

# 통계적 분석에 의한 수중불분리성콘크리트 배합인자의 특성

## Statistical Evaluation of Mix Proportion Factor of Antiwashout Underwater Concrete

원        종        필\* · 임        경        하\*\* · 박        찬        기\*\*  
Won, Jong    Pil · Lim, Kyung    Ha · Park, Chan    Gi

### Abstract

Recently the use of the antiwashout underwater concrete with the antiwashout admixture is increased considerably. Antiwashout underwater concrete is quite different in concept from conventional underwater concrete. By mixing an antiwashout admixture with concrete, the viscosity of the concrete is increased and its resistance to segregation under the washing action of water is enhanced. The aims of this research is statistically evaluated to mix proportion factor of antiwashout underwater concrete. Experiment was performed to analyze the influence variables(cement, water, and antiwashout admixture) on fundamental characteristics of antiwashout underwater concrete. The influence variables can be considered for use in a wide range of underwater work where their have statistically significant effect on the characteristics(fluidity, filling ability, resistance to washout, etc.) of antiwashout underwater concrete.

### I. 서    론

수중에 건설되는 신설 콘크리트 구조물 및 노후된 수중콘크리트 구조물의 보수·보강에 사용되는 콘크리트는 일반 콘크리트와 다른 특성이 있는데 이는 콘크리트가 물과의 접촉해 재료 분리가 발생하며, 많은 양의 시멘트 성분이 수중에 유출됨에 따라 수질오염을 발생시킨다는 것이다. 또한 수중에 콘크리트를 타설함으로써 발생하는 콘크리트의 재료 분리, 다짐의 어려움, 철근과의 부착력 저하, 콘크리트 타설후에 구조물의 결함을 눈으로 직접 확인하기가 어려운 문제점이 있다. 수중에 타설되

는 콘크리트의 이러한 문제들을 해결하기 위하여 기존의 콘크리트 타설방법 및 시공 기계의 개량을 통하여 콘크리트가 물과의 접촉을 최대한 피하는 기술의 개발이 주류를 이루어져 왔지만, 이들 방법으로는 수중콘크리트의 근본적인 문제점을 해결할 수는 없었다.<sup>(1,2,3)</sup>

1970년대 중반 독일에서 콘크리트에 점성을 주어 물에 씻기는 작용에 대한 저항성을 갖게 하는 새로운 형태의 혼화제가 개발되었고, 이로 인해 수중불분리성콘크리트의 제조가 가능하게 됨으로써 수중에 타설되는 콘크리트 품질의 신뢰성이 크게 향상되었으며, 시공 수역의 수질오염을 크게

\* 건국대학교 농축산생명과학대학

\*\* 건국대학교 대학원

키워드 : 수중불분리성콘크리트, 수중분리도, 유동성, 슬럼프플로우, 타도, 충전성

감소시킬 수 있게 되었다. 수중불분리성혼화제를 콘크리트에 첨가하게 되면 콘크리트의 점성이 증가하는 반면 이로 인하여 콘크리트의 워커빌리티는 크게 감소하게 된다. 즉, 수중불분리성혼화제를 사용하면 재료 분리 저항성은 향상되지만, 유동성 등의 성질은 저하하게 된다. 따라서 수중불분리성혼화제에 의해 저하된 유동성 및 충전성을 향상시키기 위해서 고성능감수제를 첨가하게 되는데, 요구되는 품질의 수중불분리성콘크리트를 생산하기 위해서는 고성능감수제와 같은 유동성을 향상시킬 수 있는 혼화제와 수중불분리성혼화제를 적절하게 조합시켜야 한다. 또한 적절한 양의 수중불분리성혼화제와 고성능감수제의 최적배합뿐만 아니라, 소요의 강도를 만족시키기 위해서 단위시멘트량 및 단위수량의 선정에도 주의를 필요로 한다. 이와 같이 최적의 수중불분리성콘크리트를 제조하기 위해서는 여러 재료들의 상호작용을 분석하여 여러 배합인자가 미치는 영향을 파악하는 것이 중요하다. 따라서 본 연구에서는 우수한 특성을 가진 수중불분리성콘크리트를 제조하기 위해서 기존의 연구 자료와 기초 시험을 바탕으로 고성능감수제량을 고정시키고, 단위시멘트량, 단위수량 및 수중불분리성혼화제량을 변수로 하여 굳지않은 콘크리트의 물성 및 경화된 콘크리트의 압축강도실험을 실시하였다. 실험결과는 통계적 방법에 의한 분석을 실시하여 각각의 인자가 수중불분리성콘크리트의 성질에 미치는 영향을 분석·평가하였다.

## II. 실험 계획 및 방법

### 1. 실험 계획

수중불분리성콘크리트의 실험계획은 기존의 수중불분리성콘크리트에 2×2×2 (단위시멘트량×단위수량×수중불분리성 혼화제)으로 배합은 Table 1과 같다. 본 배합은 수중불분리성콘크리트에 관계되는 많은 요인 중 기존의 연구 결과와 예비실험 결과를 참고로 하여 가장 적합한 배합을 선정하였으며, 고성능감수제량은 시멘트량의 2%로 고정하였다.

### 2. 사용재료

#### 가. 시멘트

시멘트는 국내 H사의 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

#### 나. 골재

잔골재는 비중 2.60의 강모래를 사용하였고, 굵은골재는 비중 2.61, 최대치수 25mm의 부순골재를 사용하였다. 골재의 물리적 성질은 Table 2와 같다.

#### 다. 혼화제

수중불분리성혼화제는 셀룰로오스계를 사용하였으며, 기초물성은 Table 3과 같다.

Table 1 Mix proportions

No.	S/a(%)	C(kg/m <sup>3</sup> )	W(kg/m <sup>3</sup> )	G(kg/m <sup>3</sup> )	S(kg/m <sup>3</sup> )	Antiwashout admixture(kg/m <sup>3</sup> )	Superplasticizer(kg/m <sup>3</sup> )
I-1	43	390	210	932	700	2.5	7.8
I-2						2.75	7.8
II-1		390	220	917	689	2.5	7.8
II-2						2.75	7.8
III-1		420	210	917	689	2.5	8.4
III-2						2.75	8.4
IV-1		420	220	903	678	2.5	8.4
IV-2						2.75	8.4

Table 2 Physical properties of aggregates

Aggregates	Specific gravity			Absorption (%)	F.M
	Bulk	Bulk(SSD)	Apparent		
Coarse	2.90	2.61	2.83	0.35	-
Fine	2.59	2.60	2.63	0.67	2.99

Table 3 Properties of antiwashout admixture

Ingredient	Appearance	Specific gravity	Viscosity (cPs)	Cl content (%)
Hydroxyethyl cellulose(HEC)	White colored powder	1.3	40,000 ~ 60,000	less than 1

### 3. 실험방법

콘크리트의 혼합은 20±3°C의 실험실에서 팬형 강제식 믹서를 사용하여 배합을 실시하였다. 재료 투입 순서 및 혼합은 시멘트, 골재 및 수중불분리성혼화제를 투입하여 30초간 건비빔을 한 후에 물과 고성능감수제를 넣고 2분 30초간 총 3분에 걸쳐 혼합하였다. 또한 각 시험은 배합별로 2회 반복 실시하였다.

#### 가. 공기량

공기량 시험은 KS F 2417의 굳지 않은 콘크리트의 압력법에 의한 공기함유량 시험방법으로 측정하였다.

#### 나. 탁도

1,000cc 비이커에 800cc의 증류수를 채우고 수중 불분리성콘크리트 500g을 10등분으로 분할하여 수면에서부터 자유 낙하시켰다. 콘크리트를 자유 낙하시키는 시간은 10~20초에 끝냈다. 이후 3분간 정지 후 비이커 내의 물을 스포이드를 이용하여 비이커 내부의 콘크리트가 혼탁 되지 않도록 가만히 600cc를 분취하였다. 이 600cc의 물에 대하여 탁도계를 이용하여 탁도를 측정하였다.<sup>(2)</sup>

#### 다. pH

탁도 측정과 동일한 방법으로 채취한 물에 대하여

여 pH meter를 사용하여 pH를 측정하였다. pH의 측정은 한 번의 배치에 3회 실시하는 것으로 하였다.<sup>(2)</sup>

#### 라. 슬럼프플로우

슬럼프플로우 시험은 대한토목학회 기준 “콘크리트용 수중불분리성혼화제의 품질규준(안)”의 「수중불분리성콘크리트의 슬럼프플로우 시험」에 따라서 실시하였다. 슬럼프플로우 시험은 슬럼프 시험과 같은 시험기구를 사용하여 슬럼프콘을 제거하고 5분 경화후에 콘크리트가 가장 길게 퍼진 길이와 이에 직각방향의 길이를 측정하여 평균값을 계산하며 이를 슬럼프플로우 값으로 하였다.

#### 마. U형 박스 충전성

수중불분리성콘크리트의 셀레벨링과 충전성을 측정하기 위해서 박스형 충전장치를 이용하였다. 실험 방법은 물을 채운 박스의 한쪽 공간에 40cm 까지 콘크리트를 채우고 3분간 정지한 후 분리판을 들어 올려 5분 및 10분 후의 높이 차이를 측정하였다.<sup>(2)</sup>

#### 바. 압축강도

압축강도는 KS F 2405 「콘크리트 압축강도 시험방법」에 의하여 재령 7일 및 28일에 공기중 및 수중 제작 공시체에 대하여 각각 측정하였다. 공기중 공시체의 제작 방법은 KS F 2403에 따라 Ø 10×20cm의 원추형 몰드를 이용하였고, 다짐 없이 공시체를 제작하였다. 수중 공시체의 제작은 대한토목학회 “콘크리트용 수중불분리성혼화제 품질규준(안)”의 「수중 제작 공시체」에 따라 제작하였다.<sup>(1,2)</sup>

### Ⅲ. 실험결과 및 고찰

실험결과들에 대해 통계적 분석을 통하여 각 인자(단위 시멘트량, 단위수량, 수중불분리성혼화제)가 수중불분리성콘크리트의 특성에 어떠한 영향을 미치는가를 알아보기 위하여 분산분석을 실시하였으며 그 결과는 다음과 같다.

### 1. 공기량

수중불분리성콘크리트의 공기량은 점성의 증가로 인하여 갇힌공기가 증가함으로 인해서 커지는 경향이 있다. Table 4는 공기량 시험의 결과이다. 이 결과에 대해서 분산 분석을 실시하였으며, 분석 결과는 Table 5와 같다. Table 4에 의하면 수중불분리성혼화제가 공기량에 영향을 준것같이 보이지만 통계적으로 95% 신뢰수준에서 유의차는 없었다. 따라서 수중불분리성혼화제가 공기량에 영향을 미친다고 할 수는 없다.

### 2. 수중 분리도

수중불분리성콘크리트의 수중 분리도를 알아보기 위하여 pH 및 탁도(Turbidity)를 측정하였으며, 결과는 Table 6과 같다. 결과에 대해서 통계적으로 분산 분석을 실시하였으며, 분산분석 결과는 Table 7 및 8과 같다. 분석결과 pH는 시멘트와 물의 수화작용 및 수중불분리성혼화제에 의해서 그리고 탁도는 시멘트, 물 및 수중불분리성혼화제 각각의 인자에 의해서 통계적으로 95% 신뢰 수준

에서 유의한 영향을 미쳤다. Fig 1은 시멘트와 수중불분리성혼화제가 pH에 미치는 영향을 나타낸 그림이며 Fig. 2는 시멘트, 단위수량, 수중불분리성혼화제가 탁도에 미치는 영향을 보여주는 것으로 그림에서와 같이 시멘트 및 단위수량이 증가함에 따라 pH와 탁도 모두 증가한다는 것을 알 수 있다. 이는 단위수량이 증가함에 따라 콘크리트의 유동성 및 재료 분리가 커지게 되고 따라서 수중에 콘크리트가 타설되면서 시멘트의 유실이 많아지며, 특히 시멘트량이 증가할 경우 더 많은 시멘트가 재료 분리에 의해서 유실된 것이라 사료된다. 수중불분리성혼화제의 첨가는 수중에서 콘크리트가 물에 의한 회석에 대해 저항성을 향상시키는데, 이는 수중불분리성혼화제가 물과 함께 시멘트 입자에 흡착되고, 인접한 입자들과 얽히게 됨으로써 이루어진다. 결과적으로 이러한 가고 구조가 인접 시멘트 입자를 연결시키고, 수중불분리성 콘크리트로부터 물 및 시멘트의 유출을 감소시킨 것이라 사료된다.

Table 4 Test result of air content(%)

Replicated No.	Mix							
	I -1	I -2	II -1	II -2	III -1	III -2	IV -1	IV -2
1	6.10	7.40	5.50	7.40	5.50	7.40	5.50	5.90
2	5.80	6.90	5.00	6.80	5.20	7.10	5.30	5.80
<b>Average</b>	<b>5.95</b>	<b>7.15</b>	<b>5.25</b>	<b>7.1</b>	<b>5.35</b>	<b>7.25</b>	<b>5.4</b>	<b>5.85</b>

Table 5 Analysis of variance for air content

Source	Sum of squares	Degrees of freedom	Mean square	F-Ratio	P-Value
A	0.125	1	0.125	0.444	0.626
B	0.281	1	0.281	1.000	0.500
C	4.500	1	4.500	16.000	0.156
A × B	0.180	1	0.180	0.640	0.570
A × C	0.211	1	0.211	0.751	0.545
B × C	0.245	1	0.245	0.871	0.522
Error	5.824	7	0.832		

A : Cement ; B : Water ; C : Antiwashout admixture

Table 6 Test result of pH and turbidity

Test	Replicated No.	Mix							
		I-1	I-2	II-1	II-2	III-1	III-2	IV-1	IV-2
pH	1	10.95	10.88	11.03	11.01	11.00	10.94	11.07	11.02
	2	11.00	10.96	11.10	11.07	11.07	10.97	11.12	11.06
	<b>Average</b>	<b>10.98</b>	<b>10.92</b>	<b>11.07</b>	<b>11.04</b>	<b>11.04</b>	<b>10.96</b>	<b>11.10</b>	<b>11.04</b>
Turbidity (ppm)	1	70.00	59.00	83.00	62.00	85.00	67.00	98.00	81.00
	2	75.00	62.00	78.00	71.00	86.00	61.00	107.00	84.00
	<b>Average</b>	<b>72.50</b>	<b>60.50</b>	<b>80.50</b>	<b>66.50</b>	<b>85.50</b>	<b>64.00</b>	<b>102.50</b>	<b>82.50</b>

Table 7 Analysis of variance for pH

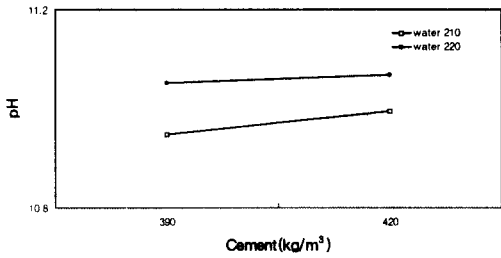
Source	Sum of squares	Degrees of freedom	Mean square	F-Ratio	P-Value
A*	1.953E-03	1	1.953E-03	625.000	0.025
B*	1.575E-02	1	1.575E-02	5041.000	0.009
C*	5.778E-03	1	5.778E-03	1849.000	0.015
A×B*	5.281E-04	1	5.281E-04	169.000	0.049
A×C	3.781E-04	1	3.781E-04	121.000	0.058
B×C	3.781E-04	1	3.781E-04	121.000	0.058
Error	2.477E-02	7	3.538E-03		

\* : Statically significant at the 95% level  
 A : Cement : B : Water : C : Antiwashout admixture

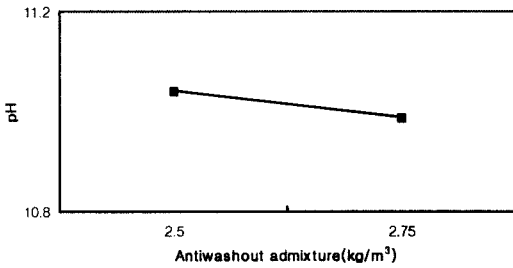
Table 8 Analysis of variance for turbidity

Source	Sum of squares	Degrees of freedom	Mean square	F-Ratio	P-Value
A*	371.281	1	371.281	242.469	0.041
B*	306.281	1	306.281	200.020	0.045
C*	569.531	1	569.531	371.939	0.033
A×B	57.781	1	57.781	37.735	0.166
A×C	30.031	1	30.031	19.612	0.103
B×C	31.250	1	31.250	0.020	0.910
Error	1,336.469	7	190.924		

\* : Statically significant at the 95% level  
 A : Cement : B : Water : C : Antiwashout admixture



(a)



(b)

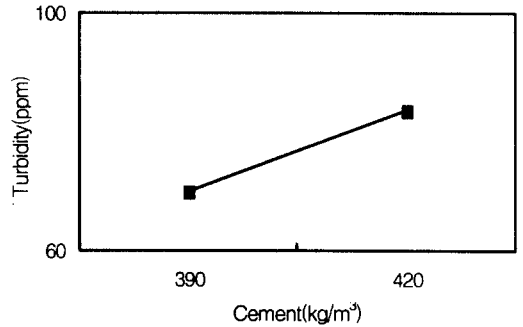
Fig. 1 Trends in pH: (a) effect of cement, (b) effect of antiwashout admixture

### 3. 유동성

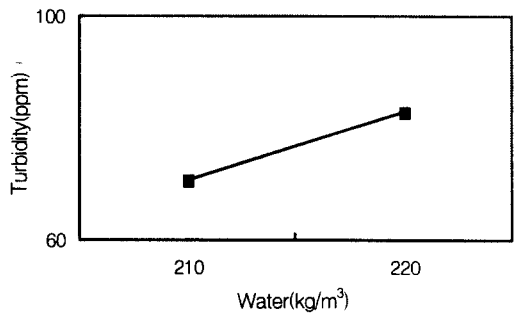
수중불분리성콘크리트의 유동성을 슬럼프플로우로 평가하는 이유는 보통 콘크리트와는 다르게 점성이 크고 시간의 경과에 따라 계속 변화하는 성질이 있기 때문이다. 이러한 변화를 멈추는 시간은 슬럼프 콘을 들어올린 후 적어도 3분 이상은 소요된다. 이는 수중불분리성혼화제의 첨가로 점성이 증가된 콘크리트의 유동성을 확보하기 위해서 고성능감수제를 첨가했기 때문이다. 본 연구에서 실시한 슬럼프플로우 실험 결과는 Table 9와 같으며, 분석결과 모든인자가 통계적으로 95%의 신뢰수준에서 유의차가 없었다(Table 10).

### 4. 충전성

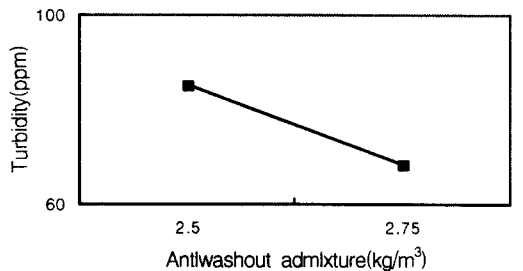
현재 수중불분리성콘크리트의 충전성을 평가하는 시험방법으로 표준화되어 있는 방법이 없기 때문에, 본 실험에서는 U형 박스 시험에 의한 충전



(a)



(b)



(c)

Fig. 2 Trends in turbidity: (a) effect of cement, (b) effect of water, (c) effect of antiwashout admixture

높이 차이를 측정하여 충전성을 평가하였다. 실험 결과는 Table 11과 같으며, Table 12는 이 실험 결과를 기초로 분산 분석을 실시한 결과이다. 분산 분석 결과 5분후의 측정결과는 통계적으로 유의차가 없었지만 10분후의 측정결과는 단위수량과 수중불분리성혼화제 첨가량이 박스 충전성에 95%의 신뢰수준에서 영향을 주는 것으로 나타났다.

Table 9 Test result of slump flow(cm)

Replicated No.	Mix							
	I -1	I -2	II -1	II -2	III -1	III -2	IV -1	IV -2
1	52.50	50.00	55.50	53.00	49.00	47.00	52.00	50.50
2	54.00	52.00	56.50	55.50	50.00	47.00	52.00	52.00
<b>Average</b>	<b>53.25</b>	<b>51.00</b>	<b>56.00</b>	<b>54.25</b>	<b>49.50</b>	<b>47.00</b>	<b>52.00</b>	<b>51.25</b>

Table 10 Analysis of variance for slump flow

Source	Sum of squares	Degrees of freedom	Mean square	F-Ratio	P-Value
A	27.195	1	27.195	139.240	0.054
B	20.320	1	20.320	104.040	0.062
C	6.570	1	6.570	33.640	0.109
A×B	7.031E-02	1	7.031E-02	0.360	0.656
A×C	7.031E-02	1	7.031E-02	0.360	0.656
B×C	0.633	1	0.633	3.240	0.323
Error	55.055	7	7.865		

\* : Statically significant at the 95% level

Table 11 Test results of U-type box(cm)

Replicated No.		Mix							
		I -1	I -2	II -1	II -2	III -1	III -2	IV -1	IV -2
After 5 minutes	1	8.50	4.50	12.00	8.50	10.00	6.50	13.00	9.50
	2	9.00	6.50	14.00	10.00	11.50	7.50	14.50	8.00
<b>Average</b>		<b>9.75</b>	<b>5.50</b>	<b>13.00</b>	<b>9.25</b>	<b>10.75</b>	<b>7.00</b>	<b>13.75</b>	<b>8.75</b>
After 10 minutes	1	7.50	3.50	11.00	8.00	9.00	5.50	11.50	8.50
	2	7.50	5.00	11.00	9.00	10.50	6.00	12.00	7.00
<b>Average</b>		<b>7.50</b>	<b>4.25</b>	<b>11.00</b>	<b>8.50</b>	<b>9.75</b>	<b>5.75</b>	<b>11.75</b>	<b>7.75</b>

Table 12 Analysis of variance for U-type box test

Source	Sum of squares	Degrees of freedom	Mean square	F-Ratio	P-Value
U-type box test value (After 5 minutes)					
A	0.945	1	0.945	2.469	0.361
B	17.258	1	17.258	45.082	0.094
C	35.070	1	35.070	91.612	0.066
A×B	0.633	1	0.633	1.653	0.421
A×C	7.031E-02	1	7.031E-02	0.184	0.742
B×C	7.031E-02	1	7.031E-02	0.184	0.742
Error	54.430	7	7.776		
U-type box test value (After 10 minutes)					
A	1.758	1	1.758	25.000	0.126
B*	17.258	1	17.258	245.444	0.041
C*	23.633	1	23.633	336.111	0.035
A×C	1.758	1	1.758	25.000	0.126
A×B	0.633	1	0.633	9.000	0.205
B×C	7.031E-02	1	7.031E-02	1.000	0.500
Error	45.180	7	6.454		

\* : Statically significant at the 95% level

A : Cement ; B : Water ; C : Antiwashout admixture

Fig. 3 및 4는 5분 및 10분 후의 충전성시험결과를 나타낸 것으로 단위수량이 증가할수록 충전 높이가 차이가 증가하고, 수중불분리성혼화제 첨가량이 증가할수록 감소하는 경향을 나타낸다. 단위수량이 증가할수록 충전 높이가 증가하는 경향을 보이는 이유는 단위수량 증가로 인해 유동성은 증가하게 되지만 굵은골재의 재료 분리가 발생함에 따라 골재가 침전되면서 박스사이의 공간을 막게 되고 이로 인해서 기타 시멘트 및 잔골재 등이 제대로 충전되지 못한 것으로 생각된다. 수중불분리성혼화제 첨가량이 증가할수록 충전 높이가 차이가 감소하는 경향을 나타냈는데, 이는 콘크리트의 점성이 증가하여 콘크리트의 재료 분리를 억제하고 따라서 박스 사이의 공간이 굵은 골재에 의해서 막힘이 없이 원활하게 이동한 것이라 사료된다.

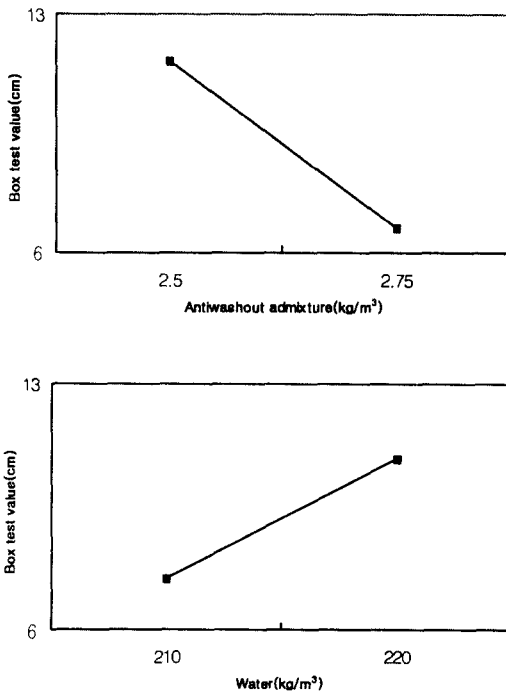


Fig. 3 Trends in U-type box test value (after 5 minutes)

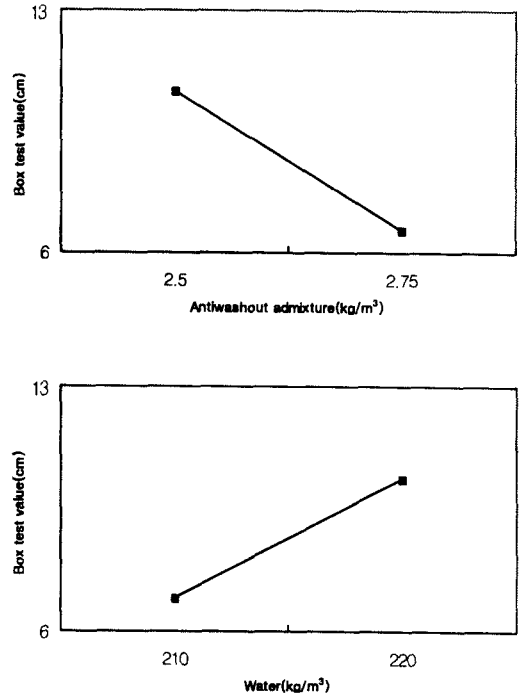


Fig. 4 Trends in U-type box test value (after 10 minutes)

## 5. 압축강도

수중불분리성콘크리트의 압축강도는 각 배합별로 기중에서 배합하여 수중 및 기중에서 양생하였으며, 재령 7일과 28일에서 압축강도를 측정하였다. 실험 결과는 Table 13과 같으며, 분산 분석 결과는 Table 14 및 15와 같다. 분산 분석 결과 단위 시멘트량이 통계적으로 95% 신뢰 수준에서 압축강도에 유의한 영향을 미쳤다.



Table 13 Test result of compressive strength

Test age	Curing condition	Bach No.	Mix							
			I-1	I-2	II-1	II-2	III-1	III-2	IV-1	IV-2
7 days (kgf/cm)	Water	1	161.0 152.0 -	170.0 175.0 -	158.0 145.0 -	162.0 162.0 160.0	222.0 211.0 210.0	240.0 234.0 231.0	204.0 209.0 212.0	212.0 221.0 215.0
		2	161.0 156.0 -	171.0 179.0 -	152.0 147.0 -	165.0 162.0 -	218.0 209.0 -	236.0 234.0 -	210.0 213.0 208.0	211.0 219.0 218.0
		<b>Average (St.Dev.)</b>	<b>157.5 (4.359)</b>	<b>174.1 (4.113)</b>	<b>155.8 (5.802)</b>	<b>162.2 (1.790)</b>	<b>214.0 (5.701)</b>	<b>235.0 (3.317)</b>	<b>209.3 (3.204)</b>	<b>216.0 (4.000)</b>
	Air	1	231.0 236.0 -	258.0 251.0 -	213.0 215.0 207.0	223.0 219.0 -	289.0 285.0 280.0	286.0 290.0 294.0	270.0 251.0 260.0	271.0 266.0 -
		2	249.0 244.0 247.0	260.0 253.0 253.0	223.0 227.0 215.0	219.0 219.0 225.0	283.0 281.0 -	292.0 297.0 -	264.0 258.0 257.0	268.0 271.0 274.0
		<b>Average (St.Dev.)</b>	<b>241.4 (7.635)</b>	<b>255.0 (3.808)</b>	<b>216.7 (7.202)</b>	<b>221.0 (2.830)</b>	<b>283.6 (3.578)</b>	<b>291.8 (4.147)</b>	<b>260.0 (6.481)</b>	<b>270.0 (3.082)</b>
28 days (kgf/cm)	water	1	203.0 208.0 206.0	226.0 222.0 225.0	195.0 196.0 -	215.0 211.0 -	284.0 280.0 283.0	289.0 286.0 278.0	256.0 253.0 259.0	271.0 277.0 269.0
		2	217.0 213.0 -	221.0 218.0 -	193.0 197.0 187.0	208.0 207.0 207.0	281.0 278.0 282.0	292.0 293.0 -	258.0 262.0 -	274.0 275.0 -
		<b>Average (St.Dev.)</b>	<b>209.4 (5.595)</b>	<b>222.4 (3.209)</b>	<b>193.6 (3.975)</b>	<b>209.6 (3.440)</b>	<b>281.3 (2.160)</b>	<b>287.6 (6.025)</b>	<b>257.6 (3.362)</b>	<b>273.2 (3.194)</b>
	Air	1	312.0 305.0 -	296.0 307.0 307.0	275.0 294.0 -	289.0 281.0 -	328.0 338.0 340.0	347.0 335.0 343.0	310.0 312.0 314.0	333.0 336.0 320.0
		2	305.0 290.0 297.0	301.0 306.0 -	283.0 272.0 -	286.0 286.0 -	332.0 330.0 -	344.0 339.0 332.0	304.0 306.0 -	322.0 318.0 334.0
		<b>Average (St.Dev.)</b>	<b>301.8 (8.468)</b>	<b>303.4 (4.827)</b>	<b>281.0 (9.832)</b>	<b>285.5 (3.320)</b>	<b>333.6 (5.177)</b>	<b>340.0 (5.727)</b>	<b>309.4 (4.147)</b>	<b>327.2 (8.010)</b>

(St.Dev.) : Standard Deviation

Table 14 Analysis of variance for compressive strength (7 days)

Source	Sum of squares	Degrees of freedom	Mean square	F-Ratio	P-Value
7 Days (Water)					
A*	6629.761	1	6629.761	563.695	0.027
B	223.661	1	223.661	19.017	0.144
C	387.811	1	387.811	32.974	0.110
A × B	3.251	1	3.251	0.276	0.692
A × C	1.125E-02	1	1.125E-02	0.001	0.980
B × C	44.651	1	44.651	3.796	0.302
Error	7300.909	7	1,042.987		
7 Days (Air)					
A*	3667.961	1	3667.961	238.160	0.041
B	1354.601	1	1354.601	87.954	0.068
C	162.901	1	162.901	10.577	0.190
A × C	22.111	1	22.111	1.436	0.443
A × B	1.125E-02	1	1.125E-02	0.001	0.983
B × C	7.031	1	7.031	0.457	0.622
Error	5230.019	7	747.146		

\* : Statically significant at the 95% level

A : Cement : B : Water : C : Antiwashout admixture

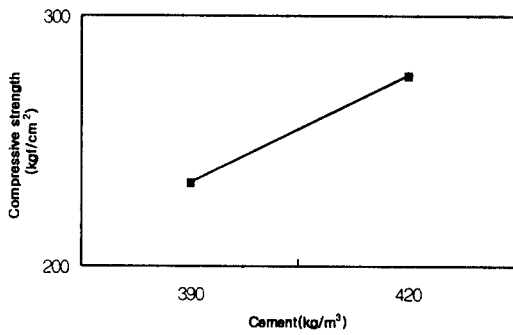
통계적 분석에 의한 수중불분리성콘크리트 배합인자의 특성

Table 15 Analysis of variance for compressive strength (28 days)

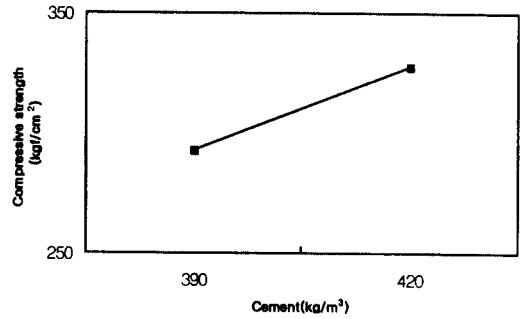
Source	Sum of squares	Degrees of freedom	Mean square	F-Ratio	P-Value
28 Days (Water)					
A*	8758.261	1	8758.261	1765.334	0.015
B	556.111	1	556.111	112.091	0.060
C	323.851	1	323.851	65.276	0.078
A × B	11.281	1	11.281	2.274	0.373
A × C	6.301	1	6.301	1.270	0.462
B × C	18.911	1	18.911	3.812	0.301
Error	9679.679	7	1382.811		
28 Days (Air)					
A*	2397.781	1	2397.781	265.498	0.039
B	716.311	1	716.311	79.315	0.071
C	114.761	1	114.761	12.707	0.174
A × C	0.361	1	0.361	0.040	0.874
A × B	40.951	1	40.951	4.534	0.280
B × C	25.561	1	25.561	2.830	0.341
Error	3304.759	7	472.108		

\* : Statically significant at the 95% level

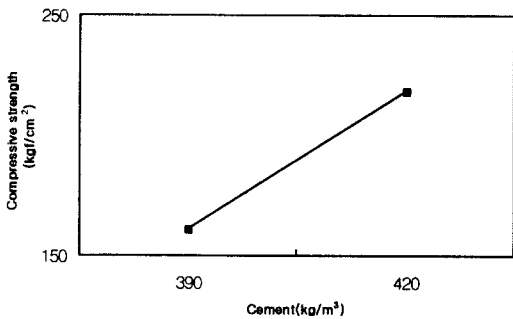
A : Cement : B : Water : C : Antiwashout admixture



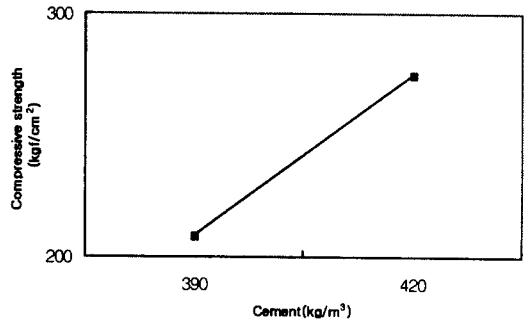
(a) Curing in water



(a) Curing in water



(b) Curing in air



(b) Curing in air

Fig. 5 Trends in compressive strength (7 Days): (a) Curing in water, (b) Curing in air

Fig. 6 Trends in compressive strength (28 Days): (a) Curing in water, (b) Curing in air

#### IV. 결 론

단위시멘트량, 단위수량 및 수중불분리성혼화제를 변수로 하여 수중불분리성콘크리트의 공기량, 수중 분리도, 유동성, 충전성 및 압축강도에 미치는 영향을 통계적으로 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 공기량의 경우 수중불분리성혼화제 첨가량의 변화에 의한 영향은 통계적으로 95%의 신뢰수준에서 유의하지 않았다.
2. pH 및 탁도의 경우 단위시멘트량, 단위수량, 수중불분리성혼화제에 통계적으로 95%의 신뢰수준에서 유의한 영향을 받았는데, 단위시멘트량 및 단위수량이 증가할수록 증가하는 경향을 보였고, 수중불분리성혼화제 첨가량이 증가할수록 감소하는 경향을 보여주었다.
3. 슬럼프플로우의 경우 단위시멘트량 및 수중불분리성혼화제 첨가량의 변화에 의한 영향은 통계적으로 95%의 신뢰수준에 유의하지 않았다.
4. 충전성은 단위수량 및 수중불분리성혼화제에 통계적으로 95%신뢰수준에서 유의한 영향을 받았는데, 단위수량이 감소하고 수중불분리성혼화제의 첨가량이 증가할수록 양호한 결과를 보였으며, 양호한 충전성의 확보는 재료 분리를 억제하고, 적절한 점성과 유동성을 가질 경우에 가능한 것으로 분석되었다.
5. 압축강도는 수중 및 기중에서 모두 단위시멘트량의 변화에 의한 영향은 통계적으로 95%신뢰수준에서 유의한 영향을 받았다.

#### 참 고 문 헌

1. 건설교통부 제정(1996), 콘크리트표준시방서, 대한토목학회.

2. 건설교통부(1998), 해사를 사용한 수중불분리성콘크리트의 품질향상 및 실용화에 관한 연구, 건설기술연구개발사업 연차보고서.
3. 경기도 환경정책과(1999), 99 경기환경백서.
4. 김기동, 윤재범, 이상명, 김명식(1999), 수중불분리성콘크리트의 부착강도특성에 관한 연구, 콘크리트학회 봄 학술발표회, pp. 153~159.
5. Billy D. needly and Jerry Wickersham(1989), Repairs of red rock dam, Concrete International, October, pp. 36~39.
6. Kawai, T.(1987), Non-dispersible underwater concrete using polymers, marine concrete, International Congress on Polymers in Concrete, Brighton, England, Sept., Chapter 11.5, pp. 23.
7. Kenneth L. Saucier and Billy D. Needly(1987), Antiwashout admixtures in underwater concrete, Concrete international, V. 9, No. 5, pp. 42~47.
8. Khayat, K. H., and A. Yahia(1997), Effect of welan gum high-range water reducer combinations on rheology of cement grout, ACI Materials Journal, V. 94, No. 5, September-October, pp. 365~372.
9. Khayat, K. H., and Hester, W. T.(1990), Evaluation of concrete mixtures for underwater pile repairs, Cement, Concrete, and Aggregate Journal, V. 13, No. 1, Summer, pp. 32~41.
10. Khayat, K. H., and Zubier Guizani(1997), Use of viscosity-modifying admixture to enhance stability of fluid concrete, ACI Material Journal, V. 94, No. 4, July-August, pp. 332~340.