

# 수중불분리성혼화제의 기초적 특성에 대한 고찰

## A Study on Fundamental Properties of Antiwashout Underwater Admixtures

김 기 형

〈여주대학 토목과 교수 공학박사〉

전 중 규

〈한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정〉

### 1. 머리말

수중에서 콘크리트를 트레미, 콘크리트 펌프 및 밑열림 상자로서 타설할 경우, 콘크리트가 물과 접촉하게 되면 시멘트가 유실 내지는 희석되는 등 재료분리가 발생하게 됨으로써 콘크리트의 강도, 수밀성 및 내구성이 현저하게 떨어지는 문제점과 콘크리트의 품질 확인이 곤란하여 시공시 발생하는 결함부의 보수·보강이 어려워 신뢰성에 대한 의문이 제기되고 있다.

그래서 수중콘크리트의 재료분리를 방지하기 위한 목적으로 점성이 큰 수용성 고분자 재료 중 비이온성의 셀룰로오스계가 주성분인 수중불분리성혼화제와 보조성분으로 경화촉진제, 소포제 및 유동화제를 단독 또는 조합하여 사용한 수중불분리성 콘크리트가 개발되어 실용화 단계에 있다.

이와 같은 수중불분리성혼화제를 사용한 수중불분리성콘크리트는 점성이 매우 풍부하여 수중 시공시 재료분리 저항성이 우수할 뿐만 아니라 유동화제를 사용함으로써 유동성이 매우 크기 때문에 다짐작업 없이도 철근 및 거푸집의 구석구석까지 잘 채워지는 장점을 가지고 있다.

수중불분리성콘크리트는 부산 승정대 공사를 비롯하여 최근에는 영종대교, 광안대교, 서해안고속도로상의 교량기초 및 한강상의 교량 보수공사 등에 수중불분리성콘크리트를 적용한 사례가 점차 증대되고 있는 추세이다.

그러나, 수중불분리성콘크리트는 일반적인 수중콘크리트 공법과는 달리 개발된 역사가 짧을 뿐만 아니라 1984년 우리나라에 도입되어 현장에 적용된 사용실적이나 관련 연구성과가 미흡한 탓으로 수중콘크리트 현장에 크게 보급되지 못하고 있는 실정이다.

본 소고에서는 현재 국내에서 사용되고 있는 수중불분리성혼화제의 화학적, 물리적 성질 및 수중불분리성혼화제의 효과와 작용에 대한 문헌적 고찰을 하여 수중불분리성콘크리트의 제조 및 특성에 대한 기초자료를 소개하고자 한다.

## 2. 수중불분리성혼화제의 화학적 성질

### 2.1 기본조성

수중불분리성혼화제는 수용성고분자인 비이온성의 셀룰로오스계와 아크릴계로 크게 나눌 수 있다. 주성분으로서 각각 「셀룰로오스계 수용성고분자」, 「폴리아크릴아미드계 수용성고분자」를 이용하며, 보조성분으로서 소포제, 경화촉진제, 유동화제를 이용한다. 이에 관한

구체적인 사용재료들은 [표 1], 화학구조식은 [그림 1] 및 [그림 2]에 나타내었다.

### 2.2 화학적 안정성

수중불분리성혼화제는 알칼리에 대하여 안정하여 시멘트 등과 반응하여 이상생성물을 형성하지 않으며, 수중불분리성혼화제의 수용액점도는 넓은 범위의 pH영역(pH 3~12)에서 비교적 안정하다.

### 2.3 열적 안전성

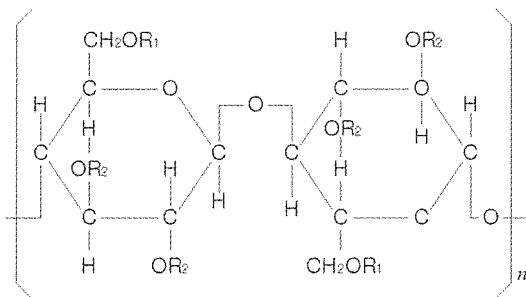
수중불분리성혼화제의 열분해온도(탄화온도)는 약 250~300℃의 열에 대하여 안정한 물질이다.

[표 1] 수중불분리성혼화제의 주요성분

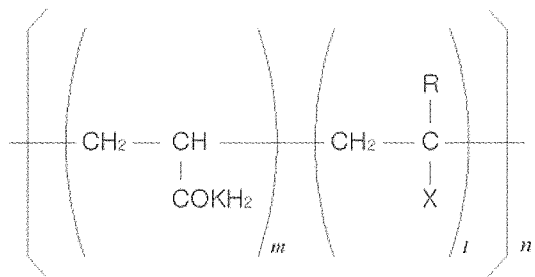
종 류	화 학 명
셀룰로오스계	메틸셀룰로오스(MC)
	하이드록시에틸셀룰로오스(HEC)
	하이드록시프로필셀룰로오스(HPC)
	하이드록시에틸메틸셀룰로오스(HEMC)
	하이드록시프로필메틸셀룰로오스(HPMC)
하이드록시에틸에틸셀룰로오스(HEEC)	
아크릴계	폴리아크릴아미드
	폴리아크릴아미드와 아크릴산 소다와의 공중합물 폴리아릴아미드 부분가수분해물

### 2.4 유동화제와의 조화

수중불분리성혼화제를 사용한 콘크리트는 점성의 증가로 유동성이 크게 저하되기 때문에 이를 개선하기 위하여 유동화제의 사용이 필수적이다. 유동화제의 주성분은 크게 나프탈렌계와 멜라민계로 나눌 수 있으며 단위시멘트량



[그림 1] 셀룰로오스계 수중불분리성혼화제의 화학식



[그림 2] 아크릴계 수중불분리성혼화제의 화학식

에 대해서 2% 정도를 사용한 실적이 많다.

셀룰로오스계 수중불분리성혼화제에 멜라민계 유동화제를 사용할 경우 유동성이 크게 개선되는 장점이 있으나, 나프탈렌계의 유동화제를 사용하게 되면 유동화제의 사용량 1% 정도 까지는 유동성이 개선되는 효과가 있으나, 유동화제의 사용량이 증가할수록 유동성의 저하를 초래할 가능성이 있다. [표 2]는 수중 불분리성혼화제와 유동화제의 상호 적합성을 고려한 일반적인 조합을 나타낸 것이다.

또한, 유동화제를 시멘트중량의 1~2%첨가하는 경우 슬럼프플로우가 35~40cm의 범위에서는 5~8cm크게 되고, 첨가율에 따른 유동효과는 유동화제 1%에 슬럼프플로우가 5cm 증대한다는 연구결과가 있다.

[표 2] 수중불분리성 혼화제와 유동화제의 일반적인 조합

수중불분리성혼화제	유 동 화 제
셀룰로오스계	멜라민설폰산염계(트리아진계)
아크릴계	나프탈렌설폰산염계
	멜라민설폰산염계(트리아진계) 폴리칼본산염계

### 3. 수중불분리성 혼화제의 물리적 성질

#### 3.1 수중불분리성 혼화제의 물성

셀룰로오스계 및 아크릴계 수중불분리성혼화제는 백색 또는 담황색 분말이며, 물에 대한 용해성이 양호한 것이 수중불분리성혼화제의 특징이다. [표 3]은 주요 수중불분리성혼화제

의 물성을 나타낸 것이다.

#### 3.2 용해성

##### 1) 개요

· 셀룰로오스계 : 셀룰로오스계 혼화제는 완전히 용해하는 시간에 차이는 있지만 물에 쉽게 용해하는 성질이 있다. 또한 일반 수용성 고분자와 같이 분말을 직접 물에 투입하면 덩어리가 생기게 된다. 단, 혼화제를 다른 무기 분말(시멘트, 골재 등)에 미리 분산시킬 경우에는 혼화제 입자사이에 거리가 있기 때문에 이런 현상은 일어나기 어렵고 용해는 빠르게 진행된다.

· 아크릴계 : 일반 수용성고분자와 같이 물에 완전히 용해되며, 분말 덩어리가 발생하지 않도록 입도를 조정해야 한다. 셀룰로오스계와 같이 혼화제를 다른 무기분말 등에 미리 분산할 경우 덩어리가 생기지 않고 용해는 빠르게 진행된다.

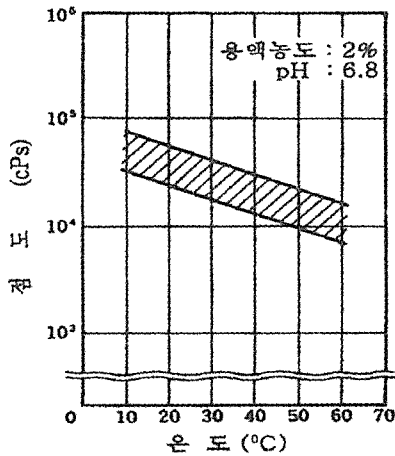
##### 2) 온도와 점도와의 관계

혼화제 수용액의 온도와 점도의 관계는 셀룰로오스계 혼화제인 MC계, HEC계에서도 유사한 경향을 나타낸다. [그림 3]은 셀룰로오스계 혼화제의 온도와 점도의 관계를 나타낸 것이다.

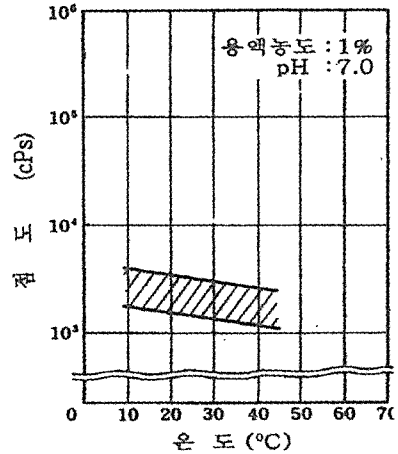
이 그림에서 셀룰로오스계 수용액의 온도가 상승함에 따라 점도가 낮아지는 경향을 나타내지만, 온도가 본래의 상태로 돌아가면 점도가 빠르게 회복하는 성질이 있다. 이와 같은 성

[표 3] 주요 수중불분리성 혼화제의 물성

종 별	종 류	외 관	진비중	겉보기비중	수용액점도
셀룰로오스계	MC	백색분말	1.20~1.35	0.20~0.60	1500~4000 cPs
	HMC	백색담황분말	1.12~1.40	0.30~0.75	700~3100 cPs
아크릴계		백색담황분말	1.29~1.39	0.50~0.67	1000~1300 cPs



(그림 3) 셀룰로오스계 수용액의 온도와 점도의 관계

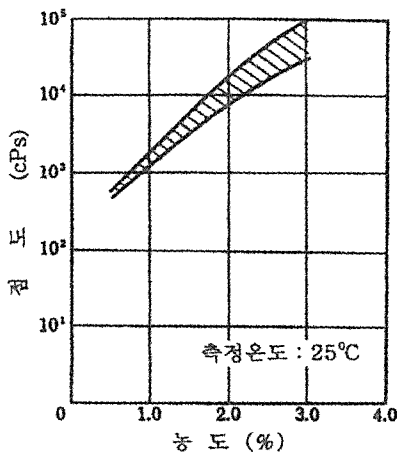


(그림 4) 아크릴계 수용액의 온도와 점도의 관계

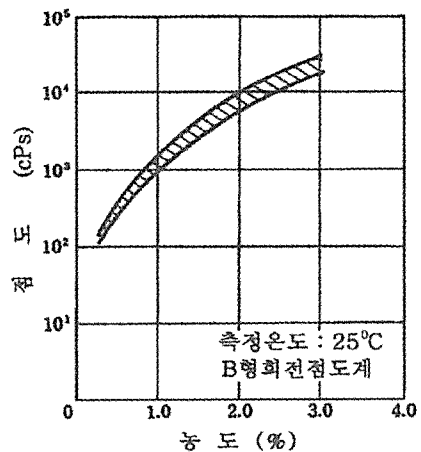
질은 수용성고분자 수용액의 특성이며, 아크릴계도 같은 경향을 나타낸다. [그림 4]는 아크릴계 수용액의 온도와 점도의 관계를 나타낸 것이다.

### 3) 농도와 점도의 관계

셀룰로오스계, 아크릴계 수용액의 농도와 점도의 관계에서는 농도가 증가함에 따라 급속히 점도가 상승한다. [그림 5]는 셀룰로오스계, [그림 6]은 아크릴계에서의 농도와 점도의 관계를 나타낸 것이다.



(그림 5) 셀룰로오스계 수용액의 농도와 점도의 관계



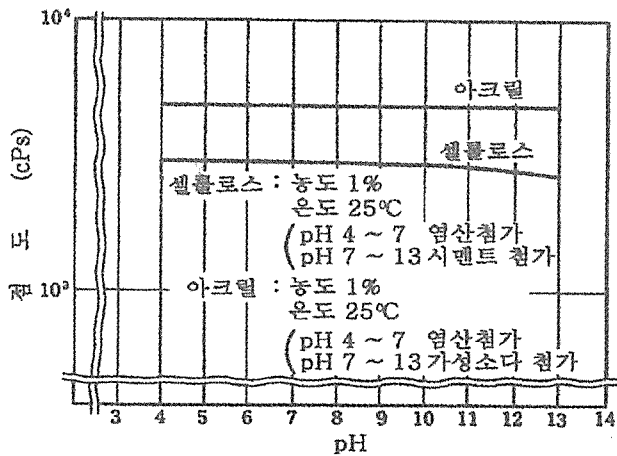
(그림 6) 아크릴계 수용액의 농도와 점도의 관계

### 4) pH와 점도의 관계

셀룰로오스계 및 아크릴계 수용액의 pH와 점도의 관계에서 수용액의 점도는 [그림 7]에 나타난 것처럼 넓은 범위의 pH영역에서 안정한 상태를 나타내었다.

### 5) 혼합제 수용액의 용해시간과 온도, pH의 관계

[그림 8]은 셀룰로오스계 혼합제 수용액의 용해시간과 점도의 관계를 나타낸 것이다. 이



(그림 7) 셀룰로오스계 및 아크릴계 수용액의 pH와 점도의 관계

그림에서 용해초기 단계에는 대개 점도가 증가하여 용해가 지연되는 것을 알 수 있다. 그러나 물분자와 혼화제 분자의 결합 속도는 혼화제 수용액의 pH와 온도에 영향을 받기 때문에 용해시간도 이 두가지 인자에 의해 좌우된다.

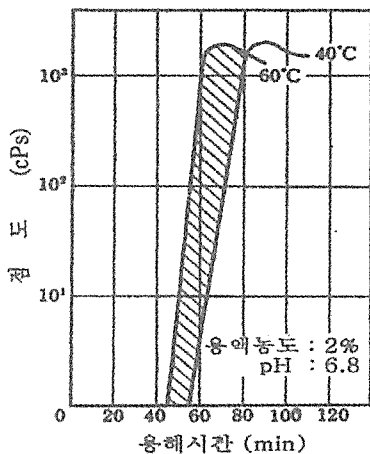
[그림 9, 10]은 셀룰로오스계 혼화제 분산액의 pH와 용해시간 및 온도와 용해시간의 관계를 나타낸 것이다. 이 그림에서 pH 및 온도가 높아짐에 따라 물분자와 혼화제 분자의 결합

합이 빨라 용해시간이 크게 감소함을 알 수 있으며, 혼화제 수용액이 콘크리트 중에 균일하게 배합되면 혼화제 수용액이 빠르게 용해하여 높은 점성을 발현하게 된다.

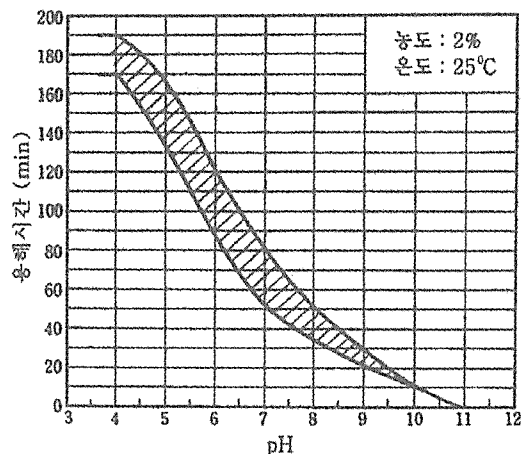
한편, 아크릴계 혼화제는 분말로 혼입할 경우 응집이 발생하지 않도록 입도조정을 하고 있으며, 이 수용액의 용해시간과 점도의 관계를 나타낸 예가 [그림 11]이다. 같은 조건에서 [그림 12, 그림 13]에는 pH와 용해시간, 온도와 용해시간의 관계를 나타낸 것이다.

아크릴계 혼화제는 물과 접촉하면 빠르게 팽윤상태로 되어 점성을 발현한다. 또한 [그림 12, 13]에 나타낸 것과 같이 pH가 알칼리를 나타낸 범위에서의 용해시간은 대개 일정하며, pH에 의해 크게 좌우되지는 않음을 알 수 있으며, 온도가 상승함에 따라 용해시간이 빨라지는 경향이 있다.

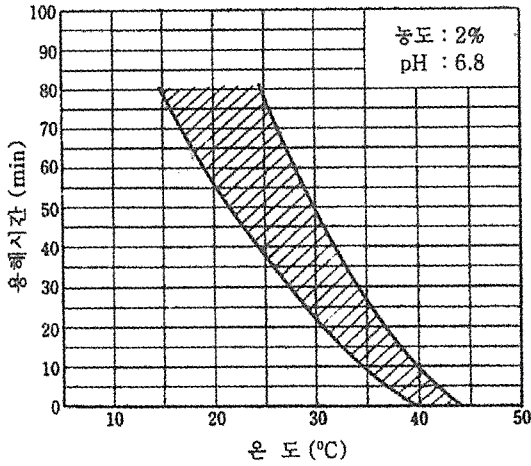
한편, 혼화제를 슬러리상으로 베이스 콘크리트에 후 첨가하는 방법도 있다. 일례로서 셀룰로오스계 혼화제의 경우는 유동화제 또는



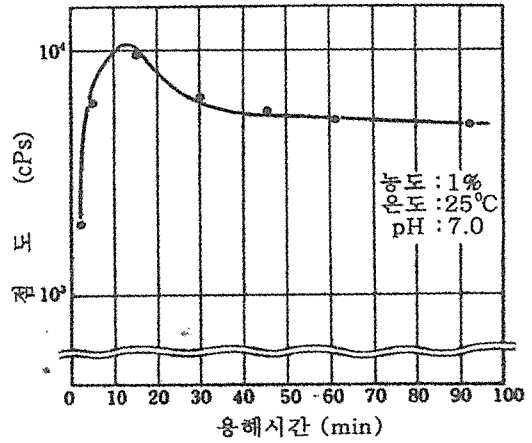
(그림 8) 셀룰로오스계 수용액의 용해시간과 점도의 관계



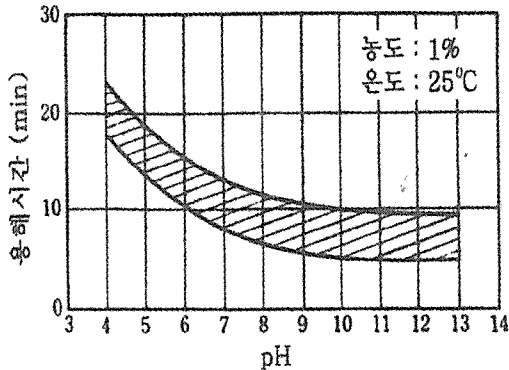
(그림 9) 셀룰로오스계 수용액의 pH와 용해시간의 관계



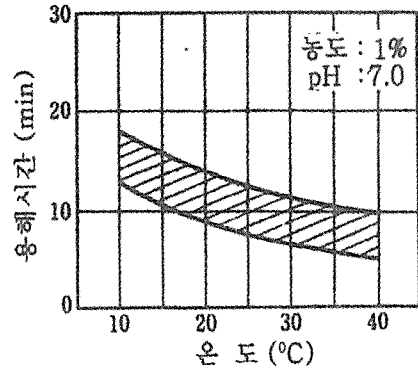
(그림 10) 셀룰로오스계 수용액의 온도와용해시간의 관계



(그림 11) 아크릴계 수용액의 용해시간과 점도의 관계



(그림 12) 아크릴계 수용액의 pH와 용해속도의 관계



(그림 13) 아크릴계 수용액의 온도와 용해시간의 관계

물에 슬러리화하여 사용한다. 이때 슬러리의 농도는 10~20%를 목표로 한다. 아크릴계 혼화제의 경우 유동화제에 슬러리화하며, 이 경우의 혼합비는 유동화제/아크릴계 혼화제 = 1.6~2.4 정도를 목표로 한다.

#### 4. 수중불분리성 혼화제의 효과 및 작용

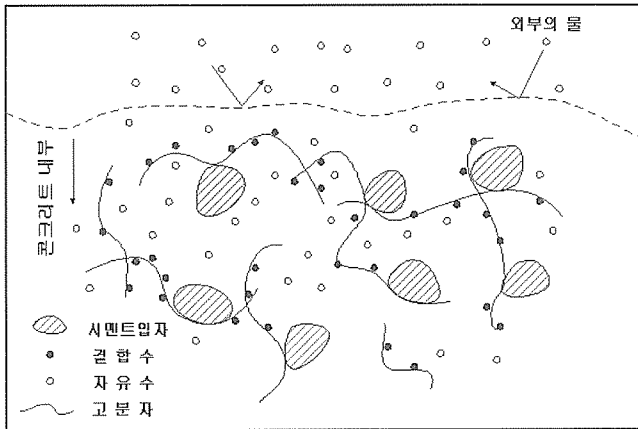
##### 4.1 수중불분리성 혼화제의 효과

셀룰로오스계 및 아크릴계 수중불분리성 혼

화제는 모두 유기고분자이며, 수용성 및 고점성이라는 공통적인 특징을 가지고 있다. 이 수용성고분자가 굳지 않은 모르타 및 콘크리트에 미치는 주된 효과는 재료분리 방지 효과, 블리딩 억제 효과, 셀프레벨링 효과 등이 있다.

##### 4.2 수중불분리성 혼화제의 작용

수용성고분자인 수중불분리성 혼화제는 수소결합에 의해 혼합수의 일부 즉, 결합수를 수중불분리성 혼화제의 주위로 잡아당기는 형태



[그림 14] 수중불분리성혼화제의 작용 모식도

로 혼합수내에 분산한다. 나머지 자유수는 분자 분산한 고분자의 망상조직 내로 갇힌 상태가 되어 자유로운 유동을 할 수 없으므로 그 결과 수용액의 항복치가 높게 되어 물을 내부에 함유하고 있는 상태가 된다.

특히, 셀룰로오스계 혼화제와 같은 섬유상의 분자구조는 시멘트입자 사이, 시멘트와 골재 사이의 가교역할을 함으로써 외부의 물과 접촉하여도 분리되지 않아 수중분리 저항성을 갖는다.

혼합수는 시멘트입자 간극에 따라 형성되어진 모세관을 유동할 수 없을 정도로 항복치가 높게 되기 때문에 콘크리트는 불리딩을 발생시키지 않는다. 또한, 불리딩이 발생하지 않기 때문에 골재간의 유통작용을 하는 수분이 빨리 손실되지 않으므로 콘크리트는 높은 유동성을 갖는다. [그림 14]는 수중불분리성혼화제의 작용 모식도를 나타낸 것이다.

## 5. 맺음말

본고에서는 수중불분리성혼화제의 화학적, 물리적 성질 및 수중불분리성혼화제의 효과 및 작용에 대한 문헌적 고찰을 기술하였다. 기

술한 바와 같이 수중불분리성혼화제는 유동화제와 동시에 사용할 경우 수중불분리성혼화제와의 상호 적합성을 고려해서 사용해야 하며, 수중불분리성혼화제 수용액의 점도와 용해시간은 pH, 농도 및 온도에 크게 좌우됨을 알 수 있었다.

또한, 수중불분리성혼화제를 사용한 수중불분리성콘크리트는 점성이 매우 풍부하여 수중 시공시 재료분리 저항성이 우수할 뿐만 아니라 공사현장의 환경오염 최소화 및 콘크리트의 품질을 향상시키는 장

점을 가지고 있다.

우리나라에서는 1984년 수중불분리성혼화제가 도입된 이후 현장에 적용된 시공실적이나 관련 연구성과가 미흡한 탓으로 앞으로 수중콘크리트 공법에 활발하게 적용되기 위해서는 수중불분리성혼화제를 사용한 수중불분리성콘크리트 개발 및 고품질화에 대한 연구가 계속적으로 필요하겠다.

## 참고 문헌

- (1) 문한영, "수중콘크리트 공법에 대한 고찰", 대한토목학회지, 제 39권 제4호, 1991, pp 83~97
- (2) 문한영, 최재진, 최연왕, 김기형, "콘크리트 혼화재료", 한국콘크리트학회, pp 148~156
- (3) 문한영, 김성수, 전중규, 송용규, "수중불분리성콘크리트의 고품질화 연구", 한국콘크리트학회논문집 제 12권 5호, 2000. 10
- (4) 立畑節郎, "特殊水中コンクリト", Gypsum and Lime, No. 213, 1988
- (5) 松岡康訓, "特殊水中コンクリトの現況と展望", セメント・コンクリト, No. 503, 1989, pp. 6~14.

- (6) 佐藤 辛三, 松井 健一, 高橋 秀樹, 原田 耕司, “水中不分離性コンクリートの混和劑による影響”, セメント・コンクリート論文集, No.45, 1991
- (7) 日本土木學會, “水中不分離性 コクリート設計施工指針(案)”, 1991
- (8) 大友 健, 松岡康訓, “水中不分離性コンクリートの流動性の保持に及ぼす各種混和劑の作用に関する研究”, コンクリート工學年次論文報告集, Vol. 13, No 1, 1991, pp. 197-202
- (9) 中原 康, 大友忠典, “水中コンクリート”, 土木學會論文集, No.466, 1993. 5, pp 9~15

