

균열 콘크리트에서의 부식저항성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Corrosion Resistance of Cracked Concrete

송하원* · 이창홍** · 안기용*** · 이근주****

Song, Ha-Won · Lee, Chang-Hong · Ann, Ki Yong · Lee, Kewn Chu

ABSTRACT

In this study, corrosion resistance of steel in cracked-reinforced concrete was performed according to experimental method. Mixed design is OPC, 30% PFA, 60% GGBS and 10% SF, respectively. Moreover, corrosion resistance test was measured using ultra testing machine for 0.3mm crack induction. The corrosion resistance of blended concrete shows the results following OPC > 10%SF > 30% PFA > 60% GGBS after 60days curing. In case of mass loss test, embedded reinforcement in OPC concrete surveyed the minimum corrosion and appeared better corrosion resistance than blended concrete. As a result, corrosion resistance of sound concrete is higher than cracked concrete. Moreover, corrosion resistance of binary concrete is lower than OPC.

요 약

본 연구에서는 균열 철근콘크리트에서의 철근의 부식 저항성 평가를 실험적 방법에 의해 수행하였다. 실험 배합으로서 보통포틀랜드시멘트(OPC), 30% 치환률의 플라이애쉬(30% PFA), 60% 치환률의 고로슬래그미분말(60% GGBS), 10% 치환률의 실리카폼(10% SF)이 적용된 콘크리트보를 사용하였으며, 부식저항성 실험은 만능시험기를 사용하여 0.3mm의 균열을 도입하여 측정하였다. 실험결과, 혼합 콘크리트 균열 철근보의 60일 양생 후의 부식저항성 순서는 OPC > 10%SF > 30% PFA > 60% GGBS로 나타남을 확인하였다. 또한, 무게감량법에 의한 부식량 측정결과도 OPC의 경우가 가장 높은 부식저항성을 가지면서 최소의 부식을 발생시키고 있음을 확인하였다. 실험결과로써 건전부 콘크리트 보에서의 부식저항성이 균열부 콘크리트에서의 부식저항성보다 높게 나타나고 있음을 확인할 수 있었고, 또한, 이성분계 콘크리트보다 OPC 콘크리트가 부식 저항이 더욱 높음을 확인하였다.

* 정회원 · 연세대학교 사회환경시스템공학부 교수 · 공학박사

** 정회원 · 연세대학교 사회환경시스템공학부 박사과정

*** 정회원 · 연세대학교 사회환경시스템공학부 연구교수 · 공학박사

**** 정회원 · 연세대학교 사회환경시스템공학부 박사과정

1. 서론

해양환경 혹은 대기 중에 노출된 철근 콘크리트 구조물들은 외부하중 및 염해, 탄산화 등의 환경인자의 침투로 인해 콘크리트 내에 균열을 발생시키게 되며, 이는 구조물의 열화를 가속화 시키는 핵심요인이 된다. 따라서 콘크리트 구조물 내에 발생한 균열 유무, 균열길이, 균열폭, 균열밀도 및 혼합 콘크리트의 배합 등에 따른 영향은 구조물의 안전성, 사용성, 내구성과 관련하여 중요 연구 분야로 주목 받아오고 있는 실정이다.

본 연구에서는 혼합 콘크리트로 만들어진 균열 철근콘크리트(Reinforced concrete: RC)보의 철근부식 저항성 평가에 대한 실험 연구를 수행하였다. 보통포틀랜드시멘트(OPC), 30% 플라이애쉬(PFA), 60% 고로슬래그미분말(GGBS), 10% 실리카푼(SF)의 결합재 치환율을 적용하여 균열유무에 따른 콘크리트 보에서의 부식저항성 평가를 수행하였다. 균열 영향 평가를 위해 도입된 균열은 0.1~0.5mm의 균열폭 조건으로 만능시험기를 이용한 하중제어를 통해 도입하였으며, 재령 60일 동안의 콘크리트 내 철근에 대한 반전지 전위 측정시험, 갈바닉 전위 측정시험, 질량손실률 측정시험 등의 철근부식 비교 모니터링을 수행하여 그에 따른 부식저항성을 평가하였다.

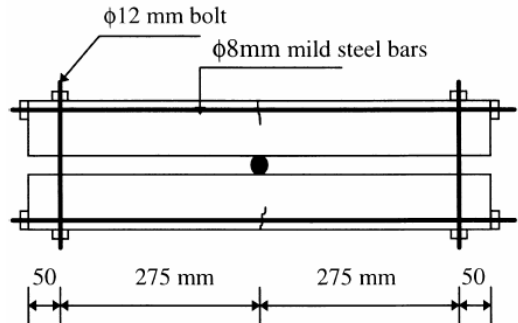


그림 1. 균열콘크리트 부식실험을 위한 모형 보 시편 제원

2. 실험

균열 유무를 변수로 둔 콘크리트 보시편의 부식거동 측정을 위해 그림 1과 같은 보 몰드를 제작하였다. 650*100*100mm의 직사각형 몰드에 직경 8mm의 원형 철근을 삽입하였으며, 균열 유도를 위해 만능 압축시험기로 균열유도 후, 볼팅을 통해 0.1~0.5mm범위의 균열을 유도하였다. 균열의 측정에는 인장 최하측 단면에서의 균열폭을 미세 균열측정기를 통해 검측하였다.

한편, 시편 타설 후 일주일의 양생과정을 거쳐, 7~60일의 재령에 따른 Half-cell, Galvanic orrosion 및 철근중량손실 측정을 수행하였으며, 지속적인 모니터링을 통해 혼합콘크리트에 따른 부식전위를 측정 및 비교하였다.

표 1. 혼합시멘트의 구성 성분

| | CaO | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | MgO | Fe ₂ O ₃ | SO ₃ | K ₂ O | Na ₂ O | Mn ₂ O ₃ | TiO ₃ |
|------|------|------------------|--------------------------------|------|--------------------------------|-----------------|------------------|-------------------|--------------------------------|------------------|
| OPC | 64.7 | 20.7 | 4.6 | 1.0 | 3.0 | 3.0 | 0.65 | 0.13 | - | - |
| PFA | 1.7 | 48.7 | 18.8 | 1.0 | 7.7 | 0.64 | 1.9 | 0.4 | - | 0.9 |
| GGBS | 41.2 | 34.2 | 11.7 | 8.81 | 1.43 | - | 0.31 | 0.29 | 0.3 | 0.58 |
| SF | 0.31 | 94.9 | 0.23 | 0.04 | 0.07 | 0.17 | 0.56 | 0.15 | - | - |

3. 실험결과

본 연구에서는 균열유무를 변수로 둔 12개의 시편에 대해 Galvanic 및 Half-cell에 따른 부식전위를 측정하여 건전 콘크리트의 부식전위와의 비교를 수행하였다. 재령 60일까지의 수차례에 걸친 측정결과로서 균열유도 콘크리트와 건전콘크리트에서의 Galvanic 부식 전위값 및 Half-cell 전위측정값을 그림 2~6에 나타내었다. 그림 2에서, 균열 유무에 따른 비교를 위해 해수조건과 동일한 염분농도를 외부에

서 침지하여 가한 시편의 경우 측정 재령 30일을 전후하여 안정화되는 경향을 보였으며, 이러한 거동은 혼합콘크리트를 비교한 그림 4에서도 관찰이 가능하였다. 그림 4에서 15~35일의 부식전위 안정화 시간이 각 결합재에 따라 달라지는 것을 관찰할 수 있었으며, 안정화 이후에는 균열이 있는 콘크리트에서의 부식전위가 균열이 없는 콘크리트에서의 부식전위보다 모든 경우에 대해서 높게 나타나 부식 저항성이 확연히 낮음을 보여주고 있다. 한편, 그림 3, 5 및 7의 경우에는 Galvanic 전위 측정법에 의한 실험결과를 도시하였다. Galvanic 전위 값에서도 Half-cell 전위 측정값과 마찬가지로, 안정화 정점 곡선을 중심으로 유사한 거동을 보이고 있음을 확인하였으며, 안정화 시간이 결합재의 종류에 따라 다르게 나타나 그에 따른 전위 값의 분포가 다르게 나타나고 있음을 확인하였다.

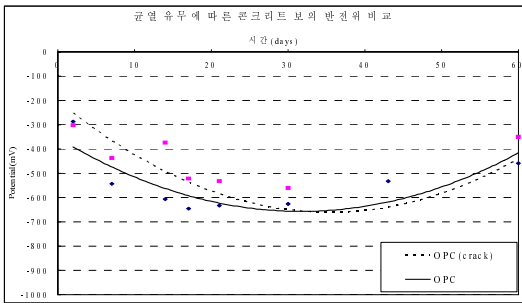


그림 2. 균열 유무에 따른 콘크리트 보의 반전위

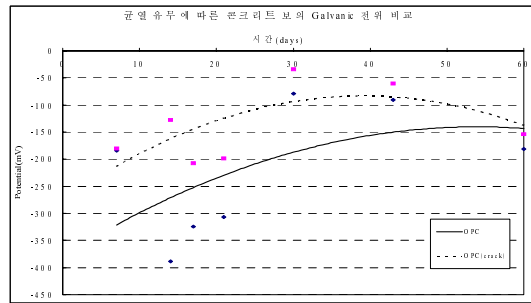


그림 3. 균열 유무에 따른 콘크리트 보의 Galvanic 전위

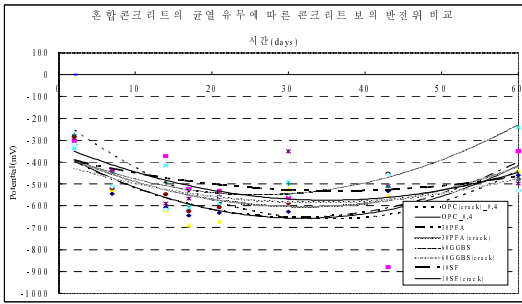


그림 4. 혼합콘크리트의 균열 유무에 따른 콘크리트 보의 반전위

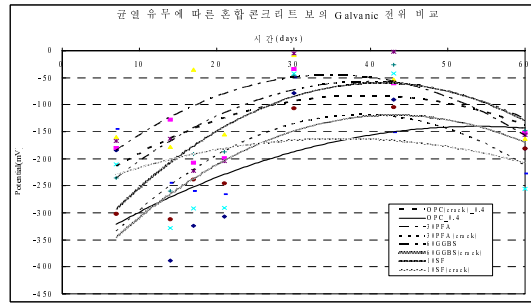


그림 5. 혼합콘크리트의 균열 유무에 따른 콘크리트 보의 Galvanic 전위

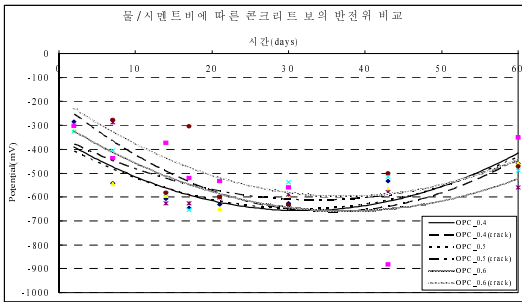


그림 6. 물/시멘트비에 따른 콘크리트 보의 반전위

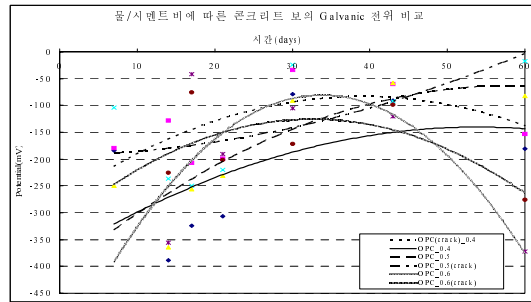


그림 7. 물/시멘트비에 따른 콘크리트 보의 Galvanic 전위

한편, 그림 8~9에는 보 시편 파괴 후 철근의 중량손실에 의한 손실량 및 비교 그래프를 나타내었다. 실험 결과로부터 균열유무를 변수로 둔 전 시편의 경우에 대해서 균열이 있는 경우가 균열이 없는 경우에 비해 철근의 중량손실이 큼을 확인하였으며, W/C 변수의 경우는 50% > 60% > 40%의 순으로

질량 손실률의 크기가 나타났고, 결합재 종류별 비교에 있어서는 60GGBS > 30PFA > 10SF > OPC의 순으로 나타나는 것을 확인하였다.

Half-Cell 측정의 경우, 포화황산동 전극사용에 따른 부식전위는 -350mV vs CSE 로 알려져 있다 또한, 선행연구¹⁻³⁾를 통해 OPC의 경우는 다른 결합재를 치환 적용하여 타설한콘크리트에 비해 확산 계수 값이 가장 크게 나타나 염소이온 침투저항성이 낮은 것으로 나타났는데, 본 실험 수행을 통해 실제 Mass-loss 측정에 의한 부식 발생률은 60GGBS > 30PFA > 10SF > OPC의 경우로 나타나 염소이온 침투와 부식생성속도간의 분명한 비교가 있음을 확인하였다.

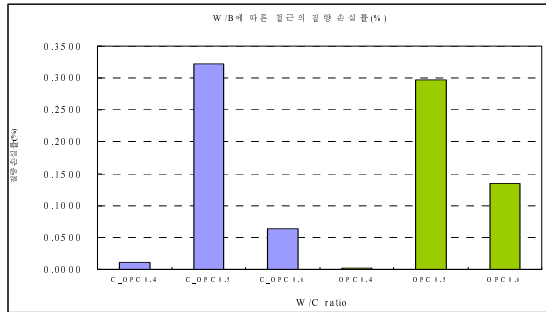


그림 8. W/C에 따른 철근의 Mass loss 비교

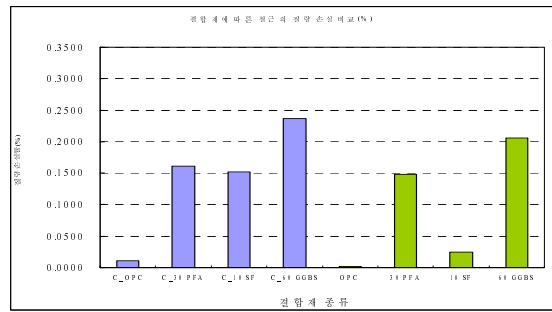


그림 9. 결합재 종류에 따른 철근의 Mass loss 비교

실제 혼합콘크리트의 반전지 전위를 나타낸 실험결과로부터 안정화가 이루어진 60일에서의 부식 전위 비교는 60GGBS(crack) > 10SF(crack) > OPC(crack) > 10SF > 30PFA(crack) > OPC > 30PFA > 60GGBS의 순으로 나타나고 있으므로 보아 GGBS의 부식 저항성은 상당히 낮음을 직·간접적인 방법으로 분명히 확인할 수 있었다.

4. 결론

- ① 염해환경을 모사한 NaCl 용액을 콘크리트 보 외부에서 침투시켜, 균열유무를 변수로 둔 철근 콘크리트 보의 부식저항성을 측정하였으며, 측정결과 균열이 있는 콘크리트에서의 부식저항성이 균열이 없는 콘크리트에서의 부식저항성보다 낮음을 확인하였다.
- ② 균열 유무에 따른 철근의 중량손실률 비교는 균열이 있는콘크리트 보의 철근이 균열이 없는 콘크리트 보의 철근에 비해 중량손실이 크게 나타났으며, W/C 변수의 경우는 50% > 60% > 40%의 순으로 질량손실률의 크기가 나타났고, 결합재 종류별 비교에 있어서는 60GGBS > 30PFA > 10SF > OPC의 순으로 나타나는 것을 확인 하였다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 건설 핵심과제의 일환으로서콘크리트 코리아연구단 및 성능중심의 건설기준 표준화 연구단의 지원으로 수행된 결과의 일부이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Ann, K.Y. and Song, H.W. (2007) Chloride threshold level for corrosion of steel in concrete, Corrosion Science, Vol. 49, Issue.11, pp. 4113-4133.
2. Song, H.W., Lee, C.H. and Ann, K.Y. (2008) Factors influencing chloride transport in concrete structures exposed to marine environments, Cement and Concrete Composites, Vol. 30, Issue. 2, pp. 113-121.
3. Song, H.W. and Saraswathy V. (2006) Studies on the corrosion resistance of reinforced steel in concrete with ground granulated blast-furnace slag - An overview, Journal of Hazardous Materials, Vol. 138, Issue 2, pp. 226-233.