

국내 보강토옹벽의 설계 및 시공 현황과 문제점

조삼덕¹⁾, 권오현²⁾, 이광우³⁾

¹⁾ 한국건설기술연구원 토질및기초연구실 책임연구원

²⁾ (주)삼안 토질부 전무

³⁾ 한국건설기술연구원 토질및기초연구실 연구원

1. 서론

보강토옹벽 이론의 정립 및 공법의 발전은 1960년대 프랑스의 Henri Vidal에 의하여 이루어 졌다. 보강토옹벽은 성토재와 성토재 안에 부설된 보강재 및 벽체가 일체가 되어 외력이나 토압에 저항하게 된다.

국내의 경우 1980년에 국립건설시험소에서 아연도금강보강재를 사용한 보강토옹벽을 최초로 시험시공한 이래로 급속히 그 시공실적이 증가하고 있다.

특히 1994년 고강도 지오그리드(geogrid) 보강재의 도입을 기점으로 보강토옹벽 시장이 급격히 팽창하기 시작하였다. 1990년대 중반 이후에는 보강토옹벽 관련 신재료/신공법 개발에 대한 관심이 고조되면서, 국내에서도 분리형 보강토옹벽 개발, 전면녹화 보강토옹벽 개발, 보강재 품질 개선, 새로운 보강재의 개발, 그리고 전면벽체와 보강재의 연결부 개선 등이 활발히 이루어지고 있다.

이와 같이 보강토옹벽의 시공수요가 날로 증가하고 있으나 기술적인 발전이 이를 뒷받침하지 못하여, 획일화된 구조, 부적절한 설계, 시공높이 증가, 부실시공 등의 원인에 의해 보강토옹벽의 안정성과 친환경성과 관련된 문제들이 점차 대두되고 있다. 이러한 상황은 보강토옹벽 전반에 걸친 불신을 초래할 수 있다. 따라서 토목섬유 관련 산업의 지속적인 발전을 위해서는 적절한 설계기준의 제시가 반드시 필요하다.

본 원고에서는 국내 보강토옹벽 설계, 시공 현황에 대한 전반적인 문제점을 검토해 보고자 한다. 또한 보강토옹벽 적용상의 여러 문제점들에 대한 개선방안을 제시함으로써 보강토옹벽 분야 발전의 초석으로 삼고자 한다.

2. 보강토옹벽 시장의 특성과 관련된 문제점

1990년대 중반이후 보강토옹벽이 기존의 콘크리트옹벽을 급속도로 대체하기 시작하여, 최근에는 그 시장규모가 연간 수천억원 대에 달하는 것으로 추산되고 있다. 갑작스런 보강토옹벽 시장의 성장은 전문업체의 급속한 증가와 이에 따른 업체간의 기술적, 경제적 경쟁 심화를 가져왔다.

이러한 업체 간 경쟁심화는 보강토옹벽 신공법 및 보강재 개발, 시공방법 개선, 사용 재료의 품질개선 등과 같은 순기능을 이루기도 하였으나, 저가의 가격경쟁 및 이로 인한 품질저하라는 문제를 야기하였다. 결국 최근 들어서는 보강토옹벽 시장에서 경제성 논리가 더욱 팽배해지면서, 검증되지 않은 저가 보강재 사용, 심지어는 시공단가를 낮추기 위한 부실 설계/시공이 공공연히 자행되는 결과를 가져왔다(그림 1 참조).

또한 특허나 신기술의 무분별한 범람으로 인한 지적소유권 분쟁 사례도 종종 나타나고 있다. 이러한 문제들은 장기적인 측면에서 보강토옹벽 자체에 대한 부정적인 인식의 확산을 가져와 결국 국내 보강토옹벽 시장의 성장을

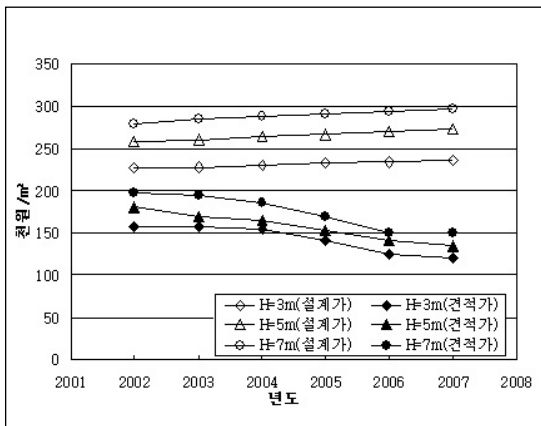


그림 1. D사의 연도별 보강토옹벽 설계 및 견적가 추이

저해하는 요인으로 작용할 수 있다.

3. 보강토옹벽의 설계현황과 관련된 문제점

(1) 일관된 설계기준의 미비

국내의 보강토옹벽 설계기준은 다음과 같이 여러 기관에 의해 제시, 적용되고 있다.

- ① 구조물설계기준 - 건교부
- ② 토목섬유의 설계 및 시공요령 - 지반공학회
- ③ 도로설계편람 - 건교부
- ④ 발주처별 설계기준

위에 보인 국내 설계기준들은 각 기준마다 상이한 부분이 상당부분 존재하고 특수한 조건을 가지는 경우나 세부 사항에 대한 상세한 국내 설계기준 및 시방이 미흡하여 설계시 여러 기준이 혼용되는 경우가 많다(표 1 참조). 따라서 보강토옹벽의 합리적인 설계와 신뢰도 향상을 위해

표 1. 국내 보강토옹벽 설계 적용 현황

구분	설계기준	적용현황	비고
외적 안정	• 저면활동	○	
	• 전도	○	
	• 지내력(지지력/침하)	△	침하검토 생략
	• 전방활동	△	특수한경우만 적용
내적 안정	• 인발 (Pull out)	○	
	• 인장응력 (Tensile overstress)	○	
	• 내부활동 (Internal sliding)	×	국내기준 없음.
	• 국부인정 연결강도 (Facing connection) 배부름(Bulging)	×	국내기준 미비.
특수한 경우	• 다단식, 사다리꼴, 보강토교대/교각 등	△	국내기준 미비로 외국기준 혼용.

기술기사

서는 통일된 기준으로의 보완이 시급히 필요하다.

(2) 설계 S/W의 검증 미흡

보강토옹벽의 국내 도입 초기에는 대부분 각 업체별로 외국의 관련업체에서 제공받은 설계법 및 설계 프로그램을 사용하여 왔다.

그 후 1998년에 한국지반공학회, 2000년에는 건교부 도로설계편람에 보강토옹벽의 설계기법이 제시되어 업체 별로 설계 프로그램을 국내기준에 적합하도록 수정하고 있는 추세이다. 그러나 국내설계기준이 상세설계시에 부족한 측면이 있고, 각 업체마다 다르게 사용하고 있는 재료 규격 및 특성을 적절히 반영할 수 있는 범용프로그램이 개발되지 않은 실정이다. 보강토옹벽 설계시 관련 업체, 대학, 연구소 등에서 개발된 설계 S/W를 사용하고 있으나, 이들 프로그램의 검증이 충분치 못한 경우가 많고, 적용설계기준 또한 통일되지 않은 등의 문제로 인해 보강토옹벽 설계결과가 상이하게 나타나고 있어 신뢰성에 문제가 야기되는 경우가 있다. 또한 설계의 주체가 보강토 업체인 경우가 많아 비전문가에 의한 설계 사례도 자주 나타나고 있다.

표 2와 그림 2에 국내 대표적인 5개 보강토옹벽 시공업체의 동일단면에 대한 설계결과를 비교하였다. 이 표에서 알 수 있는 바와 같이 각 업체별로 적용설계기준 및 산출

결과가 상이하며 업체1과 업체2는 같은 S/W를 사용하여도 대단히 상이한 결과를 산출하고 있다.

이러한 현상은 적용 설계기준과 세부 토질정수의 차이에서 나타나므로 보강토옹벽 설계의 신뢰성 확보를 위해서는 설계기준을 국내 실정에 적합하게 통일하고 세부설계에 대한 매뉴얼의 작성 및 홍보가 요구된다.

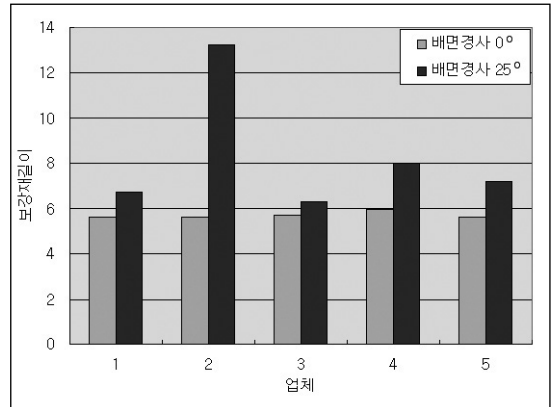


그림 2. 보강토옹벽 시공업체별 설계결과 비교(옹벽고 8m)

(3) 기초지반조사 및 상세검토의 결여

콘크리트옹벽의 설계 시에는 필수적으로 기초지반 조사를 수행하고 있으나, 보강토옹벽의 설계시에는 기초지반 조사를 수행하는 경우가 드물고 대부분 기초지반 특성 값을 30° 정도로 가정하여 설계하는 실정이다.

기초지반 조사를 소홀히 생각하는 주요 원인은 보강토

표 2. 보강토옹벽 시공업체별 설계결과 비교

구 분	설계기준	보강재길이(m)		입력정수
		배면경사 = 0°	배면경사 = 25°	
업체-1	FHWA(MSEW)	5.60	6.75	옹벽고 : 8m 뒤채움재 마찰각 : 32° 배면토 마찰각 : 30° 기초지반 마찰각 : 30° 점착력 : 0ton / m ² 상재하중 : 0ton / m ²
업체-2	FHWA(MSEW)	5.60	13.20	
업체-3	FRENCH / 국내기준	5.70	6.30	
업체-4	FRENCH	6.00	8.00	
업체-5	국내기준 / FHWA	5.60	7.20	

옹벽이 연성구조물로서 어느 정도의 부등침하에 대해서는 유연하게 대처할 수 있다는 사실이 너무 과대 포장된 점에 기인한 것으로 추정된다. 그러나 이는 보강토옹벽이 콘크리트옹벽에 비해 상대적으로 부등침하에 대한 대처 능력이 조금 낫다는 것이지 보강토옹벽이 부등침하나 전체 침하를 고려하지 않아도 된다는 것은 아니다.

최근 높이 10m이상의 보강토옹벽에서 기초지반 조사가 미흡하여 침하로 인한 문제나 전반활동 파괴(그림 3) 등의 사례가 나타나고 있으므로, 보강토옹벽 설계시에도 기초지반 조사 및 상세 안전검토가 필수적으로 수행되어야 할 것이다.

실제로 국내에서 파괴된 보강토옹벽들 중 많은 사례가 전반활동에 의한 파괴였다. 만약, 전반활동에 대한 안정 해석을 수행하였다면, 보강토옹벽의 하부 및 주변 지반의 특성파악을 위한 지반조사가 수행되었을 것이며, 전반활동 억제를 위한 배수대책, 보강대책 등이 수립되었을 것이다.



그림 3. 보강토옹벽의 전반활동 파괴사례

(4) 현장여건을 고려한 설계기법 적용 미흡

일반적인 현장여건에서의 보강토옹벽 설계는 기존 설계S/W를 사용하여 수행할 수 있으나, 특수한 조건의 현장에서는 특별한 기술적인 검토가 필요하다. 그러나 이러한 경우 충분한 기술적 검토 없이 이를 적용하여 피해를

보거나, 적용 자체를 포기하는 경우도 있는 실정이며 국내설계기준에 특수한조건에 대한 상세 기준이 없어 각 업체별로 상이한 외국기준을 적용하고 임의적으로 사용하고 있어 설계의 신뢰도가 앞서 시행한 설계결과 비교보다 더욱 큰 편차를 보이고 있어 이에대한 설계기준의 정립 및 상세설계법의 홍보가 필요하다.

일반적으로 10m 이상의 고성토 보강토옹벽을 축조할 경우에는 현장여건에 따라 다단식 보강토옹벽으로 설계할 경우가 있다. 다단식 보강토옹벽의 설계에서는 상단 옹벽이 하단 옹벽에 미치는 영향을 등분포 사하중으로 고려하므로써 단순화시킬 수 있다. 다단식 보강토옹벽의 설계과정은 상단 옹벽이 하단 옹벽에 미치는 영향을 등분포 사하중으로 고려하는 것을 제외하고는 1단 보강토옹벽의 기술된 설계방법과 동일하다. 이 방법을 사용할 경우에는 하단 옹벽의 높이, H_1 이 상단 옹벽의 높이 H_2 보다 커야 한다(그림 4 참조).

한편, 굴착사면 전면부에 보강토옹벽을 축조하는 경우, 옹벽 하단부에서 보강재의 소요길이를 충분히 확보하지 못하는 경우가 종종 나타난다. 이러한 굴착사면에서의 보강토옹벽 설계는 사면을 더 굴착하여 보강재의 소요길이를 확보하던가 보강재를 사면에 정착시킬 수 있는 방법을 병용하여야 한다. BS8006(BSI, 1995)에서는 이러한 굴착사면에서의 보강토옹벽 설계를 위해 사다리꼴 형태의 보강토옹벽 설계방법을 제시하고 있으며, 그림 5(a)에서는 사다리꼴형 보강토옹벽의 최소 단면형상을 보여준다.

일반적으로 사다리꼴형 보강토옹벽은 저면길이(L_b)가 짧기 때문에 지지력 확보를 위해 기초지반의 지지력이 매우 좋아야 하다. 기초지반에 과도한 집중하중이 작용되는 것을 방지하기 위해 보강토체 저면에 콘크리트 기초를 설치하는 방법도 고려될 수 있다. 사다리꼴형 보강토옹벽의 외적 안정해석을 위해서는 동일한 높이의 동일한 면적을

기술기사

갖는 직사각형 보강토옹벽으로 가정하여 수행하고 (FHWA, 1996), 내적 안정해석에서는 각 보강재층의 실제 길이를 고려하여야 한다. 실제 현장에서는 BS8006에서 제시한 최고 단면형상보다 좁은 공간에 보강토옹벽을 축조하여야 할 경우가 있다. 이러한 경우 그림 5(b)와 같이

보강재를 사면에 정착시키는 방법을 병용하여 설계하는 것도 하나의 방안이 될 수 있다.

4. 보강재 재료와 관련된 문제점

(1) 보강재 특성에 관한 검증 미흡

일반적으로 지오그리드의 인장특성은 크리프(creep), 시공시 손상, 노화(aging), 온도, 구속압 등과 같은 환경적인 요인에 의해 영향을 받는다. 따라서 지오그리드 보강재의 장기설계인장강도는 지오그리드의 허용인장변형과 크리프 특성 및 가능한 모든 강도저하 요인 등을 고려하여 결정되어야 한다(조삼덕 등, 2004).

그러나 국내에서 지오그리드 보강토옹벽 설계시 보강재의 장기설계인장강도 산정에서 크리프 감소계수가 제대로 적용되지 않는 경우가 종종 있으며, 특히 외국에서 수입되는 저가의 지오그리드의 경우에는 장기설계인장강도에 대한 검증자료가 없거나 검증이 미흡한 제품들이 있어, 사용시 상세한 검토가 필요한 실정이다.

(2) 뒤채움재 품질기준 재정립

일반적으로 보강토옹벽의 뒤채움을 위하여 사용하는 성토재료로는 보강토체의 내구성과 시공성 등을 고려하여 실트와 점토 함유량이 적은 사질토가 적합한 것으로 평가되고 있다. 따라서 실트, 점토, 유기질토 등은 뒤채움재로 사용하지 않는 것이 바람직하다. 또한 입경이 큰 암석재료 등을 많이 함유한 흙도 다짐이 곤란하고 다짐시 보강재를 손상시킬 수 있기 때문에 뒤채움재로는 적합하지 않다. 일반적으로 토목섬유 보강토옹벽의 뒤채움흙으로의 적합성 여부는 표 5에 나타난 조건으로부터 평가할 수 있다.

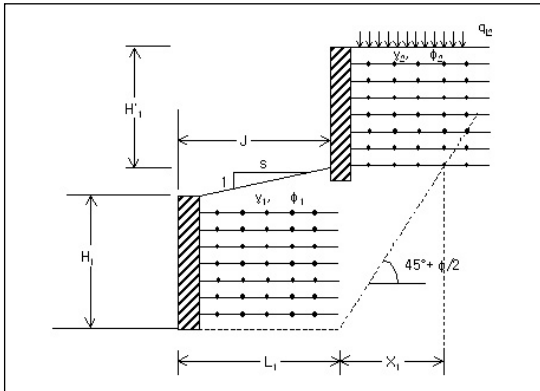


그림 4. 단단식 보강토옹벽의 경우

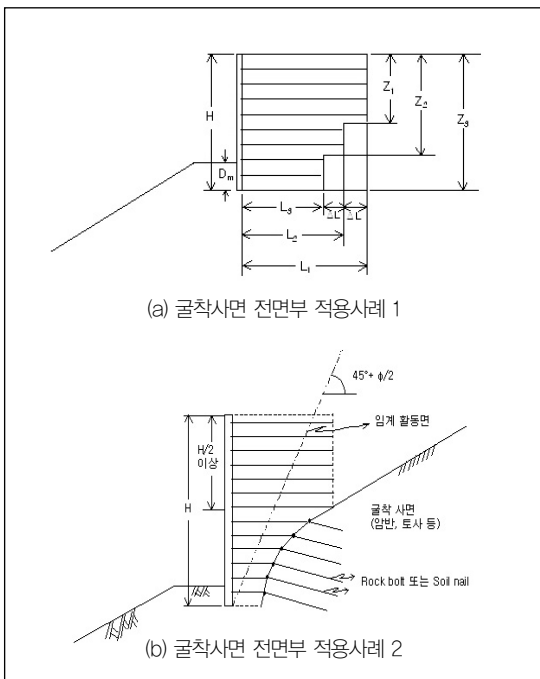


그림 5. 특수한 조건을 가진 현장에서의 보강토옹벽 설계 예

한편, 지오그리드 보강재의 경우 뒤채움흙 내의 pH값에 의해 공학적 특성이 저하될 수 있으므로 폴리에스테르

표 5. 보강토옹벽 뒤채움흙 선정기준

입 경	통과백분율(%)
4in.(102mm) (강재)	100
19mm(토목섬유)	100
0.425mm(No.40)	0 ~ 60
0.075mm(No.200)	0 ~ 15
소성지수 (PI) < 6	

(PET) 지오그리드 사용시에는 3<pH<9, 폴리올레핀계 (PP, HDPE) 지오그리드 사용시에는 3<pH인 조건을 만족하는 뒤채움흙을 사용하여야 한다.

그러나 실제 현장에서 선정기준에 맞는 뒤채움흙을 구하기는 쉽지 않으므로, 현재 국내에서는 보강토옹벽 현장 근처에 있는 화강풍화토에서 매우 큰 돌만을 제거한 후 그대로 뒤채움흙으로 사용하고 있어 보강토옹벽의 장기적인 안정에 문제가 발생할 가능성이 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해서는 뒤채움흙의 종류와 입도분포 등을 고려한 보강재의 시공성 감소계수를 평가하고, 이를 토대로 뒤채움흙의 선정기준을 완화하여 보다 넓은 범위의 흙이 뒤채움재로 사용할 수 있도록 하는 방안을 강구하여야 한다. 최근 국내의 연구소와 공사 등에서는 뒤채움재 품질기준을 재정립하기 위해 다양한 내시 공성시험을 수행하고 있다(그림 6 참조).

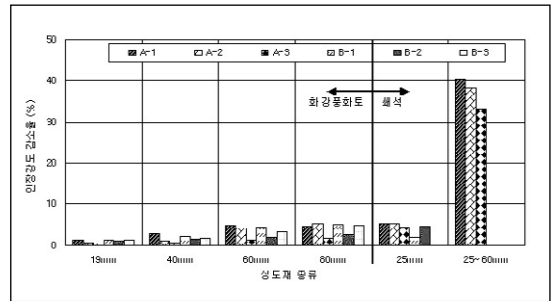


그림 6. 성토재 종류별 다짐시공으로 인한 지오그리드의 인장강도감소율(조삼덕 등, 2004)

5. 보강토옹벽의 시공과 관련된 문제점

보강토옹벽에서 전면벽체는 보강재의 고정, 토체의 국부적인 이완(분리 또는 침식)을 방지하는 역할을 하며, 설계시에는 일반적으로 전면벽체의 효과를 고려하지 않고 있다. 또한 전면벽체는 보강토옹벽에서 외부에 노출된 유일한 구성요소이므로, 전체적인 미관에 큰 영향을 미친다. 최근 부적절한 시공관리로 인한 콘크리트 전면벽체의 균열과 과도한 수평변위가 발생하는 사례가 종종 보고되고 있어, 그 원인과 대책을 검토해 보고자 한다.

전면벽체는 시공시 수작업에 의해 적층하게 되는데 이때 숙련된 작업자에 의한 정확한 위치에 설치하는것이 대단히 중요하다. 만약 시공중 전면벽체의 위치가 정위치를 이탈하게 되면, 즉 일부 블록 및 패널이 돌출 혹은 함몰되거나 수평방향으로 이동하게 되면, 미관상 좋지 않을 뿐만 아니라 보강토옹벽의 국부안정을 저해하고 콘크리트 전면벽체에 인장균열을 야기 시킬 수 있다.

또한 기초지력 부족으로 부등침하가 발생할 경우에도 전면벽체에 심각한 균열을 초래할 수 있으므로 유의해야 한다. 한편, 부적합한 뒤채움흙을 사용하거나 다짐관리를 철저히 하지 않은 경우에는 그림 7에 보인 바와 같은

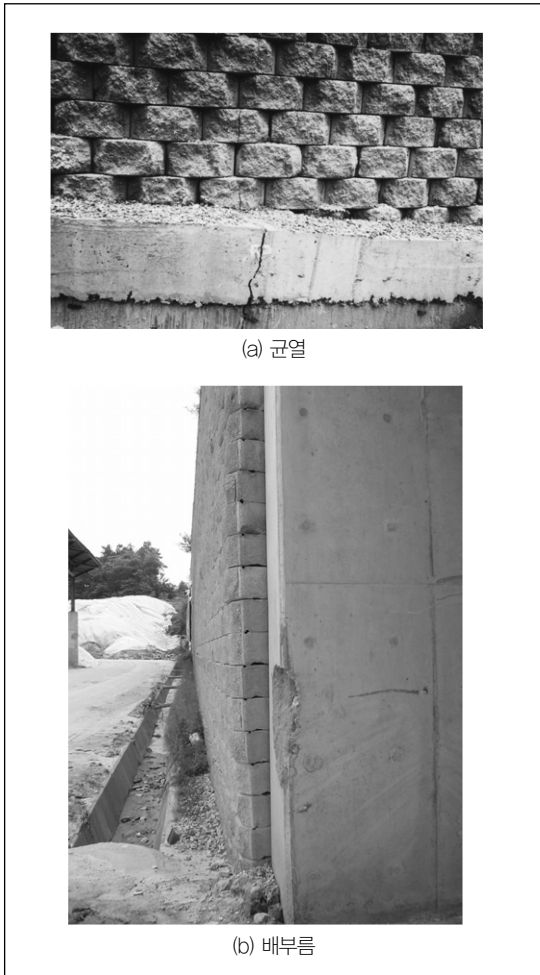


그림 7. 보강토옹벽의 균열 및 배부름현상

벽체균열, 벽체의 배부름(과도한 수평변위) 등의 문제가 발생할 수 있으므로, 뒤채움흙의 선정 및 철저한 다짐관리가 중요하다.

특히 교대나 기존 건물 등과 같은 강성체와 보강토옹벽이 접하는 부분과 보강토옹벽의 곡선구간에서 벽체균열이나 배부름이 나타나는 경우가 많으므로 이러한 구간에서의 시공시에는 더욱 각별한 주의와 시공관리가 요구된다.

6. 개선방안 및 결언

앞에서는 국내 보강토옹벽 적용현황과 설계/시공상의 문제점 및 개선방안을 살펴보았다. 이러한 문제점은 국내 보강토옹벽 시장 및 업체의 급속한 양적증가에 비해 기술력의 발전은 이를 따르지 못하여 일어나는 현상으로 판단되며, 이러한 문제점들이 지속된다면, 전체 보강토시장에 큰 위기가 도래 할 수도 있을 것이다. 따라서 보강토옹벽 시장의 지속적 발전을 위해서 관련 학회 및 업체는 시장의 변화 및 발전에 따른 설계/시공기준의 정립, 표준화 및 품질확보 방안 등을 마련하여 지속적인 홍보 및 보급을 하여야 할 것이며 그 상세방안을 아래와 같이 제안 하고자 한다.

(1) 표준화된 설계/시공 기준의 정립

현재의 설계기준 중 상충되는 부분과 미비된 상세 설계/시공기준을 보완한 통합기준이 필요.

(2) 범용 S/W의 개발

국내에서 사용되고 있는 S/W에 대한 비교 검토결과, 적용설계기준이 외국과 국내기준이 혼용된 상태이며 산출결과도 각각 다르게 나타나 신뢰성이 저하되므로 설계자의 다양성을 고려하면서 국내기준에 적합한 범용 S/W의 개발 및 보급 필요.

(3) 설계검증시스템 구축

각 업체가 보유하고 있는 S/W, 시방 및 시공방법에 대한 공신력 있는 기관이나 협회의 검증 및 인증작업 필요

(4) 저가 경쟁시 품질확보

현장 발주시 최저가 방식을 지양하고 소요품질 및
기술력을 확보한 업체만 입찰에 참여할 수 있도록
재료시험, 설계검증 및 시방기준 강화

[참고문헌]

1. 조삼덕, 이광우, 오세용, 이도희(2004), "지오그리드의 시공시 손상 및 크리프 변형 특성 평가", 한국토목섬유학회 논문집, 제3권, 제4호, pp. 29-40.
2. 한국토목섬유학회(2006), 토목섬유의 특성 및 활용기법
3. BSI(1995), Code of Practice for Strengthened / Reinforced Soils and Other Fills, BS 8006, BSI, pp. 43-79.
4. FHWA(1996), Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes Design and Construction Guidelines, FHWA-SA-96-071.
5. Koerner, R.M., Koerner, J. and Soong, T.Y.(2001), "Earth Retaining Wall Costs in the USA",