

# 수중불분리콘크리트의 최적 W/C에 관한 연구

## An Experimental Study on the Optimum water-cement ratio of Antiwashout underwater concrete.

윤재범\*    어영선\*    김종수\*\*    김명식\*\*\*    백동일\*\*\*\*  
Yoon, Jae Bum    Eo, Young Sun    Kim, Jong Su    Kim, Myung Sik    Baek, Dong Yil

### ABSTRACT

In this study we changed W/C into 45, 50, 55, 60%, mixed sea sand which is often used as a replacing aggregate according to the lack of recourse with river sand in the ratio of 5:5 and produced antiwashout underwater concrete. We measured slump flow, air value, pH and suspension in the fresh concrete. After testing each W/C through unit weight and compressive strength of specimen which is produced and cured in the air and salt water, it was founded that if sea sand was properly used after salt manufacturing, there will be no bad influence to antiwashout underwater concrete. The characteristic of them showed excellent, when W/C was 50%.

### 1. 서론

수중에서 시공되는 수중콘크리트의 공사에서는 재료분리를 일으키지 않으면서도 유동성이 탁월하여 다짐을 하지 않아도 수밀성이 뛰어난 경화체를 만들 수 있어야 하고, 주변 수중환경을 훼손하지 않는 것이어야 한다. 이러한 재료분리를 억제하고, 유동성이 탁월하며, 수중환경을 훼손시키지 않는 콘크리트공사는 수중불분리혼화제의 개발로 가능하게 되었다. 따라서 본 연구에서는 자연사와 해사를 5:5(중량비)로 혼합한 혼합사를 잔골재로 사용하고, W/C를 변화시킨 수중불분리콘크리트를 제작하여 슬럼프 플로우, 공기량, 수중분리도(pH, 현탁물질량) 등을 측정하므로써 프레스콘크리트의 특성을 파악하고, 단위중량 및 압축강도를 측정하여 경화된 콘크리트의 특성을 파악하므로써 최적 W/C를 구하고자 하는 것이 본 연구의 목적이다.

\* 정회원, 부경대학교 토목공학과 석사과정

\*\* 정회원, 부경대학교 토목공학과 교수

\*\*\* 정회원, 부경대학교 토목공학과 부교수

\*\*\*\* 정회원

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획으로는 W/C 45~60%사이에서 5%간격으로 4단계로 구분하고, 잔골재율은 40%로 고정하였으며, 수중불분리혼화제는 표준사용량을 기준으로 하여 단위수량의 0.82, 1.00, 1.14%, 유동화제는 단위시멘트량의 1.5, 2.0, 2.5%를 사용하여 각각의 W/C별로 배합설계를 실시하였다.

굳지않은 콘크리트의 경우 목표 슬럼프플로우, 공기량, pH 및 현탁물질량을 측정하여 기준치와 상호비교하고, 경화된 콘크리트의 경우는 기중과 해수중에서 제작한 각각의 공시체를 해수에서 양생시켜 재령 7일, 28일의 단위중량 및 압축강도를 측정·비교하여 최적 W/C를 구하고자 한다.

배합사항은 표 1과 같다.

표 1 배합사항

$\sigma_{ck}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	W/C (%)	슬럼프 플로우 (cm)	제작 조건	양생 조건	공기량 (%)	$G_{max}$ (mm)	S/a (%)	단위중량 (kg/m <sup>3</sup> )				수중불분리 혼화제	유동화제
								W	C	S	G	AWA/W (%)	SP/C (%)
240	45	50	기중	해수중	4.0	25	40	220	489	603	957	0.82	1.5
	440								619	983			
	400		632						1004	1.14	2.5		
	367		643						1021				

### 2.2 사용재료

본 연구의 사용재료로 시멘트는 국내 S사의 1종 보통포틀랜드 시멘트를 사용하고, 굵은골재는 경남 용원 석산 25mm 쇄석골재를 사용하였으며, 잔골재로 해사(전남 목포사)와 하천사(경남 합천 황강사)를 혼합한 혼합사(하천사:해사=5:5)를 사용하였다.

혼화제는 국내 D사의 제품으로 수중불분리혼화제와 유동화제를 사용하였다. 혼화제의 물리·화학적 성질은 표 2와 같고, 사용재료의 성질은 표 3과 같다.

표 2 혼화제의 물리·화학적 성질

종 류	형 상	색 갈	주 성분	pH	비 중	표준사용량 (kg/m <sup>3</sup> )
수중불분리혼화제	분 말	흰 색	셀룰로오즈 에테르계	7±0.1	1.06±0.02	2~2.3
유동화제	액 상	담갈색	트리아진 고축합물	11.5±1.5	1.22±0.02	8

표 3 사용재료의 성질

성질 사용재료	비중	G <sub>max</sub> (mm)	흡수율 (%)	조립율	단위중량 (kg/m <sup>3</sup> )	조개껍질 함유량 <sup>1)</sup> (%)	염화물함유량 <sup>2)</sup> (×10 <sup>-3</sup> %)	
							NaCl ℓ	Cl ℓ
시멘트	3.14	-	-	-	-	-	-	-
굵은골재	2.73	25	1.0	6.97	1520	-	-	-
하천사	2.51	-	1.8	2.66	1534	-	-	-
해사	2.62	-	1.8	2.75	1537	7.2	2.6	2.0
혼합사	2.58	-	1.8	2.73	1535	3.9	1.4	1.2

(주) 1) 조개껍질함유량은 표준체 No.4체를 통과한 해사의 절건중량에 대한 백분율이다.  
2) 염화물함유량은 세척한 해사의 중량에 대한 백분율이다.

### 2.3 실험방법

사용재료로 시멘트 및 골재의 물성시험은 KS규정에 준하여 실시하였으며, 수중불분리콘크리트의 혼합은 60ℓ 강제식 팬믹서를 이용하여 그림 1과 같이 실시하였다.

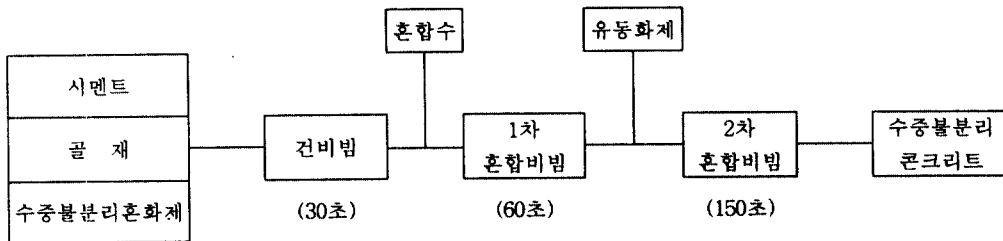


그림 1 수중불분리콘크리트의 제작순서

굳지않은 콘크리트의 특성인 슬럼프플로우, 공기량, 수중분리도실험과 압축강도 시험용 수중제작공시체의 제작방법은 대한토목학회 「콘크리트용 수중불분리성 혼화제 품질규준」에 따라 실시하였으며, 공시체는 해수에서 제작하여 기중에서 제작한 공시체와 재령 7일, 28일에 단위중량 및 압축강도를 비교·측정하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 슬럼프플로우 특성

수중불분리혼화제 첨가량이 증가할수록 슬럼프플로우는 감소하는 경향을 보이고 있으며(그림 2참조), 특히 W/C 45%일 때 저하량이 다른 W/C에 비해 크게 나타나고 있다. 슬럼프플로우는 전체적으로 기준치를 만족하고 있고, W/C 55%일 때가 가장 양호한 것으로 나타났다.(그림 3참조)

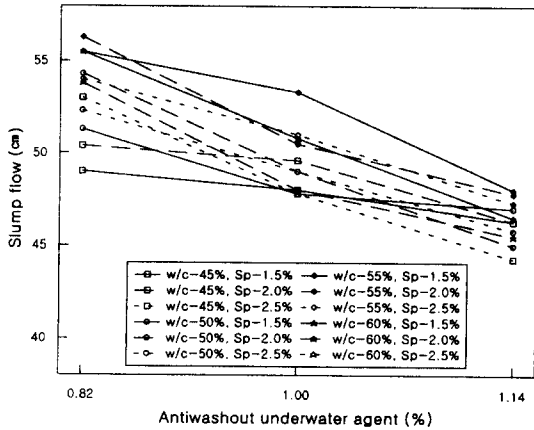


그림 2 AWA사용에 따른 슬럼프플로우

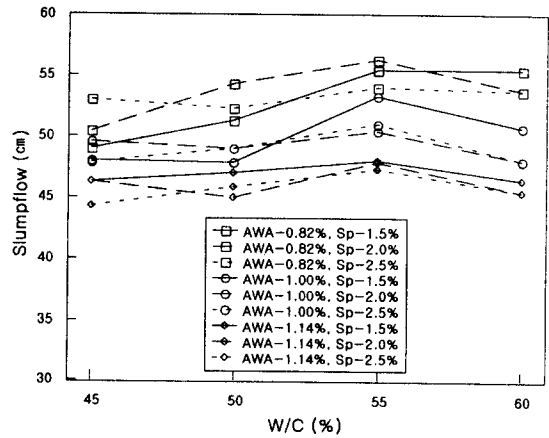


그림 3 W/C변화에 따른 슬럼프플로우

### 3.2 공기량 특성

전체적으로 4.0%이하를 보이고 있으나, W/C 50%의 경우 유동화제 2.5%첨가시 급감함을 보이고 있으며(그림 4참조), 또한 수중불분리혼화제 첨가량이 증가할수록 공기량은 많아지고, 특히 W/C 60%일 때 급격히 감소하는 경향을 보이고 있다.(그림 5참조)

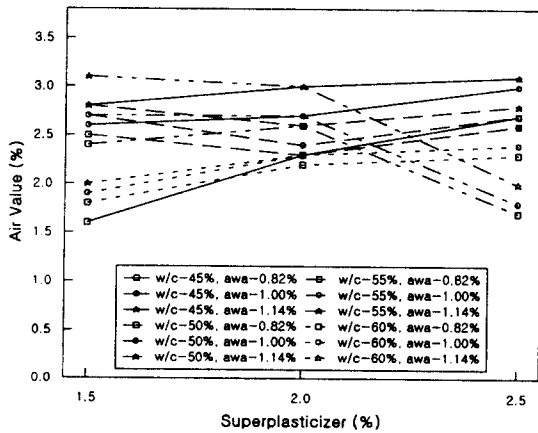


그림 4 유동화제 사용에 따른 공기함유량

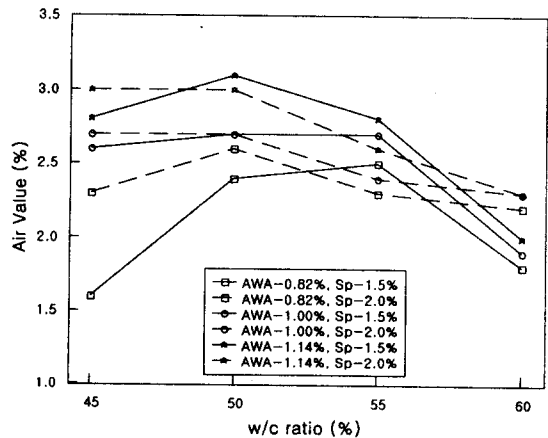


그림 5 W/C변화에 따른 공기함유량

### 3.3 수중분리도 특성

대부분 pH값 12이하를 보이고 있으나, W/C 50%이상에서 초과하는 값들이 보이고 있다.(그림 6참조) 현탁물질량은 수중불분리혼화제 첨가량이 증가할수록 현탁물질량은 감소하는 경향을 보이며, W/C 60%가 가장 큰 값을 보이고 있고, W/C가 작을수록 현탁물질량은 작게 나타났다.(그림 7참조)

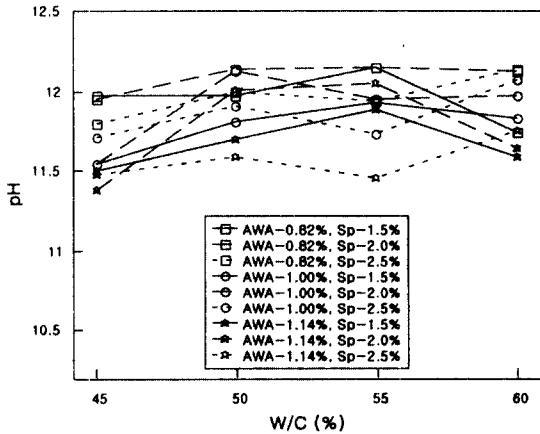


그림 6 W/C변화에 따른 pH

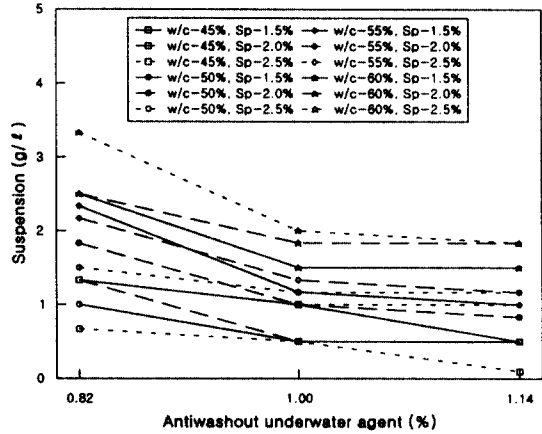


그림 7 AWA사용에 따른 현탁물질량

### 3.4 단위중량 특성

수중제작 공시체의 단위중량은 재령 7일과 28일 모두 보통콘크리트의 단위중량인 2350kg/m<sup>3</sup>보다 작은값을 보였고, W/C가 증가함에 따라 단위중량이 다소 감소하는 경향을 보였다. 재령 28일의 기중 제작공시체는 수중제작공시체보다 월등한 값을 보이고 있으나, W/C 55%이상에서는 W/C 45%, 50%에 비해 상당히 감소하였다.(그림 7, 8참조)

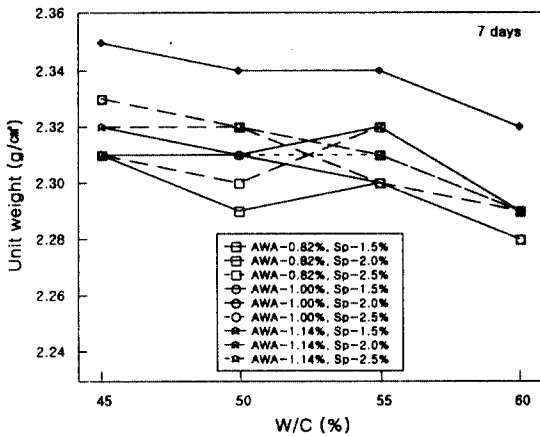


그림 8 W/C 변화에 따른 재령 7일의 단위중량

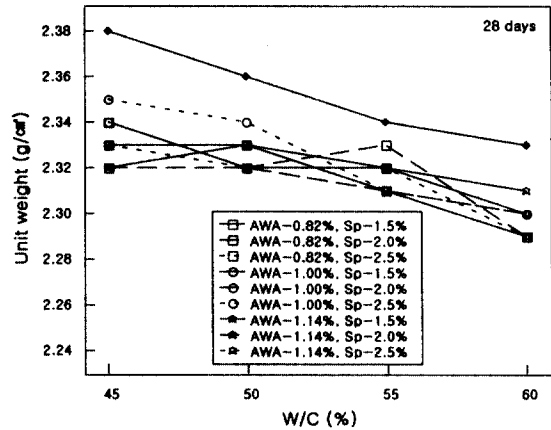


그림 9 W/C 변화에 따른 재령 28일의 단위중량

### 3.5 압축강도 특성

유동화제 변화에 따른 W/C별 압축강도 변화를 살펴보면 W/C 45%, 50%일 때는 설계기준강도를 만족하고 있으나, 55%, 60%의 경우 재령 28일에서 압축강도는 200kg/cm<sup>2</sup>이하의 값을 보이고 있다.(그

림 10참조) 수중불분리혼화제 변화에 따른 W/C별 압축강도는 W/C 45%에서는 모두 만족하고 있으나, 50%에서는 수중불분리혼화제 1.0%이상을 첨가해야 소요의 강도를 얻을 수 있었고, 55%, 60%는 모두 설계기준강도를 만족하지 못하였다.(그림 11참조)

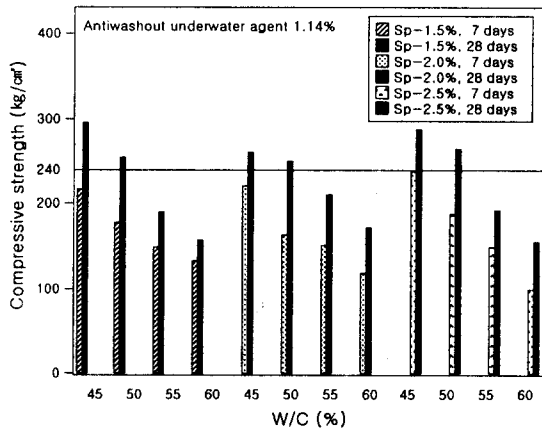


그림 10 SP변화에 따른 W/C별 압축강도

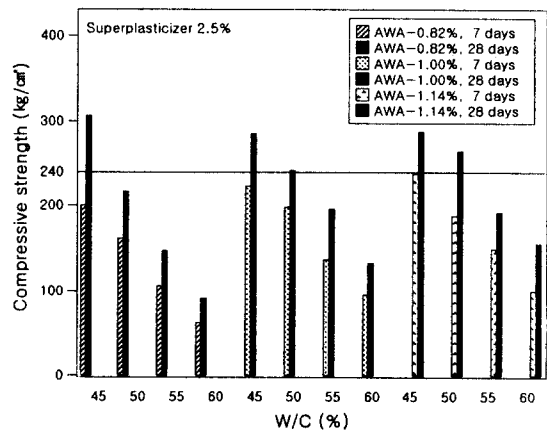


그림 11 AWA변화에 따른 W/C별 압축강도

### 3.6 W/C별 시험결과 비교

본 연구에서 나타난 수중불분리콘크리트의 특성을 W/C별로 평가하여 표 4와 같이 나타내었다.

표 4 W/C별 시험결과 비교

항목 W/C	슬럼프플로우 (cm)		공기량 (%)		pH		현탁물질량		단위중량 (kg/m³)		압축강도 (kg/cm²)	
	측정	평가	측정	평가	측정	평가	측정	평가	측정	평가	측정	평가
45%	44~53	△	1.6~3.1	○	11.4~12.0	○	0.10~1.33	◎	2320~2350	○	250~306	◎
50%	45~54	○	1.7~3.1	○	11.6~12.1	△	0.50~1.83	○	2320~2340	○	184~265	○
55%	47~56	◎	2.3~2.8	○	11.5~12.2	△	1.00~2.33	△	2310~2330	△	125~211	×
60%	45~55	○	1.8~2.6	○	11.6~12.1	△	1.50~3.33	△	2290~2310	△	92~190	×

- (주) 1) 각 시험결과와 평가는 기준값을 우선으로 하여 W/C별로 상대적으로 평가하였다.  
 2) 표의 측정값은 최소값에서 최대값을 나타내었다.  
 3) ◎ 아주 우수. ○ 우수. △ 보통. × 불량.

### 4. 결론

본 연구에서 결정된 배합사항을 바탕으로 혼합사를 사용한 수중불분리콘크리트의 최적W/C에 관한 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) W/C별로 측정된 굳지않은 콘크리트의 슬럼프플로우, 공기량, 수중분리도는 수중불분리혼화제, 유동화제의 첨가량에 따라 다소간의 차이를 보이고 있으나 대체적으로 본 연구에서 요구되는 기준을 만족하였으며, 특히 W/C 45%에서 전반적으로 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 그렇지만 수중불분리콘크리트의 중요 특징인 유동성과 충전성 면에서 다른 W/C에 비해 상대적으로 다소 떨어짐을 알 수 있었다. 또한 W/C 55%, 60%에서는 탁도와 pH가 W/C 45%, 50%에 비해 높은 값으로 측정되어 수중불분리콘크리트의 분리저항성과 내구성에 대한 신뢰성 확보에 있어서 W/C 45%, 50%보다 문제가 있을 것으로 판단되었다.

본 연구에서 굳지않은 콘크리트의 특성들을 비교해 본 결과 유동성, 충전성, 분리저항성 및 내구성 등을 보다 확보할 수 있는 W/C를 산정해 본 결과 50%가 적합하다고 사료된다.

(2) 경화된 콘크리트의 특성들은 W/C 45%일 때 본 연구에서 제시한 수중불분리혼화제, 유동화제의 첨가량에 관계없이 재령 28일 압축강도가 설계기준강도를 모두 만족하는 250~306kg/cm<sup>2</sup> 정도로 나타났고, 단위중량은 2320~2350kg/m<sup>3</sup>로서 다른 W/C보다 상대적으로 높은 값을 보였다. W/C 50%에서는 수중불분리혼화제가 1.14%(2.5kg/m<sup>3</sup>) 첨가되었을 때 유동화제 첨가량에 관계없이 설계기준강도를 상회하였고, 단위중량은 W/C 45%와 비슷한 2320~2340kg/m<sup>3</sup>로 나타났다. 또 W/C 55%, 60%에서는 재령28일의 단위중량 및 압축강도가 설계기준강도를 만족하지 못하였다.

이러한 경화콘크리트의 특성만을 비교해보면 W/C 45%가 가장 적절할 것으로 판단될 수 있으나, 경제성을 고려해볼 때 단위시멘트량과 유동화제가 W/C 45%보다 적게 사용된 W/C 50%가 본 연구에서 요구하는 조건을 만족하는 적절한 W/C로 판단된다.

#### 참고문헌

1. 財團法人沿岸開發技術研究センターほか, “水中不分離性 ユンクリート・マニユアフル(設計・施工)”, 山海堂, 1990.
2. 關博, “日本土木學會,水中不分離性ユンクリート設計施工指針(案)のアウトラインセメント・ユソクリート”, No.541, pp.49-52, 1992.
3. 김명식, “수중 비분리 콘크리트의 특성에 대한 기초적 연구”, 한국농공학회지, 제38권, 제6호, pp.74-82, 1996.
4. 오상근, 조인성, “수중불분리제 및 방수제”, 콘크리트학회지, Vol.8, No.2, pp.41-56, 1996.