

철도곡선부 속도향상을 위한 선형개량요소 결정 Determination of Route alignment improvement parameter for Speed up in Railway curve sections

조규전* · 이남수** · 정의환***
Cho, Kyu-Jon · Lee, Nam-Soo · Chung, Eui-Whan

요 旨

철도속도향상 계획은 미래에 있어 풍요로운 사회를 실현시키는데 중요한 역할을 담당하게 될 것이다. 열차 운행 속도에 매우 큰 영향을 주는 선형 요소는 곡선구간으로서 이 구간에서는 열차의 주행성과 승객의 승차기분을 저해하는 요인을 줄이기 위해 완화곡선구간을 포함한 곡선부에 캔트 및 슬랙을 설치하게 되는데 이러한 값들은 열차의 종류가 다르기 때문에 균형적인 값을 사용하지 못하고 어느 정도 부족한 상태로 유지되고 있다.

본 연구에서는 곡선반경별로 설정캔트량을 조사하여 부족캔트량에 대한 횡기속도를 산출하여 곡선부에서의 주행을 검토하여 효과적인 곡선관리 방법을 제시하였으며 선형개량요소를 적용하여 속도향상 효과를 얻었다.

ABSTRACT

It is important role that railway speed up plays in realizing an affluent society in future. Curved lines zone have crucial effects on the speed of train travel, at the curved lines zone, it requires to set cant and slack for safety running of train and comfortable ride of passengers, a compromise is therefore to accept a certain degree of cant deficiency for the various train.

In this study, it was presented that effective maintenance method according to the investigation of cant value in radius of curvature and analysis safety running of train, calculation of lateral acceleration as cant deficiency, and we obtain the effect of speed up applying route alignment improvement parameter in curved lines zone.

1. 서 론

우리 나라 철도가 1899년 경인선의 개통이래 약 1세기를 지나오면서 개통당시에는 다른 교통수단보다 단연 우위를 차지하여 왔었지만 경제개발 5개년 계획의 시작으로부터 고속도로의 건설과 전 국토에 대한 집중 투자로 교통수단의 형태는 철도중심에서 공로중심으로 전환되는 시점에서 고속철도의 건설을 서둘러 시행하기에 이르렀으나, 고속철도의 건설이 완공되는 시점까지 날로 늘어나는 교통량을 감당하기란 지금의 고속도로 및 공로, 그리고 이미 부설되어 있는 철도로서는 제 기능을 충분히 발휘하지 못할 것이며, 우리 나라 철도

의 주축을 이루고 있는 간선 및 지선의 대부분이 일제 시대에 건설된 노반을 그대로 사용하고 있으며 노선 연장 면에서나 기타조건을 건설 당시와 비교해 볼 때 뚜렷한 차이 없이 이용되고 있으나 날로 늘어나는 인구와 고도화된 생활양식의 변화로 인한 교통수요의 고급화 및 고속화에 대한 국민의 요구는 날로 커지고 있는 것과 함께 계속해서 늘어나는 교통량을 전국의 대도시 사이를 연결하는 교통수단으로는 충분한 역할을 수행할 수 없는 상태에 이르렀다. 이러한 교통수요 증가를 흡수하기 위해 지금까지 철도의 입장에서 실시한 시설투자 및 서비스 개선 면에서는 다소 소홀했으며 일부 교통수요를 흡수하기 위한 방법으로 기존선로의 보강 및 열차의 장대화로 어느 정도는 이루었다고 볼 수 있지만 만족할 만한 정도는 되지 못하고 있는 실정이다. 기존선의 선로보강 및 열차의 장대화로 늘어나는 교통수요를

*경기대학교 공과대학 토목공학과 교수

**철도전문대학 철도시설토목과 교수

***경기대학교 대학원 토목공학과 박사과정

흡수하고 속도를 향상시키는데는 한계가 있으며 경부 고속전철이 완공되는 시점에 비추어 볼 때 고속전철과의 연계 면에서나 사회 변화를 감안하면 볼 때 현재 철도노선의 속도향상은 더욱 절실히 요구되는 사항으로 부각되고 있다. 이에 대한 결과로서 수 차례의 궤도재료보강 및 캔트량 조정과 완화곡선길이의 부분적 연장에 의해 경부선 표준선구간의 최고속도를 145 km/h까지 향상시켰고, 외국에 있어서의 속도향상 시도로는 일본의 경우 재래선 곡선구간에서의 속도향상은 1965년부터 120 km/h의 운행속도를 시작으로 그후 계속하여 진차차량등을 도입하여 165 km/h의 속도향상을 이루었으며 현재에도 속도향상을 위한 노력은 계속되고 있으며, 유럽 여러 나라에서도 마찬가지로 기존선 속도향상을 위한 방법으로 틸팅대차를 이용한 속도향상을 160~250 km/h 까지 향상시키는 작업이 계속되고 있는 실정이다.⁸⁾ 하지만 열차 속도향상은 출발지점으로부터 도착지점까지의 총 소요 도달시간의 단축이라는 측면에서 볼 때 종합적인 기술개발이 이루어 져야 바람직하지만 본 연구에서는 열차속도에 가장 많이 제한을 주고 있는 곡선부의 설정캔트량에 대한 횡가속도를 측정하여 주행성을 평가하고 이 구간의 속도향상을 위한 목적으로 곡선반경과 교각의 변화에 따른 개량조건을 적용시켜 선형개량에 따른 속도향상 효과를 얻고자 하는 것이 연구의 목적이다.

2. 곡선과 속도

곡선부에서 속도를 제한하는 이유는 크게 나누어 세 가지를 들 수 있는데 첫 번째로 전복의 위험이라고 볼 수 있으며, 이것은 곡선 상에서 차량에 부가되는 원심력이 속도와 함께 크게 되어 차량중량과의 합력이 궤도중심의 바깥쪽으로 향하는 힘(초과원심력)이 작용하여 이것이 크게 되면 바람이나 진동 등의 영향을 받아 심할 경우에는 전복될 위험이 있고, 두번째로 궤도파괴의 문제를 들 수 있는데 초과원심력이 크게 되면 전복상태에 이르게 되는 것 외에도 운중 및 횡압이 증가하여 궤도의 마모나 파괴가 발생되며, 세 번째로 승차감의 악화로서 초과원심력이 크게 되면 승객의 승차기분을 떨어뜨리게 되므로 곡선부의 속도제한이 필요하게 되는 것이다.

2.1 곡선부 속도의 결정

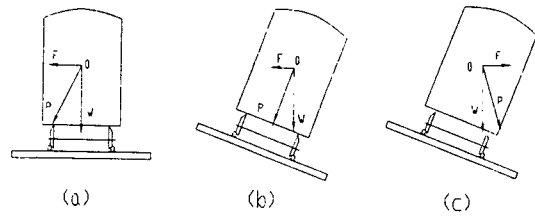


그림 1. 곡선부에 있어서 힘의 균형 모델

곡선부에 있어서의 속도는 어느 정도 결정되어 질 수 있지만 실제의 열차속도는 열차종류에 따라 각각 다르며 곡선부에 있어서 속도를 결정하는 기본적인 배경은 「곡선부를 열차가 통과할 때 곡선의 내·외측 방향으로 전도와 승차감의 균형」을 고려해서 곡선별로 속도를 결정하고 있다. 열차가 곡선부를 어느 속도로 통과하는 경우의 관계를 그림 1에 나타내고 있다.

위 그림 1(a)에서 힘의 균형을 고려하면 곡선 외측 방향으로 원심력(F), 연직방향으로는 차량의 중량(W)이 작용하게 된다. 열차가 안전하게 통과하기 위한 조건은 원심력(F)과 차량중량(W)의 합력 P가 궤간 안쪽에 놓여야 할 조건으로 되며, 이를 식으로 나타내면¹⁾

$$F = \frac{W \cdot V^2}{g \cdot R} \quad (2-1)$$

로 된다.

식(2-1)에서 알 수 있듯이 원심력 F는 열차속도 V의 제곱에 비례하여 크게 되지만, V가 점점 커지게 되어 F와 W와의 합력 P가 외측레일보다 바깥쪽으로 작용하게 되면 차량은 외측으로 전복하게 되는데, 이것을 방지하기 위하여 그림 1(b)와 같이 캔트를 붙여 합력 P를 궤간 안쪽에 놓이도록 하고 있다. 다음에 캔트를 설치한 곡선 위에서 열차가 정지한 상태를 생각해 보면 그림 1(c)와 같이 곡선 안쪽방향으로 강한 바람이 불 때 원심력 F와 차량의 중량 W와의 합력 P가 궤간에서 곡선중심 쪽으로 벗어나면 차량은 곡선 안쪽 방향으로 전복하게 된다. 캔트는 이론적으로 원심력과 차량중량의 합력이 궤도중심에 놓이도록 설정하는 것이 바람직하며 이러한 상태를 균형캔트 상태라고 한다. 이 균형캔트량의 계산은 균형캔트를 C(mm), 좌우차량접촉점간 거리를 G(mm)로 하면, 식(2-1)로부터

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

로 되는데, 식(2-1)과 식(2-2)의 관계로부터

$$C = \frac{G \cdot V^2}{127 \cdot R} \quad (2-3)$$

로 된다. 즉 식(2-3)만큼의 캔트를 설정하게 되면 차량 중심과 원심력의 합력(P)의 작용선은 레일 면과 직각으로 되어 차량이나 승객에게 원심력의 영향을 주지 않는 상태로 된다. 이 식에서 알 수 있듯이 곡선반경이 작을수록 또 열차속도가 클수록 캔트의 값을 크게 하지 않으면 안되게 되는 것을 알 수 있다. 표준 궤간에서 G를 1500 mm로 하여 식(2-3)을 정리하면

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

에 의해 균형캔트량이 구해진다. 그러나 열차의 종류에 따른 제원이 서로 다르기 때문에 실제로 설정캔트량은 균형캔트량보다 적게 되며 이 때에 균형캔트량에서 설정캔트량을 뺀 값을 캔트부족량이라고 한다. 곡선상에서의 속도는 이론상으로 곡선주행시 열차의 전복에 대한 안전성을 바탕으로 검토되어지며 여기에서 검토되는 전복이란 개념은 차량이 탈선한 후에 뒤집히는 전복이 아니라 차량의 좌·우 어느 한쪽의 차륜이 레일 면을 축으로 하여 횡방향으로 회전하는 상태의 전복의 개념을 말하는 것으로서 합력의 작용선이 궤간 밖으로 벗어나기 직전 상태의 안전율은 1이 되는 상태이다. 차량의 중량과 원심력과의 작용선이 궤간 중심으로부터 벗어나는 거리(이격거리)D가 안전율 S 이상이 되는 조건은⁹⁾

$$D = H \left(\frac{V^2}{127R} - \frac{C}{G} \right) \leq \frac{1}{S} \cdot \frac{G}{2} \quad (2-5)$$

위 식을 다시 정리하면

$$V \leq \sqrt{127R \left(\frac{1}{2S} \times \frac{G}{H} + \frac{C}{G} \right)} \quad (2-6)$$

안전율 S에 대한 속도결정에 있어 세계 여러 나라는 식(2-6)에서 캔트량이 0일 때의 승차감 가속도와 실험치를 토대로 안전율의 범위를 2~3으로 설정하고 있으며, 분기부 통과허용속도는 일반곡선상의 허용속도 안전율

보다 2~3배 더 높여 적용하고 있다. 그러므로 식(2-6)에서 C=0 mm, G = 1500 mm, H = 2,000 mm를 대입하여 속도 V에 대해 정리하면 다음과 같다

$$V = \sqrt{127R \left(\frac{1}{2S} \times \frac{1,500}{2,000} \right)} = \frac{6.9}{\sqrt{S}} \cdot \sqrt{R} \quad (2-7)$$

식(2-7)에서 볼 수 있듯이 안전율(S)이 1인 경우의 속도를 실제 허용운행속도 규정인 표 1과 비교해 보면 어느 정도 안전함을 제시하고 있음을 알 수 있다.

한편, 우리 나라에서 적용하는 곡선반경에 따른 허용속도에서 설정캔트량을 구하는 식인 $C_m = 11.8 \times \frac{V^2}{R} - C_d$ 로부터 $C_m = 160$ mm, $C_d = 100$ 을 적용하여 계산해 보면

$$V = 4.6\sqrt{R} \quad (2-8)$$

로 결정되어진다. 일반적인 원곡선상에서의 속도결정은 식(2-8)을 원칙으로 하고 있지만 2급선 경우 제1본선의 경우 R = 400 m에서 현재 허용속도를 90 km/h로 제한하고 있는 것을 보면 곡선통과시 안전율은 2.3이 되며 실제 최대캔트량 160 mm에 대한 안전율은 식(2-6)에서 5.6이 됨을 감안할 때 현재 각 지선에서 운행하고 있는 고급여객열차에 대하여 식(2-7)에서의 안전율을 2.7정도로 적용하여 보면 곡선통과속도는

$$V = 4.2\sqrt{R} \quad (2-9)$$

로 되며 실제 부설된 캔트량에 대하여 식(2-6)으로 안전율을 계산하면 9.6으로서 현행 경부선의 안전율 5.6에 비하여 약 1.7배정도로 높게 된다. 곡선통과속도의 외국의 적용 식을 곡선반경별로 비교하여 보면 표 2와 같다.

2.2 캔트부족량의 한계

캔트부족량은 초과원심력의 형태로 발생하게 되며 이로 인해 주행안정성, 승차감, 궤도보수에 영향을 미치는 관계로부터 한계가 주어져 있으며, 곡선상의 열차 속도는 곡선상의 설정캔트량(C_m)에 따라 캔트부족량(C_d) 및 이로 인한 초과원심력에 해당하는 횡방향 가속도가 계산되어 질 수 있고 그 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

표 1. 곡선부 속도 제한

(단위:km/h)

선로 등급	해당선	곡선반경(m) 구간	200	250	300	400	500	600	700	800	900
			2급선	경부제1본선	전구간				90	100	110
	호남선	이리~송정리				90	100	110	115	125	130
	경부제2본선	가리봉~수원				75	85	95	105	110	
	분당선	전구간				75	85	90	100		
	호남선	대전~강경				85	95	100	110	120	
		강경~이리				85	95	100	110	125	
	충북선	전구간			70	85	95	100	110	120	
	전라, 중앙,대구선	전구간			70	85	95	100	110	120	
	호남선	송정리~목포		65	70	80	90	95	105		
	장항서,경춘선	전구간	55	60	70	80	90	100			
	동해남선	부산진~경주	55	60	70	80	90	100			
	경전선	전구간	55	60	70	80	90	100			
3급선	경부제2본선	서울~구로	55	60	70	80	90	100			
	경북선	김천~접촌	55	60	70	80	90	100			
	안산선,경인,경의,연동, 태백,대전,진해,미전선	전구간	55	60	70	80	90				
	광양제철,경원선,천안 직결선	전구간	55	60	65	70	75	80			
	과천선,분당기지선	전구간	50	55	65	75	85	90	100		
	기타선	전구간	50	55	60	70	75				
4급선			45	50	60	60	60				

표 2. 각국의 곡선반경별 최고 허용속도 관계식

나라이름	곡선반경(R)m		비 고
	계산식(km/h)		
독일(DB)	$V=4.33\sqrt{R}$		실제값
미국(AAR)	$V=4.2\sqrt{R}$		
프랑스(SNCF)	$V=4.9\sqrt{R}-5$		
일본(신간선)(JNR)	$V=4.8\sqrt{R}$		
이탈리아(FS)	$V=4.6\sqrt{R}$		
영국(BR)	$V=\sqrt{(7.5+0.064C)R}$		C:캔트(mm)
스웨덴(SJ)	$V=\sqrt{\frac{C \times R}{8}}$		
러시아(USSR)	$V=\sqrt{(0.08C+13P)R}$		p:초과원심가속도 0.7mm/sec ² 까지 허용

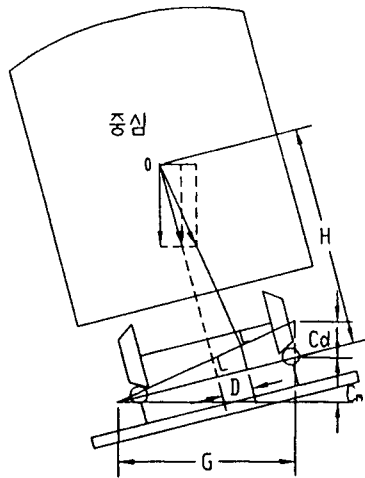


그림 2. 캔트부족

$$\alpha = 0.00787 \frac{V^2}{R} - \frac{Cd}{G} \quad (2-10)$$

2.2.1 안전성을 고려한 캔트부족량

차량이 곡선중심 바깥쪽 방향으로의 전도에 대한 안전율을 3.5로 했을 때의 합력의 작용점은 궤간의 1/6이 내로 되며 그 관계식은 그림 2로부터

$$Cd : G = \frac{G}{6} : H, \quad \therefore Cd \leq \frac{G^2}{6H} \quad (2-11)$$

로 되고 캔트부족량은 궤간의 제곱에 비례하고, 차량의 중심높이에 반비례한다. 안전율을 3.5로 한 허용캔트부족량은 중심높이에 의해 차이가 있지만 표준 궤간에서는 100 mm 정도가 된다. 또한 곡선통과시에 차량이 곡선중심 바깥쪽 방향으로 넘어가게 될 때의 속도가 얼마 인가를 알아보기 위해 위 식(2-11)으로부터 원심력과 차량중량의 합력이 외측궤도에 도달하게 되는 조건을 적용하여 넘어갈 상태에 도달하는 캔트부족량은 균형 캔트량을 구하는 식을 이용하여 표준 궤간 상태에서 차량의 중심높이 2000 mm인 일반차량을 대상으로 계산해보면 전도에 도달하게 되는 속도는 제한속도의 2배

정도로 된다.

2.2.2 승차감을 고려한 캔트부족량

승차 면으로부터의 좌우정상가속도 한계는 외국의 시험결과로부터 일반적으로 0.0800 m/s²를 적용하고 있으며, 초과원심가속도와 캔트부족량은 같은 내용을 나타내므로 다음 식으로 표시할 수 있다.

$$\alpha = \frac{Cd}{G} \quad (2-12)$$

표준 궤간에서 부족캔트량이 100 mm일 때의 초과원심가속도는 0.067 g임을 보여주고 있으며, 현재의 국유 철도건설규칙 23조에서는 최대캔트량을 160 mm, 캔트부족량은 100 mm로 규정하고 있으며 각 나라에서 적용하고 있는 최대캔트부족량은 표 3과 같다.²⁾

3. 곡선부 속도향상을 위한 검토사항

3.1 속도향상시기

속도향상의 시기는 대부분의 경우 운행계획의 개정에 맞추어서 실시하는 것이 일반적이지만 그 밖에도 새로운 선로를 건설할 경우에도 필요하게 되며, 곡선개량이 필요한 경우에 공사 공정이나 예산의 계획 등을 고려하여 관계개소의 조정이 필요하게 된다.

3.2 열차의 종류별

속도향상의 대상이 되는 열차의 종류별 또는 차량의 형식이 궤도구조 및 곡선에 크게 영향을 미치기 때문에 이들에 대한 충분한 파악이 필요하게 되며, 새로운 형식 또는 개조차량 등에서 현행의 규정으로 판단할 수 없는 경우는 필요에 따라 주행시험등을 실시하는 경우도 있게 된다.

3.3 새로운 규정의 최고 속도

새로운 규정을 적용하였을 경우에 설정되는 최고속도는 어느 정도로 되는지 차량 및 열차의 종류에 따라

표 3. 최대부족캔트량

Railways	SNCF	DB	FS	SJ	UIC	BR	JNR	AAR	USSR
M.C.D	130	100	92	92	100	90	100	76	100

그 차이는 있겠지만, 또 곡선부에서의 속도향상 또는 분기기 직선 측에서의 속도향상 유무 등에 대해서도 조사 및 검토할 필요가 발생하게 된다. 더욱이 곡선부에서의 속도향상을 실시하는 경우는 대상이 되는 구간의 운행속도거리곡선으로 각각 검토할 필요가 있다.

3.4 곡선제원의 검토

곡선제원의 검토를 시행함에 있어서 제 1단계로는 현재의 곡선제원을 정확히 파악하는 일로서 현재상태의 곡선반경, 곡선길이, 완화곡선길이, 캔트량 및 캔트부족량, 구조물 등의 위치관계를 조사할 필요가 있다. 제 2단계로는 현행의 전체곡선에 대한 새로운 규정의 최고속도를 적용한 경우에 있어서 캔트 및 캔트부족량 및 완화곡선길이 등이 적절한 상태인지, 또는 허용범위 내에 있는지 등에 대해서도 검토할 필요가 있다. 이 경우 현재 속도제한이나 서행을 실시하고 있는 곡선 등에서는 그 이유를 자세하게 조사하지 않으면 안된다. 제 3단계로는 적절한 캔트 또는 완화곡선길이 등의 확보가 곤란한 문제에 대해서도 구조물 지장, 가선, 분기기 및 종곡선등의 조합 조건 등에 의한 문제 등을 조사해서 새로운 규정의 운행속도거리곡선 또는 규정상의 최소한도까지를 포함하여 검토할 필요가 있다. 제 4단계로는 보수의 난이도나 경제성을 고려해서 새로운 규정의 캔트설정, 완화곡선길이를 결정하고, 각 곡선의 개량의 내용 및 시공법 및 시공시기를 검토하게 된다. 표 4에서 일반구간에 있어서 검토하여야 할 사항들에 대해 설명해 주고 있다.

3.5 곡선개량방법

앞에서 설명한 방법으로 검토한 후 각 곡선의 속도향상 범위를 결정하게 되지만 표준상태의 곡선개량은 막대한 공사비를 필요로 하는 일이 많게 되어 보수상의 경제성을 감안하여 완화곡선길이의 연장방법에 대한 각종 방법을 조합시켜 사용하는 것도 편리한 방법의 일환으로 고려되고 있다. 개량방법의 결정에 있어서는 방법에 따른 특성을 토대로 대상구간에서의 최고속도나 곡선의 현행제원에 적합한 방법을 선택하는 것이 바람직하다.

4. 해석시험 및 분석

기존철도의 고속화를 위한 방법으로서의 운전최고속

표 4. 일반곡선구간의 속도향상에 따른 구체적 검토사

선 별		
구 간		
상 · 하선별		
궤도구조	레일(레일의 종류) 침목(침목종류별 갯수) 도상(도상종류별 두께)	
현 행 의 제 원	곡선반경(R) 반향곡선 및 복심곡선의 유무 곡선길이(CL) 완화곡선길이(TCL) 설정캔트량(Cm) 캔트부족량(Cd) 곡선사이의 직선길이(CLC) 분기부와의 거리(LL) 규정상의 속도(Vmax) 운행속도상의 속도(Vm) 속도제한의 유무 및 제한속도(Va)	
	속도향상시 최고속도(Vsmax) 속도향상시 운행속도상의 속도(Vsm)	
속 도 향 상 에 따 른 검 토 내 용	새로운 완화곡선 길이 ① (Cd≤35)	설정캔트량(Csm) 부족캔트량(Csd) 완화곡선길이(TCLs)
	새로운 완화곡선 길이 ① 부득이한 경우	설정캔트량(Csm) 부족캔트량(Csd) 완화곡선길이(TCLs)
	새로운 완화곡선 길이 ① (Cd≤50 또는 60)	설정캔트량(Csm) 부족캔트량(Csd) 완화곡선길이(TCLs)
개 량 의 내 용	설정캔트량(Cnm) 부족캔트량(Cnd) 완화곡선길이(TCLn)	
	캔트량의 증가분(Cn) 완화곡선 길이의 연장방법 완화곡선 길이의 연장길이(TCLn) 캔트 및 완화곡선길이의 개량이 없을 경우의 속도(Vn)	
	궤도강화	레일 침목 도상
비 고		

도 향상, 곡선통과속도향상, 구배구간속도향상, 분기기 통과 속도 향상 등이 거론될 수 있으며, 이것들은 차량을 중심으로 지상설비를 포함한 각 분야를 종합적으로 검

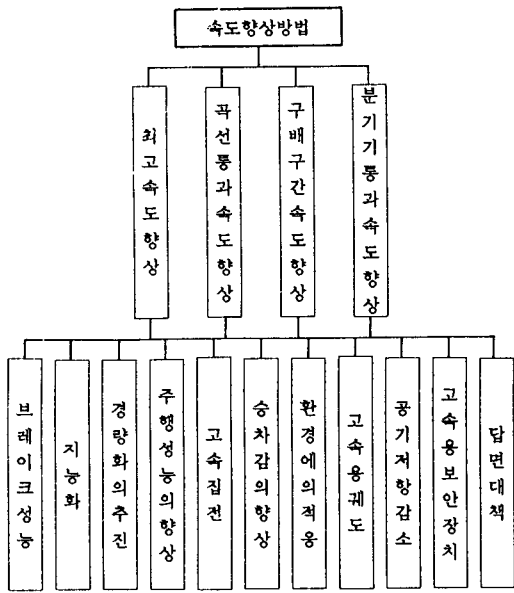


그림 3. 고속화를 위한 기술적 방법

도하여야 하겠지만 본 연구를 수행하는 과정은 곡선 통과 속도향상 단계만 수행하고자 한다.

4.1 해석시험과정

기존선의 속도향상을 위한 해석에 적용된 제원은 우리나라 철도 간선인 경부선 상·하 전 노선의 곡선반경별 평균 설정켄트량을 이용하여 선로등급별에 따른 곡선반경에서 적용되는 완화곡선길이를 산출하고 직선 구간에서 원곡선구간으로 들어가는 사이에 설치되는 완화곡선구간을 감속구간으로 간주하여 해석하였으며, 그 반대의 경우에는 가속구간으로 간주하였으며 원곡선부에서의 속도계산은 곡선반경별 관계식을 이용하였다. 곡선반경별 설정켄트량 상태에서의 곡선부 주행성을 평가하였으며 선형개량에 따른 속도향상효과를 얻기 위한 목적으로 시도되었다. 그러나 실제 우리나라 철도 곡선부의 선형은 복잡하기 때문에 어느 일정구간의 길이를 정해 놓고 교각과 곡선반경의 개량에 따른 속도향상을 얻는데 연구의 초점을 두었다. 연구에 사용된 제원중 원곡선 양쪽에는 완화곡선이 설치되어 있는 경우를 이용하여 변화조건을 적용시킨 전 운행거리에 따른 변화요소별 속도향상효과를 얻었다. 곡선부 주행성 평가 및 속도향상효과를 얻고자 사용된 언어는 MS-Fortran 5.1을 이용하였으며 전체적인 흐름도는 그림

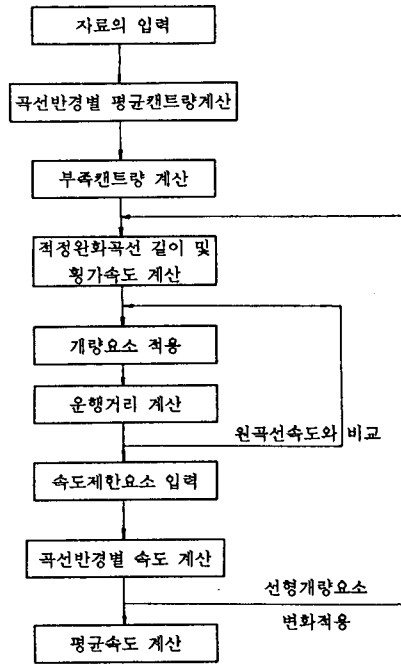


그림 4. 속도향상을 위한 프로그램 흐름도

4와 같다.

4.2 결과 및 분석

4.2.1 곡선반경에 따른 제원 계산

철도곡선구간에서의 켄트설치량은 곡률 반지름 및 열차운행속도에 따라 결정되어지며 지형적인 여건을 고려한 조정량의 변화로 항상 일정한 상태를 유지할 수 없으며 원곡선 구간에서의 열차운행속도는 곡선반경에 의해 결정되어지므로 이런 곡선반경의 변화로 인한 켄트설치량의 값은 지형여건이 변화요인으로 작용하지만 곡선반경에 따른 설치켄트량 및 표준오차를 구한 결과가 표 5 및 그림 5~7에 나타나 있다.

위 결과로부터 곡선반경이 클수록 켄트설치량은 적게 됨을 알 수 있었고, 켄트량의 표준오차분포를 보면 곡선반경개소가 적은 곳은 표준오차의 차이가 심하고 곡선반경개소가 많을수록 적게 나타났지만, 일반적으로 곡선부에서의 켄트량은 곡선반경에 따라 정해짐을 알 수 있었다. 그리고 켄트부족량의 값이 허용부족켄트량 보다 높게 나타난 경우를 볼 수 있는데 이것은 곡선반경이 900 m~1100 m인 부분에서 발생하였으며, 이러한 부분에서의 횡기속도분포를 보면 허용횡기속도보

표 5. 곡선반경별 제반요소

구분 곡선반경(m)	설치개소		설정캔트량(mm)		표준오차(mm)		캔트부족량(mm)		실제 평균속도 (km/h)	횡가속도 (g)
	상선	하선	상선	하선	상선	하선	상선	하선	하선	하선
400	19	20	147.67	147.85	1.8715	2.3388	93.20	91.10	110.5	0.0986
500	33	32	147.12	147.48	2.1577	2.2642	89.34	88.52	123.2	0.0984
600	170	168	147.10	147.40	0.7180	0.7457	89.54	90.57	124.4	0.0983
700	11	18	140.00	136.25	2.5820	1.8298	87.87	86.69	126.5	0.0909
800	61	64	134.35	134.63	1.5702	1.5639	95.84	95.84	129.5	0.0898
900	13	7	125.00	120.00	4.6872	3.7796	100.87	101.58	134.9	0.0801
1000	33	31	105.30	106.77	4.4378	3.9455	107.26	108.29	135.1	0.0712
1100	1	4	104.00	95.80	0.0000	3.6603	106.10	107.01	135.0	0.0639
1200	22	13	93.57	95.38	3.8669	3.3235	99.35	97.35	140.2	0.0636
1300	4	6	85.00	89.00	3.4550	3.4868	94.45	95.32	140.0	0.0594
1400	14	17	82.66	85.94	2.6579	3.9586	92.47	91.27	140.2	0.0573
1500	2	2	64.00	72.50	2.6300	3.5000	92.00	92.90	140.4	0.0484
1600	4	3	60.00	70.00	2.5000	2.1000	86.54	86.06	143.0	0.0467
1700이상	39	35	43.00	41.08	2.0000	1.5100	84.98	84.69	144.5	0.0456
계	426	420								

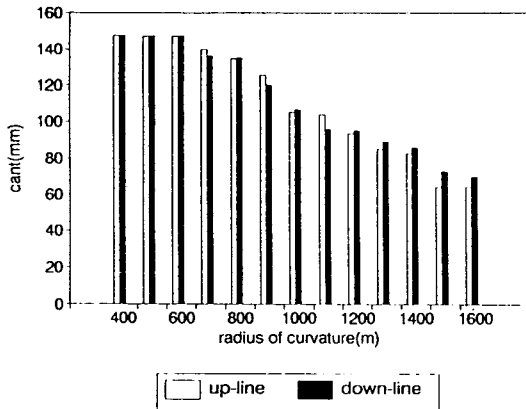


그림 5. 곡선반경에 따른 캔트설치량

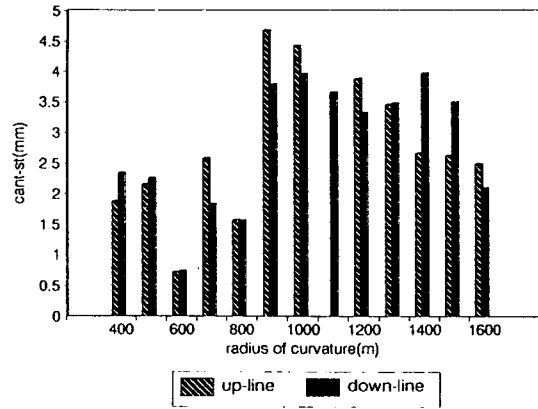


그림 6. 곡선반경별 캔트설치량의 표준오차

다 높게 측정되었다.

4.4.2 교각개량에 따른 속도향상 효과

곡선반경이 일정한 상태에서 교각개량에 따른 변화 요소를 적용하여 속도향상효과를 얻고자 원곡선 양쪽에 완화곡선이 설치된 경우를 이용하였으며 속도 감소 시작점은 완화곡선 시점을 기준으로 적용하였고 원곡선부에서는 곡선반경에 따른 속도 결정 식을 이용하여

완화곡선 시점의 속도를 곡선반경별 안전성을 고려하여 3단계 또는 5단계의 제한속도를 이용하여 운행거리 감소 및 속도향상결과를 표 6 및 그림 8~12에 나타내고 있다.

표 6으로부터 곡선반경을 변화시키지 않고 교각의 변화를 적용시켜 본 결과 곡선반경 500 m에서의 전체 운행거리 감소는 8,069.67 m가 있었고, 평균속도향상은 1.36 km/h의 효과를 얻었지만, 곡선반경 900 m에서

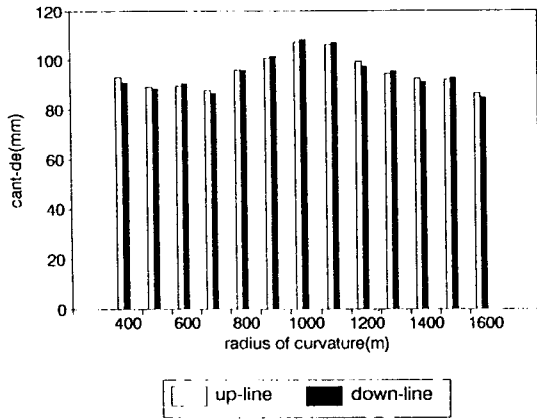


그림 7. 곡선반경별 캔트부족량

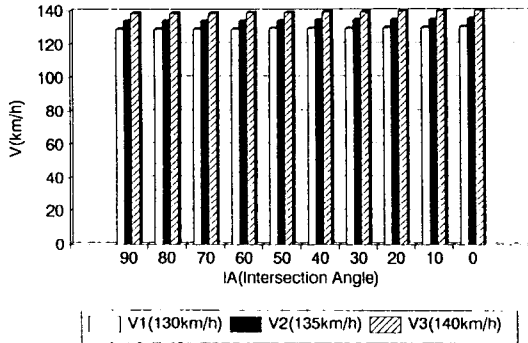


그림 8. 교각개량에 따른 속도향상결과(R=500 m)

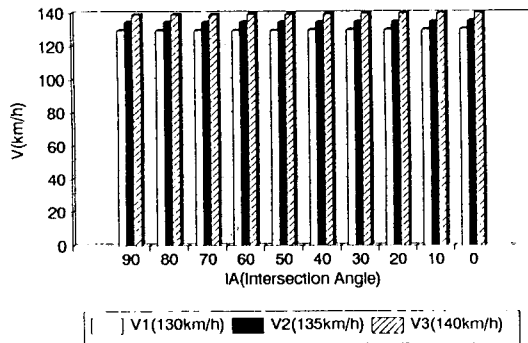


그림 9. 교각개량에 따른 속도향상결과(R=600 m)

의 전체운행거리 감소는 7,897.99 m, 평균속도 향상은 0.31 km/h의 효과를 얻는데 지나지 않았다. 이와 같이 표 6 및 그림 8~12의 결과를 종합하여 정리해 보면 곡선반경이 일정한 상태에서 교각의 개량에 따른 속도향상효과는 크게 기대할 수 없었다.

표 6. 단계별 운행거리감소 및 속도향상결과

곡선반경(m)	운행거리감소(m)	속도향상(km/h)
500	8,069.67	1.36
600	8,026.75	1.03
700	7,983.83	0.65
800	7,940.71	0.53
900	7,897.99	0.31

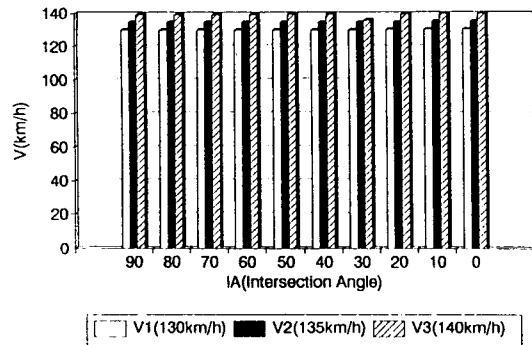


그림 10. 교각개량에 따른 속도향상결과(R=700 m)

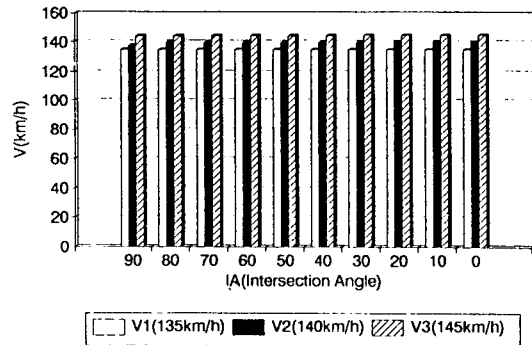


그림 11. 교각개량에 따른 속도향상결과(R=800 m)

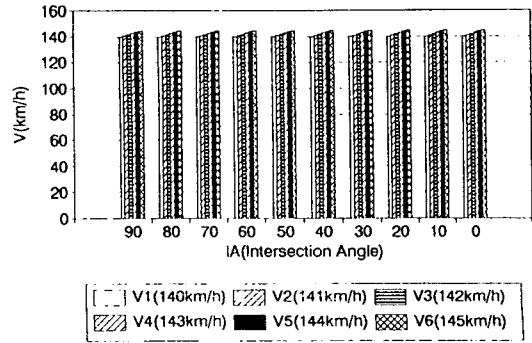


그림 12. 교각개량에 따른 속도향상결과(R=900 m)

표 7. 곡선반경변화에 따른 속도향상효과

구분	10°	20°	30°	40°	50°
400→500	0.14	0.18	0.21	0.22	0.25
400→600	0.28	0.35	0.42	0.47	0.52
400→700	0.42	0.54	0.64	0.73	0.82
400→800	0.54	0.71	0.86	1.00	1.12
400→900	0.66	0.78	1.09	1.27	1.44

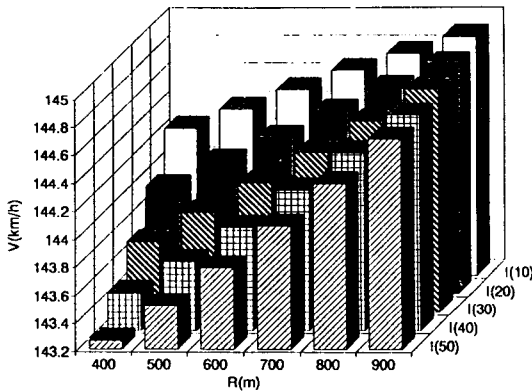


그림 13. 교각개량에 따른 속도향상효과

4.2.3 곡선반경개량에 따른 속도향상 효과

교각이 일정한 상태에서 곡선반경개량에 따른 속도향상효과를 얻고자 시도된 결과가 표 및 그림 13에 나타나 있다. 표 7 및 그림 13의 결과를 보면 교각 10°에서 곡선반경 변화에 따른 속도향상 결과는 400 m→500 m로 개량했을 때 0.14 km/h의 효과를 얻은 반면에 400 m→900 m로 개량했을 때 0.66 km/h의 효과를 얻을 수 있었다. 또한 교각 50°에서 곡선반경 변화에 따른 속도향상 결과는 400 m→500 m로 개량했을 때 0.25 km/h의 효과를 얻었으며 400 m→900 m로 개량했을 때 1.44 km/h의 효과를 얻을 수 있었다. 이러한 결과를 종합해 보면 곡선반경의 개량에 있어서는 교각이 적을 수록 속도향상 효과는 저조하였고 교각이 클수록 속도향상 효과가 좋게 나타났다.

5. 결 론

철도곡선구간에서의 캔트설치량에 대한 주행성 평가

와 선형개량요소들의 변화를 적용시켜 속도향상 효과를 얻기 위해 시도된 것을 종합한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 곡선반경에 따른 설정캔트량을 조사 분석하여 평균캔트량을 산정해 봄으로써 철도곡선부 궤도를 관리하는 담당자들에게 곡선관리를 위한 기초자료를 제공할 수 있었고, 부족캔트량에 따른 횡기속도의 초과 발생은 곡선부 주행안전성을 저해하는 요소로 작용하기 때문에 이에 대한 철저한 곡선관리가 요구된다.

2) 교각개량에 따른 속도향상은 현격한 개량을 실시했음에도 불구하고 1.05 km/h의 효과만 얻을 수 있었으며, 곡선반경 개량조건을 적용한 경우의 속도향상효과는 교각이 10°에서 개량하는 쪽보다 50°에서 개량하는 쪽이 두배 정도의 향상 폭을 얻을 수 있었다.

이상과 같이 곡선반경별 설정캔트량과 이에 따른 주행성 연구 및 속도향상 노력은 기본적인 자료들의 활용과 이론적인 개념을 적용하여 수치시험한 결과를 나타낸 것이기 때문에 실질적인 속도향상 효과를 얻기 위해서는 종합적인 조건이 수반되어야 할 것이다.

參考文獻

1. 李南洙, "鐵道曲線部에 있어서 캔트設定에 關한 研究", 한국측지학회지 제 11 권 제 1 호, 1993, pp.1-6.
2. 李南洙, "鐵道曲線部の 캔트設定과 傾斜裝置에 의한 走行性 研究", 京畿大學校 大學院 博士學位論文, 1993.
3. 龜田弘行 柏谷增南 星野鐘雄 朴 性辰, "新鐵道システム 工學", 1992, PP.131-158.
4. 宮原良夫 雨宮廣二, "鐵道工學", 1991, PP.21-27.
5. 小山內 政廣, "曲線管理(2)", 日本鐵道施設協會誌 第 2 號, 1988, pp.131-136.
6. 小野純朗, "鐵道のスピードアップ", 日本鐵道運轉協會, 1987, pp.93-105.
7. 松岡榮治, "曲線管理(1)", 日本鐵道施設協會誌 第 1 號, 1988, pp.49-53.
8. 若生寬治, "在來線高速化の今後の展望", RAILWAY TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE REPORT No.3, 1994, pp.1-6.