

## 그라운드 앵커의 부식에 대한 국내외 사례분석 연구

장범수, 유동우(한국시설안전기술공단)

김태훈, 차경섭(대우건설기술연구원)

남홍기((주)코리아에스이)

### 1. 서론

그라운드 앵커 공법은 주로 도심지의 지하구조물 및 건축물 지하층 공사를 위한 깊은 굴착시 가설흙막이 벽체의 지지를 위해 주로 사용되어 왔으며, 1980년대 이후에는 기건설되어 사용중인 급경사 암반비탈면의 보수·보강 및 신설 비탈면의 보강 등에 효과적인 대책공법으로 인식되어 매년 그 사용이 급속히 확산되고 있으나, 제작상에 있어서의 부식방지문제 및 그라운드 앵커를 적용하고자 하는 대상의 주변여건에 따른 부식을 고려하지 못한 설계·시공 등 다양한 원인 등에 의한 사고의 위험이 점차 증대되고 있는 실정이다. 특히 그라운드 앵커로 보강된 시설물의 내구연한 이상의 내구성이 요구되는 영구 그라운드 앵커의 tendon에 발생하는 부식은 앵커로 보강된 시설물의 성능을 저하시키는 한편 안정성에 심각한 문제를 야기할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 그라운드 앵커의 부식에 대한 국내외 사례분석을 통해 그라운드 앵커의 부식에 대한 경각심을 제고하는 한편 그 대책에 대해 간략히 기술하고자 한다.

### 2. 그라운드 앵커의 부식

금속은 통상 산화물 또는 황화물로서 자연계에 존재하며, 우리들이 이용하는 금속은 이들의 광석을 제련해서 얻은 것으로 화학적으로 불안정한 상태에 있다. 따라서 금속은 산화해서 안정한 상태에 되돌아 가려는 경향이 있는데, 이와같이 금속의 화학적 또는 전기화학적 반응에 의해서 표면에서 소모하는 현상을 부식이라 한다.

그라운드 앵커에서 발생하는 부식은 기타 다른 시설물에서 발생하는 부식들 중에서도 시설물의 안정성에 매우 큰 영향을 미치는 요인이 된다. 즉, 시설물의 보강을 위해 항상 긴장력을 유지하고 있는 그라운드 앵커에 발생하는 부식은 단순히 부식이 발생하므로써 앵커의 단면적이 감소된다는 의미 이상의 의미를 갖고 있다. 즉, 긴장력을 받고있는 그라운드 앵커에 발생하는 부식의 경우, 앵커에 부식이 발생함에 따라 단면적이 감소하게되고 감소된 단면에 하중이 집중되어 부식

이 촉진되는 악순환때문에 지반에 설치되는 다른 시설물인 배관시설, 상·하수시설에 사용되는 일반적인 재료로서 금속에 발생하는 부식과는 상대할 수 없을 정도로 큰 파급속도와 파급효과를 갖고 있다.

특히 2년이하의 사용기간을 갖는 가설 그라운드 앵커보다는 50년이상의 설계년수를 갖는 영구 그라운드 앵커의 경우 부식이 갖는 의미 및 파급효과는 더욱 지대하다고 말하지 않을 수 없다. 부식현상은 보는 관점에 따라 여러 가지로 분류할 수 있으나, 그라운드 앵커와 같이 토목·건축 시설물의 재료로 사용되는 금속에 나타나는 부식은 일반적으로 외관상 나타나는 현상에 의하여 크게 균일부식, 국부부식 및 환경야기 부식의 3가지로 나눌 수 있다.

## 2.1 균일 부식(Uniform Corrosion)

균일부식이란, 일반 탄소강등의 재료가 액체(수분)과 접촉하고 있을 경우에 흔히 발생하는 부식현상으로, 부식 환경에 노출된 금속표면 전체가 균일하게 침식당하는 부식 현상을 말한다. 부식의 요인으로서는 액체의 pH, 용존산소, 온도, 유속 등이 있으며, 이것들의 증감이 부식속도에 영향을 미친다. 부식에 의한 무게감량 및 파손되는 금속의량은 다른 형태의 부식에 비해 많으나, 부식에 의한 유효수명 예측방식, 방법이 비교적 용이하므로 적절한 재료의 선택, 각종 표면처리 및 부식속도와 내구연한을 고려하여 단면적을 증가시키는 등의 안전측의 설계 등을 통해 공학적으로 크게 문제를 일으키지 않으면서 문제를 해결할 수 있다.

## 2.2 국부부식(Localized Corrosion)

### 2.2.1 갈바닉 부식(Galvanic corrosion)

갈바닉부식은 두개의 다른금속 혹은 같은 금속이라 할지라도 부식환경 조건이 국부적으로 다름에 의하여 두 지점간 전위의 차이가 있을때 전자의 이동에 의하여 산화-환원 반응계를 형성하여 금속이 부식되는 현상을 말하는데, EMF Series 로도 예측이 가능하나 실제 부식환경에서는 전극반응이 평형상태가 아니기 때문에 Galvanic Series 는 EMF Series와 꼭 일치하지는 않는다. 만약 두 종류의 이상의 금속을 사용하여 그라운드 앵커를 만들어야 할 경우, 두 금속이 접촉하는 면을 전기적으로 절연하기위하여 부전도체 와셔(Washer)나 개스킷(Gasket)을 사용하여 갈바닉부식을 방지할 수 있다.

### 2.2.2 공식 및 틈새부식(Pitting and Crevice Corrosion)

공식과 틈새부식은 국부부식으로서 구조물의 아주 적은 부분이지만 매우 빠른 속도로 전체 구조물의 사용에 치명적인 영향을 주기 때문에 공학적으로 매우 중요한 형태의 부식이다. 공식과 틈새부식은 금속표면에 형성되어 있던 부동태 피막의 파괴로 인하여 야기되는 부식형태로서 반응기구가 유사하다. 그러므로 이 두가지 형태의 부식은 우선 부동태 피막을 형성할 수 있을 정도의 높은 산화도를 가진 용액내에 부동태 피막을 파괴시킬 수 있는 염소이온과 같은 원소가 존재할

때 발생한다.

처음 부식이 발생되는데는 다소 시간이 걸리나 일단 생기면 부식이 급가속되며, 육안관찰이 어렵기 때문에 상당히 진행된 후에나 발견가능한 특징을 갖고 있다.

공식은 표면의 조건에 따라 많은 영향을 받는데 매끈하게 잘 처리된 표면이 거친 표면보다 공식발생률이 훨씬 낮으며, 기계적 영향에 매우 민감하여 냉간압연, 냉간단조 등과 같이 심한 기계적 영향을 받은 부위에서 잘 일어난다. 일반적으로 기계류의 경우는 내공식성을 향상하기 위하여 여러가지 금속을 이용하여 합금강을 만들어 사용하나, 그라운드 앵커와 같은 건설자재의 경우는 건설재료비 등의 문제로 합금강을 사용하기는 여의치 않은 실정이다.

틈새부식을 방지하기 위하여는 그라운드 앵커의 구조상에 볼트나 리벨을 꼭 사용해야 하는 경우는 고무 혹은 플라스틱과 같은 개스킷(Gasket)을 이용하여 틈새가 발생하지않도록 해야하며, 그렇지 않아도 되는 경우는 용접을 하는 방법을 택하도록 한다. 또한

### 2.2.3 입계부식(Intergranular Corrosion)

금속이 예민화온도구간(450~800℃)에서 장기간 노출될 때 발생하는 부식이나 그라운드 앵커에서는 발생의 여지가 매우 적다.

## 2.3 환경야기균열 (Environmentally Induced Cracking)

금속이 부식환경에 노출됨과 동시에 응력을 받게되면 상호상승작용 (Synergism)에 의하여 부식이 가속되어 균열을 일으켜 파괴가 일어나게되는데 이러한 현상을 환경야기균열이라 말한다. 특히, 정적하중을 받을때 일어나는 현상을 응력부식, 반복하중을 받을때 일어나는 현상을 부식피로라 하고, 응력을 받고있는 금속의 표면에 수소가 침입하여 일어나는 경우를 수소취성균열이라고 한다. 환경야기균열이 일어나기 위하여는 앞에서 설명한 국부부식이 주요 요건으로서 작용할 수 있으며, 응력부식, 부식피로 및 수소취성은 실제적으로는 복합적으로 일어나는 경우가 많다.

### 2.3.1 응력부식균열 (Stress Corrosion Cracking)

응력부식균열이란 어떤 금속의 표면에서 주위의 부식환경과 인장응력이 복합적으로작용하여 금속의 기계적 강도에 치명적 영향을 미치어 갑작스런 파괴 (Fracture) 를 유발하는 현상으로 높은 인장응력을 갖게되는 그라운드 앵커에서는 응력부식균열이 중요한 관심사이다. 인장응력은 열처리나 용접, 성형등 여러가지 부품 제작과정에서 비롯되는 잔류응력 혹은 외부에서 가해지는 응력 (External Load)을 말하는 것으로 그라운드 앵커의 경우 텐던에 가해지는 인장력을 예로 들 수가 있다.

응력부식을 방지하는 방법으로는 응력부식을 유발하는 3가지 인자인 인장응력, 환경요인 및 소재선택을 적절히 하는 방법을 강구해야하나, 그라운드 앵커의 특성상 인장응력을 제거하거나, 금속의 강도를 낮추거나 조직을 변화시키는 방법

은 사용하기 어려우며 응력부식성이 강한 금속으로 대체하는 방법을 고려 할 수 있으나 건설재료비 등의 문제를 함께 고려해야 할 것으로 판단된다.

### 2.3.2 부식피로 (Corrosion Fatigue)

부식환경에 노출된 금속재료가 반복응력을 받게되면 취화현상이 일어나 균열의 생성 및 전파로 인하여 파괴를 일으키는 현상을 부식피로균열이라 한다. 일반적으로 금속은 공기중에서 피로파괴를 일으키는 임계응력, 즉 피로한계를 가지나 부식환경에서는 피로한계가 격감하거나 경우에 따라서는 피로한계가 너무 낮아 무의미한 값을 가진다.

### 2.3.3 수소취성균열 (Hydrogen Embrittlement Cracking)

수소취성은 수소가 금속조직내부로 침투 및 확산하여 연성과 인장강도를 감소하는 현상을 말하며, 이로 인하여 수소취성균열이 야기된다. 수소취성균열 현상은 인장응력하에서 취성균열을 일으킨다는 관점에서 응력부식균열과 유사성이 많다. 응력부식을 억제하는 방법으로 음극방식도 사용되지만 수소취성을 유발할 우려가 있기때문에 사용시 주의를 요한다.

## 3. 그라운드 앵커의 부식에 따른 피해 사례

1980년대 the Federation Internationale del la Precontrainte(FIP)에서는 전 세계적인 조사를 통해 1934년부터 1980년까지 설치된 그라운드 앵커의 텐던에 발생한 부식과 관련된 35개의 파괴 사례를 수집하여 표 1과 같은 결론을 얻었다.

표 1. 부식에 의한 그라운드 앵커의 파단실태 조사 결과(1986, FIP)

조사항목		비율(%)	
조사건수	영구앵커	69	
	가설앵커	31	
인장강재의 종류	PC 강선	53	
	PC 강봉	25	
	PC 강연선	22	
앵커사용기간		(영구)	(가설)
	6개월 이내(최단 수일)	11	17
	6개월 ~ 2년	06	03
	2년 이상(최장 31년)	49	05
	사용기간 알 수 없음	03	06
파단개소	앵커부두부근	45	
	이장부	50	
	앵커체	5	

### 3.1 국외 사례



그림 1 영국 테임즈의 앵커로 보강된 안벽 파괴 사례(Barley, 1997)

1990년 영국 테임즈강변에 설치된 안벽(岸壁)에서는 약 142m에 이르는 점진적인 파괴가 발생했는데, 조사결과 안벽 파괴의 원인은 그라운드 앵커 두부외측에 코팅된 에폭시 수지의 파손 및 부적절한 두부그라우팅에 기인한 앵커 두부의 강연선에 발생한 부식때문인 것으로 밝혀졌다.

또한, 2001년 프랑스 라 로셴 항구(La Rochelle Harbour)에서는 벽체 배면의 뒤채움중에 300M에 이르는 구간에서 약 400mm이상의 수평변위가 발생했는데, 육안점검과 사용하중에 대한 검토결과 부식과 과응력에 기인한 파괴인 것으로 밝혀졌다.

1969년부터 1982년까지 스코틀랜드의 아버딘 항구(Aberdeen Harbour)에서는 조수간만의 변화에 따라 부두 안벽(岸壁)에 가해지는 하중을 적절히 분배하기 위한 목적으로, 오직 시멘트 그라우트의 알칼리성을 이용하여 부식 억제 환경을 제공하는 방식의 그라운드 앵커와 폴리에스터 수지로 감싼 strand를 아연도금한 강관에 넣은 후 과형 플라스틱관과 함께 시멘트 그라우팅을 실시하는 방식의 두 가지 타입의 그라운드 앵커 약 360여개를 설치하였다. 21년 후 부두 안벽(岸壁)의 그라운드 앵커 strand에 대한 하중재하시험 결과 15개 중 2개소에서 파괴가 발생하였다.

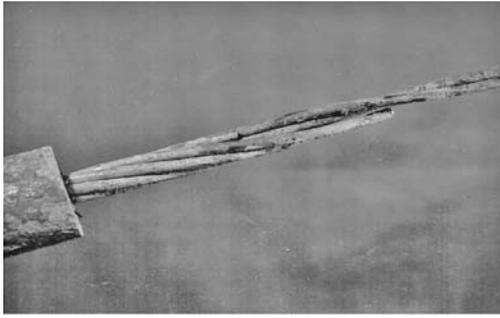


그림 2 하중재하 시험중 파괴된 직경 15mm의 strand



그림 3 강선 표면에 심각한 크랙이 발생했음을 보여주는 사진



그림 4 파괴면으로부터 얼마 떨어지지 않은 곳에서 관찰되는 크랙

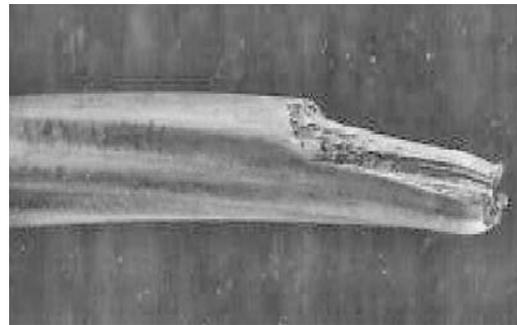


그림 5 국부부식에 의해 파괴가 발생한 강선의 파단면 사진

### 3.2 국내 사례

#### 3.2.1 건물 지하층 바닥에 설치한 부력방지 영구앵커의 부식 파단 사례

본 사례는 부력방지를 위해 건물 지하층 바닥에 설치한 영구 그라운드 앵커 두부의 정착헤드부의 방식 미흡으로 부력방지 영구 그라운드 앵커의 강연선이 부식·파단되어 발생한 부력에 의한 압력력을 견디지 못한 기둥이 좌굴 파괴된 사례이다.



그림 7 강연선이 부식 파단한 부력방지 영구앵커 두부 상태(두부캡 개봉전)



그림 8 앵커 두부의 방식 미흡으로 부력방지 영구앵커의 강연선이 부식·파단한 상태



그림 9 부력방지 영구앵커의 강연선이 부식·파단하므로써 부력에 의한 기둥의 압축력이 증가하여 좌굴 파괴된 상태

### 3.2.2 하천 옹벽에 설치된 그라운드 앵커 두부의 정착헤드부 파손으로 인한 부식사례

본 사례는 하천옹벽을 지지하기 위한 영구 그라운드 앵커 설치시 앵커두부를 보호하기 위한 캡의 운용환경을 고려하여 적절한 선택 및 시공을 하지 못하여, 캡이 파손되고 수분에 노출됨에 따라 앵커 두부에 부식이 발생한 사례이다.



그림 10 앵커두부의 캡 파손으로 인해 앵커 두부가 노출되어 부식된 사례

### 3.2.3 도로 비탈면 옹벽에 설치된 영구앵커의 두부 파손캡에 따른 부식사례



그림 11 캡의 파손이 발생사례 및 캡의 이완에 따라 캡의 기능을 상실한 사례

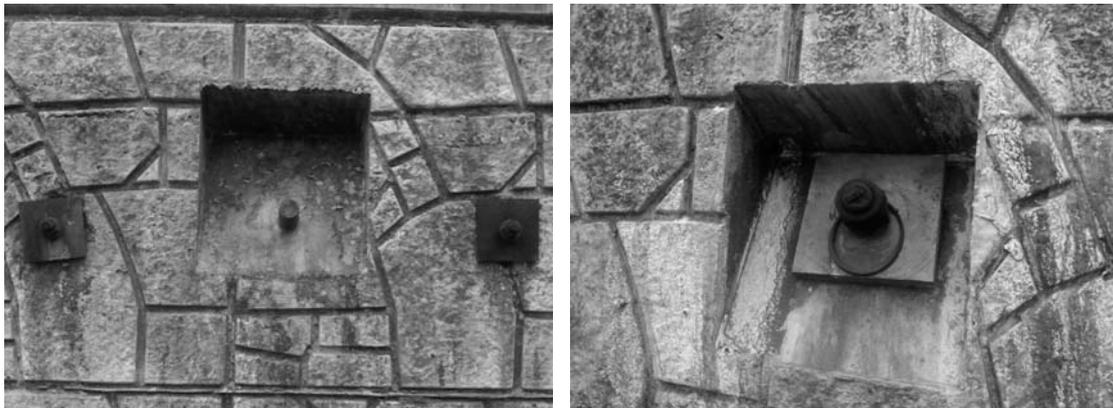


그림 12 두부 캡 손상에 따라 앵커의 두부에 부식이 발생한 사례(그림 11)

본 사례는 도로 비탈면에 설치된 옹벽의 진도 등을 방지하기 위해 영구 그라운드 앵커를 설치하였으나 앵커 두부를 보고하기 위한 캡 시공시, 사용환경을 고려하여 적절한 가도를 가진 캡을 선정하지 않음에 따라 공용중에 캡의 파손이 발생한 사례 및 그라운드 앵커 시공시 적절한 시공을 하지 못해 함에 따라 캡이 이완되어 앵커 두부보호라는 캡의 기능을 상실한 사례(그림 10)와 두부 캡 손상에 따라 앵커의 두부에 부식이 발생한 사례(그림 11)이다.

## 4. 결론

본 논문의 궁극적인 목적은 영구적 그라운드 앵커리지에 대한 유지관리 및 시설물 감시에 있어서 가이드 라인을 제공하기 작성되었다. 시설물에 사용되는 영구 그라운드 앵커가 노후화됨에 따라 이에 따른 유지 및 감시의 기능이 중요시되고 있으나, 부식 방지 대책이 너무 미흡할 뿐만 아니라 심지어 최근에 설치된 그라운드 앵커 역시 설계 및 시공시 부적절한 재료 사용 및 시공력 부족으로 인하

여 부식 및 이에 따른 파괴에 취약한 경우가 많다. 따라서 그라운드 앵커의 부식 방지를 위해서는 다음과 같은 조치 및 기준 등이 필요할 것으로 판단된다.

- 1) 부식 우려가 있는 재료로 만들어진 그라운드 앵커는 그 재료 특성에 따라 적절한 부식방지 대책을 강구하여 사용기간 중에 부식에 따른 앵커기능의 저하가 발생하지 않도록 해야 할 것이다. 즉, 그라우트의 두께가 충분하여야 인장시 그라우트에 균열 발생을 최소화하고 설계시 고려한 부착력 또는 주변마찰력이 확보될 수 있다. 이는 철근콘크리트에서 철근의 최소 피복 두께 확보와 같은 이론이다.
- 2) 또한, 부식우려가 있는 재료를 사용하는 앵커 방식 방법을 선정할 경우는, 방식용 재료의 효과를 고려한 후 앵커체, 인장부, 앵커두부 각각에 대해 최적의 조치(앵커의 전체 사용기간 동안 가장 불리한 부식환경을 설정한 방식 대책)가 되도록 충분히 검토하여 결정해야 할 것이다.
- 3) 부식의 우려가 있고 방식이 필요한 텐돈은 장기간 안정적으로 외부로부터의 부식 환경을 차단할 수 있는 내구성이 있는 시스 등으로 감싸고, 그 내부를 그라우트나 방식용 재료로 충전하거나 기타의 방법으로 확실하게 방식을 해야 한다. 사용되는 시스는 부식 우려가 없고, 장기적인 내구성을 가지는 플라스틱 시스를 사용하는 경우가 많지만, 강제시스를 쓸 경우에는 확실한 방식으로 부식 우려가 없는 것을 사용하는 것으로 해야 한다. 또, 이들 시스가 지반에 힘을 전달하는 기능을 가질 경우에는 텐돈에 인장력을 가했을 때 파손되지 않을 충분한 강도와 두께를 갖는 것으로 한다.
- 3) 특히 앵커 두부에서 인장부에 걸쳐서 부식에 의한 파단사례가 많이 보고되고 있으며, 앵커 두부와 그 배면 및 인장부에서는 사용되는 재료끼리의 접촉부분에서의 방식구조가 불연속면이 되기 쉬우므로 이 부분에서의 수밀대책을 확실하게 하여 부식환경으로부터 보호될 수 는 지수구조를 갖도록 해야 할 것이다.
- 4) 두부캡은 방식용 재료의 누출이나 유해물질이 침입하지 않는 구조로 해야하며 두부캡은 공용환경을 고려하여 손상이 되지 않는 것으로 하고 필요시 방식을 한다.. 즉, 정착구의 배면은 인장부와외 경계가 되기 때문에 방식구조가 불연속으로 되기 쉽고, 부식의 위험성이 높기 때문에 경계부분에 유해물질이 침입하지 않는 구조로 하고, 정착구의 배면에는 그라우트나 방청유 등 방식용 재료로 완전히 충전하여 부식을 방지해야하면 충전된 재료가 누출, 증발, 침강하지 않는 구조와 재료를 사용하고, 추후 보충할 수 있는 구조로 한다.
- 5) 앵커체의 그라우트는 알칼리성이어서 부식 우려가 있는 강재에 대해서는 방식 기능이 기대되지만, 지하수나 지반의 산성도가 높을 때는 그라우트 자체에 열화가 생길 위험이 있으므로, 그라우트의 재질 변경을 검토한다.
- 5) 상기한 바와 마찬가지로 만약 두 종류의 이상의 금속을 사용하여 그라운드 앵커를 만들어야 할 경우, 두 금속이 접촉하는 면을 전기적으로 절연하여 전기적 부식에 대한 방지책을 강구해야 할 것이다.
- 6) 또한, 극도로 부식에 취약한 환경일 경우에는 최근 재료자체가 부식되지 않는 소재(Carbon Fiber-Reinforced Polymer, Fiber Reinforced Formed

Urethane 등)를 사용하는 것도 면밀히 검토할 필요가 있다고 판단된다.

- 7) 아울러, 유지관리를 고려한 그라운드 앵커의 설계·시공에 대한 기준을 확립하여 최소한의 부식방지대책을 제시할 필요가 있다고 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 건설교통부 건설기술혁신사업의 연구비지원(과제번호 06건설핵심 C12)에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. Stuart Littlejohn, (2007) International Conference on Ground Anchorages and Anchored Structures in Service 2007.
2. 남홍기 역, (2005) 지반공학회기준 그라운드 앵커 설계·시공기준, 동해설
3. 橋本功 橋本彬, (1999) グラウンドアンカーの腐食と対策, 基礎工 Vol.25 No.7 (通券.288)
4. 山田浩, (2003) グラウンドアンカーの耐久性と維持管理, 基礎工 Vol.31 No.6 (通券.359)
5. 地盤工學會, (1999년) 「グラウンドアンカー設計・施工基準」
6. 건설교통부, (2006) 건설공사 비탈면 설계기준
7. 건설교통부, (2006) 건설공사 비탈면 표준시방서 외 다수