

부재 두께 변화에 따른 콘크리트의 초기동해 특성 분석 및 깊이진단

Early Frost Damage and Diagnose of Damage Depth Due to Early Frost Damage of the Concrete According to the Thickness of Members

김 태 우^{1*}

한 민 철²

Kim, Tae-Woo^{1*}

Han, Min-Cheol²

Master Course, Department of Architectural Engineering, Cheong ju University, Naedeok-Dong, Cheongju-City,
28503 Korea ¹

Professor, Department of Architectural Engineering, Cheong ju University, Naedeok-Dong, Cheongju-City, 28503
Korea ²

Abstract

Recently, there are many structures exposed to severe outdoor environments, which results in rapid degradation of durability of the concrete structures. there can be rapid deterioration of the concrete structures from early frost damage due to the insufficient curing in low outdoor temperature condition. The objective of this study is to investigate the effect of thickness change conditions and binding material on early frost damage depth of the concrete exposed to cold weather in winter, and is to clearly assess damage depth of the concrete structure due to early frost damage. Specimens with 300x300x(150, 200, 250, 300mm) were prepared. OPC and OPC+FA+BS were adopted for binders. Test results indicate that the depth of the early frost damage was deeper with the decrease of thickness of members. The brightness of specimens were reduced when the member thickness was thinner. When determining the depth of early frost damage, it can be distinguished into dark color and relatively bright color when dried for approximately 30 minutes in the indoors of 20 °C in temperature and 60% in relative humidity after submerging in water for 24 hours. The dark colored part can be determined easily when measured with vernier calipers.

Keywords : thickness changes, early frost damage, depth determination, cold weather concrete

1. 서 론

최근에는 열악한 환경에 노출되는 콘크리트 구조물의 품질 확보에 대하여 관심이 증대되고 있다. 그 중에서도 겨울철 낮은 외기온 조건에서의 초기양생 불량은 콘크리트 구조

물의 초기동해 피해를 일으킬 수 있는 것으로 알려지고 있다[1]. 특히, 콘크리트 공사는 필연적으로 물을 사용하게 되어 초기동해를 방지할 수 있는 양질의 보양 대책이 필요하지만 우리나라 중·소규모의 건설업체는 이를 충족시키지 못한 채 콘크리트를 타설하여 초기 양생 시 냉기에 노출되는 사례가 가끔은 발생하고 있다.

그러나, 그동안의 많은 연구자들에 의해 기상조건[2], 사용재료[3], 재령[4] 등 다양한 초기동해의 영향인자[5]와 관련해서는 어느 정도 진전을 이루었으나 최근 많이 활용되고 있는 3성분계 시멘트와 같은 결합재 종류 및 부재 두께 변화에 따른 영향의 연구는 미진한 실정에 있고, 또한 초기동

Received : January 21, 2019

Revision received : March 22, 2019

Accepted : March 27, 2019

* Corresponding author : Kim, Tae-Woo

[Tel: 82-43-229-8484, E-mail: twhan@cju.ac.kr]

©2019 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

해가 발생한 구조물 특히 슬래브와 같은 경우 그 피해깊이를 진단하는 방법에 대하여는 거의 연구된 바 없다.

그러므로 본 연구에서는 겨울철 외기온 조건에서 콘크리트 부재의 결합재 종류 변화 및 두께 변화가 콘크리트의 초기동해 깊이에 미치는 영향 분석과 아울러 초기동해 피해를 입은 구조체에 대하여 그 깊이를 명확히 판정하는 방법을 제안하고자 한다.

2. 현장적용 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 1, 배합사항은 Table 2와 같다. 즉, 배합사항으로 물결합재비(W/B)는 50%, 목표 슬럼프는 180 ± 25 mm, 목표 공기량은 $4.5 \pm 1.5\%$ 를 만족하도록 배합설계 하였다. 실험사항으로 결합재 구성은 OPC = 100%와, OPC : FA : BS = 65 : 15 : 20%의 2수준으로 계획하였으며, 양생온도는 2018년 1월 10일 ~ 13일까지의 청주시 외기온으로 하였다. 콘크리트의 기초적 특성은 슬럼프, 공기량 및 3일, 7일 및 28일 압축강도를 측정하도록 하였다. Figure 2와 같은 모의 슬래브 부재에서는 150, 200, 250 및 300mm의 두께 변화에 대하여 온도이력과 초기동해 깊이와 관련한 코어 공시체의 침수 후 건조과정의 사진 촬영 및 명도를 측정하는 것으로 실험계획 하였다.

Table 1. Experimental plan

Factors		Levels	
Mixture	W/B (%)	1	· 50
	Slump (mm)	1	· 180 ± 25
	Air contents (%)	1	· 4.5 ± 1.5
	Binder (%)	2	· OPC=100 · OPC:FA:BS=65:15:20
Curing temperature	1	· External temperature	
	4	· 150, 200, 250, 300	
Fresh concrete	2	· Slump · Air contents	
	4	· Compressive strength · Temperature history · Progress picture · Brightness measurement	
Tests	Hardened concrete	4	

Table 2. Mixture proportions of concrete

Type	W/C (%)	W (kg/m^3)	S/a (%)	AE/C	Weight (kg/m^3)				
					C	FA	BS	S	G
OPC=100	50	180	49	0.015	360	-	-	872	892
OPC:FA:BS=65:15:20	50	180	49	0.02	234	54	72	861	848

2.2 사용재료

본 연구의 사용재료로서, 먼저 시멘트는 국내산 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 플라이애시와 고로슬래그 미분말은 국내에서 유통되는 재료를 사용하였는데, 각각의 물리·화학적 성질은 Table 3, 4 및 5와 같다.

골재는 충북산 천연 잔골재 및 부순 굵은 골재를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 Table 6과 같다.

Table 3. Physical properties of cement

Density (g/cm^3)	Blaine (cm^2/g)	Setting time (min.)		Compressive strength (MPa)		
		Initial	Final	3D	7D	28 D
3.15	3 390	230	345	24.8	39.3	56.9

Table 4. Physical and chemical properties of FA

Density (g/cm^3)	Blaine (cm^2/g)	L.O.I (%)	hygroscopic moisture (%)	SiO ₂ (%)
2.21	3 520	4.60	0.13	67.2

Table 5. Physical and chemical properties of BS

Density (g/cm^3)	Blaine (cm^2/g)	L.O.I (%)	Chemical composition(%)			
			CaO	SiO ₂	MgO	SO ₃
2.87	4 520	1.50	42.3	64.2	6.40	1.69

Table 6. Physical properties of aggregate

Type	Density (g/cm^3)	F.M.	Absorption on rate(%)	Fines passing 0.08mm sieve(%)	Particle shape(%)
coarse aggregate	2.68	6.71	1.10	0.51	57.3
fine aggregate	2.68	2.92	0.90	0.30	56.9

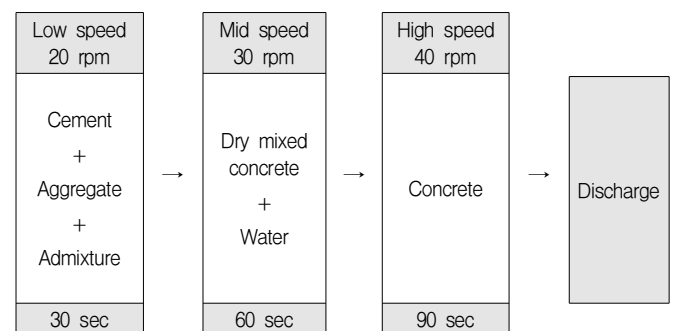


Figure 1. Mixing protocol for concrete mixture

Table 7. Experimental method

Item	Standard
Slump test	KS F 2402
Air content test	KS F 2421
Specimen figuration	KS F 2403
Compressive strength test	KS F 2405
Core sampling test	KS F 2422

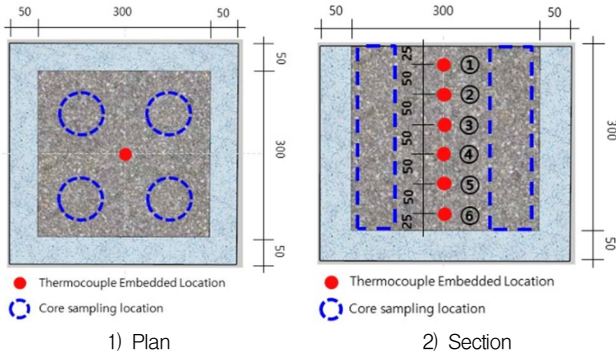


Figure 2. Specimen set-ups

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 트윈샤프트 믹서를 사용하여 Figure 1과 같이 혼합하였다. 기타 굳지 않은 상태 및 굳은 상태에서의 각종 실험방법은 Table 7과 같다.

모의 구조체의 초기동해 실험과 관련하여 그 모습은 Figure 2와 같고, 온도이력 측정은 콘크리트 구조체 모형의 상부로부터 50mm 간격으로 T-type 열전대를 설치하여 측정하였다. 초기동해 조사는 기존 연구를 참고하여[6] 콘크리트 모의 슬래브 부재에서 $\varnothing 75\text{mm}$ 코어를 재령 7일에 채취한 후 물에 24시간 침수시켜 기온 20°C, 상대습도 80%인 실내에 건조시키면서 사진 촬영을 실시하였다.

명도 측정의 경우는 육안건조 검사와 같은 조건에서 분광측색계를 이용하여 콘크리트 상부로부터 30mm 간격으로 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 콘크리트의 기초적 특성

Table 8은 콘크리트의 기초적 특성시험 결과를 나타낸 것이다. OPC 100%를 사용한 경우보다 OPC : FA : BS = 65 : 15 : 20%의 혼합시멘트를 사용한 경우 슬럼프치가 증가하였고, 공기량은 감소하였다. 또한, 혼합시멘트를 사용한

경우 표준조건($20 \pm 2^\circ\text{C}$)에서 수중양생한 3일, 7일의 초기 재령 압축강도는 낮았지만 28일 압축강도는 높게 나타났다. 이는 플라이애시의 둥근 입형으로 유동성이 증가, 플라이애시의 미연소탄분으로 인한 공기량 감소, 잠재수 경성 반응 및 포졸란 반응으로 인한 28일 강도가 증가 등은 기존 연구와 동일한 원인인 것으로 분석된다[7].

Table 8. Fundamental characteristics of concrete

Type	Slump (mm)	Air contents (%)	Compressive Strength (MPa)		
			3 days	7 days	28 days
OPC=100	180	4.0	13.9	21.4	22.3
OPC:FA:BS=65:15:20	190	3.5	12.2	18.9	28.5

3.2 경화 콘크리트의 특성

3.2.1 온도이력

Figure 3은 OPC 100%를 사용한 부재 두께별 콘크리트 시험체의 온도이력을 상부표면으로부터 50mm 간격으로 측정한 결과이다. 전반적으로 영하의 외기온 조건에 따라 콘크리트 내부의 온도가 저하되었는데, 외기와 근접한 콘크리트의 상부가 가장 낮은 온도분포를 나타내었다. 먼저 부재 높이 150mm의 경우는 시간이 경과함에 따라 콘크리트 상부의 온도가 최저 -8.7°C 의 온도분포를 나타내었고 부재 높이 200mm의 경우는 콘크리트 상부의 온도가 최저 -3°C 전후를 나타내었으며, 250mm 및 300mm의 경우는 전반적으로 200mm의 경향과 유사하였다. 이는 콘크리트 부재의 두께가 증가함에 따라 콘크리트 내부 수화열의 증가로 콘크리트의 온도저하가 감소한 것으로 분석된다.

Figure 4는 결합재로 OPC : FA : BS = 65 : 15 : 20%를 사용한 부재 두께별 콘크리트 시험체의 온도이력을 상부표면으로부터 50mm 간격으로 측정한 결과이다. 전반적으로 OPC 100%의 온도이력 결과와 비슷한 경향을 나타내었다. 단, 콘크리트의 최저온도 및 초기 온도이력이 비교적 낮게, 그리고 빠르게 저하하였는데, 이는 OPC 100%보다 플라이애시 및 고로슬래그 미분말이 치환되어 사용됨에 따라 초기 수화열이 낮아짐에 기인한 결과로 사료된다.

3.2.2 초기동해 육안 관찰

Table 9는 결합재 조성비 및 부재 두께별 콘크리트 시험체에서 채취된 코어 공시체의 시간경과에 따라 건조되는 외

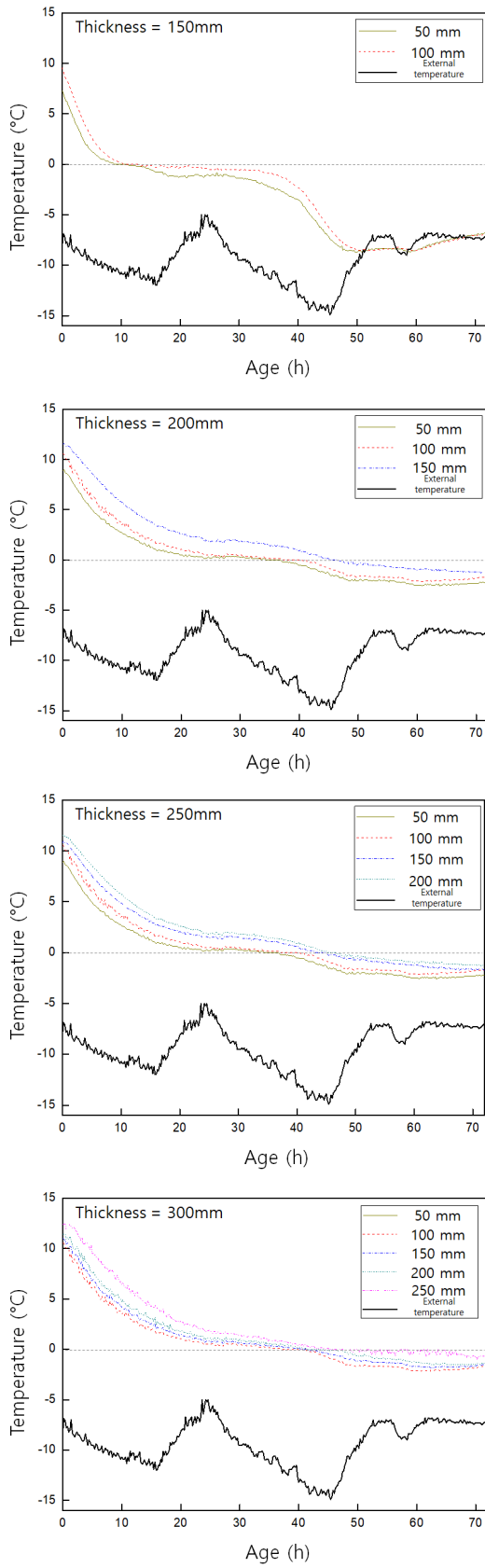


Figure 3. Temperature history with age (OPC 100%)

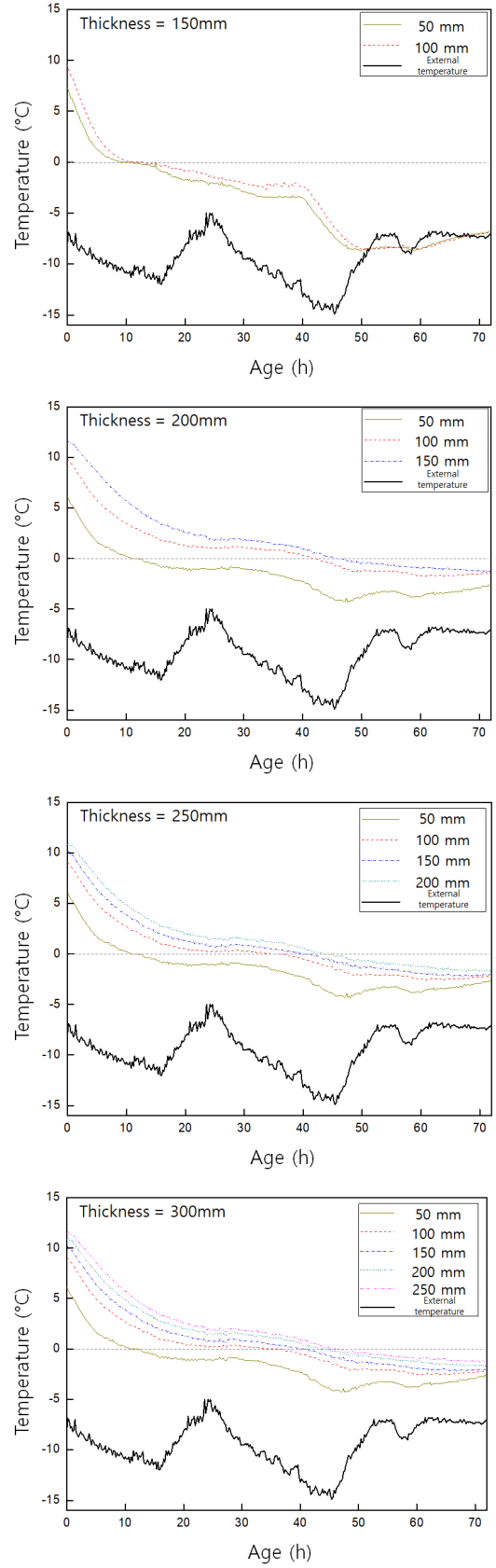


Figure 4. Temperature history with age (OPC:FA:BS=65:15:20%)

Table 9. Variations of colors of core specimen between damage part and sound part

Age	0 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	70 min	80 min	90 min	100 min
Type											
OPC 100 (150mm)											
OPC:FA:BS=65:15:20 (150mm)											
OPC 100 (200mm)											
OPC:FA:BS=65:15:20 (200mm)											
OPC 100 (250mm)											
OPC:FA:BS=65:15:20 (250mm)											
OPC 100 (300mm)											
OPC:FA:BS=65:15:20 (300mm)											

관모습을 나타낸 것이다. 물이 흡수된 상태에서는 공시체가 진한 색을 나타내었지만, 시간경과에 따라 초기동해 피해부분이 건전부보다 건조가 지연되어 두 부분의 색상차이가 30분 전후에서 분명하게 나타났다가 다시 밝아지며 차이가 없어지는 경향이였다. 특히 3성분계 혼합시멘트를 사용하고, 부재 두께가 얇을수록 초기동해 피해는 증가하였는데 이는 혼합시멘트 및 부재 두께가 얇을수록 초기수화열이 적게 발

생함에 따라 콘크리트 부재의 초기동해 저항성이 저하하여 피해량이 증가한 것으로 분석된다.

3.2.3 명도 측정

Figure 5는 OPC 100%를 사용한 콘크리트 부재에서 코어를 채취하여 24시간 침수 후 10분 간격으로 기온 20℃, 상대습도 80%인 실내에서 건조시키며 30mm 간격으로 분

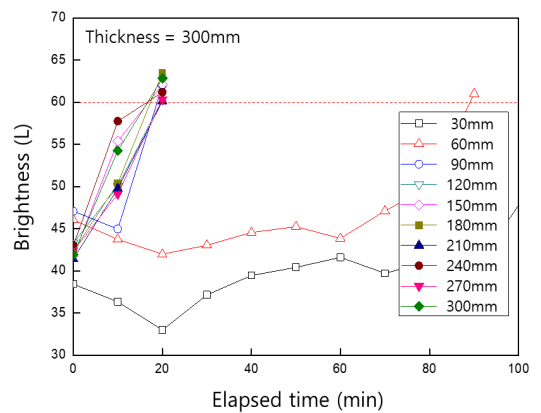
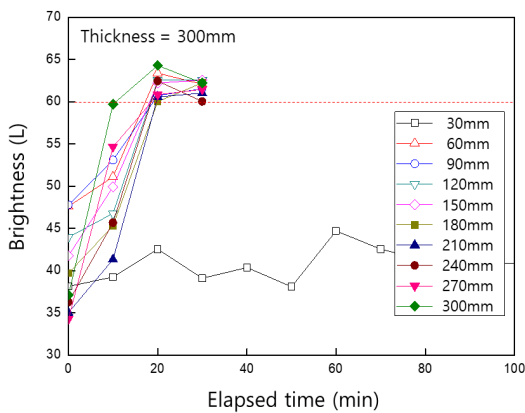
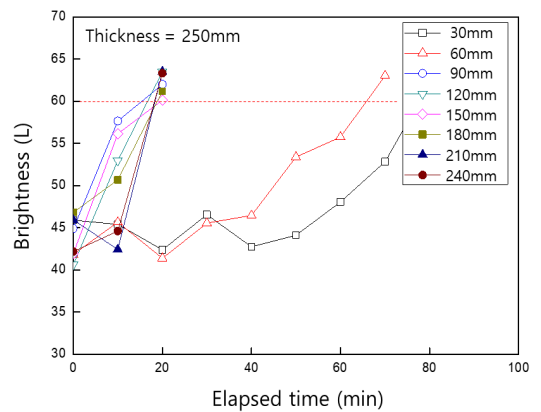
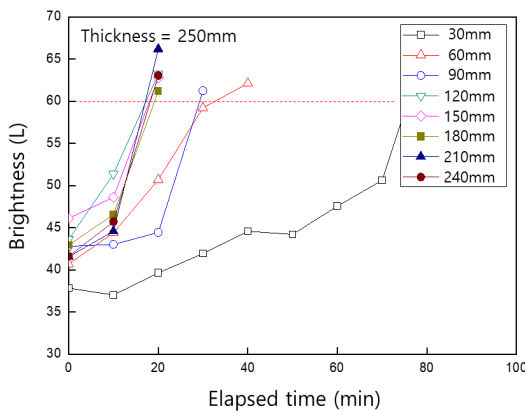
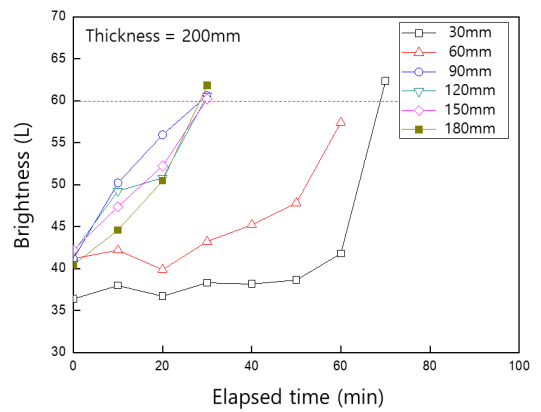
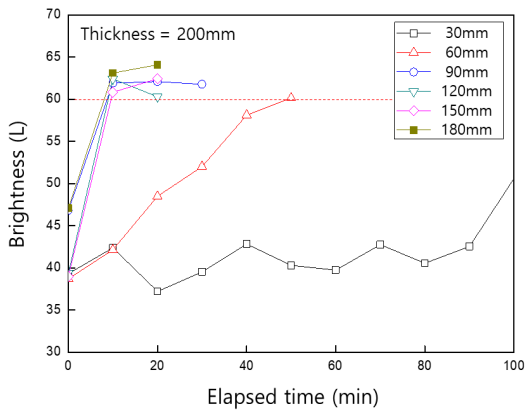
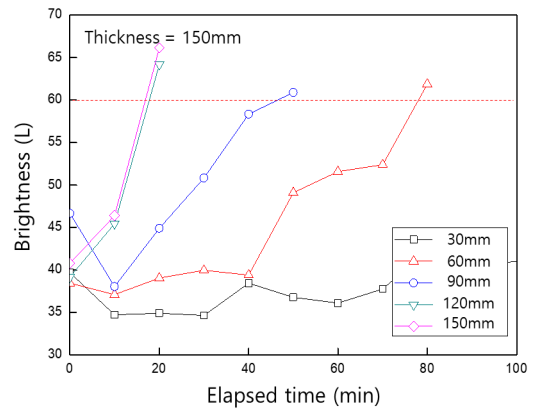
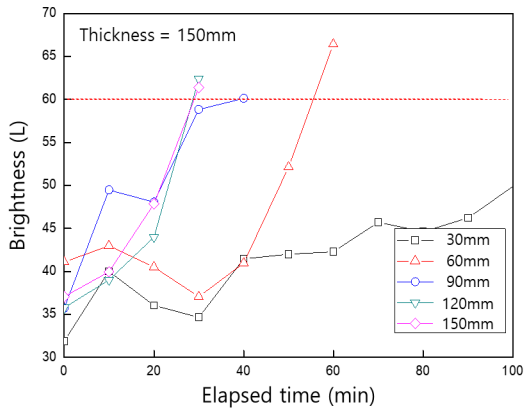


Figure 5. Brightness with elapsed time (OPC 100%)

Figure 6. Brightness with elapsed time (OPC:FA:BS=65:15:20%)

광측색계를 이용하여 명도를 측정된 결과이다. 또한, 그래프 중의 명도 60의 파선은 대략적으로 건조가 완료된 것을 의미한다. 전반적으로 초기동해 의심 부위인 콘크리트 상부의 명도가 다른 측정 부분에 비해 느리게 증가하였다. 이는 콘크리트 내부의 동결수 팽창으로 조직이 이루어져 건전한 부위보다 흡수율이 증가하여 건조과정에서 건전부와 초기동해 피해부 간에 명도차가 발생한 것으로 분석된다. 또한, 부재 두께가 얇을수록 명도의 증가가 지연되는 부분이 증가하였는데, 이는 영하의 외기온 조건에서 부재 두께가 얇음에 따라 수화열이 감소하여 초기동해 피해가 증가한 것으로 분석된다.

Figure 6은 OPC : FA : BS = 65 : 15 : 20%인 혼합시멘트를 사용한 콘크리트 부재에서 코어를 채취하여 OPC의 경우와 동일 요령으로 명도를 측정된 결과이다. 전반적으로 OPC 100%의 명도 결과와 비슷한 경향을 나타내었으나 OPC 100%와 동일한 부재 두께에서 콘크리트의 명도가 지연되는 개소가 증가하였다. 이는 초기 수화발열량이 감소하여 동결수에 의한 팽창량이 증가하므로 OPC 100%의 경우보다 초기동해 피해가 증가한 것으로 분석된다.

3.3 종합분석

이상의 실험결과에서 Figure 7은 건조개시 후 30분에서 측정된 초기동해 피해 깊이를 종합적으로 비교한 것이다. 전반적으로 부재 두께가 얇을수록 초기동해 피해 깊이가 증가하였다. 또한, OPC보다 혼합시멘트를 사용한 경우 부재 두께 100mm의 경우 3%, 200mm의 경우 4%, 250mm의 경우 17%, 300mm의 경우 31% 초기동해 피해 깊이가 증가하였다. 이는 앞선 분석과 같이 혼화재를 치환 사용하고, 부재 두께가 얇을수록 초기발열량이 저하함에 따라 초기동해 피해 깊이가 증가한 것으로 분석된다.

이상을 종합하여 볼 때 초기동해 깊이진단은 육안으로 관찰하더라도 Table 8과 같이 짙은색과 밝은색이 구별되게 나타나는데, 버니어캘리퍼스 등으로 짙은색 부분의 깊이를 페놀프탈레인 지시약에 의한 중성화 깊이 측정방법과 유사하게 10부분 정도의 평균값으로 하게 되면 초기동해 깊이를 간단하게 진단할 수 있다. 그러나, 이의 색차이를 분광측색계로 정량화할 경우는 명도값(L)이 45이하가 되는 위치까지의 깊이를 초기동해 위치로 판단할 수 있다.

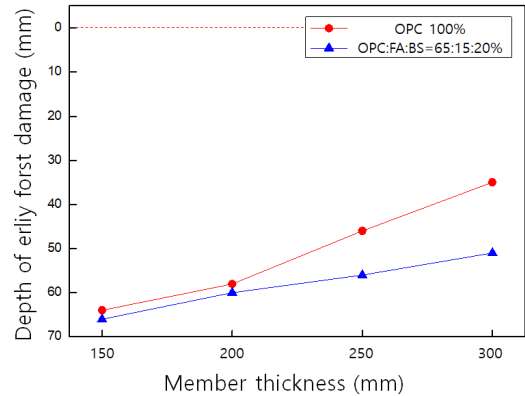


Figure 7. Depth of early frost damage with thickness

4. 결 론

본 연구에서는 겨울철 외기온 조건에서 결합재 종류 및 부재의 두께 변화가 콘크리트의 초기동해 깊이에 미치는 영향 분석 및 초기동해 피해 깊이에 대하여 코어채취 후 건조 검사 방법으로 판정하고자 하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 온도이력의 경우 OPC보다 혼합시멘트를 사용할 경우 및 부재 두께가 얇을수록 초기수화발열량 저하로 인해 콘크리트의 내부온도가 크게 저하하였다.
- 2) 초기동해 피해의 경우 코어 공시체의 건조과정에서 온도이력과 마찬가지로 혼합시멘트를 사용할 경우 및 부재 두께가 얇을수록 초기동해 깊이가 깊고 명도 증가가 크게 나타났는데, 이는 콘크리트의 조직 이완이 발생하여 흡수율이 증가됨에 기인한 것으로 판단된다.
- 3) 초기동해 깊이 판정은 24시간 침수 후 온도 20℃, 상대습도 60% 전후인 실내에서 30분 전후로 건조시킬 때 명도값(L)이 45 이하가 되는 짙은색과 밝은색으로 구별되는데, 짙은 색부분을 버니어캘리퍼스 등으로 측정하면 손쉽게 판단할 수 있었다.

요 약

최근에는 열악한 환경에 노출되는 콘크리트 구조물의 품질 확보에 대하여 관심이 증대되고 있다. 그 중에서 낮은 외기온 조건에서의 초기양생 불량은 콘크리트 구조물의 초기동해 피해를 일으킬 수 있는 것으로 알려지고 있다. 그러므

로 본 연구에서는 겨울철 외기온 조건에서 결합재 종류 및 콘크리트 부재 두께 변화가 콘크리트의 초기동해 깊이에 미치는 영향 분석 및 초기동해 피해를 입은 구조체에 대하여 그 깊이를 명확히 판정하고자 하였다. 실험결과 초기동해 피해의 경우 3성분계 혼합시멘트를 사용하고, 부재 두께가 얇을수록 초기동해 깊이가 깊고 코어 공시체의 명도 증가가 지연되었는데, 이는 초기발열량 저하로 콘크리트의 조직 이완이 용이하게 발생하여 흡수율이 증가하기 때문인 것으로 분석된다. 초기동해 깊이 판정은 24시간 침수 후 온도 20℃, 상대습도 60%전후인 실내에서 30분 전후로 건조를 시킬 경우 명도값(L) 45 이하의 짙은색과 밝은색으로 구별 되는데, 짙은 색부분을 버니어캘리퍼스 등으로 측정하면 손쉽게 판단할 수 있다.

키워드 : 부재 두께변화, 초기동해, 깊이판정, 한중콘크리트

7. Kim MH. Geonchukjaeryohak, Seoul(Korea): Munundang; 2006, p. 291-5.

Acknowledgement

This research was supported by the Cheongju University Research Scholarship Grants in 2018.

References

1. Han, MC, Han CG, Giongwa Concrete [Temperature and Concrete]. 1st ed, Seoul(Korea): Kimoondang; 2002, p. 64-72.
2. Han MC, Lee JS. Determination of the cold weather concreting period and early frost damage risk using climate data of Korea. Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2017 Feb;17(1):73-82.
3. Park JH, Ki KK. Fundamental properties of alumina cement mortar by insulation curing method under low temperature. Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2017 Oct;17(5):419-27.
4. Pae SW. A study of influencing factors on compressive strength of concrete frozen at early ages. Journal of Korea Concrete Institute, 2003 Nov;15(2):527-32.
5. Lee JH. Investigation on the minimum compressive strength to prevent early frost damage from the viewpoint of durability. Journal of Korea Concrete Institute, 2013 May;25(1):87-8.
6. Kim DG. Influence on the Depth of Concrete Early Frost Damage and Depth Determination with Change of Low Temperature Condition [master's thesis]. [Cheong-ju (Korea)]: Cheong-ju University; 2018, 79 p.