

# 토양과 지하수를 보호하기 위한 구조물에 있어서 강섬유콘크리트의 특성

## Behavior of durable SFRC Structures for the Protection of Underground Environment

강 보 순\*, 심 형 섭\*

Kang Bo-Soon, Shim Hyung-Seop

---

### ABSTRACT

In this paper, the crack properties of steel fiber reinforced concrete (SFRC) structures for environment by experimental and analytical methods are discussed. The major role played by the steel fiber occurs in the post-cracking zone, in which the fibers bridge across the cracked matrix. Because of its improved ability to break crack, SFRC has better crack properties than that of reinforced concrete (RC). Crack properties are influenced by longitudinal reinforcement ratio, volume and type of steel fiber, strength of concrete.

---

### 1. 서론

폐기물처리장, 폐기물소각장 그리고 화학산업분야와 같이 환경을 오염시킬 수 있는 물질을 다루고 저장하는 주변에 대한 차세대에 뚜렷한 환경보호 설비는 확실한 증가추세에 있다. 토질, 물 및 공기의 청정은 앞으로 우리의 환경을 위하여 지금보다 더 높은 가치를 두고 보존해야 하므로 콘크리트구조물에게는 새로운 내지는 확산되는 적용분야를 열어주게 될 것이다. 환경보호를 위한 설비에 요구되는 기술적인 안전대비와 동시에 높은 위험성을 내포하는 시스템인 경우는 부수적으로 전체적인 설비의 안전성 증대를 위한 건설 기술적인 대책에 따라 다르다. 계속되는 시공과 함께 연구개발에 관한 유럽국가 건설부의 재정적 지원을 자세히 살펴보면 환경보호를 위한 건설 기술적인 대책에서도 특히 콘크리트구조물에 집약되고 있다. 중요한 환경보호 방어작용을 갖고있는 처리장시설과 처리장설비부분의 예로 표1에 나타나 있다 (아래와 같은 기초준비는 처리장시설건설에 큰 도움을 준다).

한편으로는 이와 같은 예는 폐기물뿐만 아니라 특수폐기물처리장(예를 들면 소각, 생물학적 또는 화학적 처리장) 그리고 폐기물저장설비(병커, 수거-,중간저장설비) 다른 한편으로는 화학산업분야, 집수공간 및 뒷받침 방어대에서 종종 볼 수 있다. 다만 폐기물의 최종저장장소인 매립장은 예외경우로서 앞으로 더 시공되어질 것으

---

\* 정희원, 경주대학교 건설환경시스템공학부 전임강사

로 보인다.

폐기물처리장 및 폐기물 제거장	화학공장
(폐기물-, 특수폐기물-) 소각장, 생물학적, 화학적 처리장, 수거장, 찻저장, 중간저장을 위한 설비시설, 병커, 폐기물매립시설(마지막저장)	미네랄산업바닥 화학물질주입 및 제거, 생산바닥, 집수받침, 바닥통 이차적인 저장소 뒷받음통

표1. 처리장건설을 위한 기초준비

## 2. 토양 및 수질을 위한 콘크리트구조물에 대한 요구

건설 기술적인 환경보호는 여기서는 토양 및 수질을 위한 콘크리트구조물- 정의 된 보호목표 및 잔여위험과 함께 완벽한 안전대책이 필요하다. 총체적으로 포함하

일반 철근콘크리트 대책	특수성 -화학적 내구성 -투수성 -균열제어 -마모내구성
추가적인 방수	-혼화제/섬유로 보완 -층(화학적/역학적 내구성 및 조밀도)
만능대책	추가적 -포장과 함께 -2번째 방어 -제어될 수 있는 (지지작용 과 방수작용의 분리)

표2. 철근콘크리트방어, 작업등급

는 적당한 품질안전도가 그것에 속한다. 그 결과로 효과적 측면뿐만 아니라 내구적 측면도 생각하여 기술적인 전환의 현실성 및 운영비용을 고려되는 요구가 생긴다. 이 요구는 표2(왼쪽)에 요약한 것처럼 일반운영조건 및 고장시조건의 형태를 갖추고 있다. 폐기물처리장의 콘크리트차단에 부딪칠 경우 혼합쓰레기스펙트럼의 좀더 많이 또는 적게 감소되는 폭의 문제점과 더불어 지속운영에서 요구와 일시적인 고장상황에서 요구 사이에서 나눌 수 있다.

화학산업분야, 즉 위험물질이라고 확실히 알려진 분야에서 계획적인 정상운행을 하다가 보통 작용하지 않을 때 배수방어를 하게된다. 먼저 예측하지 못한 상황이

발생하여 위험물질이 담고있는 기본구조물로부터 유출되거나 위험물질이 밖으로 흘러나온다면 콘크리트가 이차적인 방어의 역할을 맡게 된다. 그것을 위한 분명한 해결책이 이차적 방어로써 요구된다.

이런 경우에 벌써 약간의 지식이 있으며 벌써 이용할 수 있는 경험과 부분적 해결책을 갖고 있다. 그것에 관한 지속되는 연구욕구(표2 오른쪽 열)가 있고 그 내용을 아직도 더 수용할 수가 있다. 이러한 연구요구는 관련된 현실적 문제의 상태를 파악하고 받아들임으로 특히 해결한계 및 아직도 해결할 수 있는 문제와 관련하여 얻게된다.

토양과 수질보호를 위한 많은 토목건설과제는 추가적인 방수대책 없이 콘크리트로만으로 해결할 수 있도록 맞춰진다. 콘크리트구조물의 특성은 추가적 대책 없이도 상응하는 효능을 제공하고 또한 특수한 특성을 보강하여 목표하고자 하는 품질로 더 향상된다.(표2, 위)

토목건설과제를 위한 철근콘크리트의 가능성을 완전히 측정하고, 확실히 하며, 그것의 신뢰성을 정확히 하는 것은 충분한 가치가 있다. 항상 추가비용을 추천할 수 것은 아니다. 예를 들면 인공층은 추가적방수의 작업등급으로 정리한다. 그러나 강한 마모하중으로부터 벗어나면 여기에서는 못하게 한다.

철근콘크리트건설은 모든 요구를 위해 복합적인 작업제공을 정의하고 준비하여 구별될 수 있으며 등급이 나뉜 해결대안을 개발하는데는 두 번째 방어와 더불어 제어공간과 함께 검사할 수 있고 수리할 수 있도록 만능대책까지 전력해야 한다. (표2, 아래)

많은 표준경우에는 유럽에서는 균열제한으로 0.1mm까지 추가적인 방수대책이 없는 철근콘크리트가 대부분이다. 상이한 침투 매개체일 경우 완전한 조밀도도 연구분야의 한 부분이다. 도장은 다른 종류의 바닥설비경우에 적합한 대책이다. 모든 경우에 너무 불필요하게 경제성이 부담되는 대책이 되어서는 바람직하지 못하다.

특수한 차량 및 반복되는 grab 사용으로 높은 표면하중을 발생시키는 받침설비(쓰레기소각설비 벙커)와 같은 표면에는 강한 내마모성이 필요하다면 표면에 도장을 올바른 해결책이 아니다. 이와 같이 밀실과 함께 추가적으로 요구되는 강성이 먼저 개선 될 수 있다. 예를 들면 광섬유의 혼입으로 성취할 수 있다.

이와 같은 구조물의 방어기능이 제대로 작용하기 위해서는 콘크리트구조물이 충분한 불 투수성을 갖고 있어야 한다. 따라서 콘크리트는 가능한 마크로 균열은 제거되고 콘크리트조직에서 전달경과를 저지하는 마이크로 균열상태로 유지되어야 하므로 균열제한에 대해 효과적인 영향을 주는 강섬유콘크리트를 적용할 수 있다.

### 3. 강섬유콘크리트의 균열특성

강섬유콘크리트의 균열특성은 균열형성 및 균열발전에서 섬유효과와 균열발생후의 효과사이에서 나눌 수 있다. 비균열 상태에서의 강섬유 효과는 자체응력 및 하중에 의한 마이크로 균열발생을 억제하고 균열발생 후 강섬유 효과는 균열폭 사이에 힘을 전달하여 균강섬유콘크리트의 균열특성은 균열형성 및 균열발전에서 섬유

효과와 균열발생후의 효과열폭을 제한한다. 구조물의 단면을 완전히 지나는 균열이 발생할 경우에도 강섬유는 균열폭 사이에서 힘을 계속 전달하므로 벌써 균열발전 시 적어도 부분영역에서 균열을 분산시키는 결과를 가져오고 좀더 확대해서 보면 강섬유의 전 길이에 여러 개의 미세한 균열로 분산된다.

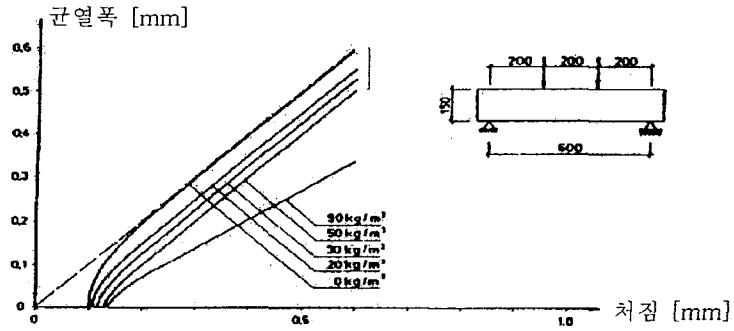


그림1 강섬유콘크리트의 처짐에 대한 균열폭

발생된 균열 폭의 합계는 강섬유가 없는 일반 콘크리트와 거의 같지만 각각 하나의 균열폭을 살펴보면 뚜렷하게 작은 것을 알 수 있다(그림1). 균열폭에서 강섬유

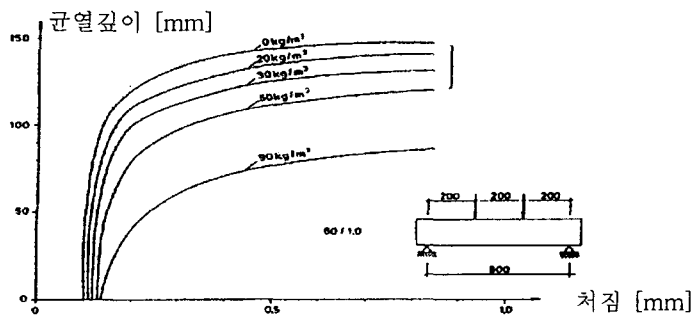


그림2 강섬유콘크리트의 처짐에 대한 균열깊이

의 지속적인 힘의 전달은 보의 경우 단면내의 중립축의 이동이 작아져 균열깊이를 감소시킨다(그림2). 균열 발생 후 섬유와 콘크리트사이에서는 상대변위가 발생한다. 충분한 섬유 자체강성이 수반된 강섬유의 길이방향의 변형은 생성된 우회적으로 전달되는 힘에 좋은 영향을 끼친다. 균열 면적을 통과해 충분한 힘의 전달을 위해서는 길고, 끝 부분을 후크 처리하여 기하학적으로 변화를 준 그리고 충분한 유연성이 있는 강섬유의 사용이 권장될 수 있다.

#### 4 강섬유철근콘크리트의 균열특성

일반적으로 순수한 인장이나 휨하중하에 있는 철근콘크리트 구조물의 균열발생은

인장부분의 가장 취약한 곳에서 콘크리트의 인장강도를 초과할 때 발생한다. 이곳의 콘크리트 단면의 응력은 없다고 가정하고 철근이 인장력을 받으므로 철근응력이 큰 폭으로 증가 하게된다. 그러나 강섬유철근콘크리트에서는 균열단면에서 우회하는 응력의 일부분을 강섬유가 부담 하게되어 균열단면의 콘크리트의 응력이 없어지는 것이 아니라 일정량의 강섬유응력이 콘크리트의 응력을 대신하여 계속 유지하게 된다. 따라서 균열단면의 철근응력은상대적으로 작아져 그에 상응하는 철근과 콘크리트의 유효부착길어도 작아지므로 균열폭이 작아지게된다.

그리고 또한 강섬유철근콘크리트의 중립축의 위치가 콘크리트 압축방향으로 작게 이동하게 되어 같은 하중 하에서 강섬유철근콘크리트의 균열깊이가 강섬유가 없는 보통철근콘크리트 보다 작아져서 결과적으로는 강성을 증가시키고 처짐을 감소시킨다. 이러한 균열특성의 결정적인 변화는 강섬유를 보강함으로써 철근콘크리트 구조물의 변위 내지는 사용성 상태에 큰 영향을 줄 수가 있다. 강섬유철근콘크리트에서는 균열단면에서 응력의 일부분을 강섬유가 부담 하게되는 것을 고려하여 감소된 철근응력을 결정한다.

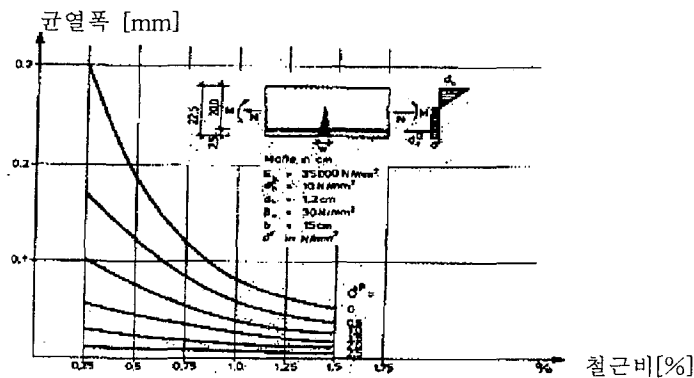


그림 3 균열단면에서의 철근비에 대한 균열폭의 변화

그림3는 철근비가 작은 경우 작은 섬유응력이 계산된 균열폭이 50%가 넘게 작아질 수가 있다. 또한 철근비가 1.0%까지 균열폭 감소가 곡선형태로 크게 떨어지는 반면에 큰 철근비를 갖고있는 경우 균열폭 감소가 거의 일정하다. 그림4를 통해서 강섬유에 의해 전달되는 힘이 철근이 받는 힘보다 같거나 더 큰 경우 강섬유의 영향이 더욱 더 효과적 나타난다. 따라서 철근비가 작은 철근콘크리트 구조물에 강섬유보강이 적합한 사실을 알 수 있다.

위에서 언급한 이론을 토대로 또한 강섬유보강을 고려한 철근콘크리트 균열간격과 균열폭의 계산을 위한 간단한 식이 제공될 수 있다.

$$a_{sfrc} = a_{rc} \left( \frac{\sigma_{bt} - \sigma^F}{\sigma_{bt}} \right)^{\frac{1-b}{1+b}} ; \quad w_{sfrc} = w_{rc} \left( \frac{\sigma_{bt} - \sigma^F}{\sigma_{bt}} \right)^{\frac{2}{1+b}}$$

여기서  $a_{sfrc}$ ;  $w_{sfrc}$  강섬유철근콘크리트의 균열간격 및 균열폭[mm]

$a_{rc}; w_{rc}$  : 철근콘크리트의 균열간격 및 균열폭 [mm]

$\sigma_{bt}$  : 콘크리트의 휨인장강도 [N/mm<sup>2</sup>]

$\sigma^F$  : 강섬유응력(=post cracking strength) [N/mm<sup>2</sup>]

$b$  : 철근과 콘크리트의 부착특성에 관한 상대변위의 상수 ( $\tau = a \cdot \sigma_{ck} \cdot s^b$ )

목표강도: 300Kg/cm <sup>2</sup> 철근비: 0.5%	실험치 w <sub>m</sub> [mm]	이론치 w <sub>m</sub> [mm]	실험치/이론치 [-]
NB	0.105	---	---
Dramix 30	0.070	0.073	0.96
Dramix 60	0.061	0.058	1.05
Harex 30	0.080	0.077	1.04
Harex 60	0.062	0.059	1.05

표 3 강섬유철근콘크리트의 균열폭에 대한 실험치 및 이론치의 비교

표3 에서 나타난 것처럼 균열폭에 대한 실험치와 이론치가 허용할 수 있을 만큼 잘 일치하는 것을 알 수가 있다.

지금까지 언급한 모든 강섬유의 영향들은 콘크리트구조물의 조밀성에 대하여 아주 긍정적인 효과를 보여줌에 따라 강섬유콘크리트는 토양과 지하수보호를 위해 수밀성이 요구되는 콘크리트 구조물분야의 널리 사용될 수 있다는 사실을 입증하였다.

### 5. 결론

- (1) 환경보호를 위한 콘크리트연구와 동행하는 지방서 및 설계에 도움을 주는 작업을 설정이 요구된다
- (2) 환경보호를 위한 콘크리트구조물의 계획을 현실화와 가속화시킬 수 있도록 하면 모든 과정-설계, 특별히 허가 및 시공을 위하여 충분한 가치가 있다.
- (3) 균열단면에서의 강섬유혼입량의 증가에 따라 철근응력 감소로 균열폭이 감소한다
- (4) 낮은 철근비의 철근콘크리트에 더욱 효과적이다.
- (5) 균열에 대한 실험치와 이론치가 양호하게 일치한다.
- (6) 강섬유콘크리트는 토양과 지하수보호를 위해 수밀성이 요구되는 콘크리트구조물분야에 활용할 수 있다.

### 참고문헌

1. Stangenberg, F. : Stahlfaserbeton als hervorragender Baustoff für stossbeanspruchte Bauteile. Bauingenieur Nr.61, 1986, 339-345.
2. Deutscher Ausschuß für Stahlbeton (DAfStb): Richtlinie für Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen. Ausgabe September 1992, Beuth-Verlag Berlin, 1992.
3. Kang, B.S. : Stahlfaserbeton und stahlfaserverstärkter Stahlbeton unter Schwellbeanspruchung. Dissertataion, Ruhr-Universität Bochum, 1998.