

수중불분리 콘크리트 물성에 미치는 혼화제의 영향에 관한 기초 연구

A Fundamental Study on Effecting of Admixture on Physical Properties of Antiwashout Concrete

신 도 철* 이 중 열**
Shin, Do Chul Lee, Jong Ryul

ABSTRACT

An experimental study was carried out for the estimate of the properties of concrete contained an antiwashout admixtures. Properties of antiwashout under water concrete clearly differed from other types of concrete.

This paper reports the effects of specific types, dosage of antiwashout admixtures and superplasticizer. The test results have indicated that dosage of antiwashout admixture and superplasticizer to improve the antiwashing property, fluidity and compressive strength will be approximately 2.5 kg/m³, 8 ~ 10 kg/m³ of the weight of concrete each. When cellulous ether type antiwashout admixture is added with a naphthalen sulphonate superplasticizer, resulting in reduced whole properties of antiwashout under water concrete.

1. 서론

최근 해양개발의 추세에 따라 선진국에서는 수중콘크리트 구조물의 수요가 급증하고 있으며 국내여건 역시 삼면이 바다로 둘러싸여 항만, 해양, 토목, 연육교등 바다와 연관된 공사가 많고 내륙에서도 치수 및 수리를 위한 토목공사가 대부분이다.

수중공사를 하는데 있어 종래에는 밀열림상사, 폰대콘크리트, 버킷, 트레미 공법이나 모르타르를 주입하여 왔으나 강도의 신뢰성 저하, 수질오염, 시공기술 및 장비의 고도화 등의 문제점을 내포하고있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 1974 독일에서 최초로 수중에서 재료분리 없이 콘크리트를 타설 할 수 있는 수중불분리 혼화제가 개발되어 수로, 항만공사에 적용되기 시작했으며 국내에서도 '80년대 말부터 일부 연육교와 교각의 기초 부위에 소규모로 적용된 실적이 있다. 그러나 아직은 국내에서 수중불분리 혼화제를 이용한 수중콘크리트의 시공시침이나 성능을 평가하는 방법은 확립되어 있지 않으며, 특히 이의 제조에 관계되는 혼화제가 콘크리트 물성에 미치는 영향에 관한 연구도 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 주로 재료적인 측면에서 수중불분리 혼화제와 사용

고유동화제의 성분과 첨가량 변화에 따른 수중불분리성 콘크리트의 제반 물성변화를 검토하였고 아울러 효율적인 수중콘크리트 타설을 위한 기초 자료로 삼고자 하였다.

2. 실험개요

(1) 시멘트

국내 S사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 이들의 화학적, 물리적 성질은 표1, 2와 같다.

(2) 혼화제

수중에서의 재료분리 방지를 위한 분리저감제는 수용성으로 비이온성 셀룰로스에테르계 성분을 사용했으며 고유동화제는 나프탈렌 설펜산계, 멜라민 설펜산계, 고축합트리아신계 3종을 사용하였다.

(3) 골재

형원산 25mm 쇠석과 심천산 강모래를 사용하였다.

표1. 보통 포틀랜드 시멘트의 화학성분

Chemical composition (%)				
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
20.3	6.0	3.3	62.7	3.2
Chemical composition (%)				
Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	lg. loss	
0.11	0.80	2.0	1.6	

* 쌍용중앙연구소 신제품개발실 주임연구원

** 정희원, 쌍용중앙연구소 신제품개발실장

표2. 보통 포틀랜드 시멘트의 물리적 시험결과

비 중	안정도(%)	응 결	
		초결 (분)	종결(시간)
3.14	0.03	260	6:30
압 축 강 도 (kg/cm ²)			
1일	3일	7일	28일
87	203	287	387

표3. 사용 혼화제의 성분과 물리적 특성

종 류	성 분	진비중	형 태	PH
불분리 혼화제	비이온 성셀룰 로스 에	1.27	백색 분말	6.5-7.5
	테르계 멜라민 설펜산 계(M)			
고유동 화제	나프탈 렌설펜 산계(N)	1.16	미색액 상	8-10
	고축합 트리아 신계(T)	1.22	갈색액 상	7- 9
		1.14	담갈색 액상	7- 9

2.2 실험내용

혼화제 사용에 따른 수중불분리 콘크리트의 물성변화를 명확히 파악하기 위해 단위 시멘트량과 물시멘트비, 잔골재율을 고정시켜 단순화 했으며, 불분리제 와 고유동화제의 첨가량을 변화시켜 실험을 수행하였다. 콘크리트 배합조건은 표4와 같 으며 불분리 혼화제는 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 kg/m³, 고 유동화제는 성분별로 각 0.4, 8, 12 kg/m³ 으로 첨 가량을 변화시켰다.

표4. 콘크리트 배합조건

W/C (%)	S/A (%)	단위 재료량 (kg/m ³)			
		시멘트	물	잔골재	조골재
50	40	440	220	657	1028
AE감수제 * (C/vx%)		수중불분리 혼화제		고유동화제	
0.15		1.5~3.0kg/m ³		0~12kg/m ³	

* A.E감수제 : 시멘트 x 0.15%(리그닌설펜산염계)

콘크리트 혼합은 실험실의 강제식 믹서에 시멘

트, 잔골재, 불분리제를 투입하여 30초간 건식으로 혼합한후 물(고유동화제 함유), 굵은골재를 투입하여 다시 교반하였다.

2.3 시험항목 및 측정방법

본 연구의 시험은 일본 토목학회에서 '91년에 제정한 수중불분리성 콘크리트 평가방법에 준하여 시험하였다.

(1) 수중불분리성 시험

1000cc 비이커 (외경 110mm, 높이 150mm)에 800cc의 물을 채우고 500g의 콘크리트를 10등분이 상 되게 수중에 분할 투입한 다음 비이커수 600cc 를 채취하여 PH와 현탁물질의 양(탁도)을 측정하였다.

(2) 작업성 시험

슬럼프 콘을 제거한후 5분 경과후에 콘크리트가 퍼진 넓이 2개점을 측정하는 slump, flow치로 하였으며 아울러 시간에 따른 slump, flow 경시변화 량도 측정하였다.

(3) 공기량 시험

균시 않은 콘크리트의 압력법에 의한 공기함유 량 시험법으로 측정하였다.

(4) 콘크리트 응결시험

콘크리트를 No.4의 체로 체가름한 후 용기에 넣 어 관입서항침에 의해 응결시간을 측정하였다.

(5) 콘크리트 압축강도 시험

시험시편의 제작은 기중과 수중에서 각각 제작 하여 수중과 기중의 강도비를 구하였다. 수중에서 의 공시체 제작은 수심 30cm의 수조에 형틀을 놓 고 시료를 10등분 이상 수중에 자유낙하시켜 다짐 이 없이 형틀에 채웠다. 수중에서 자중에 의한 충 진을 유도한 후 7, 28일 재령까지 20 ±3℃의 수 조에서 양생하여 시험을 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 불분리제 첨가량 및 고유동화제 종류에 따른 재료분리 특성

불분리제 첨가량과 고유동화제에 따른 수중에서 의 재료분리 저항성을 측정된 결과를 그림 1과 2 에 나타내었다. 고유동화제 함량을 고정하고 불분 리제 함량을 변화시켜 실험한 결과 현탁물질량은 불분리제 함량에 따라 최고 290mg/l에서 20mg/l 까지 차이를 나타내고 있으며 고유동화제 성분 에 따라서는 차이가 없는 것으로 나타나고 있다.

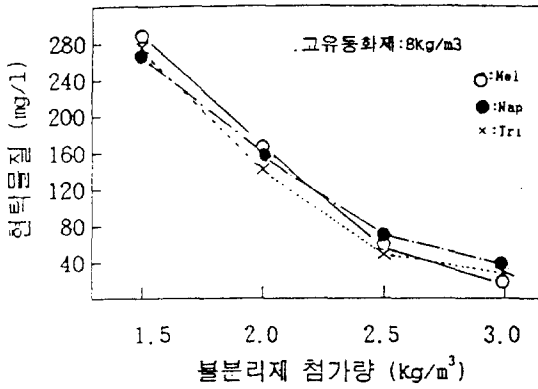


그림1. 불분리세 함량에 따른 재료분리 저항특성

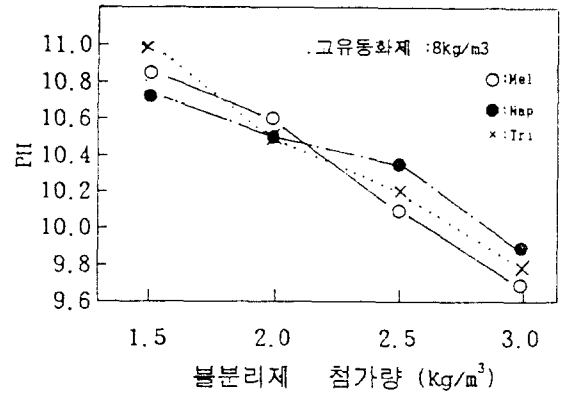


그림3. 불분리세 및 고유동화제 함량에 따른 PH 변화

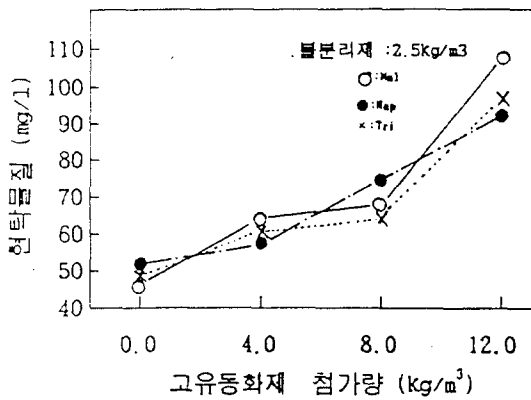


그림 2. 고유동화제 함량에 따른 재료분리 저항 특성

불분리세 함량이 2.0kg/m³이하에서는 분리저항성이 크게 떨어지는 것으로 나타나고 있다. 고유동화제 함량에 따라서는 성분에 관계없이 함량 증가에 따라 현탁물질이 다소 증가되는 경향이며 8kg/m³ 이상 첨가에서부터 증가폭이 커지는 현상을 나타내고 있다.

과량의 고유동화제 사용은 콘크리트의 점성을 저하시켜 시멘트 유실량을 증가시키는 것을 알 수 있다.

그림3의 현탁용액의 PH 측정 결과도 동일한 경향을 보여주며 PH 값의 변화는 불분리세량에 따라 최고 11에서 9.7까지 떨어지는 것으로 나타나며 고유동화제의 성분에 따라서는 차이가 없으므로 측정되었다.

상기의 실험결과로부터 현탁용액의 PH와 현탁물질과의 상관 회귀모형을 추정해 본 결과 그림 4와 같이 Log 모형의 회귀곡선을 갖으며 회귀식의 결정계수 (r^2)이 0.91로 비교적 좋은 상관성을 갖고

있는 것으로 나타나고 있어 간단히 PH 측정만으로도 현탁물질을 정량적으로 추정 가능하다고 사료된다.

$$\text{Log(탁도)} = 1.339 [\text{PH}] - 11.87 (r^2 = 0.91)$$

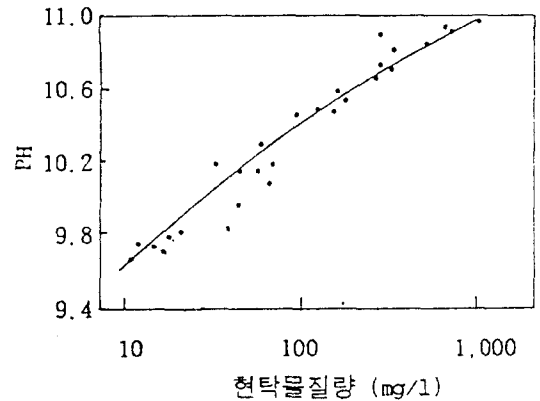


그림4. 현탁물질과 PH간의 상관 관계

3.2 콘크리트 slump, flow 및 경시변화특성

불분리세 고유동화제에 따른 slump, flow 측정결과를 그림 5와 6에 나타내었다.

불분리세 첨가량이 0.5kg/m³씩 증가됨에 따라 콘크리트의 점성 증가로 2.4cm 정도의 slump, flow 저하현상을 보이고 있다. 고유동화제의 성분에 따라서도 slump, flow 차이가 크게 나타나고 있는데 멜라민계 > 트리아진계 순으로 양호하며 나프탈렌산 설폰산계는 떨어지는 것으로 나타났다.

고유동화제 함량에 따른 slump, flow 변화는 유동화제 첨가량이 8kg/m³까지는 직선적으로 증가하다가 그 이상 첨가에서는 증가가 둔화되는 현상을 보이고 있다.

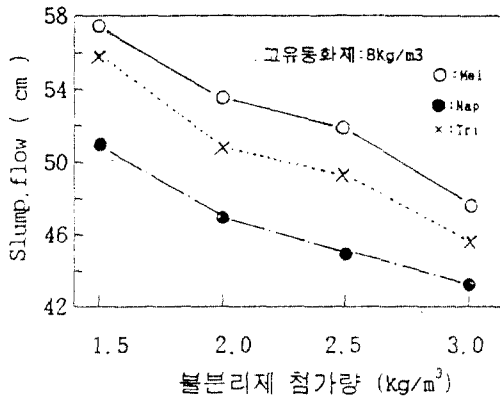


그림5. 불분리제 첨가에 따른 slump flow 변화
고유동화제 성분에 따른 영향은 멜라민계와 트리아진계가 그 첨가량에 따라 증가되는 경향을 보인 반면 나프탈렌술폰산계는 slump flow 절대치는 물론 첨가량에 따른 증진효과가 나타나지 않고 있다.

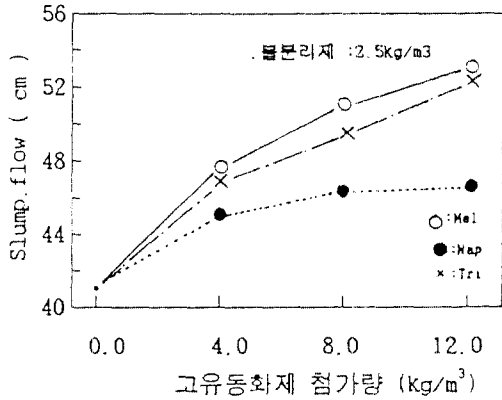


그림6. 고유동화제 첨가에 따른 slump flow 변화

따라서 고유동화제의 선정과 사용량은 불분리제의 성분과 경제성을 고려하여 선택할 필요가 있다.

그림7은 경시변화에 따른 slump flow의 변화를 측정할 결과이다. 초기의 목표 slump flow가 50±3cm되게 콘크리트를 배합한 후 가경식 mixer에 넣어 30, 60, 90, 120분 간격으로 slump flow를 측정하였다.

멜라민계와 트리아진계 고유동화제를 사용한 조건에서는 60분 경과까지는 2~3cm의 완만한 slump flow저하현상을 나타내다가 그 이상부터는 저하폭이 커지는 현상을 보이고 있는데 반해 나프탈렌계는 초기 30분경과 부터 저하량이 큰 현상을 나타내고 있다. 120분 경과 후에 최종 slump flow loss는 멜라민계와 트리아진계의 경우 초기

slump flow치에서 6~7cm, 나프탈렌계는 10cm가량 저하되고 있다. 수중불분리 콘크리트의 유동성 저하량은 보통 콘크리트보다 적은 것으로 나타나며 콘크리트 제조후 90분까지는 작업성의 확보가 가능하나, 그이상의 시체가 소요될 경우에는 응결지연형 AE 감수제나 고유동화제의 현장투입등과 같은 조치가 필요하다고 생각된다.

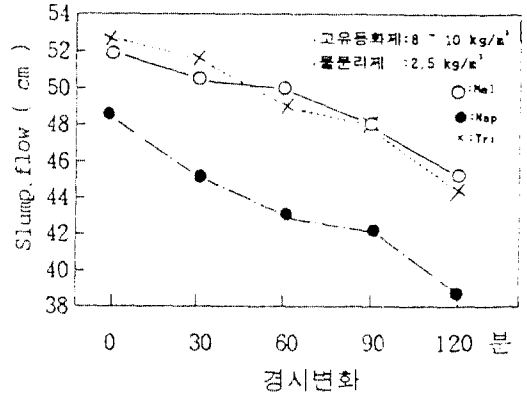


그림7. Slump flow 경시변화량

3.3 콘크리트 공기량

셀룰로스에테르계 불분리제의 작용기구는 긴 섬유상의 셀룰로스 분자들이 물 분자간의 가교역할을 함에 따라 물의 이동을 저해하고 결화를 시킴으로서(점성증가) 시멘트와 골재간의 재료분리를 방지하게된다. 물의 점성증가는 콘크리트 혼합시 생산된 공기포의 이동이나 소멸을 방해 함으로서 일반 콘크리트보다 기포발생량이 증가하게 된다. 일본 토목학회에서는 공기량을 상한치만 4.5% 이하가 된 것으로 규정하고 있어 본 연구에서도 수중불분리 혼화제와 고유동화제 사용에 따른 공기량을 측정하였으며 그 결과는 그림8과 9에 나타내었다.

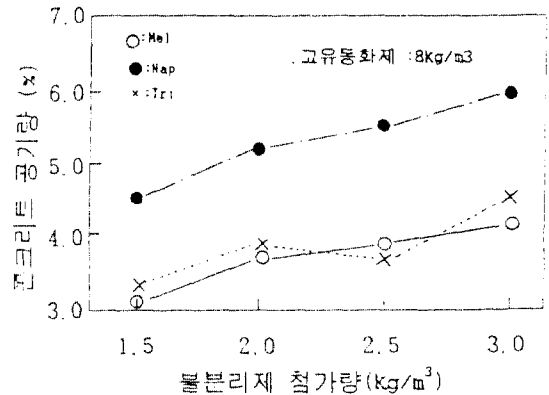


그림8. 불분리제 첨가량에 따른 공기량 변화

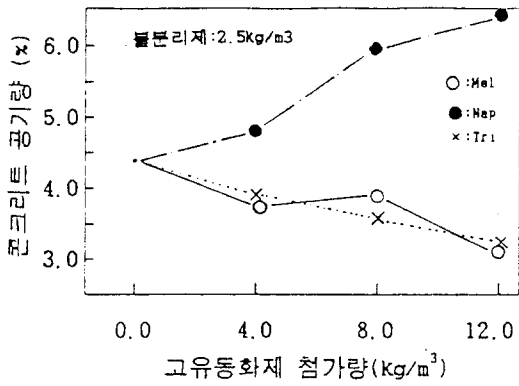


그림9. 고유동화제 첨가량에 따른 공기량 변화

불분리제 함량증가에 따라 공기량이 다소 증가 되는 경향을 나타내고 있으나 그 영향은 작게 나타났다. 유동화제 성분에 따라서는 나프탈렌계의 경우 공기량이 크게 증가하는 것으로 나타나고 있으며 함량증가에 따라 그 양은 증가되고 있다. 멜라민계와 트리아진계는 첨가량 증가에 따라 공기량이 감소하고 있는데, 이는 콘크리트의 유동성 증가로 공기포의 이동 및 소멸이 원활해지기 때문이다. 일반적으로 AE계 성분의 첨가에 따라 발생된 미세연행 공기포(Entraining air)의 직경은 10~100 μ 인 미립의 상태로 시멘트, 물 주위에 잘 분산되어 불배어링 역할을 함으로써 유동성을 향상시키게 된다. 그러나 본 실험에서와 같이 불분리제에 기인되어 발생하는 공기포는 직경이 100 μ 이상으로 크고 존재하는 골재의 형태에 따라 여러형태의 형상으로 불규칙하게 분포하므로 발생량 증가에 따라 유동성 증가에는 기여하지 못하는 것으로 사료된다. 특히 나프탈렌 설펜산계 고유동화제는 유동성 저하, 공기량 발생증가 현상을 나타내고 있는 것으로 미루어 볼때 셀룰로스계 불분리제의 점성저동에 이상영향을 끼쳐 점성 증진을 유발시키는 작용을 하는 것으로 추정된다.

3.4 콘크리트 응결 특성

관입저항침에 의한 콘크리트 응결시간 측정 결과를 그림 10에 나타내었다. 수중불분리 콘크리트의 응결시간은 보통 콘크리트에 비해 초결, 종결이 5~8시간 지연되어 나타난다. 불분리제 함량 0.5kg/m³ 증가에 따라서 멜라민계, 트리아진계의 경우 초결, 종결이 50~70분정도 지연되고 있으며 나프탈렌 설펜산계는 80 ~ 120 분 정도 지연되고 있다. 고유동화제 함량 증가에 따라서도 응결이 지연되는 경향을 보이는데 멜라민계와 트리아진계는 첨가량 증가에 따른 지연시간이 4kg/m³ 증가에

따라 30~50분정도 지연되고 있는데 반해 나프탈렌 설펜산계는 응결시간이 60~140분 정도로 크게 지연되는 것으로 나타났다. 전반적으로 나프탈렌 설펜산계가 셀룰로스 에테르계 불분리제에서는 응결 지연 작용이 크게 나타났다.

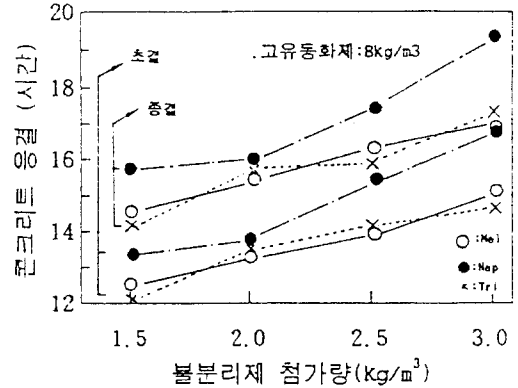


그림10. 불분리제 첨가량에 따른 콘크리트응결특성

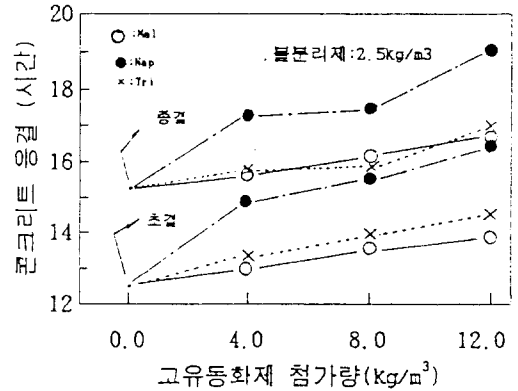


그림11. 고유동화제 첨가량에 따른 콘크리트 응결 특성

3.5 콘크리트 압축강도 특성

수중과 기중에서 제작한 콘크리트의 28일 압축강도 측정결과를 그림 12에 나타내었다.

이때의 실험조건은 동일한 작업성 (slump, flow 48 ± 3cm) 범위에서 강도 시험을 위해 고유동화제량을 불분리제 함량에 따라 4~10kg/m³ 범위에서 조정 사용하였다.

불분리제 함량 증가에 따라 기중에서 제작한 시편의 절대 강도는 떨어지는 것으로 나타나지만 수중/기중 강도비는 재료분리 저항성이 커짐에 따라서 증가되고 있는 것으로 나타난다. 이러한 현상은 과도한 불분리제 사용시 시멘트의 수화를 억제시켜 강도 발현에 역효과를 내기 때문이다. 사용량이 적게 (1.5kg/m³)되면 재료분리 증가로 수중

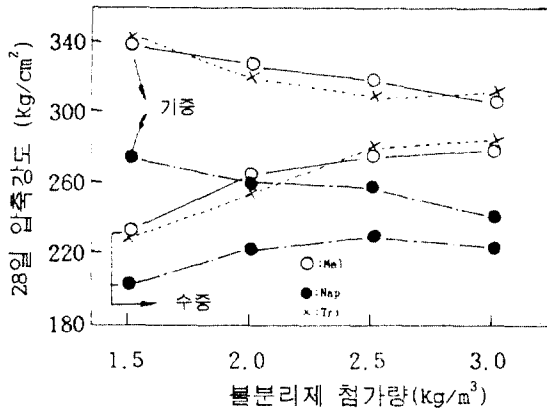


그림12. 수중불분리제 혼화제를 사용한 콘크리트의 압축강도 특성
/기중 강도비가 0.7이하로 떨어졌다. 고유동화제의 종류에 따라서 나프탈렌설폰산계의 경우 멜라민계, 트리아신계에 비해 기중에서는 60~70kg/cm2 수중에서는 40~50kg/cm2 강도가 낮게 나타나고 있으나 수중/기중 강도비 측면에서는 다소 높은 현상을 보이고 있다.

이러한 강도저하 원인은 전술한 바와 같이 나프탈렌 설폰산계의 유동화제 사용에 따라 발생하는 과도한 공기량 증가에 기인되며 셀룰로스 에테르계 불분리제와 이상 반응에 따라 불분리제의 점성에 영향을 미치고 있는 것으로 생각된다. 일본 토목학회에서 규정하는 수중 불분리 콘크리트의 수중 압축강도 250kg/cm2 이상, 수중/기중 강도비 0.8이상을 만족하기 위한 불분리제 사용량은 2.5kg/cm2 수준이며 사용 고유동화제는 멜라민계나 트리아신계가 적합한 것으로 나타났다.

4. 결론

셀룰로스 에테르계 수중 불분리 혼화제와 사용 고유동화제의 종류 및 첨가량에 따른 수중 불분리성 콘크리트의 물성에 관한 기초적 실험으로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 수중불분리 콘크리트의 재료분리 저항성은 주로 불분리 혼화제의 사용량에 좌우되나 고유동화제 사용량이 증가하면 재료분리 현상도 다소 증가하는 것으로 나타나고 있어 시공조건에 맞는 최소량의 불분리제와 고유동화제량을 배합시에 검토할 필요가 있다.

2) 현탁물질과 현탁용액의 PH 간에는 다음식과 같은 상관식이 있어 PH 측정만으로 현탁물질의 정

량적인 추정이 가능하다

$$\text{Log (탁도)} = 1.339(\text{PH}) - 11.87 \quad (r^2=0.91)$$

3) 수중불분리 혼화제를 이용한 콘크리트의 유동성은 90분까지는 비교적 작업성의 확보가 가능한 것으로 나타나며 경제적인 고유동화제의 첨가량은 8 ~ 10 kg/m3 범위인 것으로 나타났다.

4) 수중불분리 혼화제 사용량 증가(0.5kg/m3)에 따라 50 ~ 70 분 정도의 응결 지연 현상과 공기량이 증가하는 현상이 나타났다.

5) 압축강도 250kg/cm2 이상, 수중/기중 압축강도비 0.8 이상을 확보하기 위한 수중불분리 혼화제의 적정 첨가량은 2.5 kg/m3 수준이며 과도한 불분리제의 첨가는 강도증진에 역효과를 나타냈다.

6) 셀룰로스 에테르계 증점제에는 멜라민계, 트리아신계 고유동화제의 사용이 바람직 하며 나프탈렌설폰산계는 셀룰로스 에테르계 증점제의 점성에 이상변화를 일으켜 점성증진, 공기량 발생증가로 유동성, 강도, 응결 특성을 저하시키는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 關博, 土木學會, 水中不分離性 콘크리트設計施工指針(案)의아웃라인, 세멘트·콘크리트, No. 541, P. 49 ~ 52(1992)
2. 立畑節郎, 特殊水中 콘크리트, Gypsum & Lime, No. 213, P. 43 ~ 46(1988)
3. 심재범, 김영철, 수중 콘크리트에 관한 최신 공법의 비교연구, 한국건설기술 연구원 (1985)
4. 關博, 水中分離防止劑, 콘크리트 工學, Vol. 24, NO. 8, P. 86 ~ 90(1986)