

고속전차선로 설계자동화를 위한 가동브라켓 fitting 알고리즘 개발

김주락 이기원 창상훈
한국철도기술연구원

A Development a fitting algorithm for Automatic Design of Cantilver

Joorak Kim Kiwon Lee Sanghoon Chang
Korea Railroad Research Institute

Abstract - This paper presents a fitting algorithm for automatic design of cantilever. Through this algorithm, CaLeCa which is automatic calculation software of cantilver fitting is developed.

1. 서 론

경부고속철도는 고속철도 선진국인 프랑스 TGV 시스템을 도입하여 건설되며 그 중에서 전차선로분야는 차량 및 신호분야 등과 함께 코어시스템으로 분류되어 프랑스에서 기본적인 설계내용을 제공하여 건설되고 있다. 국내에 처음 도입되는 고속철도 전차선로는 그 중요성과 함께 이미 핵심적인 설계기술을 분석하여 독자적인 설계기술을 확립하기 위한 연구가 종료 혹은 진행중에 있다[1,2].

전차선로는 전기철도차량에 전기를 공급해주는 설비로서 일반 전력계통에서 송전설비와 비슷한 역할, 즉, 전철변전소와 전기차량간에 전력을 공급하기 위한 매개체 역할을 한다. 이러한 전차선로 설비는 크게 나누어 전주, 가동 브라켓트 및 전선류 등으로 구성된다. 이중 브라켓트는 직접 전차선 등의 전선류들을 현수하는 설비로서 선로 환경과

본 논문에서는 전차선로 설비들 중 가동 브라켓트의 설계자동화를 위한 브라켓트를 구성하는 각 조립품 및 금구류의 규격을 계산하는 방법을 제안하고자 한다. 선로 환경에 적합한 브라켓트 선정의 자동화를 위해 다양한 선로환경에 적합한 브라켓트 형태의 선택과정과 선택된 브라켓트를 구성하는 각 금구류의 길이 및 취부각도의 계산을 일관된 계산알고리즘으로 제시한다.

2. 가동 브라켓트 구분

가동 브라켓트는 전기차량에 전기에너지를 공급하는 전차선, 조가선 등을 지지하기 위한 설비로서 그림 1과 같다. 브라켓트는 우측 그림에서 보듯이 크게 6가지의 튜브로 구성된다. 각 튜브의 번호와 명칭은 다음과 같다.

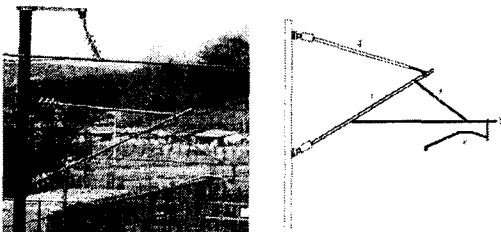


그림 1. 일반 개활지의 가동브라켓트

- ① 경사주파이프 ② 수평주파이프 ③ 진동방지장치
- ④ 조가선 현수장치 ⑤ 곡선당김금구

물론, 그림 1의 브라켓트는 개활지(open route)에서 사용하는 가장 일반적인 형태를 보이고 있다. 이외에도 일반구간/평행구간에 따라 다른 브라켓이 설치되고, 각각은 전차선 편위에 따라 인장형 및 압축형으로 나뉜다.

2.1 일반구간 및 평행구간

전차선은 가선의 처짐이나 과도한 장력을 조정하기 위하여 일정한 길이로 기계적 구분을 하여 인류한다. 이렇게 일정길이로 설치한 한 구간을 장력구간이라 하며, 한 장력구간에서의 브라켓트는 일반개소의 것과 평행개소의 것으로 구분된다. 일반구간의 브라켓트는 그림 1과 같이 하나의 전차선을 인류하는 브라켓이고, 평행개소의 브라켓트는 두 장력구간의 전차선이 오버랩되어 두 개의 전차선이 가선되므로 브라켓트 역시 두 개가 설치된다.

한편, 평행구간 자체도 에어섹션구간과 에어조인트구간으로 구분된다. 이중 에어섹션 구간의 경우 변전소 등의 인근 지역에서 전기적인 절연과 함께 기계적 구분을 위한 구간이고, 에어조인트구간은 전기적 절연 없이 기계적 구분만을 위한 것이다. 그림 2는 이상의 개념을 보여주는 그림으로서, 그림의 주축 및 중간전주는 평행구간을 구성하는 전주종류로 일반적으로 평행구간은 인류전주-중간전주-주축전주-중간전주-인류전주로 구성된다. 따라서 한 장력구간내의 브라켓트는 총 3가지의 종류로 가설된다.

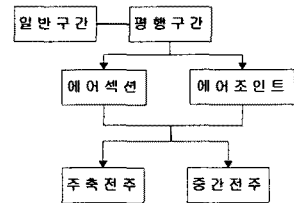


그림 2. 브라켓트 구분(평행구간)

2.2 인장형/압축형 브라켓트

브라켓트의 인장형/압축형의 선택은 앞절에서 구분한 모든 브라켓트에 해당하는 사항이다. 즉, 선로환경에 따라 브라켓트의 종류를 결정 한 후 지그재그 형태로 가설되는 전차선의 편위에 따라 브라켓트의 형상을 결정하는 것이다. 이는 전차선이 브라켓트에 미치는 힘을 나타내는 식 (1)의 계산결과를 기초로 표 1을 기준하여 결정한다.

$$D_{st} = \frac{sp1 + sp2}{2R} + \frac{st2 - st1}{sp1} + \frac{st2 - st3}{sp2} \quad (1)$$

- 단, sp1 : 전 전주의 현 전주의 경간 [m]
- sp2 : 현 전주의 뒤 전주의 경간 [m]
- R : 곡선반경 [m]
- st1 : 전 전주의 전차선 편위 [m]
- st2 : 현재 전주의 전차선 편위 [m]
- st3 : 다음 전주의 전차선 편위 [m]
- sp1 : 전 전주와 현재 전주사이의 경간 [m]
- sp2 : 현재 전주와 다음 전주사이의 경간 [m]

표 1 인장형/압축형 판단기준

	Track 1	Track 2
압축형	$D_{st} > 0$	$D_{st} < 0$
인장형	$D_{st} < 0$	$D_{st} > 0$

2.2 Reduced Location 브라켓

Reduced Location 브라켓은 선로 환경에 의해 전식 위치가 일정길이 만큼 확보되지 않을 때 사용한다. 이 브라켓은 기본 브라켓에 비하여 몇몇 튜브가 생략된 채 사용된다. 따라서 기본 브라켓의 fitting 계산과는 다소 차이가 있는 알고리즘이 적용된다. 그림 3은 일반 구간의 Reduced Location 상황에서 사용하는 브라켓이다.

표 2는 각 브라켓 형상별 reduced location 브라켓을 사용해야 하는 조건으로서 표의 X는 전주면에서 전차선까지의 수평거리를 일컫는다.

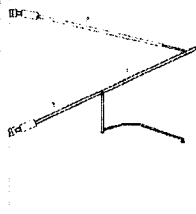


그림 3 Reduced Location 용 브라켓

표 2. 각 브라켓별 reduced location 조건

구분	조건
일반	$2.1 \leq X \leq 2.9$
에어조인트	주축 $2.35 \leq X \leq 2.55$
	중간 $2.1 \leq X < 2.8$
에어 섹션	주축 $2.65 \leq X \leq 3.3$
	중간 $2.1 \leq X \leq 2.8$

3. fitting 알고리즘

fitting이란 전차선로 설계시 선로환경에 알맞은 종류의 브라켓을 선정하고 그것을 구성하는 튜브들의 규격을 계산하는 것이다. 이 규격 계산을 통해 시공에 필요한 자재의 종류와 수량이 결정된다. 따라서 이의 자동계산이 이루어진다면 자재관리 역시 자동으로 이루어질 수 있을 것이다.

그림 4와 5는 각각 일반구간과 평행구간의 fitting 계산 순서도를 나타낸다. 순서도에서 보듯이 일반 및 평행 구간을 구별한 후에는 다음 ①~④의 과정을 통해 수평주파이프 및 경사주파이프의 길이를 계산한 후 인장형 및 압축형 브라켓을 판단하여 각 경우에 적합한 수식을 이용하여 계산한다. 단, 평행구간의 경우 한전주에 두 개의 브라켓이 설치되기 때문에 위 계산과정을 한번 더 수행한다.

① 전주면과 전차선간의 수평거리

$$X = location + \frac{rwidth}{2} + \frac{dl \cdot hl}{rwid} - st2 \quad (1-1)$$

$$X = location + \frac{rwidth}{2} + \frac{dl \cdot hl}{rwid} + st2 \quad (1-2)$$

단, 식(1-1)은 우측트랙, (1-2)는 좌측트랙에 적용

② 경사주파이프 길이 계산(stlen)

$$stlen = \sqrt{(X - stfit)^2 + (el - m + my3)^2} - my2^2 \quad (2)$$

③ 경사주파이프와 집전면 수평축간의 각도 (alpha)

$$\alpha = \tan^{-1}(\alpha) \quad (3)$$

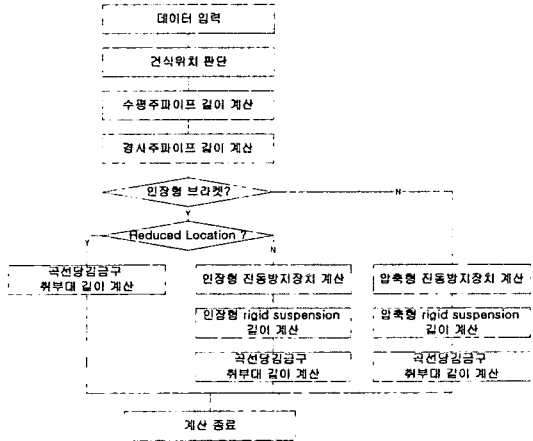


그림 4. 일반구간 브라켓 fitting 계산 순서도

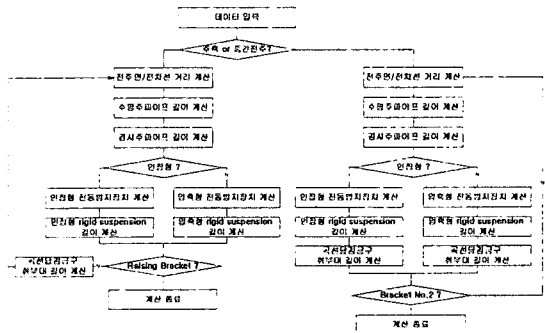


그림 5. 평행구간 브라켓 fitting 계산 순서도

$$\tan(\theta) = \frac{my2}{stlen} \cdot \tan(\phi) = \frac{el - m + my3}{X - stfit1}$$

$$\tan(\alpha) = \frac{\tan(\theta) + \tan(\phi)}{1 - \tan(\theta) \cdot \tan(\phi)}$$

④ 수평주파이프 길이(toplen)

$$toplen = \sqrt{toplenx^2 + topleny^2} \quad (4)$$

$$toplenx = (X - topfit) - my1 \cdot \sin(\alpha) - my2 \cdot \sin(\alpha)$$

$$topleny = sl - (hl + el + msusp + my1 \cdot \cos(\alpha) + my2 \cdot \cos(\alpha) + fetotop)$$

⑤ 진동방지장치 취부위치 계산 (stinslen)

$$stinslen = \frac{ctreg - m}{\sin(\alpha)} + \frac{thick}{\tan(\alpha)} \quad (5)$$

⑥ 진동방지장치 길이 계산

i) 인장형 브라켓트의 경우 (reglent)

$$reglent = X - stfit - (stinslen \cdot \cos(\alpha) + thick \cdot \sin(\alpha)) - KTA + TTT \quad (6)$$

ii) 압축형 브라켓트의 경우 (reglenc)

$$reglenc = X - stfit - (stinslen \cdot \cos(\alpha) + thick \cdot \sin(\alpha)) + steadylen + CCC \quad (7)$$

⑦ rigid suspension의 길이

i) 인장형 브라켓트의 경우 (rigident)

$$rigident = \tan(\alpha) \cdot (X - stfit - KTA) - ctreg + m - thick - thick/\cos(\alpha) \quad (8)$$

ii) 압축형 브라켓의 경우 (rigidlenc)

$$\text{rigidlenc} = \sqrt{\text{rigidlencx}^2 + \text{rigidlency}^2} \quad (9)$$

$$\text{rigidlencx} = X - \text{stfit} + KTA - \cos(\alpha) \cdot (\text{stlen} - KCO + \text{thick} \cdot \tan(\alpha))$$

$$\text{rigidlency} = (\text{stlen} - KCO + \text{thick} \cdot \tan(\alpha)) \cdot \sin(\alpha) - \text{thick} - \text{ctreg} + \text{stinslen} - \text{thick}/\cos(\alpha)$$

4. fitting 계산프로그램 개발

4.1 프로그램 구성

본 연구에서는 3장에서 설명한 알고리즘을 바탕으로 fitting 계산 프로그램을 개발하였다. fitting 계산 프로그램은 기 개발한 전차선로 자동 설계 프로그램[3] 내에 포함되어있지만, 이 경우 모든 과정이 자동 계산으로 이루어지기 때문에 선로환경의 작은 변화에 민감하게 대처하는 능력이 떨어지는게 사실이다. 따라서 본 프로그램은 전차선로의 설계후 현장 시공시 설계값과 현장의 측량이 상이한 경우에 현장데이터의 적용으로 브라켓 규격을 재계산하는 툴로서 유용할 것이다.

다음 그림 6~8은 프로그램을 구성하는 창들로서, 그림 6~7은 브라켓 구분을 위한 선택창이며, 그림 8은 세부 데이터 입력을 위한 창들로 '선로정보', '선중정보', '전주정보' 등의 탭 창으로 구성된다.

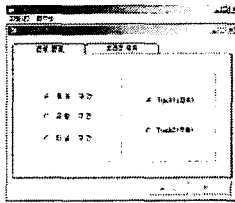


그림 6. 브라켓 구분 창(1)

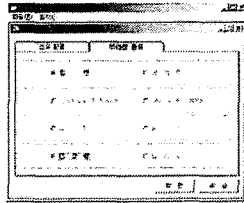


그림 7. 브라켓 구분창 (2)

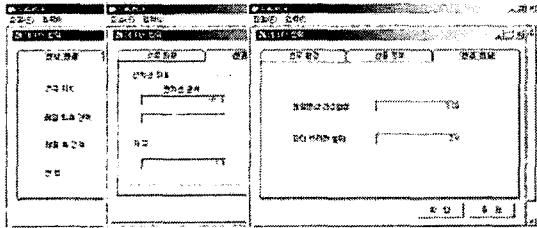


그림 8. 데이터 입력창

4.2 브라켓 fitting 계산 예

본 연구에서 개발한 fitting 계산 프로그램의 정확성을 검증하기 위하여 실제 경부고속철도의 전차선로 설계도 중 브라켓 부분만을 그림 9와 같이 발췌하여 표 3의 데이터를 입력하고, 그 결과를 살펴보면 그림 10과 같다.

표 3. 사례계산을 위한 입력값

선로환경	전식위치	레일외측간격	레일측간격	칸트
	2.23[m]	1.57[m]	1.51[m]	0
선중정보	전차선편위	전차선높이	가고	
	0.2[m]	5.08[m]	1.4[m]	
전주정보	레일면상 전주길이	퍼더브라켓 높이		
	7.08[m]	0.2[m]		

프로그램의 결과창인 그림 10을 보면 브라켓 그림과 하단부의 계산값이 매칭됨을 알 수 있다. 즉, 그림의 각 튜브에 표시한 번호와 하단부 계산값에 표시한 번호가 서로 매칭되는 것이다.

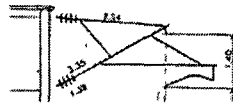


그림 9. 사례계산 대상

사례 대상인 그림 9는 일반구간의 압축형 브라켓을 보여 주고 있다. 그림에서 보듯이 수평주파이프는 2.94m 경사주파이프의 경우 3.35m임을 알 수 있다.

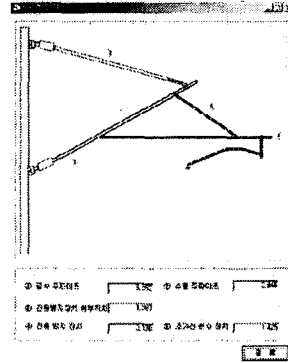


그림 10. 결과 출력창

한편, 개발한 프로그램을 통해 그림9와 같은 브라켓 길이를 계산한 결과인 그림 10의 하단부 계산값은 수평주파이프의 경우 2.945m, 경사주파이프의 경우 3.352m임을 알 수 있다.

이 결과에서 보듯이, 본 연구에서 개발한 고속 전차선로용 fitting 계산 프로그램의 정확성은 결과값의 반올림에 의한 절단오차가 존재할 뿐 정확한 결과를 도출할 수 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 현재 도입중인 고속철도의 전차선로 브라켓 fitting 계산 알고리즘 및 프로그램의 개발을 목표로 하였으며, 연구 결과는 다음과 같다.

- 고속철도 전구간에 적용할 수 있는 fitting 알고리즘 개발
- 개발한 알고리즘을 바탕으로 전차선로 설계시 사용 가능한 프로그램 개발
- 이상의 연구결과를 통해 국내에 생소한 전차선로용 브라켓의 최적설계 방안의 확보는 물론, 전차선로 시공현장에서 설계값과 측량값의 상이함으로 인한 시공오차를 상당히 개선할 수 있을 것이다. 또한, 향후 기존선의 브라켓 설계에도 확장 및 응용이 가능할 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] 한국철도기술연구원, '고속전차선로 설계계산기준서개발 및 동적시험기술 연구', 한국고속철도건설공단, 1999
- [2] 한국철도기술연구원, '고속전차선로 상세설계 S/W 개발 (I), (II)', 한국고속철도건설공단, 2000~2001.
- [3] 김주탁 외 3인, "고속전차선로 상세설계 자동화 소프트웨어 개발", 대한전기학회 춘계학술대회 논문집, 2002.
- [4] 한국고속철도건설공단, '경부고속철도 전차선로 1공구 실시설계', 1999, 12.
- [5] 정보문화사, '한글 VisualBasic6 DataBase How-to', Eric Winermiller 외 3인, 황태연 역, 1999.

INDEX

- location : 전주면과 전차선간의 수평거리 (m)
- rwidp : 레일 외측간격 (m)
- rwidx : 레일 측간격 (m)
- d1 : 칸트 (m)
- h1 : 전차선 높이 (m)
- st2 : 전차선 편위 (m)
- e1 : 가고 (m)
- stfit1 : 경사주파이프 휘부분의 수평 간격 (m)
- m : 집전면과 경사주파이프 휘부위치간의 수직 거리 (m)
- my3 : 조가선 현수금구의 부품길이 (m)
- my2 : 조가선 현수금구의 부품길이 (m)
- toplenx : 수평주파이프의 수평성분 (m)
- topleny : 수평주파이프의 수직성분 (m)
- topfit : 수평주파이프 휘부분 길이 (m)
- S1 : 레일면부터의 전주 높이 (m)
- fetotop : 전주상단부와 수평주파이프 휘부분간의 거리 (m)
- TTT : 진동방지 장치 외측과 전차선 간의 수평거리 (m)
- ctreg : 집전면과 진동방지장치 휘부분 사이의 수직 거리(m)
- thick : 경사주파이프와 진동방지장치 휘부분의 두께 (m)
- steadylen : 곡선당침금구의 수평길이 (m)
- CCC : 진동방지장치의 외측과 곡선당침금구 휘부분간의 거리 (m)