

콘크리트 내부로의 압입공법을 사용한 방청제의 침투깊이 및 농도에 관한 실험적 연구

Experimental Study on the Penetration Depth and Concentration of
Corrosion Inhibitor Using Press-in Method Into the Inside of Concrete

조형규*
Cho, Hyeong-Kyu

유조형**
Yoo, Jo-Hyeong

이한승***
Lee, Han-Seung

Abstract

After steel bar was corroded it removes concrete contaminated, it does steel bar corrosion protection, repairing method and corrosion inhibitor spreading method are difficult to secure corrosion protection performance. Accordingly, in this research before Research and Development to penetrate corrosion inhibitor to high pressure by steel bar position, it measures penetration depth through corrosion inhibitor high pressure penetration experiment and amount of nitrite by position and then it predicts penetration depth in accordance with water-cement ratio, pressure, pressure time and it computed water-cement ratio, pressure, pressure time to be more than 0.6 mol ratio of chloride ion and nitrite to have outstanding corrosion protection performance. As a result of experiment, water-cement ratio gives the biggest influence to penetration of corrosion inhibitor and also the more depth of specimen becomes deep, concentration of penetrated corrosion inhibitor does not equal and becomes low.

요 지

철근이 부식되면 오염된 콘크리트를 제거하고 철근방식을 하고 보수하는 방법과 방청제를 도포하는 방법으로는 철근위치에서 방청성능을 확보하기가 곤란한 실정이다. 이에 본 연구에서는 철근위치까지 방청제를 고압 침투시키기 위한 연구개발에 앞서 방청제 가압 침투 실험을 통하여 침투깊이를 측정하고 위치별 아질산이온의 양을 측정하여 물시멘트비, 압력, 가압시간에 따른 침투깊이를 예측하고 우수한 방청성을 가지는 염화물이온과 아질산이온의 몰비 0.6 이상이 되는 물시멘트비와 압력, 가압시간을 산정하였다. 실험결과 물시멘트비가 방청제의 침투에 가장 큰 영향을 주며 또한 실험체의 깊이가 깊어질수록 침투시킨 방청제의 농도는 같지 않고 낮아지는 것을 알 수 있었다.

Keywords : Corrosion inhibitor, Coefficient of diffusion, Penetration depth, Lithium nitrate

핵심 용어 : 방청제, 확산계수, 침투깊이, 아질산 리튬

* 정회원, 한양대학교 건축환경공학과 석사과정

** 정회원, 한양대학교 건축환경공학과 박사과정

*** 정회원, 한양대학교 건축학부 부교수

E-mail : ercleehs@hanyang.ac.kr 031-436-8159

• 본 논문에 대한 토의를 2009년 10월 31일까지 학회로 보내주시면 2010년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서론

콘크리트는 다공성 재료로써 타설 직후부터 사용 연한 동안 각종 환경에 노출되어 물리적, 화학적 영향을 받게 된다. 특히, 외부에 존재하는 황산염, 염화물 이온, 이산화탄소 등과 같은 유해성분들은 장기간에 걸쳐 용액이나 기체 상태로 콘크리트 내부로 침투되어 콘크리트 구성물들과 물리적, 화학적 상호작용을 일으켜 콘크리트 내부에 매설된 철근의 부식을 야기시켜 콘크리트의 내구연한과 내력을 감소시키게 된다. 특히 염화물이온에 기인한 철근부식에 따른 내구성 저하가 빈번히 발생하고 있으며 철근위치까지 염화물이온이 임계부식량(1.2kg/m³)을 초과하는 경우 방청성분을 철근위치까지 확실하게 침투시키는 것이 매우 중요하다. 하지만 현재와 같이 염화물이온이 임계부식량을 초과할 경우 오염된 콘크리트를 제거하고 철근을 방청 처리한 후 단면복구를 하는 보수방법으로는 시공시간이 오래 걸릴 뿐만 아니라 경비 또한 많이 소모되기 때문에 비효율적인 방법이다. 또한 콘크리트 표면에 방청제를 도포하여 침투시키는 기술 또한 기존의 연구에서 알 수 있듯이 철근위치까지 우수한 방청효과를 가지는 아질산이온과 염화물이온의 몰비 0.6이상⁽¹⁾⁽⁵⁾이 되도록 하는 것이 어렵다. 따라서 콘크리트 내부의 철근 위치까지 방청성분을 고농도로 침투시키기 위한 연구개발이 필요하며, 이를 위해서는 우선적으로 수분침투에 관한 연구에 이어 콘크리트 내부로의 방청제 침투에 관한 연구가 수행되어야 한다. 일반적으로 콘크리트 내부로의 수분침투는 수압의 크기에 따라서 두 가지로 해석되어진다. 수압이 저압인 경우, 일반 모래층의 흐름과 같은 다르시의 법칙으로 시간에 따른 침투깊이를 산정할 수 있고, 수압이 고압일 경우에는 내부 변형을 동반하는 침투확산류 해석 등이 필요하게 된다.⁽⁷⁾⁽¹¹⁾

이와 같은 연구배경을 기반으로, 본 연구에서는 콘크리트 내로의 수분침투 연구⁽⁴⁾⁽⁶⁾에 이어서 준비과외 공법인 방청제 고압침투 기술개발 중에 철근위치까지 방청성분을 침투시키기 위해서 방청제 침투 실험을 통하여 콘크리트내로의 물시멘트비(압축강도),

압력, 가압시간에 따른 방청제의 침투 실험을 통하여 방청제의 침투 특성을 파악할 뿐만 아니라 방청제의 확산계수를 산정하고 위치별 아질산이온의 양을 측정하여 철근위치에서 우수한 방청성능을 가질 수 있는 압력과 가압시간을 예측하는 등의 방청제의 콘크리트 침투 및 예측에 관한 연구를 실시하였다.

2. 기존문헌 고찰 및 이론

2.1 콘크리트내 수분 이동

콘크리트중의 물의 흐름은 크게 가압투과류와 모관침투류로 분류되며 가압침투류가 콘크리트 반대쪽으로 수분이 유출되는 경우 가압투과류가 되고 가압침투류는 다시 다르시 침투류와 침투확산류로 나눌 수 있다. 본 연구는 인위적으로 가압을 하여 방청제를 콘크리트 내부로 고압 침투시키기 때문에 침투확산류로 해석하는 것이 타당하다고 판단된다.⁽⁴⁾⁽⁶⁾

2.2 침투확산류

다르시의 법칙을 기초로 한 고압 침투 모델은 고압으로 인한 내부 변형이 중요시 되는 경우에 적용되며 흐름 속도와 동수구배 시간과 공간에서 다양화된다.

식 (1)은 1차원 고압 침투류에서 압력에 관계된 기초 방정식이다. 고압의 침투 흐름은 이 방법으로 압력과 관계된 확산 형식의 미분 방정식을 따르고, β^2 을 확산계수라고 부른다. 시간에 의한 보정 계수는 보정 인자 α 를 사용하여 표현될 수 있다.⁽¹⁰⁾

$$\frac{\delta p}{\delta t} = \beta^2 \frac{\delta^2 p}{\delta \chi^2} \quad (1)$$

$$\beta_0^2 = \alpha \frac{dm^2}{4t\xi^2} \quad (2)$$

여기서,

β^2 : 확산 계수, β_0^2 : 초기 확산 계수 mm²/s

χ : 침투 깊이, dm : 평균 침투 깊이, mm

p : 압력

t : 가압 시간 s

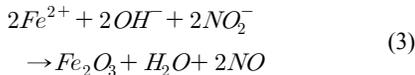
α : 가압 시간의 보정 계수

ξ : 수압의 계수

2.3 방청 메커니즘

콘크리트내 철근은 콘크리트의 높은 알칼리성에 의해서(pH=12이상) 부동태피막이 생성되어 부식으로부터 보호되어 있다. 그러나 콘크리트가 중성화(pH=10이하)가 되면 부동태피막이 불안정하게 되어 부식이 발생할 수 있다. 뿐만 아니라 콘크리트 내부에 염분이 포함되어 있으면 중성화되지 않은 경우에도 부동태피막이 염화물이온에 의해 부분적으로 파괴되어 부식을 발생시킨다. 아질산이온(NO_2^-)은 파괴된 부동태피막을 재생시켜 안정한 상태가 되어 부식과 진행을 방지시킨다.

부동태피막(Fe_2O_3)은 치밀한 철의 산화물로 되어 있다. 염화물이온(Cl^-)은 부동태피막 위에 메탈의 철을 용해(2가의 철이온: Fe^{2+} 로서 용출)시킨다. 아질산이온(NO_2^-)은 2가의 철이온(Fe^{2+})와 반응식 (3)과 같이 부동태피막을 재생한다.



아질산이온이 상대적으로 적을 때는 염화물이온에 의한 부동태피막의 파괴와 아질산이온에 의한 재생의 경합반응이 되기 때문에, 염화물이온과 아질산이온의 양에 따른 철근부식 정도를 확인하는 연구가 진행되었고 그 결과 아질산이온과 염화물이온의 몰비(NO_2^-/Cl^-)가 0.6 이상이면 보다 치밀한 부동태피막이 형성되어 염화물이온에 의한 철근부식에 구애받지 않는 것으로 나타났다.⁽²⁾⁽³⁾

이와 같은 이론과 연구 결과를 근거로 직접적으로 방청제를 가압 침투시켜 방청제의 확산계수를 산정하고 침투깊이를 측정할 뿐만 아니라 철근위치에서 아질산이온과 염화물이온의 몰비가 0.6이상이 되는 압축강도(물시멘트비)와 압력, 가압시간을 예측하는

예측식이나 이에 따른 모델링이 필요할 것으로 판단된다.

3. 실험계획 및 방법

3.1 방청제 침투 실험

3.1.1 실험 개요

방청제의 침투깊이를 측정하기 위해서 Fig. 1과 같은 중공형 공시체(15×30cm, \varnothing 2cm)를 제작하여 28일 동안 20℃에서 수중양생 후, 20일 동안 20℃ 습도 65%에서 건조 시킨다. 그 후 Fig. 2와 같은 내압식 투수시험기를 통해 압력과 가압 시간을 조절하면서 방청제 침투 실험을 통하여 침투 깊이를 측정하였다.

3.1.2 실험 인자 및 수준

본 방청제 침투 실험의 인자는 물시멘트비, 압력, 가압시간으로 하여 측정하였다. Table 1과 같이 시험의 인자 및 수준을 정하였고, 배합표는 Table 2, 방청제의 성분은 Table 3에 나타내었다.

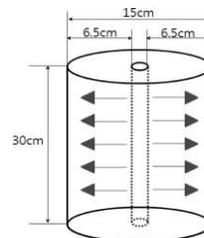


Fig. 1 중공형 공시체



Fig. 2 내압식 투수시험기

Table 1 실험 인자 및 수준

실험 인자	수준
물시멘트비	65%, 60%, 55%
수압	1MPa, 1.5MPa
가압시간	24시간, 48시간, 96시간

Table 2 배합표

W/C (%)	단위 중량(kg/m ³)				
	물	시멘트	잔골재	굵은골재	AE제
65	170	261	902	985	4.74
60	170	283	867	995	5.20
55	170	309	832	1004	5.74

Table 3 방청제(LiNO₂) 성분

비중	아질산리튬 함유량	방청 성분	염의 종류	상태	용해도
1.1~1.2	25%	아질산	리튬	청색 투명수용액	0°C에서 42%

3.1.3 실험 방법 및 측정 항목

Fig. 2의 내압식 투수시험기를 사용하여 물시멘트비에 따른 각각의 실험체를 가압시간, 압력에 따라 방청제 침투 실험을 실시하여 침투 깊이를 측정한다. 실험 후 실험체를 할렬시켜 침투 깊이를 측정할 때에는 아질산이온의 정확한 침투 깊이를 확인하기 위해서 톨루엔(toluene)과 T.D.I(Toluene Diisocyanate, 100% 2,4-TDI) 용액을 1:9로 섞은 시약을 분무⁽⁹⁾하여 침투 깊이를 측정하며 시험 방법은 다음과 같다.

1) 방청제의 누수를 방지하기 위하여 상하면에 고무패킹을 두고 시험기에 실험체를 설치한다.

2) 압력계 덮개를 설치하고 누수가 되지 않도록 볼트를 강하게 조인다.

3) 질소가스통의 밸브를 열어 실험하고자 하는 압력을 가해서 실험을 실시한다.

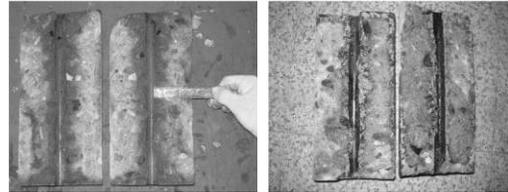
4) 측정하고자 하는 가압 시간 후 질소가스통의 밸브를 잠그고 압력계의 압력(질소가스)을 뺀 후 볼트를 풀어 실험체를 빼낸다.

5) 분리한 실험체를 바로 UTM기를 사용하여 할렬시킨 후 T.D.I 시약을 분무하여 방청제의 침투 깊이를 측정한다.



(a) 가압침투

(b) 공시체 할렬



(c) 할렬된 공시체

(d) T.D.I 시약 분무

Fig. 3 침투깊이 측정 시험방법

3.2 위치별 아질산이온 농도 측정 실험

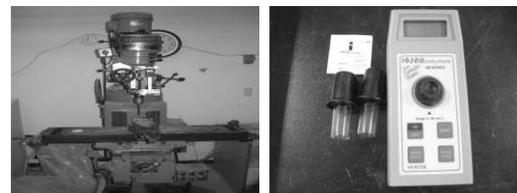
3.2.1 실험 개요

Fig. 4의 밀링머신을 이용하여 실험체의 중앙에서부터 1cm~6cm까지 1cm씩 걸쳐 시료를 10g씩 채취한 후 50ml 증류수에 용해시키고 중탕기(Water Bath)로 50°C에서 30분간 중탕시킨다. 50ml중 10ml를 비색계를 이용하여 아질산이온의 양을 측정하였다.

3.2.2 실험 방법 및 측정 항목

본 실험의 실험 인자 및 수준은 3.1.2와 같고 위치별 아질산이온농도의 측정 실험방법은 다음과 같다.

1) 밀링머신으로 실험체 중앙부부터 1cm씩 표준



(a) 밀링머신

(b) 비색계

Fig. 4 밀링머신과 비색계



Fig. 5 아질산이온량 측정 방법

망체 #100(0.15mm)를 통과하는 10g의 시료를 채취한다.

2) 50ml증류가 담긴 비커에 시료를 넣고 증탕기를 이용하여 50°C로 30분간 증탕시킨다.

3) 30분간 증탕시킨 시료 중 10ml를 비색계의 측정기에 넣은 후 아질산이온과 반응하여 갈색으로 변색하는 시약을 한 포 넣는다.

4) 3)의 측정기를 비색계에 넣고 아질산이온량을 측정한다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 방청제 침투 실험 결과 및 분석

실험체 높이 30cm중 아래에서부터 5, 10, 15, 20, 25cm지점에서 침투깊이를 평균하여 방청제 침투실험의 침투 깊이 측정 결과를 Table 4에 나타내었다.

각각의 실험 인자 및 수준으로 침투깊이를 측정 한 결과 기존의 수분침투 실험결과와 비슷한 경향을 보이는 것을 알 수 있었다. 즉, 물시멘트비가 높을수록, 압력이 클수록, 가압시간이 길수록 침투깊이가 더 깊은 것을 알 수 있었다.

Table 4 방청제 침투깊이 결과 & 초기 확산계수 선정

물시멘트비 (W/C)	압축강도 (MPa)	압력 (MPa)	가압시간 (h)	침투깊이 (mm)	초기 확산계수 β_0 (mm ² /s)	평균 초기 확산계수 (mm ² /s)
65	18.4	1	24	17	0.105	0.296
			48	41	0.469	
			96	24	0.141	
		1.5	24	47	0.415	
			48	39	0.251	
			96	56	0.397	
60	24.4	1	24	10	0.036	0.040
			48	12	0.040	
			96	12	0.035	
		1.5	24	15	0.042	
			48	16	0.042	
			96	19	0.046	
55	29.5	1	24	2	0.001	0.008
			48	3	0.003	
			96	5	0.006	
		1.5	24	6	0.007	
			48	9	0.013	
			96	11	0.015	

Table 4에 나타난 것처럼 방청제의 침투깊이는 물시멘트비가 55%이고 1MPa의 압력으로 24시간 가압했을 때 최저 2mm에서 물시멘트비가 65%이고 1.5MPa의 압력으로 96시간 가압했을 때 최고 56mm까지 침투되었다. 가압시간이 길어질수록 침투깊이가 깊어지지만 가압시간의 증가에 선형으로 비례하지는 않는 것을 알 수 있었다.

압력에 따른 방청제의 침투 깊이는 Fig. 7에 나타내었다. 압력이 증가할수록 침투 깊이는 더 깊게 나타났다으며 물시멘트비가 클수록 가압시간이 길수록 압력에 따른 침투 깊이의 차이가 더 크게 나타났다. 또한 물시멘트비가 높을수록 침투 깊이는 증가하였고 가압시간이 길어질수록 55%와 60%의 침투 깊이 차이보다 60%와 65%의 침투 깊이의 차이가 더 큰 것을 알 수 있었다. 또한 실험 변수(가압시간, 압력, 물시멘트비) 중에서 상대적으로 물시멘트비가 방청제의 침투 깊이에 가장 큰 영향을 주는 것으로 보

아 방청제의 침투 실험에서 물시멘트비가 가장 중요한 변수인 것을 알 수 있었다.

방청제 침투 실험 데이터를 침투확산류의 초기 확산계수를 산정하는 식 (2)에 대입하여 물시멘트별 초기 확산 계수를 구하여 Table 4에 나타내었다. 식 (2)를 식(4)로 변형시키면 물시멘트비별 평균 초기 확산계수를 이용하여 침투 깊이를 예측할 수 있다.

$$dm = \sqrt{\frac{4\beta_0^2 t \xi^2}{\alpha}} \quad (4)$$

여기서,

dm : 평균 침투 깊이, mm

β_0^2 : 초기 확산 계수, mm^2/s or $\times 10^{-6}m^2/s$

t : 가압 시간 s

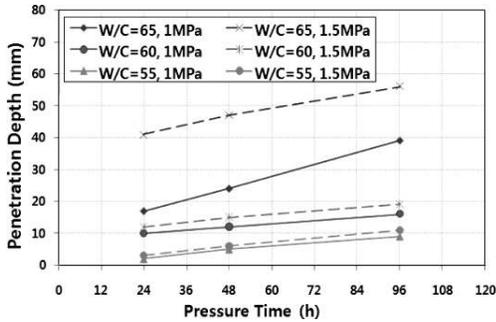


Fig. 6 가압시간에 따른 침투 깊이

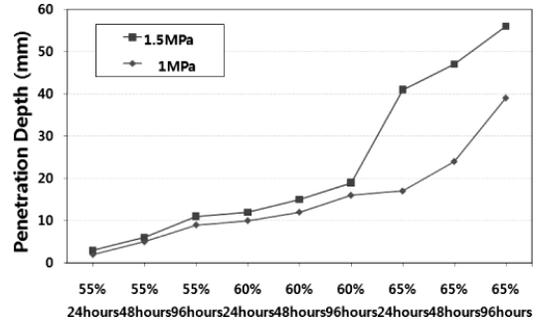


Fig. 7 압력에 따른 침투 깊이

Table 5 위치별 아질산이온량

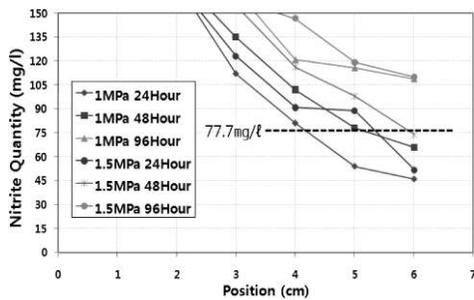
물시멘트비 (W/C)	압력 (MPa)	가압시간 (H)	아질산이온량 실험값 (mg/l) & 단위환산 값 (kg/m ³)											
			1cm		2cm		3cm		4cm		5cm		6cm	
65	1	24	150↑	1.8↑	150↑	1.8↑	112	1.34	81	0.97	54	0.65	46	0.55
		48	150↑	1.8↑	150↑	1.8↑	135	1.62	102	1.22	78	0.94	66	0.79
		96	150↑	1.8↑	150↑	1.8↑	150↑	1.8↑	121	1.45	116	1.39	109	1.31
	1.5	24	150↑	1.8↑	150↑	1.8↑	123	1.48	91	1.09	89	1.07	52	0.62
		48	150↑	1.8↑	150↑	1.8↑	150↑	1.8↑	116	1.39	98	1.18	74	0.89
		96	150↑	1.8↑	150↑	1.8↑	150↑	1.8↑	147	1.76	119	1.43	110	1.32
60	1	24	150↑	1.8↑	31	0.37	28	0.34	13	0.16	15	0.18	13	0.16
		48	150↑	1.8↑	34	0.41	24	0.29	18	0.22	17	0.20	0	0
		96	150↑	1.8↑	51	0.61	48	0.58	43	0.52	8	0.10	3	0.04
	1.5	24	150↑	1.8↑	95	1.14	16	0.19	15	0.18	7	0.09	8	0.10
		48	150↑	1.8↑	65	0.78	41	0.49	29	0.35	15	0.18	4	0.05
		96	150↑	1.8↑	133	1.60	89	1.07	58	0.70	46	0.55	18	0.22
55	1	24	98	1.176	71	0.85	57	0.68	21	0.25	10	0.12	7	0.09
		48	123	1.476	66	0.79	62	0.74	35	0.42	6	0.07	0	0
		96	150↑	1.8↑	111	1.33	61	0.73	42	0.50	23	0.28	0	0
	1.5	24	110	1.32	61	0.73	35	0.42	25	0.3	14	0.17	12	0.14
		48	125	1.5	48	0.58	38	0.456	29	0.35	22	0.26	2	0.24
		96	150↑	1.8↑	71	0.85	36	0.432	48	0.58	27	0.32	14	0.17

주) 150↑은 150이상, 1.8↑은 1.8이상의 값을 뜻함.

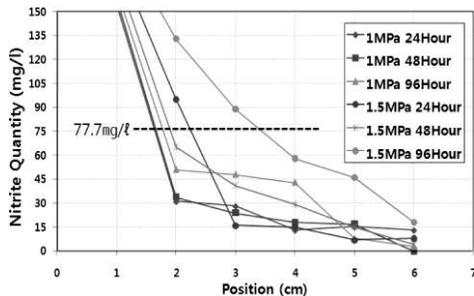
ξ : 수압의 계수
 α : 가압 시간의 보정 계수

4.2 아질산이온량 측정 결과 및 분석

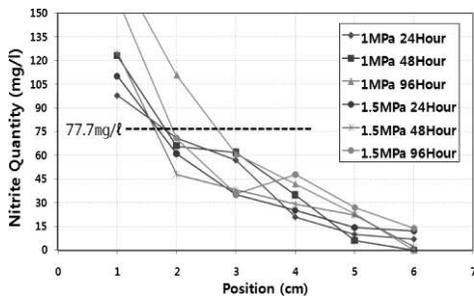
비색계를 이용하여 위치별로 측정된 아질산이온량을 Table 5에 나타내었다. Fig. 8에서 보듯이 위치별로 아질산이온량 측정된 결과 방청제 침투 실험과 같이 물시멘트비가 높고, 압력이 크고, 가압시간이 길수록 아질산이온량이 더 많이 검출되는 것으로 나



(a) w/c 65%



(b) w/c 60%



(c) w/c 55%

Fig. 8 위치별 아질산이온량

타났다.

방청제 침투 실험에서 방청제가 침투된 부분은 대부분 측정범위 150mg/ℓ를 초과하였고 침투가 되지 않은 부분에서도 아질산이온량이 측정되었으며 끝부분에서는 측정값이 0인 곳도 있었다.

이처럼 아질산이온은 방청제가 침투된 위치보다 약 20~30mm더 깊은 곳까지 침투 하는 것으로 보아 방청제의 침투깊이와 아질산이온의 침투깊이는 서로 상이하며 아질산이온이 더 깊게 침투하는 것을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 T.D.I 시약이 특정 농도 이상에서 반응하고, 1cm의 짧은 간격과 1cm의 굵은 밀링머신의 날로 인해 시료채취 중에 시료분말이 미세한 양 섞였을 뿐만 아니라 비색계의 오차 ($\pm 4\%$)가 기인했던 것으로 사료된다. 또한 방청제가 침투 하더라도 깊이 깊어질수록 아질산이온의 농도는 같지 않고 줄어든다는 것을 실험을 통해 알 수 있었다.

4.3 적정 아질산이온의 검토

방청제의 적절한 방청효과를 위해서는 기존의 연구에서도 알 수 있듯이 염화물이온과 아질산이온의 몰비 (NO_2^-/Cl^-)를 0.6 이상이 되어야 한다. 이에 따라 임계염화물이온량 1.2kg/m³일 때 철근위치에서 우수한 방청성능을 확보할 수 있는 몰비 0.6이 되는 아질산이온의 양을 χ_1 으로 하고 아질산이온의 몰수를 χ_2 라 하면 염화물이온의 분자량(35.5g/mol)과 아질산이온의 분자량(46g/mol)을 이용한 식 (5)와 (6)을 통하여 계산 할 수 있으며 계산 결과 몰수 (χ_2)는 20.28mol, 아질산이온의 양(χ_1) 0.932kg/m³임을 알 수 있다.

$$\frac{[NO_2^-]}{[Cl^-]} = \frac{\chi_1 kg \div 46g/mol}{1.2kg \div 35.5g/mol} = \frac{\chi_2 mol}{33.80mol} \quad (5)$$

$$0.6 = \frac{\chi_2 mol}{33.80mol} \rightarrow \chi_2 mol \times 46g/mol = \chi_1 \quad (6)$$

계산 값 0.932kg/m³를 실험조건을 고려해주고 단위를 환산하면 77mg/ℓ라는 것을 알 수 있다. 아

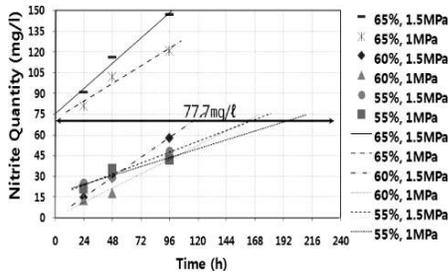


Fig. 9 4cm에서의 아질산이온량

Table 6 적정 가압시간

물시멘트비 (W/C)	압축강도 (MPa)	압력 (MPa)	4cm에서 물비 0.6이 되는 가압시간 (h)
65	18.4	1	12
		1.5	3
60	24.4	1	179
		1.5	129
55	29.5	1	222
		1.5	188

질산이온량 실험값 77mg/l 또는 단위환산 값 0.932 kg/m³를 넘는 Table 6의 음영부분에서 알 수 있듯이 물시멘트비 65%의 경우 대부분 필요한 아질산이온량을 초과해서 검출되었고 실제 건축구조물의 피복두께인 4cm 지점에서도 충분한 아질산이온의 양이 검출되는 것을 알 수 있었다.

4.4 아질산이온 침투량 예측

아질산이온 침투량 예측의 예로써 4cm에서의 아질산이온량 측정값을 통하여 Fig. 9의 4cm에서의 아질산이온량 그래프에서 추세선을 그어 각 변수별로 물비 0.6이 되는 가압시간을 예측한 결과 물시멘트비가 가장 높고(65%) 높은 압력(1.5MPa)을 가했을 때 최저3시간, 물시멘트비가 가장 낮고(55%) 낮은 압력(1MPa)을 가했을 때 최고 222시간으로 나타났다.

5. 결 론

본 연구에서는 콘크리트 내의 방청제 침투 실험

을 통하여 방청제의 침투 깊이를 측정하고 위치별로 고압 침투된 아질산이온의 양을 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 콘크리트내로 방청제 가압 침투 실험을 한 결과 물시멘트비 55%, 압력 1MPa, 24시간으로 가압했을 때 최저 2mm에서 물시멘트비 65%, 압력 1.5 MPa, 96시간으로 가압했을 때 최고 56mm까지 침투되는 것을 알 수 있었다.

2) 물시멘트비가 높을수록, 압력이 클수록, 가압시간이 길수록 방청제가 더 깊게 침투하는 것을 알 수 있었고, 그중에서도 물시멘트비의 영향을 크게 받는 것을 확인 할 수 있었다.

3) 침투확산류로 해석한 결과 물시멘트비에 따른 초기 확산계수를 산정하여 식(2)를 변형한 식 (4)를 통하여 특정 압력과 가압시간에 따른 방청제의 침투 깊이를 예측할 수 있었다.

4) 위치별 아질산이온량을 측정한 결과 깊이가 깊어질수록 아질산이온의 양은 줄어드는 것을 확인할 수 있었고 물시멘트비 65%의 실험체에서는 건축구조물의 피복두께 4cm위치뿐만 아니라 대부분의 위치에서 염화물이온과 아질산이온의 몰비(CI⁻/NO₂⁻)가 0.6이 되는 아질산이온량인 77.7mg/l를 초과하여 검출되었다.

5) 추세선을 그어 아질산이온량을 예측한 결과 77.7mg/l 이상의 아질산이온을 얻기 위해서 물시멘트비 65%, 1.5MPa일 때 최저 3시간, 물시멘트비 55%, 1MPa일 때 최고 222시간까지 적정 아질산이온량을 얻을 수 있는 가압시간을 예측할 수 있었으며 추후 많은 실험데이터를 모델링하여 각각의 변수에 따른 특정 아질산이온량을 얻을 수 있는 압력과 가압시간을 예측하는 연구가 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

이 연구는 과학기술부 우수연구센터육성사업인 한양대학교 친환경건축 연구센터의 지원과 건설교통부 건설핵심 기술연구개발사업인 콘크리트코리아 연구단의 지원에 의한 결과의 일부임.

참고문헌

1. 문병철, 이한승, 경제운, “내구성 향상을 위한 모르타르 응결시간 조절형 방청제 개발에 관한 실험적 연구”, 콘크리트학회 학술발표회논문집, Vol.19, No.2, 2007년 가을, pp. 517-520
2. 문한영, 김성수, “염화물을 함유한 콘크리트 중의 철근방식을 위한 방청제의 효과”, 콘크리트학회논문집, 제10권, 6호, 1998. 12, pp. 325-333
3. 문한영, 김성수, 김홍삼, 안기용, 콘크리트 중의 철근방식을 위한 방청제의 적용, 콘크리트학회 학술발표회논문집, Vol.11, No.2, 1999년 가을, pp. 751-754
4. 유조형, 이한승, 경제운, 박재승, “수압을 받는 콘크리트로의 수분침투 및 확산에 관한 연구”, 대한건축학회논문집, 제23권, 제9호(통권227호), 2007년 9월, pp. 143-150
5. 이한승, 안중문, 신성우, “아초산리튬 방청제의 철근방청 효과 평가 연구”, 한국구조물진단학회 학술발표논문집, 제6권, 2호(통권 10집), 2002 가을, pp. 339-342
6. 장중철, 송하원, 변근주, “실리카폼 혼입 콘크리트의 확산계수 및 투수계수의 미시학적 추정”, 콘크리트학회 학술발표회논문집, Vol.14, No.2, 2002년 가을, pp. 531-536
7. 村田二郎 著, “コンクリートの水密性とコンクリート構造の水密性設計”, 技報堂出版, 2002
8. “反應モデル解析研究委員會 報告書(I)-シメントコンクリートの反應モデル解析の現状と今後の展望” 日本コンクリート工學協會, 1996年 5月
9. “亞硝酸リチウム技術資料”, 日産化學工業(株)
10. Jiro, M., Yoshio, O., Shigeo K., and Yoshinari, I, “Study on Watertightness of Concrete”, ACI MATERIAL JOURNAL, Vol 101, Issue 2, March-April 2004, pp. 107-116
11. M. Ormellese, “Corrosion inhibitor for chlorides induced corrosion in reinforced concrete structure”, Concrete and Cement Research, vol.36, issue.3, March 2006, pp. 536-547

(접수일자 : 2009년 6월 15일)

(심사완료일자 : 2009년 7월 23일)