

# 수중불분리성혼화제를 첨가한 콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on Underwater Concrete Using the Antiwashout Admixture

°정 범 석\*    최 계 식\*\*    이 규 재\*\*\*  
Jung, Bum Suk    Choi, Kye Seek    Lee, Gyu Jae

### ABSTRACT

Admixtures for concrete placed underwater have been developed to the stage that they are now widely used. The use of this type of product allows concrete to be placed underwater with far less risk than was previously possible.

One of the problems facing users of underwater concreting admixtures is how does one test such products in order to access their performance initially while minimizing the expense of carrying out site trials. This paper will introduce three categories of laboratory test for underwater concrete listed next: fluidity test, non-segregation test, strength test. Trial underwater concretes were prepared by mixing non-segregation agent(mean antiwashout admixture) with ordinary Portland cement. Strength and workability development and segregation resistance properties of the concrete under the coexistence of some kinds of superplasticizer were studied for this laboratory tests.

### 1. 서론

수중콘크리트의 타설시 발생하는 가장 큰 문제점은 시멘트 입자의 유실과 재료분리 등이 발생하는 것으로서 비록 시멘트량을 대폭 할증하거나 고가의 치밀한 거푸집을 사용하더라도 소기의 콘크리트 품질을 유지 보존하기가 어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 초기에는 타설방법 측면에서의 기술개발에 치중하였으나, 최근에는 해양공사의 대형화로 인하여 타설깊이가 증대되고 유동거리가 길어짐에 따라 콘크리트의 품질관리 대책이 엄격히 요구되고, 수질오염에 대한 인식도 대두되어 새로운 수중콘크리트용 재료와 그 시공기술의 개발이 요구되었다. 이에 따라 재료측면에서 수중불분리성혼화제(AWA)가 개발되어 유동화제와 병용함으로써 콘크리트의 유동성이 향상되고 수중에서 희석되지 않는 분리저항성을 가지며, 대기중 타설 콘크리트와 대동한 품질을 갖는 신뢰성 있는 수중콘크리트구조물을 간편한 공법에 의하여 시공할 수 있게 되었다.

본 연구에서는 수중불분리성콘크리트의 실내 시험을 실시하여 AWA의 작용으로 증대된 분리저항성의 정량적인 평가를 하였으며, 아울러

위커빌리티의 변동특성을 고찰하였다. 또한 경화한 수중불분리성콘크리트의 품질을 평가하기 위하여 각 배합비에서 기중공시체와 수중공시체를 시험조건에 따라 선별제작하여 일축압축강도를 측정하였으며, 응결특성을 다른 시험조건에서 고찰하기 위하여 강도시험과 병행하여 실시하였다.

### 2. 실험

#### 2.1 사용재료

수중불분리성콘크리트는 일반적으로 높은 유동성을 확보해야 하기 때문에 너무 큰 골재를 사용할 경우 굵은골재의 침강이 발생할 가능성이 커지고, 수중에서의 분리저항성은 감소하는 경향이 있다. 이에 따라 본 시험에서는 최대입경 25mm의 굵은골재를 사용하고, 보통 포틀랜드 시멘트로 배합하였다. AWA와 기타 혼화제는 국내의 사용실적이 비교적 많은 재품을 선정하였으며, 표준사양은 표 1과 같다.

#### 2.2 시험조건

유동성시험과 분리저항성시험을 실시하기 위하여 배합수를  $210\text{kg/m}^3$ 으로 고정하고, 4가지 배합요인 즉 물-시멘트비, 잔골재율, AWA와 유동화제의 첨가량을 각각 변화시켜 그 경향을 알아보았으며, 압축강도시험은 강도에 큰 영향

\* 정희원, 대림산업(주) 기술연구소 연구원

\*\* 대림산업(주) 기술연구소 소장, 공학박사

표 1. 혼화제의 표준사양

종류	제품명	판매/제조회사	수입원	표준사용량	성분	성상
수중분리성재	SEABETTER-SC	금토개발	일본	2~3kg/m <sup>3</sup>	수용성 스켈레톤	백색 분말
유동화제	MELMENT-S10	팩스트 코리아	독일 (SKW Tr- ostberg)	0.3~1.0%	멜라민 염산염	앙갈색 액상
고성능 감수제	MELMENT-L10	팩스트 코리아	독일 (SKW Tr- ostberg)	1.5~4.5%	멜라민 염산염	미색 액상

을 주지 않는다고 판단되는 유동화제 첨가량의 변화에 따른 시험은 생략하였다. 또한 수중분리성콘크리트의 응결시험은 특정 물-시멘트비와 잔골재율에 대한 응결특성을 AWA와 고성능감수제의 변화에 따라 실시하였다. 이상에서 기술한 시험조건을 원칙으로 총 45종류의 시료를 제작하여 각종 시험을 실시하였다.

### 2.3 시험방법

#### (1) 유동성시험

AWA의 작용으로 인한 점착력 증가에 대하여 배합비 변화 및 유동화제 첨가로써 워커빌리티가 어느 정도 확보되는가를 측정하기 위하여 Slump Flow Test와 모르터의 점성시험을 실시하였다.

#### (2) 압축강도시험

공시체는 배합비별로 수중과 기중공시체를 6개씩 선택하여 제작하였으며, 수중공시체는 수심 30cm에서 그림 1과 같은 방법으로 제작하고 모울드 내부에 갇힌 물이 충분히 빠져나갈 수 있도록 하기 위하여 고무망치로 모울드 외벽을 사방으로 5회씩 가볍게 타격했다.

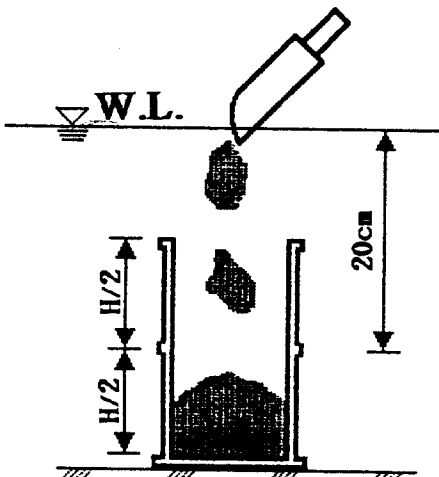


그림 1. 수중공시체의 제작방법

#### (3) 응결시험

물-시멘트비 50%, 잔골재율 35%의 배합비에서 AWA와 고성능 감수제의 첨가량을 변화시켜 기중 및 수중시료를 제작하고 시험온도를 20±1℃로 일정하게 유지하여 시험하였다.

#### (4) 분리저항성시험

Plunge Test를 통하여 수중에서 굳지 않은 콘크리트가 자유낙하될 때 시멘트 페이스트 또는 모르터의 유출 정도를 측정하며, 아울러 정제되어 있지 않은 수중에 콘크리트가 타설될 시공조건을 고려하여 유수의 변화에 따른 콘크리트의 분리저항성을 측정하는 Stream Test를 병행하여 실시했다.

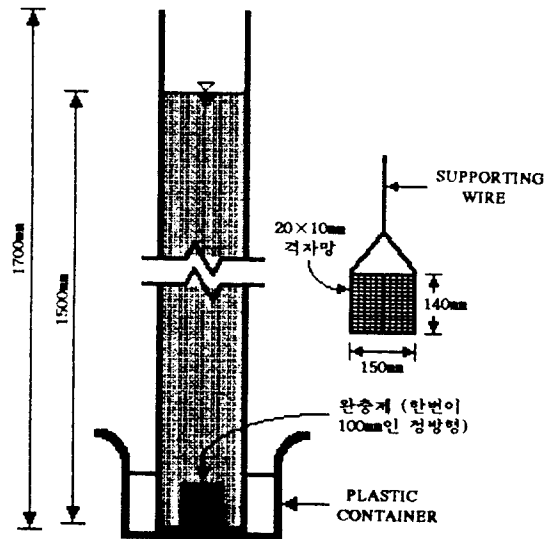


그림 2. PLUNGE TEST 장치도

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 유동성시험

시료의 Slump Flow Test 결과는 표 2와 같다. AWA를 2.5kg/m<sup>3</sup> 첨가할 때 물-시멘트비 50%미만에서 콘크리트 점성의 발현이 효과적으로 이루어짐을 예측할 수 있으며, 수중콘크리트의 배합 설계시 일반적으로 사용되는 잔골재율의 범위보다 작은 값인 S/A 30%로 배합된 시료의 유동성 증가폭은 매우 크게 평가되었다.

AWA의 첨가량은 콘크리트의 유동특성에 가장 큰 영향을 미치며, 물-시멘트비와 잔골재율에 관계없이 비교적 일정한 폭으로 Slump Flow 값이 변화하였다. 유동성시험의 정량적인 평가를 위하여 실시된 점성시험에서는 잔골재율이 감소함에 따라 모르터의 유동성은 급격히 증가하

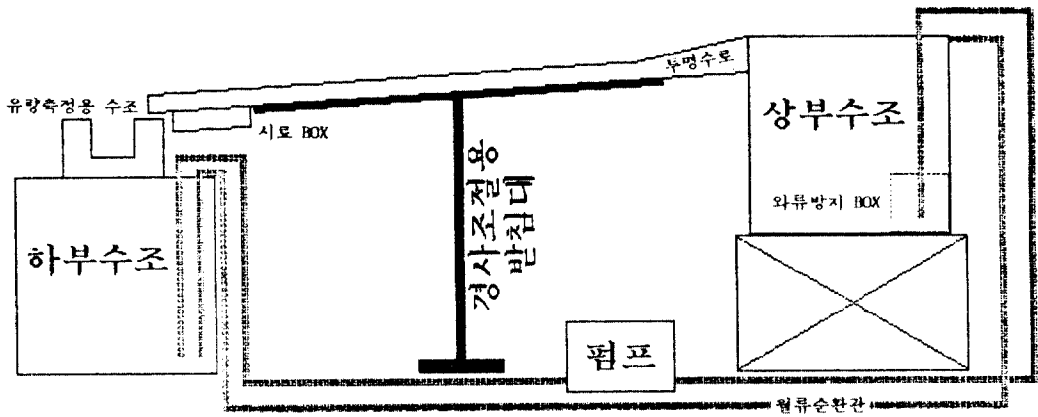


그림 3. STREAM TEST 장치도

표 2. SLUMP FLOW TEST 결과

(단위 : cm)

AWA 첨가량 kg/m <sup>3</sup>	물-시멘트비 유동화제 잔골재율	65%			60%			55%			50%			40%			
		1%	1%	2%	1%	1%	2%	1%	1%	2%	1%	1%	2%	1%	1%	2%	
2.5	40%	40.8	40.3	42.8	48.7	39.5	37.2	42.0	48.1	32.5	37.5	43.2					
	35%	—	41.9	44.3	48.8	—	40.9	44.6	49.1	36.8	41.3	46.2					
	30%	—	46.5	49.6	55.2	—	45.4	48.6	53.1	42.3	44.8	51.1					
2.0	40%	—	45.9	—	—	—	42.9	—	—	—	—	—					
	35%	—	47.2	—	—	—	45.8	—	—	—	—	—					
	30%	—	52.2	—	—	—	50.8	—	—	—	—	—					
1.0	40%	—	52.8	—	—	—	53.3	—	—	—	—	—					
	35%	—	57.6	—	—	—	55.3	—	—	—	—	—					

는 양상을 나타내었고, 유동화제의 첨가량이 많을수록 그 정도는 점차 둔화되었다. 본 시험에서 사용된 AWA를 1.5kg/m<sup>3</sup> 첨가한 시료의 유동 특성은 보통 콘크리트와 유사한 결과를 나타내었고, 유동화제의 경우에는 그 첨가량을 1% 증가시킬때 모르타의 유출량이 유동화제를 1% 첨가한 경우보다 17%정도 상승하는 효과를 갖는 것으로 평가되었다.

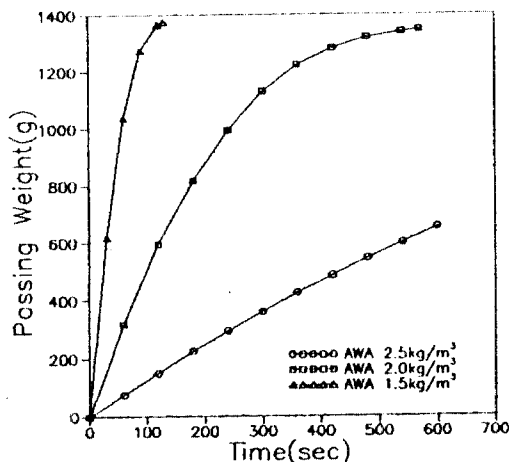


그림 4. AWA 첨가량에 따른 점성시험결과

### 3.2 압축강도시험

본 시험에서 제작한 수중불분리성콘크리트와 보통콘크리트의 수중제작 및 기중제작공시체의 재령 7일과 28일의 압축강도 측정결과는 표 3과 같다. 수중제작공시체의 압축강도 시험에서는 AWA의 첨가량과 공시체의 제작방법이 가장 중요한 강도변화요인으로 나타났으며, 잔골재율도 어느 정도 강도저하요소로 작용할 수 있었다.

수중불분리성콘크리트의 압축강도는 공시체 제작방법에 상관없이 물-시멘트비와 선형관계를 이루어 보통 콘크리트와 같은 결과를 나타내었다. 그림 5는 기중공시체에 대한 수중공시체의 압축강도비를 나타낸 그래프로서

표 3. 압축강도 시험결과

AWA 첨가량 kg/m <sup>3</sup>	잔골재율 %	물-시멘트비 %	시험기호	압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )						
				재령 7일			재령 28일			
				수중제작	기중제작	강도비*	수중제작	기중제작	강도비*	
2.5	40	A1	65	68	125	0.544	153	228	0.671	
			60	89	161	0.553	195	251	0.777	
			55	A3	106	180	0.589	214	273	0.784
			50	A4	139	212	0.656	249	301	0.827
			40	A5	202	270	0.748	312	359	0.869
	35	60	A6	84	-	-	184	-	-	
		50	A7	139	-	-	245	-	-	
		40	A8	219	-	-	316	-	-	
		60	A9	83	140	0.593	161	229	0.703	
30	50	A10	142	210	0.676	228	305	0.748		
	40	A11	184	257	0.716	284	344	0.826		
	60	A12	78	164	0.476	167	252	0.663		
2.0	40	60	A13	122	218	0.560	218	313	0.696	
		60	A14	75	-	-	159	-	-	
		50	A15	123	-	-	222	-	-	
	30	60	A16	69	147	0.469	141	248	0.569	
		50	A17	110	215	0.512	193	313	0.617	
		60	A19	54	-	-	95	-	-	
1.0	40	60	A20	81	-	-	151	-	-	
		60	A21	45	-	-	85	-	-	
		50	A22	80	-	-	125	-	-	
0.0	40	60	P2	22	174	0.126	32	258	0.124	
		50	P4	33	225	0.147	49	312	0.157	
		40	P5	51	278	0.183	65	361	0.180	

\*수중공시체의 압축강도/기중공시체의 압축강도

재령 7일과 28일 및 잔골재율 30%와 40%에서 공허 불-시멘트비가 감소함에 따라 수중제작공 시체의 강도 발현비율이 상승하였다.

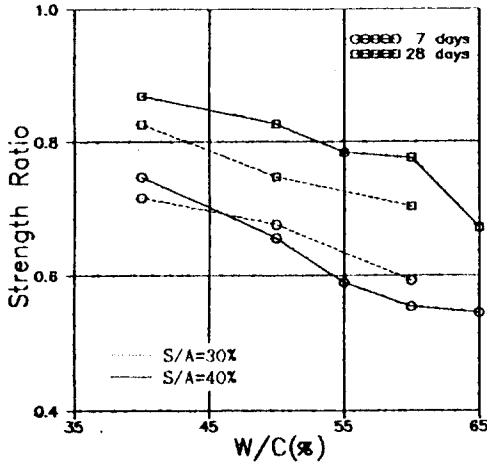


그림 5. 불-시멘트비에 따른 강도특성

그림 6은 표 3의 강도비를 불-시멘트비별로 도시하여 AWA 첨가량에 따른 수중-기중강도비를 비선형 회귀분석한 그래프로써 AWA 2.5kg/m<sup>3</sup> 이상을 첨가할 때 더욱 큰 수중-기중강도비를 보일 것으로 추측할 수 있으나, AWA의 첨가량이 증가할수록 기중제작공시체의 압축강도가 약간 감소하는 결과를 나타내고, 수중-기중강도비의 증가율도 둔화되는 경향이 있으므로 수중공시체 압축강도의 절대치는 미소하게 상승하거나 첨가량이 과도할때는 오히려 감소하는 결과를 보일 수도 있을 것으로 사료된다.

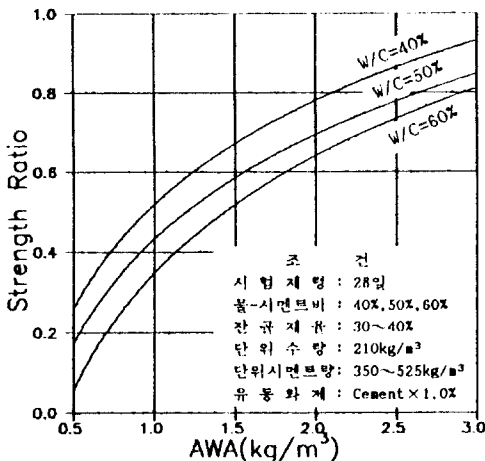


그림 6. AWA 첨가량에 따른 강도특성

### 3.3 응결시험

수중불분리성콘크리트에서 기타 혼화제를 첨가하지 않고 순수한 AWA만 첨가함으로써 지연

되는 응결시간은 AWA 2.5kg/m<sup>3</sup>첨가시 기중시료의 경우 4시간, 수중시료의 경우에는 6시간의 응결지연효과가 나타났으나, 고성능 감수제를 1%이상 첨가함으로써 수중불분리성콘크리트는 기중과 수중시료에서 각각 8시간과 10시간 이상의 응결시간이 지연되는 결과를 나타내었다.

고성능 감수제만의 응결지연효과는 없었으며, AWA와 함께 작용하면서 수중불분리성콘크리트의 경화시간에 비교적 큰 응결지연효과를 발휘한다고 볼 수 있으나, AWA의 첨가량이 증가함에 따라 고성능감수제 사용량의 증가에 따른 경화시간 지연효과가 감소하는 것으로 나타났다.

### 3.4 PLUNGE TEST

본 시험에서 선정된 4가지 시험조건 중에서 불-시멘트비를 변화시킴으로써 발생하는 찌꺼기의 변화폭이 가장 적게 나타나 단지 분리저항성의 향상을 위하여 불-시멘트비를 감소시키는 것은 비효율적인 것으로 사료된다. 고유동성을 갖는 콘크리트에서는 잔골재율이 감소함에 따라 불-시멘트비에 따른 유실량의 변화가 크게 나타나는데, 잔골재율 30%인 경우에서 불-시멘트비 60%의 시험결과가 불-시멘트비 40%의 유실을보다 9.1%나 높은 값으로 평가되었다. 즉, 낮은 잔골재율과 높은 불-시멘트비의 콘크리트에서는 미소입자가 상대적으로 적게 분포하기 때문에 충분한 침착력의 발현이 이루어지지 않아 찌꺼기가 과도하게 발생하였다.

잔골재율이 증가할수록 시료의 분리저항성은 증가하는 양상을 보이며, 잔골재율을 30%로 배합한 시료는 불-시멘트비에 관계없이 현격히 큰 유실량을 갖는 것으로 평가되었다. 이러한 현상은 유동성이 상대적으로 작은 시료의 비교 시험에서 그 차이가 크게 나타났으며, 수중콘크리트 배합설계에서 주로 사용되는 잔골재율의 범위(35~45%)에서는 잔골재율이 콘크리트의 분리저항성에 미치는 영향은 미소한 것으로 판단되었다. 이와 같이 수중불분리성콘크리트의 분리저항성은 잔골재율에 의하여 큰 영향을 받을 수 있으며, AWA의 첨가량이 작을수록 그 정도는 커졌다. 분리저항성은 AWA 첨가량이 가장 큰 영향을 받으며, 혼화제의 사용량이 증가할수록 그 성능은 계속 증가한다. 그러나 AWA가 상당히 고가이기 때문에 첨가량을 무한량 증가시킬수는 없으며, 그림 7의 그래프 성상으로 판단할때 본 시험에서 사용한 AWA의 최대 첨가량 이상을 사용할때 찌꺼기의 감소폭이 계속 감소할 것이므로 사용자는 타설조건을 감안하여 최적 첨가량을 결정해야 할 것이다.

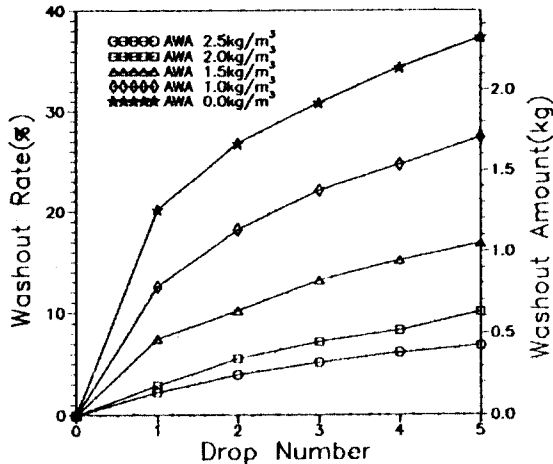


그림 7. AWA 첨가량에 따른 PLUNGE TEST 결과

### 3.5 STREAM TEST

본 시험조건에서 유속이 1.5m/sec 이상인 환경에서는 경화가 이루어지기 전에 많은 양의 콘크리트가 세굴되어 타설에 어려움이 있으므로 AWA의 첨가량을 증가시키거나 공법을 변경할 필요가 있었다. 따라서 이후에 기술될 시험 결과는 유속을 1.0m/sec로 고정한 경우에 한하여 평가한다.

물-시멘트비의 변화에 따른 재료의 분리정도는 전절에서 열거한 4가지 변화요인중에서 비교적 균등한 변화폭을 갖는 것으로 나타났으며, 물-시멘트비가 높아질수록 분리저항성은 감소하게 되는데 대표적 결과치를 비교하여 보면 다른 조건들을 무시할 경우 물-시멘트비 40%와 60%에 해당되는 유실량의 차이가 60분 후에 측정된 유실량에서 평균 5.75kg/m<sup>2</sup>으로 계산되었고 표준편차는 1.55로 평가되었다.

잔골재율의 변화에 따른 분리저항성의 비교 시험에서는 잔골재율 30%에서 분리저항성이 현격하게 떨어지는 것을 알 수 있었으며, 유실변화량의 표준편차를 고찰할때 잔골재율 35%와 40%의 차이에 비하여 30%와 35%의 차이가 잔골재율의 변화이외의 다른 요인들에 덜 민감한 분리저항특성을 보여주고 있으므로 유동성의 확보라든가 품질향상 등 필연적인 이유로 이상적인 분리저항성을 위한 배합비를 필요로 할 경우 높은 잔골재율로 배합설계하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

AWA 첨가량의 변화에 따른 분리저항성 비교 시험에서는 Plunge Test의 경우에서와 같이 AWA의 첨가량이 증가할수록 분리저항성이 높아졌으며, 그 상승폭은 다소 둔화되었다. AWA를 1.5kg/m<sup>3</sup>이하로 첨가할 경우에는 침류시간 10분

후의 씻김량이 20kg/m<sup>2</sup> 정도까지 측정되어 거의 AWA를 첨가하지 않은 보통 콘크리트의 유실량에 접근했다. 이는 사실상 1.0m/sec의 유속에 의해 씻길 수 있는 모르타가 모두 유실된 상태이므로 수중불분리성콘크리트로서의 의미를 부여할 수 없다 하겠다.

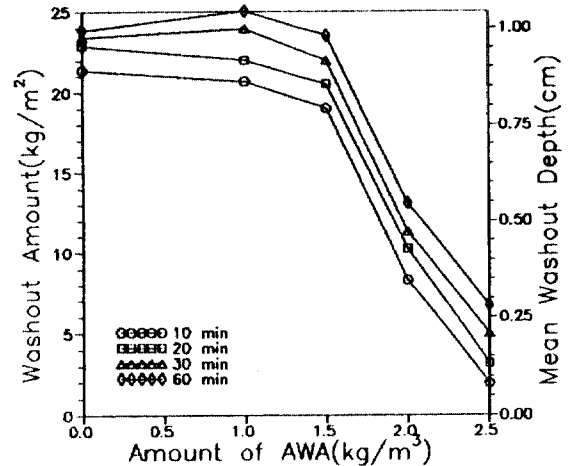


그림 8. AWA 첨가량에 따른 STREAM TEST 결과

### 4. 결론

본 연구는 수중불분리성콘크리트의 특성을 고찰하기 위하여 배합비와 혼화제 첨가량에서 4가지 시험조건을 설정하고 6종류의 실내시험을 실시하였는 바 공통적인 결과를 기술하면 다음과 같다.

- (1) 고가의 AWA를 사용하는 수중불분리성콘크리트는 각 재료의 배합비에 따라 상당히 다른 분리저항성을 가질 수 있으므로 배합설계는 타설 현장의 재반조건을 고려하여 적절한 유동성을 갖는 범위에서 최적의 분리저항성을 보유하도록 신중하게 이루어져야 한다.
- (2) 수중불분리성콘크리트 시공에서 반죽질기보다는 재료분리저항성을 우선으로 해야 하는 경우에는 잔골재율의 하한규정을 확립할 필요가 있다.
- (3) 시공조건에 적합한 유동성 및 충전성을 확보하기 위하여 배합비를 변화시키는 것은 수중불분리성콘크리트가 보유해야 하는 다른 특성에 영향을 주지 않는 범위에서 이루어져야 하며, 그 이상의 유동성은 시험을 통하여 결정되는 유동화제 또는 이와 같은 효과를 발휘하는 혼화제 첨가량으로 확보해야 한다.
- (4) 수중불분리성콘크리트의 강도에는 AWA 첨가량과 수중자유낙하거리가 가장 큰 강도변화 요인으로 나타났으며, 잔골재율도 어느 정도 강

도저히요소로 작용하였다.

(5)셀룰로오즈계 AWA를 첨가한 콘크리트의 응결특성은 보통 콘크리트와 상이하며, 첨가량의 증가에 따라 경화시간은 지연되었다.

#### 참고문헌

- 沿岸開發技術研究センター, 漁港漁村建設術研究所, "水中不分離性コンクリート マニュアル (設計・施工)", 山海堂, 1990. 2
- "水中콘크리트에 관한 最適工法の 比較研究", 韓國建設技術研究院, 1985. 6
- "콘크리트 표준시방서", 건설부, 1988. 12
- Anon, "Underwater concreting - a study", Indian Concrete Journal, V. 63, No. 2, Feb 1989, pp. 79-81, 105
- British Standards, Testing Concrete, BS 1881, Part 105 - Method for Determination of Flow, 1984
- B. A. Davis, "Laboratory Method of Testing Concrete For Placement Underwater", Marine Concrete, 1986
- Deutsche Normen DIN 1048, Testing Methods for Concrete, Part 1 - Freshly Mixed Concrete and Hardened Concrete of Specially Produced Samples, Dec 1978
- J. M. Anderson, "Remote-controlled Hydrocrete", Concrete (LONDON), V. 17, No. 11, Nov 1983, pp. 12-15
- Kazuyoshi Sato, "Non-Segregation Underwater Concrete Composed of Ultra High-Fineness Slag", NKK Technical Review, No. 61, Apr 1991, pp. 75-82
- Kenneth, L. Soucier, "Antiwashout Admixtures in Underwater Concrete", Concrete International, V. 9, No. 5, May 1987, pp. 42-47
- Magne Maage, "UNDERWATER CONCRETE", Nordic Concrete Research, No. 3, Dec 1984, pp. 167-182
- Richard A. Muenow, Frank A. Randall, "Pulse-echo testing", Concrete Construction, V. 31, No. 2, Feb 1986, pp. 129-134
- Sika Corporation, "Underwater concrete placement for stilling basin reconstruction", Concrete International, Vol. 14, No. 9, Sep 1992
- Tony C. Liu, "Abrasion Resistance of Concrete", ACI Journal, V. 78, No. 5, Sep-Oct 1981, pp. 341-350