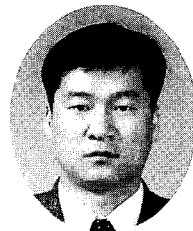


특 집

|| 수중 콘크리트 ||

수중 불분리성 콘크리트의 특성

- Properties of Antiwashout Underwater Concrete -



김성수*



설진승**

1. 서 론

콘크리트 공사는 육상에서 실시하는 것이 원칙이다. 그러나 교량의 교각 등 불가피하게 수중에서 콘크리트를 쳐야 하는 경우가 발생되면서 여러가지 수중콘크리트의 시공방법이 개발되었다. 일반적인 콘크리트를 사용하고 트레미, 밀열림상자, 밀열림포대 및 펌프압송법 등의 방법으로 수중에 콘크리트를 타설하는 기존의 시공방법으로는 시멘트 유실에 의한 수질의 오염, 물의 씻김작용에 의한 재료분리로 콘크리트 품질의 균일성 저하, 무다짐의 시공기술 등으로 야기되는 충전성, 수밀성 및 내구성에 대한 신뢰성 확보 등의 문제점 때문에 수중에서 콘크리트를 타설할 때 고품질의 콘크리트를 확보하고자 수중불분리성 콘크리트가 개발되었다. 특히, 우리나라는 삼면이 바다로 둘러 쌓여 있는 지리적 특성으로 인하여 수중과 연관된 대형공사가 많은 실정이며, 최근 광안대교, 영종도 신공항의 영종대교, 서해안 고속도로상의 서해대교, 부산 등대공사, 서해안 고속도로 13공구, 광양항 슬래브 원료부두 1기 현장, 부산-익산간 동진교, 창선-삼천포 연육교 등과 같이 대규모의 광범위한 해양공사뿐만 아니라 양화대교의 성능개선공사, 당산철교 교체공사와 같은 보수·보강공사에 수중불분리성 콘크리트를 적용하는 사례가 급증하고 있는 추세에 있다.

본고에서는 수중불분리성 콘크리트의 국내외 적인 연구동향을 소개하고 굳지않은 수중불분리성 콘크리트와 경화한 수중불분리성 콘크리트의 물성에 대하여 고찰함으로써 향후 건설될 수중콘크리트 구조물의 원활한 시공이 되는데 도움이 되도록 자료를 제시하고자 한다.

2. 국내·외 기술 개발 현황

2.1 수중 콘크리트의 기술 개발 현황

수중불분리성 콘크리트는 1975년 서독에서 개발되었으며, 1979년 일본에 도입되어 초기에는 특수수중콘크리트라 하였으나 근년에 와서 수중불분리성 콘크리트로 불리고 있다. 개발초기에는 호안, 수문의 기초, 교각의 보강 및 안벽의 개량공사 등에 사용되었으나, 현재는 혼화제 제조회사와 건설회사의 공동 개발로 10여종의 수중불분리성 혼화제가 시판되고 있으며, 수중불분리성 콘크리트의 품질의 우수성이 인정되어 본격적인 수중 철근콘크리트 Dock, 교량기초 및 대형 수중콘크리트 구조물공사 등의 시공 실적이 있다. 일본의 경우 1986년에 “特殊水中コンクリート・マニュアル”이 제정되어 이때까지의 연구와 시공실적을 바탕으로 설계·시공을 체계적으로 정리하였으며, 1991년 日本土木學會에서는 “水中不分離性コンクリート設計指針(案)”이 제정되었다. 이들을 토대로 하여 “水中不分離性コンクリートの混和劑品質規準(案)”, “水中不分離性コンクリートの試験方法(案)”이 작성되었다.

* 정회원, 대전대학교 토목공학과 교수

** 이지엔지니어링 회장

최근 수중불분리성 콘크리트의 동결융해저항성을 향상시키기 위한 연구와 저발열시멘트를 사용한 수중불분리성 콘크리트에 관한 연구도 활발히 진행되고 있다.

국내에는 1984년 수중불분리성 혼화제가 도입된 이후 수중불분리성 콘크리트의 현장 시공실적의 증가추세를 반영하기 위하여 1996년 콘크리트 표준시방서 개정과 더불어 수중불분리성 콘크리트의 시공에 대한 일반적인 지침과 1995년 대한토목학회의 "콘크리트용 수중불분리성 혼화제 품질규준(안)"이 제정되었으며, 1999년 건설교통부와 한국도로공사가 주관하는 연구일환으로 수중불분리성 콘크리트의 설계·시공지침(안)이 제정되어 있는 실정이다. 또한, 우리나라에서도 1984년에 수중불분리성 혼화제가 도입된 이후 나로도, 연육교, 비금도, 자은암대교 및 응포대교 현장에 수중불분리성 콘크리트가 적용되었으며, 청평댐 및 팔당댐의 도수로에도 사용된 실적이 있다. 최근에는 인천국제공항을 잇는 영종대교 및 부산 평안대교의 수중기초 등과 같은 대형 수중 콘크리트구조물에 사용됨으로써 수중불분리성 콘크리트도 수중콘크리트공법으로 중요한 위치를 차지하고 있다.

2.2 수중 불분리성 콘크리트의 품질 기준

수중불분리성 콘크리트의 품질기준을 실험방법별로 대한토목학회 및 일본토목학회 규준(안)을 비교하여 정리한 것이 <표 1>이다.

3. 굳지 않은 수중 불분리성 콘크리트의 특성

수중불분리성 콘크리트의 경화 전 물성은 보통콘크리트와 비교해서 물의 셋김작용에 대한 재료분리 저항성이 크며, 유동성이

크고, 충전성 및 셀프레벨링성이 우수하며, 블리딩이 거의 발생하지 않는다. 하지만 응결특성은 지연되는 경향이 있다. 이들 특징에 관련된 요인을 열거하면 수중불분리성 혼화제, 콘크리트용 화학혼화제, 콘크리트 원재료, 콘크리트 배합, 믹싱방법 및 환경 조건 등이 있다.

수중불분리성 혼화제는 수중불분리성 콘크리트의 성질에 모두 관계되고 있지만 AE감수제 및 고성능감수제 등의 콘크리트용 화학혼화제도 유동성 및 응결특성에 영향을 미치고 있다.

3.1 공기량

수중불분리성 혼화제는 콘크리트에 첨가하면 공기량이 4% 정도 이하에서 소포성분 등으로 조성되며, 배합설계시에 목표로 하는 공기량이 일정하게 설정하도록 한다. 또한 AE감수제 및 고성능감수제가 셀룰로오스계 수중불분리성 혼화제를 첨가한 콘크리트의 공기량에 미치는 영향을 조사한 결과는 AE감수제 및 고성능감수제의 첨가량과 공기량에는 그다지 상관관계가 보이지 않았지만 나프탈린계 고성능감수제를 사용한 것의 공기량은 현저히 증가한 것을 보고하였다.

<그림 1>은 4종류의 수중불분리성 혼화제의 사용량을 고정하고 잔골재율을 4단계로 변화시킨 수중불분리성 콘크리트의 공기량을 측정한 실험결과로서, 종류 B의 수중불분리성 혼화제를 사용한 콘크리트를 제외한 잔골재율 46%인 콘크리트의 공기량은 "콘크리트 표준시방서" 규정값 4%를 초과하였다. 이는 수중불분리성 콘크리트의 공기량은 잔골재율에 따라 달라질 수 있음을 의미하는 한 결과를 나타낸 것이다.

표 1. 수중 불분리성 콘크리트의 품질규준(안)

실험항목		실험기준		
		대한토목학회	일본토목학회	
공기량* (%)		-	4.5 이하	
슬럼프플로우 (cm)	0분	-	-	
	30분	-	30분후 3.0 이하	
	60분	-	-	
수중분리도 (3분후 측정)	현탁물질량(ppm)	150 이하	50 이하	
	pH	12 이하	12 이하	
응결시간 (표준형) (hour)	초결	5시간 이상	5시간 이상	
	중결	30시간 이하	24시간 이하	
압축강도 (kgf/cm ²)	재령 7일	수 중	130	150
		기 중	-	-
	수중/기중강도비	수 중	60	80
		기 중	-	-
재령 28일	수 중	230	250	
	기 중	-	-	
수중/기중강도비		70	80	

* 공기량은 콘크리트 시방서의 4% 이하 규정을 기준으로 하였음.

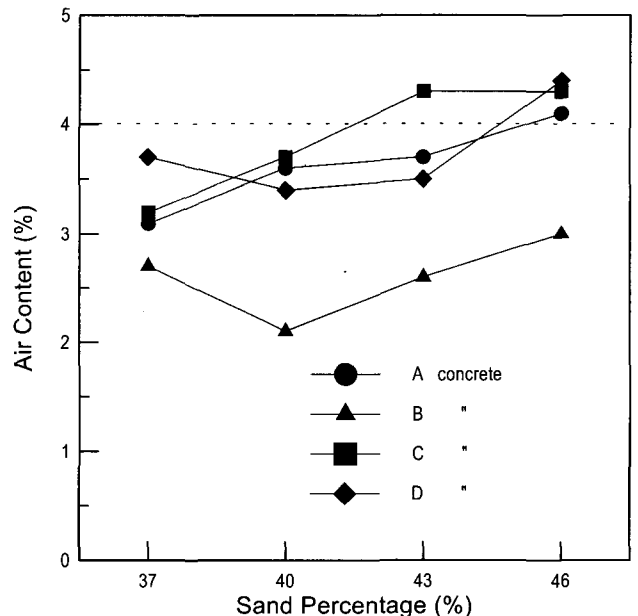


그림 1. 잔골재율을 변화에 따른 수중 불분리성 콘크리트의 공기량

일반적으로 수중불분리성 혼화제의 주성분인 셀룰로오스는 긴 섬유상의 고분자로서 시멘트입자에 흡착되어 입자간의 구속 내지는 연결고리(chain)와 같은 작용을 하기 때문에 시멘트 풀의 점성을 크게 증진시켜 콘크리트의 재료분리를 크게 감소시킬 뿐만 아니라 블리딩을 억제하는 효과가 있다.

그러나 수중불분리성 혼화제를 사용한 콘크리트는 갇힌 공기를 다량 포함하고 있기 때문에 동결융해를 심하게 받는 곳에서는 수중불분리성 콘크리트의 타설을 제한하고 있다.

3.2 재료 분리 저항성

수중에서 콘크리트 타설작업을 하게 되면 콘크리트가 물에 의하여 희석되거나, 씻김현상에 의해 시멘트가 유실되므로 콘크리트의 품질이 저하되며, 타설현장 주위의 수질을 오염시키는 문제가 종종 발생하게 된다.

물의 씻김작용에 대한 재료분리 저항성이 큰 특징은 수중불분리성 콘크리트의 기본적인 성질이다. 또한, 재료분리는 수중불분리성 혼화제, 고성능감수제, 시멘트의 종류 및 믹싱방법 등에 영향을 받는다. 재료분리도를 비교 평가하는 방법에는 씻김분석시험, pH, 현탁물질량시험 및 기중에서 제작한 공시체의 압축강도와 수중에서 제작한 공시체의 압축강도비(수중/기중 강도비) 등이다. 이중에서도 현탁물질량 및 pH측정은 실험실뿐만 아니라 실제 현장에서 사용하기에 간편하고, 실험결과를 즉각 배합에 반영할 수 있기 때문에 재료분리를 평가하는 척도로 가장 많이 사용되고 있다.

일본토목학회 “수중불분리성 콘크리트의 설계·시공 지침(안)”의 수중불분리도 측정 방법은 1리터 용량의 비이커에 증류수

800 ml를 채우고 콘크리트 시료 500 g을 수중에 자유 낙하시켜 3분 후 상부의 현탁액 600 ml를 채취하여 400 ml는 여과기를 통과시켜 남은 현탁물질량을 측정하며, 나머지 200 ml는 pH를 측정하여 분리저항성을 판정한다.

〈그림 2〉는 수중불분리성 혼화제의 첨가량에 따른 pH의 변화를 보인 것이며, 〈그림 3〉은 수중불분리성 혼화제의 첨가에 따른 수중불분리성 콘크리트의 탁도의 변화를 보인 것이다.

셀룰로오스계 수중불분리성 혼화제가 아크릴계와 비교하여 현탁물질량이 적게 발생되었으며, 유동화제 첨가량의 증가에 따라 슬럼프 플로우가 커지고 현탁물질량도 증대된다. 또한, 시멘트의 종류에 따라 pH에서는 영향이 없으나 분말도가 크면 탁도가 많이 발생하는 경향이 있다. 일반적인 현탁물질량과 재령 7일, 28일에서의 수중/기중 압축강도비를 〈그림 4〉에 나타내었다.

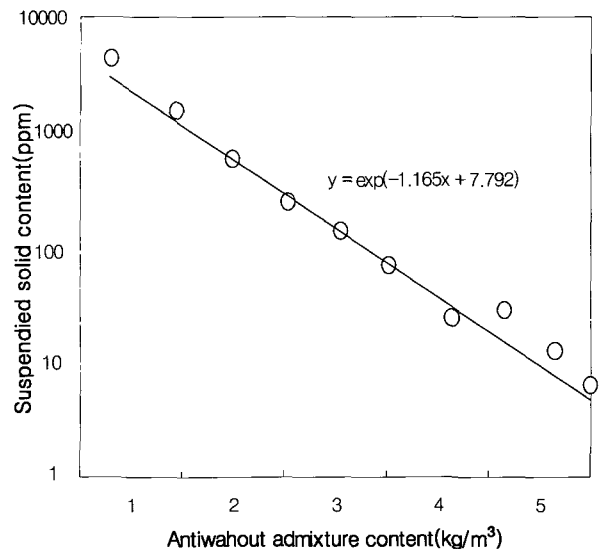


그림 3. 수중 불분리성 혼화제 첨가량에 따른 콘크리트의 현탁물질량

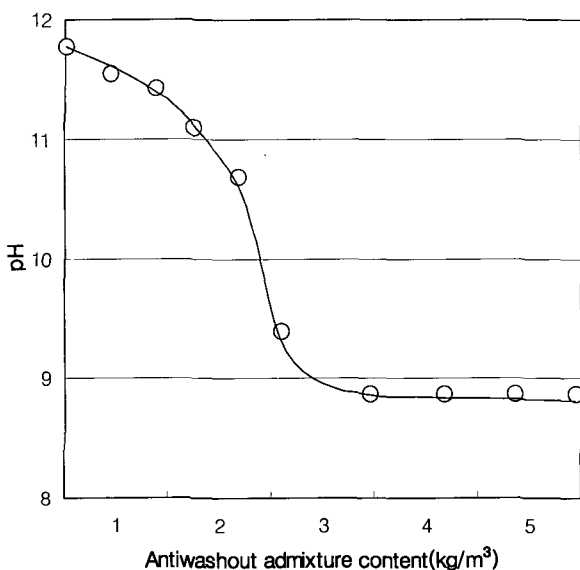


그림 2. 수중 불분리성 혼화제 첨가량에 따른 콘크리트의 pH

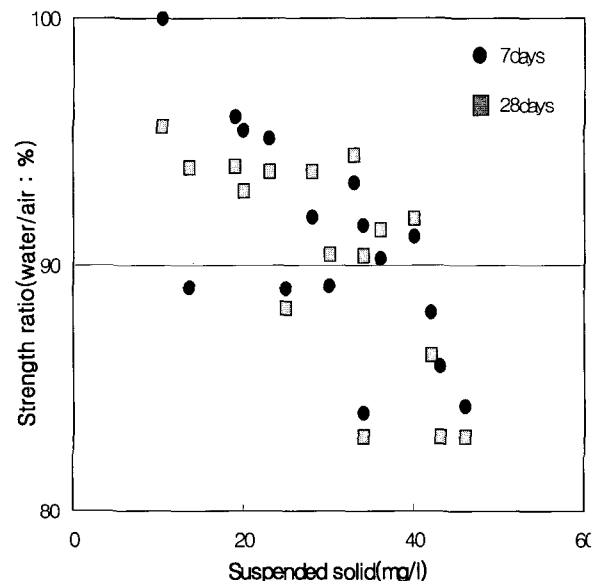


그림 4. 현탁물질량과 수중/기중 압축강도비

〈그림 5〉는 국내에서 생산된 수중불분리성 혼화제와 잔골재울을 각각 4종류로 달리한 콘크리트의 현탁물질량 및 pH값을 측정 한 것으로서 종류 A의 수중불분리성 혼화제를 사용한 수중불분리성 콘크리트는 다른 3종류의 콘크리트와 달리 잔골재울 37%를 제외한 나머지 경우 “콘크리트용 수중불분리성 혼화제의 품질 기준(안)”에서 규정한 현탁물질량 150 mg/l를 초과하는 값을 나타내었다. 또한 수중불분리성 콘크리트의 수중에서 유실정도를 알아보기 위한 한 방법으로 pH값을 수중불분리성 혼화제의 종류 및 잔골재울로 정리한 결과 현탁물질량의 측정결과와는 달리 10.2 ~11.6으로 모두 규정값 12 이하를 만족하는 결과를 나타 내었다.

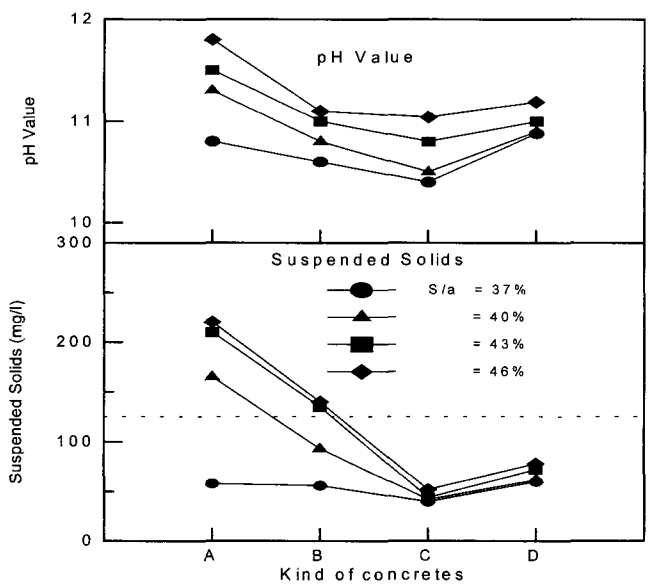


그림 5. 수중 불분리성 콘크리트의 현탁물질량 및 pH

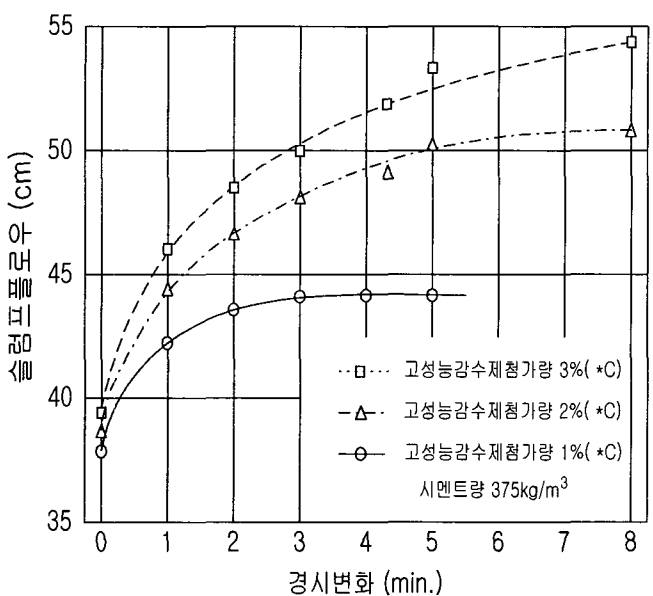


그림 6. 슬럼프 플로우의 경시 변화

3.3 유동성

수중불분리성 콘크리트는 연속해서 유동하는 성질이 있으므로 슬럼프 콘을 들어올린 후에도 계속 진행되어 보통콘크리트에 비하여 굳어 있는 것처럼 보여도 유동을 계속하기 때문에 유동 후의 변형량은 크다. 〈그림 6〉은 이런 현상을 잘 나타내고 있다.

그림 6은 수중불분리성 혼화제 3.0kg/m³와 고성능감수제량을 변화시키고, 그 외의 배합은 일정한 조건하에서 슬럼프플로우의 경시변화를 알아본 것으로 슬럼프콘을 들어올린 직후의 슬럼프플로우값의 차이는 거의 없지만 경과시간에 따른 슬럼프플로우의 변화가 계속되어서 고성능감수제의 양이 많을수록 안정될 때까지의 시간은 길어지는 것을 알 수 있다.

일반적으로 수중불분리성 혼화제의 첨가는 콘크리트의 점성을 증가시켜 수중에 타설된 콘크리트의 재료분리 방지에 기여한다. 또한 콘크리트의 점성 증가는 블리딩의 저감 및 충전성 증진 등의 효과가 있으나, 이러한 효과는 콘크리트의 소요 유동성을 확보한 상태에서만 가능하다. 또한, 수중불분리성혼화제 첨가로 인하여 증가된 콘크리트의 점성을 유동화제를 사용함으로써 적절히 보상하여야 한다. 따라서 수중불분리성 콘크리트의 유동성은 사용하는 유동화제의 영향을 받는다. 일반적으로 유동화제의 사용량의 1%의 증감에 따라 약 5cm의 슬럼프플로우 증감이 발생된다.

3.4 충전성

수중불분리성 콘크리트는 충전성이 좋은 성질을 지니지만, 적절히 평가할 수 있는 시험방법이 확립되어 있지 않기 때문에 중요한 구조물을 시공할 경우에는 사전에 모형실험을 하고 경화 후 필요한 부분에서 코어를 채취하여 직접 충전상태를 확인할 필요가 있다.

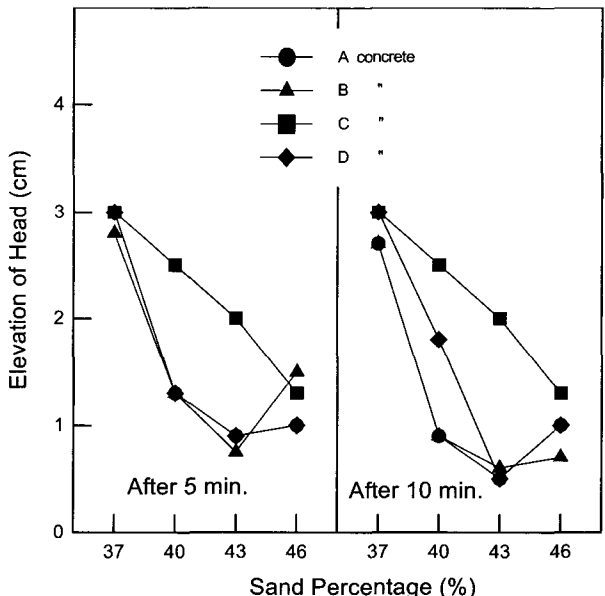


그림 7. 수중 불분리성 콘크리트의 박스의 높이 차

수중에서 타설되는 수중불분리성 콘크리트는 육상 콘크리트 시공과는 달리 진동기 등에 의한 다짐이 불가능하므로 콘크리트의 품질은 콘크리트의 점성 및 유동성, 충전성에 따라 크게 좌우된다고 생각된다. 국내에서 생산된 4종류의 수중불분리성 혼화제를 사용하여 제조한 수중불분리성 콘크리트의 충전성을 평가하기 위한 방안으로 고안한 박스 충전성시험에 의한 높이차를 경과시간 별 측정하여 잔골재율로 정리한 것이 <그림 7>이다.

이 그림에서 경과시간 5분 및 10분 후에 측정된 C 수중불분리성 콘크리트의 높이차는 잔골재율이 증가하는데 따라 높이차가 작아지는 결과를 제외하고는 거의 유사한 경향임을 알 수 있었으며, 잔골재율 43%일 때 콘크리트의 높이 차가 가장 작은 값을 나타내었다. 이와 같은 결과는 잔골재율에 따라 수중불분리성 콘크리트의 충전성이 크게 차이가 있음을 나타내는 결과이다.

3.5 응결 특성

셀룰로오스계 수중불분리성 혼화제를 사용한 수중불분리성 콘크리트는 시멘트의 응결을 지연시키는 특성이 있다. 이에 대해서는 수중불분리성 혼화제가 시멘트 입자에 흡착되어 응결지연이 발생한다는 흡착설과 고점성 또는 수용액의 포화도에 관계된다는 연구결과가 있다. 수중불분리성 콘크리트의 응결지연 정도는 콘크리트 배합, 시멘트의 종류, 제조 및 타설온도, 수중불분리성 혼화제 및 고성능감수제의 첨가량 등에 따라 영향을 받는 것으로 나타났다. 특히, 수중불분리성 혼화제의 사용량이 증가하거나, 양생온도 및 물-시멘트비가 증가함에 따라 응결시간은 지연되는 것을 <그림 8>을 통해서 알 수 있다.

“콘크리트용 수중불분리성 혼화제의 품질기준(안)”에 의하면 수중불분리성 콘크리트의 응결시간은 초결 5시간, 종결 30시간

이내로 규정하고 있다. 그 이유는 수중불분리성혼화제는 시멘트 조성광물 중 C3A 및 C3S를 초기에 흡착하는 성질이 있어 시멘트 수화를 지연시키기 때문에 수중불분리성 콘크리트의 응결시간은 보통콘크리트보다 2~3배 정도 지연되는 특성이 있다.

4. 경화한 수중 불분리성 콘크리트의 성질

4.1 강도 특성

경화 후 강도 특성에 영향을 주는 요인은 재료의 품질, 배합 및 취급방법 등으로 보통콘크리트와 거의 유사하지만 수중불분리성 혼화제를 사용하므로 응결지연에 따른 초기강도저하와 수중타설에서의 재료분리로 인하여 강도가 저하하는 특징이 있다. 수중불분리성 콘크리트의 배합강도는 기중에서 제작한 콘크리트의 압축강도에 비하여 수중 30cm 자유낙하하여 제작한 콘크리트의 압축강도라는 점을 감안하여 안전율을 고려하는 방법과 수중에서 제작한 콘크리트의 압축강도를 기준으로 하는 방법이 있으나 실제 타설된 콘크리트의 품질관리를 위하여 수중에서 제작한 콘크리트의 재령 28일 압축강도를 배합강도로 설정하는 것이 더 바람직하다. 또한 수중에 타설된 콘크리트의 강도발현은 타설중 수중에 유실된 시멘트량이 적을수록 높게 나타날 것이다.

수중불분리성 혼화제의 첨가량과 수중 30cm 자유낙하 제작 공시체의 강도발현율(수중제작 공시체 강도/기중제작 공시체 강도)의 관계의 예를 <그림 9>에 표시하였으며, 첨가량에 비례하며 강도발현율이 증가됨을 알 수 있다.

수중불분리성 콘크리트의 탄성계수는 보통 콘크리트와 비교하여 약간 작은 경향이 있다. 보고에서는 ACI의 제안식의 값과 비교한 것이 많고, 제안식보다 약 10%정도 작다고 하는 것과 15% 정도 작다고 하는 것이 등이 있다.

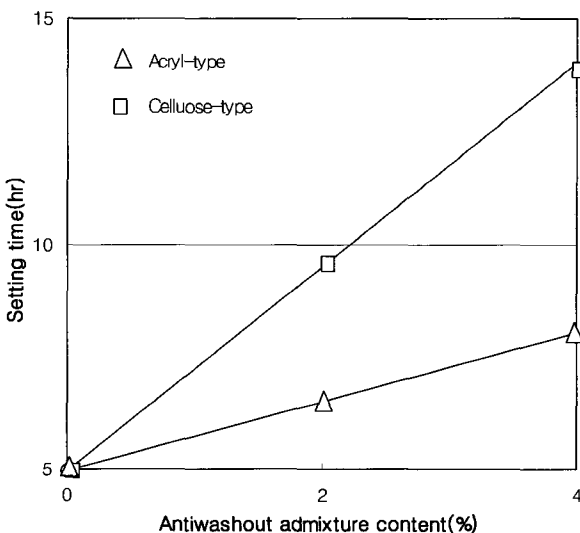


그림 8. 수중 불분리성 혼화제의 사용량에 따른 응결 시간

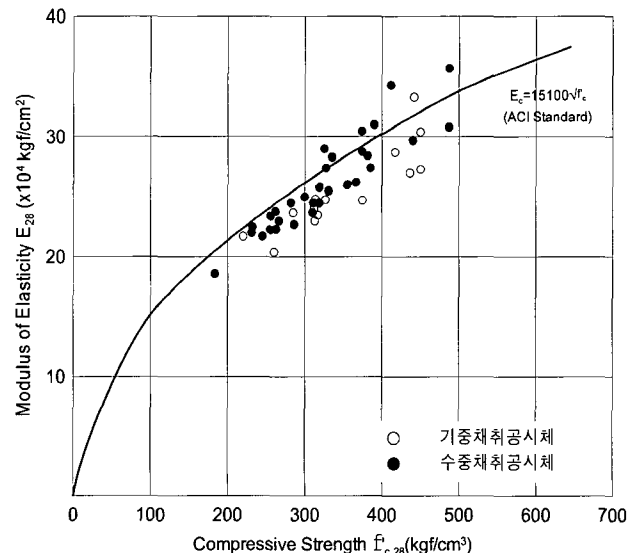


그림 9. 압축강도와 정탄성계수의 관계 예

보통 콘크리트와 비교하여 정탄성계수가 작아지는 이유를 명확히 규명할 수는 없지만 한가지 원인으로서는 단위 잔골재량이 감소하기 때문이라고 하는 보고가 있다.

압축강도와 정탄성계수의 관계를 나타낸 것이 <그림 9>이다. 또한 압축강도와 휨 및 인장강도와의 관계를 나타낸 것이 <그림 10> 및 <그림 11>이다. 일반적인 콘크리트의 휨강도와 인장강도 등은 압축강도와의 관계로부터 추정할 수 있지만, 수중불분리성 콘크리트의 경우에는 압축강도와 휨강도 및 인장 강도와의 관계가 보통 콘크리트의 관계와 거의 같다고 보고 예가 많다.

4.2 건조 수축

수중불분리성 콘크리트는 수중에서만 사용되기 때문에 건조수축에 대한 연구는 극히 작지만 福留 등은 고로슬래그 B종과 셀룰로우스계의 수중불분리성 혼화제를 사용하여 콘크리트의 건조수축

축을 조사하였다.

배합은 물-시멘트비 55%, 시멘트량 396kg/m³, 수중불분리성 혼화제는 시멘트 중량의 0.4%로 하였으며, 건조수축시험은 JIS A 1129에 준하여 7일간 표준양생 후에 시작하며 측정된 결과를 <그림 12>에 나타내었다. 이 그림에서 재령 13주간 정도에서는 수중불분리성 콘크리트와 보통 콘크리트와의 차이가 거의 없지만 재령의 경과에 따라 수중불분리성 콘크리트의 건조수축 변형량은 크게되며, 재령 1년 경과시에는 20%정도 크게 된다고 보고하였다. 한편, <그림 13>은 아크릴계의 경우로 동일한 시험 결과를 나타내고 있다.

4.3 크리프

高木 등은 수중 및 해수중에 직접 타설한 수중불분리성 콘크리트의 수중 및 해수중의 크리프 특성을 수중불분리성 혼화제의 중

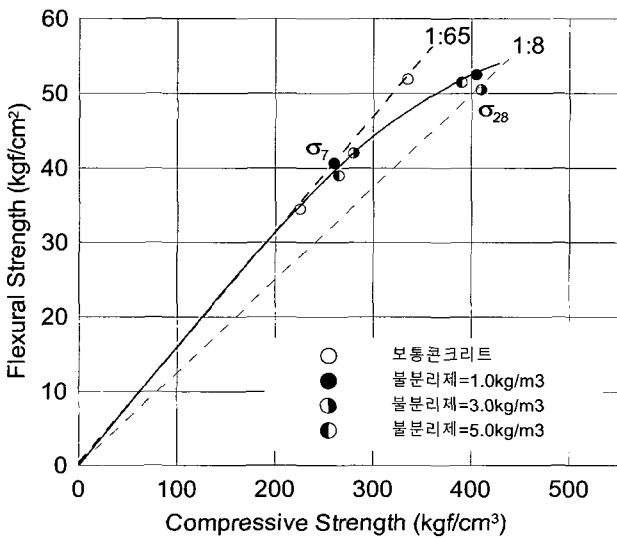


그림 10. 압축강도와 휨강도의 관계 예

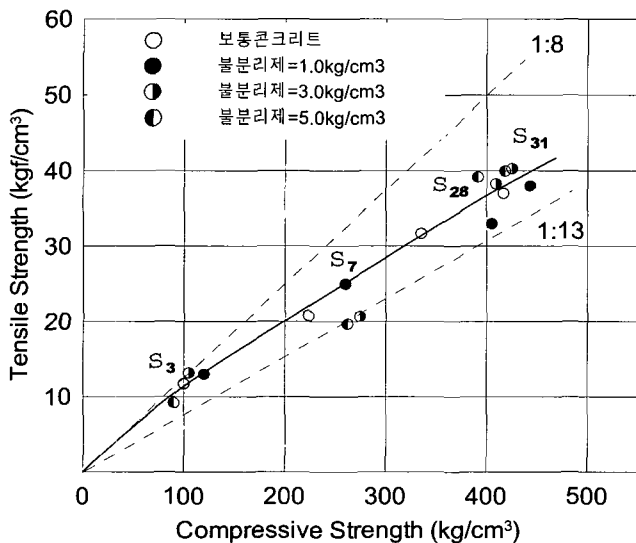


그림 11. 압축강도와 인장강도의 관계 예

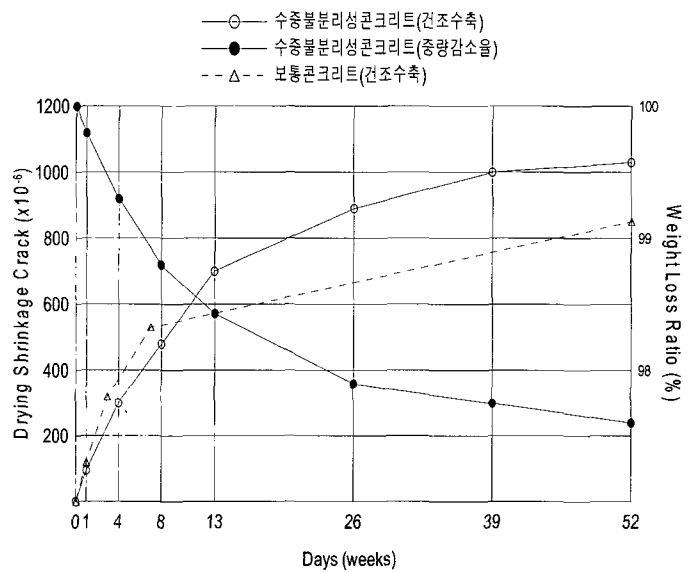


그림 12. 건조 수축 특성(셀룰로스 계)

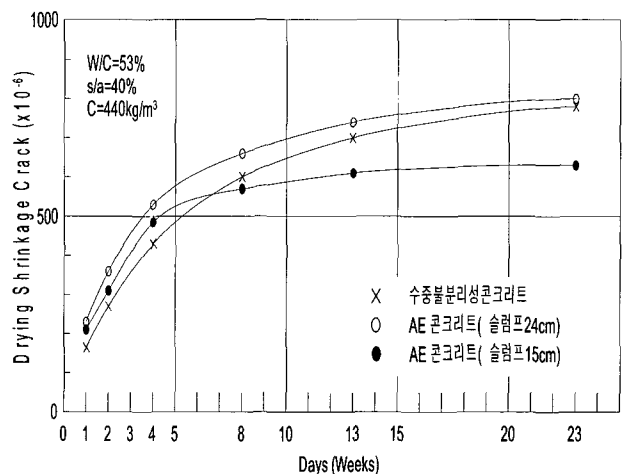


그림 13. 건조 수축 특성(아크릴 계)

류, 타설 조건, 크리프 시험 환경조건 등을 요인으로 검토하였다. 수중불분리성 혼화제로서는 메칠셀룰로우스계 2종류, 에칠셀룰로우스계 및 아크릴계를 각 1종류 사용하였다. 콘크리트의 타설 및 크리프 시험할 경우 기중, 수중과 해수중의 3종류를 하였다. 또한 상당히 치밀한 수중불분리성 콘크리트를 목적으로 수중불분리성 혼화제를 병용한 실리카흙 콘크리트에 관해서도 검토하였다. 그 결과, 기중공시체의 크리프 변형은 수중 및 해수 중 공시체보다 약간 큰 경향을 나타내었으며, 기중 및 수중공시체의 크리프 변형량은 보통 콘크리트와 같거나 약간 크고, 해수중 공시체의 크리프 변형량은 보통 콘크리트와 같거나 약간 적게 나타났다고 보고하였다.

수중불분리성 콘크리트의 크리프는 수중불분리성 혼화제의 종류, 타설조건, 크리프의 환경 등의 조건에 따라 다르지만 보통 콘크리트에 비하여 약간 크게 나타난다는 연구 결과가 지배적이다.

5. 맺음말

수중불분리성 콘크리트는 기존의 수중콘크리트에서는 생각할 수도 없을 정도의 다양한 용도와 대규모로 사용되고 있기 때문에 수중 콘크리트공사의 필수적인 재료로 인식되고 있어 향후 그 사용량이 급증할 것이다.

특히, 국내 건설기술 능력이 향상됨에 따라 수중 또는 바다 속에 초대형 지하 연속벽과 같은 수중 고강도 매스콘크리트구조물 등을 축조해야 할 필요성이 절실히 요구되면서 지금까지의 수중 불분리성 콘크리트와는 달리 수화열이 적으면서, 고강도 수중 불분리성 콘크리트 등과 같은 고유동, 고강도, 고내구성 및 고성능 수중불분리성 콘크리트의 개발도 필요 불가결한 실정에 놓이게 되었다. □

참고문헌

1. 문한영, 김성수, 안태송, 이재준, "수중불분리성 콘크리트의 기초물성에 대한 실험적 연구", 1998년 學術發表會 論文集(I), 社團法人 大韓土木學會, 1998.10.23. pp.253 - 256.

2. 문한영, 김성수, 이승훈, 이재준, "수중불분리성 콘크리트의 유동성에 대한 평가", 1998년 學術發表會 論文集(I), 社團法人 大韓土木學會, 1998. 10. 23. pp.359 - 362.

3. 문한영, 김성수, 이재준, 전중규, "플라이애시를 혼합한 수중불분리성 콘크리트의 제물성", 한국콘크리트학회 1999년도 봄 學術發表會 論文集, Vol.11 No.1, 1999, 5. 15. pp 609-612.

4. 문한영, 김성수, 이병덕, 이재준, "고로슬래그 미분말을 활용한 수중 불분리성콘크리트" 한국콘크리트학회 1998년도 가을 學術發表會 論文集, Vol.10 No.2, 1998, 11. pp 83~86.

5. 문한영, 김성수, 송용규, 전중규, "고강도 수중불분리성 콘크리트의 기초물성", 1999년 學術發表會 論文集(I), 社團法人 大韓土木學會, 1999.10. 23. pp.301 - 304.

6. 문한영, 김성수, 김홍삼, 김종필, "수중불분리성 콘크리트의 내구성에 대한 실험적 연구", 2000년 學術發表會 論文集(I), 社團法人 大韓土木學會, 2000. 10. pp.27~28.

7. 문한영, 김성수, 송용규, 이승훈, "수중불분리성 콘크리트의 현장적용을 위한 연구", 2000년 學術發表會 論文集(I), 社團法人 大韓土木學會, 2000. 10. pp.27~28.

8. 건설교통부, 한국도로공사, "수중불분리성 콘크리트 설계·시공 지침(안)," 1999.

9. 대한토목학회, "콘크리트용 수중불분리성 혼화제 품질규격(안)," 1995

10. 日本土木學會, "水中不分離性コンクリートの 設備施工指針(案)," 1991.

11. 兒島孝之, 角田忍, 淺野文男, "水中不分離性コンクリート流動性評價に關する實驗的研究," 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.12, No.1, 1990.

12. 入畑節郎, "特殊水中コンクリート," Cypsum and Lime, No.213, 1988.

13. H. K. Kamal, "Effects of Antiwashout Admixture on Fresh Concrete Properties," ACI Structure Journal, Technical Paper, Vol.92, No.2, 1995. 3.

14. K. Khayat, "Effect of Antiwashout Admixtures on Properties of Hardened Concrete," ACI Materials Journal, Vol. 93, No. 2, 1996.

15. M. Hara et al, "Admixing Effect of High Fineness Slag on the Properties of Underwater Concrete," Admixtures for Concrete, Improvement of Properties, E. Vazquez, editor, Chapman & Hall, London.

16. M. Kagaya, Tokuda, H., Tsutaho, K., "Segregation Characteristics of Underwater Concrete," CAJ Review.

17. N.Otsuki, M.Hisada, S.Nagataki, T.Kamada, "An Experimental Study on the Fluidity of Antiwashout Underwater Concrete," ACI Journal, Vol. 93, No. 1, 1996.