

동결융해 작용을 받은 콘크리트의 공극구조 및 염화물 침투저항 특성

Characteristics of Pore Structure and Chloride Penetration Resistance of Concrete Exposed to Freezing-Thawing

최윤석¹⁾ 원민식²⁾ 이성태³⁾ 양은익^{4)*}
Choi, Yoon Suk Won, Min Sik Yi, Seong Tae Yang, Eun Ik

Abstract

Concrete structures are commonly exposed to freezing-thawing condition. This freezing-thawing action changes the pore structure of concrete, and it can reduce the durability of concrete. In this study, the change of the internal pore structure and durability of concrete due to freezing-thawing action are investigated. According to results, the excellent durability records were reported by the existing evaluation methods for all mixes. However, the pores, 50~100nm size in diameter, are increased in concrete specimens exposed to freezing-thawing action, and the chloride penetration resistance was significantly reduced. The linear relationship between pore structure and chloride penetration resistance was shown in water cured concrete. Meanwhile, the linear relationship was decreased when concrete is exposed to freezing-thawing condition. It is desirable to review the criterion of durability evaluation for concrete specimens exposed to freezing-thawing and chloride attack condition, simultaneously.

Keywords : Freezing-Thawing, Pore structure, Chloride penetration resistance, Durability, Concrete degradation

1. 서론

콘크리트는 다른 건설재료에 비해 높은 내구성과 경제성으로 인해 세계적으로 널리 사용되고 있다. 그러나 대부분의 콘크리트 구조물은 외부의 영향을 받아 동결융해, 염해, 중성화 등 다양한 열화인자에 노출되어 내구성이 저하된다. 특히, 국내의 경우 기후특성상 동결융해 작용에 직접적으로 노출되어 있으나, 동결융해 작용에 대한 내구성 기준은 상대동탄성계수의 변화에 근거하고 있다 (Kim et al., 2007; Yang et al., 2011).

다공질로 구성된 콘크리트의 내구성은 공기량과 공극의 크기, 공극의 수, 기포간격 등 내부 공극구조와 밀접한 관계를 가진다. 이와 같이 콘크리트 내부에 존재하는 공극은 각종 열화물질의 이동통로가 되어 내구성 저하의

주요 원인이 되기도 하지만, 동결융해 작용을 받는 구조물의 경우 연행공기층이 확보되면 동결에 의한 팽창압이 해소되어 높은 내구성을 갖는 것으로 보고되고 있다.

국내 내구성 설계기준에서도 동결융해 작용을 받는 구조물에 대하여 일정 공기량을 확보하도록 규정하고 있다 (Standard Specification for Concrete, 2009; Cai et al., 1998).

그러나 이러한 기준은 연행공기 크기의 공극만을 고려한 기준에 근거한 것이며, 동결융해 작용을 받은 콘크리트는 내부 잉여수의 결빙에 의한 모세관 공극의 변화를 가져오게 된다. 또한 복합열화 작용 시, 중첩 효과로 열화의 증가를 가져올 우려가 있다고 판단된다(Kown et al., 2012).

따라서 본 연구에서는 동결융해 작용을 받은 콘크리트의 공극구조와 염화물저항성 변화를 판단하기 위하여, 먼

1) 정회원, 강릉원주대학교 토목공학과 박사과정
2) 정회원, (주)제이엔티아이엔씨 기술연구소 연구원
3) 정회원, 인하공업전문대학 토목환경과 교수
4) 정회원, 강릉원주대학교 토목공학과 교수, 교신저자

* Corresponding author : eiyang@gwnu.ac.kr 016-313-0724
• 본 논문에 대한 토의를 2012년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 2013년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

저 동결융해 작용을 받지 않은 콘크리트의 연행공기와 모세관공극, 염화물 저항성 변화를 측정 하였으며, 동결융해 작용을 받은 콘크리트의 결과와 비교·분석하였다. 이를 통해 공극구조와 내구특성의 상관관계를 도출하고, 재료물성에 영향을 주는 공극영역을 분석하였으며, 이를 토대로 동결융해작용과 염화물침투를 동시에 받는 콘크리트 내구성 확보를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험변수

본 연구에서는 동결융해작용에 따라 변화되는 콘크리트 내부의 공극구조와 공극구조변화에 따른 내구특성을 분석하기 위하여, 물-결합재비 (0.4, 0.5)와 혼화제(고로슬래그, 플라이애쉬)를 변수로 하여 배합을 결정하였으며, 각 배합에 대하여 동결융해 100사이클마다 계획된 측정을 실시하였다. 측정항목을 정리하여 나타내면 Table 1과 같다.

2.2 사용재료 및 배합

시험체 제작에 사용된 시멘트는 KS L 5201에 규정된 보통포틀랜드시멘트를 사용하였다. 잔골재는 하천 모래를 사용하였으며, 굵은 골재는 부순골재를 사용하였다. 부순골재의 최대 치수는 25mm이며, 실험에 사용된 골재의 물리적 성질은 Table 2와 같다. 혼화제 대체의 경우에는 물-결합재비 0.5를 기준으로 플라이애쉬(FA)를 10%, 고로슬래그미분말(BFS)을 30% 대체하였으며, 사용한 혼화제의 물리적 성질 및 화학적 성분은 Table 3에 나타

Table 1 Measurement Items

Variable	Water curing (Ref)	Freezing-Thawing (F-T)
Curing condition	14day water curing	
Exposure period	31, 45, 65 days	100, 200, 300 cycles
Specimen size	$\varnothing 100 \times 50$ mm (RCPT, IAM) $\varnothing 100 \times 10$ mm (MIP)	
Chloride penetration resistance	Tang & Nilsson, RCPT	
Penetration depth	AgNO ₃ , colormetric method	
Image analysis method	Macropore - size - distribution (surface area)	
Mercury intrusion porosimetry	Micropore - size - distribution, porosity, bulk density	

Table 2 Material properties of aggregate

Type	Density(g/cm ³)	Absorption(%)	F.M
Fine	2.59	0.63	2.65
Coarse	2.54	1.07	6.83

Table 3 Physical and chemical composition of materials

Material		OPC	FA	BFS
Properties	Specific gravity	3.15	2.25	2.89
	Blaine (cm ² /g)	3,200	3,400	4,300
Chemical (%)	SiO ₂	21.36	49.89	33.54
	Al ₂ O ₃	5.03	29.99	15.22
	Fe ₂ O ₃	3.31	7.42	0.51
	CaO	63.18	5.01	43.88
	MgO	2.89	0.98	2.62
	SO ₃	2.30	-	2.54
	LOI	1.40	4.31	0.01

Table 4 Concrete mix proportions

W/B (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)					
		W	C	S	G	FA	BFS
40	43	170	425	721	934	-	-
	45	173	345	782	933	-	-
50	45	173	311	776	927	35	-
	45	173	242	778	929	-	104

내었다. 실험에 사용된 배합표는 Table 4와 같으며, 공기량은 4.5%±1.5% 범위에서 측정되었다.

2.3 시험체 제작 및 실험방법

동결융해작용에 따른 콘크리트의 건전성 평가를 위한 시험체는 100×100×400(mm) 각주형 공시체로 제작하였으며, 내부 공극구조와 내구성 시험을 위한 시험체는 $\varnothing 100 \times 200$ (mm) 원주형 공시체를 사용하였다. 모든 시험체는 재령별로 3개씩 제작하였으며, 14일간 수중양생 후 동결융해실험을 실시하였다.

동결융해 시험은 KS F 2456 (방법 B)에 따라 실시하였다. 동결융해 작용을 받은 시편의 건전성을 평가하기 위하여, 무게변화와 상대동탄성계수를 측정하였다. 또한 건전한 콘크리트와 동결융해 작용을 받은 콘크리트의 내구특성을 비교·분석하기 위하여 동결융해 작용을 받은 기간(100, 200, 300cycle)과 동일한 재령동안 수중양생을 실시한 건전한 시험체의 공극구조와 염화물 침투저항

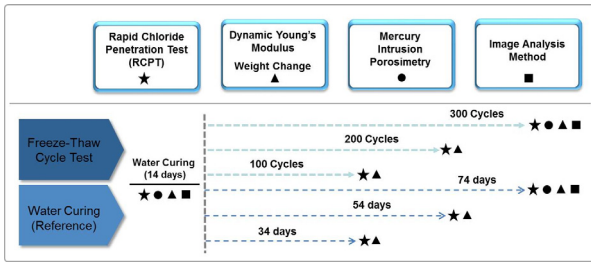


Fig. 1 Test schedule

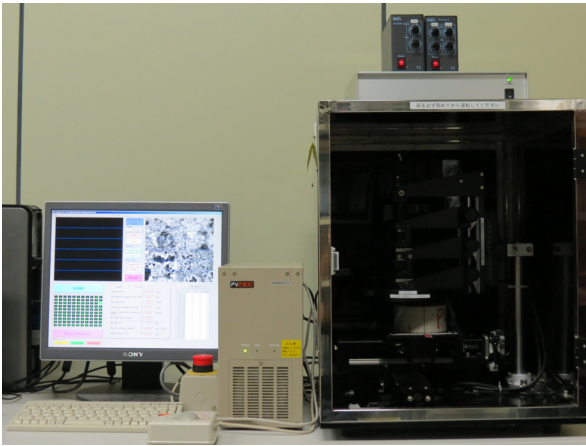


Photo 1 Image analysis method

특성 변화를 각각 측정하였다. 실험일정을 정리하여 나타내면 Fig. 1과 같다.

2.4 공극구조측정방법

동결융해작용에 따른 콘크리트의 내부공극구조 변화를 분석하기 위하여 시험체를 절단한 후, 내부공극을 측정하였다. 거시적으로 측정 가능한 비교적 큰 공극인 연행공기영역과 갇힌공기 영역을 ASTM C 457 시험법에 의거한 리니어트레버스법(Linear-Traversal Method)을 적용하여, Photo 1과 같은 화상분석법(Image Analysis Method)으로 측정하였다. 본 측정기는 연마공시체를 50배에서 125배까지 확대할 수 있는 광학현미경으로써 해상도 0.00903mm/pix를 적용하였다. 이때의 트레버스라인 총길이는 2542mm이며, 110개의 이미지를 측정하였다. 또한 5~1000nm의 모세관 공극을 ASTM D 4284에 의거하여 Photo 2와 같은 수은압입법(Mercury Intrusion Porosimetry)으로 분석하였다. 화상분석 및 MIP분석의

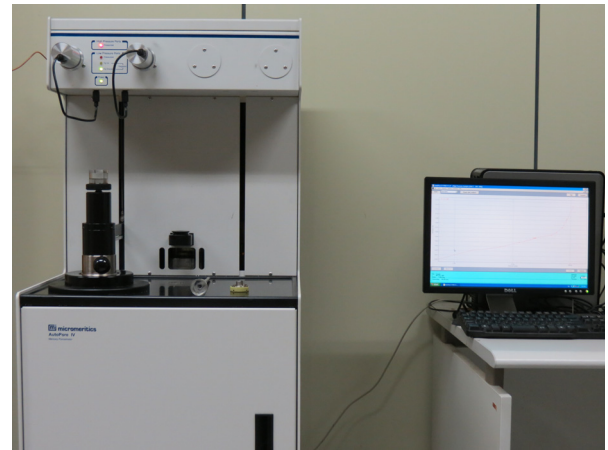


Photo 2 Mercury intrusion porosimetry

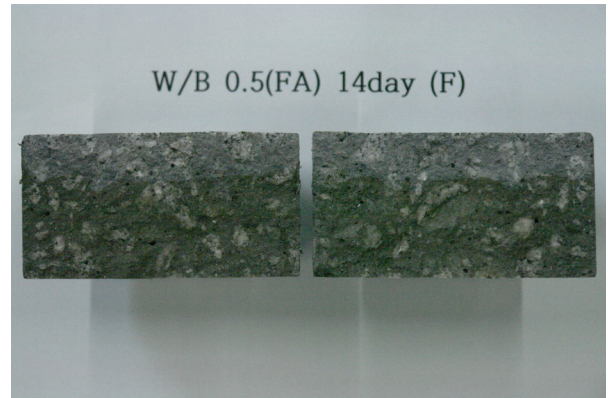


Photo 3 Measurement of penetration depth

경우, 각 3개 시험체에 대한 평균값을 사용하였으며, MIP 시료의 무게는 $10 \pm 2g$ 으로 하여 시험체간의 통일성을 유지하였다.

2.5 염화물 침투저항 실험

염화물 침투저항실험은 Tang과 Nilsson이 제안한 전기촉진시험방법을 참조하여 0.3M의 NaOH 수용액을 양극으로, 3%의 NaCl 수용액을 음극으로 하여 30V의 전압을 8시간동안 가하여 실험하였다. Photo 3에 나타난 것과 같이 염화물 침투깊이의 측정은 변색법을 이용하였으며, 시편의 할렬 후 0.1N $AgNO_3$ 를 분무하여 측정하였다. 이때의 침투 깊이는 3개의 시험체의 평균값으로 산정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 동결융해 건전성 평가

Fig. 2와 3은 동결융해작용에 따른 콘크리트 시편의 건전성을 나타내는 상대동탄성계수와 무게변화를 나타낸 것이다. 이를 살펴보면 모든 배합에서 300사이클까지의 동결융해작용으로 다소 상대동탄성계수의 저하가 나타났으나, 내구지수 80% 이상으로 양호한 내구성을 나타내었다. 또한 동결융해작용을 받은 콘크리트의 무게는 동결융해를 받기 전과 큰 변화를 나타내지 않으며 우수한 내구 성능을 나타내었다. 즉, 모든 배합에서 동결융해작용에 의한 내구열화는 적은 것으로 나타났다.

3.2 공극분포 특성

시멘트 페이스트의 내부공극은 수화가 진행됨에 따라

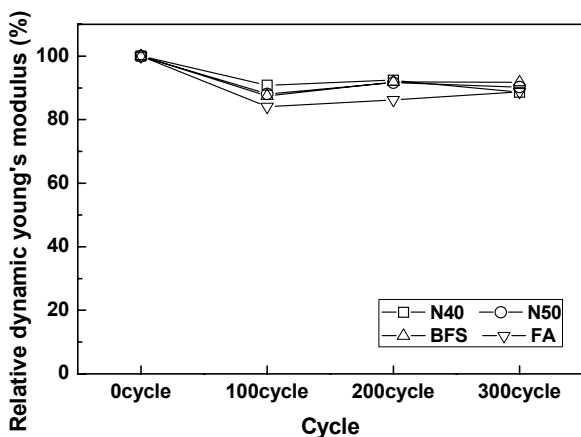


Fig. 2 Relative dynamic young's Modulus with freezing-thawing

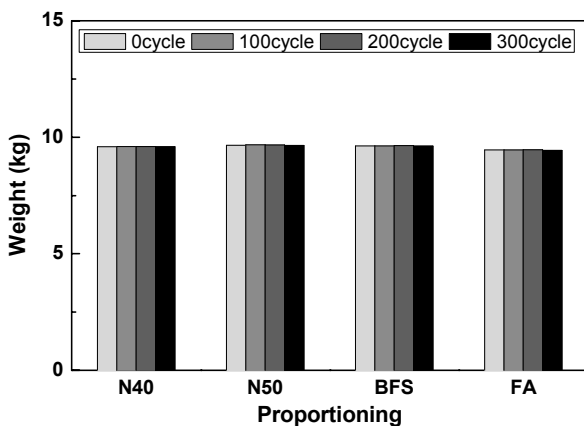


Fig. 3 Weight change with freezing-thawing

수화생성물로 충전되고, 내부 공극구조는 점진적으로 밀실해지는 것으로 보고되고 있다(Lee et al., 2004). 그러나 동결융해작용으로 인해서 내부 공극의 변화를 초래할 수 있으므로, 이를 검토하기 위해서 수중양생경우와 동결융해작용을 받는 경우에 대하여 10~1000 μ m 범위의 거시공극변화를 화상분석법으로 분석하였으며, 300사이클의 동결융해 작용을 받은 시편의 측정결과를 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4의 y축은 전체 거시공극량에 대한 각 크기별 공극구간의 비율을 의미한다. 결과를 살펴보면, 물-결합재비와 혼화재를 대체한 모든 배합의 경우에서 피크점이 약간 상승하지만, 동결융해작용에 따른 거시적인 내부공극은 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 즉, 3.1절의 결과에서 나타내었던 우수한 내구성은 이러한 결과에 근거하는 것으로 판단된다. 한편, 공극의 최대량을 나타내는 피크점은 100~200 μ m의 범위에 분포하였다.

다음으로, 동결융해작용에 의한 콘크리트의 미세공극분포 변화를 알아보기 위해 300사이클에 해당하는 65일 재령의 수중양생한 건전한 콘크리트 시험체와 300사이클의 동결융해작용을 받은 콘크리트 시험체의 미세공극분포를 Fig. 5에 나타내었다. 건전한 콘크리트의 경우, 뚜렷한 피크점을 나타내지 않는 BFS 혼입 콘크리트를 제외하고, 모든 물-결합재비의 콘크리트에서 40~50nm 범위의 공극영역에서 최대 피크점을 형성하지만, 동결융해 작용을 받은 콘크리트의 미세공극분포의 피크점을 살펴보면 50~70nm크기의 공극영역에 형성되고 공극의 양을 나타내는 피크점의 높이도 높게 나타났다.

한편, 뚜렷한 피크점을 나타내지 않는 BFS를 혼입한 경우의 모세관 공극분포를 살펴보면, 앞에서 언급한 공극의 증가를 보였으나 전체적으로 적은 공극분포를 보였다.

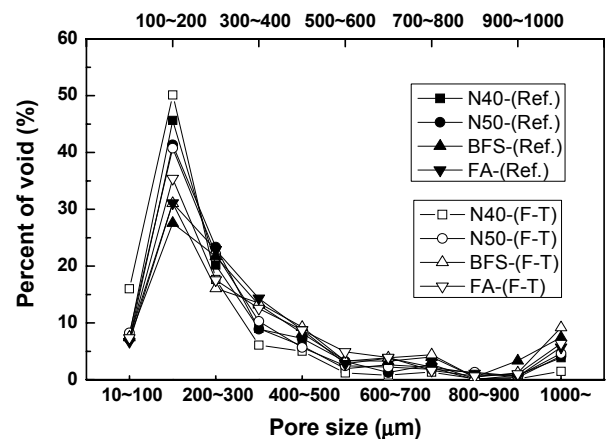


Fig. 4 Result of Surface Image analysis (300cycle)

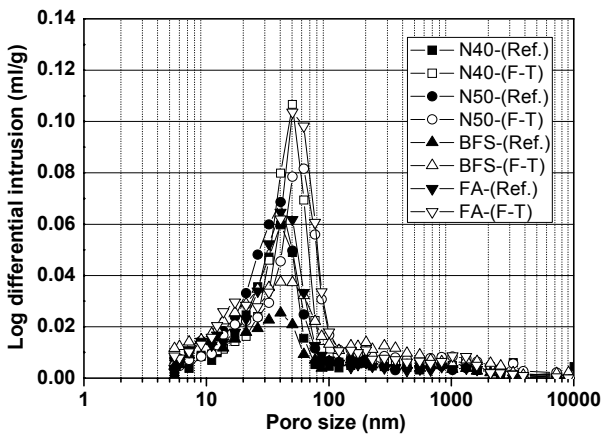


Fig. 5 Result of mercury intrusion porosimetry (300cycle)

Fig. 6은 모세관공극을 일정한 영역으로 나누어 Fig. 5의 그래프를 정리하여 나타낸 것이다. 이를 살펴보면, 동결융해 작용에 의해 모든 배합의 경우에서 50~100nm 크기 공극영역이 300% 이상 차이를 보이며, 큰 변화를 나타내었다. 이는 기존 연구(Metha, 2005; Kim et al., 2003)에서 50nm 이상의 공극이 내구성과 관련된다는 결과에

근거할 때, 동결융해를 받은 콘크리트의 내구성은 50~100nm 크기 공극의 영향을 크게 받는 것으로 판단된다.

한편, Fig. 6(c) 및 Fig. 6(d)의 혼화재를 혼입한 경우를 살펴보면, 50~100nm크기 공극영역이 주된 열화영역이지만, 다른 배합의 경우와 비교하여 모세관공극의 모든 영역에서 공극의 증가를 나타내었다.

3.3 공극률 및 염화물침투저항 특성

Fig. 7은 동결융해 작용을 받은 경우와 이와 동등한 기간 동안 수중양생한 시험체의 공극률(Pore volume) 변화를 나타낸 것이다. Fig. 7(a)의 수중양생한 건전한 콘크리트의 경우, 물-결합재비와 혼화재를 혼입한 모든 배합에서 재령이 경과함에 따라 수화생성물의 채움에 의해 공극률이 감소하는 경향을 나타내었으며, 특히 혼화재를 혼입한 경우 물-결합재비 0.5와 비교하여 뚜렷한 공극률 감소를 나타내었다. 플라이애쉬를 혼입한 경우 물-결합재비 0.4와 유사한 수준의 공극률을 나타내었으며, 고로슬래그미분말을 혼입한 경우에는 물-결합재비 0.4의 경

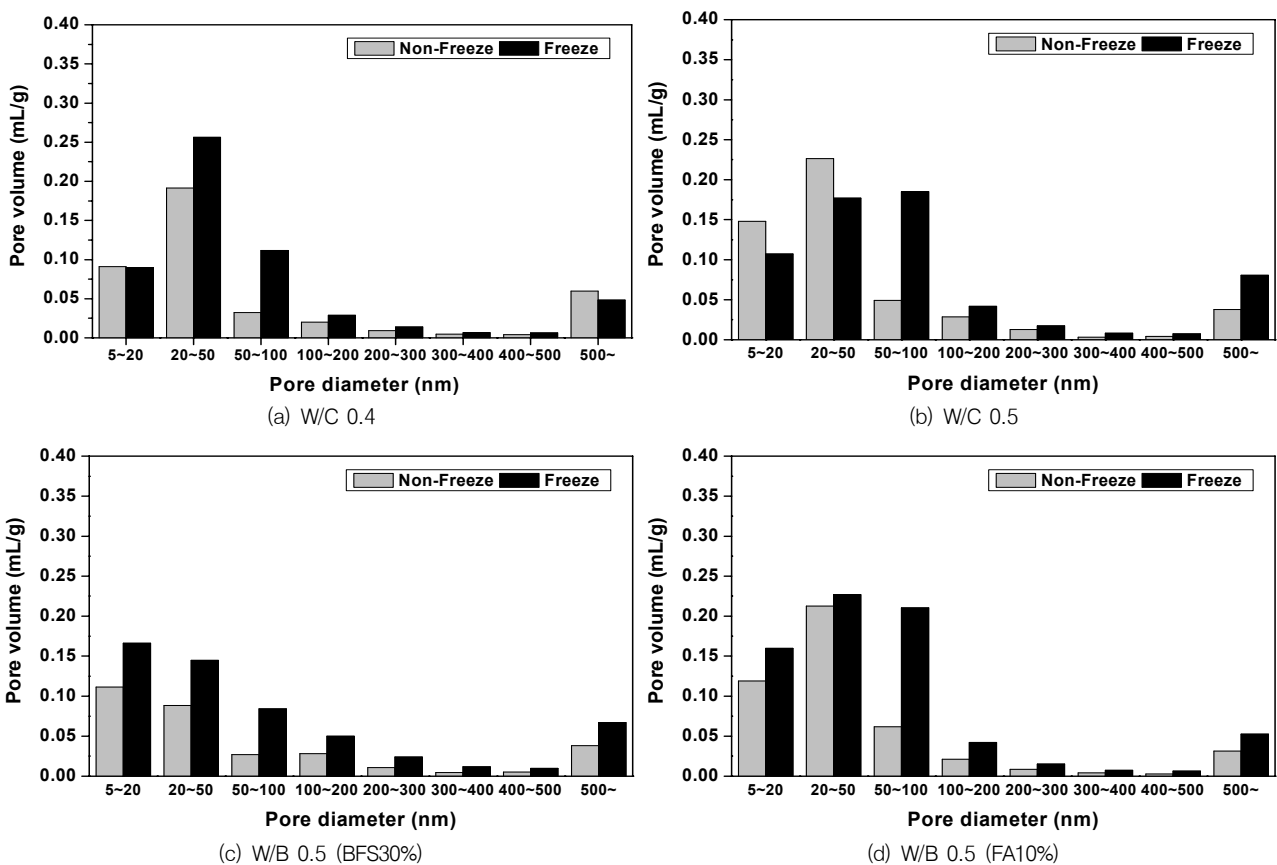


Fig. 6 Pore distribution

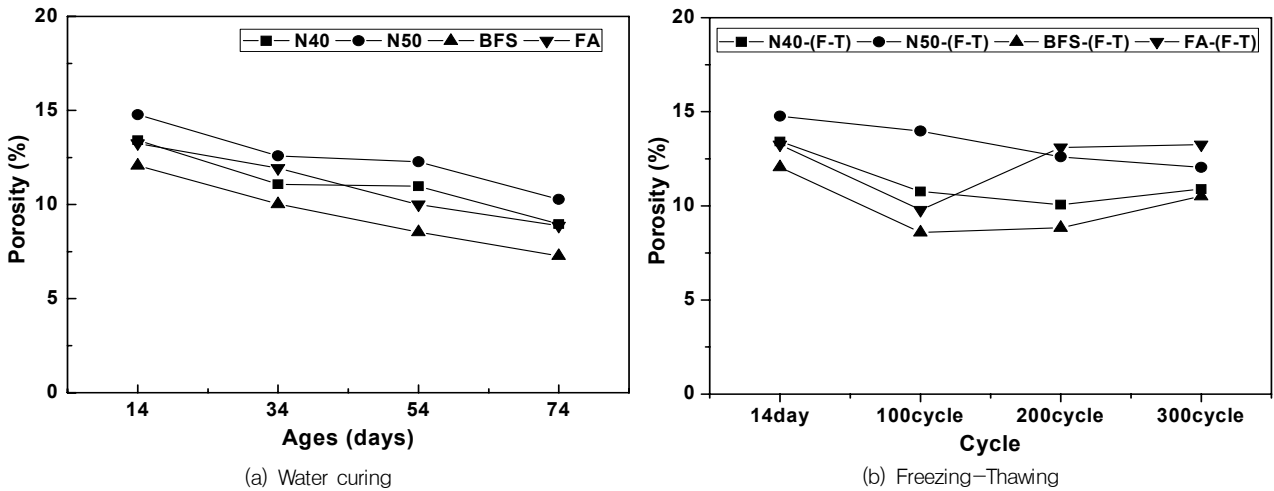


Fig. 7 Porosity change with ages and freezing-thawing

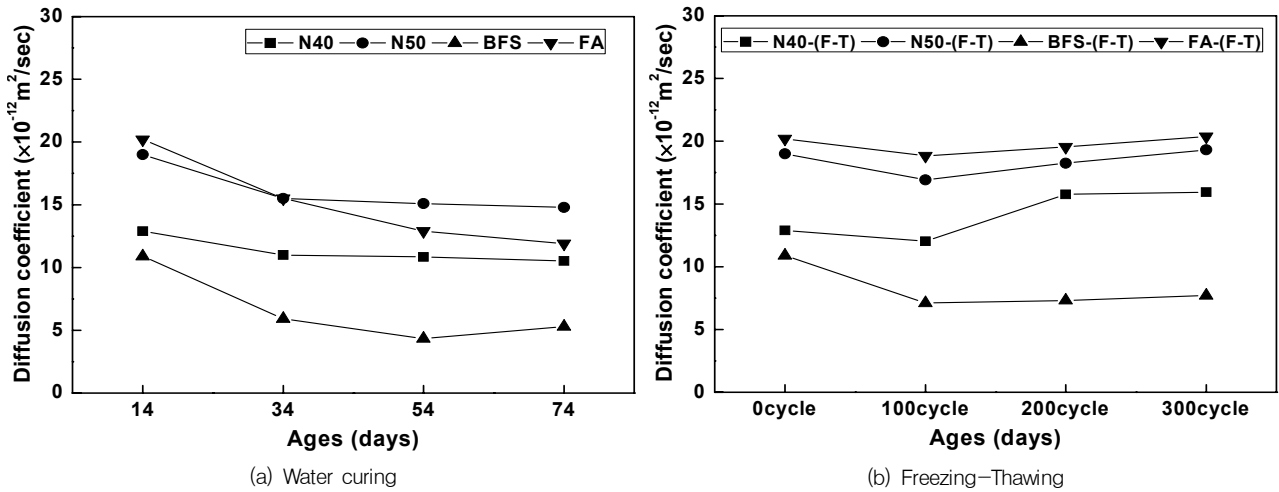


Fig. 8 Diffusion coefficient change with ages and freezing-thawing

우보다 더 낮은 공극률을 나타내며 가장 낮은 공극률을 나타내었다. 이는 혼화재의 높은 분말도에 기인한 것으로 판단된다(Chindaprasirt et al, 2004; Yang and Choi, 2011). 한편 Fig. 7(b)의 동결융해 작용에 의해 열화된 시편의 공극률을 살펴보면, 모든 배합의 경우에서 동결융해 작용에 따른 열화로 인해 공극률이 거의 유사하거나 오히려 상승하는 결과를 보였다. 특히, 플라이애쉬를 혼입한 경우 동결융해 작용 100cycle후 공극률이 급격한 증가를 나타내며 동결융해 작용에 취약함을 나타내었으며, 고로슬래그미분말을 혼입한 경우는 건전한 콘크리트에 비해 높은 공극률을 나타내지만 동결융해 작용 시에도 가장 낮은 공극률을 나타내며, 우수한 동결융해 저항성을 나타내었다.

한편, 동결작용에 따른 염화물 침투저항 특성을 Fig. 8

에 나타내었다. 이를 살펴보면 동결융해 작용에 따라 염화물 침투저항성은 감소하는 경향을 보이고 있으며, 이는 Fig. 7의 공극률 증가와 관련이 있음을 나타내고 있다(Yang, 2006; Moon, 2003; Chung et al., 2010). 따라서 기존의 내구성 평가법에 의해 동결융해저항성이 우수하다고 판단되더라도, 동결융해작용과 염화물침투를 동시에 받는 경우에는 동결융해 진행에 따른 염화물침투저항성에 대한 추가적인 검토가 필요할 것으로 사료된다.

플라이애쉬를 혼입한 경우를 살펴보면, 동결융해를 받지 않은 수중양생 콘크리트는 공극률과 염화물 침투저항성이 물-결합재비 0.4의 경우와 유사하게 증가하지만 동결융해 작용시 물-결합재비 0.5의 경우보다 취약해지는 경향을 나타내었다. 이는 플라이애쉬의 포졸란 반응이 발현되기 이전(재령 14일)에 동결융해 작용에 노출되어 나

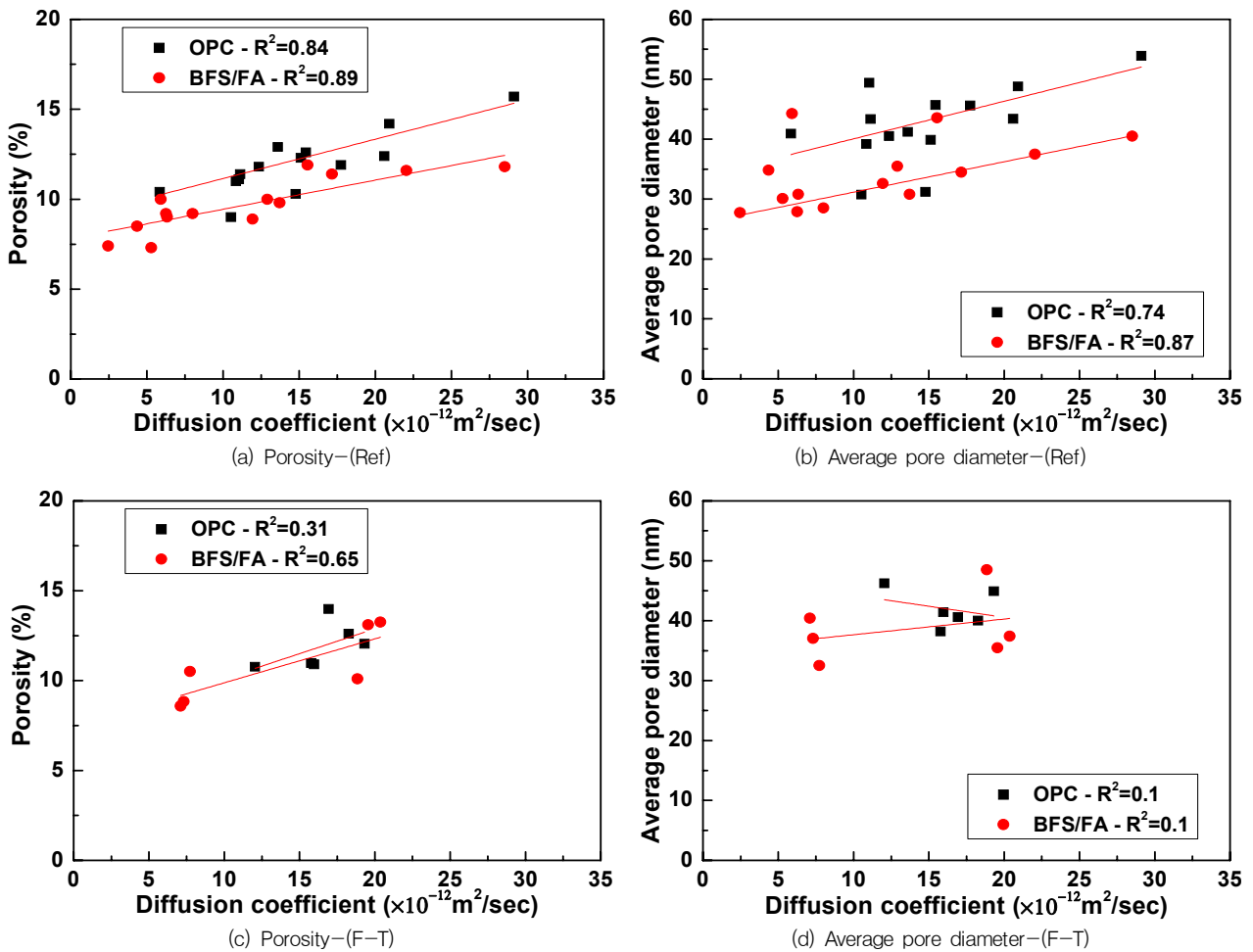


Fig. 9 Relationship between diffusion coefficient and porosity, average pore diameter

타난 결과로 판단된다. 이에 비해, 고로슬래그를 혼합한 경우는 동결융해 작용의 유·무에 관계없이 가장 작은 공극률과 우수한 염화물 침투저항 특성을 나타내었다.

3.4 공극과 확산계수와의 관계

Fig. 9는 콘크리트의 공극과 염소이온 확산계수와의 관계를 비교하기 위하여 물-결합재비와 혼화재 종류에 따른 염소이온 확산계수와 평균공극직경, 공극률과의 관계를 정리하여 나타낸 그래프이다. Fig. 9(a) 및 Fig. 9(b)의 동결융해 작용을 받지 않은 콘크리트의 경우, 확산계수와 공극률, 평균공극직경의 관계에서 0.74 이상의 선형적 상관관계를 나타낸다. 이것은 수중양생 한 콘크리트의 경우 배합초기 생성된 공극이 수화생성물의 채움에 의한 공극 감소로 인해 선형적인 관계를 나타낼 수 있었던 것으로 판단된다.

이에 비해, 동결융해 작용을 받은 경우인 Fig. 9(c) 및 Fig. 9(d)의 그래프를 비교해 보면, 확산계수와 공극률 및 평균공극직경 모두 명확한 선형관계를 나타내지 않았다. 즉, 동결융해 작용에 의해 콘크리트의 공극이 열화된 경우에는 천이영역(Interfacial Transition Zone)의 손상과 시멘트 페이스트의 손상에 의한 공극간의 상호연결성(connectivity)의 증가와 굴곡도(tortuosity)의 감소에 의한 결과(Yang, 2006)이므로 일정한 관계를 보이지 않는 것으로 판단되며, Fig. 6에서 나타낸 바와 같이 50~100nm사이의 공극 증가가 주된 원인인 것으로 사료된다.

4. 결론

지금까지 서술한 연구를 통해 얻어진 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 동결융해 작용을 받을 경우, 콘크리트 미세공극분포의 피크점은 40~50nm 범위에서 50~70nm 범위로 이동하며, 공극량도 증가하였다.
- (2) 모든 배합에서 미세 공극구조는 5~200nm의 구간에 주로 분포하며, 각 다른 크기의 공극들은 상호 연결되어 염화물저항성에 영향을 미친다. 특히, 가장 많은 영향을 미치는 공극의 크기는 50~100nm로 판단된다.
- (3) 동결융해 작용에 대한 내구성평가를 실시한 결과, 모든 배합의 시편에서 상대동탄성계수가 기준치보다 높게 측정되어 건전한 것으로 나타났지만, 동결융해 작용 후의 염화물저항성은 낮아지는 것으로 나타났다. 동결융해와 염화물침투를 동시에 받는 콘크리트 구조물의 내구성평가 기준의 검토가 필요할 것으로 판단된다.
- (4) 수증양생한 시편의 공극률과 확산계수 사이의 R^2 값 0.82, 평균공극직경과 확산계수 사이의 R^2 값 0.74 이상을 타내었으나, 동결융해 작용을 받은 경우, 공극량, 평균공극 직경과 확산계수 사이에서는 뚜렷한 선형관계를 보이지 않았다. 이는 동결융해 작용에 의한 상호연결성(connectivity)의 증가와 굴곡도(tortuosity) 감소가 원인으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2012년도 강릉원주대학교 교수연구년 연구 지원 및 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임. (No. 2010-0023118)

참고문헌

1. ASTM C 457, "Standard Test Method for Microscopical Determination of Parameters of the Air-Void System in Hardened Concrete", 2010.
2. ASTM D 4284, "Standard Test Method for Determining Pore Volume Distribution of Catalysts by Mercury Intrusion Porosimetry", 2007.
3. Cai, H. and Liu, X., "Freeze-Thaw Durability of Concrete: Ice Formation Process in Pores", Cement and Concrete Research, vol. 28, No. 9, 1998, pp.1281-1287.
4. Chendaprasirt, P., Jaturapitakkul, C. and Sinsiri, T., "Effect of fly ash fineness on compressive strength and pore size of blended cement paste", Cement and Concrete Composites, vol. 27, 2005, pp.425-428.
5. Chung, C. W., Shon, C. S. and Kim, Y. S., "Chloride ion diffusivity of fly ash and silica fume concretes exposed to freeze-thaw cycles", Construction and Building Materials, vol. 24, 2010, pp.1739-1745.
6. Kim, G. Y., Kim, M. H., Cho, B. S. and Lee, S. H., "The Evaluation of Surface Scaling and Resistance of Concrete to Frost Deterioration with Freezing-Thawing Action by Salt Water", Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance Inspection, vol. 11, No. 6, 2007, pp.143-151. (in Korean)
7. Kim, J. C., Paeng, W. S. and Moon, H. Y., "Effect of the Pore Structure of Concrete on the Compressive Strength of Concrete and Chloride Ions Diffusivity into the Concrete", Journal of the Korea Concrete Institute, vol. 15, No. 2, 2003, pp.345-351.
8. Korea Concrete Institute, Standard Specification for Concrete, 2009.
9. Kwon, S. J., Lee, H. S., and Park, S. G., "Effect of Additional Water on Durability and Pore Size Distribution in Cement Mortar", Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance Inspection, vol. 16, No. 3, 2012, pp.78-83. (in Korean)
10. Lee, C. S., Lee, K. D., Kokubu, K. and Kwak, D. Y., "A Variation of Pore Structure of Concrete and its Relationship with Compressive Strength Cured with Various Temperatures", Journal of Korean Society of Civil Engineers, vol. 25, No. 6A, 2004, pp.1145-1150. (in Korean)
11. Mehta, P. K., "Concrete: Microstructure, Properties, and Materials", McGraw-Hill, 2005, p.32.
12. Moon, H. Y., Kim, H. S. and Choi, D. S., "The Characteristic of Capillary Pore and Chloride Diffusivity by Electrical Difference into Various Concrete", Journal of Korean Society of Civil Engineers, vol. 23, No. 5A, 2003, pp.969-976. (in Korean)
13. Tang, L. and Nilsson, L. O., "Rapid determination of the chloride diffusivity in concrete by applying an electrical field", ACI Material Journal, vol. 89, No. 1, 1992, pp.49-53.
14. Yang, C. C., "On the relationship between pore structure and chloride diffusivity from accelerated chloride migration test in cement-based materials", Cement and Concrete Research, vol. 36, 2006, pp.1304-1311.
15. Yang, E. I., Choi, Y. S., "Characteristics of Pore Structures and Compressive Strength in Calcium Leached Concrete Specimens", Journal of the Korea Concrete Institute, vol. 23, No. 5, 2011, pp.647-656. (in Korean)
16. Yang, E. I., Kim, M. Y., Yang, J. K., Park, H. G. and Choi, Y. S., "A Study on Long-Term Mechanical Properties and Durability in Metakaolin Concrete Bridge Deck", Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance Inspection, vol. 15, No. 3, 2011, pp.125-133. (in Korean)

Received : 08/07/2012

Revised : 09/18/2012

Accepted : 09/21/2012

요 지

콘크리트 구조물은 일반적으로 동결융해 작용을 받는 조건에 노출되고, 이러한 동결융해작용은 콘크리트의 공극구조를 변화시키고, 콘크리트의 내구성을 저하시킬 우려가 있다. 따라서 본 연구에서는 동결융해작용에 의한 콘크리트 내부공극구조 변화와 동결융해작용을 받은 콘크리트의 내구특성을 평가하고자 하였다. 실험결과, 기존의 동결융해 평가기법에 따르면 모든 배합에서 우수한 내구성능을 나타내었으나, 동결융해 작용에 노출됨에 따라 50~100nm 크기의 공극이 크게 증가하며, 콘크리트 염화물침투 저항성이 저하하였다. 수중양생 콘크리트의 공극구조와 염화물 침투저항성은 선형관계를 보이지만, 동결융해작용을 받으면 내부공극구조의 변화로 선형관계가 저하하였다. 동결융해작용과 염화물침투를 동시에 받는 구조물의 내구성 평가기준에 대한 재검토가 필요할 것으로 판단된다.

핵심 용어 : 동결융해, 공극구조, 염화물침투저항성, 내구성, 콘크리트 열화
