천연 무기 광물계 혼화재료를 혼입한 철근콘크리트 구조물의 부식저항성에 관한 연구

A Study on Corrosion Resistance of Reinforced Concrete Structures using Natural Inorganic Minerals

태 성 호* 박 재 영** 김 재 영***
Tae, Sung Ho Park, Jae Young Kim, Jae Young
박 재 승**** 경 제 운***** 남 호 윤******
Park, Jae Seung Kyung, Je Woon Nam, Ho Yoon

Abstract

As a fundamental study on the corrosion resistance of reinforced concrete structures using Natural Inorganic Minerals exposed to carbonation environment, The test specimens were concrete(W/C=60%) with Natural Inorganic Minerals content of 0%, 10%. Accelerated carbonation and autoclave corrosion accelerated curing were then conducted with them. The corrosion resistance of steel in concrete with Natural Inorganic Minerals content of 0%, 10% was examined by corrosion form, half-cell potential, polarization resistance, corrosion area and weight loss after 24 hours of autoclave corrosion accelerated curing.

The results of the study showed that as for steel in concrete with Natural Inorganic Minerals content of 10%, the corrosion resistance was more excellent than steel in concrete with Natural Inorganic Minerals content of 0%.

키워드 : 천연 무기 광물계 혼화재료, 중성화, 부식저항성, 부식속도
Keywords : Natural Inorganic Minerals, Carbonation, Corrosion Resistance, Corrosion rate

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

철근콘크리트는 일반적으로 내구성 및 경제성이 우수한 건축 재료로서 광범위한 구조물에 사용되어지고 있으며 그 내구연한 또한 반영구적인 것으로 인식되어져 왔다. 그러나 사용 조건에 부적합한 설계 및 시공이 이루어진 경우 목표 내용년수에 도달하기 전에 건전한 성능을 잃고 조기 열화하게 되며 이러한 구조물의 경년·조기 열화는 보수·보강에 의한 유지 관리비의 증가와 구조물의 리모델링·해체에 의한 건축 폐기물의 발생 등 지구 환경 및 지역 환경에 미치는 영향이 매우 크다. 철근콘크리트 구조물의 강재부식에 의한 경제적 손실규모는 GNP의 4% 수준으로 미국에서는 약 700억 달러에 이르고 있으며 우리나라의 경우도, 중공업 위주의 산업구조를 감안한다면 GNP의 약 4~5% 수준으로 막대한 경제적 손실을 초래할 것으로 예상된다. 이러한 철근콘크리트 구조물의 열화요인은 매우 다양하나 최종적으로는 철근의 부식팽창에 의한 콘크리트의 균열발생을 거쳐 구조물의 내하성능의 저하로 귀결된다[1]. 현재, 철근콘크리트 구조물은 100년 이상의 장수명이 요구되어지고 있는바 염해 및 중성화 등의 다양한 부식 환경하에 노출된 경우에서도 목표로 하는 장수명의 확보가 가능한 효율적이고 과학적인 내구성 향상 기술의 개발이 절실히 요구되어지고 있다.

본 연구에서는 포졸란 반응이 우수하며 마이크로 필러 효과와 침상형 수화생성물의 공극충진 효과에 의해 치밀한 조직구조를 형성하는 다양한 입자크기의 천연 무기 광물계 혼화재료(이하 리메움(reMEUM) 복합 조성물)를 혼입한 콘크리트를 대상으로 중성화 환경을 시뮬레이션 한 부식촉진실험을 실시하여 리메움 복합 조성물 혼입에 의한 콘크리트 내 철근의 부식저항성에 대하여 평가하였다. 또한 중성화 환경하의 부식촉진실험에서 도출한 철근의 전기화학적 특성값을 이용하여 중성화 환경하의 리메움 복합 조성물 혼입 철근콘크리트 구조물의 부식저항성을 평가하였다.

* 주저자, 한양대학교 친환경건축 연구센터 연구교수
** 정회원, (주)대한아이엠 리메움 사업부 이사
*** 정회원, (주)대한아이엠 기술연구소 선임연구원
**** 정회원, 한양대학교 건축학부 교수
***** 교신저자, 한양대학교 BK박사후 연구원 (jwkyung@hanyang.ac.kr)
****** 정회원, 한양대학교 건축학부 석사과정

2. 리메움 복합 조성물

본 논문에서 사용한 리메움 복합 조성물은 콘크리트의 수밀성 향상에 매우 효과적인 TVP 천연광물(응회암, 화산재, 진주암을 포함하는 천연무기광물)을 주성분으로 하며, 규산질 미분말, 포졸란 물질, 잠재수경성 물질, 황산염을 보조성분으로 하고, 음이온계 계면활성제 및 지방산염이 혼입재로 조성된 수밀화 콘크리트용 혼화재료이다. 기존의 연구[2,3]에 의하면 본 리메움 복합 조성물을 혼입한 콘크리트는 일반 콘크리트에 비교하여 치밀한 미세구조를 형성하여 콘크리트 자체의 수밀성 향상 효과가 우수할 뿐만 아니라 건조수축 억제에 의한 균열 생성 감소 효과 및 압축강도 향상 효과 등이 탁월한 것으로 보고되고 있다. 표1에 리메움 복합 조성물의 기본특성을 나타낸다. 또한, 그림1에 리메움 복합 조성물의 실물 및 확대사진을 나타낸다.

표 1. 리메움 복합 조성물의 화학조성 단위(wt.%)

비 중		색상	리메움 복합 조성물의 화학조성			
포졸란계	잠재수경성계	밝은	SiO_2	SO_3	계면활성제	지방산염
2.4	2.6	회색	≥40%	≥3.0%	≤3%	≤10%

a) 실물사진 b) 확대사진

그림 1. 리메움 복합 조성물

3. 실험개요

중성화에 대한 리메움 복합 조성물 혼입 콘크리트의 부식저항성을 평가하기 위하여 리메움 복합 조성물을 0%, 10% 혼입한 물결합재비(W/B) 60%의 콘크리트 시험체를 제작한 후 중성화 촉진양생(온도 40℃, 상대습도 60%, CO_2농도 10%)을 실시하였다. 그 후, 오토클래이브 부식촉진시험을 실시, 철근의 부식형상(철근상부와 하부의 부식양상), 자연전위, 분극저항, 부식면적율, 부식감량율을 측정함으로써 리메움 복합 조성물 혼입 콘크리트에 매설된 철근의 부식저항성을 평가하였다.

3.1 실험인자 및 수준

표2는 실험인자 및 수준을 나타낸다. 표2에 의하면 물결합재비(W/B)는 60%의 1수준, 리메움 복합 조성물 치환율은 시멘트 중량비 0%, 10%이다. 측정항목은 1) 중성화 깊이, 2) 부식형상, 3) 자연전위, 4) 분극저항, 5) 부식면절율, 6) 부식감량율이다. 표3에 콘크리트 배합표를 나타낸다.

3.2 사용재료

(1) 보통 포틀랜드 시멘트

본 실험에 사용한 시멘트는 KS L 5201 규정에 적합한 S사 제품의 보통 포틀랜트 시멘트를 사용하였다.

(2) 혼화재료

혼화재료는 리메움 복합 조성물을 사용하였으며 표1에 리메움 복합 조성물의 기본특성을 나타냈다.

표 2. 실험인자 및 수준

실험인자	수 준
W/B (%)	60
리메움 복합 조성물 혼입량(%)	0, 10 (시멘트 중량에 대한)
측정항목	1) 중성화 깊이, 2) 부식형상, 3) 자연전위, 4) 분극저항, 5)부식면적율, 6) 부식감량율

표 3. 콘크리트 배합표

W/B (%)	W (kg/m^3)	C (kg/m^3)	G (kg/m^3)	S (kg/m^3)	S/A (%)	RE* (kg/m^3)	AE감수제 (g/m^3)
60	185	308	970	810	46	30.8 (10%)	500
	185	308	970	810	46	0 (0%)	500

* RE : 리메움 복합 조성물

3.3 중성화 촉진시험

그림2에 중성화용 시험체의 형상을 나타낸다. 시험체는 100×100×400mm로서 4개의 철근을 피복두께가 각각 20mm가 되도록 평행하게 매립한 후 물결합재비(W/B) 60%의 콘크리트를 타설하여 제작하였다. 한편 중성화 촉진시험은 온도 40℃, 상대습도 60%, CO_2농도 10%의 조건으로 실시하였으며 소정의 중성화 촉진 양생 후 중성화 깊이 측정용 시험체를 절단, 시료의 안쪽 면에 페놀프타레인 1% 알코올 용액을 분무하여 변색하지 않은 부분을 중성화 영역으로 판단하였다.

3.4 부식촉진양생

소정의 중성화 촉진 시험 종료 후 오토클레이브 시험장치에 시험체를 설치한 후 용기내의 조건을 200℃, 10kgf/cm^2로 하여 24시간 동안 부식촉진양생을 실시하였다. 그림3에 시험체 제작 및 부식 실험 전경을 나타낸다.

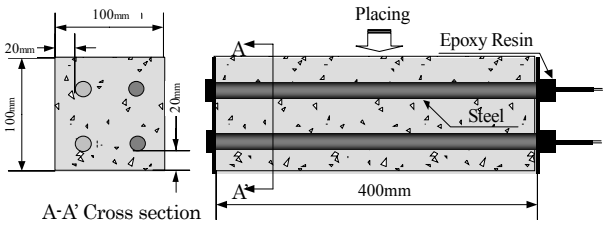


그림 2. 시험체의 형상

a) 시험체 제작 b) 중성화 촉진시험

c) 오토클레이브 촉진 d) 분극저항 측정

e) 철근의 부식양상 f) 부식면적율 측정 프로그램

그림 3. 시험체 제작 및 부식 실험 전경

3.5 측정항목

(1) 부식형상

부식촉진양생 종료 후 콘크리트 시험체로부터 철근을 빼어내어 철근의 부식형상을 육안 관찰하였다. 부식형상을 관찰함에 있어 철근을 상부와 하부로 분류하여 콘크리트 하부의 충진 미비에 의해 발생할 수 있는 매크로셀 부식의 발생여부 및 정도를 파악하였다.

(2) 자연전위

부식촉진양생 종료 후 콘크리트 표면에서 철근의 자연전위를 측정하였다. 기준전극으로는 포화황산동전극(CSE)을 사용하였으며 시험체는 측정 전일 수중에 24시간 침지시켜 시험체의 함수 상태를 조절하였다.

(3) 부식면적율

부식촉진양생 종료 후 시험체를 할렬 파괴하여 철근을 빼낸 후 부식면적율을 측정하였다. 부식면적율은 철근에 생긴 부식의 형상을 투명시트를 이용하여 복사한 후 자동 면적 측정용 소프트웨어를 이용하여 부식면적율을 산정하였다.

(4) 부식감량율

철근을 구연산 암모니움 10% 수용액에 침지시켜 부식생성물을 제거하고 전자저울을 이용하여 철근의 질량을 0.01g 단위까지 측정한 후 식(1)을 이용하여 부식감량율을 계산하였다. 그림3에 시험체 제작 및 부식 실험 전경을 나타낸다.

$$\Delta W = \frac{(Wo - W) - Ws}{Wo} \times 100 \qquad (식1)$$

여기서, ΔW : 부식감량율 (%), Wo : 최초의 철근질량 (g), W : 부식생성물 제거후의 철근질량 (g), Ws : 비 부식부의 용해량 (g)

4. 실험결과

4.1 중성화 깊이

그림4에 리메움 복합 조성물 혼입 유무에 따른 중성화 깊이 측정결과를 나타낸다. 그림4 내의 부식촉진양생 1차와 2차는 각각 중성화 촉진양생 3주과 8주에 상당하는 중성화 촉진 재령으로서 1차 중성화 촉진양생이란, 리메움 복합 조성물을 혼입하지 않은 시험체는 중성화가 철근의 위치에 도달되고, 리메움 복합 조성물을 10% 혼입한 시험체의 경우 철근의 위치까지 중성화가 도달하지 않은 재령에 상당한다. 한편, 2차 중성화 촉진양생은 리메움 복합 조성물을 혼입하지 않은 시험체의 중성화 깊이가 철근의 내 측면까지 도달한 시점으로서 리메움 복합 조성물을 10% 혼입한 시험체 역시 철근의 위치까지 상당부분 중성화가 진행된 시점을 의미한다. 표4에 1차 중성화 촉진양생과 2차 중성화 촉진양생의 설정근거에 대하여 나타낸다.

그림4에 의하면 중성화 깊이는 리메움 복합 조성물 콘크리트의 혼입 유무에 관계없이 중성화 촉진양생이 경과할수록 증가하는 경향을 나타낸다. 한편 동일한 중성화 촉진양생에 대하여 리메움 복합 조성물을 10% 혼입한 콘크리트는 리메움 복합 조성물을 혼입하지 않은 시험체에 비교하여 중성화 깊이가 작았다. 이것은 리메움 복합 조성물에 함유되어 있는 천연 무기 광물질의 포졸란 반응성이 인공 포졸란 반응물질 보다 우수하고, 수화초기에 에트링가이트의 생성을 촉진하여 침상의 치밀한 구조를 형성함으로써 CO_2의 침투경로인 공극에 대한 충진성능이 우수하기 때문으로 사료된다. 실제로 리메움 복합 조성물 콘크리트에 관한 기존의 연구[4]에 의하면 리메움 복합 조성물 콘크리트의 경우 서로 다른 입자크기의 포졸란 물질 사용과 마이크로 필러 효과에 의하여 인공 포졸란 물질 보다 공극의 매립성능이 우수하다고 하는 연구결과가 보고되고 있다. 그림5에 리메움 복합 조성물 혼입 유무에 따른 중성화 깊이의 측정결과를 나타낸다.

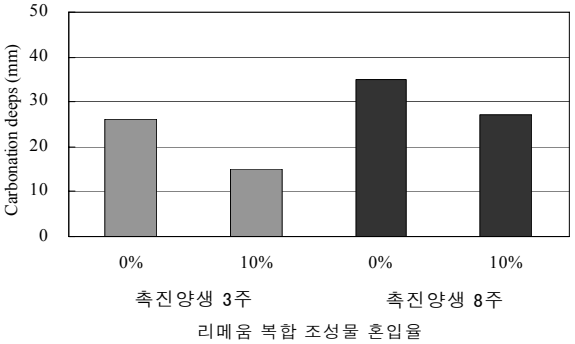


그림 4. 리메움 복합 조성물 혼입에 따른 중성화 깊이 측정결과

표 4. 1차 중성화 촉진양생과 2차 중성화 촉진양생의 설정근거

실험요인	중성화 도달여부		설정근거
	혼화재료 혼입율(0%)	혼화재료 혼입율(10%)	
1차중성화 촉진양생	도달	미 도달	중성화 도달 유무에 따른 부식양상 검토 목적
2차중성화 촉진양생	도달	도달	중성화 된 이후의 부식양상 검토 목적

a) 0% b) 10% c) 0% d) 10%

(A) 1차 중성화 촉진 양생 (B) 2차 중성화 촉진 양생

그림 5. 리메움 복합 조성물 혼입에 따른 재령별 중성화 깊이 측정 사진

4.2 부식형상

그림6에 철근의 부식형상을 나타낸다. 그림6에 의하면 철근의 부식량은 중성화 촉진양생이 증가할수록 커지는 경향을 나타냈다. 특히 리메움 복합 조성물을 혼입하지 않은 콘크리트 내 철근의 하단부에서 집중적인 매크로셀 부식이 발생하였다. 하지만 리메움 복합 조성물을 10% 혼입한 콘크리트 내 철근의 경우는 무 혼입 콘크리트 보다 상대적으로 작은 부식이 발생하였으며 철근 하단부에서의 집중적인 부식도 거의 관찰되지 않았다. 이러한 결과에 근거하여 중성화 환경에 대하여 리메움 복합 조성물을 10% 혼입한 콘크리트 내 철근은 리메움 복합 조성물을 혼입하지 않은 일반 콘크리트 내 철근에 비교하여 상대적으로 철근 하단부의 매크로셀 부식에 대한 위험성이 적으며 그것은 리메움 복합 조성물 콘크리트의 블리딩 억제효과, 우수한 포졸란 반응성, 마이크로 필러 효과 및 침상형 수화생성물의 공극충진 효과에 기인한 것으로 사료된다.

(a) 1차 중성화 촉진양생 (b) 2차 중성화 촉진양생

(A) 리메움 복합 조성물 혼입율 : 0%

(c) 1차 중성화 촉진양생 (d) 2차 중성화 촉진양생

(B) 리메움 복합 조성물 혼입율 : 10%

그림 6. 철근의 부식형상

4.3 자연전위

그림7에 중성화 촉진양생 1차, 2차의 자연전위 측정결과를 나타낸다. 자연전위는 각 4개 철근에서 측정한 자연전위의 평균값이다. 그림7에 의하면 자연전위는 중성화 촉진양생이 증가할수록 감소하였다. 또한, 중성화 촉진양생의 상이에 관계없이 자연전위는 리메움 복합 조성물 콘크리트의 경우가 보통 콘크리트 내 철근에 비교하여 상대적으로 +방향으로 높은 결과를 얻었다. 현재 중성화 환경 하에서의 자연전위 측정결과에 근거하여 콘크리트 내 철근의 부식발생 유무를 판단 가능한 기준은 존재하지 않는다. 따라서 본 장에서는 자연전위 측정결과를 부식발생 여부를 판단하는 근거가 아닌 단지 리메움 복합 조성물 콘크리트와 보통 콘크리트 내 철근의 자연전위를 상대적으로 비교하는 목적으로 사용하였다.

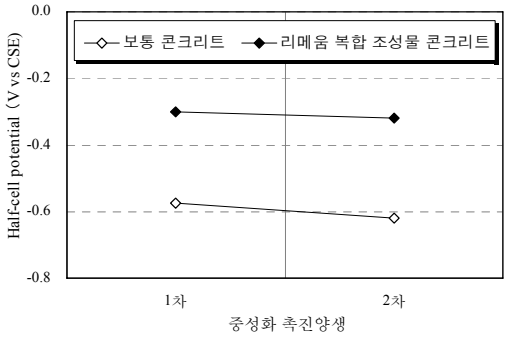


그림 7. 자연전위의 측정결과

4.4 분극저항

그림8에 중성화 촉진양생 1차, 2차의 분극저항 측정결과를 나타낸다. 분극저항은 철근의 부식속도로 변환 가능한 전기화학적 특성값으로 분극저항의 역수는 부식속도를 의미한다. 따라서 분극저항을 측정하여 역수를 취함으로써 부식속도를 산출 가능하며 이러한 이유에서 본 연구에서도 보통 콘크리트와 리메움 복합 조성물 10% 혼입 콘크리트 내 철근의 분극저항을 측정함으로써 동일한 부식환경하에서의 보통 콘크리트와 리메움 복합 조성물 10% 혼입 콘크리트 내 철근의 부식속도를 상대적으로 비교하였다. 그림8에 의하면 분극저항은 중성화 촉진양생이 증가할수록 감소하였다. 이것은 중성화 촉진양생이 진행됨에 따라 철근주위의 콘크리트까지 중성화가 진전되어 철근이 부식하기 쉬운 환경이 제공되었기 때문으로 사료된다. 또한, 중성화 촉진양생의 상이에 관계없이 분극저항은 리메움 복합 조성물 콘크리트의 경우가 보통 콘크리트 내 철근에 비교하여 상대적으로 높았다. 이것은 동일한 중성화 촉진양생에 대하여 리메움 복합 조성물 혼입 콘크리트 내 철근의 부식속도가 보통 콘크리트 내 철근의 부식속도에 비교하여 작은 것을 의미하며, 이러한 이유로서 1)철근주위 콘크리트의 중성화 발생 유무 즉, 리메움 복합 조성물 콘크리트의 중성화 속도가 보통 콘크리트의 중성화 속도보다 작음으로써 1차 중성화 촉진양생에 대해서는 보통 콘크리트의 경우는 중성화가 철근의 위치까지 도달한 반면 리메움 복합 조성물 혼입 콘크리트의 경우는 중성화가 철근의 위치까지 도달하지 않았기 때문인 것과 2)리메움 복합 조성물 콘크리트의 블리딩 억제효과와 수화반응의 마이크로 필러효과에 의한 공극충진 효과를 생각할 수 있다. 실제적으로 본 실험체를 할렬 파괴하여 중성화의 도달여부를 확인한 결과 1차 중성

화 촉진양생의 경우는 본 연구에서 의도한 바와 같이 중성화는 보통 콘크리트의 경우만이 철근의 위치까지 도달되었으며, 2차 중성화 촉진양생의 경우는 리메움 복합 조성물 혼입 유무에 관계없이 양쪽 모두 철근의 위치까지 중성화가 진행되었음이 확인되었다.

한편, 표5는 중성화 환경하에서의 철근의 분극저항을 나타낸다. 표5에 나타낸 분극저항은 2차 중성화 촉진양생 시점에서 측정된 분극저항을 나타낸 것으로 리메움 복합 조성물 혼입 유무에 따른 중성화 환경하에서의 철근의 분극저항을 나타낸다.

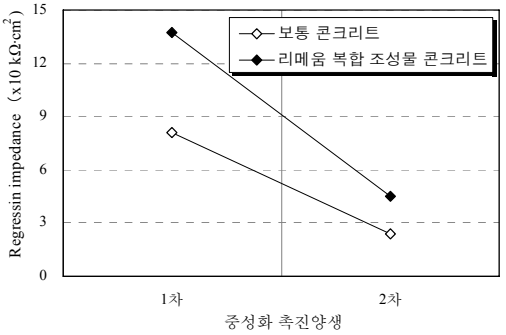


그림 8. 분극저항의 측정결과

표 5. 중성화 환경하에서의 철근의 분극저항

실 험 요 인	분극저항
리메움 복합 조성물 혼입율 0%	2.36×10 kΩ · cm^2
리메움 복합 조성물 혼입율 10%	4.54×10 kΩ · cm^2

4.5 부식면적율 및 부식감량율

그림9와 그림10에 중성화 촉진양생 1차, 2차의 부식면적율 및 부식감량율의 측정결과를 나타낸다. 그림9와 그림10에 의하면 보통 콘크리트의 경우 중성화 촉진양생이 증가할수록 부식면적율 및 부식감량율이 크게 증가하는 경향을 나타냈으나, 리메움 복합 조성물 혼입 콘크리트의 경우는 그와 같은 급속한 증가현상은 나타나지 않았다. 한편, 중성화 촉진양생의 상이에 관계없이 리메움 복합 조성물 혼입 콘크리트 내 철근의 부식면적율 및 부식감량율은 보통 콘크리트 내 철근에 비교하여 상대적으로 작은 부식면적율 및 부식감량율이 측정되었다.

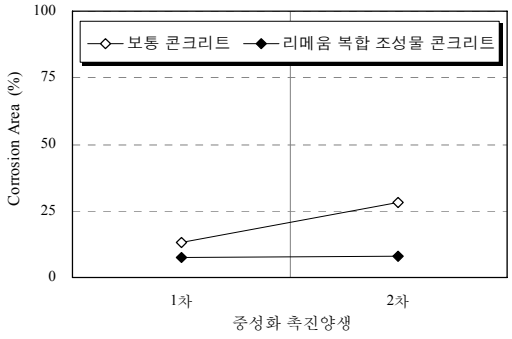


그림 9. 부식면적율의 측정결과

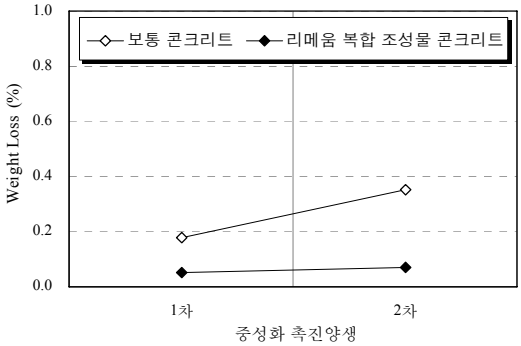


그림 10. 부식감량율의 측정결과

5. 중성화 환경하의 리메움 복합 조성물을 혼입한 철근콘크리트 구조물의 부식저항성

중성화 환경하의 리메움 복합 조성물을 혼입한 철근콘크리트 구조물의 부식저항성을 평가하기 위하여 「4.4 분극저항」에서 중성화 환경하의 철근의 분극저항을 산출하였으며 산출된 분극저항값을 Faraday법칙에 적용하여 중성화 환경하의 리메움 복합 조성물 혼입 유무에 따른 콘크리트 내 철근의 부식속도를 산출하였다.

5.1 CO_2의 확산 · 침투속도

일반적으로 콘크리트내의 CO_2의 침투속도는 식(2)와 같이 시간의 평방근으로 나타낼 수 있다. 또한 식(2)를 결정하는 속도계수 A는 식(3)과 같다. 표6에 의하면 계수 A는 1)콘크리트종류, 2)시멘트종류, 3)물시멘트비, 4)온도 및 습도 등에 따라 좌우되며 본 연구에서는 일본건축학회의 철근콘크리트 구조물의 내구설계시공지침(안) · 동해설[5]에 제안되어있는 방법으로 계수A를 결정하고 시간에 대한 중성화 깊이를 산정하였다. 표6에 중성화 속도식의 계수A를 결정하는 변수의 값을 나타낸다. 본 논문에서는 표6에서 나타낸 각 변수의 값을 이용하여 중성화 속도를 산출하였다.

$$C = A\sqrt{t} \quad \text{(식2)}$$

$$A=\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \quad \text{(식3)}$$

여기서, C:중성화 깊이(cm), A:중성화 속도계수, t:시간(year)

표 6. 계수 A를 결정하는 변수의 적용값

변수	내용	적용값
α_1	콘크리트의 종류에 의한 계수	보통콘크리트 => 1
α_2	시멘트의 종류에 의한 계수	보통콘크리트 => 1
α_3	물결합재비에 의한 계수	W/B=0.6 => 0.22
β_1	온도에 의한 계수	연평균기온15.9℃ => 1
β_2	습도에 의한 계수	연평균습도63% => 1
β_3	이산화탄소 농도에 의한 계수	이산화탄소농도0.05% => 1

5.2 강재의 부식속도

본 논문에서는 콘크리트 중의 강재의 부식속도를 산출하기 위해서 중성화 환경하에서의 리메움 복합 조성물 10% 혼입 콘크리트와 무 혼입 콘크리트 내 철근의 분극저항을 측정하였다. 이렇게 측정된 분극저항을 식(4)의 Faraday 법칙을 이용하여 부식속도로 변환하였으며 이를 시간에 대하여 적분함으로써 각 재령에서의 누적 부식량을 산출하였다.

$$G = \int V_{corr}\,dt = \frac{MK}{nF} \cdot \int \frac{1}{R}dt \qquad (식4)$$

여기서, Vcorr:부식속도(g/cm^2/sec), G:부식감량(g/cm^2), M:Fe의 원자량(=55.8), F:Faraday상수(=96500, C/mol), Icorr:부식전류밀도(A/cm^2), K:비례정수(V), R:분극저항(Ω · cm^2)이다.

5.3 부식과정의 계산조건

(1) 강재의 부식형태는 마이크로셀 부식형태로서 아노드 반응에 지배되는 것으로 한다. 즉, 강재의 표면에 도달되는 산소는 부식반응에 필요한 충분한 양이고, 산소 확산속도에 지배되는 캐소드 지배는 발생하지 않는다.

(2) 강재의 부식속도는 중성화의 발생 유무에 따라 다르며 각 부식환경의 부식속도는 표5의 분극저항을 이용하여 산출한다.

표 7. 수명예측에 사용되는 조건

W/C (%)	60	
CO_2 속도결정계수 (A)	0.378	
철근의 직경 (mm)	19	
피복두께 (mm)	20	30

5.4 중성화의 침투속도

그림11에 「5.1 CO_2의 확산 · 침투속도」에 근거하여 산출한 중성화 속도 계산 결과를 나타낸다. 그림11에 의하면 중성화 속도는 기존의 연구결과와 같이 시간 t의 제곱근에 비례한 결과를 나타냈다. 그림11의 결과에 의하면 피복두께 20mm와 30mm의 위치에 중성화가 도달되는 시간은 각각 28년과 63년이었다. 본 결과에 의하면 「5.1 CO_2의 확산 · 침투속도」에 근거하여 중성화속도를 산정할 경우 피복두께 20mm까지 중성화가 도달되는 시간은 28년으로 최근 100년 이상의 장수명이 요구되고 있는 현실을 고려할 때 비교적 단기간에 중성화가 철근의 위치까지 도달되는 것을 의미한다. 그러나 피복두께가 30mm로 커짐으로서 중성화 도달 시간이 63년으로 크게 증가하는 것을 알 수 있다.

그림 11. 중성화 속도

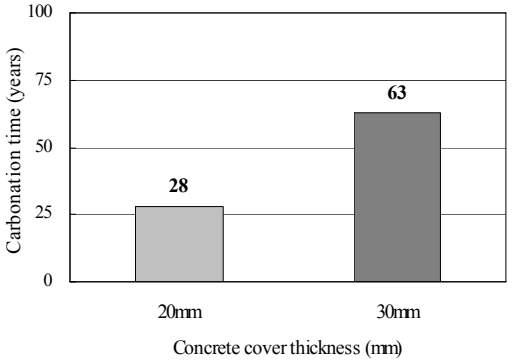
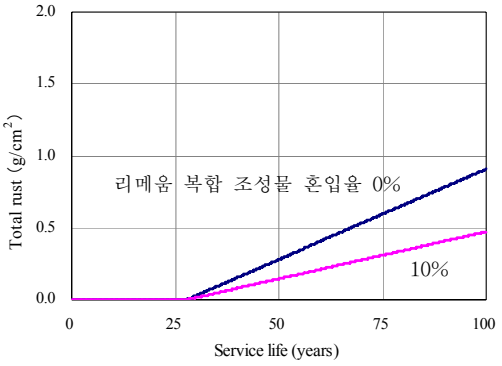


그림 12. 피복두께별 중성화 도달 시간

5.5 철근의 부식속도

그림13에 중성화 환경하에서의 리메움 복합 조성물을 혼입한 콘크리트 내 철근의 부식속도를 나타낸다. 본 장에서는 철근의 부식속도를 시간에 따라 누적되는 부식량으로 표현하였다. 상술한 바와 같이 철근의 부식속도는 Faraday법칙에 의하여 부식량으로 산출 가능하고 시간에 따라 누적되는 부식량을 상호비교 함으로서 각 부식환경하에 대하여 방식성능의 상대 비교가 가능하다. 따라서 본 연구에서도 리메움 복합 조성물 10% 혼입 콘크리트 내 철근의 누적부식량과 리메움 복합 조성물 무 혼입 콘크리트 내 철근의 누적부식량을 상호 비교함으로써 동일한 부식환경에 대하여 리메움 복합 조성물 10% 혼입 콘크리트의 부식저항성을 평가하였다. 그림13에 의하면 철근의 누적부식량은 부식환경의 상이에 관계없이 시간의 경과와 함께 증가하는 경향을 나타냈다. 또한 동일한 부식환경하에서는 피복두께가 감소할수록 누적부식량의 증가가 뚜렷하였다. 한편, 부식환경 및 피복두께의 상이에 관계없이 동일한 부식환경하에 대하여 리메움 복합 조성물 10% 혼입 콘크리트 내 철근의 누적부식량은 리메움 복합 조성물을 혼입하지 않은 콘크리트 내 철근의 누적부식량에 비교하여 작았다. 이것은 리메움 복합 조성물 10% 혼입 콘크리트 내 철근의 분극저항이 리메움 복합 조성물 무 혼입 콘크리트 내 철근의 분극저항 보다 컸던 「4.4 분극저항」의 실험결과와 상통하는 결과이다. 결론적으로 그림13에 의하면 리메움 복합 조성물 10% 혼입 콘크리트는 리메움 복합 조성물을 혼입하지 않은 콘크리

트에 비교하여 중성화 환경하에서 콘크리트 내 철근을 보호하는 방식성능이 우수한 것으로 입증되었다. 따라서 중성화 환경에 건설되는 철근콘크리트 구조물에 리메움 복합 조성물을 적정량(10% 정도) 혼입할 경우, 리메움 복합 조성물을 혼입하지 않은 콘크리트에 비교하여 상대적으로 부식저항성이 향상될 것으로 기대된다. 또한 본 연구에서는 리메움 복합 조성물 혼입 콘크리트와 무 혼입 콘크리트의 CO_2의 침투속도를 동일하다고 가정하고 각각의 침투속도를 산정하고 동일한 부식환경에 대하여 누적부식량을 산정하였으나 리메움 복합 조성물을 혼입할 경우 리메움 복합 조성물을 혼입하지 않은 콘크리트에 비교하여 CO_2의 침투속도가 작아져 실질적으로 리메움 복합 조성물을 혼입하는 것에 의해서 단순히 분극저항이 커짐으로 인한 부식속도의 저감효과 뿐만 아니라 부식인자의 침투저항성이 우수한 것에 의한 부가적인 내구성 향상도 기대할 수 있을 것으로 사료된다.



a) 피복두께 = 20mm

b) 피복두께 = 30mm

그림 13. 중성화 환경하의 부식속도

6. 결 론

본 논문에서는 중성화에 대한 리메움 복합 조성물 철근콘크리트 구조물의 부식저항성을 평가하기 위하여, 리메움 복합 조성물을 0%, 10% 혼입한 물시멘트비 60%의 콘크리트 시험체를 제작한 후 중성화 촉진양생을 실시하였다. 그 후, 철근의 부식형상(철근상부와 하부의 부식양상), 자연전위, 분극저항, 부식면적율, 부식감량율을 측정함으로서 리메움 복합 조성물 혼입 콘크리트에 매설된 철근의 부식저항성을 평가하였다. 그 결과 이하와 같은 결론을 얻었다.

1. 리메움 복합 조성물을 10% 혼입한 콘크리트는 리메움 복합 조성물 무 혼입 콘크리트에 비교하여 중성화 억제 효과가 있다.
2. 리메움 복합 조성물을 10% 혼입한 콘크리트 내 철근의 경우 그다지 큰 부식이 발생하지 않았으며 철근 하단부에서의 매크로셀 부식도 거의 관찰되지 않았다.
3. 중성화 촉진양생의 상이에 관계없이 분극저항은 리메움 복합 조성물 10% 혼입 콘크리트의 경우가 무 혼입 콘크리트 내 철근에 비교하여 상대적으로 높았다. 이것은 동일한 중성화 환경에 대하여 리메움 복합 조성물 혼입 콘크리트 내 철근의 부식속도가 무 혼입 콘크리트 내 철근의 부식속도보다 작은 것을 의미한다.
4. 부식환경 및 피복두께의 상이에 관계없이 동일한 중성화 환경하에 대하여 리메움 복합 조성물 10% 혼입 콘크리트 내 철근의 누적부식량은 리메움 복합 조성물 무 혼입 콘크리트 내 철근의 누적부식량에 비교하여 상대적으로 작았다.
6. 리메움 복합 조성물을 10% 혼입할 경우 리메움 복합 조성물 무 혼입 콘크리트에 비교하여 CO_2의 침투속도가 억제될 뿐만 아니라 동일한 부식환경 하에서의 전기화학적 부식반응 또한 작아져 장기적인 내구성이 향상되는 결과를 얻었다. 따라서 리메움 복합 조성물을 적정량 혼입함으로 철근콘크리트 구조물의 내구연한 증대 효과도 기대할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 (주)대한아이엠과 과학기술부 우수연구센터 육성사업인 한양대학교 친환경건축 연구센터의 지원으로 수행되었음.(과제번호 R11-2005-056-01003-0)

참고문헌

1. 李 翰承, “腐食劣化した鐵筋コンクリート構造部材の耐力性能評価および補强に關する硏究, 東京大學博士論文, 1997. pp.1~2.
2. 김성배, 박성규, 송하원, 변근주, 김재영, “무기계 천연광물을 사용한 모르타르의 투수계수 특성”, 한국콘크리트학회, 봄 학술발표회 논문집, 2005년, pp.445~448.
3. 김성배, 송하원, 박선규, 김재영, “무기계 천연광물을 혼입한 콘크리트의 건조수축 및 균열특성에 관한 연구”, 대한토목학회 정기학술대회, 2005년, pp.1~4.
4. 김성배, 송하원, 박선규, 박재영, “콘크리트 혼화재료용 무기계 천연광물의 방수 메카니즘”, 대한건축학회 창립60주년기념 학술발표대회논문집, 2005년, pp.317~320.
5. 日本建築學會, 鐵筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針(案) · 同解說, 2004, pp.92~118.