

부직포 보강벽의 설계법에 따른 비용분석

Cost Analysis of Nonwoven-geotextile Reinforced Walls with Various Design Methods

안홍준¹⁾, Hong-Jun An, 김은라²⁾, Eun-Ra Kim, 김유성³⁾, You-Seong Kim

¹⁾전북대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Chonbuk National Univ.

²⁾전북대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Chonbuk National Univ.

³⁾전북대학교 토목공학과 조교수, Assistant Professor, Dept. of Civil Engineering, Chonbuk National Univ.

SYNOPSIS : Geotextile reinforced soil wall construction methods have many advantage both economically and technically in the sense that poor soil can be used and space can be minimized compare with conventional construction methods, such as general embankment or T-shaped retaining wall. Furthermore, reinforced soil wall construction methods provide other indirect savings and conveniences, such as speedy construction time, ease in construction methods, etc.

In this presentation, a systematic method of determining the cost of reinforced soil walls by different design methods is described, and an estimate of cost breakdown is discussed on the basis of height of the walls, required length of geotextile, transportation distance of backfill soil and construction space in the sense of comparing with various construction methods.

KEYWORDS : Geotextile, Cost estimate, Reinforced soil, Cost breakdown

1. 서론

지오텍스타일을 이용한 보강성토공법은, 성토재를 보강하므로 급경사성토(보강토벽)가 가능하여 개발면적의 최소화와, 종래 성토재로서 이용할 수 없었던 현재발생토(점성토 또는 점성의 풍화화강토)를 유용 및 중력식옹벽등에서 필요한 파일등 기초공사의 생략을 기대할 수 있다. 이러한 특징으로부터 최대의 장점은 종래의 공법과 비교하여 공사비의 절감, 공기단축 및 충실한 다짐시공의 확보로 양질의 성토체의 구축을 도모할 수 있다는 것이다. 그러나 실제로 특정공사에 대한 설계시 일반성토공법, 콘크리트옹벽 및 보강토옹벽중 어느 것이 유리한가 하는 것을 결정하는 것은 매우 중요한 사항인 동시에 그 판단이 매우 어려울 경우도 있을 수 있다. 예를 들어 시가지에 인접한 특정지역에서 토지확보가 어려운 경우에는 콘크리트 옹벽이나 보강토벽에 대해, 토지확보가 가능할 경우에는 상기 각공법에 대한 경제성, 안전성, 시공가능성, 성토재료의 확보 및 공기등의 제반사항을 고려하여 결정할 필요가 있기 때문이다. 상기한 바와 같이 일반적으로 토지확보가 어렵거나, 토지비용이 과다할 경우 또는 양질의 성토재료의 확보가 불가능할 경우 보강토벽의 검토가 필연적으로 따르게 되나, 합리적인 결론을 얻기 위하여는 최종적으로 기술적검토에 이어 상대적인 비용검토분석이 이루어져야 한다.

2. 검토대상 모델 및 조건

경제성분석의 기초적 공사비검토를 위해, 급경사 성토체 구축<Fig.1>을 비롯한 3가지 모델(보강토 옹벽, 역T형옹벽, 성토)에 대해 '97표준폰셈과 '97정부노임단가를 적용하여 이윤, 일반관리비등의 간접경비를 제외한 총공사비(성토폭10m당, 길이1m당 단가)를 보강재의 강성, 뒷채움재료등 제여건을 고려하여 위의 보강재 종류, 배치조건 등에 따른 해석적 검토결과를 이용하여 산출 비교하였다. 설계를 위한 해석은 다음 <표-1>과 같은 조건을 설정하여 안정해석 후 총 소요보강재길이를 산정하였다.

<표-1> Analysis case

높이 H		3m ~ 20m		비고
성토재료 (backfill)	점성토	$\phi = 30^\circ$	$c=0, 5t/m^2, 10t/m^2$	
	사질토	$\phi=30 \sim \phi=40$		
지반재료 (ground)	제1층	$\phi = 0^\circ$	$c=10t/m^2$	
	제2층	$\phi = 0^\circ$	$c=10t/m^2$	
지하수위(water table)		GL:-1m, GL:0m, GL:within embankment		
하중(load)		도로: 활하중 $1t/m^2$		
보강재 종류 또는 강성		3t/m(nonwoven), 6t/m(geogrid) 3t/m + 6t/m(nonwoven과 geogrid의 교호사용)		
해석방법		일본철도연구소방법 (RRR method)	미국 Delaware 대학 Leshchinski 방법	일본토목연구소방법 (PWRI method)

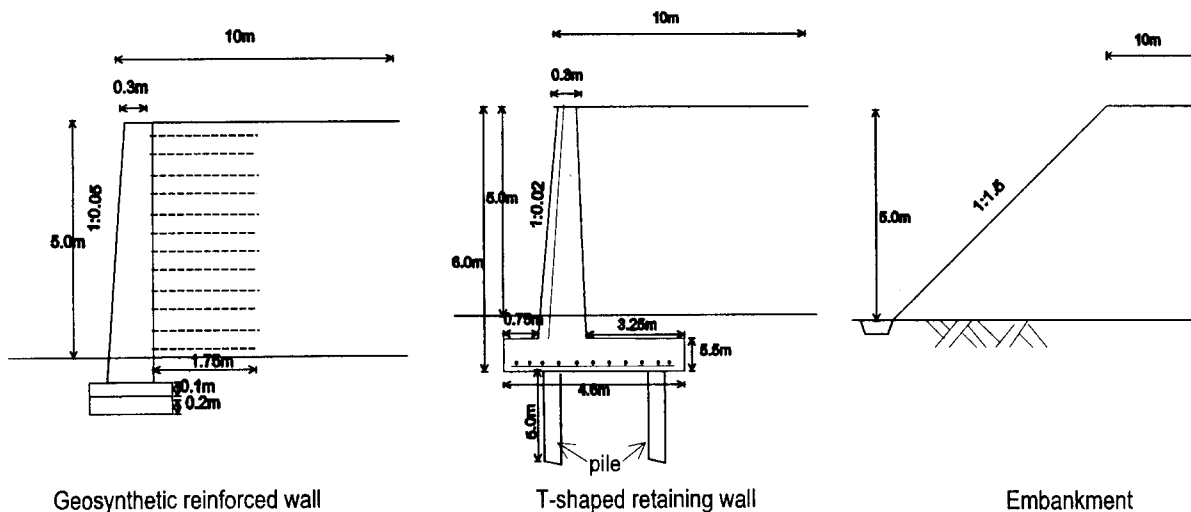


Fig. 1 Model case in construction cost analysis

3. 비용분석 및 비교

3.1 각종 공법 · 설계법에 따른 공종별 비용분석

Fig.2는 성토재료의 운반거리를 10km로 하였을 경우, 역T형 철근콘크리트 옹벽의 벽높이에 따른 총공사비 및 공종별 공사비 변화추이를 따라 나타낸 것이다. 그림에서 기본적으로 벽높이가 증가할수록 총공사비는 증가하고, 또 그 증가경향도 점점 커지고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 공사비증가 추세의 상승원인은 총공사비를 이루고 있는 운반비, 파일기초공, 토공 및 콘크리트구조물공의 각공종별 공사비 증가추세로 유추할 수 있다. 즉 운반비, 토공, 파일공은 거의 직선적인 증가추세를 보이는 반면, 콘크리트구조물공의 증가추세는 점점 상승하고 있어, 이 콘크리트구조물공이 총공사비 증가경향 상승의 주요인이 됨을 알 수 있다.

Fig.3은 일반성토구조물의 벽높이에 따른 총공사비 변화추이를 성토재료의 운반거리는 10km, 또

콘크리트옹벽과 같은 급경사구조로 하였을 경우와 비교하여 추가로 소요되는 토지매입비용을 고려하여 나타낸 것이다. 이 그림에서 토지매입비용은 m^2 당 3만원, 6만원을 비교하고 있다. 그림에서 위의 3선은 토지매입비의 증가에 따른 소요공사비의 증가 추이를 나타내고 있는데, 벽높이의 증가에 따라 그 증가추이는 점차 커지고 있다. 이와 같은 증가경향은 총공사비를 운반비, 추가토지보상비, 토공 및 콘크리트구조물공의 각공종별 비용의 부담추이를 비교하면 운반비의 비중이 타공종에 비해 월등히 크고 또한 벽고의 증가에 따라 운반비의 증가추세가 다른 비용에 비해 상승하고 있다는 것에 기인함을 알 수 있다. 한편 토지비용의 증가가 총공사비의 증가추세에 미치는 영향은 이 그림을 통해 직선비례적임을 알 수 있다.

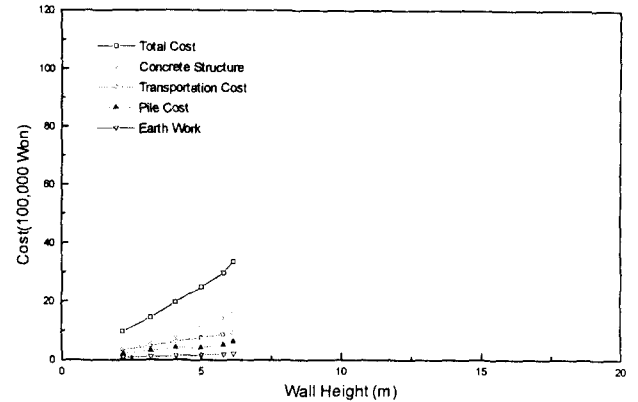


Fig. 2 Detailed Cost with T-shape Retaining Wall Height

Fig.4(a)는 보강토벽의 벽높이에 따른 총공사비 변화추이를 운반비를 제외한 경우와 운반비를 고려한 경우로 구분하여 각설계법(RRR방법, Leshchinsky방법, PWRI방법)에 따라 나타낸 것이다. 그림에서 다음과 같은 사항을 알 수 있다.

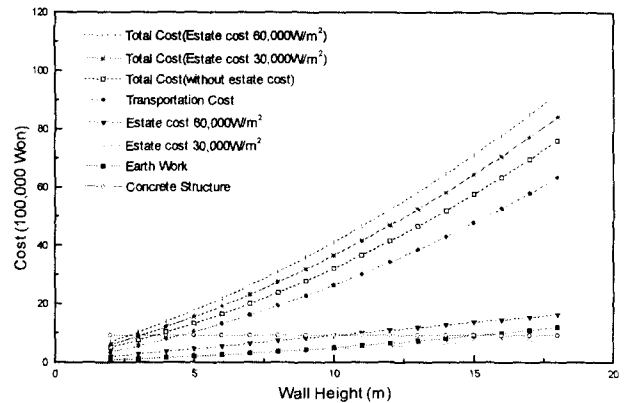


Fig. 3 Detailed Cost with Embankment Height

- 전체적으로 벽높이가 10m까지는 총공사비가 각설계법에서 공통적으로 직선적 증가를 보이나, 벽높이가 10m이상이 되면 총공사비 증가추세가 커지고 있다. 이것은 Fig.4(b)에서 알 수 있듯이 벽고의 증가에 따라 총소요보강재길이가 크게 증가하여 보강재부설공의 비용의 증가가 주요인이 되고 있다.

- 총소요공사비는 전체적으로 벽높이가 10m 이하에서는 RRR방법이 다소 크게 나타나고 있거

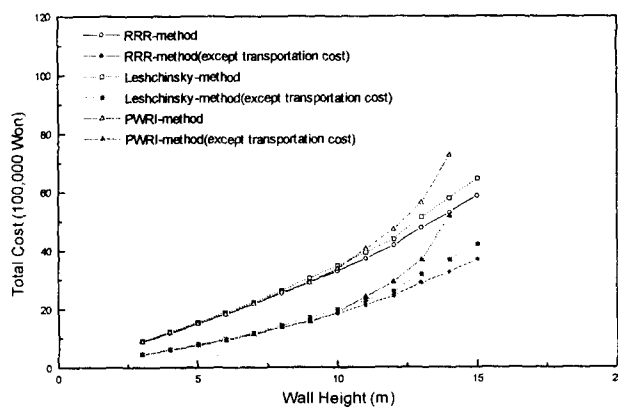


Fig. 4(a) Required Cost with Geosynthetic Reinforced Wall Height

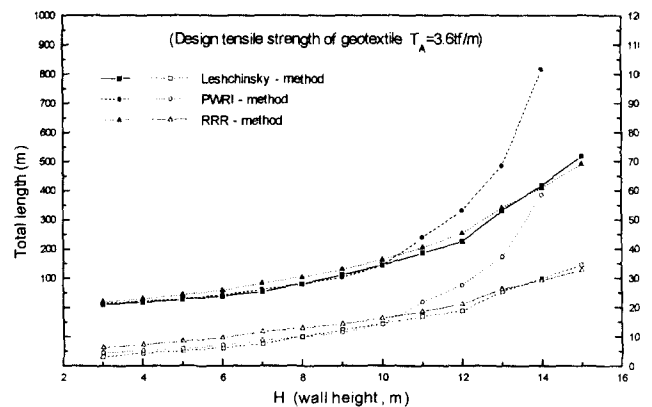


Fig. 4(b) Required Geosynthetic Length with Wall Height

나 거의 유사하나, 벽고가 그 이상으로 높아질수록 PWRI방법에서는 증가경향이 크게 커지고 있고, Leshchinsky방법과 RRR방법은 PWRI방법보다는 상승추세가 상당히 작게 나타나고 있다.

Fig.4(c)는 Fig.4(a)에 대하여 대표적으로 RRR 방법에 대해 소요비용을 토공, 벽면공, 흩운반공, 보강재부설비용으로 나누어 비교한 것으로서, 이 그림에서 보강토공법 총공사비용중 대부분이 보강재부설공과 흩운반공이 차지하고 있음을 알 수 있다. 따라서 현장발생토를 사용할 수 있다면 벽높이 10m이하의 경우는 대략적으로 1/2정도, 벽높이 10m이상일 경우는 크게(이 경우 즉 운반거리 10km의 경우는 약1/3정도)의 공사비를 경감시킬 수 있음을 알 수 있다. 각설계법간의 소요공사비 차이는 주로 보강재와 벽면공비용에 좌우되고 있는데, PWRI방법에서는 벽높이 10m이상의 경우 타설제법에 비해 보강재소요길이의 증가로 보강재부설공의 비용이 크게 증가한다.

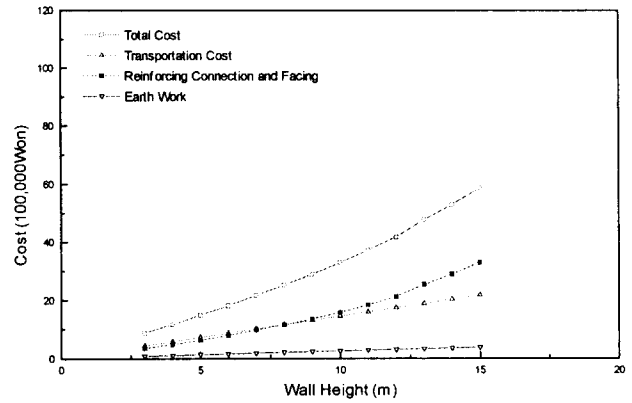


Fig. 4(c) Detailed Cost with Wall Height(RRR-method)

3.2 일반성토, T형옹벽 및 보강토벽 비용 비교 분석

Fig.5(a)~Fig.5(c)는 위에서 검토한 각각의 공법 및 설계방법에 의한 결과를 종합적으로 비교한 그림으로 벽높이의 변화에 따른 각공법 및 방법에 의한 총소요공사비를 나타내고 있다.

Fig.5(a)는 운반비를 포함한 경우(RRR방법은 제외)를 비교한 것으로 보강토벽의 경우에 운반비를 고려한다고 하더라도 토지비용이 30,000원/m²이상의 경우에는 경제적인 측면에서 설계법의 차이에 관계없이 종래의 공법(성토 또는 콘크리트옹벽공)에 비해 보강토공법의 우월성을 명확히 알 수 있다. 만일 보강토벽공법에서 현장유용토를 이용하여 운반비를 고려하지 않아도 될 경우는 보다 경제적인 효과를 제고할 수 있음을 --|--로 표기된 RRR방법의 운반비를 제외한 경우로부터 쉽게 유추할 수 있다. 또한, T형옹벽의 경우는 모든 경우(파일포함 유무)에서 보강토벽에 비해 비경제적임을 보여주고 있다.

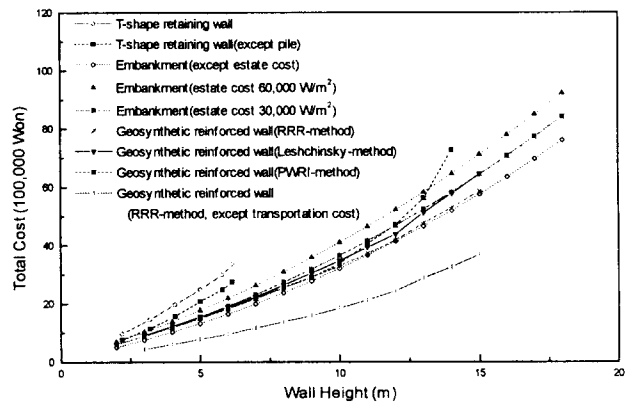


Fig. 5(a) Required Total Cost with Wall Height

Fig.5(b)는 Fig.5(a)의 각각의 공법 및 설계방법에서 운반비를 제외한 것으로, 다음과 같은 사항을 알 수 있다.

- 벽높이가 10m이하일 경우, 토지비용이 8만원/m²이하의 경우(···*···선)에는, 성토재료의 현장유용이 가능하여 성토재료운반비가 제외된다면 일반성토공법이 유리하다고 할 수 있으나, 운반비가 제외된다고 하더라도 소요토지비용이 8만원/m²이상일 경우에는 일반성토시의 성토운반비를 고려하지 않더라도 보강토벽이 경제적이다.

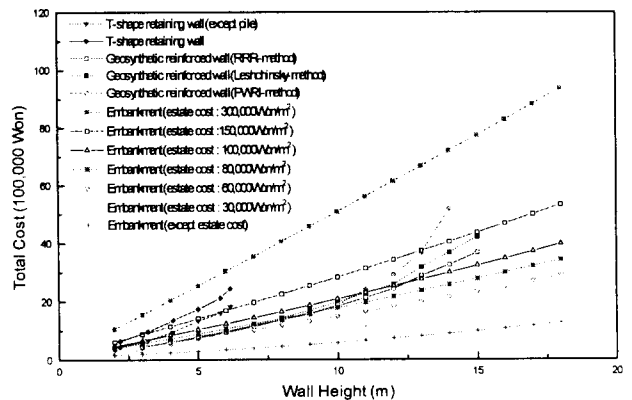


Fig. 5(b) Required Total Cost with Wall Height(except transportation cost)

- 그러나 벽높이가 10m이상일 경우에는 각 설계방법 공히 보강토벽의 총비용증가 추세가 일반성토공

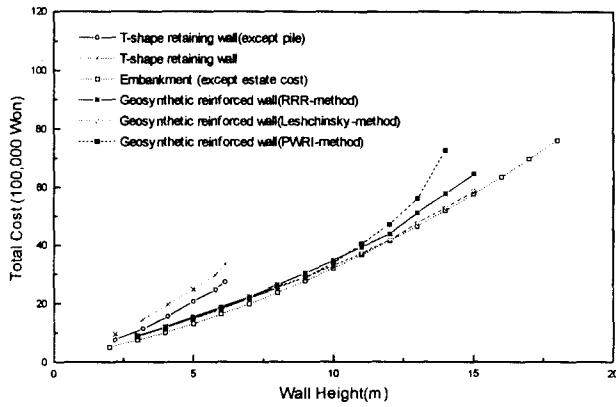


Fig. 5(c) Required Total Cost with Wall Height(except estat cost)

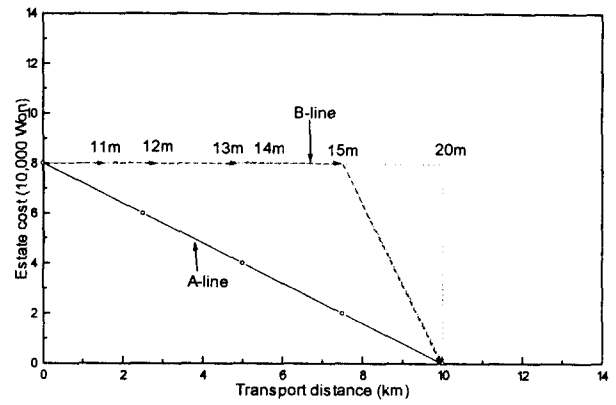


Fig. 6 Economical Limit Range of General Embankment Method

법의 총비용증가추세보다 커져 증가추세정도는 일반성토공법에서 토지비용이 30만원/m²의 경우와 유사하게 된다. 이와같은 사항에 대하여는 아래에서 상세히 분석된다.

- T형옹벽의 경우는 모든 경우에서 보강토벽에 비해 비경제적임을 보여주고 있다.

Fig.5(c)는 Fig.5(a)에서 일반성토공법의 추가토지비용을 제외한 것으로 이 경우의 운반거리는 모두 10km를 상정하고 있다. 그림에서 벽높이가 10m이하 까지는 대략적으로 일반성토공법과 보강토벽의 소요공사비가 유사함을 알 수 있다. 따라서 성토재료운반거리가 대략적으로 10km미만의 경우에는, 가령 추가토지확보비용이 생략된다고 할 때 일반성토공법이 유리하다고 할 수 있으나, 성토재료의 운반거리가 10km이상의 경우는 일반성토공법에서 추가토지비용을 고려하지 않더라도 보강토벽공법이 경제적이라는 것을 알 수 있다.

Fig.5(a)~Fig.5(c)와 Fig.5(b)에 대해 운반거리를 2.5km, 5km, 7.5km, 10km로 증가시켰을 경우, 일반성토에서 추가토지비용 변화에 따른 총소요비용과 보강토벽과의 총소요비용을 비교하여 다음과 같은 방법으로 정리하면 Fig.6과 같은 그림을 얻을 수 있다.

- 벽높이 10m이하에서 운반비용을 고려하지 않았을 경우, 일반성토공법이 유리할 수 있는 상황은 토지비용이 8만원/m²이하일 경우에만 해당한다(Fig.5(b)).

- 벽높이 10m이하에서 토지비용을 고려하지 않았을 경우, 일반성토공법이 유리할 수 있는 상황은 운반거리가 10km이내일 경우에만 해당한다(Fig.5(c)).

- 벽높이 10m이하에서 각각의 공법·설계법에서 운반거리를 2.5km로 하였을 경우 일반성토공법이 유리할 수 있는 토지비용의 하한선은 6만원/m²임을 알 수 있었다.

- 같은 방법으로 벽높이 10m이하에서 운반거리를 5km, 7.5km로 하였을 경우 일반성토공법이 유리할 수 있는 토지비용의 하한선은 각각 4만원/m², 2만원/m²임을 알 수 있었다.

위의 내용을 정리하여 나타낸 것이 Fig.6의 A-line이다. 즉 Fig.6은 운반비와 추가토지소요비용을 고려할 때 일반성토공법이 유리할 수 있는 한계영역을 나타낸 것으로, A-line은 벽높이가 10m미만의 경우 일반성토공법이 보다 경제적이 될 수 있는 최대한계영역을 의미한다. 단, 이영역은 보강토벽공법에서는 현장유용성토가 가능하고 일반성토공법에서는 현장유용토의 사용이 불가능할 경우에는 운반거리축(횡축)을 따라 원점까지 감소되어 간다.

Fig.5(b)에서 벽높이가 10m이상일 경우에는 일반성토에 비해 보강토벽 소요공사비용의 증가추이가 증가함에 따라 Fig.6의 A-line으로 규정되는 영역은 다소 확장된다. Fig.5(b)에서 벽높이 10m이상의 보강토벽의 평균증가추세 기울기는 $a=5.2 \times 10$ 만원/m로서 일반성토에서 토지비용 30만원/m²의 경우와 대략적으로 일치하고 있다. 벽높이 10m이하의 보강토벽의 증가추세 기울기는 이 보다 작은 $b=1.8 \times 10$ 만원/m이다. 따라서 보강토벽의 총공사비용은 벽높이가 10m이상이면 이 기울기의 차 $(a-b) \times H$ (벽높이) 만큼 증가경향을 보이게 된다. 이 증가경향에 따른 비용을 벽높이의 증가에 따라 일반성토에서 운

반거리의 증가에 따른 비용으로 환산하여 표시하면 B-line상에 놓이게 되고 B-line상에 표시된 숫자는 벽높이를 의미한다. 즉 벽높이 20m까지를 고려하면 일반성토가 유리할 수 있는 영역은 토지비용 8만원/m², 운반거리 10km를 상정한 총소요비용영역으로 간주할 수 있다. 환언하면 폭1m당 성토비용이 이영역의 최대비용을 상회할 경우, 어떠한 경우에도 보강토벽 공법이 경제적이라는 결론을 얻을 수 있다.

Fig.7(a)~Fig.7(c)는 일반성토 및 T형옹벽에 대한 보강토벽의 경제적 효과를 나타낸 것으로 경제적 효과를 나타내는 지표로서 다음과 같이 일반성토에 대한 효과는 1)식으로, T형옹벽에 대한 효과는 2)식과 같다.

$$E_{rE} = 1 + (C_E - C_R) / C_R \quad \text{-----1)}$$

$$E_{rT} = 1 + (C_T - C_R) / C_R \quad \text{-----2)}$$

식에서 C_E, C_R, C_T는 각각 일반성토비용, 보강토벽의 비용, T형옹벽의 총소요비용을 나타낸다. 그림에서 다음과 같은 사항을 알 수 있다.

- Fig.7(a)는 운반거리가 0이고, 토지비용이 8만원/m²일 경우의 보강토벽의 경제적효과를 나타낸 것으로 이 경우, 보강토벽은 T형옹벽에 비해 1/2이상의 비용을 줄일 수 있고, 일반성토에 비해서는 벽높이 10m까지는 대략적으로 같으나 그 이상의 벽높이에서는 일반성토가 유리하다고 할 수 있다.

- Fig.7(b)는 토지비용이 0이고, 운반거리가 10km일 때 보강토벽의 경제적효과를 나타낸 것으로, 이 경우 보강토벽은 T형옹벽에 비해 50%이상의 비용절감을, 일반성토에 비해서는 거의 동일함을 알 수 있다. 그림에서 ⊕로 표시되는 E_{rE}는 보강토벽공법에서 운반비가 제외될 경우의 경제적효과를 나타낸 것으로 운반비가 생략된다면 2배이상의 경제적효과를 제고할 수 있다는 것을 나타내주고 있다.

- Fig.7(c)는 운반거리 10km, 토지비용 8만원/m²일 경우의 경제적효과를 나타낸 것으로 T형옹벽에 대해서는 65%정도, 일반성토에 대해서는 30%정도의 비용절감효과를 평균적으로 보이고 있다. 위에서와 동일한 방법으로 ⊕로 표시되는 선은 운반비를 제외한 경우로 벽높이에 따라 감소하나 거의 2.5배정도의 비용절감효과가 가능함을 시사해주고 있다. 위와 같은 분석의 결과가 설계시 개략적인 공법선정의 지표 및 추정소요공사비산정의 자료가 될 수 있을 것으로 생각되나, 향후 보강토벽

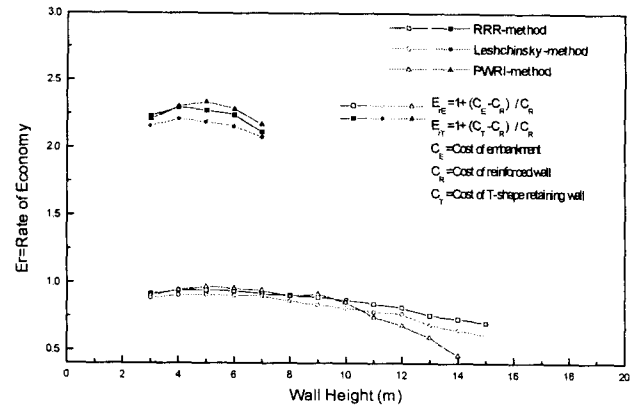


Fig. 7(a) Rate of Economy in Reinforced Wall (transport distance:0km, estate cost : 80,000W/m²)

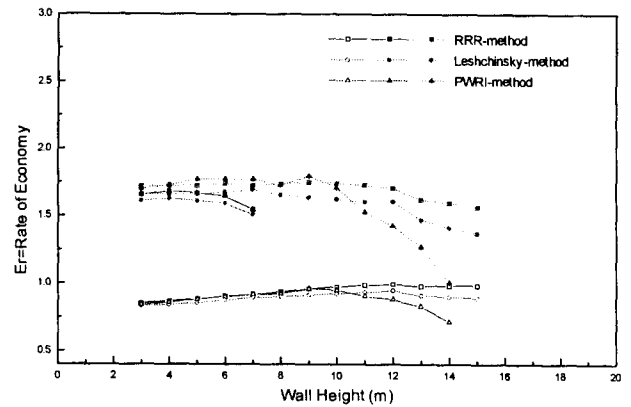


Fig. 7(b) Rate of Economy in Reinforced Wall (transport distance:10km, except estate cost)

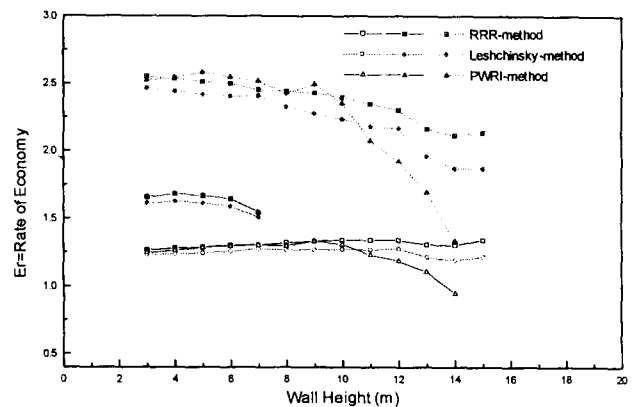


Fig. 7(c) Rate of Economy in Reinforced Wall (transport distance:10km, estate cost:80,000W/m²)

의 경사가 필요할 경우등을 고려하여 세부적인 검토가 추가적으로 이루어질 필요가 있을 것으로 생각된다.

4. 비목별 비용분석

Fig.8(a)~Fig.8(c)에는 각각의 공법에서의 벽높이에 따른 재료비, 노무비, 경비의 증가추이를 각각 비교하고 있다. 각각의 그림에서 다음과 같은 사항을 알 수 있다.

- Fig.8(a)에서 재료비의 경우는 T형옹벽, 보강토벽, 일반성토의 순으로 재료비의 비중이 크고, T형옹벽의 경우는 주로 콘크리트 및 철근재료, 보강토벽의 경우는 주로 보강재 및 벽면공으로 이들 재료비의 상승이 보강토벽의 경제적효과에 마이너스요인으로 작용하게 될 것임을 보여주고 있다.

- Fig.8(b)에서 노무비의 경우는 거푸집작업, 철근조립등의 영향으로 높이에 따른 노무비 비용증가 경향이 역T형옹벽의 경우가 가장 큰 것으로 나타나고 있다. 보강토벽에 비해 일반성토의 경우는 노무비 증가경향이 벽높이의 증가에 따라 크게 늘어나고 있음을 알 수 있다. 따라서 인건비의 상승으로 인한 총공사비의 증가는 보강토벽공법을 유효히 활용함으로써 억제될 수 있을 것으로 생각된다.

- Fig.8(c)에서 경비의 경우는 재료비와 노무비에 포함되지 않는 운반비, 하화비, 기계경비등이 추가 되는데 각공법·설계법에 따른 차이가 거의 없는 것으로 나타나고 있으나, 대체적으로 벽높이가 높아짐에 따라 증가경향은 커지고 있다.

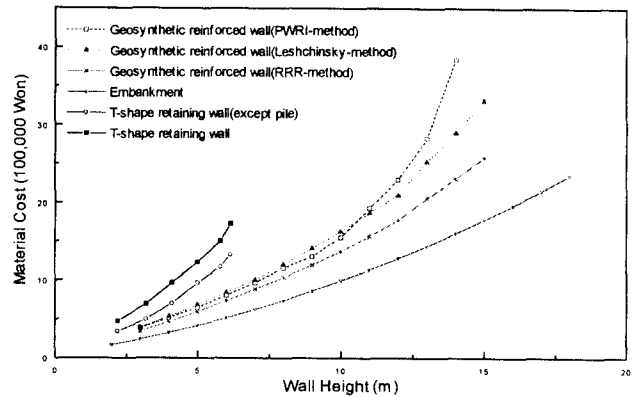


Fig.8(a) Required Materials Cost with Wall Height

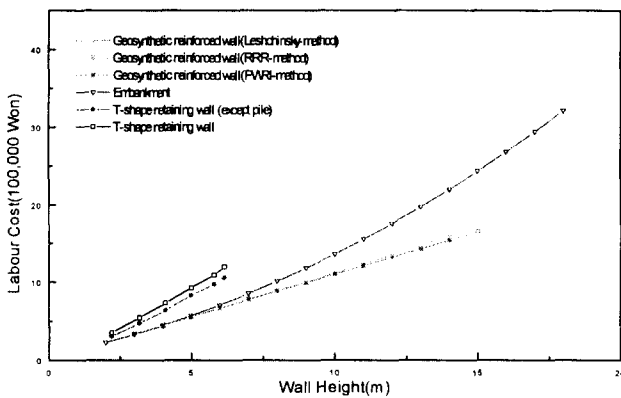


Fig. 8(b) Required Labour Cost with Wall Height

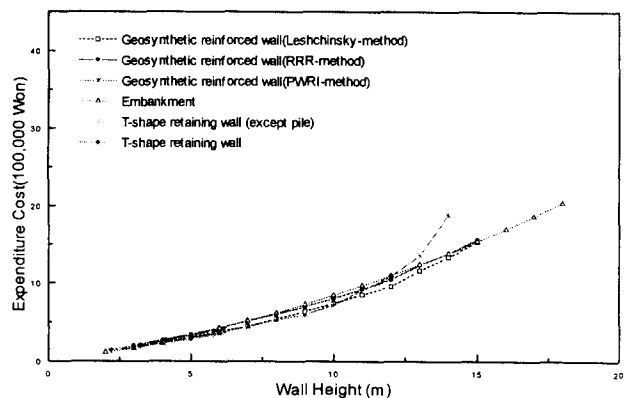


Fig. 8(c) Required Expenditure Cost with Wall Height

5. 결론

이 연구결과에서의 주요내용을 종합하면 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1) 보강토공법은 운반비를 고려하더라도 토지비용이 3만원/m²이상의 경우에는 경제적인 측면에서 설계법의 차이에 관계없이 종래의 공법(성토 또는 T형옹벽(과일포함 유무))에 비해 우월성이 명확하다.

2) 벽높이 20m까지를 고려하면 일반성토가 유리할 수 있는 영역은 토지비용 8만원/m², 운반거리 10km를 상정한 총소요비용영역으로 간주할 수 있다.

3) 운반거리가 0이고, 토지비용이 8만원/m²일 경우, T형옹벽에 비해 2이상으로, 일반성토에 비해서는 벽높이 10m 까지는 대략적 1정도이고, 그 이상의 벽높이에서는 1이하이다.

4) 토지비용이 0이고, 운반거리가 10km일 경우, T형옹벽에 비해 1.5이상, 일반성토에 비해서는 1로서 거의 동일하다. 이경우에서 보강토벽공법에서 운반비가 제외된다면 2배이상의 경제적효과를 제고할 수 있다.

5) 운반거리 10km, 토지비용 8만원/m²일 경우, T형옹벽에 대해서는 1.7정도, 일반성토에 대해서는 1.3정도의 비용절감효과를 평균적으로 보이고 있다. 위에서와 동일한 방법으로 운반비를 제외한 경우는 벽높이에 따라 감소하나 거의 2.5배정도의 비용절감효과가 가능하다.

6) 보강토벽의 소요비용을 토공, 벽면공, 흙운반공, 보강재부설비용으로 나누어 비교하면, 대부분이 보강재부설공과 흙운반공이 차지하므로, 현장발생토를 사용할 수 있다면 벽높이 10m이하의 경우는 대략적으로 1/2정도, 벽높이 10m이상일 경우는 약1/3정도의 공사비를 경감시킬 수 있다.

7) 기존의 보강토벽 설계법은 각각 설계방법, 즉 내적·외적안정검토방법, 소요안전율의 정의, 토질정수의 정의, 벽면효과의 고려여부, 벽면공의 종류 및 필요한 가정등이 서로 다르기 때문에 단순히 비교하기는 어려운 점이 있으나, 동일한 조건에서 각각의 설계법에 따라 소요공사비를 비교할 때 큰 차이는 보이지 않으나 벽고가 대략 10m이하에서는 소요보강재길이가 거의 같고, 그 이상에서는 큰 차이를 보인다. 따라서 각각의 설계법의 장단점은 설계방법보다는 시공성 및 장기안정성에서 찾을 필요가 있다.

참고문헌

1. 이은수(1984), "보강토 공법의 경제성 연구", 동국대학교 대학원 석사학위논문
2. Christie, I.F.(1982), "Economic and technical aspects of embankments reinforced with fabric", Proc. 2nd International Conference on Geotextiles, LasVegas, USA, Vol.3, pp659~664.
3. Ingold, T. S. and Miller, K. S.(1982), "Analytical and laboratory investigations of reinforced clay", Proceedings of Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, pp.587~592.
4. Jones, Colin J F P(1985), "Earth reinforcement and soil structures", Butterworth, PP.21~56.
5. Zeynep, Durukan and Semih S. Tecan(1992), "Cost Analysis of reinforced soil walls", Geotextile and Geomembranes 11. pp29~33.