

그라운드 앵커의 수압판 설계 방안의 제안

차아름, 장범수, 김보현, 유동우(한국시설안전공단)

김태훈(대우건설연구소)

1. 서론

국내에 그라운드 앵커(이하 앵커라고 함)가 도입된지 40여년이 지났으나, 아직 국내 실정에 맞는 수압판의 설계방안이 마련되어 있지 않아 최적의 앵커 시공이 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 이러한 문제점 때문에 앵커 공법이 적용된 현장에서 시공 초기 또는 앵커의 사용연수가 다 되지 않았는데도 수압판에 문제가 발생되고 있다. 일례로 앵커 수압판의 설계 단면 부족으로 인한 앵커 두부 파손 사례, 그라운드 앵커 수압판(이하 수압판이라 함)의 고정을 위한 콘크리트의 강도 부족으로 인한 파손 사례, 불규칙한 암반 표면에 적절한 대책없이 수압판을 시공함으로써 발생하는 파괴 사례 등을 들 수 있다. 수압판은 앵커 두부에 전달되는 인장력을 지반에 분산·전달시키는 역할을 하는 구조물로 앵커의 주요 구조물이라 할 수 있다. 그러므로 앵커의 주요 구조물인 수압판에 대한 중요성을 강조하고 이에 따른, 체계적인 설계 방안에 대하여 제안하고자 한다.

2. 그라운드 앵커 실태

2.1 국내 그라운드 앵커의 문제점

국내에서 사용되는 건설공사기준 중 앵커의 설계·시공에 대해 언급된 기준으로는 '2006년 제정된 건설공사 비탈면 설계기준표준시방서'가 유일하며, 본 설계기준 및 시방서의 제6장에는 각각 앵커의 적용범위, 재료의 특성, 설계 일반사항, 설계법과 일반사항, 재료·시공 및 품질관리 등이 언급되어 있다. 그러나 이러한 설계기준, 표준시방서는 건설공사 비탈면에 대한 건설기준을 만드는 과정에서 일부 언급된 것으로 앵커의 특성에 맞는 전문적인 설계·시공에 대한 기준으로는 미흡하다고 판단된다.

이러한 상황 내에서 국내의 앵커공법의 설계·시공에 대한 실태를 분석한 결과, 다음과 같은 문제점을 찾을 수 있었다.

설계상의 문제점으로는,

- 1) 앵커의 종류에 따른 설계법이 정립되어 있지 않아 객관적으로 검증되지 않은 설계기법과 앵커제원을 임의로 적용하는 사례
- 2) 그라우트로 피복되는 최소두께를 고려한 천공직경·지반조건에 따른 가압주입 필요여부에 대한 검토가 미흡한 사례
- 3) 수압판의 설계 단면의 부족으로 인한 앵커 두부 파손 사례 등을 들 수 있다.

제작상의 문제점으로는,

- 1) 앵커 제작에 소요되는 재료의 선정·방식기준에 객관성이 결여된 사례
- 2) 제조사 나름대로의 방식처리방법을 채용하고는 있으나 제조 원가의 상승 등을 이유로 선진국의 기준과 비교할 때 부적절하거나 미흡한 사례 등을 들 수 있다.

시공 상의 문제점으로는,

- 1) 시공시 설계안에 예상한 정착지반과 상이할 경우에도 별도의 설계변경 없이 당초설계로 시공하는 사례
- 2) 천공 후 공벽붕괴 등으로 앵커삽입이 곤란할 경우에 설계된 깊이까지 재천공 삽입을 실시하지 않는 사례
- 3) 수압판 시공시 수압판의 대좌면과 앵커 천공방향이 직각을 이루지 못해 인장재의 구부러짐으로 각각의 강연선에 걸리는 인장력이 상이하게 되는 사례
- 4) 천공 공 내의 지하수 침투 또는 피압지하수에 의한 그라우트의 강도가 저하되는 사례 등을 들 수 있다.

2.2 그라운드 앵커의 장기간 사용 시 문제점

앵커를 장기간 사용할 경우 앵커의 변형·손상 등 내구성이나 기능에 관한 문제가 발생한다. 이중 현장에서 주로 관찰되는 주된 변형·손상은 다음과 같다.

① 앵커 정착부의 변형

인장재의 파단이나 앵커체 변형, 수압판의 파단, 앵커두부의 돌출 등을 예로 들 수 있으며, 경우에 따라서는 앵커두부가 수십 cm로부터 수m 돌출되는 경우도 보고되고 있다.

② 반력 구조물의 성능저하·변형

앵커 자체에 원인이 없어도 구조물 강도 저하 및 지반의 변형 등에 의해 인장력이 저하되어 비탈면에 변형을 일으키거나 긴장재가 파단했을 경우 그 반동으로 인해 수압판이 파손되는 문제점도 있다. 또한, 반력 구조물의 변형으로 인해 앵커에 기능 저하가 발생하는 문제점도 있다.



그림 1. 수압판 파괴 (예)

2.3 그라운드 앵커의 변형과 요인

앵커의 변형 요인으로는 주변의 지형, 지질의 변화, 호우, 지하수의 변화, 방식재의 성능저하·유출·부족, 방식 불량, 외력의 작용, 과도한 긴장력의 작용, 긴장재의 부식, 앵커의 인장저항력의 저하, 앵커두부 재료의 성능저하 등을 들 수 있다. 이러한 변형요인은 예상하지 못한 sliding, 앵커의 파단·인발 그리고 비탈면·구조물 등의 변형·붕괴, 앵커두부의 돌출·낙하 등을 발생시키기도 한다.

그림 2는 앵커로 보강된 비탈면이나 구조물 등에 발생하는 변형 및 변형요인을 정리한 것이다.

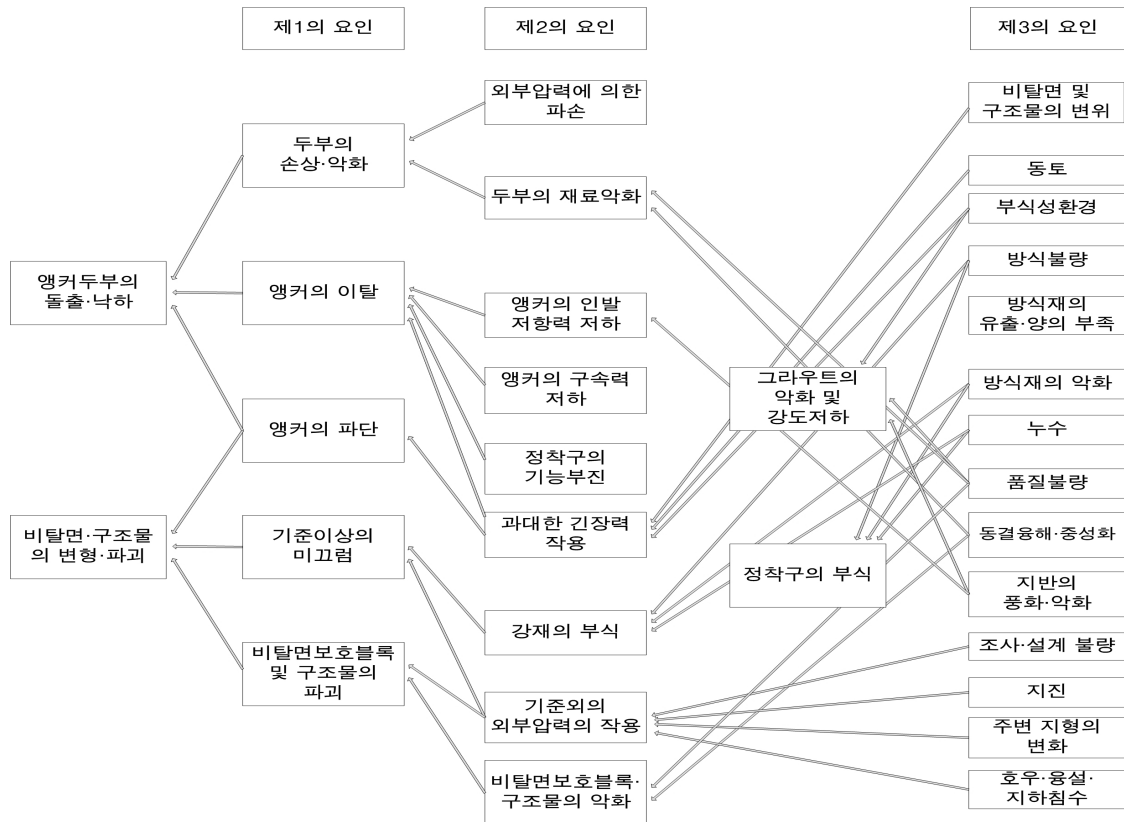


그림 2. 그라운드 앵커의 변형 요인과 관련도

2.4 앵커의 파괴거동

2.4.1 정착부와 정착장치의 파괴

앵커공법의 적용에 있어서 정착부의 기능은 매우 중요하며 목적하는 Prestressing Force 에 대한 저항력을 보유하고 있는 부분으로서 그 기능을 충분히 발휘할 수 있도록 하기 위해서는 파괴에 대하여 충분한 안정성을 확보하여야 한다. 정착부위의 파괴 형태는 극한 인발력의 부족으로 하중 도입 즉시 발생하는 순간 파괴와 시간의 경과에 따라 서서히 진행되는 진행성 파괴, 앵커의 설계 길이가 부적절함에 의해 발생하는 앵커의 붕괴로 구분 할 수 있다.

앵커의 정착장치는 인장재가 정착되는 stressing head와 반력을 구조체에 전달시키는

수압판으로 구성되며 앵커의 인장력은 콘크리트와 블록 또는 강재 띠장 형태의 2차 전달 시스템을 통하여 주 구조체에 전달된다. 이러한 구조 역학적 시스템은 구조역학 규준에 잘 명기되어 있으나, 다음 사항은 별도로 관리되어야 한다.

- 인장재가 중심축에서 $\pm 5.0\text{mm}$ 이내에 위치하도록 두부가 정착되어야 한다.
- 중심축에서 3° 이내의 각오차를 허용한다.
- 정착구(anchor head + wedge)의 품질관리를 하여야 한다.

과도한 오차는 하중전달의 효율을 감소시키며 췌기의 정착을 어렵게 하지만, 췌기 5.0mm 깊이 범위에 정착되었을 경우에는 문제가 되지 않는다. 앵커의 정착 장치는 앵커의 보유 응력을 구조체에 직접 전달하는 요소로서 그 파괴 형태는 수압판의 휨에 의한 인장력의 감소, head 및 wedge의 강도 부족으로 인한 파괴, wedge에 의한 인장재의 파괴 등이 있으며 시공시 엄격한 품질관리가 요구되는 사항이다.

3. 그라운드 앵커 수압판의 설계

3.1 수압판의 정의 및 종류

수압판은 앵커 두부의 인장력을 지반에 분산하여 전달시키는 목적으로 사용되는 것으로 큰 앵커력이 집중하중으로 작용시에도 충분히 안전하게 견딜 수 있는지 등을 감안하여 구조 및 재질을 선택해야 한다. 수압판의 종류로서는 철근 콘크리트제, 프리스트레스트 콘크리트제, 철제, 알루미늄 합금제 및 플라스틱 등의 신소재 제품 등으로 분류할 수가 있고, 산사태 지역, 깎기 비탈면, 기 설치된 석축이나 옹벽 등의 안정에 사용되는 영구 앵커의 인장력을 장기간에 걸쳐 유지할 수 있을 수 있는 것이어야 한다. 수압판은 앵커의 기능을 충분히 발휘하기 위한 매우 중요한 구조물로서 수압판을 선정하기 위해서는 앵커의 설치목적, 성질과 상태, 규모나 비탈면의 상태, 시공환경을 고려해 적절한 것을 선택할 필요가 있다.

3.2 수압판에 필요한 성능

수압판은 텐돈의 반력을 가능한 한 균등하게 분산하여 지반에 전달하는 구조로써, 그 성능과 안전성이 보장되고 장기적인 내구성을 유지할 수 있도록 역학적, 합리적인 설계가 되어야 한다. 그러나 앵커 긴장력이 작용하면 비탈면 표면이 고르지 않을 시에는 수압판에 집중하중이 발생하여 수압판의 파손이 발생할 수 있으므로 설계시 이를 고려하여야 한다. 또한, 수압판은 재료에 따라 설계 방법이 달라진다. 콘크리트제 수압판은 큰 균열 등을 발생 시키지 않도록 하여야 하고, 철제·알루미늄 합금제수압판은 소성변형을 일으키지 않도록 설계 앵커력에 대한 수압구조물의 단면기능이 충분하여야 한다. 수압판의 내력 등의 설계 방법은 허용응력법 또는 한계상태설계법에 따라 역학적으로 설계되어야 하고, 가혹한 야외 환경에 있어도 장기간의 내력을 유지할 수 있어야 한다. 그 때문에 염분이나 산성 가스가 있는 환경의 경우는 내부식성에 대해 특별히 고려하여야 한다. 또한, 앵커의 설치각도를 상하좌우로 조정할 수 있어야 한다. 즉, 앵커축선과 수압판이 수직이 아닌 경우에는 수압판 자체를 기울임으로써 각도를 조정하던지, 앵커의 부착부에 앵커축선과의 각도를 조절할 수 있는 성능을 갖는 수압판을 사용해야 한다. 따라서 $10^\circ \sim 15^\circ$ 이내의 각도 조절이 가능하도록 설계되어야 한다.

3.3 수압판 설계를 위한 하중과 반력

수압판의 설계 하중은 표 1과 같이 정한다. 수압판에 작용하는 상시 하중은 설계 앵커 력이므로 설계 앵커력을 상시하중으로 한다. 또한, 지진시 하중은 구조물의 설치 장소에 따라 일정하진 않아도 되지만 최대 하중일 경우에는 앵커에 사용하는 하중은 긴장재의 항복하중보다 커서는 안 된다. 그라운드 앵커의 설계하중은 긴장재 파단하중의 60%정도로 정해지며, 긴장재의 항복하중이 파단하중의 90%정도인 것을 감안하면 수압판에 참가하는 하중의 최대치는 설계 앵커력의 1.5배로 가정하여 설계하면 충분하다고 판단된다.

표 1 수압판의 설계하중

	상시하중	일시하중
영구 앵커력	설계 앵커력	지진하중 또는 설계 앵커력의 1.5배

수압판의 설계상의 지반반력은 등분포로 가정한다. 수압판에 생기는 지반반력의 분포는 지반의 강성이나 조건에 따라서 다르지만 이를 모두 감안할 수는 없으며, 지반이 특정하게 불균일할 경우는 이에 대한 대책을 강구해야하므로 일반적으로는 등분포로 가정하여 설계한다. 수압판에 작용하는 앵커력에 비해 자중에 의해 수압판에 생기는 응력은 무시할 만큼 작기 때문에, 수압판의 설계시 이를 생략한다. 또, 수압판에 하중을 재하할 경우에는 수압판에 큰 잔류변형이 생기거나 지반의 허용지지력을 넘는 반력이 생기지 않도록 설계해야하고, 일시하중이 재하될 경우에는 수압판에 큰 소성변형이 생겨서는 안되며, 지반이 파괴될 정도의 큰 반력이 생기도록 작은 수압 면적을 가진 수압판을 사용해서는 안 된다.

$$q_a \geq \frac{T_d}{A}$$

여기서 q_a = 지반의 허용지지력,

T_d = 설계 앵커력, A = 수압판의 수압면적

표 2 지반의 종류와 허용 지지력

지반의 종류		허용 지지력 q_a (kN/m ²)	비고	
			일축압축강도 q_u (kN/m ²)	N치
암반	균열이 적은 균질한 경암	1,000	10,000이상	-
	균열이 많은 경암	600	10,000이상	-
	연암, 토단	300	1,000이상	-
역암층	조밀한 것	600	-	-
	조질하지 않은 것	300	-	-
사질 지반	조밀한 것	300	-	30 ~ 50
	중간정도의 것	200	-	20 ~ 30
점성토 지반	매우 딱딱한 것	200	200 ~ 400	15 ~ 30
	딱딱한 것	100	100 ~ 200	10 ~ 15
	중간정도의 것	50	50 ~ 100	4 ~ 8

3.4 수압판 단면설계

수압판을 설계하기 위한 단면력은 등분포로 가정한 지반반력을 재하하여 계산하되 정밀 해석을 수행하지 않고 약식으로 계산하는 경우, 다음과 같이 가정하여 설계하는 방안을 제안한다.

- 1) +형 수압판은 캔틸레버 보로 계산한다.
- 2) 연속 격자형 수압판은 연속보로 계산하되 약식으로 최대 휨모멘트를 $\frac{wl^2}{10}$ 으로 가정한다.
- 3) 벽체식 수압판은 콘크리트 구조 설계 기준의 기초판 편 또는 슬래브 편을 준용하되 앵커 위치를 기둥 또는 말뚝에 대응시켜 휨모멘트 및 전단력에 대하여 설계한다.

그밖에 철제 및 알루미늄 합금제 및 플라스틱 신소재 수압판은 강구조 설계기준 등 해당 설계기준을 준용하되 설계기준이 없는 경우 최신의 연구결과를 도입하여 설계한다. 또한, 앵커 긴장력이 작용하면 수압판이 아래쪽 혹은 옆 방향으로 미끄러져 긴장재가 휘거나 긴장재에 전단응력이 발생할 수 있으므로 앵커 설치방향과 수압판의 설치각도는 수직을 유지하거나 미끄러지지 않도록 설계하여야 한다.

4. 결론

본 연구에서는 국내 앵커의 수압판 설계 방안이 마련되어 있지 않아 앵커 공법이 적용된 현장에서는 수압판의 파괴, 변형 등 문제가 발생하고 있어서 그에 대한 앵커의 실태를 분석하였고, 수압판의 일반적인 설계 방안에 대하여 제안하였다. 연구에서 나타난 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 국내 앵커의 설계·시공은 전문적인 시방서 및 지침서가 매우 부족하고 미흡하여 시공현장마다 일정하지 않은 기준으로 시공이 이루어지고 있다. 그 결과, 설계상, 시공상, 제작상 문제점이 발생하고 있다.
- 2) 수압판의 합리적인 설계를 하기 위해서는 지반상황, 재료 등을 고려하여야 하고, 수압판의 내력 설계방법은 허용응력법 또는 한계 상태 설계법에 따르는 것이 좋으며, 내부식성환경을 고려하여야 한다. 수압판의 설계하중은 상시하중과 일시하중으로 구분하며, 수압판에 하중을 재하할 경우, 수압판에 큰 잔류변형이 생기거나 지반의 허용지지력을 넘는 반력이 생기지 않도록 설계하여야 한다. 또, 일시하중이 재하된다고 해서 수압판에 큰 소성변형이 생겨서는 안되며, 지반이 파괴될 정도의 큰 반력이 생겨서는 안된다.
- 3) 수압판 설계는 지반과의 상호작용을 완벽하게 고려하지 않는 한 정밀해석이 의미가 없으므로 정밀해석 보다 안전 측으로 설계한다는 전제 하에 약식으로 설계하는 것이 경제적이다.
- 4) 현재 국내에 수압판 설계에 대한 기준이 없어 설계자의 능력에 의존하고 있는 상태이므로 조속한 시일에 수압판 설계 기준 마련이 필요한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 시행한 ‘2006년도 건설기술혁신사업 (06건설핵심C12)의 지원으로 이루어 졌습니다.

참고문헌

1. 그라운드앵커기술협회(2004), 그라운드앵커공법 설계시공지침, 과학기술, pp.283~289
2. 남흥기 역(2005), 그라운드 앵커 설계·시공기준, 동해설, (주)코리아에스이기술연구소, pp.155~165
3. 다산이엔지 (2007), 부산 제2롯데월드 굴착공사 현장 흙막이 구조물 안전성 검토보고서
4. 장범수 외(2003), 안전점검 및 정밀안전지침 세부지침(옹벽), 한국시설안전공단
5. 장범수 외(2003), 안전점검 및 정밀안전지침 세부지침(절토사면), 한국시설안전공단
6. 장범수 외(2006), 건설교통부 제정 건설공사비탈면 유지관리지침, 한국시설안전공단, pp.159~161
7. 장범수 외(2006), 건설교통부 제정 건설공사비탈면 표준시방서, 한국시설안전공단, pp.159~161
8. 장범수 외(2006), 건설교통부 제정 건설공사비탈면 설계기준, 한국시설안전공단, pp.159~161
9. (社)日本アンカー協會(2008), グラウンドアンカー維持管理マニュアル, 鹿島出版會
10. 淸州大學校 教授 尹志善 譯(1992), 그라운드앵커 工法, 區美書館, pp.303 ~ 318
11. (社)土木研究センター(2004), グラウンドアンカー受圧版設計試験マニュアル
12. Stuart Littlejohn(2007), "International Conference on Ground Anchores and Anchored Structures in Service 2007"