

# 鐵道曲線區間에 있어서 캔트 設定에 關한 研究 A Study on the Cant Setting in Railway Curve Section

李 南 洙\*  
Lee Nam-Soo

## 要 旨

철도곡선구간의 일부에서 캔트 설정이 잘못됨으로 인해 가끔 곡선관리에 혼돈이 발생한다. 본 연구에서는 곡률반경별, 캔트제감 길이별 캔트량을 조사하여 직선제감 이론과 비교, 분석해봄으로써 철도곡선구간에 있어 효율적인 관리 방법을 제시하였다.

## ABSTRACT

The cant has setted up wrong in a part of railway curve sections, occasionally confusion occur in curve maintenance. In this study, it is suggest effective maintenance method in railway curve section about the radius of curvature, cant successive diminution length, according to the investigation of cant value, compare and analysis with straight decrease in order theory.

## 1. 서 론

列車速度에 影響을 주는 要因중 하나인 선형요소는 가급적 직선형으로 하는 것이 이상적이겠지만 지형상 또는 제반 與件의 부득이 함으로 인해 曲線의 插入을 피할 수 없는 境遇가 있으며, 이 境遇에도 加給의 곡률반지름을 크게 하는 것이 좋다.

鐵道線路의 進行方向을 바꾸기 위한 한가지 方法으로서의 曲線設置는 列車를 원활하게 주행시키고, 鐵道 軌道의 破壞量을 줄이기 위해 曲線區間에 캔트(cant) 및 스톱(slack)을 붙인다.

曲線區間에 있어서 캔트 및 스톱이 適合하게 設定되어 있지 않으면 乘客의 乘車기분을 떨어뜨릴 뿐만 아니라 횡압의 增加로 인한 레일의 磨耗, 軌道틀림 등 鐵道 軌道를 破壞시키는 동시에 列車速度를 低下시키는 要因으로 作用한다.

鐵道 曲線管理에 關聯 하고 있는 施設 및 保線 종사자들은 曲線部 캔트 設定과 곡선 구간에서의 캔트 遞減에 대한 關係를 알고 있지만, 曲率 半徑과 地形 與件에 맞는 적정 캔트량이 제시되지 않음으로 인해

一部 曲線 區間에서의 캔트량 設定이 잘못된 경우를 볼 수 있다. 이에 본 研究에서는 曲線 區間에서의 캔트량 設定 및 캔트 遞減 理論에 따른 관계 위치에 서의 적정 캔트량을 산출하여 현 지형에서 測定된 캔트량을 比較 分析하여 봄으로써 能率의인 曲線 管理를 하도록 하였다.

## 2. 曲線과 캔트(Cant)

### 2.1 캔트의 必要性

列車가 曲線 區間을 어느 速度로 통과할 경우 열차 重量과 速度 및 曲率반지름에 의한 遠心力이 曲線 外側으로 作用하여 심할 때는 列車가 바깥쪽으로 쏠리어 승차기분을 低下시키는 동시에 운중, 횡압이 바깥쪽 레일에 크게 作用하여 軌道 보수량을 증가시키는 등 나쁜 影響을 끼친다. 이런 경우를 防止하기 위해 외측레일을 내측내일을 기준으로 해서 높게 설치할 必要가 있다.

### 2.2 均衡캔트량 算出 및 不足캔트량

列車 주행중의 힘의 均衡을 考慮하면 車輛의 중심 0를 지나는 차량중량 W가 연직(중력방향)으로 작용

\*철도전문대학 교수

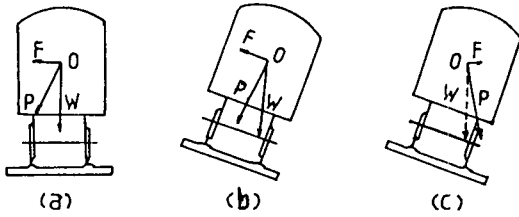


그림 1. 캔트 설치 상태

하고 이에 직각방향으로 원심력 F가 작용한다. 그림 1(a)에서 원심력 F는 열차속도 V(km/h), 곡률반지름 R(m)이라 하면<sup>1,4,6)</sup>

$$F = \frac{mV^2}{R} \quad (1)$$

여기서, F : 원심력  
R : 곡률반지름  
V : 열차속도  
m : 열차질량(W/g)

로 나타낸다.

이 식으로부터 원심력 F는 열차속도 V의 제곱에 비례하여 크게 되지만, V가 점점 크게 되어 F와 W와의 합력 P가 바깥쪽 레일 밖으로 작용하게 되면 차량은 바깥쪽으로 전복하게 된다.

이를 방지하기 위해 그림 1(b)와 같이 캔트를 붙여 합력 P를 궤간내에 오도록 하고 있다. 다른 경우에는 캔트를設置한 곡선 구간 위에서 열차가 정지한 경우를 고려할 때 그림 1(c)와 같이 곡선 안쪽으로 강한 바람이 부는 경우에 원심력 F와 열차의 무게 W와의 합력 P가 내측레일 밖으로 나가면 차량은 곡선 안쪽 방향으로 전복하게 된다.<sup>4)</sup>

현재 고려되는 최대 풍속과 차량의 중심 높이를 적용하여 최대 캔트량이 정해지며 우리나라 철도에서는 위의 사항에 대한 안전율을 3.5로 하여停車한 차량의 중심선이 궤도 중심으로부터 G/6 이내에 오도록 하여 최대 캔트량을 160 mm로 규정하고 있다.<sup>1)</sup>

캔트량은 원심력과 중력가속도의 합력이 궤도중심에 향하도록 설정하는 것이 바람직하며, 이때의 캔트를 균형캔트라 한다.<sup>1,3)</sup>

캔트량 산출은 식 (1)로부터

$$\frac{F}{W} = \frac{C}{G} \quad (2)$$

의 관계로부터

$$C = \frac{GV^2}{127R} \quad (3)$$

로 된다. 즉 식 (3)만큼의 캔트를 설치함으로써 차량 중심과 원심력과의 합력 P는 레일면과 직각으로 되어 차량이나 승객에게 원심력으로 인한 영향을 미치지 않게 된다. 이 식에서 알 수 있듯이 곡률반지름이 작은 만큼, 열차속도가 클수록 캔트의 값을 크게 하지 않으면 안된다. 표준궤도간에서 일반적으로 G를 1,500 mm로 하여 캔트량을 구하면<sup>1)</sup>

$$C = 11.8 \times \frac{V^2}{R} \quad (4)$$

과 같다.

식 (4)로 구한 캔트량이 평균속도로運行하는 열차에 대해서는 가장 이상적이거나 어느 곡선이든 통과열차의 속도와 선로상태가 일정하지 않으므로 이 이론식을 그대로 적용할 수는 없다.

地形 條件에 따라 캔트량을 구할 수 있도록 조정량을 두어 이론공식으로부터 고속 및 저속열차에 대한 불균형과 乘車氣分을考慮하여 調整量 C'를 減하기로 한 것이다.

$$C = 11.8 \frac{V^2}{R} - C' \quad (5)$$

윗 식에서 조정량 C'의 최대값을 100 mm로 정한 것은 안전률과 乘車氣分을 고려한 허용 캔트부족량을 100 mm로 한 것이다. 이 100 mm란 수치는 열차가 곡선구간을 통과할 때 발생하는 超過 원심력으로 인한 승객의 불쾌감과 차량의 안전이 차량 중심선과 궤도의 중심선으로부터 벗어남이 104 mm 이내에 있을 때는 열차도 안전하고 승차기분도 떨어지지 않는다고 하여 정한 값이다.<sup>1)</sup>

### 3. 캔트 遞減

#### 3.1 캔트 遞減의 필요성 및 체감거리

直線 區間에 있어서의 線路는 반드시 횡방향에 대해 水平이어야 하나 곡선구간에 있어서는 필요한 양만큼의 캔트를設置하여야 하므로 인해 이러한 서로

표 1. 캔트의 체감 배수

선로등급	캔트체감 배수
1	L/C ≥ 1300
2	L/C ≥ 1000
3	L/C ≥ 700
4	L/C ≥ 600

표 2. 선로등급별 탈선안전률

선로등급	안전율
1	3.7
2	2.9
3	2.0
4	1.7

다른 두 線形을 접속시키기 위해서는 캔트량을 서서히 變化시킬 必要가 있다.

軌道가 曲線에서 直線으로 들어가는 경우에 캔트를 어느 一定區間에 걸쳐 서서히 遞減하지 않으면 안되며, 이 遞減 구간을 캔트 遞減 距離라고 부른다.

이 캔트 遞減 距離는 一般的으로 원곡선 양끝에 接續하는 緩和曲線이 있는 경우는 緩和曲線 全長이를 말하며 우리나라에서는 線路等級에 따른 표 1 以上の 長이를 確保하도록 규정하고 있다.<sup>2,6)</sup>

이 규정에서 정하고 있는 緩和曲線 長이는 차량의 3點支持 現狀일 때 浮上으로 인한 脫線에 대한 안전률을 計算해보면 표 2와 같다.<sup>6)</sup>

### 3.2 緩和曲線과 캔트 遞減

#### 3.2.1 緩和曲線의 필요성

列車가 直線에서 曲線으로 들어갈 때 動搖가 생긴다. 이것은 곡률반지름이 무한대인 직선에서 어느 크기를 한 曲線區間으로 들어가는 순간에 큰 원심력에 기인한 것이며 曲線區間에서 직선으로 들어갈 경우에도 動搖가 있게 된다.

원곡선구간을 走行하는 列車는 바깥쪽으로 遠心力이 作用하며, 이것에 平行시키기 위하여 캔트를 설정한다. 직선에서 원곡선으로 이동시의 캔트는 充分한 長이에서 붙여져야 한다. 곡선 바깥쪽에서 遞減시키지만 이 구간에서 캔트를 감소시킴과 동시에 곡률반지름을 크게 하여 직선에 가까이 가면 항상 車輛에

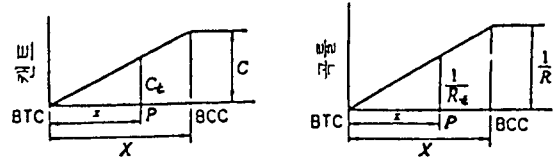


그림 2. 캔트 및 曲率遞減

作用하는 遠心力을 캔트에 均衡시킬 수 있어 차량의 주행안정상이나 승차감에도 좋다. 이러한 목적으로 설치하는 곡선을 緩和曲線(Transition Curve)이라 한다.<sup>3)</sup>

이 區間에서 캔트는 서서히 變化하여 가지만 캔트는 곡률에 比例하므로 캔트의 變化에 따라 곡률도 同時에 變化하는 특수한 곡선으로 된다. 또 캔트의 不足이 있을 경우 이것을 서서히 變化시키기 위하여 캔트와 같은 식으로 곡률이 規則적으로 서서히 變化하는 특수한 曲線으로 된다. 더구나 슬랙의 경우에도 緩和曲線의 全 區間에서 遞減하고 있다.

#### 3.2.2 캔트 및 곡률체감

一般的으로 원곡선 구간에서의 曲率반지름 R, 캔트량 C, 캔트설정속도를 V라 하면 식 (3)에 의해 다음의 관계가 있다.<sup>3)</sup>

$$C = \frac{GV^2}{127R} \quad (6)$$

같은 식으로 그림 2에서 緩和曲線 區間에서의 임의의 점의 곡률반지름 R<sub>t</sub>, 캔트량 C<sub>t</sub>, 속도 V가 一定하다면

$$C_t = \frac{GV^2}{127R} \quad (7)$$

의 관계가 成立한다.

따라서 緩和曲線구간에서의 곡률은

$$\frac{1}{R_t} = \frac{C_t}{C} \cdot \frac{1}{R} \quad (8)$$

로 되어 곡률은 캔트에 비례하는 것으로 된다.

#### 3.2.3 캔트체감 方式

##### 1) 直線遞減

캔트가 직선적으로 變化하는 것으로서 그림 3과 같이 캔트체감 區間에서의 임의의 위치에서의 캔트

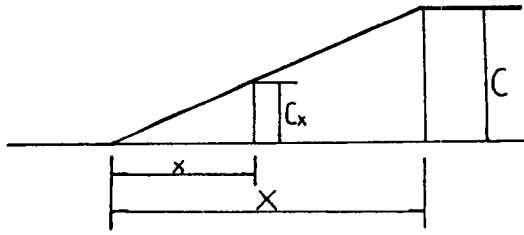


그림 3. 直線遞減

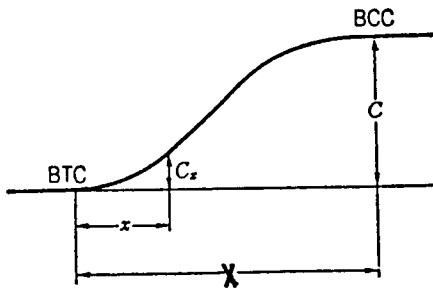


그림 4. 曲線遞減

량은 다음 식으로부터 구할 수 있다.

$$C_x = \frac{x}{X} \cdot C \quad (9)$$

여기서, C : 圓曲線 區間에서의 캔트량(mm)  
 X : 緩和曲線의 接線方向에 投影된 길이  
 x : 緩和曲線 시점으로부터 接線方向의 入口의 길이  
 C<sub>x</sub> : 入口의 x점에서의 캔트량

## 2) 曲線遞減

캔트遞減 形式을 緩和曲線 시중점으로부터 그림 4와 같이 캔트 變化를 曲線的으로 하는 方法으로서 日本 신간선에서 使用하는 sine 半波長 曲線式으로부터 入口의 위치에서의 캔트량을 구하면

$$C_x = \frac{C}{2} \left( 1 - \cos \frac{\pi}{X} x \right) \quad (10)$$

여기서, C : 圓曲線 區間에서의 캔트량(mm)  
 X : 緩和曲線의 接線方向에 投影된 길이  
 x : 緩和曲線 시점으로부터 接線方向의 入口의 길이  
 C<sub>x</sub> : 入口의 x점에서의 캔트량  
 π : 원주율

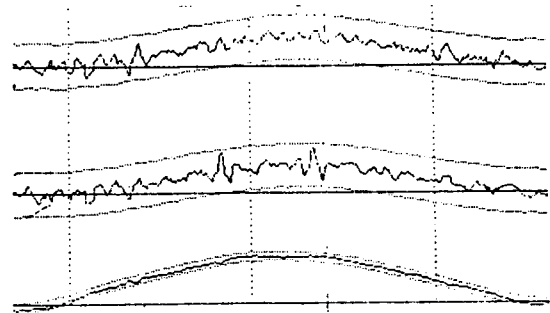


그림 5. 選定區間 分析 資料 一例

표 3. 選定 區間에서의 曲線 半徑別 個所

곡선반경(m)	개소	곡선반경(m)	개소
200 이하	0	950	11
250	3	1,000	10
300	5	1,050	11
350	5	1,100	15
400	1	1,150	15
450	5	1,200	18
500	6	1,250	24
550	2	1,300	21
600	7	1,350	22
650	4	1,400	32
700	6	1,450	15
750	4	1,500	21
800	7	1,550	6
850	5	1,600	20
900	16	1,600 이상	43

## 4. 實驗 및 分析

### 4.1 試驗區間 및 適用값 選定

本 研究에서 使用한 데이터는 鐵道廳에서 鐵道 軌道 官吏의 일환으로 시행하고 있는 軌道 檢측차의 기록 지를 使用하였으며 區間 選定은 京釜線의 天安부터 부산까지를 택해 分析하였으며, 分析용 資料의 一部分은 그림 5와 같으며 區間에서의 調查 資料는 표 3, 4와 같다.

### 4.2 結果값 分析

鐵道 曲線 區間에서의 캔트는 곡률반지름 및 列車 速度에 따라 정해지며 地形的 與件을 考慮한 調整量의

표 4. 캔트遞減 길이별 個所

캔트체감길이(m)	개소	캔트체감길이(m)	개소
200 이하	13	950	22
250	2	1,000	16
300	8	1,050	18
350	2	1,100	26
400	5	1,150	23
450	8	1,200	39
500	6	1,250	33
550	8	1,300	42
600	10	1,350	54
650	15	1,400	130
700	10	1,450	45
750	7	1,500	62
800	10	1,550	29
850	7	1,600	7
900	2	1600 이상	6

표 5. 곡선반경별 캔트량의 S.E

곡선반경(m)	S.E(mm)	곡선반경(m)	S.E(mm)
900	10.2005	1,200	4.1436
1,000	10.0502	1,300	3.0894
1,100	5.2219	1,400	1.9967

變化로 設定 캔트량이 정해진다. 이와같은 캔트체감량을 우리나라에서 적용하고 있는 直線遞減 形式에 의한 이론값과 實際 測定에 의한 값을 比較 分析하였다.

#### 4.2.1 曲線 半徑別 캔트 變化 分析

曲線 區間에서의 速度는 曲線半徑에 따른 값으로 결정되어지므로 이런 曲線半徑의 變化로 인한 캔트량의 값은 地形條件에 따른 變化要因이 作用하지만 曲線半徑에 따른 캔트량의 標準誤차를 구한 結果가 표5 및 그림 6과 같이 나타났다.

표5와 그림 6으로부터 曲線半徑이 클수록 캔트 變化도 적음을 알 수 있었고, 이와같이 曲線구간에서의 캔트 變化폭이 적은 區間에서는 列車속도를 떨어뜨리는 要因 역시 減少하리라 생각한다.

#### 4.2.2. 遞減 길이별 캔트량 變化 分析

우리나라에서는 캔트체감을 緩和曲線의 전길이에 걸쳐서 遞減하여 緩和曲線區間이 없는 구간에서도 캔트의 600배 이상의 길이에 걸쳐 遞減하여야 한다고

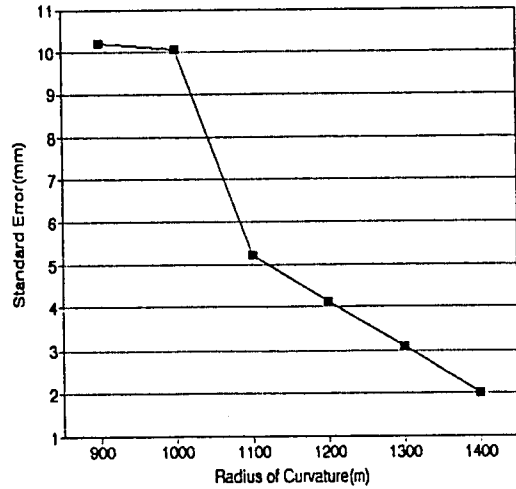


그림 6. 曲線半徑에 따른 캔트량의 S.E

규정하였으므로, 選定區間에서의 遞減배수를 산출해서 比較한 結果 모두 규정 이상의 길이로 나타났으며 최대캔트량 160 mm를 초과하는 곳도 36구간으로 나타났다.

캔트遞減 길이에 따른 分布 狀態를 比較 考察해본 結果 그림 7~그림 10에 나타난 것처럼 캔트遞減 길이가 길수록 遞減 區間에서의 캔트 變化폭이 적다는 것을 알 수 있었고, 직선체감 이론식과 근접함을 알 수 있었다.

## 5. 結 論

鐵道曲線區間에서의 캔트 設定 및 遞減 區間에서의 캔트의 變化를 比較 分析한 結果 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 曲線 半徑別 캔트량을 調査 分析한 結果 半徑別 적정 캔트량을 算出해 봄으로써 曲線管理를 擔當하고 있는 現場 종사자들에게 曲線管理의 基礎的 資料를 提供할 수 있으리라 생각한다.
- 2) 曲線半徑에 따른 캔트량 變化에서 曲線半徑이 작은 區間에서의 캔트량 變化가 곡률반지름이 큰 區間에서의 캔트량 變化보다 크게 나타나 加及的 曲線半徑을 크게 하는 것이 캔트의 變化폭을 줄일 수 있다.
- 3) 캔트遞減 길이에 따른 체감량의 變化는 체감 길이가 길수록 캔트량 變化폭이 적게 나타났으며, 직선체감 형식에 근접함을 알 수 있어 地形的 與件이 허락된다면 체감길이를 延長하는 것이 列車速度를

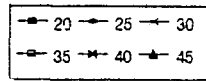
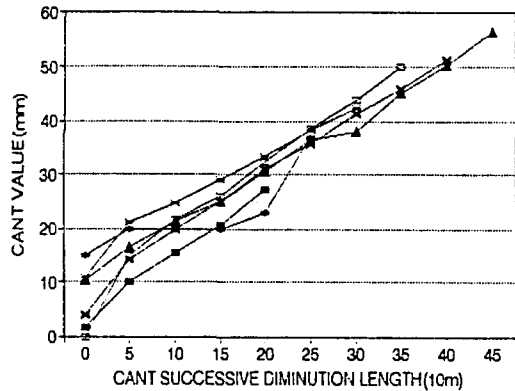


그림 7. 체감길이에 따른 캔트 분포

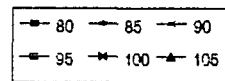
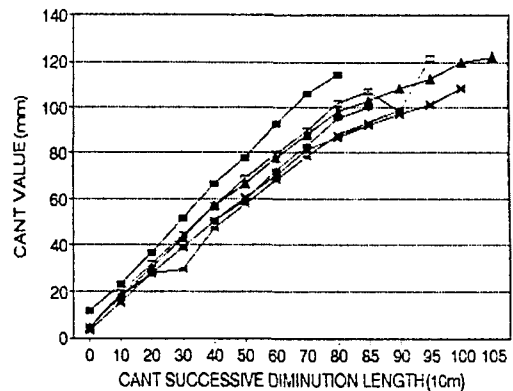


그림 9. 체감길이에 따른 캔트 분포

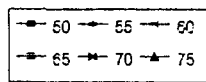
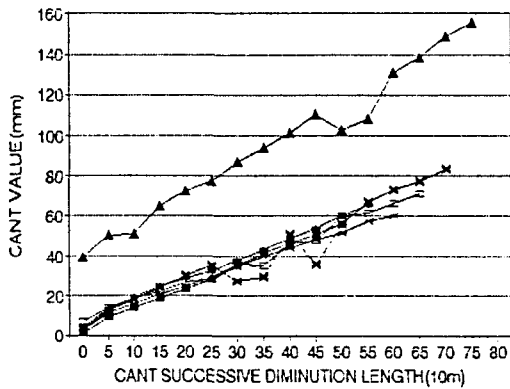


그림 8. 체감길이에 따른 캔트 분포

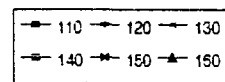
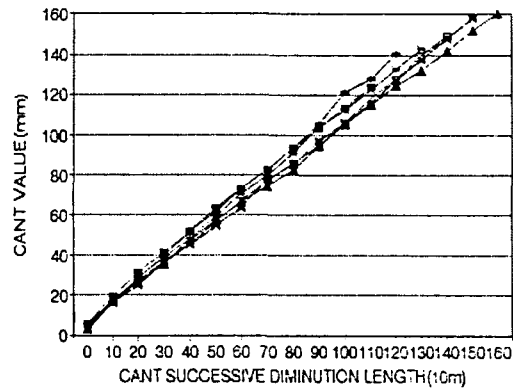


그림 10. 체감길이에 따른 캔트 분포

向上시킬 수 있다고 思料된다.

### 참고문헌

1. 李鐘得, “鐵道工學”, 蘆海出版社, 1989.
2. 施設局, “保線關係規程”, 鐵道廳 施設局, 1992.
3. 官本 後光 外 1人, “線路(軌道の設計・管理)”, 山海堂, 1983, pp. 329-341.

4. 左藤 吉彦 外 1人, “線路工學”, 日本鐵道施設協會, 1987, pp. 245-249.
5. 沼田 實, “鐵道工學”, 朝倉書店, 1981.
6. 李鐘得, “鐵道工務規程”, 鐵道專門大學, 1993.
7. 李南洙, “鐵道 緩和曲線 測量에 關한 考察”, 鐵道專門大學 論文集, 1983.
8. 鐵道施設, “韓國鐵道技術協力會”, 韓國鐵道技術協力會, 1981. 9~1991. 3.