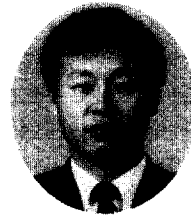


콘크리트구조물의 성능저하 원인 Major Causes for Deterioration in Concrete Structures



김 우*

1. 서 언

콘크리트 구조물은 인간의 과오 뿐만 아니라 자연적으로 시간이 흐름에 따라 그 성능이 저하되게 되어 있다. 설계의 품질, 현장조건, 시공 및 감리의 정확도, 기상조건 등 각종 주변환경 조건등에 의한 건설상의 결함에서부터 완공된 후의 사용상태에 따른 환경과 유지관리 조건등에 이르기까지 콘크리트 구조물의 성능저하 정도는 임의성 또는 변화폭이 대단히 크다. 따라서 콘크리트 구조물의 성능저하에 의해 초래되는 결과는 주변사람들이 쉽게 인지하지 못할 정도로 서서히 성능이 나빠지는 것도 한순간에 전체적으로 붕괴되기도 한다.

콘크리트 구조물의 열화에 따른 성능저하로 인해 발생하는 결과는 크게 두가지로 구분할 수 있다. 하나는 급작스런 붕괴로 인한 인명피해를 당할 수 있으며, 또다른 하나는 내구연한의 단축으로 인한 보수 및 개축등의 필요에 의한 막대한 경제적 손실이다. 전자의 경우, 이미 우리주변에서 두번이나 대단히 큰사건을 당하였다. 후자인 경우 문제의 심각성이 서서히 대두되고 있는 실정이다.

막대한 예산을 투입하여 준공된 국가 기간시설물들이 수세대를 사용하여야 함에도 불구하고, 현재 대도 붓가 재축조해야 하는 경우가 많아서 장기적인 안목으로 보면 그의 심각성을 쉽게 인지할 수 있을 것이다.

콘크리트는 현대문명과 함께한 재료로 현재까지 1세기 정도 밖에 인간이 경험하지 못했으며, 특히 우리나라의 경우 실질적으로 20-30년 정도의 경험 뿐이어서, 콘크리트 구조물의 성능저하 또는 내구성엔 장시간에 걸쳐 다루는 내용이기 때문에 아직까지 많은 기록 또는 연구들이 있었던 것은 아니다. 따라서 본고에서는 지금까지 알려진 콘크리트 구조물의 성능저하에 대한 여러가지 원인들을 개괄적으로 정리한 것이다.

2. 기후의 영향

2.1 동결융해 (freezing and thawing)

동절기때 콘크리트 내부에 수분이 포함되어 있으면, 동결과 융해가 반복된다. 콘크리트 내부의 공극에 차있는 수분은 외기 온도가 0℃이하가 되면 얼게된다. 물이 얼면 체적의 9%만큼 팽창하기

* 정회원, 전남대학교 토목공학과 교수, 공박

때문에, 이때의 팽창압력에 의해 인장응력이 발생한다. 이 인장응력은 보통 강도콘크리트의 시멘트풀의 인장강도를 초과하기 때문에 균열이 발생한다. 일반적으로 우리나라의 겨울철에 습윤상태에 있는 콘크리트, 특히 포장 콘크리트나 교량 상판 슬래브, 공극에 눈이나 비에 의해 수분이 채워져 있는 기간동안 저녁동안에는 얼고 낮에는 녹는 현상이 매일 반복된다. 이러한 동결융해 작용에 의해 콘크리트 내부에 부수한 균열이 발생되면서 본래의 강도가 저하되며, 심한 경우에는 적은 충격에 의해서도 콘크리트 덩어리째 이탈되기도 한다.

동결융해작용에 효과적으로 대처하는 방법은 공기연행제를 사용하여 적당한 양의 기포(약 0.4mm이하)를 시멘트풀 내에 균질하게 생성시키게 하는 것이다. 이러한 기포는 빈 공간으로 남아 있으면서 동결에 의한 체적 팽창 변형을 흡수할 뿐만 아니라, 일부 얼지 않는 수분을 흡수할 수 있는 여유공간을 제공하므로써 동결융해에 의한 콘크리트열화를 지연시키는 효과가 있다. 공기연행제 사용에 대한 유용한 요약은 참고문헌(1)에 잘 정리되어 있다.

2.2 탄산화(carbonation)

경화된 콘크리트내의 수산화칼슘과 공기중의 이산화탄소와의 화학적 반응을 '탄산화'라고 한다. 이 탄산화 자체가 콘크리트에 직접적으로 손상을 미치는 것은 아니며, 더욱이 탄산화가 된 콘크리트는 더 불투수성을 나타내기 때문에 유해한 물질에 대한 저항성이 증대된다고도 하겠다. 그러나 콘크리트 탄산화에 따른 근본적인 문제는 탄산화가 될수록 콘크리트 교유의 알칼리성이 감소되기 때문에 탄산화된 콘크리트에 묻혀있는 철근이 쉽게 부식되는 환경이 되는 것이다. 이 때문에 탄산화가 발생된 콘크리트 내부의 철근은 대부분의 경우 심하게 부식되어져 있는 것이 보통이다. 이렇게 철근이 부식되면 부식에 의한 팽창력에 의해 콘크리트 피복이 파손되면서 구조물의 성능저하가 크게 가속화된다.

콘크리트의 탄산화에 의한 구조물의 성능저하를 방지하기 위해서는 배치된 철근의 피복두께를

충분히 확보하여야 한다. 이것은 앞에서 설명한 것과 같이 탄산화 현상은 공기중의 이산화탄소와 콘크리트 내부의 수산화칼슘과의 화학적 반응으로서 콘크리트 구조물의 표면에서부터 시작되어 시간에 따라 내부로 깊어지기 때문이다. 지금까지 알려진바에 의하면, 탄산화의 깊이는 시간의 제곱근에 비례하는 것으로 되어 있다. 콘크리트의 탄산화에 영향을 주는 또다른 중요한 요인은 물-시멘트비로 알려져 있다. 배합당시 물-시멘트비를 적게 사용한 콘크리트는 탄산화의 속도가 훨씬 느리게 진행되는 것으로 밝혀졌다.⁽²⁾

2.3 산성비(acid precipitation)

산업의 발전과 더불어 공장시설이 밀집되어 있는 지역에 산성비가 내린다는 것은 오래전부터 알려진 사실이다. 사실 '산성비'의 존재는 1872년 영국의 화학자 R.A.Smith에 의해 처음 알려졌다. 당시 그는 영국의 맨체스터 부근의 강우를 분석한 결과 pH가 4이하임을 발견하였으며, 알칼리성을 갖는 콘크리트 구조물이 크게 손상되고 있다는 사실을 알았다. 현재 산성비라 함은 pH 5.6이하의 강우에 적용하고 있다. 산성비의 주요성분은 유황과 질소산화물의 연소에 의한 황산과 질산으로 되어 있다.⁽³⁾

지금까지 산성비에 의한 콘크리트구조물의 성능저하 정도에 대한 계량적인 연구결과는 잘 알려져 있지 않는 상태이다. 다만 몇사람에 의한 실험실 연구결과에⁽⁴⁾ 의하면, 산성비에 의해 콘크리트 표면이 용해되어 부식되며, 특히 이러한 현상은 고강도 콘크리트일수록 크게 나타나고, 저강도에서 영향이 적게 미치는 것으로 알려졌다. 또한 콘크리트 표면이 검게 변색되어지는 것도 관찰되었다.

3. 미생물의 영향

3.1 지의류(lichens)

콘크리트 표면의 알칼리성이 없어지고 나면 이끼류 및 담쟁이와 미생물 등이 서식할 수 있는 환

경이 된다. 이러한 식물이 자라게되면 뿌리의 생장에 의한 표면침투와 뿌리에서 배출되는 산성성분에 의해 콘크리트 표면이 부식되기 시작한다. 콘크리트 표면에 균열이 발생되어 있다면 위와같은 지의류의 생장이 훨씬 용이한 환경이 되며, 동시에 이에의한 표면부식이 훨씬 빠르게 진행된다. 이러한 과정에 의해 콘크리트 표면이 한번 손상되면 이 부분에 지의류의 군락이 점유하게 되며, 부식은 가속된다.

영국의 한 저수지의 콘크리트 구조물표면을 자세히 관찰한 기록에 의하면,⁽⁵⁾ 완공된 후 4~6년 사이에는 아무런 이끼가 발견되지 않았다. 그 후에서 10년까지 동안에 세 종류의 이끼가 상당한 영역을 점유하여 성장하고 있었다. 노란색 이끼류가 맨처음부터 성장하고 있었으며, 회-녹색 이끼류는 가장 넓은 면적에 걸쳐 자라고 있었고, 검은 이끼류가 가장 심하게 콘크리트 표면을 손상시키고 있음을 관찰하였다. 이러한 식물의 성장은 표면의 수분과 알칼리성의 소멸에 크게 연관되어 있다. 수분이 있는 곳으로부터 이끼류가 서식하기 시작한다. 따라서 콘크리트 배합때 공극이 적은 콘크리트로된 구조물에서는 이끼류의 서식을 지연시킬 수 있다고 하겠다.

3.2 하수(sewage)

콘크리트 하수관은 다른 형태의 콘크리트 구조물에 비해서 심하게 성능저하되는 구조물이다. 일반적으로 하수관 콘크리트의 부식은 그림 1과 같이 수면위 부분에서 발생한다. 부식초기현상으로는 표면에 하얀백태가 나타난다. 초기부식은 서서히 진행되나 점점 부식속도가 빨라지며, 처음에는 콘크리트 표면이 얇은 박편으로 떨어져 나간다. 그 후 굵은골재가 떨어지면서 콘크리트 구체가 얇아지고, 최종적으로 구멍이 뚫려지게 된다. 특히, 하수관로의 부식이 심하게 되는 환경은 다음과 같다.

- 1) 탄화물이 함유된 폐수가 흐르는 하수관로
- 2) 특히 산성도가 큰 산업폐수가 흐르는 하수관로
- 3) 관로의 경사도가 적어 오수의 유속이 느린

하수관로

- 4) 압력에 의해서 흐르는 관수로에서 개수로 흐름으로 변화되는 곳
- 5) 흐름의 지체시간이 길어서 오수가 부식될 수 있는 낮은 곳의 하수관로

콘크리트 하수관의 부식을 방지 또는 지연시키기 위해서는 오수의 흐름이 와류 또는 난류가 되지 않도록 충분한 유속을 갖도록 설계해야 하며, 적절하게 통기구를 설치해야 한다. 더욱이 하수관 부식의 주요요인인 황화물을 화학적 처리방법 또는 ACI 210⁽⁶⁾에 제시되어 있는 방법에 의해 제거해야 한다.

콘크리트 하수관로의 제작때 규산질의 골재를 사용하면 부식을 상당히 지연시킬 수 있으며, 더 적극적인 방법은 하수관 내부표면에 플라스틱 재질로 라이닝을 하거나 또는 폴리머 콘크리트를 사용하기도 한다. 하수관의 검사 방법과 보수대책에 대한 자세한 내용은 ASCE의 Manual No.62⁽⁷⁾을 참고할 수 있다.

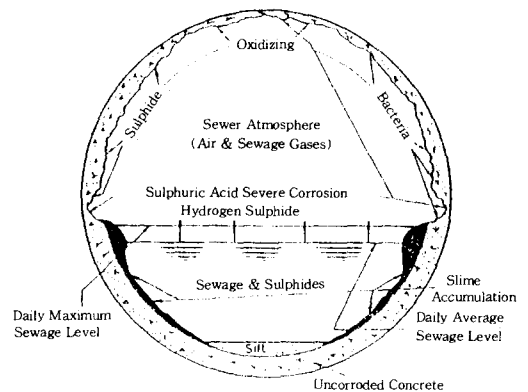


그림 1 오수에 의한 하수관의 부식과정

4. 화학물질의 영향

화학물질에 의한 콘크리트의 손상 정도는 화학물질의 구성성분 뿐만아니라, 콘크리트의 시멘트 플과 골재의 화학적 성분과 물리적 구조에 따라 다르다. 화학물질이 콘크리트에 영향이 미치게 되기 위해서는 화학물질이 액체 또는 기체상태로 콘크리트와 접촉하여야 한다. 외부 화학물질에 의한

콘크리트의 취약성이 증가되는 주요한 요인은 다음과 같다.

- 1) 콘크리트 자체의 높은 다공질성 배합때 높은 물-시멘트비, 나쁜 입도 분포를 갖는 골재의 사용, 부적절한 배합 및 불량한 다짐등에 의해 콘크리트 구체가 높은 다공질성을 갖게되어, 투수성 및 흡습성이 높은 콘크리트.
- 2) 노출환경에 대한 부적절한 시멘트의 사용
- 3) 노출 당시에 불충분한 양생
- 4) 화학물질이 접촉하고 있는 면의 반대편면이 공기중에 있어서 쉽게 건조됨에 의해 발생되는 큰 흡입력.
- 5) 유체 속도의 증가등
위와 같은 취약한 콘크리트에 화학물질이 접촉하게되면 여러가지 형태와 과정에 의해 콘크리트의 성능이 저하되게 된다. 이러한 성능저하 과정을 종류별로 정리하면 다음과 같다.⁽⁴⁾

- 1) 물에 함유된 탄산, 특히 반응성이산화탄소에 의해 콘크리트의 성분이 용해됨으로써 콘크리트가 성능저하된다.
- 2) 화학반응에 의해 생성된 물질의 체적이 팽창하여 원래의 콘크리트 결합을 분열시킴으로써 콘크리트 성능저하를 초래한다. 이러한 반응은 두종류가 있는데, 하나는 시멘트에 함유된 광물질이(즉, MgO) 서서히 수화되면서 발생하기도 하며, 다른 하나는 칼슘알루미늄하이드라이트와 소금과의 반응에 의해서 발생한다.
- 3) 산성물질에 의해 시멘트내의 수산화칼슘 성분의 분해에 의해 콘크리트 성능저하가 발생한다.
- 4) 콘크리트 내부의 결정체를 분열시킴으로써 성능저하된다. 이러한 현상은 주로 콘크리트 표면에서 동결융해에 의한 팽창압력에 의해 발생된다.
- 5) 콘크리트 내부에 침투된 화학물질이 시멘트 풀과 골재간의 표면부착력을 약화시킴으로써 성능저하가 발생한다. 특히, 이러한 현상은 건조한 콘크리트에 뜨거운 기름이 접촉하면 쉽게 발생한다.

5. 손상 및 마모

5.1 바닥 및 포장 콘크리트

콘크리트 바닥 슬래브는 차량바퀴 및 인간이나 동물의 발자국 등에 의해 높은 정도의 마모 또는 손상을 받는 환경에 놓여 있다. 이러한 마모에 대한 슬래브의 저항성은 표면의 평탄정도, 균열유무 및 표면강도에 따라 크게 다르다. 지금까지 알려진 바에 의하면 콘크리트 바닥 표층의 물리적 성질은 콘크리트 타설 당시의 품질관리상태에 따라 대부분 결정된다. 즉, 표면처리 시간 및 마감 시간과 양생정도가 특히 중요하다. 표면처리때 특별한 주의를 기울이지 않으면, 콘크리트 슬래브 상층표면의 콘크리트는 다른 부분에 비해 낮은 품질이 쉽게된다. 예컨대, 불리닝된 혼합수를 그대로 두고 마감하면, 표면콘크리트의 물-시멘트비는 훨씬 크게되며 따라서 강도와 다른 성질이 크게 저하되게 된다.

마모에 심하게 노출되어 있는 도로포장 콘크리트, 교량바닥 슬래브 및 활주로의 바닥 콘크리트 표면은 내마모성을 증대시키기위해 혼화재 및 보강섬유를 사용하는 것을 권장하고 있다. 이 중에서 특히 플라이 애쉬를 사용한 콘크리트는 마모에 대한 내구성이 우수한 것으로 알려져 있다.

5.2 수공 구조물(hydraulic structures)

수공 구조물은 유수와 함께 흐르는 돌조각, 얼음 및 기타 파편과 유속이 큰 흐름에서 발생하는 공동현상 때문에 물리적 마모가 쉽게 발생된다. 유량이 많고 유속이 느린 흐름에서는 상당히 큰 물체들이 떠내려 가면서 벽체 콘크리트를 심하게 손상시키기도 한다. 한 예로 영국에 있는 Anderson Park댐의 배수터널이 43개월 사용에 의해 약 80mm깊이의 콘크리트 표면마모가 발생된 것이 관찰되었다. 이 터널의 흐름에는 물론 점토류, 모래와 자갈이 물속에서 흐르고 있었다. 이러한 경우 터널입구에 거름체를 설치하였다면 마모를 상당히 줄일 수 있었을 것이다. 수공 구조물 콘크리트의 마모정도는 유수에 이동하는 물체의 크기모양

및 경도 뿐만아니라, 유속과 콘크리트 품질에 따라 달라진다.

수공 구조물을 마모 또는 파손시키는 또하나의 원인은 공동현상(cavitation)이다. 공동현상이란 흐르는 유수내의 압력이 포화증기압보다 적으면 증기포(cavities)가 발생한다. 이렇게 발생된 기포는 하류로 흐르면서 외부압력에 의해 순식간에 파괴되면서 큰 충격을 발생한다. 이 과정은 빠른 속도로 반복되며, 특히 콘크리트 경계면에서의 이러한 현상은 표면을 심하게 손상시킨다. 공동현상에 의해 콘크리트가 손상되는 경우들을 그림 2에 보이고 있다. 이 그림들을 살펴보면 공동현상에 의한 표면 마모는 콘크리트 표면의 불규칙성과 단면의 급작스런 변화가 주요요인임을 알 수 있다. 공동현상에 의한 손상은 개수로(open channels)에서는 유속이 12m/s 이상에서 발생되며, 관수로에서는 8m/s 이상에서 발생하는 것으로 알려졌다.

수공 구조물 콘크리트에서의 마모 또는 손상을 방지하기 위해서는 경도가 큰 알재를 사용한 고강도 콘크리트를 사용해야 한다. 만약 경도가 큰 알

재가 없을 경우에는 실리카 흙과 감수제를 사용하여 제작된 고강도 콘크리트를 사용해야 한다. 특히 공동현상이 예측되는 수공 구조물에서는 최소한 400kg/cm²보다 큰 압축강도를 갖는 콘크리트를 사용해야 한다.

6. 설계 오류(design errors)

6.1 구조거동에 대한 이해부족

대부분의 설계는 검사 또는 승인을 받도록 되어 있다. 이러한 점검은 급작스런 구조물붕괴를 막을 수는 있지만, 상기적으로 구조물의 성능저하를 증가시키는 작은 설계오류들은 거의 검토되지 않는 경우가 많다. 이러한 오류들은 과도한 균열을 발생하게 하여 철근의 부식을 초래하며 구조물의 성능을 저하시킨다. 일반적으로 복잡한 구조물의 거동을 단순하게 가정을 한 후 설계하는 경우가 많다. 이러한 경우 구조물의 실제 거동은 설계자가 가정한 것과 다르게 되기도 한다.

한가지 예로서 그림 3과 같은 탱크 바닥과 벽체의 연결부를 들 수 있다. 설계당시 이 연결부가 활절(pin joint)로 거동할 것으로 가정하고 단지 역청 충전제(bitumen filler)에 의해 틈새가 생기지 않도록만 설계한다. 그러나 실제거동은 이 조인트에 모멘트가 발생되어 외부측에 압축력이 그림 (b)와 같이 작용한다. 이 압축력에 의해 모서리 부근에서 사인장 응력이 유발되어 모서리 콘크리

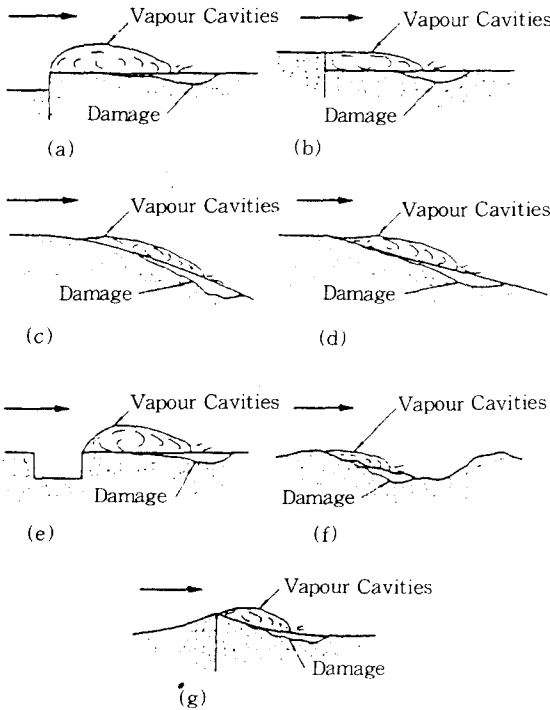


그림 2 수공구조물에서 공동현상에 의한 콘크리트 손상유형

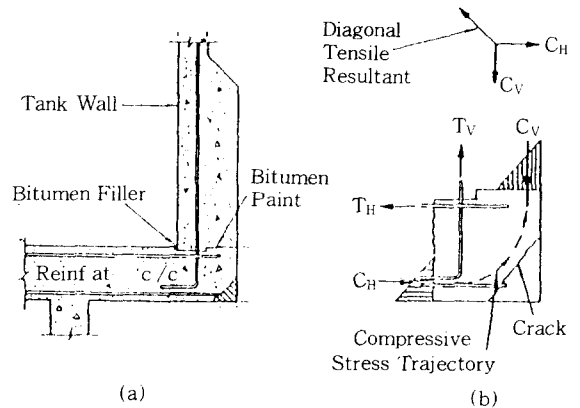


그림 3 물탱크 구조물의 바닥과 벽체의 연결부 거동

트가 쪼개져 나가게 되며, 이 때문에 주변 철근이 부식됨으로서 전체적인 구조물의 내구성이 크게 약화된다.

또다른 예로는 그림 4와 같은 골조구조물로서 가로보(primary beam)는 세로보(secondary beam)의 하중을 기둥으로 전달하는 역할을 한다. 이때 가로보는 기둥과 함께 보통 큰 강성을 갖게 되기 때문에 세로보의 부모멘트가 전달된다. 이 모멘트는 가로보에 비틀림모멘트를 유발시켜, 만약 충분한 비틀림 보강철근을 배치하지 않는다면 나선형의 균열이 발생된다. 관용적인 설계방법인 2차원 해석을 적용하여 설계할 경우, 위와 같은 비틀림 모멘트는 무시되어지는 경우가 많기 때문에 가로보에 큰 균열이 발생되어 전체구조물의 성능 저하를 초래하는 경우가 가끔 있다.

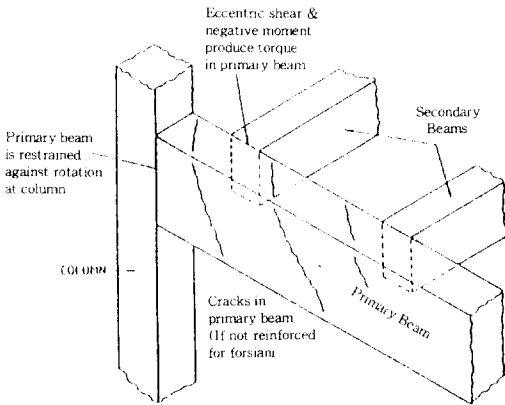


그림 4 가로보의 비틀림 균열

6.2 철근 배근 상세(reinforcement detailing)

불완전한 철근배근은 심각한 균열이 발생하는 주된 원인인 경우가 대부분이며, 극한 상태에서의 하중 재하능력에 크게 영향을 준다. 특히 브래킷, 교량 교차점, 기둥 기초면, 프리스트레싱 정착부 및 기둥 두주부 등과 같이 심한 국부적 집중하중이 작용하는 부분에서의 잘못된 배근상세는 결정적인 균열발생과 재하능력의 감소를 쉽게 초래한다. 따라서 콘크리트 구조물에 철근을 올바르게 배근하기 위해서는 설계자는 구조적 거동에 대한 충분한 이해가 필수적이라고 하겠다. 이러한 필요

성은 심지어 지금까지 사용되고 있는 표준철근상세에도 검토여지가 있다. 몇가지 대표적인 경우를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 코벨(Corbels) — 코벨에 대한 연구결과에 의하면 6개의 서로다른 파괴형태가 있다고 알려졌다.(그림 5) 따라서 철근은 이 파괴형태에 대비하여 배근하여야 한다. 이 중에서 매우 일반적으로 코벨에 발생하는 문제의 근원은 하중지지판 외측의 단부이다. 이곳은 현실적으로 철근의 굽힘간격 또는 피복두께와 현장 작업자의 부주의등에 의해 현실적으로 철근이 배치되지 않는 경우가 많다. 따라서 설계자는 충분한 여유를 두고 이 단부에 철근이 배치되도록 설계해야 한다.

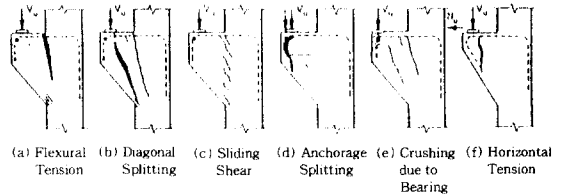


그림 5 코벨에서 가능한 파괴형태

- 2) 철근의 각변화 — 그림 6과 같은 경우 철근인장력의 급작한 변화에 의해 콘크리트의 국부적인 큰 압축응력이 한 방향으로 발생됨으로써 할열균열(splitting crack)이 발생할 수 있다. 이러한 경우 횡보강 철근을 배치해야 한다.

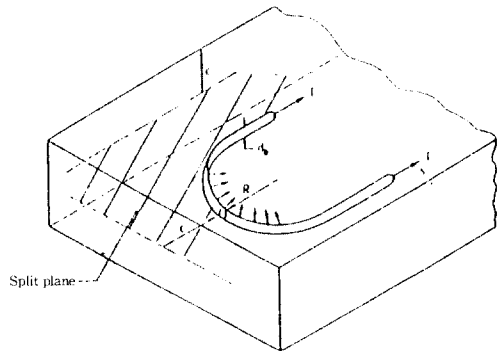


그림 6 굽혀진 인장철근에 의한 균열 발생기구

3) 철근 겹이음 — 철근을 연결하기 위해 서로 엇갈리게 배치한 겹이음을 한다. 이때 겹쳐지는 철근의 간격이 크면 편심에 의한 모멘트가 유발되어 인장인 경우나 압축인 경우 모두 그림 7과 같이 균열이 발생할 수 있다.

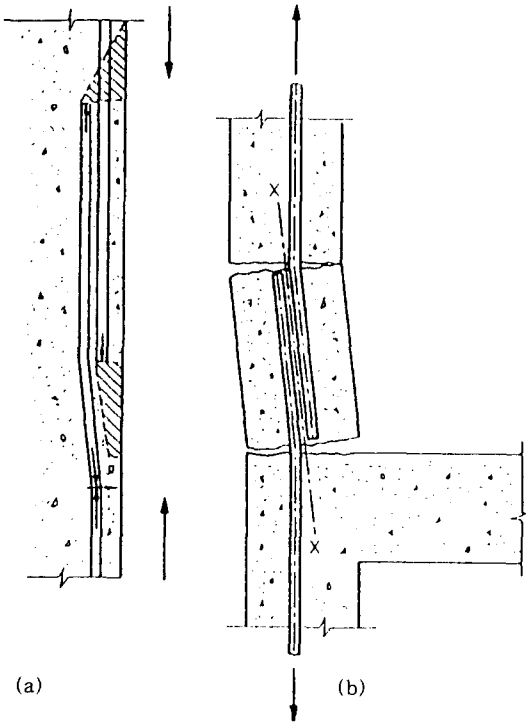


그림 7 엇갈린 겹이음철근에 의한 균열

6.3 건조수축과 온도변형에 대한 구속

철근콘크리트 옹벽이나 방조제등의 길이가 긴 구조물은 건조수축과 온도에 의해 균열이 쉽게 발생하는 대표적 구조물이다. 한 예로 그림 8과 같은 옹벽 구조물은 적당한 간격(보통 30m)으로 신축이음이 설치되었음에도 불구하고 벽체에 수직균열이 발생하는 경우가 많다. 보통 이러한 균열은 콘크리트 타설후 약 14일 내에 처음 발생되며 점차 균열폭과 길이가 증가한다. 이 균열은 수직 주철근을 따라 쉽게 발생되어 유해물질의 침투를 허용하게 함으로써 장기적 내구성을 크게 저하시킨다.

이러한 경우의 균열을 방지하기 위해 수평방향

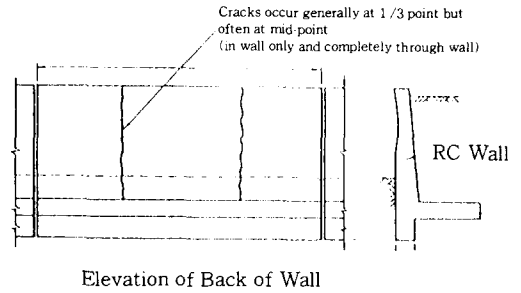


그림 8 옹벽에서 수축에 의한 균열

의 가외철근을 사용하는 수도 있으나, 벽체 자체가 워낙 크기 때문에 상당량의 철근을 사용하지 않고는 방지 할 수 없다. 따라서 설계자는 작은 간격으로 V형의 균열 유발줄눈을 설치함으로써 수월한 균열 보수를 전제로 설계하는 것이 더 현명하다고 하겠다.

7. 시공상의 오류

철근콘크리트 구조물의 사용중 붕괴 또는 과도한 균열의 주원인은 대부분 시공과 감리의 결함에서 기인한다. 일반적으로 시공상의 결함은 다음과 같이 분류할 수 있다.

Class I : 콘크리트 재료 및 배합상의 결함

Class II : 콘크리트 타설관리 결함

Class III : 콘크리트 양생 관리 결함

Class IV : 시공계획 및 과정상의 오류

- 과도한 시공하중
- 시공단면간의 상이한 건조수축
- 가능한 이동 또는 부동침하에 대한 대비 미흡
- 예상치 못한 구조적 거동등

윗 Class I, II와 III에 해당하는 결함은 시공자나 감리자의 적절한 관리에 의해 쉽게 피할 수 있다. 그러나 Class IV에 해당하는 결함은 사전에 대비하기가 비교적 어렵다. 이러한 몇가지 경우를 다음에 정리하였다.

그림 9는 시공중의 PS콘크리트 박스거더 교량의 단부 다이어프램인데, 그 두께가 210cm로 횡방향 프리스트레싱을 하기때문에 상부철근이 배치되지 않았다. 그런데 시공초기 콘크리트를 타설

하고 난후에 매우 큰 수직균열이 그림과 같이 발생하였다. 이 균열의 원인은 교각양측에 설치된 동바리의 침하때문이었다는 것은 자명하다고 하겠다. 가시철인 동바리가 콘크리트 교각에 비해 높은 자중에 쉽게 부동침하가 발생할 확률이 매우 높다는 사실을 시공자가 사전에 인식하지 못한 데서 발생한 사고였다.

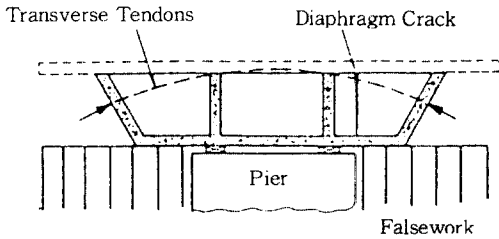


그림 9 가시철의 부동침하에 의한 시공중 균열

그림 10은 연장이 132m이고, 교폭이 9.6m인 2연속 상자형 교량의 단부 다이어프램에 발생한 균열을 나타내고 있다. 이 균열은 상부구조에 포스트-텐션링 작업이 끝난후 약 2주만에 발견되었다. 이 균열의 원인은 다이어프램내의 예상치 못한 다음과 같은 응력들의 복합작용에 의한 것으로 판명되었다.

- 1) 포스트-텐션링 후의 서로 다른 크리프에 의한 응력
- 2) 양 외측 교좌를 지점으로 하는 아취작용
- 3) 박스와 다이어프램간의 서로 다른 온도효과

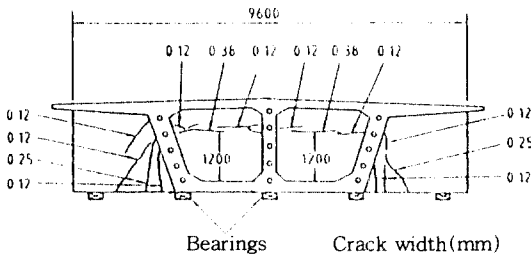


그림 10 상자형 교량단부 다이어프램에 발생한 균열

그림 11은 미국 캘리포니아에서 발생한 완전히 붕괴된 한 예배당 건물의 천정모서리의 겹이음 상세와 균열을 나타내고 있다. 이 경우 시공자는 철

근의 운송과 조립에 드는 비용을 절감하려고 매우 위험한 모서리에 불안정한 겹이음을 하여 시공하였다. 설계자는 수직철근을 굽혀 배근하려는 의도였으나, 시공자가 설계자의 의도를 확실하게 파악하지 못한데서 발생한 사고였다.

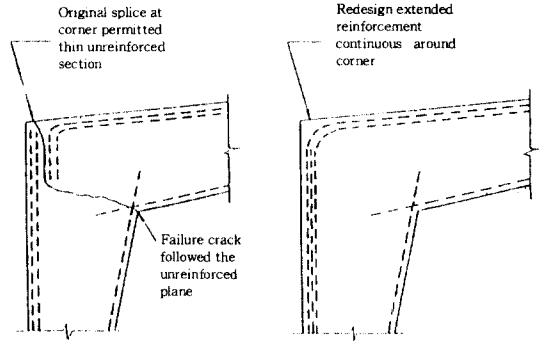


그림 11 모서리 겹이음철근의 오류에 의한 균열

시공중 과도한 가설하중의 재하에 의해 큰 균열의 유발 또는 국부적 파괴에 의해 구조물의 성능저하를 초래하기도 한다. 특히 공사시간을 줄여 조기시공을 하는 경우 콘크리트의 양생이 시간적으로 불충분한데, 여러종류의 건설자재의 보관등에 의해 시공중 과도한 가설하중이 작용하는 경우가 많다.

8. 결 언

콘크리트 구조물의 성능저하 원인은 사례별로 각각 다르고 그 정도 또한 변동폭이 크며, 원인도 하나인 경우 뿐만 아니라 복합된 원인인 경우가 많으므로 정량화된 예측을 제시하기가 어렵다. 그러나 성능저하 원인의 가장 근본적인 것은 설계, 시공 및 사용중의 무관심 또는 부주의에 기인된 것이라고 하겠다. 정확한 설계 및 정밀한 시공을 한다면 그 성능저하 속도는 훨씬 느리게 진행되며 내구성과 안전성을 쉽게 증가시킬 수 있을 것이다. 콘크리트 구조물의 안전성과 내구성의 문제는 인간의 생명과 국가의 경제적 여유를 보장하는 문제와 연관되어 있음을 비취볼 때 그 중요성은 매

우 크다고 보겠다.

참 고 문 헌

1. Dolch W. L. "Air entraining admixtures". In Ramachandran V S(ed) Concrete Admixtures Handbook, Noyes, New Jersey, 1984 Chapter 5 pp. 269-302,
2. Roper H, Baweja D, Kirkby G A 1985 "Unpublished report", School of Civil and Mining Engineering, The University of Sydney, February 1985
3. Wood M. "Stormy debate over acid rain". The 1988 World Book Year Book World Book Inc. 1988 pp.50-60,
4. Kong H. L., Orbison J. G. "Concrete deterioration due to acid precipitation". ACI Materials Journal 84(2): 100-16, 1987
5. Figg J, Bravery A, Harrison W, Covenham "reservoir wave wall - a full-scale experiment on the weathering of concrete" ACI SP-100, pp.469-92
6. ACI Committee 210 "Erosion of concrete in hydraulic structures" ACI 210R-87, American Concrete Institute,, 1987 p.22
7. American Society fo Civil Engineers "Existing Sewer Evaluation and Rehabilitation" ASCE Manual & Reports on Engineering Practice No.62, 1983 p.116
8. Popovics S, Chemical resistance of Portland cement mortar and concrete. In Sheppard W L(ed) "Corrosion and chemical Resistant Masonary Materials Handbook" Noyes Publications, New Jersey, 1987
9. Sheppard W L(ed) "Corrosion and Chemical Resistant Mansonary Materials Handbook" Noyes Publications, New Jersey, 1987