

현장시험을 통한 ABG 하이브리드 공법의 거동 메커니즘 분석 Behavioral Mechanism of Hybrid Model of ABG: Field Test

서형준¹⁾, Hyung-Joon Seo, 김현래²⁾, Hyun-Rae Kim, 정남수³⁾, Nam-Soo Jeong, 이인모⁴⁾, In-Mo Lee

¹⁾ 고려대학교 건축·사회환경공학부 박사과정, Graduate Student, School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea Univ.

²⁾ 하리기술22(주) 대표이사, CEO, Ghari Geotechnology 22 co., Ltd.

³⁾ (주)라온이엔지 대표이사, CEO, Laon Engineering co., Ltd.

⁴⁾ 고려대학교 건축·사회환경공학부 교수, Prof., School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea Univ., inmolee@korea.ac.kr, 교신저자

SYNOPSIS : A hybrid system of soil-nailing and compression anchor is proposed in this paper; the system is composed of an anchor bar (installed at the tip) with two PC strands and a steel bar. After drilling a hole, installing proposed hybrid systems, and filling the hole with grouting material, prestress is applied to the anchor bar to restrict the deformation at the head and/or to prevent shallow slope failures. However, since the elongation rate of PC strand is much larger than that of steel bar, yield at the steel bar will occur much earlier than the PC strand. It means that the yield load of the hybrid system will be overestimated if we simply add yield loads of the two - anchor bar and PC strands. It might be needed to try to match the yielding time of the two materials by applying the prestress to the anchor bar. It means that the main purpose of applying prestress to the anchor bar should be two-fold: to restrict the deformation at the nail head; and more importantly, to maximize the design load of the hybrid system by utilizing load transfer mechanism that transfers the prestress applied at the tip to the head through anchor bar. In order to study the load transfer mechanism in a systematic way, in-situ pullout tests were performed with the following conditions: soil-nailing only; hybrid system with the variation of prestress stresses from 0kN to 196kN. It was found that the prestress applied to the anchor system will induce the compressive stress to the steel bar; it will result in decrease in the slope of load-displacement curve of the steel bar. Then, the elongation at which the steel bar will reach yield stress might become similar to that of PC strands. By taking advantage of prestress to match elongations at yield, the pullout design load of the hybrid system can be increased up to twice that of the soil-nailing system.

Keywords : Hybrid System, Soil-Nailing, Compression Anchor, Load Transfer Mechanism

1. 서론

쏘일네일링 공법은 지반에 네일을 삽입한 후 그라우팅을 수행하여 지반과 일체화함으로써 원지반의 전단저항력 및 네일의 인발저항력을 활용하는 보강공법이다. 종래에는 지층의 구별 없이 사면보강을 위하여 쏘일네일링 공법을 시공하였으며, 암반층에는 인장력을 가하여 지반의 활동을 억제시키는 앵커공법을 시공하였다. 그러나 쏘일네일링 공법은 수동적인 지보재로서 초기변위를 억제하기 힘들고 시공수량의 증가에 따른 경제성 확보에 있어서 문제점이 있었다. 또한 앵커공법은 복잡하고 다양한 지층여건에 유연하게 대처하지 못하는 어려움뿐만 아니라 공사비가 고가인 문제점이 있었다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 쏘일네일링과 앵커의 장점을 살린 하이브리드 공법이 개발되었다. 앵커바(Anchor

Bar)와 네일 그라우팅(Nail Grouting)은 철근의 인장력 및 전단력과 PC강연선의 인장력이 동시에 작용하여 활동 파괴를 억지하고 선단에 정착장 설치 및 초기에 긴장력을 가하여 지반보강을 극대화할 수 있는 장점이 있다. 따라서 본 논문에서는 PC강연선과 철근의 일체화된 거동을 유도하여 앵커바-네일 그라우팅 공법의 장점을 현장시험을 통하여 규명하고자 한다. 또한 앵커바-네일 그라우팅 공법은 간단히 ABG(Anchor Bar and Nail Grouting)공법이라 명명한다.

Tan과 Chow(2004)는 지반의 파괴모드를 인발파괴, 전단파괴, 얽은파괴로 구분하여 파괴메커니즘을 분류하였으며, John과 Wayne(2005)은 3가지 파괴모드를 바탕으로 현장시험을 실시하였다. 인발파괴는 그라우팅과 지반 사이의 주면마찰력과 가장 관계가 깊으며, 서형준 등(2009)은 인발마찰계수를 통해서 주면마찰력을 산정하였으며, 김태섭(2009)은 지반의 N치에 따라 주면마찰력의 변화를 판별하였다. Liang과 Feng(1997)은 네일에 프리스트레스를 가하였을 때, 지반의 전단변형과 영향범위를 예측하여 프리스트레스에 따른 지반의 주면마찰력 증진에 대한 연구를 실시하였다. 지반과 그라우팅 사이의 주면마찰력에 대한 연구는 이미 앞선 논문들에서 다수 진행되었기 때문에 본 논문에서는 ABG에 삽입된 두가지 보강재의 메커니즘에 대한 연구를 중점적으로 다루고자 한다.

김홍택 등(1999)은 프리텐션 쏘일네일링 시스템의 안정해석 및 신뢰도 분석에 관한 연구를 수행하였으며, 박시삼 등(2004)은 프리텐션 쏘일네일링 시스템의 안정해석 및 설계에 관한 연구를 수행하였다. 프리텐션 쏘일네일링은 선단부에 고정너트를 장착하여 프리텐션 하중을 가할 경우, 네일 선단부에서 주면마찰력이 크게 발휘될 수 있도록 고안한 공법으로 주면마찰력이 선단에서 작용될 수 있도록 프리스트레스를 가하는 것은 ABG공법과 동일하나, 본 연구에서는 프리스트레스를 지반변위 억제 및 선단에서의 주면마찰력 작용을 위한 것뿐만 아니라 삽입된 보강재의 기능을 최대화할 수 있도록 하는 것을 목적으로 한다. 김낙경(2001)은 인장형 앵커와 압축형 앵커의 하중전이에 관한 연구를 실시하였다. 본 연구에서 제안되는 ABG공법은 쏘일네일링 기능과 함께 일종의 압축형 앵커의 기능을 가지고 있으나 삽입된 보강재의 거동을 최적화하기 위한 기능으로 프리스트레스를 가하기 때문에 압축형 앵커에 비해 가하는 프리스트레스 하중의 크기가 작다.

ABG공법은 쏘일네일링과 앵커의 장점을 가지고 있지만 실무에 적용하기 위해서는 철근과 PC강연선의 일체거동을 유도할 수 있는 최적의 프리스트레스를 규명하여야 하며, ABG공법의 하중전이 메커니즘에 대한 정확한 분석이 필요하다. 따라서 본 연구는 현장시험을 수행하여 ABG공법의 메커니즘을 규명하였다.

2. ABG공법

ABG공법은 그림 1에서 보이는 것과 같이 철근과 PC강연선이 결합된 신공법으로 쏘일네일링과 앵커의 장점을 모두 고려한 하이브리드 공법이라고 할 수 있다. ABG공법에서 사용하는 보강재의 물성은 표 1에 나타나 있다. ABG공법의 선단부를 보게 되면 PC강연선과 내하체가 연결되어 있어 PC강연선에 프리스트레스를 가하여 내하체에서 전면부로 하중이 전이되게 된다. 또한 인발거동이 발생하게 되면 선단부의 내하체로부터 하중이 전이되어 파괴면 밖에서의 주면마찰력은 작용하는 토압에 대하여 능동적으로 저항할 수 있다는 장점이 있다. 전면부에서는 PC강연선에 프리스트레스를 가한 후 콘을 이용해 PC강연선을 고정하여 지속적으로 내하체에 하중을 전달할 수 있도록 구성되어 있다.

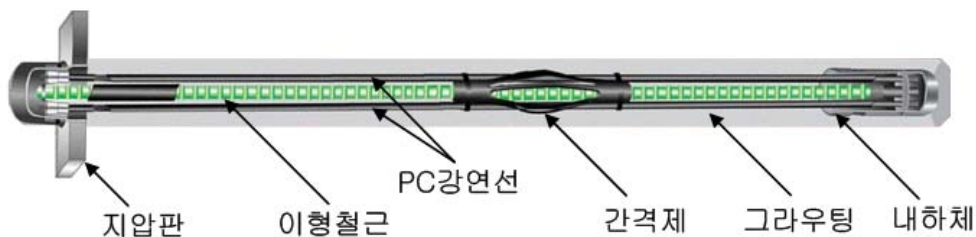


그림 1. ABG의 구성

표 1. 각 시공 CASE별 정리

	탄성계수(GPa)	항복하중(kN)	직경(mm)	단면적(mm ²)
PC 강연선	200	318	12.7	197.4
철근	204	203	25	506.7

ABG공법은 초기에 프리스트레스를 가하며, 앵커공법과 같이 선단에서부터 하중전이가 이루어진다(그림 2b 참조). 이후 파괴면에서 하중이 발생하게 된다면 선단에서는 PC강연선에서 전해오는 하중으로 인하여 내하체에 압축력으로 작용되며, 전면에서는 그림 2a와 같이 철근의 인장력에 의해 선단으로 하중이 전이되게 된다. 따라서 선단과 전면 모두 주변마찰력이 발휘된다(그림 2c 참조). 또한 그림 2d와 같이 선단에서의 압축력과 전면에서의 인장력이 중첩되는 구간이 발생하여 전면에서부터 전이되어 오는 인장력이 감소하게 된다.

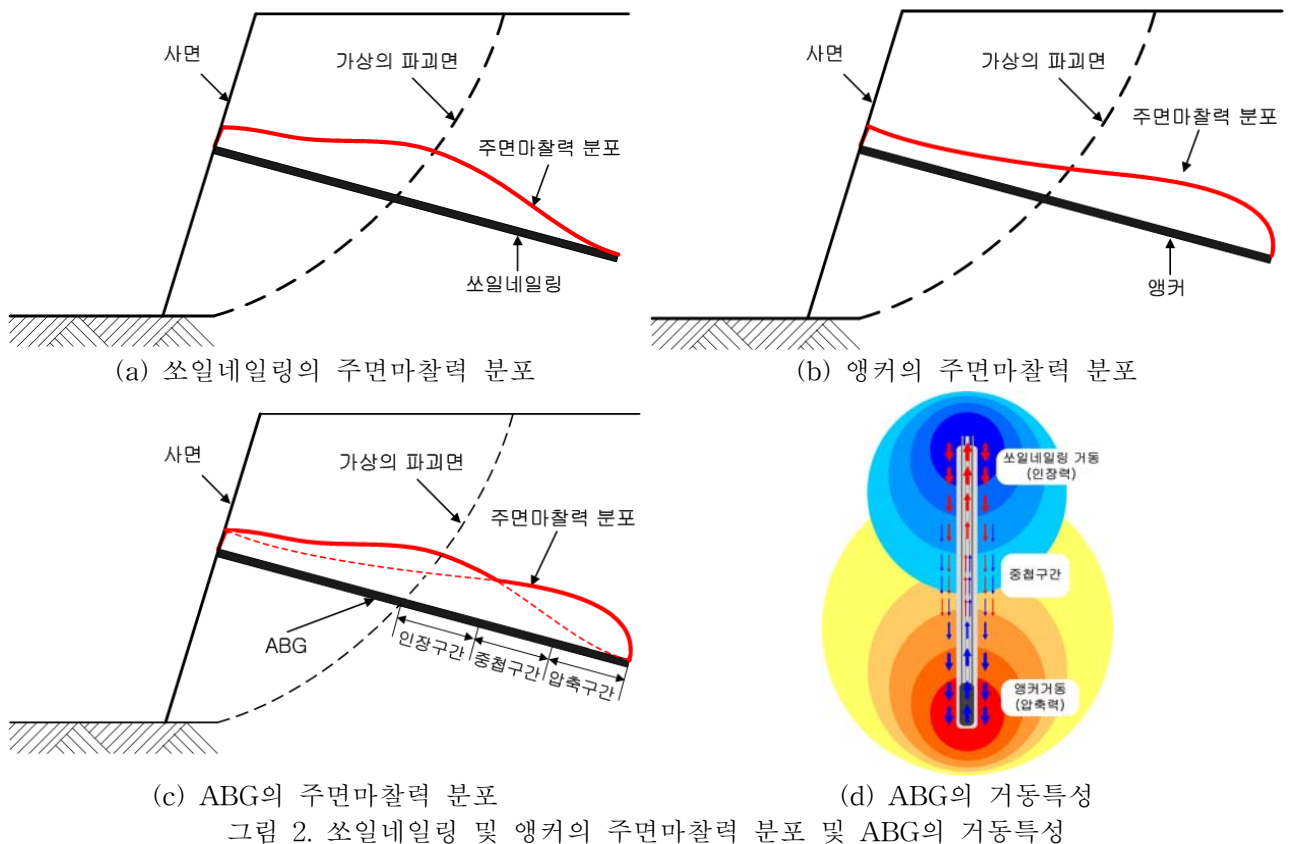
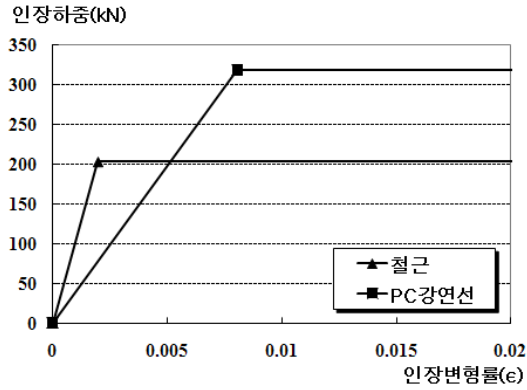
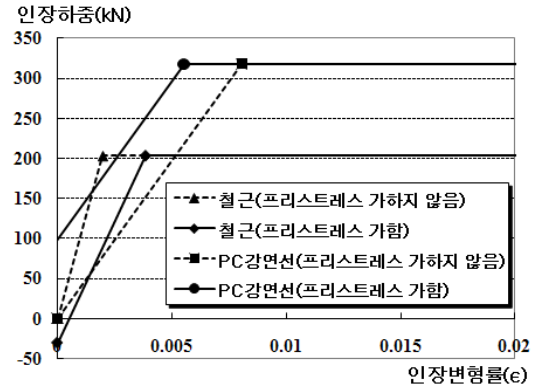


그림 2. 쏘일네일링 및 앵커의 주변마찰력 분포 및 ABG의 거동특성

ABG공법은 철근과 PC강연선의 항복하중을 모두 이용할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 하지만 단순히 이 두 보강재의 항복하중을 더하게 된다면 ABG공법에서 보강재의 항복하중은 521kN정도로 과대평가하게 된다. 이는 그림 3a에서도 보이듯이 철근과 PC강연선의 신장량이 다르기 때문에 각기 인발하게 되면 PC강연선이 항복하기 전에 이미 철근에서 항복이 발생하게 된다. 하지만 ABG공법은 프리스트레스를 내하체에서 가하여 철근이 압축력을 받도록 하기 때문에 철근이 버틸 수 있는 인장력은 증가하게 되고, PC강연선과 철근이 일체거동할 수 있도록 해준다. 즉, 프리스트레스를 가하게 되면 철근은 압축력을 받아 철근의 하중-변형률곡선은 초기에 (-)하중에서 인장을 시작하게 된다. 동시인발 시에도 지속적으로 압축력을 받기 때문에 철근의 하중-변형률곡선의 기울기가 감소하게 된다. 프리스트레스를 가하게 되면 PC강연선의 하중-변형률곡선은 좌측으로 이동하여 프리스트레스 하중만큼 (+)하중에서 하중-변형률곡선이 시작하게 된다. 따라서 철근과 PC강연선은 일체거동을 보이게 된다. 본 연구에서는 그림 3b에서 보는 것과 같이 철근과 PC강연선이 일체거동을 이루기 위한 프리스트레스를 규명하고자 현장인발시험을 실시하였다.



(a) 철근과 PC강연선의 하중-변형률 곡선



(b) 프리스트레스를 가할 경우 철근과 PC강연선의 하중-변형률 곡선

그림 3. 프리스트레스 유무에 따른 철근과 PC강연선의 하중-변형률곡선

3. 현장인발시험

현장인발시험은 철근이 받는 압축력을 산정하고 철근과 PC강연선이 일체화된 거동을 보이는 프리스트레스 하중을 선정하여 ABG공법이 버틸 수 있는 최대 항복하중을 산정하기 위해서 실시하였다. 또한 철근과 그라우팅에 변형률계를 설치하여 내하체 및 전면부에서부터 발생하는 하중전이 메커니즘을 파악하였다.

3.1 현장시험의 계획 및 대상지반

현장시험은 강원도 원주시 지정면에서 실시하였으며, ABG 6공 및 쏘일네일링 3공을 4.3m로 연직으로 시공하였다. 인발시험 시 ABG의 철근이 받는 하중과 그라우팅 내에서 작용하는 하중전이를 확인하기 위해서 그림 4와 같이 각 CASE 중 대표로 철근 변형률계와 그라우팅 변형률계를 설치하였다. 일반쏘일네일링에 비해 ABG공법의 인발저항력 증대효과와 작용하는 하중전이 메커니즘의 차이를 비교하기 위해 CASE 1과 CASE 2로 나누어 비교시험을 수행하였다. 프리스트레스의 크기에 따라 철근에 작용하는 압축력을 산정하여 철근과 PC강연선의 일체거동을 유도할 수 있는 프리스트레스를 규명하기 위해 프리스트레스를 5가지로 변화시키면서 시험을 실시하였다(표 2 참조).

표 2. 각 시공 CASE별 정리

CASE	분류	주요 비교사항		
		계측기 삽입여부	프리스트레스(kN)	주면마찰력 작용시점
프리스트레스 변화 (CASE 1)	P.S-1	철근	0	선단부+전면부
	P.S-2	-	59	
	P.S-3	-	98	
	P.S-4	철근+그라우팅	137	
	P.S-5	철근+그라우팅	196	
	P.S-6	-	196	
쏘일네일링 (CASE2)	S.N-1	철근+그라우팅	-	전면부
	S.N-2	-		
	S.N-3	-		

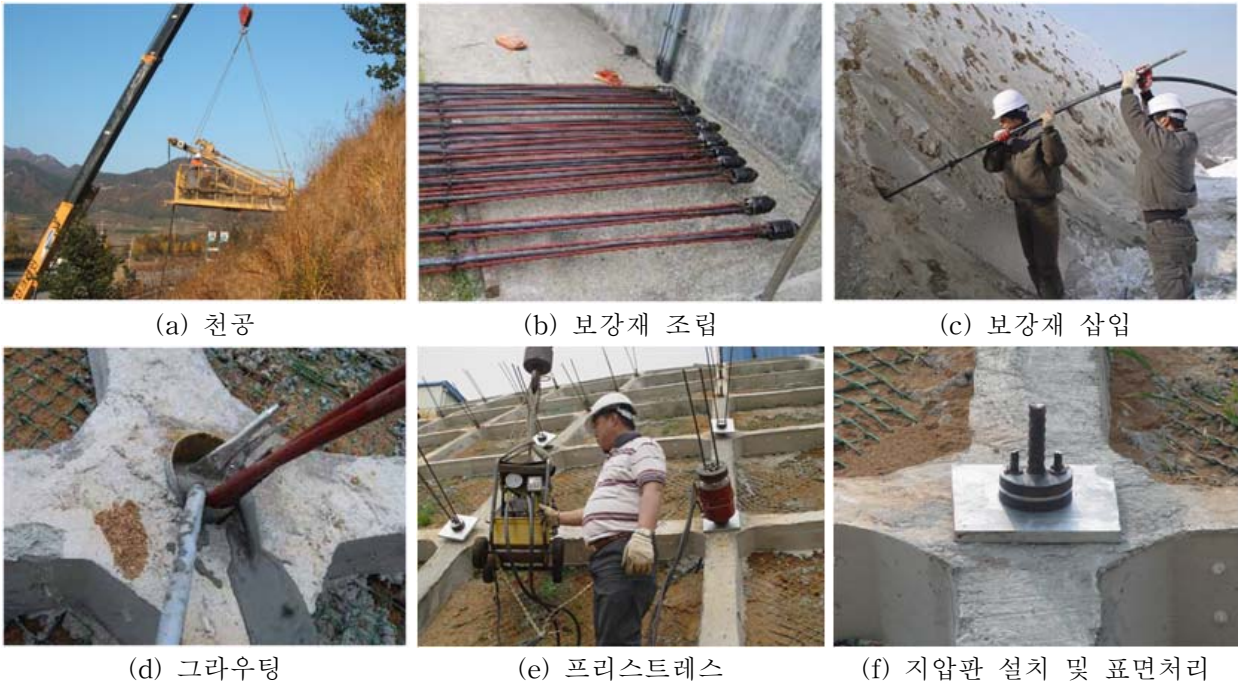


그림 6. ABG공법의 시공과정

그림 6과 같은 시공과정을 통해서 ABG공법 및 쏘일네일링 공법이 시공되었으며, 전체 시공 전경은 그림 7과 같다.



그림 7. 시공전경

3.2 현장인발시험

현장인발시험은 변형률제어 방식이 아닌 하중제어 방식을 통해 실시하였으며, 재하(Loading)과정만을 통해 하중단계별 인발시험을 실시하여 하중-변위 관계를 규명하였다. ABG공법은 공법의 특성 상 프리스트레스를 준다는 점과 철근과 PC강연선이 동시에 인발된다는 점을 고려하여 인발시험을 실시하였다. 일반적인 쏘일네일링의 인발시험은 철근을 인장하여 시험을 실시하지만 ABG공법 같은 경우 프리스트레스를 가할 때는 PC강연선만을 인장한 후 실제 파괴거동을 모사할 경우에는 PC강연선과 철근을 동시에 인장하여야 한다. 따라서 본 현장인발시험에서는 그림 8에서 보는 것과 같이 인장기 2개가 사용되었으며, 인장기 A로 PC강연선만 체결하여 프리스트레스를 가한 후 인장기 B에 철근을 체결하여 인장기 A로 PC강연선과 철근을 모두 인장하였고 철근이 받는 하중은 인장기 B로 측정하였다.

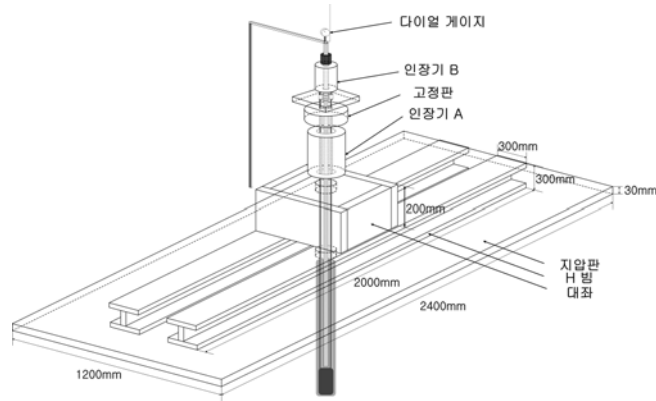


그림 8. 인발시험 장비

현장인발시험은 ABG공법에서 프리스트레스를 변화시키는 경우와 쏘일네일링공법으로 나누어 시험을 실시하였다. ABG공법(CASE 1)은 총 6공에 대해서 프리스트레스를 각각 0kN, 59kN, 98kN, 137kN, 196kN까지 가한 후 철근과 동시인발하였으며, 최적화된 프리스트레스 하중을 판단하였다. ABG공법의 인발저항력 증가를 비교하기 위하여 쏘일네일링 3공에 대해서도 인발시험을 실시하였으며, 3공 모두 167kN까지 인발하였다.

3.3 현장인발시험 결과분석

현장인발시험은 크게 2가지 CASE로 나누어 실시하였다. 먼저, ABG공법의 인발저항력 증가를 규명하기 위해 ABG공법과 쏘일네일링공법을 시공한 후 인발시험을 실시하였다. 두 번째로, 프리스트레스를 변화시켜 철근과 PC강연선의 일체거동을 이루는 프리스트레스를 찾기 위한 인발시험을 실시하였다. 쏘일네일링 공법은 167kN까지 하중단계를 총 9단계로 나누어 인발시험을 실시하였다. 쏘일네일링의 인발 시험 결과 및 ABG공법 중 프리스트레스를 가하지 않은 결과는 그림 9에 나타나 있다.

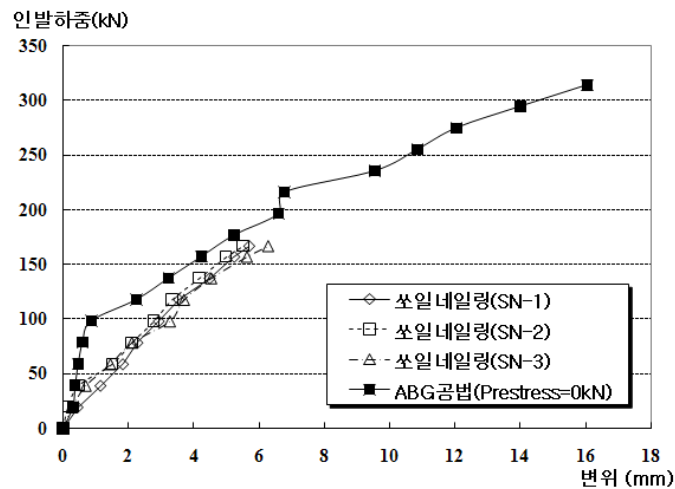


그림 9. 쏘일네일링 공법(CASE 2)의 하중-변위곡선

프리스트레스를 가하지 않고 시험한 ABG공법의 전체 인발하중은 315kN 정도로 나타났으며, 이때 삽입된 철근이 받는 인장력은 150kN 정도였다. 철근의 받는 하중은 쏘일네일링과 ABG 모두 비슷하지만 전체 인발하중은 ABG공법이 쏘일네일링에 비해 2배 정도 더 큰 것으로 나타났다. 인발시험과 동시에 쏘일네일링의 하중전이 메커니즘을 파악하기 위해 철근 및 그라우팅 변형률계를 쏘일네일링 1본(S.N-1)에 삽입하였으며, 인발하중 단계별 계측된 하중은 그림 10에 나타나 있다.

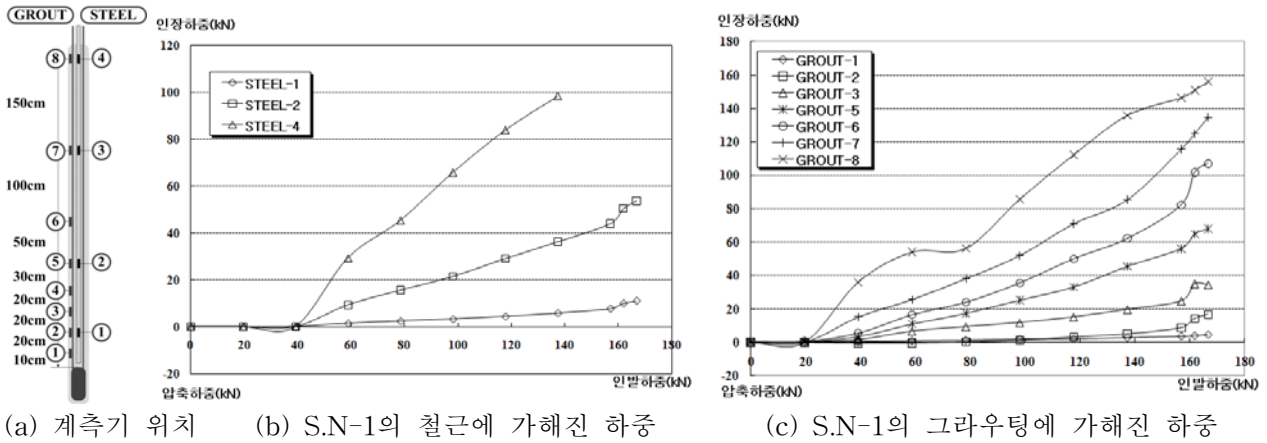


그림 10. S.N-1의 계측결과

그림 10에서도 보이듯이 철근의 모든 계측지점에서 인장력이 작용하고, 전면부와 근접할수록 인장력이 크게 작용하는 것을 알 수 있다. 따라서 쏘일네일링공법은 전면부에서 선단으로 하중이 전이되는 양상을 보인다. 또한 내하체와 가장 가까운 변형률계에서도 인장력이 작용하는 것으로 보아 철근 하부까지 하중이 전이되는 것으로 판단되며, 이에 대한 모식도를 나타내면 그림 11과 같다.

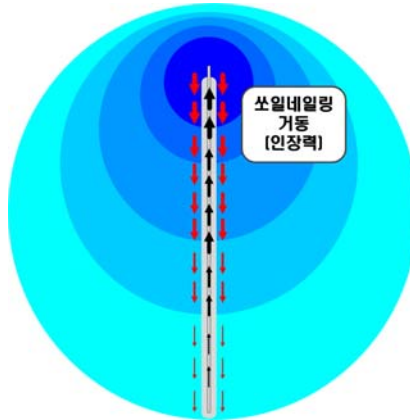
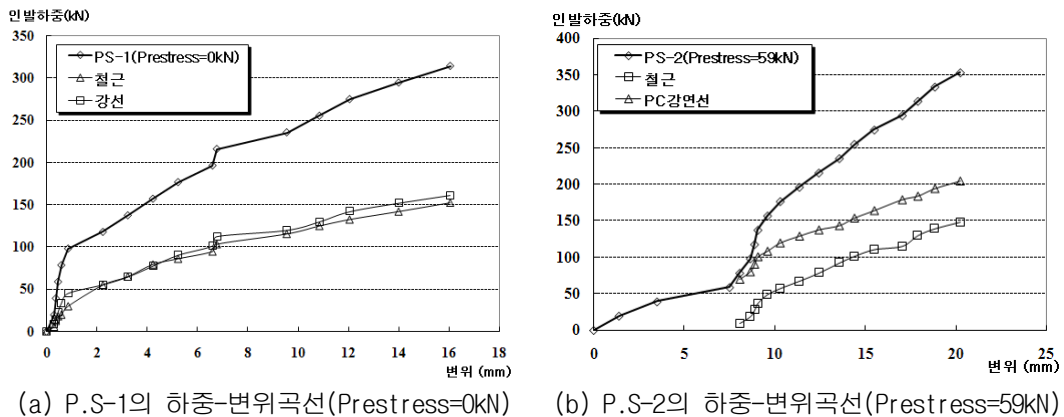
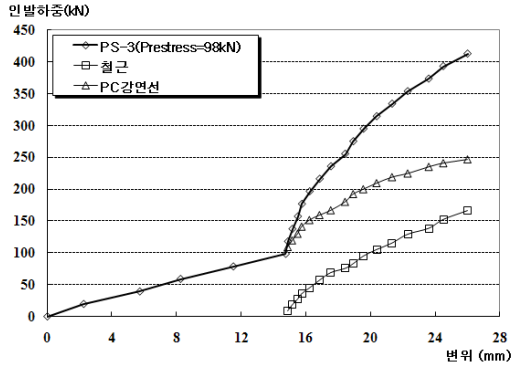


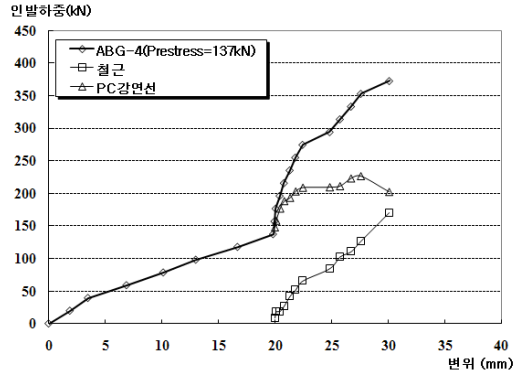
그림 11. 쏘일네일링의 하중전이 모식도

프리스트레스 변화시험(CASE 1)은 각각의 ABG에 대해 프리스트레스를 0kN, 59kN, 98kN, 137kN, 196kN을 가한 후 철근과 PC강연선을 동시인발하였으며, 철근이 받는 하중이 150kN을 넘게 되면 시험을 중단하였다. 인발시험을 통한 ABG의 하중-변위곡선은 그림 12에 나타나 있으며, 인장기 B에서 측정된 철근이 받는 하중을 통해서 PC강연선이 받는 하중을 산정할 수 있었다.

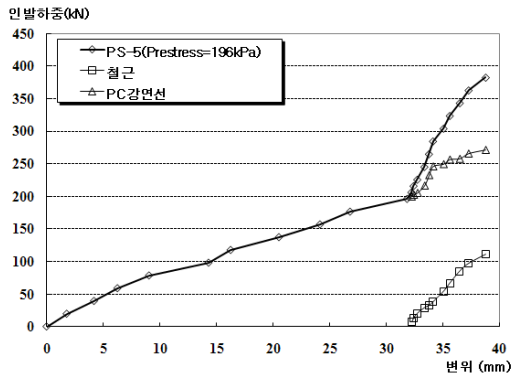




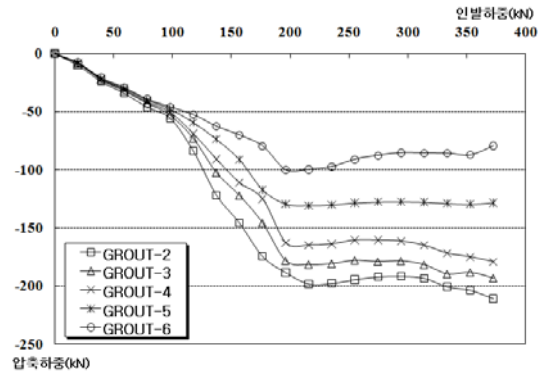
(c) P.S-3의 하중-변위곡선(Prestress=98kN)



(d) P.S-4의 하중-변위곡선(Prestress=137kN)



(e) P.S-5의 하중-변위곡선(Prestress=196kN)



(f) 프리스트레스 변화에 따른 하중-변위곡선

그림 12. CASE 1(프리스트레스 변화)의 하중-변위곡선

프리스트레스를 가하지 않은 경우 인발하중이 315kN, 59kN으로 가한 경우 인발하중이 300kN, 98kN으로 가한 경우 인발하중이 320kN 정도로 나타났다. 그 이상의 프리스트레스를 가한 경우 PC강연선이 항복하는 것을 알 수 있었다. 따라서 프리스트레스를 100kN 이하로 가한 후 인발시험한 결과 인발하중이 300kN에서 320kN 정도로 나타났으며, 이때 삽입된 철근이 받는 인장력은 모두 150kN 정도였다. 쏘일네일링 인발시험 역시 160kN 정도까지 하중을 가하였다. 따라서 철근의 받는 하중은 쏘일네일링과 ABG모두 비슷하지만 전체 인발하중은 ABG공법이 쏘일네일링에 비해 2배정도 더 큰 것으로 나타났다.

그림 3a에서 하중-변형률곡선의 개념도를 보여준 대로, PC강연선과 철근을 각각 인장하는 경우 철근의 신장량이 PC강연선의 신장량보다 작아 철근이 인장강도에 다다른 변형률 이내에서 철근이 PC강연선보다 약 2.6배 정도 하중을 더 받게 된다. 그러나 프리스트레스를 가하거나 또는 동시인발을 하게 되면 내하체에서 발생하는 압축력이 철근의 인장력과 중첩을 이루면서 철근과 PC강연선이 받는 하중이 크게 차이나지 않는 것을 알 수 있다. 즉, 철근의 하중-변형률곡선의 기울기가 감소하게 된다. 하지만 프리스트레스 크기에 따라 철근과 PC강연선의 거동이 일체화되는 시기에는 차이가 있다. 그림 12a에서 보는 것과 같이 프리스트레스를 주지 않은 경우, 내하체에서 발생하는 압축력이 전면부까지 전이되지 않기 때문에 동시인발 초기에 철근은 일반적인 쏘일네일링의 인발거동과 같은 양상을 보이며 PC강연선과 일체화된 거동을 나타내지 못한다. 그림 12b와 같이 프리스트레스를 59kN으로 준 후 동시인발하였을 경우 역시 초기에 하중-변위곡선의 기울기가 가파른 구간이 나타나며, 이 경우에도 내하체의 하중이 전면으로 전이되지 않은 것을 의미한다. 프리스트레스를 98kN으로 주었을 경우 내하체에서 발생하는 압축력이 전면까지 전이되어 동시인발 시 압축력과 인장력의 중첩효과가 즉시 발휘되며, 그림 12c에서 보는 것과 같이 PC강연선과 철근이 일체거동을 보이는 것을 알 수 있다. 따라서 ABG공법에서 프리스트레스를 최대 98kN 정도로 가하게 된다면 ABG공법의 기능을 최적화할 수 있을 것으로 판단된다. 그림 12d와 그림 12e와 같이 프리스트레스가 상대적으로 큰 경우, PC강연선이 저항할 수 있는 여유하중이 줄어들게 된다. 따라서 철근이 항복하중에 도달하기 전에 PC강연선이 먼저 항복하중에 도달하게 된다. PC강

연선이 파단이 나게 되면 PC강연선의 항복하중이 318kN이고 철근의 항복하중이 200kN인 것을 감안하였을 때, PC강연선이 받는 하중을 철근이 대신 받을 수 없으므로 ABG의 보강재는 기능을 더 이상 할 수 없게 된다. 따라서 본 현장시험과 같은 경우 철근과 PC강연선의 일체거동을 유도할 수 있고, 철근의 항복하중이 PC강연선의 항복하중 안으로 들어올 수 있게 하기 위해서 프리스트레스를 100kN 이하로 주어야 할 것으로 판단된다. 하지만 본 현장시험은 길이 4.3m의 ABG에 대한 시험이므로 길이가 길어진다 면 이 값은 더 증가할 것으로 판단된다.

프리스트레스 변화에 따른 하중전이 메커니즘을 파악하기 위해 철근 변형률계를 P.S-1에 삽입하고 P.S-4와 P.S-5에는 철근 및 그라우팅 변형률계를 삽입하여 인발 시 측정을 실시하였다. 인발하중 단계 별 측정된 측정결과는 그림 13에 나타나 있다.

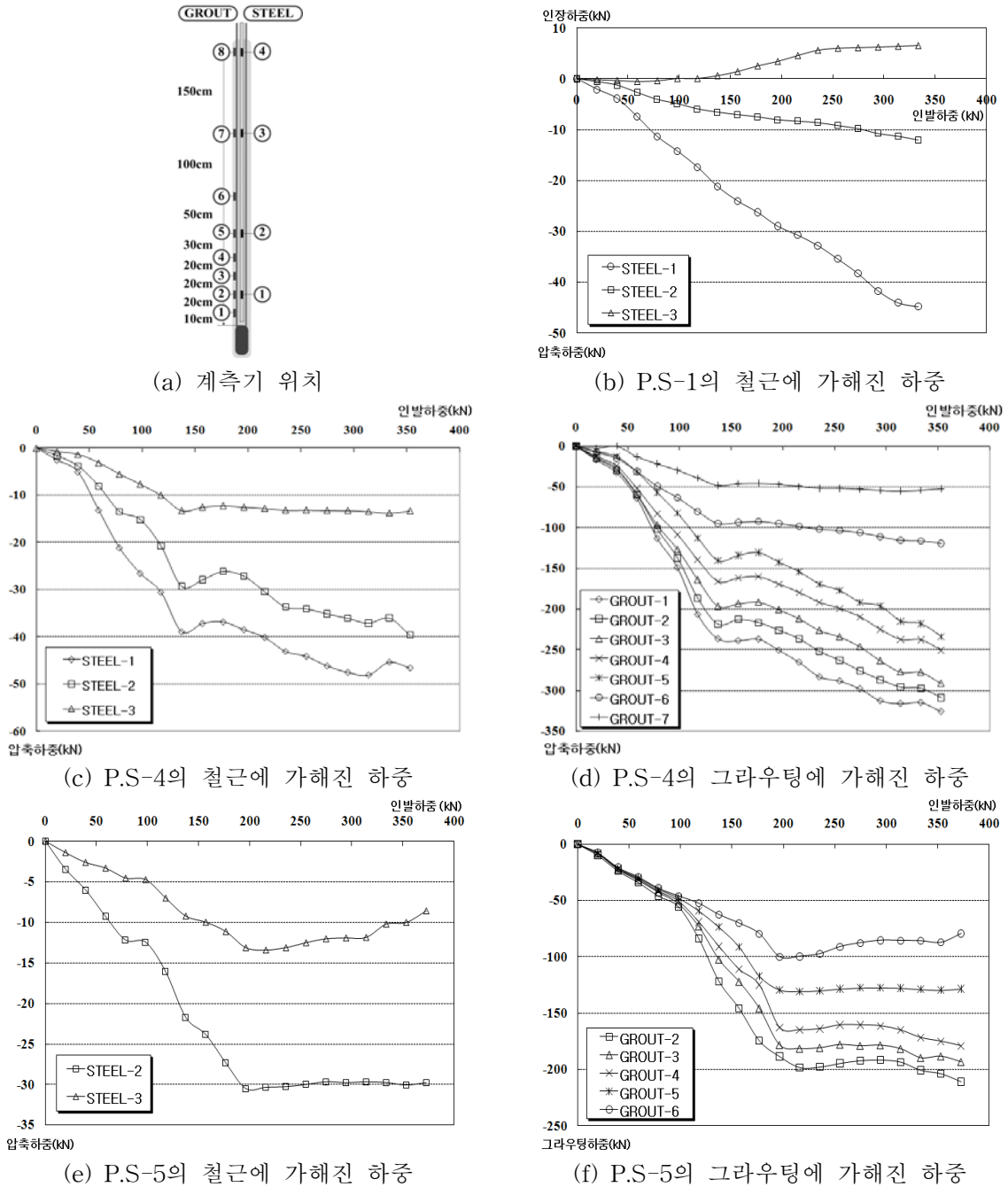


그림 13. 프리스트레스 변화에 따른 철근 및 콘크리트의 하중 측정결과

그림 13b에서 보는 것과 같이 프리스트레스를 주지 않고 동시인발한 경우(P.S-1), 내하체로부터 1m 떨어진 지점(철근변형률계 ①, ②)까지는 내하체에서 작용하는 하중에 의해 지속적으로 압축력을 받게 된다. 내하체로부터 2.5m 떨어진 지점(철근변형률계 ③)에서는 철근의 인장거동에 의해 인장력을 받는 것으로 나타났다. 초기의 인발거동을 보게되면 압축력이 전면부까지 전이되지 않기 때문에 내하체로부터 2.5m 떨어진 지점부터는 압축력에 대한 영향을 크게 받지 않는 것을 알 수 있다. 즉, 선단부에서는 앵커 거동을 나타내고 전면부에서는 쏘일네일링 거동을 보여 선단부와 전면부가 일체거동하지 못하고 있다. 프리스트레스를 137kN(P.S-4)만큼 준 경우, 초기에 프리스트레스를 가하게 되면 지속적으로 철근이 받는 압축력이 증가한다. 동시인발 이후에는 내하체에서 전해오는 압축력과 철근의 인장력이 중첩되면서 그래프의 기울기가 완만해지는 것을 알 수 있다(그림 13c와 그림 13d 참조). 내하체로부터 약 2.5m인 지점(철근변형률계 ③, 그라우트변형률계 ⑦)에서 압축력과 인장력의 중첩이 발생하는 것으로 보이며, 2.5m 이하 지점은 압축력의 영향이 큰 것으로 나타났다. 철근은 충분한 압축력을 받고 있으며 PC강연선과 일체거동을 보이게 된다. 그림 13e와 그림 13f에서 보는 것과 같이 프리스트레스를 0kN에서 196kN으로 주는 동안 계속 압축력을 받다가 동시인발하게 되는 순간부터 그래프의 기울기가 전환하는 것을 알 수 있다. 동시인발 시 내하체로부터 1m 아래 지점(그라우트변형률계 ②, ③, ④)에서는 기울기가 감소한 양상이나 내하체로부터 1m 보다 위 지점(그라우트변형률계 ⑥)에서는 기울기가 (+)를 나타낸다. 압축력이 선단에서부터 발생하나, 동시인발 시 전면부에서 선단으로 인장력이 전이되기 때문에 전면에서 가까운 계측기에서 인장력이 발생하는 것을 알 수 있다. 이는 ABG공법이 앵커와 쏘일네일링 거동을 모두 보이기 때문이다.

철근 변형률계와 그라우팅 변형률계의 계측결과를 종합적으로 보았을 때, ABG공법의 하중전이 메커니즘을 파악할 수 있다. ABG공법은 초기 프리스트레스를 가할 시에 내하체가 설치된 선단 부근에서 압축력을 크게 받으며, 프리스트레스 증가에 따라 압축력이 선형적으로 증가한다. 하지만 PC강연선과 철근을 동시인발하게 되면 전면에서는 쏘일네일링과 같은 양상이 나타나 인장력이 작용하게 되며, 선단에서는 압축력이 발생하게 되고, 압축력과 인장력이 만나는 중심부에서는 하중의 변화가 일정하게 나타나는 양상을 보였다. 따라서 현장인발시험에서 철근이 받는 하중은 생각보다 크지 않았다. 이는 그림 2에서 예측하였던 것과 같이 철근의 인장력이 내하체에서 가하는 압축력을 만나게 되면서 상쇄되기 때문이다.

4. 결론

본 논문에서는 ABG공법의 인발저항력의 증가양상과 철근과 PC강연선이 일체거동 할 수 있는 최적의 ABG공법을 제안하기 위하여 현장인발시험을 실시하였으며, 이에 대한 결론은 다음과 같다.

- 1) PC강연선과 철근을 동시인발할 경우, 철근이 PC강연선에 보다 약 2.6배의 하중을 더 받을 것으로 예측하였으나, 내하체의 압축력이 철근의 인장력과 중첩을 이루면서 철근과 PC강연선이 받는 하중이 크게 차이나지 않는 것을 알 수 있었다.
- 2) ABG공법의 검증을 위하여 프리스트레스를 변화하여 현장인발시험을 한 결과(구근직경=0.145m), 프리스트레스가 작은 경우(0kN, 59kN), 초기에 내하체에서 발생하는 압축력이 전면부까지 전이되지 않아 철근과 PC강연선의 일체거동을 보이지 않았으며, 프리스트레스가 큰 경우(137kN, 196kN), PC강연선의 여유하중이 작아 철근보다 먼저 항복하였다. 프리스트레스를 98kN으로 주었을 경우 내하체의 압축력이 전면까지 전이되어 동시인발 시 압축력과 인장력의 중첩효과가 즉시 발휘되었고 PC강연선과 철근이 일체거동을 보이는 것을 알 수 있었으며, 이때 ABG공법의 기능을 최적화할 수 있을 것으로 판단된다.
- 3) 철근 변형률계와 그라우팅 변형률계의 계측결과, ABG공법의 하중전이 메커니즘을 파악할 수 있었다.

ABG공법은 초기 프리스트레스를 가할 시에 내하체가 설치된 선단 부근에서 압축력을 크게 받으며, 프리스트레스 증가에 따라 압축력이 선형적으로 증가한다. 하지만 PC강연선과 철근을 동시인발하게 되면 전면에서는 쏘일네일링과 같은 양상이 나타나 인장력이 작용하게 되며, 선단에서는 압축력이 발생하게 되고, 압축력과 인장력이 만나는 중심부에서는 하중의 변화가 일정하게 나타나는 양상을 보였다. 따라서 철근의 인장력이 내하체에서 가하는 압축력과 중첩하여 현장인발시험에서 철근이 받는 하중은 생각보다 크지 않다는 것을 알 수 있다.

4) 프리스트레스를 0kN, 59kN, 98kN으로 가한 후 인발시험한 결과 인발하중이 300kN에서 320kN정도로 나타났으며, 이때 삽입된 철근이 받는 인장력은 150kN정도였다. 쏘일네일링 인발시험 역시 160kN 정도 까지 하중을 가하였다. 따라서 철근의 받는 하중은 쏘일네일링과 ABG모두 비슷하지만 전체 인발하중은 ABG공법이 쏘일네일링에 비해 2배정도 더 큰 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 김낙경(2001), “인장형 앵커와 압축형 앵커의 하중전이에 관한 연구”, **한국지반공학회논문집**, 제17권 3호, pp. 59 ~ 68.
2. 김태섭(2009), “가압식 압축형 지반 앵커의 인발저항 증대효과 연구”, **박사학위논문 고려대학교**.
3. 김홍택, 강인규, 박사원, 고용일, 권영호(1999), “프리텐션 쏘일네일링 시스템의 안정해석 및 신뢰도 분석”, **한국지반공학회지**, 제15권 2호, pp. 105~127.
4. 박시삼, 김홍택, 최영근(2004), “프리텐션 쏘일네일링 시스템의 안정해석 및 설계”, **한국지반공학회 논문집**, 제20권 7호, pp. 197 ~ 206.
5. John, P. T. and Wayne, G. J.(2005), “Landslide Stabilization Using Soil Nail and Mechanically Stabilized Earth Walls: Case Study”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 131, No. 2, pp. 141 ~ 150.
6. Liang, Y. R. and Feng, Y.X.(1997), “Development and Application of Anchor-Soil Interface Models”, *A Short Course on Soil Nailing, Ground Anchoring, and Anchored Excavation*, The Graduate School of Industrial Technology and Environment, Dongguk University.
7. Tan, Y., and Chow, C.(2004), “Slope Stabilization Using Soil Nails: Design Assumption sand Construction Realities”, *Malaysia-Japan Symposium on Geohazardsand Geoenvironmental Engineering*, Bangi, Malaysia.