



국내 시멘트 및 콘크리트의 염화물 함유량 현황 분석 및 관련 기준 개선 제언

이현우¹⁾ · 윤용식²⁾ · 배성철³⁾ · 권성준^{4)*}

¹⁾한남대학교 건설시스템공학과 대학원생 ²⁾한국건설기술연구원 남북한인프라특별위원회 박사후연구원

³⁾한양대학교 건축공학부 교수 ⁴⁾한남대학교 토목환경공학과 교수

Current Status of Chloride Content in Domestic Cement/Concrete and Recommendations for Related Specifications

Hyeon-Woo Lee,¹⁾ Yong-Sik Yoon,²⁾ Sung-Chul Bae,³⁾ and Seung-Jun Kwon^{4)*}

¹⁾Graduate Student, Department of Civil and Environmental Engineering, Hannam University, Daejeon 34430, Rep. of Korea

²⁾Postdoctoral Researcher, Korean Peninsula Infrastructure Special Committee, Korea Institute of Construction Technology, Goyang 10223, Rep. of Korea

³⁾Professor, Department of Architectural Engineering, Hanyang University, Seoul 04763, Rep. of Korea

⁴⁾Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Hannam University, Daejeon 34430, Rep. of Korea

ABSTRACT In this study, both domestic and international specifications regarding allowable chloride content in reinforced concrete (RC) structures were analyzed, with the aim of improving the relevant domestic standards. Theoretical simulations of initial chloride contents in various concrete mixtures were also performed, based on domestic specifications. Furthermore, the chloride contents in mortar and concrete with Portland cement produced by six major manufacturers were evaluated. The control of chloride content in ready-mix concrete was investigated through statistical analysis involving two concrete production companies. Regarding the chloride contents in mortar samples measured via the ion electrode method, results ranging from 0.1530 kg/m³ to 0.2710 kg/m³ were obtained. These levels were considered relatively low, especially given that the cement mass used comprised up to 2/3 of the total mortar mass. For concrete, the results were assessed based on five specified design strength grades, and it was evident that mixtures with higher design strength exhibited greater chloride content due to the increased use of cement. In addition, it is worth noting that the measured chloride contents exhibited a variation ranging from 20 % to 30 % when different measuring devices were employed. Through the statistical analysis of chloride control in domestic ready-mixed concrete, a relatively high return rate was observed for concrete within the 35~40 MPa grade range. This was attributed to irregularly high chloride content in the cement and sea sand used in the concrete mix.

Keywords : portland cement, initial chloride contents, chloride ingress, durability design

1. 서 론

콘크리트는 경제성과 공학적 성능이 확보되었기에 전 세계적으로 가장 활발히 사용되는 건설재료 중 하나이다. 콘크리트는 인장응력에 취약한 재료적 특성 때문에 내부에 보강재를 매립한 RC 구조(reinforced concrete structure) 및 PSC 구조(pre-stressed concrete structure)의 형태로 다양한 건설 구조물에 적용되고 있다(Metha and Monteiro 1993; Broomfield 1997). 일반적으로 콘크리트의 강알칼리성 환경하에서 내부

의 철근 보강재는 부식으로부터 보호되지만 사용기간이 길어지거나 열화 환경에 노출된 경우 내부 보강재가 부식되어 구조적, 내구적 성능이 저하하게 된다(Broomfield 1997; Yoon et al. 2018).

콘크리트 구조물에 발생하는 대표적인 열화 현상으로는 염해, 탄산화, 알칼리 골재 반응, 동결융해, 황산염에 의한 열화현상이 있으며, 이중 보강재의 부식을 직접적으로 유도하는 열화 현상으로는 염해와 탄산화가 존재한다. 그중 염해는 외부의 염화물 이온(Cl⁻)이 콘크리트 구조물 내부로 확산되어 내부 강재의 열화를 유도하는 현상으로서, 3면이 바다로 둘러싸이고 4계절이 뚜렷한 지리적, 환경적 특성을 갖는 우리나라의 경우 신중하게 고려해야 하는 열화 현상이다(Kirkpatrick et al. 2002; Moon et al. 2002). 또한 해수 중의 염화물량은 여러

*Corresponding author E-mail : jjuni98@hannam.ac.kr

Received March 23, 2023, Revised May 24, 2023,

Accepted June 23, 2023

©2023 by Korea Concrete Institute

할로젠 이온 중 전과속도가 가장 빠르고 보강재의 국소부식(pitting corrosion)을 야기하므로 콘크리트 구조물의 내구성 저하를 빠르게 진전시킨다(Lee and Zielske 2014; Kwon 2017; Kown et al. 2017).

콘크리트 구조물의 염해를 제어하기 위해 각국의 설계 기준에서는 염해에 대한 내구설계에 관하여 규정하고 있으며, 우리나라의 경우 Fick's 제 2법칙의 일반해를 지배방정식으로 사용한 내구성능 해석을 제안하고 있다(KCI 2021a). 우리나라에서 사용 중인 염해 내구성능 해석을 위한 지배방정식에서는 초기 염화물량, 표면 염화물량, 염화물 확산계수, 피복두께, 노출 기간이 입력 변수로 사용된다. 이중 초기 염화물량은 콘크리트 시공 시 사용된 재료에 의해 함유된 염화물량을 의미하는데 일반적으로 배합수, 잔골재, 시멘트에 함유된 염화물량이 콘크리트의 초기 염화물량으로 고려된다(JSA 2009; ACI Committee 365 2017; KCI 2021a). 초기 염화물은 고정염화물 및 자유염화물 형태로 존재하는데, 화학적으로 안전한 고정염화물이라도 탄산화 또는 산에 노출될 경우, 자유염화물로 해리가 발생한다. 초기 염화물량이 기준값을 초과하는 경우, 내부 철근의 부식이 개시되는 임계 염화물량에 비교적 짧은 기간 내에 도달하게 되므로 이는 반드시 제어되어야 한다(Park and Kwon 2021). 국내 관련 규정인 KS F 4009에서는 레디믹스트 콘크리트 내 염화물을 총량으로서 0.30 kg/m^3 으로 제한하고 있는데 이 값은 사용된 건설재료 별로 각각 명확하게 규제하지 못하고 총량으로만 규제하고 있는 수준이다(KATS 2022a). 기존의 연구에 따르면 내부 임계 염화물량은 사용 결합재의 종류 및 단위 사용량에 따라 변화하는 것으로 알려져 있어 이러한 결합재가 미치는 영향을 고려할 필요가 있다(Park 2020).

우리나라와 비슷한 규격을 갖고 있는 일본에서는 이러한 결합재의 영향을 고려한 염화물량 규격을 갖고 있는데 이를 통해 시멘트의 소성 공정 시 사용되는 석탄 자원의 순환자원 대체가 성공적으로 이루어지고 있다(JSA 2009). 전 세계적으로 대두되고 있는 탄소중립의 실현 및 합리적인 콘크리트 구조물의 내구성 설계를 위해 우리나라 역시 시멘트 내의 염화물 함유량 관련 규격의 제정이 필요한 실정이며, 이를 위해 국내 유통 시멘트 및 레미콘의 염화물 함유량 실태 파악이 선행되어야 할 것으로 사료된다.

본 연구에서는 사용재료에 함유된 염화물량이 콘크리트의 총 염화물량에 미치는 영향을 고려하기 위해 다양한 배합조건을 고려하여 이론적 초기 염화물량을 분석하였다. 또한 국내 6개 사의 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 대상으로 모르타르 및 콘크리트 시편을 제작하여 내부 염화물 함유량을 분석하였다. 국내 시험 기준(KS F 2715)에 따른 이온 전극법을 통해 굳지 않은 상태의 모르타르 및 콘크리트 시편의 염화물량을 평가하였으며, 2개 사의 측정 장비를 사용하여 측정 장비에 따른 변동성을 분석하였다. 국내 2개 레미콘사의 출하 레미콘 염화물량 모니터링 결과를 통계 분석함으로써 국내 레미콘 염화물 함유량을 조사하였다.

2. 국내외 시멘트의 염화물 관련 문헌 분석

2.1 국내 콘크리트 구조물 대상 염화물 기준 분석

콘크리트 내부의 염화물 총량 한계값 대하여 주요 국가들은 콘크리트의 종류, 사용 환경, 사용 재료 등을 고려하여 각각 다른 한도 값을 설정하고 있다. 우리나라 역시 철근부식의 위험성으로 인해 콘크리트 내부의 염화물량을 총량제로써 제한하고 있으며 콘크리트 받아들이기 품질검사 항목 중 하나로써 염화물량을 관리하고 있다.

국내 콘크리트 표준 시방서 및 건축공사 표준 시방서에서는 콘크리트 배합에 사용하는 잔골재의 유해물 함유량과 콘크리트에 함유된 염화물량에 대하여 규정하고 있는데, 콘크리트 표준 시방서에는 잔골재의 유해물 함유량을 NaCl로 환산하여 최대 0.04 %로 제한하고 있다. Table 1에서는 콘크리트 표준 시방서에 정의된 콘크리트 내구성 및 강도와 관련하여 염화물 함유량에 대한 사항을 정리하였다. 굳지 않은 콘크리트 중의 전 염화물량은 원칙적으로 0.30 kg/m^3 이하로 하여야 하며, 혼합수로부터 콘크리트 중에 공급되는 염화물량을 0.04 kg/m^3 로 가정하도록 하고 있다(KCI 2021b).

2.2 해외 주요 국가들의 콘크리트 구조물 대상 염화물 기준 분석

2.2.1 일본의 콘크리트 구조 염화물 관련 규격

일본토목시방서(JSCE 2007) 및 일본시험규격(JSA 2019)에서는 우리나라와 동일하게 콘크리트에 포함된 염화물량은 염화물 이온의 한계 값을 총량제로써 0.30 kg/m^3 으로 규정하고 있으며, “염화물 함유량의 상한값의 지정이 있는 경우 혹은 구입자의 승인을 받은 경우에는 0.60 kg/m^3 으로 설정할 수 있다.”라고 기재되어 있다. 또한 사용재료 중 골재에 포함된 NaCl의 염화물 농도는 0.04 % 이하로 우리나라와 동일한 상한값을 가지고 있다. 일본 국토교통성에서는 JIS R 5210을

Table 1 The maximum water-soluble chloride contents according to specifications for concrete structures of South Korea (KCI 2021b)

Member type	The max contents of water soluble chloride ions in concrete (the ratio to the amount of cement, %)
PSC member	0.06
RC member exposed to chloride ions	0.15
RC member in dry state of protected from moisture*	1.00
Other RC members	0.30

Note: *concrete member for an indoor structure in a dry state that is not exposed to external atmospheric conditions and moisture

통해 1990년 2월경에 포틀랜드 시멘트 내 함유된 염화물량의 규격을 제정하였으며 2001년경 시멘트 산업이 폐기물 및 산업부산물을 대량으로 받아들여야 하는 필요성에 따라, JIS 규격의 염화물량 규격이 완화되었다. 현재 일본에서는 포틀랜드 시멘트의 염화물 함유량 상한값을 350 ppm 이하로 규정하고 있다(JSA 2009).

2.2.2 미국의 콘크리트 구조 염화물 관련 규격

미국의 경우 ACI 222 Protection of Metals in Concrete Against Corrosion, ACI 201.2 Guide to Durable Concrete 및 ACI 318 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary에서 콘크리트 구조물의 염화물량을 규정하고 있다(ACI Committee 201 2008; ACI Committee 222 2008; ACI Committee 318 2014). ACI 222에서는 신축 공사용 콘크리트의 내 염해성능 확보를 위하여, 포틀랜드 시멘트의 질량 백분율을 단위로 염화물량을 제안하고 있으며 이를 Table 2에 나타내었다.

2.2.3 중국 및 EU의 콘크리트 구조 염화물 관련 규격

중국의 관련 규격(GB 50010)에서는 노출 환경에 따라 콘크리트 최대 물-결합재 비, 최소 강도, 최대 염화물 및 알칼리 함량을 규정하고 있으며 노출 환경에 따라 염화물량을

Table 2 The standards for maximum chloride contents in concrete for new construction (ACI Committee 222 2008)

Type	The maximum chloride content (the ratio to the amount of cement, %)		
	Test method		
	Acid soluble	Water soluble	
	ASTM C 1152	ASTM C 1218	Soxhlet
PSC member	0.08	0.06	0.06
RC member	0.10	0.08	0.08
RC member in dry state	0.20	0.15	0.15

Table 3 Comparison of domestic and international standards for chloride contents in concrete structures

Type	South Korea	Japan	USA	China	EU
RC structure	0.30 kg/m ³	0.30 kg/m ³	Binder×0.30 % (wet) Binder×1.00 % (dry)	Binder×0.30 %	Binder×0.20 % (wet) Binder×0.30 % (dry)
PSC structure	0.30 kg/m ³	0.30 kg/m ³	Binder×0.06 %	Binder×0.30 %	Binder×0.10 %
Cement (ppm)	-	350	-	600	1,000
Constant or proportional	Constant	Constant	Proportional	Proportional	Proportional
Measurement type of chloride ions	Total Cl ⁻	Total Cl ⁻	Water-soluble Cl ⁻	Total Cl ⁻	Total Cl ⁻
The state of concrete	Fresh	Fresh	Hardened	Hardened	Hardened

0.10~0.30 %까지 제한하고 있다(MOHURD 2010). 또한 일본 및 미국과 마찬가지로 단위 시멘트량에 대한 염화물 기준(GB 175)을 갖고 있으며 모든 종류의 시멘트에 대하여 질량 비로 0.06 % 이하로 규정하고 있다(CBMA 2007).

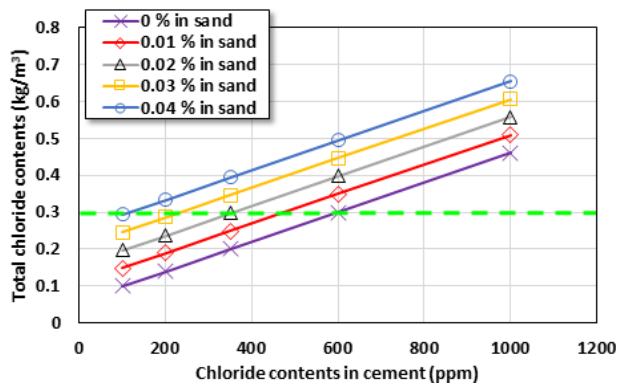
유럽 연합의 경우 EN 206에서 콘크리트 구조물 내부 염화물량을 규정하고 있는데 콘크리트 내 총염화물량과 시멘트에 함유된 염화물량을 구분하여 규정하고 있다. 일반적으로 철근 또는 기타 매립근을 포함한 구조물의 경우 콘크리트와 시멘트의 염화물량은 최대 0.2 %를 초과하지 못하도록 규정되었다(CEN 2013). 2장에서 고찰한 한국, 일본, 미국, 중국 EU의 염화물 관련 규격을 정리하여 Table 3에 나타내었다.

2.3 국내 설계기준을 고려한 이론적 염화물 제한값 분석

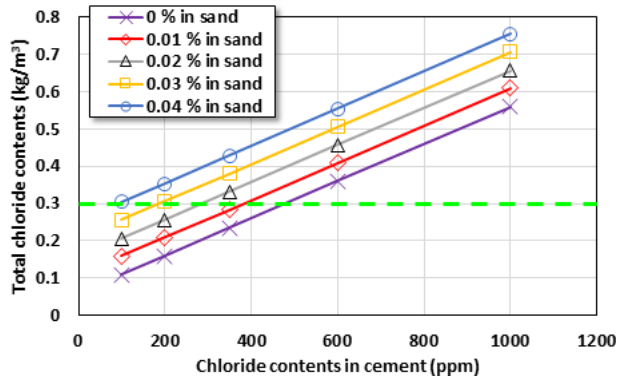
본 절에서는 다양한 배합 조건을 고려하여 국내 설계기준에 준한 이론적 초기 염화물량을 분석하였다(KCI 2021b). Table 4와 같이 단위 수량, 단위 시멘트량, 잔골재량, 골재 내 염화물량, 배합수 내 염화물량, 혼화제 내 염화물량을 다 수준으로 고려하였으며, 단위 시멘트량의 경우 비교적 엄격한 수준인 400 kg/m³ 및 500 kg/m³을 고려하였다. 또한 잔골재는 100 % 바다모래를 사용한 것으로 고려하였으며 우리나라의 총 염화물량 기준인 0.3 kg/m³과 비교분석하였다. Fig. 1에는

Table 4 The analysis condition for initial chloride contents considering mixture characteristics

Sand	The max chloride contents in admixture	The chloride contents in water	Cement	The chloride contents in sand	The chloride contents in cement
(kg/m ³)				(%)	(ppm)
800	0.02	0.04	400	0	100
				0.01	200
			500	0.02	350
				0.03	600
				0.04	1,000



(a) 400 kg/m³



(b) 500 kg/m³

Fig. 1 The initial chloride contents considering mixture characteristics

시멘트 내 염화물량을 변수로 하여 분석한 조건별 초기 염화물량 분석 결과를 나타내었다.

초기 염화물량 해석 결과, 잔골재 내 염화물 함유량이 존재하지 않더라도 시멘트 내 염화물량이 600 ppm일 경우, 두 개의 단위 결합재량 조건 모두 국내 기준값을 상회하는 결과도 출되었다. 또한 잔골재 내 염화물량을 최대값인 0.04 %로 고려하면 모든 경우에서 국내 기준값을 상회하였다. 잔골재 내 염화물 함유량은 콘크리트 내 총 염화물량에 지배적인 영향을 미치는 것으로 사료된다. 잔골재 내 염화물 농도를 0.01 % 이하로 관리하는 경우 단위 시멘트량을 500 kg/m³까지 사용하더라도 시멘트 내 염화물 함유량 500 ppm까지는 국내 기준을 만족하는 것으로 보인다. 또한 단위 결합재량이 400 kg/m³에서 500 kg/m³으로 증가함에 따라 내부 염화물량은 0.01 kg/m³에서 0.06 kg/m³으로 증가하였으나 큰 증가폭은 아니었다.

3. 제조사별 시멘트 함유량에 따른 콘크리트 염화물 함유량 평가

3.1 사용 재료 및 실험 방법

본 절에서는 국내 6개 사 시멘트를 대상으로 염화물량을 분석하기 위해, 굳지 않은 상태의 모르타르 및 콘크리트 시편을 제조하였다. 굳지 않은 콘크리트의 초기 염화물량은 콘

Table 5 Overview and mixture properties of mortar for evaluation of chloride contents

	Cement (g)	Water (g)	The number of measurements considering types of equipments
A	1,000	500	Using the average value after each 3 and 4 times of measurements
B			
C			
D			
E			
F			

Table 6 The mechanical characteristics of portland cement for this study

Blaine (cm ² /g)	Stability (%)	Setting time (min)		Compressive strength (MPa)		
		Initial	Final	3 days	7 days	28 days
2,800 or more	0.8 or less	60 or more	600 or less	12.5 or more	22.5 or more	42.5 or more

Table 7 The concrete mixture considering strength grade

Specification of concrete	Unit weight (kg/m ³)					W/B (%)	S/a (%)
	C	W	G	S	AD		
25-21-180	320	175	963	843	2.56	54.6	48
25-24-150	340	170	961	842	2.72	50.0	
25-27-150	370	170	948	830	2.96	45.9	
25-30-150	400	165	941	824	3.20	41.3	
25-35-150	435	165	925	810	3.48	37.9	

크리트 품질 검사 항목 중 하나로서 추후 구조물의 염해 내구성능 거동에 매우 큰 영향을 미칠 수 있는 것으로 알려져 있다(Park and Kwon 2021). 국내 6개 사(A~F)의 1종 보통포틀랜드 시멘트를 사용하여 모르타르 배합 및 콘크리트 배합을 수행하였으며 모르타르 배합의 사용재료 및 물-결합재비는 관련 KS 기준을 바탕으로 결정하였다(KATS 2022b). 본 연구의 모르타르 배합 사항 및 염화물 농도 측정 개요를 아래 Table 5에 사용한 시멘트의 물리적 특성을 Table 6에 나타내었다. Table 6에서 안정도는 오토클레이브 팽창도를 의미한다.

염화물량 측정을 위한 콘크리트 배합 사항을 Table 7에 나타내었는데, 시멘트 제조사에서 제공된 호칭 강도 및 규격을 고려하였다. Table 7의 배합 명에서 첫 번째 숫자는 굵은 골재 최대 치수, 두 번째 숫자는 설계기준 강도를, 세 번째 숫자는 슬럼프를 의미한다. 6개 사의 포틀랜드 시멘트를 대상으로 5 수준의 콘크리트 배합을 수행하여 총 30개의 수준을 고려한 염화물량을 측정하였다.

배합에 사용한 골재의 특성 및 고성능 AE 감수제의 특성

Table 8 The characteristic of sand and gravel

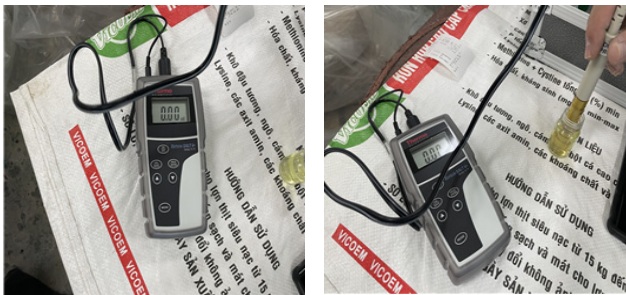
Type	Specific gravity (g/cm ³)	F.M. (%)	Absorption (%)	The passing amount to 0.08 mm sieve (%)
Sand	2.63	2.62	1.42	3.00
Gravel	2.62	6.48	0.58	-

Table 9 The properties of super-plasticizer

Type	Main ingredient	Color	pH	Specific gravity (g/cm ³)
liquid	Poly carboxylic	Dark brown	6.04	1.04

Table 10 Specification of measuring equipment for this study

Type	Thermo Salt 6+	DY-2501α
Measurement modes	Salinity with temperature	Concentration of Cl ⁻ (%), NaCl (%), amount of total chloride ions (kg/m ³), and temperature (°C)
Temperature compensation	Automatic or manual (0 to 50 °C)	Automatic
Measuring range (salinity)	0.1~5.00 %	0.001~1.5 %
Temperature range (metric system)	0.00 °C to 100.0 °C (80.0 °C with supplied probe)	0~40 °C (optimum operating temperature range: 10~30 °C)



(a) Thermo Salt 6+



(b) DY-2501 α

Fig. 2 The photos for measurement of chloride contents using 2 types of equipment

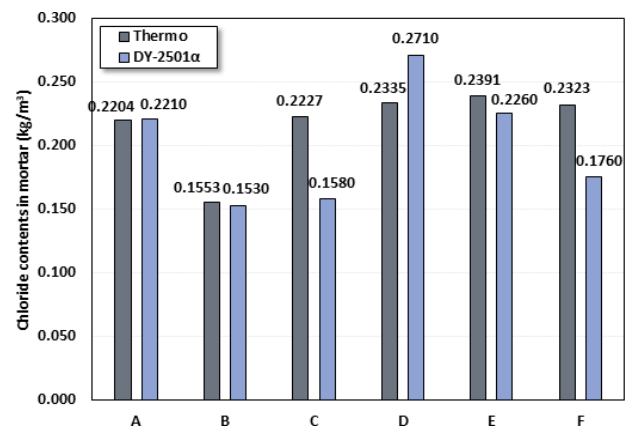
을 Table 8 및 Table 9에 나타내었다. 또한 KS F 2715에 따른 이온전극법에 따라 염화물량을 평가할 수 있는 2개사의 측정 장비를 사용하여 분석 장비에 따라 발생할 수 있는 차이를 고려하였다(KATS 2022c). 블리딩수를 채취 후 측정 장비마다 각 3회씩 측정하여 평균값으로 사용하였는데, 본 연구에서 염화물량 측정을 위해 사용한 측정 장비들의 특징을 Table 10에 정리하여 나타내었다. 모르타르와 콘크리트 모두 굳지 않은 상태의 시편을 배합한 직후 상부 블리딩수를 채취하여 염화물량을 측정하였으며 Fig. 2에는 두 측정 장비의 측정 사진을 나타내었다.

3.2 시멘트량에 따른 모르타르 및 콘크리트의 염화물량 평가

3.2.1 굳지 않은 모르타르 시편의 염화물량 평가

본 절에서는 6개 사의 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 기반으로 제작된 굳지 않은 모르타르 시편을 제작 후 상부 블리딩수를 채취하여 염화물량을 측정하였다. 6개 사의 시멘트를 대상으로 모르타르 시편을 제작하여 분석한 굳지 않은 상태의 염화물량 평가 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

블리딩수 채취를 통해 시멘트 페이스트 내 염화물량 측정 한 결과, Thermo salt 6+ 장비에서 A사는 0.2204 kg/m³, B사는 0.1553 kg/m³, C사는 0.2227 kg/m³, D사는 0.2335 kg/m³, E사는 0.2391 kg/m³, F사는 0.2323 kg/m³의 염화물량이 평가되었다. 또한 국내에서 유통되고 있는 염화물 함유량 측정 장비인 DY-2501α에서는 A사 0.2210 kg/m³, B사 0.1530 kg/m³, C사 0.1580 kg/m³, D사 0.2710 kg/m³, E사 0.2260 kg/m³, F사 0.1760 kg/m³으로 염화물량이 평가되었다. 모르타르 배합 사항에서 단위 시멘트량이 전체 질량의 2/3인 수준을 감안할 경우, 평가된 염화물량 결과는 매우 낮은 수준으로 평가되었다. 염화물량 측정 결과, 염화물 측정 방법(장비)에 따라 A사 및 B사의 경우 미세한 차이를 나타냈으며, C~F 사의 경우 적게는 0.013 kg/m³에서 많게는 0.065 kg/m³의 차이가 발생하였다. 또한, D사를 제외하고 Thermo 장비 측정값이 DY-2501α 보다 높게 측정되었으나 충분히 적은 수준의 염화물량이 평가되었기에 크게 고려될 양이 아닌 것으로 사료된다.

**Fig. 3** The evaluation results of chloride contents in mortar

3.2.2 설계기준강도 등급을 고려한 굳지 않은 콘크리트 시편의 염화물량 평가

본 절에서는 콘크리트의 설계기준강도 등급에 따른 초기 염화물량을 평가하였다. 6개 사 시멘트를 대상으로 5수준의 강도 등급을 고려한 콘크리트의 블리딩수를 채취하여 염화물량을 분석하였으며 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

시멘트 제조사별 콘크리트의 호칭 강도에 따른 염화물 측정 결과, 6개의 제조사 모두 강도가 증가함에 따라 염화물량이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 단위 시멘트량의 증가에 따른 염화물량의 증가가 주된 원인이다. B사, C사 및 E사의 경우 두 측정방법(장비)에 따른 차이는 작은 것을 확

인할 수 있었으며, A사, D사 및 F사의 경우 많게는 0.031 kg/m³의 차이를 확인할 수 있었는데, 이는 측정 결과의 20~30 % 수준의 차이로 평가되었다. 또한 3.2.1절의 모르타르를 대상으로 평가한 염화물량 대비 콘크리트 내의 염화물량이 낮게 평가되었으며 D사의 시멘트가 다른 제조사들보다 대체로 염화물량이 높게 평가되었다.

4. 국내 출하 레미콘의 염화물 함유량 모니터링 통계 분석

본 절에서는 국내 2개의 레미콘사(α 사, β 사)를 대상으로

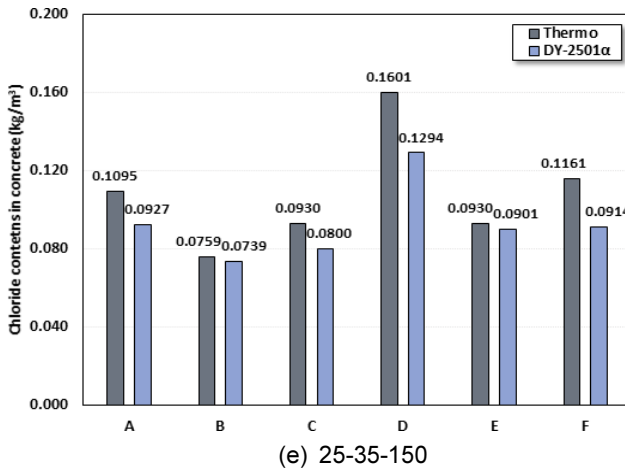
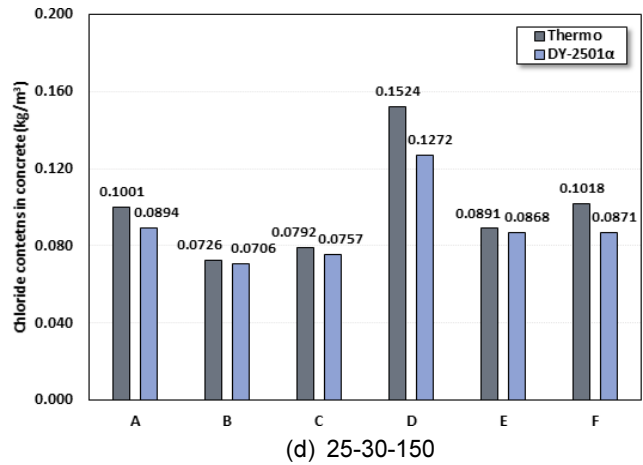
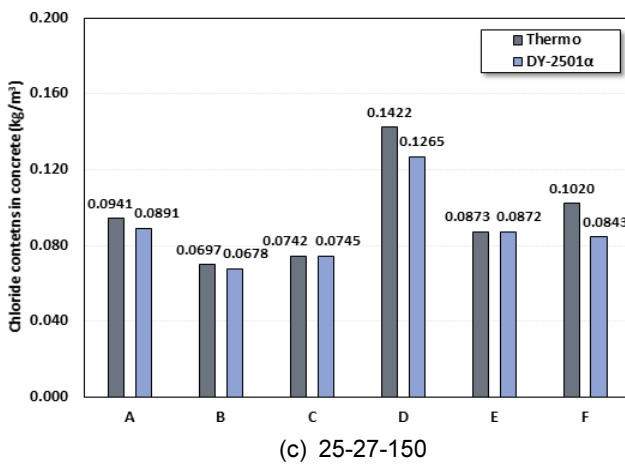
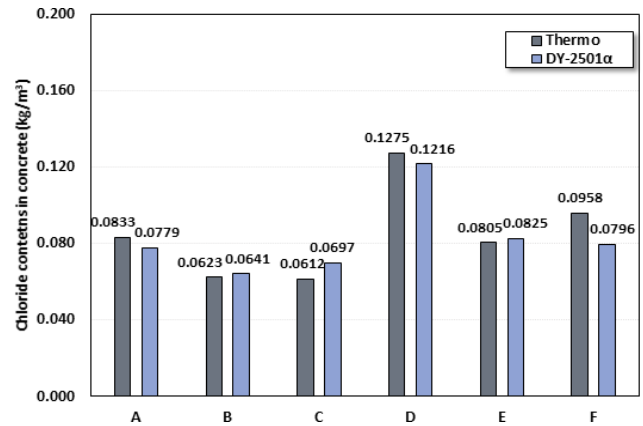
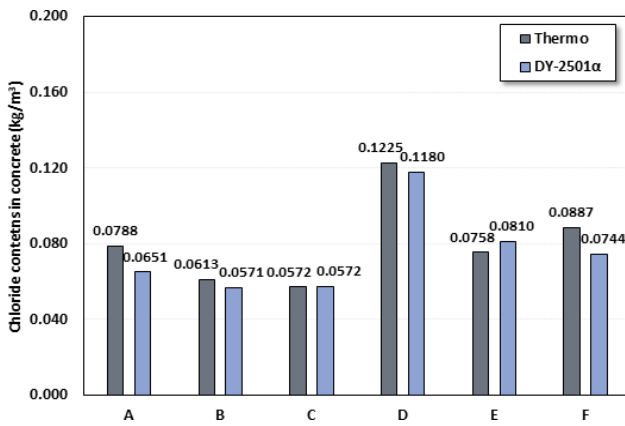


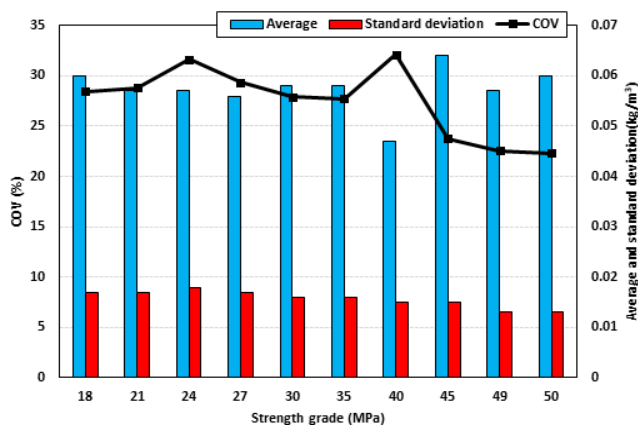
Fig. 4 The evaluation results of chloride contents in concrete considering strength grade

레미콘 출하 전 측정된 염화물량 평가 결과를 통계 분석하였다. α 사의 경우, 2020년 1월부터 11월까지(총 1,314건, 회수 9건), β 사의 경우 2018년 1월부터 2022년 10월까지(총 3,105건, 회수 51건)를 측정 기간으로 설정하여 출하 전 레미콘을 대상으로 초기 염화물량이 측정되었다. 회수는 국내 염화물량 제한값인 0.30 kg/m^3 을 초과하는 경우 출하되지 못한 경우이며, 해당 숫자를 회수 건으로 하여 강도 등급별로 하여 나타내었다. 생산된 레미콘이 염화물 기준값을 상회하는 원인은 일부 시멘트 내 높은 염화물량과 바다모래를 사용하여 골재의 염화물량이 높았기 때문이다. α 사 및 β 사의 설계기준강도 별 초기 염화물량의 통계분석 결과를 Figs. 5 and 6에 나타내었다.

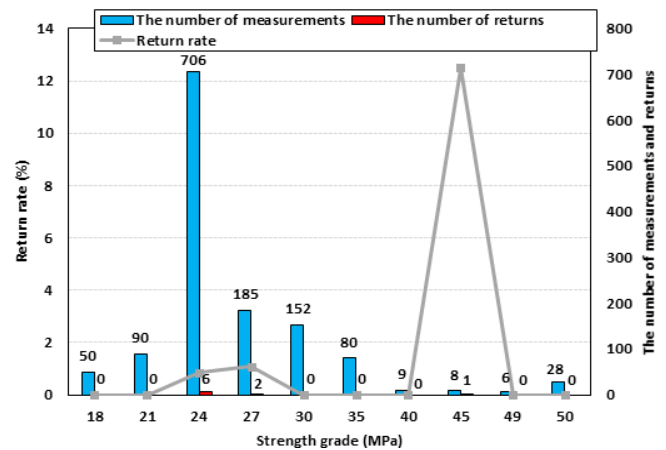
α 사의 경우, 총 1,314건의 측정 값 중 회수된 건을 제외하면 최대 값은 0.2 kg/m^3 으로 최소 값은 0.011 kg/m^3 으로 측정되었으며 전체 기간 중 회수율은 0.68 %로 분석되었다. 강도 등급에 따른 회수 건을 분석하면 24 MPa 강도 등급에서 6건, 27 MPa 강도 등급에서 2건, 45 MPa 강도 등급에서 1건의 회수가 발생하여 24 MPa 강도 등급의 레미콘에서 가장 많은

회수가 발생하였다. 그러나 24 MPa 등급은 총 706건, 27 MPa는 총 185건, 45 MPa는 총 8건의 측정을 수행하였으므로 측정 회수를 고려하면 24 MPa와 27 MPa 등급에서 품질관리가 잘 이루어졌다고 볼 수 있다. 또한 45 MPa 등급과 같은 고강도군에서는 회수율이 높으나 표본수가 적으므로 이에 대한 추가 모니터링이 필요해 보인다.

β 사의 경우, 총 3,105건의 측정 값 중 총 51건이 기준값을 초과하여 약 1.64 %의 전체 회수율이 평가되었으며 이 값은 α 사 대비 2.41배의 값이다. α 사의 경우와 마찬가지로 49 MPa의 고강도 등급에서 측정 수 대비 높은 회수 건이 발생하였으며, 특히 35 MPa, 40 MPa 등급에서 높은 회수율을 나타내었다. 전체 측정값 중 최대값은 0.13 kg/m^3 으로, 최소값은 0.01 kg/m^3 으로 평가되었으며, β 사의 경우 강도 등급이 높아질수록 품질관리에 어려움이 있는 것으로 사료된다. 3절의 결과와 마찬가지로 강도등급이 상승함에 따라 단위 결합재량이 증가하면서 염화물량이 함께 상승하는 것으로 나타났다.

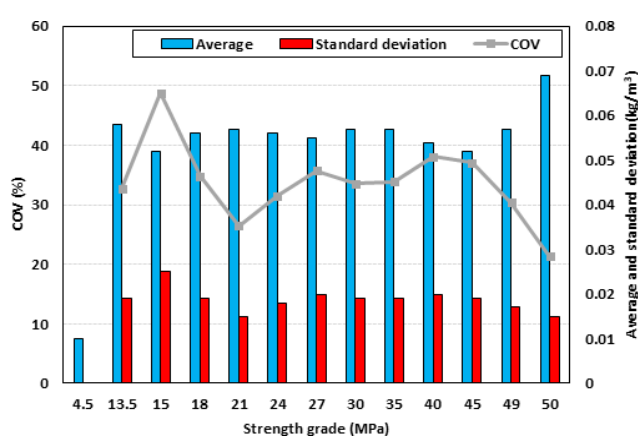


(a) Statistical analysis result for chloride contents considering strength grade

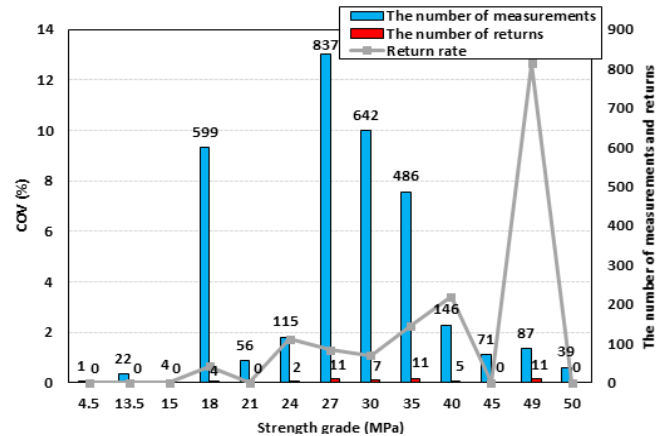


(b) Statistical analysis result for return rate considering strength grade

Fig. 5 The statistical analysis about chloride contents in ready-mixed concrete from α company



(a) Statistical analysis result for chloride contents considering strength grade



(b) Statistical analysis result for return rate considering strength grade

Fig. 6 The statistical analysis about chloride contents in ready-mixed concrete from β company

5. 결 론

본 연구에서는 국내 콘크리트 구조 염화물 관련 규격의 합리적인 개정을 위해, 국내외 염화물 관련 규격을 분석하였으며, 국내 유통 6개 사의 포틀랜드 시멘트를 대상으로 염화물량을 이온전극법을 통해 평가하였다. 또한 국내 레미콘 2개 사의 염화물량 모니터링 결과를 통계 분석하여 레미콘 염화물 품질 관리 현황을 고찰하였다. 본 연구의 결론은 다음과 같다.

- 1) 국내외 콘크리트 염화물 관련 규격을 분석한 결과, 우리나라는 일본의 산업규격과 동일한 염화물 총량 상한값을 가지고 있으나, 중국과 유럽에서는 결합재의 사용량에 비례한 중량제의 상한값을 제시하고 있다. 해외의 규격을 분석해 볼 때 우리나라도 콘크리트 염화물 기준을 결합재의 질량에 대한 일정 비율로 설정하고 외부 노출환경 및 부재 종류에 따라 제시하는 것이 바람직한 것으로 사료된다. 또한 국내 설계기준에 준하여 이론적 초기 염화물량을 분석한 결과 잔골재 내 포함된 염화물량이 큰 영향을 미치는 것으로 평가되었다.
- 2) 국내 유통 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하여 굳지 않은 모르타르 및 콘크리트 시편의 염화물량을 평가한 결과, 모르타르 시편에서 콘크리트 시편보다 높은 염화물량이 평가되었다. 이는 모르타르 시편의 경우 전체 체적 중 약 2/3가 결합재에 의해 구성되기 때문이다. 또한 콘크리트 시편의 경우 국내 유통 레미콘 규격에 따른 5개의 강도등급을 고려하였는데 설계기준강도가 증가함에 따라 내부 염화물량이 증가하였다. 이는 설계기준 강도가 증가함에 따라 사용된 결합재량이 증가하였기 때문으로 판단된다. 모르타르 및 콘크리트 시편에서 평가된 염화물량 값은 국내외 기준을 참고하였을 때 대체로 낮은 수준에 포함되는 것으로 사료된다.
- 3) 국내 레미콘 2개 사의 출하 레미콘 염화물량 모니터링 결과를 통계 분석한 결과, 2개 사 모두 40 MPa 이상의 고강도 등급에서 높은 회수율을 나타내었다. 회수에 대한 원인으로는 배타적 경제수역 모래 수급 문제와 시멘트 내 염화물 함유량이 보고되었다. 본 연구를 기반으로 노출 환경을 고려한 부식 임계 농도에 대한 장기 모니터링 시험을 수행할 계획이며 이를 통해 추후 연구에서 합리적인 시멘트 내 염화물 함유량 상한값 도출을 계획하였다.

감사의 글

본 과제는 탄소중립 가속화 지원사업: 기업공통 긴급예로 기술 지원으로 수행되었으며, 저자는 이에 감사드립니다.

References

ACI Committee 201 (2008) *Guide to Durable Concrete (ACI 201*.

2R-08). Farmington Hills, MI: American Concrete Institute (ACI).

ACI Committee 222 (2008) *Protection of Metals in Concrete Against Corrosion (ACI 222.2R-08)*. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute (ACI).

ACI Committee 318 (2014) *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary (ACI 318 R-14)*. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute (ACI).

ACI Committee 365 (2017) *Report on Service Life Prediction (ACI 365.1R-17)*. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute (ACI). 42-45.

Broomfield, J. P. (1997) *Corrosion of Steel in Concrete: Understanding, Investigation and Repair*. UK, London: E&FN, 1-15.

CBMA (2007) *Common Portland Cement (GB 175-2007)*. China, Beijing: Standardization Administration of China. China Building Materials Academy (CBMA).

CEN (2013) *Concrete - Part 1: Specification, Performance, Production and Conformity (European Standard EN 206-1)*. Belgium, Brussels: European Committee for Standardization (CEN).

JSA (2009) *Portland Cement (JIS R 5210)*. Tokyo, Japan: Japanese Standards Association (JSA), Japanese Industrial Standard (JIS). (In Japanese)

JSA (2019) *Ready-Mixed Concrete (JIS A 5308)*. Tokyo, Japan: Japanese Standards Association (JSA), Japanese Industrial Standard (JIS). (In Japanese)

JSCE (2007) *Standard Specifications for Concrete Structures-Materials and Construction*. JSCE Guidelines for Concrete, No.16. Tokyo, Japan: Japan Society of Civil Engineers (JSCE).

KATS (2022a) *Ready-Mixed Concrete (KS F 4009)*. Seoul, Korea: Korea Agency for Technology and Standards (KATS), Korea Standard Association (KSA). 1-9. (In Korean)

KATS (2022b) *Cement - Test Methods - Determination of Strength (KS L ISO679 4009)*. Seoul, Korea: Korea Agency for Technology and Standards (KATS), Korea Standard Association (KSA). 1-32. (In Korean)

KATS (2022c) *Standard Test Method for Water-Soluble Chloride in Mortar and Concrete (KS F 2715)*. Seoul, Korea: Korea Agency for Technology and Standards (KATS), Korea Standard Association (KSA). 1-4. (In Korean)

KCI (2021a) *Durability Design Standard for Concrete Structure (KDS 14 20 40), Structural Concrete Design Code and Commentary*. Seoul, Korea, Korea Concrete Institute (KCI). 652-653. (In Korean)

KCI (2021b) *Normal Concrete (KCS 14 20 10), Structural Concrete Design Code and Commentary*. Seoul, Korea, Korea Concrete Institute (KCI).

Kirkpatrick, T. J., Weyers, R. E., Anderson-Cook, C. M., and

- Sprinkel, M. M. (2002) Probabilistic Model for the Chloride-Induced Corrosion Service Life of Bridge Decks. *Cement and Concrete Research* 32(12), 1943-1960.
- Kwon, S. J. (2017) Service Life Prediction for Concrete Girder Exposed to Chloride Attack Considering Effects of Loading Conditions and Cold Joint. *Journal of the Korea Concrete Institute* 29(6), 563-569. (In Korean)
- Kwon, S. J., Ryu, H. S., and Cheon, J. H. (2017) Relationship between Age and Chloride Diffusivity in Concrete for Nuclear Power Plant Considering Crack Width. *Journal of the Korea Concrete Institute* 29(6), 537-543. (In Korean)
- Lee, S. K., and Zielske, J. (2014) *An FHWA Special Study: Post-Tensioning Tendon Grout Chloride Thresholds (FHWA-HRT-14-039)*. USA, McLean: Federal Highway Administration. 7-20.
- Metha, P. K., and Monteiro, P. N. (1993) *Concrete-Structure, Properties, and Materials*. 2nd edition. USA, New-Jersey: Prentice Hall. 1-7.
- MOHURD (2010) *Code for Design of Concrete Structures (GB 50010-2010)*. China, Beijing: China Architecture & Building Press. Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China (MOHURD).
- Moon, H. Y., Kim, H. S., and Lee, S. T. (2002) Examination on the Deterioration of Concrete due to Seawater Attack. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 22(1A), 171-179. (In Korean)
- Park, J. H. (2020) *Evaluation of Critical Chloride Content of Rebar for Durability Design of Reinforced Concrete with Additive*. Ph.D. Thesis. Hanyang University. (In Korean)
- Park, S. K., and Kwon, S. K. (2021) Service Life Variation considering Increasing Initial Chloride Content and Characteristics of Mix Proportions and Design Parameters. *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute* 9(3), 236-245. (In Korean)
- Yoon, Y. S., Ryu, H. S., Lim, H. S., Koh, K. T., Kim, J. S., and Kwon, S. J. (2018) Effect of Grout Conditions and Tendon Location on Corrosion Pattern in PS Tendon in Grout. *Construction and Building Materials* 186, 1005-1015.

요 약 본 연구에서는 국내 콘크리트 구조 염화물량 관련 기준의 개선을 위해 국내외 관련 규격을 분석하였으며, 국내 기준에 따른 콘크리트 배합을 고려하여 이론적으로 초기 염화물량을 평가하였다. 또한 국내 6개 사의 포틀랜드 시멘트를 사용한 모르타르 및 콘크리트 시편의 염화물량을 평가하였으며, 국내 레미콘 2개 사의 염화물 모니터링 결과를 통계 분석하여 염화물 관리 현황을 고찰하였다. 이온전극법을 기반으로 모르타르 시편의 염화물량 평가 결과, 0.1530~0.2710 kg/m³의 값이 평가되었으며 시멘트량이 전체 질량의 2/3인 것을 고려하면 낮은 수준으로 사료된다. 콘크리트의 염화물량은 5 수준의 설계기준강도 등급을 고려하여 평가하였는데 강도등급이 높아질수록 사용된 시멘트량이 증가하므로 이에 따라 염화물량이 증가하였다. 또한 콘크리트 시편에서는 측정 장비의 종류에 따라 측정값의 20~30 %에 해당하는 차이가 발생하였다. 국내 레미콘사의 염화물 함유량 모니터링 데이터를 통계 분석한 결과, 35~40 MPa의 고강도 콘크리트의 회수율이 높게 평가되었으며 주된 원인으로는 일부 시점에서 높은 시멘트의 염화물량과 해사의 사용으로 보고되었다.

핵심용어 : 포틀랜드 시멘트, 초기 염화물량, 염해, 내구성 설계