

시멘트의 종류에 따른 수중불분리 콘크리트의 온도이력 및 코아강도의 특성에 관한 연구

Comparative Study on the Heat of Hydration and Core Strength of the Underwater Non-Segregation Concrete Using Different Category of Cements

이승훈* 최응규** 윤영수*** 원종필**** 노윤호*****
Lee, S. H. Choi, E. K. Yoon, Y. S. Won, J. P. Roh, Y. H.

Abstract

This paper presents the history of heat of hydration and the core strength of underwater non-segregation concrete. Three types of cements including Type I, Type V and low-heat cement have been used to make the mass specimens for measurement of heat of hydration and also for coring.

Two environments of ambient and underwater conditions have been accounted for the comparison of producing the heat of hydration and for the assessment of core strength in respect to the test specimens made under normal practice.

1. 서 론

국내의 경우 삼면이 바다로 둘러싸여 있으며 내륙에서도 많은 강과 하천이 산재해 있어서 항만공사, 해양공사, 해안토목공사 및 수많은 교량공사가 토목공사의 상당부분을 차지하고 있으며, 이에 따라 수중콘크리트 구조물에 대한 수요가 급증하고 있다.

수중콘크리트 구조물에 대한 시공에 있어서 지금까지는 다양한 시공방법이 적용되어 왔으나 사용되

-
- * 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 전임연구원
 - ** 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 수석연구원
 - *** 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 선임연구원
 - **** 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 선임연구원
 - ***** 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 연구원

는 콘크리트는 일반콘크리트를 적용함으로써 타설시 골재의 분리현상이나 강도의 저감등이 발생하고 구조물이 완성된 후에도 내구성 측면에서 많은 문제점을 내포하고 있었으며, 최근까지도 그러한 문제점들이 간과되어온 것이 사실이다. 따라서 앞으로 건설될 수중 구조물에 대해서는 기존의 콘크리트나 시공방법으로는 구조물로서의 신뢰할만한 강도와 내구성을 확보하기가 어렵고, 또한 점차 대형화되어 가고 있는 해양공사에 의해 타설수심, 유동거리, 수질오염, 콘크리트의 품질 등의 시공조건에 대한 제약 또한 증가하고 있다.

수중불분리 콘크리트의 경우 계절별로 다소 차이는 있지만 수심이 일정이상되면 해수의 온도가 약 10~14℃ 정도로서 거의 일정하기 때문에 온도균열의 예방이나 내구성능의 확보를 위해서 사전에 콘크리트의 경화화와 함께 발생하는 수화온도특성을 파악해둘 필요가 있으며, 수중에서 타설된 구조물의 실제강도가 수중 및 기중에서 제작된 공시체 강도와 어떠한 상관관계를 가지는가에 대해서도 검토해볼 필요가 있을 것이다.

2. 실험개요

본 실험은 수중불분리 콘크리트에 대한 수화온도특성과 구조물의 실제강도와 제작공시체 강도와와의 상관관계를 파악하기 위한 것으로 시멘트별로 구분하여 1종시멘트, 5종시멘트 및 저발열시멘트에 대해서 각각 수중 및 기중에서 부재를 제작하여 콘크리트의 수화온도를 측정함으로써, 시멘트의 종류에 따른 수중 및 기중에서의 콘크리트의 상대적인 온도이력특성을 파악하고자 하였으며, 각 부재로부터 재령 7일 및 28일에 대한 코아공시체를 채취하여 각각에 대해서 수중 및 기중상태에서 제작한 공시체의 강도와 비교하였다. 수중타설부재는 $\Phi 60 \times 100$ cm인 원형상관 지푸집에 60cm까지 물을 채운후 슈트를 사용하여 수중에서 높이 70cm까지 콘크리트를 타설하였으며, 기중타설부재는 같은 크기의 원형상관 지푸집의 속이 빈 상태에서 슈트를 사용하여 70cm까지 콘크리트를 타설하였다. 단, 실험부재가 양생기간동안 외기온도의 영향을 받지 않도록 하기 위하여 스티로폼을 이용한 챔버를 제작하여 수중 및 기중제작부재를 감싸주었다.

3. 수화온도의 측정

3.1 기중타설부재의 수화온도

기중타설 부재의 수화온도 측정결과는 그림 3-1에 나타나 있다. 1종시멘트의 경우 최고온도는 중심부에서 68.0℃, 외곽부에서 65.9℃를 나타내었으며, 최고온도에 도달하기까지는 약 18시간이 소요되었다. 저발열시멘트의 경우 최고온도는 중심부에서 59.7℃, 외곽부에서 58.7℃를 나타내었으며, 최고온도에 도달하기까지는 약 48시간이 소요되어 1종시멘트에 비해서 온도상승이 상당히 완만함을 알 수 있었다. 또한, 5종시멘트의 경우 최고온도는 중심부에서 67.8℃, 외곽부에서 60.7℃를 나타내었으며, 최고온도에 도달하기까지는 약 40시간이 소요되었다.

기중타설 부재의 수화온도측정결과 부재의 중심부와 외곽부의 온도차는 1종시멘트, 저발열시멘트 및 5종시멘트에 대해서 각각 2.1℃, 1.0℃ 및 7.1℃로서 1종시멘트 및 저발열시멘트는 그 차이가 거의 없었으나, 5종시멘트의 경우 다소 차이가 남을 알 수 있었다.

콘크리트 부재의 경우 수화온도가 최고값에 도달했다가 다시 감소하기 시작하면 콘크리트 부재내부

에서는 인장력을 받게 된다. 따라서 시간당 온도감소량이 크면 클수록 온도균열의 발생가능성도 커지게 되는데, 본 실험부재의 경우 1종시멘트, 저발열시멘트 및 5종시멘트에 대한 시간당 온도감소율은 각각 0.326℃/h, 0.322℃/h 및 0.381℃/h로써 온도감소율은 매우 낮아서 온도에 의한 균열발생 확률은 매우 낮음을 알 수 있다.

3.2 수중타설부재의 수화온도

수중타설 부재의 수화온도 측정결과는 그림 3-2에 나타나 있다. 1종시멘트의 경우 최고온도는 중심부에서 61.9℃, 외곽부에서 58.8℃를 나타내었으며, 최고온도에 도달하기까지는 약 24시간이 소요되었다. 저발열시멘트의 경우 최고온도는 중심부에서 52.4℃, 외곽부에서 50.0℃를 나타내었으며, 최고온도에 도달하기까지는 약 58시간이 소요되었다. 또한, 5종시멘트의 경우 최고온도는 중심부에서 53.0℃, 외곽부에서 50.8℃를 나타내었으며, 최고온도에 도달하기까지는 약 52시간이 소요되었다. 수중타설 부재의 경우 부재의 중심부와 외곽부의 온도차는 1종시멘트, 저발열시멘트 및 5종시멘트에 대해서 각각 3.1℃, 2.4℃ 및 2.2℃로서 기중타설에 비해서 중심부와 외곽부의 온도차는 모든 시멘트에 대해서 그 차이가 작은 것으로 나타났다.

기중타설의 경우와 마찬가지로 각 시멘트에 대한 부재의 수화온도 감소량은 1종시멘트, 저발열시멘트 및 5종시멘트에 대해서 각각 0.352℃/h, 0.350℃/h 및 0.345℃/h를 나타내었다. 그러나, 실제 현장에서는 부재주변의 물의 온도가 매우 낮기 때문에 온도감소율은 더 커질것으로 생각된다.

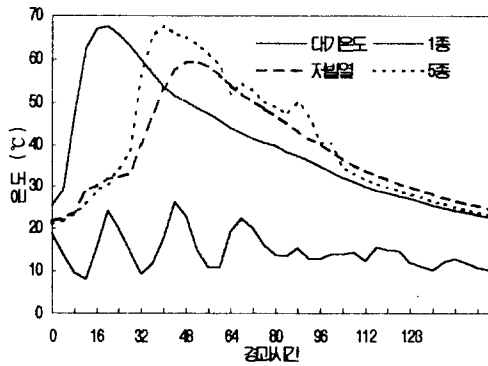


그림 3-1 기중타설부재의 수화온도 측정결과

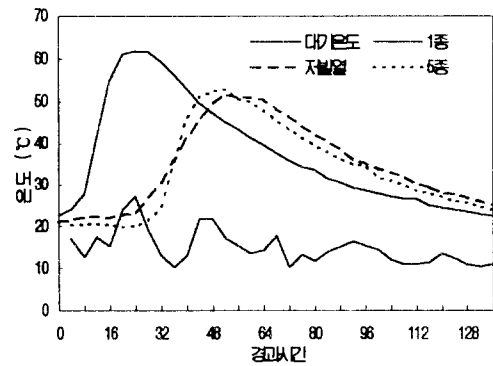


그림 3-2 수중타설부재의 수화온도 측정결과

3.3 기중 및 수중타설 부재의 비교

수중타설 부재의 경우 기중타설 부재에 비해서 최고온도 도달시간은 6~10시간 더 소요되었으며, 측정부위에 관계없이 온도상승 및 하강 형태는 같은 양상을 보이고 있다. 온도하강율은 실험부재를 챔버내부에서 양생한 관계로 타설방법이나 시멘트의 종류에 관계없이 0.32℃/h~0.38℃/h의 범위를 나타내어 온도에 의한 균열발생 우려는 매우 적은 것을 알 수 있다. 그러나 시간당 온도상승율은 표 3-1에 나타나 있는 것처럼 타설방법이나 시멘트의 종류에 따라서 상당한 차이를 나타내고 있음을 알 수 있었다.

표 3-1 시멘트의 종류 및 타설방법에 따른 수화온도 측정결과

제작방법	시멘트 종류	수화온도 최고값 (°C)	최고온도 도달시간 (hour)	온도상승율 (°C/h)	온도감소율 (°C/h)	중심부와 외곽부의 온도차
기중제작	1종	68.0	18	2.46	0.326	2.1
	저발열	59.7	48	0.80	0.322	1.0
	5종	67.8	40	0.89	0.381	7.1
수중제작	1종	61.9	24	1.62	0.352	3.1
	저발열	52.4	58	0.54	0.350	2.4
	5종	53.0	52	0.65	0.345	2.2

4. 코아강도의 측정

수중불분리 콘크리트에 있어서 수중제작 공시체의 압축강도와 기중 및 수중타설 공시체의 강도비에 대한 기준은 다소 차이는 있지만 일본토목학회 및 일본어항어촌 건설기술연구소의 규준에 재령별로 명시되어 있다.¹¹⁾ 그러나, 공시체의 강도와 실제구조물에서 채취한 코아공시체의 강도와의 관계나 코아공시체에서의 수중-기중 관계에 대해서는 별다른 기준이 나타나 있지 않다. 따라서 수중 및 기중에서 타설한 부재에 대해서 각각의 코아공시체 강도를 수중제작공시체 강도와 비교하고, 또한 코아공시체에 대해서도 수중-기중 강도비를 측정하여 그 값을 검토하고자 한다.

4.1 재령별 강도측정결과

표 4-1은 기중 및 수중 타설한 수중불분리성 콘크리트 부재에서 채취한 코아공시체의 재령 7일 및 재령 28일에 대한 압축강도와 부재의 제작시 수중 및 기중에서 같이 제작한 수중불분리 콘크리트 공시체의 재령 7일 및 재령 28일에 대한 압축강도 측정결과를 나타낸 것이다.

표 4-1 코아공시체 및 제작공시체의 압축강도 측정결과

재령 및 공시체종류		시멘트 종류	1종시멘트	저발열시멘트	5종시멘트
7일	코아공시체	수중제작	287	377	254
		기중제작	396	427	378
	제작공시체	수중제작	332	210	235
		기중제작	343	237	261
28일	코아공시체	수중제작	431	444	419
		기중제작	442	460	457
	제작공시체	수중제작	398	367	319
		기중제작	450	434	364

4.2 강도측정결과의 분석

4.2.1 제작방법에 따른 공시체의 강도비

표 4-1의 측정결과를 근거로 재령 7일 및 재령 28일에서의 수중 및 기중에 대한 코아공시체 및 제작공시체의 강도비를 구하면 표 4-2와 같다.

표 4-2 수중 및 기중에 대한 코아공시체 및 제작공시체의 강도비율

재령 (日)	공시체종류		코아공시체 수중/기중 (%)	제작공시체 수중/기중 (%)	수중제작 코아공시체/ 제작공시체 (%)	기중제작 코아공시체/ 제작공시체 (%)
	시멘트종류					
7	1종 시멘트		72.6	96.8	86.5	115.4
	저발열시멘트		88.4	88.6	179.7	180.2
	5종 시멘트		67.2	90.0	108.1	144.7
28	1종시멘트		97.4	88.5	108.2	98.2
	저발열시멘트		96.5	84.6	121.0	106.1
	5종 시멘트		91.9	88.0	131.3	125.7

표 4-2의 재령 7일에 대한 강도비에 나타난 것처럼 제작공시체의 경우 수중제작에 대한 기중제작의 강도비는 1종시멘트→5종시멘트→저발열시멘트의 순으로 나타나 저발열시멘트가 초기강도발현이 다소 늦는 것을 감안하면 정상적이라 할수 있다. 그러나, 코아공시체의 경우에는 수중제작에 대한 기중제작의 강도비는 저발열시멘트→1종시멘트→5종시멘트의 순으로 나타나 부재의 크기가 커지면 구조물 자체에서 발생하는 수화열에 의해서 구조물이 축진양생을 받아서 저발열시멘트의 강도발현 속도가 1종시멘트나 5종시멘트에 비해서 매우 빨라짐을 알 수 있다. 또한, 재령 7일의 경우 동일하게 수중 및 기중에서 제작했을 경우의 코아공시체와 제작공시체의 강도비는 1종시멘트의 수중제작을 제외하고는 모두 100%를 초과하였으며, 저발열 시멘트의 경우 약 2배의 강도발현을 하였다.

표 4-2의 재령 28일의 경우에도 제작공시체의 수중에 대한 기중의 강도비는 재령 7일에서의 결과와 같은 양상을 나타냄을 알 수 있으나, 코아공시체의 경우에는 수중제작에 대한 기중제작의 강도비는 1종시멘트→저발열시멘트→5종시멘트의 순으로 나타났다. 재령 7일에서는 강도발현이 진행중에 있었으므로 코아공시체와 제작공시체의 강도비가 100%를 초과한 것은 시멘트의 특성에 따라서 달라질수도 있으나, 재령 28일의 경우처럼 강도발현이 어느정도 안정된 상태에서도 제작공시체의 강도보다 코아공시체의 강도값이 더 크다는 것은 앞으로 제작공시체의 강도에 의해서 구조물의 품질관리를 수행해야하는 상황으로 미루어 볼 때 다소 안전한 것으로 생각된다.

4.2.2 재령에 따른 공시체의 강도발현율

재령 28일에서의 수중 및 기중에 대한 제작공시체의 압축강도를 100%로 정하고 수중 및 기중제작에 대한 재령 7일 및 28일의 코아공시체와 제작공시체의 강도발현율을 구하면 표 4-3에 나타난 바와 같다.

콘크리트는 제작공시체의 강도관리를 통해서 품질관리를 수행하는 것이 가장 간편하고 효과적인 방

표 4-3 재령에 따른 공시체의 강도발현율

제작방법	공시체 종류	재령 (日)	1종시멘트		저발열시멘트		5종시멘트	
			강도값 (kg/cm ²)	강도발현율 (%)	강도값 (kg/cm ²)	강도발현율 (%)	강도값 (kg/cm ²)	강도발현율 (%)
수중	코아	7	287.3	72.1	377.3	102.8	254.0	79.4
		28	431.0	108.2	444.0	121.0	419.7	131.3
	제작	7	332.0	83.4	210.0	57.2	235.0	73.5
		28	398.3	100	367.0	100	319.7	100
기중	코아	7	395.7	87.9	427.0	98.4	377.7	104.0
		28	442.3	98.2	460.3	106.1	456.7	125.7
	제작	7	343.0	76.2	237.0	54.6	261.0	71.8
		28	450.3	100	434.0	100	363.3	100

법이므로, 제작공시체의 재령 28일 강도를 기준으로 상대적인 강도발현율을 구하면 구조물의 실제강도와 재령에 따른 강도발현 정도를 추정할 수 있다.

수중제작의 경우 제작공시체의 재령 7일강도는 1종시멘트의 경우 83.4%, 저발열시멘트의 경우 57.2%, 5종 시멘트의 경우 73.5%로써 저발열시멘트의 강도발현이 상대적으로 적음을 알 수 있다.

그러나 재령 7일의 코아공시체의 강도는 1종시멘트의 경우 72.1%, 저발열시멘트의 경우 102.8%, 5종 시멘트의 경우 79.4%로써 오히려 저발열시멘트의 강도발현이 상대적으로 높아짐을 알 수 있으며, 재령 28일의 코아공시체의 강도는 재령 28일에서의 제작공시체의 강도값에 비해서 각 시멘트 종류에 따라서 약 10~30%정도 상회하고 있어서 제작공시체의 강도값이 실제강도를 만족할 경우 실제 구조물의 강도는 매우 안전측에 있음을 알 수 있다.

기중제작의 경우 제작공시체의 재령 7일강도는 1종시멘트의 경우 76.2%, 저발열시멘트의 경우 54.6%, 5종 시멘트의 경우 71.8%로써 수중제작의 경우와 마찬가지로 저발열시멘트 강도발현이 상대적으로 상당히 떨어짐을 알 수 있다. 그러나 재령 7일의 코아공시체의 강도는 1종시멘트의 경우 87.9%, 저발열시멘트의 경우 98.4%, 5종 시멘트의 경우 104.0%로써 저발열시멘트와 5종시멘트의 강도발현이 상대적으로 높은 값을 나타내었으며, 재령 28일의 코아공시체의 강도는 재령 28일에서의 제작공시체의 강도값에 비해서 1종시멘트만이 약간 작은 값을 나타내었을 뿐 저발열시멘트 및 5종시멘트는 각각 6% 및 26% 정도 상회하는 강도값을 나타냄을 알 수 있었다.

5. 결 론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

수중타설 부재의 경우 기중타설 부재에 비해서 최고온도 도달시간은 6~10시간 더 소요되었으며, 측정부위에 관계없이 온도상승 및 하강 형태는 같은 양상을 보이고 있다. 온도하강율은 실험부재를 챔버내부에서 양생한 관계로 타설방법이나 시멘트의 종류에 관계없이 0.32℃/h~0.38℃/h의 범위를 나타내어 온도에 의한 균열발생 우려는 매우 적은 것을 알 수 있다.

재령 28일의 경우에 코아공시체는 수중제작에 대한 기중제작의 강도비가 1종시멘트→저발열시멘트

→5종시멘트의 순으로 큰것으로 나타났다.

수중제작의 경우 제작공시체의 재령 7일강도는 1종시멘트의 경우 83.4%, 저발열시멘트의 경우 57.2%, 5종 시멘트의 경우 73.5%로써 저발열시멘트의 강도발현이 상대적으로 적음을 알 수 있다.

그러나 재령 7일의 코아공시체의 강도발현율은 1종시멘트의 경우 72.1%, 저발열시멘트의 경우 102.8%, 5종 시멘트의 경우 79.4%로써 오히려 저발열시멘트의 강도발현이 상대적으로 높아짐을 알 수 있으며, 재령 28일의 코아공시체의 강도는 재령 28일에서의 제작공시체의 강도값에 비해서 각 시멘트 종류에 따라서 약 10~30%정도 상회하고 있어서 제작공시체의 강도값이 설계강도를 만족할 경우 실제 구조물의 강도는 매우 안전측에 있음을 알 수 있다.

● 참고문헌 ●

1. 日本土木學會, 水中不分離性콘크리트設計施工指針(案), 技報堂, 1991.
2. 漁港漁村建設技術研究所, 水中不分離性콘크리트매뉴얼, 山海堂, 1990.