

철도곡선부 개량을 위한 완화곡선 연장방법의 적용성 평가 Estimation of Transition Curves Extension Method for Railway Curved Zone Improvements

정의환 ¹⁾
Jeong, Eui Whan

¹⁾ 세경대학 토목환경과 조교수(E-mail : cew5055@saekyung-c.ac.kr)

Abstract

The speed up of conventional lines feel strongly the necessity of it, for fully realizing a role of transportation system, for human life style is high, and increasing of time value. Especially curved lines zone have crucial effects on the speed of train.

In this study, the extension method of transition curve is evaluated, based on the alignment of Jang-Hang line, investigated field conditions of the sections where the curves exist. The result of this research is very applicable to the condition where it is difficult to over-all alignment improvements.

1. 서론

건국 이래 대규모 국책사업으로 추진되었던 경부고속전철의 개통이 지난 4월에 있었으며, 호남선 역시 전철화를 통한 KTX운행을 실시하게 되었다. 이로 인해 개통구간에 있어서 속도향상을 통한 운행시간이 단축되게 되었으나, 국내에서 운행하고 있는 기존선은 개통된 지 100년 넘도록 속도향상을 위한 노력은 있었지만, 그 향상 폭이 낮아 고속철도와 기존철도와의 속도차이를 극복하지 못하고 있으며, 이로 인해 전반적 철도교통의 효율성을 동시에 높이는 데 한계가 있어 고속철도와 기존선과의 연계 및 철도전반의 수송 효율성 향상을 위한 기존선 전반의 속도향상의 필요성이 강하게 대두되고 있다.

속도향상을 위한 방안으로는 신선 건설이나 대규모 선형 개량을 통해 실시할 수 있지만 이 방법은 막대한 투자비용이 소요되는 경제적 부담을 안고 있다. 그러나 기존 선형의 일부개량을 통한 방법은 철도 하부구조를 최대한 활용하여 속도향상을 이룰 수 있는 방법으로 속도향상의 폭은 낮으나 경제적이고 실용적이라는 장점을 갖고 있다. 이렇게 기존선의 속도향상을 위한 방안을 찾기 위해 속도별 그룹을 설정하여 대안 방안을 수립하여 추진 중에 있으며, 그 방법으로 제시되고 있는 방법중 곡선부의 속도를 향상시키는 방안으로 기존 선형의 상태를 면밀히 분석하여 신 규정에서 제시하고 있는 완화곡선 길이 산정식을 활용하여 선형개량을 최소화시킬 수 있는 완화곡선장 길이의 연장등 소규모 개량으로 기존선 구간의 속도향상을 가능하게 될 것이다. 이에 본 연구에서는 대상 노선의 선형제한 자료를 이용하여 완화곡선 연장 조건의 적합성 여부를 평가하여 연장 가능한 대상구간을 설정하고, 현장종거를 활용한 이동량을 결정하여 최적의 개량조건을 도출하고자 한다.

2. 철도 완화곡선 연장

2.1 완화곡선 길이 결정 기준

완화곡선의 길이는 차량이 곡선 상을 주행할 때 3점지지 현상이 일어났을 때 차륜 플랜지의 최소높이

25mm까지 부상하여도 탈선하지 않는 구배의 캔트 체감 거리이어야 하고, 열차가 주행할 때 속도에 따라 1초에 1과 1/4"씩의 높이로 변화하기 때문에 이에 따라 충분한 완화곡선 길이가 정하여져야 한다. 또한, 캔트량의 급변화로 인하여 열차가 통과할 때 단위시간에 경사 되는 정도와 열차가 받는 원심가속도의 변화 등으로 승차감이 나쁘지 않는 정도의 길이를 정하여야 한다. 이러한 근거로 완화곡선 길이를 산출하게 된다.

$$L = \frac{V}{C_0} \cdot C \quad (1)$$

여기서, L : 완화곡선의 길이(m)

V : 열차의 속도(km/h)

C : 캔트량(mm)

C_0 : 캔트량 체감의 시간적 변화율(1과 1/4" = 3.175cm/sec = 0.1143km/h)

따라서, 완화곡선 길이는 다음 식으로 결정하게 된다.

$$L = 8.75 V \cdot C \quad (2)$$

이렇게 하여 기존선에서의 완화곡선의 길이는 선로등급에 따라 캔트량의 배수로 결정되며 표 1과 같다.

표 1. 선로 등급별 완화곡선 길이

선로등급	열차최고속도(km/h)	완화곡선길이
1	200	캔트량의 1,700배
2	150	캔트량의 1,300배
3	120	캔트량의 1,000배
4	70	캔트량의 600배

2.2 완화곡선의 연장조건

완화곡선의 길이는 길면 길수록 곡률의 변화율과 캔트의 변화율도 적어지게 되므로 열차주행조건이 좋아진다. 그러나 선형을 구성하는 요건에 있어서 완화곡선의 길이가 기준 값보다 적게 될 경우 주행조건의 저하로 속도향상에 제약을 받게 된다. 이럴 경우 완화곡선 연장을 시도하게 되는데 일반적으로 완화곡선을 연장시키고자 할 경우 종거도를 활용하여 가능여부를 결정하게 된다. 여기서 종거도가 이루는 면적이 완화곡선 길이를 연장하기 전이나 연장 후가 같아야 한다는 것이다.

2.3 완화곡선 길이의 연장방법

완화곡선의 길이를 연장하는 방법으로는 곡선부 전 구간에 걸쳐 시행하는 방법과 한쪽에서 시행하는 방법이 적용되는데 본 연구에서 적용 성을 평가하고자 하는 방법은 곡선부 전 구간에 걸쳐 시행하고자 하는 방법으로서 이에 해당되는 연장방법의 특징을 살펴보면 다음과 같다.

2.3.1 A법

이 방법에 의해 연장된 곡선의 반경은 이전의 반경과 같아진다. 즉, 곡선의 반경을 변경하지 않으며 완화 곡선장은 늘어나게 함으로 원곡선은 평행이동을 한다. 또한 이동량이 곡선 전체에 걸쳐 생김으로서 커지게 된다. 이 방법에 의한 종거변화와 선로의 이동방향을 살펴보면 그림 1과 같다.

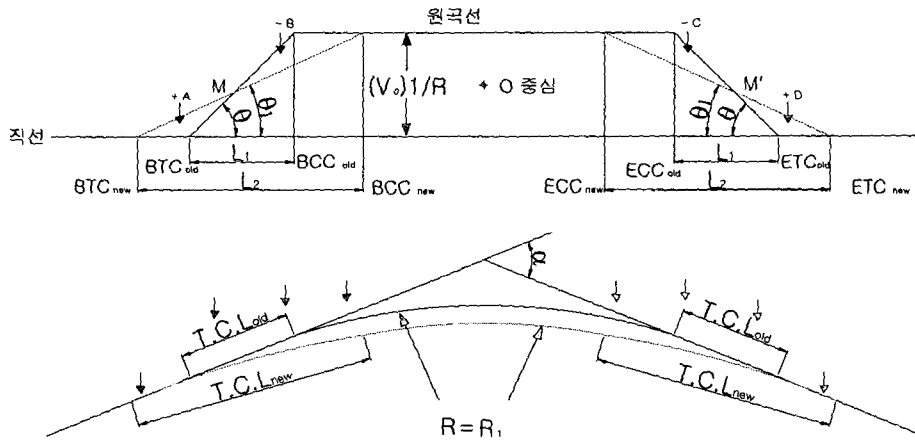


그림 1. 연장 전·후 종거의 변화 및 중심 이동 변화

2.3.2 B-1 법

A법과 같이 곡선 전체 길이에서 연장을 실시하는 방법으로, A법에서는 원곡선의 반경을 변화시키지 않는 반면 B법에서는 원곡선의 반경을 변경시킨다. 이중 B-1법에서는 원곡선 반경을 종래 보다 크게 변경시키는 것으로, 완화곡선 연장의 목적인 열차속도의 향상은 단지 완화곡선만이 아닌 원곡선 반경에도 크게 관계하여 제한되어지는데, 이 완화곡선의 연장과 원곡선 반경보다 큰 반경으로의 변경을 동시에 필요로 하는 경우에 사용되는 방법이다. 이동량은 A법과 같이 커지고 원곡선의 중앙부에서 최대가 된다. 이 방법에 의한 종거의 변화와 선로의 이동방향을 살펴보면 그림 2와 같다.

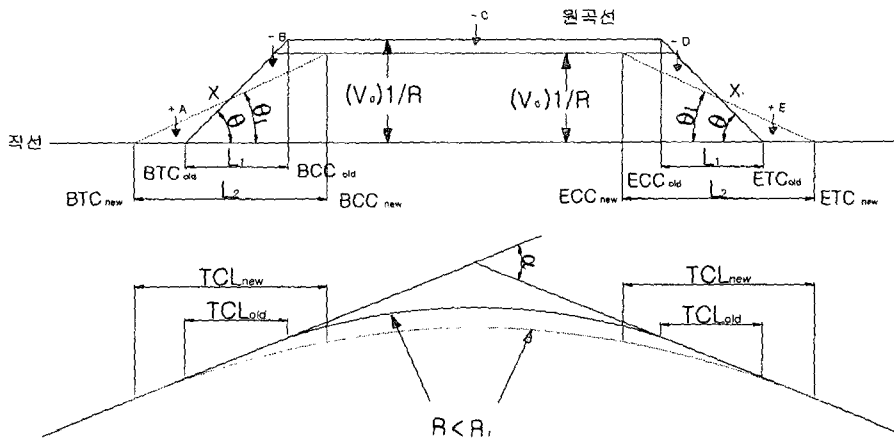


그림 2. 연장 전·후 종거 및 중심 이동 변화

2.3.3 B-2 法

B-2법은 B-1법만이 아니고, A법과 같이 원곡선 반경을 원래의 정도로 해도 그 이동량이 커지게 되는데, 이 이동량을 작게 하기 위해 “원곡선 반경을 종래 보다 작게 해도 괜찮다. 단, 단심원이다”라는 조건을 적용한 연장방법이다. 즉, 곡선 반경을 작게 변경시키며, 이동량은 앞서의 내용에서와 같이 A, B-1법보다는 작고, 중앙부가 최소로 되는 방법이다. 이 방법에 의한 종거의 변화와 선로중심방향의 이동방향을 살펴보면 그림 3과 같다.

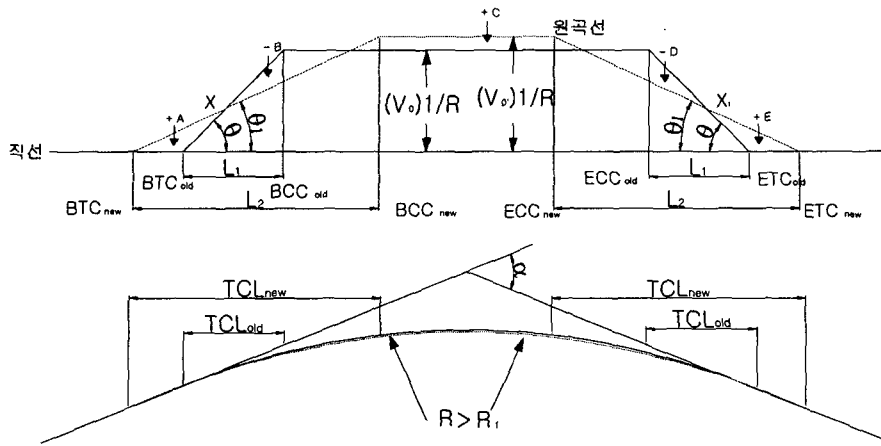


그림 3. 연장 전·후 종거 변화 및 중심 이동 변화

3. 시험 및 분석

3.1 시험내용

국내의 기존선은 지형, 선로상의 지장물 및 선형 구성등의 이유에서 국유철도건설규칙으로 정한 최고 속도로 주행할 수 없는 구간이 비교적 많이 존재하고 있다. 따라서 기존선의 곡선부 최고속도는 이와 같은 현실적인 면을 고려하여 설정하는 것이 바람직하다. 그러나 철도 속도향상과 함께 제반 규정들이 변경되었지만 기존선에서의 적합성 여부를 평가해보지 않았었다.

그러므로 본 연구에서는 장항선을 대상으로 모든 곡선부에서 열차의 속도가 제한을 받을 수 있는 지형적 장애 또는 선로상의 대형 구조물에 대한 현장 자료 조사를 실시하였으며, 또한 완화곡선의 길이를 결정하는 근거를 기준으로 필요한 완화곡선 길이를 결정한 후 현재의 선형제원들의 비교를 통해 완화곡선 연장에 필요한 추가 길이 및 연장가능 개소를 산출하고 또한 연장이 필요한 개소중에서도 선형조건 및 대형선로구축물로 인한 불가능한 원인을 조사하였으며, 현재의 선형제원으로 연장가능한 개소를 대상으로 2.3.1에서 살펴본 연장방법 A를 적용하여 현장종거를 활용 선로중심방향의 이동량을 산출하였으며, 본 연구의 진행은 아래 그림 4와 같이 진행되었다.

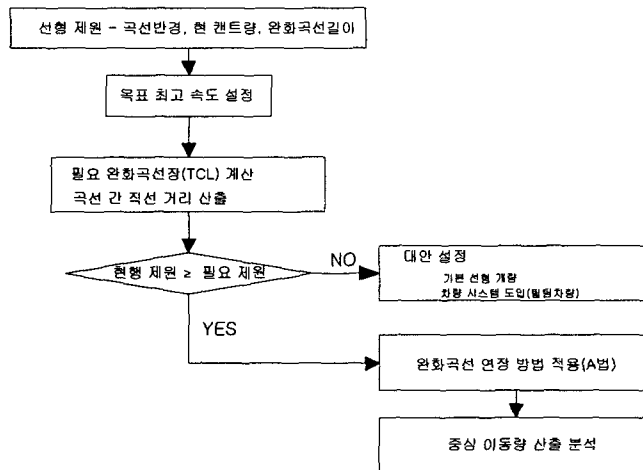


그림 4. 연구 수행 흐름도

3.2 선형분석

기존선은 그 개통시기가 오래된 관계로 곡선구간이 많이 존재하고 있다. 이에 기존선의 속도향상을 위한 제반 연구들이 수행되고 있는 가운데 철저한 기존선형의 분석을 필요가 있어 연구대상구간(장항선)을 이용하여 곡선현황을 분석한 결과 전체 노선의 길이중 곡선이 차지하는 비율이 45 %이고, 곡선반경별로 분포현황을 살펴보면 아래 그림 5, 그림 6과 같다.

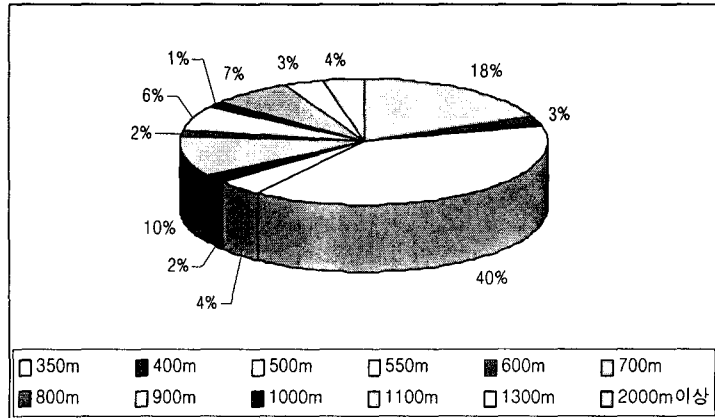


그림 5. 곡선반경별 개소

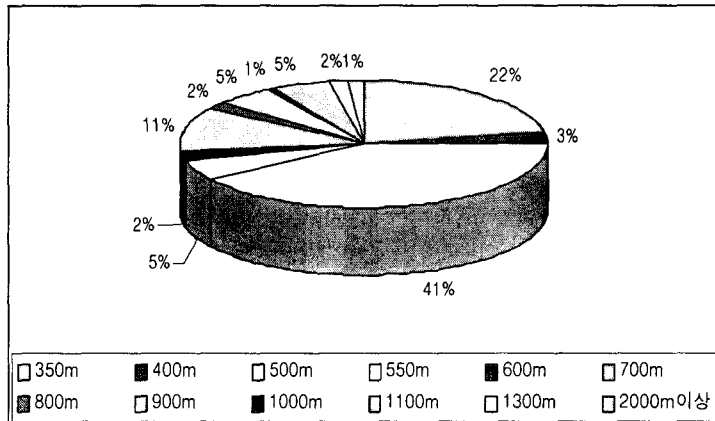


그림 6. 곡선반경별 연장길이

그림 5에서 알 수 있는 바와 같이 곡선반경이 500m 이하인 구간이 전체 개소중 60%를 차지하고 있는 것을 감안할 때 기존선의 속도향상이 제한을 받을 수 밖에 없다고 판단된다.

3.3 연장방법 적용평가 분석

3.3.1 연장조건 분석

연구지역의 현재 부설되어 있는 캔트량과 선로등급별 캔트부족량, 그리고 곡선반경을 이용하여 2.1에서 제시된 식 (2)을 적용하여 곡선반경별 소요 완화곡선길이를 계산한 후 현재 현장에 설치되어 있는 완화곡선 길이와 비교 분석한 결과를 표2, 그림 7에 곡선반경별로 나타냈으며, 완화곡선 연장이 필요한 개소 중에서 현재의 선형구성상 곡선간 직선거리 부족이나 대형 선로구축물로 인해 완화곡선 연장을 시도할 수 없는 개소를 파악하여 표 3, 그림 8에 나타냈다.

표 2. 곡선반경별 완화곡선 연장가능개소

개소 / 곡선반경(m)	총곡선개소	필요개소	불필요개소
300	39	4	35
400	82	65	17
500	13	13	0
600	31	28	3
700	1	1	0
800	13	13	0
1000~2000	30	28	2
2000이상	10	8	2

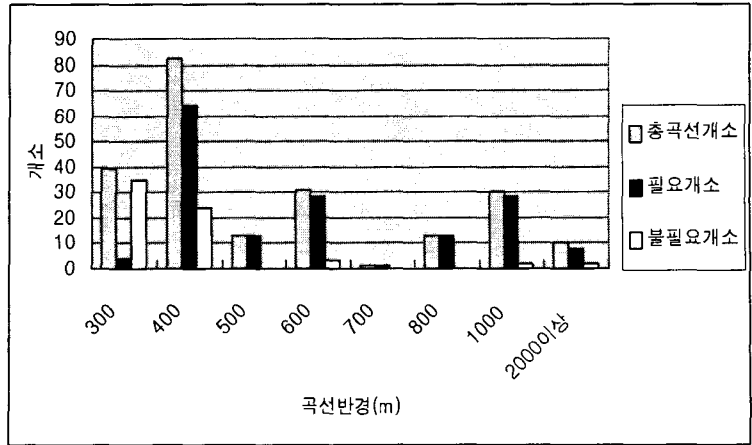


그림 7. 곡선반경별 완화곡선 연장가능개소 분포

표 2와 그림 7에 나타난 바와 같이 전체 곡선부에서 완화곡선 연장이 필요로 하는 부분이 73%인 점을 감안할 때 많은 부분에서 완화곡선 길이 조건을 만족시키지 못하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 표3, 그림 8의 결과로부터 완화곡선 연장이 필요한 개소에서 선형조건(곡선간 직선거리 부족)이나, 대형 선로 구축물로 연장이 불가능한 개소를 파악한 결과 전체의 49%를 차지하고 있는 것으로 나타났다.

표 3. 곡선반경별 연장 불가능 제약 요소

연장불가요인 곡선반경(m)	곡선간직선 길이부족	교량	터널
300	4	1	-
400	15	19	1
500	2	5	-
600	6	7	-
700	0	0	-
800	2	6	-
1000~2000	5	6	-
2000이상	0	2	-

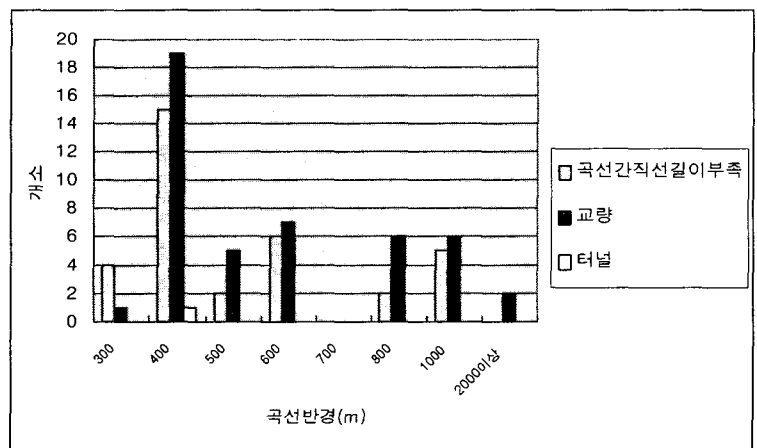


그림 8. 곡선반경별 연장 불가능 제약 요소 분포

또한 완화곡선 연장의 필요개소에 대한 곡선반경별 길이를 산출한 결과를 표 4, 그림 9에 나타냈다. 이 결과를 종합해볼 때 곡선반경이 큰 쪽에서 더 긴 완화곡선 길이가 요구되었으며, 추가로 필요한 완화곡선 길이의 분포는 0.675m~44.805m를 이루고 있었다.

표 4. 곡선반경별 연장 추가소요길이

곡선반경(m) \ 추가길이(m)	400	500	600	700	800	1000~2000 이하	2000이상
0~4	19	3				5	
4~8						3	1
8~12	12	3	5			2	2
12~16						1	1
16~20							2
20~24		1	5		1	1	
24~28					1		
28~32			6		2		
32이상				1	1	3	

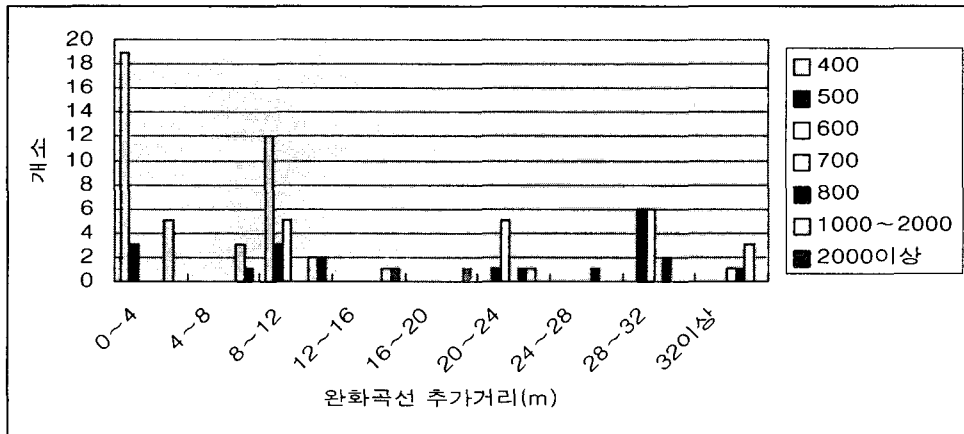


그림 9. 곡선반경별 연장 추가 길이 분포

3.3.2 연장적용성 평가 분석

완화곡선길이의 연장이 필요한 경우에 곡선전구간에 걸쳐 시행할 수 있는 방법 중에 A법을 이용하여 기존 완화곡선길이의와 필요한 완화곡선길이를 계산한 후 완화곡선이 서로 대칭으로 배치되었을 경우, 한 쪽의 경우를 활용한 종거도의 모멘트를 구한 후 이 모멘트의 값이 곡선중심 방향으로 이동된 이동량의 1/2이 되는 조건을 적용하여 곡선반경별 이동량의 산출 결과를 표 5, 그림 10에 나타냈다. 이 결과로부터 곡선반경이 적은 쪽에서 대체로 이동량이 적게 나타났으며, 곡선반경별 이동량을 산출한 결과 대체로 0~320mm로 분포되어 있는 것을 알 수 있었다. 현장여건이 허락한다면 이러한 이동량을 적용하여 완화곡선을 연장할 수 있으리라 판단되며, 이로 인해 기존선의 속도향상에 기여할 수 있을 것이다.

표 5. A법에 의한 이동량 결과

곡선반경(m) \ 이동량(mm)	400	500	600	700	800	1000~2000 이하	2000이상
0~40	16	3				10	4
41~80	1		1				2
81~120			1			2	
121~160			1			2	
161~200	10	2	2				
201~240	4				1	1	
241~280			1		3	1	
281~320		1	3			1	
320이상		1	7	1	1		

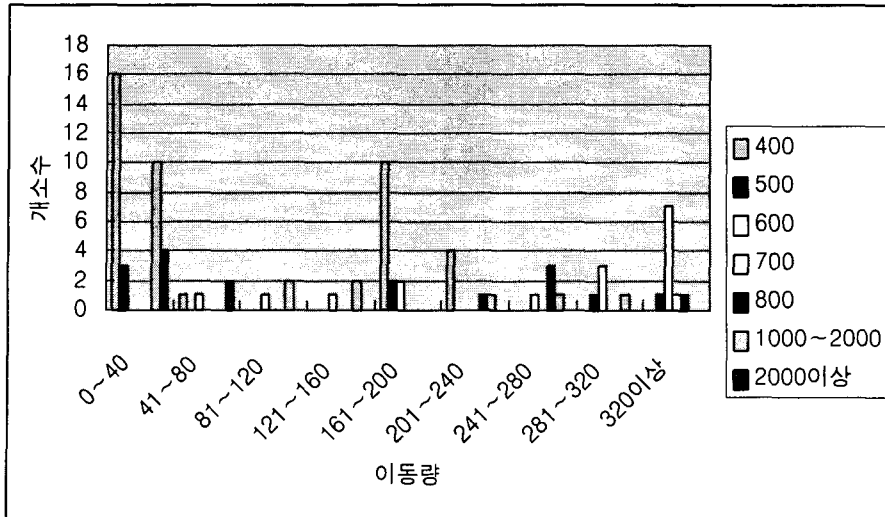


그림 10. A법에 의한 이동량 결과 분포

4. 결론

본 연구에서 실시한 내용은 기존선 속도향상을 위해 검토되고 있는 철도선형의 일부조정으로 시행될 수 있는 방법중 완화곡선 길이의 연장 적용성이 있는가에 대한 분석 결과로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 현장자료조사와 관련 규정을 적용하여 소요 완화곡선 길이를 산출한 결과 완화곡선 연장이 필요한 부분은 전체 곡선구간의 73%를 차지하고 있으며, 불가능한 개소가 차지하는 비율이 49%로 나타났다.
- 2) 완화곡선길이를 연장할 경우 추가로 소요되는 연장길이의 분포는 0.675m~44.805m로 나타났으며, 연장 A법을 적용한 결과 중심방향으로의 이동량은 대체로 0mm~320mm의 분포를 이루고 있었다.
- 3) 완화곡선 연장방법을 기존선을 대상으로 현장여건에 따라 적용한다면, 궤도수정을 최소화 시키며 어느 정도 속도 향상효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

대전지방철도청 (1996), 선로제표, 철도청.
 철도청 시설본부 (2002), 보선업무자료, 철도청, pp. 818~845.
 최성규 외(2000), 기존선 시스템 개선에 관한 연구, 한국철도기술 연구원, pp. 335~367.
 한국철도기술연구원(2003), 기존선 속도향상을 위한 선로시스템 개선기술 개발, 철도청, pp. 111~121.
 金子慶尙(1984), 緩和曲線の 延伸, 計測工業株式會社.