

## 혼화재를 사용한 모르타르 및 콘크리트의 염소이온 침투 저항성 평가

박정준<sup>1)\*</sup> · 김성욱<sup>1)</sup> · 고경택<sup>1)</sup> · 이종석<sup>1)</sup> · 이장화<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 한국건설기술연구원 구조연구부

(2003년 12월 20일 원고접수, 2004년 6월 30일 심사완료)

### A Method on the Rapid Assessment of Resistance to Chloride Ion Penetration for Mortar and Concrete with Mineral Admixtures

Jung-Jun Park<sup>1)\*</sup>, Sung-Wook Kim<sup>1)</sup>, Kyung-Taek Koh<sup>1)</sup>, Jong-Suk Lee<sup>1)</sup>, and Jang-Hwa Lee<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Dept. of Structure Research, Korea Institute of Construction Technology, Goyang, 411-714, Korea

(Received December 20, 2003, Accepted June 30, 2004)

#### ABSTRACT

In this study, ASTM C 1202 which is most commonly used for evaluating the penetration resistance into the concrete is reviewed. The test results by ASTM C 1202 showed that the passed charge could be underestimated as the OH<sup>-</sup> ion concentration in the concrete is lowered when the concrete is mixed with the admixtures. Therefore, the modified method using the distilled water was proposed in the paper.

According to the test results, the modified method is not susceptible to OH<sup>-</sup> ion and temperature rise. In addition, the long term emersion test for the concrete mixed with the admixtures in the NaCl solution showed that the chloride diffusion coefficient tested by the modified method have higher correlation compared to the conventional ASTM method.

**Keywords :** admixtures, chloride ion, charge passed, penetration

## 1. 서 론

콘크리트는 경제적이고 내구성이 우수하여 건설 재료로 가장 광범위하게 사용되고 있으며, 해안구조물 축조에도 상당히 많이 이용되고 있다. 특히 해안환경 하에 놓여진 철근콘크리트 구조물은 염소이온 침투에 대한 영향을 많이 받으며 염소이온 농도가 일정량 이상 초과하게 되면 콘크리트 내부의 철근이 부식하게 된다<sup>1-5)</sup>. 이들 염소이온에 의한 철근부식을 방지하기 위한 대책으로는 도장이나 수지철근의 사용에 따른 철근자체의 내구성을 확보하는 것과 콘크리트 품질을 개선하는 것으로 나눌 수 있다.

콘크리트의 품질개선을 위한 방법으로 물-시멘트비의 감소, 콘크리트 덮개의 증가, 광물질 혼화재의 사용 등을 예로 들 수 있다. 특히 광물질 혼화재 사용은 수밀성과 내구성 향상에 효과적인 것으로 보고되고 있으나 이를 콘크리트에 사용한 경우 염소이온의 확산 특성을 규명할 보다 체계적인 연구가 필요한 실정에 있다<sup>6)</sup>. 염해에 관한 내구성 평가에 있어 콘크리트 내의 염소이온의 이동과 확산계수

를 평가하는 것은 매우 중요하다<sup>7)</sup>.

일반적으로 염소이온의 확산계수를 평가는 다음과 같이 두 가지를 많이 사용한다<sup>7)</sup>. 첫 번째 방법은 확산 셀 장치를 이용하여 염소이온농도의 변화를 측정하여 Fick의 제 1법칙을 사용한 확산계수를 계산하는 것이다. 두 번째 방법은 NaCl 용액 또는 해수에 공시체를 침지시켜 염소이온의 농도분포를 측정하여 Fick의 제 2법칙을 이용하는 것이다. 그러나 이 방법들은 비교적 정확하게 확산계수를 추정할 수 있는 장점이 있으나 시험기간이 장시간 소요되는 문제점이 있다.

최근에는 전기적 방법을 이용한 촉진실험을 통해 단시간에 평가하기 위한 연구들<sup>8-12)</sup>이 진행되고 있다. 콘크리트의 염소이온에 대한 저항성을 평가하기 위한 전기적 촉진 시험방법 가운데 대표적인 방법으로는 ASTM C 1202<sup>13)</sup>(이하 ASTM방법)을 들 수 있다. 이 실험방법은 염소이온침투에 따른 콘크리트 저항성을 평가하여 품질등급을 부여하는 방법으로 콘크리트의 염소이온저항성 평가에 많이 사용되고 있다. 또한 ASTM 방법으로 보다 정확한 평가를 내리기 위해서는 장기침지 실험과의 상관성 검토가 반드시 필요하다<sup>4)</sup>. ASTM 방법을 혼화재를 사용한 콘크리트에 적용할 경우 2절에 서술한 것처럼 염소이온침투저항

\* Corresponding author

Tel : 031-910-0714 Fax : 031-910-0715

E-mail : jjpark@kict.re.kr

성 평가에 오류를 범할 수 있으므로 이에 대한 문제점을 검토할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 혼화재로서 플라이애쉬, 고로슬래그미분말, 실리카폼을 사용한 모르타르 및 콘크리트의 염소이온 침투저항성을 보다 정확하게 평가하기 위해서 ASTM 방법을 보정하는 방법에 대하여 검토하였다.

## 2. ASTM C 1202의 문제점 및 보정방법

### 2.1 문제점

ASTM 방법은 Cl<sup>-</sup>이온침투에 대한 콘크리트의 저항성을 평가하는 것이지만, 시험시 가해지는 전압 때문에 Fig. 1에 나타난 것처럼 콘크리트 공극 내에 존재하는 이온들의 이동을 활발하게 하므로 이온 전도성의 영향을 고려하여야 한다. 즉, 전기축진 시험시 발생하는 콘크리트의 전도성과 셀전류는 Cl<sup>-</sup>이온뿐만 아니라 Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, OH<sup>-</sup> 등과 같은 이온들의 영향을 받게 된다. 이러한 이온들 중에서도 OH<sup>-</sup>(전도성: 0.1980Ω<sup>-1</sup>·m<sup>2</sup>)은 Cl<sup>-</sup>(0.007523Ω<sup>-1</sup>·m<sup>2</sup>), Na<sup>+</sup>(0.005011Ω<sup>-1</sup>·m<sup>2</sup>), K<sup>+</sup>(0.007352Ω<sup>-1</sup>·m<sup>2</sup>), SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>(0.00798 Ω<sup>-1</sup>·m<sup>2</sup>), Ca<sup>2+</sup>(0.005950Ω<sup>-1</sup>·m<sup>2</sup>) 등과 같은 이온들보다 전류의 흐름에 더 큰 영향을 줄 수 있다<sup>4)</sup>.

한편 ASTM 시험을 실시하는 동안 Fig. 1에 나타난 바와 같이 60V의 비교적 높은 전압에 의해 챔버 내의 온도 상승하기도 하고, 콘크리트의 상태에 따라서 용액의 끓

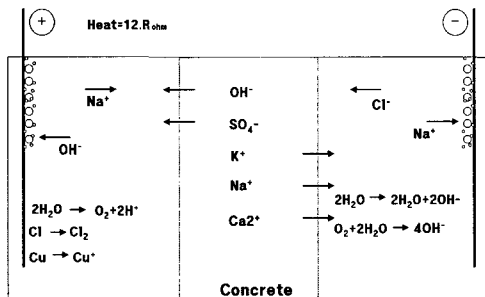


Fig. 1 Processes occurring during an electrical test<sup>8)</sup>

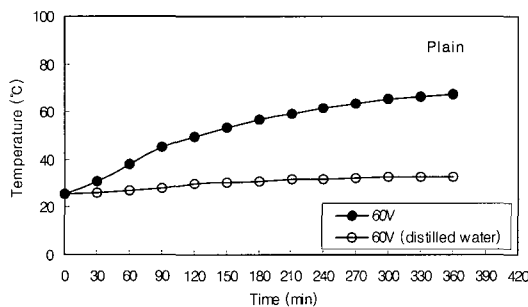


Fig. 2 Variation of temperature

는점에 근접하기도 한다<sup>9)</sup>. 이러한 온도의 상승은 각기 다른 화학성분을 가진 콘크리트 공극 용액의 전류흐름에 영향을 주어 결국 통과전하량에 영향을 미치게 된다. 특히 콘크리트에 광물질 혼화재를 치환하여 사용한 경우, 포졸란반응에 의해 콘크리트내의 OH<sup>-</sup>이온 농도가 저하된다.<sup>4)</sup> 또한 치환율이 증가할수록 ASTM 방법에 따른 콘크리트의 염소이온저항성 평가시 통과전하량이 낮게 평가될 수 있기 때문에 통과전하량이 낮게 평가된 결과만으로 단순히 콘크리트의 대한 공극구조가 치밀해 염소이온침투저항성이 높다고는 할 수 없다. 즉, 혼화재를 사용한 콘크리트의 염소이온 침투저항성을 ASTM 방법만으로 정확하게 평가할 수 없다고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 광물질 혼화재를 사용한 콘크리트의 염소이온저항성을 ASTM C 1202 방법으로 정확하게 평가하기 위해서 콘크리트 공극에 존재하는 OH<sup>-</sup>이온 등의 화학성분에 의해 야기되는 영향을 배제시키는 방안을 검토하였다.

### 2.2 보정방법

ASTM 방법은 2.1절에서 지적한 바와 같이 혼화재를 사용한 콘크리트의 경우에는 화학성분과 온도상승에 의한 영향이 상당히 포함되어 있다. 그리고 본 연구에서는 이러한 영향을 배제시키기 위해서 ASTM 방법에 사용되는 NaOH와 NaCl 용액 대신에 증류수를 사용하였다. 보정방법은 먼저 ASTM 방법을 통해 통과전하량을 산출한 후 동일조건외의 시편을 이용하여 챔버 내에 증류수를 주입하여 ASTM 방법과 동일한 절차를 통해 통과전하량을 구하였다. 이때 통과전하량은 식 (1)로 하였다.

$$MOD_T = CP_{ASTM} - CP_{WATER} \quad (1)$$

여기서, MOD<sub>T</sub> : 보정방법 절차에 따른 통과전하량

CP<sub>ASTM</sub> : ASTM에서 제시한 용액을 사용하여 산출한 통과전하량

CP<sub>WATER</sub> : 증류수를 사용하여 구한 통과전하량

한편, Fig. 3에 ASTM방법의 전하량을 보정하는 개념도를 나타내었다. Fig. 3에서 증류수를 주입한 것은 초기에 전류값이 증가하다가 2시간이 지난 시점에서 일정하게 나타내고 있다. 이러한 전류변화의 양상은 공극구조와 공극 용액의 전도성을 포함한 콘크리트의 고유특성을 나타내는 것으로 볼 수 있다. 이는 증류수에는 화학성분이 전혀 포함되어 있지 않으므로 콘크리트의 고유특성을 평가할 수 있을 뿐만 아니라 또한 Fig 2에서와 같이 온도상승에 의한 문제도 거의 발생하지 않는다. 따라서 ASTM 방법에 의한 통과전하량에 증류수 시험방법에 의한 통과전하량을 빼주면, 콘크리트 본래의 염소이온침투저항성을 보다 정확하게 평가할 수 있다.

**Table 1** Physical and chemical properties of cement and mineral admixtures

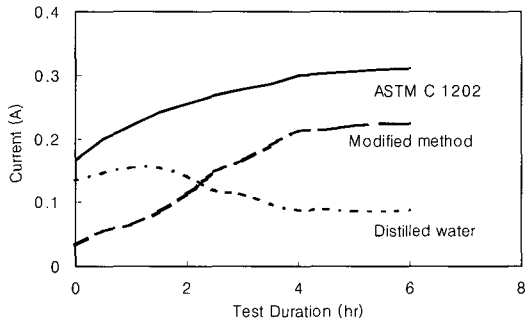
Type Item	Surface area (cm <sup>2</sup> /g)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Ig.loss (%)	Chemical composition (%)		
				MgO	SO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
OPC	3333	3.14	1.40	2.8	2.3	-
Fly ash	3618	2.13	3.82	-	-	55.93
Slag	4530	2.80	0.10	4.9	0.3	-
S. fume	240000	2.10	1.50	0.1	-	96.00

**Table 2** Physical properties of aggregate

Type Item	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Absorption (%)	F.M	Unit weight (t/m <sup>3</sup> )	Abrasion (%)
Sand	2.60	1.27	2.64	1.537	-
Gravel	2.68	0.45	6.69	1.560	16.8

**Table 3** Mix proportion of concrete

Series	Item	Admixtures replacement ratio (%)	G <sub>max</sub> (mm)	Slump (cm)	Air (%)	W/(C+B) (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )				
								C	B	W	S	G
Plain		0	19	8±2	2±1	55	45	350.0	0	192.5	791.4	997.0
F 15	Fly-ash	15						297.5	52.5	192.5	782.0	985.2
F 30		30						245.0	105.0	192.5	772.7	973.5
F 45		45						192.5	157.5	192.5	763.4	961.7
BS30		Slag						30	245.0	105.0	192.5	788.0
BS50	50							175.0	175.0	192.5	785.8	989.9
BS70	70							105.0	245.0	192.5	783.5	987.1
SF 5	Silica Fume	5						332.5	17.5	192.5	788.1	992.9
SF10		10						315.0	35.0	192.5	784.9	988.9
SF20		20						280.0	70.0	192.5	778.4	980.6



**Fig. 3** Concept of modified ASTM C 1202

이상을 정리하면 ASTM 방법의 목적은 염소이온 침투에 대한 콘크리트의 저항성을 평가하는 실험이지만 혼화재를 사용한 콘크리트에 적용할 경우 OH<sup>-</sup>이온 농도가 변화하므로 평가의 정확성이 낮아질 수 있다. 따라서 증류수 시험을 통하여 시험체 고유특성을 평가하여 콘크리트 공극내의 OH<sup>-</sup>이온에 의해 야기되는 간섭효과를 배제시켜준다면 염소이온 침투에 대한 콘크리트의 저항성을 보다 정확히 평가할 수 있을 것으로 판단된다.

### 3. 시험개요

#### 3.1 사용재료 및 배합

##### 3.1.1 시멘트 및 혼화재

본 실험에 사용한 시멘트는 보통 포틀랜드시멘트이고 혼화재는 플라이애쉬, 고로슬래그미분말, 실리카폼을 사용하였으며 이들의 물리·화학적 성질은 Table 1과 같다.

##### 3.1.2 골재

잔골재는 강모래를 입도 조절하여 사용하였고, 굵은골재는 부순돌로써 최대치수 19mm의 골재를 사용하였으며, 그 특성은 Table 2와 같다.

##### 3.1.3 배합

콘크리트 배합은 Table 3과 같이 단위시멘트량 350 kg/m<sup>3</sup>, 물-시멘트비 55%, 잔골재를 45%로 고정하여 슬럼프가 8±2cm를 만족하도록 감수제 양을 조절하였다. 이때 모르타르는 제조된 콘크리트에 대해 No. 4체로 체가름 하여 사용하였다.

### 3.2 실험방법

본 연구에서 제시한 보정방법의 적합성을 검토하기 위하여 혼화재를 사용한 모르타르와 콘크리트의 ASTM 방법 및 보정방법에 따른 통과전하량과 장기침지 실험을 통해 구해진 확산계수와 비교하였다.

#### 3.2.1 ASTM C 1202

통과전하량을 측정하기 위한 실험은 ASTM C 1202 “Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete’s Ability to Resist Chloride Ion Penetration” 에 준하여 실시하였다. 먼저  $\phi 100 \times 200$  mm의 시험체를 에폭시수지로 측면을 도포하고  $\phi 100 \times 50$  mm의 크기로 중앙부위를 절단하여 시험 전 시험체를 18시간 이상 증류수에 수침시켜 완전히 포화가 되도록 하였다. 이후, Fig. 4와 같은 시험장치에 고정시키고 (-)극에는 3% NaCl, (+)극에는 0.3N NaOH의 용액을 주입하여 6시간 동안 60V DC를 가하여 30분마다 전압을 Data Logger로 측정하였다.

#### 3.2.2 모르타르의 염소이온확산실험

모르타르의 염소이온확산실험<sup>14)</sup>은 Fig. 5와 같은 확산셀 장치를 이용하였다. 콘크리트의 석회성분이 유출되지 않도록 포화된 수산화칼슘용액을 양쪽 셀에 넣고 한쪽에는 NaCl 3% 용액을 넣어 염소이온의 확산을 평가하였다. 시편은  $200 \times 200 \times 5$  mm의 크기로 제작하고 28일 수중양생 후 실험장치에 고정하여 시험기간에 따른 침투된 염분의 농도를 측정 후 식 (2)로 확산계수  $D$ 를 구하였다.

$$D = \frac{V \Delta Q}{A \Delta t} \times \frac{L}{C_1 - C_2} \quad (2)$$

여기서,  $\Delta Q$  : cell 2에서 염소이온의 증가량 ( $\text{kg/m}^3$ )

$\Delta t$  : 측정시간 간격 (s)

$A$  : 실험용액에 노출된 시험편의 면적 ( $\text{m}^2$ )

$L$  : 시험편의 두께 (m)

$V$  : cell 2의 용적 ( $\text{m}^3$ )

$C_1$  : cell 1에서의 염소이온량 ( $\text{kg/m}^3$ )

$C_2$  : cell 2에서 염소이온량 ( $\text{kg/m}^3$ )

#### 3.2.3 콘크리트의 염소이온함유량 측정

$200 \times 200 \times 200$  mm의 정육면체 콘크리트 공시체를 제작하여 1일 후 탈형하고, 28일간 수중양생한 후에 염소이온의 일방향 침투를 유도하기 위해 5개면을 에폭시수지 실링하고 NaCl 3% 농도의 수용액에 침지시켜 침지재령에 따라 깊이별 가용성 염소이온함유량을 측정하였다. 측정방법은 콘크리트 표면으로부터 15 mm 간격으로 시료 40g을 채취한 후 일본 콘크리트공학협회 표준(안)[경화 콘크리트

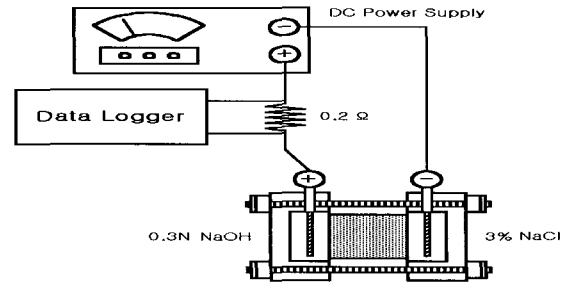


Fig. 4 ASTM C 1202 Test

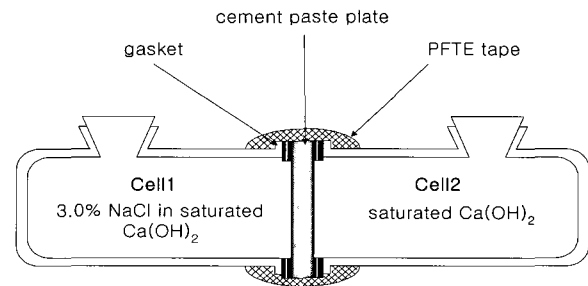


Fig. 5 Configuration of diffusion cell for mortar

중의 염분량 측정방법)에 준하여 염소이온을 추출한 다음 이온전극법을 이용하여 콘크리트 표면으로부터의 깊이별 염소이온함유량을 측정하였다<sup>6)</sup>. 염소이온확산계수는 Fick의 제 2법칙<sup>6)</sup>에 의해 유도된 다음 식 (3)를 이용하여 구하였다.

$$C_{(x,t)} = C_0 \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) \right] \quad (3)$$

여기서,  $C(x, t)$  : 콘크리트 표면에  $C_0$ 의 염화물 농도가 존재할 때, 재령  $t$  에서 콘크리트 표면으로부터  $x$ cm 깊이에서의 염소이온 농도 ( $\text{kg/m}^3$ )

$t$  : 경과시간(sec),  $\operatorname{erf}$  : 오차함수

$C_0$  : 표면의 염소이온농도 ( $\text{kg/m}^3$ )

$x$  : 콘크리트 표면으로부터의 거리 (cm)

$D$  : 염소이온확산계수 ( $\text{cm}^2/\text{sec}$ )

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 통과전하량 및 침지실험 비교

Fig. 6, 7은 모르타르와 콘크리트의 ASTM 방법 및 보정방법에 구해진 통과전하량과 장기침지를 통해 구해진 염소이온확산계수를 구한 결과이다. 그림에서 ASTM과 MOD는 각각 ASTM 방법과 변형방법에 의해 통과전하량을,  $D$ 는 각 재령에 대한 확산계수를 나타낸 것이다.

플라이애쉬를 사용한 경우, 장기침지 실험으로부터 구한 모르타르와 콘크리트의 확산계수는 치환율 30%까지는 치환율이 높을수록 확산계수가 낮아졌고 그 이상의 치환율에서는 다시 확산계수가 높아졌다. 그러나 ASTM방법에 의하면 플라이애쉬 치환율이 증가함에 따라 통과전하량이 낮아져 침지실험과 일치하지 않는 결과를 나타내었다. 이것은 플라이애쉬를 사용한 경우 콘크리트 또는 모르타르의 OH 이온농도가 낮아지므로 통과전하량이 낮게 평가되기 때문이다. 한편, 증류수 시험방법에 의해서 보정한 통과전하량은 침지실험을 통해 구해진 확산계수와 마찬가지로 치환율 30%까지는 염소이온침투저항성이 향상되었고 그 이상의 치환율에서는 염소이온침투저항성이 저하되는 경향을 나타내었다.

고로슬래그 미분말을 사용한 모르타르와 콘크리트의 경우에는 플라이애쉬를 사용한 경우와 비슷한 경향을 나타내었으나, BS70의 경우 측정된 통과전하량과 장기 침지실험에 의한 염소이온 확산계수와와의 관계가 상이하게 나타내었다. 이는 혼화제의 치환율이 높아 상대적으로 OH 이온의 농도가 다른 시험체에 비해 낮아져 ASTM 방법으로 인한 평가 시 통과전하량이 상당히 낮게 평가되어 이들을 증류수 시험방법에 의해 보정을 실시하여도 정확히 평가하지 못하는 문제점이 있고 향후 ASTM 방법 시험 시 사용전압을 낮추는 등의 방법에 대해 검토 할 예정이다. 실리카폼을 사용한 모르타르와 콘크리트에 사용한 경우 치환율 20%까지는 ASTM 방법이나 보정방법 모두 치환율이 증가함에 따라 통과전하량이 감소하는 것으로 나타났다. 이는

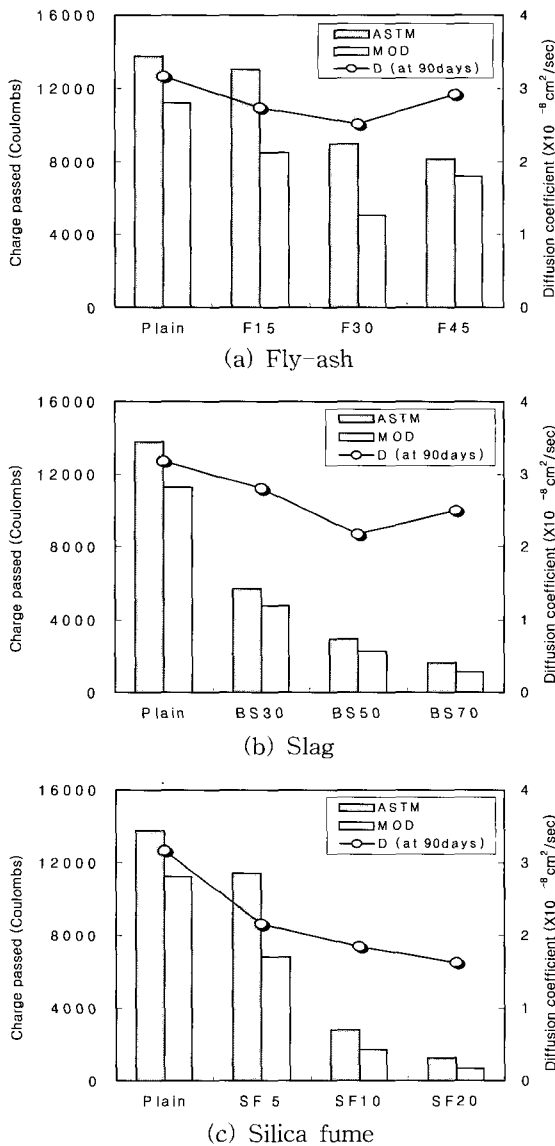


Fig. 6 Comparison of total charge passed and chloride diffusion coefficient in Mortar

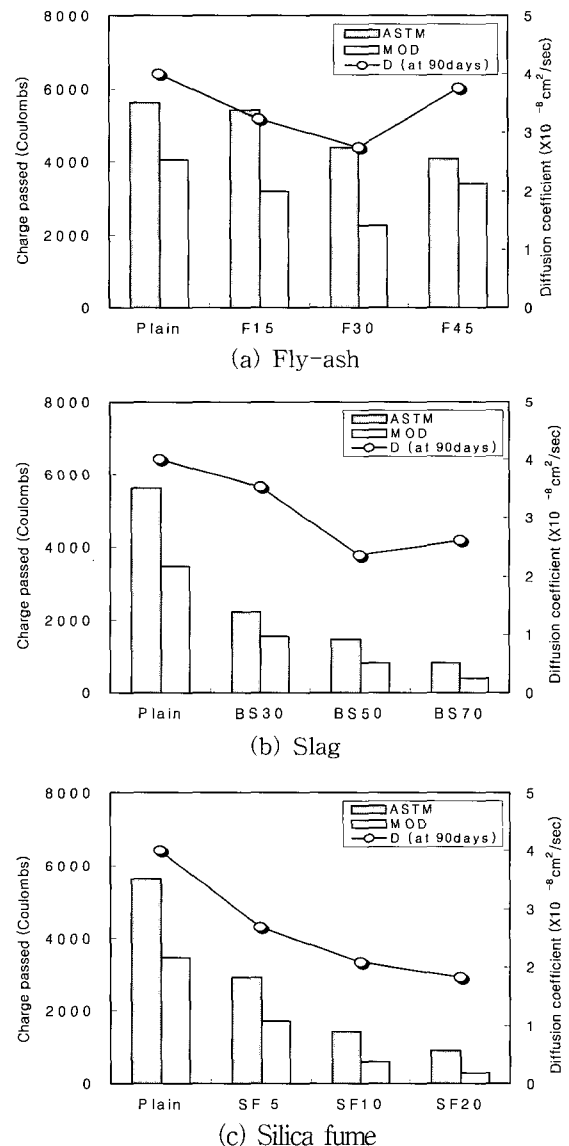


Fig. 7 Comparison of total charge passed and chloride diffusion coefficient in concrete

실리카폼의 포졸란반응이 빨리 진행되어<sup>15)</sup> 콘크리트내의 OH<sup>-</sup>이온이 상대적으로 많이 소비되어 전기촉진시험시 전류흐름에 미치는 영향이 작기 때문에 사료된다. 이에 실리카 폼을 사용한 콘크리트는 일반적인 치환율 범위에서는 ASTM 방법과 염소이온확산계수와와의 관계와 일치하는 경향을 나타내어 보정방법을 거치지 않고도 염소이온 침투 저항성에 관한 평가가 가능할 것으로 보여진다.

이상을 정리하면 보정방법을 혼화재를 사용한 콘크리트에 적용하였을 경우 BS 70의 경우 혼화재의 치환율이 높은 경우를 제외하고는 염소이온 침투저항성을 적절히 평가할 수 있음을 알 수 있었다.

#### 4.2. 보정방법의 적합성 검토

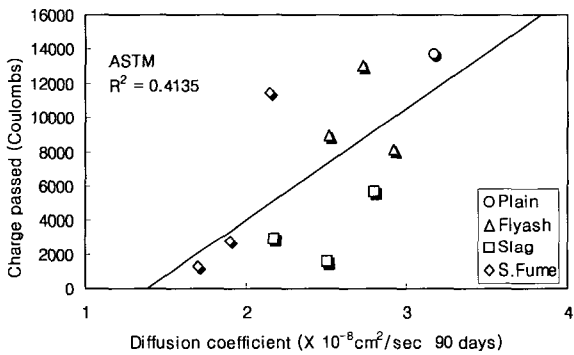
Fig. 8~11은 증류수에 의한 보정방법의 적합성을 검토하기 위해 장기 침지실험을 통해 구해진 모르타르 및 콘크리트확산계수와 ASTM 및 보정방법에 의해 구해진 통과전하량과의 관계를 검토한 결과이다.

ASTM 방법만으로 구한 통과전하량과 침지실험을 통해 구한 확산계수와와의 관계는 모르타르 및 콘크리트에 관계

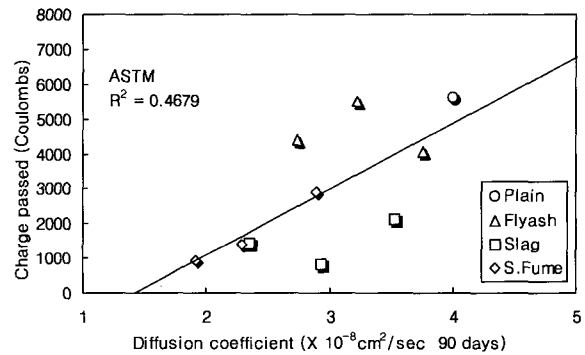
없이 상관성이 거의 없는 것으로 나타났다. 이에 반해 증류수에 의해서 보정된 통과전하량과 확산계수와와의 관계는 상관계수가 ASTM 방법보다 높게 나타났다.

재령 90일의 모르타르 염화물 확산계수와 ASTM 방법을 통해 구해진 통과전하량과의 상관계수가 0.41에서 증류수 시험을 통해 보정함으로써 상관관계가 0.60으로 상대적으로 높게 나타나 본 연구에서 제안한 보정방법이 혼화재를 사용한 모르타르의 염소이온의 저항성을 ASTM 방법보다 적절히 평가함을 알 수 있다.

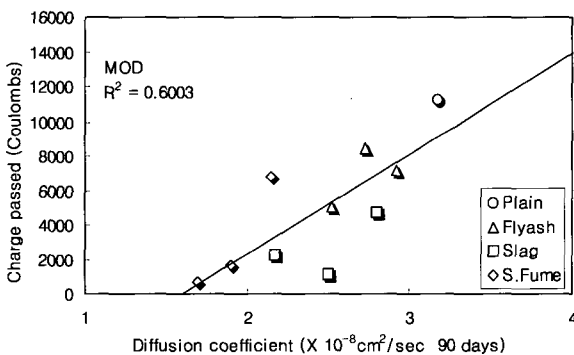
콘크리트인 경우도 모르타르와 마찬가지로 침지재령에 상관없이 ASTM방법 보다 보정방법이 통과전하량과 확산계수의 상관계수가 높은 것으로 나타났다. NaCl 3% 용액에 90일 동안 침지한 콘크리트 확산계수와 통과전하량과의 상관계수는 0.46이나 보정함으로써 상관계수는 0.72로 높아졌다. 침지재령 180일에서의 콘크리트 확산계수와 통과전하량과의 상관계수는 ASTM 방법에서 0.49, 보정방법에서 0.73, 침지재령 1년에서의 콘크리트 확산계수와 통과전하량과의 상관계수는 ASTM 방법에서 0.50, 보정방법에서 0.75로 나타나, 보정방법은 침지시험 재령이 증가하여도 콘크리트 확산계수와와의 상관계수 0.7이상의 비슷한 값



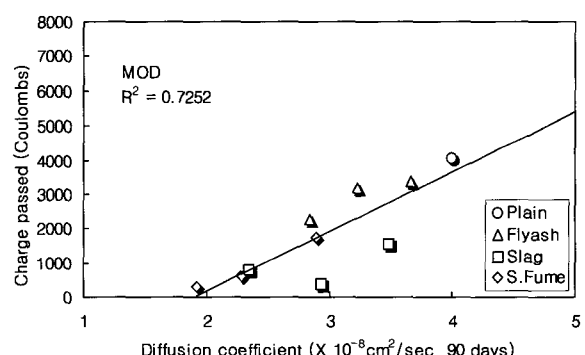
(a) ASTM



(a) ASTM



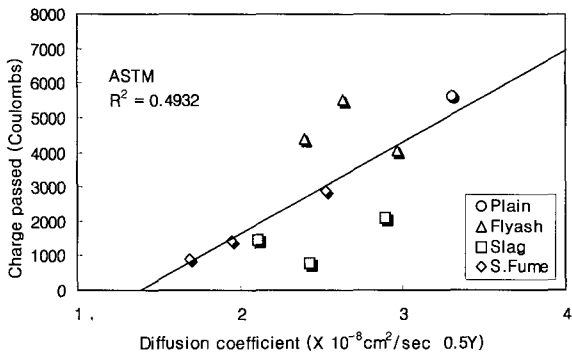
(b) Modified method



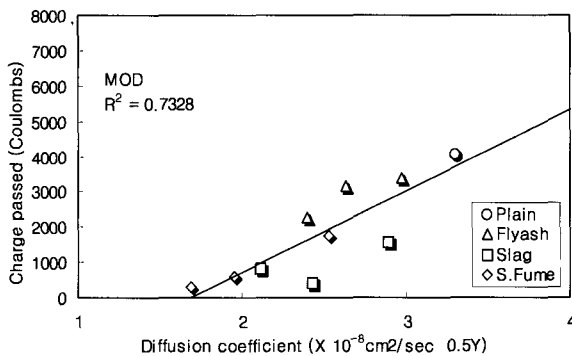
(b) Modified method

Fig. 8 Relationship of total charge passed according to before and after of modification and chloride diffusion coefficient in mortar at test age 90days

Fig. 9 Relationship of total charge passed according to before and after of modification and chloride diffusion coefficient in concrete at test age 90days



(a) ASTM



(b) Modified method

**Fig. 10** Relationship of total charge passed according to before and after of modification and chloride diffusion coefficient in concrete at test age 0.5 year

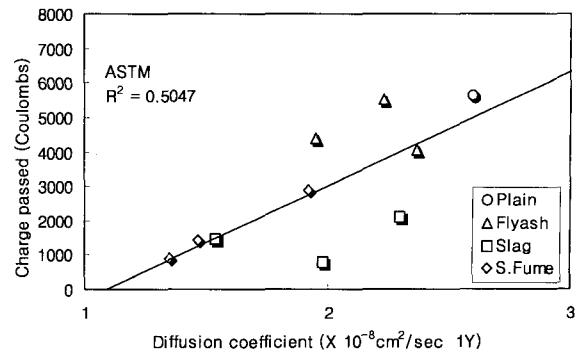
으로 나타났다. 따라서 이는 보정방법을 통해서 혼화재를 사용한 콘크리트의 염소이온에 대한 저항성을 단기간에 평가할 수 있는 가능성을 보여주는 결과라 보여진다.

이상과 같이 혼화재를 사용한 모르타르 및 콘크리트에 대해 증류수 시험을 통한 통과전하량의 보정방법은 ASTM 방법에 의한 통과전하량과 비교할 때 염소이온에 대한 콘크리트의 저항성을 비교적 정확하게 평가할 수 있는 방법이라고 사료된다. 따라서, 혼화재를 사용한 콘크리트의 염소이온 침투저항성을 ASTM 방법으로 평가할 경우에는 본 연구와 같은 방법으로 OH<sup>-</sup>이온과 온도상승에 의한 영향을 배제시켜야 할 필요가 있는 것으로 판단된다.

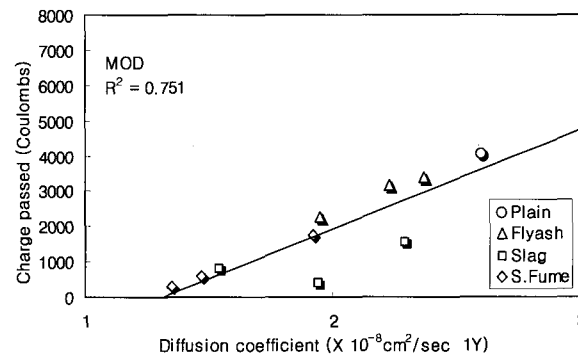
## 5. 결 론

본 연구에서는 얻어진 결과는 다음과 같다.

- 1) ASTM C 1202 방법으로 혼화재를 사용한 콘크리트의 염소이온침투저항성을 평가할 경우 ASTM 방법만으로



(a) ASTM



(b) Modified method

**Fig. 11** Relationship of total charge passed according to before and after of modification and chloride diffusion coefficient in concrete at test age 1 year

는 OH<sup>-</sup>농도의 저하와 온도상승으로 인해서 통과전하량이 낮게 평가된다는 문제점을 지적하였다.

- 2) ASTM 방법에 사용되는 NaOH와 NaCl 용액 대신에 화학성분이 전혀 포함되지 않는 증류수를 사용하여 OH<sup>-</sup> 농도 저하와 온도상승의 영향을 배제시키는 방안을 검토한 결과, ASTM 방법만으로 구해진 통과전하량과 장기 침투시험으로 구해진 확산계수와와의 관계는 상관성이 낮았으나, 증류수 시험을 통한 보정방법으로 구해진 통과전하량과의 관계는 상관성이 상당히 높은 것으로 나타났다.
- 3) 혼화재를 사용한 콘크리트의 염소이온 침투저항성을 ASTM 방법으로 평가할 경우에는 본 연구와 같은 방법으로 OH<sup>-</sup>이온과 온도상승에 의한 영향을 배제시켜야 할 필요가 있는 것으로 판단된다.

향후 본 연구와 관련하여 사용전압의 조절 및 다양한 콘크리트의 품질변화에 따른 데이터 축적을 통하여 콘크리트의 염소이온 침투 저항성 평가표를 작성할 필요가 있다.

## 참고문헌

1. 박정준, 고경택, 김도겸, 김성욱, 하진규, "혼화제를 혼합한 콘크리트의 염화물 고정화에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 13권 2호, 2001, pp.787~792.
2. 박정준, 김성욱, 이종석, 김도겸, 하진규, "혼화제를 사용한 콘크리트의 염화물 침투 저항성 평가방법에 대한 연구", 2001년도 대한토목학회 정기 학술대회, 2001.
3. 김성욱, 박정준, 김도겸, 하진규, "플라이애쉬를 사용한 콘크리트의 염화물 저항성 촉진시험 방법에 관한 검토", 한국구조물진단학회 봄학술발표회 논문집, 6권 1호, 2002, pp.235~238.
4. Caijun Shi, Julia A. Stegemann, and Robert J. Caldwell, "Effect of Supplementary Cementing Materials on the Specific Conductivity of Pore Solution and its Implications on the Rapid Chloride Permeability Test (AASHTO T277 and ASTM C1202) Results," *ACI Material Journal*, Vol.95, No.4, July-August 1998, pp.389~394.
5. Stéphanie Charvin, "Influence of Possolanic Admixtures on Concrete Pore Water pH, Chloride Diffusion and Chloride Binding", A Thesis of Master of science, Florida Atlantic Univ., 1999.
6. 박승범, 김도겸, "콘크리트 중의 염소이온 확산 특성에 관한 실험적 연구", 콘크리트학회 논문집, 12권 1호, 2000, pp.33~44.
7. Nobuaki Otsuki, Makoto Hisada, Takayuki Otani, and Toshio Maruyama, "Theoretical Evaluation of Diffusion Coefficient of Chloride Ion in Mortar from Mobility," *ACI Material Journal*, Vol.96, No.6, 1999, pp.627~633.
8. C. Andrade, "Calculation of Chloride Diffusion Coefficients in Concrete from ionic migration measurements," *Cement and Concrete Research*, Vol.23, 1993, pp.724~742.
9. Tang Luping and Lars-Olof Nilsson, "Rapid Determination of the Chloride Diffusivity in Concrete by Applying an Electrical Field," *ACI Materials Journal*, Vol.89, No.1, 1992, pp.49~53.
10. Tiewei Zhang and Odd E. Gjorv, "An Electro-Chemical Method for Accelerate of testing of Chloride Diffusivity in Concrete," *Cement and Concrete Research*, Vol.24, No.8, 1994, pp.1534~1548.
11. R.K. Dhir, M.R. Jones, H.E.H Ahmed, and A.M.G. Seneviratne, "Rapid estimation of chloride diffusion coefficient in concrete," *Magazine of Concrete Research*, No.152, 1990, pp.177~185.
12. 문한영, 김홍삼, 이승태, 정호섭, 최두선, "콘크리트 중의 염화물 확산평가를 위한 전기화학적 촉진시험법", 한국콘크리트학회 가을학술발표회논문집, 12권 2호, 2000, pp.409~412.
13. ASTM C 1202-97, "Standard Test Method for Electrical Indication Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration," ASTM, USA, 1997.
14. Roy, D.M., Kumar, A., and Rhodes, J.P., "Diffusion of Chloride Ions in Hardened Cement Pastes," *Cement and Concrete Research*, Vol.11, No.3, 1981, pp.395~406.
15. 문한영, 김성수, 류재석. "염분환경하에 있는 모르타 및 콘크리트 중의 염분 확산에 대한 연구", 콘크리트 학회논문집, 7권 2호, 1995. 3, pp.283~292.

---

## 요 약

본 논문에서는 콘크리트의 염소이온에 대한 저항성을 평가하기 위한 대표적인 전기적 촉진시험인 ASTM C 1202방법을 혼화제를 사용한 콘크리트에 적용하면 콘크리트내의 OH<sup>-</sup>농도의 저하에 따른 영향으로 통과전하량을 낮게 평가할 수 있다는 문제점을 지적하고 이에 해결방안으로 증류수를 사용하는 보정방법을 검토하였다.

실험결과 보정방법 사용시 OH<sup>-</sup>이온과 온도상승에 의한 영향을 배제시킬 수 있었고 NaCl 용액에 장기침지실험을 통해 구한 염화물 확산계수와의 비교시 ASTM C 1202 방법보다 상관성이 높게 나타나 혼화제를 사용한 콘크리트의 염소이온 침투저항성을 보다 정확하게 평가할 수 있는 방법이라 사료된다.

**핵심용어** : 혼화제, 염소이온, 확산, 통과전하량

---