

고강도용 수중불분리성 콘크리트의 현장적용을 위한 연구

문한영^{1)*} · 송용규¹⁾ · 이승훈²⁾ · 정재홍²⁾

¹⁾한양대학교 ²⁾삼성물산(주) 건설부문 기술연구소

(2001년 1월 31일 원고접수, 2001년 5월 24일 심사완료)

A Study for In-situ Application of High Strength Antiwashout Underwater Concrete

Han-Young Moon¹⁾, Yong-Kyu Song¹⁾, Seung-Hoon Lee²⁾, and Jae-Hong Jung²⁾

¹⁾ Dept. of Civil Engineering, Hanyang University, Seoul, 133-791, Korea

²⁾ Inst. of E & C Tech., Engrg. & Const. Group, Samsung Corp., Yongin, 449-900, Korea

(Received on January 31, 2001, Revised on May 24, 2001)

ABSTRACT

The construction of underwater structures has been increased, but underwater concrete has some problems of quality deterioration and contamination around in-situ of civil and architecture; therefore, new materials and methods for them are demanded. In this paper in-situ application of underwater antiwashout concrete which is manufactured for the purpose of not only decreasing suspended solids and the heat of hydration but also increasing long term strength was studied. In the case of mock-up test(I), when underwater antiwashout concrete, whose slump flow was 58 cm, was placed in the mock-up test at a speed of 24 m³/hr, it took about a minute to flow to the side wall, and the surface was maintained at horizontal level. In this case, compressive strength of the core specimens in each section was higher than the standard design compressive strength of 240 kgf/cm². In the case of mock-up test(II), pH value and suspended solids of high strength underwater antiwashout concrete were 10.0~11.0 and 51 mg/l at 30 minutes later, initial and final setting time were about 30, 37 hr, and the slump flow of that was 53±2 cm. In the placement at a speed of 27 m³/hr, there was no large difference in flowing velocity, with or without reinforcement and flowing slope was maintained at horizontal level. In this case, compressive strength and elastic modulus of the core specimens somewhat decreased as flowing distance was far; however, those of central area showed the highest value.

Keywords : deterioration of quality, heat of hydration, high flowability, high strength

1. 서 론

근년에 와서 수중불분리성 콘크리트는 공사현장 주변 환경오염 최소화, 시공의 합리화 및 수중콘크리트의 품질 향상에 기여한 점이 인정되어 영종대교, 광안대교, 서해안 고속도로상의 교량기초 및 한강상의 교량 보수공사 등 수중콘크리트 구조물에 적용되는 사례가 점차 증대되고 있는 추세이다.

일반적으로 콘크리트를 수중에서 타설하게 되면 콘크리트가 물과 접촉하여 콘크리트 중의 시멘트가 일부유실 내지는 희석되는 등 재료분리가 발생하게 됨으로써 콘크리트의 강도, 철근과의 부착성, 수밀성 및 내구성과 같은 품질의 저하뿐만 아니라 타설 현장 주변의 수질을 오염시켜

환경생태계에 나쁜 영향을 미치는 등 문제점이 발생된다¹⁾. 그래서 수중콘크리트의 문제점으로 지적되고 있는 콘크리트의 재료분리를 저감시킬 목적으로 1984년 우리나라에 도입된 수중불분리성 혼화제를 감수효과가 큰 고성능감수제, 경화촉진제 및 소포제 등과 조합하여 제조한 수중불분리성 콘크리트에 착안하게 되었다.

그런데 수중불분리성 혼화제는 수중불분리성 콘크리트의 혼합수에 용해되어 점성을 높여주며, 긴 섬유상의 분자 구조는 시멘트 입자에 흡착되어 시멘트와 골재사이의 가교 역할을 함으로써 수중불분리성 콘크리트의 재료분리 저항성을 개선 및 향상시키는데 효과가 있다.

특히, 수중 또는 바다 속에 고강도의 지하연속벽 및 초대형의 수중콘크리트 구조물과 같은 매시브한 수중콘크리트 구조물을 축조해야 할 필요성이 절실히 요구되면서 지금까지의 수중콘크리트용 재료 및 공법과는 달리 수화열이 적으면서 강도가 큰 수중불분리성 콘크리트의 개발이 필

* Corresponding author

Tel : 02-2290-0323 Fax : 02-2292-3356

E-mail : moon77@email.hanyang.ac.kr

요 불가결한 실정이다²⁾.

그러나 수중불분리성 콘크리트는 트레미, 콘크리트 펌프, 밀열림 상자를 사용한 일반 수중콘크리트 및 프리캐스트 콘크리트 공법과는 달리 개발된 역사가 비교적 짧은 탓으로 현장에 적용된 시공실적이 적어 신뢰성에 대한 의문을 제기하는 등의 문제점이 지적되고 있다³⁾.

그래서 우리나라에서도 수중불분리성 혼화제의 성능평가, 수중불분리성 콘크리트의 기초물성 및 고강도화와 관련된 연구성과를 발표한 바 있다^{4~9)}.

본 연구에서는 이들 연구결과를 토대로하여 합리적인 시공을 위한 연구의 일환으로 압축강도 240 kgf/cm² 정도로 제조한 수중불분리성 콘크리트의 시공성 및 품질을 평가하기 위하여 모형 실험체(I)를 제작하여 모의실험을 실시하였다.

또한 수중불분리성 콘크리트의 고강도화에 따른 수화열을 저감시키며, 장기강도를 증진시킬 목적으로 고로슬래그 미분말 50% 혼합한 시멘트로서 재령 28일 설계기준강도 500 kgf/cm² 정도의 고강도용 수중불분리성 콘크리트를 제조하여 모형 실험체(II)에 의한 탁도, pH, 응결시간 및 온도를 측정하였다. 아울러 유동성 시험을 통해 시공성을 평가한 후 모형 실험체를 경화시켜 유동거리 및 재령별로 코어 공시체를 채취하여 압축강도 및 탄성계수를 측정할 결과에 대하여 고찰하였다.

2. 실험 개요

2.1 사용재료

(1) 시멘트 및 광물질 혼화제 : 보통포틀랜드시멘트(이하 OPC로 약함) 및 고로슬래그 미분말(이하 슬래그 미분말 또는 BFS로 약함)의 화학성분 및 물리적 성질은 Table 1과 같다.

(2) 골재 : 잔골재는 바다모래를 세척하여 사용하였으며, 굵은 골재는 최대치수 20 및 25 mm 두 종류의 부순 돌로서 골재의 물리적 성질은 Table 2와 같다.

(3) 화학혼화제 : 주성분이 Hydroxypropyl Methylcellulose(HPMC)계인 수중불분리성 혼화제(antiwashout admixture, 이하 수중혼화제 또는 AWA로 약함)와 멜라민계 고성능 감수제(이하 HRWR로 약함)를 병용하여 사용하였으며, 화학성분 및 물리적 성질은 Table 3과 같다.

2.2 실험 방법

(1) 믹싱 방법 : 강제식 믹서에 혼합수를 제외한 재료를 투입한 후 건식상태로 30초, 혼합수 투입 후 90초 동안 혼합하여 수중불분리성 콘크리트를 제조하였다.

(2) 콘크리트 온도 : 모형 실험체 중의 콘크리트 온도는

온도측정용 센서(thermistor)를 콘크리트 내부에 매설한 후 Data Taker 615(DT615)를 이용하여 측정하였다.

(3) 응결시간 : 수중불분리성 콘크리트의 응결시간은 15ℓ 용량의 수조에 물을 채운 후 응결측정용 몰드를 제작하여 현장에서 KS F 2436에 의하여 측정하였다.

(4) 현탁물질량 및 pH값 측정 : 대한토목학회(1995) “콘크리트용 수중불분리성 혼화제 품질기준(안)”의 수중낙하시험 방법에 의하여 측정하였다.

(5) 슬럼프 플로우 : 대한토목학회(1995) “수중불분리성 콘크리트의 슬럼프 플로우 시험방법(안)”에 의하여 측정하였으며, 경과시간에 따른 슬럼프 플로우 손실정도를 알아보기 위하여 믹싱 직후 및 60분에서 각각 슬럼프 플로우 값을 측정하였다.

Table 1 Chemical composition and physical properties of OPC and BFS

Items Types	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)
OPC	21.95	6.59	2.81	60.1
BFS	34.34	15.76	0.09	42.19
MgO (%)	SO ₃ (%)	Ig. loss (%)	Specific gravity	Blaine (cm ² /g)
3.32	2.11	2.58	3.15	3,112
6.81	0.16	-	2.90	4,380

Table 2 Physical properties of aggregates

Items Types	G _{max} (mm)	Specific gravity	Absorption (%)
Fine aggregate	-	2.60	1.00
Coarse aggregate	25	2.67	0.78
	20	2.69	1.14
Percentage of solids (%)	F.M.	Abrasion value (%)	Unit weight (kg/m ³)
56.4	2.80	-	1,475
64.9	6.51	28.6	1,741
65.1	6.46	26.6	1,745

Table 3 Chemical composition and physical properties of admixtures

Items Types	Main composition	Specific gravity	Density (kg/ℓ)
AWA*	HPMC	-	0.8±0.1
HRWR**	Melamine	1.23±0.02	-
Amount of dosage (C×%)		pH	Appearance
0.8~1.5		-	white powder
0.5~3.0		10±1	transparent liquid

* : Antiwashout admixture

** : High range water reducer

(6) 압축강도 : 대한토목학회(1995)의 “수중불분리성 콘크리트의 압축강도 시험용 수중제작 공시체의 제작방법 (안)”에 의하여 제조한 공시체 및 모형 실험체에서 채취한 세 개의 코어 공시체를 재령별로 압축강도를 측정하여 평균하였다.

(7) 탄성계수 : 압축강도 시험용 공시체와 동일한 방법 및 모형 실험체에서 채취한 코어 공시체에 2개의 스트레인 게이지를 접착한 후 TDS 303 측정장치를 사용하여 KS F 2438에 의하여 평균 변형률을 구하여 탄성계수를 측정하였다.

2.3 콘크리트의 배합

본 실험에서는 설계기준강도 240 kgf/cm^2 정도의 보통강도용 수중불분리성 콘크리트 및 500 kgf/cm^2 정도의 고강도용 수중불분리성 콘크리트를 제조하기 위하여 Table 4에서와 같이 각각의 물-결합재비를 50 및 37.3%로 정하였다. 특히 고강도용 수중불분리성 콘크리트의 경우, 수화열을 저감시킬 뿐만 아니라 장기강도 및 내구성 증진에도 유효한 고로슬래그 미분말을 50% 혼합한 고로슬래그 시멘트를 사용하였다.

2.4 모형 실험체의 제작

(1) 수중불분리성 콘크리트의 모형실험 (I)

수중불분리성 콘크리트 유동거리에 따른 시공성 및 콘크리트의 품질을 측정하기 위하여 Fig. 1과 같은 폭 1m, 높이 0.7m 그리고 길이 6m 크기의 모형 실험체를 제작하여 콘크리트 타설 전에 미리 물을 채웠으며, 이 모형 실험체의 한쪽면은 콘크리트의 유동상황을 육안으로 쉽게 관찰하기 위하여 투명 아크릴을 사용하여 길이방향 50cm, 높이방향 10cm 간격의 눈금으로 표시하였다. 또한, 모형 실험체의 내부는 경화한 수중불분리성 콘크리트 시험체의 해체를 용이하게 하기 위하여 바닥에 비닐을 깔았다. 그리고 굳지 않은 수중불분리성 콘크리트의 시공성 평가를 끝낸 모형 실험체를 경화시킨 후 재령 7, 14 및 28일에 각각 코어 공시체를 채취하여 압축강도, 인장강도 및 탄성계수를 측정하였다.

한편, 콘크리트의 운반 방법은 용량 6 m^3 레미콘 트럭을 사용하였으며, 콘크리트 생산에서부터 모형 실험체의 타설 장소까지 최종 운반시간은 90분 정도가 걸렸다. 콘크리트의 타설은 레미콘 호퍼로 직접 모형 실험체에 타설하는 방법으로 총 타설 시간은 5분 정도 소요되었으며, 최종적으로 콘크리트의 총 타설량, 타설 속도 및 평균타설 높이는 각각 2 m^3 , $24 \text{ m}^3/\text{hr}$ 및 33cm 정도였다. 높이방향 10cm 간격의 눈금으로 표시하였다. 또한, 모형 실험체의 내부는 경화한 수중불분리성 콘크리트 시험체의 해체를

용이하게 하기 위하여 바닥에 비닐을 깔았다. 그리고 굳지 않은 수중불분리성 콘크리트의 시공성 평가를 끝낸 모형 실험체를 경화시킨 후 재령 7, 14 및 28일에 각각 코어 공시체를 채취하여 압축강도, 인장강도 및 탄성계수를 측정하였다.

한편, 콘크리트의 운반 방법은 용량 6 m^3 레미콘 트럭을 사용하였으며, 콘크리트 생산에서부터 모형 실험체의 타설 장소까지 최종 운반시간은 90분 정도가 걸렸다. 콘크리트의 타설은 레미콘 호퍼로 직접 모형 실험체에 타설하는 방법으로 총 타설 시간은 5분 정도 소요되었으며, 최종적으로 콘크리트의 총 타설량, 타설 속도 및 평균타설 높이는 각각 2 m^3 , $24 \text{ m}^3/\text{hr}$ 및 33cm 정도였다.

(2) 수중불분리성 콘크리트의 모형실험 (II)

고강도용 수중불분리성 콘크리트의 유동성 및 시공성을 평가하기 위하여 Fig. 2(a)와 같이 폭 1.5m, 높이 0.8m 그리고 중앙으로부터 좌우 6m 크기의 모형 실험체를 제조하여 트레미 관을 중앙에 설치하여 미리 물을 채웠으며, 타설한 콘크리트가 좌우로 유동할 수 있도록 하였다. 또한 모형 실험체의 한쪽은 철근을 배근, 다른 한쪽은 철근을 배근하지 않았으며(Fig. 2(b) 참조), 실험체의 정면은 수중불분리성 콘크리트의 타설에 따른 유동상태를 관찰할 수 있도록 투명 아크릴로 제작하였다. 한편, 굳지 않은 수중불분리성 콘크리트의 시공성 평가를 끝낸 모형 실험체를 경화시켜 재령 14, 28 및 56일에서 각각 무근부위와 철근을 배근한 부위에서 코어 공시체를 채취하여 압축강도 및 탄성계수를 측정하였다.

또한, 고강도용 수중불분리성 콘크리트는 1배치당 1.7 m^3 씩 6회 생산한 10.2 m^3 정도였다. 콘크리트의 운반은 용량

Table 4 Mix proportion of antiwashout underwater concrete

G_{\max} (mm)	Slump flow (cm)	Air (%)	W/B (%)	s/a (%)	HRWR (C×%)
25	55 ± 5	4.5 ± 1	50	42	2.0
20	55 ± 5	4.5 ± 1	37.3	42	2.0
Unit weight (kg/m^3)					AWA (W×%)
W	C	BFS	S	G	
215	430	0	664	935	1.0
220	295	295	604	850	1.0

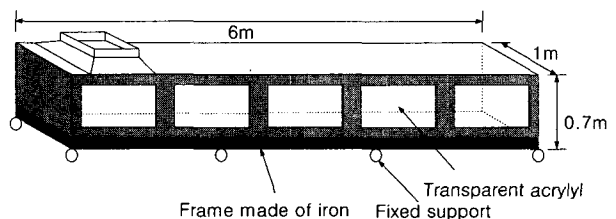


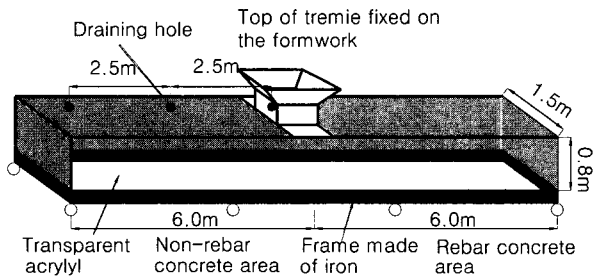
Fig. 1 Mock-up test for in-situ experiment (I)

5.1 m³ 레미콘 트럭 2대를 사용하여 모형 실험체 타설장소까지 10분정도 걸려서 운반하였다. 콘크리트의 타설은 모형 실험체의 중심에 설치한 트레미를 이용하여 타설 하였으며, 타설시 콘크리트의 유동하는 모습을 정확하게 판단하기 위하여 붉은 색 안료를 5.1 m³ 레미콘 트럭에 첨가하였다. 1차 타설 시간은 약 20분 정도가 소요되었으며, 5분 후 2차 타설은 1차 타설시보다 콘크리트의 유동성이 빨라서 8분만에 완료되었다. 이때 콘크리트의 총 타설량, 타설 속도 및 평균 타설 높이는 각각 10.2 m³, 27 m³/hr 및 50 cm 정도였다.

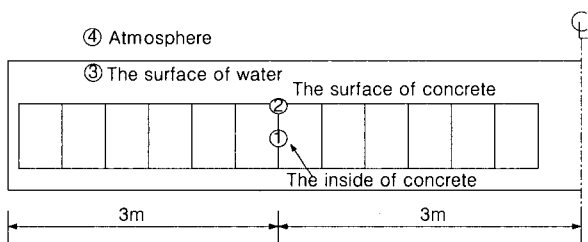
3. 모형실험(Ⅰ)의 결과에 대한 고찰

3.1 수중불분리성 콘크리트의 품질

레디믹스트 콘크리트용 수중불분리성 콘크리트의 기초적 물성을 측정된 결과를 믹싱 후 경과시간 0 및 90분으로 정리한 것이 Table 5이다. 이 값들은 2회에 걸쳐 측정된 실험 결과로서 믹싱 후 경과시간 90분까지는 경과시간에 관계없이 굳지 않은 수중불분리성 콘크리트의 슬럼프 플로우 값, 공기량 및 온도는 거의 변동이 없음을 알 수



(a) Shape and size of mock-up



(b) Set-up of thermistor (Reinforcing bar area)

Fig. 2 Mock-up test for in-situ experiment (Ⅱ)

Table 5 Quality of ready-mixed concrete for antiwashout underwater concrete

Items Types	Elapsed time (min.)	Slump flow (cm)	Air content (%)	Concrete temp. (°C)
Mock-up test (Ⅰ)	0	58	2.6	15
	90	58	2.1	14

있다. 이때 수중불분리성 콘크리트의 공기량은 日本土木學會(1991)¹⁵⁾에서 규정하고 있는 4%이하를 만족하는 값을 나타내었다.

3.2 굳지 않은 수중불분리성 콘크리트의 시공성

수중불분리성 콘크리트의 슬럼프 플로우값을 믹싱 후 경과시간 0, 90분에서 측정된 결과가 Table 5로서 이 표에서 알 수 있듯이 수중불분리성 콘크리트의 믹싱 직후 슬럼프 플로우가 55 cm 이상일 경우 1시간이상 경과한 후에도 슬럼프 손실은 거의 없었으나, 슬럼프 플로우가 55 cm 이하에서는 경과시간 1시간 정도에서 2 cm 정도의 슬럼프 손실이 발생하였다. 그래서 본 실험에서는 굳지 않은 수중불분리성 콘크리트의 슬럼프 플로우 값을 58 cm 정도, 공기량 3%이하 및 콘크리트 온도 20 °C 이하 값을 목표로 실내온도 및 평균수온은 18 °C 정도에서 레디믹스트 콘크리트를 생산하였다. 레디믹스트 콘크리트 배치플랜트에서 생산된 굳지 않은 수중불분리성 콘크리트를 Fig. 1 모형 실험체(Ⅰ)의 왼쪽 투입구에 레미콘 호퍼를 직접 연결하여 약 24 m³/hr 정도의 속도로 수중불분리성 콘크리트를 타설하면서 수중불분리성 콘크리트가 수중에서 유동하는 상태를 육안 및 카메라로 각각 관찰 기록하였다. 이때 수중불분리성 콘크리트가 타설된 후 오른쪽 5 m 단부까지 콘크리트가 도달하는 시간은 약 1분 정도 소요되었으며, 콘크리트 타설면의 기울기는 거의 수평을 유지하는 매우 좋은 충전성을 나타내었다.

3.3 강도 및 탄성계수

굳지 않은 수중불분리성 콘크리트의 시공성을 측정된 모형 실험체를 경화시켜 재령 7, 14 및 28일에서 수중불분리성 콘크리트 타설 위치로부터 각각 1.5, 3.0 및 4.5 m 부위에서 채취한 코어 공시체의 압축, 인장강도 및 탄성계수를 측정하여 정리한 것이 Table 6이다. 이 표를 이용하여 수중불분리성 콘크리트 타설 위치에서 거리별 압축, 인장강도 및 탄성계수로 각각 나타낸 것이 Fig. 3, 4 및 5이다.

수중불분리성 콘크리트의 유동거리별로 채취한 코어 공시체의 재령 7, 14 및 28일의 압축강도를 표준공시체로 제조하여 측정된 압축강도 값과 비교 정리한 것이 Fig. 3이다.

이 그림에서 재령 7일에서는 수중불분리성 콘크리트의 타설위치에서 거리별 압축강도의 변동은 작은 반면 재령 14 및 28일에서의 압축강도 변동이 컸으며, 타설위치에서 거리가 멀어질수록 표준공시체의 압축강도값보다 떨어지는 경향을 나타내었다. 그러나 재령 28일에서는 설계기준 강도 240 kgf/cm² 을 상회하는 좋은 결과를 얻었다.

이 때 수중불분리성 콘크리트의 타설위치에서 거리 및 재령별 압축강도가 크게 상이한 이유를수중불분리성 콘크

리트의 유동상태로 관찰한 결과, 타설지점에서 약 1.5 m 전후의 위치에서 가장 안정된 유동상태를 나타내었으며, 이 위치의 코어 압축강도 역시 가장 크게 나타났다.

그러나 본 실험에서는 수중불분리성 콘크리트의 타설을 트레미가 아닌 호퍼를 이용하여 수중에 쏟아 붓는 타설방법으로 실시하였기 때문에 타설지점에서 콘크리트가 물과 직접 접촉하므로써 재료분리 등에 의하여 강도가 약간 작게 나타났다. 한편, 타설지점에서 거리가 멀어질수록 수중 불분리성 콘크리트가 물과 접촉면이 커지므로써 압축강도가 약간 감소되었다고 생각된다.

또한, 유동거리별 압축강도가 상이한 이유는 수중불분리성 콘크리트가 타설되어 수중에서 유동하는 동안 물과 접촉하는 면적의 크기 및 유동구배 등에 따라 재료분리의 정도가 달라지기 때문에 타설위치, 속도 및 유동거리별 수중 불분리성 콘크리트의 품질이 서로 다른 결과에서 기인되었다고 생각된다.

한편, 수중불분리성 콘크리트의 유동거리별로 채취한 코어 공시체의 인장강도를 재령별로 나타낸 것이 Fig. 4 로써, Fig. 3의 압축강도 측정결과와 마찬가지로 일정한 경향은 알 수 없었으나 수중불분리성 콘크리트의 타설위치에서 거리별 인장강도는 감소하는 경향을 나타내었다. 모형 실험체에서 채취한 코어 공시체의 재령 28일 인장강도에 대한 압축강도는 약 10.7~12.4배 정도의 범위로서 보통 콘크리트와 거의 비슷한 강도비를 나타냄을 알 수 있었다.

Table 6 Compressive, tensile strength and elastic modulus of antiwashout underwater concret

Items	Distance from casting position (m)	Age (days)		
		7	14	28
Compressive strength* (kgf/cm ²)	Control	171	273	281
	0	156	246	295
	1.5	175	273	333
	3.0	165	215	317
	4.5	147	185	249
Tensile strength* (kgf/cm ²)	Control	32.0	29.9	40.0
	0	30.4	29.9	34.0
	1.5	31.9	31.7	40.0
	3.0	29.6	33.4	34.0
	4.5	29.1	34.0	31.0
Elastic modulus* (×10 ³ kgf/cm ²)	Control	1.81	2.01	2.19
	0	1.88	2.08	2.09
	1.5	1.78	2.03	2.08
	3.0	1.82	2.02	2.05
	4.5	1.74	1.90	2.01

* Average value of 3 core specimens

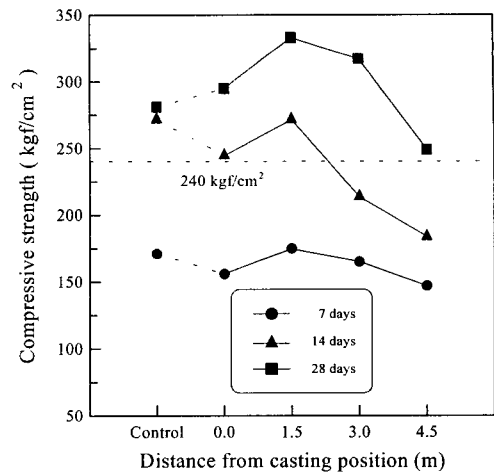


Fig. 3 Compressive strength of antiwashout underwater concrete with flow distance

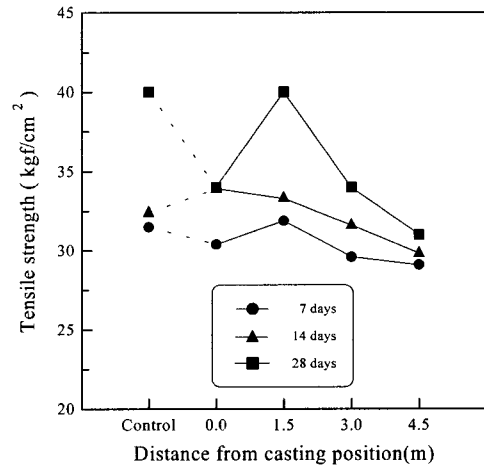


Fig. 4 Tensile strength of antiwashout underwater concrete with flow distance

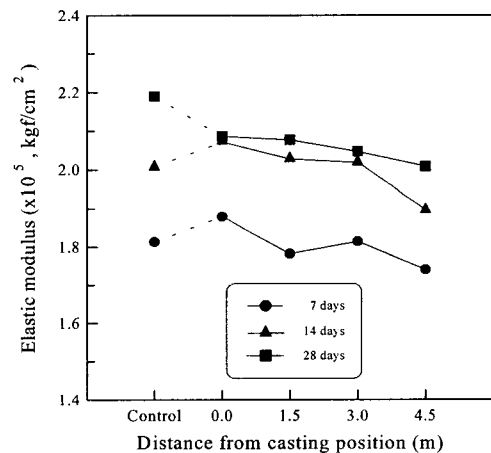


Fig. 5 Elastic modulus of antiwashout underwater concrete with flow distance

이번에는 수중불분리성 콘크리트의 유동거리별 코어 공시체의 재령별 탄성계수를 측정한 결과를 나타낸 것이 Fig. 5이다. 이 그림에서 모형 실험체의 타설위치에서 수중불분리성 콘크리트의 유동거리가 멀어질수록 탄성계수 값이 약간감소하는 경향을 나타내었으며, 재령에 따라 표준공시체와 코어 공시체의 탄성계수값이 얼마간 상이함을 알 수 있었다.

이상의 실험결과로부터 수중불분리성 콘크리트를 수중에서 시공할 경우, 타설위치에서 수중의 유동거리가 멀어질수록 수중불분리성 콘크리트의 강도, 탄성계수 및 재료분리 등 품질이 저하될 염려가 있으므로 공사현장의 제조조건을 고려한 수중 유동거리 및 유동속도 등에 대한 충분한 검토가 요망된다.

4. 모형실험(II)의 결과에 대한 고찰

4.1 고강도용 수중불분리성 콘크리트의 물성

모형실험에 사용한 고강도용 수중불분리성 콘크리트의 품질은 슬럼프 플로우 값 53.5 cm 정도, 콘크리트 온도 15 °C 정도이며, pH, 탁도 및 공기량은 각각 Table 7에서와 같이 대한토목학회(1995) “콘크리트용 수중불분리성 혼화제 품질 기준(안)”의 기준을 만족하는 값을 알 수 있다. 이상의 품질을 가진 고강도용 수중불분리성 콘크리트로서 모형실험을 실시한 실험결과에 대하여 고찰하였다.

4.1.1 현탁물질량 및 pH값

수중불분리성 콘크리트를 모형 실험체에 타설하여 타설 위치로부터 0, 2.5 및 5 m 위치의 시료채취용 배수구로부터 10분 간격으로 채취한 시료의 현탁물질량 및 pH값을 각각 측정한 결과를 정리한 것이 Fig. 6이다.

이 그림에서 수중불분리성 콘크리트의 pH값은 측정 위치에 관계없이 타설 직후에는 6.5 전후임에 비하여 경과시간 30분 이후에서는 약 10.0~11.0 정도의 범위에 해당되는 값으로 급격히 증가하였다. 그 이유는 pH값을 측정하기 위하여 시료를 채취하는 위치가 Fig.2 (a)와 같이 바다면에서 약 65 cm 높이에 있으므로 콘크리트 타설시 발생하는 현탁물질이 여기까지 상승하는데 시간이 약 30분 정도 걸린 것으로 생각된다.

또한, 타설초기에는 수중불분리성 콘크리트 중의 재료분리에 의한 시멘트 성분 등이 시료채취 위치에 도달하지 못한 탓으로 시료의 농도가 묽을 뿐만 아니라 pH값이 낮았다고 판단된다.

한편, 현탁물질량은 물 800 ml에 콘크리트 시료 500 g을 기준으로 환산한 값으로써 경과시간 30분 정도에서 약 51 mg/l 정도였으나, 120분 경과 후 타설위치(중앙), 타설위치에서 2.5 및 5 m의 세 위치에서 각각 36, 32 및 25 mg/l

Table 7 Quality of ready-mixed concrete for high strength antiwashout underwater concrete

Items Types	Elapsed time (min.)	Slump flow (cm)	Air content (%)
	0	53.5	2.5
	90	51.5	2.4
Mock-up test (II)	Concrete temp. (°C)	pH	Setting time (hr.)
	15	10.5	30 : 37
	14	-	-

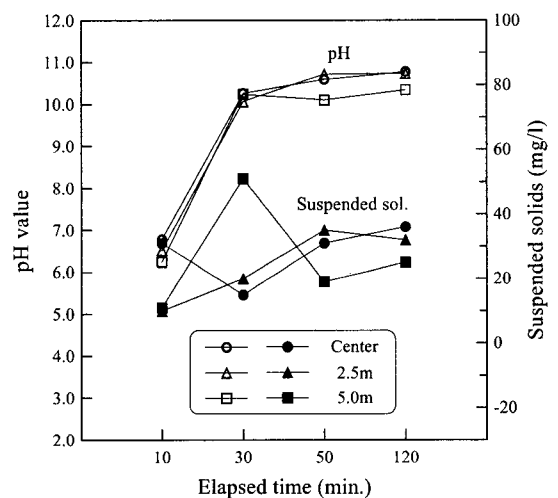


Fig. 6 pH value and suspended solids of high strength antiwashout underwater concrete with elapsed time

정도였다. 이 값들은 대한토목학회(1995) “콘크리트용 수중불분리성혼화제의 품질기준(안)”의 현탁물질량의 기준값 150 mg/l 보다, 日本土木學會(1991) “コンクリート用水中不分離性混和劑 品質規格(案)”의 현탁물질량의 기준값 50 ml/l 보다도 작은 값을 알 수 있다.

4.1.2 응결

고강도용 수중불분리성 콘크리트 시료를 레디믹스트 콘크리트 트럭에서 채취하여 용량 15 l 수조 속에 수중응결 시험용 몰드로서 시험체를 제조하여 응결시간을 측정하는 결과, Table 7에서와 같이 초결 및 종결시간은 각각 30 및 37시간 정도였다. 이 값은 대한토목학회의 “콘크리트용 수중불분리성혼화제 품질기준(안)”의 기준값인 초결 5시간 이상, 종결 30시간 이하를 훨씬 상회하는 큰 값을 나타내었다.

본 실험결과 응결시간이 크게 지연되는 이유는 Fig. 7에서 알 수 있듯이 야간의 기온이 영하로 떨어졌을 뿐만 아니라 실험을 실시한 시간의 수온이 10~15 °C 정도로 매

우 낮았으므로 일반적인 수심 10 m 정도의 평균수온 15 °C 정도를 유지하지 못한 데 기인되었다고 생각된다.

또한, 수중불분리성 콘크리트에 사용되는 수중불분리성 혼화제의 응결을 지연시키는 작용 플러스 낮은 수온 및 외기온도 탓으로 야간의 기온이 영하 2 °C까지 떨어지는 영향으로 응결이 더욱 크게 지연되는 결과를 나타내었다고 생각된다.

그러므로 고강도용 수중불분리성 콘크리트로서 본 실험 조건과 유사한 현장에서 타설시에는 외기온도 및 수온에 대한 보정 등의 충분한 검토 및 대책을 수립한 후 시공함이 바람직하다고 사료된다.

4.1.3 상승온도

Fig. 2(b)에서와 같이 고강도용 수중불분리성 콘크리트의 콘크리트 온도를 측정하기 위하여 온도 센서를 콘크리트 내부①, 콘크리트 표면②, 수면③ 및 외부④에 설치하여 경과시간별 콘크리트 온도를 측정하여 정리한 것이 Fig. 7이다.

여기서 콘크리트의 온도는 경과시간 약 24시간 정도까지는 계속해서 떨어지는 경향을 나타내었으며, 이는 수중불분리성 콘크리트의 수화발열의 지연을 의미하며 특히 수화발열이 지연되는 동안 외기온도는 영하로 떨어지는 등의 영향으로 수온이 하강하였기 때문으로 생각된다. 그 이후 수화발열이 진행되면서 54시간 정도에서 최고온도 30.2 °C에 도달하였다.

4.2 굳지 않은 고강도용 수중불분리성 콘크리트의 시공성

레디믹스트 콘크리트 배치플랜트에서 생산된 수중불분리성 콘크리트의 슬럼프 플로우 값이 53±2 cm 정도의 유동성으로써 모형 실험체의 중앙에서 트레미를 이용하여 약 27 m³/hr 정도의 속도로 타설하면서 수중불분리성 콘크리트가 수중에서 유동하는 상태를 카메라와 육안으로 각각 관찰 기록하였다.

첫 배치에서 생산된 수중불분리성 콘크리트에 의한 모형 실험체 내부의 타설면은 Fig. 8과 같이 거의 수평면을 유지하면서 타설됨을 알 수 있다. 그리고 둘째 배치에서 생산된 수중불분리성 콘크리트에 붉은색 안료를 혼합하여 타설한 결과, Fig. 9에서와 같이 수중불분리성 콘크리트의 타설면이 기울기를 측정하기 어려울 정도로 수평면을 유지하면서 유동하였다.

이 때 모형 실험체의 좌우 철근 배근부위와 배근하지 않은 부위에서 각각 측정한 콘크리트의 유동속도는 거의 차이가 없었으며, 철근을 배근한 부위도 시간이 경과함에 따라 유동 구배를 산정할 수 없을 정도의 좋은 유동성을 나타내었다.

4.3 고강도용 수중불분리성 콘크리트의 압축강도 및 탄성계수

Table 7과 같은 물성을 가진 고강도용 수중불분리성 콘크리트를 배치플랜트에서 제조하여 모형 실험체(Ⅱ)로써 유동성 실험을 실시한 후, 경화시켜 실험체 중앙에서 양쪽으로 0, 2, 4, 5 및 6 m 위치에서 각각 채취한 코어 공시체의 제령 14, 28 및 56일의 압축강도 및 탄성계수를 측정된 결과가 Table 8 및 Fig. 10, 11이다.

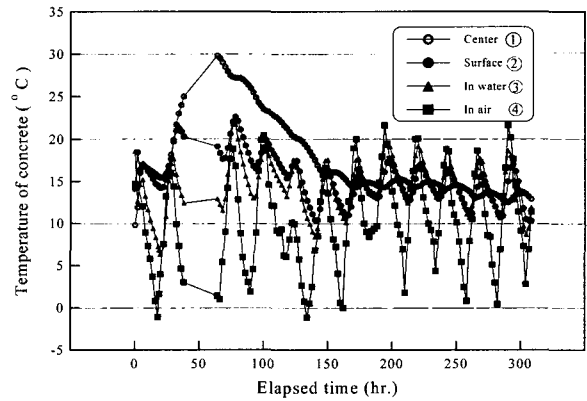


Fig. 7 Temperature of high strength antiwashout underwater concrete with elapsed time

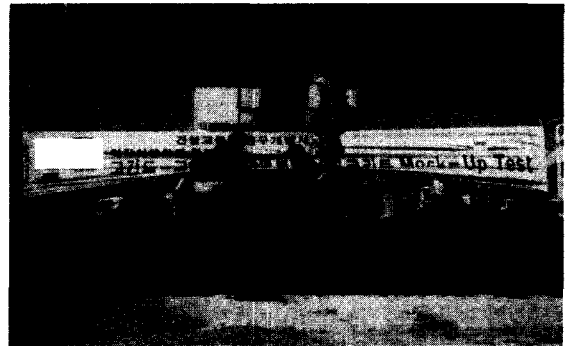


Fig. 8 Scene of high strength antiwashout underwater concrete after 5 min.

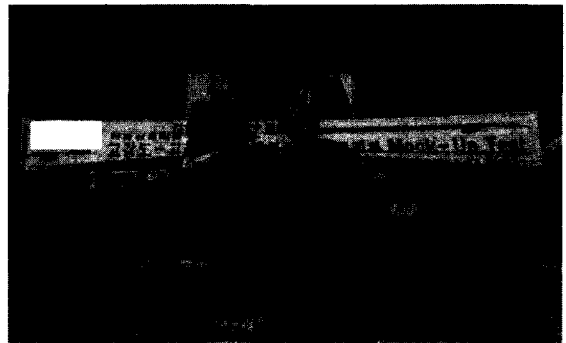


Fig. 9 Scene of high strength antiwashout underwater concrete after 28 min.

Table 8 Compressive strength and elastic modulus of high strength antiwashout underwater concrete

Types	Items	Area	Distance from casting position(m)	Ages (days)		
				14	28	56
Compressive strength (kgf/cm ²)	Center		0	347	448	600
			2	342	403	588
	Non-reinforcing bar area		4	337	382	542
			5	315	371	527
			6	294	360	537
			2	362	414	549
	Reinforcing bar area		4	355	385	574
			5	324	393	573
			6	292	401	555
	Elastic modulus (×10 ⁵ kgf/cm ²)	Center		0	2.13	2.41
2				2.12	2.26	2.62
Non-reinforcing bar area			4	2.03	2.30	2.74
			5	2.04	2.29	2.72
			6	2.05	2.27	2.63
			2	2.14	2.38	2.68
Reinforcing bar area			4	2.08	2.33	2.57
			5	1.98	2.30	2.67
			6	1.88	2.27	2.89

* Average value of 3 core specimens

Fig. 10은 고강도용 수중불분리성 콘크리트의 유동거리별, 철근배근 유·무에 따른 부위별 및 재령별 코어 공시체의 압축강도를 나타낸 그림으로써 이 그림에서 알 수 있듯이 재령이 증가할수록 압축강도는 증가하였으며, 재령에 관계없이 중앙부위에서 압축강도가 큰 값을 나타내는 경향을 나타내었다.

그러나 재령 28일에서 코어 공시체의 압축강도는 설계 기준강도 500 kgf/cm²에는 다소 못미치는 값을 알 수 있으며 재령 56일에서는 설계기준강도를 훨씬 상회하는 좋은 강도증진 현상을 나타내었다.

한편 타설 위치에서부터 유동거리가 증가할수록 철근의 배근 유·무에 관계없이 압축강도가 약간 감소되는 경향을 나타내었다. 그 이유는 수중불분리성 콘크리트의 유동거리가 증가함에 따라 물에 의한 콘크리트 중의 시멘트의 희석 및 재료분리 등이 발생하였기 때문으로 생각된다.

이번에는 모형 실험체로부터 압축강도용 코어 공시체와 마찬가지로 유동거리별 코어 공시체의 탄성계수를 측정하여 정리한 것이 Fig. 11이다.

이 그림에서 알 수 있듯이 탄성계수 값도 유동거리가 멀어질수록 약간씩 감소하는 경향을 나타내었으며, 철근 배근부위나 배근하지 않은 부위에는 관계없이 거의 유사한 탄성계수 값을 나타내었다.

다만 재령 28일의 압축강도가 450 kgf/cm² 정도임에도 불구하고 탄성계수 값이 2.20~2.40×10⁵ kgf/cm² 정도의

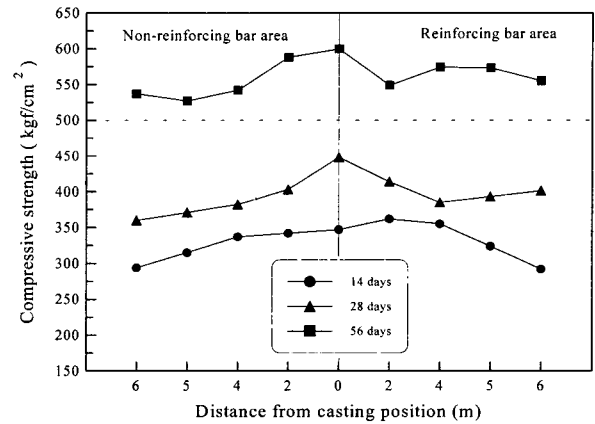


Fig. 10 Compressive strength of high strength antiwashout underwater concrete with flow distance

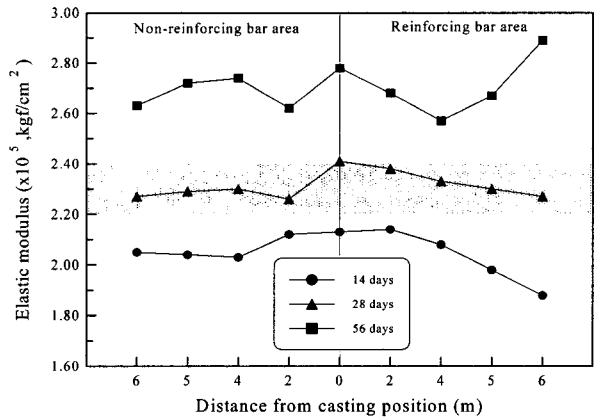


Fig. 11 Elastic modulus of high strength antiwashout underwater concrete with flow distance

범위에 지나지 않는 다소 작은 값을 알 수 있다.

이상의 실험결과를 종합해 볼 때, 굳지 않은 고강도용 수중불분리성 콘크리트의 물성 중 응결시간은 외기 온도가 영하로 떨어지는 영향으로 인하여 대한토목학회의 기준값보다 크게 지연되는 문제점이 있어 대책이 요망되었다. 한편, pH값, 현탁물질량 및 슬러프 플로우 값은 콘크리트용 수중불분리성 혼화제 품질기준(안)의 기준을 잘 만족하였다.

이 고강도용 수중불분리성 콘크리트로서 모형 실험체(Ⅱ)에 타설한 결과, 유동 구배는 거의 수평면을 유지하는 양호한 시공성을 나타내었다. 그러나 코어 공시체의 압축강도 및 탄성계수는 중앙부위보다 유동거리가 멀어질수록 감소하는 경향을 나타내었으며, 특히 재령 28일의 목표강도에 약간 못 미치는 문제점이 있었다.

5. 결 론

(1) 레디믹스트 콘크리트 배치플랜트에서 생산된 수중

불분리성 콘크리트의 슬럼프 플로우 58 cm, 공기량 2.6 % 인 수중불분리성 콘크리트로써 모형 실험체(I)에 약 24 m³/hr 정도의 속도로 타설한 결과, 수중불분리성 콘크리트가 유동하여 5 m의 단부까지 도달하는 시간은 약 1분 정도 소요되었으며, 이 때 타설면의 기울기는 거의 수평을 유지하는 좋은 충전성을 나타내었다.

(2) 모형 실험체(I)를 경화시켜 각 부위별로 채취한 코어 공시체의 압축강도는 타설위치에서 멀어질수록 감소되었으며, 유동거리별 및 재령별로 크게 상이하였다. 재령 28일의 압축강도는 240 kgf/cm²을 상회하는 값을 알 수 있었다. 한편, 인장강도 및 탄성계수 값은 타설위치에서 멀어질수록 감소하였으며, 인장강도에 대한 압축강도는 10.7~12.4배 정도의 범위였다.

(3) 모형 실험체(II)에 사용한 고강도용 수중불분리성 콘크리트의 pH값은 측정위치에 관계없이 타설 후 경과 시간 30분에서는 10.0~11.0 정도였으며, 현탁물질량은 경과 시간 30분에서 51 mg/l, 120분 경과 후 25~36 mg/l 정도였다. 한편, 응결시간을 측정한 결과, 초결 및 종결시간은 각각 30 및 37시간 정도였으며, 대한토목학회의 규준값을 훨씬 상회하였다.

(4) 레디믹스트 콘크리트 배치플랜트에서 생산된 고강도용 수중불분리성 콘크리트의 슬럼프플로우 값은 53±2 cm 정도였으며, 모형 실험체(II)에 27 m³/hr 정도의 속도로 타설하면서 수중에서 콘크리트가 유동하는 상태를 관찰한 결과, 철근 배근부위와 배근하지 않은 부위에서 측정된 콘크리트의 유동속도는 큰 차이가 없었으며, 유동 구배는 거의 수평면을 유지하였다.

(5) 모형 실험체(II)에서 채취한 코어 공시체의 압축강도는 설계기준강도 500 kgf/cm²에는 다소 못미치는 값이었으며, 타설 위치에서 멀어질수록 철근의 배근 유·무에 관계없이 약간 감소되었으나, 중앙부위에서의 압축강도가 가장 큰 값이었다. 한편, 탄성계수값도 유동거리가 멀어질수록 감소하였으며, 재령 28일에서 2.20~2.40×10⁵ kgf/cm² 정도의 작은 값을 나타내었다.

참고문헌

1. 中原 康, 大友忠典, “水中コンクリートの歴史,” 日本土木學會論文集, Vol. 19, No. 466, 1995, pp.9~15.
2. 福留和人, 清水洋次, 下田努, 宮野一也, “特殊水中コンクリートの高強度・マスコンクリート適用性に關する研究,” 콘크리트工學年次論文報告集, 10-2, 1988, pp.55~58.
3. 文翰英, “수중콘크리트 공법에 대한 고찰,” 대한토목학회 학술지, 제39권 4호, 1991, pp.83~97.
4. 文翰英, 金成秀, 李在俊, “수중불분리성 혼화제의 성능 평가를 위한 실험적 연구,” 한국콘크리트학회 논문집, 제11권 5호 1999, pp.51~60
5. 文翰英, 田重圭, “광물질혼화제를 혼합한 고강도 수중불분리성 콘크리트의 기초물성,” 대한토목학회 논문집, 제20권 2-A호 2000, pp.301~310.
6. 文翰英 외 3인, “수중불분리성 콘크리트의 고품질화 연구,” 한국콘크리트학회 논문집, 제12권 5호 2000, pp.111~119
7. 文翰英, 宋容閔, “수중불분리성 콘크리트의 고강도화를 위한 연구,” 대한토목학회 논문집, 제20권 6-A호 2000, pp.1049~1059
8. 김명식 외 2인, “수중불분리성 콘크리트의 부착강도 특성에 관한 연구,” 한국콘크리트학회 논문집, 제12권 1호 2000, pp.89~99
9. 김명식 외 2인, “수중불분리성 콘크리트의 해양공사 적용에 관한 기초적 연구,” 한국콘크리트학회 논문집, 제12권 5호 2000, pp.25~344.
10. 舟橋政可, 大西雅也, 森本英樹, 渡部 正, “水中不分離性コンクリートの低發熱化, 高流動化に關する研究,” 콘크리트工學年次論文報告集, 20-2, 1998, pp.319~324.
11. Sonebi, M, and Khayat, K. H., “Effect of Water Velocity on Performance of Underwater Self Consolidating Concrete,” *ACI Materials Journal*, 1999, Vol. 96, No. 5, pp.519~528.
12. Kamal, H. K., “Effects of Antiwashout Admixture on Fresh Concrete Properties,” *ACI Materials Journal*, 1995, Vol. 92, No. 2, pp.164~171.
13. 대한토목학회 제정, “콘크리트용 수중불분리성혼화제 품질규준(안),” 대한토목학회, 1995.
14. 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關する研究,” 콘크리트工學年次論文報告集, Vol. 13, No 1, 1991, pp.197~202.
15. 日本土木學會 制定, “水中不分離性コンクリート設計施工指針(案),” 日本土木學會, 1991.
16. 松岡康訓, “特殊水中コンクリートの現況と展望,” *セメント・コンクリート*, No. 503, 1989, pp.6~14.
17. 大友 健 外, “特殊水中コンクリートの凝結特性及ぼす材料の影響に關する研究,” 콘크리트工學年次論文報告集, 11-1, 1989, pp.155~160.

요 약

수중콘크리트는 재료분리에 의한 품질의 저하, 현장 주변의 오염 등 문제점이 있을 뿐만 아니라 고강도 및 초대형 수중콘크리트 구조물을 축조해야 할 필요성이 요구되면서 새로운 재료 및 공법의 개발이 요망된다. 그래서 수중불분리성 콘크리트의 재료분리와 수화열의 저감 및 장기강도 증진을 목표로 제조한 수중불분리성 콘크리트의 현장적용성에 대한 연구를 착안하게 되었다. 모형 실험체(Ⅰ)에 의한 실험결과, 슬럼프 플로우 58cm인 수중불분리성 콘크리트를 24m³/hr 정도의 속도로 타설할 경우, 5m의 단부까지 약 1분 정도 소요되었으며, 타설면은 거의 수평을 유지하는 시공성을 나타내었으며, 각 부위별 코어 공시체의 압축강도는 240 kgf/cm²을 상회하는 값을 알 수 있었다.

한편, 모형 실험체(Ⅱ)에 사용된 고강도용 수중불분리성 콘크리트의 pH값과 현탁물질량은 각각 경과시간 30분에서 10.0~11.0 및 51 mg/l, 초결 및 종결시간은 각각 30 및 37시간 정도 그리고 슬럼프플로우 값은 53±2 cm범위였다. 이 콘크리트로서 27 m³/hr 정도의 속도로 타설한 결과, 철근 배근의 유무에 관계없이 유동속도는 큰 차이가 없었으며 유동 구배는 거의 수평면을 유지하였다. 코어 공시체의 압축강도 및 탄성계수는 유동거리가 멀어질수록 약간 감소하였으나 중앙부위에서 가장 큰 값을 나타내었다.

핵심용어: 품질저하, 수화열, 고유동성, 고강도
