

금곡선 궤도에서 속도제한표 적정위치

A Study on the Location of Speed Limit Post of Curved Track

이기승* 이종수** 김성호**
Lee, Ki-Seung Lee Jong Soo, Kim Sung Ho

ABSTRACT

A curved track needs balanced super elevation according to the speed of the passing train and it is limited by maximum allowable amount. Therefore, passing speed at high degree curved track has to be controlled below the limits. Accurate position of the Speed Limit Post(SLP), which shows allowable speed of curved track dose not regulated so design and line side maintenance engineer adopt the position differently. When the rate of cant deficiency is considered on transition-curved section, the SLP should be located at the beginning point of the transition curve so as to control the speed of passing train and it will increase ride quality to passenger.

1. 서 론

철도노선을 선정할 때에는 곡선을 적게하고, 곡선을 삽입하더라도 가급적이면 반경이 큰 곡선을 사용하는 것이 열차운전의 효율적인 면과 선로관리의 능률면에서 유리하다. 그러나 곡선반경이 커지면 건설비, 개량비 등에 직접적인 영향을 미치게 되므로 속도, 수송수요 등에 따라 곡선반경을 결정한다. 또한 곡선저항이 발생되므로 견인정수 제약에 따른 수송효율도 고려되어야 한다.

최근에 건설되는 철도 선로에서는 대부분 반경이 큰 곡선을 사용하지만 과거 건설된 철도선로 건설장비의 발전이 되지 아니하여 인력에 의존하여 건설하였으므로 대형터널 및 대형교량이 없어 반경이 작은 곡선을 많이 사용하였다. 이러한 반경이 작은 곡선에서는 부득이 속도제한을 하게 되며 이때 속도제한위치는 확실히 명시된 바가 없다.

본 논문에서는 속도제한위치를 명확히 하여 열차운전에 도움이 되고자 한다.

2. 연구목적 및 배경, 범위

본 연구의 목적은 금곡선 궤도에서 열차 운전하는데 속도제한이 필요한 이유를 밝히고 속도제한위치를 명확히 하는데 있다.

* (재)한국철도기술공사 부설연구소 상무이사, 철도기술대학원 겸임교수, 정희원

** (주)강원레일테크 이사, 철도기술대학원 석사과정

*** (주)신승설계 전무이사, 철도기술대학원 석사과정

연구의 배경은 철도선로정비규정에 급곡선에서는 열차속도를 제한하여야 하는 것만 규정하고 있고 정확한 위치가 없어 열차운전 관계자의 상황 및 의견에 따라 제동위치를 달리 할 수 있어 이를 통일하고 승차감 및 열차안전을 고려한 적정한 위치를 밝히는데 있다.

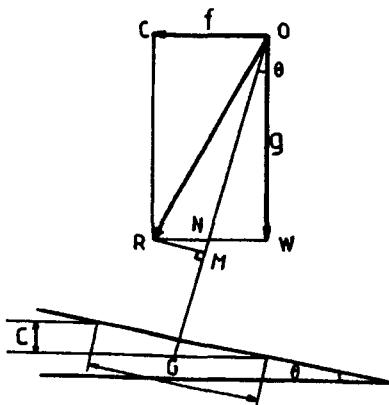
연구의 범위는 도시철도 및 일반철도에 공히 적용하며 급곡선 중 반경 250m를 기준으로 그래프를 제시하였다.

3. 철도캔트

3.1 캔트일반

열차가 곡선구간을 통과할 때 열차중량과 속도 및 곡률반경에 의한 원심력이 곡선외측으로 작용하게 되며, 이 원심력은 열차의 안전운행, 승차감 및 케도파괴에 영향을 미치게 된다.

이러한 경우를 방지하기 위하여 외측궤도를 내측궤도보다 높게 설치할 필요가 있다. 이 높이는 량을 캔트라 한다.



<그림1> 캔트와 궤도에 작용하는 힘

$$f = \frac{v^2}{R}, \quad WN = g \tan \theta, \quad NR = f - WN = \frac{v^2}{R} - g \tan \theta$$

$$MR = NR \cos \theta = \left(\frac{v^2}{R} - g \tan \theta \right) \cos \theta$$

$$\theta \text{가 미소하므로 } \tan \theta \approx \sin \theta, \quad \cos \theta \approx 1, \quad \sin \theta = \frac{C}{G}$$

$$P = MR = \frac{v^2}{R} - \frac{C}{G}, \quad a = \frac{P}{g} = \frac{v^2}{Rg} - \frac{C}{G}$$

$P=0$ 일때 균형캔트이므로

$$\frac{v^2}{R} = \frac{C}{G} g, \quad C = \frac{G v^2}{R g}$$

$g = 9.8 m/sec$, $G = 1500 mm$ 로 하면

$$C = 11.8 \frac{v^2}{R} \text{ 이 된다.}$$

3.2 캔트부족량

캔트부족량은 다음사항을 고려하여 결정한다.

1) 고속운전시 승차감

- 일본 동해도 본선 烏田-藤枝간 175km/h 시험선의 시험에서 캔트부족량 $C_d=30\text{mm}$ 까지 불쾌감이 없었고 $C_d=60\text{mm}$ 는 상당한 느낌이 있었다.

2) 고속운전시 곡선내측의 풍압영향

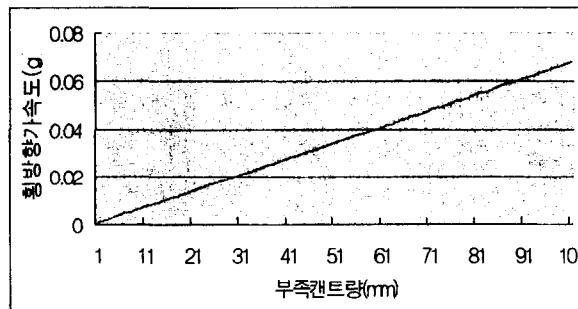
캔트량 200mm, 곡선반경 $R=2500\text{m}$, 최대 캔트부족량 100mm의 경우 외측 전복 풍속을 계산하면 약 38m/sec로서 이는 발생하기 어려운 풍속이다.

3) 선로관리상 검토

캔트부족이 있으면 차량중심은 곡선외측으로 편기되어 외측레일이 마모되고 외측의 도상파괴가 심해져 궤도의 수평틀림이 발생된다.

그 외에도 캔트부족량은 여러 가지 탈선 위험성을 크게하므로 동일한 형식의 차량이 동일속도로 운행된다면 캔트부족량이 0에 가깝게 설치하는 것이 좋다.

캔트부족량과 횡방향가속도와의 관계는 그림2와 같다.



<그림 2> 부족캔트량

승차감의 일반적인 한도인 30mm,가 좋으나 60mm까지는 허용할수 있어 고속철도, 지하철도등 동일차량의 여객열차 전용선구에서는 이범위로 하는 것이 좋다.

그러나 객화혼용선구 및 수동의 다른 객차가 운행되는 구간에서는 최대 100~130mm까지 허용한다. 각국의 최대 캔트부족량은 표1과 같다.

표1. 최대 캔트부족량

철도명	SNCF	DB	FS	Sj	UIC	BR	JNR	USSR	KNR
최대 캔트부족량(mm)	130	100	92	92	100	90	100	100	100

3.3 캔트의 체감과 완화곡선

곡선에서의 캔트는 적선과 곡선의 경계점에서 설치하게 된다. 그러나 캔트는 충분한 길이에서 점차적으로 증가시켜야 한다.

이때 변화하는 캔트량에 적정한 반경을 갖는 곡선을 연속하여 부설하는 것이 좋을 것이며 이것이 완화곡선이다.

캔트 체감거리는 통과하는 차량의 안전과 승차감을 고려하여 결정하며 다음과 같은 조건이 성립하여야 한다.

- ① 차량의 3점지지에 의한 탈선에 대하여 안전할 것
 - ② 초과원심력의 시간적 변화율이 승차감을 저해하지 말 것
 - ③ 캔트량의 시간적 변화율에 대한 승차감을 저해하지 말 것
- 이러한 한도를 고려하여 캔트의 체감 및 완화곡선 길이를 결정한다.

3.4 최대캔트량과 곡선속도제한

최대캔트량의 한도는 다음사항을 고려하여 결정한다.

1) 정지시 혹은 저속운전시 승차감

열차가 정지하고 있는 경우 캔트량에 의한 경사는 캔트량/궤간가 되어 이 경사가 크면 불안정한 느낌을 받게 된다. 여러 종류의 시험에 의하면 표준궤간에서 최대캔트량은 200mm를 한도로 한다.

2) 정지시 곡선외측으로부터 풍력에 의한 안정성

최대캔트를 200mm, 곡선반경 R=2500m의 경우 내측 전복풍속을 계산하면 풍속 80km/h에서 최저가 되며 약 35m/sec이다. 이 전복한계 풍속의 값은 통상 열차운전에서 일어나지 않게 되므로 최대캔트 200mm까지는 문제 없다.

3) 보수상의 검토

상·하선 사이의 도상어깨 관리를 검토하면 최대캔트 200mm의 경우 도상구배 1:1.8을 고려하면 고저차는 450mm가 된다. 최대캔트 200mm를 초과하는 경우 도상구배가 급하게 될것이고 따라서 도상어깨의 붕괴로 인한 보수노력이 증가하므로 최대캔트는 200mm가 적당하다.

이상에서 최대캔트는 200mm까지 가능하나 실제로 부설했을 경우 외력의 영향등 여러 가지 요인이 작용하므로 안전을 고려하여 국철에서는 160mm로 설정하고 있다.

곡선에서는 최대캔트량 보다 큰 캔트를 설치할수 없으므로 적정캔트량이 최대캔트량을 초과하는 경우에는 열차속도를 제한하여 적정한 캔트가 되도록 함으로 승차감을 좋게 할수 있다. 속도제한은 표2와 같다.

표2. 곡선에서의 속도제한

선로	200-249	250-299	300-399	400-499	500-599	600-699
2급선(경부제1본선)				90	100	110
3급선(전라, 중앙선)		65	70	80	90	95
4급선	45	50	55	60	60	60
지하철	50	55	60	70		

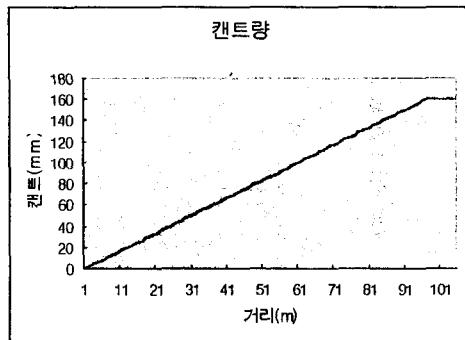
4. 완화곡선에서 열차속도 분석

완화곡선에서 적정열차 속도를 분석하기 위하여 선로조건을 곡선반경 250mm 최대캔트량 160mm인 경우를 가정하여 검토하였다. 완화곡선 길이를 캔트의 600배로 하면 96m가 된다. 캔트체감 시점(완화곡선시점)을 기준으로하여 거리별 캔트량을 표시하면 그림3과 같다.

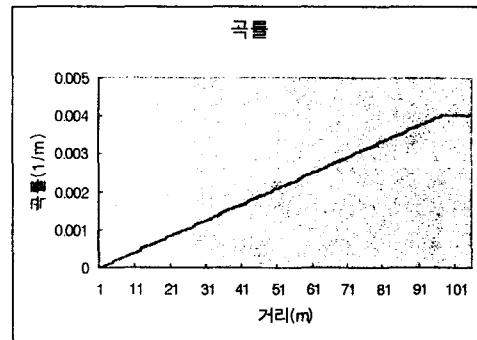
캔트는 직선적으로 체감하며 96m지점부터는 원곡선이므로 160mm이다.

그림4, 그림5는 그림3의 캔트량에 적정한 곡률 및 곡선반경을 표시하였다.

그림4에서 곡율 ($\frac{1}{\rho}$)은 캔트체감거리에 비례하며 그림5의 곡선반경은 반비례 관계에 있음을 알 수 있다.



<그림 3> 캔트량

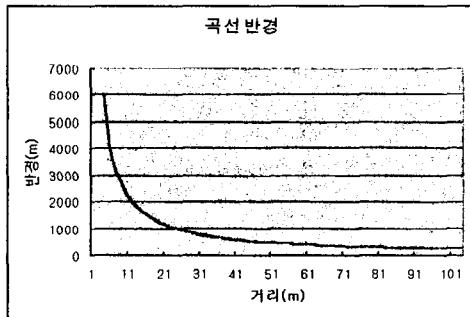


<그림 4> 곡율

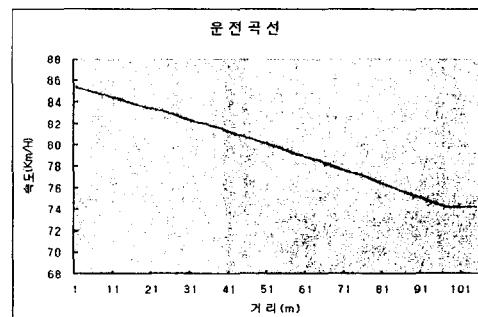
원곡선 서점에서 속도제한을 하는 경우 제동성능을 감안한 운전곡선을 작도하면 그림6과 같다. 캔트부족량 100mm를 감안하면 곡선에서의 운전속도를 74.22km/H이다.

완화곡선내에서 캔트부족량 100mm를 허용한다면 운전제한 속도를 초과하는 곳은 없었다.

그림7은 그림6의 운전선로에 적정한 캔트량을 표시하였고, 실제 캔트량과 적정 캔트량과의 차이 즉 부족캐нт량을 표시하였다. 여기서 부족 캔트량을 직선이 아닌 곡선으로 나타나므로 부족캐нт량의 변화율이 일정하지 아니함에 따라 완화곡선 시점쪽에서는 시간적 캔트부족량 변화율이 큰 것으로 나타났다.



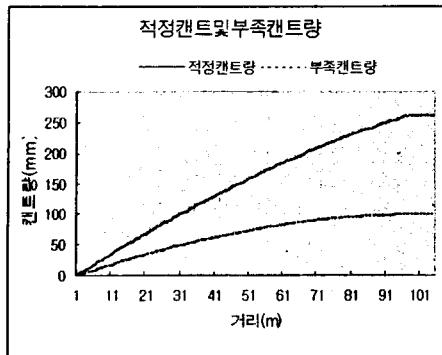
<그림 5> 곡선반경



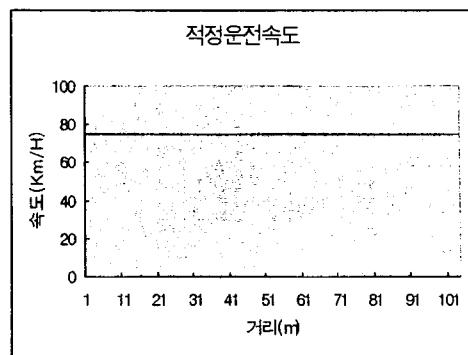
<그림 6> 운전곡선

캔트부족량의 시간적 변화율이 일정하게 하기 위하여 캔트부족량 곡선을 직선화하고 실제캐нт도 직선으로 하여 완화곡선 시점을 0, 완화곡선 종점은 260mm로 하여 직선적변화 할 때 운전속도를 그림8에 표시하였다.

그림8에서 완화곡선 중에서는 곡선과 일정한 속도에서 캔트부족량 변화가 일정하므로 승차감에 좋은 영향을 줄 것으로 나타났다.



<그림 7> 적정 캔트 및 부족 캔트량



<그림 8> 적정 운전 속도

7. 결 론

본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

- ① 급곡선에서 속도제한은 원곡선 시점에서 시행하여도 완화곡선 중 캔트부족량은 최대캔트부족량을 초과하지 않았다.
- ② 원곡선 시점에서 속도제한을 하는 경우 완화곡선 중의 운전곡선을 곡선으로 변화하며 이때 부족캔트량도 곡선으로 변화하며 이것은 승차감을 저해할 수 있다.
- ③ 완화곡선 중에서 일정한 속도는 부족캔트량을 일정하게 변화시켜주므로 캔트부족량의 시간적 변화율을 최소화 할 수 있다. 이를 위하여는 완화곡선 중 속도를 원곡선과 동일하게 하는 것이 바람직하다.

참고문헌

1. 이남수(1993), “철도곡선부의 캔트설정과 털팅장치에 의한 주행성 연구”, 박사학위논문, 경기대학교 대학원)
2. 運轉理論研究會 (1992), “運轉理論”, 일본철도운전협회