

서울지하철 4호선 R250m 인접구간 도시개발정비에 따른 궤도방진설계

Case of track improvement in the area of redevelopment project surrounding around Seoul Metro Lin.4(R=250m)

공선용* 김상진** 양태경*** 백찬호***
Kong, Sun-Yong Kim, Sang-Jin Yang, Tae-Kyung Baik, Chan-Ho

ABSTRACT

The surroundings around subway are becoming more lively for project of CBD (an redevelopment project), however vibrations which are made through passing train cold spread buildings around. The structure-borne noise could be generated at the same time that makes people including developers and th citizens have negative viewpoint on railway.

Especially, Seoul Metro 1-4 lines ar built alongside the road nearby houses and business district. That could make plenty of public resentments because of the structure-borne noise. Seoul Metro should make active alternative plans for their future urban environment projects which will be conducted.

The case was Railway Facility which were conducted to minimize structure-borne noise from sharp curved track section (4 line, Sinyongsan-Ichon, R 250m). The section is adjacent to house district as near as 6.6m related with pusing international city project, the 4th urban environment project around international building, near Yongsan station. The interval of sleepers would be downsized in half with breaking existing case, and pad stiffness is reduced 4 ton from 10 ton. That makes structure-borne noise minimized because of vibrations are lowered about 19.1-23.0db.

The structure above has remained for a year and a half from October, 2008, and had not any trouble to perform excellence with 80million ton rail accumulated tonnage.

1. 서 론

최근 지하철 주변은 도시개발 환경정비사업(재개발)이 활발히 진행되고 있다. 하지만 열차 통과 시 발생 되는 진동이 주변 건물에 전파되고 이때 발생하는 고체소음으로 인하여 개발주체, 이용시민은 물론 국민 들에게 철도에 대한 부정적인 시각을 제공하고 있는 게 현실이다.

특히, 서울메트로 1~4호선은 도로를 따라 건설되어지고 주택, 상권이 밀집되어 있어 이러한 고체소음에 의한 다수의 민원이 발생되고 있으며, 향후 역세권을 주변으로 많은 도시환경사업이 시행될 예정이므로 이에 대한 적극적인 대안이 요구되고 있다.

본 사례는 용산역 주변 국제화 도시사업 추진과 관련하여 『국제빌딩주변 제4구역 도시환경정비사업』 시행 중 주거지역과 불과 6.6m 인접되어 있는 지하철 4호선 신용산~이촌 R250m 급곡선 구간에 발생되고 있는 고체소음을 최소화하기 위하여 시행한 궤도시설 개량 사례로서, 기존의 틀에서 벗어나 침목의 간격을 1/2로 축소하고 방진패드의 스프링계수를 10kN/mm에서 5kN/mm으로 낮추어 전달되는 진동 값을 약 19.1~23.0dB까지 저감시켜 고체소음을 최소화한 사례를 소개하고자 한다.

* 책임저자 : 정회원, 서울메트로 철도토목팀 팀장, 공학석사
E-mail : kong@seoulmetro.co.kr
TEL : (02)6110-5620 FAX : (02)6110-5629

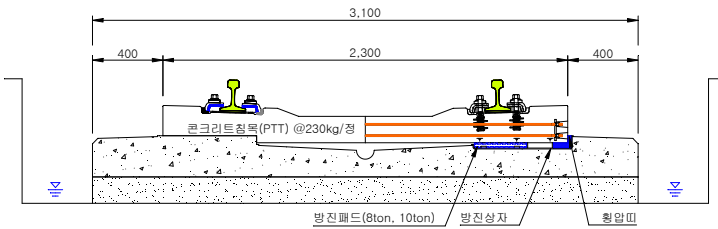
** 정회원, 서울메트로 철도토목팀 대리

*** 정회원, 서울메트로 철도토목팀 대리

**** 정회원, 서울메트로 철도토목팀 선임

2. 검토배경 및 선로현황

동 구간은 R250m 급곡선 구간으로 건설당시 목침목 자갈도상구조에서 2004년 11월 방진상 콘크리트 도상 궤도구조로 개량을 완료한 상태였으며, 1시간에 약 12~15회 정도 편도운행 되고 있으며, (재)한국 건설안전기술원에서 환경평가를 위하여 측정한 결과 현재 주거지역은 국내 소음·진동 기준을 모두 만족하는 것으로 조사 되었다.



구 분	소 음	진 동
측정위치 A	Lmax 59~65dB(A)	42~49bB(V) (60~70Hz)
측정위치 B		33~42dB(V) (60~70Hz)
측정위치 C	탁월주파수 63~80Hz	46~52dB(V) (60~70Hz)

그림 1. 개량된 방진상 궤도구조 및 선로 주변 소음·진동 측정 Data

그러나, 동 구간의 용산구 국제빌딩주변 제4구역 도시환경정비 사업지에 지하 7층, 지상 5~40층 7개동 주상복합 건물을 신축할 경우 급곡선(R250m) $l=386m$ 의 지하철 4호선이 불과 6.6m 인접 운행되어 진동 영향 평가를 실시한 결과 국내 환경기준(야간 소음 65dB(A), 진동 60dB(V))을 초과할 뿐만 아니라 국제 표준화기구(ISO)에서 제시하는 기준값 역시 모두 초과하게 되어 도시환경정비 사업 신축 전 고체소음에 대한 방진대책이 필요하게 되었다.

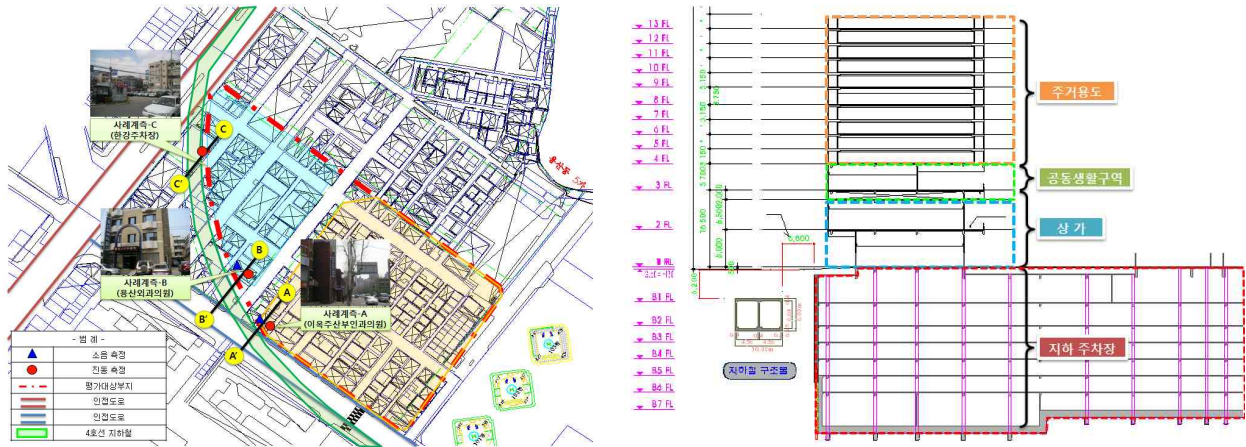


그림 2. 도시환경정비사업 구간 지하철 횡단운행 현황

<표 1> 도시환경정비사업 완공 후 국내 및 ISO기준 대비 평가결과

국내기준		구 분			국제표준화기구(ISO)	
기준값	평가결과	용도	층	예측소음수준	평가결과	기준값
주간 : 70dB(A) 야간 : 60dB(A)	불만족	주거	5F	61~65dB(A)	불만족	34~47dB(A)
	불만족		4F	62~66dB(A)	불만족	
주간 : 75dB(A) 야간 : 65dB(A)	불만족	공동생활	3F	63~67dB(A)	불만족	42~52dB(A)
	불만족		상가	2F	63~66dB(A)	
	불만족	1F		65~68dB(A)	불만족	56~66dB(A)
	불만족	주차장	B1	65~69dB(A)	불만족	
	불만족		B2	69~72dB(A)	불만족	
	불만족		B3	68~73dB(A)	불만족	

3. 방진대안 검토

3.1 방진대안 검토

방진대안은 크게 3가지로 검토하였고 환경기준은 주거지역의 특성을 고려하여 국내수준 보다 세부적이고 기준값이 높은 ISO 기준을 만족할 수 있는 조건으로 설계되었다.

(가) 제1안 : 궤도방진(스프링계수 1/2 축소 연속지지모델)

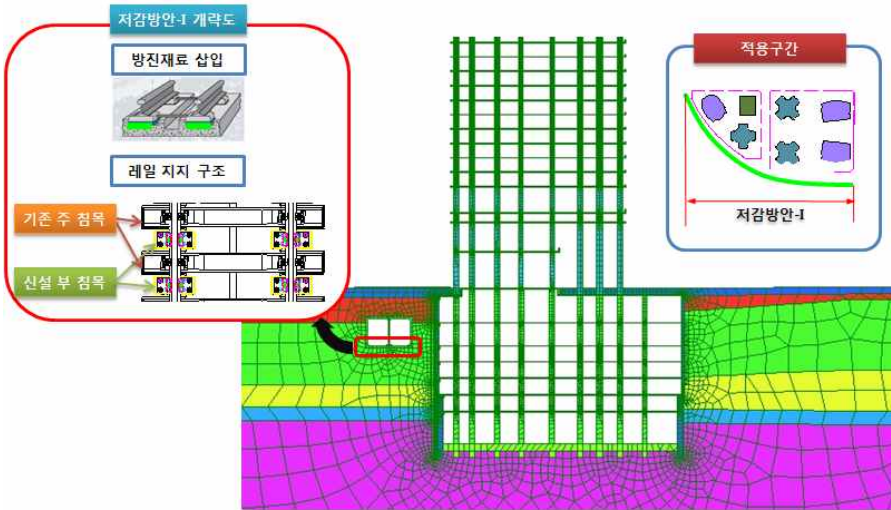


그림 3. (제1안) 궤도방진 대안 및 모델링

※ 방진개요

진동발생원 근본적 차단 방법으로 궤도계수를 낮추어 대상 건물로 전달되는 진동 저감 (침목과 침목사이 탄성패드 추가지지 방식)

※ 주요제원

- 스프링정수 : 10kN/mm → 5kN/mm
- 침목간격 : 588mm → 294mm

제1안의 경우에는 스프링정수가 1/2로 축소되어 응력값은 낮아질 수 있으나, 각 부재의 변위량 값이 증가되기 때문에 궤도의 과도한 틀림과 재료의 피로손상과 파괴가 예상되었다. 따라서, 그림 4, 5와 같이 침목을 연속지지 방식으로 하여 궤도구조를 설계하였다.

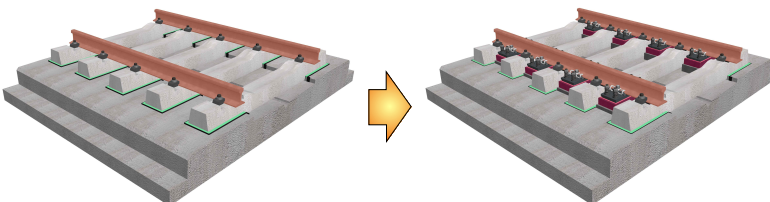


그림 4. 궤도구조 연속지지 전·후

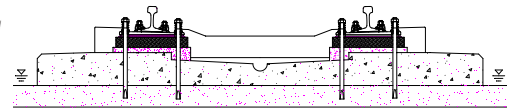


그림 5. 연속지지 단면도

(나) 제2안 : 건물 지하 외부벽체 방진

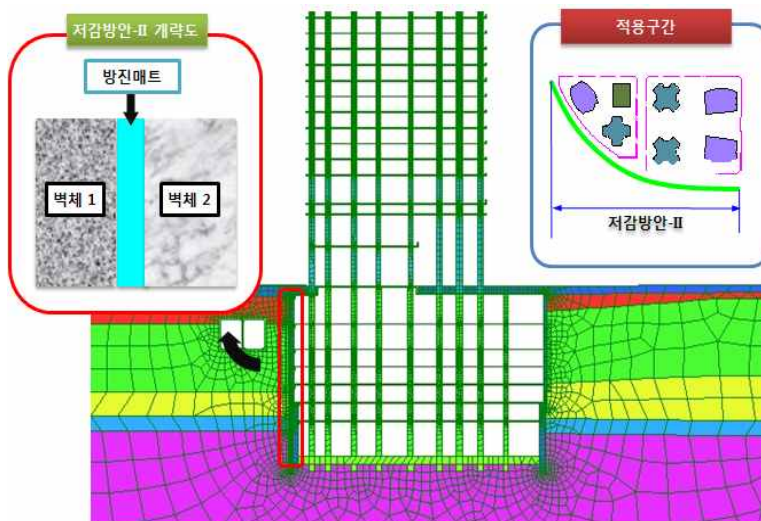


그림 4. (제2안) 건물 지하외부 벽체 방진 대안 및 모델링

※ 방진개요

지하철 터널 BOX측의 건물 벽체에 방진매트를 설치하여 대상 건물로 전달되는 진동 저감

※ 방진매트 물성

- 두께 : 25mm
- 밀도 : 300kg/m³

(다) 제3안 : 제1안 + 제2안 모두 적용

3.2 대안 해석 결과

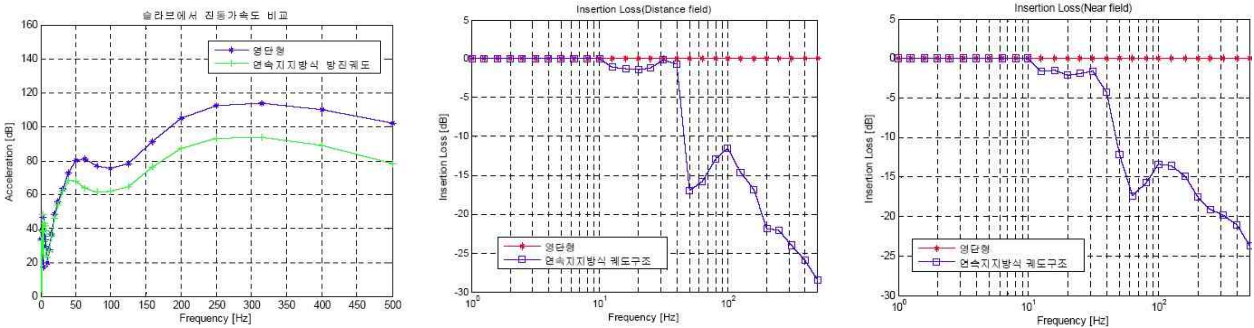
기존의 방진상 궤도구조와 대안으로 제시된 궤도연속지지방식 궤도구조를 비교하여 각 부재의 변위량, 응력변화 및 주파수별 진동가속도, 삽입손실을 분석하였고 진동해석은 ISI Program을 사용하였다.

표 2는 차량 및 궤도구조 일반제원 입력값 및 해석결과 값이고 예측한 결과 각 부재별 변위량과 응력값이 기존 방진상 궤도구조 보다 연속지지방식이 더 우수한 것으로 나타났으며, 약 40%정도 감소 지반에 전달 되는 응력값이 낮아지는 것으로 해석되었다. 진동가속도 및 삽입손실 역시 연속지지 방식이 약 19.7dB 정도 작게 해석 되었다.

<표 2. 차량 및 궤도구조 입력 Data 및 해석결과>

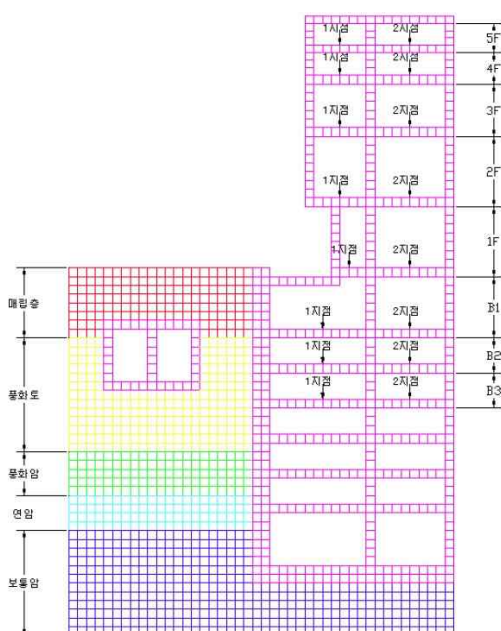
항 목	주요제원 입력 Data		항 목	해 석 결 과	
	방진상	연속지지		방진상	연속지지
차량(축간거리)[m]	2.1	2.1	레일정적변위[mm]	2.680	2.248
곡선최대속도	60km/h	60km/h	레일동적변위[mm]	2.298	1.928
레일종류	KS 60	KS 60	슬래브동적변위[mm]	0.005	0.005
침목간격	0.588mm	0.294mm	방진패드최대압축력[kN]	21.360	12.640
방진패드[kN/mm]	10	5	침목패드최대압축력[N/mm ²]	0.306	0.127

<그림 5. 기존 방진상구조 대비 연속지지모델 진동가속도 및 삽입손실 비교>



또한, 검토 지역의 진동을 파악하기 위해서는 실제 진동을 측정하는 것이 가장 바람직하나 설계단계에서는 불가능하기 때문에 표 3 처럼 단면 모델링을 수행하였고 진동 수준은 아래와 같다.

<표 3. 해석단면 모델링 및 기존 방진상모델 대비 연속지지모델 예측진동 수준>

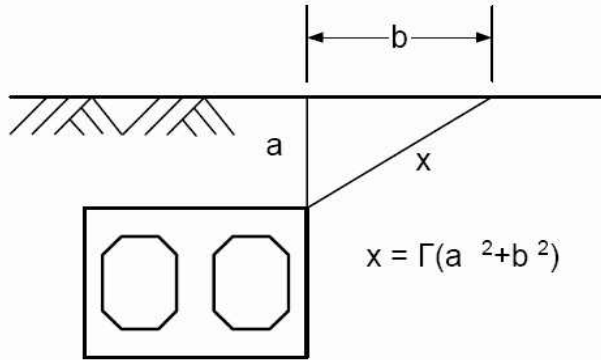


구 분			진동예측 해석결과[dB(V)]			
용도	층	ISO기준	지점	방진상	연속지지	증감
주거	5F	주:57dB(V) 야:54dB(V)	1	64.82	45.79	△19.03
			2	64.60	45.52	△19.08
	4F		1	65.43	46.85	△18.58
			2	65.04	46.61	△18.43
공동생활	3F	63dB(V)	1	66.70	47.62	△19.08
			2	66.32	47.38	△18.94
상가	2F		1	67.07	48.49	△18.58
			2	66.96	48.18	△18.78
주차장	1F	69dB(V)	1	68.97	50.29	△18.68
			2	68.84	50.06	△18.78
	B1		1	70.04	50.48	△19.56
			2	69.63	49.83	△19.80
	B2		1	72.49	50.74	△21.75
			2	72.29	50.32	△21.97
B3	1	72.77	54.11	△18.66		
	2	72.40	53.40	△19.00		

상기 해석 프로그램은 한국철도기술연구원에서 자체개발한 지반진동예측프로그램을 활용하여 5층부터 지하주차장 3층까지 차량의 하중재하에 의한 진동이 지반을 타고 관심대상지역까지 전달되는 경로를 예측하여 진동수준을 해석하였으며, ISO 기준을 모두 만족하는 것으로 해석 되었다.

3.3 소음 예측식에 의한 결과

소음예측은 일본의 경험식을 적용하여 예측소음 값을 구하였으며, 복선 Box 터널의 예측식을 적용하였는데 예측식은 다음과 같다.



- 지표지반의 진동레벨[dB(V)]

$$L = K - 20 \log \frac{X}{3} - 24 \log \frac{Y}{40} + 20 \log \frac{Z}{40}$$

- 지표지반의 고체음레벨[dB(A)]

$$L = K - 10 \log \frac{X}{3} - 24 \log \frac{Y}{40} + 20 \log \frac{Z}{40}$$

X = 터널에서 예측지점까지의 최단거리(m)

Y = 터널 중량(t/m) 40ton/m

Z = 열차속도(km/h) 60km/h

K = 궤도별 K값(최대치)

<그림 6. 복선 Box 터널의 소음예측식 >

예측식에 의한 방진상 궤도구조와 연속지지모델의 소음, 진동레벨은 표 4와 같으며, 상기 표처럼 지표지반 진동레벨식(예측식)에서 나온 결과 값과 지반진동해석(Train_ET) 결과 값을 비교하여 진동결과 값이 유사한가를 확인한 결과 예측식이 해석프로그램 보다 약간 높거나 낮게 나오는 경우가 있으나, 그 범위가 작고 낮은 Peak값 대역에 있어 영향이 적을 것으로 판단된다.

예측식에 의한 진동저감은 약 20.0dB(V) 정도이며, 진동저감에 의한 고체소음은 약 13.0dB(A) 정도 저감되는 것으로 예측되었다. 따라서, 아직 건설되지 않은 주거지역의 소음은 국내 기준의 경우 모두 만족하나 주거지역의 ISO 기준 34~47dB(A)을 적용할 경우 4~5F의 값 초과되어 동 구간의 경우 연속지지 모델일 지라도 건물지하 외부벽체 방진이 수반되어야 함을 알 수 있다.

<표 4. 복선 Box 터널의 예측식에 의한 최대값 Data >

구 분		예측식의 진동값[dB(V)]			예측식의 소음값[dB(A)]			Train_ET/예측식 비교	
용도	층	지점	방진상	연속지지	지점	방진상	연속지지	연속지지(진동)[dB(V)]	
주거	5F	1	65.6	45.6	1	61.0	48.0	45.8	-0.2
		2	64.8	44.8	2	60.7	47.7	45.5	-0.7
	4F	1	66.4	46.4	1	61.4	48.4	46.9	-0.5
		2	65.5	45.5	2	61.0	48.0	46.6	-1.1
공동생활	3F	1	68.6	48.6	1	62.6	49.6	47.6	1.0
		2	67.3	47.3	2	61.9	48.9	47.4	-0.1
상가	2F	1	69.6	49.6	1	63.1	50.1	48.5	1.1
		2	68.0	48.0	2	62.3	49.3	48.2	-0.2
	1F	1	72.8	52.8	1	64.6	51.6	50.3	2.5
		2	69.3	49.3	2	62.9	49.9	50.1	-0.8
주차장	B1	1	74.4	54.4	1	65.5	52.5	50.5	3.9
		2	70.2	50.2	2	63.4	50.4	49.8	0.4
	B2	1	75.1	55.1	1	65.8	52.8	50.7	4.4
		2	70.4	50.4	2	63.5	50.5	50.3	0.1
	B3	1	75.1	55.1	1	65.8	52.8	54.1	1.0
		2	70.4	50.4	2	63.5	50.5	53.4	-3.0

4. 결 론

철도와 근접하여 개발되는 지역의 철도궤도 방진대안으로 침목연속지지 대안설계를 검토한 결과

1. 방진패드 스프링정수를 1/2(10ton/cm→5ton/cm)로 낮추는 대신 지지간격을 연속화(588mm→294mm)하여 궤도 각 부재의 변위량을 제어하면서 응력값은 약 40% 정도 감소되는 것으로 해석되었으며, 연속지지 방식의 진동가속도는 기존의 방진상콘크리트궤도구조 보다 약 19.7dB 정도 작게 해석되어 연속지지방식의 궤도구조가 철도근접구간 궤도방진에 많은 효과가 있는 것으로 해석되었다.

2. 예측식에 의거 6.6m 정도 근접해 있는 동 구간의 진동은 약 20.0dB(V) 정도 저감할 수 있으며, 실제 재건축 건물 내 민원이 발생될 구역의 소음은 약 13dB(A) 정도 저감되는 것으로 예측되어 국내 기준은 만족하나 ISO에서 제시한 주거지역의 34~47dB(A)를 초과해 궤도연속지지 방진 이외에 구조물 외부 벽체 방진을 병행하여야 함을 알 수 있다.

3. 상기 설계는 향후 궤도방진, 외부벽체 및 재개발 완료 후 설계 시 제시된 값과 실제 측정된 값을 비교하여 그 효과를 비교하여 검증하고자 한다.

본 설계 사례는 침목 연속지지 구조의 경우 건설 및 개량비가 기존의 궤도구조 보다 많이 드는 문제가 있으며, 레일교환 등 유지보수 시 추가 비용이 소요될 것으로 판단된다. 그러나, 도심구간 재정비에 맞추어 기존에 운영되고 있는 철도가 도심발전에 어떻게 접근하고 기여할 수 있는가의 새로운 모델로 제시 되었으면 하고 철도주변 개발 시 부정적인 시각에서 친환경 교통수단으로 전환하는 계기가 되었으면 한다.

참고문헌

1. (재)한국건설안전기술원 (2007) 환경진단팀 “국제빌딩주변 지하철 진동영향 평가 보고서”
2. (주)석탑엔지니어링 (2008), “서울메트로 4호선 신용산~이촌역간 R250m 급곡선 구간 궤도방진설계”