국내 보강토 옹벽 적용 현황 및 문제점 조사 연구

A Study on Practices and Troubles of Reinforced Soil Wall

박 종 권¹ Park, Jong-Kwon

이 광 우^{2*} Lee, Kwang-Wu

ABSTRACT

Since the modern reinforced soil wall technology was introduced in domestic civil engineering society in the year 1980, the reinforced soil walls have been extensively used because these technologies have advantages such as economical efficiency, graceful appearance, and easy construction. This paper describes the application of reinforced soil wall, design criteria, and construction problems. Many cases of troubles, which include a severe deformation of facing, cracks of facing block, overall sliding failure and so on, have been reported. Inappropriate design and construction management mainly induce these problems. The technological level of design and quantity control for reinforced soil wall is not sufficiently supported to cope with the growth quantity of reinforced soil wall construction market and the increasing number of construction companies. The unified standard design and construction criteria of reinforced soil wall should be established with the detail consideration of overall performance and stability. The quality control of design and construction, and cost of construction must be seriously executed to construct a high quality of reinforced soil wall.

요 지

1980년 국내에 현대적인 보강토 옹벽이 도입된 이후 최근에는 경제성, 수려한 외관, 시공성 등의 장점으로 인해 보강토 옹벽이 기존의 콘크리트 옹벽을 급속히 대체하고 있다. 이에 본 논문에서는 국내 보강토 옹벽 시장의 현황 및 문제점을 조사, 분석하였다. 보강토 옹벽 시장의 확장과 더불어 벽체변형, 전면블록의 균열, 전반활동 등과 같은 피해사례가 증가하고 있으며, 이러한 문제는 주로 부적절한 설계와 시공관리에 기인한다. 또한 보강토 옹벽 시장의 급속한 성장성에 비해 설계 및 품질관리 등에서의 기술적인 수준이 높지 않은 것으로 파악되었다. 따라서 보강토 옹벽의 설계 및 시공에 대한 통일된 기준이 시급히 마련되어야 한다. 또한 보강토 옹벽의 품질을 향상시키기 위해서는, 설계, 시공 및 경제성에 대한 보다 세심한 검토가 요구된다.

Keywords : Reinforced soil wall, Reinforcement, Standard design criteria

1. 서 론

보강토 옹벽은 성토층(뒤채움층)과 성토층 내부에 부설된 보강재 및 전면벽체가 일체화되어 외력이나 토압에 저항하는 구조물로 정의할 수 있다. 보강재는 뒤채움층과의 상호작용(마찰력)을 통해 중력식옹벽 개념의 보강토체를

형성하고, 전면벽체는 보강토 옹벽의 외관을 형성하여 뒤채움층의 국부적인 유실을 방지하는 역할을 한다.

현대적인 보강토 옹벽은 1960년대 초 프랑스의 Henri Vidal이 개발한 Terre Armee 공법에서 시작되었다고 볼 수 있다. 국내에서는 1980년에 아연도 강판을 보강재로 사용한 패널식 보강토 옹벽이 처음 적용되었으나, 아연도

1 정회원, 국토해양부 수자원개발과 시설사무관 (Member, Administrative Official, Water Resources Development Division, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs)

2* 정회원, 한국건설기술연구원 Geo-인프라연구실 수석연구원 (Member, Senior Researcher, Geotechnical Engrg., Research Division, Korea Institute of Construction Technology, E-mail: kwangwu@kict.re.kr)

금 기술 부족과 뒤채움흙 선정 및 시공관리 등의 문제로 인해 크게 활성화되지 못하였다. 이후 1986년에 락형 토목섬유 보강재가 도입되면서 보강토 옹벽의 사용량이 증가하기 시작하였고, 1994년에 고강도 지오그리드를 보강재로 사용한 블록식 보강토 옹벽의 도입을 기점으로 본격적으로 활성화되기 시작하였다(조삼덕 등, 2008).

국내에 보강토 옹벽이 도입된지 30년 정도 되었고, 최근에는 콘크리트옹벽의 대체 구조물로서 활발히 활용되고 있으나, 아직까지도 국내 토목기술자들의 보강토 옹벽에 대한 인식 및 기술수준이 높지 않아 여러 현장에서 크고 작은 문제가 나타나고 있다(권오현 등, 2008; 한중근 등, 2005). 특히, 최근에는 보강토 전문업체의 급속한 증가와 이에 따른 업체간의 기술적, 경제적 경쟁이 심화되면서, 검증되지 않은 보강토기법 적용과 저가의 보강재 사용 등에 따른 문제도 나타나고 있다. 최근 정부발주 공사에서도 보강토 옹벽의 피해사례가 지속적으로 발생하고 있어, 국토해양부에서는 2010년도 기획감사 과제의 일환으로 현재 시공중이거나 발주된 보강토 옹벽에 대한 대대적인 실태조사와 점검을 실시하기에 이르렀다.

본 논문에서는 국토해양부에서 실시한 보강토 옹벽 설계 및 시공 실태 조사 결과를 바탕으로, 국내 보강토 옹벽의 적용 현황, 피해사례, 설계/시공상의 문제점 등을 검토하고 개선방안을 제시하고자 한다.

2. 국내 보강토 옹벽 적용 현황 및 관련 규정

2.1 보강토 옹벽 적용 현황

보강토 옹벽은 콘크리트옹벽에 비해 많은 장점을 갖고 있어 전세계적으로 적용사례가 날로 증가하고 있으며, 2001년까지 전세계적으로 약 35,000개 이상의 블록식 보강토 옹벽이 축조된 것으로 추측하고 있다(Koerner 등,

2001).

본 연구에서 조사한 지방 국토관리청의 보강토 옹벽 설계 및 시공 현황을 표 1에 나타내었다. 조사시점에서 공사가 발주된 건설공사 현장은 총 249개(전면벽 면적 1,542천 m^2)로 공사비(설계가)는 4,730억 원에 이르고, 실시설계 완료후 미발주된 공사는 33건(전면벽 면적 239천 m^2)으로 공사비는 1,098억 원에 달하는 것으로 조사되었다. 표 1에 나타낸 지방 국토관리청의 보강토 옹벽 적용 현황 이외에 한국도로공사, 한국토지주택공사, 한국철도시설공단, 지방자치단체 등의 공공 발주물량과 택지, 공장부지 등의 조성을 위한 민간 발주물량을 고려하면, 연간 보강토 옹벽 시장 규모는 거의 1조원에 가까울 것으로 추정된다.

그림 1에는 표 1에 보인 보강토 옹벽 적용 현황을 보강재 종류별로 구분하여 나타내었다. 보강재는 외국산(9개국)을 포함 총 14종류가 설계·시공되었고, 고밀도 폴리에틸렌(HDPE) 재질의 일체형 지오그리드, Steel bar+앵커블록 보강재, 폴리에스테르(PET) 섬유다발을 PVC 등으로 코팅한 결합형 지오그리드 및 폴리프로필렌(PP) 재질의 일체형 지오그리드가 각각 27.9%, 19.0%, 13.1% 및 6.8% 정도 시장을 점유하고 있는 것으로 나타났다. 또한, 기타 33.2% 정도의 현장에는 돌기형 강판 보강재, 평철 보강재, 사다리형 강봉 보강재, 락형 토목섬유 보강재, 체인(쇄사슬)형 보강재, PET bar 교차형 지오그리드, PET+PP 평직식 지오그리드 등이 적용되었다.

그림 1. 보강재 종류별 현장 적용 현황

표 1. 지방국토관리청 보강토 옹벽 설계 및 시공 현황(2010.4 현재)

공사명	건수	보강토 옹벽		
		설계량(m^2)	공사비(백만원)	시공량(m^2)
합 계	249	1,544,503	473,029	558,823
서울청	43	419,279	106,015	99,817
대전청	55	375,141	119,825	183,246
원주청	23	121,726	39,054	33,638
익산청	61	318,818	106,016	113,603
부산청	67	309,539	102,119	128,519

*실시설계 완료후 미 발주공사 : 33건(239천 m^2), 공사비 1,098억원

표 2. 보강토 옹벽 구성재료의 품질관리 규정

구분		건설공사 비탈면 표준시방서, 2006	도로공사 표준시방서, 2009		구조물기초설계기준 해설(2009)
			패널식	블록식	
전면벽체	압축강도(MPa)	21			패널 30MPa 블록 -
	흡수율(%)	평균 7 이내, 최대 10 이내			
	제작오차	-	±3mm	±5mm	-
보강재	토목섬유재	내구성, 크리프 변형, 내시공성, 형상, 치수, 품질 등이 설계 및 시방 조건을 만족시킬 것 (수치화된 기준 없음)			
	금속재 아연도금 기준	-	610g/m ²		5.88N/m ²
뒤채움재	내부마찰각	KS F 2343 직접전단시험 결과 설계값 이상			25° 이상
	최대입경(mm)	53	100		100
	No.200체(75μm) 통과중량 백분율(%)	35	15		15
	소성지수		6 이하	6 이하	6 이하
	산도(pH)	-	5~10	5~10	-
	다짐도(%)	95 (KS F 2312의 D, E 방법)			-
	한층 다짐두께(cm)	20	20		-

2.2 보강토 옹벽의 설계/시공 규정

보강토 옹벽의 대표적인 설계방법으로는 미국 FHWA (Federal Highway Administration) 방법(Elias 등, 1996, 2001)과 NCMA(National Concrete Masonry Association) 방법(Collin, 1997), 프랑스 MOT 방법(1980), 영국 BS방법(BSI, 1995), 일본 토목연구센터방법(2000) 등을 들 수 있다. 이러한 설계방법들은 대부분 옹벽파괴에 대한 안전율의 결정에 한계평형해석(limit equilibrium analysis)을 사용하고 있다. 한계평형해석에 의한 설계에서는 보강토 체의 수평방향 활동력이 보강재에 의해서 유발되는 수평방향 저항력과 평형을 이룬다고 가정하여 해석하는 방법을 사용하거나, 전통적인 사면안정해석과 같이 가정된 파괴활동면에서의 힘이나 모멘트 평형 해석시 보강재 효과를 고려하는 방법을 사용하고 있다.

국내에서는 설계가 단순하며 안전측인 미국 FHWA(1996, 2001) 방법을 토대로 한 보강토 옹벽 설계방법이 주로 사용되고 있다. 국내 보강토 옹벽 설계방법은 ‘구조물기초설계기준 해설(2009)’, ‘건설공사 비탈면설계기준 해설(2006)’, ‘철도설계기준(2001)’, ‘도로설계편람(2000)’ 등에 규정되어 있다. 그러나 이들 규정들은 상세한 설명이 부족하여 실제 설계에 활용되기에는 미흡한 실정이어서 다양한 외국 설계법이 혼용 사용되고 있다.

한편, 보강토 옹벽 시공과 관련한 시방규정은 건설공사 비탈면 표준시방서(2006)와 도로공사 표준시방서(2009)

에 패널식과 블록식 보강토 옹벽에 대하여 포괄적으로 명시되어 있고, 현장에서는 주로 보강토 업체에서 작성된 공사시방서에 따라 시공하고 있는 실정이다. 보강토 업체에서 작성한 공사시방서중 일부는 국내 시방규정을 준수하지 않는 경우가 있어 이에 대한 시정 및 관리/감독이 필요하다.

표 2에는 국토해양부에서 제정한 보강토 옹벽 관련 표준시방서 및 ‘구조물기초설계기준 해설(2009)’에 제시되어 있는 보강토 옹벽 구성재료의 품질관리 규정을 요약하였다. 표 2를 살펴보면, 건설공사 비탈면 표준시방서(2006), 도로공사 표준시방서(2009) 및 구조물기초설계기준 해설(2009)에 명시되어 있는 품질관리 규정이 서로 상이한 부분이 있다. 건설기술자들이 보강토 옹벽을 바르게 적용하고 관리할 수 있도록 하기 위해서는 시방 및 품질관리 규정 내용을 하나로 통일할 필요가 있다.

3. 주요 피해 사례

보강토 옹벽이 붕괴되거나 손상되는 주된 원인으로는 전반활동 검토 미비, 기초지반 지지력 부족, 뒤채움흙 다짐 불량, 배수시설 미비, 부적절한 뒤채움흙 및 배수재 사용, 전면벽체 시공 불량 등을 들 수 있다(표 3 참조). 또한 이러한 원인으로 인해 발생할 수 있는 보강토 옹벽의 피해 형상으로는 저면활동, 전도, 침하, 전반활동 등의 외적 파괴 형상과 보강재 인발, 보강재 파단, 내적 활동 등의 내적

파괴 형상 및 연결부 파괴, 전면벽체 전단파괴, 상부벽체 탈락 등의 국부적인 파괴 형상 등을 들 수 있다(그림 2참조)

4. 보강토 옹벽 적용상의 문제점 및 개선방안

4.1 보강토 옹벽 시장의 특성

1990년대 중반이후 보강토 옹벽이 기존의 콘크리트옹

벽을 급속도로 대체하기 시작하여, 최근에는 그 시장규모가 연간 수천억원 대에 달하는 것으로 추산되고 있다. 갑작스런 보강토 옹벽 시장의 성장은 전문업체의 급속한 증가와 이에 따른 업체간의 기술적, 경제적 경쟁 심화를 가져왔다. 그림 3에는 국내 보강토 옹벽 전문업체의 년도별 보강토 옹벽 설계가 및 견적가를 조사한 결과를 보여 준다. 그림 3에서 알 수 있는 바와 같이 2002년 이후 보강토

표 3. 보강토 옹벽의 대표적인 피해유형별 주요 발생원인(한국토목섬유학회, 2010)

대표적인 피해유형	주요 발생원인
전체 보강토 옹벽의 붕괴	<ul style="list-style-type: none"> • 설계시 전반활동에 대한 안정성 검토 미흡 • 배수시설 미흡 및 기초지반 지지력 부족 • 세립분 많은 뒤채움 토사 사용 및 다짐 불량
전면벽체 붕괴	<ul style="list-style-type: none"> • 보강토 옹벽 배면 배수층 설계 미흡 • 동절기凍上에 의해 보강재 연결부 파단
보강토 옹벽의 침하	<ul style="list-style-type: none"> • 보강토 옹벽 하부 성토지반의 다짐불량 • 기초지반의 부실한 처리로 지지력 부족
전면벽체의 균열	<ul style="list-style-type: none"> • 전면벽체 압축강도 부족 및 연결상태 불량 • 곡면부에서 과잉 인장응력의 유발 • 기초지반의 부등침하
전면벽체의 변형	<ul style="list-style-type: none"> • 세립분 많은 뒤채움 토사 사용 및 다짐 불량

(a) OO 고속도로 : 전반활동파괴
(지반조사 및 전반활동검토 미 실시)

(b) 국도OO호선 OO시 입구 : 부등침하
(기초지반의 지지력 부족)

(c) OO 지방도로 : 배부름 및 전면벽체 붕괴
(배수시설 미흡으로 우수침투)

(d) OO시 국도대체우회도로: 뒤채움흙 유실
(배수시설 미흡으로 우수침투)

그림 2. 보강토 옹벽 주요 피해 사례(계속)

(e) 국도00호선 오르막차선 확장공사: 전도파괴
(기초지반의 지지력 부족)

(f) 충남 00공장 부지 진입도로: 전반활동파괴
(상부 사면을 고려하지 않은 부실 설계)

그림 2. 보강토 옹벽 주요 피해 사례

그림 3. D사의 연도별 보강토 옹벽 설계가 및 견적가 추이

옹벽 전면부 단위면적 당 설계가는 점차 상승하고 있는 반면에, 실제 전문업체에서 시공을 위해 제시하는 견적가는 크게 감소하고 있다. 보강토 옹벽 설계가 대비 견적가의 비율은 2002년도에 70% 정도였으나, 이후 점차 감소하여 2009년에는 약 48%까지 감소한 것으로 확인되었다.

이러한 업체 간 경쟁심화는 보강토 옹벽 신공법 및 보강재 개발, 시공방법 개선, 사용 재료의 품질개선 등과 같은 순기능을 이루기도 하였으나, 저가의 가격경쟁 및 이로 인한 품질저하라는 문제를 야기하였다. 이러한 문제들은 장기적인 측면에서 보강토 옹벽 자체에 대한 부정적인 인식의 확산을 가져와 결국 국내 보강토 옹벽 시장의 성장을 저해하는 요인으로 작용할 수 있다.

4.2 보강토 옹벽의 설계 현황

4.2.1 일관된 설계기준 및 설계 프로그램 검증 미흡

국내의 보강토 옹벽 설계 및 시공 관련 규정은 비탈면 설계기준 해설(2006), 구조물기초설계기준 해설(2009), 철

그림 4. 보강토 옹벽 설계법 적용 현황

도설계기준(200), 도로설계편람(2000), 토목섬유의 설계 및 시공요령(1998) 등에 일부 기술되어 있다. 그러나 이들 국내 설계 규정들은 서로 상이한 부분이 일부 존재하고 특수한 조건을 가지는 경우나 세부사항에 대한 상세한 설명이 미흡하여 설계시 여러 기준이 혼용되는 경우가 많다. 따라서 보강토 옹벽의 합리적인 설계와 신뢰도 향상을 위해서는 통일된 기준으로의 보완이 시급히 필요하다.

5개 지방 국토관리청에서 시공중인 보강토 옹벽 현장(244개소)을 대상으로 설계법 적용 현황을 분석하여 그림 4에 나타내었다. 분석대상 현장은 총 244개소이나 한 개소 현장에 2 종류 이상의 보강토 옹벽 공법이 설계·시공된 경우가 많아, 총 보강토 옹벽 적용 현장수는 632개소로 나타났다. 그림 4에서 알 수 있는 바와 같이 전체 대상현장의 53%는 국내 보강토 옹벽 설계기준의 근간이 되는 미국 FHWA의 설계방법(Elias 등, 2001)에 따라 설계되었다. 그 밖에 미국 NCMA(Collin, 1997), 프랑스 MOT(1980) 및 영국 BSI(1995)의 설계방법을 적용한 현장은 각각 28%, 5% 및 2%이고, 기타 적용 설계법의 확인이 불가능

그림 5. 보강토 옹벽 시공업체별 설계결과비교(옹벽고 8m)

한 현장이 12%에 달하는 것으로 나타났다.

한편, 표 1에 보인 현장의 보강토 옹벽 설계 현황을 검토한 결과, 업체, 대학, 연구소 등에서 개발한 20여개 설계 프로그램이 사용되고 있는 것으로 나타났다. 그러나, 설계 프로그램의 신뢰성에 대한 적절한 검증이 이루어 지지 않은 경우가 많아, 이들 설계 프로그램에 대한 공신력 있는 기관의 검증시스템 마련이 필요하다.

그림 5에는 국내 대표적인 5개 보강토 옹벽 전문업체의 동일단면(높이 8m)에 대한 설계결과를 비교하였다. 이 표에서 알 수 있는 바와 같이 각 업체별로 적용설계기준 및 산출결과가 상이하며, 업체 A와 업체 B는 동일한 설계 프로그램을 사용 하였음에도 상당히 상이한 결과를 산출하고 있다.

이러한 현상은 적용 설계법과 세부 토질정수의 차이에서 나타나므로, 보강토 옹벽 설계의 신뢰성 확보를 위해서는 설계 규정을 국내 실정에 적합하게 통일하고 설계정수 산정방법 등을 포함한 세부설계 매뉴얼의 마련 및 홍보가 요구된다.

4.2.2 기초지반조사 및 상세검토의 결여

콘크리트옹벽의 설계 시에는 필수적으로 기초지반 조사를 수행하고 있으나, 보강토 옹벽의 설계 시에는 기초지반 조사를 수행하는 경우가 드물고 대부분 기초지반의 내부마찰각을 30° 정도로 가정하여 설계하는 실정이다.

기초지반 조사를 소홀히 생각하는 주요 원인은 보강토 옹벽이 연성구조물로서 어느 정도의 부등침하에 대해서는 유연하게 대처할 수 있다는 사실이 너무 과대 포장된 점에 기인한 것으로 추정된다. 그러나 이는 보강토 옹벽이 콘크리트옹벽에 비해 상대적으로 부등침하에 대한 대처능력이 조금 낮다는 것이지 보강토 옹벽은 부등침하나 전체 침하를 고려하지 않아도 된다는 것은 아니다.

(a) 다단 옹벽

(b) 사다리꼴 옹벽

(c) 보강토교대

그림 6. 특수한 현장 여건을 가진 보강토 옹벽

최근 높이 10m이상의 보강토 옹벽에서 기초지반 조사가 미흡하여 침하로 인한 문제나 전반활동 파괴등의 사례가 나타나고 있으므로, 보강토 옹벽 설계 시에도 기초지반 조사 및 상세안전검토가 필수적으로 수행되어야 할 것이다.

실제로 국내에서 파괴된 보강토 옹벽들 중 많은 사례가 전반활동에 의한 파괴였다(한중근 등, 2005). 만약, 전반활동에 대한 안정해석을 수행하였다면, 보강토 옹벽의 하부 및 주변 지반의 특성파악을 위한 지반조사가 수행되었을 것이며, 전반활동 억제를 위한 배수대책, 보강대책 등이 수립되었을 것이다.

4.2.3 현장여건을 고려한 설계기법 적용 미흡

일반적인 현장여건에서의 보강토 옹벽 설계는 기존 설계프로그램을 사용하여 수행할 수 있으나, 그림 6에 보인

바와 같은 특수한 조건의 현장에 대해서는 특별한 기술적인 검토가 필요하다. 그러나 이러한 경우 충분한 기술적 검토 없이 적용하여 피해를 보거나, 적용 자체를 포기하는 경우도 있는 실정이다. 국내 설계 규정에 특수한 현장조건에 대한 상세 설계방법이 없어, 그림 4에 보인 바와 같이 각 업체별로 상이한 외국 설계법을 적용하고 임의적으로 사용하고 있어 설계의 신뢰도가 그림 5에 나타난 설계결과 비교보다 더욱 큰 편차를 보일 수 있다. 따라서 이에 대한 설계법의 정립 및 상세 설계법에 대한 홍보가 필요하다.

국내에서 다단식 보강토 옹벽의 설계는 주로 FHWA 설계법(Elias 등 2001)이나 NCMA 설계법(Collins 1997)에 근거하여 수행되고 있다. 이들 설계법은 하단옹벽 설계시 상단옹벽을 상재하중으로 환산하여 반영하고 있으나, 아직 합리적인 설계기법이 명확히 확립되어 있다고 보기는 어려운 형편이다. 예를 들어, 동일한 단면에 대해 FHWA 설계방법(2001)과 NCMA 설계방법(1997)을 적용했을 때, 일반적으로 FHWA의 설계방법이 보다 보수적인 결과를 보이며, 그 차이도 상당히 큰 경우가 많다. 따라서 이들 설계법은 각 설계지침서에서 기술하고 있는 바와 같이 예비설계를 위한 설계방법으로 인식되어야 할 필요가 있다(유충식, 2002). FHWA 설계법과 NCMA 설계법이 다단식 보강토 옹벽의 특성을 충분히 반영하지 못하고 있는 원인은, 이들 설계법이 제안된 미국의 경우 다단식 보강토 옹벽의 적용이 필요할 정도로 높은 보강토 옹벽의 수요가 많지 않은 점과도 연관이 있을 것으로 판단된다. 반면에, 국내의 경우 10m 이상 높은 다단식 보강토 옹벽의 시공이 활발한 현실을 고려할 때, 보다 합리적이고 명확한 다단식 보강토 옹벽 설계방안 마련이 시급히 필요하다.

한편, 굴착사면 전면부에 보강토 옹벽을 축조하는 경우, 옹벽 하단부에서 보강재의 소요길이를 충분히 확보하지 못하는 경우가 종종 나타난다. 이러한 굴착사면에서의 보강토 옹벽 설계는 사면을 더 굴착하여 보강재의 소요길이를 확보하던가 보강재를 사면에 정착시킬 수 있는 방법을 병용하여야 한다. BS8006(BSI, 1995)에서는 이러한 굴착사면에서의 보강토 옹벽 설계를 위해 사다리꼴 형태의 보강토 옹벽 설계방법을 제시하고 있다.

일반적으로 사다리꼴형 보강토 옹벽은 저면길이(L_b)가 짧기 때문에 지지력 확보를 위해 기초지반의 지지력이 매우 좋아야 한다. 기초지반에 과도한 집중하중이 작용되는 것을 방지하기 위해 보강토체 저면에 콘크리트 기초를 설치하는 방법도 고려될 수 있다. 사다리꼴형 보강토 옹벽의

외적 안정해석은 동일한 높이의 동일한 면적을 갖는 직사각형 보강토 옹벽으로 가정하여 수행하고(Elias 등, 2001), 내적 안정해석에서는 각 보강재층의 실제 길이를 고려하여야 한다. 실제 현장에서는 BSI(1995) 및 FHWA(2001)에서 제시하고 있는 것 보다 좁은 공간에 보강토 옹벽을 축조하거나, 안정화된 지반이나 구조물 전면부에 보강토 옹벽을 축조하는 경우가 있다. 이러한 경우에는 보강재를 사면에 정착시키는 방법 등을 병용하여 설계하는 것도 하나의 방안이 될 수 있다(Berg 등, 2010).

4.3 보강재의 특성

보강토 옹벽에서 사용하는 보강재는, 재질에 따라 크게 금속성 보강재와 토목섬유 보강재로 구분할 수 있고, 형상에 따라서는 띠형 보강재와 전면 포설형 보강재로 구분할 수 있다.

금속성 보강재는 흙 속에서 부식되기 쉬우므로, 금속성 보강재의 수명은 보강재의 부식에 대한 저항력에 달려있다. 일반적으로 금속성 보강재는 부식에 대한 저항력을 높이기 위하여 표면에 아연도금 처리를 한다. 흙속에 묻힌 아연도금된 금속성 보강재의 부식속도는 최초 2년간은 $15 \mu\text{m}/\text{year}$, 그 이후에는 $4 \mu\text{m}/\text{year}$, 아연도금이 완전히 손실된 이후에는 $12 \mu\text{m}/\text{year}$ 를 적용하여 보수적으로 설계할 수 있다(Elias 등, 2001). 미국 FHWA의 보강토 옹벽 설계지침서(Elias 등, 2001)에서는 일반적인 조건에서 금속성 보강재의 아연도금두께를 최소 $86 \mu\text{m}$ 이상으로 규정하고 있다. 반면에 건설공사 비탈면설계기준 해설(2006)에는 금속성 보강재의 아연도금 두께에 대한 규정은 없고, 아연도금 여부, 설치위치 및 내구연한에 따른 부식두께만 제시되어 있는 실정이어서 이에 대한 기준 마련이 필요하다.

일반적으로 토목섬유 보강재의 인장특성은 크리프(creep), 시공시 손상, 노화(aging), 온도, 구속압 등과 같은 환경적인 요인에 의해 영향을 받는다. 따라서 토목섬유 보강재의 장기설계인장강도는 허용인장변형과 크리프 특성 및 가능한 모든 강도저하 요인 등을 고려하여 결정되어야 한다. 그러나 국내에서 토목섬유 보강토 옹벽 설계시 보강재의 장기설계인장강도 산정에서 시공시 손상 및 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 필요하다.

표 4. 토목섬유 종류별 내시공성 감소계수 추천값(Elias 등, 2001)

Reduction Factor, RF _D			
No.	Geosynthetic	Type 1 Backfill Max. Size 102mm D50 about 30mm	Type 2 Backfill Max. Size 20mm D50 about 0.7mm
1	HDPE uniaxial geogrid	1.20 – 1.45	1.10 – 1.20
2	PP biaxial geogrid	1.20 – 1.45	1.10 – 1.20
3	PVC coated PET geogrid	1.30 – 1.85	1.10 – 1.30
4	Acrylic coated PET geogrid	1.30 – 2.05	1.20 – 1.40
5	Woven geotextiles(PP & PET) ⁽¹⁾	1.40 – 2.20	1.10 – 1.40
6	Non woven geotextiles(PP & PET) ⁽¹⁾	1.40 – 2.50	1.10 – 1.40
7	Slit film woven PP geotextile ⁽¹⁾	1.60 – 3.00	1.10 – 2.00

⁽¹⁾Minimum weight 270 g/m²

표 5. 폴리머 종류별 크리프 감소계수의 일반적인 범위

폴리머 종류	크리프 감소계수	
	Elias 등(2001)	조삼덕 등(2005)
PET(Polyester)	1.6~2.5	1.67
PP(Polypropylene)	4.0~5.0	–
HDPE(High Density Polyethylene)	2.6~5.0	2.63

표 6. 보강토 옹벽 뒤채움흙 선정기준

FHWA (Elias 등, 2001)		건설공사 비탈면 설계기준 해설(2006)	
입경(mm)	통과백분율(%)	입경(mm)	통과백분율(%)
102 (강재)	100	53	75 ~ 100
19 (토목섬유)	100	19	75 ~ 100
0.425	0 ~ 60	4.75	20 ~ 100
0.075	0 ~ 15	0.425	0 ~ 60
		0.075	0 ~ 15
		0.015	10 ~ 20

• 소성지수 (PI) ≤ 6

한편, 미국 FHWA의 보강토 옹벽 설계지침서(Elias 등, 2001)에서는 현장 내시공성시험을 수행하지 않은 경우에 사용할 수 있는 시공중 손상에 대한 감소계수 추천값을 표 4와 같이 제시하고 있고, 폴리머 종류별 크리프 감소계수는 표 5와 같이 제시하고 있다.

4.4 시공 및 품질관리

4.4.1 뒤채움재 품질기준 재정립

일반적으로 보강토 옹벽의 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 보강재

를 손상시킬 수 있기 때문에 뒤채움재로는 적합하지 않다. 일반적으로 토목섬유 보강토 옹벽의 뒤채움흙으로의 적합성 여부는 표 6에 나타난 조건으로부터 평가할 수 있다.

그러나 실제 현장에서 선정기준에 맞는 뒤채움흙을 구하기는 쉽지 않으므로(이은수, 1996), 현재 국내에서는 보강토 옹벽 현장 근처에 있는 화강풍화토에서 매우 큰 돌만을 제거한 후 그대로 뒤채움흙으로 사용하고 있어 보강토 옹벽의 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. 조삼덕 등(2001, 2005)은 다양한 지오그리드에 대한 일련의 현장 내시공성시험 결과, 시공중 손상으로 인한 인장강도 감소가 뒤채움흙의 최대입경 및

그림 7. 성토층 다짐으로 인한 지오품드의 인장강도감소율(조삼덕 등, 2005)

(a) 균열

(b) 배부름

그림 8. 보강토 옹벽의 균열 및 배부름현상

지오품드 종류에 따라 최대 40%까지 발생됨을 확인하였다(그림 7 참조).

4.4.2 보강토 옹벽의 시공관리

보강토 옹벽에서 전면벽체는 보강재의 고정, 토체의 국부적인 이완(분리 또는 침식)을 방지하는 역할을 하며, 설계시에는 일반적으로 전면벽체의 효과를 고려하지 않고 있다. 또한 전면벽체는 보강토 옹벽에서 외부에 노출된 유일한 구성요소이므로, 전체적인 미관에 큰 영향을 미친다. 전면벽체는 시공시 수작업에 의해 적층하게 되는데 이

때 숙련된 작업자에 의한 정확한 위치에서의 설치가 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 보강토 옹벽의 국부안정을 저해하고 콘크리트 전면벽체에 인장균열을 야기시킬 수 있다.

또한 기초지지력 부족으로 부등침하가 발생할 경우에도 전면벽체에 심각한 균열을 초래할 수 있으므로 유의해야 한다. 한편, 부적합한 뒤채움흙을 사용하거나 다짐관리를 철저히 하지 않은 경우에는 그림 8에 보인 바와 같은

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

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

4.4.3 배수시설 미흡

보강토 옹벽의 광범위한 보급 및 대형화와 우기철 집중호우의 증가로 강우기 보강토 옹벽의 피해사례가 증가하고 있다. 강우와 보강토 옹벽의 안정성은 밀접한 관계가 있으며 대부분의 변상, 붕괴사례가 강우기에 발생하고 있고, 대규모 붕괴의 경우는 대부분 적절하지 못한 배수관리에 기인한 경우가 많다(권오현 등, 2009). 따라서 보강토 옹벽의 안정성 확보를 위해서는 철저한 배수관리가 매우 중요하다.

보강토 옹벽은 공법 특성상 배수성 구조물로 분류되며 어느 정도의 지하수 및 지표수 유입시에도 원활한 배수가 가능하도록 설계 및 시공되고 있으나, 집중호우에 의해 표면수 및 지하수가 과다하게 유입될 경우에는 안정성을 보장 받을 수 없으므로 적절한 배수시스템의 정립이 필요하다.

5. 결론 및 제언

본 논문에서는 국내 보강토 옹벽 적용현황을 조사하고 설계, 시공상의 문제점과 개선방안을 살펴보았다.

1980년에 국내에 보강토 옹벽이 처음 도입된 이래로 30년 정도 경과하였고 시장 규모도 연간 수천억원에 이를 정도로 활발히 적용되고 있으나, 아직까지 기술적인 발전이 이를 따라가지 못하고 있다. 특히, 설계/시공 관련 각종 규정(지침, 편람, 표준시방서 등)이 상세하지 않고, 그 내용도 서로 상이한 부분이 많아 토목기술자들이 보강토 옹벽을 합리적으로 현장에 적용하는데 어려움이 많은 실정이다. 또한 보강토 옹벽의 설계는 주로 전문업체에서 지반공학을 전공하지 않은 설계자들이 설계 프로그램에 설계정수를 입력하는 방법으로 수행되고 있고, 이러한 설계결과를 지반 분야 전문가들이 적절히 검토하지 않는 경우가 많아, 부실설계로 인한 하자발생 사례도 많이 보고되고 있다. 이러한 문제는 보강토 옹벽에 대한 불신을 확산시켜

결국 기술발전을 저해하는 요인이 될 수 있다.

따라서 보강토 옹벽 시장의 건전한 발전을 위해서는 발주처, 연구기관, 대학, 업체 등의 관련 기관의 깊은 이해와 관심이 요구된다. 또한 시장의 변화 및 발전에 따른 설계/시공 기준의 정립, 표준화 및 품질확보 방안 등을 마련하여 지속적인 홍보 및 보급을 하여야 할 것이며 그 방안을 아래와 같이 제안 하고자 한다.

- (1) 보강토 옹벽의 설계 및 시공에 관한 각종 규정(기준, 지침, 편람 등) 중 서로 상충되는 부분을 통합하고, 세부적인 사항에 대한 상세한 설계, 시공 및 품질관리 규정을 마련해야 한다.
- (2) 국내에서 사용되고 있는 보강토 옹벽 설계프로그램에 대한 비교 검토결과, 적용설계기준이 외국과 국내 기준이 혼용된 상태이며 산출결과도 각각 다르게 나타나 신뢰성이 저하되므로 설계자의 다양성을 고려하면서 국내 관련 규정에 적합한 범용 설계프로그램을 개발 및 보급하고, 각 업체가 보유하고 있는 설계 프로그램에 대한 검증시스템을 마련해야 한다.
- (3) 현장 발주시 최저가 방식을 지양하고 소요품질 및 기술력을 확보한 업체만 입찰에 참여할 수 있도록 재료 시험, 설계검증 및 시방기준 등을 강화한다.

감사의 글

이 연구는 2010년도 국토해양부 기획감사 과제인 “보강토 옹벽 시공 및 관리실태”와 한국건설기술연구원의 주요사업인 “도시기후 영향 최소화 핵심 녹색 건설기술 개발”의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 권오현, 박영주, 서동현 (2009), “기후변화에 대비한 보강토 옹벽의 설계 및 시공기준 고찰”, *한국토목섬유학회 가을 학술발표회논문집*, pp.91-100.
2. 권오현, 이광우, 조삼덕(2008), “보강토 옹벽 설계기준 및 S/W 표준화”, *한국토목섬유학회 봄 학술발표회논문집*, pp.27-36.
3. 유충식 (2002), “다단식 보강토 옹벽의 설계사례-사례연구”, *한국토목섬유학회논문집*, 제1권, 제1호, pp.31-41.
4. 이은수 (1996), *보강토체 구성재료로 이용되는 화강토의 적용성 평가*, 박사학위논문, 동국대학교, pp.74-108.
5. 일본 토목연구센터 & 지오텍스타일 보강토공법 보급위원회 (2000), *지오텍스타일을 이용한 보강토의 설계·시공 매*

뉴얼, 일본 (재)토목연구센터.

6. 조삼덕, 김진만, 안주환, 이광우 (2001), “뒤채움흙의 입도에 따른 지오그리드의 내시공성 평가”, *2001 토목섬유 학술발표회 논문집*, pp.19-28.
7. 조삼덕, 이광우, 오세용, 이도희 (2005), “지오그리드의 장기설계인장강도에 미치는 시공시 손상 및 크리프 변형 복합효과에 대한 실험적 평가”, *한국토목섬유학회 논문집*, 제4권, 제4호, pp.23-37.
8. 조삼덕, 이광우 (2008), “토목섬유 보강토 옹벽의 기술현황 및 개발동향”, *한국지반공학회 가을 학술발표회 논문집*, pp.141-157.
9. 한국지반공학회 (1998), *토목섬유 설계 및 시공요령*.
10. 한국토목섬유학회 (2006), *토목섬유의 특성 및 활용기법*, 구미서관.
11. 한국토목섬유학회 (2010), *보강토공법 실무 설계 시공 시험평가*, 씨·아이·알.
12. 한중근, 조삼덕, 정상섭, 이광우, 김지선 (2005), “시공환경을 고려한 블록식 보강토 옹벽의 붕괴요인 분석 및 대책 방안 사례연구”, *한국토목섬유학회논문집*, 제4권, 제3호, pp.35-43.
13. Berg, R. R., Christopher, B. R. and Samtani, N. C. (2010), *Design of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes-Volume I*, FHWA-NHI-10-024, US Department of Transportation Federal Highway Administration, Washington, D.C.
14. BSI (1995), *Code of Practice for Strengthened / Reinforced Soils and Other Fills*, BS 8006, BSI, pp. 43-79.
15. Collin, J. (1997), *Design Manual for Segmental Retaining Walls. 2nd Ed.*, National Concrete Masonry Association (NCMA), Virginia, USA.
16. Elias, V. and Christopher, B. R. (1996), *Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes, Design and Construction Guidelines*, FHWA-SA-96-071, Washington, D.C.
17. Elias, V., Christopher, B. R. and Berg, R. R. (2001), *Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes, Design and Construction Guidelines*, FHWA-NHI-00-043, Washington, D.C.
18. French MOT (1980), *Reinforced Earth Recommendations and Rules of the Art*, Issued by the French Ministry of Transport.
19. Koerner, R. M., Koerner, J. and Soong, T. Y. (2001), “Earth Retaining Wall Costs in the USA”, *Proc. of Geosynthetic Conference 2001*, Portland, pp.483-5081.

(논문접수일 2011. 12. 6, 심사완료일 2012. 3. 19)