

# 수중불분리성 콘크리트의 해양공사 적용에 관한 기초적 연구

## A Fundamental Study on the Antiwashout Underwater Concrete for the Underwater Work of Ocean



김명식\*  
Kim, Myung-Sik



윤재범\*\*  
Yoon, Jae-Bum



박세인\*\*  
Park, Se-In

### ABSTRACT

When concrete is placed underwater, it is diluted with separating cementitious material and as a result the quality of concrete becomes poor. To solve this problem, antiwashout underwater concrete is increasingly used for the construction and repair of the concrete structure underwater.

The objective of this study is to investigate the characteristics of antiwashout underwater concrete as to the mix proportion, casting and curing water through experimental researches. The unit weight of water and cement, water-cement ratio, fine aggregate ratio, unit weight of antiwashout underwater agent and superplasticizer, and casting and curing water were chosen to measure the suspended solids, pH, air contents, slump flow, unit weight of hardened concrete, and compressive strength.

From this study, the incremental modulus at mix proportion design and unit weight of antiwashout underwater agent were increased more than fresh water, and it is a optimum mix proportion that the unit weight of water(and cement) is 230kg/m<sup>3</sup>(460kg/m<sup>3</sup>), water-cement ratio is 50%, fine aggregate ratio is 40%, unit weight of antiwashout underwater agent is 1.2% of water contents per unit weight of concrete, and unit weight of superplasticizer is 2.5% of cement contents per unit weight of concrete when the antiwashout underwater concrete is used for the underwater work of ocean.

Keywords : antiwashout underwater concrete, mix proportion, casting, curing

\* 정회원, 부경대학교 건설공학부 교수

\*\* 정회원, 부경대학교 토목공학과 석사과정

· 본 논문에 대한 토의를 2001년 2월 28일까지 학회로 보내 주시면 2001년 4월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

## 1. 서론

최근 수중콘크리트공사에 있어서 수중불분리성 혼화제를 첨가한 수중불분리성 콘크리트의 사용으로 수중에서 콘크리트를 칠 때 발생하는 물의 셋김작용에 의한 재료분리 등과 같은 문제점들이 재료적인 측면에서 많이 개선될 수 있었다. 뿐만 아니라, 수중불분리성 콘크리트는 재료분리저항성, 쉘프레벨링성, 그리고 충전성이라고 하는 많은 잇점 때문에, 유럽과 일본을 중심으로 유동성을 고려한 간극충진시공, 재료분리를 고려한 고품질의 수중콘크리트, 수질오염방지를 고려한 시공, 수중에서의 철근 콘크리트 구조물, 강판 및 강판의 방식라이닝, 그리고 화재복구, 보수, 보강공법 등에 적용되고 있다. 우리나라에서는 1980년대 초에 기술도입되어 최근 몇몇 교량보수공사 등에서 성공을 거듭으로써 관심이 증가하고 있는 추세이다.<sup>(1~4)</sup>

수중콘크리트공사는 일반적으로 해양이나 하천에서 실시하게 되는데, 이때 해수는 장소에 따라 다소 차이는 있지만 3.6~4.0% 정도의 염류가 함유<sup>(5,6)</sup>되어 있고, 물리적으로도 담수와 다르기 때문에 해수에서 친 콘크리트는 담수에서와는 다른 특성을 나타낼 것이다. 그런데, 해수가 보통 콘크리트에 미치는 영향에 대해서는 많은 연구결과들이 있지만, 수중불분리성 콘크리트에 대해서는 참고가 될 만한 자료가 거의 없을 뿐만 아니라 현재 국내에서 연구되고 있는 과제 대부분은 담수에서 수행되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 해양에서 적용될 수 있는 수중불분리성 콘크리트의 실용화를 위한 연구의 일환으로 단위수량과 단위시멘트량, 물-시멘트비, 잔골재율, 그리고, 혼화제 사용량과 같은 배합사항을 변화시켜 굳지않은 수중불분리성 콘크리트의 특성을 파악하고, 해수와 담수에서 공시체를 제작·양생하여 경화된 수중불분리성 콘크리트의 특성을 파악하여 제작환경이 수중불분리성 콘크리트의 특성에 미치는 영향에 대해서 살펴보고자 한다. 또한, 실험결과들을 이용하여 해양에서 적용될 수 있는 수중불분리성 콘크리트의 최적배합사항을 도출하고자 하는 것이 본 연구의 목적이다.

## 2. 실험개요

### 2.1 실험계획

본 연구에서는 제작환경이 수중불분리성 콘크리트의 특성에 미치는 영향을 파악하기 위해서 실험인자와 수준을 Table 1과 같이 구성하였다.

Table 1 Experimental factors and levels

Experimental factor	Level
Unit weight of water and cement (W(C):kg/m <sup>3</sup> )	200(400), 210(420), 220(440), 230(460), 240(480)
Water-cement ratio (W/C:%)	Fixed W : 45, 48, 50, 52, 55
	Fixed C : 45, 48, 50, 52, 55
Fine aggregate ratio (s/a:%)	35, 38, 40, 42, 45
Antiwashout underwater agent (AWA:%)	W×(0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4)
Superplasticizer (SP:%)	C×(0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5)
Condition of casting and curing	Fresh water, Sea water

### 2.2 실험항목

본 연구에서는 굳지않은 수중불분리성 콘크리트의 재료분리저항성을 파악하기 위해서 현탁액의 pH와 현탁물질량을, 유동성을 파악하기 위해서 슬럼프플로우를, 공기량특성을 파악하기 위해서 공기량을, 또한 재료분리저항과 충전성을 파악하기 위해서 단위중량을 측정하였고, 경화된 수중불분리성 콘크리트의 압축강도특성을 파악하기 위해서 재령 7일과 28일에 압축강도를 측정하였다. 각 실험항목의 세부사항을 정리하면, Table 2와 같다.

Table 2 Experimental items

Fresh concrete	pH, Suspended solid	-
	Slump flow	-
	Air content	KS F 2421
Hardened concrete	Unit weight	-
	Compressive strength	KS F 2405

Table 2에서 현탁액의 pH와 현탁물질량, 그리고, 슬럼프플로우의 측정은 대한토목학회에서 규정된 「콘크리트용 수중불분리성 혼화제 품질 규준(안)」<sup>(7)</sup>에 준하여 실시하였고, 단위중량은 표준상태의 압축강도측정용 공시체 중량을 측정하여 단위중량으로 환산하였다.

### 2.3 사용재료

본 연구에서 시멘트는 비중이 3.14인 1종 보통포틀랜드시멘트를 사용하였고, 잔골재는 상용수로 세척한 해사를 사용하였으며, 굵은골재는 최대 치수 19 mm의 쇄석골재를 사용하였다. 골재의 물리적 성질은 Table 3과 같다.

Table 3 Physical properties of aggregates

Aggregate	Specific gravity	Absorption (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )	F.M.
Fine	2.58	1.80	1535	2.73
Coarse	2.62	1.16	1583	6.83

혼화제는 수중불분리성 혼화제와 유동화제를 사용하였으며, 그 물리적 및 화학적 성질은 Table 4와 같다.

Table 4 Physical & chemical properties of admixtures

Admixture	Phase	Specific gravity	pH	Main ingredient
Antiwashout underwater agent (AWA)	White powder	1.07	7.1	Hydroxy ethyl cellulose
Super-plasticizer (SP)	Light-brown liquid	1.23	12.0	Melamine condensate

제작 및 양생수로 사용된 담수는 일반 수도수를 사용하였고, 해수는 현재 부산 광안대교 건설 현장 부근의 천연해수를 채취하여 사용하였으며, 그 물리적 및 화학적 성질은 Table 5와 같다.

Table 5 Physical & chemical properties of water

Water	Specific gravity	pH	Cl <sup>-</sup> content (%)
Fresh	1.07	7.3	-
Sea	1.23	8.2	3.2

위의 재료를 사용하여 배합강도 240 kgf/cm<sup>2</sup>, 슬럼프플로우 50±5 cm, 공기량 4%이하를 목표로 한 배합계산을 수행한 결과 Table 6과 같은 표준시방배합표를 얻을 수 있었으며, 이를 기준으로 Table 1의 실험인자와 수준에 따라 해당되는 사용재료의 단위량을 변화시켜 배합계산을 수행한 결과 Table 7과 같은 배합표를 얻을 수 있었다.

Table 6 Standard mix proportions of concrete

Symbol	W/C (%)	s/a (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )					
			W	C	S	G	Admixtures	
							AWA	SP
ST-	50	40	220	440	619	943	2.2	6.6

Table 7 Mix proportions of concrete

Symbol	W/C (%)	s/a (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )					
			W	C	S	G	Admixtures	
							AWA	SP
WC-I	50	40	200	400	653	995	2.00	6.00
WC-II	50	40	210	420	636	969	2.10	6.30
WC-III	50	40	230	460	601	917	2.30	6.90
WC-IV	50	40	240	480	585	892	2.40	7.20
C-I	45	40	220	489	603	919	2.20	7.33
C-II	48	40	220	458	613	934	2.20	6.88
C-III	52	40	220	423	625	952	2.20	6.35
C-IV	55	40	220	400	632	963	2.20	6.00
W-I	45	40	198	440	642	978	1.98	6.60
W-II	48	40	211	440	628	957	2.11	6.60
W-III	52	40	229	440	610	929	2.29	6.60
W-IV	55	40	242	440	596	908	2.42	6.60
SA-I	50	35	220	440	542	1022	2.20	6.60
SA-II	50	38	220	440	588	974	2.20	6.60
SA-III	50	42	220	440	650	911	2.20	6.60
SA-IV	50	45	220	440	697	864	2.20	6.60
AW-I	50	40	220	440	619	943	1.32	6.60
AW-II	50	40	220	440	619	943	1.76	6.60
AW-III	50	40	220	440	619	943	2.64	6.60
AW-IV	50	40	220	440	619	943	3.08	6.60
SP-I	50	40	220	440	619	943	2.20	2.20
SP-II	50	40	220	440	619	943	2.20	4.40
SP-III	50	40	220	440	619	943	2.20	8.80
SP-IV	50	40	220	440	619	943	2.20	11.00

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 굳지않은 수중불분리성 콘크리트의 특성

단위수량과 단위시멘트량, 물-시멘트비, 잔골재율, 그리고 혼화제 사용량과 같은 배합사항을 변화시켜 굳지않은 수중불분리성 콘크리트의 pH와

현탁물질량, 슬럼프플로우, 그리고 공기량을 측정  
한 결과들은 Table 8과 같다.

Table 8 Experimental results of fresh concrete

Symbol	pH	Suspended solid (mg/ℓ)	Slump flow (cm)	Air content (%)
ST-	11.30	48	53.3	3.5
WC-I	11.29	44	46.5	3.5
WC-II	11.29	45	49.5	3.4
WC-III	11.30	47	57.0	3.5
WC-IV	11.30	47	60.0	3.4
C-I	11.69	78	55.3	3.3
C-II	11.61	68	54.8	3.4
C-III	11.31	47	56.8	3.7
C-IV	11.30	45	57.5	3.7
W-I	11.65	56	41.8	3.3
W-II	11.52	51	50.5	3.5
W-III	11.27	47	58.8	3.5
W-IV	11.17	49	60.8	3.7
SA-I	11.63	46	53.5	3.0
SA-II	11.51	47	53.8	2.9
SA-III	11.39	49	53.8	3.8
SA-IV	11.38	51	52.8	4.0
AW-I	11.89	167	61.5	3.3
AW-II	11.57	98	60.5	3.3
AW-III	11.23	20	50.8	3.5
AW-IV	11.16	10	45.8	3.8
SP-I	11.28	42	47.5	3.8
SP-II	11.29	44	49.5	3.6
SP-III	11.31	50	55.8	3.0
SP-IV	11.37	51	56.0	3.1

Table 8 및 Fig. 1과 Fig. 2에서 현탁액의 pH와 현탁물질량은 배합사항들의 변화에 관계없이 전반적으로 대한토목학회의 『콘크리트용 수중불분리성 혼화제 품질기준』<sup>(7)</sup>에 규정된 12이하와 150 mg/ℓ 이하를 만족하는 것으로 나타났으나, 수중불분리성 혼화제를 단위수량의 0.6%로 소량을 사용했을 경우에는 콘크리트내부의 점성 부족으로 인하여 현탁물질량이 150 mg/ℓ를 초과하는 것으로 나타났다.

또한, 현탁액의 pH가 증가하면 현탁물질량도 증가하고, pH가 감소하면 현탁물질량도 감소하는 것으로 나타났는데, 이것은 현탁액 속의 현탁물질량 대부분이 물의 씻김작용으로 유실된 강알칼리성의 시멘트이기 때문으로 생각된다. 그러나 잔골재율이 증가함에 따라서는 pH는 감소하고 현탁물질량은 증가하는 것으로 나타났는데, 이것

은 잔골재율이 증가할수록 현탁액 속에 pH가 증상에 가까운 잔골재 미립분의 유실이 증가하였기 때문으로 생각된다.

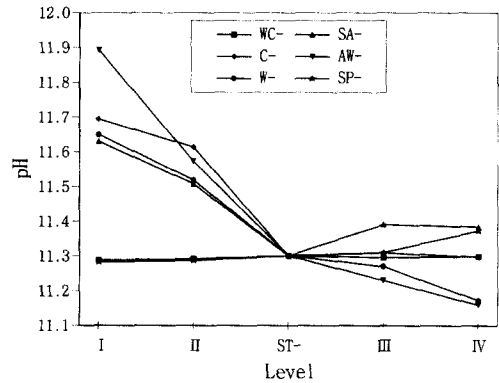


Fig. 1 pH according to mix condition

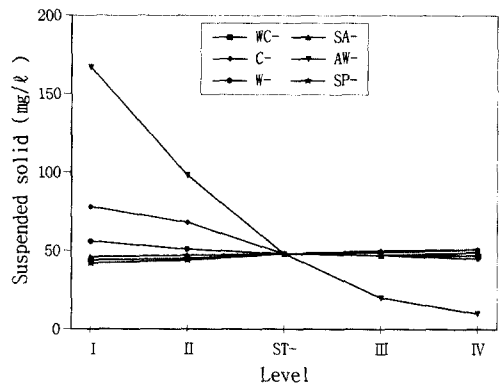


Fig. 2 Suspended solids according to mix condition

Fig. 3은 수중불분리성 콘크리트의 유동성을 파악하기 위해 슬럼프플로우를 측정한 것으로써, Fig. 3에서 슬럼프플로우는 대부분 본 연구에서 요구한 50±5 cm를 만족하거나 그 이상으로 나타났다. 그러나 단위시멘트량을 440 kg/m<sup>3</sup>으로 고정하고 단위수량을 변화시킬 경우 물-시멘트비 45%에서는 단위수량이 너무 작음으로 인하여 요구조건을 만족시키지 못하였다.

Fig. 4는 수중불분리성 콘크리트의 공기량특성을 파악하기 위해 공기량을 측정한 것으로써, 공기량은 본 연구에서 요구한 4% 이하를 모두 만족하는 것으로 나타났으며, 그 변화폭은 1%이하

로 작게 나타났다. 또한 본 연구에서 사용된 수중 불분리성 혼화제의 주성분인 셀룰로오즈계는 긴 섬유상의 고분자로서 시멘트입자에 흡착되어 입자를 구속시키거나 혹은 연결고리와 같은 역할을

함으로써, 시멘트페이스의 점성을 크게 증진시켜 갇힌 공기를 형성하게 되어 사용량이 증가할수록 공기량이 많이 증가하는 것이 보통이지만, 수중 불분리성 혼화제에 포함된 소포제 등의 영향으로 내

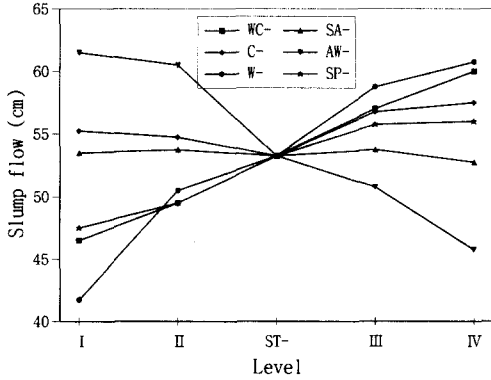


Fig. 3 Slump flow according to mix condition

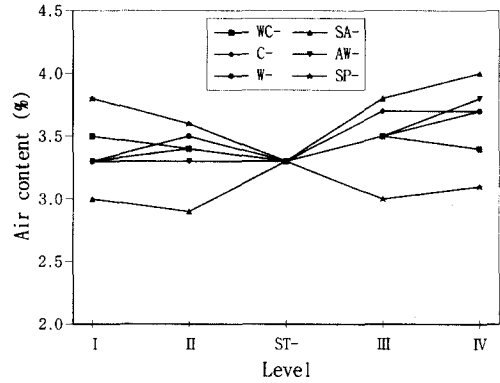


Fig. 4 Air content according to mix condition

Table 9 Experimental results of hardened concrete

Symbol	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )						Compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> )						Strength ratio	
	W <sub>F</sub>		W <sub>S</sub>		W <sub>F</sub> -W <sub>S</sub>		f <sub>F</sub>		f <sub>S</sub>		f <sub>F</sub> -f <sub>S</sub>		(f <sub>S</sub> /f <sub>F</sub> )	
	7	28	7	28	7	28	7	28	7	28	7	28	7	28
ST-	2285	2297	2278	2288	7	9	191	265	178	241	13	24	0.932	0.909
WC-I	2292	2301	2288	2290	4	11	186	251	169	223	17	28	0.904	0.888
WC-II	2288	2298	2281	2288	7	10	189	257	174	233	15	24	0.921	0.907
WC-III	2283	2295	2276	2284	7	11	193	273	184	253	9	20	0.953	0.927
WC-IV	2279	2294	2272	2282	7	12	196	280	193	269	3	11	0.985	0.961
C-I	2289	2302	2287	2297	2	5	240	343	230	308	10	35	0.958	0.898
C-II	2284	2298	2284	2295	0	3	210	298	198	276	12	22	0.943	0.926
C-III	2286	2294	2271	2281	15	13	170	232	160	214	10	18	0.941	0.922
C-IV	2294	2296	2272	2278	22	18	154	213	143	189	11	24	0.929	0.887
W-I	2311	2319	2289	2295	22	24	235	346	216	312	19	34	0.919	0.902
W-II	2292	2310	2284	2288	8	22	214	300	200	275	14	25	0.935	0.917
W-III	2278	2284	2276	2283	2	1	176	244	158	214	18	30	0.898	0.877
W-IV	2285	2287	2281	2280	4	7	162	225	144	196	18	29	0.889	0.871
SA-I	2298	2306	2293	2297	5	9	179	251	172	234	17	34	0.916	0.881
SA-II	2293	2297	2284	2292	9	5	184	259	174	238	17	27	0.914	0.901
SA-III	2275	2289	2277	2283	-2	6	198	271	181	243	10	19	0.946	0.925
SA-IV	2274	2283	2270	2280	4	3	203	277	184	249	7	15	0.961	0.939
AW-I	2327	2326	2297	2294	30	32	99	112	85	96	14	16	0.859	0.857
AW-II	2314	2319	2283	2292	31	17	151	192	137	170	14	22	0.907	0.885
AW-III	2291	2308	2272	2286	19	22	203	305	190	274	13	31	0.936	0.898
AW-IV	2300	2314	2277	2290	23	24	212	337	198	296	14	41	0.934	0.878
SP-I	2280	2289	2268	2278	12	9	178	251	164	229	14	22	0.921	0.912
SP-II	2284	2290	2271	2284	13	6	185	259	170	234	15	25	0.919	0.903
SP-III	2295	2299	2291	2297	4	2	200	275	185	248	5	27	0.925	0.902
SP-IV	2299	2304	2303	2307	4	-3	204	283	193	254	11	29	0.946	0.898

\* W<sub>F</sub> : The unit weight of hardened concrete was cast and cured in the fresh water

W<sub>S</sub> : The unit weight of hardened concrete was cast and cured in the sea water

f<sub>F</sub> : The compressive strength of hardened concrete was cast and cured in the fresh water

f<sub>S</sub> : The compressive strength of hardened concrete was cast and cured in the sea water

7, 28 : Age (unit : day)

구성에 문제를 일으킬 만큼 많은 공기량을 발생시키지는 않는 것으로 나타났다.

### 3.2 경화된 수중불분리성 콘크리트의 특성

단위수량과 단위시멘트량, 물-시멘트비, 잔골재율 및 혼화제 사용량과 같은 배합사항을 변화시키고, 담수와 해수에서 각각 제작·양생한 수중불분리성 콘크리트의 재령 7일과 28일의 단위중량과 압축강도를 측정된 결과들을 정리하면 Table 9와 같다.

Fig. 5는 각각 담수와 해수에서 제작·양생된 수중불분리성 콘크리트의 재령 7일과 28일 단위중량을 측정된 결과이다.

이 그림에서 재령 28일의 단위중량이 재령 7일의 단위중량보다 전반적으로 무겁게 나타났는데, 이것은 재령이 증가함에 따라 콘크리트의 수화반응으로 수화물이 지속적으로 생성되었기 때문으로 생각된다. 그러나 보통콘크리트의 단위중량인 2350 kg/m<sup>3</sup>보다는 모두 가볍게 나타났는데 이것은 수중제작 수중불분리성 콘크리트 공시체는 수중에서 다짐없이 제작하였기 때문으로 생각된다.

특히 Fig. 5의 (e)에서 수중불분리성 혼화제의 사용량이 증가할수록 단위중량은 감소하다가 증가하였고, 재령에 따른 단위중량의 차이는 커지는 것으로 나타났다. 이것은 수중불분리성 혼화제를 너무 작게 사용하게 되면 점성이 낮아 많은 재료 분리가 발생하게 되어 콘크리트내부의 시멘트페이스트량이 작아지기 때문에 공시체는 시멘트페이스트보다 상대적으로 단위중량이 큰 골재로 채워지게 되므로 콘크리트의 단위중량이 오히려 커지게 되고, 수중불분리성 혼화제 사용량을 차차로 증가시키면 콘크리트내부의 점성이 향상되어 시멘트의 유실이 감소하기 때문에 어느 정도까지는 단위중량이 감소하다가 다시 증가하였고 재령에 따른 차이도 지속적으로 커지는 것으로 생각된다.

Fig. 6은 각각 담수와 해수에서 제작·양생된 수중불분리성 콘크리트의 재령 7일, 28일 압축강도를 측정된 결과로서, 담수에서 제작·양생한 수중불분리성 콘크리트의 재령 28일 압축강도는 전반적으로 본 연구에서 요구한 배합강도 240 kgf/cm<sup>2</sup>이상으로 나타났으나, 물-시멘트비가 가장 큰 55%일 경우와 단위수량에 대하여 수중불분리성 혼화제를 0.8%이하로 사용했을 경우에는 물의 셋김작용에 의한 재료분리 등에 의해 배합강도

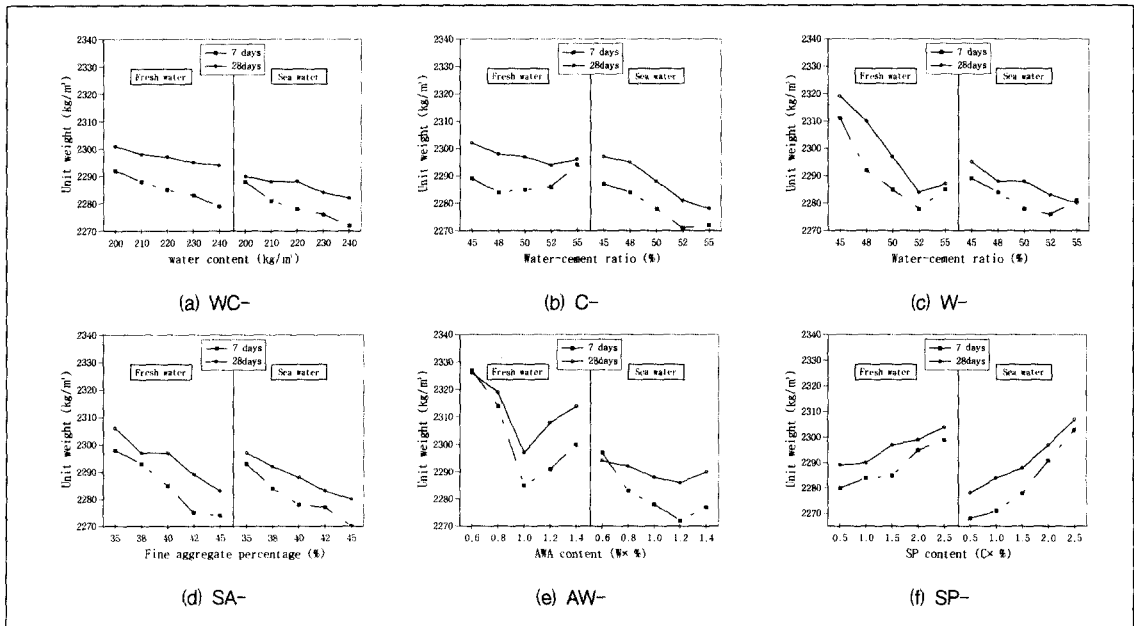


Fig. 5 Unit weight of hardened concrete according to manufacturing and curing condition

이하로 나타났다. 또한, 해수의 경우에도 대체적으로 배합강도 이상으로 나타났으나, 단위수량이 210 kg/m<sup>3</sup> 이하, 물-시멘트비가 52% 이상, 단위수량에 대하여 수중불분리성 혼화제를 0.8% 이하로 사용했을 경우에는 씻김작용에 의한 재료분리와 해수내의 염화물에 의한 침식작용 등에 의해 배합강도 이하로 나타났다.

Fig. 6의 (a), (b), (c)에서 단위수량과 단위시멘트량, 물-시멘트비의 변화에 따른 압축강도는 전반적으로 보통콘크리트와 비슷한 결과로 나타났다.

Fig. 6의 (d)에서 잔골재율이 증가할수록 재령 7일, 28일 압축강도는 증가하는 것으로 나타났는데, 이것은 잔골재율이 증가하면 콘크리트내부의 시멘트페이스트량과 골재함유량은 일정하고, 단지 단위굵은골재량만 감소하기 때문에 모르타르와 굵은골재 계면에 발생하는 응력집중 면적이 감소(6,8)하였기 때문으로 생각된다.

Fig. 6의 (e)에서 수중불분리성 혼화제의 사용량이 증가할수록 제작·양생수에 관계없이 재령 7일, 28일 압축강도는 증가하고, 재령에 따른 압축강도 차이도 커지는 것으로 나타났는데, 이것은 콘크리트내부의 점성의 증가로 재료분리저항성이 향상되어 시멘트페이스트량이 증가하였기 때문

로 생각된다.

Fig. 6의 (f)에서 유동화제의 사용량이 증가할수록 재령 7일, 28일 압축강도는 증가하였는데, 이것은 본 연구에서 유동화제 사용량을 단위수량에 포함시켜 사용하였기 때문에 유동화제 사용량이 증가할수록 물-시멘트비가 상대적으로 감소하기 때문으로 생각된다.

### 3.3 제작환경에 따른 수중불분리성 콘크리트의 특성

일반적으로 보통콘크리트를 해수에서 양생하게 될 경우, 해수에 포함된 염류중에 황산마그네슘(MgSO<sub>4</sub>)이 콘크리트의 수화시 발생하는 수산화칼슘(Ca(OH)<sub>2</sub>)과 반응하여 에트링자이트를 생성하게 되고, 이는 콘크리트의 부피를 팽창시켜 열화를 일으켜 콘크리트의 강도와 내구성을 저하시킨다.<sup>(5,6)</sup>

Table 9는 다짐없이 수중에 직접 치게되는 수중불분리성 콘크리트에 해수가 미치는 영향을 파악하기 위해 경화된 콘크리트의 각 실험결과들을 정리한 것이다.

Table 9에서 강도비(strength ratio:  $f_s/f_F$ )는 담수에서 제작·양생된 수중불분리성 콘크리트의

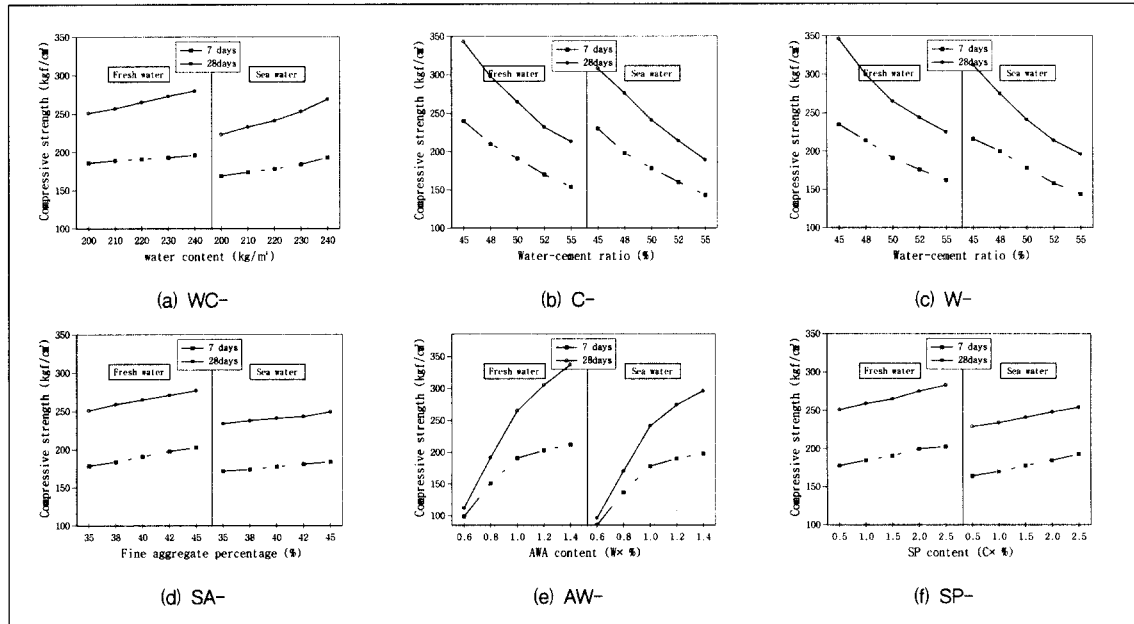


Fig. 6 Compressive strength according to manufacturing and curing condition

압축강도( $f_c$ )에 대한 해수에서 제작·양생된 수중 불분리성 콘크리트의 압축강도( $f_s$ )비를 나타낸 것으로서 본 연구에서는 해수담수강도비라고 표현하였다.

Fig. 7은 담수와 해수에서 제작·양생한 수중 불분리성 콘크리트의 단위중량과 압축강도 차이를 나타낸 것이다.

Fig. 7에서 배합조건과 재령에 관계없이 담수에서 제작·양생한 수중 불분리성 콘크리트의 단위중량이 해수에서 제작·양생한 것보다 무겁게 나타났고, 재령 28일의 단위중량차이는 재령 7일의 단위중량 차이보다 크게 나타났으며, 전반적으로 물-시멘트비가 낮을수록, 수중 불분리성 혼화제의 사용량이 증가할수록 그 차이는 감소하는 것으로 나타났다. 이것은 해수에 포함된 염류 등이 수중 불분리성 콘크리트의 수화반응을 지연시키기 때문으로 생각된다.

또한, 압축강도도 배합조건과 재령에 관계없이 담수에서 제작·양생한 수중 불분리성 콘크리트의 압축강도가 해수에서 제작·양생한 것보다 높게 나타났고, 재령 28일의 압축강도차이가 재령 7일의 압축강도차이보다 크게 나타났다. 이것은 해수에 포함된 염류 등으로 인한 수화반응의 지연뿐

만 아니라 해수중에 직접 치게 되는 수중 불분리성 콘크리트의 특성때문에 콘크리트내부에 이미 해수가 존재하게 되어 보통콘크리트보다 빨리 염류에 의한 침식작용이 시작되었기 때문으로 생각된다.

Fig. 8은 재령 7일, 28일의 해수담수강도비를 나타낸 것이다.

Fig. 8에서 해수담수강도비는 배합조건과 재령에 따라 다소 차이는 있으나 평균 90% 수준으로 나타났고, 수중 불분리성 혼화제 사용량이 증가할수록 증가하는 것으로 나타났는데, 이것은 강한 점성으로 인하여 해수중에 포함된 염류 등의 영향을 덜 받기 때문에 증가하는 것으로 나타났으며, 재령이 클수록 감소하는 것으로 나타났는데, 이것은 해수중에 포함된 염류 등의 지속적인 작용 때문으로 생각된다.

따라서, 해양공사에 수중 불분리성 콘크리트를 적용하기 위한 배합설계를 수행할 경우에 활중계수는 담수에서보다 적어도 10% 이상 증가시켜야 할 것으로 생각되고, 수중 불분리성 혼화제의 사용량도 담수에서보다 증가하여 사용하게 되면 해수담수강도비를 어느 정도까지는 향상시킬 수 있을 것으로 생각된다.

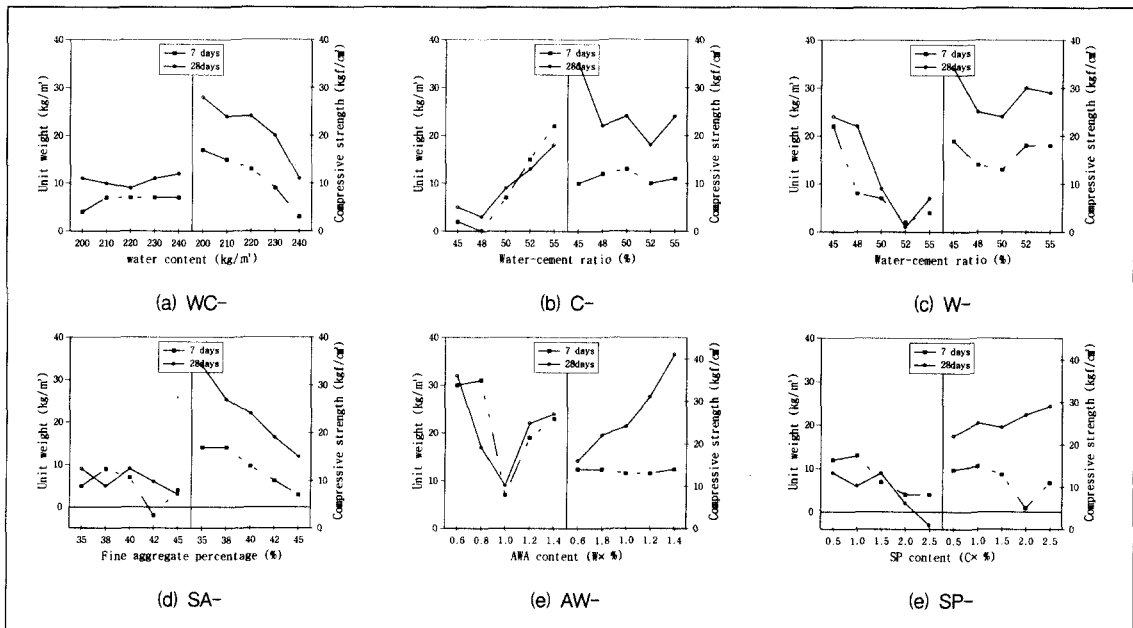


Fig. 7 Properties of hardened concrete according to casting condition



또한, 본 연구의 범위내에서 해양공사에 적용될수 있는 시방배합표를 제안하면 다음과 같다.

W/C (%)	s/a (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )					
		W	C	S	G	Admixtures	
						AWA	SP
50	40	230	460	603	918	2.76	11.5

#### 4. 결론

본 연구에서는 해양에서 적용될 수 있는 수중 불분리성 콘크리트의 실용화를 위한 연구의 일환으로 단위수량과 단위시멘트량, 물-시멘트비, 잔 골재율, 그리고, 혼화제 사용량과 같은 배합사항을 변화시켜 굳지않은 수중불분리성 콘크리트의 특성을 파악하고, 해수와 담수에서 공시체를 제작·양생하여 경화된 수중불분리성 콘크리트의 특성을 파악하여 제작환경이 수중불분리성 콘크리트의 특성에 미치는 영향에 대해 살펴본 결과를 중심으로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 굳지않은 수중불분리성 콘크리트에 가장 큰 영향을 미치는 배합조건은 물-시멘트비와 수중불분리성 혼화제 사용량이었는데, 특히 수중불분리성 혼화제의 사용량은 재료분리 저항성과 유동성에 있어서 서로 상반된 결과를 나타내므로 사용량 결정에 있어서 가장 유념해야 할 것으로 생각된다.
- 2) 경화된 수중불분리성 콘크리트의 재령에 따른 단위중량 차이는 전반적으로 재료분리 저항성이 우수한 것일수록 크게 나타났는데, 이것은 콘크리트내부에 존재하는 시멘트페 이스트량 때문인 것으로 생각된다.
- 3) 압축강도는 재료분리저항성이 우수할수록 클 것으로 생각되지만, 본 연구결과 그 연관성을 파악하기는 어려웠다. 이것은 재료분리저항성을 현탁액의 pH와 현탁물질량만으로 평가하는 것이 한계가 있기 때문으로 생각된다. 따라서, 재료분리저항성을 평가하기 위해서는 현탁액의 pH와 현탁물질량을 측정하는 것 외에 재료분리로 인한 골재의 침하 등을 파악하기 위하여 경화된 수중불분리성 콘크리트 공시체의 상하단

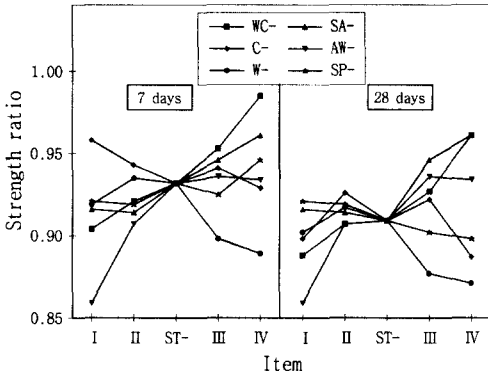


Fig. 8 Strength ratio according to casting condition

#### 3.4 배합강도식 제안

본 연구에서는 제작환경에 따른 재령 28일의 압축강도 실험결과들을 회귀분석하여 Table 10 과 같은 배합강도식과 Fig. 9와 같은 상관도를 얻을 수 있었다.

Table 10 Proportion of strength relation to the cement-water ratio

Condition of casting & curing	Regression formula	Determinant coefficient (r <sup>2</sup> ,%)
Fresh water	$f_c = 335C/W - 401$	98
Sea water	$f_c = 295C/W - 353$	96

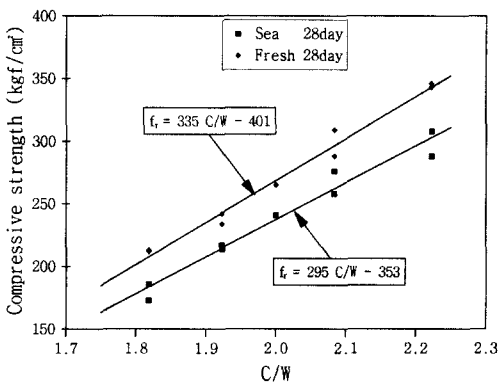


Fig. 9 Relationship between proportioning strength relation to the cement-ratio

무게 등을 비교하는 것과 같은 새로운 방법이 모색되어야 할 것으로 생각된다.

- 4) 배합사항들의 변화에 관계없이 담수에서 제작·양생한 수중불분리성 콘크리트의 단위중량과 압축강도가 해수의 경우보다 크게 나타났는데, 이것은 콘크리트내부에 이미 해수가 존재하기 때문에 해수에 포함된 염류에 의한 수화반응의 지연과 침식작용 등의 영향을 받았기 때문으로 생각된다.
- 5) 해수담수강도비는 평균 90 %정도로 나타났고, 재령이 클수록 해수의 지속적인 작용으로 강도비는 더욱 저하될 것으로 생각된다. 따라서 해양공사에 수중불분리성 콘크리트를 적용하기 위한 배합설계를 수행할 경우에 할증계수는 담수에서보다 적어도 10% 이상 증가시켜야 할 것으로 생각된다.
- 6) 해수담수강도비는 수중불분리성 혼화제의 사용량이 증가할수록 강한 점성으로 인하여 해수의 영향을 덜 받게 되어 해수담수강도비는 증가하는 것으로 나타났다. 따라서, 해양공사에서 수중불분리성 콘크리트로 적용할 경우에는 담수에서보다 수중불분리성 혼화제를 더 많이 사용함으로써 해수담수강도비를 어느 정도까지는 향상시킬 수 있을 것으로 생각된다.

- 7) 제작환경에 따른 수중불분리성 콘크리트의 재령 28일 압축강도 실험결과들을 회귀분석한 결과 다음과 같은 배합강도식을 얻을 수 있었다.

$$\begin{aligned} \text{Fresh water} & : f_r = 335C/W-401 \quad R^2 = 98\% \\ \text{Sea water} & : f_r = 295C/W-353 \quad R^2 = 96\% \end{aligned}$$

### 참고문헌

1. 윤재범, "배합조건과 양생수에 따른 수중불분리성 콘크리트의 특성에 관한 연구," 부경대학교 대학원, 2000.2.
2. 關博, 日本土木學會, "水中不分離性 콘크리트 設計施工指針(案)," No.541, 1992.pp.49-52
3. 김명식 외3인, "W/C 변화에 따른 수중불분리콘크리트의 기초특성에 관한 실험적 연구," 한국콘크리트학회논문집, 제11권 4호, 1999.9.pp.21-29.
4. Takeshi Ohtomo와 3인, "Influence of Materials on the Action of Admixtures in Antiwashout Underwater Concrete," ACI Materials Journal, Vol. 92, No. 3, May-June 1995. pp.315-320.
5. 손충열 역, "해양구조물공학," 미리내, 1995.
6. 윤재환 역, "포틀랜드시멘트 및 콘크리트," 세진사, pp.197-199, 1994, pp. 246-259.
7. 문한영, "콘크리트용 수중불분리성혼화제 품질규준," 대한토목학회지, 제45권, 제3호, 1997.1, pp.71-77.
8. 강창구역, "콘크리트 변형과 파괴," 원기술, 1995, pp. 78-80.

### 요 약

수중에 콘크리트를 칠 때, 물의 씻김작용에 의한 재료분리에 의해 콘크리트의 품질이 저하된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해, 수중불분리성 콘크리트를 수중의 콘크리트 구조물의 공사난 보수공사에 사용하는 것이 증가하는 추세이다.

본 연구에서는 배합조건과 제작·양생수에 따른 수중불분리성 콘크리트의 특성을 실험적 연구를 통해 파악하는 것이 목적이다. 실험파라미터를 단위수량과 단위시멘트량, 물 시멘트비, 잔골재율, 수중불분리성 혼화제 사용량, 유동화제 사용량, 그리고 제작 및 양생수(담수, 해수) 등으로 하여 현탁물질량과 pH, 슬럼프플로우, 공기량, 경화된 콘크리트의 단위중량, 그리고 압축강도를 측정하였다.

실험결과, 수중불분리성 콘크리트를 해양공사에 적용하기 위한 배합설계를 수행할 경우에 할증계수와 수중불분리성 혼화제의 사용량은 담수에서보다 높게 사용해야 할 것으로 생각되고, 적절한 배합사항은 단위수량(단위시멘트량)은 230kg/m<sup>3</sup>(460kg/m<sup>3</sup>), 물-시멘트비는 50%, 잔골재율은 40%, 수중불분리성 혼화제 사용량은 단위수량에 대해 1.2%, 유동화제 사용량은 단위시멘트량에 대해 2.5% 였다.

(접수일자 : 2000. 3. 27.)