

따른 강성 지오그리드의 시공시 강도감소계수를 제시하고자 한다.

2. 내시공시험

2.1 내시공성시험 방법

보강토 구조물에 대한 해외의 여러 지침에서는 토목섬유 보강재의 내시공성을 통상 일련의 실내 및 현장 실험을 통해 평가하도록 하고 있다. 내시공성 평가를 위한 시험법은 크게 실내시험과 현장시험으로 구분할 수 있으며, 실내시험 방법은 ENV ISO 10722-1에 규정되어 있고, 현장실험법은 ASTM D 5818-95, FHWA(1996), GSI-GG4, BS 8006(1995) 등에 규정되어 있다. 이들 현장 내시공성시험법은 통상 그림 1에 나타난 바와 같은 순서로 수행하게 된다. 일반적인 시험방법은 기초노상을 실제 구조물 축조시와 동일하게 처리한 후 규정 면적의 지오그리드 시료를 포설하고, 그 상부에 성토재를 포설한 후 실제 구조물 축조시와 동일한 방법으로 다짐을 수행한다. 다짐 완료후에는 다짐된 상부 흙을 비기계적인 방법으로 지오그리드에 손상이 가지 않도록 조심스럽게 제거하여 지오그리드 시료를 추출하고, 추출된 시료에 대한 인장강도시험을 수행하여 원시료의 인장강도와 비교함으로써 지오그리드의 시공시 손상도를 평가한다.

한편, 아직 국내에는 토목섬유 보강재의 내시공성 평가를 위한 시험법이 규정되어 있지 않은 실정이어서, 본 연구에서는 해외의 여러 시험법들을 비교·검토하여 다음과 같이 내시공성시험을 수행하였다.

흙 종류와 입도분포에 따른 영향을 고찰하기 위해 경기도 파주시 인근에서 채취한 화강풍화토를 대상으로 자체 제작한 대형체가름장치(1.4m×2m)를 이용하여 최대입경이 19mm, 40mm, 60mm 및 80mm인 뒤채움흙을 마련하고 최대입경이 25mm인 쇄석과 입경이 25mm~60mm인 철도 도상(Ballast)용 쇄석을 준비하여 보강재 상·하부 성토층의 재료로 사용하였다. 본 연구에서 수행한 현장 내시공성시험 단면은 그림 2와 같다.

본 내시공성시험에서는 먼저 비교적 견고한 원지반을 정지하고 백호우로 성토재를 30cm 두께로 깔고 정지한 다음, 10t 용량의 진동로울러로 다짐을 실시하였다. 그리고 지오그리드를 다짐방향과 직각이 되도록 포설하고 그 위에 성토재를 40cm 정도 두께로 포설한 후 상대다짐도 90% 이상이 되도록 진동로울러로 다짐을 실시하였다. 다짐 후, 지오그리드가 손상되지 않도록 백호우와 인력으로 조심스럽게 성토재를 제거하고 지오그리드 시료를 추출하였다. 추출된 지오그리드 시료를 대상으로 시공시의 손상정도를 사진촬영을 포함한 육안 관찰을 통해 자세히 조사·기록하고, 광폭인장강도 시험의 시편(크기 : 0.2m× 1.4m)을 각각 7개정도 채취하였다.

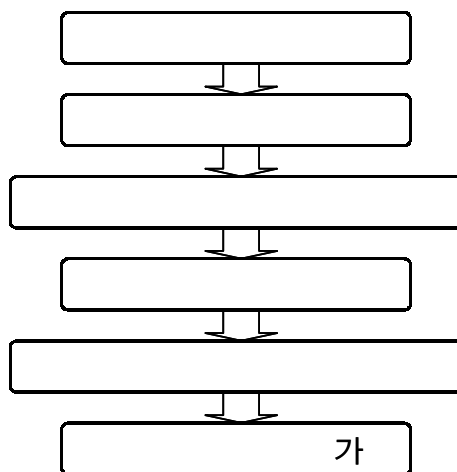


그림 1. 내시공성 시험 순서도

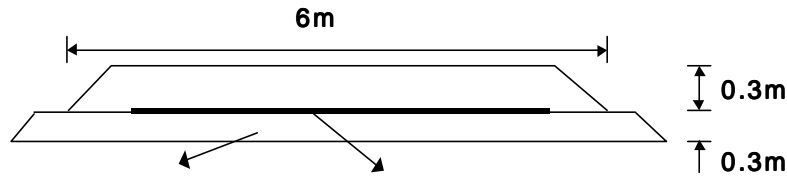


그림 2. 내시공성 시험 현장 단면도

2.2 사용재료

2.2.1 지오그리드

본 연구에서는 지오그리드의 강성도 및 인장강도가 내시공성에 미치는 영향을 평가하기 위하여, 국내에서 보강토구조물에 일반적으로 사용되고 있는 6종류의 강성 지오그리드를 대상으로 현장 내시공성 시험을 수행하였다.

현장시험에 앞서 지오그리드 보강재 원시료의 인장강도 및 변형 특성을 평가하기 위하여 선정된 지오그리드를 대상으로 하여 광폭인장강도시험(시험법: ISO 10319)을 수행하였다.

본 연구에서 사용한 지오그리드의 일반특성 및 광폭인장강도시험 결과는 표 1에 정리하였다. 표 1에서 광폭인장강도시험 결과는 시험시 사용한 20cm폭 시료의 리브수에 대한 단위 폭(1m) 당 리브수의 비율을 고려하여 단위폭 당 인장강도로 환산한 값이다.

표 2에 나타낸 바와 같이 지오그리드의 재질 및 인장강도가 내시공성에 미치는 영향을 평가하기 위하여, HDPE(High Density Polyethylene)를 열연신하여 제작한 일체형 강성 지오그리드 3종(A-1~A-3)과 폴리에스터(PET) 레진(resin)을 압출 실린더에 통과시켜 편평한 바(bar)형태로 추출한 후 냉각/연신 공정을 통하여 스트립(strip)형태로 만들고 이를 격자형으로 교차시켜 레이저 등으로 용접하여 제조한 강성 지오그리드 3종(B-1~B-3)을 보강재로 선정하였다.

표 1. 지오그리드 시료의 일반특성 및 광폭인장강도시험 결과

구분	재질	코팅재	그리드 조직	광폭인장강도시험 결과	
				인장강도(t/m)	인장변형률(%)
A-1	HDPE	-	일체형	6.23	11.7
A-2				8.39	12.1
A-3				10.25	12.4
B-1	Polyester	-	결합형 (레이저 용접)	5.27	7.4
B-2				8.31	7.0
B-3				11.11	6.8

2.2.2 성토재료

성토재의 종류 및 입도변화에 따른 지오그리드의 시공시 감소계수를 평가하기 위하여, 최대 입경이 각각 19mm, 40mm, 60mm, 80mm인 화강풍화토, 최대입경이 25mm인 쇄석, 그리고 철도 도상(Ballast)용으로 사용되는 입경 25mm~60mm의 쇄석을 각각 성토재로 사용한 경우에 대한 내시공성시험을 수행하였다.

그림 3은 현장 채가름을 통해 입도가 조정된 화강풍화토 흙시료에 대한 체분석시험 결과를 나타낸 것이다. 체분석시험 결과에서 알 수 있는바와 같이 현장 흙시료는 통일분류법상 SW(입도분포가 양호한 모래)로 분류되며, 다짐시험 결과 흙시료의 최대 건조밀도 및 최적 함수비는 1.94g/cm^3 및 11.1%인 것으로 나타났다.

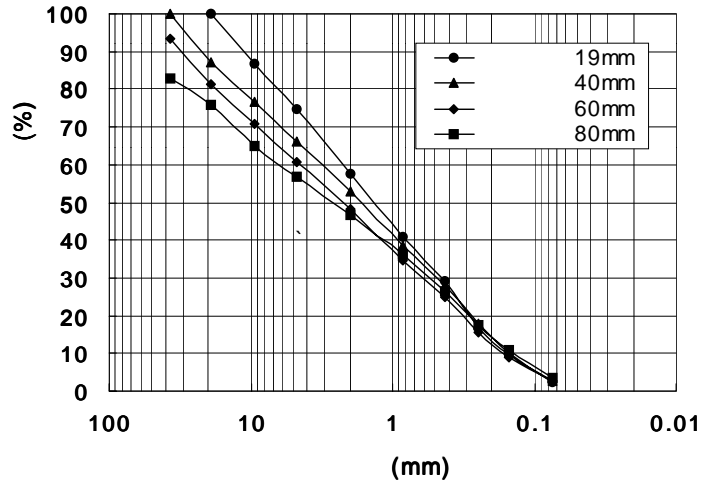


그림 3. 화강풍화토 시료의 입도분포곡선

3. 지오그리드의 시공시 강도감소 평가

3.1 육안관찰 결과

화강풍화토 및 쇄석을 성토재로 사용하여 수행한 내시공성시험 후 추출한 각 지오그리드에 대한 육안관찰 결과를 표 2에 나타내었다. 표 2(a)는 화강풍화토를 성토재로 사용한 실험에 대한 육안관찰 결과이고, 표 2(b)는 쇄석을 성토재로 사용한 실험결과 이다. 표 2에서 손상 개수는 지오그리드 시료면적(2m×5m) 전체에 대해 앞면과 뒷면의 손상지점 개수를 합한 숫자이다.

지오그리드의 손상정도 평가에서 “약한 표면손상”은 지오그리드 표면이 약간 굽힌 정도의 손상을 의미하고, “중간 표면손상”은 굽힘의 정도가 조금 심하거나 돌들에 의해 찍힘현상이 다소 나타나 있는 정도의 상태를 의미한다. 또한 “심한 표면손상”은 리브 중간부위가 갈라진 상태나 찍힘정도가 심한 상태를 의미하고, “부분절단”은 리브 단면의 절반 정도가 날카로운 돌에 의해 절단된 상태를 의미한다.

육안관찰 결과, HDPE 재질의 A-1~A-3 강성 지오그리드 시료의 경우 PET 재질의 B-1~B-3 강성 지오그리드에 비해 상대적으로 많은 손상지점이 발견되었는데, 이는 두 재질의 지오그리드 형상과 표면 상태가 서로 달라 육안관찰시 손상도 평가기준이 서로 상이하였기 때문인 것으로 판단된다. 즉, PET 강성 지오그리드는 투명한 백색이어서 육안관찰시 누락된 손상지점이 존재하였을 가능성이 있으며, 또한 HDPE 지오그리드에 비해 표면이 더 단단하기 때문에 다짐에 의한 표면손상에 대한 저항성이 더 컸을 것으로 판단된다.

화강풍화토를 성토재로 사용한 경우 표 2(a)에 나타낸 바와 같이, 다짐작업시 지오그리드의 표면이 굽히거나 다소의 찍힘현상이 나타난 “약한 및 중간 표면손상”이 많이 발생하였고 “심한 표면손상”이나 “부분절단” 등의 손상은 발견되지 않았다. 성토재의 최대입경에 따른 손상정도를 살펴보면, 최대입경이 클수록 손상지점의 개수가 다소 많은 경향을 보이고 있으나 그 차이가 그다지 크지는 않은 것으로 나타났는데, 이는 본 실험에서 비교적 두께가 두껍고 강성이 큰 지오그리드를 사용하였기 때문인 것으로 판단된다.

반면에, 쇄석을 성토재로 사용한 경우는 표 3(b)에서 알 수 있는 바와 같이 날카로운 쇄석의 모서리에 의한 찍힘현상으로 인해 “중간 및 심한 표면손상”이 많이 발생하였으며, 다소 많은 지점에서 “부분 절단” 이 발견되었다. 따라서 쇄석을 사용할 경우 지오그리드의 내시공성에 큰 영향을 미칠 수 있을 것으로 예상되므로 각별히 주의 해야할 것으로 판단된다.

표 2. 육안관찰 결과

(a) 화강풍화토

재료	성토재 최대입경(mm)	약한 표면손상		중간 표면손상	
		주방향	부방향	주방향	부방향
A-1	40	116	0	61	0
	60	126	0	58	0
	80	130	1	66	0
A-2	40	120	0	58	0
	60	122	0	62	0
	80	132	2	60	1
A-3	40	106	0	48	0
	60	103	0	49	0
	80	112	0	54	0
B-1	40	38	32	14	7
	60	45	30	20	9
	80	47	31	28	3
B-2	40	23	22	11	8
	60	24	20	9	9
	80	25	23	13	7
B-3	40	19	12	6	3
	60	20	11	7	6
	80	21	13	10	5

(b) 쇄석

재료	쇄석 입경(mm)	중간 표면손상		심한 표면손상		부분 절단	
		주방향	부방향	주방향	부방향	주방향	부방향
A-1	25 이하	50	0	0	0	0	0
	25~60	102	8	107	4	55	0
A-2	25 이하	65	1	2	0	3	0
	25~60	100	9	110	3	43	0
A-3	25 이하	-	-	-	-	-	-
	25~60	95	8	106	3	41	0
B-1	25 이하	39	35	42	38	18	16
	25~60	54	50	66	50	52	43
B-2	25 이하	43	40	35	30	14	13
	25~60	50	53	38	40	30	28
B-3	25 이하	30	21	24	19	11	10
	25~60	23	30	27	26	19	14

3.2 광폭인장강도시험 결과

2장에서 기술한 바와 같이 최대입경 19mm, 40mm, 60mm 및 80mm로 입도 조정된 4종류의 화강풍화토와 최대입경 25mm 및 철도 도상(Ballast)용 25~60mm 쇄석을 성토재로 사용하여 수행한 현장 내시공성 시험 후, 지오그리드의 인장강도특성 변화를 알아보기 위하여 광폭인장시험을 수행하였다. 광폭인장강도 시험은 “중간 표면손상”이상의 손상이 있는 부분에서 채취하였으며, 손상을 입어 강도손실이 있을 것으로 판단되는 부분을 20cm×140cm(경사방향) 크기로 재단하여 시편으로 사용하였다. 이 때 시편의 중앙부에 손상된 부분이 위치하도록 하였다.

본 연구에서는 내시공성시험 후 추출한 시료에 대하여 각각 7회 이상의 광폭인장강도시험을 수행하여 시험결과가 큰 차이를 보이는 경우를 제외하고 유사한 경향을 보이는 5회의 시험결과를 대상으로 지오그리드의 광폭인장강도-인장변형률 관계를 고찰하였다.

표 3. 성토재 종류별 광폭인장강도 시험 결과

성토재 종류	입경 (mm)	HDPE 강성 지오그리드			PET 강성 지오그리드				
		시료	인장강도 (t/m)	인장변형률 (%)	강도감소율 (%)	시료	인장강도 (t/m)	인장변형률 (%)	강도감소율 (%)
화강 풍화토	19 이하	A-1	6.17	11.6	1.0	B-1	5.20	6.5	1.3
		A-2	8.32	11.8	0.8	B-2	8.25	5.8	0.7
		A-3	10.17	12.1	0.7	B-3	11.07	6.4	0.4
	40 이하	A-1	6.06	12.4	2.8	B-1	5.12	7.3	2.8
		A-2	8.29	11.9	1.2	B-2	8.23	6.4	1.0
		A-3	10.04	12.0	2.0	B-3	11.03	7.0	0.7
	60 이하	A-1	5.94	11.8	4.7	B-1	5.01	6.4	4.9
		A-2	8.18	12.2	2.5	B-2	7.97	6.5	4.1
		A-3	9.91	11.9	3.3	B-3	10.97	7.2	1.3
	80 이하	A-1	5.91	11.9	5.2	B-1	5.03	6.5	4.6
		A-2	8.16	11.7	2.8	B-2	7.89	6.5	5.1
		A-3	9.76	11.8	4.7	B-3	10.93	7.3	1.6
쇄석	25 이하	A-1	6.11	10.6	1.9	B-1	4.99	6.1	5.3
		A-2	8.00	10.8	4.7	B-2	7.88	6.1	5.2
		A-3	-	-	-	B-3	10.62	7.9	4.4
	25 ~60	A-1	3.69	5.1	40.8	B-1	3.13	4.1	40.6
		A-2	5.69	5.5	32.2	B-2	5.13	4.5	38.3
		A-3	7.32	6.0	28.6	B-3	7.40	2.7	33.4

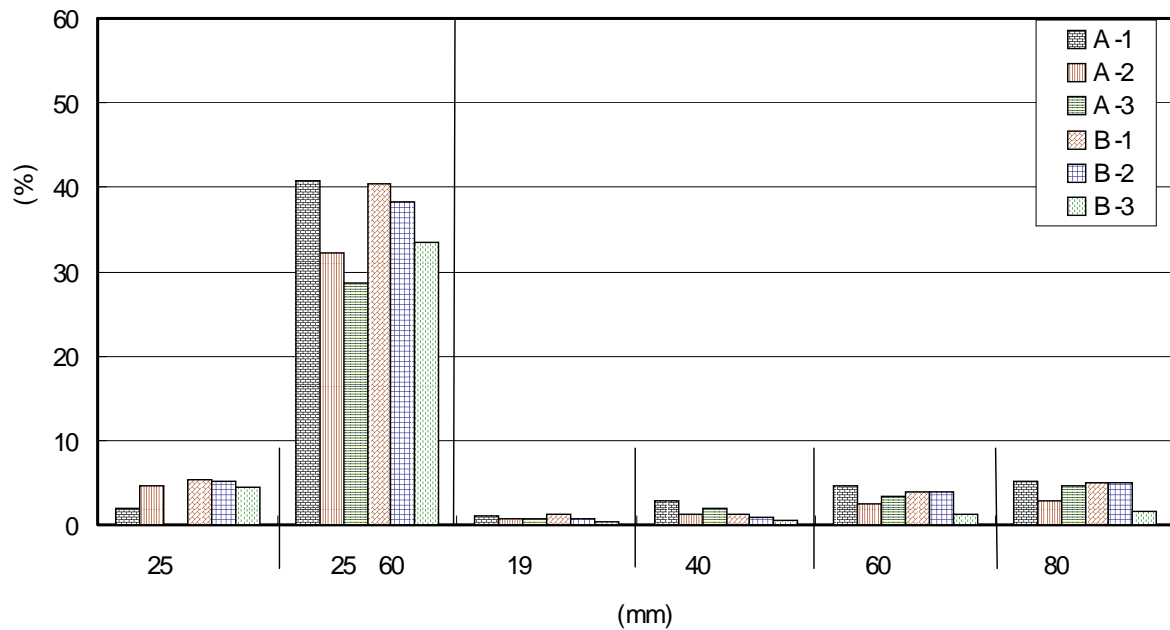


그림 4. 내시공성 시험후 지오그리드의 강도감소율

내시공성시험 후에 추출한 지오그리드 시료에 대한 광폭인장강도 시험결과를 성토재의 최대입경별로 구분하여 표 3 및 그림 4에 나타내었다.

표 3 및 그림 4에서 알 수 있듯이 HDPE 재료의 A-1~A-3 강성 지오그리드와 PET 재료의 B-1~B-3 강성 지오그리드의 성토재 종류에 따른 인장강도 감소특성은 비교적 유사한 것으로 나타났다. 최대입경 19mm, 40mm, 60mm 및 80mm로 체가름한 화강풍화토를 성토재로 사용하여 수행한 내시공성시험 결과, 강성 지오그리드의 평균 인장강도감소율은 전체적으로 5.2%이내의 값을 보이고 있으며, 대체로 뒤채움흙의

최대입경이 크고 지오그리드 인장강도가 작을 수록 시공중 강도감소가 다소 더 크게 발견됨을 확인할 수 있었다. 또한 25mm 쇄석을 사용한 경우 입도조정된 4종의 화강풍화토를 사용한 경우와 유사하게 5.3% 이내의 인장강도 감소율이 나타났으나, 철도 도상(Ballast)용 25mm~60mm 쇄석을 성토재로 사용한 경우는 인장강도 감소율이 28.6%~40.8%로 상당히 크게 나타났다.

3.3 지오그리드의 시공성 강도감소계수

토목섬유 보강재는 시공중에 손상을 입을 수 있으며, 대부분의 설계법에서는 토목섬유 보강재의 시공중 강도감소를 안전율 개념의 시공성 강도감소계수로 반영하고 있다. 지오그리드 보강재의 장기간 설계인장강도 계산시 요구되는 시공시 감소계수 RF_{ID} 는 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$RF_{ID} = T_{ult} / T_{exh}$$

여기서, T_{ult} = 지오그리드의 최대(극한) 인장강도 (t/m)

T_{exh} = 다짐시공 등에 의해 손상된 지오그리드의 인장강도 (t/m)

3.2절에 나타난 내시공성 시험후 지오그리드에 대한 광폭인장강도시험결과를 시공성 감소계수로 환산하여 표 4에 나타내었다. T_{exh} 는 각 입경별로 최대의 강도감소율을 나타낸 시료의 평균인장강도를 적용하였다.

표 4에서 알 수 있는 바와 같이 본 연구에서 수행한 일련의 현장 내시공성시험 결과, HDPE 재질의 A-1~A-3 강성 지오그리드와 PET 재질의 B-1~B-3 강성 지오그리드의 성토재 종류에 따른 인장강도 감소특성은 비교적 서로 유사하고, 동일 재질의 지오그리드의 경우 인장강도의 크기가 시공시 강도감소에 미치는 영향이 그다지 크지 않은 것으로 나타났기 때문에, 본 연구에서 사용한 강성 지오그리드의 경우 재질에 관계없이 각각의 성토재 종류별로 동일한 시공성 강도감소계수를 적용하여도 무방할 것으로 판단된다. 결론적으로 강성 지오그리드의 시공성 감소계수는 그 재질에 관계없이 최대입경이 40mm 이하인 화강풍화토를 성토재로 사용할 경우 1, 그리고 최대입경이 80mm 이하인 화강풍화토 및 최대입경 25mm 이하의 쇄석을 성토재로 사용할 경우에는 1.05를 적용하는 것이 안전성 및 경제성 측면에서 합리적일 것으로 판단된다. 한편, 성토재로서 25mm~60mm 쇄석을 사용할 경우에는 시공성 감소계수가 1.40~1.70으로 높게 나타날 뿐만 아니라 다소 많은 개소에서 지오그리드의 일부가 절단되는 현상이 발생하였으므로 사용시에 각별한 주의가 필요할 것으로 판단된다.

표 4. 지오그리드시료의 시공성 감소계수

성토재 \ 종류		종류					
		A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3
화강 풍화토	최대입경 19mm	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00
	최대입경 40mm	1.03	1.01	1.02	1.03	1.01	1.01
	최대입경 60mm	1.05	1.03	1.03	1.05	1.04	1.01
	최대입경 80mm	1.05	1.03	1.05	1.05	1.05	1.02
쇄석	최대입경 25mm	1.02	1.05	-	1.06	1.05	1.05
	입경 25mm~60mm	1.69	1.46	1.40	1.68	1.62	1.50

4. 결론

본 연구에서는 재질 및 최대인장강도가 다른 6종류의 강성 지오그리드를 대상으로 일련의 내시공성 현장실험을 수행하여, 뒤채움재의 종류 및 입도에 따른 강성 지오그리드의 시공중 강도감소효과를 평가하였다. 연구결과 얻은 결론은 다음과 같다.

1. HDPE(High Density Polyethylene) 재질의 강성 지오그리드와 PET(Polyester) 재질의 강성 지오그리드의 성토재 종류에 따른 인장강도 감소특성은 비교적 서로 유사하고, 동일 재질의 지오그리드의 경우 인장강도의 크기가 시공시 강도감소에 미치는 영향이 그다지 크지 않은 것으로 나타났다. 따라서 강성 지오그리드의 경우 재질에 관계없이 각각의 성토재 종류별로 동일한 시공성 강도감소계수를 적용하여도 무방할 것으로 판단된다.
2. 최대입경 19mm, 40mm, 60mm 및 80mm로 체가름한 화강풍화토를 성토재로 사용하여 수행한 내시공성시험 결과 강성 지오그리드의 평균 인장강도감소율은 전체적으로 5.2% 이내의 값을 보이고, 25mm 쇄석을 사용한 경우에도 5.3% 이내의 인장강도 감소율이 나타났으나, 철도 도상(Ballast)용 25mm~60mm 쇄석을 성토재로 사용한 경우는 인장강도 감소율이 28.6%~40.8%로 상당히 크게 나타났다.
3. 강성 지오그리드의 시공성 감소계수는 그 재질에 관계없이 최대입경이 40mm 이하인 화강풍화토를 성토재로 사용할 경우 1, 그리고 최대입경이 80mm 이하인 화강풍화토 및 최대입경 25mm 이하의 쇄석을 성토재로 사용할 경우에는 1.05를 적용하는 것이 안전성 및 경제성 측면에서 합리적인 것으로 판단되며, 성토재로서 25mm~60mm 쇄석을 사용할 경우에는 시공성 감소계수가 1.40~1.70으로 높게 나타날 뿐만 아니라 다소 많은 개소에서 지오그리드의 일부가 절단되는 현상이 발생하였으므로 사용시에 각별한 주의가 필요할 것으로 판단된다.
4. 이상의 결과로부터, 비교적 두께와 강성이 큰 지오그리드를 보강재로 사용할 경우, 내시공성 측면에서는 기존의 뒤채움재 선정기준(최대입경을 19mm로 제한)을 다소 완화시킬 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. ASTM D 5818(1995), Standard practices for obtaining samples of geosynthetics from a test section for assessment of installation damage, Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken, P.A.
2. Austin, D.N., Wu, K.K. &White, D.F.(1993), "The influence of test parameters and procedures on the tensile modulus of stiff geogrids", Geosynthetic Soil Reinforcement Testing Procedures, ASTM STP 1190, S.C. Jonathan Cheng, Ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, pp.90-110.
3. BS 8006(1995), Code of Practice for Strengthened/Reinforced Soils and other Fills, British Standard Institution.
4. Federal Highway Administration (1996), Corrosion/ degradation of soil reinforcements for mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes, FHWA-NHC-00-044, Washington D.C.
5. GRI Standard Practice GG-4(b)(1975), Determination of the long-term design strength of flexible geogrids, Geosynthetic Research Institute, Drexel Univ. , Philadelphia, USA.
6. ISO 10319(1993), Geotextiles:Wide-width tensile test, International Organization for Standardization, Switzerland.