

# 레디믹스트 콘크리트의 설계기준 압축강도별 염소이온 확산특성

## The Chloride Ion Diffusivity of Ready-Mixed Concrete Depending on Specified Compressive Strength

박 동 천<sup>1\*</sup>

김 용 로<sup>2</sup>

Park, Dong-Cheon<sup>1\*</sup>

Kim, Yong-Ro<sup>2</sup>

*Professor, Department of Architecture and Ocean Space, Korea Maritime and Ocean University, YongDo-Gu, Busan, 49112, Korea <sup>1</sup>*

*Deputy Head of Department, Technology Research & Development Institute, Daelim, Industrial, Jongno-Gu, Seoul, 03152, Korea <sup>2</sup>*

### Abstract

The RC buildings which are constructed on the seaside are followed by KBC(2016) to achieve the minimization of durability damage. To control the corrosion of the reinforcing steel bar by salt attack, W/C should be under 0.4 and specified concrete strength is higher than 35MPa in the concrete/building construction standard specification. Even though it has been proved that the concrete mixed with mineral admixture such as blast furnace slag and fly ash etc. have high strength and durability in previous researches, the beneficial informations are not applied to the codes. Ready-mixed concretes which usually include the admixtures in Busan were tested to certify the salt attack durability. In the same specified concrete strength, remarkable salt attack durability was evaluated in comparison to OPC. For economical and reliable durability design, chloride ion diffusivity should be measured before applying to new building construction.

Keywords : ready mixed concrete, specified concrete strength, chloride ion diffusion, durability design

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 목적

우리나라에서는 해안지역에 구축되는 구조물의 경우 구조물 설계단계에서 [건축구조기준(2016) 0504.5장 내구성 설계기준과 0505.4 최소피복두께][1]에 맞춰 해안지역에 건설되는 건축물의 피해를 최소화하도록 하고 있으며 건축공사 표준시방서, 콘크리트 표준시방서 및 콘크리트 구조설계 기준에서도 구조물의 내구성을 만족하기 위한 기준을 마련하고

있다. 특히 염해와 관련해서는 각 기준에서 [제빙화학제, 염분, 소금물, 바닷물에 노출되거나 이런류들이 살포된 콘크리트의 철근부식 방지를 위하여 최대 물-결합재비 및 콘크리트 최소설계기준압축강도를 W/B=0.40이하, 최소설계기준 압축강도 35MPa로 규정하고 있는 것을 확인할 수 있다.

하지만 기존의 진행되어 온 연구사례에 따르면 고로슬래그와 플라이애시 등의 혼화재료를 분체로 치환한 콘크리트가 염해저항성이 충분히 높은 것으로 알려져 있으나[2,3,4,5] 아직 기존의 규정에서는 염해조건에 대한 물-결합재비와 압축강도에 대한 기준만 있을 뿐 혼화재료 치환 배합에 대한 규정은 부족한 실정이다. 그로 인해 많은 건설공사에 있어서 실제 소요되는 최소설계기준압축강도 이상의 콘크리트를 타설하게 되어 경제적인 측면이나 환경적인 측면에서 과도한 설계가 이뤄지고 있는 실정이다. 따라서 구조물에 필요한 설계기준압축강도 내에서 내구연한을 만족하는 최적

Received : August 30, 2018

Revision received : October 15, 2018

Accepted : October 15, 2018

\* Corresponding author : Park, Dong-Cheon

[Tel: 82-51-959-9443, E-mail: dcpark@kmou.ac.kr]

©2018 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

배합설계를 실시하는 것이 현실적으로 시급한 부분이라 사료된다.

Table 1. The replacement ratio of BFS

Company	BFS replacement ratio(%)				Average (%)
	25-21-150	25-24-150	25-27-150	25-35-150	
MR	38.22	38.1	38.18	38.08	38.1
DY	9.9	9.83	9.9	9.84	9.9
SS	29.42	29.43	29.55	29.47	29.5
BI	29.12	29.16	29.16	29.16	29.2
BS	29.09	29.15	29.12	29.14	29.1

이러한 배경 하에 본 연구에서는 해안도시에 건설하는 건축물의 콘크리트 배합에 있어 혼화제의 적절한 사용을 통하여 염해내구성에 대한 건축구조기준을 만족시키는 경제적인 결과를 도출하고자 하였다. 설계기준압축강도별로 부산시내 레미콘사의 배합설계를 분석하였으며 대표되는 3사에서 시험체를 제작하였다. 동시에 염소이온 차폐성의 비교를 위하여 OPC와 슬래그시멘트(SC)만을 이용한 콘크리트 시편도 제작하였으며 동일 조건에서 양생하여 평가를 실시하였다. 도출된 염화물이온 확산계수를 이용한 염해 내구설계를 실시하여 각 배합별 차염성의 차이가 어느 정도 기대수명에 영향을 미치는지 분석하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 부산지역 레미콘 배합분석

부산지역의 5개 업체를 선정하여 각 설계기준압축강도별(21, 24, 27, 35(MPa)) 배합을 요청하여 분석하였다. Table 1은 각사별 OPC에 대한 고로슬래그의 치환율을 정리한 것으로 9.9~38.1%까지 치환하는 것으로 파악되었으며 그중 3개사는 30%정도 수준에서 치환하고 있었다. 본 실험에서는 고로슬래그의 치환율이 가장 낮은 DY사, 그리고 30% 수준인 BS사, 가장 치환율이 높은 MR사를 시험체 제작업체로 선정하여 실험을 진행하였다.

### 2.2 실험계획

Table 2는 본 연구에서 진행된 일련의 실험수준과 실험인자를 정리한 것이다. 배합은 슬래그 혼입량을 고려하여 부산 시내 레미콘 3개사를 비롯, 비교용으로 OPC, 슬래그 시멘트(SC)만을 이용한 배합을 추가하여 실험계획을 세웠다.

Table 2. Concrete mixture and experiment

Mixture	Specimens	20	<ul style="list-style-type: none"> <li>3 Remicon Company, Slag Cement(SC), OPC</li> <li>Specified concrete strength : 21, 24, 27, 35 (MPa)</li> </ul>
	Target Slump(mm)	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>150±25</li> </ul>
	Target Air contents(%)	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>4.5±1.5</li> </ul>
Experiment	Fresh Concrete	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Slump Value, Air Content</li> </ul>
	Hardened Concrete	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Compressive Strength (25d,91d)</li> <li>Chloride Ion Diffusion Coefficient(25d, 91d)</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>Chloride Ion Penetration Depth (25d, 91d)</li> </ul>

### 2.3 사용재료

시멘트는 1종 보통 포틀랜드 시멘트가 사용되었고 고로슬래그시멘트는 2종을 사용하였다. 골재는 국내산 부순 잔골재와 세척사를 혼합하여 사용하였고 굵은골재는 국내산 25mm 부순골재를 사용하였다. 혼화제는 고성능 AE 감수제 표준형으로 폴리카르복실산계를 사용하였다.

### 2.4 실험방법

#### 2.4.1 굳지않은 콘크리트

굳지 않은 콘크리트 시공성 평가를 위해 슬럼프 시험을 KS F 2402에 준하여 실시하였다. 공기량 시험은 KS F 2421에 준하여 측정하였다.

#### 2.4.2 경화콘크리트

##### 1) 압축강도

압축강도 시험은 재령 28일, 91일에 KS F 2405 규정에 준하여 실시하였다.

##### 2) 염해 저항성 평가

콘크리트의 염분 확산성을 평가하기 위해 국내에서는 [KS F 2711(2012)의 전기전도도에 의한 콘크리트의 염소이온 침투저항성 시험]과 북유럽 규정인 [NT BUILD 492]의 두 가지 방법이 주로 이용되고 있으나 본 실험에서는 정량 평가법으로 많이 사용되고 있는 [NT BUILD 492]법과 해수 침지 시험에 의한 침투깊이 측정을 통하여 평가하였다. 염화물이온 침투깊이 시험은 시험체 타설 후 재령 28일간 수중 양생한 콘크리트 시편을 해수에 침지하여 재령 91일경에 절단하여 염화물이온 침투깊이를 질산은을 이용하여 측정하였

다. 따라서 해수침지 기간은 63일째 측정된 값이다.

## 2.5 콘크리트 구조물의 내구수명 예측

염해환경에서 철근콘크리트 건축물을 건설할 경우 염해에 대한 열화외력의 정도에 따라 구조체 및 부재가 설계 내용년의 기간 내에서는 설계한계상태에 도달하지 않을 것을 또 유지관리 계획이 있을 경우 유지관리 기간 내에는 유지관리 한계에 도달하지 않을 것을 전제로 재료, 배합, 공법을 선정하고 유지관리 계획을 작성할 필요가 있다. 본 연구에서는 FEM해석을 이용하여 깊이별 농도 경시변화를 산출하였다. 콘크리트 구조물의 염해 내구성 평가는 한국콘크리트학회, 콘크리트 표준시방서 해설(2009)에 따라 진행하였다.

### 2.5.1 최대 표면 염화물이온 농도( $C_0$ )

비례염분량의 측정값이 있을 경우 콘크리트 표면부의 염화물이온량은 연간 비례염분량에 침투비율 및 정상상태에서의 할증, 폭로개시 1년간의 염화물이온 침투깊이(m)를 고려하여 산정하였다[6].

### 2.5.2 철근부식 임계염화물이온 농도( $C_{lim}$ )

일반적으로 철근위치에서의 염화물이온 강재부식 발생임계 농도는 콘크리트 단위 용적당  $0.3\sim 1.2\text{kg/m}^3$  정도이며 이 값은 구조물이 위치한 환경조건 및 강재부식 허용량 등의 조건에 따라 달라진다. 예를 들어 미리 염화물을 혼입한 시험체에 의한 촉진시험에서는  $0.3\sim 0.6\text{kg/m}^3$  정도이며 실환경의 폭로시험에서는  $1.2\sim 2.4\text{kg/m}^3$  정도로 되어 있다. 여기서는 구조물로서 문제가 되는 레벨의 철근부식발생이라는 관점에서  $1.2\text{kg/m}^3$ 을 발청임계값으로 하였다[7].

## 3. 실험결과

### 3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

#### 3.1.1 슬럼프

Figure 1은 설계기준 압축강도별 레미콘 업체 각사의 그리고 비교용 시험체인 OPC, SC 배합의 슬럼프값을 정리한 것이다. 본 연구에 사용된 모든 배합의 목표 슬럼프값은  $150\pm 25\text{mm}$  로  $125\sim 175\text{mm}$ 의 범위이면 시공성의 목표값을 만족하게 되어 모든 배합에서 목표값을 만족하는 조건

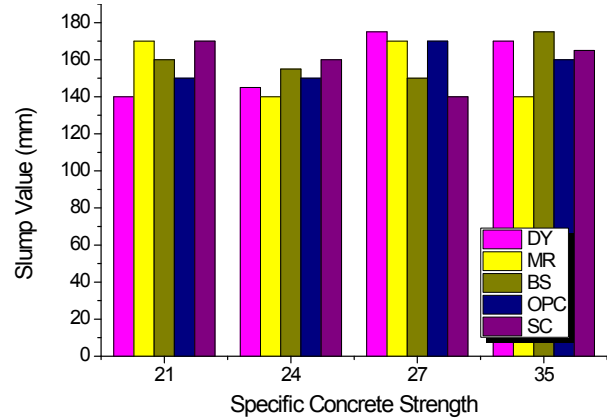


Figure 1. Slump value by specific concrete strength

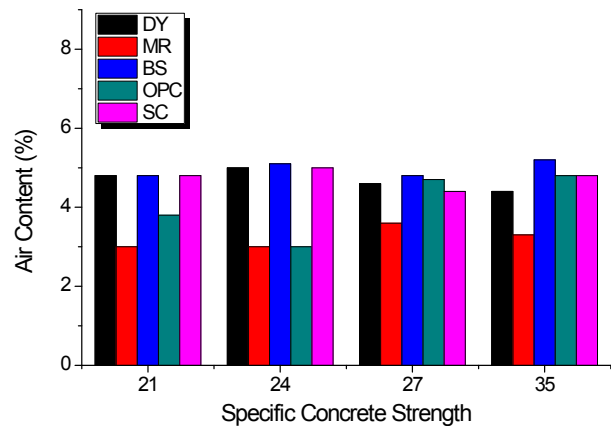


Figure 2. Air content by specific concrete strength

에서 시편을 제작하였다.

#### 3.1.2 공기량

Figure 2는 설계기준 압축강도별 레미콘 업체 각사의 그리고 비교용 시험체인 OPC, SC의 공기량을 나타낸 결과이며 목표값은  $4.5\pm 1.5\%$ 로 MR사의 배합에서 상대적으로 다소 낮은 값을 나타내었지만 전 배합에 걸쳐 목표값을 만족하는 배합으로 시험체를 제작하였다.

### 3.2 경화 콘크리트

#### 3.2.1 압축강도

Figure 3에 본 연구에 사용된 시험체의 압축강도를 설계기준 압축강도와 비교하여 정리하였다. 압축강도는 재령 28일과 91일에 측정하였다. 설계기준 압축강도에 비해 DY사가 상대적으로 높은 압축강도를 나타내었으며 OPC의 경우 설계기준 압축강도 21MPa의 경우 32.5MPa의 값을, 설계

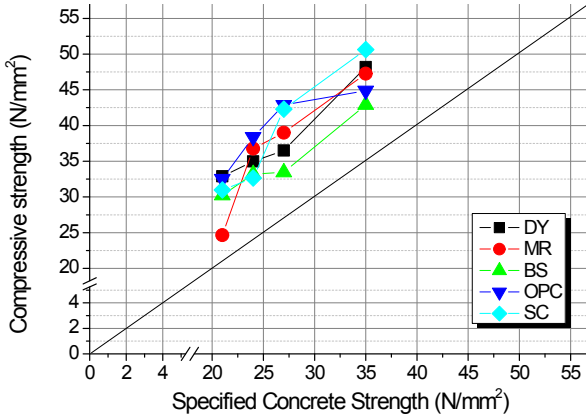


Figure 3. Compressive strength(28d) and specific concrete strength

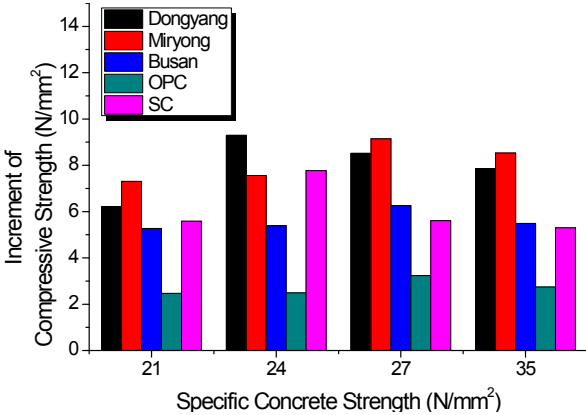


Figure 4. Increase of compressive strength from 28d to 91d

기준 압축강도 35MPa의 경우 44.9MPa 정도의 값을 나타내어 SC의 31, 50.6과 비교하여 고강도일수록 다소 낮아지는 경향을 나타내었다.

전반적으로 28일 강도에서 설계기준 압축강도대비 약 142% 정도로 초과하였으며 91일에서는 무려 165% 수준을 나타내었다. 본 연구에 사용된 시험체들은 각 레미콘사의 시험실에서 제작된 시편으로 안전률 확보를 위한 환경 및 강도표준편차를 감안한 증가분을 고려한다 하더라도 상당히 높은 값을 나타내었다. Figure 4는 재령 28일에서 91일로 경과되는 동안의 강도증가분을 정리한 것으로 DY사는 평균 8.0MPa, MR사는 8.1MPa, BS사는 5.6MPa의 증가를 나타내었으나 OPC의 경우 2.7MPa에 불과했다. 이는 레미콘 3사의 경우 고로슬래그 및 플라이애시가 상당부분 치환된 상태이지만 OPC의 경우 혼화재의 치환이 없어 상대적으로 장기강도 증가가 낮게 나왔다고 사료된다. 고로슬래그만 약 50% 치환된 SC의 경우에는 약 6.1MPa의 강도증가를 나타내었다.

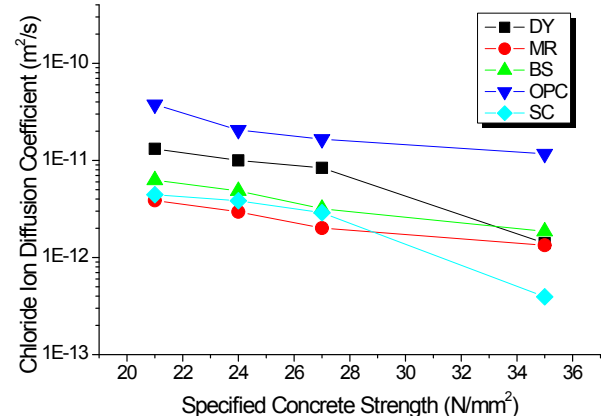
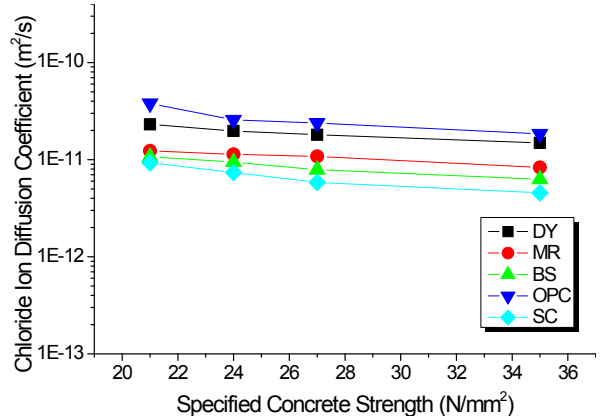


Figure 5. Chloride ion diffusion coefficient by specific concrete strength (28d, 91d)

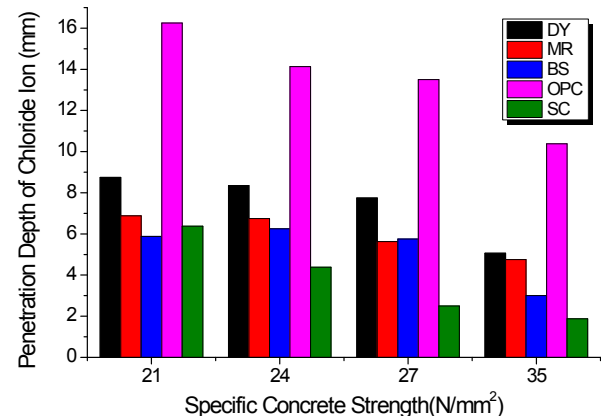


Figure 6. Penetration depth of chloride ion (91d)

### 3.2.2 염화물이온 확산계수

Figure 5와 Figure 6에 각 설계기준 압축강도별 28일과 91일의 염화물 확산계수를 정리하여 나타내었다. NT BUILD 492의 비정상 전기영동법에 준하여 측정된 염화물 이온 이동계수는 엄격하게는 겉보기 확산계수와 차이가 있지만 통상 측정에 소요되는 시간적 문제 등을 감안하여 본 방법이 많은 연구에 실적이 있는 점을 감안하여 본 연구에서도 이 값을 이용하여 분석하였다.

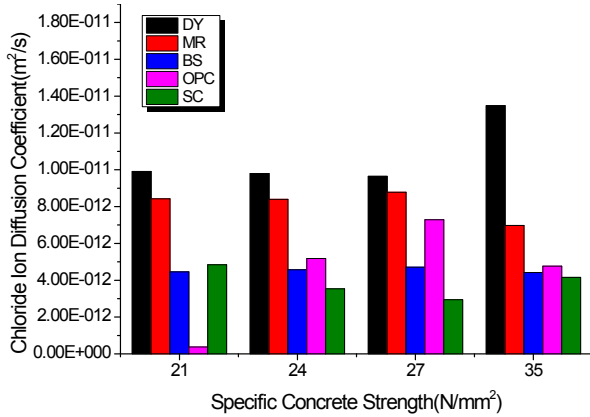


Figure 7. Changes of chloride ion diffusion coefficient from 28d to 91d

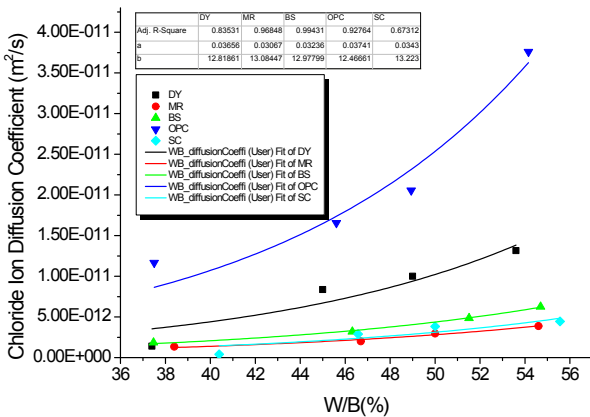


Figure 8. Relationship between chloride ion diffusion coefficient and W/B

겉보기 염화물이온 확산계수로 표현할 경우 그 범위라 대략  $10^{-7} \sim 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$ 라 알려져 있으며 본 실험에서도 SC 35의  $3.94 \times 10^{-9} \text{cm}^2/\text{s}$ 를 제외한 모든 배합에서 상기의 범위에 들어가는 것으로 평가되었다. 압축강도가 증가할수록 염화물이온 확산계수는 감소하는 경향이었으며 OPC의 확산계수가 모든 재령에서 타 배합조건에 비해 높게 평가되었다. 다음으로 DY사, MR사, BS사, SC의 순으로 확산계수가 낮게 나왔다. 이러한 경향은 다소 편차가 있음에도 불구하고 91일에도 유사하였다.

### 3.2.3 염화물이온 침투깊이

Figure 7은 염화물이온의 침투깊이를 질산은을 이용하여 측정한 결과이다. 고로슬래그와 플라이애시의 혼화재 치환이 있는 레미콘 3사와 SC의 경우 평균값으로 볼 때 설계기준 압축강도 21MPa에서 6.97mm, 24MPa에서 6.43mm, 27MPa에서 5.40mm, 35MPa에서 3.67mm의 값을 나타

내었으나 OPC의 경우 각각 16.25, 14.13, 13.5, 10.38 (mm)의 값을 보여 상대적으로 상당히 깊게 침투하였다. 이는 혼화재 치환에 따른 공극구조의 치밀화에 기인한 결과라 사료된다. 혼화재의 치환 시험체중에서는 SC가 가장 침투깊이가 작았다.

## 4. 실험결과 분석

### 4.1 염화물이온 확산계수의 경시변화

Figure 7은 염화물이온 확산계수 감소 경시변화 감소를 정리한 그래프이다. 레미콘 3사와 SC의 설계기준 압축강도 21MPa에서 재령 28일에  $9.27 \times 10^{-12} \sim 2.31 \times 10^{-11} \text{m}^2/\text{s}$ 의 범위였으며 재령 91일에  $1.32 \times 10^{-11} \sim 3.88 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ 의 범위였으나 OPC는 각각  $3.80 \times 10^{-11} \text{m}^2/\text{s}$ ,  $3.76 \times 10^{-11} \text{m}^2/\text{s}$ 의 값으로 상대적으로 높은 값을 나타내었다. 이러한 경향은 설계기준 압축강도가 증가하더라도 같은 경향을 나타내었다.

혼화재 치환이 없는 OPC에서도 다소 큰 값으로 확산계수가 저하한 것은 28일 확산계수 절대값 자체가 높으며 그만큼 확산계수도 상당량 감소한 것으로 나타났을 뿐 그 자체가 혼화재를 치환한 타배합의 콘크리트보다 더욱 치밀해진 것은 아니라 사료된다.

### 4.2 염화물이온 확산계수와 물분체비(W/B)의 관계

염화물이온의 확산계수와 물분체비의 관계를 Figure 8에 나타내었다[6]. 동일 물분체비에 대하여 OPC의 배합이 상당히 높은 확산계수를 보였으며 다음은 DY사였다. 타배합의 경우 비교적 낮은 값에서 유사한 경향을 나타내었다. 회귀분석 결과 상관성이 상당히 높았으며 물분체비 만으로도 시멘트의 종류 및 레미콘 업체별 확산계수를 추측할 수 있을 것으로 기대된다.

### 4.3 염화물이온 확산계수와 압축강도의 상관관계

Figure 9은 압축강도와 염화물이온 확산계수의 관계를 나타낸 것으로 일차함수 선형회귀 분석으로 상관성을 나타낼 수 있었으며 상관성을 나타내는  $R^2$ 값이 DY사에서 0.99, MR사에서 0.94, BS사에서 0.76, OPC에서 0.91, SC에서 0.93으로 전반적으로 상당히 높은 상관성을 확인할 수 있었다. 이러한 상관성은 Figure 9의 물분체비와 염화물이온

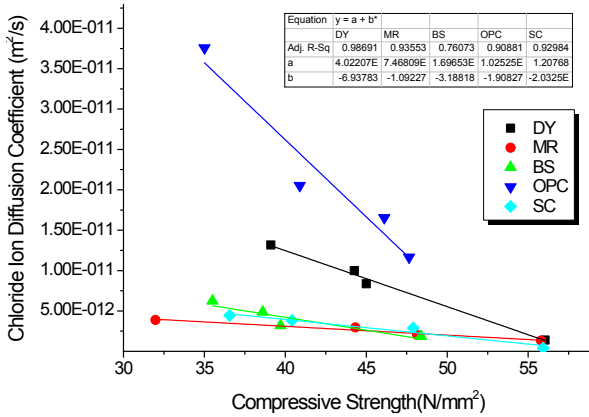


Figure 9. Relationship between chloride ion diffusion coefficient and specified concrete strength

Table 3. Apparent chloride ion diffusion coefficient used in durability design

Types	Apparent Chloride Ion Diffusion Coefficient (m <sup>2</sup> /s)
OPC35	3.046×10 <sup>-12</sup>
OPC27	6.505×10 <sup>-12</sup>
DY27	9.203×10 <sup>-13</sup>
MR27	2.613×10 <sup>-13</sup>
BS27	4.309×10 <sup>-13</sup>
SC27	3.613×10 <sup>-13</sup>

확산계수의 상관성보다 상당히 높은 값이며 배합재료 자체가 3성분계까지 복잡해지면서 수화반응 속도와 정도에 차이가 발생하여 물분체비 자체보다 공극구조 치밀도와 상관성이 높아진 결과라 사료된다.

염화물이온 확산계수 측정값으로만 본다면 OPC에서 가장 낮은 값을 나타낸 OPC35의 확산계수가  $1.17 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ 로 DY21( $1.32 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ )이외의 모든 배합보다 높은 값이었으며 염해저항성 확보는 건축구조기준의 최소설계 기준강도 이하에서도 충분히 확보 가능할 수 있을 것으로 판단되었다.

따라서 본 연구의 결과에 한정하여 보더라도 해안 인접지역의 구조물 구축에 있어서 염해와 관련된 내구성설계 측면에서는 건축구조기준의 강도기준의 규정보다 낮은 강도에서도 혼화재의 혼합과 배합적 고려가 있다면 충분히 염해저항성을 확보할 수 있을 것이라 기대된다.

## 5. 염해 내구설계

### 5.1 건축물 설계조건

해안에서 건축물까지 차폐물 없이 거리 50m지점에 위치

하는 노출콘크리트 (피복두께 : 50mm)에 대하여 소요 내용년수 50년을 상정한 염해내구 설계를 실시하였다. 시멘트는 OPC와 슬래그 시멘트를 사용하였고 초기 염화물이온량 ( $C_{init}$ )은  $0.2 \text{ kg}/\text{m}^3$ 로 상정하였다.

### 5.2 실효염화물이온 확산계수와 겉보기 염화물이온 확산계수

전기영동법으로 구한 염화물이온 확산계수는 실효확산계수로 실제 폭로 또는 침지를 통해 구한 겉보기 확산계수와는 상이한 값일 수 있다. 김홍삼의 연구에 의하면 실구조물 또는 농도차 확산시험에서 구한 염화물이온 확산계수가 대략  $1 \sim 10 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$  정도의 값으로 보고되고 있으며 정상상태 확산계수 추정결과나 통과전류에 수율을 고려한 경우는 현실적으로 유사한 값을 나타내어 타당한 것으로 밝혀졌으나[8] 본 연구에서 사용된 NT BUILD 492, 즉 Tang's method[9]는 물리적으로 이상적인 모델임에도 불구하고 0.1N의 AgNO<sub>3</sub>용액으로 판별할 수 있는 염화물이온의 농도가 Tang의 가정과 다르다는 점 및 염화물이온의 고정화 효과 등에 의한 원인에 기인하여 그 값의 차이를 나타내며 겉보기 확산계수로 환산하여 해석에 적용하였다[10].

### 5.3 염화물이온 침투 깊이 및 철근위치에서의 농도추정

콘크리트 표면의 염화물이온 농도 ( $C_0$ )는 비례염분량 측정값 5 mdd를 식 1에 적용하면  $a=0.1$ ,  $b=2.0$ ,  $L=0.01 \text{ m}$ 로 되기 때문에  $C_0 = 2.22 \text{ kg}/\text{m}^3$ 를 이용하였다. 콘크리트 초기 염화물이온량( $C_{init}$ )을  $0.2 \text{ kg}/\text{m}^3$ 으로 가정하였으며 염화물이온 겉보기 확산계수( $D_p$ )는 Table 3과 같이 실효확산계수에서 환산용 계수를 감안하여 구한 겉보기 확산계수를 이용하였다.

$$C_0 = a \cdot b \cdot C_y / L \quad \text{-----} \quad (1)$$

여기서,  $C_y$ : 년간 비례염분량 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$a$ : 콘크리트에 침투하는 비율

$b$ : 정상상태의 할증

$L$ : 폭로개시 1년간의 염화물이온 침투깊이 (m)

### 5.4 염해 내구성 해석결과

발청 임계염화물이온 농도를  $1.032 \text{ kg}/\text{m}^3$  ( $1.2 \text{ kg}/\text{m}^3$ 에 염해에 대한 내구성 감소계수 0.86을 적용)으로 하였을 경우

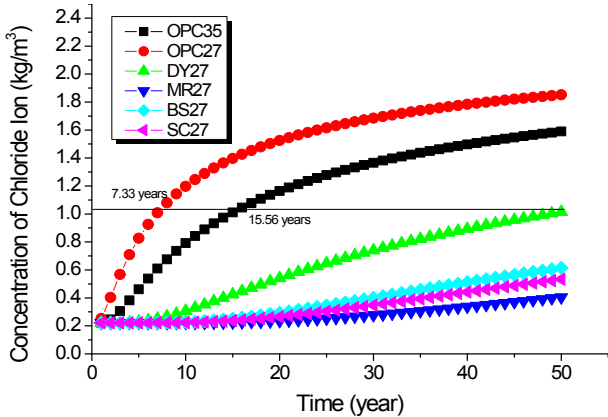


Figure 10. Chloride ion condensation at concrete depth 50mm

OPC35는 15.56년, OPC27의 경우 7.33년이 경과하는 시점에서 발청하는 것으로 예측되었다. 건축구조 기준의 해안 인접지역 상부층에 해당될 수 있는 “낮은 투수성이 요구되고 수분과 접촉되는 경우”의 강도기준인 27MPa에서는 혼화재를 치환한 3개의 레미콘사와 SC의 배합에서는 DY사가 다소 높은 농도를 나타내었으나 모든 경우에 대하여 50년이 경과하더라도 부식이 일어나지 않는 것으로 추정되었으며 이는 혼화재료의 치환에 따른 차염성의 향상에 기인한 것으로 사료된다.

결과적으로 Figure 10의 염화물이온 확산계수 측정결과를 통해서도 알 수 있듯이 DY사 21MPa이외에는 모든 배합에서 OPC 35의 차염성을 능가하고 있어 해안지역 콘크리트 배합에 있어 혼화재료를 치환함으로써 장기 염해 내구성 확보에 충분한 효과를 거둘 수 있을 것으로 기대되었다.

## 6. 결론

- 1) 압축강도는 설계기준 압축강도를 4수준 모든 배합에서 재령 28일에 설계기준 압축강도를 상회하여 강도기준을 만족시켰다. 고로슬래그와 플라이애시가 치환된 레미콘 3사와 SC의 경우 재령 91일에 이르기까지 장기 압축강도 증가가 OPC의 경우에 비하여 탁월하였다.
- 2) 염화물이온 확산계수는 혼화재를 치환한 경우 재령 28일 기준으로 동일 설계기준 압축강도에서 OPC를 사용한 경우에 비해 상당히 낮은 값을 나타내었고 경시변화의 폭도 작았다.
- 3) 염화물이온 확산계수는 혼화재를 치환한 경우(레미콘 3사, SC)는 재령 28일 기준으로 설계기준 압축강도

21MPa에서  $1.38 \times 10^{-11} \text{m}^2/\text{s}$ 의 값을, 24에서는  $1.20 \times 10^{-11} \text{m}^2/\text{s}$ , 27에서는  $1.06 \times 10^{-11} \text{m}^2/\text{s}$ , 35에서는  $8.51 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ 의 값을 보였지만 OPC의 경우에는 상당히 높은 값을 보였다. 재령 91일까지의 염화물이온 확산계수의 감소분에 대해서도 혼화재를 치환한 경우 OPC에 비해 감소분이 컸다.

- 4) 염해 내구설계를 실시한 결과, 발청 임계 염화물이온 농도를 OPC35는 15.56년에, OPC27의 경우 7.33년 시점에서 넘어서 발청이 일어나는 것을 알 수 있었다. 혼화재를 치환한 경우에는 모든 배합조건에서 50년간 발청이 일어나지 않는 것으로 예측되었다.

이러한 연구결과를 고려해 볼 때 콘크리트의 염해 장기 저항성은 분체 중 혼화재료(고로슬래그 미분말 또는 플라이애시)의 치환량에 상당히 관계되지만 현실적으로는 레미콘 업체마다 납품 시에 골재, 시멘트 등의 재료조건이 상이하기 때문에 항상 납품 전 사전 배합을 실시하여 염해 저항성을 포함한 기본물성을 확인할 필요가 있다고 사료된다.

## 요 약

해안도시에 건설하는 건축물의 콘크리트 배합은 환경 조건에 따라 설계기준 압축강도로 제한하고 있으나 혼화재 혼입에 의해 염해 내구성이 급격히 향상되고 있음이 기존연구에서 명확히 되고 있으나 아직 규정에 반영되고 있지는 못한 실정이다. 본 연구에서는 레미콘의 배합을 분석하고 비교 시험체 제작을 통하여 염해 내구성에 대한 건축구조기준을 만족시키면서 경제성을 가지는 결과를 도출하고자 하였다. 시판되는 레미콘의 경우 설계기준 압축강도 이상의 강도와 그에 따른 염소이온 차단성을 가지며 전 배합조건에 대해서 OPC 35MPa를 능가하는 성능을 확인할 수 있었다. 내구성 및 경제성을 동시에 달성하기 위해서 납품 전 사전 배합을 실시하여 염해 저항성을 포함한 기본물성을 검토할 필요가 있다고 사료된다.

**키워드** : 레미콘, 설계기준 압축강도, 염소이온 확산계수, 내구설계

## Acknowledgement

This work was supported by the National Research

Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government (MEST).(NO. 2017R1D1A1A09000543)

Following are results of a study on the "Leaders in Industry–university Cooperation+" Project, supported by the Ministry of Education and National Research Foundation of Korea,

JSCE Standards:Test method for effective diffusion coefficient of chloride ion in concrete by migration, Journal of JSCE, 2004 8;64(676):1–9.

## References

1. Architectural Institute of Korea, Korean Building Code and Commentary. Seoul (Korea): Architectural Institute of Korea; 2016. 399 p.
2. Park DC, Ahn JC, Kim WJ. Development of multidirection incoming salt collector that excludes backward wind, Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2011 Dec;11(6):321–9.
3. Yang WH, Hwang JS, Jeon CS, Lee SH. Study on the chloride attack resistibility of alkali–activated ternary blended cement concrete, Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2016 Aug;16(4):627–33.
4. Ryu DU, Kim WJ, Yang WH, You JH, Ko JW. An experimental study on the freezing–thawing and chloride resistance of concrete using high volumes of GGBS, Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2012 Jun;12(3):315–22.
5. Kim MH, Kim JH, Cho BS, Na CS, Kim YD. An experimental study on the engineering properties and durability of concrete according to the fineness and replacement ratio of blast–furnace slag, Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2005 Mar;5(1):81–9.
6. Architectural Institute of Japan. Recommendations for durability design and construction practice of reinforced concrete building. 2nd ed, Tokyo: Architectural Institute of Japan; 2016. 134 p.
7. Luca B, Bernhard E, Pietro P, Rob P. Corrosion of steel in concrete prevention, diagnosis, repair. 2nd ed, Germany: Wiley VCH Verlag GmbH & Co. KGaA; 2013. 392 p.
8. Kim HS. Assessment of chloride ions diffusion and prediction of initiation time of reinforcing steel corrosion in concrete by electrochemical techniques [dissertation]. [Seoul (Korea)]: Hanyang University; 2000. 210 p.
9. Luping T, Nilsson LO, Nilsson. Rapid determination of the chloride diffusivity in concrete by applying an electric field, ACI Materials Journal, 1993 Feb;89(1):49–53.
10. Sub–Committee on test methods and specification for concrete,