

고내구성 재료를 사용한 해양 콘크리트 부재의 휨 거동 특성

Characteristics of Flexural Behaviors for Marine Concrete Members Using High-Durable Materials

양 은 익*
Yang, Eun-Ik

김 명 유*
Kim, Myung-Yu

박 해 균**
Park, Hae-Geun

이 동 근***
Lee, Dong-Gun

Abstract

The durability of marine concrete structure is severely degraded by corrosion due to penetration and diffusion of chloride. So, many researches have been performed to improve the durability in marine concrete structure. In this study, the concrete members mixed with the mineral admixtures(SF and BFS), the epoxy-coated steel, and corrosion inhibitors are prepared, and four-point bending test of specimens are performed to investigate the flexural behaviors and the applicability for marine concrete structure. From the test results, the mineral admixtures and inhibitors are useful for safety against the initial cracking and the bending resistance in specimens. When the durable material is used in specimen, the tensile stress of reinforcing rod was less variable in same bending span length, and the durable member showed a stable behavior. And it is evaluated that the crack spacing is not larger in specimen used the durable material.

요 지

해양콘크리트 구조물의 내구성은 염분의 침투와 확산에 의해 심하게 저하한다. 이로 인해 많은 연구자들이 해양구조물에 대한 내구성을 향상시키기 위한 연구를 수행하여 왔다. 이 연구에서는 광물질 혼화재, 코팅철근, 부식억제제를 사용한 휨 부재에 대하여 4점 휨 시험을 수행함으로써 휨 거동을 비교 평가하고 해양구조물로의 적용성을 검토하였다. 결과에 따르면, 광물질 혼화재와 부식억제제는 초기균열 안전성과 휨 저항에 효율적인 것으로 나타났다. 내구성 재료를 사용하여도 동일 휨 모멘트 구간에서의 인장철근 응력 변화는 적고 부재도 안정된 거동을 보인다. 또한, 내구성 재료를 사용한 부재의 균열간격도 크지 않게 나타났다.

Keywords : Durability, Mineral admixture, Epoxy-coated reinforcing bar, Inhibitor, Flexural behavior

핵심 용어 : 내구성, 광물질 혼화재, 에폭시 코팅철근, 부식억제제, 휨 거동

* 정희원, 강릉대학교 토목공학과

** 정희원, 삼성물산(주) 건설부문

*** 신성엔지니어링 구조부

E-mail : riuka@hanmail.net 033-640-2418

• 본 논문에 대한 토의를 2008년 12월 31일까지 학회로 보내 주시면 2009년 3월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

해양환경에 건설되고 있는 구조물은 대부분 콘크리트와 강재로 구성되어 있으며, 구조물이 해양 환경 하에 오랜 기간 노출되는 경우 강재 구조물의 부식 발생은 물론, 콘크리트 구조물은 해수 중의 염분 침투로 인한 콘크리트 속에 매립되어 있는 철근의 부식에 따른 팽창과 콘크리트 자체 열화에 의해 내구성이 크게 저하되고, 심한 경우 구조물로서 역할을 상실하게 된다.⁽¹⁾⁽²⁾ 이러한 내구성 저하는 동결 응해, 반복 진습 등의 작용으로 급격하게 진행되며, 염해에 의한 해양 구조물의 성능 저하는 중구적으로 보수 보강 및 유지관리 비용의 증가를 초래한다.

이러한 부식에 따른 성능저하를 방지하기 위하여 많은 연구가 추진되어 왔으며, 염분 저항성 측정법, 비파괴 부식예측방법, 재료에 따른 부식저항특성 등 많은 연구 성과가 국내외적으로 발표되었다.^{(3)-(6), (8)-(11)} 그러나 고내구성을 확보하기 위해 사용재료를 교체하는 경우, 콘크리트와 철근의 역학적 성능이 변화하게 되고, 상호간에 미치는 영향 등을 고려할 필요가 있을 것으로 판단된다. 지금까지의 연구에서는 재료적 효과만을 언급한 경우가 대부분이며 이러한 재료를 사용한 경우에, 구조체로서의 거동에 대한 언급은 기존의 해석 프로그램을 사용하여 예측하는 것으로 대체하여 온 실정이다. 즉, 실제 고내구성 재료를 적용한 부재의 실제 거동에 대한 검토는 매우 부족한 실정이며, 해양 구조물의 실질적 적용을 위해 반드시 검토되어야 할 사항이라 판단된다.

따라서 해양환경에 노출되는 콘크리트 구조물에 적합한 내구성 재료를 도출하는 선행연구⁽⁷⁾의 후속 단계로써, 본 연구에서는 성능이 확인된 광물질 혼화재, 에폭시 코팅철근 및 부식억제제의 고내구성 재료배합을 사용한 부재의 휨 특성을 비교 분석하여 고내구성 재료가 부재 거동에 미치는 영향을 실험적, 해석적으로 검증하고자 하였다. 이를 위해 내구성 확보를 위해 사용한 광물질 혼화재, 에폭시 코팅철근, 부식억제제를 실험 변수로 선정하였고, 각 재료를 사용한 RC부재를 제작하여 휨 거동 실험을 실시하였다. 또한, 해석 프로그램을 이용하여 휨 부재의 균열발생 특성을 비교하였다.

2. 실험 계획과 해석 프로그램 개요

2.1 실험변수 및 배합

이 연구에서는 Table 1과 같은 실험 변수를 두어 휨 부재 실험을 수행하고자 하였다. 휨 부재를 제작하는데 사용된 시멘트는 1종 보통포틀랜드시멘트(OPC)이며, 잔골재는 하천모래를, 굵은 골재는 최대치수 25 mm의 쇄석 골재를 사용하였다.

혼화재 및 부식억제제, 코팅철근과 같은 고내구성 재료를 적용한 부재의 휨 특성을 비교하기 위하여 Table 2의 배합표를 사용하여 부재를 제작하였다. 이때 혼화재 혼입의 경우 시멘트량에 대하여 내할로 고로슬래그미분말(BFS)은 30%, 실리카퓌ם(SF)은 10%를 각각 대체하였다. 이러한 혼화제의 대체는 부식 방지를 위해 실시되었던 선행연구⁽⁷⁾에서의 결과에 의한 것으로써, 연구 결과에서 BFS와 SF의 대체가 OPC에 비해 염화물 확산계수를 각각 75%, 30%정도 감소시키는 것으로 나타났다. 또한 부식억제제의 선행된 실험⁽⁷⁾에 근거하여 질산칼슘의 경우 시멘트 량에 대해 2%를 혼입하였으며, 아질산 계열 방청제의 경우 콘크리트 1m³당 3L를 혼입하여 제작하였다.

2.2 휨 부재 제작

시험체의 단면과 형상은 Fig. 1과 같이 200×300×2200mm로 하였으며, 인장철근은 2-D16을 사용하였다. 또한 전단 보강근은 D10을 사용하였으며 130 mm 간격으로 배치하였고, 콘크리트의 피복두께는

Table 1 실험 변수

W/C	Binder	Steel type	Inhibitor
40%	-OPC -SF -BFS	-Standard -Coating	-Nitrite 3L(NR1900) -Nitrate 2%(CN)

Table 2 배합표

W/C	Unit weight(kg/m ³)				AE(%)	SP(%)
	W	C	S	G		
40%	175	437.5	721	905	0.03	0.7

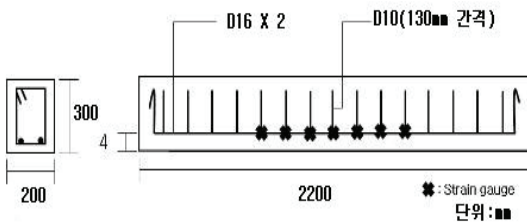


Fig. 1 휨 부재 모식도

40mm로 하였다. 인장 철근의 변형을 측정을 위하여 시험체 중앙을 기준으로 변형을 게이지(Strain gauge)를 100mm 간격으로 설치하였다.

2.3 실험내용 및 방법

먼저, 철근의 종류에 따른 휨부재의 역학적 특성을 평가하기 위해 변수가 되는 일반 철근 및 코팅철근의 하중 재하별 응력상태를 평가하기 위해 철근 인발 실험이 선행되었다. 이때 변형을 게이지는 철근 중앙부에 부착하여 하중에 따른 변형률을 측정하였다.

또한, 내구성 재료를 적용한 휨 시험 부재의 역학적 특성을 알아보기 위하여 4점 휨 시험을 실시하였으며, 하중 재하는 변위 제어로 실시하였고, 재하 속도는 1mm/min.으로 하였다. 실제 실험에 앞서 시험용 부재를 제작하여 휨 시험을 실시한 결과, 철근 항복에 대한 중앙변위가 8mm(δ)로 측정되었다. 따라서 하중 재하는 4, 8, 16, 24, 32, 40mm(0.5 δ , 1.0 δ , 2.0 δ , 3.0 δ , 4.0 δ , 5.0 δ)의 6 단계에 대하여 각 단계에 도달하기까지 10 단계를 설정하고, 각 단계에 대한 구조물의 거동을 측정하였다. 각 단계의 변위에 도달한 후에는 재하 하중을 완전히 제거한 후 새로이 다음 단계 변위에 도달하도록 재하하였다. 또한, 시험체 중앙부에는 LVDT를 설치하여 각 변위 단계에 따른 처짐을 측정하였다.

2.4 철근 콘크리트의 비선형 거동 시뮬레이션 프로그램(ATENA)⁽¹²⁾

해석 기법을 이용하여 내구성 재료를 적용한 부재의 특성을 비교하기 위하여 구조물 거동 시뮬레이션 프로

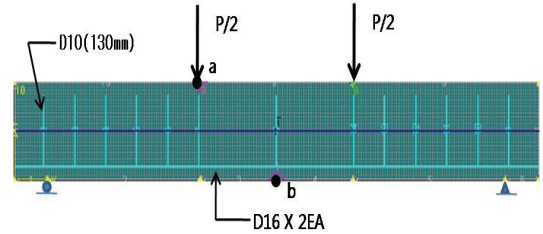


Fig. 2 휨 부재의 해석 모델링

그램인 ATENA를 이용하였다. ATENA는 비선형 거동을 해석하는 프로그램으로써, 시험체의 제원을 입력할 경우, 자동으로 요소가 생성된다. 철근과 콘크리트의 경계조건은 완전부착으로 설정하였으며, 실험을 통하여 얻어진 콘크리트의 압축강도 및 탄성계수, 철근의 항복강도 및 탄성계수가 입력값으로 사용되었다. 이때, 철근은 완전탄소성 재료로서 모델링 하였다.

Fig. 2는 실험부재를 모델링한 것이며, 단면 조건은 실험조건과 동일하게 하였다. 이때의 하중 조건은 두 하중 재하점에 대하여 각각 10kN으로 8 단계(20 X 8 = 160kN) 재하하였다. 또한 해석 반복 횟수 제한(Iteration number limit)은 40으로 고정하였으며, 해석에서는 표준 Newton-Raphson 방법을 이용하였다.

3. 고내구성 재료를 적용한 부재의 휨 특성 평가

3.1 사용재료의 강도

부재의 4점 휨 시험은 재령 28일에 실시하였으며, 동일한 재령 28일에서 각 변수당 3개의 콘크리트 시험체에 대하여 압축강도를 측정하였다. Fig. 3은 재령 28일의 시험체 종류별 압축강도를 나타낸 것이다. 결과에 따르면, 혼화제를 대체한 경우 기준 콘크리트에 비해 SF 및 BFS가 각각 18.5%, 14.6%의 강도증가를 보였는데, 이러한 강도의 증가는 혼화제를 대체함으로써 내부의 공극을 채워 콘크리트 내부구조를 밀실하게 함에 따른 것이다. 또한, 부식억제제를 혼입한 경우 아질산 계열 방청제 및 질산칼슘 부식억제제가 각각 23%, 16%의 강도증가를 보였다. 이러한 결과

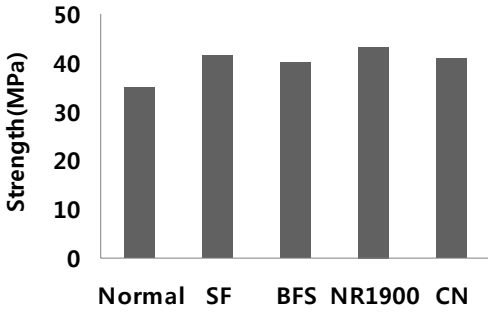


Fig. 3 내구성 재료에 따른 압축강도

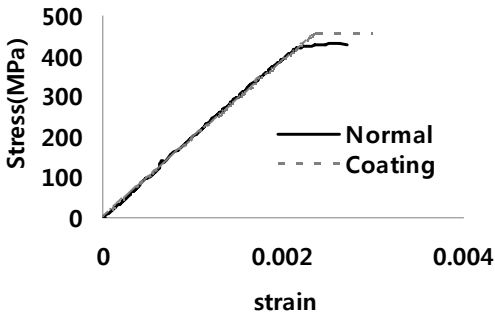


Fig. 4 철근의 인장응력-변형률 곡선

는 질산칼슘 및 아질산칼슘이 수화반응을 촉진시켜 콘 크리트의 초기강도를 증가시키기 때문이다. 이러한 결과는 다른 연구진들에 의해서도 보고되고 있는데, 질산계열 부식억제제를 혼입할 경우 약 10%정도의 강도 증가를 보인다고 보고되고 있다.⁽¹³⁾

한편, 부재에 사용한 철근의 인장강도-변형률곡선을 Fig. 4에 나타내었다. 보통철근과 에폭시 코팅 철근을 각각 2개씩 인장 시험을 실시하였다. 실험에 사용된 코팅철근은 국내 HK사의 D16철근에 에폭시를 코팅하여 판매하는 제품을 사용하였다. Fig. 4에 따르면 일반 철근의 경우 항복강도가 425MPa, 코팅철근의 경우 457MPa로 항복강도의 차이를 보였으나, 탄성계수는 동일한 것으로 확인되었다.

3.2 힘 부재의 하중과 중앙 처짐 관계

본 절에서는 고내구성 재료로서 SF와 BFS를 혼입

한 힘 부재, 부식억제제를 사용한 경우, 그리고 코팅철근을 인장철근으로 사용한 부재에 대하여 힘 시험을 실시하고, 하중-처짐에 대한 관계를 Fig. 5~Fig. 7에 나타내었다. 또한 Fig. 5~Fig. 7의 결과로부터 균열 발생시의 하중과 중앙처짐, 부재 항복시의 하중과 중

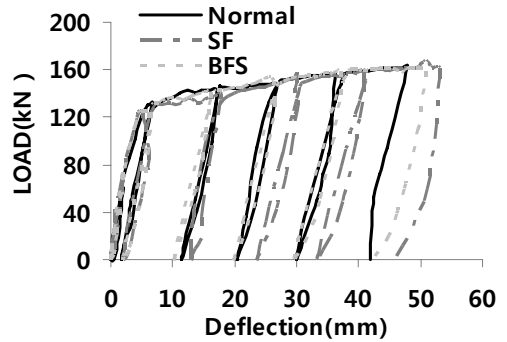


Fig. 5 하중과 처짐 관계 (혼화재)

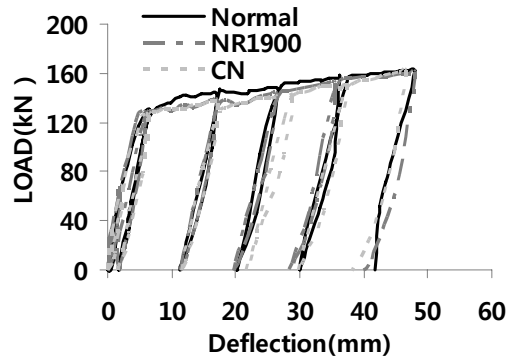


Fig. 6 하중과 처짐 관계 (부식억제제)

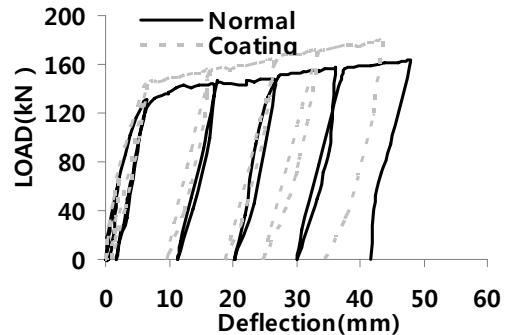


Fig. 7 하중과 처짐 관계 (코팅철근)

Table 3 휨 시험 결과

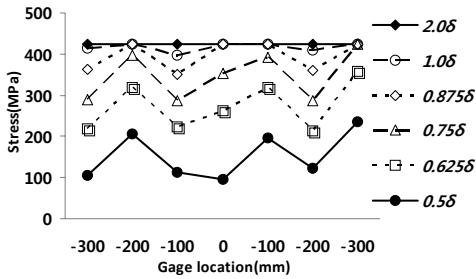
시험체 종류	균열 발생		인장철근 항복		최대하중 (kN)
	하중 (kN)	처짐 (mm)	하중 (kN)	처짐 (mm)	
N	58.4	2.02	125.0	6.58	160
SF	69.5	2.03	120.0	6.22	167
BFS	69.7	2.05	120.3	6.11	162
NR1900	65.1	2.06	121.3	6.02	162
CN	66.7	2.00	121.4	6.41	162
Coating	61.0	2.25	144.0	6.50	180

양처짐, 최대하중값을 추출하여 Table 3에 정리하였다.

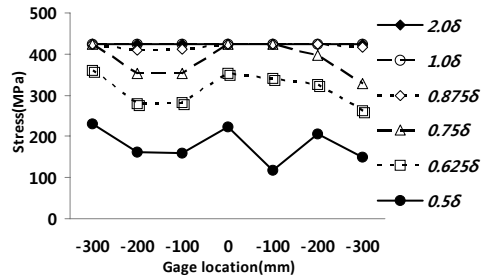
Table 3의 결과에 따르면 하부 균열발생시 재하하

중 값과 중앙 변위는 Normal 부재의 경우 58.4N, 2.02mm를 나타낸데 비해, 고내구성 재료를 사용하는 경우에는 균열발생 하중이 5~19% 범위에서 증가하는 반면 이때의 처짐 값은 거의 유사한 값을 나타내었다. 이와 같은 균열 발생 시 재하 하중의 차이는 내구성 재료의 사용에 따른 콘크리트의 강도 증가가 원인인 것으로 판단된다.

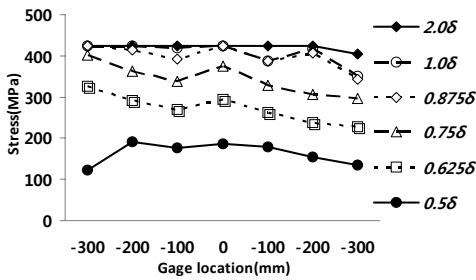
한편, 인장철근이 항복하는 재하 하중과 이때의 중앙 처짐은 사용하는 재료에 관계없이 일정한 값을 나타내었다. 이것은 휨 인장거동이 사용한 인장철근에 의해 결정되기 때문으로 사료된다. 단, 코팅철근을 사



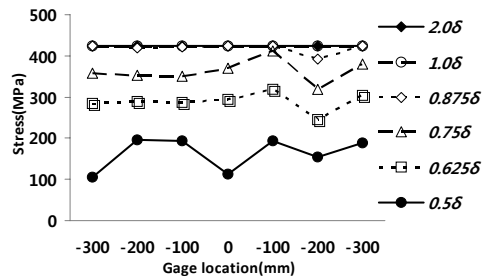
(A) Normal



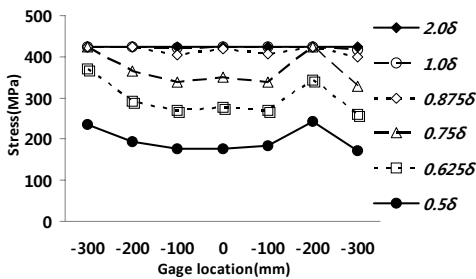
(B) 실리카폼



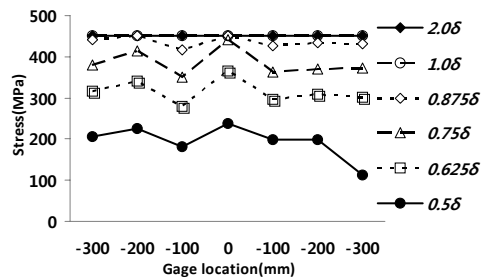
(C) 고로슬래그분말



(D) 아질산 계열 방청제



(E) 질산칼슘 부식억제제



(F) 코팅철근

Fig. 8 휨 부재의 인장철근 응력분포

용하는 경우에는 사용하는 철근의 항복강도가 일반철근에 비해 크기 때문에 항복하중과 최대하중이 크게 증가하였다. 한편, 휨 부재 실험을 통해 측정된 최대 재하하중은 Normal 부재와 비교하여 모든 부재에서 거의 동등한 성능을 나타내었다. 즉, 압축강도가 증가하는 고내구성 재료를 사용하여도 휨 부재의 극한 거동에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

따라서 시멘트 일부를 광물질 혼화제로 대체한 경우, 부식억제제를 첨가한 경우, 그리고 코팅철근을 사용한 경우에는, 휨 부재에 대해 동등 이상의 역학적 거동을 기대할 수 있으며, 초기 균열 발생에 대해 저항성이 증가할 수 있을 것으로 판단된다.

3.3 휨 부재의 인장철근 응력 분포

고내구성 재료를 적용한 휨부재의 매립된 인장철근 응력 변화를 확인하기 위해 동일 모멘트 발생구간에서 부재의 중앙 단면부를 중심으로 하여 변형을 게이지를 100mm 간격으로 설치하였으며, 하중에 따른 철근의 변형률을 측정하였다. 또한 측정된 변형률을 이용하여 인장 철근의 응력 분포를 산출하였다.

Fig. 8은 각각 혼화제, 부식억제제 및 코팅철근을 적용한 부재의 내부 철근 응력 상태를 표현한 것이다. Fig. 8의 결과에서 초기 균열 발생 상태에서의 최대 응력과 최소 응력의 응력 차이를 비교하여 보면, Normal 부재의 경우 139MPa의 응력 차이를 보인 것에 비해, SF부재의 경우는 Normal 부재의 81%, BFS 부재의 경우는 48%, 아질산 계열 방청제(NR 1900) 및 질산칼슘 부식억제제를 적용한 경우는 각각 64%, 50%로 나타났으며, 코팅철근을 인장철근으로 사용한 경우에는 89%이었다. 즉, 하중재하 시 응력분포에 대해 Normal 부재보다 내구성 재료를 사용한 경우가 인장철근응력 값의 적은 차이를 보였으며, 따라서 모멘트가 동일한 구간에 있어서 고내구성 재료를 대체하여도 주철근의 응력이 크게 변동하지 않고 안정된 거동을 하는 것으로 판단된다.

또한 Fig. 8의 응력발생 분포를 살펴보면, Normal 부재가 균열발생 상태에 의해 상당수준의 하중단계까지 철근에 발생하는 응력이 급격히 변화하는데 비해,

고내구성 재료를 사용한 경우에는 낮은 하중상태에서부터 응력분포가 일정하게 분포하는 것으로 나타났다.

이와 같은 거동은 고내구성 재료 사용에 따른 압축강도 증가로 인해 철근과의 부착력이 향상되었기 때문이라고 판단된다.

3.4 휨 부재의 균열 형상

Fig. 9 및 Fig. 10은 Normal부재 및 혼화제를 혼입한 휨부재의 균열 현상 일례를 실험적 및 해석적으로 비교한 것이다. 실험적 결과에 따르면 3가지 경우 모두 부재 중앙부에는 휨균열이 분포하였으며, 양 재하점에 가까워질수록 휨전단균열의 형태를 보이는 일반적인 역학적 거동 특성을 보였다. 한편, ATENA에 의한 해석적 결과도 실험적 결과와 유사한 양상을 보였으며, 하중 단계 7 단계(철근항복-140kN)에서 균열폭 0.1mm 이상의 균열에 대하여 일반 부재 및 혼화제를 혼입한 경우 모두 동일한 모멘트 구간 내에서 휨균열이 발생하였으며, 하중 재하점 외부에는 휨전단

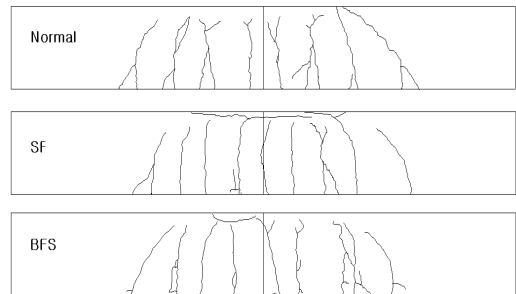


Fig. 9 부재의 균열 형상 비교(실험결과)

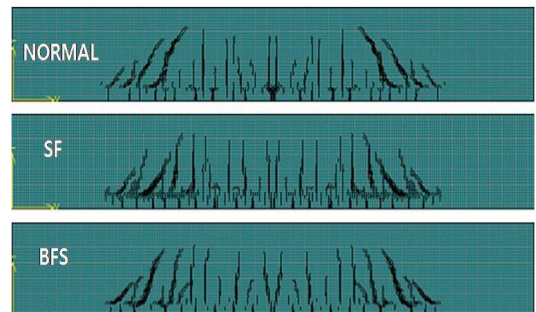


Fig. 10 부재의 균열 형상 비교(해석결과)

균열을 보였다.

부식억제제를 사용한 경우에는 광물질 혼화재를 대체한 부재와 유사한 균열패턴을 보였으며 부식억제제 사용에 의한 역학적 거동 특성의 변화는 없는 것으로 판단된다. 이에 비해, 코팅철근을 사용한 부재의 경우에는, 지점 부근의 인장철근 부분에서 부착균열이 발생하는 것으로 추정되었다. 이것은 코팅철근과 콘크리트와의 부착력 감소에 기인하는 것으로 판단되며, 코팅철근을 휩부재에 적용할 경우 부착 파괴에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

3.5 휨 부재의 균열간격

사용 재료에 따른 휨 부재의 평균균열간격을 Fig. 11~Fig. 13에 정리하였다. 결과에 따르면, 대부분 초기 균열이 발생하였을 때의 평균균열간격이 인장철

근이 항복(1.06)한 이후 안정화 되는 경향을 보였으며, 인장철근의 항복 이후에는 균열간격에는 변화가 없이 균열폭이 확대되는 것으로 나타났다.

한편, ATENA를 통한 해석적 결과에 따른 0.1mm 균열폭 이상 균열의 평균 간격을 Fig. 14에 나타내었다. 결과에 따르면, 선행되어진 실험적 결과와 유사하게 일반 부재보다 내구성 재료를 적용한 부재의 경우가 균열 간격이 더 작게 나타났다.

이러한 해석적 결과는 콘크리트 강도증가에 따른 부착력 증가에 기인한다고 사료된다. 한편, 코팅철근의 해석결과는 기준 부재와 동일한 결과를 보여 실험적 결과와 차이를 보였는데, 이러한 결과는 프로그램을 통한 해석시에 코팅철근과 콘크리트의 경계조건을 보통철근과 동일한 완전부착상태로 해석하여 실질적인 에폭시 코팅철근과 콘크리트의 경계면에서의 부착상태를 실질적으로 고려하지 못했기 때문으로 판단된다.

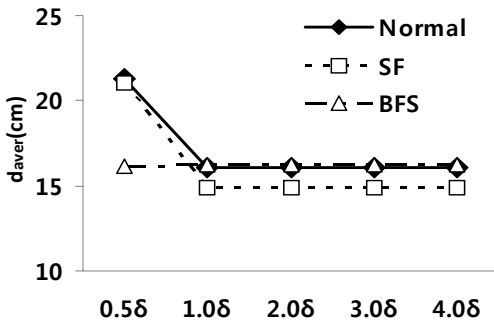


Fig. 11 부재의 평균균열간격 (혼화재)

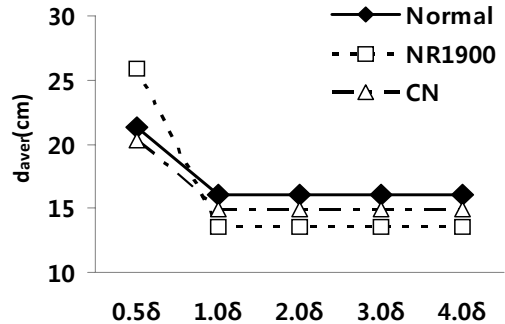


Fig. 12 부재의 평균균열간격 (부식억제제)

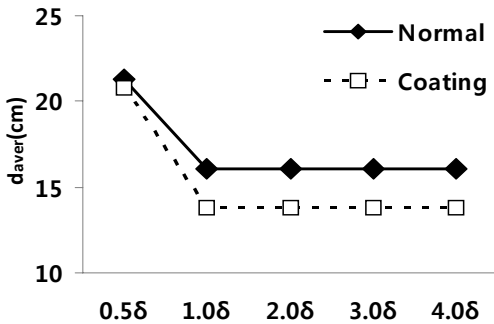


Fig. 13 부재의 평균균열간격 (코팅철근)

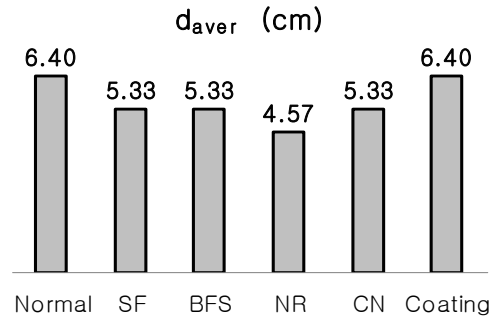


Fig. 14 부재의 평균균열간격 (해석결과)

4. 결 론

본 연구에서는 해양환경에서 건설되는 구조물에 적용할 수 있는 고내구성 재료를 사용한 부재의 휨 특성을 평가하여 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- 1) 시멘트 일부를 광물질 혼화재로 대체하거나, 부식 억제제를 혼입한 경우 휨부재에 있어서 동등 이상의 역학적 거동을 기대할 수 있으며, 초기 균열발생 저항성은 큰 것으로 나타났다.
- 2) 휨부재에 대해 코팅철근을 인장철근으로 사용할 경우 콘크리트와의 부착이 확보되는 경우에 일반 철근과 유사한 역학적 거동을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.
- 3) 내구성 재료를 적용한 휨 부재의 경우, 균열발생에 따라 주철근의 응력이 크게 변동하지 않았으며, 실험적/해석적으로 균열간격이 크지 않게 평가되었다. 즉, 압축강도가 증가되는 고내구성 재료를 적용하여도 구조물은 안정된 휨 거동을 보인다.

감사의 글

본 논문은 국토해양부 차세대 성장 동력사업 “지능형 항만물류시스템기술 개발”의 하이브리드 안벽구조물의 내구성 확보를 위한 최적구조재료 개발과제의 지원에 의해 연구되었음.

참고문헌

1. 고경택, 장영일, 김성욱, 이광명, “해양 콘크리트 구조물의 재료 및 시공”, 콘크리트 학회지, 2004, pp. 26-30.
2. 김동석, 유재강, 박상준, 원철, 김영진, “무기질 혼화재가 염수침지한 콘크리트의 염화물 확산에 미치는 영향 연구”, 콘크리트학회 논문집, 2005, pp. 679-686.

3. 김영진, 이상수, 김동석, 유재강, “혼화재 종류 및 치환율이 콘크리트의 내염성능 향상에 미치는 영향에 관한 연구”, 콘크리트학회 논문집, 2004, pp. 319-326.
4. 문한영, 김홍삼, 김진철, “해양환경하에 위치한 콘크리트 구조물의 내구성 저하”, 한국콘크리트학회 연구위원회 발표집, 2002, pp. 57-71.
5. 배수호, 정영수, 하재담, “방청제를 사용한 콘크리트 성능 평가”, 대한토목학회 논문집, 2003, pp. 815-822.
6. 송하원, 권성준, 이석원, 변근주, “고로슬래그 미분말 콘크리트의 염화물 침투 저항성에 관한 연구”, 콘크리트 학회 논문집, 2003, pp. 400-408.
7. 양은익, 김명유, 이동근, 한상훈, “해양환경에 노출된 고내구성 콘크리트의 전기화학적기 법을 이용한 부식 저항성 평가”, 한국 해안·해양 공학회지, 2007, pp. 320-328.
8. C. Andrade, C. Alonso, J.A. Gonzalez, “Some laboratory experiments on the inhibitor effect of sodium nitrite on reinforcement corrosion”, Cem. Con. Agg. 1986, pp. 110-116.
9. H.W. Chung, “Epoxy Repair of Bond in Reinforced Concrete Members”, ACI Journal, Vol. 78, 1981, pp. 79-85.
10. P. Rodriguez, E. Ramirez, J.A. Gonzalez, “Methods for studying corrosion in reinforced concrete” Magazine of Concrete Research, 1994, pp. 81-90.
11. A. Ababneh, F. Benboudjema, and Y. Xi, “Chloride Penetration in Non-saturated Concrete”, Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE, 2003, pp. 183-191.
12. ATENA, Cervenka Consulting, 2001.
13. K.Y. Ann, H.S. Jung, H.S. Kim, S.S. Kim, H.Y. Moon, “Effect of calcium nitrite-based corrosion inhibitor in preventing corrosion of embedded steel in concrete”, Cement and Concrete Res, 2006, pp. 530-535.

(접수일자 : 2008년 5월 20일)
(심사완료일자 : 2008년 8월 5일)