 고강도 소재의 공급 확대를 통하여 국내 철강업계의 경쟁력 강화에 기여할 수 있다. 또한, 고강도 강관 전철지지물을 사용하면 기존의 SM490 강관 전철주를 대체할 수 있는 대안이 마련되어 발주자 입장에서 보면 강관주의 자재수급을 원활히 할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 한국철도공사 전기사업단, 2005, “전기업무자료(제12호)”, pp.66, pp.106, pp.244-245.
2. 철도청, 2002, “철도 전철망 구축 기본계획 수립”.
3. 한국철도시설공단, 2004, “철도설계편람(전철전력편 : 전차선)”, pp.2.1-7.8.
4. 철도청, 2001, “전철지지물 구조개선 추진 용역 : 용역보고서”.
5. 2006년도 POSCO 철강가격.
6. 철도용품품질규격, “전철용 강관전주(철도 5975- 3222라)”, 한국철도공사.
7. JR教本研究會編, 1994, “支持物”.
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), pp.15-28.
9. 철도청, 1999, “21세기 국가철도망구축 기본계획”.