

배합 및 타설조건에 따른 수중불분리성 콘크리트의 역학적특성 변화에 관한 실험

Experiments on Mechanical Characteristics of Anti-Washout Concrete with Mixing and Placing Condition

양 은 익* 최 홍 식** 허 권** 이 시 우**
Yang, Eun Ik Choi, Hong Shik Heo, Gweon Lee, Si Woo

ABSTRACT

An experimental study is carried out to estimate the effects of mixing and placing condition on the mechanical properties of anti-washout concrete. According to the test results, mixing method and placing temperature do affect the characteristics of fresh concrete, while they do not affect the strength development of anti-washout concrete. But, concrete strength was greatly affected by the placing condition and placing height. Concrete strength decreases linearly as the placing height increases. Compared to the normal concrete, the increase in strength is not associated much with an increase in the elastic modulus of anti-washout concrete.

1. 서론

최근 콘크리트의 분리저항성을 향상시키는 수중불분리 혼화제가 선진외국에서 개발되어 수중에 직접 콘크리트를 타설해도 분리하지 않고 유동성이 탁월하여 다짐이 필요없는 콘크리트가 실제 현장에 적용되기에 이르렀다. 현재 선진 각국에서는 수중불분리 혼화제에 대한 연구가 활발히 진행되어^{1),2)} 수십 종에 이르는 제품이 개발되어 있으며 수중불분리성 콘크리트에 대한 기준은 물론 품질관리를 위한 방안이 제시^{3),4)}되고 있다. 이에 비해 국내의 경우에는 수중불분리성 콘크리트에 대한 인식이 부족하고 이 분야에 대한 연구도 미진하여 해양 건설 분야의 국제 경쟁력에 있어서도 매우 미흡한 상태에 있다. 그러나 국내에서도 수중불분리성 콘크리트에 대한 요구가 크게 대두될 것으로 예상되므로 이에 대한 준비가 절실한 실정이다.

지금까지 국내에서는 몇몇 연구자에 의해 수중불분리성 콘크리트에 대한 연구실적이 보고되어 왔으나^{5)~7)} 질적으로나 양적으로나 매우 미흡한 실정이므로 보다 빠른 시기에 적절한 수중콘크리트를 현장 적용하기 위해서는 재료 생산에서 시공, 역학적특성 및 내구성에 이르는 각종 특성에 관한 상세한 연구결과가 요구된다. 특히 수중불분리 혼화제를 사용하는 콘크리트의 배합특성과 타설조건에 따른 수중 불분리성 콘크리트의 역학적 특성변화는 공사계획에서부터 고려해야 할 매우 중요한 사항이지만 이에 대한 자료가 거의 외국 문헌에 의존하고 있으므로 이 분야의 연구결과가 매우 시급하다.

이러한 연구 필요성의 일환으로서 본 연구에서는 수중불분리 혼화제를 사용한 수중콘크리트의 기본 특성실험으로부터 도출된 최적의 배합비에 대하여 콘크리트를 해수에 타설할 경우 비빔방법 및 타설 조건이 수중불분리성 콘크리트의 역학적 특성 변화에 미치는 영향을 실험적으로 파악하고자 한다.

* 정회원, 한국해양연구소 선임연구원

** 정회원, 충청대학 교수

2. 실험 개요

2.1 사용재료

콘크리트 제작을 위해 시멘트는 S사의 1종 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 잔골재는 강모래(비중:2.58, F.M.=2.38)를 굵은골재는 쇄석(비중:2.68, Gmax=25mm)을 사용하였다. 이때 골재 표면의 수분량에 의해 수중불분리 혼화제의 흡착이 발생할 수 있으므로 본 실험에서는 골재를 표건상태로 유지하여 실험을 수행하였다. 한편 수중불분리 혼화제로서는 셀룰로오스계인 A사의 제품(점도:20,000~25,000cP)을 사용하였고 수중불분리 혼화제와의 적용성을 고려하여 유동화제로서는 멜라민계의 제품을 사용하였다.

2.2 실험방법

실험에 사용한 콘크리트 배합비는 표 1과 같다. 본 실험에서는 표 1의 배합을 사용한 콘크리트의 비빔방법, 타설높이 및 타설온도 등의 시공특성이 Fresh 콘크리트 특성과 수중콘크리트의 역학적 특성에 미치는 영향을 정량화하기 위하여 콘크리트 배합방법으로는 동일한 배합시간을 할애한 일괄투입, 2중배합, 3중배합의 3종류(N1, N2, N3)를 선정하였고 수중에서의 타설높이에 따른 특성변화를 조사하기 위하여 타설높이를 20, 50, 80cm로 변화시켰다. 또한 해수의 온도는 크게 변화하지 않으나 타설시 콘크리트 배합온도에 따른 차이가 콘크리트 특성변화에 영향을 미칠 것으로 예상되어 타설온도를 23, 32℃(N2, H2)로 구분하여 실험을 실시하였다. 이때 콘크리트의 역학적 특성을 조사하기 위하여 제작하는 공시체는 기중 및 수중에서 각각 제작하여 시공특성에 따른 관계를 모든 경우에 대하여 검토하였다. 실험의 실험변수 및 실험항목을 정리하면 표 2와 같다.

각 경우에 대한 콘크리트 제작에는 강제식 믹서(용량:60 liter, 37RPM)를 사용하였으며 1회 배치량은 40 liter이고 배합 시간은 총 3분으로 결정하였다. 제작된 공시체는 제작후 2일에서 탈형하여 NaCl로 해수 염도(35%)를 맞춘 양생조(20±3℃)에 입수시켜 강도 실험일까지 해수중 양생을 실시하였다. 공시체의 기중 및 수중제작은 일본 토목학회의 콘크리트 표준시방서⁸⁾에 준하여 실시하였다.

표 1 콘크리트 배합비

W/C (%)	S/a (%)	단위량(kg/m ³)				불분리제	유동화제
		시멘트	물	세골재	굵은골재		
50	42	420	210	683	944	W×1.2 wt%	C×2.0 wt%

표 2 실험변수 및 측정항목

구분	내용	비고
실험변수	배합방법(일괄투입, 2중비법, 3중비법) 타설높이(20, 50, 80cm) 타설온도(23, 32℃) 시험체 제작방법(기중, 수중)	<ul style="list-style-type: none"> 2중비법: 시멘트+잔골재+굵은골재+불분리제(1분) →배합수+유동화제(2분) 3중비법: 시멘트+불분리제→잔골재+굵은골재(1분) →배합수+유동화제(2분)
측정항목	Slump Flow 공기량 Box 충전성 5mm체 통과율 PH 및 탁도 압축강도 (재령7, 28, 91일) 탄성계수 및 단위중량	KS F 2402 KS F 2421 일본 토목학회 “ “ KS F 2405 KS F 2438

3. 결과 및 고찰

3.1 배합 및 타설조건에 따른 Fresh 콘크리트 특성변화

선정된 배합이 시공조건에 따라 변화하는 Fresh 특성을 조사하여 그림 1에 함께 나타내었다. 그림 1의 결과를 살펴보면 비빔방법에 따라 콘크리트의 Fresh 특성이 크게 변화하는 것을 알 수 있

다. 특히 일괄투입인 N1의 경우 유동성이 크게 저하하였으며 충전성도 가장 나쁜 것으로 나타났다. 이것은 일괄투입으로 인하여 수중불분리제가 배합수와 먼저 결합하여 불분리 혼화제의 성능을 충분히 발휘하지 못한 것에 기인하는 것으로 판단된다. 또한 기존의 문헌에 따르면 수중콘크리트의 시공성 개선을 위해 3중비빔이 제안되고 있으나 본 실험결과에 따르면 3중비빔을 실시한 N3의 경우 유동성 측면에서 2중비빔을 실시한 N2와 크게 다르지 않은 경향을 보였다. 이것은 시멘트와 불분리 혼화제의 사전 비빔시에 혼화제가 충분히 확산되지 않은 것에 기인하는 것으로 사료되며 향후 3중비빔의 효과에 관한 보다 많은 자료를 축적할 필요가 있을 것으로 판단된다.

한편 2중비빔의 경우 콘크리트 유동성, 충전성 및 분리저항성에 있어서 좋은 결과를 보였으며 2중비빔은 현장생산시에 일괄투입에 비하여 관리항목이 증가할 수 있으나 3중비빔보다는 사전 비빔과정을 생략한 방법으로 수중불분리성 콘크리트의 Fresh 특성에는 효율적인 것으로 판단된다. 이에 비해 배합은 2중비빔이며 타설온도가 높은 H2의 경우 타설온도 증가에 따라 유동성이 크게 증가하지만 공기량의 변화가 매우 크고 특히 현탁물질량이 다른 조건에 비해 증가하는 경향을 보였다. 이와 같은 현상은 타설온도 증가로 인해 불분리 혼화제의 점성이 감소하는 것에 기인한 것으로 설명할 수 있으며 계절에 따른 불분리 혼화제의 점성 및 혼입량 조절이 필요함을 보이는 것으로 판단된다.

3.2 시공조건에 따른 콘크리트의 역학적 특성변화

수중불분리 콘크리트의 시공조건에 따른 역학적 특성변화를 검토하기 위하여 각 조건에 대한 공시체($\phi 10 \times 20\text{cm}$)를 제작하였으며 역학적 특성치로서는 압축강도, 탄성계수 및 단위중량을 선정하였다. 측정재령으로는 7일과 28일을 채택하였으며 측정된 재령에서의 역학적 특성치를 정리하면 표 3과 같다. 표 3의 값은 공시체 3개의 평균을 구한 값이다.

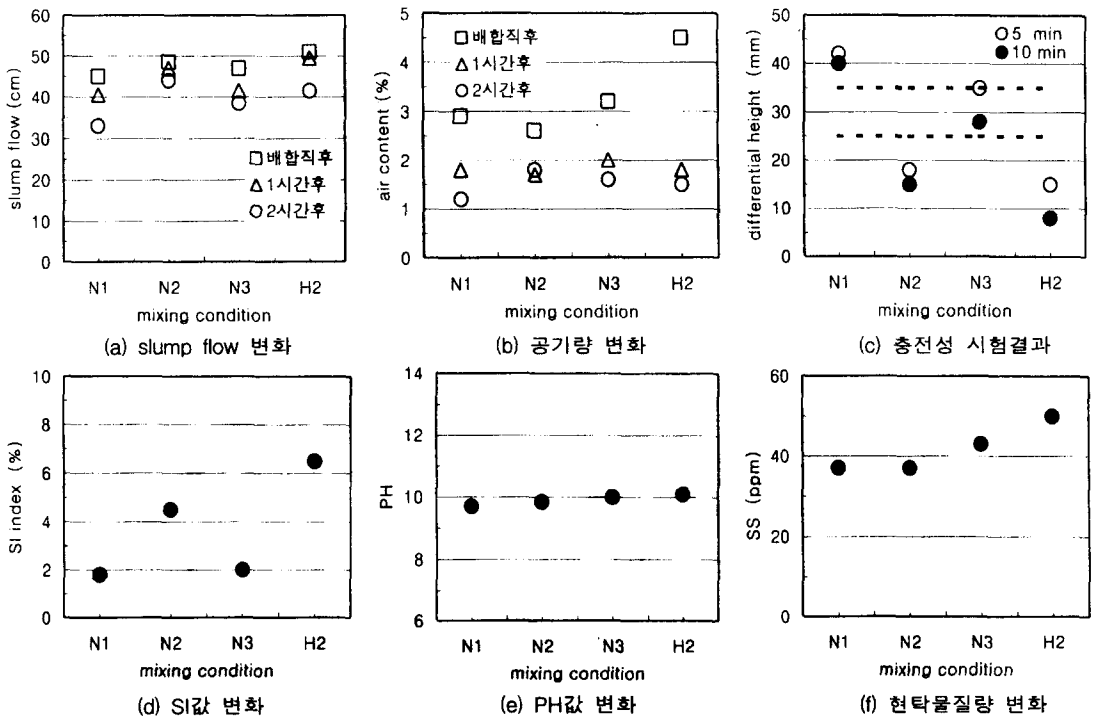


그림 1 배합조건에 따른 수중콘크리트의 각종 Fresh특성 변화

3.2.1 압축강도

비빔방법에 따른 콘크리트 강도 변화를 표 3으로부터 추출하여 나타내면 그림 2와 같다. 그림 2의 가로축에 표시한 기호는 비빔방법을 나타내고 D와 W는 각각 기중제작과 수중제작을 의미한다.

그림 2의 실험결과에 따르면 먼저 비빔방법에 따른 콘크리트 압축강도의 변화는 크게 변화하지 않았다. 즉 본 실험의 공시체 제작이 가능한 시공성 범위에서는 비빔방법이 콘크리트 강도에 미치는 영향은 그다지 크지 않은 것으로 판단된다.

다음으로 기중제작 공시체 강도에 대한 수중제작 공시체 강도비를 살펴보면 전체적으로 78~83%의 값을 나타내었다. 일본 연안개발기술연구센터의 기준³⁾에 따르면 이 비율을 재령7일에서 60%이상, 재령28일에서 70%이상으로 제안하고 있으며 일본 토목학회 기준⁴⁾에 따르면 재령7일, 28일에서 80%이상을 정하고 있다. 이러한 기준값과 실험결과를 비교하여 볼 때 실험결과가 연안개발기술연구센터의 기준은 충분히 만족하고 있으나 토목학회 기준에는 하한치에 머무르는 결과를 보였다.

한편, 압축강도 발현상태를 살펴보면 기중제작 및 수중제작 공시체 모두 재령7일에서의 강도가 재령 28일 강도의 약 71~77% 범위내에서 분포하였다.

표 3 비빔방법 및 타설조건에 따른 수중콘크리트의 역학적 특성치

Mixing Condition	Placing Condition	Placing Height (cm)	Compressive Strength (kg/cm ²)		Elastic Modulus (kg/cm ²)	Unit Weight (ton/m ³)	
			7 day	28 day	28 day	7 day	28 day
N1	Dry	20	243.6	335.9	2.06 × 10 ⁹	2.25	2.26
	Wet	20	198.1	279.7	1.97 × 10 ⁹	2.28	2.28
N2	Dry	20	256.8	338.7	2.12 × 10 ⁹	2.29	2.29
		20	204.1	275.3	2.03 × 10 ⁹	2.28	2.29
	Wet	50	191.9	249.9	2.05 × 10 ⁹	2.28	2.29
		80	173.8	230.1	2.04 × 10 ⁹	2.28	2.29
H2	Dry	20	216.6	303.4	2.07 × 10 ⁹	2.26	2.24
	Wet	20	202.1	273.6	2.04 × 10 ⁹	2.26	2.27
N3	Dry	20	254.5	350.9	2.01 × 10 ⁹	2.27	2.27
	Wet	20	202.5	273.0	1.98 × 10 ⁹	2.26	2.27

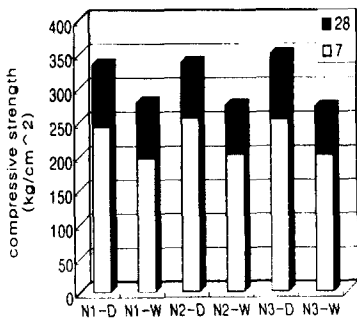


그림 2 비빔방법 및 제작조건에 따른 콘크리트 강도변화

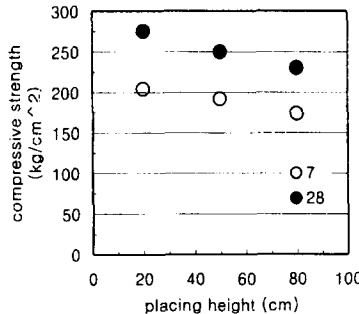


그림 3 타설높이에 따른 콘크리트 강도변화

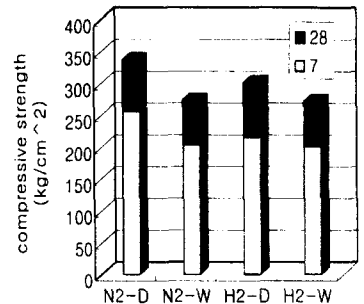


그림 4 타설온도에 따른 콘크리트 강도변화

수중불분리성 콘크리트는 수중에 직접 타설되는 콘크리트이므로 수중에 자유낙하되는 거리가 짧을수록 페이스트 손실에 따른 강도저하가 적은 것으로 보고되고 있다. 기존의 외국규준에서는 과거 실험결과와 실적을 바탕으로 자유낙하거리를 50cm 이하로 규정하고 있다. 이러한 상황을 검토하기 위해 자유낙하거리를 20, 50, 80cm로 변화시켜 자유낙하거리에 따른 강도변화를 검토하였으며 그 결과를 정리하면 그림 3과 같다. 그림 3의 결과를 살펴보면 자유낙하거리가 증가할수록 압축강도가 저하하는 것을 알 수 있으며 각 자유낙하거리에 따른 28일 강도를 기중제작 공시체의 비율로 나타내면 81.3, 73.8, 67.9%로서 자유낙하거리 20~80cm 범위에서 거의 선형적으로 압축강도가 변화함을 나타내었다.

해수에 수중콘크리트를 타설하는 경우 일반적으로 해수의 온도는 크게 변화하지 않으나 콘크리트의 배합온도는 생산시의 재료온도 및 계절에 따라 크게 변화한다. 따라서 콘크리트 타설온도가 다른 수중콘크리트를 일정수준 온도(16~18℃)의 해수에 타설할 경우의 압축강도 변화를 검토하였다. 그 결과를 나타내면 그림 4와 같다. 그림 4의 결과에 따르면 콘크리트 타설온도가 다른(23, 32℃)에도 불구하고 수중제작 콘크리트의 압축강도가 거의 동일함을 알 수 있다. 즉 콘크리트가 해수중에 타설되면 콘크리트와 해수와의 온도 전달이 빠르기 때문에 소량의 콘크리트온도는 급속히 해수온도에 수렴하게 되므로 타설온도 차이는 콘크리트 강도발현에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

3.2.2 탄성계수

비빔방법 및 제작조건에 따른 수중콘크리트의 탄성계수 결과를 나타내면 그림 5와 같다. 그림 5에 의하면 비빔방법에 따라 콘크리트 탄성계수가 크게 차이가 나지 않는 것으로 나타났다. 한편 수중제작 공시체의 탄성계수는 전체적으로 기중제작 공시체 탄성계수보다 약 5% 정도 저하하는 것으로 나타났다. 그러나 기존의 압축강도-탄성계수간의 관계에 의하면 압축강도가 20% 저하할 경우 탄성계수는 약 10% 저하하는 것으로 계산되므로 수중콘크리트의 탄성계수 변화는 기존의 일반 콘크리트에 비해 압축강도의 변화에 민감하게 반응하지 않는 것으로 판단된다.

기존의 기준^{3),4)}에 의하면 수중불분리성 콘크리트는 일반 콘크리트에 비해 단위수량이 많고 따라서 콘크리트 중의 페이스트가 많으므로 탄성계수 값을 시방서 값보다 10% 저감시켜 사용할 것을 제안하고 있다. 그러나 본 실험결과의 압축강도에 대한 탄성계수 값을 살펴보면 콘크리트 표준시방서⁹⁾에 의한 탄성계수 값보다 10~22% 적음을 알 수 있다. 따라서 콘크리트의 탄성계수가 사용골재 등의 배합재료 특성에 의해 변화하는 특성을 감안하더라도 수중불분리성 콘크리트의 탄성계수를 사용하고자 할 경우에는 직접 실험결과를 사용하던가 아니면 기존의 제안된 저하율 보다 안전을 고려한 저하율을 사용할 필요가 있는 것으로 판단된다. 이에 대한 상세한 검토는 추후의 연구를 통해 계속적으로 진행할 필요가 있을 것으로 사료된다.

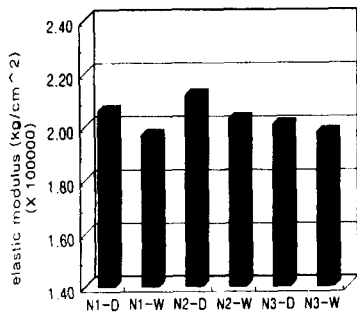


그림 5 비빔방법 및 제작조건에 따른 탄성계수 변화

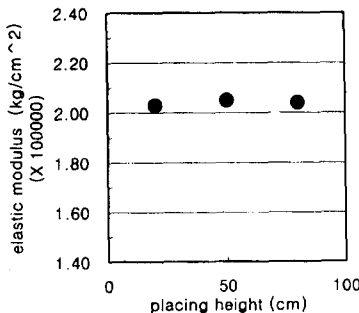


그림 6 타설높이에 따른 콘크리트 탄성계수 변화

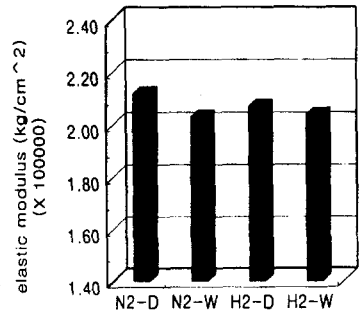


그림 7 타설온도에 따른 콘크리트 탄성계수 변화

또한 수중타설 높이차이가 수중불분리성 콘크리트의 탄성계수에 미치는 영향을 검토하기 위하여 수중타설 높이에 따른 콘크리트 탄성계수 값을 비교하여 그림 6에 나타내었다. 그림 6으로부터 알 수 있는 바와 같이 본 실험의 범위에서는 수중타설 높이가 콘크리트의 탄성계수에는 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 수중타설 높이증가에 따라 압축강도가 크게 저하하는 현상과는 배치되는 것으로 앞에서 서술한 바와 같이 콘크리트 탄성계수가 콘크리트 압축강도 변화와 상관성이 낮음을 의미한다.

콘크리트 타설온도가 다른 수중콘크리트를 해수에 타설할 경우의 탄성계수 변화를 검토한 결과를 나타내면 그림 7과 같다. 그림 7로부터 알 수 있는 바와 같이 타설온도에 따른 탄성계수 변화는 크게 나타나지 않았다.

3.2.3 콘크리트 단위중량

앞에서 나타낸 표 3의 콘크리트 단위중량 실험결과를 살펴보면 수중불분리성 콘크리트의 단위중량은 재령(7일, 28일), 비빔방법, 제작조건, 타설높이 및 타설온도에 관계없이 거의 일정한 값(2.25~2.29 t/m³)을 나타내었다. 일반적으로 수중불분리성 콘크리트의 단위중량은 일반 콘크리트에 비해 약간 작기 때문에 기존 수중불분리성 콘크리트의 기준에서는 무근 콘크리트일 경우 표준시방서의 값에서 50 kg/m³을 뺀 2.25~2.3 t/m³ 값을 사용하도록 제안⁴⁾하고 있다. 이 값은 본 실험결과와도 잘 일치하였다.

4. 결론

- 1) 비빔방법 및 타설온도는 수중불분리성 콘크리트의 유동특성과 공기량 변화에 크게 영향을 미친다.
- 2) 콘크리트 비빔방법과 타설온도는 수중불분리성 콘크리트 강도에 크게 영향을 미치지 않으나 공기체 제작조건 및 수중타설 높이는 콘크리트 강도 변화에 크게 영향을 미치며 타설높이가 증가함에 따라 압축강도가 선형적으로 감소한다.
- 3) 수중불분리성 콘크리트의 탄성계수는 일반 콘크리트에 비해 강도변화에 따른 상관성이 낮으므로 압축강도로부터 탄성계수를 예측하는 기존 방법을 그대로 적용하기 어려우며 조건에 따라 표준시방서의 제안치 보다 최대 20% 정도까지 저하하였다.

감사의 글

이 연구는 한국해양연구소에서 기관고유사업(불분리 혼화제를 사용한 해수중 타설 콘크리트의 기본 특성에 관한 연구)으로 수행된 결과의 일부이며, 실험 수행시에 (주)아텍스의 지원을 받았습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) 芳賀孝成, 十河茂幸, 三浦律彦, 玉田信二, “分離低減劑を用いた水中コンクリートに関する研究”, 콘크리트工學年次講演會論文集, 1984.
- 2) K.L. Saucier, B.D. Neeley, “Anti-Washout Admixtures in Underwater concrete”, ACI Concrete International, May, 1987.
- 3) 日本沿岸開發技術研究センター, “水中不分離性コンクリートマニュアル”, 1990.
- 4) 日本土木學會, “水中不分離性コンクリート設計施工指針(案)”, 콘크리트ライブラリー第67號, 1991
- 5) 조선규, “수중불분리성 혼화제를 첨가한 콘크리트의 최적배합비에 관한 실험적 연구”, 한국콘크리트학회 논문집, Vol.8, No.5, 1996. 10.
- 6) 윤영수, 이승훈, 원종필, 장일영, “수중콘크리트의 특성평가를 위한 실험적연구”, 대한토목학회 논문집, 제17권, 제I-3호, 1997. 5.
- 7) 김진철, 정용, 문한영, “수중불분리 콘크리트의 기초적 물성에 관한 연구”, 대한토목학회 논문집, 제18권, 제I-3호, 1998. 5.
- 8) 日本土木學會, 콘크리트標準示方書(規準集), 1996.
- 9) 대한토목학회, 콘크리트 표준시방서, 1996.