

복합열화 환경하에서 표면피복종류 및 피복두께에 따른 철근콘크리트의 부식특성

Corrosion Properties of Reinforced Concrete with Types of Surface Cover and Covering Depth under the Combined Deterioration Environments

김 무 한* 권 영 진** 김 용 로*** 김 재 환*** 장 종 호*** 조 봉 석***
Kim, Moo-Han Kwon, Young-Jin Kim, Young-Ro Kim, Jae-Hwan Jang, Jong-Ho Cho, Bong-Suk

Abstract

Generally, reinforced concrete is one of the most commonly used structural materials and it prevents corrosion of steel bar by high pH of interior. But, as time elapsed, reinforced concrete structure become deteriorated by many of combined deterioration factors and environmental conditions. And, there are large number of deteriorate mechanism of the reinforced concrete structure and it acts complexly. It is recognized that steel bar corrosion is the main distress behind the present concern regarding concrete durability.

In this study, to institute combined deterioration environments, established acceleration condition and cycle for combined deterioration environments has a resemblance to environments which are real structures placed. After that to confirm corrosion properties of reinforced concrete due to permeability with covering depth and types of surface cover under combined deterioration environments, measured carbonation velocity coefficients, chloride ion diffusion coefficients, water absorption coefficients, air permeability coefficients and electric potential, corrosion area ratio, weight reduction, corrosion velocity of steel bar.

The results showed that an increase in age also decrease carbonation velocity coefficients, increase Chloride ion diffusion coefficients and increases water absorption coefficients. As well, an increase in age also increases corrosion of steel bar. Data on the development of corrosion velocity of steel bar with types of surface cover made with none, organic B, organic A, inorganic B, and inorganic A is shown. As well, permeability and corrosion velocity of steel bar with covering depth is superior to 10mm than 20mm. And it is confirmed permeability and corrosion properties of steel bar are closely related.

키워드 : 복합열화, 중성화 속도계수, 염 물이온 확산계수, 물 흡수계수, 투기계수, 철근 부식속도

Keywords : Combined deterioration environments, Carbonation velocity coefficients, Chloride ion diffusion coefficients, water absorption coefficients, air permeability coefficients, corrosion velocity of steel bar

1. 서 론

건설구조재료의 대부분을 차지하는 콘크리트는 경제적이면서 콘크리트의 알칼리성에 의한 철근의 방청성능 및 내구성이 우수하여 반영구적인 건설구조재료로서 인식되어 왔으나 최근에는 구조물의 외부로부터 작용하는 복합적인 열화인자로 인하여 철근의 부식과 균열발생 등 내구성 및 구조내력 저하 등의 심각한 문제점이 제기되고 있다.^{1) 2) 3)}

국내의 경우 이와 같이 열화된 철근콘크리트구조물의 유지보수관리를 위해 철근콘크리트구조물의 내구성 평가방법이 적용되고 있으나, 주로 염해나 중성화 등의 단독적인 열화요인만을 대상으로 하고 있으며, 실내 촉진시험의 경우에도 구조물이 실제로 위치하고 있는 복합적인 열화환경을 재현하지 못한다는 문제점을 가지고 있다.

일반적으로 염해와 중성화가 복합하여 작용할 경우 염화물을 고정화하고 있는 수화물은 중성화에 의해 파괴되어 염화물이 새공용액 증으로 해리되고 가용성 염화물이온으로서 미중성화영역에서 농축되는 등 복합열화의 경우 단독열화와 상이한 메커니즘으로 성능저하가 진행되는 것으로 보고되고 있다. 이와 같은 배경에서 복합적인 열화작용을 받게 되는 실제 철근콘크리트구조물의 적절한 유지관리 및 보수보강을 위해서는 이와 같은 복합열화에 관한 체계적인 연구가 필요한 상황이다.

따라서 본 연구에서는 중성화와 염해, 건조습윤, 고온저온의 반복 등을 고려하여 실제 구조물이 처한 복합적인 열화환경을 조성한 후, 국내에서 주로 사용되고 있는 마감재료 및 보수재료로서 표면피복처리를 실시한 철근콘크리트 시험체를 대상으로 복합열화의 진행에 따른 콘크리트 내부로의 물질투과성 및 철근의 부식특성을 실험실증적으로 비교검토함으로써 향후 철근콘크리트구조물의 체계적인 유지보수관리방법 및 보수재료-공법의 선정과 성능평가 시스템의 확립을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

* 정회원, 충남대학교 건축공학과 교수, 공학박사

** 정회원, 호서대학교 소방학과 교수, 공학박사

*** 학생회원, 한일시멘트(주) 중앙연구소 선임 연구원

Table 1. Experimental program

Series	Types of surface cover	Deterioration environments	Covering depth (mm)	Measurement Items	Measurement Age (Cycle)
I	· None treatment	· Individual deterioration · Combined deterioration	-	· Carbonation depth (mm) · Chloride ion Penetration depth (mm)	7 ¹⁾ , 28 ¹⁾ , 56 ¹⁾²⁾ , 90 ²⁾
II	· Organic based A · Organic based B · Inorganic based A · Inorganic based B	· Combined deterioration	-	· Carbonation depth (mm) and Velocity coefficients (mm/√day) · Chloride ion Penetration depth(mm) and Diffusion coefficients (cm ² /sec) · Water absorption coefficients (kg/m ² √hour) · Air permeability coefficients (cm/sec)	10 20 30
III	· None treatment		10, 20	· Electric potential of steel bar (mV) · Corrosion area ratio of steel bar (%) · Weight reduction ratio of steel bar (%) · Corrosion velocity of steel bar (mg/cm ² year)	40 50

- 1) Days : Measurement Ages of Carbonation depth
2) Days : Measurement Ages of Chloride ion Penetration depth

Table 2. Factors and levels of the deterioration environments

Series	Factors	Levels
I	· Carbonation	· Acceleration by CO ₂ 5% · Humidity 50% · Temperature 20℃
	· Salt damage	· Immersion in 3% NaCl solution · Immersion in 3% NaCl solution and Drying per 1day interval
II	· Carbonation	· Acceleration by CO ₂ 15%
	· Salt damage	· Spray by 3% NaCl solution
III	· Humidity	· Setting up from 30% to 60%
	· Temperature	· Setting up from 20℃ to 60℃

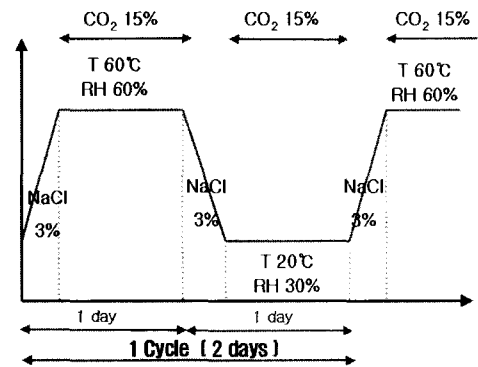


Fig. 1 Accelerated condition and cycle for combined deterioration environments

2. 실험 계획 및 방법

2.1 실험 계획

복합열화 환경하에서 표면피복처리종류에 따른 콘크리트내 부로의 물질투과성 및 철근의 부식특성을 검토하기 위한 본 연구의 실험계획 및 방법은 Table 1에 나타낸 바와 같다.

시리즈 I에서는 중성화 및 염해에 있어서 단독적인 열화와 복합열화의 진행에 따른 중성화 깊이 및 염화물이온 침투 깊이를 비교검토하기 위하여 단독열화의 경우, 기존 일본건축학회에서 제안하고 있는 촉진 중성화시험에 의한 중성화 깊이와 NaCl 3% 수용액 침지시험을 통한 염화물이온 침투 깊이를 측정하였고 복합열화의 경우, Table 2 및 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 중성화와 염해, 건조습윤 및 고온저온 반복 등의 복합열화조건 및 촉진 사이클을 설정한 후, Photo 1에서 보는 바와 같은 복합열화챔버를 활용하여 복합열화시험에 의한 중성화 깊이 및 염화물이온 침투 깊이를 비교검토하였다.

시리즈 II에서는 복합열화 환경하에서 콘크리트 내부로의 물질투과성을 검토·분석하기 위하여 복합열화시험 후, 각 재령에서 중성화 깊이 및 속도계수, 염화물이온 침투 깊이 및 확산계수, 흡수계수와 투기계수를 측정하였다.

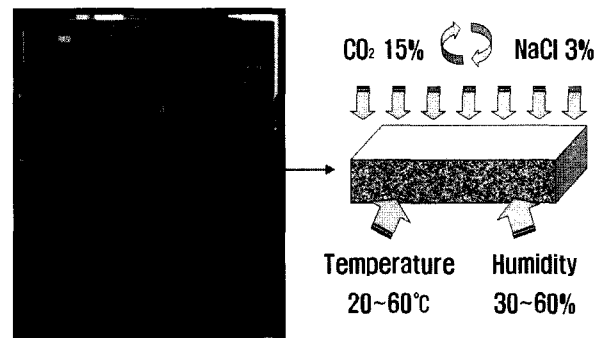


Photo 1. Combined deterioration chamber

Table 4. Concrete mix proportion

W/C (%)	Fine aggregate ratio (%)	Unit Weight (kg/m ³)			
		Water	Cement	Sand	Gravel
60	43	185	308	778	1048

시리즈 III에서는 복합열화 환경하에서 철근의 부식특성을 검토·분석하기 위하여 복합열화시험 후, 각 사이클에서 철근의 자연전위, 부식면적율, 중량감소를 및 부식속도를 측정

하였고, 시리즈 II의 중성화 깊이 및 염화물이온 침투깊이에 따른 철근의 부식특성을 검토함으로써 콘크리트 내부로의 물질투과성과 철근의 부식특성 관계를 실증적으로 비교·검토하였다.

2.2 콘크리트 배합 및 사용재료

본 실험에 사용된 재료로서 시멘트는 국내 A사의 1종 보통포틀랜드시멘트, 골재의 경우 잔골재는 비중 2.56의 인천산 제염사, 굵은골재는 비중 2.65, 최대치수 20mm의 퇴촌산 부순자갈을 사용하였으며, 모체콘크리트 시험체의 콘크리트 배합은 Table 4에 나타난 바와 같다. 또한, 철근은 ϕ 19mm 원형철근의 표면을 No. 800 샌드페이퍼로 연마한 후 아세톤으로 닦아 콘크리트에 매입하였다.

표면피복처리재료로서는 국내에서 주로 사용되고 있는 유기계 도장재 2종류와 무기계 도장재 2종류를 선정하였으며, 유기계 피복재료는 KS M 5310에 준하는 수성페인트 1급, 2급, 무기계 피복재료는 아크릴 코폴리머 재유화형 분말수지 및 무기계 침투성 방수재를 사용하였다.

2.3 시험체의 제작 및 시험방법

중성화 및 염해의 단독적인 열화진행에 따른 중성화 깊이 및 염화물이온 침투깊이를 평가하기 위하여 75×100×400mm의 무처리 시험체를 제작한 후, 기존 일본건축학회에서 제안하고 있는 촉진 중성화시험과 NaCl 3% 수용액 침지시험 및 침지건조반복시험을 실시하였다.

또한, 복합열화 환경하에서의 염화물이온 확산계수, 투기계수, 흡수계수를 검토 및 분석하기 위하여 ϕ 100×200mm의 콘크리트 시험체를 Fig. 2에서 보는 바와 같이 절단하여 두께 50mm 및 30mm의 시험체를 제작하였다.

염화물이온 침투깊이, 중성화 깊이 및 중성화 속도계수와 철근의 자연전위, 부식면적율, 중량감소를 및 부식속도를 측정하기 위하여 Fig 3에 나타난 바와 같이 ϕ 19mm 원형철근을 매입한 150×200×500mm의 콘크리트 시험체를 제작하였다.

시험방법으로서 중성화 깊이 및 속도계수의 경우 콘크리트 시험체를 각 재령에서 활렬하고 1% 페놀프탈레인-알코올 용액을 분무하여 평균 중성화 깊이를 측정한 후 식 (1)을 이용하여 중성화 속도계수를 산출하였다.

$$C = A\sqrt{t} \dots\dots\dots \text{Eq. (1)}$$

where, C : Carbonation depth (mm)
A : Carbonation Velocity coefficients (mm/ $\sqrt{\text{day}}$)
t : Time (day)

또한, 염화물이온의 침투깊이는 콘크리트 시험체를 각 재령에서 활렬한 후, 0.1N AgNO₃ 용액을 분무하여 변색부위의 평균깊이로 산정하였으며, 염화물이온 확산계수는 복합열화 촉진실험 후 각 재령에서 시험체의 표면으로부터 3mm간격으로 분말시료를 채취하여 JCI-SC4에 준하여 전염화물량을 측정하고 Browne, Crank 및 Laylor가 제안한 식 (2)의 확산모델을 적용하여 염화물이온의 확산계수를 산출하였다.

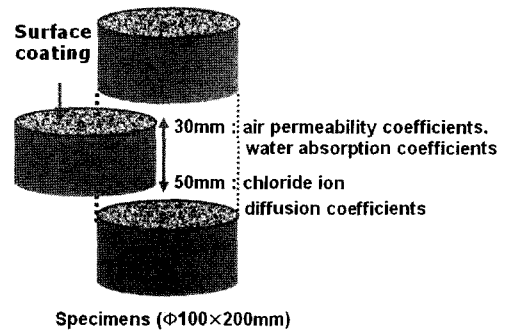


Fig. 2 Specimens for chloride ion diffusion coefficients, water absorption coefficients and air permeability coefficients

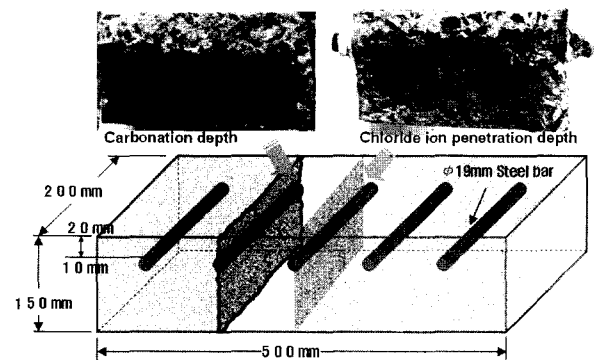


Fig. 3 Specimens for carbonation depth, chloride ion penetration depth and electric potential, corrosion area ratio, weight reduction ratio, corrosion velocity of steel bar.

$$C(x,t) = C_i + (C_0 - C_i) \cdot \text{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{D_e t}}\right) \dots\dots\dots \text{Eq. (2)}$$

Initial condition : 0, x) 0, t=0

Boundary condition : C₀, x=0, t) 0

where, C₀ : Chloride ion concentration at the surface

(x,t) : Chloride ion concentration at depth X after time t

C_i : Initial chloride ion concentration in concrete

흡수계수는 Fig. 4 및 식 (3)에 나타난 바와 같이 KS F 2609 건축재료의 물 흡수계수 시험방법에 준하여 표면피복처리한 ϕ 100×30mm의 콘크리트 시험체를 약 20℃의 물에 2~10mm 정도의 깊이로 침지시킨 후, 침지 전과 침지 후 10분, 30분, 1시간, 6시간, 24시간 간격으로 시험체의 무게를 측정하고 면적당 물 흡수량(kg/m²)을 시간(\sqrt{t})에 따라 표시한 직선의 기울기로서 산정하였다.

$$m = w\sqrt{t} \dots\dots\dots \text{Eq. (3)}$$

where, m : Water absorption volume per square meter (kg/m²)

w : Water absorption coefficients (kg/(m²h^{0.5}))

t : Time (hour)

또한, 투기계수는 Fig. 5에 나타난 바와 같이 내부직경 7cm의 실린더에 표면피복처리한 시험체를 고정하여 실링한 후, 2kgf/cm²의 압축공기를 주입하여 메스실린더를 이용한 수증

치환법에 의해 투기량을 측정하고, 다르시(Darcy)의 법칙을 적용한 식(4)를 이용하여 산정하였다.

$$K = \frac{2 P_2 h \gamma}{P_1^2 - P_2^2} \cdot \frac{Q}{A} \quad \text{Eq. (4)}$$

where, K : Air permeability coefficients (cm/sec)
 P₁ : Atmospheric pressure (kgf/cm²)
 P₂ : Load pressure (1.0332kgf/cm²)
 h : Air permeability coefficients (cm)
 Q : Volume of air permeability (cm³/sec)
 A : Working area of load pressure (38.465cm²)
 γ : Unit weight of gas
 (air : 1.205 × 10⁻⁶kg/cm³)

철근의 자연전위는 Photo 2에서 보는 바와 같이 ASTM C 876에 근거하여 측정하였으며 참조전극으로는 포화황산동 전극을 이용하였다. 자연전위는 콘크리트 조직내 공극의 함수상태에 따라 유동적일수 있으므로 측정 1일 전에 시험체를 대기 중에 방치하여 기건화하였다.

또한, 철근의 부식면적율은 부식발생부위를 트레이싱지로 스케치한 후 부식면적을 산정하였고, 철근의 부식속도는 철근의 녹을 구연산암모늄 10% 수용액으로 제거하여 식 (5)와 같이 중량감소량을 측정한 후 식(6)을 이용하여 산출하였다.

$$Wrs(\%) = \frac{Iws - Aws}{Iws} \times 100 \quad \text{Eq. (5)}$$

where, Wrs : Weight reduction of steel bar (%)
 Iws : Initial weight of steel bar (mg)
 Aws : Weight of steel bar after corrosion removal (mg)

$$Cv = \frac{Wr}{As \times Tp} \quad \text{Eq. (6)}$$

where, Cv : Corrosion velocity of steel bar (mg/cm²year)
 Wr : Weight reduction ratio of steel bar (mg)
 As : Area of steel bar (cm²)
 Tp : Testing period (year)

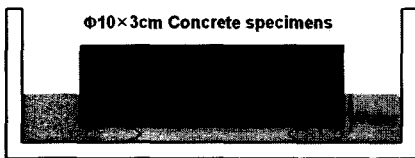


Fig. 4 Testing method for measuring water absorption coefficients

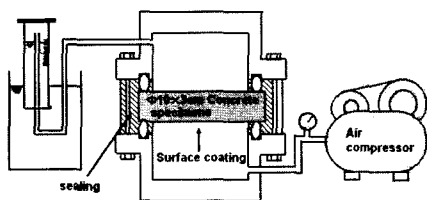


Fig. 5 Testing method for measuring air permeability coefficients

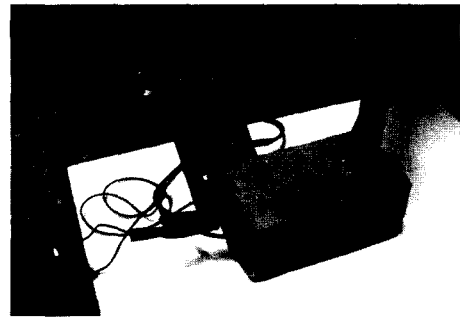


Photo 2. Testing method for measuring electric potential of steel bar

3. 실험결과의 검토 및 분석

3.1 단독열화 및 복합열화에 의한 중성화 깊이와 염화물이온 침투깊이의 변화 검토 및 분석 (시리즈 1)

Fig. 6~7은 단독열화와 복합열화의 진행에 따른 중성화 깊이 및 염화물이온 침투깊이를 비교검토한 것으로 중성화 깊이는 재령 56일에서 복합열화의 경우가 단독열화를 실시하였을 경우보다 3.8mm 정도 크게 나타났다. 또한, 염화물이온침투깊이는 재령 91일에서 복합열화의 경우가 침지시험을 실시하였을 경우에 비하여 5.5mm, 침지-건조 반복시험을 실시하였을 경우에 비하여 7.5mm 정도 크게 나타나 단독열화에 비하여 복합열화에 의한

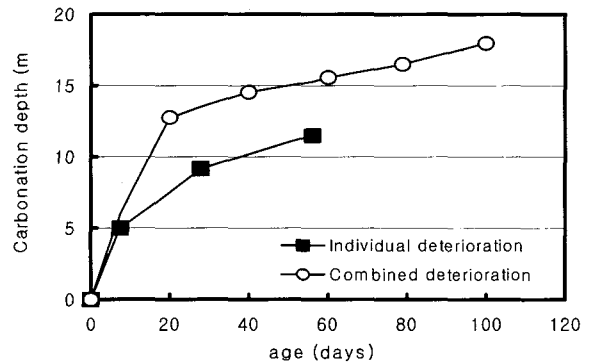


Fig. 6 Variation of carbonation depth with time

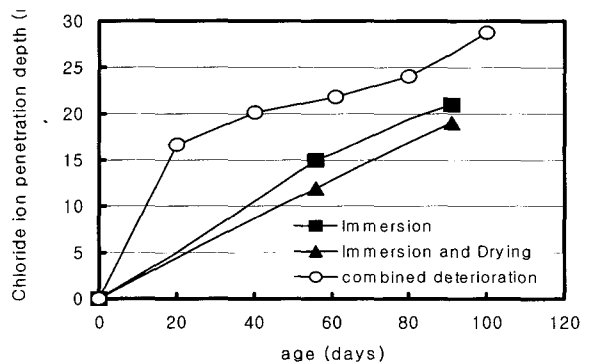


Fig. 7 Variation of chloride ion penetration depth with time

3.2 복합열화 환경하에서 콘크리트 내부로의 물질투과 성 검토 및 분석 (시리즈 II)

Fig. 8은 표면피복 종류별 복합열화 사이클에 따른 중성화 속도계수의 변화를 나타낸 것으로 중성화 속도계수는 복합열화 사이클이 경과할수록 저하하는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 이산화탄소의 침투에 의한 중성화 반응에 의해 콘크리트의 미세 공극구조가 치밀해져 사이클이 경과할수록 중성화 진행속도가 저하하기 때문인 것으로 판단된다.

또한, Fig. 9~11은 표면피복처리 종류별 복합열화 사이클에 따른 염화물이온 확산계수, 투기계수 및 흡수계수의 변화를 나타낸 것으로 복합열화 사이클이 경과할수록 콘크리트 내부로의 물질투과계수가 증가하는 것으로 나타났다. 이와 같은 경향은 복합열화 환경하에서 철근콘크리트 시험체 표면피복재료의 조직이 연화 및 열확립으로서 콘크리트 내부로의 물질투과가 용이하게 되었기 때문인 것으로 사료된다.

또한, 투기계수, 염화물이온 확산계수 및 흡수계수는 동일 사이클에 있어서 전반적으로 무처리 > 유기계 B > 유기계 A > 무기계 B > 무기계 A의 순으로 높게 나타나 무처리 시험체에 비하여 표면피복처리를 실시하였을 경우 콘크리트 내부로의 물질투과성을 저감시킬수 있는 것으로 나타났다

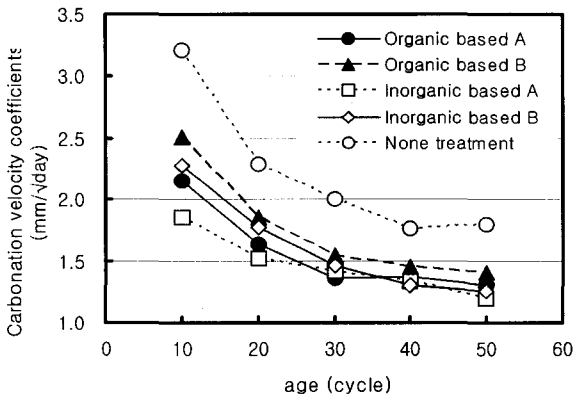


Fig. 8 Variation of carbonation velocity coefficients with time

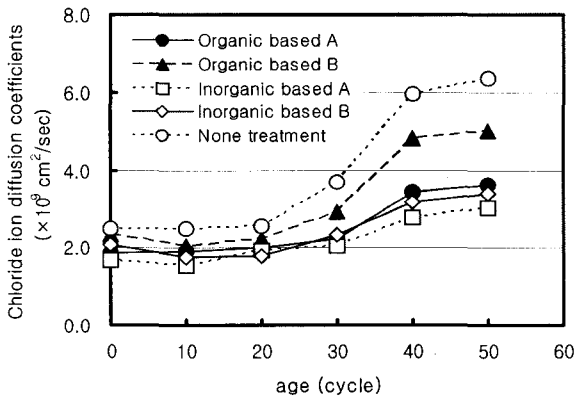


Fig. 9 Variation of chloride ion diffusion coefficients with time

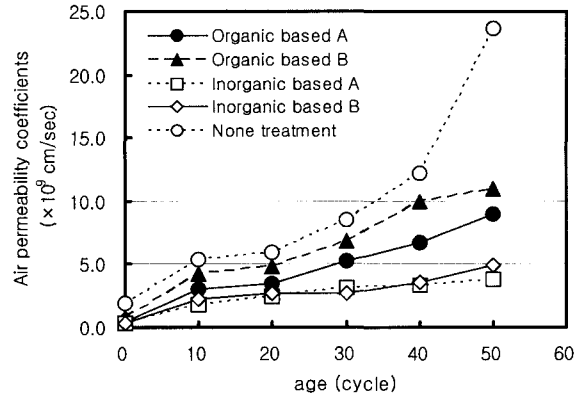


Fig. 10 Variation of air permeability coefficients with time

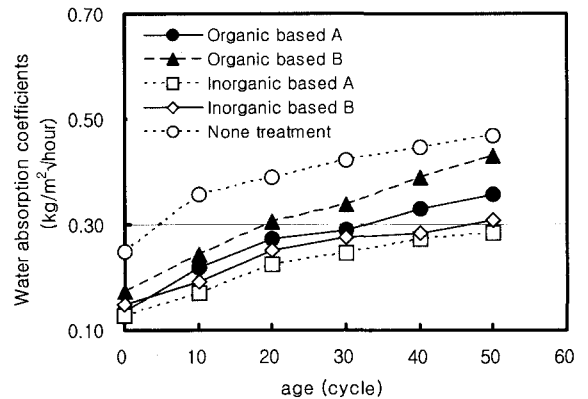


Fig. 11 Variation of water absorption coefficients with time

3.3 복합열화 환경하에서 철근콘크리트의 부식특성 검토 및 분석 (시리즈 III)

1) 복합열화 환경하에서 철근의 자연전위, 부식면적율 및 중량감소율의 변화 검토 및 분석

Fig. 12는 피복두께 10mm 철근콘크리트 시험체의 표면피복 종류별 복합열화 사이클에 따른 철근의 자연전위를 나타낸 것으로 복합열화 사이클이 경과할수록 철근의 자연전위가 낮아지는 경향을 보이고 있으며 동일 사이클에서 무처리 시험체가 가장 낮은 것으로 나타났다.

Fig. 13~14 및 Table 5~6은 철근콘크리트 시험체의 표면피복 종류별 복합열화 사이클에 따른 부식면적율 및 중량감소율을 나타낸 것으로 사이클이 경과할수록 값이 증가하는 것으로 나타났다.

또한, 동일 사이클에 있어 전반적으로 무처리 > 유기계 B > 유기계 A > 무기계 B > 무기계 A의 순으로 무처리 시험체가 가장 낮게 나타나 표면피복처리를 실시함으로써 철근의 부식저감이 가능한 것으로 나타났다.

2) 복합열화 환경하에서 철근부식속도의 변화 검토 및 분석

Fig. 15는 피복두께 20mm 철근콘크리트 시험체의 표면피복 종류별 철근의 부식속도를 나타낸 것으로 복합열화 사이클이 경과할수록 부식속도는 증가되는 경향을 보이고 있으며, 복합열화 30 cycle 이후 부식속도는 어느 정도 일정한 값으로

Table 5. Corrosion area ratio of steel bar with combined deterioration cycle and covering depth

Covering depth	Cycle				
	10	20	30	40	50
10mm					
	2.14%	6.24%	10.03%	15.64%	23.58%
20mm					
	0.38%	1.14%	6.11%	9.92%	17.54%

Table 6. Corrosion area ratio of steel bar with types of surface cover at 50 cycle

Covering depth	Types				
	Inorganic based A	Inorganic based B	Organic based A	Organic based B	None treatment
10mm					
	13.37%	13.82%	17.44%	19.74%	23.58%
20mm					
	8.64%	9.66%	12.82%	15.51%	17.54%

수렴하는 경향을 나타내고 있어 향후 본 연구의 복합열화시험을 지속적으로 실시함으로써 철근콘크리트구조물의 부식속도 산정에 의한 부식균열시기 예측 등 수명에측기법 확립을 위한 기초자료로서 적극 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

Fig. 16은 복합열화 50cycle에서의 표면피복처리 종류별 피복두께에 따른 철근의 부식속도를 나타낸 것으로 표면피복처리를 실시하고 철근의 피복두께를 크게 할수록 철근의 부식속도는 낮아지는 경향을 보이고 있다.

또한, 피복두께 10mm의 무처리 시험체를 기준으로 무기계 A재료로서 표면피복처리를 실시한 경우 52.5%, 피복두께를 20mm로 확보한 경우 33.5%까지 철근의 부식속도를 저감시킬 수 있는 것으로 나타나 적절한 표면피복처리 실시와 피복두께 확보를 통하여 철근의 부식속도를 저감시킬 수 있을 것으로 판단된다.

3) 중성화 깊이 및 염화물이온 침투깊이와 철근 부식속도의 관계 검토 및 분석

Fig. 17~18은 피복두께 10mm의 철근콘크리트 시험체에 있어서 중성화 깊이 및 염화물이온 침투깊이와 철근 부식속도의 관계를 나타낸 것으로 중성화깊이 및 염화물이온 침투깊이가 증가할수록 철근의 부식속도는 증가되는 경향을 나타내고 있으며 특히, 중성화 깊이 및 염화물이온 침투깊이가 철근의 피복두께 10mm를 초과하여 진행하였을 경우 철근의 부식이 현저하게 증가하는 경향을 보이는 것으로 나타났다.

또한, 중성화 깊이와 철근 부식속도의 경우 상관계수가

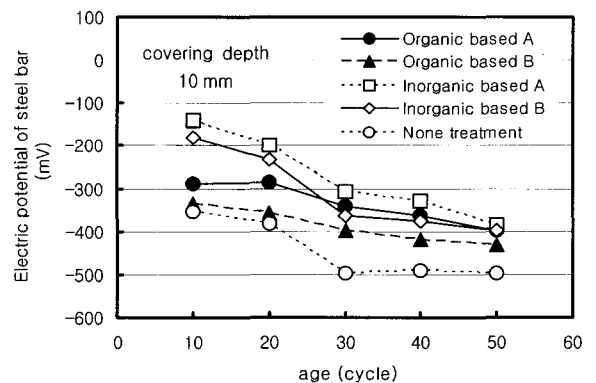


Fig. 12 Variation of electric potential of steel bar with time

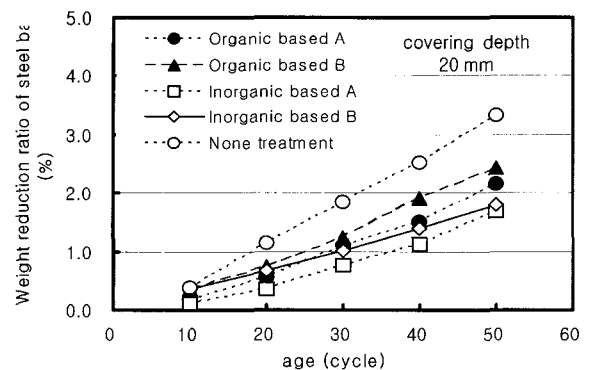


Fig. 13 Variation of weight reduction of steel bar with time

0.9138, 염화물이온 침투깊이와 철근 부식속도의 경우 상관계수가 0.9023으로 높은 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

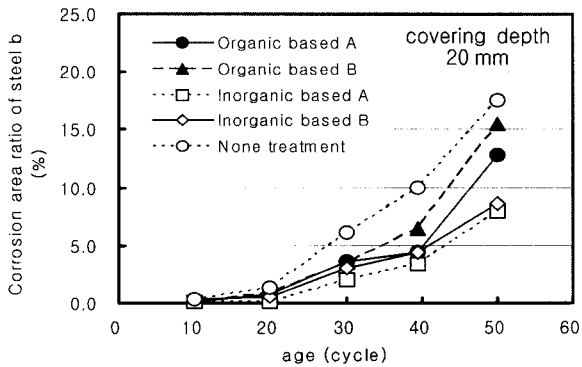


Fig. 14 Variation of corrosion area ratio of steel bar with time

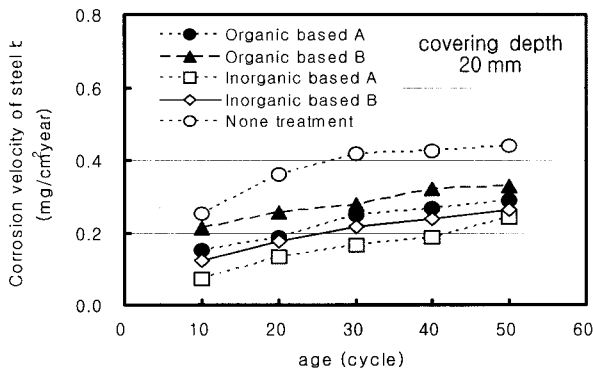


Fig. 15 Variation of Corrosion velocity of steel bar with time

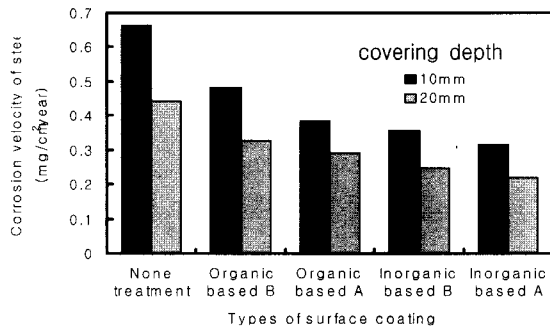


Fig. 16 Corrosion velocity of steel bar with types of surface cover and covering depth at 50 cycle

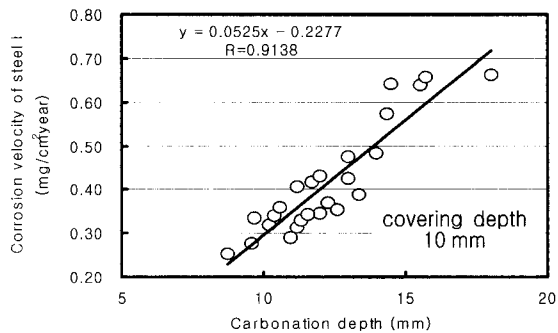


Fig. 17 Relation between corrosion velocity of steel bar and carbonation depth

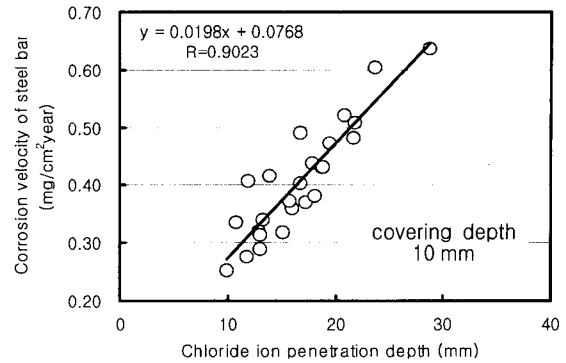


Fig. 18 Relation between corrosion velocity of steel bar and chloride ion penetration depth

4. 결 론

중성화와 염해, 건조습윤 및 고온-저온의 반복 등의 복합열화 환경하에서 표면피복종류에 따른 콘크리트 내부로의 물질투과성 및 철근콘크리트의 부식특성에 관한 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 중성화와 염해, 건조습윤 및 고온-저온의 반복 등을 고려한 복합열화 촉진시험 결과 기존의 단독열화 촉진시험결과에 비해 내구성 저하현상이 빠르게 진행되는 것으로 나타났다.
- 2) 무처리 시험체에 비하여 표면피복처리를 실시함으로써 중성화, 염해, 수분침투 및 투기 저항성 등의 콘크리트 내부로의 투과저항성을 향상시킬 수 있는 것으로 나타났다.
- 3) 중성화 깊이 및 염화물이온 침투깊이가 철근의 피복두께를 초과하여 진행하였을 경우 철근의 부식이 현저하게 증가하는 것으로 나타났다.
- 4) 적절한 표면피복처리 실시와 피복두께의 확보에 의해 콘크리트의 물질투과저항성을 향상시키고 철근의 부식속도를 저감시킴으로써 철근콘크리트구조물의 내구성 향상을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.
- 5) 향후 본 연구의 복합열화시험을 지속적으로 실시함으로써 철근콘크리트구조물의 부식속도 산정에 의한 부식균열시기 예측 등 철근콘크리트구조물의 수명예측기법의 확립을 위한 기초자료로서 적극 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부의 건설기술연구개발사업(2001년도) 「염해 및 중성화의 피해를 입은 콘크리트구조물의 내구성 회복을 위한 보수공법 시스템 개발 및 실용화 방안(E00-01)」에 관한 일련의 연구의 결과로, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 金武漢ほか, 콘크리트의急速鹽分浸透性試験による鹽化物イオン擴散係數の評価に関する實驗的研究, 日本建築學會 學術講演梗概集, 2003, pp.561~562.
2. 김무한 외, 마감재종류에 따른 염소이온 확산특성에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 가을 학술발표대회 논문집, 2002. pp.327~331.
3. 渡辺 豊ほか, 콘크리트의急速鹽分浸透性試験による鹽化物イオン擴散係數の算定, 콘크리트工學年次論文集, 2002. pp.663~668.
4. 日本콘크리트工學協會, 複合劣化콘크리트構造物の 評價と維持管理計劃研究委員會, 2001, 5
5. R.D. Browne, Mechanism of Corrosion of Steel in Relation to Design, Inspection, and Repair of Offshore and Coastal Structure, ACI SP-65, U.S. Detroit, 1980
6. Tang, I. and Nilsson, L.-O., Rapid Determination of the Chloride Diffusivity in Concrete by Applying an Electrical Field, ACI Materials Journal, Jan.-Feb. 1992, pp.49~53.
7. R.D. Browne, Mechanism of Corrosion of Steel in Relation to Design, Inspection, and Repair of Offshore and Coastal Structure, ACI SP-65, U.S. Detroit, 1980
8. Page, C.L., Diffusion of Chloride Ions in Hardened Cement Pastes, Cement and Concrete Research, 11, 1981, 395~406