

띠형 강보강재에 설치된 수동저항부재의 설치 특성에 따른 상호간섭계수 평가

Evaluation on Degree of Interference Based on Installation Characteristics of Transverse Members Installed in Steel Strip Reinforcement

정성규¹, 홍기권², 한중근³, 이광우^{4*}

Sunggyu Jung¹, Kikwon Hong², Jung-Geun Han³, Kwang-Wu Lee^{4*}

¹Nonmember, Ph.D. student, Geotechnical & Geo-Space Engineering, Univ. of Science & Technology, 283, Goyangdae-Ro, Ilsanseo-Gu, Goyang-Si, Gyeonggi-Do, 411-712, Republic of Korea

²Member, Research Professor, School of Civil and Environmental Engineering, Urban Design and Study, Chung-Ang Univ., 84, Heukseok-ro, Dongjak-gu, Seoul, 156-756, Republic of Korea

³Member, Professor, School of Civil and Environmental Engineering, Urban Design and Study, Chung-Ang Univ., 84, Heukseok-ro, Dongjak-gu, Seoul, 156-756, Republic of Korea

⁴Member, Senior Researcher, Geotechnical & Geo-Space Engineering, Univ. of Science & Technology, 283, Goyangdae-Ro, Ilsanseo-Gu, Goyang-Si, Gyeonggi-Do, 411-712, Republic of Korea

ABSTRACT

This paper describes interference effect analysis of transverse member based on large-scale pullout test results of steel strip reinforcement with '□' type transverse member. The maximum passive resistance has a difference according to the installed location of transverse member, and the total pullout resistance is increased, when transverse member was closed to the wall facing. The degree of interference confirmed that the install location of transverse member cannot reflect the pullout force differential, if S/B is equal. However, The interference factor based on maximum passive resistance reflected the differential of maximum passive resistance and install location of transverse member.

요 지

본 연구에서는 띠형 강보강재에 '□' 형태의 수동저항부재를 설치하는 보강재에 대한 인발시험 결과를 바탕으로 수동저항부재의 간격 및 설치위치에 따른 간섭효과를 분석하였다. 수동저항부재에서 발견되는 최대수동저항력은 수동저항부재의 설치 위치에 따라 차이가 발생하였으며, 전면벽체에 근접하여 설치된 수동저항부재에서 더 큰 수동저항력이 발견되는 것을 확인하였다. 최대인발력을 사용하여 간섭계수(DI)를 평가한 결과, 지지부재 직경과 간격의 비(S/B)가 동일한 경우에는 수동저항부재의 설치 위치에 따른 인발력 차이를 반영하지 못하는 것으로 평가되었다. 그러나 최대수동저항력을 사용하여 간섭계수(F)를 산정할 경우에는 수동저항부재의 설치 간격뿐만 아니라, 수동저항부재의 설치 위치에 따른 최대수동저항력 차이를 반영하는 것으로 분석되었다.

Keywords : Degree of interference, Interference factor, Steel strip reinforcement, Longitudinal member, Transverse member

1. 서 론

보강토 옹벽의 내적안정성은 크게 보강재와 흙의 상호

작용으로 인해 발생하는 보강재의 인발저항, 보강재의 인장강도, 보강재 재료의 내구성 및 보강재와 전면벽체의 연결강도를 바탕으로 평가한다(Berg et al., 2009a; 2009b). 보강재에 작용하는 인장력이 보강재에서 발생하는 인발저항보다 큰 경우에는 보강토체 내에서 인발과파괴가 발생하게 되므로 보강재의 인발저항을 평가하는 것은 매우 중요

Received 31 Jul. 2014, Revised 20 Aug. 2014, Accepted 22 Aug. 2014

*Corresponding author

Tel: +82-31-9100-232; Fax: +82-31-9100-211

E-mail address: kwangwu@kict.re.kr (K. W. Lee)

한 요소라 할 수 있다. 인발저항은 크게 마찰저항과 수동저항으로 구분되는데, 보강재의 인발저항을 향상시키기 위해 마찰저항뿐만 아니라 수동저항이 발현되는 보강재가 많이 사용되기도 있다. 특히, 강보강재의 경우, 띠형 강보강재 표면에 돌기(rib)를 형성한 보강재나 이형철근을 결합한 강그리드가 주로 사용되어 왔다. 이에 Lee et al.(2009)은 폭 45mm이고, 표면에 45mm 간격으로 돌기를 형성한 띠형 강보강재를 사용하여 인발거동을 평가한 바 있다. 또한 Bergado et al.(1992)은 지름 6.5mm와 13.0mm인 이형철근을 사용한 강그리드 보강재를 사용하여 인발거동을 평가하였고, 횡방향 부재에서 발현되는 수동저항력은 전체 인발력의 85%~95%에 이르는 것을 확인하였다.

강보강재는 토목섬유 보강재에 비해 뒤채움재 선택의 제약이 적고, 강성이 크다는 장점이 있지만, 비싼 재료비로 인해 시공비가 증가하기 때문에, 효율적인 시공 방법이 필요하다. 따라서 최근에는 경제성을 고려하면서 인발성능을 향상시킬 수 있도록 보강토체 저항영역의 인발방향의 부재에 횡방향 수동저항부재를 설치하여 인발저항을 증가시키는 형태의 보강재가 다수 개발된 바 있다. Kim et al.(2003)은 띠형 강보강재에 L자형 앵글을 볼트로 접합시킬 수 있는 형태의 보강재에 대한 인발저항을 평가하였으며, Horpibulsuk and Niramitkornburee(2010)은 이형철근에 다양한 크기의 L자형 수동저항부재를 용접한 강보강재를 사용하여 인발시험을 수행하였다. Hong(2011)은 띠형 강보강재에 ‘□’ 형태의 수동저항부재를 설치하는 형태의 보강재에 대한 인발거동을 평가하였고, 해당 보강재를 사용한 보강토 옹벽의 설계 및 시공을 통해 인발저항에 대한 안정성을 검증하였다.

한편, 강그리드 보강재의 경우에는 수동저항부재의 설치와는 관계없이 인발방향의 길이에 비례하여 전체 인발력을 산정할 수 있다. 그러나 보강토체 저항영역 내 보강재 끝단에 횡방향 부재를 설치하는 형태의 보강재의 경우, 전체 인발력은 보강재 포설길이에 비례하지 않으므로 마찰저항과 수동저항을 구분하여 전체 인발력을 산정해야 한다. 즉, 보강토체 저항영역 내에서만 수동저항부재가 설치되는 경우에는 수동저항부재의 설치 간격과 개수 등이 수동저항 크기에 영향을 미치기 때문에, 수동저항부재의 설치 특성을 평가할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 Hong(2011)이 수행한 대형인발시험 결과를 바탕으로 수동저항부재의 설치위치 및 간격에 따른 인발거동을 분석하였다. 또한 수동저항부재 1개의 설치 위치를 달리하여

수동저항부재 설치 위치에 따른 영향을 분석하였으며, 수동저항부재 2개 및 3개를 250mm 및 500mm의 간격으로 설치하는 경우에 대한 부재 간의 상호간섭효과를 평가하였다.

2. 상호간섭효과에 관한 기존 연구

Palmeira & Milligan(1989)은 강그리드 보강재를 사용한 인발시험결과를 바탕으로 횡방향부재에서 발현되는 수동저항부재의 상호간섭계수(degree of interference, DI)를 다음과 같이 제안하였다. 이 때, 지지부재 직경과 간격의 비(S/B)가 50 이상이면 상호간섭효과를 무시할 수 있다고 평가하였다.

$$DI = 1 - \left(\frac{P_p}{nP_o} \right) \quad (1)$$

여기서, n 은 수동저항부재의 개수, P_p 는 수동저항부재 n 개를 사용한 경우의 최대인발력, P_o 는 단일 수동저항부재에서 발현되는 최대 인발력을 말한다. 이 상호간섭계수를 Jewell et al.(1984)이 제안한 부착계수(bond coefficient)에 반영하여 다음과 같은 식 (2)로 제안하였다.

$$f_b = (\tan \delta_{sr} / \tan \phi) = (1 - DI)(B/S)(\sigma_b / 2\sigma_y \tan \phi) \quad (2)$$

여기서, δ_{sr} 은 지반과 보강재 사이의 마찰각, ϕ 는 흙의 내부마찰각, σ_b 는 그리드 보강재의 횡방향 부재에서 발현되는 수동저항, σ_y 는 수직응력을 의미한다.

Horpibulsuk and Niramitkornburee(2010)는 L형강을 수동저항부재로 사용한 강보강재의 인발시험을 통해 수동저항부재의 개수가 각각 2개, 3개 및 4개인 경우에 대하여 간섭계수(interference factor, F)를 산정할 수 있는 식 (3)을 제안하였다. 이는 간섭계수는 수동저항부재 n 개를 사용한 경우의 평균 수동저항력과 수동저항부재 1개 설치 시, 발현되는 수동저항력의 비로 정의하였다.

$$F = \frac{P_{lm}}{nP_{o1}} \quad (3)$$

그리고, 인발시험을 통해 측정된 수동저항력을 바탕으로 간섭계수를 식 (4)와 같이 제안하였다. 이 때, 간섭계수

는 수동저항부재의 폭(B)과 설치간격(S)의 비 및 수동저항부재의 개수(n)에 따라 결정되고, 수동저항부재의 횡방향 길이(L)와 작용하는 수직응력(σ_n)과는 관계가 없다고 하였다.

$$F = a + b \ln\left(\frac{S}{B}\right) \quad (4)$$

여기서, $b = 0.527[1 - \frac{1}{n}]$, $a = 1 - 3.219b$ 로 정의하며, a 와 b 는 수동저항부재의 개수가 2개, 3개 및 4개일 때, 각각 0.152와 0.264, -0.132와 0.351, -0.273과 0.395로 나타내었다. 시험 결과를 바탕으로 S/B 는 3.75 이하인 경우에 여러 개의 수동저항부재가 하나로 거동하며, S/B 가 25 이상일 때, 수동저항부재간의 간섭효과는 거의 나타나지 않는 것으로 평가하였다.

3. 대형인발시험

대형인발시험에 사용한 화강풍화토의 입도분포시험, 다짐시험, 직접전단시험 결과는 각각 Fig. 1, Fig. 2 및 Fig. 3에 나타내었으며, 공학적 특성을 Table 1에 정리하였다.

본 연구에서 사용한 인발시험장비의 토조(soil box) 크기는 길이 1600mm, 폭 760mm, 깊이 550mm이고, 700kPa의 압력을 견딜 수 있도록 제작되었다. 또한 0.5~30mm/min의 속도로 인발할 수 있으며, 변위측정장비(linear variable differential transformer, LVDT)를 사용하여 인발변위를 측정할 수 있다. 토조 내부 전면에는 슬리브(sleeve)가 형성되어 있어, 보강재가 인발되면서 발생할 수 있는 응력집중현상을 최소화하였다. 보강재에 작용하는 수직응력은

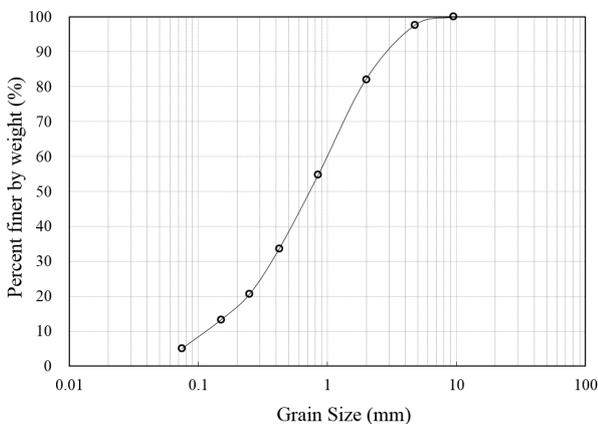


Fig. 1. Grain size distribution of the tested soil

공기주머니(air bag)를 사용하여 최대 500kPa까지 가할 수 있고, 인발시험장비의 전경은 Fig. 4에 나타낸 바와 같다.

수동저항부재의 설치 위치 및 설치 간격에 대한 영향을 확인하기 위해 Table 2와 같은 조건으로 인발시험을 수행하였다. 수직응력은 50kPa, 100kPa 및 150kPa를 적용하였으며, ASTM D 6706-01(ASTM, 2003)에 따라 1mm/min의 속도로 인발시험을 수행하였으며, 인발변위는 인발시험장비 및 변위측정장비의 한계성으로 인하여 160mm까지 측정하였다. 각 수동저항부재의 설치간격은 250mm

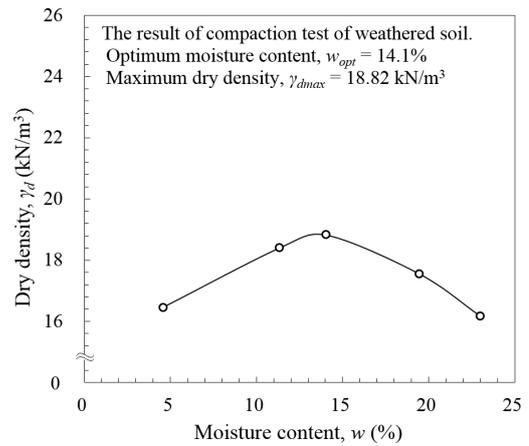


Fig. 2. Compaction test result of weathered soil

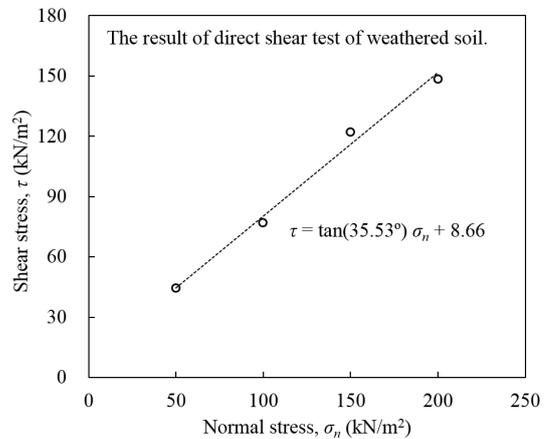


Fig. 3. Direct shear test result of weathered soil

Table 1. Soil properties of weathered soil

Specific gravity, G_s	2.67
Plasticity index, PI	N.P.
U.S.C.S	SW
Maximum dry density, γ_{dmax}	18.8 kN/m^3
OMC	14.1%
Internal friction angle, ϕ	35.53°
Cohesion, c	8.7 kN/m^2

Table 2. Pullout testing program

Longitudinal member type	Normal Pressure (σ_n, kPa)	Transverse member type			Tests Classification	
		The number of transverse member	Location of transverse member	Spacing (S, mm)		
Smooth steel strip	50, 100, 150	None	–	–	SN	
smooth steel strip with transverse members		1	1st		250	PS 1-1
			2nd			PS 1-2
			3rd	PS 1-3		
		2	1st, 2nd	500	PS 2-1-2	
			2nd, 3rd		PS 2-2-3	
3		1st, 3rd	250	PS 2-1-3		
					PS 3	

Note: Tests Classification = longitudinal member type, A number of transverse member – location of 1st transverse member – location of 2nd transverse member
 [ex. PS2-1-3 = smooth steel strip with transverse members, 2(A number of transverse member) -1(location of 1st transverse member) - 3(location of 2nd transverse member)]

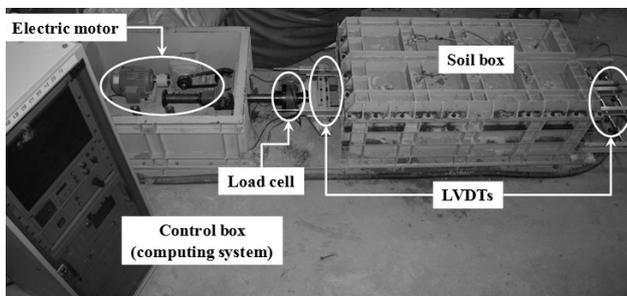
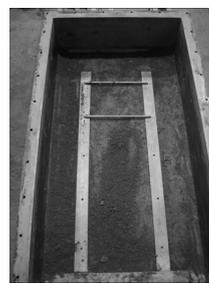


Fig. 4. Test apparatus (Lee et al., 2012)



(a) Setting bottom layer of soil (b) Covering top layer of soil and the steel reinforcement

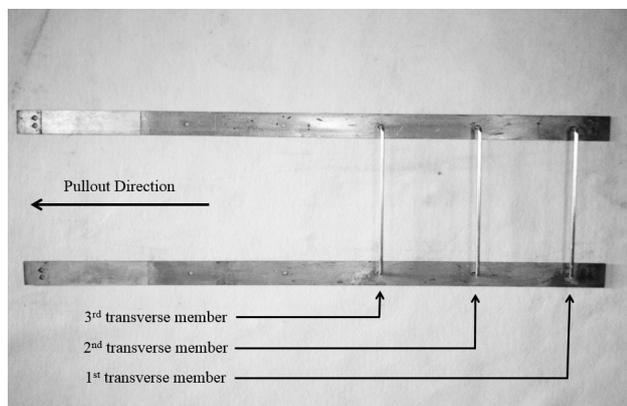


Fig. 5. Location of installing transverse members



(c) Positioning an air bag to simulate normal pressure (d) Installing top cover of soil box and LVDT for displacement measurement

Fig. 6. Procedure of large scale pullout tests of inextensible reinforcement

혹은 500mm로 설정하였으며, 수동저항부재의 설치 위치는 Fig. 5에 나타내었다.

대형인발시험 과정은 Fig. 6에서 보는 바와 같이, 토조 하부를 3개의 층으로 나누어 다짐율이 95% 이상이 되도록 다진 후, 1200mm 길이의 띠형 강보강재를 400mm의 중심간격을 갖도록 2열로 포설하였다. 그리고 토조 상부

를 하부와 같이 3개의 층으로 나누어 다짐을 실시하였다. 이 때, 토조 벽면과 지반 사이의 마찰을 최소화하기 위하여 오일 및 비닐랩을 이용하여 마찰저감처리를 실시하였으며, 상부에 수직응력을 가하기 위해 공기압 장치를 설치하였다.

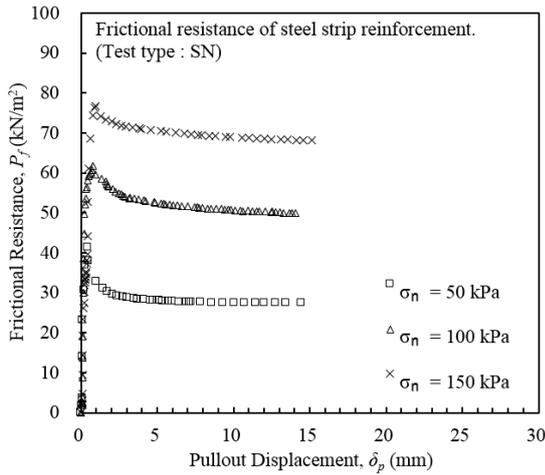


Fig. 7. Case SN

4. 시험결과 및 고찰

4.1 대형인발시험 결과

Fig.7은 수동저항부재를 설치하지 않은 경우의 인발시험을 결과를 나타낸 것이다. 즉, 띠형 강보강재 표면에서 마찰저항만으로 인발저항이 발현되는 경우로서, 인발 초

기에 급격히 인발력이 증가한 후, 인발변위가 증가함에 따라 인발력이 점차 감소하다 수렴하는 경향을 나타내었다. Fig.8~Fig.10은 수동저항부재의 개수 및 위치를 달리한 경우에 대한 인발시험 결과로서, 수동저항부재가 각각 1개, 2개, 3개인 경우의 인발력을 인발변위에 따라 나타내었다. 수동저항부재를 설치한 경우에는 초기인발변위에서 급격히 증가한 후, 인발변위가 증가함에 따라 인발력이 지속적으로 증가하는 것을 확인하였으며, 인발변위가 약 160mm인 지점에서 수렴 또는 증가추세로 나타났다. 따라서 시험에 적용된 보강재에서 발현되는 최대인발력은 인발변위가 160mm인 지점 또는 그 이상에서도 나타날 수 있다. 그러나 전술한 바와 같이, 인발시험장비 및 변위측정장비의 한계성으로 인하여 “case SN”을 제외한 모든 시험 종류의 최대인발력을 인발변위 160mm인 지점으로 결정하여, 수동저항력을 평가하였다.

4.2 수동저항부재의 위치 및 간격에 따른 수동저항력 평가

인발시험에 사용한 띠형 강보강재는 그리드형 보강재와는 달리 띠형 강보강재 끝에만 수동저항부재를 설치하

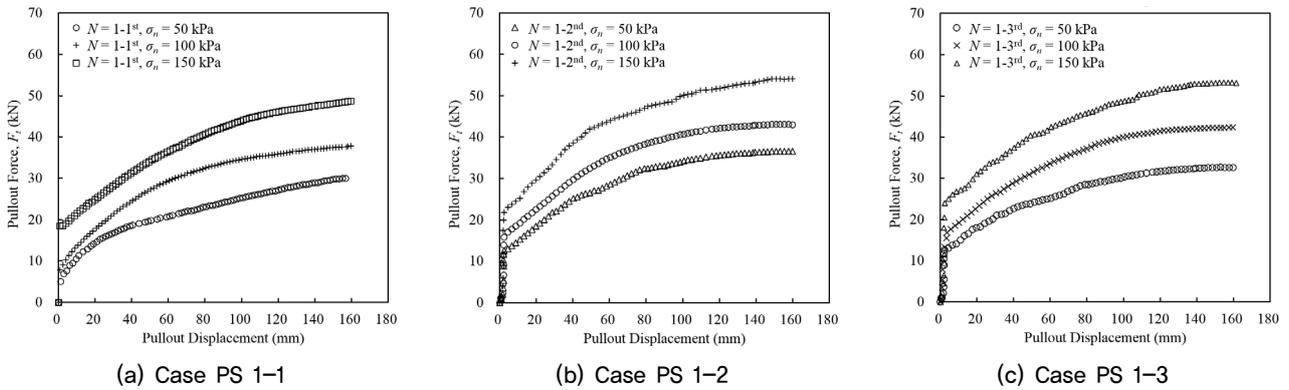


Fig. 8. Pullout force with pullout displacement at 1 transverse member

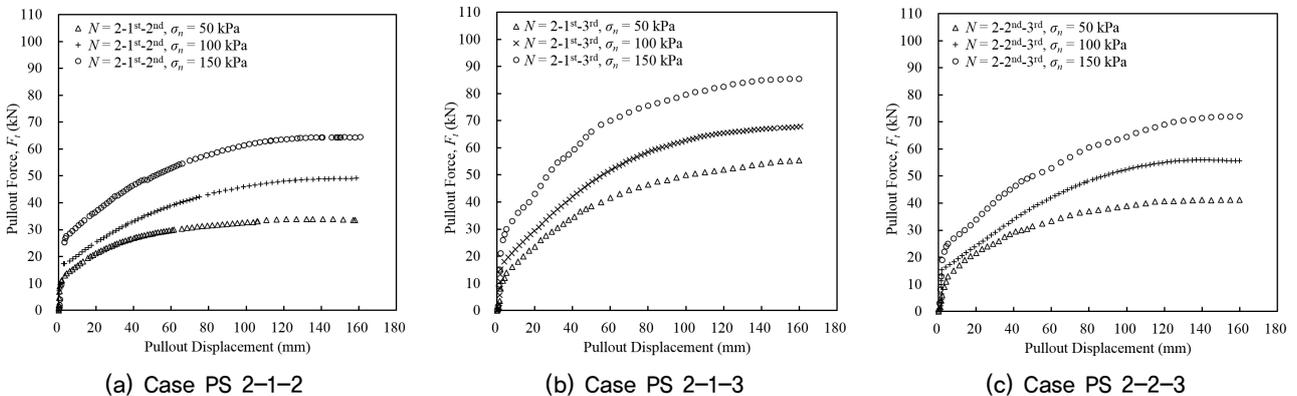


Fig. 9. Pullout force with pullout displacement at 2 transverse member

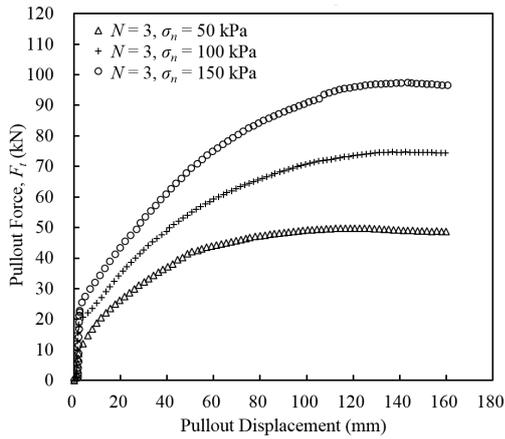


Fig. 10. Case PS 3

는 형태이다. 따라서 본 연구에서는 인발시험 결과를 바탕으로 수동저항력의 경향을 분석하였다. 또한, 마찰저항과 수동저항의 메커니즘은 아직까지 명확히 구분할 수 없으므로, 수동저항부재를 설치하였을 때 측정된 최대인발력과 최대마찰저항력(case SN)의 차이를 바탕으로 수동저항력으로 평가하였다.

Fig.11은 서로 다른 위치에 수동저항부재 1개를 설치하였을 경우, 수직응력에 따른 최대수동저항력을 비교한 결과이다. 수직응력이 증가함에 따라 최대수동저항력은 증가하는 경향을 나타냈으며, PS 1-1에서 산정된 수동저항력에 비해 PS 1-2, PS 1-3에서 산정된 수동저항력이 상대적으로 크게 나타난 것을 확인할 수 있었다. 이는 수동저항부재를 인발이 되는 토조 전면방향으로 근접하여 설치할수록 수동저항력이 크게 발현되는 것을 의미한다. 한편, 수동저항부재의 위치가 띠형 강보강재 끝에서 250mm 떨어진 경우(PS 1-2)와 500mm 떨어진 경우(PS 1-3), 높은 수직응력 조건에서 최대수동저항력 차이는 크지 않은 것

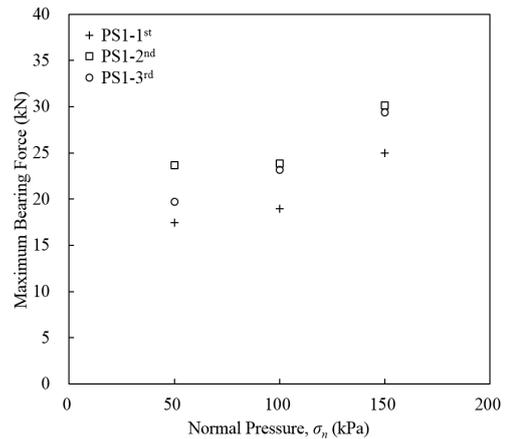


Fig. 11. Maximum bearing force with normal pressure of each case

으로 나타났다.

Fig. 12는 인발시험에 의해 산정된 최대수동저항력을 수동저항부재의 개수(N)로 나누어 수동저항부재 1개당 발현되는 최대수동저항력을 산술적으로 산정한 결과이다. 먼저, Fig. 12(a) 및 Fig. 12(b)는 수동저항부재 2개를 250mm 간격으로 설치한 경우의 최대수동저항력을 나타낸 결과로서, 수동저항부재 1개당 최대수동저항력은 수동저항부재 1개를 설치한 경우보다 작게 산정되었다. 이는 본 연구에서 사용한 강보강재의 경우, 수동저항부재의 간격이 250mm인 경우에 간섭효과가 발생하는 것으로 분석되었다. 반면에, Fig. 12(c)의 수동저항부재 2개를 500mm 간격으로 설치한 경우, 수동저항부재 1개를 설치한 경우에 비하여 최대수동저항력이 크게 산정된 것을 확인할 수 있었다. 즉, 이는 수동저항부재의 간격이 크기 때문에 상호간섭효과가 작게 나타났을 뿐만 아니라, 전면벽체에 가깝게 설치된 수동저항부재로 인하여 수동저항력이 크게 발현되었기

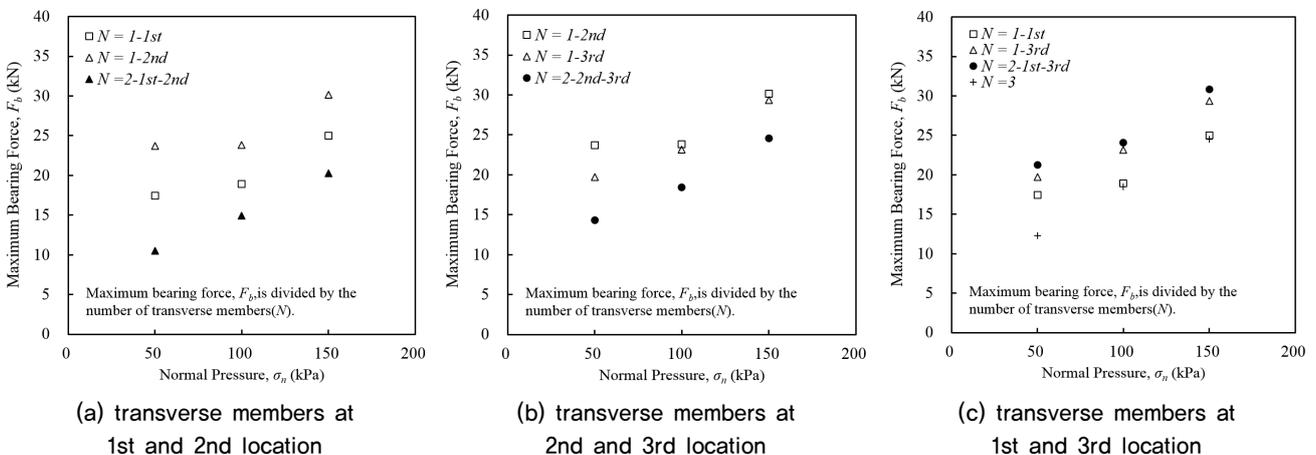


Fig. 12. Calculation for maximum bearing force per 1 transverse member in each test

Table 3. Degree of interference (DI) according to the pullout test results

Normal pressure, σ_n	PS 2-1-2	PS 2-2-3	PS 3	PS 2-1-3
	S/B = 25			S/B = 50
50	0.44	0.43	0.45	0.09
100	0.36	0.35	0.35	0.10
150	0.34	0.32	0.34	0.12

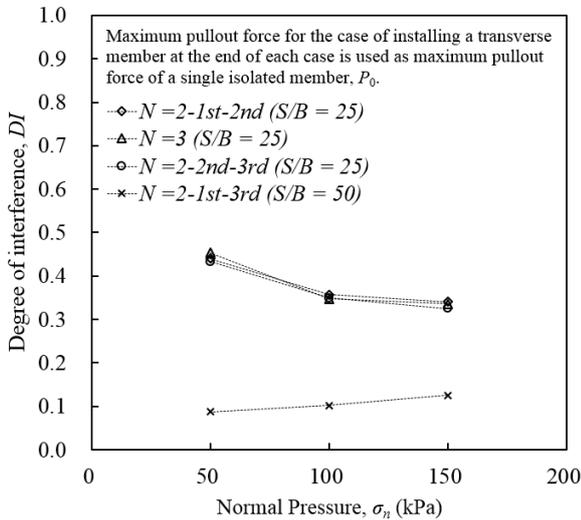


Fig. 13. Degree of interference

때문인 것으로 판단된다.

4.3 상호간섭계수 산정 결과 비교

인발시험을 통해 측정된 최대인발력을 바탕으로 Palmeira and Milligan(1989)이 제안한 상호간섭계수(DI)를 평가하였다. 또한 앞서 산정한 최대수동저항력을 바탕으로 Horpibulsuk and Niramitkornburee(2010)이 제안한 간섭계수(F)를 산정하여 상호간섭계수(DI)와 비교하였다. 이 때, 수동저항부재의 설치 위치에 대한 영향을 배제하기 위해 각 시험의 가장 끝에 위치한 수동저항부재를 기준으로 상호간섭정도를 평가하였다. 즉, PS 2-1-2, PS 2-1-3 및 PS 3의 경우에는 PS 1-1의 최대인발력 및 최대수동저항력을 기준으로 평가하였으며, PS 2-2-3은 PS 1-2의 결과를 기준으로 평가하였다.

Fig. 13은 측정된 최대인발력을 바탕으로 상호간섭계수(DI) 산정결과를 나타낸 것이다. 수동저항부재 2개를 지지부재 직경과 간격의 비(S/B)를 25로 설치하였을 때, 각 수직응력 조건($\sigma_n = 50\text{kPa}, 100\text{kPa}, 150\text{kPa}$)에 대한 상호간섭계수(DI)는 다음과 같다. 먼저, PS 2-1-2의 경우에는 각각 0.44, 0.36, 0.34, PS 2-2-3의 경우에는 각각 0.43, 0.35,

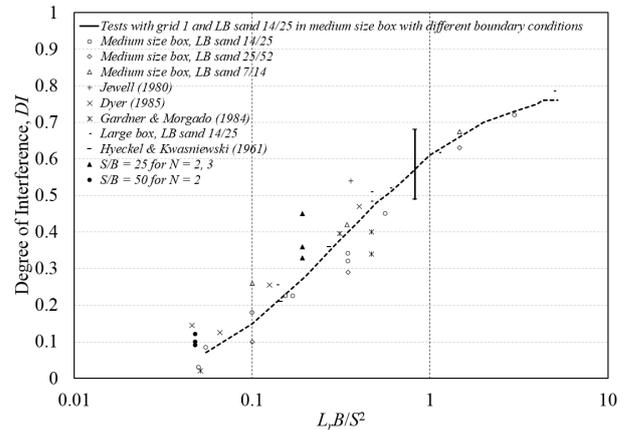


Fig. 14. Degree of interference against grid geometry parameter for tests performed in present work and for tests collected in literature (Palmeira and Milligan, 1989)

0.32로 나타났다. 그리고 수동저항부재 3개를 설치한 경우(지지부재 직경과 간격의 비(S/B)=25)의 간섭계수는 각각 0.45, 0.35, 0.34로 나타나 수동저항부재 2개 설치 시의 결과와 유사한 것으로 확인되었다. 즉, 상호간섭계수(DI)는 지지부재 직경과 간격의 비(S/B)가 동일한 경우에는 수동저항부재의 설치 위치에 따른 인발력 차이를 반영하지 못하는 것으로 평가되었다. PS 2-1-3의 경우(간격비 50)에는 상호간섭계수가 각각 0.09, 0.10, 0.12로 산정되어 상호간섭효과가 거의 없는 것으로 판단되었다. 이는 지지부재 직경과 간격의 비(S/B)가 50 이상이면 상호간섭효과를 무시할 수 있다는 Palmeira and Milligan(1989)의 연구 결과를 입증하는 결과라 할 수 있다. 또한 지지부재 직경과 간격의 비(S/B)가 25인 경우의 상호간섭계수(DI)는 수직응력이 증가할수록 감소하는 경향으로 나타났으며, 50인 경우에는 다소 증가하였지만, 큰 차이가 없는 것으로 확인되었다.

한편, Palmeira & Milligan(1989)는 수동저항부재간의 간섭에 영향을 미치는 인자를 크게 지반의 성질(입자 형태 및 거칠기 포함)과 수동저항부재의 폭(B), 설치 간격(S) 및

Table 4. Interference factor (F) according to the results of pullout tests

Normal pressure, σ_n	PS 2-1-2	PS 2-2-3	PS 3	PS 2-1-3
	S/B = 25			S/B = 50
50	0.60	0.60	0.70	1.22
100	0.79	0.77	0.98	1.27
150	0.81	0.81	0.98	1.23

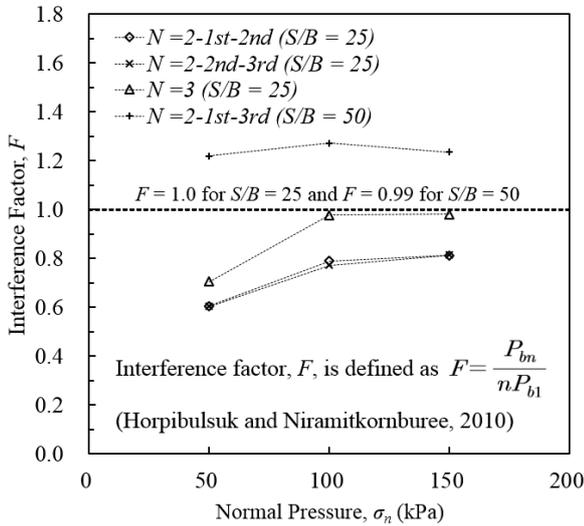


Fig. 15. Evaluation of interference factor

개수(n)로 구분하여, 강그리드를 사용한 기존 연구의 실험 결과를 바탕으로 $L_r, B/S^2$ 에 따른 상호간섭계수(DI)의 영향을 분석한 바 있다. 여기서, L_r 은 강그리드 보강재의 길이, B 는 횡방향 부재의 폭, S 는 횡방향 부재의 설치 간격을 나타낸다. 이에 본 연구결과를 이용하여 $L_r, B/S^2$ 에 대한 영향을 분석한 결과, 최대인발력을 사용하여 산정한 상호간섭계수(DI)는 동일한 보강재 조건에서 기존 연구결과에 비하여 다소 크게 나타난 것을 확인하였다.

Fig. 15는 인발시험결과로부터 산정한 수동저항력을 바탕으로 Horpibulsuk and Niramitkornburee(2010)가 제안한 간섭계수 산정방법을 적용한 결과이다. 먼저, 수동저항부재 2개를 250mm 간격으로 설치한 경우($S/B = 25$)의 간섭계수(F)는 수동저항부재의 설치 위치에 관계없이 유사한 결과가 나타났다. 즉, 수직응력이 50kPa일 때는 약 0.6, 100kPa 및 150kPa일 경우에는 약 0.8로 평가되었다. 그러나 수동저항부재 3개를 250mm 간격으로 설치한 경우($S/B = 25$)의 간섭계수(F)는 낮은 수직응력 조건(50kPa)에서 약 0.7, 높은 수직응력 조건(100kPa 및 150kPa)에서는 1.0에 가까운 약 0.98로 평가되었다. 즉, 수직응력이 높은 경우에 비해 수직응력이 낮을 때, 수동저항부재간의 간섭이

비교적 크게 발생하지만, 일정 크기 이상의 수직응력 조건(본 연구의 경우는 100kPa 이상)에서는 간섭효과가 유사하게 나타나는 것으로 분석되었다. 또한 지지부재 직경과 간격의 비(S/B)가 25로 동일한 조건이지만, 수동저항부재가 3개인 경우의 간섭계수(F)가 더 크게 산정된 것으로 확인되었다. 이는 수동저항부재의 설치 위치가 전면벽체에 가까울수록 수동저항력이 크게 발현되는 결과에 기인한 것으로 분석되었다. 그리고 수동저항부재 2개의 설치 간격이 500mm($S/B = 50$)인 경우의 간섭계수(F)가 1.0보다 크게 산정된 원인은 두 개의 수동저항부재가 독립적으로 거동할 뿐만 아니라, 전면벽체에 근접하여 설치된 수동저항부재에서 더 큰 수동저항력이 발현되었기 때문인 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 ‘ \square ’ 형태의 수동저항부재를 사용하는 띠형 강보강재의 인발시험 결과를 사용하여 수동저항부재의 설치 위치 및 설치 간격에 따른 간섭 거동을 분석하였고, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 수동저항부재에서 발현되는 최대수동저항력은 수동저항부재의 설치 위치에 따라 차이가 발생하였으며, 전면벽체에 근접하여 설치된 수동저항부재에서 더 큰 수동저항력이 발현되는 것을 확인하였다. 즉, 수동저항부재가 가장 끝단에 설치된 경우에 비하여 250mm 가깝게 설치된 경우가 약 1.2~1.4배, 500mm 가깝게 설치된 경우가 약 1.1배~1.2배 정도의 높은 최대수동저항력이 발현되었다.
- (2) 최대인발력 및 최대수동저항력을 사용하여 상호간섭계수(DI)를 산정한 결과, 수직응력 조건에 따라 차이를 나타내는 것으로 확인되었다. 즉, 수직응력이 낮은 경우에는 높은 조건에 비하여 간섭효과가 크게 발생하는 것으로 나타났지만, 수직응력이 높은 조건에서

의 상호간섭 정도는 크지 않은 것으로 평가되었다. 또한 수동저항부재의 설치 위치에 관계없이 지지부재 직경과 간격의 비(S/B)가 25인 경우에는 각 수직응력 조건에 따른 상호간섭계수(DI)가 유사하게 산정되었다. 이는 수동저항부재의 설치 위치에 따른 최대수동저항력 차이를 반영하지 못하는 것을 의미한다.

- (3) 최대수동저항력을 사용하여 간섭계수(F)를 산정할 경우에는 수동저항부재의 설치 간격뿐만 아니라, 수동저항부재의 설치 위치에 따른 최대수동저항력 차이를 반영하는 것으로 분석되었다. 이에 강그리드 보강재와는 달리 띠형 강보강재의 저항영역 끝단에만 수동저항부재를 설치하는 형태의 보강재에 대해서는 최대수동저항력을 따로 산정하여 상호간섭 정도를 평가해야 할 것으로 판단된다.

References

1. ASTM (2003), *Standard test method for measuring geosynthetic pullout resistance in soil*, ASTM D 6706-01, ASTM Book of Standards, Volume 04.13, Philadelphia, USA.
2. Berg, R. R., Christopher, B. R. and Samtani, N. C. (2009a), *Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes - Volume I*, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington DC, Publication No. FHWA-NHI-10-024(FHWA GEC 011-Vol I).
3. Berg, R. R., Christopher, B. R. and Samtani, N. C. (2009b), *Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes - Volume II*, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington DC, Publication No. FHWA-NHI-10-025(FHWA GEC 011-Vol II).
4. Bergado, D. T., Hardiyatimo, H. C., Cisneros, C. B., Chun, C. J., Alfaro, M. C., Balasubramaniam, A. S. and Anderson, L. R. (1992) "Pull-out resistance of steel geogrids with weathered clay as backfill material", *Geotechnical Testing Journal*, Vol.15, No.1, pp.33-46.
5. Hong, K. K. (2011), *Evaluation of pullout resistance and design of strip-type reinforcement based on anchorage effect*, Ph.D. Thesis, Chung-Ang University. (in Korean with English summary)
6. Horpibulsuk, S. and Niramitkornburee, A. (2010), "Pullout resistance of bearing reinforcement embedded in sand", *SOILS AND FOUNDATIONS*, Vol.50, No.2, pp.215-226.
7. Jewell, R. A., Milligan, G. W. E., Sarsby, R. W. and Dubois, D. (1984), "Interaction between soil and grids", *Symposium on Polymer Grid Reinforcement in Civil Engineering*, London, UK, 18-30.
8. Kim, H. T., Bang, Y. K., Park, S. S. and Kim, H. J. (2003), "An Experimental Study on Pullout Behavior Characteristics of the Steel Strip Reinforcement Bolted with Braced Angles", *Journal of the Korean Geo-Environmental Society*, Vol.4, No.1, pp.67-75. (in Korean with English summary)
9. Lee, K. W., Cho, S. D., Han, J. G. and Hong, K. K. (2009), "Pullout Resistance of Steel Strip Reinforcement with Transverse Members using Large-scale Pullout Tests", *Journal of the Korean Geosynthetics Society*, Vol.8, No.4, pp.1-8. (in Korean with English summary)
10. Lee, K. W., Cho, S. D., Han, J. G. and Hong, K. K. (2012), "Evaluation of Strain Distribution and Pullout Strength based on Width and Horizontal Spacing of Geosynthetic Strip", *Journal of the Korean Geosynthetics Society*, Vol.11, No.2, pp.39-47. (in Korean with English summary)
11. Palmeira, E. M. and Milligan, G. W. E. (1989), "Scale and other factors affecting the results of pullout tests of grids buried in sand", *Géotechnique*, Vol.39, No.3, 511-524.