

STG800 중공철근을 적용한 친환경 경량 록볼트



이동현
세강스틸러스 상무



안성훈
정성이엔씨 전무

1. 머리말

NATM 터널의 보강을 위해 필수적으로 사용되는 록볼트는 SD400 이형철근(이하 이형철근)을 중심으로 현장에 적용이 되고 있다. 록볼트의 가장 기본적인 역할은 원지반을 보완시키지 않고 원지반이 더 큰 힘을 견뎌낼 수 있도록 하중을 전달하는 것이라 할 수 있다.

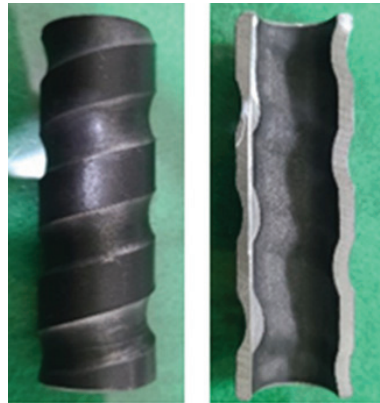
터널에 적용되고 있는 록볼트는 주변지반의 지보기능을 유리하게 활용하기 위한 주요 지보재이므로 지반과 일체화되어 그 효과를 충분히 발휘할 수 있도록 지반거동에 대한 효과, 즉 봉합작용, 보형성작용, 내압작용, 아치형성작용, 지반보강작용 등을 고려하여 설계 및 시공하여야 한다.

이형철근 록볼트를 시공할 때 지반과 일체화될 수 있도록 하기 위해서는 천공홀을 밀실하게 채우는 것이 무엇보다 중요하다 할 수 있다. 천공홀의 채움불량에 의한 록볼트의 인발력 부족과 용수구간에서의 록볼트 정착불량 등은 시공 중 발생할 수 있는 대표적인 품질 저하 문제이다.

친환경 경량 건설용 자재인 STG800 중공철근을 사용한 록볼트는 그라우트의 주입시스템이 완전 충전이 가능하도록 개선되어 천공홀을 밀실하게 채워 안정적인 품질 확보가 가능하다.

2. STG800 중공철근

STG800 중공철근(이하 중공철근)은 고강도 강관(열연코일)을 강관으로 조관 성형한 후 강관의 표면에 돌기를 가공하여 이형철근의 부착력을 확보할 수 있는 새로운 개념의 건설용 자재이다. 이형철근과 비교하면, 재료의 항복강도는 2배로 향상시키고 단면적은 50% 수준으로 감소시켜 가볍지만 동등수준의 부재력을 확보할 수 있다는 것이 특징이다. 그림 1에 중공철근의 표면을 제시하였다. 중공철근 표면의 돌기는 전조(Rolling) 방법으로 가공하는데, 표면을 깎아서 돌기를 만드는 것이 아니라 3축의 롤러(Roller)에 강관을 넣어 눌러서 돌기를 만드는 방식이다. 이러한 가공 방법으로 만든 중공철근은 양각 및 음각부가 일정한 두께를 확보하면서 강관의 표면의 형태만 변경하므로 돌기 성형 전과 후의 부재력의 차이가 크지 않다(98% 이상 확보 가능).



〈그림 1〉 STG800 중공철근의 표면

그림 2에 이형철근과 중공철근의 단면을 비교하였다. 중공철근(YS 800MPa)은 이형철근(YS 400MPa) 보다 항복강도(YS, Yield Strength)가 2배 높은 강재를 사용한다. 강관 형태의 단면 특성으로 인해 외경의 변화없이 두께를 조절하여 단면적을 조정할 수 있다. 이형철근 대비 50%의 단면적으로 동등한 수준의 부재력을 확보하는 것이 가능하다.



〈그림 2〉 이형철근과 중공철근의 단면 비교

중공철근은 ‘KS D 3872 지반보강용 강관’ 한국산업표준의 STG800 규격을 기반으로 제조하고, 화학성분과 기계적 성질도 KS 표준에 만족하는 제품이다. 표 1과 2에 KS D 3872 지반보강용 강관 STG800 규격의 화학성분과 기계적 성질을 제시하였다.

〈표 1〉 화학 성분

(단위: %)

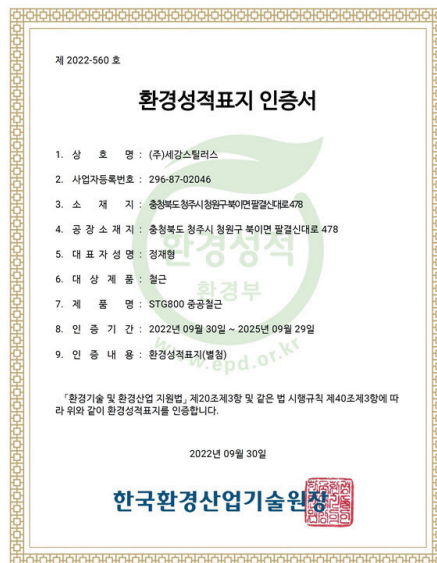
종류의 기호	C	Si	Mn	P	S
STG800	0.18 이하	0.40 이하	2.00 이하	0.030 이하	0.030 이하

〈표 2〉 기계적 성질

종류의 기호	항복점 또는 항복강도 (N/mm ²)	인장강도 (N/mm ²)	연신율(%)	굽힘성 ^a		편평성	용접부 인장강도 (N/mm ²)
			11호시험편	굽힘 각도	안쪽 반지름 <i>D</i> 는 관의 바깥지름	평판사이의 거리(<i>H</i>) <i>D</i> 는 관의 바깥지름	
STG800	800 이상	860 이상	10 이상	90°	6 <i>D</i>	3/4 <i>D</i>	860 이상

^a굽힘성은 50mm 이하의 관에 대하여 주문자의 지정이 있는 경우에 한하여 실시하며, 그 외의 경우에는 편평시험으로 대신할 수 있다.

중공철근은 최근 전세계적으로 저탄소 친환경 제품에 대한 요구가 지속적으로 증가하고 있는 상황에 선제적으로 대응하기 위해 환경성적표지(EPD: Environmental Product Declaration) 인증을 획득하였다(그림 3).



〈그림 3〉 STG800 중공철근 환경성적표지 인증서

환경성적표지 인증은 소비자에게 제품 생산이 환경에 미치는 정보를 정확하게 제공하고 환경친화적인 소비를 유도하기 위해 지난 2001년 도입한 인증제도이다. 환경부의 주관하에 한국환경산업기술원이 운영하는 환경정보 공개 제도로, 제품의 생산부터 유통, 소비, 폐기까지의 전 과정에 대한 환경영향을 자원발자국/탄소발자국/오존층영향/산성비/부영양화/광화학스모그/물발자국 등 7대 지표로 평가한다. 향후 공공건축물의 경우 녹색건축인증(G-SEED) 심사가 의무화 되는데, 1단계 환경성적표지 또는 2단계 저탄소제품 인증을 획득한 건축자재를 사용하면 가점 혜택을 받을 수 있다. 중공철근의 환경성적표지 인증은 친환경 제품에 한발짝 다가선 결과라고 할 수 있다.

3. STG800 중공철근 적용 록볼트

시공 실적이 가장 많은 이형철근 록볼트는 현재에도 현장 적용이 가장 많은 록볼트 제품이다. 하지만 이형철근 록볼트는 시공시 중량물의 시공에 대한 안전 문제, 천공홀의 주입재 충전 불량 등의 문제에 대해서는 개선의 요구가 지속적으로 발생하고 있다.

이러한 이형철근 록볼트의 개선 요구에 대응하고자 GFRP, 케이블볼트, 팽창형 강관 등을 록볼트 재료로 사용하는 제품도 있으나, 재료적 특성의 차이와 시공방법 등의 차이로 이형철근 록볼트를 1대 1로 대체하는 것은 한계가 있는 것이 현실이다.

중공철근을 록볼트의 주요 부재로 사용하게 되면 기존 이형철근 록볼트의 단점을 보완하면서 아래와 같은 장점이 있다.

- 이형철근 대비 50% 경량화로 시공성 및 안전성 향상이 가능하다.
- 중공철근의 중공부를 공기배출구로 활용하여 그라우트 주입시 완전 충전이 가능하다.
- 이형철근 록볼트 대비 약 5~10% 경제적인 설계 및 시공이 가능하다.

3.1 경량화에 의한 안전성 향상

록볼트용으로 D25 규격의 이형철근이 가장 많이 사용된다. SD400 규격의 이형철근으로 항복강도 400MPa, 외경은 25.4mm이다. 중공철근은 항복강도가 2배 높은 800MPa인 자재로, 단면적을 50% 수준으로 낮춰도 동등 수준의 부재력 확보가 가능하다. 동일한 외경에서 D25 이형철근의 부재력과 동등 이상을 확보할 수 있는 중공철근의 두께를 산정하여 D25.4mm*3.72mmt의 단면을 표준으로 사용한다. 표 3에 록볼트용 이형철근과 중공철근의 제원을 비교하였다.

터널 현장에서 사용 빈도가 가장 높은 4m 록볼트를 기준으로 이형철근 록볼트의 무게는 약 16kg, 중공철근 록볼트의 무게는 약 8kg 수준으로 경량화가 가능하다. 50% 가벼운 자재로 시공하므로 시공성 향상을 기대할 수 있으며, 무엇보다도 경량 자재의 사용으로 더 안전하게 시공할 수 있다는 것이 장점이라 할 수 있다. 현장 작업자의 근골격계 질환 예방에도 효과적이며, 중대재해처벌법으로 현장의 안전이 강조되는 건설시장의 흐름에도 적합하다.

〈표 3〉 록볼트용 STG800 중공철근 제원 (이형철근 비교)

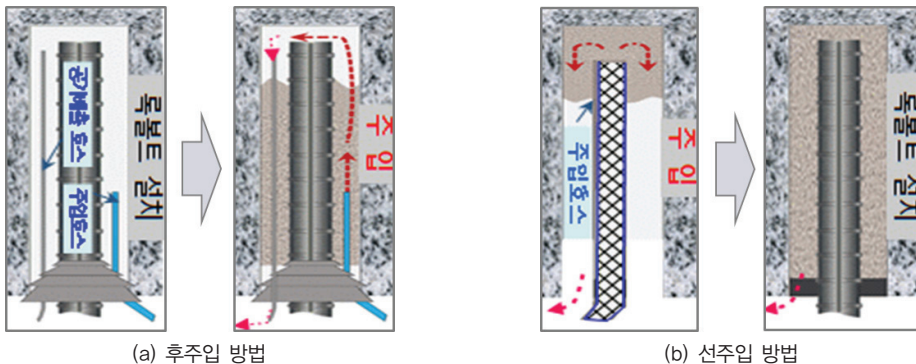
소재	SD400 이형철근	STG800 중공철근
외경(mm)	25.40	25.40
두께(mm)	-	3.72
내경(mm)	-	17.96
단면적(mm ²)	506.45	253.24
단위중량(kgf/m)	3.98	1.99
부재력(kN)	202.58	202.59

3.2 완전 충전에 의한 그라우트 품질 향상

이형철근 록볼트는 지반과 일체화하기 위해 반드시 그라우트 등의 주입재가 충전되어야 하고 충전상태가 불량할 경우, 지보효과를 기대하기 어렵다. 보편적으로 그라우트의 충전은 후(後)주입 방법과 선(先)주입 방법으로 구분되는데 그림 4에 주입재 충전 방법을 나타내었다.

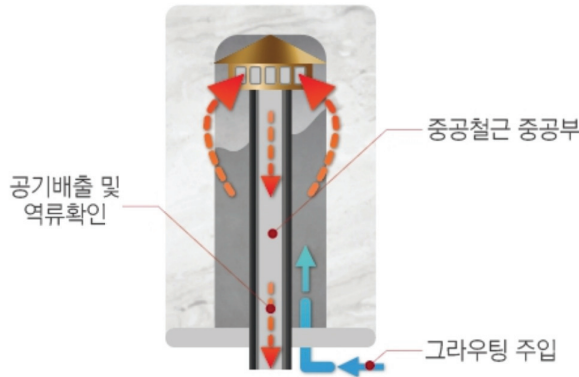
천공홀에 그라우트를 후주입 하는 경우에는 주입호스와 공기배출호스를 반드시 설치해야 한다. 천공홀과 이형철근 록볼트의 사이즈 차이가 크지 않고, 지반 조건에 따라 천공홀이 매끄럽지 않은 경우 주입호스와 공기배출호스를 설치하는 것이 쉽지 않다. 또한 설치가 잘 되었다고 해도, 공기배출호스의 내경이 너무 작아 원활한 그라우트 주입이 어렵고, 그라우트 품질을 안정적으로 확보하는 것도 어려운 것이 현실이다.

이러한 후주입의 시공상의 어려움으로 현장의 시공성 확보를 위해 선주입 방법으로 시공하는 사례도 있다. 선주입 시공은 공기배출호스를 생략할 수 있고, 록볼트 삽입 전에 주입호스를 통해 물-시멘트비(W/C)를 낮게 배합한 그라우트를 주입하므로 시공성은 향상될 수 있다. 하지만 그라우트가 주입된 상태에서 이형철근 록볼트를 삽입하게 되므로 인력시공시 작업자의 노동강도가 증가하고, 록볼트를 삽입하는 과정에서 선주입된 그라우트가 배출되어 그라우트의 안정적 품질확보가 어려운 것이 시공방법이다. 이러한 시공방법의 특성으로 인해 작업자가 시공 중 부상에 더 많이 노출되는 단점도 있다.



〈그림 4〉 이형철근 록볼트 시공방법 비교

그림 5에 중공철근을 록볼트로 적용할 경우, 그라우트 주입방법을 나타내었다. 록볼트 자체인 중공철근을 보강재와 공기배출 호스로 함께 사용이 가능하여 기존 이형철근 록볼트의 시공상의 단점을 개선할 수 있다. 중공철근 록볼트의 시공은 기본적으로 후주입 방법으로 볼 수 있다. 이형철근 록볼트의 후주입 방법과 비교하면, 주입호스의 설치가 필요한 것은 동일하지만, 중공철근의 중공부를 공기배출의 통로로 활용할 수 있어 공기배출호스를 생략할 수 있는 것이 특징이다. 또한 공기가 배출되는 중공철근 중공부의 내경이 약 18mm로 기존 공기배출호스에 비해 크기 때문에 그라우트 주입 효율이 향상되고 완전 충진을 통한 품질관리가 용이한 것도 장점이다.



〈그림 5〉 STG800 중공철근 록볼트 시공방법

3.3 STG800 중공철근 록볼트의 경제성

중공철근은 이형철근 록볼트 대비 5~10% 저렴한 가격에 현장에 공급이 가능하다. 록볼트의 주요 부재인 이형철근을 중공철근으로 1 대 1 대체하는 것 외에, 지압판, 고정구 등의 기본 액세서리는 거의 동일하게 사용된다. 중공철근의 항복강도가 이형철근보다 2배 높아 동일한 강도를 확보하는데 필요한 단면적은 절반으로 줄어든다. 무게당 단가는 이형철근보다 비싸지만, m당 무게는 절반으로 줄어들어 록볼트 1세탕 단가는 이형철근보다 5~10% 저렴하게 공급이 가능하다.

4. 맺음말

현재 중공철근은 록볼트의 적용을 시작으로 네일링, 흙막이 벽체, 매트기초 등의 지반구조물의보강을 목적으로 사용 실적을 늘려가고 있다. 2022년 건설분야의 가장 큰 이슈는 중대재해처벌법에 의해 안전 강화와 탄소중립 실현을 위한 친환경 제품 사용이었다고 해도 과언이 아닐 것이다. 중공철근은 이러한 사회적 요구를 만족시킬 수 있는 신개념의 건설 자재라고 판단된다.

중공철근이 기존의 이형철근과 달리 가운데가 비어있는 강관의 형상을 갖고 있어 이를 단점으로 판단하여 사용하는 것을 우려할 수도 있다. 하지만 새로운 제품을 긍정적인 시각으로 보고 장점으로 승화해본다면 기존 제품의 단점을 개선하고 새로운 효과를 기대할 수도 있다.

오늘 소개한 중공철근 록볼트는 중공철근의 중공부를 공기배출통로로 활용하여 기존 제품의 단점을 개선한 사례이면서 경량화에 따른 안전, 가격, 품질도 모두 향상시킬 수 있었다.

현재 중공철근의 중공부에 계측시스템을 도입하고, 지중열교환을 가능하게 하는 등 중공부를 여러가지 용도로 활용하고자 연구를 진행중에 있다. 일반 구조물로 중공철근의 사용 확대할 수 있도록 제도, 기준 등의 개정이 병행된다면, 건설 시장에 활력을 불러일으킬 수 있는 자재로 자리매김할 수 있을 것으로 확신한다. 시간이 얼마나 걸릴지는 모르겠지만 중공철근이 건축 및 토목 구조물에 널리 사용되는 상상을 하며 본 기사를 맺고자 한다.

참고문헌

1. 신현강, 정혁상, 안동욱, 2017, 고강도 강관을 적용한 SP-록볼트 개발 및 현장 적용을 위한 연구, 한국터널지하공간학회, 한국터널지하공간학회논문집, Vol.19 No.4, 651-668page
2. 안동욱, 2019, 더 가볍고 튼튼한 터널 보강 솔루션, 한국터널지하공간학회, 자연, 터널 그리고 지하공간, Vol.21 No.4, 34-40page
3. 안동욱, 이동섭, 이동현, 신창용, 우인정, 2021, STG800 지반보강용 강관을 적용한 흙막이벽체용 강관철근망, 한국지반공학회지, Vol.37 No.1, 13-20page
4. 안동욱, 이동현, 2022, 근로자의 안전과 환경을 생각하는 신개념 건설자재 중공철근 개발사례 소개, 한국지반환경공학회, 지반환경 제23권 제1호, 6-12page

[본 기사는 저자 개인의 의견이며 한국터널지하공간학회의 공식입장과는 무관합니다.]