

토목섬유로 보강된 철도교대의 경제성 평가

김대상^{*}, 김웅진¹, 성근열², 김학모²

¹한국철도기술연구원 첨단궤도토목본부, ²(주)케이알티씨 구조설계부

Economic Evaluation on Geosynthetic Reinforced Abutment for Railways

Dae Sang Kim^{*}, Ung-Jin Kim¹, Keun-Yeol Sung², Hak-Mo Kim²

¹Advanced Railroad Civil Engineering Division, KRRI

²Department of Structural Engineering, KRRC

요약 본 연구에서는 교대에 작용하는 수평력을 저감시키는 총 11 케이스의 설계에 대한 건설비 분석을 실시하였다. 역T형 교대의 뒤채움재 개선과 토목섬유 보강재를 이용하여 교대를 보강한 철도용 보강 교대(Reinforced Abutment for Railways) 적용을 고려한 2종류의 교대 형식에 대하여 검토하였다. 첫 번째 종류의 경제성 분석에서는 역T형 교대의 배면 뒤채움 재료의 내부 마찰각을 35°에서 40°와 50°로 증가시키는 케이스를, 두 번째 종류의 경제성 분석에서는 토목섬유를 적용한 철도용 보강 교대 설계 케이스에 대한 경제성을 비교 분석하였다. 뒤채움 재료의 개선을 통해 내부 마찰각을 40° 혹은 50°로 적용할 때 교대에 가해지는 수평토압은 하중 조건에 따라 18~48% 까지 감소하였으나 교대 건설 비용 저감효과는 2.0~3.9%로 크지 않았다. 그러나, 철도 교대 구조로서 토목섬유 보강 교대를 적용한 결과 교대에 작용하는 수평력을 이론적으로 0까지 저감시킬 수 있어 교대 벽체 두께, 저판 길이 및 말뚝 기초의 수 및 재질 변경으로 최대 30%까지 건설비 저감 효과가 있는 것으로 검토되었다.

Abstract This study evaluated the construction costs of 11 design cases to decrease the horizontal forces applied to an abutment. They include two kinds of abutment types, which are used to improve the backfill materials for reversed T-shaped abutment and geosynthetic reinforced abutment for railways (RAR). In the first economic analysis, the internal friction angles of the backfill materials were increased from $\Phi=35^\circ$ to $\Phi=40^\circ$ and 50° for a reversed T-shaped abutment. The second analysis examined cases with the design of a geosynthetic RAR. When the friction angles were 40° or 50° after improvement of the backfill material, the reduction in the construction cost of the abutment was not as large (2.0-3.9%), even though the horizontal forces on the abutment were decreased by 18-48%. However, in the case of applying the RAR, a maximum cost reduction of 30% was achieved by decreasing the horizontal force to zero. The cost reduction results from the decreased wall thickness, base slab size, and the number of pile foundations for the abutment, as well as changing the material.

Keywords : Abutment, Backfill Materials, Economic Evaluation, Horizontal forces, Reinforced Abutment for Railway

1. 서론

도로 및 철도 등 긴 구간의 선형구조물을 설계하고 건

설하는 경우 교량과 터널, 토공 노반 구조물을 혼용하여 건설하게 된다. 제한된 SOC 사업비용과 선형조건 및 인근 주민의 요구 등에 대하여 성공적으로 철도 노선을 건

본 연구는 한국철도기술연구원 주요연구사업의 연구비지원(“도심지 철도 선로변면 제거를 통한 용지 활용 기술개발” 연구사업)에 의해 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Dae Sang Kim(KRRI)

Tel: +82-31-460-5305 email: kds@krri.re.kr

Received June 11, 2018

Accepted September 7, 2018

Revised (1st July 4, 2018, 2nd July 9, 2018, 3rd July 13, 2018)

Published September 30, 2018

설하기 위해서는 각 구조물을 적절한 비율로 분배하여 설계하여야 한다. 교대는 교량과 토노반을 연결하기 위해 필요한 구조물로, 콘크리트 구조물인 교량과 토노반 사이의 구조 및 재료 천이구간에 설치되고 지반조건 또한 연약지반에서 양호한 지반의 경계에 위치함으로써 열차 운영 중 접속부구간의 부등침하로 인하여 다양한 유지보수 작업을 필요로 한다.

교대에는 교량 상부구조인 거더를 통하여 전달되는 연직하중과 교대 배면의 수평토압에 대하여 양방향에서 저항해야 한다는 점에서 배면토압에 대해서만 저항하는 구조인 옹벽과는 차이가 있다. 또한, 교대 배면의 토압은 높이 증가에 비례하여 증가하므로, 교대 벽체에 발생하는 전단력은 높이의 제곱에, 모멘트는 높이의 세제곱에 비례하여 빠르게 증가한다. 따라서, 높이가 높아질수록 교대에 작용하는 하중에 충분한 저항 성능을 확보하기 위해 교대를 구성하는 벽체와 지판의 규모를 크게 설계해야하고, 이를 지지하는 말뚝기초의 사용량을 증가시켜야 하므로 고가의 건설비가 필요하게 된다.

김대상 등(2015)[1]은 교대에 작용하는 수평토압과 접속부 침하를 저감할 수 있는 교대구조로 뒤채움부를 선시공하는 보강재 일체형 교대구조인 RAR(Reinforced Abutment for Railways)을 제안하고, 2차원 수치해석을 통하여 접속부 침하, 수평토압 저감 효과를 검토하여 교대 슬립화 가능성을 검토한 바 있다. RAR은 높이의 35% 길이의 짧은 보강재와 기준틀을 이용하여 토공을 선 시공하고, 방치기간을 둔 후 토체의 침하가 수렴되면 강성 전면벽체를 시공하는 RSR(Reinforced Subgrade for Railways)공법을 교대부에 적용한 기술이다(Fig. 1). 교대 벽체에 가해지는 수평토압을 벽체에 고정된 보강재의 인장력으로 상쇄시킴으로서 교대 벽체 및 지판과 기초의 규모를 줄여 교대의 경제적인 설계 및 시공이 가능한 공법으로 평가받고 있다[2].

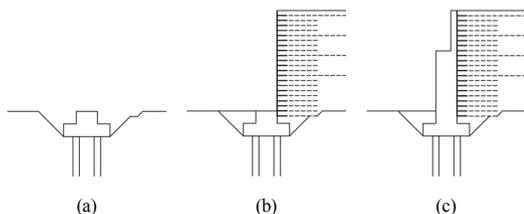


Fig. 1. Procedures to construct RAR[2]
(a) Small foundation, (b) Backfill, (c) Abutment

유사한 해외연구로 Tatsuoka(2004)[3]는 실내실험과 현장 적용 사례를 통해 지오그리드로 보강된 시멘트 처리된 자갈로 뒤채운 교대가 수평변위 저감 효과와 높은 내진 안정성을 가지는 것을 발표한 바 있다. Watanabe 등(2002)[4]은 뒤채움이 보강재로 보강된 교대의 모형진동시험을 수행하여 보강재의 장력이 교대에 유효하게 작용하여 안정성을 유지할 수 있고, 이로 인한 교대 기초 축소의 가능성을 확인하였다. 국내에서도 이일화 등(2014)[5]과 최원일 등(2015)[6]이 토목섬유로 보강된 교대의 수평토압 저감 효과를 발표한 바 있다. 최찬용 등(2016)[7]은 다양한 토압이론을 적용하여 뒤채움재 내부마찰각 변화에 따른 교대 부재력 감소효과를 확인하였으며, 유충현 등(2016)[8]도 뒤채움재의 내부마찰각 변화에 따른 토압 저감에 의한 경제적 효과를 분석한 바 있다.

기존 연구들을 통해 시멘트 처리된 자갈 등 내부마찰각이 높은 재료를 사용하거나 배면토압을 저감시킬 수 있는 토목섬유 보강재로 교대 뒤채움을 실시하게 되면 뒤채움재의 자립성이 향상되고 토압계수는 낮아져 교대에 작용하는 배면 수평토압을 저감시킬 수 있는 것이 확인되었다. 교대에 외력으로 작용하는 배면토압이 저감되면 교대 벽체와 교대를 지지하는 기초도 슬립화할 수 있으므로 경제적인 설계가 가능할 것으로 예상된다. 본 연구에서는 교대배면에 작용하는 수평토압을 저감시키기 위하여 뒤채움재 개선(내부마찰각, $\Phi=35^\circ$, $\Phi=40^\circ$ 와 50°) 및 수평토압 저감이 가능한 RAR 교대구조 적용에 따른 경제적인 효과를 확인하기 위하여 기존 설계기준 적용 시의 수평토압 적용 교대(내부마찰각, $\Phi=35^\circ$)와의 설계결과를 비교, 분석하여 보다 경제적 설계방안을 고찰하였다.

2. 설계 조건

2.1 설계 개요

단선 철도를 가정하여 Fig. 2 및 Fig. 3과 같이 폭 6.0m, 높이 8.0m의 역T형 교대와 RAR을 설계하였다. 기초는 길이 6.5m의 말뚝 20본(4*5)을 설치하는 것으로 설계하였다. 교량 상부구조 형식은 경간장 30m의 PSC Beam을 가정하여 고정하중을 산정하였다. 활하중은 표준열차하중 KRL-2012를 적용하였으며, 철도설계기준에 따라 지진하중, 시·제동하중 및 장대레일 종하중을 고려

인장보강재가 상재하중, 열차하중 및 수평토압의 작용과 반대방향으로 인장 저항하여 벽체에 작용하는 수평력은 상쇄되므로 벽체 수평력의 총 합력은 “0”으로 계산되었다.

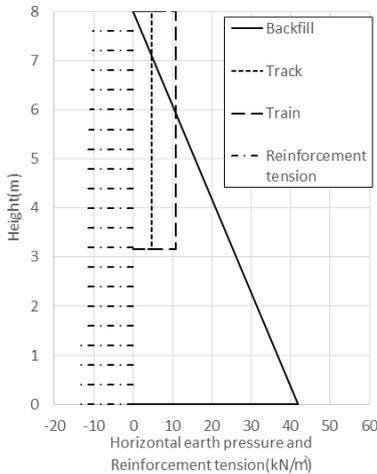


Fig. 5. Results of horizontal earth pressure of RAR depending on heights (For $\Phi = 35^\circ$)

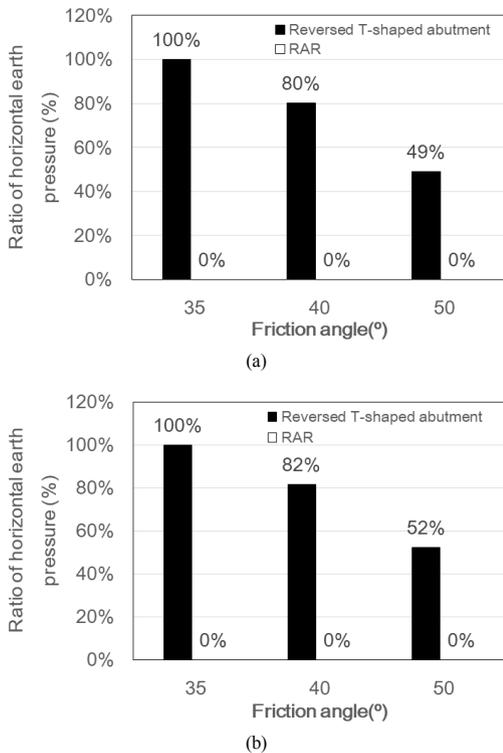


Fig. 6. Horizontal earth pressure (a) Normal (b) Earthquake

3. 설계 결과

3.1 교대 벽체 하단 단면력

교대 벽체 하단에서 발생하는 단면력을 산정한 결과는 Fig. 7과 같다. 역T형 교대에서는 내부마찰각이 50° 로 증가할 때 벽체 하단에서 발생하는 모멘트는 23%, 최대 전단력은 29% 감소하였다. RAR 교대에서는 열차시·제동하중과 장대레일 중 하중에 의해 발생하는 교대 단면력은 역T형 교대(내부마찰각이 35°)와 비교하여 각각 48%와 61%까지 감소하는 것을 확인할 수 있었다. RAR 교대에서는 발생 단면력을 크게 저감시킬 수 있으므로 교대 벽체의 두께 감소가 가능할 것으로 판단되었다.

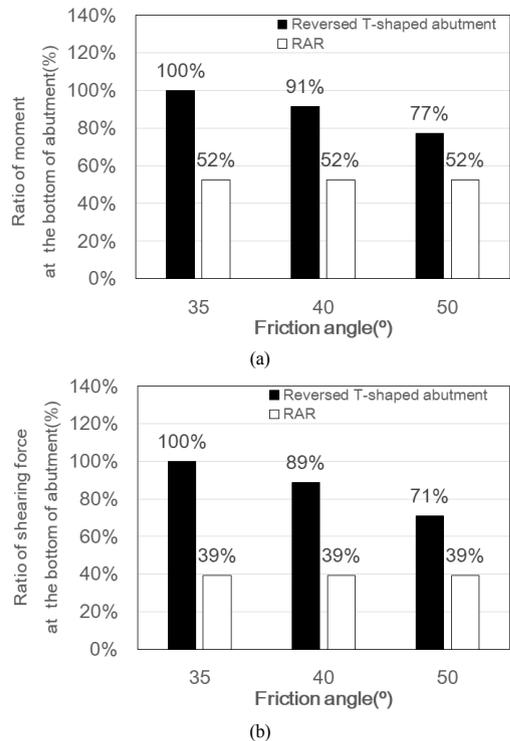


Fig. 7. Section forces at the bottom of abutment (a) Moment (b) Shearing force

3.2 말뚝 부재력

3.2.1 설계 말뚝 본수 적용 시 부재력

같은 조건에서 역T형 교대의 뒤채움재 내부마찰각 변화와 RAR 교대의 말뚝에 발생하는 부재력 변화를 파악하기 위하여 케이스 1과 동일하게 기초의 길이를 6.5m, 말뚝본수를 20본을 적용하여 해석을 실시하였다. 적용 단면은 Fig. 2 및 Fig. 3과 동일하였다.

Fig. 8 및 Fig. 9는 각 케이스별 말뚝의 1본 당 연직 및 수평반력을 산정한 결과이다. 연직반력은 케이스 1과 비교하여 역T형 교대의 뒤채움 내부마찰각을 증가 시키는 경우 정상 시에는 2~4%, 지진 시에는 3~6% 감소, RAR 교대는 6~12%가 감소되는 것으로 나타났다.

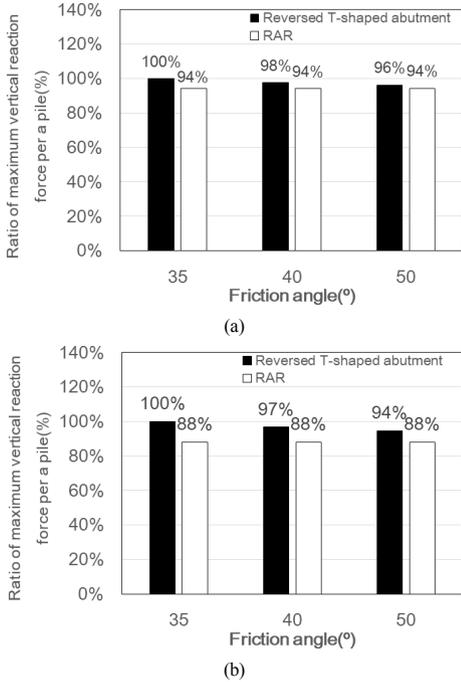


Fig. 8. Maximum vertical reaction forces per a pile (a) Normal (b) Earthquake

연직반력은 연직하중에 지배적인 영향을 받으므로 각 케이스별 연직하중에 차이가 없어서 연직반력 감소효과는 크지 않았다. 수평반력은 작용 수평력에 주로 지배를 받으므로, 역T형 교대에서는 정상시에는 17~45% 감소, 지진 시에는 11~8% 감소, RAR 교대는 정상 시와 지진 시 각각 88%와 60%까지 크게 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 10은 비선형 해석법으로 말뚝 수평변위를 산정한 결과이다. 수평력에 지배를 받는 말뚝 수평변위도 말뚝의 1본 당 수평반력과 동일한 수준으로 크게 감소하는 것을 확인할 수 있었다. RAR 교대에서는 발생 수평변위량이 1.6~6.3mm 수준으로 설계 허용 수평변위인 15mm보다 작게 발생하는 것을 확인하였다. 따라서, 뒤채움 재료 개선 및 RAR 적용에 의해 말뚝의 부재력과 수평변위가 감소하는 것을 확인하였으므로 말뚝 본수 감소가 가능할 것으로 판단되었다.

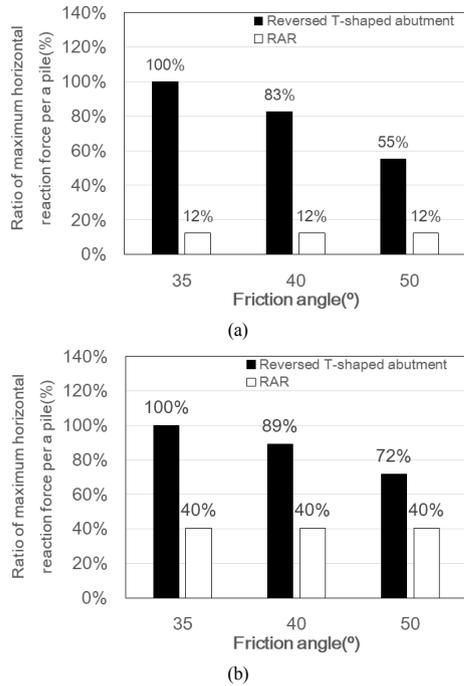


Fig. 9. Maximum horizontal reaction forces per a pile (a) Normal (b) Earthquake

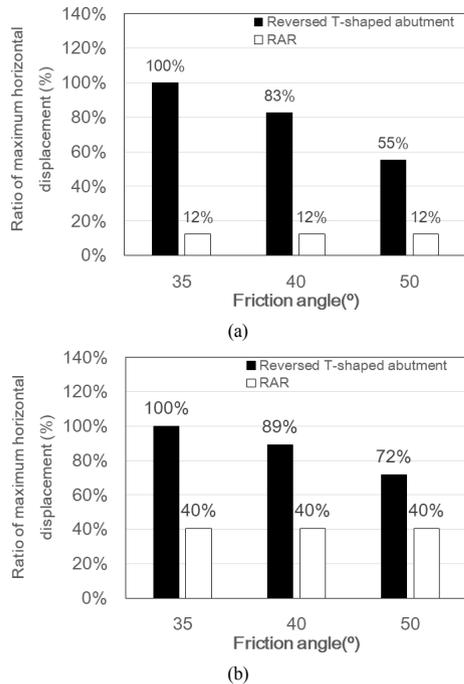


Fig. 10. Horizontal displacements of a pile (a) Normal (b) Earthquake

3.2.2 말뚝 본수 저감 시 부재력

역T형 교대의 내부마찰각 변화와 RAR 교대 적용에 따른 교대 작용 수평력은 크게 저감하여 말뚝에 대한 수평반력과 발생 수평변위가 크게 감소하는 것을 확인하였다. 따라서, 교대 저판 길이 및 말뚝 본수 저감이 가능한 수준을 파악하기 위하여 저판 길이를 5.2m로 축소하고 말뚝 본수를 20본에서 16본으로 20% 저감시켜 해석을 수행하였다. 적용 단면은 Fig. 11과 같고 교대에 작용하는 편심모멘트에 의한 말뚝 연직반력의 증가가 최소화 되도록 앞굽과 뒷굽 길이를 결정하였다.

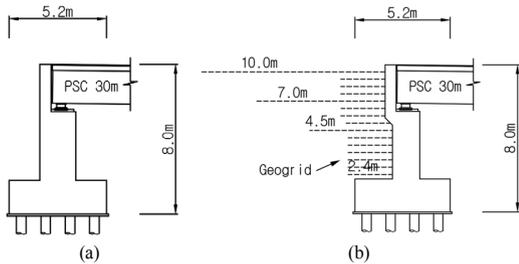


Fig. 11. Cross section for analysis
(a) Reversed T-shaped abutment (b) RAR

Fig.12와 Fig.13은 케이스 1의 말뚝 1본 당 반력으로 타 케이스들의 말뚝 1본 당 반력을 정규화한 결과이다. 역T형 교대의 말뚝 1본당 최대 연직반력은 케이스 1과 비교 시 11~16% 증가하였고, RAR 교대는 3~6% 증가되는 것을 확인하였다. 역T형 교대에서는 내부마찰각을 40°와 50°로 증가 시 말뚝 본수를 줄이면 본 당 연직반력이 11% 이상 증가하므로 말뚝 본수의 저감 가능여부는 지반조건에 따라 달라질 수 있을 것으로 판단된다. RAR 교대에서는 저판길이 및 말뚝 본수를 축소하여도 말뚝 연직반력의 증가가 작으므로 말뚝 본수의 20% 저감이 가능할 것으로 판단되었다.

최대 수평반력은 역T형 교대에서는 내부마찰각 40°의 케이스에서는 3~6% 증가되었으나, 50°의 케이스에서 15~31% 감소하였다. RAR 교대에서는 정상 시 85%, 지진 시 54% 감소효과를 보여 말뚝 본수의 20% 저감이 가능할 것으로 판단된다.

Fig. 14는 저판규모를 축소하여 설계한 케이스별 말뚝 수평변위를 산정한 결과이다. 수평력에 지배를 받는 말뚝의 수평변위도 수평반력과 동일한 결과를 보여 말뚝 수평변위 측면에서도 RAR 교대에서는 말뚝 본수 저감이 가능할 것으로 판단되었다.

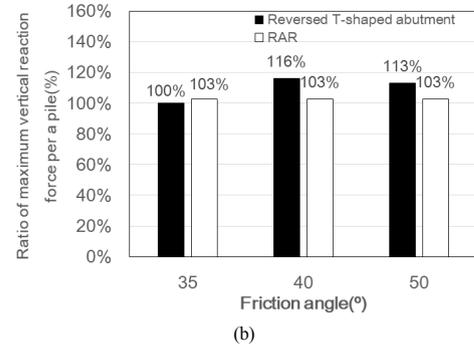
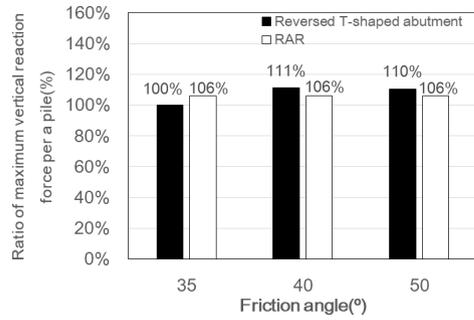


Fig. 12. Maximum vertical reaction force per a pile
(a) Normal (b) Earthquake

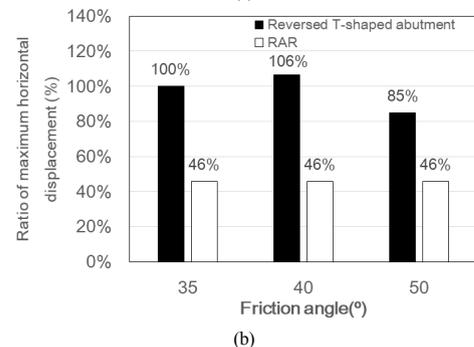
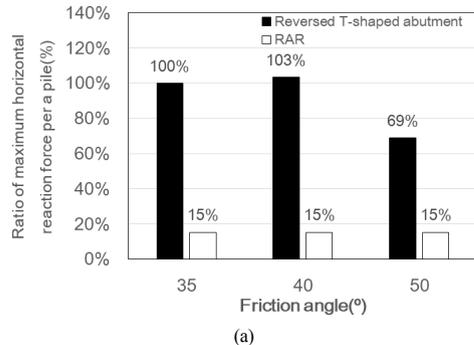


Fig. 13. Maximum horizontal reaction force per a pile
(a) Normal (b) Earthquake

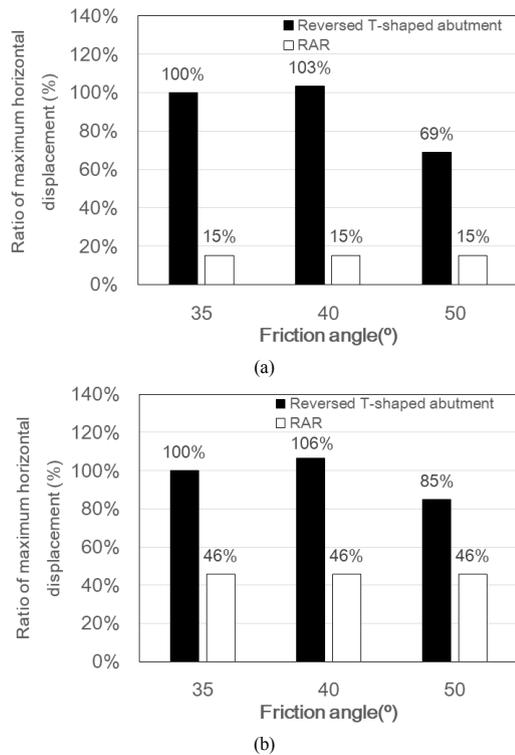


Fig. 14. Horizontal displacement of a pile
(a) Normal (b) Earthquake

3.3 교대 기초의 PHC 말뚝 적용성 검토

일반적으로 철도 교대는 수평력이 크게 작용하는 구조물로 기초로 강관말뚝으로 설계하고, 교각은 교대와 비교하여 상대적으로 수평력이 작아 PHC말뚝으로 설계하고 있다. 앞 절의 검토 결과로부터 내부마찰각이 증가하거나 RAR 교대와 같이 보강재를 설치하는 경우 교대에 작용하는 수평력을 크게 저감시킬 수 있을 것으로 판단되어 교대 기초로서 경제성 측면에서 유리한 PHC말뚝 사용을 검토하였다. 고려 말뚝 제원은 강관말뚝 Φ 508-12mm과 PHC말뚝 Φ 500-80mm이다. 처판길이와 말뚝 본수를 저감시킨 케이스와 저감하지 않은 케이스에 대한 말뚝발생응력을 검토하였다. 강관말뚝 적용 시 응력 검토 결과는 Table 3과 같다. 모든 케이스에서 말뚝에서의 발생 휨압축응력과 전단응력은 허용 값 이하였으며, 특히 RAR 교대에서는 발생응력이 허용 값 보다 매우 작음을 확인할 수 있었다.

PHC 말뚝 적용 시 발생응력 검토 결과는 Table 4와 같다. PHC 말뚝은 휨 인장을 허용하지 않고 허용 전단력이 강관말뚝에 비해 매우 낮은 값을 가지므로 역T형 교대에서는 적용이 어려운 것으로 판단되었다. RAR 교대에서는 말뚝에 휨 인장응력이 발생하지 않으며, 전단응력도 허용 값 이하이므로 PHC 말뚝 적용이 가능할 것으로 판단되었다.

Table 3. Stresses on steel pipe piles (Units : MPa)

Friction angles(°)	Abutment types	Base slab lengths(m)	Normal				Earthquake			
			Bending stress	Allowance level	Shear stress	Allowance level	Bending stress	Allowance level	Shear stress	Allowance level
35	Reversed T-shaped abutment	6.5	116	140	12	80	164	217	21	124
		5.2	53		2		97		10	
45	Reversed T-shaped abutment	6.5	103		10		151		19	
		5.2	120		13		168		23	
50	Reversed T-shaped abutment	6.5	84		7		132		16	
		5.2	96		9		145		19	
35	RAR	6.5	53		2		97		10	
		5.2	58		3		103		11	
45	RAR	6.5	53		2		97		10	
		5.2	58		3		103		11	
50	RAR	6.5	53		2		97		10	
		5.2	58		3		103		11	

Table 4. Stresses on PHC piles (Units : MPa)

Friction angles(°)	Abutment types	Base slab lengths(m)	Normal				Earthquake			
			Bending stress	Allowance level	Shear stress	Allowance level	Bending stress	Allowance level	Shear stress	Allowance level
35	Reversed T-shaped abutment	6.5	-5.4	0.0	1.8	1.2	-11.3	0.0	3.1	1.7
	RAR	6.5	6.4		0.3		0.5		1.4	
		5.2	6.4		0.4		1.0		1.6	
45	Reversed T-shaped abutment	6.5	-3.1		1.5		-8.9		2.7	
		5.2	-5.3		1.8		-11.4		3.3	
	RAR	6.5	6.4		0.3		0.5		1.4	
		5.2	6.4		0.4		1.0		1.6	
		6.5	0.6		1.0		-5.5		2.3	
50	Reversed T-shaped abutment	5.2	-0.7		1.3		-6.6		2.7	
		RAR	6.5		6.4		0.3		0.5	
	5.2		6.4		0.4		1.0		1.6	
	6.5		0.6	1.0	-5.5	2.3				

* Bending stresses : (-)Tensile, (+)Compression.

Table 5. Construction costs (Units : 10,000 won)

Abutment types	Friction angles (°)	Abutment	Piles	Backfills		Total construction costs	Items of cost down
				Gravel	Geogrid		
Reversed T-shaped abutment	35	4,977	6,760	2,414	-	14,151	By design code
Reversed T-shaped abutment	40	4,706	6,760	2,414	-	13,880 ▼2.0%	▼ 10% (Wall thickness)
Reversed T-shaped abutment	50	4,435	6,760	2,414	-	13,610 ▼3.9%	▼ 20% (Wall thickness)
RAR	-	3,860	3,016	2,414	612	9,902 ▼30.0	▼ 20% (Wall thickness) ▼ 20% (Base slab length) ▼ 20% (No. of piles) ▼ Application of PHC piles

4. 공사비 비교 분석

상기 해석결과로부터 역T형 교대와 RAR교대의 공사비를 비교 분석한 결과는 Table 5와 같다. 역T형 교대는 뒤채움재의 내부마찰각 증가를 통한 교대 건설비용 감소는 2.0~3.9%로 크지 않았다. 이는 벽체 단면축소만 가능하고 말뚝 본수 저감과 재질 변경은 어려웠기 때문이었다. RAR 교대는 교대 벽체 두께 감소와 지판 길이 저감, 말뚝 본수 저감 및 말뚝 기초 재질을 PHC로 변경하여 최대 30%(4,249/14,151)까지 건설비 저감 효과가 있

는 것으로 검토되었다.

5. 결론

본 연구에서는 경제적인 교대 설계의 방법으로 역T형 교대의 뒤채움재 개선과 RAR 교대 적용을 고려한 총 11 케이스에 대한 설계 검토 결과를 토대로 경제성 분석을 실시하였다. 각 케이스별로 수평토압을 산정하고 교대 벽체 하단 단면력 산정을 통한 두께 저감, 말뚝 부재

력 평가를 통한 말뚝 본수 저감, 교대 기초의 PHC 말뚝 적용 가능성에 대한 검토를 수행하였다. 검토 결과를 기존의 설계기준에 따라 설계한 교대와 비교, 분석하여 교대의 경제적 설계방안을 고찰한 결론은 다음과 같다.

- 1) 역T형 교대의 뒤채움 재료의 개선을 통해 내부마찰각을 40° 혹은 50°로 적용하는 케이스에서 수평 토압은 평상 시 20%와 51%로, 지진 시 18%와 48% 감소시킬 수 있는 것을 확인하였다. 그러나 이를 통한 교대 건설비용 저감은 2.0~3.9%로 크지 않았다. 역T형 교대에서는 벽체 단면축소만 가능하고 말뚝 본수 저감과 재질 변경은 어려웠기 때문이었다.
- 2) RAR교대를 적용하면 교대 배면의 수평토압을 이론상 0으로 저감할 수 있으므로, 벽체 두께 감소와 지판 길이 저감, 말뚝 본수 저감 및 PHC 말뚝기초로의 재질 변경을 통하여 최대 30%까지 건설비 저감 효과가 있는 것으로 검토되었다.
- 3) 이론적으로는 벽체에 가해지는 상재하중 및 토압에 의한 수평력과 인장보강재에 의한 수평력의 합력은 "0"으로 가정할 수 있으나, 과거 다양한 실험과 검토로부터 10~20% 수준의 수평력은 작용할 것으로 판단되므로, 향후 현장시험 등을 통한 이에 대해서는 추가적인 확인이 필요할 것이다.

References

- [1] D. S. Kim, R. G. Jeong, "A study on Response Characteristics for the Reinforced Abutment for Railroads by Numerical Analyses", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.16, No.11, pp.7949-7956, 2015.
DOI: <https://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.11.7949>
- [2] U. J. Kim, R. G. Jeong, D. S. Kim, "Evaluation of Behaviors in Abutment Transition Zone Depending on Construction Orders and Number of Piles", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.18, No.1, pp.1-7, 2017.
DOI: <https://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.1.1>
- [3] F. Tatsuoka, "Cement-Mixed Soil for Trans-Tokyo Bay Highway and Railway Bridge Abutments", *Geotechnical Engineering for Transportation Projects*, pp.18-76, 2004.
DOI: [https://dx.doi.org/10.1061/40744\(154\)2](https://dx.doi.org/10.1061/40744(154)2)
- [4] K. Watanabe, M. Tateyama, T. Yonezawa, H. Aoki, F. Tatsuoka, J. Koseki, "Shaking Table tests on a new type bridge abutment with geogrid-reinforced cement treated backfill", *Proc. of 7th International Conference on Geosynthetic Society*, Vol.1, pp.119-122, 2002
- [5] I. W. Lee, W. I. Choi, K. H. Cho, K. M. Lee, K. C.

Min, "Real-scale Accelerated Testing to Evaluate long-term Performance for Bridge/Earthwork Transition Structure Reinforced by Geosynthetics and Cement Treated Materials", *Journal of the Korean Society for Railway*, Vol.17, No.4, pp.251-259, August, 2014.
DOI: <https://dx.doi.org/10.7782/JKSR.2014.17.4.251>

- [6] W. I. Choi, J. Y. Kim, K. H. Cho, S. C. Lee, "Assesment of Long Term Stability of Railway Bridge Abutment Using Geosynthetics Tube", *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol.15, No.2, pp.151-158, 2015.
DOI: <https://dx.doi.org/10.9798/KOSHAM.2015.15.2.151>
- [7] C. Y. Choi, H. K. Kim, S. B. Yang, B. I. Kim, "Stability of Railway Bridge Abutment with Earth Pressure and Internal Friction Angle of Backfill", *Journal of the Korean Society for Railway*, Vol.19, No.6, pp.765-776, 2016.
DOI: <https://dx.doi.org/10.7782/JKSR.2016.19.6.765>
- [8] C. Yoo, C. Choi, S. Yang, Y. Park, "Comparison of Construction Cost and External Stability of Railway Abutment wall with Friction Angle of Backfill Materials", *Journal of Korean Geosynthetics Society*, Vol.15, No.3, pp.67-76, September, 2016.
DOI: <https://dx.doi.org/10.12814/jkgss.2016.15.3.067>
- [9] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Railway design standard for roadbed", Korea Railway Network Authority, Chapter 8, pp.54-60, 2015.

김 대 상(Dae Sang Kim)

[정회원]



- 1991년 2월 : 서울대학교 대학원 자원공학과 (공학석사)
- 2000년 3월 : 동경대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2000년 4월 ~ 2002년 6월 : 서울대학교 지진공학연구소 연구원
- 2002년 6월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 책임연구원

<관심분야>

지반공학, 궤도토목

김 응 진(Ung-Jin Kim)

[정회원]



- 2010년 2월 : 성균관대학교 대학원 건설환경시스템공학과 (공학석사)
- 2014년 9월 ~ 현재 : 과학기술연합대학원대학교 철도시스템공학과 박사과정
- 2014년 9월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 UST연구생

<관심분야>

지반공학, 궤도토목

성 근 열(Keun-Yeol Sung)

[정회원]



- 1991년 2월 : 한국과학기술원 (KAIST) 토목공학과 (공학석사)
- 1991년 2월 ~ 1998년 10월 : SK 건설(주)
- 1998년 10월 ~ 현재 : (주)케이알티씨

<관심분야>
철도구조설계

김 학 모(Hak-Mo Kim)

[정회원]



- 2003년 2월 : 강릉대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2003년 3월 ~ 2009년 3월 : 동림 컨설턴트
- 2009년 3월 ~ 현재 : (주)케이알티씨

<관심분야>
철도구조설계