

KR E-03100

Rev.3, 5. December 2012

# 가동브래킷 및 하수강의 설계

2012. 12. 5



한국철도시설공단



# 목 차

1. 가동브래킷의 설계 .....	1
2. 하수장의 설계 .....	1
해설 1. 가동브래킷의 형상설계 .....	2
1. CaKo250 전차선로 가동브래킷 개발 .....	2
1.1 개요 .....	2
1.2 곡선당김금구 .....	3
1.3 장간애자 개발 .....	6
1.4 가동브래킷 형상 설계 .....	9
RECORD HISTORY .....	14

## 1. 가동브래킷의 설계와 시설

가동브래킷의 시설은 다음과 같이 하여야 한다.

- (1) 가동브래킷은 설치금구로 전주·하수강 등에 취부한다.
- (2) 가동브래킷은 설계속도, 전차선로의 가고와 노반의 지형, 하중 등을 고려하여 선정하되, 유지보수를 감안하여 일관되게 설계한다.
- (3) 열차운행으로 발생하는 동적 압상 및 진동에 의한 변형이 없도록 설계한다.
- (4) 지지물에서 가동브래킷의 설치위치는 온도변화와 장력변화를 고려, 계산하여 제시하여야 한다.
- (5) 평행구간에는 가동 브래킷을 평행틀에 설치한다. 다만, 곡선개소 등 평행틀에 불평형 하중이 걸리는 경우에는 2본의 전주(복주 방식)로 적용할 수 있다. 다만, 강체가선방식에서는 그러하지 아니하다.
- (6) 터널 시·종단에 설치하는 브래킷은 터널시·종점으로부터 5미터 이내의 위치에 설치함을 원칙으로 하되 선로 현장여건 및 경간 등을 감안하여 조정할 수 있다.
- (7) 구름다리 앞뒤와 터널 입·출구 등과 같은 개소에 사용하는 애자는 이물질 낙하 등으로 파손되지 않는 재질로 설계하여야 한다.

## 2. 하수강의 설계

하수강의 설계는 다음과 같이 하여야 한다

- (1) 하수강은 H형, 강관형 등을 사용하며, 터널 및 선상역사, 문형지지물 구간, 교량하부 등 전차선로 상부에 지지물을 취부하여 가선하는 경우에 적용한다.
- (2) 하수강의 길이는 노반의 지형과 브래킷의 규격, 전차선로의 가선방식, 구조물 등을 고려하여 결정한다.
- (3) 하수강의 설계시 구조계산을 통하여 구조적 안전성을 검증하여야 한다.
- (4) 터널의 하수강은 C채널 또는 매입전을 이용하여 취부 하도록 설계한다.
- (5) 강관형 하수강의 설계시 가동브래킷용 밴드는 상, 하선 합성전차선로 높이 등을 고려하여 분리 체결 한다.



## 해설 1. 가동브래킷의 형상 설계

본 해설에는 CaKo250 전차선로 가동브래킷 개발내용을 기술하였다.

### 1. CaKo250 전차선로 가동브래킷 개발

#### 1.1 개요

전차선로용 가동브래킷은 전기차에 직접 전력을 공급하는 전차선을 현수하는 조가선을 직접 지지하는 지지물이다. 지지점에서 전차선과 조가선간 수직거리인 가고(system height)를 만들어 주고, 편위를 주는 곡선당김금구를 설치하는 설비이기 때문에 전차선로 가선 특성에 직접적인 영향을 주는 중요한 역할을 하고 있다.

현재 사용되고 있는 가동브래킷의 종류는 크게 수도권 전철구간 및 일반철도노선에 사용되고 있는 일반철도용 가동브래킷과 고속철도용 가동브래킷으로 나눌 수 있다.



그림 1. 수도권용  
가동브래킷(O-타입)

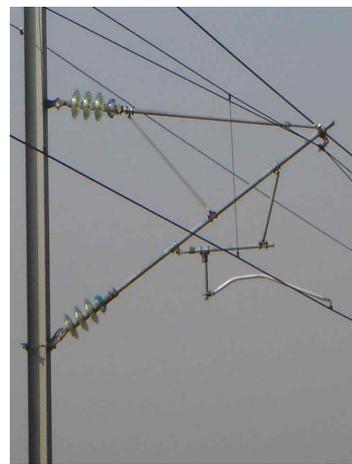


그림 2. 고속선용  
가동브래킷(I-타입)

가동브래킷은 온도변화에 따라 자동장력장치와 연동하여 전주 및 하수장 등에 애자를 이용하여 회전할 수 있도록 설치된다. 대부분의 가동브래킷은 진동방지파이프, 상부파이프, 경사주파이프, 보강재 등으로 이루어져 있고, 곡선당김금구(steady arm)가 진동방지파이프에 설치되어 있다. 압축형(I-type; pull-off)은 전차선 편위를 전주방향으로 적용할 때 사용하고 인장형(O-type; push off)은 반대로 적용할 때 사용한다. 편위를 적용하고 지지점의 압상량을 제한할 수 있는 곡선당김금구, 조가선을 지지하는 가동브래킷 및 장간애자를 함께 조립하여 설치하고 별개의 설비로 고려하여 설계할 수 없으므로, 본 연구에서는 곡선당김금구, 가동브래킷 및 장간애자를 하나의 설비로 간주하기로 하고, 곡선당김금구, 가동브래킷 및 장간애자를 개발하였다.

## 1.2 곡선당김금구

곡선당김금구의 역할은 팬터그래프의 집전판이 균일하게 마모되도록 하기 위하여 전차선에 적절한 편위를 주기 위함이다. 우리의 경우나 일본의 경우에는 스톱퍼(stopper)를 설치하여 곡선당김금구가 최대로 압상하여도 진동방지파이프와 곡선당김금구가 접촉하지 않도록 스톱퍼를 설치하여 전차선의 압상을 제한하고 있다. 한편, 경부고속철도 및 프랑스의 경우는 스톱퍼를 설치하지 않고, 충분한 여유의 압상량을 두어 진동방지파이프와의 접촉을 피하고 있다.

### 1.2.1 곡선당김금구 형상

현재 기존선에 사용하는 곡선당김금구의 최대 압상량은 100mm이고, 경부고속철도에 사용하고 있는 곡선당김금구의 최대 허용압상량은 200mm이다. 곡선당김금구의 압상량의 경우, 앞 장의 시뮬레이션 결과 및 UIC 799에서 제시한 사양을 고려하여 환경조건을 배제한 팬터그래프의 최대 허용압상량을 130mm까지 허용하고 최대 압상량을 200mm를 확보할 수 있도록 고려하였다. 그리고, 팬터그래프가 최대 200mm까지 압상하여도 곡선당김금구와 간섭이 없도록 형상을 설계하였다.

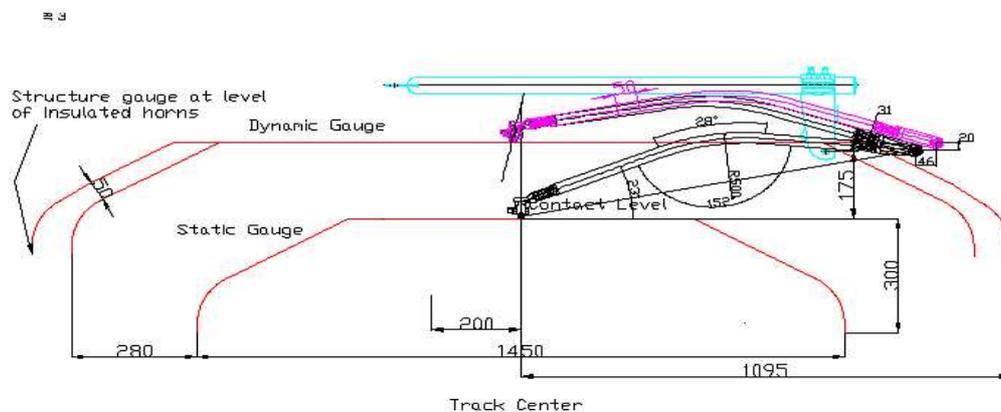


그림 3. 곡선당김금구 간섭(A00A19, 캔트>66mm 참조)

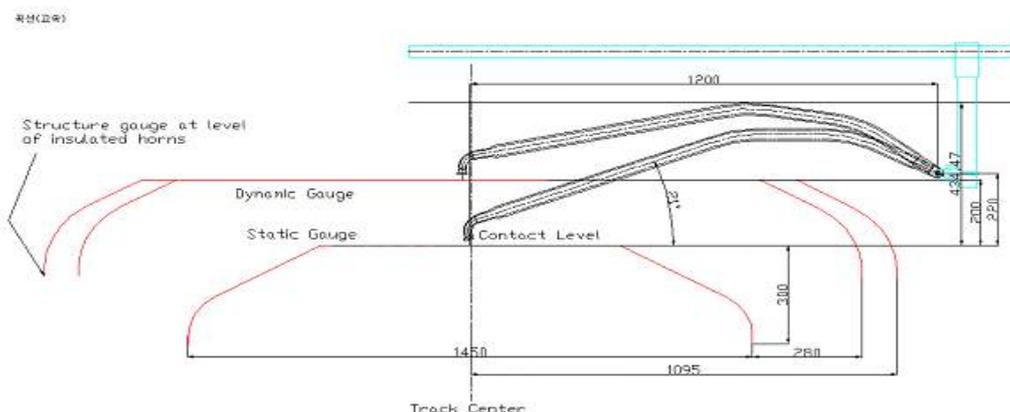


그림 4. 경부고속철도 형상 및 게이지 적용



따라서, 곡선당김금구가 200mm 압상시 Structure gauge를 고려하여 간섭이 일어나지 않도록 곡선당김금구의 형상을 변경하였다. 전차선과 암지지금구간 직선거리를 기존에 900mm에서 950mm로 늘리고, 전차선과 암지지금구간의 수직거리를 189mm로 상향 조정하여 설치되도록 하였다. 다음 그림은 개발 곡선당김금구를 gauge에 적용한 그림이다. 200mm 압상하였을 때 문제가 없음을 알 수 있다.

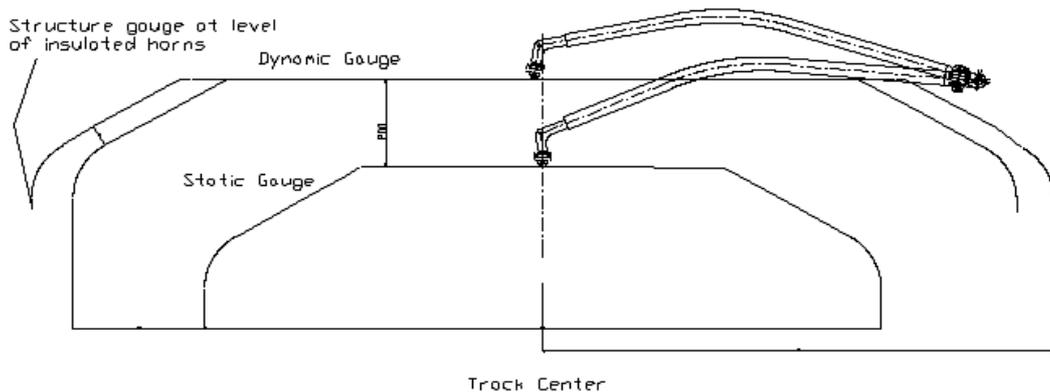


그림 5. 개발 곡선당김금구 게이지 적용결과

### 1.2.2 곡선당김금구 구조 설계 및 해석

길이가 늘어남에 따라 곡선당김금구의 파이프에 대한 안전성을 확보하기 위하여 상용 유한요소해석 툴인 ANSYS 11.0을 이용하여 응력 해석을 수행하였다. 해석시 빔요소 (beam element)를 이용하여 모델링 하였고, 하중조건 및 구속 조건은 아래와 같다.

- (1) 하중조건 : 전차선 위치에서 300N의 힘을 암지지금구와 평행하게 작용하였다. 한국 철도표준규격의 인장 내하중 조건을 참조하여 기존의 곡선당김금구와 동일한 조건에서 동일한 하중을 가하였을 때 기존 곡선당김금구의 최대응력 이하의 응력을 갖는 직경 선택하였다.

(“한국철도표준규격 곡선당김금구 KRS PW 0311-06(2006. 5)”의 “인장 내하중조건”에서 곡선당김금구 파이프 지지 고리를 구속하고 전차선에 300kg의 하중을 가하였을 때 영구변형이 없어야 한다라고 규정함)

- (2) 구속 조건은 파이프 지지고리에서 변위는 구속하고, 회전은 허용하였다.

기존의 곡선당김금구의 경우 파이프 중간부위에서 약 257MPa 정도의 최대 응력이 작용하였다.

제안한 형상에 기존의 곡선당김금구 파이프( $\phi=27$ ,  $t=4.5$ )를 사용하였을 때 최대 약 271MPa 정도의 응력이 작용하였다.

따라서, 파이프의 무게를 줄이면서 강도를 높게 하게 하기 위하여 파이프의 지름( $\phi$ )을 35mm로 올리고 두께( $t$ )를 3mm로 고려하여 응력해석을 수행한 결과, 아래 그림과 같이 최대 약 203MPa 정도의 응력이 작용하였다. 따라서, 기존의 곡선당김금구와 비

교하여 개발 곡선당김금구의 파이프가 강도 측면에서 더 유리하게 설계하였다. 곡선당김금구의 무게를 줄이기 위하여 기존의 회전클립, 압착부 및 접속부에 대한 설계를 변경하였다. 경부고속철도에 사용하고 있는 곡선당김금구의 회전클립 및 접속부를 기초로 아래와 같이 형상을 설계하여 제작하였다. 또한, 전차선이 상하좌우로 이동할 수 있도록 아래 그림과 같이 곡선당김금구와 암지지금구간의 취부를 설계하였다. 무게는 기존의 곡선당김금구가 1610g 인데 비해 개발된 곡선당김금구는 1430g으로 약 200g 경량화 하였다. 다음은 개발한 곡선당김금구의 최종 외형이다.

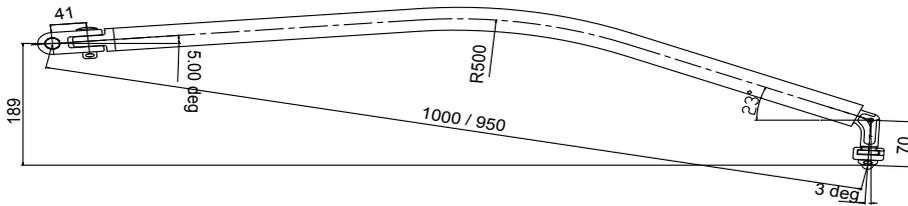


그림 6. 개발 곡선당김금구 형상

### 1.2.3 공인 기관 시험

제작된 곡선당김금구에 대하여 공인 기관(한국철도기술연구원 시험인증센터)에 다음과 같이 한국철도표준규격 "KRS PW 0311-06 곡선당김금구"에 따른 기계적 성능 시험을 의뢰하여 수행하였으며, 시험 결과에서 보는 바와 같이 기계적 안전성에 대하여 성능이 보장됨을 확인하였다.

표 1. 곡선당김금구 성능시험

항목	하중점	시험기준	시험결과
인장하중	전차선과 곡선당김금구의 선단 구멍간	2,942N에서 3분간 유지후 이상유무	이상없음
압축내하중	전차선과 곡선당김금구의 선단 구멍간	1,961N에서 3분간 유지 후 이상유무	이상없음
이어의 비틀림 내하중		49Nm에서 3분간 유지후 이상유무	이상없음
이어의 미끌림 내하중		981N에서 3분간 유지후 이상유무	이상없음
내진동 시험		2×106회 이상에서 이상유무	이상없음

인장하중, 압축내하중, 이어의 비틀림 내하중 및 미끌림 내하중 시험을 수행하여 이상이 없었다. 그리고, 아래 그림과 같이 사용상태와 동일하게 횡하중이 작용하고 있는 상태로 가진기 옆에 곡선당김금구를 설치하고 진폭 +20mm - 0mm, 3Hz의 진동수로 2×106회 이상의 내진동 시험을 수행한 후 인장 내하중, 압축 내하중 및 미끌림 내하중 시험을 수행한 결과도 이상이 없었다.

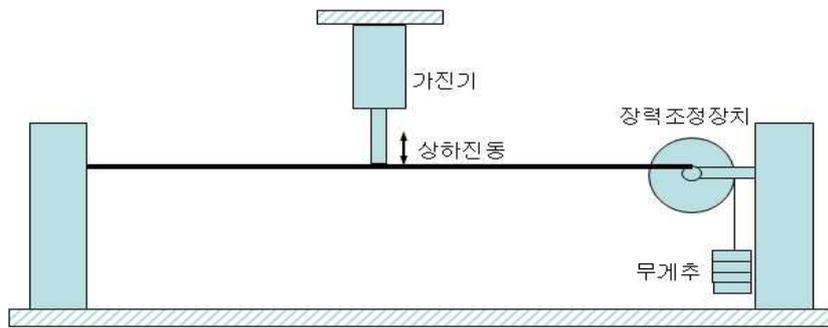


그림 7. 곡선당김금구 내진동 시험 조건

### 1.3 장간애자 개발

#### 1.3.1 문제의 제기

간애자는 지지물과 전기가 흐르는 전차선로를 절연시키는 역할을 하는 애자로서, 세라믹제 애자, 유리애자, 고분자제 애자 등이 시공되었고 최근에는 모두 고분자애자로 설계되고 있다.

앞의 가선 파라미터 정립 부문에서 결정된 터널 구간의 가고 850mm의 가동브래킷에서 견식게이지(G) 2.1 구간의 I-타입 설계 시에 아래 그림과 같이 길이가 길어진 개발 곡선당김금구로 인하여 암지지금구가 장간애자의 절연부위를 침범하는 등 가동브래킷 설계에 어려움이 있다.

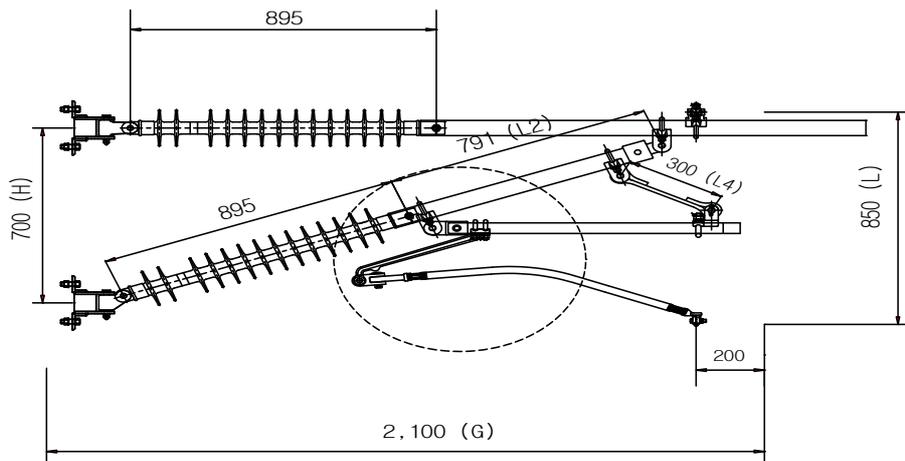
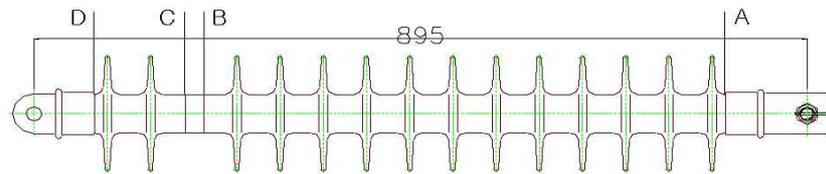


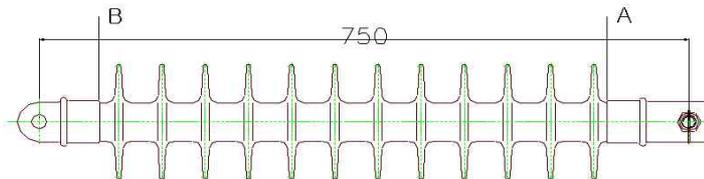
그림 8. 기존 가동브래킷으로 설계 시 문제점

#### 1.3.2 설계 및 시작품 제작

따라서, 기존선의 Type-m 장간애자의 지락도선 설치를 위한 구간인 C-D구간 제거하여 길이를 축소하여 아래 그림과 같이 새로운 장간애자를 개발하였다. 예전에는 지락도선이 설치되어 C-D구간이 절연물로서 역할을 하지 못하였으므로 C-D구간을 제거해도 문제가 없을 것으로 판단되었다.



(a) 기존선의 Type-m 장간애자



(b) 기존선의 Type-m 장간애자에서 지락도선 설치되는 곳 이하를 잘라낸 형태

그림 9. 가동브래킷용 Type-m 장간애자

애자의 규격에서 전기적 성능 부분은 고속선의 약 32kV급보다 우수한 약 46kV급의 절연 성능으로 설계하는 것이 가능하다고 판단하였다. 세부적인 성능의 기준치는 다음과 같이 설정하였다.

표 2. 형상 치수 설계

취부길이(mm)	유효절연거리 (mm)	날개지름(대/소) (mm)	날개수 (개)
744	529	φ162/φ135	10

표 3. 장간애자 성능 기준 설정

특성		단위	정격
치 수	표면누설거리	mm	1,250 이상
기계적성능	굽힘 파괴하중	kg-m	350 이상
	인장내하중	kg-1min	6,000 이상
전기적성능	건조섬락전압	kV	230 이상
	주수섬락전압	kV	180 이상
	50%충격섬락전압	kV	380 이상
전파장애전압	상용주파 대지간	rms kV	25
	최대 전파장해전압	μV at 1000kHz	10

### 1.3.3 공인 기관 성능 시험

제작된 장간 애자에 대하여 전기적 및 기계적 안전성을 확인하기 위하여 성능 시험을 수행하였다. 시험은 공인 시험 기관인 한국전기연구원과 한국철도기술연구원



에 시험 의뢰하여 실시하였다. 시험 절차 및 방법은 한국철도표준규격(KRS PW 0014 장간애자(전철용 고분자 T-m)를 참조하였다.

다만 한국철도 표준규격에서 필요로 하는 시험항목 중에 기존에 사용하던 장간애자와 동일한 재료를 사용하기 때문에 원재료에 대한 성능시험은 생략하기로 했고, 신뢰성과 관계된 시험만 수행하였다.

- 제외 시험항목 : 외피 원소분석 시험 / 외피 경도 시험 / 염수분무 시험 / 내트래킹 시험 / 난연성 시험 / 내후성 시험
- 수행한 시험 항목

표 4. 시험항목

시 험 항 목	인정시험 시료수량	검수시험 시료수량	시료상태	시료구분 (파괴시험: ○)	한국철도 표준규격 적용항
겉모양 검사	전수량		-	-	4.1.2 1)항
치수 검사	3개		완제품	#1 ~ #3	4.1.2 2)항
접착성 검사	3개		완제품	#1 ~ #3(○)	4.1.2 3)항
굽힘 파괴하중 시험		2개	완제품	#4 ~ #5(○)	4.2.2 3)항
인장 내하중		2개	완제품	#4 ~ #5	4.2.2 4)항
건조섬락전압시험	3개		완제품	#4 ~ #6	4.2.2 5)항
주수섬락전압시험	3개		완제품	#4 ~ #6	4.2.2 6)항
50% 충격섬락전압시험	3개		완제품	#4 ~ #6	4.2.2 7)항
아연도금시험	3개		완제품(시편)	#1 ~ #3(○)	4.2.2 8)항
전파장해전압시험	3개		완제품	#4 ~ #6	4.2.2 10)항
X-선 투과시험	3개		완제품	#1 ~ #3(○)	4.2.2 11)항
수분침투 시험	3개		완제품	#7 ~ #9(○)	4.2.2 12)항
염색용액침투 시험	3개		완제품(시편)	#10 ~ #12(○)	4.2.2 13)항
수분확산 시험	3개		완제품(시편)	#10 ~ #12(○)	4.2.2 14)항
경년변화 시험	3개		완제품	#13 ~ #15(○)	4.2.2 18)항

원재료 안전성에 대한 시험 항목은 제외하고 신뢰성과 관계된 시험만 수행한 결과를 정리하면 다음 표와 같고, 모든 항목에서 규격에 만족하였다.

표 5. 시험결과 정리

시 험 항 목	인정시험 시료수량	검수시험 시료수량	시료구분 (과괴시험 : ○)	시험결과
겉모양 검사 (역학)	전수량		-	합격
치수 검사 (역학)	3개		#1 ~ #3	합격
접착성 검사 (역학)	3개		#1 ~ #3(○)	합격
굽힘 파괴하중 시험(역학)		2개	#4 ~ #5(○)	합격
인장 내하중 (역학)		2개	#4 ~ #5	합격
건조섬락전압시험 (전기)	3개		#4 ~ #6	합격
주수섬락전압시험 (전기)	3개		#4 ~ #6	합격
50% 충격섬락전압시험(전기)	3개		#4 ~ #6	합격
아연도금시험 (역학)	3개		#1 ~ #3(○)	합격
전과장해전압시험 (전기)	3개		#4 ~ #6	합격
X-선 투과시험 (역학)	3개		#1 ~ #3(○)	합격
수분침투 시험 (역학)	3개		#7 ~ #9(○)	합격
염색용액침투 시험 (역학)	3개		#10 ~ #12(○)	합격
수분확산 시험 (역학)	3개		#10 ~ #12(○)	합격
경년변화 시험 (역학)	3개		#13 ~ #15(○)	합격

따라서, 새롭게 설계/제작된 가동브래킷용 장간애자를 가동브래킷에 적용하는데 문제가 없을 것으로 판단된다.

## 1.4 가동브래킷 형상 설계

### 1.4.1 가동 브래킷 설계

#### (1) 형상 설계 및 금구류 개발

개발된 곡선당김금구를 이용하여 곡선당김금구가 200mm 이상 압상할 수 없도록 스토퍼를 설치한 암지지금구를 설계하였고, 터널구간 가고 850mm 및 일반구간 가고 1,200mm를 적용할 수 있는 가동브래킷을 아래와 같이 개발하였다.

장간애자도 본 연구에서 개발된 애자를 사용하였고, 기존선 편위를 적용하기 편하고 현장 맞춤이 용이한 가동브래킷의 형상을 기초로 가고를 유지할 수 있도록 가동 브래킷을 개발하였다.

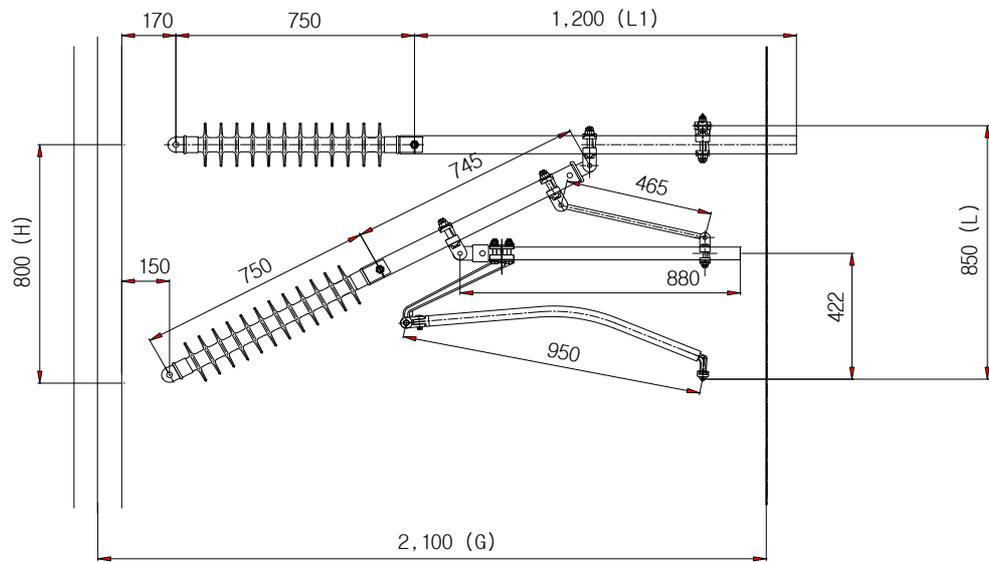


그림 10. 터널용 가동브래킷(I-타입, G=2,100)

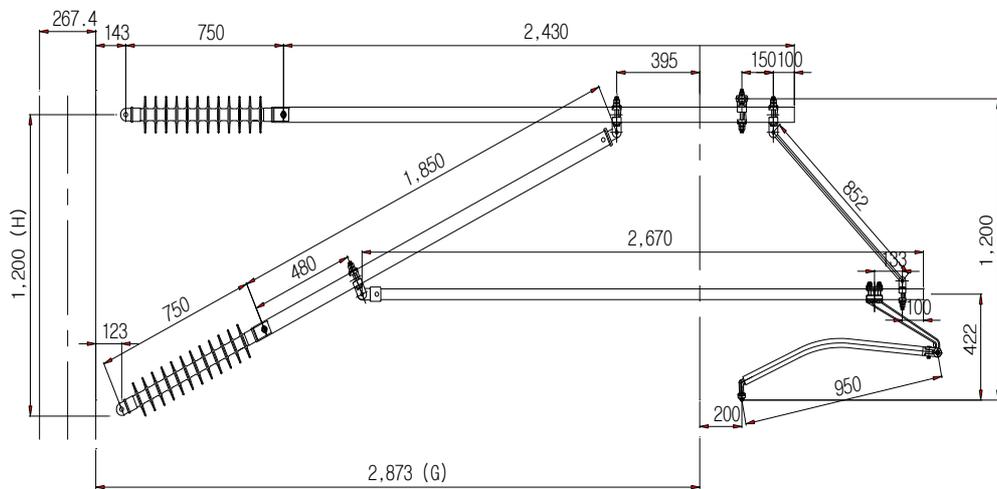


그림 11. 토공용 가동브래킷(O-타입, G=3.0)

기존의 가동브래킷 금구에서 암지지금구와 파이프간 체결금구 및 드롭바 체결방법 등을 미려하고 U-클램프를 사용하여 설치가 용이하게 아래와 같이 개발하였다.

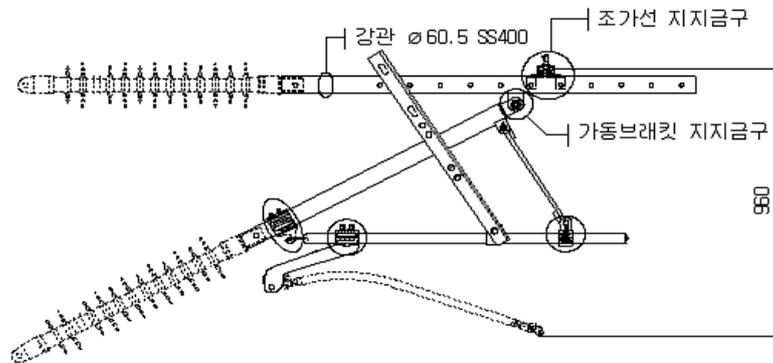


그림 12. 기존 가동브래킷

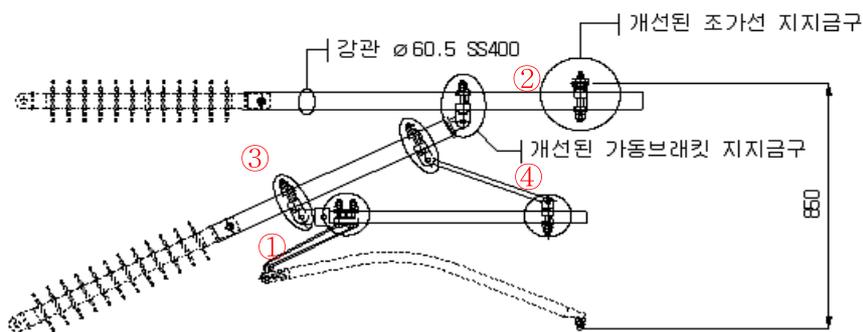


그림 13. 개발 가동브래킷 변경 금구

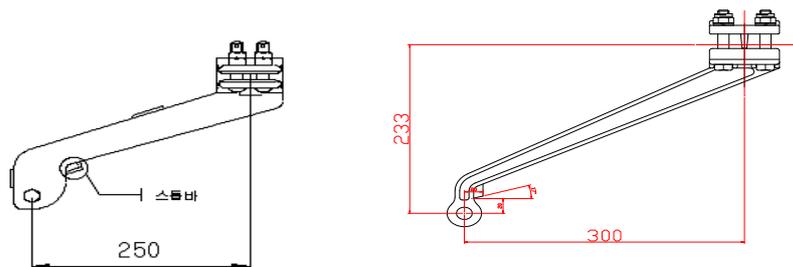


그림 14. 기존 및 개발 암지지금구

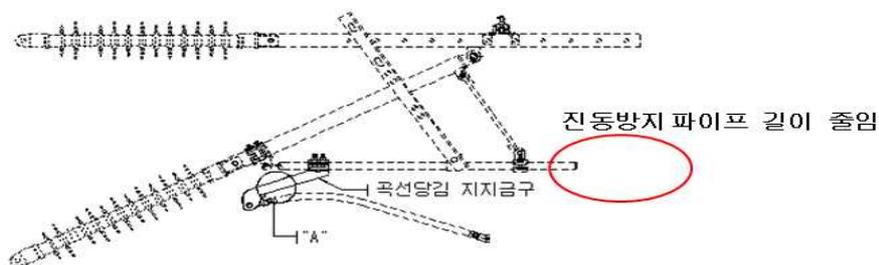


그림 15. 기타 부품 중에서 개선 사항으로, 진동 방지 파이프 길이 축소



일부 구간에서 기존의 가동 브래킷의 파이프가 처지는 문제가 발생되었다. 파이프 내부로 설치하는 애자금구의 지름과 파이프의 사이즈간의 공차가 커서 아래 그림과 같이 상부 파이프가 처지는 문제가 발생하고 있다. 이러한 문제는 KS 규격품인 상부파이프와 장간애자의 금구의 제작공차로 인하여 발생하는데, 장간애자의 제작도면에 공차의 여유를 줄여 이러한 문제가 재발되지 않도록 하였다.

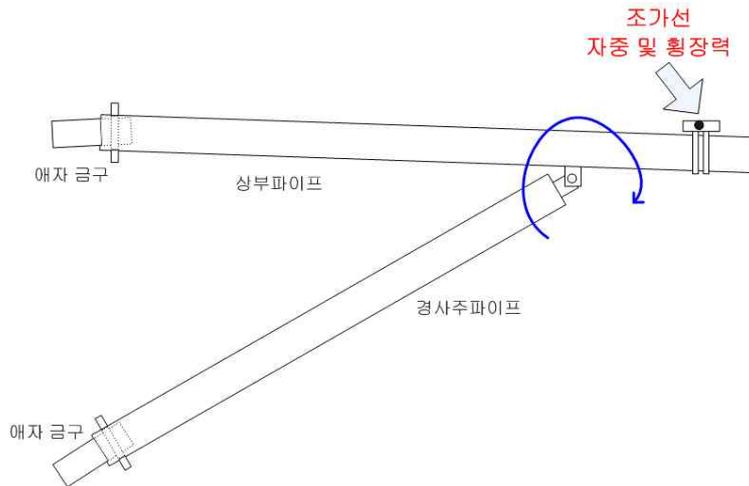


그림 16. 기존 가동 브래킷 처짐

#### 1.4.2 시작품 제작

앞에서 언급한 기술과 설계를 적용하여 가동 브래킷 시작품을 제작하였다. 제작은 I형, O형 및 F형을 제작하였으며, 제작한 모델을 성능 시험 의뢰에 시험편으로 사용하였다. 제작한 모델은 가로 1,200mm, 건식게이지(G) 3.5형의 I형, O형 및 F형 타입이었다.

#### 1.4.3 공인 기관 형식시험

공인 기관(한국철도기술연구원 시험인증센터)에 의뢰하여 한국철도표준규격(KRS PW 0019-07 가동 브래킷)에 따라 하중 시험과 조임 토크 시험을 실시하였다. 성능 시험에 사용된 시험편은 가로 1,200mm에 사용되는 전차선과 전주간 거리가 긴 건식게이지(G) 3.5형의 I형, O형 및 F형 타입의 가동브래킷이었다. 다음은 시험 기준 및 시험 결과이다. 시험 결과는 모두 기준을 만족하였다.

표 6. 하중 시험 기준 및 시험 결과

시험항목		시험기준	시험결과
1형 G=3.5 L=1200	수 직 하 중	2,059N에서 3분간 유지 후 이상 없음	이상 없음
	수 평 하 중	-3,138N에서 3분간 유지 후 이상 없음	이상 없음
	곡선당김지지금구	-1,961N에서 3분간 유지 후 이상 없음	이상 없음

시험항목		시험기준	시험결과
O형 G=3.5 L=1200	수 직 하 중	2,059N에서 3분간 유지 후 이상 없음	이상 없음
	수 평 하 중	+3,138N에서 3분간 유지 후 이상 없음	이상 없음
	곡선당김지지금구	+1,961N에서 3분간 유지 후 이상 없음	이상 없음
F형 G=3.5 L=1200	수 직 하 중	2,059N에서 3분간 유지 후 이상 없음	이상 없음
	수 평 하 중	+5,590N에서 3분간 유지 후 이상 없음	이상 없음
	곡선당김지지금구	+3,236N에서 3분간 유지 후 이상 없음	이상 없음

표 7. 조임 토크 시험 기준 및 시험 결과

시험 항목		시험 기준	시험결과
I형 G=3.5 L=1200	M16 볼트(Ncm)	9,807 Ncm 이상	10 780 Ncm에서 이상 없었음
	M16 U볼트(Ncm)	9,807 Ncm 이상	10 290 Ncm에서 이상 없었음
	M12 볼트(Ncm)	7,845 Ncm 이상	8 330 Ncm에서 이상 없었음
O형 G=3.5 L=1200	M16 볼트(Ncm)	9,807 Ncm 이상	10 094 Ncm에서 이상 없었음
	M16 U볼트(Ncm)	9,807 Ncm 이상	10 290 Ncm에서 이상 없었음
	M12 볼트(Ncm)	7,845 Ncm 이상	8 134 Ncm에서 이상 없었음
F형 G=3.5 L=1200	M16 볼트(Ncm)	9,807 Ncm 이상	10 486 Ncm에서 이상 없었음
	M16 U볼트(Ncm)	9,807 Ncm 이상	10 486 Ncm에서 이상 없었음
	M12 볼트(Ncm)	7,845 Ncm 이상	8 280 Ncm에서 이상 없었음

#### 1.4.4 개발 결과의 적용

Cako 250시스템은 전라선 순천~여수간 시험선에서의 시설물 검증시험을 토대로 국내 250km급 전차선로 시스템에 적용할 수 있을 것이다.



## RECORD HISTORY

Rev.0(12.12.5) 철도설계기준 철도설계지침, 철도설계편람으로 나누어져 있는 기준 체계를 국제적인 방법인 항목별(코드별)체계로 개정하여 사용자가 손쉽게 이용하는데 목적을 둬.